삽교천수계(무한천) 유역종합치수계획수립 용역

보 고 서

2005. 8

건 설 교 통 부
대전지방국토관리청

< 목 차 >

제 1 장 과업의 개요 ····· Ⅰ - 1

1.1 과업의 목적 ····· Ⅰ - 1

1.2 과업의 범위 ····· Ⅰ - 2

1.3 세부과업 내용 ····· Ⅰ - 5

제 2 장 유역 기초자료 조사 ····· Ⅱ - 1

2.1 유역특성 조사 ····· Ⅱ- 1

2.1.1 유역의 일반현황 ····· Ⅱ- 1

2.1.2 기상현황 ····· Ⅱ- 14

2.1.3 집중호우 및 태풍현황 ····· Ⅱ- 22

2.2 인문·사회·경제 조사 ····· Ⅱ- 34

2.2.1 행정구역 및 문화재 현황 ····· Ⅱ- 34

2.2.2 인구 현황 ····· Ⅱ- 36

2.2.3 기반시설 현황 ····· Ⅱ- 42

2.2.4 자산 현황 ····· Ⅱ- 46

2.3 토양 및 지질 특성 ····· Ⅱ- 48

2.3.1 토양 특성 ····· Ⅱ- 48

2.3.2 지형 및 지질 특성 ····· Ⅱ- 54

2.4 토지이용 현황 조사 ····· Ⅱ- 58

2.4.1 토지이용 ····· Ⅱ- 58

2.4.2 도시화율 ····· Ⅱ- 61

2.4.3 삽교천 수계내 향후 토지이용 변화 예측 ····· Ⅱ- 64

제 3 장 수문지형학적 특성 분석 ····· Ⅲ - 1

3.1 유역의 수문지형학적 특성 ····· Ⅲ - 1

3.1.1 GIS기법을 이용한 유역특성 분석방법 ····· Ⅲ - 2
3.1.2 유역의 지형학적 인자와 수문특성과의 연관성 ····· Ⅲ - 4
3.1.3 과업대상 유역의 수문지형학적 특성 분석 ····· Ⅲ - 6
3.2 하도특성 및 하상변동 분석 ····· Ⅲ - 20
3.2.1 하도 특성 ····· Ⅲ - 20
3.2.2 하도특성 및 하상변동 검토 ····· Ⅲ - 25
3.3 침수취약지역 분석 ····· Ⅲ - 85
3.3.1 침수취약지역 분석 방법 ····· Ⅲ - 85
3.3.2 수계별 침수취약지역 분석 ····· Ⅲ - 86

제 4 장 치수특성 조사 ····· Ⅳ - 1
4.1 수문조사 ····· Ⅳ - 1
4.1.1 수문관측소 현황 ····· Ⅳ - 1
4.1.2 수문관측망 적정성 분석 ····· Ⅳ - 5
4.2 치수사업 연혁 ····· Ⅳ - 9
4.2.1 과거의 개수계획 ····· Ⅳ - 9
4.2.2 하천개수실적 ····· Ⅳ - 9
4.3 치수시설 조사 ····· Ⅳ - 11
4.3.1 배수펌프장 현황 ····· Ⅳ - 11
4.3.2 저수지 현황 ····· Ⅳ - 15
4.3.3 자연배수시설 현황 ····· Ⅳ - 31
4.4 홍수피해 특성 조사 ····· Ⅳ - 33
4.4.1 최근 20년간 자연재해 피해현황 조사 ····· Ⅳ - 33
4.4.2 상습침수지역 조사 ····· Ⅳ - 40

제 5 장 관련계획 검토 ····· Ⅴ - 1
5.1 하천정비 기본계획 ····· Ⅴ - 1
5.1.1 삽교천 하천정비기본계획(1977, 건교부) ····· Ⅴ - 1

5.1.2 삽교천 하천정비기본계획(보완) (1994, 건교부) ····· Ⅴ - 3
5.1.3 삽교천(곡교천, 무한천) 하천정비기본계획(1994, 건교부) ····· Ⅴ - 6
5.1.4 무한천 하천정비기본계획(1989, 충청남도) ····· Ⅴ - 8
5.1.5 삽교천, 곡교천 지방하천 구간 하천정비기본계획 ····· Ⅴ - 11
5.2 수해원인조사 보고서 ····· Ⅴ - 13
5.2.1 삽교천수계 수해원인분석 및 항구대책조사(1981, 대전지방국토관리청) ····· Ⅴ - 13
5.2.2 삽교천 수해원인조사 보고서(1996. 11, 건교부) ····· Ⅴ - 16
5.3 아산·삽교호 주변 침수원인분석 보고서(2000.12, 농림부) ····· Ⅴ - 18

제 6 장 강 우 분 석 ····· Ⅵ - 1
6.1 확률강우량 ····· Ⅵ - 1
6.1.1 일최대 확률강우량 ····· Ⅵ - 1
6.1.2 임의의 지속시간 확률강우량으로 보정 ····· Ⅵ - 4
6.1.3 건교부 우량관측소 시강우자료 사용성 검토 ····· Ⅵ - 9
6.1.4 강우강도식 유도 ····· Ⅵ - 19
6.1.5 지점평균확률강우량 ····· Ⅵ - 21
6.2 삽교천 유역의 면적감소계수(ARF) 산정 ····· Ⅵ - 27
6.2.1 분석대상 강우자료 ····· Ⅵ - 27
6.2.2 면적감소계수 산정 ····· Ⅵ - 28
6.2.3 면적평균확률강우량 검토 ····· Ⅵ - 39
6.3 가능최대강수량(PMP)의 추정 ····· Ⅵ - 40
6.3.1 포락곡선방법 ····· Ⅵ - 40
6.3.2 통계학적 방법 ····· Ⅵ - 41
6.3.3 수문기상학적 방법 ····· Ⅵ - 42
6.3.4 가능최대강수량(PMP)의 산정결과 ····· Ⅵ - 63
6.4 장래 강우특성 변화 예측 ····· Ⅵ - 64
6.4.1 장래 강우특성 변화 예측에 의한 목표연도 설계강우량 산정 ····· Ⅵ - 64
6.4.2 Monte Carlo 방법에 의한 장래 강우특성 변화의 예측 ····· Ⅵ - 64
6.4.3 GCM에 의한 장래 강우 특성 변화의 예측 ····· Ⅵ - 69

제 7 장 과거 발생한 주요 호우사상의 특성 검토 ····· Ⅶ - 1

7.1 호우사상 분석의 개요 ····· Ⅶ - 1

7.1.1 호우사상의 선정 ····· Ⅶ - 1

7.1.2 기상 및 강우자료 수집과 분석 ····· Ⅶ - 4

7.2 호우사상별 강우특성 분석 ····· Ⅶ - 6

7.2.1 2000년 8월 호우 ····· Ⅶ - 6

7.2.2 1999년 8월 호우 ····· Ⅶ - 11

7.2.3 1998년 8월 호우 ····· Ⅶ - 16

7.2.4 1995년 8월 호우 ····· Ⅶ - 23

7.2.5 1989년 9월 호우 ····· Ⅶ - 34

7.2.6 1987년 7·8월 호우 ····· Ⅶ - 38

7.2.7 주요 호우사상의 강우특성 검토 ····· Ⅶ - 47

7.2.8 강우와 피해특성 관계분석 ····· Ⅶ - 51

7.3 주요 홍수사상의 피해양상 검토 ····· Ⅶ - 56

7.3.1 99년 8월 홍수 ····· Ⅶ - 56

7.3.2 98년 8월 홍수 ····· Ⅶ - 59

7.3.3 95년 8월 홍수 ····· Ⅶ - 63

7.4 유출특성 검토 ····· Ⅶ - 69

7.4.1 수위관측소별 자료 현황 ····· Ⅶ - 69

7.4.2 기간별 유출특성 검토 ····· Ⅶ - 74

7.4.3 삽교천 유역의 유출특성 ····· Ⅶ - 83

7.4.4 과거 홍수시 예당지 및 삽교호 운영상황 검토 ····· Ⅶ - 84

제 8 장 홍수피해 원인 분석 ····· Ⅷ - 1

제 9 장 치수단위구역 구분 및 치수안전도 설정 ····· Ⅸ - 1

9.1 홍수피해 잠재능(PFD : Potential Flood Damage) 분석 ····· Ⅸ - 1

9.1.1 홍수피해 잠재능(PFD) 산정방법 ····· Ⅸ - 1

9.1.2 PFD에 의한 단위 소유역의 특성 구분 ····· Ⅸ - 7

9.2 치수단위구역 구분 ····· Ⅸ - 10
9.2.1 대구역 구분 ····· Ⅸ - 10
9.2.2 중구역 구분 ····· Ⅸ - 12
9.2.3 소구역 구분 ····· Ⅸ - 22
9.3 치수안전도 설정 ····· Ⅸ - 26
9.3.1 치수안전도의 개념 ····· Ⅸ - 26
9.3.2 삽교천 유역내 하천의 계획빈도 검토 ····· Ⅸ - 26
9.3.3 치수단위구역별 치수안전도 설정 ····· Ⅸ - 31

제 10 장 홍수량 및 홍수위 산정 ····· Ⅹ - 1
10.1 홍수량 산정 ····· Ⅹ - 1
10.1.1 유역특성에 따른 검토 사항 ····· Ⅹ - 1
10.1.2 하도홍수추적방법 검토 ····· Ⅹ - 5
10.1.3 홍수량 산정지점 ····· Ⅹ - 6
10.1.4 설계강우량 ····· Ⅹ - 13
10.1.5 강우손실 및 설계유효우량 ····· Ⅹ - 20
10.1.6 홍수도달시간 ····· Ⅹ - 26
10.2 하도홍수추적 ····· Ⅹ - 32
10.2.1 이론적 배경 ····· Ⅹ - 32
10.2.2 모형의 구축 ····· Ⅹ - 38
10.2.3 모형의 검증 ····· Ⅹ - 67
10.3 현 상태의 치수특성 검토 ····· Ⅹ - 74
10.3.1 홍수 유출특성 분석 ····· Ⅹ - 74
10.3.2 삽교천 하구부의 수리특성 ····· Ⅹ - 77
10.3.3 배수영향 구간 ····· Ⅹ - 86
10.4 주요지점 홍수량 ····· Ⅹ - 90
10.4.1 기본홍수량 ····· Ⅹ - 92
10.4.2 계획홍수량 ····· Ⅹ - 92
10.4.3 하도유하량 ····· Ⅹ - 97
10.4.4 홍수량 산정방법에 따른 수리특성 차이 검토 ····· Ⅹ -102

제 11 장 기존 치수시설의 홍수조절능력 검토 ····· XI - 1
11.1 홍수량 증가와 홍수위 상승 ····· XI - 1
11.1.1 홍수량 증가 ····· XI - 1
11.1.2 홍수위 증가 ····· XI - 4
11.2 기존 치수시설물 능력검토 ····· XI - 15
11.2.1 제 방 ····· XI - 15
11.2.2 배수시설 ····· XI - 18
11.2.3 예 당 지 ····· XI - 36
11.3 예상 침수지역 ····· XI - 44

제 12 장 홍수방어 대안요소사업의 검토 ····· XII - 1
12.1 기본방침 ····· XII - 1
12.2 비구조적 대책 ····· XII - 1
12.2.1 삽교호-예당지 연계운영 ····· XII - 1
12.2.2 예당지 홍수조절능력 보강 ····· XII - 4
12.2.3 홍수보험 제도의 도입 ····· XII - 14
12.2.4 홍수터 관리 ····· XII - 19
12.2.5 홍수예경보 ····· XII - 23
12.2.6 비상대처계획 수립 ····· XII - 31
12.3 구조적 대책 ····· XII - 46
12.3.1 예당지 증고 검토 ····· XII - 46
12.3.2 예비방류를 위한 방류시설 계획 ····· XII - 57
12.3.3 기존 농업용 저수지의 치수목적 활용 ····· XII - 68
12.3.4 천변저류지 ····· XII - 85
12.3.5 삽교호 배수갑문 증설 ····· XII -111
12.3.6 삽교천과 무한천 합류부 개선 ····· XII -119
12.3.7 하도정비 ····· XII -127

제 13 장 치수사업의 경제성 분석방법 ····· XIII - 1
13.1 치수사업의 편익 산정 ····· XIII - 1
13.1.1 치수사업의 대상편익 ····· XIII - 1

13.1.2 다차원 홍수피해산정방법의 기본구성 ····· XIII- 2
13.1.3 행정구역별 자산조사 ····· XIII- 4
13.1.4 침수편입율 산정 ····· XIII- 13
13.1.5 침수피해액 산정 ····· XIII- 14
13.1.6 총피해액 산정 ····· XIII- 17
13.1.7 치수경제성 검토 대상지역의 자산가치 ····· XIII- 19
13.2 치수경제성 분석 ····· XIII- 29
13.2.1 편익의 산정 ····· XIII- 29
13.2.2 비용의 산정 ····· XIII- 32
13.2.3 경제성 평가 ····· XIII- 33

제 14 장 유역종합치수계획(안) 수립 ····· XIV - 1

14.1 홍수방어 대안요소의 평가 ····· XIV- 1
14.1.1 홍수방어 대안요소별 치수효과 검토 ····· XIV- 1
14.1.2 홍수방어대안 요소의 경제성 검토 ····· XIV- 21
14.2 유역종합치수계획(안) 수립 ····· XIV- 25
14.2.1 유역종합치수계획의 목표 ····· XIV- 25
14.2.2 홍수방어 대안요소의 조합에 의한 치수계획(안) 검토 ····· XIV- 26
14.2.3 유역종합치수계획(안) 수립 ····· XIV- 46
14.3 유역종합치수계획(안) 시행에 따른 수리·수문특성 변화 ····· XIV- 48
14.3.1 첨두홍수량 ····· XIV- 48
14.3.2 홍 수 위 ····· XIV- 50
14.3.3 홍수량 배분 ····· XIV- 64

제 15 장 유역관리계획 ····· XV - 1

15.1 유역유출상황 모니터링 ····· XV- 1
15.1.1 삽교천 유역내 수문관측망 평가 ····· XV- 1
15.1.2 삽교천 유역내 유출상황 모니터링 현황 ····· XV- 11
15.1.3 모니터링 계획 ····· XV- 13
15.2 홍수방어 시설물 유지관리 방안 ····· XV- 17
15.2.1 시설물 유지관리 개념 및 안전점검 종류 ····· XV- 17

15.2.2 삽교호 및 방조제 유지관리방안 ····· XV - 21
15.2.3 예당지 유지관리방안 ····· XV - 24
15.2.4 농업용 저수지 유지관리 ····· XV - 30
15.2.5 천변저류지 유지관리 ····· XV - 34
15.2.6 배수펌프장 유지관리방안 ····· XV - 37
15.3 유역내 저류능력 유지방안 ····· XV - 47
15.3.1 치수단위구역별 저류능력 유지방안 ····· XV - 47
15.3.2 도시개발지역의 저류능력 유지방안 ····· XV - 48
15.4 관련계획과 연계방안 ····· XV - 50
15.4.1 하천정비기본계획 ····· XV - 50
15.4.2 하천공사 ····· XV - 52
15.4.3 예당지 환경관리 ····· XV - 58
15.4.4 기타 (홍동)저수지 환경관리 ····· XV - 72
15.5 삽교천 유역 특성에 적합한 유출모형 개발 ····· XV - 74
15.5.1 유출모형 개발의 필요성 ····· XV - 74
15.5.2 유출 및 침수해석 기법의 개발 ····· XV - 75
15.5.3 삽교천 유역 적용 ····· XV - 77
15.5.4 모형의 검증 ····· XV - 80
15.5.5 금회 과업의 적용 ····· XV - 81
15.5.6 향후 활용 및 보완 방향 ····· XV - 82
15.6 PMF 발생시 예당지의 안전성 평가 ····· XV - 84
15.6.1 PMF(가능최대홍수량) 산정 ····· XV - 84
15.6.2 모의 조건의 설정 ····· XV - 85
15.6.3 예당지 붕괴로 인한 영향분석 ····· XV - 90

제 16 장 시행계획의 수립 ····· XVI - 1

16.1 사업시행 계획 ····· XVI - 1
16.1.1 단계별 사업시행 계획 ····· XVI - 1
16.1.2 연차별 투자계획 ····· XVI - 3
16.1.3 사업시행 및 관리 주체 ····· XVI - 5
16.2 유역하천관리협의회 구성 계획 ····· XVI - 7

16.2.1 유역하천관리협의회의 필요성 ····· XVI- 7
16.2.2 국내 하천 및 저수지 관리 협의회 현황 ····· XVI- 7
16.2.3 유역하천관리협의회 구성 대상 조직 및 역할 ····· XVI- 13
16.2.4 삽교천 유역하천관리협의회 구성 및 운영 방안 ····· XVI- 14

▣ 자문회의 및 유관기관 설명회 결과

- 1차분 과업성과에 대한 자문회의 : 2003. 9. 28
- 1차 유관기관 설명회 : 2004. 7 .6
- 충청도지방하천관리위원 자문회의 : 2004. 8. 31
- 2차분 과업성과에 대한 자문회의 : 2004. 9. 3
- 유관기관 및 지역주민 대상 사업설명회 : 2005. 7. 21 ~ 2005. 7. 22

목 차 ····· i
표목차 ····· x
그림목차 ····· xxvi

< 표 목 차 >

<표 2.1> 삽교천 수계 주요하천 유역의 평면적 특성 ····· Ⅱ - 3
<표 2.2> 예당지 상류부 주요 하천의 유출특성 비교 ····· Ⅱ - 5
<표 2.3> 주요 하천 유역의 표고별 누가면적 및 구성비 ····· Ⅱ - 5
<표 2.4> 주요 하천 유역의 평균표고 및 지표면경사 ····· Ⅱ - 7
<표 2.5> 수계별 하천 현황 ····· Ⅱ - 9
<표 2.6> 분석대상 기상관측소 제원 ····· Ⅱ - 15
<표 2.7> 기상관측소별 월 평균기온 비교 ····· Ⅱ - 16
<표 2.8> 기상관측소별 월 상대습도 비교 ····· Ⅱ - 17
<표 2.9> 기상관측소별 풍향 및 풍속 비교 ····· Ⅱ - 18
<표 2.10> 관측소별 기간별 강우량 비교 ····· Ⅱ - 19
<표 2.11> 최근 20년간 지속시간별 최대강우 기록 ····· Ⅱ - 21
<표 2.12> 최근 장마 후 호우 발생 현황(기상청 자료) ····· Ⅱ - 22
<표 2.13> 삽교천 주변 관측소의 집중호우 발생성향 분석 ····· Ⅱ - 26
<표 2.14> 삽교천 유역 주변 관측소별·연도별 24시간 및 연강수량 ····· Ⅱ - 30
<표 2.15> 최근 20년간 삽교천 유역에 영향을 미친 태풍 ····· Ⅱ - 33
<표 2.16> 유역내 행정구역현황 ····· Ⅱ - 34
<표 2.17> 유역내 문화재 현황 ····· Ⅱ - 36
<표 2.18> 시·군별 인구 현황 ····· Ⅱ - 36
<표 2.19> 삽교천 유역 읍·면별 인구 현황 ····· Ⅱ - 37
<표 2.20> 삽교천 잔유역(곡교·무한천 유역 제외) 읍·면별 인구 현황 ····· Ⅱ - 39
<표 2.21> 곡교천 유역 읍·면별 인구 현황 ····· Ⅱ - 40
<표 2.22> 무한천 유역 읍·면별 인구 현황 ····· Ⅱ - 41
<표 2.23> 삽교천 유역 시·군별 도로 현황 ····· Ⅱ - 43
<표 2.24> 삽교천 유역 시·군별 도로 비연장 ····· Ⅱ - 44
<표 2.25> 삽교천 유역 시·군별 교량 현황 ····· Ⅱ - 44
<표 2.26> 삽교천 유역 시·군별 철도 현황 ····· Ⅱ - 45
<표 2.27> 각 시군별 용도별 공시지가 현황 ····· Ⅱ - 46
<표 2.28> 토양 종류별 특성 ····· Ⅱ - 48
<표 2.29> 주요 하천유역의 수문학적 토양군 구성비 ····· Ⅱ - 49

<표 2.30> 주요 하천유역의 토양구성 현황 ····· Ⅱ - 50
<표 2.31> 토지이용 현황 분류기준 ····· Ⅱ - 58
<표 2.32> 삽교천 유역의 토지이용 현황 ····· Ⅱ - 59
<표 2.33> 삽교천 및 무한천 도시화 현황 ····· Ⅱ - 61
<표 2.34> 도시화에 따른 수문인자와 수문곡선의 변화 ····· Ⅱ - 64
<표 2.35> 전국 도시기본계획 수립현황 ····· Ⅱ - 65
<표 2.36> 삽교천 유역내 도시기본계획 수립현황 ····· Ⅱ - 65
<표 2.37> 삽교천 수계내 목표년도 토지이용 변화 예측 ····· Ⅱ - 67
<표 2.38> 삽교천 유역내 지목별 토지이용 변화 예측 ····· Ⅱ - 70
<표 2.39> 삽교천 및 무한천 유역의 CN값 변화 ····· Ⅱ - 72
<표 2.40> 삽교천 유역 현상태 CN값 ····· Ⅱ - 73
<표 2.41> 삽교천 유역 목표년도 CN값 ····· Ⅱ - 73
<표 2.42> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 현상태 CN값 ····· Ⅱ - 74
<표 2.43> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 목표년도 CN값 ····· Ⅱ - 74
<표 2.44> 곡교천 유역 현상태 CN값 ····· Ⅱ - 75
<표 2.45> 곡교천 유역 목표년도 CN값 ····· Ⅱ - 75
<표 2.46> 무한천 유역 현상태 CN값 ····· Ⅱ - 76
<표 2.47> 무한천 유역 목표년도 CN값 ····· Ⅱ - 76

<표 3.1> 삽교천 유역의 일반특성 ····· Ⅲ - 7
<표 3.2> 삽교천 유역 표고 분석결과 ····· Ⅲ - 8
<표 3.3> 삽교천 유역 경사 분석결과 ····· Ⅲ - 9
<표 3.4> 삽교천 유역 방향성 분석결과 ····· Ⅲ - 10
<표 3.5> 곡교천 유역의 일반특성 ····· Ⅲ - 12
<표 3.6> 곡교천 유역 표고 분석결과 ····· Ⅲ - 13
<표 3.7> 곡교천 유역 경사 분석결과 ····· Ⅲ - 13
<표 3.8> 곡교천 유역 방향성 분석결과 ····· Ⅲ - 15
<표 3.9> 무한천 유역의 일반특성 ····· Ⅲ - 16
<표 3.10> 무한천 유역 표고 분석결과 ····· Ⅲ - 17
<표 3.11> 무한천 유역 경사 분석결과 ····· Ⅲ - 18
<표 3.12> 무한천 유역 방향성 분석결과 ····· Ⅲ - 19
<표 3.13> 삽교천의 하도특성 ····· Ⅲ - 22

<표 3.14> 곡교천의 하도특성 ····· Ⅲ - 22
<표 3.15> 무한천의 하도특성 ····· Ⅲ - 23
<표 3.16> 주요 하천내 구조물 현황 ····· Ⅲ - 24
<표 3.17> 삽교천 국가하천구간 하폭변화 비교 ····· Ⅲ - 36
<표 3.18> 삽교천 국가하천구간 저수로폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 38
<표 3.19> 곡교천 국가하천구간 하폭변화 비교 ····· Ⅲ - 40
<표 3.20> 곡교천 국가하천구간 저수로폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 41
<표 3.21> 무한천 국가하천구간 하폭변화 비교 ····· Ⅲ - 43
<표 3.22> 무한천 국가하천구간 저수로폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 44
<표 3.23> 분석조건별 흐름특성 비교 (현상태) ····· Ⅲ - 64
<표 3.24> 합류부 개선 전·후의 분석조건별 흐름특성 비교 ····· Ⅲ - 66
<표 3.25> 삽교천 국가하천구간 최심하상고 변화 ····· Ⅲ - 71
<표 3.26> 곡교천 국가하천구간 최심하상고 변화 ····· Ⅲ - 73
<표 3.27> 무한천 국가하천구간 최심하상고 변화 ····· Ⅲ - 75
<표 3.28> 삽교천유역 평탄지 분석결과 ····· Ⅲ - 87
<표 3.29> 삽교천 유역 하도 Buffering 분석결과 ····· Ⅲ - 88
<표 3.30> 곡교천유역 평탄지 분석결과 ····· Ⅲ - 89
<표 3.31> 곡교천유역 하도 Buffering 분석결과 ····· Ⅲ - 90
<표 3.32> 무한천유역 평탄지 분석결과 ····· Ⅲ - 92
<표 3.33> 무한천유역 하도 Buffering 분석결과 ····· Ⅲ - 94

<표 4.1> 삽교천 유역내 우량관측소 현황 ····· Ⅳ - 1
<표 4.2> 우량관측소 제원 ····· Ⅳ - 2
<표 4.3> 수위관측소 제원 ····· Ⅳ - 5
<표 4.4> 세계기상기구에서 추천한 강우관측소 밀도(WMO, 1994) ····· Ⅳ - 5
<표 4.5> 우량관측망 적정성 분석 결과 ····· Ⅳ - 6
<표 4.6> 우량관측망 적정성 분석 결과 (지자체 관할 관측소 포함) ····· Ⅳ - 6
<표 4.7> 주요 수계별 우량관측소 현황 ····· Ⅳ - 7
<표 4.8> 삽교천 수계 수위관측소 현황 ····· Ⅳ - 8
<표 4.9> 주요 수계별 수위관측소 현황 ····· Ⅳ - 8
<표 4.10> 삽교천 수계 하천등급별 개수현황 ····· Ⅳ - 10
<표 4.11> 삽교천 수계 주요하천별 개수 현황 ····· Ⅳ - 10

<표 4.12> 삽교천 유역내 배수펌프장 현황 ····· Ⅳ - 11
<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원 ····· Ⅳ - 15
<표 4.14> 삽교호 현황 ····· Ⅳ - 25
<표 4.15> 주요 수위별 면적비교 ····· Ⅳ - 27
<표 4.16> 삽교호 내용적 비교 ····· Ⅳ - 27
<표 4.17> 예당지 제원 ····· Ⅳ - 29
<표 4.18> 예당지 내용적 비교 ····· Ⅳ - 30
<표 4.19> 주요 하천의 자연배수시설 현황 ····· Ⅳ - 32
<표 4.20> 전국 연도별·시설별 자연재해 피해액 현황 ····· Ⅳ - 33
<표 4.21> 삽교천유역 연도별·시설별 자연재해 피해액 현황 ····· Ⅳ - 35
<표 4.22> 피해종별 피해현황 ····· Ⅳ - 37
<표 4.23> 피해원인별 구성비 비교 ····· Ⅳ - 38
<표 4.24> 연도별 침수피해 현황 ····· Ⅳ - 40
<표 4.25> 상습침수지역 현황 ····· Ⅳ - 41

<표 5.1> 산정지점별 확률강우량 및 홍수량(삽교천 하천정비기본계획, 1977) ····· Ⅴ - 3
<표 5.2> 산정지점별 확률강우량 및 홍수량(삽교천 하천정비기본계획, 1994) ····· Ⅴ - 4
<표 5.3> 산정지점별 확률강우량 및 홍수량(삽교천(무한천,곡교천) 하천정비기본계획) Ⅴ - 6
<표 5.4> 산정지점별 확률강우량 및 홍수량(무한천 하천정비기본계획, 1989) ····· Ⅴ - 9
<표 5.5> 삽교천 수계 주요하천의 하천정비기본계획 수립 연혁 ····· Ⅴ - 11
<표 5.6> 삽교천 지방하천 구간의 확률강우량 및 홍수량 ····· Ⅴ - 11
<표 5.7> 곡교천 지방하천 구간의 확률강우량 및 홍수량 ····· Ⅴ - 12
<표 5.8> 삽교천 수계 주요하천 시종점부 계획홍수위 비교 ····· Ⅴ - 12
<표 5.9> 삽교호 배수갑문 능력검토 결과 ····· Ⅴ - 17

<표 6.1> 각 확률분포형의 확률밀도함수 또는 누가분포함수 ····· Ⅵ - 2
<표 6.2> 각 확률분포형의 확률변수 범위 및 모수적합성 조건 ····· Ⅵ - 2
<표 6.3> 건교부 관할 관측소의 1일지속최대 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 3
<표 6.4> 건교부 관할 관측소의 2일지속최대 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 3
<표 6.5> 건교부 관할 관측소의 3일지속최대 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 4
<표 6.6> 국내 강우자료의 지속시간별 관계 ····· Ⅵ - 5
<표 6.7> 고정시간 간격과 임의의 지속시간 최대우량간의 환산계수 ····· Ⅵ - 5

<표 6.8> 삽교천 유역 우량관측소 지점의 재현기간별 24시간지속 확률강우량 ····· Ⅵ - 7
<표 6.9> 관측소별 확률강우량 산정값과 금회 산정값 비교 ····· Ⅵ - 8
<표 6.10> 건교부 우량관측소별 시우량자료 보유 현황 ····· Ⅵ - 10
<표 6.11> 덕산 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 12
<표 6.12> 예산 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 12
<표 6.13> 홍성 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 13
<표 6.14> 정안 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 13
<표 6.15> 병천 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 13
<표 6.16> 성환 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 14
<표 6.17> 서산 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 14
<표 6.18> 보령 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 14
<표 6.19> 천안 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 15
<표 6.20> 부여 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과 ····· Ⅵ - 15
<표 6.21> 삽교천유역 주요지점의 지점평균확률강우량 비교 ····· Ⅵ - 19
<표 6.22> 관측소별 강우강도식 ····· Ⅵ - 20
<표 6.23> 각 우량관측소별 지배면적비 ····· Ⅵ - 21
<표 6.24> 삽교천 유역 홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량 ····· Ⅵ - 22
<표 6.25> 무한천 유역 홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량 ····· Ⅵ - 22
<표 6.26> 곡교천 유역홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량 ····· Ⅵ - 23
<표 6.27> 삽교천 유역의 면적감소계수 산정지점별 Thiessen 가중치 ····· Ⅵ - 29
<표 6.28> 삽교천 유역의 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수 ····· Ⅵ - 30
<표 6.29> 강우 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수 관계곡선식의 매개변수 ····· Ⅵ - 37
<표 6.30> 삽교천 유역 주요 지점의 면적평균확률강우량 비교 ····· Ⅵ - 39
<표 6.31> 포락곡선 방법에 의한 삽교천 유역 가능최대강수량 추정 결과 ····· Ⅵ - 41
<표 6.32> 통계학적 방법에 의한 삽교천 유역 가능최대강수량 추정 결과 ····· Ⅵ - 41
<표 6.33> PMP도의 면적별, 지속시간별, 강우깊이 독치 ····· Ⅵ - 43
<표 6.34> PMP도의 면적별, 지속시간별, 강우깊이 독치 (포락 및 균일화) ····· Ⅵ - 44
<표 6.35> PMP도에 의한 삽교천유역의 지속시간별 PMP ····· Ⅵ - 45
<표 6.36> 호우명 : R1987071304(마천)-호우원인 : 태풍 ····· Ⅵ - 46
<표 6.37> 호우명 : R1987072104(홍산)-호우원인 : 저기압 ····· Ⅵ - 47
<표 6.38> 호우명 : R1990090904(신풍)-호우원인 : 태풍 ····· Ⅵ - 47
<표 6.39> 호우명 : R1998073102(시천)-호우원인 : 저기압 ····· Ⅵ - 47

<표 6.40> 호우명 : R1998080502(강화)-호우원인 : 저기압 ····· Ⅵ - 48
<표 6.41> 호우명 : R1998092804(포항)-호우원인 : 저기압 ····· Ⅵ - 48
<표 6.42> 호우명 : R1999073104(전적비교)-호우원인 : 저기압 ····· Ⅵ - 48
<표 6.43> 호우명 : R2002083003(강릉)-호우원인 : 태풍(루사) ····· Ⅵ - 50
<표 6.44> 12시간 최대 1000hpa이슬점 온도(천안) ····· Ⅵ - 50
<표 6.45> 전이지대 최대이슬점 ····· Ⅵ - 51
<표 6.46> 전이지대 최대이슬점 및 가강수량 ····· Ⅵ - 51
<표 6.47> 수분최대화비 산정 ····· Ⅵ - 52
<표 6.48> 수평전이비 산정 ····· Ⅵ - 53
<표 6.49> 수직전이비 산정 ····· Ⅵ - 54
<표 6.50> 지형영향비 산정 ····· Ⅵ - 55
<표 6.51> 총 조절비 ····· Ⅵ - 56
<표 6.52> 최종 채택된 PMP 강수량(조절된 강수량) ····· Ⅵ - 56
<표 6.53> 최종 채택된 관측소 ····· Ⅵ - 57
<표 6.54> 조절된 강수량(R1987071304,마천) ····· Ⅵ - 58
<표 6.55> 조절된 강수량(R1987072104, 홍산) ····· Ⅵ - 58
<표 6.56> 조절된 강수량(R1990090904, 신풍) ····· Ⅵ - 58
<표 6.57> 조절된 강수량(R1998073102, 시천) ····· Ⅵ - 59
<표 6.58> 조절된 강수량(R1998080502, 강화) ····· Ⅵ - 59
<표 6.59> 조절된 강수량(R1998092804, 포항) ····· Ⅵ - 59
<표 6.60> 조절된 강수량(R1999073104, 전적비교) ····· Ⅵ - 60
<표 6.61> 조절된 강수량(R2002083003, 강릉) ····· Ⅵ - 60
<표 6.62> 실제 호우전이에 의한 PMP(포락전) ····· Ⅵ - 61
<표 6.63> 실제 호우전이에 의한 PMP(포락후) ····· Ⅵ - 61
<표 6.64> 호우의 실제전이에 의한 삽교천유역의 지속시간별 PMP ····· Ⅵ - 62
<표 6.65> 삽교천유역의 방법별, 지속시간별 PMP 강수량 ····· Ⅵ - 63
<표 6.66> 지속시간별 연최대 강우량 (천안) ····· Ⅵ - 65
<표 6.67> 지속시간별 연최대 강우량 (부여) ····· Ⅵ - 65
<표 6.68> 지속시간별 연최대 강우량 (보령) ····· Ⅵ - 66
<표 6.69> 지속시간별 연최대 강우량 (서산) ····· Ⅵ - 66
<표 6.70> 지속시간별 연최대 강우량 (삽교천 하구 기준, 유역평균) ····· Ⅵ - 67
<표 6.71> 역사자료 및 모의자료로부터의 24시간 및 48시간 확률강우량(100년빈도) Ⅵ - 68

<표 6.72> 강우관측소별 확률강우량의 장래 변동성(100년 빈도) ····· Ⅵ - 69
<표 6.73> Threshold 강수량에 따른 확률강우량(24시간, 100년 빈도) ····· Ⅵ - 70
<표 6.74> 지구온난화에 따른 강우관측소 별 확률강우량의 비교(100년 빈도) ····· Ⅵ - 71
<표 6.75> Case Ⅰ에 따른 강우관측소 별 확률강우량의 비교(100년 빈도) ····· Ⅵ - 72
<표 6.76> CaseⅡ에 따른 강우관측소 별 확률강우량의 비교(100년 빈도) ····· Ⅵ - 72
<표 6.77> 지구온난화에 따른 10년 후의 확률강우량의 산정결과(CASE - Ⅰ) ····· Ⅵ - 73
<표 6.78> 지구온난화에 따른 10년 후의 확률강우량의 산정결과(CASE - Ⅱ) ····· Ⅵ - 74
<표 6.79> 기후변화에 따른 목표연도의 100년 빈도 24시간 강우량 산정결과 ····· Ⅵ - 74

<표 7.1> 최근 20년간 호우로 인한 삽교천 유역 및 예산군 피해현황 ····· Ⅶ - 1
<표 7.2> 주요 우심피해 기간의 피해특성 ····· Ⅶ - 4
<표 7.3> 각 기간별 강우자료 수집현황 ····· Ⅶ - 5
<표 7.4> 2000년 8월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량 ····· Ⅶ - 8
<표 7.5> 2000년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황 ····· Ⅶ - 9
<표 7.6> ‘99년 8월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량 ····· Ⅶ - 13
<표 7.7> ‘99년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황 ····· Ⅶ - 14
<표 7.8> ‘98년 8월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량 ····· Ⅶ - 19
<표 7.9> ‘98년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황 ····· Ⅶ - 20
<표 7.10> ‘95년 8월 8～9일 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량 ····· Ⅶ - 25
<표 7.11> ‘95년 8월 23～27일 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량 ····· Ⅶ - 26
<표 7.12> ‘95년 8월 8일～9일 호우기간의 관측소별 강우현황 ····· Ⅶ - 27
<표 7.13> ‘95년 8월 23일～27일 호우기간의 관측소별 강우현황 ····· Ⅶ - 28
<표 7.14> ‘89년 9월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량 ····· Ⅶ - 35
<표 7.15> ‘89년 9월 호우기간의 관측소별 강우현황 ····· Ⅶ - 36
<표 7.16> ‘87년 7월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량 ····· Ⅶ - 40
<표 7.17> ‘87년 8월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량 ····· Ⅶ - 40
<표 7.18> ‘87년 7월 호우기간의 관측소별 강우현황 ····· Ⅶ - 41
<표 7.19> ‘87년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황 ····· Ⅶ - 42
<표 7.20> 주요 우심피해기간 호우사상의 강우특성 분석 ····· Ⅶ - 49
<표 7.21> 주요 피해기간 동안의 장기강우량과 피해규모 비교 ····· Ⅶ - 52
<표 7.22> 주요 피해기간 동안의 단기강우량과 피해규모 비교 ····· Ⅶ - 54
<표 7.23> 99년 7월 23～8월 4일간 삽교천 주변 행정구역별 홍수피해 상황 ····· Ⅶ - 56

<표 7.24> 99년 7월 23~8월 4일간 삽교천 유역과 예산군의 홍수피해 비교 ····· Ⅶ - 57
<표 7.25> '99년 8월 호우에 의한 침수지역 및 발생원인 ····· Ⅶ - 58
<표 7.26> '99년 8월 호우에 의한 공공시설물 피해발생현황 ····· Ⅶ - 58
<표 7.27> 98년 8월 6~12일간 삽교천 주변 행정구역별 홍수피해 상황 ····· Ⅶ - 60
<표 7.28> 98년 8월 6~12일간 당진군의 피해 집중정도 비교 ····· Ⅶ - 60
<표 7.29> 당진군 주요 피해현황 ····· Ⅶ - 63
<표 7.30> '95년 8월 23~25일간 삽교천 주변 행정구역별 홍수피해 상황 ····· Ⅶ - 64
<표 7.31> '95년 8월 23~25일간 삽교천 유역과 예산군의 홍수피해 비교 ····· Ⅶ - 64
<표 7.32> '95년 홍수시 지역별 수해상황 및 원인 ····· Ⅶ - 65
<표 7.33> 주요 우심피해 기간별 수위관측소 자료수집 현황 ····· Ⅶ - 69
<표 7.34> 2000년 8월 호우시 수위 지속시간 ····· Ⅶ - 76
<표 7.35> '99년 8월 호우시 수위 지속시간 ····· Ⅶ - 78
<표 7.36> '95년 8월 8~9일 호우시 수위 지속시간 ····· Ⅶ - 81
<표 7.37> '95년 8월 23~27일 호우시 수위 지속시간 ····· Ⅶ - 82
<표 7.38> 우심피해기간중 삽교호 운영현황 ····· Ⅶ - 84
<표 7.39> 과거 예당지 방류기록 (1962~2000) ····· Ⅶ - 86
<표 7.40> 피해우심기간별 예당지 방류기록 ····· Ⅶ - 87

<표 9.1> PFD 구성요소 ····· Ⅸ - 2
<표 9.2> 세부항목별 지수산정 방법(수자원장기종합계획 및 금회 산정방법 비교) · Ⅸ - 3
<표 9.3> 홍수피해 잠재성 지수별 가중계수 ····· Ⅸ - 6
<표 9.4> 홍수피해 위험성 지수별 가중계수 ····· Ⅸ - 7
<표 9.5> PFD에 의한 단위소유역의 그룹화 ····· Ⅸ - 10
<표 9.6> 치수단위대구역 구분 결과 ····· Ⅸ - 11
<표 9.7> 삽교천 유역내 중구역 구분 결과 ····· Ⅸ - 14
<표 9.8> 곡교천 유역내 중구역 구분 결과 ····· Ⅸ - 16
<표 9.9> 무한천 유역내 중구역 구분 결과 ····· Ⅸ - 19
<표 9.10> 치수단위소구역 구분 현황 ····· Ⅸ - 22
<표 9.11> 삽교천 유역 치수단위소구역 구분결과 ····· Ⅸ - 23
<표 9.12> 곡교천 유역 치수단위소구역 구분결과 ····· Ⅸ - 24
<표 9.13> 무한천 유역 치수단위소구역 구분결과 ····· Ⅸ - 25
<표 9.14> 삽교천 유역내 하천정비기본계획 수립현황 ····· Ⅸ - 27

<표 9.15> 삽교천 유역내 치수안전도 설정 결과 ····· Ⅸ - 32

<표 10.1> 삽교천 유역내 배수펌프장 현황 ····· Ⅹ - 1
<표 10.2> 홍수량 산정지점 ····· Ⅹ - 7
<표 10.3> 관측소별 Thiessen 지배면적비 ····· Ⅹ - 14
<표 10.4> 관측소 지점의 지속시간별 최빈분위 ····· Ⅹ - 16
<표 10.5> 관측소 지점별 무차원 누가강우분포 (3분위) ····· Ⅹ - 17
<표 10.6> 관측소 지점별 무차원누가우량곡선의 회귀계수 ····· Ⅹ - 18
<표 10.7> 선행 토양함수조건의 분류 ····· Ⅹ - 21
<표 10.8> 홍수량 산정지점별 유출곡선지수(AMC-Ⅲ조건) ····· Ⅹ - 23
<표 10.9> 도달시간 산정 결과 (단일공식 적용 지역) ····· Ⅹ - 27
<표 10.10> 도달시간 산정 결과 (상하류 구분 적용 지역) ····· Ⅹ - 31
<표 10.11> 하도 단면형별 평균유속과 홍수파의 속도 비 ····· Ⅹ - 33
<표 10.12> 하도추적 매개변수 (HEC-HMS) ····· Ⅹ - 34
<표 10.13> 홍수량 산정지점별 입력 매개변수 (HEC-HMS) ····· Ⅹ - 42
<표 10.14> 하도홍수추적 모형의 경계조건 ····· Ⅹ - 47
<표 10.15> 하도구간의 초기조건 ····· Ⅹ - 48
<표 10.16> 모형의 상·하류단 경계 및 보정지점 ····· Ⅹ - 48
<표 10.17> 모형화 대상 저지대 현황 ····· Ⅹ - 49
<표 10.18> 저지대의 특성 모형화 방법 ····· Ⅹ - 50
<표 10.19> 모형에 저류지로 구성된 저지대의 현황 ····· Ⅹ - 51
<표 10.20> 삽교방조제 지점의 조화상수 ····· Ⅹ - 59
<표 10.21> 삽교천 수계 국가하천 구간 하도추적 모형의 하류단 경계조건(설계조위) · Ⅹ - 61
<표 10.22> 삽교호 조위관측 현황 ····· Ⅹ - 62
<표 10.23> 관련 사업의 설계조위 비교 ····· Ⅹ - 63
<표 10.24> 홍수추적모형 검증대상 홍수사상의 규모 ····· Ⅹ - 67
<표 10.25> 모형 검증을 위한 상류단 경계조건 ····· Ⅹ - 67
<표 10.26> '99년, 2000년 홍수기간 동안 예당지 운영기록 ····· Ⅹ - 68
<표 10.27> '99년, 2000년 홍수기간 동안 삽교호 배수갑문 운영기록 ····· Ⅹ - 69
<표 10.28>침수면적의 모의 결과와 재해연보의 기록 비교 ····· Ⅹ - 70
<표 10.29> 하류단 경계조건에 따른 삽교호 첨두수위 산정 결과 ····· Ⅹ - 78
<표 10.30> 조위-내수위 관계군별 삽교호 첨두수위 비교 ····· Ⅹ - 86

<표 10.31> 주요 지점의 빈도별 홍수량 (현재) ····· X - 93
<표 10.32> 주요 지점의 빈도별 홍수량 (목표연도) ····· X - 94
<표 10.33> 주요 지점의 기본홍수량 ····· X - 95
<표 10.34> 주요 지점의 계획홍수량 ····· X - 96
<표 10.35> 계획홍수량과 하도유하량 비교 ····· X - 97
<표 10.36> 첨두홍수량과 첨두홍수위 발생시간 비교 ····· X -106

<표 11.1> 확률강우량과 홍수량 증감 비교 ····· XI - 3
<표 11.2> 삽교천 국가하천 구간 계획홍수위 비교 (100년 빈도 기준) ····· XI - 6
<표 11.3> 곡교천 국가하천 구간 홍수위 비교 (100년 빈도 기준) ····· XI - 8
<표 11.4> 무한천 국가하천 구간 홍수위 비교 (100년 빈도 기준) ····· XI - 10
<표 11.5> 주요 하천의 국가하천 구간내 제방 보강 필요구간 ····· XI - 16
<표 11.6> 치수단위 소구역별 배수능력 검토 ····· XI - 19
<표 11.7> 치수단위 소구역별 비배수능력 평가 결과 ····· XI - 21
<표 11.8> 자연배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 ····· XI - 24
<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 ····· XI - 28
<표 11.10> 예당지 제원 ····· XI - 36
<표 11.11> 예당지 내용적 비교 ····· XI - 37
<표 11.12> 저수지 홍수추적에 의한 예당지의 빈도별 홍수위 산정 결과 ····· XI - 40
<표 11.13> 홍수규모별 예상 침수면적과 피해액 ····· XI - 44

<표 12.1> 예당지 방류 조절에 따른 삽교호 첨두수위 비교 ····· XII - 2
<표 12.2> 초기수위와 계획홍수위에 따른 홍수조절효과 비교 ····· XII - 5
<표 12.3> 예비방류량별 홍수조절 효과 ····· XII - 8
<표 12.4> 삽교천 유역 홍수예·경보 홍수위 기준표 ····· XII - 25
<표 12.5> 예당지 증고에 따른 사업물량 및 소요 사업비 추정 ····· XII - 47
<표 12.6> 홍수조절용량별 첨두방류량 비교 (100년 빈도 홍수 기준) ····· XII - 48
<표 12.7> 예당지 증고에 따른 편입지역 면적 ····· XII - 51
<표 12.8> 삽교천수계 지방하천의 정비계획 수립 결과 ····· XII - 52
<표 12.9> 예당지 여수로 제원 ····· XII - 57
<표 12.10> 저수위 및 개도고에 따른 방류량표 ····· XII - 59
<표 12.11> 100년 빈도 홍수 유입시 목표 방류량과 방류능력 비교 ····· XII - 63

<표 12.12> 여수로의 형식 비교 ····· Ⅻ - 65
<표 12.13> 신설 여수로 개략 공사비 산정 ····· Ⅻ - 68
<표 12.14> 검토 대상 저수지 현황 ····· Ⅻ - 69
<표 12.15> 가동보 설치 공사비 추정 기준 ····· Ⅻ - 73
<표 12.16> 저수지별 가동보 설치비용 추정 결과 ····· Ⅻ - 74
<표 12.17> 저수지 준설비용 추정 기준 ····· Ⅻ - 75
<표 12.18> 저수지 준설 및 가동보 설치 공사비 비교 ····· Ⅻ - 75
<표 12.19> 저수지 증고대상 저수지 제원 ····· Ⅻ - 77
<표 12.20> 저수지별 증고규모별 소요제원 ····· Ⅻ - 78
<표 12.21> 홍동저수지 증고 공사비 추정 결과 ····· Ⅻ - 79
<표 12.22> 홍양저수지 증고 공사비 추정 결과 ····· Ⅻ - 79
<표 12.23> 궁평저수지 증고 공사비 추정 결과 ····· Ⅻ - 80
<표 12.24> 신대저수지 증고 공사비 추정 결과 ····· Ⅻ - 80
<표 12.25> 저수지 증고계획 ····· Ⅻ - 82
<표 12.26> 저수지 증고 사업비 ····· Ⅻ - 82
<표 12.27> 저수지 증고에 의한 홍수조절 효과 검토 ····· Ⅻ - 83
<표 12.28> 손지・입침지구 부지 매입비 산출내역 ····· Ⅻ - 86
<표 12.29> 천변저류지 입지의 특성 ····· Ⅻ - 90
<표 12.30> 치수단위소구역의 자산가치 ····· Ⅻ - 94
<표 12.31> 유입방식에 따른 천변저류지 홍수유입량 비교 ····· Ⅻ -100
<표 12.32> 천변저류지 경제성 분석 (예림-중예1 지구) ····· Ⅻ -102
<표 12.33> 천변저류지 홍수유입수문 설치비 추정 ····· Ⅻ -105
<표 12.34> 하부지 개략 공사비 산정 ····· Ⅻ -110
<표 12.35> 사토거리별 굴착에 의한 저류공간 확보비용 비교 ····· Ⅻ -110
<표 12.36> 삽교호 배수갑문 확장비용 추정 결과 (6련 증설) ····· Ⅻ -116
<표 12.37> 합류부 개선 전・후의 수위 비교 ····· Ⅻ -125
<표 12.38> 합류부 개선 전・후의 유속 비교 ····· Ⅻ -125
<표 12.39> 하도정비에 의한 수위저하 효과 ····· Ⅻ -130
<표 12.40> 잠수교 개량에 의한 수위저하 효과 ····· Ⅻ -130
<표 12.41> 하도정비에 의한 침수표고 이상의 수위지속시간 변화 비교 ····· Ⅻ -131

<표 13.1> 다차원법의 편익 항목 ····· ⅩⅢ- 2

<표 13.2> 지역특성에 따른 대상자산 ····· XIII- 3
<표 13.3> 직접피해 대상자산과 피해액 산정방법 ····· XIII- 4
<표 13.4> 전국평균 건축연면적별 가구수비 ····· XIII- 5
<표 13.5> 건축형태별 건축단가 ····· XIII- 6
<표 13.6> 연도별 건설업 Deflator 보정지수 ····· XIII- 6
<표 13.7> 도시분류별 가정용품 평가액 ····· XIII- 7
<표 13.8> 년도별 소비자 물가지수 ····· XIII- 7
<표 13.9> 농작물별 생산비 (2002년 기준) ····· XIII- 9
<표 13.10> 지역별 논벼의 생산비 (2002년 기준) ····· XIII- 9
<표 13.11> 국부통계조사보고서(1999)와 시군통계연보의 사업체별 항목 ····· XIII- 10
<표 13.12> 시도별 산업분류별 사업체 1인당 종사자의 유형자산 및 재고자산 ····· XIII- 11
<표 13.13> 침수심별 건물 피해율 ····· XIII- 15
<표 13.14> 침수심별 건물내용물 피해율 ····· XIII- 16
<표 13.15> 침수심별 농경지 피해율 ····· XIII- 16
<표 13.16> 침수심별 농작물 피해율 ····· XIII- 17
<표 13.17> 침수심별 유형자산·재고자산 피해율 ····· XIII- 17
<표 13.18> 단위 침수면적당 손실 인명수 ····· XIII- 18
<표 13.19> 단위 침수면적당 발생 이재민수 ····· XIII- 18
<표 13.20> 일반자산피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율(일본) ····· XIII- 19
<표 13.21> 치수단위 소구역을 구성하는 행정구역의 총자산가치 ····· XIII- 20
<표 13.22> 치수단위 소구역내 행정구역별 자산가치 ····· XIII- 21
<표 13.23> 치수단위 소구역별 자산가치 ····· XIII- 22
<표 13.24> 연평균 피해경감기대액의 산정절차 ····· XIII- 30
<표 13.25> 경제성 분석기법의 특징 ····· XIII- 35
<표 13.26> 공공사업의 적용할인율 ····· XIII- 37

<표 14.1> 홍수규모별 배수갑문 증설 효과 (최고첨두수위 발생조건) ····· XIV- 2
<표 14.2> 홍수규모별 예당지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건) ····· XIV- 2
<표 14.3> 홍수규모별 삽교천-무한천 합류부 개선 효과 (최고첨두수위 발생조건) · XIV- 2
<표 14.4> 홍수규모별 예당지 하부지 설치 효과 (최고첨두수위 발생조건) ····· XIV- 3
<표 14.5> 홍수규모별 예비방류 시행 효과 (최고첨두수위 발생조건) ····· XIV- 3
<표 14.6> 홍수규모별 홍동저수지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건) ····· XIV- 3

<표 14.7> 홍수규모별 홍양저수지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건) ····· XIV- 4
<표 14.8> 홍수규모별 신대저수지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건) ····· XIV- 4
<표 14.9> 홍수규모별 궁평저수지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건) ····· XIV- 4
<표 14.10> 홍수규모별 천변저류지(와천-중방 지구) 설치 효과 (최고첨두수위 발생조건) XIV- 5
<표 14.11> 홍수규모별 천변저류지(산양-곡교3 지구) 설치 효과 (최고첨두수위 발생조건) XIV- 5
<표 14.12> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 치수단위소구역별 면적과 침수심 변화 ·· XIV- 7
<표 14.13> 홍수규모별 배수갑문 증설 효과 (최저첨두수위 발생조건) ····· XIV- 12
<표 14.14> 홍수규모별 예당지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건) ····· XIV- 13
<표 14.15> 홍수규모별 삽교천-무한천 합류부 개선 효과 (최저첨두수위 발생조건) ···· XIV- 13
<표 14.16> 홍수규모별 예당지 하부지 설치 효과 (최저첨두수위 발생조건) ····· XIV- 13
<표 14.17> 홍수규모별 예비방류 시행 효과 (최저첨두수위 발생조건) ····· XIV- 14
<표 14.18> 홍수규모별 홍동저수지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건) ····· XIV- 14
<표 14.19> 홍수규모별 홍양저수지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건) ····· XIV- 14
<표 14.20> 홍수규모별 신대저수지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건) ····· XIV- 15
<표 14.21> 홍수규모별 궁평저수지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건) ····· XIV- 15
<표 14.22> 홍수규모별 천변저류지(와천-중방 지구) 설치 효과 (최저첨두수위 발생조건) ·· XIV- 15
<표 14.23> 홍수규모별 천변저류지(산양-곡교3 지구) 설치 효과 (최저첨두수위 발생조건) ·· XIV- 16
<표 14.24> 최악과 최적 조위 조건에서의 예상침수면적 차이 (삽교천 유역) ····· XIV- 17
<표 14.25> 홍수방어 대안요소의 피해경감 기대액 ····· XIV- 18
<표 14.26> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 홍수위 저하와 제방보강 공사비 감소효과 분석 ··· XIV- 20
<표 14.27> 홍수방어 대안요소별 사업비 정리 ····· XIV- 21
<표 14.28> 홍수방어 대안요소의 경제성 검토 결과 ····· XIV- 23
<표 14.29> 홍수방어 대안요소의 조합 ····· XIV- 27
<표 14.30> 유역종합치수계획(안)의 대안별 침수면적 감소효과 비교 ····· XIV- 28
<표 14.31> 유역종합치수계획(안)의 대안별 피해경감기대액 ····· XIV- 28
<표 14.32> 유역종합치수계획(안) - 대안1의 치수효과 ····· XIV- 29
<표 14.33> 유역종합치수계획(안) - 대안2의 치수효과 ····· XIV- 29
<표 14.34> 유역종합치수계획(안) - 대안3의 치수효과 ····· XIV- 29
<표 14.35> 유역종합치수계획(안) - 대안4의 치수효과 ····· XIV- 30
<표 14.36> 유역종합치수계획(안) - 대안5의 치수효과 ····· XIV- 30
<표 14.37> 유역종합치수계획(안) - 대안6의 치수효과 ····· XIV- 30
<표 14.38> 유역종합치수계획(안) - 대안7의 치수효과 ····· XIV- 31

<표 14.39> 유역종합치수계획(안) - 대안8의 치수효과 ····· XIV- 31
<표 14.40> 유역종합치수계획(안) - 대안9의 치수효과 ····· XIV- 31
<표 14.41> 홍수방어 대안별 자연배수 지역의 침수특성 비교 ····· XIV- 32
<표 14.42> 홍수방어 대안별 강제배제 지역의 침수특성 비교 ····· XIV- 35
<표 14.43> 치수계획(안) 시행에 따른 침수특성 변화 비교 (전체) ····· XIV- 40
<표 14.44> 치수계획(안) 시행에 따른 침수특성 변화 비교 (자연배수 유역) ····· XIV- 40
<표 14.45> 치수계획(안) 시행에 따른 침수특성 변화 비교 (강제배수 유역) ····· XIV- 41
<표 14.46> 홍수방어 대안의 경제성 비교 ····· XIV- 45
<표 14.47> 삽교천수계 유역종합치수계획의 사업효과 추정 ····· XIV- 47
<표 14.48> 유역종합치수계획 시행 전·후의 주요 지점 계획홍수량 변화 ····· XIV- 50
<표 14.49> 유역종합치수계획 시행에 따른 계획홍수량 감소 효과 ····· XIV- 51
<표 14.50> 유역종합치수계획 시행에 따른 홍수위 저하 효과 ····· XIV- 53
<표 14.51> 삽교천-무한천 합류부 개선 전·후의 유속 비교 ····· XIV- 54
<표 14.52> 홍수 규모별 유역 홍수분담량 ····· XIV- 56
<표 14.53> 홍수 규모별 유역 홍수분담 비율 ····· XIV- 57

<표 15.1> 삽교천 유역내 우량관측소 현황 ····· XV- 3
<표 15.2> 우량관측망 적정성 분석 결과(기상청 및 건교부 관측소 대상) ····· XV- 3
<표 15.3> 우량관측망 적정성 분석 결과(지자체 관할 관측소 포함) ····· XV- 4
<표 15.4> 금강홍수통제소 직급별 인원현황 ····· XV- 6
<표 15.5> 삽교천 유역내 중복 우량관측소 현황 ····· XV- 6
<표 15.6> 삽교천 유역내 수위관측소 현황 ····· XV- 7
<표 15.7> 삽교천 수계 수위관측소 적적성 분석결과 ····· XV- 8
<표 15.8> 주요 수계별 수위관측소 현황 ····· XV- 8
<표 15.9> 삽교천 수계내 수위관측소 추가 설치필요 지점 ····· XV- 10
<표 15.10> 삽교천 유역내 유량측정 현황 ····· XV- 11
<표 15.11> 하천별 연도별 연간유사량(1971 ~ 1973년) ····· XV- 12
<표 15.12> 댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 자료(1992) ····· XV- 13
<표 15.13> 삽교천 수계 주요 하천의 종·횡단측량 시행 현황 ····· XV- 13
<표 15.14> 삽교천 유역의 유사량 측정 필요지점 ····· XV- 16
<표 15.15> 관련법의 시설물 유지관리 개념 ····· XV- 17
<표 15.16> 시설물안전관리특별법에 의한 시설 구분 ····· XV- 18

<표 15.17> 농업기반시설 관리규정에 의한 시설 구분 ····· XV- 18
<표 15.18> 안전점검 종류별 주요내용 ····· XV- 19
<표 15.19> 삽교천유역 농업기반 시설의 관리규정 실시 여부 ····· XV- 20
<표 15.20> 방조제의 유지관리 점검항목 ····· XV- 23
<표 15.21> 방조제의 유지관리 점검항목 ····· XV- 24
<표 15.22> 저수지 제체의 유지관리 점검항목 ····· XV- 28
<표 15.23> 예당지 방류시설 유지관리 점검항목 ····· XV- 29
<표 15.24> 관리주체별 저수지 현황 ····· XV- 30
<표 15.25> 증고대상 저수지 제원 및 증고계획 ····· XV- 30
<표 15.26> 농업용 저수지 증고에 따른 방류량 ····· XV- 33
<표 15.27> 천변저류지 제원 ····· XV- 34
<표 15.28> 천변저류지 보상 방안 ····· XV- 35
<표 15.29> 천변저류지의 보상비 소요액 결정을 위한 연평균피해액 산정 ····· XV- 36
<표 15.30> 홍수량 유입방안 비교 ····· XV- 37
<표 15.31> 수로시설의 손상 종류 및 원인 ····· XV- 40
<표 15.32> 침사지 및 유수지의 손상 종류 및 원인 ····· XV- 41
<표 15.33> 배수펌프장 시설의 손상종류 및 원인 ····· XV- 41
<표 15.34> 배수펌프장의 기계고와 외수위 비교 ····· XV- 45
<표 15.35> 적용가능한 우수침투시설의 종류 ····· XV- 49
<표 15.36> 삽교천 유역 중하류부에서 시행중인 하천개수사업 현황 ····· XV- 53
<표 15.37> 삽교천 유역 중하류부에서 2005년 중 시행예정인 하천개수사업 ····· XV- 53
<표 15.38> 모형의 경계조건 ····· XV- 78
<표 15.39> 침수면적의 모의결과와 재해연보 기록의 비교 ····· XV- 81
<표 15.40> 실제 호우전이에 의한 PMP(포락후) ····· XV- 84
<표 15.41> 주요지점별 PMF 산정결과 ····· XV- 85
<표 15.42> CASE별 조건 비교 ····· XV- 86
<표 15.43> 조건별 예당지 최대방류 가능량 ····· XV- 87
<표 15.44> 가능최대 홍수량 발생시 하구에서의 홍수위 비교 ····· XV- 93
<표 15.45> 분석조건별 침수면적 비교 ····· XV- 93

<표 16.1> 삽교천 유역종합치수계획의 단계별 시행계획 ····· XVI- 1
<표 16.2> 삽교천 유역종합치수계획의 연차별 사업시행 계획 ····· XVI- 2

<표 16.3> 연차별 사업비 투입비율 (사업기간 5년) ····· XVI- 3
<표 16.4> 연차별 사업비 투입비율 (사업기간 3년) ····· XVI- 3
<표 16.5> 삽교천 유역종합치수계획의 연차별 사업비 투자계획 ····· XVI- 4
<표 16.6> 시설물별 사업비 부담 및 사업시행 주체 ····· XVI- 6
<표 16.7> 안양천유역종합치수계획 협의회 구성조직표 ····· XVI- 12
<표 16.8> 삽교천 유역 행정구역현황 ····· XVI- 13
<표 16.9> 관련기관의 주요 업무 ····· XVI- 14
<표 16.10> 삽교천 유역하천관리협의회 구성(안) ····· XVI- 15

< 그림 목차 >

<그림 1.1> 과업 위치도 ····· Ⅰ - 3

<그림 2.1> 삽교천 수계 하천망도 ····· Ⅱ - 10
<그림 2.2> 삽교천 수계 하천모식도 ····· Ⅱ - 11
<그림 2.3> 삽교천 수계내 주요하천의 하상경사 비교 ····· Ⅱ - 13
<그림 2.4> 기상관측소별 월 평균기온 비교 ····· Ⅱ - 16
<그림 2.5> 기상관측소별 월 상대습도 비교 ····· Ⅱ - 17
<그림 2.6> 기상관측소별 풍향 및 풍속 비교 ····· Ⅱ - 18
<그림 2.7> 삽교천 유역 연평균강우의 등우선도 ····· Ⅱ - 20
<그림 2.8> 삽교천 유역 홍수기(6월~9월) 강우의 등우선도 ····· Ⅱ - 20
<그림 2.9> 삽교천 유역 비홍수기 강우의 등우선도 ····· Ⅱ - 21
<그림 2.10> 장마와 장마이후 강수량 비교 ····· Ⅱ - 23
<그림 2.11> 한반도 집중호우 모식도 ····· Ⅱ - 23
<그림 2.12> '98년 8.1~8.11 호우기간 위성사진 ····· Ⅱ - 24
<그림 2.13> 1시간 집중호우의 평균발생빈도 ····· Ⅱ - 27
<그림 2.14> 3시간 집중호우의 평균발생빈도 ····· Ⅱ - 27
<그림 2.15> 1일 집중호우(100mm 이상)의 평균발생빈도 ····· Ⅱ - 28
<그림 2.16> 관측소별 24시간 최대강우량의 경년변화 비교 ····· Ⅱ - 28
<그림 2.17> 관측소별 연강수량의 경년변화 비교 ····· Ⅱ - 29
<그림 2.18> 삽교천 유역 평균강우량의 경년변화 ····· Ⅱ - 32
<그림 2.19> 우리나라 주변 태풍의 이동경로 ····· Ⅱ - 33
<그림 2.20> 시군별 인구 현황 ····· Ⅱ - 37
<그림 2.21> 삽교천 유역 시·군별 도로 현황 비교 ····· Ⅱ - 43
<그림 2.22> 삽교천 유역 시·군별 교량 현황 비교 ····· Ⅱ - 45
<그림 2.23> 시군별 철도 현황 ····· Ⅱ - 46
<그림 2.24> 각 시군별 용도별 공시지가 현황 ····· Ⅱ - 47
<그림 2.25> 삽교천, 곡교천 및 무한천 유역 수문학적 토양군 현황 ····· Ⅱ - 49
<그림 2.26> 삽교천 유역 토양도 ····· Ⅱ - 52
<그림 2.27> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 토양도 ····· Ⅱ - 52

<그림 2.28> 곡교천 유역 토양도 ····· Ⅱ - 53
<그림 2.29> 무한천 유역 토양도 ····· Ⅱ - 53
<그림 2.30> 삽교천 유역 지질분포 현황 ····· Ⅱ - 57
<그림 2.31> 삽교천 유역 토지이용도 ····· Ⅱ - 59
<그림 2.32> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 토지이용도 ····· Ⅱ - 60
<그림 2.33> 곡교천 유역 토지이용도 ····· Ⅱ - 60
<그림 2.34> 무한천 유역 토지이용도 ····· Ⅱ - 61
<그림 2.35> 삽교천 유역 도시화 현황도 ····· Ⅱ - 62
<그림 2.36> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 도시화 현황도 ····· Ⅱ - 62
<그림 2.37> 곡교천 유역 도시화 현황도 ····· Ⅱ - 63
<그림 2.38> 무한천 유역 도시화 현황도 ····· Ⅱ - 63
<그림 2.39> 천안·아산역 배후신도시 토지이용계획도 ····· Ⅱ - 66
<그림 2.40> 삽교천 유역 토지이용 변화 비교 ····· Ⅱ - 68
<그림 2.41> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 토지이용 변화 비교 ····· Ⅱ - 68
<그림 2.42> 곡교천 유역 토지이용 변화 비교 ····· Ⅱ - 69
<그림 2.43> 무한천 유역 토지이용 변화 비교 ····· Ⅱ - 69
<그림 2.44> 삽교천 유역 지목별 토지이용변화 비교 ····· Ⅱ - 70
<그림 2.45> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역제외) 지목별 토지이용변화 비교 ·· Ⅱ - 71
<그림 2.46> 곡교천 유역 지목별 토지이용변화 비교 ····· Ⅱ - 71
<그림 2.47> 무한천 유역 지목별 토지이용변화 비교 ····· Ⅱ - 72

<그림 3.1> 수문지형학적특성 추출 절차 ····· Ⅲ - 1
<그림 3.2> 경사도계산 격자망도 ····· Ⅲ - 3
<그림 3.3> 삽교천 유역 표고 분포도 ····· Ⅲ - 8
<그림 3.4> 삽교천 유역 경사 분포도 ····· Ⅲ - 10
<그림 3.5> 삽교천 유역 방향성 분포도 ····· Ⅲ - 11
<그림 3.6> 곡교천 유역 표고 분포도 ····· Ⅲ - 12
<그림 3.7> 곡교천 유역 경사 분포도 ····· Ⅲ - 14
<그림 3.8> 곡교천 유역 방향성 분포도 ····· Ⅲ - 15
<그림 3.9> 무한천 유역 표고 분포도 ····· Ⅲ - 17
<그림 3.10> 무한천 유역 경사 분포도 ····· Ⅲ - 18
<그림 3.11> 무한천 유역 방향성 분포도 ····· Ⅲ - 19

<그림 3.12> 삽교천 평면변화 비교 ····· Ⅲ - 26
<그림 3.13> 곡교천 평면변화 비교 ····· Ⅲ - 30
<그림 3.14> 무한천 평면변화 비교 ····· Ⅲ - 32
<그림 3.15> 삽교천 하폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 45
<그림 3.16> 삽교천 저수로폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 49
<그림 3.17> 곡교천 하폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 53
<그림 3.18> 곡교천 저수로폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 55
<그림 3.19> 무한천 하폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 57
<그림 3.20> 무한천 저수로폭 변화 비교 ····· Ⅲ - 59
<그림 3.21> 삽교천에서 대표적인 사행구간 위치도 ····· Ⅲ - 61
<그림 3.22> 삽교천과 무한천 합류부 형상 ····· Ⅲ - 62
<그림 3.23> 현 상태에서의 삽교천과 무한천 합류부의 흐름특성 분석 ····· Ⅲ - 63
<그림 3.24> 합류부를 개선할 경우의 흐름특성 분석 결과 ····· Ⅲ - 65
<그림 3.25> 무한천과 용굴천 합류부 형상 ····· Ⅲ - 67
<그림 3.26> 무한천과 용굴천 합류부의 수위분포(계획홍수량 유하시) ····· Ⅲ - 68
<그림 3.27> 무한천과 용굴천 합류부의 유속분포(계획홍수량 유하시) ····· Ⅲ - 68
<그림 3.28> 예당지 하류 복산 부근 하도현황 ····· Ⅲ - 69
<그림 3.29> 예당지 하류 복산 부근 수위분포(계획홍수량 유하시) ····· Ⅲ - 70
<그림 3.30> 예당지 하류 복산 부근 유속분포(계획홍수량 유하시) ····· Ⅲ - 70
<그림 3.31> 삽교천 종단변화 비교 ····· Ⅲ - 77
<그림 3.32> 곡교천 종단변화 비교 ····· Ⅲ - 81
<그림 3.33> 무한천 종단변화 비교 ····· Ⅲ - 83
<그림 3.34> 삽교천유역 평탄지 분포도 ····· Ⅲ - 87
<그림 3.35> 내수침수 취약지역(1.5m, 2m 하도 Buffering 결과) ····· Ⅲ - 88
<그림 3.36> 외수침수 취약지역 (3m, 5m 하도 Buffering 결과) ····· Ⅲ - 89
<그림 3.37> 곡교천유역 평탄지 분포도 ····· Ⅲ - 90
<그림 3.38> 내수침수 취약지역 (1.5m, 2m 하도 Buffering 결과) ····· Ⅲ - 91
<그림 3.39> 외수침수 취약지역 (3m, 5m 하도 Buffering 결과) ····· Ⅲ - 91
<그림 3.40> 무한천유역 평탄지 분포도 ····· Ⅲ - 92
<그림 3.41> 내수침수 취약지역 (1.5m, 2m 하도 Buffering 결과) ····· Ⅲ - 93
<그림 3.42> 외수침수 취약지역 (3m, 5m 하도 Buffering 결과) ····· Ⅲ - 93

<그림 4.1> 우량관측소 위치도 ····· Ⅳ - 3
<그림 4.2> 수위관측소 위치도 ····· Ⅳ - 4
<그림 4.3> 삽교천 유역 배수펌프장 위치도 ····· Ⅳ - 13
<그림 4.4> 삽교천유역 저수지 위치도 ····· Ⅳ - 23
<그림 4.5> 삽교호 경계 비교 ····· Ⅳ - 26
<그림 4.6> 삽교호 내용적 곡선 변화 비교 ····· Ⅳ - 28
<그림 4.7> 예당지 내용적곡선 비교 ····· Ⅳ - 31
<그림 4.8> 최근 20년간 전국 자연재해 피해현황 ····· Ⅳ - 34
<그림 4.9> 삽교천 유역 최근 20년간 자연재해 피해현황 ····· Ⅳ - 36
<그림 4.10> 피해종별 피해현황도 ····· Ⅳ - 37
<그림 4.11> 자연재해 피해원인 비교 ····· Ⅳ - 39
<그림 4.12> 상습침수지역 위치도 ····· Ⅳ - 43

<그림 5.1> 홍수량 산정지점도(삽교천 하천정비기본계획, 1977.12) ····· Ⅴ - 2
<그림 5.2> 홍수량 산정지점도(삽교천 하천정비기본계획(보완), 1994) ····· Ⅴ - 5
<그림 5.3> 홍수량 산정지점도(삽교천(무한천,곡교천) 하천정비기본계획, 1994) ····· Ⅴ - 7
<그림 5.4> 홍수량 산정지점도(무한천 하천정비기본계획, 1989) ····· Ⅴ - 10

<그림 6.1> 재현기간 2년의 고정시간 1일과 임의지속 24시간 확률강우량 관계 ····· Ⅵ - 6
<그림 6.2> 재현기간 2년의 고정시간 2일과 임의지속 48시간 확률강우량 관계 ····· Ⅵ - 6
<그림 6.3> 지속시간별 확률강우량 비교 ····· Ⅵ - 15
<그림 6.4> 삽교천 유역 24시간지속 확률강우량 등우선도 (일강우 자료 이용) ····· Ⅵ - 16
<그림 6.5> 삽교천 유역 24시간지속 확률강우량 등우선도 (시강우 자료 이용) ····· Ⅵ - 16
<그림 6.6> 삽교천 유역 48시간지속 확률강우량 등우선도 (일강우 자료 이용) ····· Ⅵ - 17
<그림 6.7> 삽교천 유역 48시간지속 확률강우량 등우선도 (시강우 자료 이용) ····· Ⅵ - 17
<그림 6.8> 확률강우량과 강우강도식 결과 비교 ····· Ⅵ - 21
<그림 6.9> 홍수량 산정지점도 ····· Ⅵ - 25
<그림 6.10> 삽교천 유역의 홍수량산정지점 및 Thiessen망도 ····· Ⅵ - 28
<그림 6.11> 지속시간 24시간 AREA-ARF의 관계식 도출 ····· Ⅵ - 35
<그림 6.12> 면적감소계수(ARF)-유역면적(AREA) 관계곡선 ····· Ⅵ - 36
<그림 6.13> 한국확률강우량도(건교부)의 면적감소계수와의 비교·검토 ····· Ⅵ - 38
<그림 6.14> 강우깊이-지속기간에 대한 포락 ····· Ⅵ - 44

<그림 6.15> 강우깊이-면적-지속기간에 대한 포락 ····· Ⅵ - 45
<그림 6.16> 삽교천유역 가능최대강수량(PMP) ····· Ⅵ - 45
<그림 6.17> 대표 주요호우의 DAD곡선 ····· Ⅵ - 49
<그림 6.18> 12시간 최대 1000hpa이슬점 온도(천안) ····· Ⅵ - 50
<그림 6.19> 채택된 면적별, 지속시간-강우량 ····· Ⅵ - 57
<그림 6.20> 채택된 지속시간별, 면적-강우량 ····· Ⅵ - 57
<그림 6.21> 강우깊이-지속기간에 대한 포락 및 균일화 ····· Ⅵ - 61
<그림 6.22> 강우깊이-면적-지속기간에 대한 포락 및 균일화 ····· Ⅵ - 62
<그림 6.23> 삽교천 유역 가능최대강수량(PMP) ····· Ⅵ - 62

<그림 7.1> 삽교천 유역의 최근 20년간 수해현황 ····· Ⅶ - 2
<그림 7.2> 예산군의 최근 20년간 수해현황 ····· Ⅶ - 3
<그림 7.3> 2000년 8월 호우기간의 기상위성사진 ····· Ⅶ - 7
<그림 7.4> 2000년 8월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황 ····· Ⅶ - 9
<그림 7.5> 2000년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도 ····· Ⅶ - 10
<그림 7.6> '99년 8월 호우기간의 기상위성사진 ····· Ⅶ - 12
<그림 7.7> '99년 8월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황 ····· Ⅶ - 15
<그림 7.8> '99년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도 ····· Ⅶ - 16
<그림 7.9> '98년 8월 호우기간의 기상위성사진 ····· Ⅶ - 17
<그림 7.10> '98년 8월 8월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황 ····· Ⅶ - 20
<그림 7.11> '98년 8월 호우기간의 시간대별 등우선도 ····· Ⅶ - 21
<그림 7.12> '95년 8월 호우기간의 기상위성사진 ····· Ⅶ - 24
<그림 7.13> '95년 8월 8일~9일 호우기간의 삽교천유역 시간별 강우현황 ····· Ⅶ - 27
<그림 7.14> '95년 8월 23일~27일 호우기간의 삽교천유역 시간별 강우현황 ····· Ⅶ - 29
<그림 7.15> '95년 8월 8일~9일 호우기간의 누가강우 등우선도 ····· Ⅶ - 30
<그림 7.16> '95년 8월 23일~27일 호우기간의 누가강우 등우선도 ····· Ⅶ - 31
<그림 7.17> '89년 9월 호우기간의 기상위성사진 ····· Ⅶ - 34
<그림 7.18> '89년 9월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황 ····· Ⅶ - 36
<그림 7.19> '89년 9월 호우기간의 누가강우 등우선도 ····· Ⅶ - 37
<그림 7.20> '87년 7월 호우기간의 기상위성사진 ····· Ⅶ - 39
<그림 7.21> '87년 7월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황 ····· Ⅶ - 42
<그림 7.22> '87년 8월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황 ····· Ⅶ - 43

<그림 7.23> ‘87년 7월 호우기간의 누가강우 등우선도 ····· Ⅶ - 44
<그림 7.24> ‘87년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도 ····· Ⅶ - 45
<그림 7.25> 장기지속 강우량과 침수피해면적 관계 ····· Ⅶ - 52
<그림 7.26> 장기지속 강우량과 총 피해액 관계 ····· Ⅶ - 53
<그림 7.27> 단기지속 강우량과 하천시설물 피해액 관계 ····· Ⅶ - 55
<그림 7.28> 단기지속 강우량과 침수피해면적 관계 ····· Ⅶ - 55
<그림 7.29> ‘99년 침수지역 위치도 ····· Ⅶ - 61
<그림 7.30> ‘95년 홍수로 인한 침수지역도 ····· Ⅶ - 67
<그림 7.31> 2000년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교 ····· Ⅶ - 70
<그림 7.32> ‘99년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교 ····· Ⅶ - 71
<그림 7.33> ‘98년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교 ····· Ⅶ - 71
<그림 7.34> ‘95년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 19일～30일) ····· Ⅶ - 72
<그림 7.35> ‘95년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 8일～9일) ····· Ⅶ - 72
<그림 7.36> ‘90년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교 ····· Ⅶ - 73
<그림 7.37> ‘89년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교 ····· Ⅶ - 73
<그림 7.38> 2000년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 23일～8월28일) ····· Ⅶ - 74
<그림 7.39> ‘99년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 1일～8월5일) ····· Ⅶ - 77
<그림 7.40> ‘98년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(1998년 8월 8일～8월14일) ·· Ⅶ - 79
<그림 7.41> ‘95년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 8일～8월9일) ····· Ⅶ - 80
<그림 7.42> ‘95년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 22일～8월 27일) ····· Ⅶ - 82

<그림 8.1> 삽교천 수계 하천망도 ····· Ⅷ - 2
<그림 8.2> 삽교천 유역 지형특성 분석 ····· Ⅷ - 3
<그림 8.3> 삽교천 유역 등우선도 비교 ····· Ⅷ - 4
<그림 8.4> 삽교천 유역 집중호우 발생빈도 ····· Ⅷ - 5
<그림 8.5> 2000년 8월 호우기간 관측소별 수위비교 ····· Ⅷ - 5
<그림 8.6> 삽교호 방조제 지점의 설계조위 ····· Ⅷ - 7

<그림 9.1> 단위소유역별 PFD 분포 ····· Ⅸ - 7
<그림 9.2> PFD에 의한 단위소유역의 그룹화 결과 ····· Ⅸ - 8
<그림 9.3> PFD에 의한 단위소유역별 치수특성 분류 ····· Ⅸ - 9
<그림 9.4> 삽교천 유역 치수단위구역(대구역) 분할도 ····· Ⅸ - 12

<그림. 9.5> 삽교천 유역 중구역 분할현황 ····· Ⅸ - 13
<그림 9.6> 삽교천 유역 치수단위소구역 분할도 ····· Ⅸ - 22
<그림 9.7> 삽교천 유역내 법정하천의 계획빈도 현황 ····· Ⅸ - 30
<그림 9.8> 삽교천 유역의 치수안전도 설정 결과 ····· Ⅸ - 34

<그림 10.1> 삽교천 유역 홍수량 산정방법 모식도 ····· Ⅹ - 4
<그림 10.2> 예당지 상류 유역 홍수량 산정방법 모식도 ····· Ⅹ - 5
<그림 10.3> 홍수량 산정지점도 ····· Ⅹ - 11
<그림 10.4> 관측소 지점별 최빈분위 누가우량곡선 (전지속기간, 50% 발생확률 기준) Ⅹ - 14
<그림 10.5> 관측소 지점별 지속시간에 따른 100년 빈도 확률강우량 특성 비교 … Ⅹ - 15
<그림 10.6> 관측소 지점별 무차원누가우량곡선(3분위) ····· Ⅹ - 17
<그림 10.7> 강우지속시간별 예당지 유입량과 방류량 비교 ····· Ⅹ - 19
<그림 10.8> 삽교천 유역 토양도 레이어 ····· Ⅹ - 22
<그림 10.9> 삽교천 유역 토지이용도 레이어 (목표년도) ····· Ⅹ - 22
<그림 10.10> 자연하도에 있어서의 대형저류와 쐐기저류 ····· Ⅹ - 32
<그림 10.11> 유한차분법의 적용을 위한 시간-공간 격자망 ····· Ⅹ - 35
<그림 10.12> 삽교천 유역 등거리 분할도 ····· Ⅹ - 41
<그림 10.13> Clark 단위도법 개념도 ····· Ⅹ - 41
<그림 10.14> 삽교천 홍수량산정 모식도 ····· Ⅹ - 42
<그림 10.15> 하도홍수추적 모형의 흐름도 ····· Ⅹ - 46
<그림 10.16> 삽교천 수계의 하도 모형화 결과 ····· Ⅹ - 47
<그림 10.17> 저지대의 모형화 예 (삽교천 좌안 하평, 신석 배수장 유역) ····· Ⅹ - 50
<그림 10.18> 신종 배수펌프장유역 홍수위에 따른 유출특성 비교 ····· Ⅹ - 53
<그림 10.19> 계촌 배수펌프장유역 홍수위에 따른 유출특성 비교 ····· Ⅹ - 53
<그림 10.20> 유역의 홍수유출량과 하도유입량 비교 (삽교천 전 유역) ····· Ⅹ - 54
<그림 10.21> 유역의 홍수유출량과 하도유입량 비교 (국가하천 구간) ····· Ⅹ - 54
<그림 10.22> 측방구조물에 의한 배수시설 모형화 ····· Ⅹ - 55
<그림 10.23> 외수월류 및 제방파괴에 모의를 위한 자료의 입력 예 ····· Ⅹ - 56
<그림 10.24> 외수범람에 따른 내·외수위 변화 비교 (계촌배수펌프장 유역) ····· Ⅹ - 57
<그림 10.25> 외수범람에 따른 내·외수위 변화 비교 (신종배수펌프장 유역) ····· Ⅹ - 58
<그림 10.26> 실측조위와 계산조위 비교 ····· Ⅹ - 60
<그림 10.27> 최고조위 및 최대 조차 비교 ····· Ⅹ - 62

<그림 10.28> 기존 관련사업의 설계조위 비교 ····· X - 64
<그림 10.29> 배수갑문 입력 형태 ····· X - 65
<그림 10.30> Sluice Gate 모형도 ····· X - 65
<그림 10.31> 모형의 검정을 위한 상류단 경계조건 ····· X - 68
<그림 10.32> 1999년 8월 2～5일 홍수의 모의 결과 ····· X - 71
<그림 10.33> 2000년 8월 24～28일 홍수의 모의 결과 ····· X - 72
<그림 10.34> 유역의 홍수유출량과 하도유입량 비교 (삽교천 전 유역) ····· X - 75
<그림 10.35> 유역의 홍수유출량과 하도유입량 비교 (국가하천 구간) ····· X - 75
<그림 10.36> 하류단 경계조건에 따른 삽교호 첨두수위 변화 (100년 빈도 홍수) ··· X - 78
<그림 10.37> 최고첨두수위 발생시의 수리특성 ····· X - 80
<그림 10.38> 최저첨두수위 발생시의 수리특성 ····· X - 80
<그림 10.39> 조위 조건에 따른 누가방류량 계열의 시간대별 특성 ····· X - 81
<그림 10.40> 금회 적용 설계조위 ····· X - 82
<그림 10.41> 고고조 일치형 조위-내수위 관계 (CASE 3) ····· X - 83
<그림 10.42> 고저조 일치형 조위-내수위 관계 (CASE 9) ····· X - 84
<그림 10.43> 저고조 일치형 조위-내수위 관계 (CASE 15) ····· X - 84
<그림 10.44> 저저조 일치형 조위-내수위 관계 (CASE 22) ····· X - 85
<그림 10.45> 조위에 따른 삽교호 첨두수위 변화 ····· X - 85
<그림 10.46> 삽교천 국가하천 구간의 증수시 수면곡선 비교 ····· X - 87
<그림 10.47> 삽교천 국가하천 구간의 감수시 수면곡선 비교 ····· X - 88
<그림 10.48> 곡교천 국가하천 구간의 증수시 수면곡선 비교 ····· X - 88
<그림 10.49> 무한천 국가하천 구간의 증수시 수면곡선 비교 ····· X - 89
<그림 10.50> 조위로 인한 삽교천 하류부의 홍수위 변화특성 비교 ····· X - 89
<그림 10.51> 주요 지점의 계획홍수량과 하도유하량 비교 (100년 빈도, 현상태) ···· X - 99
<그림 10.52> 주요 지점의 계획홍수량과 하도유하량 비교 (100년 빈도, 목표연도 개수전) ·· X -100
<그림 10.53> 주요 지점의 계획홍수량과 하도유하량 비교도 (100년 빈도, 목표연도 개수후) ·· X -101
<그림 10.54> 삽교호의 홍수위수문곡선 비교 ····· X -103
<그림 10.55> 부등류 해석과 동역학파홍수추적에 의한 홍수위 계산결과 비교 (삽교천) ··· X -105
<그림 10.56> 부등류 해석과 동역학파홍수추적에 의한 홍수위 계산결과 비교 (곡교천) ··· X -105
<그림 10.57> 부등류 해석과 동역학파홍수추적에 의한 홍수위 계산결과 비교 (무한천) ··· X -106

<그림 11.1> 예당지 상류 지점 수문곡선 합성 ····· XI - 2

<그림 11.2> 예당지 유입 및 방류량 수문곡선 비교 ····· Ⅺ - 2
<그림 11.3> 삽교천 국가하천구간 100년 빈도 홍수위 비교 ····· Ⅺ - 11
<그림 11.4> 곡교천 국가하천구간 100년 빈도 홍수위 비교 ····· Ⅺ - 13
<그림 11.5> 무한천 국가하천구간 100년 빈도 홍수위 비교 ····· Ⅺ - 14
<그림 11.6> 치수단위 소구역별 배수유역면적과 비배수능력 관계 ····· Ⅺ - 21
<그림 11.7> 하포천 하구의 하포 배수장 연결 구조물 ····· Ⅺ - 23
<그림 11.8> 하포 1지구 지점의 외수위와 내수위 비교 ····· Ⅺ - 23
<그림 11.9> '94년과 금회 산정한 예당지 유입량 비교 (100년 빈도) ····· Ⅺ - 38
<그림 11.10> 예당지 방류량 수문곡선 산정 결과 (100년 빈도) ····· Ⅺ - 39
<그림 11.11> 예당저수지 문비조작 및 방류현황 (1995년 8월23～25일) ····· Ⅺ - 41
<그림 11.12> 삽교천과 무한천 합류부의 홍수수문곡선 (기본홍수량) ····· Ⅺ - 43
<그림 11.13> 삽교천과 무한천 합류부의 홍수수문곡선 (계획홍수량) ····· Ⅺ - 43
<그림 11.14> 홍수규모별 예상침수면적 비교 ····· Ⅺ - 45
<그림 11.15> 홍수규모별 예상피해액 비교 ····· Ⅺ - 45
<그림 11.16> 홍수규모별 예상 침수지역도 ····· Ⅺ - 47
<그림 11.17> 홍수규모별 예상 침수지역도 (삽교천 : 무한천합류부 하류) ····· Ⅺ - 49
<그림 11.18> 홍수규모별 예상 침수지역도 (삽교천 : 삽교천 상류) ····· Ⅺ - 50
<그림 11.19> 홍수규모별 예상 침수지역도 (곡교천) ····· Ⅺ - 51
<그림 11.20> 홍수규모별 예상 침수지역도 (무한천) ····· Ⅺ - 52

<그림 12.1> 초기수위에 따른 방류량과 저수위 변화 비교 (예비방류 200CMS) ····· Ⅻ - 5
<그림 12.2> 초기수위에 따른 방류량과 저수위 비교 (예비방류 677CMS) ····· Ⅻ - 6
<그림 12.3> 예비방류량 200㎥/sec일 경우 유입량, 방류량, 수위 비교 ····· Ⅻ - 8
<그림 12.4> 예비방류량 677㎥/sec일 경우 유입량, 방류량, 수위 비교 ····· Ⅻ - 9
<그림 12.5> 예당지 방류량별 하류지역침수특성 비교 ····· Ⅻ - 10
<그림 12.6> 예당지 방류량별 무한천 수위 비교 ····· Ⅻ - 11
<그림 12.7> 확정적인 수문사상에 의한 예비방류량 결정 개념도 ····· Ⅻ - 12
<그림 12.8> 확정적인 수문사상에 의한 예비방류 ····· Ⅻ - 14
<그림 12.9> 홍수보험의 기능 ····· Ⅻ - 17
<그림 12.10> 삽교천 유역 유출계산 모식도 ····· Ⅻ - 26
<그림 12.11> 홍수예경보 전자계산 과정 ····· Ⅻ - 27
<그림 12.12> 증고 규모별 사업비 변화 비교 ····· Ⅻ - 47

<그림 12.13> 예당지 증고에 의한 계획홍수위 상향조정 영향 분석 ····· Ⅻ - 49
<그림 12.14> 예당지 증고 전·후의 방류특성 비교 ····· Ⅻ - 50
<그림 12.15> 예당지 계획홍수위(EL. 24.0m 기준) 기준 예상침수지역 ····· Ⅻ - 53
<그림 12.16> 예당지 증고에 따른 편입면적 산출 기준 (계획제정고 EL. 26.5m 기준) ····· Ⅻ - 55
<그림 12.17> 목표 방류량과 실제 방류 가능량 비교 (100년 빈도) ····· Ⅻ - 62
<그림 12.18> 신설 여수로 예정 입지 ····· Ⅻ - 64
<그림 12.19> 계획 여수로 측면도 ····· Ⅻ - 67
<그림 12.20> 계획 여수로 정면도 ····· Ⅻ - 68
<그림 12.21> 홍동저수지 유출부 전경 ····· Ⅻ - 70
<그림 12.22> 이수용량 확보를 위한 가물막이 설치 시설 ····· Ⅻ - 70
<그림 12.23> 여수로 개량에 의한 홍수조절 용량 확보방안 (가동보 설치) ····· Ⅻ - 71
<그림 12.24> 가동보에 의한 홍수조절효과 비교 ····· Ⅻ - 72
<그림 12.25> 저수지 증고 및 용량배분 계획 ····· Ⅻ - 77
<그림 12.26> 저수지별 홍수조절용량 대비 사업비 곡선 ····· Ⅻ - 81
<그림 12.27> 천변저류지 설치 검토대상지구 위치도 (삽교천) ····· Ⅻ - 91
<그림 12.28> 천변저류지 설치 검토대상지구 위치도 (곡교천) ····· Ⅻ - 92
<그림 12.29> 천변저류지 설치 검토대상지구 위치도 (무한천) ····· Ⅻ - 93
<그림 12.30> 천변저류지의 홍수조절 개념 ····· Ⅻ - 97
<그림 12.31> 천변저류지의 일반적인 형식 ····· Ⅻ - 98
<그림 12.32> 홍수역유입식 천변저류지 개념도 ····· Ⅻ - 99
<그림 12.33> 홍수유입 방식의 효과 비교(신종-계촌 지구, 50년 빈도 홍수) ····· Ⅻ -100
<그림 12.34> 홍수유입 방식의 효과 비교(신종-계촌 지구, 200년 빈도 홍수) ····· Ⅻ -101
<그림 12.35> 천변저류지 홍수유입수문 정면도 ····· Ⅻ -106
<그림 12.36> 천변저류지 홍수유입수문 측면도 ····· Ⅻ -106
<그림 12.37> 제수문 규격 결정을 위한 흐름 특성 가정 ····· Ⅻ -107
<그림 12.38> 하부지 조성을 위한 신설 제방과 제수문 정면도 ····· Ⅻ -108
<그림 12.39> 예당지 하부지의 저류가능 용적 ····· Ⅻ -108
<그림 12.40> 하부지 평면 계획 ····· Ⅻ -109
<그림 12.41> 홍수 규모별 삽교호의 수리특성 비교 ····· Ⅻ -112
<그림 12.42> 홍수 규모별 방류특성 비교 ····· Ⅻ -113
<그림 12.43> 홍수 규모별 방류특성 비교 (배수갑문 6련 증설시) ····· Ⅻ -113
<그림 12.44> 배수갑문 증설에 따른 삽교호 수리특성 변화 ····· Ⅻ -114

<그림 12.45> 배수갑문 증설에 따른 최고수위와 방류능력 변화 비교 ····· Ⅻ -115
<그림 12.46> 삽교호 배수갑문 현황도 ····· Ⅻ -117
<그림 12.47> 삽교천과 무한천 합류부 형상 ····· Ⅻ -119
<그림 12.48> 현 상태의 흐름특성 ····· Ⅻ -120
<그림 12.49> 삽교천-무한천 합류부 개선방안 비교 ····· Ⅻ -121
<그림 12.50> 비교 1안의 흐름특성 ····· Ⅻ -122
<그림 12.51> 비교 2안의 흐름특성 ····· Ⅻ -123
<그림 12.52> 비교 3안의 흐름특성 ····· Ⅻ -123
<그림 12.53> 비교 4안의 흐름특성 ····· Ⅻ -124
<그림 12.54> 하도정비 대상지점 위치도 ····· Ⅻ -127
<그림 12.55> '하도개선 1구간'의 개선 전·후 횡단면 비교 ····· Ⅻ -128
<그림 12.56> '하도개선 2구간'의 개선 전·후 횡단면 비교 ····· Ⅻ -128
<그림 12.57> 입침교 지점의 개선 전·후 횡단면 비교 ····· Ⅻ -128
<그림 12.58> 무명교 지점의 개선 전·후 횡단면 비교 ····· Ⅻ -129
<그림 12.59> 탄중교 지점의 개선 전·후 횡단면 비교 ····· Ⅻ -129
<그림 12.60> 종경교 지점의 개선 전·후 횡단면 비교 ····· Ⅻ -129
<그림 12.61> No.128 지점의 하도정비(하도개선 3) 전과 후의 수위수문곡선 비교 ····· Ⅻ -131

<그림 13.1> 다차원 홍수피해산정방법(MD-FDA)의 개념도 ····· ⅩⅢ- 3
<그림 13.2> 침수편입율 산정을 위한 공간정보의 중첩 ····· ⅩⅢ- 14
<그림 13.3> 홍수빈도와 피해액 관계의 결정 ····· ⅩⅢ- 29
<그림 13.4> 유황개선사업에 대한 연평균피해경감기대액 산정 ····· ⅩⅢ- 31
<그림 13.5> 제방의 비용 ····· ⅩⅢ- 32
<그림 13.6> 비제방의 비용 ····· ⅩⅢ- 32
<그림 13.7> 총비용 및 총편익 산정방법 ····· ⅩⅢ- 36

<그림 14.1> 치수단위소구역 위치도 ····· ⅩⅣ- 6
<그림 14.2> 조위 조건에 따른 홍수규모별 홍수위 수문곡선 (삽교호 지점) ····· ⅩⅣ- 17
<그림 14.3> 유역종합치수계획(안)의 사업비 증가에 따른 편익의 변화 ····· ⅩⅣ- 27
<그림 14.4> 사업 시행 전 치수단위소구역별 침수지속시간 ····· ⅩⅣ- 42
<그림 14.5> 사업 시행 후 치수단위소구역별 침수지속시간 ····· ⅩⅣ- 43
<그림 14.6> 삽교천 하구 지점의 사업전·후 수위수문곡선 비교 ····· ⅩⅣ- 44

<그림 14.7> 곡교천 하구 지점의 사업전·후 수위수문곡선 비교 ····· XIV- 44
<그림 14.8> 무한천 하구 지점의 사업전·후 수위수문곡선 비교 ····· XIV- 45
<그림 14.9> 예당지 증고 전·후의 방류곡선 비교(100년 빈도 홍수시) ····· XIV- 49
<그림 14.10> 유역종합치수계획 시행 전·후(1단계)의 주요 지점 수문곡선 비교 ····· XIV- 49
<그림 14.11> 유역종합치수계획 시행 후의 수리특성 변화 비교 ····· XIV- 55
<그림 14.12> 유역종합치수계획 시행 전·후의 홍수량 배분 비교 (100년 빈도 홍수 기준) ····· XIV- 59

<그림 15.1> 우량관측소 위치도 ····· XV- 2
<그림 15.2> 우량관측소의 분포 검토 ····· XV- 5
<그림 15.3> 수위관측소 현황 및 추가 설치지점 위치도 ····· XV- 9
<그림 15.4> 시설물 유지관리 및 안전관리 체계도 ····· XV- 19
<그림 15.5> 치수계획의 체계 및 성격 ····· XV- 50
<그림 15.6> 삽교천 유역 중하류부에서 시행중인 하천개수사업구간 위치도 ····· XV- 55
<그림 15.7> 예당지 환경관리(안) 예시도 (전체) ····· XV- 63
<그림 15.8> 예당지 환경관리(안) 예시도(상세도) ····· XV- 65
<그림 15.9> 생태공원 조성 절차 ····· XV- 68
<그림 15.10> 침수해석 모형의 기본 구성 ····· XV- 75
<그림 15.11> 하도 홍수유입량 결정 및 저지대 침수해석 과정 ····· XV- 76
<그림 15.12> 저지대의 모형화 과정 ····· XV- 79
<그림 15.13> 모형의 모의 결과와 실측수위 비교 ····· XV- 80
<그림 15.14> 시간대별 침수지도 작성 예 (신덕지구, 100년 빈도 홍수) ····· XV- 82
<그림 15.15> 제체 월류가 없을 경우의 분석조건별 저수위의 변화 ····· XV- 88
<그림 15.16> 필댐 붕괴부의 모식도 ····· XV- 89
<그림 15.17> 예당지 붕괴 설정 ····· XV- 90
<그림 15.18> 시간별 붕괴폭 변화 ····· XV- 90
<그림 15.19> 예당지 지점에서의 유출량 변화 분석결과 (CASE 1) ····· XV- 90
<그림 15.20> 예당지 지점에서의 유출량 변화 분석결과 (CASE 2 및 CASE 3) ····· XV- 91
<그림 15.21> 예당지 지점에서 유량변화 분석 결과 (CASE 4) ····· XV- 92
<그림 15.22> PMF발생시 소구역별 제방파괴시간 ····· XV- 95
<그림 15.23> PMF발생시 침수구역 및 침수심 : CASE 1 ····· XV- 96

제 1 장 과업의 개요

1.1 과업의 목적

1.2 과업의 범위

1.3 세부과업 내용

제 1 장 과업의 개요

1.1 과업의 목적

우리나라는 국토가 협소하고 그 70% 이상이 산지 지형으로 구성되어 있다. 하천은 유역면적이 작고 유로연장이 짧으며 산지가 많기 때문에 급경사를 이룬 곳이 많다. 반면에 토양은 피복심도가 얕고 오랜 기간 동안 지반의 풍화, 침식 등으로 수원함양 상태가 좋지 않아 호우에 대한 저항력이 약하므로 일단 강우가 발생하면 단시간에 하천으로 유출된다. 이 같은 지형 및 지질 특성과 더불어 연강수량의 2/3가 6월부터 9월까지의 우기에 집중 발생하는 기상특성으로 인해 자연재해의 95% 이상이 집중호우와 태풍에 의한 풍수해로 집계되고 있을 만큼 홍수피해에 취약하며, 따라서 오래전부터 홍수방어에 대한 대책이 시행되어왔다.

그러나 지금까지 홍수방어를 목적으로 한 치수계획은 유역특성에 기인한 근본적인 수해원인의 고찰과 전체 유역을 대상으로 하는 일관된 유출특성의 분석 및 홍수량의 적절한 배분, 유역내 활용 가능한 다양한 홍수방어시설의 종합적인 고려 없이 유역에서 발생한 홍수량을 하천을 통해 신속하게 배제하는 것을 위주로 하는 선 개념의 하도 대응 위주로 이루어져왔다. 즉, 유역에서 발생한 홍수는 신속하게 하천으로 배제하며, 하도는 이렇게 유입된 홍수를 다시 하류지역으로 배제하는 통로로서의 역할이 그 치수기능의 핵심으로 설정되었다.

이와 같은 선 개념의 통수위주 치수계획은 유역의 상류부에서는 매우 효과적인 홍수대응 방법일 수 있으나, 상류에서 배제된 홍수가 집중되는 하류지역에는 과도한 홍수위 상승을 유발하여 결국 상류에서 발생할 홍수피해를 하류지역으로 전이시키는 결과를 초래하였다. 특히, 하도내의 홍수를 신속하게 배제할 수 없는 지형특성을 지닌 지역에서는 상류 지역에서 유하한 과도한 홍수량과 더불어 배수지체에 따른 수위상승이 더해져서 홍수위는 치수사업 시행 이전보다 계속 증가하고 그에 따라 치수안전도는 오히려 저하되었다. 또한 잘 정비된 하도를 따라 신속하게 유하한 홍수로 인해 홍수위가 급격히 상승하여 장기간 지속됨에 따라 유역의 하류부 저지대에서는 내수배제 불능에 의한 침수피해가 증가하고 있다.

최근 빈발하고 있는 기상이변과 급속한 도시화로 홍수 피해가 급증하면서 이러한 하도 중심 치수계획의 한계가 확인됨에 따라 홍수를 유역전체에서 다양한 방법으로 분담하는 면 개념의 유역단위 치수계획이 대안으로서 등장하게 되었다.

유역종합치수계획이란 홍수유출을 억제할 수 있는 자연과 인공 시설물들을 유역 전반

에 걸쳐 연계 이용함으로써 유역의 홍수 저감능력을 극대화하는 계획을 말한다. 따라서, 유역이 지니고 있는 치수기능을 최대한 살릴 수 있는 면 개념의 치수대책으로서 유역내 다목적댐, 치수전용댐, 제방, 유수지 등 각종 홍수방어시설을 활용한 구조적 대책과 홍수터 관리, 홍수예경보 및 유역내 상·하류 수방시설간의 최적연계운영 등의 비구조적 대책을 종합적으로 활용한 치수대책을 수립하는 것을 목표로 한다는 점에서 기존의 제방과 배수펌프장에 의존한 일차원적인 하천 중심의 치수대책과 차별화 된다.

이러한 유역종합치수계획의 개념에 따라 본 삽교천수계(무한천) 유역종합치수계획 수립용역에서는 삽교천 유역을 대상으로 하되, 유역내에서 치수적으로 가장 불리한 입지특성을 지닌 무한천 유역을 중심으로 수계에서 발생하는 홍수량의 적정 배분과 유역내 다목적댐 및 치수전용댐, 하천제방 및 유수지 등 각종 홍수방어시설을 활용한 구조적 대책과 홍수터 관리, 홍수예경보체계 등의 비구조적 대책 등을 종합적으로 고려하여 최적의 연계운영을 가능케 하는 유역과 수계특성에 가장 적합한 유역종합치수계획을 수립하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위

본 과업은 삽교천 수계를 대상으로 유역종합치수계획을 수립하는 것으로서, 유역내에서 치수적으로 가장 불리한 입지조건을 갖고 있는 무한천 유역을 중심으로 수행하며, 과업의 내용은 과업지시서에 의하여 실시한다.

(1) 위　치 : 위치도 참조

(2) 과업의 범위

○ 유역종합치수계획 수립 : 삽교천 유역 1 식

구분 \ 하천등급	계	국가하천	지방1급	지방2급	비　고
삽 교 천	3개 54.40km	1개 31.90km	1개 8.80km	1개 13.70km	
곡 교 천	3개 45.59km	1개 18.59km	1개 20.50km	1개 6.50km	
무 한 천	34개 180.54km	1개 13.24km	-	33개 167.3km	
합　　계	40개 280.53km	3개 63.73km	2개 29.3km	8개 187.5km	삽교천 유역면적 1,611.70 ㎢

○ 하천측량 : 8개 하천 L = 106.49km

<그림 1.1> 과업 위치도

1.3 세부과업 내용

본 과업의 내용은 삽교천 유역에 대한 기초자료 조사와 치수특성의 조사 및 분석을 통해 홍수피해 원인을 심도 있게 분석하고, 그 성과에 기초하여 유역의 특성에 적합하고 효율적인 유역종합치수계획을 수립함과 아울러 유역종합치수계획이 효과적으로 시행되고 관리될 수 있도록 시행계획과 유지관리계획을 수립하는 것으로 구분 된다.

본 삽교천수계(무한천) 유역종합치수계획 수립용역의 전체적인 과업내용은 다음과 같다.

가. 유역 기초 자료조사

(1) 일반사항

(2) 유역특성조사

(3) 하천측량 및 GIS 현황조사

나. 치수특성 조사 및 분석

(1) 수문조사

(2) 치수시설조사

(3) 홍수피해 현황 및 취약지역조사

(4) 관련계획조사

(5) 수문분석

(6) 홍수피해 원인 및 치수계획상 문제점 분석

다. 유역종합치수계획 수립

(1) 기본방향

(2) 홍수량 산정

(3) 치수안전도 설정

(4) 홍수방어대안 도출

(5) 홍수방어대안 평가

(6) 치수경제성 분석

(7) 최적 홍수방어계획 수립

라. 시행계획의 수립

(1) 연차별 사업계획 수립

(2) 유역협의회 구성계획 수립

마. 유역관리계획 수립

(1) 유역 유출상황 모니터링

(2) 홍수방어시설물 유지관리 방안

(3) 유역내 저류능력 유지방안

(4) 관련계획과의 연계방안

바. 보고서 작성 및 성과품 제출

제 2 장 유역 기초자료 조사

2.1 유역특성 조사

2.2 인문·사회·경제 조사

2.3 토양 및 지질 특성

2.4 토지이용 현황 조사

제 2 장 유역 기초자료 조사

2.1 유역특성 조사

2.1.1 유역의 일반현황

가. 유역의 개황

(1) 삽교천 유역의 개황

삽교천 유역은 한반도의 중서부에 해당하는 동경 126°36′29″~ 127°12′51″, 북위 36°23′34″~ 36°34′20″사이에 위치하며, 충청남도 예산군 외 5개군 3개시를 포함하는 남한 제8위의 유역으로서 유역면적은 금회 과업의 성과를 기준으로 1,649.39㎢이고, 유로연장(본류)은 59.30㎞에 이른다.

유역의 동측으로는 최남단인 백월산으로 부터 차령산맥의 주봉들인 오봉산, 문박산(EL. 337.8m), 국사봉(EL. 488m)을 거쳐 32번국도가 지나는 차령고개를 지나 봉수산(EL. 534.4m), 고려산(EL. 307.2m), 태조봉과 걸마고개까지 이어지는 고산준령들을 분수계로 하여 남한의 제3위 유역인 금강유역과 접하고 있고, 서측으로는 백월산으로 부터 이어지는 가로고개, 꽃조개고개, 하고개 등 준령들을 따라 내려오다 일월산(EL. 400.0m), 홍동산(EL. 309.8m), 수덕산(EL. 495.2m), 가야산(EL. 617.0m), 국수봉 등의 고봉준령들을 분수계로 하여 지방2급 하천인 청광천, 와룡천, 역천 유역과 접하고 있다. 유역의 북측으로는 국수봉, 오룡산, 철마산(EL. 89.8m) 등의 낮은 산을 따라 내려오다, 삽교천 하구에 설치된 삽교방조제(L=3,360m)와 연결되어 유역계를 이루면서 배티고개, 국사봉(EL. 222.5m), 연범산(EL. 292.7m), 용와산(EL. 238.4m)등의 산릉선과 천안시 외곽인 걸마고개까지 이르는 산릉을 분수계로 하여 아산만과 접하고 있다.

수원은 충남 홍성군 장곡면 기러기재(EL. 344.9m)이며 여기서 발원한 유로는 홍동저수지(유효저수량 795,000㎥)를 지나면서부터 하천형태를 갖춰 대소지류들을 합류하면서 홍성읍 우측으로 휘돌아 북류 하다가 국가하천 시점에 이르러 지방2급 하천인 덕산천(유역면적 84.8㎢)이 합류한다. 이때부터 하폭이 급격히 커지면서 양안이 개수가 완료된 하도를 따라 삽교천 제1지류인 효교천, 대천천 등이 좌안측에서 합류하고 북동류 하면서 흐르다 구양교 지점을 지나면서 유로는 동측으로 급격히 유회하자마자 무한천 합류점에 이르러 다시 북측으로 유회하는 급격한 사행유로를 형성하면서 북동류와 동류를 반복하며 유하하여 만수면적 20.2㎢, 저수용량 84.1×10^{6}㎥인 삽교호로 유입한다. 이후 삽교호를 지나 삽교호방조제(L=3,360m) 좌안측에 설치된 배수갑문(20m×6m×6련)를 통해 서해로

유출된다.

유역의 평균표고는 국가하천 최상류부인 덕산천 합류전 지점에서 EL. 63.65m, 무한천 합류전 지점에서 EL. 62.82m이나 무한천 합류후 지점 EL. 85.70m, 곡교천 합류후 지점에서 EL. 90.09m, 하구에서는 EL. 85.05m로 상대적으로 유역의 평균표고가 높은 무한천과 곡교천이 합류하면서 하류에서 오히려 증가한다. 한편 유역의 평균표면경사는 16.86%(9.9°)로 대체적으로 완만한 경사를 나타내고 있으며, 삽교천 국가하천 구간의 하상경사는 상류구간 약 1/1,900, 중류구간 1/2,200~1/3,000 정도이고 하류구간은 약 1/12,000로서 전체적으로 완만한 하상경사를 형성하고 있어 홍수시 유하시간이 길어져 수위가 오래 지속되는 특징이 있다.

(2) 곡교천 유역의 개황

곡교천은 삽교천의 제1지류로서 유역면적 545.08㎢, 유로연장 50.60km로 삽교천 전체 유역면적의 약 33%를 점하고 있으며 삽교천 유역의 북동쪽에 위치하고 있다.

수원은 천안시, 연기군 및 공주시의 경계인 국사봉(EL. 402.7m)에서 발원하여 산지협곡 사이를 북서류 또는 북동류를 반복하다 천안시 풍세면 용정리에서 좌안측으로 유입하는 풍서천과 합류하면서 유향을 전환하여 흐르면서 수개의 지천들과 합류하고 아산시 인주면과 선장면 신문리 경계지점에서 본류인 삽교천 우안측으로 유입한다.

유역의 평균표고는 하구를 기준으로 EL. 103.76m이며, 하상경사는 국가하천 구간에서 1/850~1/1,610으로 삽교천이나 무한천 국가하천 구간에 비해 비교적 급한 편이다.

(3) 무한천 유역의 개황

삽교천의 제1지류인 무한천 유역은 서쪽으로는 삽교천 본류와 접하고 있으며, 동쪽으로 상류부는 차령산맥을 분수계로 하여 금강수계 제1지류인 유구천 유역과 접해있고, 하류부는 삽교천 및 삽교천의 제1지류인 도고천 유역과 접해있다. 무한천 유역의 행정구역은 충청남도 예산군을 비롯하여 아산시, 청양군, 홍성군 등 4개 시·군을 포함하며 유역으로 유역면적은 471.80㎢, 유로연장은 47.73km이다.

수원은 청양군 화성면 장계리 산수골에서 발원하여 전체적으로 유향이 북류하고 있으며, 충남 예산군 신암면 신종리에서 본류인 삽교천 우안측으로 합류한다. 유역 중류부인 예산군 대흥면에는 수계내에서 유일하게 홍수조절 기능을 갖고 있는 예당저수지가 위치하고 있는데 예당지 상류유역의 면적은 368.86㎢로 무한천 유역 전체 면적의 80%정도를 차지하고 있다. 무한천 유역에서 예당저수지 상류지역은 계곡폭이 좁은 협곡을 이루고 있는 반면 예당지 하류는 하천연안을 중심으로 비교적 넓은 평야(농경지)를 형성하고 있

으며 무한천의 하상경사는 예당지 상류에서 본류가 약 1/130~1/1,070, 지류하천이 1/20~1/170 정도로 상당히 급한 편이나, 예당지 하류부에서는 1/1,160~1/2,600으로 급격히 완만해지는 특징을 보이고 있다.

유역의 평균표고는 EL. 108.69m이며, 전체적으로 표고가 EL. 4.17~563.9m 까지 다양하게 분포하고 있으나, EL. 200m 이하의 지역이 86.84% 이상을 차지하는 대체로 저평지의 평탄한 지형을 이루고 있다.

나. 유역의 주요 특성

(1) 유역면적 및 유로연장

유역면적 및 유로연장은 유출에 직접적으로 영향을 미치는 주요한 인자로서, 본 과업대상 하천인 삽교천과 곡교천, 무한천 및 주요 지류하천 유역의 주요 지점별로 유역면적과 유로연장, 유역 평균폭, 형상계수 등 유역의 평면적 특성을 산정 하였으며 그 결과는 <표 2.1>과 같다.

<표 2.1> 삽교천 수계 주요하천 유역의 평면적 특성

하 천	주요지점	부호	유역면적 A(㎢)	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L(km)	형상계수 A/L^2
삽교천	삽교천 하구	SK-0	1,649.39	59.30	27.81	0.47
	곡교천 합류후	SK-1	1,521.25	53.73	28.31	0.53
	곡교천 합류전	SK-2	976.16	53.73	18.17	0.34
	무한천 합류후	SK-3	903.70	43.86	20.60	0.47
	무한천 합류전	SK-4	431.90	43.86	9.85	0.22
	대천천 합류전	SK-5	314.90	34.04	9.25	0.27
	덕산천 합류후	SK-6	218.06	25.23	8.64	0.34
	화양천 합류전	SK-7	111.93	17.62	6.35	0.36
	종현천 합류후	SK-8	33.15	11.04	3.00	0.27
곡교천	곡교천 하구	GK-0	545.08	50.60	10.77	0.21
	강청교 지점	GK-1	486.92	38.75	12.57	0.32
	온양천 합류후	GK-2	397.00	29.73	13.35	0.45
	매곡천 합류전	GK-3	241.34	25.72	9.38	0.36
	풍서천 합류전	GK-4	65.43	17.76	3.68	0.21
	양안천 합류전	GK-5	18.90	9.67	1.95	0.20

<표 2.1> 삽교천 수계 주요하천 유역의 평면적 특성 (계속)

하 천	주요지점	부호	유역면적 A(㎢)	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L(km)	형상계수 A/L^2
무한천	무한천 하구	MH-0	471.80	47.73	9.88	0.21
	궁평천 합류전	MH-1	435.96	44.03	9.90	0.22
	예 산 대 교	MH-2	396.92	37.47	10.59	0.28
	예당저수지	MH-3	368.86	31.08	11.87	0.38
	동산교	MH-4	149.44	24.53	6.09	0.25
	강촌천 합류후	MH-5	103.98	16.39	6.34	0.39
	기덕천 합류후	MH-6	30.07	5.99	5.02	0.84
신양천	신양천 하구	SY-0	190.98	22.65	8.43	0.37
	화산천 합류전	SY-1	68.56	15.52	4.42	0.28
남원천	남원천 하구	NW	107.94	22.11	4.88	0.22
온양천	온양천 하구	OY	94.22	19.00	4.96	0.26
화산천	화산천 하구	HS	84.82	11.37	7.46	0.66
천안천	천안천 하구	CA	74.17	18.76	3.95	0.21
풍서천	풍서천 하구	PS	70.20	18.11	3.88	0.21
덕산천	덕산천 하구	DS	47.81	12.78	3.74	0.29
도고천	도고천 하구	DG	40.04	12.22	3.28	0.27

유역의 형상계수는 유역형태를 나타내는 무차원 단위의 수치로서 형상계수가 1.0에 가까울수록 유역의 형상은 정방형에 근접하며 형상계수가 0.0에 가까울수록 장방형에 가까운 형태를 보여준다. 일반적으로 정방형에 가까운 유역에서는 장방형 유역에 비해 하천에서의 홍수파 도달시간이 짧아 첨두홍수량이 크게 발생하는 특징이 있다.

무한천 합류전의 삽교천 유역 형상계수는 0.22이며 무한천과 곡교천은 0.21로 유역의 형상이 장방형에 가까워서 자체 유역에서는 첨두홍수량이 급격히 증가하지는 않지만 수위가 장시간 지속되며, 삽교천 유역 전체로는 하류부에서 무한천과 곡교천이 합류함에 따라 형상계수는 무한천 합류후 0.47, 곡교천 합류후는 0.53으로 정방형에 가까운 형태로 변화하고 있다. 따라서 삽교천 하류부에서는 무한천과 곡교천의 홍수가 집중되어 첨두홍수량이 급격히 증가하며 아울러 상류에서 지속적으로 유하하는 유량으로 인해 수위지속시간도 길어짐으로써 치수적으로 불리한 상황이 발생할 것으로 예상된다.

또한, 무한천 유역의 경우 전체적으로 장방형인 유역형상에 비해 예당지 상류는 예당지 유입부를 기준으로 무한천 본류와 주요 지류하천인 신양천, 화산천의 유역면적, 유로

연장, 도달시간 등이 <표 2.2>에서 보는바와 같이 비슷하게 나타나 홍수시 무한천 본류와 각 지류하천의 첨두홍수가 동시에 유입될 것으로 예상된다. 무한천 전체면적의 80% 정도인 368.86㎢의 유역면적을 차지하고 있는 예당지의 이러한 특성으로 인해 하류부 홍수조절에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되어 향후 치수계획 수립시 예당지를 고려한 대책수립이 필요할 것으로 판단된다.

<표 2.2> 예당지 상류부 주요 하천의 유출특성 비교

하천명	지 점	유역면적 (㎢)	유로연장 (km)	첨두홍수량 (㎥/sec)	도달시간 (hr)	비 고
무한천	예당저수지	368.86	31.98	2,278	3.97	50년 빈도
	예당저수지 유입부	149.44	25.43	1,058	3.11	〃
신양천	예당저수지 유입부	182.36	21.52	1,064	2.33	〃
	화산천 합류점	68.56	15.98	394	2.13	〃
화산천	신양천 합류점	84.82	15.96	472	1.99	〃

(2) 표고별 누가면적 및 구성비

표고별 면적분포는 표고에 따라 변하는 강우, 증발, 식생 등의 영향을 검토할 수 있는 기초자료로서 삽교천과 곡교천, 무한천 등의 하천유역내 주요 지점에 대한 누가면적 및 구성비는 <표 2.3>과 같다.

삽교천 유역은 <표 2.3>에서 보는바와 같이 표고별 면적이 EL. 0m~EL. 700m 까지 다양하게 분포되어 있으나, EL. 100m 이하의 면적이 전체 유역면적의 70.38%로 나타나 대부분 저평지의 평탄한 지형을 이루고 있음을 알 수 있다. 이에 비해 무한천 유역은 EL. 100m 이하의 면적이 전체유역 면적의 56.42%, 곡교천 유역은 63.16%로 삽교천 유역보다 산악지형의 비중이 다소 크게 나타났다.

<표 2.3> 주요 하천 유역의 표고별 누가면적 및 구성비

단위 : ㎢, %

하천명	주요 지점	부호	구 분	표고 (EL. m)										
				500 이상	450 이상	400 이상	350 이상	300 이상	250 이상	200 이상	150 이상	100 이상	50 이상	0 이상
삽교천	삽교천 하 구	SK-0	면 적	4.14	7.99	15.02	29.41	55.82	98.89	169.20	287.68	488.59	875.66	1649.39
			비 율	0.25	0.48	0.91	1.78	3.38	6.00	10.26	17.44	29.62	53.09	100.00
	곡교천 합류후	SK-1	면 적	4.14	7.99	15.02	29.41	55.82	98.86	168.98	286.90	485.98	858.65	1521.24
			비 율	0.27	0.53	0.99	1.93	3.67	6.50	11.11	18.86	31.95	56.44	100.00
	곡교천 합류전	SK-2	면 적	1.11	2.28	5.03	11.76	25.24	47.70	87.32	158.68	285.18	525.83	976.16
			비 율	0.11	0.23	0.52	1.20	2.59	4.89	8.95	16.26	29.21	53.87	100.00
	무한천 합류후	SK-3	면 적	1.10	2.24	4.91	11.43	24.56	46.51	84.91	153.49	273.94	502.03	903.70
			비 율	0.12	0.25	0.54	1.26	2.72	5.15	9.40	16.98	30.31	55.55	100.00

<표 2.3> 주요 하천 유역의 표고별 누가면적 및 구성비 (계속)

단위 : ㎢, %

하천명	주요 지점	부호	구 분	표고 (EL. m)										
				500 이상	450 이상	400 이상	350 이상	300 이상	250 이상	200 이상	150 이상	100 이상	50 이상	0 이상
삽교천	무한천 합류전	SK-4	면 적	1.05	1.98	3.46	5.77	9.38	14.90	24.20	40.44	68.86	162.26	431.90
			비 율	0.24	0.46	0.80	1.34	2.17	3.45	5.60	9.36	15.94	37.57	100.00
	대천천 합류전	SK-5	면 적	1.05	1.98	3.46	5.77	9.38	14.88	23.66	37.40	61.32	138.81	314.90
			비 율	0.33	0.63	1.10	1.83	2.98	4.73	7.51	11.88	19.47	44.08	100.00
	덕산천 합류후	SK-6	면 적	1.06	1.98	3.38	5.46	8.53	13.20	20.43	31.47	50.64	116.56	218.06
			비 율	0.49	0.91	1.55	2.50	3.91	6.05	9.37	14.43	23.22	53.45	100.00
	화양천 합류전	SK-7	면 적	0.00	0.00	0.00	0.09	0.48	1.26	2.97	6.84	16.54	62.85	111.93
			비 율	0.00	0.00	0.00	0.08	0.43	1.13	2.65	6.11	14.78	56.15	100.00
	종현천 합류전	SK-8	면 적	0.00	0.00	0.00	0.03	0.13	0.28	0.81	2.10	5.10	22.40	33.15
			비 율	0.00	0.00	0.00	0.09	0.39	0.84	2.44	6.33	15.38	67.57	100.00
곡교천	곡교천 하 구	GK-0	면 적	3.03	5.71	9.99	17.65	30.58	51.16	81.66	128.22	200.80	332.82	545.08
			비 율	0.56	1.05	1.83	3.24	5.61	9.39	14.98	23.52	36.84	61.06	100.00
	강청교	GK-1	면 적	3.03	5.71	9.99	17.64	30.50	50.84	80.79	126.67	197.29	321.59	486.92
			비 율	0.62	1.17	2.05	3.62	6.26	10.44	16.59	26.01	40.52	66.05	100.00
	온양천 합류후	GK-2	면 적	3.01	5.67	9.92	17.51	30.23	50.09	78.28	119.60	179.15	282.56	397.00
			비 율	0.76	1.43	2.50	4.41	7.61	12.62	19.72	30.13	45.13	71.17	100.00
	매곡천 합류전	GK-3	면 적	1.66	3.11	5.49	9.71	17.45	29.63	46.45	70.05	106.90	175.07	241.34
			비 율	0.69	1.29	2.27	4.02	7.23	12.28	19.25	29.03	44.29	72.54	100.00
	풍서천 합류전	GK-4	면 적	0.00	0.01	0.18	0.92	2.63	5.24	9.28	17.12	34.06	57.59	65.43
			비 율	0.00	0.02	0.28	1.41	4.02	8.01	14.18	26.17	52.06	88.02	100.00
	양안천 합류전	GK-5	면 적	0.00	0.01	0.18	0.92	2.62	5.15	8.44	12.27	16.17	18.90	18.90
			비 율	0.00	0.05	0.95	4.87	13.86	27.25	44.66	64.92	85.56	100.00	100.00
무한천	무한천 하 구	MH-0	면 적	0.05	0.28	1.48	5.68	15.22	31.70	60.88	113.38	205.63	340.60	471.80
			비 율	0.01	0.06	0.31	1.20	3.23	6.72	12.90	24.03	43.58	72.19	100.00
	궁평천 합류전	MH-1	면 적	0.05	0.25	1.33	5.18	14.15	29.99	58.44	109.94	200.72	332.77	435.96
			비 율	0.01	0.06	0.31	1.19	3.25	6.88	13.40	25.22	46.04	76.33	100.00
	예 산 대 교	MH-2	면 적	0.05	0.23	1.22	4.56	12.43	26.72	53.17	102.42	190.64	320.52	396.92
			비 율	0.01	0.06	0.31	1.15	3.13	6.73	13.40	25.80	48.03	80.75	100.00
	예 당 저수지	MH-3	면 적	0.05	0.24	1.23	4.49	12.21	26.29	52.45	100.93	186.35	308.54	368.86
			비 율	0.01	0.07	0.33	1.22	3.31	7.13	14.22	27.36	50.52	83.65	100.00
	동산교	MH-4	면 적	0.04	0.13	0.57	1.81	4.58	9.54	19.14	38.17	74.80	127.89	149.44
			비 율	0.03	0.09	0.38	1.21	3.06	6.38	12.81	25.54	50.05	85.58	100.00
	강촌천 합류전	MH-5	면 적	0.04	0.13	0.35	1.02	2.52	4.81	9.51	20.17	42.72	74.62	80.05
			비 율	0.05	0.16	0.44	1.27	3.15	6.01	11.88	25.20	53.37	93.22	100.00
	기덕천 합류전	MH-6	면 적	0.03	0.09	0.24	0.61	1.36	2.53	4.50	7.81	15.82	21.47	21.47
			비 율	0.14	0.42	1.12	2.84	6.33	11.78	20.96	36.38	73.68	100.00	100.00
신양천	신양천 하 구	SY-0	면 적	0.01	0.10	0.57	2.38	6.99	15.70	31.55	59.59	104.42	165.93	190.98
			비 율	0.01	0.05	0.30	1.25	3.66	8.22	16.52	31.20	54.68	86.88	100.00
	화산천 합류전	SY-1	면 적	0.00	0.02	0.27	1.34	4.17	9.56	17.97	29.86	45.42	63.08	68.56
			비 율	0.00	0.03	0.39	1.95	6.08	13.94	26.21	43.55	66.25	92.01	100.00

<표 2.3> 주요 하천 유역의 표고별 누가면적 및 구성비 (계속)

단위 : ㎢, %

하천명	주요 지점	부호	구 분	표고 (EL. m)										
				500 이상	450 이상	400 이상	350 이상	300 이상	250 이상	200 이상	150 이상	100 이상	50 이상	0 이상
남원천	남원천 하 구	NW-0	면 적	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.23	0.80	2.68	17.68	107.94
			비 율	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.21	0.74	2.48	16.38	100.00
온양천	온양천 하 구	OY-0	면 적	1.34	2.55	4.43	7.83	12.84	20.29	30.62	45.68	62.23	78.17	94.22
			비 율	1.42	2.71	4.70	8.31	13.63	21.53	32.50	48.48	66.05	82.97	100.00
화산천	화산천 하 구	HS-0	면 적	0.01	0.08	0.30	1.04	2.82	6.12	13.13	27.17	49.16	76.84	84.82
			비 율	0.01	0.09	0.35	1.23	3.32	7.22	15.48	32.03	57.96	90.59	100.00
천안천	천안천 하 구	CA-0	면 적	0.00	0.00	0.00	0.16	0.89	2.32	4.48	7.97	14.80	41.52	74.17
			비 율	0.00	0.00	0.00	0.22	1.20	3.13	6.04	10.75	19.95	55.98	100.00
풍서천	풍서천 하 구	PS-0	면 적	1.66	3.11	5.26	8.48	13.54	21.13	30.90	42.15	53.19	64.09	70.20
			비 율	2.36	4.43	7.49	12.08	19.29	30.10	44.02	60.04	75.77	91.30	100.00
덕산천	덕산천 하 구	DS-0	면 적	1.06	1.96	3.27	5.11	7.57	11.00	15.49	21.00	27.18	35.82	47.81
			비 율	2.22	4.10	6.84	10.69	15.83	23.01	32.40	43.92	56.85	74.92	100.00
도고천	도고천 하 구	DG-0	면 적	0.00	0.01	0.08	0.29	0.62	1.09	2.25	4.88	10.72	23.06	40.04
			비 율	0.00	0.02	0.20	0.72	1.55	2.72	5.62	12.19	26.77	57.59	100.00

(3) 유역의 평균표고 및 지표면경사

삽교천 주요 지점의 유역 평균표고와 지표면경사를 비교하면 무한천 합류전은 평균표고 EL. 62.93m, 평균경사 11.66%인데 비해 무한천 합류후는 평균표고 EL. 85.94m, 평균경사 17.74%, 곡교천 합류후는 평균표고 EL. 90.50m, 평균경사 18.53%로 증가하여 삽교천 본류에 비해 무한천과 곡교천 유역의 평균표고와 경사가 큰 것을 알 수 있다. 무한천과 곡교천은 하구를 기준으로 평균표고와 지표면 평균경사가 각각 EL. 107.05m, 23.40% 및 EL. 103.76m, 20.76%로 나타나 곡교천 유역이 무한천 유역에 비해 다소 완만한 저평지임을 알 수 있다.

<표 2.4> 주요 하천 유역의 평균표고 및 지표면경사

하 천	주요지점	부호	유역면적 A(㎢)	유로연장 L(km)	평균표고 (EL. m)	평균경사 (%)	비 고
삽교천	삽교천 하구	SK-0	1,649.39	59.30	85.05	16.86	
	곡교천 합류후	SK-1	1,521.25	53.73	90.50	18.53	
	곡교천 합류전	SK-2	976.16	53.73	82.96	17.27	
	무한천 합류후	SK-3	903.70	43.86	85.94	17.74	
	무한천 합류전	SK-4	431.90	43.86	62.93	11.66	
	대천천 합류전	SK-5	314.90	34.04	72.76	12.95	

<표 2.4> 삽교천 및 무한천 유역의 평균표고 및 지표면경사 (계속)

하 천	주요지점	부호	유역면적 A(㎢)	유로연장 L(km)	평균표고 (EL. m)	평균경사 (%)	비 고
삽교천	덕산천 합류후	SK-6	218.06	25.23	85.49	15.12	
	화양천 합류전	SK-7	111.93	17.62	68.59	12.77	
	종현천 합류전	SK-8	33.15	11.04	73.49	12.90	
곡교천	곡교천 하구	GK-0	545.08	50.60	103.76	20.76	
	와천 합류후	GK-1	486.92	38.75	112.33	22.10	
	온양천 합류후	GK-2	397.00	29.73	124.49	23.90	
	매곡천 합류전	GK-3	241.34	25.72	123.62	24.47	
	풍서천 합류전	GK-4	65.43	17.76	123.64	28.03	
	양안천 합류전	GK-5	18.90	9.67	196.38	38.19	
무한천	무한천 하구	MH-0	471.80	47.73	107.05	23.40	
	궁평천 합류전	MH-1	435.96	44.03	112.02	24.45	
	예산대교	MH-2	396.92	37.47	116.06	24.89	
	예당저수지	MH-3	368.86	31.08	120.38	25.90	
	동산교	MH-4	149.44	24.53	118.81	22.72	
	강촌천 합류전	MH-5	80.05	16.39	123.02	22.60	
	기덕천 합류전	MH-6	21.47	5.99	153.51	24.56	
신양천	신양천 하구	SY-0	190.98	22.65	127.83	29.72	
	화산천 합류전	SY-1	68.56	15.52	151.20	32.05	
남원천	남원천 하구	NW-0	107.94	22.11	29.95	4.64	
온양천	온양천 하구	OY-0	94.22	19.00	166.73	16.86	
화산천	화산천 하구	HS-0	84.82	11.37	130.75	30.71	
천안천	천안천 하구	CA-0	74.17	18.76	75.93	9.00	
풍서천	풍서천 하구	PS-0	70.20	18.11	199.77	20.85	
덕산천	덕산천 하구	DS-0	47.81	12.48	161.84	14.65	
도고천	도고천 하구	DG-0	40.04	12.22	78.13	12.46	

다. 수계 및 하천 특성

(1) 수계현황

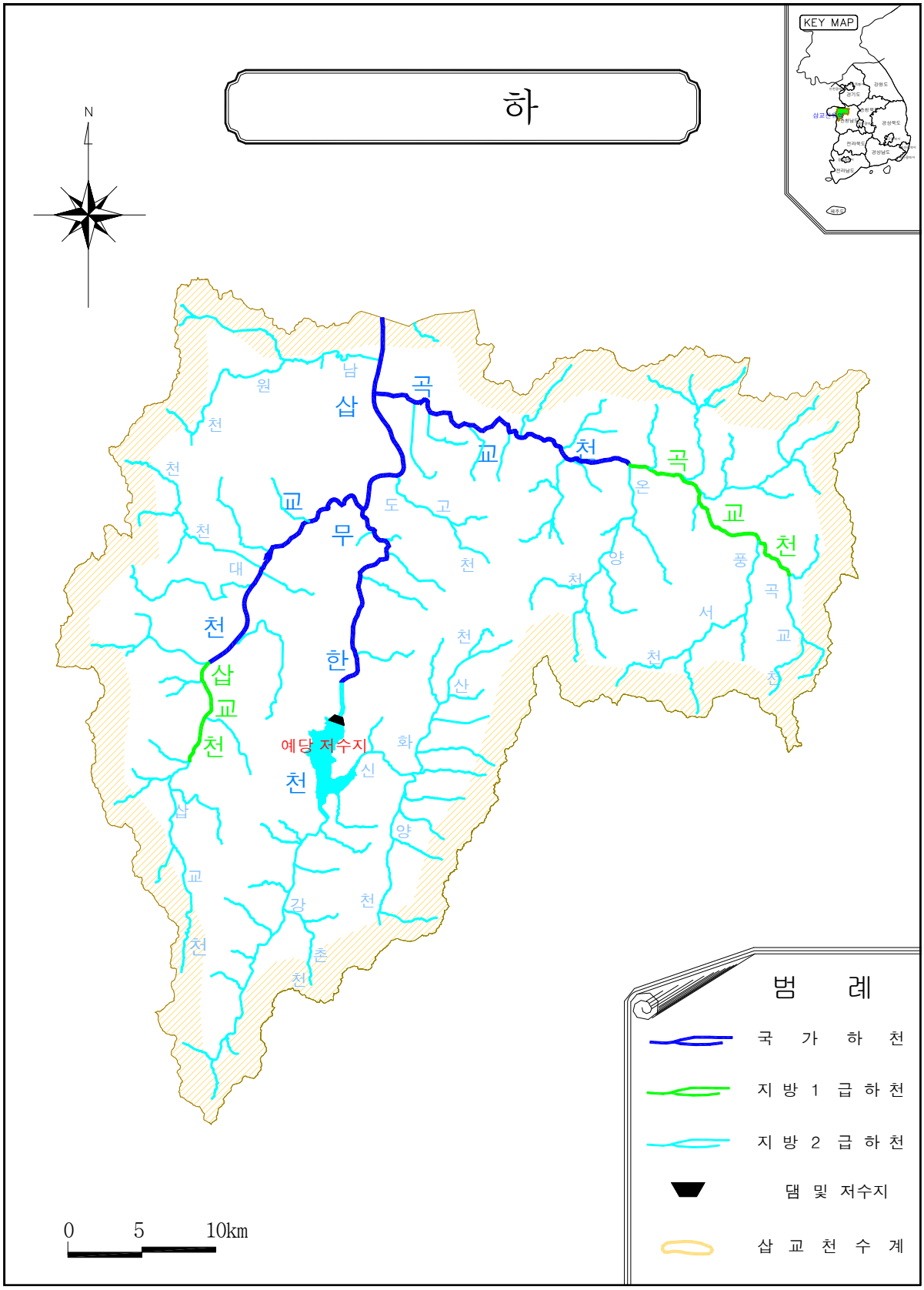
삽교천 수계의 하천현황은 <표 2.5>에서 보는바와 같이 수계 전체로는 삽교천, 곡교천, 무한천 등 3개소의 국가하천이 있으며, 지방1급 하천이 2개소, 지방2급 하천이 96개소 등 총 101개소의 법정하천이 있다. 유로연장별로는 국가하천이 63.73km로 전체 유로연장의 10.28%를 차지하며, 지방1급 하천이 29.30km로 전체 4.73%, 지방2급 하천이

526.98km로 85.0%를 차지하고 있다. 무한천 유역의 경우 전체 34개 하천 중 국가하천이 1개소, 지방2급 하천이 33개소이며, 유로연장은 국가하천 13.24km, 지방2급 하천 171.77km이다.

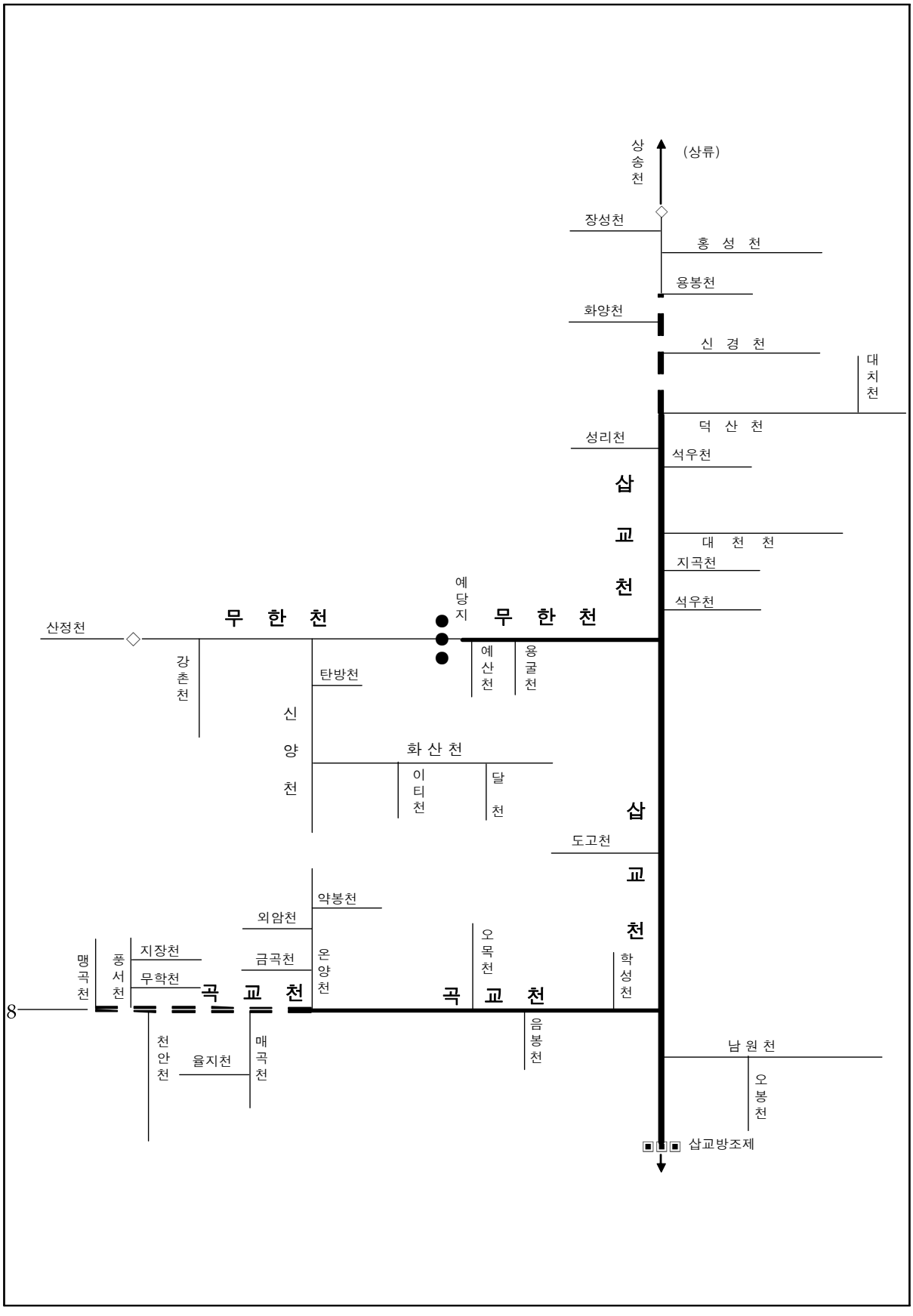
주요 수계별로는 곡교천 유역의 법정하천 연장이 217.6km로 곡교천과 무한천 유역을 제외한 삽교천 잔유역의 217.4km와 무한천 유역내 법정하천 연장 185.01km 보다 크고, 법정하천도 37개소로 가장 많이 분포하고 있다.

<표 2.5> 수계별 하천 현황

수계명	등 급	하천 개소수	하천 연장(km)
삽교천 수계 (전 체)	소 계	101	620.01
	국 가	3	63.73
	지 방 1	2	29.30
	지 방 2	96	526.98
삽교천 수계 (무한천, 곡교천 수계 제외)	소 계	30	217.40
	국 가	1	31.90
	지 방 1	1	8.80
	지 방 2	28	176.70
곡교천 수계	소 계	37	217.60
	국 가	1	18.59
	지 방 1	1	20.50
	지 방 2	35	178.51
무한천 수계	소 계	34	185.01
	국 가	1	13.24
	지 방 1	-	-
	지 방 2	33	171.77



<그림 2.1> 삽교천 수계 하천망도



<그림 2.2> 삽교천 수계 하천모식도

(2) 수계와 유역의 특성

삽교천 수계의 가장 큰 특징은 삽교호 방조제 약 5km 상류에서 삽교천의 지류인 곡교천이 합류하고, 그 10km 상류에서 무한천이 합류하여 전체 유역에서 발생한 홍수가 하류부에 집중되어 유출된다는 점이다. 특히 각 하천별로는 수계형상이 수지상이며, 유역의 형태가 형상계수 0.2 정도의 장방형으로 홍수가 일시에 하천으로 집중되지 않아 장시간 홍수위가 지속되는 유출양상을 보이는 반면 하류부에서 유로연장과 유역면적이 유사한 3개 하천이 합류함으로써 이 지점을 중심으로 급격히 첨두홍수가 증가하여 수위가 상승하고 수위지속기간 또한 상류에서 지속적으로 유하하는 홍수로 인해 장시간 지속될 가능성이 있다.

즉 삽교천 수계를 구성하는 주요 하천인 삽교천, 곡교천, 무한천은 개개 하천별로는 수지상의 수계형상을 보이지만 삽교천 유역 전체로 볼 때는 홍수가 하류부에 일시에 집중되는 방사상 수계형상으로 변화하여 첨두홍수가 급격히 증가하고 수위 또한 오래 지속되는 치수적으로 가장 불리한 형태를 보이고 있다.

더불어 무한천 유역의 경우 유역내에서 유일하게 홍수조절용량 10.2백만㎥을 갖춘 예당지가 무한천의 중상류에 위치하고 있으나, 예당지 상류의 수계가 방사상으로 발달하여 무한천 및 지류인 신양천과 화산천의 홍수가 동시에 유입하므로 장기간의 강우가 발생하면 단시간내에 홍수조절공간이 만수되고 그 이후에는 홍수조절이 불가능하게 되는 불리함이 있다.

다른 특징으로는 무한천의 유로연장이 삽교천과의 합류부를 기준으로 47.73km에 달해 본류인 삽교천의 유로연장 43.86km보다 길고 유역면적도 471.80㎢로 삽교천의 면적 429.91㎢보다 크다. 또한 삽교방조제를 기준으로 한 유로연장은 63.17km로 곡교천의 유로연장 56.17km보다 길고 유역전체를 기준으로 한 위치도 서쪽에 치우진 삽교천이나 북동쪽에 치우진 곡교천에 비해 유역의 중심부에 위치하며, 홍수시 예당지의 방류량이 하류부의 유출특성에 큰 영향을 미치므로 실질적으로는 삽교천의 본류로 봐도 무방할 것으로 판단된다.

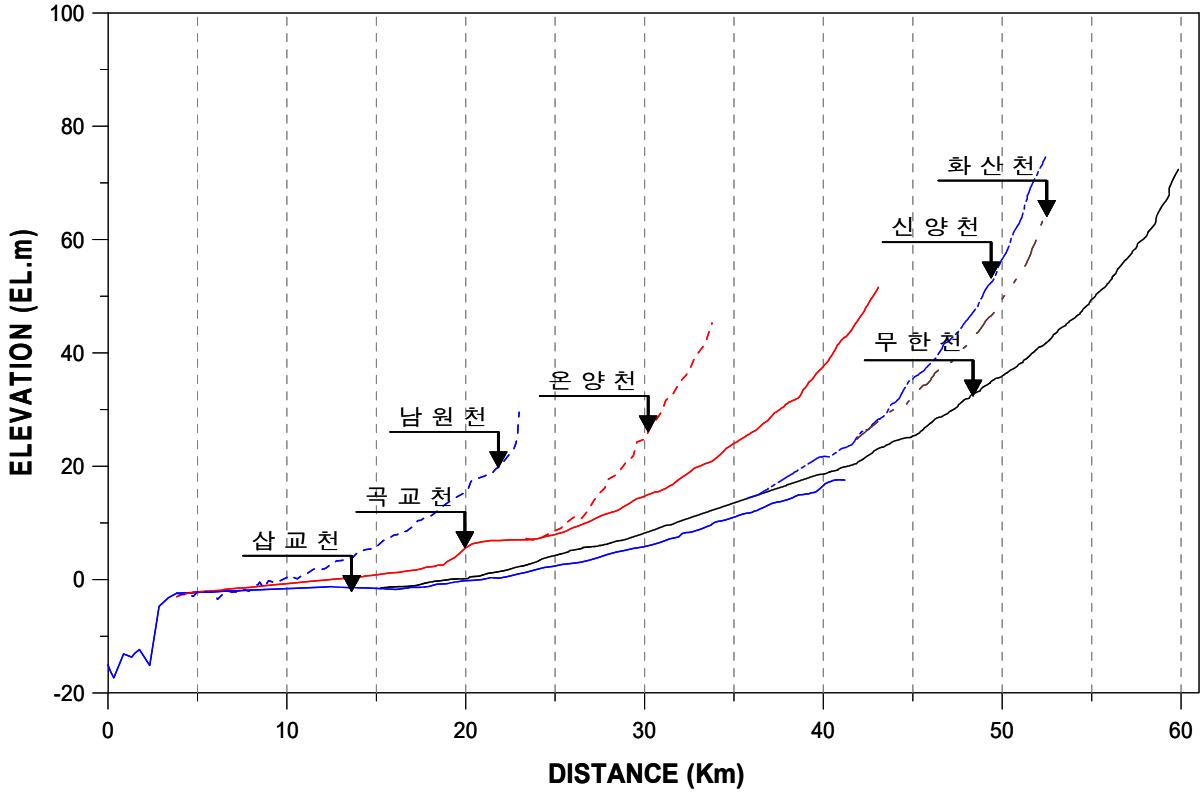
(3) 하상경사

삽교천 수계내 주요 하천의 하상경사는 동고서저한 지형특성에 따라 유역의 서쪽에 위치한 삽교천의 경사가 가장 완만하고 동쪽에 위치한 곡교천의 경사가 가장 급하다. 무한천은 삽교천 보다는 다소 가파르지만 곡교천 보다는 완만하다.

삽교천 유역내 고지대는 주로 유역의 남동부인 무한천과 곡교천 중상류 사이에 분포하고 있는데 이 지역에 위치한 무한천의 주요 지류인 신양천과 화산천의 하상경사를 비

교하면 지류인 화산천의 경사가 본류인 신양천보다 완만하다. 따라서 합류점을 기준으로 유역면적과 유로연장이 비슷한 신양천과 화산천 유역에서 동시에 홍수가 발생할 경우 합류부에서 신양천의 유세가 우세하여 화산천의 홍수배제가 상대적으로 지장을 크게 받을 것으로 예상된다.

삽교천 수계 주요하천의 하상경사를 포함한 하도특성은 후술할 '3.2 하도특성 및 하상변동 분석'에서 보다 상세히 분석하였다.



<그림 2.3> 삽교천 수계내 주요하천의 하상경사 비교

2.1.2 기상현황

가. 기후

한반도의 중서부에 위치한 삽교천 유역은 한반도의 전반적인 기후특성과 같이 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 비교적 뚜렷하게 나타나며, 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조한 반면 여름철에는 고온 다습한 북태평양 가장자리에 들어 무더운 날씨를 보이고 있다. 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많다.

삽교천 유역의 연 평균기온은 약 11℃로 우리나라 평균기온인 10~16℃와 비슷하며, 가장 무더운 달인 8월의 평균기온은 약 24℃, 평균최고기온은 28~29℃이고, 5월은 15~20℃, 10월은 12~13℃, 가장 추운달인 1월의 경우 평균기온은 -2~-1℃, 평균최저기온은 -7.5~-5.2℃ 정도이다.

연 강수량은 관측소별로 1,100~1,300mm의 분포를 보이며 유역의 북서쪽과 남동쪽 외곽의 강수량이 많은 반면 유역 중심부의 강수량은 상대적으로 적은 경향을 보이고 있다. 유역평균은 1,178.9mm로 우리나라 연평균 강우량인 1,283mm(수자원장기종합계획, 2000, 건교부)보다 약 100mm 정도 적지만 연 강수량의 약 70%가 6월에서 9월까지의 우기에 집중되어 발생한다. 바람은 겨울에 북서풍, 여름에는 남서풍이 강하며, 계절에 따른 풍계가 뚜렷이 나타난다. 9월과 10월은 바람이 비교적 약하나, 유역의 서쪽 해안에 가까운 지역에서는 해륙풍의 영향을 받고 있다.

습도는 7월과 8월이 높아서 80% 정도이며 연중 3월과 4월을 제외하고는 70% 이상으로 다습한 편이다. 장마는 6월 중순 후반에 제주도 지방으로부터 시작하여 6월 하순 초반에 점차 중부지방에 이르게 되며, 장마기간은 대략 30일 정도이다. 태풍은 북태평양 서부에서 연중 28개 정도가 발생하여 이중 2~3개가 우리나라에 직·간접적으로 영향을 주는데 '95년 이후로 삽교천 유역에 큰 피해를 유발한 태풍은 없었던 것으로 조사되었다.

나. 기상

2004년 현재 삽교천 유역내에 위치한 기상관측소로는 천안관측소가 유일하나 유역의 동쪽에 치우쳐 있어 삽교천 유역 전체의 기상특성을 대표하기에는 적합하지 않다. 따라서 유역 인근에 위치한 서산, 보령, 부여 등 3개 관측소를 포함하여 기상분석을 실시하여 삽교천 유역의 기상특성을 검토하였다. 이들 4개 관측소의 자료 중 '95년 이전의 자료는 한국건설기술연구원의 수문자료 데이터베이스를, 96년~2002년까지의 자료는 기상청 자료를 이용하여 분석하였으며, 분석대상 항목은 기온, 증발량, 풍속, 풍향, 습도 등

16개 항목이다.

<표 2.6> 분석대상 기상관측소 제원

관측소	관측개시	북 위 Lat.(m)	동 경 Long.(m)	H (m)	Hb (m)	ht (m)	ha (m)	hr (m)	비 고
서 산	1968. 1	36°46′	126°30′	25.9	26.9	1.4	20.2	0.5	유역외
천 안	1971. 1	36°47′	127°07′	24.9	26.1	1.5	22.0	0.5	유역내
보 령	1971. 12	36°19′	126°34′	15.3	17.0	1.5	22.0	0.5	유역외
부 여	1971. 1	36°16′	126°55′	11.3	13.6	1.5	10.0	0.5	〃

【주】 H : 노장의 해발높이 (Height of observation field above mean sea level)
Hb : 수은기압계 해발높이 (Height of observation field above mean sea level)
ht : 온도계의 지상높이 (Height of observation field above the ground)
ha : 풍속계의 지상높이 (Height of observation field above the ground)
hr : 우량계의 지상높이 (Height of observation field above the ground)

본 절에서는 16개 관측 항목 중 기온, 상대습도, 풍향 및 풍속에 대해서만 기술하였는데 그 결과 서해안에 인접한 서산, 보령 관측소의 기상특성과 상대적으로 내륙에 위치한 천안, 부여 관측소의 기상특성이 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이들 관측소의 중간에 위치한 삽교천 유역의 서측은 해양성기후의 특징을, 동측은 대륙성 기후에 가까운 특징을 보일 것으로 추정된다.

강우량과 관련해서는 금회 과업과 관련하여 특히 중요한 사항이므로 다음절에 별도로 기술하였다. 기타 항목에 대한 분석결과는 부록에 수록하였다.

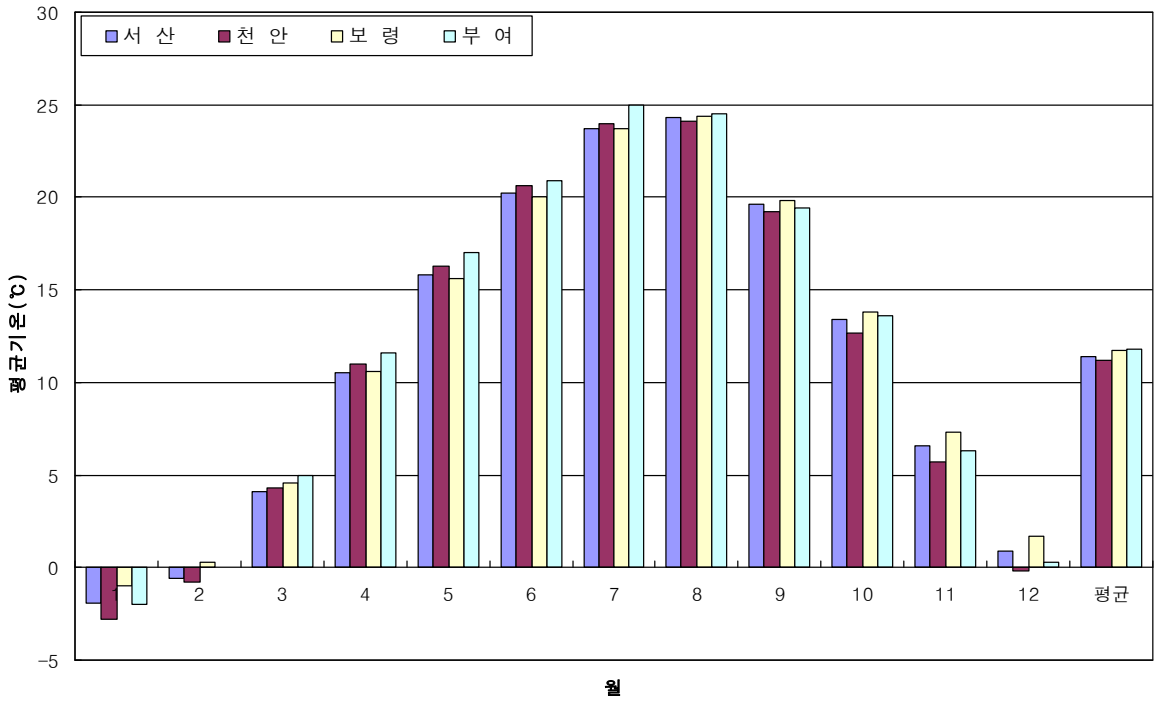
(1) 기온

삽교천 유역내 각 관측소별 기온 분포는 <표 2.7>, <그림 2.4>에서 보는 바와 같이 평균기온은 관측소별로 11.2~11.8℃의 분포를 보이며, 평균최고기온은 28.6~29.7℃, 평균최저기온은 -7.5~-5.2℃로 전반적으로 비슷한 분포를 나타내고 있다. 그러나 천안 및 부여 관측소의 경우 여름철은 서산 및 보령 관측소와 비슷한 분포를 나타내고 있으나 겨울철로 갈수록 평균최고기온은 다소 높은데 비해 평균기온 및 평균최저기온이 조금씩 떨어져서 일교차가 큰 특징을 보이고 있는데 이는 천안 및 부여 관측소가 서산 및 보령 관측소에 비해 내륙에 위치하고 있는데 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

<표 2.7> 기상관측소별 월 평균기온 비교

(단위 : ℃)

월	서 산			천 안			보 령			부 여		
	평균	평균 최고	평균 최저	평균	평균 최고	평균 최저	평균	평균 최고	평균 최저	평균	평균 최고	평균 최저
1	-1.9	2.8	-5.9	-2.8	2.2	-7.5	-1.0	3.5	-5.2	-2.0	3.7	-7.0
2	-0.6	4.5	-4.8	-0.8	4.5	-5.7	0.3	5.2	-4.2	-0.0	6.2	-5.3
3	4.1	9.8	-0.8	4.3	10.4	-1.2	4.6	10.0	-0.4	5.0	11.9	-1.0
4	10.5	16.7	5.0	11.0	17.8	4.6	10.6	16.3	5.0	11.6	19.0	4.9
5	15.8	21.4	10.9	16.3	22.7	10.3	15.6	20.9	10.5	17.0	23.8	11.0
6	20.2	25.3	16.0	20.6	26.1	15.7	20.0	24.6	15.8	20.9	26.4	16.2
7	23.7	27.6	20.7	24.0	28.5	20.2	23.7	27.5	20.5	25.0	29.7	21.4
8	24.3	28.7	20.8	24.1	29.0	20.1	24.4	28.6	20.7	24.5	29.5	20.6
9	19.6	25.0	15.1	19.2	25.0	14.1	19.8	25.0	15.1	19.4	25.7	11.4
10	13.4	19.6	8.1	12.7	19.3	6.9	13.8	19.7	8.5	13.6	21.2	7.6
11	6.6	12.2	2.1	5.7	11.6	0.6	7.3	12.5	2.6	6.3	13.1	0.8
12	0.9	5.8	-3.3	-0.2	5.0	-4.9	1.7	6.3	-2.5	0.3	6.2	-4.4
평균	11.4	16.6	7.0	11.2	16.9	6.1	11.7	16.7	7.2	11.8	18.0	6.6



<그림 2.4> 기상관측소별 월 평균기온 비교

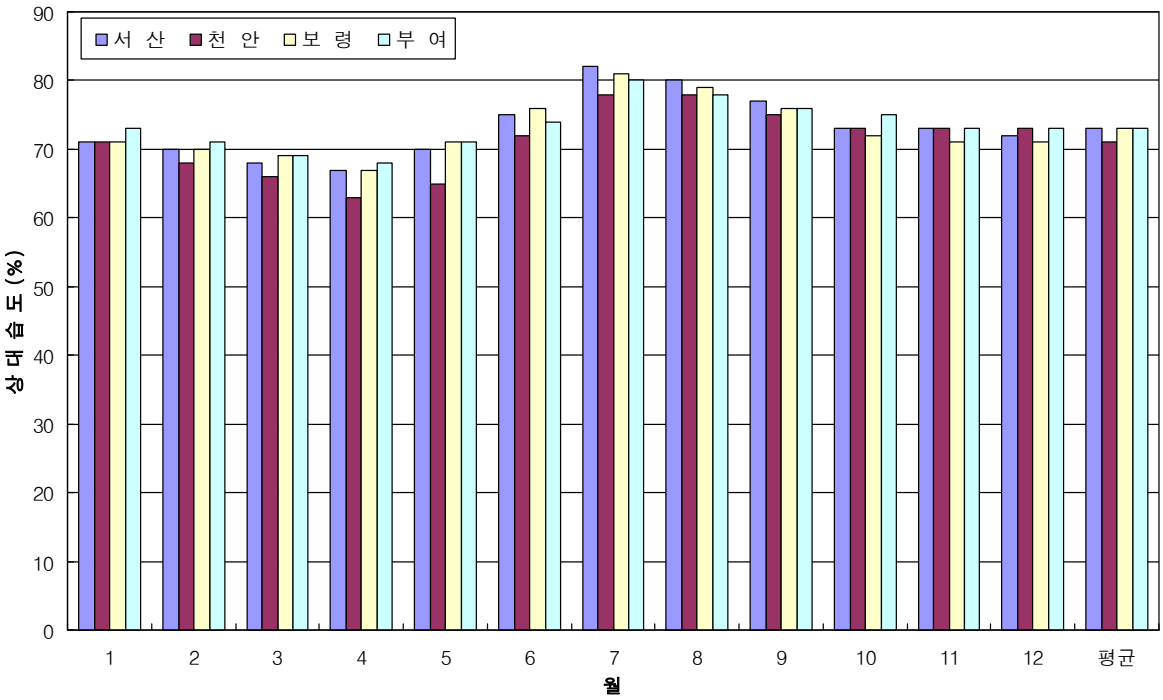
(2) 상대습도

삽교천 유역의 연평균 상대습도는 유역 전반에 걸쳐 71%~73%로 분포로 비교적 고른 분포를 보이고 있으며, 계절적으로도 다습기인 6, 7, 8, 9월에 비해 건조기인 2, 3, 4월에 다소 낮지만 대체로 계절적인 편차가 거의 없이 연중 고른 것으로 나타났다. 다만, 내륙에 위치한 천안관측소의 경우 다른 관측소에 비해 낮은 값을 보이고 있는데그 차이는 매우 미미하다. 각 관측소별 월평균 상대 습도의 분포는 <표 2.8> 및 <그림 2.5>와 같다.

<표 2.8> 기상관측소별 월 상대습도 비교

(단위 : %)

월	서 산	천 안	보 령	부 여
1	71	71	71	73
2	70	68	70	71
3	68	66	69	69
4	67	63	67	68
5	70	65	71	71
6	75	72	76	74
7	82	78	81	80
8	80	78	79	78
9	77	75	76	76
10	73	73	72	75
11	73	73	71	73
12	72	73	71	73
평균	73	71	73	73



<그림 2.5> 기상관측소별 월 상대습도 비교

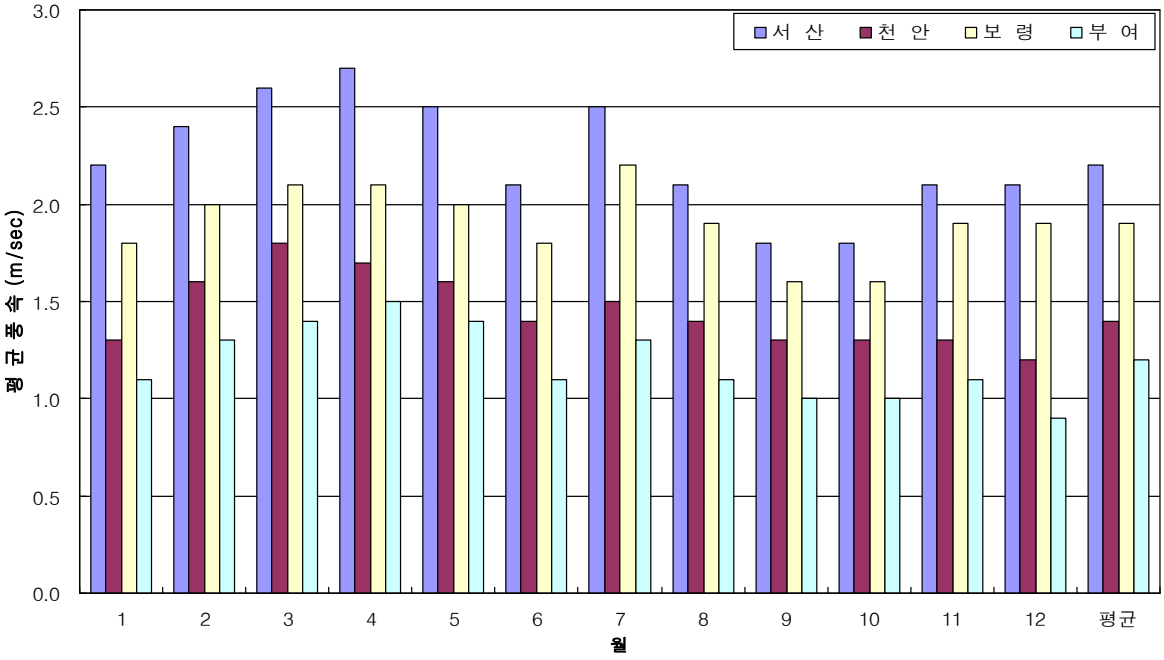
(3) 풍속 및 풍향

분석대상 4개 관측소 지점의 풍향은 남, 남동, 남서풍 등 대체로 남향이 우세하며 풍속은 해안가에 위치한 서산 관측소의 평균풍속이 2.2m/s로 가장 빠르게 나타났고, 보령 관측소 1.9m/s, 천안 관측소 1.4m/s, 부여 관측소 1.2m/s 순으로 나타났다. 최대풍속 역시 서산 관측소가 22.5m/s로 최대를 나타났으며 다음으로 부여, 보령, 천안 관측소 순으로 나타났다. 각 관측소의 풍속 및 풍향을 분석한 결과는 <표 2.9> 및 <그림 2.6>과 같다.

<표 2.9> 기상관측소별 풍향 및 풍속 비교

(단위 : m/sec)

월	서 산			천 안			보 령			부 여		
	평균	최대	풍향	평균	최대	풍향	평균	최대	풍향	평균	최대	풍향
1	2.2	15.3	WNW	1.3	14.4	NW	1.8	12.5	SSW	1.1	10.5	W
2	2.4	15.5	NW	1.6	10.9	WNW	2	15.6	S	1.3	11.5	NW
3	2.6	20.0	WSW	1.8	12.2	W	2.1	15.8	SSE	1.4	10.5	S
4	2.7	16.7	SW	1.7	14.0	W	2.1	17.0	SW	1.5	13.0	SSW
5	2.5	18.3	SSW	1.6	10.7	SW	2	15.5	S	1.4	12.0	WSW
6	2.1	16.7	SW	1.4	9.0	SE	1.8	16.0	SE	1.1	11.8	SSW
7	2.5	17.0	S	1.5	10.6	ENE	2.2	17.0	NNE	1.3	9.5	SSW
8	2.1	22.5	S	1.4	15.8	S	1.9	18.7	SW	1.1	19.6	SEW
9	1.8	17.1	SSW	1.3	11.8	SW	1.6	16.0	SSW	1.0	11.5	SSW
10	1.8	15.7	N	1.3	10.3	WNW	1.6	16.5	NW	1.0	11.0	WNW
11	2.1	16.8	WSW	1.3	10.5	W	1.9	17.7	NNW	1.1	10.0	SSW
12	2.1	17.0	W	1.2	11.5	NW	1.9	13.5	W	0.9	13.0	NW
평균	2.2	%.,	S	1.4	%.,	S	1.9	%.,	SW	1.2	%.,	SE



<그림 2.6> 기상관측소별 풍향 및 풍속 비교

다. 강우

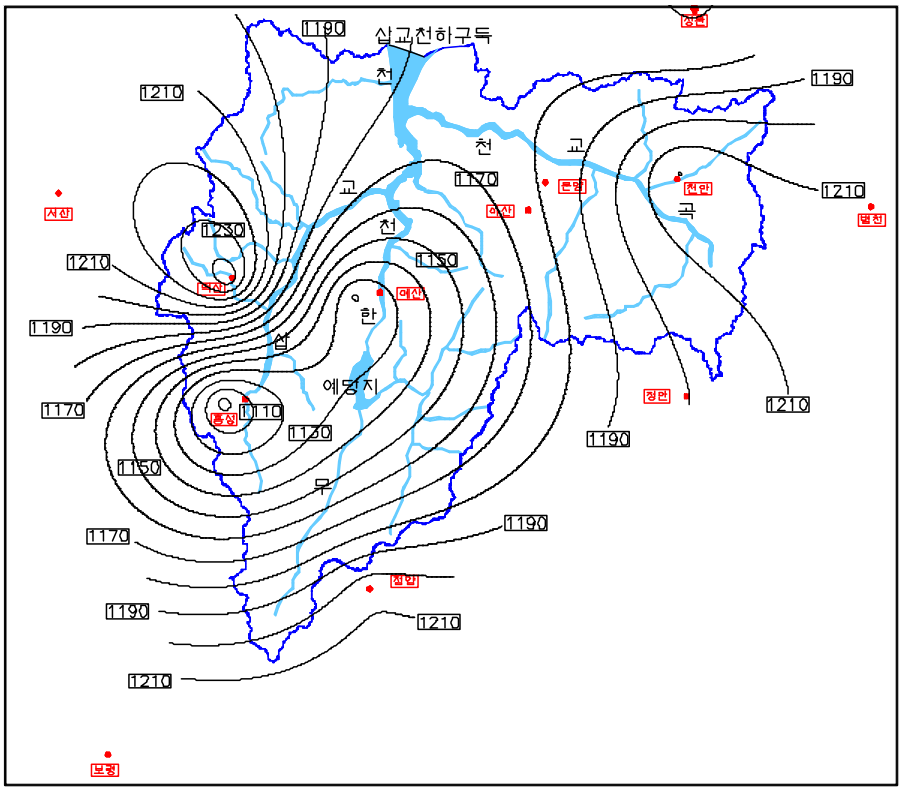
삽교천 유역의 연평균 강우량은 2002년 기준으로 전국평균에 비해 약 100mm 적은 1,178.9mm로 지역적으로 비교적 비가 적게 내리는 지역임을 알 수 있다. 그러나 홍수기인 6월에서 9월까지의 강우량이 연강우량의 약 70%에 달해 홍수기에 집중되는 경향이 큰 것으로 나타났다.

지역적으로는 삽교천의 주요 지류인 대천천과 효교천이 위치한 유역의 서부과 무한천 상류 및 곡교천 상류지역인 유역의 남동부의 강우량이 크며, 유역의 중심부에 해당하는 홍성, 예산, 천안 지역의 강우량이 상대적으로 작다. 이러한 성향은 홍수기와 비홍수기 모두 동일하게 나타났는데 특히 홍성 관측소의 연평균 강우량은 1,096.4mm로 유역평균보다 100mm 가까이 작은 것으로 조사되었다.

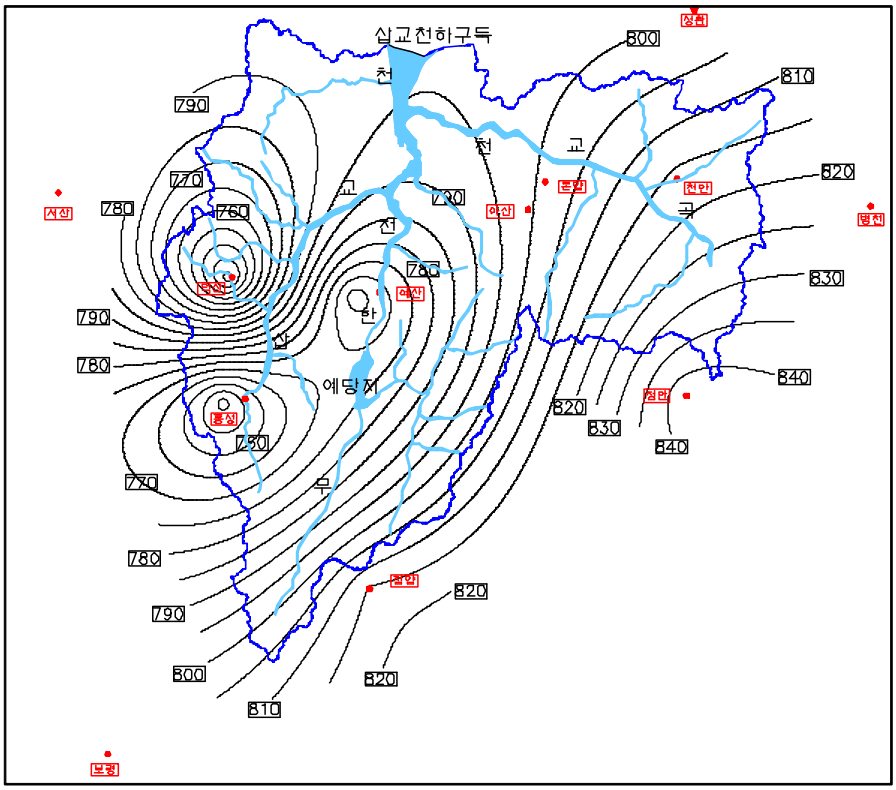
전술한 기상청 관할 관측소 뿐만 아니라 비교적 장기간의 관측기록을 보유한 유역내에 위치한 건교부 관할 관측소 지점을 포함한 기간별 평균강우량은 다음과 같다.

<표 2.10> 관측소별 기간별 강우량 비교

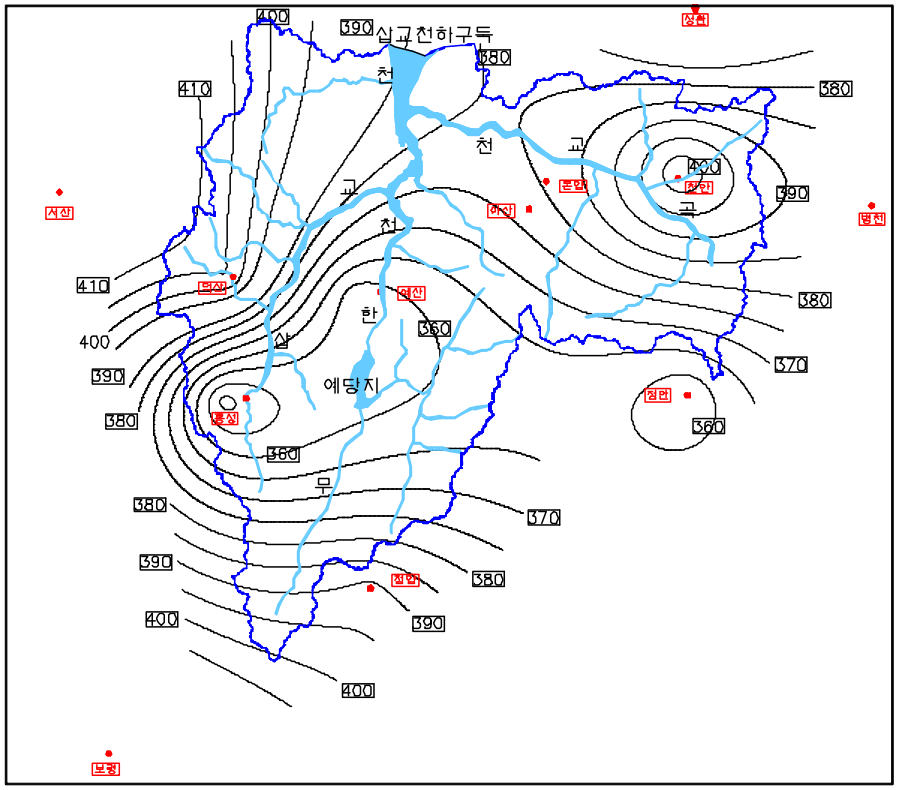
구분	홍성	청양	예산	덕산	정안	병천	성환	서산	천안	보령	부여
1월	21.4	25.7	24.0	26.0	21.8	32.0	23.4	30.7	27.6	30.7	31.3
2월	29.0	28.6	25.0	25.9	27.0	30.0	27.5	27.6	27.8	28.5	33.3
3월	36.0	50.0	48.6	49.0	45.5	51.5	41.2	46.6	49.6	48.5	58.9
4월	76.2	72.9	67.3	81.7	67.9	69.3	67.4	82.7	76.2	82.1	91.4
5월	83.1	82.9	76.7	92.3	86.9	77.9	75.3	98.0	82.9	90.5	101.1
6월	123.1	150.6	128.6	155.0	155.0	159.4	133.7	131.5	139.5	138.8	160.1
7월	234.8	260.0	241.7	267.7	268.4	249.1	255.9	244.9	249.3	250.7	281.5
8월	271.5	270.5	269.5	279.5	289.5	280.5	279.8	280.3	303.8	298.2	276.0
9월	118.8	134.5	122.3	140.3	130.6	133.4	129.4	124.1	123.4	118.0	132.9
10월	42.1	50.6	49.6	53.2	46.6	51.6	50.6	54.7	55.6	55.6	61.9
11월	42.5	50.8	45.3	49.7	38.9	45.4	48.1	56.1	55.3	60.8	56.1
12월	17.8	30.0	20.3	26.7	21.3	30.5	24.1	32.7	29.3	31.7	29.7
홍수기	748.2	815.6	762.2	842.6	843.4	822.4	798.8	780.8	816.0	805.8	850.5
비홍수기	348.2	391.5	356.9	404.6	356.0	388.2	357.5	429.2	404.4	428.2	463.7
년간	1,096.4	1,207.1	1,119.1	1,247.2	1,199.4	1,210.6	1,156.3	1,210.0	1,220.4	1,234.0	1,314.1



<그림 2.7> 삽교천 유역 연평균강우의 등우선도



<그림 2.8> 삽교천 유역 홍수기(6월~9월) 강우의 등우선도



<그림 2.9> 삽교천 유역 비홍수기 강우의 등우선도

최근 20년간 삽교천 유역 및 주변 관측소에서 기록된 최대강우기록을 살펴보면 '87년 7월 21일부터 충청남도 일대에 발생한 집중호우에 의해 부여 관측소에서 기록된 1일, 2일, 3일 최대강우량이 가장 큰 값을 보이고 있다. 그러나 지속기간별로 순위 10위 이내에 포함된 강우기록의 대부분이 '95년 8월 23일~25일간 발생한 삽교천 유역 대홍수시에 기록된 것으로 이 당시의 강우가 얼마나 큰 규모였는지를 알 수 있다.

<표 2.11> 최근 20년간 지속시간별 최대강우 기록

구분	1일 최대			2일 최대			3일 최대			비 고
	강우량(mm)	관측소	일시	강우량(mm)	관측소	일시	강우량(mm)	관측소	일시	
1위	**517.6**	**부여**	**'87.7.22**	**570.0**	**부여**	**'87.7.21~22**	**605.2**	**부여**	**'87.7.21~23**	
2위	370.0	예산	'95.8.08	520.0	덕산	'95.8.23~24	589.0	보령	'95.8.23~25	
3위	361.5	보령	'95.8.25	499.5	홍성	'95.8.23~24	581.0	홍성	'95.8.23~25	
4위	324.0	홍성	'95.8.08	436.5	보령	'95.8.24~25	569.5	덕산	'95.8.23~24	
5위	313.0	병천	'90.9.11	388.8	서산	'95.8.23~24	490.0	청양	'95.8.23~25	
6위	307.0	덕산	'84.9.01	383.5	예산	'95.8.23~24	486.0	서산	'95.8.23~25	
7위	300.5	덕산	'95.8.23	369.0	덕산	'99.8.02~03	417.5	예산	'95.8.23~25	
8위	293.0	덕산	'99.8.02	364.0	청양	'95.8.24~25	408.0	성환	'95.8.23~25	
9위	285.0	성환	'95.8.19	355.0	성환	'95.8.23~24	396.0	천안	'95.8.23~25	
10위	273.5	천안	'95.8.09	351.0	덕산	'84.9.01~02	390.5	덕산	'84.8.31~9.2	

2.1.3 집중호우 및 태풍현황

우리나라의 자연재해는 90%이상이 태풍 및 집중호우에 의해 발생하며, 해일의 직접 영향권인 해안지방을 제외한 지역에서는 모든 자연재해가 집중호우나 태풍에 의해 발생한다고 할 수 있을 정도이다. 본 절에서는 우리나라의 자연재해에 가장 큰 영향을 미치는 집중호우 및 태풍 성향에 대해 살펴보고, 다음으로 삽교천 유역에 미치는 영향을 분석하였다.

가. 집중호우

집중호우란 좁은 지역에 많은 비가 집중하여 내리며 시간적 집중성과 공간적 집중성이 매우 강한 큰 비로서 다음과 같은 특성을 가진다.

- ○ 일반적으로 1시간 강우량 30㎜이상, 일강우량 100㎜이상의 많은 비
- ○ 단시간에 비교적 좁은 지역(보통 10~20㎢ 정도)에 집중적으로 쏟아짐
- ○ 강우현상은 20~30분에서 2~3시간 주기의 강약의 변동을 보임
- ○ 급격한 상승기류에 형성되는 뇌운(적란운)에서 매우 짧은 시간에 천둥, 번개와 함께 집중적으로 쏟아짐
- ○ 태풍, 장마전선, 대규모 저기압에 동반되어 2~3일간 계속될 경우에 많은 비로 인해 홍수 및 산사태가 유발됨

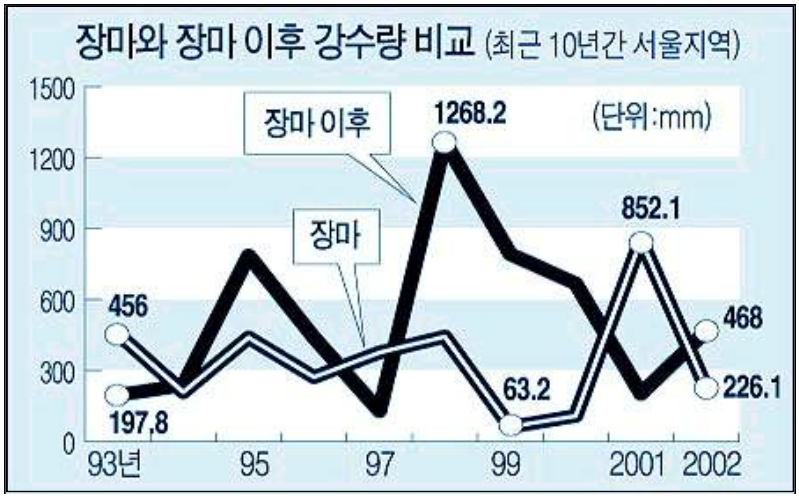
우리나라의 집중호우 특성은 1시간 이내의 강우량 극값이 저기압, 전선에 의해 발생되는 경우가 많으며, 1일 이상의 강우량 극값은 태풍이나 장마전선에 의해 발생되는 경우가 많다. 그러나 최근에는 장마기간에 강우가 많지 않은 반면, 장마가 끝난 후 국지성 호우가 자주 발생하는 호우특성을 보이고 있다.

<표 2.12> 최근 장마 후 호우 발생 현황(기상청 자료)

년도	장마기간 (최초~최종)	장마 후 호우		
		호우 기간	주 강수지역	전국평균강수량(㎜)
1998	6.12~7.28	7.31~8.18	전국	449.0㎜
1999	6.17~7.20	7.27~8.4	중북부, 남해안	323.1㎜
2000	6.16~7.19	7.22~7.23	중서부	82.1㎜
2002	6.23~7.24	8.4~8.15	전국	399.4㎜

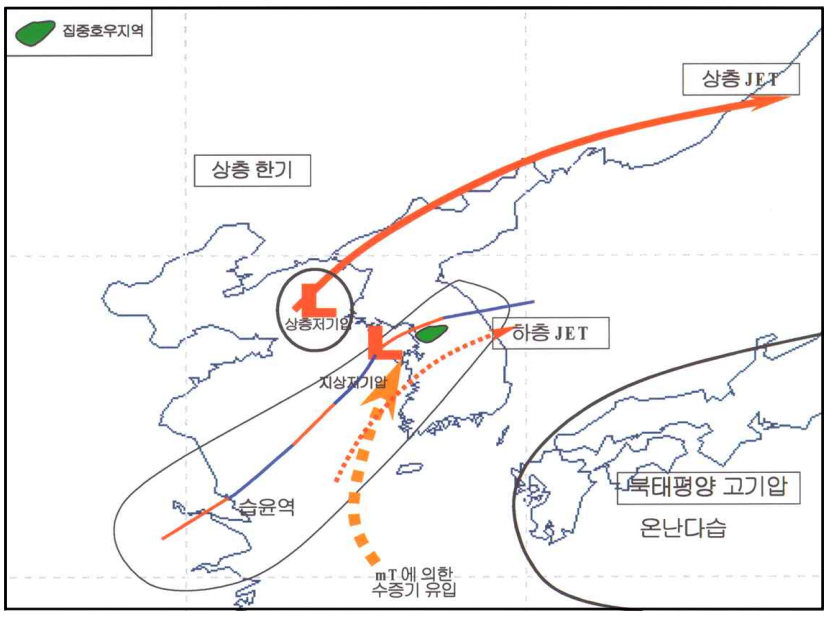
이러한 장마후 호우특성은 최근 중국 북부내륙지역에서 고온경향이 지속되면서 우리나라 기후에 영향을 미쳐 장마기간에는 중국 내륙에서 접근하는 따뜻하고 건조한 성질을 가진 대륙기단의 영향으로 장마가 소강상태일 때가 많고 강수량이 많지 않은 반면,

북태평양 고기압의 확장으로 수증기의 양이 증가하는 7월 하순 이후에는 북쪽으로부터 찬공기가 남하하여 우리나라 부근의 기층이 불안정해짐으로 인해 국지성 호우형태의 비가 자주 내린 것으로 보고 있다.

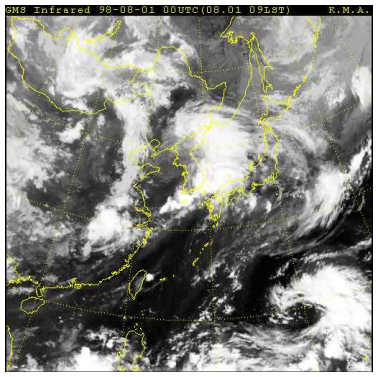


<그림 2.10> 장마와 장마이후 강수량 비교

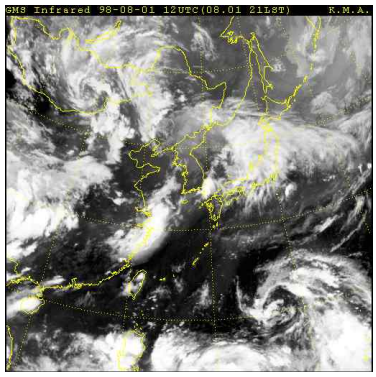
이와 같은 집중호우의 특징을 잘 나타내고 있는 '98년 7.31~8.10일간의 호우를 살펴보면 8월 1일 12:00시 이후 중국으로부터 비구름대가 유입되고, 8월5일 00:00시 이후 열대성 저기압이 중국으로 상륙하면서 그 영향으로 비구름대가 지속적으로 한반도로 유입됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 90년대 중반이후 우리나라에 큰 피해를 일으켰던 국지성 집중호우의 일반적인 특징으로 장마전선 및 태풍의 영향으로 인해 비구름대가 생성된 상태에서 북측의 차가운 기운과 남측의 온난 다습한 고기압의 영향으로 인해 제트기류가 형성되고 이어 가늘고 강한 비구름이 형성되어 큰 피해를 일으키고 있다.



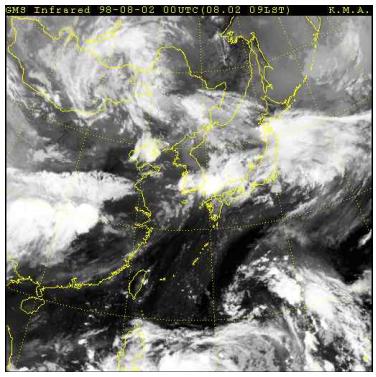
<그림 2.11> 한반도 집중호우 모식도



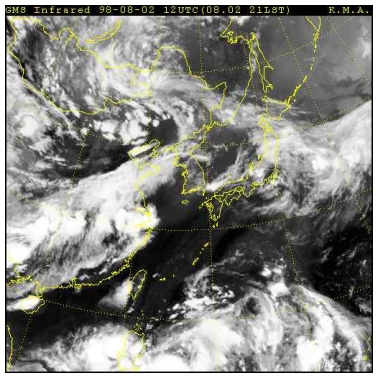
'98. 8. 1. 00:00



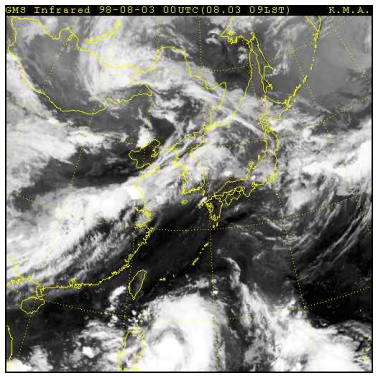
'98. 8. 1. 12:00



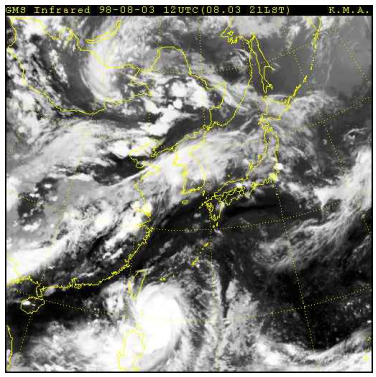
'98. 8. 2. 00:00



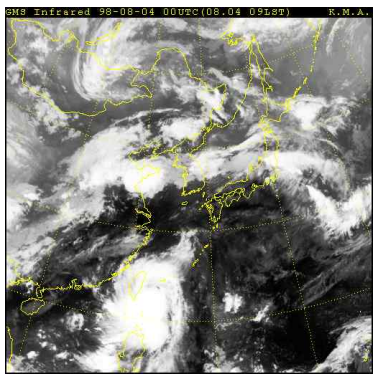
'98. 8. 2. 12:00



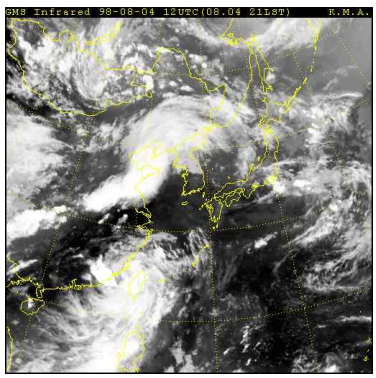
'98. 8. 3. 00:00



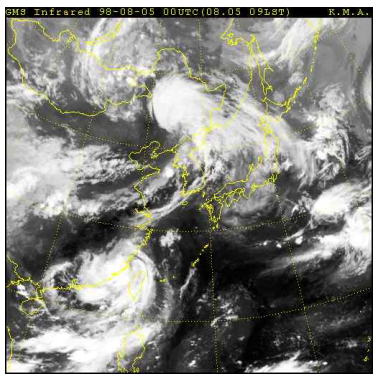
'98. 8. 3. 12:00



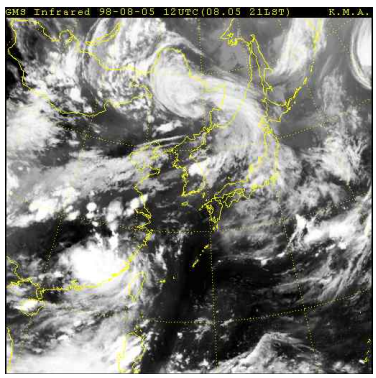
'98. 8. 4. 00:00



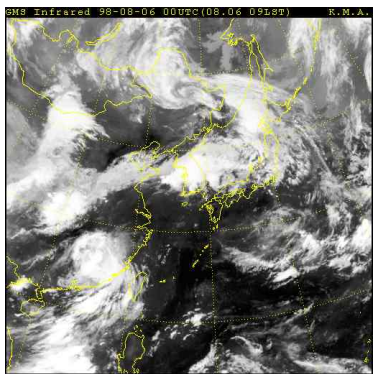
'98. 8. 4. 12:00



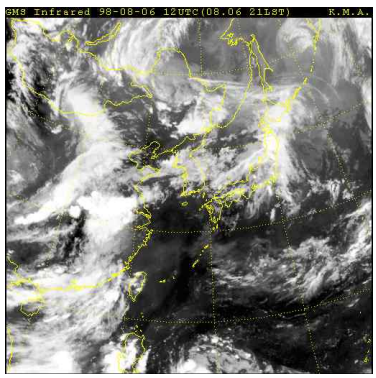
'98. 8. 5. 00:00



'98. 8. 5. 12:00

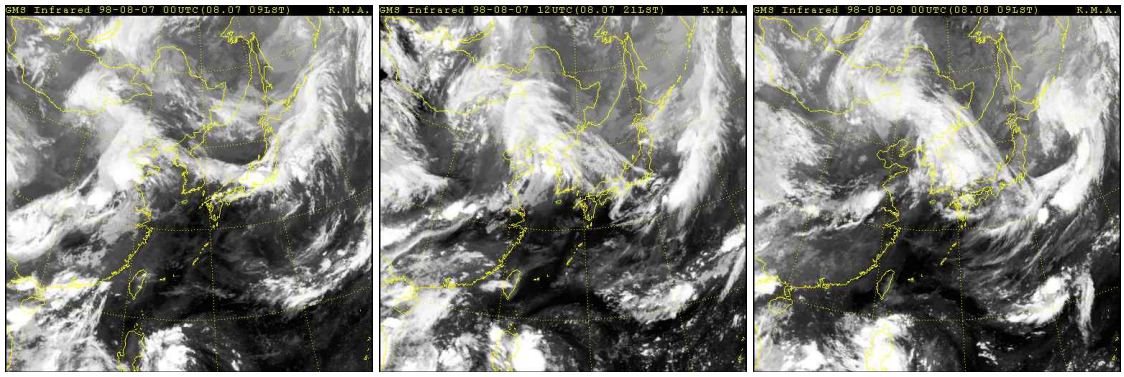


'98. 8. 6. 00:00

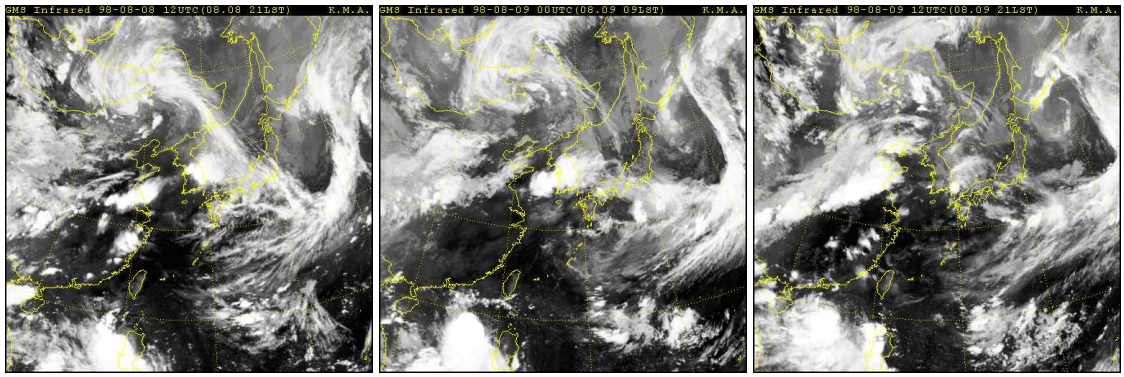


'98. 8. 6. 12:00

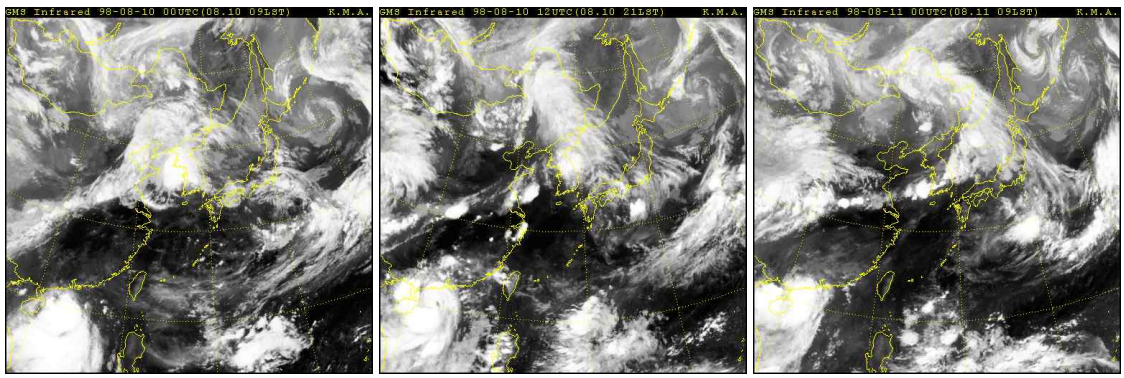
<그림 2.12> '98년 8.1~8.11 호우기간 위성사진



‘98. 8. 7. 00:00 ‘98. 8. 7. 12:00 ‘98. 8. 8. 00:00



‘98. 8. 8. 12:00 ‘98. 8. 9. 00:00 ‘98. 8. 9. 12:00



‘98. 8. 10. 00:00 ‘98. 8. 10. 12:00 ‘98. 8. 11. 00:00

<그림 2.12> ‘98년 8.1～8.11 호우기간 위성사진 (계속)

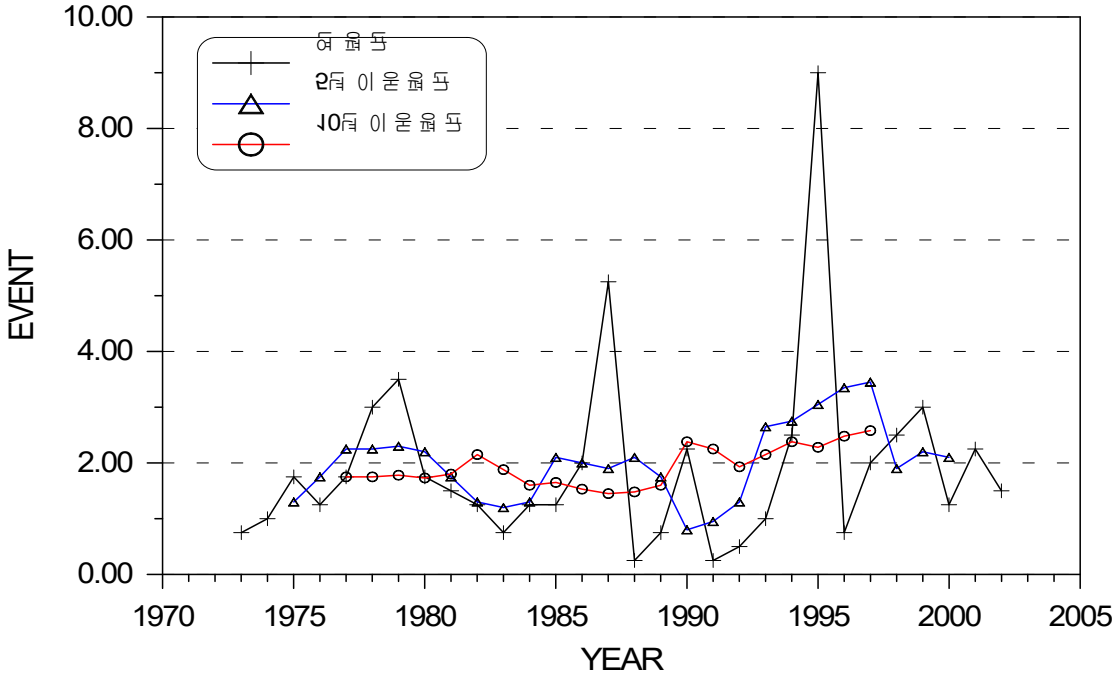
강우에 의한 피해는 대부분 집중호우 상황에서 발생하므로 장마후 집중호우 성향이 근래 들어 증가하고 있음은 치수적으로 그만큼 부담이 증가한다고 할 수 있다.

이러한 집중호우의 발생빈도가 삽교천 유역에서는 어떠한 성향을 보이는지를 분석하기 위해 서산, 부여, 보령 등 4개 기상관측소의 최근 30년간 강우기록을 분석한 결과 1시간에 30mm 이상의 집중호우는 연평균 1.93회, 3시간에 50mm 이상의 집중호우는 연평균 2.32회, 1일 100mm 이상의 집중호우는 1.31회로 대략 1년에 1～2회의 집중호우가 발생하며 ‘95년에는 1시간 및 3시간 집중호우가 연평균의 5배 정도인 9.0회와 10.25회 발생한 것으로 나타났다.

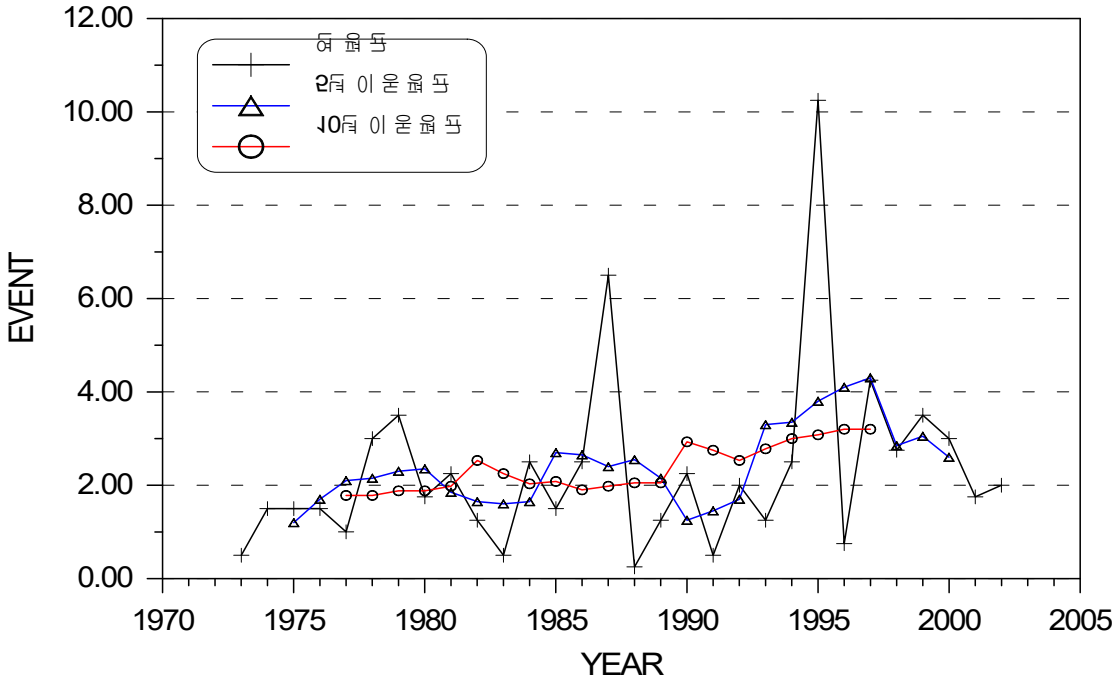
<표 2.13> 삽교천 주변 관측소의 집중호우 발생성향 분석

연 도	1시간 30mm이상					3시간 50mm이상					1일 100mm이상				
	서산	보령	천안	부여	평균	서산	보령	천안	부여	평균	서산	보령	천안	부여	평균
1973	2	0	1	0	0.75	0	0	1	1	0.50	0	0	0	1	0.25
1974	3	1	0	0	1.00	3	1	1	1	1.50	3	2	1	0	1.50
1975	1	4	0	2	1.75	0	4	0	2	1.50	0	1	0	0	0.25
1976	0	0	4	1	1.25	0	0	4	2	1.50	0	0	2	1	0.75
1977	1	3	2	1	1.75	1	0	2	1	1.00	1	0	2	1	1.00
1978	4	3	3	2	3.00	4	2	4	2	3.00	2	0	2	0	1.00
1979	1	7	3	3	3.50	1	7	3	3	3.50	0	2	1	2	1.25
1980	4	0	3	0	1.75	2	1	3	1	1.75	0	1	1	2	1.00
1981	2	2	0	2	1.50	2	3	0	4	2.25	2	1	0	2	1.25
1982	1	1	1	2	1.25	1	1	1	2	1.25	1	0	1	2	1.00
1983	1	2	0	0	0.75	1	1	0	0	0.50	1	1	0	0	0.50
1984	1	2	1	1	1.25	2	4	2	2	2.50	3	2	2	1	2.00
1985	0	4	0	1	1.25	0	2	0	4	1.50	0	1	0	1	0.50
1986	0	1	5	2	2.00	0	3	5	2	2.50	0	2	2	1	1.25
1987	0	7	4	10	5.25	2	8	5	11	6.50	1	4	2	3	2.50
1988	0	0	0	1	0.25	0	0	0	1	0.25	0	0	0	0	0.00
1989	0	1	0	2	0.75	1	2	0	2	1.25	1	3	0	3	1.75
1990	3	3	1	2	2.25	5	2	1	1	2.25	3	0	1	0	1.00
1991	0	0	0	1	0.25	0	1	0	1	0.50	1	0	0	0	0.25
1992	0	1	0	1	0.50	1	4	2	1	2.00	2	2	1	1	1.50
1993	0	2	1	1	1.00	0	3	1	1	1.25	0	0	1	1	0.50
1994	1	3	5	1	2.50	3	5	2	0	2.50	1	3	3	0	1.75
1995	7	12	8	9	9.00	9	14	10	8	10.25	3	4	4	3	3.50
1996	0	1	1	1	0.75	0	1	1	1	0.75	0	0	0	0	0.00
1997	1	2	2	3	2.00	3	6	4	4	4.25	2	4	3	4	3.25
1998	2	3	1	4	2.50	2	2	2	5	2.75	2	0	1	3	1.50
1999	2	2	3	5	3.00	8	3	1	2	3.50	4	2	1	3	2.50
2000	0	2	1	2	1.25	3	5	2	2	3.00	3	6	1	3	3.25
2001	2	4	2	1	2.25	2	3	1	1	1.75	1	1	1	1	1.00
2002	2	0	3	1	1.50	2	1	4	1	2.00	3	1	1	1	1.50
평균	1.37	2.43	1.83	2.07	1.93	1.93	2.97	2.07	2.30	2.32	1.33	1.43	1.13	1.33	1.31

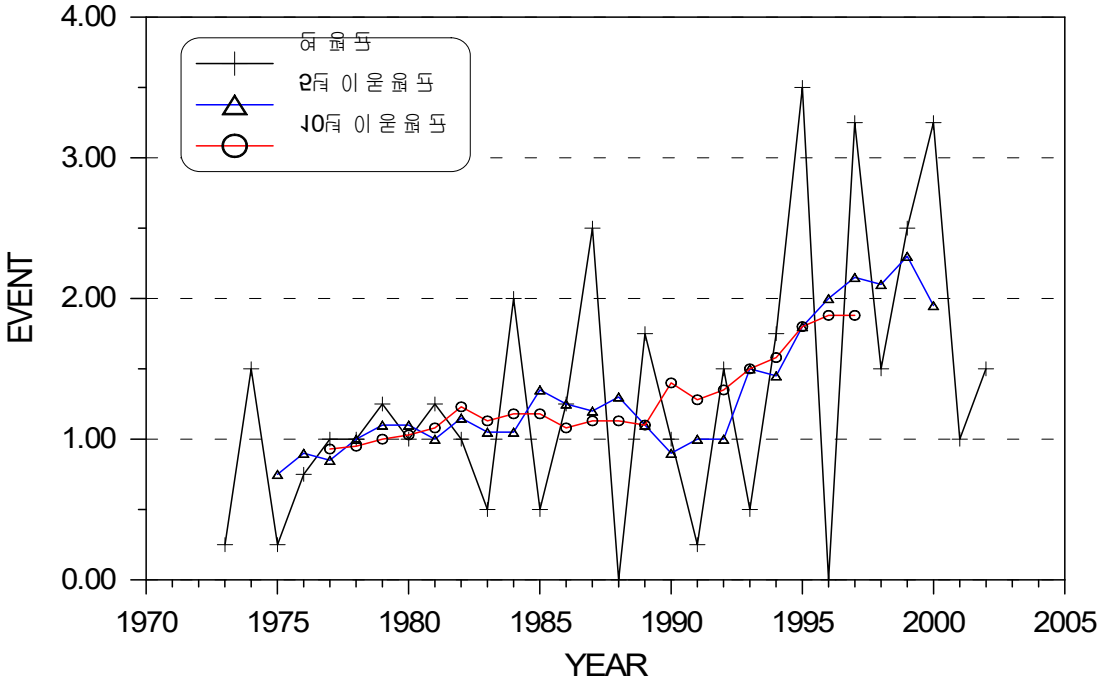
집중호우 발생빈도의 경년변화 추이를 분석하기 위해 4개 관측소의 집중호우 평균발생빈도와 그 5년 및 10년 이동평균을 비교한 결과 1시간 및 3시간 집중호우는 대략 10년을 주기로 증가와 감소를 반복하지만 점차 증가하는 경향을 보이고 있으며 1일 100mm 이상의 집중호우는 관측기간 동안 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 특히 이러한 추세는 '90년대 중반이후 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다.



<그림 2.13> 1시간 집중호우의 평균발생빈도



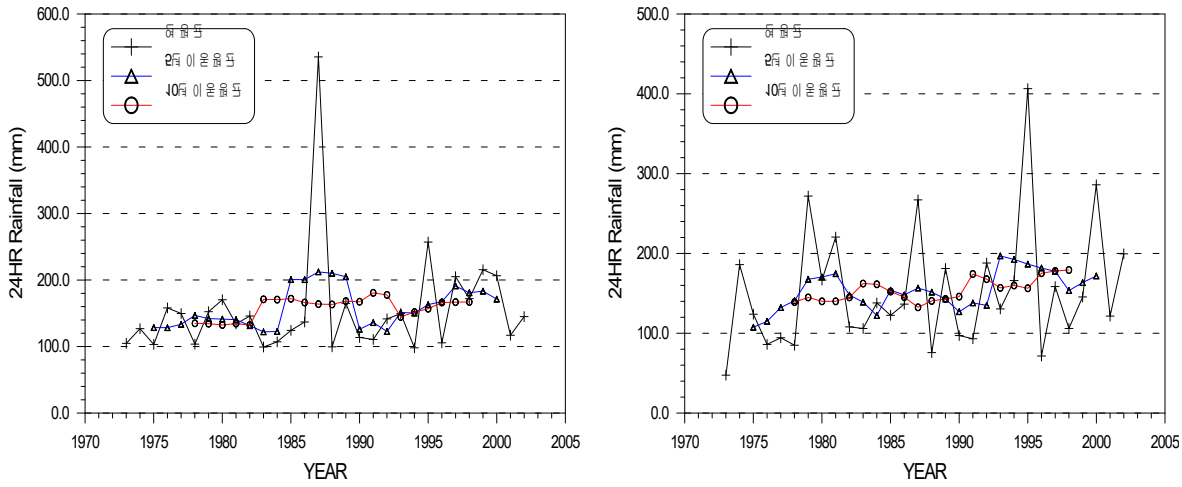
<그림 2.14> 3시간 집중호우의 평균발생빈도



<그림 2.15> 1일 집중호우(100mm 이상)의 평균발생빈도

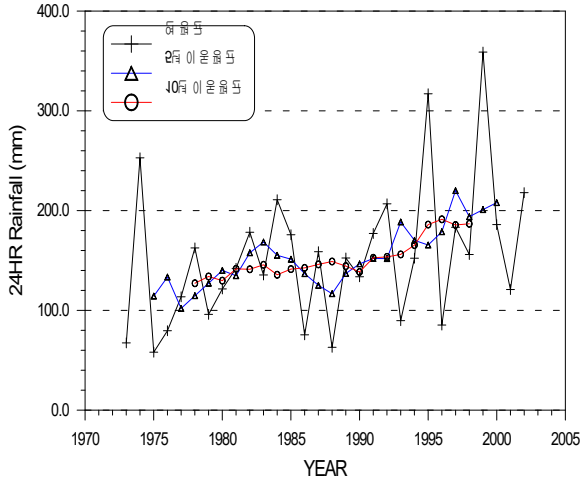
집중호우 발생빈도의 경년변화와 더불어 강우의 양적인 변화를 파악하기 위해 동일한 방법으로 24시간지속 최대 및 연강수량에 대한 분석을 실시하였다.

분석대상으로 24시간지속 최대강우를 선정한 것은 현재 일반적인 하천정비기본계획의 기준이 되는 강우로 하천 및 유역에 실질적으로 피해를 유발하는 단기강우의 변동성향을 고찰하기 위함이며, 연간 강수량은 전반적인 강우특성 변화를 분석하고자 선택하였다. 각 관측소별 24시간지속 최대와 연강수량의 경년변화 양상은 <표 2.14> 및 <그림 2.16>, <그림 2.17>과 같다.

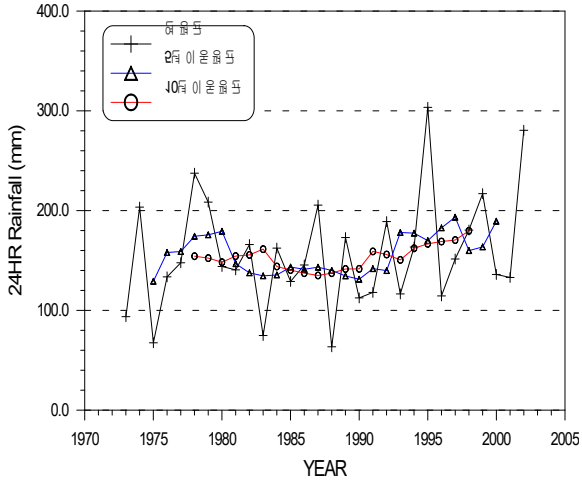


부여관측소 보령관측소

<그림 2.16> 관측소별 24시간 최대강우량의 경년변화 비교

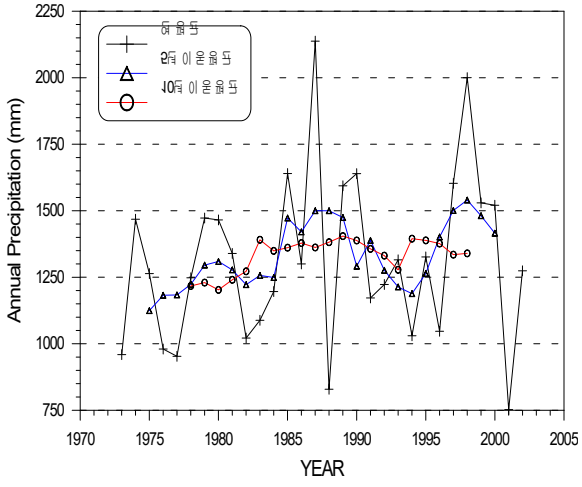


서산관측소

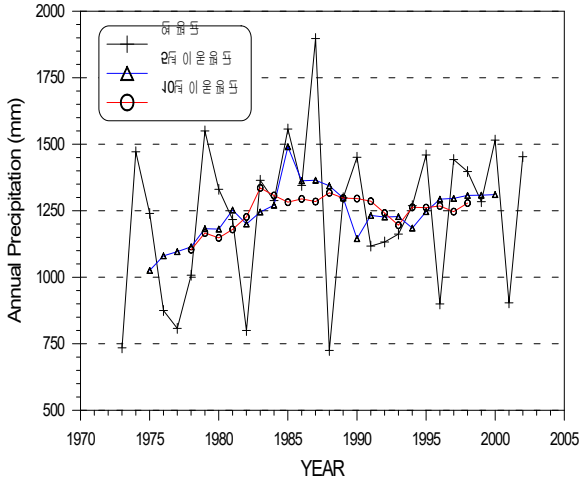


천안관측소

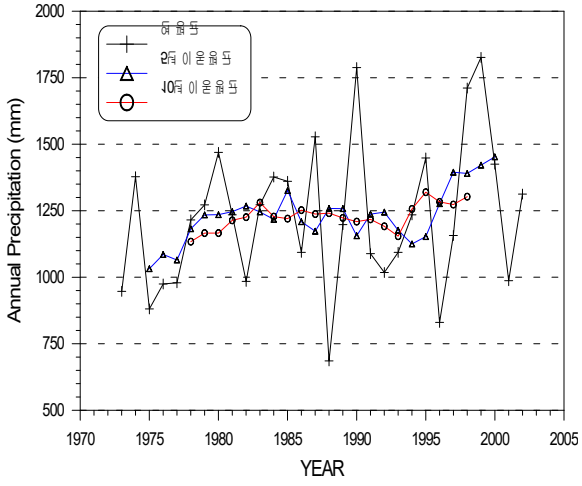
<그림 2.16> 관측소별 24시간 최대강우량의 경년변화 비교 (계속)



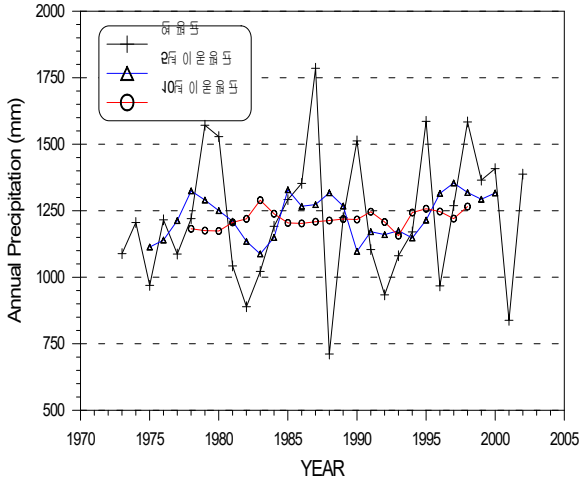
부여관측소



보령관측소



서산관측소



천안관측소

<그림 2.17> 관측소별 연강수량의 경년변화 비교

24시간지속 연최대강우량의 변화성향은 서산 관측소에서 현저하게 증가 추세에 있음을 보여주고 있는 반면, 다른 관측소에서는 서산 관측소 만큼 뚜렷한 성향을 찾아보기 힘들다. 다만 천안 관측소에서 '80년대 후반에서 '90년대 초반까지는 감소하다가 '90년대 후반부터 다시 증가하는 성향을 보여주고 있으며, 24시간지속 최대강우량 계열의 1, 2위 값이 부여 관측소를 제외하면 모두 '95년 이후에 발생하였고, 부여 관측소의 경우도 87년에 발생한 '24시간 지속강우의 최대값 535.5mm 다음의 2, 3위 값이 '95년 이후에 발생한 점이 주목할 만하다.

연강수량의 경우 눈에 띄는 변화추세는 찾아보기 어려우며 '88년의 가뭄이후 경년변화가 심해지면서 양적으로는 다소 증가하고 있는 것으로 보이지만 주목할 만한 수준은 아닌 것으로 판단된다.

이상의 분석 결과 삽교천 유역에 발생한 강수량의 양적인 변화는 명확히 드러나지 않지만, 집중호우 성향은 근래 들어 점차 증가하는 것으로 판단되며, 결국 이러한 변화는 치수측면에서 부담으로 작용하게 될 것이다.

<표 2.14> 삽교천 유역 주변 관측소별·연도별 24시간 및 연강수량

단위 : mm

년도	부 여		보 령		서 산		천 안	
	24HR	연강수량	24HR	연강수량	24HR	연강수량	24HR	연강수량
1973	104.8	958.9	47.4	734.4	67.4	946.7	93.7	1,088.6
1974	126.9	1,467.9	185.9	1,471.6	252.9	1,377.8	203.5	1,205.4
1975	103.2	1,263.4	123.8	1,239.8	58.1	880.7	67.5	969.4
1976	158.1	980.0	86.0	874.9	79.6	974.6	133.6	1,215.8
1977	149.7	952.6	94.3	807.7	113.6	979.1	147.7	1,087.0
1978	103.6	1,247.8	84.9	1,007.6	162.6	1,215.5	237.5	1,220.2
1979	152.3	1,472.3	271.8	1,549.7	96.0	1,272.1	208.5	1,571.2
1980	170.4	1,465.3	166.6	1,330.6	121.5	1,469.3	144.0	1,528.5
1981	134.0	1,339.3	220.5	1,216.8	142.1	1,234.3	140.6	1,042.4
1982	145.9	1,021.4	108.0	800.0	178.3	984.2	166.0	889.2
1983	99.3	1,088.1	106.0	1,364.2	135.5	1,272.3	74.8	1,021.9
1984	107.0	1,196.0	138.0	1,287.9	210.9	1,376.4	162.4	1,191.4
1985	124.3	1,639.7	122.5	1,556.8	175.8	1,360.3	129.0	1,292.0
1986	136.9	1,300.1	136.4	1,344.9	75.5	1,093.6	145.5	1,352.6
1987	535.5	2,137.5	267.1	1,897.5	158.8	1,527.8	205.5	1,785.8
1988	99.5	828.8	75.7	725.0	63.0	685.6	63.5	711.5

<표 2.14> 삽교천 유역 주변 관측소별·연도별 24시간 및 연강수량 (계속)

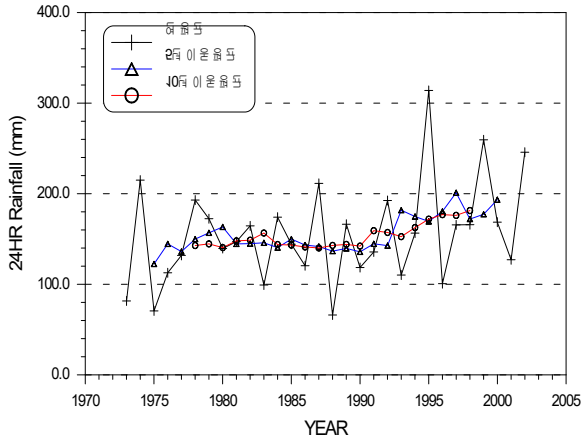
단위 : mm

년도	부 여		보 령		서 산		천 안	
	24HR	연강수량	24HR	연강수량	24HR	연강수량	24HR	연강수량
1989	165.0	1,593.6	181.1	1,298.5	152.5	1,197.7	173.0	1,223.7
1990	113.6	1,639.4	97.1	1,451.0	133.7	1,788.3	112.5	1,512.5
1991	110.6	1,172.0	93.1	1,116.9	177.1	1,088.6	118.0	1,104.0
1992	141.5	1,222.6	188.0	1,132.3	206.8	1,017.6	189.0	933.6
1993	149.5	1,315.2	130.5	1,162.1	89.7	1,093.6	116.5	1,080.7
1994	98.0	1,029.8	166.0	1,269.0	152.3	1,234.5	163.5	1,170.2
1995	257.0	1,326.2	406.5	1,459.5	317.1	1,448.3	303.5	1,586.0
1996	105.5	1,046.7	71.5	899.6	85.3	830.1	114.5	967.5
1997	205.0	1,602.9	158.5	1,442.3	183.3	1,156.9	151.5	1,268.8
1998	172.0	2,000.3	106.0	1,397.2	156.0	1,711.6	180.5	1,583.7
1999	215.5	1,529.6	145.5	1,284.1	358.9	1,826.6	217.0	1,365.1
2000	206.5	1,520.6	286.0	1,515.4	186.0	1,424.8	136.0	1,408.1
2001	117.0	752.6	121.5	903.7	120.9	986.8	133.0	838.2
2002	145.0	1,274.0	199.5	1,453.2	218.0	1,387.6	280.5	1,312.5
평균	155.1	1,312.8	152.9	1,233.1	154.3	1,228.1	157.1	1,217.6

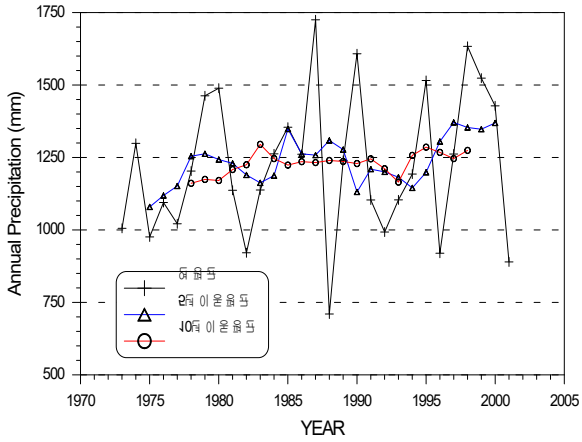
삽교천 유역에 대한 보다 자세한 분석을 위해 유역내 또는 인근에 위치하고 30년 이상 관측기록을 보유하고 있는 건교부관할 관측소의 기록을 추가하여 삽교천 유역의 연도별 유역평균 24시간지속 최대강우량과 연강수량을 산정하여 경년변화를 검토하였다. 그 결과 24시간지속 연최대강우량은 90년대부터 약간의 증가추세를 보이고 있으나 연강수량의 변화는 상대적으로 특별한 변화성향을 보이지 않고 있다.

강우에 의한 피해가 주로 단기간에 집중되는 호우에 의해 발생하며, 일반적인 하천의 계획대상 강우량이 24시간지속 최대강우량인 것을 감안할 때 이러한 집중호우의 발생빈도와 양적인 증가추세는 장기적인 치수계획 수립에 있어 향후 증가가 예상되는 강우량에 대한 고려가 필요함을 보여주고 있다.

그러나 이러한 성향이 일시적인 현상이거나 증감을 반복하는 주기성을 갖고 있는 상태에서 일시적인 상승국면에 있는지는 장기적인 관측을 통해 자료를 보완하여 신중히 검토하여야 할 것이다.



24시간지속 최대강우량



연강수량

<그림 2.18> 삽교천 유역 평균강우량의 경년변화

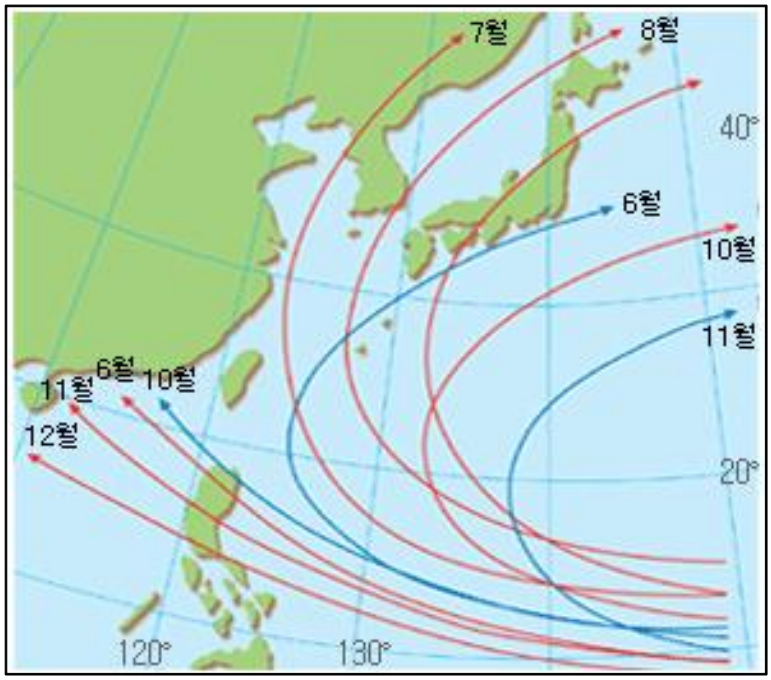
나. 태풍 발생특성 및 주요 경로

여름철에 발생하는 태풍은 북태평양고기압을 오른쪽에 두고 그 고기압의 가장 자리를 따라 이동한다. 따라서 북태평양고기압이 어디에 위치하고 그 세력이 어떻게 변하는가에 따라 태풍의 이동 방향과 속도가 바뀌게 된다. 열대성 저기압에서 발달한 태풍은 처음에는 편동풍 지역에서 천천히 서북서쪽으로 이동하다가 편서풍 지역에 도달하면 진행방향을 북동쪽으로 바꾸기 시작한다. 중위도 편서풍대에 접근하게 되면 이동 속도가 바뀌면서 점차 빨라지는데, 이때의 진로 예측이 가장 어렵다.

태풍은 해수면 온도가 낮은 지역까지 올라오면 그 세력이 약해진다. 육지에 상륙할 경우에는 더 많은 수증기를 공급받지 못하는데다가 지면마찰 등의 영향이 더해져 빠른 속도로 약화되면서 결국 소멸하게 된다.

태풍은 일반적으로 포물선 모양의 궤적을 그리며 이동하지만 어떤 경우는 지그재그 모양으로 움직이는가 하면, 제자리에 얼마 동안 서 있기도 하고, 고리 모양의 원을 그리기도 해서 그 진로를 예측하기 어렵게 만든다.

태풍의 진로는 계절별로 조금씩 달라지는데 여름철인 7월에서 9월 사이에 필리핀 북단에서 시작하여 일본 오키나와 남쪽을 거쳐 우리나라 남부지방으로 상륙한다. 일반적으로 7월경에는 서해를 거슬러 올라가 중부지방으로 상륙하며, 9월로 갈수록 중국대륙에 대륙성 고기압이 발달하면서 점차 그 경로가 남쪽으로 남하하여 남부지방으로 상륙한 후 동해안으로 이동하여 소멸한다.



<그림 2.19> 우리나라 주변 태풍의 이동경로

삽교천 유역에 최근 20년간 피해를 발생시킨 태풍은 8개로 조사되었는데 이중 '87년에 발생한 'Vernon'과 '95년에 발생한 'Janis'는 호우를 동반하여 삽교천 유역에 큰 피해를 입혔다. 그러나 태풍 자체로 인한 피해는 호우에 의한 피해에 비해 그리 크지 않으며 '95년의 'Janis' 이후로 현재까지 삽교천 유역에 큰 피해를 준 태풍은 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.15> 최근 20년간 삽교천 유역에 영향을 미친 태풍

년 도	명 칭	영 향 기 간	피해액 (천원)	비 고
1985	Lee	8.13 ~ 8.14	766,762	
1985	Brenda	10.5 ~ 10.7	2,023	
1986	Vera	8.28 ~ 8.29	280,388	
1987	Thelma	7.12 ~ 7.16	16,459	
1987	Vernon	7.21 ~ 7.23	8,159,955	
1990	Abe	9.1 ~ 9.2	407	
1993	Percy	7.29 ~ 7.30	24,261	
1994	Seth	10.10 ~ 10.12	1,691	
1995	Janis	8.19 ~ 8.30	52,278,081	

【주】 피해액은 2002년 가치환산 금액임.

2.2 인문・사회・경제 조사

2.2.1 행정구역 및 문화재 현황

가. 행정구역 현황

삽교천 유역은 충남 예산군 전체와 천안시, 아산시, 서산시, 연기군, 청양군, 홍성군, 당진군 일부 지역 등 3개시 5개군으로 구성되어 있으며, 곡교천 유역은 아산시, 천안시, 연기군 등 2개시 1개군으로 구성되어 있고 무한천 유역은 아산시, 예산군, 청양군, 홍성군 등 1개시 3개군으로 구성되어 있다. 읍・면별로는 삽교천 유역을 구성하는 3개시 5개군 관할 전체 85개 읍면 중 45개 읍면이 유역내에 위치하고 있는데 이 중 곡교천 유역에는 아산시 등에 속한 16개 읍・면이 포함되어 있고 무한천 유역은 아산시, 예산군, 청양군, 홍성군 관할 전체 45개 읍・면중 15개의 읍・면으로 구성되어 있다.

<표 2.16> 유역내 행정구역현황

하천명	시・군・구	읍・면			비 고
		개소수		읍・면명	
		전체	유역내		
삽교천 (전 체)	천안시	13	4	천안, 목천, 풍세, 광덕	
	아산시	12	10	염치, 송악, 배방, 탕정, 영인, 인주, 선장, 도고, 신창, 온양	
	서산시	11	1	운산	
	연기군	8	2	전의, 소정	
	청양군	10	4	청양, 운곡, 화성, 비봉	
	홍성군	11	6	홍성, 홍북, 금마, 홍동, 장곡, 광천	
	예산군	12	12	예산, 삽교, 대술, 신양, 광시, 대흥, 응봉, 덕산, 봉산, 고덕, 신암, 오가	
	당진군	12	6	합덕, 면천, 순성, 우강, 신평, 송악	
합 계	3개시 5개군	89	45	45개읍・면	
삽교천 (무한천, 곡교천 유역 제외)	아산시	12	3	선장, 도고, 인주	
	서산시	11	1	운산	
	홍성군	11	5	홍성, 홍북, 금마, 홍동, 장곡	
	예산군	12	8	삽교, 광시, 응봉, 덕산, 봉산, 고덕, 신암, 오가	
	당진군	12	6	합덕, 면천, 순성, 우강, 신평, 송악	
합 계	2개시 3개군	58	23	23개읍・면	

『자료』 각 시군별 통계연보

【주】 읍・면별 현황에서 시가지 구간의 경우 단일 읍・면으로 간주하여 산정함

<표 2.16> 유역내 행정구역현황 (계속)

하천명	시・군・구	읍・면			비 고
		개소수		읍・면명	
		전체	유역내		
곡교천	아산시	12	10	염치, 송악, 배방, 탕정, 음봉, 인주, 선장, 도고,신창, 아산	
	연기군	8	2	전의, 소강	
	천안시	13	4	목천, 풍세, 광덕, 천안	
합 계	2개시 1개군	33	16	16개읍・면	
무한천	아산시	12	2	선장, 도고	
	청양군	10	4	청양, 운곡, 화성, 비봉	
	홍성군	11	1	홍성, 홍북, 금마, 홍동, 장곡	
	예산군	12	8	예산, 대술, 신양, 광시, 대흥, 응봉, 신암, 오가	
합 계	1개시 3개군	45	15	15개읍・면	

『자료』 각 시군별 통계연보

【주】 읍・면별 현황에서 시가지 구간의 경우 단일 읍・면으로 간주하여 산정함

나. 문화재 현황

삽교천 유역내에는 총 71개소의 국가지정 문화재가 위치하고 있으며, 이중 유형문화재가 41개소로 가장 많고 중요민속자료가 14개소, 기념물이 13개소, 중요무형문화재가 3개소 있다. 도지정 문화재는 총 105개소로 기념물이 59개소로 가장 많고, 유형문화재가 30개소, 중요무형문화재가 10개소, 중요민속자료가 6개소가 있다. 특히 기념물의 경우 충남전체 기념물 15개소 중 13개소가 삽교천 유역내 또는 인접한 지역에 위치하고 있으며, 중요 무형문화재는 충남전체 4개 중 3개가 삽교천 유역에 위치해 있다.

시・군별로는 예산군이 총 38개소로 가장 많으며, 천안시가 29개소, 아산시가 27개소, 그 밖에 홍성군, 당진군 등의 순으로 나타났다. 문화재 종류별로는 국가지정 문화재 71개소 중 유형문화재 41개소, 중요민속자료 14개소, 기념물 13개소 및 기념물 3개소가 위치하고 있으며, 도지정 문화재로는 기념물이 59개소로 유역내 전체 도지정 문화재의 56%를 차지하여 가장 많고 다음으로 유형문화재, 중요무형문화재, 민속자료 등의 순으로 나타났다.

<표 2.17> 유역내 문화재 현황

구분 / 시군	합계	국가지정 문화재					도지정 문화재					비고
		소 계	유 형 문화재	기념물	중요무형 문 화 재	중요민속자료	소 계	유 형 문화재	기념물	중요무형 문 화 재	중요민속자료	
전국	7,357	2,932	2,140	434	115	243	4,425	2,221	1,567	318	319	
충남	521	194	155	15	4	20	327	135	144	33	15	
합계	176	71	41	13	3	14	105	30	59	10	6	
천안시	29	13	10	3	-	-	16	4	11	1	-	
아산시	27	14	5	3	-	6	13	2	7	1	3	
연기군	13	3	2	1	-	-	10	3	7	-	-	
청양군	22	10	9	-	-	1	12	5	4	3	-	
홍성군	26	9	4	2	-	3	17	3	8	3	3	
예산군	38	14	7	3	1	3	24	10	13	1	-	
당진군	21	8	4	1	2	1	13	3	9	1	-	

2.2.2 인구 현황

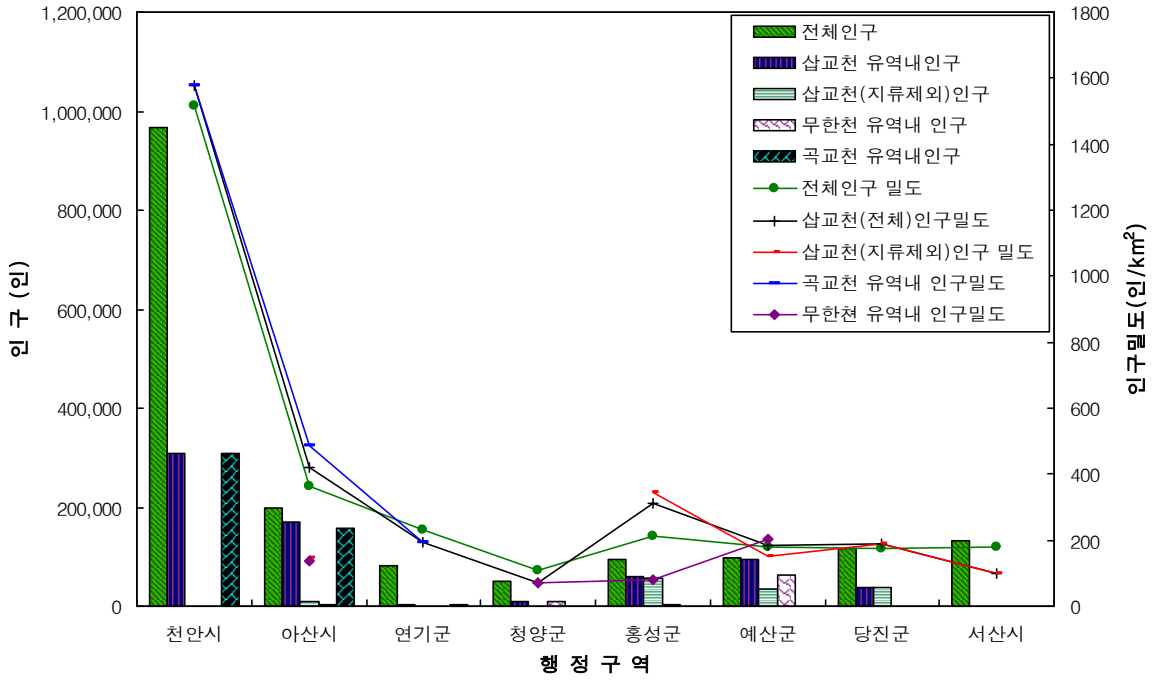
삽교천 유역의 인구는 <표 2.18> 및 <그림 2.20>에서 보는바와 같이 시군별로는 천안시가 309,359명으로 가장 많고 아산시, 예산군, 홍성군 등의 순으로 나타났다. 유역내 면적은 예산군이 가장 넓은 542.04㎢를 차지하는 반면 인구가 가장 많은 천안시는 195.84㎢에 불과하여 인구밀도로는 예산군 183인/㎢, 천안시 1,580인/㎢ 등 편차가 매우 심하다. 유역 전체로는 청양군의 인구밀도가 72인/㎢로 가장 작고 천안시가 가장 크며 특히 타 시, 군의 인구밀도가 400인/㎢ 이하인데 비해 천안시의 인구밀도는 3배 이상 높아 상대적으로 인구가 집중되어 있음을 알 수 있다.

<표 2.18> 시·군별 인구 현황

2004. 12월말 기준

행정구역	면적(㎢)		인구(인구)		인구밀도(인/㎢)	
	전 체	유역내	전 체	유역내	전 체	유역내
천 안 시	636.29	195.84	966,194	309,359	1,518	1,580
아 산 시	542.25	401.42	196,860	169,538	363	422
서 산 시	739.44	0.68	131,034	68	177	100
연 기 군	361.45	21.84	83,063	4,200	230	192
청 양 군	479.63	124.29	51,784	8,998	108	72
홍 성 군	443.81	186.55	94,658	58,293	213	312
예 산 군	543.13	524.04	98,045	95,846	181	183
당 진 군	664.13	194.73	117,409	37,104	177	191

『자료』 각 시군별 통계연보


1,200,000
1,000,000
800,000
600,000
400,000
200,000
0
인 구 (인)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
인구밀도(인/km²)
전체인구
삽교천 유역내인구
삽교천(지류제외)인구
무한천 유역내 인구
곡교천 유역내인구
전체인구 밀도
삽교천(전체)인구밀도
삽교천(지류제외)인구 밀도
곡교천 유역내 인구밀도
무한천 유역내 인구밀도
천안시
아산시
연기군
청양군
홍성군
예산군
당진군
서산시
행 정 구 역

<표 2.19> 삽교천 유역 읍·면별 인구 현황 (계속)

행정구역		면 적	세 대	인 구	인구밀도	비 고
시·군	읍·면	(㎢)	(가구)	(인)	(인/㎢)	
당진군	우강면	38.57	2,479	7,150	185	
	신평면	28.02	2,457	6,993	250	
	송악면1	19.45	1,207	3,228	166	
아산시	소계	401.42	63,906	169,538	422	
	염치읍	41.81	3,363	8,857	212	
	송악면2	61.48	1,407	3,840	62	
	배방면	46.22	8,015	19,450	421	
	탕정면	24.82	5,075	10,192	411	
	음봉면	37.95	3,421	8,686	229	
	인주면	23.53	1,701	4,518	192	
	선장면	37.17	1,775	5,021	135	
	도고면	44.01	2,223	5,930	135	
	신창면	39.26	5,637	15,005	382	
	아산시	45.17	31,289	88,039	1,949	
연기군	소계	21.84	1,477	4,200	192	
	전의면	10.86	498	1,334	123	
	소정면	10.98	979	2,866	261	
천안시	소계	195.84	113,350	309,359	1,580	
	목천면	15.43	2,268	5,972	387	
	풍세면	30.37	2,035	5,445	179	
	광덕면	80.57	1,903	4,679	58	
	천안시	69.47	107,145	293,263	4,221	
청양군	소계	124.29	3,317	8,998	72	
	청양읍	2.15	230	688	320	
	운곡면	41.99	909	2,389	57	
	화성면	42.57	1,110	2,985	70	
	비봉면	37.58	1,069	2,936	78	
홍성군	소계	186.55	20,466	58,293	312	
	홍성읍	30.35	13,809	39,610	1,305	
	홍북면	44.88	2,110	5,932	132	
	금마면	33.99	1,739	4,800	141	
	홍동면	37.62	1,586	4,826	128	
	장곡면	39.71	1,222	3,125	79	
서산시	소계	0.68	25	68	101	
	운산면	0.68	25	68	101	

<표 2.20> 삽교천 잔유역(곡교·무한천 유역 제외) 읍·면별 인구 현황

행정구역		면 적 (㎢)	세 대 (가구)	인 구 (인)	인구밀도 (인/㎢)	비 고
시·군	읍·면					
총계		642.51	44,710	135,130	214	
예산군	소계	216.83	11,499	33,204	153	
	삽교읍	49.79	3,622	10,555	212	
	광시면	0.06	0	0	0	
	응봉면	13.32	604	1,731	130	
	덕산면	41.73	1,775	5,130	123	
	봉산면	34.39	1,136	3,097	90	
	고덕면	44.43	2,313	6,808	153	
	신암면	19.68	1,038	2,918	148	
	오가면	13.43	1,011	2,964	221	
당진군	소계	194.73	13,057	37,104	191	
	합덕읍	52.01	4,246	11,884	228	
	면천면	22.80	879	2,495	109	
	순성면	33.88	1,789	5,355	158	
	우강면	38.57	2,479	7,150	185	
	신평면	28.02	2,457	6,993	250	
	송악면1	19.45	1,207	3,228	166	
아산시	소계	56.45	3,056	8,241	146	
	인주면	11.45	820	2178	190	
	선장면	11.63	550	1,557	134	
	도고면	33.37	1,689	4,507	135	
홍성군	소계	163.82	19,770	56,513	345	
	홍성읍	30.35	13,809	39,610	1,305	
	홍북면	44.88	2,110	5,932	132	
	금마면	33.99	1,739	4,800	141	
	홍동면	37.62	1,586	4,826	128	
	장곡면	16.98	526	1,345	79	
서산시	소계	0.68	25	68	101	
	운산면	0.68	25	68	101	

<표 2.21> 곡교천 유역 읍·면별 인구 현황

행정구역		면 적 (㎢)	세 대 (가구)	인 구 (인)	인구밀도 (인/㎢)	비 고
시·군	읍·면					
총계		545.08	174,803	472,478	867	
아산시	소계	327.40	59,975	158,919	485	
	염치읍	41.81	3,363	8,857	212	
	송악면2	61.48	1,407	3,840	62	
	배방면	46.22	8,015	19,450	421	
	탕정면	24.82	5,075	10,192	411	
	음봉면	37.95	3,421	8,686	229	
	인주면	12.08	881	2,339	194	
	선장면	18.60	888	2,511	135	
	도고면	0.01	-	-	-	
	신창면	39.26	5,637	15,005	382	
	아산시	45.17	31,289	88,039	1,949	
연기군	소계	21.84	1,477	4,200	192	
	전의면	10.86	498	1,334	123	
	소정면	10.98	979	2,866	261	
천안시	소계	195.84	113,350	309,359	1,580	
	목천면	15.43	2,268	5,972	387	

<표 2.22> 무한천 유역 읍·면별 인구 현황

행정구역		면 적 (㎢)	세 대 (가구)	인 구 (인)	인구밀도 (인/㎢)	비 고
시·군	읍·면					
총계		471.80	26,311	75,798	161	
예산군	소계	307.21	21,427	62,643	204	
	예산읍	42.35	13,105	39,269	927	
	대술면	60.66	1,345	3,722	61	
	신양면	61.70	1,560	4,478	73	
	광시면	57.72	1,618	4,340	75	
	대흥면	35.86	890	2,453	68	
	응봉면	13.66	629	1,801	132	
	신암면	16.55	885	2,486	150	
	오가면	18.71	1,396	4,094	219	
아산시	소계	17.57	871	2,377	135	
	선장면	6.94	337	954	137	
	도고면	10.63	534	1,423	134	
청양군	소계	124.29	3,317	8,998	72	
	청양읍	2.15	230	688	320	
	운곡면	41.99	909	2,389	57	
	화성면	42.57	1,110	2,985	70	
	비봉면	37.58	1,069	2,936	78	
홍성군	소계	22.73	696	1,779	78	
	장곡면	22.73	696	1,779	78	

2.2.3 기반시설 현황

사회기반시설물은 광의적 개념으로는 사회적 생산기반과 경제활동의 기반을 형성하는 시설과 제도를 의미하나, 일반적으로 동력·에너지 관계시설 및 도로·수로·공항·항만·전신·전화 등의 교통·통신시설, 상하수도·관개·배수시설과 같은 유형의 시설들을 통칭하는 의미로 사용한다. 이러한 시설물들은 홍수피해시 시설 자체의 직접피해뿐만 아니라 시설물을 사용하지 못한데 따른 무형의 간접피해를 유발하여 경제적 손실 못지 않게 국민의 생활에 많은 불편을 초래한다. 금회 과업에서는 '수자원장기종합계획, 2002, 건교부'의 홍수피해잠재능(PFD) 산정 지침에 따라 주요 사회기반시설물 중 유역내 도로, 교량, 철도 현황을 조사·정리하여 향후 합리적인 홍수방어대책을 수립하는데 필요한 치수단위구역별 홍수피해잠재능 산정시 기초자료로 활용하고자 한다.

가. 도로 현황

삽교천 유역내 각 시·군별 도로종류별 현황은 <표 2.23> 및 <그림 2.21>에서 보는 바와 같이, 고속국도는 충남 전체 연장인 231.9km중 삽교천 유역에 포함되는 시·군내 연장이 53.3km인 것으로 조사되었으며, 이중 경부고속국도가 통과하는 천안시가 29.5km로 가장 높게 나타났고, 서해안 고속국도가 통과하는 홍성군, 당진군, 서산시에 각각 15.02km, 8.61km, 0.20km인 것으로 나타났다. 또한 일반국도는 충남 전체 연장 1,330.8km중 삽교천 유역에 포함되는 시군내 총연장이 447.06km로 충남도내 국도 전체 연장의 33.6%를 차지하고 있으며 시·군별로는 아산시의 국도 연장이 가장 커서 삽교천 유역내 전체 국도연장의 25.7%에 해당하는 114.86km이고 다음으로는 예산군, 천안시, 청양군 등의 순서로 나타났다. 국가지원 지방도는 충남전체 연장 371.0km 중 삽교천 유역내 연장이 134.76km로 조사 되었는데, 시·군별로는 천안시가 40.14km로 가장 길고 홍성군, 아산시, 당진군 등의 순으로 나타났다. 지방도는 충남 전체연장 1,227.7km중 삽교천 유역에 포함되는 연장이 419.44km로 34.2%를 차지하고 있으며 시·군도는 충남 전체 연장 3,321.8km 대비 유역내 연장이 1,388.37로 41.8%를 차지하고 있다.

유역내 각 시·군별 도로발달 상황을 비교하기 위해 면적 대비 도로연장을 비교하면 삽교천 전체 유역으로는 충남도 평균 비연장의 2배 가까운 값을 보이고 있어 비교적 도로망이 잘 발달되어 있음을 알 수 있으며, 각 시군별로도 예산군을 제외하고는 각 도로 등급별 비연장이 충남도 평균을 상회하고 있다. 그러나, 삽교천 유역에서 가장 큰 면적을 차지하는 예산군의 경우 시군도를 제외한 고속국도, 일반국도, 지방도 등 상위등급의 도로 비연장이 충남도 평균에 미치지 못하여 도로현황이 열악한 것으로 나타났다.

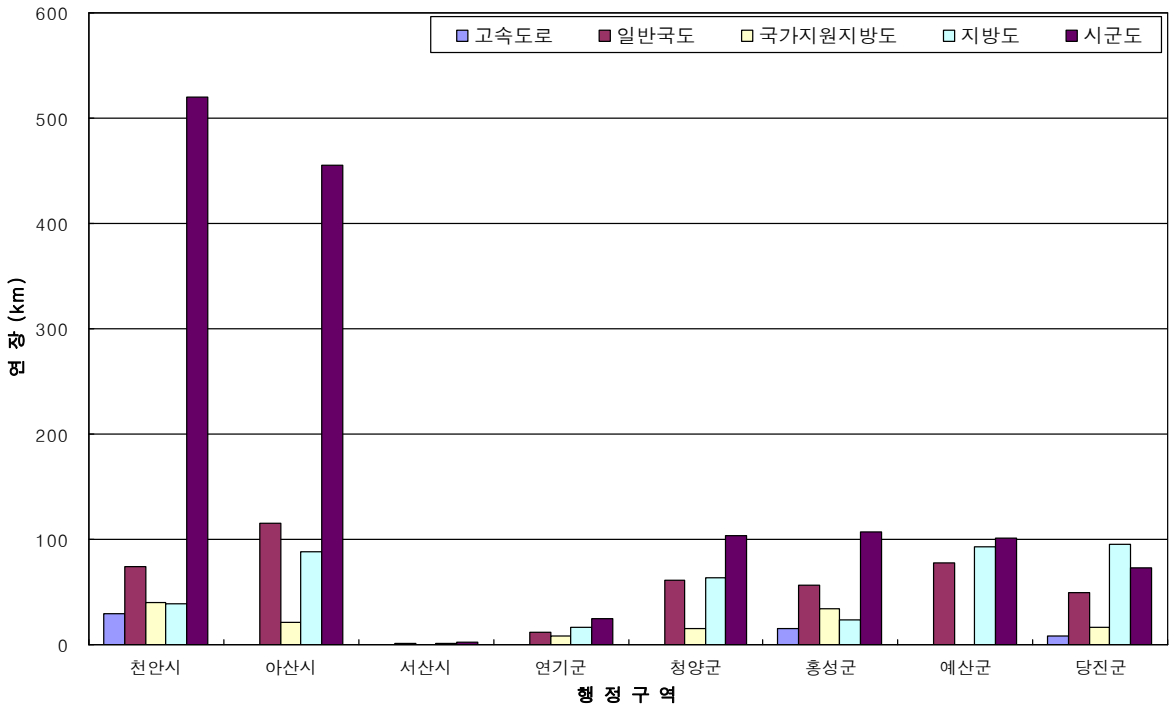
<표 2.23> 삽교천 유역 시·군별 도로 현황

단위 : km, %

구분 / 시군	합계	고속국도		일반국도		국가지원 지 방 도		지방도		시군도	
		연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율
충 남	6,379.5	128.2	-	1,330.8	-	371.0	-	1,227.7	-	3,321.8	-
합 계	2,443.0	53.33	100	447.06	100	134.76	100	419.44	100	1,388.37	100
천안시	703.5	29.50	55.3	74.35	16.6	40.14	29.8	39.15	9.3	520.36	37.5
아산시	680.2	-	-	114.86	25.7	21.04	15.6	88.42	21.1	455.84	32.8
서산시	4.1	0.20	0.4	0.86	0.2	0.20	0.1	0.7	0.2	2.09	0.2
연기군	61.2	-	-	12.27	2.7	7.74	5.7	16.72	4.0	24.46	1.8
청양군	244.4	-	-	61.24	13.7	15.44	11.5	63.66	15.2	104.09	7.5
홍성군	235.4	15.02	28.2	56.76	12.7	33.89	25.1	23.11	5.5	106.61	7.7
예산군	271.6	-	-	77.66	17.4	-	-	92.44	22.0	101.52	7.3
당진군	242.6	8.61	16.1	49.06	11.0	16.31	12.1	95.24	22.7	73.4	5.3

『자료』 도로현황조서, 2002. 건교부

【주】 삽교천 유역에 포함되는 시·군의 편입비를 이용하여 산정한 연장임.



<그림 2.21> 삽교천 유역 시·군별 도로 현황 비교

<표 2.24> 삽교천 유역 시·군별 도로 비연장

단위 : km/㎢

구 분	총 연장	고속국도	일반국도	국가지원 지방도	지방도	시군도
충 남	0.742	0.015	0.155	0.043	0.143	0.386
삽교천	1.481	0.032	0.271	0.082	0.254	0.842
천안시	3.587	0.150	0.379	0.205	0.200	2.653
아산시	1.693	-	0.286	0.052	0.220	1.134
서산시	5.625	0.278	1.194	0.278	0.972	2.903
연기군	2.799	-	0.561	0.354	0.765	1.119
청양군	1.975	-	0.495	0.125	0.514	0.841
홍성군	1.263	0.081	0.305	0.182	0.124	0.572
예산군	0.518	-	0.148	-	0.176	0.194
당진군	1.248	0.044	0.252	0.084	0.490	0.378

나. 교량 현황

2002년 기준으로 삽교천 유역내 교량수는 428개소이며 총 연장은 18,062.5m에 달한다. 시군별로는 천안시가 가장 많고 다음으로는 예산군, 아산시, 청양군 등의 순으로 나타났다. 도로등급별로는 시·군도상의 교량이 156개소에 총 연장 2,932m로 가장 많은 것으로 조사되었으며 다음으로 일반국도 및 지방도, 고속국도 순으로 나타났다. 그러나 삽교천 유역내 전체 교량은 충남도내 교량의 23.3%에 불과하여 충남도 전체 도로의 38.3%를 차지하는 도로현황과 비교할 때 교량의 수가 부족하며 교량 개소당 평균연장도 충남도 평균이 73.7m인데 비해 42.2m에 불과하여 대부분 소규모의 교량임을 알 수 있어 교량현황이 도로에 비해 열악한 것으로 나타났다.

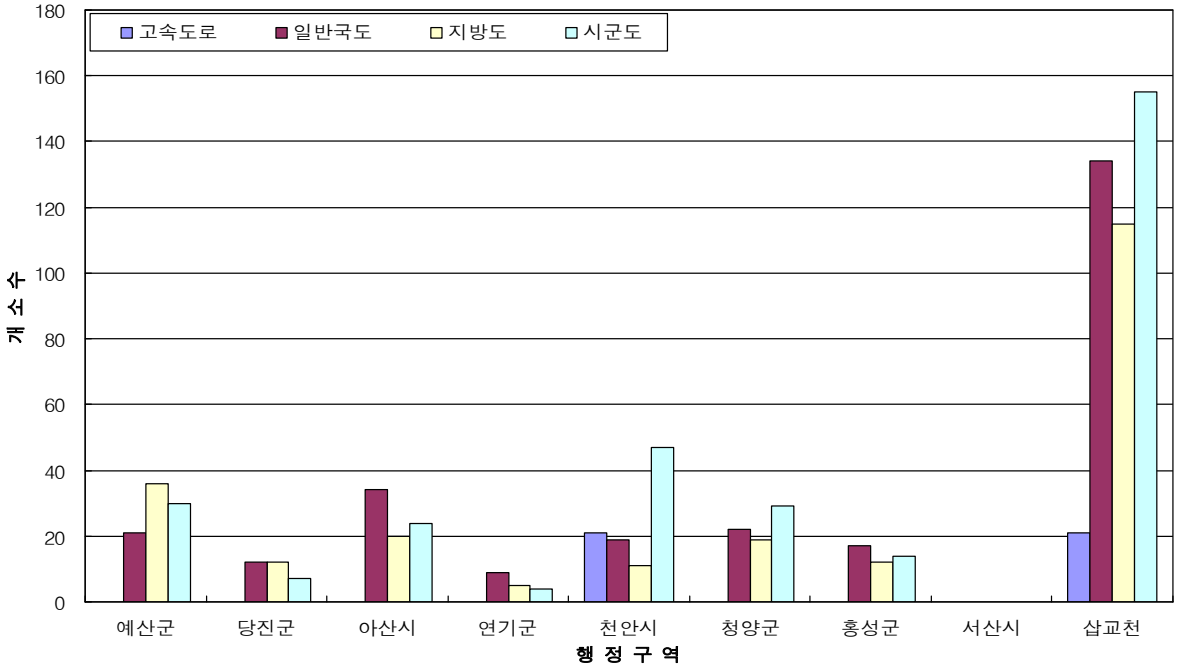
<표 2.25> 삽교천 유역 시·군별 교량 현황

단위 : m

시군	합 계		고속국도		일반국도		지방도		시·군도	
	개소	연장	개소	연장	개소	연장	개소	연장	개소	연장
충 남	1,840	135,658	550	63,844.9	502	34,964.1	312	18,556.6	440	18,293.2
합 계	428	18,062.5	21	1,211.8	135	8,819.4	116	5,099.4	156	2,931.9
천안시	98	4,818.7	21	1,211.8	19	1,229.8	11	654.9	47	1,722.2
서산시	3	16.0	-	-	1	9.4	1	5.0	1	1.6
아산시	78	3,106.2	-	-	34	1,645.2	20	1,090.3	24	370.7
연기군	18	1,237.2	-	-	9	915.2	5	290.0	4	32.0
예산군	87	3,970.1	-	-	21	2,349.5	36	1,366.0	30	254.6
청양군	70	1,885.0	-	-	22	893.6	19	750.7	29	240.7
홍성군	43	1,449.4	-	-	17	913.8	12	423.8	14	111.8
당진군	31	1,579.9	-	-	12	862.9	12	518.7	7	198.3

『자료』 도로현황조서, 2002. 건교부

【주】 삽교천 유역에 포함되는 시·군의 편입비를 이용하여 산정한 연장임.



<그림 2.22> 삽교천 유역 시·군별 교량 현황 비교

다. 철도 현황

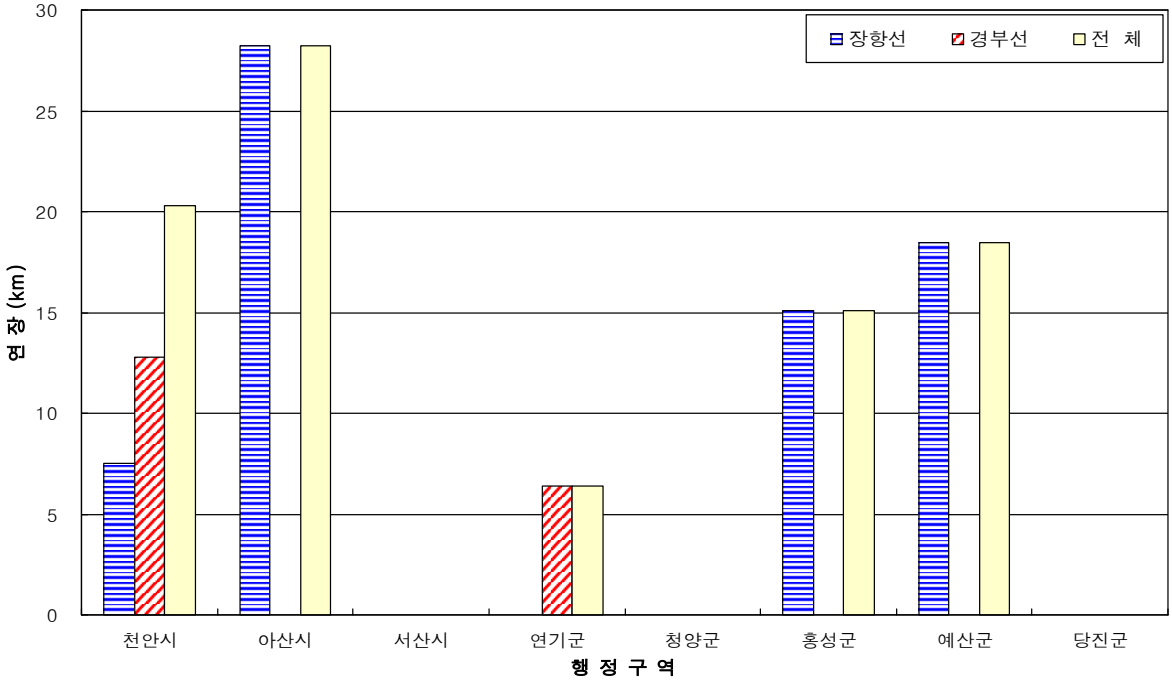
삽교천 유역을 통과하는 철도는 경부선 및 장항선이 있는데, 이중 경부선은 천안시, 연기군 등에 19.21km, 장항선은 천안시, 아산시, 홍성군, 예산군 등에 총 연장 69.32km가 통과하고 있다. 각 시·군별 철도연장을 비교하면 <표 2.26> 및 <그림 2.23>에서 보는바와 같이 아산시가 28.25km로 삽교천 유역내에 위치한 전체연장 88.53km의 32%를 차지하고 있으며 천안시가 23%, 예산군 21%, 홍성군 등의 순으로 나타났다.

<표 2.26> 삽교천 유역 시·군별 철도 현황

단위 : km, %

구분 / 시군	합 계		장항선		경부선		비 고
	연장	비율	연장	비율	연장	비율	
계	88.53	100.0	69.32	100.0	19.21	100.0	
천안시	20.31	22.94	7.52	10.85	12.79	66.58	
아산시	28.25	31.91	28.25	40.75	-	-	
서산시	-	-	-	-	-	-	
연기군	6.42	7.25	-	-	6.42	33.42	
청양군	-	-	-	-	-	-	
홍성군	15.10	17.06	15.10	21.78	-	-	
예산군	18.45	20.84	18.45	26.62	-	-	
당진군	-	-	-	-	-	-	

【주】 각 시군별 연장은 삽교천 유역에 포함된 철도연장임.
비율은 삽교천내 총연장에 대한 각 시·군별 연장의 비율임



<그림 2.23> 시군별 철도 현황

2.2.4 자산 현황

유역의 경제현황은 치수계획 수립 및 투자 우선순위 결정을 합리적으로 판단할 수 있는 지표로서 매우 중요한 요소이다. 현재 우리나라의 경제현황에 관한 지표들은 공시지가, 재산세 납부현황 등 여러 가지 기준이 있으나 금회 과업에서는 삽교천 유역의 경제현황에 대한 지표로서 각 지역별 발전정도 및 자산현황을 가장 객관적으로 나타낼 수 있다고 판단되는 시·군별 공시지가를 활용하여 분석하였다. 각 용도별(상업지역, 주거지역, 공업지역, 녹지지역 등) 공시지가는 각 시·군별, 지역별 중간값을 채택하였다.

삽교천 유역내 각 지역별 시·군별 공시지가를 살펴보면 <표 2.27> 및 <그림 2.24>에서 보는바와 같이 전체적으로 상업용이 공시지가가 가장 높았으며 공업용, 주거용, 농경지, 임야 등의 순으로 나타났다. 또한 시·군별로는 천안시가 전체적으로 가장 높게 나타났으며, 예산군 및 청양군이 전반적으로 낮게 나타났다.

<표 2.27> 각 시군별 용도별 공시지가 현황

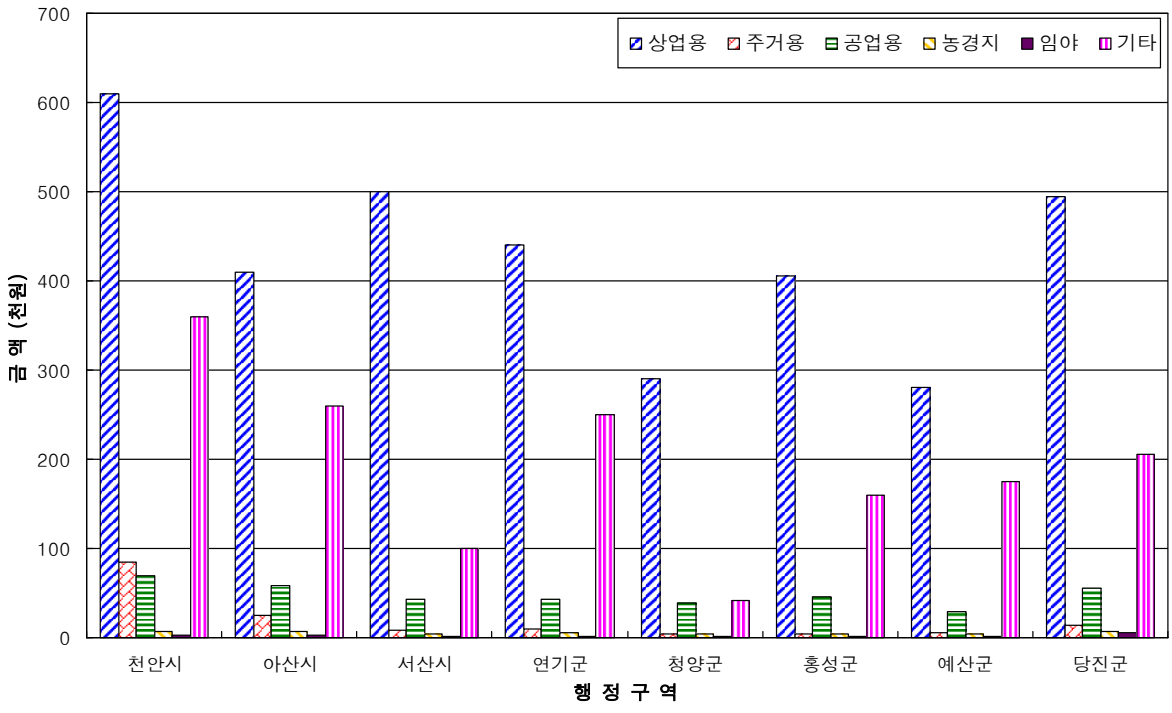
2002. 12월 말 기준, (단위:천원)

구 분		충청남도	천안시	아산시	서산시	연기군	청양군	홍성군	예산군	당진군
상업용	최 고	4,000	4,000	3,100	3,000	2,500	1,200	2,100	1,150	2,300.0
	중 간	460.0	610.0	410.0	500.0	440.0	290.0	405.0	280.0	495.0
	최 저	13.0	23.0	35.0	30.0	60.0	13.0	18.0	20.0	45.0

<표 2.27> 각 시군별 용도별 공시지가 현황 (계속)

2002. 12월 말 기준, (단위:천원)

구 분		충청남도	천안시	아산시	서산시	연기군	청양군	홍성군	예산군	당진군
주거용	최 고	530.0	530.0	440.0	320.0	270.0	270.0	420.0	330.0	310
	중 간	13.0	85.0	25.0	8.5	10.0	4.5	4.7	5.5	13.5
	최 저	1.7	4.5	4.3	2.6	2.8	2.1	1.8	3.3	4.1
공업용	최 고	350.0	350.0	185.0	58.0	105.0	57.0	95.0	100.0	90.0
	중 간	54.0	69.0	58.0	43.0	43.0	39.0	46.5	29.0	55.5
	최 저	15.0	38.0	33.0	30.0	22.0	18.0	15.0	21.0	30.0
농경지	최 고	300.0	300.0	300.0	200.0	93.0	105.0	160.0	63.0	160.0
	중 간	5.1	7.4	7.1	4.8	5.8	3.9	4.0	4.0	6.6
	최 저	0.5	2.1	1.8	1.6	1.6	0.6	0.8	1.0	2.8
임 야	최 고	180.0	180.0	41.0	50.0	34.0	12.0	9.0	18.0	30.0
	중 간	1.5	2.1	3.1	2.0	1.9	0.8	1.1	1.2	5.1
	최 저	0.1	0.3	0.5	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2	1.1
기 타	최 고	36,000.0	750.0	36,000.0	400.0	520.0	690.0	800.0	25,000.0	920.0
	중 간	220.0	360.0	260.0	100.0	250.0	42.0	160.0	175.0	205.0
	최 저	2.0	10.0	31.0	2.8	33.0	16.5	2.0	12.0	15.0



2.3 토양 및 지질 특성

2.3.1 토양 특성

삽교천 유역 전체로는 침투율이 대단히 크고 배수가 매우 양호한 Fba, Mab, Mma, Mmb, Msa, Mub, Mva 등의 토양이 유역 남동쪽의 곡교천 및 무한천 상류지역 산지에 집중적으로 분포하며, 침투율이 대체로 작고 배수가 불량한 Ana, Anb, Afb, Apa, Apc, Fma, Fmc 등이 삽교천 및 곡교천 하도를 중심으로 넓게 분포하고 있다. 그 밖의 지역에는 침투율이 대체로 크고 배수가 양호한 Afa, Afc, afd, Apb, Mua 등이 주로 분포하고 침투율이 대단히 작아 배수가 매우 불량한 Afb, Fmd, Fta, Ro 등은 무한천 합류부 하류의 삽교천 하도를 중심으로 일부 분포하며 그 밖의 지역에는 아주 소규모로 산재해 있다. 삽교천 유역의 각 토양형별 구성비는 일반적으로 저구릉지에 위치하며 배수가 양호한 Rab가 각각 19.8%, 15.6%로 가장 많이 차지하며, 다음으로는 Rxa, Mac, Mab 순으로 우세하게 분포하고 있는 것으로 나타났다.

삽교천 유역 전체 및 곡교천, 무한천 유역의 수문학적 토양군별 분포는 <표 2.28> 및 <그림 2.25>에서 보는바와 같이 삽교천 유역의 경우 침투율이 대체로 크고 배수가 양호한 'TYPE B'군 토양에 해당하는 면적이 584.21㎢로 전체 유역의 약 35.4%를 차지하며 다음으로 'TYPE C'군 과 'TYPE A'군 토양이 각각 511.17㎢와 487.91㎢를 차지하는 순으로 나타났다. 무한천 유역만으로는 배수가 매우 양호하여 유출율이 낮은 'TYPE A'군 토양의 점유면적이 195.15㎢로 가장 크고 다음으로 'TYPE B', 'TYPE C', 'TYPE D'군과 같이 유출율이 작은 순으로 분포하는데 특히 유출율이 가장 큰 'TYPE D'군 토양의 점유율이 매우 작으며, 곡교천 유역도 무한천 유역과 유사한 특징을 보이고 있다.

<표 2.28> 토양 종류별 특성

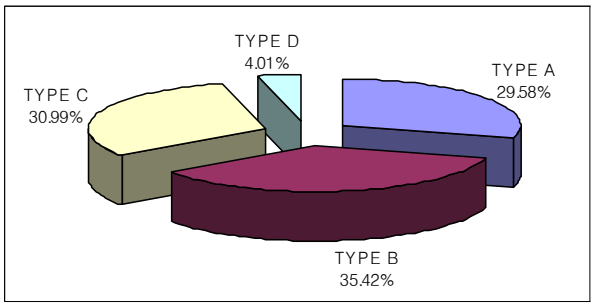
토 양 형	토 양 명	토 양 의 성 질
Type A	Fba, Mab, Mac, Mma, Mmb, Msa, Msb, Mub, Mva, Mvb, Rea	낮은 유출률(Low runoff Potential), 침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질, 배수 매우 양호(high infiltration rate)
Type B	Afa, Afc, Afd, Anc, Apb, Apg, Maa, Mua, Raa, Rab, Rac, Rad, Rsc, Rva, Rvb	침투율이 대체로 크고(Moderate infiltration rate), 돌 및 자갈이 섞인 사질토, 배수 대체로 양호
Type C	Ana, Anb, Apa, Apc, Apd, Fma, Fmc, Rxa	침투율이 대체로 작고, 대체로 사질토 토양층, 배수 대체로 불량
Type D	Afb, Fmd, Fta, Ro	높은 유출율(High runoff Potential), 침투율이 대단히 작은 점토질 종류의 토양으로 거의 불투성, 배수 대단히 불량

삽교천과 무한천 및 곡교천 유역의 각 토양종류별 구성 현황은 <표 2.29>과 같으며, 유역별 토양도는 <그림 2.26> ~ <그림 2.29>과 같다.

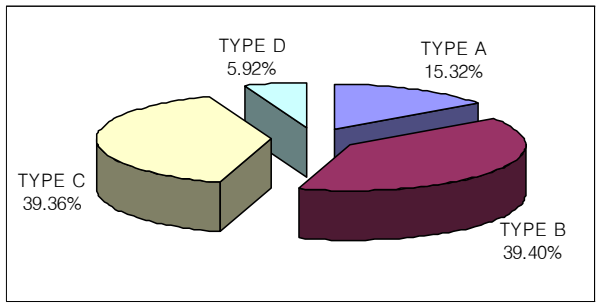
<표 2.29> 주요 하천유역의 수문학적 토양군 구성비

단위 : ㎢

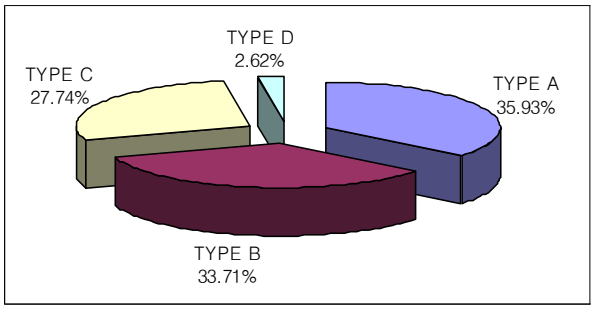
하천명	구 분	TYPE A	TYPE B	TYPE C	TYPE D	전체
삽교천 (전체)	금 회	487.91	584.21	511.17	66.11	1,649.39
	기본계획 ('94. 3)	485.97	574.08	532.84	52.20	1,645.09
삽교천 (지류제외)	금 회	96.9	249.19	248.99	37.44	632.51
	기본계획 ('94. 11)	108.8	245.46	248.25	35.4	637.91
곡교천	금 회	195.86	183.75	151.18	14.29	545.08
	기본계획 ('94. 11)	194.92	174.58	162.95	9.69	542.14
무한천	금 회	195.15	151.27	111.00	14.38	471.80
	기본계획 ('94. 11)	182.25	154.04	121.64	7.11	465.04



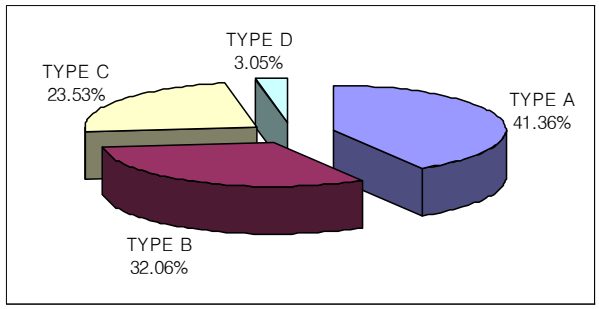
삽교천 유역 (전체)



삽교천 잔유역 (곡교천, 무한천 유역 제외)



곡교천 유역



무한천 유역

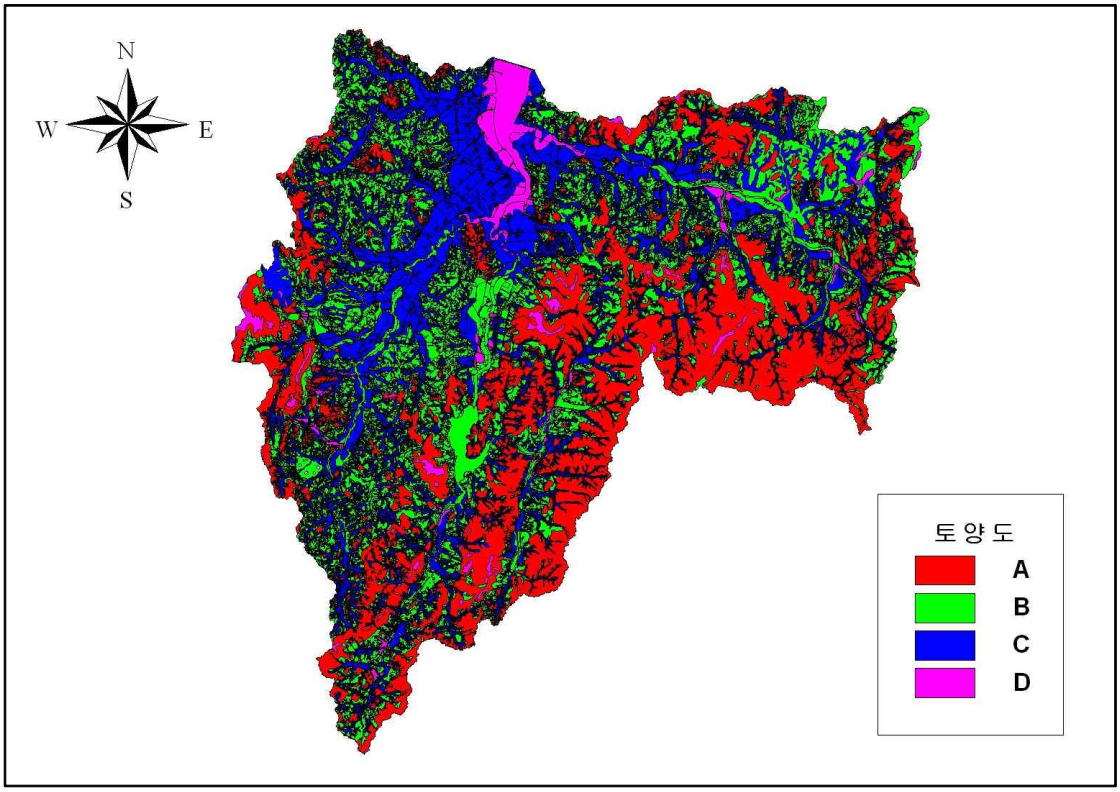
<그림 2.25> 삽교천, 곡교천 및 무한천 유역 수문학적 토양군 현황

<표 2.30> 주요 하천유역의 토양구성 현황

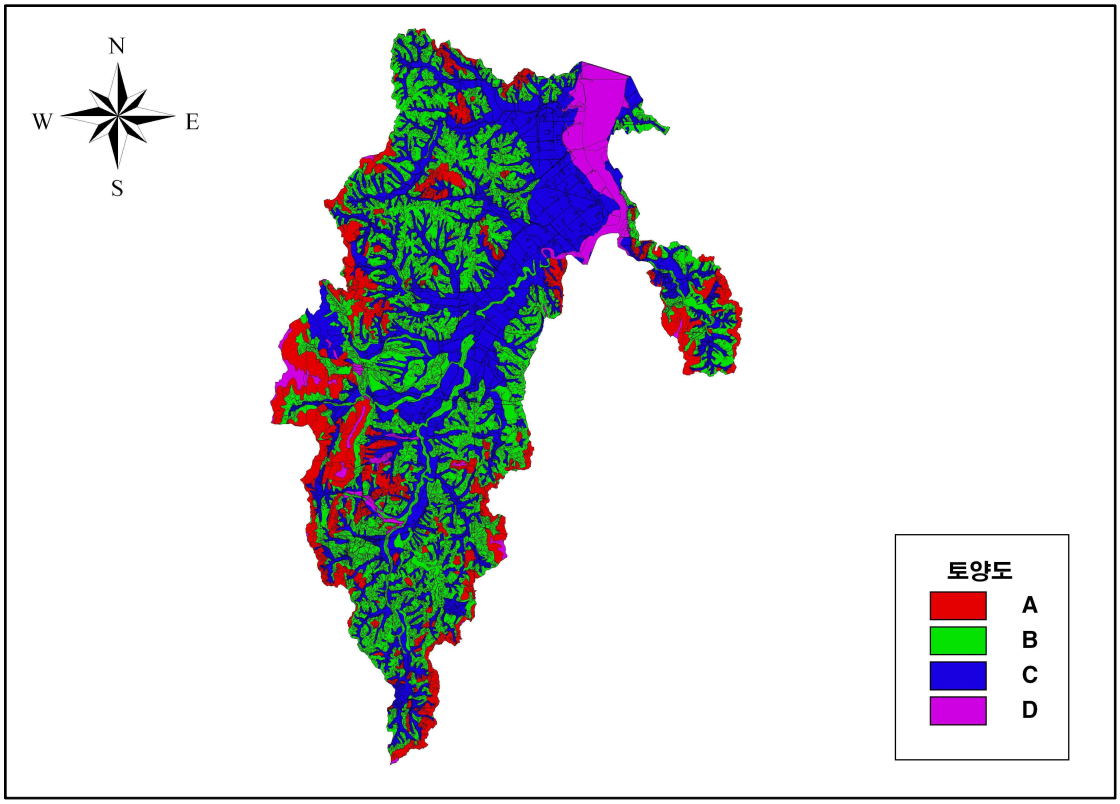
토양명	상 태	수문학적 토양군	면 적 (10^3㎡)			
			삽교천 (전체)	삽교천 (잔유역)	무한천	곡교천
계			1,649,390	632,507	471,803	545,080
fba	- 백색사구, 배수양호 내지 매우양호, 사질	A	5	5	-	-
mab	- 암쇄토 및 적황색토, 구릉, 산성암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	A	158,224	19,958	64,856	73,410
mac	- 암쇄토, 산악, 산성암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	A	182,784	22,176	52,278	108,330
mma	- 암쇄토, 구릉, 변성퇴적암 및 편암, 배수매우양호, 식양질, 내지 사양질	A	38,107	10,609	24,021	3,477
mmb	- 암쇄토, 산악, 변성퇴적암 및 편암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	A	48,972	12,454	36,518	-
msa	- 암쇄토, 구릉, 퇴적암, 배수매우양호 내지 양호, 식양질 내지 사양질	A	997	-	997	-
msb	- 암쇄토, 산악, 퇴적암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	A	1,129	-	1,129	-
mub	- 암쇄토 및 산성갈색 산림토, 산악, 사양질 내지 식양질, 배수양호 내지 매우양호	A	202	-	-	202
mva	- 암쇄토, 구릉, 중성 내지 염기성암, 배수매우양호 내지 양호	A	479	408	-	71
mvb	- 암쇄토, 산악, 중성 내지 염기성암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	A	2,959	617	2,342	-
rea	- 암쇄토, 저구릉, 산성암, 배수매우양호, 식양질 내지 사질	A	54,049	30,673	13,007	10,369
afa	- 충적토, 배수약간양호 내지 양호, 사양질 내지 사질	B	13,015	3,464	5,766	3,785
afc	- 범람지 및 충적토, 배수약간양호 내지 매우양호, 사질 내지 사양질	B	25,074	7,541	4,414	13,119
afd	- 범람지 및 충적토, 배수약간양호 내지 매우양호	B	38,379	5,444	28,333	4,602
anc	- 퇴적토, 배수약간양호 내지 양호, 사양질	B	11,260	1,645	4,553	5,062
apb	- 적황색토, 홍적, 배수약간양호, 내지양호, 식양질 내지식질	B	29,805	15,222	8,250	6,333
apg	- 충적토, 배수양호, 식양질 내지 사양질	B	5,330	1,635	3,372	323
maa	- 암쇄토 및 적황색토, 구릉, 산성암, 배수양호 식양질 내지 사양질	B	10,872	1,915	1,370	7,587

<표 2.30> 주요 하천유역의 토양구성 현황 (계속)

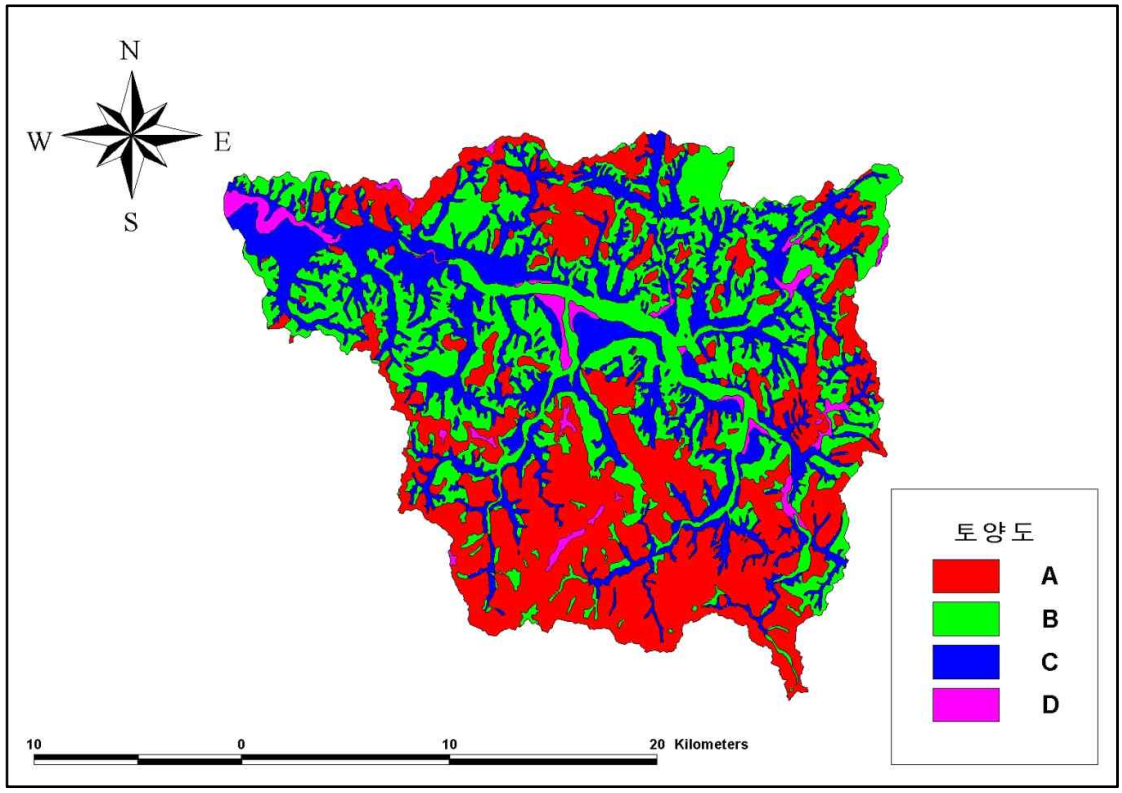
토양명	상 태	수문학적 토양군	면 적 (10^3㎡)			
			삽교천 (전체)	삽교천 (잔유역)	무한천	곡교천
mua	- 산성갈색 산림토 및 암쇄토, 고원, 산성, 중성, 배수양호	B	654	20	146	488
raa	- 적황색토, 저구릉, 홍적 및 산성암, 배수양호	B	86,994	45,448	14,020	27,526
rab	- 적황색토 및 암쇄토, 저구릉, 산성암, 배수양호	B	327,318	153,287	73,374	100,657
rac	- 적황색토, 산록, 산성암, 배수양호, 식질, 내지 식양질	B	14,180	8,258	1,559	4,363
rad	- 퇴적토 및 적황색토, 산록, 산성암, 배수양호, 식양질 내지 사양질	B	21,187	5,294	5,987	9,906
rsc	- 퇴적토 및 적황색토, 퇴적암 배수양호, 식양질 내지 사양질	B	129	-	129	-
ana	- 회색토 및 충적토, 배수약간양호 내지불량, 식양질	C	22,326	3,039	11,750	7,537
anb	- 충적토 및 회색토, 배수약간양호 내지 약간불량, 사양질	C	33,748	6,620	11,865	15,263
apa	- 회색토 및 충적토, 배수약간불량, 미사식양질 내지 식질	C	143,012	70,099	25,745	47,168
apc	- 충적토, 배수약간불량 내지양호, 식양질 내지 사양질	C	8,088	797	1,519	5,772
apd	- 회식토 및 충적토, 배수불량, 미사식양질 내지 식질	C	4,696	1,082	-	3,614
fma	- 회색토 및 충적토, 배수약간 불량, 미사식양질 내지 식질	C	89,946	68,655	10,441	10,850
fmc	- 염류토, 배수약간 불량 내지 불량, 미사사양질 내지 식질	C	6,692	3,831	1,144	1,717
rxa	- 회색토 및 충적토, 저구릉 곡간, 배수불량 내지 약간양호	C	202,661	94,873	48,530	59,258
afb	- 충적토, 배수약간불량, 내지불량, 사양질 내지 사질	D	16,236	3,062	6,035	7,139
fmd	- 충적토 및 회색토, 배수불량, 내지 매우불량 미사식양질 내지 식질	D	1,597	530	685	382
fta	- 간석지, 배수매우불량, 미사사양질 내지 미사식양질	D	33,197	28,197	1,599	3,401
ro	- 암석토출지	D	15,087	5,655	6,064	3,368



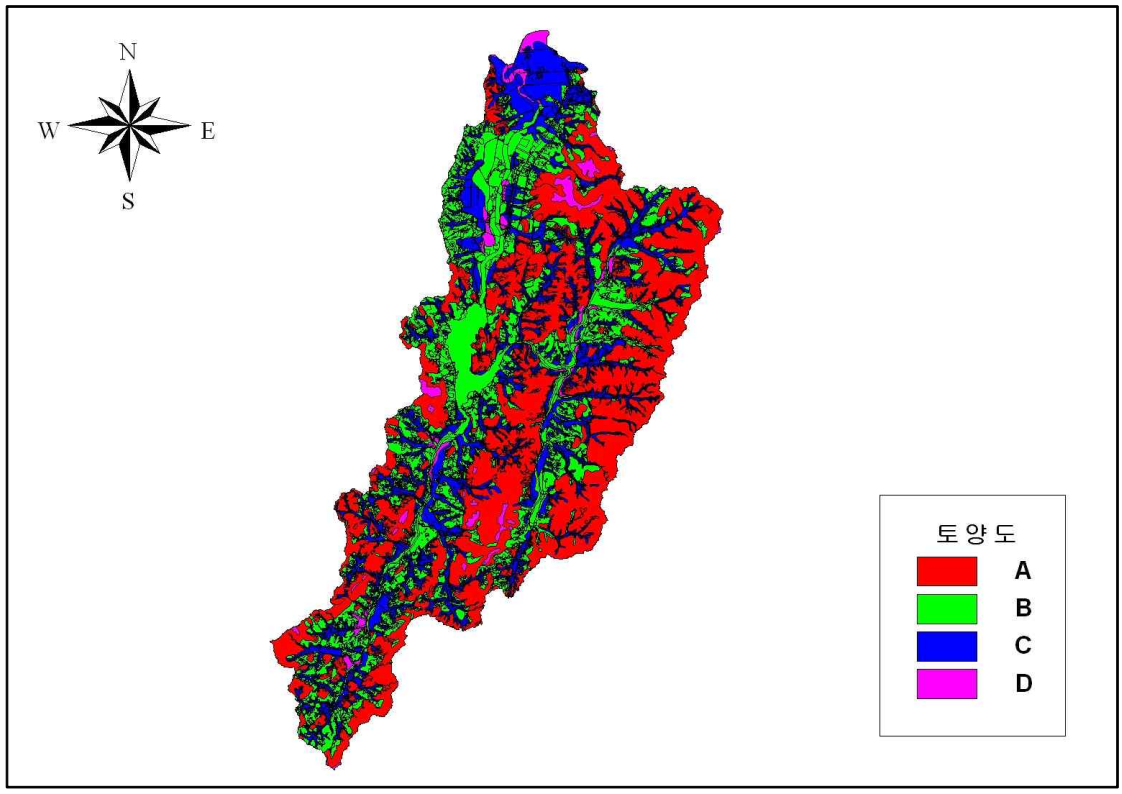
<그림 2.26> 삽교천 유역 토양도



<그림 2.27> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 토양도



<그림 2.28> 곡교천 유역 토양도



<그림 2.29> 무한천 유역 토양도

2.3.2 지형 및 지질 특성

가. 지형

지형윤회상 노년기에 해당하는 삽교천 유역은 동고서저 지형을 보이고 있으며 산릉과 하천이 북북동-남남서 방향으로 뚜렷하게 식별되는 특성을 보이고 있고, 산릉의 경사는 동측보다 서측이 완만한 경향을 보이고 있다. 전체적인 지형은 황덕산, 배방산, 덕봉산 등을 연결하는 4~5개소의 북북동-남남서방향의 지맥으로 구성되며 이에 갈라진 구릉은 북북서 남남동의 방향을 보이는 경향이 있다.

나. 지질

삽교천 유역의 지질은 포괄적으로 동남부와 동북부에 고기변성암류가 분포하고 서북부에서 중앙부에 걸쳐 비교적 낮은 곳에 고기변성암인 대보화강암이 대규모로 분포하며, 남단에 중생대 퇴적암류가 좁은 띠 형태로 분포하여 남반부 도처에 신기 화성암류가 분포한다. 유역내에는 고기변성암층 중에 편리, 선리 및 엽리가 잘 발달되어 있고 그 외의 지질구조로서 유역의 중앙에 서산군층과 호상편마암의 접촉부, 남부의 서산층군과 경기편마암 복합체의 화강암질편마암의 접촉부에 북북동-남남서 방향의 소단층이 3건 보고되어 있다.

(1) 고기 변성암류

삽교천 유역에는 고기 퇴적기원의 변성암으로서의 서산층군에 속하는 편암류와 이 층과 점이적으로 암상을 달리하는 경기편마암 복합체와 이들을 관입하고 있는 화강암질편마암이 분포하고 있다. 서산층군은 편암이 대부분으로 규암이 박층으로 협재하고 불규칙하게 결정질석탄암이 렌즈상으로 분포하여 흑연층이 되고 있다. 편암층은 광물성분에 따라 함철편암, 운모편암, 흑연편암, 각섬석편 등으로 구분되고 광역변성작용에 따라 편상구조가 잘 발달되며 곳에 따라 화강암화 작용의 결과로 국부적으로 편마암의 형상을 띠기도 하며 화성물질이 주입, 동화하여 주입편마암 혹은 혼성편마암의 양상을 보이기도 하나 전반적으로 편리의 발달이 양호하여 편암이 우세하다.

대부분이 풍화에 강하여 낮은 지형을 이루며 최고기 지층으로 부터 신기 지층으로 점이, 관입, 피복됨으로써 소규모로 여러 곳에 분산되어 분포하는 것이 특징이며, 분포방향은 지형방향(북북동-남남서)과 일치하며 본 지층의 생성년대는 시생대로 알려져 있다.

서산층군과 점이 혹은 관입의 관계로 알려져 있는 경기편마암 복합체는 종래 부천계

로 명명되던 지층으로 본 유역에는 규질석탄암, 반상변정편암, 호상편마암 및 화강암질편마암이 분포된다. 이와같이 다양하게 변성암이 분포하는 원인과 이들 상호간의 관계 및 생성시대 또는 변성시대 등에 대하여는 아직도 정론이 없을 정도로 복잡하게 혹은 불규칙하게 분포한다.

규질석탄암은 결정질석탄암으로 백색 또는 담탄색을 띠며 규화되어 있고 풍화심도가 얕아서 여러곳에서 노두를 볼 수 있으며 본 유역에서는 광덕면에 소규모로 분포한다.

반상변정편마암도 유역의 동남부에 소규모로 분포하며 호상편마암과 화강암질편상암의 점이대에 분포하며 편리의 발달이 양호하다.

호상변정편마암도 유역의 동남쪽에 소규모로 분포하며 호상편마암-입상변정편마암-화강암질 편마암순으로 증가한다. 본 암층은 입상구조로서 경미한 편리를 보이며 분포는 유역의 남반부에 주로 분포하고 서남쪽에도 소규모로 분포한다.

호상편마암은 유역의 남반부 거의 전역에 걸쳐 분포하며 경기편마암 복합체에서 가장 변성정도가 얕은 암층으로 우백질대와 우흑질대가 교호하여 분포하며, 엽리, 편리 및 선리의 발달이 양호하다. 우백질대는 주로 장석류와 석영으로 구성되고 우흑질대는 주로 운모류로 구성되며 이들은 원래의 퇴적상에 기인하는 것으로 보고되어 있다.

최근에 본 암층의 생성시기 및 성인에 대하여 학설이 분분하나 아직은 선캠브리아기로 보는 것이 지배적이다. 전술한 제 지층을 관입하고 있는 것으로 알려진 화강암질편마암은 오히려 화강암에 근사한 암층으로 미약한 편리를 띄고 있다. 무한천 중상류 유역일대를 넓게 분포하며 비교적 풍화가 심하여 풍화심도가 깊은 편이다.

(2) 퇴적암류

고기 변성암을 부정합으로 덮고 있는 중생대(쥬라기) 퇴적암층으로 본 유역에 분포하고 있는 층은 대동계층군의 하부 및 상부로 분류된다.

원래 본 층군은 석력암, 사암 및 혈암으로 구성되며 2매의 저질암층이 협재하여 수십종에 달하는 식물화석과 담수류인 동물화석도 수종 보고되어 육성층으로 간주되며 누층군의 중부에 석력암을 기준으로 하여 상부와 하부로 분류하고 있다.

하부는 유역남단의 화성면에서 북북동으로 광덕면에 이르기까지 대상으로 분포하며 편마암류의 력을 함유하는 월명산층과 대체로 암탄색 사암, 아르코스(Arkose) 사암, 흑색혈암 및 얇은 무연암층으로 구성되나 본 유역에는 암층이 없는 것으로 보고되어있다.

상부는 유역의 남서인 비봉면, 운곡면 및 화성면에 2개소의 대상으로 분포하고 있으며, 분포방향은 남북방향이다. 풍화에 강한 하부 기저력암을 바탕으로 조립성사암과 흑

색정암의 호층으로 구성되며 2~3매의 무연암층을 협재하는 백색사층과 주로 조립성 아르코스 사암과 함력 조립성사암으로 구성되며 풍화에 강하여 주로 저지대를 형성하고 있는 성주리층으로 구성된다. 본 유역에서는 상기 지층이 전부 분포하는 것은 아니고 그 중 일부가 분포할 것으로 추정된다.

전술한 바와 같이 종래 고기 변성암으로 기록되었던 지층 중의 일부는 본 남포층의 일부가 화강암화작용에 의하여 변성, 생성된 것으로 우리나라의 변성암류의 변성시기 및 이에 따르는 재분류가 시급하다는 의견이 지배적이다.

(3) 화성암류

우리나라의 화성암류를 크게 나누어 대보조산운동에 원인을 두고 있는 대보화강암과 백악기의 화성활동에 원인을 두고 있는 불국사 화강암류로 대분되며 그 분포와 생성시기는 대체로 서북방향으로 갈수록 생성시기가 고기이며 남동으로 갈수록 신기에 속하는 화강암이 분포하는 경향을 보이고 있다.

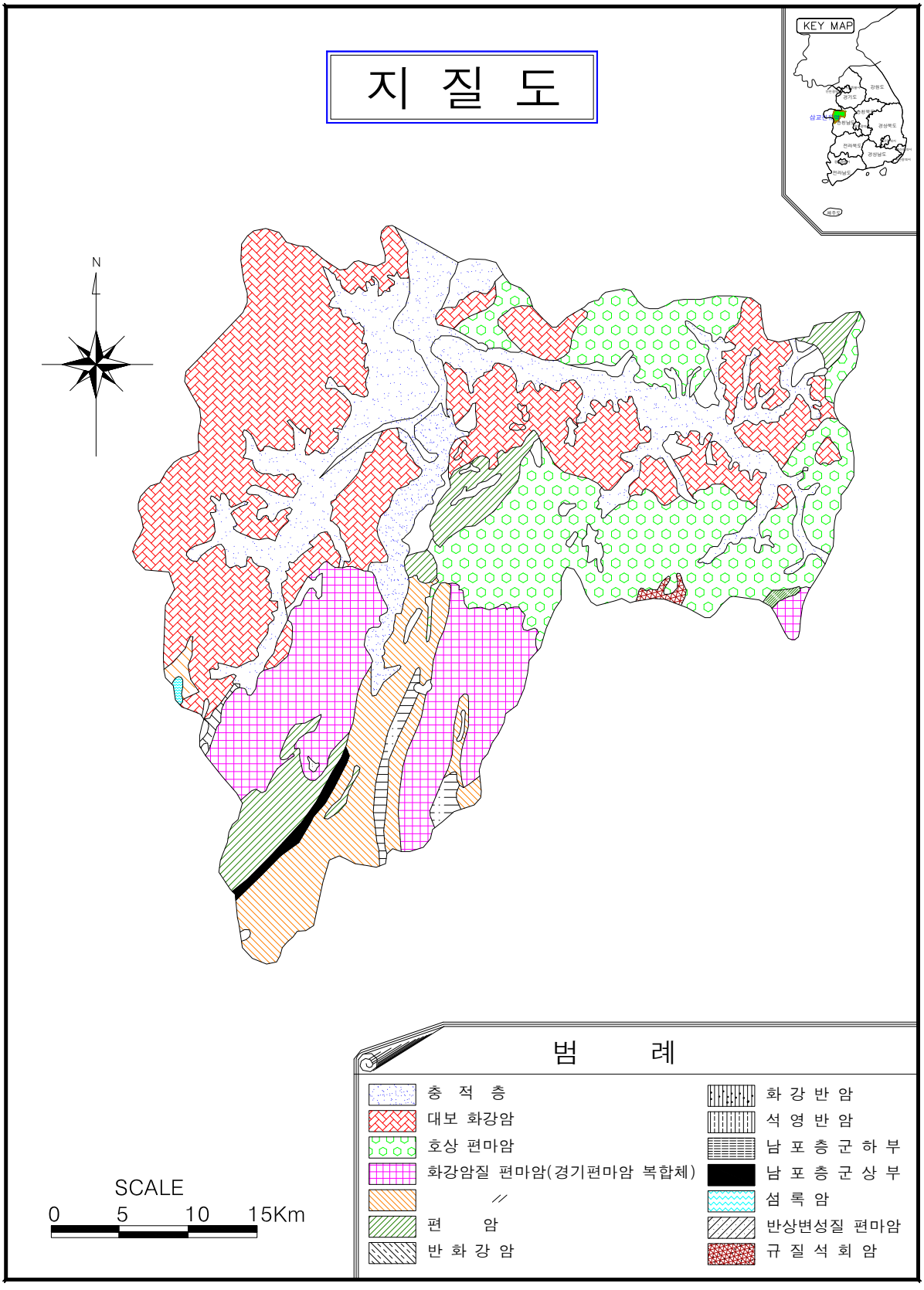
고기 화성암에 속하는 쥬라기의 대보화강암은 유역의 남반부에 넓게 분포하며 풍화에 강하여 평이한 지형을 이루고 있어 평야가 많고 구릉은 잔구상을 이루고 있다. 대체로 후기의 화성암과는 미약한 편리의 발달로 식별이 가능하고 보다 대규모로 분포하며 암장분화작용과 같은 현상도 거의 볼 수 없는 점 등의 특징을 갖고 있다.

이에 비하여 신기 화성암층에 속하는 백악기의 화성암은 유역의 도처에 소규모로 분포하며 암상도 다양하여 내록암, 화강반암, 반화강암의 형태로 나타나며 이들의 관입시기에 대하여도 상호 대비가 불가하다.

단지 홍성군 서남측 (유역의 서남단)에 분포하고 있는 내록암과 반화강암의 양자는 중성의 암장의 관입, 분화에 의한 것으로 추정될 뿐이다.

(4) 충적층

본 유역에 현생 충적층으로 붕적층에서 해성퇴적물에 이르기까지 다양한 분포를 보이고 있다. 대체로 각 하천의 상류는 붕적층인 사력층으로 율석, 자갈 및 모래가 혼재하며 분급이 불량한 퇴적층이 분포하며 중상류에는 조, 세립의 모래층이 중하류에는 세립성 모래층이 분포하며 과거 감조구간이었던 삽교천 하류부에는 실트 및 점토층이 퇴적, 분포되어 있다.



<그림 2.30> 삽교천 유역 지질분포 현황

2.4 토지이용 현황 조사

2.4.1 토지이용

삽교천 및 주요 하천 유역의 토지이용 현황은 국립지리원에서 발간한 수치토지이용도를 이용하여 파악하였다. 수치토지이용도는 토지이용 현황을 크게 대분류, 중분류, 소분류로 구분하며, 대분류는 농지, 임지, 도시 및 주거지, 수계 등 4가지로 구분된다. 소분류는 38가지의 토지이용 분류체계를 가지고 있는데, 금회 과업에서는 38가지로 분류된 토지이용 상태를 서로 비슷한 항목끼리 통합하여 토지이용 분류기준을 설정하였다.

<표 2.31> 토지이용 현황 분류기준

토 지 이 용	세 부 내 용
공공시설	발전시설, 처리장, 교육-군사시설, 공공용지
공업지역	공업시설 공업나지-기타
공항 및 항만	공항, 항만
나지 및 기타	골프장, 공원묘지, 유원지, 암벽 및 석산, 양어장-양식장, 채광지역, 매립지, 광천지, 가축사육시설
답	경지정리답, 미경지정리답
도로 및 철도	도로, 철로 및 주변지역
삼림	침엽수림, 활엽수림, 혼합수림
상업지역	상업-업무지, 나대지 및 인공녹지
전	보통-특수작물, 과수원-기타
주거지역	일반 주택지, 고층주택지
초지	자연초지, 인공초지
하천 및 호소	갯벌, 염전, 하천, 호소, 댐, 뱃사장

【주】세부내용은 수치지도상 구분되는 소분류 내용임.

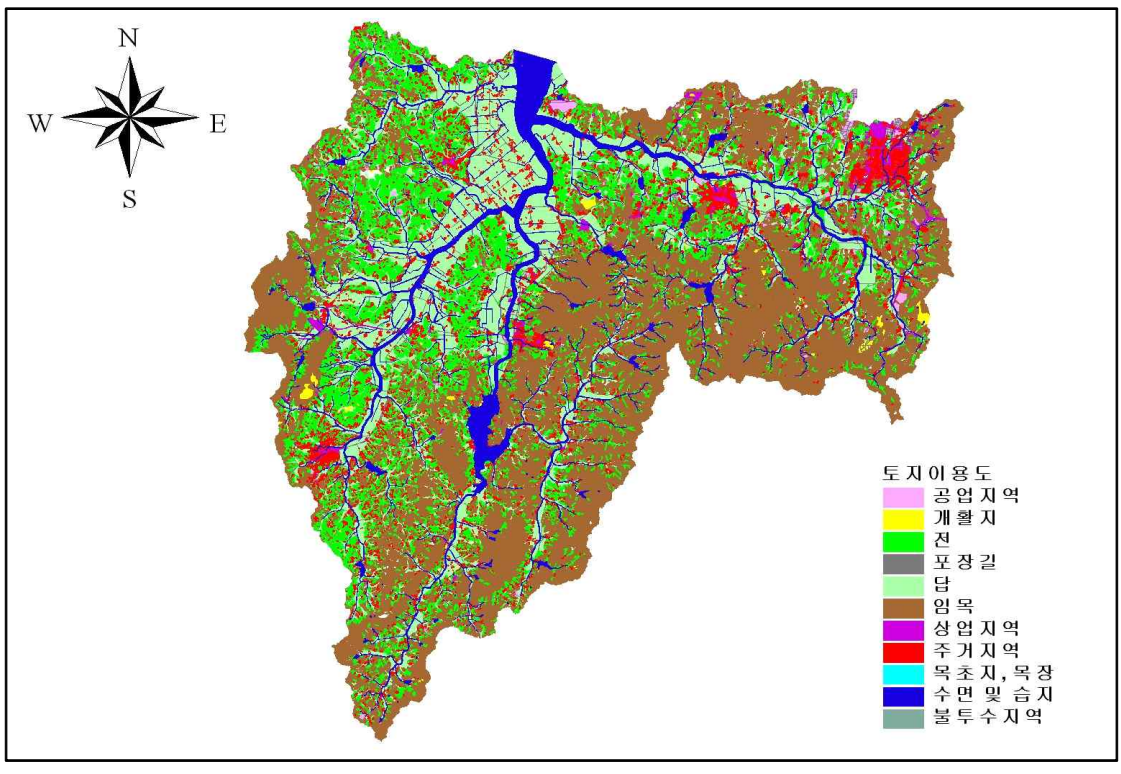
삽교천 유역의 토지이용 상태는 삼림 면적이 691㎢로 전체 유역면적의 41.92%를 차지하며, 다음으로 답과 전이 각각 28.04%와 14.56%를 점유하고 있다. 삽교천 유역은 삼림의 구성 비율이 우리나라 전체 평균인 65.5%보다 20% 이상 작은 반면에 농경지 구성비는 우리나라 평균 21.7%(2001년도 국토이용에 관한 연차보고서, 건설교통부, 2001)에 비해 20% 이상 큰 것으로 나타났다. 일반적으로 농경지가 평지에 분포하는 것을 감안할 때 삼림에 비해 농경지 구성비가 크다는 것은 삽교천 유역의 평지 비율이 높은 것을 의미한다고 할 수 있는데 이러한 특징은 곡교천과 무한천 유역을 제외한 삽교천 잔유역에서 더욱 명확히 나타난다. 곡교천과 무한천 유역은 삽교천 잔유역에 비해 농경지 구성비가 10% 이상 작은 반면, 삼림지역의 구성비는 그만큼 크게 나타나는 등 대체로 유사한

현황을 보이고 있으나, 주거지역, 상업지역, 공업지역 등의 경제활동과 관련된 토지이용이 상대적으로 크게 나타났다.

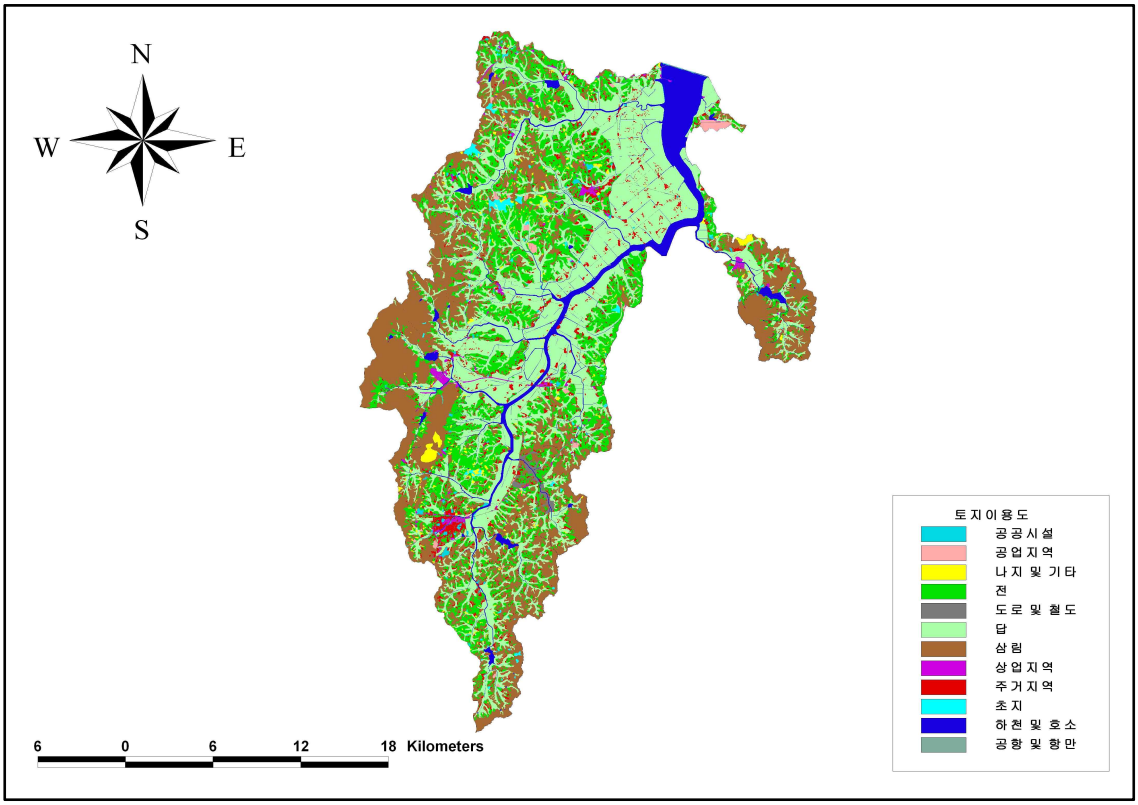
<표 2.32> 삽교천 유역의 토지이용 현황

구 분	삽교천(전체)		삽교천(지류제외)		곡교천		무한천	
	면적(㎢)	비율(%)	면적(㎢)	비율(%)	면적(㎢)	비율(%)	면적(㎢)	비율(%)
합계	1,649.39		632.51		545.08		471.80	
답	462.51	28.04	234.88	37.13	121.20	22.24	106.43	22.56
전	240.08	14.56	133.35	21.08	58.22	10.68	48.51	10.28
초지	11.21	0.68	4.08	0.65	5.10	0.94	2.03	0.43
삼림	691.44	41.92	163.99	25.93	264.52	48.53	262.93	55.73
나지및기타	20.63	1.25	8.77	1.39	8.84	1.62	3.02	0.64
주거지역	71.31	4.32	20.95	3.31	34.95	6.41	15.41	3.27
상업지역	14.47	0.88	5.07	0.80	7.90	1.45	1.50	0.32
공업지역	18.19	1.10	4.02	0.64	12.41	2.28	1.76	0.37
공공시설	12.16	0.74	10.39	1.64	0.00	0.00	1.77	0.38
포장길	20.25	1.23	6.05	0.96	10.65	1.95	3.55	0.75
불투수지역	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수면 및 습지	87.14	5.28	40.96	6.48	21.29	3.91	24.89	5.28

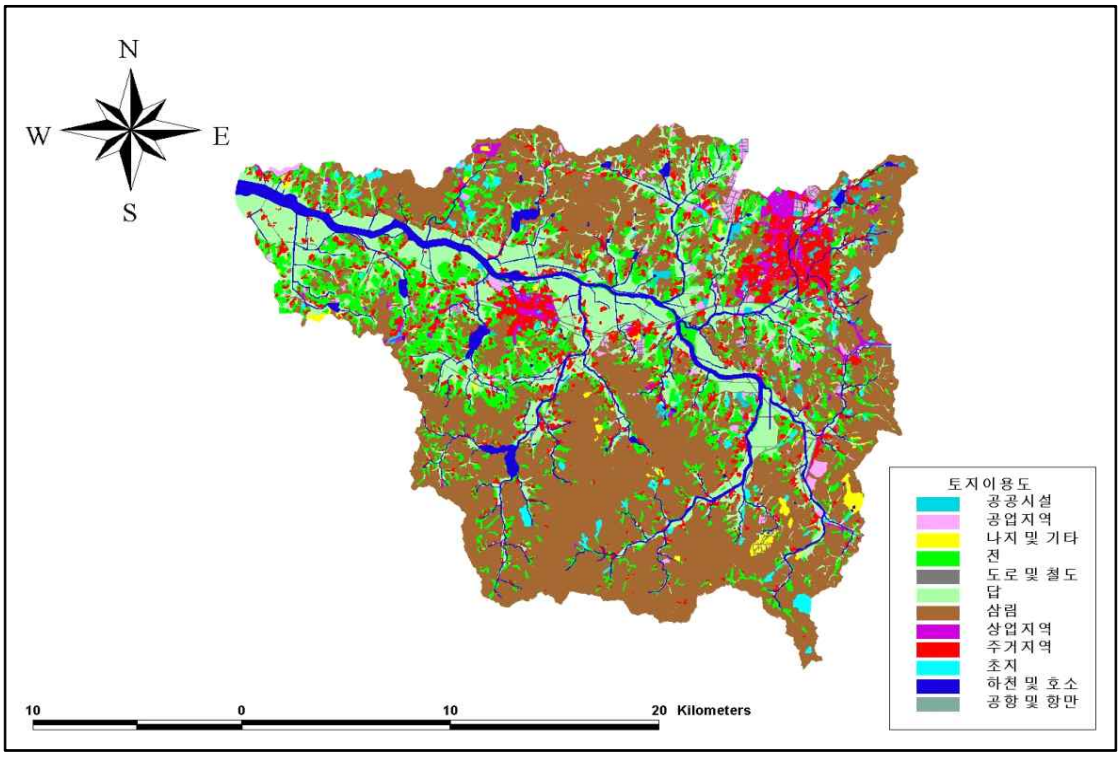
【주】 각 항목별 면적은 토지이용도자료 이용(국립지리원)



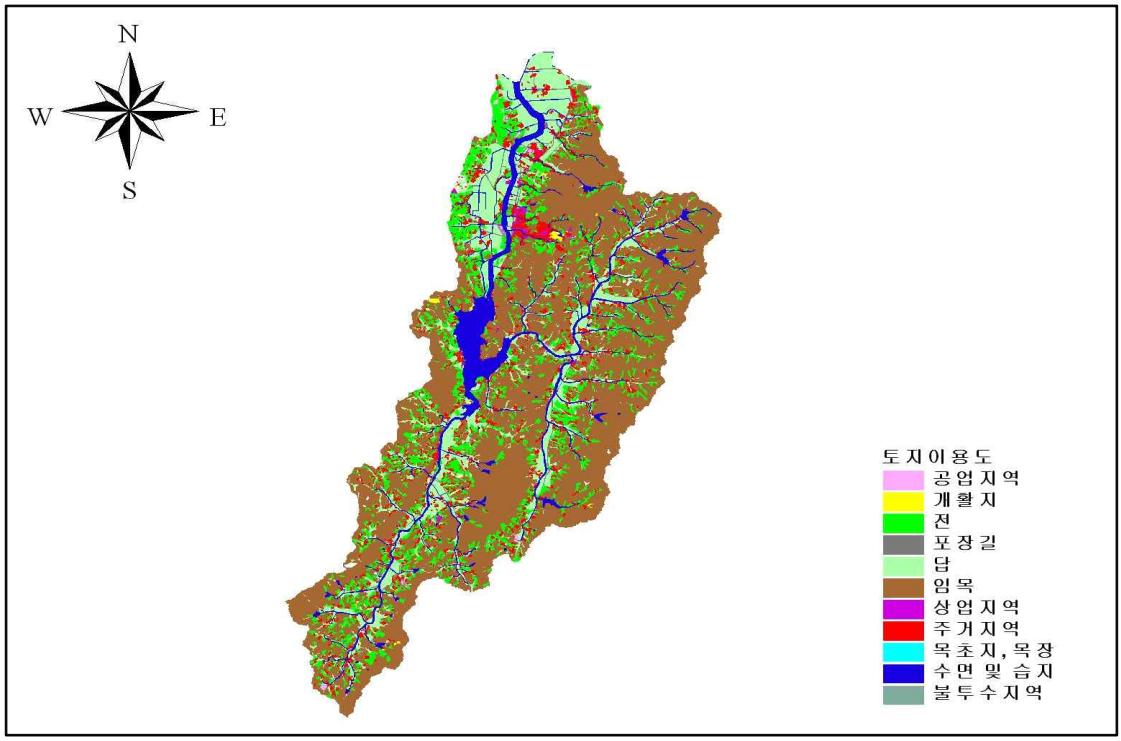
<그림 2.31> 삽교천 유역 토지이용도



<그림 2.32> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 토지이용도



<그림 2.33> 곡교천 유역 토지이용도



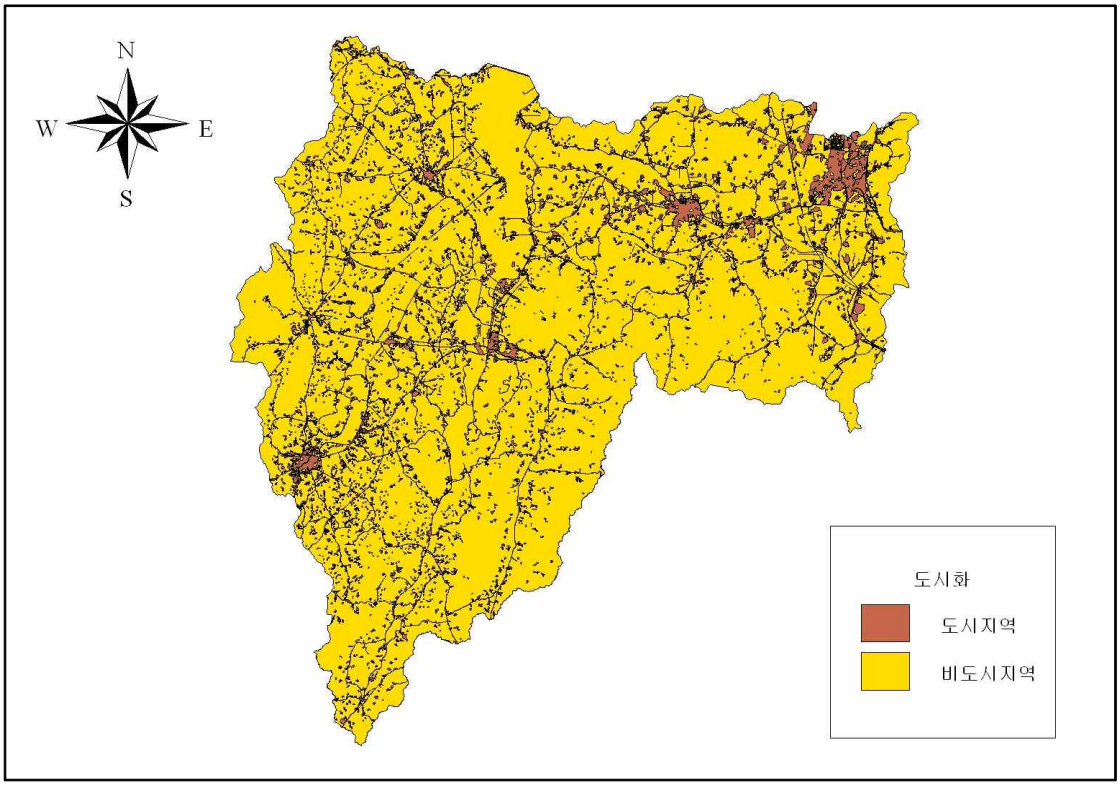
<그림 2.34> 무한천 유역 토지이용도

2.4.2 도시화율

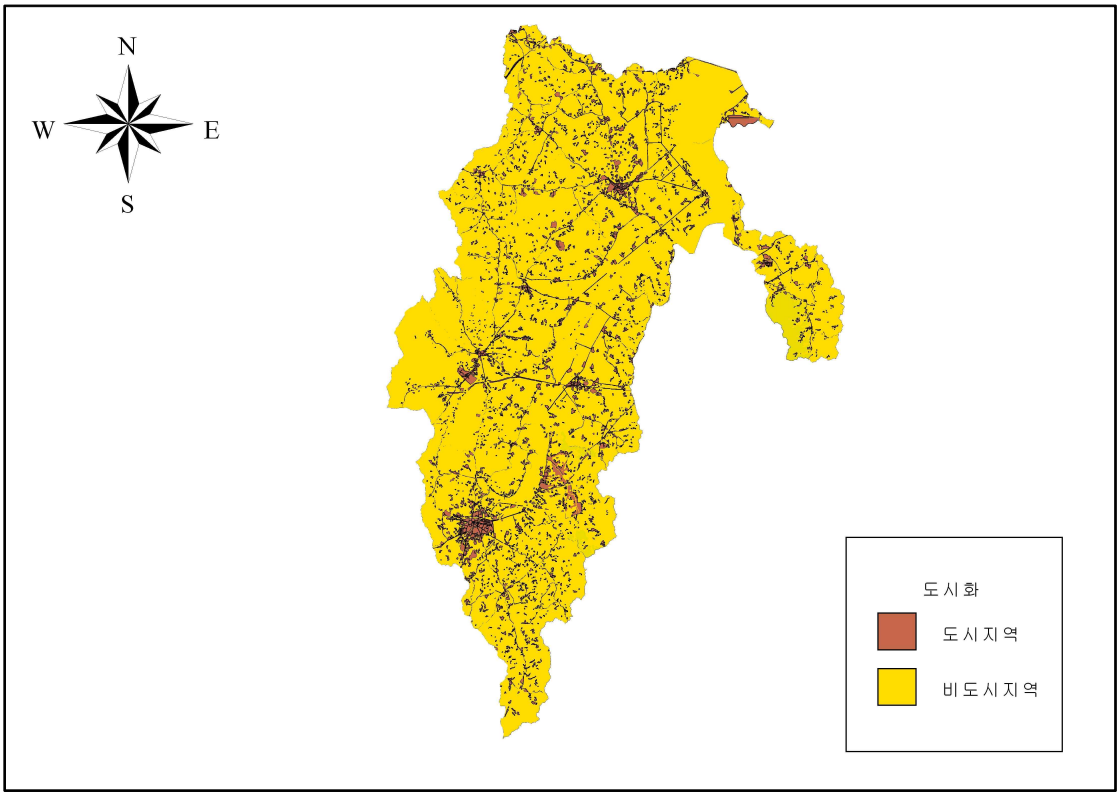
일반적으로 도시화율은 전체 인구에 대한 도시계획구역내 거주인구의 비율을 뜻하지만(건설교통부 주택도시국 도시계획과, 보도자료), 금회 과업에서는 삽교천 유역내 전 지역에 대해 도시계획이 수립되지 않은 관계로 토지이용도상의 38개 소분류 체계 중 상업지역, 주거지역, 공업지역, 공항 및 항만, 도로 및 철도 공공시설을 도시지역으로 간주하여 도시화율을 산정하였다. 삽교천 유역은 도시지역 면적이 136.4㎢로 도시화율이 8.27%인데 전체 도시지역 면적 중 곡교천 유역에 해당하는 지역이 65.91㎢로 가장 크고 다음으로 삽교천 잔유역내에 46.48㎢, 무한천 유역내에 23.97㎢로 분포하고 있다. 도시화율은 곡교천 유역이 12.09%로 다른 지역에 비해 약 2배 정도 높게 나타났는데 삽교천 잔유역과 무한천 유역은 가까운 장래에 특별한 도시개발계획이 없어 당분간 이런 추세가 계속될 것으로 예상된다.

<표 2.33> 삽교천 유역 도시화 현황

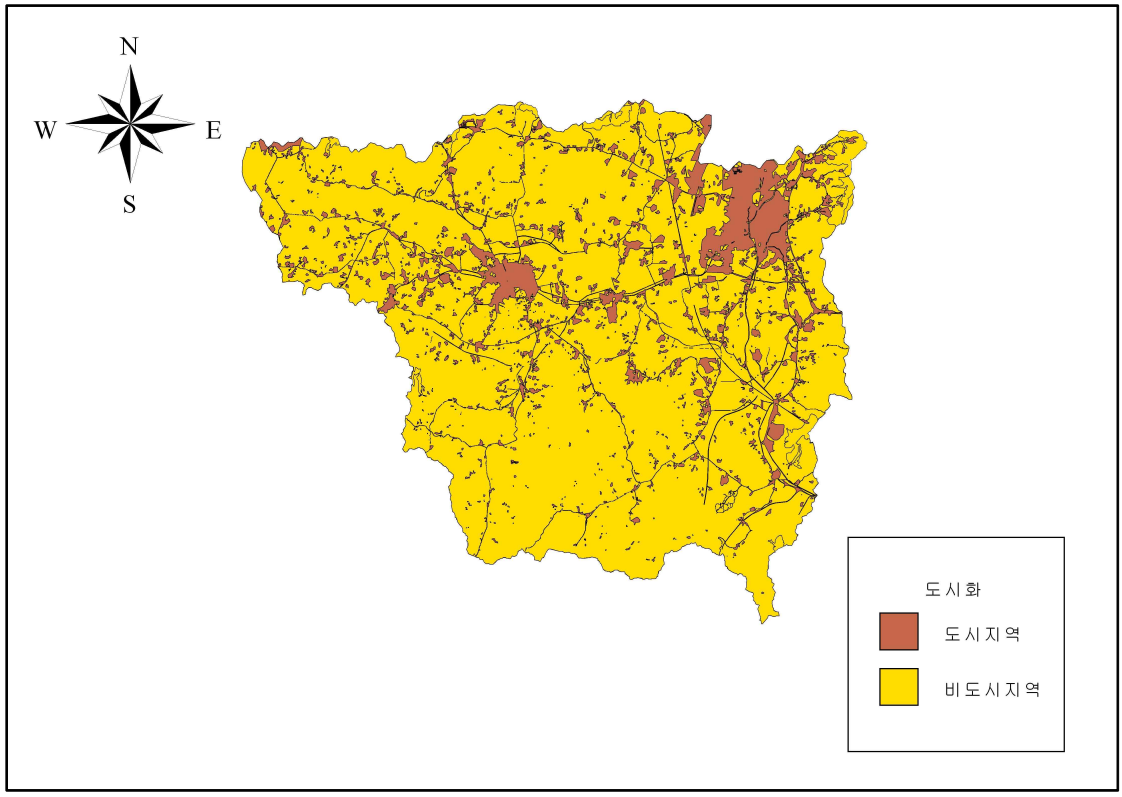
구 분	삽교천(전체)		삽교천(지류제외)		무한천		곡교천	
	면적(㎢)	비율(%)	면적(㎢)	비율(%)	면적(㎢)	비율(%)	면적(㎢)	비율(%)
합 계	1,649.39	-	632.51	-	471.80	-	545.08	-
도시지역	136.40	8.27	46.48	7.35	23.97	5.08	65.91	12.09
비도시지역	1,512.99	91.73	586.03	92.65	447.83	94.92	437.35	80.23



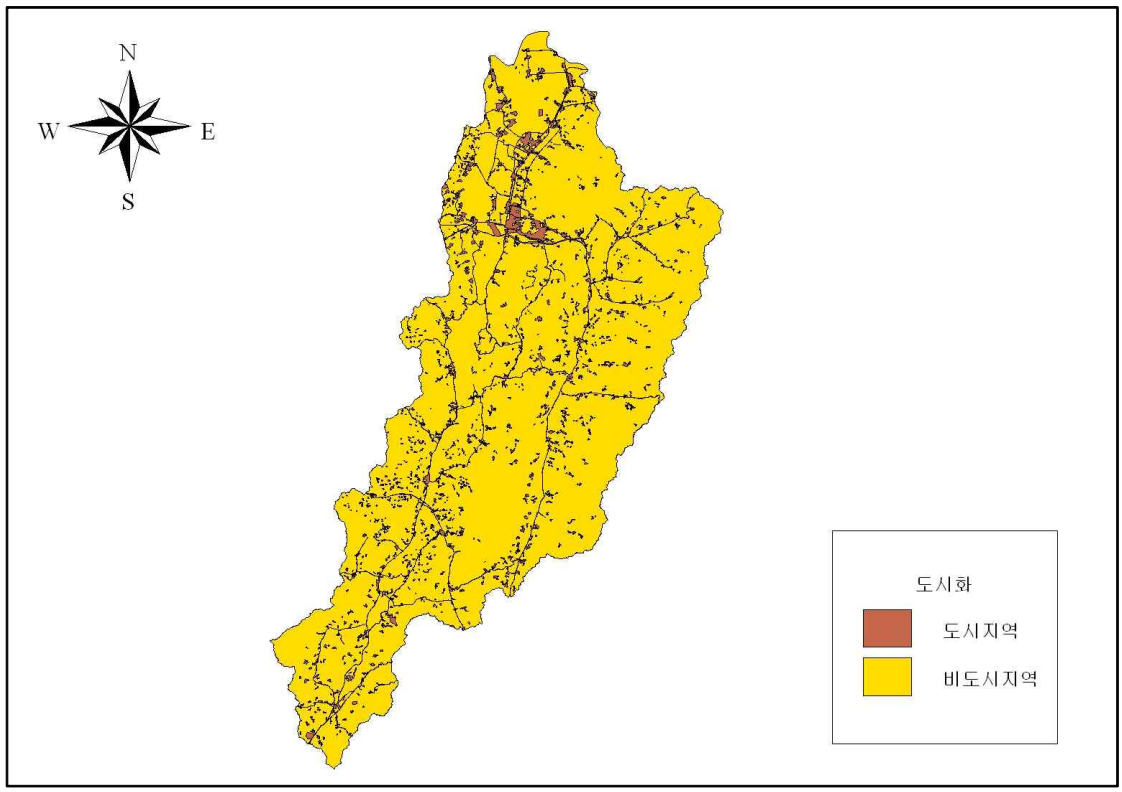
<그림 2.35> 삽교천 유역 도시화 현황도



<그림 2.36> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 도시화 현황도



<그림 2.37> 곡교천 유역 도시화 현황도



<그림 2.38> 무한천 유역 도시화 현황도

2.4.3 삽교천 수계내 향후 토지이용 변화 예측

가. 개발에 따른 유출특성 변화

유역내 개발사업으로 인한 유출특성의 변화는 지표면의 개발로 인해 지표면 흐름의 방향이 변하거나 하도의 매몰 및 배수로 등이 새로 만들어짐으로 인한 하천 및 수계밀도의 증가로 첨두홍수 도달시간 및 기저시간이 감소하여 총 유출용적 및 첨두홍수량이 증가하게 된다. 또한 불투성 면적의 증가로 인해 지하수위는 하강하며 지하수의 총 양은 감소하게 된다.

특히, 자연하천 유역에 신도시를 건설할 경우 대상 지역은 택지, 산림, 밭 등 토지이용이 복합적으로 변화하며 유역의 경사와 투수면적 등이 감소하고 하도개수가 이루어져 홍수유출량 증대와 홍수도달시간 단축 등이 나타난다.

<표 2.34> 도시화에 따른 수문인자와 수문곡선의 변화

지리적 인 자	수문곡선의 요소 / 수문이자의 변화	총유출량	첨두 유량	기저 유량	첨 두 도달시간	기저 길이	감쇄부의 곡선특성 (경사)
지표면이 변화	불투수성 지표의 확대	+	+	-	-	-	+
	표면저류, 조도의 감소	+	+		-	-	+
지하수의 변화	지하수위 저하	-		-			+
하천의 변화	수계밀도의 증대		+		-	-	+
	하도저류의 감소		+		-	-	+
	하도조도의 감소		+		-	-	+

【주】+ : 증가, - : 감소

나. 삽교천 유역의 토지이용 변화 예측

삽교천 유역의 토지이용 상태를 예측하기 위해 삽교천 유역내 각 도시별 도시기본계획을 조사하여 본 과업 목표년도인 2016년의 토지이용 계획을 파악하였다.

도시기본계획 수립 대상지역은 시지역 및 해당 지자체장이 필요하다고 인정되는 읍지역·면지역·온천 및 관광휴양지역 등으로서 급격한 인구 증가가 예상되는 지역에 대해서 수립하며, 공업단지·택지개발 등으로 조성된 인구 2만명이상의 신도시 등에 대해서도 기본계획을 수립한다.

2002년 말 현재 전국의 도시기본계획은 시급 이상의 도시는 모두 수립되었으며, 읍단위 지역의 경우 총 207개소 중 177개소가 수립되어 85%이상의 수립율을 보이고 있는 반면 면단위 지역은 총 1,209개소 중 304개소가 수립되어 25%의 수립율을 보이고 있다.

삽교천 유역의 경우 시단위 및 읍단위 이상의 도시는 기본계획이 수립되었으며, 면단위는 천안시 목천면, 병천면 등 10개 지역이 수립되었다. 각 도시별 기본계획의 세부적인 내용은 다음과 같다.

<표 2.35> 전국 도시기본계획 수립현황

2002. 12월말 현재

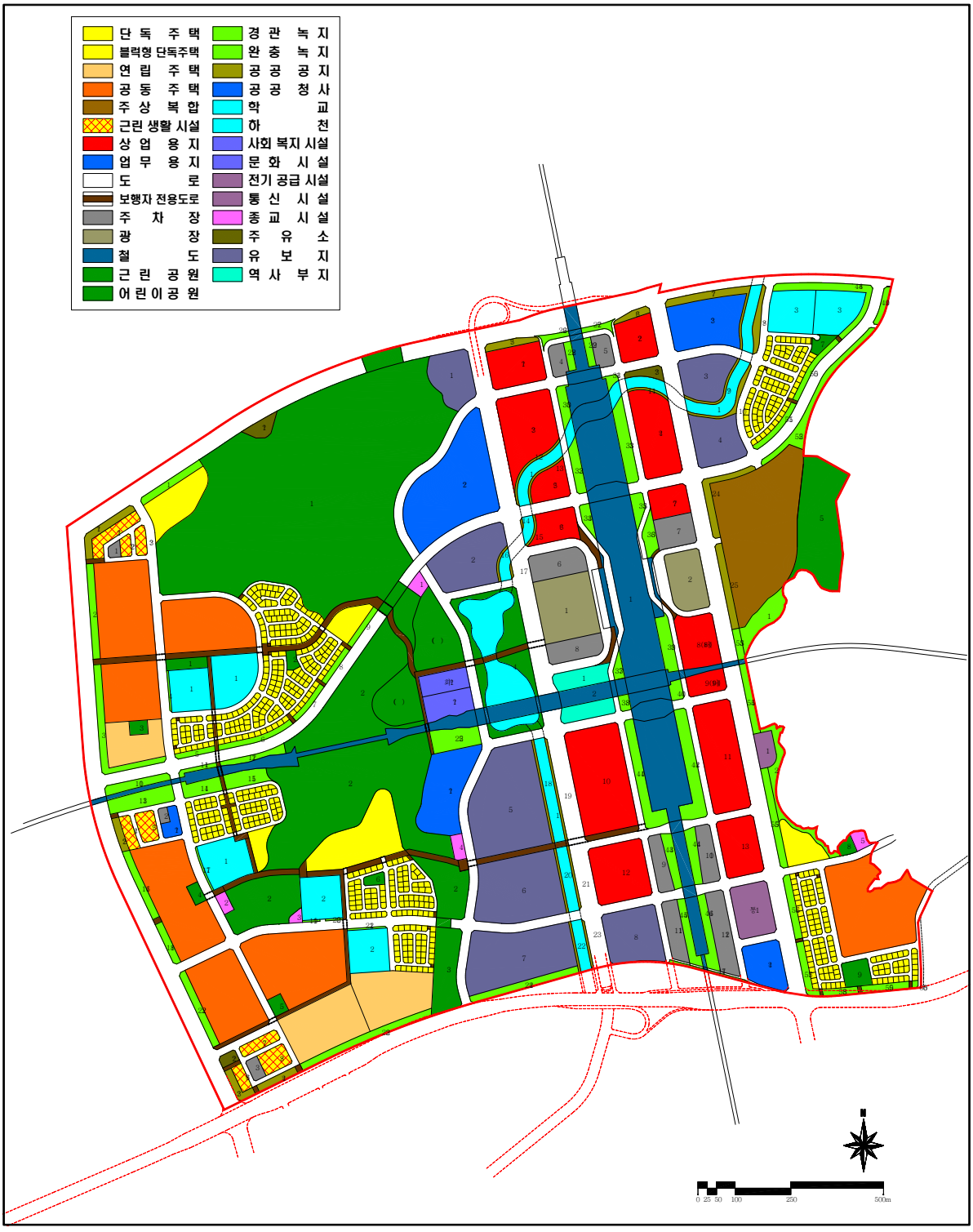
구 분	전 체				기본계획 수립지역			
	도시수	시 급	읍 급	면 급	도시수	시 급	읍 급	면 급
전 국	1,490	74	207	1,209	555	74	177	304
충 남	176	6	24	146	50	6	19	25
삽교천	45	2	6	37	18	2	6	10

<표 2.36> 삽교천 유역내 도시기본계획 수립현황

시·군명	개소수	시단위	읍단위	면단위	비 고
천안시	3	천안시	-	목천, 병천	
아산시	4	아산시	-	도고, 둔포, 배방	
서산시	-	-	-	-	
연기군	1	-	-	전의	
청양군	1	-	청양	-	
홍성군	2	-	홍성, 광천	-	
예산군	3	-	예산, 삽교	덕산	
당진군	4	-	합덕	면천, 송악, 신평	

가까운 장래에 삽교천 유역에서 가장 눈에 띄는 변화는 고속철도 천안·아산역 역세권을 중심으로 고속철도 천안·아산역 배후 신도시가 개발되는 것인데, 아산만권 배후 신도시는 이미 1998년 12월 개발촉진지구로 지정(886만평)되었고, 이후 '02.1일 1단계로 고속철도 역세권 107만평을 우선 개발키로 하였으며, '02. 9월 택지개발예정지구로 지정되었다. 향후 1단계 개발지역은 2004년 계획을 확정한 후 2007년 완공할 예정이며, 2, 3단계 개발은 2005년 중으로 기본구상을 실시하여 그 결과에 따라 개발계획을 수립할 예정이다.

금회 과업의 목표년도를 기준으로 토지이용 변화를 예측하는데 있어, 천안·아산역 배후신도시 1단계(107만평) 사업 외에는 구체적인 토지이용계획이 수립되지 않았으므로, 2016년까지 2, 3단계지역이 주거지역 개발 완료된다고 가정하여 장래 토지이용 변화를 추정하였다.



<그림 2.39> 천안・아산역 배후신도시 토지이용계획도

(1) 행정구역별 토지이용 변화 예측

삽교천 유역내 각 행정구역별 도시기본계획 및 천안・아산역 배후 신도시 계획을 바탕으로 추정한 목표년도(2016년)의 토지이용은 <표 2.37>에서 보는바와 같이 전체적으로 주거용지가 크게 증가하며 다음으로 공업지, 상업지 등이 증가할 것으로 예상된다. 행정

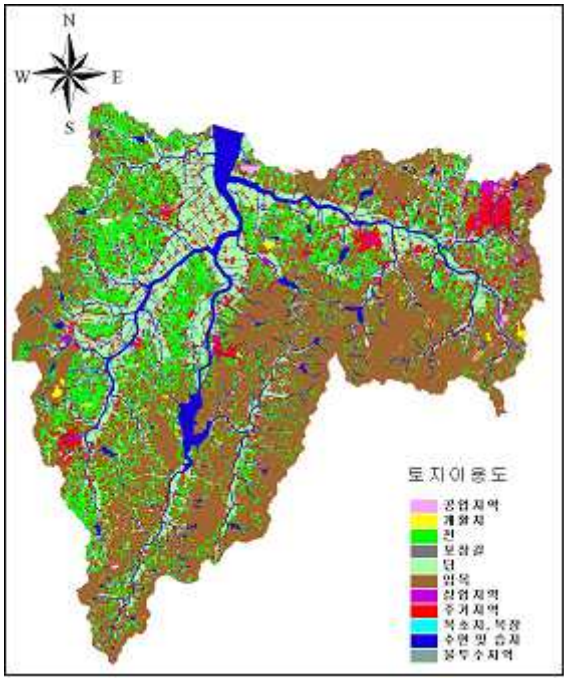
구역별로는 천안 지역에서 개발이 많이 예상되며, 아산시, 홍성군, 예산군, 당진군 등의 순으로 개발이 예상된다. 그러나 연기군의 경우 삽교천 유역내에 주요 도시지역이 위치하지 않아서 특별한 변화는 예상되지 않으며, 청양군의 경우 청양읍이 도시계획이 수립되었으나, 대상지역이 삽교천 유역 밖에 위치하고 있다. 천안·아산 배후 신도시의 경우 토지이용 계획이 구체적으로 수립된 1단계 지역 3.54㎢에 뿐만 2, 3단계지역인 25.75㎢에 대해서도 주거지역으로 간주하여 장래 토지이용 변화를 추정하는데 반영하였다.

<표 2.37> 삽교천 수계내 목표년도 토지이용 변화 예측

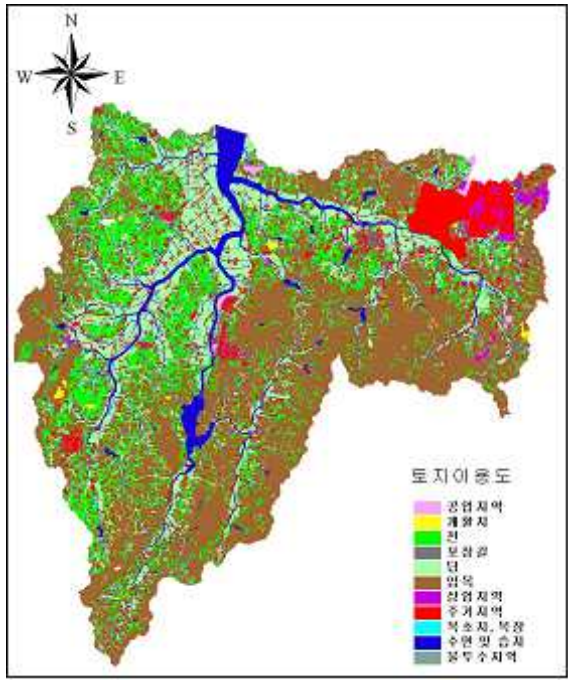
행정구역	발행년	2016년 기본계획상 수요면적(㎢)									
		주거용지		상업용지		공업용지		녹지		기 타지	
		면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율
합 계		73.03	17.69	6.33	1.53	14.56	3.53	316.23	76.61	2.64	0.64
천안시	1997	25.16	9.05	2.81	1.01	11.14	4.00	237.82	85.56	1.02	0.36
아산시	1991	6.82	17.98	1.50	3.95	0.78	2.05	28.81	75.99	-	-
예산군	1997	4.56	15.11	0.58	1.92	1.92	6.36	23.11	76.59	-	-
당진군	1998	3.66	34.28	0.29	2.75	0.06	0.52	6.66	62.43	-	-
홍성군	1998	6.09	23.85	0.77	3.01	0.66	2.57	18.01	70.55	-	-
연기군	1998	0.34	26.77	0.03	2.36	-	-	0.90	70.86	-	-
아산신도시	2003	26.40	90.14	0.35	1.19	-	-	0.92	3.13	1.62	5.52

(2) 유역별 토지이용 변화 예측

삽교천 수계내 주요 하천유역별 토지이용 상태는 전반적으로 큰 변화가 없는 것으로 추정되었으나, 곡교천 유역에 위치한 천안시 지역 및 무한천 중류지역의 예산읍과 삽교천 상류부인 홍성읍 지역에서 변화가 예상된다. 지목별로는 삽교천 전체유역을 기준으로 임목지가 22.84㎢ 감소하며 그 다음으로 답지역이 14.85㎢, 전지역이 7.07㎢ 순으로 감소가 예상되는 반면, 주거지역이 41.91㎢가 증가하고 상업지역 9.30㎢, 공업지역 0.32㎢가 증가할 것으로 예상된다. 이러한 변화는 대부분 곡교천 유역에서 발생하며, 상대적으로 삽교천 잔유역과 무한천 유역에서의 변화는 미미할 것으로 예상된다. 현 상태와 목표년도를 기준으로 추정한 각 지목별 면적과 변화는 <표 2.38> 및 <그림 2.40>~<그림 2.43>에 수록하였다.

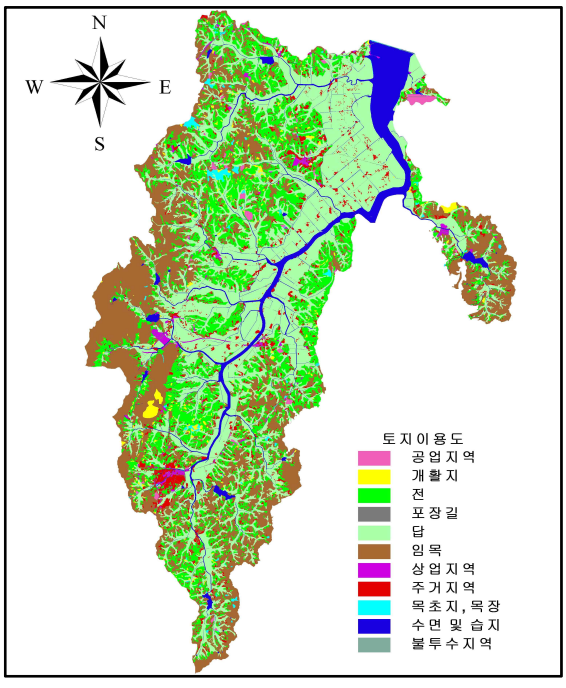


현상태 토지이용 현황

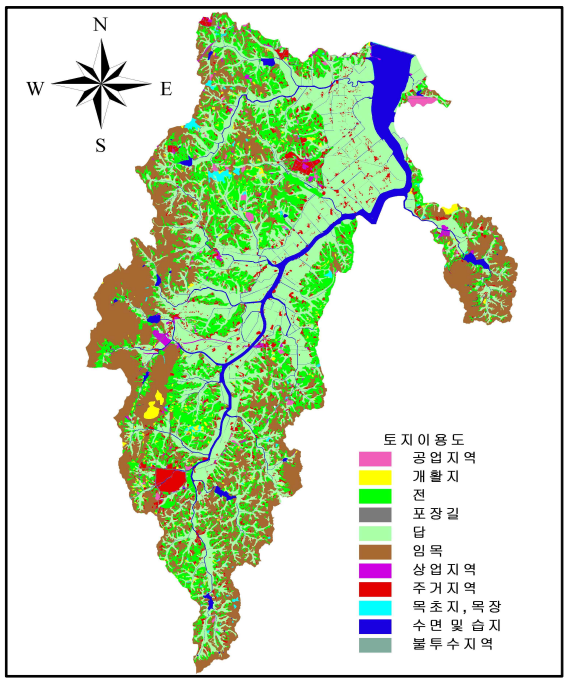


목표년도 토지이용 예측

<그림 2.40> 삽교천 유역 토지이용 변화 비교

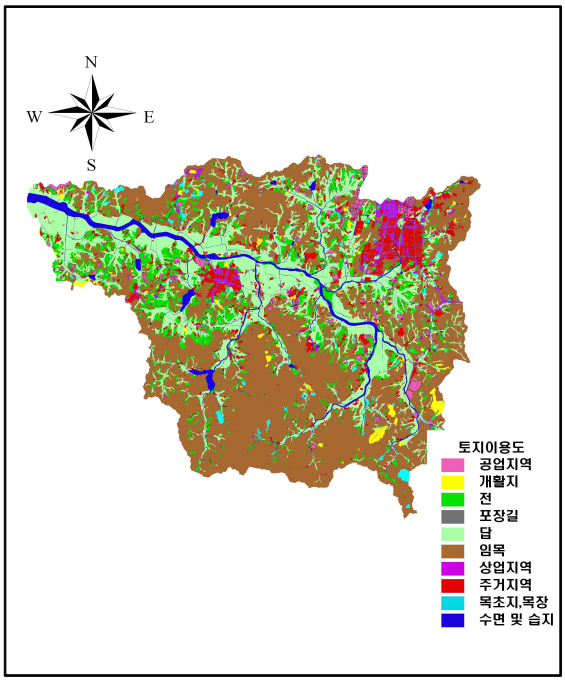


현상태 토지이용 현황

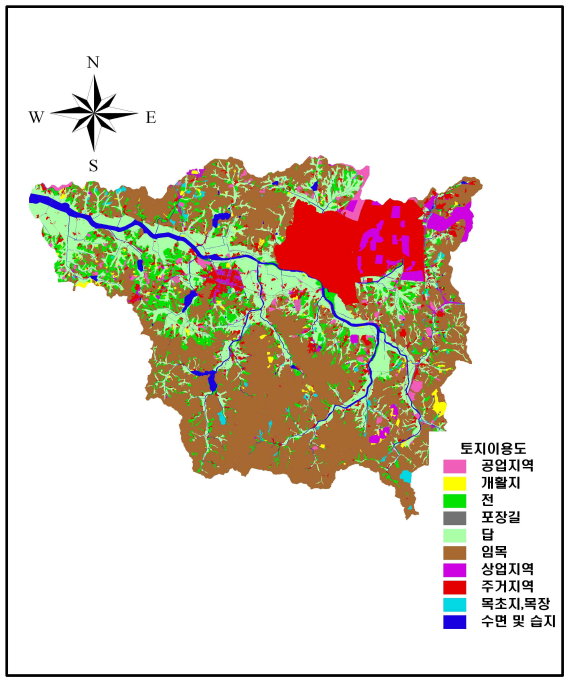


목표년도 토지이용 예측

<그림 2.41> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 토지이용 변화 비교

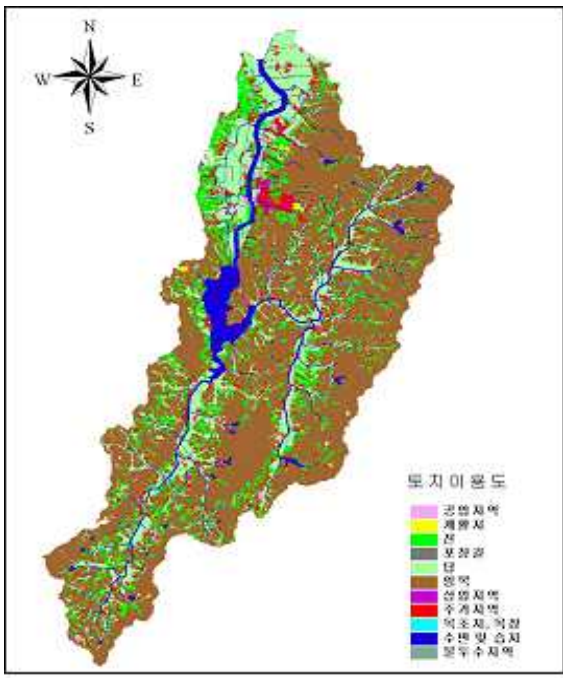


현상태 토지이용 현황

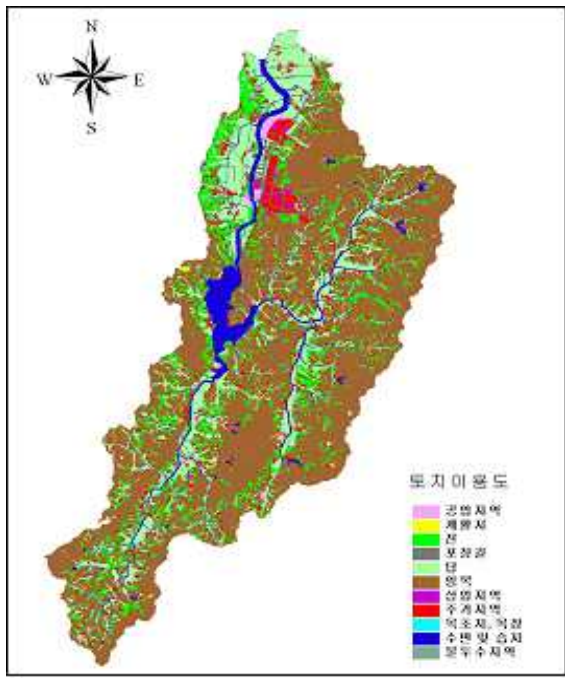


목표년도 토지이용 예측

<그림 2.42> 곡교천 유역 토지이용 변화 비교



현상태 토지이용 현황

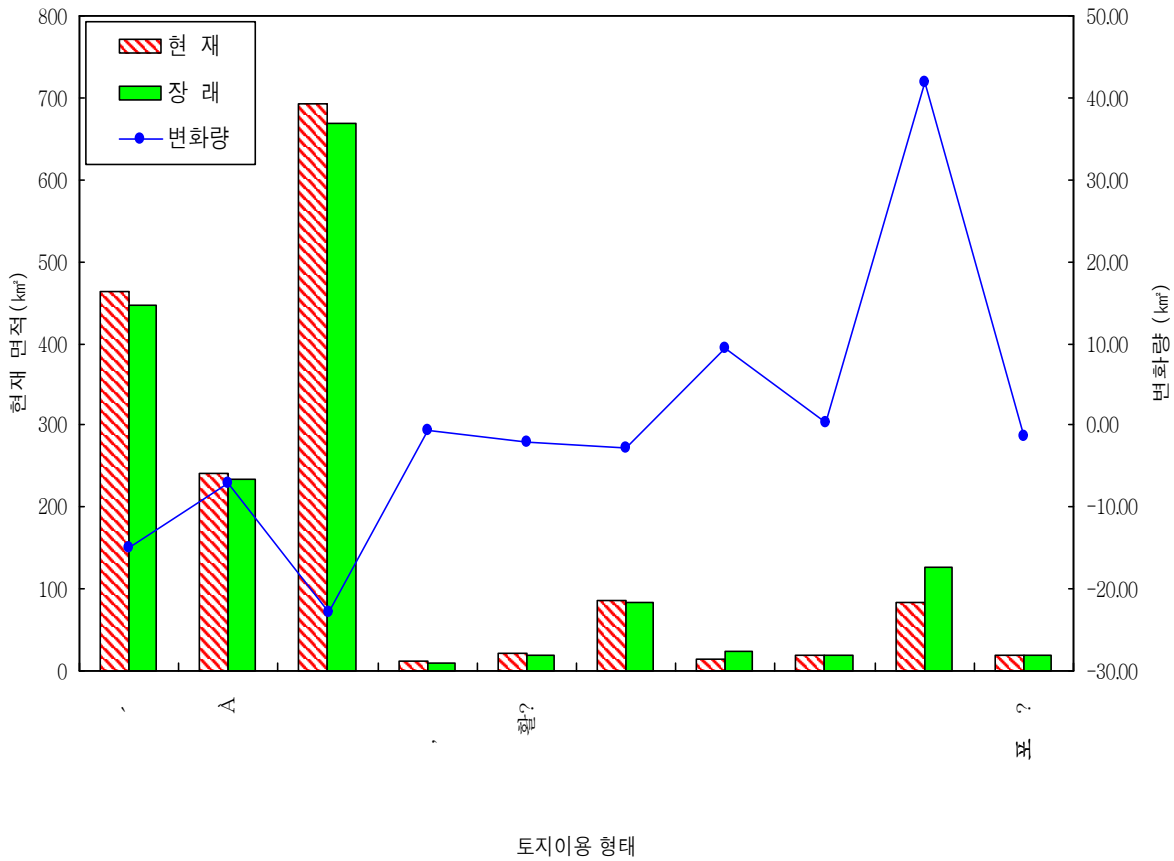


목표년도 토지이용 예측

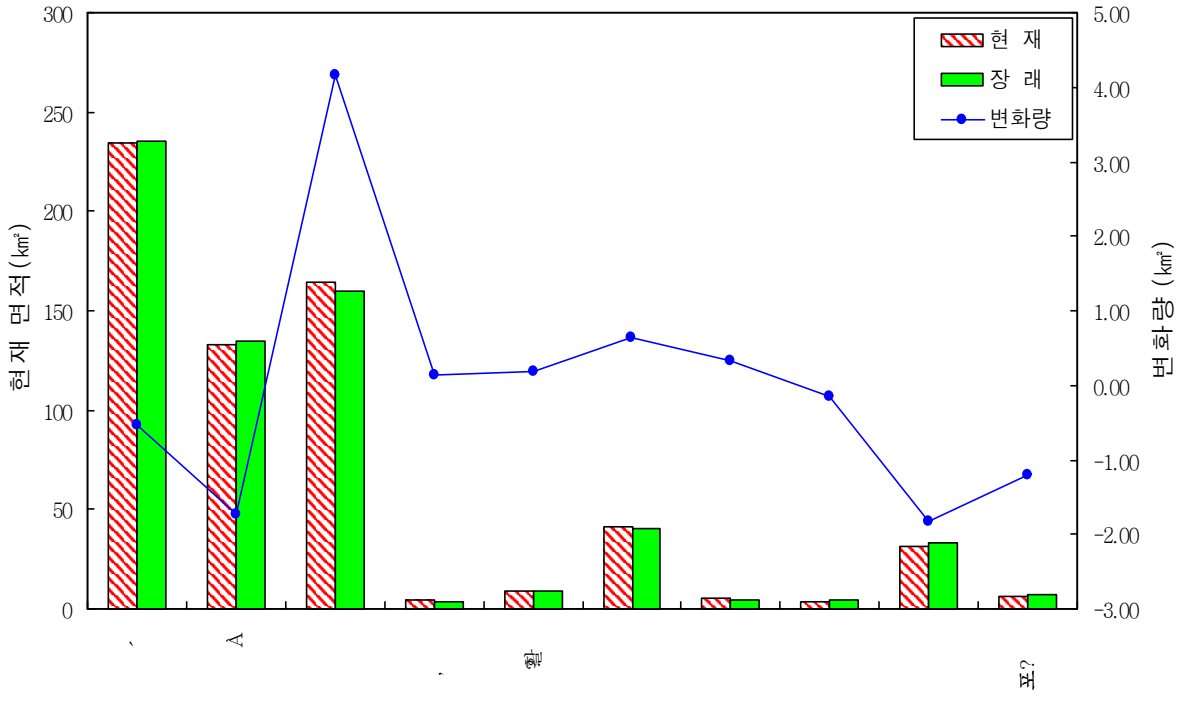
<그림 2.43> 무한천 유역 토지이용 변화 비교

<표 2.38> 삽교천 유역내 지목별 토지이용 변화 예측

유역명 / 토지이용	삽 교 천 (전체)			삽교천 잔유역			곡 교 천			무 한 천		
	현재	향후	변화량	현재	향 후	변화량	현 재	향 후	변화량	현 재	향 후	변화량
답	462.51	447.66	-14.85	234.88	235.42	-0.54	121.2	108.07	-13.13	106.43	104.17	-2.26
전	240.08	233.01	-7.07	133.35	135.08	-1.73	58.22	51.17	-7.05	48.51	46.76	-1.75
목초지,목장	11.21	10.53	-0.68	4.08	3.95	0.13	5.1	4.59	-0.51	2.03	1.99	-0.04
임목	691.44	668.60	-22.84	163.99	159.84	4.15	264.52	246.82	-17.7	262.93	261.94	-0.99
개활지	20.63	18.64	-1.99	8.77	8.58	0.19	8.84	7.18	-1.66	3.02	2.88	-0.14
주거지역	83.47	125.38	41.91	31.34	33.17	-1.83	34.95	72.88	37.93	17.18	19.33	2.15
상업지역	14.47	23.77	9.30	5.07	4.75	0.32	7.9	16.92	9.02	1.50	2.10	0.60
공업지역	18.19	18.51	0.32	4.02	4.16	-0.14	12.41	11.27	-1.14	1.76	3.08	1.32
포장길	20.25	18.82	-1.43	6.05	7.25	-1.2	10.65	6.69	-3.96	3.55	4.88	1.33
불투수지역	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수면 및 습지	87.14	84.47	-2.67	40.96	40.31	0.65	21.29	19.49	-1.8	24.89	24.67	-0.22
계	1,649.39	1,649.39	-	632.51	632.51	-	545.08	545.08	-	471.80	471.80	-

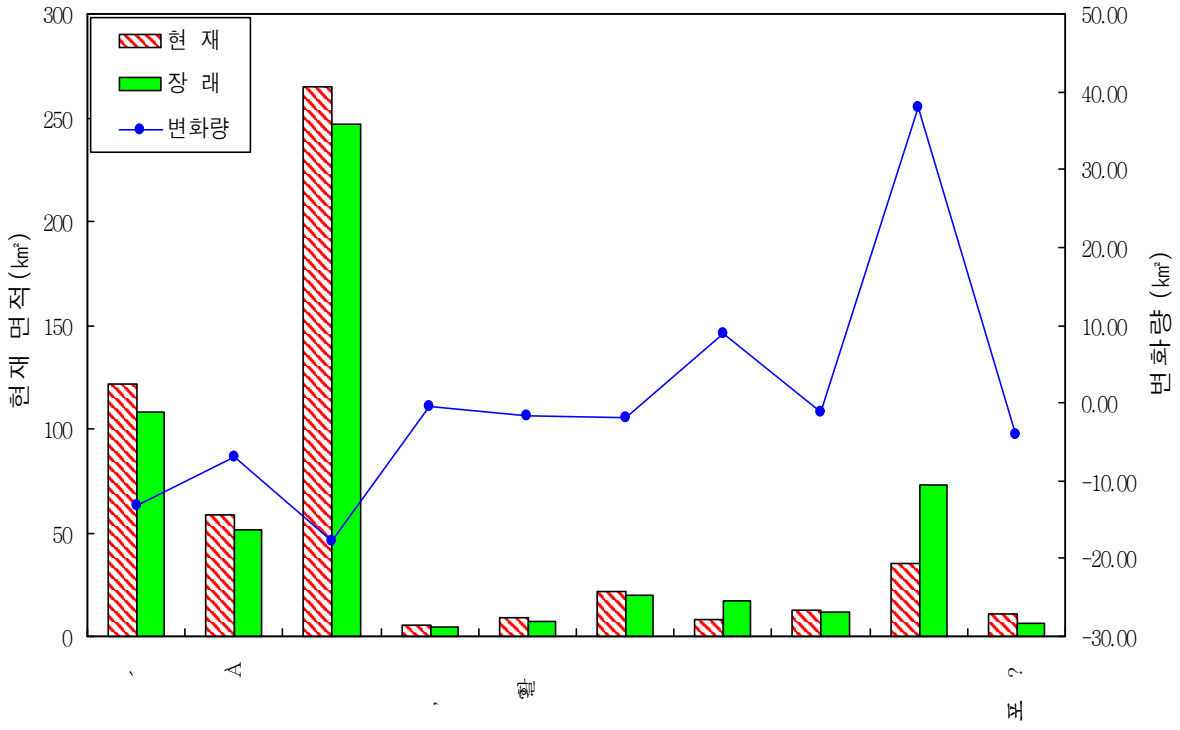


<그림 2.44> 삽교천 유역 지목별 토지이용변화 비교



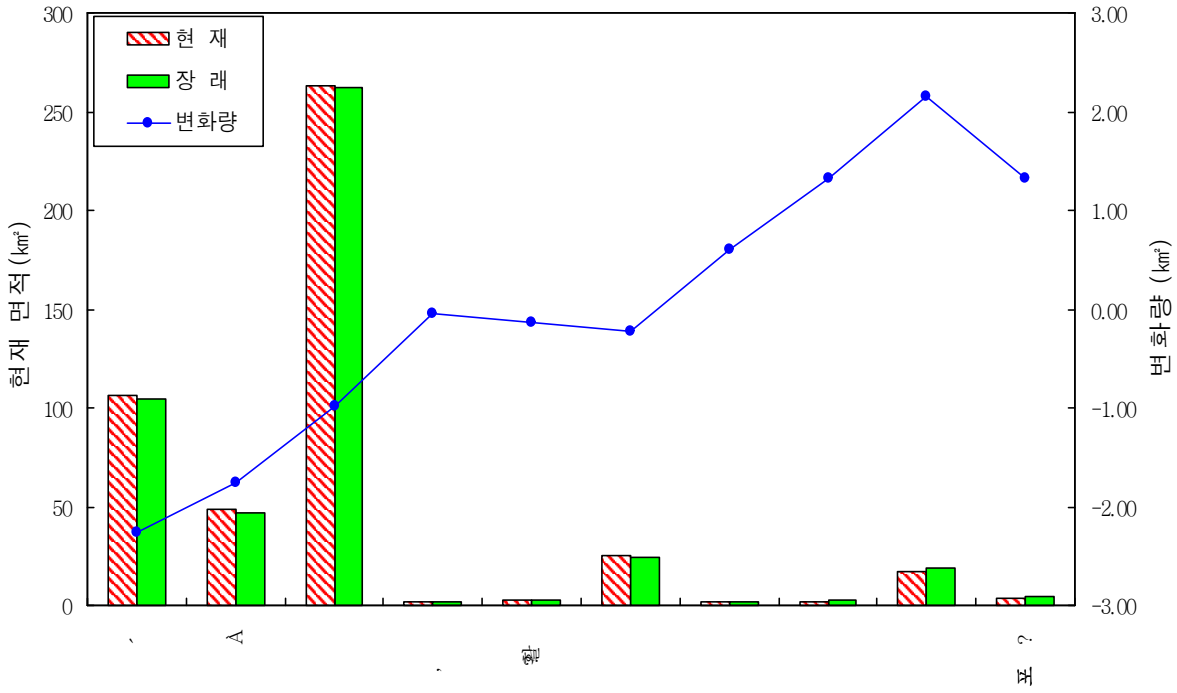
토지이용 형태

<그림 2.45> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역제외) 지목별 토지이용변화 비교



토지이용 형태

<그림 2.46> 곡교천 유역 지목별 토지이용변화 비교



토지이용 형태

<그림 2.47> 무한천 유역 지목별 토지이용변화 비교

(3) 유역별 유출특성(CN 값) 변화 예측

삽교천 유역 전체 및 주요 지류하천 유역에 대해 (2)절에서 예측한 토지이용 변화를 기준으로 홍수시 유출에 큰 영향을 미치는 CN값을 산정하였다. 현상태 및 목표년도의 CN값 산정결과 삽교천 유역 전체로는 CN값이 상대적으로 작은 임목 및 답지역 면적이 감소하고, 주거지역 및 공업지역 등에서 면적이 증가하여 AMC-Ⅱ조건에서는 목표년도의 CN값이 현재의 70.9보다 0.4 증가한 71.3으로 산정되었으며, AMC-Ⅲ조건에서는 0.3이 증가하여 85.1으로 추정되었다. 이러한 변화는 주로 곡교천 유역에서 발생하는데 AMC-Ⅲ 조건을 기준으로 현상태의 CN값이 83.3에서 목표년도에는 84.1로 0.8 증가한데 비해 삽교천 잔유역 및 무한천 유역의 변화는 0.1에 불과한 것으로 예측되었다. 각 유역별 현상태 및 목표년도의 CN값에 대한 세부적인 내용은 <표 2.39>~<표 2.47>과 같다.

<표 2.39> 삽교천 및 무한천 유역의 CN값 변화

유 역 명	AMC-Ⅱ		AMC-Ⅲ		비 고
	현 상 태	목표년도	현 상 태	목표년도	
삽 교 천	70.9	71.3	84.8	85.1	전체 유역
	76.3	76.4	88.1	88.2	무한천, 곡교천 유역 제외
무 한 천	66.3	66.5	81.9	82.0	
곡 교 천	68.4	69.6	83.3	84.1	

<표 2.40> 삽교천 유역 현상태 CN값

토 지	A		B		C		D		총면적 (㎢)	CN	
이 용	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN		AMCⅡ	AMCⅢ
답	11.69	67	104.26	78	323.06	85	23.50	89	462.51	83.2	
전	31.96	63	153.97	75	52.67	83	1.48	87	240.08	75.2	
목초지,목장	4.49	49	5.39	69	1.22	79	0.11	84	11.21	62.2	
임목	421.71	45	202.55	66	52.04	77	15.14	83	691.44	54.4	
개활지	5.61	49	10.11	69	4.29	79	0.62	84	20.63	66.1	
주거지역	6.15	77	46.55	85	29.28	90	1.49	92	83.47	86.3	
상업지역	1.29	89	6.71	92	6.08	94	0.38	95	14.47	92.7	
공업지역	2.01	81	11.71	88	4.32	91	0.15	93	18.19	88.0	
포장길	1.45	83	8.35	89	9.74	92	0.71	93	20.25	90.2	
불투수지역	-	98	-	98	-	98	-	98	-	-	
수면 및 습지	1.54	100	34.61	100	28.46	100	22.53	100	87.14	100.0	
계	487.91		584.21		511.17		66.11		1,649.39	70.9	84.8

<표 2.41> 삽교천 유역 목표년도 CN값

토 지	A		B		C		D		총면적 (㎢)	CN	
이 용	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN		AMCⅡ	AMCⅢ
답	12.17	67	100.12	78	312.70	85	22.67	89	447.66	83.2	
전	32.00	63	147.42	75	52.21	83	1.38	87	233.01	75.2	
목초지,목장	4.03	49	5.30	69	1.08	79	0.12	84	10.53	62.5	
임목	413.65	45	189.99	66	50.09	77	14.87	83	668.60	54.2	
개활지	4.65	49	9.19	69	4.21	79	0.59	84	18.64	66.7	
주거지역	10.35	77	68.46	85	44.21	90	2.36	92	125.38	86.2	
상업지역	6.32	89	10.37	92	6.48	94	0.60	95	23.77	91.8	
공업지역	2.00	81	11.83	88	4.33	91	0.35	93	18.51	88.0	
포장길	1.46	83	7.99	89	8.88	92	0.49	93	18.82	90.0	
불투수지역	-	98	-	98	-	98	-	98	-	-	
수면 및 습지	1.27	100	33.54	100	26.98	100	22.68	100	84.47	100	
계	487.91		584.21		511.17		66.11		1,649.39	71.3	85.1

<표 2.42> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 현상태 CN값

토 지	A		B		C		D		총면적 (㎢)	CN	
이 용	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN		AMCⅡ	AMCⅢ
답	2.51	67	42.96	78	177.86	85	11.55	89	234.88	83.7	
전	16.00	63	92.34	75	24.42	83	0.59	87	133.35	75.1	
목초지,목장	1.12	49	2.36	69	0.50	79	0.10	84	4.08	65.1	
임목	71.54	45	70.07	66	17.20	77	5.18	83	163.99	58.5	
개활지	2.13	49	4.53	69	1.60	79	0.51	84	8.77	66.8	
주거지역	2.04	77	20.18	85	8.89	90	0.23	92	31.34	86.0	
상업지역	0.38	89	2.49	92	2.07	94	0.12	95	5.07	92.5	
공업지역	0.33	81	2.91	88	0.78	91	0.00	93	4.02	88.0	
포장길	0.31	83	2.50	89	3.06	92	0.18	93	6.05	90.3	
불투수지역	-	98	-	98	-	98	-	98	-	-	
수면 및 습지	0.53	100	8.85	100	12.60	100	18.98	100	40.96	100.0	
계	96.9		249.19		248.98		37.44		632.51	76.3	88.1

<표 2.43> 삽교천 잔유역(곡교천, 무한천 유역 제외) 목표년도 CN값

토 지	A		B		C		D		총면적 (㎢)	CN	
이 용	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN		AMCⅡ	AMCⅢ
답	3.31	67	44.28	78	176.75	85	11.08	89	235.42	83.6	
전	16.43	63	91.69	75	26.33	83	0.63	87	135.08	75.2	
목초지,목장	0.78	49	2.64	69	0.41	79	0.12	84	3.95	66.5	
임목	71.12	45	67.13	66	16.34	77	5.25	83	159.84	58.3	
개활지	2.06	49	4.22	69	1.81	79	0.49	84	8.58	67.2	
주거지역	1.89	77	21.86	85	9.14	90	0.28	92	33.17	86.0	
상업지역	0.37	89	2.31	92	1.96	94	0.11	95	4.75	92.7	
공업지역	0.38	81	2.94	88	0.83	91	0.01	93	4.16	88.0	
포장길	0.40	83	3.25	89	3.45	92	0.15	93	7.25	90.2	
불투수지역	-	98	-	98	-	98	-	98	-	-	
수면 및 습지	0.26	100	8.70	100	11.96	100	19.35	100	40.27	100.0	
계	97.00		249.02		248.98		37.47		632.47	76.4	88.2

<표 2.44> 곡교천 유역 현상태 CN값

토 지	A		B		C		D		총면적 (㎢)	CN	
이 용	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN		AMCⅡ	AMCⅢ
답	3.51	67	28.43	78	83.48	85	5.78	89	121.2	83.0	
전	6.61	63	35.65	75	15.50	83	0.46	87	58.22	75.9	
목초지,목장	2.35	49	2.23	69	0.51	79	0.01	84	5.10	60.8	
임목	174.90	45	71.28	66	14.79	77	3.55	83	264.52	53.0	
개활지	2.98	49	3.89	69	1.88	79	0.09	84	8.84	64.5	
주거지역	2.27	77	18.49	85	13.28	90	0.91	92	34.95	86.6	
상업지역	0.79	89	3.54	92	3.39	94	0.18	95	7.90	92.6	
공업지역	1.35	81	7.80	88	3.12	91	0.14	93	12.41	88.1	
포장길	0.78	83	4.37	89	5.07	92	0.43	93	10.65	90.2	
불투수지역	-	98	-	98	-	98	-	98	-	-	
수면 및 습지	0.32	100	8.07	100	10.16	100	2.74	100	21.29	100.0	
계	195.86		183.75		151.18		14.29		545.08	68.5	83.3

<표 2.45> 곡교천 유역 목표년도 CN값

토 지	A		B		C		D		총면적 (㎢)	CN	
이 용	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN		AMCⅡ	AMCⅢ
답	3.22	67	24.15	78	75.06	85	5.64	89	108.07	83.1	
전	6.29	63	31.13	75	13.43	83	0.32	87	51.17	75.7	
목초지,목장	2.23	49	1.90	69	0.46	79	-	84	4.59	60.3	
임목	167.75	45	62.1	66	13.77	77	3.20	83	246.82	52.6	
개활지	2.09	49	3.40	69	1.61	79	0.08	84	7.18	65.6	
주거지역	6.42	77	37.3	85	27.43	90	1.73	92	72.88	86.3	
상업지역	5.50	89	7.00	92	3.98	94	0.44	95	16.92	91.6	
공업지역	1.29	81	7.10	88	2.75	91	0.13	93	11.27	88.0	
포장길	0.64	83	2.57	89	3.29	92	0.19	93	6.69	90.0	
불투수지역	-	98	-	98	-	98	-	98	-	-	
수면 및 습지	0.32	100	7.23	100	9.41	100	2.53	100	19.49	100.0	
계	195.78		183.88		151.19		14.26		545.08	69.6	84.1

<표 2.46> 무한천 유역 현상태 CN값

토 지	A		B		C		D		총면적 (㎢)	CN	
이 용	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN		AMCⅡ	AMCⅢ
답	5.67	67	32.87	78	61.72	85	6.17	89	106.43	82.1	
전	9.35	63	25.98	75	12.75	83	0.43	87	48.51	74.9	
목초지,목장	1.02	49	0.80	69	0.21	79	-	84	2.03	60.0	
임목	175.27	45	61.20	66	20.05	77	6.41	83	262.93	53.3	
개활지	0.50	49	1.69	69	0.81	79	0.02	84	3.02	68.5	
주거지역	1.84	77	7.88	85	7.11	90	0.35	92	17.18	86.4	
상업지역	0.12	89	0.68	92	0.62	94	0.08	95	1.50	92.8	
공업지역	0.33	81	1.00	88	0.42	91	0.01	93	1.76	87.4	
포장길	0.36	83	1.48	89	1.61	92	0.10	93	3.55	89.9	
불투수지역	-	98	-	98	-	98	-	98	-	-	
수면 및 습지	0.69	100	17.69	100	5.70	100	0.81	100	24.89	100.0	
계	195.15		151.27		111.00		14.38		471.80	66.3	81.9

<표 2.47> 무한천 유역 목표년도 CN값

토 지	A		B		C		D		총면적 (㎢)	CN	
이 용	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN	면적 (㎢)	CN		AMCⅡ	AMCⅢ
답	5.64	67	31.69	78	60.89	85	5.95	89	104.17	82.1	-
전	9.28	63	24.60	75	12.45	83	0.43	87	46.76	74.9	-
목초지,목장	1.02	49	0.76	69	0.21	79	-	84	1.99	59.8	-
임목	174.78	45	60.76	66	19.98	77	6.42	83	261.94	53.2	-
개활지	0.50	49	1.57	69	0.79	79	0.02	84	2.88	68.4	-
주거지역	2.04	77	9.30	85	7.64	90	0.35	92	19.33	86.3	-
상업지역	0.45	89	1.06	92	0.54	94	0.05	95	2.10	91.9	-
공업지역	0.33	81	1.79	88	0.75	91	0.21	93	3.08	88.3	-
포장길	0.42	83	2.17	89	2.14	92	0.15	93	4.88	89.9	-
불투수지역	-	98	-	98	-	98	-	98	-	-	-
수면 및 습지	0.69	100	17.57	100	5.61	100	0.80	100	24.67	100.0	-
계	195.15		151.27		111.00		14.38		471.80	66.5	82.0

제 3 장 수문지형학적 특성 분석

3.1 유역의 수문지형학적 특성

3.2 하도특성 및 하상변동 분석

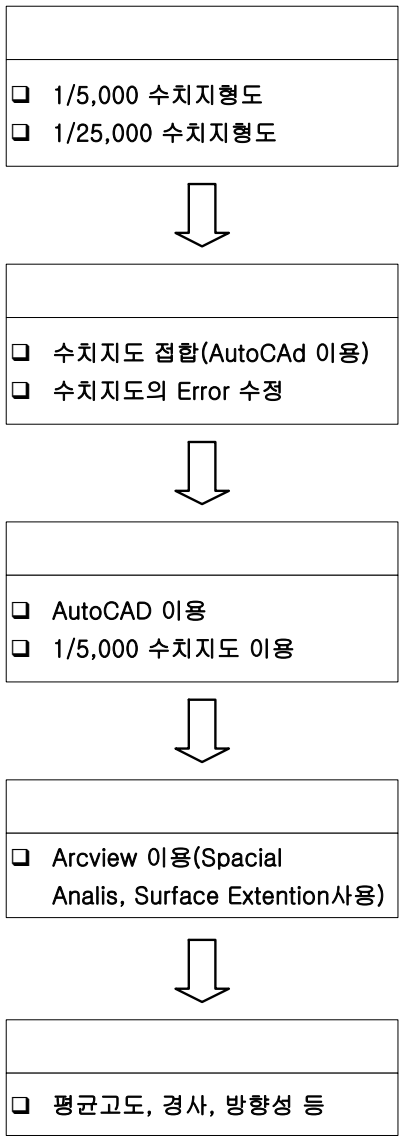
3.3 침수취약지역 분석

제 3 장 수문지형학적 특성 분석

3.1 유역의 수문지형학적 특성

유역은 수자원관리에 있어 기본이 되는 중요한 공간적인 단위로서 그 수문지형학적 특성은 유역의 수문학적 반응을 가늠할 수 있는 기초가 될 수 있는 자료가 될 뿐만 아니라 수자원 관련 제반 분석의 기본자료가 된다.

본 과업에서는 GIS 기법을 사용하여 삽교천과 곡교천 및 무한천 유역 전체와 주요 지방1, 2급 하천유역을 대상으로 수문지형학적 분석을 실시하였다. 지형특성의 분석은 1/5,000 수치지형도를 기본자료로 하여 10 × 10m Grid DEM (Digital Elevation Model) 구축하여 분석을 수행하였으며, 분석절차는 다음 <그림 3.1>과 같다.



<그림 3.1> 수문지형학적 특성 추출절차

삽교천 수계 주요 하천유역의 특성을 분석하기 위해 1/5,000의 수치지도 60도엽을 접합하여 분석하였으며, 일부 삽교호 지역의 1/5,000 수치지도가 제작되지 않은 지역(36604045, 36604054, 36604064도엽 등 3개 도엽)에 대해서는 1/25,000도엽을 이용하여 분석하였다. 유역특성 분석항목은 평균고도 및 평균경사, 유역의 방향성 등이며 다음절의 침수취약지역 분석시 기본자료로 이용하였다.

3.1.1 GIS기법을 이용한 유역특성 분석방법

GIS기법을 이용한 유역특성 분석시 다양한 수치지도가 요구되지만, 가장 기본적으로 사용되는 수치지도자료로써 수치고도자료(DEM, digital Elevation Model)가 요구된다. 수치고도자료는 3차원적인 지형을 2차원의 컴퓨터 자료로 표현한 것으로 가장 보편적인 방법으로는 종이지도와 같이 등고선으로 표시하는 방법이 있다. 그러나 지형분석과 3차원적인 경관분석시 필요한 지형자료의 포맷은 이러한 등고선 자료의 형태보다는 일정면적의 격자(Grid)로 나누어 각각의 격자점 마다 해발고도를 부여하는 격자형 자료가 가장 널리 사용된다. 이와 함께 3차원 지형의 고도값이 변하는 지점을 연속적인 삼각형의 형태로 연결한 TIN형태가 있다.

가. 등고선 및 표고점 추출

수리·수문 분석에 적합한 격자형 수치고도 자료(DEM) 또는 TIN형식의 자료로 변환하기 위한 초기작업으로 국립지리원의 국가기본도 1/5,000 수치지도 자료로부터 표고와 관련된 자료를 추출하였다. 1/5,000 축척의 지형도는 주곡선(5m)과 계곡선(25m)으로 표시된 등고선 자료가 있으며, 등고선 간격이 넓은 지역은 지역의 표고자료를 보충하고자 표고점 자료를 추가로 추출하여 표시하였다. 이 과정에서 일부 수치지도내 표고값이 잘못된 부분은 오류를 수정하였다.

나. DEM/TIN자료 추출

최종 수정·보완된 등고선 및 표고점 자료를 이용하여 격자형(Lattice, Mesh)과 TIN형식의 수치고도자료를 제작하는데, 일정면적으로 나누어진 각각의 격자점에서의 해발고도값은 등고선 및 표고점 자료에 의해 표시된 고도값을 이용하여 보간법으로 추정한다. 격자점의 고도값은 다음의 식에서와 같이 거리반비례 평균법을 이용하여 계산한다.

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_i d_{i,j}^{-2})}{\sum_{i=1}^{n} d_{i,j}^{-2}}$$

여기서,

Z_i : 격자점 주변에 분포하는 등고선과 표고점으로 부터의 고도값

$d_{i,j}$: 격자점 j에서 주변에 분포하는 고도값이 위치한 i까지의 거리

격자형 DEM자료는 10m×10m의 지상면적을 가진 동일 간격의 격자로 배열되어 각 지점마다 해발고도가 부여되며, 이 격자형 수치고도자료로부터 고도값이 변하는 지점을 연속적인 삼각형이 형태로 연결한 TIN(Triangulated Irregular Network)형태의 수치고도자료가 제작된다.

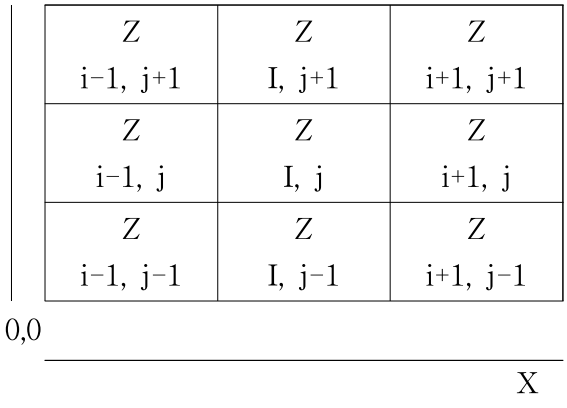
다. 경사도 및 방향도 계산

경사는 수평면에 접하는 면(a plane tangent)으로 정의 할 수 있으며, 고도의 변화인 기울기와 최대 고도변화율이 발생하는 사면방향(aspect)의 두가지 요소를 가지고 있다. 고도의 변화면(altitude surface)이나 측고선(hypometric cuver)을 미분하여 얻는 1차도함수는 기울기나 사면이 방향을 나타낸다. 기울기는 일반적으로 퍼센트 혹은 각도로 표시되고 사면방향은 방위각으로 표시된다. 기울기 계산은 다음과 같은 격자망을 중심으로 계산하며 기울기를 구하는 식은 다음과 같다.

$$TanG = [(\delta Z/\delta X)^2 + (\delta Z/\delta Y)^2]^{1/2}$$

여기서, Z : 고도

X, Y : 평면좌표



<그림 3.2> 경사도계산 격자망도

경사의 방향은 다음과 같다.

$$TanA = \frac{(-\delta Z/\delta Y)}{(\delta Z/\delta Y)} \quad (-\pi < A < \pi)$$

위의 식에서 산정한 경사방향은 보통 8개의 계급(N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)으로 주방향을 구별하여 색깔 또는 연속적인 농도로서 표현한다.

3.1.2 유역의 지형학적 인자와 수문특성과의 연관성

가. 유역 면적

유역면적은 유출특성과 밀접한 관계를 갖는 변수로 유역면적이 작은 하천일수록 홍수도달시간이 짧아서 홍수수문곡선의 상승과 하강이 급격하게 나타나며, 유역면적이 증가함에 따라 홍수도달시간이 증가하여 홍수수문곡선도 서서히 상승했다가 서서히 하강하는 형태를 나타낸다. 또한 유역면적은 강우유출시 총 유출용적과 첨두유출량의 규모에 직접적인 영향을 주게 되나, 일반적으로 유역면적이 증가하면 호우의 공간적 분포가 유역의 일부에 제한되거나 강우강도의 불균일 등으로 인하여 단위면적당 첨두유출량은 감소하는 경향을 보인다.

금회 과업에서 산정한 유역면적 중 기존의 하천정비기본계획 및 하천일람에 제시된 유역면적과 다소 상이하게 나타난 경우가 있는데, 이는 기존에 면적을 산정한 방법이 금회 과업에서 산정한 방법과 상이한데서 그 이유를 찾을 수 있으며, 아울러 일부하천의 경우 경지정리사업 또는 배수개선 사업 등으로 인해 유역의 경계가 변경된대도 그 원인이 있다. 따라서 금회 산정한 결과가 기존의 고시된 값과 현저히 다를 경우 현장 조사 등을 통해 그 원인을 규명하여 보완하였지만, 미세한 차이가 있을 경우는 금회 분석한 성과를 채택하였다.

이에 따라 본 장에서 제시된 수치는 금회 산정한 결과이며 금회 과업의 모든 분석성과 역시 이 값들을 사용한 결과이다.

나. 지표면 표고분포

지표면 표고분포는 하천의 밀도 및 지표면 경사도와 밀접한 관계를 나타내는데, 특히 지표면 표고비는 유출과정에 직접적으로 영향을 미치는 인자로 지표면 표고변화가 클수록 수계의 표고분포형태가 고지대와 저지대로 양극화되고 도달시간이 짧아 첨두유출량이 커지는 경향이 있으며 고지대에서는 침식이, 저지대는 퇴적이 발생하는 경향을 보이고 있다. 이에 따라 저지대는 퇴적에 따른 하상 상승으로 인한 침수피해 가능성도 증가

할 수 있다.

지표면 표고비는 최고지표면표고와 최저지표면표고의 차 Δh를 유역의 최대직선길이로 나눈 값, 즉 $R_r = \frac{\Delta h}{L_b}$로 산정된다.

다. 지표면 경사도

지표면 경사도는 지표면 유출 과정에 직접적인 영향을 미치는 지형인자로 지표면 표고비와 밀접한 관계가 있다. 지표면 경사도가 커질수록 홍수 도달시간이 감소하고 첨두홍수량은 증가하는 경향을 나타내게 되며, 지표면 유출시 유속이 증가하여 토양침식과 이에 따른 하상 퇴적도 증가하게 된다.

금회 산정한 지표면 경사는 기존의 하천정비기본계획 등의 과거자료와 차이를 보이고 있는데, 이는 본 과업에서 지표면 경사도를 분석한 방법이 10m×10m 격자망에 의해 구축된 DEM 자료를 이용함에 따라 기존의 지표면 경사도 산정방법에 비해 정밀도가 제고된데 따른 것으로 판단된다.

라. 유역의 상대적 길이와 형상계수

일반적으로 유역의 길이가 짧고 폭이 넓을수록 하도를 따라 유하 하는데 소요되는 시간이 감소하므로 홍수수문곡선의 상승과 하강이 급격하게 나타나며, 유역의 폭이 좁고 길수록 홍수수문곡선의 상승과 하강은 완만하게 나타난다. 그러나 유역의 폭이 좁을수록 지표면 유하시간이 감소하여 유역지체시간이 감소하는 경향이 나타날 수 있어서 유역의 출구지점과 달리 중류나 상류에 위치한 지점에서는 홍수수문곡선이 오히려 더욱 급격히 상승 및 하강할 수도 있다.

Horton은 유역면적을 유역의 최대직선길이의 제곱으로 나눈 값 $R_f = A/L_b^2$을 합성단위도의 형상을 결정짓는 매개변수로 제안하였는데, 일반적으로 유역면적이 증가할수록 유역형상계수는 감소하여 수계는 상대적으로 길어지는 경향을 나타내며, 반대로 지표면 표고비가 증가할수록 수계는 상대적으로 짧아지고 유역형상계수는 증가하는 경향을 나타낸다. 정사각형 수계의 경우 R_f는 1.0의 값을 가지게 되며, 원형인 경우 0.79, 마름모형태의 정사각형의 경우 0.5의 값을 가지게 된다.

마. 유역의 방향성

유역을 구성하는 사면의 방향성은 홍수시 강우의 이동방향과의 관계에 따라 하류부

유출특성 및 홍수피해에 영향을 주는 인자로서 사면의 주 방향과 호우전선의 이동방향에 따라 홍수수문곡선에 영향을 줄 수 있다. 즉, 호우전선이 유역 상류에서 하류로 이동하면서 강우를 발생시킬 경우 상류에서 발생한 홍수량이 하류에서 발생하는 홍수량과 중첩되면서 첨두홍수량이 증가하게 되며, 반대로 하류에서 상류로 이동하면서 강우가 발생하는 경우 상류에서 발생한 호우가 하류에 도달할 시점에는 하류부에서 발생한 홍수는 이미 하도를 통해 유출되어 첨두홍수량이 줄어 들 수도 있으나, 하류부에 홍수지체시간을 증가시켜 침수피해를 가중시킬 수 있다.

삽교천의 경우 주 흐름이 남서에서 북동방향이므로 강우가 남서에서 북동으로 이동할 경우 첨두홍수량이 빠르게 증가하며, 반대로 북동에서 남서방향으로 이동할 경우 첨두홍수량은 완만하게 증가하나 홍수의 지속기간이 길어질 것임을 알 수 있다.

바. 도시화율과 불투수층의 면적

유역이 도시화 될수록 불투수층의 면적비가 증가하며 홍수도달시간은 감소하게 된다. 이에 따라 유출계수가 증가하여 총 유출용적이 증가할 뿐만 아니라 홍수수문곡선의 상승과 하강도 더욱 급격해지며 첨두홍수량도 증가하게 된다. 도시화에 따른 수문학적 영향은 대규모 홍수보다 빈번하게 자주 발생하는 중·소규모의 홍수일 때 상대적으로 더욱 크게 나타나며, 하천범람 빈도가 증가하고 하도의 세굴과 수리구조물의 파괴 등 여러 가지 피해가 증가하게 된다.

3.1.3 과업대상 유역의 수문지형학적 특성 분석

삽교천 유역내에는 삽교천과 곡교천, 무한천 등 3개소의 국가하천이 위치하고 있으며, 그 밖에 2개소의 지방1급 하천과 96개소의 지방2급 하천이 있다. 금회 과업에서는 삽교천 유역 전체와 곡교천, 무한천 유역 그리고 전체 삽교천 유역에서 곡교천과 무한천 유역을 제외한 삽교천 본류 중심의 잔유역을 비롯하여 유역내에 위치한 주요 하천유역에 대해 전술한 방법에 의해 수문지형학적 특성을 분석하였다. 본 절에서는 삽교천, 곡교천 및 무한천 유역에 대해서만 그 특성을 기술하고 기타 하천 유역의 수문지형학적 분석 결과는 부록에 수록하였다.

가. 삽교천 유역

삽교천은 충남 홍성군 장곡면 기러기재(EL. 344.9m)에서 발원하여, 홍동저수지를 지나 대소지류들과 합류하여 홍성읍을 거쳐, 예산군, 아산시, 당진군 등을 지나 삽교방조제

(L=3,360m)를 거쳐 아산만으로 유출된다. 삽교천의 주요 지류로는 천안시, 연기군, 공주시의 경계인 국사봉에서 발원하여 삽교천 우안으로 합류하는 곡교천을 비롯하여, 무한천, 효교천, 남원천, 대천천 등이 있다.

삽교천 유역은 <그림 3.3>에서 보는바와 같이 남동쪽은 고산준령들이 위치하고 있으며, 북서쪽은 저지대의 평야지대로 이루어져 대체로 동고서저의 지형을 보이고 있다. 삽교천의 유역면적은 1,649.39㎢, 유로연장은 59.30km로 유역의 평균폭은 27.81km이며 유역의 형상계수는 0.47이다. 유역의 평균고도는 EL. 85.05m이고, 최소표고는 EL. 3.40m, 최고표고는 EL. 698.4m로 편차가 심한 편이며 표고변화 표준편차는 85.91m이다. 삽교천 본류의 유향은 대체로 북동쪽 방향이며 지류는 대체로 동,서향 하는 것으로 나타났고 유역 평균경사는 9.90°로 비교적 완만한 편이다.

이에 비해 전체 삽교천 유역에서 곡교천과 무한천 유역을 제외한 잔유역의 평균표고와 평균경사가 각각 EL. 53.67m와 6.00°로 유역 전체의 분석결과에 비해 감소하는데 이 결과로서 곡교천과 무한천 유역에 비해 삽교천 본류 유역이 매우 평탄한 저지대로 구성되어 있음을 알 수 있다.

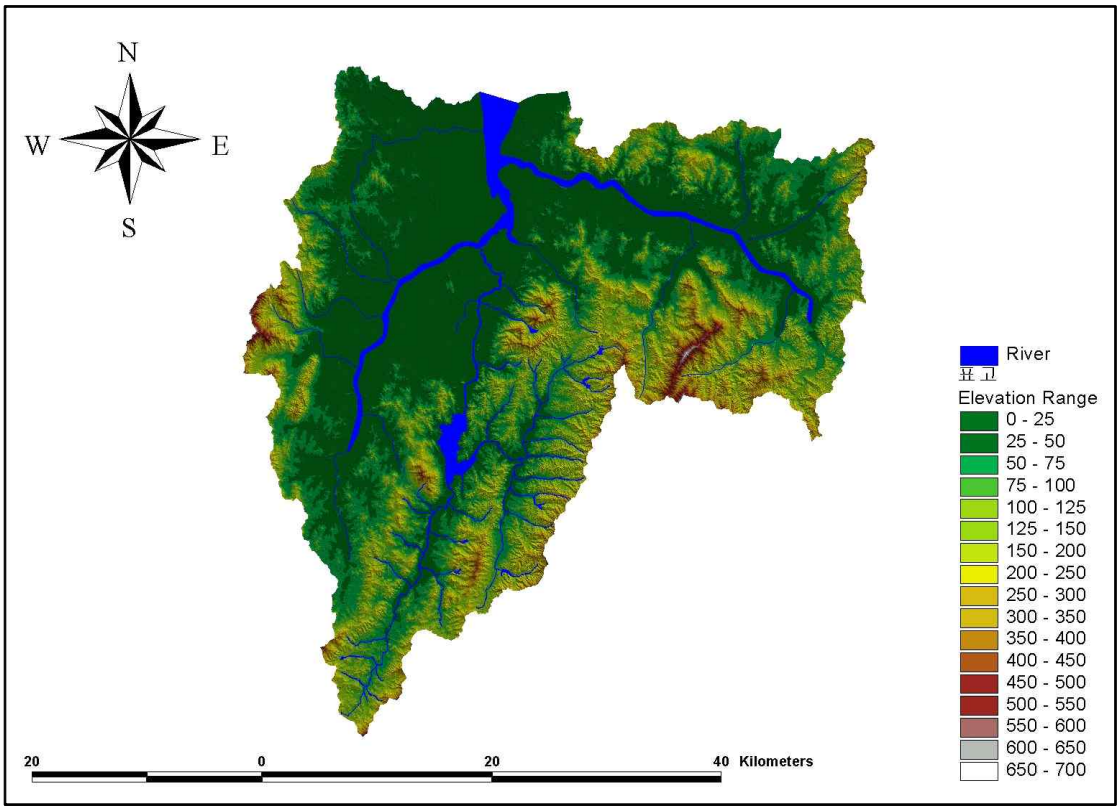
<표 3.1> 삽교천 유역의 일반특성

항 목	전체유역	잔유역	비 고
유역면적(㎢)	1,649.39	632.51	하천일람 : 1,649.87 하천정비 기본계획 : 1,645.09
최고표고(EL.m)	698.40	670.00	광덕산(EL.698.4m)
최소표고(EL.m)	3.40	3.40	삽교호 지역
평균표고(EL.m)	85.05	53.67	-
표고변화의 표준편차(m)	85.91	66.49	-
최 고 경 사(°)	79.85	74.29	-
최 소 경 사(°)	0.00	0.00	-
평 균 경 사(°)	9.90	6.00	-

【주】 유역특성은 GIS TOOL인 Arc View를 이용하여 분석하였으며, 일부 하천일람 및 하천정비 기본계획과 차이가 발생할 수 있으나, 금회 산정값을 기준으로 하였음.

삽교천 유역의 표고는 EL. 3.40～698m 사이에 분포하며 평균표고는 EL.85.05m이고 구간별로는 EL. 100m 이하의 표고가 70% 이상으로 대부분을 차지한다. 특히 저지대인 EL. 25m 이하의 면적이 398.50㎢로 전체 유역면적의 23.62%를 차지하고 있으며, EL. 25～50m 구간은 390.72㎢로 23.70%를 차지하고 있어 전체 유역중 표고가 EL. 50m 이하인 지역이 47% 이상이다. 또한 곡교천 유역과 무한천 유역을 제외한 삽교천 본류의 경우 EL. 25m 이하가 약 40%, EL. 50m 이하가 70% 가까이 차지하여 특히 삽교천 본류

유역의 저지대 구성비가 높은 것으로 나타났다.



<그림 3.3> 삽교천 유역 표고 분포도

<표 3.2> 삽교천 유역 표고 분석결과

표 고	면 적 (㎢)		면 적 비 (%)		누가면적비(%)		비 고
	전 체	잔유역	전 체	잔유역	전 체	잔유역	
25 이하	389.50	244.09	23.62	38.59	23.62	38.59	유역 평균 표고
25 ~ 50	390.72	186.08	23.69	29.42	47.30	68.01	전 체 : EL.85.05m
50 ~ 75	226.47	81.09	13.73	12.82	61.03	80.83	잔유역 : EL.53.67m
75 ~ 100	159.39	39.03	9.66	6.17	70.70	87.00	
100 ~ 125	109.47	20.81	6.64	3.29	77.33	90.29	
125 ~ 150	89.77	15.31	5.44	2.42	82.78	92.71	
150 ~ 200	117.01	19.42	7.09	3.07	89.87	95.78	
200 ~ 250	69.35	10.63	4.20	1.68	94.08	97.46	
250 ~ 300	42.46	6.01	2.57	0.95	96.65	98.41	
300 ~ 350	26.12	3.92	1.58	0.62	98.23	99.03	
350 ~ 400	14.30	2.53	0.87	0.40	99.10	99.43	
400 ~ 450	6.94	1.58	0.42	0.25	99.52	99.68	

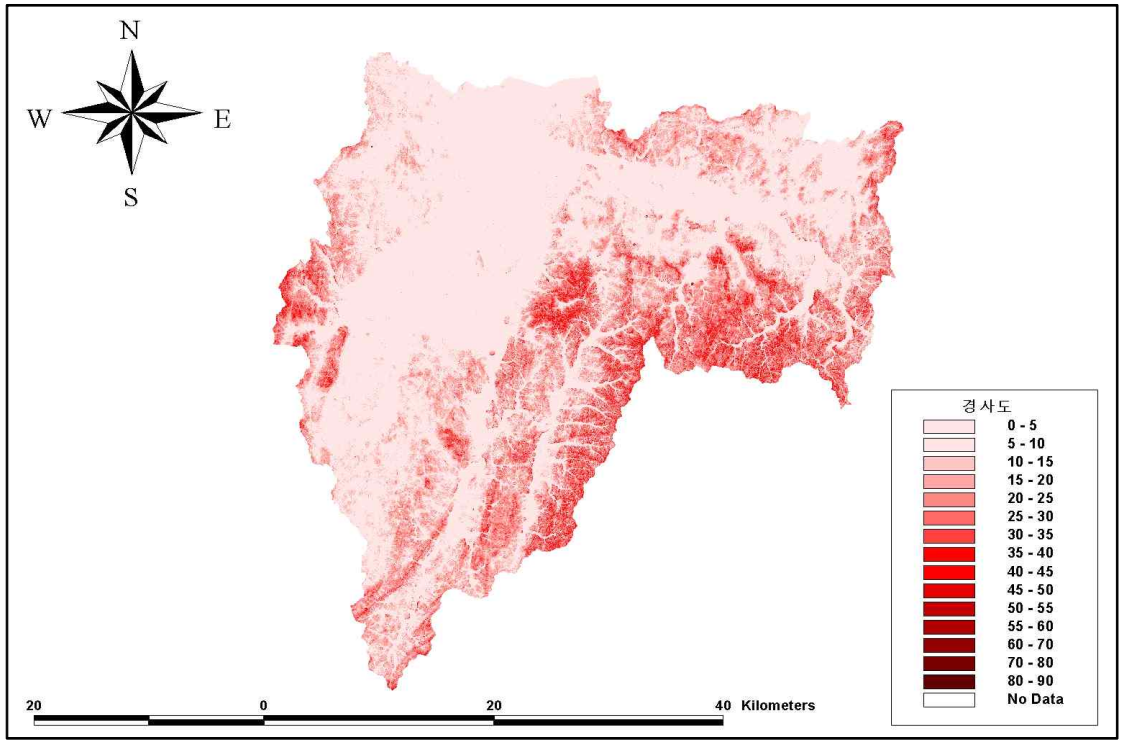
<표 3.2> 삽교천 유역 표고 분석결과 (계속)

표 고	면 적 (㎢)		면 적 비 (%)		누가면적비 (%)		비 고
	전 체	잔유역	전 체	잔유역	전 체	잔유역	
450 ~ 500	3.79	0.95	0.23	0.15	99.75	99.83	유역 평균 표고
500 ~ 550	2.38	0.57	0.14	0.09	99.90	99.92	전 체 : EL.85.05m
550 ~ 600	1.14	0.32	0.07	0.05	99.97	99.97	잔유역 : EL.53.67m
600 ~ 650	0.47	0.13	0.03	0.02	99.99	99.99	
650 ~ 700	0.09	0.06	0.01	0.01	100.0	100.0	

삽교천 유역의 평균경사는 9.90°이며, 경사 5°이하의 면적이 787.15㎢로 전체 유역면적의 47.72%, 경사 10°이하의 면적이 전체 유역의 60% 이상이며, 무한천과 곡교천 유역을 제외하면 평균경사는 6°이고, 경사 10° 이하의 면적 구성비가 77.12%에 달해 매우 완만한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 <그림 3.3> 및 <그림 3.4>에서 보는 바와 같이, 무한천 및 곡교천 상류지역 등 유역의 동남쪽에 경사가 급한 고지대가 위치하고, 삽교천 본류를 중심으로 한 서북쪽에는 평탄한 저지대가 집중되어 있는 유역의 지형특성에 기인한다.

<표 3.3> 삽교천 유역 경사 분석결과

경 사(°)	면 적 (㎢)		면적비 (%)		누가면적비 (%)		비 고
	전 체	잔유역	전 체	잔유역	전 체	잔유역	
5 이하	787.15	395.13	47.72	62.47	47.72	62.47	
5 ~ 10	205.23	92.66	12.44	14.65	60.17	77.12	
10 ~ 15	166.23	54.59	10.08	8.63	70.25	85.75	
15 ~ 20	160.41	38.46	9.73	6.08	79.97	91.83	
20 ~ 25	130.62	23.72	7.92	3.75	87.89	95.58	유역 평균경사
25 ~ 30	95.36	14.36	5.78	2.27	93.67	97.85	전 체 : 9.90°
30 ~ 35	65.87	8.98	3.99	1.42	97.66	99.27	잔유역 : 6.0°
35 ~ 40	31.49	3.86	1.91	0.61	99.57	99.88	
40 ~ 45	6.44	0.70	0.39	0.11	99.96	99.99	
45 ~ 50	0.48	0.06	0.03	0.01	99.99	100.0	
50 이상	0.11	0.00	0.01	0.00	100.0	100.0	

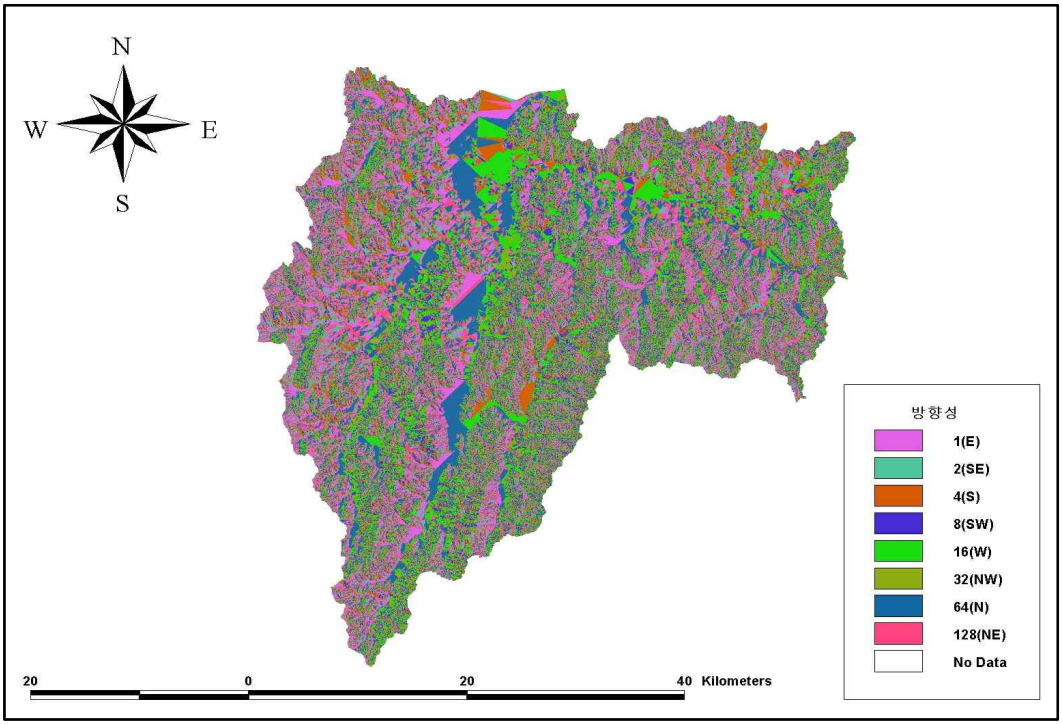


<그림 3.4> 삽교천 유역 경사 분포도

삽교천 유역의 방향은 <표 3.4>에서 보는바와 같이 전반적으로 16개 방향이 8.8~17.43% 내외로 고르게 분포되어 있는데 주요 방향은 북향(N)이 17.43%를 차지하고 있으며 다음으로 서향(W) 16.31% 및 동향(E) 15.04% 순으로 나타났다. 반면에 남서 및 남동, 남향 등 남쪽방향으로의 경사는 상대적으로 작게 나타났는데, 이러한 결과는 수계내 주요 하천인 삽교천과 무한천 및 곡교천의 흐름방향과 대체로 일치하고 있다. 삽교천 본류의 경우 경사의 방향으로 동향(E)이 19.51%로 특히 우세하게 나타났는데 이는 삽교천을 기준으로 좌안측(서측)의 유역이 우안측의 유역보다 넓기 때문으로 분석된다.

<표 3.4> 삽교천 유역 방향성 분석결과

방 향	면 적(㎢)		면 적 비 (%)		비 고
	전 체	잔유역	전 체	잔유역	
1(E)	**248.01**	**123.40**	**15.04**	**19.51**	**잔유역 주방향**
2(SE)	152.21	62.37	9.23	9.86	
4(S)	209.33	93.36	12.69	14.76	
8(SW)	145.13	48.89	8.80	7.73	
16(W)	268.95	85.96	16.31	13.59	
32(NW)	171.78	53.51	10.41	8.46	
64(N)	**287.53**	**100.38**	**17.43**	**15.87**	**전체유역 주방향**
128(NE)	166.45	64.64	10.09	10.22	
합 계	1,649.39	632.51	100.00	100.00	



<그림 3.5> 삽교천 유역 방향성 분포도

나. 곡교천 유역

곡교천은 천안시, 연기군, 공주시의 경계인 국사봉(EL.402.7m)에서 발원하여 연기군, 천안시, 아산시를 거쳐 삽교천 우안측으로 합류하는 하천으로 유역면적 545.08㎢, 유로연장 50.60km, 유역의 평균 폭은 10.77km이다. 유역의 형상계수는 0.21로 장방형에 가깝지만 수계내 주요 하천들에 비해 유역의 평균폭이 비교적 넓은데 특히 하류에 비해 상류의 폭이 넓은 특징이 있다. 곡교천 수계의 주요 지류하천은 오목천, 온양천, 매곡천, 천안천, 풍서천 등이 있다.

곡교천 유역은 유역의 남측에 차령산맥의 줄기인 광덕산, 태조봉, 국사봉, 봉수산 등 고산준령들이 위치해 있으며, 곡교천 중·하류부 주변은 저지대의 농경지로 이루어져 있다. 유역의 평균고도는 EL. 103.76m로 삽교천 전체유역보다는 약 20m 정도 높고 유역의 최소표고 EL. 3.40m, 최고표고 EL. 699.00m에 표고변화의 표준편차는 98.43m로서 표고의 변화가 심한 편이다. 유역의 평균경사는 11.73°이며 곡교천 본류의 유로는 서향으로 형성되어 있고 지류는 주로 북향 및 남향하고 있다.

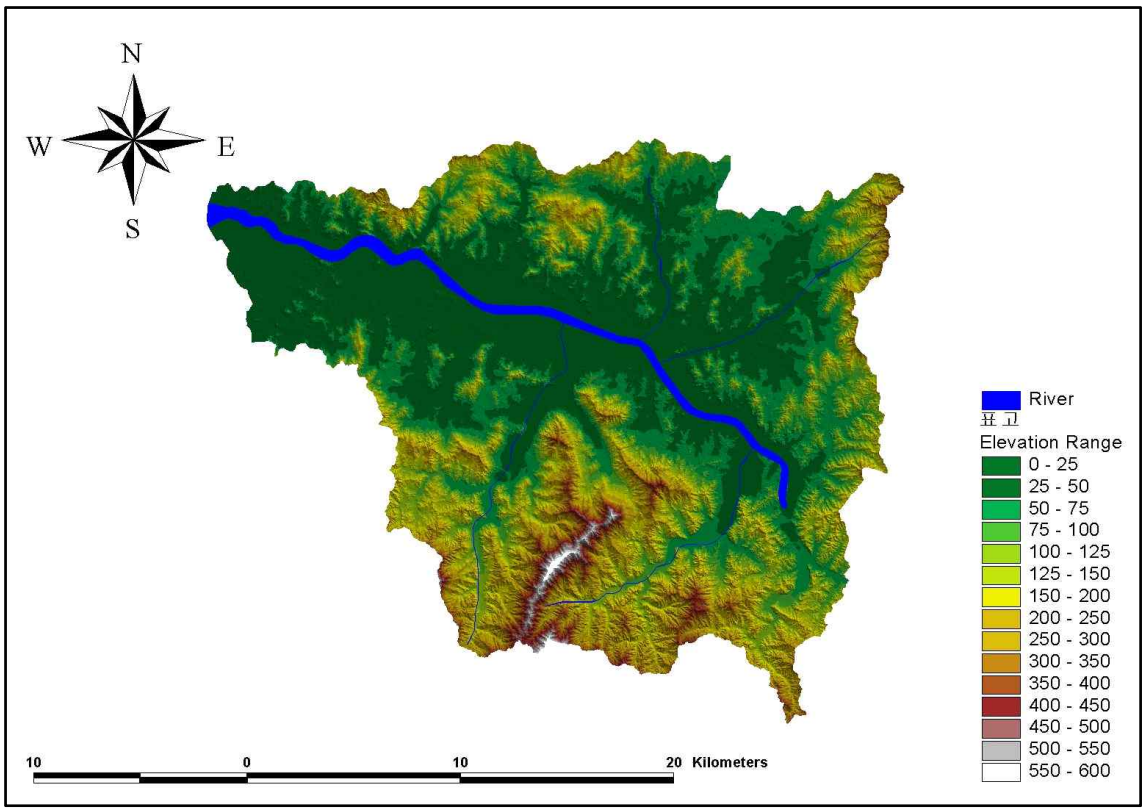
곡교천 유역의 표고는 EL. 3.4m~698.0m 사이에 분포하고 있으며, 평균표고는 EL. 103.76m로 나타났다. 구간별로는 EL. 25m~50m 구간의 면적이 전체 유역면적의 약 23.44%인 127.74㎢를 차지하여 가장 우세하며 EL. 250m 이하의 구간별 면적이 비교적 고르게 분포하여 전체 유역면적의 90% 이상을 구성하고 있다. EL.250m 이상의 면적은 전체

유역면적의 10% 미만에 불과하나 삽교천 본류나 무한천과 같은 수계내 주요 하천에 비해 고지대 구성비가 높은 편이며 유역내 저지대는 주로 곡교천 본류와 주요 지류인 온양천, 매곡천, 천안천 주변에 집중되어 있는 반면 유역의 남동측에 고지대가 집중되어있다.

<표 3.5> 곡교천 유역의 일반특성

항 목	값	비 고
유역면적(㎢)	545.08	하천일람(2002) : 545.16㎢ 하천정비 기본계획 : 542.14㎢
최고표고(EL.m)	698.4	광덕산 (698.4 EL.m)
최소표고(EL.m)	3.40	삽교천 합류부
평균표고(EL.m)	103.76	-
표고변화별 표준편차(m)	98.43	-
최고 경사(°)	79.15	-
최소 경사(°)	0.00	-
평균 경사(°)	11.73	-

【주】 유역특성은 GIS TOOL인 Arc View를 이용하여 분석하였으며, 일부 하천일람 및 하천정비 기본계획과 차이가 발생할 수 있으나, 금회 산정값을 기준으로 하였음.



<그림 3.6> 곡교천 유역 표고 분포도

<표 3.6> 곡교천 유역 표고 분석결과

표 고	면 적 (㎢)		면 적 비 (%)		비 고
	표고별	누 가	표고별	누 가	
25 이하	86.17	86.17	15.81	15.81	유역 평균 표고
25 ~ 50	127.74	213.91	23.44	39.25	EL. 103.76m
50 ~ 75	78.73	292.64	14.44	53.69	
75 ~ 100	53.29	345.93	9.78	63.46	
100 ~ 125	38.77	384.70	7.11	70.58	
125 ~ 150	33.58	418.28	6.16	76.74	
150 ~ 200	46.25	464.53	8.48	85.22	
200 ~ 250	30.27	494.80	5.55	90.78	
250 ~ 300	20.31	515.11	3.73	94.50	
300 ~ 350	12.54	527.65	2.30	96.80	
350 ~ 400	7.53	535.18	1.38	98.18	
400 ~ 450	4.24	539.42	0.78	98.96	
450 ~ 500	2.66	542.08	0.49	99.45	
500 ~ 550	1.76	543.84	0.32	99.77	
550 ~ 600	0.80	544.64	0.15	99.92	
600 ~ 650	0.36	545.00	0.07	99.99	
650 ~ 700	0.08	545.08	0.01	100.0	

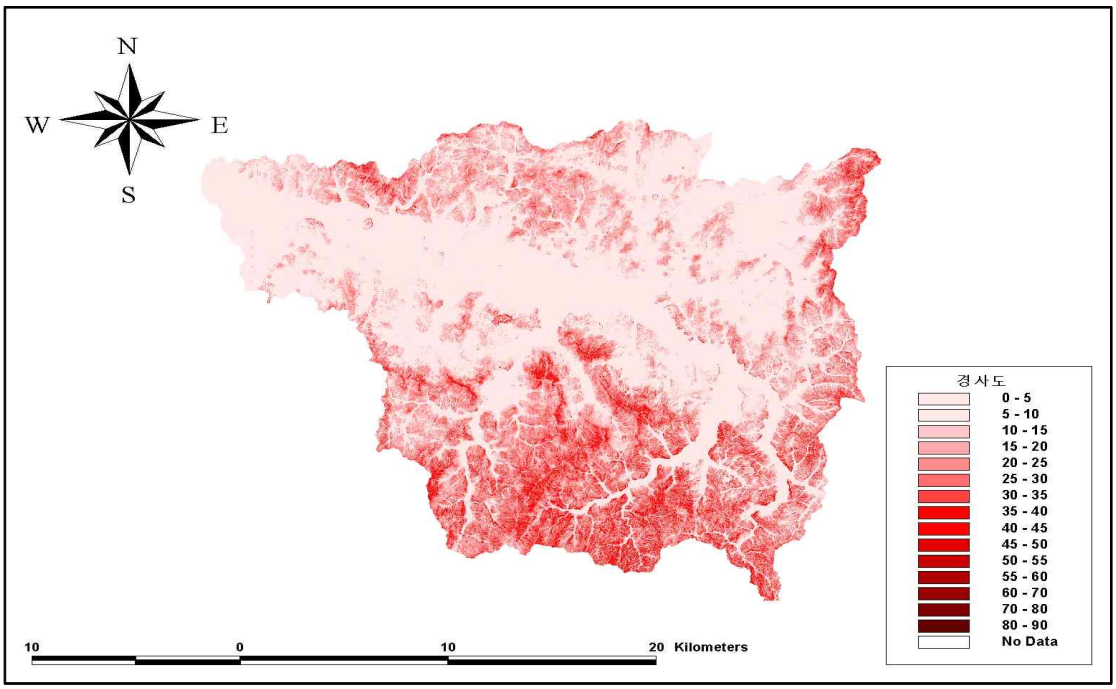
곡교천 유역은 경사 5°이하의 면적이 221.49㎢로 전체 유역면적의 40.63%를 차지하며, 전체 유역의 약 75% 정도가 경사 20°이하로 나타났다. 유역의 전반적인 경사분포는 곡교천 유역 남단 및 천안시 북부지역 일부에서 높게 나타난 반면 곡교천 본류 및 주요 지류를 중심으로는 경사가 매우 완만하여 유역의 표고분포 분석결과와 일치하는 결과를 보여주고 있다.

<표 3.7> 곡교천 유역 경사 분석결과

경 사(°)	면 적 (㎢)		면적비 (%)		비 고
	표고별	누 가	표고별	누 가	
5 이하	221.49	221.49	40.63	40.63	
5 ~ 10	64.77	286.26	11.88	52.51	
10 ~ 15	59.34	345.60	10.89	63.40	평균경사 :
15 ~ 20	61.82	407.42	11.34	74.75	11.73°
20 ~ 25	52.75	460.17	9.68	84.42	
25 ~ 30	40.04	500.21	7.35	91.77	

<표 3.7> 곡교천 유역 경사 분석결과 (계속)

경 사(°)	면 적 (㎢)		면적비 (%)		비 고
	표고별	누 가	표고별	누 가	
30 ~ 35	27.99	528.20	5.13	96.90	평균경사 : 11.73°
35 ~ 40	13.93	542.13	2.56	99.46	
40 ~ 45	2.94	545.07	0.54	100.0	
45 ~ 50	0.01	545.08	0.00	100.0	
50 이상	0.00	545.08	0.00	100.0	



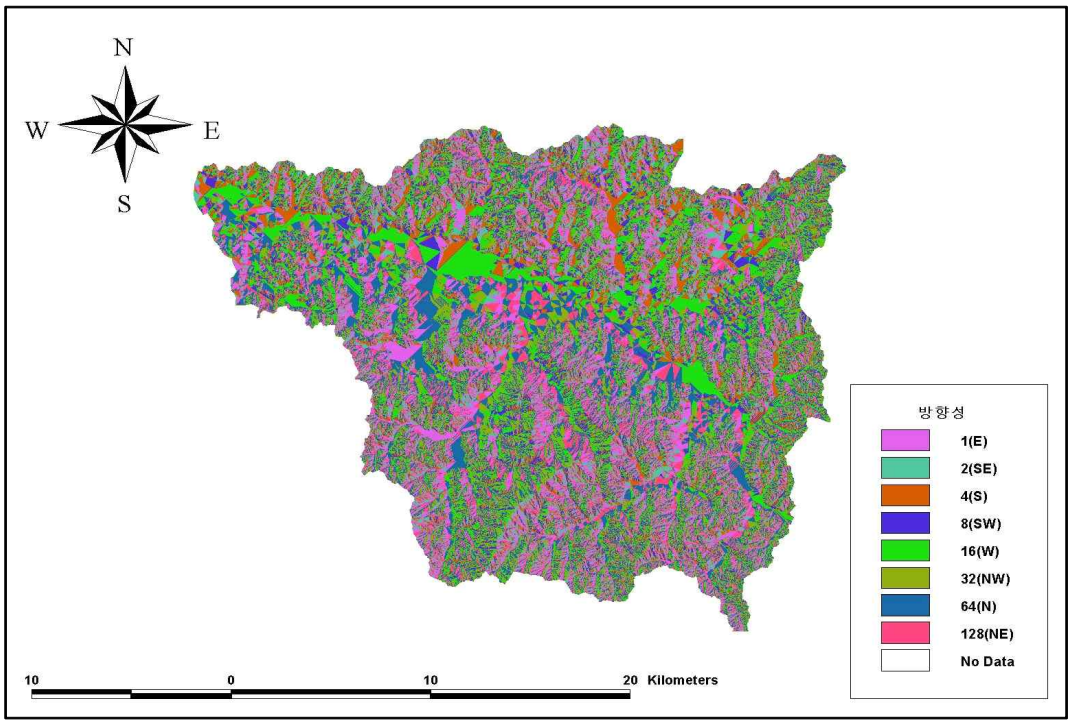
<그림 3.7> 곡교천 유역 경사 분포도

곡교천 유역의 방향성은 <표 3.8>에서 보는바와 같이 전반적으로 16개 방향이 9.29~17.65% 범위에 비교적 고르게 분포하고 있다. 주방향은 서향(W) 면적이 96.23㎢로 전체 유역면적의 17.65%를 차지하여 곡교천의 흐름방향과 일치하며, 다음으로 북향(N) 15.60%, 동향(E) 13.55% 순으로 나타났다. 유역의 경사가 서향 다음으로 북향이 우세한 것은 곡교천 본류를 중심으로 남측에 위치한 좌안측의 면적이 크기 때문인데 참고로 곡교천 우안측에 주로 나타나는 남향(S)의 구성비는 12.65%이다.

<표 3.8> 곡교천 유역 방향성 분석결과

방 향	면 적(㎢)	면 적 비	비 고
1(E)	73.85	13.55	
2(SE)	50.55	9.27	
4(S)	68.95	12.65	
8(SW)	51.34	9.42	
16(W)	**96.23**	**17.65**	**주방향**
32(NW)	61.44	11.27	
64(N)	**85.03**	**15.60**	**부방향**
128(NE)	57.69	10.58	
합 계	545.08	100	

지역별로는 곡교천 하도를 중심으로 서향이 우세하고 좌안인 남측에서는 북향이, 우안인 북측에서는 남향이 지배적이다. 동향은 일정한 성향 없이 유역전반에 걸쳐 산재하는 특징을 보여주고 있다.



<그림 3.8> 곡교천 유역 방향성 분포도

다. 무한천 유역

무한천은 삽교천의 제1지류로서 충남 청양군 화성면 장계리 산수골에서 발원하여 예산군 대흥면에 위치한 예당저수지를 거쳐 예산군 신암면 신종리에서 삽교천 우안으로

유입한다. 무한천 유역의 서쪽은 삽교천에 접해있고, 북쪽으로는 삽교천 1지류인 도고천 유역, 남동쪽으로는 금강유역에 접해있다. 무한천의 주요지류로는 신양천, 행정천, 화산천, 예산천 등이 있다.

무한천의 유역면적은 471.80㎢, 유로연장 47.73km이며, 유역평균폭은 9.88km이고, 유역의 형상계수는 0.21로 장방형 형태이다. 유역의 평균표고는 EL. 108.69m, 최소표고는 EL. 4.17m, 최고표고는 EL. 563.90m이며 유역표고의 표준편차는 80.45m로 편차가 삽교천이나 곡교천에 비해 작은 편이다. 유역의 평균경사는 13.36°로 삽교천과 곡교천 유역에 비해 크게 나타났으며, 예당지 하류의 저평지를 제외하면 대부분이 산지로 구성되어 있다. 전반적인 지형은 삽교천 본류 유역과 접한 북서측의 저지대와 차령산맥에 접한 남동측의 고지대로 명확히 구분되며, 무한천 본류는 유역의 서측에 치우쳐 있고 동측에는 무한천의 제1지류인 화산천과 신양천이 각각 남, 북향하여 합류한 후 예당저수지를 통해 무한천으로 합류한다.

<표 3.9> 무한천 유역의 일반특성

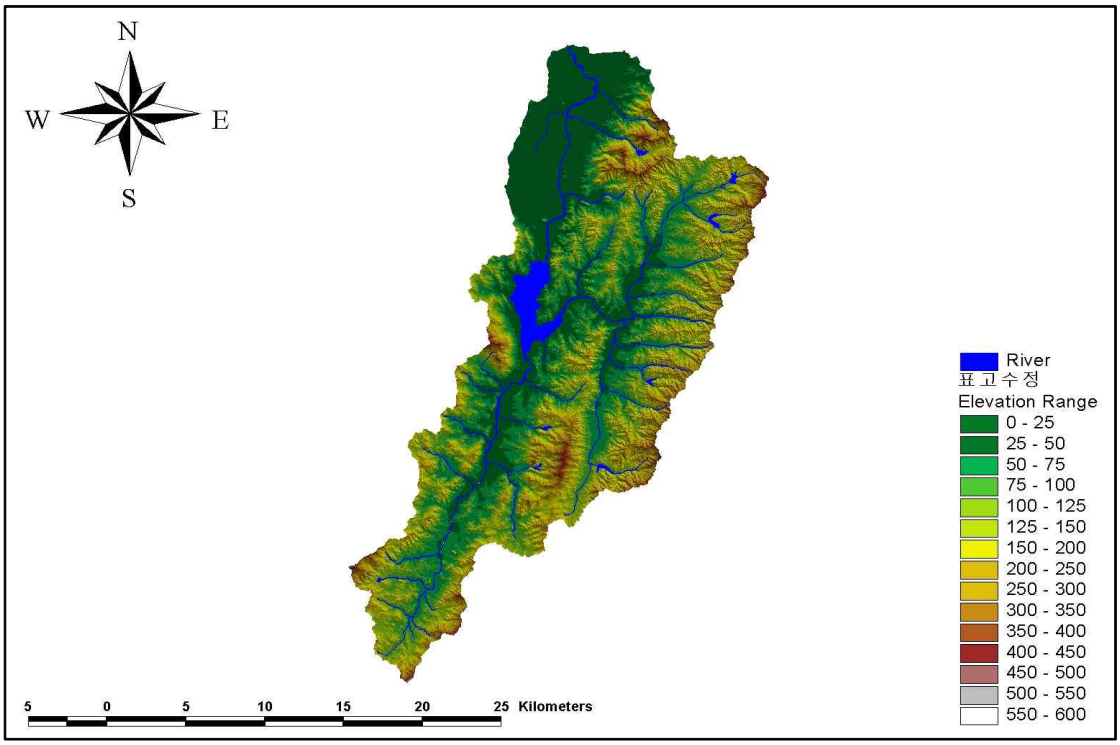
항 목	값	비 고
유역면적(㎢)	471.80	하천일람(2002) : 467.54㎢ 하천정비기본계획 : 465.04㎢
최고표고(EL.m)	563.90	백월산(EL. 563.90m)
최소표고(EL.m)	4.17	삽교천 합류부
평균표고(EL.m)	108.69	-
표고변화별 표준편차(m)	80.45	-
최고 경사(°)	83.10	-
최소 경사(°)	0.00	-
평균 경사(°)	13.36	-

【주】 유역특성은 GIS TOOL인 Arc View를 이용하여 분석하였으며, 일부 하천일람 및 하천정비기본계획과 차이가 발생할 수 있으나, 금회 산정값을 기준으로 하였음.

무한천 유역의 표고는 EL. 4.17～563.9m 사이에 분포하고 있으며, 평균표고가 EL. 108.33m로 삽교천 본류나 곡교천 유역에 비해 다소 높은 편이고, 최소표고는 삽교천 합류부의 EL. 4.17m, 최고표고는 EL. 563.9m인 것으로 나타났다. 구간별로는 EL. 25～50m 구간이 전체 유역면적의 약 16.78%인 79.16㎢를 차지하여 가장 우세하며 EL. 50～75m와 EL. 75～100m 구간의 면적이 각각 68.08㎢, 68.31㎢로 전체 유역면적 중 약 45% 이상이 EL. 25～100m 구간에 집중되어 있다.

유역 전체적으로는 EL. 200m 이하 면적의 구성비가 86.84%로 대부분을 차지하며 표고가 EL. 350m 이상인 지역은 유역전체 면적의 1% 미만으로 나타났다. 지역적으로는

<그림 3.9>에서 보는바와 같이 화산천 및 신양천 유역이 표고가 높은 반면, 예당지 하류부에 EL. 25m 이하의 저지대가 집중되어 있다.



<그림 3.9> 무한천 유역 표고 분포도

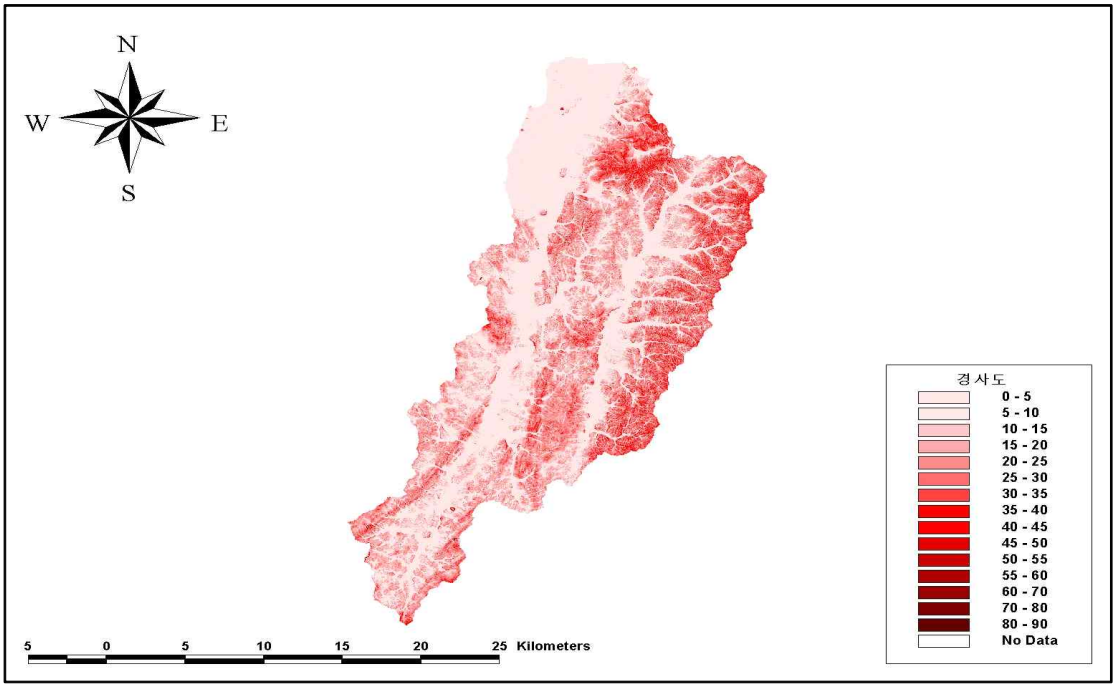
<표 3.10> 무한천 유역 표고 분석결과

표 고	면 적 (㎢)		면 적 비 (%)		비 고
	표고별	누 가	표고별	누 가	
25 이하	47.29	47.29	10.02	10.02	유역 평균 표고
25 ~ 50	79.16	126.45	16.78	26.80	EL. 108.33m
50 ~ 75	68.08	194.53	14.43	41.23	
75 ~ 100	68.31	262.84	14.48	55.71	
100 ~ 125	51.25	314.09	10.86	66.57	
125 ~ 150	42.31	356.40	8.97	75.54	
150 ~ 200	53.33	409.74	11.30	86.84	
200 ~ 250	29.65	439.39	6.29	93.13	
250 ~ 300	16.73	456.12	3.55	96.68	
300 ~ 350	9.78	465.90	2.07	98.75	
350 ~ 400	4.35	470.25	0.92	99.67	
400 ~ 450	1.26	471.51	0.27	99.94	
450 ~ 500	0.23	471.74	0.05	99.99	
500 ~ 550	0.05	471.79	0.01	100.0	
550 ~ 600	0.01	471.80	0.00	100.0	

무한천 유역은 경사 5°이하의 면적이 164.29㎢로 전체 유역면적의 34.82%를 차지하고, 전체 유역의 약 70% 정도가 경사 20°이하이며 유역의 평균경사는 13.36°로 나타났다. 유역의 전반적인 경사는 무한천 본류에 비해 동측에 위치한 신양천과 화산천 유역에서 매우 급하게 나타나 대체적으로 무한천을 기준으로 좌안측에 비해 우안측의 경사가 급함을 알 수 있다.

<표 3.11> 무한천 유역 경사 분석결과

경 사(°)	면 적 (㎢)		면적비 (%)		비 고
	표고별	누 가	표고별	누 가	
5 이하	164.29	164.29	34.82	34.82	평 균 경 사 :
5 ~ 10	48.39	212.68	10.26	45.08	13.36°
10 ~ 15	52.79	265.47	11.19	56.27	
15 ~ 20	60.96	326.43	12.92	69.19	
20 ~ 25	55.58	382.01	11.78	80.97	
25 ~ 30	42.43	424.44	8.99	89.96	
30 ~ 35	29.98	454.41	6.35	96.31	
35 ~ 40	14.29	468.70	3.03	99.34	
40 ~ 45	2.77	471.47	0.59	99.93	
45 ~ 50	0.19	471.66	0.04	99.97	
50 이상	0.14	471.80	0.03	100.0	

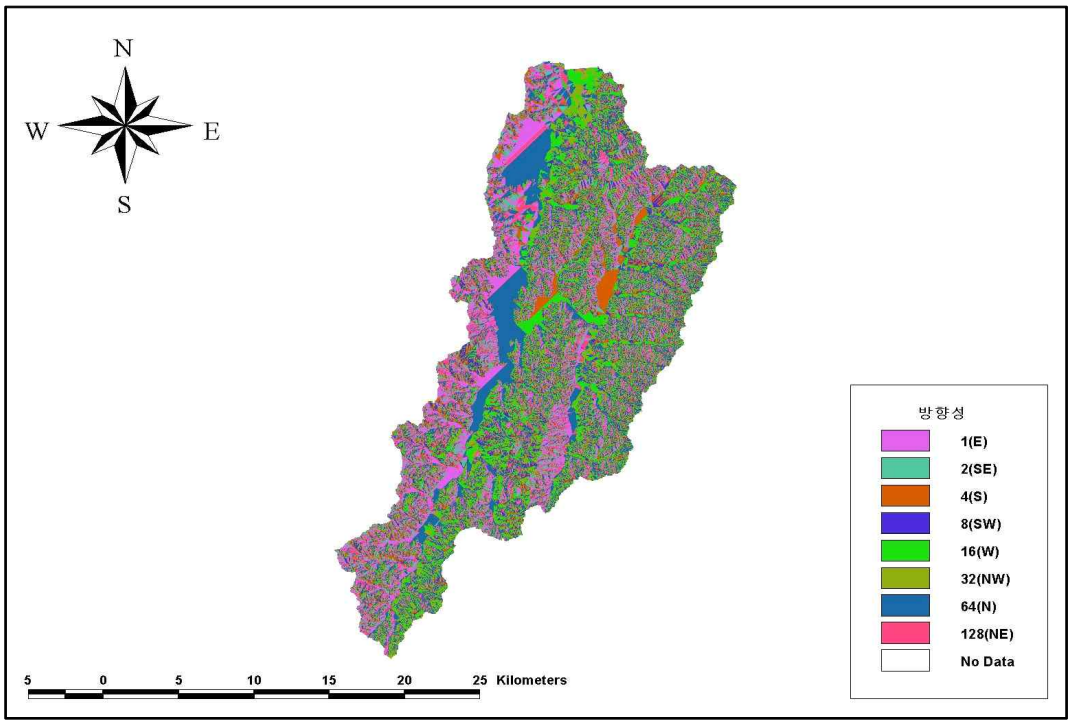


<그림 3.10> 무한천 유역 경사 분포도

무한천 유역의 방향은 대체적으로 무한천의 흐름방향인 북향(N)이 우세하여 전체 유역 면적의 18.60%를 차지하며, 다음으로는 서향(W)과 동향(E) 및 남향(S)이 각각 16.47%, 13.17%, 12.09%의 구성비를 보이고 있다. 이러한 경향은 수계내 주요 하천인 무한천과 신양천이 북향하고 화산천이 남향하기 때문이며, 서향이 동향보다 우세한 것은 신양천과 화산천이 비교적 유역의 중심부에 위치한 반면 무한천은 유역의 서쪽에 치우쳐 있어 하도를 기준으로 동쪽에 위치한 우안측 유역면적이 서쪽의 좌안 유역면적보다 크기 때문이다.

<표 3.12> 무한천 유역 방향성 분석결과

방 향	면 적(㎢)	면 적 비	비 고
1(E)	62.12	13.17	
2(SE)	40.65	8.61	
4(S)	57.06	12.09	
8(SW)	45.64	9.67	
16(W)	**77.70**	**16.47**	**부방향**
32(NW)	55.65	11.79	
64(N)	**87.75**	**18.60**	**주방향**
128(NE)	45.23	9.59	
합 계	471.80	100.0	



<그림 3.11> 무한천 유역 방향성 분포도

3.2 하도특성 및 하상변동 분석

3.2.1 하도 특성

가. 하도의 특성인자

하도는 하천의 유수가 소통하는 토지공간으로서 통상 제방 또는 하안과 하상으로 둘러싸인 부분을 의미한다. 하도는 기본적으로 계획홍수량 이하의 유량을 안전하게 소통시킬 수 있고 유사에 대해 안정된 하상을 유지할 수 있어야 하며 아울러 하천 이용도의 증진, 자연환경의 보전, 하천 인접지역 토지이용의 효율성을 증대시킬 수 있는 기능이 요구된다.

그러나 하도는 자연적 요인 또는 인위적인 구조물 등으로 인해 그 기능에 영향을 받고 있으며, 물의 흐름에 따른 유사의 이동으로 시간과 공간적으로 끊임없이 변화하는 특성이 있으므로 하천을 개수하여 하도가 목적한바 적절한 기능을 발휘하도록 계획하기 위해서는 이러한 하도의 변동특성과 이에 영향을 미치는 요인을 파악하는 것이 우선되어야 한다. 하도의 기능과 변동특성에 영향을 미치는 주요 요인은 다음과 같다.

(1) 하도의 평면형

물의 흐름은 직진하려는 성향을 가지고 있다. 따라서 현저하게 굴곡된 하도는 흐름에 지장을 초래하여 수위상승을 야기하는 등 홍수소통에 지장을 초래하고 아울러 소류력에 의해 하안이 세굴되어 붕괴를 유발한다. 이에 비해 지나치게 직선화된 하도는 홍수소통 능력은 증가하지만 소류력의 증가도 유발하여 하상의 과다한 세굴을 일으킬 수 있다.

(2) 하도의 종단 특성

하상경사가 클 경우 흐름에너지를 적게 소모하여 유속이 증가하므로써 같은 단면에서 더 많은 유량을 흐르게 할 수 있다. 그러나 하도의 유속이 클수록 하상의 세굴이 심해지고 이로 인해 하류에서는 많은 퇴적이 일어나게 된다.

(3) 하도의 횡단형

하도의 횡단형은 통수단면의 크기와 형태를 의미한다. 하도에 있어 단면 확대부와 축소부는 유속에 영향을 미쳐 궁극적으로 수위 변화와 하상의 세굴 또는 퇴적의 요인으로 작용한다.

(4) 하상 구성재료

하상의 구성재료는 하도의 조도계수와 관련하여 유속에 영향을 미치며 특히 세굴과 퇴적을 결정하는 물리적 특성이므로 하천의 흐름 특성과 더불어 하상변동을 결정하는 기본 인자가 된다.

(5) 하도내 수공구조물

하도에 설치된 구조물 특히 횡단하는 구조물은 홍수위와 하상의 변동에 큰 영향을 미친다. 하폭을 제한하거나 홍수위 보나 낮게 설치된 교량은 홍수시 하도의 소통능력을 감소시켜 수위의 급격한 상승과 상류로의 배수위 상승을 유발한다. 낙차공, 취수보 등 하도를 횡단하여 하상에 설치된 구조물은 수위 상승뿐만 아니라 구조물 주위의 하상세굴, 유사퇴적 등 하상변동의 주요한 요인이 된다.

나. 주요 하천의 하도특성

금회 과업의 측량성과 및 도상조사와 현지조사에 의해 파악한 삽교천, 곡교천 및 무한천의 주요 하도 특성은 <표 3.13>～<표 3.15>과 같다.

삽교천의 국가하천 구간 하폭은 구양교 지점의 협착부를 제외하면 약 300m 이상이며, 지방1급 구간은 200～300m, 지방2급 구간은 50～200m 정도로 곡교천과 무한천에 비해 하폭이 다소 넓은 반면 하상경사는 상대적으로 완만하다. 특히 무한천 합류후 부터 하폭이 급격히 증가하고 하상경사가 눈에 띄게 완만해 지며, 곡교천 합류점 하류는 평균하폭이 2,617m이고 하상경사가 1/12,000으로 하천이라고 하기보다는 삽교호의 일부로서 간주하는 것이 타당할 것이다.

곡교천의 하도특성으로서 눈에 띄는 것은 국가하천 상류부에 위치한 실옥보의 높이가 2.8m로 지나치게 커서 하도가 완전히 단절되며, 그 영향으로 국가하천 시점부 까지의 구간에 토사가 퇴적되어 하류 구간보다 하상경사가 완만하다는 것이다. 이러한 하도특성을 감안할 때 치수적인 측면에서 실옥보가 곡교천 국가하천 구간 상류의 홍수소통에 미치는 영향을 검토하여 보의 높이를 낮추거나 가동보로 교체하는 등의 조치가 필요할 것이다.

무한천 국가하천 구간은 하상경사가 다른 하천에 비해 균일하고 평균 하폭도 또한 급격한 변화 없이 전체적으로 비슷하며, 하천의 흐름에 지장을 초래하는 구조물이 상대적으로 적게 위치하고 있다. 그러나 지방2급 구간에는 소규모 교량과 낙차공, 취수보 등이 밀집되어 있는 것으로 조사되어 체계적인 정비가 필요할 것으로 보인다.

<표 3.13> 삽교천의 하도특성

하 천 명	주요지점	기본계획 측점	평균하폭 (m)	하상경사	비고
삽교천 (국가하천)	삽교천 하구~ 곡교천 합류후	No.0~No.10	2,617	1/12,000	교량 1개소
	곡교천 합류전~ 무한천 합류후	No.11~No.29	740	1/3,000	-
	무한천 합류전~ 대천천 합류후	No.30~No.46	372	1/2,200	교량 2개소
	대천천 합류전~ 국가하천 시점	No.46+300~No.64	269	1/1,900	교량 6개소, 취수보 1개소
삽교천 (지방1급)	지방1급 종점~ 신경천 합류점	No.0~No.9	261	1/1,385	교량 1개소
	신경천 합류점~ 화양천 합류점	No.9~No.22+20	197	1/949	교량 1개소
	화양천 합류점~ 용봉천 합류점	No.22+20~No.39+20	182	1/1,024	교량 2개소
삽교천 (지방2급)	용봉천 합류점~ 조심보	No.0~No.0+130	137	1/440	취수보 1개소
	조심보~ 홍성천 합류점	No.0+130~No.8+67	123	1/911	교량 1개소
	홍성천 합류점~ 장성천 합류점	No.8+67~No.13+20	115	1/1191	교량 3개소, 취수보 1개소
	장성천 합류점~ 학계리천 합류점	No.13+20~No.22+100	85	1/591	교량 3개소
	학계리천 합류점~ 운월교 지점	No.22+100~No.35+183	54	1/439	교량 4개소, 취수보 1개소
	운월교 지점~ 지방2급 시점	No.35+183~No.58+189	46	1/400	교량 10개소

<표 3.14> 곡교천의 하도특성

하 천 명	주요지점	기본계획 측점	평균하폭 (m)	하상경사	비고
곡교천 (국가하천)	하구~ 강촌교 지점	No.0~No.18+23	463	1/2,600	교량 1개소
	강촌교 지점~ 실옥보 지점	No.18+23~No.31+290	325	1/1,610	교량 2개소, 취수보 1개소
	실옥보 지점~ 온양천합류점	No.31.90~No.39	323	1/3,350	교량 1개소, 취수보 1개소
곡교천 (지방1급)	지방1급 종점~ 동두천 합류점	No.0~No.8	257	1/1,333	-
	동두천 합류점~ 매곡천 합류점	No.8~No.22	256	1/757	교량 3개소
	매곡천 합류점~ 천안천 합류점	No.22~No.29	334	1/935	교량 2개소

<표 3.14> 곡교천의 하도특성(계속)

하 천 명	주요지점	기본계획 측점	평균하폭 (m)	하상경사	비고
곡교천 (지방1급)	천안천 합류점~ 화동천 합류점	No.29~No.33	224	1/571	교량 1개소
	화동천 합류점~ 풍서천 합류점	No.33~No.60	188	1/541	교량 3개소, 취수보 2개소
	풍서천 합류점~ 맹곡천 합류점	No.60~No.77	99	1/447	교량 3개소, 취수보 3개소
	맹곡천 합류점~ 지방1급 시점	No.77~No.100+90	72	1/229	교량 7개소, 취수보 10개소 낙차공 1개소
곡교천 (지방2급)	지방2급 종점~ 회룡천 합류점	No.-98~No.34	52	1/120	교량 3개소, 취수보 5개소
	회룡천 합류점~ 지방2급 시점	No.34~No.135	36	1/74	교량 10개소, 취수보 19개소

【주】 곡교천 지방2급 구간의 측점은 금회 과업성과 임.

<표 3.15> 무한천의 하도특성

하 천 명	주요지점	기본계획 측점	평균하폭 (m)	하상경사	비고
무한천 (국가하천)	하구~ 신례원교	No.0~No.53	354	1/1,164	-
	신례원교~ 예산대교	No.53+65~No.110	278	1/1,314	교량 4개소
	예산대교~ 국가하천 시점	No.110+59~No.125	307	1/771	교량 3개소, 낙차공 1개소
무한천 (지방2급)	지방2급 종점~ 예당저수지	No.0~No.38	279	1/1,003	교량 3개소
	예당저수지~ 신양천 합류점	No.38+68~No.106	1,319	1/804	낙차공 1개소
	신양천 합류점~ 신흥천 합류점	No.106+94~No.155	187	1/1,025	교량 4개소, 취수보 1개소
	신흥천 합류점~ 시목천 합류점	No.155+53~No.186	108	1/878	교량 3개소, 취수보 2개소
	시목천 합류점~ 강촌천 합류점	No.187~No.209	98	1/643	교량 1개소, 취수보 2개소
	강촌천 합류점~ 행정천 합류점	No.209+26~No.263	76	1/419	교량 4개소, 취수보 8개소
	행정천 합류점~ 수정천 합류점	No.263+24~No.291	64	1/353	교량 6개소, 취수보 4개소
	수정천 합류점~ 기덕천 합류점	No.291+41~No.320	39	1/228	교량 4개소, 취수보 7개소
	기덕천 합류점~ 산정천 합류점	No.320+83~No.330	17	1/133	교량4개소, 취수보 1개소

다. 하도내 구조물(교량, 보 등)

삽교천 등 주요 하천의 하도내에 설치된 구조물 현황을 과거 하천정비 기본계획 수립 당시와 금회 조사한 결과를 비교하여 <표 3.16>에 수록하였다.

삽교천은 전 구간에서 보와 낙차공의 수량에 변화가 없으나, 교량은 9개소가 증가하였다. 곡교천 또한 교량이 국가하천 구간 1개소, 지방1급 구간 9개소 증가한데 비해 보는 1개소만 증가하였고, 무한천은 보 및 낙차공의 수는 변화가 없이 교량만 지방2급 구간에서 5개소 증가하였다.

이상의 조사 결과에서 나타난 바와 같이 하상에 설치하여 홍수소통에 큰 지장을 초래하는 보와 낙차공 등의 증가가 적은 것은 치수적으로 바람직한 현상이며, 향후 배수체계의 개선을 통해 하천에서 직접 용수를 취수할 수 있도록 하는 취수보의 수를 최소화 하여야 할 것이다. 이에 비해 교량의 증가는 지역경제 및 교통의 발달에 따라 불가피한 상황이므로 그 수를 제한할 수는 없으나, 신설 교량은 홍수소통에 지장을 초래하지 않도록 충분한 형하여유고와 경간장을 확보하고 교량의 교대가 하도내로 돌출되지 않으며, 하도내에 설치되는 교각은 그 형태를 하천의 흐름에 미치는 영향이 최소화 되도록 계획하여야 할 것이다. 아울러 기존 교량 중 적정규모를 확보하지 못하여 홍수소통에 장애가 되는 기존 교량도 전술한바와 같이 체계적으로 정비하여야 할 것이다. 특히 교량의 형고가 홍수위 보다 낮은 잠수교가 주로 지방2급 하천구간에 여러 개소 위치하고 있는 것으로 조사되었는데 이들 잠수교는 주변지역 주민들에게 유용한 이동로로 활용되고 있지만 홍수시 통수단면을 과다하게 잠식하여 상류로의 배수위 상승을 유발하고 심할 경우 외수월류를 유발할 위험이 있으므로 조속한 시일내에 철거하고 적정 규모의 대체 교량을 설치하는 등의 조치가 필요할 것으로 판단된다.

<표 3.16> 주요 하천내 구조물 현황

구 분		보 및 낙차공 (개소)		교 량 (개소)	
		과 거	금회조사	과 거	금회 조사
삽 교 천	국가하천	1	1	4	9
	지방 1급	-	-	2	4
	지방 2급	3	3	19	21
곡 교 천	국가하천	1	2	3	4
	지방 1급	16	16	10	19
	지방 2급	-	24	-	13
무 한 천	국가하천	1	1	7	7
	지방 2급	23	26	24	29

【주】 곡교천 지방2급 구간은 하천정비기본계획이 수립되지 않아 금회 조사 성과만 수록하였음.

3.2.2 하도특성 및 하상변동 검토

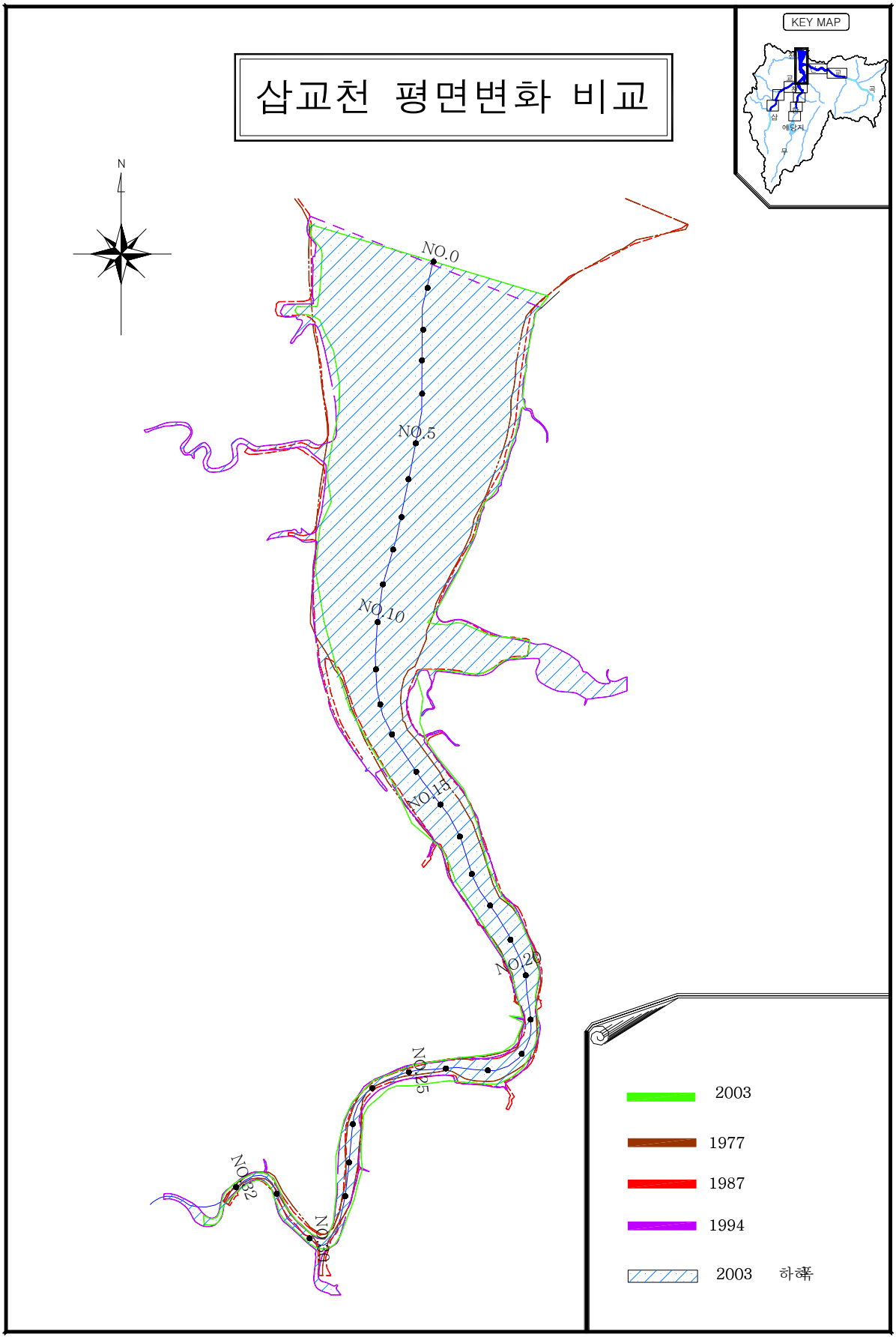
가. 하도의 평면형

(1) 하도의 평면 변화

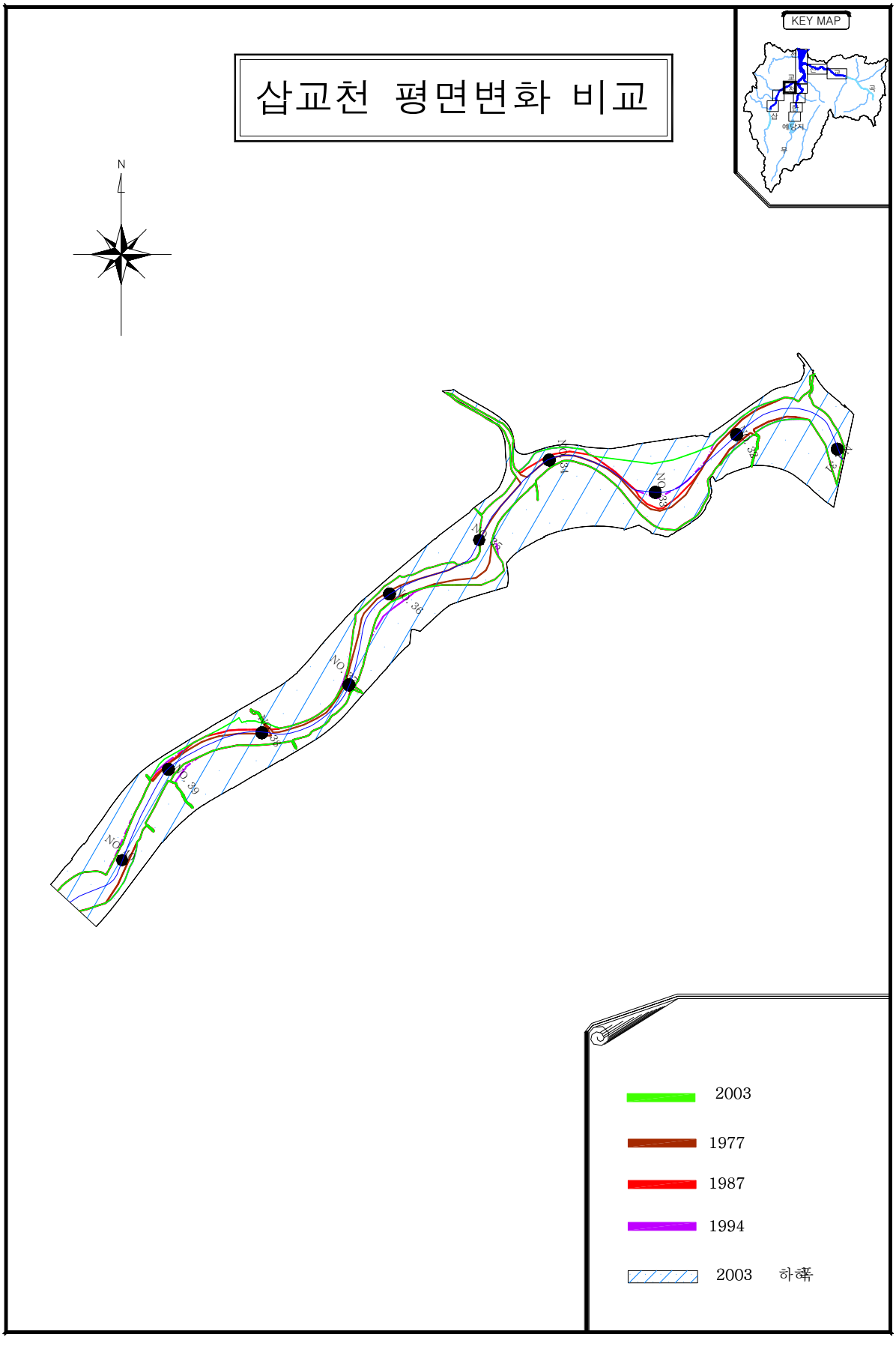
삽교천 및 무한천 하도의 평면변화를 파악하기 위해 삽교천 하천정비기본계획(1977년, 1994년) 및 삽교천 하상변동 조사(1987년, 1988년) 등의 기존의 측량 성과 및 금회 측량 성과와 수치지도상의 하천선을 비교하여 분석하였다. 삽교천 구양교 하류부 하도의 평면 형태는 <그림 3.12>에서 보는바와 같이 과거에 비해 크게 변화하지는 않았으나, 삽교방조제 설치전인 1977년과 비교할 때 유로가 다소 변경되었으며, 하폭은 <표 3.17> 및 <그림 3.15>에서 보는바와 같이 대체로 변동이 없는 것으로 나타났다. 저수로 폭의 경우 하류부의 변화는 미미하나 No 25번 상류부에는 제방축조 등으로 인해 저수로 폭이 다소 증가된 것으로 나타났다.

무한천의 경우 하도의 평면 형태는 '94년 당시와 비교해서는 크게 변화가 없으나, '77년 당시와 비교하였을 때, 기본계획 측점 No12～No. 13구간(금회측점 No.60～No.65)과 No. 17～No.18구간(금회측점 No.85～No.90)의 하도가 직강화 되었다. 하폭은 상류 일부 구간에서(기본계획 측점 No 24～No. 25) 증가한 것으로 조사되었으나 전체적으로는 변화가 미미한 것으로 나타났다. 저수로폭 역시 '94년과 비교할 때 큰 변화가 없으나, '77년 및 '88년 당시와는 다소 하류부에서 늘어난 것으로 조사되었다.

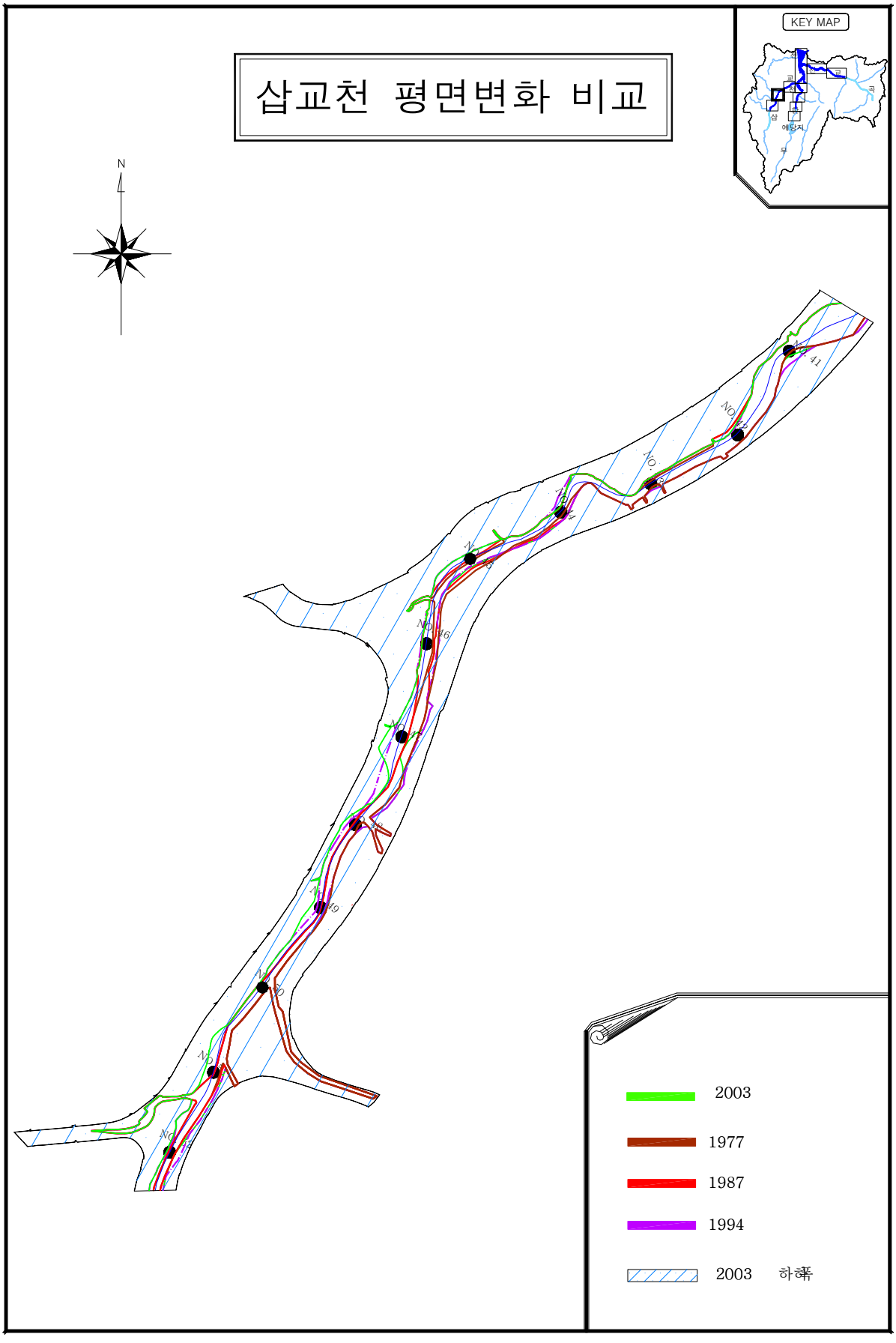
이상의 분석결과 기존 하천횡단 측량지점과 금회 측량 지점이 다소 불일치한데서 오는 차이를 감안한다면 실질적으로 삽교천과 곡교천, 무한천의 평면 및 하폭의 변화는 무시할 수 있을 것으로 판단된다. 삽교천 등 주요 하천 국가하천구간의 평면 변화를 비교한 결과는 <그림 3.12>～<그림 3.14>과 같다.



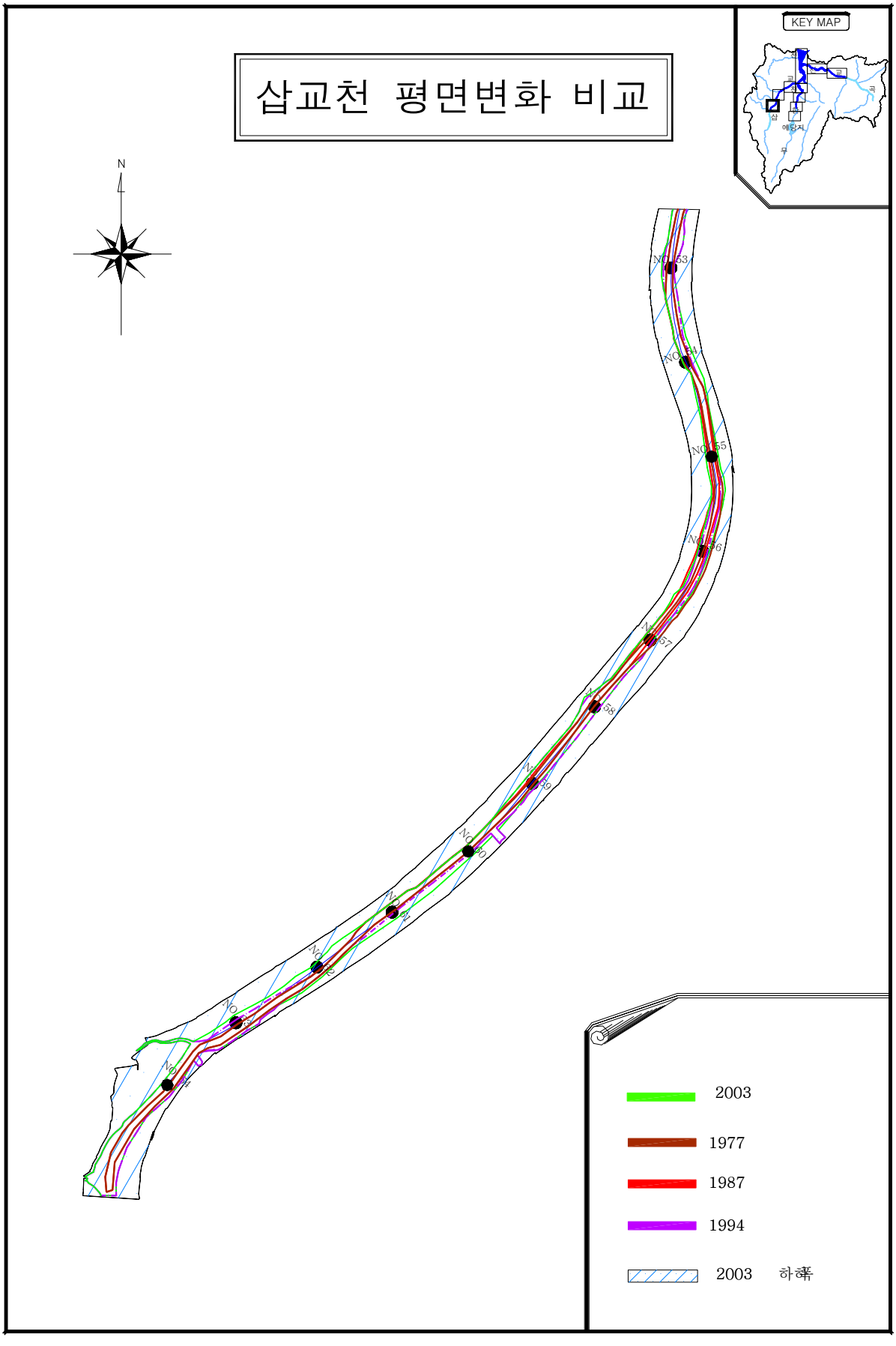
<그림 3.12> 삽교천 평면변화 비교



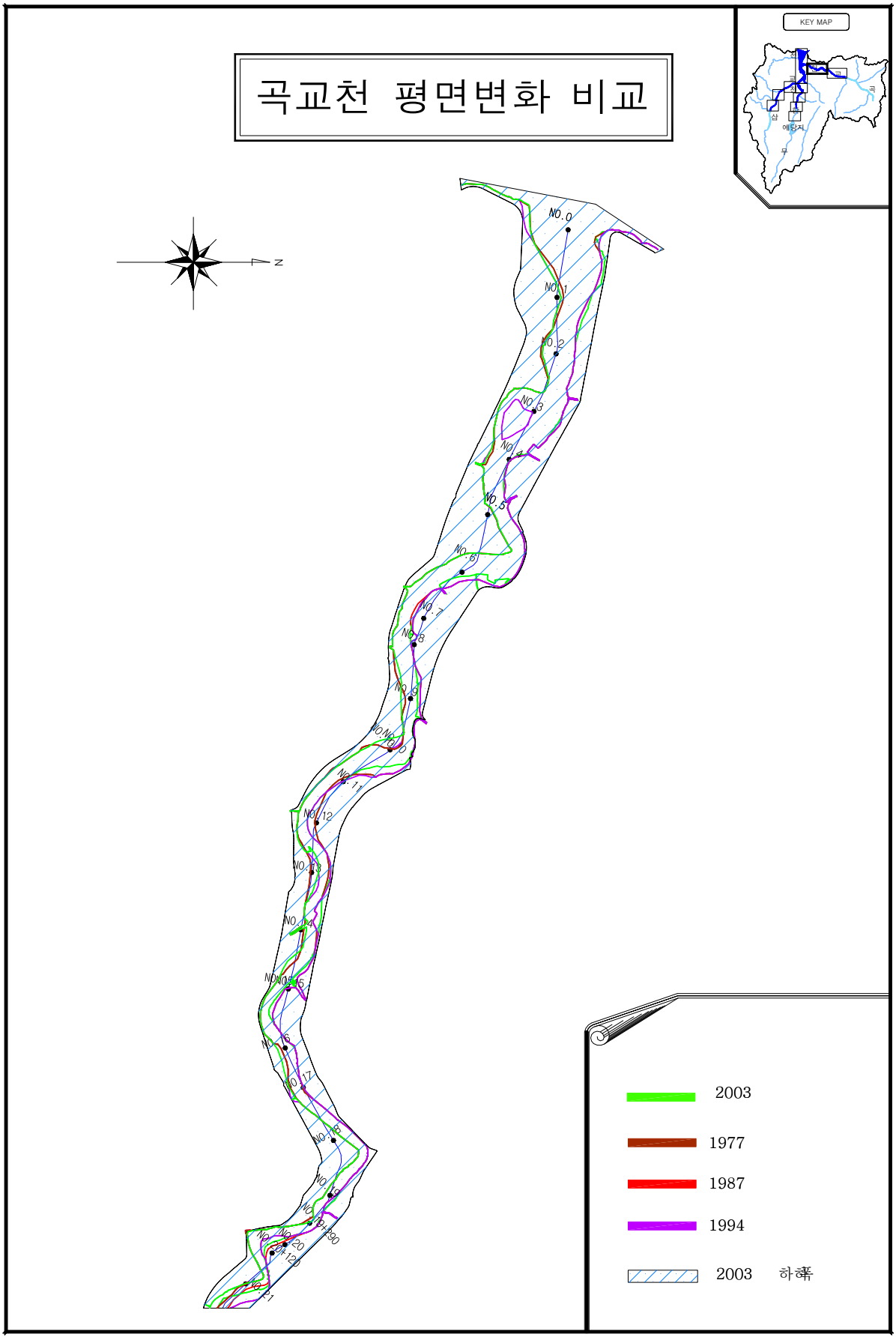
<그림 3.12> 삽교천 평면변화 비교 (계속)



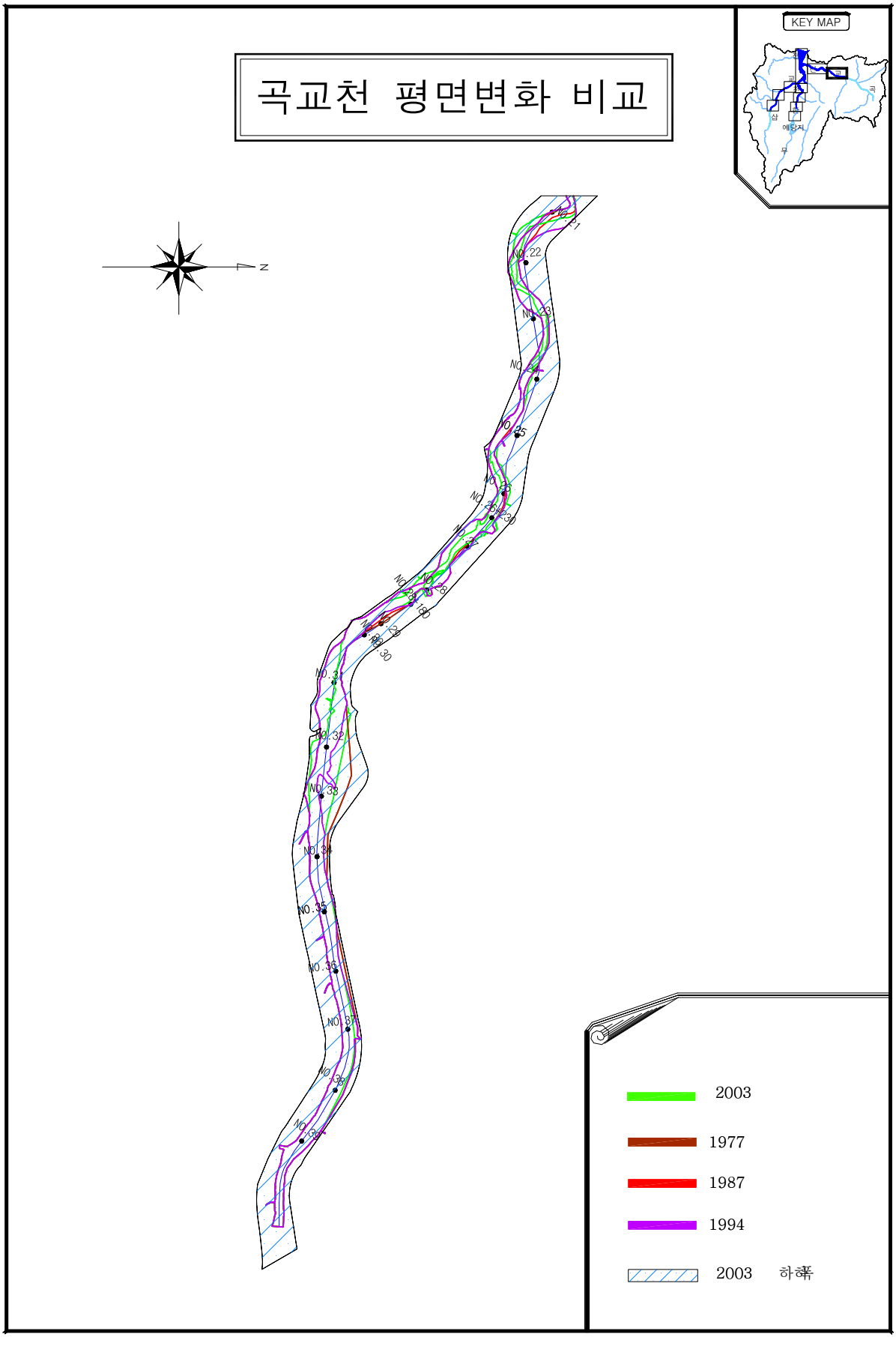
<그림 3.12> 삽교천 평면변화 비교 (계속)



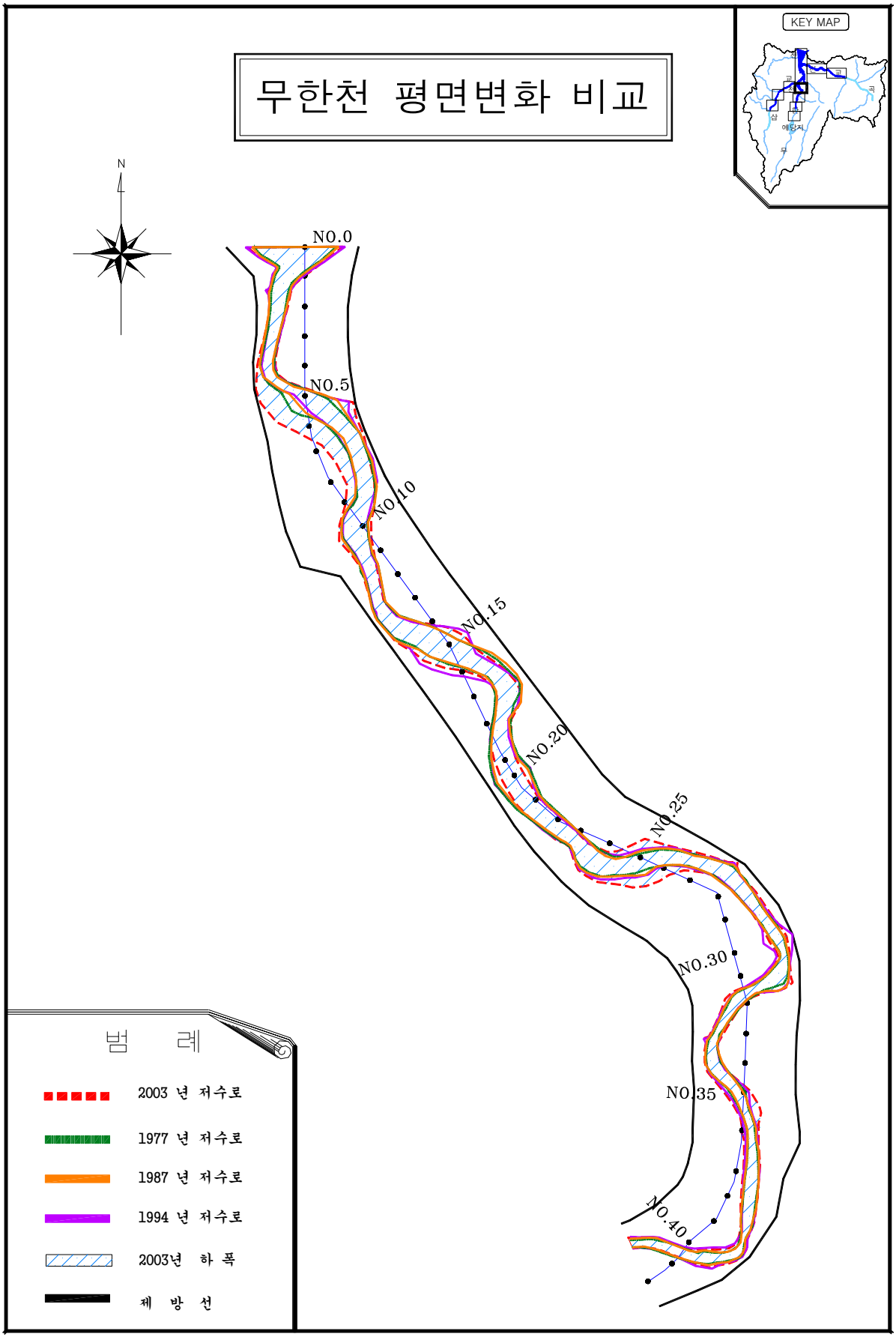
<그림 3.12> 삽교천 평면변화 비교 (계속)



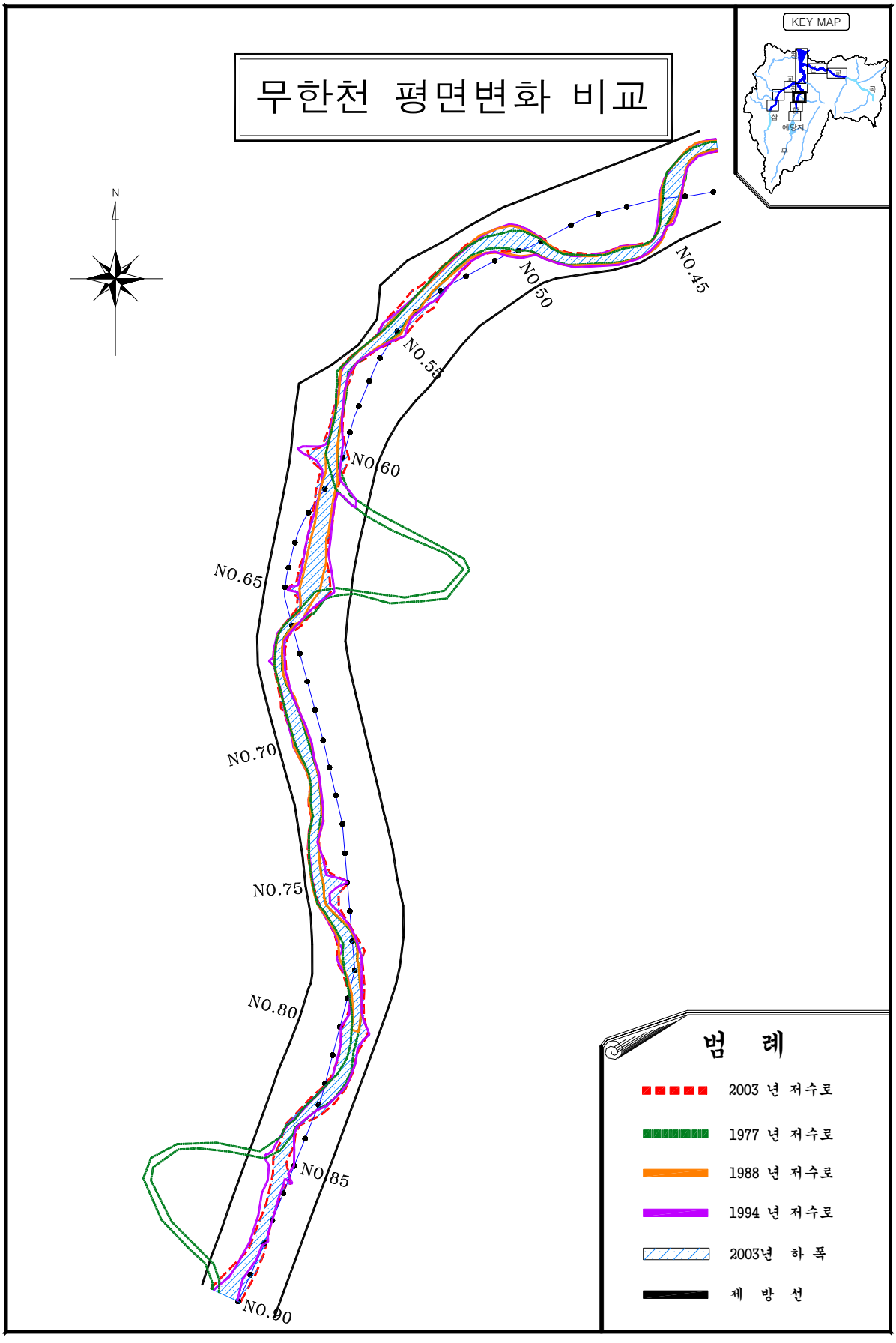
<그림 3.13> 곡교천 평면변화 비교



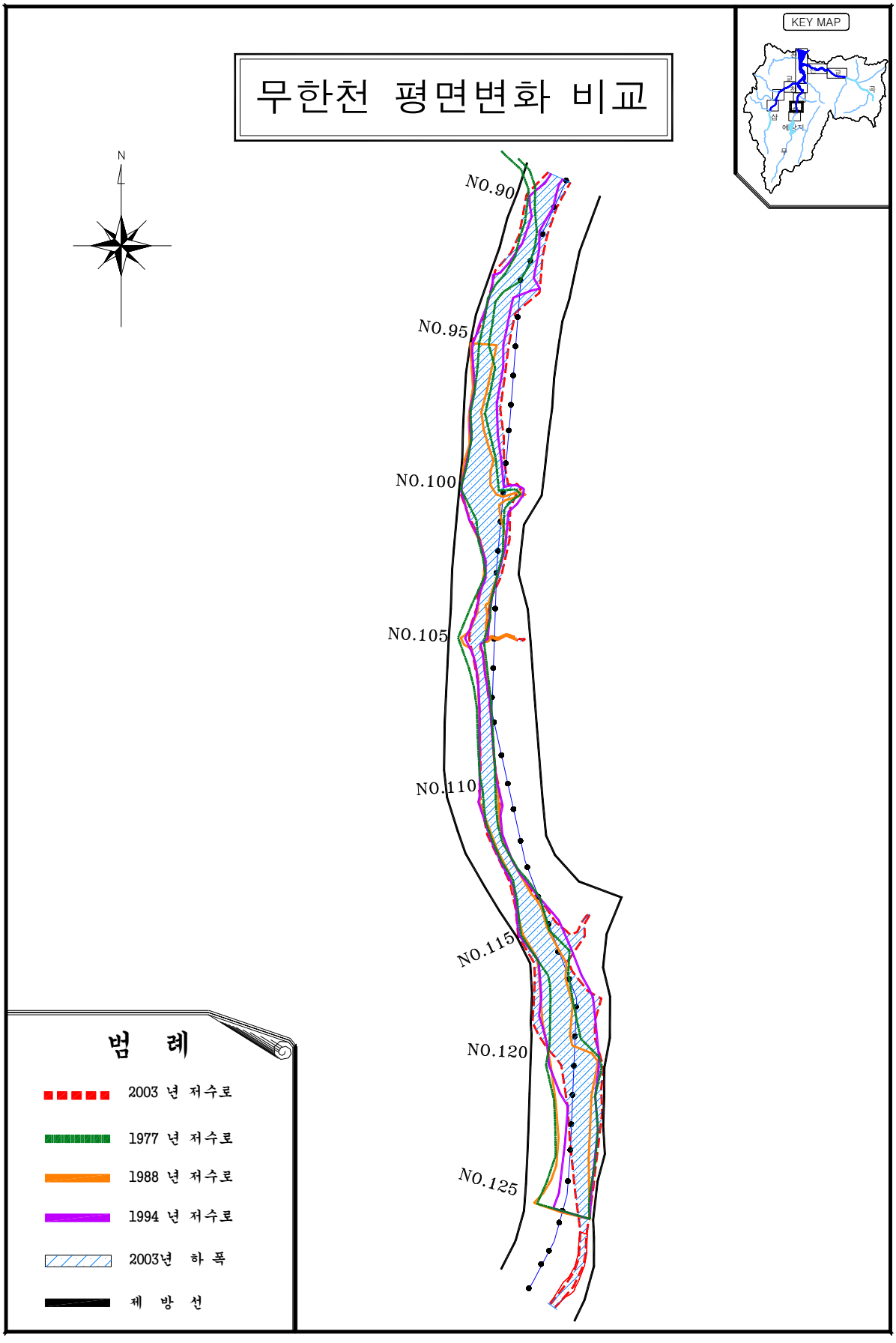
<그림 3.13> 곡교천 평면변화 비교 (계속)



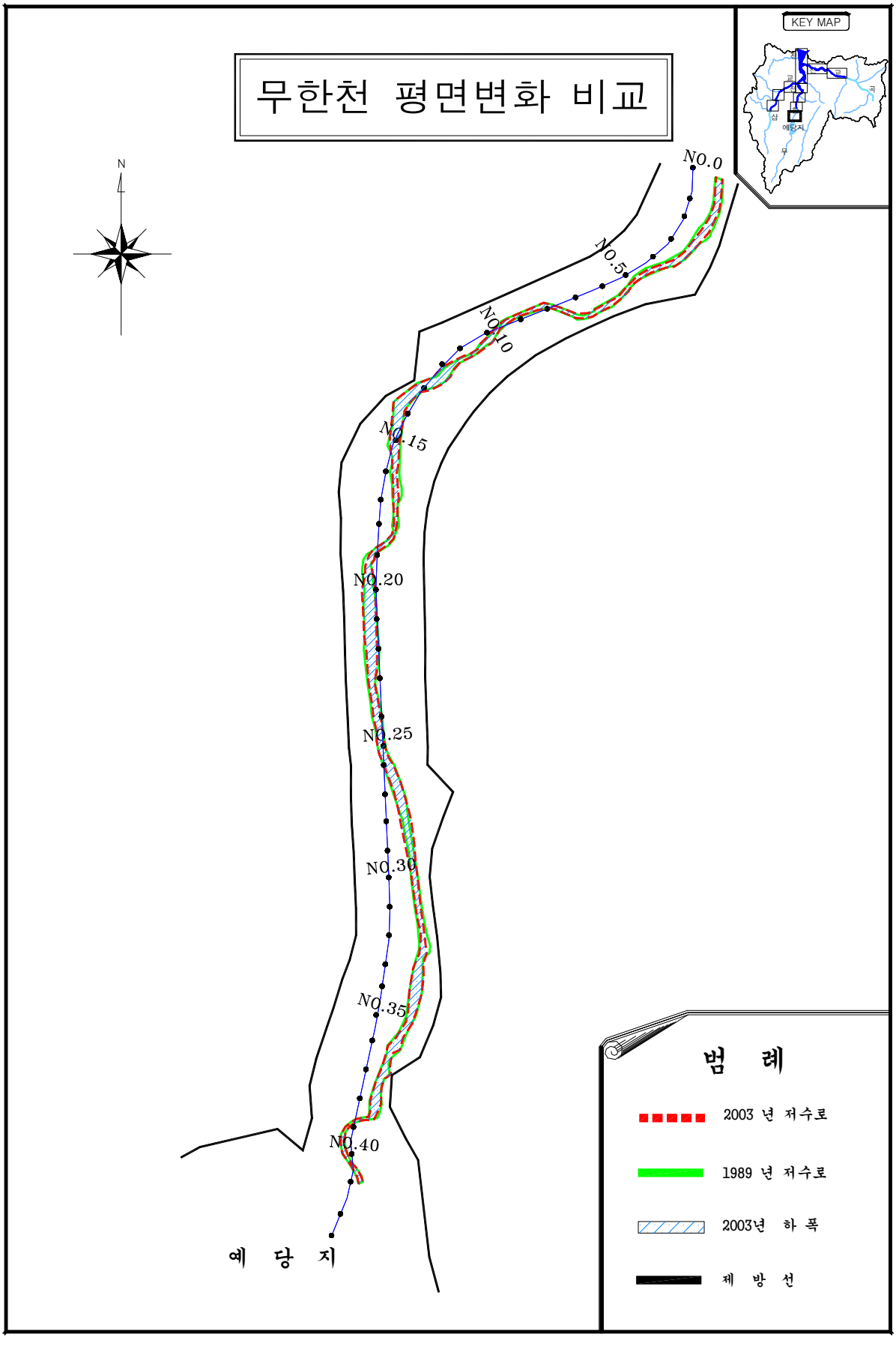
<그림 3.14> 무한천 평면변화 비교



<그림 3.14> 무한천 평면변화 비교 (계속)



<그림 3.14> 무한천 평면변화 비교 (계속)



<그림 3.14> 무한천 평면변화 비교 (계속)

<표 3.17> 삽교천 국가하천구간 하폭변화 비교

측점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	하 폭 (m)				비 고
			77년도	87년도	94년도	금회	
0	0	0	3,680	3,705	3,250	3,294	시점
0+135	135	135	-	-	-	3,294	삽교대교
1	365	500	3,140	3,135	3,020	3,002	
2	500	1,000	3,200	3,185	2,920	3,323	
3	500	1,500	3,280	3,290	2,750	2,717	
3+163	163	1,663	-	-	-	2,717	공사도로
4	337	2,000	3,210	3,210	2,630	2,672	
5	500	2,500	2,870	3,058	2,440	2,589	
6	500	3,000	2,310	2,490	2,470	2,331	
7	500	3,500	2,170	2,465	2,360	2,165	
8	500	4,000	2,630	2,665	2,450	2,020	
9	500	4,500	1,700	1,697	1,740	1,757	
10	500	5,000	1,650	1,590	1,650	2,136	
11	500	5,500	1,680	1,770	1,450	1,790	
12	500	6,000	1,060	1,550	1,160	1,301	
13	500	6,500	1,200	1,230	910	1,009	
14	500	7,000	1,000	1,000	1,000	866	
15	500	7,500	1,070	1,080	1,070	876	
16	500	8,000	870	1,120	1,130	1,044	
17	500	8,500	780	810	820	625	
18	500	9,000	510	510	500	542	
19	500	9,500	500	500	480	471	
20	500	10,000	440	450	460	476	
21	500	10,500	500	500	480	487	
22	500	11,000	520	520	540	505	
23	500	11,500	630	630	590	566	·
24	500	12,000	600	610	570	555	
25	500	12,500	510	510	530	522	
26	500	13,000	560	550	600	601	
27	500	13,500	550	540	610	584	
28	500	14,000	600	600	620	610	
29	500	14,500	690	690	650	631	무한천 합류후
30	500	15,000	580	580	730	805	무한천 합류전
31	500	15,500	470	470	460	463	
32	500	16,000	272	272	270	268	
32+154	154	16,154	-	-	215	211	구양교(신)
33	346	16,500	300	311	560	480	
34	500	17,000	340	350	550	425	
35	500	17,500	270	315	220	287	
36	500	18,000	280	280	300	287	

<표 3.17> 삽교천 국가하천구간 하폭변화 비교 (계속)

측점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	하 폭 (m)				비 고
			77년도	87년도	94년도	금회	
36+60	60	18,060	-	-	-	354	교량 공사중
37	440	18,500	310	310	310	300	
38	500	19,000	310	310	310	304	
39	500	19,500	309	309	310	312	
40	500	20,000	300	300	300	286	
41	500	20,500	295	295	300	300	
42	500	21,000	305	305	300	303	
43	500	21,500	312	312	310	306	
44	500	22,000	315	315	310	310	
45	500	22,500	360	360	350	346	
46	500	23,000	370	310	380	712	대천천 합류후
46+291	291	23,291	-	-	310	405	구만교
47	209	23,500	288	288	280	285	
48	500	24,000	313	313	310	313	
49	500	24,500	280	280	280	285	
50	500	25,000	302	302	320	323	
50+70	70	25,070			310	343	
51	430	25,500	311	311	240	311	
52	500	26,000	271	271	230	507	효교천 합류후
53	500	26,500	231	231	230	224	효교천 합류전
54	500	27,000	223	223	220	217	
55	500	27,500	223	223	220	221	
56	500	28,000	223	223	220	216	
57	500	28,500	223	223	220	219	
57+266	266	28,766	-	-	-	245	교량 공사중
58	234	29,000	224	224	220	221	
58+499	499	29,499	-	-	-	221	충의대교(신)
59	1	29,500	225	225	230	215	
59+17	17	29,517	-	-	230	209	충의대교(구)
60	483	30,000	230	230	230	226	
61	500	30,500	220	220	230	218	
62	500	31,000	222	222	220	217	
63	500	31,500	219	219	220	219	
63+26	26	31,526	-	-	220	209	
63+27	1	31,527	-	-	220	209	낙차공
64	473	32,000	220	220	260	441	덕산천 합류점

<표 3.18> 삽교천 국가하천구간 저수로폭 변화 비교

측점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	저 수 로 폭 (m)				비 고
			77년도	87년도	94년도	금회	
0	0	0	3,450	3,500	3,080	3,266	시점
0+135	135	135	-	-	-	-	삽교대교
1	365	500	2,940	3,030	2,995	2,889	
2	500	1,000	2,715	2,750	3,052	3,082	
3	500	1,500	2,630	2,715	2,656	2,532	
3+163	163	1,663	-	-	-	-	공사도로
4	337	2,000	2,490	2,550	2,598	2,542	
5	500	2,500	1,885	2,005	2,323	2,360	
6	500	3,000	1,840	1,850	2,250	2,248	
7	500	3,500	1,875	1,885	2,059	2,047	
8	500	4,000	1,835	1,840	1,976	1,927	
9	500	4,500	1,330	1,365	1,754	1,731	
10	500	5,000	1,375	1,410	1,503	1,343	
11	500	5,500	1,060	1,120	1,049	1,071	
12	500	6,000	730	875	783	960	
13	500	6,500	590	665	644	712	
14	500	7,000	555	565	708	666	
15	500	7,500	750	770	788	809	
16	500	8,000	525	520	556	559	
17	500	8,500	492	511	499	459	
18	500	9,000	460	475	406	405	
19	500	9,500	437	435	431	418	
20	500	10,000	360	360	380	351	
21	500	10,500	290	325	242	397	
22	500	11,000	292	400	385	419	
23	500	11,500	360	395	367	358	
24	500	12,000	296	300	417	276	
25	500	12,500	195	195	321	241	
26	500	13,000	160	170	178	177	
27	500	13,500	195	195	210	259	
28	500	14,000	225	335	363	379	
29	500	14,500	210	236	189	247	무한천 합류후
30	500	15,000	150	146	150	140	무한천 합류전
31	500	15,500	110	115	118	119	
32	500	16,000	65	75	109	109	
32+154	154	16,154	-	-	-	-	구양교(신)
33	346	16,500	94	100	152	120	
34	500	17,000	40	60	99	100	
35	500	17,500	72	120	118	112	
36	500	18,000	45	70	122	87	

<표 3.18> 삽교천 국가하천구간 저수로폭 변화 비교 (계속)

측점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	저 수 로 폭 (m)				비 고
			77년도	87년도	94년도	금회	
36+60	60	18,060	-	-	82	70	교량 공사중
37	440	18,500	50	60	60	65	
38	500	19,000	60	82	90	142	
39	500	19,500	60	90	102	94	
40	500	20,000	55	55	95	92	
41	500	20,500	38	55	105	83	
42	500	21,000	80	90	74	80	
43	500	21,500	30	40	60	56	
44	500	22,000	20	35	105	69	
45	500	22,500	50	50	73	77	
46	500	23,000	25	65	92	68	대천천 합류후
46+291	291	23,291	-	-	82	102	구만교
47	209	23,500	45	45	127	112	
48	500	24,000	25	25	67	99	
49	500	24,500	30	32	46	80	
50	500	25,000	30	30	52	52	
50+70	70	25,070	-	-	-	70	
51	430	25,500	38	45	51	111	
52	500	26,000	35	35	66	41	효교천 합류후
53	500	26,500	25	25	55	66	효교천 합류전
54	500	27,000	25	25	42	63	
55	500	27,500	40	30	33	60	
56	500	28,000	22	25	43	58	
57	500	28,500	28	28	52	49	
57+266	266	28,766	-	-	-	64	교량 공사중
58	234	29,000	25	25	85	92	
58+499	499	29,499			63	63	충의대교(신)
59	1	29,500	20	34	66	63	
59+17	17	29,517			-	48	충의대교(구)
60	483	30,000	20	20	39	63	
61	500	30,500	20	20	50	79	
62	500	31,000	25	25	25	73	
63	500	31,500	27	27	80	118	
63+26	26	31,526	-	-	-	108	
63+27	1	31,527	-	-	-	108	낙차공
64	473	32,000	28	30	69	78	덕산천 합류점

<표 3.19> 곡교천 국가하천구간 하폭변화 비교

측점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	하 폭 (m)				비 고
			77년도	88년도	94년도	금회	
0	0	0	780	670	750	740	
1	590	590	670	580	710	711	
2	470	1,060	580	590	570	560	
3	500	1,560	610	-	600	590	
3+125	125	1,685	-	590	600	600	선인교
4	325	2,010	590	786	580	573	
5	490	2,500	-	758	600	635	
6	520	3,020	-	676	550	526	
7	490	3,510	-	460	570	485	
8	230	3,740	420	372	450	439	
9	440	4,180	350	480	320	325	
10	450	4,630	450	390	460	493	
11	480	5,110	390	445	390	390	
12	430	5,540	380	355	430	423	
13	410	5,950	360	440	300	343	
14	480	6,430	330	450	320	315	
15	500	6,930	-	430	320	319	
16	490	7,420	-	385	310	305	
17	370	7,790	290	370	280	280	
18	500	8,290	370	410	320	320	
18+370	370	8,660	-	-	350	348	강청교
19	150	8,810	-	330	328	329	
19+290	290	9,100	380	-	320	331	
20	260	9,360	-	416	400	465	
20+120	120	9,480	380	-	450	512	
21	350	9,830	330	322	330	326	
22	480	10,310	-	315	310	316	
23	500	10,810	-	317	320	316	
24	500	11,310	-	320	320	315	
25	500	11,810	-	318	320	316	
26	500	12,310	-	320	320	317	
26+230	230	12,540	300	-	300	292	
26+359	129	12,669	-	-	290	284	낙차공
26+361	2	12,671				284	
27	169	12,840	-	320	280	278	
28	500	13,340	-	340	300	291	
28+180	180	13,520	320	-	280	277	
29	490	14,010	-	313	260	285	
30	190	14,200	300	288	280	312	
31	450	14,650	300	288	270	300	

<표 3.19> 곡교천 국가하천구간 하폭변화 비교 (계속)

측점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	하 폭 (m)				비 고
			77년도	88년도	94년도	금회	
31+290	290	14,940	-	-	360	354	실옥보
31+320	30	14,970	-	-	360	346	아산대교
32	220	15,190	410	388	410	418	
33	410	15,600	400	388	400	402	
34	510	16,110	300	300	300	322	
34+440	440	16,550	-	-	280	276	충무교
35	30	16,580	300	305	290	287	
36	500	17,080	290	295	290	297	
37	500	17,580	280	295	290	297	
38	510	18,090	280	277	300	296	
39	500	18,590	270	266	280	286	

<표 3.20> 곡교천 국가하천구간 저수로폭 변화 비교

측점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	저 수 로 폭 (m)				비 고
			77년도	88년도	94년도	금회	
0	0	0	570	565	657	570	
1	590	590	210	210	228	250	
2	470	1,060	390	390	266	267	
3	500	1,560	255	255	248	226	
3+125	125	1,685	-	-	210	161	선인교
4	325	2,010	138	138	272	176	
5	490	2,500	143	143	308	215	
6	520	3,020	130	125	445	211	
7	490	3,510	105	120	128	131	
8	230	3,740	100	120	153	163	
9	440	4,180	200	200	133	141	
10	450	4,630	105	105	197	286	
11	480	5,110	100	100	131	128	
12	430	5,540	120	155	84	82	
13	410	5,950	185	185	117	101	
14	480	6,430	110	110	313	104	
15	500	6,930	100	125	110	92	
16	490	7,420	120	120	111	131	
17	370	7,790	73	83	133	104	
18	500	8,290	100	100	103	101	
18+370	370	8,660	-	-	135	90	강청교
19	150	8,810	115	95	72	86	
19+290	290	9,100	-	-	92	69	

<표 3.20> 곡교천 국가하천구간 저수로폭 변화 비교 (계속)

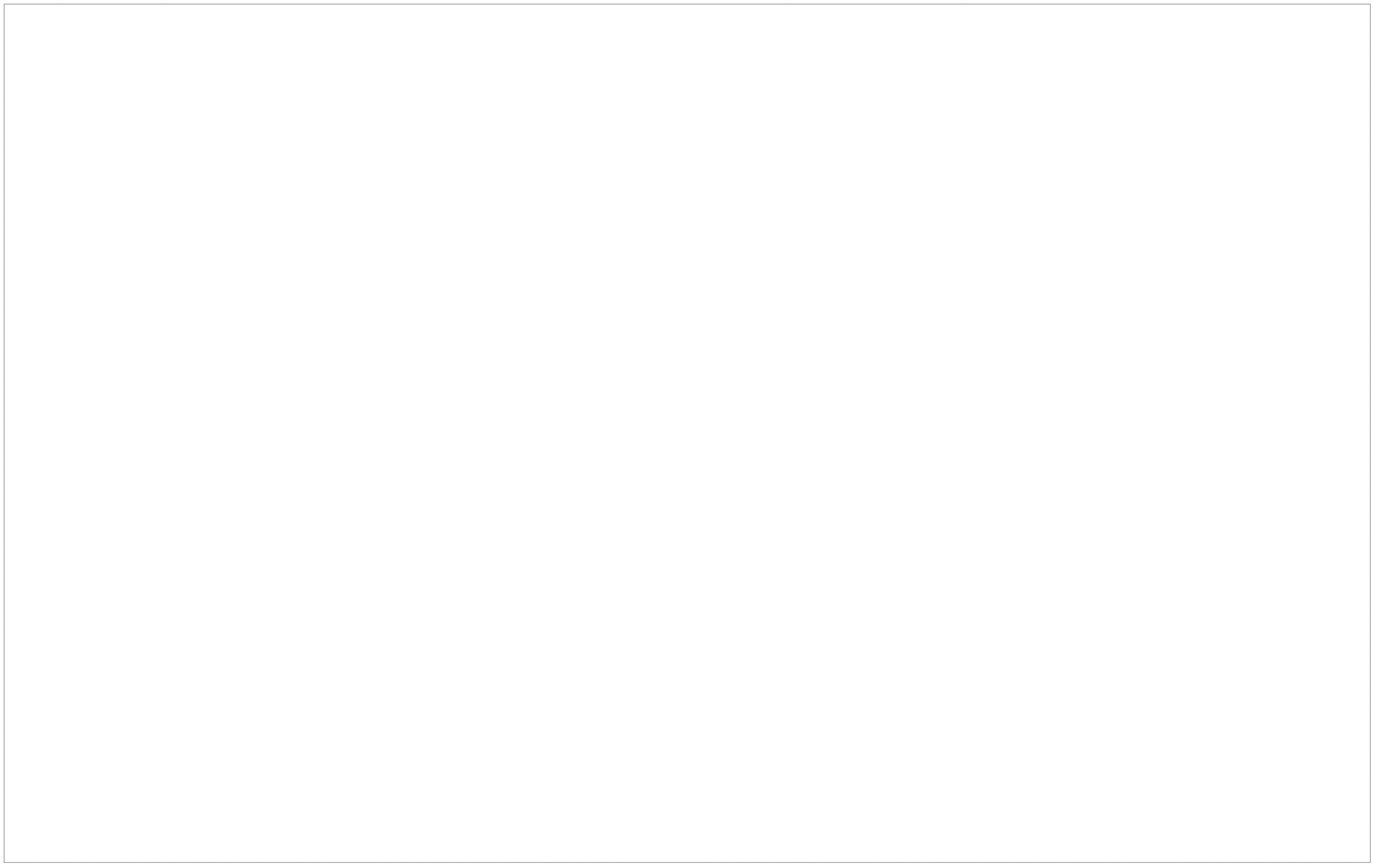
측점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	저 수 로 폭 (m)				비 고
			77년도	88년도	94년도	금회	
20	260	9,360	60	200	94	154	
20+120	120	9,480	-	-	168	196	
21	350	9,830	45	167	164	85	
22	480	10,310	58	83	111	100	
23	500	10,810	70	124	43	55	
24	500	11,310	70	73	59	87	
25	500	11,810	70	120	92	91	
26	500	12,310	58	95	79	91	
26+230	230	12,540	-	-	89	95	
26+359	129	12,669	-	-	149	177	낙차공
26+361	2	12,671	-	-	-	66	
27	169	12,840	90	126	149	60	
28	500	13,340	110	232	93	149	
28+180	180	13,520	-	-	147	64	
29	490	14,010	95	140	78	67	
30	190	14,200	100	95	133	133	
31	450	14,650	46	170	188	67	
31+290	290	14,940	-	-	338	225	실옥보
31+320	30	14,970	-	-	-	91	아산대교
32	220	15,190	155	265	140	270	
33	410	15,600	265	240	127	207	
34	510	16,110	95	155	119	117	
34+440	440	16,550	-	-	119	118	충무교
35	30	16,580	130	130	133	124	
36	500	17,080	128	140	98	98	
37	500	17,580	125	125	130	99	
38	510	18,090	170	185	155	120	
39	500	18,590	98	110	110	104	

<표 3.21> 무한천 국가하천구간 하폭변화 비교

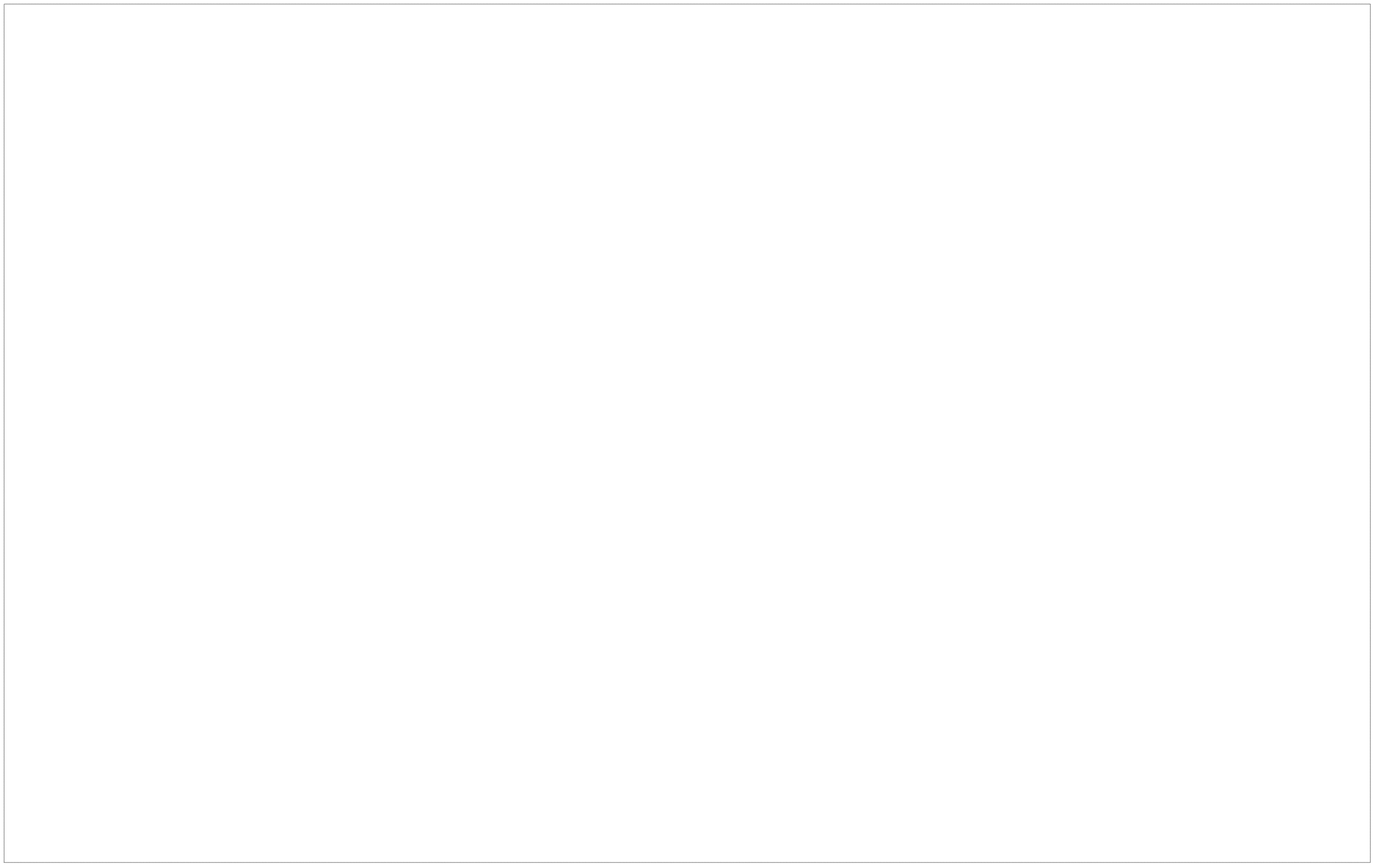
측점 (No.)	거리 (m)	누가거리 (m)	하 폭 (m)					비 고
			77년도	87년도	88년도	94년도	금회	
0	0	0	450	462	-	460	455	시점
5	500	500	330	332	-	340	351	
10	487	987	410	410	-	410	402	
15	485	1,472	320	323	-	320	315	
20	518	1,990	330	340	-	350	341	
25	500	2,490	330	374	-	370	405	
30	490	2,980	380	414	-	410	416	
35	460	3,440	320	364	-	370	338	
40	580	4,020	300	340	-	350	334	
45	470	4,490	330	335	-	320	320	
50	510	5,000	320	318	-	290	296	
53+65	360	5,360	-	-	-	280	279	신례원교
55	120	5,480	310	290	-	290	282	
60	490	5,970	340	324	-	400	296	
62+52	280	6,250	-	-	-	290	291	잠수교
65	220	6,470	310	314	-	290	294	
70	480	6,950	300	292	-	300	296	
75	492	7,442	300	305	-	300	0	
77+76	288	7,730	-	-	-	300	306	잠수교
80	203	7,933	300	304	303	310	276	
85	517	8,450	300	-	303	280	276	
90	500	8,950	285	-	288	270	269	
93+18.0	280	9,230	-	-	-	280	282	신원교
95	190	9,420	280	-	273	280	303	
100	530	9,950	287	-	287	300	308	
105	500	10,450	312	-	312	230	279	
110	500	10,950	250	-	250	320	340	
110+59	80	11,030	-	-	-	360	355	예산대교
115	440	11,470	320	-	320	240	407	
117+75	275	11,745	-	-	-	270	281	낙차공
117+90	25	11,770	-	-	-	270	271	철교
120	210	11,980	235	-	235	280	267	교량
125	490	12,470	260	-	260	270	260	종점

<표 3.22> 무한천 국가하천구간 저수로폭 변화 비교

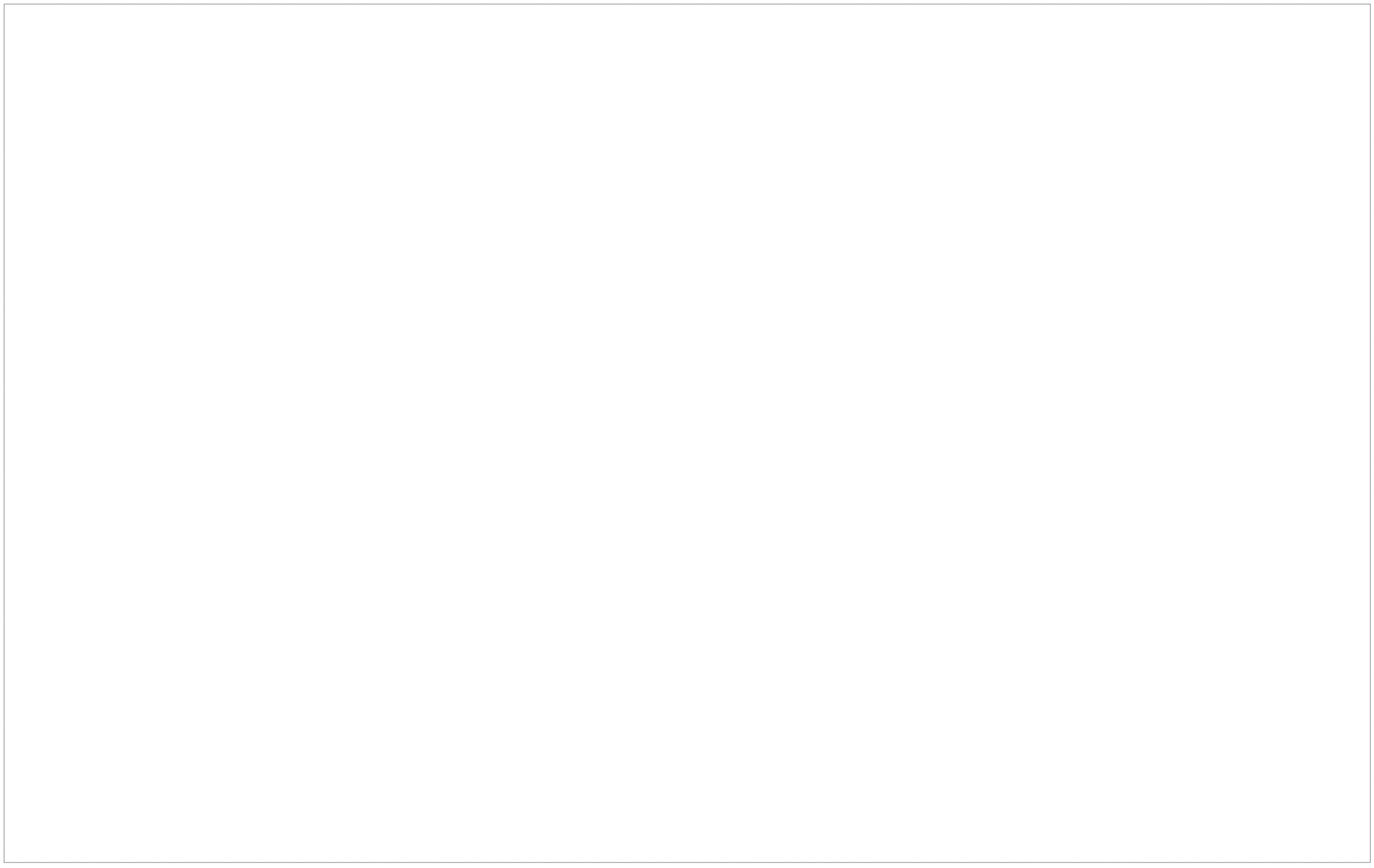
측점 (No.)	거리 (m)	누가거리 (m)	저 수 로 폭 (m)					비 고
			77년도	87년도	88년도	94년도	금회	
0	0	0	280	295	-	340	325	시점
5	500	500	160	165	-	134	351	
10	487	987	97	105	-	96	130	
15	485	1,472	109	109	-	195	160	
20	518	1,990	130	114	-	135	76	
25	500	2,490	69	88	-	101	171	
30	490	2,980	40	45	-	104	61	
35	460	3,440	55	40	-	80	95	
40	580	4,020	50	60	-	91	85	
45	470	4,490	60	90	-	113	81	
50	510	5,000	75	110	-	122	110	
53+65	360	5,360	-	-	-	51	94	신례원교
55	120	5,480	45	56	-	87	86	
60	490	5,970	38	40	-	257	144	
62+52	280	6,250	-	-	-	78	81	잠수교
65	220	6,470	50	70	-	169	145	
70	480	6,950	45	60	-	64	48	
75	492	7,442	35	40	-	119	122	
77+76	288	7,730	-	-	-	101	102	잠수교
80	203	7,933	25	25	130	101	90	
85	517	8,450	75	-	130	104	48	
90	500	8,950	125	-	85	89	112	
93+18.0	280	9,230	-	-	-	167	169	신원교
95	190	9,420	33	-	90	167	228	
100	530	9,950	205	-	220	213	193	
105	500	10,450	125	-	190	77	191	
110	500	10,950	45	-	60	64	69	
110+59	80	11,030	-	-	-	84	65	예산대교
115	440	11,470	120	-	120	145	257	
117+75	275	11,745	-	-	-	194	172	낙차공
117+90	25	11,770	-	-	-	194	251	철교
120	210	11,980	190	-	158	170	144	교량
125	490	12,470	185	-	198	130	108	종점



<그림 3.15> 삽교천 하폭변화 비교

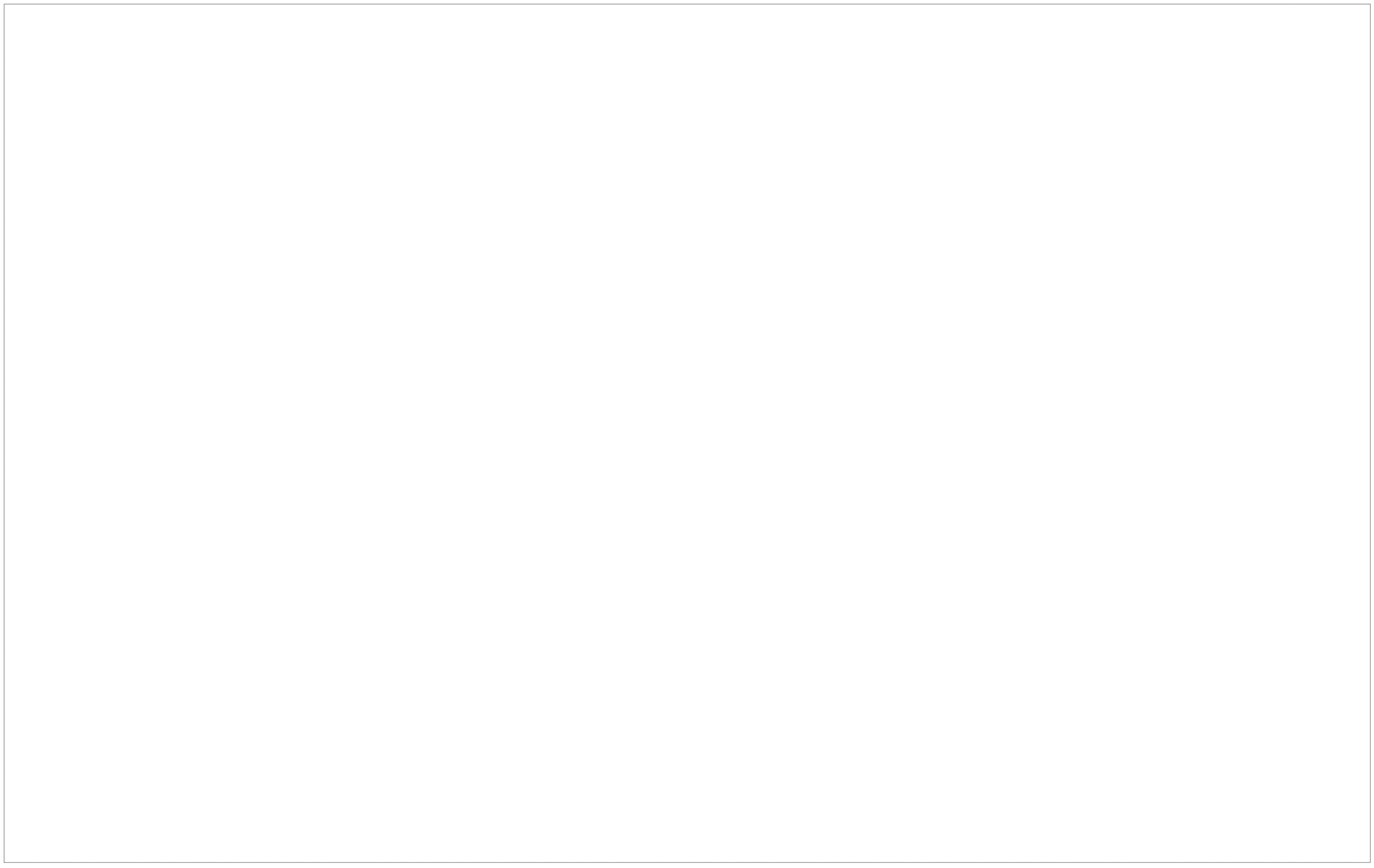


<그림 3.15> 삽교천 하폭변화 비교(계속)

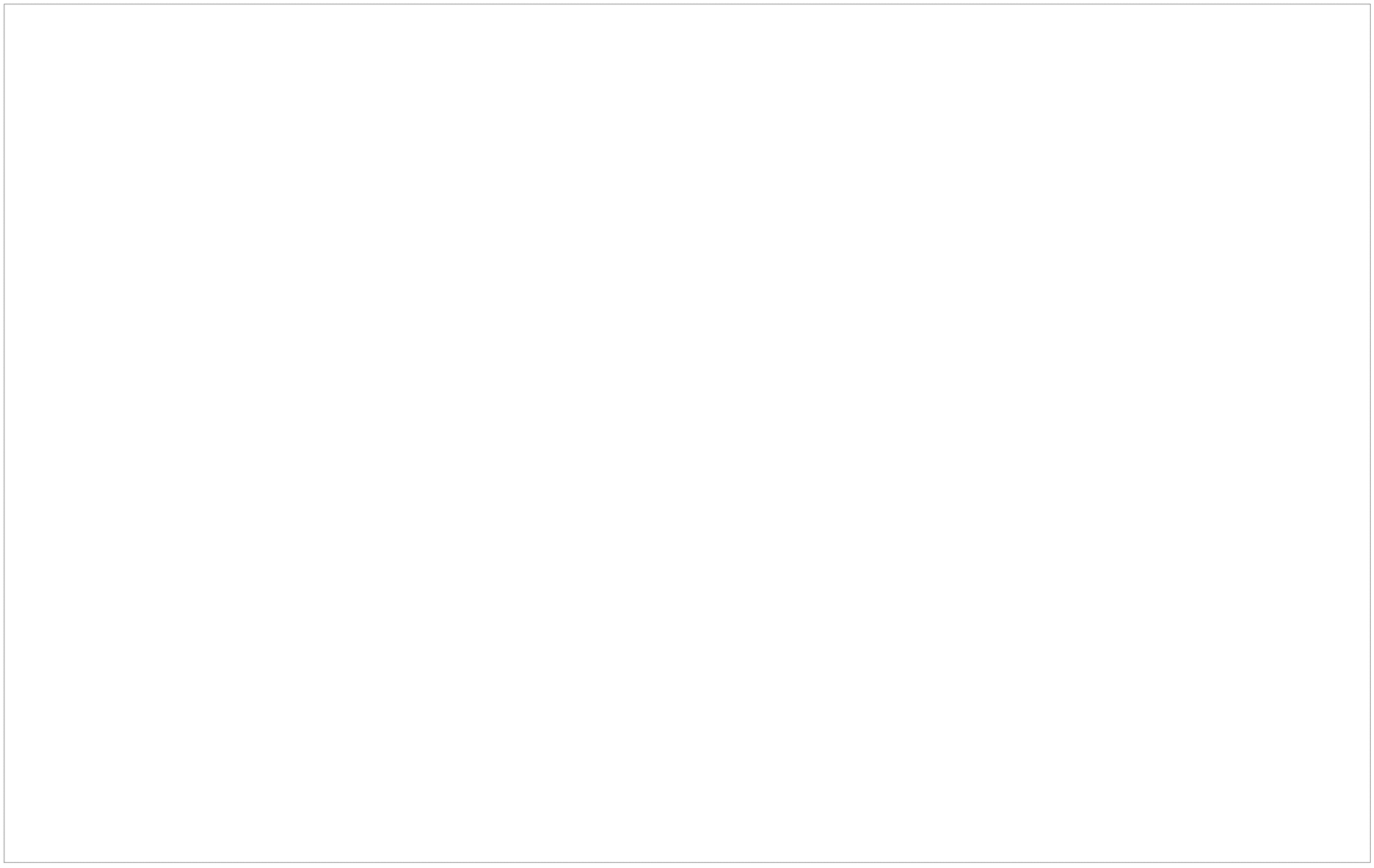


<그림 3.16> 삽교천 저수로폭 변화 비교

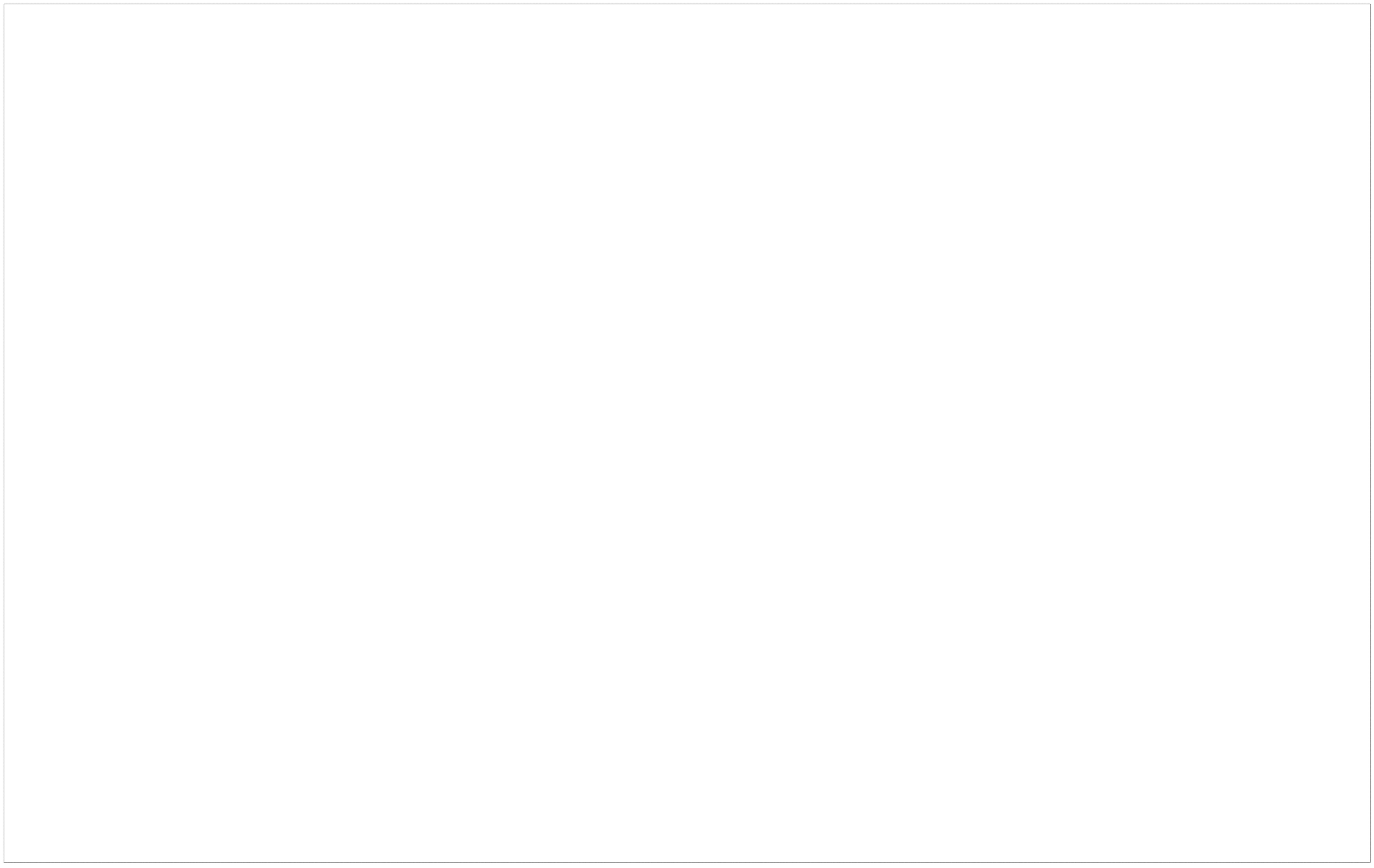
<그림 3.16> 삽교천 저수로폭 변화 비교(계속)



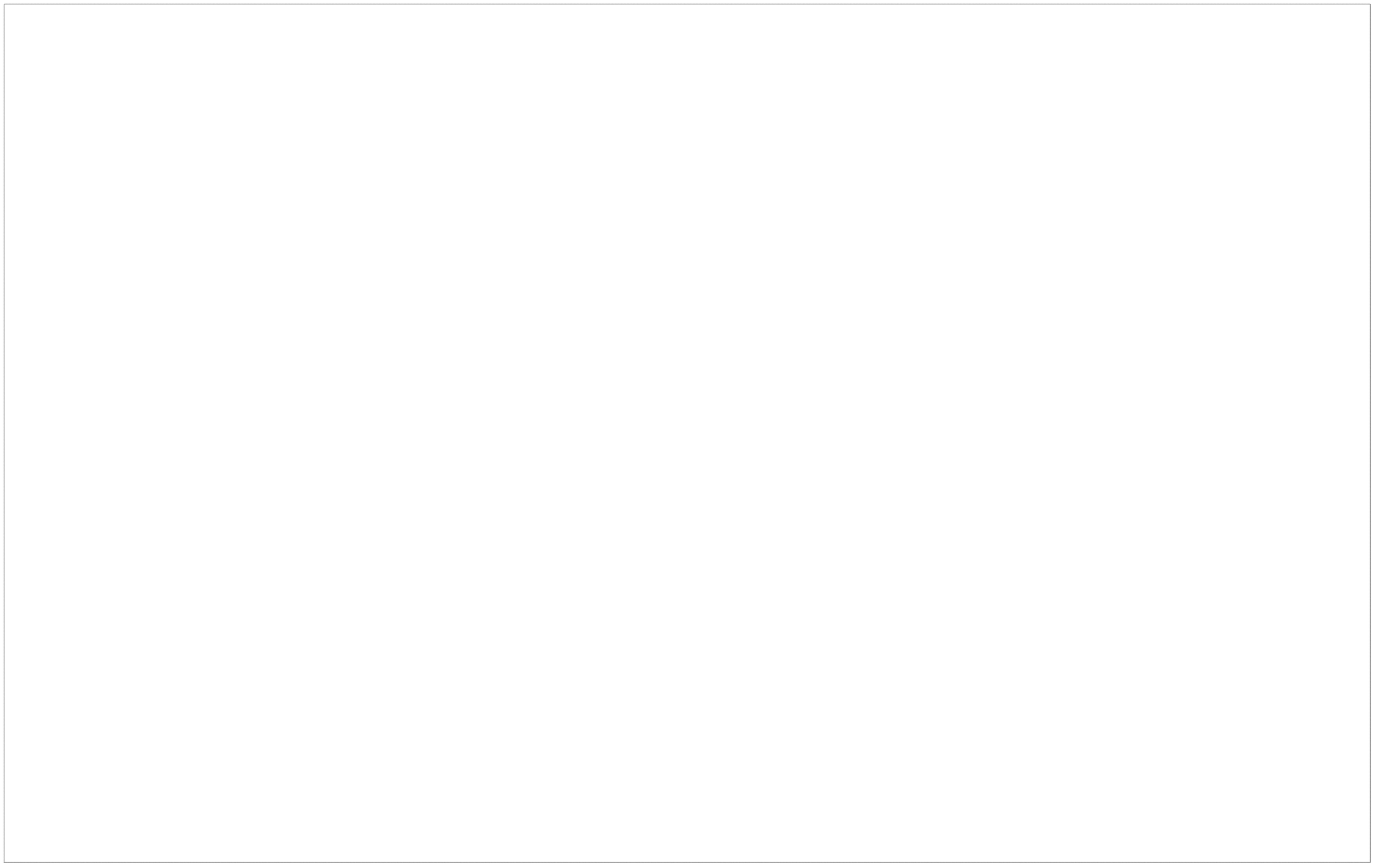
<그림 3.17> 곡교천 하폭 변화 비교



<그림 3.18> 곡교천 저수로폭 변화 비교



<그림 3.19> 무한천 하폭 변화 비교

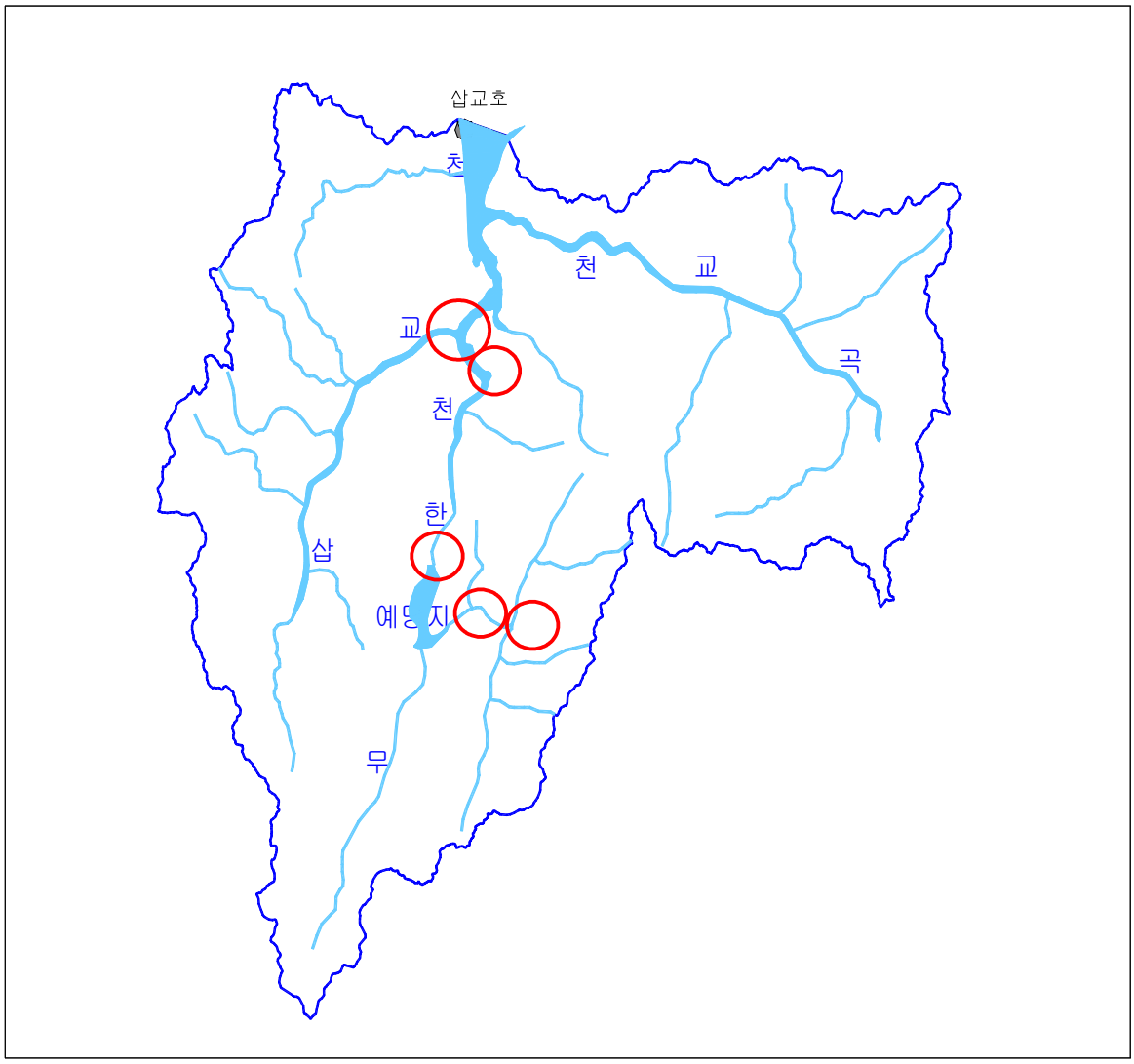


<그림 320> 무한천 저수로폭 변화 비교

(2) 사행구간

하천은 그 평면 형상을 기준으로 직류하천(Straight River), 사행 또는 곡류하천(Meandering River), 다지하천(Braided River) 등으로 나눌 수 있는데 이는 지도나 항공사진 등을 통해 구분이 가능하다.

직류하천은 상당길이의 하천구간에 걸쳐 곡선하도가 없고 직선하도가 계속되는 하천으로 자연상태에서는 진정한 의미의 직류하천이 없으며 실제로는 모든 자연하천에서 어느 정도의 만곡은 항상 존재한다. 또한 하도가 상당구간에 걸쳐서 직선이라도 가장 깊은 곳을 연결한 최심선은 하도내에서 만곡을 이룬다. 사행하천은 하도가 곡선을 이루는 하천으로 곡류하천이라고도 하며 대부분의 자연하천이 이런 형태를 보이는데, 사행하천에서 하천 만곡의 정도를 가늠하는 지표로서 만곡도(Sinuosity)가 통용되며, 이는 하천의 최심선 길이(통상 만곡 하도의 길이)와 직선거리의 비로서 표시된다. 만곡도가 1.5이상이며 통상 사행하천으로 본다.



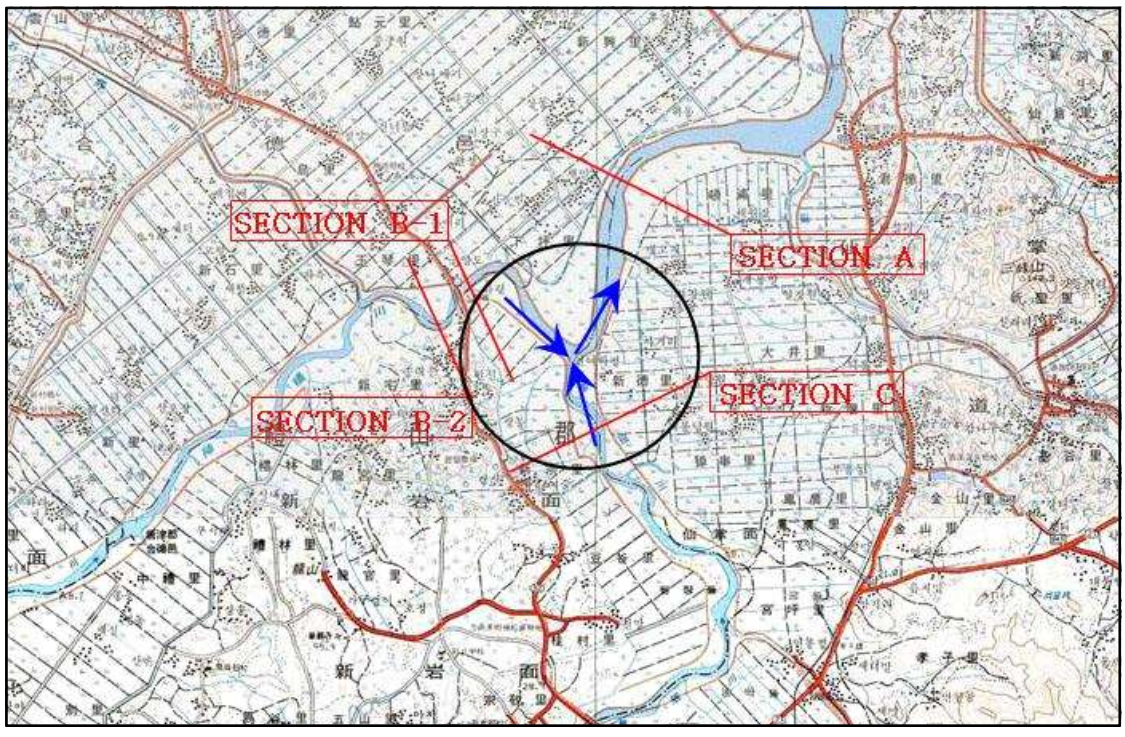
<그림 3.21> 삽교천에서 대표적인 사행구간 위치도

삽교천 유역내 주요 하천의 경우 하도 전반에 걸쳐 사행이 심하지는 않지만, <그림 3.21>에서 보는바와 같이 무한천 하류 삽교천 합류부, 용굴천 합류부, 신양천과 화산천 합류점 및 그 하류 등 국지적으로 하도의 만곡이 심하게 나타나고 있다. 이 구간에서는 홍수시 만곡부 외측으로의 편수위 상승과 세굴 등의 현상이 발생하게 되므로 하천개수계획 수립시 이러한 사항을 충분히 고려하여야 한다.

편수위 상승의 경우 만곡부 외측의 제방을 증고하여 대비할 수 있으며, 제방의 침식 및 세굴은 호안의 기초를 튼튼히 하고 소류력에 강한 호안공법을 선택함으로써 해결할 수 있다. 이러한 문제점이 발생할 수 있는 만곡부는 다른 지역에 비해 세밀한 검토가 필요하며, 지속적인 유지관리가 필요하다 할 것이다. 무한천의 만곡 또는 사행이 심한 구간의 특징은 다음과 같다.

(가) 무한천 합류부

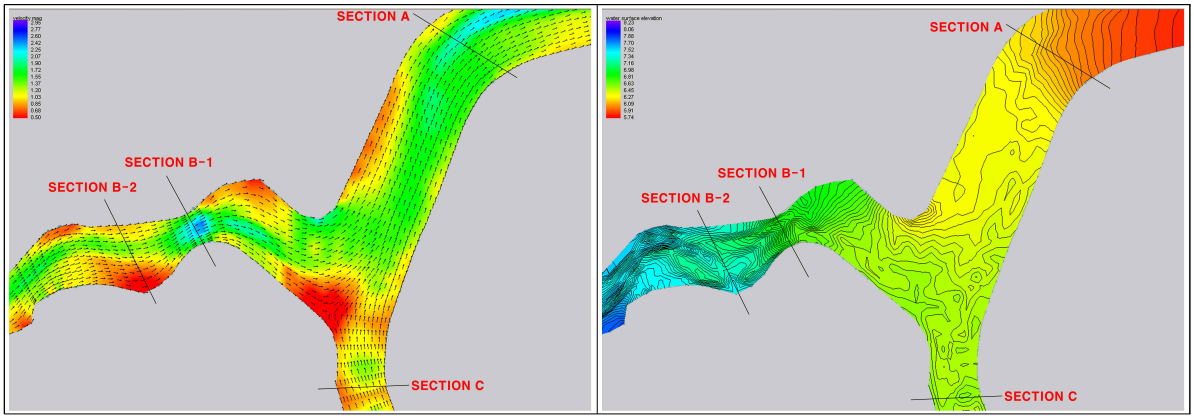
삽교천과 삽교천 무한천에서 삽교천의 흐름방향과 무한천의 흐름방향이 약 150°경사를 이루어 합류하고 있는데, 이러한 특성으로 인해 삽교천과 무한천 흐름의 간섭이 발생하고 홍수시 유량의 크기에 따라 삽교천 또는 무한천의 홍수배제에 지장을 초래할 것으로 예상된다. 이에 대한 대책으로 삽교천의 하도를 구양교 하류에서 직강화 하는 방안과 삽교천과 무한천 합류부에서 양 하천의 유수가 흐름이 원활히 합류하도록 도류제를 설치하는 방안을 검토하여야 할 것이다.



<그림 3.22> 삽교천과 무한천 합류부 형상

1) 현 상태에서의 합류부 흐름 특성

삽교천과 무한천 합류부의 현 상태에서의 흐름특성을 비교하기 위해 삽교천과 무한천의 계획홍수량이 동시에 유하할 경우(CASE 1), 삽교천은 계획홍수량이 유하하고 무한천은 계획홍수량의 1/2이 유하할 경우(CASE 2), 삽교천은 계획홍수량의 1/2이 유하하고 무한천은 계획홍수량이 유하하는 경우(CASE 3)에 대해서 수위와 유속을 비교하였다.



유속분포 (CASE 1) 수위분포 (CASE 1)

유속분포 (CASE 2) 수위분포 (CASE 2)

유속분포 (CASE 3) 수위분포 (CASE 3)

<그림 3.23> 현 상태에서의 삽교천과 무한천 합류부의 흐름특성 분석

각각의 분석조건에서 수위와 유속을 비교하기 위해 삽교천의 무한천 합류부 하류(SECTION A, 기본계획측점 No.26)와 무한천 합류부 상류(SECTION B-1, B-2, 기본계획측점 No.32, 33) 및 무한천(SECTION C, 기본계획측점 No.1)에 점검단면을 설정하여 비교한 결과는 다음과 같다.

<표 3.23> 분석조건별 흐름특성 비교 (현상태)

분석조건	지점	유량(㎥/sec)	유속(m/sec)	수위(EL. m)	비고
CASE 1	SECTION A	-	1.58	6.09	삽교천 No26
	SECTION B-1	2,510	1.97	6.73	삽교천 No32
	SECTION B-2	2,510	0.90	7.28	삽교천 No33
	SECTION C	1,480	1.07	6.52	무한천 No 1
CASE 2	SECTION A	-	1.32	5.97	
	SECTION B-1	2,510	2.04	6.54	
	SECTION B-2	2,510	0.93	7.14	
	SECTION C	740	0.56	6.30	
CASE 3	SECTION A	-	1.12	5.90	
	SECTION B-1	1,255	1.08	6.20	
	SECTION B-2	1,255	0.55	6.39	
	SECTION C	1,480	1.16	6.11	

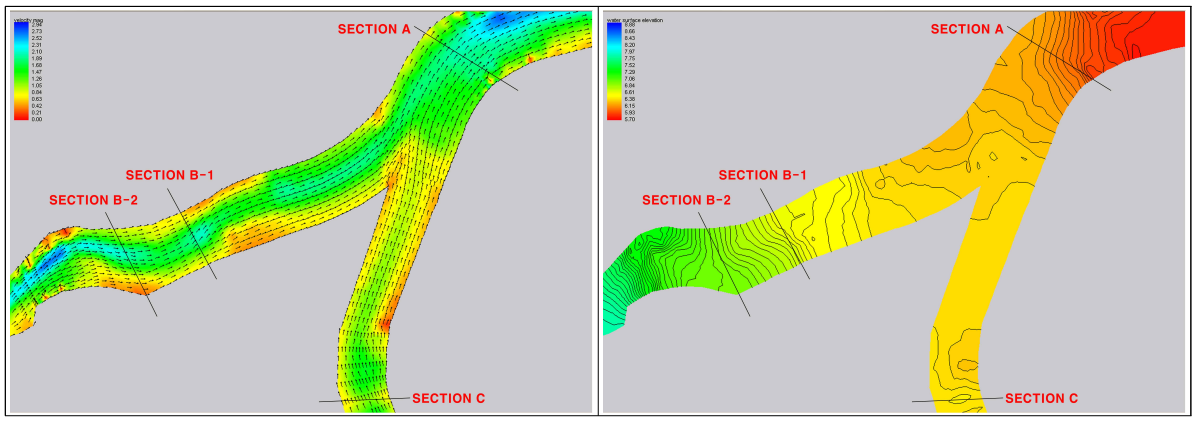
현재의 삽교천과 무한천 합류부의 흐름특성은 각각의 하천에서 계획홍수량이 동시에 유하하는 경우 삽교천의 흐름이 우세하며 합류부 직하류에서는 우안, 그 하류에서는 좌안측으로 흐름이 편기되는 현상을 보여주고 있다. 삽교천의 유세가 큰 이유는 삽교천에서 유하하는 유량이 큰대에도 원인이 있지만 삽교천의 구양교 지점(SECTION B-1)에서 하폭이 급격히 감소하여 유속이 증가하기 때문인데 이러한 이유로 무한천과 합류한 직후에는 우안측으로 흐름이 편기되어 제방에 수충이 발생하며 그 반작용으로 다시 좌안측으로 흐름이 편기된다. 이 과정에서 무한천 합류부에 사수역이 발생하며 수위분포에서도 알 수 있듯이 편수위가 심하게 발생한다.

이러한 성향은 무한천의 유량이 상대적으로 작아질 경우 즉, 'CASE 2' 조건에서 더욱 심화되어 무한천 합류부의 사수역 면적과 편수위 정도가 증가하는 것을 알 수 있으며, 반대로 삽교천에 비해 무한천의 흐름이 우세할 경우 그 정도는 감소함을 알 수 있다.

금회 분석의 성과는 현재 이 구간의 저수로 발달상황 및 횡단면 형상과 비교할 때 정성적으로 매우 정확한 결과임을 알 수 있는데, 무한천 합류부의 형상과 함께 삽교천 구양교 지점에 협착부가 위치하여 이 지점에서 유속이 급격히 증가한데 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 특히 구양교 지점의 협착부는 무한천 합류부 하류의 흐름을 불안정하게 할뿐만 아니라 수위분포에서 보듯이 이 지점 상류의 급격한 수위상승을 유발하고 있다.

2) 무한천 합류부 개선에 대한 검토

삽교천과 무한천 흐름의 균형을 이루기 위해 합류부의 형상을 개선할 경우의 효과를 예측하기 위해, 삽교천과 무한천이 예각으로 합류하고 구양교 지점의 협착부를 확폭하는 수리적으로 이상적인 합류부 형태를 가정하여 흐름특성을 분석한 결과는 다음과 같다.



유속분포 (CASE 1) 수위분포 (CASE 1)

유속분포 (CASE 2) 수위분포 (CASE 2)

유속분포 (CASE 3) 수위분포 (CASE 3)

<그림 3.24> 합류부를 개선할 경우의 흐름특성 분석 결과

무한천 합류부를 개선할 경우 각각의 분석조건에서 모두 현 상태에서 보이는 흐름의 편기와 사수역 및 편수위 발생이 상당히 해소됨을 알 수 있다. 이러한 개선 효과는 무한천의 유세가 삽교천에 비해 상대적으로 작을 경우 다소 감소하는 경향을 보이고 있으나 'CASE 1'과 'CASE 3'의 경우는 매우 유사한 결과를 보이고 있어 합류부의 형상을 개선할 경우 삽교천과 무한천의 유량에 크게 지배받지 않고 개선효과를 볼 수 있을 것으로 예상된다.

각 분석조건의 수위와 유속을 현 상태와 비교하면 모든 조건에서 협착부인 삽교천의 구양교 지점(SECTION B-1)의 유속은 감소하는 반면 그 상류 지점과 무한천 구간 및 무한천 합류부 하류의 삽교천 유속은 증가하여 현 상태에 비해 균형을 이루고 있으며 그 결과 삽교천의 구양교 상류부와 무한천의 홍수위가 상당히 저하는 것으로 분석되었다. 특히 삽교천의 No.32 지점과 No.33 지점의 수위차가 0.55m에서 0.35m로 크게 감소하는 등 합류부의 형상을 개선하고 구양교 지점의 협착부를 해소할 경우 삽교천과 무한천 합류부 상하류에서 나타나고 있는 흐름의 편기와 수충, 사수역 및 편수위 발생을 해소할 뿐만 아니라 수위저하 효과도 클 것으로 기대된다.

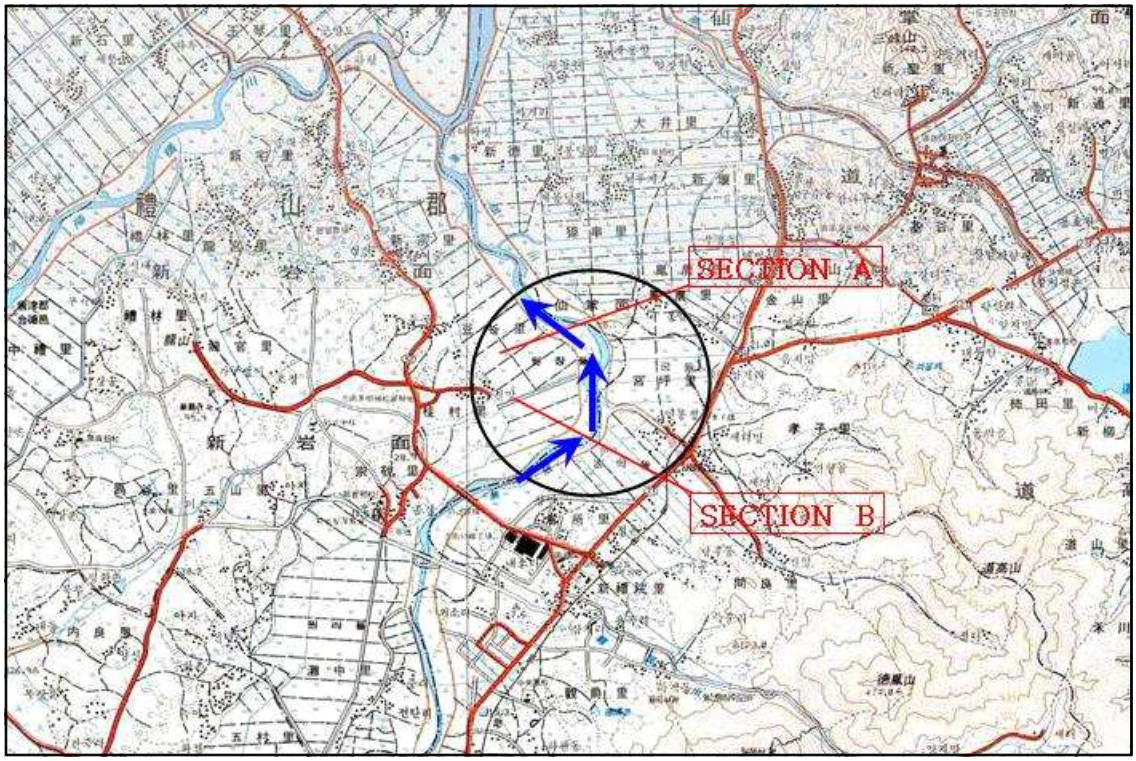
<표 3.24> 합류부 개선 전·후의 분석조건별 흐름특성 비교

분석조건	지 점	유 량 (㎥/sec)	유속(m/sec)		수위(EL. m)		비 고
			개선전	개선후	개선전	개선후	
CASE - 1	SECTION A	-	1.58	1.54	6.09	6.10	
	SECTION B-1	2,510	1.97	1.27	6.73	6.59	
	SECTION B-2	2,510	0.90	1.22	7.28	6.94	
	SECTION C	1,480	1.07	1.27	6.52	6.36	
CASE - 2	SECTION A	-	1.32	1.34	5.97	5.96	
	SECTION B-1	2,510	2.04	1.30	6.54	6.42	
	SECTION B-2	2,510	0.93	1.25	7.14	6.82	
	SECTION C	740	0.56	0.68	6.30	6.15	
CASE - 3	SECTION A	-	1.12	1.23	5.90	5.89	
	SECTION B-1	1,255	1.08	0.68	6.20	6.14	
	SECTION B-2	1,255	0.55	0.67	6.39	6.25	
	SECTION C	1,480	1.16	1.38	6.11	6.09	

(나) 궁평천 합류부

무한천의 제 1지류인 궁평천 합류부는 상하류에 2개소의 만곡이 단구간에서 연속되어 발생함으로 인해 유로가 'U'형으로 형성되어 있다. 상류의 만곡부는 남서에서 정북방향

으로 형성되고 하류의 만곡부는 정남에서 북서방향으로 발생하며 2개소의 만곡부를 연결하는 단구간의 직선유로의 중심으로 궁평천이 합류한다. 특히 궁평천이 만곡부 외측에 해당하는 우안측으로 합류함에 따라 향후 홍수위 계산시 이 구간의 편수위 상승을 고려하여 기점수위를 결정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.



<그림 3.25> 무한천과 용굴천 합류부 형상

이 구간의 편수위 상승과 이로 인한 흐름의 특성을 파악하고자 RMA-2 모형을 사용하여 2차원 수치해석을 실시한 결과 '단면 A'에서는 만곡부 외측의 수위(EL. 6.84m)가 내측(EL. 6.76m)에 비해 0.08m 높았고, '단면 B'에서는 만곡부 외측(EL. 6.96m)과 내측(EL. 6.85m)의 수위차가 0.11m인 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 기존의 만곡부 편수위 상승을 추정하는 경험식의 결과와도 거의 일치하는 것으로 계획홍수위 및 제방축제고 결정시 만곡부로 인한 편수위 상승을 고려해야 할 것이다.

□ 만곡부의 편수위 상승 추정식 : $\Delta h = \frac{bv^2}{gr_c}$

여기서, Δh : 만곡부 내측과 외측의 수위차 (m)

b : 만곡부의 수면폭 (m)

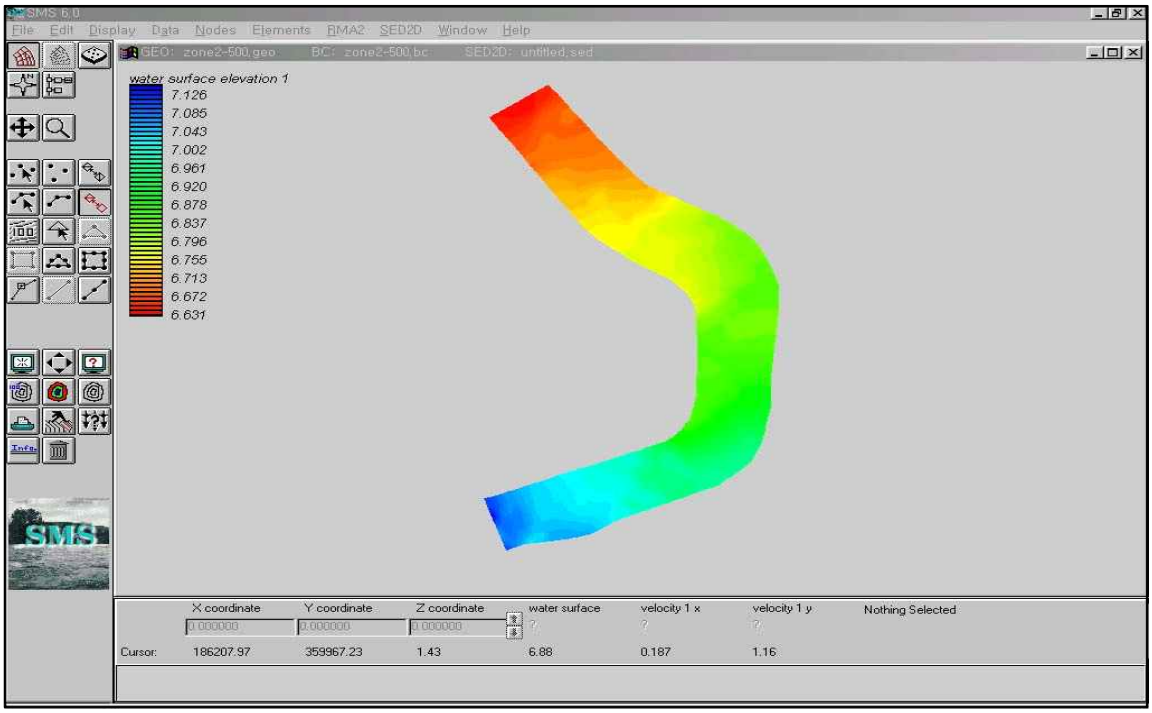
v^2 : 단면평균유속 (m/sec)

g : 중력가속도 ($9.8m/sec^2$)

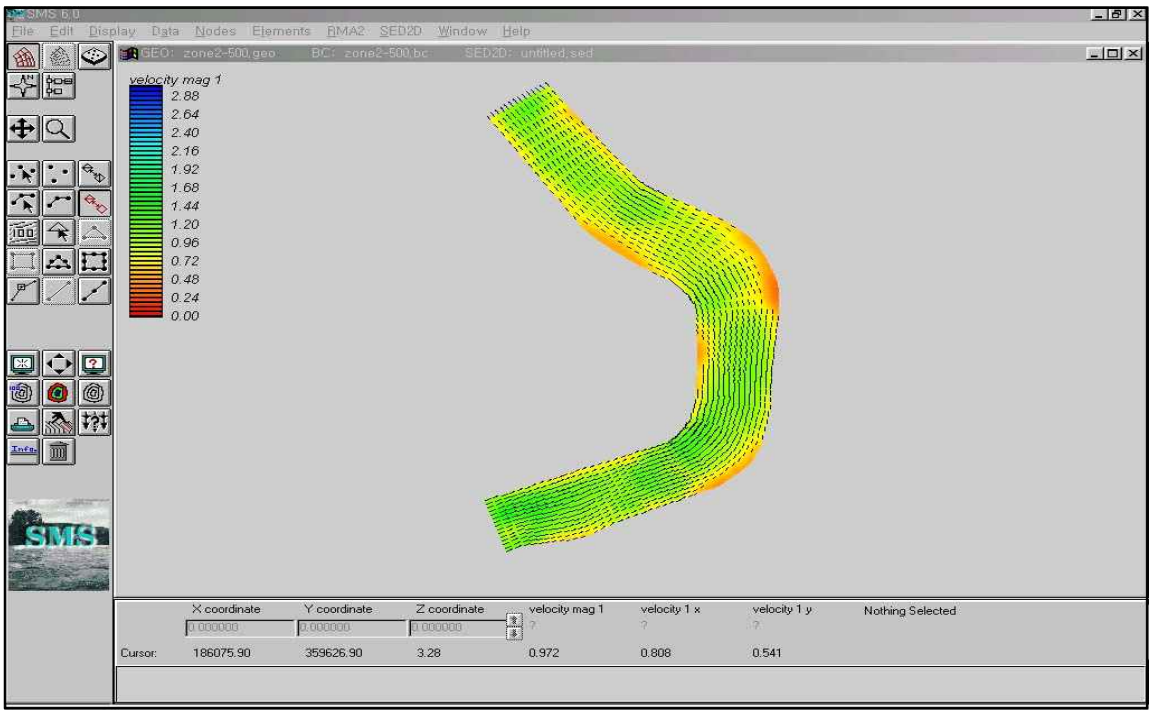
r_c : 평균 반경 (m)

$$\text{단면A} : \Delta h = \frac{bv^2}{gr_c} = \frac{410 \cdot 1.16^2}{9.8 \cdot 655} = 0.085\text{m}$$

$$\text{단면B} : \Delta h = \frac{bv^2}{gr_c} = \frac{330 \cdot 1.22^2}{9.8 \cdot 510} = 0.098\text{m}$$



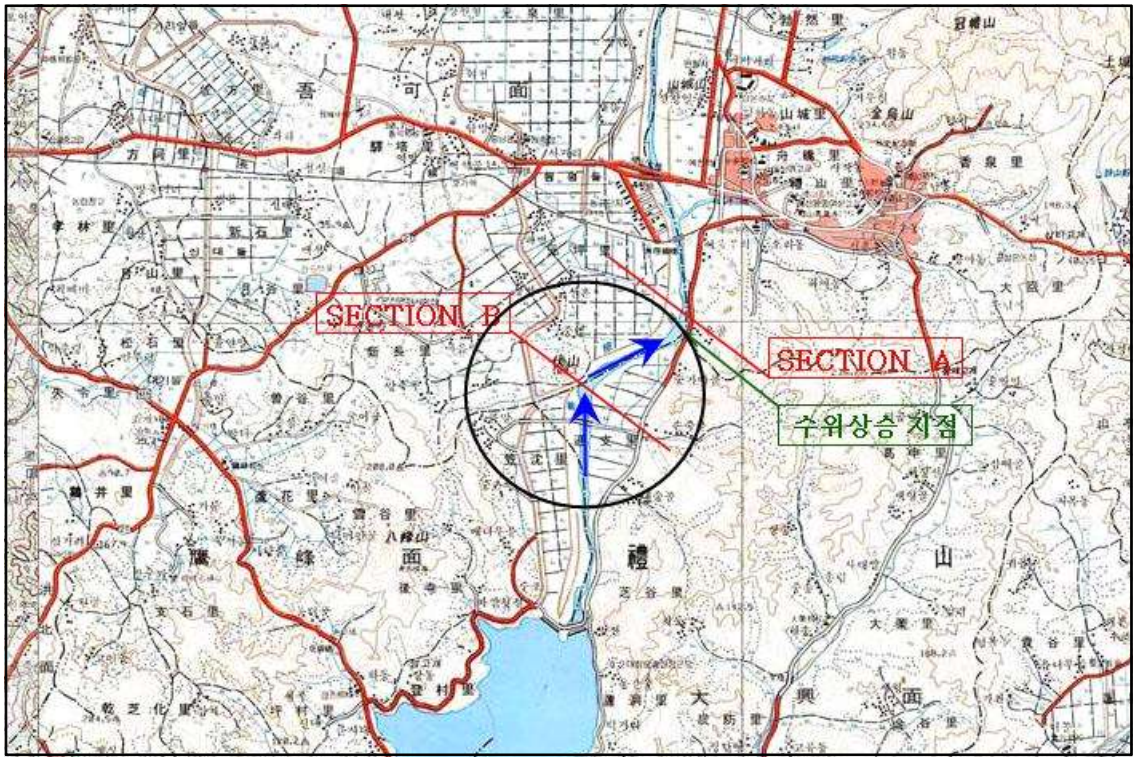
<그림 3.26> 무한천과 용굴천 합류부의 수위분포(계획홍수량 유하시)



<그림 3.27> 무한천과 용굴천 합류부의 유속분포(계획홍수량 유하시)

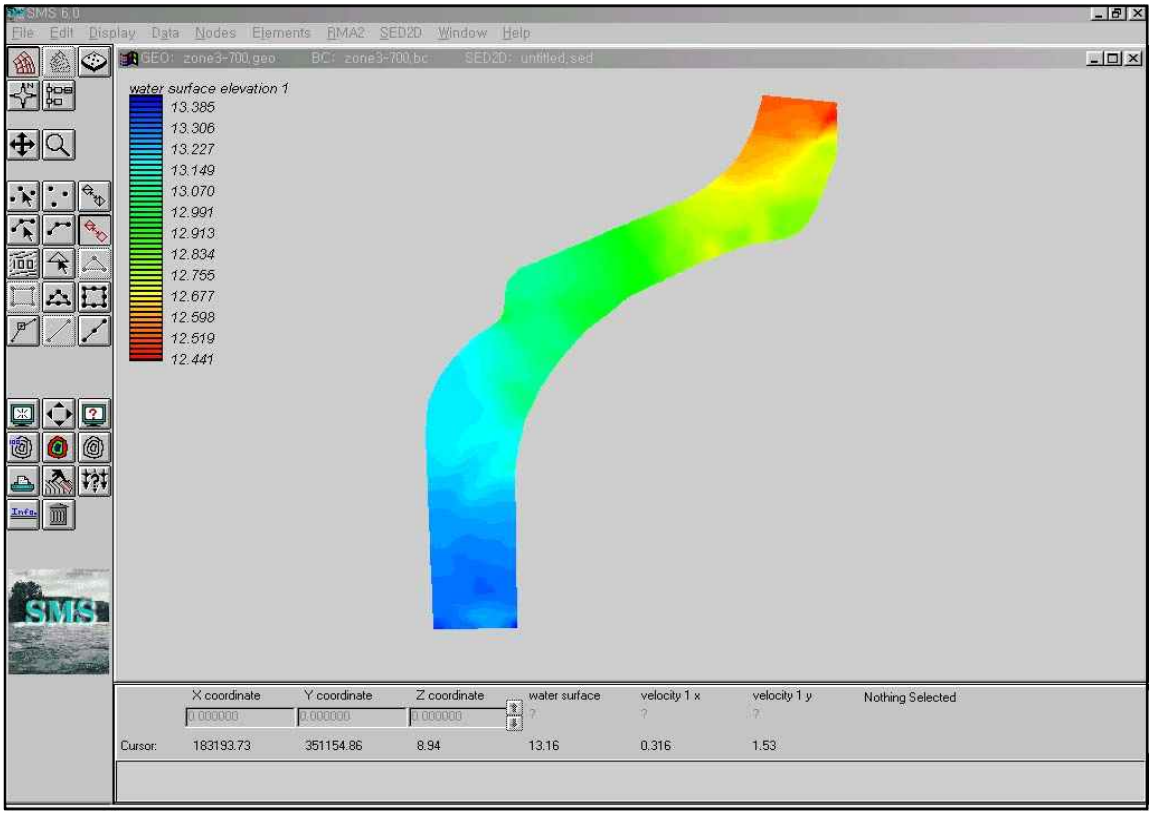
(다) 예당지 하류 복산 부근

예당지 직하류 약 2.4km 지점 좌안측에 위치한 복산(일명 코끼리산)부터 하류로 약 1km 구간은 2개소의 만곡부가 연속되어 'S'형의 유로를 형성하고 있다. 홍수시 예당지에서 방류할 경우 비교적 직선형인 약 2.4km 하도를 따라 유하한 홍수가 복산 지점에서 1차로 수충을 일으킨 다시 약 1km 하류의 만곡부에서 수충을 발생시킬 것으로 예상되며, 만곡부에서 내측의 와류에 의해 실질적인 통수단면이 감소하는 것을 감안하면 병목현상에 의해 홍수소통에 원활하지 못하여 배수위 상승이 예상된다. 실제로 이 구간은 2000년 8월 26일, 27일 간의 호우발생시 계획홍수량을 약 100㎥/sec 초과하는 2시간의 예당지 방류에 의해 복산 1km 하류 우안측에서 계획홍수위를 약 20cm 초과하는 수위가 형성되었던 지역이다. 이러한 원인으로 만곡부 외측의 편수위 상승과 함께 만곡부 내측에서 발생한 사수역으로 인해 실제 홍수소통 단면이 감소하여 흐름이 하류로 원활히 유하 하지 못하고 지체되어 수위가 상승한 것으로 추정되는바 이 구간의 하도 및 제방계획 수립시 만곡부의 특성을 면밀히 검토하여 반영하여야 할 것이다.

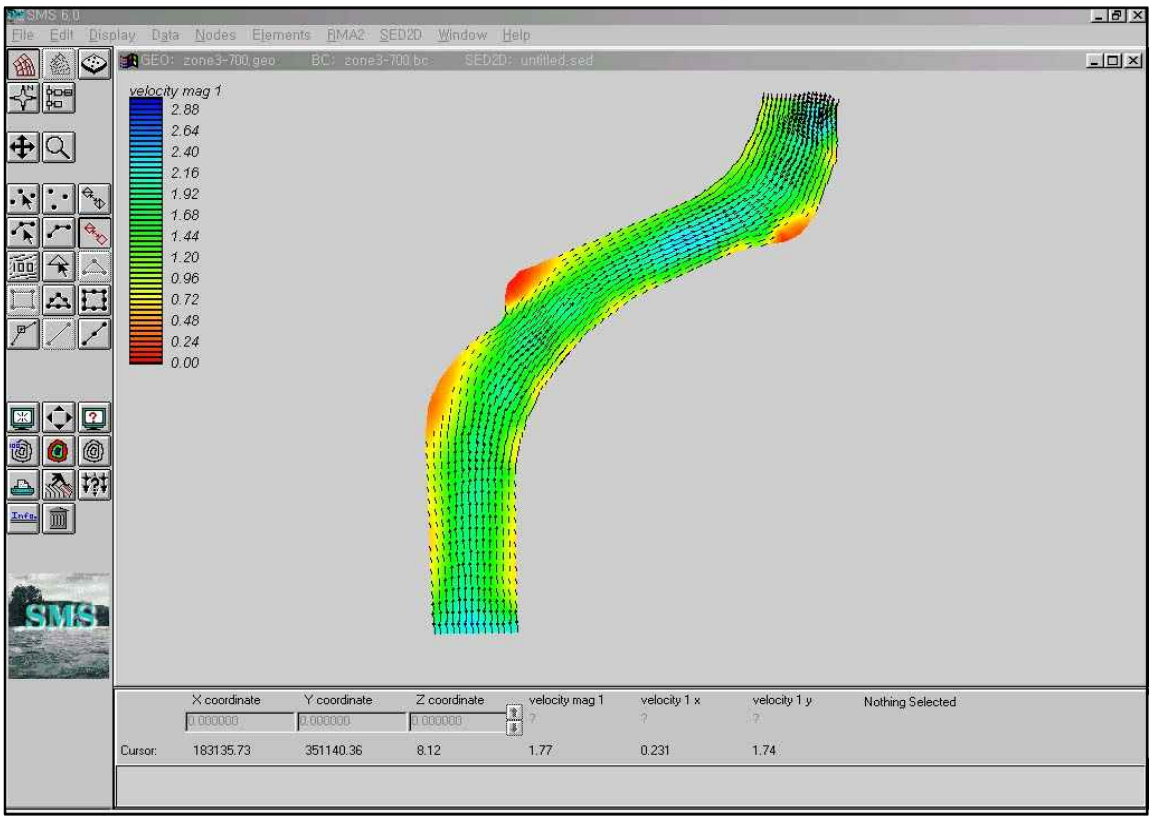


<그림 3.28> 예당지 하류 복산 부근 하도현황

이 구간 역시 RMA-2 모형에 의한 2차원 수치해석 결과 '단면 A'에서 0.18m(만곡부 외측 EL. 12.8m, 만곡부 내측 EL. 12.62m), '단면 B'에서 0.08m(만곡부 외측 EL. 13.16m, 만곡부 내측 EL. 13.08m)의 수위차가 발생했으며 이러한 결과는 기존의 경험식의 결과와 대체로 일치하고 있다.



<그림 3.29> 예당지 하류 복산 부근 수위분포(계획홍수량 유하시)



<그림 3.30> 예당지 하류 복산 부근 유속분포(계획홍수량 유하시)

$$\text{단면A} : \Delta h = \frac{bv^2}{gr_c} = \frac{285 \cdot 1.36^2}{9.8 \cdot 375} = 0.14\text{m}$$

$$\text{단면B} : \Delta h = \frac{bv^2}{gr_c} = \frac{268 \cdot 1.56^2}{9.8 \cdot 600} = 0.11\text{m}$$

나. 하도의 종단형

삽교천과 무한천의 '77년 이후 하상변동 분석결과 삽교호 방조제에서 구양교 까지 구간은 '77년에 비해 '87년에는 평균적으로 약 0.7m 상승하였다가 지속적으로 저하하고 있는 추세로 '94년에는 '77년에 비해 평균 0.15m 높은 반면 금회 측량결과에 의하면 '77년보다 약 0.8m 저하한 것으로 나타났다. 무한천은 '77년 이후 계속적으로 하상이 저하하고 있는데 '94년에는 평균 0.5m, 금회 측량성과와 비교하면 평균 0.77m 저하하였다. 이러한 결과는 삽교천의 경우 삽교방조제 설치영향으로 유사의 퇴적에 의해 하상이 상승하다가 '90년대 이후 지속적인 준설사업의 효과로 하상이 다시 저하하고 있는 것으로 보이며, 무한천의 경우 예당지로 인해 상류에서 유사 유입이 차단됨으로 인해 하상이 계속 저하하고 있는 것으로 판단된다.

<표 3.25> 삽교천 국가하천구간 최심하상고 변화

측 점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	최심하상고 (EL.m)				비 고
			77년도	87년도	94년도	금회	
0	0	0	-8.05	-10.90	-17.20	-15.05	시점
0+135	135	135	-	-	-	-6.78	삽교대교
1	365	500	-6.60	-15.50	-17.50	-17.34	
2	500	1,000	-6.85	-6.80	-5.80	-13.10	
3	500	1,500	-6.51	-6.50	-5.00	-13.68	
3+163	163	1,663	-	-	-	-	공사도로
4	337	2,000	-8.05	-5.80	-5.30	-12.36	
5	500	2,500	-8.14	-4.90	-5.70	-15.15	
6	500	3,000	-6.20	-5.30	-4.80	-4.73	
7	500	3,500	-5.28	-4.40	-3.90	-3.22	
8	500	4,000	-5.42	-3.30	-3.60	-2.41	
9	500	4,500	-5.60	-3.00	-2.30	-2.80	
10	500	5,000	-4.50	-3.70	-7.70	-4.09	
11	500	5,500	-4.70	-2.40	-4.60	-4.48	
12	500	6,000	-4.60	-1.90	-2.30	-1.57	
13	500	6,500	-4.18	-1.90	-2.50	-2.46	
14	500	7,000	-4.50	-1.50	-4.00	-2.75	
15	500	7,500	-4.36	-1.20	-4.60	-2.14	
16	500	8,000	-3.76	-1.70	-1.50	-1.93	

<표 3.25> 삽교천 국가하천구간 최심하상고 변화 (계속)

측 점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	최심하상고 (EL.m)				비 고
			77년도	87년도	94년도	금회	
14	500	7,000	-4.50	-1.50	-4.00	-2.75	
15	500	7,500	-4.36	-1.20	-4.60	-2.14	
16	500	8,000	-3.76	-1.70	-1.50	-1.93	
17	500	8,500	-4.31	-1.60	-2.20	-1.82	
18	500	9,000	-3.20	-1.00	-2.40	-6.21	
19	500	9,500	-3.50	-0.70	-1.40	-2.80	
20	500	10,000	-2.80	-1.00	-1.00	-2.89	
21	500	10,500	-2.40	-2.80	-4.10	-5.68	
22	500	11,000	-2.40	-2.10	-4.70	-2.67	
23	500	11,500	-2.19	-2.40	-1.50	-3.16	
24	500	12,000	-1.59	-1.30	-1.10	-2.35	
25	500	12,500	-1.80	-2.60	-3.30	-3.14	
26	500	13,000	-1.90	-4.10	-5.20	-6.83	
27	500	13,500	-1.70	-1.40	-0.70	-1.12	
28	500	14,000	-1.30	-1.70	-0.90	-1.81	
29	500	14,500	-1.30	-1.40	-2.10	-1.70	무한천 합류후
30	500	15,000	-1.50	-2.20	-1.00	2.60	무한천 합류전
31	500	15,500	-1.30	-1.60	-1.00	3.30	
32	500	16,000	-0.50	-0.80	-1.30	1.80	
32+154	154	16,154	-	-	-1.60	2.80	구양교(신)
33	346	16,500	-0.25	-0.60	-0.69	1.20	
34	500	17,000	-0.60	-1.90	-1.96	3.30	
35	500	17,500	-0.70	-2.50	-2.54	2.10	
36	500	18,000	-0.47	-0.70	-0.81	0.90	
36+60	60	18,060	-	-	-	1.20	교량 공사중
37	440	18,500	-0.36	-2.40	-1.47	1.10	
38	500	19,000	-0.23	-1.30	-0.90	0.70	
39	500	19,500	-0.11	-0.45	-0.34	0.30	
40	500	20,000	-0.36	-0.50	-0.20	0.30	
41	500	20,500	0.00	-0.65	0.75	0.80	
42	500	21,000	0.00	-0.20	-0.43	0.30	
43	500	21,500	0.97	0.82	-0.48	1.10	
44	500	22,000	1.69	1.33	0.35	1.20	
45	500	22,500	2.30	1.53	1.53	1.20	
46	500	23,000	2.70	1.66	0.37	1.50	대천천 합류후
46+291	291	23,291	-	-	1.01	1.70	구만교
47	209	23,500	2.82	2.34	1.60	1.90	
48	500	24,000	2.80	2.25	1.28	2.00	
49	500	24,500	3.32	2.03	2.27	2.30	
50	500	25,000	3.00	2.60	2.70	2.20	

<표 3.25> 삽교천 국가하천구간 최심하상고 변화 (계속)

측 점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	최심하상고 (EL.m)				비 고
			77년도	87년도	94년도	금회	
50+70	70	25,070	-	-	-	2.30	
51	430	25,500	3.80	3.28	2.96	2.40	
52	500	26,000	4.20	3.43	2.64	2.80	효교천 합류후
53	500	26,500	5.07	3.79	2.87	2.90	효교천 합류전
54	500	27,000	5.50	3.80	3.07	3.40	
55	500	27,500	4.90	4.17	3.75	4.20	
56	500	28,000	5.47	5.27	4.69	4.20	
57	500	28,500	6.11	5.35	5.10	5.10	
57+266	266	28,766	-	-	-	5.10	교량 공사중
58	234	29,000	6.84	5.41	5.44	5.20	
58+499	499	29,499	-	-	-	5.20	충의대교(신)
59	1	29,500	6.20	5.99	5.26	5.30	
59+17	17	29,517	-	-	5.93	5.20	충의대교(구)
60	483	30,000	6.70	5.22	5.31	5.80	
61	500	30,500	7.04	6.22	6.54	6.20	
62	500	31,000	8.49	6.60	6.18	6.30	
63	500	31,500	8.94	7.76	7.31	7.50	
63+26	26	31,526	-	-	-	7.70	
63+27	1	31,527	-	-	-	7.70	낙차공
64	473	32,000	9.30	8.43	7.63	8.00	덕산천 합류점

<표 3.26> 곡교천 국가하천구간 최심하상고 변화

측 점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	최심하상고 (EL.m)				비 고
			77년도	88년도	94년도	금회	
0	0	0	-4.41	-1.53	-1.90	-2.95	
1	590	590	-4.82	-1.48	-2.10	-2.05	
2	470	1,060	-4.26	-3.27	-4.20	-2.62	
3	500	1,560	-3.42	-3.50	-3.10	-3.52	
3+125	125	1,685	-	-	-5.90	-3.04	선인교
4	325	2,010	-2.64	-3.28	-6.20	-3.31	
5	490	2,500	-2.84	-2.57	-5.10	-5.3	
6	520	3,020	-2.23	-1.82	-3.50	-3.18	
7	490	3,510	-1.50	-0.69	-2.40	-4.75	
8	230	3,740	-1.34	-0.81	-1.90	-1.73	
9	440	4,180	-1.07	-3.36	-1.90	-2.75	
10	450	4,630	-0.70	-0.41	-2.00	-0.21	
11	480	5,110	-0.70	-5.20	-0.90	-0.16	
12	430	5,540	-0.62	-1.19	-4.90	-3.86	
13	410	5,950	-0.62	-1.61	-0.70	-0.5	

<표 3.26> 곡교천 국가하천구간 최심하상고 변화(계속)

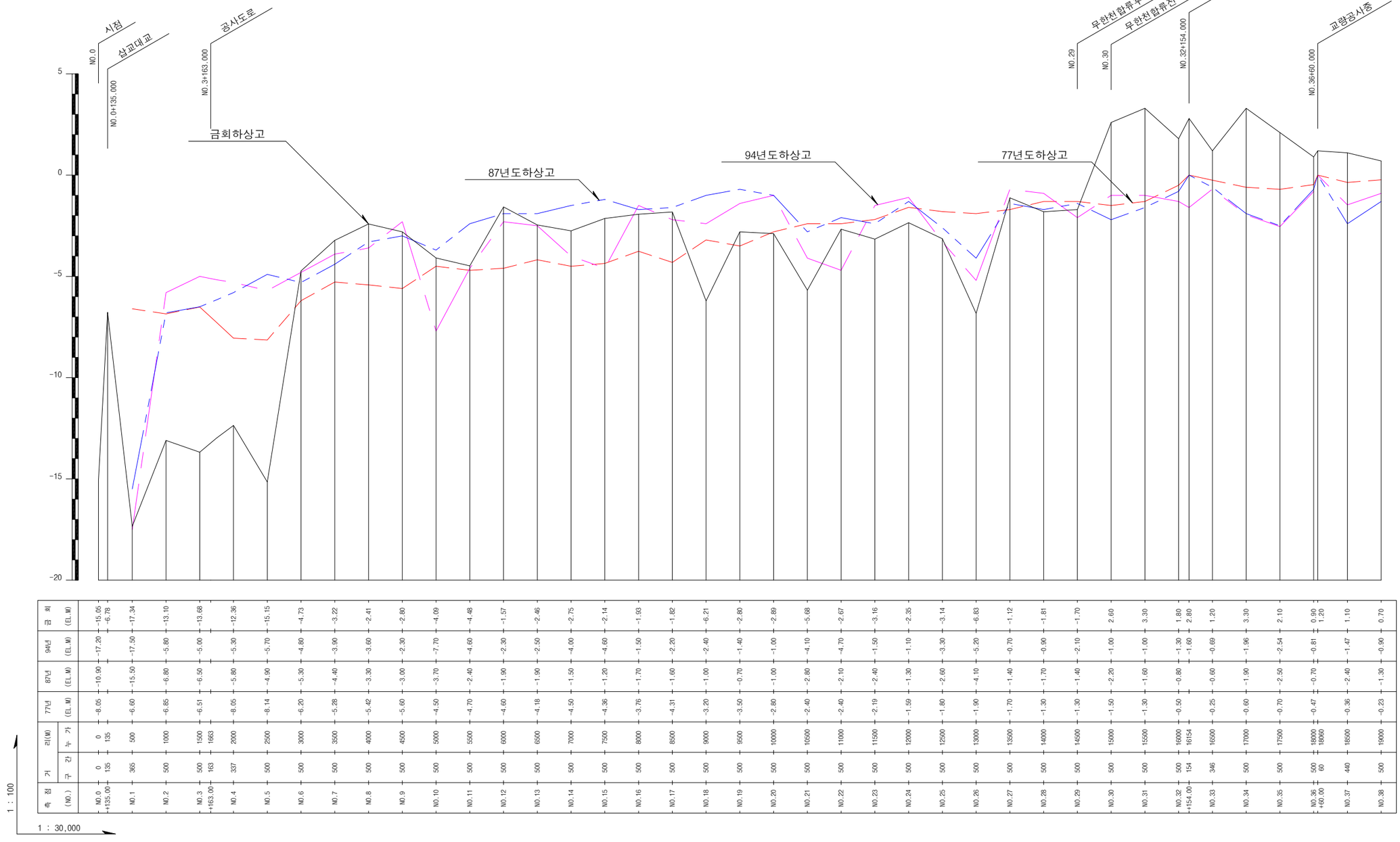
측 점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	최심하상고 (EL.m)				비 고
			77년도	88년도	94년도	금회	
14	480	6,430	-0.70	-0.54	-1.30	-0.84	
15	500	6,930	-0.70	-2.11	-0.60	-0.28	
16	490	7,420	1.40	-1.80	-1.30	0.53	
17	370	7,790	1.57	0.57	0.20	0.62	
18	500	8,290	1.55	0.17	-0.40	0.23	
18+370	370	8,660	-	-	0.30	1.12	강청교
19	150	8,810	1.00	0.27	0.10	0.67	
19+290	290	9,100	-	-	-0.20	-0.09	
20	260	9,360	1.02	0.85	0.20	0.63	
20+120	120	9,480	-	-	0.20	1.14	
21	350	9,830	1.00	0.98	1.40	0.73	
22	480	10,310	1.42	1.95	0.80	0.41	
23	500	10,810	2.09	1.62	1.00	0.89	
24	500	11,310	2.00	1.10	1.50	0.61	
25	500	11,810	2.00	1.63	1.80	1.66	
26	500	12,310	2.91	1.48	1.20	1.58	
26+230	230	12,540	-	-	2.10	1.68	낙차공
26+359	129	12,669	-	-	2.40	1.88	
26+361	2	12,671	-	-	-	1.78	
27	169	12,840	3.64	2.21	2.40	1.59	
28	500	13,340	4.01	3.11	2.30	2.52	
28+180	180	13,520	-	-	2.70	1.72	
29	490	14,010	4.41	3.19	2.90	2.01	
30	190	14,200	5.09	3.19	2.90	2.58	
31	450	14,650	5.18	3.02	2.70	1.48	
31+290	290	14,940	-	-	5.20	4.87	실옥보
31+320	30	14,970	-	-	-	6.38	아산대교
32	220	15,190	5.14	5.53	6.00	6.32	
33	410	15,600	5.81	6.71	6.90	6.46	
34	510	16,110	6.20	6.17	6.95	6.13	
34+440	440	16,550	-	-	6.70	6.15	충무교
35	30	16,580	6.39	6.25	6.80	6.15	
36	500	17,080	6.82	6.19	6.90	5.75	
37	500	17,580	7.28	6.85	7.10	5.45	
38	510	18,090	7.82	7.06	6.90	6.55	
39	500	18,590	8.38	7.49	7.30	5.75	

<표 3.27> 무한천 국가하천구간 최심하상고 변화

측 점 (No.)	거 리 (m)	누가거리 (m)	최심하상고 (EL.m)					비 고
			77년도	87년도	88년도	94년도	금회	
0	0	0	-2.62	-2.75	-	-5.10	-4.30	시점
5	500	500	-1.36	-0.89	-	-2.60	-2.09	
10	500	1,000	-0.74	-0.37	-	-0.60	-0.78	
15	500	1,500	-0.70	-0.57	-	-1.50	-1.27	
20	500	2,000	-0.50	-0.68	-	-1.30	-0.66	
25	500	2,500	-0.38	-0.55	-	-1.70	0.26	
30	500	3,000	0.20	-0.05	-	0.00	-2.03	
35	500	3,500	0.71	0.58	-	0.70	0.58	
40	500	4,000	1.53	0.84	-	0.30	-0.31	
45	500	4,500	1.65	0.76	-	0.50	-0.80	
50	500	5,000	1.72	0.43	-	0.90	0.21	
53+65	365	5,365	-	-	-	1.10	0.31	신례원교
55	500	5,500	1.95	0.97	-	1.10	1.12	
60	500	6,000	1.88	0.99	-	1.20	1.14	
62+52	500	6,252	-	-	-	1.50	1.44	잠수교
65	248	6,500	1.96	1.56	-	1.50	-0.30	
70	500	7,000	2.88	1.56	-	1.90	1.06	
75	500	7,500	3.01	1.82	-	1.90	1.28	
77+76	276	7,776	-	-	-	2.50	1.62	잠수교
80	224	8,000	3.37	2.08	2.12	2.40	2.36	
85	500	8,500	4.12	-	3.02	3.30	1.98	
90	500	9,000	4.92	-	2.91	3.00	2.65	
93+18	318	9,318	-	-	-	3.00	3.78	신원교
95	182	9,500	5.10	-	3.42	3.00	3.73	
100	500	10,000	5.30	-	3.94	3.60	4.00	
105	500	10,500	5.85	-	3.70	4.90	4.87	
110	500	11,000	7.02	-	4.73	5.40	4.60	
110+59	59	11,059	-	-	-	5.50	5.20	예산대교
115	441	11,500	7.05	-	5.21	5.60	5.47	
117+75	275	11,775	-	-	-	6.30	6.29	낙차공
117+90	15	11,790	-	-	-	6.30	6.64	철교
120	210	12,000	6.24	-	6.00	6.10	6.42	교량
125	500	12,500	7.01	-	6.50	5.30	5.32	종점

삽교천 하상고 변화

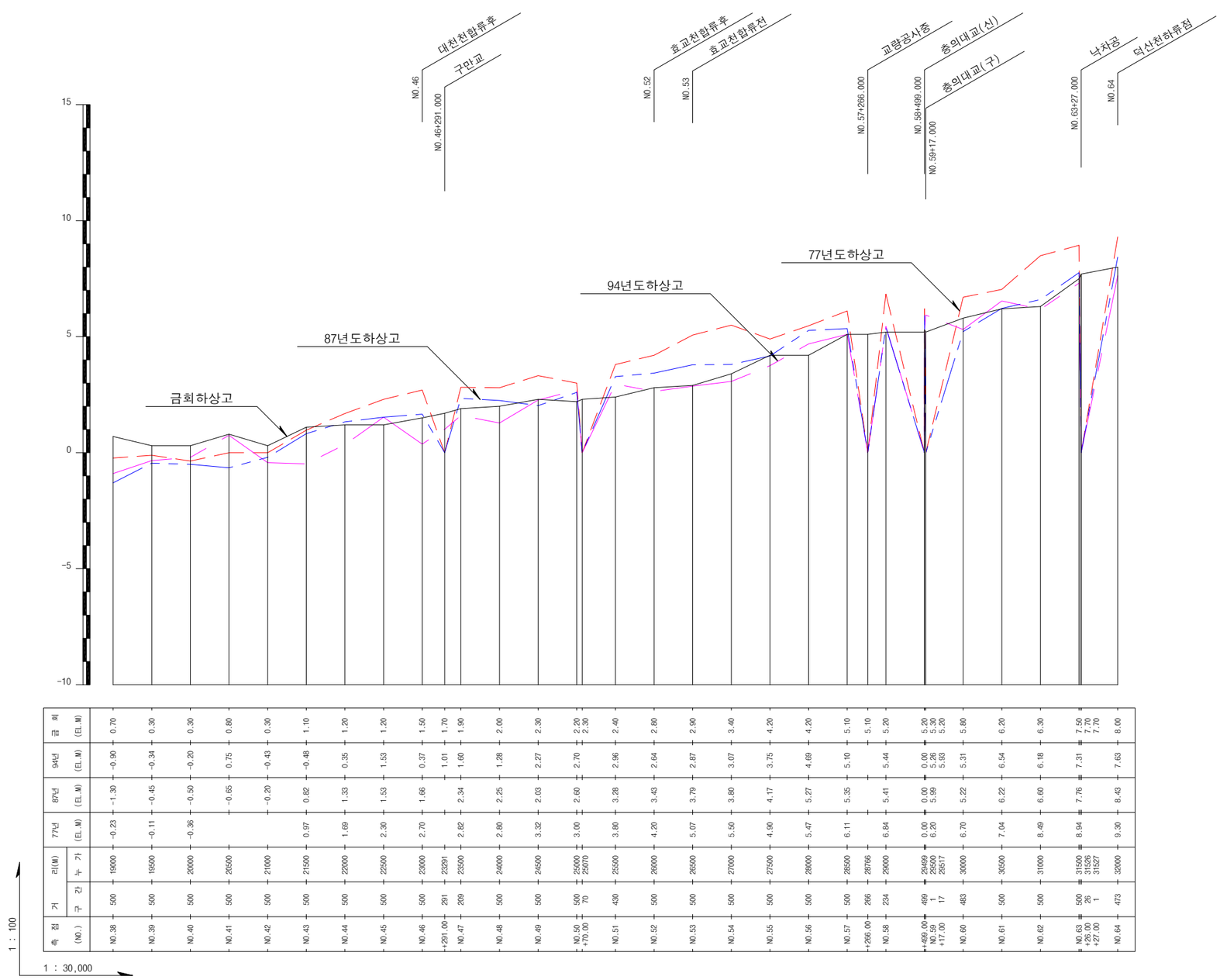
1
삽교천
2



측점 (NO.)	거리 구간	거리 누가 (M)	77년 (EL.M)	87년 (EL.M)	94년 (EL.M)	금회 (EL.M)
NO.0	0	0	-8.05	-10.90	-17.20	-15.05
+135.00	135	135				-6.78
NO.1	365	500	-6.60	-15.50	-17.50	-17.34
NO.2	500	1000	-6.85	-6.80	-5.80	-13.10
NO.3	500	1500	-6.51	-6.50	-5.00	-13.68
+163.00	163	1663				
NO.4	337	2000	-8.05	-5.80	-5.30	-12.36
NO.5	500	2500	-8.14	-4.90	-5.70	-15.15
NO.6	500	3000	-6.20	-5.30	-4.80	-4.73
NO.7	500	3500	-5.28	-4.40	-3.90	-3.22
NO.8	500	4000	-5.42	-3.30	-3.60	-2.41
NO.9	500	4500	-5.60	-3.00	-2.30	-2.80
NO.10	500	5000	-4.50	-3.70	-7.70	-4.09
NO.11	500	5500	-4.70	-2.40	-4.60	-4.48
NO.12	500	6000	-4.60	-1.90	-2.30	-1.57
NO.13	500	6500	-4.18	-1.90	-2.50	-2.46
NO.14	500	7000	-4.50	-1.50	-4.00	-2.75
NO.15	500	7500	-4.36	-1.20	-4.60	-2.14
NO.16	500	8000	-3.76	-1.70	-1.50	-1.93
NO.17	500	8500	-4.31	-1.60	-2.20	-1.82
NO.18	500	9000	-3.20	-1.00	-2.40	-6.21
NO.19	500	9500	-3.50	-0.70	-1.40	-2.80
NO.20	500	10000	-2.80	-1.00	-1.00	-2.89
NO.21	500	10500	-2.40	-2.80	-4.10	-5.68
NO.22	500	11000	-2.40	-2.10	-4.70	-2.67
NO.23	500	11500	-2.19	-2.40	-1.50	-3.16
NO.24	500	12000	-1.59	-1.30	-1.10	-2.35
NO.25	500	12500	-1.80	-2.60	-3.30	-3.14
NO.26	500	13000	-1.90	-4.10	-5.20	-6.83
NO.27	500	13500	-1.70	-1.40	-0.70	-1.12
NO.28	500	14000	-1.30	-1.70	-0.90	-1.81
NO.29	500	14500	-1.30	-1.40	-2.10	-1.70
NO.30	500	15000	-1.50	-2.20	-1.00	2.60
NO.31	500	15500	-1.30	-1.60	-1.00	3.30
NO.32	500	16000	-0.50	-0.80	-1.30	1.80
+154.00	154	16154			-1.60	2.80
NO.33	346	16500	-0.25	-0.60	-0.69	1.20
NO.34	500	17000	-0.60	-1.90	-1.96	3.30
NO.35	500	17500	-0.70	-2.50	-2.54	2.10
NO.36	500	18000	-0.47	-0.70	-0.81	0.90
+60.00	60	18060				1.20
NO.37	440	18500	-0.36	-2.40	-1.47	1.10
NO.38	500	19000	-0.23	-1.30	-0.90	0.70

<그림 3.31> 삽교천 종단변화 비교

삽교천 하상고 변화



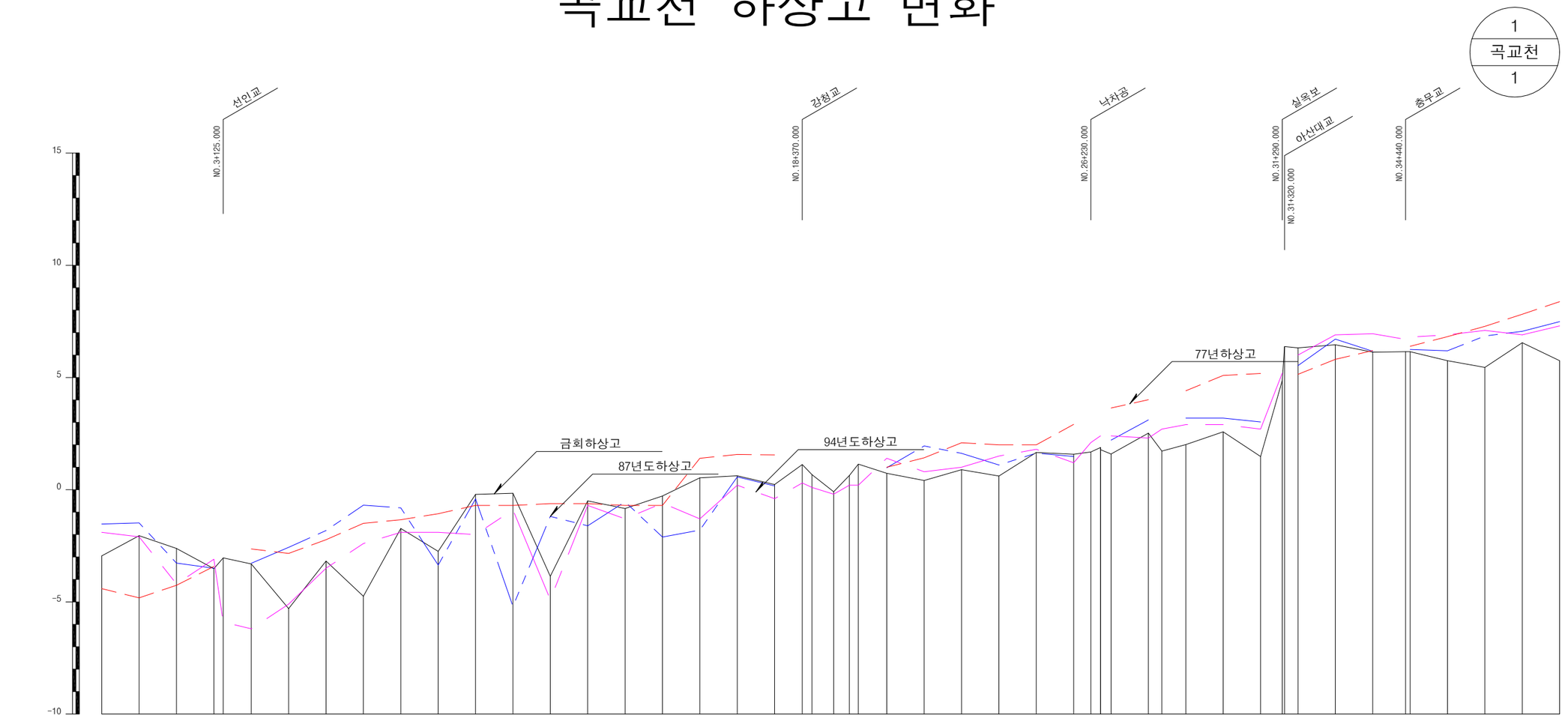
측점 (NO.)	거리 구간	거리(M) 누가	77년 (EL.M)	87년 (EL.M)	94년 (EL.M)	금회 (EL.M)
NO.38	500	19000	-0.23	-1.30	-0.90	0.70
NO.39	500	19500	-0.11	-0.45	-0.34	0.30
NO.40	500	20000	-0.36	-0.50	-0.20	0.30
NO.41	500	20500		-0.65	0.75	0.80
NO.42	500	21000		-0.20	-0.43	0.30
NO.43	500	21500	0.97	0.82	-0.48	1.10
NO.44	500	22000	1.69	1.33	0.35	1.20
NO.45	500	22500	2.30	1.53	1.53	1.20
NO.46	500	23000	2.70	1.66	0.37	1.50
+291.00	291	23291			1.01	1.70
NO.47	209	23500	2.82	2.34	1.60	1.90
NO.48	500	24000	2.80	2.25	1.28	2.00
NO.49	500	24500	3.32	2.03	2.27	2.30
NO.50	500	25000	3.00	2.60	2.70	2.20
+70.00	70	25070				2.30
NO.51	430	25500	3.80	3.28	2.96	2.40
NO.52	500	26000	4.20	3.43	2.64	2.80
NO.53	500	26500	5.07	3.79	2.87	2.90
NO.54	500	27000	5.50	3.80	3.07	3.40
NO.55	500	27500	4.90	4.17	3.75	4.20
NO.56	500	28000	5.47	5.27	4.69	4.20
NO.57	500	28500	6.11	5.35	5.10	5.10
+266.00	266	28766				5.10
NO.58	234	29000	6.84	5.41	5.44	5.20
+499.00	499	29499	0.00	0.00	0.00	5.20
NO.59	1	29500	6.20	5.99	5.26	5.30
+17.00	17	29517			5.93	5.20
NO.60	483	30000	6.70	5.22	5.31	5.80
NO.61	500	30500	7.04	6.22	6.54	6.20
NO.62	500	31000	8.49	6.60	6.18	6.30
NO.63	500	31500	8.94	7.76	7.31	7.50
+26.00	26	31526				7.70
+27.00	1	31527				7.70
NO.64	473	32000	9.30	8.43	7.63	8.00

1 : 100

1 : 30,000

<그림 3.31> 삽교천 종단변화 비교 (계속)

곡교천 하상고 변화



1 : 100

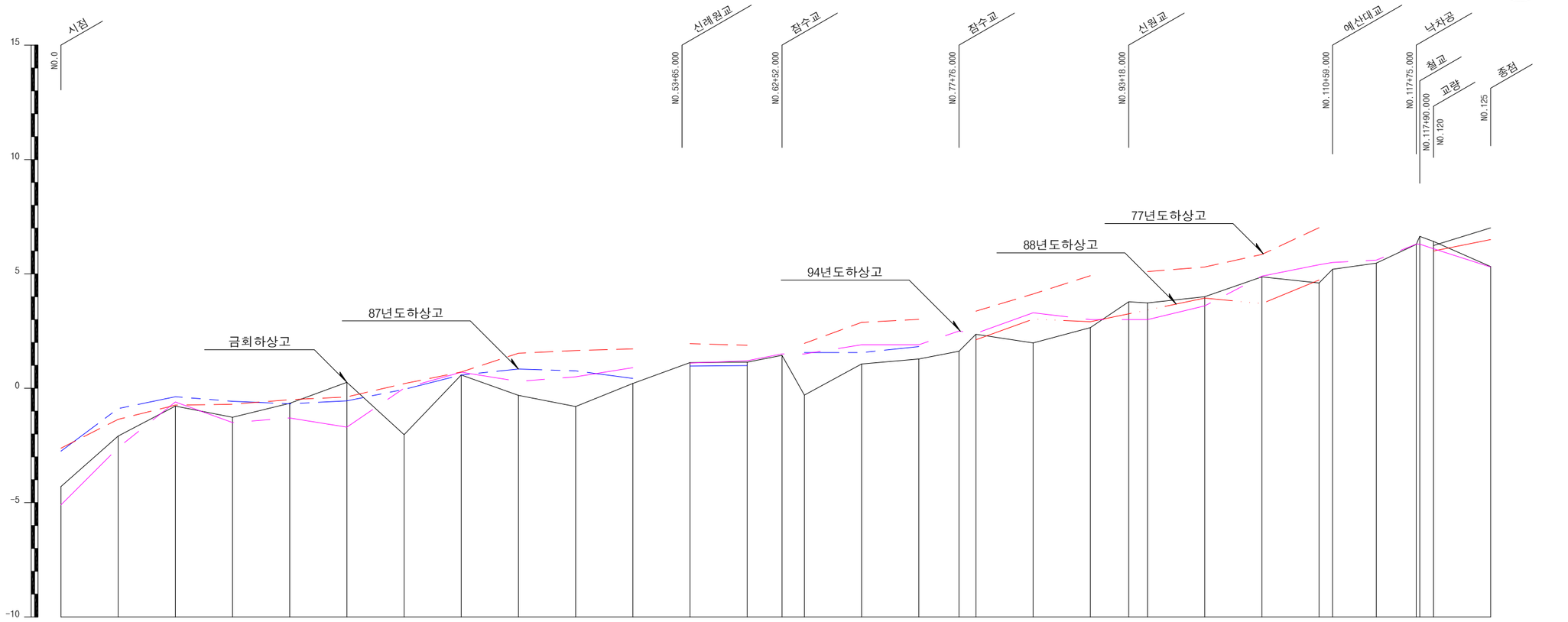
1 : 30,000

측점 (NO.)	거리(M) 누가	거리(M) 구간	77년 (M)	87년 (M)	94년 (M)	금회 (M)
NO.0	0	0	-4.41	-1.53	-1.90	-2.95
NO.1	590	590	-4.82	-1.48	-2.10	-2.05
NO.2	1060	470	-4.26	-3.27	-4.20	-2.62
NO.3	1560	500	-3.42	-3.50	-3.10	-3.52
+125.000	1685	125			-5.90	-3.04
NO.4	2010	325	-2.64	-3.28	-6.20	-3.31
NO.5	2500	490	-2.84	-2.57	-5.10	-5.30
NO.6	3020	520	-2.23	-1.82	-3.50	-3.18
NO.7	3510	490	-1.50	-0.69	-2.40	-4.75
NO.8	3740	230	-1.34	-0.81	-1.90	-1.73
NO.9	4180	440	-1.07	-3.36	-1.90	-2.75
NO.10	4630	450	-0.70	-0.41	-2.00	-0.21
NO.11	5110	480	-0.70	-5.20	-0.90	-0.16
NO.12	5540	430	-0.62	-1.19	-4.90	-3.86
NO.13	5950	410	-0.62	-1.61	-0.70	-0.50
NO.14	6430	480	-0.70	-0.54	-1.30	-0.84
NO.15	6930	500	-0.70	-2.11	-0.60	-0.28
NO.16	7420	490	1.40	-1.80	-1.30	0.53
NO.17	7790	370	1.57	0.57	0.20	0.62
NO.18	8200	500	1.55	0.17	-0.40	0.23
+370.00	8660	370	1.00	0.27	0.30	1.12
NO.19	8810	150			0.10	0.67
+290.00	9100	290	1.02	0.85	-0.20	-0.09
NO.20	9360	260			0.20	0.63
+120.00	9480	120			0.20	1.14
NO.21	9830	350	1.00	0.98	1.40	0.73
NO.22	10310	480	1.42	1.95	0.60	0.41
NO.23	10810	500	2.09	1.62	1.00	0.89
NO.24	11310	500	2.00	1.10	1.50	0.61
NO.25	11810	500	2.00	1.63	1.80	1.66
NO.26	12310	500	2.91	1.48	1.20	1.58
+230.00	12540	230			2.10	1.68
+359.00	12669	129			2.40	1.88
+361.00	12671	2	3.64	2.21	2.40	1.78
NO.27	12840	169				1.59
NO.28	13340	500	4.01	3.11	2.30	2.52
+180.00	13520	180			2.70	1.72
NO.29	14010	490	4.41	3.19	2.90	2.01
NO.30	14200	190	5.09	3.19	2.90	2.58
NO.31	14650	450	5.18	3.02	2.70	1.48
+290.00	14940	290			5.20	4.87
+320.00	14970	30			6.00	6.38
NO.32	15190	220	5.14	5.53	6.00	6.32
NO.33	15600	410	5.81	6.71	6.90	6.46
NO.34	16110	510	6.20	6.17	6.95	6.13
+440.00	16550	440	6.39	6.25	6.70	6.15
NO.35	16580	30			6.80	6.15
NO.36	17080	500	6.82	6.19	6.90	5.75
NO.37	17580	500	7.28	6.85	7.10	5.45
NO.38	18090	510	7.82	7.06	6.90	6.55
NO.39	18590	500	8.38	7.49	7.30	5.75

<그림 3.32> 곡교천 종단변화 비교

무한천 하상고 변화

1
무한천
1



측점 (NO.)	거리 구간	거리 누가	금회 (M)	94년 (M)	88년 (M)	87년 (M)	77년 (M)
NO.0	0	0	-2.62	-5.10		-2.75	-4.30
NO.5	500	500	-1.36	-2.60		-0.89	-2.09
NO.10	487	987	-0.74	-0.60		-0.37	-0.78
NO.15	485	1472	-0.70	-1.50		-0.57	-1.27
NO.20	518	1990	-0.50	-1.30		-0.68	-0.66
NO.25	500	2490	-0.38	-1.70		-0.55	0.26
NO.30	490	2980	0.20	0.00		-0.05	-2.03
NO.35	460	3440	0.71	0.70		0.58	0.38
NO.40	580	4020	1.53	0.30		0.84	-0.31
NO.45	470	4490	1.65	0.50		0.76	-0.80
NO.50	510	5000	1.72	0.90		0.43	0.21
NO.53 +65.00	360	5360	1.95	1.10		0.97	1.12
NO.55	120	5480					
NO.60	490	5970	1.88	1.20		0.99	1.14
NO.62 +52.00	280	6250		1.50			1.44
NO.65	220	6470	1.96	1.50		1.56	-0.30
NO.70	480	6950	2.88	1.90		1.56	1.06
NO.75	492	7442	3.01	1.90		1.82	1.28
NO.77 +76.00	288	7730		2.50			1.62
NO.80	203	7933	3.37	2.40	2.12	2.08	2.36
NO.85	517	8450	4.12	3.30	3.02		1.98
NO.90	500	8950	4.92	3.00	2.91		2.65
NO.93 +18.00	280	9230	5.10	3.00	3.42		3.78
NO.95	190	9420		3.00			3.73
NO.100	530	9950	5.30	3.60	3.94		4.00
NO.105	500	10450	5.85	4.90	3.70		4.67
NO.110	500	10960	7.02	5.40	4.73		4.60
+59.00	80	11030		5.50			5.20
NO.115	440	11470	7.05	5.60	5.21		5.47
NO.117 +75.00	275	11745		6.30			6.29
+90.00	25	11770		6.30			6.04
NO.120	210	11980	6.24	6.10	6.00		6.42
NO.125	490	12470	7.01	5.30	6.50		5.32

1 : 100

1 : 20,000

<그림 3.33> 무한천 종단변화 비교

3.3 침수취약지역 분석

본 절에서 침수취약지역은 과거 홍수피해를 기준으로 산정한 우심 피해지역이 아니라, 수문지형학적 특성분석을 통해 추정한 침수피해 발생 가능성이 높은 지역을 의미하는 것으로 내수침수 취약지역과 외수침수 취약지역으로 나누어 분석하였다. 내수침수 취약지역은 유역의 수문지형학적특성 분석 중 평탄지 분석 및 하도버퍼링(Elevation Buffering) 분석을 통해 구분하였으며, 외수침수 취약지역은 하도버퍼링(Elevation Buffering) 분석 결과만을 사용하여 구분하였다.

3.3.1 침수취약지역 분석 방법

침수취약지역 중 내수침수 취약지역은 홍수시 배수가 곤란하거나 하도의 수위가 상승하면 내수배제가 불가능한 지역으로 지형적으로 저지대의 평탄한 지역이 이에 해당되며, 금회 분석에서는 경사가 없는 평탄지(flat area) 및 하도와 비교하여 제내측 표고차가 1.5~2.0m 이내인 지역을 대상으로 선정하였다. 외수침수 취약지역은 무제부와 제방의 붕괴시 외수범람에 의해 침수가 예상되는 지역으로 GIS 수문지형분석 기법중 하도버퍼링(Elevation Buffering) 기법을 이용하여 분석하였으며 그 내용은 다음과 같다.

가. 평탄지 분석

내수침수 취약지역은 지표면 경사가 미미하여 홍수시 지표면 유출이 잘 발생하지 않는 지역으로 도시의 평지나 수면 또는 대단위 농경지 지역 등이 이에 해당한다. 특히 우리나라의 도시개발 양상을 보면 평탄한 논 및 밭이었던 지역에 아파트 등의 주거단지가 개발되는 경우가 많은데 이러한 지역의 개발시 침수방지에 특별한 대책이 요구된다.

금회 과업에서의 내수침수 취약지역의 경우 하도버퍼링 및 평탄지 분석결과를 종합하여 판단하였다. 평탄지 분석은 수계의 방향성 분석결과 중 방향성이 나타나지 않는 지역으로 경사가 0°인 지역을 대상으로 하였는데, 이들 평탄지역은 수면이나 개발로 평탄화된 도시지역 및 지형자체가 평지인 농경지 등으로 지표면의 경사가 없기 때문 홍수시 물이 빨리 배수되지 않는 반면 침수되었을 경우 피해지역이 넓게 확산될 위험이 있는 지역이다. 또한 하도버퍼링에 의한 내수침수 취약지역은 하도를 기준으로 상대적으로 저지대에 위치하고 있는 지역을 선정하였는데, 이는 제방 축조로 외수범람은 방지하였으나 하도의 수위가 상승할 경우 내수배제가 불가능하며, 하도의 수위가 하강하여도 제방으로 인해 오히려 제방축조 전보다 내수배제가 원활하지 못하여 침수시간이 장기화됨으로 인한 침수피해의 위험이 증가하고 있는 추세를 반영한 것이다.

나. 하도버퍼링(Elevation Buffering)

금회 과업에서는 하도에 비해 상대적으로 저지대에 위치하여 내·외수 침수에 취약한 지역을 식별하기 위한 방법으로 GIS에 의한 수문지형 분석기법을 적용하였다. 금회 적용한 기법은 하도버퍼링(Elevation Buffering)기법으로 미국의 텍사스 A&M 대학의 Damon Holzer교수가 개발한 buffbyrise 프로그램을 이용하여 분석하였다.

일반적인 GIS 분석에서의 버퍼링은 특정한 점, 선 또는 면으로부터 일정 거리내에 포함된 목표물을 식별하는 방법으로 특정 목표물에서의 등거리 및 최단 목표물 찾기 등에 이용되나, 금회 과업에서 이용한 하도버퍼링은 하도를 따라 하도와 인접한 제내측의 표고차를 비교하여 지정된 일정 표고차 이내의 지역을 식별하는 방법이다.

삽교천, 곡교천 및 무한천 하류의 저지대는 하도내 고수부지와 제내지의 표고차가 거의 동일한 특성이 있어 본 과업에서의 하도버퍼링은 하도내 고수부지의 표고를 기준으로 시행하였으며 분석 범위는 하천별 고수부지와 기성 제방의 표고차를 기준으로 설정하였다. 침수취약지역 구분을 위한 하도버퍼링 분석에서 외수침수의 경우 고수부지와 기성제방의 평균 표고차를 적용하여 국가하천 구간 5.0m, 지방2급 하천구간 3.0m를 기준으로 하고, 내수침수 취약지역 식별기준은 농경지 배수펌프장의 일반적인 계획빈도인 10~20년 빈도의 홍수위와 고수부지의 표고차를 고려하여 국가하천 구간 2m, 지방2급 하천구간 1.5m로 설정하였다.

이러한 기준에 의해 삽교천 및 무한천과 무한천 지류 지방2급 하천유역별로 내수 및 외수침수피해 취약지구에 대한 분석을 실시하여 각 경우에 대한 분석 결과를 도상에 표시하고 유역면적에 대한 침수취약지역의 면적비를 제시하여 각 유역별 치수대책 수립의 기준으로 활용할 수 있도록 하였다.

3.3.2 수계별 침수취약지역 분석

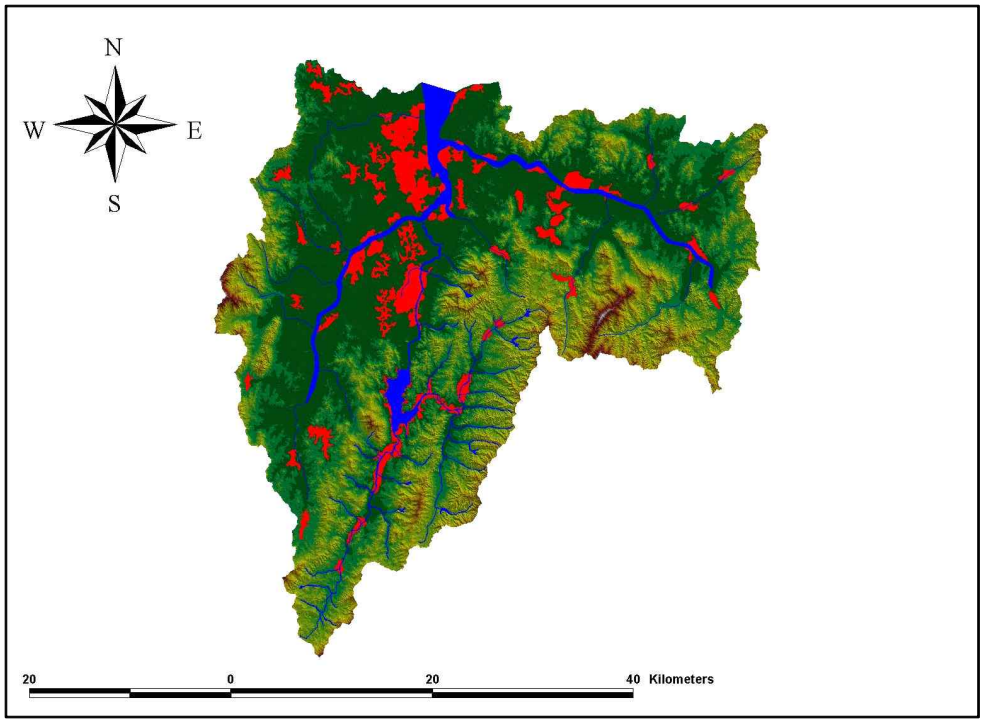
가. 삽교천 유역 침수취약지역 분석

(1) 평탄지 분석

삽교천 유역의 평탄지는 삽교천 하류에 위치한 삽교호 좌안 및 무한천의 하구에서 예당지 구간에 집중되어 나타났으며, 기타 삽교천과 곡교천 중류부 및 무한천 예당지 상류와 신양천과 화산천 하류의 하도를 중심으로 분포하고 있다. 이중 삽교천 하류부와 무한천의 예당지 하류부 일대는 광할한 농경지가 위치한 지역으로 다음절에서 분석할 '4.4.2 상습침수지역 조사'에서 파악된 상습침수지역의 위치와 대체로 일치하고 있다. 금회 분석된 삽교천 유역내 평탄지는 127.90㎢로 전체 삽교천 유역면적의 7.75%에 해당한다.

<표 3.28> 삽교천유역 평탄지 분석결과

면 적(㎢)	면 적 비(%)	비 고
127.90	7.75	



<그림 3.34> 삽교천유역 평탄지 분포도

(2) 하도버퍼링

내·외수침수 취약지역 구분을 위한 하도버퍼링은 국가하천구간과 지방2급 하천에 대해 기준을 달리하여 실시하되 내수침수 취약지역의 경우 삽교천, 무한천, 곡교천의 국가하천 구간은 2m, 지방 2급 하천의 경우는 1.5m를 기준으로 하고, 외수침수 취약지역은 국가하천의 경우 5m, 지방 2급 하천은 3m를 기준으로 실시하였다.

삽교천 유역의 하도버퍼링 결과 내수침수 취약지역의 면적은 425.50㎢로 전체 삽교천 유역의 25.90%를 차지하며, 외수침수 취약지역 면적은 517.94㎢로 31.40%를 차지하고 있다.

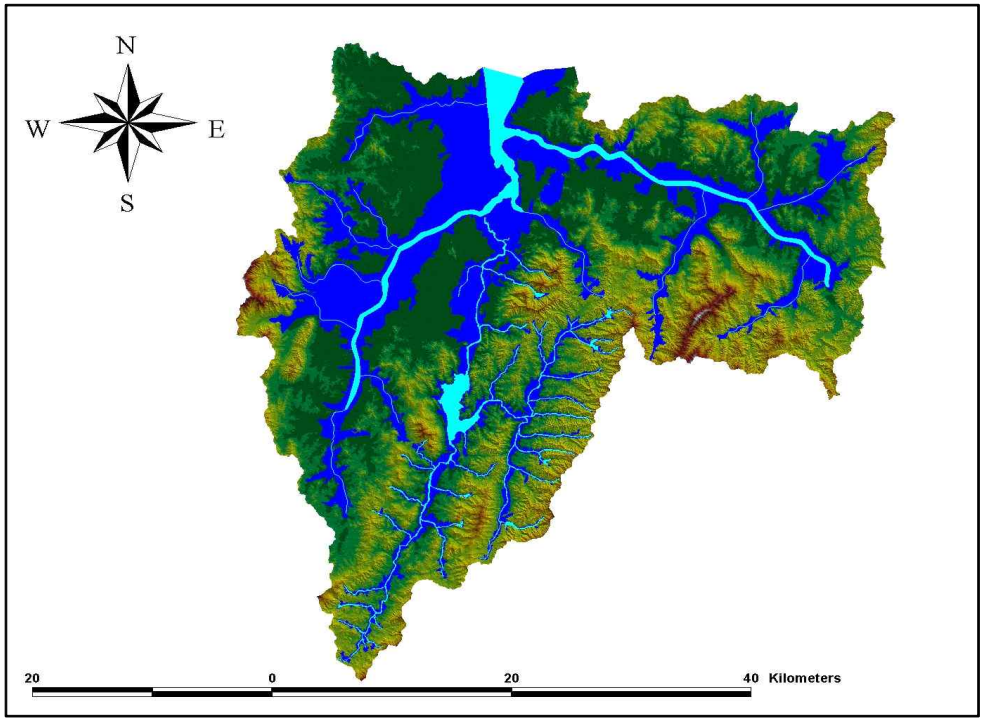
삽교천 유역에서 내수침수피해 예상지역은 <그림 3.35>에서 보는바와 같이 삽교천 중하류부 및 무한천 예당지 하류에 광범위하게 분포하며 기타 곡교천과 무한천 예당지 상류 및 무한천 지류인 신양천과 화산천, 곡교천 지류인 천안천, 온양천을 중심으로 나타났다. 특히 내수침수 취약지역이 유역의 남서쪽에 위치한 삽교천의 제1지류로서 지방 2급 하천인 남원천, 대천천, 효교천 주위에서 다른 지방 2급 하천에 비해 넓게 분포하고 있어 유역의 남서쪽에 저평지가 집중된 삽교천 유역의 지형특성과도 분석성과가 일치하고 있으며 앞서 파악한 상습침수지역 위치와 일치된 결과를 보여주고 있다.

외수침수피해 예상지역의 형상은 전체적으로 내수침수 취약지역과 비슷하나, 내수침수에 비해 큰 홍수를 대상으로 한 관계로 침수면적이 넓게 형성되어 있음을 알 수 있다.

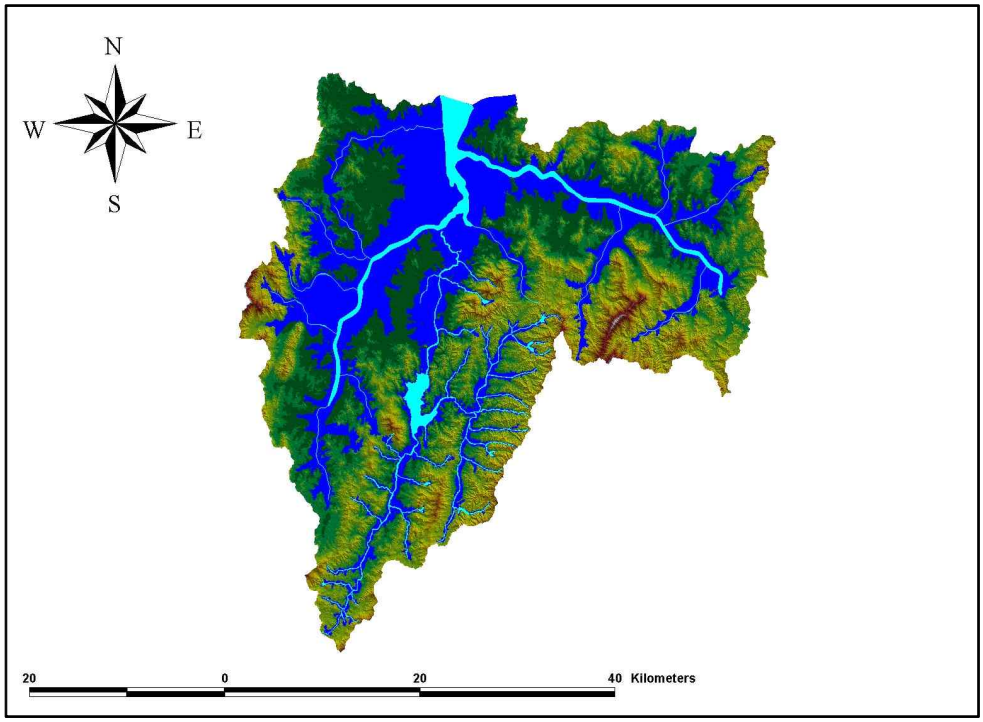
외수 및 내수침수 취약지역 분석결과 삽교천 중하류부의 본류와 지류 유역 상당부분이, 무한천은 예당지 하류부의 하천주변 농경지가 대부분 포함되는 광범위한 지역에서 피해가 예상된다. 특히 삽교천 유역의 답작지 면적이 전체 유역면적의 28.04%에 해당하는 462.5㎢임을 감안할 때 유역내 답작지 전체가 외수침수 피해의 위험이 있고, 90% 이상이 내수침수에 취약하다고 볼 수 있는데, 실제로 <그림 2.31>의 '삽교천 유역 토지이용도'에 나타난 답작지 분포 지역과 금회 분석한 침수취약지역이 거의 일치하고 있다.

<표 3.29> 삽교천 유역 하도 Buffering 분석결과

구 분	면 적(㎢)	면 적 비(%)	비 고
1.5~2m Buffering	425.50	25.80	내수침수 취약지구
3~5m Buffering	517.94	31.40	외수침수 취약지구



<그림 3.35> 내수침수 취약지역(1.5m, 2m 하도 Buffering 결과)



<그림 3.36> 외수침수 취약지역 (3m, 5m 하도 Buffering 결과)

나. 곡교천 유역 침수취약지역 분석

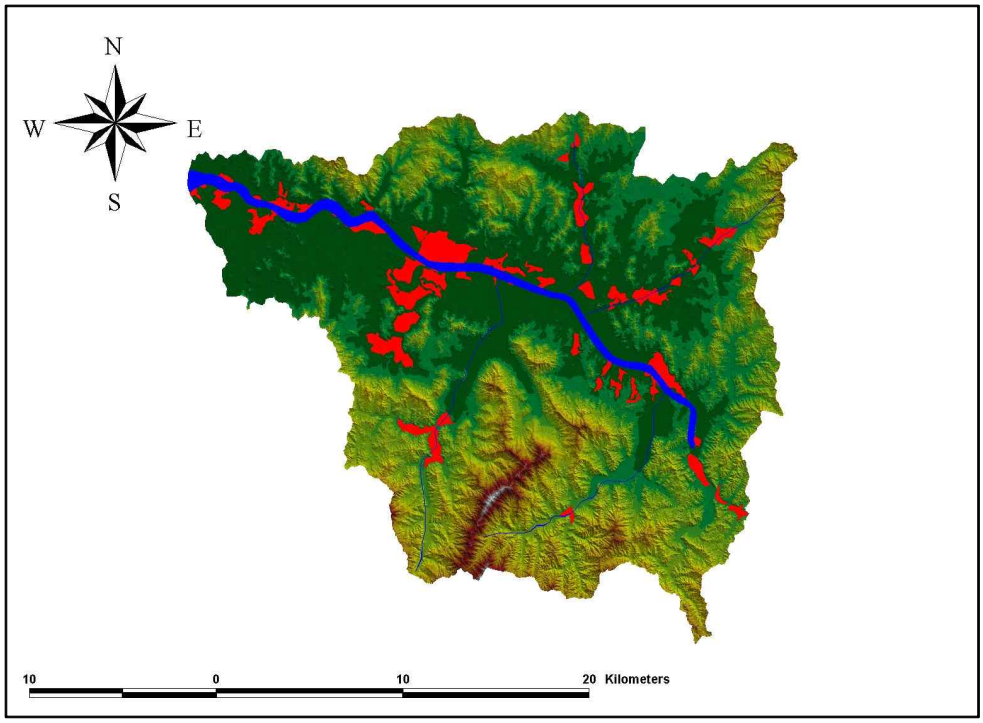
(1) 평탄지 분석

곡교천 유역의 평탄지 분석결과 아산시 염치읍 염치저수지 하류의 곡교천 본류구간 및 아산시가지 구역, 천안천 주변, 매곡천 지역 등에서 주로 분포하는 것으로 나타났다. 이중 아산시가지 및 천안천 일대의 천안시가지 지역의 경우 도시지역으로 침수피해 발생시 막대한 피해가 예상되나, 온양천 상류지역 등 유역 상류지역에 나타난 평탄지는 저수지 지역인 것으로 판단된다.

곡교천 유역내 평탄지 면적은 약 45㎢로 곡교천 전체 면적의 8.26%를 차지하고 있다.

<표 3.30> 곡교천유역 평탄지 분석결과

면 적(㎢)	면 적 비(%)	비 고
45.04	8.26	



<그림 3.37> 곡교천유역 평탄지 분포도

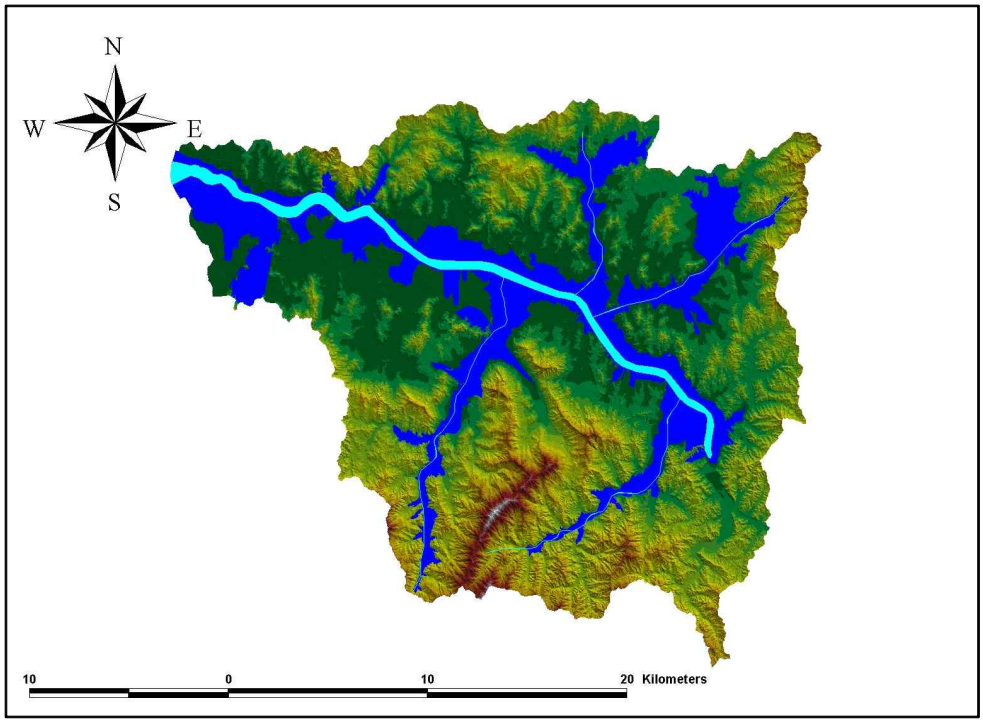
(2) 하도버퍼링

곡교천 유역의 국가하천과 지방 2급 하천구간에 대한 내·외수 침수취약지역 분석을 위해 각각 1.5m와 2m 및 3m와 5m를 기준으로 하도버퍼링을 수행하였다. 그 결과 1.5m~2m 버퍼링에 의한 내수침수 취약지역 면적은 110.12㎢로 전체 유역면적의 20.20%를 차지하며, 3m~5m 버퍼링에 의한 외수침수 취약지역 면적은 133.66㎢로 전체 유역면적의 24.52%에 해당한다.

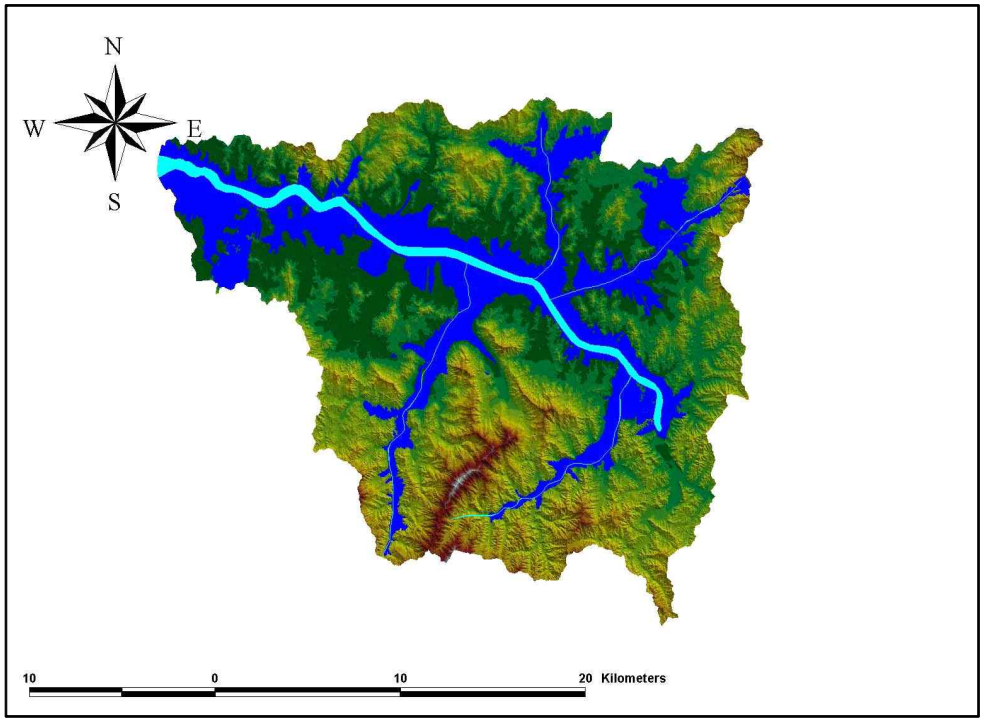
주요 취약지역은 곡교천 하류 우안측의 가선리, 홍곶리 일대와 곡교천과 온양천 합류부 및 풍서천 합류부 일대이며 그 외에 천안천 중상류 천안시 일대도 내·외수 침수에 취약한 지역으로 나타났다.

<표 3.31> 곡교천유역 하도 Buffering 분석결과

구 분	면 적(㎢)	면 적 비(%)	비 고
1.5~2m Buffering	110.12	20.20	
3m~5m Buffering	133.66	24.52	



<그림 3.38> 내수침수 취약지역 (1.5m, 2m 하도 Buffering 결과)



<그림 3.39> 외수침수 취약지역 (3m, 5m 하도 Buffering 결과)

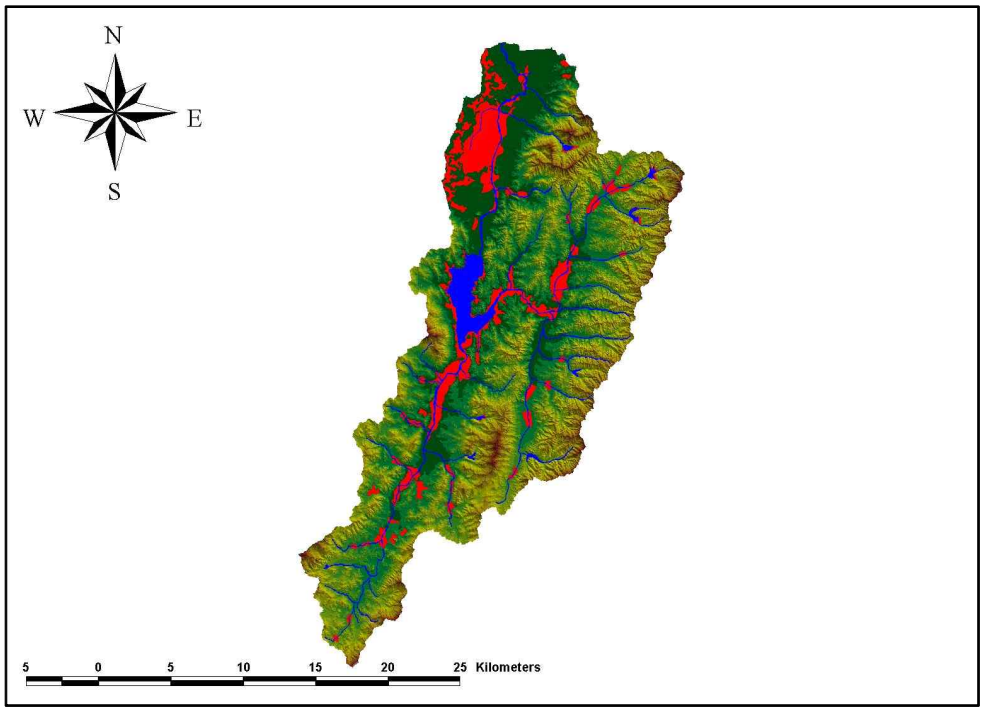
다. 무한천 유역 침수취약지역 분석

(1) 평탄지 분석

무한천 유역은 하류부 좌안측의 오가면 탄중리 일대에 평탄지가 광범위하게 나타나며 예당지 직상류인 광시면 용두리, 화산천 하류부의 대흥면 연리 등에도 평탄지가 비교적 넓게 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 무한천 유역내 평탄지 면적은 52.12㎢로 전체 무한천 유역면적의 11.05%를 차지하여 곡교천 유역의 평탄지 구성비에 비해 다소 큰 값을 보이고 있다.

<표 3.32> 무한천유역 평탄지 분석결과

면 적(㎢)	면 적 비(%)	비 고
52.12	11.05	

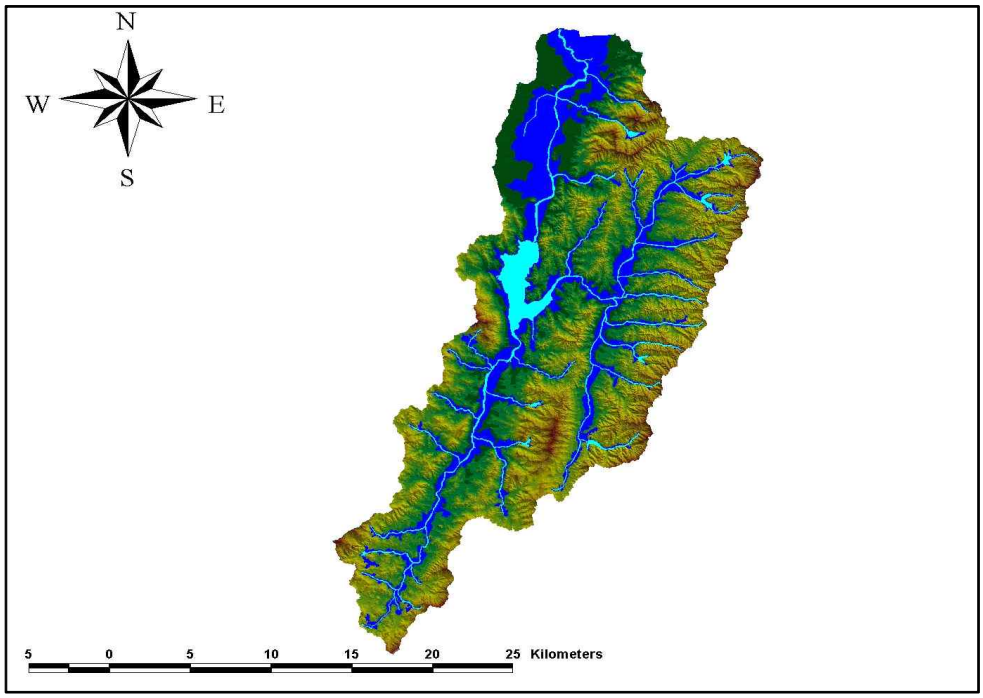


<그림 3.40> 무한천유역 평탄지 분포도

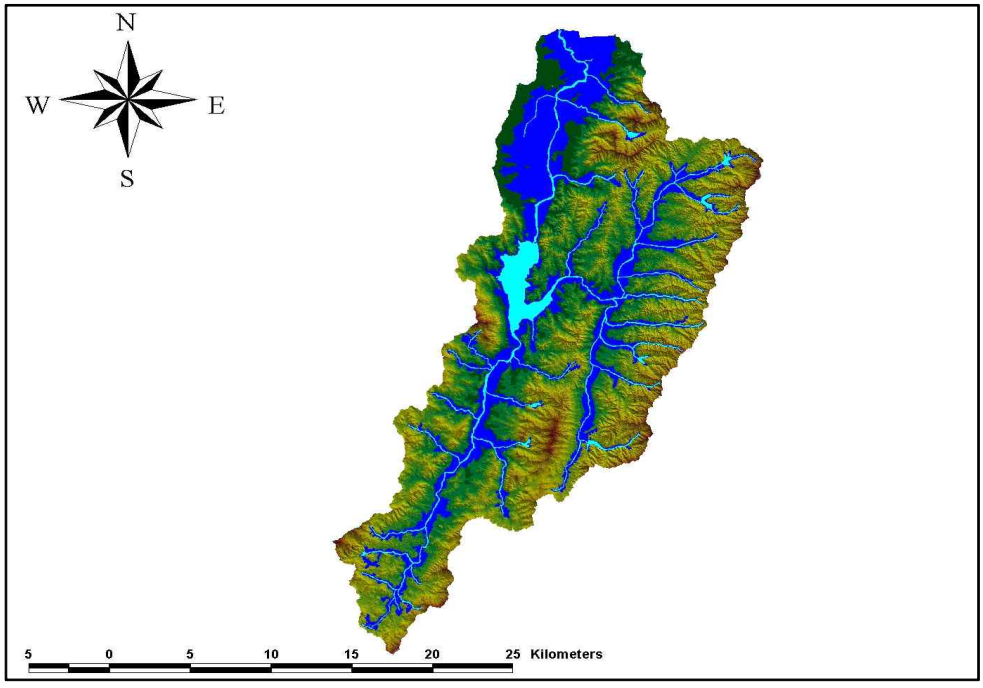
(2) 하도버퍼링

무한천 유역의 하도버퍼링은 국가하천구간과 지방2급 하천을 구분하여 국가하천구간의 경우 2m와 5m를 기준으로, 지방2급 하천의 경우는 1.5m, 3m를 기준으로 실시하였다. 그 결과 1.5m~2m 버퍼링에 의해 파악된 내수침수 취약지역 면적은 103.38㎢로 전체 유역면적의 21.91%에 해당하며 3m~5m 버퍼링에 의해 구분된 외수침수 취약지역의 면적은 121.75㎢로 무한천 유역면적의 25.80%로 나타났다.

하도버퍼링에 의해 파악된 주요 취약지역은 무한천 하구부 우안측에 위치한 아산시 선장면 신덕리, 봉농리 일대와 좌안측의 예산군 신암면 신종리, 두곡리, 종경리 일대 및 예산군 오가면 탄중리, 원천리, 원평리 일대 등 주로 예당지 하류에 광범위하게 위치하며, 예당지 상류의 무한천 본류와 신양천 및 화산천을 따라 좁은 띠 형태로 분포하지만 유역내 유일한 인구밀집 지역인 예산읍은 해당되지 않는 것으로 나타났다.



<그림 3.41> 내수침수 취약지역 (1.5m, 2m 하도 Buffering 결과)



<그림 3.42> 외수침수 취약지역 (3m, 5m 하도 Buffering 결과)

<표 3.33> 무한천유역 하도 Buffering 분석결과

구 분	면 적(㎢)	면 적 비(%)	비 고
1.5～2m Buffering	103.38	21.91	
3～5m Buffering	121.75	25.80	

제 4 장 치수특성 조사

4.1 수문조사

4.2 치수사업 연혁

4.3 치수시설 조사

4.4 홍수피해 특성 조사

제 4 장 치수특성 조사

4.1 수문조사

4.1.1 수문관측소 현황

가. 우량관측소 현황

삽교천 유역 및 인근에 위치하여 금회 과업의 강우분석 대상으로 선정 가능한 우량관측소는 건교부 관할 관측소가 14개소로 가장 많으며, 기상청 관할 관측소 4개소, 농업기반공사 관할 3개소 등 총 21개소가 있다. 그러나 기상청 산하 관측소의 경우 천안 관측소를 제외한 3개 관측소는 유역외에 위치하며, 건교부 관측소의 경우 유역내에 8개소가 위치하고 있으나 관측기록이 30년 이상인 관측소는 3개소에 불과하다.

<표 4.1> 삽교천 유역내 우량관측소 현황

관리주체	유역내		유역외		합 계	
	30년이상	10년이하	30년 이상	10년이하	30년이상	10년이하
기 상 청	1	-	3	-	4	-
건 교 부	3	5	4	2	7	7
농업기반공사	3	-	-	-	3	-

각 관측소별 관측기록 보유현황은 <표 4.2>에서 보는바와 같이 기상청 관할 서산, 부여, 보령, 천안 관측소 및 건교부 관할 관측소 중 홍성, 청양, 예산, 덕산, 정안, 병천, 성환 관측소의 경우 30년 이상의 우량관측자료를 보유하고 있다. 그러나 유구, 성거, 순성, 신인, 신양, 비봉, 배방 관측소는 1999년부터 관측을 개시하여 우량관측 기록이 10년 미만에 불과하며 농업기반공사 관할 관측소인 삽교호 및 예당, 온양 관측소의 관측기록은 10년 이상이나 결측기간이 많고 분석대상 자료로서의 신뢰도가 떨어지는 것으로 판단되어 금회 강우분석에 제외하였다.

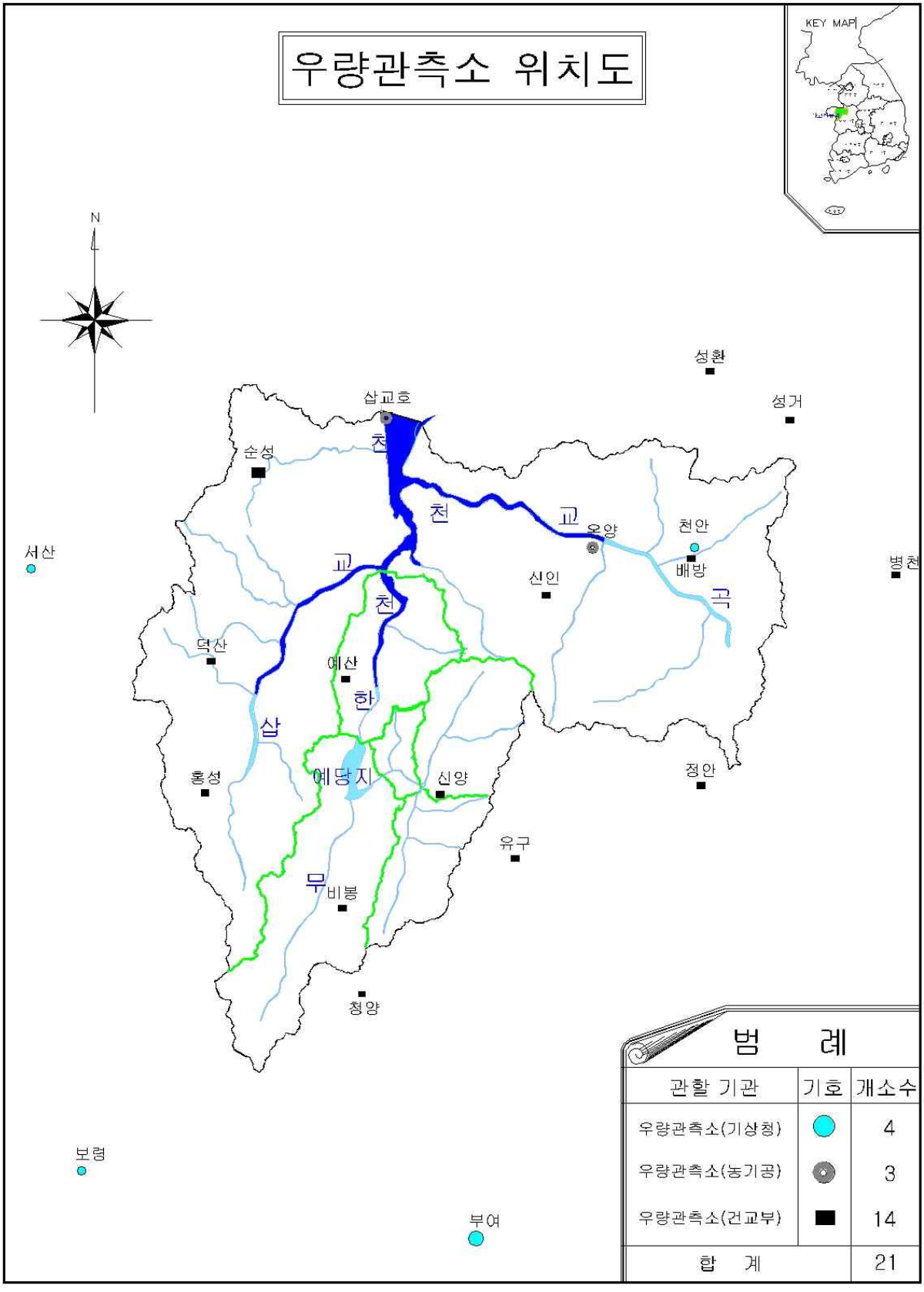
기타 각 시·군·면 단위의 지자체에서 자체적으로 관측한 강우기록이 있으나, 관측을 시작한 시기가 대부분 '80년대 후반이며 전문화된 인력에 의해 관리되는 자료가 아니므로 국지적인 강우특성이나 피해현황을 파악하는 목적으로의 참고자료로만 활용하고 설계강우량 산정을 위한 확률강우분석에서는 제외하였다.

<표 4.2> 우량관측소 제원

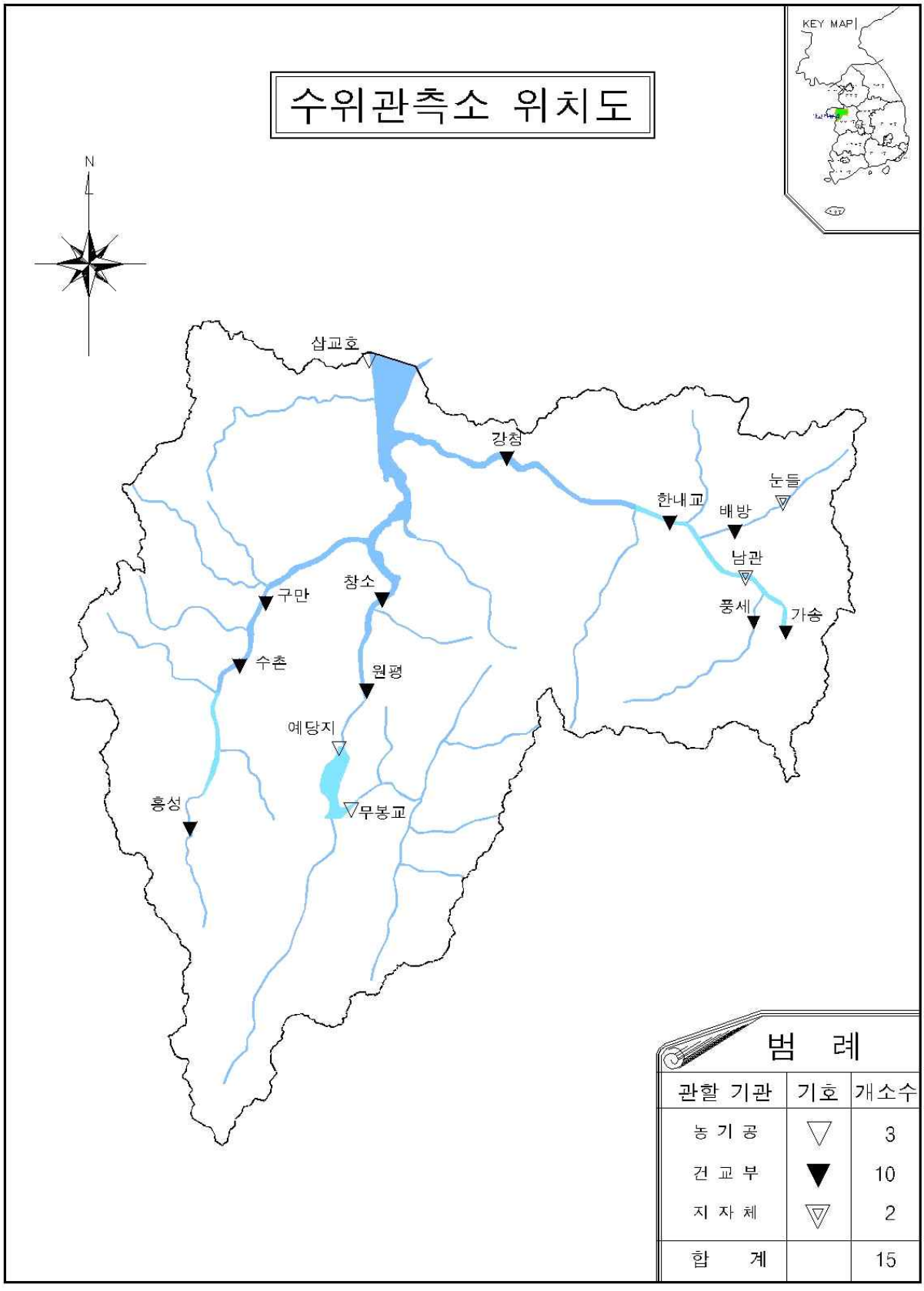
관측소명	관측종별	위치			경도	위도	관측개시일	관할관서	비고
		시·군	읍·면	동·리					
홍 성	T/M	홍성군	홍성읍		126-39-46	36-35-59	1918.07	금강홍통	'98.12. 자기→T/M화
청 양	T/M	청양군	청양읍		126-48-32	36-27-00	1929.09	금강홍통	
예 산	T/M	예산군	오가면		126-47-33	36-41-05	1933.09	금강홍통	'98.12. 자기→T/M화
덕 산	T/M	예산군	덕산면		126-40-04	36-31-53	1957.03	금강홍통	'98.12. 자기→T/M화
정 안	T/M	공주시	정안면	광정리	127-07-20	36-36-20	1960.06	금강홍통	
병 천	T/M	천안시	병천면	병천리	127-18-13	36-45-45	1960.06	금강홍통	
성 환	T/M	천안시	성환읍		127-07-53	36-54-55	1968.07	한강홍통	'96. 일반→T/M화
서 산	자 기	서산시	석림동		126-30	36-46	1968.01	기 상 청	
천 안	자 기	천안시	신방동		127-07	36-47	1971.01	기 상 청	'99.1아산→천안관측소이전
보 령	자 기	보령시	요암동		126-34	36-19	1971.12	기 상 청	
부 여	자 기	부여군	부여읍	기탑리	126-55	36-16	1971.1	기 상 청	
삽교호	자 기	당진군	신평면	운정리	126-49-48	36-52-48	1979.10	당진농조	
예 당	자 기	예산군	대흥면	노동리	126-30-00	37-54-00	1989.01	예당농조	
온 양	자 기	아산시	온양읍	모종리	127-01-20	36-47-01	1993.01	온양농조	
유 구	T/M	공주시	유구면		126-57-03	36-33-02	1993.06	금강홍통	
성 거	T/M	천안시	성거읍		127-12-20	36-52-42	1996.09	한강홍통	'96.신설
순 성	T/M	당진군	순성면	봉소	126-42-40	36-50-20	1999.01	금강홍통	'98.12. 신설
신 인	T/M	아산시	신인면		126-58-44	36-44-52	1999.01	금강홍통	'98.12. 신설
신 양	T/M	예산군	신양면	신양리	126-52-50	36-35-56	1999.01	금강홍통	'98.12. 신설
비 봉	T/M	청양군	비봉면	연동리	126-47-25	36-30-50	1999.01	금강홍통	'98.12. 신설
배 방	T/M	아산시	배방면	휴대리	127-07-00	36-46-30	1999.01	금강홍통	'98.12. 신설

나. 수위관측소 현황

삽교천 유역내 수위관측소는 삽교천 본류에 홍성, 수촌, 구만 등 3개소의 관측소가 위치하고 지류인 무한천에 원평 및 창소 관측소, 곡교천에 강청, 한내다리 관측소 등 총 7개소의 수위관측소가 설치되어 운영되고 있다. 그러나 수위관측소 중 수위-유량 관계곡선(Rating Curve)를 보유하고 있는 관측소는 수촌, 강청 그리고 원평 관측소 등 삽교천과 곡교천, 무한천에 각 1개소씩 3개소뿐이다. 기타 예당지와 삽교호 배수갑문 운영을 위해 농업기반공사에서 자체적으로 관리하는 수위표가 있으나 자료 구득이 용이하지 않고, 장기간의 기록이 제대로 관리되지 않고 있어 금회 과업의 분석에서 제외하였다.



<그림 4.1> 우량관측소 위치도



<그림 4.2> 수위관측소 위치도

<표 4.3> 수위관측소 제원

관측소명	하천명	하천등급	지 역 명			측정방식	위 치		영점표고	관할기관
			시·군	읍·면	동·리		경도	위도		
구 만	삽교천	국가	예산군	고덕면	구만리 구만교	T/M	126-45-25	36-44-00	2.585	건교부
수 촌	삽교천	국가	예산군	삽교읍	두리 충의대교	T/M	126-43-57	36-41-00	5.828	〃
홍 성	삽교천	지방2	홍성군	홍성읍	고암리 입암교	T/M	126-41-20	36-35-10	19.814	〃
강 청	곡교천	국가	아산시	염치읍	강청리 강청교	T/M	126-56-06	36-49-17	0.553	〃
한내다리	곡교천	지방1	아산시	탕정면	갈산리 한내교	T/M	126-49-24	36-40-52	7.900	
창 소	무한천	국가	예산군	예산읍	창소리 신례원교	T/M	126-50-00	36-43-55	0.704	〃
원 평	무한천	국가	예산군	오가면	원평리 무한교	T/M	126-49-23	36-40-51	5.656	〃
삽교호	삽교천	국가	당진군	신평면	운정리 삽교방조제	보통	-	-	-	당진농조
예 당	무한천	지방2	예산군	대흥면	노동리 예당지내	보통	-	-	-	예당농조

4.1.2 수문관측망 적정성 분석

가. 우량관측소 배치기준

우량관측소의 위치는 한 유역의 강우특성을 분석하는데 있어 매우 중요한 요소로 관측소가 다우지역 등 특정지역에 치우쳐 위치하면 강우특성을 왜곡 할 수 있으며, 너무 넓게 분포할 경우 강우특성을 정확하게 반영하기가 어렵다. 강우 관측소 밀도에 대한 기준은 하천설계기준(2002, 한국수자원학회)의 경우 일반 농경지는 50㎢당 1개 관측소, 도시지역은 50㎢당 2개 관측소를 설치하는 것을 기준으로 하고, 세계 기상기구에서는 각 지역별로 해안, 산지, 구릉지, 도시지역 등으로 나누어 기준을 선정하였으며, 그 내용은 <표 4.4>와 같다.

<표 4.4> 세계기상기구에서 추천한 강우관측소 밀도(WMO, 1994)

지 역	최소 관측밀도(㎢/관측소)	
	보통 우량계	자기 우량계
해안 지역	900	9,000
산지	250	2,500
내륙 평원	575	5,750
구릉지/파상지역	575	5,750
작은 섬지역	25	250
도시 지역	-	10-20
극 지역/건조지역	10,000	100,000

나. 우량관측망 적정성 분석

삽교천 유역은 북서측의 저평지를 제외하고는 대부분 산악지형으로 구성되어 있어, 하천설계기준의 강우관측소 밀도 기준으로는 일반농경지 지역을, 세계기상기구 기준으로는 산지지역의 관측소 밀도(250㎢/개소)를 적용하여 우량관측망의 적정성을 평가하였다. 이때 각 시·군·면 단위의 지자체에서 관리하는 관측소와 농업기반공사 관할 관측소의 경우 아직까지 하천 및 유역의 개발, 관리 또는 계획의 목적으로 활용된 예가 없고 자료의 연속성 및 신뢰도가 부족한 관계로 평가대상에서 제외하였다.

우량관측망의 밀도는 삽교천 유역내 및 유역외로 구분하여 적정성을 분석하였는데, 유역외는 삽교천 유역내에 위치하지는 않지만 지리적으로 가깝게 있으며, Thiessen망 구성시 포함되는 기상청 및 건교부 관측소를 포함하여 분석하였다. 분석결과 삽교천 유역의 우량관측망 밀도는 세계기상기구 기준인 '250㎢/개소' 보다는 조밀한 것으로 평가되었으나, 하천설계기준의 '50㎢/개소' 기준은 충족시키지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 최근의 국지성 집중호우 등 이상강우에 의한 피해가 증가하고 있는 실정에서 합리적인 홍수방어계획을 수립하기 위해서는 우량관측소를 증설하거나, 각 관리주체별로 기설치된 관측소에 대해 관리인력의 전문화 또는 전문인력에 의한 자료의 통합관리 등 관측기록의 신뢰성을 제고할 수 있는 방안을 수립·시행하여 활용가치를 높여야 할 것이다.

<표 4.5> 우량관측망 적정성 분석 결과

하천명	유역면적 (㎢)	우량관측소 (유역내)				우량관측소 (유역외 주변관측소 포함)			
		개소수	비면적 (개소/㎢)	적정성 여부		개소수	비면적 (개소/㎢)	적정성 여부	
				①	②			①	②
삽교천	1,649.39	9	183.27	O.K	N.G	18	91.63	O.K	N.G
곡교천	545.08	3	181.69	O.K	N.G	7	77.87	O.K	N.G
무한천	471.80	3	157.27	O.K	N.G	6	78.62	O.K	N.G

【주】① : 세계기상기구 우량관측소 밀도기준, ② : 하천설계기준 우량관측소 밀도기준

<표 4.6> 우량관측망 적정성 분석 결과 (지자체 관할 관측소 포함)

하천명	유역면적 (㎢)	우량관측소 (유역내)				우량관측소 (유역외 주변관측소 포함)			
		개소수	비면적 (개소/㎢)	적정성 평가		개소수	비면적 (개소/㎢)	적정성 평가	
				①	②			①	②
삽교천	1,649.39	49	33.66	O.K	O.K	62	26.18	O.K	O.K
곡교천	545.08	15	38.93	O.K	O.K	23	27.25	O.K	O.K
무한천	471.80	13	36.29	O.K	O.K	17	27.75	O.K	O.K

【주】① : 세계기상기구 우량관측소 밀도기준 , ② : 하천설계기준 우량관측소 밀도기준

현재 삽교천 수계의 우량관측망을 기상청과 건교부 관할 관측소 기준으로 타 수계와 비교하면 <표 4.7>에서 보는 바와 같이 주요 수계의 평균을 다소 상회하는 것으로 나타났으며, 향후 유역내에 위치한 지자체의 관측망을 활용하게 될 경우 우량관측망은 적정한 수준에 달할 것으로 예상된다.

<표 4.7> 주요 수계별 우량관측소 현황

수계명	유역면적 (㎢)	하천연장 (km)	건설교통부			기상청	계	비면적 (㎢/개소)	비연장 (km/개소)
			TM	자기	소계	자기			
한 강	26,218.60	7,159.15	50	55	105	11	116	226.03	61.72
낙동강	23,817.30	7,385.10	66	50	116	13	129	184.63	57.24
금 강	9,810.40	3,760.21	27	26	53	7	60	163.51	62.67
섬진강	4,896.50	2,073.85	13	5	18	4	22	222.57	94.27
영산강	3,455.00	1,436.06	14	-	14	2	16	215.94	89.75
안성천	1,699.00	606.37	11	2	13	1	14	121.40	43.31
평 균	69,896.80	22,420.74	181	138	319	38	357	195.79	82.80
삽교천	1,649.39	620.0	8	-	8	1	9	183.26	41.33

다. 수위관측망 적정성 분석

하천의 수위자료는 하천의 홍수규모 측정 및 하천관리에 있어 중요한 자료로서 주요 지류, 파천의 분·합류 전·후, 보, 수문 등의 상·하류에 수위 관측소를 설치한다. 또한 협곡부, 유수지, 호소, 저수지, 하구 등의 수리상황을 알기 위하여 필요한 지점과 수위를 측정하지 않으면 하천의 계획, 시공 및 관리에 지장을 초래할 수 있는 곳에는 수위관측소를 설치하여야 한다.

본 과업대상지역의 수위관측망 적정성 분석은 삽교천, 곡교천, 무한천 유역을 대상으로 실시하였으며, 삽교천의 경우 전체 유역과 무한천 및 곡교천 유역을 제외한 잔유역을 대상으로 하여 분석하였다.

각 하천수계별 수위관측망은 관측소의 절대 개소수나 밀도 등에 있어서 <표 4.8>에서 보는바와 같이 3개 주요 하천에서 큰 차이가 없으며, 타 수계의 수위관측망과 비교하여도 비교적 양호한 것으로 판단되나, 수위-유량 관계곡선이 각 하천별로 1개소만 개발되어 있어 수위관측자료의 폭 넓은 활용에 제한요인으로 작용하고 있는바 나머지 4개 수위관측소 지점의 수위-유량 관계곡선의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

특히 삽교천, 곡교천, 무한천을 제외한 지류 하천에는 수위관측소가 설치되어 있지 않

아 홍수재해에 대한 원인 조사 및 분석에 어려움이 있으므로, 향후 유역의 치수계획 수립 및 유지·관리와 재해예경보시스템 구축을 위해 주요 지류에도 수위관측소의 증설이 필요하다.

<표 4.8> 삽교천 수계 수위관측소 현황

수 계 명	수위관측소 개 소 수	하천연장		유역 면적		비 고
		연장 (km)	밀 도 (km/개소수)	면적 (㎢)	밀도 (㎢/개소수)	
삽 교 천 (전유역)	10	620.0	62.00	1,649.39	164.94	
삽 교 천 (잔유역)	3	217.4	72.47	632.51	210.84	곡교천, 무한천 유역 제외
곡 교 천	5	217.6	43.52	545.08	109.02	-
무 한 천	2	185.0	92.50	471.80	235.90	-

<표 4.9> 주요 수계별 수위관측소 현황

수계명	유역면적 (㎢)	하천연장 (km)	건설교통부			비면적 (㎢/개소)	비연장 (km/개소)
			TM	자기	소계		
한 강	26,218.60	7,159.15	56	8	64	409.67	111.86
낙동강	23,817.30	7,385.10	43	17	60	396.96	123.09
금 강	9,810.40	3,760.21	40	8	48	204.38	78.34
섬진강	4,896.50	2,073.85	15	1	16	306.03	129.62
영산강	3,455.00	1,436.06	29	-	29	119.14	49.52
안성천	1,699.60	606.37	6	1	7	242.80	86.62
계	69,897.40	22,420.74	189	35	224	312.04	100.09
삽교천	1,649.39	620.0	10	-	10	164.94	62.00

4.2 치수사업 연혁

4.2.1 과거의 개수계획

삽교천 수계의 개수계획이 본격적으로 수립된 것은 1957년 내무부 토목국에서 삽교천 개수 실시계획서를 1차로 작성한 후 부터이며 이후 1962년, 1963년, 1966년도에 계획이 재조정되었다. 또한 1969년도에 중부 국토건설국에서 삽교천 하류부 개수공사 기본계획을 수립하였으며, 1977년 삽교천 하천정비기본계획(삽교천 본류 : 34.0km, 곡교천 : 21.4km, 무한천 : 15.0km)이 수립되었다.

그 이후 1979년 10월에 삽교호 방조제가 완성되어 삽교천이 현재와 같은 유출특성을 갖게 되었으며 1987년에 삽교천 하상변동조사, 1988년에 무한천 및 곡교천 하상변동 조사가 시행되었고, 1989년 무한천 지방2급 하천구간에 대한 하천정비기본계획이 수립되었다. 최근에는 1994년에 삽교천, 곡교천, 무한천 국가하천구간에 대해 1977년에 수립한 하천정비 기본계획을 보완하는 것과 병행하여 수계치수기본계획이 수립되어 수계내 지방2급 하천구간에 대한 개수사업의 기틀이 마련되었고, 1996년에 '95년 대홍수 이후 삽교천 수해원인조사를 통해 하도정비 및 배수펌프장 계획이 수립되었다.

이와 병행하여 '90년대 중반이후 충남도에서 삽교천의 주요 지류 하천인 대천천, 효교천 등의 지방2급 하천을 대상으로 하천정비기본계획을 수립하여 본류의 하천개수와 더불어 지류하천의 개수사업이 본격적으로 시행되게 되었다.

4.2.2 하천개수실적

삽교천 수계의 하천개수공사는 삽교천 하류부를 중심으로 1920~1930년대부터 본격적으로 시행되다가 1948년 정부수립 이후 1953년까지 사회적, 경제적인 이유로 중단되었다. 그후 1953년부터 삽교천 중하류부인 예산군 삽교읍 역리에서 당진군 합덕읍 옥금리 24km 구간이 개수되었으며, 삽교천 상류부는 1957년 예산군 덕산면 신평리에서 삽교읍 삽교리 까지 20.8km구간이 개수되었다.

2002년 12월 기준으로 삽교천 수계의 하천등급별 개수실적은 국가하천이 전체 요개수연장 119.18km중 116.78km가 개수되어 76.72%의 개수율을 보이고 있으며, 지방1급 하천은 83.42%의 개수율을 보이고 있다. 또한 지방2급 하천의 경우 전체 요개수연장 818.80km 중 599.15km가 개수되어 73.17%의 개수율을 보이고 있다. 주요 하천별로는 삽교천과 무한천 국가하천 구간 및 지방2급 하천인 남원천이 100%의 개수율을 보이고 있는 등, 대체로 70% 이상의 개수율을 보이고 있다.

개수율이 상대적으로 부족한 하천의 경우 경지정리병행 치수사업, 수해복구사업 등을 통해 하천개수사업을 시행하였으나 하천정비기본계획의 규모를 만족하지 못하는 불완전 개수 구간이 일부 포함되어 있지만 곡교천 수계의 하천인 곡교천 지방1, 2급 구간과 온양천, 풍서천 등은 미개수 구간도 상당히 분포하고 있다. 특히, 하천정비기본계획이 수립되지 않은 곡교천 지방2급 구간은 개수율이 23.86%에 불과한 것으로 조사되었다.

<표 4.10> 삽교천 수계 하천등급별 개수현황

2002. 12월말 기준

하천등급	하천개소수 (개)	하천연장 (km)	하 천 정 비(km)				
			요개수	완전개수	불완전 개 수	미개수	개수율
계	101	620.01	992.88	761.73	59.90	171.25	76.72
국가	3	63.73	119.18	116.78	2.40	-	97.99
지방1	2	29.30	54.90	45.80	-	9.1	83.42
지방2	96	526.98	818.80	599.15	57.50	162.15	73.17

『자료』하천일람, 2003, 건교부
【주】개수율은 완전개수 및 불완전 개수를 포함한 비율임.

<표 4.11> 삽교천 수계 주요하천별 개수 현황

2002. 12월말 기준

하천명	본 류	하 천 등 급	유 로 연 장 (km)	유 역 면 적 (㎢)	하 천 정 비 (Km)				
					요개수	완 전 개 수	불완전 개 수	미개수	개수율
삽교천	**삽교천**	**국가**	**58.60**	**1,649.87**	**60.73**	**60.73**	**-**	**-**	**100.00**
삽교천	삽교천	지방1	26.70	198.96	15.90	15.50		0.40	97.48
삽교천	삽교천	지방2	17.90	76.83	19.20	19.20	-	-	100.00
무한천	**삽교천**	**국가**	**53.90**	**467.54**	**23.00**	**23.00**	**-**	**-**	**100.00**
무한천	삽교천	지방2	40.66	382.71	39.90	34.90	3.20	1.80	87.47
곡교천	**삽교천**	**국가**	**49.18**	**545.16**	**35.45**	**33.05**	**2.40**	**0.00**	**93.23**
곡교천	삽교천	지방1	25.33	396.84	39.00	30.30	-	8.70	77.69
곡교천	삽교천	지방2	10.09	65.11	8.80	2.10	-	6.70	23.86
신양천	삽교천	지방2	21.30	180.38	18.00	16.60	1.40	-	92.22
남원천	삽교천	지방2	23.24	108.01	27.00	27.00	-	-	100.00
온양천	삽교천	지방2	19.70	94.22	32.40	24.77	-	7.63	76.45
화산천	삽교천	지방2	14.29	84.61	17.20	12.50	4.70	-	72.67
천안천	삽교천	지방2	13.90	74.17	21.80	21.30	-	0.50	97.71
풍서천	삽교천	지방2	17.31	70.20	26.60	20.60	-	6.00	77.44
덕산천	삽교천	지방2	14.00	47.78	17.10	11.50	5.60	0.00	67.25
도고천	삽교천	지방2	11.80	42.34	23.40	18.54	-	4.86	79.24

『자료』하천일람, 2003, 건교부

4.3 치수시설 조사

4.3.1 배수펌프장 현황

배수펌프장은 저지대 내수배제 불량에 의한 침수피해를 방지하기 위한 시설로서 삽교천 유역내 배수펌프장 현황은 2002년 12월을 기준으로 삽교천(무한천 합류점 상류부) 주변 저지대에 기설 배수펌프장 23개소, 공사중인 배수펌프장이 2개소이며, 무한천 합류부 하류에 하평1 배수펌프장이 공사 중에 있다. 곡교천 연안에는 현재 운영중인 배수펌프장이 5개소이며 공사 중과 계획 중인 시설이 각 1개소 있으며, 무한천의 경우 기설 배수펌프장이 5개소, 공사 중인 펌프장이 5개소, 계획 중인 펌프장이 1개소가 있다.

이들 배수펌프장은 삽교천의 경우 덕산천 합류부 하류, 곡교천은 온양천 합류부 하류, 무한천은 예당지 하류부 등 국가하천 구간에 집중되어 있으며, 이는 제내측이 평탄하고 낮은 저지대로 내수배제 불량에 의한 침수피해가 빈번하게 발생하는 지역이 대부분 유역의 중하류부 국가하천 구간 연안에 위치하기 때문이다.

여기서 주목할 것은 전체 배수펌프장 중 절반에 가까운 21개소가 2000년대 이후 준공되었거나 공사 중에 있으며, '90년대에 준공된 배수펌프장도 대부분 '94년과 '95년을 전후로 준공된 것이데, 이렇게 근래 들어 배수펌프장이 집중적으로 설치되는 것이 그 동안 지속적으로 이루어진 하천개수사업으로 인해 이 지역의 주된 침수피해 양상이 외수범람에서 내수침수로 변화하는 것과 무관하지 않을 것이다.

<표 4.12> 삽교천 유역내 배수펌프장 현황

하천명	펌프장명	위치			관리주체	준 공 년 도	수혜면적 (ha)	전동기 (HP×대)	최 대 배수량 (㎥/sec)	비 고
		시군	읍면	동리						
삽교천	내덕	홍성군	홍북면	내덕리	홍성지사	2002	63.00	50×2	1.00	
〃	용산	홍성군	홍북면	용산리	홍성지사	2002	186.00	125×2	2.70	
〃	화양	홍성군	금마면	화양리	홍성지사	1996	120.00	225×3	11.10	
〃	노은	홍성군	홍북면	산수리	홍성지사	2002	222.00	100×3	4.20	
〃	석택	홍성군	홍북면	석택리	홍성지사	2002	299.00	100×3	4.20	
〃	수촌	예산군	삽교읍	수촌리	예산지사	1988	47.00	150×3	3.00	
〃	갈산	예산군	삽교읍	수촌리	예산지사	2002	101.10	175×4	11.00	
〃	신가	예산군	삽교읍	신가리	예산지사	2004 (예정)	165.00	150×2 25×2	3.40	
〃	성리2	예산군	삽교읍	용동리	예산지사	1999	27.30	75×2	1.50	
〃	성리1	예산군	삽교읍	성리	예산지사	1999	77.00	150×3	4.71	
〃	양막	예산군	오가면	양막리	예산지사	2000	61.10	125×4	7.30	
〃	용동2	예산군	삽교읍	용동리	예산지사	1995	117.00	200×4	13.80	

<표 4.12> 삽교천 유역내 배수펌프장 현황 (계속)

하천명	펌프장명	위치			관리주체	준 공 년 도	수혜면적 (ha)	전동기 (HP×대)	최 대 배수량 (㎥/sec)	비 고
		시군	읍면	동리						
삽교천	용동1	예산군	고덕면	용리	예산지사	1995	47.00	60×2	3.00	
〃	사리	예산군	고덕면	사리	예산지사	1995	41.00	100×2	2.74	
〃	용리2	예산군	삽교읍	하포리	예산지사	1994	63.00	175×2	4.00	
〃	하포	예산군	삽교읍	하포리	예산지사	1994	97.00	175×4	8.50	
〃	용리1	예산군	고덕면	구만리	예산지사	1989	104.00	100×2	2.00	
〃	상장	예산군	고덕면	상장리	예산지사	2000	66.45	150×4	7.20	
〃	중예2	예산군	신암면	중예리	예산지사	1994	112.00	300×5	15.00	
〃	중예1	예산군	신암면	중예리	예산지사	1994	39.00	175×3	5.01	
〃	황금	예산군	고덕면	황금리	예산지사	1994	74.00	200×3	6.99	
〃	신리	예산군	합덕읍	신리	당진지사	1994	137.00	225×2 350×2	27.98	
〃	예림	예산군	신암면	용궁리	예산지사	2004 (예정)	282.00	200×4 75×2	15.30	공사중 (가동가능)
〃	신석	예산군	합덕읍	신석리	당진지사	1994	239.00	175×5	10.00	
〃	하평2	예산군	합덕읍	신흥리	당진지사	2004 (예정)	166.00	1000×2 700×2	6.30	공사중
〃	하평1	예산군	합덕읍	옥금리	당진지사	2004 (예정)	156	1000×3 700×1	7.45	공사중
곡교천	산양	아산시	염치읍	산양리	아산지사	2000	115.00	150×3	4.20	
〃	가덕	아산시	신창면	가덕리	아산지사	2004 (예정)	130.00	225×3 125×2	14.60	공사중
〃	신창	아산시	신창면	신달리	아산지사	1997	330.00	125×4	6.00	
〃	수장	아산시	신창면	수장리	아산지사		56.60	125×2 50×1	3.00	계 획
〃	중방	아산시	염치읍	중방리	아산지사	1991	199.00	220×3	6.00	
〃	염치	아산시	염치읍	염성리	아산지사	2000	115.00	150×3	4.00	
〃	백암	아산시			아산지사		34.00	50×2	2.00	
무한천	원평	예산군	오가면	원평리	예산지사	2004 (예정)	104.00	175×2 100×2	7.80	공사중
〃	신원	예산군	예산읍	발연리	예산지사	1989	31.00	45×2	0.70	
〃	탄중	예산군	신암면	탄중리	예산지사	1990	40.00	125×2	2.50	
〃	산성	예산군	예산읍	산성리	예산군	2000	65.00	275×5	4.00	
	종경	예산군	신암면	종경리	예산지사	1994	215.00	250×5	17.00	
〃	창소	예산군	예산읍	창소리	예산군	2002	169.00	400×4	13.00	
〃	신종	예산군	신암면	신종리	예산지사	2004 (예정)	109.00	275×3 80×2	10.70	공사중 (가동가능)
〃	신덕	아산시	선장면	신덕리	아산지사	2004 (예정)		200×4 100×2	13.50	공사중
〃	봉농	아산시	도고면	봉농리	아산지사	2004 (예정)		225×4 100×2	14.10	공사중
	계촌	예산군	신암면	계촌리	예산지사	2004	95.00	200×3 75×2	8.30	공사중 (가동가능)
〃	발연	예산군	신암면	두곡리	예산지사	2004 (예정)	282.00	200×3 75×2	4.70	계 획

<그림 4.3> 삽교천 유역 배수펌프장 위치도(A3)

4.3.2 저수지 현황

가. 일반 현황

삽교천 유역내 저수지는 예당저수지를 비롯하여 총 166개소가 있으며, 이중 지자체에서 관리하는 저수지가 110개소, 농업기반공사에서 관리하는 저수지가 56개소이다. 행정구역별로는 아산시에 41개소가 위치하며, 청양군 40개소, 예산군 29개소, 당진군 12개소 및 홍성군 19개소가 있으며, 천안시 24개소, 연기군 1개소가 있는 것으로 조사되었으나, 홍수조절기능을 가진 저수지는 예당지가 유일하고 대부분 유출량을 조절할 수 있는 시설을 갖추지 못하고 있다. 각 저수지의 세부적인 제원은 <표 4.13>과 같으며, 저수지 위치는 <그림 4.4>와 같다.

<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원

번호	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	형식	관개면적 (ha)	준공연도	관할기관
		시·군	읍·면	동·리							
계		166개소			67,215.5	88,460.8	2,086.2		17,770.0		
1	발연	예산군	예산읍	발연리	69	37.4	1.3	토언제 균일형	5	1950	시군
2	석양남	예산군	예산읍	석양리	20	1.7	0.4	토언제 균일형	3.5	1945	시군
3	석양북	예산군	예산읍	석양리	18	7.5	0.5	토언제 균일형	7.5	1945	시군
4	관작	예산군	예산읍	관작리	25	10.9	1.1	토언제 균일형	4.6	1945	시군
5	수철	예산군	예산읍	수철리	490	785	14.5	토언제중 심점토형	237.4	1945	농기공
6	방산	예산군	대술면	방산리	690	1,984	33.2	토언제 균일형	266.3	1982	농기공
7	송석	예산군	대술면	송석리	560	1416	23.5	토언제중 심점토형	177.7	1979	농기공
8	궐곡리	예산군	대술면	궐곡리	101	135.7	3.2	토언제 균일형	40	1985	시군
9	시산	예산군	대술면	시산리	52	21	1.2	토언제중 심점토형	5.5	1963	시군
10	월암지	예산군	신양면	대덕리	205	324	8.1	토언제 균일형	30	1992	농기공
11	황계	예산군	신양면	황계리	116	77.2	1	토언제중 심점토형	23	1977	시군
12	한당	예산군	신양면	불원리	159	21.6	1.3	토언제 균일형	68	1945	시군
13	광시	예산군	광시면	광시리	33	8.7	0.7	토언제 균일형	5.7	1945	시군
14	장신	예산군	광시면	광시리	33	13.5	1.0	토언제 균일형	8.3	1945	시군
15	은사	예산군	광시면	은사리	83	8.5	1.0	토언제 균일형	9.1	1945	시군

<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원(계속)

번호	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	형식	관개면적 (ha)	준공연도	관할기관
		시·군	읍·면	동·리							
16	마사	예산군	광시면	마사리	40	2.0	0.4	토언제 균일형	4.2	1945	시군
17	월송	예산군	광시면	월송리	70	34.1	3.5	-	35	1997	시군
18	신흥	예산군	광시면	신흥리	56	16.5	2.0	-	28	1997	시군
19	산묵	예산군	대흥면		220	714	9.3	토언제중심점토형	96.9	1982	농기공
20	보강	예산군	대흥면		160	487	5.5	토언제중심점토형	82.3	1982	농기공
21	옥계	예산군	덕산면	옥계리	1,182	1,404	30.5	토언제중심점토형	313.8	1957	농기공
22	상가지	예산군	덕산면	상가리	234	246	3.8	토언제중심점토형	51.1	1992	농기공
23	용봉	예산군	덕산면	둔리	420	495	16.1	토언제중심점토형	97.1	1979	농기공
24	봉림	예산군	봉산면	봉림리	840	1065	18.6	토언제중심점토형	232.5	1945	농기공
25	서원	예산군	봉산면	봉림리	103	160	1.8	토언제중심점토형	25.3	1977	시군
26	옥전	예산군	봉산면	옥전리	30	13.3	19.0	-	15	1997	시군
27	대천	예산군	고덕면	대천리	60	5.7	0.9	토언제 균일형	15	1945	시군
28	예당	예산군	오가면		37360	46070	1088	토언제중심점토형	7709.3	1964	농기공
29	여래미	예산군	신양면		370	124	14.2	토언제중심점토형	138.8	1990	농기공
소 계			29개소		43,799.0	55,689.3	1,305.6		9,735.9		
1	암부동	청양군	청양읍	학당리	136	2.8	0.7	토언제균일형	6	1958	시군
2	청계	청양군	운곡면	효제리	36	3.8	0.7	토언제균일형	13	1956	시군
3	효제	청양군	운곡면	효제리	26	7.2	1.2	토언제균일형	20	1987	시군
4	후덕	청양군	운곡면	후덕리	45	26.3	1.2	토언제 균일형	13	1980	시군
5	모곡	청양군	운곡면	모곡리	58	2.8	0.5	토언제 균일형	1	1945	농기공
6	신대	청양군	운곡면	신대리	-	1,599	25	토언제 균일형	216	1977	농기공
7	신대A	청양군	운곡면	신대리	-	-	-	-	200.2	-	농기공
8	신대B	청양군	운곡면	신대리	-	-	-	-	15.8	-	농기공
9	영곡	청양군	운곡면	영양리	38	5.3	0.7	토언제 균일형	6.1	1962	시군
10	양지	청양군	운곡면	영양리	34	7.4	1.0	토언제중심점토형	11	1975	시군
11	미동	청양군	운곡면	미량리	46	2.8	0.7	토언제 균일형	0.5	1956	시군
12	추광	청양군	운곡면	추광리	25	3.8	0.5	토언제 균일형	3.3	1962	시군

<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원(계속)

번호	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	형식	관개면적 (ha)	준공연도	관할기관
		시·군	읍·면	동·리							
13	신리	청양군	화성면		68	99	1.6	토언제중심점토형	29.8	1958	농기공
14	합천	청양군	화성면		200	3.1	0.6	토언제중심점토형	4	1985	시군
15	산정1	청양군	화성면	산정리	104	14.7	0.7	토언제중심점토형	15.9	1945	시군
16	정자	청양군	화성면	산정리	124	24.2	0.5	토언제중심점토형	38.1	1964	시군
17	장계	청양군	화성면	장계리	22	3.3	0.2	토언제균일형	6.9	1945	시군
18	화암	청양군	화성면	화암리	170	314	6.3	토언제균일형	68.4	1945	농기공
19	수정2	청양군	화성면	수정리	37	1.2	0.2	토언제균일형	3.7	1957	시군
20	수정	청양군	화성면	수정리	106	322	4.8	토언제균일형	52.9	1994	농기공
21	수정1	청양군	화성면	수정리	20	3.3	0.3	토언제균일형	2.7	1961	시군
22	원당1	청양군	화성면	용당리	21	8	1.5	토언제중심점토형	9.6	1965	농기공
23	용당2	청양군	화성면	용당리	5	1.1	0.3	토언제중심점토형	2.6	1957	시군
24	신정	청양군	화성면	신정리	84	45.2	0.8	토언제중심점토형	26.6	1971	시군
25	매산	청양군	화성면	매산리	345	412	6.3	토언제중심점토형	108.2	1978	농기공
26	매산	청양군	화성면	매산리	82	3.6	0.2	토언제중심점토형	5	1966	시군
27	구재	청양군	화성면	구재리	10	1.9	0.2	토언제중심점토형	2.5	1968	시군
28	중목	청양군	비봉면		225	5.7	0.6	토언제균일형	7.6	1962	시군
29	원동	청양군	비봉면	신원리	45	6.4	0.5	토언제균일형	5.3	1958	시군
30	소원동	청양군	비봉면	신원리	41	3.4	0.6	토언제균일형	8.6	1955	시군
31	사점	청양군	비봉면	사점리	220	328	6.1	토언제균일형	98.5	1945	농기공
32	관산	청양군	비봉면	관산리	250	995	8.8	토언제균일형	93.7	-	농기공
33	관산	청양군	비봉면	관산리	143	23	1.5	토언제균일형	11.9	1977	농기공
34	장재	청양군	비봉면	장재리	39	7.9	0.5	토언제균일형	11.3	1958	시군
35	안골	청양군	비봉면	강정리	24	8.9	1.0	토언제균일형	15	1964	농기공
36	갈망골	청양군	비봉면	강정리	53	15.7	0.8	토언제균일형	11	1945	농기공
37	하식	청양군	비봉면	양사리	23	4.2	0.7	토언제균일형	11.3	1970	시군

<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원(계속)

번호	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	형식	관개면적 (ha)	준공연도	관할기관
		시·군	읍·면	동·리							
38	여사	청양군	비봉면	양사리	29	1.0	0.8	토언제 균일형	3.5	1945	시군
39	용천	청양군	비봉면	용천리	102	131	4.6	토언제 균일형	40	1958	농기공
40	방한	청양군	비봉면	방한리	100	147	2.7	토언제 균일형	68.2	1958	농기공
소 계			40개소		3,136.0	4,595.0	85.9		1,268.7		
1	백미	당진군	합덕읍	대전리	220	107	8.3	토언제중심점토형	49.3	1945	농기공
2	백미	당진군	합덕읍	대전리	220	107	8.3	토언제중심점토형	0	1945	농기공
3	백곡	당진군	면천면	성상리	61	60.0	1.0	토언제중심점토형	20	1961	농기공
4	골정	당진군	면천면	성상리	50	14.6	1.0	토언제 균일형	15	1947	시군
5	새말	당진군	면천면	성하리	64	13.8	1.0	토언제 균일형	3	1949	시군
6	절골	당진군	면천면	성하리	26	14.2	1.4	토언제중심점토형	10	1966	시군
7	백석	당진군	순성면		50	5.5	1.5	토언제 균일형	10	1969	시군
8	양유	당진군	순성면	양유리	27	34.5	1.3	토언제 균일형	10	1976	시군
9	삽교호B	당진군	신평면		-	-	-	-	4504.4	-	농기공
10	송악	당진군	송악면	방계리	-	-	-	-	-	-	농기공
11	오봉	당진군	송악면	봉교리	-	-	-	-	-	-	농기공
12	숭원	당진군	송악면	원동리	-	-	-	-	-	-	농기공
소 계			12개소		718.0	356.6	23.8		4,621.7		
1	월산	홍성군	홍성읍	월산리	21	15.4	1.2	토언제중심점토형	6.5	1965	시군
2	역재	홍성군	홍성읍	고암리	253	4.5	1.0	토언제중심점토형	5	1949	시군
3	홍양	홍성군	금마면	장성리	2410	1660	85.7	토언제 균일형	454	1945	농기공
4	신곡	홍성군	금마면	신곡리	424	-	-	토언제 균일형	-	1997	농기공
5	봉서	홍성군	금마면	인산리	-	-	-	토언제 균일형	-	-	농기공
6	신풍1	홍성군	장곡면	신풍리	45	14.4	0.9	토언제 균일형	2.2	1946	시군
7	신풍2	홍성군	장곡면	신풍리	28	48.6	1.0	토언제 균일형	24	1981	시군
8	홍동	홍성군	장곡면	지정리	1,480	795	48	토언제 균일형	232.5	1955	농기공
9	산성1	홍성군	장곡면	산성리	23	2.8	1.0	토언제 균일형	3.5	1965	시군
10	산성3	홍성군	장곡면	산성리	6	3.6	1.0	토언제 균일형	1.5	1947	시군

<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원(계속)

번호	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	형식	관개면적 (ha)	준공연도	관할기관
		시·군	읍·면	동·리							
11	산성2	홍성군	장곡면	산성리	27	29.1	0.6	토언제 균일형	3.5	1948	시군
12	박동골	홍성군	장곡면	옥계리	92	7.0	0.6	토언제 균일형	8.6	1979	시군
13	영치	홍성군	장곡면	대현리	20	18.6	0.7	토언제 균일형	3.7	1949	시군
14	월현	홍성군	장곡면	대현리	30	4.5	0.7	토언제 균일형	5.3	1945	시군
15	반송	홍성군	장곡면	상송리	34	6.2	1.0	토언제 균일형	11.9	1946	시군
16	호천골	홍성군	장곡면	상송리	59	14.2	0.7	토언제 균일형	12.1	1946	시군
17	고기	홍성군	장곡면	상송리	24	1.3	0.2	토언제 균일형	1.5	1945	시군
18	소리개들	홍성군	장곡면	상송리	20	12.5	0.8	토언제 균일형	9.4	1945	시군
19	공수	홍성군	홍동면	구정리	-	-	-	토언제 균일형	-	-	농기공
소 계			19개소		4,996.0	2,637.7	145.1		785.2		
1	마산	아산시	방축동		1,776	3,037	91	토언제중심점토형	-	1945	농기공
2	방축운	아산시	신인동		22	7	1.3	토언제 균일형	-	1945	시군
3	새터	아산시	법곡동		58	15	1.4	토언제 균일형	-	1945	시군
4	청당	아산시	풍기동		60	4.2	1.2	토언제중심점토형	-	1977	시군
5	밤줄	아산시	풍기동		19	10	1.5	토언제 균일형	-	1948	시군
6	가혜	아산시	염치읍	동정리	1,588	3,059	81	토언제중심점토형	-	1950	농기공
7	갈월	아산시	염치읍	방현리	70	59.3	1.8	토언제중심점토형	30	1945	시군
8	산골	아산시	염치읍	대동리	104	30.2	1.3	토언제중심점토형	30	1970	시군
9	외암	아산시	송악면	외암리	140	60	1.2	토언제 균일형	20	1958	시군
10	궁평	아산시	송악면	궁평리	4333	6913	112	토언제 균일형	-	1961	농기공
11	수철	아산시	배방면	수철리	442	411	8.0	토언제중심점토형	94.2	1978	농기공
12	안공수	아산시	배방면	공수리	98	8.5	1.2	토언제중심점토형	10	1969	시군
13	창터	아산시	배방면	북수리	40	5.5	1.1	토언제중심점토형	10	1945	시군
14	북수	아산시	배방면	북수리	133	58.5	1.3	토언제중심점토형	30	1965	시군
15	능탁골	아산시	배방면	회룡리	68	6.0	1.1	토언제중심점토형	9	1969	시군

<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원(계속)

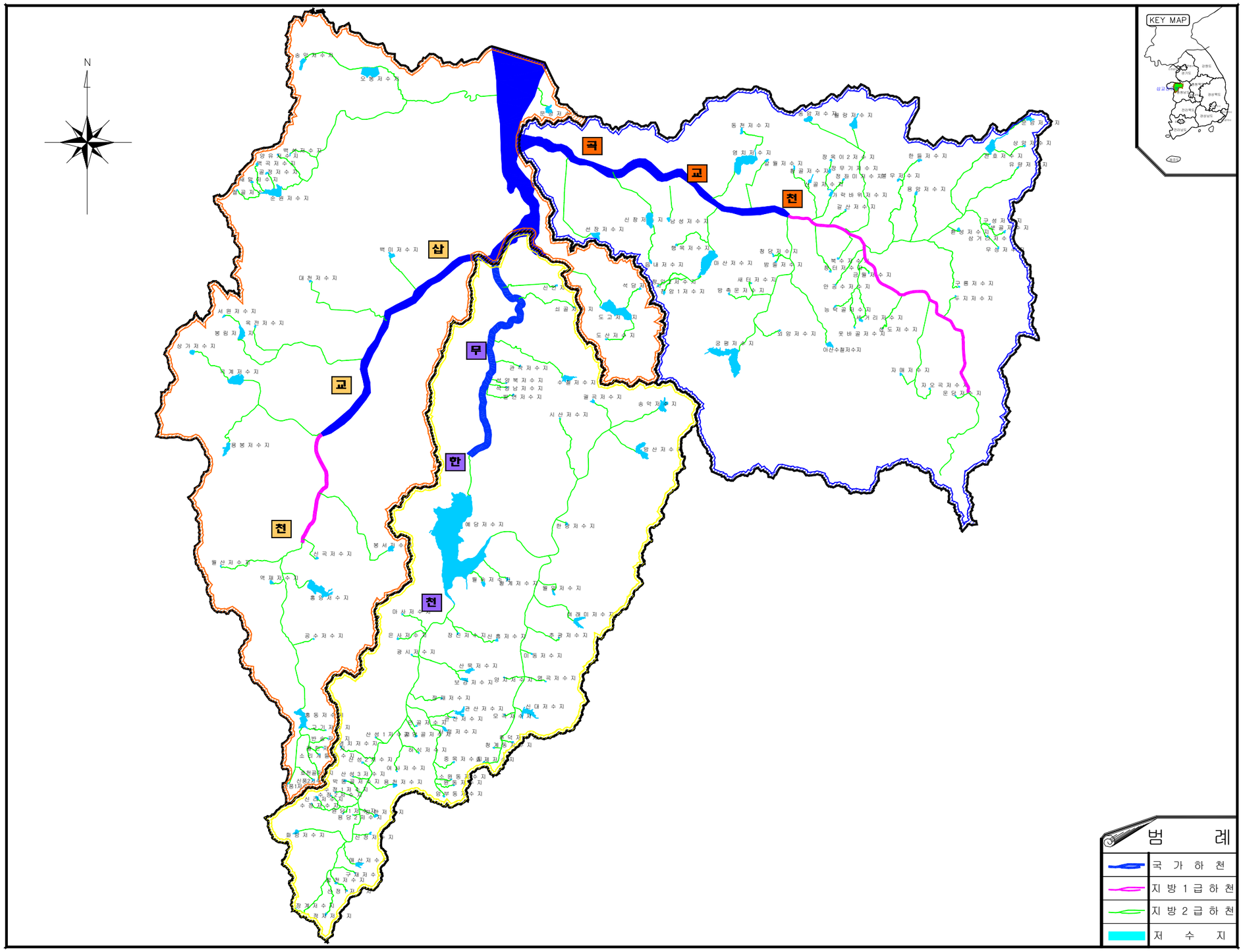
번호	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	형식	관개면적 (ha)	준공연도	관할기관
		시·군	읍·면	동·리							
16	옷바골	아산시	배방면	세출리	104	6.7	1.1	토언제중심점토형	27	1960	시군
17	세나리	아산시	배방면	세출리	9	12	1.2	토언제중심점토형	14.6	1945	시군
18	금월	아산시	배방면	갈매리	35	3.2	1.1	토언제중심점토형	6.9	1945	시군
19	장목이	아산시	탕정면		97	23.5	1.9	토언제균일형	18.3	1945	시군
20	황골	아산시	탕정면	용두리	295	27	1.8	토언제균일형	18.4	1945	시군
21	가락바위	아산시	탕정면	명암리	207	125	2.8	토언제균일형	35.9	1948	시군
22	정좌미	아산시	탕정면	명암리	6	10.4	1.3	토언제균일형	8.3	1945	시군
23	장옥이2	아산시	탕정면	명암리	7	0.9	1.2	토언제균일형	24	1945	시군
24	갈산	아산시	탕정면	갈산리	28	5.7	1.2	토언제균일형	6.4	1968	시군
25	문방	아산시	인주면	문방리	228	280	17.0	토언제균일형	68	1952	농기공
26	죽산	아산시	선장면	죽산리	143	615	24	토언제균일형	116.8	1945	농기공
27	신언	아산시	도고면	신언리	91	20	1.6	토언제균일형	7	1945	농기공
28	쇠골	아산시	도고면	금산리	28	4	1.1	토언제균일형	1.4	1945	시군
29	도산	아산시	도고면	도산리	154	136	1.7	토언제균일형	17	1984	시군
30	석당	아산시	도고면	석당리	54	19.5	1.2	토언제균일형	20	1969	시군
31	도고	아산시	도고면	석당리	2,093	4,439	97.0	토언제균일형	0	1945	농기공
32	수철	아산시	신창면		100	82.5	1.3	토언제균일형	25	1991	시군
33	신창	아산시	신창면	오목리	521	740	34.0	토언제균일형	101.5	1954	농기공
34	읍내	아산시	신창면	읍내리	68	76.5	1.7	토언제균일형	27	1945	시군
35	창암2	아산시	신창면	창암리	28	13.5	1.1	토언제균일형	30	1969	시군
36	창암1	아산시	신창면	창암리	51	30	1.4	토언제균일형	15	1968	시군
37	행목	아산시	신창면	행목리	32	13.5	1.2	토언제균일형	20	1961	시군
38	남성	아산시	신창면	남성리	62	54	6.4	토언제균일형	33	1945	시군
39	동천	아산시	음봉면	동천리	-	-	-	토언제균일형	-	-	농기공

<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원(계속)

번호	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	형식	관개면적 (ha)	준공연도	관할기관
		시·군	읍·면	동·리							
40	동암	아산시	음봉면	동암리	-	-	-	토언제 균일형	-	-	농기공
41	월랑	아산시	음봉면	월랑리	-	-	-	토언제 균일형	-	-	농기공
소 계			41개소		13,392.0	20,422.1	510.7		874.7		
1	구성	천안시	구성동	구성동	25	1.15	0.2	토언제 균일형	6.5	1975	시군
2	무상	천안시	삼룡동	삼룡동	102	18	1.2	토언제 균일형	15	1945	시군
3	삼거리	천안시	삼룡동	삼룡동	10	0.5	0.5	토언제 균일형	-	1976	시군
4	샛골	천안시	삼룡동	삼룡동	52	16.7	0.7	토언제 균일형	17	1972	시군
5	유량	천안시	유량동	유량동	110	5.8	0.8	토언제 균일형	10	1959	시군
6	한들	천안시	백석동	백석동	150	9.92	2	토언제 균일형	9.1	1945	시군
7	성성	천안시	성성동	성성동	33	5.4	0.5	토언제 균일형	6	1945	시군
8	불무	천안시	불당동	불당동	55	7	1.8	토언제 균일형	13.2	1945	시군
9	천호	천안시	신부동	신부동	-	1,249	-	토언제 균일형	36	1957	농기공
10	업성지 (업성)	천안시	업성동	업성동	-	1,002	-	토언제 균일형	142	1972	농기공
11	금배	천안시	신당동	신당동	65	11.5	1.0	토언제 균일형	14	1945	시군
12	부대제1	천안시	부대동	부대동	45	9.8	0.6	토언제 균일형	28.6	1945	시군
13	부대	천안시	부대동	부대동	12	-	-	토언제 균일형	6	1945	시군
14	상암	천안시	안서동	안서동	90	8.9	1.1	토언제 균일형	10	1974	시군
15	문암	천안시	안서동	안서동	-	562	-	토언제 균일형	53	1977	농기공
16	구룡	천안시	구룡동	구룡동	15	0.3	0.1	토언제 균일형	0.3	1968	시군
17	용암	천안시	쌍용동	쌍용동	-	-	-	토언제 균일형	-	-	시군
18	두지	천안시	풍세면	두남리	-	2.7	-	토언제 균일형	7	1959	시군
19	상도	천안시	풍세면	용정리	-	-	-	토언제 균일형	-	-	시군
20	자오곡	천안시	광덕면	무학리	49	4.2	0.8	토언제 균일형	7	1945	시군
21	자매	천안시	광덕면	무학리	116	8.2	1.0	토언제 균일형	11	1945	시군

<표 4.13> 삽교천 유역내 저수지 제원(계속)

번호	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	형식	관개면적 (ha)	준공연도	관할기관
		시·군	읍·면	동·리							
22	용연	천안시	목천면	교촌리	-	1796	-	토언제 균일형	421	1966	농기공
23	동막	천안시	목천면	서흥리	91	11	1.3	토언제 균일형	20	1974	시군
24	지산	천안시	목천면	지산리	143	30	1.3	토언제 균일형	30	1976	시군
소 계			24개소		1,163.0	4,760.1	14.9		483.8		
1	운당	연기군	소정면	운당리	23	5.0	0.3	토언제 균일형	3.4	1945	시군
소 계			1개소		23	5.0	0.3		3.4		



<그림 4.4> 삽교천유역 저수지 위치도

나. 삽교호 현황

삽교호는 충남 당진, 아산, 홍성, 예산군 일대의 가뭄과 홍수의 악순환을 극복하여 안정된 영농기반을 조성하기 위한 농업종합개발사업의 일환으로 1976년 12월에 착공하여 1979년 10월에 준공된 방조제에 의해 조성된 담수호이다. 삽교호의 완공으로 약 84백만㎥의 담수를 저수하여 삽교호 유역내는 물론 태안반도 일대의 농업용수 공급과 인근지역의 생활용수 및 공업용수 공급도 가능하게 되었으며, 하구연안에 위치한 상습적인 침수구역의 배수개선, 염해방지 및 육운개선 등 지역발전에 기여하였다.

삽교방조제의 총연장은 3,360m이고, 당진군 측에 설치된 배수갑문의 규모는 120m (B:20m, H:6m, 6련)이며, Sill 표고는 EL. -3.50m, 평시 관리수위 EL. 2.50m, 사수위 EL. -1.50m, 홍수위 EL. 5.1m, 홍수배제능력 5,800㎥/sec로 계획되었다. 현재 삽교호에서 공급하는 공업용수는 삼성종합화학(주)에 30,000㎥/일, 환영철강공업(주) 1,000㎥/일, 동부제강에 8,000㎥/일로 연간 14백만㎥를 공급하고 있다.

삽교호의 평상시 관리수위는 EL. 2.5m를 유지하고 있으나, 홍수기에는 제한수위 EL. 2.0m를 유지하며 예당지의 완전방류시 홍수도달시간 이전에 EL. 1.0m의 수위를 저하시켜 홍수에 대비하도록 방조제 관리규정에 규정하고 있다.

<표 4.14> 삽교호 현황

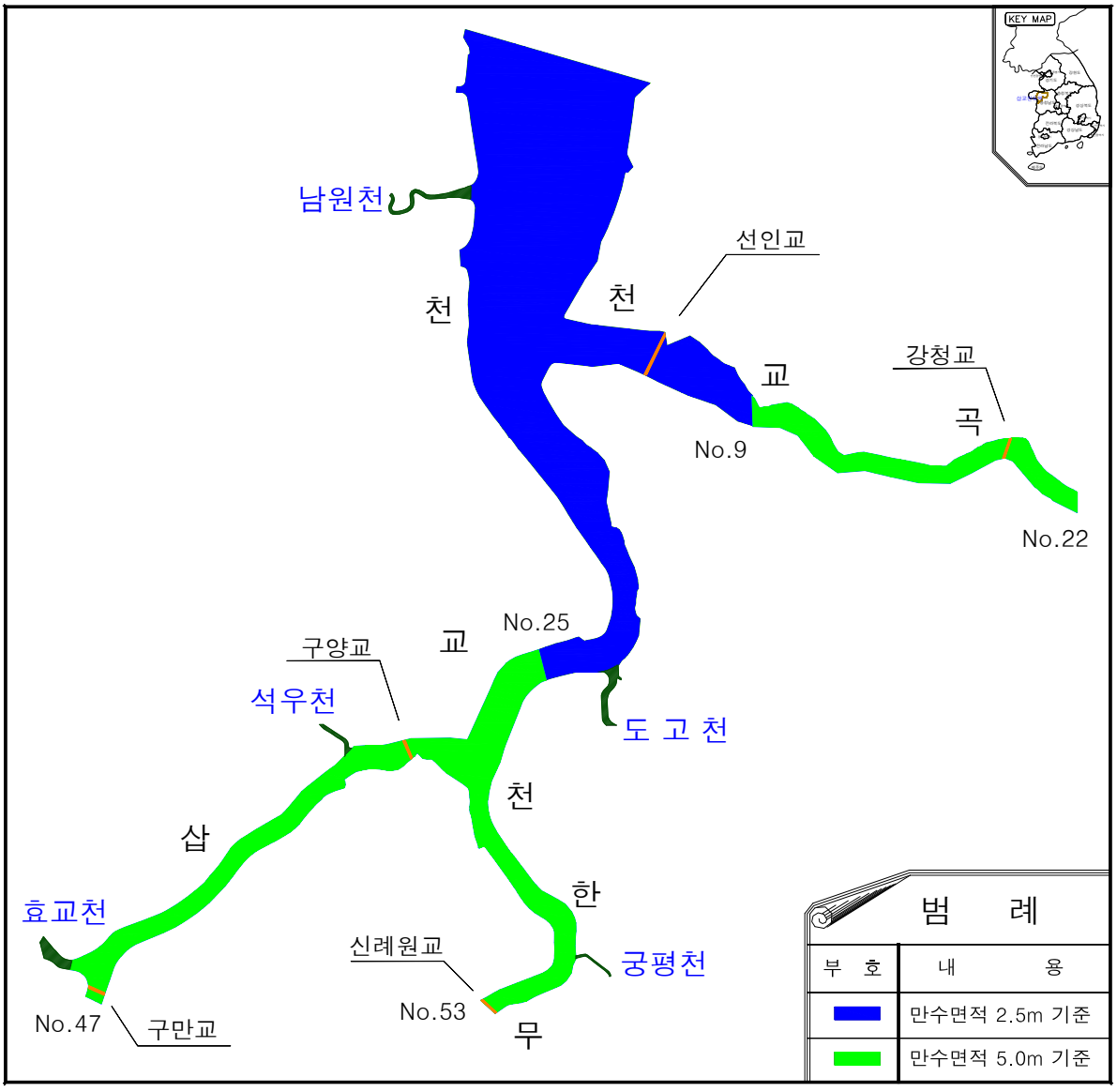
구 분	단 위	제 원	구 분	단 위	제 원
유 역 면 적	㎢	1,649	홍 수 위	EL.m	+5.10
만 수 면 적	ha	2,017	만 수 위	EL.m	+2.50
총 저 수 량	만㎥	8,408	사 수 위	EL.m	-1.50
유효 저수량	만㎥	6,279	배수갑문연장	m	137.5
방조제 연장	m	3,360	문 비 규 격	B×H×련	20×6×6
최 대 높 이	m	18	배 제 능 력	㎥/s	5,800
최 대 저 폭	m	168	Sill 표고	EL.m	-3.50
도 로 폭	m	12	수 혜 면 적	ha	14,700
제 정 표 고	EL.m	+8.50	간 척 면 적	ha	989

『자료』 농업기반공사 당진지사 자료

금회 과업에서는 삽교호가 삽교천 하류구간의 홍수위에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수심측량을 실시하여 내용적을 재산정 하였다. 그러나 삽교호 건설 후 지금까지 약 30년 가까운 시간이 지나면서 제방 축조 등으로 인해 지형이 많이 변화하였고, 설계당

시의 내용적 산정 기준이 되었던 경계를 파악할 수 있는 자료가 없는 관계로 금번 내용적 산정의 기준이 되는 삽교호의 경계는 삽교호 설계당시 산출한 수위별 수면적 중 삽교호 관리수위인 EL. 2.5m(20,179천㎡) 및 홍수위 EL. 5.0m(28,317천㎡)일 때의 면적과 동일한 면적이 나타나는 지점으로 설정하여 그 내용적을 비교하였다.

삽교호 관리수위인 EL. 2.5m를 기준으로 산정한 삽교호 경계는 <그림 4.5>에서 보는 바와 같이 삽교천 본류는 도고천 합류점 상류지역인 No. 25번 측점(금회 측점 기준), 곡교천은 No. 9번 측점(삽교천수계 무한천, 곡교천 하천정비기본계획 측점 기준) 까지 인것으로 나타났다. 또한 EL. 5.0m를 기준으로 산정한 삽교호 경계는 삽교천의 경우 구만교 상류인 No. 47번 측점(삽교천 하천정비 기본계획 수립시 측점), 무한천은 신례원교 지점인 No. 53번 측점(금회 측점 기준), 곡교천은 No. 22번 측점까지가 삽교호의 경계에 해당한다.



<그림 4.5> 삽교호 경계 비교

금회 설정한 삽교호 경계 중 평상시 관리수위인 EL. 2.5m를 기준으로 할 경우 표고별 삽교호 면적은 <표 4.15>에서 보는바와 같이 EL. 0.0m이하의 경우는 EL. 5.0m를 기준으로한 면적과 비슷하나 표고가 높아질수록 면적이 상대적으로 작아지는 결과를 보이고 있으며, 이러한 사유로 삽교호 설계당시의 내용적에 비해 과소한 내용적이 산정되었다. 이에 비해 EL. 5.0m를 기준으로 삽교호의 내용적을 산정한 결과 표고별 면적과 내용적 모두 삽교호 설계당시의 내용적과 유사한 결과를 보이고 있다.

<표 4.15> 주요 수위별 면적비교

저수위 (EL.M)	저수위별 면적(1,000㎡)		
	금회(2.5m 기준)	금회(5.0m 기준)	설계당시
-2.50	5,051.65	5,051.65	8,218.80
0.00	11,889.30	11,964.98	14,602.20
2.50	17,626.67	20,501.75	20,178.90
5.00	19,453.05	26,625.11	28,317.00

삽교호 건설 후 오랜 기간이 경과하여 주변 지형이 변화하고, 토사 퇴적 등으로 인해 내용적 및 수면적의 변화가 어느 정도 발생하였을 것으로 예상되지만, 삽교호 내용적 유지를 위해 지속적인 준설이 있어 왔음을 감안하면, 내용적이 변화는 크지 않을 것으로 판단된다. 따라서 설계당시의 EL. 5.0m의 수면적과 유사한 수면적이 산출되도록 경계를 설정하여 산정한 내용적을 채택하였다. 그 결과 삽교호 설계당시 관리수위 EL. 2.5m를 기준으로 한 내용적은 84,082.90천㎥이고, 계획홍수위 EL. 5.1m를 기준으로는 14,822만㎥으로 산정 되었다. 따라서, '삽교천 하천정비기본계획(보완), 1994, 건교부' 수립시 측량성과에 의해 재산정한 내용적은 설계 당시에 비해 각각 77,251.30천㎥와 134,462.60천㎥로 감소하였으나 금회 과업의 측량성과에 의해 산정한 내용적은 80,390.08천㎥, 139,068.60천㎥로 설계당시보다는 내용적이 다소 감소하고, '94년 하천정비기본계획(보완) 성과보다는 내용적이 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 2002년 현재 시행중인 삽교호 준설공사 효과라고 판단되며, 2005년 이후까지 지속적으로 준설이 진행될 계획이므로 준설이 끝난 후 측량을 다시 실시하여 내용적을 평가하여야 할 것이다.

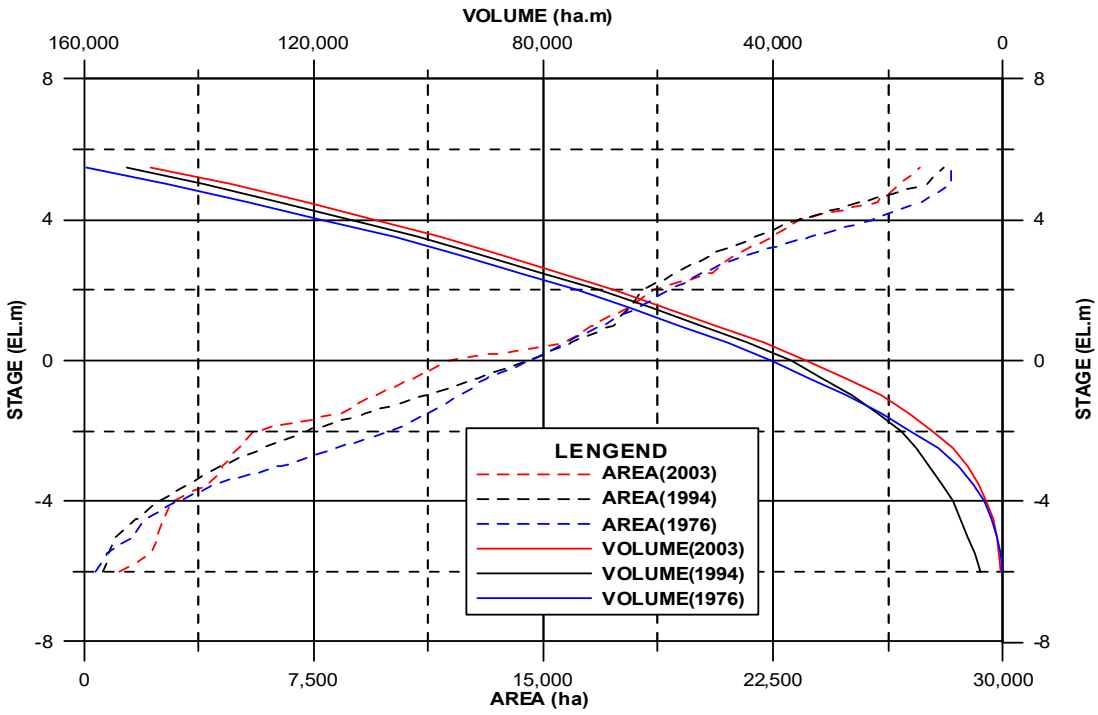
<표 4.16> 삽교호 내용적 비교

저수위 (EL.M)	면적(10^3㎡)			내용적(10^3㎥)		
	금회	1994	1976	금회	1994	1976
-6.00	1,179.52	612.28	405.50	3,864.42	268.90	107.70
-5.50	2,173.88	816.93	747.90	4,893.77	626.20	396.10
-5.00	2,401.57	1,021.58	1,593.70	6,030.09	1,085.80	981.50
-4.50	2,641.82	1,723.08	2,063.70	7,283.38	1,772.00	1,895.80

<표 4.16> 삽교호 내용적 비교 (계속)

저수위 (EL.M)	면적(10^3㎡)			내용적(10^3㎥)		
	금회	1994	1976	금회	1994	1976
-4.00	2,879.78	2,424.58	3,050.40	8,653.55	2,808.90	3,174.40
-3.50	4,110.09	3,426.89	4,360.50	10,596.63	4,271.80	5,025.10
-3.00	4,543.22	4,429.19	6,438.90	12,750.09	6,235.80	7,726.90
-2.50	5,051.65	5,849.17	8,218.80	15,149.27	8,805.40	11,391.40
-2.00	5,531.38	7,269.14	10,074.60	17,783.55	12,085.00	15,964.70
-1.50	8,408.82	9,212.36	11,250.70	21,731.54	16,205.30	21,296.00
-1.00	9,475.07	11,155.58	12,229.40	26,193.17	21,297.30	27,166.10
-0.50	10,750.84	12,846.24	13,163.80	31,262.48	27,297.80	33,514.40
0.00	11,964.98	14,536.90	14,602.20	36,925.90	34,143.60	40,455.90
0.50	15,719.83	15,919.09	15,727.30	44,550.31	41,757.60	48,038.20
1.00	16,593.92	17,301.27	16,897.20	52,613.80	50,062.60	56,194.40
1.50	17,763.28	17,782.69	18,102.50	61,264.20	58,833.60	64,944.30
2.00	18,603.54	18,264.10	19,136.50	70,331.82	67,845.30	74,254.00
2.50	20,501.75	19,359.92	20,178.90	80,390.08	77,251.30	84,082.90
3.00	21,246.59	20,455.73	21,604.20	90,806.59	87,205.20	94,528.70
3.50	22,450.73	21,871.22	23,680.50	101,797.78	97,787.00	105,849.80
4.00	23,324.08	23,286.70	25,721.70	113,195.98	109,076.50	118,200.40
4.50	25,895.39	25,386.18	27,349.70	125,950.45	121,244.70	131,468.20
5.00	26,625.11	27,485.65	28,317.00	139,068.60	134,462.60	145,384.90
5.50	27,314.81	28,100.36	28,327.60	152,596.56	148,359.10	159,546.10

【주】1979년 : 설계당시 내용적, 1994년 : '삽교천 하천정비기본계획'시 산정한 내용적



<그림 4.6> 삽교호 내용적 곡선 변화 비교

다. 예당지 현황

농업용 저수지로서는 상당히 큰 저수용량을 가지고 있는 예당지는 무한천 하구부에서 약 14km 상류에 위치하고 있다. 예당지는 유역면적이 368.9㎢로 전체 무한천 유역면적 471.8㎢의 약 80%에 달하며, 관개면적은 156.8㎢, 만수면적 10.88㎢, 유효저수량 46.0×10^6 ㎥에 이르는 대규모 농업용 저수지로서 저수지의 상세한 제원은 <표 4.17>과 같다.

<표 4.17> 예당지 제원

구 분		단 위	제 원	비 고
위 치		-	충남 예산군 대흥면 노동리	
유 역 면 적		㎢	367.6	
제 체	형 식	-	중심 코아형 흙댐	
	제 정 고	EL.m	25.0	
	제 정 폭	m	6.0	
	높 이	m	13.3	
	연 장	m	315	
저수지	만 수 면 적	㎢	10.88	
	총 저 수 량	백만㎥	47.1	
	유효 저수량	백만㎥	46.0	
	홍수조절용량	백만㎥	10.2	
	계획 홍수위	EL.m	홍수시 : 21.5	
	(만 수 위)		상 시 : 22.5	
	위 험 수 위	EL.m	23.0	
	사 수 위	EL.m	14.5	
여수로	구 조	-	콘크리트	
	월류 언표고	EL.m	19.5	
	연 장	m	247.5	
	게 이 트	B×H×련	6.0×3.6×26	
	최대 방류량	㎥/sec	1,645	

예당지는 삽교천 유역내 농업용 저수지중 유일하게 홍수조절 기능을 갖춘 저수지로서, 계획홍수위(만수위)를 상시에는 EL. 22.5m로 정하고 있지만, 홍수시에는 이보다 1m 적은 EL. 21.5m로 정함으로서 10.2백만㎥의 홍수조절용량을 확보토록 하고 있다. 무한천 유역에서 발생한 강우의 대부분은 예당지를 거쳐 삽교천 본류로 유입되므로 예당지의 운영은 무한천 뿐만 아니라 삽교천 본류 구간의 홍수피해를 감소시키는데 중요한 역할을 한다. 홍수시 예당지의 운영은 일정률·일정량 조절방식을 택하고 있는데, 이는 일정량 조절방식과 일정률 조절방식을 혼합한 기법으로, 유입량이 최대 크기에 이를 때까지 유입량의 60%를 방류하고 그 이후에는 일정량을 방류하는 조절방식으로 운영되고 있다.

홍수시 예당지의 방류 조절은 농업기반공사 예당지사의 지시를 받아 예당저수지 관리

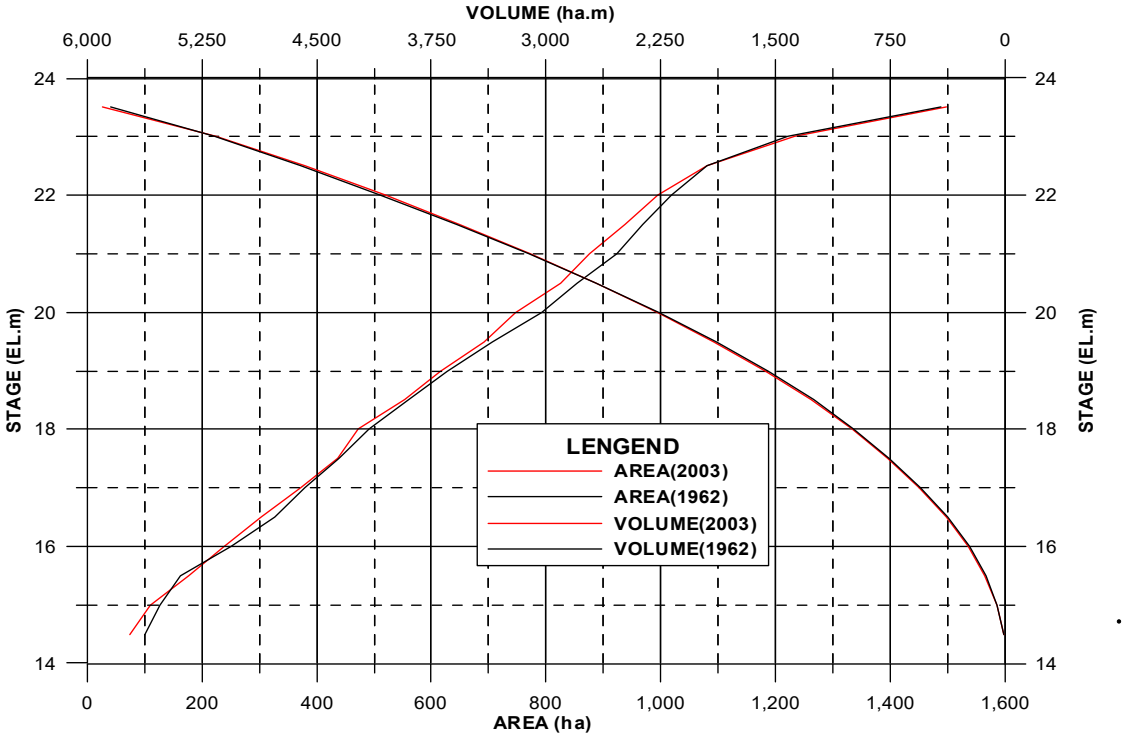
사무소에서 시행하고 있는데, 예당저수지 상류측에 위치한 강우관측소의 강우상황을 유선으로 확인하고 저수지 여수로 지점에 설치된 수위표에서 관측한 저수지의 수위를 저류량 곡선에 적용시켜 유입량을 산정 한 후 이를 기준으로 수문개폐시기 및 개문수, 개문고 등을 결정하고 있다.

금회 측량성과에 의해 산정한 예당지의 유효저수량은 상시수위 EL. 22.5m 기준 4,576천㎥로 설계당시의 4,607천㎥의 99.3%에 달해 큰 변화가 없는 것으로 파악되었고, 홍수조절용량 또한 기존의 10,214천㎥의 99.2%인 10,136천㎥에 달해 설계당시와 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다.

<표 4.18> 예당지 내용적 비교

표 고 (EL. m)	구간별 내용적 (10^3㎥)		구간별 내용적 (10^3㎥)		비 고
	1962년	금회	1962년	금회	
14.50	-	-	103.30	103.30	사 수 위
15.00	463.98	479.32	567.28	582.62	
15.50	722.41	765.99	1,289.69	1,348.61	
16.00	1,033.08	1,086.49	2,322.77	2,435.10	
16.50	1,443.39	1,405.08	3,766.16	3,840.18	
17.00	1,764.85	1,776.37	5,531.01	5,616.55	
17.50	2,050.40	2,112.28	7,581.41	7,728.83	
18.00	2,328.30	2,293.28	9,909.71	10,022.11	
18.50	2,630.11	2,668.05	12,539.82	12,690.16	
19.00	2,968.83	2,963.56	15,508.65	15,653.72	
19.50	3,335.34	3,375.25	18,843.99	19,028.97	월류언 표고
20.00	3,744.55	3,663.06	22,588.54	22,692.03	
20.50	4,111.83	4,035.25	26,700.37	26,727.28	
21.00	4,433.42	4,294.33	31,133.79	31,021.61	
21.50	4,722.72	4,602.71	35,856.51	35,624.32	만수위 (홍수시)
22.00	4,968.91	4,890.27	40,825.42	40,514.59	
22.50	5,244.77	5,245.25	46,070.19	45,759.84	만수위 (상 시)
23.00	5,628.64	5,844.38	51,698.83	51,604.22	위험수위
23.50	6,771.89	6,185.94	58,470.72	57,790.16	

【주】 1962년 : 설계당시 내용적
EL. 14.5m 이하의 내용적은 동일한 것으로 가정하였음.



<그림 4.7> 예당지 내용적곡선 비교

4.3.3 자연배수시설 현황

삽교천 수계 주요 하천의 본류를 대상으로 배수펌프장 이외의 배수시설 현황을 조사한 결과 전체 조사대상 구간 142.47km에 배수통문 281개소, 직경 500mm 이상의 배수통관은 471개소 가 설치되어 있는 것으로 나타났다. 하천별로는 무한천 지방2급 구간에 배수통문 82개소, 배수통관 194개소 등 총 276개소의 배수시설이 설치되어 가장 배수시설이 밀집되어 있는 것으로 나타났으며, 다음으로 삽교천과 곡교천의 지방2급 구간에도 배수시설이 많이 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 이에 비해 삽교천과 곡교천의 지방1급 구간의 배수시설의 수가 가장 적어 km당 개소수가 지방2급 구간 평균에 비해 약 30%에 불과 하였다.

이렇게 하류지역에 비해 상류지역에 배수시설이 많이 설치된 것은 '4.3.1 배수펌프장 현황'에서 볼 수 있는 바와 같이 배수펌프장이 유역의 중하류부에 집중적으로 설치된 것과 상반되는 특징이라 할 수 있는데, 그 이유는 하류지역의 배수가 대체로 배수펌프장에 의한 강제배제에 의존하여 배수통문 및 배수통관과 같은 자연배수시설의 수량이 적고, 상류지역은 지형특성상 자연배제가 가능하여 배수펌프장 대신 자연배수시설이 많이 설치됐기 때문이라 할 수 있다.

<표 4.19> 주요 하천의 자연배수시설 현황

하천명	등 급	좌우안 구 분	조사연장 (km)	배수통문 (개소)	배수통관 (개소)	계	개소/km
삽교천	국 가	좌	31.90	28	40	68	2.13
		우		41	35	76	2.38
	지방1급	좌	7.80	7	5	12	1.54
		우		4	3	7	0.90
	지방2급	좌	11.77	7	30	37	3.14
		우		11	15	26	2.21
곡교천	국 가	좌	18.59	24	28	52	2.80
		우		24	22	46	2.47
	지방1급	좌	20.13	8	18	26	1.29
		우		6	13	19	0.94
	지방2급	좌	6.78	5	25	30	4.42
		우		3	11	14	2.06
무한천	국 가	좌	12.50	17	11	28	2.24
		우		14	21	35	2.80
	지방2급	좌	33.00	33	89	122	3.70
		우		49	105	154	4.67
계			142.47	281	471	752	

4.4 홍수피해 특성 조사

4.4.1 최근 20년간 자연재해 피해현황 조사

가. 연도별 피해현황

(1) 최근 20년간 전국의 피해현황

최근 20년간(1983년~2002년)의 전국의 자연재해 총피해액은 16조 7,660억원으로 연평균 8,383억원의 피해가 발생한 것으로 조사되었다. 연도별로는 2002년에 6조 1,153억원으로 가장 큰 피해가 발생했으며, 다음으로는 '98년에 1조 6,368억원의 피해가 발생하였다.

근래의 자연재해 피해양상은 연도별로 차이는 있지만 사망이나 이재민 발생 등 인명피해의 규모는 전반적으로 감소한 반면 기타 피해액과 공공시설 피해액 등의 피해규모가 증가한 것으로 나타났는데 이는 전반적인 사회, 경제의 발달에 따라 피해의 위험에 노출되는 유형, 무형의 재산규모가 증가한 것과 더불어 토지의 이용이 고도화됨에 따라 재해의 위험이 높은 지역에도 각종 시설이 들어서기 때문으로 풀이된다.

<표 4.20> 전국 연도별·시설별 자연재해 피해액 현황

연도	인명 (인)	이재민 (인)	침수면적 (천ha)	건물 (백만원)	선박 (백만원)	농경지 (백만원)	공공시설 (백만원)	기타 (백만원)	합계 (백만원)
1983	134	1,355	24.9	3,270	1,603	143	6,729	3,209	14,955
1984	437	364,236	140.2	13,902	1,017	28,875	189,420	54,752	287,966
1985	325	72,257	126.3	1,865	8,249	2,459	68,620	20,915	102,108
1986	295	99,114	86.7	3,042	3,767	2,595	61,833	27,844	99,081
1987	1,658	272,277	300.5	21,659	30,433	106,528	851,280	302,612	1,312,512
1988	165	5,053	18.0	907	2,283	16,226	127,106	19,904	166,426
1989	383	92,593	121.1	8,953	8,034	22,141	309,144	135,800	484,072
1990	304	203,314	124.3	13,399	4,409	65,306	401,491	246,318	730,922
1991	421	29,573	61.2	6,863	3,037	53,200	412,595	60,814	536,509
1992	42	965	14.0	132	1,477	1,888	20,425	8,753	32,675
1993	116	13,779	58.5	1,568	14,200	13,464	205,193	29,235	263,660
1994	115	11,852	6.3	725	5,706	14,250	112,930	66,174	199,786

『자료』 재해연보, 행정자치부

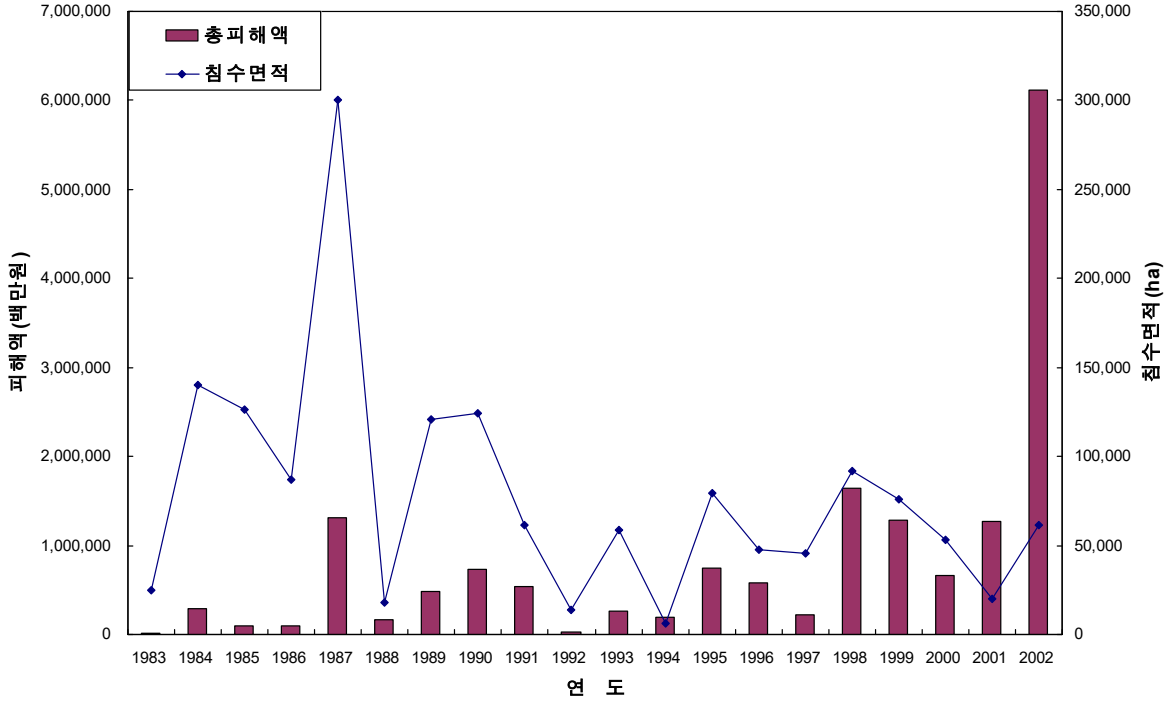
【주】 피해액은 2002년 기준 환산액임.
총피해액은 91년 이후 집계되지 않는 농작물 피해액을 제외한 금액이므로 재해연보상의 피해액 및 이에 기초한 통계자료와 상이할 수 있음.

<표 4.20> 전국 연도별 · 시설별 자연재해 피해액 현황 (계속)

연도	인명 (인)	이재민 (인)	침수면적 (천ha)	건물 (백만원)	선박 (백만원)	농경지 (백만원)	공공시설 (백만원)	기타 (백만원)	합계 (백만원)
1995	404	30,408	79.3	6,169	8,657	75,926	540,270	116,810	747,833
1996	85	18,686	48.0	18,043	1,030	65,196	403,221	94,779	582,269
1997	43	6,296	45.8	2,181	3,240	12,891	169,781	33,444	221,537
1998	677	30,308	91.6	39,935	1,361	108,882	1,269,219	217,387	1,636,785
1999	162	26,656	76.1	42,830	2,342	25,550	998,405	218,856	1,287,983
2000	39	3,665	53.1	11,775	8,381	6,660	548,965	92,196	667,977
2001	208	4,165	20.0	10,981	1,014	10,522	388,528	864,593	1,275,638
2002	350	71,204	61.6	115,791	4,781	436,873	4,920,926	636,922	6,115,293
평균	318	67,888	77.9	16,200	5,751	53,479	600,304	162,566	838,299

『자료』 재해연보, 행정자치부

【주】 피해액은 2002년 기준 환산액임.
총피해액은 91년 이후 집계되지 않는 농작물 피해액을 제외한 금액이므로 재해연보상의 피해액 및 이에 기초한 통계자료와 상이할 수 있음.



<그림 4.8> 최근 20년간 전국 자연재해 피해현황

(2) 삽교천 유역의 최근 20년간 자연재해 피해현황

최근 20년간 삽교천 유역의 연평균 자연재해 피해액은 <표 4.21>에서 보는바와 같이 16,169백만원으로 조사되었다. 연도별로는 2001년의 피해액이 127,429백만원으로 가장

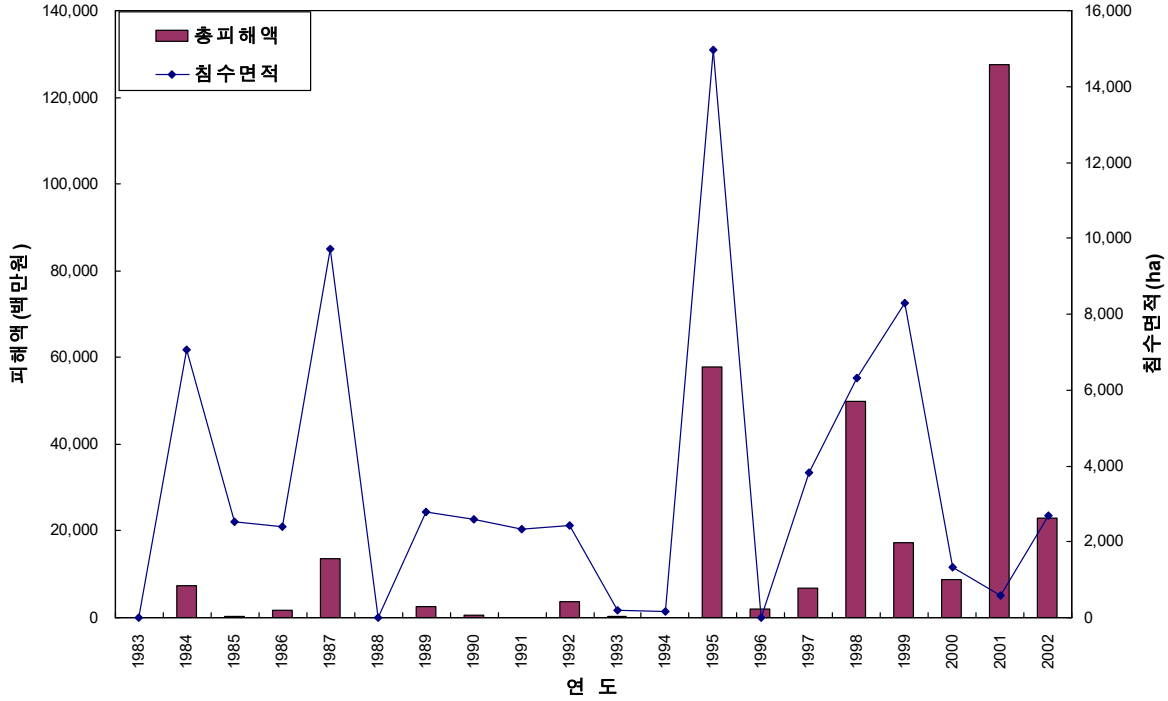
큰 값을 보이고 있으나 전체 피해액의 약 95%가 1월 7일~9일에 서울과 중부지방을 내습한 폭풍설에 의해 발생한 것으로서 오히려 이 해에는 수해발생 규모는 작은 편이었다. 2001년을 제외하면 '95년에 57,931백만원, '98년에 49,828백만원, 2000년에 22,933백만원 순으로 큰 피해가 발생하였으며 이 기간동안의 피해는 주로 호우나 호우를 동반한 태풍 등에 의한 풍수해에 해당한다. 삽교천 유역의 연도별 피해양상 역시 전국전인 피해양상과 같이 인명피해의 규모는 감소하는 반면 공공시설 등 각종 시설피해규모가 증가하고 있는 것으로 나타났으며, '95년 이후의 피해액이 전체 연평균 피해액을 상회하는 것으로 나타나 피해규모가 점차 증가하는 것으로 분석되었다.

<표 4.21> 삽교천유역 연도별·시설별 자연재해 피해액 현황

연 도	인명 (인)	이재민 (인)	침수면적 (ha)	건물 (백만원)	선박 (백만원)	농경지 (백만원)	공공시설 (백만원)	기타피해 (백만원)	합계 (백만원)
1983	-	6	-	4	-	-	-	5	9
1984	5	446	7,056	136	-	390	3,360	3,352	7,238
1985	-	98	2,537	19	-	-	217	99	335
1986	2	101	2,395	28	-	42	1,498	238	1,806
1987	3	2,087	9,702	235	30	678	11,039	1,570	13,552
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	490	2,780	10	332	255	1,632	234	2,463
1990	1	39	2,588	47	10	58	133	435	683
1991	1	12	2,320	1	-	4	27	9	41
1992	1	85	2,436	28	3	343	3,245	71	3,690
1993	-	80	203	42	29	-	15	238	324
1994	-	3	157	2	-	-	22	-	24
1995	7	2,617	14,950	450	28	7,130	46,595	3,728	57,931
1996	-	1	-	3	52	-	-	1,965	2,020
1997	-	122	3,826	26	-	425	5,868	592	6,911
1998	17	462	6,311	1,999	-	4,669	40,056	3,104	49,828
1999	1	200	8,296	485	-	54	13,083	3,761	17,383
2000	1	91	1,329	447	49	61	5,465	2,759	8,781
2001	-	21	582	110	-	123	6,631	120,565	127,429
2002	-	17	2,675	149	5	306	20,665	1,809	22,934
평균	1.95	348.9	3,507	211	27	727	7,978	7,227	16,169

『자료』 재해연보, 행정자치부

【주】 피해액은 2002년 기준 환산액임,
총피해액은 91년 이후 집계되지 않는 농작물 피해액을 제외한 금액이므로 재해연보상의 피해액 및 이에 기초한 통계자료와 상이할 수 있음.



<그림 4.9> 삽교천 유역 최근 20년간 자연재해 피해현황

나. 피해종별 피해특성

최근 20년간의 삽교천 유역의 피해종별 피해특성을 전국 평균과 비교하였다. 각 유역 및 전국평균의 비교를 전체 피해액을 대상으로 하는 것은 의미가 없으므로 피해규모(금액 또는 면적 등)를 면적으로 나눈 값인 피해밀도를 이용하여 비교·분석하였다. 그 결과 총 피해밀도는 삽교천 유역이 9.804백만원/㎢으로, 전국평균인 8.418백만원/㎢보다 다소 높게 나타났다.

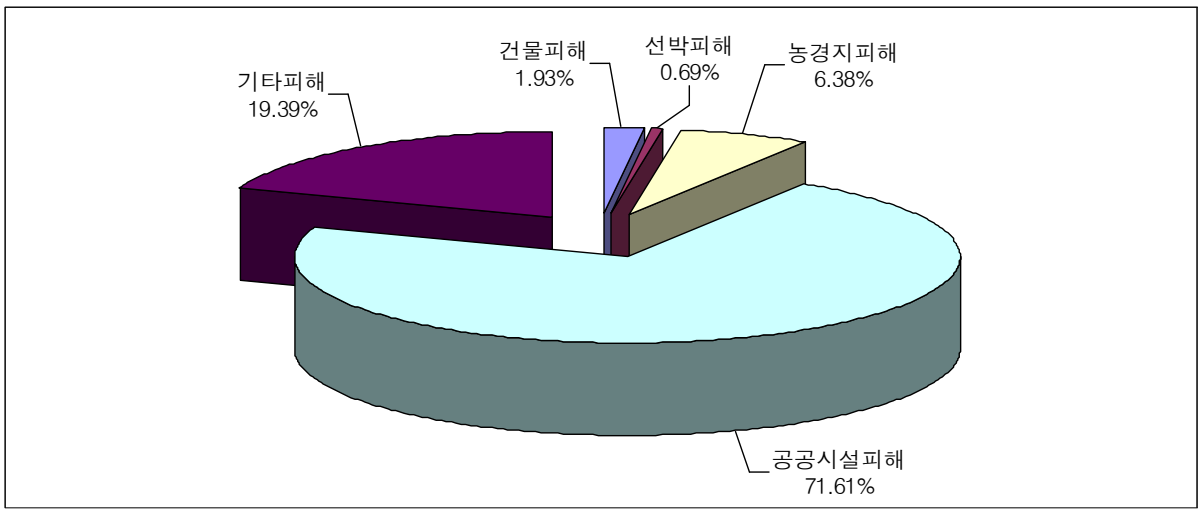
피해종별로는 삽교천 유역의 기타 피해밀도가 전국 평균에 비해 높게 나타났는데 이는 2001년 1월에 발생한 폭풍설에 의해 비닐하우스 등의 피해가 극심하게 발생한데 따른 결과이므로 이 기간의 폭풍설 피해를 제외하면 삽교천 유역의 기타 피해밀도나 전체 피해액에서 차지하는 구성비는 전국평균과 유사할 것으로 추정된다. 따라서 삽교천 유역의 피해특성이 전국 평균과 실질적으로 현저하게 차이를 보이는 것은 침수면적이라 할 수 있는데 이 지역의 지형특성상 중·하류부 주위에 표고가 낮은 평탄지가 집중되어 있는 관계로 침수피해 위험이 높은 특성을 반영하여 침수면적 피해밀도가 전국평균인 0.782ha/㎢보다 2.72배 높은 것으로 분석되었다. 그러나 침수면적이 전국 평균에 비해 크게 발생하였는데도 불구하고 이재민 발생수와 건물 피해액, 공공시설 피해액 등의 재산상의 피해밀도는 전국 평균에 비해 낮거나 유사하게 나타났는데 이러한 결과는 삽교천 유역 특히 3개 주요 하천의 합류점을 중심으로 분포한 저지대의 인구밀도와 도시화

정도가 타 지역에 비해 상대적으로 낮은데 그 원인이 있는 것으로 추정된다.

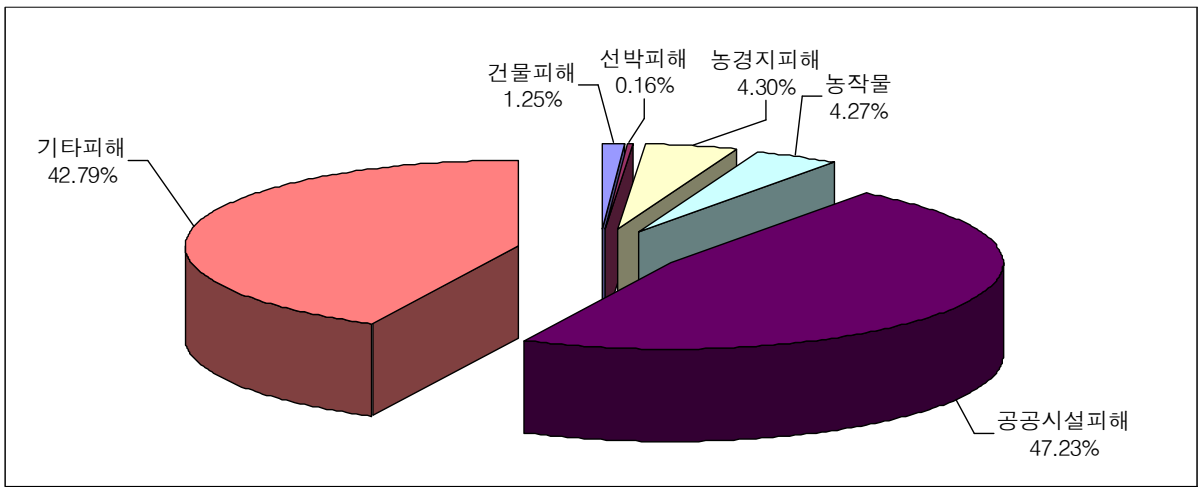
<표 4.22> 피해종별 피해현황

단위 : 백만원

구 분		인명피해 (인)	이재민 (인)	침수면적 (ha)	건 물 피해액	선 박 피해액	농경지 피해액	공공시설 피 해 액	기 타 피해액	총 피해액
전 국	피해규모	318	67,888	77,858	16,199	5,751	53,479	600,304	162,566	838,299
	비율(%)	-	-	-	1.93	0.69	6.38	71.61	19.39	100.00
	밀도 (㎢당)	0.003	0.682	0.782	0.163	0.058	0.537	6.028	1.632	8.418
삽교천	피해규모	1.75	349	3,507	211	27	727	7,978	7,227	16,170
	비율(%)	-	-	-	1.30	0.17	4.50	49.34	44.69	100.00
	밀도 (㎢당)	0.001	0.212	2.126	0.128	0.016	0.441	4.837	4.382	9.804



▣ 전 국



▣ 삽교천유역

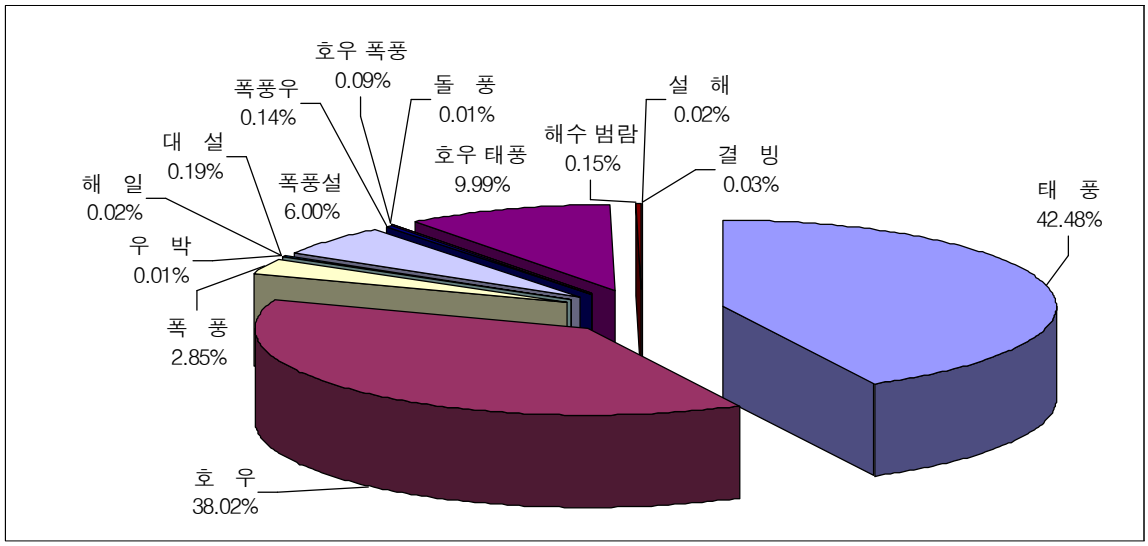
<그림 4.10> 피해종별 피해현황도

다. 원인별 피해구성비

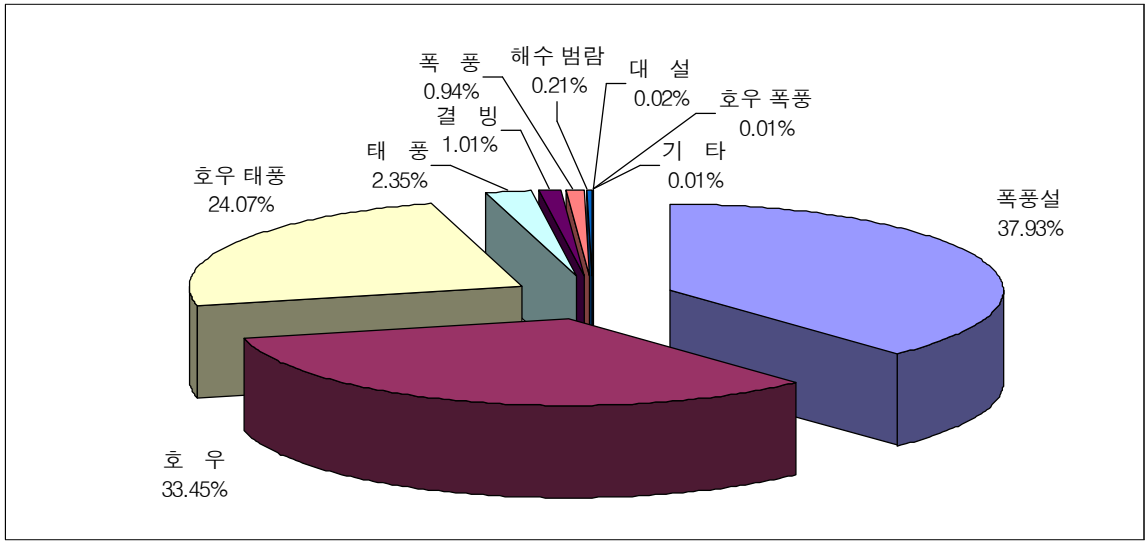
최근 20년간 발생한 자연재해 피해액을 원인별로 구분하면, 전국적으로는 호우와 호우를 동반한 태풍 및 폭풍 등 호우와 관련한 피해액이 전체 피해액의 48.1%, 태풍으로 인한 피해액이 42.48%이지만 삽교천 유역의 경우는 2001년의 폭풍설 피해를 제외하면 호우로 인한 피해액이 전체 피해액의 91.62%인데 비해 태풍에 의한 피해는 3.87%에 불과하여 삽교천 유역이 다른 재해요인에 비해 호우와 관련된 재해에 취약한 것으로 드러났다. 2001년의 자연재해 피해액을 포함하면 폭풍설로 인한 피해액 구성비가 0.9%에서 37.93%로 급증하는데 이러한 결과는 1월 7일부터 9일 까지 발생한 폭풍설로 인한 피해액이 삽교천 유역의 연평균 자연재해 피해액 169억원의 7배를 상회하는 1,209억원(2002년 화폐가치 기준)에 달해 최근 20년간의 피해액 통계에 큰 영향을 미치기 때문이다. 그러나 같은 기간동안의 전국적인 폭풍설 피해액은 8,088억원으로 연 평균 자연재해 피해액 8,384억원에 못 미쳐 전국적인 원인별 자연재해 피해액 통계에 미치는 영향은 삽교천 유역에 비해 매우 작게 나타났다. 따라서 삽교천 유역과 전국에 대해 자연재해 피해액의 원인별 구성비를 비교하는데 있어 폭풍설 피해액이 지나치게 크게 차지하는 삽교천 유역의 2001년의 피해액을 포함하기 보다는 오히려 포함하지 않는 것이 적절한 것으로 판단되어 삽교천 유역의 원인별 피해액 구성비를 2001년의 피해를 포함한 경우와 포함하지 않은 경우로 구분하여 분석하였다.

<표 4.23> 피해원인별 구성비 비교

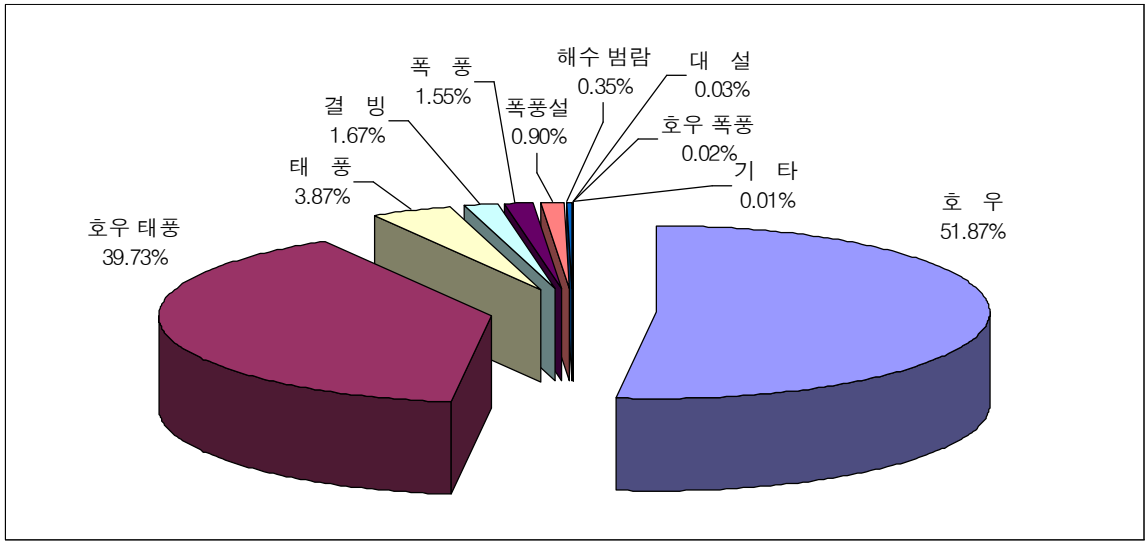
구 분	전국		삽교천		삽교천(2001제외)	
	피해액(백만원)	구성비(%)	피해액(백만원)	구성비(%)	피해액(백만원)	구성비(%)
태 풍	7,121,947	42.48	7,589	2.35	7,589	3.87
호 우	6,373,996	38.02	108,157	33.45	101,632	51.87
호우 태풍	1,675,373	9.99	77,847	24.07	77,847	39.73
폭풍설	1,005,849	6.00	122,667	37.93	1,764	0.90
폭 풍	477,835	2.85	3,036	0.94	3,036	1.55
대 설	31,618	0.19	52	0.02	52	0.03
해수 범람	25,742	0.15	683	0.21	683	0.35
폭풍우	23,256	0.14	7	0.00	7	0.00
호우 폭풍	15,249	0.09	45	0.01	45	0.02
결 빙	5,443	0.03	3,275	1.01	3,275	1.67
기 타	9,674	0.06	21	0.01	21	0.01
계	16,765,982	100.00	323,379	100.00	195,951	100.00



▣ 전국 원인별 피해 구성비



▣ 삽교천유역 원인별 피해구성비



▣ 삽교천유역 원인별 피해구성비(2001년 제외)

<그림 4.11> 자연재해 피해원인 비교

4.4.2 상습침수지역 조사

삽교천 유역의 최근 10년간의 피해지역을 현장조사 및 관련기관자료 등을 바탕으로 조사한 결과 최근 10년간 침수피해가 발생한 시기는 '92, '95, '97, '98, '99, 2002년 등 6개년이며, 침수면적은 '95년에 5,926ha로 가장 크게 발생한 것으로 나타났다. 각 연도별 침수피해 현황을 살펴보면, '99년 및 '95년에는 삽교천 하류부 및 곡교천, 무한천 등 유역 전반에 걸쳐 침수피해가 발생하였고, '92년의 경우 고덕면 및 신암면 일원, '97, '98년에는 당진읍 일원, 2002년에는 아산시 일원에서 침수피해가 발생하였던 것으로 조사되었다. 각 연도별·피해 기간별 침수지역현황은 부록에 수록하였다.

최근 10년간의 침수피해지역 조사에 의해 파악한 상습침수지역은 예산군 신암면 예림리, 중예리 일원 및 아산시 선정면 신덕리 일원, 당진군 합덕읍 옥금리 일원, 예산군 고덕면 구만리 일원, 예산읍 창소리 일원으로 이들 지역은 삽교천 중·하류부와 무한천의 예당지 하류에 위치하며, 지역적으로는 삽교천 유역의 북서측에 주로 분포하는 것으로 조사되었다.

<표 4.24> 연도별 침수피해 현황

년 도	침수면적 (ha)	주요 침수지역	관련 하천	비 고
'92	359	고덕면 용리, 신암면 예림리 일원	삽교천	
'95	5,926	무한천 예당지 하류부, 삽교천 하류부 및 무한천 합류부, 곡교천 일원	삽교천, 무한천 곡교천	삽교천 유역에 전반적인 침수피해 발생
'97	350	당진군 당진읍 채운리 일원		-
'98	911	당진군 당진읍, 신평면, 대호지면, 송산면 일원		-
'99	-	예산군 응봉리, 손지리, 창소리 등 삽교읍 창정리, 송산리, 소촌리 두리 등 고덕면 신평리, 구만리 등	삽교천, 무한천, 효교천, 신양천, 덕산천, 도고천, 온양천 등	삽교천 일대 전반적인 침수피해 발생
2002	-	아산시 염치읍, 신창면 일대	곡교천	곡교천변 저지대 농경지 침수피해 발생

『주』 침수면적은 우심침수지역을 대상으로 산정하여, 전체 침수면적과 일부 차이가 발생할 수 있음

<표 4.25> 상습침수지역 현황

지 구 명	위 치	침수피해 발생연도	비 고
예림 지구	예산군 신암면 예림리, 중예리 일원	'81, '92, '95, '99, 2000	
신덕 지구	아산시 선장면 신덕리 일원	'95, '98, '99, 2000	
신흥 옥금지구	당진군 합덕읍 신흥리, 옥금리 일원	'95, '99, 2000	
용리 지구	예산군 고덕면 용리	'92, '95, '99	
구만 지구	예산군 고덕면 구만리 당진군 합덕읍 신리 일원	'81, '95, '99	
신종 지구	예산군 신암면 신종리 일원	'95, '99, 2000	
창소 지구	예산군 예산읍 창소리 일원	'95, '99, 2000	
손지 지구	예산군 대흥면 손지리	'95, '99	
삽교 지구	예산군 삽교읍 삽교리	'95, '99	
두리 지구	예산군 삽교읍 두리, 성리	'95, '99	
하포 지구	예산군 삽교읍 하포리	'95, '99	
수촌 지구	예산군 삽교읍 수촌리	'99, 2000	
입침 지구	예산군 응봉면 입침리	'95, '99	
원평 지구	예산군 오가면 원평리 일원	'95, '99	

<그림 4.12> 상습침수지역 위치도

제 5 장 관련계획 검토

5.1 하천정비 기본계획

5.2 수해원인조사 보고서

5.3 아산·삽교호 주변 침수원인분석 보고서(2000.12, 농림부)

제 5 장 관련계획 검토

5.1 하천정비 기본계획

5.1.1 삽교천 하천정비기본계획(1977, 건교부)

1977년에 수립된 삽교천 하천정비 기본계획은 삽교천 수계의 주요 하천인 삽교천, 곡교천, 무한천의 국가하천 구간 총 70.4km(삽교천 34km, 곡교천 21.4km, 무한천 15km)에 대한 최초의 하천정비기본계획으로서, 이 성과에 의해 향후 체계적인 하천개수 사업의 시행이 가능하게 되었다.

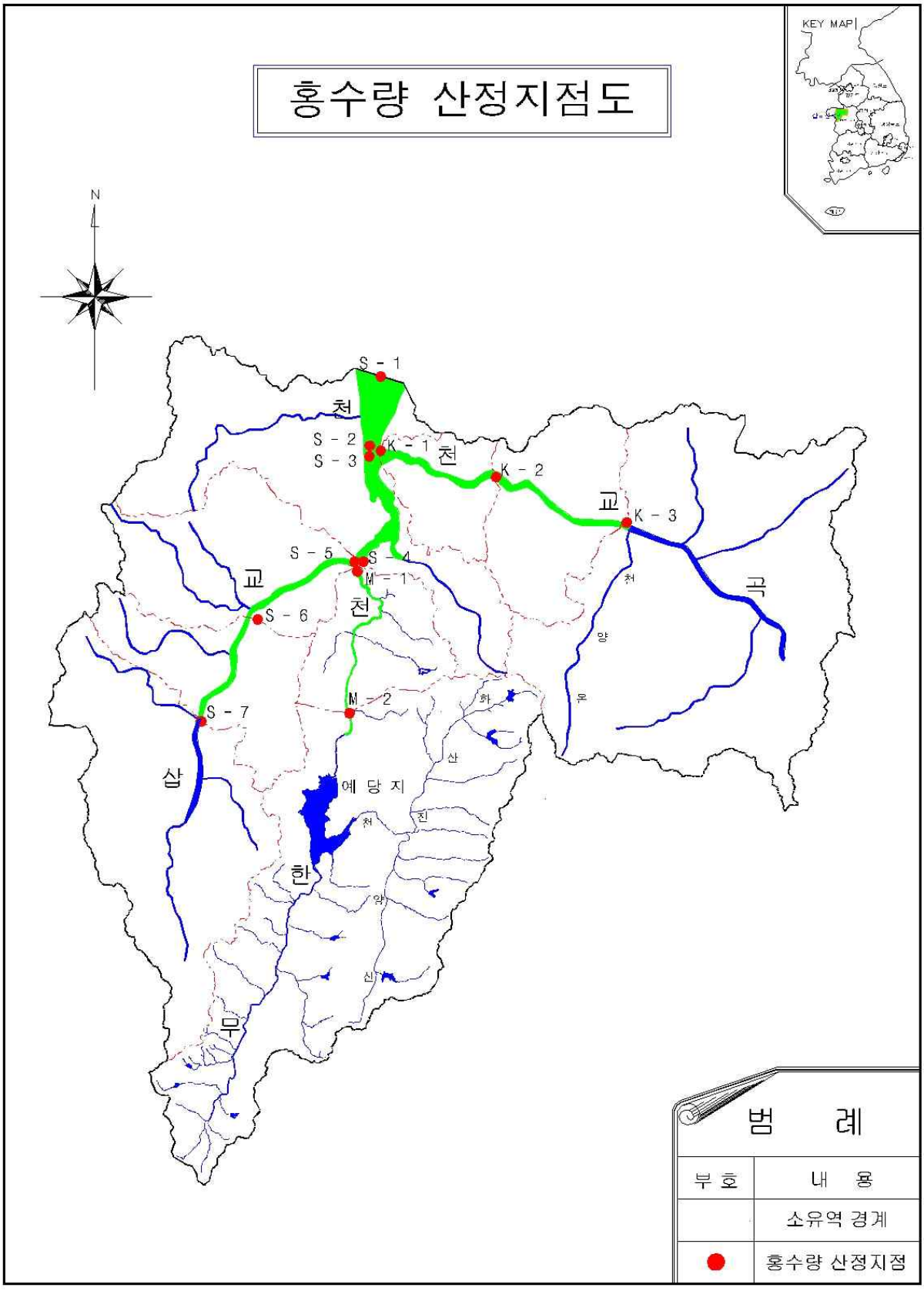
동 계획이 수립될 당시는 삽교호 방조제가 설치되기 이전이므로 삽교천의 수위는 서해안 조위의 영향을 직접 받는 등 삽교천 하류부의 수리·수문 특성이 현재와는 큰 차이가 있다.

확률강우량은 유역내에 위치한 홍성, 온양 관측소 및 유역외에 위치한 당진, 청양 등 총 4개 관측소의 일최대강우기록을 사용하여 Gumbel-Chow와 Iwai 등 2개의 확률분포형에 의해 산정한 후 이들의 평균치를 채택하였고, 각 홍수량 산정지점별로 관측소별 확률강우량을 Thiessen법에 의해 가중평균하여 유역평균 일최대 확률강우량을 산정하였다.

홍수량은 주요 지류의 하구와 합류점 전·후 등을 기준으로 삽교천 본류에 7개소, 곡교천 3개소, 무한천 2개소 등 총 9개 지점을 대상으로 산정하였다. 홍수량 산정방법으로는 Area Routing에 의한 단위유량도법, Kajiyama 극대홍수량 공식, 합리식 등 3가지 방법을 사용하고, 각 방법별 산정결과를 비교 검토하여 가장 신뢰성이 큰 것으로 판단되는 단위유량도법에 의한 결과 중 80년 빈도 홍수량을 기본홍수량으로 채택하였다.

과업대상 구간내에는 농업용수 공급을 위한 저수지가 산재하여 있으나, 예당지를 제외하고는 모두 소규모로 홍수조절능력을 무시할 정도이며 장래에도 대규모 저수지 축조계획이 없는 관계로 계획홍수량은 예당지의 홍수조절 효과만을 고려하여 결정하였다.

홍수위의 계산은 삽교호 방조제 준공 이전과 이후로 구분하여 실시하였다. 삽교호 방조제 준공 이전의 기점홍수위는 대조평균만조위인 EL. 4.6m를, 삽교호 방조제 건설 이후에는 삽교호의 100년 빈도 홍수위인 EL. 5.10m를 적용하고 조도계수는 과거의 유량측정 자료에서 역산하여 감조구간에서는 0.023, 그 상류에서는 0.026을 채택하였다.



<그림 5.1> 홍수량 산정지점도(삽교천 하천정비기본계획, 1977.12)

<표 5.1> 산정지점별 확률강우량 및 홍수량(삽교천 하천정비기본계획, 1977)

하천명	산정지점	부 호	유역 면적 (㎢)	빈도별 강우량(mm)				빈도별 홍수량 (㎥/sec)				비고
				50	80	100	150	50	80	100	150	
삽교천	삽교천 하구	S - 1	1,670.6	237.4	252.4	259.6	272.4	4,500	4,800	4,900	5,100	
	곡교천합류전	S - 3	978.2	251.5	267.8	275.4	289.5	3,100	3,300	3,400	3,600	
	무한천합류전	S - 4	431.5	258.1	274.1	281.7	295.3	1,900	2,000	2,050	2,150	
	신암면 별리	S - 6	312.7	-	-	-	-	1,650	1,750	1,800	1,900	
	덕산천합류점	S - 7	196.9	258.4	274.3	281.8	295.2	1,300	1,370	1,400	1,500	
곡교천	곡교천 하구	K - 1	539.0	207.7	220.2	226.1	236.9	1,640	1,740	1,780	1,870	
	신창면신달리	K - 2	465.4	-	-	-	-	1,700	1,800	1,900	2,000	
	온양천합류점	K - 3	389.1	-	-	-	-	1,800	1,900	2,000	2,100	
무한천	무한천 하구	M - 1	464.9	254.2	271.5	279.7	294.6	1,820	1,940	2,000	2,100	
	원평 수위표	M - 2	379.2	-	-	-	-	2,000	2,100	2,200	2,300	

5.1.2 삽교천 하천정비기본계획(보완) (1994, 건교부)

1994년 수립된 삽교천 하천정비기본계획(보완)은 삽교천 국가하천 구간인 삽교 방조제에서 덕산천 합류점 까지 31.6km 구간에 대해서 1977년에 기수립된 하천정비기본계획을 보완한 것으로 계획대상 유역의 행정구역은 충남 천안시를 비롯하여 1개도, 2개시, 4개군으로 구성되어 있다.

확률강우량은 유역내에 위치한 홍성, 덕산, 예산, 온양(천안) 등 4개 관측소 및 유역외에 위치한 청양, 정안, 병천, 성환 등 총 8개 관측소의 '92년까지 강우자료와 Normal Ⅱ, Log-Normal Ⅲ, Log-Nomal, Gumbel, Pearson Type Ⅲ, Log Pearson Type Ⅲ 등 6개의 확률분포형을 사용하여 각 관측소별로 산정한 후 Chi-Square Test 및 Kolmogorv-Smirnov Test로 분포형을 검정하여 Gumbel 분포에 의한 결과를 채택하였다.

홍수량은 주요지류의 하구와 합류점 전·후 등을 기준으로 총 9개 지점을 대상으로 산정하였으며, 특히 삽교천 수계의 중요 지류인 곡교천 및 무한천 하구와 예당지 지점에 대해서도 홍수량을 산정하였다.

홍수량 산정방법으로는 유역추적법, NAKAYASU 합성단위도법, KAJIYAMA 극대홍수량 공식, 합리식 등 4가지 방법을 사용하고, 각 방법별 산정결과를 비교 검토하여 유역추적법을 채택하였다.

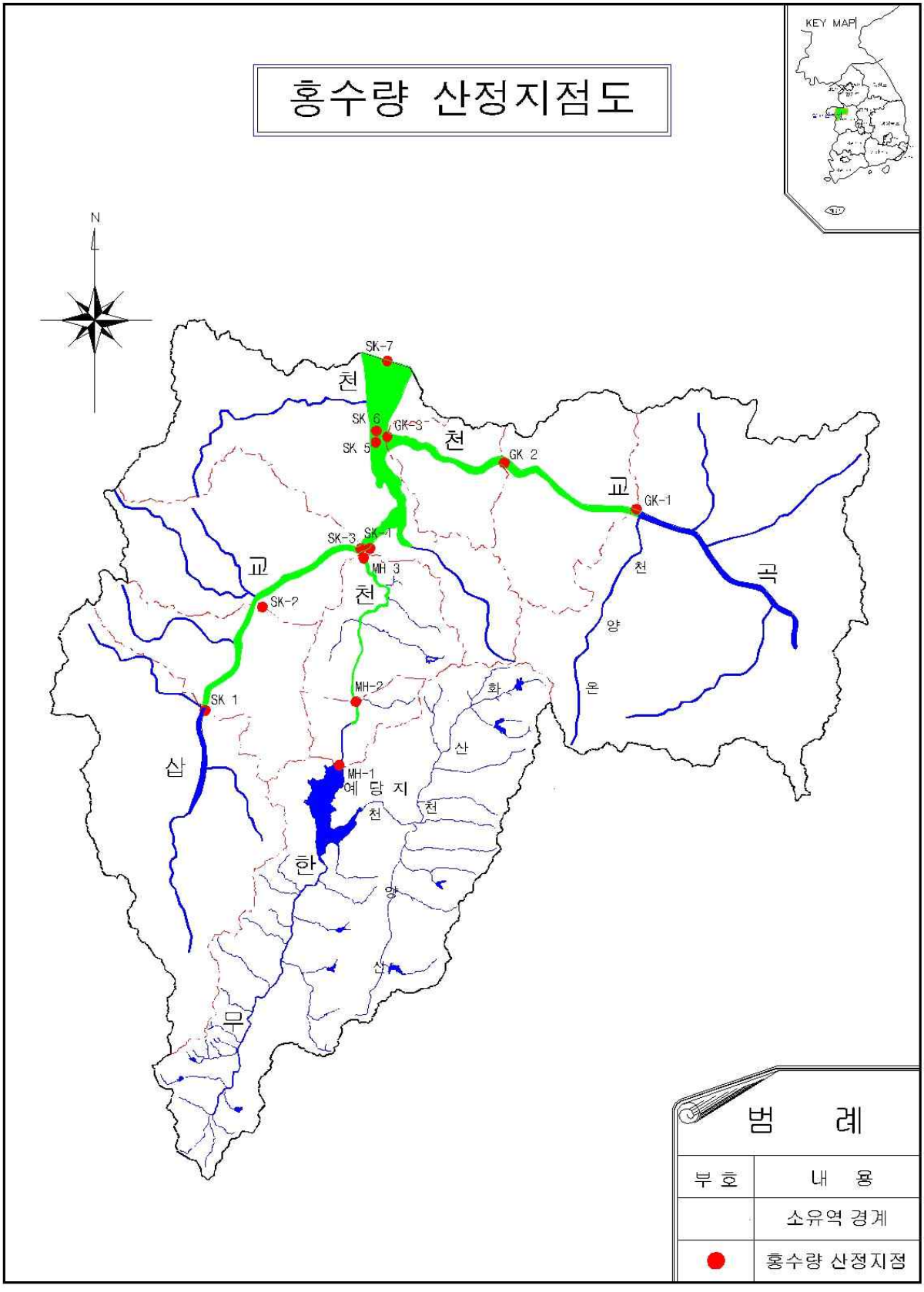
또한, 삽교천 유역내에는 지류인 무한천에 홍수조절능력이 있는 예당저수지가 위치하

고 있으므로 예당지의 홍수조절효과를 고려하여 홍수조절전 및 홍수조절후를 대상으로 홍수량을 산정하였으며, 계획홍수량은 예당지의 홍수조절효과를 고려하여 홍수조절 이후의 홍수량을 채택하였다.

기점홍수위는 삽교방조제 설계당시의 유량규모별 내수위를 기점홍수위로 채택하였으며, 채택한 기점홍수위는 50년 빈도 EL. 4.76m, 80년 빈도 EL. 5.01m, 100년 빈도 EL. 5.10m, 150년 빈도 EL. 5.22m이다. 또한, 조도계수는 전 구간에 대해 0.023～0.027의 값을 채택하였다.

<표 5.2> 산정지점별 확률강우량 및 홍수량(삽교천 하천정비기본계획, 1994)

하천명	산정지점	부 호	유역 면적 (㎢)	빈도별 강우량(mm)				빈도별 홍수량 (㎥/sec)				비고
				50	80	100	150	50	80	100	150	
삽교천	삽교천 하구	SK-7	1,645.09	260.1	279.2	288.2	304.6	5,375	5,851	6,075	6,485	
	곡교천합류후	SK-6	1,517.77	258.4	277.3	286.3	302.5	4,896	5,336	5,544	5,923	
	곡교천합류전	SK-5	975.63	271.0	291.3	300.9	318.3	3,369	3,675	3,819	4,083	
	무한천합류후	SK-4	892.11	274.2	294.8	304.6	322.4	3,453	3,765	3,913	4,182	
	무한천합류전	SK-3	427.07	285.2	306.8	317.0	335.6	2,217	2,416	2,510	2,682	
	신암면 별리	SK-2	308.26	280.0	301.0	311.0	329.1	1,836	2,004	2,084	2,228	
	덕산천합류후	SK-1	213.99	274.8	295.3	305.0	322.6	1,507	1,648	1,715	1,836	
무한천	무한천 하구	MH-3	465.04	264.1	283.9	293.2	310.2	1,286	1,415	1,475	1,586	
곡교천	곡교천 하구	GK-3	542.14	235.8	252.2	259.9	274.0	1,914	2,093	2,178	2,332	



<그림 5.2> 홍수량 산정지점도(삽교천 하천정비기본계획(보완), 1994)

5.1.3 삽교천(곡교천, 무한천) 하천정비기본계획(1994, 건교부)

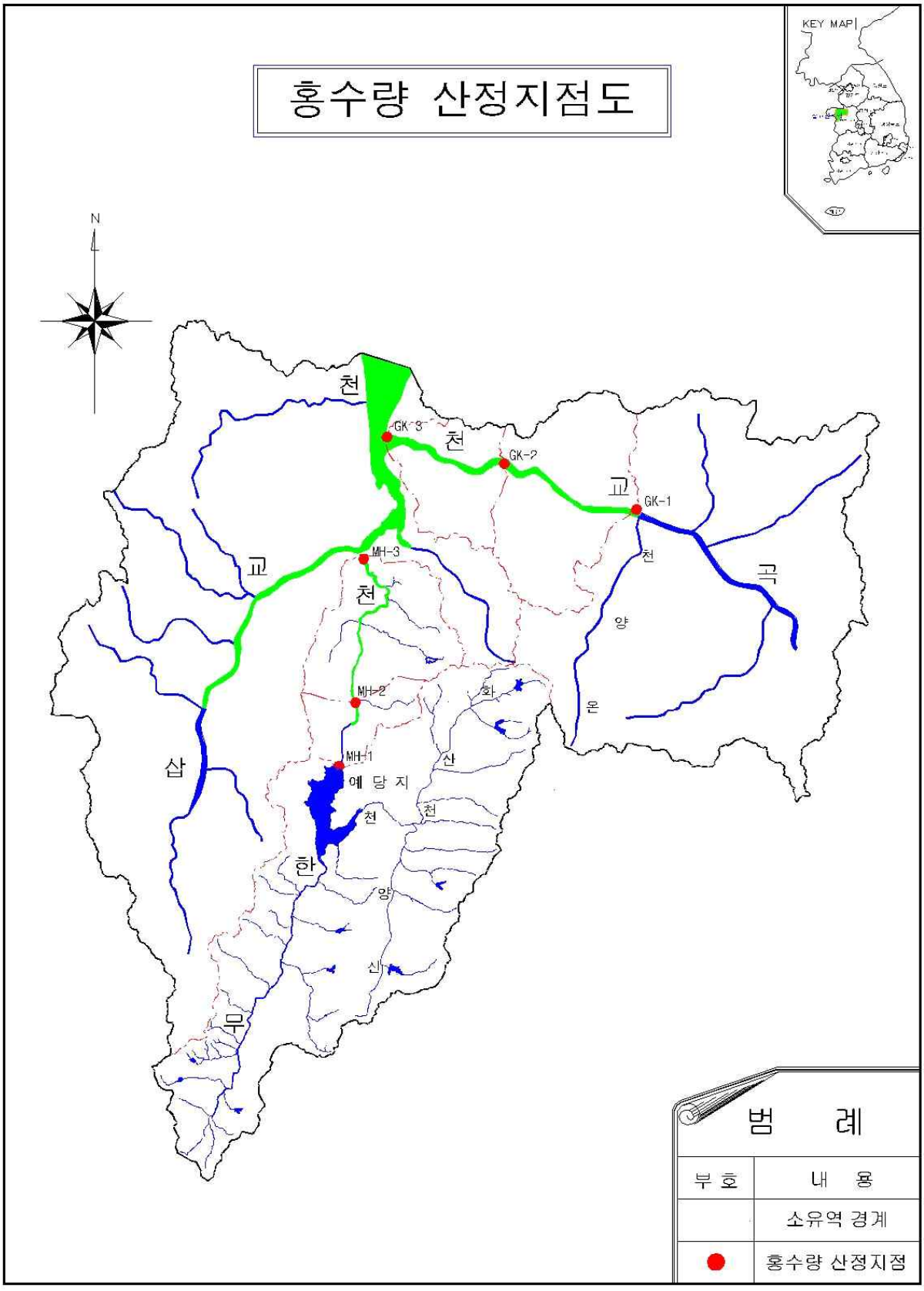
삽교천(곡교천, 무한천)하천정비기본계획은 삽교천 수계내 국가하천 구간인 무한천 13.24km, 곡교천 18.59km 등 총 31.83km를 대상으로 하여 1994년에 수립되었다. 확률강우량은 무한천의 경우 유역내에 위치한 예산 관측소와 유역외에 위치한 청양 관측소 2개 관측소, 곡교천은 유역내에 위치한 온양(천안) 관측소, 유역외 정안, 병천, 성환 등 3개 관측소의 '93년까지의 강우자료를 이용하여 2변수 대수정규분포(Two Parameter Log-Normal), 3변수대수정규분포(Three Parameter Log-Normal), 극치분포 Type Ⅰ(Extremal Type Ⅰ, Gumbel), IWAI, Pearson Type Ⅲ, Log Pearson Type Ⅲ 등 6개의 분포에 의해 각 관측소별로 산정한 후 Chi-Square Test 및 Kolmogorv-Smirnov Test로 분포형 적합도 검정을 실시하여 Gumbel분포에 의한 결과를 채택하였다.

홍수량 산정지점으로는 주요 지류의 하구와 합류점 전·후 등을 기준으로 무한천은 예당지, 예산대교(원평수위표), 무한천 하구 등 3개지점, 곡교천은 온양천 합류점, 강촌교지점(강촌수위표), 곡교천 하구 등 3개 지점을 선정하여 홍수량을 산정하였다. 무한천과 곡교천의 각 지류 및 잔유역의 홍수량은 유역추적법, NAKAYASU 합성단위도법, KAJIYAMA 극대홍수량 공식, 합리식 등 4가지 방법에 의해 계산한 후 각 방법별 산정결과를 비교 검토하여 유역추적법을 채택하였고, 무한천의 예당저수지 하류구간에 대해서는 각 소유역별 홍수량을 산정한 후 Muskingum 방법에 의한 하도추적을 실시하여 지점별로 홍수조절 전·후의 홍수량을 산정하였다.

무한천 및 곡교천의 기점홍수위는 본류인 "삽교천 하천정비 기본계획(보완), 1994, 건설부"의 홍수위중 무한천 및 곡교천 합류지점(무한천 : No 29+300, 곡교천 : No 10+250)의 개수후 빈도별 홍수위를 기점홍수위로 채택하였다. 조도계수는 전체 구간에 대해 0.023～0.027을 채택하였으며, 계획하폭은 무한천의 경우 210m～230m, 곡교천의 경우 260m～280m로 계획하였다.

<표 5.3> 산정지점별 확률강우량 및 홍수량(삽교천(무한천,곡교천) 하천정비기본계획)

하천명	산정지점	부 호	유역면적 (㎢)	빈도별 강우량(mm)				빈도별 홍수량 (㎥/sec)				비 고
				50	80	100	150	50	80	100	150	
무한천	무한천하구	MH-3	465.04	268.7	288.9	298.6	316.0	1,271	1.399	1,459	1,570	
	예산 대교	MH-2	396.15	268.7	288.9	298.6	316.0	1,169	1,288	1,344	1,447	
	예 당 지	MH-1	367.85	260.8	280.5	289.9	306.8	1,124	1,239	1,294	1,393	
곡교천	곡교천 하구	GK-3	542.14	230.7	246.4	253.8	267.2	1,811	1,976	2,056	2,199	
	강 청 교	GK-2	488.92	232.5	248.4	255.9	269.7	1,829	2,003	2,086	2,238	
	온양천합류점	GK-1	393.73	237.4	253.9	261.7	275.9	1,830	2,006	2,090	2,242	



<그림 5.3> 홍수량 산정지점도(삽교천(무한천,곡교천) 하천정비기본계획, 1994)

5.1.4 무한천 하천정비기본계획(1989, 충청남도)

무한천 지방하천 구간의 하천정비기본계획은 1989년에 무한천 지방2급 구간 32.8km 비롯하여 수계내 지방2급 하천인 강촌천 6.6km, 관산천 1.8km, 수정천 3.6km 등 총 44.8km에 대해서 수립하였다. 이들 하천 유역은 무한천 중·상류부에 위치하여 대체로 산지부에서 평야지로 천이되는 지형특성으로 인해 유역경사가 상류부 산간지역은 급하고, 중하류부 평야지는 완만하며 미개수 구간이 대부분을 차지하고 있다.

확률강우량 분석은 유역내에 위치한 예산 관측소와 유역외 청양 관측소 등 2개 관측소의 '88년까지의 강우자료를 이용하여 Gumbel-chow법, 대수정규분포, IWAI, Log Pearson Type Ⅲ 등 4개의 방법으로 각 관측소별로 산정한 후 Chi-Square Test 및 Kolmogorv-Smirnov Test에 의한 분포형을 검정하여 Log-normal 분포에 의한 결과를 채택하였다.

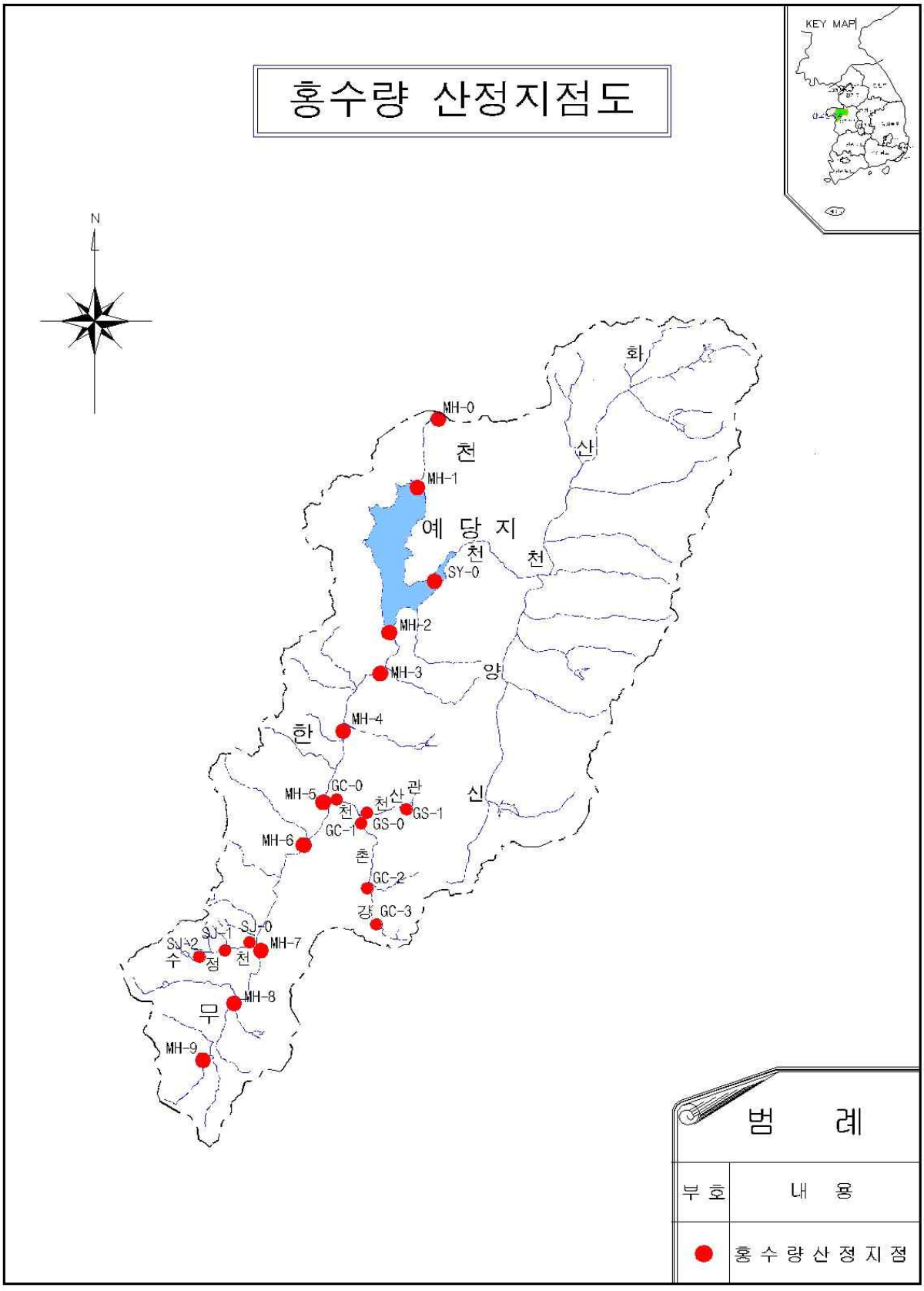
홍수량은 주요지류의 하구와 합류점 전·후 등을 기준으로 무한천은 무한천 하구, 예당지 등 11개 지점에 대해 산정 하였으며, 강촌천은 강촌천 하구, 관산천 합류전, 중흑리천 합류전, 신원교지점 등 4개 지점에 대해, 관산천은 관산천 하구, 관산저수지 등 2개 지점, 수정천은 수정천 하구 및 안말천 합류전, 신리제천 합류전 등 3개 지점에 대해 홍수량을 산정하였다.

홍수량은 유역추적법, NAKAYASU 합성단위도법, KAJIYAMA 극대홍수량 공식, 합리식 등 4가지 방법에 의해 산정한 후 방법별 산정결과를 비교 검토하여 NAKAYASU 합성단위도법에 의한 결과를 채택하였다. 또한, 예당저수지의 홍수조절효과를 고려하여 계획홍수량을 결정하되, 예당지의 홍수조절효과는 '삽교천 하천정비 기본계획, 1977, 건교부'에서 산정한 720㎥/sec를 적용하였으며, 예당지 하류 역시 동 계획에서 산정한 계획홍수량을 사용하고, 미산정된 지점에 대해서만 새로 계획홍수량을 결정하였다.

기점홍수위는 무한천 본류의 경우 예당지 상·하류로 구분하여 결정하였는데 예당지 하류 구간은 "삽교천 하천정비 기본계획, 1977, 건교부"의 측점 No.30+330지점의 해당 빈도별 홍수위를 채택하였으며, 상류부는 저수지 추적을 실시하여 산정된 동산교 지점의 홍수위를 기점홍수위로 취하였다. 지류인 강촌천, 관산천, 수정천 은 무한천 및 강촌천의 빈도별 홍수위를 해당 하천의 기점홍수위로 채택하였다. 조도계수는 무한천의 경우 0.026～0.034, 지류하천의 경우는 0.033～0.036을 채택하였으며, 계획하폭은 무한천의 경우 15～280m, 강촌천은 15～50m, 수정천 및 관산천은 9～20m로 계획하였다.

<표 5.4> 산정지점별 확률강우량 및 홍수량(무한천 하천정비기본계획, 1989)

하천명	산정지점	부 호	유역면적 (㎢)	빈도별 강우량(mm)					빈도별 홍수량 (㎥/sec)					비고
				20	30	50	80	100	20	30	50	80	100	
무한천	국가하천시점	MH-0	379.2	218.9	236.4	258.5	278.9	288.7	1,600	1,800	2,000	2,100	2,200	
	예당저수지	MH-1	370.2	219.0	236.4	258.0	279.0	288.8	1,460	1,625	1,835	2,030	2,125	
	신양천합류후	MH-2-1	345.8	219.1	236.6	258.8	279.4	289.2	1,460	1,625	1,835	2,030	2,125	
	신양천합류전	MH-2	153.6	220.6	238.7	261.7	283.0	293.2	755	840	945	1,045	1,095	
	신흥천합류전	MH-3	139.6	220.7	238.9	261.9	283.3	293.6	720	805	910	1,010	1,060	
	신목천합류전	MH-4	115.9	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	625	700	795	885	925	
	강촌천합류전	MH-5	80.2	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	480	540	610	680	710	
	행정천합류전	MH-6	61.0	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	395	440	500	555	580	
	수정천합류전	MH-7	37.6	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	300	335	375	415	435	
	기덕천합류전	MH-8	21.9	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	210	230	260	290	305	
	산정천합류전	MH-9	6.8	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	85	100	110	125	130	
강촌천	강촌천하구	GC-0	21.5	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	185	205	235	260	270	
	관산천합류전	GC-1	15.1	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	140	160	180	200	210	
	중흑리천 합류전	GC-2	7.0	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	90	100	115	125	130	
	신원교지점	GC-3	3.6	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	55	60	70	75	80	
관산천	관산천하구	GS-0	4.8	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	65	75	85	90	95	
	관산저수지	GS-1	2.54	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	45	50	60	65	70	
수정천	수정천하구	SJ-0	5.7	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	75	85	95	105	110	
	안말천합류전	SJ-1	4.5	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	65	75	85	90	95	
	신리제천 합류전	SJ-2	2.3	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	40	45	50	55	60	



<그림 5.4> 홍수량 산정지점도(무한천 하천정비기본계획, 1989)

5.1.5 삽교천, 곡교천 지방하천 구간 하천정비기본계획

가. 하천정비기본계획 수립 연혁

삽교천 수계의 주요 하천인 삽교천과 곡교천, 무한천의 국가하천 구간은 전술한 바와 같이 1977년에 하천정비기본계획이 수립되었고, 이후 1994년에 보완되었다. 국가하천 이외의 구간은 1977년의 성과에 기초하여 1986년과 1996년에 하천정비기본계획이 수립되었다. 따라서 국가하천 구간의 하천정비기본계획이 삽교호 방조제의 건설 영향 등을 반영하여 1994년에 보완된 것을 감안할 때 그 상류의 지방1, 2급 하천구간의 하천정비기본계획의 보완이 시급히 이루어져야 한다.

삽교천과 곡교천, 무한천 본류 구간의 하천정비기본계획 수립 연혁은 다음과 같다.

<표 5.5> 삽교천 수계 주요하천의 하천정비기본계획 수립 연혁

구 분	삽교천	곡교천	무한천	비 고
국가하천	1977년 수립 1994년 보완	1977년 수립 1994년 보완	1977년 수립 1994년 보완	
지방1급	1986년 수립	1986년 수립	-	무한천은 지방 1급 구간이 없음
지방2급	1996년 수립	미 수 립	1986년 수립	

나. 확률강우량 및 홍수량

삽교천과 곡교천의 지방1, 2급 하천 구간내 주요 지점을 기준으로 한 확률강우량 분석 및 홍수량 산정결과는 <표 5.6>, <표 5.7>과 같다.

<표 5.6> 삽교천 지방하천 구간의 확률강우량 및 홍수량

하천명	산정지점	유역 면적 (㎢)	빈도별 확률강우량(mm)				빈도별 홍수량 (㎥/sec)				비고
			50	80	100	150	50	80	100	150	
삽교천	지방 1급 구간 종점	167.93	258.9	277.2	285.9	301.6	1,050	1,130	1,160	1,220	
	화양천 합류전	120.06	〃	〃	〃	〃	860	920	950	1,000	
	홍성천 합류전	72.94 (73.11)	〃	〃	〃	〃	590 (655)	640 (715)	660 (745)	690	1986(1996)년 성과
	종현천 합류전	30.83	〃	〃	〃	〃	320	340	350	370	
	지방 2급 구간 종점	92.23	317.1	343.1	355.4	-	750	820	855	-	
	삽교천 시점	14.87	285.3	308.1	318.9	-	280	305	320	-	

<표 5.7> 곡교천 지방하천 구간의 확률강우량 및 홍수량

하천명	산정지점	유역 면적 (㎢)	빈도별 확률강우량(mm)				빈도별 홍수량 (㎥/sec)				비고
			50	80	100	150	50	80	100	150	
곡교천	지방 1급 구간 종점	299.88	245.36	262.64	270.79	285.66	1,430	1,530	1,580	1,730	
	매곡천 합류전	239.66	249.43	267.16	275.53	290.79	1,270	1,360	1,400	1,480	
	천안천 합류전	163.77	256.58	274.96	283.64	299.47	990	1,060	1,090	1,150	
	풍서천 합류전	65.07	258.76	277.44	286.26	302.36	480	520	530	560	
	맹곡천 합류전	39.96	280.40	301.50	311.50	329.70	350	380	390	410	
	양안천 합류전	19.19	280.40	301.50	311.50	329.70	225	240	250	265	

다. 지방하천 구간의 기점수위 검토

삽교천 및 무한천과 곡교천 국가하천구간의 계획홍수위는 1994년에 재산정 되었으나, 지방하천 구간의 계획홍수위는 1977년의 국가하천구간 계획홍수위를 기점수위로 하여 산정된 이후 보완이 이루어지지 않았다. 되었다. 따라서 국가하천 시점과 지방하천 종점의 계획홍수위가 불일치하며, 특히 삽교천의 경우 국가하천 시점부의 계획홍수위가 1994년 기본계획 보완시 계획빈도 조정 및 하천특성 변화로 인해 0.66m 상승하여 1977년의 국가하천구간 기본계획 성과에 근거한 지방1급 구간 종점부의 계획홍수위에 비해 0.79m 높은 상태이다.

아울러 무한천과 곡교천의 국가하천 시점부의 계획홍수위가 지방하천 종점부의 계획홍수위와 각각 0.77m, 0.26m 상이하여 이에 대한 보완이 필요하다.

<표 5.8> 삽교천 수계 주요하천 시종점부 계획홍수위 비교

구분	지점	삽교천	무한천	곡교천	비고
국가하천	시 점	EL. 13.79m	EL. 12.53m	EL. 13.60m	1977년, 80년 빈도
		EL. 14.45m	**EL. 11.76m**	**EL. 13.34m**	1994년, 100년 빈도
지방1급	종 점	**EL. 13.69m**	-	**EL. 13.60m**	무한천은 지방1급 구간이 없음
	시 점	EL. 20.12m		EL. 56.14m	
지방2급	종 점	EL. 20.37m	**EL. 12.53m**	-	곡교천 지방2급 구간의 기본계획은 미수립
			EL. 78.66m		

5.2 수해원인조사 보고서

5.2.1 삽교천수계 수해원인분석 및 항구대책조사(1981, 대전지방국토관리청)

삽교천수계 수해원인분석 및 항구대책조사는 1981년 7월 11~12일 양일간 충남 예산과 홍성지방에 내린 집중호우로 인해 발생한 삽교천 수계의 홍수피해에 대하여 그 원인을 조사·분석하여 미비된 조치 및 보완사항을 보강함과 아울러 삽교천 및 곡교천, 무한천 유역의 항구적 피해예방대책을 수립하는 목적으로 수행되었다.

과업의 주요 내용은 현지조사, 조사측량, 기상 및 수문조사분석, 삽교호 방조제가 상류하천 주요지점 및 시설물에 미치는 영향분석, 수해발생원인 분석 및 항구적인 피해예방대책 수립으로 구분되며 각 항목별 세부적인 내용은 다음과 같다.

가. 과업의 주요 내용

(1) 현지조사

(2) 조사측량

- ○ 하천종횡단 측량 : 70km
  삽교천 34km, 곡교천 20km, 무한천 16km
- ○ 피해몽리구역 조사측량

(3) 기상 및 수문조사 분석

- ○ 일강우량분석(50, 80, 100, 150년 빈도)
- ○ 시간강우량분석(기왕최대)
- ○ 일강우량과 시간강우량 분석에 따른 주요지점별(합류점, 주요시설물, 협착부 등) 홍수량 검토
- ○ 삽교호 담수의 배수영향을 고려한 주요지점별 홍수위 검토

(4) 삽교호 방조제 담수위(만수위별)에 의한 상류하천 주요지점 또는 시설물에 미치는 영향 조사, 분석 및 검토

- ○ 삽교호의 현 배수갑문 통수능력과 외수위(조위)를 고려한 내수위(담수)를 EL. 2.5m(상시만수위) , EL. 5.1m(계획홍수위)로 유지하기 위한 홍수배수 및 수문조작상의 문제점 검토(계획홍수량 발생시)
- ○ 기왕최대 및 계획홍수량을 삽교호에서 처리할 수 때의 내외수위 변화상태 분석
- ○ 삽교호 배수갑문의 실태와 배수기능상 문제점 검토

(5) 수해발생원인 분석

- 삽교호의 '81.7.11~12일 기간의 강우로 상승한 홍수위 흔적을 기점수위로 하여 예산군 신암면 중예리, 별리 지점 등의 홍수위 흔적 검토
- 삽교호의 담수 영향으로 인한 상류하천의 영향과 퇴사현상을 조사·분석하여 하상변동 검토
- 기설제방 단면의 안전성 검토
- 하천세굴현상 및 고수부지 경작에 의한 홍수위의 변화 상황과 직강공사의 필요성 조사·검토
- 기성제 유지관리실태를 조사하여 홍수피해에 미치는 일반적인 사항 조사·검토
- 기성제 지역의 내배수처리능력을 검토하여 개선책을 강구
- 기타 수해발생 요인 분석

(6) 항구적인 종합대책 수립

- 삽교호 영향을 고려한 개수 및 미개수지역의 치수보완대책
- 기설제방의 증고 및 호안시설, 배수시설의 보완
- 삽교천 구양교 부근 및 곡교천 하류부의 퇴사현상을 분석하고 대책 수립
- 삽교호 담수로 인한 홍수소통 지체영향과 지역별 만수시간 및 피해확대범위를 분석하여 홍수조절대책 검토
- 삽교호 및 예당지의 문비조작과 홍수처리를 효과적으로 수행할 수 있는 종합대책 검토
- 주요 수해상습지역에 대한 피해예방대책 검토
- 기타 일반적 사항 검토

나. 주요 과업성과

상기한 항목의 수행결과에 의해 도출된 항구적인 대책은 다음과 같다. 이 과업의 성과 중 주목할 부분은 현 예당지 홍수조절방식이 동 과업의 성과에 의해 결정되어 현재까지 시행되고 있다는 것이다.

(1) 하천정비

- '81년 7월에 발생한 홍수는 30년빈도에 미달하는 규도의 홍수인데도 불구하고 삽교천 중상류부의 홍수위가 계획홍수위에 근접한 주요원인의 하나가 민간제 등 불법 공작물과 교장이 짧은 (구)구양교, (신)구양교 및 구만교 등 교량 등에 기인

하는 바 이들 불법공작물의 철거와 교장이 협소한 교량의 철거 또는 시급한 확장 필요

○ 석우천 합류부 직상류 우안측으로 돌출한 야산의 일부로 인하여 자연적인 협착부를 형성하고 있으며, 구양교 인근 및 무한천 합류점 인근에 발달한 고수부지 등이 홍수소통에 장해를 초래하고 있는바 이들 구간에 대한 하도정비 필요

○ 곡교천 하류부의 퇴사현상은 삽교호 건설로 인하여 발생되는 현상이라고 분석되었으며 삽교천의 구양교 인근에서 발생하는 퇴사현상은 홍수소통이 원활치 못하여 발생하는 현상으로 판단되어 앞서 기술한바와 같은 하도정비의 시행 필요

○ 삽교천 본류 유역의 기설제는 약 14.4km 구간이 대략 0.6m~1.2m의 여유고가 부족하므로 증고 및 호안설치 필요

○ 삽교천 유역에 설치된 기설 배수시설의 배제능력을 검토한 결과 6개소(삽교천 3개소, 곡교천 3개소)의 배수시설 확장 필요

○ 삽교천 유역의 하천개수율은 약 68.5%이나 곡교천 유역의 하천개수율은 불과 45.2%인바 하천정비기본계획에 의한 집중투자가 필요

(2) 예당지 및 삽교호의 관리

○ 재해대책업무 수행의 기본자료로 활용되는 수문자료의 관측시설이 대체적으로 불량한바 건설부, 예당농지개량조합 및 삽교천사업소는 소관별로 기설 수문관측시설을 개량하여야 하며,

○ 예당농지개량조합 및 삽교천사업소는 효율적인 재해대책을 위하여 필요한 수문관측시설을 자기화함과 동시에 즉각적인 정보수집을 위해 Telemeter 시설을 하고 유관행정기관과의 정보교환 및 보고 등을 위한 행정전화 가설 등 통신망 정비를 위하여 필요한 조치를 취해야 할 것이며

○ 재해대책을 위한 효율적인 예당지 관리방안으로는

- 홍수시 수위는 EL. 21.50m를 유지토록 하고
- 예당지 하류부에 영향을 주는 예비방류량은 무해방류량인 200㎥/sec를 방류하되, 홍수발생 즉시 방류토록 하고
- 예상유입 홍수량 및 실제유입 홍수량 등은 수집된 수문자료를 토대로 매시간 실산하여 비교·검토할 것이며
- 수문조작 방식은 일반적으로 채택되는 일정율 및 일정량 방류법에 의하되 일정률로는 60%가 타당할 것이며

- 개문의 수 및 문비의 개도는 계산방류량의 수치와 일치하도록 매시간 이에 대한 조치를 취한다.

○ 재해대책을 위한 효율적인 삽교호 관리방안으로는

- 삽교천 하류부의 계획홍수위는 삽교호 방조제가 건설됨으로서 EL. 4.46m로부터 EL. 5.10m로 홍수위가 0.64m 상승하는 것은 불가피하나, 가급적 홍수위가 상승하는 것을 방지하기 위하여 홍수시 삽교호의 6개 문비를 홍수발생과 동시에 완전개방 하여야 하며
- 문비의 완전개문은 홍수발생초기 뿐만 아니라 내외수위의 조건상 방류가 가능할 때에는 항상 완전개문 하여야 하며
- 예상유입 홍수량 및 실제유입 홍수량 등은 매시간별로 시산하되 그 결과를 비교·검토하여야 하며
- 문비조작 등의 상황은 매시간별로 검토하고 자료의 기록 및 보존 등도 매시간별로 유지하여야 한다.

5.2.2 삽교천 수해원인조사 보고서(1996. 11, 건교부)

삽교천 수해원인조사 보고서는 1995년 8월 23~26일, 4일간 삽교천 수계에 내습한 집중호우로 인해 발생한 막대한 홍수피해의 원인을 분석 및 규명하고 이에 대한 항구적인 정비 및 기본대책을 수립하여 일관성 있는 치수대책을 추진하는 목적으로 작성되었다.

주요 수리·수문 분석의 내용은 확률강우량 및 홍수량 산정, 삽교호 배수갑문과 예당지 홍수조절 능력 검토, 삽교호와 예당지의 물수지 분석 등이며, 수계의 전반적인 홍수피해 원인으로는 계획규모 이상의 홍수발생, 하도불량, 외수위 지속시간의 장기화, 기성제의 노후 및 유지관리 미흡, 치수시설물 관리자의 다원화, 치수전문인력의 부족 및 홍수예경보 체제와 수방대비 부족을 지적하였다.

수해방지를 위한 항구대책으로는 유수지 조성과 예당저수지 홍수조절기능 제고를 포함한 유역의 홍수배분과 함께 하천개수, 하천시설물의 유지관리 철저 및 일원화, 배수펌프장 계획, 삽교천의 홍수배제 능력 증대를 위한 삽교호 배수갑문 증설과 같은 구조적 대책과 더불어 홍수예경보체제 구축과 홍수보험제도 도입을 제시하였다.

이 과업의 성과로서 주목할 사항은 삽교호 배수갑문의 홍수배제 능력에 대한 검토 및 확장의 필요성을 공식적으로 처음 제기한 부분이다. 삽교호 배수갑문의 증설 필요성과 증설규모에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

□ 삽교호 배수갑문의 증설 필요성

- 유역내 수문관측소가 배수갑문 설계 당시 보다 증설되었고, 관측 자료도 20개년 이상 확충되어 수문분석에 대한 정도가 제고될 수 있는 시점에서 첨두홍수량을 분석한 결과 당초 계획홍수량 Qp=5,460㎥/sec(100년 빈도) 보다 453㎥/sec 증가하였다.
- '94년 하천정비기본계획 수립시 실시한 삽교호 측량결과 유입유사에 의해 내용적이 감소하여 삽교호 관리수위인 EL. 2.5m를 기준으로 내용적이 당초 V=84,082.9×10³㎥에서 V=77,251.3×10³㎥로 약 8.1% 감소하였다.
- 이상과 같은 설계조건 변화로 인해 삽교호 문비관리규정에 의해 삽교호 내수위를 검토한 결과 삽교호의 계획홍수위가 EL. 5.73m로 분석되어 당초 계획홍수위 EL. 5.10m 보다 0.63m 상승하였다.

□ 삽교호 배수갑문의 증설규모 검토

삽교호 계획홍수위 상승에 대한 대책으로서 홍수시 삽교호의 초기홍수위를 당초 EL.1.0m에서 EL.0.0m로 1.0m 낮추어도 내수위는 EL.5.66m로 0.06m 저하하는데 그쳐 그 효과가 미미한 것으로 나타남에 따라 삽교호의 계획홍수위를 당초 계획홍수위인 EL.5.10m로 유지하기 위한 삽교호의 배수갑문 규모를 검토하였다. 그 결과 삽교호의 계획홍수위를 당초 계획된 EL. 5.10m로 유지하기 위해서는 현 배수갑문 규모(6.0m(H) × 20.0m(B))로 4련을 추가로 증설하여야 하는 것으로 검토되었으며, 배수갑문의 증설을 위한 위치는 기초지반상태와 수리적인 측면, 유지관리 및 주변 여건을 고려하여 기존 배수갑문의 당진측에 연하여 축조하는 것이 바람직하고 개략공사비는 '96년 기준 약 230억원(토목공사비 : 140억원, 기전공사비 : 90억원)으로 추정되었다.

<표 5.9> 삽교호 배수갑문 능력검토 결과

구분	빈도 (년)	홍수량 (㎥/sec)	갑문폭에 따른 내수위 (EL. m)				비 고
			120m	180m	200m	220m	
'76 삽교호 설계당시	100	5,460	5.085	-	-	-	초기수위:EL.2.5m
'96 수해원인 조사	50	5,225	5.34	4.86	4.78	4.67	초기수위:EL.1.0m
	80	5,686	5.61	5.08	4.97	4.88	내용적:'94측량성과
	100	5,913	5.73	5.18	5.09	4.99	
	150	6,314	5.96	5.35	5.23	5.14	

5.3 아산·삽교호 주변 침수원인분석 보고서(2000.12, 농림부)

본 보고서에서는 아산호 및 삽교호 유역의 침수문제를 해결하기 위한 목적으로 유역내의 홍수특성 및 침수특성에 대한 전반적인 검토와 함께 침수원인 규명을 위해 유역의 강우 발생에 따른 홍수유출의 시·공간적 변화와 담수호의 수리특성에 영향을 미치는 외부요인에 대한 영향을 고려하여 홍수분석을 실시하였다.

이러한 영향요소들의 분석을 위해 부정류 모형을 적용하여 각 수계별로 유역 및 하천의 유출특성과 지속시간별 홍수분석을 실시하고 이를 토대로 하천의 통수능력 검토, 농경지 침수분석, 배수갑문의 홍수배제능력 평가를 실시하는 등 다각적으로 침수원인을 분석하고 원인별 대책을 수립하였다.

주요 수리·수문 분석으로는 Nash모형에 의해 홍수량을 산정하고, 하도에서의 홍수추적은 미개척국(USBR)에서 개발한 DWOPER(Dynamic Wave Operation Model)를 하구에 배수갑문이 있을 경우 이곳에서의 흐름을 외부경계조건으로 취급하여 해석할 수 있도록 보완하여 개발한 1차원 부정류 모형인 CRIUM(Channel Routing by Implicit Unsteady flow Model)을 사용하여 하도에서의 홍수위 뿐만 아니라 수위지속시간까지 검토하였다.

이러한 수리·수문 분석결과에 기초하여 삽교호 주변 및 삽교천 수계 주요 하천인 삽교천, 곡교천, 무한천 중하류부를 대상으로 하도의 홍수위와 주변 농경지의 표고를 비교하여 침수를 유발하는 수위에 대해 지속시간을 산정하였으며, 다음의 침수방지 대책에 따른 홍수위와 수위지속시간의 변화를 분석하여 침수방지 대책으로서의 타당성을 검토하였다.

그 결과 삽교천 유역의 침수지역은 주로 삽교호 중·상류 하천변에 분포하며, 침수원인은 농경지 표고 이상에서 하천 홍수위의 장기간 지속과 기설 시설물의 배수능력 부족 등인 것으로 나타났다.

침수대책 방안별 검토 결과는 다음과 같다.

□ 홍수기 제한수위의 하향 조정

현 삽교호의 홍수기 제한수위를 EL. 1.0m에서 EL. -0.5m 까지 낮출 경우 삽교호에서는 0.15m의 홍수위 저하가 있으나, 침수지역이 분포하는 중·상류부 하천 구간에서는 거의 변화가 없어 침수방지 대책으로는 효과가 없다.

□ 배수갑문 홍수배제능력 증대방안

삽교호 배수갑문을 현재보다 150m를 더 증설하여도 침수농경지가 분포하는 중·상

류부 하천에서는 홍수위 저하와 지속시간 감소효과가 없어 침수방지 대책으로 적절치 않다.

□ 예당지의 연계운용 방안

예당지와 홍수조절을 연계운용한 결과 무한천의 홍수위는 0.3m, 삽교호에서는 0.2m 저하하고 무한천 중류부 지점의 홍수위 지속시간은 11시간 단축되어 연계운용 효과가 있는 것으로 나타나 이를 극대화하기 위해 홍수 예·경보시스템 설치가 필요하다.

□ 하천 홍수소통능력 증대방안

하천내 고수부지로 인해 원활한 홍수소통에 지장을 유발하는 무한천과 삽교천 합류점에서 삽교호 구간과, 삽교천의 구만교 상류부 하천구간에 대한여 고수부지를 정비한 결과 삽교호 구간에서의 홍수위 저하효과는 미미한 반면 삽교천 중·상류부 하천의 홍수위 저하는 큰 것으로 나타났으나 주변 농경지의 침수시간은 여전히 설계기준 이상 지속되어 침수방지 대책으로는 미흡하다.

□ 삽교호 준설과 예당지 연계방안

삽교호 저류능력을 제고하여 홍수위 저하를 모색하고자 삽교호에서 685백만㎥ 준설시 삽교호 홍수위는 0.17m 내외로 저하되었으나 중·상류부 하천에서는 홍수위 변화가 없어 침수방지 효과가 없는 것으로 나타났다. 그러나 삽교호 준설과 병행하여 예당지 홍수조절 연계 및 홍수기 제한수위의 하향관리시 삽교호 계획홍수위가 EL. 5.15m 까지 저하되는 것으로 나타나 삽교호의 기설 시설물의 정상적 기능유지 및 관리를 위하여 정밀조사를 통해 준설을 추진할 필요가 있는 것으로 나타났다.

제 6 장 강 우 분 석

6.1 확률강우량

6.2 삽교천 유역의 면적감소계수(ARF) 산정

6.3 가능최대강수량(PMP)의 추정

6.4 장래 강우특성 변화 예측

제 6 장 강 우 분 석

6.1 확률강우량

6.1.1 일최대 확률강우량

삽교천 유역과 주변에 위치한 비교적 장기간의 관측기록을 보유한 예산, 덕산, 홍성 등 7개 건교부 우량관측소의 1일최대 강우량의 연최대치 계열을 추출하여 각 관측소별로 확률강우량을 산정하였다.

각 관측소의 일최대 확률강우량은 소방방재청 산하 국립방재연구소에서 개발한 'FARD (Frequency Analysis of Rainfall Data)'를 사용하여 산정 하였으며, 확률분포형으로는 2변수 Gamma분포, 3변수 Gamma분포, General Extreme Value분포, Gembel분포, 2변수 Log-Gumbel분포, 3변수 Log-Gumbel분포, 2변수 Log-Normal분포, 3변수 Log-Normal분포, Log-Pearson TypeⅢ분포, 2변수 Weibull분포, 3변수 Weibull분포, 4변수 Wakeby분포, 5변수 Wakeby분포 등을 적용하였다. 또한 각 확률분포의 모수 추정은 모멘트법, 최우도법 및 확률가중 모멘트법을 사용하고, 관측된 수문자료군이 각 분포형 중 어느 분포형에 적합한가를 판단하기 위하여 적합도 검정(χ^2검정, Kolmogorov - Smirnov검정, Cramer Von Mises검정, PPCC검정)을 실시하였다.

분석대상관측소 강우기록의 빈도해석 결과 3개 모수추정방법에 대한 매개변수 적합성 검토와 유의수준 5%에서 확률분포형 적합도 검정을 만족하는 분포는 Gumbel 분포 외 5개 분포형이 있으나, 타 분포형에 비해 적합도가 특별히 우세한 분포형이 없고, ⅰ) 기존 삽교천 하천정비기본계획(1977.12, 1994.3)에서 채택한 확률강우 분포형이 Gumbel 분포이며, ⅱ) 건설교통부에서 연최대치계열의 적정확률분포형으로 Gumbel 분포를 제시하였으며, ⅲ) '한국 확률강우량도 작성, 2000.6, 건설교통부'에서 채택한 대상유역 주변관측소의 적정 확률강우분포형으로 Gumbel 분포가 우세(서산-GEV, 천안(아산)-GUM, 보령-GUM, 부여-GUM, 대전-GUM)하고, ⅳ) 같은 수계내의 관측소에 대해서 적합도가 약간 우수하다고 해서 별개의 분포를 채택하는 것이 바람직하지 않다고 판단하여 모든 관측소에 대해 적정 확률강우분포형으로 Gumbel 분포를 채택하였다.

모수추정은 일반적인 모멘트법보다 적은 자료수에 의한 영향을 덜 받으며, 안정적이고, 극대 강우사상이 포함된 자료계열에도 큰 왜곡 특성이 나타나지 않는 확률가중모멘트법에 의한 결과를 채택하였다.

각 관측소별 확률강우량 산정결과는 <표 6.3>~<표 6.5>와 같다.

<표 6.1> 각 확률분포형의 확률밀도함수 또는 누가분포함수

확 률 분 포 형	확률밀도함수 또는 누가분포함수
Gamma	$f(x) = \frac{1}{\lvert a \rvert \Gamma(\beta)} \left[\frac{x-x_0}{\alpha}\right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{x-x_0}{\alpha}\right]$
GEV	$f(x) = \frac{1}{a}\left[1-\frac{\beta(x-x_0)}{\alpha}\right]^{(1/\beta)-1}$
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{a}\exp\left\{-\frac{(x-x_0)}{\alpha} - \exp\left[-\frac{(x-x_0)}{a}\right]\right\}$
Log-Gumbel	$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{\Theta-x_0}{x-x_0}\right)\right]$
Log-Normal	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(x-x_0)\sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right]$
Log-Pearson type Ⅲ	$f(x) = \frac{1}{\lvert a \rvert \Gamma(\beta)x}\left[-\frac{\ln(x)-y_0}{a}\right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{\ln(x)-y_0}{a}\right]$
Weibull	$f(x) = \frac{\beta}{a}\left[-\frac{(x-x_0)}{a}\right]^{\beta-1} \exp\left\{\left[-\frac{(x-x_0)}{a}\right]^{\beta}\right\}$
Wakeby	$x = m + a[1-(1-F)^b] - c[1-(1-F)^{-b}]$

【주】 $\Gamma(\beta) = \int_0^\infty z^{\beta-1}e^{-z}dz$: Gamma 함수

<표 6.2> 각 확률분포형의 확률변수 범위 및 모수적합성 조건

확 률 분 포 형	확률밀도함수 또는 누가분포함수
Gamma	$\alpha > 0$ 일 때 $x_0 < x < \infty$ $\alpha < 0$ 일 때 $-\infty < x < x_0$, $\beta > 0$
GEV	$\beta = 0$ 일 때 GEV - 1 : $-\infty < x < \infty$ $\beta < 0$ 일 때 GEV - 2 : $x_0 + \alpha/\beta < x < \infty$ $\beta > 0$ 일 때 GEV - 3 : $-\infty < x < x_0 + \alpha/\beta$
Gumbel	$-\infty < x < \infty$
Log-Gumbel	$x_0 < x < \infty$, $\Theta > x_0$, $\beta > 0$
Log-Normal	$x_0 < x < \infty$
Log-Pearson type Ⅲ	$\alpha > 0$ 일 때 $\exp(y_0) \le x < \infty$ $\alpha < 0$ 일 때 $-\infty \le x < \exp(y_0)$
Weibull	$b + d > 0$ 또는 $b = cd = d = 0$ $ab = 0$ 이면 $b = 0$, $cd = 0$ 이면 $d = 0$ $cd \ge 0$, $ab + cd \ge 0$, $b > -1$ 이고 $d < 1$
Wakeby	$x_0 < x < \infty$, $\alpha > 0$, $\beta > 0$

<표 6.3> 건교부 관할 관측소의 1일지속최대 확률강우량 산정 결과

관측소 / 재현기간	덕 산	병 천	청 양	성 환	예 산	정 안	홍 성
2 년	135.2	120.1	112.9	119.1	126.0	123.0	126.0
3 년	161.8	140.0	133.5	140.0	150.8	143.4	149.2
5 년	191.3	162.2	156.5	163.2	178.4	166.1	175.1
10 년	228.5	190.0	185.4	192.5	213.1	194.7	207.6
20 년	264.2	216.7	213.1	220.5	246.4	222.1	238.7
30 년	284.7	232.1	229.0	236.6	265.5	237.9	256.6
50 년	310.3	251.3	249.0	256.8	289.4	257.6	279.0
70 년	327.2	263.9	262.0	270.0	305.1	270.6	293.7
80 년	333.8	268.9	267.2	275.2	311.4	275.7	299.5
100 년	344.9	277.2	275.8	283.9	321.7	284.2	309.2
200 년	379.4	303.0	302.6	311.0	353.9	310.7	339.3
300 년	399.5	318.1	318.2	326.8	372.7	326.2	356.9
500 년	424.9	337.1	337.9	346.7	396.3	345.7	379.1

<표 6.4> 건교부 관할 관측소의 2일지속최대 확률강우량 산정 결과

관측소 / 재현기간	덕 산	병 천	청 양	성 환	예 산	정 안	홍 성
2 년	171.1	151.0	149.1	148.7	154.9	153.5	154.0
3 년	204.0	174.0	175.3	175.7	183.8	181.2	186.3
5 년	240.7	199.6	204.4	205.8	215.9	212.1	222.2
10 년	286.8	231.8	240.9	243.6	256.3	250.9	267.4
20 년	331.1	262.7	276.0	279.9	295.0	288.1	310.7
30 년	356.5	280.4	296.2	300.7	317.3	309.5	335.7
50 년	388.3	302.6	321.4	326.8	345.2	336.3	366.8
70 년	409.2	317.2	338.0	343.9	363.5	353.8	387.3
80 년	417.4	322.9	344.5	350.7	370.7	360.8	395.3
100 년	431.2	332.6	355.5	362.0	382.8	372.4	408.9
200 년	474.0	362.4	389.4	397.0	420.2	408.3	450.7
300 년	498.9	379.8	409.2	417.5	442.1	429.3	475.2
500 년	530.4	401.8	434.1	443.3	469.6	455.8	506.0

<표 6.5> 건교부 관할 관측소의 3일지속최대 확률강우량 산정 결과

관측소 / 재현기간	덕 산	병 천	청 양	성 환	예 산	정 안	홍 성
2 년	186.4	162.2	164.0	162.0	165.9	167.3	165.2
3 년	222.4	188.4	194.1	192.9	197.6	199.0	201.6
5 년	262.4	217.5	227.6	227.3	232.9	234.2	242.1
10 년	312.8	254.2	269.7	270.5	277.3	278.4	293.0
20 년	361.0	289.4	310.1	312.0	319.9	320.9	341.9
30 년	388.8	309.6	333.3	335.8	344.4	345.3	370.0
50 년	423.5	334.9	362.4	365.6	375.0	375.8	405.1
70 년	446.3	351.5	381.4	385.2	395.1	395.9	428.2
80 년	455.3	358.1	388.9	392.9	403.0	403.8	437.3
100 년	470.4	369.0	401.5	405.8	416.3	417.0	452.5
200 년	517.0	403.0	440.6	445.9	457.4	458.0	499.7
300 년	544.3	422.9	463.4	469.3	481.5	482.0	527.3
500 년	578.6	447.9	492.1	498.8	511.7	512.2	562.0

6.1.2 임의의 지속시간 확률강우량으로 보정

우리나라의 일강우량은 관측기관에 따라 기준 시각에 차이가 있다. 즉, 기상청 관할 관측소에서는 0시에서 24시까지의 24시간 우량을 그날의 일강우량으로 기록하는 반면, 건교부 관측소는 오전 10부터 다음날 오전 10시까지의 24시간 우량을 그날의 일강우량으로 기록한다. 이러한 관측시간의 차이에 따라 강우발생일 및 총강우량의 차이가 발생할 수 있다. 또한 불규칙한 강우발생시각을 고려할 때 기존의 고정시간 개념의 일최대강우량은 실제 발생한 강우에 비해 과소한 결과를 보일 수 있으며, 수문학적 의미를 갖는 지속시간별 확률강우량을 산정하는데 부적합하다.

따라서, 건교부에서는 고정시간의 시우량이나 일강우량에 의해 연최대치 계열 또는 연초과치 계열로 구성하여 수문학적 의미를 갖는 지속기간별 확률강우량을 산정할 수 있도록 우리나라 전역에 분포한 기상청 산하 23개 측후소 지잠의 고정시간 간격 최대강우량과 지속기간별 최대강우량 자료를 추출하고 이 두 자료간의 관계를 <표 6.6>과 같이 제시한바 이 환산계수를 적용하여 기존의 고정시간 간격의 강우자료로부터 수문학적 의미를 갖는 임의의 지속시간별 확률강우량을 산정할 수 있도록 하였다.

<표 6.6> 국내 강우자료의 지속시간별 관계

고정시간 간격	임의의 지속시간	환 산 계 수
1 시간	60 분	1.129 (1.13)
3 시간	180 분	1.033
6 시간	360 분	1.013 (1.02)
24 시간	1440 분	1.005 (1.01)
1 일	1440 분	1.161 (1.13)

『자료』하천설계기준, 2002, 한국수자원학회
【주】( )는 미국 기상청에서 제시하여 이용되는 환산계수

그러나 상기의 수치는 우리나라 전역에 위치한 관측소를 대상으로 '88년에 산정한 값이므로 금회 과업에서는 삽교천 유역 주변에 위치한 기상청 관할 천안, 서산, 보령, 부여 관측소의 0시에서 24시까지의 1일최대 및 2일최대강우량 계열과 임의의 24시간, 48시간 지속 최대강우량 계열의 관계로부터 고정시간간격 1일, 2일최대강우량과 임의의 24시간, 48시간지속최대강우량간의 환산계수를 유도하였다.

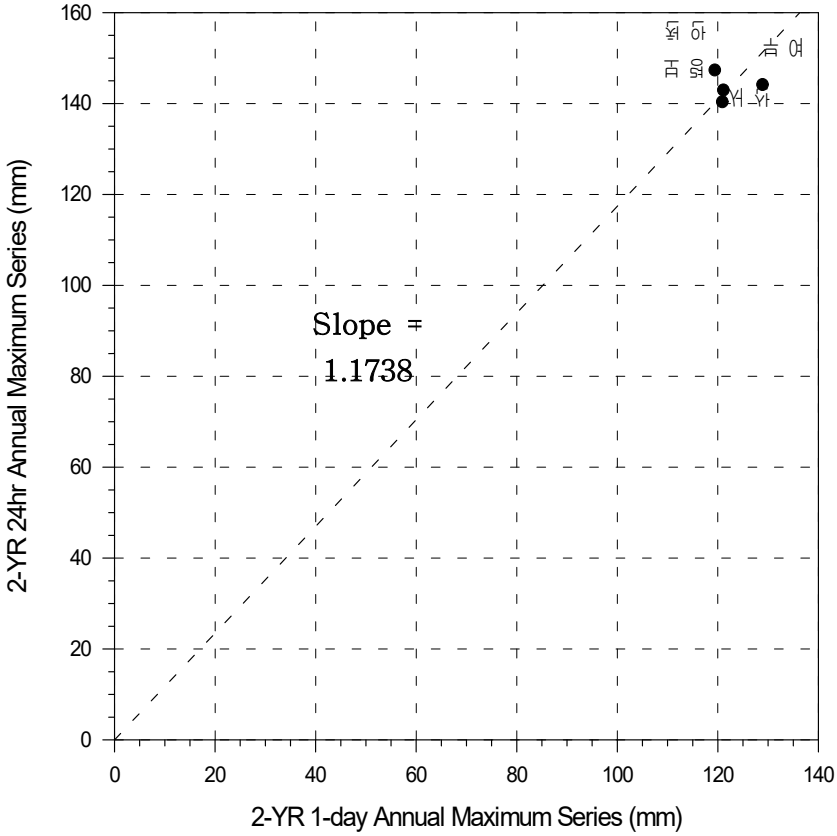
산정 방법은 '한국확률강우량도의 작성(건교부, 1988)'의 절차에 따라 고정시간간격 최대강우량 계열의 2년빈도 확률강우량과 임의지속시간 최대강우량계열의 2년빈도 확률강우량의 비를 삽교천 유역에 대해 Thiessen 가중평균한 값과, <그림 6.1> 및 <그림 6.2>와 같이 도시하여 결정한 회귀직선의 기울기를 비교하였다.

그 결과 각 관측소별 2년빈도 고정시간 확률강우량과 임의시간 확률강우량의 비를 1차식으로 회귀분석하여 그 기울기를 환산계수로 채택한 것은 산술평균한 것과 결과가 동일하게 나타났다. 당초 연구에서는 불특정 지역을 대상으로 하였으므로 산술평균한 것이 타당할 수 있으나 금회 과업에서 환산계수를 재산정한 것은 삽교천 유역의 특성에 적합한 값을 채택하고자 하는 것이 목적이므로 분석대상 관측소의 삽교천 유역에 대한 영향을 적절히 반영하기 위해서는 Thiessen 계수를 고려하여 삽교천 유역에 대해 가중평균한 값이 타당할 것으로 판단된다.

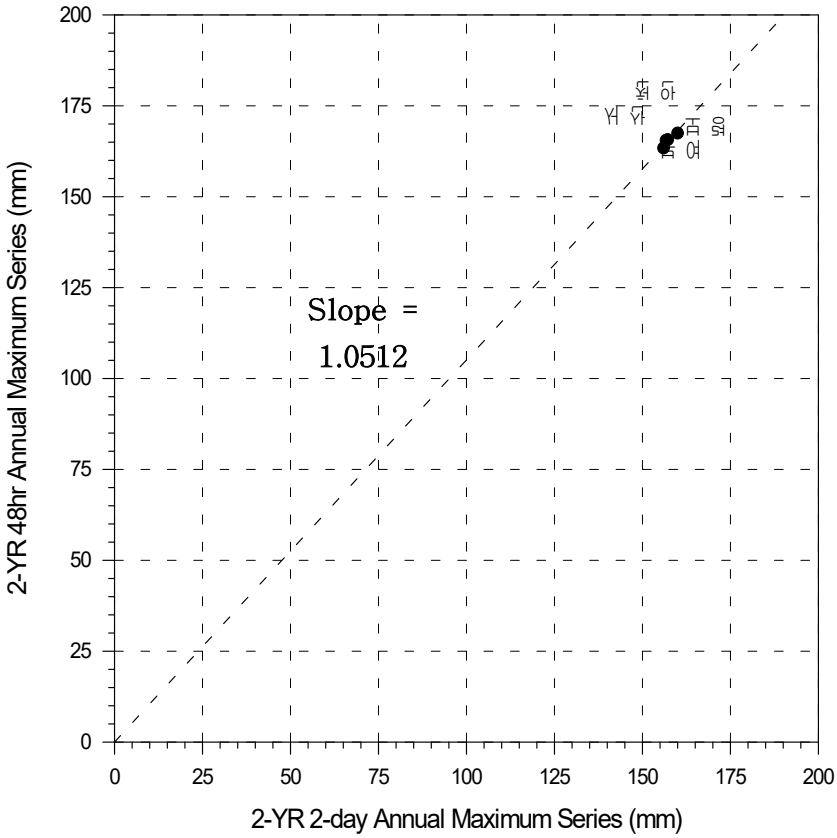
<표 6.7> 고정시간 간격과 임의의 지속시간 최대우량간의 환산계수

구 분	서 산	천 안	보 령	부 여	산술평균	가중평균
1일→24시간	1.1808	1.2345	1.1613	1.1187	1.1738	1.2044
2일→48시간	1.0562	1.0469	1.0541	1.0474	1.0512	1.0507

【주】가중평균은 분석대상 관측소의 삽교천 유역에 대한 Thiessen 계수를 고려한 결과임.



<그림 6.1> 재현기간 2년의 고정시간 1일과 임의지속 24시간 확률강우량 관계



<그림 6.2> 재현기간 2년의 고정시간 2일과 임의지속 48시간 확률강우량 관계

이러한 절차에 의해 시간강우 기록이 미흡한 건교부 관할 예산, 청양, 성환, 정안, 병천, 홍성, 덕산 관측소의 일최대 확률강우량에 금회 산정한 환산계수 1.2044를 적용하여 24시간최대 확률강우량으로 환산 하였으며, 시간강우 기록이 양호한 기상청 관할 서산, 천안 관측소는 시강우 자료에 의해 24시간지속 확률강우량을 직접 산정하였다. 각 관측소별 재현기간별 고정시간 및 임의시간 확률강우량은 <표 6.8>과 같다.

<표 6.8> 삽교천 유역 우량관측소 지점의 재현기간별 24시간지속 확률강우량

재현기간 / 관측소		재현기간별 강우량 (mm)								비 고
		20	30	50	80	100	200	300	500	
예 산	일 최대	246.4	265.5	289.4	311.4	321.7	353.9	372.7	396.3	건교부 관할
	24시간 최대	296.8	319.8	348.6	375.1	387.5	426.2	448.9	477.3	
청 양	일 최대	213.1	229.0	249.0	267.2	275.8	302.6	318.2	337.9	〃
	24시간 최대	256.7	275.8	299.9	321.8	332.2	364.5	383.2	407.0	
성 환	일 최대	220.5	236.6	256.8	275.2	283.9	311.0	326.8	346.7	〃
	24시간 최대	265.6	285.0	309.3	331.5	341.9	374.6	393.6	417.6	
정 안	일 최대	222.1	237.9	257.6	275.7	284.2	310.7	326.2	345.7	〃
	24시간 최대	267.5	286.5	310.3	332.1	342.3	374.2	392.9	416.4	
병 천	일 최대	216.7	232.1	251.3	268.9	277.2	303.0	318.1	337.1	〃
	24시간 최대	261.0	279.5	302.7	323.9	333.9	364.9	383.1	406.0	
홍 성	일 최대	238.7	256.6	279.0	299.5	309.2	339.3	356.9	379.1	〃
	24시간 최대	287.5	309.0	336.0	360.7	372.4	408.7	429.9	456.6	
덕 산	일 최대	264.2	284.7	310.3	333.8	344.9	379.4	399.5	424.9	〃
	24시간 최대	318.2	342.9	373.7	402.0	415.4	456.9	481.2	511.7	
천 안	24시간 최대	265.2	284.0	307.4	328.8	339.1	370.5	388.9	412.1	기상청 관할
서 산	24시간 최대	288.9	311.9	340.5	366.7	379.2	417.7	440.2	468.4	〃
보 령	24시간 최대	292.8	316.8	346.9	374.6	387.6	428.1	451.8	481.5	〃
부 여	24시간 최대	271.5	291.4	316.3	339.1	349.8	383.3	402.8	427.4	〃

금회 산정한 건교부 관할 관측소의 확률강우량과 과거 하천정비기본계획에서 산정한 확률강우량을 비교한 결과 모든 관측소에서 기존의 확률강우량에 비해 크게 산정 되었는데 이는 기존의 확률강우량이 고정시간 개념인 1일 최대값인데 비해 금회 분석에서는 일최대 강우량을 임의의 지속시간인 24시간지속 확률강우량으로 환산하거나 시우량 자료를 통해 직접 24시간지속 확률강우량을 산정하였기 때문이다. 그러나 기상청 관측소의 경우 기존 하천정비기본계획에서 확률강우량을 산정한 결과가 없어 비교할 수 없었다.

금회 산정한 확률강우량과 기존의 확률강우량의 차이는 이러한 지속시간에 의한 차이 이외에도 분석대상 자료의 기간이 상이하며, 동일한 확률분포형을 적용하였더라도 모수

추정 방법 등의 차이에서 발생한 것으로 판단된다. 특히 천안과 정안 관측소 확률강우량이 기존의 확률강우량과 비교적 큰 차이를 보이고 있어 그 원인을 분석한 결과 천안 관측소의 경우 기존의 확률강우량이 1950년 이전의 자료도 분석에 포함한데 비해 금회 분석에서는 시강우자료 보유기간인 '73년 이후의 자료를 사용하였으며, 특히 일최대가 아닌 24시간최대 강우량을 산정한데 기인하고, 정안 관측소의 경우 분석대상 강우자료의 기간이 비교적 짧아 '95년, '98년 등 기존의 확률강우량 분석기간 이후에 발생한 대규모 호우가 영향을 크게 미쳤기 때문인 것으로 판단된다.

<표 6.9> 관측소별 확률강우량 산정값과 금회 산정값 비교

(단 위 : mm)

관측소	분석년도	빈도별 강우량									분석자료기간	비 고
		20	30	50	80	100	150	200	300	500		
예산	1989	217.0	233.6	254.7	274.1	283.4	-	-	-	-	1933-1941, 1957-1988 (41개년)	방법별평균
	1993	-	-	269.9	289.9	299.4	316.5	-	-	-	1933-1941, 1957-1964, 1966-1992(44개년)	Gumbel
	1994	-	-	268.7	288.9	298.6	316.0	-	-	-	1933-1941, 1957-1964, 1966-1993(45개년)	Gumbel
	금회	296.8	319.8	348.6	375.1	387.5	-	426.2	448.9	477.3	1957~2002('65 결측) (45개년)	Gumbel
덕산	1993	-	-	315.4	340.3	352.0	373.3	-	-	-	1963, 1965-1992 (28개년)	Gumbel
	금회	318.2	342.9	373.7	402.0	415.4	-	456.9	481.2	511.7	1965~2002 (38개년)	Gumbel
홍성	1977	-	-	258.4	274.3	281.8	295.2	-	-	-		방법별평균
	1989	219.1	235.0	254.8	273.1	281.8	-	-	-	-	1918-1941, 1959-1992 (58개년)	Log-Nomal
	1993	-	-	258.6	277.3	286.1	302.2	-	-	-	1918-1941, 1959-1993 (59개년)	Gumbel
	금회	287.5	39.0	336.0	360.7	372.4	-	408.7	429.9	456.6	1959~2002(44개년)	Gumbel
천안	1977	-	-	207.7	220.2	226.1	236.9	-	-	-	1923-1941(19개년)	방법별평균
	1993	-	-	218.0	232.4	239.2	251.6	-	-	-	1923-1941, 1972-1992 (40개년)	Gumbel
	1994	-	-	212.5	226.1	232.6	244.3	-	-	-	1918-1941, 1972-1993 (41개년)	Gumbel
	금회	265.2	284.0	307.4	328.8	339.1	-	370.5	388.9	412.1	1973~2003 (31개년)	Gumbel
청양	1977	-	-	277.4	298.3	308.2	326.2	-	-	-	1929-1941(13개년)	방법별평균
	1989	220.9	239.2	262.3	283.8	294.1	-	-	-	-	1929-1941, 1963-1988 (39개년)	Log-Nomal
	1993	-	-	257.9	277.8	287.2	304.3	-	-	-	1929-1941, 1963-1992 (43개년)	Gumbel
	1994	-	-	252.6	271.8	280.9	297.4	-	-	-	1929-1944, 1963-1993 (44개년)	Gumbel
	금회	256.7	275.8	299.9	321.8	332.2	-	364.5	383.2	407.0	1963~2002(40개년)	Gumbel

<표 6.9> 관측소별 확률강우량 산정값과 금회 산정값 비교 (계속)

(단 위 : mm)

관측소	분석년도	빈도별 강우량									분석자료기간	비 고
		20	30	50	80	100	150	200	300	500		
성환	1993	-	-	271.8	291.9	301.4	318.6	-	-	-	1916-1941, 1963-1964, 1968-1992(53개년)	Gumbel
	1994	-	-	267.7	287.3	296.6	313.5	-	-	-	1916-1950, 1962-1964, 1968-1993(54개년)	Gumbel
	2003	265.6	285.0	309.3	331.5	341.9	-	374.6	393.6	417.6	1968~2002 (34개년)	Gumbel
정안	1993	-	-	221.5	236.7	243.9	256.9	-	-	-	1968~1992 (25개년)	Gumbel
	1994	-	-	216.9	231.5	238.4	251.0	-	-	-	1968~1993 (26개년)	Gumbel
	2003	267.5	286.5	310.3	332.1	342.3	-	364.5	383.2	407.0	1960~2002 (43개년)	Gumbel
병천	1993	-	-	280.6	302.5	312.9	331.7	-	-	-	1966~1992 (27개년)	Gumbel
	1994	-	-	274.1	295.3	305.2	323.3	-	-	-	1966~1993 (28개년)	Gumbel
	2003	261.0	279.5	302.7	323.9	333.9	-	364.9	383.1	406.0	1966~2002 (37개년)	Gumbel

【주】 1) 1977 : 삽교천 하천정비 기본계획(1977, 건설부)
2) 1989 : 무한천 하천정비기본계획(1989, 충청남도)
3) 1993 : 삽교천 하천정비기본계획(보완)(1994.3, 건설부)
4) 1994 : 삽교천(곡교천, 무한천) 하천정비기본계획(보완)(1994,11, 건설부)

6.1.3 건교부 우량관측소 시강우자료 사용성 검토

소규모 유역의 홍수량은 단기간에 발생하는 강우의 크기에 의해 결정되므로 삽교천 유역 상류부 소규모 유역의 홍수량을 산정하기 위해서는 24시간 이하의 지속시간을 갖는 확률강우량이 필요할 수 있다. 이러한 목적으로 삽교천 유역 및 인근에 위치한 기상청 관할 천안, 서산, 보령, 부여 관측소에 대해 지속시간별 연최대강우량 계열을 추출하여 확률강우량을 분석하였으나 분석대상 관측소중 유역내에 위치한 관측소는 천안 관측소 1개소 뿐이며 그 위치도 유역의 동측에 치우쳐 있어 삽교천 유역의 강우특성을 정확히 반영하는데는 한계가 있다.

그러나 유역내 및 인근에 위치한 건교부 우량관측소의 경우 비교적 장기간의 자료를 보유한 일강우기록에 비해 시강우자료는 주로 '80년대부터 관측하여 관리하고 있으며, '90년대 이전의 기록은 우기(6월~9월)의 일부기간에만 한정되어 있는 등 확률강우량 분석에 필요한 자료가 충분하지 못한 실정이다. 확률강우량 분석시 자료수가 적으면 극대강우사상의 영향으로 분석 결과에 큰 왜곡특성이 나타날 수 있으며, 1시간이나 2시간 정도의 단기지속 강우는 6월~9월의 우기가 아닌 시기에도 발생할 수 있으므로 우기의 일부 기간에만 관측한 시강우 자료에서 추출한 연최대치계열의 신뢰성을 보장할 수 없다.

따라서 삽교천 유역 및 주변에 위치한 건교부 우량관측소 중 30년 이상의 관측기록을 보유한 예산 관측소외 6개 관측소에서 보유한 시강우자료에 의해 산정한 지속시간별 확

률강우량을 검토하여 설계강우량 산정에 필요한 기초자료로서의 활용여부를 판단하였다.

가. 자료보유 기간

검토 대상 7개 우량관측소는 삽교천 유역에 3개소, 금강 유역에 3개소, 안성천 유역에 1개소가 위치하고 있다. 보유하고 있는 시우량 기록은 16~24개년으로 평균 20개년 정도이나 지속시간별 최대강우량 계열을 추출하여 24시간 및 48시간지속 최대강우량과 1일최대, 2일최대 강우량을 비교하여 24시간 및 48시간지속 최대강우량이 작은 연도의 자료를 제외한 결과 사용 가능한 자료의 수는 13~19개년으로 평균 16개년의 자료가 사용가능한 것으로 분석되었다.

그러나 청양 관측소의 경우 확률강우량 분석에 사용 가능한 자료기간이 13개년에 불과하여 'FARD'에 의한 분석에 불가능하므로 실제 확률강우량 분석이 가능한 지점은 6개소에 불과하다.

<표 6.10> 건교부 우량관측소별 시우량자료 보유 현황

구 분	삽 교 천			금 강			안 성 천
	예 산	덕 산	홍 성	청 양	정 안	병 천	성 환
1969년	-	-	△	-	-	-	-
1970년	-	-	△	-	-	-	-
1971년	-	-	-	-	-	-	-
1972년	-	-	-	-	-	-	-
1973년	-	-	-	-	-	-	-
1974년	-	-	-	-	-	-	-
1975년	-	-	-	-	-	○	-
1976년	-	-	-	-	-	○	-
1977년	-	-	-	-	-	△	-
1978년	-	-	-	-	-	△	-
1979년	△	-	-	-	-	○	-
1980년	○	-	○	-	-	△	△
1981년	○	-	○	○	△	○	△
1982년	△	○	-	△	-	△	○
1983년	△	○	○	○	○	○	○
1984년	○	△	△	○	○	○	○
1985년	-	-	○	○	-	-	-
1986년	-	△	○	-	○	○	○
1987년	○	○	△	○	○	○	○
1988년	○	○	-	○	○	○	○
1989년	○	○	△	△	○	○	○

<표 6.10> 건교부 우량관측소별 시우량자료 보유 현황 (계속)

구 분	삽 교 천			금 강			안 성 천
	예 산	덕 산	홍 성	청 양	정 안	병 천	성 환
1990년	○	○	○	-	○	○	○
1991년	○	○	○	△	○	○	○
1992년	○	○	○	○	○	○	-
1993년	○	○	○	△	-	△	-
1994년	△	-	-	-	-	-	△
1995년	○	○	○	-	-	-	○
1996년	△	○	○	-	-	-	△
1997년	○	○	○	○	○	○	○
1998년	○	○	○	○	○	○	○
1999년	○	○	○	○	○	○	○
2000년	○	△	○	○	○	○	○
2001년	○	○	○	○	○	○	○
2002년	○	○	○	○	○	○	○

【주】 ○ : 시우량 기록 보유
△ : 시우량 자료는 있으나, 자료의 신뢰성이 떨어져서 사용 불가

나. 지속시간별 확률강우량 산정결과 검토

건교부 우량관측소의 시우량 자료에 의한 지속시간별 확률강우량 산정결과는 <표 6.11>~<표 6.16>과 같고 기상청 관측소의 시우량 자료에 의한 확률강우량은 <표 6.17>~<표 6.20>에 수록 하였다. 자료수가 적어 확률강우량 산정이 불가능한 청양 관측소를 제외한 6개 관측소의 확률분포형은 일최대 확률강우량과 같이 Gumbel 분포를 채택하였고 모수 추정방법 역시 확률가중모멘트법을 사용하였다.

각 관측소별로 산정된 지속시간별 확률강우량을 <그림 6.3>과 같이 비교한 결과 '95년 삽교천 유역 대홍수시 장기간의 강우량이 크게 나타났던 덕산과 홍성 관측소의 확률강우량이 이때의 영향으로 24시간 이상의 지속시간에서 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 같은 삽교천 유역내에 위치하지만 상대적으로 이 시기의 장기 강우량이 작았던 예산 관측소의 확률강우량은 24시간 이상의 지속시간에서 확률강우량의 변화가 매우 작게 나타나는 등 지속시간에 따른 확률강우량의 변화 성향이 삽교천 유역내 관측소간에 상이한 특성을 보이고 있다. 그러나 유역 밖에 위치한 병천, 청양, 성환 관측소의 확률강우량 산정 결과는 지속시간에 따른 변화 성향이 서로 유사한 것으로 판단된다.

이에 비해 기상청 관할 서산, 보령, 천안, 부여 관측소의 확률강우량 산정결과는 <그림 6.3>과 같이 서해안에 인접한 서산, 보령 관측소와 상대적으로 내륙에 위치한 천안, 부여 관측소의 성향이 뚜렷이 구분됨을 알 수 있다. 즉, 해안에 인접한 서산과 보령 관측

소의 확률강우량은 내륙에 위치한 천안, 부여 관측소의 확률강우량에 비해 지속시간이 12시간 미만일 경우는 비슷하게 산정 되었으나, 12시간 이상의 지속시간 부터는 급격히 증가하여 확률강우량의 차이가 점차 증가함을 알 수 있다. 이렇게 지속시간에 따른 확률강우량의 변화 성향이 해안과 내륙에 위치한 관측소별로 뚜렷이 구분되어 관측소의 입지특성을 잘 반영하고 있는데 비해 건교부 관측소 지점의 지속시간별 확률강우량의 변화는 관측소의 위치에 지속시간별 변화 성향이 명확히 나타나지 않고 있다.

<표 6.11> 덕산 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

재현기간	지 속 시 간									
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	8시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5 년	56.0	77.9	-	104.9	133.2	149.5	174.4	198.9	221.6	284.7
10 년	67.8	92.7	-	122.1	155.6	173.3	204.2	235.2	264.2	346.2
20 년	79.2	106.8	-	138.5	177.1	196.2	232.7	270.0	305.0	405.2
30 년	85.7	115.0	-	148.0	189.5	209.3	249.1	290.1	328.4	439.2
50 년	93.9	125.2	-	159.8	205.0	225.8	269.7	315.1	357.8	481.6
80 년	101.3	134.5	-	170.6	219.1	240.8	288.4	338.0	384.6	520.5
100 년	104.9	138.9	-	175.8	225.9	248.0	297.3	348.9	397.4	538.8
200 년	115.8	152.6	-	191.7	246.6	270.1	324.9	382.5	436.8	595.9
300 년	122.3	160.6	-	201.0	258.8	283.0	341.0	402.2	459.8	629.2
500 년	130.3	170.6	-	212.6	274.1	299.2	361.3	426.9	488.8	671.1

【주】지속시간 3시간에서는 Gumbel 분포에 대한 모수적합성 조건 또는 분포형 적합도 검정을 만족하지 못하여 확율강우량 산정이 불가 함.

<표 6.12> 예산 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

재현기간	지 속 시 간									
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	8시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5 년	54.1	85.4	103.8	121.3	153.9	177.2	198.0	220.6	235.1	263.5
10 년	63.4	101.4	122.8	144.9	185.0	214.5	237.3	260.2	276.0	306.9
20 년	72.4	116.7	141.0	167.6	214.8	250.2	275.0	298.2	315.2	348.6
30 년	77.5	125.5	151.5	180.6	231.9	270.8	296.6	320.1	337.8	372.5
50 년	84.0	136.5	164.6	196.9	253.3	296.5	323.7	347.4	366.0	402.4
80 년	89.9	146.5	176.6	211.8	273.0	320.0	348.5	372.4	391.9	429.9
100 년	92.7	151.3	182.3	218.9	282.2	331.2	360.3	384.2	404.1	442.8
200 년	101.4	166.1	199.9	240.7	311.0	365.7	396.7	420.9	442.1	483.1
300 년	106.4	174.7	210.2	253.5	327.9	385.9	417.9	442.4	464.2	506.6
500 년	112.8	185.6	223.2	269.6	349.0	411.3	444.7	469.4	492.1	536.2

<표 6.13> 홍성 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

재현기간	지 속 시 간									
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	8시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5 년	64.8	88.6	103.0	110.3	143.6	161.5	184.8	209.1	231.2	280.9
10 년	80.4	108.5	123.7	131.3	174.5	195.8	220.6	251.0	280.8	347.5
20 년	95.4	127.5	143.6	151.6	204.2	228.6	254.9	291.2	328.3	411.5
30 년	104.1	138.5	155.0	163.2	221.3	247.6	274.7	314.4	355.6	448.3
50 년	114.8	152.2	169.3	177.7	242.7	271.2	299.4	343.3	389.8	494.2
80 년	124.7	164.7	182.3	191.1	262.2	292.8	322.0	369.7	421.1	536.3
100 년	129.4	170.6	188.5	197.4	271.5	303.1	332.8	382.2	435.9	556.3
200 년	143.9	189.0	207.7	216.9	300.2	334.8	366.0	421.1	481.8	618.0
300 년	152.3	199.8	218.9	228.3	317.0	353.4	385.4	443.8	508.7	654.1
500 년	163.0	213.3	233.0	242.7	338.1	376.7	409.8	472.3	542.4	699.6

<표 6.14> 정안 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

재현기간	지 속 시 간									
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	8시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5 년	41.7	67.2	84.7	95.1	109.7	121.1	145.6	166.9	190.1	235.3
10 년	48.9	79.0	99.6	111.5	127.4	140.1	169.5	194.3	222.5	278.1
20 년	55.9	90.3	113.9	127.2	144.4	158.3	192.5	220.5	253.7	319.1
30 년	59.9	96.8	122.1	136.2	154.1	168.8	205.6	235.7	271.6	342.7
50 년	64.9	105.0	132.4	147.5	166.4	181.9	222.1	254.5	294.0	372.3
80 년	69.5	112.4	141.8	157.8	177.5	193.9	237.2	271.8	314.4	399.3
100 년	71.6	115.9	146.3	162.7	182.8	199.6	244.4	280.0	324.2	412.1
200 년	78.3	126.9	160.1	177.9	199.2	217.2	266.5	305.4	354.2	451.7
300 년	82.3	133.3	168.2	186.7	208.8	227.4	279.4	320.2	371.8	474.9
500 년	87.2	141.3	178.4	197.9	220.8	240.4	295.7	338.9	393.9	504.0

<표 6.15> 병천 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

재현기간	지 속 시 간									
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	8시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5 년	47.2	65.9	86.0	96.5	121.1	134.8	150.9	162.3	179.5	219.4
10 년	55.8	77.1	101.7	113.6	141.7	158.3	176.3	188.6	209.4	259.6
20 년	64.0	87.9	116.7	130.0	161.5	180.8	200.7	213.9	238.0	298.1
30 년	68.7	94.1	125.4	139.5	172.8	193.8	214.7	228.4	254.5	320.2
50 년	74.6	101.8	136.2	151.3	187.0	210.0	232.3	246.6	275.1	347.9
80 년	80.0	108.9	146.1	162.1	200.0	224.8	248.3	263.2	293.9	373.2
100 년	82.5	112.3	150.8	167.2	206.2	231.8	255.9	271.1	302.8	385.2
200 년	90.5	122.7	165.4	183.1	225.3	253.6	279.5	295.5	330.5	422.4
300 년	95.1	128.7	173.9	192.4	236.4	266.3	293.3	309.7	346.6	444.2
500 년	100.9	136.4	184.6	204.0	250.5	282.3	310.6	327.7	367.0	471.5

<표 6.16> 성환 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

재현기간	지 속 시 간									
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	8시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5 년	66.5	78.9	92.9	104.1	119.6	134.6	156.5	177.8	199.2	250.3
10 년	83.0	96.2	112.5	125.7	142.6	160.7	186.6	209.9	237.2	301.7
20 년	98.9	112.6	131.4	146.3	164.6	185.7	215.4	240.8	273.6	351.1
30 년	108.0	122.1	142.2	158.2	177.3	200.0	232.1	258.5	294.6	379.4
50 년	119.4	134.0	155.7	173.1	193.1	218.0	252.8	280.7	320.8	414.9
80 년	129.8	144.9	168.1	186.7	207.6	234.4	271.8	301.0	344.7	447.4
100 년	134.8	150.0	174.0	193.1	214.5	242.2	280.8	310.6	356.1	462.8
200 년	150.1	166.0	192.1	213.1	235.8	266.4	308.7	340.4	391.3	510.5
300 년	159.0	175.3	202.8	224.7	248.2	280.5	325.0	357.8	411.8	538.4
500 년	170.3	187.0	216.1	239.4	263.9	298.2	345.5	379.7	437.7	573.4

<표 6.17> 서산 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

재현기간	지 속 시 간								
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5년	52.7	70.9	86.1	99.8	118.5	166.7	191.3	207.6	244.6
10년	61.8	82.3	100.1	116.3	138.1	197.8	228.7	249.1	293.6
20년	70.5	93.4	113.4	132.2	156.7	227.7	264.6	288.9	340.5
30년	75.4	99.6	121.2	141.3	167.5	244.9	285.2	311.9	367.5
50년	81.6	107.5	130.8	152.6	180.9	266.5	311.0	340.5	401.2
80년	87.4	114.8	139.7	163.1	193.3	286.2	334.5	366.7	432.1
100년	90.0	118.2	143.8	168.1	199.1	295.5	345.7	379.2	446.8
200년	98.3	128.8	156.8	183.3	217.2	324.4	380.4	417.7	492.1
300년	103.3	135.0	164.4	192.3	227.7	341.3	400.6	440.2	518.6
500년	109.4	142.9	173.9	203.6	241.0	362.5	426.0	468.4	551.9

<표 6.18> 보령 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

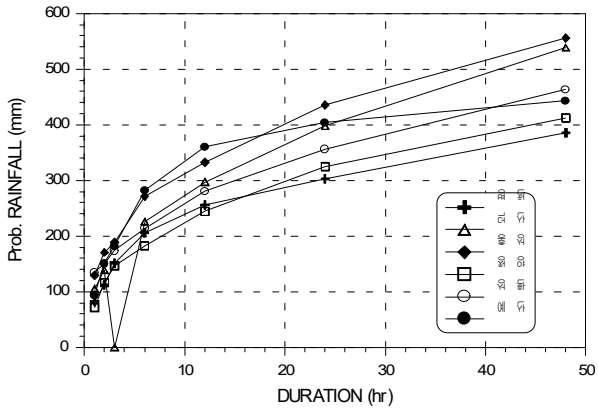
재현기간	지 속 시 간								
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5년	63.8	86.8	107.4	123.0	139.9	165.8	189.7	207.1	240.9
10년	74.2	101.7	127.6	147.0	167.3	198.9	229.5	250.9	292.2
20년	84.2	115.9	146.9	170.0	193.5	230.6	267.5	292.8	341.5
30년	90.1	124.2	158.1	183.2	208.6	248.8	289.3	316.8	369.8
50년	97.3	134.4	171.9	199.8	227.5	271.7	316.7	346.9	405.2
80년	103.9	143.8	184.6	214.9	244.7	292.5	341.7	374.6	437.6
100년	107.0	148.2	190.7	222.1	253.0	302.4	353.6	387.6	452.9
200년	116.7	162.1	209.4	244.4	278.3	333.1	390.4	428.1	500.6
300년	122.4	170.1	220.2	257.4	293.1	350.9	411.9	451.8	528.3
500년	129.5	180.2	234.0	273.8	311.7	373.5	438.9	481.5	563.3

<표 6.19> 천안 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

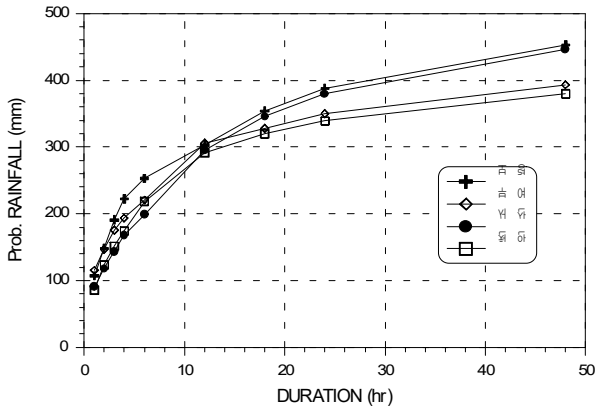
재현기간	지 속 시 간								
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5년	52.5	75.2	91.1	104.6	128.6	167.7	187.1	198.7	223.1
10년	60.5	86.8	105.7	121.3	150.3	197.6	219.2	232.7	260.9
20년	68.2	97.9	119.7	137.5	171.3	226.3	249.9	265.2	297.2
30년	72.6	104.3	127.8	146.7	183.4	242.8	267.6	284.0	318.2
50년	78.1	112.3	137.8	158.4	198.5	263.4	289.7	307.4	344.3
80년	83.1	119.6	147.1	169.0	212.2	282.4	310.0	328.8	368.2
100년	85.5	123.0	151.4	174.0	218.7	291.3	319.6	339.1	379.4
200년	92.9	133.8	165.0	189.6	239.0	319.1	349.3	370.5	414.6
300년	97.2	140.1	172.9	198.7	250.7	335.3	366.7	388.9	435.0
500년	102.6	147.9	182.8	210.1	265.5	355.7	388.5	412.1	460.8

<표 6.20> 부여 관측소 지속시간별 확률강우량 산정 결과

재현기간	지 속 시 간								
	1시간	2시간	3시간	4시간	6시간	12시간	18시간	24시간	48시간
5년	66.4	86.1	103.3	114.5	131.7	172.9	188.2	200.8	226.2
10년	78.2	100.7	120.7	133.5	153.2	205.0	222.0	236.9	266.7
20년	89.5	114.7	137.4	151.8	173.8	235.9	254.5	271.5	305.5
30년	96.0	122.8	147.0	162.4	185.7	253.8	273.2	291.4	327.9
50년	104.1	132.9	159.0	175.6	200.5	275.9	296.6	316.3	355.8
80년	111.6	142.1	170.0	187.6	214.1	296.3	317.9	339.1	381.4
100년	115.1	146.5	175.2	193.2	220.5	305.9	328.1	349.8	393.5
200년	125.9	160.0	191.3	210.9	240.5	335.7	359.3	383.3	431.0
300년	132.3	168.0	200.8	221.3	252.1	353.2	377.8	402.8	453.0
500년	140.3	178.0	212.7	234.3	266.7	375.1	400.8	427.4	480.6



< 건교부 우량관측소 >

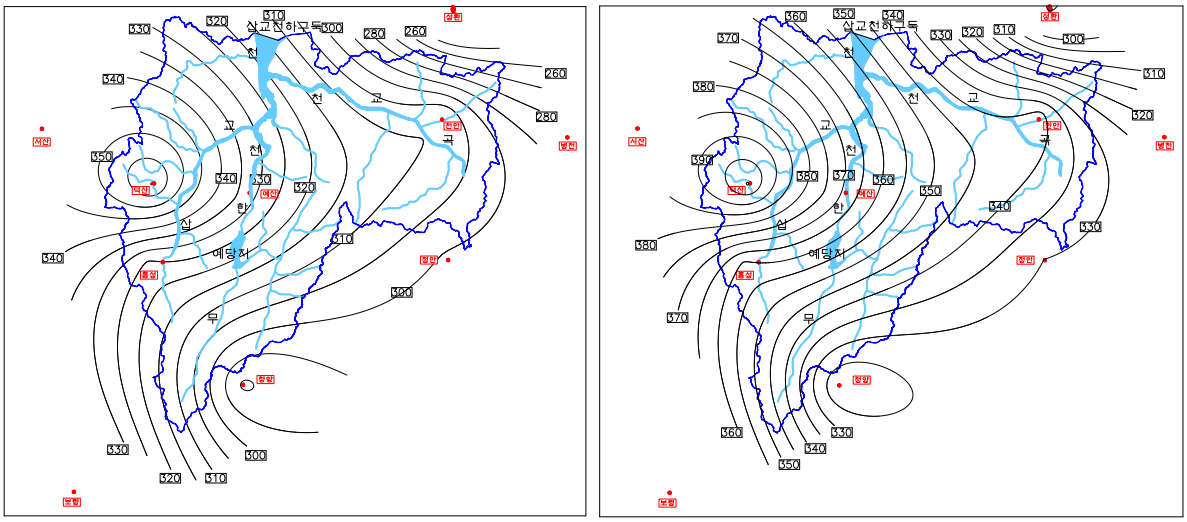


< 기상청 우량관측소 >

<그림 6.3> 지속시간별 확률강우량 비교

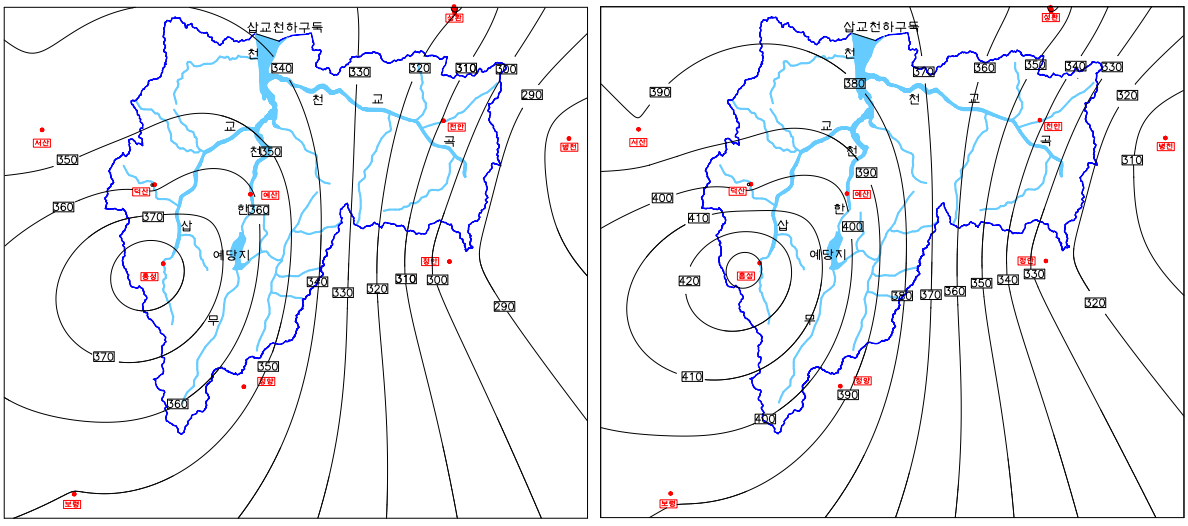
다. 확률강우량의 공간적 변화 특성

삽교천 유역 및 주변에 위치한 건교부 우량관측소의 1일, 2일지속 확률강우량을 24시간 및 48지속 확률강우량으로 환산하여 기상청 관할 4개 우량관측소의 확률강우량 산정결과와 함께 등우선도를 작성한 후 동일한 관측소의 시우량 자료에 의해 산정한 24시간 및 48시간지속 확률강우량의 등우선도와 비교한 결과 <그림 6.4>~<그림 6.7>과 같이 확률강우량의 공간적 분포성향이 상이하게 나타났다.



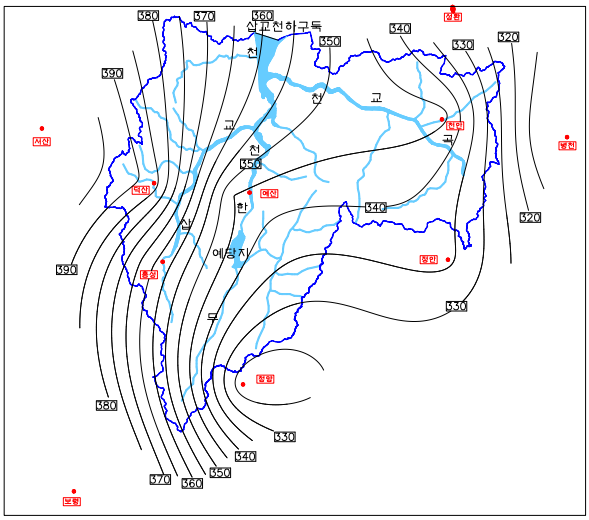
(재현기간 50년) (재현기간 100년)

<그림 6.4> 삽교천 유역 24시간지속 확률강우량 등우선도 (일강우 자료 이용)

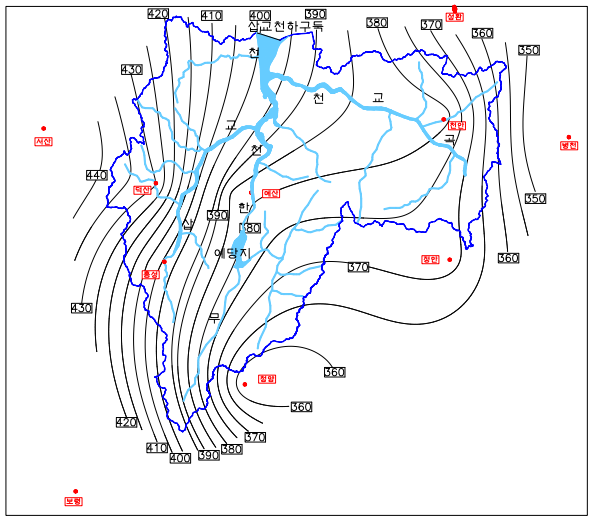


(재현기간 50년) (재현기간 100년)

<그림 6.5> 삽교천 유역 24시간지속 확률강우량 등우선도 (시강우 자료 이용)

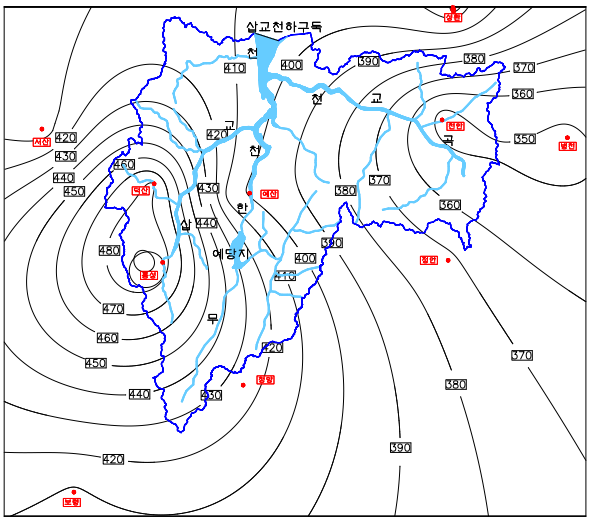


(재현기간 50년)

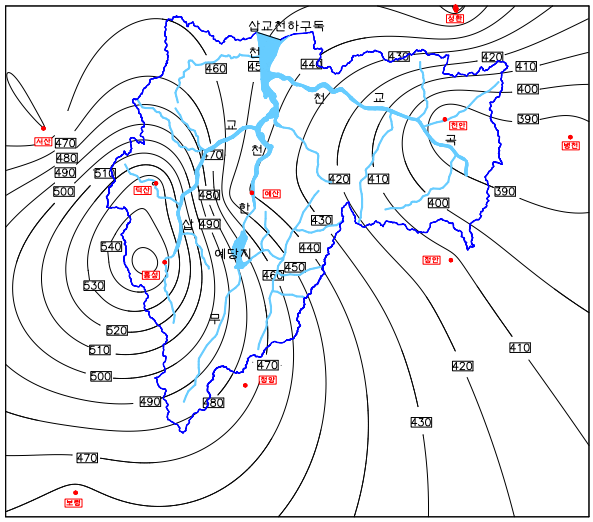


(재현기간 100년)

<그림 6.6> 삽교천 유역 48시간지속 확률강우량 등우선도 (일강우 자료 이용)



(재현기간 50년)



(재현기간 100년)

<그림 6.7> 삽교천 유역 48시간지속 확률강우량 등우선도 (시강우 자료 이용)

일우량 자료와 시우량 자료에 의해 산정한 확률강우량의 분포를 비교하면 유역의 서측이 동측에 비해 확률강우량이 큰 특성은 일치하나 시우량 자료에 의해 작성한 확률강우량의 등우선도에서는 삽교천 유역의 남동측 경계를 이루는 차령산맥이 강우에 미치는 영향이 반영되지 못함을 알 수 있으며, 특히 삽교천 유역에서 발생하는 집중호우의 중요한 특징인 강우가 남서에서 북동 또는 서에서 동으로 이동하는데 따른 등우선의 형성 방향이 명확히 나타나지 않고 있다.

또한 24시간 및 48시간지속 확률강우량의 등우선도를 '2.1.2 기상현황'에 수록한 연강수량 및 홍수기, 비홍수기 등우선도와 비교한 결과 비교적 단기간에 속하는 24시간 및 48시간 강우의 분포가 상이하게 나타났다. 즉, 연간 강우량의 경우 다우지역이 유역의

서쪽과 동쪽으로 양극화되어 유역의 중심부는 상대적으로 강우량이 적은데 비해 24시간 확률강우량은 유역 서쪽이 크고 유역의 중심 방향으로 등우선이 형성되면서 점차 동쪽으로 갈수록 강우량이 감소하는 성향을 보이고 있다. 이러한 특징은 48시간 확률강우량의 분포에서 더욱 명확해지는데 삽교천과 무한천이 위치한 유역 서쪽의 등우선이 24시간의 경우에 비해 더욱 조밀해지는 반면 유역 동쪽에 위치한 곡교천 유역은 등우선 간격이 벌어지면서 확률강우량이 급격히 감소하고 있다. 이 결과는 삽교천 유역에 실질적인 피해를 유발하는 강우가 삽교천과 무한천이 위치한 유역의 서쪽에 집중됨을 보여주는 것으로 특히 이 지역에 경사가 완만한 저지대가 밀집해 있음을 감안할 때 치수적으로 매우 불리한 형태라 할 수 있다.

라. 시강우 자료의 사용성

삽교천 유역 및 인근에 위치한 건교부 관측소에서 보유한 시강우 자료는 보유 연한이 짧고, 특히 90년대 이전에는 우기에 해당하는 일부 기간의 관측자료만 있다. 또한 연최대치계열을 검토하여 일부 이상치를 제외한 결과 확률강우량 분석에 사용된 자료수가 적어 비교적 장기간의 자료에 의해 산정된 기상청 관측소의 지속시간별 확률강우량 및 1일, 2일지속 확률강우량의 지역적 분포에서 보여주는 성향이 나타나지 않고 있다. 확률강우량의 크기도 덕산과 홍성 관측소의 경우 주변의 다른 관측소, 특히 같은 경도상에 위치한 보령 관측소의 결과와 비교할 때 '95년 대홍수의 영향으로 지나치게 과다하게 산정된 것으로 판단된다.

기상청 시강우량 자료에 의해 산정한 확률강우량과 건교부 시강우량 자료에 의해 산정한 확률강우량을 사용하여 결정한 삽교천 유역 주요 지점의 지점평균 확률강우량을 비교한 결과 곡교천 유역을 제외하고는 건교부 관측소(기상청 천안, 서산관측소 포함)의 확률강우량에 의해 산정한 지점평균 확률강우량이 기상청 관측소만으로 지점평균 확률강우량을 산정한 결과에 비해 상당히 큰 값을 보이고 있다. 이러한 결과는 삽교천 유역의 지배적인 관측소인 홍성과 덕산 관측소의 관측 기록이 짧아 '95년의 극대홍수 사상에 영향을 크게 받았기 때문에 확률강우량이 과다하게 산정된데 그 원인이 있다.

이상의 검토결과 건교부 관측소의 시우량 자료에 의해 산정한 확률강우량은 강우의 공간적, 시간적 변화특성을 정확히 표현하지 못하고 있으며, 분석에 사용된 자료의 수가 작아 극대, 또는 극소 강우사상의 영향을 크게 받고 있으므로 향후 강우자료를 보완할 경우 금회 분석 성과와 크게 상이한 결과가 예상된다. 따라서 금회 산정한 건교부 관측소 지점의 확률강우량은 계획의 기준으로 삼기에는 부적당한 것으로 판단된다.

<표 6.21> 삽교천유역 주요지점의 지점평균확률강우량 비교

재현기간	산정지점	건교부관측소 포함(1)		기상청관측소 대상(2)		(1) - (2)	
		24시간	48시간	24시간	48시간	24시간	48시간
50년	SK-0(삽교천 하구)	347.20	408.70	322.25	369.05	24.95	39.65
	SK-4(무한천 합류전)	370.30	465.40	340.83	401.19	29.47	64.21
	GK-0(곡교천 하구)	312.50	357.40	307.43	344.27	5.07	13.13
	GK-2(온양천 합류후)	307.00	354.80	307.43	344.27	-0.43	10.53
	MH-0(무한천 하구)	367.90	409.80	321.37	366.20	46.53	43.60
	MH-2(예당저수지)	368.90	413.90	323.41	369.13	45.49	44.77
	SY-0(신양천 하구)	366.00	402.40	310.01	347.88	55.99	54.52
	HS-0(화산천 하구)	366.00	402.40	307.43	344.27	58.57	58.13
100년	SK-0(삽교천 하구)	384.30	453.10	357.12	408.86	27.18	44.24
	SK-4(무한천 합류전)	411.70	520.00	379.66	446.88	32.04	73.12
	GK-0(곡교천 하구)	344.90	394.30	339.09	379.41	5.81	14.89
	GK-2(온양천 합류후)	338.80	391.50	339.09	379.41	-0.29	12.09
	MH-0(무한천 하구)	406.60	452.10	356.13	405.70	50.47	46.40
	MH-2(예당저수지)	407.90	456.90	358.64	409.27	49.26	47.63
	SY-0(신양천 하구)	404.10	442.80	342.22	383.77	61.88	59.03
	HS-0(화산천 하구)	404.10	442.80	339.09	379.41	65.01	63.39
200년	SK-0(삽교천 하구)	421.20	497.20	391.79	448.57	29.41	48.63
	SK-4(무한천 합류전)	452.80	574.40	418.28	492.30	34.52	82.10
	GK-0(곡교천 하구)	377.00	431.10	370.54	414.55	6.46	16.55
	GK-2(온양천 합류후)	370.40	428.20	370.54	414.55	-0.14	13.65
	MH-0(무한천 하구)	445.20	494.10	390.70	445.15	54.50	48.95
	MH-2(예당저수지)	447.00	499.90	393.68	449.35	53.32	50.55
	SY-0(신양천 하구)	442.10	483.10	374.25	419.64	67.85	63.46
	HS-0(화산천 하구)	442.10	483.10	370.54	414.55	71.56	68.55

6.1.4 강우강도식 유도

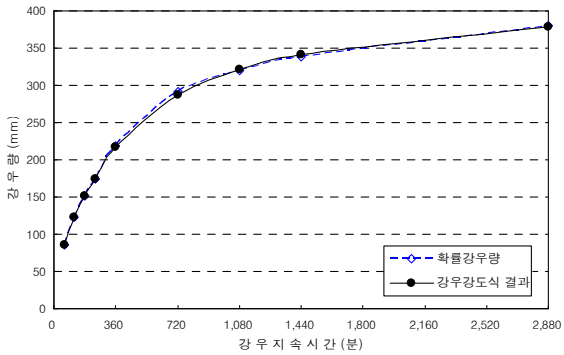
기상청 관할 각 관측소 지점의 지속시간별 확률강우량을 이용하여 <표 6.22>와 같이 강우강도식을 유도하였다. 이때 적용한 강우강도식의 형태는 'Talbot형', 'Sherman형', 'Japaness형' 및 'Semi-Log형' 등 4가지이며, 한정된 형태의 식으로 회귀분석하여 강우강도식을 유도함으로써 전지속기간에서 강우량의 변화 성향을 적절히 반영하지 못하는 경우가 있을 수 있으므로, 누가강우곡선의 성향이 변하는 변곡점에 해당하는 시간을 기준으로 장·단기로 구분하여 강우강도식을 유도하였다. 이렇게 유도한 4가지 형태의 강우

강도식을 비교하여 상관계수가 높고 원자료와의 편차가 가장 작은 강우강도식을 채택하였다. 그 결과 <표 6.22>와 같이 단기지속시간에서는 4개 관측소 모두 'Sherman형', 장기지속시간에서는 대체로 'Talbot형'의 강우강도식이 적합한 것으로 나타났다.

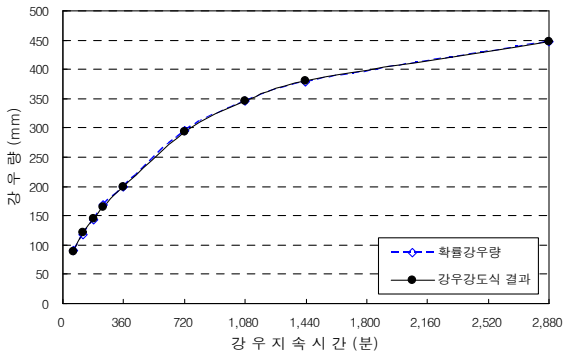
<표 6.22> 관측소별 강우강도식

관측소	강우강도식	재현기간	단 기			장 기		
			a	b	c	a	b	c
천 안	$I = \frac{a}{(t+c)^b}$ (t ≤ 4hr) $I = \frac{a}{(t+b)}$ (t > 4hr)	5년	848.09	0.62361	27.0	14,939.0	345.30	-
		10년	948.43	0.61698	27.0	17,483.0	344.96	-
		20년	1,041.90	0.61141	27.0	19,891.0	342.76	-
		30년	1,098.20	0.60918	27.0	21,311.0	343.48	-
		50년	769.15	0.53690	10.8	23,046.0	342.27	-
		80년	807.69	0.53389	10.8	24,655.0	342.36	-
		100년	827.51	0.53301	10.8	25,393.0	341.25	-
		200년	892.41	0.53117	10.8	27,780.0	342.50	-
		300년	927.33	0.52957	10.8	29,129.0	341.35	-
서 산	$I = \frac{a}{t^b}$ (t ≤ 6hr) $I = \frac{a}{(t+b)}$ (t > 6hr)	5년	483.76	0.54314	-	17,355.0	538.02	-
		10년	570.55	0.54552	-	21,017.0	564.51	-
		20년	656.00	0.54791	-	24,497.0	581.09	-
		30년	703.40	0.54857	-	26,560.0	592.38	-
		50년	763.38	0.54947	-	29,081.0	601.07	-
		80년	819.73	0.55044	-	31,382.0	607.97	-
		100년	842.65	0.55006	-	32,512.0	612.72	-
		200년	923.56	0.55095	-	35,896.0	620.70	-
		300년	973.18	0.55187	-	37,884.0	625.26	-
보 령	$I = \frac{a}{t^b}$ (t ≤ 3hr) $I = \frac{a}{(t+c)^b}$ (t > 3hr)	5년	553.09	0.52875	-	3,283.5	0.81256	81.0
		10년	595.98	0.51049	-	3,723.8	0.80384	81.0
		20년	643.77	0.49860	-	4,160.0	0.79807	81.0
		30년	674.42	0.49364	-	4,410.7	0.79536	81.0
		50년	710.81	0.48777	-	4,723.1	0.79236	81.0
		80년	742.04	0.48244	-	5,002.9	0.78980	81.0
		100년	757.93	0.48037	-	5,145.4	0.78900	81.0
		200년	806.61	0.47448	-	5,575.5	0.78646	81.0
		300년	835.72	0.47167	-	5,821.9	0.78508	81.0
부 여	$I = \frac{a}{t^b}$ (t ≤ 6hr) $I = \frac{a}{(t+b)}$ (t > 6hr)	5년	816.20	0.61253	-	15,122.0	344.32	-
		10년	988.57	0.61950	-	17,885.0	349.24	-
		20년	1,152.00	0.62401	-	20,466.0	348.48	-
		30년	1,244.20	0.62583	-	21,992.0	350.14	-
		50년	1,363.40	0.62834	-	23,874.0	350.97	-
		80년	1,471.90	0.63023	-	25,633.0	353.32	-
		100년	1,522.10	0.63087	-	26,438.0	352.82	-
		200년	1,677.20	0.63264	-	28,966.0	353.70	-
		300년	1,772.70	0.63402	-	30,460.0	354.58	-

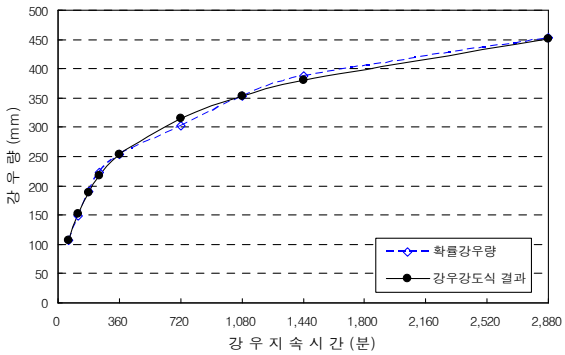
【주】 I : 강우강도 (㎜/hr), t : 강우지속시간(min) , a, b, c : 상 수



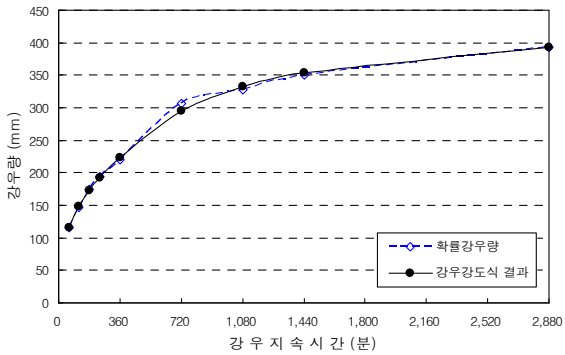
(천안, 100년 빈도)



(서산, 100년 빈도)



(보령, 100년 빈도)



(부여, 100년 빈도)

<그림 6.8> 확률강우량과 강우강도식 결과 비교

6.1.5 지점평균확률강우량

홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량은 각각의 소유역별로 Thiessen망을 구성하여 기상청 관할 우량관측소별 지배면적을 구분한 후 지배면적비에 관측소별 확률강우량을 가중평균하여 결정하였다. 삽교천 유역 전체를 기준으로 <표 6.23>에서 보는바와 같이 천안 관측소의 지배면적이 전체 유역면적의 52.87%로 가장 크며, 서산 관측소가 34.00%, 다음으로 보령, 부여 관측소 순으로 나타났다. 무한천 유역을 기준으로는 천안 관측소 다음으로 보령과 부여 관측소의 지배면적비가 크게 나타나 상대적으로 서산 관측소의 영향이 작아짐을 알 수 있다.

<표 6.23> 각 우량관측소별 지배면적비

유 역	면적 (㎢)	지배면적 (㎢)				지배면적비 (%)			
		보령	부여	서산	천안	보령	부여	서산	천안
삽교천 전체	1,649.39	130.45	86.14	560.75	872.05	7.91	5.22	34.00	52.87
삽교천 잔유역	632.51	36.79	-	496.77	98.95	5.82	-	78.54	15.64
곡교천 유역	545.08	-	-	-	545.08	-	-	-	100.00
무한천 유역	471.80	93.65	86.10	63.98	228.07	19.85	18.25	13.56	48.34

<표 6.24> 삽교천 유역 홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량

단위 : mm

하천명		삽 교 천								
산정지점		SK0	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6	SK7	SK8
유로연장 (km)		59.30	53.73	53.73	43.86	43.86	34.04	25.23	17.62	11.04
유역면적 (㎢)		1,649.39	1521.25	976.16	903.70	431.90	314.90	218.06	111.93	33.15
5년	금 회	202.96	202.82	204.29	204.55	129.37	206.43	207.52	207.45	207.18
10년	금 회	240.68	240.44	243.21	243.69	155.19	247.85	249.52	249.77	250.68
20년	금 회	276.84	276.51	280.52	281.22	179.94	287.55	289.78	290.34	292.37
30년	금 회	297.67	297.28	302.01	302.83	194.19	310.40	312.94	313.66	316.28
50년	1977	237.40	-	251.50	-	258.10	258.40	-	-	-
	1993	260.10	258.40	271.00	274.20	285.20	280.0	-	-	-
	금 회	323.69	323.23	328.86	329.83	212.00	338.97	341.91	342.86	346.28
80년	1977	252.40	-	267.80	-	274.10	274.3	-	-	-
	1993	279.20	277.30	291.30	294.80	306.80	301.0	-	-	-
	금 회	347.50	346.98	353.43	354.56	228.31	365.14	368.45	369.60	373.77
100년	1977	259.40	-	275.40	-	281.70	281.8	-	-	-
	1993	288.20	286.30	300.90	304.60	317.00	311.0	-	-	-
	금 회	358.84	358.29	365.13	366.32	236.07	377.58	381.05	382.29	386.78
200년	금 회	393.79	393.15	401.20	402.60	260.00	415.97	419.98	421.52	427.07
300년	금 회	414.23	413.53	422.29	423.81	274.00	438.43	442.74	444.44	450.58
500년	금 회	439.90	439.13	448.77	450.45	291.56	466.60	471.31	473.23	480.18

<표 6.25> 무한천 유역 홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량

단위 : mm

하천명		무 한 천			무 한 천 (지방2급)				신 양 천	화산천
산정지점		MH-0	MH-1	MH-2	MH-3	MH-4	MH-5	MH-6	SY-0	HS-0
유로연장 (km)		47.73	44.03	37.47	31.08	24.53	16.39	5.99	22.65	16.53
유역면적 (㎢)		471.80	435.96	396.92	368.86	149.44	80.05	21.47	190.98	84.82
5년	금 회	201.48	202.12	203.21	203.34	205.25	206.96	207.13	199.48	198.69
10년	금 회	238.19	239.45	241.67	242.17	246.44	250.47	250.85	234.18	232.66
20년	1989	-	-	-	219.00	-	220.90	220.90	-	-
	1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	금 회	273.38	275.23	278.55	279.39	285.92	292.18	292.76	267.44	265.22
30년	1989	-	-	-	236.40	-	239.20	239.20	-	-
	1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	금 회	293.65	295.84	299.76	300.79	308.58	316.08	316.78	286.62	284.01

<표 6.25> 무한천 유역 홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량 (계속)

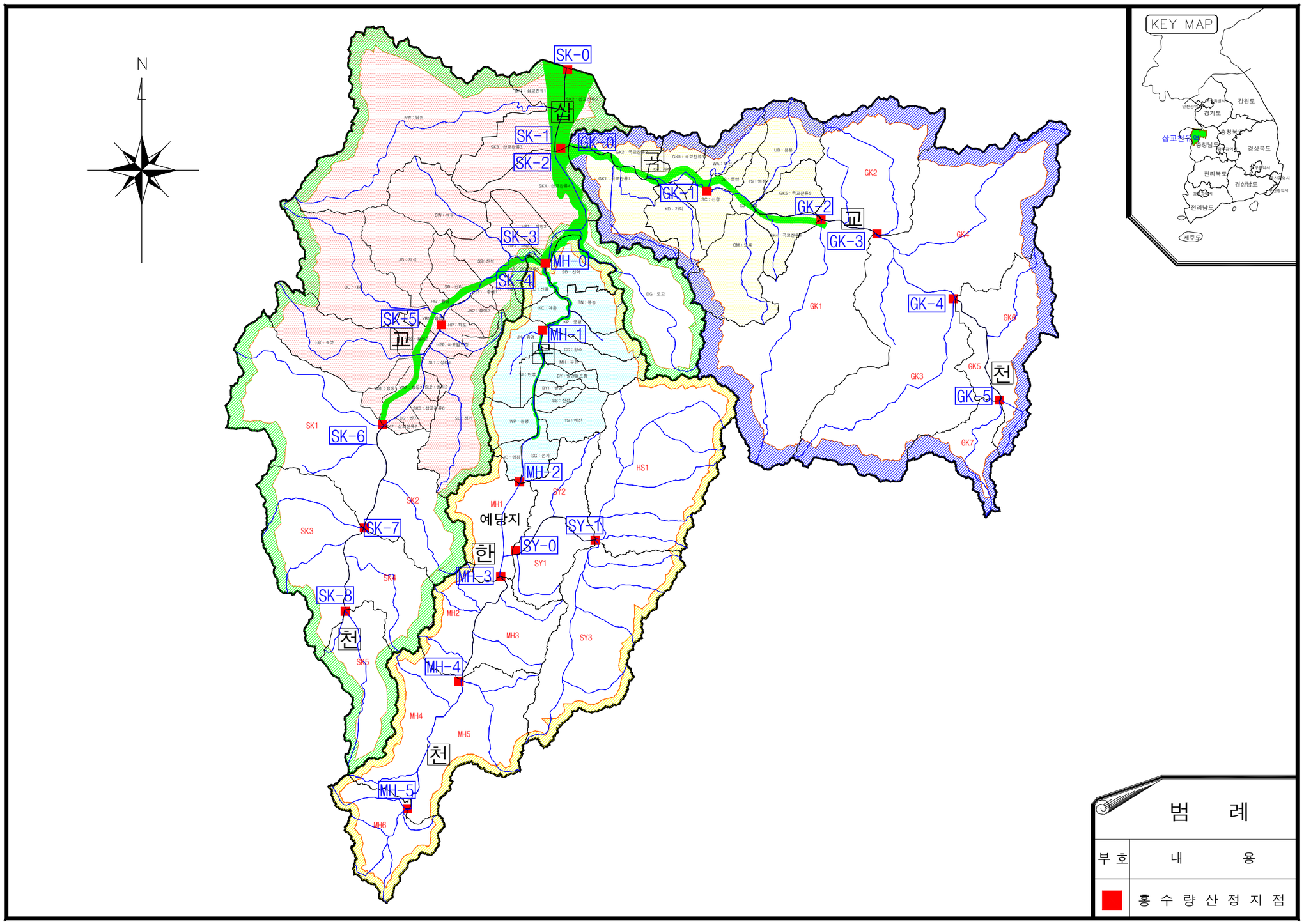
단위 : mm

하 천 명		무 한 천			무 한 천 (지방2급)				신 양 천	화산천
산정지점		MH-0	MH-1	MH-2	MH-3	MH-4	MH-5	MH-6	SY-0	HS-0
유로연장 (km)		47.73	44.03	37.47	31.08	24.53	16.39	5.99	22.65	16.53
유역면적 (㎢)		471.80	435.96	396.92	368.86	149.44	80.05	21.47	190.98	84.82
5년	금 회	201.48	202.12	203.21	203.34	205.25	206.96	207.13	199.48	198.69
10년	금 회	238.19	239.45	241.67	242.17	246.44	250.47	250.85	234.18	232.66
20년	1989	-	-	-	219.00	-	220.90	220.90	-	-
	1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	금 회	273.38	275.23	278.55	279.39	285.92	292.18	292.76	267.44	265.22
30년	1989	-	-	-	236.40	-	239.20	239.20	-	-
	1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	금 회	293.65	295.84	299.76	300.79	308.58	316.08	316.78	286.62	284.01

<표 6.26> 곡교천 유역홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량

단위 : mm

하 천 명		곡 교 천					
산정지점		GK0	GK1	GK2	GK3	GK4	GK5
유로연장 (km)		50.60	38.75	29.73	25.72	17.76	9.67
유역면적 (㎢)		545.08	486.92	397.00	241.34	65.43	18.90
5년	금 회	198.69	198.69	198.69	198.69	198.69	198.69
10년	금 회	232.66	232.66	232.66	232.66	232.66	232.66
20년	금 회	265.22	265.22	265.22	265.22	265.22	265.22
30년	금 회	284.01	284.01	284.01	284.01	284.01	284.01
50년	1993	235.80	-	-	-	-	-
	1994	230.70	232.50	237.40	-	-	-
	금 회	307.43	307.43	307.43	307.43	307.43	307.43
80년	1993	252.20	-	-	-	-	-
	1994	246.40	248.40	253.90	-	-	-
	금 회	328.84	328.84	328.84	328.84	328.84	328.84
100년	1993	259.90	-	-	-	-	-
	1994	253.80	255.90	261.70	-	-	-
	금 회	339.09	339.09	339.09	339.09	339.09	339.09
200년	금 회	370.54	370.54	370.54	370.54	370.54	370.54
300년	금 회	388.94	388.94	388.94	388.94	388.94	388.94
500년	금 회	412.05	412.05	412.05	412.05	412.05	412.05



<그림 6.9> 홍수량 산정지점도

6.2 삽교천 유역의 면적감소계수(ARF) 산정

일정 면적을 가진 유역 전반에 걸쳐 균일한 강우가 발생할 경우는 대단히 드물며 강우량은 호우중심으로부터 멀어질수록 점차 감소한다. 유역의 평균강우량은 유역에 내린 총강우량을 유역면적으로 나눈 등가우량을 의미하므로 호우중심으로부터 면적이 증가함에 따라 평균강우량은 점점 감소하며 강우강도 또한 감소하게 된다. 따라서 강우의 공간분포 및 이동 등에 의하여 강우가 유역 전반에 걸쳐 동시간에 동일한 형태로 발생하지 않는 상태에서 관측소별 최대값 발생시의 지점강우량을 평균하는 것은 실제 발생한 유역의 면적평균강우량보다 과다한 값을 산출하게 되며 상기한 <표 6.24>~<표 6.26>의 홍수량 산정지점별 지점평균확률강우량은 지점확률강우량의 평균값이므로 동일발생시간의 면적평균확률강우량보다 과다한 값이라 할 수 있다.

면적평균확률강우량을 산정하기 위해서는 유역내 여러 관측소의 동일발생시간의 임의시간 강우자료를 이용하여 면적우량을 산정한 후 이를 빈도해석 하여야 하는데 이러한 절차가 번거로울 뿐만 아니라 앞서 언급한바와 같이 유역내 건교부 우량 관측소에서 보유한 시강우자료가 충분하지 못하여 동시간 임의지속시간 강우자료의 수집이 곤란하므로 면적평균확률강우량을 산정하는데 한계가 있다.

이러한 이유로 금회 과업에서는 지점평균확률강우량과 면적평균확률강우량의 비인 면적감소계수(Area Reduction Factor, ARF)를 도입하여 지점평균확률강우량을 면적평균확률강우량으로 환산하여 사용하고자 한다.

기존의 면적감소계수에 대한 연구로는 '한국 확률강우량도 작성(1988.12, 2000.6, 건교부)'가 대표적이나 24시간을 초과하는 강우에 대해서는 언급되지 않았으며, 제시된 면적감소계수의 적용대상면적이 1,000km^2 이하이다. 또한, 다른 연구들도 대부분 한강 유역을 대상으로 연구가 이루어지고 있으며, 유역면적을 면적고정형 방법으로 타원형이나 원형의 방법을 선택하고 있는 것이 대부분으로 실제 중·소규모에 적합한 면적감소계수에 관련된 연구는 미미한 수준이며, 삽교천 유역과 같은 중·소규모 유역에 대해 한강유역에서 산정한 면적감소계수를 적용한다는 것은 무리가 있을 것으로 판단된다.

따라서, 삽교천 유역에 적용하기 적합한 면적감소계수로는 기존의 성과를 활용하기 보다는 과업대상유역을 대상으로 실제로 산정하는 것이 바람직하며, 면적의 증가방향 또한 홍수흐름의 진행방향과 같이 유역의 상류에서 하류로 선정하는 것이 타당할 것이다.

6.2.1 분석대상 강우자료

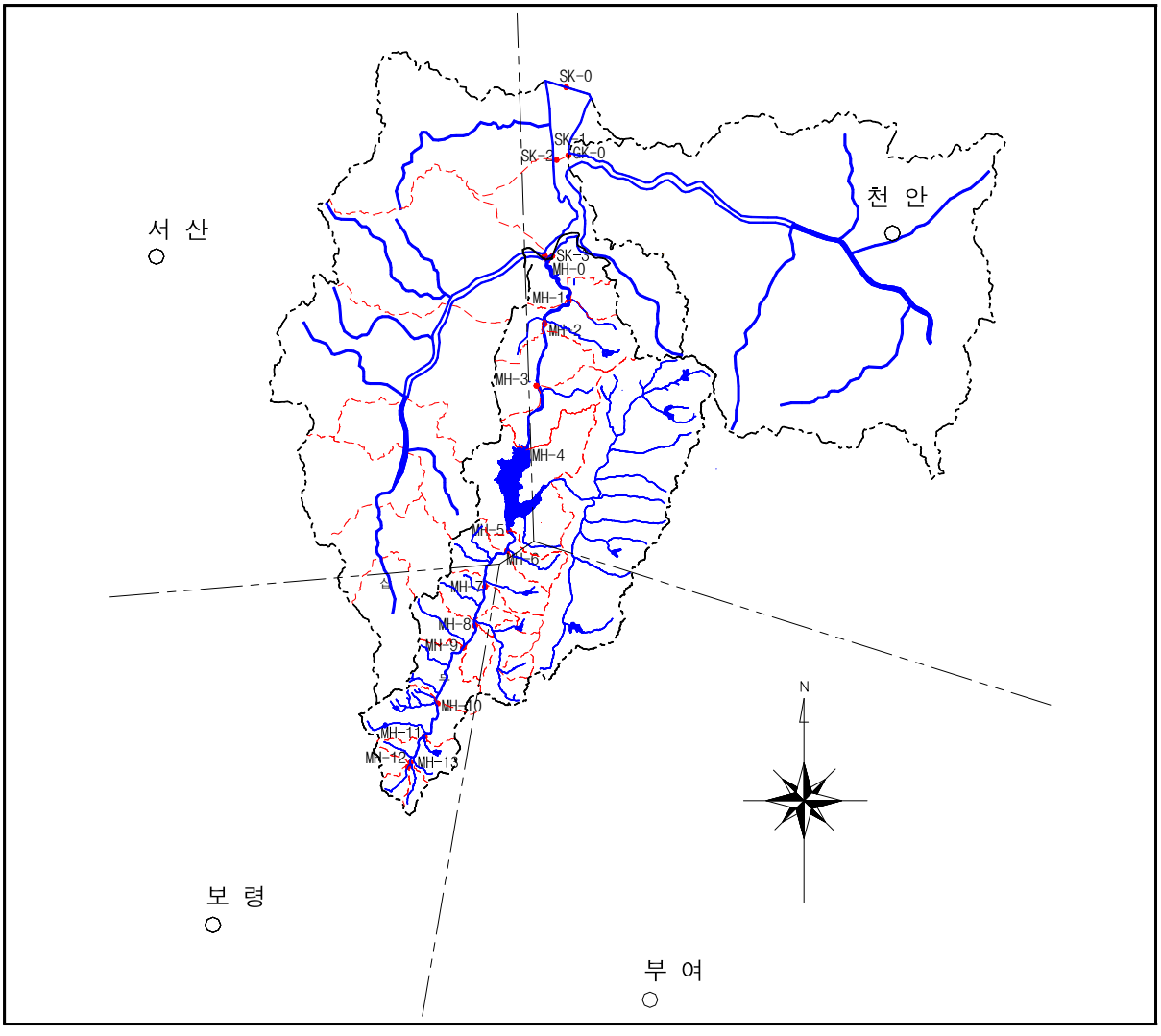
면적감소계수를 산정하기 위해서는 동일발생시간의 시강우자료가 필요하나, 삽교천 유

역 및 인근에 위치한 건교부 우량관측소의 시강우 자료는 <표 6.10>에서 보는 바와 같이 보유자료의 기간도 짧고 관측소별로 보유기간이 상이하여 동일발생시간 강우자료를 구득하기 곤란하다. 따라서 삽교천 유역내에 위치한 기상청 관할 천안 관측소와 주변의 서산, 부여, 보령 관측소의 시우량 자료를 사용하여 면적감소계수를 산정 하였다.

6.2.2 면적감소계수 산정

가. 면적감소계수의 산정지점 선정 및 Thiessen 가중치 산정

금회 과업목적에 적합한 면적감소계수 산정을 위해서는 면적의 증가방향이 중요하므로, 유역의 중심에 위치한 무한천을 기준으로 상류(MH13)로부터 삽교천 하구(SK0)까지 가상의 홍수량 산정지점을 선정하여 면적감소계수 산정 기준지점으로 채택하고 <표 6.27>과 같이 기준지점별로 기상청 관할 우량관측소의 Thiessen 가중치를 결정하였다.



<그림 6.10> 삽교천 유역의 홍수량산정지점 및 Thiessen망도

<표 6.27> 삽교천 유역의 면적감소계수 산정지점별 Thiessen 가중치

구분	산정지점	부호	누가 면적 (㎢)	보령		부여		서산		천안	
				면적 (㎢)	가중치	면적 (㎢)	가중치	면적 (㎢)	가중치	면적 (㎢)	가중치
삽교천	삽교천하구	SK0	1,649.39	130.45	0.07909	86.14	0.05223	560.72	0.33996	872.08	0.52873
	곡교천합류후	SK1	1,521.24	130.45	0.08575	86.14	0.05662	461.96	0.30367	842.69	0.55395
	곡교천합류전	SK2	976.16	130.45	0.13364	86.14	0.08824	461.96	0.47324	297.61	0.30488
	무한천합류후	SK3	903.70	130.45	0.14435	86.14	0.09532	456.42	0.50506	230.69	0.25527
무한천	무한천하구	MH0	471.80	93.65	0.19850	86.14	0.18258	63.96	0.13557	228.05	0.48336
	궁평천합류전	MH1	435.96	93.65	0.21481	86.14	0.19759	63.96	0.14671	192.21	0.44089
	용굴천합류전	MH2	411.60	93.65	0.22753	86.14	0.20928	54.01	0.13122	177.80	0.43197
	예산대교	MH3	396.92	93.65	0.23594	86.14	0.21702	53.62	0.13509	163.51	0.41195
	예당저수지	MH4	368.86	93.65	0.25390	86.14	0.23350	43.30	0.11740	145.77	0.39520
	동산교	MH5	149.44	93.65	0.62680	43.20	0.28900	12.58	0.08410	0.01	0.00010
	신흥천합류전	MH6	138.98	93.65	0.67390	35.68	0.25670	9.65	0.06940	-	-
	시목천합류전	MH7	116.59	90.91	0.77970	25.68	0.22030	-	-	-	-
	강촌천합류전	MH8	80.05	78.46	0.98010	1.59	0.01990	-	-	-	-
	행정천합류전	MH9	61.25	61.14	0.99820	0.11	0.00180	-	-	-	-
	수정천합류전	MH10	36.77	36.77	1.00000	-	-	-	-	-	-
	기덕천합류전	MH11	21.47	21.47	1.00000	-	-	-	-	-	-
	산정천합류후	MH12	10.13	10.13	1.00000	-	-	-	-	-	-
	산정천합류전	MH13	3.63	3.63	1.00000	-	-	-	-	-	-

나. 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수의 산정

면적우량환산계수는 지점평균확률강우량과 면적평균확률강우량의 관계를 이용하여 다음과 같은 절차에 의해 산정 하였다.

① 천안 관측소 등 등 기상청 4개 관측소에 대한 지속시간(3, 6, 9, 12, 24, 48시간)별 연최대치 계열을 작성하고 이를 빈도분석 하여 지점확률강우량을 산정한 후, 면적감소계수 산정지점별로 Thiessen의 가중치를 부여하여 면적감소계수 산정지점에 대한 지속시간별, 재현기간별로 지점평균확률강우량 산정.

② 기상청 4개 관측소에 대한 지속시간(3, 6, 9, 12, 24, 48시간)별 동시간 연최대치 계열을 면적감소계수 산정지점별로 Thiessen 가중치를 부여하여 평균함으로써 하나의 연최대치 계열을 만든 후 이를 빈도분석하여 면적감소계수산정지점에 대한 지속시간별, 재현기간별 면적확률강우량 산정.

③ 면적감소계수 산정지점별로 지점평균확률강우량과 면적평균확률강우량의 비를 면적감소계수로하여 지속시간별, 재현기간별로 <표 6.28>와 같이 산정하되, MH10～MH13지점은 보령관측소의 Thiessen 가중치가 1로 이 지점까지의 면적감소계수는 1.0임.

<표 6.28> 삽교천 유역의 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수

산정지점 (면적,km²)	재 현 기 간 (년)	지속시간별 면적감소계수(ARF)					
		3	6	9	12	24	48
SK0 (1,649.39)	5	0.7030	0.7788	0.8210	0.8414	0.8829	0.9137
	10	0.6921	0.7719	0.8109	0.8275	0.8744	0.9158
	20	0.6840	0.7665	0.8042	0.8182	0.8684	0.9167
	30	0.6807	0.7639	0.8010	0.8135	0.8656	0.9174
	50	0.6766	0.7615	0.7974	0.8091	0.8625	0.9180
	80	0.6733	0.7594	0.7945	0.8053	0.8602	0.9185
	100	0.6723	0.7582	0.7935	0.8036	0.8593	0.9186
	150	0.6702	0.7568	0.7916	0.8009	0.8575	0.9190
	200	0.6684	0.7560	0.7901	0.7991	0.8566	0.9193
	300	0.6666	0.7545	0.7886	0.7971	0.8550	0.9194
	500	0.6646	0.7531	0.7867	0.7946	0.8536	0.9198
SK1 (1,521.24)	5	0.7037	0.7812	0.8203	0.8408	0.8832	0.9143
	10	0.6924	0.7748	0.8104	0.8280	0.8746	0.9157
	20	0.6840	0.7697	0.8039	0.8191	0.8684	0.9167
	30	0.6805	0.7673	0.8006	0.8148	0.8656	0.9170
	50	0.6756	0.7647	0.7968	0.8106	0.8626	0.9174
	80	0.6722	0.7627	0.7942	0.8071	0.8600	0.9178
	100	0.6712	0.7622	0.7931	0.8053	0.8593	0.9181
	150	0.6689	0.7604	0.7910	0.8029	0.8574	0.9183
	200	0.6671	0.7597	0.7898	0.8013	0.8562	0.9186
	300	0.6653	0.7583	0.7882	0.7992	0.8549	0.9188
	500	0.6626	0.7572	0.7865	0.7969	0.8533	0.9191
SK2 (976.16)	5	0.6513	0.7085	0.7621	0.7872	0.8597	0.8901
	10	0.6389	0.6925	0.7461	0.7708	0.8563	0.8906
	20	0.6305	0.6812	0.7348	0.7594	0.8535	0.8912
	30	0.6265	0.6754	0.7299	0.7541	0.8527	0.8911
	50	0.6219	0.6698	0.7242	0.7485	0.8512	0.8914
	80	0.6184	0.6649	0.7197	0.7437	0.8505	0.8915
	100	0.6173	0.6633	0.7182	0.7420	0.8501	0.8916
	150	0.6147	0.6597	0.7148	0.7387	0.8493	0.8917
	200	0.6132	0.6575	0.7126	0.7368	0.8490	0.8918
	300	0.6110	0.6546	0.7102	0.7341	0.8483	0.8919
	500	0.6091	0.6517	0.7074	0.7309	0.8477	0.8920

<표 6.28> 삽교천 유역의 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수 (계속)

산정지점 (면적,km²)	재 현 기 간 (년)	지속시간별 면적감소계수(ARF)					
		3	6	9	12	24	48
SK3 (903.70)	5	0.6508	0.7025	0.7528	0.7804	0.8575	0.8879
	10	0.6390	0.6860	0.7370	0.7643	0.8553	0.8886
	20	0.6303	0.6749	0.7252	0.7530	0.8538	0.8893
	30	0.6261	0.6690	0.7199	0.7477	0.8532	0.8894
	50	0.6221	0.6628	0.7141	0.7424	0.8522	0.8896
	80	0.6185	0.6584	0.7095	0.7380	0.8515	0.8900
	100	0.6166	0.6565	0.7074	0.7360	0.8512	0.8900
	150	0.6145	0.6528	0.7041	0.7330	0.8507	0.8901
	200	0.6129	0.6509	0.7020	0.7309	0.8505	0.8903
	300	0.6106	0.6479	0.6994	0.7284	0.8500	0.8904
	500	0.6081	0.6446	0.6964	0.7252	0.8498	0.8906
MH0 (471.80)	5	0.6337	0.6977	0.7378	0.7650	0.8570	0.9019
	10	0.6202	0.6860	0.7236	0.7517	0.8598	0.9082
	20	0.6108	0.6774	0.7142	0.7424	0.8617	0.9130
	30	0.6065	0.6736	0.7093	0.7382	0.8625	0.9148
	50	0.6008	0.6693	0.7043	0.7336	0.8635	0.9172
	80	0.5970	0.6661	0.7006	0.7297	0.8641	0.9189
	100	0.5951	0.6644	0.6987	0.7283	0.8645	0.9198
	150	0.5930	0.6623	0.6961	0.7256	0.8648	0.9211
	200	0.5907	0.6605	0.6941	0.7240	0.8652	0.9219
	300	0.5883	0.6588	0.6919	0.7218	0.8657	0.9228
	500	0.5858	0.6566	0.6892	0.7195	0.8662	0.9241
MH1 (435.96)	5	0.6255	0.6881	0.7283	0.7584	0.8533	0.8978
	10	0.6128	0.6763	0.7136	0.7444	0.8538	0.9034
	20	0.6039	0.6682	0.7028	0.7346	0.8541	0.9077
	30	0.6005	0.6638	0.6976	0.7296	0.8545	0.9094
	50	0.5958	0.6596	0.6921	0.7247	0.8548	0.9117
	80	0.5921	0.6566	0.6884	0.7210	0.8548	0.9131
	100	0.5902	0.6551	0.6864	0.7192	0.8550	0.9137
	150	0.5876	0.6525	0.6833	0.7165	0.8549	0.9150
	200	0.5860	0.6511	0.6813	0.7147	0.8549	0.9158
	300	0.5842	0.6489	0.6790	0.7125	0.8552	0.9166
	500	0.5817	0.6469	0.6763	0.7099	0.8554	0.9177

<표 6.28> 삽교천 유역의 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수 (계속)

산정지점 (면적,km²)	재 현 기 간 (년)	지속시간별 면적감소계수(ARF)					
		3	6	9	12	24	48
MH2 (411.60)	5	0.6228	0.6851	0.7219	0.7557	0.8517	0.8971
	10	0.6116	0.6746	0.7066	0.7412	0.8532	0.9029
	20	0.6040	0.6669	0.6958	0.7311	0.8538	0.9068
	30	0.6003	0.6630	0.6904	0.7262	0.8543	0.9086
	50	0.5960	0.6591	0.6849	0.7212	0.8547	0.9103
	80	0.5926	0.6564	0.6806	0.7172	0.8551	0.9121
	100	0.5913	0.6549	0.6788	0.7155	0.8552	0.9127
	150	0.5889	0.6530	0.6759	0.7126	0.8554	0.9138
	200	0.5877	0.6514	0.6737	0.7108	0.8555	0.9145
	300	0.5857	0.6495	0.6713	0.7085	0.8559	0.9154
	500	0.5839	0.6476	0.6686	0.7060	0.8561	0.9164
MH3 (396.92)	5	0.6263	0.6863	0.7194	0.7561	0.8529	0.8975
	10	0.6148	0.6771	0.7034	0.7414	0.8553	0.9029
	20	0.6078	0.6698	0.6920	0.7315	0.8566	0.9067
	30	0.6044	0.6665	0.6867	0.7269	0.8576	0.9085
	50	0.6001	0.6631	0.6812	0.7217	0.8582	0.9103
	80	0.5969	0.6604	0.6766	0.7179	0.8591	0.9117
	100	0.5953	0.6595	0.6748	0.7161	0.8594	0.9123
	150	0.5937	0.6572	0.6716	0.7135	0.8596	0.9134
	200	0.5922	0.6562	0.6695	0.7116	0.8598	0.9142
	300	0.5902	0.6543	0.6671	0.7092	0.8604	0.9151
	500	0.5879	0.6527	0.6641	0.7066	0.8607	0.9161
MH4 (368.86)	5	0.6272	0.6884	0.7187	0.7553	0.8520	0.8962
	10	0.6169	0.6791	0.7029	0.7404	0.8545	0.9016
	20	0.6100	0.6725	0.6913	0.7306	0.8563	0.9052
	30	0.6069	0.6693	0.6859	0.7259	0.8571	0.9069
	50	0.6029	0.6656	0.6802	0.7210	0.8578	0.9087
	80	0.5999	0.6630	0.6759	0.7169	0.8583	0.9101
	100	0.5987	0.6619	0.6737	0.7150	0.8585	0.9109
	150	0.5967	0.6603	0.6707	0.7124	0.8588	0.9119
	200	0.5955	0.6591	0.6686	0.7105	0.8593	0.9126
	300	0.5938	0.6573	0.6658	0.7084	0.8597	0.9132
	500	0.5921	0.6554	0.6631	0.7057	0.8601	0.9143

<표 6.28> 삽교천 유역의 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수 (계속)

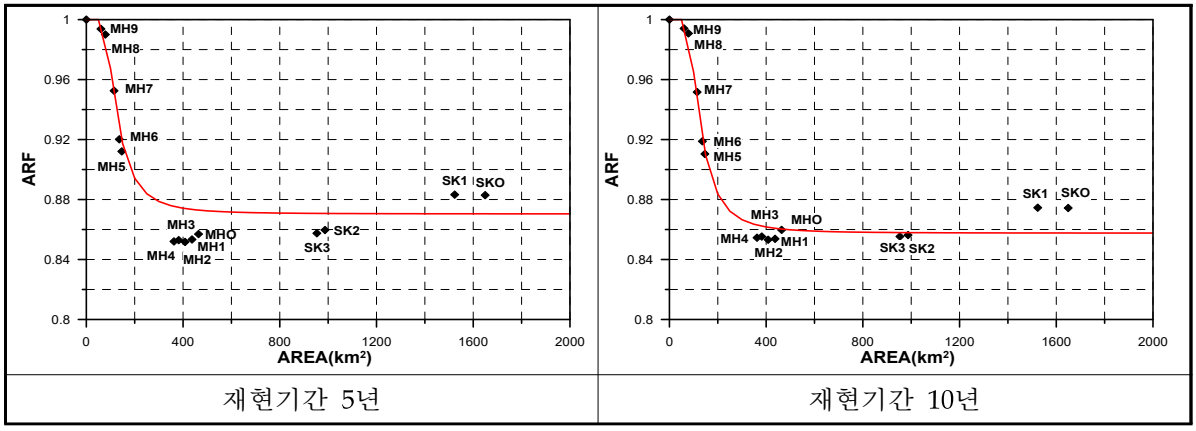
산정지점 (면적,km²)	재 현 기 간 (년)	지속시간별 면적감소계수(ARF)					
		3	6	9	12	24	48
MH5 (149.44)	5	0.8155	0.8552	0.8779	0.8835	0.9121	0.9185
	10	0.8121	0.8484	0.8685	0.8738	0.9104	0.9127
	20	0.8092	0.8435	0.8622	0.8671	0.9090	0.9086
	30	0.8081	0.8411	0.8595	0.8640	0.9086	0.9067
	50	0.8066	0.8389	0.8561	0.8608	0.9080	0.9049
	80	0.8054	0.8371	0.8540	0.8583	0.9074	0.9033
	100	0.8053	0.8364	0.8530	0.8572	0.9073	0.9028
	150	0.8041	0.8351	0.8512	0.8553	0.9069	0.9017
	200	0.8039	0.8344	0.8500	0.8541	0.9066	0.9010
	300	0.8034	0.8332	0.8486	0.8525	0.9063	0.9001
	500	0.8028	0.8319	0.8470	0.8509	0.9062	0.8992
MH6 (138.98)	5	0.8375	0.8684	0.8906	0.8960	0.9202	0.9262
	10	0.8335	0.8614	0.8816	0.8868	0.9189	0.9213
	20	0.8312	0.8567	0.8757	0.8811	0.9178	0.9179
	30	0.8308	0.8547	0.8730	0.8784	0.9179	0.9164
	50	0.8293	0.8519	0.8701	0.8756	0.9175	0.9147
	80	0.8279	0.8502	0.8678	0.8733	0.9170	0.9132
	100	0.8273	0.8493	0.8669	0.8719	0.9170	0.9128
	150	0.8267	0.8482	0.8651	0.8706	0.9167	0.9120
	200	0.8269	0.8474	0.8642	0.8695	0.9165	0.9114
	300	0.8258	0.8461	0.8628	0.8681	0.9162	0.9106
	500	0.8253	0.8449	0.8613	0.8665	0.9162	0.9097
MH7 (116.69)	5	0.9000	0.9140	0.9314	0.9365	0.9526	0.9574
	10	0.8976	0.9079	0.9241	0.9291	0.9517	0.9534
	20	0.8955	0.9037	0.9188	0.9245	0.9508	0.9506
	30	0.8951	0.9019	0.9162	0.9222	0.9506	0.9491
	50	0.8947	0.9001	0.9137	0.9200	0.9501	0.9481
	80	0.8935	0.8984	0.9117	0.9182	0.9497	0.9469
	100	0.8935	0.8979	0.9110	0.9172	0.9499	0.9464
	150	0.8929	0.8968	0.9097	0.9161	0.9496	0.9459
	200	0.8930	0.8962	0.9089	0.9154	0.9494	0.9454
	300	0.8923	0.8952	0.9078	0.9142	0.9492	0.9447
	500	0.8921	0.8941	0.9062	0.9130	0.9491	0.9441

<표 6.28> 삽교천(무한천)유역의 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수 (계속)

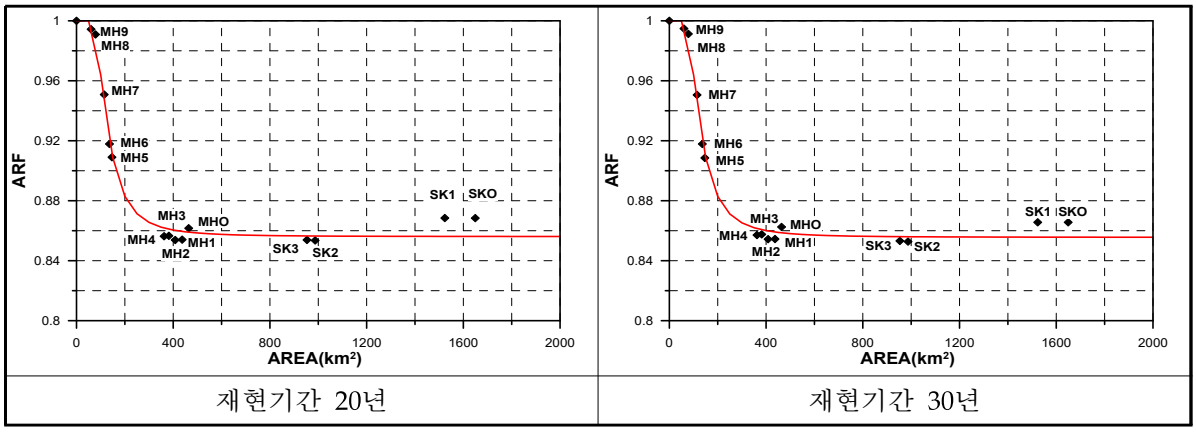
산정지점 (면적,km²)	재 현 기 간 (년)	지속시간별 면적감소계수(ARF)					
		3	6	9	12	24	48
MH8 (80.05)	5	0.9893	0.9904	0.9891	0.9877	0.9901	0.9890
	10	0.9891	0.9896	0.9890	0.9870	0.9908	0.9893
	20	0.9887	0.9895	0.9879	0.9867	0.9909	0.9895
	30	0.9891	0.9892	0.9880	0.9865	0.9913	0.9893
	50	0.9890	0.9891	0.9880	0.9863	0.9915	0.9896
	80	0.9889	0.9890	0.9878	0.9863	0.9915	0.9896
	100	0.9887	0.9894	0.9879	0.9861	0.9917	0.9896
	150	0.9885	0.9895	0.9876	0.9860	0.9916	0.9897
	200	0.9891	0.9894	0.9875	0.9863	0.9916	0.9897
	300	0.9888	0.9894	0.9876	0.9859	0.9918	0.9897
	500	0.9892	0.9890	0.9873	0.9857	0.9919	0.9897
MH9 (61.25)	5	0.9982	0.9972	0.9960	0.9951	0.9938	0.9918
	10	0.9977	0.9965	0.9962	0.9949	0.9941	0.9927
	20	0.9980	0.9970	0.9963	0.9956	0.9943	0.9932
	30	0.9982	0.9973	0.9961	0.9960	0.9948	0.9929
	50	0.9983	0.9971	0.9964	0.9960	0.9950	0.9934
	80	0.9979	0.9973	0.9967	0.9959	0.9949	0.9934
	100	0.9980	0.9974	0.9968	0.9961	0.9953	0.9937
	150	0.9981	0.9976	0.9967	0.9960	0.9951	0.9938
	200	0.9987	0.9973	0.9968	0.9961	0.9951	0.9937
	300	0.9983	0.9975	0.9970	0.9960	0.9953	0.9939
	500	0.9984	0.9973	0.9969	0.9963	0.9955	0.9939

다. 삽교천 유역에 적합한 면적감소계수의 산정

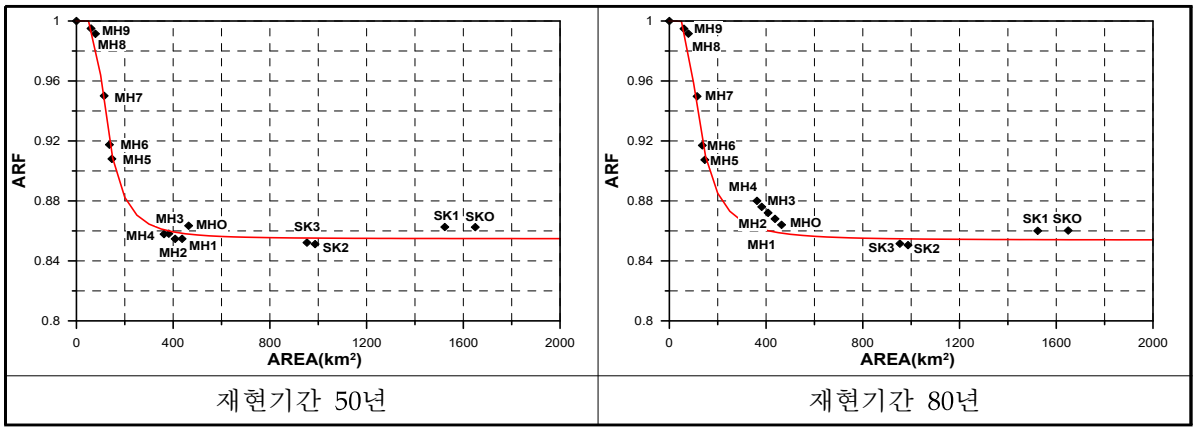
전술한 절차에 의해 산정한 면적감소계수를 <그림 6.11>과 같이 유역면적에 대하여 지속시간별, 재현기간별로 도시한 후 이를 회귀분석하여 면적감소계수와 유역면적과의 관계를 지속시간별, 재현기간별로 산정하고 회귀곡선식으로부터 면적감소계수의 매개변수를 지속시간별, 재현기간별로 결정하여 삽교천 유역의 어느 곳에서나 면적감소계수적용이 가능하도록 하였다. 면적별-지속시간별-재현기간별 면적감소계수 회귀곡선식은 '한국확률강우량도 작성, 2000.6, 건교부'에서 사용한 것과 동일한 지수형 적합방정식을 채택하였다.



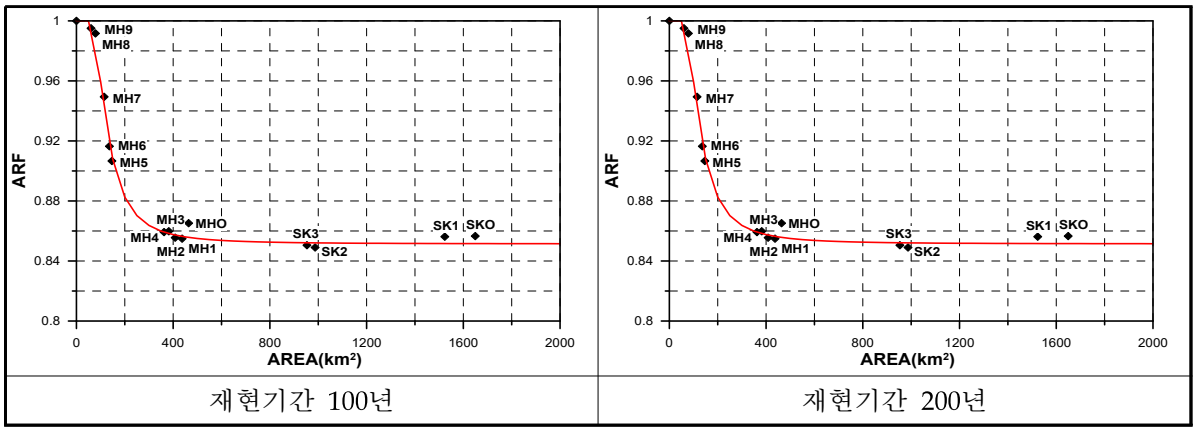
재현기간 5년 | 재현기간 10년



재현기간 20년 | 재현기간 30년

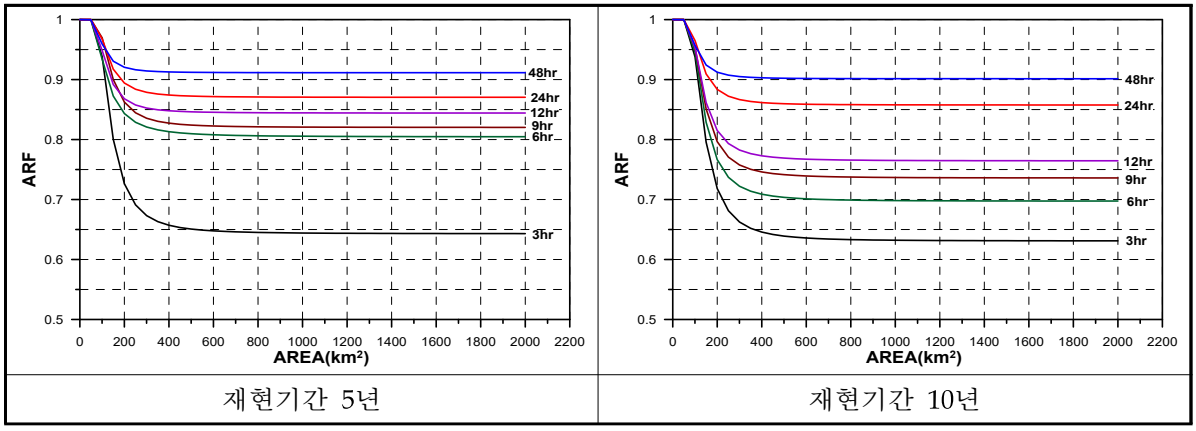


재현기간 50년 | 재현기간 80년

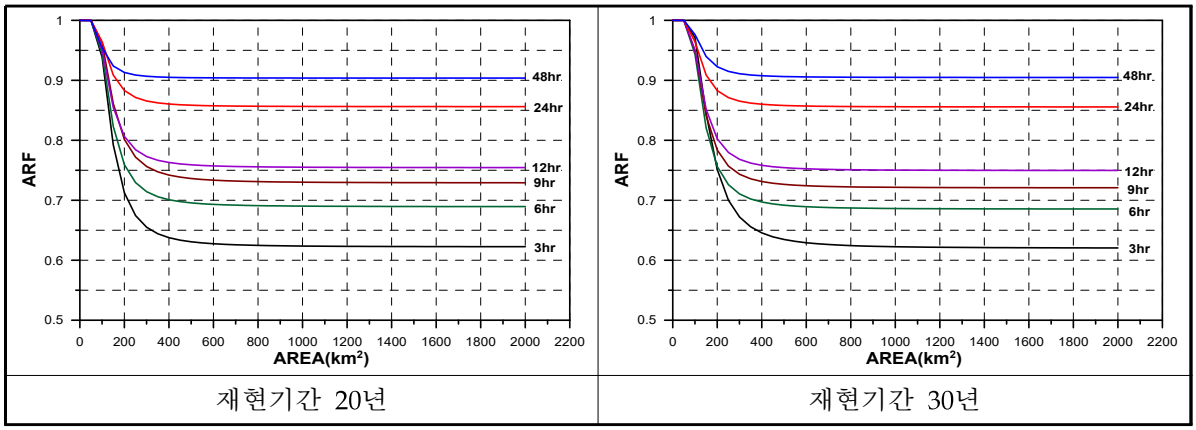


재현기간 100년 | 재현기간 200년

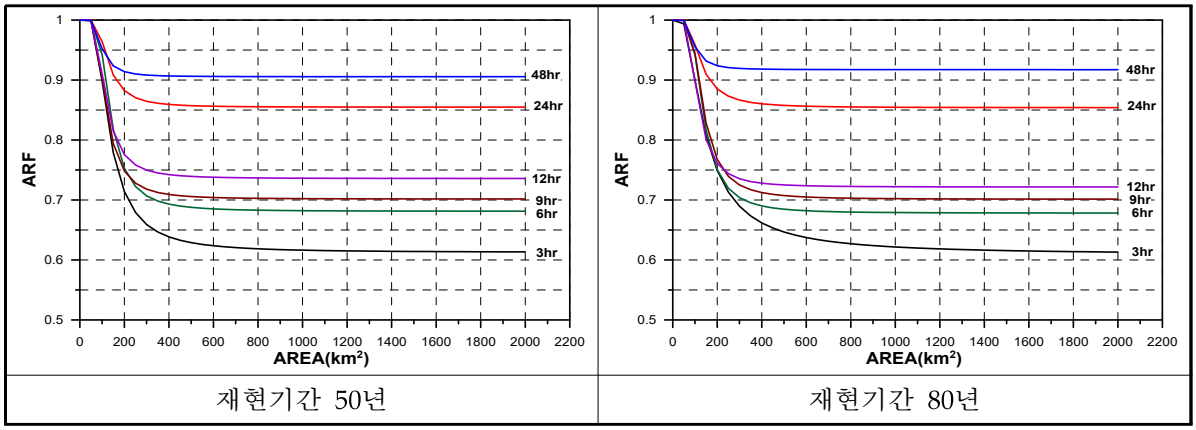
<그림 6.11> 지속시간 24시간 AREA-ARF의 관계식 도출



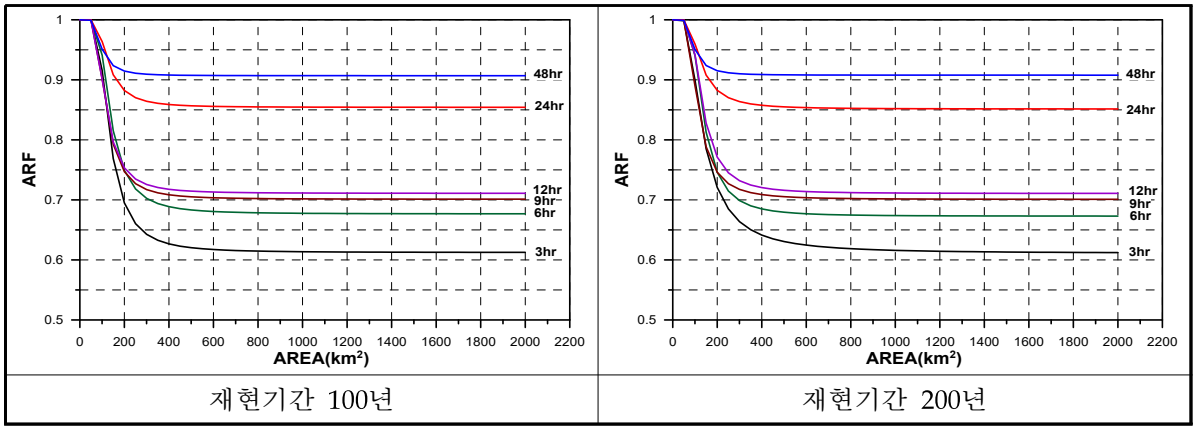
재현기간 5년 | 재현기간 10년



재현기간 20년 | 재현기간 30년



재현기간 50년 | 재현기간 80년



재현기간 100년 | 재현기간 200년

<그림 6.12> 면적감소계수(ARF)-유역면적(AREA) 관계곡선

<표 6.29> 강우 지속시간별, 재현기간별 면적감소계수 관계곡선식의 매개변수

재현기간 (yr)	매개변수	지속기간(hr)					
		3	6	9	12	24	48
5	M	0.3570	0.1955	0.1798	0.1558	0.1296	0.0886
	a	2.0425×10^{-6}	2.385×10^{-5}	1.971×10^{-6}	3.096×10^{-6}	2.126×10^{-6}	2.688×10^{-6}
	b	2.7227	2.2934	2.7277	2.7327	2.766	2.8405
10	M	0.3691	0.3027	0.2641	0.2355	0.1424	0.0986
	a	2.019×10^{-6}	1.968×10^{-6}	1.956×10^{-6}	2.012×10^{-6}	1.815×10^{-6}	2.606×10^{-6}
	b	2.722	2.7344	2.7346	2.7436	2.7968	2.8321
20	M	0.3776	0.3107	0.2710	0.2456	0.1439	0.0963
	a	1.929×10^{-6}	1.853×10^{-6}	2.443×10^{-6}	1.989×10^{-6}	2.299×10^{-6}	2.586×10^{-6}
	b	2.7284	2.7486	2.6591	2.7481	2.748	2.8571
30	M	0.3799	0.3147	0.2793	0.2504	0.1444	0.0953
	a	2.397×10^{-6}	1.905×10^{-6}	1.941×10^{-6}	1.948×10^{-6}	2.455×10^{-6}	2.467×10^{-6}
	b	2.6048	2.7433	2.7392	2.7533	2.733	2.733
50	M	0.3874	0.3188	0.2984	0.2642	0.1452	0.0944
	a	3.992×10^{-5}	1.913×10^{-6}	3.191×10^{-6}	3.389×10^{-6}	2.503×10^{-6}	2.658×10^{-6}
	b	2.1366	2.7432	2.7227	2.7189	2.7286	2.8712
80	M	0.3911	0.3219	0.2987	0.2784	0.1461	0.0827
	a	4.410×10^{-4}	1.878×10^{-6}	1.982×10^{-6}	3.711×10^{-6}	1.275×10^{-5}	2.413×10^{-6}
	b	1.6115	2.747	2.739	2.7146	2.3961	2.9129
100	M	0.3876	0.3233	0.2989	0.2891	0.1458	0.0931
	a	3.022×10^{-6}	1.884×10^{-6}	3.065×10^{-6}	2.908×10^{-6}	2.816×10^{-6}	2.491×10^{-6}
	b	2.6683	2.7469	2.7342	2.753	2.7036	2.8982
200	M	0.3890	0.3271	0.2991	0.2893	0.1486	0.0922
	a	6.632×10^{-5}	1.847×10^{-6}	6.136×10^{-6}	1.831×10^{-6}	8.873×10^{-6}	2.583×10^{-6}
	b	2.0243	2.7512	2.6067	2.767	2.4688	2.8981

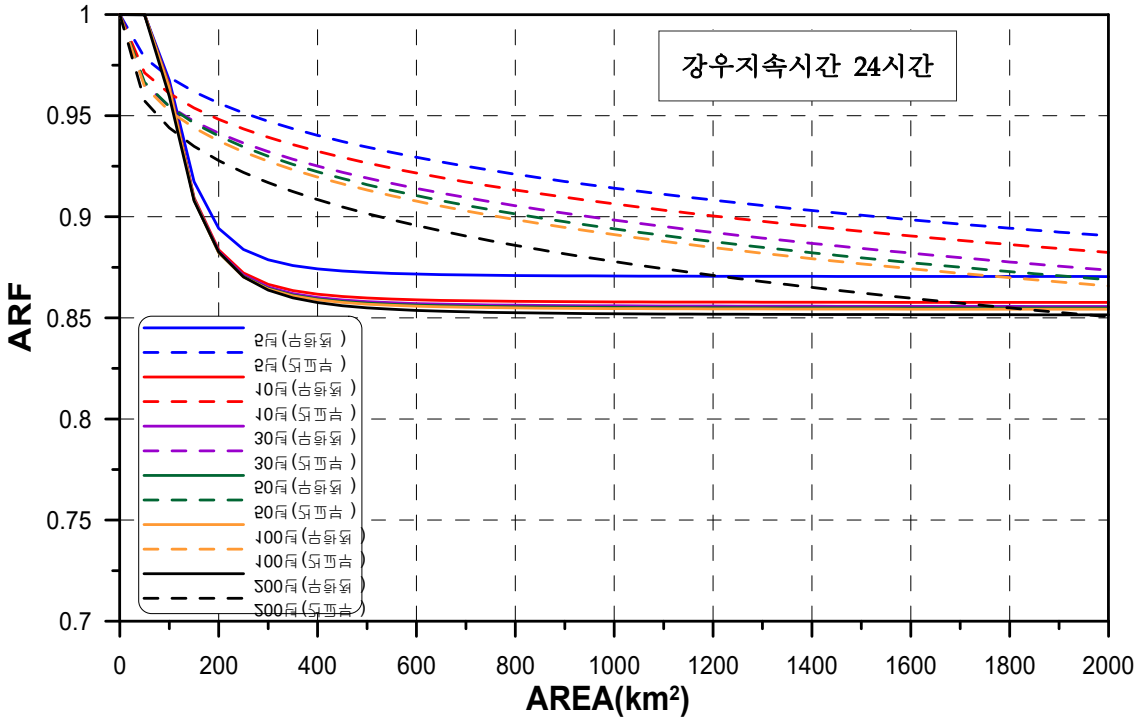
【주】 $ARF(A) = 1 - M \exp^{[aA^b]}$

라. 면적감소계수 산정결과의 비교·검토

금회 산정한 면적감소계수와 기 산정된 한강유역의 면적감소계수(한국 확률강우량도 작성, 2000.6, 건설교통부)를 <그림 6.13>과 같이 도시하여 비교한 결과 삽교천 유역을 대상으로 금회 산정한 면적감소계수의 경우 유역면적 400km^{2}까지는 급격히 감소한 후 거의 변동이 없는 특성을 가지는데 비해 건교부에서 한강유역을 대상으로 산정한 면적감소계수는 면적증가에 따라 비교적 일정하게 감소하는 성향을 보이고 있다.

이러한 이유는 건교부에서 산정한 면적감소계수의 대상유역이 한강과 같은 대유역인데 비해 본 과업의 대상유역인 삽교천(무한천) 유역은 중규모 유역으로 유역별 강우의 공간적 특성이 다르기 때문인 것으로 판단되며, 특히 금회 분석에 사용된 기상청 4개 우량관측소의 시우량자료의 신뢰도는 대단히 높은 편으로 분석결과의 신뢰도는 인정될 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 국지적 호우특성이 다르며, 지역별 편차가 큰 편인 우리나라의 강우특성을 고려할 때 한강유역에서 산정한 기존의 면적감소계수를 적용하기보다는 금회 산정한 면적계수를 사용하는 것이 삽교천 유역에 발생하는 강우의 공간적 변화특성을 반영하는데 적합할 것으로 판단된다.



<그림 6.13> 한국확률강우량도(건교부)의 면적감소계수와의 비교·검토

6.2.3 면적평균확률강우량 검토

이상의 과정을 통해 결정된 면적감소계수를 사용하여 삽교천 유역내 주요 지점의 면적평균확률강우량을 산정한 후 '삽교천 하천정비기본계획(보완), 1994.3, 건교부'의 성과와 비교였다. 그 결과 단순히 각 관측소 지점의 확률강우량을 Thiessen 가중평균한 <표 6.24>~<표 6.26>의 지점평균확률강우량에 비해 다소 감소하였으며, 삽교천 하구를 기준으로 한 100년 빈도 확률강우량은 약 12% 가까이 감소하였다.

그러나 '94년 기본계획의 확률강우량과 비교하면 홍수량 산정지점에 따라 6.2~14.4% 증가한 결과를 보이고 있는데, 이는 '77년에 최초로 수립된 삽교천 유역의 주요 홍수량 산정지점별 확률강우량 대비 '94년 산정값의 증가 규모인 8~12%와 비슷한 결과를 보이고 있다.

앞서 검토한 바와 같이 삽교천 유역의 확률강우량은 '95년의 극대홍수사상의 영향과 같은 기상현상 뿐만 아니라 강우지속시간을 과거의 고정시간 개념에서 임의의 지속시간 개념으로 변환하는데 따른 인위적인 영향으로 크게 증가하여 치수계획 수립에 있어 상당한 부담으로 작용하게 되었지만, 금회 산정한 면적감소계수의 적용을 통해 합리적인 규모로 계획강우량을 결정할 수 있게 되었다.

<표 6.30> 삽교천 유역 주요 지점의 면적평균확률강우량 비교

구분 / 산정지점		50년 빈도			80년 빈도			100년 빈도		
		기본계획 (mm)	금회 (mm)	증감 (%)	기본계획 (mm)	금회 (mm)	증감 (%)	기본계획 (mm)	금회 (mm)	증감 (%)
삽교천	덕산천 합류후	274.8	313.2	114.0	295.3	337.5	114.3	305.0	349.0	114.4
	무한천 합류전	285.2	302.8	106.2	306.8	326.5	106.4	317.0	337.2	106.4
	무한천 합류후	274.2	296.1	108.0	294.8	318.6	108.1	304.6	328.9	108.0
	곡교천 합류전	271.0	293.7	108.4	291.3	315.9	108.4	300.9	326.1	108.4
	곡교천 합류후	258.4	284.9	110.3	277.3	306.0	110.3	286.3	315.6	110.2
	삽교천 하구	260.1	284.8	109.5	279.2	305.8	109.5	288.2	315.5	109.5
곡교천	온양천 합류후	237.4	271.6	114.4	253.9	291.0	114.6	261.7	299.5	114.4
	곡교천 하구	230.7	269.1	116.6	246.4	288.2	117.0	253.8	296.7	116.9
무한천	예당저수지	260.8	296.0	113.5	280.5	317.9	113.3	289.9	328.2	113.2
	예산대교	268.7	294.4	109.6	288.9	316.2	109.4	298.6	326.4	109.3
	무한천 하구	268.7	290.0	107.9	288.9	311.3	107.8	298.6	321.3	107.6

【주】'94년 기본계획 성과는 지점평균확률강우량임.

6.3 가능최대강수량(PMP)의 추정

가능최대강수량(probable maximum precipitation, PMP)이란 어떤 지역에서 생성될 수 있는 가장 극심한 기상조건하에서 발생 가능한 호우로 인한 최대강수량으로서 그 개념적 정의는 다음과 같다.

"주어진 지속시간에 있어서 어느 특정위치에 주어진 강우면적에 대하여 연중 어느 지정된 기간에 물리적으로 발생할 수 있는 이론적 최대강수량 깊이(theoretically the greatest depth of precipitation for a given duration that is physically possible over a given size storm area at a particular geographical location at a certain time of year)"

이와 같은 정의는 유역의 형상과 관계없이 호우의 우량분포를 중심으로 잠재강수량의 상한계를 나타낸 것이기 때문에 이 정의에 의해 유도된 PMP는 호우중심 PMP이다. 따라서, 호우중심 PMP는 유역에 직접 적용할 수 없으므로 약간 수정하여 적용하게 된다. 즉, 유역전체에 걸쳐 호우중심 PMP를 분포시켜 평균적인 강수량을 추정하는 것으로 유역 PMP를 정의하고 있다.

PMP는 한 유역에 내릴 가능성이 있는 어떤 지속기간을 갖는 최대강수량이므로 대규모 수공구조물을 설계하고자 할 때 기준으로 삼는 우량이며, 통계학적으로는 약 10,000년 빈도에 해당 된다고 하는데, PMP를 결정하는 과정에서 요구되는 가정 및 자료의 불확실성이 많기 때문에 PMP에 대해서는 추정이란 용어를 사용하며, 이로 인한 홍수량이 가능최대홍수량(probable maximum flood, PMF)이다.

PMP를 추정하는 방법은 포락곡선방법, 통계학적방법, 수문기상학적방법 등이 있으며, 수문기상학적 방법은 실제 호우전이에 의한 방법과 가능최대강수량도(PMP도)에 의한 방법으로 구분된다. 이상이 방법 중 통계학적방법은 자료기록기간에 극히 제한을 받기 때문에 이 빈도에 대한 값을 신뢰성 있게 추정하기란 사실상 불가능하다고 볼 수 있어 결국 PMP 추정에 있어 물리적 혹은 확정론적 방법인 수문기상학적 방법이 채택되고 있다.

6.3.1 포락곡선방법

기상자료뿐만 아니라 강수량자료도 부족하여 PMP추정이 곤란한 경우, 강우량 기록의 포락곡선(enveloping curve)으로 지점 PMP를 추정하는 방법이다.

$PMP = 422D^{0.475}$ (Paulhus방법), $PMP = 394D^{0.500}$ (Bleasdale방법)

$PMP = 186.6D^{0.449}$ (우리나라,$D \leq 24hr$), $PMP = 186.8D^{0.306}$ (우리나라,$D > 24hr$)

여기서, PMP는 가능최대강수량(mm), D는 지속기간(hr)이다.

<표 6.31> 포락곡선 방법에 의한 삽교천 유역 가능최대강수량 추정 결과

지속시간 (hr)	PMP(mm)		
	Paulhus 방법	Bleasdale 방법	우리나라
1	422.00	394.00	118.60
2	586.55	557.20	161.90
4	815.25	788.00	221.01
6	988.40	965.10	265.14
8	1,133.13	1,114.40	301.70
12	1,373.80	1,364.86	361.94
18	1,665.59	1,671.60	434.21
24	1,909.47	1,930.20	494.08
48	2,654.01	2,729.71	610.71
72	3,217.70	3,343.20	691.39

6.3.2 통계학적 방법

Hershfield가 제안한 통계학적 방법은 기상자료는 거의 없으나 충분한 기간 동안의 강수량자료가 있는 경우 빈도계수법을 이용하여 지점 PMP를 추정하는 방법이다.

$$PMP = \overline{P} + K \cdot S$$

여기서, PMP는 가능최대강수량(mm), $\overline{P}$는 동일지속기간의 연최대강수량의 평균(mm), S는 동일 지속기간의 연최대강수량의 표준편차, K는 자료가 충분한 경우에는 12 그렇지 못한 경우에는 15를 적용(미국 기상국 기준)한다.

금회 과업에서는 삽교천 유역내 유일한 기상청 관측소인 천안관측소에서 30년간 관측한 연최대강수량자료를 이용하여 빈도계수법에 의해 PMP를 추정하였으며, 이때 K값은 강수량 자료가 충분하다고 가정하여 12를 적용하였다.

<표 6.32> 통계학적 방법에 의한 삽교천 유역 가능최대강수량 추정 결과

지속시간 (hr)	연최대강수량(mm)		PMP(mm)
	평균	표준편차	
1	37.52	11.83	179.53
2	58.00	18.22	276.68
3	71.36	23.12	348.76
4	82.76	26.96	406.33
6	101.41	35.91	532.28
8	113.80	43.46	635.29
12	130.28	53.17	768.35
18	147.53	54.96	807.05
24	157.08	56.76	838.26
48	177.45	66.09	970.53
72	190.34	72.18	1,056.44

6.3.3 수문기상학적 방법

PMP 추정에 있어 수문기상학적 방법의 주된 가정은 storm mechanism의 효율과 대기 중에서 이용할 수 있는 수분을 최적으로 조합하여 이루어진 호우로부터 PMP가 유도된다는 것이다. 이 과정에서 호우효율에 영향을 주는 요소로는 수분의 응결, 대기의 수직운동, 집중현상 등 여러 가지가 있다. 그러나, 이러한 요소들을 정확히 파악한다는 것은 불가능하기 때문에 호우효율의 간접적 지표로서 관측강우량을 사용한다.

따라서, 관측강우량과 대기 중 최대수분과의 상관관계를 이용하여 관측강우량을 조절하는 것이 PMP의 기본개념이다. 이때, 대기중의 수분은 고공기상관측(Radiosonde)으로 얻을 수 있지만, 실제로 대부분의 극치호우는 고공기상관측망을 구축하기 전에 발생하였고, 또한 고공기상관측망은 최근까지도 너무 드문드문 형성되어 있기 때문에 수분의 유입을 적절히 묘사할 수 없다. 이에 대한 해결책으로서 강수 중에 유입되는 수분은 포화위단위열 대기를 가정할 때 이슬점을 통하여 대략 추정할 수 있음이 밝혀졌으며, 현재 이슬점이 대기수분의 지표로서 널리 사용되고 있다.

대기수분의 양을 나타내는 척도로는 대기 수직기둥의 수증기 총량으로 정의되는 가강수량이 사용되며, WMO(1973)에서는 포화위단위열 대기를 가정하여 1,000hpa 이슬점과 가강수량과의 상관관계를 표로 제시한 바 있다. 이때 12시간 지속이슬점을 사용하여 산정하는 것이 일반적이다.

이러한 가강수량과 관측강수량을 이용하여 PMP를 추정하는 과정은 수분최대화비, 호우전이, 포락의 세 단계로 구분된다. 수분최대화비는 호우지대(storm location)의 최대수분에 부합하게 관측강우량을 증가시키는 것을 말하는데, 이를 위해서는 두 개의 이슬점이 필요하다. 하나는 호우기간 중에 유입하는 수분을 대표하는 이슬점이고, 또 하나는 호우지대에 예상되는 최대이슬점이다. 이 두 이슬점은 표고 차를 상쇄하기 위하여 위단위열적으로 1,000hpa로 전환하여 사용한다. 호우전이는 한 지역의 호우를 기상학적, 지형학적으로 동질성을 가정하여 다른 지역으로 재배치하는 것으로 정의되어진다. 마지막으로 대상지역에 영향을 미칠 수 있는 관측강우량에 대해 수분최대화비와 전이를 통하여 획득한 조절된 강우량 중 최대값을 지속시간 및 유역면적 별로 추출하여 조합하고 이 조합된 값을 지속기간별, 면적별로 포락하여 PMP를 결정한다.

건교부에서는 이러한 과정을 통해 가능최대강수량도(한국 가능최대강수량 추정, 건교부, 2000)를 작성하여 수문기상학적 방법에 의한 PMP 추정을 용이하게 수행할 수 있도록 하였으나, 2002년 태풍 '루사'에 의해 발생한 국지강우량 중 일부가 이때 추정한 PMP를 초과함으로써 일부 수정이 불가피하게 되었다.

가. 기존 가능최대강수량도(PMP도)에 의한 가능최대강수량 추정

'한국 가능최대강수량 추정(건교부, 2000)'에서 분석된 주요호우사상의 DAD분석과 수분최대화비, 호우전이, 포락 등의 과정을 거치는 수문기상학적 방법을 적용하여 지속기간 1시간, 2시간, 6시간, 12시간, 24시간, 48시간, 72시간에 대하여 호우면적 25km^2, 100km^2, 200km^2, 1,000km^2, 2,000km^2, 10,000km^2, 20,000km^{2}에 대해 작성한 가능최대강수량도(PMP도)를 이용하여 특정지역의 PMP를 추정할 수 있다.

PMP도를 이용한 일반화 추정은 대상지역 전체의 모든 자료를 최대한 사용하여 지역별, 지속기간별, 면적별로 일관성 유지가 가능한 점, 유역의 최적 PMP를 쉽게 추정가능한 점 등의 장점이 있지만, PMP도 작성이후 강릉지방에 24시간동안 약 880mm의 집중호우(2002년 8월 30일~31일)가 발생한 바 있어 보완이 필요하므로 직접 수문기상학적 방법에 의해 PMP를 추정하는 것이 바람직하다. 기존의 PMP도를 이용한 추정 과정은 다음과 같다.

① 대상유역의 위치와 유역면적 및 유역중심을 지형도상에서 결정한 후, 유역중심의 좌표를 PMP도로 옮겨 위치를 결정한다.

② 대상유역중심을 기준으로 지속기간별, 호우면적별 PMP를 PMP도로부터 결정한다.

③ 지속기간과 유역면적의 연속성과 일관성을 유지하기 위하여 강우깊이-지속기간에 대한 포락 및 균일화를 실시한다.

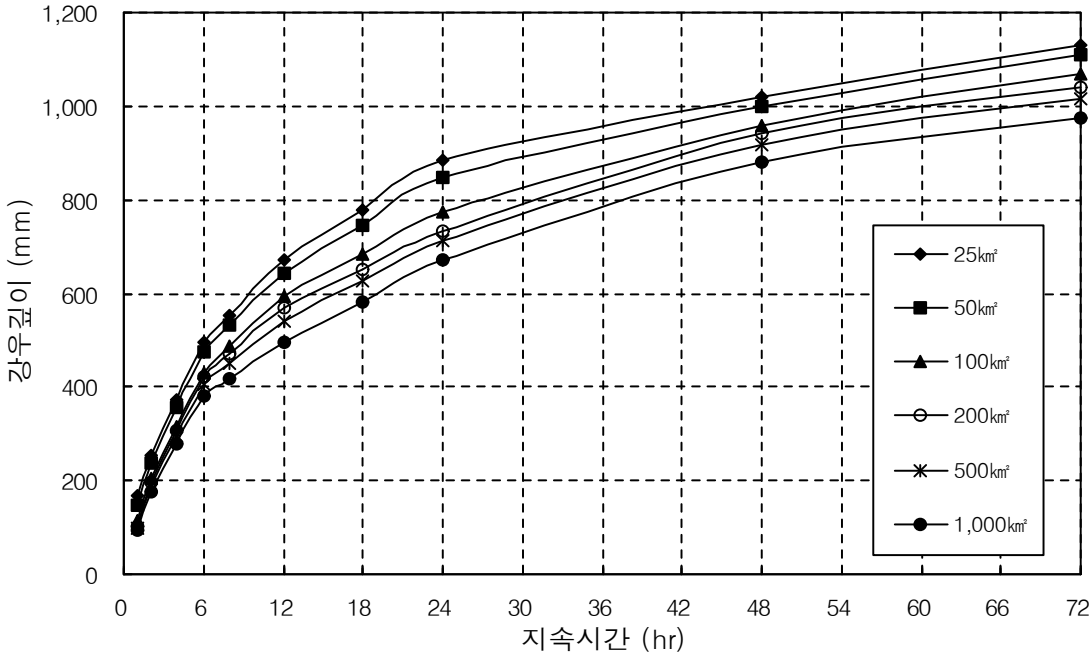
④ 강우깊이-면적-지속기간에 대한 포락과 균일화를 실시하여 이 곡선으로부터 유역면적에 해당하는 지속기간별 PMP를 읽어서 결정한다.

(1) PMP도의 면적별, 지속시간별, 강우깊이 독치

삽교천 유역의 유역중심을 결정한 후 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부, 2000.6'에서 작성된 PMP도를 이용 면적별, 지속시간별로 강우 깊이를 읽어 <표 6.33>과 같이 나타낸 후 강우깊이-지속기간에 대한 포락 및 균일화를 실시하면 <그림 6.14>와 같다.

<표 6.33> PMP도의 면적별, 지속시간별, 강우깊이 독치

유역면적 (km^2)	지속시간별 강우깊이(mm)						
	1hr	2hr	6hr	12hr	24hr	48hr	72hr
25	166.00	252.00	496.00	670.00	885.00	1020.00	1130.00
100	114.00	203.00	431.00	595.00	775.00	960.00	1070.00
200	103.00	196.00	420.00	570.00	735.00	940.00	1040.00
1,000	93.00	176.00	380.00	495.00	670.00	880.00	975.00
2,000	80.00	164.00	360.00	470.00	630.00	850.00	950.00
10,000	48.00	79.00	197.00	294.00	520.00	680.00	715.00
20,000	39.10	65.00	161.00	248.00	440.00	590.00	612.00



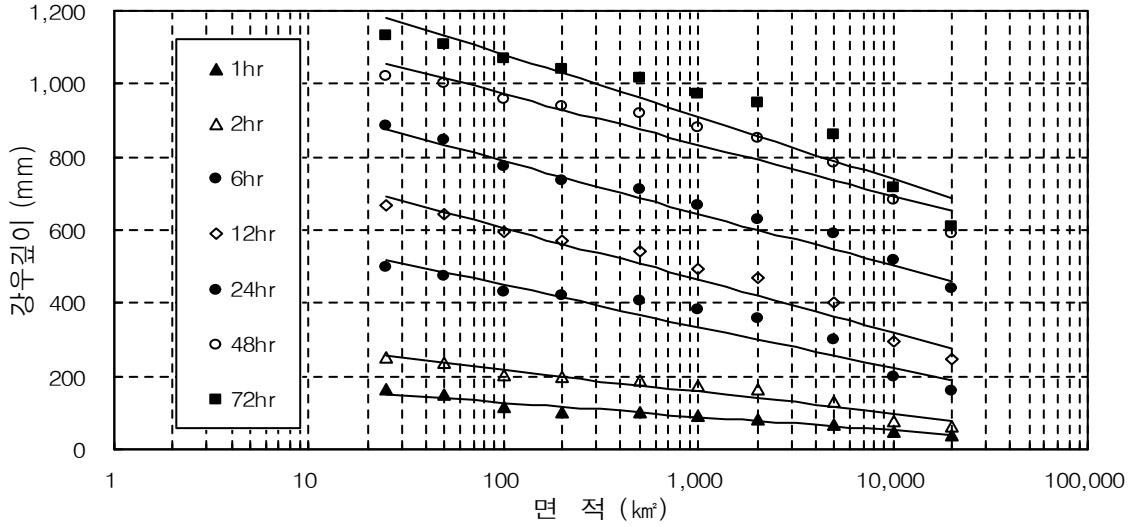
<그림 6.14> 강우깊이-지속기간에 대한 포락

(2) 지속시간별, 강우깊이-면적의 포락 및 균일화

강우깊이-지속기간에 대한 포락 및 균일화를 실시한 후 강우깊이-면적-지속기간에 대하여 포락 및 균일화를 실시하여 나타낸 곡선이 <그림 6.15>이며, 이 곡선으로부터 해당 지속기간별 PMP를 결정하면 <표 6.34>와 같다.

<표 6.34> PMP도의 면적별, 지속시간별, 강우깊이 독치 (포락 및 균일화)

유역면적 (km^2)	지속시간별 강우량(mm)									
	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	149.68	256.06	386.46	516.85	575.22	691.95	783.91	875.87	1057.18	1182.78
50	138.37	237.53	360.11	482.70	538.10	648.88	740.72	832.55	1015.16	1131.54
100	127.05	218.99	333.77	448.55	500.97	605.80	697.52	789.24	973.14	1080.30
200	115.74	200.46	307.43	414.40	463.84	562.73	654.32	745.92	931.12	1029.06
500	100.78	175.96	272.61	369.25	414.76	505.79	597.22	688.66	875.58	961.32
1,000	89.46	157.42	246.26	335.10	377.64	462.71	554.03	645.34	833.56	910.07
2,000	78.15	138.89	219.92	300.95	340.51	419.64	510.83	602.03	791.55	858.83
5,000	63.19	114.39	185.10	255.80	291.43	362.69	453.73	544.77	736.00	791.09
10,000	51.87	95.85	158.75	221.65	254.31	319.62	410.54	501.45	693.98	739.85
20,000	40.55	77.32	132.41	187.50	217.18	276.54	367.34	458.14	651.97	688.60



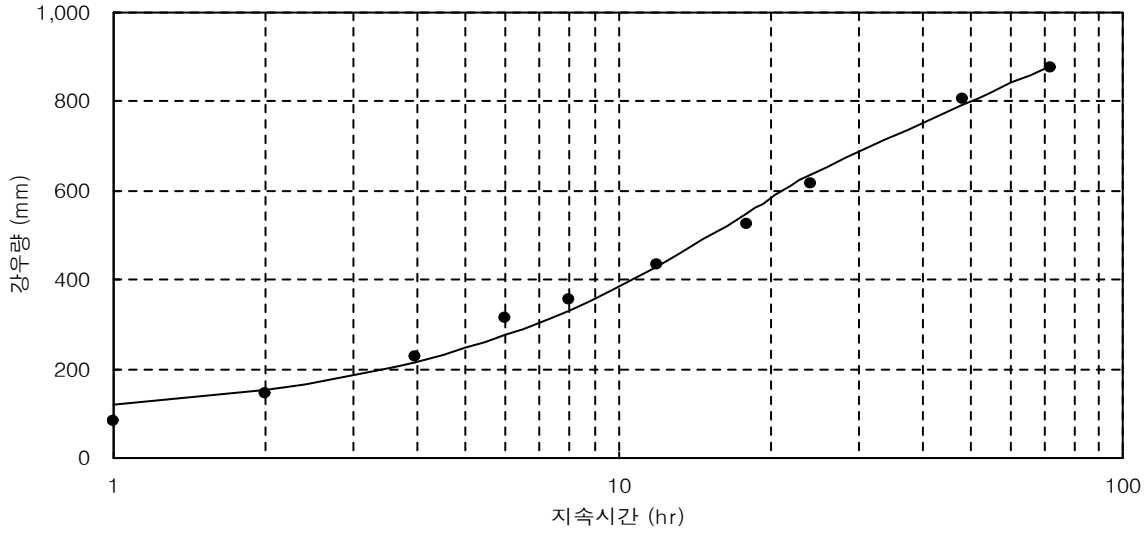
<그림 6.15> 강우깊이-면적-지속기간에 대한 포락

(3) PMP도에 의한 유역의 PMP결정

PMP도를 이용하여 산정한 값을 포락하여 삽교천 유역면적 1,649.39㎢에 해당하는 지속시간별 강우량을 산정 후 적합한 회귀식을 산정하여 지속시간별 PMP를 결정하면 <표 6.35>와 같다.

<표 6.35> PMP도에 의한 삽교천유역의 지속시간별 PMP

구 분	삽교천 유역의 지속시간별 PMP(mm)									
	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
포락치	82.00	145.00	229.00	313.00	354.00	435.00	526.00	617.00	806.00	877.00
유 역 PMP	**118.81**	**152.72**	**216.10**	**276.60**	**331.79**	**429.64**	**547.85**	**636.29**	**793.64**	**879.69**



<그림 6.16> 삽교천유역 가능최대강수량(PMP)

나. 실제 호우전이에 의한 가능최대강수량 추정

대상유역 주위에 기상학적으로 유사한 지역내에 있는 주요 호우는 그 유역의 PMP를 추정할 때 기록적인 증거자료로 중요한 부분을 차지하고 있다. 호우가 발생한 지역에서 호우가 발생할 수 있는 지역으로 옮기는 것을 호우전이라 하며, 실제 호우전이에 의한 PMP추정은 다음의 절차에 따라 수행한다.

① 전이 대상호우의 선정, 호우의 전이 및 유역평균강우량 산정

② 수분최대화비, 수평전이비, 수직전이비, 지형영향비 산정

③ PMP의 추정 : PMP = OP×RIP×RHP×RVT×RGE

여기서, OP는 관측강우량, RIP는 수분최대화비, RHT는 수평전이비, RVT는 수직전이비, RGE는 지형영향비(산악영향비)이다.

(1) PMP산정을 위한 DAD 결과의 선택

삽교천유역의 PMP산정을 위한 DAD 결과의 선택은 '한국의 주요호우, 건교부, 2000. 6'에서 분석된 자료 중 지속시간별로 기왕최대 강우량을 발생시킨 우리나라의 대표 주요호우 사상인 R1987071304 : 마천(125p.), R1987072104 : 홍산(126p.), R1990090904 : 신풍(141p.), R1998073102 : 시천(183p.), R1998080502 : 강화(184p.), R1998092804 : 포항(188p.), R1999073104 : 전적비교(189p.)를 선정하고, 2002년 8월 30일~31일 강릉지방에 내린 호우를 고려하기위해 R2002083003 : 강릉을 추가하였다.

PMP 산정을 위한 대표호우에 대한 DAD 분석결과는 <표 6.36> ~ <표 6.43>과 같다.

<표 6.36> 호우명 : R1987071304(마천)-호우원인 : 태풍

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	67.10	103.40	178.00	224.50	250.00	275.00	284.50	298.80	329.00	417.00
50	61.37	93.04	166.68	212.80	235.62	261.58	271.52	287.11	315.41	389.50
100	55.64	87.73	155.42	201.10	223.79	248.16	258.62	276.23	301.82	367.56
200	49.91	82.60	147.64	189.40	212.93	234.74	246.27	265.34	288.22	355.34
500	42.75	76.69	137.34	174.27	198.58	220.12	230.68	250.84	270.36	339.18
1000	41.10	71.78	129.11	165.29	188.55	211.07	221.16	239.68	259.87	326.96
2000	36.37	65.41	119.28	154.18	179.01	200.10	211.10	225.68	249.38	314.63
5000	30.26	56.72	103.52	139.48	159.81	180.53	190.91	206.87	228.37	298.05
10000	25.62	49.64	90.12	121.72	140.11	159.11	171.64	189.04	209.02	272.35
20000	21.39	40.29	73.78	101.27	123.46	144.53	152.99	169.96	192.92	230.99

<표 6.37> 호우명 : R1987072104(홍산)-호우원인 : 저기압

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	90.00	151.50	225.00	330.00	396.40	457.40	534.50	552.50	619.00	620.50
50	82.21	137.46	209.11	306.84	364.50	432.05	505.88	525.07	589.17	591.85
100	74.42	125.62	194.85	283.68	340.99	406.69	477.66	499.73	567.34	570.21
200	69.08	119.72	181.99	266.45	323.55	387.16	454.38	477.59	545.52	548.56
500	61.10	105.75	166.39	243.41	294.49	360.69	427.18	446.25	514.75	517.59
1000	51.22	90.43	146.54	214.75	262.36	327.05	392.59	413.53	485.07	489.03
2000	39.34	71.92	120.50	178.46	224.35	285.48	344.65	365.12	439.51	443.19
5000	30.32	53.39	89.41	132.95	172.20	219.21	271.63	291.67	365.96	371.45
10000	24.93	39.76	76.27	111.86	142.76	183.03	226.05	248.41	329.46	343.88
20000	17.15	27.46	64.35	83.43	109.39	146.72	181.13	201.73	280.59	317.57

<표 6.38> 호우명 : R1990090904(신풍)-호우원인 : 태풍

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	62.00	106.00	182.20	241.00	319.00	464.00	589.00	653.00	762.00	785.00
50	53.26	95.64	170.00	224.52	292.04	425.10	541.00	615.86	731.10	755.82
100	44.51	85.29	157.80	209.04	265.07	389.23	500.09	583.72	700.20	726.63
200	39.61	74.93	145.60	193.56	238.11	358.34	466.14	551.58	669.30	697.45
500	36.90	69.93	129.47	173.09	215.63	317.51	421.26	509.09	628.45	658.87
1000	33.61	64.23	118.49	157.61	204.97	286.62	387.31	476.95	597.55	629.69
2000	30.18	57.41	113.49	143.28	194.31	263.79	361.00	444.81	571.00	600.51
5000	25.66	48.69	96.86	131.22	174.25	248.63	329.85	416.00	541.00	562.38
10000	20.96	41.51	77.02	111.84	144.60	219.65	291.57	391.00	512.00	535.00
20000	16.04	30.60	60.62	85.35	114.30	172.46	235.28	317.08	444.00	458.55

<표 6.39> 호우명 : R1998073102(시천)-호우원인 : 저기압

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	135.00	176.00	209.00	233.00	264.00	296.00	310.00	315.00	315.00	
50	111.70	153.30	196.51	219.01	244.20	280.62	293.86	298.34	298.35	
100	92.90	133.80	184.03	207.02	227.50	265.23	277.72	281.67	281.69	
200	82.59	119.20	171.54	195.03	213.37	249.85	261.59	265.01	265.04	
500	73.13	107.96	155.04	179.18	197.24	229.52	240.25	243.64	243.12	
1000	61.62	95.19	146.39	172.10	188.80	218.00	228.35	231.61	231.64	
2000	47.22	77.81	130.08	154.54	170.79	198.77	208.55	212.27	211.94	
5000	30.65	57.13	97.39	122.49	138.75	162.49	171.35	175.62	175.75	
10000	23.94	43.86	73.65	94.49	114.66	137.00	148.18	150.79	151.26	
20000	14.77	39.11	58.73	76.43	91.71	106.01	120.40	122.07	123.44	

<표 6.40> 호우명 : R1998080502(강화)-호우원인 : 저기압

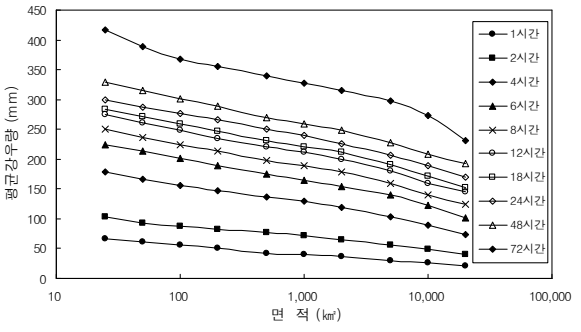
면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	112.00	216.50	349.00	466.50	507.50	586.00	615.50	619.50	619.50	
50	105.54	203.30	325.80	434.20	479.20	560.23	594.40	598.21	598.79	
100	99.46	192.48	309.09	412.78	455.60	535.22	575.22	576.91	578.08	
200	96.93	186.81	300.01	400.62	441.90	518.08	557.83	558.13	559.15	
500	92.82	178.08	285.64	381.26	422.49	495.43	533.77	537.16	537.98	
1000	88.95	169.88	272.79	364.27	401.99	474.90	517.99	521.29	521.96	
2000	75.92	158.30	258.30	344.20	380.80	452.50	496.70	500.80	502.50	
5000	53.28	93.30	175.00	210.00	249.20	293.30	346.70	348.30	352.50	
10000	34.20	58.30	107.50	134.20	158.30	185.00	227.50	231.70	244.20	
20000	14.68	15.80	28.66	39.08	46.70	72.50	105.80	111.70	125.80	

<표 6.41> 호우명 : R1998092804(포항)-호우원인 : 저기압

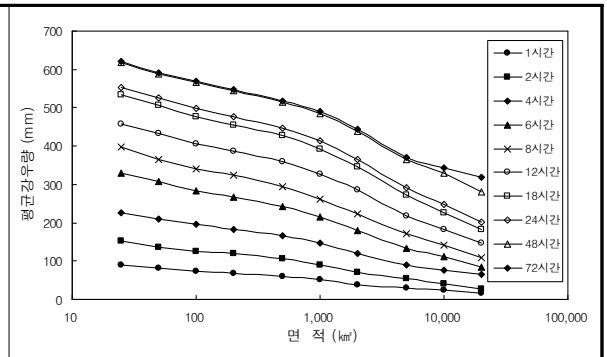
면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	75.50	147.90	258.50	317.00	368.60	414.40	496.00	574.30	609.50	611.90
50	71.18	130.80	230.00	281.70	328.30	375.80	441.70	512.50	554.20	558.30
100	66.87	117.09	203.51	255.28	296.62	336.15	407.78	473.76	509.27	512.35
200	63.53	102.17	177.23	225.52	262.18	303.30	365.68	428.19	479.75	484.24
500	59.86	91.87	145.15	186.27	217.41	249.20	325.04	385.23	441.01	448.55
1000	55.18	83.54	129.51	165.29	192.53	231.00	305.49	358.75	418.98	422.50
2000	48.70	73.75	117.29	154.02	178.16	211.83	285.94	332.52	396.94	398.30
5000	38.57	59.94	100.11	139.11	158.30	191.33	259.24	298.71	362.52	367.50
10000	31.70	50.83	86.65	127.83	140.95	173.88	237.60	273.53	329.29	338.09
20000	25.86	41.93	74.92	100.27	121.58	155.59	211.87	247.49	304.34	310.08

<표 6.42> 호우명 : R1999073104(전적비교)-호우원인 : 저기압

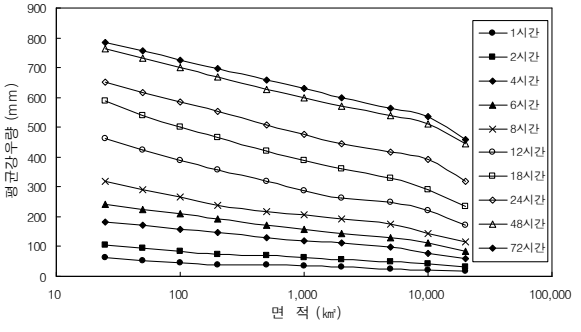
면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	97.00	175.00	271.00	320.00	357.00	427.00	521.50	587.00	809.50	900.80
50	89.19	148.64	247.48	299.35	325.04	409.26	504.83	566.97	790.50	879.34
100	81.39	136.27	228.45	278.69	309.75	391.51	488.17	546.95	771.50	857.89
200	73.58	123.91	209.43	258.04	294.63	373.77	471.50	526.92	752.49	836.43
500	63.45	112.70	188.16	236.56	274.64	350.88	449.47	500.48	727.37	808.07
1000	60.80	107.02	180.67	226.35	259.52	336.30	432.80	480.69	708.37	786.80
2000	54.25	92.87	164.42	203.96	244.21	314.10	409.43	452.07	681.40	762.45
5000	39.42	68.24	130.12	171.91	210.81	279.01	350.54	382.25	607.98	685.59
10000	24.51	47.82	86.57	124.30	156.58	213.67	269.10	290.72	493.18	575.38
20000	11.00	25.47	50.84	68.82	84.94	113.33	150.66	193.54	310.10	418.65



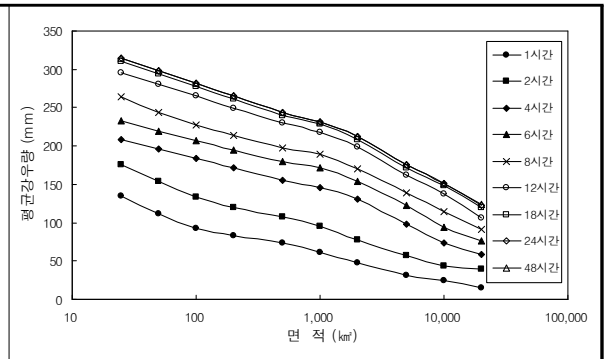
호우명 : R1987071304(마천) 포락곡선



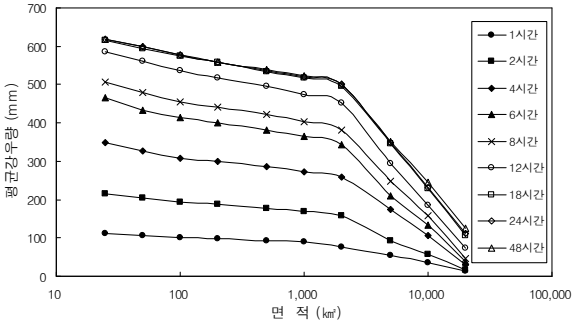
호우명 : R1987072104(홍산) 포락곡선



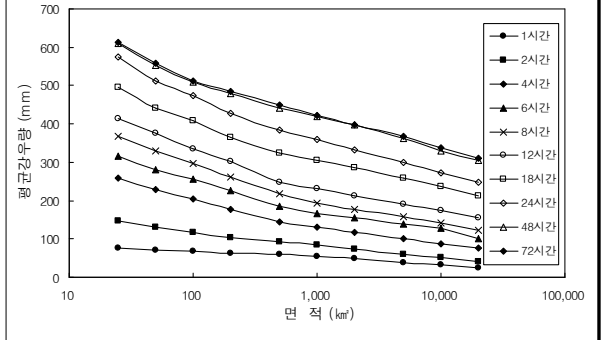
호우명 : R1990090904(신풍) 포락곡선



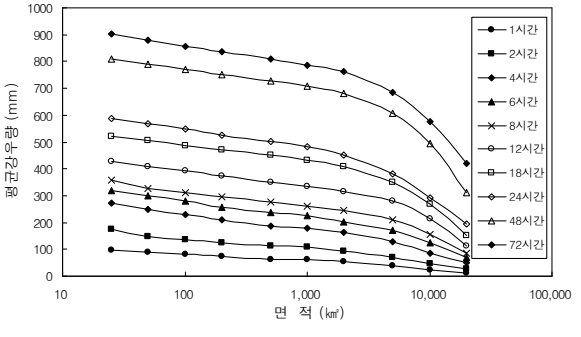
호우명 : R1998073102(시천) 포락곡선



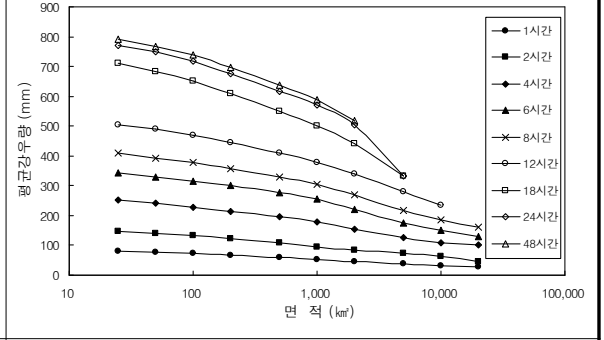
호우명 : R1998080502(강화) 포락곡선



호우명 : R1998092804(포항) 포락곡선



호우명 : R1999073104(전적비교) 포락곡선



호우명 : R2002083003(강릉) 포락곡선

<그림 6.17> 대표 주요호우의 DAD곡선

<표 6.43> 호우명 : R2002083003(강릉)-호우원인 : 태풍(루사)

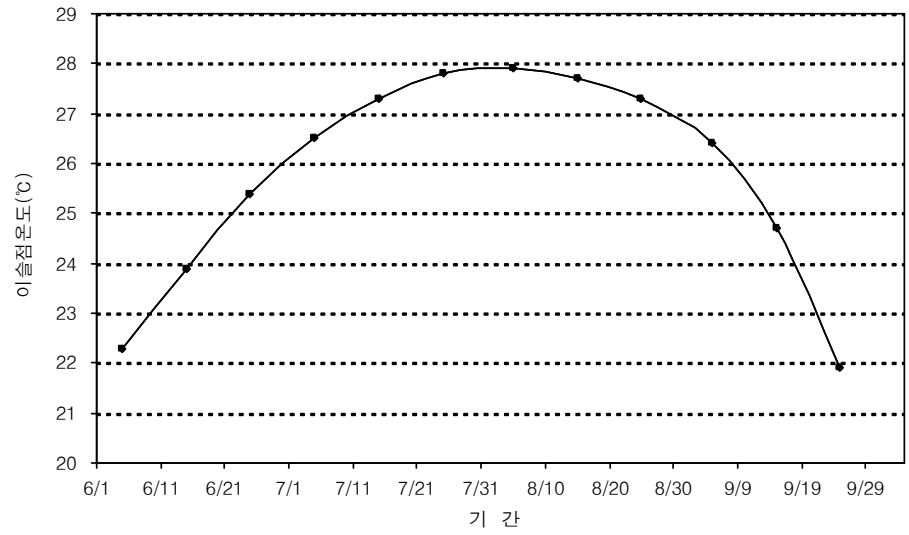
면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	80	147	251	342	409	505	710	771	791	
50	77	139	240	329	393	490	683	749	768	
100	73	132	226	315	379	469	651	718	738	
200	68	124	213	302	358	446	609	676	697	
500	60	108	195	277	330	409	551	618	637	
1000	53	96	179	254	305	377	501	570	588	
2000	45	85	153	220	270	339	442	504	520	
5000	38	73	126	175	218	279	331	333		
10000	30	62	110	150	185	235				
20000	27	45	100	130	160					

(2) 이슬점 분석

삽교천유역의 이슬점 분석은 기 분석된 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부, 2000. 6, 65~72p.' 자료를 인용하였으며 결과는 다음과 같다.

<표 6.44> 12시간 최대 1000hpa이슬점 온도(천안)

관측소	이슬점온도(℃)											
	6/5	6/15	6/25	7/5	7/15	7/25	8/5	8/15	8/25	9/5	9/15	9/25
천안	22.30	23.90	25.40	26.50	27.30	27.80	27.90	27.70	27.30	26.40	24.70	21.90



<그림 6.18> 12시간 최대 1000hpa이슬점 온도(천안)

<표 6.45> 전이지대 최대이슬점

호우명	최대이슬점(℃)	호우기간
R1987071304(마천)	27.83	1987.07.13 ~ 07.16 (04일간)
R1987072104(홍산)	27.90	1987.07.21 ~ 07.24 (04일간)
R1990090904(신풍)	27.22	1990.09.09 ~ 09.12 (04일간)
R1998073102(시천)	27.90	1998.07.31 ~ 08.01 (02일간)
R1998080502(강화)	27.90	1998.08.05 ~ 08.06 (02일간)
R1998092804(포항)	25.04	1998.09.28 ~ 10.01 (04일간)
R1999073104(전적비교)	27.90	1997.07.31 ~ 08.03 (04일간)
R2002083003(강릉)	27.70	2002.8.31 ~ 09.04 (05일간)

【주】 전이지대 최대이슬점은 각 호우발생일의 15일 전후로 한 최대이슬점 온도를 선정

(3) 가강수량 산정

가강수량은 WMO(1986)에서 제시하고 있는 1,000mb면과 임의 압력면 사이의 가강수량과 이슬점 온도와의 상관관계를 이용하여 산정할 수 있다. 금회 과업에서는 '수자원관리기법개발 연구조사보고서 제3권 한국가능최대강수량 추정, 건교부, 1988.12, 49~50p.'에서 분석된 포화위단열 대기에서 압력면(mb)과 1,000mb 사이를 1,000mb 이슬점의 함수로 나타낸 가강수량(mm)의 표를 이용하여 전이지대의 호우별 이슬점온도에 해당하는 가강수량을 산정하였으며, 이때 수분의 상한계를 200mb로 채택하였다. 결과적으로 가강수량은 1,000mb에서 200mb까지의 수증기량에 해당한다고 할 수 있다.

<표 6.46> 전이지대 최대이슬점 및 가강수량

호우명	최대이슬점(℃)	가강수량(mm)
R1987071304(마천)	27.83	103.47
R1987072104(홍산)	27.90	104.10
R1990090904(신풍)	27.22	97.98
R1998073102(시천)	27.90	104.10
R1998080502(강화)	27.90	104.10
R1998092804(포항)	25.04	81.28
R1999073104(전적비교)	27.90	104.10
R2002083003(강릉)	27.70	102.30

(4) 수분최대화비의 산정

수분최대화비는 최대 12시간 지속 1,000mb 이슬점에 의한 가강수량과 대표 12시간 지속 1,000mb 이슬점에 의한 가강수량의 비로 산정된다.

$R_{IP} = W_{pm,sl,se}/W_{ps,sl,se}$

여기서, R_{IP}는 수분최대화비이고, sl은 호우위치, se는 호우지대의 고도를 나타내는 첨자이다. 따라서,$W_{pm,sl,se}$는 호우지대의 고도를 고려한 최대 12시간 지속 1,000hpa 이슬점에의한 가강수량이며,$W_{ps,sl,se}$는 호우지대의 고도를 고려한 대표 12시간 지속 1,000hpa 이슬점에 의한 가강수량을 나타낸다.

이때 최대 12시간지속 1,000mb 이슬점은 호우 발생일의 약 15일 전후에서 최대 이슬점이다. 금회 과업에서는 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부, 2000. 6'와 '2002년 홍수피해 종합조사, 한국수자원학회, 2002. 10, 50p.'자료를 이용하여 수분최대화비를 계산하였다.

<표 6.47> 수분최대화비 산정

호 우 명	호우지대의 고도를 고려한 대표 12시간 지속 1,000mb이슬점에 의한 가강수량					호우지대의 고도를 고려한 최대 12시간 지속 1,000mb이슬점에 의한 가강수량				
	호우지대 평균 표고 (EL.m)	대표 이슬점 1000mb (℃)	대표 가강수량 (mm)	대표 1000mb 평균 표고 (mm)	고도를 감안한 가강수량 (mm)	최대 이슬점 1000mb (℃)	최대 가강수량 (mm)	최대 1000mb 평균 표고 (mm)	고도를 감안한 가강수량 (mm)	**수분최대화비**
	①	②	③	④	⑤ = ③-④	⑥	⑦	⑧	⑨ = ⑦-⑧	**⑨/⑤**
R1987071304 (마천)	300.00	23.00	68.00	6.00	62.00	27.88	103.92	7.50	96.42	**1.56**
R1987072104 (홍산)	30.00	24.40	76.80	0.60	76.20	27.93	104.37	0.75	103.62	**1.36**
R1990090904 (신풍)	280.00	23.80	72.80	5.60	67.20	26.63	93.04	6.60	86.44	**1.29**
R1998073102 (시천)	660.00	25.00	81.00	14.20	66.80	28.03	105.27	16.53	88.74	**1.33**
R1998080502 (강화)	50.00	24.70	78.90	1.00	77.90	27.69	102.21	1.25	100.96	**1.30**
R1998092804 (포항)	0.00	21.30	58.50	0.00	58.50	24.96	80.72	0.00	80.72	**1.38**
R1999073104 (전적비교)	60.00	24.00	74.00	1.20	72.80	27.64	101.76	1.50	100.26	**1.38**
R2002083003 (강릉)	30.00	23.00	68.00	0.60	67.40	25.98	87.86	0.60	87.26	**1.29**

【주】 1. '한국 가능최대강수량 추정, 건교부 ,2000. 6, 91~92p.'
2. 2002년 홍수피해 종합조사(2002. 10, 한국수자원학회), 50p

(5) 호우전이비의 산정

호우를 전이함에 있어 따라 전이지대의 지형 및 기상특성에 맞게 수정할 필요가 있다. 즉, 호우지대와 전이지대는 기상학적, 지형학적으로 비슷하다고 가정할 뿐 실제로는 다르기 때문에 각 지대의 수분 형태, 고도, 강우특성 등을 고려, 호우를 수정하여야 한다. 이때 관측호우를 전이지대로 전이함에 따라 수정하는 비를 전이비라 하며, 금회 과업에서는 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부, 2000. 6'에서 분석한 바와 같이 수평전이비, 수직전이비, 지형영향비로 분리하여 호우전이비를 산정하였다.

① 수평전이비

강수량의 수평변화는 최대 12시간지속 1,000hpa 이슬점에 기인된 수분의 차이라고 가정할 수 있다(Miller 등, 1984). 따라서 호우를 전이시킬 때 호우발생지대의 수평비는 두 지대의 최대 12시간지속 이슬점에 의한 가강수량의 비로 산정될 수 있다. 이때 호우지대와 전이지대의 수평비를 수평전이비라 하며, 다음의 수식으로 표현된다.

<표 6.48> 수평전이비 산정

호 우 명	호우지대					전이지대					수 평 전이비
	호 우 지 대 평 균 표 고 (EL.m)	최 대 이슬점 1000mb (℃)	최 대 가 강 수 량 (mm)	호우지대 평균표고, 1000mb간 가강수량 (mm)	고도를 감안한 가 강 수 량 (mm)	전 이 지 대 유 효 표 고 (EL.m)	최 대 이슬점 1000mb (℃)	최 대 가 강 수 량 (mm)	호우지대 평균표고, 1000mb간 가강수량 (mm)	고도를 감안한 가 강 수 량 (mm)	
	①	②	③	④	⑤=③-④	⑥	⑦	⑧	⑨=④	⑩=⑧-⑨	⑩/⑤
R1987071304 (마천)	300.00	27.88	103.92	7.50	96.42	80.00	27.83	103.47	7.50	95.97	**1.00**
R1987072104 (홍산)	30.00	27.93	104.37	0.75	103.62	80.00	27.90	104.10	0.75	103.35	**1.00**
R1990090904 (신풍)	280.00	26.63	93.04	6.60	86.44	80.00	27.22	97.98	6.60	91.38	**1.06**
R1998073102 (시천)	660.00	28.03	105.27	16.53	88.74	80.00	27.90	104.10	16.53	87.57	**0.99**
R1998080502 (강화)	50.00	27.69	102.21	1.25	100.96	80.00	27.90	104.10	1.25	102.85	**1.02**
R1998092804 (포항)	0.00	24.96	80.72	0.00	80.72	80.00	25.04	81.28	0.00	81.28	**1.01**
R1999073104 (전적비교)	60.00	27.64	101.76	1.50	100.26	80.00	27.90	104.10	1.50	102.60	**1.02**
R2002083003 (강릉)	30.00	25.98	87.86	0.60	87.26	80.00	27.70	102.30	0.60	101.70	**1.17**

【주】 1. 호우지대의 ①~④은 수분최대화비 계수 참조
2. 전이지대 유효표고 ⑥은 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부 ,2000. 6, 84p.' 참조
3. 전이지대(천안) 최대이슬점 ⑦은 각 호우발생일의 15일 전후로한 최대이슬점 온도를 선정, '한국 가능최대강수량 추정, 건교부 ,2000. 6, 69~72p' 참조
4. 최대 가강수량 ⑧은 '한국가능최대강수량 추정(1988.12 건설부), 49~50p.'

$R_{HT} = W_{pm,tl,se}/W_{pm,sl,se}$

여기서,R_{HT}는 수평전이비이고, tl은 전이위치를 나타내는 첨자이다. 따라서, $W_{pm,tl,se}$는 호우지대의 고도를 고려한 전이지대의 최대 12시간 지속 1,000hpa 이슬점에 의한 가강수량이고,$W_{pm,sl,se}$는 수분최대화비에서 설명한바와 같다.

② 수직전이비

관측강우량과 고도와의 관계, 즉 고도에 따라 강우량의 증가나 감소의 관계는 일정하지 않다. 따라서, 호우지대와 전이지대의 수직적 조절은 수분을 근거로 한다. 호우지대와 전이지대의 수직적 조절비를 수직전이비라 하지만 수직전이비에 관해서는 수평전이비와 달리 Hart(1982), Miller 등(1984), Schreiner와 Riedel(1978)에 의한 이론전개 및 그 응용이 매우 다르게 표현된 바 있어 이론이 완전히 정립되지는 않았다. Miller 등(1984)에 의하면 호우지대와 전이지대가 300m 이내의 고도차를 나타낼 경우 수직전이비를 사용하지 않았으며, 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다. 금회 과업에서도 이를 적용하였다.

<표 6.49> 수직전이비 산정

호 우 명	전이지대 유효표고 (EL.m)	전이지대 최대이슬점 1000mb (℃)	전이지대 최대가강수량 (mm)	호우지대의 평균표고와 1000mb간 가강수량 (mm)		고도를 감안한 가강수량 (mm)	전이지대 평균표고, 1000mb간 가강수량 (mm)	고도를 감안한 가강수량 (mm)	**수직전이비**	비 고
	①	②	③	④	⑤=④/2	⑥=③-⑤	⑦	⑧=③-⑦	**0.5+0.5 (⑧/⑥)**	유효표고차
R1987071304 (마천)	80.00	27.83	103.47	7.50	3.75	99.72	5.00	98.47	**1.00**	220
R1987072104 (홍산)	80.00	27.90	104.10	0.75	0.38	103.72	5.00	99.10	**1.00**	50
R1990090904 (신풍)	80.00	27.22	97.98	6.60	3.30	94.68	5.00	92.98	**1.00**	200
R1998073102 (시천)	80.00	27.90	104.10	16.53	8.27	95.83	5.00	99.10	**1.02**	580
R1998080502 (강화)	80.00	27.90	104.10	1.25	0.63	103.47	5.00	99.10	**1.00**	30
R1998092804 (포항)	80.00	25.04	81.28	0.00	0.00	81.28	4.00	77.28	**1.00**	80
R1999073104 (전적비교)	80.00	27.90	104.10	1.50	0.75	103.35	5.00	99.10	**1.00**	20
R2002083003 (강릉)	80.00	27.70	102.30	0.60	0.30	102.00	5.00	97.30	**1.00**	50

【주】 1. 전이지대 가강수량⑦은 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부 ,2000. 6, 51p.'
2. 호우지대 평균표고와 전이지대의 유효표고가 300m이상 차이가 나는 호우는 R1998073102(시천) 호우 하나임.

$R_{VT} = 0.5 + 0.5(W_{pm,tl,te}/W_{pm,tl,(se\pm300)})$

여기서 R_{VT}는 수직전이비이고, te는 전이지대의 고도를 나타내는 첨자이다. 따라서, $W_{pm,tl,te}$는 전이지대 고도를 고려한 전이지대의 최대 12시간지속 1,000hpa 이슬점에 의한 가강수량이고, $W_{pm,tl,(se\pm300)}$은 호우지대와 전이지대의 고도차가 300m 이상일 때 호우지대의 고도에 대한 가강수량의 1/2을 고려한 최대 12시간 지속 1,000hpa 이슬점에 의한 가강수량이다.

③ 지형영향비

호우전이는 호우지대와 전이지대의 지형학적, 기상학적인 동질성을 기본 가정으로 삼고 있다. 그러나, 지형학적, 기상학적 동질성을 만족하는 객관적 판단을 정확히 할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부 ,1988'과 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부 ,2000'에서는 호우지대와 전이지대의 재현기간 100년 지속기간 24시간 확률강우량비를 지형영향비로 사용하고 있다.

재현기간 100년 지속기간 24시간 확률강우량은 극치강우량의 해석결과로서, 24시간 확률강우량을 이용한 호우지대와 전이지대의 지형영향비를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$R_{GF} = (100year-24hr)_{tl}/(100year-24hr)/sl$

여기서 R_{GF}는 지형영향비이며, $(100year-24hr)_{tl}$은 전이지대에서 호우지대면적과 동등한 면적에 해당하는 공간평균 100년 24시간 확률강우량, $(100year-24hr)/sl$은 호우지대의 공간평균 100년 24시간 확률강우량이다.

<표 6.50> 지형영향비 산정

호우명	호우지대 100년빈도 확률강우량 (mm) ①	전이지대 100년빈도 확률강우량 (mm) ②	**지 형 영향비 ③=②/①**
R1987071304(마천)	325.00	303.50	**0.93**
R1987072104(홍산)	295.00	303.50	**1.03**
R1990090904(신풍)	345.00	303.50	**0.88**
R1998073102(시천)	340.00	303.50	**0.89**
R1998080502(강화)	422.00	303.50	**0.72**
R1998092804(포항)	281.00	303.50	**1.08**
R1999073104(전적비교)	378.00	303.50	**0.80**
R2002083003(강릉)	355.00	303.50	**0.85**

【주】 100년빈도 확률강우량은 '한국 가능최대강수량 추정, 건교부, 2000. 6, 87p.'

(6) 총 영향비

산정된 수분최대화비, 수평전이비, 수직전이비, 지형영향비의 효과를 모두 고려한 총 조절비는 <표 6.51>과 같다.

<표 6.51> 총 조절비

호 우 명	수 분 최대화비 ①	수 평 전이비 ②	수 직 전이비 ③	지 형 영향비 ④	총전이비 ⑤ = ②x③x④	총조절비 ⑥ = ①×⑤
R1987071304(마천)	1.56	1.00	1.00	0.93	0.93	1.45
R1987072104(홍산)	1.36	1.00	1.00	1.03	1.03	1.40
R1990090904(신풍)	1.29	1.06	1.00	0.88	0.93	1.20
R1998073102(시천)	1.33	0.99	1.02	0.89	0.9	1.20
R1998080502(강화)	1.30	1.02	1.00	0.72	0.73	0.95
R1998092804(포항)	1.38	1.01	1.00	1.08	1.09	1.50
R1999073104(전적비교)	1.38	1.02	1.00	0.80	0.82	1.13
R2002083003(강릉)	1.29	1.17	1.00	0.85	0.99	1.28

(7) 조절된 강수량의 산정

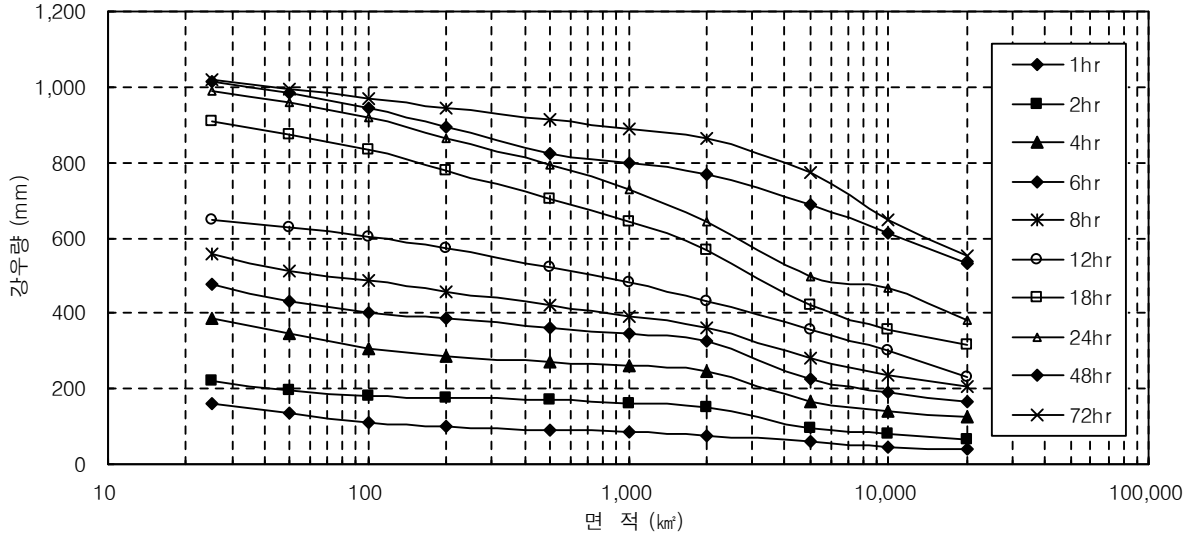
<표 6.51>에서 최종 산정된 총 조절비를 앞에서 산정한 우리나라 대표 호우별 DAD의 강우량에 적용함으로써 조절된 강수량이 산정되며, 이 중 지속시간별, 면적별 강수량이 가장 큰 값을 추출함으로써 삽교천 유역에 적용될 조절된 강수량을 산정할 수 있다. 결과는 <표 6.52>와 <그림 6.19>, <그림 6.20>과 같으며, 지속시간별, 면적별로 채택된 호우명은 <표 6.53>과 같다. <표 6.54>~<표 6.61>는 총 조절비를 고려한 호우별, 지속시간별, 면적별, 강수량을 나타낸다.

<표 6.52> 최종 채택된 PMP 강수량(조절된 강수량)

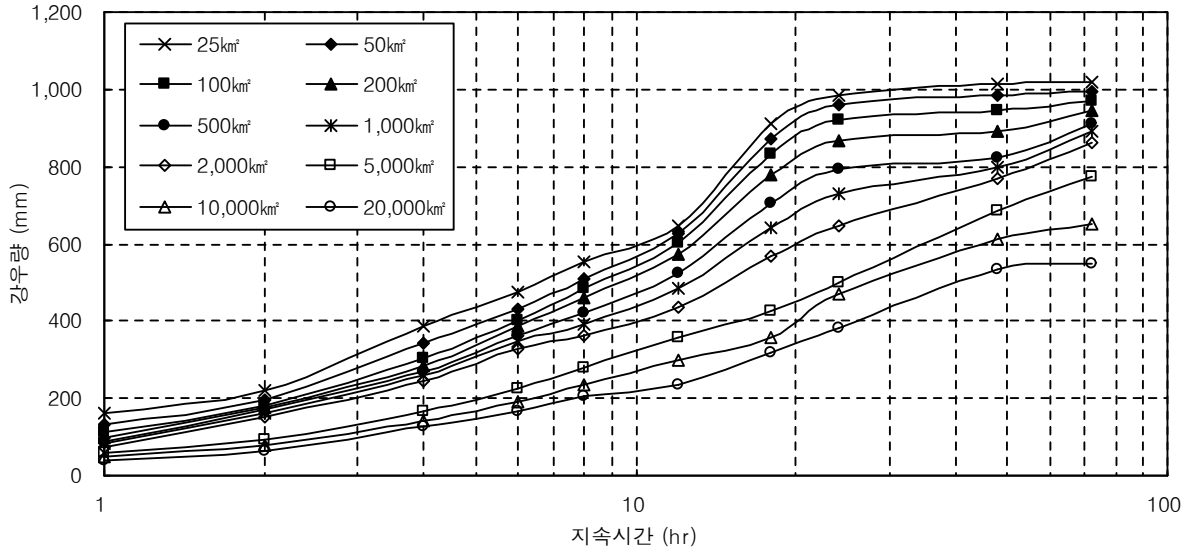
면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	162.00	221.85	387.75	475.50	554.96	646.40	908.80	986.88	1012.48	1017.90
50	134.04	196.20	345.00	429.58	510.30	627.20	874.24	958.72	983.04	993.65
100	111.48	182.86	305.27	403.20	485.12	600.32	833.28	919.04	944.64	969.42
200	99.11	177.47	285.01	386.56	458.24	570.88	779.52	865.28	892.16	945.17
500	89.79	169.18	271.36	362.20	422.40	523.52	705.28	791.04	821.93	913.12
1,000	84.50	161.39	259.15	346.06	390.40	482.56	641.28	729.60	800.46	889.08
2,000	73.05	150.39	245.39	326.99	361.76	433.92	565.76	645.12	769.98	861.57
5,000	57.86	93.44	166.25	224.00	279.04	357.12	423.68	499.20	687.02	774.72
10,000	47.55	79.36	140.80	192.00	236.80	300.80	356.40	469.20	614.40	650.18
20,000	38.79	62.90	128.00	166.40	204.80	233.39	317.81	380.50	532.80	550.26

<표 6.53> 최종 채택된 관측소

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	시천	포항	포항	포항	홍산	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	전적비교
50	시천	포항	포항	홍산	홍산	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	전적비교
100	시천	강화	포항	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	전적비교
200	시천	강화	강화	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	전적비교
500	포항	강화	강화	강화	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	전적비교	전적비교
1,000	강화	강화	강화	강화	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	전적비교	전적비교
2,000	포항	강화	강화	강화	강화	**강릉**	**강릉**	**강릉**	전적비교	전적비교
5,000	포항	**강릉**	강화	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	신풍	전적비교	전적비교
10,000	포항	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	**강릉**	포항	신풍	신풍	전적비교
20,000	포항	포항	**강릉**	**강릉**	**강릉**	포항	포항	신풍	신풍	신풍



<그림 6.19> 채택된 면적별, 지속시간-강우량



<그림 6.20> 채택된 지속시간별, 면적-강우량

<표 6.54> 조절된 강수량(R1987071304,마천)

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	97.30	149.93	258.10	325.53	362.50	398.75	412.53	433.26	477.05	604.65
50	88.99	134.91	241.69	308.56	341.65	379.29	393.70	416.31	457.34	564.78
100	80.68	127.21	225.36	291.60	324.50	359.83	375.00	400.53	437.64	532.96
200	72.37	119.77	214.08	274.63	308.75	340.37	357.09	384.74	417.92	515.24
500	61.99	111.20	199.14	252.69	287.94	319.17	334.49	363.72	392.02	491.81
1,000	59.60	104.08	187.21	239.67	273.40	306.05	320.68	347.54	376.81	474.09
2,000	52.74	94.84	172.96	223.56	259.56	290.15	306.10	327.24	361.60	456.21
5,000	43.88	82.24	150.10	202.25	231.72	261.77	276.82	299.96	331.14	432.17
10,000	37.15	71.98	130.67	176.49	203.16	230.71	248.88	274.11	303.08	394.91
20,000	31.02	58.42	106.98	146.84	179.02	209.57	221.84	246.44	279.73	334.94

<표 6.55> 조절된 강수량(R1987072104, 홍산)

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	126.00	212.10	315.00	462.00	554.96	640.36	748.30	773.50	866.60	868.70
50	115.09	192.44	292.75	429.58	510.30	604.87	708.23	735.10	824.84	828.59
100	104.19	175.87	272.79	397.15	477.39	569.37	668.72	699.62	794.28	798.29
200	96.71	167.61	254.79	373.03	452.97	542.02	636.13	668.63	763.73	767.98
500	85.54	148.05	232.95	340.77	412.29	504.97	598.05	624.75	720.65	724.63
1,000	71.71	126.60	205.16	300.65	367.30	457.87	549.63	578.94	679.10	684.64
2,000	55.08	100.69	168.70	249.84	314.09	399.67	482.51	511.17	615.31	620.47
5,000	42.45	74.75	125.17	186.13	241.08	306.89	380.28	408.34	512.34	520.03
10,000	34.90	55.66	106.78	156.60	199.86	256.24	316.47	347.77	461.24	481.43
20,000	24.01	38.44	90.09	116.80	153.15	205.41	253.58	282.42	392.83	444.60

<표 6.56> 조절된 강수량(R1990090904, 신풍)

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	74.40	127.20	218.64	289.20	382.80	556.80	706.80	783.60	914.40	942.00
50	63.91	114.77	204.00	269.42	350.45	510.12	649.20	739.03	877.32	906.98
100	53.41	102.35	189.36	250.85	318.08	467.08	600.11	700.46	840.24	871.96
200	47.53	89.92	174.72	232.27	285.73	430.01	559.37	661.90	803.16	836.94
500	44.28	83.92	155.36	207.71	258.76	381.01	505.51	610.91	754.14	790.64
1,000	40.33	77.08	142.19	189.13	245.96	343.94	464.77	572.34	717.06	755.63
2,000	36.22	68.89	136.19	171.94	233.17	316.55	433.20	533.77	685.20	720.61
5,000	30.79	58.43	116.23	157.46	209.10	298.36	395.82	499.20	649.20	674.86
10,000	25.15	49.81	92.42	134.21	173.52	263.58	349.88	469.20	614.40	642.00
20,000	19.25	36.72	72.74	102.42	137.16	206.95	282.34	380.50	532.80	550.26

<표 6.57> 조절된 강수량(R1998073102, 시천)

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	162.00	211.20	250.80	279.60	316.80	355.20	372.00	378.00	378.00	
50	134.04	183.96	235.81	262.81	293.04	336.74	352.63	358.01	358.02	
100	111.48	160.56	220.84	248.42	273.00	318.28	333.26	338.00	338.03	
200	99.11	143.04	205.85	234.04	256.04	299.82	313.91	318.01	318.05	
500	87.76	129.55	186.05	215.02	236.69	275.42	288.30	292.37	291.74	
1,000	73.94	114.23	175.67	206.52	226.56	261.60	274.02	277.93	277.97	
2,000	56.66	93.37	156.10	185.45	204.95	238.52	250.26	254.72	254.33	
5,000	36.78	68.56	116.87	146.99	166.50	194.99	205.62	210.74	210.90	
10,000	28.73	52.63	88.38	113.39	137.59	164.40	177.82	180.95	181.51	
20,000	17.72	46.93	70.48	91.72	110.05	127.21	144.48	146.48	148.13	

<표 6.58> 조절된 강수량(R1998080502, 강화)

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	106.40	205.68	331.55	443.18	482.13	556.70	584.73	588.53	588.53	
50	100.26	193.14	309.51	412.49	455.24	532.22	564.68	568.30	568.85	
100	94.49	182.86	293.64	392.14	432.82	508.46	546.46	548.06	549.18	
200	92.08	177.47	285.01	380.59	419.81	492.18	529.94	530.22	531.19	
500	88.18	169.18	271.36	362.20	401.37	470.66	507.08	510.30	511.08	
1,000	84.50	161.39	259.15	346.06	381.89	451.16	492.09	495.23	495.86	
2,000	72.12	150.39	245.39	326.99	361.76	429.88	471.87	475.76	477.38	
5,000	50.62	88.64	166.25	199.50	236.74	278.64	329.37	330.89	334.88	
10,000	32.49	55.39	102.13	127.49	150.39	175.75	216.13	220.12	231.99	
20,000	13.95	15.01	27.23	37.13	44.37	68.88	100.51	106.12	119.51	

<표 6.59> 조절된 강수량(R1998092804, 포항)

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	113.25	221.85	387.75	475.50	552.90	621.60	744.00	861.45	914.25	917.85
50	106.77	196.20	345.00	422.55	492.45	563.70	662.55	768.75	831.30	837.45
100	100.31	175.64	305.27	382.92	444.93	504.23	611.67	710.64	763.91	768.53
200	95.30	153.26	265.85	338.28	393.27	454.95	548.52	642.29	719.63	726.36
500	89.79	137.81	217.73	279.41	326.12	373.80	487.56	577.85	661.52	672.83
1,000	82.77	125.31	194.27	247.94	288.80	346.50	458.24	538.13	628.47	633.75
2,000	73.05	110.63	175.94	231.03	267.24	317.75	428.91	498.78	595.41	597.45
5,000	57.86	89.91	150.17	208.67	237.45	287.00	388.86	448.07	543.78	551.25
10,000	47.55	76.25	129.98	191.75	211.43	260.82	356.40	410.30	493.94	507.14
20,000	38.79	62.90	112.38	150.41	182.37	233.39	317.81	371.24	456.51	465.12

<표 6.60> 조절된 강수량(R1999073104, 전적비교)

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	109.61	197.75	306.23	361.60	403.41	482.51	589.30	663.31	914.74	1017.90
50	100.78	167.96	279.65	338.27	367.30	462.46	570.46	640.68	893.27	993.65
100	91.97	153.99	258.15	314.92	350.02	442.41	551.63	618.05	871.80	969.42
200	83.15	140.02	236.66	291.59	332.93	422.36	532.80	595.42	850.31	945.17
500	71.70	127.35	212.62	267.31	310.34	396.49	507.90	565.54	821.93	913.12
1,000	68.70	120.93	204.16	255.78	293.26	380.02	489.06	543.18	800.46	889.08
2,000	61.30	104.94	185.79	230.47	275.96	354.93	462.66	510.84	769.98	861.57
5,000	44.54	77.11	147.04	194.26	238.22	315.28	396.11	431.94	687.02	774.72
10,000	27.70	54.04	97.82	140.46	176.94	241.45	304.08	328.51	557.29	650.18
20,000	12.43	28.78	57.45	77.77	95.98	128.06	170.25	218.70	350.41	473.07

<표 6.61> 조절된 강수량(R2002083003, 강릉)

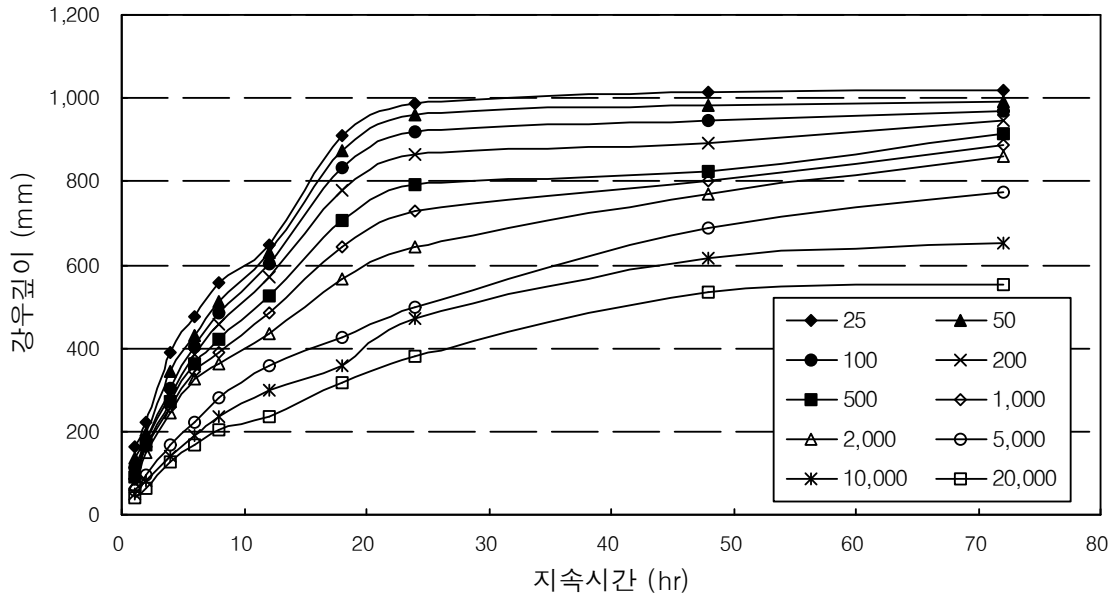
면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	102.40	188.16	321.28	437.76	523.52	646.40	908.80	986.88	1012.48	
50	98.56	177.92	307.20	421.12	503.04	627.20	874.24	958.72	983.04	
100	93.44	168.96	289.28	403.20	485.12	600.32	833.28	919.04	944.64	
200	87.04	158.72	272.64	386.56	458.24	570.88	779.52	865.28	892.16	
500	76.80	138.24	249.60	354.56	422.40	523.52	705.28	791.04	815.36	
1,000	67.84	122.88	229.12	325.12	390.40	482.56	641.28	729.60	752.64	
2,000	57.60	108.80	195.84	281.60	345.60	433.92	565.76	645.12	665.60	
5,000	48.64	93.44	161.28	224.00	279.04	357.12	423.68	426.24	0.00	
10,000	38.40	79.36	140.80	192.00	236.80	300.80	0.00	0.00	0.00	
20,000	34.56	57.60	128.00	166.40	204.80	0.00	0.00	0.00	0.00	

(8) 지속시간별, 강우깊이-면적의 포락 및 균일화

<표 6.62>에서 채택된 PMP를 강우깊이-지속기간에 대한 포락 및 균일화를 <그림 6.21>과 같이 실시한 후 강우깊이-면적-지속기간에 대하여 포락 및 균일화를 실시하여 나타낸 곡선이 <그림 6.22>이며, 이 곡선으로부터 해당 지속기간별 PMP를 결정하면 <표 6.63>과 같다.

<표 6.62> 실제 호우전이에 의한 PMP(포락전)

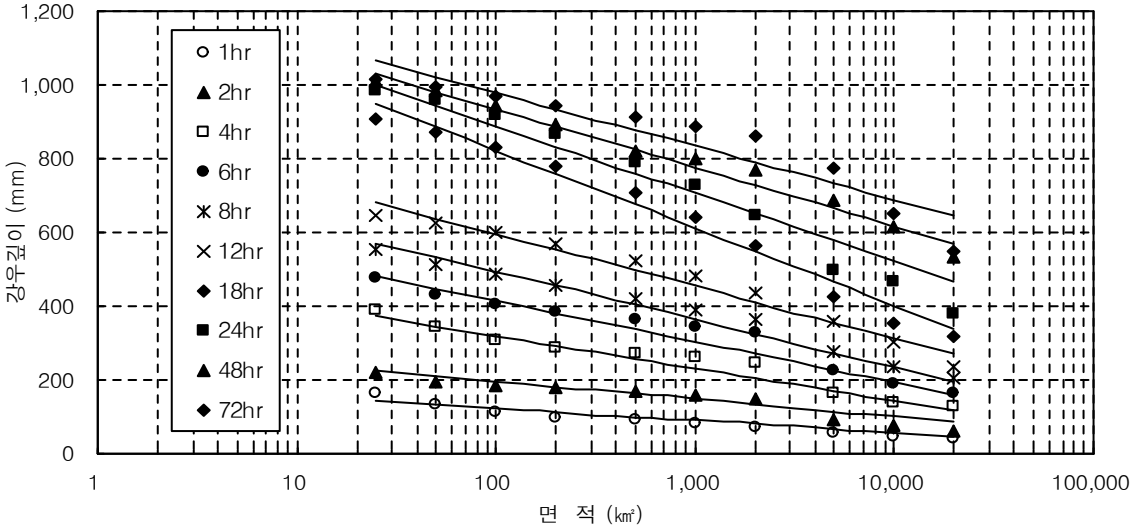
면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	162.00	221.85	387.75	475.50	554.96	646.40	908.80	986.88	1012.48	1017.90
50	134.04	196.20	345.00	429.58	510.30	627.20	874.24	958.72	983.04	993.65
100	111.48	182.86	305.27	403.20	485.12	600.32	833.28	919.04	944.64	969.42
200	99.11	177.47	285.01	386.56	458.24	570.88	779.52	865.28	892.16	945.17
500	89.79	169.18	271.36	362.20	422.40	523.52	705.28	791.04	821.93	913.12
1,000	84.50	161.39	259.15	346.06	390.40	482.56	641.28	729.60	800.46	889.08
2,000	73.05	150.39	245.39	326.99	361.76	433.92	565.76	645.12	769.98	861.57
5,000	57.86	93.44	166.25	224.00	279.04	357.12	423.68	499.20	687.02	774.72
10,000	47.55	79.36	140.80	192.00	236.80	300.80	356.40	469.20	614.40	650.18
20,000	38.79	62.90	128.00	166.40	204.80	233.39	317.81	380.50	532.80	550.26



<그림 6.21> 강우깊이-지속기간에 대한 포락 및 균일화

<표 6.63> 실제 호우전이에 의한 PMP(포락후)

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	143.51	223.85	371.84	481.58	571.11	680.04	949.32	998.03	1029.02	1066.03
50	133.43	209.57	345.62	448.23	532.15	637.60	885.85	943.01	981.41	1022.34
100	123.36	195.29	319.40	414.88	493.19	595.16	822.37	887.99	933.80	978.65
200	113.28	181.01	293.18	381.53	454.23	552.71	758.90	832.97	886.20	934.95
500	99.96	162.13	258.52	337.45	402.73	496.61	674.99	760.24	823.27	877.19
1,000	89.89	147.85	232.30	304.10	363.77	454.16	611.52	705.22	775.66	833.50
2,000	79.81	133.57	206.08	270.76	324.81	411.72	548.05	650.20	728.06	789.81
5,000	66.50	114.69	171.41	226.67	273.30	355.61	464.14	577.47	665.12	732.05
10,000	56.42	100.41	145.19	193.32	234.34	313.17	400.67	522.45	617.52	688.35
20,000	46.35	86.13	118.97	159.98	195.38	270.73	337.19	467.43	569.91	644.66



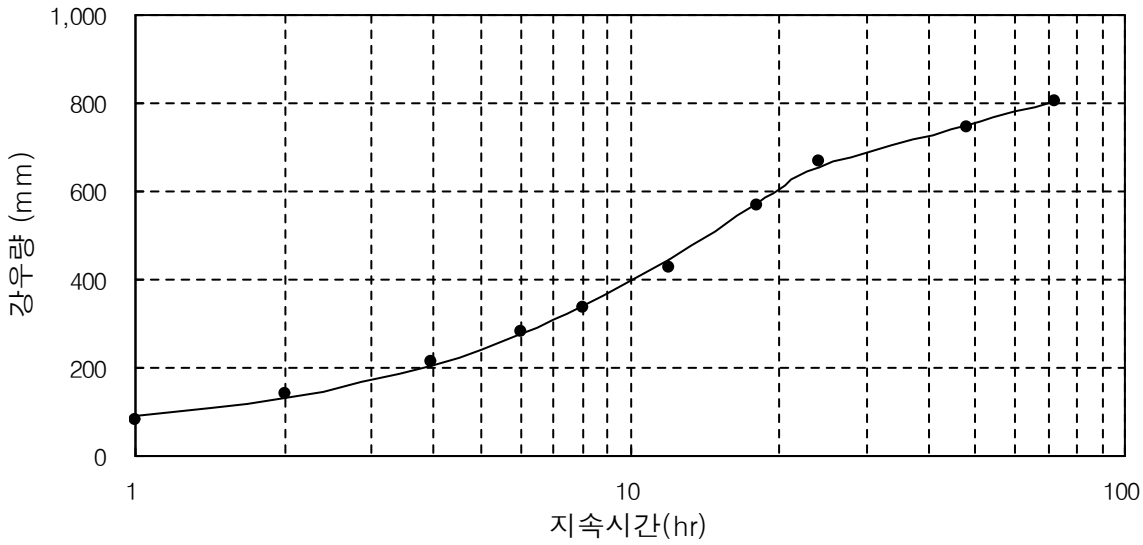
<그림 6.22> 강우깊이-면적-지속기간에 대한 포락 및 균일화

다. 실제 호우전이에 의한 유역의 PMP결정

호우의 실제전이에 의해 산정된 값을 포락하여 삽교천 유역면적 1,649.39㎢에 해당하는 지속시간별 강우량을 산정 후 적합한 회귀식을 산정하여 지속시간별 PMP를 결정하면 <표 6.64>와 같다.

<표 6.64> 호우의 실제전이에 의한 삽교천유역의 지속시간별 PMP

구분	삽교천 유역의 지속시간별 PMP(mm)									
	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
포락치	83.00	139.00	215.00	282.00	338.00	427.00	570.00	669.00	745.00	805.00
유 역 PMP	**92.11**	**132.10**	**206.17**	**275.95**	**338.66**	**447.07**	**571.24**	**655.91**	**748.40**	**804.37**



<그림 6.23> 삽교천 유역 가능최대강수량(PMP)

6.3.4 가능최대강수량(PMP)의 산정결과

포락곡선방법, 통계학적방법, 수문기상학적방법(PMP도, 호우의 실제전이)에 의해 <표 6.65>과 같이 삽교천유역의 PMP를 추정하였으나, 포락곡선 방법이나 자료기록기간에 극히 제한을 받는 통계학적 방법보다는 수문기상학자들이 채택하고 있는 물리적 혹은 확정론적 방법인 수문기상학적 방법에 의한 결과를 채택하는 것이 타당할 것이다.

수문기상학적 방법 중 PMP도에 의한 방법은 PMP 추정의 기본이 되는 현재의 PMP도가 24시간동안 약 880mm의 집중호우(2002년 8월 30일~31일)가 발생했던 강릉지방의 극대호우사상을 반영하지 못한 반면, <표 6.61>의 결과에서 알 수 있듯이 일반적인 설계강우 지속시간인 24시간에 해당하는 지속기간에서 강릉(태풍 루사) 호우의 영향이 지배적인 것으로 분석되어 최종 PMP강수량의 적용은 실제 호우전이에 의해 산정된 PMP강수량을 채택하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

<표 6.65> 삽교천유역의 방법별, 지속시간별 PMP 강수량

구 분		지속시간별 PMP 강수량(mm)						
		1hr	2hr	6hr	12hr	24hr	48hr	72hr
포락곡선	Paulhus 방법	422.00	586.55	988.40	1,373.80	1,909.47	2,654.01	3,217.70
	Bleasdale 방법	394.00	557.20	965.10	1,364.86	1,930.20	2,729.71	3,343.20
	우리나라	118.60	161.90	265.14	361.94	494.08	610.71	691.39
통계학적 방법		179.53	276.68	532.28	768.35	838.26	970.53	1,056.44
수문기상학적방법	PMP도	118.81	152.72	276.60	429.64	636.29	793.64	879.69
	실제호우전이	**92.11**	**132.10**	**275.95**	**447.07**	**655.91**	**748.40**	**804.37**

6.4 장래 강우특성 변화 예측

6.4.1 장래 강우특성 변화 예측에 의한 목표연도 설계강우량 산정

삽교천 유역 및 인근에 위치한 주요 관측소의 강우기록을 검토한 결과 강수량의 양적인 변화는 명확히 드러나지 않지만, 집중호우 성향은 근래 들어 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 지구환경의 변화에 따른 강수량 및 증발산량이나 그 발생성향의 변화는 궁극적으로 홍수나 가뭄과 같은 극단적인 기상현상을 초래할 수 있으므로 치수계획 수립시 가능한 수문기상의 변화를 고려하여야 할 것이다. 금회 과업에서는 그 방법으로서 장래 강우특성의 변화를 예측하여 목표연도의 설계홍수량 산정시 그 결과를 반영할 것인가를 검토하였다. 그 방법으로서 이제까지 관측된 강우자료 계열특성의 변화양상을 분석하고, 추계학적 모의발생기법인 Monte Carlo 방법과 지구환경변화를 고려한 대기순환모형(General Circulation Model, GCM)을 통해 장래 강우특성의 변화를 예측하였다. 본 검토는 이론적인 부분이 많아 자세한 내용은 '부록'에 수록하였으며, 본 장에서는 그 내용을 요약 기술키로 한다.

6.4.2 Monte Carlo 방법에 의한 장래 강우특성 변화의 예측

가. 지속시간별 연최대 강우량 계열의 경향성 분석

지속시간별 연최대 강우량 계열의 경향성 분석을 위한 분석지점은 기상청 관할 천안, 보령, 부여, 서산 관측소 지점과 삽교천하구(유역평균) 등 5개 지점을 선정하였다. 연최대 강우량계열의 경향성은 우선 이제까지 기록된 연최대 강우량의 변화특성을 분석한 후 Kendall 검정, Hoteling-Pabst 검정, Wald-Wolfowitz 검정에 의해 경향성 여부를 검정하였다.

(1) 과거 연최대 강우량의 변화 특성 분석

삽교천 유역의 천안, 보령, 부여, 서산 관측소 및 삽교천 하구 지점(SK0)에 대한 연최대 강우량 계열의 변화 성향을 분석하였다. 분석대상은 지속시간 6시간, 12시간, 24시간, 48시간의 연최대 강우량 계열로서 10년 이동평균 및 회귀분석을 통해 연도별 변화추이를 검토하였다.

<표 6.66> 지속시간별 연최대 강우량 (천안)

단위 : mm

연 도	지 속 시 간 (hr)				연 도	지 속 시 간 (hr)			
	6	12	24	48		6	12	24	48
1973	84.4	89.3	93.7	98.6	1988	49.5	62.5	63.5	120.0
1974	100.0	149.0	203.5	204.6	1989	66.0	91.0	173.0	175.0
1975	46.0	66.5	67.5	106.0	1990	95.5	96.5	112.5	140.5
1976	115.4	125.6	133.6	137.6	1991	71.0	106.5	118.0	179.8
1977	104.6	123.3	147.7	147.7	1992	119.5	151.0	189.0	189.5
1978	171.0	231.0	237.5	238.1	1993	85.5	96.5	116.5	127.5
1979	135.5	190.0	208.5	230.3	1994	94.0	113.0	163.5	187.5
1980	108.0	122.0	144.0	144.6	1995	201.5	303.0	303.5	379.0
1981	70.0	110.0	140.6	140.6	1996	65.0	75.0	114.5	137.5
1982	116.0	135.5	166.0	167.9	1997	113.5	141.0	151.5	151.5
1983	49.0	72.4	74.8	75.6	1998	89.0	95.5	180.5	216.0
1984	133.0	151.0	162.4	213.2	1999	88.5	164.5	217.0	221.0
1985	86.0	91.0	129.0	130.0	2000	74.5	103.5	136.0	188.0
1986	117.0	142.8	145.5	145.5	2001	128.0	132.5	133.0	133.0
1987	104.5	146.5	205.5	260.0	2002	161.0	230.5	280.5	337.5

<표 6.67> 지속시간별 연최대 강우량 (부여)

단위 : mm

연 도	지 속 시 간 (hr)				연 도	지 속 시 간 (hr)			
	6	12	24	48		6	12	24	48
1973	86.5	103.5	104.8	104.8	1988	67.5	73.0	99.5	143.3
1974	72.8	99.8	126.9	128.7	1989	118.5	132.0	165.0	185.4
1975	81.9	94.4	103.2	116.3	1990	113.0	113.5	113.6	196.9
1976	92.5	112.1	158.1	211.2	1991	76.8	94.8	110.6	128.5
1977	101.8	104.1	149.7	150.5	1992	94.5	107.5	141.5	145.0
1978	81.0	88.6	103.6	153.0	1993	98.0	123.0	149.5	150.5
1979	113.7	145.8	152.3	166.1	1994	59.5	78.0	98.0	98.0
1980	111.5	161.2	170.4	172.0	1995	134.0	249.5	257.0	257.0
1981	97.5	121.0	134.0	139.0	1996	79.5	85.0	105.5	105.5
1982	96.8	132.8	145.9	149.5	1997	89.0	119.0	205.0	224.5
1983	52.2	88.8	99.3	99.8	1998	90.0	143.0	172.0	209.5
1984	78.0	97.5	107.0	160.5	1999	199.0	215.0	215.5	231.0
1985	94.0	105.0	124.3	142.4	2000	101.0	182.0	206.5	223.0
1986	114.1	123.5	136.9	146.1	2001	113.5	117.0	117.0	118.0
1987	306.0	457.4	535.5	604.4	2002	85.5	97.5	145.0	185.5

<표 6.68> 지속시간별 연최대 강우량 (보령)

단위 : mm

연 도	지 속 시 간 (hr)				연 도	지 속 시 간 (hr)			
	6	12	24	48		6	12	24	48
1973	34.5	35.2	47.4	48.4	1988	56.8	58.8	75.7	102.8
1974	86.5	137.7	185.9	228.3	1989	102.6	114.8	181.1	188.5
1975	107.3	123.8	123.8	129.4	1990	63.0	79.5	97.1	137.3
1976	57.7	85.3	86.0	87.6	1991	67.0	71.6	93.1	117.4
1977	49.8	63.7	94.3	95.9	1992	123.0	154.0	188.0	192.0
1978	74.5	77.5	84.9	118.8	1993	96.5	115.0	130.5	131.5
1979	227.3	261.3	271.8	282.9	1994	144.5	157.0	166.0	176.0
1980	87.5	111.4	166.6	169.0	1995	260.5	309.5	406.5	570.5
1981	131.0	190.0	220.5	223.5	1996	53.0	55.0	71.5	101.0
1982	93.0	97.3	108.0	108.0	1997	113.0	152.5	158.5	172.5
1983	98.5	102.5	106.0	108.0	1998	77.0	90.5	106.0	138.5
1984	106.5	117.5	138.0	190.5	1999	95.0	114.0	145.5	161.5
1985	86.2	117.5	122.5	185.4	2000	127.5	169.5	286.0	345.0
1986	120.4	126.0	136.4	141.0	2001	121.0	121.5	121.5	134.5
1987	176.7	198.1	267.1	298.3	2002	103.0	119.5	199.5	228.0

<표 6.69> 지속시간별 연최대 강우량 (서산)

단위 : mm

연 도	지 속 시 간 (hr)				연 도	지 속 시 간 (hr)			
	6	12	24	48		6	12	24	48
1973	47.2	49.8	67.4	67.4	1988	41.9	61.2	63.0	104.9
1974	134.7	220.8	252.9	253.7	1989	73.3	89.8	152.5	155.5
1975	57.8	58.1	58.1	68.1	1990	107.6	127.3	133.7	244.6
1976	52.1	71.4	79.6	106.2	1991	88.7	156.3	177.1	195.1
1977	89.2	111.0	113.6	113.6	1992	105.5	170.8	206.8	207.5
1978	138.3	155.3	162.6	162.8	1993	58.3	78.4	89.7	145.2
1979	75.6	76.3	96.0	148.0	1994	82.1	111.2	152.3	178.0
1980	85.4	101.6	121.5	122.1	1995	151.7	221.4	317.1	435.4
1981	82.3	121.0	142.1	143.8	1996	65.6	83.0	85.3	85.3
1982	113.0	159.8	178.3	194.8	1997	128.5	172.2	183.3	183.7
1983	77.5	114.1	135.5	135.5	1998	142.3	153.5	156.0	181.3
1984	98.6	167.3	210.9	272.7	1999	137.8	251.7	358.9	435.5
1985	72.7	122.7	175.8	176.2	2000	119.5	148.3	186.0	254.9
1986	56.0	68.0	75.5	87.5	2001	111.3	120.8	120.9	217.3
1987	81.7	97.0	158.8	210.5	2002	100.0	139.5	218.0	227.4

<표 6.70> 지속시간별 연최대 강우량 (삽교천 하구 기준, 유역평균)

단위 : mm

연 도	지 속 시 간 (hr)				연 도	지 속 시 간 (hr)			
	6	12	24	48		6	12	24	48
1973	48.4	62.5	71.3	72.3	1988	41.2	59.0	60.3	106.8
1974	102.9	159.8	213.6	214.4	1989	56.3	90.0	164.9	168.1
1975	35.9	53.5	56.5	87.8	1990	70.9	95.0	112.0	151.3
1976	78.0	84.5	91.5	95.8	1991	67.2	109.8	126.4	143.9
1977	86.2	103.5	117.4	117.4	1992	98.7	146.5	190.5	191.8
1978	116.1	174.1	184.1	186.3	1993	62.4	78.0	98.0	111.7
1979	95.8	140.4	157.8	191.5	1994	65.8	99.1	146.4	176.3
1980	91.8	105.6	128.6	128.9	1995	137.7	212.9	215.1	382.0
1981	78.8	116.0	145.9	146.9	1996	46.0	64.4	85.0	106.7
1982	94.4	126.5	150.2	163.9	1997	104.7	138.1	159.2	159.2
1983	50.6	79.8	89.8	94.9	1998	77.9	89.8	135.3	160.1
1984	98.8	125.6	160.3	219.6	1999	90.8	175.7	238.3	278.7
1985	68.9	87.5	126.5	127.3	2000	66.8	95.3	160.3	207.9
1986	82.3	104.8	107.8	108.1	2001	81.3	87.3	87.6	88.0
1987	78.9	117.2	175.6	230.7	2002	108.8	159.2	244.7	282.4

(2) 지속시간 별 강우량 계열의 경향성 분석

기존 '재해영향평가 실무지침서(국립방재연구소, 2002)'등의 규정에 의해서 3가지 (Kendall 검정, Hotelling-Pabst 검정, Wald-Wolfowitz 검정) 이상의 검정방법을 선택하여 검정한 결과 서산 관측소는 경향성이 있는 것으로 분석되었으나, 다른 관측소는 모두 경향성을 가지지 않는 것으로 나타났다. 그리고 유역평균 연최대 강우량 계열도 경향성 검정을 대체적으로 만족하는 것으로 나타나므로 빈도해석을 위한 강우량자료 계열로 적합한 것으로 판정되었다.

나. 연 최대 강우량 계열의 수문학적 지속성 평가

무작위성 검정 방법인 계열상관도(correlogram) 분석, Run 검정, Turning Point 검정, Anderson Exact 검정의 지속시간 24시간 및 48시간 연최대 강우량 자료 검정결과 전체적으로 계열상관도는 1차 계열상관계수 r1<0이나 그 값이 0에 가까우며, rk가 k축 주위로 진동하고 있어 계열상관성이 거의 없음을 알 수 있었다. 또한, Run, Turning Point, Anderson Exact 검정결과 역시 검정 값이 모두 신뢰구간 내에 있어 무작위성을 가지는 것으로 분석되었다. 따라서, 지속기간 별 연최대 강우량자료 계열은 무작위성 검정을 만족하는 것으로 나타나므로 빈도해석을 위한 강우량자료 계열로 적합한 것으로 판단된다.

다. Monte Carlo 방법의 적용 및 확률강우량의 변동성 검토

(1) 모의발생 자료계열의 빈도분석에 의한 확률강우량 산정 결과

역사자료계열의 통계학적 특성치를 사용하여 Monte Carlo 방법으로 24시간 및 48시간 강우량 자료를 1,000년씩 10set를 모의발생 시켰으며 모의 발생된 자료계열의 평균, 분산, 왜곡도계수, 첨예도계수와 같은 기본 통계값을 역사자료의 통계값과 비교 하였다. 그 결과 역사자료와 모의발생자료의 특성은 거의 비슷한 값을 보였으므로 발생된 합성강우량 계열이 관측 강우량 계열의 통계학적 특성을 재연시키는데 무리가 없는 것으로 분석되어 모의발생된 강우계열을 이용하여 빈도분석에 의해 산정된 확률강우량과 역사자료(관측소 및 유역평균)의 빈도분석에 의한 확률강우량을 비교 검토하였다. 검토결과 24시간 및 48시간 지속 확률강우량은 전반적으로 역사자료로부터 산정된 확률강우량을 중심으로 약간 상향 및 하향 산정 되었다.

따라서, 모의발생된 확률강우량은 비록 역사자료를 이용하여 산정한 확률강우량과 비슷하지만 최근의 이상 강우로 인한 홍수피해와 삽교천 유역의 치수 안전도를 감안한다면 역사자료의 상향측에 산정된 확률강우량을 고려할 필요가 있을 것으로 보이며, 추후 산정될 대기순환모형(General Circulation Model, GCM)을 이용하여 산정한 확률강우량과 비교·검토하여야 할 것이다.

역사자료 및 모의자료의 빈도분석으로 산정된 강우관측소 별 지속시간 24시간 및 48시간의 100년 빈도 확률강우량은 <표 6.71>에 비교되어 있다.

<표 6.71> 역사자료 및 모의자료로부터의 24시간 및 48시간 확률강우량(100년빈도)

단위 : mm

강우관측소 \ 자료특성		Historical	1set	2set	3set	4set	5set	6set	7set	8set	9set	10set
천안	24시간	335.1	337.4	334.3	336.1	329.3	339.2	344.3	343.7	345.1	338.5	334.4
	48시간	384.8	384.5	379.3	381.7	386.7	384.2	392.6	387.0	392.8	394.3	383.9
보령	24시간	394.9	385.6	401.3	392.7	392.9	386.9	400.7	406.1	389.8	399.0	400.2
	48시간	488.9	494.8	492.6	473.0	503.4	491.5	505.1	484.5	494.2	490.6	494.2
부여	24시간	412.1	430.0	401.8	412.2	409.8	415.7	411.0	404.9	414.0	421.2	427.4
	48시간	461.6	464.8	450.2	466.3	453.0	463.8	455.1	447.0	462.0	453.9	467.5
서산	24시간	376.6	366.3	370.9	375.8	370.7	374.0	376.2	377.5	386.1	364.8	374.7
	48시간	461.8	469.2	481.0	460.2	453.2	474.3	461.4	481.6	452.1	458.3	456.5
유역 평균	24시간	297.5	300.8	298.9	295.0	300.2	300.2	300.0	293.8	296.0	301.2	303.4
	48시간	378.5	367.3	377.8	374.7	384.1	393.7	381.9	362.5	374.2	381.4	369.9

(2) 모의 발생 자료로부터 산정된 확률강우량의 변동성 검토 결과

Monte Carlo 모의기법으로 모의 발생된 자료로부터 산정된 4개 우량관측소 및 삽교천 유역평균 24시간 및 48시간인 100년 빈도 강우량의 최소, 평균 및 최대값을 역사자료로부터 산정한 100년 빈도 강우량과 비교한 결과는 <표 6.72>과 같다. <표 6.72>에서 볼 수 있는 바와 같이 강우지속시간 24시간의 100년 빈도 강우량은 현재(역사자료)보다 향후 최대 1.983%~4.344% 정도 증가 하는 것으로 나타났으며, 강우지속시간 48시간의 100년 빈도 강우량은 향후 최대 1.278%~4.158% 정도 증가하는 것으로 나타나 최대 5% 미만의 강우량 증가가 예상된다고 결론지을 수 있다.

그러나, Monte Carlo 모의 기법에서의 각종 가정과 불확실성을 감안하면 최대 5%의 확률강우량 증가는 신뢰도가 그다지 높지 못한 것으로 평가되므로 본 유역종합치수계획 수립을 위한 설계강우량의 결정에 있어서 상기 결과에 따른 설계강우량의 상향조정은 현실적으로 필요하지 않다고 판단된다.

<표 6.72> 강우관측소 별 확률강우량의 장래 변동성(100년 빈도)

단위 : mm

강우관측소		역사자료	모의자료			최대변동율(%)
			최소	평균	최대	
천안	24시간	335.1	329.3	157.0	345.1	+2.984
	48시간	384.8	379.3	178.3	394.3	+2.469
부여	24시간	412.1	401.8	154.3	430.0	+4.344
	48시간	461.6	447.0	174.7	467.5	+1.278
보령	24시간	394.9	385.6	152.9	406.1	+2.836
	48시간	488.9	473.0	177.0	505.1	+3.314
서산	24시간	376.6	364.8	154.8	386.1	+2.523
	48시간	461.8	452.1	184.6	481.0	+4.158
유역 평균	24시간	297.5	293.8	140.2	303.4	+1.983
	48시간	378.5	362.5	162.7	393.7	+4.016

【주】 최대변동율은 역사자료(100%)대비 확률강우량의 증가를 의미함.

6.4.3 GCM에 의한 장래 강우 특성 변화의 예측

본 검토에서는 지구온난화가 기후 특히 강우특성에 미치는 영향을 분석하고자 하며, 강우특성에 미치는 지구온난화의 영향을 연최대치 자료에 반영하기 곤란하므로 지구온난화의 결과로서 예측된 대기순환모형의 월 강수량 예측결과가 일 강수분포에 어떻게

반영되는지를 혼합감마분포(Mixed Gamma Distribution)를 이용하여 분석하고 아울러 혼합감마분포에 의한 발생확률해석을 수행하여 장래 확률강우량의 변화를 예측하였다.

대기순환모형 적용을 위한 가정은 50년 혹은 100년 후에 $2\times CO_2$ 조건이 도래하는 것이며, 본 과업의 목표연도 확률강우량은 $2\times CO_2$ 조건에서의 확률강우량을 내삽하여 추정하였다.

가. 혼합 감마 분포(Mixed Gamma Distribution)

일강수량을 표현하기 위해 제안된 혼합분포는 이산분포(discrete distribution)와 연속분포(continuous distribution)의 혼합형태이며, 이중 혼합감마분포를 통해 강우특성을 표현하는 방법은 '부록'에 상세히 기술하였다.

우기강수량의 증가에 따라 혼합감마분포의 매개변수인 α, β의 변화가 유의한지 판단하기 위해 Mixed Gamma 분포의 확률가중모멘트(Method of Probability Weighted Moment, PWM)에 의해 매개변수를 추정하여 우기강수량과 확률밀도함수(Probability Density Function, PDF)의 모수와의 관계를 분석하였다.

나. 우기(6～9월)강수량 - 우기시 강우일수에 따른 무강우확률

우기강수량의 증가가 무강우확률에 어떠한 변화를 주는지 분석하기 위한 방법으로 무강우 확률을 계산하는 절차는 '부록'에 상세하게 기술되어 있다.

다. 강우관측소 별 Threshold 강수량에 따른 매개변수와 확률강우량의 산정

강우관측소 별 30년 간 추정된 Threshold 강수량별 30개의 매개변수 평균을 사용해서 Threshold 강수량과 우기강수량의 증가에 따라 매개변수의 변화를 보고, 또한 추정된 매개변수를 사용해서 확률강우량의 변화 추이를 확인하였다. <표 6.73>은 Threshold 강수량에 따른 100년빈도 24시간 확률강우량을 표시하고 있다.

<표 6.73> Threshold 강수량에 따른 확률강우량(24시간, 100년 빈도)

구 분	year max	0mm이상	10mm이상	20mm이상	30mm이상	40mm이상	50mm이상
천안	335.1	306.93	300.90	308.83	348.30	664.37	620.24
보령	394.9	330.25	334.56	359.04	379.56	592.30	620.15
부여	412.1	333.06	336.34	385.90	1895.73	792.34	700.10
서산	376.6	303.73	289.94	316.96	372.92	588.37	73274.60

라. 강우관측소 별 우기(6～9월)강수량과 확률밀도함수의 모수와의 관계 및 무강우확률의 변동성

PDF의 모수와의 관계를 통해서 회귀식을 추정하고 다시 모수를 추정해서 확률강우량을 산정하였다. 사용된 그림과 추정된 회귀식은 '부록'에 수록되어 있으며 유도된 회귀식을 이용하여 기후변화 시나리오에 적용하였다.

마. 기후변화 시나리오(GCM-5)의 적용

(1) 기후변화 시나리오(GCM-5)에 따른 현재상황에서의 확률강우량 산정

현재 기후변화에 따른 강수량의 변화를 추정할 수 있는 최선의 방법은 GCM뿐이고, GCM의 정도를 고려하면, 강수에 대해 얻을 수 있는 최선의 정보는 월 최대강수량의 변동정도이기 때문에 각 달(6, 7, 8, 9월)의 우기평균강수량으로 GCM의 평균, 최소, 최대치에 따른 가중치로 우기 강수량의 증가와 감소를 판단하게 된다. 사용된 월별 강수량 변화율은 '부록'에 수록되어 있다.

강우관측소(천안, 부여, 보령, 서산) 별 지구온난화에 따른 확률강우량의 산정결과는 30년 우기 평균강수량에 현재상황을 100%로 보고 GCM(평균)의 경우는 우기강수량 변화율이 8% 증가, GCM(최대)의 경우는 37% 증가, GCM(최소)의 경우는 17% 감소된 GCM의 가중치를 주어 계산하였다. 그 결과 확률강우량이 현재상황보다 GCM 평균치가 좀 더 크게 산정 되었음이 확인되었다. 강우관측소 별 100년 빈도의 확률강우량의 비교는 다음과 같다.

<표 6.74> 지구온난화에 따른 강우관측소 별 확률강우량의 비교(100년 빈도)

단위 : mm

GCM / 재현기간	역사자료 (GUM)	현재상황	GCM(평균)	GCM(최소)	GCM(최대)
천안	335.1	307.27	314.77	289.12	336.15
부여	412.1	337.83	356.74	291.27	411.18
보령	394.9	342.52	364.47	288.34	426.83
서산	376.6	320.08	340.77	272.92	395.29

【주】 GUM은 역사자료를 Gumbel 분포에 맞추어 산정한 확률강우량

(2) 장래 10년 후의 확률강우량 산정

현재, 10년 후의 확률강우량을 산정하는 특별한 방법이 없기 때문에 선형적인 방법을

도입할 수밖에 없다. 따라서, 50년 후 $2\times CO_2$ 상황에서 산정된 확률강우량 결과의 1/5정도 변화, 100년 후는 결과의 1/10정도 변화한다고 가정하였다. 이하는 $2\times CO_2$ 조건이 최소 50년 후에 온다고 가정한 것을 Case Ⅰ, $2\times CO_2$ 조건이 최소 100년 후에 온다고 가정한 것을 Case Ⅱ라고 하였다.

<표 6.75> Case Ⅰ에 따른 강우관측소 별 확률강우량의 비교(100년 빈도)

단위 : mm

GCM / 재현기간	역사자료 (GUM)	현재상황	GCM(평균)	GCM(최소)	GCM(최대)
천안	335.1	307.27	308.82(+0.506%)	303.95(-1.079%)	313.96(+2.176%)
부여	412.1	337.83	341.77(+1.167%)	329.40(-2.621%)	355.16(+5.130%)
보령	394.9	342.52	347.27(+1.387%)	332.88(-2.815%)	362.46(+5.820%)
서산	376.6	320.08	324.39(+1.347%)	311.51(-2.676%)	337.84(+5.548%)

【주】( ) 안의 %는 현재상황(100%) 대비 GCM 확률강수량의 증가(+)와 감소(-)를 나타냄

<표 6.76> Case Ⅱ에 따른 강우관측소 별 확률강우량의 비교(100년 빈도)

단위 : mm

GCM / 재현기간	역사자료 (GUM)	현재상황	GCM(평균)	GCM(최소)	GCM(최대)
천안	335.1	307.27	308.04(+0.253%)	305.62(-0.537%)	310.68(+1.110%)
부여	412.1	337.83	339.81(+0.586%)	333.67(-1.233%)	346.71(+2.630%)
보령	394.9	342.52	345.04(+0.735%)	337.86(-1.360%)	352.82(+3.008%)
서산	376.6	320.08	322.24(+0.675%)	315.85(-1.323%)	329.18(+2.843%)

【주】( ) 안의 %는 현재상황(100%) 대비 GCM 확률강수량의 증가(+)와 감소(-)를 나타냄

Case Ⅰ, Case Ⅱ의 100년 빈도 확률강우량의 결과에서 알 수 있듯이 현재보다는 10년 후의 강수량의 증가를 예측할 수 있다.

바. 기후변화에 따른 이상강우량의 설정 및 목표 연도 설계강우량의 추정

장래 강우예측은 앞서 분석되었던 추계학적 모의발생기법인 Monte Carlo 방법과 기후변화를 고려한 대기대순환모형(General Circulation Model, GCM)을 적용하였다. 그러나, 앞서 설명한 바와 같이 Monte-Carlo방법에 의해 산정된 확률강우량은 원 자료가 갖는 통계학적 특성의 영향을 지배적으로 받고 장래 기후변화 등의 영향을 고려하지 못하기 때문에 장래의 강우추정의 신뢰성은 많이 떨어진다 할 수 있다. 따라서, 기후변화를 고려하여 대기대순환모형(General Circulation Model, GCM)을 이용하여 추정된 결과를

적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

(1) 2×CO_2 조건에 따른 목표연도 설계강우량의 추정결과

Mixed Gamma 분포를 이용하여 확률강우량을 산정한 것은 Gumbel 분포와 마찬가지로 확률강우량을 산정하는 하나의 분포형에 불과하다. 그렇기 때문에 Gumbel 분포형으로 연최대치 강우자료를 이용해서 구해진 확률강우량과 추세가 가장 비슷한 Mixed Gamma 분포의 Threshlod 강수량을 찾아서 연속적인 강우에 대해서 분석하였다. 이렇게 해서 얻어진 확률강우량의 변화폭(%)을 Gumbel 연 최대치에 적용해서 설계에 적용하게 된다.

따라서, GCM을 적용해서 산정된 목표연도 10년 후의 강우량 변화폭(%)을 Gumbel 연최대치의 확률강우량에 적용하였다.

① Case Ⅰ일 때, GCM이 적용된 10년 후의 Modified Gumbel 확률강우량 산정

설계강우량은 Gumbel 연최대치에 의해 산정된 확률강우량에 Mixed Gamma분포에 2×CO2조건이 최소 50년 후에 온다는 가정하고 GCM을 적용했을 때 확률강우량의 증가 혹은 감소한 변화폭을 적용해 줌으로써 얻을 수 있다. 여기서 Modified GUM은 Gumbel 년 최대치에 GCM이 적용된 Mixed Gamma의 변화폭(%)을 적용한 것이다.

<표 6.77> 지구온난화에 따른 10년 후의 확률강우량의 산정결과(CASE-Ⅰ)

단위 : mm

GCM적용 / 강우관측소	역사자료 (GUM)	Modified GUM(평균)	Modified GUM(최소)	Modified GUM(최대)
천안	335.1	336.80	331.48	342.39
부여	412.1	416.91	401.30	433.24
보령	394.9	400.38	383.78	417.88
서산	376.6	381.67	366.52	397.49

【주】GUM은 역사자료를 Gumbel 분포에 맞추어 산정한 확률강우량 (100년빈도 기준)

② CaseⅡ일 때, GCM이 적용된 10년 후의 Modified Gumbel 확률강우량 산정

위와 같은 방법이나 2×CO_2 조건이 최소 100년 후에 온다는 가정하의 설계강우량은 다음과 같다.

<표 6.78> 지구온난화에 따른 10년 후의 확률강우량의 산정결과(CASE-Ⅱ)

단위 : mm

GCM적용 / 강우관측소	역사자료 (GUM)	Modified GUM(평균)	Modified GUM(최소)	Modified GUM(최대)
천안	335.1	335.95	333.30	338.82
부여	412.1	414.51	407.02	422.94
보령	394.9	397.80	389.53	406.78
서산	376.6	379.14	371.62	387.31

【주】 GUM은 역사자료를 Gumbel 분포에 맞추어 산정한 확률강우량 (100년빈도 기준)

(2) 기후변화에 따른 목표연도 설계강우량의 추정결과

예상되는 지구온난화($2\times CO_2$조건)는 많은 연구자들에 의해 제시되어 왔으며, 대략 50년~100년 사이로 추정하고 있다. 따라서, 기후변화에 따른 목표연도 설계강우량의 추정은 유역의 치수안전을 고려하여 50년 후로 설정하고 최대치를 적용하는 것이 바람직 할 것으로 판단되어 최종 추정된 관측소별 목표연도의 100년 빈도 24시간 강우량은 <표 6.79>과 같다.

<표 6.79> 기후변화에 따른 목표연도의 100년 빈도 24시간 강우량 산정결과

단위 : mm

강우관측소	역사자료 (GUM)	추정강우량	증가율(%)
천안	335.1	342.39	△2.18
부여	412.1	433.24	△5.13
보령	394.9	417.88	△5.18
서산	376.6	397.49	△5.55

【주】 GUM은 역사자료를 Gumbel 분포에 맞추어 산정한 확률강우량

(3) 기후변화에 따른 목표연도 설계강우량의 상향조정에 대한 결론

이상의 분석결과에서 보는 바와 같이 $2\times CO_2$ 조건이 50년 후에 발생한다고 가정할 때 4개 우량관측소의 24시간 100년 빈도 강우량은 2.2~5.8% 증가하는 것으로 나타났으나, 분석 과정에서의 각종 가정의 신뢰도 등을 고려할 때 유역종합치수계획수립을 위한 목표연도 설계강우량의 증가는 크지 않을 것으로 판단된다.

따라서, 기후변화에 따른 설계강우량의 상향조정은 현재로서는 고려하지 않는 것이 타당할 것으로 판단되며, 향후 지속적인 강우관측자료의 확충과 분석방법의 개발로 예측과정 및 결과의 신뢰도를 제고한 후 다시 검토하여야 할 것이다.

제 7 장 과거 발생한 주요 호우사상의 특성 검토

7.1 호우사상 분석의 개요

7.2 호우사상별 강우특성 분석

7.3 주요 홍수사상의 피해양상 검토

7.4 유출특성 검토

제 7 장 과거 발생한 주요 호우사상의 특성 검토

7.1 호우사상 분석의 개요

7.1.1 호우사상의 선정

가. 기간별 피해현황 분석

삽교천 유역의 수문지형학적 특성 분석을 통해 삽교천과 무한천 합류부를 중심으로 한 삽교천 중하류부와 무한천 예당지 하류 지역이 지형 및 수계 구성 특성상 치수적으로 매우 취약함을 알 수 있었다. 본 장에서는 삽교천 유역에 실제 수해를 유발한 주요 호우사상에 대한 분석을 통해 앞서 분석한 지형 및 수계구성 특성이 강우에 대하여 어떻게 반응하여 실제 유출로 나타나며 그 과정에서 어떠한 요소들이 침수피해를 발생시키는 원인으로 작용하는지를 검토하고자 한다. 이러한 분석은 삽교천 유역의 침수피해 원인을 규명함으로써 효과적인 홍수방어계획의 방향을 설정하는데 그 목적이 있다.

분석대상은 최근 20년(1983년~2002년)간 삽교천 유역에 피해를 발생시킨 호우사상들로서 '재해연보'에 수록된 기간별 피해현황 통계자료 중 삽교천 전체유역과 유역의 중심부에 위치한 예산군에 대한 피해현황을 분석하여 총피해액 순으로 12개의 사상을 추출하였다.

삽교천 유역 및 예산군의 최근 20년간 호우사상별 피해현황에 따르면 피해를 유발한 호우사상은 32~54개로 매년 평균 2, 3회 정도의 호우 또는 태풍에 동반된 호우로 인해 피해가 발생한 것으로 나타났다. 연도별로는 '87, '95, '98, '99, 2000년에 큰 피해가 발생하는 등 최근 들어 발생한 호우로 인한 피해가 큰 것으로 조사되었다.

<표 7.1> 최근 20년간 호우로 인한 삽교천 유역 및 예산군 피해현황

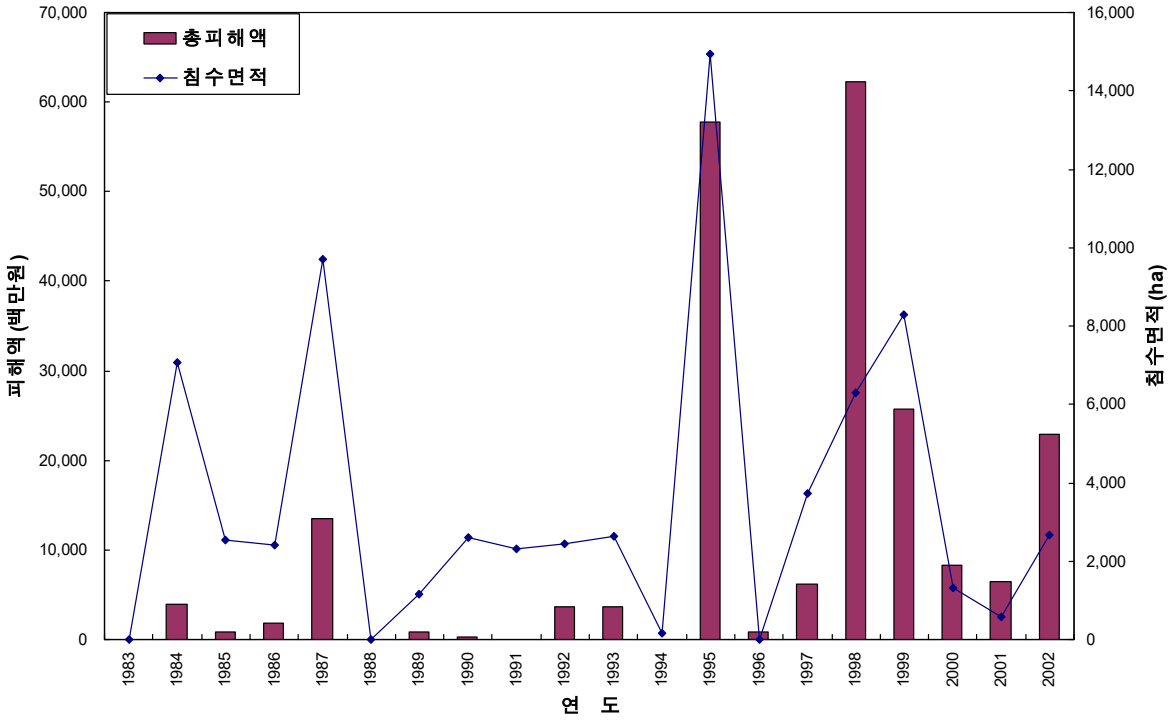
연도	호우사상수		이재민(인)		침수면적(ha)		총피해액(천원)	
	삽교천	예산군	삽교천	예산군	삽교천	예산군	삽교천	예산군
1983	1	1	6	6	-	-	3,727	1,771
1984	2	2	446	203	7,056	1,306	3,962,574	1,235,785
1985	7	3	98	9	2,537	10	804,197	76,521
1986	4	1	101		2,395	670	1,799,424	1,204,313
1987	6	5	2,085	621	9,702	2,972	13,525,578	1,608,149
1988	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	4	1	8	-	1,147	460	829,262	15,794

<표 7.1> 최근 20년간 호우로 인한 삽교천 유역 및 예산군 피해현황 (계속)

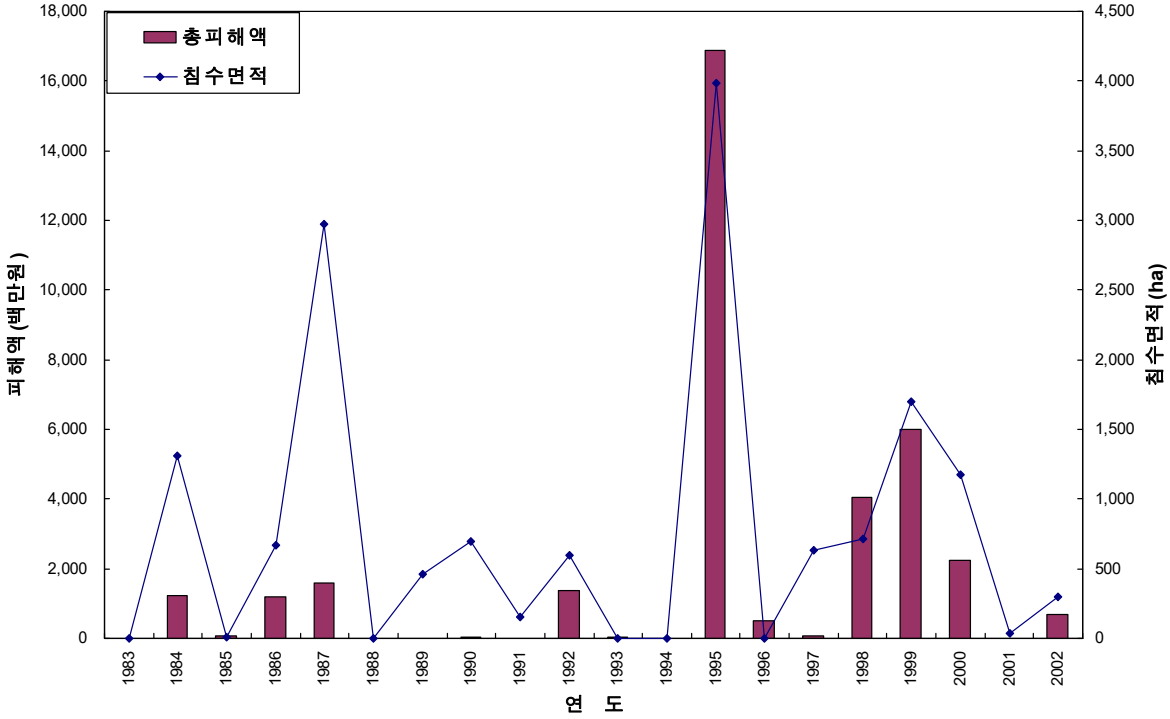
연도	호우사상수		이재민(인)		침수면적(ha)		총피해액(천원)	
	삽교천	예산군	삽교천	예산군	삽교천	예산군	삽교천	예산군
1990	4	3	39	-	2,588	699	241,585	23,350
1991	3	1	12	-	2,320	150	32,266	-
1992	1	1	80	12	2,436	601	3,616,267	1,384,667
1993	4	1	160	5	2,639	-	3,677,939	46,730
1994	2	-	3	-	157	-	21,751	-
1995	2	2	2,617	1,759	14,950	3,988	57,799,887	16,867,064
1996	1	1	1	-	-	-	798,946	508,032
1997	4	3	37	29	3,716	630	6,143,100	70,546
1998	1	1	462	23	6,311	712	62,284,517	4,033,417
1999	2	2	200	122	8,296	1,703	25,678,666	6,012,905
2000	2	1	76	31	1,329	1,175	8,275,572	2,230,494
2001	2	1	5	-	582	38	6,525,134	-
2002	2	2	17	2	2,675	302	22,932,946	679,339
계	54	32	6,453	2,822	70,835	15,415	218,953,338	35,998,877
평균	2.7	1.6	323	141	3,542	771	10,947,667	1,799,944

『자료』 재해연보, 행정자치부

【주】 각 기간별 피해액 중 호우, 태풍, 호우태풍 등 호우관련 피해만 집계한 금액임
'81년은 삽교천 유역내 집계가 없음.



<그림 7.1> 삽교천 유역의 최근 20년간 수해현황



<그림 7.2> 예산군의 최근 20년간 수해현황

나. 호우사상의 선정

삽교천 유역 및 예산군에 피해를 유발한 강우의 특성을 분석하기 위해 최근 20년간 발생한 호우사상 중 총 피해액 순으로 12개의 우심피해기간에 대한 호우사상을 선정하였다. 선정된 12개 호우사상은 '95년 8월에 발생한 호우사상 2개를 포함하여 '80년대 6개, '90년대 이후에 발생한 6개로 시기적으로 비교적 고르게 선정되었으나, '81년에는 유역단위의 기간별 피해집계가 이루어지지 않은 관계로 '81년 7월 12~13일간에 발생한 삽교천 유역의 피해규모는 파악할 수 없었다. 이들 호우사상에 의해 발생한 총피해액 및 침수면적은 예산군의 경우 최근 20년간 호우로 인해 발생한 총피해액의 98.22%, 침수면적의 87.16%을 차지하며 삽교천 유역에 대해서는 각각 71.17%와 78.68%를 차지하는 것으로 나타났다.

이렇게 선정된 12개 호우사상 중 2000년, '99년, '98년, '95년, '89년, '87년에 발생한 8개 호우사상에 대해 기상 및 강우특성을 분석하여 본 보고서에 그 결과를 상세히 수록하였으며, 나머지 호우사상에 대한 분석결과는 '부록'에 수록하였다.

<표 7.2> 주요 우심피해 기간의 피해특성

연도	피해기간	침수면적 (ha)		총피해액 (천원)		순 위	
		삽교천	예산군	삽교천	예산군	삽교천	예산군
1981	7/12~7/13	-	-	-	801,067	-	10
1984	8/31~9/4	5,158	366	3,722,426	1,231,663	8	8
1986	7/19~7/21	2,395	670	1,779,914	1,204,311	10	9
1987	7/21~7/23	5,074	1,674	6,516,585	1,339,458	6	7
1987	8/28~8/30	4,608	1,278	6,830,658	263,867	5	11
1989	9/14~9/18	1,633	1,270	432,624	17,710	11	12
1992	8/26~8/28	2,436	601	3,687,228	1,384,663	9	6
1995	8/8~8/9	2,039	820	5,632,572	2,368,495	7	4
1995	8/19~8/30	12,911	3,168	52,278,081	14,498,561	1	1
1998	7/31~7/18	6,311	712	49,389,172	4,033,410	2	3
1999	7/23~8/4	8,296	1,703	17,339,713	5,984,388	3	2
2000	8/23~9/01	1,329	1,175	8,221,791	2,230,489	4	5

『자료』 재해년보, 행정자치부

7.1.2 기상 및 강우자료 수집과 분석

가. 기상 및 강우자료의 수집

각 호우사상에 대한 강우 특성과 강우발생 원인을 분석하기 위해 각 연도별 기상개황 및 호우기간중의 위성사진을 이용하여 구름의 이동상황을 분석하고, 과업구간 내외에 있는 관측소를 대상으로 시간별 강우자료를 수집하여 분석하였다. 강우자료는 기상청 및 건교부관할 관측소 중 최근 20년간의 자료를 수집할 수 있는 관측소의 시강우자료를 대상으로 하여 기상청 및 건기연 D/B, 수문조사 연보 등을 이용하여 수집하였다. 입수한 자료 중 동일 관측지점에 대한 각 기관별 강우자료가 상이한 경우, 각 관측소별 강우자료를 수문조사연보의 일우량 자료와 비교하여 정확한 자료를 선택하였으며, 각 기관별 자료가 수문조사연보의 일우량 자료와 모두 일치하지 않을 경우 수문조사연보의 일우량 자료 및 주변관측소의 시간별 강우경향을 이용하여 보정 하였다.

각 관측소별 호우사상별 강우자료 수집현황은 <표 7.3>에서 보는바와 같이 기상청 관할 관측소의 자료는 모두 수집하였으나, 건교부 관할 관측소의 경우 일부 관측소에서 관측기록이 누락되어 입수가 불가능한 경우가 있었다.

<표 7.3> 각 기간별 강우자료 수집현황

연도	피해기간	삽교천 유역 총피해액 (천원)	시강우 자료									비 고
			건 교 부							기 상 청		
			덕산	병천	성환	예산	정안	청양	홍성	보령	서산	천안	
2000	8/23~9/1	8,221,791	●	◉	◉	●	◉	◉	●	◐	◐	◐	
1999	8/2~8/4	17,339,713	●	◉	◉	●	◉	◉	●	◐	◐	◐	
1998	8/6~8/12	49,389,172	◎	◉	-	◎	◉	◉	◎	◐	◐	◐	
1995	8/8~8/9	5,632,572	◉	●	◉	◉	-	-	◉	◐	◐	◐	
	8/23~8/27	52,278,081	◉	●	◉	◉	●	-	◉	◐	◐	◐	
1989	9/17~9/18	432,624	◉	◉	◉	◉	◉	-	◉	◐	◐	◐	
1987	7/21~7/23	6,516,585	◉	◉	◉	◉	◉	◉	-	◐	◐	◐	
	8/28~8/30	6,830,658	◉	◉	◉	◉	◉	◉	-	◐	◐	◐	

● : Wamis 및 수문조사 자료, ◎ : 금강홍수통제소 기록지
◉ : 건기연 D/B ◐ : 기상청 자료

나. 강우자료 분석

(1) 지속시간별 최대강우 분석

강우에 의해 발생하는 피해 중 시설물 피해는 일반적으로 단기간에 집중된 강우에 의해 발생하며, 침수피해의 경우 장기간 지속되는 강우에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 삽교천 유역에 큰 피해를 유발한 강우특성을 파악하기 위해 각 관측소별로 1시간에서 48시간까지의 지속시간별 최대강우량을 추출하여 기 산정된 재현기간별 확률강우량과 비교하였다.

삽교천 유역의 평균강우량은 Thiessen망을 작성하여 기상청과 건교부 관할 각 관측소별 지배면적비를 결정한 후 각 관측소별 강우량을 가중평균하여 산정하였으며, 아울러 각 관측소의 지속시간별 최대강우량을 산정하여 발생빈도를 분석하였다.

(2) 강우의 시간적 분포

총강우량이 동일한 경우에도 사전 강우의 유·무나 첨두강우의 발생시간 및 전체 강우기간 중 강우의 분포 특성에 따라서 피해발생 양상이 달라질 수 있어 강우특성 분석 시 강우의 시간적 분포를 파악하는 것은 매우 중요하다 할 수 있다. 따라서 각 호우사상별로 강우주상도를 작성하여 시간별 강우 및 누가강우량을 비교하여 강우지속시간과 첨

두강우의 발생시간 등을 파악하였다. 아울러 장기간의 강우일 경우 12시간의 무강우를 기준으로 각각의 독립강우를 구분하여 실질적으로 피해를 유발한 강우사상을 추출하여 그 특성을 분석하였다.

(3) 강우의 공간적 분포

강우의 공간적 분포 및 이동특성은 유역의 지형 및 수계구성 특성과 맞물려 하류부 홍수피해에 큰 영향을 미치는 인자로서, 강우중심의 위치 또는 강우이동 방향에 따라 첨두홍수의 발생양상과 수위지속시간이 상이하게 나타난다. 따라서 강우의 공간적 분포를 분석하기 위해 각 관측소별 시강우 자료를 사용하여 삽교천 유역에 대한 시간대별 등우선도와 누가우량 등우선도를 작성하여 강우의 공간적 분포와 이동방향을 분석하였다.

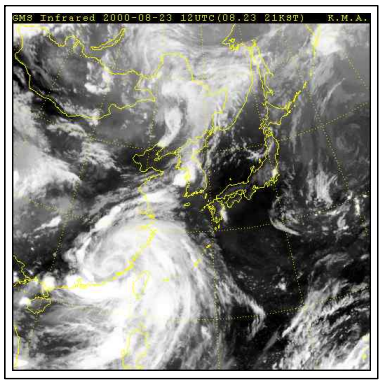
7.2 호우사상별 강우특성 분석

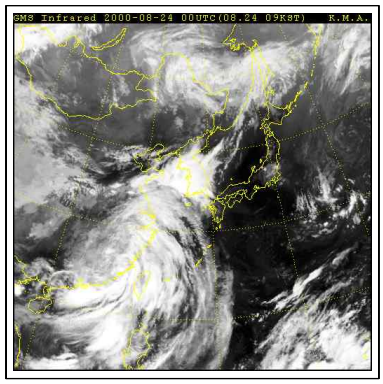
7.2.1 2000년 8월 호우

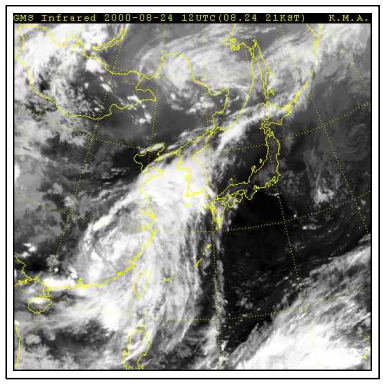
가. 기상개황

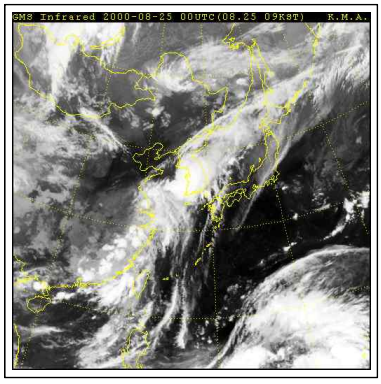
2000년 8월의 기상개황은 7월 중순에 장마전선이 물러간 이후 7월 29~30일에 제6호 태풍 '볼라벤(BOLAVEN)'과 한랭전선으로 인한 전국적인 강수현상이 계속되다, 8월 상순경 동해안 지방에 저온현상이 나타났다. 8월 24~28일경에는 제 10호태풍 '빌리스(BILIS)'에 의해 형성된 수렴대의 영향으로 보령(507mm), 흑산도(489.7mm) 등 서해안 지방을 중심으로 많은 강우가 발생하였다. 또한 26일경 군산과 흑산도 등지에 310mm, 281mm의 강우가 발생하여 일강수량 극값을 갱신하였고 31일경에는 제12호 태풍 '프라피룬(PRAPIROON)'의 직접적인 영향으로 해남, 강화 등지에 전국적으로 강우가 발생하였다.

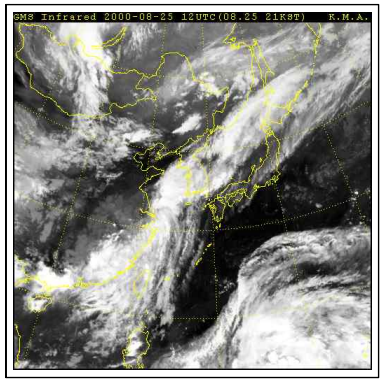
삽교천 유역의 피해가 발생한 8월 24~27일 기간동안의 기상은 <그림 7.3>의 위성사진에서 보는바와 같이 23일 12시경 중국에 상륙한 태풍 '빌리스'가 열대성 저기압으로 바뀌면서 24일 12시경부터 우리나라에 수증기가 유입되어 좁은 수렴대를 형성하면서 서해안 및 중부지방을 중심으로 많은 강수를 발생시켰다. 이후 26일 필리핀 동북부지역에 형성된 태풍 '프라피룬'이 8월 31일경 우리나라에 상륙하여 서울, 경기남부지역을 중심으로 강풍을 동반한 집중호우를 유발하였다.

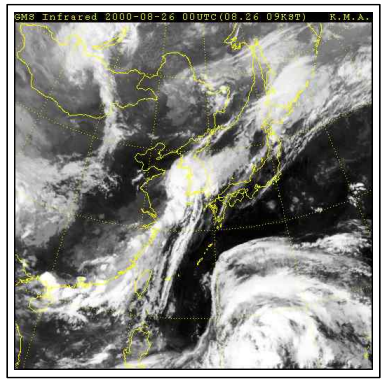

8월23일 12:00시

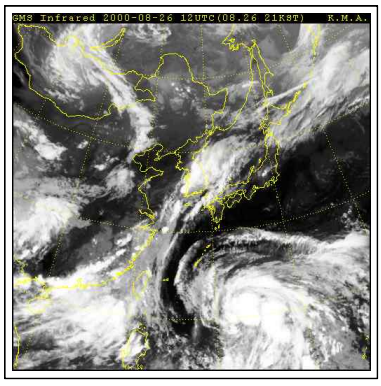

8월24일 00:00시

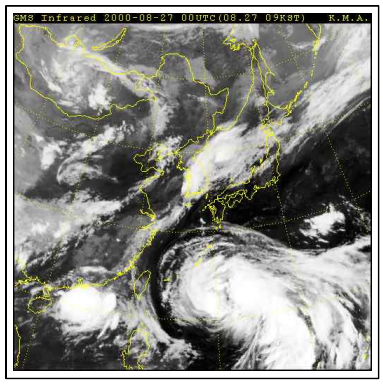

8월24일 12:00시

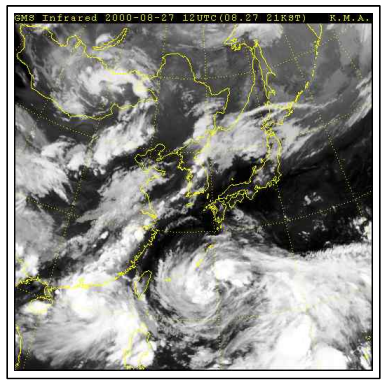

8월25일 00:00시


8월25일 12:00시


8월26일 00:00시


8월26일 12:00시경


8월27일 00:00시경


8월27일 12:00시경

<그림 7.3> '2000년 8월 호우기간의 기상위성사진

나. 지속시간별 최대강우

2000년 8월 24일부터 27일까지 4일간 발생한 집중호우로 인한 총 강우량은 관측소별로 292.0~517.5mm를 기록하였는데 이는 삽교천 유역의 연평균 강우량 1,178.9mm의 24.8%~43.9%에 해당하는 양이다.

각 관측소별 총 강우량은 보령 관측소에서 517.5mm로 가장 크고 다음으로 청양, 서산, 정안 관측소 순으로 나타났다. 각 관측소별 지속시간별 강우현황은 <표 7.4>에서 보

는바와 같이 1시간지속 최대강우는 성환 관측소에서 8월 27일 09시에 발생한 55.0mm가 최대이며, 보령 관측소 47.0mm, 청양 관측소 30.0mm, 서산 관측소 28.5mm 순으로 나타났다. 24시간지속 최대강우의 경우 보령 관측소에서 286.0mm를 기록하였으나 발생빈도로는 20년 빈도 이하이며, 청양 관측소 236.0mm, 성환 관측소가 178.0mm로 주로 삽교천 유역 외곽에 위치한 관측소의 기록이 크게 나타났다. 48시간지속 최대강우 역시 보령 관측소가 약 20년 빈도에 해당하는 345.0 mm를 기록하였으며, 다음으로 청양 관측소가 286.4mm로 20년 빈도 이상의 강우를 기록하였다.

2000년 8월 강우의 각 관측소별·지속기간별 강우기록의 특징을 살펴보면 대체로 24시간 및 48시간 강우는 보령, 청양 및 서산, 덕산 등 삽교천 유역 서쪽에서 많은 강우가 발생하였으며, 1시간 및 2시간 등의 단기간 강우는 성환 및 보령관측소를 제외하고는 전체적으로 고르게 발생한 것을 알 수 있다. 지속시간별 강우의 규모는 금회 산정한 확률강우량을 기준으로 대부분의 관측소 지점에서 5년 빈도 미만인 것으로 분석되었으나, 유역의 남쪽에 위치한 보령 및 청양 관측소에서 약 20년 빈도에 해당하는 규모의 강우가 발생한 것으로 나타났다.

<표 7.4> 2000년 8월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량

단위 : mm

지속시간	예 산	서 산	성 환	정 안	홍 성	덕산	청양	천안	보령	병천
1	21.0	28.5	55.0	27.0	21.0	28.0	30.0	27.5	47.0	23.0
2	38.0	50.0	81.0	34.0	39.0	44.0	47.0	42.5	76.5	34.0
3	47.0	75.0	91.0	46.0	47.0	62.0	67.0	50.5	88.0	43.0
4	59.0	89.5	93.0	55.0	62.0	81.0	84.0	54.5	103.0	51.0
6	75.0	119.5	103.0	68.0	85.0	100.0	98.0	60.0	127.5	57.0
12	104.0	148.3	115.0	110.0	117.0	130.0	123.0	73.0	169.5	92.0
18	144.0	167.8	159.0	124.0	143.0	150.0	190.0	113.0	228.0	100.0
24	168.0	181.4	178.0	162.0	166.0	171.0	236.0	136.0	286.0	111.0
48	207.0	235.3	213.0	219.0	219.0	220.0	286.0	178.5	345.0	170.0
총강우량	326.0	384.9	292.0	379.0	337.0	331.0	455.0	303.5	517.5	308.0

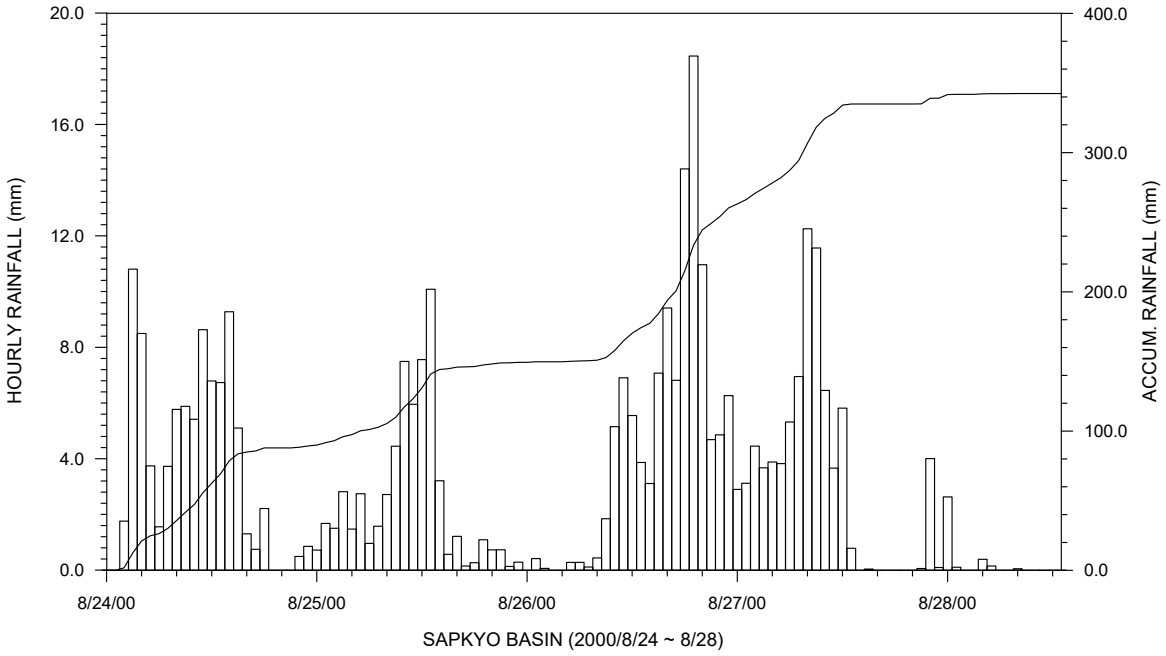
다. 강우의 시간적 분포

2000년 8월 호우의 각 관측소별 강우의 시간적 분포는 <표 7.5> 및 <그림 7.4>에서 보는바와 같이, 지역에 따라 조금씩 차이는 있지만 대체로 24일 00시를 전후하여 강우가 시작되어 27일 11~22시경 유역의 서쪽에 위치한 관측소에서부터 종료되었다. 각 관측소별 최대강우 발생시각은 예산 및 서산, 홍성, 덕산 관측소에서 26일 15시를 전후하여 발

생하였으며, 보령, 천안, 성환 관측소의 경우는 27일 06시경, 정안관측소는 27일 19시에 발생한 것으로 조사되어 강우의 중심이 서에서 동쪽으로 이동한 것을 알 수 있다.

<표 7.5> 2000년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황

관측소명	강우지속기간	강우규모			1시간지속 최대강우 (mm)
		총강우량 (mm)	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
예 산	8/23/24:00~8/27/05:00(77시간)	326.0	168.0	5년이하	8/26/16:00 (21.0)
서 산	8/23/23:00~8/27/06:00(79시간)	378.0	181.0	5년이하	8/26/16:00 (28.5)
성 환	8/24/01:00~8/27/20:00(91시간)	292.0	178.0	5년이하	8/27/06:00 (55.0)
정 안	8/24/01:00~8/27/21:00(92시간)	379.0	162.0	5년이하	8/27/19:00 (27.0)
홍 성	8/23/23:00~8/27/09:00(82시간)	337.0	166.0	5년이하	8/26/15:00 (21.0)
덕 산	8/23/23:00~8/27/08:00(81시간)	330.0	171.0	5년이하	8/26/13:00 (28.0)
청 양	8/23/24:00~8/27/10:00(82시간)	452.0	236.0	15년이하	8/24/08:00 (30.0)
천 안	8/23/24:00~8/27/22:00(94시간)	303.5	111.0	5년이하	8/27/06:00 (27.5)
보 령	8/23/24:00~8/27/10:00(82시간)	517.0	286.0	약 20년	8/27/03:00 (47.0)
병 천	8/24/01:00~8/28/00:00(95시간)	308.0	111.0	5년이하	8/27/19:00 (23.0)



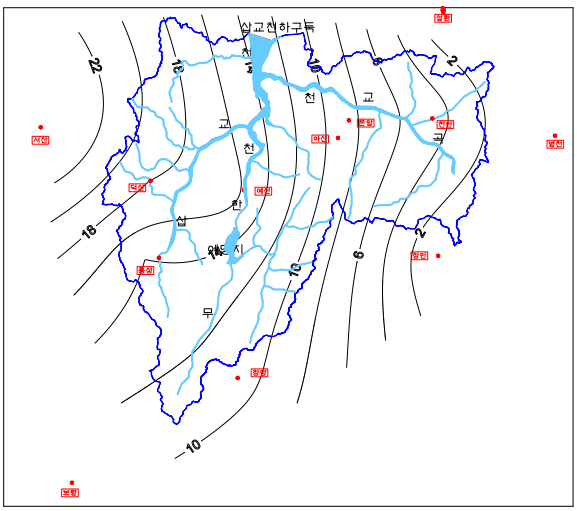
<그림 7.4> 2000년 8월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황

2000년 8월 강우의 시간적 분포특징은 크게 24~25일 및 26~27일의 2개 사상의 강우가 연속적으로 발생하였으나 삽교천 유역 평균으로는 2개 강우사상의 간격이 12시간 미만으로 홍수도달시간을 고려하면 1개의 강우사상으로 봐도 무방할 정도이다. 따라서 2

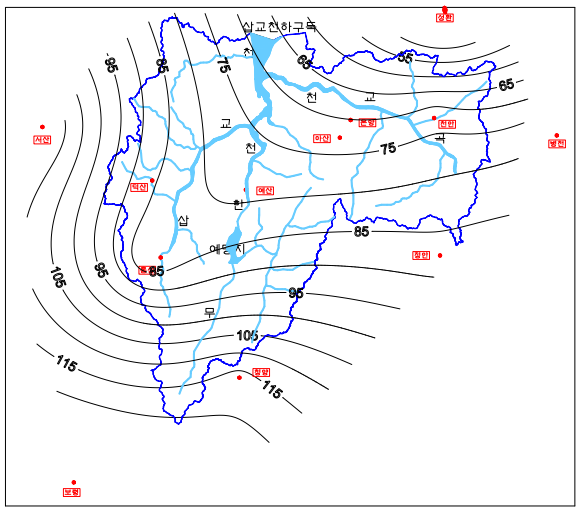
4~25일 기간중 발생한 강우에 의해 이미 삽교천 및 무한천 하류부 수위가 상승된 상태에서 후속강우가 발생하여 수위가 상승하고, 수위지체시간이 길어지면서 침수피해가 더욱 크게 발생하였을 것으로 추정된다.

라. 강우의 공간적 분포

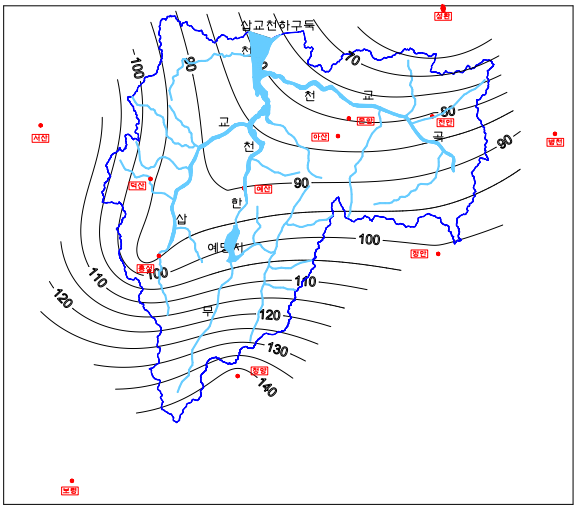
2000년 8월 24일~27일 발생한 강우는 25일 오후 소강상태를 보인 기간을 경계로 2개의 강우로 구분할 수 있는데 선행강우에 해당하는 24~25일의 강우는 초기에 유역의 서쪽에서 시작하여 동쪽으로 이동하는 경향을 보이다 유역의 남쪽에 위치한 청양지역에 집중호우가 발생하면서 삽교천의 흐름방향인 남서에서 북동방향으로 변화하기 시작한다.



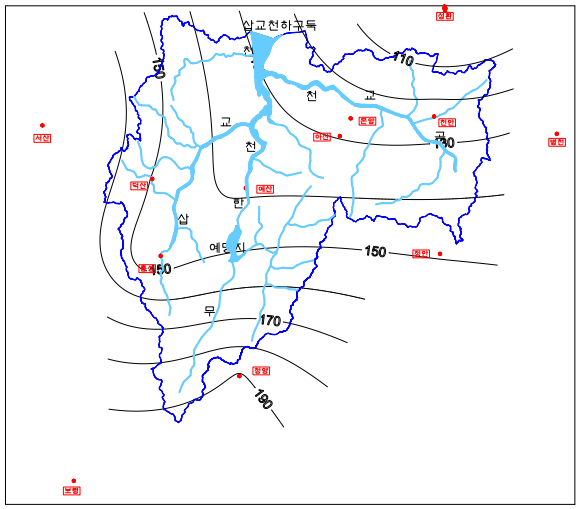
8월 24일 00:00



8월 24일 12:00

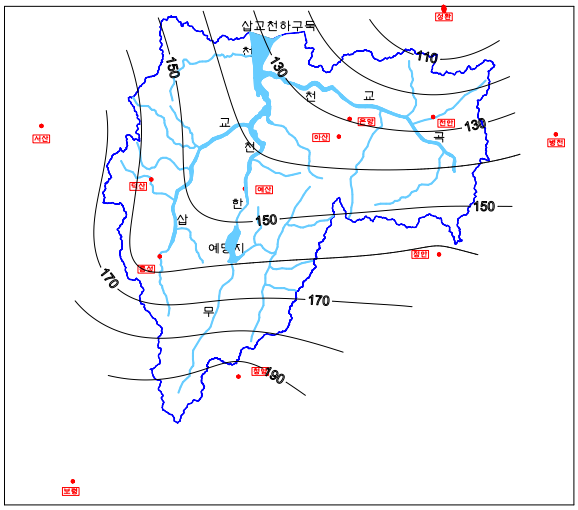


8월 25일 00:00

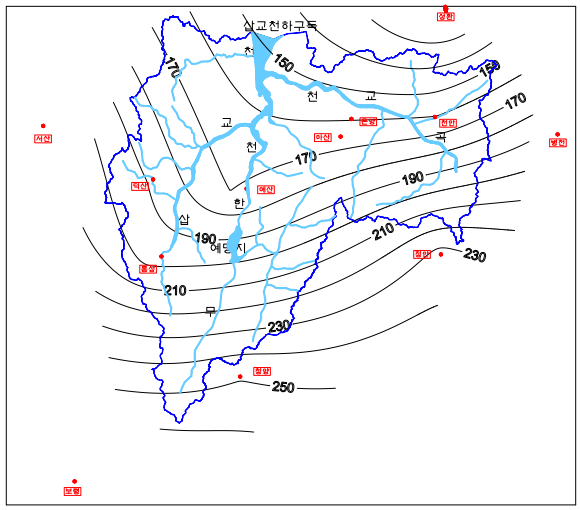


8월 25일 12:00

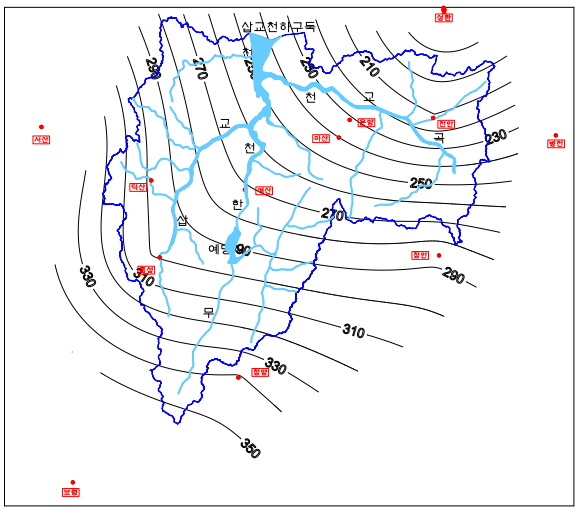
<그림 7.5> 2000년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도



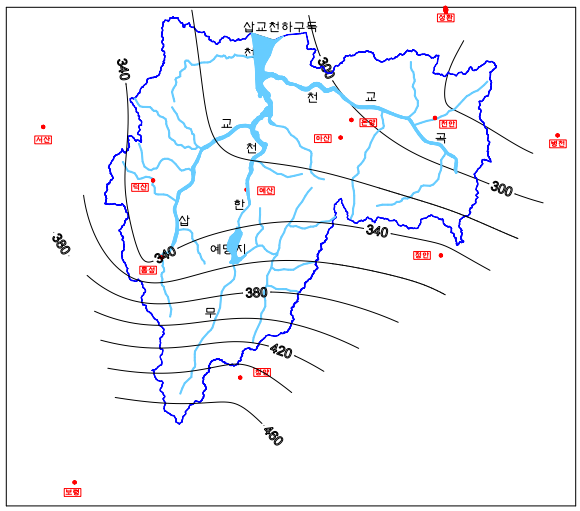
8월 26일 00:00



8월 26일 12:00



8월 27일 00:00



8월 27일 12:00

<그림 7.5> 2000년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도(계속)

이후 26일 오전부터 무한천과 곡교천 유역 경계의 상류인 정안 관측소 지점에서 집중호우가 발생하고 이어 덕산 관측소 지점에서 집중호우가 발생하면서 누가강우의 분포는 홍성, 예산, 천안을 연결하는 남서에서 북동방향의 축을 경계로 남에서 북으로, 서에서 동으로 향하는 형태가 되었다. 따라서 곡교천에 비해 삽교천 중상류와 무한천 상류 지역에 상대적으로 큰 강우가 발생했음을 알 수 있다.

7.2.2 1999년 8월 호우

가. 기상개황

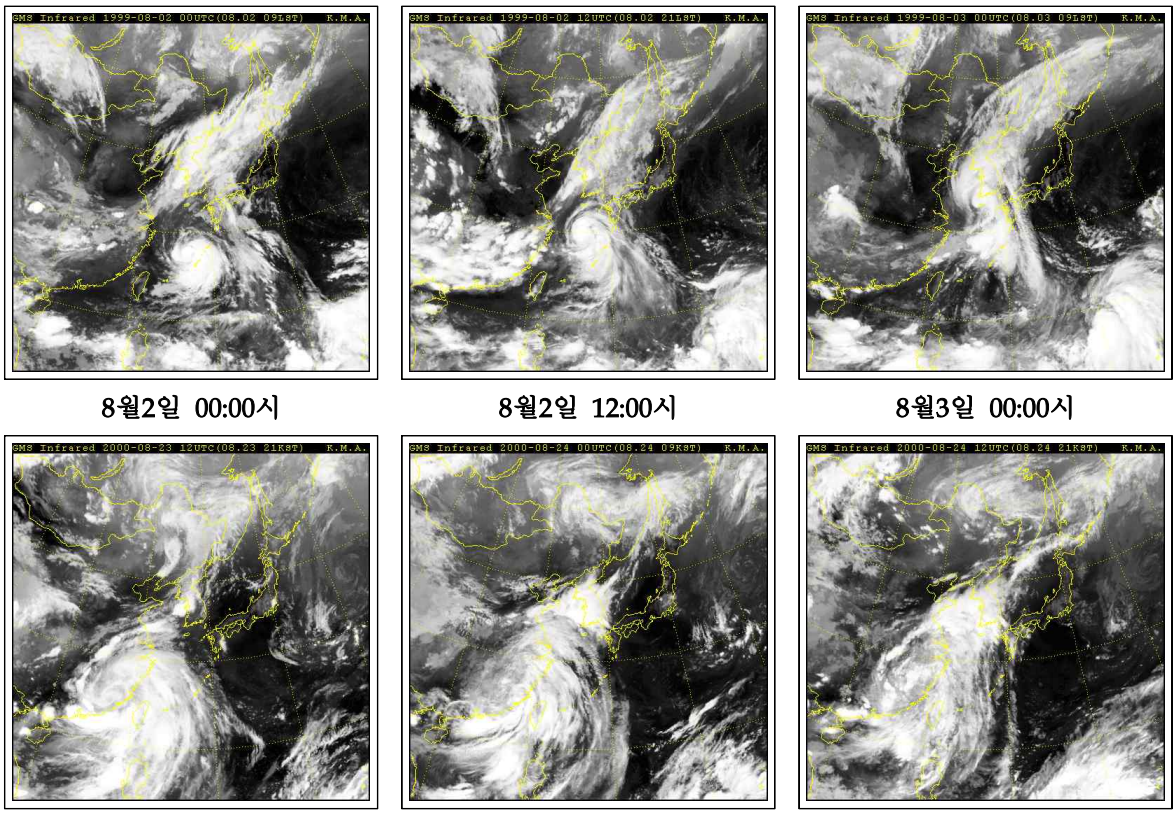
1999년 여름 우리나라의 기상상황은 전반적으로 장마가 예년에 비해 중부지방은 12~14일정도, 남부 및 제주지방은 1주정도 일찍 종료되었으나, 장마가 종료된 이후 태풍 내

습에 의한 집중호우가 전국적으로 발생하였다.

7월에는 23~24일에 제주 근해로 북상한 제5호 태풍 '닐(Niel)'에 의해 제주 지방을 중심으로 집중호우가 발생하였으며, 27~28일경에는 태풍 '닐'의 소멸 후 중국쪽에 남아있던 열대성 저기압이 남부지방에 머물러 전남 및 경남지역에 많은 피해를 발생시켰다.

7월 31일에서 8월 2일에는 경기북부지방을 중심으로 남쪽의 열대기단과 북쪽의 한대기단으로 인해 형성된 수렴대에 의해 경기북부 및 강원도 영서지역을 중심으로 국지적인 집중호우가 발생하였고 8월 2일~4일 기간 중에는 7월 31일 형성된 중부지방의 수렴대가 제7호 태풍 '올가'의 북상에 따라 태풍밴드에 합류되면서 중부지방을 중심으로 집중호우가 발생하였다.

삽교천 유역에 피해가 발생한 8월 2~4일 동안의 비구름의 이동상황을 기상위성 사진에 의해 파악한바 <그림 7.6>에서 보는바와 같이, 7월 31호우에 의해 중부지방에 형성된 수렴대가 태풍 '올가'의 북상에 따라 8월3일 00시경 합류되어 한반도 전역에 구름대를 형성하면서 북상하고, 이어 제8호 태풍 '폴(Paul)'이 중국 부근에 상륙한 후 비구름대가 한반도 방향으로 밀려온 것으로 나타났다. 즉 1999년 8월 호우의 경우 7월 22~23일 및 7월27~28일경 태풍 '닐' 및 열대성 저기압에 의해 사전강우가 있었으며, 8월 2일 '올가'의 북상에 따라 4일까지 집중호우가 발생하여 큰 피해가 발생한 것으로 조사되었다.



8월2일 00:00시 | 8월2일 12:00시 | 8월3일 00:00시

8월3일 12:00시 | 8월4일 00:00시 | 8월4일 12:00시

<그림 7.6> '99년 8월 호우기간의 기상위성사진

나. 지속시간별 최대강우

1999년 8월 2일에서 4일 까지의 3일간 발생한 총 강우량은 121.1~435.5mm로 관측소별로 편차가 매우 크게 나타났는데, 차령산맥을 기준으로 서쪽지방에 강우가 집중되고 동쪽지방은 상대적으로 적은 양의 강우가 발생하였다. 이는 태풍 '올가'에 의해 북상한 강우의 중심이 한반도의 서측에 치우쳐 있고 비구름대가 남서에서 북동방향으로 위치한 데 따른 것으로 특히 유역의 북서측에 위치한 서산지방의 강우가 컸던 것으로 나타났다. 강우지속시간은 각 관측소별로 33시간에서 48시간으로 평균 38.8시간 정도 지속되었는데 강우량과 마찬가지로 삽교천 유역의 서쪽에 위치한 관측소들의 강우지속시간이 동쪽에 위치한 관측소에 비해 길었던 것으로 분석되었다.

각 관측소별 총 강우량은 서산관측소가 435.5mm로 가장 많은 강우가 발생하였으며, 다음으로 홍성 및 덕산 관측소가 각각 360.0mm와 306.0mm를 기록하였고 이어 예산 관측소가 288.0mm를 기록하였다. 각 관측소별 지속시간별 강우현황은 <표 7.6>에서 보는 바와 같이 1시간지속 최대강우는 보령 관측소에서 8월 2일 20시에 발생한 48.0mm 강우가 최고이며 예산 관측소 39.0mm, 천안 관측소 32.5mm 순으로 나타났다. 24시간지속 최대강우량은 서산 관측소에서 358.9mm로 약 70년 빈도 규모의 강우를 기록하였으며, 홍성관측소가 277.0mm로 약 50년 빈도의 강우가 발생하였다. 48시간 연속강우는 서산 관측소에서 약 80년 빈도에 해당하는 435.5mm가 발생하였으며, 홍성 관측소에서 360mm로 약 45년 빈도의 강우가 발생하였다.

<표 7.6> '99년 8월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량

단위 : mm

지속시간	예 산	서 산	성 환	정 안	홍 성	덕 산	청 량	천 안	보 령	병 천
1	39.0	35.3	25.0	14.0	26.0	32.0	30.0	32.5	48.0	15.0
2	64.0	53.1	41.0	23.0	52.0	49.0	40.0	57.5	53.0	26.0
3	83.0	77.6	53.0	32.0	77.0	72.0	52.0	65.5	61.5	37.0
4	103.0	105.6	68.0	33.0	88.0	87.0	54.0	79.5	65.5	45.0
6	154.0	137.8	103.0	45.0	126.0	108.0	76.0	88.5	77.5	60.0
12	203.0	251.7	178.0	80.0	201.0	184.0	117.0	164.5	101.5	85.1
18	250.0	345.5	199.0	80.0	245.0	225.0	146.0	173.0	109.0	88.1
24	274.0	358.9	229.0	115.0	277.0	272.0	184.0	217.0	145.5	107.1
48	288.0	435.5	236.0	126.0	360.0	306.0	191.0	221.0	160.1	113.1
총강우량	288.0	435.5	236.0	142.0	360.0	306.0	191.0	221.0	160.1	121.1

다. 강우의 시간적 분포

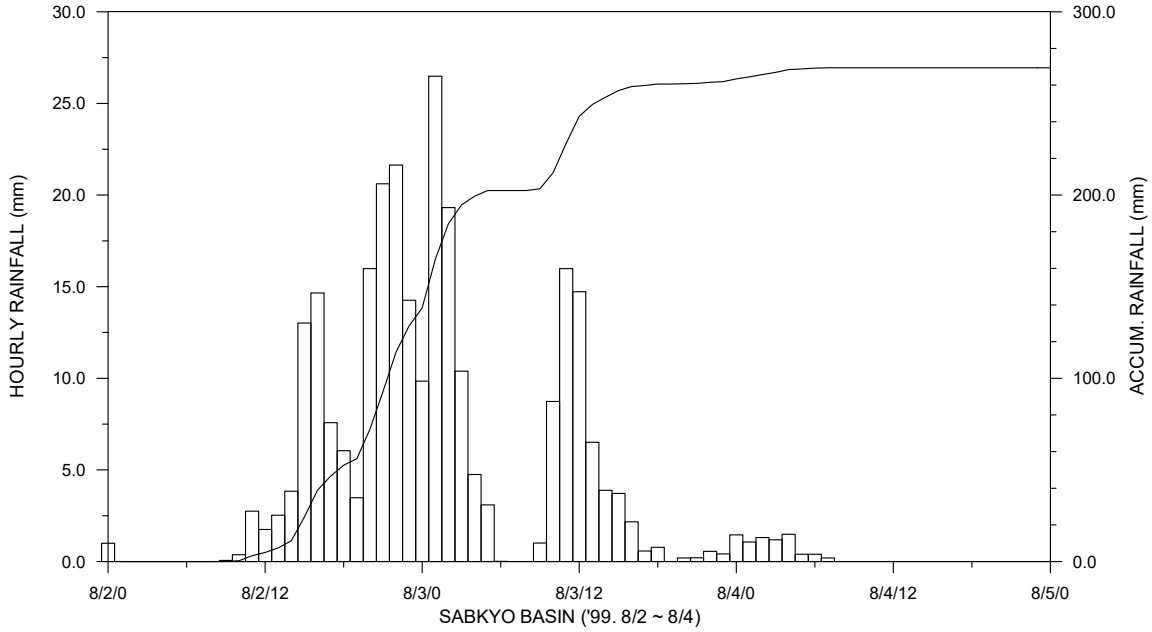
1999년 8월 2일부터 4일 까지 발생한 호우시 각 관측소별 강우의 시간적 분포를 살펴보면, 지역에 따라 차이는 있지만 대체로 2일 10시를 전후하여 시작하였고, 4일 11시경 강우가 종료되어 강우지속시간은 대략 33~48시간으로 나타났다. 지역별로는 예산, 서산, 덕산 등 삽교천 유역 북서측에 위치한 관측소의 강우지속시간이 40시간 이상으로 길었으며, 남동측에 위치한 병천, 정안, 청양 관측소 등은 35시간내외로 상대적으로 짧은 것으로 나타났다.

1시간지속 최대강우는 홍성, 덕산, 보령, 청양 등의 관측소에서는 8월 2일 20시를 전후하여 발생하였고, 예산, 서산, 성환 등의 관측소에서는 8월 3일 01시를 전후하여 발생하였으며, 삽교천유역 전체적으로도 이 시기에 강우가 집중되었던 것으로 나타났다.

이 기간동안의 강우는 지속시간이 35~48시간의 단일호우사상으로 대체로 8월 3일 00시경에 최대강우가 발생하였으며, 24시간 연속강우가 전체강우의 90%이상을 차지하는 비교적 단기간의 강우사상으로 볼 수 있으나, 7월 22일부터 약 10일간에 걸쳐 70mm 정도의 선행강우가 있었던 것으로 파악되었다.

<표 7.7> '99년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황

관측소명	강우지속기간	강우규모(mm)			1시간지속 최대강우 (hr/mm)
		총강우량	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
예산	8/02/11:00~8/04/11:00(48시간)	288.0	274.0	20년이하	8/03/01:00 (39.0)
서산	8/02/09:00~8/04/04:00(43시간)	435.5	359.0	70년이하	8/03/01:00 (35.3)
성환	8/12/12:00~8/04/01:00(37시간)	236.0	229.0	10년이하	8/03/02:00 (25.0)
정안	8/02/15:00~8/03/24:00(33시간)	142.0	115.0	5년이하	8/02/17:00 (14.0)
홍성	8/02/10:00~8/04/07:00(45시간)	360.0	277.0	10년이하	8/02/21:00 (26.0)
덕산	8/02/10:00~8/04/02:00(40시간)	306.0	272.0	15년이하	8/02/21:00 (32.0)
청양	8/02/15:00~8/04/02:00(35시간)	191.0	184.0	10년이하	8/03/10:00 (30.0)
천안	8/02/14:00~8/04/03:00(37시간)	221.0	217.0	10년이하	8/02/15:00 (32.5)
보령	8/02/10:00~8/03/22:00(36시간)	160.1	146.0	5년이하	8/02/20:00 (48.0)
병천	8/02/14:00~8/03/24:00(34시간)	121.1	107.0	5년이하	8/02/21:00 (15.0)

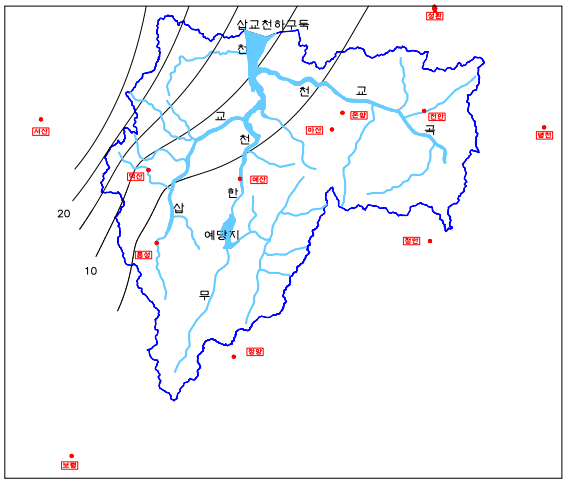


<그림 7.7> '99년 8월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황

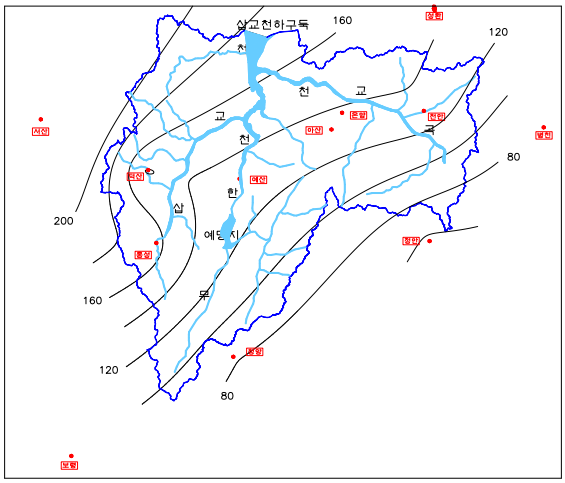
라. 강우의 공간적 분포

1999년 8월 2일~4일 발생한 호우는 서산지역을 중심으로 시작되어 북서방향에서 남동방향으로 진행하는 형태를 보이고 있으며 강우의 분포가 유역의 남동측 분수령을 형성하는 차령산맥의 방향과 같이 남서에서 북동방향으로 평행하게 형성되었다.

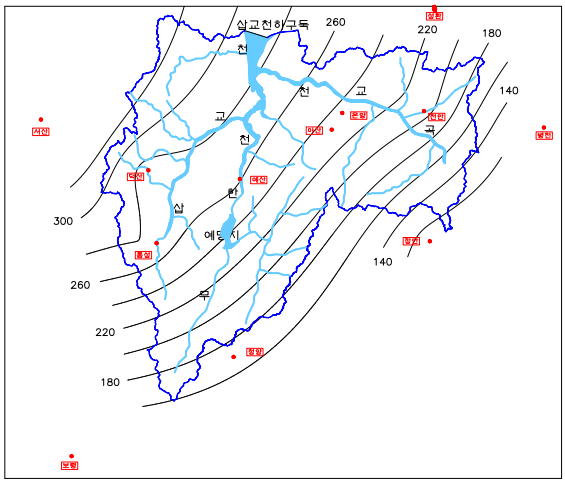
이 기간동안 발생한 강우의 가장 큰 특징은 초기강우가 삽교천 하류부에서 발생한 후, 삽교천 및 무한천, 곡교천을 따라 상류부로 이동한 것이다. 따라서 초기강우로 인해 하류부의 수위가 상승한 상태에서 상류부에 강우가 발생하여 지속적으로 홍수가 유하하므로써 하류부의 홍수지체시간이 길어졌던 것으로 추정된다. 또한 유역내에서 평탄한 저지대가 집중된 북서측 삽교천과 무한천 하류부에 높은 발생빈도의 강우가 집중되었는데 실제로 이 기간 동안의 피해양상을 살펴보면 강우가 비교적 단기간 발생했음에도 불구하고 상대적으로 침수피해가 컸던 조사되어 이러한 강우의 이동방향과 공간적 분포가 침수피해를 가중시켰던 것으로 판단된다.



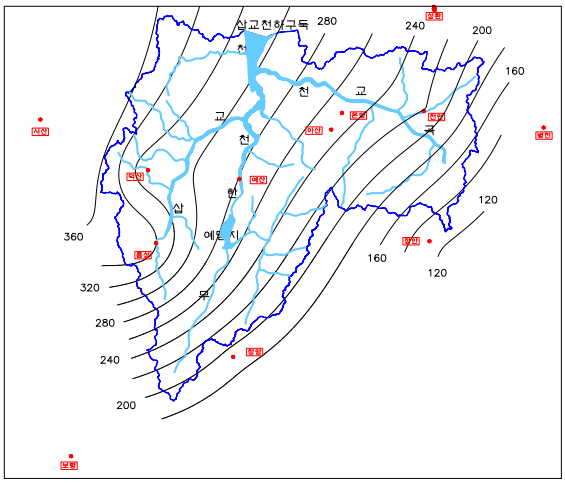
8월 2일 12:00



8월 3일 00:00



8월 3일 12:00



8월 4일 00:00

<그림 7.8> '99년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도

7.2.3 1998년 8월 호우

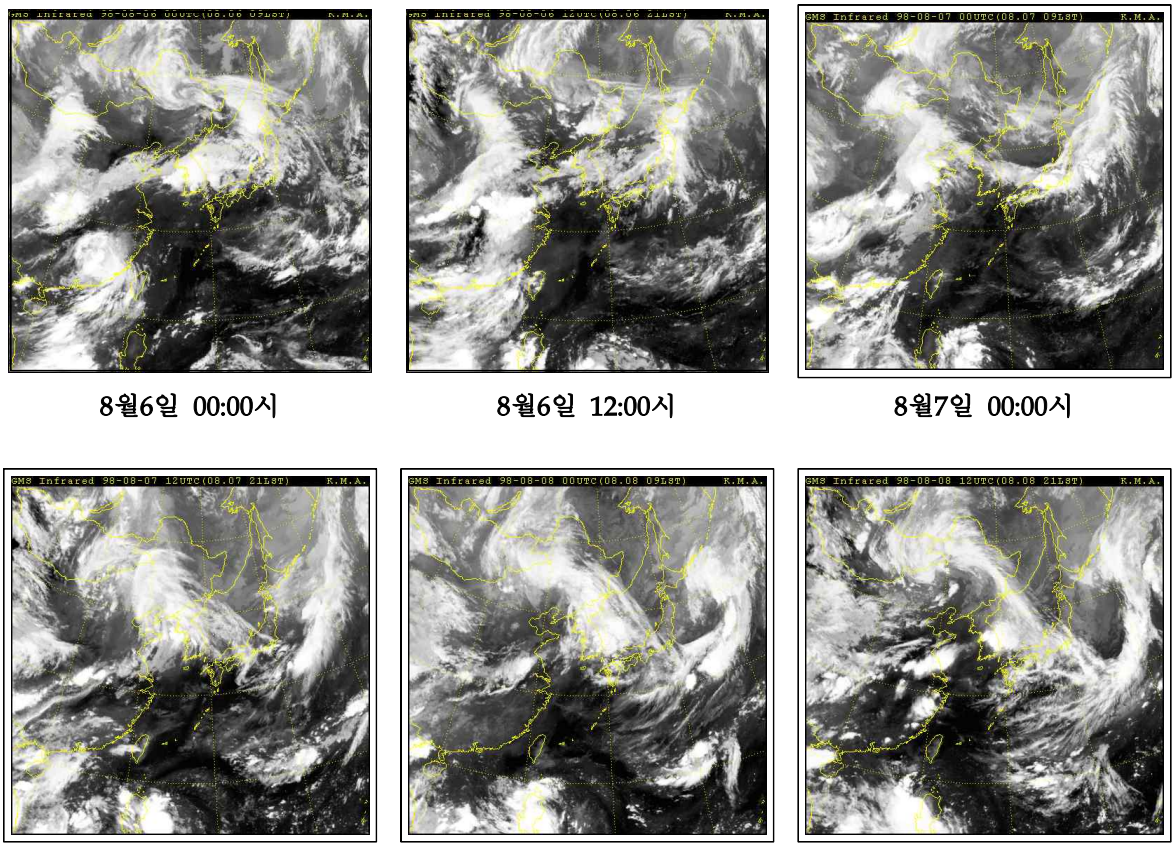
가. 기상개황

1998년은 엘니뇨의 영향으로 전지구적으로 기상이변이 빈번하게 발생한 해로서, 동아시아 지역은 양쯔강 유역, 한반도, 일본 등지에 많은 강우가 발생하였다. 특히 예년의 경우 장마기간에 많은 강우가 발생한 것과는 달리 장마가 종료된 이후인 7월 31일부터 8월 18일까지 대기층의 불안정과 양쯔강 유역으로부터 불어오는 습한 기류로 인해 전국적으로 집중호우가 발생하였다.

이 기간동안 7월 31일~8월1일 지리산 일원의 국지성 집중호우를 비롯하여 8월3~4일경 중랑천 유역을 포함한 서울·경기 북부지역, 5~7일 경기북부지역, 7~8일 서울·경기지역, 8~9일 충청북부지역, 11~12일 속리산 보은지역, 14~15일 서울·경기지역, 1

5~16일 충청 중·남부와 남부지방, 17~18일경 호남지역 등 7월 31~8월18일까지 전국에 국지적인 집중호우가 발생하였다. 이렇게 지역적으로 좁은 범위에 그 발생양상을 예측하기 힘든 집중호우가 빈번하게 발생됨으로 인해 소위 '게릴라성 국지호우'라는 표현이 사용되었는데 이 때의 집중호우로 인해 강화 481.0mm를 비롯하여 4곳에서 일강우량 극값이 경신되었으며, 1시간 최대강우는 강화 123.5mm를 비롯하여 4곳, 10분 최대강우량은 장수 34.5mm를 비롯하여 3곳에서 각각 8월 극값을 경신하였다. 또한 8월 한달간 서울 1,237.8mm, 강화 1,069mm, 동두천 997.0mm, 보은 894mm 등 연강우량에 해당하는 비가 내렸다.

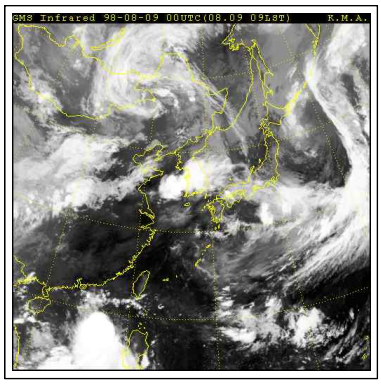
삽교천 유역의 경우 지리산을 중심으로 집중호우가 발생했던 7월 31일에 약간의 강우가 있었으며, 8월 3~4일경, 6일, 8~9일 및 12~13, 14~16일 등 지속적으로 강우가 발생하였으나, 주요한 피해는 8월 6일~12일 기간 중 발생한 것으로 조사되었다. 8월 6~12일 기간 중 우리나라를 비롯한 동아시아지역의 위성영상사진을 살펴보면 <그림 7.9>에서 보는바와 같이, 한반도 상공에 구름대가 짙게 퍼져있다 점차 옅어지는 현상이 반복적으로 일어나는 것을 볼 수 있다.

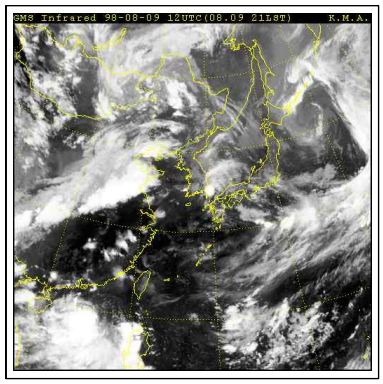


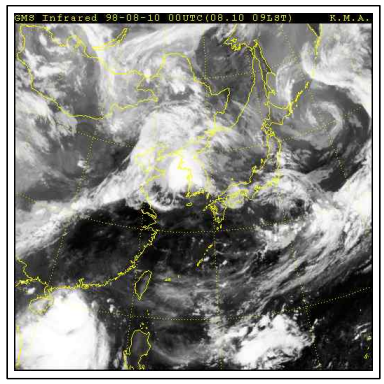
8월6일 00:00시 8월6일 12:00시 8월7일 00:00시

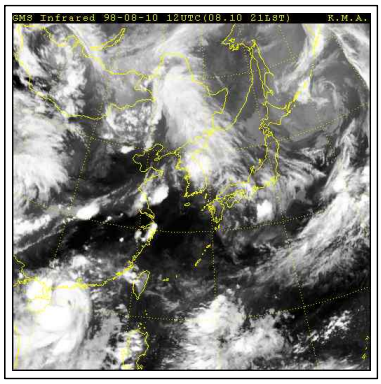
8월7일 12:00시 8월8일 00:00시 8월8일 12:00시

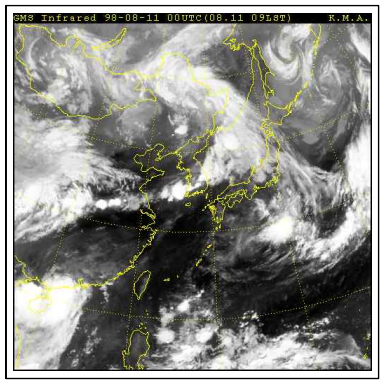
<그림 7.9> '98년 8월 호우기간의 기상위성사진

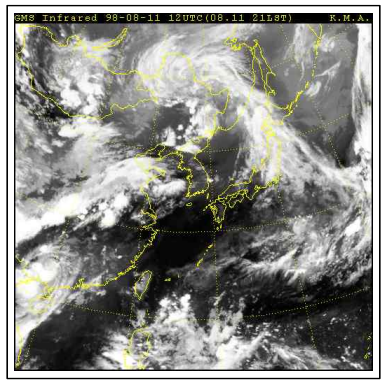

8월9일 00:00시


8월9일 12:00시


8월10일 00:00시


8월10일 12:00시


8월11일 00:00시


8월11일 12:00시

<그림 7.9> '98년 8월 호우기간의 기상위성사진 (계속)

나. 지속시간별 최대강우

1998년 8월 6일~12일의 7일간 발생한 집중호우시 총 강우량은 126.0~382.5mm로 삽교천 유역의 연평균 강우량 1,178.9mm의 10.7%~32.4%에 해당하는 강우가 발생한 것으로 나타났다. 또한 관측소별 총 강우량 및 48시간, 24시간지속 최대강우의 최대값은 각각 382.5mm, 255.2mm 및 229.2mm로 20년 빈도 이하 규모의 강우가 발생하였으나, 1시간 및 2시간지속 최대강우 등 단기강우의 발생빈도는 매우 높았던 것으로 나타났다. 특히 1시간지속 최대강우량의 경우 홍성 관측소에서 8월 9일 16시에 125.0mm로 최대를 기록하였고 성환 86.0mm, 청양 64.0mm, 천안 55.5mm, 서산 55.3mm 등 삽교천 유역 및 인근의 거의 모든 관측소에서 매우 높게 나타났다.

이 기간의 각 관측소별·지속기간별 강우기록의 특징을 살펴보면 대체로 장기강우인 24시간 및 48시간지속 최대강우는 40~229.2mm로 지역적 편차가 매우 심하며, 그 규모도 작게 나타났으나, 1시간 및 2시간 연속 강우의 경우 일부 관측소에서 매우 큰 값을 보이고 있다. 그러나 삽교천 유역 평균으로는 1시간지속 최대 29.0mm, 2시간지속 최대 43.0mm 등 그리 크지 않은 값을 보이고 있어 앞서 언급한 단기강우 최대값이 지역적,

시간적으로 일정한 성향 없이 국지적으로 발생했음을 알 수 있다.

이러한 강우성향은 '98년 8월에 전국적으로 나타난 게릴라성 집중호우의 특징과 일치한다.

<표 7.8> '98년 8월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량

단위 : mm

지속시간	예 산	서 산	성 환	정 안	홍 성	덕 산	청 양	천 안	보 령	병 천
1	26.0	55.3	86.0	42.0	125.0	45.0	64.0	55.5	51.0	24.0
2	34.0	107.2	92.0	71.0	148.0	66.0	84.0	68.0	51.2	27.0
3	38.7	149.6	124.0	77.0	159.0	72.0	85.0	80.0	51.2	27.0
4	38.7	157.1	144.0	77.0	167.2	88.0	85.0	88.5	51.2	29.0
6	46.0	170.1	155.0	90.0	210.5	98.0	91.0	89.0	51.2	32.0
12	46.7	191.3	199.0	106.0	229.2	107.6	115.0	90.5	59.2	39.0
18	47.2	191.3	205.0	106.0	229.2	107.6	116.0	90.5	59.2	39.0
24	47.2	200.1	222.0	106.0	229.2	110.6	149.0	90.5	66.2	40.0
48	59.2	222.1	249.0	183.0	255.2	138.3	202.0	95.5	85.4	49.0
총강우량	158.0	255.9	374.0	345.0	382.5	223.7	365.0	227.0	126.0	127.0

다. 강우의 시간적 분포

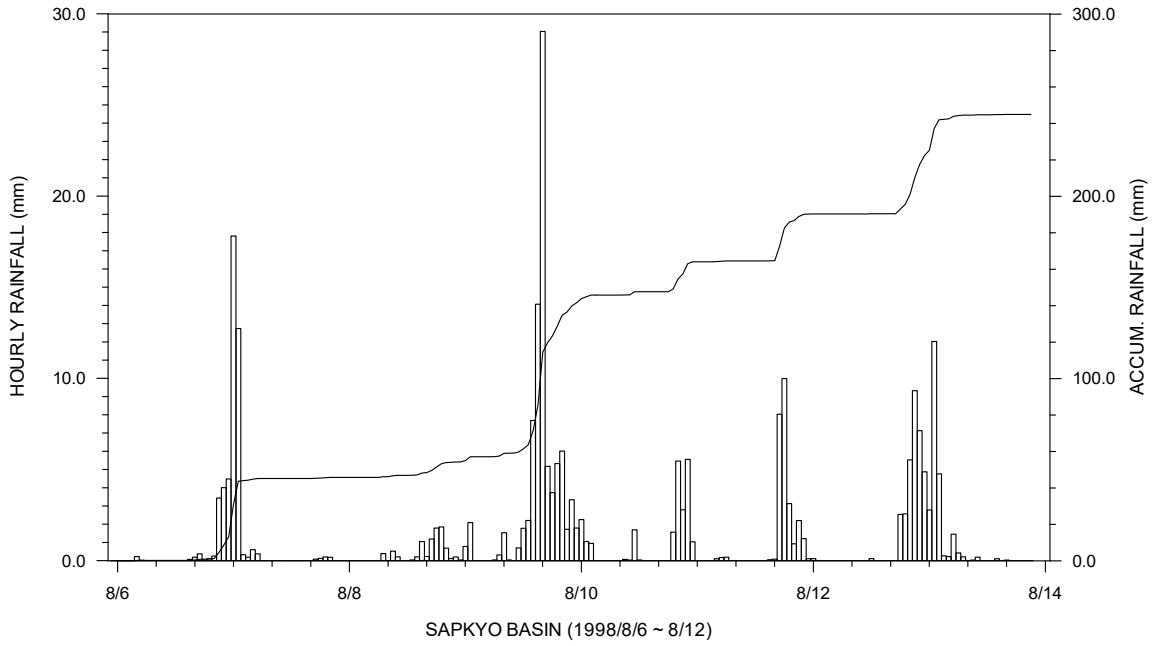
1998년 8월 6일~12일간의 호우는 여러개의 강우사상이 장기간에 걸쳐 산발적으로 발생한 것으로, 이는 전절의 기상개황에서 살펴본 바와 같이 '98년 8월 전국적으로 나타난 '게릴라성 집중호우'의 특징과 일치한다.

이 기간동안 발생한 강우의 시간적 분포를 살펴보면 대체로 8월 6일 05~24시부터 강우가 시작되어 12일 22시에서 13일 06시경 종료되었으며, 3~4개의 호우사상을 가지고 7일, 10일, 12일, 13일을 중심으로 6시간 내외의 단시간 동안 발생했던 것으로 나타났다.

1시간 최대강우는 주로 8월 9일 02시를 전후하여 서산, 정안, 홍성, 덕산 관측소에서 발생하였으나, 청양 관측소는 11일 04시, 보령은 12일 01시, 예산 및 천안관측소는 6일 12시경에 발생하여 각 관측소별로 발생시간의 차이가 크며, 지역적으로도 특별한 공통점을 찾을 수 없다. 또한 강우지속시간이 장기화 될수록 발생빈도의 크기도 감소하여 24시간지속 최대강우량의 경우 성환과 홍성관측소를 제외하며 5년 미만의 작은 값을 보이고 있다.

<표 7.9> '98년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황

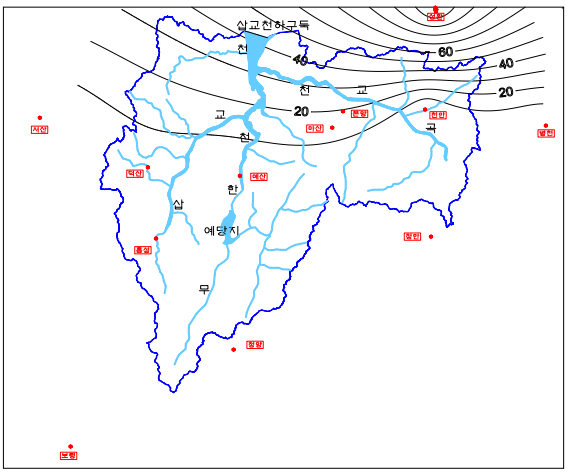
관측소명	강우지속기간	강 우 규 모(mm)			1시간지속 최대강우 (hr/mm)
		총강우량	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
예산	8/06/17:00~8/13/03:00(154시간)	158.0	47.2	5년이하	8/06/12:00 (26.0mm)
서산	8/06/20:00~8/13/01:00(149시간)	255.9	200.1	5년이하	8/09/03:00 (55.3mm)
성환	8/06/24:00~8/12/22:00(142시간)	374.0	222.0	10년이하	8/06/23:00 (86.0mm)
정안	8/06/21:00~8/13/01:00(148시간)	345.0	106.0	5년이하	8/09/01:00 (42.0mm)
홍성	8/06/15:00~8/13/01:00(154시간)	382.5	229.2	5년이하	8/09/03:00 (125.0mm)
덕산	8/06/05:00~8/13/01:00(164시간)	223.7	110.6	5년이하	8/09/02:00 (45.0mm)
청양	8/06/20:00~8/13/05:00(153시간)	365.0	149.0	5년이하	8/11/04:00 (64.0mm)
천안	8/06/22:00~8/13/02:00(148시간)	227.0	90.5	5년이하	8/06/11:00 (55.5mm)
보령	8/06/21:00~8/13/06:00(153시간)	126.0	66.2	5년이하	8/12/01:00 (51.0mm)
병천	8/07/01:00~8/13/02:00(145시간)	127.0	40.0	5년이하	8/07/01:00 (24.0mm)



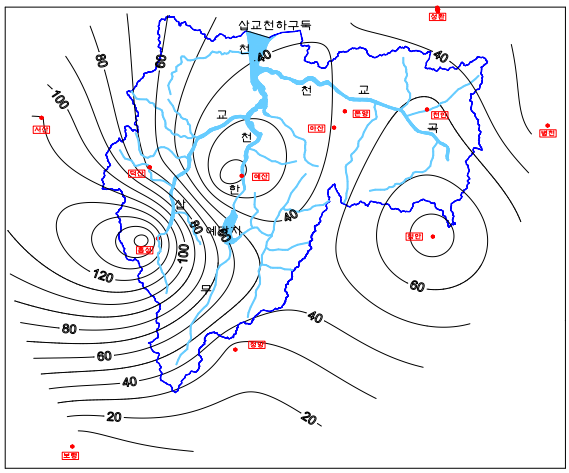
<그림 7.10> '98년 8월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황

라. 강우의 공간적 분포

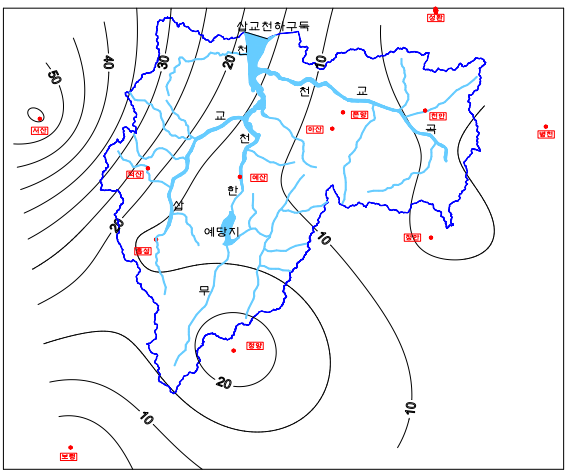
1998년 8월 6일~12일 발생한 강우의 가장 큰 특징은 게릴라성 집중호우라고 불릴 정도로 일정한 형태의 시간적, 공간적인 성향을 보이지 않고 1~3시간의 짧은 시간동안에 국지적으로 특정지역에만 집중호우를 발생시켰다는 점이다. 따라서 이 기간동안에 발생한 각각의 강우사상들 대부분이 삽교천유역 전체에 영향을 미친 경우가 거의 없으며, <그림 7.11>과 같이 비교적 단시간인 3시간을 기준으로 등우선도를 작성하여도 그 모양이 매우 상이함을 알 수 있는데 이렇게 강우가 시간적, 공간적으로 산발적인 특성을 보임으로써 삽교천 유역의 평균강우량은 강우지속기간에 비해 그리 크지 않은 결과를 보여주고 있다. 즉 이 기간동안 삽교천유역 평균으로는 강우지속시간이 140시간인데 비해 총 강우량이 196mm로 시간당 평균강우량은 1.4mm/hr에 불과했다. <그림 7.11>은 이 기간동안 삽교천 유역에 비교적 강우가 집중되었던 시기인 8월 9일과 10일의 시간대별 등우선도인데 앞서 언급한 바와 같이 특별한 공간적 분포 성향을 보이지 않고 있다.



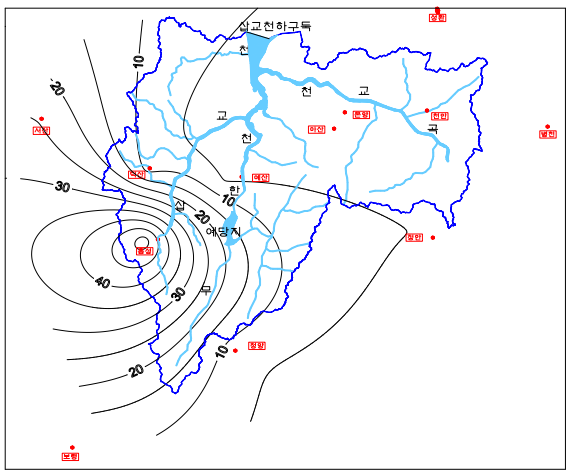
8월 9일 00:00



8월 9일 03:00

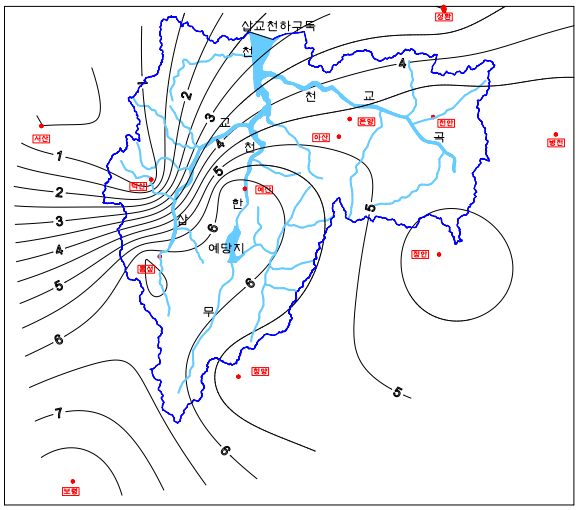


8월 9일 06:00

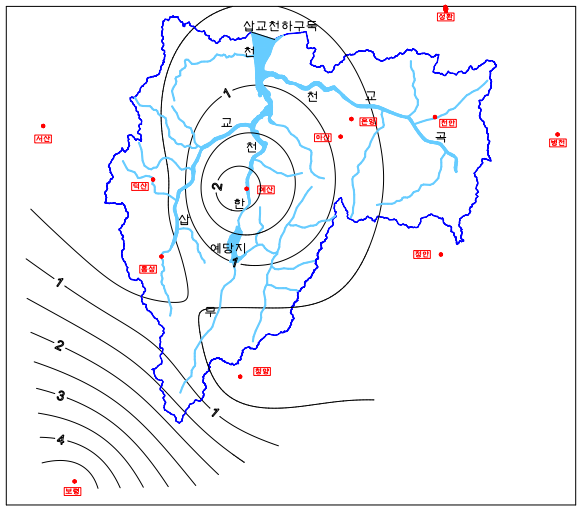


8월 9일 09:00

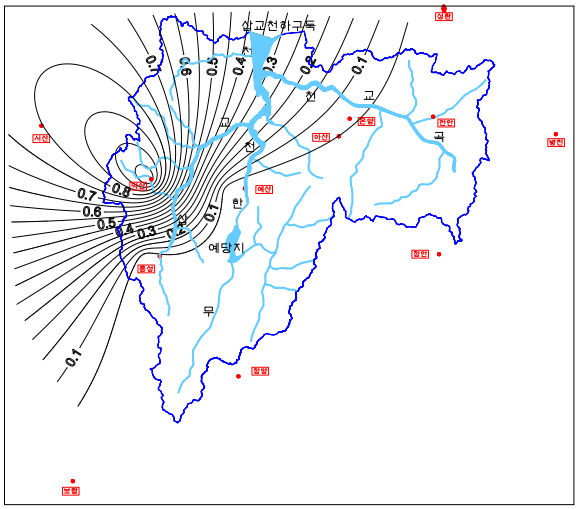
<그림 7.11> '98년 8월 호우기간의 시간대별 등우선도



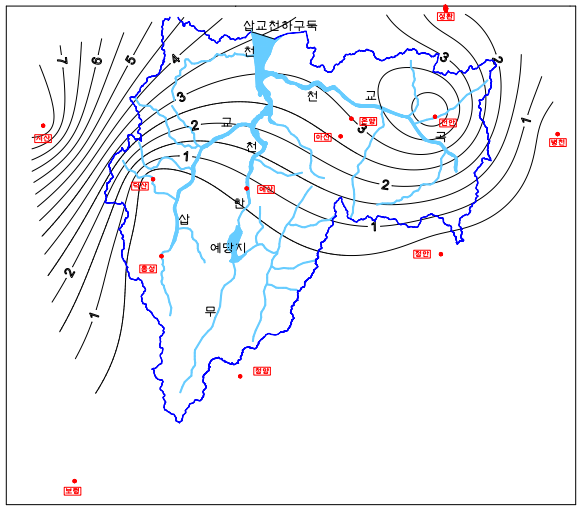
8월 9일 12:00



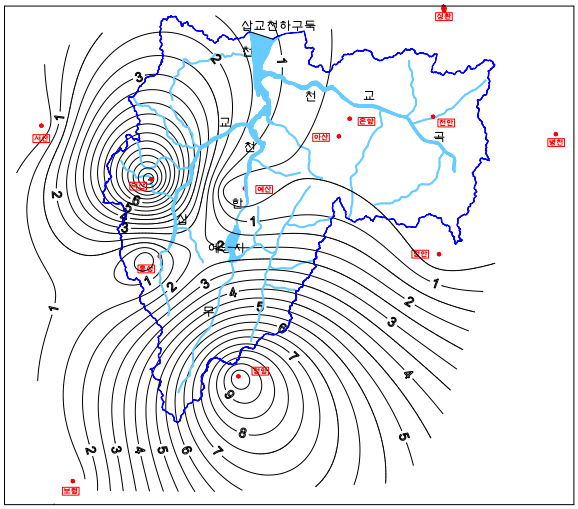
8월 9일 15:00



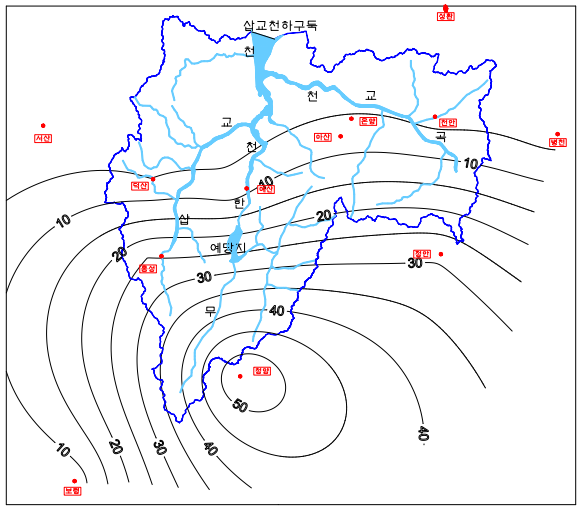
8월 9일 21:00



8월 10일 00:00



8월 10일 06:00



8월 10일 09:00

<그림 7.11> '98년 8월 호우기간의 시간대별 등우선도 (계속)

7.2.4 1995년 8월 호우

가. 기상개황

1995년의 기상현황은 6월까지 지속된 가뭄으로 인해 물부족 현상을 겪고 있었으며, 7월 장마기간 후 8월초까지 전국적으로 북태평양 고기압 영향을 받아 무더운 날씨가 계속되다가 8월 8~9일경 아산을 중심으로 한 삽교천 일대지역에 200~300mm의 호우가 내렸으며, 8월 19~20일경의 집중호우, 8월 23~27일경 제7호 태풍 '제니스(JANIS)', 8월 30일경의 집중호우로 인해 전국적으로 많은 피해가 발생하였다.

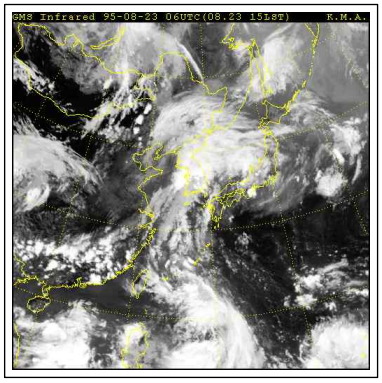
8월 19~20일경의 집중호우는 중부지방에 발생한 기압골의 영향으로 수원 및 서울을 중심으로 경지지역에 천둥, 번개를 동반하며 수원 227.3mm, 양평 204.5mm 등 경기지역에 평균 100~150mm의 강우량을 기록하였고, 20일경에는 부여 144.0mm, 보령 135.0mm 등 삽교천 유역 주변에 100~150mm의 강우가 발생하였다.

8월 23~27일 호우는 21일 필리핀 북동부에서 발생하여 26일 및 27일 한반도를 통과한 제7호 태풍 제니스의 영향으로 발생했는데, 이 기간 동안 충청, 경기, 강원 등 중부지역에 많은 비가 내렸고 서산 236.1mm, 보령 361.5mm, 청주 293mm 등 3곳의 관측소에서 관측개시이래 최대 일강우량을 나타냈다.

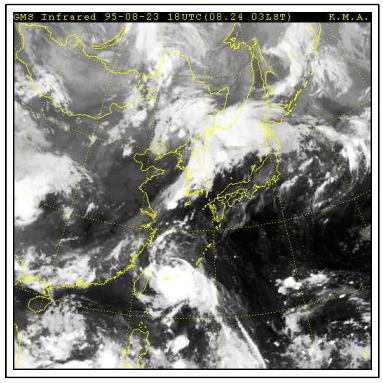
8월 30일경 발생한 집중호우는 강한 기압골의 영향으로 충청남·북도 일원에 많은 비를 내렸다. 지역별로는 부여 257.0mm, 금산 202.0mm, 대전 194.2mm, 보은 179.0mm 등 금강유역 일대에 많은 강우가 발생하였다.

삽교천 유역에는 8월 8~9일경 발생한 집중호우와 제7호 태풍 '제니스'에 의해 발생한 8월 23~27일 호우에 의해 많은 피해가 발생하였다. 특히 태풍 '제니스'는 19~20일의 선행강우가 있는 상태에서 집중호우를 동반하여 더욱 큰 피해를 유발하였다.

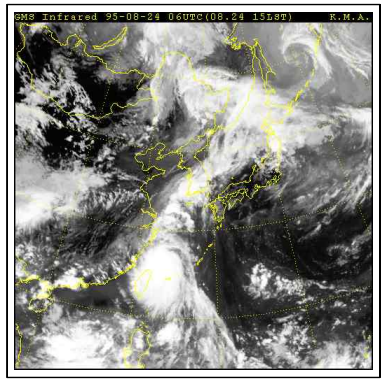
태풍 '제니스'의 내습시 한반도 및 동아시아 지역의 위성사진을 보면, <그림 7.12>에서 보는바와 같이, 22일 및 23일경 전반적으로 한반도 상공에 구름이 옅게 퍼져있는 상태로 삽교천 유역을 비롯하여 한반도 전역에 비를 내렸다. 24일경에는 태풍 '제니스'가 중국으로 상륙하여 한반도 중부지방을 중심으로 짙은 비구름대를 형성하면서 많은 강우를 발생시켰다. 이후 태풍 '제니스'는 26일경 한반도에 상륙하여 27일경 강원도 지방을 거쳐 동해안으로 빠져나갔다.



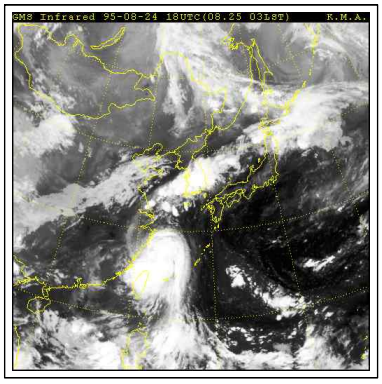
8월23일 06:00시



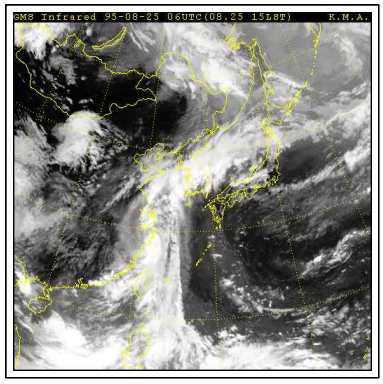
8월23일 18:00시



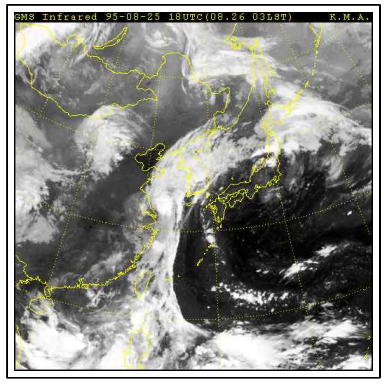
8월24일 06:00시



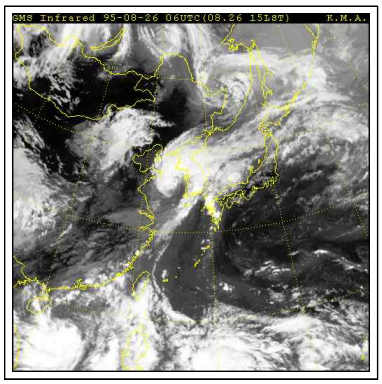
8월24일 18:00시



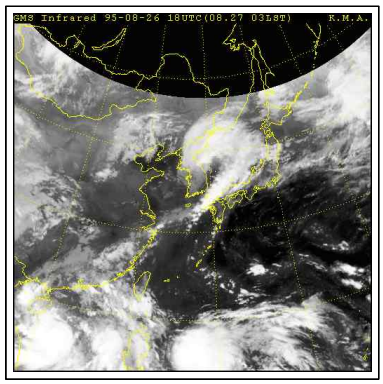
8월25일 06:00시



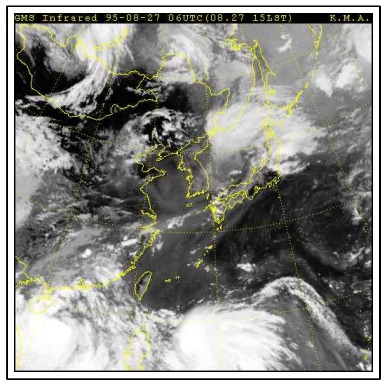
8월25일 18:00시



8월26일 06:00시



8월26일 18:00시



8월27일 06:00시

<그림 7.12> '95년 8월 호우기간의 기상위성사진

나. 지속시간별 최대강우

(1) '95년 8월 8일~8월 9일 강우

1995년 8월 8일~9일의 기간 중 발생한 집중호우는 삽교천 유역을 중심으로 국지적으로 발생하였다. 총 강우량은 예산, 홍성, 천안, 성환 등의 삽교천 유역의 중심부에 위치한 관측소에서는 240.4~350.2mm가 발생하였으나, 정안, 천안, 보령관측소 등 삽교천유역 남동부 지역에서는 9.0~98.0mm의 상대적으로 적은 강우가 발생하였다.

‘95년 8월 8～9일 기간중 관측소별 총 강우량 및 24시간, 48시간지속 최대강우량은 최대값이 각각 350.2mm, 349.7mm 및 350.2mm로 나타났으며, 대부분 강우가 24시간 이내에 발생하였다. 1시간 및 2시간지속 최대강우는 관측소별로 매우 큰 편차를 보이고 있는데, 삽교천 유역 외곽에 위치한 보령, 청양, 정안 등에서는 작게 나타났고, 홍성을 비롯하여 천안, 예산 등 삽교천 유역내 관측소에서는 매우 큰 값을 기록하였다. 1시간지속 최대강우의 최대값은 홍성 관측소에서 8월 8일 23시에 100mm로 가장 높게 나타났으며, 성환 91.7mm, 예산 72.3mm, 천안 67.5mm 순으로 나타났다.

이 기간 중 강우의 각 관측소별, 지속시간별 강우 특징을 살펴보면 대체로 단기 및 장기강우 모두 지역적 편차가 매우 심하며 삽교천유역 중심부에 위치한 홍성, 천안, 예산 관측소 지점을 중심으로 많은 강우가 발생하였고, 삽교천 유역과 차령산맥을 통해 구분되는 보령, 청양, 정안 등의 관측소에서는 매우 적게 나타났다. 또한 8월 8～9일 강우는 대부분의 지역에서 강우지속시간이 12～24시간내로 짧은 시간동안 집중하여 많은 강우가 발생하였다.

<표 7.10> ‘95년 8월 8～9일 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량

단위 : mm

지속시간	예 산	서 산	성 환	정 안	홍 성	덕 산	청 양	천 안	보 령	병 천
1	72.3	54.0	91.7	35.0	100.0	43.2	15.0	67.5	3.0	44.0
2	123.6	59.2	103.9	52.0	190.0	58.6	15.0	103.5	4.0	57.0
3	137.2	66.1	139.3	63.0	210.0	83.4	20.0	132.5	4.5	69.0
4	148.0	72.0	151.5	69.0	218.5	101.3	21.0	156.5	4.5	86.0
6	269.0	86.2	172.3	84.0	300.0	119.6	29.0	201.5	8.0	125.0
12	320.1	147.8	228.1	98.0	324.0	148.3	45.0	303.0	9.0	146.0
18	346.5	150.1	238.4	98.0	330.9	149.8	47.0	303.5	9.0	146.0
24	349.7	151.8	240.4	98.0	330.9	149.8	47.0	303.5	9.0	149.0
48	350.2	152.4	240.4	98.0	330.9	149.8	47.0	303.5	9.0	149.0
총강우량	350.2	152.4	240.4	98.0	330.9	149.8	47.0	303.5	9.0	149.0

(2) ‘95년 8월 23일～8월 27일 강우

1995년 8월 23～27일 기간 중 발생한 집중호우는 총 강우량이 313.0～631.7mm로 삽교천 유역의 연평균 강우량인 1,178.9mm의 26.5%～53.6%에 해당하는 많은 양을 기록했다. 24시간 및 48시간지속 최대강우는 보령관측소에서 각각 406.5mm, 557.5mm로 100년 및

300년 빈도 이상의 규모로 발생하였으며, 1시간지속 최대강우는 34.0mm~85.7mm로 편차가 심하게 나타났으나 역시 비교적 큰 규모를 보이고 있다. 각 관측소별 24시간지속 최대강우량은 보령관측소의 406.5mm이고, 다음으로 청양 관측소 347.0mm, 서산 관측소 317.1mm 순으로 나타났다. 1시간지속 최대강우는 홍성 관측소가 85.7mm로 가장 높고, 덕산 관측소 82.0mm, 보령관측소가 69.5mm를 기록하였다.

1995년 8월 23~27일 기간 중 발생한 강우는 24시간 및 48지속강우 등 장기간의 지속시간을 갖는 강우의 발생빈도가 매우 높으며, 아울러 1시간 또는 2시간의 단기지속 강우량도 비교적 큰 값을 보이고 있다.

<표 7.11> '95년 8월 23~27일 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량

단위 : mm

지속시간	예 산	서 산	성 환	정 안	홍 성	덕 산	청 양	천 안	보 령	병 천
1	49.5	54.5	64.7	56.0	85.7	82.0	56.0	50.0	69.5	34.0
2	90.5	83.8	104.6	87.0	92.5	119.0	76.0	84.0	116.0	52.0
3	108.5	103.3	115.8	107.0	155.5	138.0	109.0	107.5	162.5	57.0
4	122.5	131.9	130.9	145.0	176.9	200.0	143.0	125.5	208.5	73.0
6	142.5	151.7	147.9	162.0	188.9	211.0	200.0	136.5	260.5	105.0
12	174.0	221.4	171.1	240.0	212.9	261.0	253.0	187.0	309.5	176.0
18	214.7	254.0	184.1	293.0	255.1	288.9	333.0	204.0	382.0	208.0
24	238.3	317.1	195.3	300.0	271.7	302.8	347.0	211.5	406.5	213.0
48	403.0	435.4	368.4	362.0	493.9	525.7	467.0	379.0	570.5	296.0
총강우량	431.2	533.4	427.2	404.0	598.2	631.7	531.0	436.0	625.0	313.0

다. 강우의 시간적 분포

(1) '95년 8월 8일~8월 9일 강우

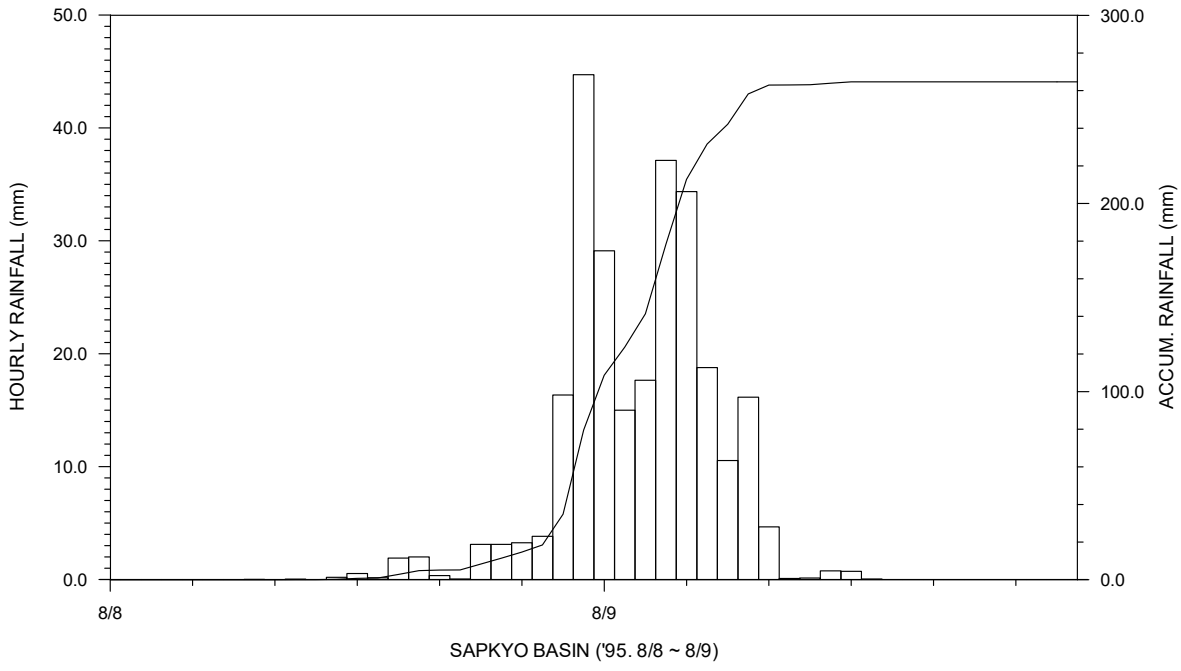
1995년 8월 8~9일의 호우기간 동안 각 관측소별 강우의 시간적 분포를 살펴보면, 강우시작은 8일 08시에서 9일 02시로 편차가 크지만 강우종료 시기는 9일 08시에서 14시로 대체로 일치하고 있다. 강우지속시간은 24시간 미만으로 비교적 짧은 기간동안 강우가 집중되었음을 알 수 있다.

이 기간 동안의 관측소별 강우량을 삽교천유역에 대해 평균한 결과 강우지속시간은 25시간이며 첨두강우가 강우발생후 13시간만에 발생한 전형적인 중앙집중형 강우형태를 보이고 있다. 또한 24시간지속 최대강우량도 263.4mm로 기존 하천정비기본계획의 삽교

천 하구를 기준으로 한 확률강우량과 비교하면 대략 50년 빈도(260.1mm)에 해당하나, 삽교천과 무한천 및 곡교천 등 유역내 주요하천에 인접한 관측소의 24시간지속 최대강우량이 300mm를 상회하고 있어 실질적으로는 하천의 계획빈도에 해당하는 100년 빈도(288.2mm)에 해당하는 강우가 발생한 것으로 봐도 무방할 것으로 판단된다.

<표 7.12> '95년 8월 8일~9일 호우기간의 관측소별 강우현황

관측소명	강우지속기간	강우규모(mm)			1시간지속 최대강우 (hr/mm)
		총강우량	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
예산	8/08/12:00~8/09/12:00(24시간)	350.2	349.7	50년이하	8/09/04:00 (72.3mm)
서산	8/08/08:00~8/09/10:00(26시간)	152.4	151.8	5년이하	8/09/05:00 (54.0mm)
성환	8/08/17:00~8/09/12:00(19시간)	240.4	240.4	20년	8/09/08:00 (91.7mm)
정안	8/08/23:00~8/09/09:00(10시간)	98.0	98.0	5년이하	8/09/03:00 (35.0mm)
홍성	8/08/23:00~8/09/14:00(15시간)	330.9	330.9	30년이하	8/08/23:00 (100.0mm)
덕산	8/08/23:00~8/09/12:00(13시간)	149.8	149.8	5년이하	8/09/06:00 (43.2mm)
청양	8/08/23:00~8/09/13:00(14시간)	47.0	47.0	5년이하	8/09/02:00 (15.0mm)
천안	8/08/16:00~8/09/09:00(17시간)	303.5	303.5	50년이하	8/09/06:00 (67.5mm)
보령	8/09/02:00~8/09/08:00(06시간)	9.0	9.0	5년이하	8/09/02:00 (3.0mm)
병천	8/08/12:00~8/09/09:00(21시간)	149.0	149.0	5년이하	8/08/24:00 (44.0mm)



<그림 7.13> '95년 8월 8일~9일 호우기간의 삽교천유역 시간별 강우현황

그러나 금회 산정한 확률강우량과 비교할 경우 이 시기에 발생한 24시간지속 최대강우량의 규모가 50년 미만에 해당하여, '94년 하천정비기본계획 수립 이후의 확률강우량은 증가 규모를 가늠할 수 있는데 이러한 결과는 '95년을 포함하여 근래들어 발생한 집중호우의 규모가 증가한 때문이다.

(2) '95년 8월 23일～8월 27일 강우

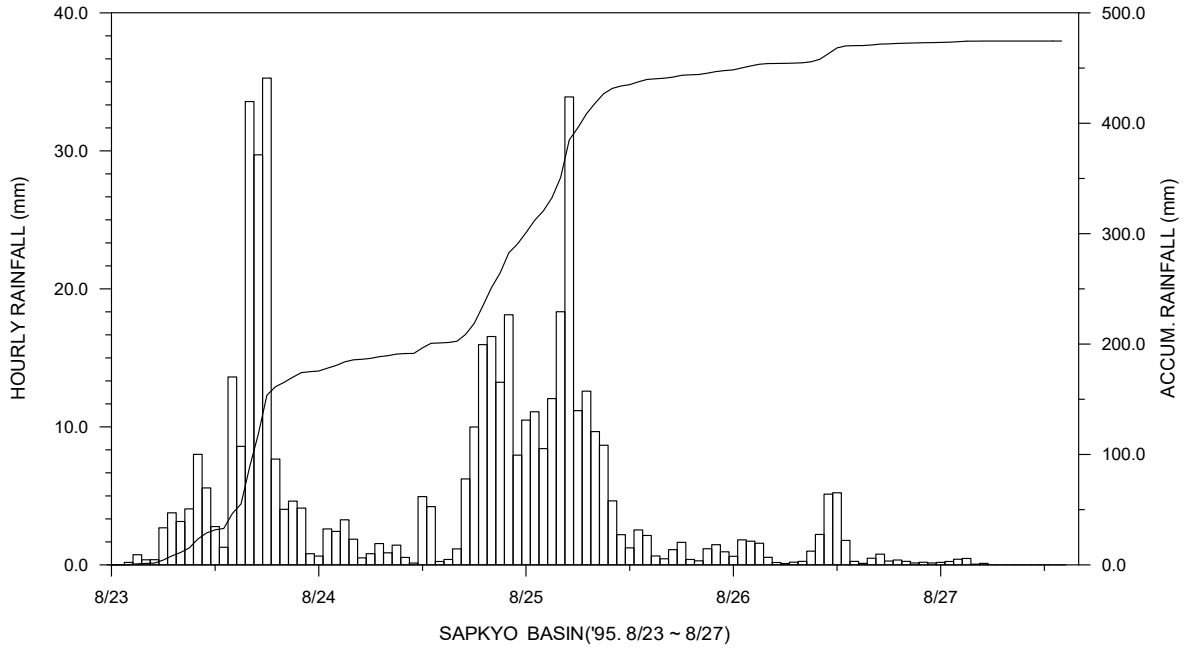
1995년 8월 23～27일 강우의 가장 큰 특징은 유역내 및 인근의 주요 관측소에서 동시에 강우가 시작하여 동시에 강우가 종료되었다는 점이다. 즉 강우량이 상대적으로 작은 값을 보이는 병천 관측소를 제외하면 8월 23일 02시에서 06시 사이에 강우가 시작되어 27일 01시에서 05시 사이에 종료되어 관측소별로 93시간에서 98시간 정도의 강우지속시간을 기록하였다.

<표 7.13> '95년 8월 23일～27일 호우기간의 관측소별 강우현황

관측소명	강우지속기간	강 우 규 모(mm)			1시간지속 최대강우 (hr/mm)
		총강우량	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
예산	8/23/05:00～8/27/03:00(94시간)	431.2	238.3	5년	8/23/20:00 (49.5mm)
서산	8/23/06:00～8/27/03:00(93시간)	533.4	317.1	30년	8/23/13:00 (54.5mm)
성환	8/23/05:00～8/27/04:00(95시간)	427.2	246.0	20년이하	8/23/22:00 (64.7mm)
정안	8/23/03:00～8/27/03:00(96시간)	404.0	300.0	80년이하	8/25/09:00 (56.0mm)
홍성	8/23/02:00～8/27/01:00(95시간)	598.2	271.7	10년이하	8/23/22:00 (85.7mm)
덕산	8/23/02:00～8/27/04:00(98시간)	631.7	302.8	20년	8/23/21:00 (82.0mm)
청양	8/23/03:00～8/27/03:00(96시간)	531.0	347.0	200년이하	8/23/22:00 (56.0mm)
천안	8/23/03:00～8/27/05:00(98시간)	436.0	211.5	10년이하	8/25/09:00 (50.0mm)
보령	8/23/05:00～8/27/02:00(93시간)	625.0	406.5	200년이하	8/25/12:00 (69.5mm)
병천	8/23/07:00～8/26/02:00(67시간)	313.0	230.0	20년	8/19/20:00 (45.0mm)

이 기간 동안의 강우는 크기가 유사한 2개의 강우사상으로 구분할 수 있는데 8월 23일 강우가 시작되어 같은 날 오후에 첨두값을 보이며 이후 24일 오전에 소강상태를 보인 후 오후부터 다시 활성화되어 25일 오전에 첨두값을 보이고 오후부터 강우가 급격히 감소하였다. 따라서 각 관측소별 1시간지속 최대강우량은 23일 오후와 25일 오전에 발생하였으며, 실질적으로 이 기간동안의 강우는 23일 0시부터 24일 0시까지와 24일 12시부터 25일 11시까지 각 24시간의 지속시간을 갖는 2개의 강우사상이 발생한 것과 유사한

형태라고 볼 수 있다. 이렇게 규모가 유사한 2개의 강우사상이 약 12시간의 간격으로 발생함으로 인해 24시간지속 최대강우량은 20년 미만의 발생빈도를 보이지만 48시간지속 최대강우량은 200년 이상의 발생빈도에 해당하는 것으로 분석되었다.

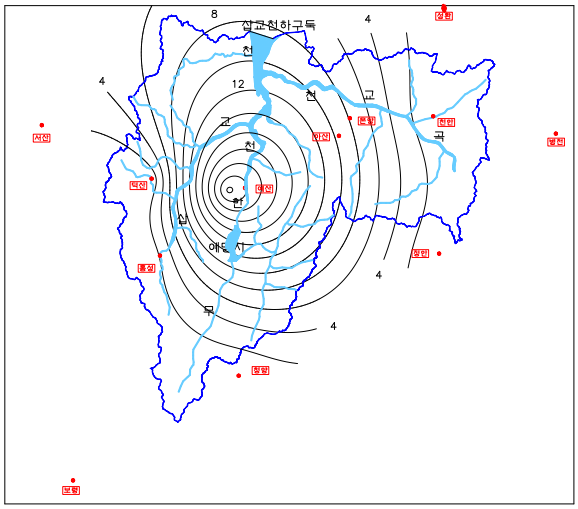


<그림 7.14> '95년 8월 23일～27일 호우기간의 삽교천유역 시간별 강우현황

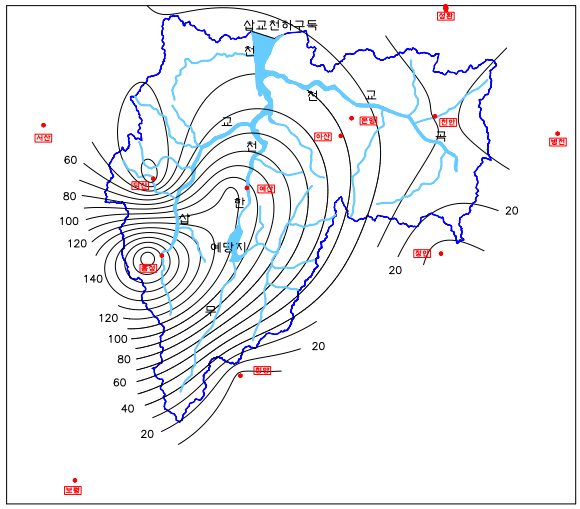
라. 강우의 공간적 분포

(1) '95년 강우 8월 8일～8월 9일 강우

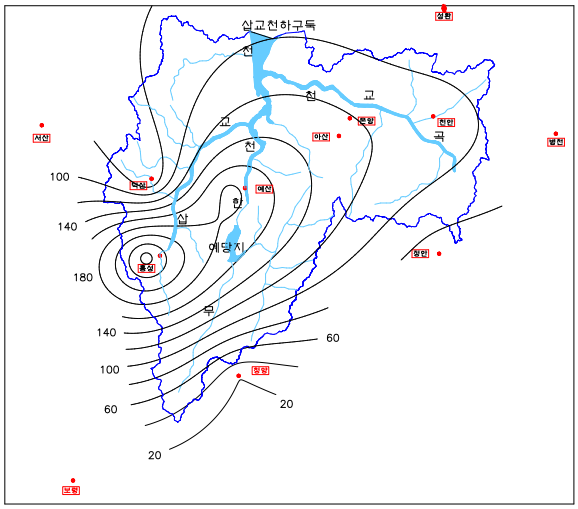
1995년 8월 8～9일에 발생한 강우는 유역의 중심에서 시작하여 점차 주변지역으로 확대되는 양상을 보이고 있는데 특히 삽교천 상류인 홍성 관측소, 무한천의 예당지 직하류의 예산 관측소, 곡교천의 상류인 천안 관측소의 24시간지속 최대강우량이 300mm 이상을 보이고 있다. 따라서 삽교천 수계 주요하천의 홍수량에 직접적인 영향을 미쳐 첨두홍수량이 빠르고 크게 나타났을 것으로 추정된다.



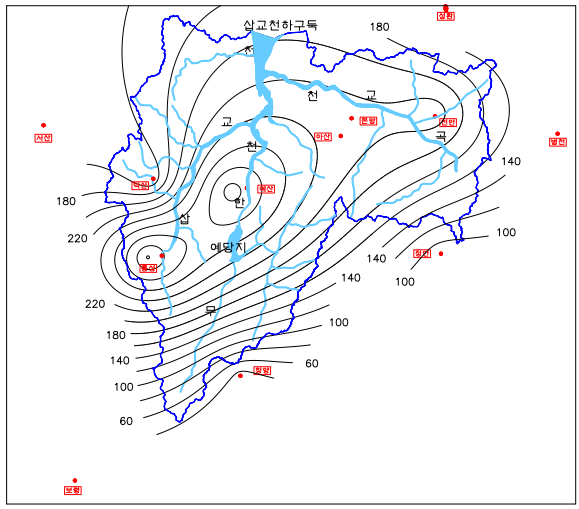
8월 8일 21:00



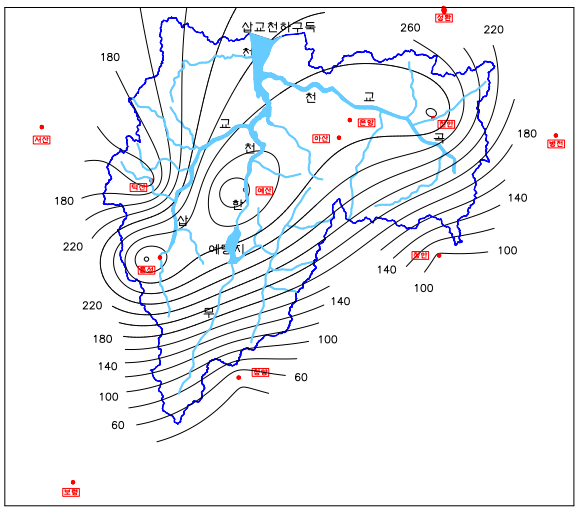
8월 9일 00:00



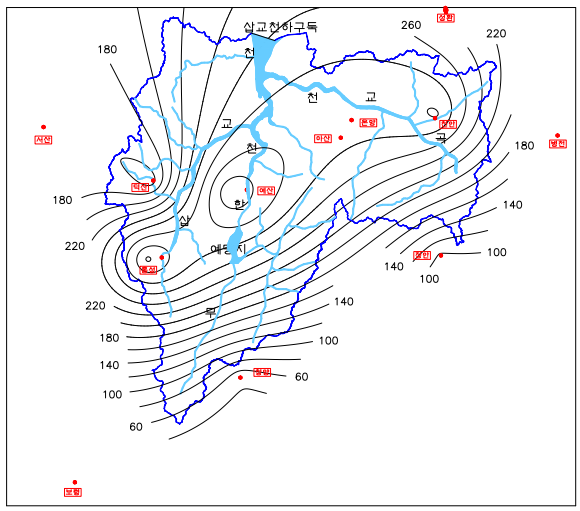
8월 9일 03:00



8월 9일 06:00



8월 9일 09:00

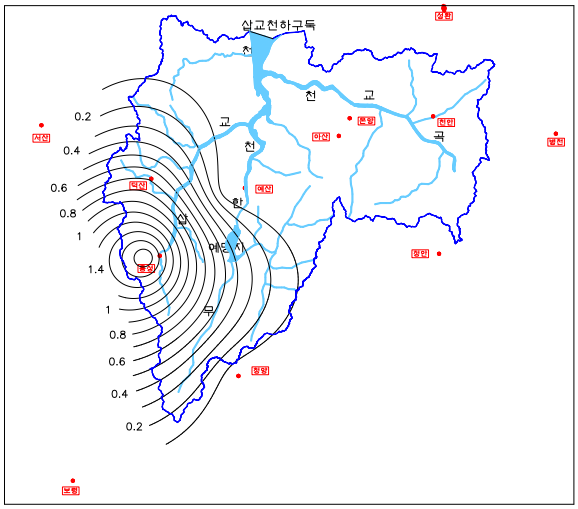


8월 9일 12:00

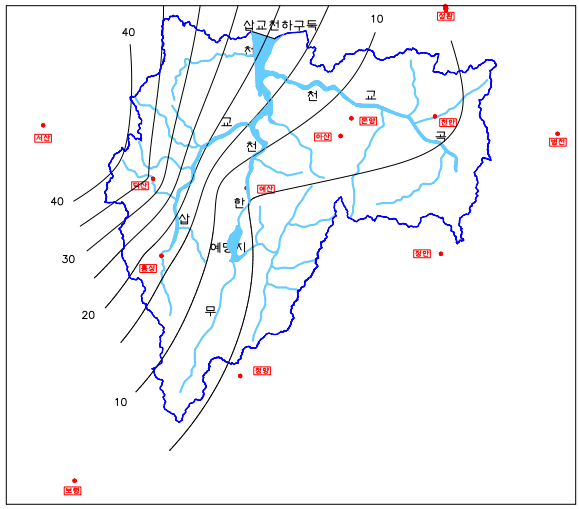
<그림 7.15> '95년 8월 8일~9일 호우기간의 누가강우 등우선도

(2) '95년 8월 23일~8월 27일 강우

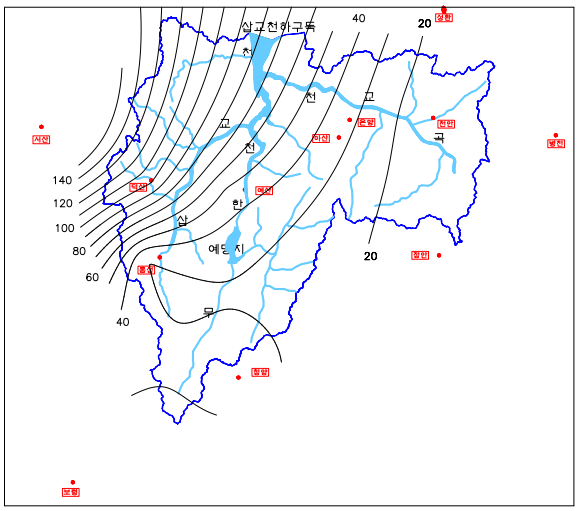
태풍 '제니스'의 영향으로 발생한 8월 23~25일 사이의 호우는 초기에 서산지역을 중심으로 강우가 시작되어 북서에서 남동방향으로 이동하면서 삽교천의 중상류에 위치한 덕산 관측소 지점에 가장 많은 강우가 발생하였다. 25일 오후부터는 동서방향으로 등우선이 형성되어 곡교천 유역 보다는 삽교천과 무한천 유역의 강우가 상대적으로 크게 나타났으나, 유역의 중심인 무한천 중류에 위치한 예산 관측소의 강우량은 무한천 상류유역에 비해 작은 값을 보이고 있다.



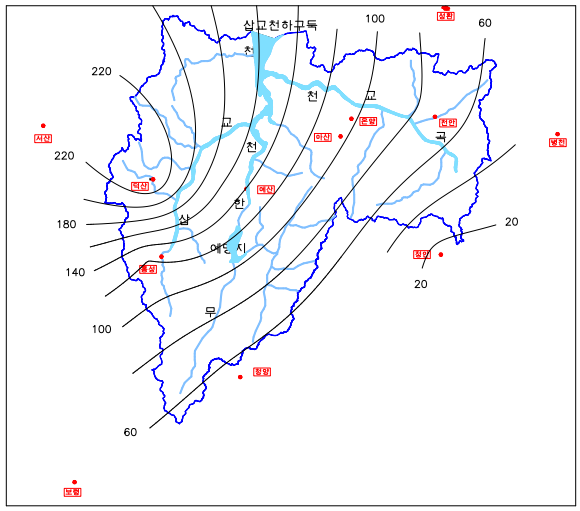
8월 23일 06:00



8월 23일 12:00

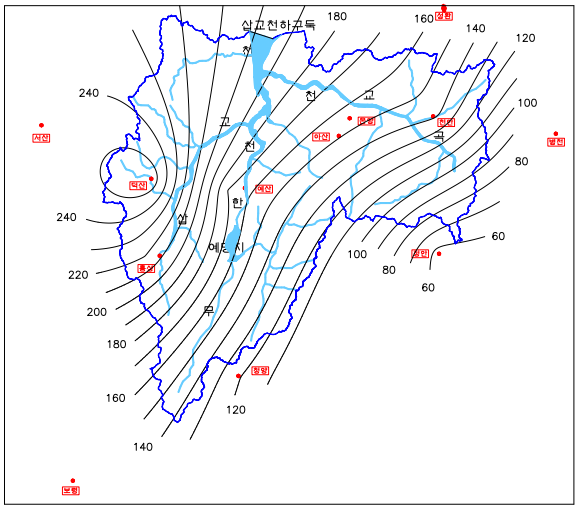


8월 23일 18:00

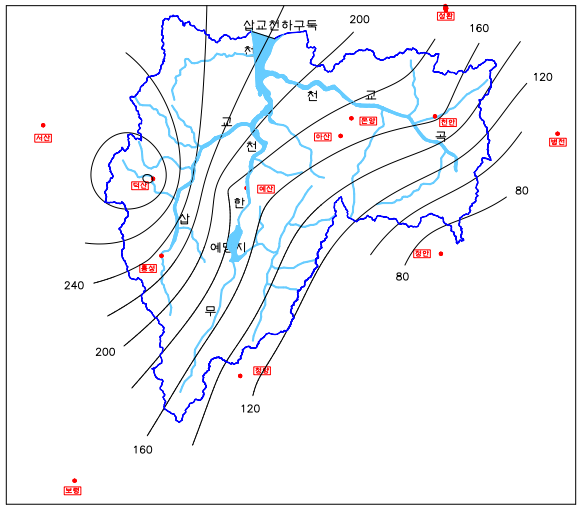


8월 23일 21:00

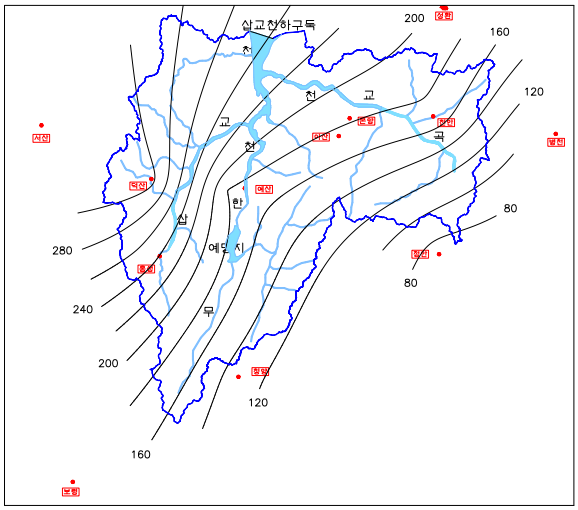
<그림 7.16> '95년 8월 23일~27일 호우기간의 누가강우 등우선도



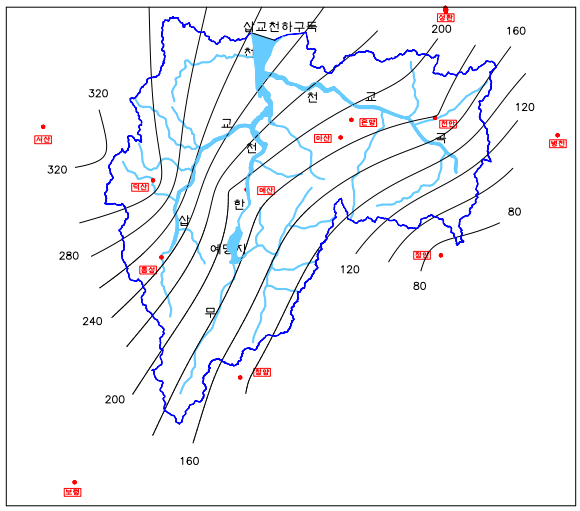
8월 24일 00:00



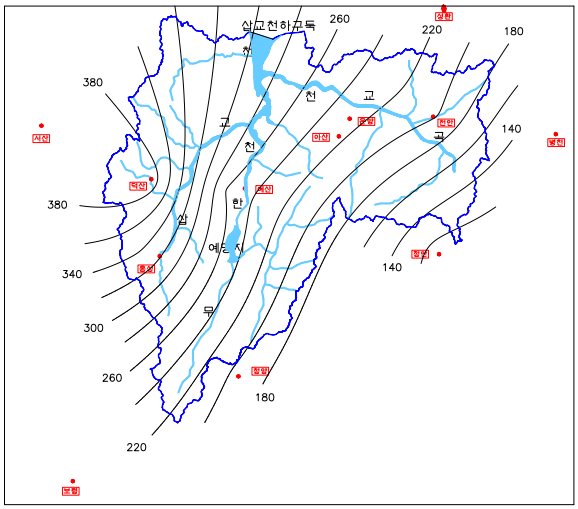
8월 24일 06:00



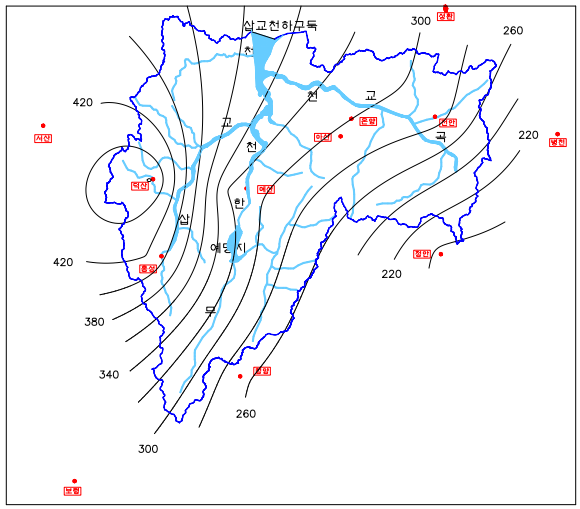
8월 24일 12:00



8월 24일 18:00

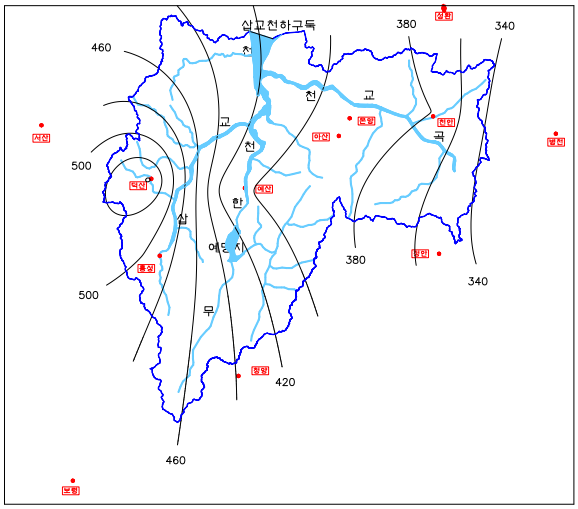


8월 25일 00:00

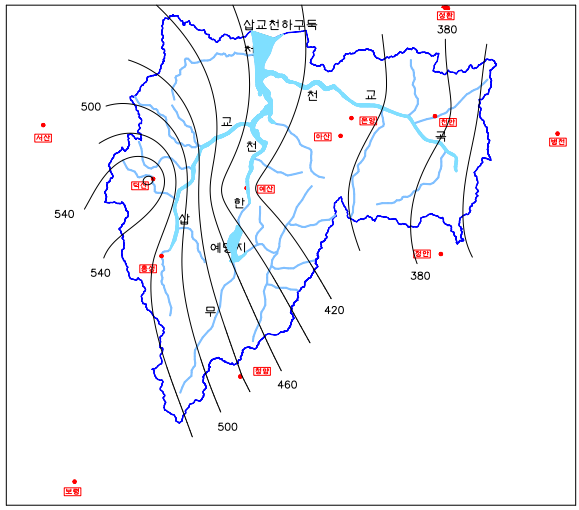


8월 25일 06:00

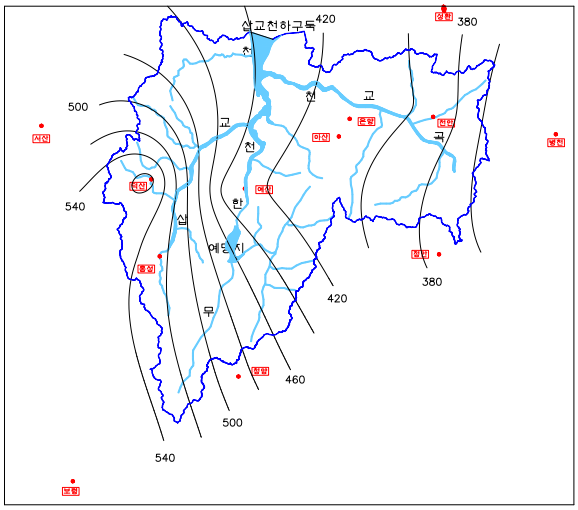
<그림 7.16> '95년 8월 23일~27일 호우기간의 누가강우 등우선도 (계속)



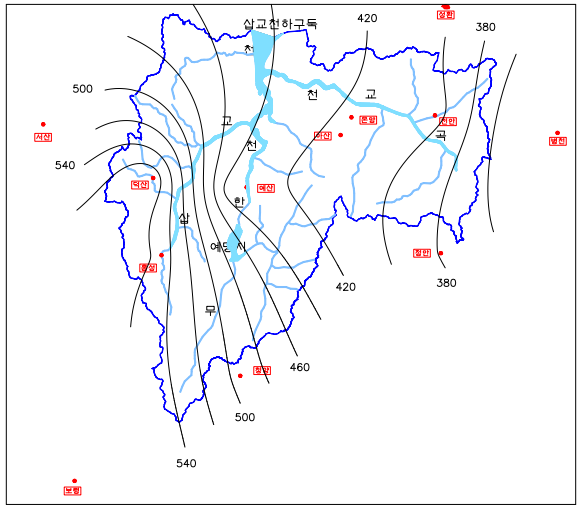
8월 25일 12:00



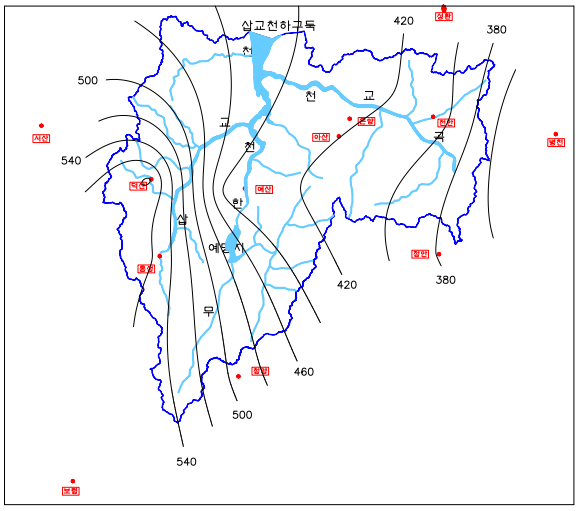
8월 25일 18:00



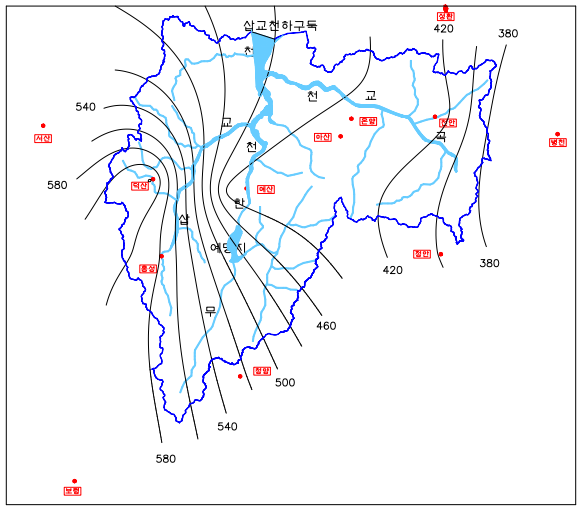
8월 26일 00:00



8월 26일 06:00



8월 26일 12:00



8월 26일 18:00

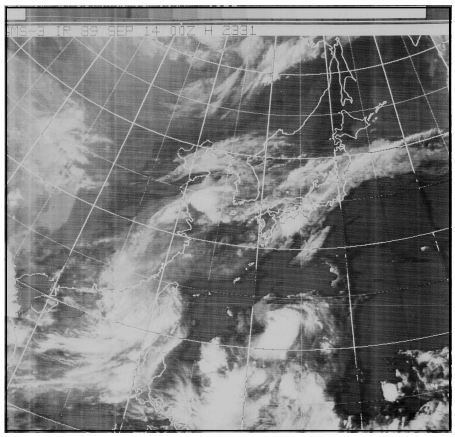
<그림 7.16> '95년 8월 23일~27일 호우기간의 누가강우 등우선도 (계속)

7.2.5 1989년 9월 호우

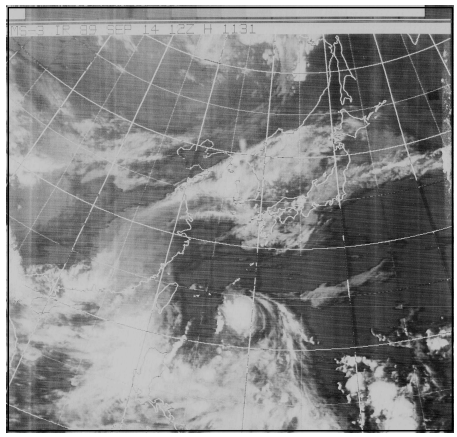
가. 기상개황

1989년 여름은 8월의 강우가 평년에 비해 적은 편이나 9월 들어 강우가 자주 발생하여 평년에 비해 20~210mm정도 많은 비가 내렸다. 특히 9월 8~9일경 일본 오끼나와 남쪽해상에 중심을 둔 제 19호 태풍 '사라(SARAH)'로부터 남북으로 형성된 기압골이 점차 발달하면서 우리나라를 통과하여 대전, 금산 등 충남북 지역과 제주도 지역에 110~220mm 정도의 강우가 발생하였고, 14~15일경에도 양자강 하구에 위치한 저기압으로부터 북쪽으로 뻗친 기압골이 발달하여 울릉도 및 영동지역 일부를 제외하고는 전국적으로 많은 비가 내렸다. 17~18일경에는 기압골의 영향으로 속초, 대관령 등 영동지방과 인천, 서산, 군산, 목포 등 서해안과 여수, 충무, 마산, 부산 등 남부지역에 강한 바람을 동반한 호우가 발생하였다.

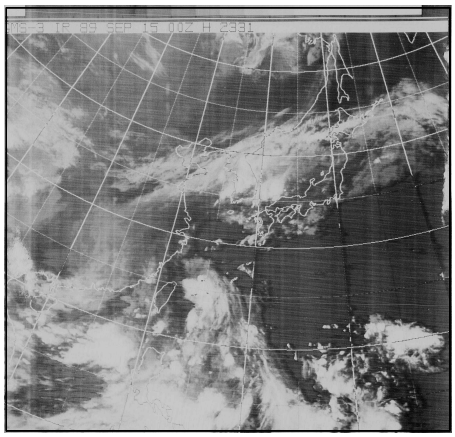
삽교천 유역에는 9월 14~15일과 17~18일에 강우가 발생하였는데 강우규모로 볼 때 피해는 주로 14~15일의 호우에 의해 발생한 것으로 추정된다. 이 기간 중 한반도 및 동아시아 지역의 구름 이동모습은 <그림 7.17>과 같다.



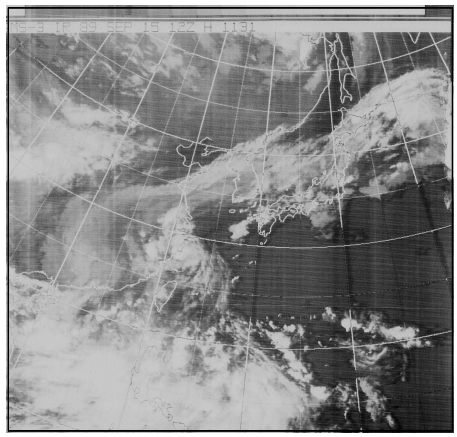
9월14일 00:00시



9월14일 12:00시



9월15일 00:00시



9월15일 12:00시

<그림 7.17> '89년 9월 호우기간의 기상위성사진

나. 지속시간별 최대강우

1989년 9월 14일~17일간의 집중호우로 삽교천 유역의 연평균 강우량 1,178.98mm의 10.3%~18.9%에 해당하는 120.9~222.7mm의 강우가 발생한 것으로 나타났다.

이 기간 동안의 24시간 및 48시간지속 최대강우는 보령관측소에서 각각 181.1mm, 188.5mm로 최대값을 기록하였으며, 대부분의 강우가 24시간 이내에 발생하였다. 관측소별로 24시간지속 최대강우량은 보령 관측소에서 181.1mm로 가장 높게 나타났으며, 예산 관측소에서 173.7mm, 천안 관측소에서 173.0mm의 순으로 나타났고, 48시간지속 최대강우량은 보령 관측소 다음으로 예산 관측소에서 176.4mm, 천안 관측소 175.0mm, 정안 관측소 171.5mm를 기록하였다. 1시간지속 최대강우량은 관측소별로 10.0~21.4mm로 전반적으로 적게 발생하였는데 예산, 홍성, 보령 등의 관측소에서 20mm내외를 기록하였으며, 성환 및 병천 관측소에서는 10mm정도를 기록하였다.

'89년 9월 강우의 각 관측소별·지속기간별 강우 특징을 살펴보면 대체로 강우규모는 5년빈도 이하로 낮은 것으로 나타났으며, 지역적인 편차도 크지 않는 것으로 나타났다. 각 관측소별 지속시간별 강우현황은 <표 7.14>와 같다.

<표 7.14> '89년 9월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량

단위 : mm

지속시간	예 산	서 산	성 환	정 안	홍 성	천 안	보 령	병 천
1	21.4	12.9	10.4	15.5	18.2	16.5	19.1	10.0
2	31.0	24.2	20.2	25.7	33.9	31.0	33.0	19.9
3	37.8	33.2	28.3	35.2	38.1	39.5	38.5	26.6
4	45.0	40.7	37.1	42.1	42.4	47.0	42.0	33.5
6	63.8	55.4	53.1	56.9	55.6	66.0	68.6	45.4
12	99.0	89.8	73.6	85.7	107.1	91.0	95.0	58.8
18	129.5	122.4	109.1	130.3	131.9	133.5	134.1	89.0
24	173.7	152.5	143.7	166.9	163.8	173.0	181.1	112.8
48	176.4	155.5	145.6	171.5	167.4	175.0	188.5	118.1
총강우량	194.1	178.7	169.7	195.0	182.3	189.0	222.7	120.9

다. 강우의 시간적 분포

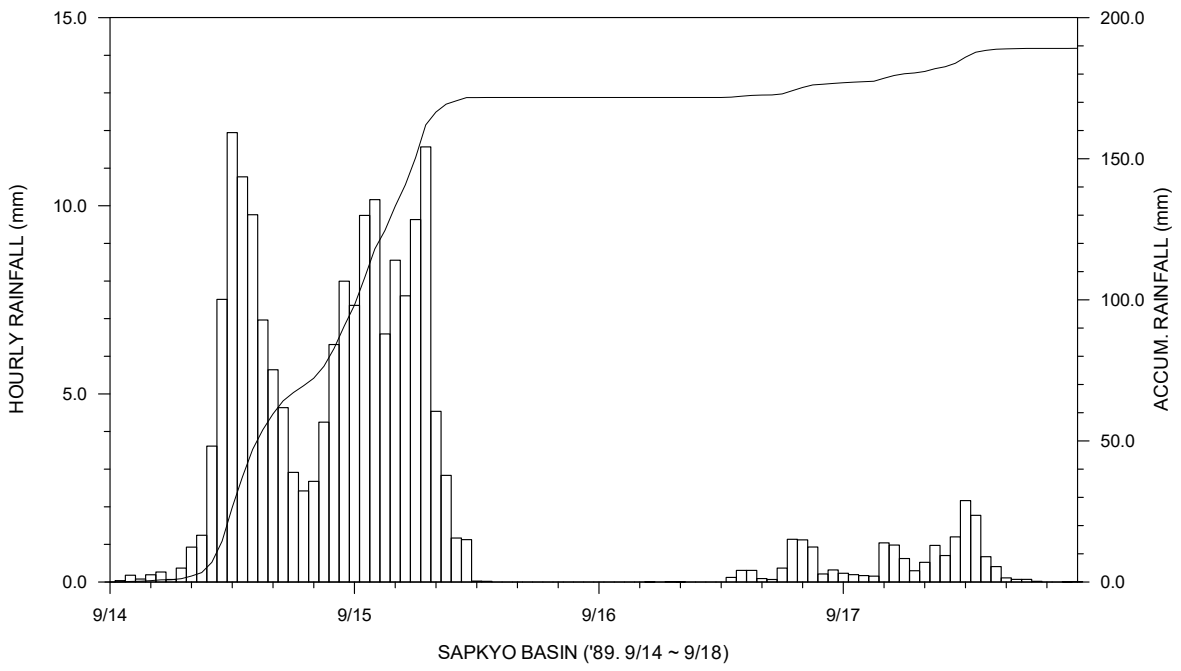
1995년 9월 호우시 각 관측소별 강우의 시간적 분포를 살펴보면, 14일 오전에 강우가 시작하여 15일 12시경에 종료되고 이후 24시간 정도가 지난 16일 오후에 다시 강우가 발생하여 17일 오후 종료되었다. 이 기간동안의 강우는 14~15일과 16~17일의 2개 사상으로 구분할 수 있지만 16~17일의 강우량은 14~15일의 강우에 비해 10% 정도의 미미

한 수준이었으므로 삽교천 유역에 피해를 유발한 강우사상은 14~15일에 발생한 단일호우로 봐도 무방할 것이다.

이 기간동안의 1시간지속 최대강우량은 정안, 천안, 병천 등 유역의 동쪽에 위치한 관측소에서 14일 오후에 발생한 반면, 유역의 서쪽에 위치한 서산, 예산, 홍성 관측소에서는 15일 오전에 발생하는 등 발생시간이 양극화된 특징을 보이고 있다. 이러한 이유로 삽교천유역 평균강우량도 14~15일간 약 33시간 지속되면서 첨두강우가 강우초반과 후반에 각각 발생하는 양상을 보이고 있다.

<표 7.15> '89년 9월 호우기간의 관측소별 강우현황

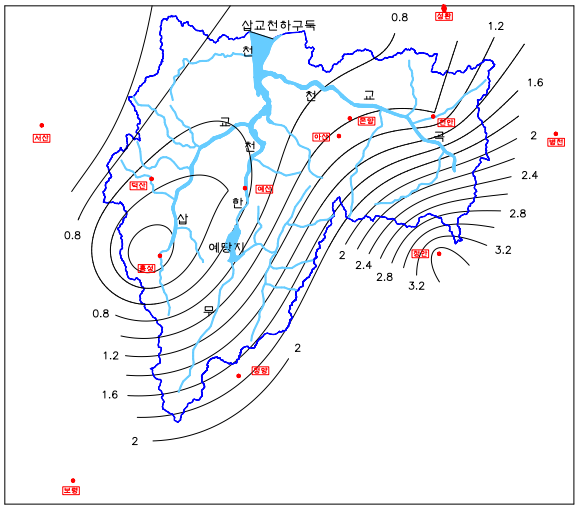
관측소명	강우지속기간	강 우 규 모(mm)			1시간지속 최대강우 (hr/mm)
		총강우량	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
예 산	9/14/06:00~9/17/16:00(83시간)	194.1	173.7	5년이하	9/15/08:00 (21.4mm)
서 산	9/14/05:00~9/17/24:00(92시간)	178.7	152.5	5년이하	9/15/02:00 (12.9mm)
성 환	9/14/03:00~9/17/14:00(84시간)	169.7	143.7	5년이하	9/15/03:00 (10.4mm)
정 안	9/14/02:00~9/17/20:00(91시간)	195.0	166.9	5년이하	9/14/13:00 (15.5mm)
홍 성	9/14/08:00~9/17/11:00(76시간)	182.3	163.8	5년이하	9/15/05:00 (18.2mm)
천 안	9/14/03:00~9/17/13:00(83시간)	189.0	173.0	5년이하	9/14/13:00 (16.5mm)
보 령	9/14/02:00~9/17/14:00(85시간)	222.7	181.1	5년이하	9/14/15:00 (19.1mm)
병 천	9/14/03:00~9/17/12:00(82시간)	120.9	112.8	5년이하	9/14/14:00 (10.0mm)



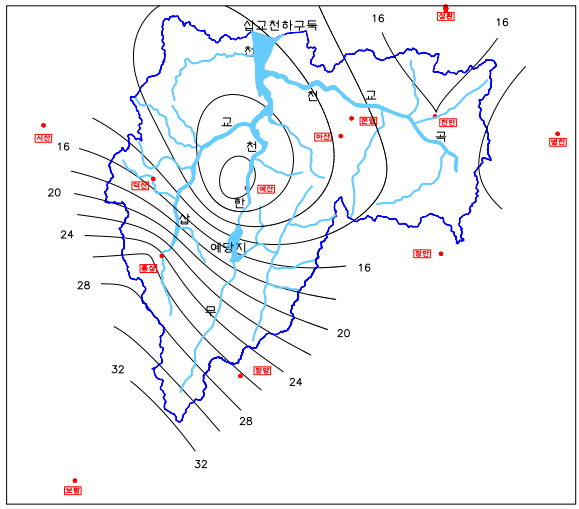
<그림 7.18> '89년 9월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황

라. 강우의 공간적 분포

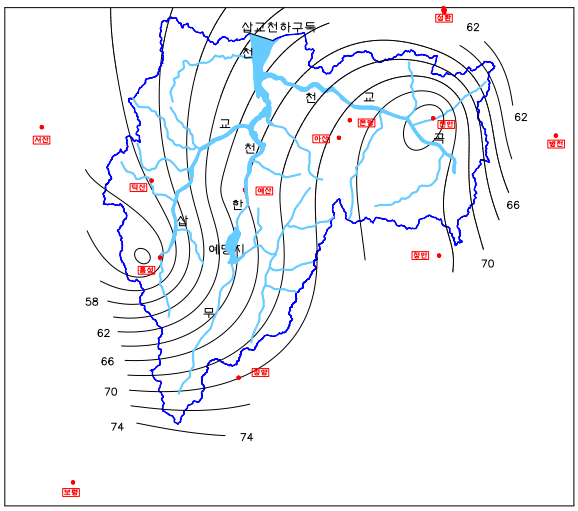
1989년 9월 14일~18일 기간중 발생한 강우는 크게 14~15일, 17~18일의 2개 사상으로 나눌 수 있는데, 삽교천 유역에 주요 피해를 발생시킨 강우는 14~15일에 발생한 것으로 볼 수 있다. 이때의 등우선은 유역의 남에서 북방향으로 형성되어 무한천 상류와 지류인 신양천, 화산천 유역의 강우가 큰 특징을 보여주고 있다.



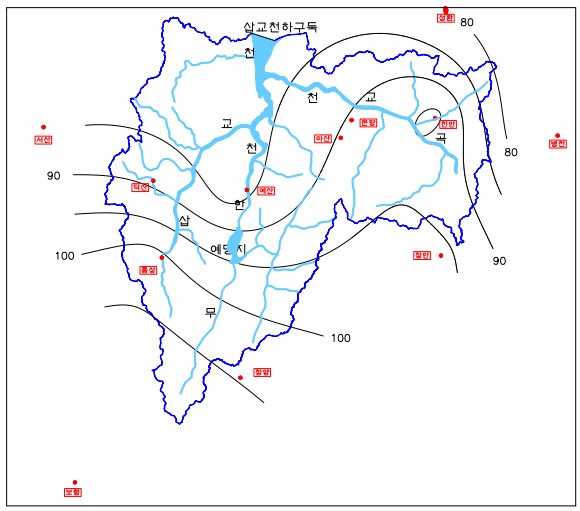
9월 14일 06:00



9월 14일 12:00

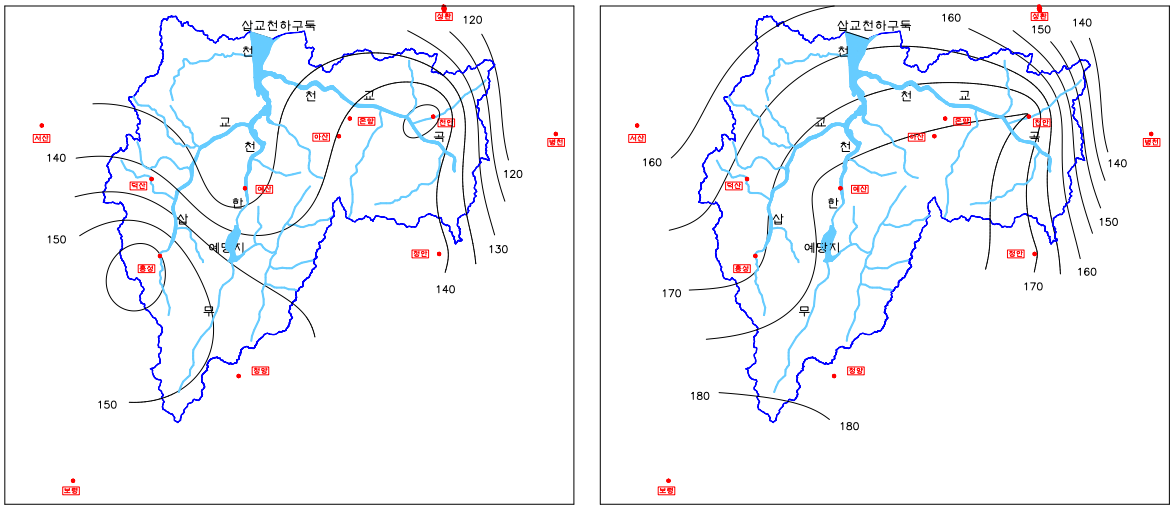


9월 14일 18:00



9월 15일 00:00

<그림 7.19> '89년 9월 호우기간의 누가강우 등우선도



9월 15일 06:00　　9월 15일 12:00

<그림 7.19> '89년 9월 호우기간의 누가강우 등우선도(계속)

7.2.6 1987년 7·8월 호우

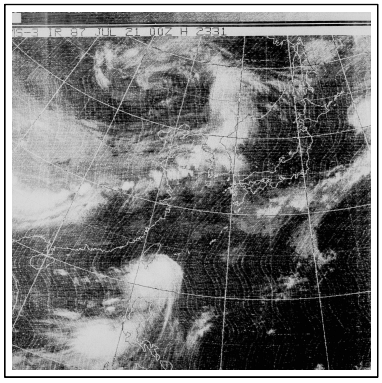
가. 기상개황

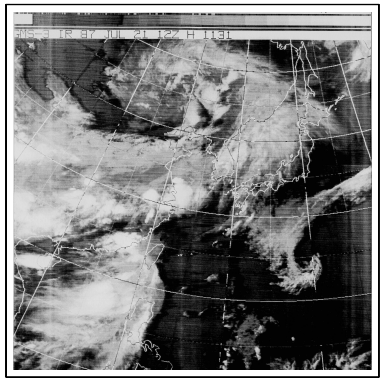
1987년은 우리나라 홍수피해사상 가장 큰 피해가 발생한 해로서, 특히 제5호 태풍 셀마의 내습에 따른 피해가 컸다. 7월 초순경까지 장마전선은 남해안에 머물러 있어 평년보다 강우가 적었으나, 7월 9일경 괌도 부근에서 발생한 제5호 태풍 '셀마'가 7월 15일경 우리나라에 남해안에 상륙하여 경상남도 일대를 비롯하여 전국적으로 많은 피해를 발생시켰다. 7월의 월평균 강우량은 예년의 월강우량에 비해 전국적으로 100~400mm 정도 많았던 것으로 조사되었다.

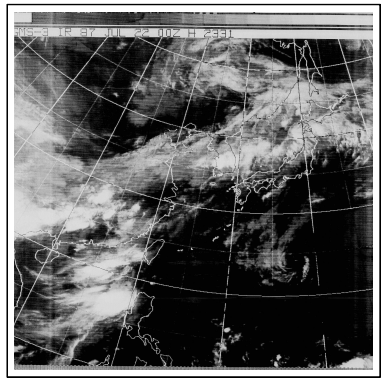
7월 21~23일경에는 기압골의 영향으로 서울·경기, 강원 영서지방에 형성된 비구름대가 남하하면서 장마전선과 합세하여 강한 비구름대를 형성하고, 서해에서 건너온 고온다습한 공기와 만나 집중호우를 발생시켜 서천 673.2mm, 부여 604.9mm, 논산 448.0mm 등 충청남도 일대의 기상관측 이래 최대의 집중호우가 발생하였다.

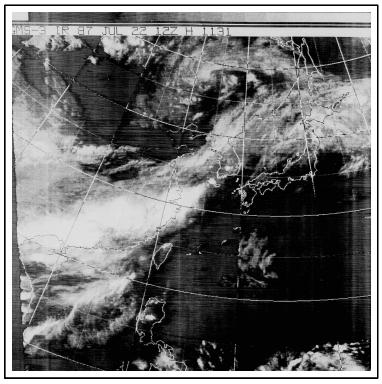
8월에는 북태평양 고기압이 발달하지 못하여 남쪽의 온난 기류와 북쪽의 찬기류 경계지역에 위치하여 강우전선이 자주 발생하였으며, 8월 30일경 제12호 태풍 '다이너(DINAH)'가 제주남쪽 해상으로 북상함으로 남해안 및 동해안 지역에 많은 비를 내렸다.

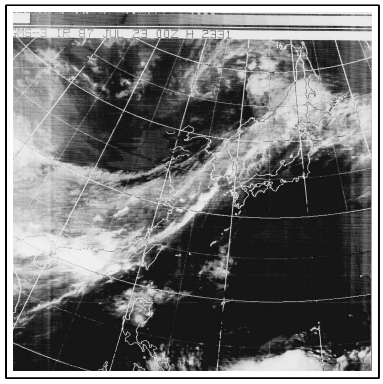
삽교천 유역은 태풍 셀마의 영향은 크게 받지 않았으나, 7월 21~23일 발생한 집중호우로 인해 많은 피해가 발생하였으며, 8월 28일경에 홍성 302.6mm, 청양 328.5mm, 보령 350mm 등 지역에 집중호우로 인해 다시 피해가 발생하였다.

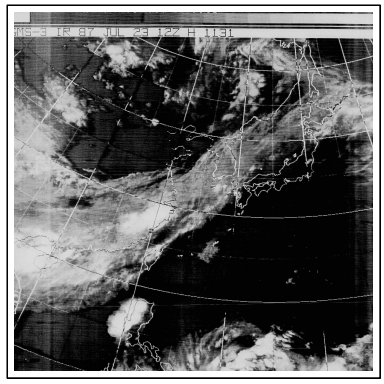

7월21일 00:00시


7월21일 12:00시


7월22일 00:00시


7월22일 12:00시


7월23일 00:00시


7월23일 12:00시

<그림 7.20> '87년 7월 호우기간의 기상위성사진

나. 지속시간별 최대강우

(1) '87년 7월 21일~7월 23일 강우

1987년 7월 21일부터 23일까지 발생한 집중호우로 각 관측소별로 삽교천 유역의 연평균 강우량인 1,178.9mm의 10.1%~25.3%에 해당의 118.5~298.4mm의 강우량을 기록하였다.

이 기간 동안 24시간, 48시간지속 최대강우량은 보령 관측소에서 267.2mm, 298.3mm로 최대값을 기록하였으며, 대부분의 관측소에서 24시간지속 최대강우량을 기준으로 10년 내외 빈도의 강우가 발생하였다. 관측소별로는 보령 관측소 다음으로 천안 관측소에서 205.5mm, 청양 관측소에서 181.4mm를 기록하였고, 48시간지속 최대강우량 역시 보령 관측소 다음으로 정안 관측소에서 272.5mm, 천안 관측소 260.0mm, 병천 관측소 256.0mm 순으로 나타났다. 1시간지속 최대강우량은 14.8~36.0mm로 비교적 관측소별로 편차가 크게 발생하였는데, 관측소별로는 보령관측소가 36.0mm로 가장 크고 서산 관측소가 14.8mm로 가장 작은 값을 보이고 있다.

<표 7.16> '87년 7월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량

단위 : mm

지속시간	예 산	서 산	성 환	정 안	덕 산	청 양	천 안	보 령	병 천
1	35.8	14.8	30.0	20.5	24.0	21.0	31.5	36.0	31.5
2	48.6	27.7	40.5	34.0	40.0	36.0	53.5	57.0	38.5
3	65.8	40.6	49.5	44.5	47.0	50.0	79.5	72.0	46.5
4	68.8	41.2	55.5	51.5	49.0	57.7	85.5	86.0	52.0
6	85.8	46.7	63.0	72.5	55.0	82.0	104.5	120.5	82.5
12	134.8	70.0	98.5	121.5	96.0	134.6	146.5	183.0	139.0
18	164.8	73.5	128.0	153.5	135.5	171.8	182.0	260.5	169.0
24	179.8	84.4	143.0	178.0	172.0	181.4	205.5	267.1	180.5
48	218.2	118.5	187.0	272.5	239.8	250.9	260.0	298.3	256.0
총강우량	218.2	118.5	187.0	272.5	239.8	251.3	260.0	298.4	257.0

(2) '87년 8월 27일~8월 31일 강우

1987년 8월 27일~31일에 발생한 집중호우는 관측소별로 147.5~340.9mm의 강우량을 기록하였다. 지속시간별로는 24시간, 48시간지속 최대값이 보령관측소에서 203.5mm, 297.0mm로 가장 컸으며, 다음으로는 24시간지속 최대의 경우 서산 관측소 158.8mm, 천안 관측소 146.5 mm의 순서이고, 48시간지속 최대는 덕산 관측소에서 228.6mm, 예산 관측소 221.0mm, 정안 관측소 210.5mm 순으로 나타났다.

<표 7.17> '87년 8월 호우기간의 관측소별 지속시간별 최대강우량

단위 : mm

지속시간	예 산	서 산	성 환	정 안	덕 산	청 양	천 안	보 령	병 천
1	35.0	26.0	20.0	35.0	25.0	38.5	40.5	48.0	24.0
2	66.2	47.0	30.0	65.0	45.0	50.0	70.5	85.0	39.5
3	79.2	57.7	40.0	84.5	60.0	52.8	85.0	130.0	46.5
4	91.2	67.8	55.0	97.5	63.3	55.0	92.0	165.0	56.5
6	96.2	81.7	73.5	108.5	77.5	73.9	101.0	176.7	65.5
12	110.0	97.0	88.0	133.5	108.0	82.5	126.5	198.1	76.5
18	114.0	123.6	92.5	138.0	115.4	92.5	132.0	200.4	92.0
24	119.2	158.8	101.5	143.5	140.0	100.5	146.5	203.5	96.0
48	221.0	208.8	144.0	210.5	228.6	173.3	235.0	297.0	173.0
총강우량	231.3	213.7	147.5	258.0	247.8	218.9	265.5	340.9	185.0

1시간지속 최대강우량도 보령관측소에서 48.0mm로 최대값을 기록하였는데 이 기간동안 발생한 지속시간별 최대값이 모두 보령관측소에서 기록될 만큼 보령관측소의 강우량이 다른 관측소에서 기록된 강우량에 비해 상대적으로 크게 나타났다.

각 관측소별·지속시간별로 발생빈도는 대체로 5년 이하로 나타났는데 지속시간별로 발생빈도의 규모가 고른 것이 특징이다.

다. 강우의 시간적 분포

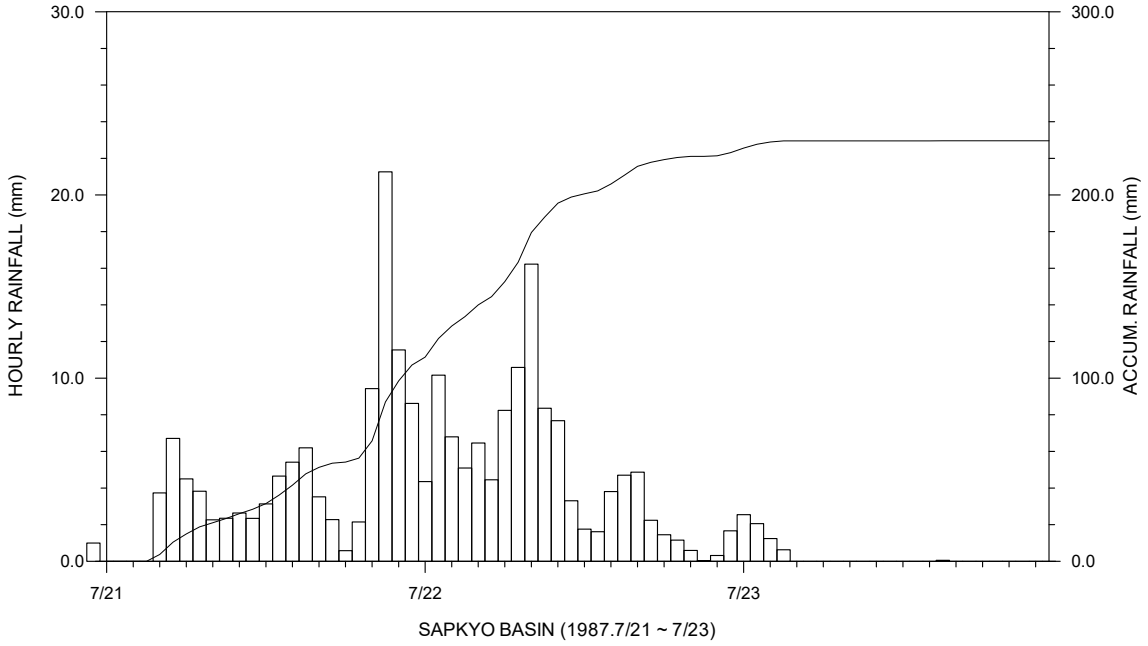
(1) '87년 7월 21일~7월 23일 강우

1987년 7월 21일~23일간 발생한 호우는 각 관측소에서 거의 동시에 시작하여 동시에 종료되고 첨두강우도 주로 22일 08시를 전후로 발생하는 등 지역적인 차이 없이 강우동시성이 큰 특징을 보이고 있다. 따라서 각 관측소별 강우지속시간도 45~47시간 범위로 비슷하며 강우의 양적인 규모도 해안가에 위치한 서산과 보령 관측소를 제외하면 대체로 고른값을 보이고 있다.

삽교천 유역 평균으로는 47시간 동안 총 227.3mm의 강우가 발생하였는데 시간대별 강우량이 비교적 고르게 분포되어 누가강우량의 변화가 일정한 모습을 보이고 있다.

<표 7.18> '87년 7월 호우기간의 관측소별 강우현황

관측소명	강우지속기간	강우규모(mm)			1시간 지속 최대강우 (hr/mm)
		총강우량	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
예 산	7/21/06:00~7/23/03:00(46시간)	218.2	179.8	5년이하	7/21/22:00 (35.8mm)
서 산	7/21/05:00~7/23/01:00(45시간)	118.5	84.4	5년이하	7/21/05:00 (14.8mm)
성 환	7/21/07:00~7/23/03:00(45시간)	187.0	143.0	5년이하	7/22/08:00 (30.0mm)
정 안	7/21/06:00~7/23/04:00(47시간)	272.5	178.0	5년이하	7/22/08:00 (20.5mm)
덕 산	7/21/05:00~7/23/02:00(46시간)	239.8	172.0	5년이하	7/22/07:00 (24.0mm)
청 양	7/21/06:00~7/23/04:00(47시간)	250.9	181.4	5년이하	7/22/09:00 (21.0mm)
천 안	7/21/05:00~7/23/02:00(46시간)	260.0	205.5	5년이하	7/21/21:00 (31.5mm)
보 령	7/21/06:00~7/23/02:00(45시간)	298.3	267.1	15년이하	7/22/08:00 (36.0mm)
병 천	7/21/06:00~7/23/04:00(47시간)	256.0	180.5	5년	7/22/04:00 (31.5mm)



<그림 7.21> '87년 7월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황

(2) '87년 8월 27일～8월 30일 강우

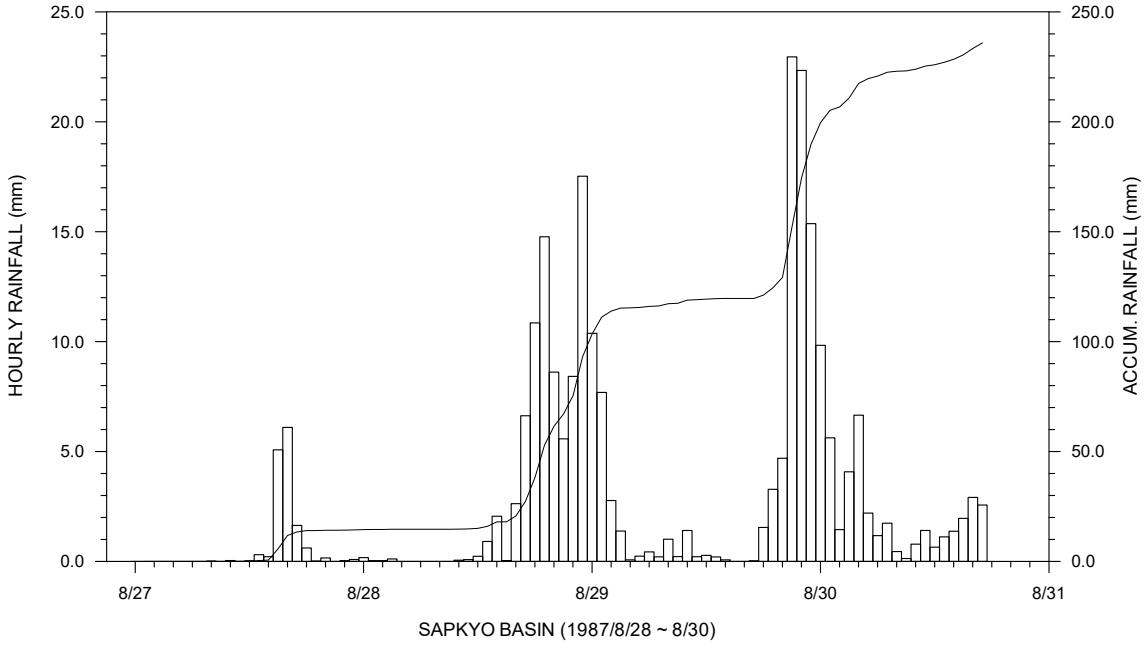
1987년 8월 27일～30일간 발생한 강우는 강우 시작과 종료가 모든 관측소에서 거의 동시에 일어났는데 특히 강우종료는 대부분의 관측소에서 30일 17시에 이루어진 것으로 나타났다. 이 기간 동안의 강우는 28일 오후와 30일에 발생한 2개의 사상으로 구분되며 관측소별 첨두강우는 강우의 후반부인 29일 이후에 발생하였다. 관측소별로 강우지속시간은 대략 65～70시간이며 삽교천 유역 평균으로는 24시간지속 최대강우량이 총 강우량의 약 48%에 불과한 반면 48시간지속 최대강우량은 총 강우량의 약 88%에 달해 지속시간이 24시간이고 총 강우량이 100mm를 약간 상회하는 강우사상 2개가 연속된 것과 같은 형태를 보이고 있다.

<표 7.19> '87년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황

관측소명	강우지속기간	강 우 규 모(mm)			1시간지속 최대강우 (hr/mm)
		총강우량	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
예 산	8/28/01:00～8/30/16:00(64시간)	231.3	128.2	5년이하	8/30/08:00 (35.0mm)
서 산	8/27/20:00～8/30/17:00(68시간)	213.7	158.8	5년이하	8/29/09:00 (26.0mm)
성 환	8/27/18:00～8/30/17:00(72시간)	147.5	108.5	5년이하	8/30/08:00 (20.0mm)
정 안	8/27/23:00～8/30/17:00(67시간)	258.0	143.5	5년이하	8/29/04:00 (35.0mm)

<표 7.19> '87년 8월 호우기간의 관측소별 강우현황 (계속)

관측소명	강우지속기간	강 우 규 모(mm)			1시간지속 최대강우 (hr/mm)
		총강우량	24시간 연속강우		
			강우량	빈 도	
덕 산	8/28/01:00~8/30/17:00(65시간)	247.8	140.0	5년이하	8/29/10:00 (25.0mm)
청 양	8/27/23:00~8/30/17:00(67시간)	218.9	108.7	5년이하	8/30/09:00 (38.5mm)
천 안	8/27/24:00~8/30/17:00(89시간)	265.5	149.5	5년이하	8/30/07:00 (40.5mm)
보 령	8/27/21:00~8/30/17:00(68시간)	340.9	203.5	5년이하	8/29/05:00 (48.0mm)
병 천	8/27/23:00~8/30/15:00(65시간)	185.0	110.0	5년이하	8/30/10:00 (24.0mm)



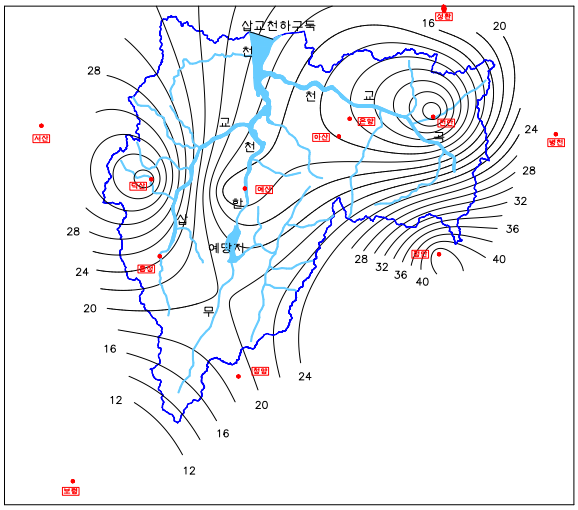
<그림 7.22> '87년 8월 호우기간의 삽교천 유역 시간별 강우현황

라. 강우의 공간적 분포

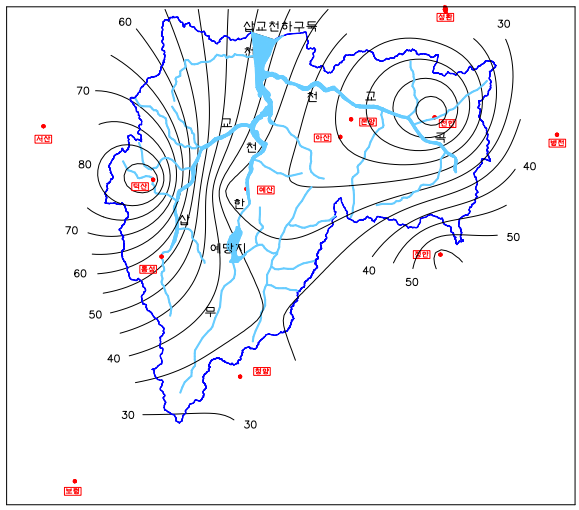
(1) '87년 7월 21일~7월 23일 강우

1987년 7월 21~23일 기간 중 발생한 호우는 초기에는 덕산과 천안 관측소을 중심으로 유역의 동쪽과 서쪽에 강우가 집중되는 양극화 현상을 보이다 점차 유역 남측의 강우량이 증가하면서 강우 종료시에는 삽교천과 곡교천 및 무한천의 상류지역 강우가 크고 하류로 갈수록 작은 양상을 보이고 있다.

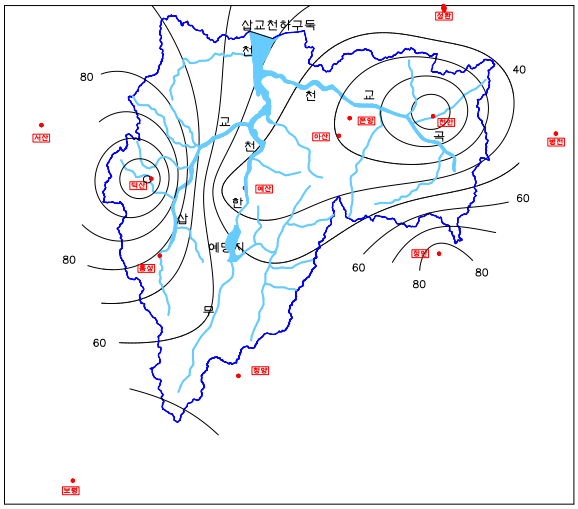
강우 전 기간에 걸쳐 강우중심의 이동은 특별한 성향을 보이지 않는 반면 양적인 면에서는 주요 하천의 하류에서 상류로 갈수록 증가하는 성향을 보임에 따라 첨두홍수량이 빠르게 증가하여 하류로 유하하나 수위지속 시간은 길지 않았던 것으로 추정된다.



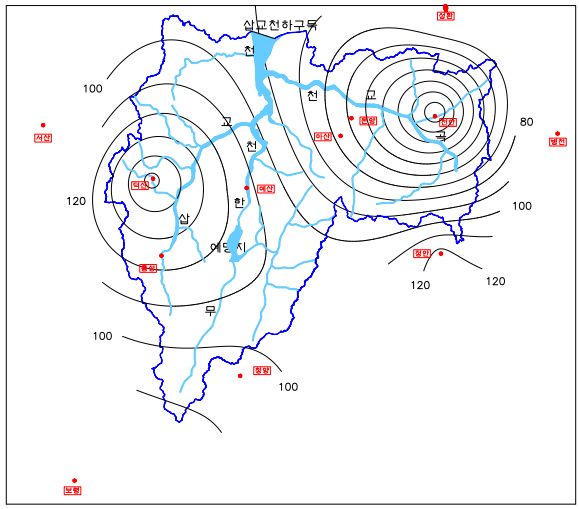
7월 21일 09:00



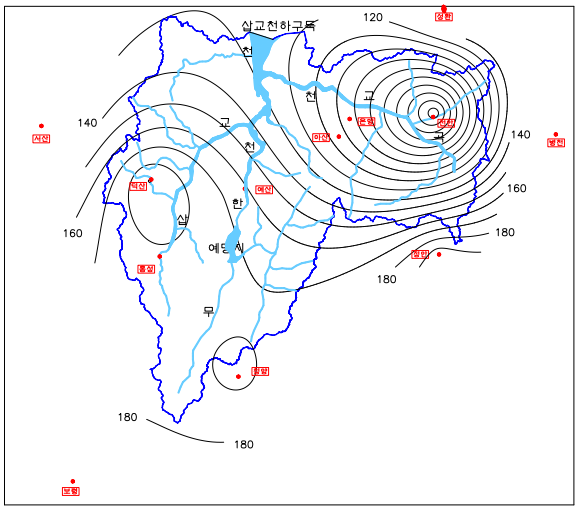
7월 21일 15:00



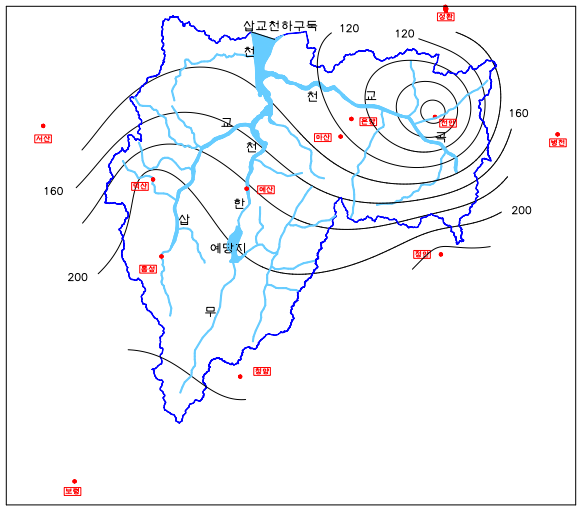
7월 21일 21:00



7월 22일 03:00

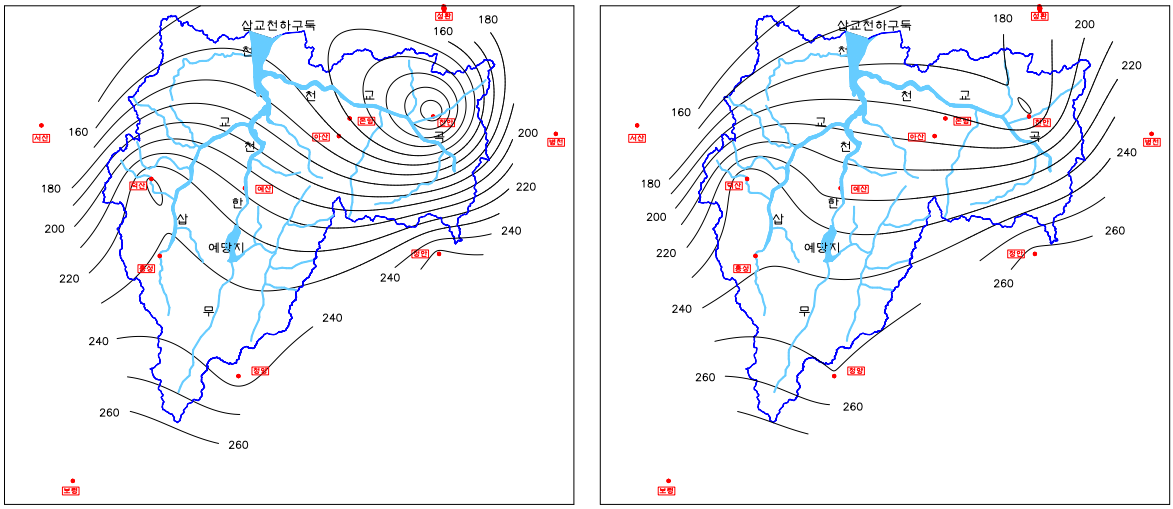


7월 22일 09:00



7월 22일 15:00

<그림 7.23> '87년 7월 호우기간의 누가강우 등우선도

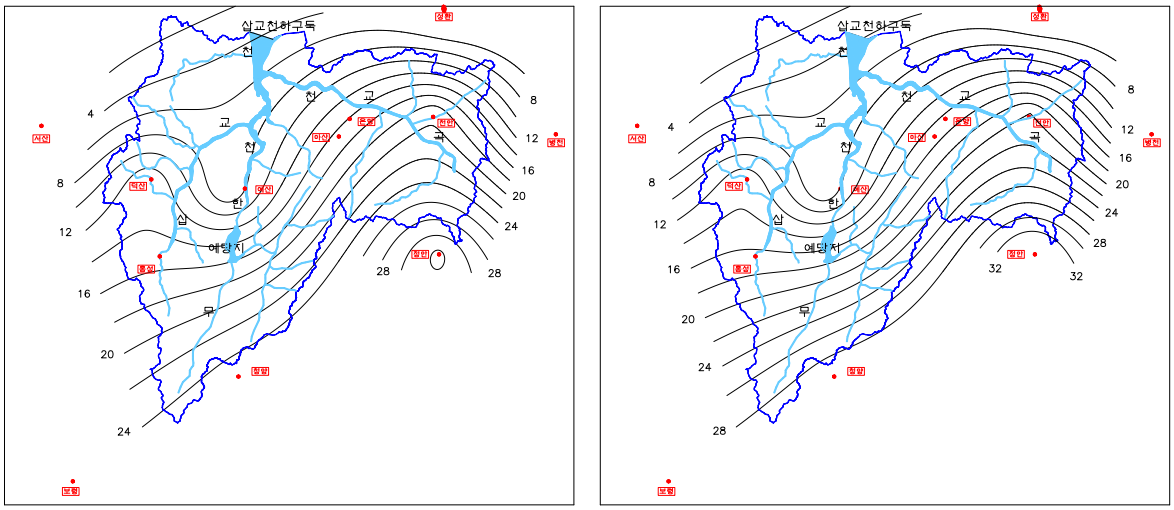


7월 22일 21:00 7월 23일 03:00

<그림 7.23> '87년 7월 호우기간의 누가강우 등우선도 (계속)

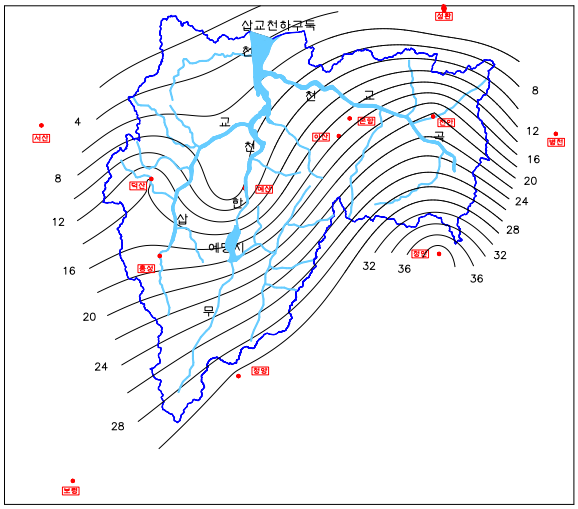
(2) '87년 8월 27일~8월 31일 강우

8월 28~30일에 발생한 강우는 태풍의 북상에 따라 강우전선을 북쪽으로 밀어올려 유역의 남쪽에서 북쪽을 향하는 방향으로 분포하지만 30일을 전후한 2차 호우시에는 유역의 서쪽에서 동쪽으로 강우가 발생하여 전체적으로는 남서에서 북동방향으로의 분포를 보이면서 무한천을 따라 등우선의 계곡이 형성되어 삼교천과 곡교천 상류에 강우량이 큰 반면 무한천 상류의 강우량은 상대적으로 적은 분포를 보이고 있다.

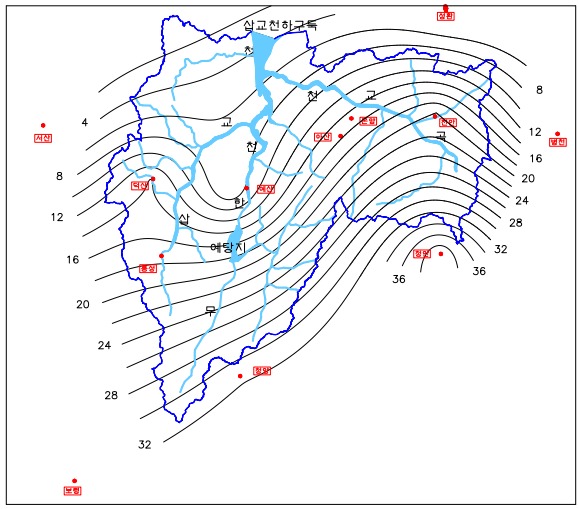


7월 28일 03:00 7월 28일 09:00

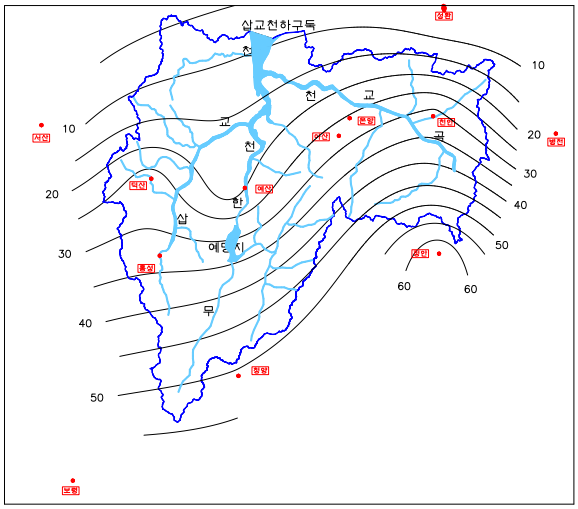
<그림 7.24> '87년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도



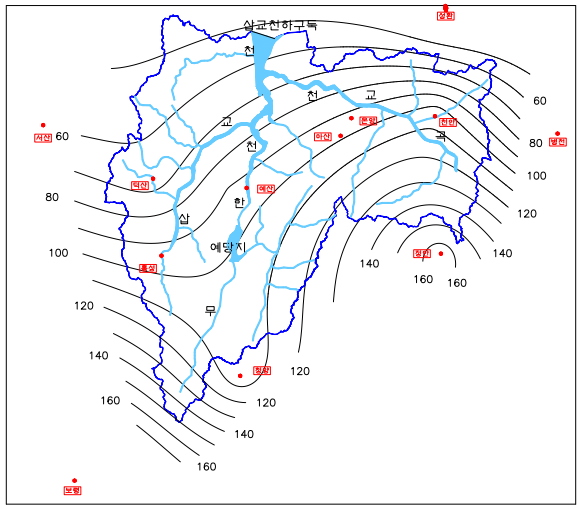
7월 28일 15:00



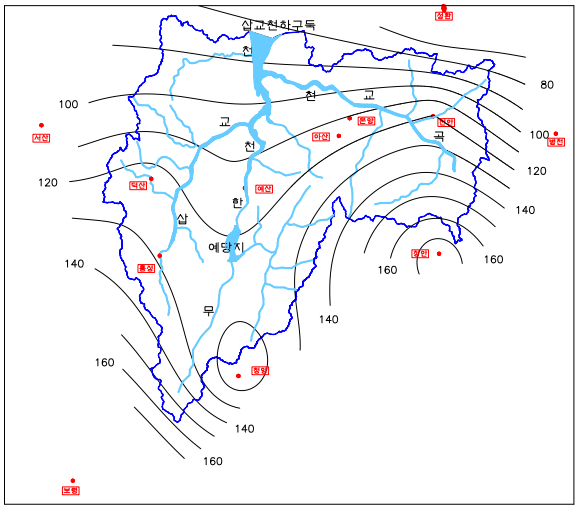
7월 28일 21:00



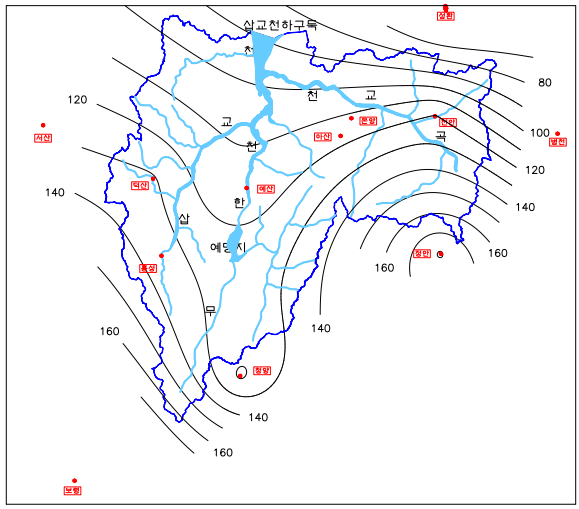
7월 29일 03:00



7월 29일 09:00

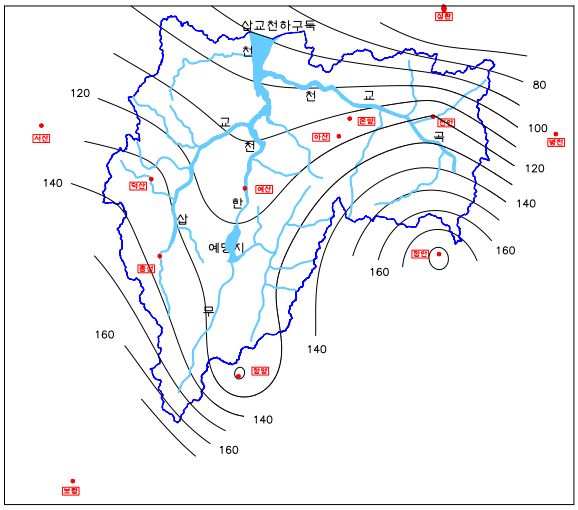


7월 29일 15:00

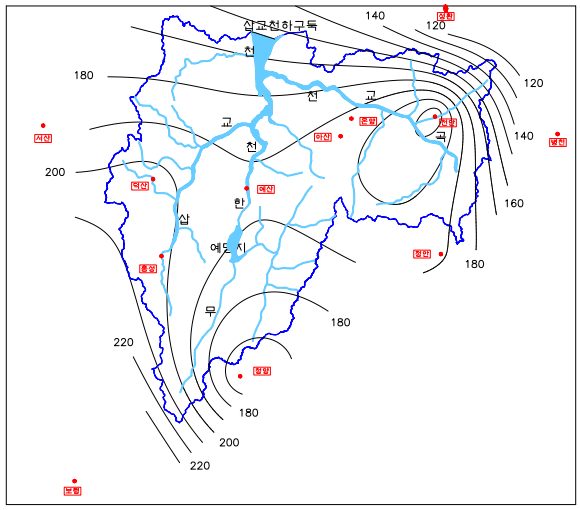


7월 29일 21:00

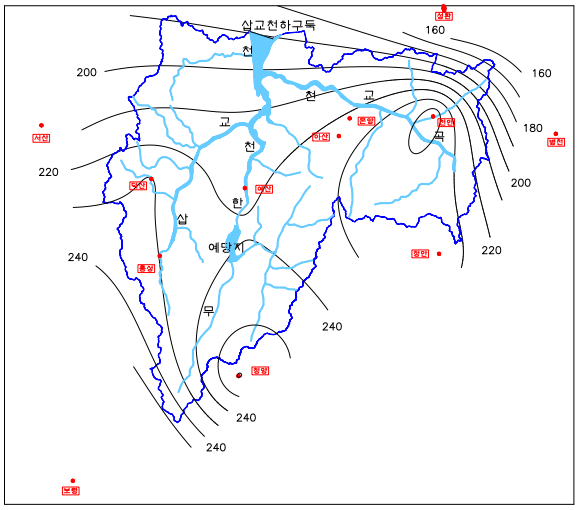
<그림 7.24> '87년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도 (계속)



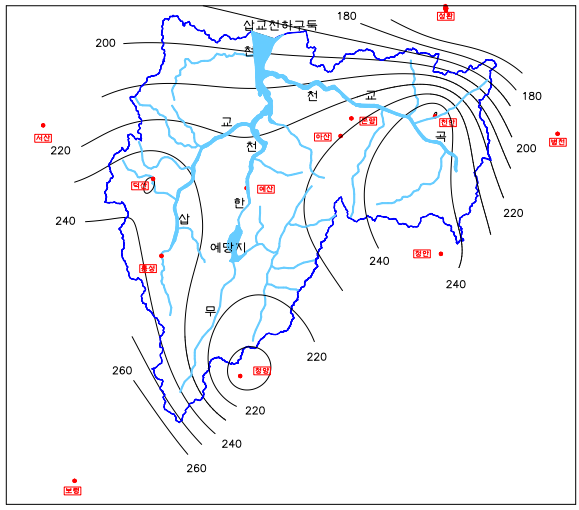
7월 30일 03:00



7월 30일 09:00



7월 30일 15:00



7월 30일 21:00

<그림 7.24> '87년 8월 호우기간의 누가강우 등우선도 (계속)

7.2.7 주요 호우사상의 강우특성 검토

최근 20년간 삽교천 유역에 주요한 피해를 유발한 12개 호우에 대해 12시간 무강우 기간을 기준으로 강우를 분리하여 각각의 강우사상의 특성을 분석한 결과를 <표 7.20>에 수록하였다. 이때 강우사상을 분리하는 기준으로 12시간의 무강우 기간을 적용한 이유는 전체 삽교천 유역의 도달시간과 삽교천 하구부에서 유출의 제한요인으로 작용하는 조위의 주기를 고려하였기 때문이다.

또한 12개 우심피해기간 동안에 발생한 강우 중 실제 피해를 유발했을 것으로 추정되는 강우사상을 분리하여 총 강우량, 강우지속시간, 장·단기 지속시간별 최대강우량, 지속시간별 최대강우량과 총강우량의 비율 등의 평균과 피해순위 5위 이내의 강우사상에 대해 동일한 항목에 대해 평균값을 산정하여 비교하였다.

삽교천 유역에 피해를 유발한 강우사상의 특징을 요약하면 다음과 같다.

○ '86년과 '95년 8월 8~9일에 발생한 호우를 제외하면 지속시간이 30시간 이상으로 비교적 장기간에 걸쳐 강우가 지속되었으며, 특히 피해가 컸던 '95년 8월 23~27일, '98년, '99년의 경우 상당량의 선행강우가 있은 후에 집중호우가 발생하였다. 12개 호우사상의 평균 강우지속시간은 약 62시간이며 시간당 평균강우량은 3.94mm/hr 이며, 피해순위 5위 이내의 강우사상의 경우는 평균강우지속시간은 93시간이고 시간당 평균강우량은 3.24mm/hr이다.

○ 강우의 공간분포는 대체로 남서에서 북동방향 또는 서에서 동으로 이동하며, 유역 전체로 볼 때 하류부에 저지대가 밀집한 삽교천 및 무한천 중상류 지역의 강우량이 상대적으로 큰 것으로 분석되었다.

○ 지속시간별 최대강우량의 발생빈도는 계획빈도 미만이며 피해순위 5위 이내의 강우사상 평균 역시 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 24시간지속 최대강우량의 경우 12개 강우사상의 평균값이 175.58mm인데 비해 피해순위 5위 이내 강우사상의 평균값은 170.46mm로 오히려 적은 반면 48시간지속 최대강우량은 240.24mm로 12개 강우사상의 평균값인 215.63mm 보다 약 11% 정도 증가한다.

또한 총강우량에 대한 지속시간별 최대강우량의 비가 12개 강우사상의 평균은 1시간 0.11, 2시간 0.18, 24시간 0.77, 48시간 0.90으로 총 강우량의 77%가 24시간 이내에 발생하고 90%가 48시간 이내에 발생하는데 비해, 피해순위 5위 이내의 강우사상은 각각 0.09, 0.18, 0.57, 0.78로 총 강우량의 57%가 24시간 이내에 발생하고 78%가 48시간 동안에 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 1시간 및 2시간지속 최대강우량과 같은 단기지속 강우량의 경우 12개 강우사상 평균과 피해순위 5위 이내 강우사상의 평균값은 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 이 결과와 더불어 앞서 언급한 12개 강우사상의 시간당 평균강우량이 피해순위 5위 이내 강우사상의 시간당 강우량보다 큰 것을 고려할 때 삽교천 유역의 피해는 단기간에 집중된 강우보다는 최소 48시간 이상의 장기간에 지속된 강우에 의해 발생함을 알 수 있다.

이상의 분석결과 삽교천 유역의 홍수피해는 대체로 남서에서 북동 또는 서에서 동으로 이동하며, 지역적으로는 하류에 저지대가 밀집한 삽교천과 무한천의 유역에 집중된 장기간의 강우에 의해 발생했다고 할 수 있다.

<표 7.20> 주요 우심피해기간 호우사상의 강우특성 분석

연도	강 우 기 간			지속시간 (hr)	지속시간별 최대강우량				지속시간최대/총강우량				강우이동방향	집중호우지역
	시 작	종 료	강우량 (mm)		1시간	2시간	24시간	48시간	1시간	2시간	24시간	48시간		
2000	**8/23 23:00**	**8/28 02:00**	**338.3**	**99**	**18.4**	**32.8**	**165.6**	**206.1**	**0.05**	**0.10**	**0.49**	**0.61**	**남서→북동**	**무한천 상류**
1999	7/22 05:00	7/23 15:00	35.2	28	14.1	24.4	34.1	35.2	0.40	0.69	0.97	1.00		
	7/27 09:00	7/29 14:00	36.9	53	9.0	9.0	24.6	36.7	0.24	0.24	0.67	0.99		
	7/30 15:00	7/31 10:00	4.5	46	1.0	1.1	2.3	4.5	0.22	0.24	0.51	1.00		
	8/01 07:00	8/01 13:00	2.2	6	0.5	1.0	2.2	-	0.23	0.45	1.00	-		
	8/02 10:00	**8/04 07:00**	**267.0**	**45**	**26.4**	**45.7**	**240.9**	**267.0**	**0.10**	**0.17**	**0.90**	**1.00**	**북서→남동**	**유역 북서측 저지대**
1998	7/31 08:00	8/01 13:00	67.8	29	12.1	18.8	67.5	67.8	0.18	0.28	1.00	1.00		
	8/02 18:00	8/04 05:00	32.2	35	4.4	5.3	20.1	32.2	0.14	0.16	0.62	1.00		
	8/05 15:00	8/06 16:00	44.4	25	17.8	30.5	44.2	44.4	0.40	0.69	1.00	1.00		
	8/07 05:00	**8/13 01:00**	**196.0**	**140**	**29.0**	**43.0**	**87.9**	**108.2**	**0.15**	**0.22**	**0.45**	**0.55**	**게릴라성 집중호우**	**무한천 상류**
	8/14 05:00	8/16 06:00	89.5	49	8.8	13.5	50.7	87.4	0.10	0.15	0.57	0.98		
1995-1	**8/08 12:00**	**8/09 13:00**	**263.4**	**25**	**44.7**	**73.8**	**262.8**	**263.4**	**0.17**	**0.28**	**1.00**	**1.00**	**유역중심 →주변**	**유역중심부 주요하천 중·상류**
1995-2	8/19 09:00	8/20 10:00	176.2	25	18.5	31.3	175.8	176.2	0.10	0.18	1.00	1.00		
	8/21 13:00	8/21 17:00	9.7	4	4.7	7.1	9.7	-	0.48	0.73	1.00	-		
	8/23 06:00	**8/27 09:00**	**469.5**	**99**	**35.2**	**64.9**	**240.9**	**409.4**	**0.07**	**0.14**	**0.51**	**0.87**	**북서→남동 서→동**	**유역서측 삼교천 중·상류**
	8/30 03:00	8/31 04:00	88.8	25	15.6	24.7	88.1	88.8	0.18	0.28	0.99	1.00		

<표 7.20> 주요 우심피해기간 호우사상의 강우특성 분석 (계속)

연도	강 우 기 간			지속시간 (hr)	지속시간별 최대강우량				지속시간최대/총강우량				강우이동방향	집중호우지역
	시 작	종 료	강우량 (mm)		1시간	2시간	24시간	48시간	1시간	2시간	24시간	48시간		
1992	8/25 01:00	8/25 09:00	11.7	8	2.7	4.7	11.7	-	0.23	0.40	1.00	-		
	8/26 15:00	**8/28 06:00**	**229.3**	**39**	**32.4**	**55.6**	**223.5**	**229.3**	**0.14**	**0.24**	**0.97**	**1.00**	**남서→북동**	**삽교천 상류**
1989	**9/14 03:00**	**9/15 15:00**	**169.9**	**33**	**11.9**	**22.6**	**164.9**	**169.9**	**0.07**	**0.13**	**0.97**	**1.00**	**남→북**	**무한천 중·상류 신양천, 화산천**
	9/16 14:00	9/17 17:00	16.1	27	2.1	3.8	15.4	16.1	0.13	0.24	0.96	1.00		
1987-1	**7/21 05:00**	**7/23 04:00**	**227.3**	**47**	**21.2**	**32.7**	**169.2**	**227.3**	**0.09**	**0.14**	**0.74**	**1.00**	**남→북**	**무한천 상류**
1987-2	**8/27 23:00**	**8/31 10:00**	**242.4**	**83**	**22.9**	**45.2**	**117.0**	**210.5**	**0.09**	**0.19**	**0.48**	**0.87**	**남서→북동**	**삽교천 상류 곡교천 상류**
1986	**7/18 18:00**	**7/19 10:00**	**114.5**	**16**	**19.1**	**30.6**	**114.5**	**114.5**	**0.17**	**0.27**	**1.00**	**1.00**	**남→북 동→서**	**곡교천 상류**
	7/20 05:00	7/22 05:00	9.6	48	0.9	1.8	7.1	9.5	0.09	0.19	0.74	0.99		
1984	8/28 02:00	8/29 17:00	36.2	39	4.5	8.3	32.7	36.2	0.12	0.23	0.90	1.00		
	8/31 03:00	**9/03 14:00**	**231.9**	**84**	**15.1**	**19.6**	**154.6**	**216.2**	**0.07**	**0.08**	**0.67**	**0.93**	**서→동**	**삽교천 중류**
1981	**7/11 09:00**	**7/12 15:00**	**165.7**	**30**	**17.5**	**30.4**	**165.2**	**165.7**	**0.11**	**0.18**	**1.00**	**1.00**	**남서→북동**	**삽교천 상류**
12개 강우사상 평균			242.93	61.67	24.48	41.41	175.58	215.63	0.11	0.18	0.77	0.90		
5개 강우사상 평균			302.64	93.20	26.38	46.32	170.46	240.24	0.09	0.16	0.57	0.78		

【주】 1) 12개 강우사상 평균은 굵은 글씨체로 표현한 강우사상의 평균임.

2) 5개 강우사상 평균은 2000, '99, '98, '95년 8월23～27일, '87년 8월 강우의 평균임.

7.2.8 강우와 피해특성 관계분석

삽교천 유역의 피해원인을 규명하기 위해 주요 우심피해 기간의 강우특성과 피해특성을 비교하여 그 관계를 분석하였다. 비교 대상 강우로는 앞서 분석한 주요 우심피해 기간의 외에 비교적 피해가 작았던 '82, '90, '91년의 강우사상을 추가하였으며, 피해특성은 총피해액, 침수면적, 하천시설물 피해액을 선정하여 단기강우인 1시간 및 2시간지속 최대강우량과 장기강우에 해당하는 24시간 및 48시간지속 최대강우량과 비교하였다.

가. 장기강우와 피해특성과의 관계

침수피해는 홍수가 제방을 월류하여 발생하는 경우와 하도내 수위가 높아 제내지의 배수가 원활하지 못할 경우에 발생한다. 삽교천 유역의 경우 주요 하천에는 오래전부터 비록 하천정비기본계획상의 규모는 충족시키지 못하더라도 어느 정도의 외수범람은 막을 수 있는 제방이 이미 설치되어 있어 실질적으로 무제부라고 할 수 있는 구간은 그리 많지 않다. 따라서, 삽교천 유역에서 발생한 침수피해는 '95년의 대홍수 시기를 제외하면 대부분 내수배제 불능에 의해 발생했다고 할 수 있다.

내수배제 불능에 의한 침수피해는 주로 제내지의 지반고가 낮아 하도의 수위가 상승할 경우 제내지에서 발생한 홍수를 하천으로 배제하지 못하여 발생하며 하도내 수위뿐만 아니라 수위의 지속시간도 큰 영향을 미친다. 즉, 단기간에 발생한 홍수에 의해 하도의 수위가 짧은 시간동안 상승하였다가 하강할 경우는 침수시간이 짧아 실질적인 영향을 미치지 못하는 반면 하도의 수위지속 시간이 장기화 될수록 침수시간이 길어져 피해의 정도는 점차 증가하게 된다.

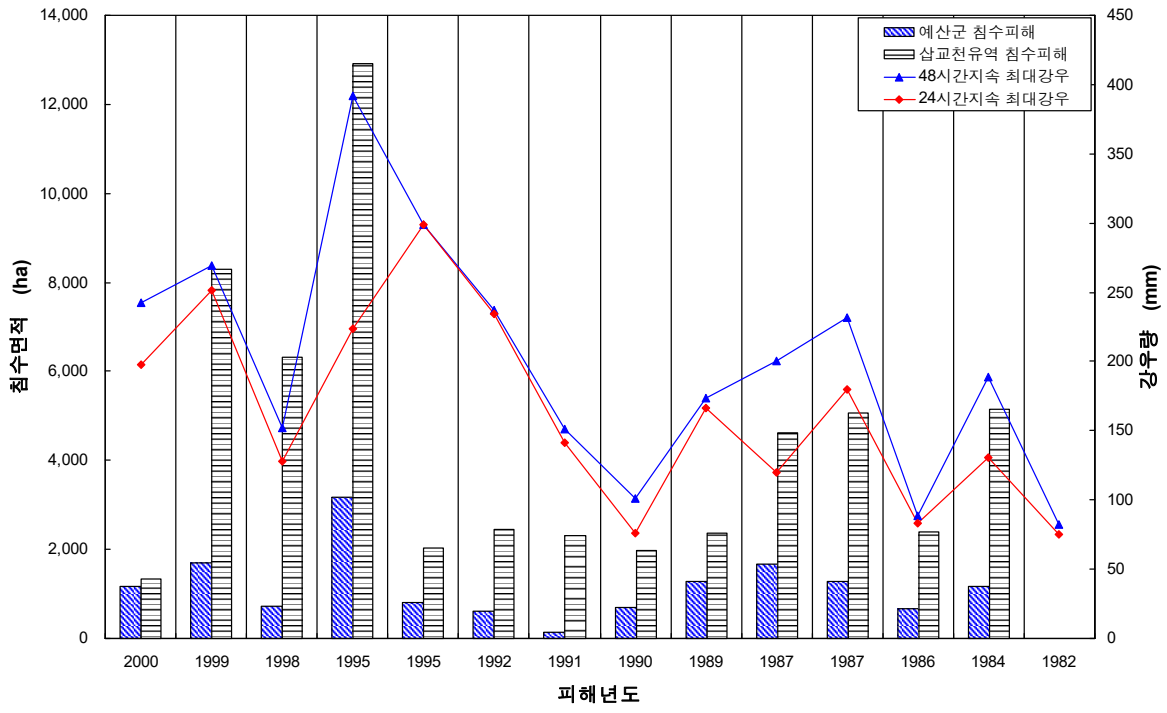
이러한 이유로 침수피해는 단기간의 강우보다는 장기간 지속되는 강우에 의해 영향을 크게 받는데, 삽교천 유역에 발생한 침수피해와 강우특성관계를 분석하기 위해 주요 우심피해 기간의 장기지속 강우량인 24시간과 48시간지속 최대강우량과 침수피해의 정도를 가늠할 수 있는 지표인 침수면적을 <그림 7.25>와 같이 도시하였다. 아울러 동일 기간 동안의 총피해액과 강우량과의 관계를 같은 방법으로 비교하였다.

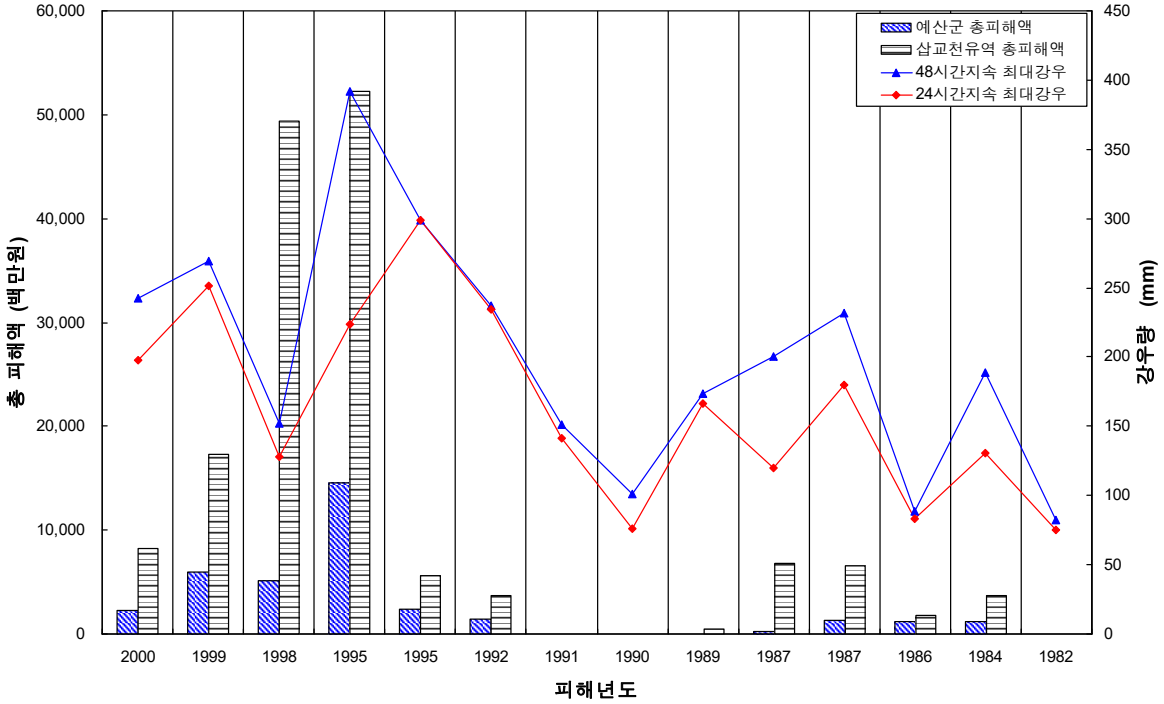
그 결과 우심피해 기간별 침수피해 면적의 변화와 강우량의 변화성향이 대체로 일치하여 장기강우량과 침수피해간의 관계가 밀접함을 알 수 있는데 특히 24시간지속 최대강우량 보다는 48시간지속 최대강우량과 침수면적의 변화 성향이 더욱 일치하는 것을 볼 수 있다. 그러나 총피해액과 장기강우량과의 관계는 침수면적에서 볼 수 있는 것과 같은 일치되는 성향을 보기 어려운데 이는 총피해액에는 장기간의 강우에 의해 발생하는 침수피해 이외의 다른 종류의 피해액이 포함되어 있기 때문이다.

<표 7.21> 주요 피해기간 동안의 장기강우량과 피해규모 비교

년도	피해기간	강우특성						피해규모			
		총 강우량 (mm)	지속 시간 (hr)	24시간 지속최대		48시간지속최대		삽교천		무한천(예산군)	
				강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)	총피해액 (백만원)	침수면적 (hr)	총피해액 (백만원)	침수면적 (hr)
1982	7/27~7/29	131.0	35	124.8	2	131.0	2미만	-	-	0.8	-
1984	9/04~9/04	231.9	83	154.6	5미만	216.2	5	3,722	5,158	1,232	1,166
1986	7/18~7/19	114.5	16	114.5	2미만	114.5	2미만	1,780	2,395	1,204	670
1987	7/21~7/23	227.3	47	169.2	5미만	227.3	10미만	6,517	5,074	1,339	1,278
1987	8/27~8/31	242.4	83	117.0	2미만	210.5	5미만	6,831	4,608	264	1,674
1989	9/14~9/15	169.9	33	164.9	5미만	169.9	3미만	483	2,361	34	1,270
1990	6/19~6/21	159.8	58	79.7	2미만	115.9	2미만	23	1,974	22	699
1991	5/25~5/26	132.2	33	131.1	3미만	132.2	2미만	40	2,320	-	150
1992	8/26~8/28	229.3	39	223.5	20미만	229.3	10미만	3,687	2,436	1,385	601
1995	8/08~8/09	263.4	25	262.8	30	263.4	20미만	5,633	2,039	2,369	820
1995	8/23~8/27	469.5	99	240.9	30	409.4	200미만	52,278	12,911	14,499	3,168
1998	8/07~8/13	196.0	140	87.9	2미만	108.2	2미만	49,389	6,311	5,087	712
1999	8/02~8/04	267.0	45	240.9	20	267.0	20미만	17,340	8,296	5,984	1,703
2000	8/23~8/28	338.3	99	165.6	5미만	206.1	5미만	8,222	1,329	2,230	1,175
평균		226.60	59.6	162.7	5미만	200.06	5미만	11,139.6	4,086.6	2,546.3	1,077.6

【주】 피해액은 2002년기준 환산액임.
발생빈도는 금회 산정한 확률강우량을 기준으로 결정하였음.





<그림 7.26> 장기지속 강우량과 총 피해액 관계

나. 단기강우와 피해특성과의 관계

대부분의 하천시설물 피해는 침수에 의해 발생하기 보다는 흐름에 동반되는 에너지, 즉 수충이나 소류력과 같은 파괴력에 의해 발생하며 그 정도는 결국 첨두홍수량의 규모에 의해 결정된다고 할 수 있다.

첨두홍수량의 크기는 별도의 홍수조절 시설이 없는 경우 유역의 도달시간에 해당하는 기간동안 발생한 강우의 최대 크기에 좌우되는데, 삽교천 유역의 경우 유로연장과 유역의 규모를 고려할 때 비교적 단기간에 집중된 강우에 의해 첨두홍수량의 크기가 결정될 것으로 판단되며, 지류의 경우는 불과 지속시간이 1~2시간 이내인 첨두강우가 그 크기를 결정할 것이다. 이러한 단기간의 강우에 의한 피해성향을 파악하기 위해서 주요 우심피해 기간의 1시간 및 2시간지속 최대강우량과 홍수량에 의해 직접 피해를 입는 하천시설물 피해액을 비교하였다. 아울러 침수피해면적과 1시간 및 2시간지속 최대강우를 함께 비교하여 단기지속 강우의 크기가 침수피해에 미치는 영향을 분석하였다.

그 결과 <그림 7.27> 및 <그림 7.28>에서와 같이 1시간 및 2시간지속 최대강우량과 하천시설물 피해액의 우심피해 기간별 변화양상이 매우 유사함을 볼 수 있는 반면 침수피해면적과의 관계는 '95년 이후를 제외하면 큰 연관성을 찾기 힘든 결과를 보여주고 있다. 특히 '95년 이후의 비교적 변화양상이 일치하는 시기도 이 기간 동안의 장기지속 강우량이 단기지속 강우량과 마찬가지로 상당히 큰 값을 보인 것을 감안할 때 침수피해의

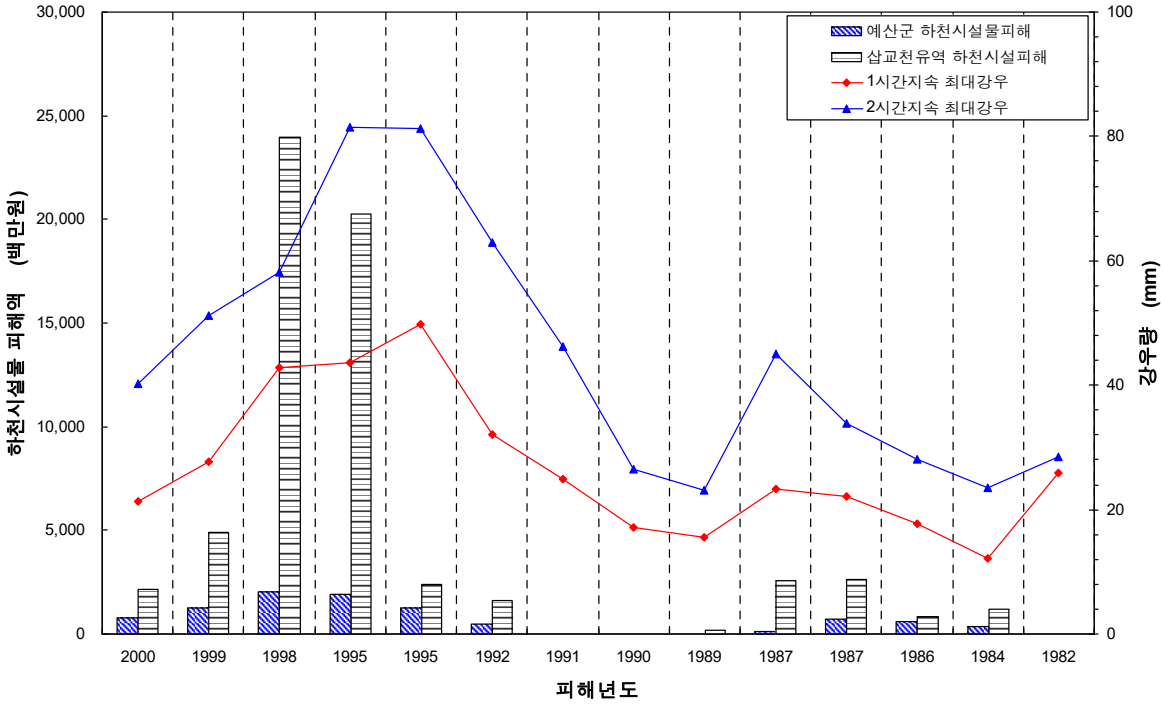
직접적인 원인이 단기지속 강우라고 단정할 수 없다.

이상의 결과를 종합하면 침수피해는 비교적 장기간 지속되는 강우에 의해 발생하며, 하천시설물과 같이 홍수에 직접 노출되는 시설의 피해는 단기간 집중되는 첨두강우에 의해 크게 영향 받음을 알 수 있다.

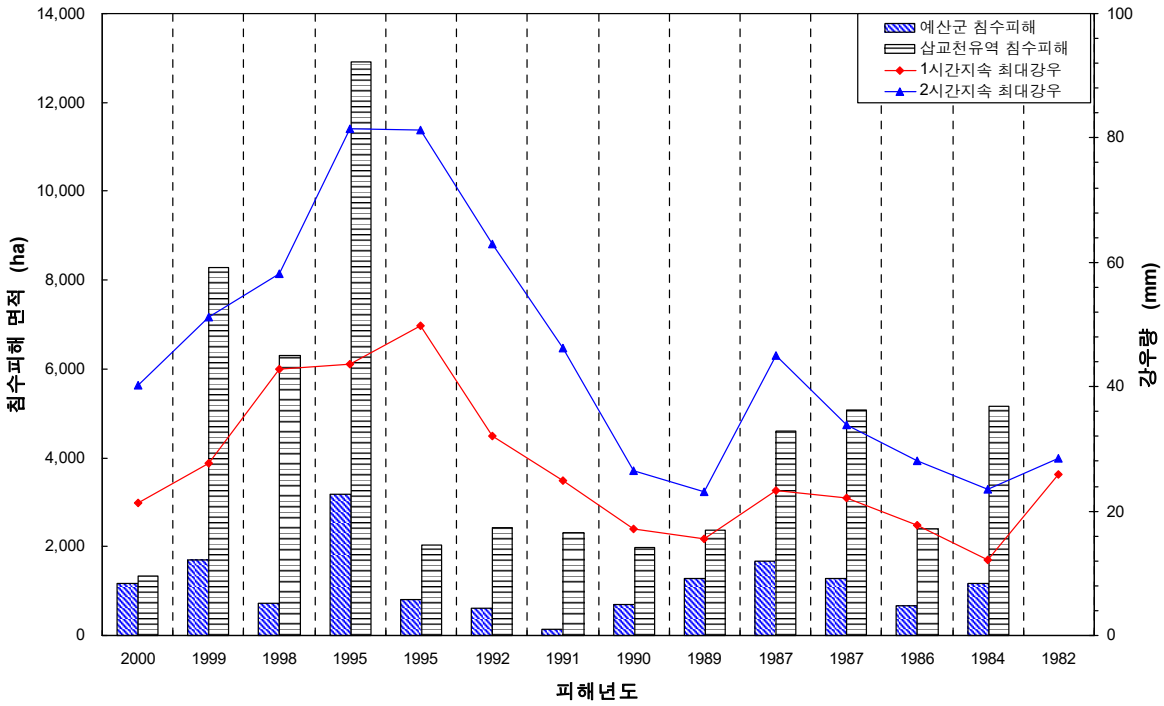
<표 7.22> 주요 피해기간 동안의 단기강우량과 피해규모 비교

년도	피해기간	강우특성						피해규모			
		총 강우량 (mm)	지속 시간 (hr)	1시간 지속최대		2시간지속최대		삽교천 유역		예산군	
				강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)	하천시설 피해액 (백만원)	침수면적 (hr)	하천시설 피해액 (백만원)	침수면적 (hr)
1982	7/27~7/29	131.0	35	32.2	2미만	38.8	2미만	-	-	-	-
1984	9/04~9/04	231.9	83	15.1	2미만	19.6	2미만	1,204	5,158	368	1,166
1986	7/18~7/19	114.5	16	19.1	2미만	30.6	2미만	842	2,395	610	670
1987	7/21~7/23	227.3	47	21.2	2미만	32.7	2미만	2,625	5,074	691	1,278
1987	8/27~8/31	242.4	83	22.9	2미만	45.2	2미만	2,596	4,608	148	1,674
1989	9/14~9/15	169.9	33	11.9	2미만	22.6	2미만	183	2,361	-	1,270
1990	6/19~6/21	159.8	58	11.6	2미만	20.4	2미만	14	1,974	14	699
1991	5/25~5/26	132.2	33	20.8	2미만	38.4	2미만	27	2,320	-	150
1992	8/26~8/28	229.3	39	32.4	2미만	55.6	3	1,613	2,436	454	601
1995	8/08~8/09	263.4	25	44.7	3	73.8	10미만	2,409	2,039	1,228	820
1995	8/23~8/27	469.5	99	35.2	2미만	64.9	5미만	20,285	12,911	1,932	3,168
1998	8/07~8/13	196.0	140	29.0	2미만	43.0	2미만	23,959	6,311	2,023	712
1999	8/02~8/04	267.0	45	26.4	2미만	45.7	2미만	4,899	8,296	1,266	1,703
2000	8/23~8/28	338.3	99	18.4	2미만	32.8	2미만	2,161	1,329	790	1,175
평균		226.6	59.6	24.35	2미만	40.29	2미만	4,186.8	4,086.6	680.2	1,077.6

【주】 피해액은 2002년기준 환산액임.
발생빈도는 금회 산정한 확률강우량을 기준으로 결정하였음.



<그림 7.27> 단기지속 강우량과 하천시설물 피해액 관계



<그림 7.28> 단기지속 강우량과 침수피해면적 관계

7.3 주요 홍수사상의 피해양상 검토

7.3.1 99년 8월 홍수

가. 홍수피해양상 검토

'99년 7월 23일부터 8월 4일 까지의 기간에는 많은 수증기를 함유한 저기압이 장기간 정체하면서 내린 집중호우와 강한 바람을 동반한 태풍 '닐(NEIL)' 및 '올가(OLGA)'의 내습이 겹치면서 전국적으로 453mm~975mm의 기록적인 호우가 발생하였다. 삽교천 유역은 주로 이 기간의 말에 해당하는 8월 2~4일간 발생한 호우에 의해 피해가 발생하였는데 총 피해액은 2002년 가격 기준으로 204억원이며, 이재민 194인과 침수면적 8,296ha가 발생하였고 전체 피해액의 약 75%가 공공시설물 피해였다.

행정구역별로는 삽교천과 무한천 중하류부에 위치한 당진군과 예산군의 피해액이 타 시군에 비해 월등히 큰 값을 보이고 있으며, 다음으로 아산시의 피해가 커서 이 기간 중에 발생한 피해는 대체로 삽교천과 주요 지류인 곡교천, 무한천의 중하류부에 집중되었음을 알 수 있다. 이러한 결과는 <그림 7.8>의 삽교천 유역 강우분포에서도 알 수 있듯이 강우가 유역의 최말단부인 삽교호를 중심으로 집중되었기 때문이다.

이 기간중 피해가 가장 극심했던 당진군과 예산군의 피해액 구성을 비교하면 당진군의 경우 전체 피해액의 99%가 공공시설물 피해인데 비해 예산군의 경우 공공시설물 피해액이 당진군의 약 1/2에 불과한 반면 기타피해액 비중이 43.5%를 차지하여 비닐하우스, 축대, 담장과 같은 소규모 생활시설의 피해가 상대적으로 크게 발생하였음을 알 수 있다.

<표 7.23> 99년 7월 23~8월 4일간 삽교천 주변 행정구역별 홍수피해 상황

구 분	당 진	예 산	홍 성	아 산	천 안	청 양
사 망(인)	-	-	-	-	-	-
이 재 민(인)	2	118	22	52	42	7
침수면적(정보)	4,641.3	1,702.7	648.9	1,302.8	209.9	0.0
건 물(천원)	42,120	379,080	84,240	147,420	315,900	63,180
선 박(천원)	-	-	-	-	-	-
농 경 지(천원)	35,502	17,160	4,178	22,473	5,549	-
공공시설(천원)	8,712,339	4,602,218	2,548,575	3,464,206	295,055	75,061
기 타(천원)	23,051	3,842,122	249,074	1,441,725	777,687	1,794,833
합 계(천원)	8,813,012	8,840,580	2,886,067	5,075,824	1,394,191	1,933,074

【주】 피해액은 2002년 가격기준으로 환산한 금액임.

<표 7.24> 99년 7월 23~8월 4일간 삽교천 유역과 예산군의 홍수피해 비교

구 분	삽교천 유역	예 산 군	구 성 비(%)	비 고
사 망 (인)	-	-	-	
이 재 민 (인)	194	118	60.82	
침수면적 (ha)	8,296	1,703	20.53	
건 물(천원)	520,614	379,080	72.81	
선 박(천원)	-	-	-	
농 경 지(천원)	63,247	17,160	27.13	
공공시설(천원)	15,412,314	4,602,218	29.86	
기 타(천원)	4,430,532	3,842,122	86.72	
합 계(천원)	20,426,707	8,840,580	43.28	

【주】 피해액은 2002년 가격기준으로 환산한 금액임.

전 행정구역의 96.5% 이상이 삽교천 유역내에 위치하여 전체 유역면적 중 약 1/3을 차지하는 예산군의 피해내역을 삽교천 유역의 피해와 비교한 결과 전체 피해액은 삽교천 수계 피해액의 각각 43.28%에 불과하지만 이재민 수는 60.82%, 건물피해액은 72.81%, 가축, 축대, 담장, 비닐하우스 피해 등으로 구성된 기타 피해는 86.72%에 달해 피해가 주민 생활과 밀접한 관련이 있는 시설에 집중되었음을 알 수 있다.

나. 피해원인 분석

'99년 8월 초에 발생한 홍수는 비교적 단기간에 발생한 집중호우로 인해 주로 공공시설물의 피해가 크게 발생하였다. 이 기간 동안 피해가 집중되었던 예산군과 당진군에서는 공공시설물 각 20개소와 29개소에 피해가 발생하였는데 이중 도로시설물이 각 10개소와 14개소로 절반을 차지하고 있다. 피해원인으로는 토석류, 낙석, 산사태 및 유수의 소류력에 의한 세굴 등 외력에 의한 구조물 파괴가 대부분이며 교량과 같은 일부 구조물은 소요 기능이나 제원을 확보하지 못했던 것이 피해원인으로 드러났다.

침수피해는 주로 유역내 주요 하천 본류의 수위상승에 따른 내수배제 불량으로 하천변 저지대 농경지에 내수침수가 발생하였으며, 외수 월류는 삽교천 하류부 좌안측의 당진군 옥금리 부근의 일부 제방이 낮은 구간에서 발생하였으나 그 정도는 미미했던 것으로 조사되었다. 이 기간 동안의 침수피해는 '7.2 호우사상별 강우특성 분석'에서 분석한 바와 같이 삽교천과 무한천 하류부의 평탄한 저지대에 강우가 집중되어 하류부의 수위가 상승한 상태에서 강우중심이 삽교천, 곡교천, 무한천을 따라 상류로 이동하면서 지속적으로 홍수가 유하함으로써 강우가 비교적 단기간 발생했음에도 불구하고 침수시간이

길어졌던 것으로 추정된다. 이러한 이유로 강우 규모에 비해 침수피해가 매우 크게 발생하였는데 삽교천 중하류부 당진군 지역에 침수피해가 집중되었다.

<표7.25> '99년 8월 호우에 의한 침수지역 및 발생원인

하 천	지 역	수 해 상 황	수 해 원 인
삽교천	예산군 신암면 하평리	○침수기간 : 0~3일 ○침 수 심 : 0~2m	· 본류 수위상승으로 인한 내수배제 불량 · 삽교천과 무한천 합류 및 예당지 방류로 수위 급상승
무한천	예산군 응봉면 입침리	○침수기간 : 0~1일 ○침 수 심 : 0~1m	· 예당지의 방류로 무한천 수위가 상승하여 내수배제 불능에 의한 침수 발생
초대천	당진군 송악면 복운리, 신평면 매산리	○침수기간 : 0~3일 ○침 수 심 : 0~3m	· 본류 수위상승으로 인한 내수배제 불량
서원천	당진군 송악면 정곡리, 동곡리	○침수기간 : 0~2일 ○침 수 심 : 0~2m	· 본류 수위상승으로 인한 내수배제 불량
삽교천	당진군 우강면 창리	○침수기간 : 0~1일 ○침 수 심 : 0~1m	· 분지형 지형특성으로 인해 주변지역의 우수가 집중
남원천	당진군 신평면 신흥리	○침수기간 : 0~1일 ○침 수 심 : 0~1m	· 본류 수위상승으로 인한 내수배제 불량 · 남원천 하도불량으로 인한 유수소통 장애 발생
삽교천	당진군 합덕읍 옥금리	○침수기간 : 0~1일 ○침 수 심 : 0~1m	· 본류 수위상승으로 인한 내수배제 불량 · 제방이 낮은 구간으로 월류발생

<표 7.26> '99년 8월 호우에 의한 공공시설물 피해발생현황

구 분	시설물	피 해 원 인	피해 개소		비 고
			예산군	당진군	
하천시설물	제 방	○제방고 및 단면부족 ○토석류에 의한 하천파괴 및 제방훼손 ○미개수 또는 부분개수에 의한 파괴	2	4	
도로시설물	도 로	○월류, 만곡부(수충부) 세굴 및 유실	4	5	
		○배수시설물 능력부족 ○낙석 및 산사태에 의한 매몰	4	3	
	교 량	○교대보호공 부실로 인한 접속부 유실 ○하상세굴로 인한 교각 및 교대의 기초부 침하	2	4	
		○여유고 및 연장부족	-	2	
수리시설물	보	○유목, 전석에 의한 언체, 도수관 및 물받이 파괴	3	2	
	용배수로	○세굴 등에 의한 유실파괴	2	4	
	저수지	○매몰로 인한 저수용량 감소	-	1	

<표 7.26> '99년 8월 호우에 의한 공공시설물 피해발생현황 (계속)

구 분	시설물	피 해 원 인	피해 개소		비 고
			예산군	당진군	
소규모 시설물	소하천	○ 하도의 통수능 부족으로 인한 월류파괴 ○ 퇴사에 따른 하상상승으로 인한 월류 파괴	1	3	
	소교량	○ 하상세굴로 인한 교각 및 교대의 기초부 침하	1	1	
	농 로	○ 홍수류에 의한 도로사면의 세굴파괴 ○ 도로사면의 활동파괴 ○ 도로사면 유지구조물(옹벽, 석축 등)의 파괴	1	-	
계			20	29	

7.3.2 98년 8월 홍수

가. 홍수피해양상 검토

'98년에는 '게릴라성 집중호우'라는 표현이 등장할 정도로 장마 종료 후인 7월 31일부터 약 보름간 전국에 국지성 집중호우가 발생하였는데 호우의 범위가 좁은 대신에 그 강도가 커서 지역적으로 홍수피해의 차이가 매우 심하게 나타났다.

'98년 8월 상반기에 삽교천 유역을 구성하는 주요 시군에서 발생한 피해를 비교하면 2002년 가격 기준으로 당진군에서 약 400억원 규모의 피해가 발생한 반면 예산, 홍성 등 5개 시군의 전체 피해액은 129억원에 불과했다. 삽교천 유역 전체 피해액이 약 494억원이므로, 예산군 등 5개 시군의 피해가 모두 삽교천 유역에서 발생했다고 가정해도 당진군 전체 피해액의 약 95% 정도인 365억원의 피해가 삽교천 유역에 속한 지역에서 발생했다고 볼 수 있다. 따라서 당진군 전체 면적 664.1㎢의 29.3%에 해당하는 194.41㎢가 삽교천 유역에 포함되는 점을 감안하면 30% 미만의 면적에서 95% 정도의 피해가 발생했을 정도로 그 피해지역이 국지적으로 편중되어 이 시기의 전국적인 피해양상과 일치함을 알 수 있다.

이 기간 동안 실질적인 피해는 8월 6일에서 12일 까지 국지적으로 발생한 집중호우에 의해 발생하였는데 지역별로 강우량의 편차가 매우 심하여 그 성향을 파악하기 불가능할 정도이다. 단지 '95년 8월 23~25일의 홍수피해와 비교할 이재민과 침수면적은 각각 17.8%, 48.9%에 불과한 반면 전체 피해액은 94.5%에 달해 장기간의 강우에 의한 침수피해보다는 단기간에 집중된 호우로 인한 시설물 피해가 주된 피해양상인 것으로 추정된다.

<표 7.27> 98년 8월 6~12일간 삽교천 주변 행정구역별 홍수피해 상황

구 분	당 진	예 산	홍 성	아 산	천 안	청 양
사 망(인)	7	-	-	-	-	-
이 재 민(인)	394	23	4	41	3	11
침수면적(정보)	4,300.6	712.0	569.5	728.9	541.1	68.6
건 물(천원)	1,799,334	55,174	10,341	134,433	14,994	10,341
선 박(천원)	-	-	-	-	-	-
농 경 지(천원)	4,081,633	213,209	316,431	57,293	43,474	53,366
공공시설(천원)	31,925,919	3,718,231	3,512,635	899,502	894,391	961,228
기 타(천원)	1,897,002	46,803	67,164	654,068	208,805	1,024,935
합 계(천원)	39,703,888	4,033,417	3,906,571	1,745,296	1,161,664	2,049,870

【주】 피해액은 2002년 가격기준으로 환산한 금액임.

<표 7.28> 98년 8월 6~12일간 당진군의 피해 집중정도 비교

구 분	삽 교 천	당 진 군	5개 시군합계	6개시군 합계 (당진군 포함)
사 망(인)	7	7	0	7
이 재 민(인)	462	394	82	476
침수면적(정보)	6,311	4,301	2,620	6,921
건 물(천원)	1,999,282	1,740,000	225,283	1,965,283
선 박(천원)	-	-	-	-
농 경 지(천원)	4,668,566	3,947,039	683,773	4,630,812
공공시설(천원)	40,056,286	30,873,145	9,985,987	40,859,132
기 타(천원)	2,665,037	1,834,447	2,001,775	3,836,222
합 계(천원)	49,389,171	38,394,631	12,896,818	51,291,449

【주】 피해액은 2002년 가격기준으로 환산한 금액임.

나. 피해원인 분석

'98년 8월 상반기에 삽교천 유역에서 발생한 홍수피해는 주로 유역의 하류부 좌안측에 위치한 당진군에 편중된 양상을 보이고 있으며, 다른 기간의 피해와는 달리 피해지역이 삽교천 본류 주변이 아니라 지방 2급 또는 소하천 급의 규모가 작은 하천을 중심으로 발생하였다. 특히 당진군은 '98년 8월 8일~9일에 발생한 집중호우로 인해 당진읍, 순성면, 송산면, 송악면 등 거의 전 지역이 침수피해를 입었으며, 피해원인은 당진천, 역천, 시곡천, 사기소천 등의 유량증가, 토사유입으로 인한 통수단면적 축소, 미개수 구간을 통한 외수월류 및 본류 하천의 수위상승으로 인한 내수배제 불량으로 조사되었다.

특히 침수피해를 유발한 하천범람의 원인으로 본류(지방 2급 하천)의 제방고 부족보다

<그림 7.29> '99년 침수지역 위치도 (A3)

는 지류의 통수능이 부족해서 발생한 경우가 2배 이상인 것으로 나타났는데 이렇게 본류보다 지류의 범람이 많았던 사실은 총 강우량은 크지 않은 반면 1~3시간 정도의 지속시간을 갖는 단기지속 강우량이 상대적으로 컸던 이 기간 동안의 강우특성에 의해 설명할 수 있다.

<표 7.29> 당진군 주요 피해현황

피해유형	구 분	피해원인	피해내용 (인, 개소)
인명피해	사 망	○ 산사태로 인한 매몰	5
		○ 급 류	1
		○ 주택침수 및 붕괴	1
제 방	제 방	○ 외수범람에 의한 유실	4
		○ 구조물 파괴	1
수리시설	저 수 지	○ 여수로 능력부족	1
	용배수로	○ 통수단면적 부족	1
도로시설물	도 로	○ 도로사면의 세굴 및 활동	3
		○ 배수시설 능력부족	4
	교 량	○ 여유고 및 경간장 부족	3
소규모시설	소하천	○ 하도의 통수능력 부족	1
침 수	하천범람	○ 제방의 여유고 부족	23
		○ 지류하천의 범람	47

7.3.3 95년 8월 홍수

가. 홍수피해양상 검토

삽교천 유역의 최근 20년간(1983년~2002년) 연평균 자연재해 피해액은 2002년 가격기준으로 약 162억원이며, 이중 호우나 태풍 등에 의해 발생한 연평균 홍수피해액은 109억원 정도로 전체 자연재해 피해액의 약 67.3%를 차지한다.

'95년 8월 23~25일간의 집중호우로 인해 삽교천 유역에서 발생한 피해액은 연평균 홍수피해액의 약 4.8배에 해당하는 523억원에 달하여 단일 피해로는 기왕 최대를 기록하였다. 당시의 피해로는 사망 3명, 이재민 2,603명, 침수면적 12,911 ha가 발생하였고, 공공시설 피해액이 418.8억원, 농경지 유실 및 매몰피해 63.2억원, 건물피해 4.5억원, 기타피해 36.2억원으로 집계되었다.

삽교천 유역을 구성하는 주요 시군별 피해액은 청양군 256억원, 홍성군 214억원, 예산군 145억원, 천안시 132억원, 아산시 107억원, 당진군 57억원 등으로서 유역 상류부의 피해가 하류부에 비해 상대적으로 컸던 것을 알 수 있다. 그러나 침수면적은 예산군, 홍

성군, 아산시 등 유역의 중하류부에서 크게 발생하였으며 이재민은 예산군에서 1,748명이 발생하여 삽교천 유역에서 발생한 이재민수의 약 67%를 차지하였다.

이러한 피해양상을 종합하면 대체로 유역의 상류부에서는 집중호우에 의한 도로, 하천, 수리 시설 등의 시설물 피해가 주로 발생하였으며, 유역의 중하류부는 침수피해와 이에 따른 이재민 발생이 컸던 것으로 분석된다.

<표 7.30> '95년 8월 23~25일간 삽교천 주변 행정구역별 홍수피해 상황

구 분	당 진	예 산	홍 성	아 산	천 안	청 양
사 망(인)	-	2	-	1	2	2
이 재 민(인)	87	1,748	201	567	221	229
침수면적(정보)	1,464	3,168	5,007	3,272	737	2,086
건 물(천원)	37,794	139,990	175,607	92,955	343,017	19,892
선 박(천원)	-	-	-	7,924	-	-
농 경 지(천원)	230,555	2,745,975	2,328,797	1,016,959	1,105,462	4,856,979
공공시설(천원)	5,426,328	8,792,592	18,511,597	9,146,066	11,600,300	20,160,468
기 타(천원)	-	2,820,006	391,681	413,256	101,519	587,086
합 계(천원)	5,694,677	14,498,563	21,407,682	10,677,160	13,150,298	25,624,425

【주】 피해액은 2002년 가격기준으로 환산한 금액임.

<표 7.31> '95년 8월 23~25일간 삽교천 유역과 예산군의 홍수피해 비교

구 분	삽교천 유역	예 산 군	구 성 비(%)	비 고
사 망 (인)	3	2	66.67	
이 재 민 (인)	2,603	1,748	67.15	
침수면적 (ha)	12,911	3,168	24.54	
건 물(천원)	446,346	139,990	31.36	
선 박(천원)	7,924	-	-	
농 경 지(천원)	6,322,285	2,745,975	43.43	
공공시설(천원)	41,876,583	8,792,592	21.00	
기 타(천원)	3,624,943	2,820,006	77.79	
합 계(천원)	52,278,081	14,498,563	27.73	

【주】 피해액은 2002년 가격기준으로 환산한 금액임.

특히 삽교천 유역의 중심부에 위치하여 전체 행정구역의 96.5% 이상이 삽교천 유역내에 위치한 예산군의 전체 피해액이나 공공시설물 피해액은 전체 삽교천 유역 피해액의 각각 27.73%, 21.00%에 불과하나 이재민 발생수와 가축, 축대, 담장, 비닐하우스 피해 등으로 구성된 기타 피해액이 수계 전체의 67.15%와 77.8%에 달해 예산군의 피해양상이 공

공시설물 보다는 생활에 밀접한 소규모 시설의 피해가 크게 발생하였음을 알 수 있다.

나. 피해원인 분석

전체 유역에 불규칙하게 산재하고, 시설물의 특성별로 그 피해 원인이 다양한 시설물 피해에 비해 침수피해는 그 원인을 크게 외수범람과 내수배제 불량으로 간단히 구분할 수 있으며 홍수시 시설물 파괴에 의한 피해를 제외한 대부분의 피해가 침수에 의해 유발된다는 측면에서 침수피해 발생지역과 발생원인은 향후 치수사업의 방향을 결정하는 중요한 지표라 할 수 있다.

'95년 8월 23~25일간의 집중호우에 의해 발생한 침수지역은 대부분 유역의 중하류부에 집중되었으며, 주요 침수지역은 삽교천 유역에 10개소(2,538ha), 무한천 유역 7개소(2,411ha), 곡교천 유역에 4개소(977ha)가 발생하였다. 침수기간은 대체로 1~2일 정도이며 침수심은 1.0m 정도이나 지역에 따라서는 침수기간이 5~7일, 치수심이 2.0m에 달하는 경우도 있었다. 침수원인은 내수배제 불량이 지배적이나, 예당지 하류의 무한천 국가하천 구간 연안은 대부분 외수 월류나 제방유실에 의해 침수가 발생되었다.

무한천 국가하천 구간 연안에 외수범람에 의한 피해가 극심했던 것은 기존 제방이 낮거나 취약한데도 원인이 있지만, 하천내 잠수교(신원교, 탄중교, 종경교)로 인한 홍수지체 및 수위상승과 특히 8월 25일 11시부터 약 10시간에 걸쳐 예당지에서 하류의 계획홍수량 1,350㎥/sec을 크게 초과하여 방류한 것이 직접적인 원인이라고 볼 수 있다.

<표 7.32> '95년 홍수시 지역별 수해상황 및 원인

하 천	지역번호	지 역	수 해 상 황	수 해 원 인
삽교천	1	덕산읍 합류점~ 삽교읍 충의대교(좌,우안)	○ 침수기간 : 1~2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 본류 수위상승으로 인한 내수배제 불량
	2	예산군 삽교읍 삽교리~ 삽교읍 용동리(좌안)	○ 침수기간 : 2~3일 ○ 침수심 : 1.0m	· 효교천 하구부 제방유실 및 월류 · 내수배제 불량
	3	예산읍 삽교읍 두리~ 삽교읍 성리(우안)	○ 침수기간 : 5~7일 ○ 침수심 : 1.0m	· 내수배제 불량 · 좌방천 유실
	4	예산읍 고덕면 용리(우안)	○ 침수기간 : 1~2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 낮은 제방(부체도로)으로 월류 · 내수배제 불량(용리1,2 배수장 가동중단) · 대천천 하구부 우안측 제방 월류
	5	예산읍 삽교읍 하포리(우안)	○ 침수기간 : 2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 내수배제 불량
	6	예산읍 신암면 예림리(우안)	○ 침수기간 : 2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 내수배제 불량

<표 7.32> '95년 홍수시 지역별 수해상황 및 원인 (계속)

하 천	지역번호	지 역	수 해 상 황	수 해 원 인
삽교천	7	예산군 고덕면 상장리 (대천천 좌안)	○ 침수기간 : 1~2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 내수배제 불량 · 대천천 제방 월류
	8	예산읍 고덕면 구만리~ 당진군 합덕읍 신석리(좌안)	○ 침수기간 : 5~7일 ○ 침수심 : 1~2.0m	· 배수장 유집수로 불량 · 낙뢰로 인한 신석, 신리배수장 가동중지
	9	당진군 합덕읍 옥금리~ 당진군 합덕읍 하평리(좌안)	○ 침수기간 : 5일 ○ 침수심 : 1~1.5m	· 내수배제 불량
	10	당진군 우강면 내경리~ 당진군 우강면 신촌리(좌안)	○ 침수기간 : 1일 ○ 침수심 : 1.0m	· 내수배제 불량
	11	예산군 대흥면 손지리(우안)	○ 침수기간 : 2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 무제부
	12	예산군 응봉면 입침리(좌안)	○ 침수기간 : 3일 ○ 침수심 : 1.0m	· 제방월류(부체도로) · 용수간선수로 월류
	13	예산군 예산읍 산성리(우안)	○ 침수기간 : 3일 ○ 침수심 : 2.0m	· 내수배제 불량
	14	예산군 오가면 원평리, 예산군 오가면 신원리, 예산군 신암면 탄중리(좌안)	○ 침수기간 : 3~5일 ○ 침수심 : 2.0m	· 잠수교(신원교,탄중교,종경교) 교량 난간의 협소로 인한 홍수지체 및 수위상승 · 신원리 제방월류 및 유실(200m) · 침수 및 주민대피령으로 인한 배수장 3곳(신원, 탄중, 종경) 가동중단
무한천	15	예산군 예산읍 소란마을~ 예산읍 궁평리(우안)	○ 침수기간 : 1일 ○ 침수심 : 1.0m	· 제방의 낮은부분 및 취약부분으로 월류 · 잠수교(신원교,탄중교,종경교)로 인한 수위상승 · 본류 수위 상승으로 인한 내수배제 불량
	16	아산시 선장면 장곤리~ 아산시 선장면 돈포리(우안)	○ 침수기간 : 3일 ○ 침수심 : 1.0m	· 제내측 배수로 월류 · 본류제방 월류 · 본류수위 상승으로 인한 내수배제 불량(삽교천, 무한천 합류점)
	17	예산군 신암면 두곡리~ 신암면 신종리(좌안)	○ 침수기간 : 1~2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 제방유실 및 월류로 인한 침수 · 내수배제 불량
곡교천	18	아산시 염치읍 산양리(우안)	○ 침수기간 : 3일 ○ 침수심 : 1.0m	· 내수배제 불량 · 제내측 배수로 유실 및 범람
	19	아산시 염치읍 강청리~ 염치읍 석정리(우안)	○ 침수기간 : 3~5일 ○ 침수심 : 1.0m	· 음봉천의 범람으로 인한 지류제방 유실 · 중방 배수장 가동 중단
	20	아산시 신창면 가덕리(좌안)	○ 침수기간 : 2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 내수배제 불량
	21	아산시 신창면 신달리(좌안)	○ 침수기간 : 2일 ○ 침수심 : 1.0m	· 내수배제 불량 · 신달제2배수문 작동불량

<그림 7.30> '95년 홍수로 인한 침수지역도 (A3)

7.4 유출특성 검토

7.4.1 수위관측소별 자료 현황

주요 우심피해 기간의 유출특성을 분석하기 위해 금강홍수통제소 및 건기연 D/B, 수문조사 연보 등을 이용하여 삽교천 및 곡교천, 무한천에 설치된 6개소의 수위관측소 기록을 입수하여 분석하였다. 각 피해기간별 자료입수 현황은 <표 7.33>과 같이 삽교천 수계내 각 수위관측소의 측정방식이 자기에서 T.M방식으로 바뀐 '98년 이후의 자료는 많이 있으나, 그 이전의 자기기록지로 기록된 자료는 입수가 용이하지 않았다. 또한 농업기반공사에서 관리하는 삽교호와 예당지의 수위기록은 과거 자료가 거의 남아있지 않으며 일별로 기록되어 있는 관계로 유출특성 분석목적으로는 적합하지 않아 분석에서 제외하였다.

<표 7.33> 주요 우심피해 기간별 수위관측소 자료수집 현황

연도	기간	시수위 자료						비고
		수촌	창소	홍성	원평	강청	구만	
1981	7/12~713	-	-	-	◐	-	◉	
1984	8/31~9/4	◎	-	-	-	◎	-	
1986	7/19~7/21	◉	-	-	-	-	-	
1987	7/21~7/23	◉ ◐	◉	-	-	◐	-	
	8/28~8/30	◉ ◐	-	-	-	◐	-	
1989	9/14~9/18	◉	-	-	-	◉	◉	
1990	6/18~6/26	-	-	-	-	◉	◉	
1992	8/26~8/28	◎	◎	-	◉	◉	-	
1995	8/8~8/9	◎	◎ ◐	-		◎ ◐	◎	
	8/23~8/27	◎	◎ ◐	-	◐	◎ ◐	◎	
1998	8/6~8/12	◎(일부)	◎	-	◐	-	◎	
1999	8/2-8/4	▣	▣	▣	▣	▣	▣	
2000	8/24-8/27	▣	▣	▣	▣	▣	▣	

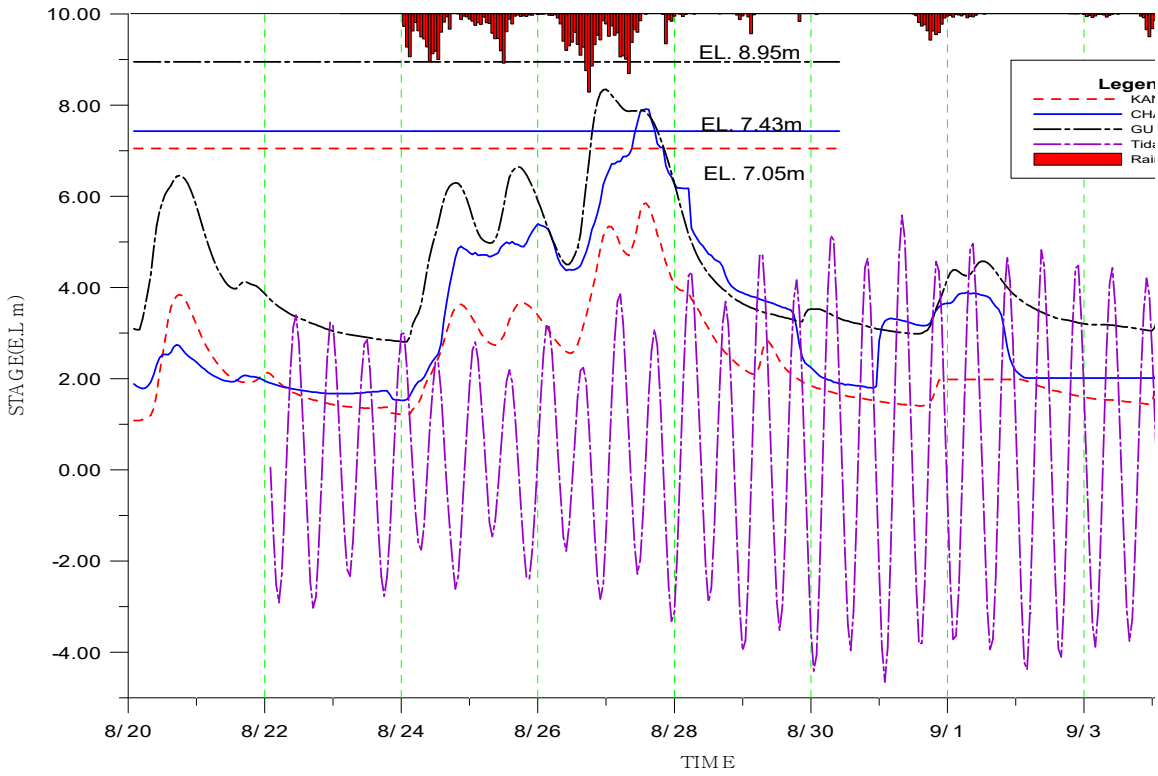
◎ : 금강홍수통제소 기록지, ◉ : 건기연 D/B
▣ : 금강홍통 T/M, ◐ : 수문조사연보

각 우심피해 기간의 수위관측 기록을 비교한 결과 홍성 관측소와 원평 관측소는 자료가 빈약하여 분석에서 제외하였고 삽교천에 위치한 수촌 관측소의 수위 기록도 타 관측소에 비해 신뢰도가 떨어지는 것으로 판단되었다. 따라서 삽교천의 구만 관측소와 무한

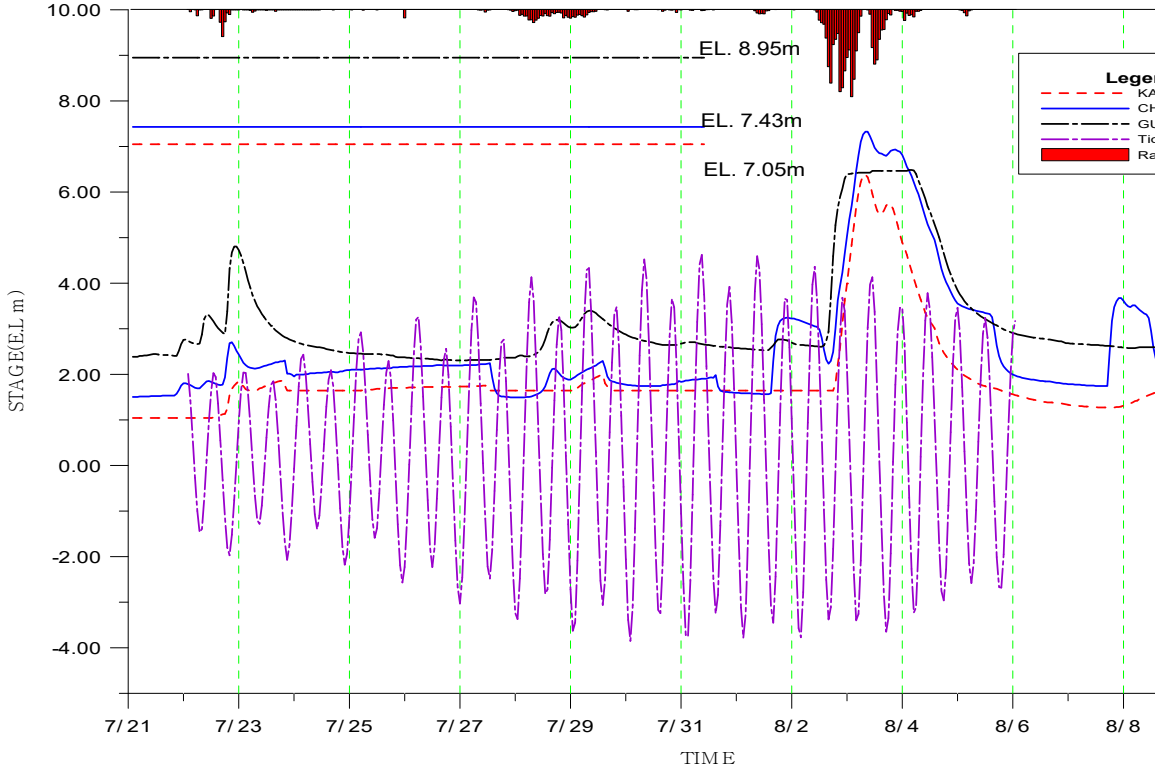
천의 창소 관측소 및 곡교천의 강청 관측소의 우심 피해기간 수위기록을 비교하여 3개 하천의 유출특성을 검토하였다.

각각의 수위관측소는 삽교천 수계에 위치한 6개 수위관측소 중 각 하천별로 가장 하류에 위치하며 삽교방조제를 기준으로 삽교천의 구만 관측소는 23.3km 상류, 무한천의 창소 관측소는 19.8km 상류, 곡교천의 강청 관측소는 13.4km 상류에 설치되어있다. 이렇게 삽교천 하구를 기준으로 비교적 비슷한 거리에 위치하고 특히 3개 하천의 합류점에 가장 가까이 있어 호우 발생에 따른 각 하천별 수위의 거동을 비교하고 각 하천별로 홍수유출특성을 분석하기에 매우 적합한 것으로 판단된다.

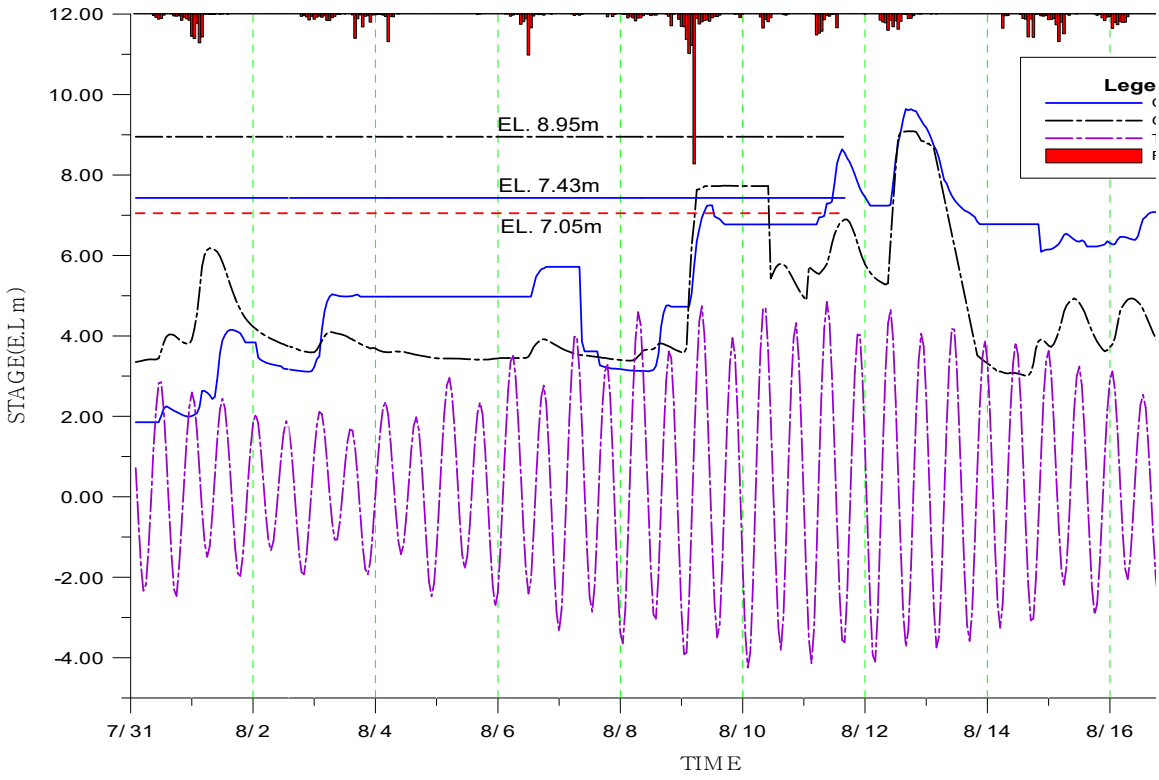
삽교천 수계 주요 하천인 삽교천과 곡교천, 무한천의 홍수시 유출특성을 비교하기 위해 3개 관측소의 수위기록을 해당 기간의 강우량 및 조위변화와 함께 도시하고, 수위상승 정도를 파악하기 위해 각 관측소 지점의 계획홍수위를 함께 표시한 결과는 <그림 7.31>~<그림 7.37>과 같다. 이중 '89년과 '90년의 호우기간 동안의 수위비교는 무한천의 창소 관측소 기록이 누락되어 있으며, 구만과 강청 관측소의 기록 또한 신빙성이 없어 검토에서 제외하였으며, '92년의 수위기록은 3개 관측소의 자료가 모두 있으나 역시 신뢰할 수 없는 수준으로 평가되었다. 그러나 95년 이후의 수위기록은 일부 관측소의 기록이 누락되거나 신빙성이 떨어지는 부분이 있지만 전체적으로 3개 하천의 유출특성을 분석하는데는 문제가 없을 것으로 판단된다.



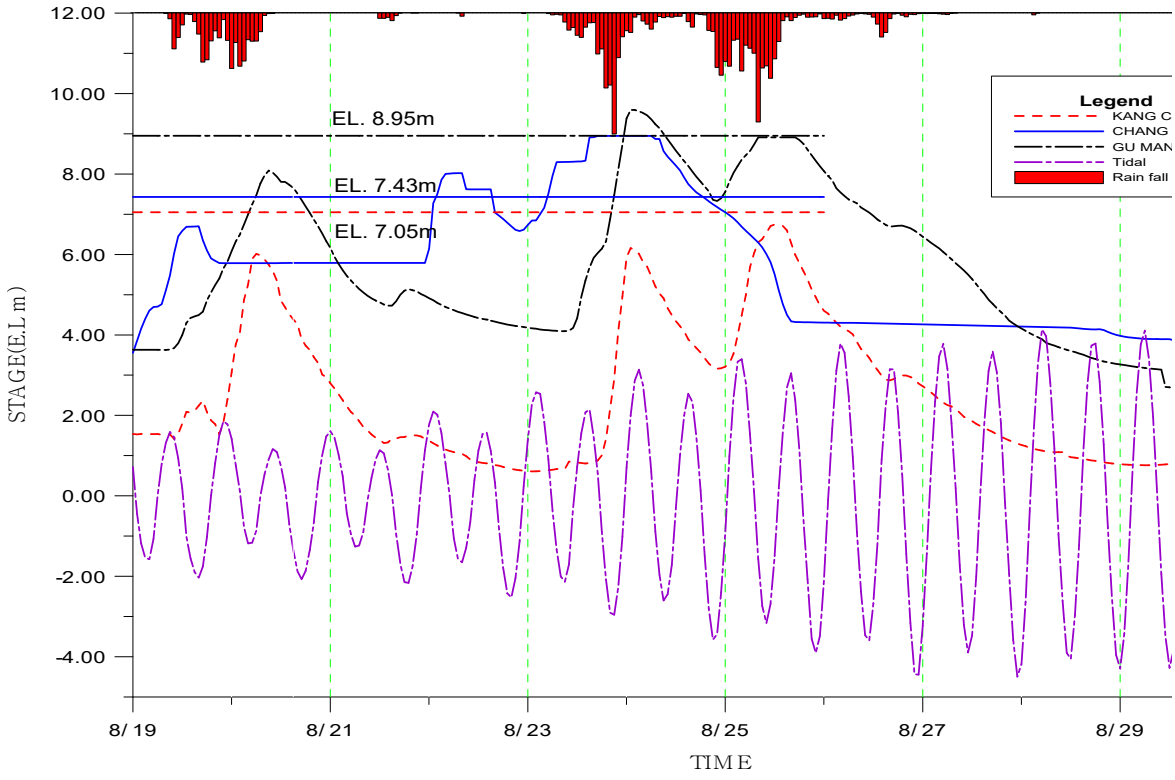
<그림 7.31> 2000년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교



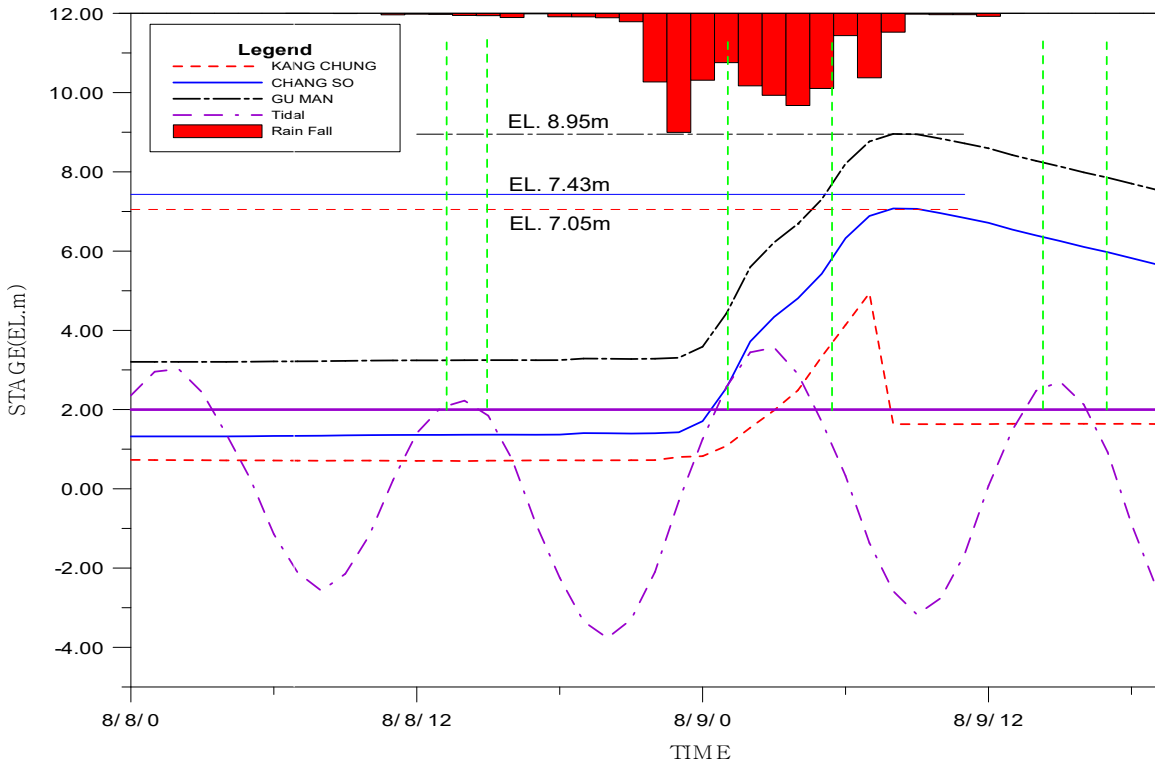
<그림 7.32> '99년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교



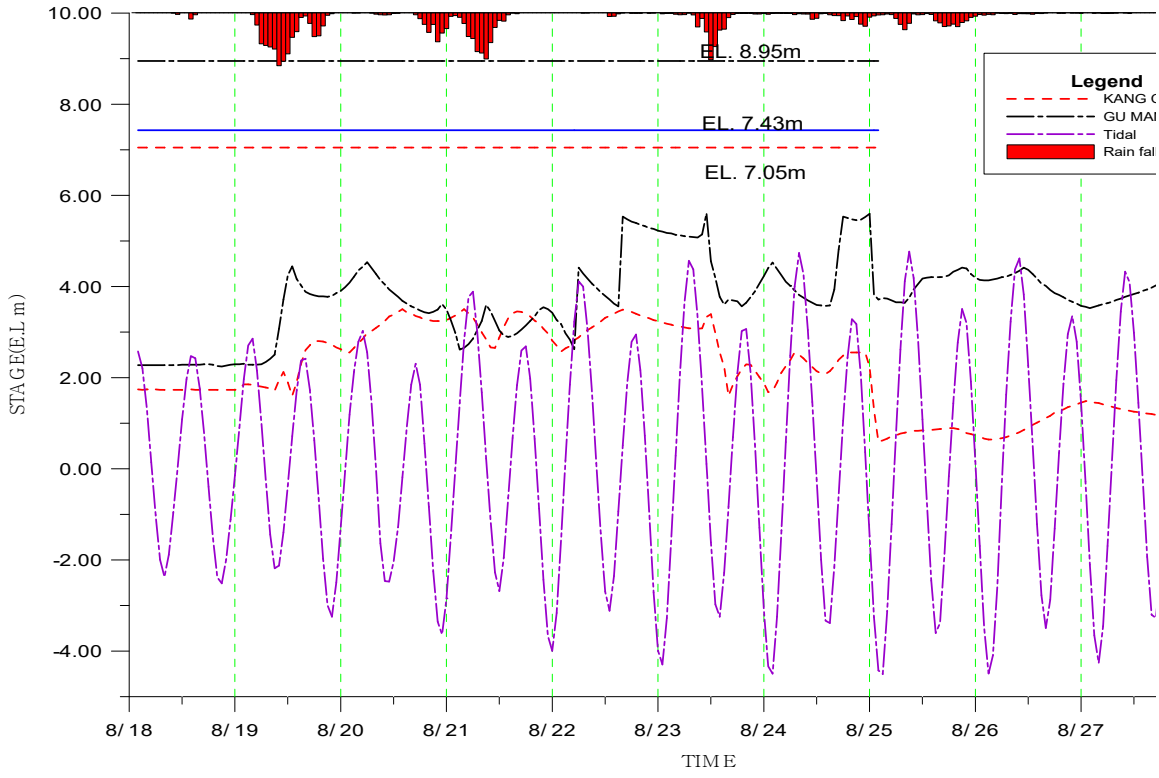
<그림 7.33> '98년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교



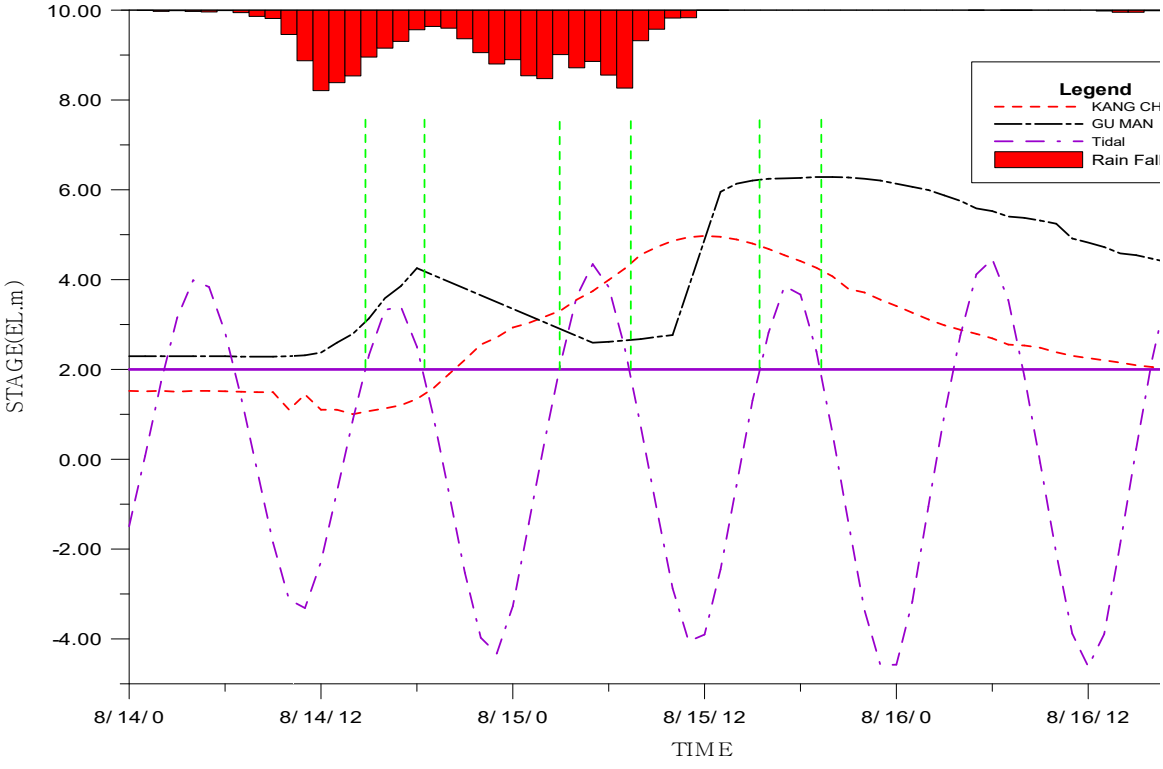
<그림 7.34> '95년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 19일~30일)



<그림 7.35> '95년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 8일~9일)



<그림 7.36> '90년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교

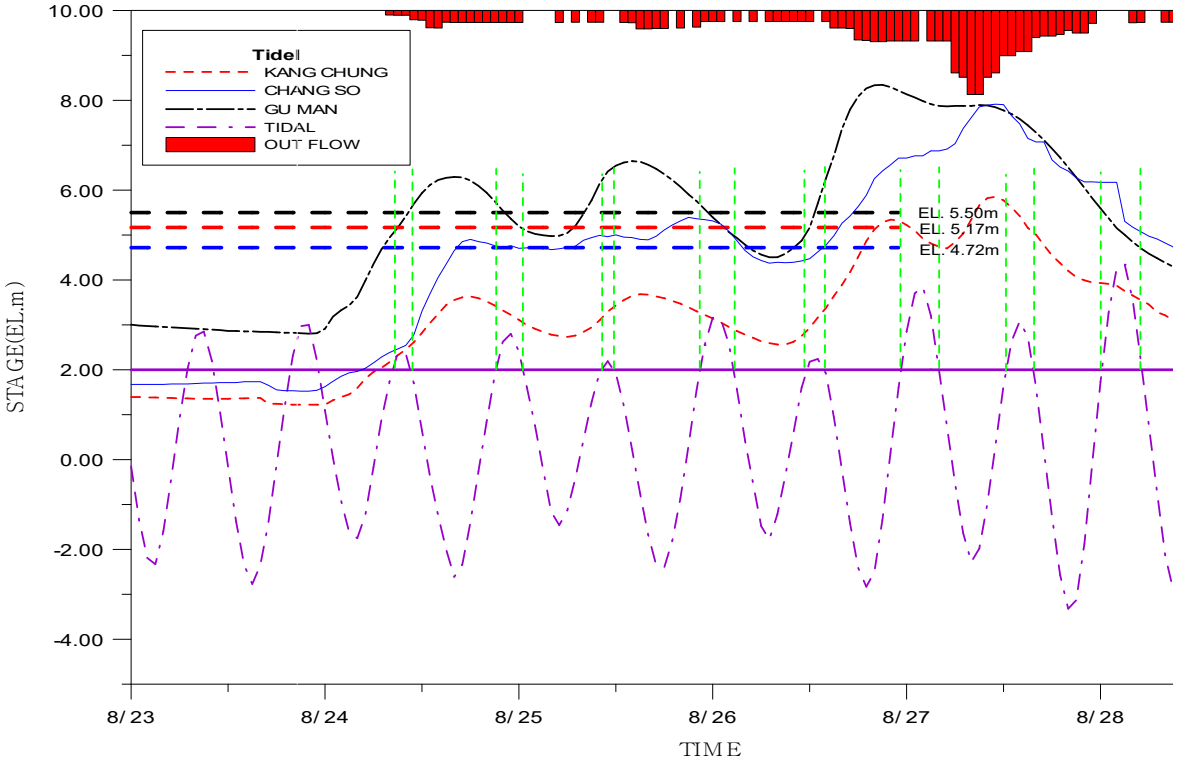


<그림 7.37> '89년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교

7.4.2 기간별 유출특성 검토

가. 2000년 8월 호우

2000년 8월 24일부터 27일까지 발생한 호우는 강우의 중심이 남서에서 북동방향으로 이동하면서 24~25일 및 26~27일의 2개 강우사상이 연속적으로 발생하였다. 이 기간 동안의 삽교천 유역평균 총강우량은 338.3mm이고, 24시간과 48시간지속 최대강우량은 각각 165.6mm, 206.1mm이며 강우지속시간은 대략 99시간이었다.



<그림 7.38> 2000년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 23일~8월28일)

이 기간 동안의 수위기록을 살펴보면 8월 중순에 발생한 강우로 인해 수위가 상승하였다가 하강하여 평수위를 거의 회복한 상태에서 24일 강우가 발생하면서 3개 관측소의 수위가 상승하기 시작하여 24일 17시에서 19시 사이에 1차로 첨두값을 보이고 있다. 이때의 첨두수위는 계획홍수위에 2~3m 정도 크게 미달하며 삽교천의 첨두수위가 무한천과 곡교천에 비해 2시간 정도 먼저 나타났다. 이후 강우가 24일 오후 잠시 소강상태를 보이자 삽교천과 곡교천의 수위는 신속히 하강하는 반면 무한천의 수위는 크게 변화하지 않고 있으며 25일 일시적으로 강우가 다시 활성화되면서 삽교천과 곡교천의 수위는 상승과 하강을 반복하여도 무한천의 수위는 큰 변화를 보이지 않고 있다.

26일 오전부터 다시 강우가 시작되자 무한천의 수위는 삽교천 및 곡교천의 수위와 같이 상승하기 시작하며 26일 17시에 첨두강우가 발생한 후 6시간 후인 22시에 삽교천의

구만 관측소지점 수위는 계획홍수위에 약 0.6m 미달한 최고수위를 기록하고는 계속 하강하였다. 그러나 곡교천의 수위는 27일 오전 잠시 하강하다가 다시 상승하여 27일 12시경 최고수위를 기록한 후 하강한데 비해 무한천 창소 관측소지점의 수위는 26일부터 계속적으로 상승하며 삽교천과 곡교천의 수위가 잠시 하강한 27일 오전에도 계속 상승하다가 역시 27일 12시경 계획홍수위를 초과한 최고수위를 기록한 후 하강하였다.

이 기간 동안의 최고수위는 구만 관측소 지점이 EL. 8.35m, 창소 관측소 지점이 EL. 7.91m, 강청 관측소 지점이 EL. 5.85m로 삽교천과 곡교천에 위치한 구만과 강청 관측소의 최고수위는 계획홍수위에 각각 0.6m, 1.2m 미달했으나, 무한천의 창소 관측소 지점의 최고수위는 계획홍수위 EL. 7.43m를 약 0.5m 초과하였다. 이때의 수위변화 양상을 보면 강우 발생 후 삽교천과 곡교천의 수위 상승과 하강이 무한천 보다 먼저 이루어지며 특히 삽교천의 수위변화 폭이 가장 컸다. 반면에 무한천은 강우 시작 후 수위가 상승한 상태에서 거의 하강하지 않고 일정한 수위를 유지하다가 강우 말기에 급격한 상승을 보여 최고수위를 기록하였다. 즉 삽교천과 곡교천의 수위가 강우 양상을 따라 3~4회의 상승과 하강을 반복하는 동안 무한천의 수위는 비교적 강우의 소강상태가 길었던 26일을 00시를 전후하여 약간 하강한 것을 제외하고는 강우종료 까지 지속적인 상승을 계속하였다.

이러한 결과는 우선 강우의 이동과 수계의 방향에서 그 원인을 찾을 수 있는데 남서에서 북동방향으로 강우가 이동함에 따라 북동향 하는 삽교천은 첨두홍수가 강우중심의 이동을 따라 유하하면서 하류에서 발생한 홍수와 중첩하면서 급하게 증가하여 신속하게 유출되며, 서향하는 곡교천은 강우중심이 하류에서 상류로 이동하므로 상류에서 발생한 홍수가 하류에 도달할 시점에 하류의 홍수는 이미 유출되어 첨두홍수는 비교적 작게 발생하였다. 따라서 강우량에 따른 수위변화는 삽교천에서 가장 신속하게 나타나고 곡교천의 강청 지점 최고수위가 상대적으로 다른 하천에 비해 가장 작게 나타나게 되었다.

무한천의 유출특성은 이러한 강우와 수계의 특성 뿐만 아니라 다른 요인에 의해 설명될 수 있다. <그림 7.38>은 실제 강우가 집중되었던 24일부터 27일 까지의 3개 하천의 수위와 무한천 중상류에 위치한 예당지 방류량을 당시의 서해안 조위를 함께 도시한 것이다.

<그림 7.38>에서 24일 오후부터 26일 까지 예당지의 방류량은 200㎥/sec 이하로 비교적 적은 반면 26일 오후부터 방류량이 증가하여 27일 09시와 10시에는 하류의 계획홍수량(1,380㎥/sec)을 초과하는 1,496㎥/sec 까지 증가하였다. 따라서 삽교천과 곡교천의 홍수가 우선적으로 유출되면서 무한천의 홍수가 하류로 원활히 배제되지 못하고 하도에 저류되어 지속적으로 수위가 상승한 상태에서 예당지의 방류에 의해 27일 07시부터 수위가 급격히 상승하여 09시부터 15시까지 약 6시간 동안 계획홍수위를 초과하게 된 것이다.

또한 주목할 점은 첨두수위와 서해안 조위의 관계이다. 이 기간 동안 3개 하천의 수위는 공통적으로 서해안의 조위가 가장 하강한 시기에 상승하고 조위가 상승한 시기에 하강을 반복하였다. 구체적으로 살펴보면 홍수시 삽교호 배수갑문은 조위가 EL. 2.0m 이하이면 개방하여 내수를 방류하도록 조작하고 있으므로 조위가 <그림 7.38>의 EL. 2.0m 선 아래에 위치한 기간 동안 배수갑문을 개방하여 삽교호의 담수를 방류한 것을 의미한다. 그런데 이 기간 동안 하천의 수위는 상승하며 오히려 조위가 EL. 2.0m를 초과하여 배수갑문을 폐쇄한 것으로 추정되는 기간에는 수위가 하강한 것이다. 이 결과를 통해 하천의 수위와 조위 및 삽교호 배수갑문의 개폐시기가 일정한 관계에 있음을 추정할 수 있는데 3개 수위관측소 지점의 위치와 홍수의 유하시간 및 삽교호의 수위변화가 수위관측소 지점에 영향을 미치는 시간 등을 분석하면 구체적인 관계가 드러날 것으로 판단된다.

이러한 수위조건하에서 침수피해의 정도를 추정하기 3개 수위관측소 지점의 제내지 최저지반고(최저답고)와 수위를 비교하였다. 그 결과 최저답고보다 수위가 높아 내수배제가 불가능했던 시간은 삽교천과 곡교천, 무한천의 각 수위관측소 지점별로 각각 63시간, 73시간, 13시간이며 농작물에 실질적으로 피해를 줄 수 있는 수위 즉 '제내지 지반고+허용침수심(0.3m)'의 수위가 지속된 시간은 각각 구만 지점 55시간, 창소 지점 44시간 및 강청 지점 5시간으로 분석되어 삽교천 유역과 무한천 유역의 침수피해가 매우 크게 발생한 반면 곡교천 유역의 침수피해는 상대적으로 작았음을 추정할 수 있다.

<표 7.34> 2000년 8월 호우시 수위 지속시간

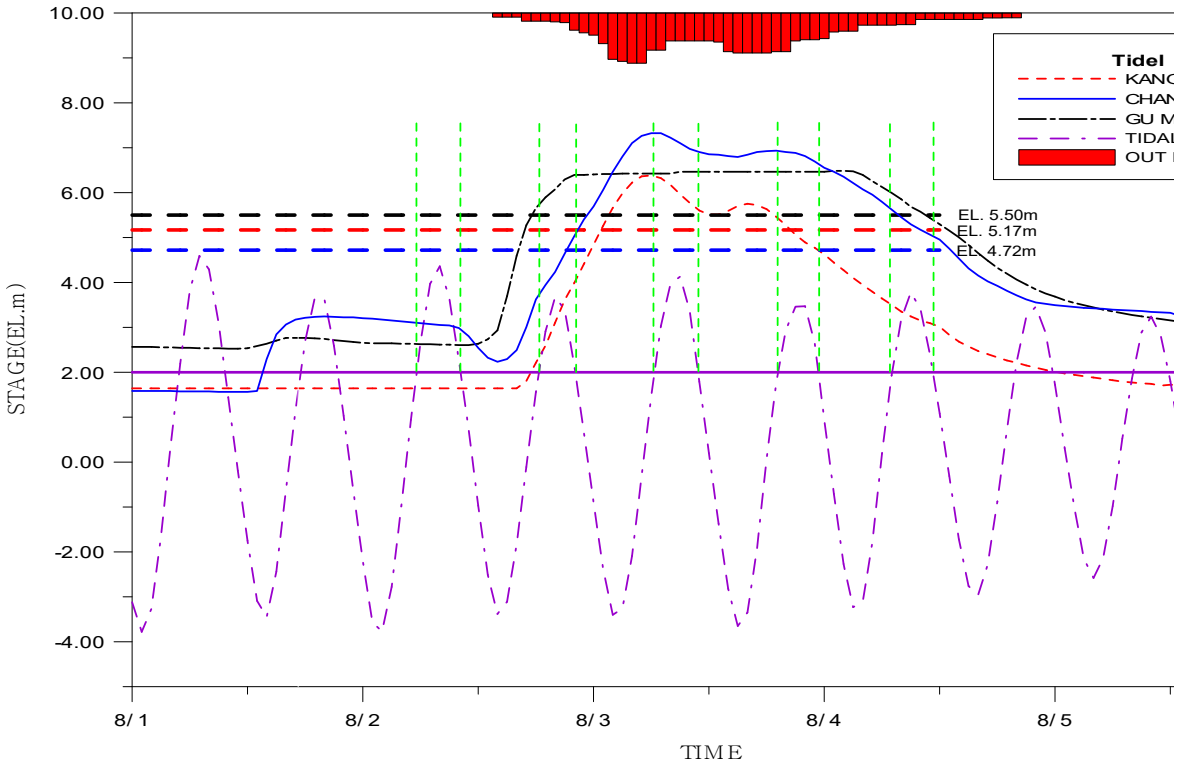
관측소명	농경지 표고 (EL.m)	허용 침수위 (EL.m)	내수배제 불능		저지대침수	
			기 간	시간(hr)	기 간	시간(hr)
구 만	5.50	5.80	8.24 12:00~8.24 23:00 8.25 10:00~8.26 00:00 8.26 14:00~8.28 01:00	63	8.24 13:00~8.24 21:00 8.25 11:00~8.25 22:00 8.26 15:00~8.28 00:00	55
창 소	4.72	5.02	8.24 18:00~8.25 00:00 8.27 07:00~8.26 04:00 8.26 15:00~8.28 10:00	73	8.25 19:00~8.26 02:00 8.26 17:00~8.28 04:00	44
강 청	5.17	5.47	8.26 22:00~8.27 01:00 8.27 09:00~8.27 15:00	13	8.27 10:00~8.27 14:00	5

나. 1999년 8월 호우

1999년 8월 2일 발생한 호우는 주로 삽교천 중하류 구간이 위치한 유역 북서부에 강우가 집중되었으며 4일 까지 45시간 동안 총 267mm의 강우량을 기록하였다. 이때의 호

우로 24시간지속 최대강우량은 240.9mm를 기록한데 비해, 48시간지속 최대강우량은 267.0mm에 불과하여 비교적 단시간에 많은 비가 유역내 저지대가 집중된 삽교천 중하류부에 집중되었음을 알 수 있으며 이러한 강우의 분포특성으로 인해 최근 20년 중 2위에 해당하는 침수면적이 발생하였다.

이 기간 동안 삽교천에 위치한 구만 관측소의 수위는 강우 초기인 8월 3일 03시에 EL. 6.43m를 기록한 이후 약 24시간 동안 큰 변화 없이 지속되다가 4일 02시부터 EL. 6.49m에서 하강하기 시작하였다. 이에 비해 무한천의 창소 관측소와 곡교천의 강청 관측소 지점의 수위는 같은 시간동안 대략 1.0m 정도 변화를 보이고 있어 삽교천 유역에 집중된 강우로 인해 구만 관측소의 수위계가 오작동 했던 것으로 추정된다.



<그림 7.39> '99년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 1일~8월5일)

그러나 수위계가 오작동 한 것으로 추정되는 24시간 동안의 기록을 제외하여도 이 기간 동안의 유출특성을 파악할 수 있는데 그 양상이 대체로 2000년 8월 호우기간 동안과 유사하다. 즉 유역의 서쪽에서 시작한 강우로 인해 삽교천, 무한천, 곡교천의 순서로 수위가 상승하며 곡교천의 수위가 가장 먼저 하강하였다. 또한 계획홍수위에 근접한 무한천 창소 관측소 지점의 최고수위에 비해 곡교천의 강청 관측소 지점의 최고수위는 계획홍수위에 약 0.65m 미달하는 상대적은 낮은 값을 기록하여 남동향 하면서 유역의 북서부에 집중된 강우의 공간적인 특성과 수계의 방향성에 따른 유출특성을 잘 보여주고 있

다. 2000년과 다른점은 삽교천의 수위가 무한천의 수위보다 오래 지속된 점인데 이는 삽교천 유역에 상대적으로 많은 양의 강우가 집중된 때문으로 볼 수 있으며 강우 초기 수위가 무한천이나 곡교천에 비해 매우 가파르게 수위가 상승한 것이 이를 증명하고 있다.

이 기간 동안의 예당지의 최대방류량은 3일 04시부터 2시간 동안 746㎥/sec를 기록하였는데 창소 관측소의 최고수위는 3일 06시에 EL. 7.32m를 기록하여 2000년과 같이 최대방류 시간과 3시간의 시차를 두고 발생하였다. 창소 관측소가 위치한 신례원교와 예당지간의 거리가 약 4.8km이고 예당지 방류의 영향이 3시간후에 나타난 것으로부터 이 구간에서의 유속을 추정하면 대략 0.45m/sec로 매우 느리게 나타나서 무한천의 홍수배제가 원활하지 않았음을 짐작할 수 있다.

2000년 8월 호우때의 유출양상과 또 다른 공통점은 서해안 조위가 EL. 2.0m 이하로 하강한 시간동안 무한천과 곡교천의 수위가 상승하고 EL. 2.0m 이상을 기록하여 삽교방조제의 수문을 폐쇄했을 것으로 추정되는 시기에는 수위가 하강한 것이다.

수위수문곡선과 제내지의 최저지반고를 비교하여 산정한 3개 수위관측소 지점의 내수배제 불능시간은 구만 지점 41시간, 창소 지점 40시간, 강청 지점 20시간이며 침수시간은 구만과 창소 지점은 38시간, 강청 지점 17시간으로 추정되어 2000년 8월 호우와 마찬가지로 삽교천 유역과 무한천 유역에 침수피해가 크게 발생하고 상대적으로 곡교천 유역의 피해는 작았던 것으로 나타났다.

<표 7.35> '99년 8월 호우시 수위 지속시간

관측소명	농경지표고 (EL.m)	허용침수위 (EL.m)	내수배제 불능		저지대침수	
			기 간	시간(hr)	기 간	시간(hr)
구 만	5.50	5.80	8.2 18:00~8.4 10:00	41	8.2 19:00~8.4 08:00	38
창 소	4.72	5.02	8.2 22:00~8.4 13:00	40	8.2 22:00~8.4 11:00	38
강 청	5.17	5.47	8.3 01:00~8.3 20:00	20	8.3 02:00~8.3 18:00	17

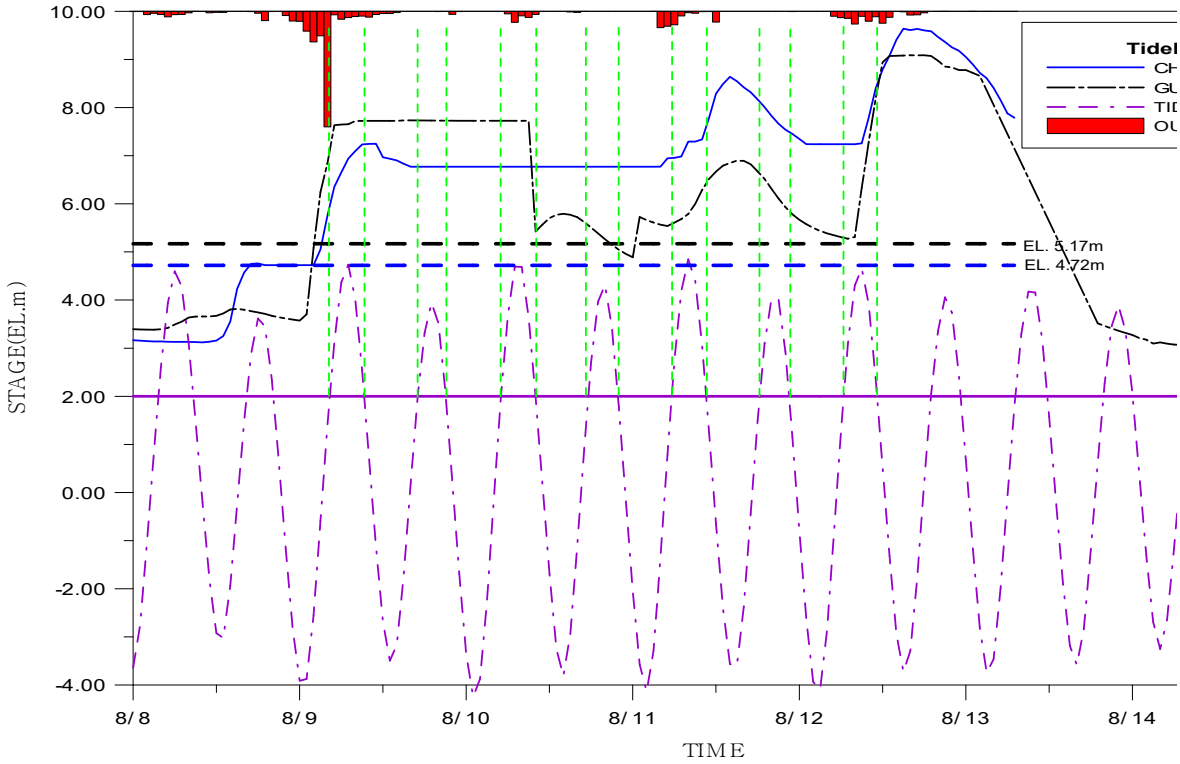
다. 1998년 8월 호우

1998년 8월의 피해는 8월 6일에서 13일 까지 산발적으로 반복된 강우에 의해 발생하였으며, 이때의 호우는 특별한 성향 없이 국지적으로 단기간의 집중호우가 반복된 특징을 보이고 있다. 따라서 비교적 장기간의 강우기록은 24시간지속 최대강우량 87.9mm, 48시간지속 최대강우량 108.2mm 등 규모가 작은데 비해 1시간지속 최대강우량은 29.0mm, 2시간지속 최대강우량은 43.0mm로 나타났으며 관측소별로는 홍성 관측소에서

최대 125mm를 기록하기도 하였다.

이 기간 동안의 피해 특성은 전체 피해규모에 비해 침수피해의 정도는 작은 반면 하천시설물 피해액이 최근 20년 동안 가장 크게 나타나 국지적으로 산간지역의 소규모 하천에서 피해가 컸던 것으로 추정된다.

비교적 강우가 집중되었던 8월 8일부터 15일 까지의 수위기록을 보면 곡교천의 강청 관측소지점의 기록이 없고, 삽교천과 무한천의 수위기록은 당시의 강우특성과 같이 매우 불규칙한 양상을 보이고 있다. 특히 무한천의 창소 관측소 지점의 최고수위가 삽교천의 구만관측소 지점의 최고수위 EL. 9.09m 보다 약 0.55m 높은 EL. 9.64m를 기록하여 계획홍수위를 2.2m 초과하는 기록을 보이는 등 강우량과 비교할 때 신뢰성이 떨어지는 경향을 보여 분석에서 제외하였다.



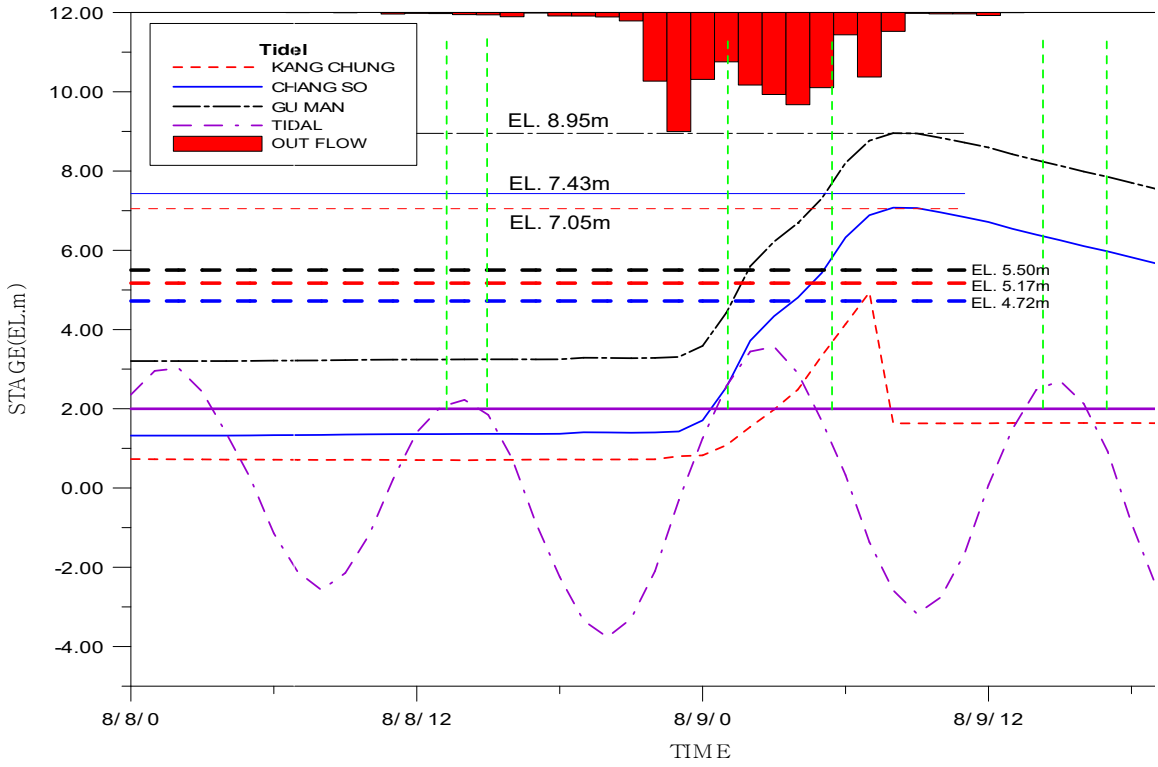
<그림 7.40> '98년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(1998년 8월 8일~8월14일)

라. 1995년 8월 호우

1995년 8월의 호우는 크게 8일에서 9일까지 발생한 집중호우와 태풍 '제니스(JANIS)'의 영향에 의해 23일~26일 기간중 발생한 집중호우로 나눌 수 있다. 8월 8~9일 아산지방을 중심으로 발생한 집중호우기간 중 삽교천 수계의 유출특성은 삽교천, 곡교천, 무한천의 수위가 동시에 상승한 것을 들 수 있다. 최대수위기록은 삽교천의 구만 관측소에서 EL. 8.96m로 계획홍수위에 도달하였고, 무한천의 창소 관측소는 EL. 7.07m로 계획홍수

위에 약 0.35m 미달하였다. 곡교천의 강청 관측소 기록은 삽교천과 무한천이 최고수위에 달하기 1시간 전에 EL. 4.94m를 기록한 이후 불연속적으로 감소하여 수위계가 오작동 한 것으로 추정되지만 삽교천과 무한천의 수위변화 성향을 통해 추정할 때 계획홍수위는 미치지 못했을 것으로 판단된다.

이 기간 동안의 강우특성은 지속시간이 유역평균으로 25시간에 불과한 전형적인 단일호우사상이며 강우강도도 균일하여 1시간에서 24시간까지 각 지속시간별 최대강우량이 고르게 높은 빈도를 보이고 있다. 공간적으로는 유역의 중심에서 강우가 시작하여 주변지역으로 확산되는 형태를 보이며 삽교천 상류, 무한천 중상류, 곡교천 상류 지역의 강우가 집중되었다. 따라서 삽교천과 무한천 및 곡교천의 수위가 동시에 상승하였으며, 특히 삽교천과 무한천의 수위변화 양상이 정확히 일치할 정도로 동일하였다. 그러나 삽교천에 비해 무한천의 상대적인 수위가 낮았던 것은 예당지의 홍수조절 효과 때문으로 추정된다.



<그림 7.41> '95년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 8일~8월9일)

이 기간 동안 3개 수위관측소 지점의 내수배제가 불능기간은 구만 지점 32시간, 창소 지점 22시간 이며, 침수시간은 구만 지점 29시간, 창소 지점 19시간이다. 그러나 강청 지점은 수위가 상승중이던 9일 08시에 EL. 4.98m를 기록한 이후 09시부터는 EL. 1.63m로 떨어져서 장기간 유지된 것으로 보아 수위계가 오작동 한 것으로 보이며 따라서 내수배

제 불능 및 침수시간은 추정할 수 없었다.

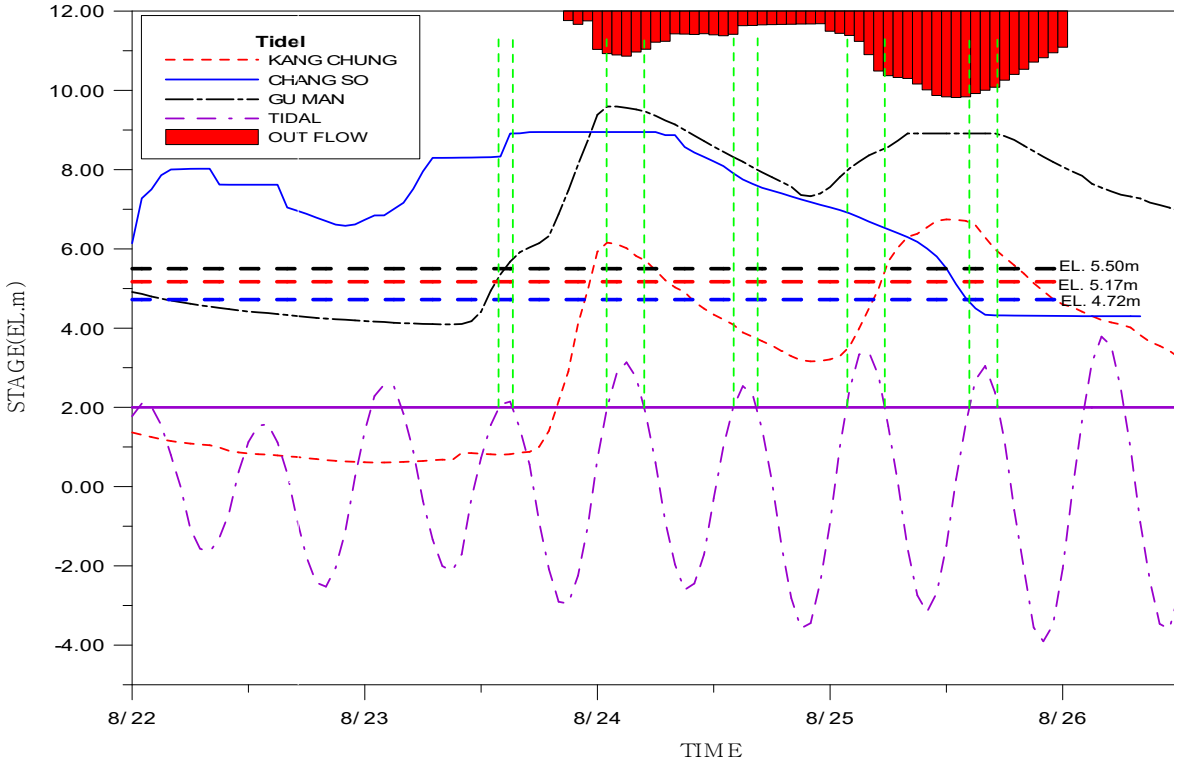
<표 7.36> '95년 8월 8~9일 호우시 수위 지속시간

관측소명	농경지 표고 (EL.m)	허용 침수위 (EL.m)	내수배제 불능		저지대침수	
			기 간	시간(hr)	기 간	시간(hr)
구 만	5.50	5.80	8.9 03:00~8.10 10:00	32	8.9 04:00~8.10 08:00	29
창 소	4.72	5.02	8.9 05:00~8.10 02:00	22	8.9 06:00~8.9 24:00	19
강 청	5.17	5.47	추정 불능		추정 불능	

같은 달 23일에서 26일 까지 약 4일에 걸쳐 발생한 집중호우로 삽교천 유역은 기록적인 피해를 입었는데 당시 강우는 북서에서 남동방향 또는 서에서 동으로 이동하면서 유역의 서쪽에 위치한 삽교천 중·하류 구간에서 469.5mm의 기록적인 강우량을 기록하였다. 이 기간 동안의 호우로 대부분의 유역내 관측소에서 강우기록을 갱신하였는데 특히 삽교천 유역의 평균 24시간지속 최대강우량이 240.9mm인데 비해 48시간지속 최대강우량은 409.4mm를 기록하여 장시간 지속적으로 많은 양의 비가 내린 것을 알 수 있다.

이 기간 동안의 수위기록은 3개 관측소에서 모두 보유하고 있으나 무한천의 창소 관측소의 기록은 강우 초기에 이미 계획홍수위를 1.5m 이상 초과한 이후 신뢰할 수 없는 값을 보이고 있어 침수에 의해 수위계가 오작동 한 것으로 추정된다. 그러나 삽교천의 구만 관측소 기록과 곡교천의 강청 관측소 기록은 당시의 강우특성과 비교할 때 신뢰할 수 있는 것으로 판단된다.

이 때의 수위기록도 앞서의 수위비교 결과와 같이 삽교천의 수위가 먼저 상승하고 이어서 대략 4시간의 시차를 두고 곡교천의 수위가 상승했다. 이에 비해 최고수위는 동시간에 기록하였는데 삽교천의 구만 지점에서는 계획홍수위 EL. 8.95m를 약 0.65m 초과하는 EL. 9.59m를 기록한데 비해 곡교천의 강청 지점은 계획홍수위 EL. 7.05m에 0.9m 미달하는 EL. 6.16m를 기록하였다. 이러한 결과는 강우의 이동방향과 수계의 방향성에 따른 영향을 정확히 보여주고 있는데 강우의 중심이 삽교천을 따라 하류로 내려와서 곡교천을 따라 상류로 이동함에 따라 삽교천의 수위가 빠르고 급하게 상승하여 첨두홍수량이 큰 반면 곡교천에서는 하류의 첨두홍수가 빠져나간 이후 상류에서 홍수가 유하하므로 첨두홍수량은 작은 특징을 보이고 있다. 특히 23, 24일간 발생한 강우에 의해 수위가 상승한 이후 24일 오후에 강우가 다소 소강상태를 보이는 동안 삽교천의 수위저하는 2.2m 정도인데 비해 곡교천이 수위저하는 3.0m를 보이고 있어 삽교천에 비해 곡교천의 홍수배제가 원활했음을 알 수 있다.



<그림 7.42> '95년 8월 호우기간의 관측소별 수위비교(8월 22일~8월 27일)

이 기간 동안의 내수배제 불능기간과 침수기간은 구만 지점에서 각각 93시간과 88시간, 강청 지점에서 15시간과 14시간으로 추정되었다.

<표 7.37> '95년 8월 23~27일 호우시 수위 지속시간

관측소명	농경지 표고 (EL.m)	허용 침수위 (EL.m)	내수배제 불능		저지대침수	
			기간	시간(hr)	기간	시간(hr)
구 만	5.50	5.80	8.23 16:00~8.27 12:00	93	8.23 17:00~8.27 08:00	88
창 소	4.72	5.02	추정 불능		추정 불능	
강 청	5.17	5.47	8.24 01:00~8.24 08:00 8.25 07:00~8.25 21:00	15	8.24 01:00~8.24 06:00 8.25 07:00~8.25 20:00	14

7.4.3 삽교천 유역의 유출특성

이상의 분석을 통해 파악된 삽교천 유역의 유출특성은 다음과 같이 요약할 수 있다. 삽교천 수계를 구성하는 주요 하천인 삽교천과 곡교천, 무한천의 유출양상은 강우 중심의 이동방향이 수계의 방향과 맞물려 결정된다. 지배적인 유출양상은 삽교천 유역에 주요한 침수피해를 유발한 강우의 일반적인 이동방향인 남서에서 북동방향 또는 서에서 동으로 이동하는 강우가 발생할 경우에 나타난다. 이 경우 첨두홍수의 유하방향과 강우중심의 이동방향이 일치하는 삽교천은 상류에서 발생한 홍수량이 하류로 이동할수록 중첩되어 수위가 빠르게 상승하며 하강속도도 빠르게 나타난다.

곡교천은 이와 반대로 강우의 중심이 하류에서 상류로 이동함에 따라 상류에서 발생한 홍수가 하류에 도달할 시점에는 하류부에서 발생한 홍수는 이미 수계를 빠져나가 첨두홍수의 증가는 완만하게 나타난다. 이러한 이유로 수위변화 폭은 크지 않은 반면 홍수규모에 비해 수위지속시간은 길어지게 된다.

무한천은 중상류에 위치한 예당지의 홍수조절 영향으로 강우 초기에는 첨두홍수량이 크지 않지만 곡교천과 삽교천의 홍수가 삽교호를 통해 서해로 빠져나갈 때까지 홍수배제가 원활하지 못하여 수위가 지속되다가 장기간의 강우로 인해 예당지의 홍수조절능력이 상실되어 방류가 시작되면 수위가 급상승한다. 무한천의 홍수배제가 원활하지 못한 이유는 하구부가 곡교천에 비해 상류에 위치한 이유도 있지만 '3.2.2 하도특성 및 하상변동 검토'에서 검토한 바와 같이 삽교천과의 합류점 형상도 그 원인으로 작용하는 것으로 판단된다.

이러한 이유로 홍수위는 삽교천이 무한천과 곡교천에 비해 상대적으로 높고 곡교천이 가장 낮은 반면 예당지에서 대규모 방류가 불가피한 장기간의 강우가 발생할 경우 강우후반에 형성되는 무한천의 홍수위가 삽교천에 비해 높게 나타난다. 곡교천의 홍수위는 일반적으로 가장 낮게 형성된다.

또한 삽교천과 무한천 및 곡교천의 수위변화와 서해안 조위간에 일정한 관계가 성립되는 것으로부터 삽교호 배수갑문 조작이 주요 하천의 하류부 수위에 영향을 미치는 것으로 추정된다. 아울러 무한천의 예당지 하류부는 예당지 방류의 직접적인 영향을 받으므로 장기간의 홍수시 침수피해에 매우 취약하다.

최근 20년간의 우심피해 기간 동안 발생한 강우량의 발생빈도가 대부분 계획빈도를 크게 밑도는 20년 미만인데 비해 삽교천 중하류부와 무한천 예당지 하류부에 침수피해가 빈번하게 발생하며 기왕에 발생한 장기간의 호우시 침수시간이 40시간 이상으로 추정되었는데 이러한 원인은 제내지의 지반고가 홍수위에 비해 낮은데 그 원인이 있다. 특히 강우의 공간분포가 저지대가 밀집한 유역의 북서부에 집중되는 성향이 있어 침수피해를 가중시키고 있다.

7.4.4 과거 홍수시 예당지 및 삽교호 운영상황 검토

가. 삽교호 운영상황

삽교호의 홍수배제를 위한 배수갑문은 20m(B)×6m(H)×6련으로 구성되어 있고, 삽교천 방조제 관리규정에 의하면 내외수위 조건상 방류가 가능한 경우 즉 내수위가 외조위보다 높은 경우에는 6개의 문비 전부를 완전 개방하는 것으로 되어 있다. 또한, 홍수시 삽교호 관리 수위는 EL. 2.0m로 규정하고 있고 예당저수지 완전 개방시에는 제한수위를 EL. 1.0m로 유지토록 되어있다.

문비 개폐여부를 결정하기 위한 내수위 관측은 방조제로부터 상류측으로 약 1km지점에 위치한 운정양수장에 설치된 수위표에 의해 이루어지고 있으나, 외조위 관측은 배수갑문의 외해측에 설치된 수위표가 갑문 개방시에는 측정이 불가하여 조석표에 의해 조위를 추정하고 있다.

각 피해 우심기간별 삽교호 일별 운영현황은 <표 7.38>에서 보는바와 같으며, 1995년 8월9일 378,910천톤으로 가장 많은 양을 방류하였고, 1995년 8월 25일 308,430천톤, 1995년 8월 24일 245,970천톤 순으로 기록되어 있다. 기타 주요 우심피해 기간별 방류실적은 2000년 8월7일 7,448천톤, 1999년 8월 2일 20,630천톤, 1998년은 8월 9일 44,328천톤이며 1989년9월 17일에는 16,120천톤, 1987년 8월 31일 33,084천톤으로 조사되었다.

같은 기간에 발생한 강우량에 의해 삽교천 유역에서 발생한 홍수의 용적을 산출하여 방류실적과 비교하면 상기한 방류실적과 유사하여 배수갑문이 비교적 적절히 운영된 것으로 판단된다. 그러나 운영기록이 일단위로 집계됨으로써 시간적으로 변화하는 홍수량과의 관계를 설정할 수 없어 실질적으로 주요 홍수기간 동안 배수갑문이 적절히 운영되었는지를 검토하는 것이 불가능하므로 향후 운영기록을 최소한 시간단위로 세분화하여 기록·관리하여야 할 것이다.

<표 7.38> 우심피해기간중 삽교호 운영현황

구분 / 년월일	방류시간			방류전		개문		방류후		방류추정량 (천톤)
	개시	종료	시간	내수위	외수위	연수	높이	내수위	외수위	
2000-08-05	23:45	0:30	0:45	1.89	0.45	6	6.0	1.65	-1.90	4,468
2000-08-07	15:20	16:25	1:05	1.90	-1.40	6	6.0	1.50	-2.40	7,448
2000-08-09	17:15	18:10	0:55	1.77	-1.61	6	6.0	1.45	-2.06	5,902
1999-08-02	13:30	17:30	04:00	1.70	-2.60	6	6.0	0.79	0.20	20,630
1999-08-02	22:10	6:50	08:40	1.94	1.74	6	6.0	3.10	2.00	
1999-08-03	8:40	7:00	23:20	4.00	3.30	6	6.0	2.10	1.10	

『자료』 농업기반공사 당진지사

<표 7.38> 우심피해기간중 삽교호 운영 현황 (계속)

구분 / 년월일	방류시간			방류전		개문		방류후		방류추정량 (천톤)
	개시	종료	시간	내수위	외수위	연수	높이	내수위	외수위	
1999-08-04	10:20	19:00	08:40	2.80	2.00	6	6.0	0.76	0.60	
1999-08-05	3:30	5:30	02:00	1.50	-1.40	6	6.0	0.80	-1.40	12,010
1999-08-05	15:00	16:40	01:40	1.35	-1.65	6	6.0	0.80	-3.20	9,390
1998-08-06	09:10	12:10	03:00	1.98	-2.30	6	6.0	0.91	-0.70	19,980
1998-08-06	18:00	23:00	05:00	1.44	0.50	6	6.0	0.20	-2.00	26,000
1998-08-08	09:00	14:00	05:00	1.60	-1.50	6	6.0	0.00	0.40	29,400
1998-08-08	23:00	00:00	01:00	0.60	-3.30	6	6.0	0.40	-3.50	2,840
1998-08-09	00:00	02:00	02:00	0.40	-3.50	6	6.0	0.02	-0.60	5,680
1998-08-09	08:40	15:40	07:00	1.70	0.80	6	6.0	1.40	1.00	36,120
1998-08-09	20:00	00:00	04:00	2.53	2.00	6	6.0	1.44	-4.40	2,528
1998-08-10	00:00	03:30	03:30	1.44	-4.40	6	6.0	0.80	0.50	22,120
1998-08-10	09:30	15:30	06:00	1.51	0.60	6	6.0	-0.10	-0.40	31,620
1998-08-10	22:00	00:00	02:00	0.84	-0.50	6	6.0	0.54	-4.00	7,760
1998-08-11	00:00	02:40	02:40	0.54	-4.00	6	6.0	0.30	2.20	10,340
1998-08-11	11:00	16:00	05:00	0.50	-1.00	6	6.0	-0.30	-0.60	26,350
1998-08-11	22:30	00:00	01:30	0.98	0.00	6	6.0	0.62	-2.90	7,200
1998-08-12	00:00	04:00	04:00	0.62	-2.90	6	6.0	-0.32	-0.70	19,200
1998-08-12	10:30	17:00	06:30	0.50	-0.40	6	6.0	0.10	-0.20	27,690
1998-08-12	22:00	00:00	02:00	2.38	1.80	6	6.0	2.13	-1.50	14,980
1998-08-13	00:00	05:30	05:30	2.13	-1.50	6	6.0	1.07	0.50	41,190
1998-08-13	11:00	17:30	06:30	1.87	1.37	6	6.0	0.12	-0.60	32,170
1995-08-09	07:30	14:10	06:40	2.15	0.80	6	4.0	2.09	1.82	1,179
1995-08-09	17:00	02:00	09:00	3.50	3.00	6	5.0	1.09	1.05	378,910
1995-08-10	11:40	13:00	01:20	2.10	-3.50	6	4.0	1.63	-1.20	8,855
1995-08-22	09:05	12:05	03:00	2.12	-1.10	6	4.0	1.21	0.50	16,743
1995-08-23	09:20	13:00	03:40	2.10	-1.80	6	4.0	1.00	-0.60	20,025
1995-08-23	17:15	01:00	07:45	1.35	-1.30	6	4.0	0.87	0.78	82,460
1995-08-24	04:35	15:20	10:45	3.28	3.28	6	4.5	3.00	2.95	67,930
1995-08-24	16:00	02:30	10:30	3.22	3.21	6	5.0	2.02	2.01	245,970
1995-08-25	05:45	04:20	22:35	3.30	3.30	6	5.0	3.90	3.90	308,430
1995-08-26	05:20	15:40	10:20	4.27	4.27	6	5.0	2.70	2.70	37,900
1995-08-27	18:00	03:15	09:15	3.33	3.33	6	6.0	1.73	1.73	32,100

『자료』 농업기반공사 당진지사

<표 7.38> 우심피해기간중 삽교호 운영 현황 (계속)

구분 / 년월일	방류시간			방류전		개문		방류후		방류추정량 (천톤)
	개시	종료	시간	내수위	외수위	연수	높이	내수위	외수위	
1995-08-27	07:30	15:15	07:45	2.60	2.60	6	5.0	0.72	0.60	34,546
1995-08-28	10:00	12:00	02:00	2.05	0.80	6	4.0	1.30	-3.30	13,792
1995-08-29	12:00	13:30	01:30	1.93	-2.70	6	4.0	1.41	-3.50	9,581
1995-08-30	09:35	17:00	07:25	1.95	1.90	6	4.0	0.98	0.90	17,455
1995-08-30	21:40	05:10	07:30	2.20	1.80	6	4.0	0.50	0.40	30,147
1989-09-17	10:00	14:30	04:30	0.70	-0.90	6	4.0	-0.38	-0.80	16,120
1987-08-27	11:25	15:45	04:20	1.51	-0.50	4	4.0	0.65	-0.10	14,645
1987-08-29	11:10	17:40	06:30	1.72	1.40	6	4.0	1.55	1.00	3,165
1987-08-29	22:35	05:45	07:10	2.98	2.90	6	4.5	1.50	1.00	29,166
1987-08-30	10:50	20:00	09:10	2.70	2.60	6	4.5	2.89	2.75	-3,969
1987-08-30	22:15	07:15	09:00	3.73	3.60	6	5.0	2.20	1.90	32,606
1987-08-31	10:30	19:00	08:30	3.00	3.00	6	5.0	1.30	1.20	33,084

『자료』 농업기반공사 당진지사

나. 예당지 운영상황

예당지의 문비조작은 집수유역내에 대하여 강우 예측, 유입량 분석, 방류시 하류구간의 홍수피해여부 검토, 방류량 결정 및 방류 등과 같은 순서로 결정된다.

예당지가 건설된 1962년 이후 예당지의 방류실적을 살펴보면, <표 7.39>에서 보는바와 같이 1995년 8월 25일 26련×(H)3.0m의 개문으로 1,645㎥/sec가 최대방류량으로 기록되었으며, 2000년 8월 27일 1,496㎥/sec, 1964년 4월 17일 1,063㎥/sec 순으로 방류한 것으로 조사되었다.

<표 7.39> 과거 예당지 방류기록 (1962～2000)

년, 월, 일	방류량 (㎥/s)	개문고 (련×H(m))	비 고	년, 월, 일	방류량 (㎥/s)	개문고 (련×H(m))	비 고
1962, 05, 30	676	26×1.0		1987, 07, 22	923	18×2.5	
1964, 04, 17	1,063	26×1.7		1987, 08, 30	926	17×2.5	
1971, 07, 26	997	26×1.6		1992, 08, 27	860	20×2.0	
1974, 07, 08	842	15×1.5		1995, 08, 25	1,645	26×3.0	기왕최대
1979, 06, 26	900	17×2.0		1999, 08, 03	746	15×2.0	
1980, 07, 22	850	15×2.0		2000, 08, 27	1,496	26×3.0	
1986, 07, 19	676	18×2.0					

과거 우심피해 기간의 예당지 방류기록에 의하면 '95년의 태풍 '제니스(JANIS)'의 영향으로 발생한 집중호우시 피해우심기간은 8월 23~27일이었으나 8월 19~20일경 발생한 집중호우로 사전방류가 있었으며, 23일의 예당지 수위는 홍수기 제한수위인 EL. 21.5m에 미달하는 EL. 19.67m인 것으로 조사되었다. 또한 최대방류가 발생한 25일 예당지 수위는 계획홍수위인 EL. 22.5m에 육박하는 EL. 22.47m인 것으로 기록되어 있는데 이러한 결과는 실제 발생한 홍수의 규모나 '삽교천 수해원인조사 보고서, 1996.11, 건교부'의 분석결과와는 매우 상이한 것으로서 자료의 신빙성이 결여된 것으로 판단된다.

<표 7.40> 피해우심기간별 예당지 방류기록

방 류 기 간			수 위 (EL. m)	저수량 (천톤)	방류량 (천톤)	강우량 (mm)	비 고
년	월	일					
2000	8	24	20.62	27,734	1,409	94.24	
		25	21.27	33,657	409	53.84	
		26	20.99	31,042	1,358	128.48	
		27	22.52	46,286	7,514	67.81	
		28	21.31	34,037	119	10.39	
1999	8	1	20.88	30,037	6,170	2.68	
		2	20.30	25,018	-	138.43	
		3	21.49	35,759	-	124.96	
		4	21.14	32,433	65,889	6.04	
1998	8	6	21.67	37,518	1,490	44.97	
		7	21.12	32,246	1,490	1.73	
		8	21.34	34,417	-	16.79	
		9	21.57	36,534	31,378	83.94	
		10	21.25	33,467	-	16.87	
		11	21.85	39,308	82,852	25.93	
		12	21.90	39,811	-	54.43	
		13	21.30	33,941	-	0.13	
		14	21.11	32,153	26,160	30.20	
1995	8	20	22.21	42,991	21,009	86.35	
		21	22.10	41,832	10,851	10.03	
		22	21.29	33,846	8,873	0.51	
		23	19.67	28,169	7,523	165.42	
		24	22.09	41,746	42,317	85.85	
		25	22.47	45,747	106,150	192.93	
		26	20.75	28,871	41,821	28.38	
		27	20.21	24,277	13,155	1.96	

『자료』 예당지 방류현황표(예당 농업기반공사)

제 8 장 홍수피해 원인 분석

제 8 장 홍수피해 원인 분석

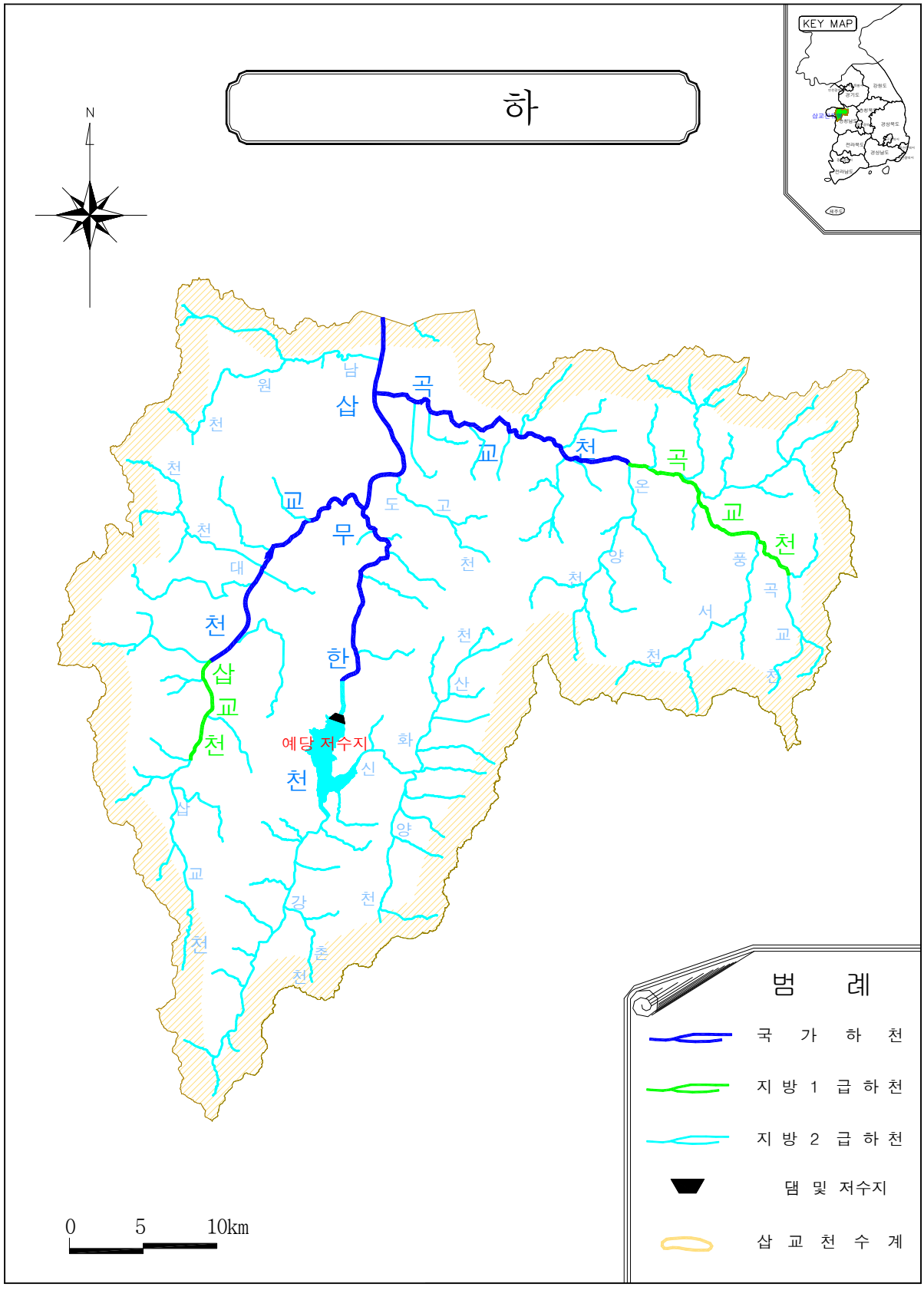
삽교천 유역의 치수특성과 수문지형학적인 분석 및 최근 20년간의 홍수피해특성 조사를 통해 삽교천과 곡교천, 무한천 국가하천 구간 연안의 유역 중하류부 지역이 침수피해에 취약하며 실제로 많은 피해가 발생한 것으로 조사되었다. 특히 지속적인 하천개수 사업의 시행에도 불구하고 '90년대 이후로 피해규모가 증가하고 있는 추세를 보이고 있는데 이러한 현상은 경제발전에 따른 재산가치 상승과 토지이용 고도화의 결과라고 할 수 있으며, 한편으로는 하천제방 축조와 보강의 결과 외수범람의 피해는 감소하였지만 반대로 내수배제 불능에 의한 침수피해가 증가하고 있는 것과 같은 침수피해 양상의 변화도 영향을 미친 것으로 판단된다.

이 지역이 치수적으로 취약하며 침수피해가 빈발하는 원인을 다음과 같이 수계구성 및 지형 특성, 강우 및 유출 특성 그리고 기타 요인으로 구분하여 정리하였다.

가. 수계구성 특성

삽교천 수계를 구성하는 간선 하천으로는 유역의 서쪽에 위치한 삽교천 본류 이외에 유역의 동쪽에 위치한 곡교천 및 삽교천과 곡교천 사이에 위치하여 유역의 중심부를 남북으로 가르는 무한천으로 구분할 수 있다. 이들 3개 하천은 유역면적과 유로연장이 비슷하여 홍수규모도 유사할 것으로 추정되는데 삽교천의 하구에 위치한 삽교호 방조제 약 5km 상류에서 삽교천과 곡교천이 합류하고, 그 10km 상류에서 무한천이 삽교천으로 유입되고 있다.

이렇게 규모가 비슷한 3개의 하천이 하류부 단구간에서 합류하게 됨으로써 전체유역에서 발생한 홍수가 하류부에 일시에 집중되게 된다. 특히 각 하천별로는 수계형상이 수지상이며 유역의 형태가 형상계수 0.2 정도의 장방형 형태이므로 유출양상은 홍수가 일시에 집중되지 않고 장시간 유출이 계속되는 특징이 있는 반면 하류부에서 3개 하천이 합류하게 되면서 전체 수계의 형상은 홍수가 일시에 집중되는 방사상 형태로 변화하여 유역의 형상계수도 정방형에 가까운 0.47~0.53으로 급증한다. 따라서 3개 하천의 합류부가 위치한 유역 중하류부에서는 첨두홍수량이 급격히 증가하여 홍수위가 상승하고 상류에서 지속적으로 유하하는 홍수로 인하여 수위가 장기간 지속되어 치수적으로 매우 불리한 상황이 발생할 위험이 높은 것으로 평가된다.



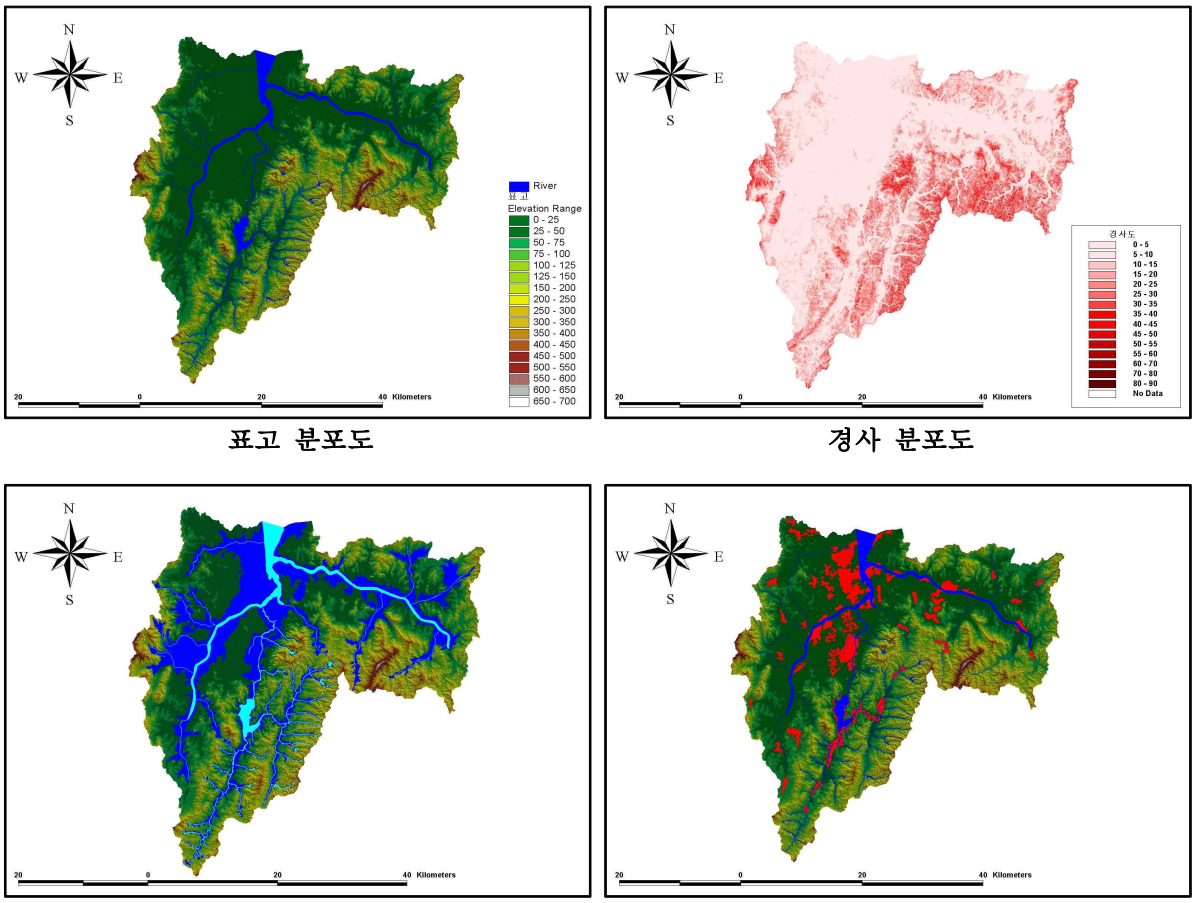
<그림 8.1> 삽교천 수계 하천망도

나. 지형특성

삽교천 유역면적의 23.62%에 해당하는 398.50㎢의 지역이 EL. 25m 이하의 저지대로 삽교천의 중하류 구간과 곡교천 및 무한천 합류부가 위치한 유역의 중하류부에 해당하는 북서부에 집중되어 있다. 특히 이 지역에는 경사가 전혀 없는 평탄지가 하천변에 집중적으로 분포하고 지반의 표고도 매우 낮아 하도의 수위가 상승하면 내수배제가 불가능해지며 침수가 발생할 경우 그 범위가 광범위하게 확산되는 특징이 있다.

삽교천 유역 전체를 대상으로 하도버퍼링 분석을 실시한 결과 대략 20년 빈도 이하의 홍수규모에 해당하는 고수부지고 기준 1.5~2.0m 이상의 홍수위 발생시 내수배제가 불가하여 침수가 예상되는 취약지역의 면적이 425.50㎢로 전체 삽교천 유역의 25.90%를 차지하고 있어 유역의 지형이 치수적으로 매우 취약한 것을 알 수 있다.

이러한 삽교천 유역의 지형특성을 앞서 살펴본 수계구성 특성과 연계하여 보면 유역 중하류부 지역에서 침수피해가 발생할 위험이 대단히 높으며, 비록 하천제방의 축조에 의해 외수에 대한 안정성은 확보하여도 내수침수에 대한 부담은 상존하므로 이를 해소할 수 있는 새로운 치수대책이 필요함을 알 수 있다.



표고 분포도 경사 분포도

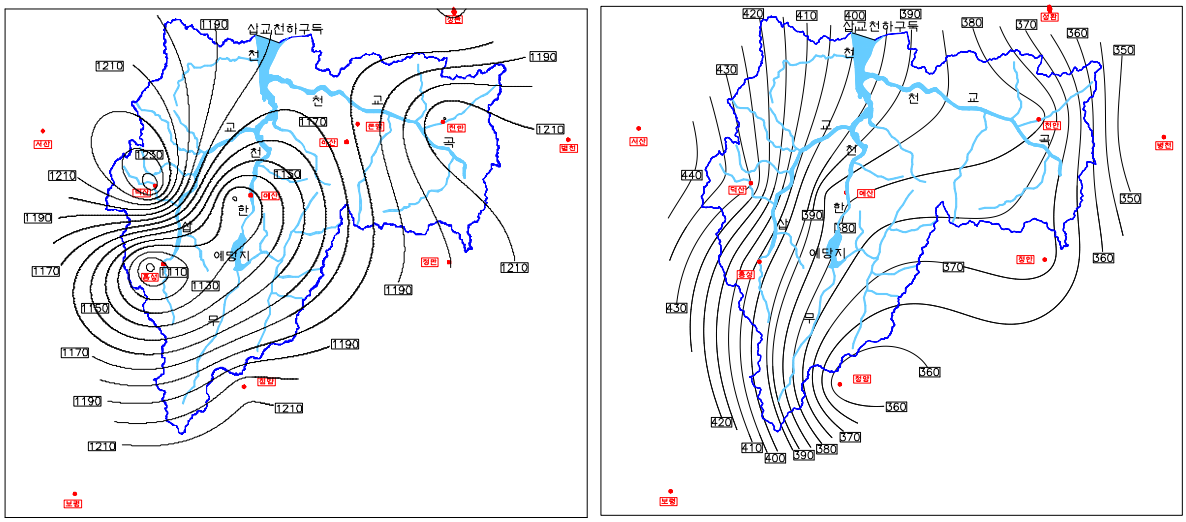
(1.5m, 2m 하도 Buffering 결과) 평탄지 분포도

<그림 8.2> 삽교천 유역 지형특성 분석

다. 강우특성

삽교천 유역은 연평균 강수량이 1,178.9mm로 우리나라 평균 강수량보다 100mm 정도 적은 지역이다. 그러나 홍수기에 해당하는 6월에서 9월까지의 시기에 연강수량의 70% 이상이 발생하는 집중호우 성향은 우리나라의 일반적인 기상특성과 차이가 없으며, 이에 비해 홍수기에 실질적으로 피해를 유발하는 비교적 단기간의 강우분포가 연강수량의 분포와 상이한 특징이 있다. 즉 연강수량은 유역의 외곽과 동쪽에 위치한 곡교천 상류지역이 큰 반면, 24시간 및 48시간지속 확률강우의 경우 유역내 침수취약지역이 집중되어 있는 북서부에서 크게 나타나 홍수피해를 유발하는 집중호우가 상대적으로 이 지역에 집중됨을 알 수 있다.

이러한 원인은 홍수기에 일반적으로 나타나는 강우의 이동특성과 관련이 있는 것으로 추정되는데 대부분의 홍수피해가 발생한 8월과 9월의 강우는 대체로 서에서 동향하거나 남서에서 북동향하는 특성이 있어 유역 서쪽의 강우량이 크고 오래 지속되는 특징을 보이고 있다.



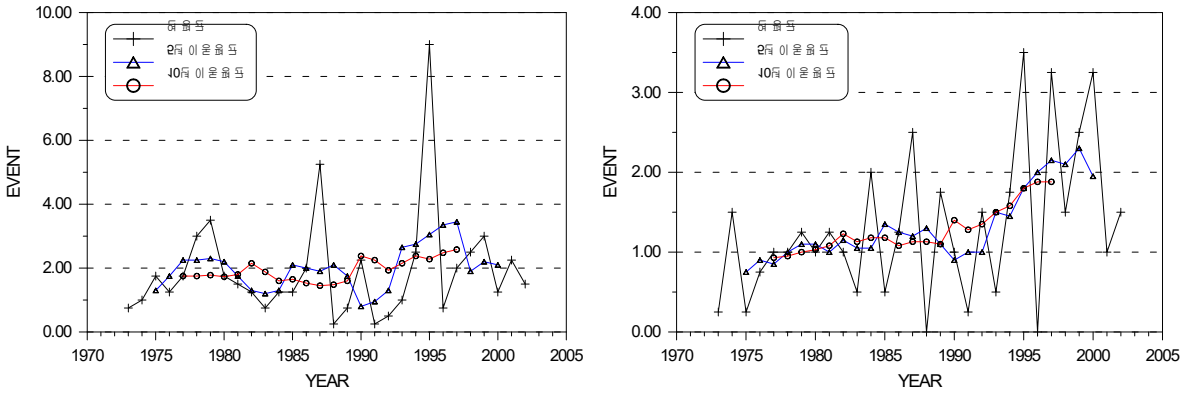
(연평균 강수량) (24시간지속 100년 빈도 확률강우량)

<그림 8.3> 삽교천 유역 등우선도 비교

또한 삽교천 유역 및 주변에 위치한 기상청 관측소에서 관측된 집중호우의 발생빈도가 근래 들어 지속적으로 증가하는 추세에 있는 것도 치수적으로 부담이 되고 있는데, 특히 1일 100mm 이상의 집중호우 발생빈도가 '90년대 이후 가파른 증가추세를 보이고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 삽교천 유역은 연간 강우량으로서는 다우지역에 해당하지 않지만 여름철에 발생하는 호우가 치수적으로 취약한 유역의 북서부에 집중되며, 실질적인 피해를 유발하는 집중호우의 발생빈도가 증가하고 있다는 점에서 치수적인 부담으로

작용하고 있다.

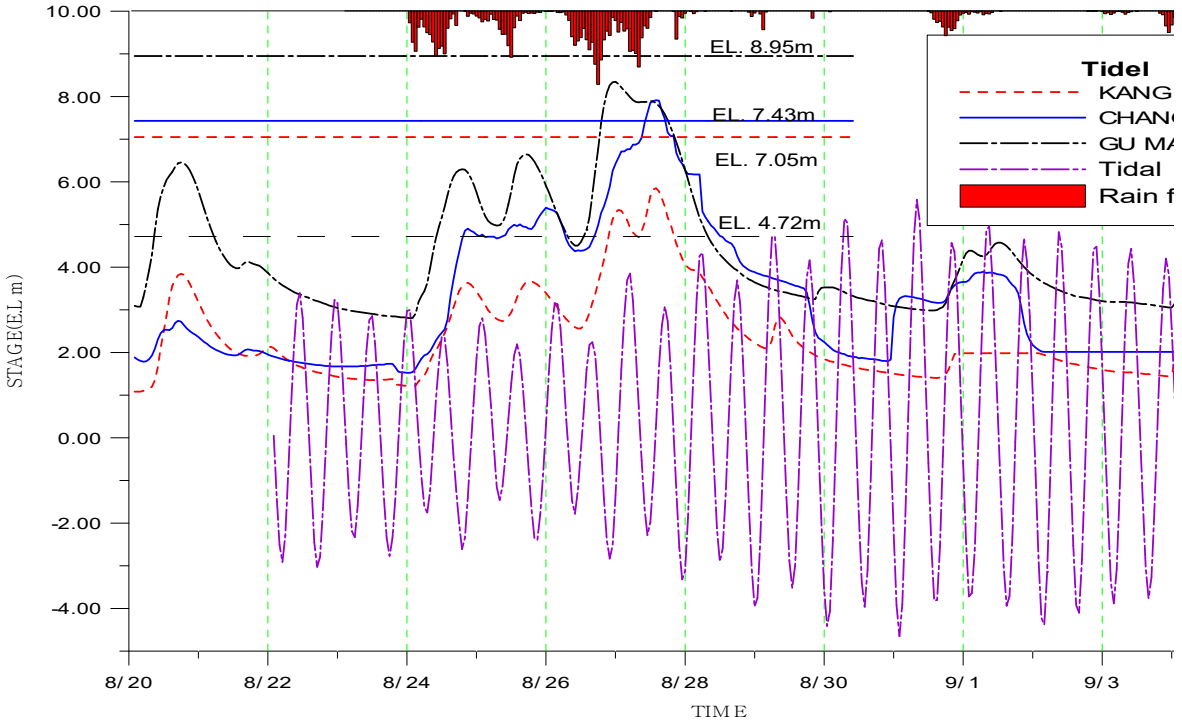


(1시간 30mm 이상) (1일 100mm 이상)

<그림 8.4> 삽교천 유역 집중호우 발생빈도

라. 유출특성

삽교천 유역에 침수피해를 유발하는 강우의 공통된 특징은 대체로 남서에서 북동 또는 서에서 동으로 이동하며, 1일 이상의 지속시간을 갖고 2회 이상의 첨두강우가 발생한 것을 들 수 있다. 이러한 강우조건에서 삽교천 본류의 홍수 유하방향은 강우의 이동방향과 일치하여 첨두홍수가 빠르고 크게 발생하며 곡교천의 경우에는 반대로 첨두홍수의 크기는 작으나 수위지속시간이 길어지게 된다.



<그림 8.5> 2000년 8월 호우기간 관측소별 수위비교

곡교천 합류부 상류에서 삽교천에 합류하는 무한천은 삽교천과 곡교천의 홍수가 유출된 이후에 배제되므로 수위지속시간이 길어지고, 이 기간 동안에 예당지가 홍수조절기능을 상실하게 되면 집중적인 방류로 인해 수위가 급격히 상승하여 큰 피해가 발생하게 된다. 무한천의 홍수배제가 지체되는 이유는 이러한 수계구성 특성과 더불어 삽교천 합류부의 형상과 지형특성에도 영향을 받는 것으로 분석되었다.

이러한 삽교천 수계 주요 하천의 유출특성은 2000년 8월 홍수시의 삽교천의 구만 수위관측소와 무한천의 창소 수위관측소 및 곡교천의 강청수위관측소의 수위기록을 비교한 <그림 8.5>에 잘 나타나고 있다.

마. 서해안 조위

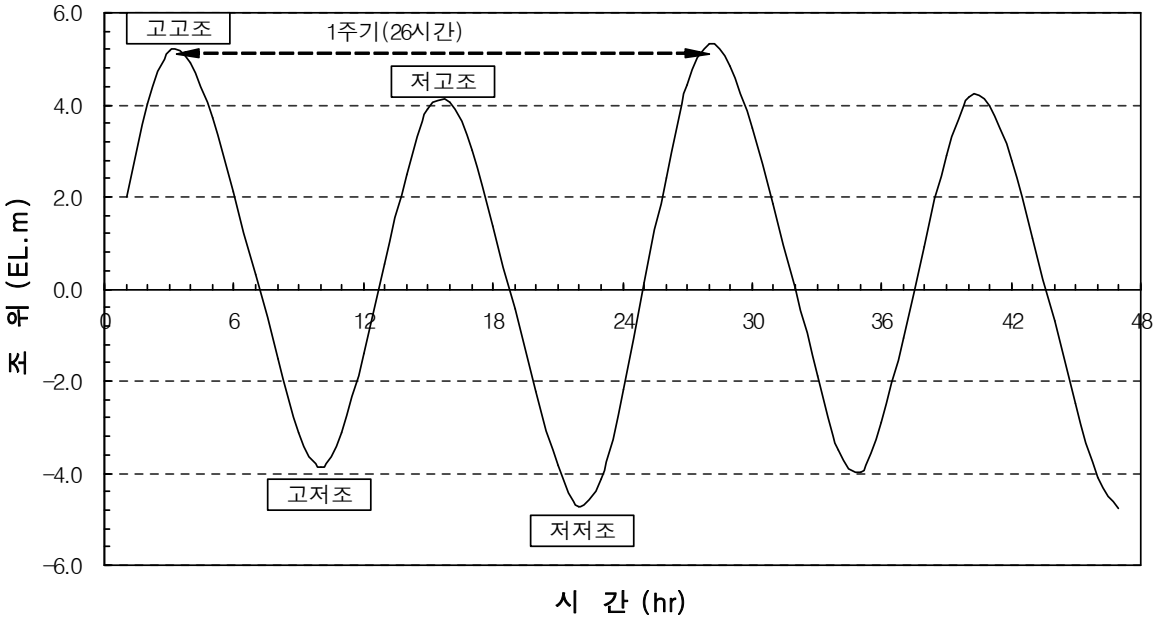
삽교천 유역에서 발생한 홍수는 삽교호 방조제의 배수갑문을 통해 서해로 유출되는데 서해안의 조위가 삽교호의 내수위 보다 높을 경우에는 방류가 불가능 하다. 따라서, 삽교호 배수갑문의 홍수배제 능력과 무관하게 홍수시 일정기간 동안 유역에서 발생한 홍수를 배제하지 못하여 삽교호의 내수위가 상승하며, 그 배수영향으로 주요 하천의 하류부 홍수위가 상승한다.

조위는 달과 태양과 지구의 위치가 일직선상에 있으면서 달과 지구가 가장 가까운 거리에 있을 때 가장 높아지는데 우리나라의 경우 음력 7월 15일(백중)을 전후로 3~4일간 이러한 현상이 발생하며 이를 '백중사리'라고 한다. 문제는 이 시기가 양력으로는 8월 중하순에 해당하며 삽교천 유역뿐만 아니라 우리나라 전체적으로 홍수피해가 가장 극심하게 발생하는 시기와 일치한다는 점이다. 실제로 '제 7 장 과거 발생한 주요 호우사상의 특성 검토'에서 살펴본 바와 같이 삽교천 유역에서 발생한 우심호우사상 12개 중 5개가 이 시기에 발생하였다.

조위의 1주기는 대략 26시간에 해당하며 그 과정에서 각 2회씩의 고조와 저조가 발생하는데 그 규모가 달라서 각각 고고조와 저고조, 고저조와 저저조로 구분되므로, 조위의 한 주기에는 사실상 2회의 작은 주기가 포함된다. <그림 8.6>은 금회 과업의 수리·수문분석에 적용된 설계조위로서 '97년에 삽교호 방조제 지점에서 1년간 관측한 자료를 조화분석하여 산정한 조화상수를 이용하여 모의발생한 조위 중 최대조위가 발생한 시기를 전후한 기간의 조위 변화를 도시한 것이다. 이 경우에 있어 고고조에 해당하는 최고조위는 EL. 5.32m로서 삽교호의 홍수기 관리수위 EL. 2.0m 보다 3.0m 이상 높으며, 최대조위를 포함하는 조위의 1주기 26시간 중 8~11시간 동안 조위가 EL. 2.0m를 초과하므로 이 기간은 삽교호의 내수위가 관리수위 EL. 2.0m를 초과하게 된다. 이렇게 조위가 내수위 보다 높으면 배수갑문을 개방하지 못함으로써 홍수배제가 중단될 뿐만 아니라 삽교

호의 내수위 상승에 따른 배수영향으로 유역 하류부에 위치한 하천의 홍수위 또한 상승하여 외수범람의 위험이 증가하고 내수배제가 불가하게 되는바 조위가 높을수록 그 정도는 증가하게 된다.

따라서, 서해안의 조위가 가장 높게 형성되는 시기가 장마 후 집중호우 기간 및 태풍의 내습기와 일치하는 우리나라의 기상특성상 조위 또한 삽교천 유역 중하류부와 같이 조위의 영향을 받는 지역의 홍수피해를 가중시키는 중요한 요인이라 할 수 있다.



<그림 8.6> 삽교호 방조제 지점의 설계조위

제 9 장 치수단위구역 구분 및 치수안전도 설정

9.1 홍수피해 잠재능(PFD : Potential Flood Damage) 분석

9.2 치수단위구역 구분

9.3 치수안전도 설정

제 9 장 치수단위구역 구분 및 치수안전도 설정

하도개수와 제방 축조 및 배수펌프장 설치 등 비교적 단순한 선 개념의 하도중심 치수계획에 비해 유역종합치수계획이 추구하는 면 개념의 치수계획은 단위지역 또는 유역의 특성을 파악하여 그 특성에 따른 다양한 치수계획을 도입한다는 점에서 기본개념이 구분된다.

본 장에서는 삽교천 유역에 대해 상기한 바와 같은 면 개념의 유역종합치수계획을 수립하기 위한 사전단계로서 유역의 특성을 분석하여 동일한 홍수특성을 가진 지역을 구분하고, 개개 지역의 특성에 적합한 치수안전도를 설정하였다.

9.1 홍수피해 잠재능(PFD : Potential Flood Damage) 분석

홍수피해 잠재능(PFD)은 특정 지역의 홍수피해 취약정도를 나타내는 지수로서 홍수발생시 예상되는 잠재적인 피해 정도를 나타내는 잠재성 요소(인구, 재산, 도시화율, 사회기반시설)와 홍수피해가 발생할 가능성 및 이에 대한 방어능력 정도를 나타내는 위험성 요소(홍수피해액, 확률강우량, 하천개수율, 홍수조절용량)로 구성된다.

PFD는 개개 유역의 치수특성을 구성하고 있는 요소들을 객관적인 방법으로 지수화함으로써 지역내 인구분포, 주요 시설입지 등 사회·경제적인 요소를 고려한 면 개념의 치수특성을 파악하여 치수계획 수립 및 투자우선순위 결정에 활용할 수 있다. 이러한 기본 목적에 입각한 활용도는 다음과 같다.

- ○ 치수단위구역별 치수특성 파악과 홍수방어계획 수립의 기초자료로 활용
- ○ 유역내 피해집중지역 파악과 홍수방어대책 설정
- ○ 투자우선순위 결정 및 면적개념의 치수단위구역 특성 분석 방법 제시

9.1.1 홍수피해 잠재능(PFD) 산정방법

홍수피해 잠재능(PFD)의 구성요소는 <표 9.1>에서 보는바와 같이 그 지역의 잠재 홍수피해정도 및 홍수발생 가능성과 이에 대한 방어능력으로 구분할 수 있다.

잠재성은 동일조건(위치, 표고, 강우량 등)하에서 홍수가 발생하였을 때 예상되는 잠재적인 피해정도로서 인구밀도, 자산, 도시화율, 사회기반시설 등의 세부기준에 의해 산정된다. 또한 위험성 요소는 어떤 지역에 대해 홍수피해가 일어날 가능성 및 홍수피해 발생시 이를 저지할 수 있는 방어능력 정도를 나타내는 요소로 가능성 요소 및 방어능력

요소로 구성되며, 각 항목별 내용은 다음과 같다.

<표 9.1> PFD 구성요소

요 소	세 부 항 목	
잠재성, F_{PO}	• 인구, F_{PD} • 자산, F_{PF} • 도시화율, F_{RUB} • 사회기반시설(도로, 철도, 교량), F_{SOC}	
위험성, F_{RI}	가 능 성	• 홍수피해액, F_{FD} • 확률강우량, F_{PR}
	방어능력	• 외수방어능력(제방 개수율), F_{CI} • 댐 및 저수지, F_{DAM} • 내수방어능력(배수펌프장), F_{PUMP}

【자료】 '수자원장기종합계획, 2000.12, 건교부'

가. PFD 산정식

홍수피해잠재능(PFD) 산정식은 (식 9.1)과 같이 주요 항목인 잠재성 및 위험성 지수를 각 항목별 중요도에 따라 가중계수(α)를 이용하여 산정하였다.

$$PFD = F_{PO}^{\alpha_1} \times F_{RI}^{\alpha_2} \quad \text{..... (식 9.1)}$$

여기서, F_{PO} : 잠재성 지수

F_{RI} : 위험성 지수

α_i : 각 항목별 가중계수

PFD를 구성하는 주요항목인 잠재성지수와 위험성지수를 산정하는 방법은 (식 9.2), (식 9.3)과 같이 세부항목의 중요도에 따라 가중계수(β)를 이용하여 조절한 후 각각의 세부항목을 합산하여 결정하였다. 각 항목별 가중계수는 세부항목의 중요도에 따라 조절하였으며, 각각의 가중계수의 합이 1이 되도록 산정하였다.

$$F_{PO} = \beta_1 F_{PD} + \beta_2 F_{PF} + \beta_3 F_{RUB} + \beta_2 F_{SOC} \quad \text{.....(식 9.2)}$$

여기서, F_{PD} : 인구 지수

F_{PF} : 자산 지수

F_{RUB} : 도시화 지수

F_{SOC} : 사회기반시설(도로, 철도, 교량) 지수

β_i : 각 지수별 가중계수

위험성은 가능성 및 방어능력으로 구분되는데, 이중 방어능력은 PFD와 반비례하는 관계로 방어능력 지수 산정시 역으로 배열(descending)하여 산정하였다.

$$F_{RI} = \beta_5 F_{PR} + \beta_6 F_{FD} + \beta_7 F_{CI} + \beta_8 F_{DAM} + \beta_9 F_{PUM} \quad \text{(식 9.3)}$$

여기서, F_{PR} : 확률강우량 지수, F_{DAM} : 댐 및 저수지 지수

F_{FD} : 홍수피해밀도 지수, F_{PUM} : 내수방어능력 지수

F_{CI} : 외수방어능력 지수, β_i : 각 지수별 가중계수

나. 각 세부 항목별 지수산정방법

PFD를 구성하는 세부항목별 지수는 '수자원장기종합계획, 2000, 건교부'에서 사용한 방법을 기준으로 산정하였다. 그러나 동 계획에서 제시한 PFD 산정 방법이 전국을 대상으로 한 관계로 유역면적이 작고 행정구역이 제한된 삽교천 유역에 적용하기에는 적합하지 않거나 변별력이 없는 경우가 있어 홍수피해액, 내수방어능력 등 몇 가지 항목은 구득 가능한 객관적인 자료를 최대한 활용할 수 있도록 산정방법을 수정하여 적용하였다.

'수자원장기종합계획, 2000, 건교부'과 금회 산정한 PFD의 세부항목별 지수산정방법의 차이는 다음 <표 9.2>와 같다.

<표 9.2> 세부항목별 지수산정 방법(수자원장기종합계획 및 금회 산정방법 비교)

구 분	수자원장기종합계획	금 회 적 용
인구지수	단위구역별 인구밀도 = 단위구역별 해당 행정구역 인구밀도 × 행정구역별 단위구역 편입면적비 × 단위구역 면적	
	· 시군별 인구현황을 기준으로 치수단위 구역별 인구밀도 산정	· 동리별 인구현황을 기준으로 치수단위 구역별 인구밀도 산정
자산지수	· 행정구역별 용도별 최고치 및 최저치를 평균하여 행정구역별 용도별 공시지가 산정 · 각 용도별 공시지가를 산술평균하여 행정구역별 공시지가 산정 · 행정구역별 공시지가를 치수단위구역별 편입비를 이용하여 단위구역별 자산지수 산정	
	· 시군별 공시지가를 이용하여 산정	· 동리별 공시지가를 이용하여 산정
도시화율지수	· 시군별 통계자료를 이용 · 시군별 지목별 토지이용현황 조사 · 지목별 토지이용 현황 중 불투수 면적을 대상으로 도시지역 산정	· 수치토지이용 현황도를 이용하여 소유역별 산정 · 38가지의 토지이용현황 중 불투수 면적을 대상으로 도시지역 산정

<표 9.2> 세부항목별 지수산정 방법(수자원장기종합계획 및 금회 산정방법 비교)(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>수자원장기종합계획</th><th>금 회 적 용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">사회기반
시설지수</td><td colspan="2">사회기반 시설현황 = 단위구역별·등급별 도로 연장(왕복 2차선 기준) × km당 개략 공사비
+ 단위구역별 철도연장 × km당 개략 공사비
+ 단위구역별 교량연장 × km당 개략 공사비</td></tr>
<tr><td colspan="2">· 도로, 철도, 교량으로 한정
· 교량현황조서(2002, 건교부) 및 도로현황조서(2002, 건교부) 자료이용
· 노선연장은 건설통계연보(2002, 건교부)자료 이용
· 치수단위구역별 연장은 수치지도를 이용하여 산정
· 철도의 건설단가는 “철도투자분석 및 평가 편람개정 연구보고서, 2003, 대한교통학회” 자료를 이용하여 산정
· 도로는 2차선, 교량은 왕복 4차선을 기준으로 하여 연장 산정
· 도로의 건설단가는 “도로업무편람, 2003”자료를 이용하여 산정하였으며, 지방도 및 시군도 건설비는 국도건설비의 80%요율 적용
· 항목별 건설비용을 이용하여 단위길이(km)당 건설단가로 산정</td></tr>
<tr><td>홍수피해
밀도지수</td><td>· 재해연보를 이용, 과거 20년간(1979~1998)시군별 피해항목별 자료를 조사하여 단위면적당 평균피해액(피해밀도) 산정
· 시군별 피해밀도를 치수단위구역별 편입면적비를 이용하여 치수단위구역별 홍수피해밀도 산정</td><td>· 삽교천 유역에 포함된 3개시, 5개군 중 아산시와 예산군을 제외한 2개시 4개군의 전체 행정구역면적 대부분이 삽교천 유역 밖에 위치하고 있어 시군단위로 피해액이 집계된 재해연보의 기록을 사용하여 삽교천 유역의 홍수피해밀도지수를 산정하는 것은 신뢰성을 보장할 수 없음.
· 따라서 각 소유역별 전체면적에 대한 하도 Buffering 분석에 의해 파악한 저지대 면적비(백분율)를 이용하여 홍수피해에 대한 취약정도를 추정하였음</td></tr>
<tr><td>외수방어
능력지수</td><td>· 국가, 지방1급 하천 및 지방2급 하천을 대상으로 조사
· 하천일람(2000, 건교부) 자료 이용
· 수계별 치수단위구열별 및 하천등급별 개수현황 조사
· 2개이상의 단위구역에 걸쳐있는 본류구간의 하천개수율은 단순 연장비로 분배</td><td>· 삽교천 유역내 지방2급 하천의 상당수가 하천정비기본계획이 수립되지 않아 “하천일람”상의 개수율은 신뢰할 수 없음
· 따라서, 개수율을 다음과 같은 개념으로 수정하여 산출
개수율 = (1 - (요개수연장-완전개수연장) / (하천연장×2))×100
· 여기서, 하천정비기본계획이 수립된 하천의 완전개수연장은 ‘하천일람’에 기재된 값을 사용하고 하천정비기본계획 미수립 하천의 완전개수연장은 ‘0’으로 간주</td></tr>
</table>

<표 9.2> 세부항목별 지수산정 방법(수자원장기종합계획 및 금회 산정방법 비교)(계속)

구 분	수자원장기종합계획	금 회 적 용
내수방어 능력지수	· '수자원장기종합계획'에서는 내수방어 능력에 대한 구체적인 자료를 입수하지 못해 일률적으로 0.1적용	· 하도 Buffering 분석결과에 의해 산정된 저지대 면적대비 유역내 배수펌프장 토출능력비(백분율) 적용 · 배수펌프장 토출량이 0인 지역은 일률적으로 배수펌프장 토출량을 1.0으로 적용
확률강우량 지 수	· '한국확률강우량도, 1988, 건교부'를 이용하여 각 유역별 평균확률 강우량 산정	· 각 소유역별 100년 빈도 48시간 지속 확률강우량을 이용하여 산정
댐 및 저수지 지 수	· 치수단위구역별 홍수조절량 =(댐별 홍수조절량×댐유역면적) / 하류부 유역면적 · 다목적댐의 홍수조절량을 대상으로 조사 · 댐 영향을 받는 구간을 댐하류부 본류만 대상으로 산정하여 유역면적비로 산정	· 삽교천 유역내 홍수조절 능력을 가진 저수지는 예당지가 유일함 · 댐 및 저수지 지수는 예당지 하류의 단위유역에 대해 예당지 제정고 이하의 면적비를 이용하여 산정
무차원 지수화 방법	· 각 항목별 산정값을 확률분포형의 누가밀도 함수로 추정하여 0 ~ 1까지의 무차원 값으로 환산 · 무차원화를 위한 적정확률분포현으로는 적합성 검증을 통해 Log-Pearson Ⅲ분포 채택	· 예당지를 경계로 각 단위소유역의 지수산정 값이 극단적으로 상이하여 무차원화를 위한 적정확률분포형 검정에서 모두 기각되므로 단위유역별 산정값을 대수형(Log 함수이용)으로 변환하여 다음의 산식에 의해 0~1 사이에 분포하는 값으로 변환 단위유역 지수 환산값 = $\frac{(\text{단위유역별산정값} - \text{최소값})}{(\text{최대값} - \text{최소값})}$

다. 지수별 가중계수의 적용

PFD 산정에 있어 주요항목인 잠재성과 위험성의 가중계수(α)는 정량적인 산정기준이 없으며, 각 항목이 상호 독립적인 요소로 볼수 있어 '수자원 장기종합계획, 2000.12, 건교부'에서 처럼 $\alpha_1 : \alpha_2$를 1:1 대응인 0.5로 적용하였다.

각 세부항복별 가중계수는 '수자원 장기종합계획, 2000.12, 건교부'에서 제시한 값을 기준으로 하되, 각 세부지수 산정결과에 대한 신뢰성 및 삽교천 유역의 특성을 고려하여 결정하였다.

(1) 홍수피해 잠재성 가중계수

홍수피해 잠재성의 경우 '수자원장기종합계획, 2000, 건교부'과 비교하여 항목별 산정방법이 크게 달라지지 않았고, 편입면적 산정에 있어 시·군별 편입면적을 동·리별 편입면적으로 적용하였으며, 각 항목별 가중계수도 다음과 같이 조절하여 가중계수를 적용하였다.

- 인구지수는 '수자원장기종합계획, 2000, 건교부'에서 타항목에 비해 높게 책정하여 자산과 동일하게 하향조정 : 0.4 → 0.3
- 자산지수는 '수자원장기종합계획, 2000, 건교부'과 동일하게 적용 : 0.3 → 0.3
- 도시화율 지수는 삽교천 유역내에 전반적으로 도시화가 많이 진행되지 않았으며, 천안시 및 아산시부근에서 도시화가 진행되어 천안시 및 아산시를 제외하고는 각 지수별 차이가 크게 나타나지 않아 변별력이 부족하여 하향조정 : 0.2 → 0.15
- 사회기반 시설지수는 각 유역내 고속철도 및 철도, 도로 등의 분포가 다양하게 나타나 상향조정 : 0.1 → 0.25

<표 9.3> 홍수피해 잠재성 지수별 가중계수

구 분		잠 재 성			
		인구지수	자산지수	도시화율지수	사회기반시설지수
β값	수자원장기종합계획	0.4	0.3	0.2	0.1
	금회 적용	0.3	0.3	0.15	0.25

(2) 홍수피해 위험성 가중계수

홍수피해 위험성은 잠재성과 마찬가지로 '수자원장기종합계획, 2000, 건교부'를 기준으로 하되 삽교천 유역에 동일하게 적용하기에 적합하지 않은 항목에 대해서는 다음과 같이 조절하여 가중계수를 적용하였다.

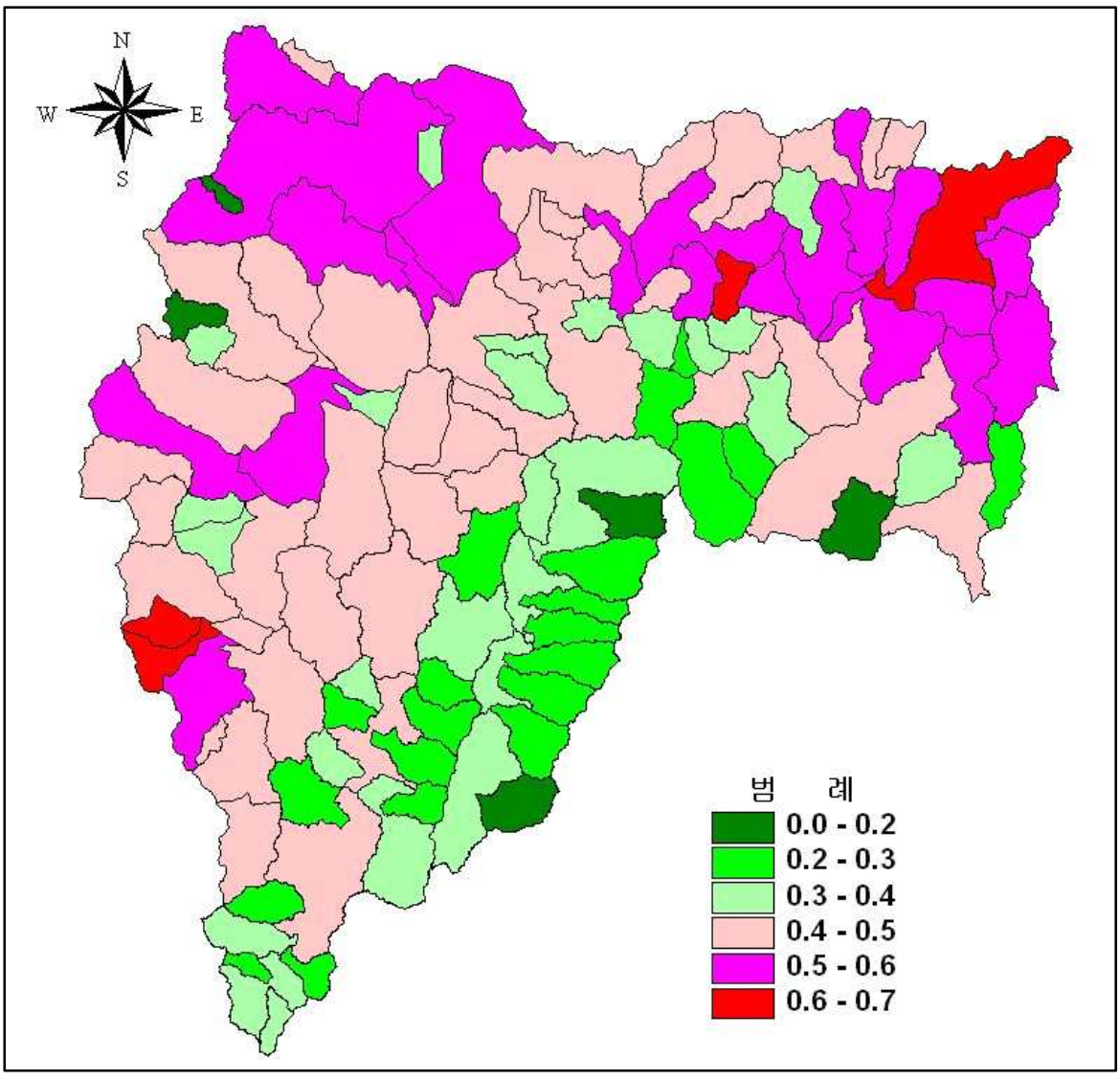
- 홍수피해액은 '수자원장기종합계획, 2000, 건교부'과 동일하게 적용 : 0.3 → 0.3
- 확률강우량의 편차가 다른 지수에 비해 상대적으로 작으나 0~1의 값을 부여할 경우 편차가 심해지므로 이를 보완하기 위해 가중계수 하향조정 : 0.2 → 0.1
- 외수방어 능력은 '수자원장기종합계획, 2000, 건교부'과 동일하게 적용 : 0.3 → 0.3
- 삽교천 유역의 주요 피해양상이 내수침수이고, 내수방어능력 지수 산정값의 신뢰도가 높으므로 상향조정 : 0.1 → 0.25
- 댐 및 저수지 지수는 예당지 하류지역의 일부에만 편중되어 있고, <표 9.2>에 기술한 사유로 인해 예당지표고와 비교하여 간접추정 하였으므로 신뢰성이 부족하여 하향조정 : 0.1 → 0.05

<표 9.4> 홍수피해 위험성 지수별 가중계수

구 분		위 험 성				
		가 능 성		방 어 능 력		
		홍수피해액	확률강우량	외수방어 능력	댐 및 저수지	내수방어 능력
β값	수자원장기종합계획	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1
	금회 적용	0.3	0.1	0.3	0.05	0.25

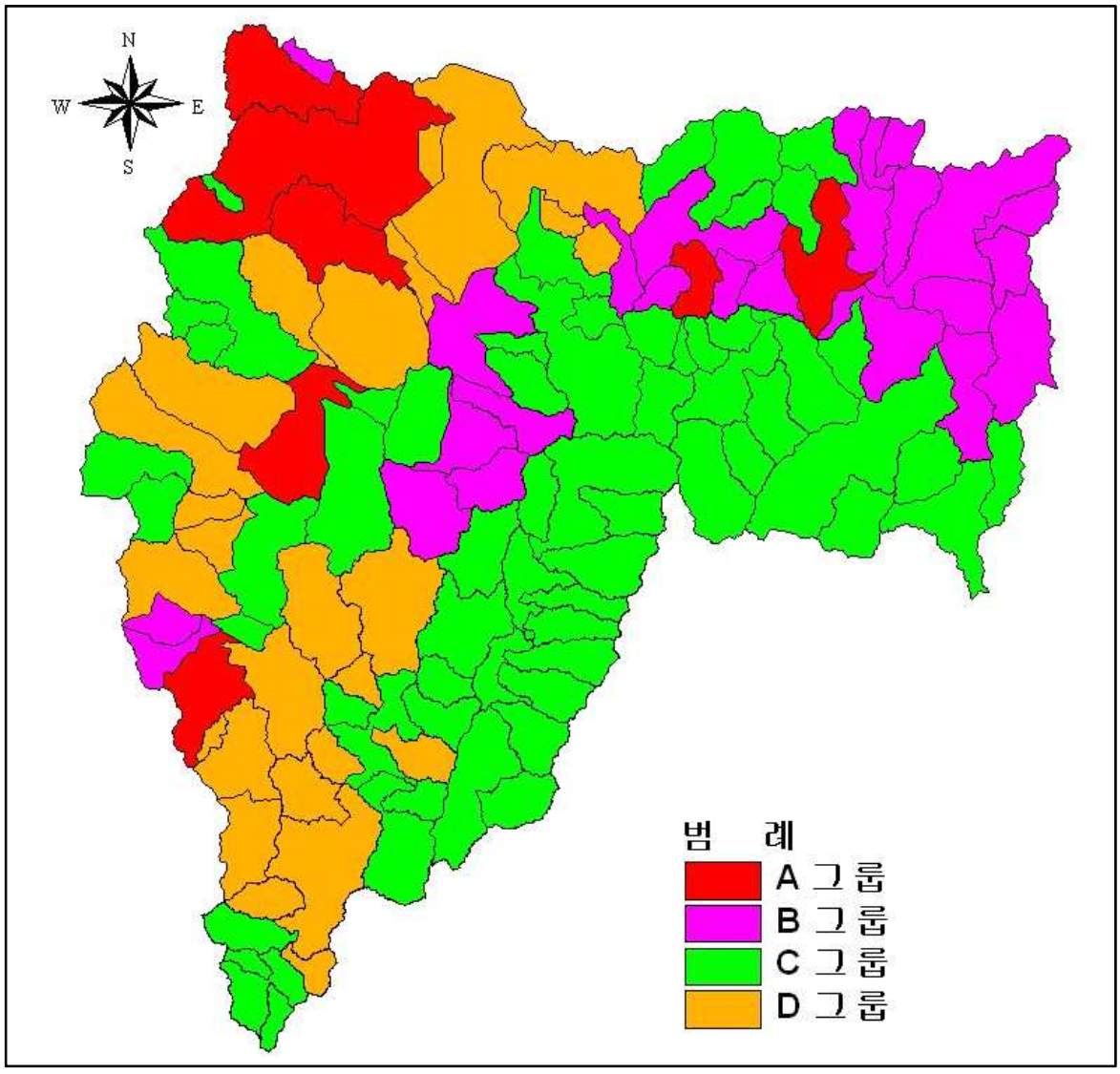
9.1.2 PFD에 의한 단위 소유역의 특성 구분

삽교천 유역을 지방2급 하천유역 및 본류의 주요 지점 기준으로 117개 단위소유역으로 구분하여 홍수피해잠재능(PFD)을 산정한 결과를 PFD 0.1 단위로 구분하여 <그림 9.1>에 도시하였다.



<그림 9.1> 단위소유역별 PFD 분포

<그림 9.2>의 삽교천 유역 PFD의 공간적 분포는 지역의 경제적 가치가 높은 아산시와 천안시가 위치하여 PFD의 잠재성 요소가 높게 평가된 곡교천 상류부를 제외하면 유역의 남동측에서 북서측으로 갈수록 PFD가 증가하는 일반적인 성향을 보이고 있어 유역의 북서부에 치수적으로 취약한 지역이 집중적으로 분포하고 있는 치수특성 조사 및 홍수피해 원인분석 결과와 일치하고 있다.



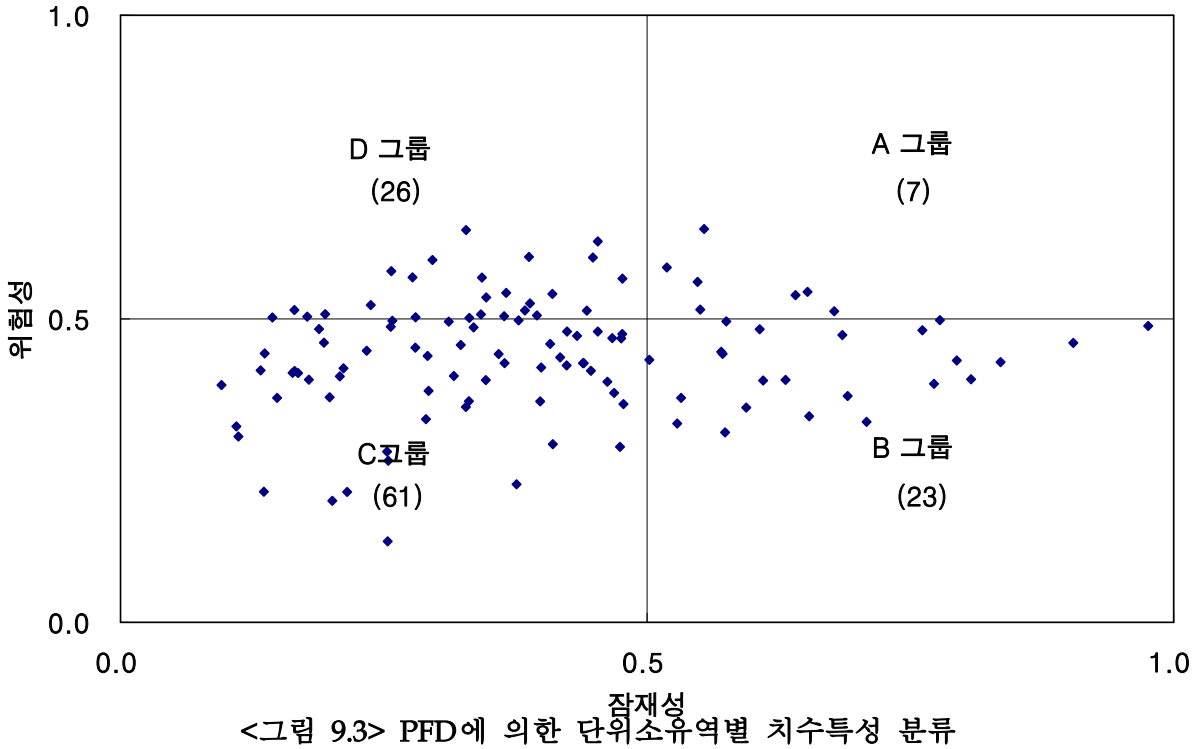
<그림 9.2> PFD에 의한 단위소유역의 그룹화 결과

PFD의 잠재성 요소와 위험성 요소를 기준으로 <그림 9.2>와 같이 4개 군으로 구분하여 지역별 치수특성을 분석한 결과 역시 삽교천 유역의 치수특성을 잘 표현하고 있다. 즉, 곡교천 유역 중상류의 아산시 및 천안시 주위로 잠재성이 높고 위험성이 낮은 'B그룹'에 속한 지역이 많이 분포하고 있어, 이 지역이 자산가치가 높은 지역이면서도 치수적으로는 유역내에서 상대적으로 안전한 지역임을 보여주고 있으며, 삽교천 상류의 홍성읍과 예당지 하류에 위치하며 배수펌프장이 밀집된 무한천 유역 하류부의 예산읍과 신

례원읍 주변 지역도 'B그룹'에 해당하는 것으로 나타났다. 또한 금강 유역과 분수계를 이루는 차령산맥의 영향으로 산악지형을 이루는 유역 남동쪽에 위험성과 잠재성이 모두 낮은 'C그룹'이 밀집되어 있는 것으로 나타나서 치수적으로는 안전하지만 지역개발이 상대적으로 낙후된 산악지역의 특성을 잘 보여주고 있다.

이에 비해 홍수발생 위험성이 높은 지역은 유역의 서쪽 지역에 많이 분포하고 있으며, 특히 유역 북서부의 삽교천 하류부 지역이 홍수가 발생했을 경우의 피해 규모를 가늠할 수 있는 잠재성 요소가 높은 'A그룹'으로 분류되어, 이 지역의 치수안전성을 제고하는 것이 시급한 것으로 나타났다. 그 밖에 유역내 주요 도시를 중심으로 'A그룹'에 해당하는 지역이 산재하고 있는데 대체로 이 지역들은 자산가치가 높은 도시 지역의 특성상 홍수피해 위험성 보다는 잠재성이 상대적으로 높게 평가되고 있다. 따라서, 작은 비용으로 큰 경제적 이익을 도모할 수 있는 구조적 홍수방어대책을 시행하기에 적합한 지역이라 할 수 있다.

홍수피해 위험성은 높지만 그 피해는 상대적으로 작을 것으로 예상되는 'D그룹'은 대부분 유역의 상류 산악지역이나, 하류부에 답작을 주로하는 농경지역을 중심으로 분포하고 있어 치수사업의 효과를 경제적으로 계량할 경우 매우 낮게 평가될 것으로 예상된다. 이러한 지역 특성상 구조적 홍수방어대책 보다는 비구조적인 대책을 시행하는 것이 바람직하며, 필요할 경우 천변저류지를 설치하거나 유역의 상류지역일 경우 대규모 홍수시에는 범람을 유도하여 주변 지역의 홍수부담을 감소시키는 역할을 부여하는 방안을 적극적으로 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.



<그림 9.3> PFD에 의한 단위소유역별 치수특성 분류

<표 9.5> PFD에 의한 단위소유역의 그룹화

구 분	잠재성	위험성	치수사업의 방향	해당지역
A 그룹	0.5 이상	0.5 이상	홍수방어시설의 강화가 필요하며, 주로 구조적 대책에 의한 치수사업 전개	삽교천 유역 하류부 주요 도시지역
B 그룹	0.5 이상	0.5 미만	홍수방어시설 설치가 필요하고 치수안전도의 상향조정이 필요하지만, 구조적 대책과 함께 비구조적 대책도 병행	곡교천 중상류부 예당지 하류 지역
C 그룹	0.5 미만	0.5 미만	자연친화적인 사업과 병행될 수 있는 방향으로 유도	유역 남동부 차령산맥 지역(무한천 상류, 신양천 및 화산천 유역 등)
D 그룹	0.5 미만	0.5 이상	천변저류지를 설치하거나 범람을 유도하여 주변 및 하류지역의 홍수 부담 감소를 모색하는 등 지역적인 여건을 고려한 대책 마련	삽교호, 예당지 주변 삽교천, 무한천 상류부

9.2 치수단위구역 구분

치수단위구역은 동일한 치수목적을 가지고 동일한 홍수방어대책을 수립할 수 있는 최소단위의 구역으로 면 개념의 유역단위 치수안전도 설정 및 치수계획 수립을 위한 기본요소이다.

금회 과업에서는 삽교천 유역을 대·중·소구역 3단계의 치수단위구역으로 구분하여 대구역은 홍수방어대책의 기본방향을 설정하는 기준으로 삼고, 중구역은 홍수유출특성과 홍수피해 발생양상이 유사한 지역을 기준으로 분할하되 가능한 동일 하천유역 및 행정구역에 포함되도록 하여 효율적이고 일관된 치수사업이 이루어 질 수 있도록 구분하고, 치수안전도 설정의 기본 단위로 채택하였다. 소구역은 홍수피해발생 가능지역을 기준으로 세부 홍수방어계획 수립을 위한 구역이 되도록 구분하였다.

9.2.1 대구역 구분

삽교천 유역의 치수계획 수립을 위한 기준으로서 치수단위대구역은 유역의 포괄적인 특성(수리·수문학적 특성, 사회 경제적인 특성 등)에 의해 보수지역, 유수지역, 저지지역으로 구분하였다.

보수지역은 우수를 일시적으로 침투시키고 저류하는 기능을 가지는 지역이며 치수적인 측면에서는 이 기능을 계속적으로 확보하거나 증대시킬 필요가 있는 지역으로, 삽교천 유역의 경우 공간적으로는 유역의 상류부에 해당하며, 지형상으로는 산악지역에 해당

한다. 대체로 이 지역은 PFD 분석 결과 홍수피해가 발생하여도 재산적인 피해는 크게 예상되지 않는 지역이다. 따라서 이 지역은 현재 가지고 있는 보수기능의 보전과 증진을 도모하는 것으로 치수계획의 기본방침을 설정하였다.

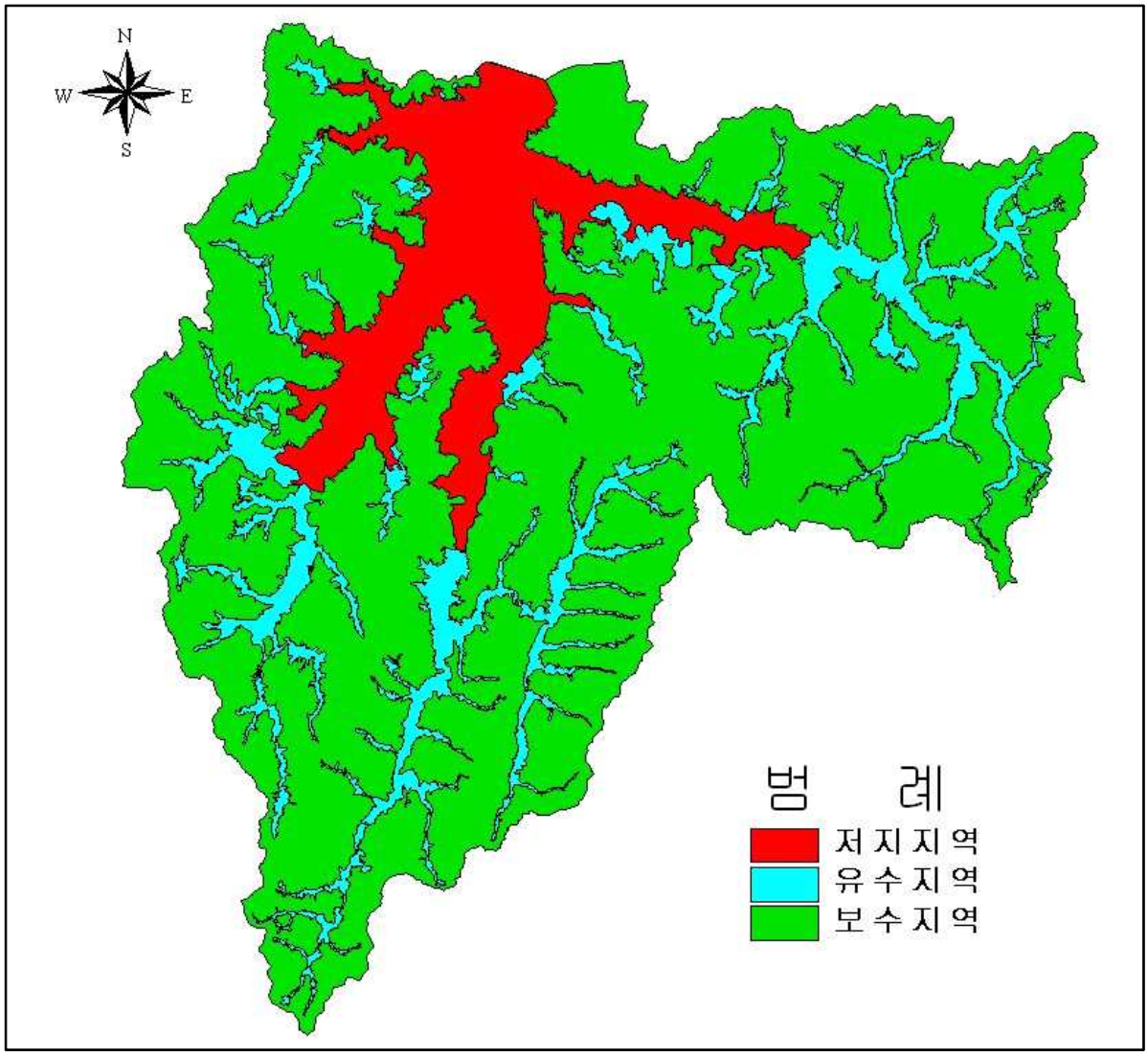
유수지역은 우수 또는 하천의 유수가 쉽게 유입해서 일시적으로 저류되는 지역이며 이 기능을 계속적으로 확보하거나 증대시킬 필요가 있는 지역으로서 삽교천 유역에서는 하천연안의 저지대가 이에 해당한다. 이에 비해 저지지역은 지역내 우수가 체류해서 하천에 유출되지 않거나 하천의 유수가 범람할 우려가 있는 지역으로 적극적으로 침수방지를 도모하고 보호할 필요가 있는 지역을 말한다. 지형적으로는 하천 연안에 위치한 저평지인 시가지 및 자연지, 홍수범람원이 이에 해당한다.

이러한 정성적인 구분 기준 및 삽교천 유역의 지형특성과 유출특성을 고려하여 삽교천 등 주요 하천연안의 저지대 중 침수취약 지역에 해당하는 표고가 EL. 10m 이하거나, 고수부지고 기준 5m 하도버퍼링에 의해 식별된 저지대를 저지지역으로 구분하고 그 밖의 지역을 보수지역으로 구분하되 보수지역내 하천연안 저지대는 유수지역으로 설정하여 현재와 같이 홍수시 하류지역의 홍수부담을 저감하는 역할을 유지하는 기능을 부여하였다.

따라서, 유수지역으로 구분된 하천연안 저지대는 현재와 같은 유수기능을 유지하기 위해 성토억제 등 개발규제를 통해 자연적인 저류기능을 유지하며, 저지지역은 신속한 홍수배제를 위한 하천의 통수능 강화와 침수지역 해소를 치수계획의 기본방침으로 설정하였다.

<표 9.6> 치수단위대구역 구분 결과

구 분	지 역 구 분	유역면적		치수계획 기본방침
		면적(㎢)	비율(%)	
전 체	-	1,649.39	100.00	
저지지역	• 국가하천 연안 저지대 • 표고 EL. 10m 이하거나, 고수부지고 기준 5m 하도버퍼링에 의해 식별된 지역	161.49	9.79	신속한 홍수배제를 목표로 하도의 통수능 강화계획 수립
유수지역	• 저지지역을 제외한 하천연안 저지대	263.77	15.99	성토억제 등 개발규제를 통해 자연적인 저류기능 유지
보수지역	• 유수지역을 제외한 지역 • 임야 구성비가 높은 산지 지역	1,224.14	74.22	홍수의 일시저류 및 침투기능 확보 위주로 시설물계획



<그림 9.4> 삽교천 유역 치수단위구역(대구역) 분할도

9.2.2 중구역 구분

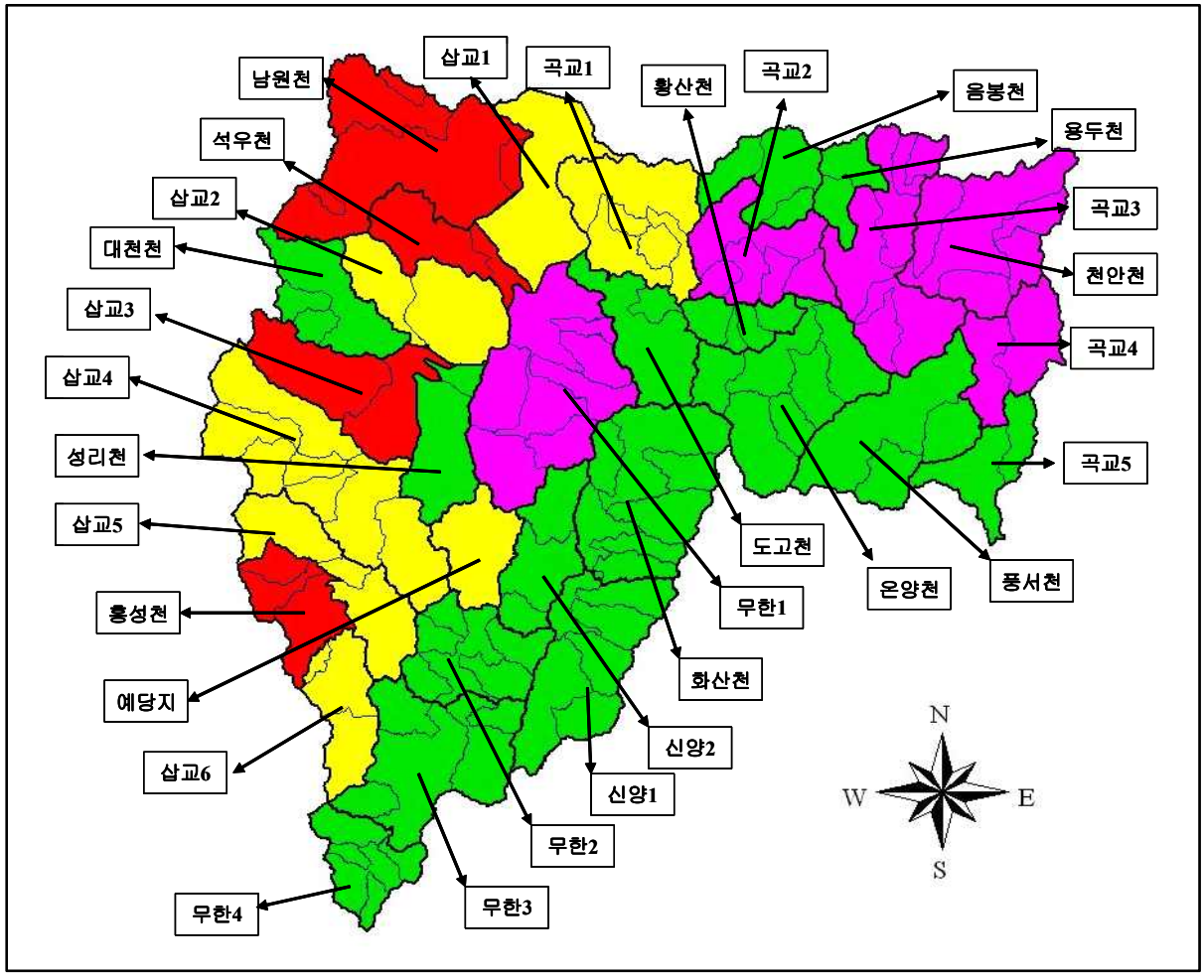
삽교천 유역의 치수단위중구역은 치수안전도 설정시 기본단위구역이 될 수 있도록 전술한 117개 소유역에 대한 PFD 산정결과에 의해 유역의 인문·사회·경제적 특성을 반영한 홍수피해 잠재성, 홍수피해 위험성, 홍수방어 능력 등을 기준으로 특성이 유사한 지역을 통합하여 구분하였다. 또한 홍수량 배분계획과 관련, 향후 개발이 진행될 경우 홍수량 증가분에 대해서는 하류에 영향을 미치지 않게 자체적으로 처리할 수 있는 구역이 되도록 앞서 산정한 수계구성특성, 행정구역, 토지이용 및 지형특성을 함께 고려하였다.

각각의 중구역에 대해서는 PFD 분석결과를 바탕으로 A, B지역은 계획빈도를 상향조정하거나 홍수피해 저감을 위한 집중투자를 계획하고, C지역은 계획빈도 하향조정 또는 강도 높은 개발규제를 통해 하류의 홍수저감을 위한 보수기능을 유지하며, D 지역은 구조적인 홍수방어대책을 지양함으로써 C지역과 같이 보수기능을 유지하되 예상되는 홍수

피해에 대해서는 홍수보험제도 도입과 같은 비구조적 홍수방어 대책으로 대응하는 것을 기본방침으로 하여 홍수방어대안을 계획하였다.

그 결과 삽교천 유역을 총 31개의 치수단위중구역으로 구분하였으며, 각 치수단위중구역의 PFD특성은 삽교천 유역내 중구역이 'A그룹' 3개, 'C그룹' 3개, 'D그룹' 6개로 나타나서 전체적으로 홍수피해의 위험이 크며, 곡교천 유역은 하구부를 포함한 '곡교1지구'만 위험성이 높은 'D그룹'으로 분류되었을 뿐 나머지 지역은 4개의 'B그룹'과 6개의 'C그룹'으로 구분되어 홍수피해 발생의 위험은 높지 않은 것으로 나타났다. 무한천 유역은 예당지 하류부가 'B그룹'으로 구분되고, 예당지 지역이 'D그룹'으로 구분되었으며, 예당지 상류 지역은 모두 'C그룹'에 속하는 것으로 분류되었다.

전체적인 치수단위중구역의 구분 현황을 보면 유역내 인문, 사회, 지형특성이 명확히 반영되어 주요 도시를 중심으로 홍수피해 잠재성이 높은 'A그룹'과 'B그룹'으로 분류되고, 삽교천 본류, 삽교호, 예당지를 중심으로는 홍수피해 위험성이 높은 'D그룹', 유역의 남동측 경계인 차령산맥이 위치한 무한천 상류부와 곡교천 상류부 좌안측 지역은 홍수피해 잠재성과 위험성이 모두 낮은 'C그룹' 분류되었다.



<그림. 9.5> 삽교천 유역 중구역 분할현황

<표 9.7> 삽교천 유역내 중구역 구분 결과

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
삽교1	삽교1-1	52.73	34.52	-	16.43	-	1.78	-	-	-	삽교천	0.449	0.601	0.525	D
	소 계	**52.73**	**34.52**	**-**	**16.43**	**-**	**1.78**	**-**	**-**	**-**		**0.449**	**0.601**	**0.519**	**D**
남원천	거산천	2.92	2.92	-	-	-	-	-	-	-	거산천	0.654	0.400	0.527	B
	공포천	4.04	4.04	-	-	-	-	-	-	-	공포천	0.257	0.579	0.418	D
	남원천	75.31	75.31	-	-	-	-	-	-	-	남원천	0.554	0.648	0.601	A
	신포천	2.04	2.04	-	-	-	-	-	-	-	신포천	0.254	0.134	0.194	C
	오봉천	23.64	23.64	-	-	-	-	-	-	-	오봉천	0.550	0.515	0.533	A
	소 계	**107.95**	**107.95**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		**0.539**	**0.600**	**0.569**	**A**
석우천	석우천	24.57	24.54	-	-	-	0.03	-	-	-	석우천	0.519	0.585	0.552	A
	삽교1-2	6.25	4.90	-	-	-	1.35	-	-	-	삽교1-2	0.477	0.566	0.521	D
	소 계	**30.82**	**29.44**	**-**	**-**	**-**	**1.38**	**-**	**-**	**-**		**0.510**	**0.581**	**0.546**	**A**
도고천	도고천	35.23	-	-	35.23	-	-	-	-	-	도고천	0.475	0.468	0.472	C
	봉산천	4.79	-	-	4.79	-	-	-	-	-	봉산천	0.410	0.293	0.352	C
	소 계	**40.02**	**-**	**-**	**40.02**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		**0.468**	**0.447**	**0.457**	**C**
삽교2	삽교잔류2	33.01	11.78	-	-	-	21.23	-	-	-	삽교천	0.395	0.505	0.450	D
	지곡천	17.92	0.07	-	-	-	17.85	-	-	-	지곡천	0.384	0.514	0.449	D
	소 계	**50.93**	**11.85**	**-**	**-**	**-**	**39.08**	**-**	**-**	**-**		**0.391**	**0.508**	**0.450**	**D**
대천천	구암천	5.26	-	-	-	-	5.26	-	-	-	구암천	0.136	0.215	0.176	C
	대지천	4.64	-	-	-	-	4.64	-	-	-	대지천	0.234	0.447	0.341	C
	대천천	30.49	10.97	0.05	-	-	19.47	-	-	-	대천천	0.453	0.479	0.466	C
	소 계	**40.39**	**10.97**	**0.05**	**-**	**-**	**29.37**	**-**	**-**	**-**		**0.389**	**0.479**	**0.431**	**C**

<표 9.7> 삽교천 유역내 중구역 구분 결과 (계 속)

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
삽교3	삽교잔류3	24.38	-	-	-	-	24.16	-	-	0.22	삽교천	0.548	0.561	0.554	A
	효교천	32.37	-	0.62	-	-	31.75	-	-	-	효교천	0.389	0.525	0.457	D
	소 계	**56.75**	**-**	**0.62**	**-**	**-**	**55.91**	**-**	**-**	**0.22**		**0.457**	**0.541**	**0.499**	**D**
성리	성리천	30.58	-	-	-	-	30.58	-	-	-	성리천	0.476	0.475	0.476	C
	하포천	4.38	-	-	-	-	4.38	-	-	-	하포천	0.312	0.495	0.404	C
	소 계	**34.96**	**-**	**-**	**-**	**-**	**34.96**	**-**	**-**	**-**		**0.456**	**0.477**	**0.467**	**C**
삽교4	대치천	14.26	-	-	-	-	14.26	-	-	-	대치천	0.424	0.479	0.452	C
	덕산천	24.73	-	0.01	-	-	24.72	-	-	-	덕산천	0.453	0.627	0.540	D
	목리천	5.69	-	-	-	-	5.36	-	-	0.33	목리천	0.238	0.523	0.380	D
	삽교잔류4	21.74	-	-	-	-	0.76	-	-	20.98	삽교잔류4	0.417	0.437	0.427	C
	신경천	7.26	-	-	-	-	0.20	-	-	7.06	신경천	0.277	0.568	0.423	D
	호곡천	8.82	-	-	-	-	8.82	-	-	-	호곡천	0.335	0.486	0.411	C
	화양천	22.95	-	-	-	-	0.06	-	-	22.89	화양천	0.366	0.543	0.455	D
	소 계	**105.45**	**-**	**1.25**	**-**	**-**	**54.18**	**-**	**-**	**51.26**		**0.389**	**0.528**	**0.459**	**D**
삽교5	용봉천	20.03	-	-	-	-	0.17	-	-	19.86	용봉천	0.364	0.504	0.434	D
	장성천	22.85	-	-	-	-	-	-	-	22.85	장성천	0.347	0.535	0.441	D
	삽교4-1										삽교천	0.417	0.437	0.427	C
	소 계	**42.88**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.17**	**-**	**-**	**42.71**		**0.360**	**0.514**	**0.430**	**D**

<표 9.7> 삽교천 유역내 중구역 구분 결과 (계 속)

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
삽교6	삽교잔류6	16.39	-	-	-	-	-	-	-	16.39	삽교천	0.331	0.502	0.416	D
	상송천	14.53	-	-	-	-	-	-	-	14.53	상송천	0.296	0.597	0.447	D
	종현천	2.01	-	-	-	-	-	-	-	2.01	종현천	0.328	0.646	0.487	D
	소 계	**32.93**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**32.93**		**0.316**	**0.552**	**0.434**	**D**
홍성천	삽교잔류5	22.26	-	-	-	-	-	-	-	22.26	삽교천	0.641	0.539	0.590	A
	월계천	6.65	-	-	-	-	-	-	-	6.65	월계천	0.761	0.481	0.621	B
	홍성천	7.79	-	-	-	-	-	-	-	7.79	홍성천	0.778	0.498	0.638	B
	소 계	**36.70**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**36.70**		**0.692**	**0.520**	**0.606**	**A**

<표 9.8> 곡교천 유역내 중구역 구분 결과

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
곡교1	곡교잔류1	30.81	-	-	30.81	-	-	-	-	-	곡교천	0.443	0.513	0.478	D
	궁화천	5.45	-	-	5.45	-	-	-	-	-	궁화천	0.410	0.541	0.475	D
	용궁천	3.57	-	-	3.57	-	-	-	-	-	용궁천	0.343	0.568	0.456	D
	학성천	13.08	-	-	13.08	-	-	-	-	-	학성천	0.434	0.472	0.453	C
	신창천	7.21	-	-	7.21	-	-	-	-	-	신창천	0.572	0.442	0.507	B
	소 계	**60.12**	**-**	**-**	**60.12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		**0.447**	**0.502**	**0.474**	**D**

<표 9.8> 곡교천 유역내 중구역 구분 결과 (계 속)

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
곡교2	곡교잔류2	22.94	-	-	22.94	-	-	-	-	-	곡교천	0.685	0.473	0.579	B
	오목천1	7.97	-	-	7.97	-	-	-	-	-	오목천	0.678	0.512	0.595	A
	온양천1	7.53	-	-	7.53	-	-	-	-	-	온양천	0.772	0.393	0.583	B
	온천천	5.45	-	-	5.45	-	-	-	-	-	온천천	0.905	0.460	0.683	B
	행목천	4.97	-	-	4.97	-	-	-	-	-	행목천	0.594	0.354	0.474	B
	소 계	**48.86**	**-**	**-**	**48.86**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		**0.713**	**0.454**	**0.583**	**B**
황산	신인천	5.34	-	-	5.34	-	-	-	-	-	신인천	0.365	0.427	0.396	C
	오목천2	2.26	-	-	2.26	-	-	-	-	-	오목천	0.253	0.281	0.267	C
	초사천	4.47	-	-	4.47	-	-	-	-	-	초사천	0.317	0.406	0.361	C
	황산천	7.71	-	-	7.71	-	-	-	-	-	황산천	0.293	0.381	0.337	C
	소 계	**19.78**	**-**	**-**	**19.78**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		**0.313**	**0.388**	**0.350**	**C**
곡교3	곡교잔류3	20.63	-	-	20.63	-	-	-	-	-	곡교천	0.652	0.544	0.598	A
	곡교잔류4	20.88	-	-	8.07	-	-	12.81	-	-	곡교천	0.575	0.496	0.535	B
	매곡천	15.72	-	-	15.72	-	-	-	-	-	매곡천	0.570	0.446	0.508	B
	산동천	5.42	-	-	3.28	-	-	2.14	-	-	산동천	0.532	0.370	0.451	B
	율지천	4.55	-	-	4.55	-	-	-	-	-	율지천	0.529	0.328	0.428	B
	회룡천	8.51	-	-	8.51	-	-	-	-	-	회룡천	0.462	0.396	0.429	C
	소 계	**75.71**	**-**	**-**	**60.76**	**-**	**-**	**14.95**	**-**	**-**		**0.577**	**0.468**	**0.522**	**B**
용두천	용두천	8.03	-	-	8.03	-	-	-	-	-	용두천	0.359	0.442	0.400	C
	용평천	9.13	-	-	9.13	-	-	-	-	-	용평천	0.424	0.423	0.423	C
	소 계	**17.16**	**-**	**-**	**17.16**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		**0.393**	**0.432**	**0.413**	**C**

<표 9.8> 곡교천 유역내 중구역 구분 결과 (계 속)

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
곡교4	곡교잔류5	16.05	-	-	-	5.91	-	10.14	-	-	곡교천	0.631	0.399	0.515	B
	맹곡천	20.75	-	-	-	5.33	-	15.42	-	-	맹곡천	0.607	0.483	0.545	B
	소 계	**36.80**	**-**	**-**	**-**	**11.24**	**-**	**25.56**	**-**	**-**		**0.618**	**0.446**	**0.532**	**B**
곡교5	곡교잔류6	19.04	-	-	-	0.02	-	19.02	-	-	곡교천	0.399	0.420	0.410	C
	양안천	9.19	-	-	-	9.19	-	-	-	-	양안천	0.376	0.227	0.302	C
	소 계	**28.23**	**-**	**-**	**-**	**9.21**	**-**	**19.02**	**-**	**-**		**0.392**	**0.357**	**0.375**	**C**
온양천	금곡천	16.57	-	-	16.57	-	-	-	-	-	금곡천	0.469	0.378	0.423	C
	마곡천	7.37	-	-	7.37	-	-	-	-	-	마곡천	0.201	0.200	0.201	C
	약봉천	10.29	-	-	10.29	-	-	-	-	-	약봉천	0.215	0.215	0.215	C
	온양천2	15.66	-	-	15.66	-	-	-	-	-	온양천	0.440	0.427	0.433	C
	온양천3	19.97	-	-	19.97	-	-	-	-	-	온양천	0.254	0.266	0.260	C
	외암천	11.49	-	-	11.49	-	-	-	-	-	외암천	0.290	0.335	0.312	C
	소 계	**81.35**	**-**	**-**	**81.35**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		**0.329**	**0.317**	**0.323**	**C**
음봉천	방현천	4.79	-	-	4.79	-	-	-	-	-	방현천	0.408	0.459	0.433	C
	와천	10.01	-	-	10.01	-	-	-	-	-	와 천	0.478	0.360	0.419	C
	음봉천	17.92	-	-	17.92	-	-	-	-	-	음봉천	0.447	0.414	0.431	C
	소 계	**32.72**	**-**	**-**	**32.72**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		**0.450**	**0.404**	**0.427**	**C**
풍서천	무학천	11.64	-	-	-	0.06	-	11.58	-	-	무학천	0.398	0.364	0.381	C
	지장천	11.67	-	-	-	-	-	11.67	-	-	지장천	0.112	0.306	0.209	C
	풍서천	46.88	-	-	-	-	-	46.88	-	-	풍서천	0.467	0.468	0.468	C
	소 계	**70.19**	**-**	**-**	**-**	**0.06**	**-**	**70.13**	**-**	**-**		**0.397**	**0.424**	**0.410**	**C**

<표 9.8> 곡교천 유역내 중구역 구분 결과 (계 속)

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
천안천	구룡천	10.68	-	-	0.61	-	-	10.07	-	-	구룡천	0.691	0.373	0.532	B
	삼룡천	8.38	-	-	-	-	-	8.38	-	-	삼룡천	0.808	0.400	0.604	B
	원성천	7.76	-	-	-	-	-	7.76	-	-	원성천	0.794	0.431	0.613	B
	장재천	11.38	-	-	2.08	-	-	9.30	-	-	장재천	0.836	0.429	0.632	B
	천안천	35.96	-	-	3.96	-	-	32.00	-	-	천안천	0.976	0.488	0.732	B
	소 계	**74.16**	**-**	**-**	**6.65**	**-**	**-**	**67.51**	**-**	**-**		**0.875**	**0.447**	**0.661**	**B**

<표 9.9> 무한천 유역내 중구역 구분 결과

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
무한1	궁평천	9.36	-	-	3.21	-	6.15	-	-	-	궁평천	0.347	0.399	0.373	C
	무한천1	34.84	-	-	10.51	-	24.33	-	-	-	무한천	0.610	0.398	0.504	B
	무한천2	17.71	-	-	-	-	17.71	-	-	-	무한천	0.502	0.432	0.467	B
	봉농천	3.99	-	-	3.85	-	0.14	-	-	-	봉농천	0.474	0.289	0.382	C
	예산천	10.35	-	-	-	-	10.35	-	-	-	예산천	0.708	0.330	0.519	B
	용굴천	11.08	-	-	-	-	11.08	-	-	-	용굴천	0.574	0.313	0.443	B
	종경천	15.61	-	-	-	-	15.61	-	-	-	종경천	0.439	0.427	0.433	C
	소 계	**102.94**			**17.57**		**85.37**					**0.542**	**0.388**	**0.465**	**B**

<표 9.9> 무한천 유역내 중구역 구분 결과 (계 속)

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
무한2	구례천	4.95	-	-	-	-	4.95	-	-	-	구례천	0.137	0.443	0.290	C
	노전천	5.83	-	-	-	-	5.64	-	-	0.19	노전천	0.280	0.503	0.391	D
	마사천	4.55	-	-	-	-	4.55	-	-	-	마사천	0.194	0.508	0.351	D
	무한천4	13.39	-	-	-	-	12.49	-	0.38	0.52	무한천	0.378	0.498	0.438	C
	시목천	8.52	-	-	-	-	8.52	-	-	-	시목천	0.144	0.502	0.323	D
	신흥천	8.19	-	-	-	-	8.19	-	-	-	신흥천	0.165	0.414	0.290	C
	소 계	**45.43**					**44.34**		**0.38**	**0.71**		**0.239**	**0.479**	**0.359**	**C**
무한3	강촌천	18.54	-	-	-	-	-	-	18.54	-	강촌천	0.323	0.457	0.390	C
	관산천	5.44	-	-	-	-	-	-	5.44	-	관산천	0.133	0.415	0.274	C
	무한천5	32.11	-	-	-	-	-	-	20.67	11.44	무한천	0.342	0.507	0.425	D
	수정천	7.10	-	-	-	-	-	-	7.10	-	수정천	0.177	0.504	0.340	D
	행정천	10.74	-	-	-	-	-	-	-	10.74	행정천	0.153	0.578	0.365	D
	소 계	**73.93**							**51.75**	**22.18**		**0.279**	**0.498**	**0.388**	**C**
무한4	기덕천	8.58	-	-	-	-	-	-	8.58	-	기덕천	0.189	0.483	0.336	C
	농암천	2.40	-	-	-	-	-	-	2.40	-	농암천	0.193	0.461	0.327	C
	매산천	4.46	-	-	-	-	-	-	4.46	-	매산천	0.165	0.515	0.340	D
	무한천6	11.08	-	-	-	-	-	-	11.08	-	무한천	0.328	0.355	0.341	C
	산정천	3.54	-	-	-	-	-	-	3.54	-	산정천	0.258	0.497	0.377	C
	소 계	**30.06**							**30.06**			**0.245**	**0.440**	**0.343**	**C**

<표 9.9> 무한천 유역내 중구역 구분 결과 (계 속)

중구역명	단 위 소구역	행정구역 별 면적									수 계	잠재성 지 수	위험성 지 수	PFD	PFD특성
		소계	당진군	서산시	아산시	연기군	예산군	천안시	청양군	홍성군					
예당지	무한천3	28.44	-	-	-	-	28.44	-	-	-	무한천	0.388	0.602	0.495	D
	소 계	**28.44**	**-**	**-**	**-**	**-**	**28.44**	**-**	**-**	**-**		**0.388**	**0.602**	**0.495**	**D**
신양1	신양천3	17.91	-	-	-	-	17.91	-	-	-	신양천	0.257	0.487	0.372	C
	장전천	6.02	-	-	-	-	6.02	-	-	-	장전천	0.169	0.411	0.290	C
	탄방천	13.67	-	-	-	-	13.67	-	-	-	탄방천	0.199	0.371	0.285	C
	소 계	**37.60**					**37.60**					**0.221**	**0.432**	**0.327**	**C**
신양2	광암천	10.08	-	-	-	-	-	-	10.08	-	광암천	0.149	0.370	0.259	C
	만사천	9.97	-	-	-	-	9.97	-		-	만사천	0.163	0.411	0.287	C
	신양천1	21.61	-	-	-	-	-	-	21.61	-	신양천	0.280	0.452	0.366	C
	신양천2	6.85	-	-	-	-	6.43	-	0.42	-	신양천	0.292	0.439	0.365	C
	운곡천	9.88	-	-	-	-	-	-	9.88	-	운곡천	0.110	0.323	0.216	C
	차동천	10.17	-	-	-	-	10.17	-		-	차동천	0.208	0.405	0.307	C
	소 계	**68.56**					**26.57**		**41.99**			**0.210**	**0.407**	**0.308**	**C**
화산천	대곡천	8.85	-	-	-	-	8.85	-	-	-	대곡천	0.096	0.391	0.243	C
	시왕천	6.33	-	-	-	-	6.33	-	-	-	시왕천	0.212	0.419	0.315	C
	이티천	14.63	-	-	-	-	14.63	-	-	-	이티천	0.179	0.400	0.289	C
	죽곡천	7.78	-	-	-	-	7.78	-	-	-	죽곡천	0.331	0.364	0.348	C
	하천천	7.78	-	-	-	-	7.78	-	-	-	하천천	0.245	0.349	0.297	C
	화산천1	29.31	-	-	-	-	29.31	-	-	-	화산천	0.283	0.451	0.367	C
	화산천2	10.16	-	-	-	-	10.16	-	-	-	화산천	0.282	0.479	0.380	C
	소 계	**84.84**					**84.84**					**0.241**	**0.419**	**0.330**	**C**

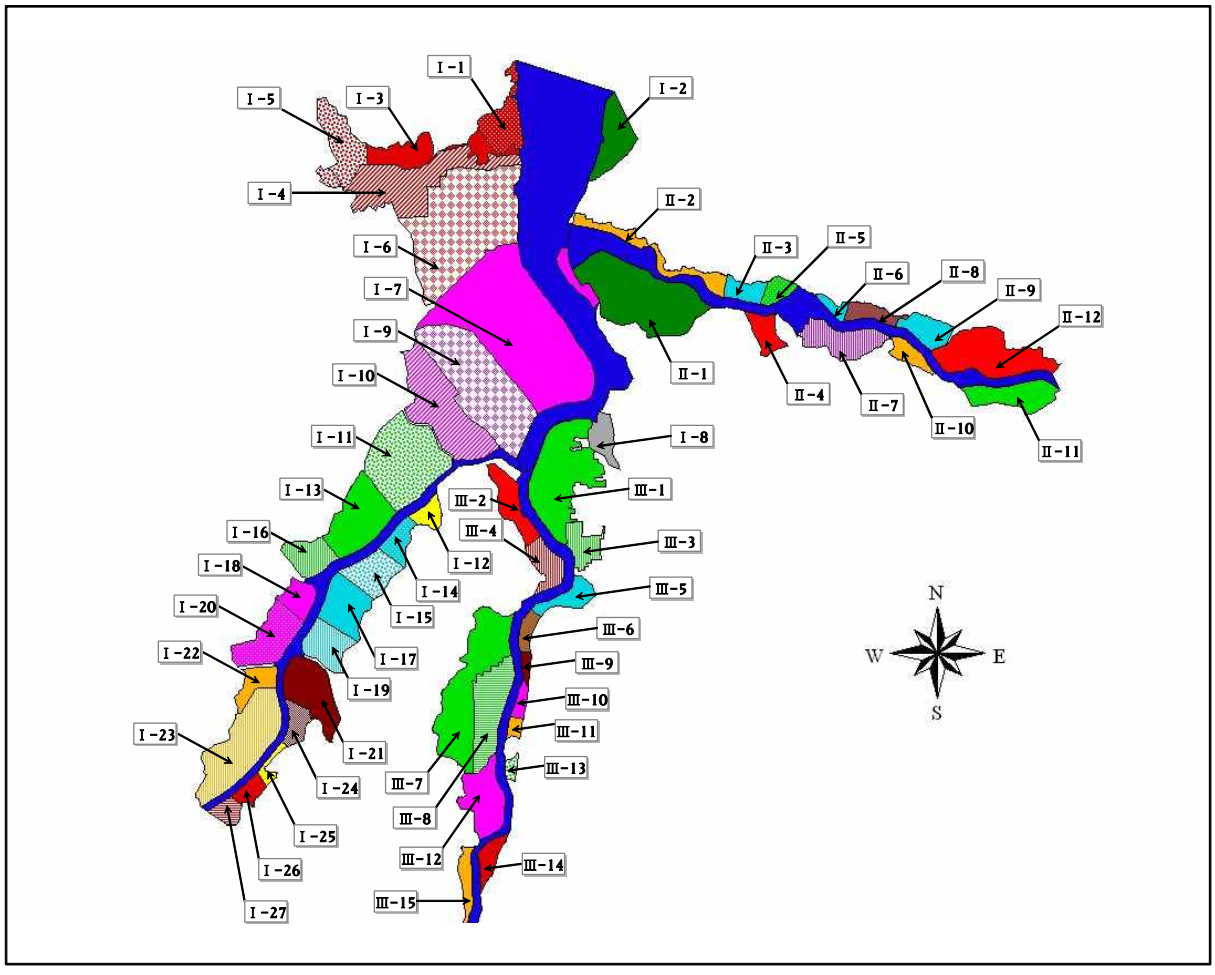
9.2.3 소구역 구분

치수단위소구역은 실제 침수피해 발생이 예상되는 유역 중하류부의 주요 하천연안 저지대를 대상으로 지형특성과 배수체계에 따라 구분하였다. 따라서 치수단위소구역은 금회 수립하는 유역종합치수계획이 시행될 경우 직접적인 수혜지역이 되며, 이 지역에 대한 사업시행 이전과 이후의 침수면적, 침수심, 침수기간 등의 피해정도와 그 차이가 사업효과에 대한 기술적, 경제적 분석의 대상이 된다.

따라서, 앞서의 치수단위대구역 구분 결과에 의해 저지지역으로 구분된 삽교천과 곡교천, 무한천 국가하천 연안 저지대를 대상으로 지형특성과 배수체계에 따라 54개의 치수단위소구역을 구분하였으며, 그 면적은 133.7㎢로서 전체 삽교천 유역면적의 약 8.11%에 해당한다.

<표 9.10> 치수단위소구역 구분 현황

구 분	삽 교 천	곡 교 천	무 한 천	계
소 구 역 (개소)	27	12	15	54
면 적 (㎢)	86.17	22.43	25.08	133.68



<그림 9.6> 삽교천 유역 치수단위소구역 분할도

<표 9.11> 삽교천 유역 치수단위소구역 구분결과

소구역명			면 적 (㎢)	표 고(EL.m)			배수체계	비 고
명칭	부 호	번호		최 저	최 고	평 균		
삽교Ⅰ지구	SKⅠ	Ⅰ-1	1.970	2.8	6.7	4.75	자연배제 구 역	대흥수시 남원지구와 연결됨
삽교Ⅱ지구	SKⅡ	Ⅰ-2	2.074	3.8	5.5	4.65	〃	
남원Ⅰ지구	NWⅠ	Ⅰ-3	2.374	2.7	8.5	5.6	〃	대흥수시 남원Ⅲ, SKⅢ지구와 연결됨
남원Ⅱ지구	NWⅡ	Ⅰ-4	5.224	2.7	8.5	5.6	〃	대흥수시 남원Ⅲ, 삽교Ⅰ지구와 연결됨
남원Ⅲ지구	NWⅢ	Ⅰ-5	2.582	4.8	8.5	6.67	〃	대흥수시 남원Ⅰ지구와 연결됨
삽교Ⅲ지구	SKⅢ	Ⅰ-6	10.476	2.5	5.5	4	〃	대흥수시 남원지구와 연결됨
삽교Ⅳ지구	SKⅣ	Ⅰ-7	15.157	2	5	3.5	〃	대흥수시 하평Ⅱ지구 연결됨
도고천지구	DG	Ⅰ-8	1.024	2.7	8.5	5.6	〃	
하평Ⅱ지구	HPⅡ	Ⅰ-9	7.661	3	5.8	4.4	강제배제 구 역	대흥수시 하평Ⅰ, 삽교Ⅳ지구와 연결됨
하평Ⅰ지구	HPⅠ	Ⅰ-10	5.226	3.9	8	5.95	〃	대흥수시 하평Ⅱ지구와 연결됨
신석지구	SS	Ⅰ-11	5.478	5.1	8.5	6.8	〃	신리지구와 연결됨
예림지구	YR	Ⅰ-12	0.670	5.5	8.1	6.8	〃	
신리지구	SR	Ⅰ-13	3.477	5	9.2	7.1	〃	신석, 황금 지구와 연결됨
중예Ⅰ지구	JYⅠ	Ⅰ-14	0.928	5.2	7.2	6.2	〃	
중예Ⅱ지구	JYⅡ	Ⅰ-15	1.721	5	6.9	5.95	〃	대흥수시 하포Ⅰ지구와 연결됨
황금지구	HG	Ⅰ-16	1.513	6	9	7.5	〃	신리지구와 연결됨
하포Ⅰ지구	HPⅠ	Ⅰ-17	2.223	5.5	8.4	6.95	자연배제 구 역	대흥수시 하포Ⅱ지구와 연결됨
용리Ⅰ지구	YRⅠ	Ⅰ-18	1.009	5.2	8	6.6	강제배제 구 역	대흥수시 용리Ⅱ지구와 연결됨
하포Ⅱ지구	HPⅡ	Ⅰ-19	1.728	5.3	8.2	6.75	〃	
용리Ⅱ지구	YRⅡ	Ⅰ-20	2.520	5.4	8	6.7	〃	대흥수시 용리Ⅰ지구와 연결됨
성리Ⅰ지구	SLⅠ	Ⅰ-21	2.817	5.9	12	8.95	〃	대흥수시 성리Ⅱ지구와 연결됨
용동Ⅰ지구	YDⅠ	Ⅰ-22	0.988	8	11.7	9.85	〃	대흥수시 용동Ⅱ지구와 연결됨

<표 9.11> 삽교천 유역 치수단위소구역 구분결과 (계속)

소구역명			면 적 (㎢)	표 고(EL.m)			배수체계	비 고
명칭	부 호	번호		최 저	최 고	평 균		
용동Ⅱ지구	YDⅡ	Ⅰ-23	4.963	6.8	12	9.4	〃	대흥수시 용동Ⅰ지구와 연결됨
성리Ⅱ지구	SLⅡ	Ⅰ-24	0.835	6.9	12.5	9.7	〃	대흥수시 성리Ⅰ지구와 연결됨
삽교Ⅵ지구	SKⅥ	Ⅰ-25	0.325	9.9	13.3	11.6	자연배제구 역	
신가지구	SG	Ⅰ-26	0.599	10.3	14.2	12.25	강제배제구 역	대흥수시 삽교Ⅶ지구와 연결됨
삽교Ⅶ지구	SKⅦ	Ⅰ-27	0.605	12.5	13.8	13.15	자연배제구 역	대흥수시 신가지구와 연결됨

<표 9.12> 곡교천 유역 치수단위소구역 구분결과

소구역명			면 적 (㎢)	표 고(EL.m)			배수체계	비 고
명칭	부 호	번호		최 저	최 고	평 균		
곡교지구Ⅰ	GKⅠ	Ⅱ-1	6.759	1.6	6.5	4.05	자연배제구 역	
곡교지구Ⅱ	GKⅡ	Ⅱ-2	1.701	3	7.9	5.45	〃	
산양지구	SY	Ⅱ-3	0.807	3.9	6	5.45	강제배제구 역	대흥수시 곡교Ⅲ지구와 연계운영
가덕지구	KD	Ⅱ-4	0.984	5.9	8.6	7.25	〃	
곡교지구Ⅲ	GKⅢ	Ⅱ-5	0.673	5.2	6.5	5.85	자연배제구 역	대흥수시 산양지구와 연계운영
와천지구	WA	Ⅱ-6	0.381	6.5	7.8	7.15	〃	
신창지구	SC	Ⅱ-7	2.214	6	7.9	6.95	강제배제구 역	
중방지구	JB	Ⅱ-8	0.821	5.4	6.5	5.96	〃	
염성지구	YS	Ⅱ-9	1.255	6.5	9.5	8	〃	
수장지구	SJ	Ⅱ-10	0.728	6.8	8	7.4	〃	배수펌프장계획지구
곡교지구Ⅳ	GKⅣ	Ⅱ-11	2.056	8.8	15	11.9	자연배제구 역	
곡교지구Ⅴ	GKⅤ	Ⅱ-12	4.050	7.9	11.8	9.85	〃	

<표 9.13> 무한천 유역 치수단위소구역 구분결과

소구역명			면 적 (㎢)	표 고(EL.m)			배수체계	비 고
명칭	부호	번호		최 저	최 고	평 균		
신덕지구	SD	Ⅲ-1	5.501	2.9	4.9	3.9	강제배제 구 역	봉농지구와 연계운영
신종지구	SJ	Ⅲ-2	1.558	5.1	7.1	6.1	〃	계촌지구와 연계운영
봉농지구	BN	Ⅲ-3	1.178	4.6	7.8	6.2	〃	신덕지구와 연계운영
계촌지구	KC	Ⅲ-4	1.255	5.1	6.6	5.85	〃	신종지구와 연계운영
궁평지구	KP	Ⅲ-5	1.059	4.9	16.9	10.9	자연배제 구 역	
창소지구	CS	Ⅲ-6	0.548	4.9	8.9	6.9	강제배제 구 역	대흥수시 무한1지구와 연결됨
종경지구	JK	Ⅲ-7	5.661	5.8	10.4	8.1	〃	탄중지구와 연계운영
탄중지구	TJ	Ⅲ-8	3.094	6.1	10.6	8.35	〃	종경지구와 연계운영
무한Ⅰ지구	MH1	Ⅲ-9	0.275	7.1	9.9	8.5	자연배제 구 역	대흥수시 창소지구와 연결됨
발연지구	BY	Ⅲ-10	0.377	8.5	11	9.75	강제배제 구 역	배수펌프장 계획지구 대흥수시 무한Ⅱ지구와 연결됨
무한Ⅱ지구	MH2	Ⅲ-11	0.285	8.5	11	9.75	자연배제 구 역	대흥수시 발연지구와 연결됨
원평지구	WP	Ⅲ-12	2.467	8.6	14.1	11.35	강제배제 구 역	2003년 현재 배수펌프장 공사중
산성지구	SS	Ⅲ-13	0.263	9.6	11.5	10.55	〃	배수펌프장 계획지구
손지지구	SG	Ⅲ-14	0.782	11.5	14.2	12.85	자연배제 구 역	
입침지구	IC	Ⅲ-15	0.779	11.8	15.8	13.8	자연배제 구 역	

9.3 치수안전도 설정

9.3.1 치수안전도의 개념

치수안전도는 치수단위 구역에 현존하거나 장래 존재하게 될 인명, 자산, 사회기반시설, 그리고 자연·문화·사회·경제 자원 등을 홍수로부터 방어하거나 피해를 저감할 수 있도록 설정한 기준 안전율을 말하며, 통상 피해방지확률(%), 설계빈도(년) 또는 방어기준에 대한 상대적인 비율(%) 등으로 나타낼 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때 기존의 치수안전도는 "하천설계기준"에서 제시한 하천 등급별 제방의 설계빈도 또는 각 제방별 치수경제성 평가를 통해 결정된 제방의 설계빈도라 할 수 있으며, 하도 중심의 선 개념의 치수안전도라 할 수 있다. 선 개념의 치수안전도를 적용할 경우에는 각각의 설계빈도가 상이한 지천과 본류의 합류점에 도시지역과 같이 치수적으로 보호하여야 할 지역이 있을 경우 같은 지역에 대해 이중의 안전도를 설정해야 하는 문제가 발생할 수 있다. 아울러 선 개념의 치수안전도를 기준으로 치수계획을 수립한 결과 유역내의 치수시설에 대한 유역 전체적인 차원에서의 검토가 이루어지지 않은 상태에서 각 시설에 대한 설계기준을 책정하고 있어 하도와 저류시설 등 여러 치수방어대책간의 분담과 조정이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 유역에 대한 종합치수대책과 함께 치수계획의 유연성과 안전을 제공할 수 있는 새로운 면 개념의 치수안전도가 요구되고 있다.

본 과업에서는 전술한바와 같이 PFD 분석에 의해 치수특성이 동일하거나 유사한 지역으로 구분한 치수단위중구역을 기존에 하천별로 설정된 설계빈도를 참고하여 각 치수단위구역의 특성에 적합한 치수안전도를 설정하였다.

9.3.2 삽교천 유역내 하천의 계획빈도 검토

삽교천 유역내에 위치한 법정하천 중 하천정비기본계획이 수립된 하천은 2004년 12월을 기준으로 말의 전체 수립대상 하천 101개소 중 44개소에 불과하며, 전체 수립대상 619.04km의 54.5%에 불과한 337.45km 구간에 대해서만 수립되었다. 주요 수계별로는 삽교천 수계가 30개 하천 중 21개소가 수립되었고, 수립연장도 대상연장 219.8km의 75.0%에 해당하는 164.85km로 수립율이 가장 높다. 이에 비해 곡교천 수계는 37개 대상하천 중 12개소만 하천정비기본계획이 수립되었고 그 연장도 전체 대상연장 218.2km의 47.83%인 104.36km에 불과하며, 무한천 수계는 전체 법정하천 34개소 중 10개소의 하천에 대해 정비기본계획을 수립하였으나, 그 연장은 전체 수립대상 연장의 37.69%인 68.24km에 불과하여 수립율 측면에서는 가장 낮은 값을 보이고 있다.

하천정비기본계획이 수립된 시기를 보면 44개 하천 중 14개 하천이 '95대 이전에 수립되어 보완이 필요하며, 특히 삽교천과 곡교천 지방1급 구간과 삽교천, 무한천의 지방2급 구간의 경우 국가하천 구간에 대한 하천정비기본계획이 보완 된 '94년 이후 10년 이상이 경과한 현재 까지도 국가하천 구간의 성과를 반영한 보완이 이루어지지 않고 있어 수계를 일관한 효율적인 하천계획을 수립하는데 지장이 되고 있다.

<표 9.14> 삽교천 유역내 하천정비기본계획 수립현황

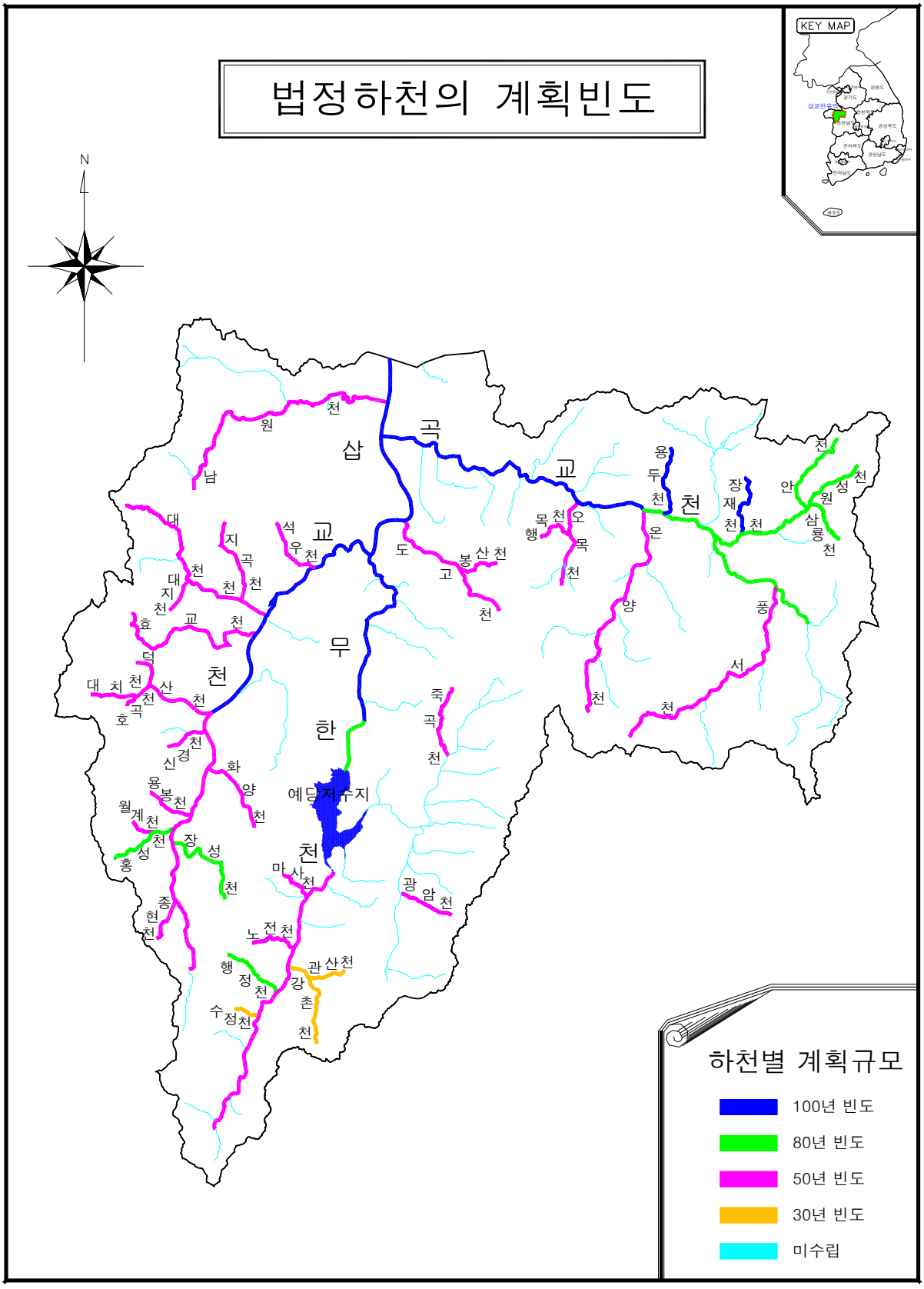
수계	하천명	하천등급	유로연장 (km)	하천정비기본계획				비 고
				대상연장 (km)	수립연장 (km)	수립시기	계획빈도	
계				619.04	337.45			
삽교천	소 계		304.04	219.80	164.85			수립율 75.0%
	삽교천	국가	58.60	31.90	31.90	1994년	100	
	삽교천	지방1	26.70	8.80	8.80	1987년	80	
	삽교천	지방2	17.90	13.70	11.51	1997년	50	
	상송천	지방2	4.20	2.70	-			
	종현천	지방2	3.13	2.10	2.10	2002년	50	
	장성천	지방2	10.43	5.40	2.45	2004년	80	
	홍성천	지방2	6.33	4.40	2.76	2004년	80	
	월계천	지방2	3.10	3.20	3.20	2000년	50	
	용봉천	지방2	8.14	7.00	7.00	1996년	50	
	화양천	지방2	9.20	7.30	7.30	2002년	50	
	신경천	지방2	4.87	3.40	3.40	2002년	50	
	목리천	지방2	3.65	1.60	-			
	덕산천	지방2	14.00	14.00	6.60	1994년	50	
	대치천	지방2	5.76	5.40	5.40	1994년	50	
곡교천	호곡천	지방2	4.77	2.00	2.00	1994년	50	
	성리천	지방2	10.42	7.80	-			
	효교천	지방2	14.42	12.20	9.90	1997년	50	
	하포천	지방2	5.42	3.20	-			
	대천천	지방2	12.00	12.00	11.60	1998년	50	
	구암천	지방2	3.74	2.60	-			
	대지천	지방2	2.20	2.20	2.02	2002년	50	
	지곡천	지방2	8.68	8.00	6.35	2000년	50	
	석우천	지방2	9.50	9.50	9.50	2002년	50	
무한천	남원천	지방2	23.24	19.30	19.06	2002년	50	
	신포천	지방2	4.00	4.00	-			
	오봉천	지방2	10.26	6.90	-			
	거산천	지방2	1.90	1.80	-			
	공포천	지방2	2.70	2.70	-			
	도고천	지방2	11.80	11.80	9.10	1996년	50	
	봉산천	지방2	2.98	2.90	2.90	1996년	30	

<표 9.14> 삽교천 유역내 하천정비기본계획 수립현황 (계 속)

수계	하천명	하천등급	유로연장 (km)	하천정비기본계획				비 고
				대상연장 (km)	수립연장 (km)	수립시기	계획빈도	
곡교천	소 계		303.12	218.20	104.36			수립율 47.83%
	곡교천	국가	49.18	18.59	18.59	1998년	100	
	곡교천	지방1	25.33	20.50	20.50	1987년	80	
	곡교천	지방2	10.09	6.50	-			
	양안천	지방2	4.69	3.80	-			
	맹곡천	지방2	7.97	6.50	-			
	풍서천	지방2	17.31	14.00	14.00	1996년	50	
	지장천	지방2	5.39	1.20	-			
	무학천	지방2	4.60	3.00	-			
	회룡천	지방2	4.20	4.20	-			
	천안천	지방2	13.90	12.30	12.30	2002년	80	
	원성천	지방2	4.75	3.50	3.50	1987년	80	
	삼룡천	지방2	3.84	1.40	1.40	1987년	80	
	구룡천	지방2	2.87	1.70	1.70	2002년	80	
	장재천	지방2	6.36	6.36	6.36	1999년	100	
	매곡천	지방2	10.20	10.20	-			
	용평천	지방2	2.90	2.90	-			
	율지천	지방2	5.11	2.60	-			
	산동천	지방2	2.00	2.00	-			
	용두천	지방2	5.92	2.71	2.71	2004년	100	
	온양천	지방2	19.70	16.50	16.50	1991년	50	
	마곡천	지방2	4.00	1.80	-			
	약봉천	지방2	7.06	5.10	-			
	외암천	지방2	5.45	3.50	-			
	신인천	지방2	4.10	4.10	-			
	금곡천	지방2	7.64	5.80	-			
	온천천	지방2	5.00	5.00	-			
	오목천	지방2	7.10	7.14	3.10	2003년	50	
	초사천	지방2	3.94	2.40	-			
	황산천	지방2	3.06	1.80	-			
	행목천	지방2	3.63	3.70	3.70	2003년	50	
	음봉천	지방2	9.40	7.90	-			
	방현천	지방2	3.90	3.90	-			
	와천	지방2	7.12	5.80	-			
	신창천	지방2	7.32	6.70	-			
	궁화천	지방2	4.49	2.30	-			
	용궁천	지방2	4.66	2.20	-			
	학성천	지방2	8.94	8.60	-			

<표 9.14> 삽교천 유역내 하천정비기본계획 수립현황 (계 속)

수계	하천명	하천등급	유로연장 (km)	하천정비기본계획				비 고
				대상연장 (km)	수립연장 (km)	수립시기	계획빈도	
무한천	소 계		269.78	181.04	68.24			수립율 37.69%
	무한천	국가	53.90	13.24	13.24	1998년	100	'94년 보완
	무한천	지방2	40.66	3.80	3.80	1989년	80	예당지 하류
				22.40	22.40		50	예당지 상류 수몰구간제외
	산정천	지방2	3.39	2.80	-			
	농암천	지방2	2.54	1.90	-			
	매산천	지방2	2.40	2.40	-			
	기덕천	지방2	3.50	3.50	-			
무	수정천	지방2	3.60	3.60	3.60	1990년	30	
	행정천	지방2	5.51	4.10	1.12	2004년	80	
	강촌천	지방2	8.44	6.60	6.60	1990년	30	
	관산천	지방2	2.92	1.80	1.80	1990년	30	
	노전천	지방2	3.45	2.00	0.78	2004년	50	
	시목천	지방2	2.90	2.90	-			
	구례천	지방2	3.44	1.70	-			
	마사천	지방2	3.90	2.20	2.20	2000년	50	
	신흥천	지방2	5.35	3.50	-			
한	신양천	지방2	21.30	21.30	-			
	운곡천	지방2	5.77	3.00	-			
	광암천	지방2	3.90	3.90	3.00	2001년	50	
	만사천	지방2	4.50	4.50	-			
	차동천	지방2	6.84	4.50	-			
	화산천	지방2	14.29	11.10	-			
	달천	지방2	5.60	3.50	-			
	대곡천	지방2	4.80	4.80	-			
	죽곡천	지방2	3.40	3.40	3.10	1998년	50	
천	이티천	지방2	5.70	5.70	-			
	시왕천	지방2	6.04	2.00	-			
	하천천	지방2	5.38	3.00	-			
	탄방천	지방2	6.09	4.80	-			
	장전천	지방2	5.64	2.80	-			
	예산천	지방2	5.60	3.70	-			
	용굴천	지방2	8.43	5.30	-			
	궁평천	지방2	5.20	3.30	-			
	봉농천	지방2	2.30	2.30	-			
	종경천	지방2	3.10	3.10	-			



<그림 9.7> 삽교천 유역내 법정하천의 계획빈도 현황

9.3.3 치수단위구역별 치수안전도 설정

삽교천 유역은 유역의 북서부와 남동부의 인문·사회 특성과 홍수피해 발생양상이 명확히 구분된다. 그 이유는 근본적으로 유역의 지형특성에 기인한 것으로 추정되는데, 유역의 북서부는 광활한 저평지가 위치하여 인구와 도시가 집중됨으로써 경제규모가 큰 반면 홍수가 발생할 경우 침수피해가 크게 발생하는데 비해 남동부는 차령산맥의 끝자락에 해당하는 산악지형으로 도시의 발달이 미흡하고 인구밀도가 작은 반면 하천은 규모가 작고 대체로 굴입하도에 가까운 산지하천의 특성을 보이고 있어 대규모의 침수피해는 발생하지 않는 것으로 조사되었다. 따라서 삽교천 유역의 치수단위구역별 치수안전도를 설정하는데 있어 유역내 하천의 정비기본계획에서 정한 계획빈도와 "하천설계기준(2005, 한국수자원학회)"의 계획규모를 일부 참고하였으나, 기본적으로 상기한 유역의 특성과 이에 근거하여 산정된 PFD를 기준으로 하였다.

이러한 기본방침에 의해 치수안전도는 치수단위중구역을 단위로 구역내 하천의 계획빈도 하한치를 설정하는 형식으로 결정하였는데, 예상되는 홍수피해의 규모가 작은 유역의 상류부는 치수안전도를 낮게 설정하고, 유역의 하류부와 지류의 홍수가 집중되는 주요 하천의 본류를 중심으로는 치수안전도를 점차 증가시킴으로써 유역의 하류부로 갈수록 홍수부담이 커지는 폐해에 대응할 수 있도록 하였다. 그 결과 유역의 남동부에 위치한 PFD특성 "C그룹"의 치수안전도는 향후 기업도시 입지 계획이 있는 곡교천 수계의 "용두천 지구"를 제외하고는 50년으로 결정하였고, 홍수피해의 위험이 크거나 잠재성이 큰 "B그룹"과 "D그룹"의 치수안전도는 80년 이상, 잠재성과 위험성이 모두 높은 "A그룹"에 해당하는 지역의 치수안전도는 최소 100년으로 설정하였다. 또한 예당지 하류의 무한천 지방2급 구간의 현 계획빈도는 '77년에 국가하천 구간의 계획빈도가 80년으로 결정된 이후 수계일관성을 유지하는 차원에서 예당지 상류 구간과는 달리 국가하천 구간의 계획빈도를 그대로 채택하였으나, '94년 국가하천 구간의 기본계획 보완시 계획빈도가 100년으로 상향된 이후 지방2급 구간의 기본계획 보완이 이루어지지 않고 있는 관계로 국가하천 구간의 계획빈도와 상이한 상태로 있었으나, 금회 국가하천 구간과 동일하게 계획빈도를 100년으로 상향 조정하였다.

결과적으로 금회 설정한 치수안전도는 치수단위중구역별 PFD 등급에 기초한 결과로서, 홍수피해 잠재성이 작은 지역의 치수안전도를 낮게 설정함으로써 대규모 홍수 발생시 일부 침수를 허용하는 형태로 홍수를 분담하여 하류의 홍수부담을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 결과는 예당지 상류지역의 치수안전도를 높게 설정할 경우 이를 유지할 수 있는 구조적인 대책으로 제방 보강 이외에는 특별한 대안이 없으며, 이 경

우 하류의 홍수부담을 가중시키는 결과를 초래할 수밖에 없다는 현실적인 인식에 근거한 것이기도 하다.

그러나 무엇보다 PFD 등급에 기초하여 치수안전도를 상이하게 설정하는 이유는 이들 지역간의 홍수피해발생 위험을 균등하게 부담하는데 목적이 있다. 즉, <표 9.15>의 하천설계기준 및 하천정비기본계획에서 제시하거나 채택한 설계빈도와 치수안전도는 외수범람 방지를 기준으로 산정된 값으로서 결국 외수에 대한 치수안전도를 의미한다. 이 기준에 따르면 유역의 북서부 지역은 남동부의 상류지역에 비해 치수적으로 훨씬 안전한 것으로 보이지만 실질적으로 하천연안 저지대는 소규모의 홍수에도 내수배제 불능에 의한 침수피해가 상습적으로 발생하는 취약지역이다. 즉, 외수에 대해서는 100년 빈도의 홍수시에도 범람이 발생하지 않는 안전성을 확보하고 있지만 내수침수에 대해서는 앞서 여러차례 언급한 바와 같이 10~20년 빈도 미만의 홍수에도 피해가 발생하는 이중적인 치수특성을 보이고 있다.

이에 비해 상류지역은 하천연안의 저지대 면적이 협소하고, 하천은 굴입하도 형태에 가까워서 외수와 내수에 대해 치수안전도를 구분하는 것은 사실상 무의미하며, 이 지역의 치수안전도는 곧 외수에 대한 방어능력을 의미한다고 할 수 있다. 특히 이 지역의 지역개발 정도나 경제규모 및 인구 분포 등을 감안하면 동일 홍수시 예상되는 피해 규모는 하류지역에 비해 월등히 낮다고 할 수 있다.

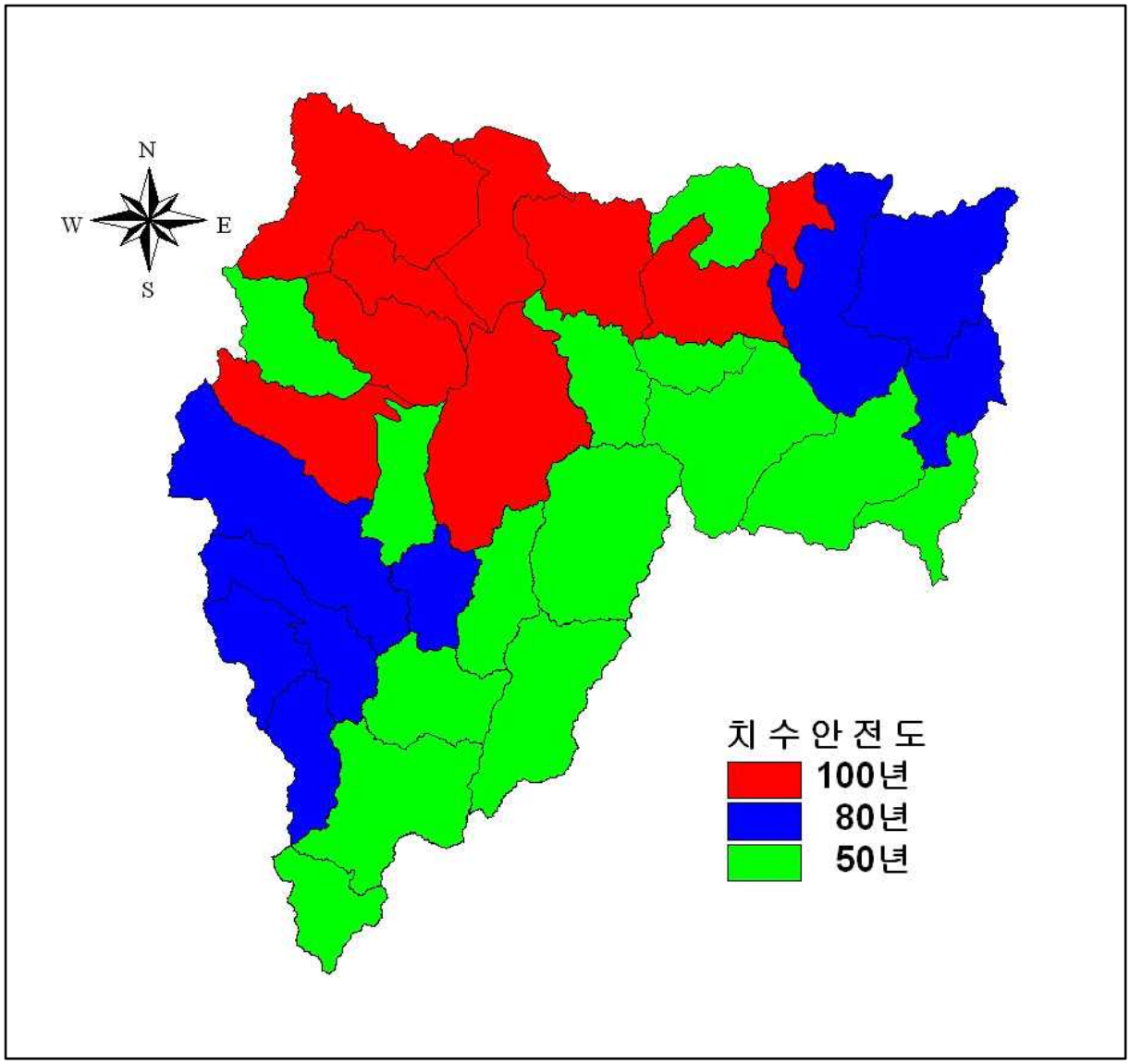
따라서, 유역의 상류지역 치수안전도를 하류지역에 비해 낮게 설정하는 것은 상류지역을 희생하여 하류지역을 보호하자는 차원이 아니라, 예상되는 홍수피해를 감당할 수 있는 정도로 균등하게 분담하여 국지적으로 치명적인 피해가 발생하는 것을 방지하자는 취지로 받아들여야 할 것이다.

<표 9.15> 삽교천 유역내 치수안전도 설정 결과

중구역명	구역내 주요 하천	계획빈도(년)		PFD특성	치수안전도
		하천설계기준	기본계획		
삽교1	삽교천(국가)	100~200	100	D	100
남원천	거산천, 공포천, 남원천, 신포천, 오봉천	50~200	50	A	100
석우천	삽교천(국가), 석우천	100~200	50~100	A	100
도고천	도고천, 봉산천	50~200	30~50	C	50
대천천	구암천, 대지천,대천천	50~200	50	C	50
삽교3	삽교천(국가), 효교천	100~200	50~100	D	100
성리	성리천, 하포천	50~200	-	C	50

<표 9.15> 삽교천 유역내 치수안전도 설정 결과 (계속)

중구역명	구역내 주요 하천	계획빈도(년)		PFD특성	치수안전도
		하천설계기준	기본계획		
삽교4	삽교천(지방1급), 대치천, 덕산천, 목리천, 덕산천, 호곡천, 화양천	80～200	50～80	D	80
삽교5	삽교천(지방2급), 용봉천, 장성천	50～200	50～80	D	80
삽교6	삽교천(지방2급), 상송천, 종현천	50～200	50	D	80
홍성천	삽교천(지방2급), 월계천, 홍성천	50～200	50～80	A	80
곡교1	곡교천(국가), 궁화천, 용궁천, 학성천, 신창천	100～200	100	D	100
곡교2	곡교천(국가), 오목천, 온양천, 온천천, 행목천	100～200	50～100	B	100
황산	신인천, 오목천, 초사천, 황산천	50～200	50	C	50
곡교3	곡교천(지방1급), 매곡천, 산동천, 율지천, 회룡천	80～200	80	B	80
용두천	용두천, 용평천	50～200	100	C	100(50)
곡교4	곡교천(지방1급), 맹곡천	80～200	80	B	80
곡교5	곡교천(지방2급), 양안천	50～200	-	C	50
온양천	금곡천, 마곡천, 약봉천, 온양천, 외암천	50～200	50	C	50
음봉천	방현천, 와천, 음봉천	50～200	-	C	50
풍서천	무학천, 지장천, 풍서천	50～200	50	C	50
천안천	구룡천, 삼룡천, 원성천, 장재천, 천안천	50～200	80	B	80
무한1	무한천(국가), 궁평천, 봉농천, 예산천, 용굴천, 종경천	100～200	100	B	100
무한2	무한천(지방2급), 구례천, 노전천, 마사천, 시목천, 신흥천	50～200	50	C	50
무한3	무한천(지방2급), 강촌천, 관산천, 수정천, 행정천	50～200	30～80	C	50
무한4	무한천(지방2급), 기덕천, 농암천, 매산천, 산정천	50～200	50	C	50
예당지	무한천(지방2급)	50～200	50	D	80
신양1	신양천, 장전천, 탄방천	50～200	-	C	50
신양2	광암천, 만사천, 신양천, 운곡천, 차동천	50～200	50	C	50
화산천	대곡천, 시왕천, 이티천, 죽곡천, 하천천, 화산천	50～200	50	C	50



<그림 9.8> 삽교천 유역의 치수안전도 설정 결과

제 10 장 홍수량 및 홍수위 산정

10.1 홍수량 산정

10.2 하도홍수추적

10.3 현 상태의 치수특성 검토

10.4 주요지점 홍수량

제 10 장 홍수유출 분석

10.1 홍수량 산정

10.1.1 유역특성에 따른 검토 사항

가. 하류부 저지대의 내수침수 해석

삽교천 유역의 중하류부는 하천연안에 광활한 저지대가 분포하고 있어 하도의 수위가 상승하면 이 지역에서 발생한 홍수의 자연배제가 불가하므로 배수펌프장에 의한 강제배수에 의존하게 된다. 현재 유역내에 42개소의 배수펌프장이 위치하고 있으며, 홍수시 강제배수 되는 면적은 전체 유역면적의 11.5%에 해당한다.

<표 10.1> 삽교천 유역내 배수펌프장 현황

하 천	유역면적 (㎢)	배수면적(㎢)		개 소		비 고
		현재	장래	현재	장래	비 고
합 계	1,649.39	189.70	194.82	42	44	
삽교천 (국가하천)	632.51	76.23	76.23	17	17	용동1 배수펌프장은 효교천 유역에 위치하나, 삽교천의 배수영향구간에 해당하므로 삽교천 국가하천 구간내 배수펌프장으로 간주함
삽교천 (지방하천)	218.06	5.74	5.74	6	6	
곡교천	545.08	31.15	32.66	6	7	수창 배수펌프장 신설예정
무한천	471.80 (102.94)	68.01	71.62	10	11	발연 배수펌프장 신설예정
기 타	-	8.57	8.57	3	3	양막, 상장, 사리 배수펌프장

【주】 1. 장래의 현황은 2016년 까지 준공예정인 계획 배수펌프장을 포함하여 추정하였음.
2. 무한천 유역면적 중 ( )안의 값은 예당지 하류면적임
3. 삽교천 유역면적은 무한천과 곡교천 유역면적을 제외한 잔유역 면적임.

따라서, 유역의 하류부에서 하도로 유입하는 홍수유출특성은 배수펌프장의 배제능력에 지배받으며 일반적인 배수펌프장의 계획빈도가 20년을 초과하지 않는 것을 감안하면 하천의 계획대상 홍수발생시 배수펌프장의 배제능력을 초과하는 유출량은 저지대에 저류되었다가 하도의 수위가 하강하면 하도로 유입될 것으로 예상할 수 있다.

이렇게 하류부에서의 홍수유출이 배수펌프장의 토출능력에 지배되거나, 토출능력을 초

과하는 유출량이 저지대에 저류되었다가 지체되어 하도로 유입함으로써 일반적인 유출모형으로는 실제 하도로 유입하거나 하도에 형성된 홍수량을 추정하기 곤란하며 이러한 요인을 감안하지 않을 경우 첨두홍수량과 홍수위가 과다하게 산정될 것이다.

2002년 12월 31일 기준으로 삽교천과 무한천 국가하천 구간의 개수율은 100%이고, 곡교천 국가하천 구간의 개수율은 93.23%에 달하며 '95년을 제외하면 국가하천 구간에서 실질적으로 외수 범람이 발생하지 않고 있음에도 이 구간 연안의 농경지에 상습적으로 침수피해가 발생하는 것은 전술한 바와 같은 사유로 내수배제 불능에 의한 침수가 발생하기 때문이다. 이러한 과업대상지역의 특성을 고려할 때 유역특성에 적합한 치수계획을 수립하기 위해서는 홍수시 실제 하도로 유입하는 홍수량과 홍수위를 정확히 추정하는 것과 함께 하류부 국가하천 구간 연안의 내수침수에 대한 해석이 필요하다. 따라서 시간에 따라 변화하는 하도의 수위별로 유출에 기여하는 면적을 구분한 후 배수계통을 고려하여 각각의 조건에 따라 실제 하도로 유입하는 홍수량을 산정하며, 이 값을 유역에서 발생한 홍수량과 비교하여 제내지의 내수침수를 유발하는 유량을 산정하여야 한다. 이러한 분석이 필요한 이유는 단지 하도의 홍수위와 홍수량을 정확히 산정하기 위한 목적뿐만 아니라 제내지에서 발생하는 내수침수 특성 즉 침수면적과 침수심 및 침수기간을 추정하기 위함이다.

나. 예당지 하류 지방하천구간의 계획빈도

무한천 유역내에는 하구로부터 약 17km 상류 지점에 1,020만㎥의 홍수조절능력을 보유한 예당지가 위치하고 있어 상류에서 유하하는 홍수의 유출특성에 영향을 미치고 있다. 따라서 예당지 하류지점의 홍수량을 산정하기 위해서는 우선 예당지 상류에서 예당지로 유입하는 홍수량을 산정한 후 예당지의 운영규정에 따라 저수지 홍수추적을 실시하여 방류량을 산정하여야 하며, 하류의 지점별 홍수량은 예당지의 방류량을 하도추적한 결과와 잔유역에서 발생한 홍수량 수문곡선을 합성하여 결정한다.

이 과정에서 문제가 되는 사항이 무한천의 하천등급과 이에 따른 계획빈도이다. 무한천은 하구로부터 상류로 13.24km 까지가 국가하천, 그 상류 구간은 지방2급 구간으로 구분된다. 무한천 국가하천 구간의 계획빈도는 '77년에 삽교천 수계 국가하천구간의 하천정비기본계획 수립 당시 삽교천, 곡교천의 국가하천 구간과 동일하게 80년으로 설정되었으며, 성과에 의해 '89년에 수립된 지방2급 하천구간의 하천정비기본계획에서 국가하천 시점부터 예당지 까지 약 3.8km 구간의 계획빈도는 수계일관성을 유지하기 위해 국가하천 구간의 계획빈도와 동일하게 80년으로 설정하고 예당지 상류 구간은 50년으로

설정하였다. 그 이후 '94년에 무한천 국가하천 구간의 하천정비기본계획을 보완하면서 계획빈도를 100년으로 상향조정 하였으나, 지방2급 하천구간의 하천정비기본계획이 보완되지 않은 관계로 현재 무한천의 계획빈도는 국가하천구간은 100년, 지방2급 구간 중 국가하천 시점부터 예당지 구간은 80년, 예당지 상류는 50년으로 설정되어 있다.

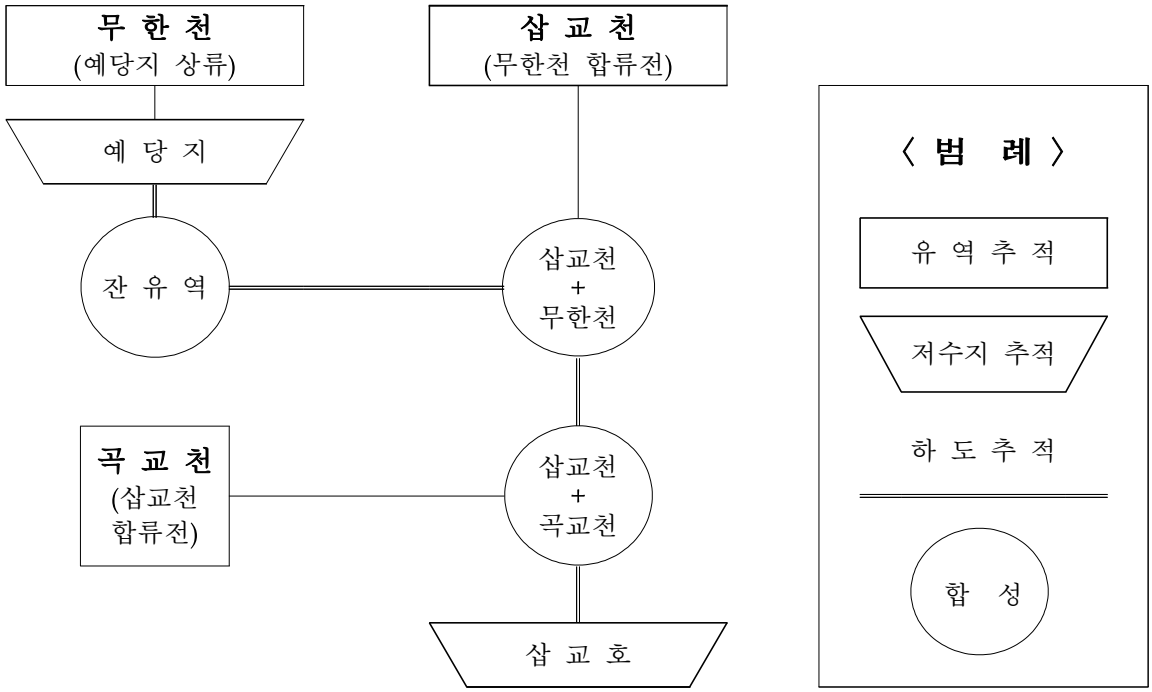
그러나 '94년 국가하천 구간의 계획홍수량 산정시 예당지의 100년 빈도 홍수시의 방류량을 기준으로 함으로써 예당지 하류의 지방2급 구간의 계획규모가 불분명해지고, 홍수량 배분에 있어 수계일관성을 유지하기 못하는 문제가 발생하였다.

금회 과업에서는 이점을 고려하여 '9.3.3 치수단위구역별 치수안전도 설정'에서 예당지 하류의 지방2급 구간을 국가하천 구간과 동일한 치수단위구역으로 설정하였다. 따라서 예당지 하류의 구간은 홍수량과 홍수위 등 치수계획 수립을 위한 각종 수문량 산정시 동일한 기준을 적용할 수 있도록 하였다.

다. 하도홍수추적

중소규모 유역의 홍수량을 산정할 때 유출은 지표면 유출 및 하도 유출로 구성된다고 보며 하도의 저류효과는 무시하는 것이 일반적이다. 따라서 홍수량은 각 산정지점의 홍수유출에 기여하는 면적을 대상으로 유출의 지체와 유역의 저류효과를 고려할 수 있는 방법(유역추적)에 의해 산정하고 하도홍수추적은 실시하지 않는다. 이는 중소규모 유역의 경우 하도의 저류용적이 크지 않을 뿐만 아니라 하도홍수추적을 실시하는데 필요한 자료가 불비한 경우가 많으므로, 하도홍수추적을 실시하여도 그 신뢰성을 확보할 수 없는 경우가 많기 때문이다. 이때 중소규모 유역이라 함은 유역면적만으로 구분하기 어려우나 대략 100~5,000㎢ 이하 면적을 갖는 유역으로 정의하기도 한다.

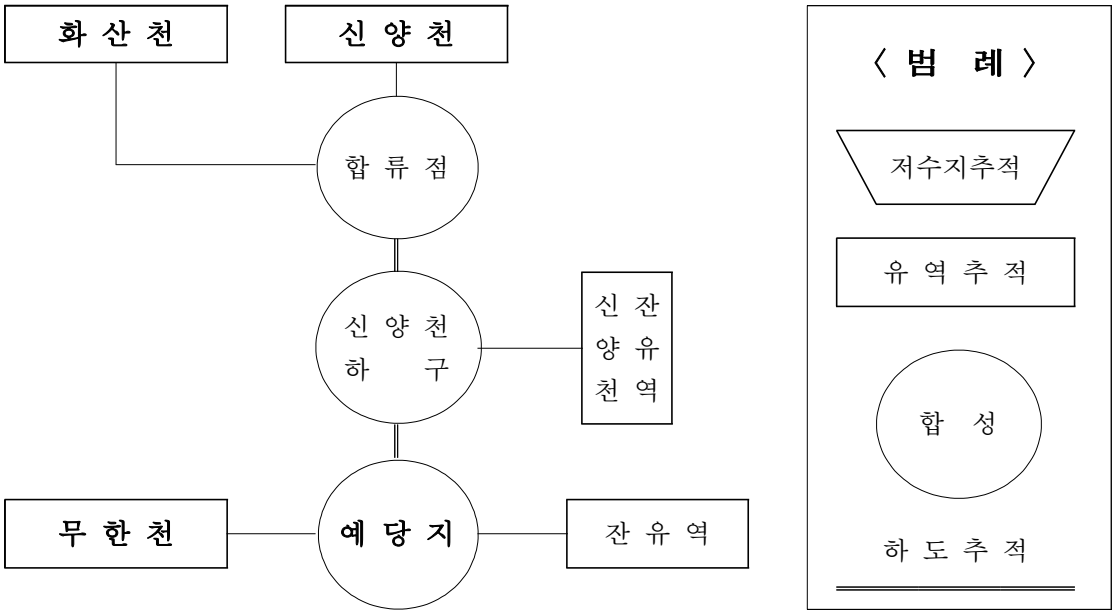
이러한 기준만으로 보면 무한천 유역의 홍수량을 산정하는데 있어 굳이 하도추적이 필요하지는 않지만, 예당지의 홍수조절 기능이 상류에서 유하하는 홍수의 유출특성에 미치는 영향을 반영하기 위해서는 부득이 하도추적을 실시하여야 한다. 즉, 예당지로의 유입량은 유역추적에 의해 산정할 수 있지만, 예당지 하류의 홍수량은 예당지의 홍수조절 결과이므로 유역추적만으로는 이 효과를 반영할 수 없고, 예당지 방류량을 홍수량 산정지점 까지 하도추적한 후 잔유역에서 발생한 홍수량을 합성하는 과정을 통해 결정하여야 한다. 삽교천 유역 전체로도 지류인 무한천이 예당지 하류구간에서 하도추적을 실시하므로 무한천 합류전 지점까지는 유역추적법에 의해 홍수량을 결정할 수 있으나, 무한천 합류후 부터는 역시 무한천과 마찬가지로 유역추적과 하도추적을 병행하여 홍수량을 산정하여야 한다.



<그림 10.1> 삽교천 유역 홍수량 산정방법 모식도

예당지 하류부 지점의 홍수량 산정시 예당지의 홍수조절 효과를 반영하기 위해 유역추적과 하도추적을 병행하는 것이 필수적인 반면 예당지 상류 유역은 수계구성 특성상 하도추적을 실시하는 것이 바람직하다. 예당지 상류는 수계가 방사상으로 발달하여 신양천과 화산천이 합류한 후 다시 예당지에서 무한천 본류와 합류하는데, 각 합류점을 기준으로 지류와 본류의 유역면적 및 유로연장이 거의 동일하여 첨두홍수가 비슷한 시간에 중첩될 것으로 예상된다. 따라서 이런 특성을 유역추적만으로는 반영하기 곤란하므로 주요 합류점을 기준으로 유역추적과 하도추적을 병행하는 것이 홍수량 산정방법으로 적합할 것으로 판단된다.

하도추적 방법으로는 예당지 상류 구간의 경우 하천의 경사가 급하고, 예당지를 제외하고는 특별한 하류교란의 요인이 없으므로 Muskingum 또는 Muskingum-Cunge와 같은 수문학적 모형으로도 충분히 신뢰할 수 있는 성과를 얻을 수 있지만 예당지 하류 구간의 경우 경사가 완만하고 삽교천과 곡교천, 무한천의 합류, 서해안 조위와 삽교호 배수갑문 운영에 따른 하류교란으로 무시할 수 없는 배수영향이 예상되므로 완전한 Saint-Venant식의 수치해에 근거한 수리학적 동역학파 모형이 적합할 것이다. 특히 예당지 하류구간은 주된 침수원인이 하도의 수위상승에 따른 내수배제 불능이므로 치수계획 수립시 홍수량과 홍수위 뿐 만 아니라 수위지속시간도 중요한 요소가 되기 때문에 하도의 각 지점별 수위수문곡선(Stage Hydrograph)을 하도추적에 의해 산정할 때는 부정류 해석이 병행되어야 한다.



<그림 10.2> 예당지 상류 유역 홍수량 산정방법 모식도

10.1.2 하도홍수추적방법 검토

하도홍수추적(flood routing)이란 상류 한 지점의 기지의 수문곡선으로부터 하류 어떤 지점의 수문곡선을 결정하는 절차라고 정의할 수 있다. 바꾸어 말하면 홍수파가 하천의 임의구간을 통과하는 동안에 그 구간내의 저류에 의하여 첨두홍수량의 크기가 얼마나 감소되며 첨두시간이 얼마나 지체되느냐를 밝혀내는 과정이라고 말할 수 있다.

하도홍수추적은 기본방정식의 개념에 의해 수문학적 하도추적과 수리학적 하도추적으로 구분되는데 수문학적 하도추적은 저류개념의 연속방정식에 근거하고, 수리학적 홍수추적은 질량과 운동량보전의 원리에 근거한다. 수리학적 홍수추적 방법은 흐름에 기여하는 여러 요소 중 어떠한 부분까지 고려하느냐에 따라 운동파 모형, 확산파 모형 그리고 동역학파 모형으로 구분되는데, 하천 흐름의 부정류 해석에서 가장 완전한 모형이 동역학파 모형이다. 하도홍수추적에 있어 수문학적 모형은 계산과정이 간단하고 대부분의 문제에 있어 만족할 만한 결과를 제공하는 것으로 알려져 있으나, 합류점이나 삼각주 같이 복잡한 수로계통 및 배수현상이 발생하는 조건에서는 적합하지 않다. 이러한 점에 있어서는 수리학적 하도추적 방법도 동역학파 모형을 제외하면 동일한 한계가 있다.

수문학적 하도추적 방법으로서 가장 보편적으로 사용되는 방법은 Muskingum방법 이지만 이 방법이 기 관측된 역사자료에 의존하여 매개변수 값을 추정하는데 비해 측정 가능한 유량과 수로특성을 사용하여 매개변수를 계산할 수 있는 Muskingum-Cunge방법이 진일보한 방법이라 할 수 있다.

수리학적 하도추적 방법으로는 운동파와 확산파 모형이 수로경사가 급하고, 조석, 지류 유입 및 저수지 조작과 같은 하류교란의 영향이 상류로 전파되지 않고 하류로만 전파되는 경우에 적용 가능한 반면 경사가 완만한 하천이나 하류교란으로 인해 무시할 수 없는 배수영향이 발생하는 흐름을 해석하기 위해서는 완전한 Saint-Venant 방정식에 기초한 동역학파 방법을 필요로 한다.

금회 과업대상 유역의 홍수량을 산정하는데 있어서 하도홍수추적은 삽교천 등 3개 하천의 국가하천구간 시점부를 기준으로 상, 하류를 구분하여 실시하였다. 국가하천구간 시점부 상류 지역은 지형특성상 하천의 경사가 급하고, 무한천의 예당지를 제외하면 인공적인 구조물로 인한 하류교란의 요인이 없으며, 예당지의 배수영향도 하도의 경사가 급하기 때문에 상류로 멀리 전파되지 못하므로 수문학적 홍수추적 방법으로도 만족스러운 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단하여 Muskingum 방법을 채택하였다. 그러나 삽교천과 곡교천, 무한천의 국가하천 구간은 하천의 경사가 완만하고 삽교천과 홍수규모가 비슷한 무한천과 곡교천이 10km 정도의 거리를 두고 합류하며, 하구에서 서해안 조위에 따른 배수갑문 조작의 영향을 받으므로 하류교란의 영향을 반영할 수 있는 수리학적 동역학파 방법을 채택하였다.

주요 하천의 국가하천 구간에 적용한 수리학적 동역학파 방법에 의한 하도홍수추적은 흐름의 배수영향을 고려할 수 있는 장점 이외에도 하도의 특정 지점에서 시간에 따라 변화하는 수문특성 즉, 홍수량과 홍수위의 변화를 동시에 파악할 수 있는 장점이 있다. 이러한 점이 하도의 특정지점을 기준으로 유역에서 발생하는 홍수량을 유역추적방법 등에 의해 산정한 후 이 값을 기준으로 하도내에서 형성되는 홍수위를 계산하는 2단계의 과정으로 구분되며, 하도의 공간적인 변화는 반영하지만 시간에 따라 변화하는 성향을 예측하지 못하는 일반적인 수문특성 분석방법과 차별화되는 점이라 할 수 있다.

10.1.3 홍수량 산정지점

유역종합치수계획 수립의 기본 요소인 홍수량을 산정하기 위해 수계의 형상, 소유역의 면적, 소유역별 유로연장 등을 고려하고 합리적인 치수사업의 시행이 용이하도록 지형과 수계구성 특성을 반영하여 홍수량 산정지점을 선정하였다.

그러나 앞서 언급한 바와 같이 하도홍수추적을 실시할 경우 일반적인 홍수량 산정지점 선정과는 구분하여 적용할 부분이 있다. 하도홍수추적을 실시하지 않는 경우는 하도의 주요 지점을 대상으로 유역추적에 의해 홍수량을 산정하며 이때 유역면적은 홍수량 산정지점 상류의 전체 면적을 대상으로 한다. 그러나 하도홍수추적을 실시할 경우 상류단 경계조건 설정을 위해 추적구간 시점을 기준으로 홍수량을 산정하는 것은 하도홍수

추적을 실시하지 않고 유역추적에 의해서만 홍수량을 산정하는 경우와 동일하지만, 하도 추적구간내로 유입하는 측방유입홍수량은 각각의 유입지점을 기준으로 소유역을 분할하여 산정하며 상류경계조건과 같이 유역면적을 상류로부터 하류방향으로 누가하여 적용하지 않는다. 따라서 내부경계조건인 측방유입홍수량 산정지점은 소유역의 면적이나 유로연장을 균등하게 배분하는 것은 큰 의미가 없으므로 실제 흐름과 유사한 조건이 되도록 주요 지류하천 유역 단위로 소유역을 구분하였다.

<표 10.2> 홍수량 산정지점

하천명	지점명	산정지점명		부호	유역면적 (㎢)	유로연장 (㎞)	비 고
삽교천	삽교천하구			SK-0	1,649.39	59.30	SK-1 + 잔유역
	삽교천 하구	잔유역	소 계		128.15	5.57	
			삽교잔류1	SK1′	7.86	4.55	
			삽교잔류2	SK2′	12.03	5.70	
			남원1	NW1	8.04	8.16	
			남원2	NW2	10.83	10.78	
			남원3	NW3	4.45	3.78	
			오봉천	OB	22.85	7.48	
			남원천	NW	43.19	14.61	
			삽교잔류3	SK3′	18.90	10.95	
	곡교천 합류점	곡교천 합류후		SK-1	1,521.24	53.73	SK-2 + GK-0
		곡교천 유역		GK-0	545.08	50.60	
		곡교천 합류전		SK-2	976.16	53.73	SK-3 + 잔유역
		잔유역	소 계		72.46	9.87	
			삽교잔류4	SK4′	23.28	7.85	
			도고1	DG1	3.66	2.79	
			도고천	DG	36.72	12.22	
			하평2배수장	HP2	8.80	6.05	
	무한천 합류점	무한천 합류후		SK-3	903.70	43.86	SK-4 + MH-0
		무한천 유역		MH-0	471.80	47.73	
		무한천 합류전		SK-4	431.90	43.86	SK-5 + 잔유역
		잔유역	소 계		117.00	9.82	
			하평1배수장	HP1	5.75	4.81	
			석우천	SW	21.00	9.94	
			삽교잔류5	SK5′	3.05	5.47	
			신석배수장	SS	7.37	4.83	
			예림배수장	YR	4.31	3.62	
			신리배수장	SR	9.30	4.77	
			중예1배수장	JY1	1.73	1.83	
			중예2배수장	JY2	4.38	3.37	
			황금배수장	HG	2.80	3.38	

<표 10.2> 홍수량 산정지점 (계 속)

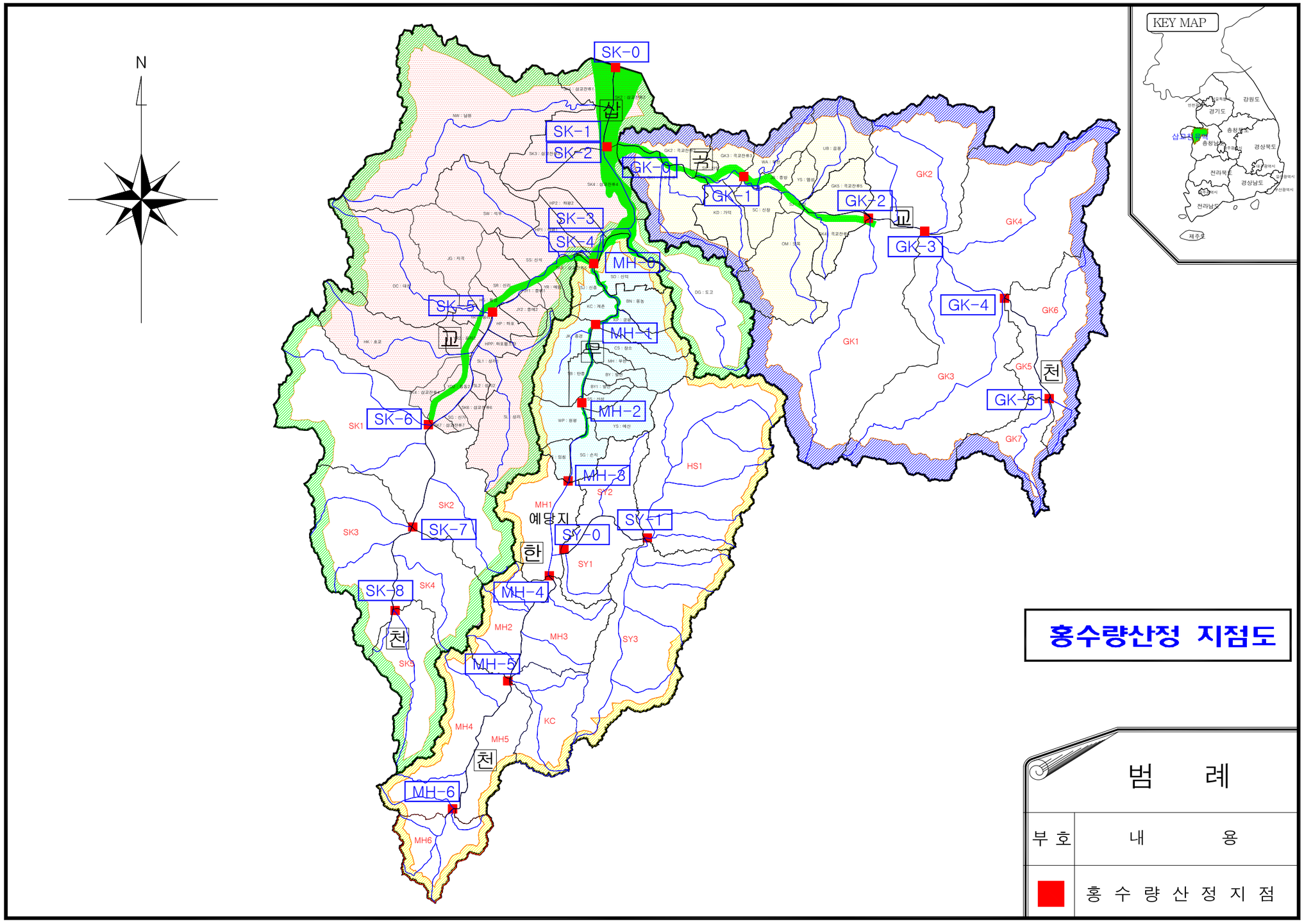
하천명	지점명	산정지점명		부호	유역면적 (㎢)	유로연장 (㎞)	비 고
삽교천	무한천 합류점	잔유역	대천천	DC	38.26	15.38	
		잔유역	지곡천	JG	19.05	8.54	
	대천천 합류전	대천천 합류전		SK-5	314.90	34.04	SK-6 + 잔유역
		잔유역	소 계		96.84	8.81	
		잔유역	하포천	HP	3.34	3.69	
		잔유역	용리1배수장	YR1	2.62	3.11	
		잔유역	하포배수장	HPP	2.62	2.69	
		잔유역	용리2배수장	YR2	4.64	2.73	
		잔유역	성리천	SL	31.46	11.63	
		잔유역	성리1배수장	SL1	3.51	3.90	
		잔유역	효교천	HK	31.81	14.12	
		잔유역	용동1배수장	YD1	4.63	6.00	
		잔유역	용동2배수장	YD2	5.54	3.94	
		잔유역	성리2배수장	SL2	1.59	2.48	
		잔유역	삽교잔류6	SK6′	2.58	2.31	
		잔유역	신가배수장	SG	1.54	2.33	
		잔유역	삽교잔류7	SK7′	0.96	1.56	
	덕산천 합류후	덕산천 합류후		SK-6	218.06	25.23	SK-7 + 잔유역
		잔유역	소 계		106.13	7.61	
		잔유역	삽교1	SK1	69.24	10.80	
		잔유역	삽교2	SK2	36.89	14.11	
	화양천 합류전	화양천 합류전		SK-7	111.93	17.62	SK-8 + 잔유역
		잔유역	소 계		78.78	6.58	
		잔유역	삽교3	SK3	48.62	11.64	
		잔유역	삽교4	SK4	30.16	12.95	
	종현천 합류전	종현천 합류전		SK-8	33.15	11.04	SK5
		잔유역	소 계		33.15	11.04	
		잔유역	삽교5	SK5	33.15	11.04	

<표 10.2> 홍수량 산정지점 (계 속)

하천명	지점명	산정지점명		부호	유역면적 (㎢)	유로연장 (㎞)	비 고
곡교천	곡하교천구	곡교천 하구		GK-0	545.08	50.60	GK-1 + 잔유역
		잔유역	소 계		58.16	11.85	
			곡교잔류1	GK1′	24.70	9.30	
			곡교잔류2	GK2′	10.92	7.34	
			산양배수장	SY	1.45	1.78	
			가덕배수장	KD	12.96	7.98	
			곡교잔류3	GK3′	8.13	5.39	
	강지청교점	강청교 지점		GK-1	486.92	38.75	GK-2 + 잔유역
		잔유역	소 계		89.92	9.02	
			와천	WA	10.63	8.64	
			신창배수장	SC	8.07	5.05	
			중방배수장	JB	3.35	4.89	
			염성배수장	YS	4.12	3.69	
			수장배수장	SJ	1.51	2.09	
			음봉천	UB	16.07	8.64	
			오목천	OM	27.12	7.98	
			곡교잔류4	GK4′	8.72	4.92	
			곡교잔류5	GK5′	10.33	5.93	
	온양합류천후	온양천 합류후		GK-2	397.00	29.73	GK-3 + 잔유역
		잔유역	소 계		155.66	4.01	
			곡교1	GK1	103.21	20.90	
			곡교2	GK2	52.45	18.64	
	매곡합류천전	매곡천 합류전		GK-3	241.34	25.72	GK-4 + 잔유역
		잔유역	소 계		175.91	7.96	
			곡교3	GK3	94.80	28.75	
			곡교4	GK4	81.11	20.58	
	풍서합류천전	풍서천 합류전		GK-4	65.43	17.76	GK-5 + 잔유역
		잔유역	소 계		46.53	8.09	
			곡교5	GK5	7.53	9.02	
			곡교6	GK6	39.00	15.00	
	양안합류천전	양안천 합류전		GK-5	18.90	9.67	GK7
		잔유역	소 계		18.90	9.67	
			곡교7	GK7	18.90	9.67	

<표 10.2> 홍수량 산정지점 (계 속)

하천명	지점명	산정지점명		부호	유역면적 (㎢)	유로연장 (㎞)	비 고
무한천	무하한천구	무한천 하구		MH-0	471.80	47.73	MH-1 + 잔유역
		잔유역	소 계		35.84	3.70	
			신덕배수장	SD	10.80	6.38	
			신종배수장	SJ	4.41	4.33	
			봉농배수장	BN	8.72	5.49	
			계촌배수장	KC	4.05	4.19	
			궁평	KP	7.86	6.41	
	궁평천합류전	궁평천 합류전		MH-1	435.96	44.03	MH-2 + 잔유역
		잔유역	소 계		39.04	6.56	
			종경배수장	JK	13.23	7.52	
			창소배수장	CS	11.13	9.18	
			탄중배수장	TJ	3.57	4.08	
			무한	MH	2.53	3.39	
			발연배수장	BY	3.61	4.63	
			발연	BY1	2.11	4.17	
			산성배수장	SS	2.86	3.66	
	예산대교점	예산대교		MH-2	396.92	37.47	
		잔유역	소 계		28.06	6.39	
			원평배수장	WP	8.54	5.65	
			예산	YS	10.08	6.23	
			손지	SG	6.21	3.42	
			입침	IC	3.23	5.65	
	예당저수지	예당저수지		MH-3	368.86	31.08	MH-4 + SY-0 + 잔유역
		잔유역	소 계		28.44	6.55	
			무한1	MH1	28.44	6.42	
	동산교	동산교		MH-4	149.44	24.53	MH-5 + 잔유역
		잔유역	소 계		69.39	8.14	
			무한2	MH2	21.63	11.44	
			무한3	MH3	23.83	10.28	
			강촌천	KC1	23.93	9.11	
	강촌천합류전	강촌천 합류전		MH-5	80.05	16.39	MH-6 + 잔유역
		잔유역	소 계		58.58	10.40	
			무한4	MH4	30.66	16.69	
			무한5	MH5	43.25	11.74	
	기덕천합류전	기덕천 합류전		MH-6	21.47	5.99	MH6
		잔유역	소 계		21.47	5.99	
			무한6	MH6	21.47	6.70	
신양천	신양천구	신양천 하구		SY-0	190.98	22.65	SY-1 + 잔유역
		잔유역	소 계		122.42	5.64	
			신양1	SY1	17.59	7.16	
			신양2	SY2	20.01	7.10	
			화산1	HS1	84.82	16.53	
	화산천합류전	화산천 합류전		SY-1	68.59	17.01	
		잔유역	소 계		68.56	17.01	SY3
			신양3	SY3	68.56	17.01	



<그림 10.3> 홍수량 산정지점도

10.1.4 설계강우량

가. 확률강우량

금회 과업에서는 건교부 우량관측소에서 보유하고 있는 시강우는 기록의 기간이 짧고, '90년대 이전의 기록 중에는 일부 강우사상에 대한 관측 자료만 있는 경우가 있는 등의 사유로 사용성이 부족하다고 판단하여 삽교천 유역 및 인근에 위치한 4개 기상청 관할 관측소의 강우기록만을 사용하였으며, 확률강우량 산정 및 그 결과에 대한 검토 등의 사항은 전술한 '제 6 장 강우분석'에 수록 하였다.

나. 설계강우의 시간적 분포

특정한 재현기간과 지속시간을 갖는 첨두홍수량을 산정하거나 유출수문곡선을 작성하기 위해서는 먼저 유출에 기여하는 강우의 시간적 분포, 즉 설계우량주상도를 결정하여야 한다. 설계강우의 시간분포를 결정할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으나 국내에서 많이 이용되고 있는 단순한 시간분포 해석만을 제시하면 다음과 같은 방법이 있다.

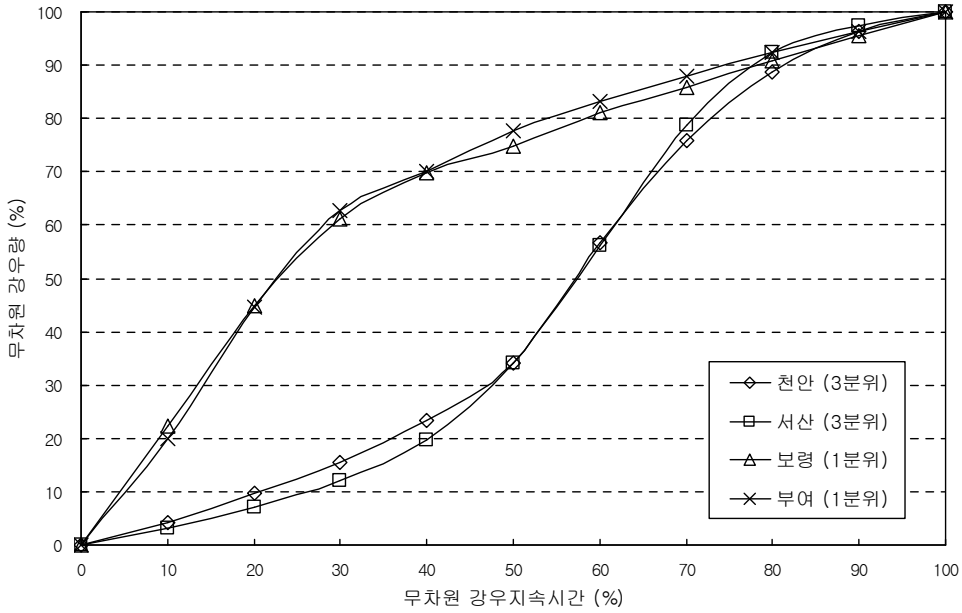
① Mononobe 강우량 공식 : 일최대우량을 가지고 Mononobe식에 대입하여 첨두위치에 따라 전방위형, 중앙집중형, 후방위형으로 나누고 시간분포 시키는 방법
② 교호블럭방법(Alternating block method) : 강우강도-지속시간 곡선을 이용 일정시간 구간별 강우량을 산정하여 시간분포 시키는 방법. (Keifer & Chu 방법, Chicago 방법과 유사)
③ Huff의 4분위법 : 강우량에 대한 시간대별 누가곡선을 작성하여 이용하는 방법.

상기한 방법 중 Mononobe방법과 교호블럭방법은 첨두강우의 위치가 중앙에 고정되어 있고 강우주상도의 배열이 타당한 근거 없이 인위적으로 이루어지게 되며, 특히 Mononobe방법의 경우 첨두강우의 크기가 지나치게 과대하게 되고 교호블럭방법은 전 강우 지속시간에 대해 특정 재현기간의 최대조건으로 강우가 분포되어 소규모 유역에서 첨두홍수량이 과다하게 산정되는 공통적인 문제점이 있다.

Huff 방법은 첨두강우의 발생위치에 따라 4개 그룹으로 분류된 호우사상을 대상으로 통계학적 분석을 통해 도출한 강우량의 시간적 분포를 나타내는 무차원 누가우량곡선을 사용하므로 기왕 호우사상의 특성을 반영할 수 있는 장점이 있지만, 강우지속시간에 관계없이 동일한 무차원 누가우량곡선을 사용함으로써 장기간의 강우를 분포시킬수록 강우주상도가 평활해져 소규모 유역의 첨두홍수량이 과소평가되는 단점이 있다. 그러나

이러한 단점은 임계지속시간의 도입을 통해 어느 정도 보완할 수 있으며 실무적으로 지역적인 강우특성을 반영할 수 있는 유일한 방법이므로 본 과업의 설계강우 시간분포 방법으로 채택하였다.

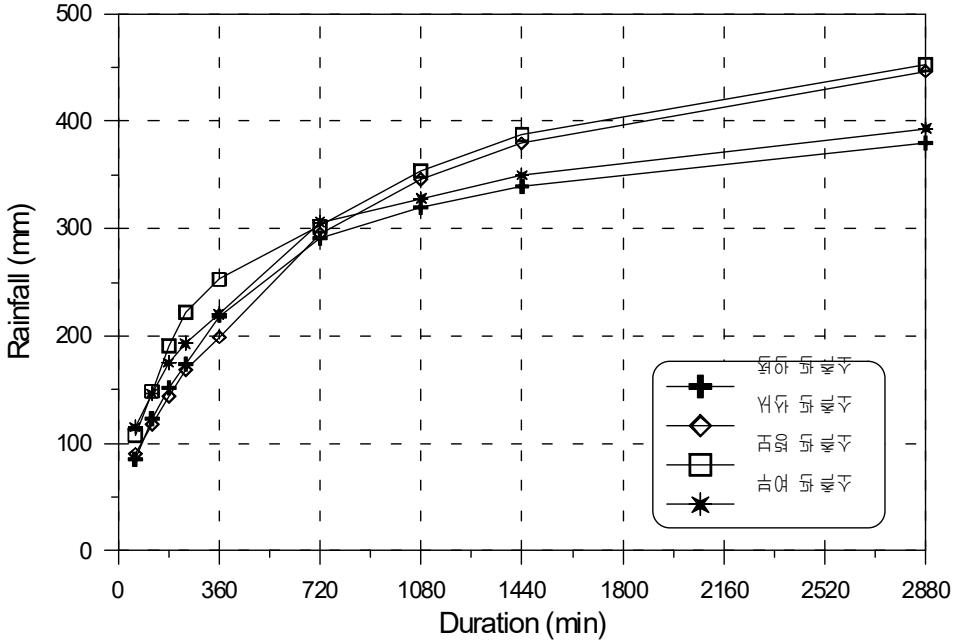
삽교천 유역에 Huff방법을 적용하는데 있어 문제는 유역내 및 인근에 위치한 천안, 서산, 보령, 부여 관측소의 누가우량곡선의 형태가 상이하고, 지속시간별 최빈분위가 다르기 때문에 유역을 대표하는 대표누가우량곡선의 선택이 곤란하다는 점이다. 각 관측소별 지배면적비를 기준으로 할 경우 유역내에 위치한 천안 관측소의 최빈분위 누가강우곡선을 대표누가우량곡선으로 선택할 수 있겠지만 천안 관측소가 유역의 동측에 치우쳐 위치하고, <그림 10.5>와 같이 지속시간에 따른 확률강우량의 변화성향이 서해안에 인접한 서산과 보령 관측소 지점과 상이하여 천안 관측소 지점의 누가우량곡선으로는 유역의 서측에 해당하는 삽교천 본류 유역의 강우특성을 반영하기 어려울 것으로 판단된다.



<그림 10.4> 관측소 지점별 최빈분위 누가우량곡선 (전지속기간, 50% 발생확률 기준)

<표 10.3> 관측소별 Thiessen 지배면적비

유 역	면적 (㎢)	지배면적 (㎢)				지배면적비 (%)			
		보령	부여	서산	천안	보령	부여	서산	천안
삽교천 전체	1,649.39	130.45	86.14	560.75	872.05	7.91	5.22	34.00	52.87
삽교천 잔유역	632.51	36.79	-	496.77	98.95	5.82	-	78.54	15.64
곡교천 유역	545.08	-	-	-	545.08	-	-	-	100.00
무한천 유역	471.80	93.65	86.10	63.98	228.07	19.85	18.25	13.56	48.34



<그림 10.5> 관측소 지점별 지속시간에 따른 100년 빈도 확률강우량 특성 비교

이러한 사유로 금회 과업에서는 유역 전체에 대해 단일한 대표누가우량곡선을 적용하지 않고 각 관측소 지점별로 설계강우지속시간의 최빈분위를 기준으로 대표누가우량곡선을 채택하여 강우주상도를 작성하였다. 이렇게 작성된 우량주상도를 각 홍수량 산정지점별로 4개 우량관측소의 지배면적비를 사용하여 가중평균 함으로써 설계강우주상도를 작성하였다. 그러나 각 관측소별로 대표누가우량곡선의 최빈분위가 상이할 경우 이를 평균하면 첨두강우의 발생위치가 불분명해지고 우량주상도가 평활해져 첨두홍수량이 과소평가될 우려가 있음으로 설계강우지속시간에 대해 가장 발생빈도가 높은 분위를 채택하여, 4개 관측소 지점에 대해 대표누가우량곡선의 분위를 동일하게 적용하였다.

다. 강우지속시간

하천제방이나 배수시설은 홍수로 인하여 최대의 부하가 걸리는 상황에서 그 안전도가 보장되도록 설계되어야 하며, 설계강우로부터 예측되는 유역의 첨두홍수량 및 유출수문곡선은 강우의 지속기간에 따라 변화하므로 설계강우의 지속시간 결정은 매우 중요한 사항이다. 이렇게 홍수량 산정목적에 대해 가장 큰 부하를 유발하는 지속시간을 임계지속시간(Critical duration)이라 하며 하천의 치수목적으로는 일반적으로 첨두홍수량이 최대가 되는 강우의 지속시간을 임계지속시간으로 설정한다.

임계지속시간은 정형화된 강우지속시간과 강우분포형을 적용하지 않고, 기왕의 강우자료로부터 통계적으로 결정한 첨두강우의 발생위치에 따라 강우를 분포시키는 Huff의

4분위법에 의해 설계강우 지속시간을 변화시켜 가면서 강우를 분포시켜 최대의 첨두홍수량을 보이는 강우지속시간을 채택하는 과정을 통해 결정한다.

무한천 유역의 경우 전체 유역면적의 80%에 가까운 면적이 예당지 상류에 위치하고 있으므로 전 유역의 유출특성이 예당지 방류에 크게 영향을 받게 된다. 특히 강우의 규모가 클수록 예당지의 홍수조절에 의해 예당지 유입량과 방류량의 차이가 크게 나타나므로 무한천 유역의 유출에 미치는 예당지의 영향은 증가하게 된다. 따라서, 치수목적의 설계강우 지속시간 결정을 위해 임계지속시간을 검토하는 경우 무한천 하구보다는 예당지 지점을 기준으로 하는 것이 타당하며, 예당지의 유입량과 방류량이 최대가 되는 임계지속시간을 설계강우 지속시간으로 채택하는 것이 적절할 것이다.

또한 유역면적과 유로연장이 거의 같은 삽교천과 곡교천, 무한천이 삽교호를 통해 합류하는 수계구성 특성을 고려할 때 무한천 유역의 설계강우지속시간을 삽교천 유역 전체에 적용하여도 무리가 없을 것으로 판단된다.

(1) Huff의 4분위법에 의한 설계강우 분포 결정

Huff의 4분위법은 총 강우지속시간을 4등분하여 첨두강우가 발생하는 위치에 따라 기왕의 강우자료를 그룹화한 후 각 분위별 통계적 특성을 적출하므로써 해당지역의 분위별 누가우량곡선을 결정하고 이를 기준으로하여 총강우량을 강우지속시간내에 분포시키는 방법이다. 이 방법은 개념상 비교적 단순하면서 물리적으로도 의미를 가지고 있으며, 대량의 강우자료에 대해서도 짧은 시간내에 계산이 가능하기 때문에 많이 사용되고 있다. 그러나 첨두강우량의 발생시각이 4개로 한정되어 있어 많은 기록을 보유하지 않은 지역의 통계적 특성치는 오차가 발생할 우려가 있으므로 주의해서 사용하여야 한다.

금회 과업에서는 국내 주요지점에 대한 강우의 시간적분포에 관한 연구로서 '지역별 설계 강우의 시간적 분포, 2000.6, 건설교통부'에서 제시한 천안(아산), 서산, 보령, 부여 관측소의 무차원강우분포를 적용하여 설계강우의 시간적 분포를 결정하였다.

<표 10.4> 관측소 지점의 지속시간별 최빈분위

지속시간 / 지 점	전지속 시 간	~6시간	7~12시간	13~18시간	19~24시간	25시간~
천 안	제 1분위	제 1분위	제 1분위	제 3분위	제 3분위	제 1분위
서 산	제 3분위	제 1분위	제 1분위	제 2분위	제 3분위	제 3분위
보 령	제 1분위	제 1분위	제 1분위	제 2분위	제 2분위	제 2분위
부 여	제 1분위	제 1분위	제 1분위	제 2분위	제 3분위	제 2분위

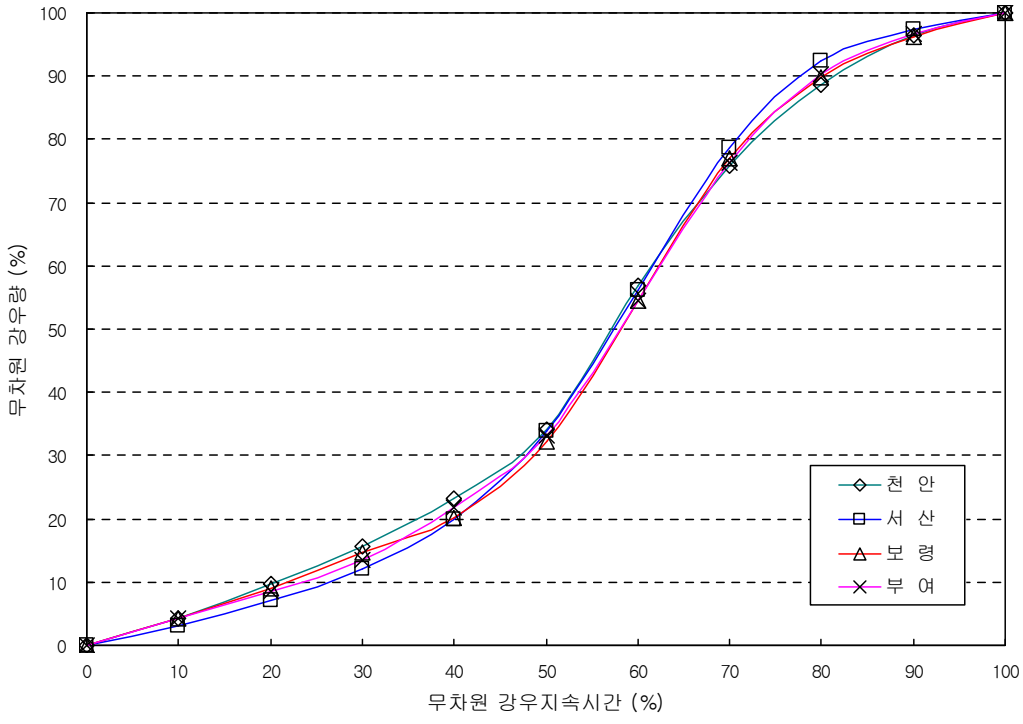
【주】 자료출처 : 지역별 설계강우의 시간적 분포(2000. 6), 건설교통부

4개 관측소 지점의 관측기록에 의해 결정된 무차원 누가우량곡선 중 중앙값에 해당하는 50% 발생빈도의 누가우량곡선은 <그림 10.6>과 같고, 이를 사용하여 다중회귀분석(multiple regression)으로 구한 회귀계수는 <표 10.6>과 같다. 이때 적용한 분위는 3분위인데 그 이유는 1, 2분위의 경우 지수함수적으로 변하는 손실우량으로 인해 첨두홍수량이 3, 4분위에 비해 작게 나타나며, 4분위는 4개 관측소 지점에서 전혀 최빈분위로 나타나지 않기 때문에 일단 4개 관측소의 대표누가우량곡선으로 3분위의 누가우량곡선을 가정하였기 때문이다.

<표 10.5> 관측소 지점별 무차원 누가강우분포 (3분위)

시간비율 (%) / 관측소	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
천 안	0	4.2	9.8	15.6	23.3	34.1	56.8	75.8	88.6	96.4	100
서 산	0	3.1	7.0	12.0	19.8	34.0	56.2	78.7	92.3	97.3	100
보 령	0	4.3	8.9	14.7	20.2	32.2	54.6	76.9	89.9	96.3	100
부 여	0	4.2	8.6	13.4	21.9	33.2	54.4	76.4	90.4	96.6	100

【주】 자료출처 : 지역별 설계강우의 시간적 분포(2000. 6), 건설교통부



<그림 10.6> 관측소 지점별 무차원누가우량곡선(3분위)

<표 10.6> 관측소 지점별 무차원누가우량곡선의 회귀계수

관측소 / 계 수	천 안	서 산	보 령	부 여
C_0	-0.013451254	0.032373509	0.02388075	0.073467709
C_1	-0.093469217	-0.21898691	-0.28467232	-0.14063794
C_2	0.088709459	0.089161887	0.11879687	0.090907113
C_3	-0.004776771	-0.004964424	-0.006471542	-0.005009428
C_4	0.000113198	0.000122501	0.000151441	0.000120065
C_5	-1.13239E-06	-1.25791E-06	-1.50265E-06	-1.20552E-06
C_6	4.00327E-09	4.52369E-09	5.29446E-09	4.26307E-09
상관계수	0.99977	0.99986	0.99995	0.99967

아래의 다항식을 이용하여 다음과 같은 절차에 의해 설계강우주상도를 작성하였다..

① 표준우량주상도의 작성

지속시간의 구간수는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$N = \frac{TD}{t}$$

여기서, N : 지속시간축의 구간수

TD : 강우의 지속시간

t : 단위시간 (분)

② 강우지속시간비의 결정

$$x(i) = \frac{t \times i}{TD} \times 100 \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, N)$$

③ 누가우량 백분율의 결정

$$DR(i) = C_0 + C_1 \cdot x(i) + C_2 \cdot x^2(i) + C_3 \cdot x^3(i) + C_4 \cdot x^4(i) +$$

$$C_5 \cdot x^5(i) + C_6 \cdot x^6(i) + C_7 \cdot x^7(i) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot$$

여기서, i : 지속시간의 구간순위

DR(i) : i번째 구간의 누가우량배분율 (%)

④ 우량주상도의 종거 결정

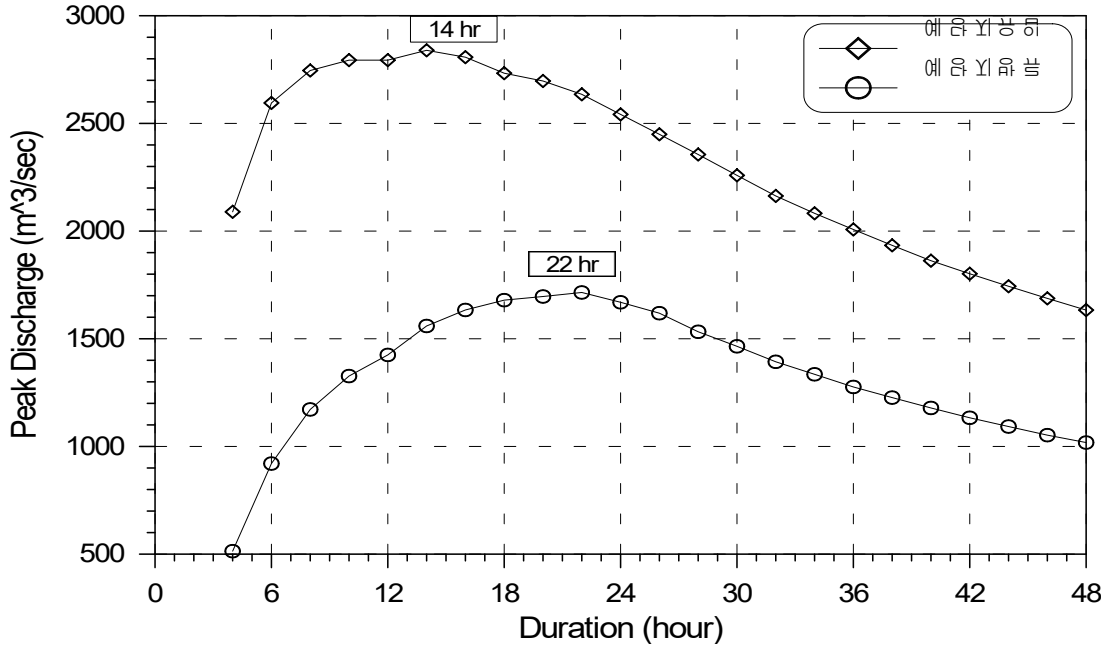
$$HR(i) = DR(i) - DR(i-1)$$

여기서, HR(i) : i번째 시간의 우량주상도 종거

(2) 강우지속시간에 따른 예당지 유입·방류량 변화

상기한 과정을 통해 결정된 각 관측소의 누가우량곡선과 확률강우량에 의해 관측소별로 지속시간별 강우주상도를 작성 한 후 예당지 지점의 관측소별 Thiessen 지배면적비에 의해 강우주상도의 값을 가중평균하여 강우지속시간별로 예당지 유입량을 산정하였다. 방류량은 현 예당지 운영규정에 따라 일정률(60%)-일정량 방식에 의해 결정하였으며, 이때의 시점수위는 EL. 21.5m 이고 최고 677㎥/sec의 사전방류를 포함하였다. 그러나 강우지속시간에 따라 최고 홍수위가 계획홍수위 EL. 22.5m를 초과하는 경우가 있으므로, 동일 운영조건에서의 방류량을 비교하기 위해 최고 홍수위가 EL. 23.4m 까지 상승 가능한 조건에서 방류량을 산정하였다.

그 결과 예당지의 유입량이 최대가 되는 강우지속시간은 14시간인데 비해 방류량이 최대가 되는 것은 강우지속시간이 22시간일 경우로 유입량과 방류량의 임계지속시간이 상이하게 나타났다. 이러한 결과는 예당지의 홍수조절에 의한 것인데 금회 과업의 대상인 상습수해지역 또는 위험지역이 대부분 예당지 하류에 위치한 것을 고려할 때 설계강우의 지속시간을 예당지 방류량이 최대가 되는 임계지속시간을 기준으로 채택하는 것이 타당할 것이다.



<그림 10.7> 강우지속시간별 예당지 유입량과 방류량 비교

(3) 임계지속시간 및 설계강우의 지속시간 결정

예당지의 방류량이 최대가 되는 강우의 지속시간이 22시간이므로 무한천의 예당지 하류구간에서 홍수량이 최대가 되는 강우의 지속시간은 22시간 이상이 될 것이다. 따라서,

예당지에서 삽교천 하구까지의 홍수 유하시간을 고려하여 삽교천 유역의 설계강우 지속시간으로 24시간을 채택하였다. 이러한 결정은 앞서 산정한 임계지속시간 뿐만 아니라 삽교천 하구에서 홍수량을 배제하는데 지장을 초래하는 서해안 조위가 약 26시간의 주기를 갖고 있는 것을 함께 고려하였으며, 기존의 하천정비기본계획에서 채택한 설계강우 지속시간을 참고한 결과이기도 하다. 특히 '제 7 장 과거 발생한 주요 호우사상의 특성 검토'의 검토 결과 삽교천 유역에 피해를 유발한 주요 호우의 특성분석 결과에 따르면 대체로 장기간의 지속시간을 갖는 특징이 있으며, 강우지속시간이 24시간을 초과하는 경우 실제로는 단일 호우사상이라기 보다는 대략 24시간 정도의 지속시간을 갖는 호우의 복합강우사상으로 나타나서 금회 과업의 설계강우 지속시간으로 24시간을 채택한 것은 이 지역의 강우특성과도 일치하는 결과라 할 수 있다.

또한 <표 10.4>에서와 같이 강우지속시간이 24시간인 경우 천안, 서산, 부여 관측소 지점의 최빈분위가 3분위이고 보령 지점만 2분위이므로 임계지속시간 분석시 4개 관측소 지점의 대표누가우량곡선 분위를 3분위로 가정한 것은 적절하였으며, 설계강우지속시간이 24시간으로 결정되었으므로 강우분포 결정을 위한 4개 관측소 지점의 대표누가우량곡선으로 공히 3분위의 중앙값에 해당하는 무차원누가우량곡선을 적용하였다.

10.1.5 강우손실 및 설계유효우량

지상에 도달한 강우량중 일부는 지표면으로 침투하고 그 초과분은 지표면을 흘러 유출을 형성하게 되는데 이와 같이 강우량으로부터 침투로 인한 손실을 제한 값을 유효우량이라하며, 산정방법으로는 ø지수법(ø-index method), W지수법(W-index method), SCS 방법등과 유출량의 실측에 의한 유도방법 등이 있다. 금회 과업에서는 유역을 구성하고 있는 토양의 종류, 토지이용 상태 및 선행토양함수조건 등을 고려한 SCS방법을 적용하였다.

이 방법은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service)에서 제안한 방법으로 총우량과 유효우량 간에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$P' = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)}, \quad S = \frac{25,400}{CN} - 254$$

$$P' = 0 \quad (P < 0.2S \text{ 일때})$$

여기서, P′ : 유효우량 (㎜)

P : 누가우량 (㎜)

S : 유역의 최대가능저류량 (㎜)

CN : 유출곡선지수 (Curve Number)

유효우량 산정시 고려되어야 할 CN값은 토양의 종류 및 지표면 상태에 따라 정한 지표로서 토양의 종류(토질의 분포상태), 토지이용상황, 토양의 초기함수 상태 등 3가지로 구분하였다. 과업대상 유역의 CN값은 토지 이용상황 및 5일 선행강수 조건에 따라 AMC-Ⅱ를 적용하여 CN값을 산정하였으며 5일 선행강수 조건에 따른 선행 토양함수조건의 분류기준은 <표 10.7>과 같다.

<표 10.7> 선행 토양함수조건의 분류

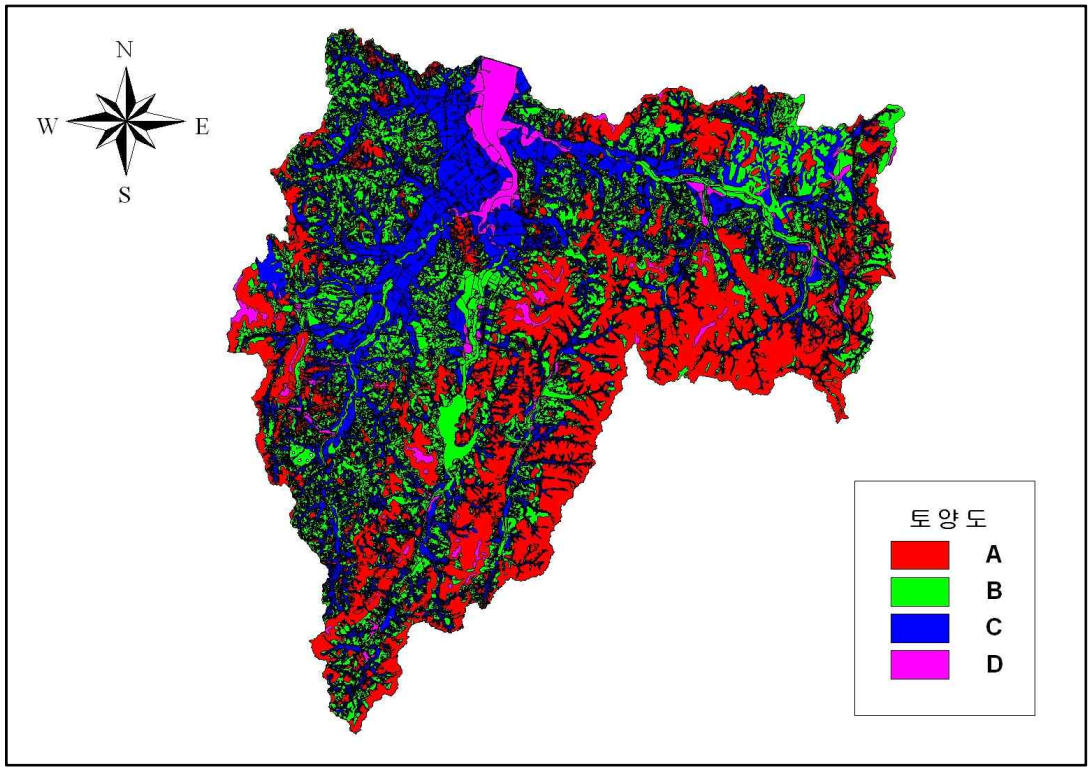
AMC Group	5일 선행강수량, P_5 (㎜)		선 행 함 수 조 건
	비성수기	성 수 기	
Ⅰ	$P_5 < 13$	$P_5 < 36$	Lowest runoff potential
Ⅱ	$13 < P_5 < 28$	$36 < P_5 < 53$	Average runoff potential
Ⅲ	$P_5 > 28$	$P_5 > 53$	Highest runoff potential

또한, AMC-Ⅱ 조건으로부터 다른 AMC 조건으로의 CN값 변환은 다음 관계를 사용한다.

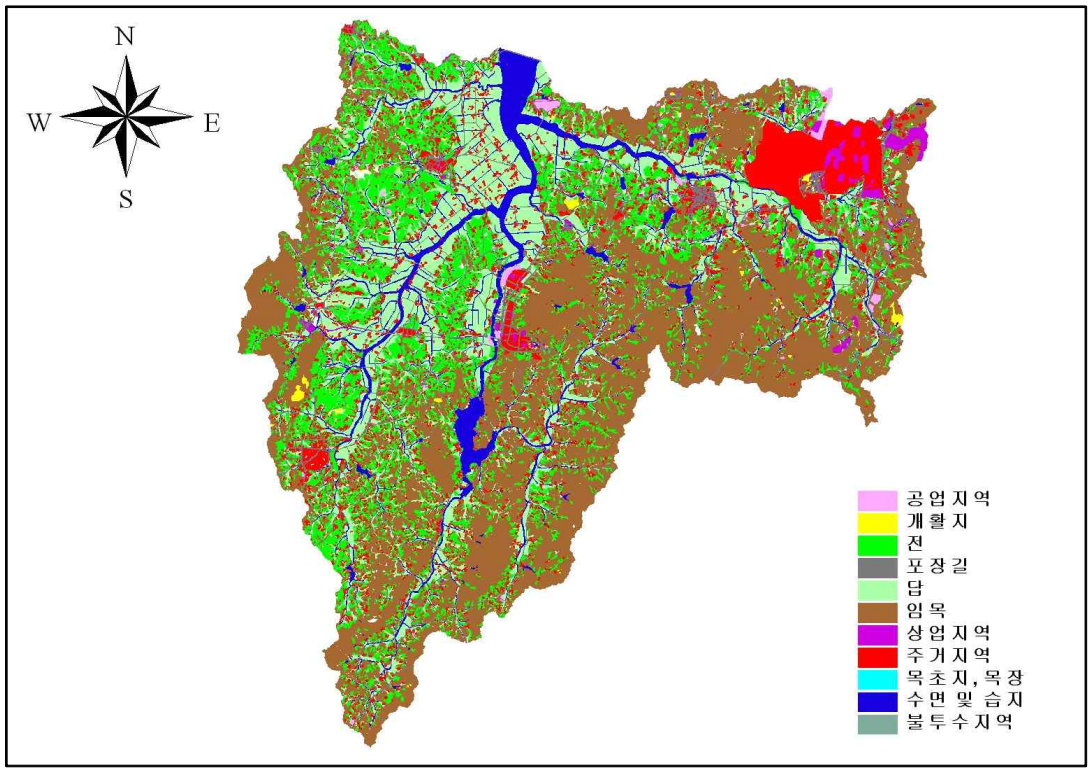
$$CN(Ⅰ) = \frac{4.2CN(Ⅱ)}{10 - 0.058CN(Ⅱ)}, \quad CN(Ⅲ) = \frac{23CN(Ⅱ)}{10 + 0.13CN(Ⅱ)}$$

여기서, CN(Ⅰ), CN(Ⅱ), CN(Ⅲ) : AMC-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ 조건하에서의 유출곡선지수

금회 과업에서는 유역분할도와 토지이용도 및 수문학적 토양도 등 3개 수치지도의 레이어를 Arcview Extention의 일부인 Geoprocessing을 이용하여 중첩시켜 CN값을 산정하였으며, 목표연도인 2016년의 CN값은 관련 도시계획 보고서의 장래 토지이용계획을 반영하여 토지이용도를 구축한 후 동일한 방법으로 산정하였다. 현 상태 및 목표년도의 CN값 산정결과 '2.4.3 삽교천 수계내 향후 토지이용 변화 예측'에 수록한 바와 같이 무한천 유역은 토지이용 변화가 적어 AMC-Ⅲ 조건에서 0.1 증가한 82.0로 예측됨으로써 홍수량의 증가가 미미할 것으로 예상되나, 곡교천 유역의 경우 상류부의 아산지역 도시개발에 따라 다른 지역보다 CN값 변화가 83.3에서 84.1로 크게 나타나서 목표연도 홍수량의 증가가 상대적으로 클 것으로 예측되었다. 따라서 삽교천 유역 전체적으로는 CN값이 AMC-Ⅲ 조건에서 현재 84.8에서 목표년도인 2016년에는 0.3이 증가한 85.1으로 추정되었다. 홍수량 산정지점을 기준으로 한 소유역별 현 상태의 CN값과 금회 과업의 목표연도인 2016년의 토지이용 변화를 고려하여 추정한 CN값은 <표 10.8>과 같다.



<그림 10.8> 삽교천 유역 토양도 레이어



<그림 10.9> 삽교천 유역 토지이용도 레이어 (목표년도)

<표 10.8> 홍수량 산정지점별 유출곡선지수(AMC-Ⅲ조건)

하천명	지점명	산정지점명		부호	CN값 (현상태)	CN값 (2016)	증감	비 고
삽교천	삽교천 합류전	삽교천하구		SK-0	84.80	85.10	▲0.30	SK-1 + 잔유역
		잔유역	소 계		90.50	90.50	-	
			삽교잔류1	SK1′	96.40	96.40	-	
			삽교잔류2	SK2′	96.30	96.30	-	
			남원1	NW1	89.90	90.10	▲0.20	
			남원2	NW2	91.50	91.50	-	
			남원3	NW3	90.90	91.20	▲0.30	
			오봉천	OB	87.70	87.90	▲0.20	
			남원천	NW	87.40	87.40	-	
			삽교잔류3	SK3′	93.20	93.20	-	
	곡교천 합류전	곡교천 합류후		SK-1	84.30	84.60	▲0.30	SK-2 + GK-0
		곡교천 유역		GK-0	83.30	84.00	▲0.70	
		곡교천 합류전		SK-2	84.90	84.90	-	SK-3 + 잔유역
		잔유역	소 계		89.00	89.00	-	
			삽교잔류4	SK4′	94.60	94.60	-	
			도고1	DG1	89.10	89.10	-	
			도고천	DG	83.60	83.60	-	
			하평2배수장	HP2	94.10	94.10	-	
	무한천 합류전	무한천 합류후		SK-3	84.50	84.60	▲0.10	SK-4 + MH-0
		무한천 유역		MH-0	81.90	82.00	▲0.10	
		무한천 합류전		SK-4	87.30	87.30	-	SK-5 + 잔유역
		잔유역	소 계		88.70	88.70	-	
			하평1배수장	HP1	93.70	93.70	-	
			석우천	SW	87.80	87.80	-	
			삽교잔류5	SK5′	88.30	88.30	-	
			신석배수장	SS	92.60	92.60	-	
			예림배수장	YR	89.40	89.40	-	
			신리배수장	SR	91.10	91.10	-	
			중예1배수장	JY1	92.80	92.80	-	
			중예2배수장	JY2	91.30	91.30	-	
			황금배수장	HG	92.80	92.80	-	
			대천천	DC	85.80	85.80	-	
			지곡천	JG	89.00	89.00	-	
	대천천합류전	대천천합류전		SK-5	86.70	86.80	▲0.10	SK-6 + 잔유역
		잔유역	소 계		89.60	89.60	-	
			하포천	HP	93.00	93.00	-	
			용리1배수장	YR1	93.60	93.60	-	
			하포배수장	HPP	93.40	93.40	-	
			용리2배수장	YR2	91.90	91.90	-	
			성리천	SL	88.20	88.20	-	
			성리1배수장	SL1	93.60	93.60	-	
			효교천	HK	87.50	87.50	-	
			용동1배수장	YD1	91.10	91.10	-	
			용동2배수장	YD2	93.50	93.50	-	
			성리2배수장	SL2	92.80	92.80	-	
			삽교잔류6	SK6′	91.30	91.30	-	
			신가배수장	SG	90.30	90.30	-	
			삽교잔류7	SK7′	93.20	93.20	-	

<표 10.8> 홍수량 산정지점별 유출곡선지수(AMC-Ⅲ조건) (계속)

하천명	지점명	산정지점명		부호	CN값 (현상태)	CN값 (2016)	증감	비 고
삽교천	덕산천 합류후	덕산천 합류후		SK-6	85.40	85.50	▲0.10	SK-7 + 잔유역
		잔유역	소 계		85.00	85.00	-	
			삽교1	SK1	83.70	83.70	-	
			삽교2	SK2	87.20	87.20	-	
	화양천 합류전	화양천 합류전		SK-7	85.80	85.90	▲0.10	SK-8 + 잔유역
		잔유역	소 계		85.90	86.10	▲0.20	
			삽교3	SK3	85.60	85.90	▲0.30	
			삽교4	SK4	86.40	86.40	-	
	종현천 합류전	종현천 합류전		SK-8	85.50	85.50	-	SK5
		잔유역	소 계		85.50	85.50	-	
			삽교5	SK5	85.50	85.50	-	
곡교천	곡교천 하구	곡교천 하구		GK-0	83.30	84.00	▲0.70	GK-1 + 잔유역
		잔유역	소 계		88.50	88.50	-	
			곡교잔류1	GK1′	90.50	90.50	-	
			곡교잔류2	GK2′	88.90	88.90	-	
			산양배수장	SY	89.80	89.80	-	
			가덕배수장	KD	88.70	88.70	-	
			곡교잔류3	GK3′	80.80	80.80	-	
	강청교 지점	강청교 지점		GK-1	82.60	83.50	▲0.90	GK-2 + 잔유역
		잔유역	소 계		86.60	86.60	-	
			와천	WA	82.40	82.40	-	
			신창배수장	SC	91.50	91.50	-	
			중방배수장	JB	89.10	89.10	-	
			염성배수장	YS	89.20	89.20	-	
			수장배수장	SJ	92.70	92.70	-	
			음봉천	UB	80.80	80.80	-	
			오목천	OM	86.30	86.30	-	
			곡교잔류4	GK4′	91.80	91.80	-	
			곡교잔류5	GK5′	88.10	88.10	-	
	온양천 합류후	온양천 합류후		GK-2	81.70	82.80	▲1.10	GK-3 + 잔유역
		잔유역	소 계		81.40	82.40	▲1.00	
			곡교1	GK1	79.70	79.70	-	
			곡교2	GK2	84.70	87.30	▲2.60	
	매곡천 합류전	매곡천 합류전		GK-3	81.90	83.00	▲1.10	GK-4 + 잔유역
		잔유역	소 계		82.80	84.30	▲1.50	
			곡교3	GK3	78.10	78.50	▲0.40	
			곡교4	GK4	87.80	90.30	▲2.50	
	풍서천 합류전	풍서천 합류전		GK-4	79.20	79.20	-	GK-5 + 잔유역
		잔유역	소 계		81.50	81.60	▲0.10	
			곡교5	GK5	82.70	83.10	▲0.40	
			곡교6	GK6	81.30	81.30	-	
	양안천 합류전	양안천 합류전		GK-5	72.90	72.90	-	GK7
		잔유역	소 계		72.90	72.90	-	
			곡교7	GK7	72.90	72.90	-	

<표 10.8> 홍수량 산정지점별 유출곡선지수(AMC-Ⅲ조건) (계 속)

하천명	지점명	산정지점명		부호	CN값 (현상태)	CN값 (2016)	증감	비 고
무한천	무하한천구	무한천 하구		MH-0	81.90	82.00	▲0.10	MH-1 + 잔유역
		잔유역	소 계		88.80	88.80	-	
			신덕배수장	SD	93.00	93.00	-	
			신종배수장	SJ	90.40	90.40	-	
			봉농배수장	BN	87.10	87.10	-	
			계촌배수장	KC	90.70	90.70	-	
			궁평	KP	82.30	82.30	-	
	궁합평류천전	궁평천 합류전		MH-1	81.30	81.40	▲0.10	MH-2 + 잔유역
		잔유역	소 계		87.00	87.50	▲0.50	
			종경배수장	JK	90.20	90.20	-	
			창소배수장	CS	82.00	82.80	▲0.80	
			탄중배수장	TJ	91.40	91.40	-	
			무한	MH	86.00	86.00	-	
			발연배수장	BY	85.20	86.10	▲0.90	
			발연	BY1	86.00	87.30	▲1.30	
			산성배수장	SS	88.00	89.60	▲1.60	
	예지산대교점	예산대교		MH-2	80.70	80.70	-	MH-3 + 잔유역
		잔유역	소 계		85.20	85.80	▲0.30	
			원평배수장	WP	90.70	90.80	▲0.10	
			예산	YS	82.20	84.00	▲1.80	
			손지	SG	79.90	79.90	-	
			입침	IC	88.20	88.20	-	
무한천	예저수당지	예당저수지		MH-3	80.30	80.30	-	MH-4 + SY-0 + 잔유역
		잔유역	소 계		86.90	86.90	-	
			무한1	MH1	86.90	86.90	-	
	동산교	동산교		MH-4	81.10	81.10	-	MH-5 + 잔유역
		잔유역	소 계		81.30	81.30	-	
			무한2	MH2	83.10	83.10	-	
			무한3	MH3	81.60	81.60		
			강촌천	KC	79.30	79.30	-	
	강합촌류천전	강촌천 합류전		MH-5	80.90	80.90	-	MH-6 + 잔유역
		잔유역	소 계		81.10	81.10	-	
			무한4	MH4	80.40	80.40	-	
			무한5	MH5	82.40	82.40	-	
	기합덕류천전	기덕천 합류전		MH-6	80.40	80.40	-	MH6
		잔유역	소 계		80.60	80.60	-	
			무한6	MH6	80.60	80.60	-	
	신하양천구	신양천 하구		SY-0	78.70	78.70	-	SY-1 + 잔유역
		잔유역	소 계		80.60	80.60	-	
			신양1	SY1	80.70	80.70	-	
			신양2	SY2	80.60	80.60	-	
			화산1	HS1	78.40	78.40	-	
	화합산류천전	화산천 합류전		SY-1	77.80	77.80	-	
		잔유역	소 계		77.80	77.80	-	SY3
			신양3	SY3	77.80	77.80	-	

10.1.6 홍수도달시간

홍수도달시간이란 강우가 해당 유역에 발생했을 때 유역의 최상류점에서 최하류부까지 도달하는데 소요되는 시간이라고 정의할 수 있다. 일반적으로 강우사상에 의한 유역 최하류부에서의 첨두홍수량은 도달시간만큼 지체되어 발생하며, 각 홍수량 산정모형별로 다소간의 차이는 있으나 도달시간이 첨두홍수량의 크기에 영향을 미치므로 홍수도달시간의 정확한 산정은 유출모형의 적용에 가장 중요한 인자가 된다.

금회 과업에서는 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 Kirpich공식, Rziha공식, Kraven공식, Kerby공식을 사용하여 도달시간과 유속을 산정한 후 그 결과를 검토하여 적정하다고 판단되는 값을 채택하였다. 도달시간을 산정할 수 있는 경험공식 중 금회 검토한 도달시간 산정식을 요약·기술하면 다음과 같다.

□ Kerby식 : 도달시간이 피복의 조도에도 관계가 있다고 보는 식

$$t_c = \frac{36.264\ (nL)^{0.467}}{60\ S^{0.2335}}$$

여기서, n : 유역의 조도를 나타내는 상수

유역의 표면형상	Kerby식의 *n*값
불투수성 완만한 표면	0.02
나지의 비포장표면	0.10
초지가 없는 나지, 거친 표면	0.20
초지로 구성된 표면	0.40
낙엽으로 덮인 수목지역	0.60
초지와 산림이 우거진 지역	0.80

□ Kirpich식 : 미국의 농경지 지역의 소유역을 대상으로 유도된 공식

$$t_c = 0.0663\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

여기서, tc : 도달시간(hr), L : 유로연장(㎞), S : 평균경사

□ Rziha식 : 자연하천의 상류부(S≥1/200)에 적용되는 공식

$$t_c = \frac{L}{72\ S^{0.6}}$$

□ Kraven-1식 : 자연하천의 하류부(S<1/200)에 적용되는 공식

$$t_c = 0.0074\frac{L}{S^{0.515}}$$

□ Kraven-2식 : 자연하천의 경사에 따른 유속으로 산출하는 공식

$$t_c = \frac{L}{3.6V}$$

여기서, S>1/100 ; V=3.5m/sec

1/200≤S≤1/100 ; V=3.0m/sec

S<1/200 ; V=2.1m/sec

각 공식에 의한 도달시간 및 유속을 비교한 결과 Kirpich공식과 Rziha공식 및 Kerby 공식에 의한 결과는 지나치게 유속이 작게 산정되었다. Kraven-1, 2 공식에 의한 결과는 비교적 일반적인 홍수파의 유속에 근접한 결과를 보여주고 있으나, Kraven-1 공식에 의한 유속은 지형에 따른 변화가 지나치게 큰 반면 Kraven-2 공식에 의한 유속은 변화가 너무 작게 나타났다. 따라서 금회 과업에서는 Kraven-1 공식과 Kraven-2 공식 위주로 지형의 특성을 반영하여 적절한 도달시간 산정방법을 채택하여 사용하였다.

<표 10.9> 도달시간 산정 결과 (단일공식 적용 지역)

하천명	소유역명	부호	산정항목	KIRPICH	RZIHA	KRAVEN-1	KRAVEN-2	KERBY	채 택
삽교천	삽교잔류1	SK1′	도달시간(min)	219.68	186.97	57.03	34.13	497.58	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.35	0.41	1.33	2.22	0.15	
	삽교잔류2	SK1′	도달시간(min)	357.15	303.03	92.38	56.70	822.09	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.27	0.31	1.03	1.68	0.12	
	남원1	NW1	도달시간(min)	422.47	734.80	198.11	60.37	1136.68	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.32	0.19	0.69	2.25	0.12	
	남원2	NW2	도달시간(min)	564.89	901.76	241.17	80.34	1407.86	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.32	0.20	0.74	2.24	0.13	
	남원3	NW3	도달시간(min)	185.77	192.33	55.61	26.33	413.92	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.34	0.33	1.13	2.39	0.15	
	오봉천	OB	도달시간(min)	248.05	183.67	59.62	51.92	638.21	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.50	0.68	2.09	2.40	0.20	
	남원천	NW	도달시간(min)	604.42	583.35	175.26	102.11	1469.46	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.40	0.42	1.39	2.38	0.17	
	삽교잔류3	SK3′	도달시간(min)	289.60	248.43	75.50	47.29	657.11	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.63	0.73	2.42	3.86	0.28	
	삽교잔류4	SK4′	도달시간(min)	446.15	395.81	118.82	66.75	972.75	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.29	0.33	1.10	1.96	0.13	
	도고1	DG1	도달시간(min)	109.60	106.36	32.95	22.14	291.40	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.42	0.44	1.41	2.10	0.16	
	도고2	DG	도달시간(min)	456.92	346.53	109.13	82.78	1074.88	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.45	0.59	1.87	2.46	0.19	
	하평2배수장	HP2	도달시간(min)	336.95	310.35	92.04	47.14	706.50	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.30	0.32	1.10	2.14	0.14	
	하평1배수장	HP1	도달시간(min)	325.80	289.09	86.25	46.35	722.02	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.25	0.28	0.93	1.73	0.11	
	석우천	SW	도달시간(min)	523.42	432.07	132.97	88.10	1222.10	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.32	0.38	1.25	1.88	0.14	

<표 10.9> 도달시간 산정 결과 (단일공식 적용 지역) (계속)

하천명	소유역명	부호	산정항목	KIRPICH	RZIHA	KRAVEN-1	KRAVEN-2	KERBY	채 택
삽교천	삽교잔류5	SK5′	도달시간(min)	446.15	395.81	118.82	66.75	972.75	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.20	0.23	0.77	1.37	0.09	
	신석배수장	SS	도달시간(min)	341.65	305.51	91.05	48.41	746.93	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.24	0.26	0.88	1.66	0.11	
	예림배수장	YR	도달시간(min)	129.44	88.01	28.93	26.84	354.42	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.47	0.69	2.09	2.25	0.17	
	신리배수장	SR	도달시간(min)	223.90	175.26	54.77	38.17	558.15	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.36	0.45	1.45	2.08	0.14	
	중예1배수장	JY1	도달시간(min)	122.75	97.01	30.13	21.27	307.64	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.25	0.31	1.01	1.43	0.10	
	중예2배수장	JY2	도달시간(min)	181.38	146.74	45.38	29.75	434.83	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.31	0.38	1.24	1.89	0.13	
	황금배수장	HG	도달시간(min)	90.35	57.06	19.15	16.44	262.66	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.62	0.99	2.94	3.43	0.21	
	지곡천	JG	도달시간(min)	318.11	242.85	76.98	58.17	784.84	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.45	0.59	1.85	2.45	0.18	
	대천천	DC	도달시간(min)	519.15	395.24	125.84	99.78	1280.93	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.49	0.65	2.04	2.57	0.20	
	하포천	HP	도달시간(min)	113.30	75.32	24.90	22.94	309.81	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.54	0.82	2.47	2.68	0.20	
	용리1배수장	YR1	도달시간(min)	94.24	68.07	22.06	18.73	242.26	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.55	0.76	2.35	2.77	0.21	
	하포배수장	HPP	도달시간(min)	97.82	75.91	23.85	16.59	243.98	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.46	0.59	1.88	2.70	0.18	
	용리2배수장	YR2	도달시간(min)	109.79	73.31	24.20	19.69	301.54	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.41	0.62	1.88	2.31	0.15	
	성리천	SL	도달시간(min)	504.12	403.95	126.15	91.27	1194.30	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.38	0.48	1.54	2.12	0.16	
	성리1배수장	SL1	도달시간(min)	179.77	131.91	42.14	32.06	466.64	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.36	0.49	1.54	2.03	0.14	
	효교천	HK	도달시간(min)	445.70	312.39	102.67	91.43	1169.42	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.53	0.75	2.29	2.57	0.20	
	용동1배수장	YD1	도달시간(min)	315.52	273.42	82.44	47.86	709.03	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.32	0.37	1.21	2.09	0.14	
	용동2배수장	YD2	도달시간(min)	338.64	296.48	89.06	49.84	748.63	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.19	0.22	0.74	1.32	0.09	
	성리2배수장	SL2	도달시간(min)	98.34	72.30	23.20	17.46	250.26	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.42	0.57	1.78	2.37	0.17	
	삽교잔류6	SK6′	도달시간(min)	236.99	187.79	58.93	42.06	562.92	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.16	0.21	0.65	0.92	0.07	
	신가배수장	SG	도달시간(min)	56.42	29.74	10.68	12.86	190.55	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.69	1.31	3.64	3.02	0.20	
	삽교잔류7	SK5′	도달시간(min)	29.77	15.09	5.39	6.21	104.04	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.87	1.72	4.82	4.19	0.25	
	용동2배수장	YD2	도달시간(min)	194.30	153.61	47.72	32.41	480.85	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.34	0.43	1.38	2.03	0.14	

<표 10.9> 도달시간 산정 결과 (단일공식 적용 지역) (계속)

하천명	소유역명	부호	산정항목	KIRPICH	RZIHA	KRAVEN-1	KRAVEN-2	KERBY	채 택
곡교천	곡교잔류1	GK1′	도달시간(min)	792.25	814.63	229.09	99.87	1622.93	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.20	0.19	0.68	1.55	0.10	
	곡교잔류2	GK2′	도달시간(min)	409.26	350.47	106.48	64.52	934.65	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.30	0.35	1.15	1.90	0.13	
	산양배수장	SY	도달시간(min)	73.09	58.56	17.98	13.48	190.88	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.41	0.51	1.65	2.20	0.16	
	가덕배수장	KD	도달시간(min)	249.42	171.67	56.47	50.56	671.56	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.53	0.77	2.36	2.63	0.20	
	곡교잔류3	GK3′	도달시간(min)	122.12	72.55	25.07	30.90	370.13	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.74	1.24	3.58	2.91	0.24	
	와천	WA	도달시간(min)	255.14	181.67	58.72	49.60	688.59	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.56	0.79	2.45	2.90	0.21	
	신창배수장	SC	도달시간(min)	281.28	237.03	72.13	45.17	665.43	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.30	0.36	1.17	1.86	0.13	
	중방배수장	JB	도달시간(min)	176.55	134.13	42.07	33.14	469.60	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.46	0.61	1.94	2.46	0.17	
	염성배수장	YS	도달시간(min)	83.18	44.85	15.96	21.32	272.95	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.74	1.37	3.85	2.88	0.23	
	수장배수장	SJ	도달시간(min)	88.31	75.77	22.76	12.70	201.50	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.39	0.46	1.53	2.74	0.17	
	음봉천	UB	도달시간(min)	303.09	226.44	72.34	60.00	772.29	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.48	0.64	1.99	2.40	0.19	
	오목천	OM	도달시간(min)	293.19	217.89	69.59	57.63	755.90	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.45	0.61	1.91	2.31	0.18	
	곡교잔류4	GK4′	도달시간(min)	182.68	132.75	42.93	35.46	471.61	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.45	0.62	1.91	2.31	0.17	
	곡교잔류5	GK5′	도달시간(min)	203.23	153.47	48.89	40.17	516.10	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.49	0.64	2.02	2.46	0.19	
무한천	신덕배수장	SD	도달시간(min)	286.66	246.46	74.84	45.87	649.83	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.37	0.43	1.42	2.32	0.16	
	신종배수장	SJ	도달시간(min)	97.96	62.46	20.99	20.48	279.61	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.74	1.16	3.44	3.52	0.26	
	봉농배수장	BN	도달시간(min)	142.67	93.42	31.50	33.33	397.87	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.64	0.98	2.90	2.75	0.23	
	계촌배수장	KC	도달시간(min)	136.65	99.40	32.07	24.71	357.67	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.51	0.70	2.18	2.83	0.20	
	궁평	KP	도달시간(min)	135.92	80.83	27.99	36.83	415.80	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.79	1.32	3.82	2.90	0.26	
	종경배수장	JK	도달시간(min)	309.27	265.26	80.65	49.05	697.20	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.41	0.47	1.55	2.56	0.18	
	창소배수장	CS	도달시간(min)	195.73	121.38	41.61	46.03	575.30	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.78	1.26	3.68	3.32	0.27	
	탄중배수장	TB	도달시간(min)	227.25	210.24	62.29	31.75	474.34	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.30	0.32	1.09	2.14	0.14	
	무한	MH	도달시간(min)	57.06	29.09	10.80	16.98	192.51	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.99	1.94	5.23	3.33	0.29	

<표 10.9> 도달시간 산정 결과 (단일공식 적용 지역) (계속)

하천명	소유역명	부호	산정항목	KIRPICH	RZIHA	KRAVEN-1	KRAVEN-2	KERBY	채 택
무한천	발연배수장	BY	도달시간(min)	75.64	37.62	14.13	22.84	255.74	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	1.02	2.05	5.46	3.38	0.30	
	발연	BY1	도달시간(min)	68.44	32.61	12.22	21.59	243.38	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	1.02	2.13	5.69	3.22	0.29	
	원평배수장	WP	도달시간(min)	194.53	152.06	47.76	34.89	481.22	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.48	0.62	1.97	2.70	0.20	
	산성배수장	SS	도달시간(min)	63.46	32.47	12.06	18.84	210.61	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.96	1.88	5.06	3.24	0.29	
	예산	YS	도달시간(min)	116.68	65.51	23.48	31.75	360.23	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.89	1.58	4.42	3.27	0.29	
	손지	SG	도달시간(min)	155.56	116.68	36.86	30.08	407.71	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.37	0.49	1.55	1.89	0.14	
	입침	IC	도달시간(min)	129.31	97.94	31.27	26.19	320.92	KRAVEN-2
			평균유속(m/s)	0.73	0.96	3.01	3.60	0.29	
	무한1	MH1	도달시간(min)	335.85	286.98	87.30	58.19	771.74	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.32	0.37	1.23	1.84	0.14	
	무한2	MH2	도달시간(min)	506.35	440.77	132.95	79.02	1139.31	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.38	0.43	1.43	2.41	0.17	
	무한3	MH3	도달시간(min)	335.26	263.11	82.17	64.36	836.21	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.51	0.65	2.09	2.66	0.20	
	강촌	KC1	도달시간(min)	225.45	134.98	47.07	50.39	660.68	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.67	1.12	3.22	3.01	0.23	
	무한4	MH4	도달시간(min)	574.98	439.42	139.68	114.41	1420.15	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.48	0.63	1.99	2.43	0.20	
	무한5	MH5	도달시간(min)	450.01	354.05	111.53	87.65	1074.46	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.43	0.55	1.75	2.23	0.18	
	무한6	MH6	도달시간(min)	190.65	130.16	42.75	41.40	530.49	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.60	0.87	2.66	2.75	0.21	
	신양1	SY1	도달시간(min)	108.62	54.17	20.33	29.89	364.54	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	1.10	2.20	5.87	3.99	0.33	
	신양2	SY2	도달시간(min)	363.77	271.43	86.80	68.48	914.88	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.33	0.44	1.36	1.73	0.13	
	신양3	SY3	도달시간(min)	546.87	391.66	127.54	109.69	1416.70	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.52	0.72	2.22	2.58	0.20	
	화산1	HS1	도달시간(min)	513.98	366.50	119.68	104.11	1332.01	KRAVEN-1
			평균유속(m/s)	0.54	0.75	2.30	2.65	0.21	

도달시간을 적용하는데 있어 국가하천 구간으로 유입하는 유역면적이 작은 소유역들은 단일한 공식을 채택하였으나, 삽교천과 곡교천의 국가하천 시점부의 상류에 위치한 소유역들은 상류의 산지부와 하류의 평야부 유출특성이 확연히 구분되어 홍수추적모형의 매개변수를 산정하는데 있어 단일한 도달시간 공식을 적용하는 것은 적합하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 산지부와 평야부의 도달시간 공식을 구분하여 적용함으로써

실제 발생하는 홍수유출 특성을 최대한 근사하게 재현할 수 있도록 하였다.

그러나 무한천의 경우 기왕홍수시의 수위관측 기록이 예당지 하류부 지점으로 국한되어 있고, 이 지점들의 유출특성은 예당지 운영에 의해 왜곡되기 때문에 예당지 상류지역의 홍수유출 특성을 결정짓는 매개변수를 검정하는데 활용할 수 없다. 이런 사유로 무한천의 예당지 상류지역의 소유역에 대해서는 단일한 도달시간 공식을 적용하여 홍수량을 산정하였다.

<표 10.10> 도달시간 산정 결과 (상하류 구분 적용 지역)

하천명	소유역명	평야부 / 산지부	KIRPICH			RZIHA			KERBY			채 택
			RH	KV1	KV2	RH	KV1	KV2	RH	KV1	KV2	
삽교천	삽교1 (SK1)	도달시간(hr)	2.89	2.25	2.50	2.84	2.20	2.45	4.02	3.35	3.60	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	1.04	1.33	1.20	1.06	1.36	1.22	0.75	0.90	0.83	
	삽교2 (SK2)	도달시간(hr)	6.53	4.03	3.80	7.24	4.74	4.51	7.52	5.03	4.78	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	0.60	0.97	1.03	0.54	0.83	0.87	0.52	0.78	0.82	
	삽교3 (SK3)	도달시간(hr)	2.83	2.14	2.24	2.85	2.16	2.26	3.96	3.26	3.37	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	1.14	1.51	1.44	1.13	1.50	1.43	0.82	0.99	0.96	
	삽교4 (SK4)	도달시간(hr)	5.71	3.50	3.42	6.19	3.98	3.90	6.78	4.58	4.48	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	0.63	1.03	1.05	0.58	0.90	0.92	0.53	0.79	0.80	
	삽교5 (SK5)	도달시간(hr)	6.88	3.17	2.64	7.04	3.33	2.80	7.99	4.28	3.74	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	0.45	0.97	1.16	0.44	0.92	1.10	0.38	0.72	0.82	
곡교천	곡교1 (GK1)	도달시간(hr)	7.35	4.06	3.94	7.70	4.41	4.29	8.41	5.13	4.97	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	0.79	1.43	1.47	0.75	1.32	1.35	0.69	1.13	1.17	
	곡교2 (GK2)	도달시간(hr)	9.16	4.69	4.15	9.86	5.39	4.85	10.17	5.74	5.14	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	0.57	1.10	1.25	0.53	0.96	1.07	0.51	0.90	1.01	
	곡교3 (GK3)	도달시간(hr)	5.99	2.90	2.92	5.98	2.89	2.91	7.10	4.02	3.99	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	1.33	2.75	2.73	1.34	2.76	2.74	1.12	1.99	2.00	
	곡교4 (GK4)	도달시간(hr)	8.09	4.19	3.93	8.42	4.52	4.26	9.16	5.29	4.97	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	0.71	1.36	1.45	0.68	1.26	1.34	0.62	1.08	1.15	
	곡교5 (GK5)	도달시간(hr)	4.44	2.84	2.74	4.85	3.25	3.15	5.53	3.95	3.83	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	0.56	0.88	0.91	0.52	0.77	0.80	0.45	0.63	0.65	
	곡교6 (GK6)	도달시간(hr)	6.58	3.51	3.20	6.99	3.92	3.61	7.69	4.61	4.29	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	0.63	1.19	1.30	0.60	1.06	1.15	0.54	0.90	0.97	
	곡교7 (GK7)	도달시간(hr)	2.01	0.96	1.19	1.87	0.82	1.05	2.73	1.66	1.88	KIRPICH + RZIHA
		평균유속(m/sec)	1.44	3.02	2.44	1.55	3.54	2.76	1.06	1.75	1.54	

【주】 RH : RZIHA, KV1 : KRAVEN-1, KV2 : KRAVEN-2

10.2 하도홍수추적

10.2.1 이론적 배경

가. Muskingum 하도추적

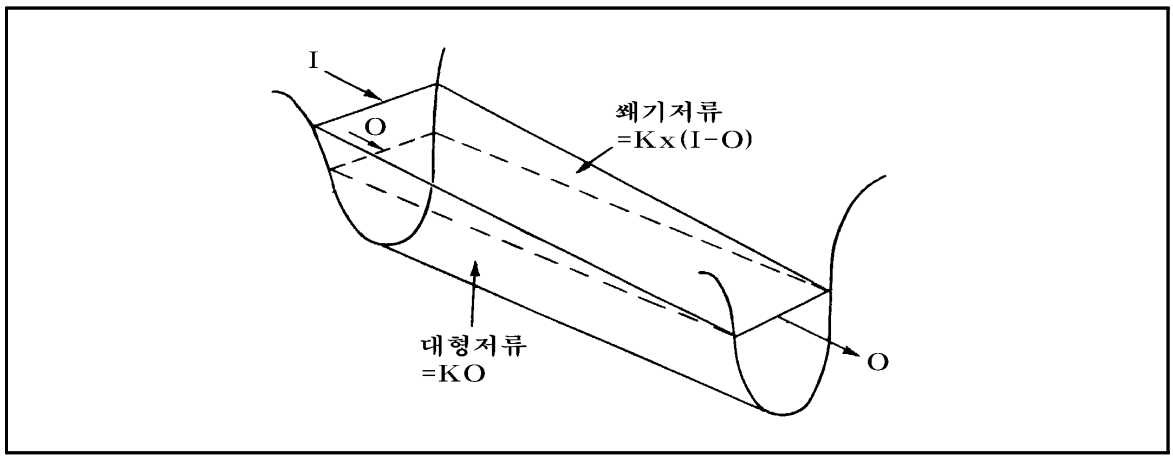
Muskingum 하도추적방법은 추적구간내 저류량에 미치는 홍수유입량의 영향을 고려하기 위하여 구간내의 총 저류량을 <그림 10.12>와 같이 대형(prism) 저류량과 쐐기(wedge) 저류량으로 구분하고, 대형저류량은 유출량에만 비례하나 쐐기저류량은 유입량과 유출량의 차에 비례한다고 가정한다.

즉, 총저류량은 대형 저류량과 쐐기 저류량의 합으로 다음과 같이 표시된다.

$$S = KO + Kx\,(I - O)$$

$$= K\,[\,xI + (1 - x)\,O\,] \quad \text{..... (식 10.1)}$$

여기서 K는 추적구간내 저류량의 유출량에 대한 비를 나타내는 저류상수(storage constant)로서 시간의 차원을 가지며 x는 추적구간이 총저류량에 기여하는 유입량과 유출량의 상대적 중요성을 표시하는 무차원 상수이다.



<그림 10.10> 자연하도에 있어서의 대형저류와 쐐기저류

미계측 유역의 경우 저류상수 K값으로는 추적구간의 홍수파 통과시간을 주로 사용한다. 또한, 홍수파 통과시간은 홍수파의 질량중심이 구간의 상류단으로부터 하류단까지 통과하는데 소요되는 시간으로 정의되며 간혹 첨두홍수량의 구간 통과시간을 근사치로 사용하기도 한다.

또한, 저류상수는 다음과 같은 방법으로 홍수파의 속도를 계산한 후, 추적구간의 거리

를 계산된 홍수파의 속도로 나누어 추정할 수도 있다.

① Seddon 방법에 의하면 추적구간내 대표지점에서의 수위-유량 관계곡선의 경사를 dQ/dy라 할 때 홍수파의 속도는 다음과 같이 계산된다.

$$V_W = \frac{1}{B}\frac{dQ}{dy} \quad \text{(식 10.2)}$$

여기서 V_W는 홍수파의 속도, B는 흐름단면의 수면폭이다.

② 경험적 방법인 하도 단면형별 평균유속과 홍수파의 속도 비는 <표 10.11>과 같고, 자연하천의 경우에는 평균적으로 1.5가 추천된다.

<표 10.11> 하도 단면형별 평균유속과 홍수파의 속도 비

하도 단면형	V_w/V	비 고
광폭 구형 수로	1.67	자연하천의 속도 비는 1.5
광폭 포물선형 수로	1.44	
삼각형 수로	1.33	

x값은 홍수파의 저류정도를 결정하는 상수로 x값이 0이면 최대저류효과가 나타나고 x값이 0.5이면 저류효과는 전혀 나타나지 않고 단지 지체효과만이 나타나게 된다. 따라서, x의 값은 0~0.5의 범위이다. 미계측유역의 경우 x값의 추정은 대단히 어려운 문제 중 하나이며, 대부분의 하천에서는 0~0.3의 값을 가지며 추적구간에 대한 유출기록이 없을 경우에는 평균치인 x=0.2를 일반적으로 사용한다.

이론적으로 계산시간간격 Δt는 추적기간으로서 저류시간 K와 같다고 볼 수 있으나 실제로는 계산상 오류를 피하기 위하여 Δt를 홍수파가 추적구간을 통과하는데 소요되는 시간의 약 1/2~1/3으로 선택하도록 되어 있으며 또한, $\Delta t > 2Kx$가 되도록 선정해야 한다.

한편, 상대적으로 긴 추적구간에 대해 모의할 필요가 있는 경우 전체 추적구간을 각각의 소구간으로 나누어야 하며, 이 때 각 소구간의 유하시간을 추적기간과 같은 것으로 가정하기 위하여 다음과 같은 방법으로 추적구간 수(NSTPS)를 결정할 수 있다.

$$NSTPS = \frac{K}{\Delta t} \quad \text{(식 10.3)}$$

또한, HEC-HMS에서는 유역의 소구간에 대해 순차적으로 계산하는데 계산의 안정성과 모의수문곡선의 정확성을 도모하기 위하여 추적구간은 다음 조건을 만족시키도록 하여야 한다.

$$\frac{1}{2(1-x)} \leq \frac{AMSKK}{NSTPS \times \Delta t} \leq \frac{1}{2x} \quad \text{.....(식 10.4)}$$

여기서 AMSKK는 추적구간 전체에 걸친 유하시간이다.

삽교천 수계 주요 하천구간의 Muskingum 하도추적에 필요한 계수 중 K값은 평균유속을 기준으로 결정하고, x값의 경우는 일반적으로 자연하천에서 적용하는 0.2를 사용하였다. 홍수추적시간은 5분 단위로 하여 (식 10.3)의 관계에 의해 추적구간 수를 정하였다.

<표 10.12> 하도추적 매개변수 (HEC-HMS)

하천명	추적구간	유로연장 (m)	평균유속 m/sec	MUSKINGUM		구간수	2*K*X < △T	△T < K
				K값	X값		조건만족여부	조건만족여부
삽교천	덕산천 합류점~화양천 합류점	7,339.00	2.40	0.85	0.20	10	O	O
	화양천 합류점~종현천 합류점	6,289.40	2.90	0.60	0.20	7	O	O
곡교천	온양천 합류점~매곡천 합류점	3,807.00	2.50	0.42	0.20	5	O	O
	매곡천 합류점~풍서천 합류점	7,768.50	3.00	0.72	0.20	8	O	O
	풍서천 합류점~양안천 합류점	7,978.50	3.00	0.74	0.20	8	O	O
무한천	예당저수지~신양천 합류점	5,007.50	0.50	2.78	0.20	33	O	O
	신양천 합류점~동산교	1,361.90	0.50	0.76	0.20	9	O	O
	동산교~강촌천 합류점	8,241.10	1.00	2.29	0.20	27	O	O
	강촌천 합류점~기덕천 합류점	10,479.70	1.50	1.94	0.20	23	O	O
신양천	신양천하구~화산천 합류점	8,121.60	3.70	0.61	0.20	7	O	O

나. 동역학파 하도추적

동역학파 하도홍수추적을 위해서는 Saint-Venant 방정식이라 불리는 비선형 편미분 형태의 연속방정식 및 운동량방정식을 연립해서 초기 및 경계조건에 맞추어 해석하여야 하나, 각각의 방정식이 편미분 형태이고, 많은 변수들을 내재하고 있어 해석적 해를 구하기가 힘들기 때문에 크게 발전을 보지 못하였다. 그러나 최근 들어 컴퓨터 성능의 향상과 계산수리학의 발달에 따라 컴퓨터를 이용하여 방정식을 직접 수치적분하여 해석이 가능하게 되었다. 금회 과업에서는 미 육군공병단(U.S.ACE) 내의 수공학연구소(HEC)에서 개발한 HEC-RAS Ver. 3.1.1을 사용하여 예당지 하류구간의 하도추적을 실시하였다.

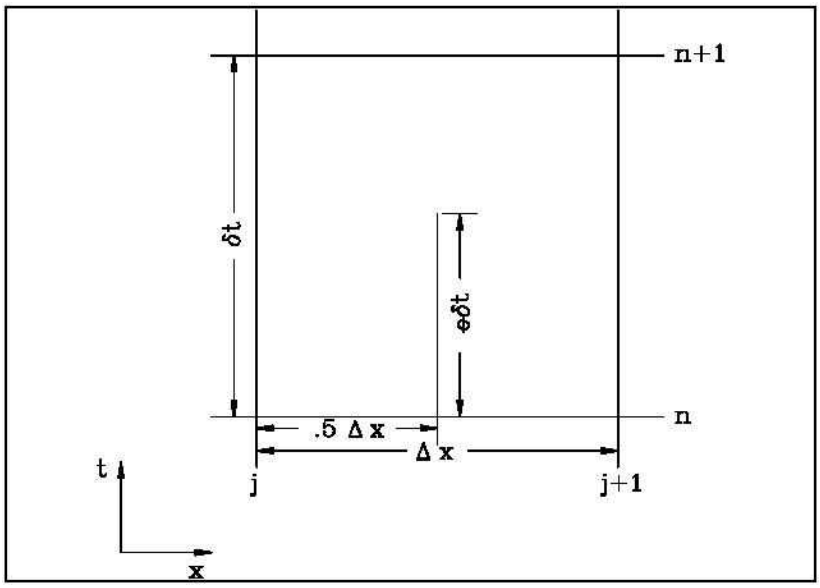
HEC-RAS는 복잡한 하도망에 대해서도 해석 가능한 1차원 하천모형으로 이 모형에 탑재된 UNET 모형에 의해 동역학파 하도추적이 가능하다. UNET 모형은 4점 음해유한차분법을 이용하며, 지배방정식을 선형화하여 해석하기 때문에 발산 가능성이 적어 안정

적이며, 횡단면 및 하도의 수에 제한이 없고, 수문, 여수로, 교량, 보 등 수리구조물의 영향을 고려하여 해석이 가능하다.

UNET 모형의 기본방정식은 동역학적 방정식으로서 연속방정식과 운동량방정식으로 구성되며 기본이론을 간단히 소개하면 다음과 같다.

(1) 음해유한차분법(Implicit Finite Difference Scheme)

1차원 부정류 흐름을 해석하는 방법 중에서 가장 일반적인 방법은 Box 기법으로 알려진 4점 음해법이다. 이 방법에서 거리에 따른 변화율인 공간미분과 함수 값들은 내부점 $(n+\theta)\Delta t$에서 계산되어진 값을 사용하는데, 구체적인 내용은 다음과 같다.



<그림 10.11> 유한차분법의 적용을 위한 시간-공간 격자망

목적함수에 대한 표기를 $f_j = f_j^n$, $\Delta f_j = f_j^{n+1} - f_j^n$ 이라고 할 때 $f_j^{n+1} = f_j + \Delta f_j$ 이므로 일반적인 음해유한차분 형태는 다음과 같이 표현할 수 있다.

① 시간에 대한 차분 : $\dfrac{\partial f}{\partial t} \approx \dfrac{\Delta f}{\Delta t} = \dfrac{0.5(\Delta f_{j+1} + \Delta f_j)}{\Delta t}$

② 공간에 대한 차분 : $\dfrac{\partial f}{\partial x} \approx \dfrac{\Delta f}{\Delta x} = \dfrac{(f_{j+1} - f_j) + \theta(\Delta f_{j+1} - \Delta f_j)}{\Delta x}$

③ 전체 함수에 대한 차분 : $f \approx \bar{f} = 0.5(f_j + f_{j+1}) + 0.5\theta(\Delta f_j + \Delta f_{j+1})$

(2) 연속방정식

연속방정식은 1차원 시스템하에서 질량보존의 법칙이 성립되며, 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

여기서, x : 수로에 따른 거리, t : 시간, Q : 유량, A : 단면적, S : 저류지

q_l : 단위 폭당 측방 유입량

위 방정식은 수로 및 홍수터에 대해서 다음과 같은 방정식으로 분리 할 수 있다.

$$\frac{\partial Q_c}{\partial x_c} + \frac{\partial A_c}{\partial t} = q_f$$

$$\frac{\partial Q_f}{\partial x_f} + \frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} = q_c + q_l$$

여기서, 아랫첨자 c와 f는 수로와 홍수터를 나타내며, q_l은 홍수터의 단위 폭당 측방 유입량이고 q_c와 q_f는 수로와 홍수터 사이의 유량의 교환량이다.

상기의 미분방정식을 음해유한차분법을 이용해서 차분화 시키면 다음과 같으며,

$$\frac{\Delta Q_c}{\Delta x_c} + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} = \overline{q_f}$$

$$\frac{\Delta Q_f}{\Delta x_c} + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} + \frac{\Delta S}{\Delta t} = \overline{q_c} + \overline{q_l}$$

상기식에서 하도와 홍수터 사이에 교환된 총유량은($\Delta x_c q_c = \Delta x_f q_f$) 동일하기 때문 상기식을 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t}\Delta x_c + \frac{\Delta A_f}{\Delta t}\Delta x_f + \frac{\Delta S}{\Delta t}\Delta x_f - \overline{Q_l} = 0$$

여기서, $\overline{Q_l}$: 평균 측방 유입량

(3) 운동량 방정식

운동량 방정식은 유체의 검사체적 내에서 운동량의 변화가 검사체적에 작용하는 외력과 같다는 것으로, 1차원 단일수로에 대해 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

여기서, g : 중력가속도, S_f : 마찰경사, V : 유속

상기 식은 수로와 홍수터에 대하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial Q_c}{\partial t} + \frac{\partial (V_c Q_c)}{\partial x_c} + g A_c\left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc}\right) = M_f$$

$$\frac{\partial Q_f}{\partial t} + \frac{\partial (V_f Q_f)}{\partial x_f} + g A_f \left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff}\right) = M_c$$

여기서, M_c와 M_f는 수로와 홍수터 사이에 교환된 단위폭당 운동량 흐름률(Momentum flux)이다. 상기식에서 수로 및 홍수터의 수위는 각 단면에서 주어진 수위와 동일하며, 상기 식들을 유한차분화하면 다음과 같이 근사화 된다.

$$\frac{\Delta Q_c}{\Delta t} + \frac{\Delta (V_c Q_c)}{\Delta x_c} + g \overline{A_c} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_c} + \overline{S_{fc}}\right) = M_f$$

$$\frac{\Delta Q_f}{\Delta t} + \frac{\Delta (V_f Q_f)}{\Delta x_f} + g \overline{A_f} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_f} + \overline{S_{ff}}\right) = M_c$$

여기서 수로와 홍수터 사이의 운동량 교환량은 동일($\Delta x_c M_c = -\Delta x_f M_f$) 함으로, 상기 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta (Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t} + \Delta (V_c Q_c) + \Delta (V_f Q_f) + g (A_c + A_f) \Delta z$$

$$+ g \overline{A_c}\, \overline{S_{fc}} \Delta x_c + g \overline{A_f}\, \overline{S_{ff}} \Delta x_f = 0$$

마지막의 두 항은 제방으로부터 유체에 작용하는 마찰력을 의미하며 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$g \overline{A}\, \overline{S_f} \Delta x_e = g \overline{A_c}\, \overline{S_{fc}} \Delta x_c + g \overline{A_f}\, \overline{S_{ff}} \Delta x_f$$

여기서, ΔX_e : 등유량선, ΔS_f : 전단면에 대한 마찰경사, $A = \overline{A_c} + \overline{A_f}$ 이다.

또한 이송항들은 유속 분포 factor를 정의함으로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\beta = \frac{(V_c^2 A_c + V_f^2 A_f)}{V^2 A} = \frac{(V_c Q_c + V_f Q_f)}{Q V}$$

$$\Delta (\beta V Q) = \Delta (V_c Q_c) + \Delta (V_f Q_f)$$

운동량 방정식의 최종 형태는 다음과 같다.

$$\frac{\Delta (Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t \Delta x_e} + \frac{\Delta (\beta V Q)}{\Delta x_e} + g \overline{A} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + S_f\right) = 0$$

(4) 급축소에 의한 에너지손실

하도단면의 급격한 변화는 에너지 손실을 유발하게 되는데, 하도의 급축소부에서의 에너지 손실은 미소거리 Δx에 대하여 Δh_l의 수두증가를 가져온다. 이에 대한 에너지 손실은 한 지점에서의 수두경사로 표현 하면 다음과 같다.

$$S_k = \frac{dh_l}{dx}$$

정상류에 있어서 급축소부의 수두 증가는 Kindsvater & Carter(1959), Denzel(1961), Yarnell(1973) 등에 의해 개발된 경험식을 통해 결정되며, 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$h_l = C\frac{V^2}{2g}$$

여기서, h_l은 손실수두이고 C는 계수이며, 속도 및 수심의 함수이다.

만일 손실수두 h_l이 미소 거리 Δx_e에 걸쳐서 발생한다면 $h_l = \overline{S_h}\,\Delta x_e$, $\overline{S_h} = h_l/\Delta x_e$이며, 여기서 $\overline{S_h}$는 구간Δx_e에 대한 평균 경사이다. 상기식을 운동량방정식의 유한차분형태에 포함시키면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta(Q_c\Delta x_e + Q_f\Delta x_f)}{\Delta t\Delta x_e} + \frac{\Delta(\beta VQ)}{\Delta x_e} + g\overline{A}\left(\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \overline{S_f} + \overline{S_h}\right) = 0$$

(5) 지 류 유 입

지류에서 유입되는 운동량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$M_l = \xi\frac{Q_l V_l}{\Delta x}$$

여기서, Q_l : 지류 유입량, V_l : 지류 유입량의 평균 유속

ξ : 본류 하천으로 유입되는 운동량의 부분

운동량방정식에 상기 식을 추가하면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta(Q_c\Delta x_c + Q_f\Delta x_f)}{\Delta t\Delta x_e} + \frac{\Delta(\beta VQ)}{\Delta x_e} + g\overline{A}\left(\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \overline{S_f} + \overline{S_h}\right) = \xi\frac{Q_l V_l}{\Delta x_e}$$

10.2.2 모형의 구축

금회 과업에서 삽교천 전체 유역을 대상으로 홍수량과 홍수위를 산정하였으며, 이를 위해 미육군 공병단 수공학연구소(Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 유역홍수추적 모형인 HMS(Hydrologic Modeling System)와 하도추적 모형인 RAS(River Analysis System)를 사용하여 삽교천 전 유역과 주요 하천의 국가하천 구간을 모형화하고, DSS File로 연결하여 홍수량 산정과 하도홍수추적이 연계되어 이루어질 수 있도록 모형을 구축하였다.

이 모형에서 HMS는 유역추적과 Muskingum 방법에 의한 하도추적을 병행하여 삽교

천 유역내 주요 지점의 홍수량을 산정하고, RAS는 HMS에 의해 산정한 국가하천 시점부의 홍수량을 상류단 경계조건으로 하고, 국가하천 구간내 소유역의 홍수량을 측방유입량(내부경계조건)으로 하여 국가하천구간의 하도홍수추적을 통해 실제 하도유출 조건을 반영한 하도유하량과 홍수위를 계산하는데 적용 하였다.

가. 유역의 모형화

홍수량 산정방법에는 여러 가지가 있으나 금회 과업에서는 HEC-HMS를 사용하여 홍수량을 산정하였다. HEC-HMS는 HEC-1 모형을 GUI(Graphical User Interface) 환경으로 업그레이드 한 프로그램으로 크게 Basin Model, Precipitation Model, Control Specifications 등으로 이루어져 있는데, Basin Model 모형은 지형학적 특성인자의 입력을 담당하고 Precipitation Model은 강우분석과 관련된 사항을 담당하며, Control Specifications은 모의 시간 등을 지정해주는 것으로 이루어져 있다.

HEC-HMS에서 홍수량 산정을 위해 채택하고 있는 합성단위도법에는 Clark 단위도법, Snyder 단위도법, SCS 무차원단위도법등이 있는데, 금회 과업에서는 Clark 단위도법을 채택하였다. 이 방법은 유역의 도달시간 누가면적관계를 이용하여 자연하천유역에 내리는 순간단위유량도를 유도하는 방법으로 유역의 출구에 1개의 선형 저수지가 존재한다고 가정하고 이 저수지로의 각각의 시간구간별 유입량은 도달시간 구간별 면적에 내린 유효우량을 유량으로 환산한 값으로 하여 계산한다.

$$I_i = \frac{A_i \times 10^6}{\Delta t \times 3,600 \times 100} = 2.78\frac{A_i}{\Delta t}$$

여기서, A_i : i 번째 시간구간에 포함되는 유역면적 (㎢)

또한, 저류량은 구간 상류 단에서의 유입량과 하류단에서의 유출량의 차이므로

$$\frac{I_1 + I_2}{2}\Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2}\Delta t = S_2 - S_1 \quad \text{..... (식 10.5)}$$

여기서, 첨자 1, 2는 추적시간 Δt의 시작과 끝을 표시한 것이다. 유역을 선형저수지라고 가정하였으므로

$$S = K \cdot O \quad \text{..... (식 10.6)}$$

여기서, S : 저류량, K : 저류상수, O : 유출량

식 (10.5), (10.6)에서

$$\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t-\frac{O_1+O_2}{2}\Delta t=K(O_2-O_1) \quad \text{(식 10.7)}$$

식 (10.7)을 O_2에 관해서 정리하면

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \quad \text{(식 10.8)}$$

여기서, $C_0 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}$

$$C_1 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}$$

$$C_2 = \frac{K - 0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}$$

그런데, 도달시간-누가면적 곡선으로부터 작성되는 시간-면적주상도의 추적시간, Δt의 시점 및 종점 유입량이 동일하므로 $I=I_1=I_2$이다.

$$O_2=(C_0+C_1)I+C_2O_1 \quad \text{또는} \quad O_2=C_1I+C_2O_1 \quad \text{(식 10.9)}$$

식 (5.9)에서 유입량 I는 기지의 값이며 초기 유출량 O_1을 가정하면 임의의 추적구간에서의 유출량 O_2를 구할 수 있고 여기서 구한 O_2가 다음 구간에서의 O_1이 되어 축차적으로 계산을 실시함으로서 전체적인 유출량곡선을 구할 수 있다.

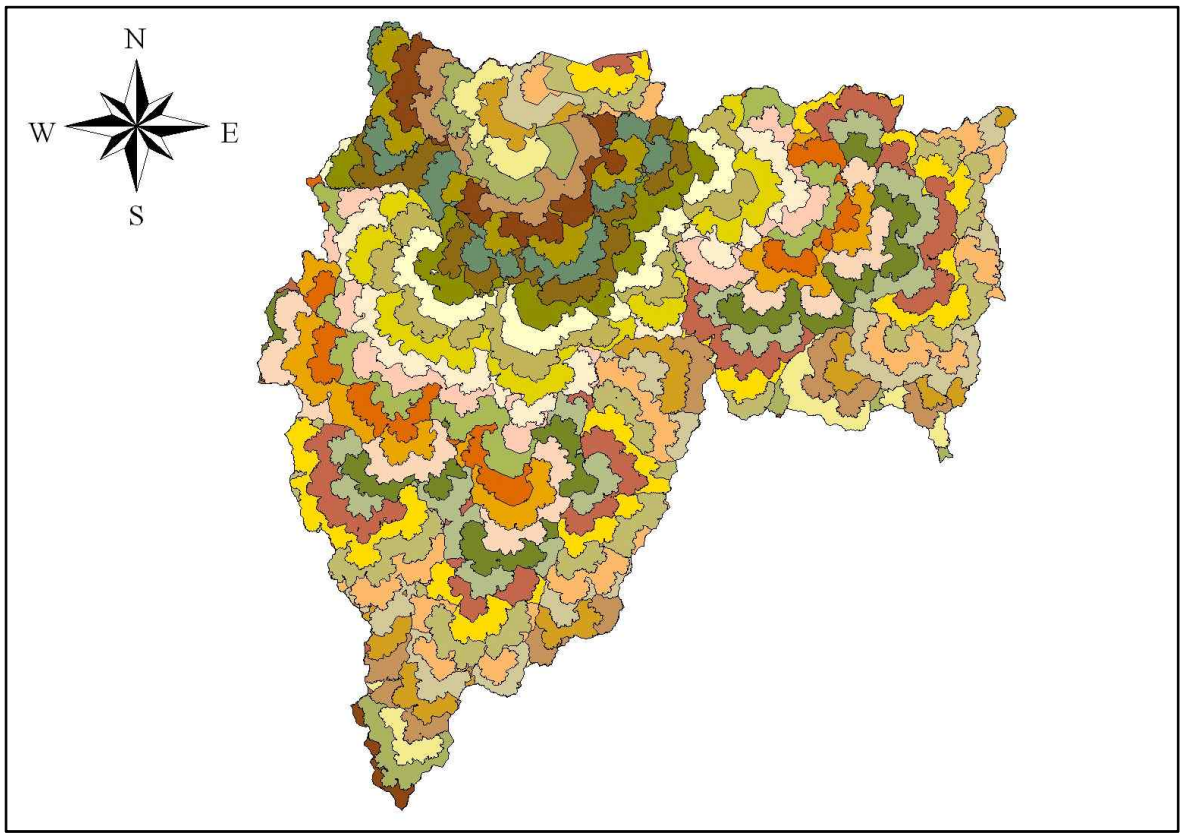
한편, 저류상수 K는 강우-유출량 관계 자료가 있는 경우에는 이들 관계를 이용하여 구할 수 있지만 이러한 자료가 없는 경우는 도달시간과 같다고 보거나 경험식을 사용하여 결정한다. 우리나라의 경우 Clark의 유역추적법을 계획홍수량 결정에 많이 사용하고 있으나 K값 결정을 위한 지역공식이 아직 개발되어 있지 못한 실정으로 금회 과업에서는 Sabol이 제시한 경험식을 사용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$\frac{T_c}{K} = 1.46 - 0.0867\frac{L^2}{A} \quad \text{(식 10.10)}$$

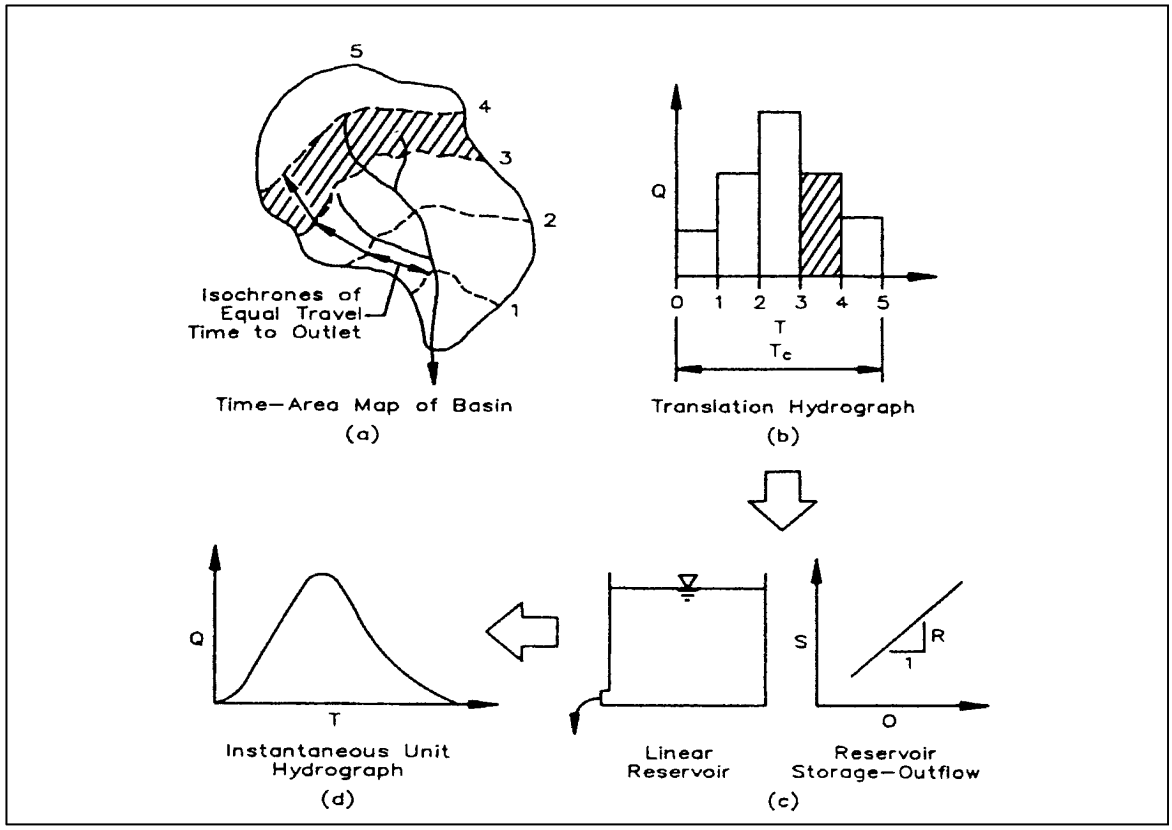
여기서, K : 저류상수, T_c : 도달시간, L : 최장유로연장, A : 유역면적

Clark의 유역추적법에서 가장 중요한 인자는 도달시간 값과 저류상수 값이다. 일반적으로 ArcView의 Extention인 Hec-Geohms에서 지형자료를 추출하나, 이 방법의 문제점은 DEM(수치고도자료)에 의해서 유역경계 및 하천을 추출해내기 때문에 분수계가 지형적으로 명확하지 않은 삽교천 하류부 같은 경우는 정확한 유역경계의 추출이 어렵고 하

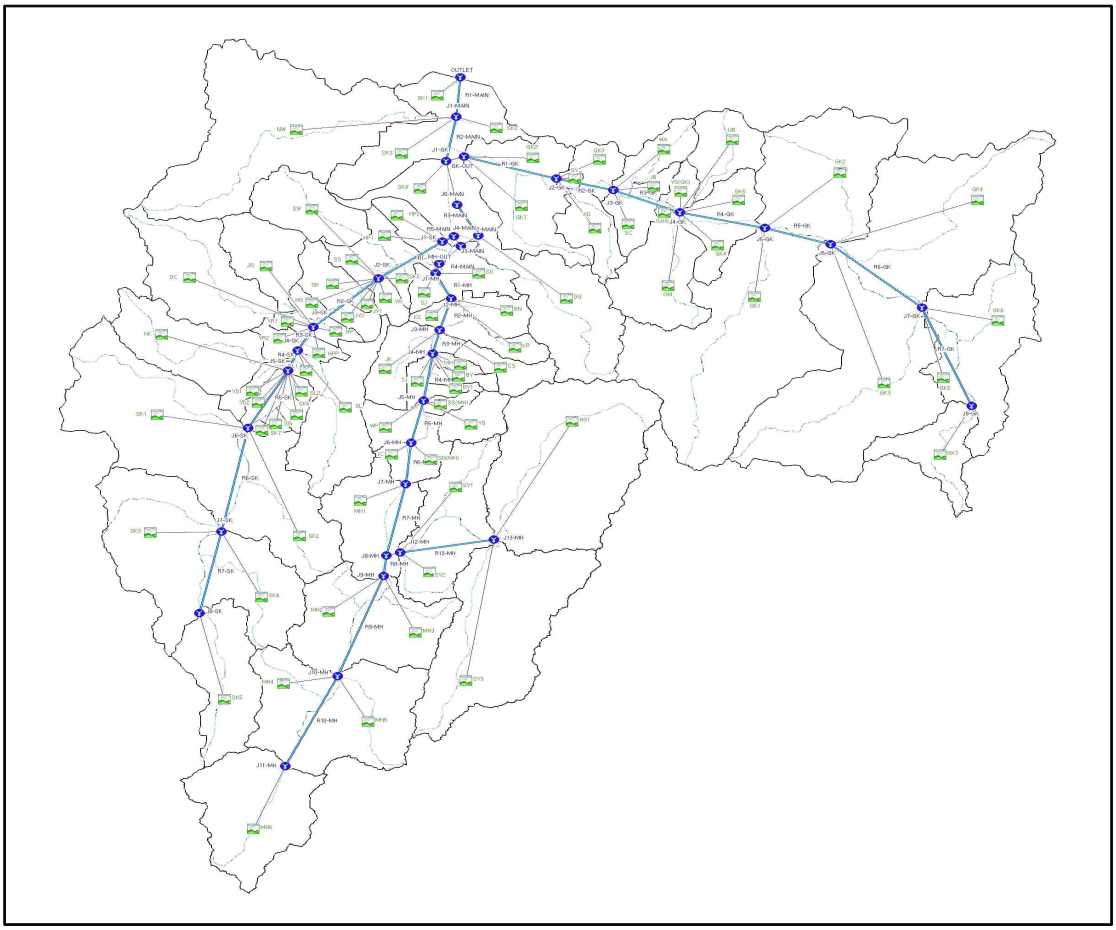
도추적에 필요한 유로연장과 하도경사 등을 정확하게 산정하는 데는 어려움이 있다는 점이다. 따라서 금회과업에서는 유역의 도달시간을 산정하기 위해 1Km 간격의 삽교천 전체 등거리 분할도를 이용하여 하천구간별 고도값을 추출하여 도달시간을 산정하고, 산정된 도달시간을 이용하여 Sabol공식에 의해 저류상수 값을 결정하였으며 그 결과는 <표 10.19>와 같다. 삽교천 유역의 등거리분할도는 <그림 10.12>와 같으며 Clark단위도법의 개념도 및 최종 홍수량 산정 모식도는 <그림 10.13> 및 <그림 10.14>와 같다.



<그림 10.12> 삽교천 유역 등거리 분할도



<그림 10.13> Clark 단위도법 개념도



<그림 10.14> 삽교천 홍수량산정 모식도

<표 10.13> 홍수량 산정지점별 입력 매개변수 (HEC-HMS)

하천명	산정지점명	부호	유역면적 (㎢)	도달시간 (hr)	저류상수 (hr)	CN값	
						현 재	2016년
삽교천	삽교잔류1	SK1′	7.86	0.95	0.80	96.40	96.40
	삽교잔류2	SK2′	12.03	1.54	1.59	96.30	96.30
	남원1	NW1	8.04	1.01	1.36	89.90	90.10
	남원2	NW2	10.83	1.34	2.53	91.50	91.50
	남원3	NW3	4.45	0.44	0.37	90.90	91.20
	오봉천	OB	22.85	0.87	0.70	87.70	87.90
	남원천	NW	43.19	1.70	1.65	87.40	87.40
	삽교잔류3	SK3′	18.90	1.26	0.99	93.20	93.20
	삽교잔류4	SK4′	23.28	1.11	0.94	94.60	94.60
	도고1	DG1	3.66	0.37	0.27	89.10	89.10
	도고천	DG	36.72	1.38	1.25	83.60	83.60
	하평2배수장	HP2	8.80	0.79	0.71	94.10	94.10
	하평1배수장	HP1	5.75	0.77	0.81	93.70	93.70

<표 10.13> 홍수량 산정지점별 입력 매개변수 (HEC-HMS)(계속)

하천명	산정지점명	부호	유역면적 (㎢)	도달시간 (hr)	저류상수 (hr)	CN값	
						현 재	2016년
삽교천	석우천	SW	21.00	1.47	1.83	87.80	87.80
	삽교잔류5	SK5′	3.05	0.7	1.6	88.30	88.30
	신석배수장	SS	7.37	0.81	0.79	92.60	92.60
	예림배수장	YR	4.31	0.48	0.42	89.40	89.40
	신리배수장	SR	9.30	0.91	0.8	91.10	91.10
	중예1배수장	JY1	1.73	0.5	0.51	92.80	92.80
	중예2배수장	JY2	4.38	0.76	0.7	91.30	91.30
	황금배수장	HG	2.80	0.32	0.26	92.80	92.80
	지곡천	JG	19.05	0.97	0.87	89.00	89.00
	대천천	DC	38.26	1.66	1.7	85.80	85.80
	하포천	HP	3.34	0.38	0.32	93.00	93.00
	용리1배수장	YR1	2.62	0.37	0.3	93.60	93.60
	하포배수장	HPP	2.62	0.4	0.33	93.40	93.40
	용리2배수장	YR2	4.64	0.4	0.32	91.90	91.90
	성리천	SL	31.46	1.52	1.53	88.20	88.20
	성리1배수장	SL1	3.51	0.7	0.78	93.60	93.60
	효교천	HK	31.81	1.52	1.75	87.50	87.50
	용동1배수장	YD1	4.63	0.8	1.03	91.10	91.10
	용동2배수장	YD2	5.54	0.83	0.98	93.50	93.50
	성리2배수장	SL2	1.59	0.39	0.39	92.80	92.80
	삽교잔류6	SK6′	2.58	0.54	0.85	91.30	91.30
	신가배수장	SG	1.54	0.21	0.18	90.30	90.30
	삽교잔류7	SK7′	0.96	0.1	0.08	93.20	93.20
	삽교1	SK1	69.24	2.89	2.30	83.70	83.70
	삽교2	SK2	36.89	6.53	6.35	87.20	87.20
	삽교3	SK3	48.62	2.83	2.14	85.60	85.60
	삽교4	SK4	30.16	5.71	5.69	86.40	86.40
	삽교5	SK5	33.15	6.88	6.14	85.50	85.50
곡교천	곡교잔류1	GK1′	24.70	1.66	2.31	90.50	90.50
	곡교잔류2	GK2′	10.92	1.77	2.41	88.90	88.90
	산양배수장	SY	1.45	0.3	0.25	89.80	89.80
	가덕배수장	KD	12.96	0.94	0.93	88.70	88.70
	곡교잔류3	GK3′	8.13	0.42	0.37	80.80	80.80
	와천	WA	10.63	0.98	1.15	82.40	82.40

<표 10.13> 홍수량 산정지점별 입력 매개변수 (HEC-HMS)(계속)

하천명	산정지점명	부호	유역면적 (㎢)	도달시간 (hr)	저류상수 (hr)	CN값	
						현 재	2016년
곡교천	신창배수장	SC	8.07	1.2	1.21	91.50	91.50
	중방배수장	JB	3.35	0.7	1.03	89.10	89.10
	염성배수장	YS	4.12	0.36	0.32	89.20	89.20
	수장배수장	SJ	1.51	0.38	0.29	92.70	92.70
	음봉천	UB	16.07	1.21	1.21	80.80	80.80
	오목천	OM	27.12	1.16	0.97	86.30	86.30
	곡교잔류4	GK4′	8.72	0.79	0.7	91.80	91.80
	곡교잔류5	GK5′	10.33	0.81	0.72	88.10	88.10
	곡교1	GK1	103.21	7.35	6.35	79.70	79.70
	곡교2	GK2	52.45	9.16	8.69	84.70	87.30
	곡교3	GK3	94.80	5.99	5.16	78.10	78.50
	곡교4	GK4	81.11	8.09	7.46	87.80	90.30
	곡교5	GK5	7.53	4.44	7.11	82.70	83.10
	곡교6	GK6	39.00	6.58	6.11	81.30	81.30
	곡교7	GK7	18.90	2.01	2.08	72.90	72.90
무한천	신덕배수장	SD	10.80	1.25	1.1	93.00	93.00
	신종배수장	SJ	4.41	0.35	0.28	90.40	90.40
	봉농배수장	BN	8.72	0.56	0.48	87.10	87.10
	계촌배수장	KC	4.05	0.53	0.49	90.70	90.70
	궁평	KP	7.86	0.61	0.62	82.30	82.30
	종경배수장	JK	13.23	1.34	1.16	90.20	90.20
	창소배수장	CS	11.13	0.77	0.93	82.00	82.80
	탄중배수장	TJ	3.57	0.53	0.49	91.40	91.40
	무한	MH	2.53	0.28	0.26	86.00	86.00
	발연배수장	BY	3.61	0.38	0.4	85.20	86.10
	발연	BY1	2.11	0.36	0.49	86.00	87.30
	원평배수장	WP	8.54	0.8	0.7	90.70	90.80
	산성배수장	SS	2.86	0.31	0.3	88.00	89.60
	예산	YS	10.08	0.53	0.46	82.20	84.00
	손지	SG	6.21	0.5	0.43	79.90	79.90
	입침	IC	3.23	0.44	0.39	88.20	88.20
	무한1	MH1	28.44	1.46	1.46	86.90	86.90
	무한2	MH2	21.63	2.22	2.25	83.10	83.10
	무한3	MH3	23.83	1.37	1.37	81.60	81.60

<표 10.13> 홍수량 산정지점별 입력 매개변수 (HEC-HMS)(계속)

하천명	산정지점명	부호	유역면적 (㎢)	도달시간 (hr)	저류상수 (hr)	CN값	
						현 재	2016년
무한천	강촌	KC	23.93	0.78	0.67	79.30	79.30
	무한4	MH4	39.27	2.33	2.76	80.40	80.40
	무한5	MH5	19.31	1.86	2.21	82.40	82.40
	무한6	MH6	21.47	0.71	0.56	80.60	80.60
	신양1	SY1	17.59	0.5	0.5	80.70	80.70
	신양2	SY2	20.01	1.14	1.15	80.60	80.60
	신양3	SY3	68.56	2.13	2.13	77.80	77.80
	화산1	HS1	84.82	1.99	1.99	78.40	78.40

나. 하도의 모형화

동역학파 하도추적 모형에 의한 홍수추적을 시행하면 상·하류의 경계조건에 의해 해를 구하여 시간에 따른 수위와 홍수량의 변화를 파악할 수 있으나, 정의된 구간 내에서만 계산이 시행되므로 홍수추적을 실시할 하천 및 구간, 각 지점의 하도특성, 측방유입량 및 유입지점 등을 우선 정의하여야 한다.

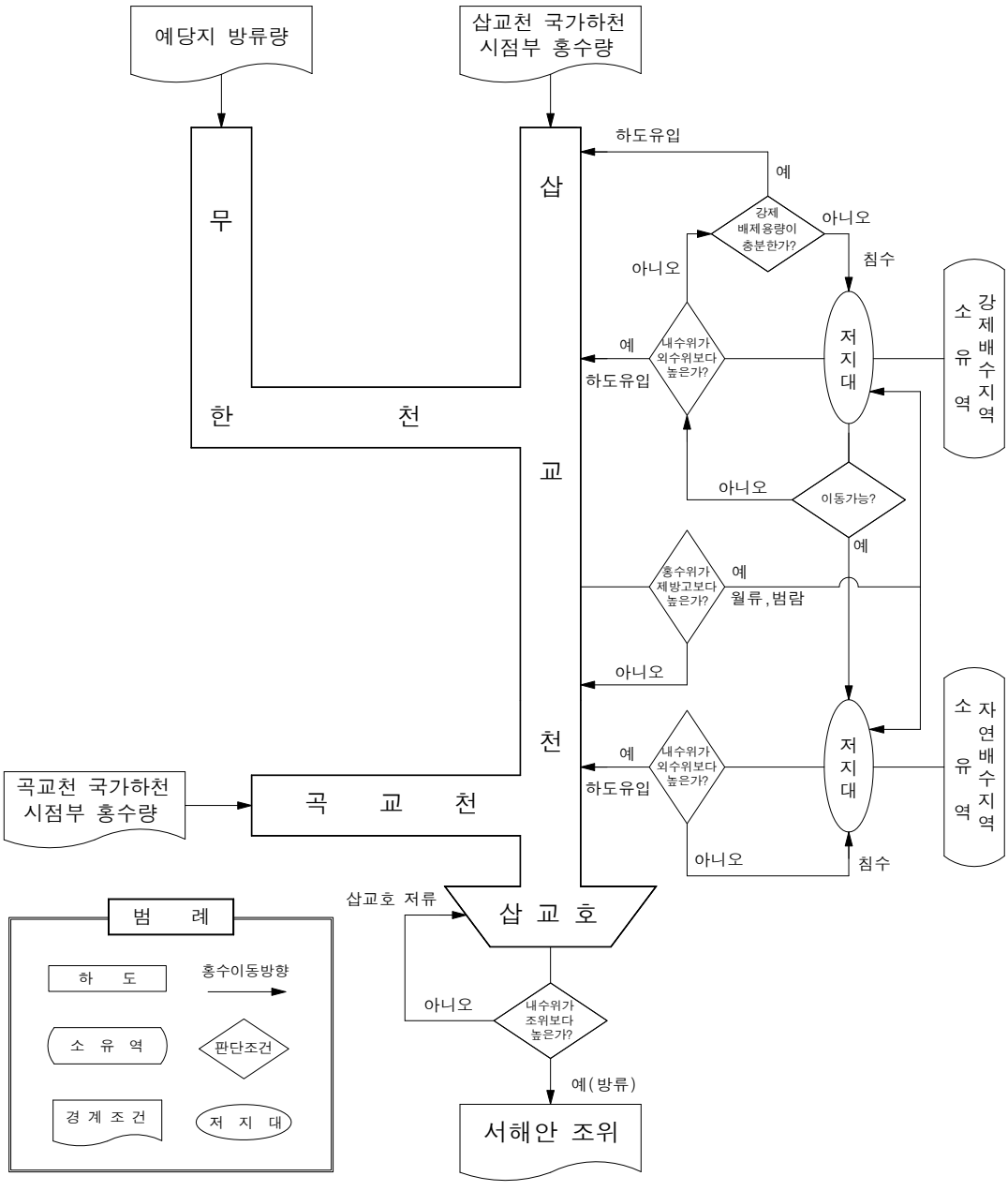
금회 과업에서는 삽교천 유역 중하류부에 위치한 삽교천, 무한천, 곡교천의 국가하천 구간을 모의대상으로 선정하고, RAS의 다지하천 해석기능을 활용하여 동시에 하도추적을 시행할 수 있도록 하였다. 하천망의 횡단면은 삽교천의 무한천 합류부 하류와 무한천 구간에 대해서는 금회 측량성과에 의해 각각 500m와 100m 간격으로 입력하고, 삽교천의 무한천 합류부 상류구간 및 곡교천은 현재 진행 중인 해당 하천의 하천정비기본계획(보안) 용역의 측량성과를 활용하여 500m 간격을 기본으로 입력하되, 하도내 구조물이 위치한 지점과 단면이 급격히 변하는 지점 등은 횡단면 자료를 추가로 입력하였다.

아울러 '제 9 장 치수단위구역 구분 및 치수안전도 설정'에서 치수단위소구역으로 구분된 하천변 저지대 농경지의 지형특성을 GIS 기법에 의해 분석하여 'Storage Area'를 구성한 후 하도와 연결함으로써 하천연안 저지대의 유출특성을 분석하고, 내수배제 지체 및 외수범람에 의한 침수를 모의하였다.

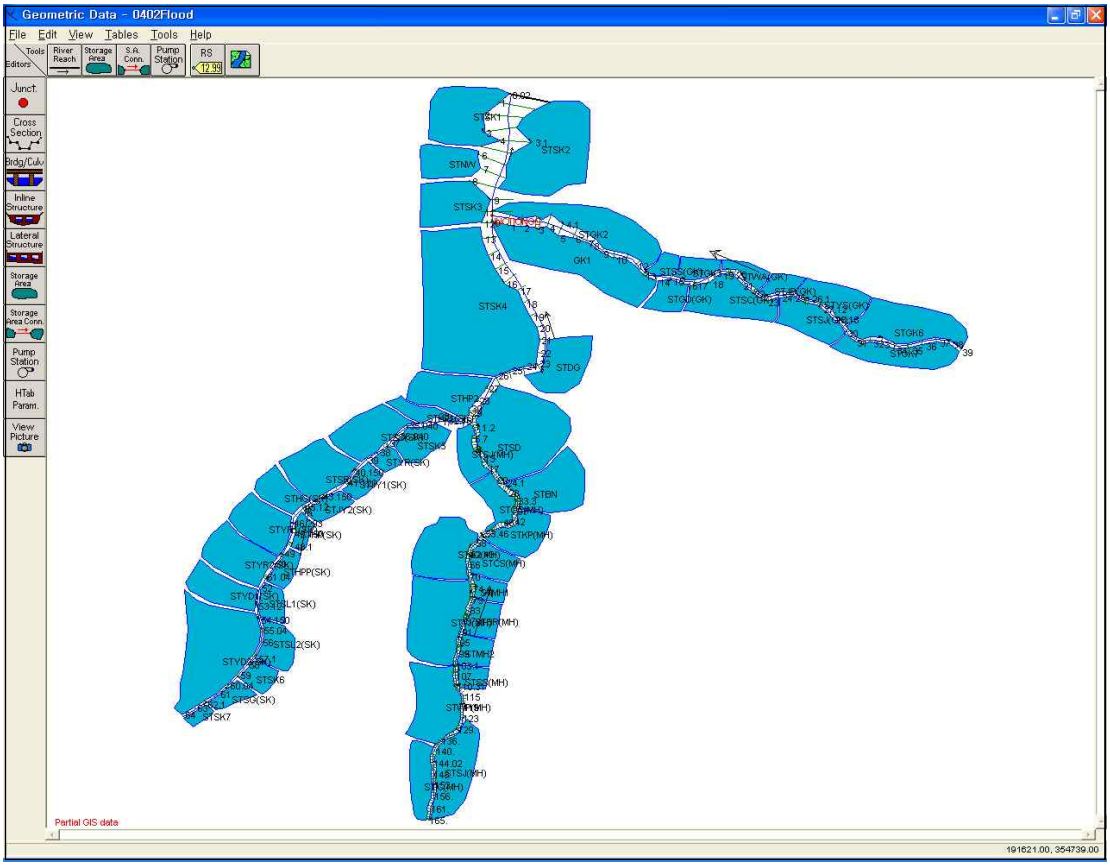
이렇게 구축된 모형의 상류단 경계조건은 국가하천 시점부로 유입하는 홍수량 수문곡선이며, 하류의 경계조건은 서해안 조위와 삽교호 배수갑문 운영 결과인데 금회 분석에서는 내수위가 외수위 보다 높을 경우 배수문을 완전히 개방하여 방류하도록 설정하였다.

내부경계조건으로는 주요 지류하천의 유입을 측방유입으로 처리하되, 하천연안의 저지

대에서 발생한 유출은 저지대를 모형화한 저류지(Storage Area)와 하도를 배수펌프장(Pump)과 자연배수시설(Culvert)로 연결하여 하도의 홍수위에 따라 자연배수 또는 강제배제 되도록 하였다. 아울러 하도의 수위가 제방고보다 높아 외수 월류가 예상되는 구간의 제방은 측방구조물(Lateral Structure)과 Weir을 설치하여 외수 월류 모의를 가능케 하였으며, 여기에 제방파괴(Leeve Breach) 기능을 추가하여 내수침수와 더불어 외수범람에 의한 침수를 병행하여 모의하였다.



<그림 10.15> 하도홍수추적 모형의 흐름도



<그림 10.16> 삽교천 수계의 하도 모형화 결과

<표 10.14> 하도홍수추적 모형의 경계조건

구 분		설 정 내 용	비 고
상 류 단 경계조건	삽교천	국가하천 시점부(덕산천 합류후)의 홍수수문곡선	
	곡교천	국가하천 시점부(온양천 합류후)의 홍수수문곡선	
	무한천	예당지의 방류수문곡선	
내 부 경계조건	하 천	주요 지류 유역의 홍수수문곡선	
	저지대	Storage Area로 부터의 배수시설(자연, 강제)을 통한 유입수문곡선	
하류단 경계조건		서해안 조위와 배수갑문의 개문수 및 개도	

여기에 초기조건으로 하도구간에 대해서는 유량을, 저류지에 대해서는 수위를 입력하였는데, 하도구간의 초기유량은 하도추적구간 시점부와 삽교천의 곡교천 합류부, 무한천 합류부에 대해 안정된 계산이 수행될 수 있는 최소의 유량으로서 <표 10.15>와 같이 설정하고, 저류지의 초기수위는 각 저류지의 최저표고보다 10cm 높게 설정하였다. 그러나 이 값은 저류지의 최저표고로 배수로 또는 배수펌프장의 유수지 바닥표고를 설정하였기 때문에 각 저류지의 최저답고 보다는 낮은 값이다.

<표 10.15> 하도구간의 초기조건

하 천 명	지 점 명	측 점	초기유량(㎥/sec)
삽 교 천	국가하천 시점 (덕산천 합류후 지점)	No. 64	100
	무한천 합류점	No. 29	210
	곡교천 합류점	No. 10	360
곡 교 천	국가하천 시점 (온양천 합류후 지점)	No 39	100
무 한 천	예당지 직하	No. 165	100

또한, 홍수량 산정방법의 매개변수와 각 단면별 조도계수의 검정 및 본 모형의 적용성 평가를 위해 <표 10.16>과 같이 과거 홍수기간 동안의 수위관측 자료를 보유하고 있는 각 수위표 지점을 검정지점으로 설정하고 과거 홍수사상을 재현하여 실측값과 모의결과를 비교하였다. 이때 과거 홍수사상은 수위자료 및 주변 침수피해현황에 대한 자료를 확보할 수 있고 하도가 현 상태와 가장 유사한 최근의 홍수사상 중 피해규모가 가장 큰 1999년 8월 홍수 및 2000년 8월 홍수를 선정하였다.

<표 10.16> 모형의 상·하류단 경계 및 보정지점

구 분 / 하천명	검정지점	측점(No.)	기록보유여부		비 고
			'99년	2000년	
삽교천	구만 수위표	No.46+300	-	○	검정 자료(2개 홍수사상) 1999년 8월 2일~8월 5일 2000년 8월 23일~ 8월 28일
	수촌 수위표	No.59+40	○	○	
곡교천	강청 수위표	No.18+230	○	○	
무한천	창소 수위표	No.53+65	○	○	
	원평 수위표	No.110+59	○	○	

다. 저지대의 모형화

삽교천 유역 하류부에 위치한 저지대의 침수면적, 침수심, 침수시간 등을 산정하기 위해 홍수발생시 침수가 예상되는 저지대의 지형특성과 내용적을 Arc-View에 의해 분석하여 저류지(Storage Area) 형태로 모형화 하였다.

RAS에서 저류지는 하천의 시점, 종점 또는 측면에 설치할 수 있으며, 각각의 저류지는 펌프(Pump), 위어(Weir), 게이트(Gate) 및 암거(Culvert) 등에 의해 하천과 연결하여 하천의 수위에 따라 저류지의 유출특성을 모의할 수 있다. 또한 저류지간의 연결을 통해

연계운영 함으로써 종방향 유량의 흐름을 모의할 수 있다.

RAS의 이러한 기능을 사용하여 금회 과업에서는 삽교천 수계 주요 하천의 중하류 연안에 위치한 저지대의 내수침수 및 외수범람에 의한 침수특성을 분석하고 홍수 규모별 침수상황을 예측하여 치수적인 문제점과 유역종합치수계획 시행 성과를 검토하는데 활용하였다. 금회 과업에서 적용한 세부적인 모형구축 내용은 다음과 같다.

(1) 저류지 구성

금회 분석대상 저지대는 홍수발생시 실제 침수피해 발생이 예상되는 국가하천 구간 연안 저지대를 대상으로 지형특성과 배수체계에 따라 삽교천 유역 27개소, 무한천 유역 15개소, 곡교천 유역 12개소 등 총 54개소로 구분한 후 지형특성과 내용적 및 배수체계를 반영한 저류지 형태로 모형화 하였다. 각각의 저류지는 모형의 해석 결과로서 시간별로 침수심이 산정되며 이를 내용적곡선을 통해 침수면적 또는 저류량으로 환산할 수 있다. 이때 내용적 곡선은 저류지내 배수로 바닥고를 기준으로 산정하여 소규모 홍수시에도 침수분석이 가능하도록 하였다.

<표 10.17> 모형화 대상 저지대 현황

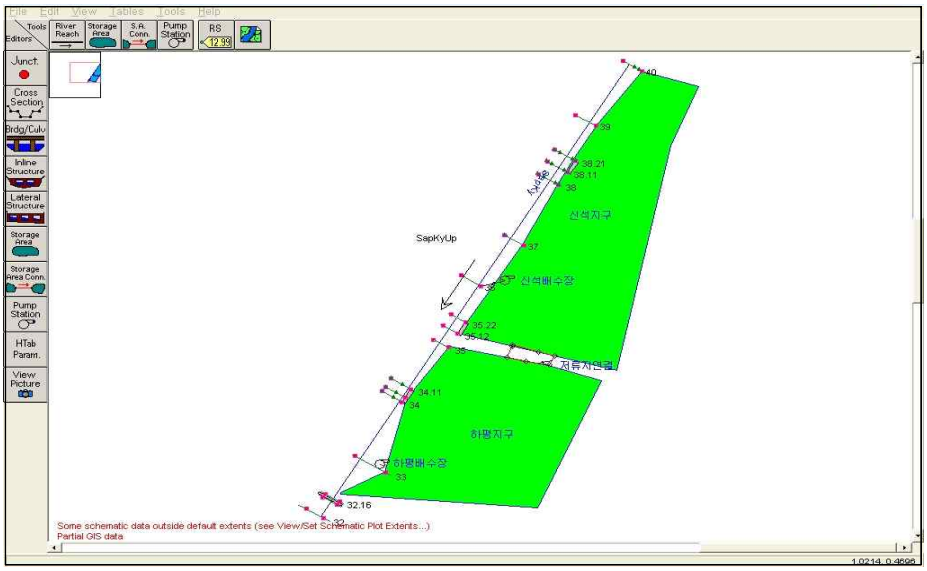
구 분	삽 교 천	무 한 천	곡 교 천	계
소구역 (개소)	27	15	12	54
면 적 (㎢)	86.167	25.082	22.429	133.678

각각의 저류지는 배수체계에 따라 자연배제 유역은 암거(Culvert)로, 강제배수유역은 암거와 펌프(Pump)로 하도와 연결하여 저류지를 포함하는 배수유역에서 발생한 홍수가 내·외수위 조건에 따라 하도로 유입하도록 구성하였다. 이때 자연배수시설의 규모는 배수통문의 경우 전체를 대상으로, 배수통관은 Φ1000mm 이상을 대상으로 하여 각 저류지별로 총 통수능을 산정한 후 저류지 하류지점에 동일한 통수능의 암거를 설치하는 방식으로 간략화 하여 적용하였다.

RAS에서는 자연배수시설 이외에 저지대 농경지 침수해소를 위해 설치된 배수펌프장 운영에 대한 모의가 가능한데, 배수펌프장 운영은 펌프장의 표고를 결정한 후 흡입양정고 별로 토출량(강제배제량)을 입력하여 모의하며, 여러대의 펌프를 동시에 운영할 수 있고 펌프별로 배수능력을 달리 적용할 수 있다. 또한 각각의 펌프는 내수위에 따라 동시에 가동하거나 시차를 두고 가동할 수 있어 여러대의 펌프를 보유한 배수펌프장에서 실제 운영하는 방식을 재현할 수 있다. 따라서, 본 모형에서는 배수펌프장 설계보고서

또는 현장조사 결과에 의해 조사한 각 배수펌프장별 운영 조건에 가능한 일치할 수 있도록 각종 조건을 입력하여 모의하였다.

또한 홍수시 지표면과 수로를 통한 저류지간 유수의 이동 및 배수로를 통해 연결하여 연계 운영하는 배수펌프장 유역을 모의하기 위해 저류지연결(Storage Area Connections) 기능을 사용하였다. RAS에서 저류지간 연결에 사용할 수 있는 방법은 Weir, Weir+Gate, Weir+Culvert 혼합방식 등이 있는데 본 모형에서는 위어를 이용한 연결방법을 채택하였으며, 각각의 위어 높이는 지역적 특성을 고려하여 결정하였다. 즉 저류지 연결을 소규모 홍수와 대홍수시로 구분하여 소규모 홍수시에는 현재 배수로를 통해 연계 운영되는 배수펌프장유역(계촌-신종 배수펌프장, 신리-황금 배수펌프장 등)을 대상으로 하여 각 저류지별 내수위가 배수로 바닥고 보다 0.3m 이상이 될 경우 서로 연결되게 설정하였으며, 배수로를 통해 연결되지는 않지만 대규모 홍수시 지표면 유출을 통해 유수의 이동이 가능한 지형의 저류지간에는 배수로 바닥고 보다 1.0~1.5m이상의 수위가 형성될 때 연결되도록 설정하였다. 이렇게 구축된 저류지 모형구축 예는 <그림 10.17>과 같고 각 저류지별 특성은 <표 10.18>과 같다.



<그림 10.17> 저지대의 모형화 예 (삽교천 좌안 하평, 신석 배수장 유역)

<표 10.18> 저지대의 특성 모형화 방법

비 고	배수시설		저류지 연결	
	위 치	규 모	소규모 홍수시	대규모 홍수시
현 황	실제 위치	배수통관, 배수문	배수로로 연결	지표면 유출로 연결
모형상	저류지 최하류 지점	통수능력이 동일한 단일 구조물 설치	최저지반고보다 0.3m 높은 Weir로 연결	최저지반고보다 1.0 ~ 1.5m 높은 Weir로 연결

<표 10.19> 모형에 저류지로 구성된 저지대의 현황

하천명	산정지점명		좌우안 구분	강제 배수량 (CMS)	위치		배수문 월류제 위치	배수시설 제원		
	명칭	부호			시점	종점		B	H	A
삽교천	삽교잔류1	SK1′	좌	-	0	4	2.090	12.52	2.00	25.04
	삽교잔류2	SK2′	우	-	0	8	4.060	30.17	2.00	60.34
	삽교잔류3	SK3′	좌	-	6	11	8.100	59.40	2.00	118.80
	삽교잔류4	SK4′	좌	-	11	26	15.280	18.11	2.00	36.22
	하평2배수장	HP2	좌	6.30	26	31+100	26.080	6.00	2.00	12.00
	하평1배수장	HP1	좌	7.45	31+100	34+200	32.230	7.04	2.00	14.08
	삽교잔류5	SK5′	우	-	33	36+130	35.330	1.99	2.00	3.98
	신석배수장	SS	좌	10.00	34+200	39+100	35.440	8.37	2.00	16.74
	예림배수장	YR	우	13.70	36+130	38+400	37.060	6.40	2.00	12.80
	신리배수장	SR	좌	27.98	39+100	44+100	40.440	15.89	2.00	31.78
	중예1배수장	JY1	우	5.01	38+400	41+300	40.170	2.50	2.00	5.00
	중예2배수장	JY2	우	15.00	41+300	45	43.070	17.34	2.00	34.68
	황금배수장	HG	좌	6.99	44+100	46+100	44.340	2.64	2.00	5.28
	하포천	HP	우	-	45	48	45.150	11.49	2.00	22.98
	용리1배수장	YR1	좌	2.00	46+100	48+400	46.440	4.00	2.00	8.00
	하포배수장	HPP	우	8.50	48	51	48.060	7.28	2.00	14.56
	용리2배수장	YR2	좌	4.00	48+400	52	48.350	4.40	2.00	8.80
	성리1배수장	SL1	우	4.71	51	54	51.060	4.40	2.00	8.80
	용동1배수장	YD1	좌	1.50	52	53	52.190	3.75	2.00	7.50
	용동2배수장	YD2	좌	13.80	53	63	53.160	16.01	2.00	32.02
	성리2배수장	SL2	우	1.50	54	57	54.200	1.69	2.00	3.38
	삽교잔류6	SK6′	우		57	59	59.090	17.06	2.00	34.12
	신가배수장	SG	우	3.36	59	62	59.320	5.13	2.00	10.26
	삽교잔류7	SK7′	우	-	62	64	61.300	13.63	2.00	27.26
곡교천	곡교잔류1	GK1′	좌	-	0	14	6.350	27.91	2.00	55.82
	곡교잔류2	GK2′	우	-	0	12+200	2.300	23.79	2.00	47.58
	산양배수장	SY	우	4.20	12+200	15	14.200	1.63	2.00	3.26
	가덕배수장	KD	좌	14.60	14	16+100	14.080	13.25	2.00	26.50
	곡교잔류3	GK3′	우	-	15	19+100	19.120	17.55	2.00	35.10
	와천	WA	우	-	19+100	22	22.060	10.53	2.00	21.06
	신창배수장	SC	좌	6.00	19+400	25+100	22.170	12.24	2.00	24.48
	중방배수장	JB	우	6.00	22	25+200	25.200	8.36	2.00	16.72
	염성배수장	YS(GK)	우	4.00	25+200	29	26.070	11.32	2.00	22.64
	수장배수장	SJ(GK)	좌	3.00	25+100	30	25.320	5.77	2.00	11.54

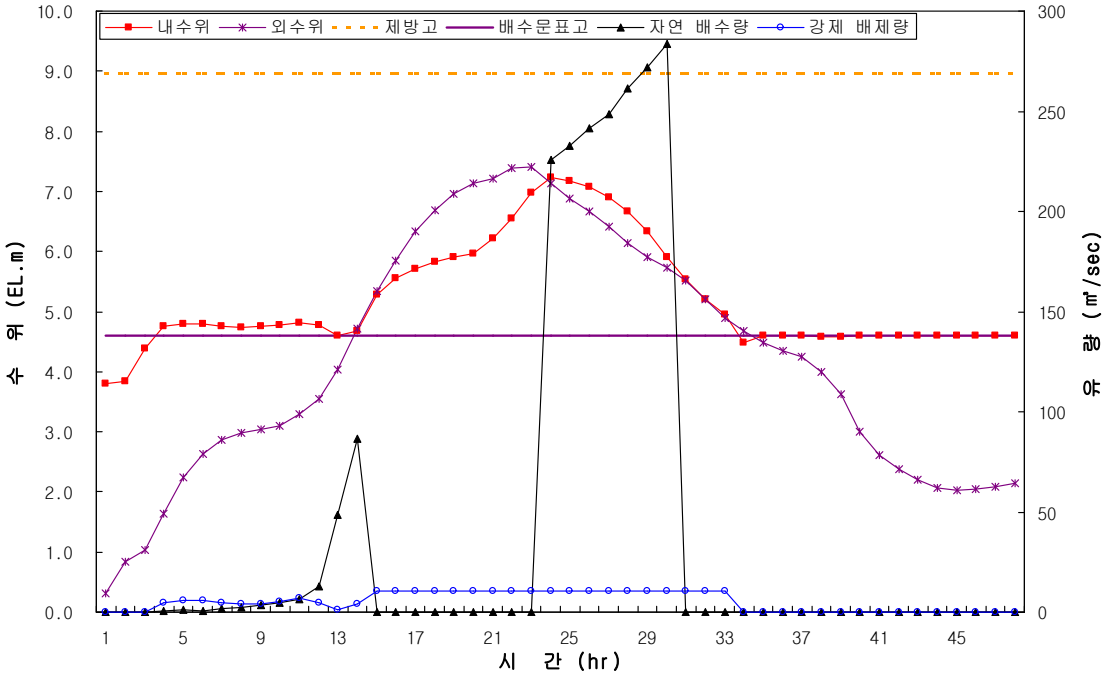
<표 10.19> 모형에 저류지로 구성된 저지대의 현황(계속)

하천명	산정지점명		좌우안 구 분	강 제 배수량 (CMS)	위 치		배수문 월류제 위 치	배수시설 제원		
	명 칭	부 호			시점	종점		B	H	A
곡교천	음봉천	UB	좌	-	-	-	-	-	-	-
	오목천	OM	우	-	-	-	-	-	-	-
	곡교잔류4	GK4′	좌	-	30	39	31.200	30.89	2.00	61.78
	곡교잔류5	GK5′	우	-	29	39	28.100	28.77	2.00	57.54
무한천	신덕배수장	SD	우	13.60	0	24	4.050	22.71	2.00	45.42
	신종배수장	SJ	좌	10.70	0	19	1.050	7.87	2.00	15.74
	봉농배수장	BN	우	14.20	24	36	31.050	14.25	2.00	28.50
	계촌배수장	KC	좌	8.30	19	53	33.050	9.27	2.00	18.54
	궁평	KP	우	-	36	53	42.050	37.64	2.00	75.28
	종경배수장	JK	좌	17.00	59	71	61.050	17.93	2.00	35.86
	창소배수장	CS	우	13.00	59	69	61.035	16.50	2.00	33.00
	탄중배수장	TJ	좌	3.20	71	103	75.050	9.91	2.00	19.82
	무한	MH	우	-	69	78	76.050	4.17	2.00	8.34
	발연배수장	BY	우	4.70	78	91	84.050	7.92	2.00	15.84
	발연	BY1	우	-	91	102	96.050	4.28	2.00	8.56
	원평배수장	WP	좌	7.80	103	137	103.050	18.11	2.00	36.22
	산성배수장	SS(MH)	우	4.00	102	111	104.050	6.53	2.00	13.06
	손지	SG(MH)	우	-	126	165	126.050	23.80	2.00	47.60
	입침	IC	좌	-	137	165	142.050	3.87	2.00	7.74
남원천	남원1	NW1	좌	-	0	66	3.050	26.30	2.00	52.60
	남원2	NW2	우	-	0	82	7.050	30.78	2.00	61.56
	남원3	NW3	좌	-	66	82	70.050	2.75	2.00	5.50
도고천	도고천	DG	우	-	0	15	8.060	30.70	2.00	61.40

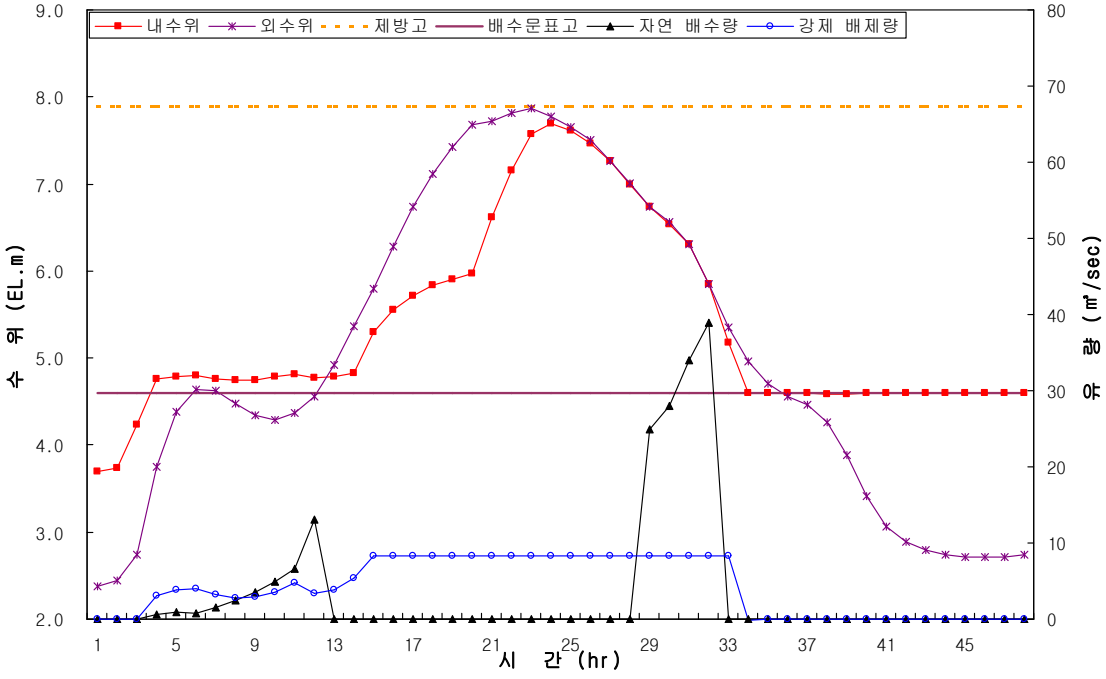
이상의 방법에 의해 저지대를 모형화 하여 분석한 저류지의 유출특성을 예시하면 다음과 같다. <그림 10.18>과 <그림 10.19>는 금회 산정한 장래 목표연도의 100년 빈도 홍수발생시 무한천 하류 좌안에 위치한 저지대의 유출특성 모의 결과로서, 대상지역은 삽교천 합류부 직상류 좌안에 위치한 신종 배수펌프장과 계촌 배수펌프장 유역이다.

그림에서 외수위가 내수위보다 작을 경우에는 자연배수가 발생하며, 내수위에 따라 강제배제도 이루어지고 있으나, 외수위가 상승하여 내수위보다 높아지면 자연배수는 중단되고 강제배제만 이루어지는 것을 볼 수 있다. 또한 외수위가 하강하여 내수위보다 낮아지면 다시 자연배수가 발생하며, 내수위가 어느 정도 이상이 되면 일정한 값을 보이는

강제배제량에 비해 자연배수량은 내수위 및 수위차에 의해 변화하는 성향을 보이고 있는 등 본 모형의 모의 결과가 실제 하천연안 저지대에서 발생하는 유출특성을 잘 재현하고 있음을 알 수 있다.

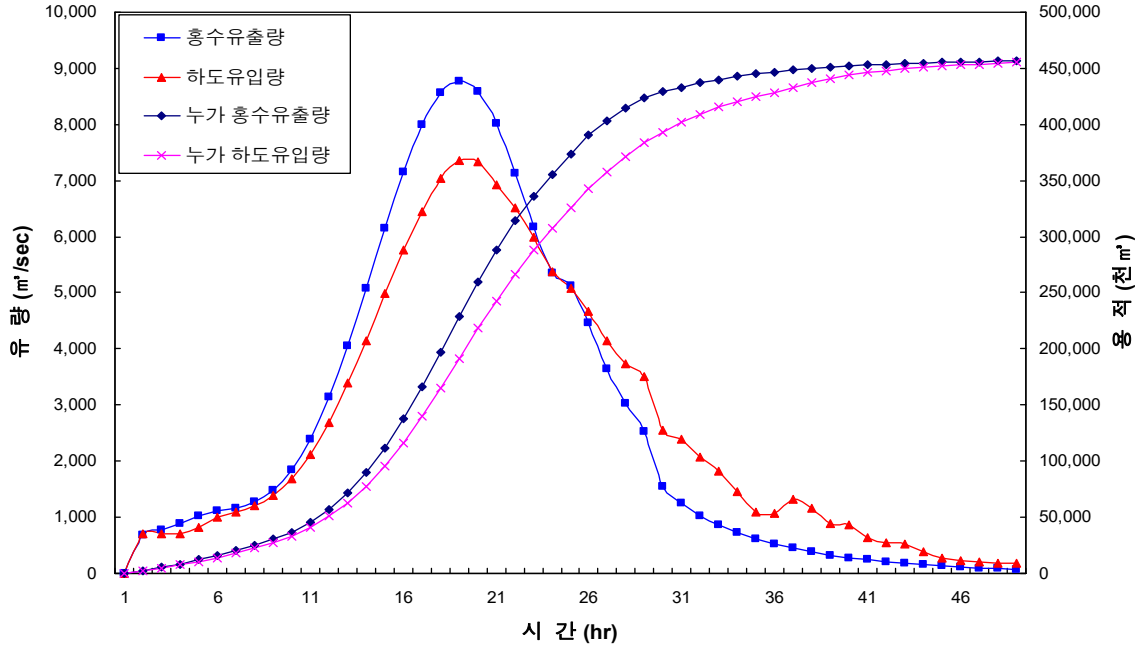


<그림 10.18> 신종 배수펌프장유역 홍수위에 따른 유출특성 비교

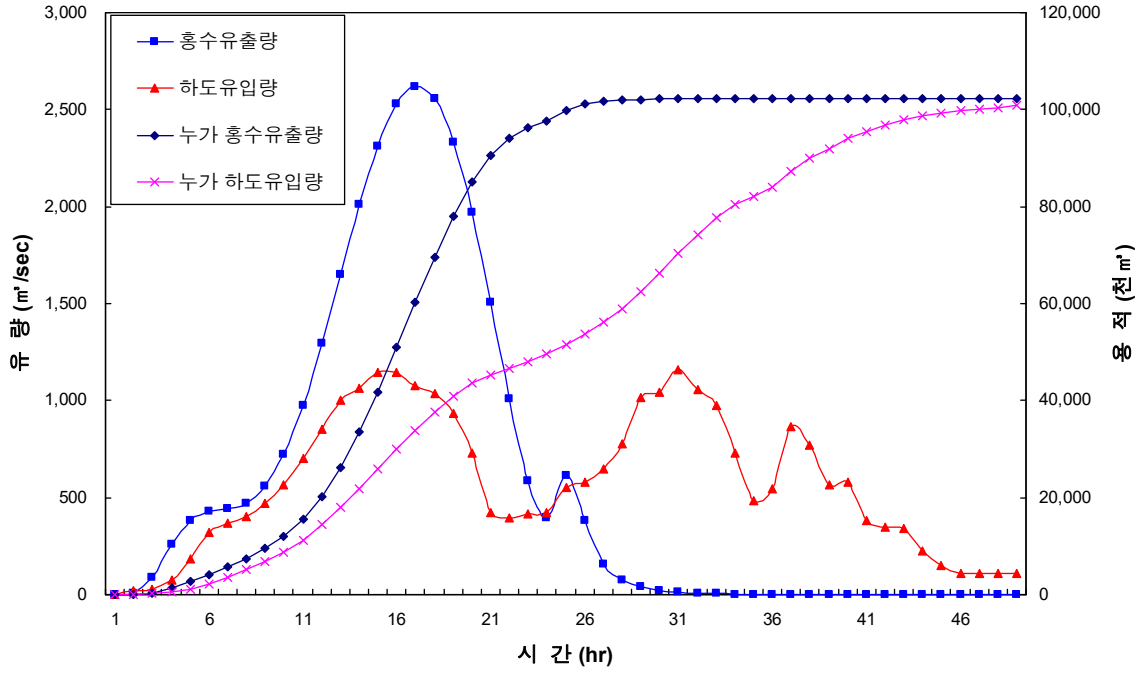


<그림 10.19> 계촌 배수펌프장유역 홍수위에 따른 유출특성 비교

이러한 저류와 유출지체의 결과로서 삽교천 유역에서 하도로 유입하는 홍수의 유출특성을 저지대의 저류 및 유출지체를 고려하지 않은 경우와 비교하면 <그림 10.20> 및 <그림 10.21>과 같다. <그림 10.20>은 100년 빈도 홍수시 유역에서 발생하는 홍수유출량과 저지대의 저류 및 유출지체를 고려하여 모의대상 하도구간으로 유입하는 홍수량 및 그 누가값을 비교한 것이다. 그림에서 유역의 홍수유출량에 비해 저지대 저류와 유출지체를 고려한 하도유입량은 그 증가가 완만하고 첨두유입량이 작은 반면, 유역에서 발생한 홍수가 하도로 유입하는 시간이 증가하는 등의 특징을 보이고 있다.



<그림 10.20> 유역의 홍수유출량과 하도유입량 비교 (삽교천 전 유역)

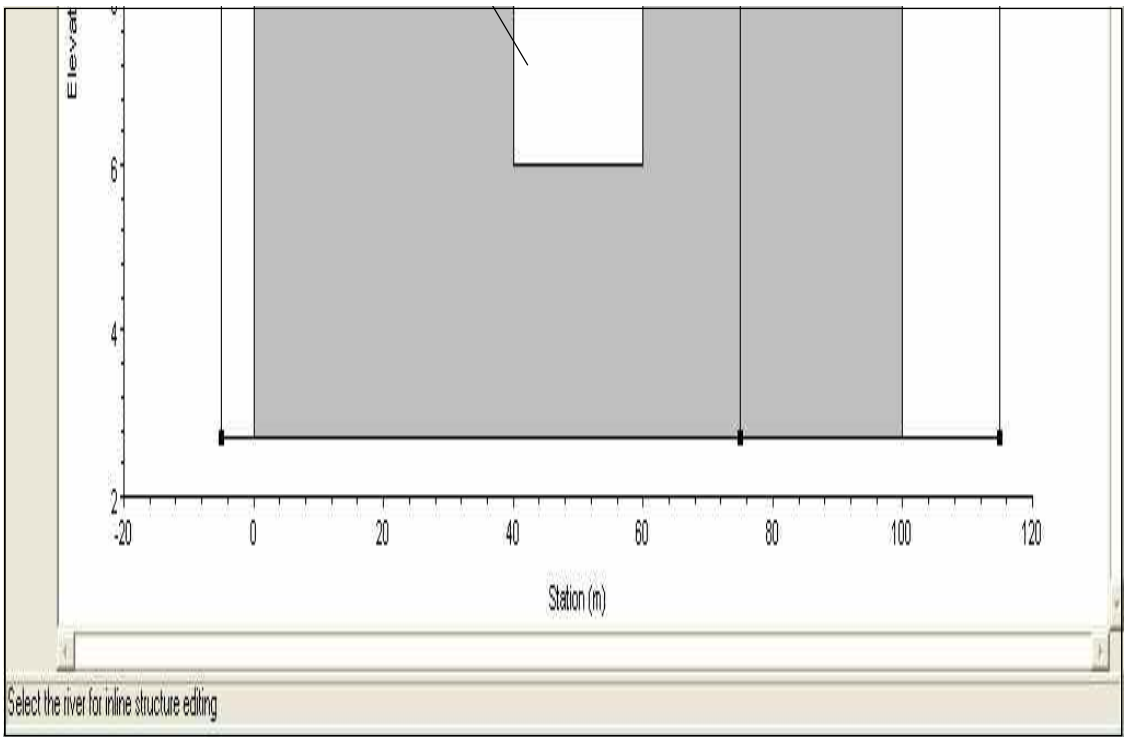


<그림 10.21> 유역의 홍수유출량과 하도유입량 비교 (국가하천 구간)

이러한 성향은 <그림 10.21>과 같이 삽교천을 포함한 주요 하천의 국가하천 시점부로 유입하는 상류단 경계조건을 제외하여 국가하천 구간의 홍수유출량과 하도유입량만 비교하면 더욱 명확히 드러난다. 특히 삽교천 전 유역을 대상으로 홍수유출량과 하도유입량을 비교한 <그림 10.20>의 결과와 달리 홍수유출량과 하도유입량의 첨두유량 발생시간이 다른 특징을 보이고 있다. 이러한 결과는 상류에서 유하한 유량으로 인해 하도의 수위가 상승함에 따라 중하류부 저지대에서 발생한 홍수가 하도로 유입하지 못하고 저지대에 저류 되었다가 수위가 하강한 후에 하도로 유입하는 하류부 저지대의 특징을 잘 보여주고 있다. 따라서 이렇게 지체되어 유출되는 홍수량이 내수침수를 유발하는 홍수량이라고 볼 수 있다.

(2) 측방구조물 설치

저류지와 하도를 자연배수시설에 의해 연결할 수 있는 것은 RAS의 측방구조물(Lateral Structure) 설치 기능을 사용하였기 때문이다. 측방구조물은 하도의 측방에 하도와 평형하게 설치되는 시설로서, 이 구조물 내에 Weir, Gate, Culvert 등을 설치하여 저류지(제내지)에서 발생한 홍수량이 하도로 유입하는 과정을 모의할 수 있다.



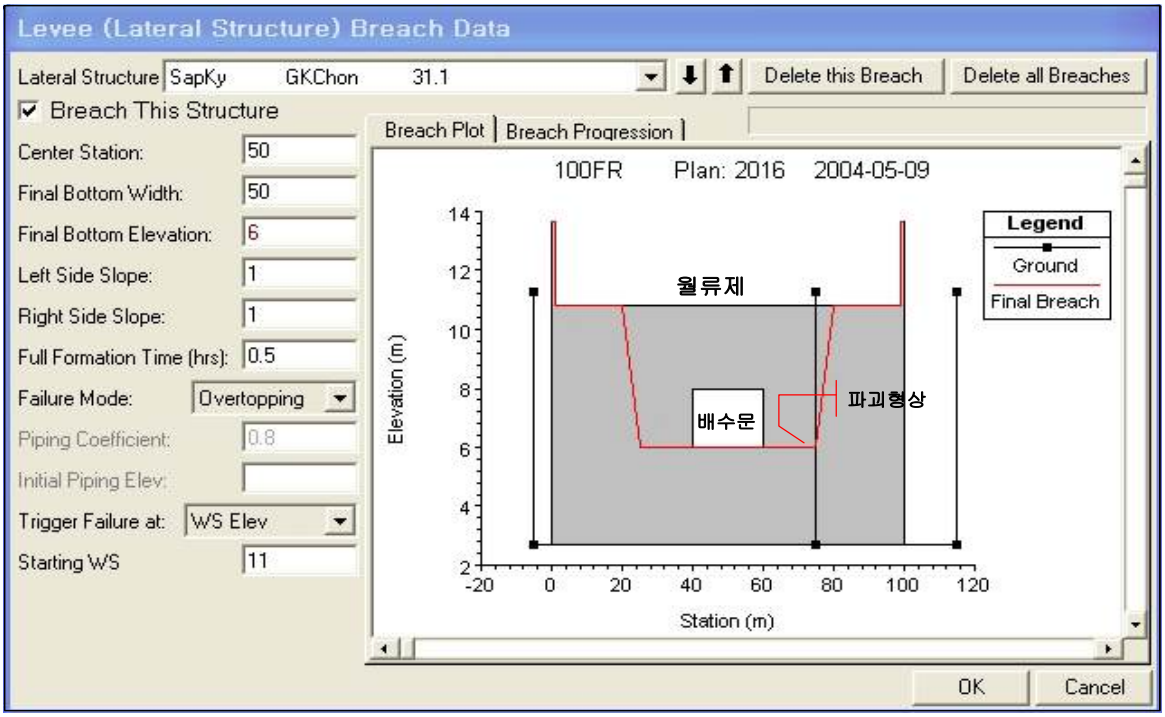
<그림 10.22> 측방구조물에 의한 배수시설 모형화

본 모형에서는 저류지와 하도 연결부에 가상의 측방구조물을 설치한 후 여기에 Culvert를 설치하여 제내지에서 하도로 연결되는 자연배수시설의 기능을 모의하였다. 이

때 Culvert에는 문비(Flap Gate)를 설치하여 외수위가 내수위 보다 낮을 때에만 방류하고 외수가 높을 때에는 폐쇄하여 외수역류가 발생하지 않도록 실제 운영조건과 유사한 모의조건을 구축하였다.

(3) 외수범람의 모의

삽교천 유역 중하류부의 지형특성상 소규모의 홍수시에도 내수침수가 발생하며, 전술한 바와 같이 저지대를 저류지로 모형화 하여 내수침수를 모의 할 수 있게 되었다. 그러나 홍수의 규모가 증가하여 하도의 홍수위가 제방고를 초과하면 외수월류가 발생하고, 결국에는 제방파괴로 이어져서 내수침수와 더불어 외수범람에 의해 피해가 발생하게 될 것이다. 이러한 대규모 홍수시 발생하는 저지대의 침수피해를 예측하기 위해 측방구조물 상단부에 Weir를 설치하여 하도의 홍수위가 제방고 보다 높을 경우 발생하는 외수월류를 모의할 수 있도록 하였다. 아울러 제방파괴(Levee Breach) 기능을 추가하여 외수범람에 의한 제방붕괴 영향을 분석 또는 예측할 수 있도록 모형을 구축 하였다.

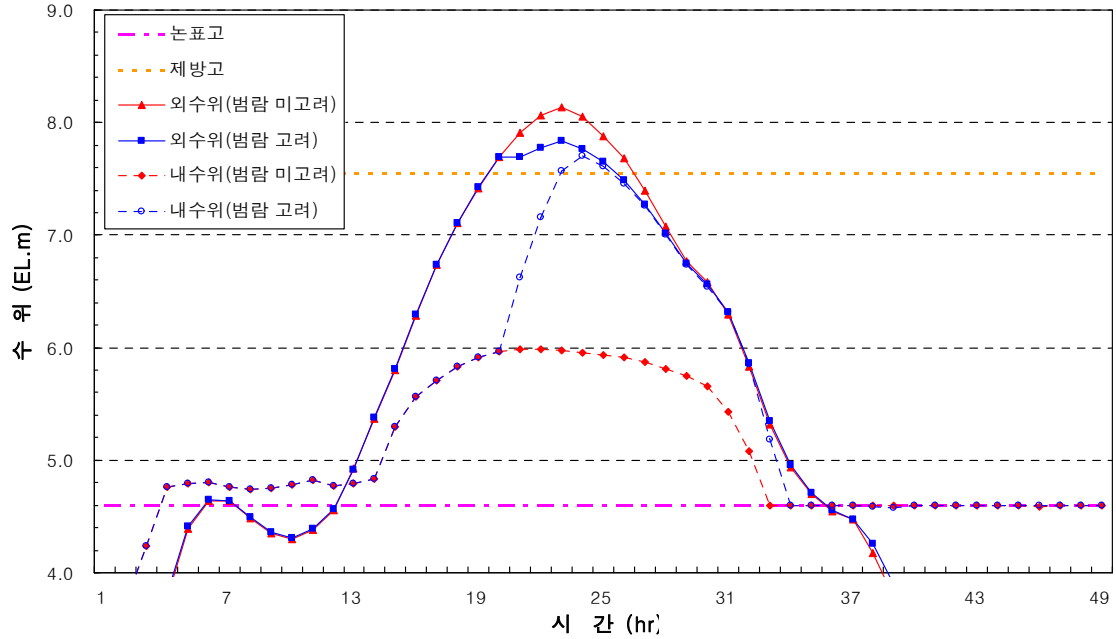


<그림 10.23> 외수월류 및 제방파괴에 모의를 위한 자료의 입력 예

본 모형에서는 이와 같이 모의대상 구간의 제방고와 홍수위를 비교하여 제방고가 낮은 구간에 측방구조물과 Weir를 설치함으로써 외수월류를 모의 하고, 홍수위가 제방고를 20cm이상 초과하면 제방파괴가 발생하는 것으로 가정하여 제방붕괴에 의해 홍수가 하도에서 저류지로 유입하고, 수위가 저하하면 다시 하도로 유출되는 특성을 분석하였다.

제방파괴에 따른 외수범람을 분석하는데 있어 침수양상은 제방파괴 규모나 진행시간에 영향을 받는데 제방파괴 형상이나 규모에 관해서는 제방의 구성재료나 하폭 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있고, 몇 가지 경험식이 존재하지만 다양한 하폭과 제체 구성재료의 특성을 반영하여 검토대상 구간에 적절하게 적용할 마땅한 기준은 아직까지 제시되고 있지 않다. 따라서 본 과업에서는 기존 제방파괴 현장에 대한 조사결과를 바탕으로 파괴부의 바닥폭을 50m로 하고 최저표고는 제내측 표고와 동일하게 설정하였으며, 1시간에 걸쳐 파괴가 진행되는 것으로 가정하였다.

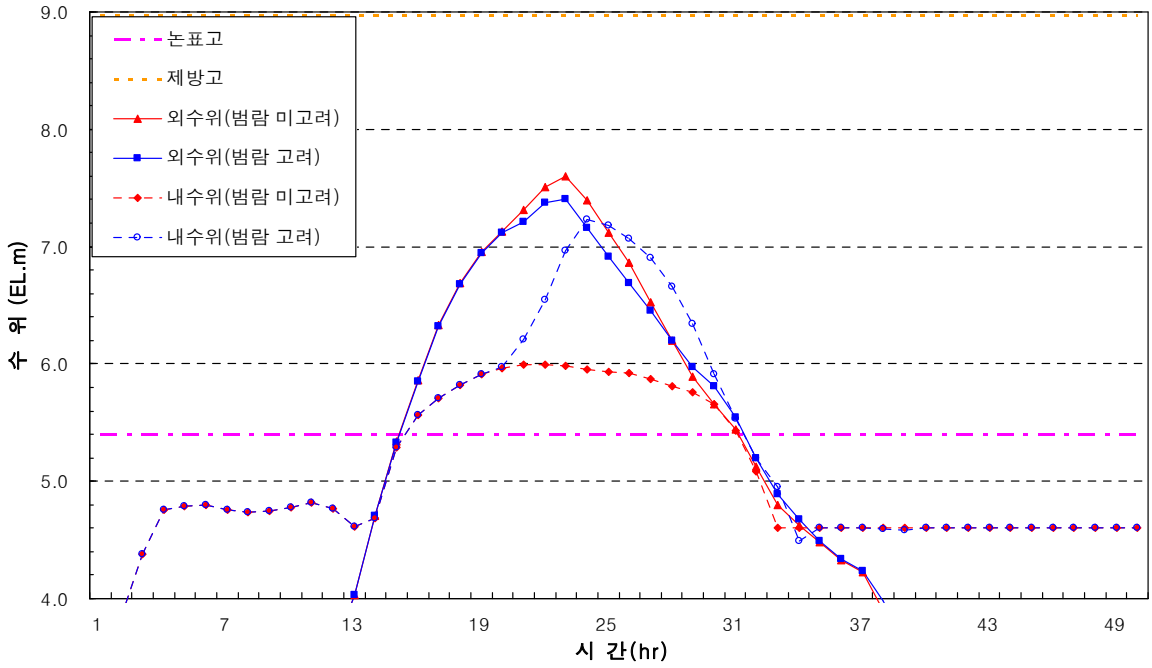
이와 같은 기능을 사용하여 앞서 유출특성을 예시한 무한천 하류부 신종배수펌프장 유역과 계촌배수펌프장 유역에 대해 외수범람이 발생할 경우의 외수위와 내수위 변화를 외수범람을 고려하지 않은 경우와 비교하여 <그림 10.24>와 <그림 10.25>에 도시하였다.



<그림 10.24> 외수범람에 따른 내·외수위 변화 비교 (계촌배수펌프장 유역)

<그림 10.24>는 금회 산정한 100년 빈도 홍수발생시 계촌배수펌프장 유역[1] 지점의 외수위와 내수위를 제방파괴를 반영할 경우와 반영하지 않을 경우에 대해 모의한 결과이다. 그림에서 제방파괴가 발생하지 않았을 경우에 비해 제방파괴가 발생하면 외수위는 낮아지지만 외수위가 제방고를 초과하는 시점부터 내수위가 급격히 상승하며, 제방파괴에 의해 외수위와 같아지게 되고 이어서 외수위가 최저답고 까지 하강하는 동안 동일하게 거동하는 양상을 보이고 있다.

1) 2003년부터 대전지방국토관리청에서 기성제 보강 공사를 시행하고 있음.



<그림 10.25> 외수범람에 따른 내·외수위 변화 비교 (신종배수펌프장 유역)

이에 비해 계촌배수펌프장 유역 직하류에 위치한 신종배수펌프장 유역은 외수가 범람하지 않지만 상류의 계촌배수펌프장 유역으로 외수가 범람함에 따라 하도의 수위가 하강하며, 내수위는 계촌배수펌프장 유역에서 지표면을 따라 유하한 홍수(내수+외수)에 의해 급격히 상승하여 그 첨두값이 계촌배수펌프장 유역의 첨두값과 거의 같은 것을 보여주고 있다. 특히 수위하강부에서 외수위와 내수위가 일치된 거동을 보이는 계촌배수펌프장 유역과 달리 신종배수펌프장 유역의 내수위는 외수위보다 늦게 하강하고 있는데, 이는 신종배수펌프장 유역의 제방이 존치됨에 따라 내수배제를 배수펌프장과 자연배수시설에 의존하기 때문이며 계촌배수펌프장 유역은 제방이 붕괴된 구간을 통해 외수와 내수가 교류함으로써 제방이 붕괴되지 않은 신종배수펌프장 유역에 비해 침수시간이 오히려 단축되는 결과를 보이고 있다.

라. 경계조건의 설정

(1) 서해안 조위

본 모형의 하류단 경계조건인 삽교호 지점의 조위를 산정하기 위해 인천지방해양수산청에서 '97년에 삽교호 방조제 지점에서 1년간 관측한 자료를 이용하여 조화분석을 실시하였으며, 조화분석을 통해 산정된 조화상수를 이용하여 조위를 모의하였다.

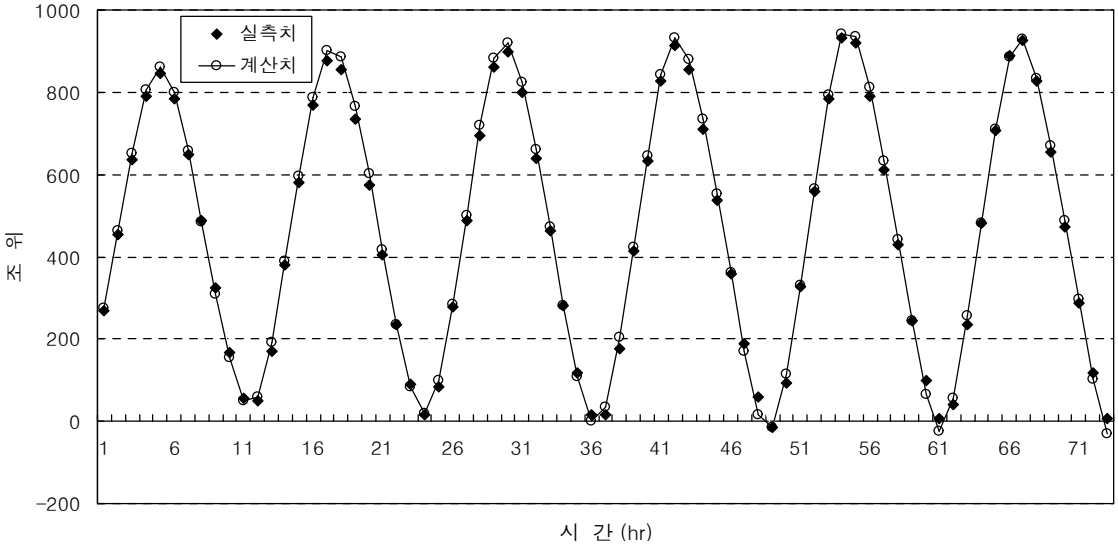
이 과정에서 조위 모의발생 프로그램인 'TidePre'를 이용하였으며, 이때 사용된 삽교호

방조제 지점의 조화상수는 <표 10.20>과 같다. 금회분석에서 적용한 조화상수를 인천항의 평균해면 높이를 기준으로 환산할 경우 삽교호 방조제 지점의 평균해면은 EL. 0.103m에 해당한다.

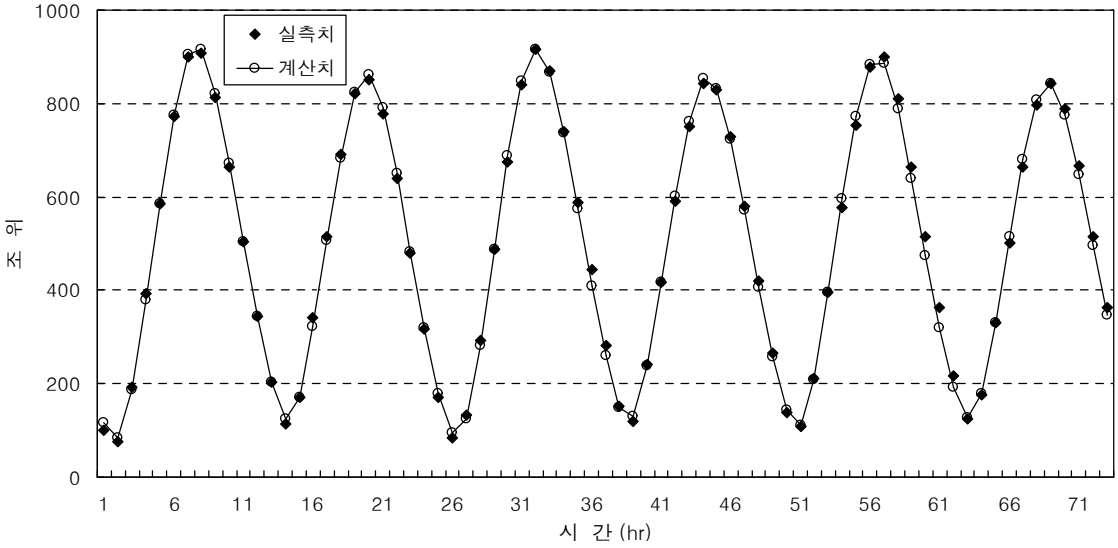
<표 10.20> 삽교방조제 지점의 조화상수

항 목	번 호	조차	위상차	항 목	번 호	조차	위상차
SA	1	19.1952	130.3639	LAMBDA2	33	7.7454	65.446
SSA	2	4.541	262.714	L2	34	16.0804	41.0401
MM	3	1.4381	106.056	T2	35	5.8008	109.1172
MSF	4	0.6118	214.4047	S2	36	117.4482	106.6506
MF	5	2.1286	356.6381	R2	37	0.474	156.2189
2Q1	6	1.1711	358.5743	K2	38	31.4703	103.748
SIGMA1	7	0.6125	22.5734	MSN2	39	3.7389	271.8577
Q1	8	5.7031	356.3194	KJ2	40	0.7238	8.2434
RO1	9	1.6761	17.6714	2SM2	41	5.824	316.9465
O1	10	27.855	32.8518	MO3	42	3.284	207.7301
MP1	11	1.0675	159.095	M3	43	2.0271	229.0054
M1	12	1.6395	60.8907	SO3	44	1.9405	340.4771
CHI1	13	0.3471	195.7931	MK3	45	3.107	347.4679
PI1	14	0.709	177.2057	SK3	46	0.0263	89.4106
P1	15	11.1429	73.1779	MN4	47	3.4763	305.2864
S1	16	1.1042	43.5317	M4	48	10.6755	326.6627
K1	17	39.1462	80.0815	SN4	49	1.9694	45.8271
PSI1	18	1.3014	231.8176	MS4	50	10.4386	42.3499
FI1	19	0.4974	265.6961	MK4	51	2.5024	54.3181
THETA1	20	0.4402	100.1926	S4	52	2.627	131.3545
J1	21	1.8285	138.4563	SK4	53	1.6297	142.1456
SO1	22	2.3821	261.7261	2MN6	54	2.3862	86.7974
OO1	23	1.8415	186.4206	M6	55	5.0532	117.7703
OQ2	24	2.617	246.8165	MSN6	56	1.4183	186.7271
MNS2	25	4.7305	49.2902	2MS6	57	6.3902	192.9902
2N2	26	7.9371	8.6235	2MK6	58	2.2119	213.0633
MU2	27	16.5005	77.0322	2SM6	59	1.4951	279.4747
N2	28	52.1386	13.066	MSK6	60	0.4102	291.1183
NU2	29	11.5788	358.9253	M8	61	0.8794	61.7511
OP2	30	4.9601	306.9297	2MSN8	62	0.6276	97.2841
M2	31	297.6008	36.1553	3MS8	63	1.7664	113.8322
MKS2	32	3.3077	150.9375	2(MS)8	64	1.0401	204.9114

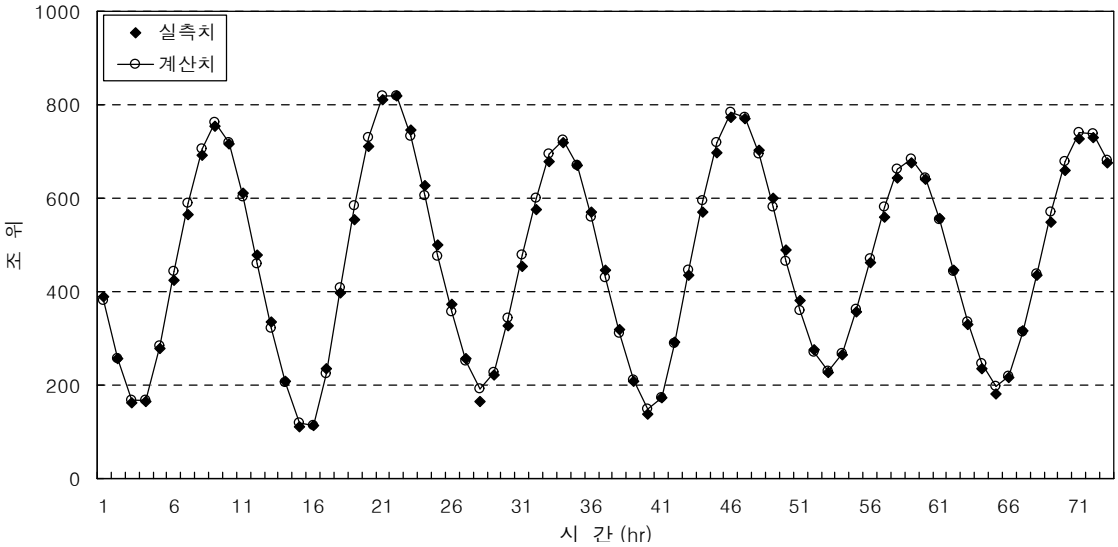
조위 모의발생 프로그램인 'TidePre'의 적용성을 검토하기 위하여 <표 10.20>의 64개 조화상수 및 평균해면 자료를 이용하여 모의 발생한 조위와 동일기간의 관측치를 계절별로 나누어 1997년 4월 5~7일, 8월 5~7일, 11월 5~7일 등 3개 기간의 자료를 비교하였다. 그 결과 <그림 10.26>에서 보는바와 같이 전체적으로 일치하는 결과를 보이고 있어 금회 산정한 조화상수를 이용하여 조위를 모의하는 것은 타당하다고 판단된다.



1997년 4월 5일 ~ 7일의 조위 비교



1997년 8월 5일 ~ 7일의 조위 비교



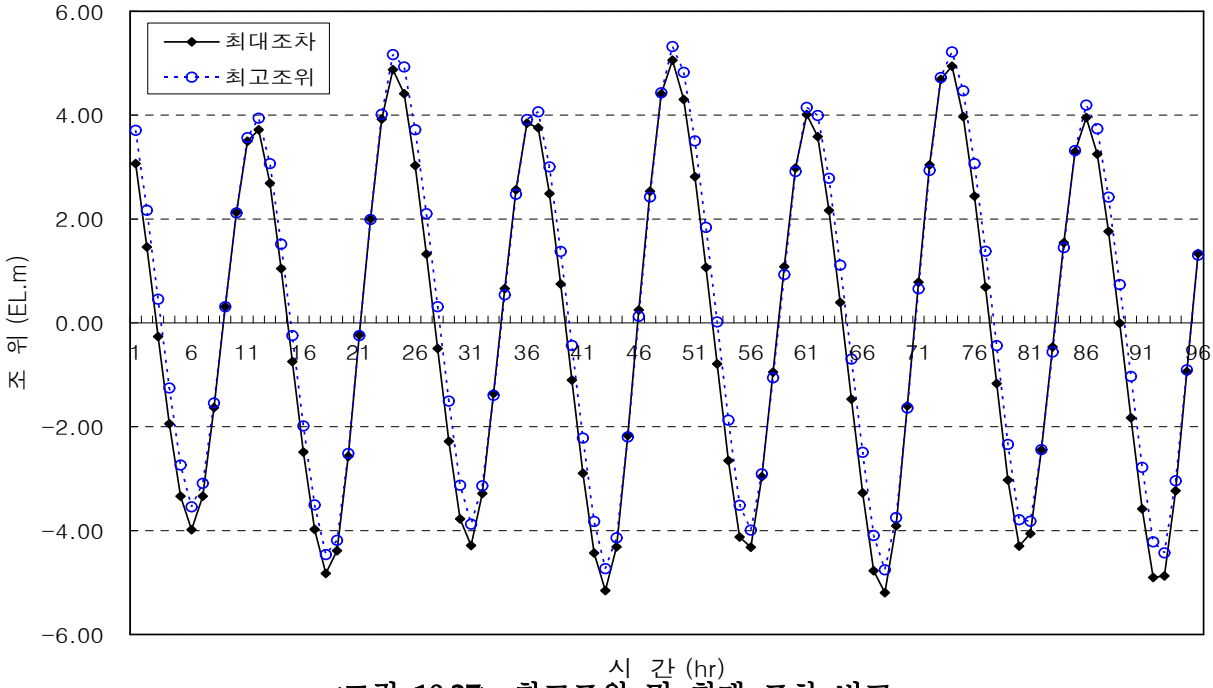
1997년 11월 5일 ~ 7일의 조위 비교

<그림 10.26> 실측조위와 계산조위 비교

상기 프로그램에 의해 모의 발생된 삽교호 방조제 지점의 2003년 조위자료 중 최대조차가 발생한 시기와 최대조위가 발생한 시기를 중심으로 96시간의 조위를 선택하여 비교한 결과, 최대조위가 발생한 기간의 조위를 적용할 경우 삽교호의 내수위가 더 높게 산정되는 결과를 보이고 있어 본 모형의 하류단 경계조건으로 최대조위가 발생한 기간의 조위를 채택하였다.

<표 10.21> 삽교천 수계 국가하천 구간 하도추적 모형의 하류단 경계조건(설계조위)

시 간	최 대 조 차	최 대 조 위	시 간	최 대 조 차	최 대 조 위	시 간	최 대 조 차	최 대 조 위	시 간	최 대 조 차	최 대 조 위
1	3.07	3.71	25	4.41	4.93	49	5.06	5.32	73	4.69	4.72
2	1.46	2.17	26	3.03	3.72	50	4.30	4.82	74	4.94	5.22
3	-0.26	0.45	27	1.32	2.10	51	2.81	3.51	75	3.97	4.47
4	-1.94	-1.25	28	-0.49	0.31	52	1.07	1.84	76	2.44	3.07
5	-3.34	-2.74	29	-2.28	-1.50	53	-0.79	0.02	77	0.69	1.38
6	-3.98	-3.54	30	-3.77	-3.12	54	-2.65	-1.87	78	-1.17	-0.44
7	-3.34	-3.09	31	-4.29	-3.87	55	-4.12	-3.51	79	-3.03	-2.34
8	-1.63	-1.54	32	-3.29	-3.14	56	-4.32	-3.99	80	-4.30	-3.79
9	0.31	0.31	33	-1.36	-1.40	57	-2.96	-2.91	81	-4.06	-3.82
10	2.13	2.12	34	0.66	0.54	58	-0.95	-1.06	82	-2.45	-2.44
11	3.50	3.57	35	2.56	2.48	59	1.08	0.93	83	-0.46	-0.56
12	3.72	3.94	36	3.85	3.92	60	2.98	2.91	84	1.54	1.45
13	2.69	3.07	37	3.76	4.06	61	4.01	4.15	85	3.30	3.32
14	1.05	1.52	38	2.49	3.00	62	3.58	3.99	86	3.95	4.19
15	-0.75	-0.24	39	0.75	1.38	63	2.17	2.79	87	3.25	3.74
16	-2.49	-1.98	40	-1.10	-0.43	64	0.39	1.11	88	1.76	2.42
17	-3.98	-3.50	41	-2.90	-2.22	65	-1.47	-0.70	89	-0.01	0.74
18	-4.82	-4.46	42	-4.43	-3.82	66	-3.27	-2.49	90	-1.83	-1.03
19	-4.39	-4.19	43	-5.15	-4.73	67	-4.77	-4.09	91	-3.58	-2.78
20	-2.57	-2.51	44	-4.31	-4.14	68	-5.19	-4.75	92	-4.90	-4.22
21	-0.23	-0.25	45	-2.17	-2.20	69	-3.91	-3.75	93	-4.87	-4.43
22	2.00	1.99	46	0.25	0.13	70	-1.60	-1.64	94	-3.23	-3.04
23	3.92	4.02	47	2.53	2.43	71	0.78	0.66	95	-0.94	-0.91
24	4.88	5.16	48	4.41	4.43	72	3.04	2.94	96	1.34	1.31



<그림 10.27> 최고조위 및 최대 조차 비교

삽교호 방조제 지점의 조위는 삽교천 하류부 수위에 직접적인 영향을 미치므로 금회 산정한 설계조위와 과거 삽교천의 홍수위 계산을 위해 사용한 설계조위를 비교해볼 필요가 있다. 기존의 삽교호 방조제 지점의 설계조위 산정을 위한 조위관측 기록은 <표 10.22>에서 보는바와 같이 1970년 및 1976년에 삽교호 방조제 설계를 위해 농어촌 진흥공사에서 관측한 결과 및 최근 1995년에서 1997년까지 인천지방해양수산청에서 관측한 자료가 있다. 이중 1995년부터 3년간 인천지방해양수산청에서 관측한 조위자료 외에는 모두 삽교호 방조제 건설전의 자료로서 삽교호 건설후의 조위변화 상황을 제대로 반영하지 못하는 것으로 판단되며, 금회 설계조위 산정에 있어서도 '95년~'97년의 기간 동안 관측한 조위자료 중 가장 최근인 '97년의 관측자료를 사용하여 분석하였다.

<표 10.22> 삽교호 조위관측 현황

관측 기간		관측 기관	관련 사업	비 고
기 간	일 수			
1970. 11. 18 ~ 1970. 12. 28	40	농어촌 진흥공사	-	삽교방조제 건설전 자료
1976	-	농어촌 진흥공사	삽교호 설계	-
1995. 4. 1 ~ 1997. 12. 31	1,005	인천지방 해양수산청	아산항 수리현상보고서, 1997	평택항, 만호리, 삽교호 실시간조위 관측

또한 기존 삽교천 관련 사업의 설계조위로는 <표 10.23>에서 보는바와 같이 '삽교천 하천정비 기본계획(보완)(1994, 건교부)'에서는 1976년 설계당시의 관측조위를 사용하였

으며, '삽교천수계 수해원인분석 및 항구대책조사(1981.12, 건교부)'에서는 '70년의 자료를, '아산·삽교호 침수원인 분석(2000, 농림부)'에서는 본 과업과 같이 가장 최근의 관측자료인 '97년 자료에 의해 산정한 결과를 채택하였다. 각각의 설계조위에서 최대값은 '삽교천수계 수해원인분석 및 항구대책조사'에서 사용한 설계조위의 고고조에 해당하는 EL. 5.46m이며, '삽교천 하천정비기본계획(보완)'의 설계조위 중 고고조값 EL. 4.8m은 가장 낮은 값에 해당한다. 또한 금회 과업과 동일기간의 자료를 사용하여 분석하였으나, 최대조차가 발생하는 기간의 조위를 채택한 '아산·삽교호 침수원인 분석'의 설계조위 중 고고조는 EL. 5.09m로 금회 채택한 설계조위의 EL. 5.32m보다 0.13m 낮은 값이다.

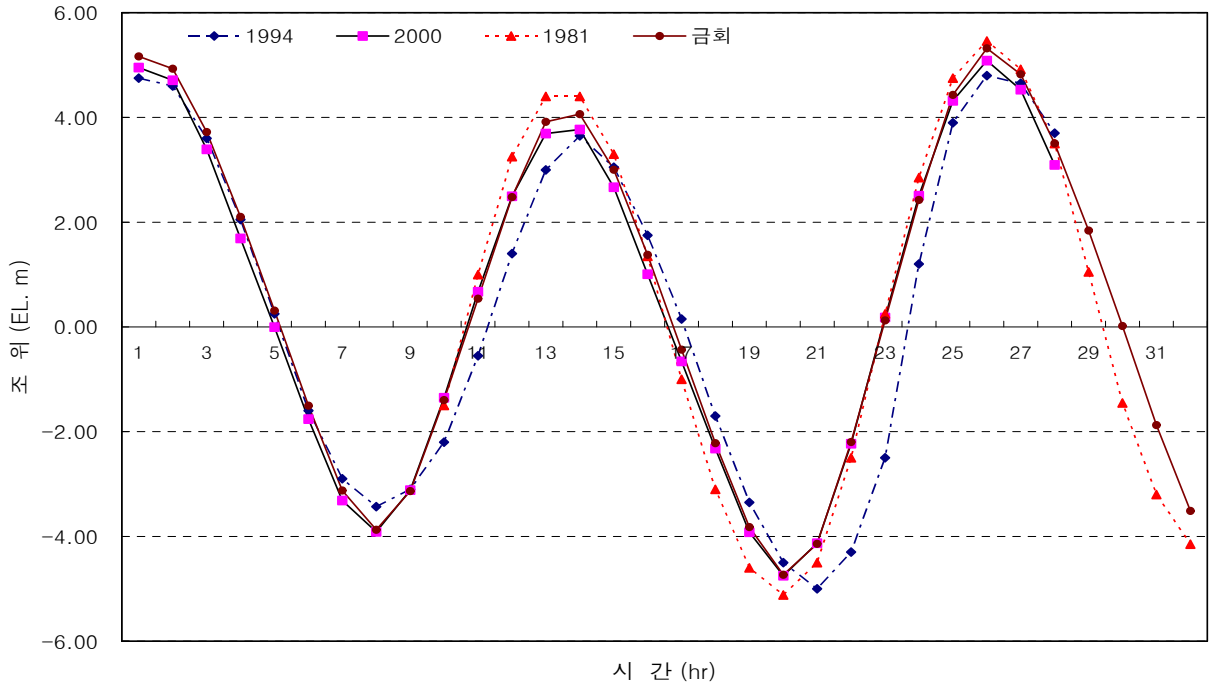
그러나 '삽교천수계 수해원인분석 및 항구대책조사'에서 사용한 자료는 관측기간이 40일에 불과하여 설계조위를 산정하는데 있어 신뢰성이 떨어지며, '삽교천 하천정비기본계획(보완)'에서 채택한 자료는 삽교호 방조제 건설 이전의 관측결과이므로 삽교호 건설에 따른 조위변화를 반영하지 못하는 한계가 있다. 또한 '아산·삽교호 침수원인 분석'에서는 최대조차를 기준으로 설계조위를 채택함으로써 결과적으로 삽교호 배수갑문을 통한 홍수의 방류에 있어 유리한 조건을 적용한 것이 되어 삽교호의 내수위를 저평가할 우려가 있는 것으로 판단된다.

삽교호 지점의 최고조위가 낮을 경우 배수갑문을 통한 홍수배제에 지장을 받는 시간이 짧아지므로 그만큼 상류에서 삽교호로 유입하는 홍수량을 방류할 수 있어 내수위가 낮아진다. 금회 분석에서 사용한 조위와 '94년 기본계획 당시 사용한 조위를 비교하면 최대 조위는 0.52m 차이가 나며 이 차이는 삽교호의 첨두수위에 평균 0.32m의 차이를 유발하는 것으로 분석되었다. 즉 동일한 하천 및 배수갑문 운영조건에서 동일한 홍수량이 삽교호로 유입하여도 '94년 기본계획당시의 조위를 적용하면 금회 산정한 조위를 사용할 경우에 비해 삽교호의 내수위를 0.32m 이상 과소평가하는 결과를 가져온다.

<표 10.23> 관련 사업의 설계조위 비교

보고서명	조석자료	최대 조위	비 고
삽교천수계 수해원인분석 및 항구대책조사(건교부, 1981)	1970년	5.46	- 삽교방조제 건설전
삽교천 하천정비 기본계획 (건교부, 1994)	1976	4.80	- 삽교호 설계당시 관측조위
삽교천 수해원인 조사(건교부, 1996)	1976	4.80	- 삽교호 설계당시 관측조위
아산·삽교호 침수원인 분석 (2000, 농림부)	1997	5.09	- 2000년 자료를 대상으로 검정 - 2000년 자료 중 최대조차가 발생한 자료 사용
금 회	1997	5.32 5.058	- 2000년 자료를 대상으로 검정 - 2003년 자료 중 최고조위 사용

※ 최근 평택신항 설계시 삽교호의 조위자료를 관측하였으나, 자료구입이 용이하지 않음
금회 분석자료 중 음영부분은 최대조차가 발생한 경우의 조위임



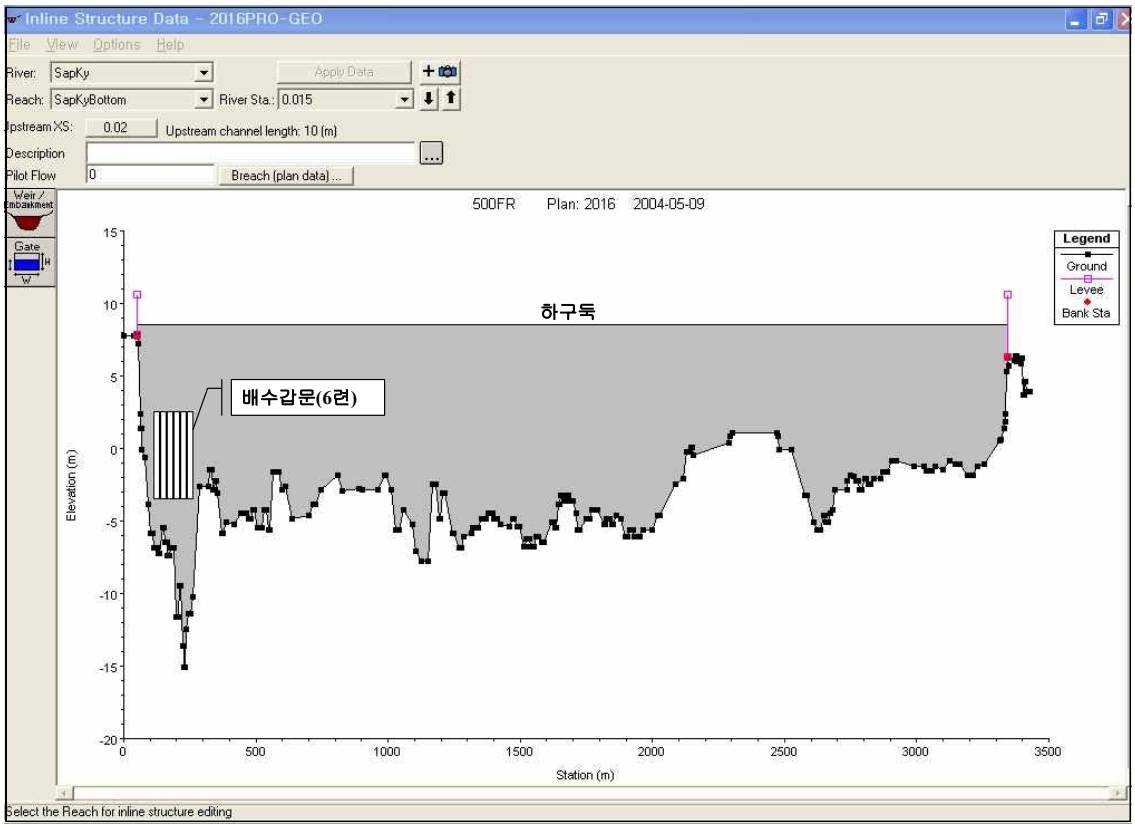
<그림 10.28> 기존 관련사업의 설계조위 비교

(2) 삽교호 배수갑문

본 모형의 가장 큰 특징 중 하나는 조위영향을 받는 하구의 배수갑문에 대한 수리특성을 하도와 연계하여 동시에 분석할 수 있다는 점이다.

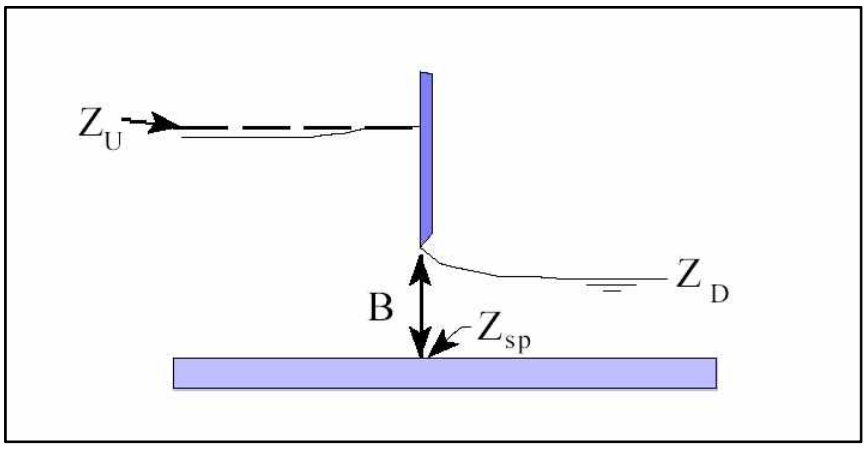
하구에 설치된 배수갑문의 수리현상은 대부분 급변류로서 배수갑문을 중심으로 상·하류의 흐름 특성이 상이하며, 배수갑문의 종류 및 상·하류의 수심에 따라서도 적용공식이 달라진다. 또한 배수갑문을 통한 방류량이 삽교호의 내수위를 결정하며 삽교호의 수위가 상류로 배수영향을 유발하여 결국 삽교호로 유입하는 홍수량에 영향을 준다. 따라서 삽교호 배수갑문을 포함한 삽교호의 수리특성과 삽교천 하류구간의 수리특성을 분리하여 모의할 수 없으며, 만약 분리하여 모의할 경우 그 신뢰성을 보장할 수 없다.

본 모형에서는 삽교호 배수갑문 지점에 RAS의 'Inline Structure' 기능을 사용하여 하구둑을 형성하고 여기에 실제 배수갑문과 동일한 형태의 'Sluice Gate'를 설치하여 삽교호의 수리특성을 모의하였다.



<그림 10.29> 배수갑문 입력 형태

Sluice Gate는 <그림 10.30>과 같이 수문이 상·하로 이동하면서 갑문을 개폐하는 형식의 문비로서 하류의 수위 즉, 잠수도에 따라 수문을 통한 흐름이 구분되며, 각각의 흐름에 대한 공식은 다음과 같다.



<그림 10.30> Sluice Gate 모형도

□ 완전월류 :

$$Q = CWB\sqrt{2gH}$$

여기서, H는 상류수심(Zu - Zsp)

C는 유출계수(0.5 ~ 0.7)

B는 개도고

W는 Gate Spillway의 폭(m)

□ **잠류 :**

$$Q = CWB\sqrt{2g3H}$$

여기서, H는 상·하류 수위차(Zu - Zd)

□ **불완전 월류 :**

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

여기서, A는 Gate 개도넓이

H는 Zu - Zd

C는 유출계수(일반적으로 0.8)

RAS에서 배수갑문의 운영은 시간에 따라 개수문을 개폐하는 T.S Gate(Time Series of Gate Opening) 방식, 내수위를 기준으로 조정하는 E.L Gate(Elevation Controlled Gate) 방식, 정해진 시간 및 조건에 따라 운영되는 주운용댐(Navigation Dam) 방식과 관측된 수위-유량 관계가 있는 경우 사용되어지는 수위-유량 관계식 방식 등으로 나누어진다.

삽교호 배수갑문은 삽교호의 내수위가 외수위보다 높을 경우 방류하는 형식으로 운영되고 있으므로 단순히 내수위에 의해 운영하는 E.L Gate 방식보다는 T.S Gate 방식을 채택하였다. 이때 주의할 점은 T.S Gate 방식으로 배수갑문 운영을 모의할 경우 내수위가 외수위 보다 높을 경우에만 Gate가 개방되어야 하므로, 여러번 계산을 반복하여 역류가 발생하지 않도록 개문시기를 조정하여야 한다.

10.2.3 모형의 검증

삽교천 유역 중하류부에 위치한 저지대의 침수해석을 위해 금회 개발한 홍수추적 모형의 매개변수를 검정하고 아울러 본 모형의 적용성을 평가하기 위해 하도조건이 현 상태와 가장 유사한 '99년과 2000년에 발생한 홍수사상을 재현하여 그 결과를 검토하였다.

검토대상 홍수사상은 '99년 8월 2일~4일과 2000월 8월 24일~27일간에 발생한 집중호우에 의해 발생한 것으로 이 기간 동안 삽교천 유역에는 최근 20년 동안의 재해연보 기록상으로 3위와 4위에 해당하는 피해가 발생하였으며, 이때 발생한 유역평균 강우량은 대략 5년에서 10년 빈도에 해당하는 규모로 평가되었다.

<표 10.24> 홍수추적모형 검증대상 홍수사상의 규모

구 분	침수면적 (ha)		유역평균 강우량 (mm)			비 고
	삽교천 유역	예산군	총강우량	24시간지속	48시간지속	
'99년 8/2~4	8,296	1,703	267	240.9	267	
2000년 8/24~27	1,329	1,175	338.3	165.6	206.1	

가. 경계조건의 설정

(1) 상류경계조건

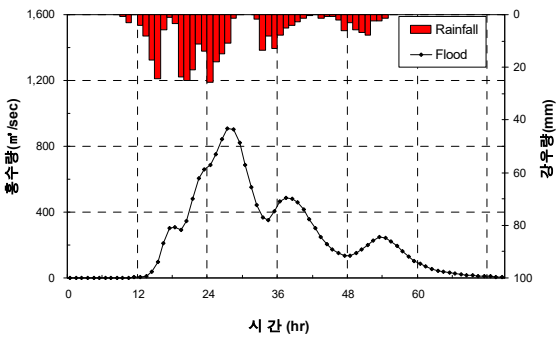
모형의 검증을 위한 상류단 경계조건으로는 이 기간 동안 기상청 및 건교부 관측소에서 관측된 강우량을 HEC-HMS 모형에 의해 유역추적과 하도추적을 병행하여 산정한 국가하천 시점부의 홍수량 수문곡선을 사용하였으며, 특히 무한천 구간의 상류단 경계조건으로는 이 기간 동안의 강우량에 의해 예당지 유입량을 산정한 후 예당지 배수문 운영기록을 토대로 방류량을 추정하여 사용하였다.

<표 10.25> 모형 검증을 위한 상류단 경계조건

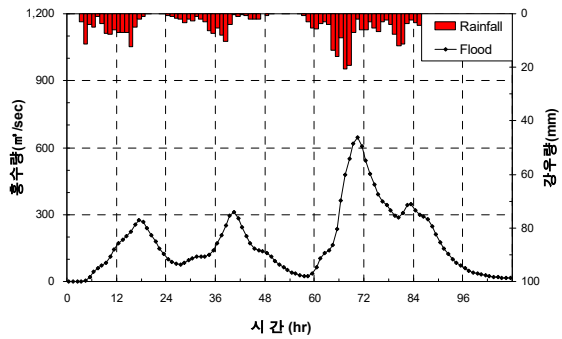
구 분	경 계 조 건	첨두홍수량 (㎥/sec)		비 고
		1999년	2000년	
삽교천	금회 산정한 수문곡선	907	645	국가하천 시점
곡교천	금회 산정한 수문곡선	904	631	국가하천 시점
무한천	금회 산정한 예당지 유입수문곡선과 실제 예당지 운영기록에 의해 추정한 예당지 방류량	1,338	1,478	

<표 10.26> '99년, 2000년 홍수기간 동안 예당지 운영기록

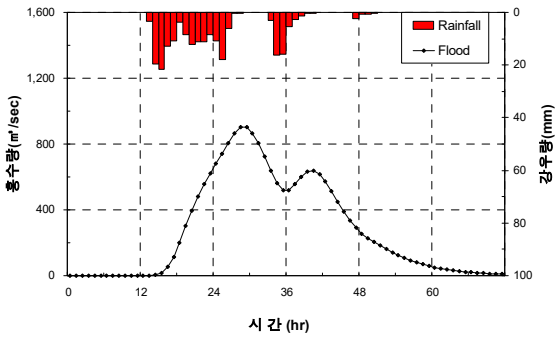
1999년 8월 2일 ~5일				2000년 8월 24일 ~ 28일			
월 일	시 간	개문수	개도고	월일	시간	개문수	개도고
8월 02일	00 : 00	10	0.5	8월 24일	00 : 00	0.0	0.0
	08 : 00	0	0.0		09 : 00	10.0	0.5
	14 : 00	10	0.5		12 : 00	10.0	1.0
	17 : 00	20	0.5		14 : 00	15.0	1.0
	22 : 00	20	1.0		16 : 00	10.0	1.0
8월 03일	00 : 30	20	1.5	8월 25일	16 : 00	15.0	1.0
	02 : 00	26	1.5	8월 26일	00 : 00	10.0	1.0
	06 : 00	20	1.5		15 : 30	15.0	1.0
	08 : 00	15	1.5		18 : 00	15.0	1.5
	14 : 00	20	1.5	8월 27일	05 : 30	20.0	1.5
	21 : 00	15	1.5		06 : 00	20.0	2.0
8월 04일	01 : 00	15	1.0		08 : 00	24.0	2.0
	04 : 00	10	1.0		10 : 00	20.0	2.0
	10 : 00	10	0.5		12 : 00	15.0	2.0
8월 05일	11 : 00	0	0		14 : 00	12.0	2.0
					16 : 00	10.0	2.0
					20 : 00	10.0	1.5
					23 : 00	10.0	1.0
				8월 28일	13 : 00	10.0	0.7



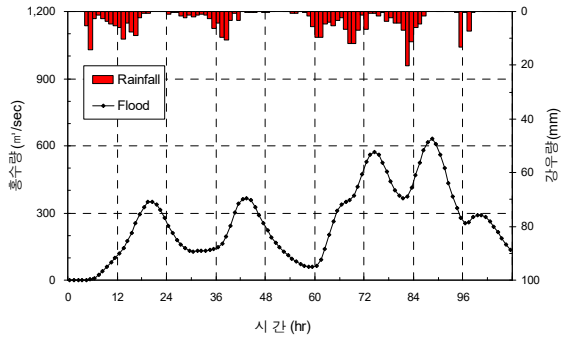
'99년 삽교천 (덕산천 합류후)



2000년 삽교천 (덕산천 합류후)

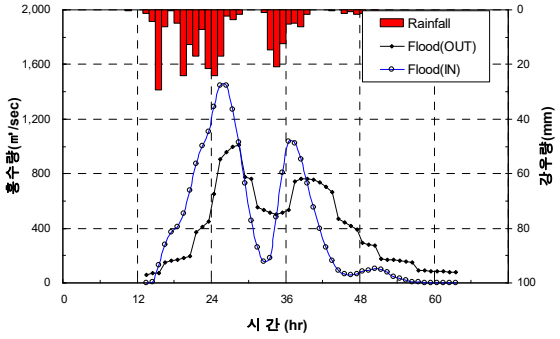


'99년 곡교천 (온양천 합류후)

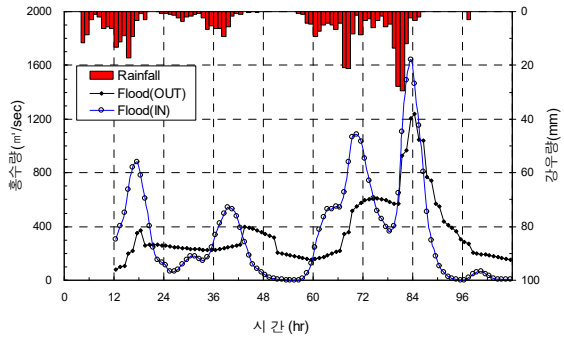


2000년 곡교천 (온양천 합류후)

<그림 10.31> 모형의 검정을 위한 상류단 경계조건



'99년 무한천 (예당지 방류량)



2000년 무한천 (예당지 방류량)

<그림 10.31> 모형의 검정을 위한 상류단 경계조건 (계속)

(2) 하류경계조건

본 모형의 하류경계 조건은 서해안 조위와 삽교호 배수갑문의 개문수 및 개문높이 등 이다. '99년과 2000년 홍수기간 동안의 삽교호 배수갑문 운영 상황은 <표 10.27>과 같이 기록되어 있지만, 삽교호 방조제 지점의 조위가 관측되지 않은 관계로 평택항 지점의 조위기록을 적용하였다.

<표 10.27> '99년, 2000년 홍수기간 동안 삽교호 배수갑문 운영기록

구분 / 년월일	방류상황									방류추정량 (천톤)
	방 류 시 간			방류전 수위		개 문		방류후 수위		
	개 시	종 료	시 간	내수위	외수위	연수	높이	내수위	외수위	
1999-08-02	13:30	17:30	04:00	1.70	-2.60	6	6.0	0.79	0.20	20,630
1999-08-02	22:10	6:50	08:40	1.94	1.74	6	6.0	3.10	2.00	기록 없음
1999-08-03	8:40	7:00	23:20	4.00	3.30	6	6.0	2.10	1.10	〃
1999-08-04	10:20	19:00	08:40	2.80	2.00	6	6.0	0.76	0.60	〃
1999-08-05	3:30	5:30	02:00	1.50	-1.40	6	6.0	0.80	-1.40	12,010
1999-08-05	15:00	16:40	01:40	1.35	-1.65	6	6.0	0.80	-3.20	9,390
2000-08-23	16:05	17:20	1:15	1.75	-2.05	6	6.0	1.32	-1.02	780
2000-08-24	6:05	8:20	2:15	1.58	-0.90	6	6.0	1.00	0.87	14,198
2000-08-24	12:40	20:30	7:50	1.48	0.60	6	6.0	0.10	0.05	41,946
2000-08-25	2:45	9:00	6:15	1.38	0.50	6	6.0	0.20	0.50	36,145
2000-08-25	14:10	22:10	8:00	1.35	0.60	6	6.0	0.26	0.10	43,178
2000-08-26	4:20	10:30	6:10	1.46	0.95	6	6.0	0.10	0.02	32,890
2000-08-26	16:00	0:00	8:00	1.10	0.80	6	6.0	1.39	1.20	49,960
2000-08-27	4:05	13:40	9:35	3.09	2.72	6	6.0	2.50	1.95	108,100
2000-08-27	15:10	1:00	9:50	3.20	2.75	6	6.0	1.55	1.10	83,878
2000-08-28	6:00	13:20	7:20	2.50	2.10	6	6.0	0.50	0.45	48,987
2000-08-28	20:20	0:40	4:20	1.26	-2.10	6	6.0	0.00	-0.50	21,734

나. 모의결과의 검토

금회 개발한 홍수추적 모형에 의해 '99년과 2000년의 홍수사상을 모의하여 같은 기간 동안의 수위관측소 관측기록과 비교함으로써 유역추적모형의 도달시간, 저류상수 및 하도추적모형의 조도계수를 보정한 후 최종 모의결과와 실측수위를 비교하였다.

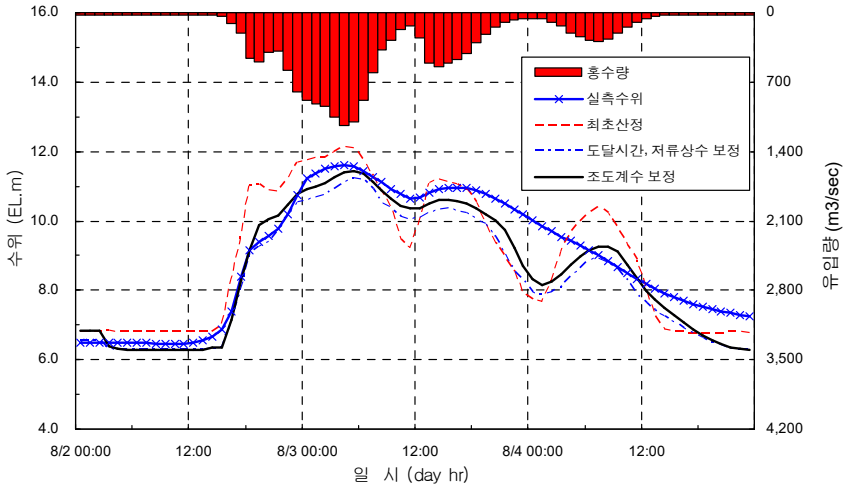
모형의 매개변수는 실측수위와 모의결과의 비교를 통해 첨두홍수량의 크기에 큰 영향을 미치는 도달시간과 저류상수를 먼저 보정하고, 다음으로 하도의 홍수위에 영향을 미치는 인자인 조도계수를 보정하는 방식으로 검정하였다.

그 결과 <그림 10.32>와 <그림 10.33>에서 보는 바와 같이 예당지의 방류영향권에 있는 무한천 국가하천 구간의 원평과 창소 수위관측소 지점의 실측 수위와 모의결과가 삽교천이나 곡교천의 경우에 비해 상대적으로 근사하게 나타나고 있는데 이는 예당지의 방류기록에 의해 당시의 홍수량을 더욱 근사하게 추정할 수 있었기 때문이다. 또한 삽교천과 곡교천의 홍수위도 매개변수의 보정을 통해 상당히 근사하게 의해 모의하고 있어 금회 과업에서 사용하는 홍수량 산정 및 하도추적 모형의 적용성이 매우 양호한 것으로 판단된다. 그러나 저수로부 이하의 수위에서 모의결과와 실측수위간에 오차가 증가하는 결과를 보이고 있는데 이는 저수로부의 통수단면적이 작아 적은 유량의 차이에 의해서도 수위차가 상대적으로 크게 발생하기 때문이다. 이러한 오차는 제내지의 침수 피해를 유발하는 수위가 관심의 대상인 본 과업의 특성을 고려할 때 문제가 되지 않을 것이다.

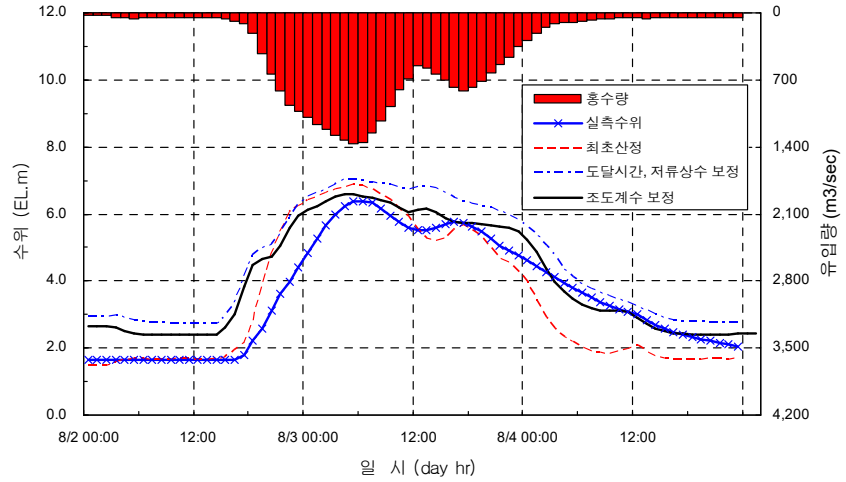
한편 본 모형의 모의결과 분석된 침수면적과 재해연보에 기록된 삽교천 유역과 예산군의 침수면적을 비교한 결과, 2000년 홍수시 삽교천 유역의 침수면적을 제외하면 대체로 실제 발생한 침수면적의 66.1~96.5%로 매우 근사하게 모의한 것을 알 수 있다. 그러나 2000년 홍수시 삽교천 유역 전체의 침수면적이 재해연보에는 1,329ha로 기록되어 있는 반면, 금회 모의한 결과로는 2,771ha로 약 2.1배 정도 과대하게 산정 되었다. 이러한 결과는 2000년의 삽교천 유역과 예산군의 침수면적과 피해액 규모 또는 최근 20년간 발생한 삽교천 유역 전체의 침수면적과 예산군의 침수면적 규모를 감안할 때 금회 추정결과의 오류이기 보다는 오히려 재해연보의 기록에 문제가 있는 것으로 판단된다.

<표 10.28>침수면적의 모의 결과와 재해연보의 기록 비교

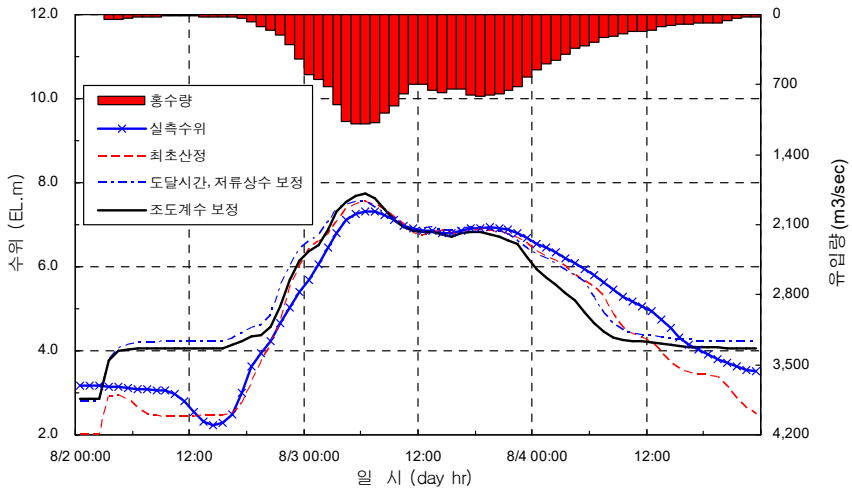
구 분	1999년 8월 2일~4일			2000년 8월 24일~27일			비 고
	재해연보 ①	금회추정 ②	②/① (%)	재해연보 ①	금회추정 ②	②/① (%)	
삽 교 천	8,296	5,483	66.1	1,329	2,771	208.5	
예 산 군	1,703	1,643	96.5	1,175	807	68.7	



삽교천 수촌 수위관측소 지점

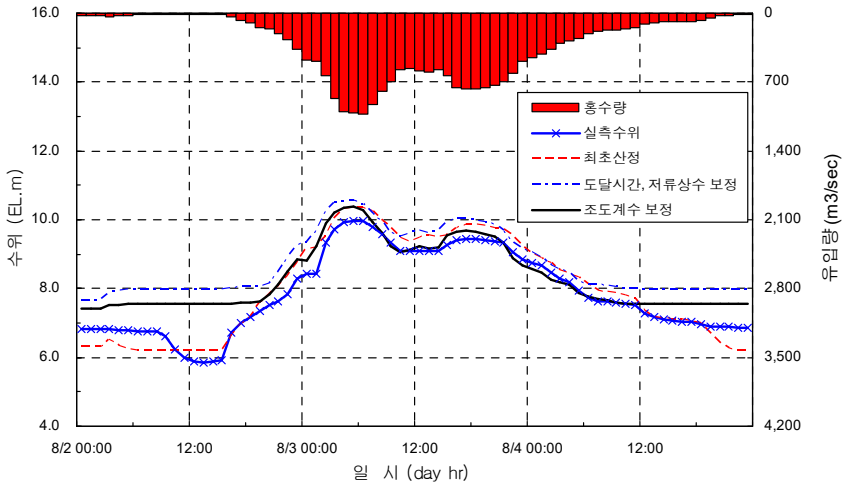


곡교천 강청 수위관측소 지점



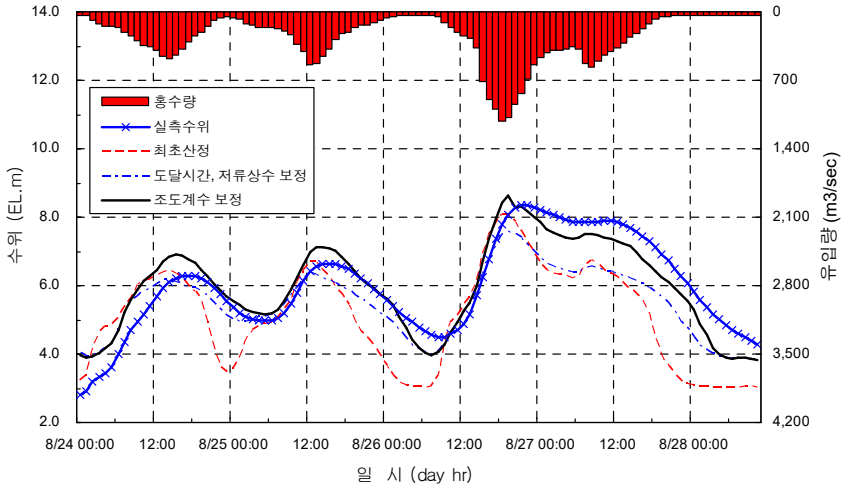
무한천 창소 수위관측소 지점

<그림 10.32> 1999년 8월 2~5일 홍수의 모의 결과

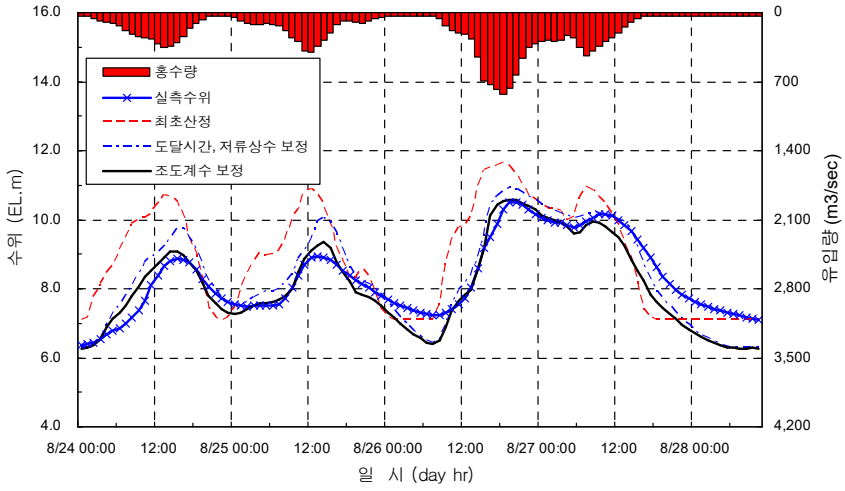


무한천 원평 수위관측소 지점

<그림 10.32> 1999년 8월 2~5일 홍수의 모의 결과 (계속)

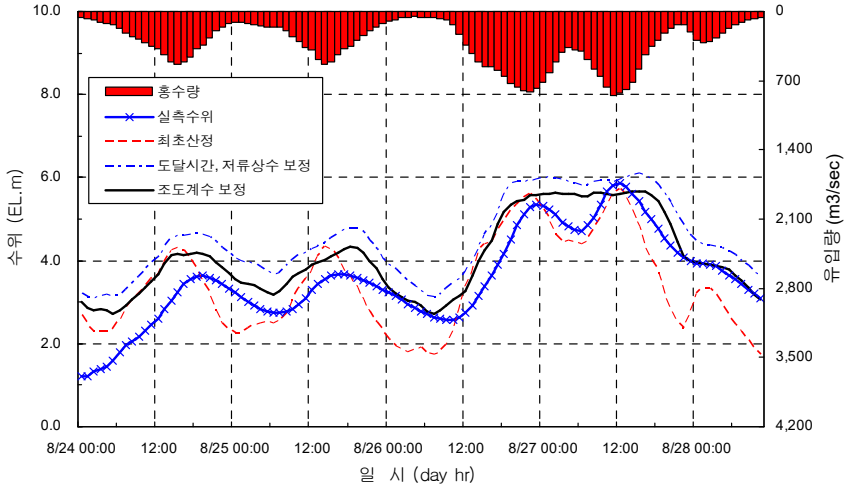


삼교천 구만 수위관측소 지점

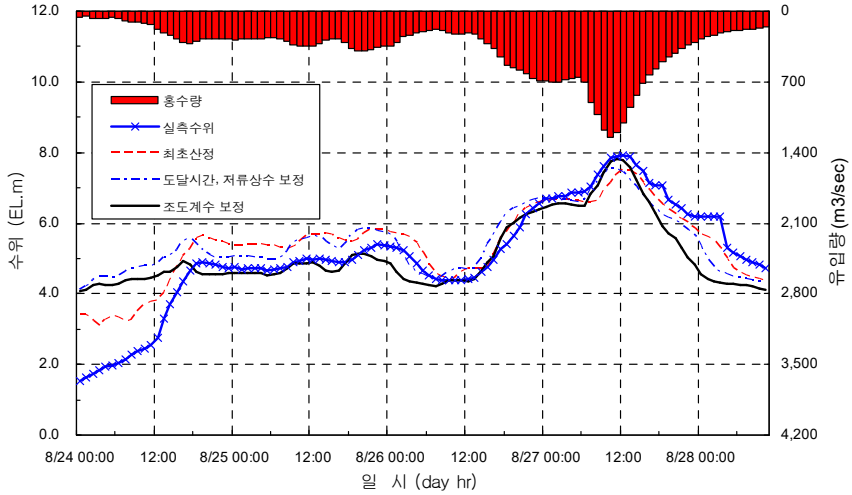


삼교천 수촌 수위관측소 지점

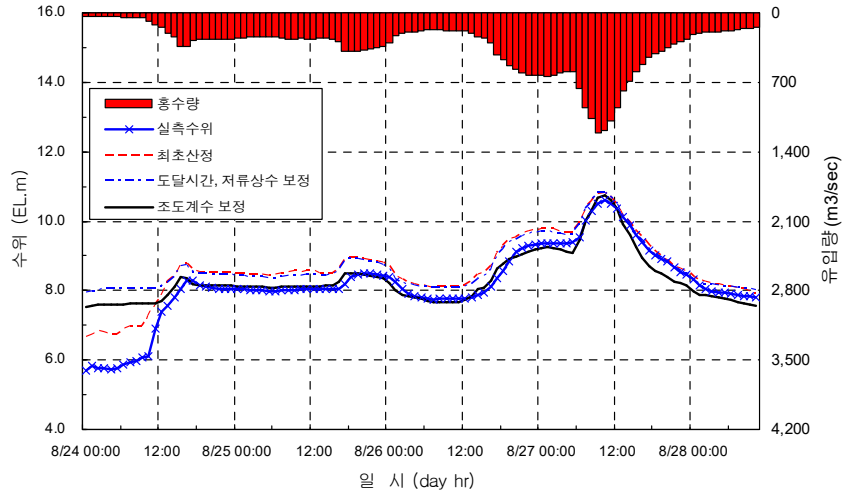
<그림 10.33> 2000년 8월 24~28일 홍수의 모의 결과



곡교천 강청 수위관측소 지점



무한천 창소 수위관측소 지점



무한천 원평 수위관측소 지점

<그림 10.33> 2000년 8월 24~28일 홍수의 모의 결과

10.3 현 상태의 치수특성 검토

10.3.1 홍수 유출특성

삽교천 유역에 대한 치수특성 조사 및 홍수피해원인 분석을 통해 이 지역의 일반적인 홍수피해 양상이 내수침수이고 그 근본적인 원인이 유역 중하류부의 수계 구성 및 지형 특성에 있음을 알 수 있었다.

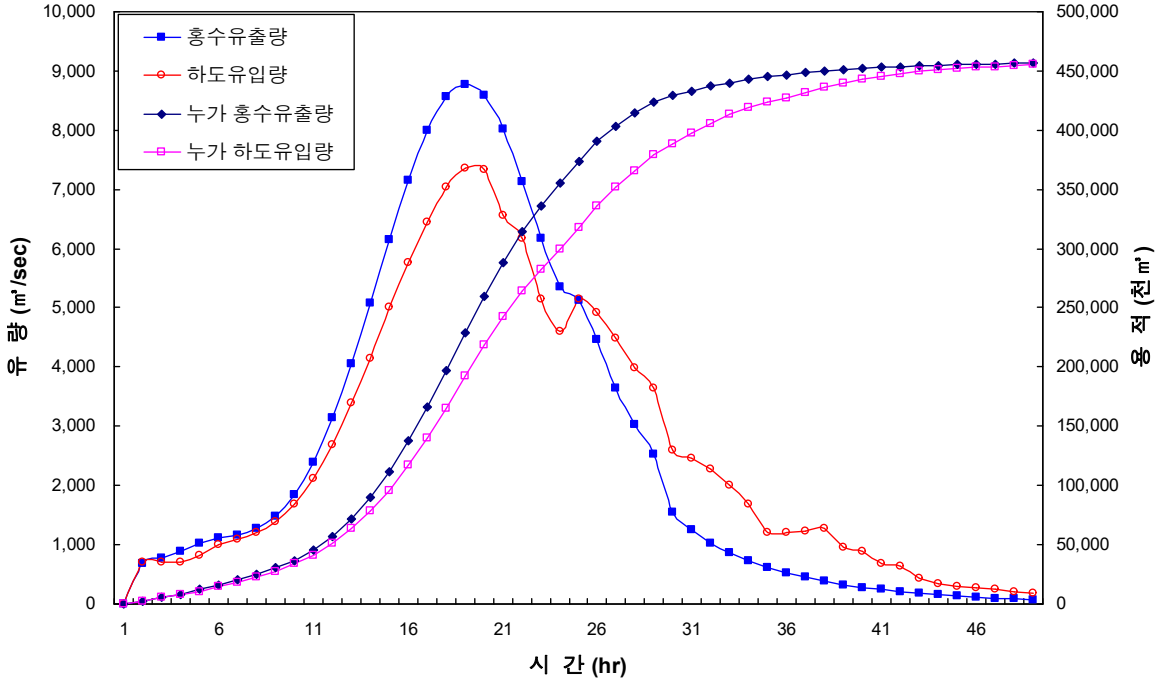
본 절에서는 삽교천 유역의 홍수 유출특성 분석을 통해 유역의 지형 및 수계구성 특성이 강우에 대하여 어떻게 반응하여 실제 유출로 나타나며 이 과정에서 어떠한 요소들이 침수피해를 발생시키는 원인으로 작용하는지에 대해 검토하였다. 이러한 분석은 거시적인 관점에서 삽교천 유역의 침수피해 원인을 규명함으로써 효과적인 홍수방어계획의 방향을 설정하는데 그 목적이 있다.

삽교천 유역의 유출특성 분석을 위해 본 과업의 목표연도인 2016년의 유출조건에서 100년 빈도 확률강우량 발생시의 유출 상황을 금회 개발한 홍수추적 모형에 의해 모의하였다. <그림 10.34>는 본 모형의 분석 결과로서 100년 빈도 홍수를 기준으로 유역의 홍수유출량과 저지대의 저류 및 유출지체를 고려하여 모의대상 하도 즉, 3개 주요 하천의 국가하천 구간으로 유입하는 홍수량을 도시한 결과이다.

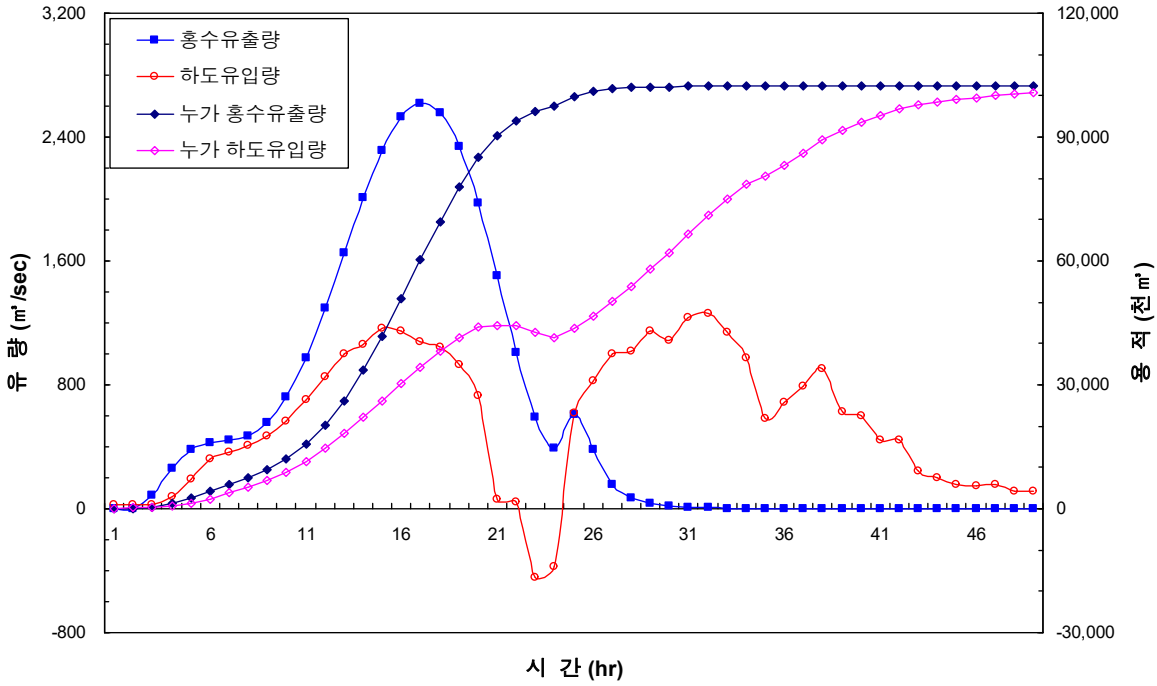
그림에서 두 종류의 수문곡선을 비교하면 강우 초기(약 11시간 정도)에는 유사한 형태를 보이지만 시간이 지날수록 하도유입량 곡선의 증가가 완만해지면서 첨두유입량이 작은 반면, 감수부에서는 유역유출량 보다 하도유입량이 더 큰 값을 보이고 있어 저지대에 저류되어 있던 유출량이 지체되어 하도로 유입하는 것을 알 수 있다.

이러한 특징은 국가하천 시점부로 유입하는 상류단 경계조건을 제외하여 유역 중하류부의 국가하천 구간 유입량만을 비교한 <그림 10.35>에서 더욱 명확히 드러난다. 특히 홍수 후반부에서 하도유입량이 다시 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 상류에서 유하한 홍수로 인해 하도의 수위가 상승함에 따라 중하류부 저지대에서 발생한 홍수유출량이 하도로 유입하지 못하고 저지대에 저류 되었다가 수위가 하강한 후에 하도로 유입하기 때문이며, 이렇게 지체되어 유출되는 홍수량에 의해 내수침수가 발생하게 된다.

금회 분석결과 국가하천 구간 연안에서 유출지체로 인해 저지대의 침수피해를 유발하는 유출량은 최대 5,616만㎥로 추정되어 직접유출량의 약 12.3%에 해당하는 홍수유출량이 하도로 원활히 배제되지 못하고 저지대에 저류되어 침수피해를 유발하는 것으로 분석되었다.



<그림 10.34> 유역의 홍수유출량과 하도유입량 비교 (삽교천 전 유역)



<그림 10.35> 유역의 홍수유출량과 하도유입량 비교 (국가하천 구간)

<그림 10.34>와 <그림 10.35>의 결과는 현 상태의 하도 조건에서 홍수위가 제방고보다 높을 경우 외수월류가 가능하고 그 규모가 증가하면 제방붕괴 까지 고려하여 모의한 결과이므로, 단순히 유역의 홍수유출량과 하도유입량 수문곡선의 차이가 하천변 저지대

의 내수침수를 유발하는 지체유출량이라 할 수 없는데, 그 이유는 저지대에 침수된 홍수량 중에는 외수범람에 의해 하도에서 제내지로 유입한 외수가 일부 포함되어 있기 때문이다. 즉, <그림 10.35>에서 강우발생 후 약 22시간 후부터 2시간 동안 하도유입량이 급격히 감소하여 '0'보다 작은 값을 보이고 있는 부분이 바로 외수범람이 발생하여 같은 시간동안의 하도유입량 보다 제내지로 역류한 홍수량의 크기 때문에 총 하도유입량은 음의 값을 갖게 된 것이다. 이에 비해 동일한 홍수조건에서 국가하천 구간의 하도가 100년 빈도 홍수를 기준으로 완전 개수된 상황을 가정하여 앞서와 같은 분석을 시행한 결과(그림 10.20, 10.21 참조) 지체유출량 최대값이 4,818만㎥로 감소하였는데, 이 값이 순수하게 내수침수를 유발하는 홍수량이며, 2002년 본 과업의 일환으로 무한천 국가하천 구간의 하천측량을 실시한 이후 취약구간 제방의 보수, 보강이 시행되고 있는 상황을 감안할 때 삽교천 유역에 100년 빈도 홍수가 발생하였을 경우 실질적으로 하천주변 저지대의 침수를 유발하는 규모라 할 것이다.

이상의 모의결과는 삽교천 유역과 같이 제내지에서 발생한 홍수량이 하도로 원활히 유입하지 못하는 지형조건에서 제방을 보강하여 외수의 범람을 방지하는 하도위주의 치수사업이 갖는 한계를 드러내고 있다. 즉 삽교천 유역 중하류부의 제방을 아무리 보강하여도 100년 빈도 홍수발생시 전체 유출량의 약 10.5%에 해당하는 홍수량에 의해 내수침수가 발생하며 그 면적은 평균침수심을 1.0m로 가정할 때 대략 4,818ha로 추정되는 바 제방보강만으로 기대할 수 있는 치수효과는 외수월류를 포함하여 산정한 저지대 침수량 5,616만㎥와 순수하게 내수배제 지체에 의해 발생한 침수량 4,818만㎥의 차인 798만㎥의 외수월류를 방지하여 사업전에 비해 14.21% 침수량을 감소시키는데 불과하다고 할 수 있다.

삽교천 유역이 갖는 치수적으로 불리한 특징이면서도 이러한 내수침수에는 순효과를 가져오는 것이 수계구성 형태이다. 삽교천 유역은 유역면적과 유로연장이 거의 유사한 삽교천, 곡교천, 무한천으로 이루어져 있으며 유역의 하류부에서 10km 정도의 차이를 두고 3개 하천이 합류함으로써 유역전체에서 발생한 홍수가 하류지역에 집중되는 현상이 발생한다. 따라서 홍수위가 급격히 상승하는 문제가 발생하지만 낙동강과 같이 단일한 주 하천이 장방형의 유역을 유하하는 경우에 비해 수위지속시간은 상대적으로 길지 않게 되어, 금회 분석한 결과에 의하면 유역 중하류부 저지대에서 20년 빈도 24시간지속 강우에 의해 무해침수심 0.3m 이상의 침수가 지속되는 시간이 최대 26시간 정도로 예상되었다.

10.3.2 삽교천 하구부의 수리특성

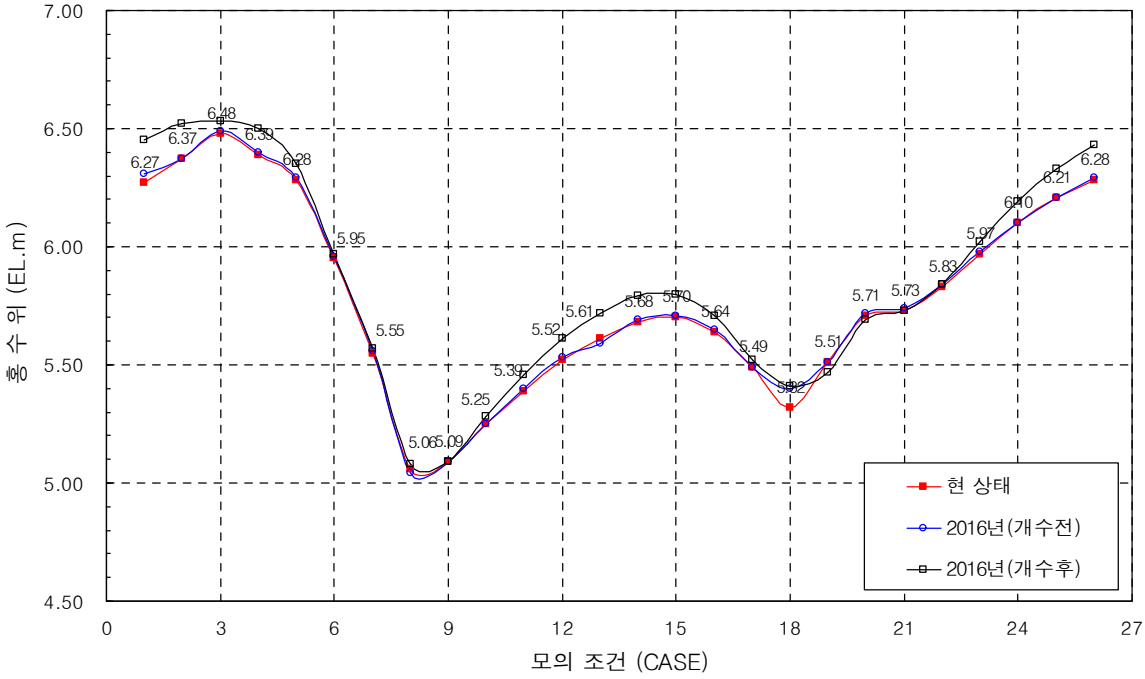
삽교천 유역에서 발생한 홍수량은 최종적으로 삽교호 방조제의 배수갑문을 통해 서해로 유출되는데 이 과정에서 배수갑문을 삽교호의 내수위와 서해안 조위에 따라 운영하므로 결과적으로 삽교천 하류구간의 수위는 서해안 조위에 영향 받는다고 볼 수 있다. 따라서 조위가 삽교천의 홍수위 계산결과에 미치는 불확실성 요인를 검토하고, 삽교호 배수갑문의 최적운영을 위한 기준을 마련하기 위해 조위가 삽교천 하류부의 수위에 미치는 영향을 분석하였다.

가. 검토방법

금회 산정한 설계조위가 26시간을 주기로 반복하여 발생하므로, 홍수발생 시간을 고정한 상태에서 한 주기의 조위를 1시간 간격으로 변화시켜서 하류단 경계조건을 설정한 후 100년 빈도 홍수 발생시의 삽교호 배수갑문을 통한 방류량과 삽교호 내수위를 계산하였다. 이때 홍수량은 현재와 목표연도인 2016년 조건 모두를 적용하였고 장래의 하도조건은 현 상태와 완전 개수를 가정한 2가지의 경우로 구분하여 분석을 실시하였다. 또한 배수갑문은 매시간 단위로 운영하되 내수배제가 가능한 조건에서는 수문을 전면개방하며, 조위가 높아 해수의 역류가 발생할 수 있는 시간동안은 수문을 완전 폐쇄하여 역류가 전혀 발생하지 않도록 하였다.

나. 조위와 홍수위 관계

설계조위의 주기를 1시간 단위로 변화시켜 설정한 26가지의 상이한 하류단 경계조건별로 삽교호의 첨두내수위를 산정한 결과는 <표 10.29>와 같다. 그 결과 현 하도 조건에서 유역의 개발에 따른 유출량 증가를 고려한 목표연도의 100년 빈도 홍수시는 현 상태와 큰 차이가 없이 EL. 5.04～6.49m 범위에 있는 반면 100년 빈도 홍수위를 기준으로 하도를 완전히 개수하여 외수범람을 방지할 경우 첨두내수위가 EL. 5.08～6.53m 범위로 예측되어 개수전에 비해 평균 0.06m 이상 상승하는 것으로 나타났다. 특히, 26개 조건 중 24개 조건에서 '94년 하천정비기본계획에서 채택한 기점수위인 100년 빈도 홍수시 삽교호의 첨두내수위인 EL. 5.10m를 초과하고 있어, 현재와 같은 홍수유출조건에서는 하천의 계획홍수위 산정에 기준이 되는 기점홍수위를 상향 조정하여야 하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 '제 5장 관련계획 검토'에서 언급한 바와 같이 삽교호 방조제 설계당시에 비해 홍수량이 증가한데도 원인이 있지만, 한편으로는 장기간의 조위 관측결과에 근거하여 설계조위를 재산정한 것도 영향을 미친 것으로 분석되었다.



<그림 10.36> 하류단 경계조건에 따른 삽교호 첨두수위 변화 (100년 빈도 홍수)

<표 10.29> 하류단 경계조건에 따른 삽교호 첨두수위 산정 결과

단위 : EL. m

CASE	조위	현 상태		2016년(개수전)		2016년(개수후)		94년 설계조위 적용	
		순간최대	시간최대	순간최대	시간최대	순간최대	시간최대	순간최대	시간최대
1	3.72	6.27	6.20	6.31	6.24	6.45	6.39	6.07	6.06
2	2.10	6.37	6.30	6.37	6.31	6.52	6.46	6.14	6.13
3	0.31	6.48	6.41	6.49	6.42	6.53	6.49	6.17	6.17
4	-1.50	6.39	6.35	6.40	6.36	6.50	6.48	6.16	6.16
5	-3.12	6.28	6.27	6.29	6.28	6.35	6.35	6.15	6.15
6	-3.87	5.95	5.94	5.96	5.95	5.97	5.96	5.83	5.78
7	-3.14	5.55	5.52	5.56	5.53	5.57	5.54	5.55	5.45
8	-1.40	5.06	4.96	5.04	4.95	5.08	4.99	4.94	4.90
9	0.54	5.09	5.03	5.09	5.03	5.09	5.01	4.64	4.63
10	2.48	5.25	5.18	5.25	5.18	5.28	5.20	4.80	4.80
11	3.92	5.39	5.32	5.40	5.33	5.46	5.37	4.96	4.96
12	4.06	5.52	5.45	5.53	5.46	5.61	5.52	5.10	5.10
13	3.00	5.61	5.54	5.59	5.52	5.72	5.64	5.20	5.20
14	1.38	5.68	5.61	5.69	5.62	5.79	5.72	5.28	5.28
15	-0.43	5.70	5.65	5.71	5.66	5.80	5.74	5.33	5.33
16	-2.22	5.64	5.61	5.65	5.62	5.71	5.68	5.31	5.30
17	-3.82	5.49	5.48	5.49	5.49	5.52	5.52	5.20	5.17
18	-4.73	5.32	5.32	5.40	5.40	5.41	5.41	5.00	4.97
19	-4.14	5.51	5.50	5.51	5.50	5.47	5.47	5.21	5.18

【주】 '94년 설계조위 적용은 2016년 개수전 조건에 대한 결과임.
각 조건별 홍수량은 100년빈도를 기준으로 산정

<표 10.29> 하류단 경계조건에 따른 삽교호 첨두수위 산정 결과(계속)

단위 : EL. m

CASE	조위	현 상태		2016년(개수전)		2016년(개수후)		94년 설계조위 적용	
		순간최대	시간최대	순간최대	시간최대	순간최대	시간최대	순간최대	시간최대
20	-2.20	5.71	5.71	5.72	5.72	5.69	5.69	5.30	5.29
21	0.13	5.73	5.72	5.74	5.73	5.73	5.72	5.37	5.37
22	2.43	5.83	5.79	5.84	5.80	5.84	5.81	5.53	5.53
23	4.43	5.97	5.93	5.98	5.94	6.02	5.98	5.69	5.69
24	5.32	6.10	6.07	6.10	6.08	6.19	6.16	5.84	5.84
25	4.82	6.21	6.17	6.21	6.18	6.33	6.29	5.97	5.96
26	3.51	6.28	6.25	6.29	6.25	6.43	6.39	6.06	6.05
최대	5.32	6.48	6.41	6.49	6.42	6.53	6.49	6.17	6.17
최소	-4.73	5.06	4.96	5.04	4.95	5.08	4.99	4.64	4.63
평균	0.45	5.78	5.74	5.79	5.75	5.85	5.81	5.49	5.48
표준편차	2.76	0.35	0.35	0.35	0.35	0.37	0.38	0.40	0.40

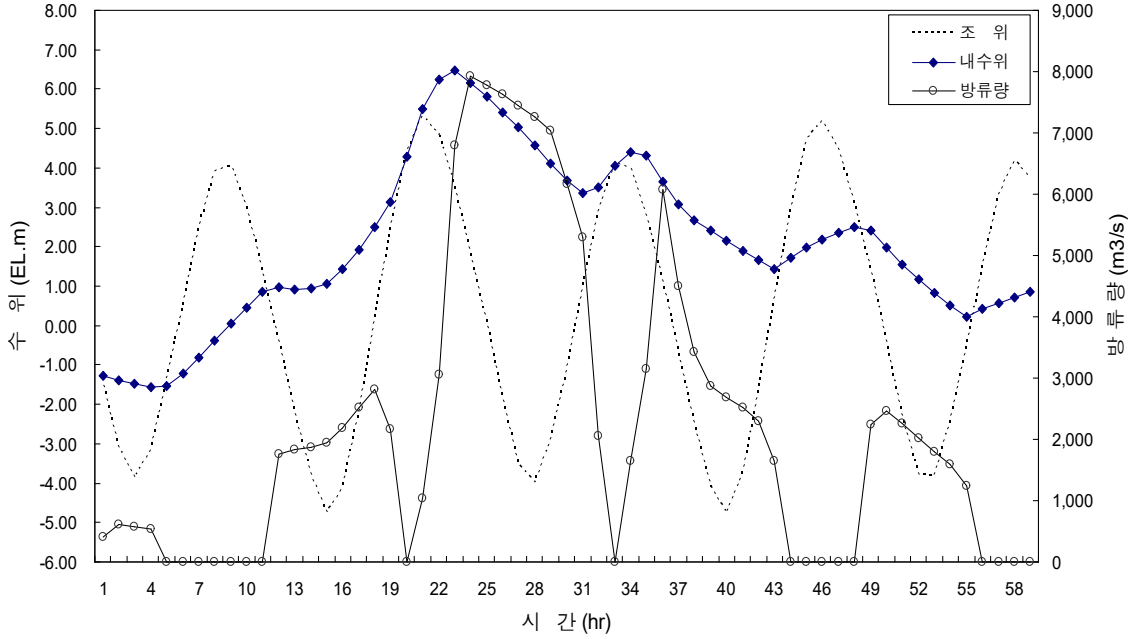
【주】 '94년 설계조위 적용은 2016년 개수전 조건에 대한 결과임.
각 조건별 홍수량은 100년빈도를 기준으로 산정

이렇게 조위 조건에 따라 삽교호의 첨두수위가 큰 편차를 보이는 것은 <그림 10.37> 및 <그림 10.38>에서 보는 바와 같이 삽교호로 첨두홍수량이 유입하는 시기에 배수갑문을 통한 방류조건이 상이한데 따른 결과이다.

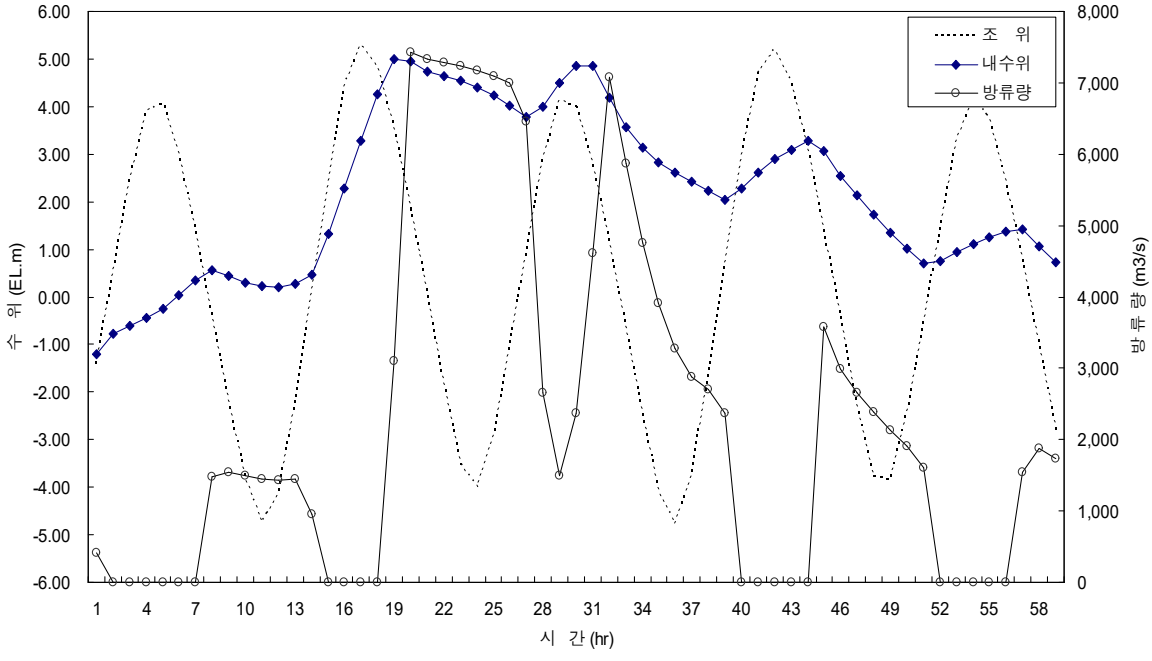
목표연도의 개수후 조건에서 삽교호의 첨두수위가 EL. 6.53m를 기록한 경우와 EL. 5.08m를 기록한 조위조건의 배수갑문 지점의 수리특성을 비교하면 눈에 띄는 것이 첨두수위가 발생하는 시간에 조위의 주기가 약 5시간의 차이를 두고 상반된 위치에 있다는 점이다. 즉, <그림 10.37>의 최고첨두수위 발생시에는 내수위의 첨두부와 조위가 함께 상승하면서 첨두수위 발생 전 약 4시간 동안 방류량이 급감한 반면, <그림 10.38>의 최저첨두수위가 발생한 경우에는 반대로 이 기간 동안 조위가 저조위 상태에 있어 방류량이 최대가 되었다는 것이다.

즉, 내수위가 본격적으로 상승하는 시점의 삽교호 내수위는 EL. 1.0~2.0m 정도로 비슷하지만 최고첨두수위가 발생한 경우는 삽교호 유입량이 급격히 증가하는 시기에 높은 조위가 형성되어 내외수위 차가 작아지게 되므로 방류량이 감소하고 이로 인해 삽교호로 유입하는 홍수량의 대부분이 방류되지 못하여 내수위가 급격히 상승하기 때문이다. 이와는 반대로 최저첨두수위가 발생한 경우에는 삽교호 유입량이 작은 홍수 초기에 조위가 삽교호 수위보다 낮아 방류가 불가능한 상황이 약 4~5시간 정도 발생하지만 유입량이 본격적으로 증가하는 시기에는 조위가 저조위 주기로 접어들면서 방류량이 최대가 된다. 따라서 <그림 10.37>의 최고첨두수위가 발생한 시기와 비교할 때 <그림 10.38>의 같은 기간 동안 삽교호 내수위는 큰 변화 없이 오히려 약간 감소하기 까지 하고 있다.

이상의 분석결과 삽교호의 첨두내수위는 삽교호로 첨두홍수량이 유입하는 시기를 전후하여 약 7~8시간 동안의 조위가 전체 주기의 어느 위치에 해당하는가에 좌우된다고 할 수 있으며, 결국 그 영향이 삽교천 유역 중하류 구간의 홍수위까지 미치게 된다.



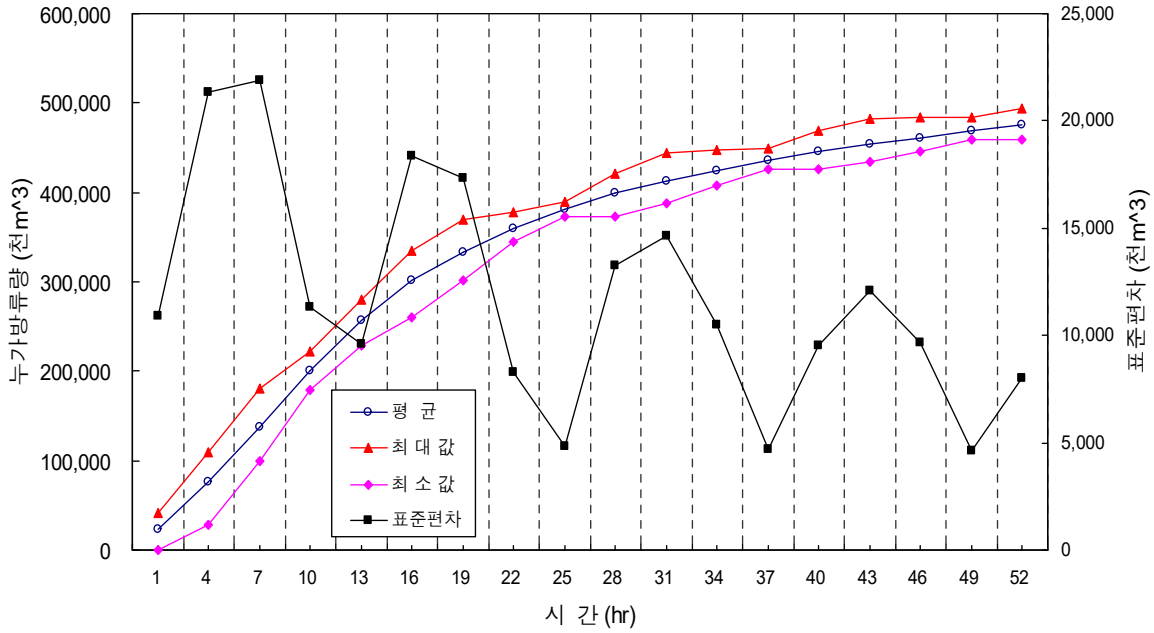
<그림 10.37> 최고첨두수위 발생시의 수리특성



<그림 10.38> 최저첨두수위 발생시의 수리특성

여기서 주목할 것은 조위 조건이 어떠하던 간에 배수갑문을 통한 누가방류량은 13시간 또는 26시간을 주기로 유사한 값을 보인다는 점이다. <그림 10.39>는 조위조건에 따

른 26개 모의결과의 배수갑문을 통한 시간대별 누가방류량 계열의 최대값, 최소값, 평균 그리고 표준편차를 도시한 결과이다. 그림에서 누가방류량 최대값과 최소값이 약 13시간을 주기로 평균값에 근접하며, 26개 누가방류량 계열의 표준편차 역시 13시간을 주기로 증가와 감소를 반복하는 것을 알 수 있다.



<그림 10.39> 조위 조건에 따른 누가방류량 계열의 시간대별 특성

이러한 결과는 13시간을 주기로 고조위와 저조위가 반복되며, 26시간을 주기로 크고 작은 주기가 반복되는 조위의 특성을 감안할 때, 결국 홍수가 어떤 조위에서 시작되든 간에, 혹은 첨두홍수량이 어떤 조위 조건에서 삽교호로 유입하든 간에 조위의 한 주기에 해당하는 13시간 혹은 26시간 동안 배수갑문을 통해 방류되는 홍수량의 규모는 거의 같다는 것을 의미한다.

일반적으로 삽교호 배수갑문의 통수능력이 부족하다고 알려져 있는데 이상의 분석결과에 의하면 적어도 100년 빈도의 홍수 발생시 삽교호의 배수지체가 발생할 경우 그 원인은 배수갑문의 통수능 부족이 아니라 조위 때문이라고 할 수 있다. 이는 <그림 10.38>에서와 같이 삽교호로 첨두홍수량이 유입하는 시기에 조위가 저조위 주기에 있어 방류조건이 최적의 상태가 되면 삽교호의 수위가 증가하지 않는 결과가 증명한다.

같은 사유로 배수갑문의 통수능을 확대하여도 고조위 주기에서는 방류조건이 최적인 경우에 비해 방류능력이 감소함으로써 홍수배제에 지장을 받게 되며 이렇게 지체된 홍수량이 삽교호의 수위상승을 유발할 것이다. 따라서 배수갑문의 통수능을 아무리 확대하여도 조위 조건에 따라 일정 시간의 방류불능이 불가피하므로, 통수능 확대 목표를 방류

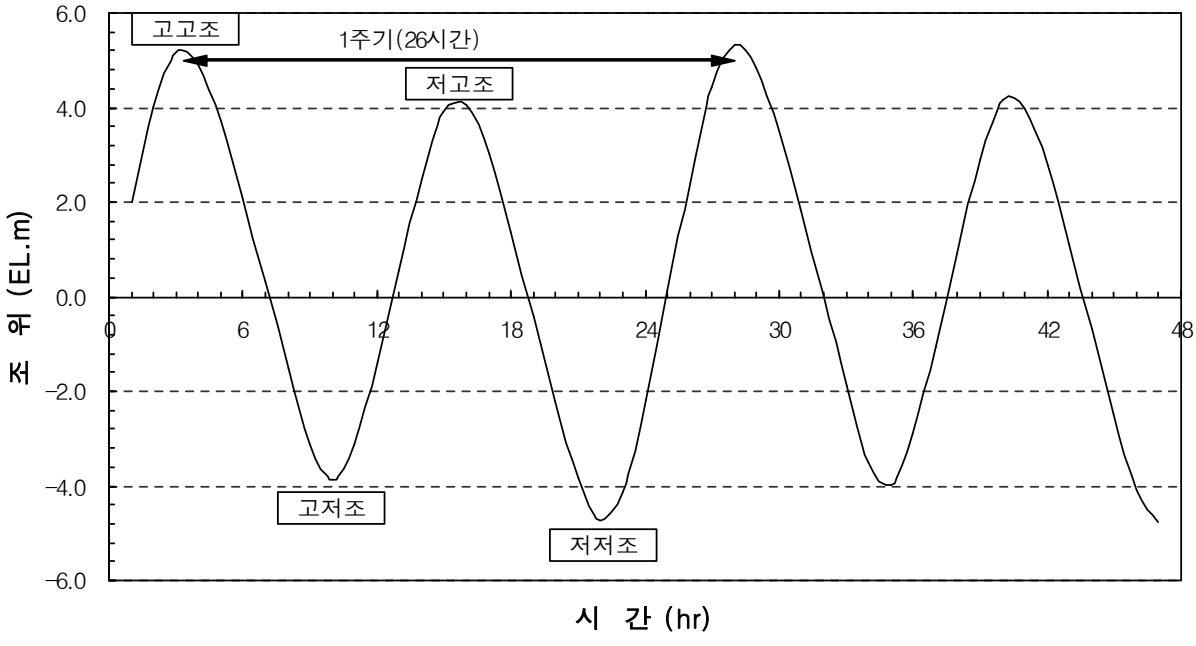
조건이 나쁜 경우에도 현재에 비해 더 많은 홍수량을 배제하며, 방류여건이 개선되면 신속하게 삽교호에 지체된 홍수량을 배제하여 수위를 저하시키는 것으로 설정하여야 할 것이다.

아울러 <그림 10.37>와 <그림 10.38>에서 보는 바와 같이 홍수발생 시점에서 삽교호 내수위가 동일하여도 첨두수위값은 EL. 6.53m와 EL. 5.08m로 1.45m의 차이를 보이고 있어 홍수발생 시점에서의 삽교호 수위가 첨두수위의 크기에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 배수갑문을 통한 방류가 내·외수위 차에 의해 이루어지므로 결국 방류량은 내수위가 아니라 조위가 좌우하기 때문이다. 따라서 홍수지속시간이 조위의 한 주기 이상이 되는 장기간의 홍수시에는 우기동안 삽교호의 수위를 낮추어 홍수에 대비하는 현 운영방식에 의한 치수효과는 크게 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

다. 조위특성을 고려한 최적방류시기 검토

금회 작성한 설계조위의 특징을 살펴보면 26시간을 주기로 변화하며 그 과정에서 각 2회씩의 고조와 저조가 발생하는데 그 규모가 달라서 고조는 고고조와 저고조로, 저조는 고저조와 저저조로 구분된다. 따라서 조위의 1주기에는 사실상 2회의 작은 주기가 포함된다.

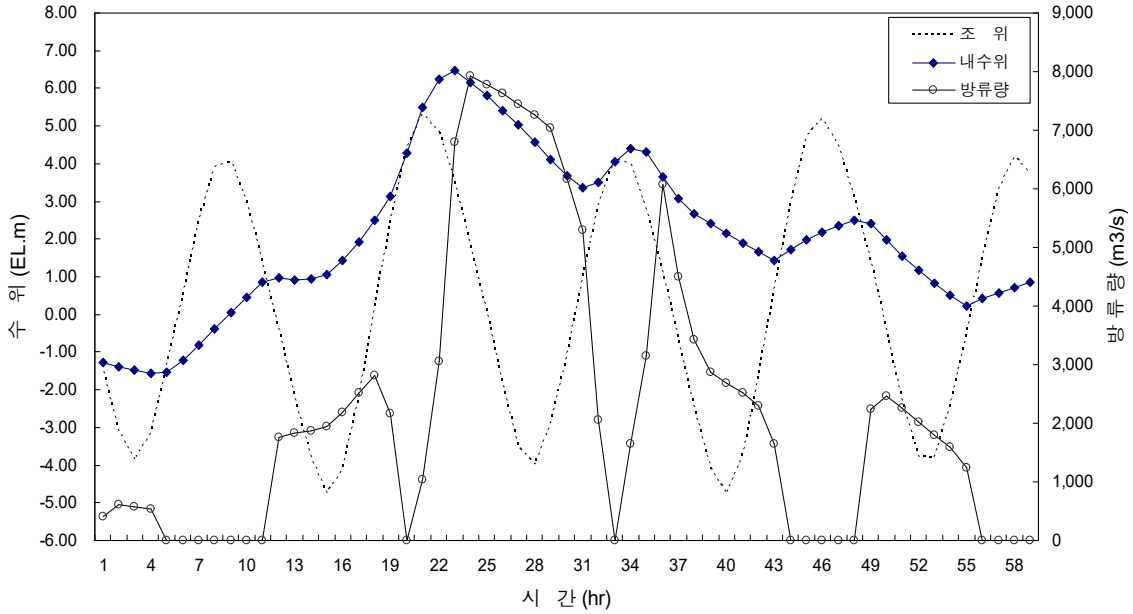
이렇게 26시간을 한 주기로 하는 조위의 변화 과정과 맞물려 변화하는 삽교호의 내수위 형태는 공통적인 특징에 따라 다음과 같이 4개의 군으로 구분할 수 있다.



<그림 10.40> 금회 적용 설계조위

(1) '고조 일치형' 조위-내수위 관계

홍수 초기에 저저조와 만나 최적의 방류조건이 되면서 수위상승이 완만하여 내수위 곡선의 상승부 중간이 처진 형태가 되지만 이후 삽교호로 유입되는 홍수량이 급증하는 시기가 고고조 주기에 해당하여 내수위가 가파르게 상승하며 고고조 1, 2시간 후에 첨두내수위가 발생한다. 26개 분석 조건 중 첨두내수위의 최고값이 이 조건에서 발생한다.



<그림 10.41> 고고조 일치형 조위-내수위 관계 (CASE 3)

(2) '고저조 일치형' 조위-내수위 관계

유역에서 발생한 홍수량이 본격적으로 삽교호로 유입하는 시기가 고고조에 해당되어 배수갑문을 통한 방류가 불가하므로 삽교호 내수위의 상승부 중 전반부의 경사가 급하지만 첨두유입량이 발생하는 시기의 조위가 고저조에 해당하여 내수위 수문곡선의 첨두부가 첨예하지 않고 평활한 형태를 띤다.

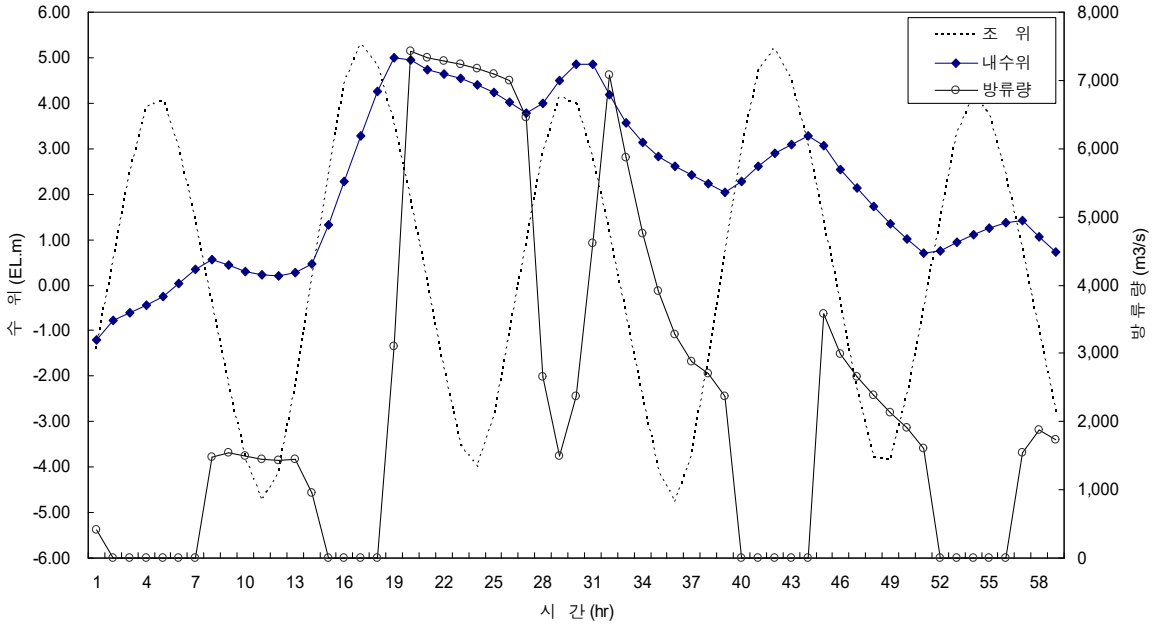
따라서 첨두수위는 삽교호에 첨두홍수량이 유입하는 시기에서 대략 6시간 정도 지체되어 삽교호 유입량이 감소하는 시기에 저고조의 영향으로 발생한다.

26개 조위조건 중 첨두내수위의 최저값이 발생하는 경우가 이 조건에 해당한다.

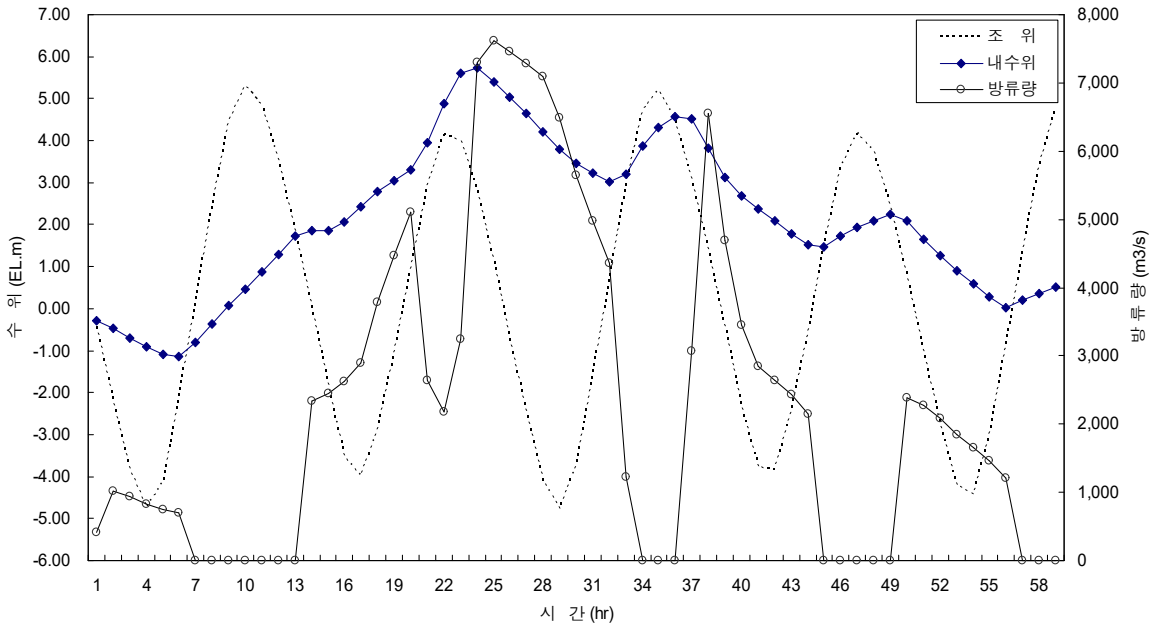
(3) '저고조 일치형' 조위-내수위 관계

내수위 상승부 중반에 고저조 주기에 해당하여 방류조건이 양호하지만 삽교호 내수위가 낮아 방류량은 크지 않고 내수위 상승이 완만하다. 그러나 고저조에서 저고조로 조위가 상승하는 시기에 삽교호로 유입하는 홍수량이 급증하여 내수위가 가파르게 상승하며

저고조 1, 2시간 후에 첨두내수위가 발생한다. 기본적인 특징은 '고고조 일치형'과 같지만 첨두수위가 저고조에 의해 발생하므로 '고고조 일치형'에 비해 작은 값을 가진다.



<그림 10.42> 고저조 일치형 조위-내수위 관계 (CASE 9)



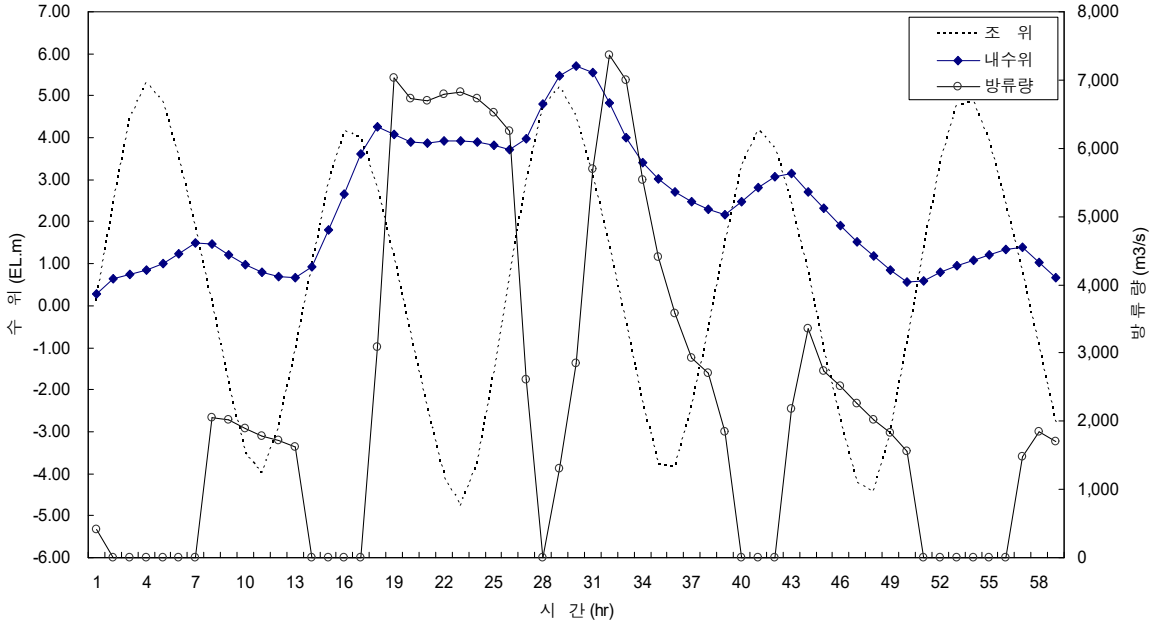
<그림 10.43> 저고조 일치형 조위-내수위 관계 (CASE 15)

(4) '저저조 일치형' 조위-내수위 관계

홍수 초기에 저고조 주기에 해당하여 배수갑문을 통한 방류가 불가하므로 내수위 상승부 전반부의 경사가 급하지만 삽교호로 첨두홍수량이 유입하는 시점에서 저저조와 일치하여 내수위 곡선의 첨두부가 뭉개진 형상이 되며, 기본적인 특징은 '고저조 일치형'

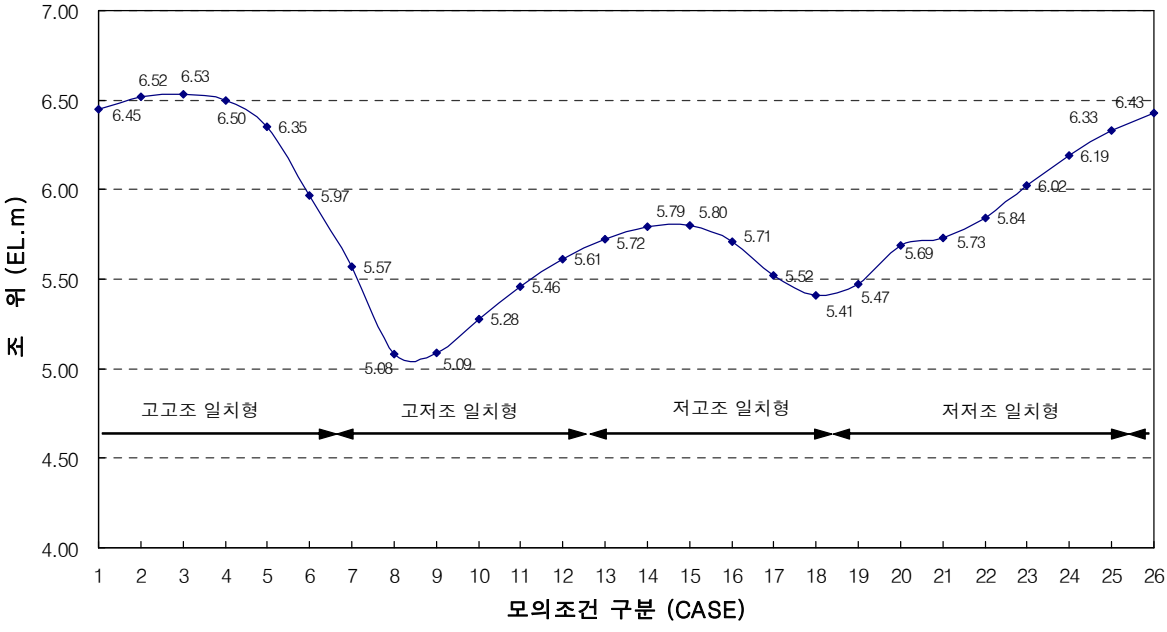
과 같지만 내수위 상승부가 저고조~저저조에 해당하는 것이 차이점이다.

삽교호의 유입량이 감소하는 시기에 고고조가 발생하여 이 시기에 첨두내수위가 발생하며 그 정도는 '고저조 일치형'에 비해 다소 크다. '고저조 일치형'과 '저저조 일치형'은 삽교호 유입량이 감소하는 시기에 첨두수위가 발생하므로 첨두내수위 발생시간이 '저고조 일치형'이나 '고고조 일치형'에 비해 지체된다.



<그림 10.44> 저저조 일치형 조위-내수위 관계 (CASE 22)

이상의 조위-내수위 관계에 의해 분류한 4개군별 삽교호 첨두수위의 크기를 비교하면 <표 10.30> 및 <그림 10.45>와 같다.



<그림 10.45> 조위에 따른 삽교호 첨두수위 변화

<표 10.30> 조위-내수위 관계군별 삽교호 첨두수위 비교

단위 : EL. m

구 분	고고조 일치형	고저조 일치형	저고조 일치형	저저조 일치형	비 고
최 대	6.53	5.61	5.80	6.33	
최 소	5.97	5.08	5.41	5.47	
평 균	6.39	5.35	5.66	5.90	

이상의 분석결과 삽교호로 유입된 홍수의 방류에 지장을 초래하여 삽교호의 홍수위를 상승시킴으로써 치수적으로 가장 불리한 조건이 발생하는 것은 삽교호로 첨두홍수량이 유입하는 시기에 고고조가 발생하는 경우이며, 그 반대로 최적의 방류조건이 조성되어 삽교호의 첨두수위가 가장 낮아지기 위해서는 고저조 주기에 삽교호로 첨두홍수량이 유입하여야 한다. 이 두 경우에 있어 시간차는 대략 5시간 정도이다.

조위-내수위 관계에 의해 분류한 4개의 군에서 삽교호의 첨두수위가 가장 높게 형성되는 상황은 '고고조 일치형'이며, 다음으로 '저저조 일치형', '저고조 일치형' 순이고 '고저조 일치형'일 경우 삽교호의 첨두수위가 가장 낮아지는데 '고고조 일치형'에 비해 평균 1.0m 이상 낮은 값을 보이고 있다.

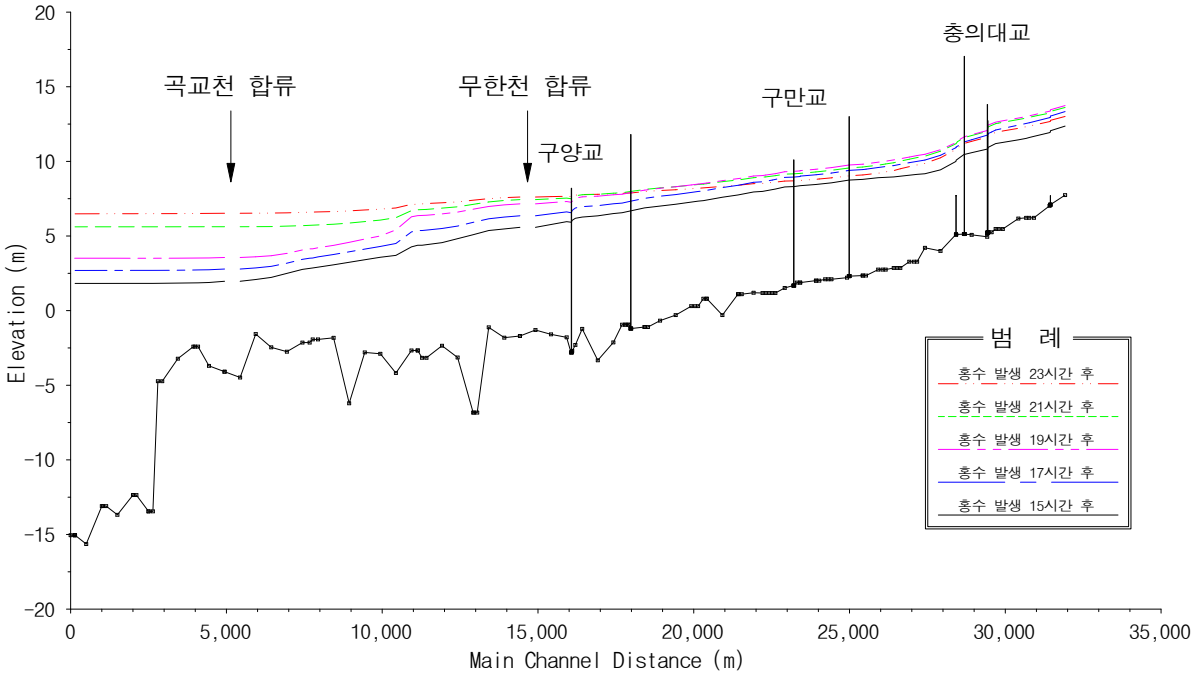
따라서, 삽교호의 홍수위를 저감하여 삽교천 유역 하류부의 부담을 감소시키기 위해서는 고고조 주기에서 삽교호로 첨두홍수량이 유입하지 않도록 홍수유출을 조절하여야 하며, 약 5시간 동안 첨두홍수량의 유입을 지체시킬 경우 배수갑문을 통한 홍수배제에 가장 유리한 '고저조 일치형'의 조위-내수위 관계가 되어 삽교호의 첨두수위를 크게 저하시킬 수 있을 것이다. 이것이 불가능할 경우 역으로 첨두홍수량이 조기에 유입되도록 하는 것도 이론적으로는 대안이 될 수 있을 것이다.

10.3.3 배수영향 구간

하류에 댐, 위어, 수문과 같은 하천구조물이나, 협착부 또는 만곡부와 같은 자연지형이 있을 경우 흐름에 장애가 발생하며, 그 영향이 점차 상류로 전이된다. 이 경우 유속이 감소하면서 수면경사가 완만해지며 같은 유량이 유하하여도 수심은 증가하게 된다. 삽교천 유역에 있어 이러한 배수영향은 지류의 합류 또는 자연적인 지형특성과 교량, 보와 같은 인공구조물의 영향 등으로 인해 국지적으로 여러 구간에서 발생하고 있지만 치수특성에 큰 영향을 미치는 배수영향 구간은 서해안 조위와 배수갑문 운영의 영향을 직접적으로 받는 하류부이다.

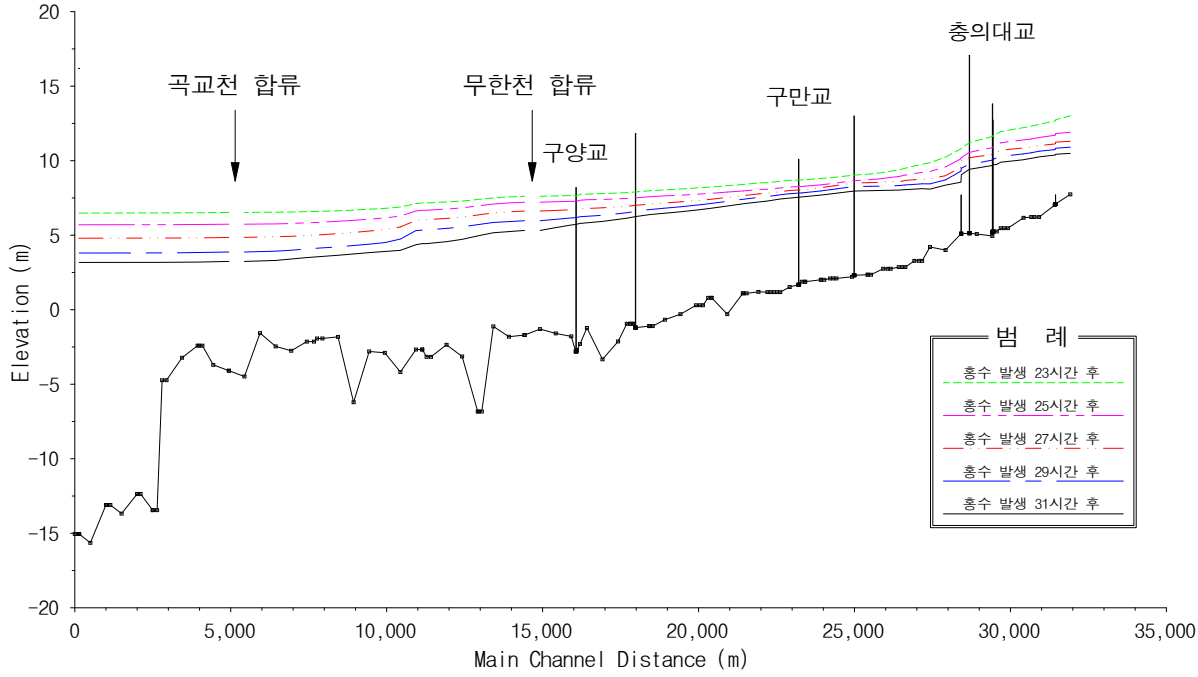
<그림 10.46>와 <그림 10.47>은 목표연도의 100년 빈도 홍수 발생시 삽교호의 첨두수위가 가장 높게 형성되는 조위 조건(CASE 3)에서 삽교호의 수위가 최고가 되는 시점을

중심으로 2시간 간격으로 변화하는 수면곡선(Profile)을 함께 도시한 결과이다. <그림 10.46>의 증수시 수면곡선을 살펴보면 하구로부터 홍수발생 후 19시간 까지는 수면곡선 간의 차이가 거의 일정하지만 홍수발생 후 19시간과 21시간의 수면곡선 간에는 하류부로 갈수록 차이가 크게 발생하고 있는데, 이는 앞서의 <그림 10.45>에서 볼 수 있는바와 같이 이 시간대에서 조위가 내수위보다 높거나 낮더라도 그 차이가 작아 배수갑문을 통한 방류능력이 감소함으로써 상류에서 유입한 홍수가 서해로 배제되지 못하고 삽교호에 지체되어 홍수위가 급상승하기 때문이다. 따라서 이 시간 이후의 하류부 수면곡선은 경사가 완만해지면서 배수영향이 상류부로 까지 전파되는 형태를 보이고 있으며, 홍수위가 최고가 되는 시기(홍수발생 후 23시간)에는 그 범위가 하구로부터 약 16km 지점에 위치한 구양교 지점까지도 미치는 것으로 분석되었다. 특히 홍수발생 후 19시간이 경과하면서 부터는 상류에서 유하하는 홍수량이 감소하지만 배수갑문을 통한 홍수배제의 지체로 인해 하류부의 홍수위는 지속적으로 상승하는 것으로 나타났으며, 이러한 홍수위의 역전 형상이 삽교호의 배수영향 때문인 것으로 추정된다.



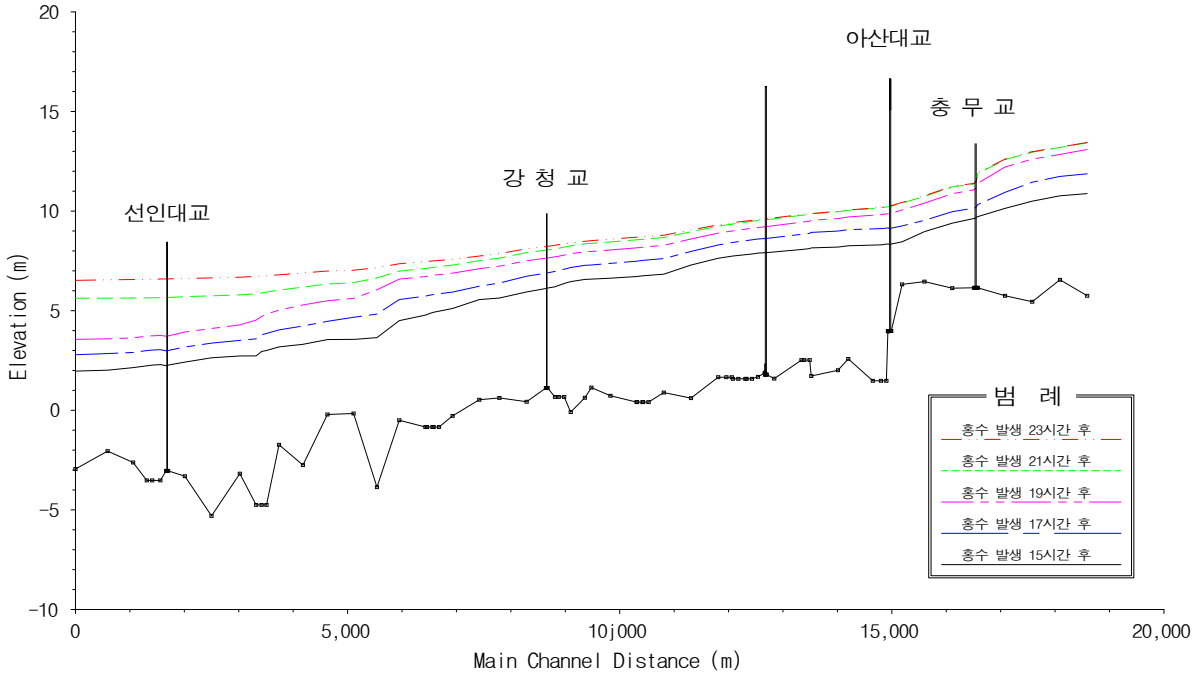
<그림 10.46> 삽교천 국가하천 구간의 증수시 수면곡선 비교

이에 비해 홍수발생 후 23시간이 경과하면서 부터는 전 구간에서 홍수위가 감소하고 있는데 <그림 10.47>의 2시간 간격의 수면곡선이 평행하게 하강하고 있어 하류에서의 배수영향을 유발하던 요인이 소멸하여 전체적인 흐름이 원활해진 것을 알 수 있다.

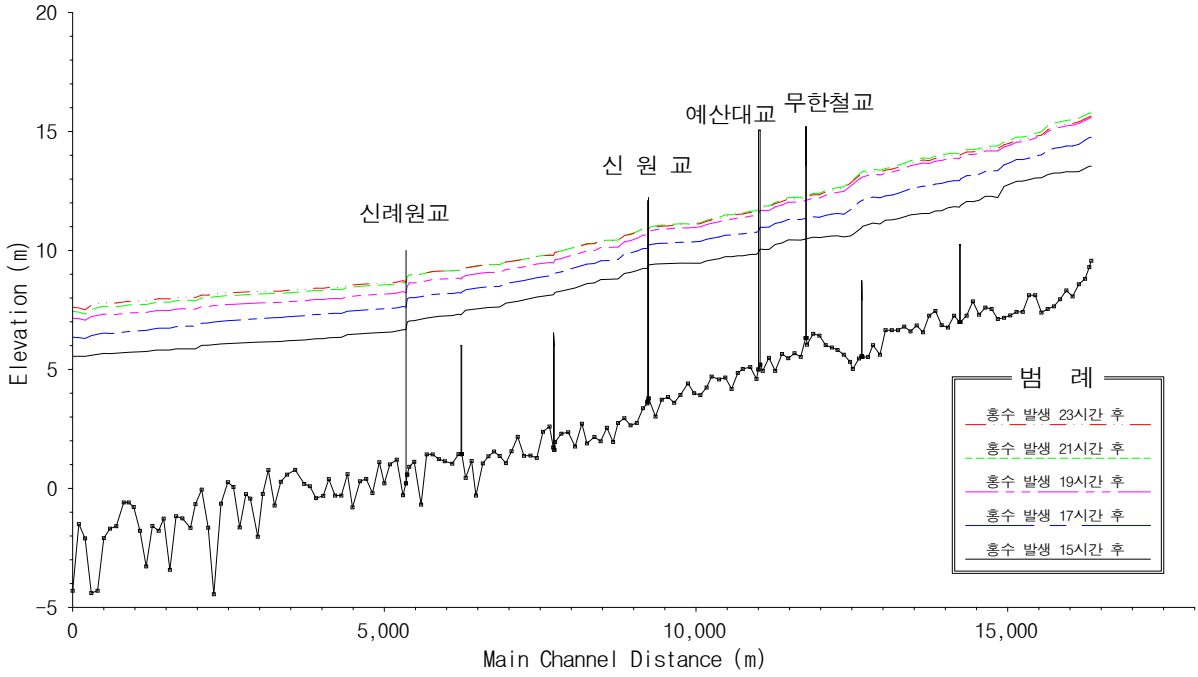


<그림 10.47> 삽교천 국가하천 구간의 감수시 수면곡선 비교

<그림 10.46>과 같은 기간 동안의 곡교천과 무한천 국가하천 구간의 수면곡선을 비교하면 곡교천은 삽교천의 증수시 수면곡선 변화와 유사한 모습을 보이고 있으며, 무한천은 오히려 감수시의 수면변화 양상에 가까운 형태를 보이고 있다. 이러한 결과는 곡교천과 무한천 하구부에 미치는 삽교호의 배수영향 정도가 차이나기 때문으로 삽교천 하구에서 약 5km 상류지점으로 유입하는 곡교천에 비해 그 10km 상류지점으로 유입하는 무한천은 조위로 인한 삽교호의 배수지체 영향을 거의 받지 않은 것으로 볼 수 있다.



<그림 10.48> 곡교천 국가하천 구간의 증수시 수면곡선 비교



<그림 10.49> 무한천 국가하천 구간의 중수시 수면곡선 비교

조위에 따른 삽교호 배수갑문의 조작이 삽교천의 홍수위에 영향범위를 파악하기 위해 <그림 10.50>과 같이 각 조위조건 별로 삽교천의 홍수위를 계산하여 비교한 결과 100년 빈도 홍수시 삽교천 하구(삽교호)의 홍수위는 최대 1.45m의 차이가 발생하며, 곡교천 하구는 1.45m, 무한천 하구에서 0.35m의 차이가 발생하였다. 각 조건별 홍수위의 최대편차가 0.1m 미만이 되는 거리는 삽교호 방조제지점을 기준으로 삽교천은 약 19.5km 상류, 곡교천은 15.5km, 무한천은 19.8km로 분석되었다.

<그림 10.50> 조위로 인한 삽교천 하류부의 홍수위 변화특성 비교

10.4 주요지점 홍수량

홍수량은 치수사업의 규모를 결정짓는 중요한 요소로서 하천이나 유역에서 인위적인 유역개발이나 유량조절시스템에 의해 조절되지 않고 자연상태로 유출되는 기본홍수량과 하천 상류에 홍수조절용 댐이나 방수로 등이 있을 경우에 이들 시설에 의한 홍수조절양을 감하여 순수하게 하도가 부담하여야 할 홍수량인 계획홍수량으로 구분할 수 있다. 우리나라의 경우 대부분의 자연하천 유역에는 홍수조절용 시설이 없는 관계로 기본홍수량과 계획홍수량의 구분이 무의미 하지만, 치수사업의 관점에서 볼 때 상기한 홍수량이 갖는 근본적인 개념의 차이를 구분한다면 기본홍수량은 강우에 의해 유역에서 발생하는 직접유출량이고 계획홍수량은 기본홍수량 중 하도를 통해 소통되는 부분만을 의미한다고 할 수 있다.

유역종합치수계획을 수립하는데 있어 홍수량의 개념을 고찰하는 것은 이제까지의 홍수량에 대한 개념이 하도대응 위주의 치수사업에 치중한데서 야기된 하도 지향적인 개념이기 때문이다. 즉, 앞서 정의한 바와 같이 순수하게 하도가 부담해야 할 홍수량을 계획홍수량이라 설정하고 이를 기준으로 사업계획을 수립하고, 시행한다는 것은 결국 하도만을 사업의 대상으로 하는 경우에만 가능하기 때문이다.

그러나 선 개념의 하도대응에서 벗어나서 유역에서 발생한 홍수량을 하도로 유입하기 이전에 저감하는 것을 중요한 사업목표로 설정하고 있는 면 개념의 유역종합치수계획을 수립하는데 있어서는 유역에서 발생한 홍수량 자체가 계획의 대상이 될 수밖에 없으므로 기존의 기본홍수량과 계획홍수량으로 구분되는 이분법적 홍수량 개념은 의미가 없게 된다. 굳이 과거의 홍수량 개념에 의해 유역종합치수계획의 대상을 표현하면 과거의 기본홍수량이 유역종합치수계획에 있어 계획의 기준이 되는 홍수량이며, 계획홍수량은 하도의 계획기준 홍수량으로 그 의미가 축소되어야 할 것이다.

기본홍수량과 계획홍수량의 구분을 떠나서 두 홍수량이 갖는 공통적인 특징은 강우에 의해 발생한 총 유출용적 보다는 순간적인 흐름의 크기를 나타내는 첨두홍수량이 주요 관심대상이며, 홍수의 규모를 평가하는 기준이 된다는 점이다. 아울러 홍수량 및 홍수위 분석과정에서 하도의 주요 지점을 기준으로 유역에서 발생한 유출량을 산정하여 하도에 형성된 홍수량과 동일하게 사용하고 있는 것도 공통점이라 할 수 있다.

이러한 특징으로 인해 유역 유출과 하도 유출을 명확히 구분하지 않고 대부분 동일한 개념으로 간주하여 왔으며, 그 결과 강우에 의해 발생한 직접유출이 하도로 유입하는데 영향을 미치는 유역의 지형특성과 하도에서의 홍수흐름 특성을 지배하는 상·하류 경계조건 및 하도 자체의 영향이 배제된 채 홍수량을 산정하는 것이 관행처럼 이어져 왔다.

물론 유역에서 발생한 유출이 하도로 유입하는데 지장이 없는 지형이고, 하도에 자연적인 흐름특성을 교란하는 요인이 없는 경우 이제까지의 관행이 실제 유역에서 발생하는 유출과 홍수의 특징을 별다른 무리 없이 설명할 수 있을 것이다.

그러나 삽교천 유역 하류부의 상황은 기존의 홍수량에 대한 개념으로는 그 수리·수문특성을 정확하게 표현할 수 없는데 그 이유는 앞서 삽교천 유역 하류부의 유출특성과 배수영향 특성에서도 언급하였듯이 유역에서 발생한 직접유출량이 즉시 하도로 유입하지 않고 하도의 수위 상황에 따라 지체되어 유입되며, 삽교호 배수갑문의 운영에 따른 영향이 삽교호 방조제 기준으로 삽교천과 무한천은 약 20km, 곡교천은 15km 상류까지 미치기 때문에 이 구간에서는 동일한 강우와 유역의 유출조건에서도 하도의 유하량이 흐름조건에 따라 변화하기 때문이다. 예컨대 삽교호 배수갑문이 완전히 개방되어 유역에서 발생한 홍수를 배제하는데 전혀 지장이 없는 상황에서과 서해안 조위가 삽교호의 내수위 보다 높아 배수갑문을 여러 시간 폐쇄하여 삽교호 및 삽교천 하류구간에 유량이 지체되었다가 배수갑문을 개방함에 따라 다시 유하할 경우 하도내 홍수흐름의 유속과 통수단면이 상이할 것이며 그 결과로서 하도유하량 또한 상이하게 된다.

이러한 관점에서 기존의 계획홍수량, 즉 하도의 계획기준 홍수량은 유역의 홍수유출이 하도로 유입하는데 제한이 없고, 하도로 유입한 유량이 유하하는데 있어 인위적인 홍수조절 시설을 제외한 다른 영향요소가 없을 경우의 하도유하량이라고 구분할 수 있는바 동일한 강우조건에서도 다양하게 변화하는 삽교천 하류구간의 흐름특성을 표현 하는데 한계가 있다.

따라서 금회 과업에서는 서해안 조위 및 배수갑문 조작의 영향을 받는 유역 하류부의 주요 하천 구간에 대해서는 기본홍수량과 계획홍수량에 뿐만 아니라 흐름조건에 따라 다양하게 변화하는 하도의 유하량을 산정하여 하도의 홍수소통능력을 검토하고 삽교천 유역의 치수적 문제점을 분석하며, 개선계획을 수립하여 그 효과를 평가하였다.

계획홍수량과 하도유하량의 개념적 구분에 덧붙여 금회 과업에서 적용한 산정방법의 차이점을 소개하면 동일한 상류단경계조건과 내부경계조건(측방유입)을 사용하되 수문학적인 홍수추적 방법에 의해 주요 지점의 기본홍수량 및 계획홍수량을 결정한데 비해 하도유하량은 다양한 하류경계조건을 추가하여 동역학파 하도홍수추적방법에 의해 산정함으로써 하도내 홍수흐름에 영향을 미치는 요인들을 최대한 반영하였다는 점이다.

10.4.1 기본홍수량

금회 과업의 홍수량 산정지점 중 유역의 상류부에 위치한 지점은 유역면적이 작고, 도달시간이 짧은 특성 때문에 삽교천 하구를 기준으로 하여 전 유역을 대상으로 홍수량을 산정할 경우와 해당 유역만을 대상으로 홍수량을 산정할 경우의 강우지속시간과 면적감소계수(ARF)의 적용이 크게 달라질 수 있으며, 그 영향으로 첨두홍수량이 각각의 조건에서 상이하게 산정될 수 있다.

이러한 사유로 유역전체의 유출특성이 관심의 대상인 유역종합치수계획에 의해 산정된 홍수량이 개개 하천이나 유역의 치수사업 기준으로 적용하기에 부적합할 수 있다. 따라서, 각각의 홍수량 산정지점에서 금회 설정한 치수안전도를 기준으로 삽교천 유역 전체를 대상으로 일괄적으로 산정한 홍수량과 개개 하천의 유역만을 대상으로 현 하천정비기본계획의 계획빈도를 적용하여 산정한 홍수량을 비교하여 큰 값을 기본홍수량으로 결정하였다.

홍수량 산정지점 중 복수의 기준으로 홍수량을 산정하여 비교할 필요가 있는 지점은 삽교천과 곡교천 및 무한천 국가하천 구간을 제외한 삽교천과 곡교천의 지방1, 2급 구간과 무한천 지방2급 구간 및 신양천에 위치한 홍수량 산정지점으로서 이 지점의 홍수량을 산정과정은 별권 보고서 '지방하천 정비계획 검토'에 상세히 수록하였다.

10.4.2 계획홍수량

현재 삽교천 유역에서 홍수량을 조절할 수 있는 시설은 예당지가 유일하므로 유역종합치수계획 시행 이전인 현재의 계획홍수량은 무한천의 예당지 하류와 삽교천의 무한천 합류부 하류 구간에 대해서만 예당지의 홍수조절 능력을 고려하여 계획홍수량을 결정하였으며, 그 외의 지점에 대해서는 기본홍수량을 그대로 계획홍수량으로 채택하였다.

금회 산정한 계획홍수량과 기존 해당 하천의 기본계획에서 산정한 계획홍수량을 비교한 결과 모든 지점에서 확률강우량의 증가로 인해 기존 계획홍수량 보다 금회 산정한 계획홍수량이 크게 나타났으며, 특히 삽교천의 무한천 합류부 하류와, 무한천 예당지 하류 구간의 계획홍수량이 다른 지점에 비해 상대적으로 크게 증가하였다. 그 이유는 예당지의 홍수조절 능력이 기존 분석결과에 비해 작게 평가된데 있는데 그 사유는 다음 장의 '11.2.3 예당지'에서 상세하게 수록 하였다.

<표 10.31> 주요 지점의 빈도별 홍수량 (현재)

하 천	등 급	산정지점	부호	유역면적 (㎢)	빈도별 홍수량 (㎥/sec)					비 고
					30년	50년	80년	100년	200년	
삽교천	국 가	삽교천 하구	SK-0	1,649.39	5,787	6,356	6,880	7,129	7,890	
		곡교천 합류후	SK-1	1,521.24	5,606	6,158	6,666	6,908	7,647	
		곡교천 합류전	SK-2	976.16	3,977	4,375	4,740	4,914	5,444	
		무한천 합류후	SK-3	903.70	3,843	4,228	4,582	4,750	5,265	
		무한천 합류전	SK-4	431.90	2,082	2,289	2,480	2,570	2,847	
		대천천 합류전	SK-5	314.90	1,529	1,682	1,822	1,889	2,093	
		덕산천 합류후	SK-6	218.06	1,134	1,248	1,352	1,402	1,553	
	지방1급	화양천 합류전	SK-7	111.93	985	1,031	1,120	1,161	1,280	임계지속시간 적용
	지방2급	종현천 합류전	SK-8	33.15	432	478	520	540	601	임계지속시간 적용
곡교천	국 가	곡교천 하구	GK-0	545.08	1,638	1,794	1,938	2,006	2,216	
		강청교	GK-1	486.92	1,522	1,667	1,800	1,864	2,059	
		온양천 합류후	GK-2	397.00	1,417	1,551	1,674	1,733	1,913	
	지방1급	매곡천 합류전	GK-3	241.34	1,326	1,404	1,503	1,539	1,729	임계지속시간 적용
		풍서천 합류전	GK-4	65.43	615	672	728	754	831	임계지속시간 적용
	지방2급	양안천 합류전	GK-5	18.90	226	251	273	284	317	임계지속시간 적용
무한천	국 가	무한천 하구	MH-0	471.80	2,009	2,207	2,387	2,473	2,734	
		궁평천 합류전	MH-1	435.96	1,963	2,158	2,337	2,422	2,681	
		예산대교	MH-2	396.92	1,931	2,123	2,299	2,383	2,637	
		예당저수지	MH-3	368.86	2,052	2,254	2,440	2,528	2,797	
	지방2급	동산교	MH-4	149.44	932	1,028	1,115	1,156	1,281	
		강촌천 합류전	MH-5	80.05	753	835	914	952	1,066	임계지속시간 적용
		기덕천 합류전	MH-6	21.47	384	427	466	485	543	임계지속시간 적용
신양천	지방2급	신양천 하구	SY-0	190.98	1,098	1,152	1,237	1,270	1,447	임계지속시간 적용
		화산천 합류전	SY-1	68.56	621	678	736	764	843	임계지속시간 적용

<표 10.32> 주요 지점의 빈도별 홍수량 (목표연도)

하 천	등 급	산정지점	부호	유역면적 (㎢)	빈도별 홍수량 (㎥/sec)					비 고
					30년	50년	80년	100년	200년	
삽교천	국 가	삽교천 하구	SK-0	1649.39	5,802	6,371	6,896	7,145	7,906	
		곡교천 합류후	SK-1	1521.24	5,621	6,173	6,682	6,923	7,662	
		곡교천 합류전	SK-2	976.16	3,979	4,376	4,742	4,915	5,446	
		무한천 합류후	SK-3	903.70	3,844	4,229	4,583	4,752	5,266	
		무한천 합류전	SK-4	431.90	2,083	2,290	2,481	2,571	2,848	
		대천천 합류전	SK-5	314.90	1,529	1,682	1,823	1,890	2,094	
		덕산천 합류후	SK-6	218.06	1,135	1,248	1,353	1,402	1,553	
	지방1급	화양천 합류전	SK-7	111.93	987	1,032	1,121	1,163	1,281	임계지속시간 적용
	지방2급	종현천 합류전	SK-8	33.15	432	478	520	540	601	임계지속시간 적용
곡교천	국 가	곡교천 하구	GK-0	545.08	1,652	1,808	1,952	2,021	2,230	
		강청교	GK-1	486.92	1,535	1,681	1,814	1,878	2,073	
		온양천 합류후	GK-2	397.00	1,429	1,563	1,687	1,746	1,925	
	지방1급	매곡천 합류전	GK-3	241.34	1,347	1,426	1,525	1,560	1,750	임계지속시간 적용
		풍서천 합류전	GK-4	65.43	615	672	728	754	831	임계지속시간 적용
	지방2급	양안천 합류전	GK-5	18.90	226	251	273	284	317	임계지속시간 적용
무한천	국 가	무한천 하구	MH-0	471.80	2,010	2,207	2,388	2,473	2,734	
		궁평천 합류전	MH-1	435.96	1,963	2,158	2,337	2,422	2,681	
		예산대교	MH-2	396.92	1,931	2,123	2,299	2,383	2,637	
		예당저수지	MH-3	368.86	2,052	2,254	2,440	2,528	2,797	
	지방2급	동산교	MH-4	149.44	932	1,028	1,115	1,156	1,281	
		강촌천 합류전	MH-5	80.05	753	835	914	952	1,066	임계지속시간 적용
		기덕천 합류전	MH-6	21.47	384	427	466	485	543	임계지속시간 적용
신양천	지방2급	신양천 하구	SY-0	190.98	1,098	1,152	1,237	1,270	1,447	임계지속시간 적용
		화산천 합류전	SY-1	68.56	621	678	736	764	843	임계지속시간 적용

<표 10.33> 주요 지점의 기본홍수량

단위 : ㎥/sec

하 천	등 급	산정지점	부 호	유역면적 (㎢)	치수안전도	전체유역 기준		해당 하천 기준		현기본계획 기본홍수량	채 택	
						현 재	목표연도	현 재	목표연도		현 재	목표연도
삽교천	국가	삽교천 하구	SK-0	1,649.39	100년	7,129	7,145	-	-	6,280	7,130	7,145
		곡교천 합류후	SK-1	1,521.24	100년	6,908	6,923	-	-	5,840	6,910	6,925
		곡교천 합류전	SK-2	976.16	100년	4,914	4,915	-	-	4,320	4,915	4,915
		무한천 합류후	SK-3	903.70	100년	4,750	4,752	-	-	4,290	4,750	4,750
		무한천 합류전	SK-4	431.90	100년	2,570	2,571	-	-	2,510	2,570	2,570
		대천천 합류전	SK-5	314.90	100년	1,889	1,890	-	-	2,080	1,890	1,890
		덕산천 합류후	SK-6	218.06	100년	1,402	1,402	-	-	1,720	1,400	1,400
	지방1급	화양천 합류전	SK-7	111.93	80년	708	708	1,120	1,121	920	1,120	1,120
	지방2급	종현천 합류전	SK-8	33.15	80년	199	199	520	520	320	520	520
곡교천	국가	곡교천 하구	GK-0	545.08	100년	2,006	2,021	-	-	2,180	2,005	2,020
		강청교	GK-1	486.92	100년	1,864	1,878	-	-	2,090	1,865	1,880
		온양천 합류후	GK-2	397.00	100년	1,733	1,746	-	-	2,090	1,735	1,745
	지방1급	매곡천 합류전	GK-3	241.34	80년	1,054	1,062	1,503	1,525	1,360	1,505	1,525
		풍서천 합류전	GK-4	65.43	80년	330	330	728	728	480	730	730
	지방2급	양안천 합류전	GK-5	18.90	50년	112	112	251	251	225	250	250
무한천	국가	무한천 하구	MH-0	471.80	100년	2,473	2,473	-	-	2,210	2,475	2,475
		궁평천 합류전	MH-1	435.96	100년	2,422	2,422	-	-	-	2,420	2,420
		예산대교	MH-2	396.92	100년	2,383	2,383	-	-	2,180	2,385	2,385
		예당저수지	MH-3	368.86	100년	2,528	2,528	-	-	2,160	2,530	2,530
	지방2급	동산교	MH-4	149.44	50년	1,028	1,028	922	922	945	1,030	1,030
		강촌천 합류전	MH-5	80.05	50년	611	611	835	835	610	835	835
		기덕천 합류전	MH-6	21.47	50년	184	184	427	427	260	425	425
신양천	지방2급	신양천 하구	SY-0	190.98	50년	1,064	1,064	1,152	1,152	-	1,150	1,150
		화산천 합류전	SY-1	68.56	50년	394	394	678	678	-	680	680

<표 10.34> 주요 지점의 계획홍수량

단위 : ㎥/sec

하 천	등 급	산정지점	부 호	유역면적 (㎢)	기본홍수량		계획홍수량		현기본계획 계획홍수량	비 고
					현 재	목표연도	현 재	목표연도		
삽교천	국가	삽교천 하구	SK-0	1,649.39	7,130	7,145	7,050	7,065	6,080	
		곡교천 합류후	SK-1	1,521.24	6,910	6,925	6,805	6,820	5,540	
		곡교천 합류전	SK-2	976.16	4,915	4,915	4,800	4,805	3,910	
		무한천 합류후	SK-3	903.7	4,750	4,750	4,605	4,610	3,910	
		무한천 합류전	SK-4	431.9	2,570	2,570	2,570	2,570	2,510	
		대천천 합류전	SK-5	314.9	1,890	1,890	1,890	1,890	2,080	
		덕산천 합류후	SK-6	218.06	1,400	1,400	1,400	1,400	1,720	
	지방1급	화양천 합류전	SK-7	111.93	1,120	1,120	1,120	1,120	950	
	지방2급	종현천 합류전	SK-8	33.15	520	520	520	520	320	
곡교천	국가	곡교천 하구	GK-0	545.08	2,005	2,020	2,005	2,020	2,180	
		강청교	GK-1	486.92	1,865	1,880	1,865	1,880	2,090	
		온양천 합류후	GK-2	397	1,735	1,745	1,735	1,745	2,090	
	지방1급	매곡천 합류전	GK-3	241.34	1,505	1,525	1,505	1,525	1,360	
		풍서천 합류전	GK-4	65.43	730	730	730	730	480	
	지방2급	양안천 합류전	GK-5	18.9	250	250	250	250	225	
무한천	국가	무한천 하구	MH-0	471.8	2,475	2,475	2,135	2,135	1,480	
		궁평천 합류전	MH-1	435.96	2,420	2,420	2,080	2,080	-	
		예산대교	MH-2	396.92	2,385	2,385	2,005	2,005	1,350	
		예당저수지(유출)	MH-3	368.86	2,530	2,530	1,955	1,955	1,290	
		예당저수지(유입)					2,530	2,530	2,160	
	지방2급	동산교	MH-4	149.44	1,030	1,030	1,030	1,030	945	
		강촌천 합류전	MH-5	80.05	835	835	835	835	610	
		기덕천 합류전	MH-6	21.47	425	425	425	425	260	
신양천	지방2급	신양천 하구	SY-0	190.98	1,150	1,150	1,150	1,150	-	
		화산천 합류전	SY-1	68.56	680	680	680	680	-	

10.4.3 하도유하량

수문학적 방법에 의해 산정한 계획홍수량과 삽교호의 배수영향을 받는 주요 하천의 국가하천 구간을 대상으로 동역학파모형에 의한 하도추적을 실시하여 계산한 하도유하량을 주요 지점에 대해 비교하여 <표 10.35>에 함께 수록하였다.

26개의 조위조건에 대해 동역학파모형에 의한 하도추적에 의해 하도유하량을 계산한 결과 그 값이 상이하게 나타나는 구간은 대체로 삽교호 방조제로부터 상류로 약 20km 정도의 구간으로서 상류로 갈수록 조위조건에 의해 발생한 하도유하량의 편차가 감소하고 있음을 알 수 있다.

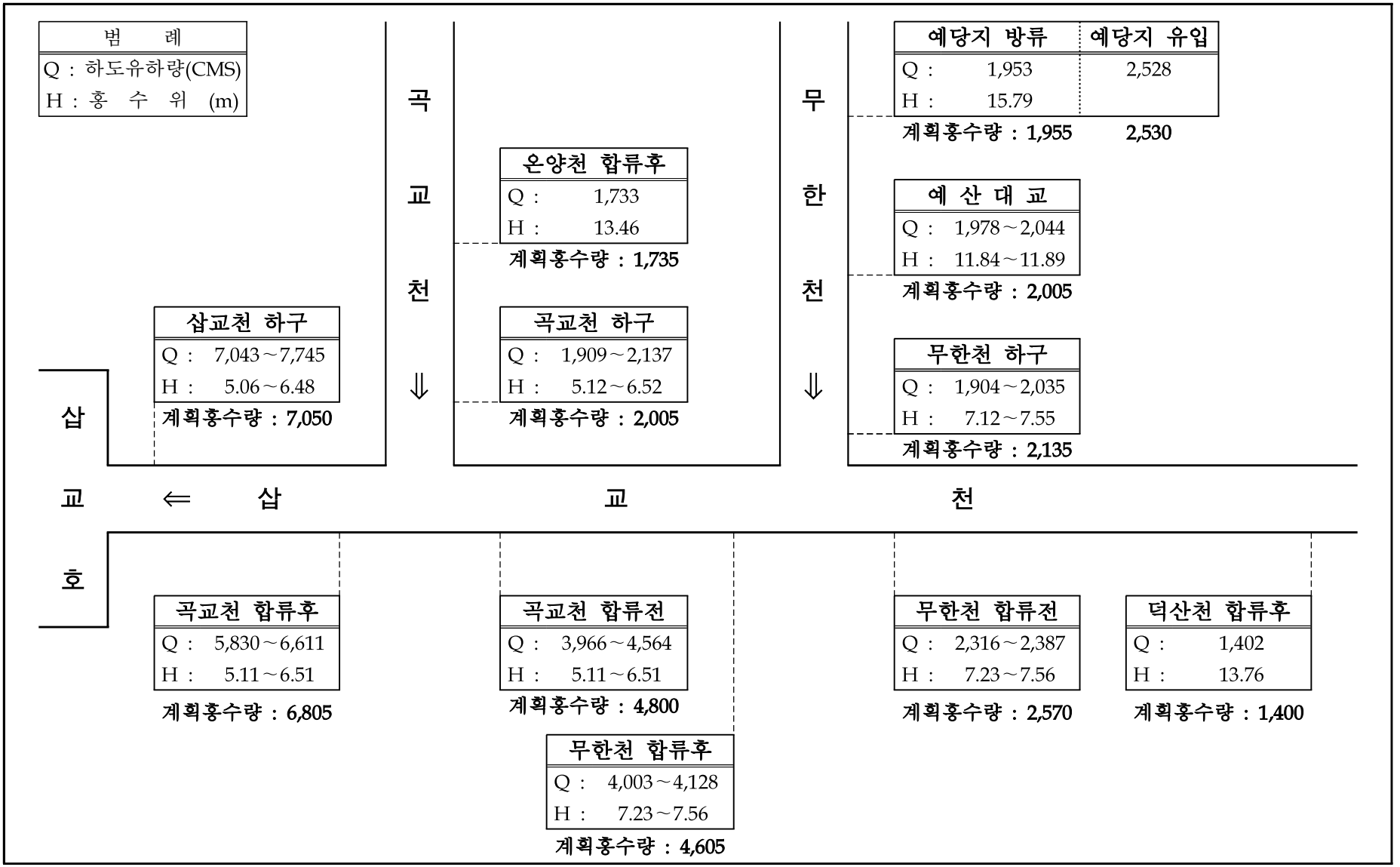
<표 10.35> 계획홍수량과 하도유하량 비교

하천명	산정지점	계획빈도	계획홍수량			하도유하량		
			'94년 기본계획	금회 산정		현 재	목표연도(2016년)	
				현재	목표연도		개수전	개수후
삽교천	덕산천 합류후	100년	1,720	1,400	1,400	1,402	1,402	1,402
	대천천 합류전	100년	2,080	1,890	1,890	1,942 ~1,943	1,942 ~1,949	1,942 ~1,949
	무한천 합류전	100년	2,510	2,570	2,570	2,316 ~2,387	2,315 ~2,387	2,294 ~2,358
	무한천 합류후	100년	3,910	4,605	4,610	4,003 ~4,128	4,007 ~4,131	4,150 ~4,350
	곡교천 합류전	100년	3,910	4,800	4,805	3,966 ~4,564	3,965 ~4,567	4,136 ~4,720
	곡교천 합류후	100년	5,540	6,805	6,820	5,830 ~6,611	5,837 ~6,633	6,009 ~6,782
	삽교천 하 구	100년	6,080	7,050	7,065	7,043 ~7,745	7,041 ~7,750	7,026 ~7,819
무한천	예당지 유 입	100년	2,160	2,530	2,530	2,528	2,528	2,528
	예당지 방 류	100년	1,290	1,955	1,955	1,953	1,953	1,953
	예산대교	100년	1,350	2,005	2,005	1,978 ~2,044	2,031 ~2,049	2,032 ~2,047
	무한천 하 구	100년	1,480	2,135	2,135	1,904 ~2,035	1,901 ~2,016	2,122 ~2,193
곡교천	온양천 합류점	100년	2,090	1,735	1,745	1,733	1,746	1,746
	강청교 지 점	100년	2,090	1,865	1,880	1,833 ~1,857	1,848 ~1,874	1,850 ~1,872
	곡교천 하 구	100년	2,180	2,005	2,020	1,909 ~2,137	1,925 ~2,151	1,914 ~2,155

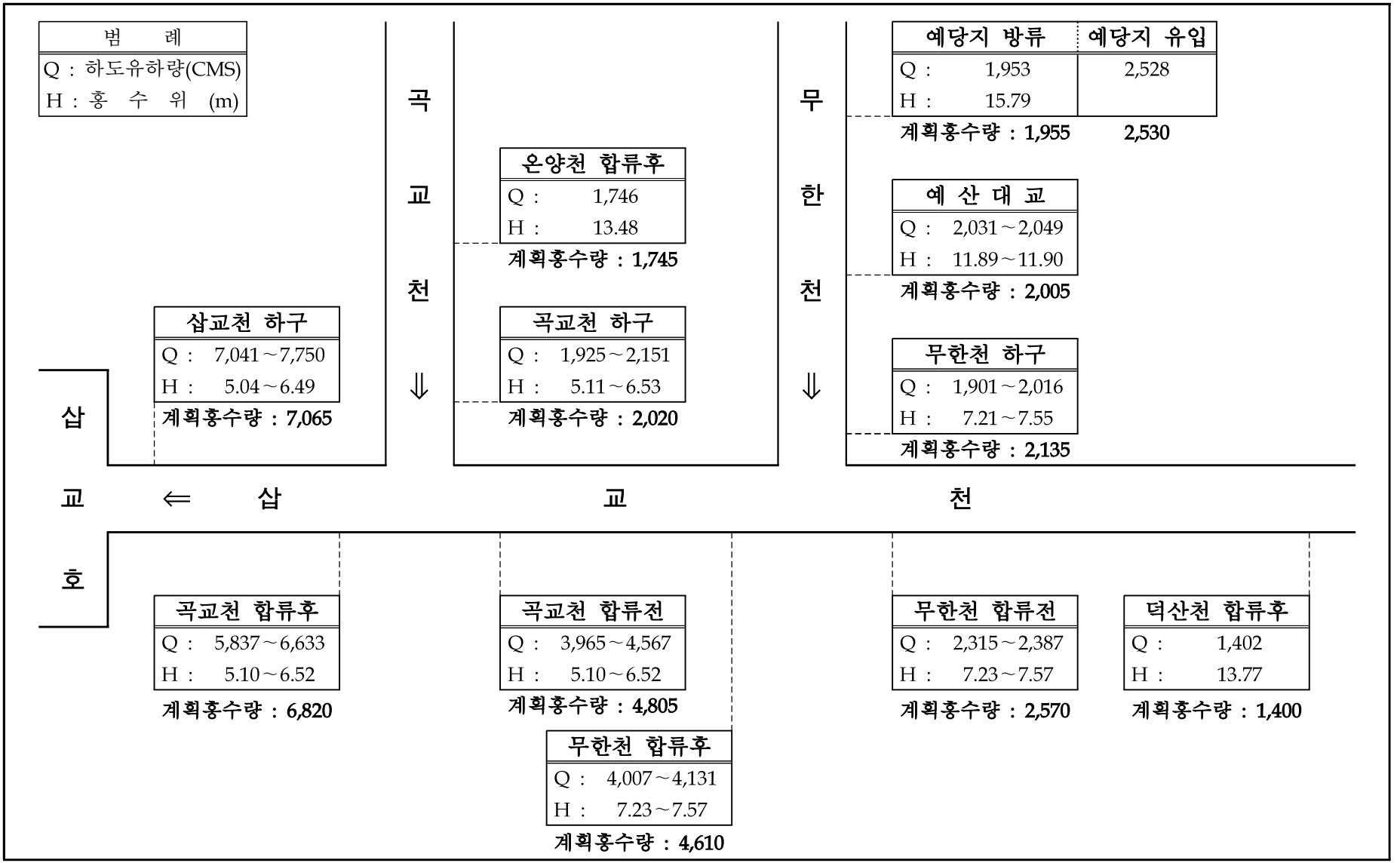
계획홍수량과 하도유하량을 비교하면 곡교천에서는 큰 차이가 없는데 비해 삽교천과 곡교천 및 삽교천과 무한천의 합류점에서 계획홍수량이 크고 삽교천 하구 지점에서는 하도유하량이 큰 상반된 특징을 보이고 있다.

이러한 결과는 수문학적 하도추적 방법으로 계산한 계획홍수량의 경우 삽교천과 곡교천 및 무한천 합류점에서 삽교호의 배수영향과 두 하천간 흐름의 간섭 영향을 반영하지 못하고 단순히 시간대별로 자체 유하하는 두 하천의 홍수량을 산술적으로 합산하기 때문에 삽교호의 배수영향 및 하천간 흐름의 간섭을 반영하여 합류점의 홍수량(하도유하량)을 계산하는 동역학파모형에 의한 하도추적 결과에 비해 홍수량이 상대적으로 크게 산정되었기 때문이다.

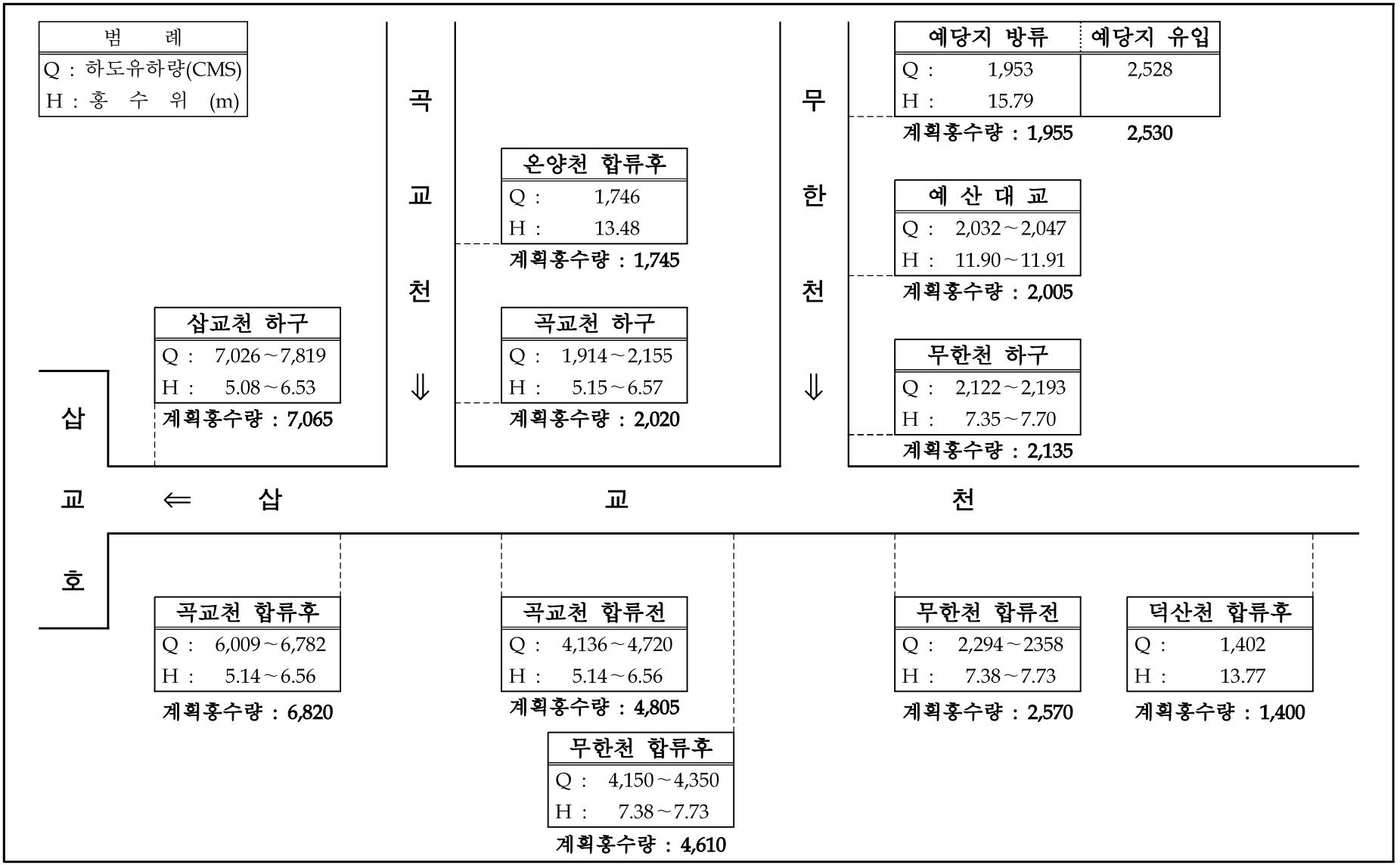
이에 비해 서해안 조위에 따른 배수갑문 조작영향이 가장 크게 영향을 미치는 삽교천 하구지점에서는 조위 조건에 따라 배수지체의 정도가 크게 차이나서 하도유하량의 범위가 증가하는데, 이는 삽교호에 지체되어 있던 유량이 배수갑문의 개방에 따라 초기에 급격히 방류되고 그 영향이 상류로 전이되어 하도유하량의 규모를 결정하기 때문이다. 따라서, 삽교호에 지체된 유량이 클수록 배수갑문 개방시 하도유하량이 크게 나타나서 이를 고려하지 못하는 수문학적 방법에 의해 결정된 계획홍수량을 초과하는 결과를 보이기도 한다.



<그림 10.51> 주요 지점의 계획홍수량과 하도유하량 비교 (100년 빈도, 현상태)



<그림 10.52> 주요 지점의 계획홍수량과 하도유하량 비교(100년 빈도, 목표연도 개수전)



<그림 10.53> 주요 지점의 계획홍수량과 하도유하량 비교도 (100년 빈도, 목표연도 개수후)

10.4.4 홍수량 산정방법에 따른 수리특성 차이 검토

하천 주요 지점의 첨두홍수량을 산정한 후 그 결과에 의해 홍수위를 계산하는 기존의 방법에 비해, 동역학파하도추적 방법은 하도유하량과 함께 홍수위를 동시에 계산하는 차이가 있다. 이론적으로는 하도내 홍수흐름에 기여하는 모든 요인들을 반영할 수 있는 동역학파하도추적에 의해 산정한 홍수위가 정확한 결과를 주는 것으로 알려져 있으며, 특히 삽교천과 같이 서해안 조위에 따른 배수갑문 조작의 영향과 같은 하류교란을 받는 하천에서는 에너지방정식에만 근거한 기존의 부등류 해석은 실제 홍수시 발생하는 하천의 흐름특성을 분석하는데 한계가 있다.

따라서, 본 절에서는 이제까지 일반적으로 사용되고 있는 부등류 해석에 의한 홍수위 계산 결과와 동역학파하도추적 결과를 비교하여 홍수위 계산에 사용된 방법의 차이가 해석결과에 어떻게 반영 되는지를 검토하고, 삽교천 유역 홍수방어 대안의 치수효과를 평가하는데 적합한 방법을 결정하였다.

가. 삽교호의 홍수위 계산 결과

삽교천의 기점홍수위 산정 기준이 되는 삽교호의 홍수위를 계산하는데 있어 이제까지 일반적으로 사용되어온 방법은 삽교호 지점의 홍수량을 수문학적인 방법에 의해 산정한 후 그 결과를 입력자료로 하고, 서해안 조위를 하류경계조건으로 하여 저수지 추적을 실시하는 것이다. 이에 비해 금회 과업에서 사용한 동역학파하도추적 방법은 삽교호와 주요 하천의 하도를 함께 모형화 함으로써 삽교호의 수리특성을 하도의 유출특성 및 조위와 연계하여 분석할 수 있는 장점이 있다.

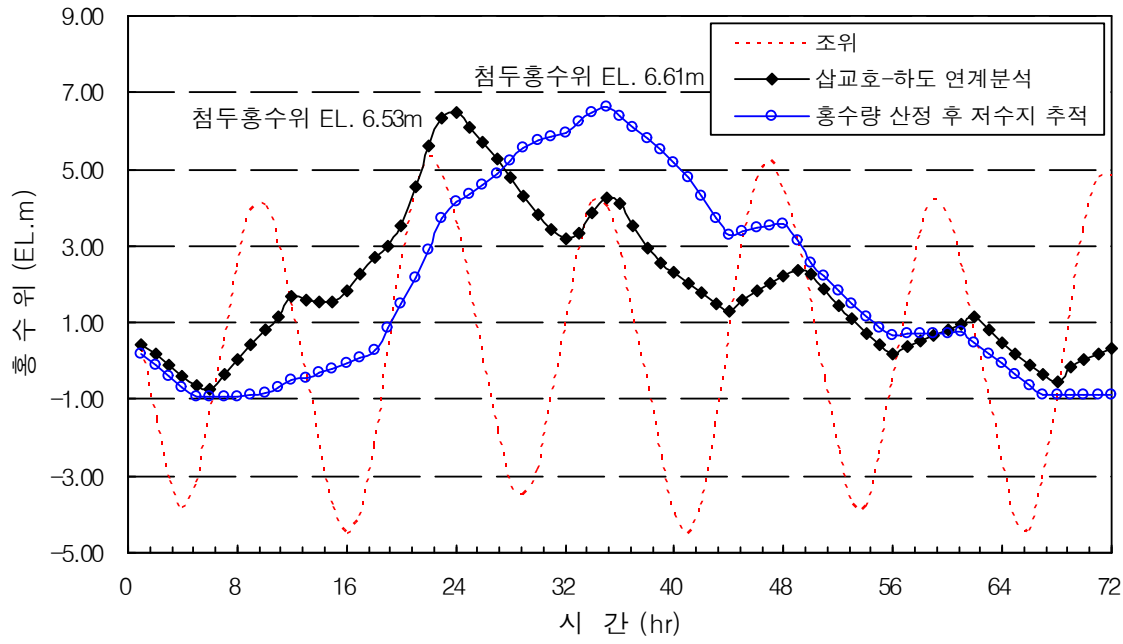
즉, 삽교호 유입량에 해당하는 삽교호 지점의 홍수량 산정시 서해안 조위와 배수갑문 조작의 영향으로 인한 하류교란의 요인을 전혀 반영하지 못하는 기존 방법에 비해, 금회 과업에서 채택한 동역학파하도추적 모형은 삽교호의 홍수위 및 배수갑문을 통한 방류특성과 연계하여 삽교호 유입량과 배수갑문을 통한 방류량을 결정하고, 그 영향을 반영하여 상류의 홍수위를 계산하게 된다.

이러한 방법상의 차이로 인해 삽교호의 첨두홍수위 계산결과는 동역학파하도추적 모형에 의한 결과와 삽교호의 유입량을 산정한 후 저수지 추적을 실시한 결과가 비슷하게 나타났지만 삽교호 내수위의 시간적인 변화특성은 상당한 차이를 보이고 있다.

<그림 10.54>는 전술한 두 가지 방법에 의해 산정한 삽교호의 내수위수문곡선을 비교하여 도시한 것인데, 동역학파하도추적 모형에 의한 결과는 조위가 상승하여 배수갑문을 통한 방류가 불가하거나 어려운 상황에서는 내수위가 급격히 상승하고, 조위가 하강

하여 삽교호의 홍수를 방류하는데 유리한 상황에서는 내수위가 저하하는 형태를 보이고 있어 조위의 영향을 잘 반영하는 것을 알 수 있지만, 저수지 추적에 의한 방법은 조위가 저조에 해당하는 경우에도 삽교호의 내수위가 지속적으로 상승하는 등 조위의 변화에 따른 내수위의 변화가 적절히 반영되지 못하는 차이를 보이고 있다. 이러한 차이로 인해 첨두홍수위 계산 결과는 EL. 6.53m와 EL. 6.61m로 큰 차이가 없지만 첨두홍수위 발생시간이 10시간 이상 차이 나고, 홍수위수문곡선의 모양도 크게 다른 형태를 보이고 있다.

따라서, 삽교호와 하도를 연계하여 동역학파하도추적 방법에 의해 수리특성을 분석한 금회 과업의 결과를 채택하는 것이 실제 발생할 수 있는 홍수사상을 정확히 반영하는데 적합하며, 삽교호 지점의 홍수량 산정후 저수지 추적에 의해 결정한 삽교호의 첨두홍수위값을 기점홍수위로 적용하는 것은 큰 문제가 없지만, 첨두홍수위 발생시간이나 홍수위수문곡선의 형태는 신뢰성이 떨어지므로 그 사용에 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.



<그림 10.54> 삽교호의 홍수위수문곡선 비교

나. 하천의 홍수위 계산 결과

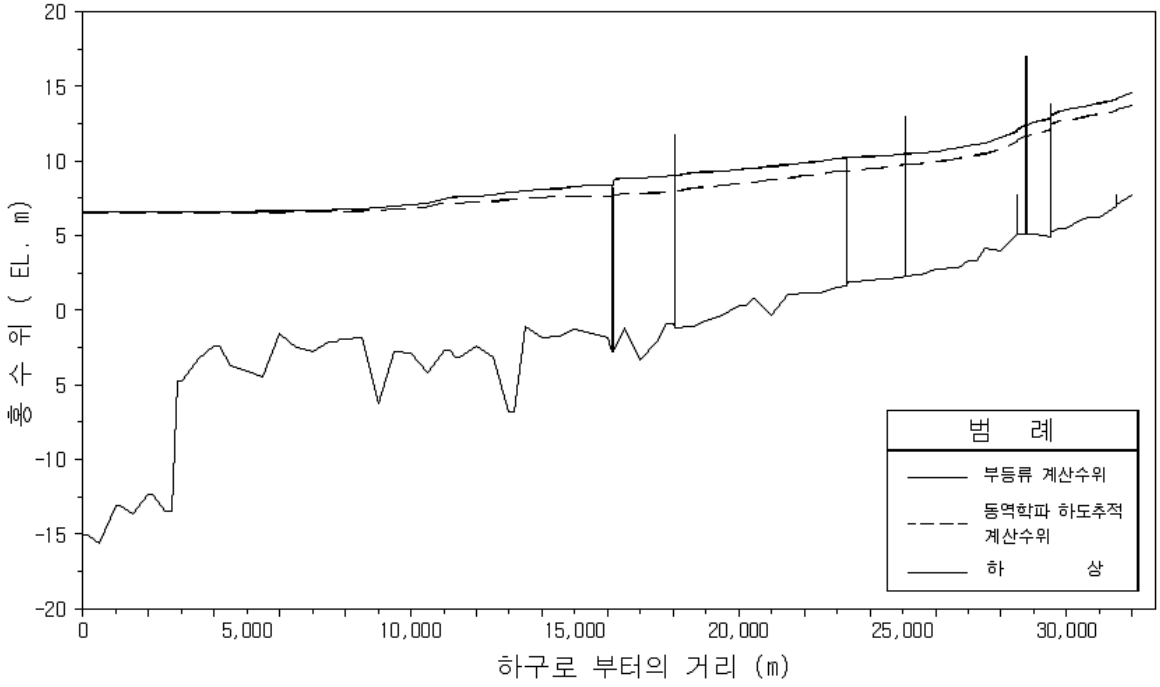
<그림 10.54>의 삽교호 첨두홍수위 계산 결과를 기점홍수위로 하여 계획홍수량을 기준으로 부등류 해석에 의해 산정한 주요 하천의 홍수위와 동역학파하도추적 모형에 의해 계산된 홍수위를 하천별로 <그림 10.55>~<그림 10.57>에 비교하였다.

그 결과 3개 주요 하천의 홍수위 계산결과가 서로 상이하게 나타났다. 즉, 삽교천은 삽교호에 해당하는 하류 구간에서는 부등류 해석 결과와 동역학파하도추적 모형에 의한 결과가 거의 차이를 보이지 않다가, 하구로부터 10km 상류지점부터 부등류 해석에 의해 계산된 홍수위가 상대적으로 크게 나타나며, 그 차이는 삽교천과 무한천 합류부 직상류에 위치한 구양교 지점까지 계속 증가한 이후 차차 감소하는 형태를 보이고 있다. 곡교천은 부등류 해석 결과와 동역학파하도추적 모형에 의한 결과가 거의 차이를 보이지 않지만 상류로 갈수록 부등류 해석에 의해 계산된 값이 다소 커지는 특징을 보이고 있다. 무한천의 경우 하구에서는 본류인 삽교천에서 발생한 홍수위 차이가 그대로 반영되어 부등류 해석 결과가 상당히 높게 나타나지만 상류로 갈수록 그 차이가 감소하고 있다. 그러나 전체적으로 부등류 해석에 의해 계산된 홍수위가 동역학파하도추적에 의해 계산된 홍수위보다 크게 나타나는 공통된 특징을 보이고 있다.

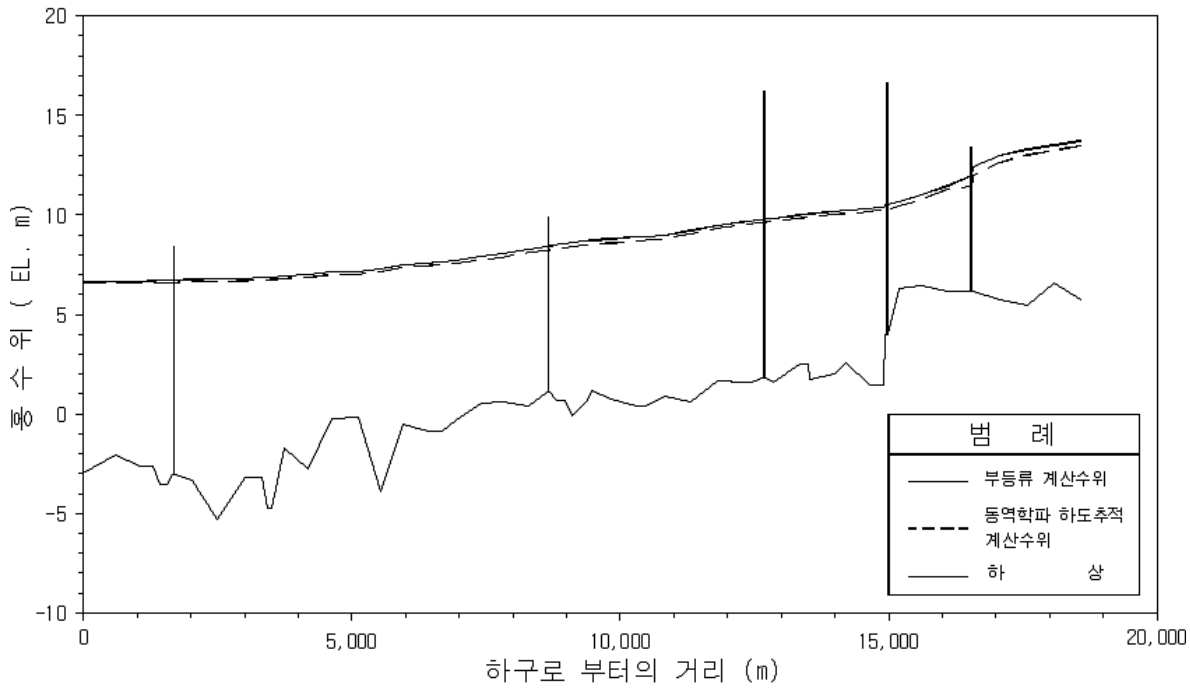
이렇게 홍수위 산정방법에 따라 차이가 발생하는 원인은 기본적으로 부등류 해석은 첨두홍수량을 기준으로 홍수위를 계산하지만, 동역학파하도추적 모형에 의한 결과는 <표 10.36>에서 보는 바와 같이 첨두홍수량 발생시간과 첨두홍수위 발생시간이 다르게 나타나서, 결과적으로 첨두홍수위 형성에 기여하는 홍수량이 첨두홍수량 보다 작기 때문이다. 그 이유는 자연하천에서 홍수시의 수위-유량 관계는 홍수위의 상승과 하강시의 형태가 상이한 Loop 형태를 보이는데서 찾을 수 있다. 하천의 홍수 흐름은 홍수위가 상승하는 증수시와 하강하는 감수시의 수면경사가 상이하며, 증수시가 감수시 보다 에너지경사가 크기 때문에 동일한 홍수위에도 증수시의 유량 즉, 하도유하량이 크게 된다. 따라서, 정상적인 경우 첨두홍수량은 첨두홍수위 발생 이전에 나타나게 되는데, <표 10.36>의 동역학파하도추적 결과에서 주요 하천의 중상류 구간에서 첨두홍수량 발생시간이 첨두홍수위 발생시간 보다 빠르게 나타나는 것이 이러한 이유 때문이다. 그러나 삽교호의 배수영향 구간에서는 서해 조위에 따른 배수갑문 조작으로 인한 홍수의 지체와 저류가 첨두홍수위 형성에 큰 영향을 미치기 때문에 첨두홍수위가 첨두홍수량 보다 먼저 나타나는 결과를 보이고 있다.

삽교천의 홍수위 계산 결과에서 부등류 해석에 의한 결과와 동역학파하도추적 모형에 의한 결과가 크게 차이나는 이유는 이러한 일반적인 하천의 홍수흐름 특성 보다는 삽교천과 곡교천 및 무한천 합류부의 홍수량이 하도유하량에 비해 크게 산정되었기 때문이다. 그 이유는 전 절에서 검토한 수문학적 하도추적 방법으로 계산한 계획홍수량의 경우 삽교천과 곡교천 및 무한천 합류점에서 삽교호의 배수영향 및 두 하천간 흐름의 간섭 영향을 반영하지 못하고 단순히 시간대별로 자체유하 하는 두 하천의 홍수량을 산술적으로 합산하기 때문에 삽교호의 배수영향 및 하천간 흐름의 간섭을 반영하여 합류점의 홍수량

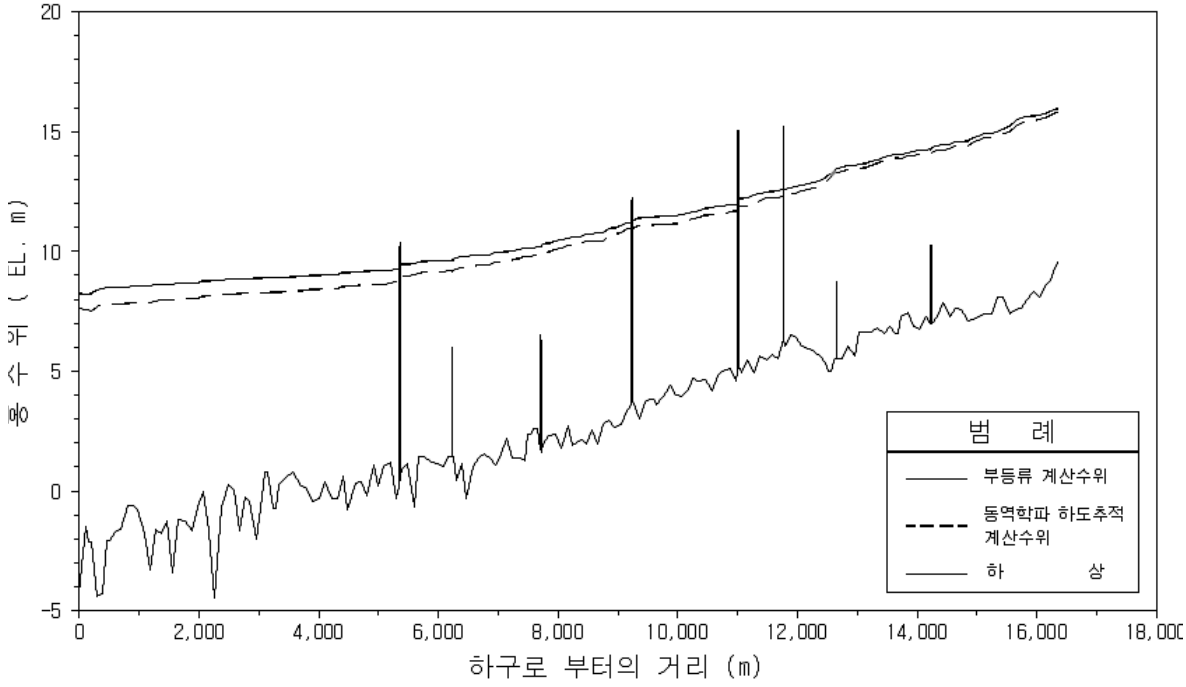
(하도유하량)을 계산하는 동역학파모형에 의한 하도추적 결과에 비해 홍수량이 상대적으로 크게 산정되었기 때문으로 판단된다. 특히 그 결과로 인해 홍수위가 과대하게 산정되어 삽교천과 무한천 합류부 직상류 지점에 위치한 구양교 상부에 저촉됨으로써 홍수위가 급격히 상승하는 현상이 발생한 것도 동역학파모형에 의한 하도추적 결과와 차이가 크게 나는 결과를 가져왔다. 그러나 삽교천과 무한천 합류점의 홍수량에 의한 영향이 감소하는 구양교 상류 구간에서는 홍수위의 차이가 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다.



<그림 10.55> 부등류 해석과 동역학파홍수추적에 의한 홍수위 계산결과 비교 (삽교천)



<그림 10.56> 부등류 해석과 동역학파홍수추적에 의한 홍수위 계산결과 비교 (곡교천)



<그림 10.57> 부등류 해석과 동역학파홍수추적에 의한 홍수위 계산결과 비교 (무한천)

<표 10.36> 첨두홍수량과 첨두홍수위 발생시간 비교

하천	산정지점	계획홍수량 (수문학적 하도추적 결과)		하도유하량 (동역학파하도추적 결과)		비 고
		첨두홍수량 발생시간	첨두홍수위 발생시간	첨두홍수량 발생시간	첨두홍수위 발생시간	
삽교천	삽교천 하구	28:00	28:00 (35:00)	24:00	23:00	
	곡교천 합류후	22:05	22:05	24:00	23:00	
	곡교천 합류전	22:10	22:10	24:00	23:00	
	무한천 합류후	20:05	20:05	20:00	23:00	
	무한천 합류전	19:20	19:20	19:00	23:00	
	대천천 합류전	19:00	19:00	19:00	19:00	
	덕산천 합류후	19:20	19:20	19:20	19:20	
곡교천	곡교천 하구	21:45	21:45	24:00	23:00	
	강청교	21:40	21:40	22:00	23:00	
	온양천 합류후	21:55	21:55	21:55	21:55	
무한천	무한천 하구	21:30	21:30	24:00	23:00	
	예산대교	20:55	20:55	22:00	22:00	
	예당저수지	20:00	20:00	20:00	20:00	

【주】 홍수발생 시점을 기준으로한 경과시간.
( )안은 저수지 추적 결과임.

이상의 검토 결과 홍수시 하천의 홍수흐름 특성을 파악하는데는 일반적으로 알려진 바와 같이 동역학파하도추적 방법이 적합하며, 특히 삽교천 유역 중하류부에 위치하여 삽교호의 배수영향을 받는 구간에서는 수문학적 방법으로 산정한 홍수량과 그에 의해 계산된 홍수위 보다 동역학파하도추적의 결과인 하도유하량과 홍수위가 실제 발생할 수 있는 홍수의 흐름특성을 잘 모의하는 것으로 판단되므로 금회 과업에서 계획하는 홍수방어 대안의 치수효과를 분석하고 평가하는 기본 수리·수문 분석모형으로 동역학파하도추적 모형을 채택하였다.

제 11 장 기존 치수시설의 홍수조절능력 검토

11.1 홍수량 증가와 홍수위 상승

11.2 기존 치수시설물 능력검토

11.3 예상 침수지역

제 11 장 기존 치수시설의 홍수조절능력 검토

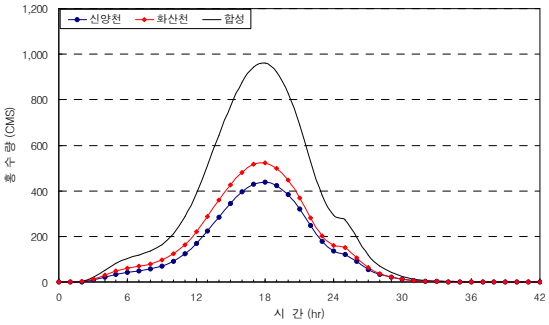
11.1 홍수량 증가와 홍수위 상승

11.1.1 홍수량 증가

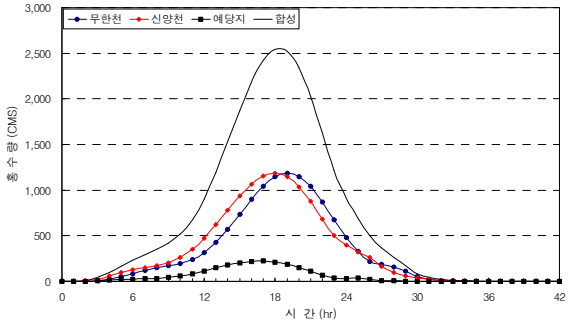
금회 홍수량 산정결과 수계내 국가하천구간의 계획규모에 해당하는 100년 빈도 홍수량이 '94년 하천정비기본계획(보완) 당시에 비해 산정지점별로 삽교천과 곡교천 상류부는 감소하고 무한천과 삽교천 하류부는 증가하는 추세를 보이고 있다.

이 결과 중 눈에 띄는 부분은 삽교천이나 곡교천의 상류부 홍수량은 '94년 산정결과에 비해 16.5~18.6% 감소하였으나, 산악지형으로 구성된 예당지 상류부의 홍수량은 17.1% 증가하였다는 점이다. 이러한 결과는 홍수량 산정시 특히 첨두홍수량의 크기에 큰 영향을 미치는 도달시간과 저류상수의 값을 지형특성에 맞게 구분하여 적용한 결과와 수계구성 형태에 따른 유출특성을 구체적으로 반영한 결과이다. 즉, '94년 기본계획(보완)에서는 예당지 유입홍수량을 예당지 지점을 기준으로 유역추적법에 의해 산정함으로써 신양천과 화산천 합류부 및 예당지에서 무한천과 신양천의 첨두홍수량 발생시기가 일치하여 수문곡선의 첨두부가 중첩되는 특성을 반영하지 못하였으나, 금회 과업에서는 "10.1.1 유역특성에 따른 검토 사항"에서 언급한 바와 같이 주요 홍수량 산정지점을 기준으로 유역추적과 하도추적을 병행하고 특히 예당지 유입량 산정시 무한천과 신양천의 예당지 유입량과 예당지 지역에서 발생하는 홍수량을 합성함으로써 실제 예당지로 유입하는 홍수의 특성을 최대한 반영한데 따른 결과이다.

아울러 예당지 첨두방류량이 '94년 기본계획(보완) 성과에 비해 크게 증가하였는데 이 결과는 홍수량의 증가뿐만 아니라 예당지 유입수문곡선의 형태에 기인한 것으로서, '94년 기본계획(보완) 성과에 의한 유입수문곡선은 홍수 발생후 12시간부터 유입량이 급격히 증가하여 5시간만에 첨두유입량에 달하지만, 금회 산정한 유입수문곡선은 Huff 3분위를 채택하여 강우를 분포시켰기 때문에 수문곡선의 상승부가 완만하고 첨두유입량이 지체되어 발생한다. 따라서 첨두방류 전까지 유입량의 60%만을 방류하는 형태로 운영되는 예당지의 홍수조절방식을 고려할 때 첨두유입량이 지체되어 발생하고, 그 전에 유입한 홍수량으로 인해 홍수조절공간이 잠식된 상황을 가정한 금회 분석결과가 '94년 기본계획(보완) 성과에 비해 예당지의 홍수조절능력을 작게 평가하게 됨에 따라 첨두방류량이 크게 증가하였다.

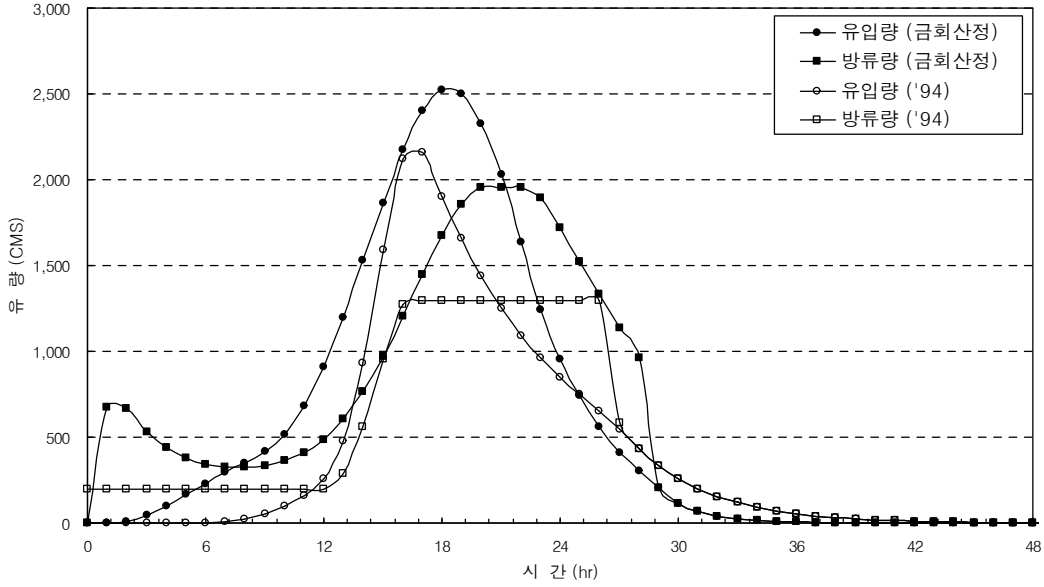


신양천-화산천 합류점



예당지 유입

<그림 11.1> 예당지 상류 지점 수문곡선 합성



<그림 11.2> 예당지 유입 및 방류량 수문곡선 비교

이러한 예당지의 방류량 증가는 하도의 홍수부담 증가로 직결된다. 특히 무한천의 예당지 하류구간은 계획홍수량이 약 50% 가량 증가하였고, 무한천과 합류하는 삽교천 하류구간의 계획홍수량도 약 20%의 증가하여 삽교천 유역을 삼분하는 삽교천과 곡교천, 무한천 유역에서 발생한 홍수량이 합류하는 유역의 하류부에 홍수부담이 매우 크게 증가한 것을 알 수 있다. 아울러 홍수량 증가가 가장 큰 무한천은 예당지 홍수조절 영향으로 첨두홍수량 발생이 가장 늦고 하류에 삽교호, 삽교천과 곡교천 합류와 같은 배수영향 요인이 상존하며 삽교천 합류부의 지형특성으로 인해 홍수배제가 지체되는 유출특성상 치수적으로 가장 불리한 상황에 놓이게 될 것이다.

<표 11.1> 확률강우량과 홍수량 증감 비교

하천명	산 정 지 점	계 획 빈 도	면적평균 강우량 (mm)			계획홍수량 (㎥/sec)					비 고
			'94년 기 본 계 획	금 회 산 정	변화율 (%)	'94 년 기 본 계 획	금회				
							현 재		목표연도(2016년)		
							홍수량	변화율	홍수량	변화율(%)	
삽교천	덕산천 합류후	100년	305.0	349.0	114.42	1,720	1,400	81.4	1,400	81.4	
	무한천 합류전	100년	317.0	337.2	106.37	2,510	2,570	102.4	2,570	102.4	
	무한천 합류후	100년	304.6	328.9	107.98	3,910	4,605	117.8	4,610	117.9	
	곡교천 합류전	100년	300.9	326.1	108.37	3,910	4,800	122.8	4,805	122.9	
	곡교천 합류후	100년	286.3	315.6	110.22	5,540	6,805	122.8	6,820	123.1	
	삽교천 하구	100년	288.2	315.5	109.46	6,080	7,050	116.0	7,065	116.2	
곡교천	온양천 합류점	100년	261.7	299.5	114.44	2,090	1,735	83.0	1,745	83.5	
	곡교천 하구	100년	253.8	296.7	116.91	2,180	2,005	92.0	2,020	92.7	
무한천	예당지 유입	100년	289.9	328.2	113.23	2,160	2,530	117.1	2,530	117.1	
	예당지 방류	100년	289.9	328.2	113.23	1,290	1,955	151.6	1,955	151.6	
	예산대교	100년	298.6	326.4	109.32	1,350	2,005	148.5	2,005	148.5	
	무한천 하구	100년	298.6	321.3	107.60	1,480	2,135	144.3	2,135	144.3	

11.1.2 홍수위 증가

유역에서 발생한 홍수량이 증가하면 그 결과는 홍수위 상승으로 나타나게 된다. 그러나 삽교천 유역의 하류구간은 홍수량의 증가뿐만 아니라 다른 요인에 의해서도 홍수위가 증가할 것으로 예상되며, 이미 그 과정에 해당 된다고 할 수 있다.

과거 삽교천 유역의 하류부는 무제부에 해당하는 지역이 존재하였으나 현재 지속적인 축제공사의 시행으로 무제부가 완전히 사라진 상태이다. 기존의 삽교천 유역 하류부에 위치한 무제부 지역은 대개 답작지로 활용되는 지역으로서 규모가 큰 홍수가 발생하면 하도의 홍수위상승에 따라 서서히 침수되면서 홍수터 역할을 해 왔다. 예를 들어 삽교천의 곡교천 합류점 좌안 측에 위치한 당진군 우강면의 광활한 답작지는 최근 까지도 홍수가 발생하여 삽교호의 수위가 상승하면 삽교천의 제 1지류인 남원천 하류부 우안의 약 2.1km에 달하는 무제부 구간과 우강면 신촌리와 공포리에 걸쳐 위치한 파천수로를 통해 외수가 유입하여 침수가 발생하였던 지역으로, 지역 주민들에 의하면 거의 매년 침수가 발생했던 것으로 조사되었다. 그러나 후술할 '10.3.2 삽교천 하구부의 수리특성'에서 검토한 바와 같이 삽교호 방조제 지점의 조위가 하강하면 즉시 외수가 배제되어 오히려 유제부 구간보다 침수시간이 짧은 특성으로 인해 상습침수피해지역으로 분류되지 않고 있었다. 이 지역은 2004년 현재 남원천 하류 우안측이 축제공사 중이며, 신촌리에 위치한 파천수로를 횡단하는 제방과 배수문 공사도 진행 중이어서 상습적인 외수침수 피해에서 벗어나게 될 것이다.

이렇게 제방을 축조하여 무제부 지역을 외수침수로부터 보호하게 되면, 그 지역만큼은 치수적인 이익을 얻을 수 있지만 유역 전체로는 홍수터 상실로 인해 홍수위가 증가하는 역효과가 발생한다. <표 11.2>의 하류단 경계조건에 따른 삽교호 첨두수위 변화 분석결과에 의하면 목표연도의 100년 빈도 홍수 발생시 현재의 하도 조건에서는 최고 첨두수위가 EL. 6.49m인데 비해 하도를 완전 개수하여 외수범람이 전혀 없는 조건에서 산정한 결과는 EL. 6.53m로 0.04m 증가하는 것으로 예측되어 홍수터의 존재가 하천의 홍수위에 미치는 영향을 짐작할 수 있다. 따라서 대규모 홍수시 홍수터 역할을 하여 홍수위 저감에 기여했던 무제부 지역이 지속적인 하천개수 공사로 인해 사라짐으로써 과거에 비해 홍수위가 지속적으로 상승하게 되며 그 영향은 하류부로 갈수록 홍수위 증가와 더불어 예상되는 피해규모의 증가로 나타나게 될 것이다.

홍수터 상실로 인한 홍수위 증가가 치수적으로 불리하게 변화하는 유역의 특성을 체감할 수 있는 상황이기는 해도, '94년 기본계획(보완)에서 하도의 완전개수를 전제로 홍수위를 계산하였기 때문에 금회 산정한 홍수위와 '94년 기본계획(보완) 성과의 차이를

설명할 수는 없다. 그 차이는 전술한 홍수량의 증가와 함께 '10.3.2 삽교천 하구부의 수리특성'에서 분석한 바와 같이 상이한 설계조위의 적용에 의한 기점홍수위 차이로 설명될 수 있을 것이다.

'94년 기본계획(보완) 성과와 비교할 때 하구를 기준으로 100년 빈도의 첨두홍수량이 약 16% 증가하였고, 이러한 첨두홍수량의 비교가 홍수량 산정방법, 매개변수의 적용이 상이하여 직접적인 비교의 기준이 될 수 없더라도 <표 11.1>의 면적평균강우량 변화를 고려할 때 '94년 기본계획 이후 삽교천 유역 전체로는 약 9.5%의 홍수량 증가요인이 발생하였음을 알 수 있다. 또한 '94년 기본계획(보완) 당시 사용한 설계조위는 삽교호 방조제 건설 전에 단기간의 관측에 의해 작성한 결과로서, 금회 산정한 설계조위에 비해 최대조위가 0.52m 낮고 그 영향으로 삽교호의 첨두수위 산정 결과에 평균 0.36m의 차이를 유발하는 것으로 분석되었다.

문제는 '94년 기본계획(보완) 당시에도 '76년 삽교호 방조제 설계 성과와 비교하여 하구의 계획홍수량이 5,460㎥/sec에서 6,075㎥/sec으로 약 11.3% 증가하였고, 홍수량의 증가를 고려하지 않아도 삽교호의 첨두수위 계산결과가 0.23m 상승하였으며, 삽교호의 내용적 감소까지 고려하면 삽교호의 계획홍수위가 당초 EL. 5.10m에서 EL. 5.81m로 증가하는 것으로 분석하였으면서도 배수갑문 5련 증설을 전제로 삽교호 방조제 계획 당시의 100년 빈도 수위인 EL. 5.10m를 기점홍수위로 채택하였다는 사실이다.[1)]

그 이후 '95년에 발생한 삽교천 유역 대홍수에 대한 '삽교천 수해원인조사 보고서(1996.11, 건교부)'에서도 동일한 문제점을 지적하였으나, 10년이 지나도록 삽교호 배수갑문의 증설은 이루어지지 않고 있으며, 계속적인 확률강우량 증가에 따른 계획빈도의 홍수량 증가와 설계조위 현실화에 따른 영향으로 금회 분석한 바와 같이 삽교호의 첨두홍수위는 목표연도인 2016년을 기준으로 하도가 완전히 개수된다고 가정할 때 최고 EL. 6.53m로 평가되었다. 이 결과는 삽교천 국가하천 구간의 여유고가 1.2~1.5m 이고 무한천과 곡교천 국가하천 구간의 여유고가 각각 2.0m와 1.2m 임을 감안할 때 '94년 기본계획(보완) 성과를 기준으로 완전 개수된 구간이 계획대상 홍수 발생시에도 치수적으로 안전하지 못할 수 있음을 의미하며, 금회 홍수추적모형의 모의결과 현 하도 조건에서 일부 구간의 외수범람이 발생한 것이 이러한 위험성을 반영한 것이라 할 수 있다.

<표 11.2>는 '94년 기본계획에서 적용한 기점홍수위와 금회 채택한 설계조위에 의해 산정한 삽교호 지점의 최고홍수위를 기점으로 하여 계산한 100년 빈도 홍수위를 비교한 것으로 기점홍수위 차이가 주요 하천의 국가하천 구간 홍수위 계산결과에 미치는 영향을 보여주고 있다.

1) 삽교천 하천정비기본계획(보완) 부록 '12-0 삽교방조제 배수갑문 능력검토' (1994.3, 건교부)

<표 11.2> 삽교천 국가하천 구간 홍수위 비교 (100년 빈도 기준)

측점(No.)		거리(m)		100년 빈도 홍수위(EL.m)				수위차(m)			비 고
금회	'94	구간	누가	'94 ①	현 재 ②	2016년 (개수전) ③	2016년 (개수후) ④	②-①	③-①	④-①	
0	0	0	0	5.10	6.48	6.49	6.53	1.38	1.39	1.43	
1	1	500	500	5.10	6.48	6.49	6.53	1.38	1.39	1.43	
2	2	500	1,000	5.11	6.48	6.49	6.53	1.37	1.38	1.42	
3	3	500	1,500	5.12	6.48	6.49	6.53	1.36	1.37	1.41	
4	4	500	2,000	5.12	6.48	6.49	6.53	1.36	1.37	1.41	
5	5	500	2,500	5.13	6.48	6.49	6.53	1.35	1.36	1.40	
6	6	500	3,000	5.13	6.48	6.49	6.53	1.35	1.36	1.40	
7	7	500	3,500	5.14	6.49	6.50	6.54	1.35	1.36	1.40	
8	8	500	4,000	5.15	6.49	6.50	6.54	1.34	1.35	1.39	
9	9	500	4,500	5.15	6.50	6.51	6.55	1.35	1.36	1.40	
10	10	500	5,000	5.16	6.51	6.52	6.56	1.35	1.36	1.40	
11	11	500	5,500	5.16	6.51	6.52	6.56	1.35	1.36	1.40	
12	12	500	6,000	5.17	6.51	6.52	6.56	1.34	1.35	1.39	
13	13	500	6,500	5.17	6.52	6.53	6.57	1.35	1.36	1.40	
14	14	500	7,000	5.18	6.53	6.54	6.58	1.35	1.36	1.40	
15	15	500	7,500	5.23	6.56	6.57	6.61	1.33	1.34	1.38	
16	16	500	8,000	5.27	6.58	6.59	6.64	1.31	1.32	1.37	
17	17	500	8,500	5.32	6.60	6.61	6.66	1.28	1.29	1.34	
18	18	500	9,000	5.37	6.64	6.65	6.70	1.27	1.28	1.33	
19	19	500	9,500	5.42	6.69	6.70	6.76	1.27	1.28	1.34	
20	20	500	10,000	5.46	6.74	6.75	6.81	1.28	1.29	1.35	
21	21	500	10,500	5.51	6.81	6.82	6.89	1.30	1.31	1.38	
22	22	500	11,000	5.62	7.03	7.03	7.13	1.41	1.41	1.51	
23	23	500	11,500	5.74	7.07	7.08	7.18	1.33	1.34	1.44	
24	24	500	12,000	5.85	7.12	7.13	7.23	1.27	1.28	1.38	
25	25	500	12,500	5.96	7.18	7.18	7.29	1.22	1.22	1.33	
26	26	500	13,000	6.08	7.28	7.28	7.40	1.20	1.20	1.32	
27	27	500	13,500	6.19	7.38	7.38	7.51	1.19	1.19	1.32	
28	28	500	14,000	6.31	7.44	7.44	7.57	1.13	1.13	1.26	
29	29	500	14,500	6.42	7.48	7.48	7.61	1.06	1.06	1.19	
30	30	500	15,000	6.53	7.48	7.48	7.61	0.95	0.95	1.08	
31	31	500	15,500	6.65	7.51	7.51	7.64	0.86	0.86	0.99	
32	32	500	16,000	6.76	7.54	7.54	7.66	0.78	0.78	0.90	
+150	+150	154	16,154	7.12	7.53	7.53	7.65	0.41	0.41	0.53	구양교
33	33	346	16,500	7.27	7.70	7.70	7.79	0.43	0.43	0.52	
34	34	500	17,000	7.40	7.74	7.74	7.80	0.34	0.34	0.40	
35	35	500	17,500	7.52	7.83	7.83	7.87	0.31	0.31	0.35	
36	36	500	18,000	7.65	7.95	7.95	7.98	0.30	0.30	0.33	
+60		60	18,060	-	7.98	7.98	8.00	-	-	-	신설교량

<표 11.2> 삽교천 국가하천 구간 홍수위 비교 (100년 빈도 기준) (계속)

측점(No.)		거리(m)		계획홍수위(EL.m)				수위차(m)			비 고
금회	'94	구간	누가	'94 ①	현 재 ②	2016년 (개수전) ③	2016년 (개수후) ④	②-①	③-①	④-①	
37	37	440	18,500	7.77	8.13	8.13	8.14	0.36	0.36	0.37	
38	38	500	19,000	7.90	8.26	8.25	8.27	0.36	0.35	0.37	
39	39	500	19,500	8.02	8.35	8.35	8.35	0.33	0.33	0.33	
40	40	500	20,000	8.15	8.47	8.46	8.47	0.32	0.31	0.32	
41	41	500	20,500	8.27	8.59	8.59	8.59	0.32	0.32	0.32	
42	42	500	21,000	8.40	8.74	8.74	8.74	0.34	0.34	0.34	
43	43	500	21,500	8.52	8.86	8.86	8.87	0.34	0.34	0.35	
44	44	500	22,000	8.65	9.04	9.04	9.04	0.39	0.39	0.39	
45	45	500	22,500	8.77	9.14	9.13	9.14	0.37	0.36	0.37	
46	46	500	23,000	8.90	9.32	9.32	9.32	0.42	0.42	0.42	
+291	+300	291	23,291	8.97	9.35	9.35	9.35	0.38	0.38	0.38	구만교
47	47	209	23,500	9.02	9.39	9.39	9.39	0.37	0.37	0.37	
48	48	500	24,000	9.15	9.48	9.48	9.48	0.33	0.33	0.33	
49	49	500	24,500	9.27	9.59	9.59	9.59	0.32	0.32	0.32	
50	50	500	25,000	9.40	9.74	9.74	9.74	0.34	0.34	0.34	
+70	-	70	25,070	-	9.77	9.77	9.77	-	-	-	공사중교량
51	51	430	25,500	9.52	9.82	9.82	9.82	0.30	0.30	0.30	
52	52	500	26,000	9.65	9.95	9.95	9.95	0.30	0.30	0.30	
53	53	500	26,500	10.03	10.09	10.09	10.09	0.06	0.06	0.06	
54	54	500	27,000	10.42	10.30	10.30	10.31	-0.12	-0.12	-0.11	
55	55	500	27,500	10.80	10.49	10.49	10.49	-0.31	-0.31	-0.31	
56	56	500	28,000	11.18	10.81	10.81	10.81	-0.37	-0.37	-0.37	
57	57	500	28,500	11.57	11.35	11.35	11.35	-0.22	-0.22	-0.22	잠수교
+266	-	266	28,766	-	11.68	11.68	11.68	-	-	-	공사중 교량
58	58	234	29,000	11.95	11.81	11.81	11.81	-0.14	-0.14	-0.14	
+499	-	499	29,499	-	12.09	12.09	12.09	-	-	-	신충의대교
59	59	1	29,500	12.66	12.12	12.12	12.12	-0.54	-0.54	-0.54	
+17	+40	17	29,517	12.72	12.47	12.48	12.48	-0.25	-0.24	-0.24	구충의대교
60	60	483	30,000	13.40	12.76	12.76	12.76	-0.64	-0.64	-0.64	
61	61	500	30,500	13.40	12.94	12.94	12.94	-0.46	-0.46	-0.46	
62	62	500	31,000	13.75	13.16	13.16	13.16	-0.59	-0.59	-0.59	
63	63	500	31,500	14.10	13.38	13.38	13.38	-0.72	-0.72	-0.72	
+26	+40	26	31,526	14.13	13.40	13.40	13.40	-0.73	-0.73	-0.73	낙차공하단
+27	-	1	31,527	-	13.49	13.49	13.49	-	-	-	낙차공상단
64	64	473	32,000	14.45	13.76	13.77	13.77	-0.69	-0.68	-0.68	

<표 11.3> 곡교천 국가하천 구간 홍수위 비교 (100년 빈도 기준)

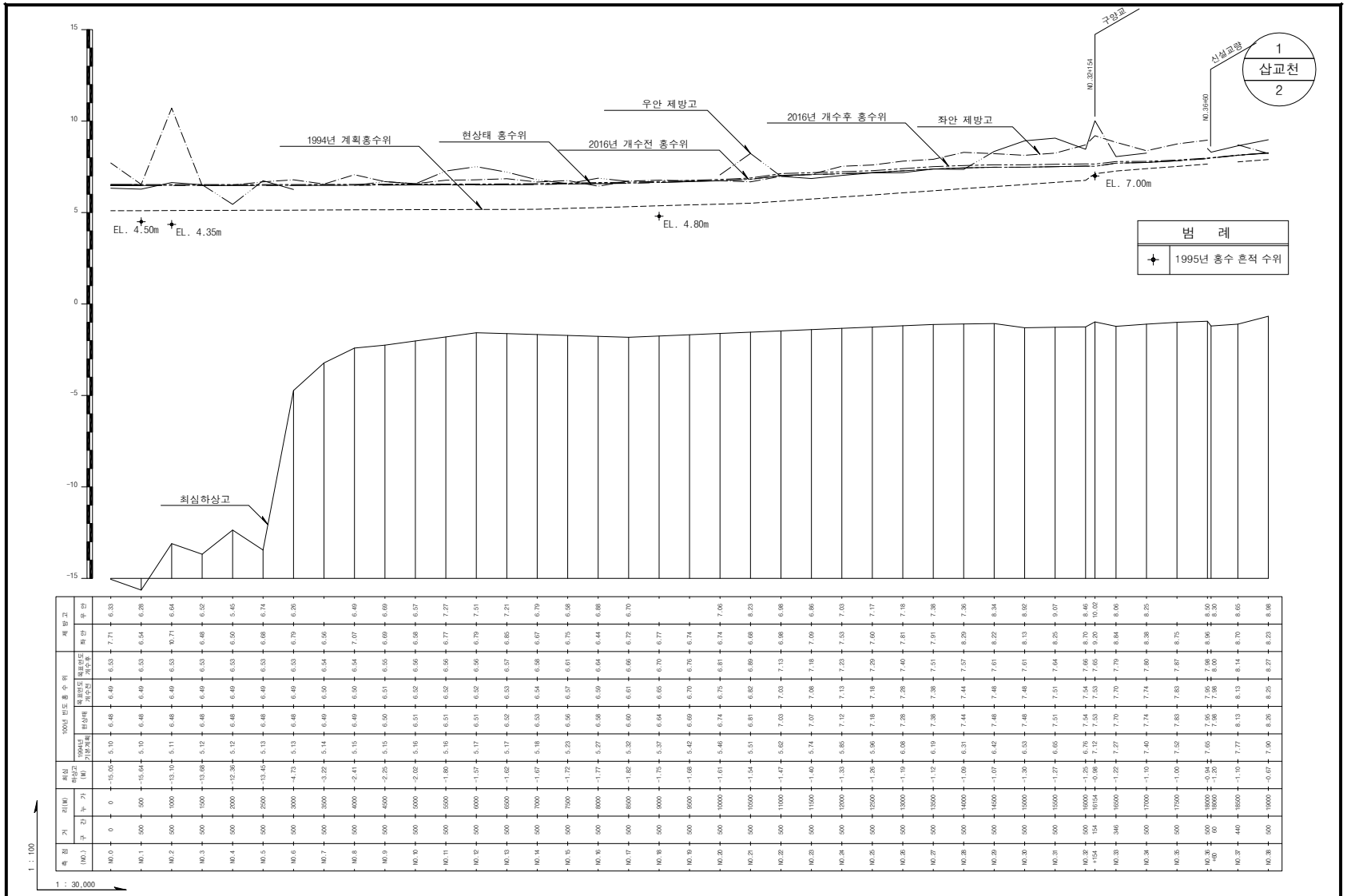
측점(No.)		거리(m)		100년 빈도 홍수위(EL.m)				수위차(m)			비 고
금회	'94	구간	누가	'94 ①	현 재 ②	2016년 (개수전) ③	2016년 (개수후) ④	②-①	③-①	④-①	
0	0	0	0	5.16	6.51	6.52	6.56	1.35	1.36	1.40	
1	1	590	590	5.22	6.52	6.53	6.57	1.30	1.31	1.35	
2	2	470	1,060	5.26	6.52	6.53	6.57	1.26	1.27	1.31	
3	3	500	1,560	5.31	6.56	6.57	6.61	1.25	1.26	1.30	
+150	+150	125	1,685	5.33	6.56	6.57	6.61	1.23	1.24	1.28	선인대교
4	4	325	2,010	5.36	6.59	6.60	6.63	1.23	1.24	1.27	
5	5	490	2,500	5.41	6.62	6.63	6.67	1.21	1.22	1.26	
6	6	520	3,020	5.46	6.65	6.66	6.69	1.19	1.20	1.23	
7	7	490	3,510	5.50	6.72	6.73	6.76	1.22	1.23	1.26	
8	8	230	3,740	5.53	6.76	6.77	6.81	1.23	1.24	1.28	
9	9	440	4,180	5.57	6.85	6.86	6.89	1.28	1.29	1.32	
10	10	450	4,630	5.72	6.95	6.97	6.99	1.23	1.25	1.27	
11	11	480	5,110	5.88	6.99	7.01	7.03	1.11	1.13	1.15	
12	12	430	5,540	6.02	7.12	7.14	7.16	1.10	1.12	1.14	
13	13	410	5,950	6.16	7.33	7.34	7.36	1.17	1.18	1.20	
14	14	480	6,430	6.33	7.42	7.44	7.45	1.09	1.11	1.12	
15	15	500	6,930	6.49	7.56	7.57	7.58	1.07	1.08	1.09	
16	16	490	7,420	6.65	7.74	7.75	7.76	1.09	1.10	1.11	
17	17	370	7,790	6.77	7.84	7.86	7.87	1.07	1.09	1.10	
18	18	500	8,290	6.96	8.09	8.10	8.11	1.13	1.14	1.15	
+370	+230	370	8,660	7.05	8.21	8.23	8.23	1.16	1.18	1.18	강 청 교
19	19	150	8,810	7.17	8.25	8.27	8.27	1.08	1.10	1.10	
+290	+290	290	9,100	7.28	8.39	8.41	8.41	1.11	1.13	1.13	
20	20	260	9,360	7.38	8.48	8.50	8.50	1.10	1.12	1.12	
+120	+120	120	9,480	7.43	8.50	8.52	8.52	1.07	1.09	1.09	
21	21	350	9,830	7.57	8.57	8.59	8.59	1.00	1.02	1.02	
22	22	480	10,310	7.76	8.66	8.68	8.68	0.90	0.92	0.92	
23	23	500	10,810	8.00	8.77	8.79	8.79	0.77	0.79	0.79	
24	24	500	11,310	8.25	9.04	9.05	9.05	0.79	0.80	0.80	
25	25	500	11,810	8.49	9.30	9.31	9.31	0.81	0.82	0.82	
26	26	500	12,310	8.74	9.49	9.51	9.50	0.75	0.77	0.76	
+230	+230	230	12,540	8.85	9.57	9.59	9.59	0.72	0.74	0.74	
+359	+350	129	12,669	8.92	9.60	9.62	9.61	0.68	0.70	0.69	낙차공하단
+360	-	1	12,670	-	9.63	9.65	9.65	-	-	-	낙차공상단
27	27	170	12,840	9.02	9.65	9.67	9.67	0.63	0.65	0.65	
28	28	500	13,340	9.29	9.82	9.84	9.84	0.53	0.55	0.55	
+180	+180	180	13,520	9.39	9.89	9.91	9.91	0.50	0.52	0.52	
29	29	490	14,010	9.57	9.99	10.01	10.01	0.42	0.44	0.44	
30	30	190	14,200	9.68	10.06	10.08	10.08	0.38	0.40	0.40	

<표 11.3> 곡교천 국가하천 구간 홍수위 비교 (100년 빈도 기준) (계속)

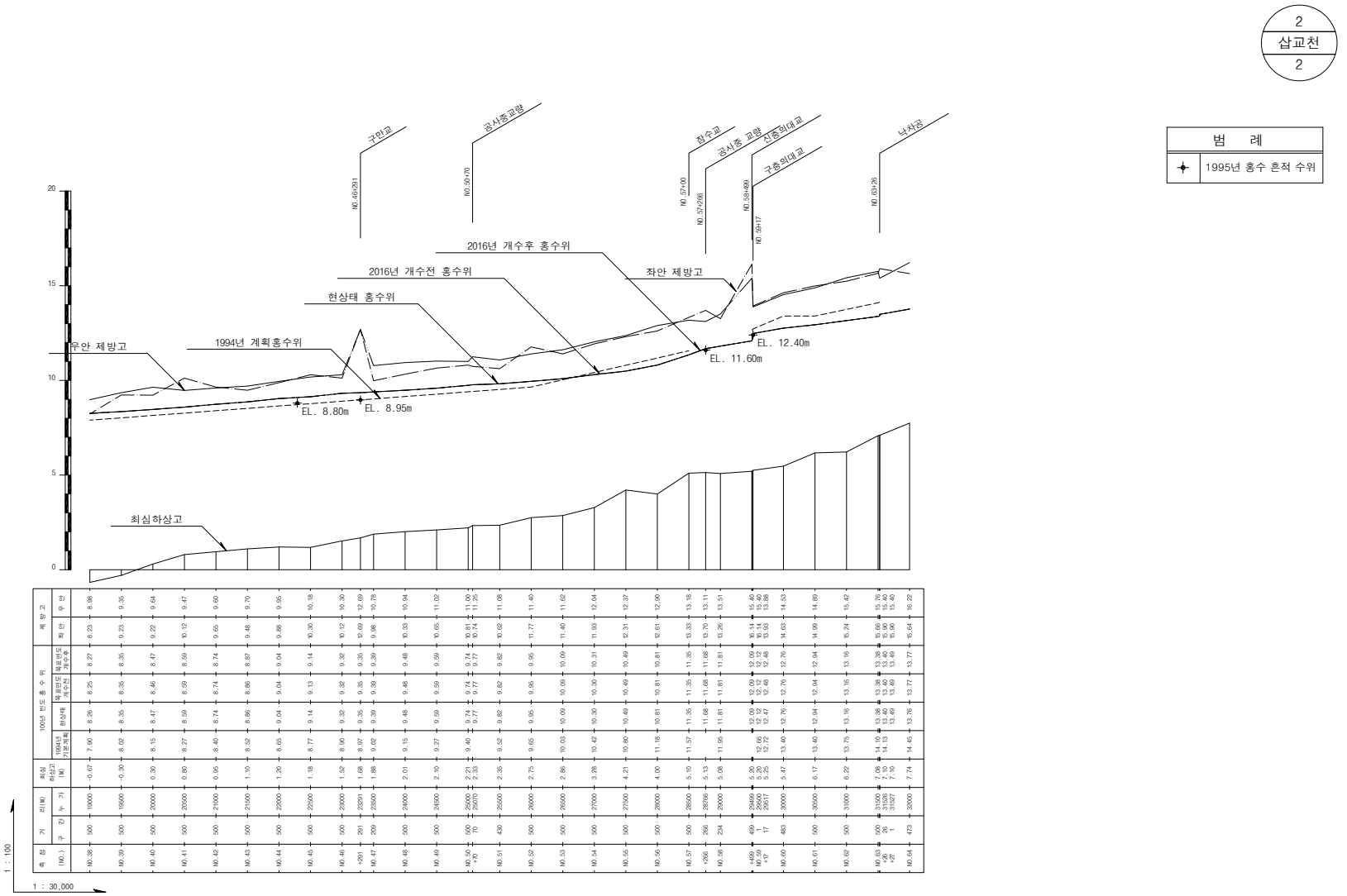
측점(No.)		거리(m)		100년 빈도 홍수위(EL.m)				수위차(m)			비 고
금회	'94	구간	누가	'94 ①	현 재 ②	2016년 (개수전) ③	2016년 (개수후) ④	②-①	③-①	④-①	
31	31	450	14,650	9.93	10.15	10.17	10.17	0.22	0.24	0.24	
+290	+290	290	14,940	10.09	10.25	10.27	10.27	0.16	0.18	0.18	낙차공하단
+291	-	1	14,941	-	10.35	10.37	10.36	-	-	-	낙차공상단
+320	-	29	14,970	-	10.28	10.30	10.30	-	-	-	아산대교
32	32	220	15,190	10.70	10.44	10.45	10.45	-0.26	-0.25	-0.25	
33	33	410	15,600	11.09	10.77	10.79	10.79	-0.32	-0.30	-0.30	
34	34	510	16,110	11.57	11.25	11.27	11.27	-0.32	-0.30	-0.30	
+440	+440	440	16,550	11.98	11.78	11.81	11.81	-0.20	-0.17	-0.17	충 무 교
35	35	30	16,580	12.03	11.95	11.97	11.97	-0.08	-0.06	-0.06	
36	36	500	17,080	12.36	12.63	12.65	12.65	0.27	0.29	0.29	
37	37	500	17,580	12.68	13.00	13.02	13.02	0.32	0.34	0.34	
38	38	510	18,090	13.01	13.23	13.25	13.25	0.22	0.24	0.24	
39	39	500	18,590	13.34	13.46	13.48	13.48	0.12	0.14	0.14	

<표 11.4> 무한천 국가하천 구간 홍수위 비교 (100년 빈도 기준)

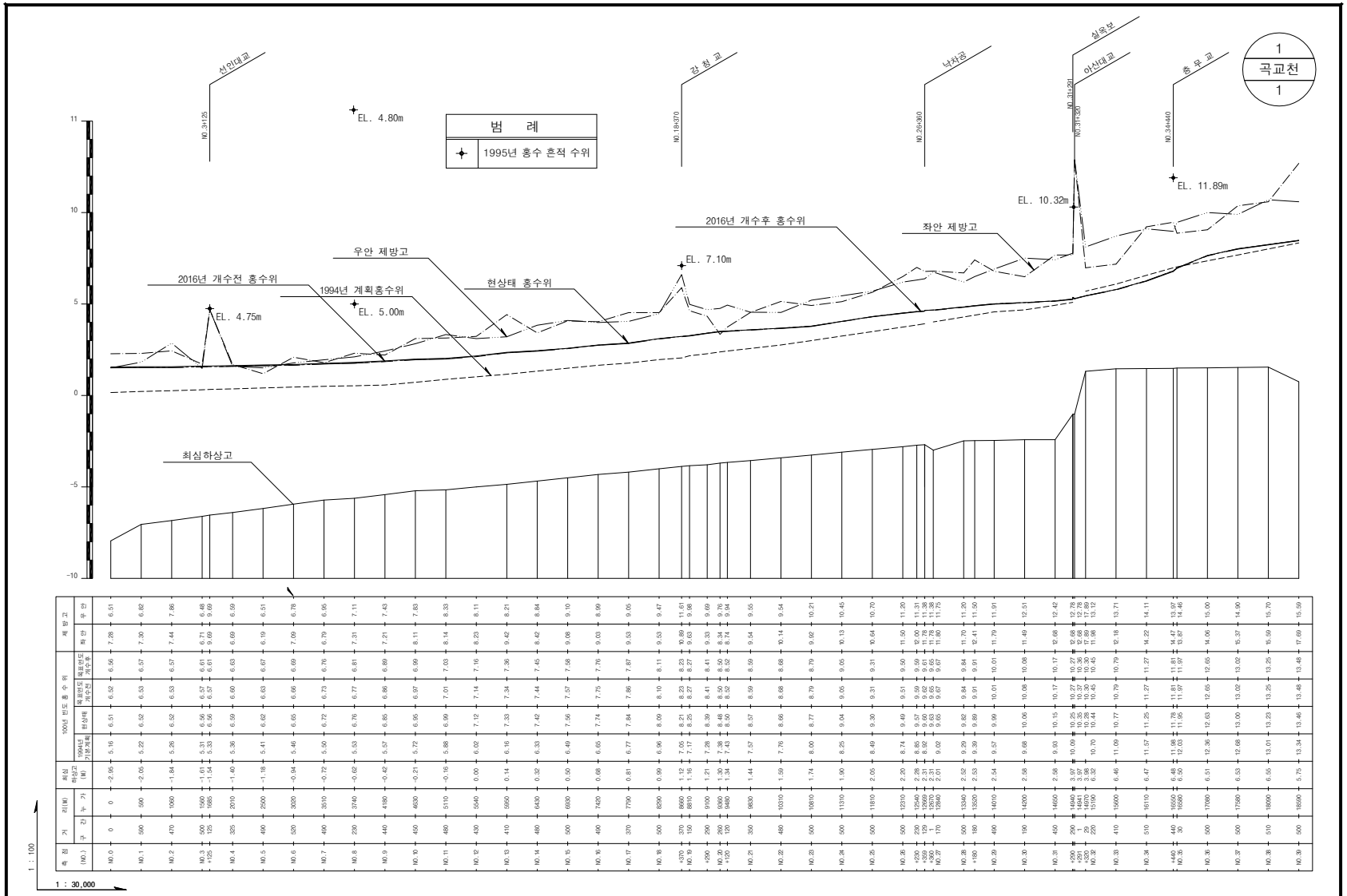
측점(No.)		거리(m)		100년 빈도 홍수위(EL.m)				수위차(m)			비 고
금회	'94	구간	누가	'94 ①	현 재 ②	2016년 (개수전) ③	2016년 (개수후) ④	②-①	③-①	④-①	
0	0	0	0	6.49	7.48	7.48	7.61	0.99	0.99	1.12	
5	1	500	500	6.54	7.63	7.64	7.81	1.09	1.10	1.27	
10	2	480	980	6.59	7.68	7.69	7.87	1.09	1.10	1.28	
15	3	480	1,460	6.64	7.76	7.77	7.97	1.12	1.13	1.33	
19	4	430	1,890	6.69	7.83	7.83	8.04	1.14	1.14	1.35	
24	5	490	2,380	6.74	7.96	7.96	8.19	1.22	1.22	1.45	
28	6	400	2,780	6.79	8.01	8.02	8.25	1.22	1.23	1.46	
32	7	360	3,140	6.83	8.05	8.05	8.29	1.22	1.22	1.46	
36	8	430	3,570	6.87	8.07	8.07	8.34	1.20	1.20	1.47	
40	9	450	4,020	6.92	8.15	8.16	8.41	1.23	1.24	1.49	
45	10	470	4,490	7.10	8.31	8.31	8.55	1.21	1.21	1.45	
50	11	510	5,000	7.28	8.41	8.41	8.63	1.13	1.13	1.35	
53+65	+400	360	5,360	7.43	8.83	8.83	8.93	1.40	1.40	1.50	신례원교
55	12	120	5,480	7.48	8.89	8.89	8.98	1.41	1.41	1.50	
60	13	490	5,970	7.66	9.07	9.07	9.16	1.41	1.41	1.50	
62+052	+280	280	6,250	7.77	9.10	9.10	9.19	1.33	1.33	1.42	잠수교
65	14	220	6,470	7.85	9.28	9.28	9.36	1.43	1.43	1.51	
70	15	480	6,950	8.03	9.46	9.47	9.53	1.43	1.44	1.50	
74	16	395	7,345	8.16	9.64	9.64	9.70	1.48	1.48	1.54	
77+76	-	385	7,730	-	9.85	9.86	9.91	-	-	-	잠수교
79	17	110	7,840	8.50	9.94	9.94	9.99	1.44	1.44	1.49	
83	18	410	8,250	8.82	10.26	10.27	10.30	1.44	1.45	1.48	
88	19	500	8,750	9.16	10.42	10.42	10.45	1.26	1.26	1.29	
93+18	20	480	9,230	9.49	10.95	10.95	10.98	1.46	1.46	1.49	신원교
98	21	520	9,750	9.85	11.11	11.11	11.14	1.26	1.26	1.29	
103	22	500	10,250	10.19	11.32	11.32	11.34	1.13	1.13	1.15	
108	23	500	10,750	10.52	11.57	11.58	11.59	1.05	1.06	1.07	
110+59	+280	280	11,030	10.71	11.89	11.89	11.91	1.18	1.18	1.20	예산대교
113	24	240	11,270	10.87	12.02	12.02	12.03	1.15	1.15	1.16	
117.09	25	500	11,770	11.20	12.32	12.33	12.33	1.12	1.13	1.13	철교
120	-	210	11,980	-	12.40	12.40	12.41	-	-	-	공사중교량
123	26	290	12,270	11.53	12.64	12.64	12.65	1.11	1.11	1.12	
127.045	+410	390	12,660	11.81	13.31	13.31	13.31	1.50	1.50	1.50	가통교
129	27	100	12,760	11.86	13.37	13.37	13.37	1.51	1.51	1.51	
134	28	480	13,240	12.18	13.57	13.57	13.57	1.39	1.39	1.39	



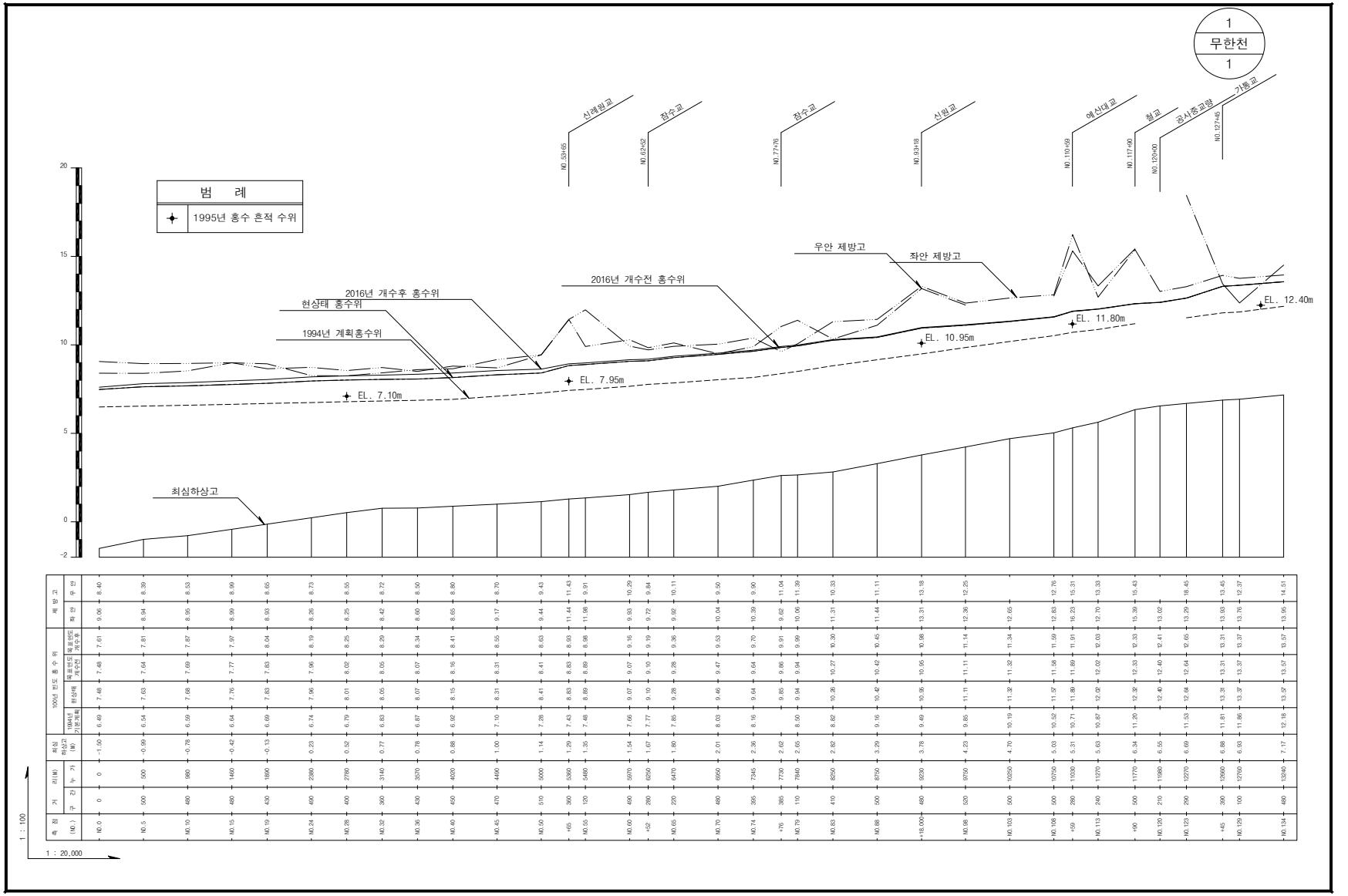
<그림 11.3> 삼교천 국가하천구간 100년 빈도 홍수위 비교



<그림 11.3> 삽교천 국가하천구간 100년 빈도 홍수위 비교 (계속)



<그림 11.4> 곡교천 국가하천구간 100년 빈도 홍수위 비교



<그림 11.5> 무한천 국가하천구간 100년 빈도 홍수위 비교

11.2 기존 치수시설물 능력검토

11.2.1 제 방

제방은 유수가 하도 밖으로 넘치는 것을 방지하고 유수의 소통을 원활하게 하기 위해 하천의 양안에 설치하는 구조물로서, 기존의 하도대응 위주의 치수사업에 있어 1차적인 사업의 대상이며 홍수로부터 예상되는 피해를 저감할 수 있는 거의 유일한 대안으로 인식되어 왔다.

유역의 홍수량 분담을 통해 하도의 홍수소통 부담 감소를 목표로 하는 유역종합치수계획에 있어서도 제방은 외수범람을 막기 위한 유용한 수단으로써 활용가치가 있다. 그러나 앞서 검토한 바와 같이 확률강우량의 증가에 따른 홍수량 증가와 설계조위의 현실화 등으로 인해 삽교천의 홍수위 계산을 위한 기점홍수위가 '94년 하천정비기본계획(보완) 당시에 비해 1.39m~1.43m 상승요인이 발생했고 이를 감안하면 삽교천 뿐만 아니라 삽교천 하류부로 유입하는 곡교천과 무한천의 홍수위 또한 매우 크게 상승하게 된다. 아울러 '하천설계기준(2005, 한국수자원학회)'의 홍수규모별 제방 둑마루폭 규정의 강화 등을 고려할 때 '94년 기본계획(보완)시 결정된 계획홍수위를 기준으로 시행한 제방 축조 및 보강사업의 결과는 현 시점에서 재검토할 필요가 있다.

본 절에서는 현재와 같이 예당지를 제외하면 유역에서 홍수분담이 전혀 없는 상황에서 산정한 홍수위에 하천정비기본계획에서 정해진 여유고를 가산한 값을 기준으로 삽교호의 배수영향을 받는 국가하천 구간내 제방의 능력검토를 실시하였다.

그 결과 삽교천과 곡교천, 무한천의 국가하천 구간 기성제중 금회 산정한 100년 빈도 홍수위를 기준으로 계획제방고에 미달하는 구간은 삽교천 43.292km(양안)와 곡교천 14.62km(양안)에 달했으며, 무한천은 예당지 하류의 지방2급 구간을 포함하여 예당지 하류의 기성제 중 28.12km(양안) 구간의 보강이 필요한 것으로 나타났다. 또한 이에 소요되는 비용은 삽교천 761억원, 곡교천 216억원, 무한천 596억원 등 총 1,573억원의 비용이 소요될 것으로 추정되었다.

<표 11.5> 주요 하천의 국가하천 구간내 제방 보강 필요구간

하 천	좌 우 안 별	구 간	계 획		과 부 족 (m)	연 장 (m)
			여유고 (m)	둑마루폭 (m)		
삽교천	좌	No.0 ~ No.3	1.50	6.00	1.02	795
		No.3 ~ No.10	1.50	6.00	1.34	3,440
		No.10 ~ No.23	1.20	5.00	1.16	6,480
		No.23 ~ No.35	1.20	5.00	0.60	5,680
		No.35 ~ No.44	1.20	5.00	0.49	3,790
		No.44 ~ No.49	1.20	5.00	0.24	1,990
		No.49 ~ No.58	1.20	5.00	0.23	1,285
		No.58 ~ No.64	1.20	5.00	-	-
	우	No.0 ~ No.6	1.50	6.00	1.67	2,940
		No.6 ~ No.10	1.50	6.00	1.23	1,500
		No.10 ~ No.13	1.20	5.00	0.43	1,500
		No.13 ~ No.22	1.20	5.00	1.06	3,500
		No.22 ~ No.28	1.20	5.00	1.40	2,980
		No.28 ~ No.32	1.20	5.00	0.34	1,000
		No.32 ~ No.43	1.20	5.00	0.40	4,770
		No.43 ~ No.49	1.20	5.00	0.20	1,638
		No.49 ~ No.52	1.20	5.00	-	-
		No.52 ~ No.57	1.20	5.00	-	-
		No.57 ~ No.59	1.20	5.00	-	-
		No.59 ~ No.64	1.20	5.00	-	-
계					0.85	**43,287**
곡교천	좌	No.0 ~ No.2	1.20	5.00	0.41	1,060
		No.2 ~ No.12	1.20	5.00	0.76	4,237
		No.12 ~ No.26.35	1.20	5.00	0.28	2,740
		No.26.35 ~ No.39	1.20	5.00	-	-
	우	No.0 ~ No.2	1.20	5.00	0.68	825
		No.2 ~ No.9	1.20	5.00	1.06	2,752
		No.9 ~ No.20	1.20	5.00	0.18	1,990
		No.20 ~ No.39	1.20	5.00	0.29	1,015
계					0.58	**14,619**

<표 11.5> 주요 하천의 국가하천 구간내 제방 보강 필요구간 (계속)

하 천	좌 우 안 별	구 간	계 획		과 부 족 (m)	연 장 (m)
			여유고 (m)	둑마루폭 (m)		
무한천	좌	No.0 ~ No.19	2.00	5.00	0.91	1,890
		No.19 ~ No.40	2.00	5.00	1.93	2,130
		No.40 ~ No.58	2.00	5.00	1.41	1,599
		No.58 ~ No.61	2.00	5.00	1.22	315
		No.61 ~ No.76	2.00	5.00	1.40	1,444
		No.76 ~ No.84	2.00	5.00	1.47	811
		No.84 ~ No.111	2.00	5.00	0.88	2,496
		No.111 ~ No.125	2.00	5.00	1.39	1,343
		No.125 ~ No.140	2.00	5.00	1.51	1,214
		No.140 ~ No.152	2.00	5.00	0.93	1,139
		No.152 ~ No.165	2.00	5.00	0.62	1,250
	우	No.0 ~ No.6	2.00	5.00	1.39	600
		No.6 ~ No.33	2.00	5.00	1.38	254
		No.33 ~ No.55	2.00	5.00	1.50	2,179
		No.55 ~ No.61	2.00	5.00	1.12	610
		No.61 ~ No.77	2.00	5.00	1.58	1,549
		No.77 ~ No.83	2.00	5.00	1.24	586
		No.83 ~ No.98	2.00	5.00	1.40	1,426
		No.98 ~ No.125	2.00	5.00	0.73	1,694
		No.125 ~ No.130	2.00	5.00	2.38	269
		No.130 ~ No.152	2.00	5.00	0.91	2,189
		No.152 ~ No.165	2.00	5.00	1.70	1,134
계					1.26	**28,119**

11.2.2 배수시설

가. 자연배수 시설

금회 개발한 홍수추적 모형에 의해 침수해석을 실시한 지역은 치수단위소구역으로 분류된 54개 지역으로 그 면적은 133.7㎢에 달한다. 이중 삽교천의 '남원1, 2, 3지구', '도고천 지구', 무한천의 '궁평 지구', 곡교천의 '와천 지구'는 배수계통상 삽교천의 지류인 남원천과 도고천, 무한천의 지류인 궁평천, 곡교천의 지류인 와천의 배수유역이므로 3개 주요 하천의 수위 변화와 직접 연계하여 모의하는 것은 실제 홍수발생 상황에서 해당 하천의 영향을 배제한 것이므로 신뢰성이 다소 떨어질 수 있다. 그러므로 치수단위소구역별 배수능력 검토에서 이 지구들은 제외하고 삽교천, 곡교천, 무한천으로 홍수를 직접 배제하는 나머지 48개 지역에 대해서만 현 배수시설의 홍수배제 능력을 검토 하였다.

농경지로 사용되는 자연 하천유역의 배수시설 설계기준은 배수구역내에서 발생한 홍수량을 12시간 이내에 배제하는 것을 원칙으로 하고 있다. 이러한 기준은 침수 시간이 12시간 이내이면 농작물의 피해가 심각하지 않다고 보기 때문인데 근래는 이 기준보다 배수시설의 홍수배제 능력을 강화하는 방향으로 설계가 이루어지고 있다.

배수시설 능력검토 대상 48개 지구 중 16개 지구는 자연배수시설에만 홍수배제를 의존하며, 32개 지구는 자연배수와 배수펌프장에 의한 강제배제를 병행하는 지역이다.

<표 11.6>는 치수단위소구역 별로 배수시설의 통수능력과 전체 유역에서 발생한 100년 빈도 홍수량을 1~12시간 동안 배제하는데 필요한 통수능을 비교한 결과이다. 그 결과 48개 치수단위소구역 중 8개 지구가 12시간내에 홍수량을 전량 배제하지 못하는 것으로 나타났는데 여기에는 강제배제를 병행하는 5개 지구가 포함되어 있다. 이에 비해 홍수량을 6시간 이내에 배재 가능한 지구는 자연배수 지역 6개소를 포함하여 전체 평가대상 지구의 절반에 해당하는 24개 지구이다.

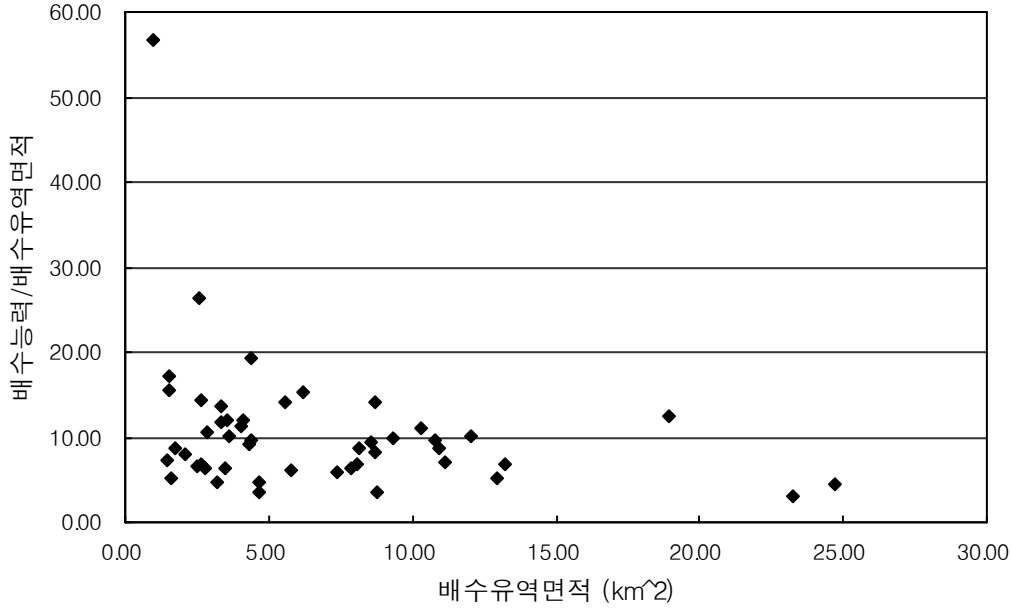
<그림 11.6> 및 <표 11.7>은 각 치수단위소구역별 배수면적과 비배수능력(배수능력/배수유역면적) 관계를 산포도로 도시한 결과인데 치수단위구역별로 배수능력이 일정치 않고 오히려 배수유역면적이 클수록 비배수능력이 작은 경향이 나타나고 있어 배수유역면적이 큰 지역의 저지대일수록 침수피해가 크게 발생할 위험이 높은 것으로 나타났다. 그 대표적인 지역이 삽교 2, 3, 4 지구와 곡교 1, 2지구 등인데 이들 지구는 삽교천과 곡교천 합류점을 중심으로 위치하며 광할한 답작지가 분포하는 지역으로, 과거 무제부 또는 가제방으로 보호된 무제부에 가까운 지역이었으나 근래 들어 본격적으로 제방이 보강된 지역이라는 공통된 특징이 있다.

<표 11.6> 치수단위 소구역별 배수능력 검토

하천명	소구역명	유역면적 (㎢)	배수능력(㎥/sec)			배수시간별 소요배수능력(㎥/sec)				판 정				비 고
			강 제	자 연	계	12시간	6시간	4시간	1시간	12시간	6시간	4시간	1시간	
삽교천	삽교1	7.86	0.0	50.1	50.1	42.17	70.23	89.63	227.08	OK	NG	NG	NG	
	삽교2	12.02	0.0	120.7	120.7	64.50	107.40	137.06	347.27	OK	OK	NG	NG	
	삽교3	18.90	0.0	237.6	237.6	101.41	168.88	215.51	546.04	OK	OK	OK	NG	
	삽교4	23.28	0.0	72.4	72.4	124.91	208.01	265.46	672.59	NG	NG	NG	NG	
	하평2	8.80	6.3	24.0	30.3	47.22	78.63	100.34	254.24	NG	NG	NG	NG	
	하평1	5.75	7.5	28.2	35.6	30.85	51.38	65.57	166.12	OK	NG	NG	NG	
	신 석	7.37	10.0	33.5	43.5	39.55	65.85	84.04	212.93	OK	NG	NG	NG	
	예 림	4.31	13.7	25.6	39.3	23.13	38.51	49.15	124.52	OK	OK	NG	NG	
	신 리	9.30	28.0	63.5	91.5	49.90	83.10	106.05	268.69	OK	OK	NG	NG	
	중예1	1.73	5.0	10.0	15.0	9.28	15.46	19.73	49.98	OK	NG	NG	NG	
	중예2	4.38	15.0	69.4	84.4	23.50	39.14	49.94	126.54	OK	OK	OK	NG	
	황 금	2.80	7.0	10.6	17.6	15.02	25.02	31.93	80.90	OK	NG	NG	NG	
	하포1	3.34	0.0	46.0	46.0	17.92	29.84	38.09	96.50	OK	OK	OK	NG	
	용리1	2.62	2.0	16.0	18.0	14.06	23.41	29.88	75.69	OK	NG	NG	NG	
	하포2	2.62	8.5	29.1	37.6	14.06	23.41	29.88	75.69	OK	OK	OK	NG	
	용리2	4.64	4.0	17.6	21.6	24.90	41.46	52.91	134.06	NG	NG	NG	NG	
	성리1	3.51	4.7	17.6	22.3	18.83	31.36	40.02	101.41	OK	NG	NG	NG	
	용동1	4.63	1.5	15.0	16.5	24.84	41.37	52.79	133.77	NG	NG	NG	NG	
	용동2	5.54	13.8	64.0	77.8	29.73	49.50	63.17	160.06	OK	OK	OK	NG	
	성리2	1.59	1.5	6.8	8.3	8.53	14.21	18.13	45.94	NG	NG	NG	NG	
	삽교6	2.58	0.0	68.2	68.2	13.84	23.05	29.42	74.54	OK	OK	OK	NG	
	신 가	1.54	3.4	20.5	23.9	8.26	13.76	17.56	44.49	OK	OK	OK	NG	
	삽교7	0.96	0.0	54.5	54.5	5.15	8.58	10.95	27.74	OK	OK	OK	OK	

<표 11.6> 치수단위 소구역별 배수능력 검토 (계속)

하천명	소구역명	유역면적 (㎢)	배수능력(㎥/sec)			배수시간별 소요배수능력(㎥/sec)				판 정				비 고
			강 제	자 연	계	12시간	6시간	4시간	1시간	12시간	6시간	4시간	1시간	
곡교천	곡교1	24.70	0.0	111.6	111.6	132.53	220.70	281.65	713.61	NG	NG	NG	NG	
	곡교2	10.92	0.0	95.2	95.2	58.59	97.57	124.52	315.49	OK	NG	NG	NG	
	산 양	1.45	4.2	6.5	10.7	7.78	12.96	16.53	41.89	OK	NG	NG	NG	
	가 덕	12.96	14.6	53.0	67.6	69.54	115.80	147.78	374.43	NG	NG	NG	NG	
	곡교3	8.13	0.0	70.2	70.2	43.62	72.64	92.70	234.89	OK	NG	NG	NG	
	신 창	8.07	6.0	49.0	55.0	43.30	72.11	92.02	233.15	OK	NG	NG	NG	
	중 방	3.35	6.0	33.4	39.4	17.98	29.93	38.20	96.79	OK	OK	OK	NG	
	염 성	4.12	4.0	45.3	49.3	22.11	36.81	46.98	119.03	OK	OK	OK	NG	
	수 장	1.51	3.0	23.1	26.1	8.10	13.49	17.22	43.63	OK	OK	OK	NG	
	곡교4	8.72	0.0	123.6	123.6	46.79	77.91	99.43	251.93	OK	OK	OK	NG	
	곡교5	10.33	0.0	115.1	115.1	55.43	92.30	117.79	298.45	OK	OK	NG	NG	
무한천	신 덕	10.80	13.6	90.8	104.4	57.95	96.50	123.15	312.02	OK	OK	NG	NG	
	신 종	4.41	10.7	31.5	42.2	23.66	39.40	50.29	127.41	OK	OK	NG	NG	
	봉 농	8.72	14.2	57.0	71.2	46.79	77.91	99.43	251.93	OK	NG	NG	NG	
	계 촌	4.05	8.3	37.1	45.4	21.73	36.19	46.18	117.01	OK	OK	NG	NG	
	창 소	11.13	13.0	66.0	79.0	59.72	99.45	126.91	321.56	OK	NG	NG	NG	
	종 경	13.23	17.0	71.7	88.7	70.99	118.21	150.86	382.23	OK	NG	NG	NG	
	탄 중	3.57	3.2	39.6	42.8	19.16	31.90	40.71	103.14	OK	OK	OK	NG	
	무한1	2.53	0.0	16.7	16.7	13.58	22.61	28.85	73.09	OK	NG	NG	NG	
	발 연	3.61	4.7	31.7	36.4	19.37	32.26	41.16	104.30	OK	OK	NG	NG	
	무한2	2.11	0.0	17.1	17.1	11.32	18.85	24.06	60.96	OK	NG	NG	NG	
	원 평	8.54	7.8	72.4	80.2	45.82	76.31	97.38	246.73	OK	OK	NG	NG	
	산 성	2.86	4.0	26.1	30.1	15.35	25.55	32.61	82.63	OK	OK	NG	NG	
	손 지	6.21	0.0	95.2	95.2	33.32	55.49	70.81	179.41	OK	OK	OK	NG	
	입 침	3.23	0.0	15.4	15.4	17.33	28.86	36.83	93.32	NG	NG	NG	NG	



<그림 11.6> 치수단위 소구역별 배수유역면적과 비배수능력 관계

<표 11.7> 치수단위 소구역별 비배수능력 평가 결과

순위	지구명	유역면적 (㎢)	배수능력 (㎥/s)	비배수능력 (㎥/s/㎢)	배수방식	순위	지구명	유역면적 (㎢)	배수능력 (㎥/s)	비배수능력 (㎥/s/㎢)	배수방식
1	삽교7	0.96	54.50	56.77	자 연	25	곡교2	10.92	95.16	8.71	자 연
2	삽교6	2.58	68.22	26.44	자 연	26	중예1	1.73	15.01	8.68	강 제
3	중예2	4.38	84.36	19.26	강 제	27	곡교3	8.13	70.20	8.63	자 연
4	수 장	1.51	26.06	17.26	강 제	28	봉 농	8.72	71.20	8.17	강 제
5	신 가	1.54	23.86	15.49	강 제	29	무한2	2.11	17.10	8.1	자 연
6	손 지	6.21	95.20	15.33	자 연	30	산 양	1.45	10.70	7.38	강 제
7	하포2	2.62	37.60	14.35	강 제	31	창 소	11.13	79.00	7.1	강 제
8	곡교4	8.72	123.56	14.17	자 연	32	용리1	2.62	18.00	6.87	강 제
9	용동2	5.54	77.84	14.05	강 제	33	신 창	8.07	54.96	6.81	강 제
10	하포1	3.34	45.96	13.76	자 연	34	종 경	13.23	88.72	6.71	강 제
11	삽교3	18.90	237.58	12.57	자 연	35	무한1	2.53	16.66	6.58	자 연
12	탄 중	3.57	42.84	12.00	강 제	36	삽교1	7.86	50.06	6.37	자 연
13	염 성	4.12	49.28	11.96	강 제	37	성리1	3.51	22.31	6.36	강 제
14	중 방	3.35	39.44	11.77	강 제	38	황 금	2.8	17.55	6.27	강 제
15	계 촌	4.05	45.36	11.20	강 제	39	하평1	5.75	35.61	6.19	강 제
16	곡교5	10.33	115.08	11.14	자 연	40	신 석	7.37	43.46	5.9	강 제
17	산 성	2.86	30.14	10.54	강 제	41	가 덕	12.96	67.62	5.22	강 제
18	발 연	3.61	36.36	10.07	강 제	42	성리2	1.59	8.26	5.19	강 제
19	삽교2	12.02	120.66	10.04	자 연	43	입 침	3.23	15.44	4.78	자 연
20	신 리	9.30	91.52	9.84	강 제	44	용리2	4.64	21.58	4.65	강 제
21	신 덕	10.80	104.44	9.67	강 제	45	곡교1	24.7	111.64	4.52	자 연
22	신 종	4.41	42.18	9.56	강 제	46	용동1	4.63	16.48	3.56	강 제
23	원 평	8.54	80.22	9.39	강 제	47	하평2	8.8	30.3	3.44	강 제
24	예 림	4.31	39.28	9.11	강 제	48	삽교4	23.28	72.42	3.11	자 연

이에 비해 <표 11.8>과 <표 11.9>는 각 치수단위소구역 별로 홍수추적 모형에 의해 분석한 홍수규모별 침수특성을 자연배수 지역과 강제배수 지역으로 구분하여 정리한 결과이다. 따라서 단순히 배수유역면적과 배수시설의 배수능력을 비교한 <표 11.7>의 결과와 달리 하도의 수위지속 시간에 따른 영향과 저지대간의 종방향 유량이동을 고려함으로써 실제 홍수 발생시와 동일한 조건에서 치수단위소구역의 배수능력을 평가할 수 있었다.

일반적으로 농경지의 배수펌프장은 10~20년 빈도의 홍수 발생시 허용침수심을 0.3m로 하고, 0.3m~0.7m의 관수심이 24시간 이내가 되도록 계획하고 있는바 이 기준을 적용하여 배수능력을 평가한 결과 44개 지구가 20년 빈도의 홍수에서 0.3m 이상의 침수심이 24시간을 초과하지 않아 이 지역에 설치된 배수펌프장의 규모나 입지가 현 설계기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 그러나 삽교천 유역의 하포 1, 용리 1, 2지구와 곡교천 하구부의 곡교 1지구는 침수시간이 24시간을 초과하여 내수침수 피해의 위험이 높은 지역으로 분류되었다.

배수능력이 설계기준을 만족하지 못하는 4개 지구 중 강제배수 지역인 삽교천의 용리 1, 2지구와 자연배수 지역인 곡교천의 곡교 1지구는 배수시설의 능력이 부족하여 이미 <표 11.6>에서 12시간 이내 배제에 부적합한 것으로 평가되었고, <표 11.7>의 배수면적 대비 배수능력 평가에서도 각각 32, 44, 45위에 해당하여 배수시설의 증설이 필요한 것으로 판단된다.

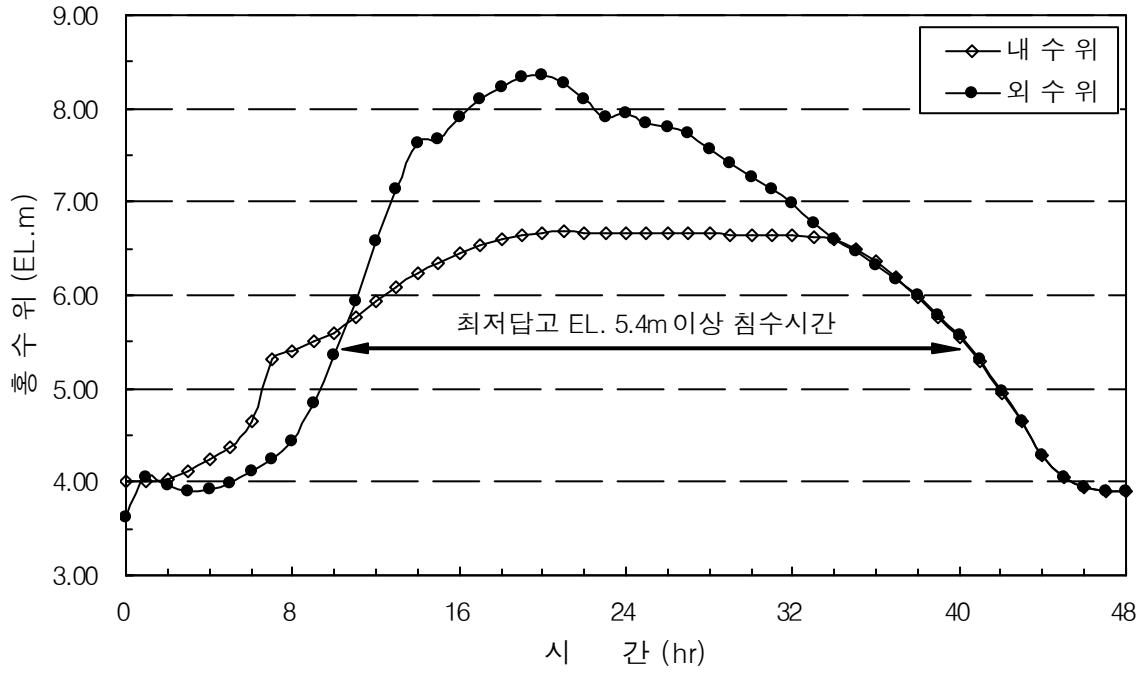
이에 비해 하포 1지구는 지역의 배수체계가 인접한 하포 2지구와 경계를 이루는 하포천을 통해 삽교천 본류로 배제되며, 본류의 홍수위가 상승할 경우 하포천 하구의 배수문을 폐쇄하고 하포천의 홍수위가 상승하면 <그림 11.7>의 구조물(2.0(B)×1.0(H)×4련)을 통해 강제배수 지역인 하포 2지구의 하포 배수장으로 배제 하도록 되어 있는데, 20년 빈도의 홍수시에 배수문이 폐쇄되어도 하포천의 홍수위가 낮아 하포 배수장으로 배제되지 못하지만, 하포 1지구의 답작지는 허용침수심 이상의 침수가 발생한다. 특히, 삽교천 중상류부의 홍수위 지속시간이 길어 자연배수가 가능하기 까지는 오랜 시간이 소요되므로 자연배수시설의 규모는 충분하지만 설계기준을 초과하는 침수가 발생하는 것으로 조사되었다.

따라서, 하포 1지구는 자체적인 배수펌프장을 설치하거나 하포천 하구의 하포 배수장으로 연결되는 구조물의 위치를 조정하여 20년 빈도 이상의 홍수시에는 하포 배수장을 통해 홍수를 배제 할 수 있도록 배수체계를 개선하는 것에 대해 검토하여야 할 것이다. 이에 앞서 하포천에 대한 하천정비기본계획을 수립하여 홍수규모별 하포천의 홍수위를 파악하고, 하포 배수장이 기존의 하포 2지구 뿐만 아니라 하포 1지구의 홍수배제에 충

분한 배수능력을 확보하고 있는지를 우선 검토하여야 할 것이다.



<그림 11.7> 하포천 하구의 하포 배수장 연결 구조물



<그림 11.8> 하포 1지구 지점의 외수위와 내수위 비교

<표 11.8> 자연배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
삽교1	최대수심		1.15	1.33	1.50	1.57	1.64	1.70	1.72	1.84	1.93	2.01
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	111.7 (16.5)	123.9 (17.8)	128.5 (19.8)	138.4 (20.3)	139.8 (21.5)	141.1 (28.0)	145.5 (28.2)	153.4 (28.8)	156.0 (29.2)	154.5 (39.7)
		0.3m ~ 0.5m	49.9 (10.2)	94.8 (11.5)	120.2 (13.7)	122.2 (14.7)	124.1 (15.7)	125.7 (18.3)	126.3 (18.7)	137.7 (25.7)	139.6 (26.2)	139.0 (37.8)
		0.5m ~ 0.7m	26.7 (7.0)	48.8 (8.2)	94.4 (10.0)	95.4 (11.0)	111.4 (12.3)	120.2 (13.5)	120.9 (14.0)	124.1 (15.5)	126.6 (20.8)	125.7 (32.0)
		0.7m ~ 1.0m	17.6 (2.5)	26.3 (4.7)	47.0 (6.5)	51.1 (7.3)	57.7 (8.5)	61.0 (9.7)	94.7 (10.3)	111.4 (12.0)	121.1 (17.3)	120.2 (29.7)
		1.0m 이상	12.5 (0.1)	14.4 (0.3)	22.6 (3.8)	25.0 (5.3)	26.5 (6.8)	28.1 (8.3)	28.5 (8.8)	49.5 (10.7)	57.2 (11.8)	55.3 (26.5)
삽교2	최대수심		1.28	1.40	1.52	1.67	1.87	2.12	2.16	1.88	1.96	2.12
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	95.2 (14.5)	113.2 (16.7)	137.4 (18.7)	140.3 (19.7)	144.1 (20.7)	159.7 (27.2)	160.1 (28.7)	144.2 (30.0)	145.4 (30.8)	159.7 (34.0)
		0.3m ~ 0.5m	0.4 (7.3)	83.0 (8.3)	92.7 (10.0)	110.9 (11.0)	138.2 (12.5)	143.2 (14.7)	143.9 (15.7)	138.3 (25.2)	140.2 (26.3)	143.2 (28.8)
		0.5m ~ 0.7m	0.3 (5.5)	0.3 (6.8)	51.6 (8.5)	86.2 (9.3)	110.9 (10.3)	139.3 (12.3)	140.2 (13.0)	111.6 (16.5)	115.5 (22.5)	139.3 (25.8)
		0.7m ~ 1.0m	0.3 (4.3)	0.3 (5.8)	0.3 (7.5)	0.4 (8.3)	86.2 (9.2)	114.1 (11.5)	115.5 (12.3)	86.7 (15.7)	94.4 (21.8)	114.1 (24.3)
		1.0m 이상	0.2 (3.2)	0.3 (4.7)	0.3 (6.0)	0.3 (7.0)	0.3 (8.2)	83.9 (10.7)	85.8 (11.5)	0.3 (14.8)	0.4 (17.5)	83.9 (22.5)
삽교3	최대수심		0.60	0.77	0.92	0.98	1.04	1.11	1.13	1.21	1.27	1.32
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	241.2 (13.7)	284.7 (16.5)	483.5 (19.0)	499.9 (20.3)	679.9 (26.8)	745.4 (30.5)	748.7 (31.2)	808.1 (33.2)	814.7 (35.2)	846.5 (41.2)
		0.3m ~ 0.5m	191.9 (2.2)	203.3 (5.5)	246.9 (8.8)	253.3 (14.2)	281.0 (17.2)	390.9 (25.7)	394.4 (26.3)	480.6 (28.0)	497.0 (29.8)	675.3 (33.0)
		0.5m ~ 0.7m	124.8 (0.4)	185.3 (0.7)	200.9 (5.8)	203.7 (8.3)	235.9 (10.7)	245.8 (22.5)	247.9 (23.3)	277.6 (25.3)	284.7 (27.2)	392.8 (29.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	123.4 (0.3)	181.5 (1.4)	186.2 (3.7)	193.8 (7.5)	200.4 (19.3)	201.5 (20.0)	233.5 (22.2)	238.6 (24.3)	246.9 (26.5)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	121.6 (4.3)	125.2 (6.8)	126.0 (8.3)	180.6 (11.8)	185.3 (16.5)	192.8 (19.3)
삽교4	최대수심		0.21	0.33	0.42	0.47	0.53	0.58	0.60	0.67	0.71	0.76
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	577.5 (2.4)	670.7 (4.5)	743.2 (9.7)	754.1 (12.2)	828.2 (14.8)	840.9 (24.7)	846.4 (26.0)	894.7 (28.8)	965.1 (31.7)	978.0 (58.3)
		0.3m ~ 0.5m	- -	471.6 (2.3)	519.7 (2.8)	530.4 (3.3)	581.8 (5.8)	593.6 (13.3)	662.6 (17.5)	680.8 (21.5)	740.8 (24.3)	751.9 (42.2)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	471.6 (4.2)	481.2 (5.4)	515.7 (9.9)	530.4 (11.2)	577.5 (18.0)	588.7 (30.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	467.6 (9.7)	477.4 (16.5)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.8> 자연배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
하포1	최대수심		0.81	0.91	0.98	1.02	1.07	1.11	1.12	1.17	1.20	1.24
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	90.6 (24.0)	106.3 (26.3)	111.9 (28.3)	130.4 (29.3)	135.0 (30.8)	144.5 (32.0)	145.1 (32.5)	147.8 (34.2)	149.5 (35.2)	161.1 (37.3)
		0.3m ~ 0.5m	52.2 (20.7)	74.2 (23.3)	76.9 (25.5)	78.6 (26.5)	80.6 (27.7)	90.6 (29.0)	91.1 (29.5)	94.2 (31.2)	105.4 (32.0)	108.7 (34.0)
		0.5m ~ 0.7m	38.3 (18.0)	43.0 (20.7)	45.4 (23.0)	52.8 (24.0)	54.9 (25.5)	74.2 (26.7)	74.6 (27.3)	76.6 (29.0)	77.7 (29.8)	79.4 (31.5)
		0.7m ~ 1.0m	27.6 (14.3)	33.7 (17.5)	36.0 (20.2)	38.6 (21.3)	40.0 (22.8)	43.0 (24.0)	43.2 (24.7)	44.9 (26.3)	51.6 (27.3)	53.6 (28.7)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	18.7 (6.7)	20.3 (12.3)	27.6 (16.2)	28.0 (17.7)	29.7 (21.5)	33.3 (22.5)	34.7 (22.8)
삽교6	최대수심		0.78	1.21	1.62	1.77	2.01	2.25	2.33	2.57	2.72	2.85
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	16.3 (11.5)	21.8 (13.5)	23.8 (15.0)	24.2 (15.8)	24.7 (16.5)	25.0 (17.3)	25.2 (17.7)	26.8 (18.5)	27.6 (19.2)	28.8 (21.5)
		0.3m ~ 0.5m	14.9 (8.7)	17.0 (10.8)	22.3 (12.8)	23.0 (13.7)	24.1 (14.5)	24.6 (15.2)	24.7 (15.5)	25.1 (16.5)	25.3 (17.0)	26.7 (18.0)
		0.5m ~ 0.7m	13.9 (6.7)	16.0 (9.0)	21.3 (10.7)	22.0 (11.8)	23.5 (12.8)	24.2 (13.7)	24.4 (14.0)	24.8 (15.0)	25.0 (15.5)	25.2 (16.3)
		0.7m ~ 1.0m	10.2 (3.0)	15.1 (6.7)	17.1 (8.7)	21.0 (9.7)	22.3 (10.8)	23.6 (11.8)	23.9 (12.2)	24.5 (13.3)	24.7 (14.0)	24.9 (14.8)
		1.0m 이상	- -	13.5 (4.0)	15.6 (6.7)	16.2 (7.8)	20.7 (8.8)	21.9 (9.8)	22.4 (10.2)	23.7 (11.5)	24.1 (12.2)	24.4 (13.0)
삽교7	최대수심		-	0.48	0.94	1.13	1.31	1.42	1.45	1.54	1.59	1.62
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	- -	0.1 (5.5)	4.4 (7.7)	6.4 (8.7)	25.9 (9.8)	28.2 (10.7)	28.9 (11.0)	33.2 (12.3)	34.6 (13.2)	35.4 (16.2)
		0.3m ~ 0.5m	- -	0.4 (3.2)	0.9 (6.2)	3.7 (7.3)	5.0 (8.3)	6.2 (9.3)	6.8 (9.7)	21.7 (10.8)	22.8 (11.7)	26.1 (12.7)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	0.1 (5.0)	0.8 (6.3)	3.6 (7.5)	4.3 (8.5)	4.5 (8.8)	5.3 (10.0)	5.9 (10.7)	6.2 (11.7)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	0.2 (3.8)	0.3 (5.3)	0.6 (6.7)	3.0 (7.7)	3.2 (8.0)	3.8 (9.2)	4.1 (9.8)	4.3 (10.8)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	0.1 (3.2)	0.1 (5.2)	0.1 (6.2)	0.1 (6.8)	0.2 (8.2)	0.5 (8.8)	0.7 (9.7)
무한1	최대수심		0.25	1.02	1.56	1.85	2.07	2.23	2.29	2.47	2.63	2.75
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	3.1 (2.8)	4.7 (13.8)	7.8 (14.0)	10.7 (14.5)	11.9 (15.3)	13.2 (16.5)	13.8 (17.0)	15.3 (18.3)	20.5 (19.0)	21.3 (31.7)
		0.3m ~ 0.5m	- -	3.9 (13.2)	5.7 (13.3)	7.7 (13.7)	10.3 (14.3)	11.1 (15.7)	11.4 (16.0)	12.6 (17.3)	14.1 (18.2)	15.2 (27.5)
		0.5m ~ 0.7m	- -	3.5 (12.2)	4.8 (12.8)	6.3 (13.2)	7.9 (13.8)	10.1 (15.2)	10.4 (15.5)	11.3 (16.7)	12.3 (17.5)	13.4 (24.2)
		0.7m ~ 1.0m	- -	3.2 (10.7)	4.3 (12.0)	5.1 (12.3)	6.5 (13.2)	7.6 (14.3)	8.0 (14.8)	10.3 (16.0)	11.1 (16.7)	11.8 (22.2)
		1.0m 이상	- -	2.6 (3.0)	3.6 (10.8)	4.3 (11.2)	4.9 (12.2)	5.5 (13.5)	5.9 (13.8)	7.2 (15.0)	9.6 (15.7)	10.2 (19.5)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.8> 자연배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
무한2	최대수심		0.08	0.99	1.73	1.91	2.13	2.32	2.38	2.62	2.79	2.99
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	3.2 (7.0)	12.0 (13.5)	15.9 (13.7)	16.8 (13.8)	17.9 (15.3)	18.7 (17.2)	18.9 (17.7)	20.0 (19.3)	20.6 (20.3)	21.4 (31.3)
		0.3m ~ 0.5m	- -	10.1 (13.0)	14.3 (13.0)	15.3 (13.3)	16.4 (14.0)	17.4 (15.3)	17.6 (15.7)	18.7 (17.3)	19.4 (18.5)	20.3 (26.3)
		0.5m ~ 0.7m	- -	8.9 (12.0)	13.1 (12.5)	14.2 (12.8)	15.4 (13.7)	16.4 (14.8)	16.7 (15.2)	17.8 (16.3)	18.6 (17.0)	19.4 (23.0)
		0.7m ~ 1.0m	- -	7.9 (10.8)	11.9 (11.8)	13.0 (12.2)	14.3 (13.0)	15.4 (14.2)	15.7 (14.7)	16.9 (15.8)	17.7 (16.7)	18.6 (21.0)
		1.0m 이상	- -	2.1 (1.2)	10.1 (10.5)	11.1 (11.0)	12.6 (12.0)	13.7 (13.2)	14.0 (13.8)	15.4 (14.8)	16.3 (15.7)	17.2 (18.3)
입침	최대수심		0.84	1.04	1.22	1.34	1.46	1.58	1.67	1.80	1.95	2.05
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	15.9 (6.3)	16.4 (7.0)	20.3 (17.3)	24.4 (17.5)	31.3 (17.9)	35.8 (18.4)	38.5 (19.1)	39.9 (21.9)	43.5 (24.2)	45.0 (28.2)
		0.3m ~ 0.5m	9.2 (4.1)	15.6 (5.4)	16.1 (15.3)	16.4 (15.7)	19.2 (16.3)	20.7 (17.4)	24.9 (18.3)	33.7 (19.8)	38.3 (22.7)	39.4 (24.5)
		0.5m ~ 0.7m	6.4 (3.5)	9.2 (4.2)	15.6 (14.0)	15.9 (14.7)	16.2 (15.4)	16.5 (16.1)	19.4 (17.2)	23.8 (18.7)	31.2 (20.8)	35.2 (23.0)
		0.7m ~ 1.0m	5.8 (2.1)	6.4 (3.2)	9.0 (7.8)	15.4 (8.0)	15.7 (8.5)	16.0 (8.8)	16.3 (9.3)	18.4 (10.8)	20.3 (11.7)	24.6 (21.2)
		1.0m 이상	- -	5.4 (1.7)	6.0 (4.8)	6.4 (5.2)	8.4 (5.8)	9.5 (7.2)	15.5 (7.7)	15.8 (9.5)	16.2 (10.3)	16.4 (18.5)
손지	최대수심		0.14	0.22	0.30	0.38	0.54	0.70	0.79	0.91	1.07	1.24
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	27.2 (2.4)	27.9 (3.2)	28.6 (4.0)	29.5 (5.3)	36.3 (7.2)	37.6 (8.3)	42.8 (9.0)	48.0 (10.5)	49.4 (11.5)	57.9 (17.0)
		0.3m ~ 0.5m	- -	- -	- -	26.8 (1.7)	28.2 (4.8)	34.5 (6.5)	35.7 (7.0)	37.0 (8.8)	42.6 (10.0)	48.3 (13.5)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	26.5 (2.2)	27.7 (4.8)	28.6 (5.7)	34.6 (7.8)	36.6 (8.7)	42.4 (10.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	26.9 (3.3)	27.9 (6.3)	29.4 (7.5)	36.3 (9.0)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	26.7 (2.8)	28.2 (5.7)
곡교1	최대수심		1.13	1.34	1.50	1.58	1.69	1.81	1.85	1.99	2.07	2.16
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	229.6 (14.8)	307.4 (20.0)	368.8 (26.3)	392.4 (26.8)	421.1 (27.3)	468.6 (30.2)	475.8 (31.3)	514.1 (33.8)	529.5 (35.5)	541.3 (36.2)
		0.3m ~ 0.5m	133.4 (11.7)	186.1 (16.0)	261.2 (24.2)	276.3 (24.7)	316.3 (25.2)	380.8 (28.7)	387.3 (29.7)	421.1 (32.2)	452.8 (33.7)	482.2 (33.2)
		0.5m ~ 0.7m	97.4 (8.0)	134.3 (11.3)	179.6 (17.5)	193.7 (22.8)	240.3 (23.8)	302.3 (27.5)	309.1 (28.5)	366.5 (31.2)	390.8 (32.7)	415.5 (31.5)
		0.7m ~ 1.0m	26.2 (6.8)	98.4 (10.5)	130.4 (13.5)	138.3 (17.7)	151.0 (19.0)	225.8 (25.3)	233.3 (26.5)	278.0 (29.2)	312.8 (30.8)	359.9 (29.5)
		1.0m 이상	8.8 (3.8)	21.9 (8.2)	51.3 (11.5)	61.4 (13.0)	103.5 (16.7)	131.3 (22.2)	135.3 (23.3)	151.0 (26.3)	192.1 (28.0)	235.1 (26.2)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.8> 자연배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
곡교2	최대수심		1.25	1.47	1.67	1.78	1.90	2.03	2.10	2.28	2.40	2.54
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	52.9 (8.3)	72.7 (11.2)	90.0 (18.2)	91.4 (18.8)	92.9 (19.7)	96.2 (20.5)	96.9 (20.8)	106.8 (21.5)	108.6 (22.2)	112.9 (26.5)
		0.3m ~ 0.5m	33.3 (6.3)	48.7 (8.3)	66.0 (10.5)	72.9 (11.7)	88.9 (17.8)	90.9 (18.3)	91.7 (18.8)	93.8 (19.7)	96.9 (20.3)	106.4 (23.7)
		0.5m ~ 0.7m	21.6 (5.3)	33.8 (7.0)	48.7 (8.8)	54.2 (9.8)	71.0 (11.2)	80.5 (12.2)	88.9 (17.0)	91.4 (18.7)	92.9 (19.3)	96.3 (22.0)
		0.7m ~ 1.0m	20.3 (4.3)	21.9 (6.0)	33.8 (7.8)	41.7 (8.8)	50.4 (10.0)	63.6 (11.2)	71.0 (11.7)	87.2 (18.0)	90.5 (18.5)	92.1 (20.2)
		1.0m 이상	11.6 (3.0)	19.7 (4.8)	20.9 (6.5)	22.1 (7.5)	30.2 (8.7)	40.1 (10.0)	45.8 (10.7)	54.2 (12.3)	71.0 (17.2)	80.9 (18.5)
곡교3	최대수심		0.70	1.05	1.34	1.51	1.71	1.90	1.99	2.27	2.45	2.67
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	64.8 (11.0)	65.4 (14.2)	65.8 (16.7)	66.0 (17.7)	66.2 (19.0)	66.4 (20.2)	66.5 (20.7)	66.7 (22.2)	66.8 (22.8)	66.9 (33.8)
		0.3m ~ 0.5m	61.6 (8.0)	64.9 (12.2)	65.4 (14.8)	65.6 (16.0)	65.9 (17.3)	66.1 (18.5)	66.2 (19.0)	66.5 (20.5)	66.6 (21.3)	66.7 (27.5)
		0.5m ~ 0.7m	50.4 (3.0)	64.6 (10.5)	65.0 (13.5)	65.3 (15.0)	65.6 (16.3)	65.9 (17.5)	66.0 (17.8)	66.3 (19.2)	66.5 (20.0)	66.6 (24.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	60.7 (7.7)	64.7 (12.0)	65.0 (13.5)	65.3 (15.0)	65.6 (16.2)	65.7 (16.7)	66.1 (18.2)	66.2 (19.0)	66.5 (22.0)
		1.0m 이상	- -	44.7 (4.2)	56.2 (8.2)	64.5 (10.8)	64.8 (12.8)	65.2 (14.3)	65.3 (14.7)	65.7 (16.3)	66.0 (17.3)	66.2 (19.2)
곡교4	최대수심		0.50	0.58	1.05	1.24	1.46	1.64	1.72	1.97	2.12	2.28
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	5.9 (3.8)	21.5 (11.8)	35.2 (15.3)	42.0 (16.5)	49.2 (17.5)	66.9 (18.8)	79.7 (19.2)	83.8 (20.7)	87.9 (24.2)	89.6 (29.0)
		0.3m ~ 0.5m	0.4 (0.7)	0.5 (6.2)	23.5 (10.3)	27.7 (11.8)	36.7 (13.3)	46.3 (14.3)	48.2 (14.8)	67.8 (16.2)	82.1 (17.0)	83.9 (21.5)
		0.5m ~ 0.7m	- -	0.3 (3.3)	21.2 (8.5)	23.4 (10.2)	27.9 (11.8)	36.5 (13.2)	41.6 (13.8)	49.4 (15.0)	66.2 (15.7)	81.6 (20.2)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	5.1 (6.7)	21.0 (8.3)	23.7 (10.2)	27.7 (11.5)	34.9 (12.0)	42.8 (13.5)	48.2 (14.2)	62.5 (17.3)
		1.0m 이상	- -	- -	0.3 (2.5)	0.5 (5.2)	5.7 (7.5)	22.2 (9.2)	23.2 (9.8)	28.1 (11.5)	36.2 (12.5)	42.9 (13.8)
곡교5	최대수심		-	0.27	0.57	0.67	0.78	0.89	0.93	1.05	1.12	1.20
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	- -	88.3 (6.2)	146.0 (10.0)	163.7 (11.5)	169.4 (13.0)	191.3 (14.2)	203.9 (14.7)	233.3 (16.2)	244.0 (18.0)	250.4 (18.2)
		0.3m ~ 0.5m	- -	- -	90.8 (7.8)	104.7 (9.7)	115.0 (11.3)	150.0 (12.5)	163.9 (13.2)	170.3 (14.8)	186.9 (16.2)	203.7 (16.8)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	58.0 (4.0)	67.0 (7.2)	92.3 (9.3)	106.7 (11.0)	110.4 (11.5)	146.9 (13.3)	163.4 (14.8)	167.8 (15.7)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	58.9 (5.0)	68.7 (7.8)	83.4 (8.7)	102.9 (11.0)	109.5 (12.5)	143.1 (14.0)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	56.3 (4.2)	62.2 (7.5)	79.7 (10.0)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
하평2	최대수심		0.25	0.35	0.43	0.49	0.54	0.59	0.61	0.68	0.72	0.76
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	341.8 (19.8)	410.7 (21.8)	437.6 (23.7)	447.7 (24.8)	493.7 (26.2)	502.9 (28.7)	514.6 (29.2)	527.1 (30.7)	546.6 (31.8)	552.8 (61.5)
		0.3m ~ 0.5m	- -	243.9 (6.7)	283.5 (17.7)	298.4 (19.2)	339.6 (20.7)	350.9 (22.8)	401.9 (23.5)	416.8 (25.2)	435.8 (26.5)	442.6 (57.7)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	240.9 (8.8)	255.3 (16.3)	278.4 (17.3)	296.0 (19.8)	335.3 (21.3)	344.0 (40.3)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	235.5 (1.5)	246.8 (19.3)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
하평1	최대수심		0.94	1.03	1.11	1.14	1.18	1.22	1.24	1.29	1.33	1.36
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	82.6 (12.7)	106.3 (14.8)	152.8 (16.7)	156.1 (17.7)	160.8 (19.0)	165.6 (20.2)	167.5 (20.7)	172.7 (22.2)	183.0 (23.2)	185.1 (25.3)
		0.3m ~ 0.5m	14.9 (12.0)	33.3 (14.2)	61.2 (15.8)	64.9 (16.8)	69.8 (18.2)	80.5 (19.2)	82.6 (19.7)	88.3 (21.0)	106.3 (22.0)	110.4 (24.2)
		0.5m ~ 0.7m	3.5 (11.0)	6.7 (13.3)	13.5 (15.2)	14.9 (16.0)	17.1 (17.3)	32.4 (18.3)	34.3 (18.8)	40.1 (20.3)	63.6 (21.2)	67.3 (23.0)
		0.7m ~ 1.0m	1.8 (9.3)	2.7 (12.0)	3.3 (13.8)	3.5 (14.8)	3.6 (16.2)	6.5 (17.2)	6.9 (17.7)	7.7 (19.0)	14.4 (19.8)	15.9 (21.0)
		1.0m 이상	- -	0.1 (3.2)	0.3 (6.3)	0.5 (7.7)	1.3 (9.3)	1.7 (10.8)	1.8 (11.5)	2.3 (12.8)	2.7 (13.8)	2.9 (14.8)
신석	최대수심		0.33	0.46	0.58	0.64	0.71	0.78	0.81	0.91	0.97	1.05
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	142.4 (14.2)	175.7 (20.2)	193.8 (22.5)	207.9 (23.7)	213.5 (25.2)	216.1 (26.5)	223.4 (27.2)	228.1 (28.7)	230.6 (29.7)	234.2 (42.8)
		0.3m ~ 0.5m	82.4 (5.4)	103.8 (9.2)	125.5 (16.2)	143.2 (17.7)	171.1 (19.3)	177.6 (21.2)	188.7 (21.8)	206.0 (23.7)	209.6 (24.7)	215.0 (35.0)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	87.1 (3.3)	102.4 (9.8)	120.5 (14.8)	125.5 (16.3)	140.6 (17.0)	171.1 (19.2)	176.7 (20.5)	191.7 (29.2)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	80.9 (2.1)	86.1 (6.7)	100.2 (9.3)	120.5 (14.7)	124.8 (16.2)	144.1 (22.8)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	83.9 (11.7)
예림	최대수심		0.48	0.61	0.72	0.78	0.90	1.01	1.05	1.19	1.27	1.36
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	8.5 (4.7)	15.7 (7.0)	21.3 (9.3)	23.1 (11.8)	27.8 (13.8)	34.2 (15.8)	35.2 (16.8)	42.8 (19.7)	45.4 (21.5)	49.0 (25.3)
		0.3m ~ 0.5m	1.6 (3.8)	3.9 (6.3)	7.5 (9.0)	8.5 (11.5)	15.5 (13.3)	20.9 (15.3)	22.2 (16.3)	27.2 (19.3)	33.2 (21.0)	35.5 (24.3)
		0.5m ~ 0.7m	- -	1.3 (3.8)	2.7 (7.8)	3.6 (9.5)	7.2 (12.5)	10.8 (14.5)	11.6 (15.3)	17.6 (18.5)	22.8 (20.2)	25.8 (22.7)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	1.1 (2.0)	1.2 (6.8)	2.3 (9.3)	3.9 (12.2)	4.8 (13.2)	8.6 (16.2)	11.9 (18.0)	16.8 (20.5)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	1.0 (1.8)	1.1 (3.7)	1.6 (9.3)	3.5 (11.7)	5.1 (14.3)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
신리	최대수심		0.23	0.47	0.67	0.76	0.86	0.94	0.97	1.08	1.14	1.21
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	92.1 (6.7)	118.3 (10.7)	152.9 (14.2)	170.7 (16.2)	187.9 (18.7)	207.0 (20.8)	210.6 (21.8)	236.6 (25.2)	245.6 (26.8)	251.2 (29.2)
		0.3m ~ 0.5m	- -	81.3 (5.8)	108.0 (10.3)	117.4 (12.5)	139.6 (15.0)	150.6 (17.3)	152.9 (18.3)	173.0 (21.5)	185.9 (23.5)	203.3 (25.7)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	81.3 (6.2)	95.4 (9.2)	107.1 (11.8)	115.7 (14.3)	118.3 (15.5)	141.4 (18.7)	150.6 (20.7)	165.4 (22.8)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	70.3 (4.0)	80.4 (7.8)	93.3 (10.5)	96.4 (11.8)	108.8 (15.2)	115.7 (17.0)	135.0 (19.5)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	71.8 (5.7)	78.8 (8.7)	89.8 (11.3)
중예1	최대수심		0.42	0.74	0.97	1.08	1.20	1.31	1.35	1.49	1.57	1.66
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	25.0 (11.8)	36.9 (17.3)	52.3 (20.7)	58.2 (22.3)	60.8 (24.8)	72.0 (27.0)	72.5 (28.0)	74.5 (31.0)	75.6 (32.7)	80.8 (34.7)
		0.3m ~ 0.5m	18.4 (5.2)	25.3 (11.8)	32.8 (15.5)	37.8 (17.2)	50.9 (19.8)	56.9 (21.8)	57.7 (22.8)	60.5 (25.8)	68.2 (27.8)	72.7 (30.3)
		0.5m ~ 0.7m	- -	20.8 (7.8)	25.8 (12.0)	31.3 (13.7)	36.2 (16.3)	39.4 (18.5)	41.3 (19.3)	52.8 (22.3)	58.0 (24.3)	59.9 (26.8)
		0.7m ~ 1.0m	- -	16.8 (2.7)	21.5 (7.5)	24.3 (9.8)	29.7 (12.5)	31.8 (14.7)	32.5 (15.7)	38.0 (18.8)	42.3 (20.7)	52.0 (23.2)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	17.7 (4.2)	20.1 (7.0)	23.3 (10.0)	23.9 (10.8)	26.2 (14.2)	31.1 (16.0)	32.7 (18.7)
중예2	최대수심		0.08	0.28	0.46	0.56	0.66	0.76	0.80	0.93	1.01	1.11
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	33.1 (4.7)	49.6 (8.8)	66.9 (13.3)	84.2 (15.8)	102.5 (19.3)	104.5 (22.7)	105.4 (24.2)	109.6 (28.7)	115.8 (31.3)	119.5 (33.5)
		0.3m ~ 0.5m	- -	- -	43.8 (7.2)	48.6 (10.5)	53.4 (14.2)	66.9 (17.7)	69.7 (19.2)	101.7 (24.2)	103.6 (27.2)	105.6 (29.8)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	32.3 (4.3)	43.8 (9.3)	48.6 (13.0)	50.5 (14.5)	64.9 (20.0)	80.4 (23.3)	101.0 (26.7)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	32.3 (5.0)	40.5 (7.8)	47.3 (13.8)	51.0 (17.5)	63.7 (21.7)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	30.5 (2.5)	41.0 (10.2)
황금	최대수심		0.33	0.57	0.77	0.86	0.96	1.04	1.07	1.18	1.24	1.31
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	0.1 (8.0)	0.2 (11.8)	29.2 (15.5)	40.6 (17.3)	51.4 (19.8)	59.7 (22.0)	62.3 (23.2)	78.9 (26.2)	85.4 (28.0)	87.6 (30.3)
		0.3m ~ 0.5m	9.7 (2.0)	12.3 (7.3)	15.4 (11.8)	0.1 (13.8)	21.2 (16.3)	28.1 (18.7)	29.2 (19.7)	41.9 (22.8)	50.1 (24.7)	57.1 (27.0)
		0.5m ~ 0.7m	- -	1.3 (3.2)	2.1 (8.3)	3.7 (10.8)	5.8 (13.5)	7.4 (16.0)	0.2 (17.0)	22.4 (20.2)	28.1 (22.0)	37.1 (24.3)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	0.4 (3.5)	0.9 (6.5)	2.1 (10.0)	4.1 (12.7)	7.3 (13.7)	12.4 (17.0)	15.2 (18.8)	17.7 (21.2)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	1.6 (3.7)	4.2 (5.3)	5.4 (10.2)	7.7 (12.2)	10.3 (14.5)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
용리1	최대수심		0.99	1.14	1.29	1.36	1.46	1.53	1.56	1.65	1.70	1.77
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	68.6 (26.0)	78.2 (28.3)	80.7 (30.3)	81.8 (31.5)	84.3 (32.7)	88.8 (33.8)	89.1 (34.3)	89.9 (36.2)	90.3 (37.2)	90.8 (54.2)
		0.3m ~ 0.5m	56.5 (22.5)	61.5 (24.8)	68.6 (27.0)	76.9 (28.0)	78.6 (29.3)	79.8 (30.5)	80.2 (30.8)	81.6 (32.7)	82.4 (33.5)	84.6 (47.3)
		0.5m ~ 0.7m	42.5 (20.2)	55.2 (22.8)	59.4 (24.8)	62.3 (25.8)	67.0 (27.3)	76.5 (28.5)	76.9 (29.0)	78.4 (30.5)	79.2 (31.5)	80.4 (42.8)
		0.7m ~ 1.0m	32.4 (17.3)	40.4 (20.2)	53.8 (22.5)	55.7 (23.7)	58.5 (25.0)	61.1 (26.2)	62.3 (26.8)	66.4 (28.5)	76.0 (29.3)	77.1 (38.3)
		1.0m 이상	- -	25.8 (15.7)	32.4 (18.7)	35.5 (20.0)	41.1 (21.7)	52.1 (23.0)	53.0 (23.5)	55.4 (25.2)	56.8 (26.0)	58.8 (32.8)
하포2	최대수심		0.58	0.74	0.85	0.91	0.96	1.02	1.04	1.11	1.15	1.20
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	21.5 (9.3)	45.6 (12.8)	64.7 (15.7)	86.4 (17.3)	89.2 (19.5)	92.5 (21.5)	93.5 (22.2)	100.6 (24.8)	102.6 (26.7)	105.4 (28.7)
		0.3m ~ 0.5m	3.3 (8.0)	16.5 (11.3)	20.6 (14.7)	29.4 (16.5)	33.5 (18.5)	43.9 (20.5)	45.6 (21.2)	60.7 (24.0)	64.7 (25.7)	85.9 (27.8)
		0.5m ~ 0.7m	2.7 (4.8)	3.2 (8.7)	11.7 (12.3)	15.4 (14.2)	17.3 (16.3)	19.5 (18.3)	20.2 (19.2)	29.4 (22.0)	32.7 (23.7)	42.4 (25.7)
		0.7m ~ 1.0m	- -	2.6 (4.5)	3.0 (8.3)	3.1 (10.8)	3.3 (13.0)	10.6 (15.2)	11.3 (16.2)	15.4 (19.0)	16.9 (20.7)	18.8 (22.8)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	2.6 (3.2)	2.6 (4.3)	2.8 (8.8)	3.0 (10.8)	3.1 (13.2)
용리2	최대수심		0.69	0.84	0.99	1.06	1.16	1.23	1.26	1.35	1.40	1.47
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	57.0 (24.8)	68.0 (27.2)	75.1 (29.2)	78.2 (30.3)	103.3 (31.5)	152.8 (32.8)	154.3 (33.3)	159.1 (35.2)	161.7 (36.2)	165.2 (45.2)
		0.3m ~ 0.5m	31.4 (22.2)	52.5 (24.5)	57.0 (26.7)	64.0 (27.7)	68.9 (28.8)	72.3 (30.0)	73.7 (30.7)	77.8 (32.3)	80.2 (33.2)	105.1 (42.2)
		0.5m ~ 0.7m	12.5 (19.2)	30.1 (22.0)	51.0 (24.0)	53.1 (25.2)	56.1 (26.5)	62.5 (27.7)	64.0 (28.2)	68.5 (29.7)	70.8 (30.5)	74.2 (38.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	10.9 (17.5)	28.9 (20.8)	30.6 (22.0)	50.2 (23.5)	52.2 (24.8)	53.1 (25.5)	55.7 (27.0)	61.0 (27.8)	64.4 (34.3)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	8.3 (11.5)	11.6 (17.8)	27.1 (19.8)	28.0 (20.3)	30.3 (22.3)	48.5 (23.3)	50.5 (28.0)
성리1	최대수심		0.64	0.78	0.91	0.98	1.07	1.15	1.18	1.29	1.36	1.44
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	77.1 (19.2)	100.7 (21.3)	113.6 (23.5)	119.1 (24.5)	128.6 (25.8)	135.4 (27.0)	136.6 (27.5)	141.0 (29.0)	141.8 (29.8)	143.7 (46.5)
		0.3m ~ 0.5m	36.2 (16.2)	52.6 (18.5)	74.7 (20.5)	80.4 (21.3)	99.7 (22.5)	107.5 (23.5)	109.7 (24.2)	120.1 (25.5)	127.7 (26.5)	135.0 (42.5)
		0.5m ~ 0.7m	21.2 (11.8)	31.4 (16.0)	47.6 (18.2)	52.6 (19.2)	60.7 (20.3)	78.1 (21.3)	80.4 (21.8)	101.7 (23.2)	108.2 (23.8)	116.0 (38.8)
		0.7m ~ 1.0m	- -	17.8 (11.2)	26.8 (15.3)	31.4 (16.5)	37.7 (17.8)	50.3 (19.0)	52.6 (19.5)	62.2 (20.8)	78.8 (21.7)	96.7 (34.2)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	17.4 (12.2)	21.7 (14.3)	23.6 (15.0)	32.0 (16.8)	37.2 (17.5)	49.5 (25.5)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
용동1	최대수심		0.75	0.94	1.06	1.13	1.20	1.27	1.30	1.40	1.46	1.53
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	85.9 (12.5)	91.3 (14.7)	92.5 (16.5)	94.9 (17.2)	95.5 (18.3)	96.0 (19.0)	96.2 (19.3)	97.0 (20.3)	97.3 (21.0)	97.7 (26.0)
		0.3m ~ 0.5m	28.8 (10.7)	74.3 (13.0)	86.1 (14.8)	89.0 (15.7)	90.8 (16.5)	91.5 (17.3)	91.8 (17.7)	94.5 (18.8)	95.3 (19.5)	95.7 (23.5)
		0.5m ~ 0.7m	7.4 (8.5)	28.2 (11.0)	53.6 (13.2)	73.4 (14.0)	84.5 (15.2)	86.3 (16.0)	88.4 (16.3)	90.8 (17.5)	91.4 (18.2)	92.2 (22.0)
		0.7m ~ 1.0m	2.0 (4.2)	7.0 (7.7)	13.8 (10.3)	27.8 (11.5)	44.7 (12.7)	55.1 (13.7)	70.7 (14.2)	84.5 (15.3)	86.1 (16.2)	89.0 (20.2)
		1.0m 이상	- -	- -	2.2 (4.0)	3.3 (5.8)	5.5 (7.7)	8.3 (9.2)	11.2 (9.7)	25.9 (11.5)	29.4 (12.5)	49.4 (15.7)
용동2	최대수심		0.35	0.54	0.66	0.72	0.80	0.87	0.90	1.00	1.06	1.13
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	80.3 (9.5)	141.0 (11.8)	175.0 (14.0)	183.1 (14.8)	192.6 (15.7)	204.5 (16.5)	206.8 (17.0)	214.3 (18.2)	221.5 (18.7)	228.1 (21.5)
		0.3m ~ 0.5m	12.4 (4.2)	37.1 (8.0)	83.0 (10.7)	110.6 (11.8)	132.7 (13.2)	147.7 (14.0)	166.2 (14.3)	180.6 (15.5)	187.8 (16.3)	201.2 (19.8)
		0.5m ~ 0.7m	- -	11.9 (3.2)	26.2 (7.0)	34.0 (8.5)	67.2 (10.0)	85.8 (11.2)	105.8 (11.5)	132.7 (13.0)	145.5 (13.8)	170.7 (17.2)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	11.1 (3.3)	18.9 (6.2)	27.5 (8.0)	31.3 (8.7)	67.2 (10.2)	83.0 (11.3)	112.8 (14.0)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	5.9 (0.7)	12.8 (5.8)	22.6 (8.7)
성리2	최대수심		0.60	0.68	0.75	0.79	0.83	0.86	0.87	0.92	0.95	0.98
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	30.4 (16.0)	31.9 (17.8)	38.5 (19.3)	39.0 (20.2)	39.5 (21.5)	39.8 (22.5)	40.0 (22.8)	40.5 (24.0)	40.9 (24.8)	41.3 (28.8)
		0.3m ~ 0.5m	21.3 (13.7)	23.9 (15.8)	26.0 (17.3)	27.1 (18.2)	29.0 (19.2)	29.5 (20.0)	29.8 (20.3)	30.8 (21.7)	31.3 (22.3)	31.9 (25.3)
		0.5m ~ 0.7m	5.1 (9.8)	5.6 (12.7)	15.5 (14.7)	16.7 (15.5)	22.4 (16.7)	23.3 (17.5)	23.6 (17.8)	25.1 (19.0)	26.0 (19.8)	26.8 (20.8)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	4.3 (4.7)	4.9 (5.8)	5.3 (7.2)	5.5 (8.2)	5.6 (8.7)	14.6 (10.5)	15.5 (11.2)	16.3 (12.0)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
신가	최대수심		0.43	0.62	0.75	0.82	0.90	0.97	1.00	1.11	1.19	1.29
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	14.2 (9.7)	25.4 (12.7)	35.0 (14.3)	38.7 (15.2)	39.2 (16.2)	39.6 (17.0)	39.8 (17.2)	40.3 (18.2)	40.6 (18.7)	41.1 (23.8)
		0.3m ~ 0.5m	6.6 (5.3)	13.1 (10.0)	14.4 (12.0)	16.9 (13.0)	24.2 (14.0)	29.0 (14.8)	33.7 (15.2)	38.7 (16.0)	39.2 (16.7)	39.7 (20.3)
		0.5m ~ 0.7m	- -	6.2 (5.7)	12.3 (9.3)	13.1 (10.3)	13.9 (11.8)	14.5 (12.7)	16.0 (13.0)	24.7 (14.2)	30.8 (14.8)	35.8 (18.7)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	3.4 (4.3)	6.2 (7.8)	10.1 (9.3)	12.5 (10.3)	12.8 (10.8)	14.0 (12.2)	14.8 (13.0)	21.7 (16.3)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	2.4 (2.0)	5.8 (8.5)	8.8 (9.7)	12.7 (11.8)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
신종	최대수심		0.18	0.38	0.55	0.63	0.73	0.89	0.97	0.94	0.99	1.04
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	32.4 (4.3)	55.0 (8.5)	75.6 (11.8)	85.2 (13.7)	95.4 (16.2)	115.8 (17.2)	130.2 (17.7)	128.5 (18.8)	131.2 (19.7)	135.4 (26.3)
		0.3m ~ 0.5m	- -	14.3 (4.5)	39.7 (9.2)	51.0 (11.3)	63.2 (14.5)	77.5 (15.5)	87.7 (16.0)	85.7 (17.5)	88.8 (18.2)	96.0 (23.0)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	12.1 (3.8)	29.9 (7.5)	39.0 (11.2)	55.9 (13.8)	66.2 (14.5)	64.0 (15.8)	67.5 (16.8)	75.2 (20.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	10.6 (3.7)	32.9 (11.0)	40.6 (12.2)	39.3 (12.3)	41.6 (14.5)	51.9 (17.8)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	11.3 (8.5)
신덕	최대수심		0.10	0.19	0.28	0.33	0.39	0.45	0.47	0.55	0.60	0.66
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	341.0 (0.7)	389.3 (10.3)	442.3 (16.0)	454.7 (17.0)	464.2 (20.8)	477.2 (22.5)	479.9 (23.2)	512.6 (25.0)	524.4 (26.2)	537.7 (35.3)
		0.3m ~ 0.5m	- -	- -	- -	312.5 (5.5)	336.9 (7.3)	379.1 (12.3)	384.4 (14.2)	436.4 (19.2)	450.1 (20.7)	459.5 (25.5)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	320.6 (5.0)	364.9 (10.0)	381.9 (18.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
계촌	최대수심		0.18	0.38	0.55	0.63	0.73	0.89	0.97	0.94	0.99	1.04
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	3.0 (4.3)	8.1 (8.5)	19.0 (11.8)	22.5 (13.7)	27.7 (16.2)	48.4 (17.2)	79.2 (17.7)	76.6 (18.8)	80.7 (19.7)	95.1 (26.3)
		0.3m ~ 0.5m	- -	2.0 (4.5)	6.1 (9.3)	7.2 (11.3)	10.8 (14.5)	20.0 (15.7)	23.4 (16.2)	22.6 (17.5)	24.0 (18.2)	28.1 (23.0)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	1.8 (3.8)	2.5 (7.5)	5.6 (11.2)	8.3 (13.8)	12.3 (14.5)	11.2 (15.8)	13.0 (16.8)	18.8 (20.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	1.6 (3.7)	3.1 (11.0)	6.4 (12.2)	5.8 (12.5)	6.7 (14.5)	7.4 (17.8)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	1.7 (8.5)
봉농	최대수심		-	0.09	0.18	0.23	0.29	0.34	0.37	0.45	0.50	0.56
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	- -	8.6 (2.8)	13.0 (12.2)	15.7 (16.3)	18.4 (19.0)	20.6 (22.5)	22.0 (23.2)	24.9 (24.8)	26.1 (25.8)	27.0 (33.0)
		0.3m ~ 0.5m	- -	- -	- -	- -	- -	7.6 (4.6)	8.2 (6.3)	11.5 (14.0)	14.1 (18.5)	17.1 (23.5)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	8.0 (10.8)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
종경	최대수심		0.94	1.35	1.55	1.65	1.77	1.86	1.90	2.02	2.08	2.16
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	89.7 (15.5)	160.5 (18.8)	208.6 (19.3)	230.6 (19.8)	265.0 (21.0)	281.9 (23.3)	287.1 (24.0)	363.9 (25.3)	369.9 (27.2)	380.2 (34.3)
		0.3m ~ 0.5m	59.8 (10.7)	113.8 (16.0)	144.3 (16.5)	160.5 (17.0)	187.6 (18.2)	209.8 (20.5)	222.5 (21.2)	257.3 (23.0)	266.5 (24.2)	281.9 (30.0)
		0.5m ~ 0.7m	53.5 (8.3)	71.4 (15.0)	113.8 (15.8)	126.1 (16.3)	146.3 (17.5)	161.9 (19.8)	177.0 (20.3)	204.6 (22.0)	212.4 (23.2)	232.8 (28.0)
		0.7m ~ 1.0m	42.7 (4.8)	60.1 (14.2)	71.4 (15.0)	91.0 (15.5)	115.9 (16.7)	126.9 (18.8)	139.2 (19.5)	156.9 (21.2)	164.2 (22.5)	186.0 (26.3)
		1.0m 이상	- -	51.8 (12.3)	57.7 (13.5)	60.1 (14.2)	63.2 (15.3)	72.0 (17.5)	84.2 (18.2)	111.0 (19.8)	117.0 (21.2)	126.9 (24.3)
창소	최대수심		0.81	1.28	1.83	2.19	2.42	2.61	2.67	2.91	2.98	3.20
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	12.9 (6.2)	16.1 (11.7)	21.1 (15.2)	25.6 (16.0)	28.4 (17.0)	30.9 (18.0)	31.8 (18.3)	35.0 (19.5)	36.0 (20.2)	39.6 (23.7)
		0.3m ~ 0.5m	10.8 (3.3)	14.1 (10.2)	18.1 (13.7)	22.0 (14.5)	24.7 (15.7)	27.1 (16.5)	27.8 (17.2)	30.9 (18.2)	31.9 (19.0)	34.9 (21.8)
		0.5m ~ 0.7m	9.4 (7.4)	12.8 (9.5)	16.5 (13.0)	19.6 (14.0)	22.3 (14.8)	24.6 (16.0)	25.4 (16.3)	28.3 (17.5)	29.2 (18.2)	32.1 (21.0)
		0.7m ~ 1.0m	7.9 (5.4)	11.3 (8.5)	15.1 (12.2)	17.7 (13.3)	20.1 (14.2)	22.2 (15.3)	22.9 (15.8)	25.8 (16.8)	26.7 (17.7)	29.5 (20.0)
		1.0m 이상	- -	9.2 (6.2)	13.1 (10.5)	15.4 (12.0)	17.2 (13.2)	18.8 (14.3)	19.4 (14.7)	22.2 (15.8)	23.0 (16.7)	25.7 (18.5)
탄중	최대수심		0.05	0.45	0.65	0.75	0.87	0.96	1.00	1.12	1.18	1.26
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	10.9 (4.8)	24.8 (13.0)	34.5 (14.0)	37.2 (14.5)	44.9 (15.5)	52.7 (16.7)	55.2 (17.2)	84.6 (18.7)	90.4 (19.8)	99.3 (25.0)
		0.3m ~ 0.5m	- -	15.4 (7.7)	20.7 (12.2)	24.8 (12.8)	29.3 (13.8)	34.8 (15.2)	35.8 (15.8)	42.2 (17.3)	45.5 (18.5)	52.7 (22.5)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	15.4 (9.5)	18.8 (11.2)	21.1 (12.3)	25.0 (13.8)	27.9 (14.5)	33.6 (16.2)	35.2 (17.3)	37.4 (20.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	10.9 (5.5)	15.7 (10.5)	19.1 (12.2)	19.8 (12.8)	24.2 (14.7)	25.4 (15.8)	29.1 (18.5)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	14.9 (11.2)	15.8 (12.7)	19.1 (14.5)
발연	최대수심		-	0.34	0.64	0.82	1.07	1.30	1.40	1.69	1.86	2.06
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	- -	22.3 (8.0)	23.1 (12.0)	23.7 (12.3)	24.1 (13.2)	24.4 (14.3)	24.4 (14.8)	24.9 (16.0)	25.2 (16.8)	26.9 (24.5)
		0.3m ~ 0.5m	- -	18.6 (1.3)	22.3 (10.5)	22.8 (11.0)	23.5 (12.2)	24.0 (13.3)	24.1 (13.7)	24.4 (15.0)	24.6 (15.7)	25.0 (20.5)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	21.6 (7.2)	22.2 (9.8)	22.9 (11.0)	23.6 (12.3)	23.9 (13.0)	24.2 (14.2)	24.4 (15.0)	24.6 (18.2)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	21.5 (6.8)	22.3 (10.0)	23.0 (11.5)	23.3 (12.0)	24.0 (13.3)	24.2 (14.3)	24.4 (16.3)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	19.3 (5.3)	22.1 (8.5)	22.4 (9.2)	23.3 (11.2)	23.8 (12.2)	24.1 (14.2)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
산성	최대수심		0.12	0.27	0.50	0.67	0.87	1.03	1.10	1.32	1.47	1.63
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	0.4 (3.3)	0.4 (5.4)	13.7 (9.7)	15.8 (10.2)	17.5 (11.5)	18.8 (12.3)	19.3 (13.0)	20.7 (14.0)	21.6 (15.0)	22.5 (22.5)
		0.3m ~ 0.5m	- -	- -	10.8 (6.8)	12.5 (8.8)	14.7 (10.2)	16.4 (11.3)	17.0 (11.8)	18.7 (13.2)	19.7 (14.2)	20.8 (19.0)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	10.6 (7.0)	12.5 (8.8)	14.2 (10.2)	15.0 (10.5)	17.2 (12.3)	18.3 (13.2)	19.5 (17.0)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	10.6 (6.7)	12.0 (8.2)	12.8 (8.7)	15.2 (10.5)	16.8 (11.3)	18.0 (15.2)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	9.3 (1.8)	9.9 (6.0)	11.9 (8.3)	13.5 (9.5)	15.4 (11.5)
원평	최대수심		0.78	1.10	1.76	2.18	2.37	2.49	2.57	2.76	2.94	3.07
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	4.7 (2.5)	7.7 (10.2)	25.1 (15.7)	40.2 (16.0)	46.3 (16.7)	52.1 (18.2)	61.6 (18.5)	79.1 (19.3)	87.5 (19.8)	98.6 (22.8)
		0.3m ~ 0.5m	2.6 (2.0)	4.8 (8.3)	18.4 (14.5)	30.0 (14.8)	37.2 (15.7)	40.6 (17.2)	43.0 (17.7)	51.1 (18.3)	65.1 (19.0)	79.5 (21.2)
		0.5m ~ 0.7m	1.6 (1.0)	3.3 (7.0)	11.5 (13.5)	23.4 (13.8)	29.9 (14.7)	35.2 (15.8)	37.2 (16.5)	42.7 (17.3)	50.4 (18.0)	61.6 (20.3)
		0.7m ~ 1.0m	0.9 (0.5)	2.1 (5.0)	7.2 (12.0)	19.1 (12.3)	23.3 (13.3)	25.3 (14.5)	29.9 (15.2)	37.0 (15.8)	42.2 (16.5)	46.3 (19.5)
		1.0m 이상	- -	0.9 (4.6)	4.4 (10.8)	8.6 (11.0)	15.2 (12.0)	19.4 (13.2)	22.1 (13.7)	24.5 (14.8)	34.0 (15.7)	37.2 (18.0)
산양	최대수심		0.01	0.06	0.11	0.14	0.17	0.21	0.23	0.28	0.31	0.35
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	66.6 (8.0)	67.7 (12.5)	69.2 (15.5)	69.5 (16.8)	69.7 (18.2)	70.0 (19.8)	70.2 (20.5)	70.6 (21.5)	70.7 (22.3)	70.9 (59.3)
		0.3m ~ 0.5m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	66.6 (14.3)	67.6 (54.3)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
가덕	최대수심		0.99	1.11	1.21	1.32	1.45	1.56	1.62	1.77	1.81	1.90
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	53.4 (1.8)	63.0 (2.3)	70.3 (8.0)	74.5 (10.2)	78.1 (12.3)	80.4 (14.0)	82.1 (14.5)	84.3 (20.3)	85.5 (23.8)	86.9 (26.5)
		0.3m ~ 0.5m	33.9 (0.5)	43.0 (1.9)	49.8 (4.2)	55.3 (7.2)	64.1 (9.0)	71.4 (10.5)	74.5 (11.2)	78.4 (13.0)	79.9 (16.0)	81.8 (21.7)
		0.5m ~ 0.7m	25.4 (0.4)	32.8 (0.9)	38.4 (2.1)	43.3 (4.8)	51.6 (7.0)	56.9 (8.5)	63.2 (9.3)	71.6 (11.3)	74.3 (14.0)	77.5 (19.7)
		0.7m ~ 1.0m	19.7 (0.3)	23.8 (1.1)	25.7 (1.8)	32.9 (3.7)	39.9 (4.5)	44.3 (6.3)	50.1 (7.2)	57.2 (9.3)	63.1 (11.3)	69.8 (17.7)
		1.0m 이상	- -	14.1 (0.1)	18.8 (0.4)	20.5 (0.8)	24.6 (1.4)	26.6 (2.2)	32.9 (2.8)	40.6 (6.0)	43.0 (7.5)	49.4 (15.2)

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

<표 11.9> 강제배수 지역의 홍수규모별 침수특성 분석 (계속)

소구역	구 분		재현기간(빈도)									
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년
신창	최대수심		0.92	1.17	1.33	1.39	1.48	1.55	1.59	1.69	1.75	1.82
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	89.9 (13.0)	122.3 (15.7)	144.5 (18.0)	147.6 (19.2)	168.6 (20.3)	171.2 (23.3)	172.5 (24.2)	175.7 (26.3)	181.4 (28.0)	199.4 (38.2)
		0.3m ~ 0.5m	39.3 (11.2)	53.7 (14.2)	100.9 (16.7)	106.2 (17.8)	123.2 (19.0)	139.4 (20.2)	141.9 (20.7)	147.6 (21.8)	167.5 (22.7)	170.2 (32.2)
		0.5m ~ 0.7m	23.5 (9.3)	41.3 (12.8)	52.2 (15.5)	54.4 (16.7)	93.0 (18.0)	102.6 (19.0)	106.2 (19.5)	124.0 (21.0)	139.4 (22.0)	144.5 (30.2)
		0.7m ~ 1.0m	12.2 (7.0)	25.4 (11.3)	39.6 (14.3)	42.1 (15.3)	50.7 (16.8)	52.9 (18.0)	54.4 (18.7)	93.4 (20.2)	102.6 (21.2)	118.1 (27.8)
		1.0m 이상	- -	11.7 (8.0)	16.0 (11.7)	19.0 (13.2)	25.7 (14.7)	33.6 (16.3)	35.7 (16.8)	42.1 (18.5)	49.6 (19.7)	51.9 (24.3)
중방	최대수심		-	0.21	0.25	0.33	0.43	0.52	0.56	0.67	0.73	0.80
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	- -	48.1 (8.3)	49.2 (13.3)	50.1 (16.0)	51.0 (19.2)	57.3 (22.2)	58.5 (23.5)	72.6 (25.0)	74.1 (25.8)	74.3 (30.8)
		0.3m ~ 0.5m	- -	- -	- -	45.7 (4.3)	48.2 (9.3)	48.9 (12.7)	49.4 (14.2)	50.5 (18.5)	51.0 (21.2)	51.7 (25.0)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	45.5 (4.8)	46.0 (7.2)	48.5 (12.2)	49.0 (15.0)	49.8 (19.8)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	45.7 (6.0)	48.0 (12.0)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
염성	최대수심		0.38	0.63	0.82	0.92	1.04	1.14	1.19	1.32	1.40	1.49
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	28.1 (14.0)	45.4 (16.8)	56.8 (18.8)	59.1 (19.7)	64.7 (20.8)	69.3 (21.8)	69.9 (22.2)	80.7 (23.2)	82.6 (24.0)	85.4 (24.5)
		0.3m ~ 0.5m	20.3 (7.5)	24.6 (12.5)	34.5 (15.0)	45.2 (16.2)	52.0 (17.5)	57.4 (18.5)	58.5 (19.0)	64.2 (20.3)	68.7 (21.0)	69.9 (22.3)
		0.5m ~ 0.7m	- -	21.0 (10.0)	24.4 (13.2)	28.9 (14.5)	35.2 (15.8)	45.6 (17.0)	46.7 (17.3)	56.8 (18.8)	58.7 (19.7)	60.4 (21.2)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	20.8 (10.8)	22.5 (12.5)	24.8 (14.2)	29.2 (15.3)	30.2 (16.0)	45.2 (17.5)	50.8 (18.3)	53.5 (20.0)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	19.7 (8.0)	21.1 (12.3)	22.0 (13.0)	24.4 (14.8)	28.6 (15.8)	30.2 (17.5)
수장	최대수심		0.21	0.37	0.51	0.58	0.66	0.73	0.76	0.85	0.91	0.97
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	16.5 (10.7)	17.8 (14.3)	19.0 (18.3)	29.4 (20.5)	30.9 (23.2)	32.2 (25.8)	32.6 (26.3)	37.6 (27.7)	38.3 (28.5)	38.9 (31.5)
		0.3m ~ 0.5m	- -	15.3 (5.5)	16.5 (11.0)	17.0 (13.5)	17.7 (16.3)	18.4 (19.0)	18.6 (20.3)	28.8 (24.0)	30.0 (25.5)	31.1 (27.3)
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	14.8 (2.5)	15.4 (7.5)	16.0 (10.7)	16.7 (13.5)	16.9 (15.0)	17.7 (18.8)	18.2 (21.3)	18.7 (24.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	15.0 (4.5)	15.3 (7.3)	15.9 (11.7)	16.5 (14.3)	17.0 (17.7)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

【주】( ) 안의 값은 침수시간 임.

11.2.3 예 당 지

가. 예당지의 현황

예당지는 유역면적이 368.9㎢에 달하여 무한천 전체 유역면적 471.8㎢의 약 80%에 해당하며, 관개면적은 156.8㎢, 만수면적 10.88㎢, 유효 저수량 46.0백만㎥에 이르는 대규모 농업용 저수지로서 무한천 하구부에서 약 14km 상류에 위치하고 있다.

당초 예당지는 농업용수공급을 목적으로 건설되었으나, 홍수기간 동안만 EL. 22.5m인 상시만수위를 1.0m 적은 EL.21.5m로 유지하여 10.2백만㎥의 홍수조절용량을 확보함으로써 삽교천 유역에서 유일하게 홍수조절능력을 갖춘 시설로 활용되고 있다. 특히 무한천 유역에서 발생한 강우의 대부분은 예당지를 거쳐 삽교천 본류로 유입되므로 예당지의 운영은 무한천 뿐만 아니라 삽교천 본류 구간의 홍수피해를 감소시키는데 중요한 역할을 한다. 홍수시 예당지의 운영은 일정률-일정량 조절방식을 택하고 있는데, 이는 일정량 조절방식과 일정률 조절방식을 혼합한 기법으로, 유입량이 최대 크기에 이를 때까지 유입량의 60%를 방류하고 그 이후에는 일정량을 방류하는 조절방식으로 운영되고 있다.

<표 11.10> 예당지 제원

구 분		단 위	제 원	비 고
위 치		-	충남 예산군 대흥면 노동리	
유 역 면 적		㎢	367.6	
제 체	형 식	-	중심 코아형 흙댐	
	제 정 고	EL.m	25.0	
	제 정 폭	m	6.0	
	높 이	m	13.3	
	연 장	m	315	
저수지	만 수 면 적	㎢	10.88	
	총 저 수 량	백만㎥	47.1	
	유 효 저 수 량	백만㎥	46.0	
	홍 수 조 절 용 량	백만㎥	10.2	
	계 획 홍 수 위	EL.m	홍수시 : 21.5(20.5)	
	(만 수 위)		상 시 : 22.5	
	위 험 수 위	EL.m	23.0	
	사 수 위	EL.m	14.5	
여수로	구 조	-	콘크리트	
	월 류 언 표 고	EL.m	19.5	
	연 장	m	247.5	
	게 이 트	B×H×련	6.0×3.6×26	
	최 대 방 류 량	㎥/sec	1,645	

【주】 근래에는 홍수기의 저수위를 EL.20.5m 정도로 유지하고 있음.

금회 측량성과에 의해 산정한 예당지의 유효저수량은 45,759천㎥로 설계당시의 46,070천㎥의 99.3%에 달해 큰 변화가 없는 것으로 파악되었으며 홍수조절용량 역시 기존의 10,214천㎥에서 큰 변화가 없는 10,135천㎥을 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 예당지의 용수공급 및 홍수조절 기능을 유지하기 위한 계속적인 준설 등의 유지관리 노력의 결과라고 볼 수 있다.

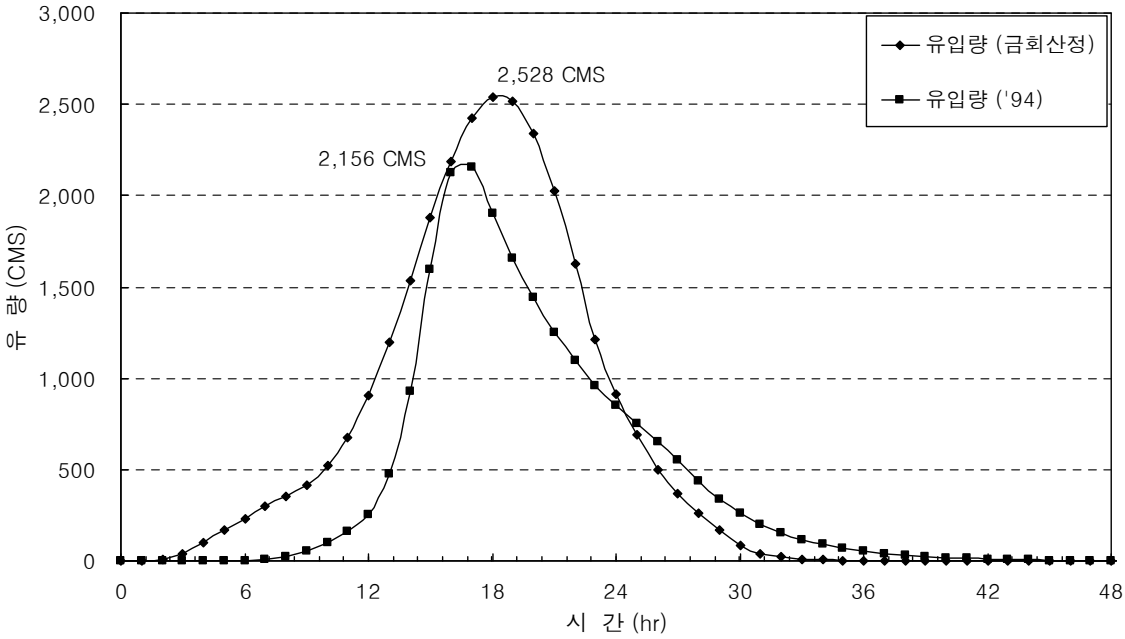
<표 11.11> 예당지 내용적 비교

단위 : 10^3 ㎥

표고 (EL. m)	구간별 내용적		누가 내용적	
	1962년	금회 산정	1962년	금회 산정
14.5	103.30	103.30	103.30	103.30
15.0	463.98	479.32	567.28	582.62
15.5	722.41	765.99	1,289.69	1,348.61
16.0	1,033.08	1,086.49	2,322.77	2,435.10
16.5	1,443.39	1,405.08	3,766.16	3,840.18
17.0	1,764.85	1,776.37	5,531.01	5,616.55
17.5	2,050.40	2,112.28	7,581.41	7,728.83
18.0	2,328.30	2,293.28	9,909.71	10,022.11
18.5	2,630.11	2,668.05	12,539.82	12,690.16
19.0	2,968.83	2,963.56	15,508.65	15,653.72
19.5	3,335.34	3,375.25	18,843.99	19,028.97
20.0	3,744.55	3,663.06	22,588.54	22,692.03
20.5	4,111.83	4,035.25	26,700.37	26,727.28
21.0	4,433.42	4,294.33	31,133.79	31,021.61
21.5	4,722.72	4,602.71	35,856.51	35,624.32
22.0	4,968.91	4,890.27	40,825.42	40,514.59
22.5	5,244.77	5,245.25	46,070.19	45,759.84
23.0	5,628.64	5,844.38	51,698.83	51,604.22
23.5	6,771.89	6,185.94	58,470.72	57,790.16

【주】 1962년 : 설계당시 내용적
EL. 14.5m 이하의 내용적은 동일한 것으로 가정 하였음.

이에 비해 예당지 유입 홍수량은 '94년 기본계획(보완) 당시에 비해 100년 빈도 기준으로 총 용적은 약 13.23%, 첨두홍수량은 당초 2,156㎥/sec에서 2,528㎥/sec으로 17.3% 증가하였다. 따라서 예당지의 홍수조절 능력은 재검토 되어야 하며, 그 결과에 따라 예당지의 홍수조절을 고려하여 결정된 예당지 하류구간의 계획홍수량도 보완 되어야 할 것이다.



<그림 11.9> '94년과 금회 산정한 예당지 유입량 비교 (100년 빈도)

나. 홍수조절능력 검토

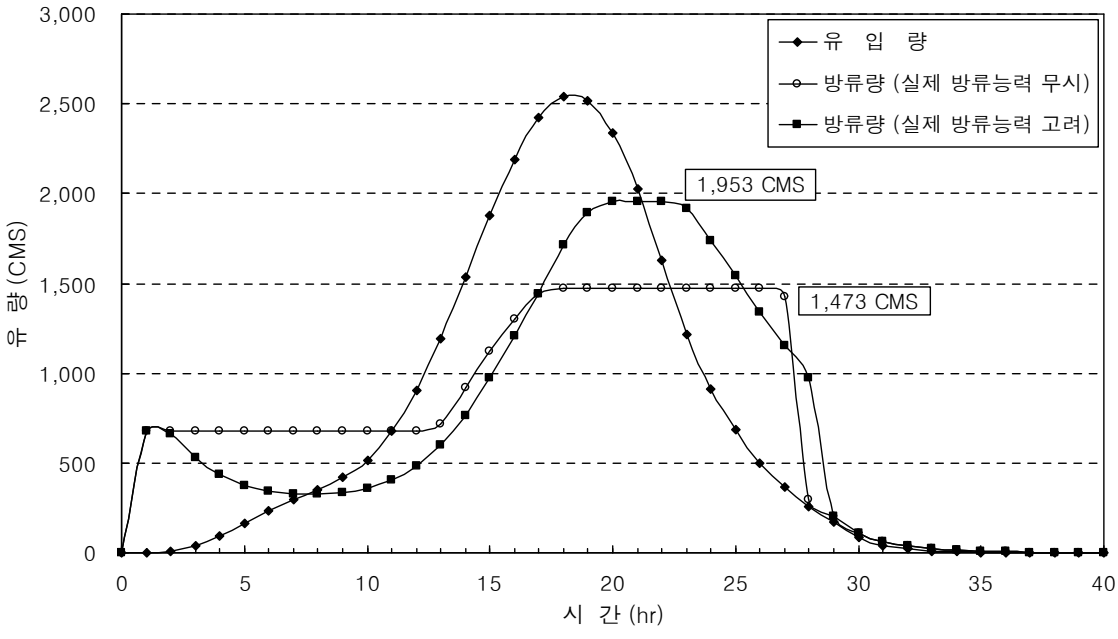
홍수시 예당지의 운영은 일정률-일정량 조절방식을 택하고 있는데, 이는 일정량 조절방식과 일정률 조절방식을 혼합한 기법으로, 유입량이 최대 크기에 이를 때까지 유입량의 60%를 방류하고 그 이후에는 일정량을 방류하는 조절방식으로 운영되고 있다. 여기에 덧붙여 예당지 관리규정에는 홍수발생 즉시 하류지역에 무해유량으로서 예비방류를 시행할 수 있다고 하였으며, 2000년 1월 3일 이전에는 무해방류량을 200㎥/sec로 규정하였고 이 후에는 최대 677㎥/sec로 상향조정 하였다. 따라서, '94년에 산정된 현재의 예당지 하류 구간의 계획홍수량은 당시의 예당지 관리규정에 따라 예비방류량 200㎥/sec를 고려하여 결정된 값이다.

그러나 같이 '94년 하천정비기본계획(보완) 이후로 확률강우량 증가에 따른 예당지 유입량 증가와 예당지 운영기준 개정 등의 요인에 의해 예당지의 홍수조절 능력에 대한 재검토가 필요하게 되었는바, 금회 과업에서는 이러한 객관적인 변화요인과 더불어 예당지로 유입하는 홍수량의 특성을 기존의 산정방법과는 달리 적용하여 실제 발생 가능하면서도 치수적으로 불리한 상황을 가정하여 홍수조절 능력을 검토하였다. 즉, 2000년 8월 23일~27일간 발생한 약 5년 빈도에 해당하는 규모의 호우로 인해 27일 12시경부터 2시간 동안 하류의 계획홍수량 1,380㎥/sec을 약 100㎥/se 이상 초과하여 방류한 사례에서 알 수 있듯이 일정율-일정량 방식으로 운영하는 예당지는 첨두홍수가 지체되어 발생하는 홍수에 취약한 문제점을 지니고 있다.

'94년에 예당지 홍수조절능력 평가에 사용된 <그림 11.9>의 유입수문곡선과 같이 첨두유입량이 홍수조절 공간의 여유가 있는 홍수 초기에 발생할 경우 홍수조절 능력이 과대하게 평가될 우려가 있다. 따라서 금회 검토에서는 예당지 주변 기상청 관측소의 실제 관측기록에 의해 개발된 Huff형 강우분포 중 최빈분위에 해당하며, 첨두강우가 지체되어 발생하는 3분위 강우분포를 사용하여 예당지 유입홍수량을 산정하였다. 그 결과 유입수문곡선의 상승부가 완만하고 첨두홍수의 발생이 지체되므로 '94년 기본계획(보완) 당시에 비해 치수적으로 불리한 형태의 유입홍수량 수문곡선을 적용하게 되었다.

금회 산정한 예당지 유입홍수량을 기준으로 현 예당지 운영규정에 따라 저수지 추적에 의해 방류량 수문곡선을 작성한 결과는 <그림 11.10>과 같다.

<그림 11.10>에서 예당지 방류량은 운영규정에 따라 677㎥/sec의 예비방류를 시행하면서 유입량이 예비방류량을 초과하면 유입량의 60%만을 방류하다가 첨두방류량에 달하면 일정량으로 방류하는 형태로 산정하였지만, 저수위변화에 따른 실제 방류능력을 고려한 결과와 실제 방류능력을 고려하지 않고 운영규정에 충실하게 따른 결과를 함께 도시하였다. 그 결과 실제 방류능력을 고려하지 않고 운영규정에만 따른 이론적인 첨두방류량은 1,473㎥/sec로 '94년 기본계획(보완) 결과에 비해 약 14.2% 증가하는데 그쳤으나, 예당지의 실제 방류능력을 고려한 첨두방류량은 1,953㎥/sec로 기존 첨두방류량 1,290㎥/sec의 51.4%에 해당하는 663㎥/sec가 증가하고, 첨두수위가 위험수위인 EL. 23.0m를 약간 초과한 EL. 23.06m에 달하는 등 예당지 자체의 안전조차 보장할 수 없는 것으로 분석되었다.



<그림 11.10> 예당지 방류량 수문곡선 산정 결과 (100년 빈도)

예당지의 방류능력은 여수로부에 형성되는 월류심에 의해 결정되는바 예비방류에 의해 예당지의 저수위가 감소하면 방류능력 또한 감소하므로 <그림 11.10>의 실제 방류능력을 무시한 이론적인 방류곡선을 따르는 방류는 불가능하다. 결국 예당지의 100년 빈도 홍수 유입시 조건에서 첨두방류량은 기존 결과에 비해 52% 가까이 증가한 1,953㎥/sec라 할 수 있는데 이러한 결과는 유입량의 증가도 그 원인이 되겠지만, '94년에 비해 상승부가 완만하고 첨두홍수량이 지체되어 증가하는 유입수문곡선을 적용함으로써 초기 유입량에 의해 홍수조절공간이 잠식되었기 때문이다.

이러한 검토 결과는 '89년에 수립된 무한천 지방2급 하천구간의 하천정비기본계획에서 수행한 예당지의 빈도별 홍수위 계산성과와 유사한 결과를 보여주고 있는데, 상기 계획에서 무한천 지방2급 구간의 기점홍수위를 결정하기 위해 예당지에 대해 저수지 홍수추적을 실시한 결과 <표 11.12>와 같이 빈도별 홍수위가 위험수위인 EL. 23.0m를 크게 초과하는 수준으로 산정되었다.

<표 11.12> 저수지 홍수추적에 의한 예당지의 빈도별 홍수위 산정 결과

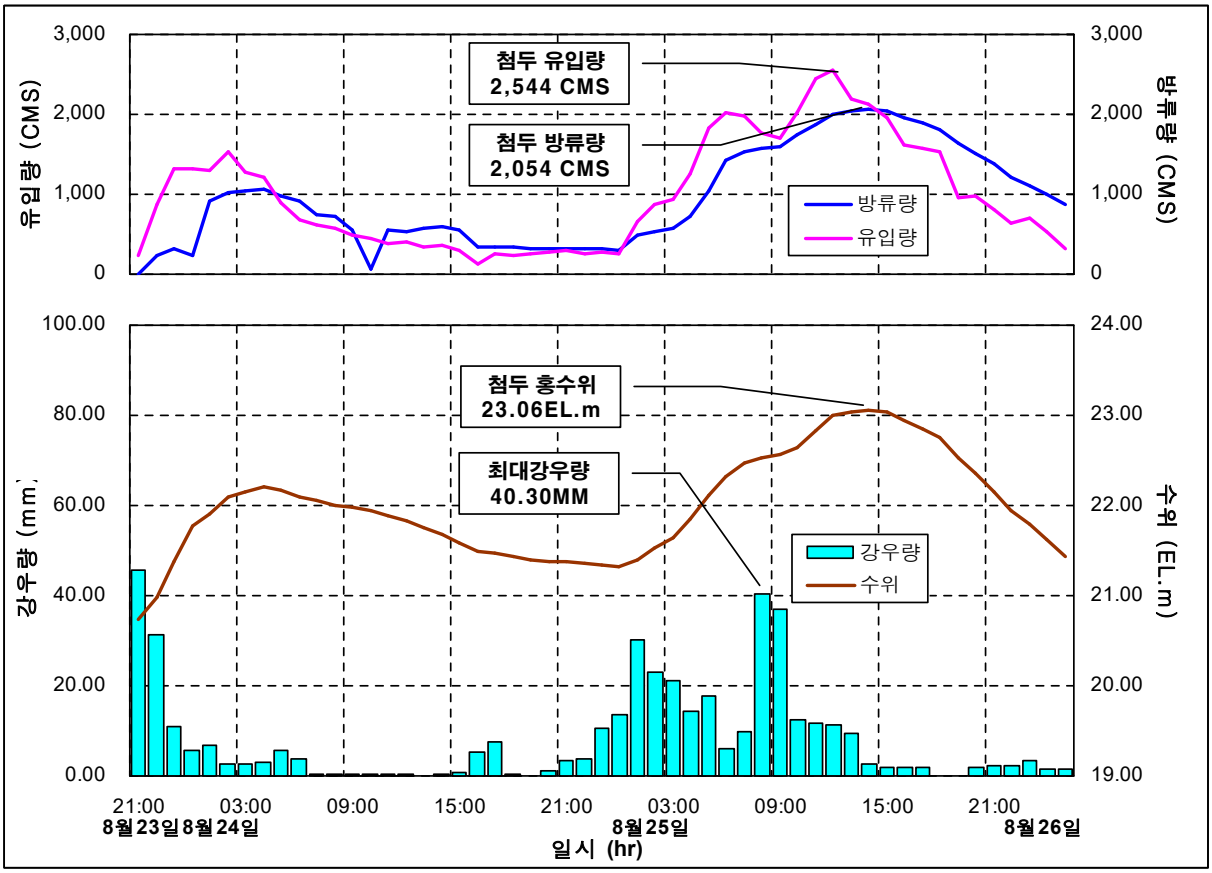
구 분	홍 수 빈 도				비 고
	30년	50년	80년	100년	
홍수위(EL.m)	24.00	24.16	24.29	24.36	

【출처】 무한천 하천정비기본계획, 1989.12, 충청남도

따라서, 무한천 지방2급 구간의 기점홍수위는 하구에 위치한 동산교 지점을 기준으로 예당지의 50년 빈도 홍수위에 해당하는 EL. 24.16m로 설정되었는데, 예당지의 제정고가 EL. 25.0m이고, 위험수위가 EL. 23.0m인 점을 감안하면, 홍수위가 지나치게 높게 평가된 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 예당지의 홍수위 산정을 위한 저수지 홍수추적의 가정이 현 예당지의 운영기법과는 상이한 극한적인 상황을 가정한데 그 이유가 있다.

즉, 실제 예당지의 운영이 홍수기의 저수위를 상시만수위인 EL. 22.5m 보다 1m 낮은 EL. 21.5m로 유지하고(최근에는 EL. 20.5m로 낮추어 운영하고 있음), 홍수 초기에 예비방류를 통해 첨두홍수량 유입 이전에 홍수조절공간을 추가로 확보하는 방식인데 비해, 이때의 저수지 홍수추적은 초기수위를 상시만수위인 EL. 22.5m로 가정하고 예비방류가 없는 조건에서 예당지의 홍수위를 평가한 차이가 있다. 이러한 상황은 쉽게 발생할 수 있는 일반적인 조건은 아니지만, 장기간의 호우로 인해 예당지가 홍수조절능력을 상실한 경우나, 우기 이후에 다음해 농사에 사용될 용수확보를 위해 상시만수위를 유지하고 있는 기간 동안에 발생하는 이상홍수와 같은 극한적인 상황을 반영한 것이라 볼 수 있다.

실제로 '95년 8월 23일~25일의 집중호우시 이러한 상황이 발생한 사례가 있다. 이 기간 동안 예당지 저수위는 8월 25일 새벽에 발생한 집중호우로 인해 EL. 22.5m에 도달한 상태에서 08:00 이후의 2차 호우로 인해 위험수위를 초과하게 되었으며, 당시의 농업기반공사 자료에는 첨두수위가 EL. 23.06m, 최대방류량이 1,645㎥/sec에 달했던 것으로 기록되어 있으나, 당시 현장에서 예당지 제체의 보강에 참여했던 관계자의 증언에 의하면 월류 직전의 극한상황이 발생하였고, 이때의 최대방류량은 2,057㎥/sec(삽교천 수해원인조사 보고서, 1996.11, 건설교통부)로 추정될 정도로 예당지 자체 및 하류지역의 안전에 크게 위협이 되었던 상황이 발생되었다.



<그림 11.11> 예당저수지 문비조작 및 방류현황 (1995년 8월23~25일)

또한 2000년 8월 24일~27일간 발생한 호우로 인해 8월 27일 09시부터 2시간 동안 무한천 국가하천 구간의 계획홍수량을 초과하는 최대 1,496㎥/sec의 방류가 발생하고, 예당지의 수위가 일시적으로 EL. 22.5m를 초과한 사례가 있는데, 두 사례 모두 지속시간 24시간 미만의 단기강우량은 금회 산정한 예산관측소의 5년 빈도 확률강우량에 미달하는 수준이었으나, 총강우량은 326.0~431.2mm에 달하는 장기간의 호우로 예당지의 홍수조절공간이 만수된 후 유입한 첨두홍수로 인해 계획홍수위를 유지하지 못한 공통점이

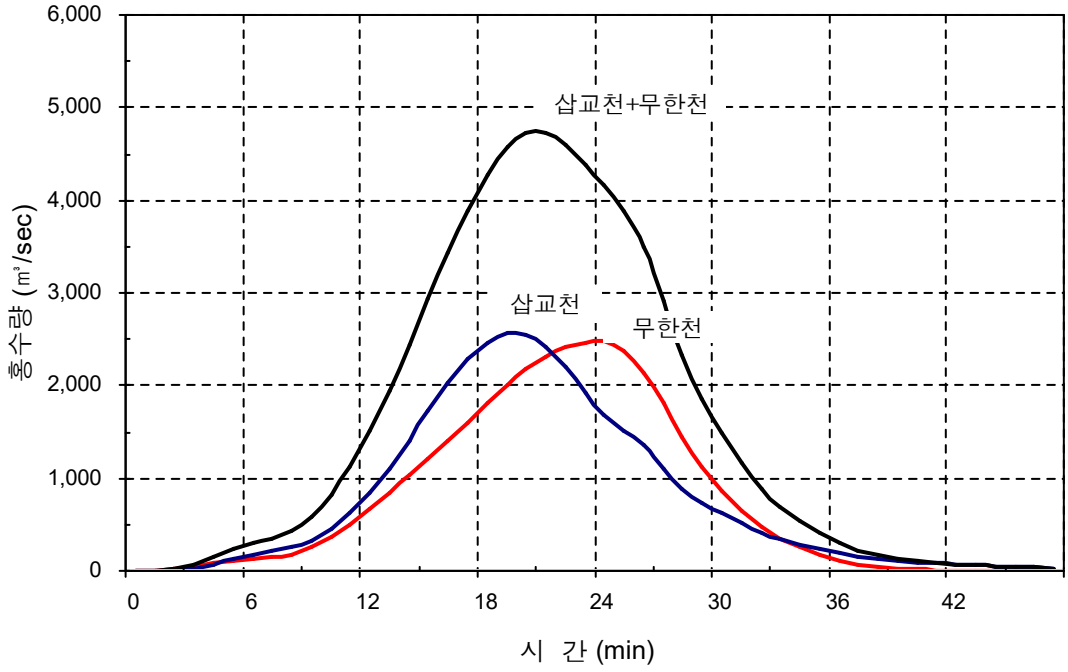
있다.

따라서, '89년 무한천 지방2급 구간의 하천정비기본계획의 평가 결과가 전혀 비현실적인 조건에 근거한 것이 아니며, 실제 발생 가능한 장기간의 호우 조건에서 유사한 상황이 발생한 사례가 있음을 감안할 때 예당지 자체의 안전을 보장할 수 있는 조치가 필요하며 아울러 예당지 하류의 무한천 구간 계획홍수량에 비해 예당지의 첨두방류량이 급증함에 따라 이에 대한 대책을 수립하여야 할 것이다.

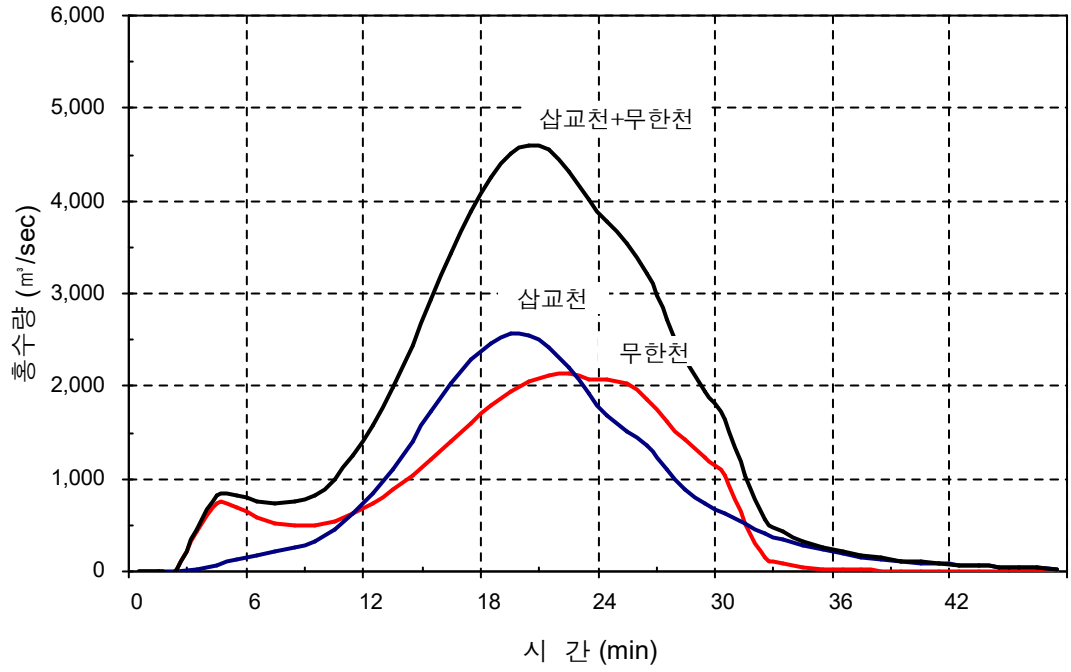
또한 '94년 기본계획에 비해 예당지의 첨두홍수유입이 지체되는 형태의 유입수문곡선을 적용함에 따라 삽교천 유역에 대한 예당지의 홍수조절효과도 기존 검토결과에 비해 작게 분석되었다. 그 이유는 <그림 11.12>의 삽교천과 무한천 합류부의 홍수수문곡선에서 보는 바와 같이 삽교천의 홍수에 비해 무한천의 홍수도달시간이 늦어 첨두홍수 발생시간이 일치하지 않기 때문이다. 이러한 이유로 예당지가 상류에서 유입한 홍수를 저류하여 무한천의 하류부의 첨두홍수량을 감소시켜도 삽교천 유역의 홍수와 합류할 때는 이미 삽교천 유역의 홍수유출은 감수기에 해당하므로 예당지에서 홍수를 조절하여 무한천의 첨두홍수량을 저감시켜도 <그림 11.13>과 같이 삽교천과 무한천 합류부 하류의 첨두홍수량 저감효과는 거의 나타나지 않게 되는 것을 볼 수 있다.

이상의 검토 결과 예당지의 홍수조절능력 한계로 첨두홍수의 유입이 지체되어 나타나는 홍수가 발생할 경우에는 기존 평가결과에 비해 첨두방류량이 크게 나타날 뿐만 아니라 저수위가 과다하게 상승하여 하류지역과 예당지 자체의 안전이 크게 위협받게 될 것으로 판단된다. 아울러 삽교천과의 합류부 하류에 미치는 홍수조절효과도 첨두홍수량 저감 측면에서는 매우 미미할 것으로 평가된다.

따라서, 무한천 국가하천 구간의 계획홍수량 결정에 가장 큰 영향을 미치는 예당지의 홍수조절 능력은 재평가 되어야 하며, 그 결과에 따라 무한천 국가하천 구간 및 무한천 합류부 하류의 삽교천 계획홍수량도 조정될 필요가 있으며, 특히 예당지 자체의 안전과 하류 지역의 홍수부담을 저감할 수 있는 대책이 시급한 것으로 판단된다.



<그림 11.12> 삽교천과 무한천 합류부의 홍수수문곡선 (기본홍수량)



<그림 11.13> 삽교천과 무한천 합류부의 홍수수문곡선 (계획홍수량)

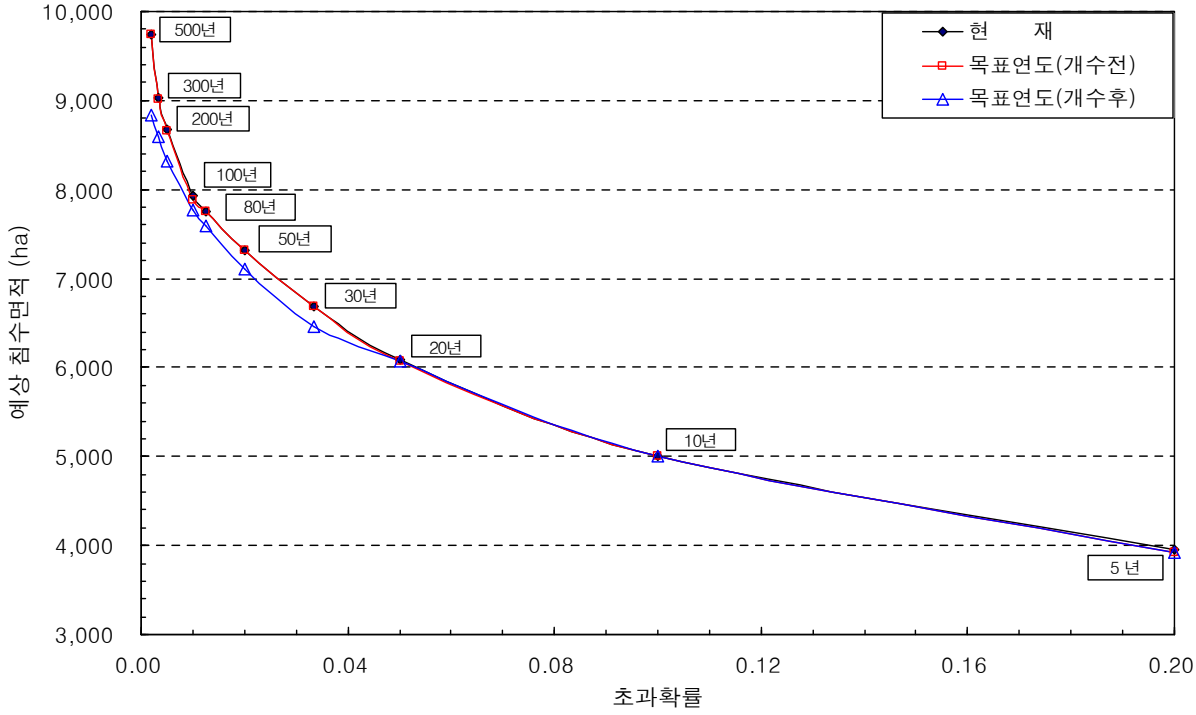
11.3 예상 침수지역

금회 개발한 홍수추적모형에 의해 홍수규모별로 예상침수면적을 모의한 결과 대상 하천의 계획빈도에 크게 미치지 못하는 소규모 홍수시에도 침수면적이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 '10.3.1 홍수 유출특성'에서 검토한 바와 같이 국가하천 구간 연안 저지대의 내수침수에 의한 것인데, 목표연도인 2016년에는 배수펌프장 2개소의 증설계획을 반영한 결과 침수면적이 다소 감소하였다. 또한 목표연도의 하도 개수전과 개수후의 침수면적을 비교하면 20년 빈도부터 침수면적이 차이를 보이다가 200년 빈도 이후 침수면적이 다시 같아지고 있는데 이 결과에 의해 현재의 하도 조건에서는 30년 빈도 규모의 홍수에서 외수범람이 발생하며, 계획규모를 초과한 200년 빈도 이상의 홍수가 발생하면 하도 개수전·후의 피해규모는 같아지는 것을 알 수 있다.

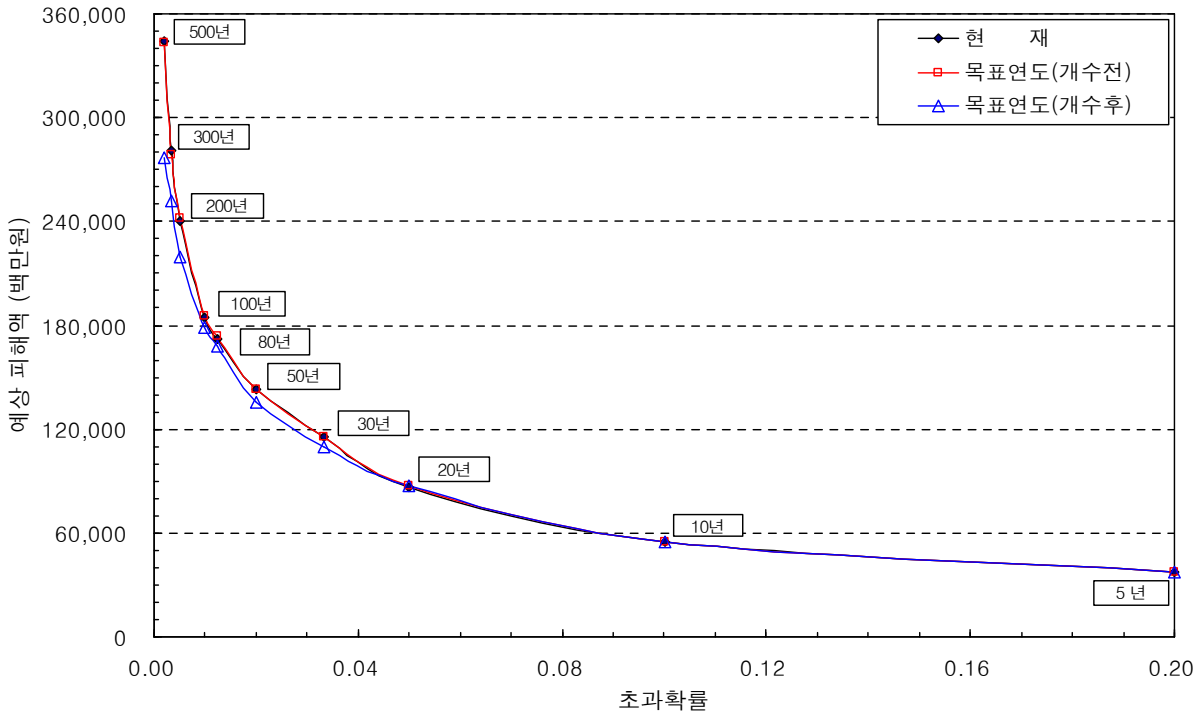
삽교천 유역 하류부에 위치한 국가하천 구간이 '94년 기본계획(보완) 성과에 의해 개수되었음에도 불구하고 30년 빈도 규모의 홍수에도 외수침수가 발생하는 것은 '11.1.2 홍수위 증가'에서 기술한 바와 같이 당시 홍수위 계산을 위한 기점홍수위로 채택한 삽교호 설계 당시의 100년 빈도 홍수위 EL. 5.10m에 비해 금회 산정한 삽교호의 100년 빈도 홍수위가 최고 1.43m 증가한데 원인이 있다. 삽교호 홍수위의 증가 원인이 삽교호 설계 이후 약 30년간에 걸친 강우자료의 보완 결과 확률강우량이 증가하였고, 아울러 설계조위를 장기간의 관측결과에 의해 현실화 한데 따른 것이다. 따라서 외수범람에 대한 안전성을 확보하기 위해서는 홍수위 증가 요인을 제거하여 하도의 홍수위를 저하시키거나 증가한 홍수위를 기준으로 제방을 보강하는 등의 대책을 조속히 수립하여 시행하여야 할 것이다.

<표 11.13> 홍수규모별 예상 침수면적과 피해액

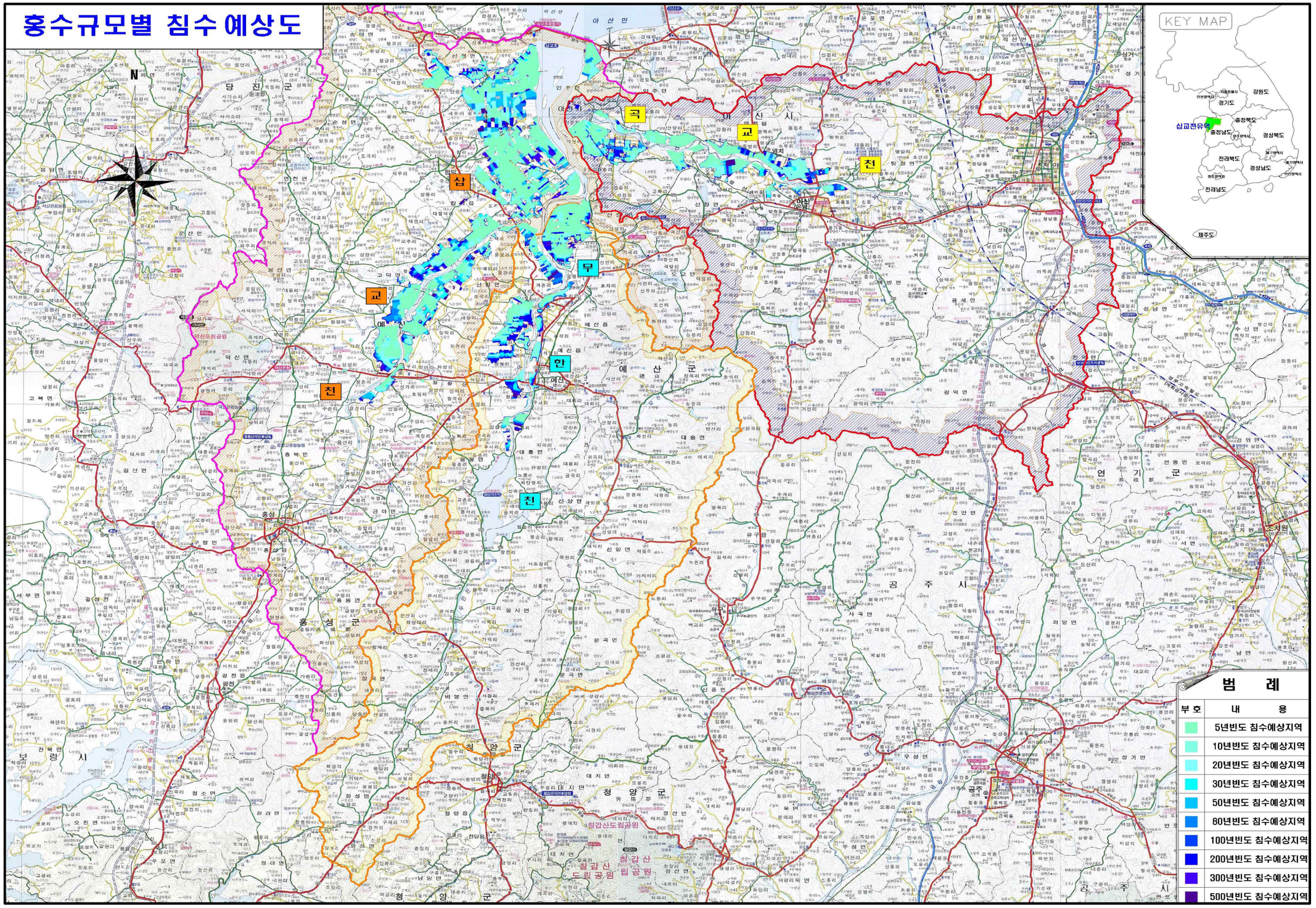
홍수규모 (재현기간)	예상침수면적 (ha)			예상피해액 (백만원)		
	현 재	목표연도(2016년)		현 재	목표연도(2016년)	
		개수전	개수후		개수전	개수후
5년	3,948	3,920	3,921	37,484	37,012	37,081
10년	5,009	5,008	5,008	55,271	55,182	55,182
20년	6,083	6,069	6,069	86,599	87,339	87,339
30년	6,685	6,684	6,457	115,497	115,680	109,702
50년	7,322	7,317	7,106	143,336	142,925	135,539
80년	7,749	7,749	7,598	171,869	173,960	167,573
100년	7,927	7,883	7,773	184,693	185,112	179,121
200년	8,673	8,662	8,312	240,248	241,692	219,426
300년	9,026	9,009	8,594	280,737	278,157	251,525
500년	9,747	9,739	8,836	344,618	343,777	276,800
연평균	2,659	2,645	2,636	30,473	30,289	29,873



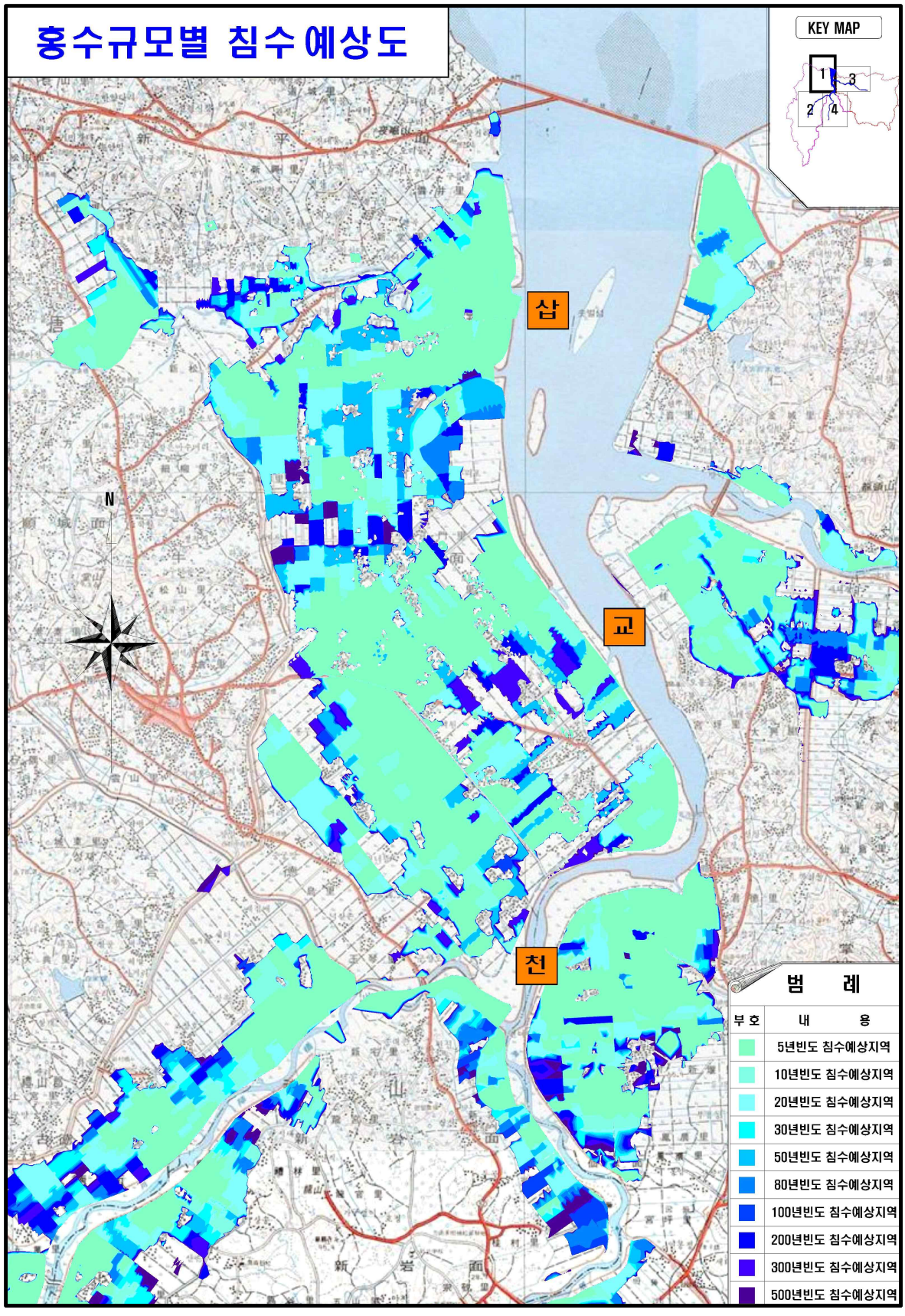
<그림 11.14> 홍수규모별 예상침수면적 비교



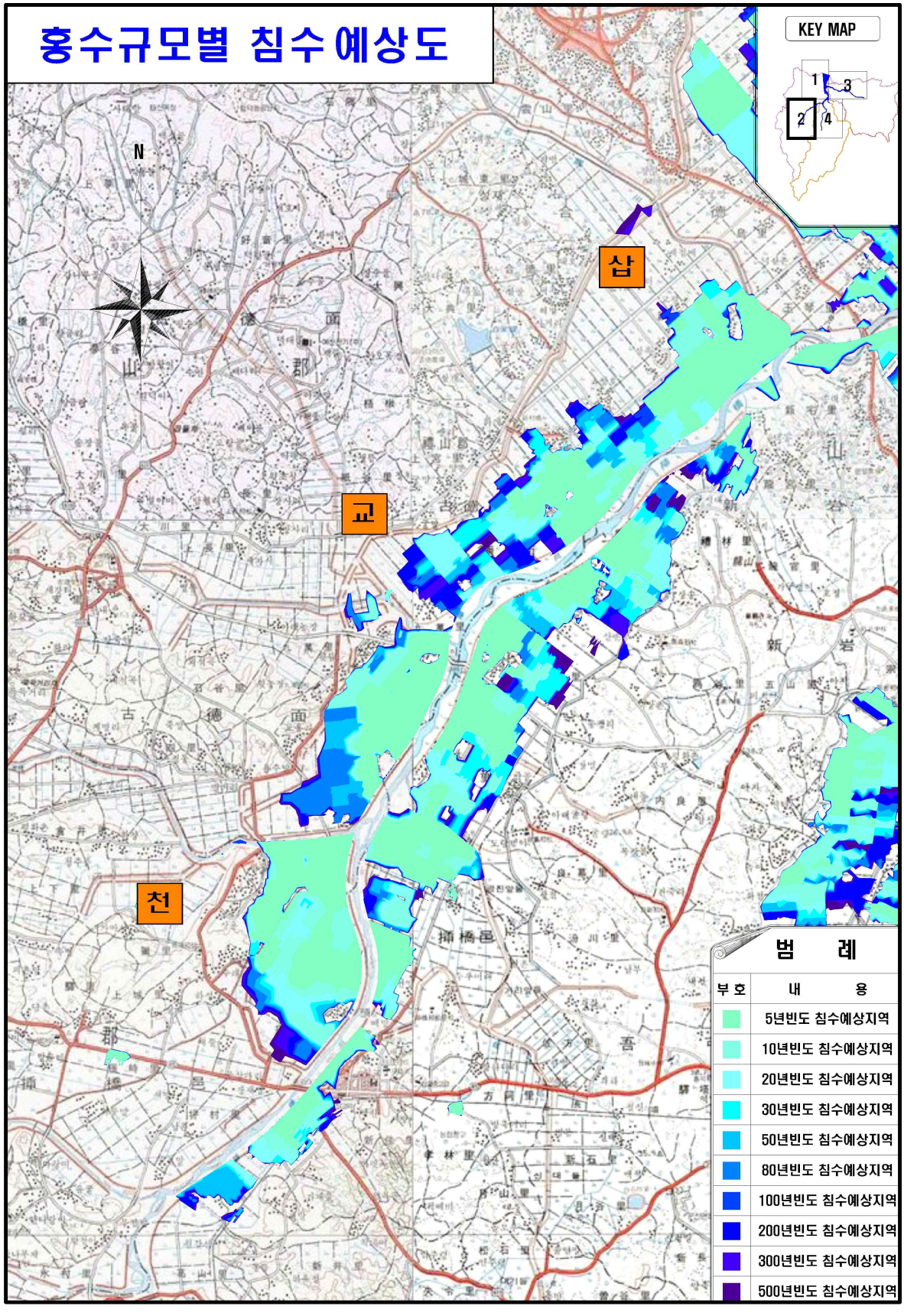
<그림 11.15> 홍수규모별 예상피해액 비교



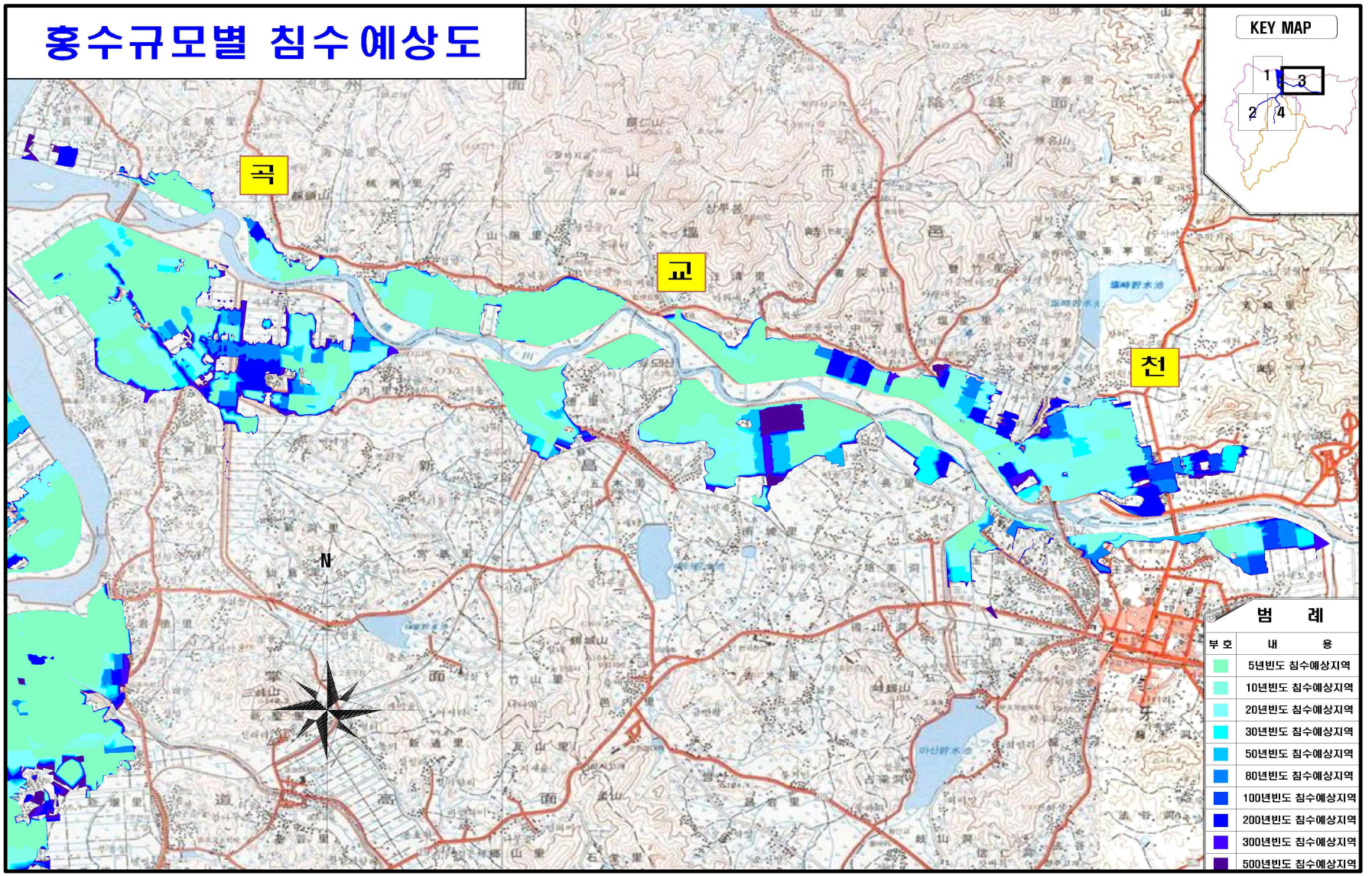
<그림 11.16> 홍수규모별 예상 침수지역도



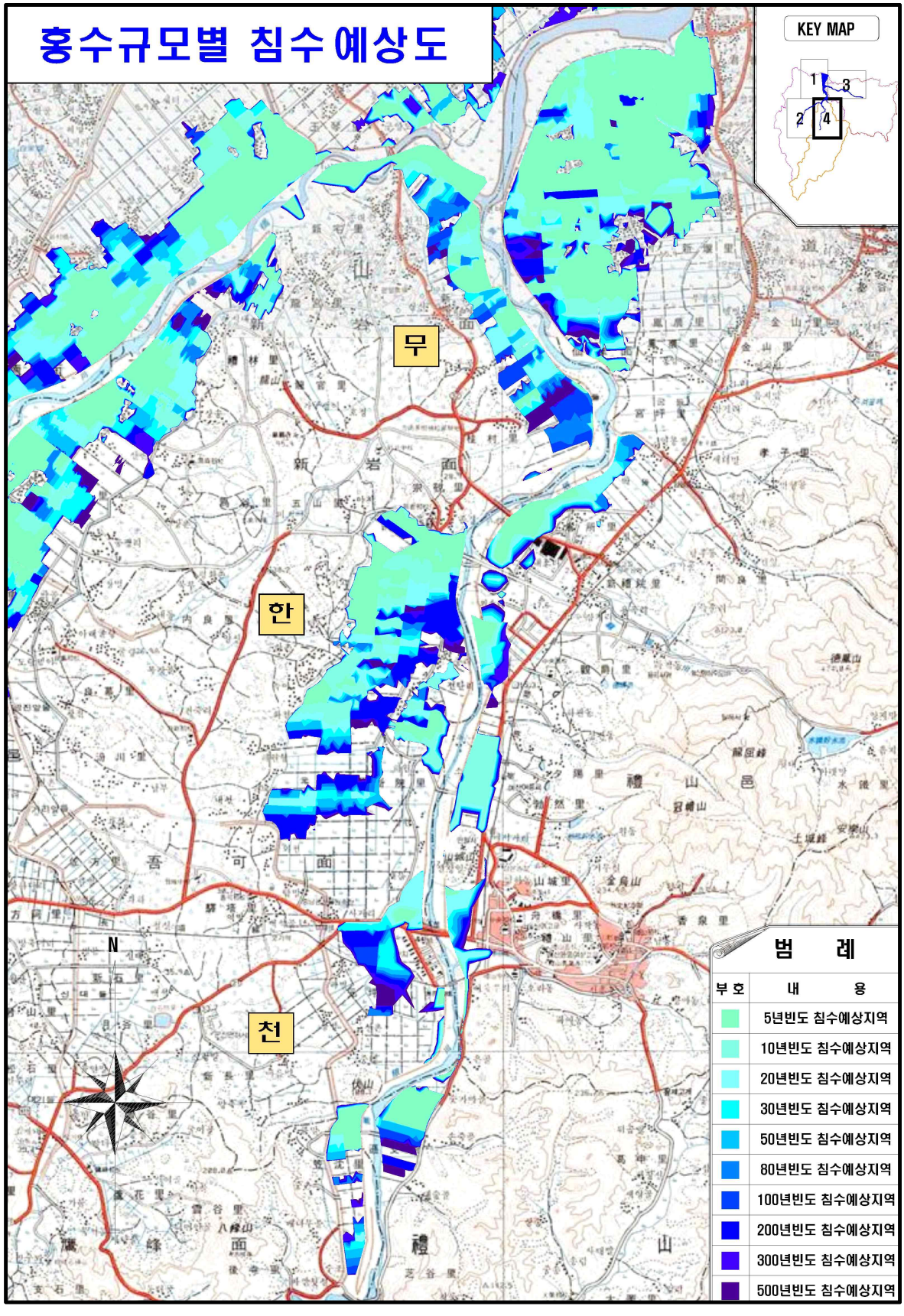
<그림 11.17> 홍수규모별 예상 침수지역도 (삽교천 : 무한천합류부 하류)



<그림 11.18> 홍수규모별 예상 침수지역도 (삽교천 : 삽교천 상류)



<그림 11.19> 홍수규모별 예상 침수지역도 (곡교천)



<그림 11.20> 홍수규모별 예상 침수지역도 (무한천)

제 12 장 홍수방어 대안요소사업의 검토

12.1 기본방침

12.2 비구조적 대책

12.3 구조적 대책

제 12 장 홍수방어 대안요소사업의 검토

12.1 기본방침

삽교천 유역의 홍수방어계획은 유역에서 발생한 홍수를 균등하게 부담하여 하류지역의 부담을 감소시키는데 목표를 두고 구조적 대책과 비구조적 대책으로 구분하여 수립하였다. 구조적 대책은 유역내 기존 시설물을 최대한 활용하여 경제적이고 시행 가능한 계획을 수립하되, 유역의 상류지역은 저류기능 위주로, 하류지역은 신속한 홍수배제가 이루어질 수 있도록 계획하였다. 특히, 치수목적으로 활용 가능한 유역내 시설물들이 대부분 이수목적으로 건설된 시설임을 감안하여 이·치수기능이 균형을 이루도록 활용방안을 마련하고 관리·운영 규정을 함께 보완하였다.

비구조적인 대책은 구조적인 대책에 우선하여 검토함으로써 유역내 활용 가능한 다양한 홍수방어 수단을 종합적으로 고려하여 연계운영하는 방안을 모색하고, 아울러 구조적 홍수방어대책의 부족한 부분을 보완하였다.

12.2 비구조적 대책

12.2.1 삽교호-예당지 연계운영

삽교호의 수리특성 및 배수영향 검토 결과 삽교호의 수위는 첨두홍수량이 유입하는 시기에 서해안 조위가 어느 주기에 위치하는가에 크게 영향을 받으며, 그 결과 동일한 100년 빈도 홍수발생 조건에서도 첨두수위 값이 최대 1.45m 차이나는 것으로 분석되었다. 또한 그 영향이 곡교천과 무한천의 합류부를 포함하여 상류로 약 20km 이상 미치고 있으므로 곡교천과 무한천의 하류 구간도 삽교호의 배수영향권에 포함된다. 따라서, 첨두홍수량의 삽교호 유입 시기를 조절함으로써 삽교호의 내수위를 저하시킬 수 있으면 삽교호 주변 지역을 포함한 유역 하류부의 치수안전성 확보와 침수지역 감소에 크게 기여할 수 있을 것이다.

삽교천 유역에서 인위적으로 홍수유출을 조절할 수 있는 시설로는 현재로서는 예당지가 유일하므로, 삽교호의 수리특성을 활용한 비구조적인 홍수방어 대안으로서 예당지의 첨두방류 시기를 조절하여 인위적인 유출조절에 의해 삽교호의 내수위를 저하 시키는 방안에 대해 검토하였다. 검토 대상은 '10.3.2 삽교천 하구부의 수리특성'에서 4개 군으로 분류한 조위-내수위 관계의 특징을 가장 잘 나타내는 CASE 3, 8, 15, 21이며, 이 조건에서 예당지의 첨두방류 시기를 2~5시간 지체 시키거나 2~4시간 앞당길 경우의 삽교호

첨두수위를 비교하였다. 아울러 예당지의 홍수조절 방식을 60% 일정률·일정량 방식에서 일정량 방식으로 변경하였을 때 예상되는 방류량에 대해서도 같은 분석을 실시하였다.

그 결과 <표 12.1>에서와 같이 '고고조 일치형'과 '저고조 일치형'에 해당하는 CASE 3과 CASE 15 및 '고저조 일치형'의 CASE 8의 모의 결과는 예당지의 방류를 지체시킬 경우 첨두수위가 감소하며 그 반대의 경우에는 첨두수위가 증가하는 것으로 나타난 반면 '저저조 일치형'인 CASE 21은 예당지의 방류를 지체하면 첨두수위가 증가하고 앞당길 경우 첨두수위가 감소하는 것으로 나타났다.

<표 12.1>의 결과는 고조 발생 1, 2시간 후에 첨두수위가 나타나는 '고조 일치형'의 경우 예당지의 방류를 지체시킴으로써 고조 발생시의 삽교호 유입 홍수량을 감소시킨 효과로 첨두수위가 감소하며, 예당지에서 첨두방류량을 앞당겨 방류하면 고조의 영향으로 삽교호의 수위가 급격히 증가하는 시기에 삽교호 유입량이 더 증가하기 때문으로 풀이할 수 있다.

<표 12.1> 예당지 방류 조절에 따른 삽교호 첨두수위 비교

단위 : EL.m

구 분		CASE 3	CASE 8	CASE 15	CASE 21
조위-내수위 관계		고고조 일치형	고저조 일치형	저고조 일치형	저저조 일치형
조절전 첨두수위		6.53	5.08	5.80	5.73
예당지 방류 지체	2시간	6.40(▽0.13)	5.01(▽0.07)	5.64(▽0.16)	5.74(△0.03)
	3시간	6.37(▽0.16)	5.04(▽0.04)	5.55(▽0.25)	5.87(△0.14)
	4시간	6.30(▽0.23)	5.05(▽0.03)	5.48(▽0.32)	5.87(△0.14)
	5시간	6.24(▽0.29)	5.05(▽0.03)	5.42(▽0.38)	5.86(△0.13)
예당지 방류 당김	2시간	6.62(△0.09)	5.29(△0.21)	5.90(△0.10)	5.58(▽0.15)
	4시간	6.63(△0.10)	5.60(△0.52)	5.92(△0.12)	5.43(▽0.30)
예당지 일정량(100%) 방류		6.53(-)	5.08(-)	5.80(-)	5.73(-)

그러나 첨두수위가 감수부에서 발생하는 '저조 일치형'의 경우 '고저조 일치형'과 '저저조 일치형'이 상반된 결과를 보이고 있다. 즉 '고저조 일치형'인 CASE 8의 경우 '고조 일치형'과 같이 예당지의 첨두방류를 지체시킬 경우 첨두수위가 감소하고, 예당지의 첨두방류를 앞당기면 삽교호의 첨두수위가 증가하는데 비해 '저저조 일치형'인 CASE 21은 정반대의 성향을 보이고 있다.

'저조 일치형' 조위-내수위 관계에서는 감수부에서 고조를 만나서 첨두수위가 형성되는데, '고저조 일치형'은 저고조에 의해, '저저조 일치형'은 고고조에 의해서 첨두수위가 발

생하므로 '저저조 일치형'이 상대적으로 조위의 영향을 크게 받는다고 할 수 있다. 따라서 예당지에서 첨두방류를 2~5시간 지체시킬 경우 고조가 발생하는 시기에 삽교호로 첨두홍수량이 유입하게 되지만, 저고조에 의해 첨두수위가 발생하는 '고저조 일치형'의 경우 예당지의 첨두방류를 지체함으로 인한 삽교호의 내수위 감소 효과가 고조가 발생하는 시기에 예당지 첨두방류 영향으로 삽교호 유입량이 증가하여 발생하는 수위 증가에 비해 크기 때문에 첨두수위가 감소한다. 그러나 고고조에 의해 첨두수위가 발생하는 '저저조 일치형'의 경우 예당지 첨두방류 지체로 인한 초기의 수위감소 보다는 고고조가 발생하는 시기에 삽교호 유입량이 증가함에 따른 수위 증가가 커서 첨두수위가 증가하는 것으로 풀이된다.

그 밖에 예당지의 홍수조절 방식을 일정률·일정량 방식에서 일정량 방식으로 변경하여도 삽교호의 첨두수위에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났는데 그 이유는 현 예당지 여수로 조건에서 유입량과 동일하게 동시간대에 방류하는 것은 불가능 하며, 유입량의 100%를 목표로 방류하여도 실제 방류되는 유량은 실제 형성되는 저수위로 인해 유입량의 대략 60% 정도만 되기 때문이다. 이에 대한 상세한 고찰은 후술할 '12.3.2 예비방류를 위한 방류시설 계획'에서 다루었다.

삽교천 하류구간의 수위를 조절할 수 있는 비구조적인 대책으로서 서해안 조위의 주기를 고려하여 삽교호로 유입하는 홍수량을 조절함으로써 최적의 방류여건에서 유입량을 늘리고, 방류조건이 불리할 경우 유입량을 감소시킬 수 있다면 삽교호의 첨두홍수위는 유입량 조절이 없는 상태에 비해 낮게 유지할 수 있을 것이다.

그러나 삽교천 유역에서 인위적으로 홍수 유출을 조절할 수 있는 시설은 예당지에 불과하며, 그 조절용량이 작아 첨두홍수량의 규모에 미치는 영향도 제한적일 수밖에 없다. 특히 대부분의 경우에 있어 홍수유출을 지연시키는 것이 삽교호의 첨두홍수위를 저감하는데 유리한 것으로 분석된바 이러한 기능은 이미 예당지에서 담당하고 있다. 이에 비해 예당지의 방류를 앞당김으로써 삽교호의 첨두홍수위를 저감할 수 있는 경우는 '저저조 일치형' 조위-내수위 관계에 국한되며, 조위 예측과 예당지와 삽교호 배수갑문 조작의 불확실성 및 예당지 방류를 앞당길 경우 예당지 하류지역의 내수침수를 조기에 유발하여 결과적으로 침수지속시간이 증가하는 역효과 발생도 배제할 수 없으므로 예당지의 조기 방류는 실질적으로 기대되는 효과가 크지 않은 것으로 판단된다.

따라서, 삽교호-예당지 연계운영을 통해 치수효과를 기대할 수 있는 가장 현실적인 방안은 예당지의 홍수저류능력을 증대하여 무한천 유역의 홍수유출을 가능한 지체시키는 것이라 할 수 있다.

12.2.2 예당지 홍수조절능력 보강

가. 상시만수위 조절에 의한 홍수조절용량 확대

홍수방어 대안으로서 저수지의 홍수조절용량은 저수용량의 20% 정도 여유를 두며, 유역비홍수용적(홍수조절용량/유역면적)을 대략 100mm 이상으로 하는 것이 바람직하다. 그러나 예당지는 이수목적으로 건설되어 운영되고 있는 농업용 저수지로서 유역비홍수용적이 21.7mm에 불과하여 홍수조절용량이 충분하지 못한 실정이므로 홍수조절용량을 추가로 확보하여 치수기능을 증대시키기 위한 방안으로서 홍수기 동안 현재의 계획홍수위를 하향 조정하여 운영하는 방안에 대한 검토가 여러 차례 실시되었다.

그 대표적인 예로 '삽교천 수해원인조사, 1996.11, 건교부'에서 예당지의 생활 및 농업용수 공급능력과 연계하여 물수지 분석을 실시한바 생활용수는 상시공급, 농업용수의 이수안전도는 10년 빈도를 기준으로 할 경우 계획홍수위를 EL. 21.5m에서 EL. 21.33m로 하향조정이 가능한 것으로 분석되었다. 이 경우 금회 산정한 예당지의 내용적을 기준으로 할 때 홍수조절용량이 현재의 약 15.4%에 해당하는 1,565,000㎥ 정도 증가할 것으로 예상되지만 예측 할 수 없는 자연현상의 불확실성을 고려하여 현재의 계획홍수위를 조정하지 않는 것으로 결론지어졌다.

'98년에서는 충남대학교 농업과학연구소에서 '관개저수지의 적정 홍수조절용량 설정, 1998.1, 한국학술진흥재단' 연구를 통해 관개저수지의 이수관리곡선과 '66년부터 30년간 관측된 예당지의 관측저수위로부터 급수제한 강도를 분석하여 홍수조절용량을 설정하기 전·후의 급수제한강도를 비교하는 방법으로 예당지의 적정 홍수조절 용량을 검토하였다. 그 결과 홍수조절용량을 전혀 두지 않고 운영할 경우와 현재와 같이 약 1,000만㎥의 홍수조절용량을 두고 운영할 경우를 비교할 때 용수공급에는 거의 영향이 없으므로 현재의 홍수조절용량은 적정한 것으로 판단되지만, 홍수조절용량을 20%와 40% 증가시킬 경우 관개기와 다음해 영농 초기의 용수공급에 지장이 있어 이수피해가 발생하는 것으로 분석되었다.

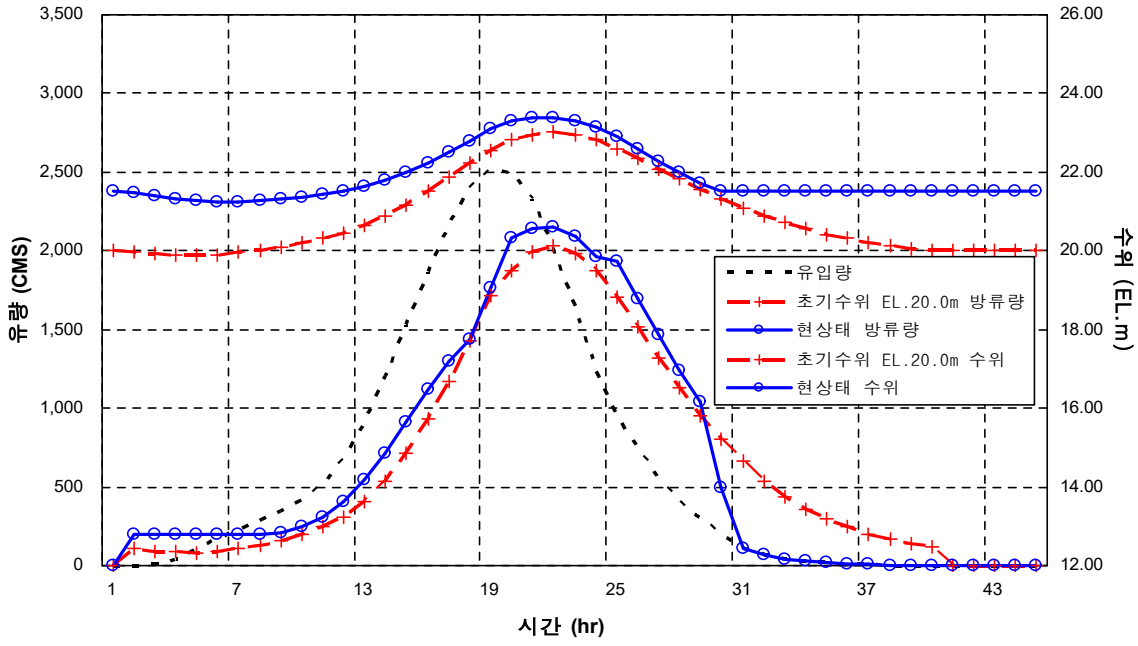
이상의 분석결과 뿐만 아니라 치수적인 측면에서도 예당지는 이미 유효저수용량 46×10^{6}㎥의 22.2%에 해당하는 홍수조절용량을 확보하고 있으므로 예당지 자체만으로 볼 때 현 홍수조절용량은 비교적 적정한 수준이라 할 수 있다. 따라서, 홍수기 관리수위를 하향 조정하여 홍수조절용량을 추가로 확보하는 것은 이수적인 피해를 유발할 위험이 있어 농업용 저수지로 건설된 예당지의 기능을 저해하므로 바람직한 못한 것으로 판단된다.

특히 예당지의 상시만수위를 하향조정 하여 홍수조절용량을 유효저수량 46.0백만㎥의

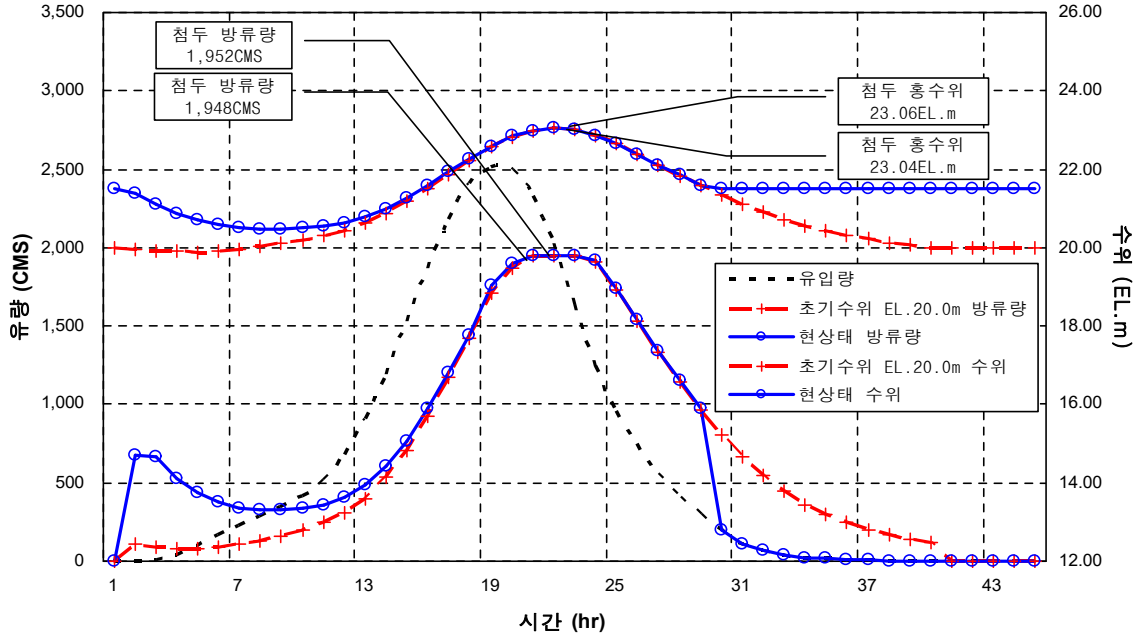
50%로 확장할 경우 홍수기 제한수위는 즉 홍수발생 전의 초기수위는 EL. 20.0m(홍수조절용량 23.07백만㎥)에 해당하지만 그에 따른 홍수조절효과의 증대는 매우 미미한 수준이며, 이 경우에도 예당지의 첨두홍수위가 현 위험수위인 EL. 23.0m에 근접하여 예당지의 안전을 보장할 수 없는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 홍수시 초기 수위가 EL. 20.0m일 경우 실제 방류가능량이 109.72㎥/sec에 불과하여, 홍수 초기의 방류가 원활하지 못하므로 예당지의 저수위가 상승하게 되어 홍수조절공간을 적절하게 활용하지 못하는데 그 원인이 있다. 따라서, 홍수초기에 예비방류를 시행하여 홍수조절공간을 추가로 확보하는 현 예당지 운영체계에서 상시만수위를 낮추는 방안은 예상되는 이수용량의 손실에 비해 기대효과가 매우 미흡한 것으로 판단된다. 특히 2000년 이후 예당지 운영규정을 개정하여 예비방류량의 최대값을 기존의 200㎥/sec에서 677㎥/sec로 상향조정한 결과 상대적으로 상시만수위 하향조정의 효과는 더욱 감소하는 것으로 나타나며, 현재도 예당지를 관리하는 농업기반공사 예산지사에서는 우기동안 장단기 예보를 바탕으로 예당지의 저수위를 EL. 20.5m(저수율 58.4%) 까지 낮추어 홍수에 대비하고 있어 상시만수위 하향조정은 예당지의 홍수조절능력 보강 방안으로는 채택하지 않았다.

<표 12.2> 초기수위와 계획홍수위에 따른 홍수조절효과 비교

구 분	예비방류 200㎥/sec 적용		예비방류 677㎥/sec 적용	
	첨두방류량 (㎥/sec)	첨두홍수위 (EL. m)	첨두방류량 (㎥/sec)	첨두홍수위 (EL. m)
초기수위 EL.21.5m (현상태)	2,150	23.39	1,952	23.06
초기수위 EL.20.0m	2,029	23.01	1,948	23.04



<그림 12.1> 초기수위에 따른 방류량과 저수위 변화 비교 (예비방류 200CMS)



<그림 12.2> 초기수위에 따른 방류량과 저수위 비교 (예비방류 677CMS)

나. 예비방류에 의한 홍수조절용량 확대

(1) 예비방류의 필요성

삽교천 유역내에서 홍수조절 시설로는 유일한 예당지의 홍수조절 능력을 확대하기 위한 방안으로서 예당지의 증고, 홍수시 계획홍수위를 하향 조정하여 홍수조절 용량을 추가로 확보하는 방안 등이 제시되었으나, 예당지를 증고 할 경우 수몰지역이 추가로 발생하며, 상시만수위를 하향조정하여 홍수조절 용량을 추가로 확보할 경우에는 이수 측면에서의 문제가 발생하는 반면 실질적인 효과가 미흡한 것으로 분석되었다. 이에 대한 대안으로서 홍수초기 예비방류를 통해 홍수조절 용량을 추가로 확보할 경우 시설물에 대한 비용 소요와 수몰지 추가 발생 및 이수용량의 손실 없이 홍수조절기능을 증대할 수 있을 것으로 판단하여 예비방류량과 방류시기 등의 운영지침을 검토하였다.

(2) 예당지 운영 검토

'82년 5월 7일 부터 시행된 예당지 관리규정에는 '용수공급에 지장이 없는 범위내에서 방류량 및 방류시간을 정하여 홍수발생 즉시 하류지역에 무해유량으로서 예비방류를 시행할 수 있다.(제10조 (1)항)'고 하였으며 13조 (1)항에서는 '~예비방류량으로서 하류 하천의 개수전은 200㎥/sec, 하천 개수후는 677㎥/sec으로 한다.'고 규정하고 있다. 이 규정은 2000년 1월 3일 개정되어 예비방류량을 하류 하천의 개수후 조건인 최대 677㎥

/sec으로 상향조정 하였다. 예당지의 예비방류량이 결정 된 것은 삽교천 유역에 '81년 7월 11, 12일 양일간 발생한 집중호우에 대한 '수해원인조사 및 항구대책조사(1981.12, 대전지방국토관리청)' 용역의 성과로서 현 일정률-일정량 형태의 예당지의 운영방법과 함께 하류 하천의 개수전 조건에서 200㎥/sec, 개수후에는 677㎥/sec로 예비방류량이 제시되었다. 이후 예당지 하류의 무한천 국가하천 구간 및 삽교천 하류부가 '94년의 기본계획(보완) 성과에 의해 완전개수 되었으므로 2000년에 관리규정을 일부 개정하여 예비방류량을 최대 677㎥/sec으로 조정 하였다. 그러나 현재의 예당지 하류 구간의 계획홍수량은 2000년 이전의 예당지 관리규정에 따라 예비방류량 200㎥/sec를 고려하여 결정된 값이다.

최근 20년간 주요 홍수시의 예당지 방류실적을 검토한 결과 2000년 이전은 물론 현재까지도 2000년 이전의 예당지 관리규정에서 정한 최대 200㎥/sec,의 예비방류만 시행한 것으로 나타났는데, 그 이유는 예비방류량을 그 이상으로 증가시키면 예당지 하류의 하도내 경작지의 침수가 발생하고 하천변 저지대의 내수배제에 지장을 받는 현지의 상황을 감안 하였기 때문이 것으로 조사되었다.

그러나 2000년 8월 27일의 홍수는 강우량의 규모가 계획빈도에 크게 미치지 못하는 수준이었으나, 장기간의 강우로 인해 소규모 홍수가 지속적으로 유입하여 홍수조절 용량이 거의 잠식된 상태에서 하류의 계획홍수량을 초과한 첨두홍수량이 유입함으로써 약 2시간 동안 계획홍수량을 초과하는 약 1,500㎥/sec의 방류가 발생하였다. 이 기간 동안 예비방류량 상한치인 677㎥/sec을 초과한 유입이 약 8시간에 불과하였던 것을 감안하면 이 당시 바뀐 운영기준에 따라 최대 677㎥/sec의 예비방류를 통해 홍수조절용량을 유지하거나 추가로 확보하였을 경우 하류의 계획홍수량을 초과한 방류는 방지할 수 있었을 것으로 추정된다.

(3) 예비방류량에 따른 특성 비교

금회 산정한 100년 빈도 홍수량을 기준으로 홍수유입과 동시에 예비방류를 실시하였을 경우의 홍수조절 효과를 예비방류량 크기별로 비교한 결과 하류 하천의 개수전 조건에서 설정된 과거의 예비방류 기준인 200㎥/sec로 예비방류할 경우 예당지의 첨두방류량은 첨두유입량 2,530㎥/sec의 84.5%인 2,150㎥/sec이며, 첨두수위는 EL. 23.39m로 위험수위 EL.23.0m를 초과하여 실질적으로 홍수조절 능력이 없는 것으로 분석되었다. 반면 현재의 예비방류량 상한치인 677㎥/sec로 예비방류하면 첨두방류량은 첨두유입량의 58.2%에 불과한 1,472㎥/sec가 된다. 또한 홍수유입과 동시에 677㎥/sec로 예비방류를 실

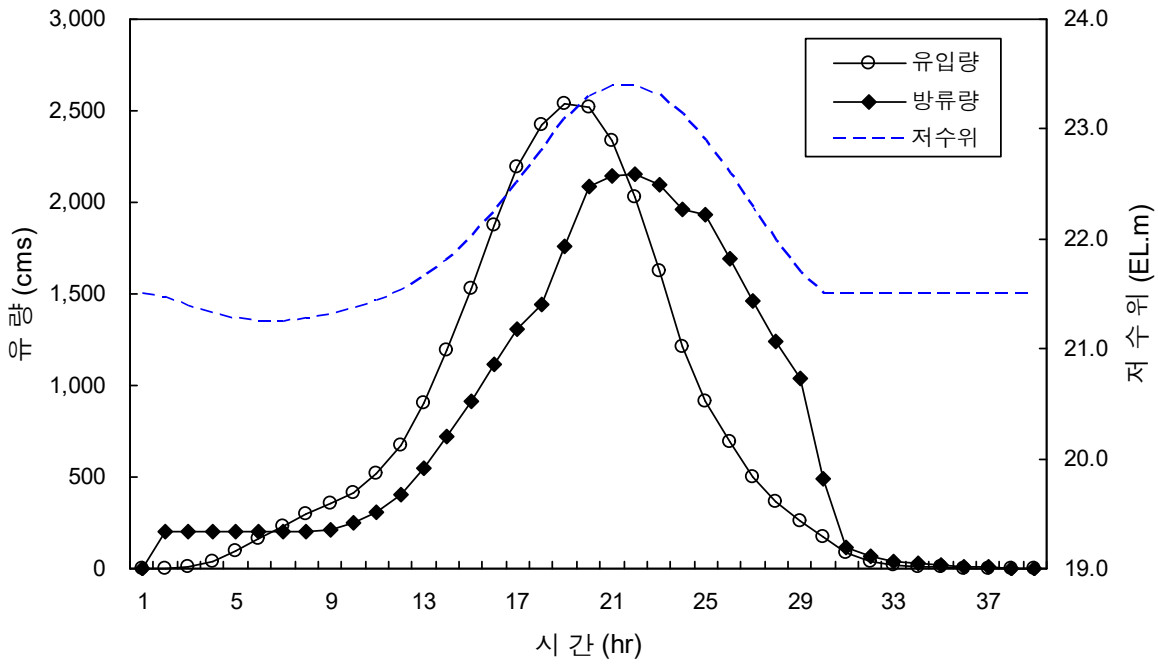
시하면 최저수위가 여수로 월류부 표고에 근사한 EL. 19.48m까지 하강하여 추가로 확보할 수 있는 홍수조절공간을 전량 확보할 수 있으므로 예비방류의 효율을 극대화 할 수 있지만, 예비방류량을 200㎥/sec로 할 경우 최저 저수위는 홍수기 관리수위인 EL. 21.5m에 불과 0.26m 감소한 EL. 21.24m에 불과하여 홍수조절용량 추가확보 효과가 미미한 것으로 나타났다.

만약 홍수기 만수위 EL. 21.5m와 월류부 정점표고 EL. 19.5m 사이의 저류량을 예비방류를 통해 확보 한다면 당초의 홍수조절용량 1,013.5만㎥(금회 산정한 내용적 기준)의 1.64배에 해당하는 1,659.5만㎥을 추가로 확보 가능하다. 따라서, 앞서 검토한 바와 같이 예비방류량을 677㎥/sec로 할 경우 홍수조절용량을 1,659.5백만㎥ 확보할 수 있게 된다.

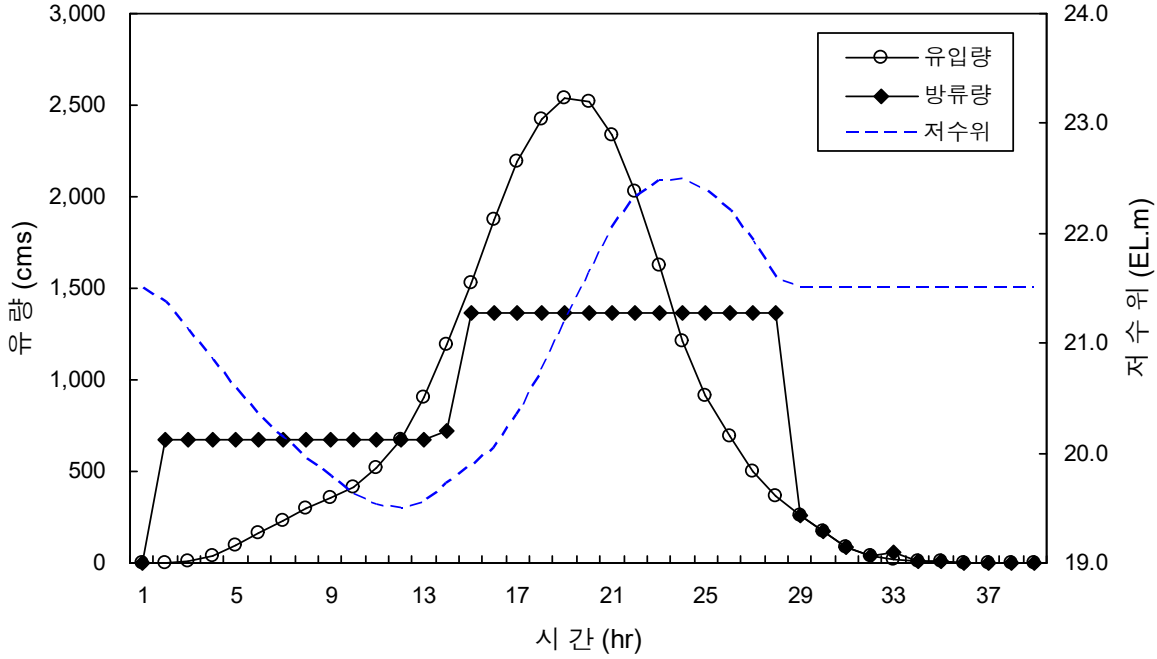
이상의 분석 결과 현 예당지 관리규정의 예비방류량 상한치가 실제 적용 가능한 한계값이며, 이를 반영하여도 예당지의 100년 빈도 홍수시의 첨두방류량이 하류의 무한천 국가하천구간 현 계획홍수량을 초과하는 것으로 나타나, 예당지 하류 구간의 계획홍수량을 재검토 하여야 할 것으로 판단된다.

<표 12.3> 예비방류량별 홍수조절 효과

예비방류량 (㎥/sec)	최대방류량 (㎥/sec)	첨두방류량 / 첨두유입량 (%)	최저 수위 (EL. m)	홍수조절용량 추가확보 (㎥)	비 고
677	1,472	58.2	19.48	1,659만	현 예당지 운영기준 기준
200	2,150	84.5	21.24	241백만	현 계획홍수량 산정 기준



<그림 12.3> 예비방류량 200㎥/sec일 경우 유입량, 방류량, 수위 비교

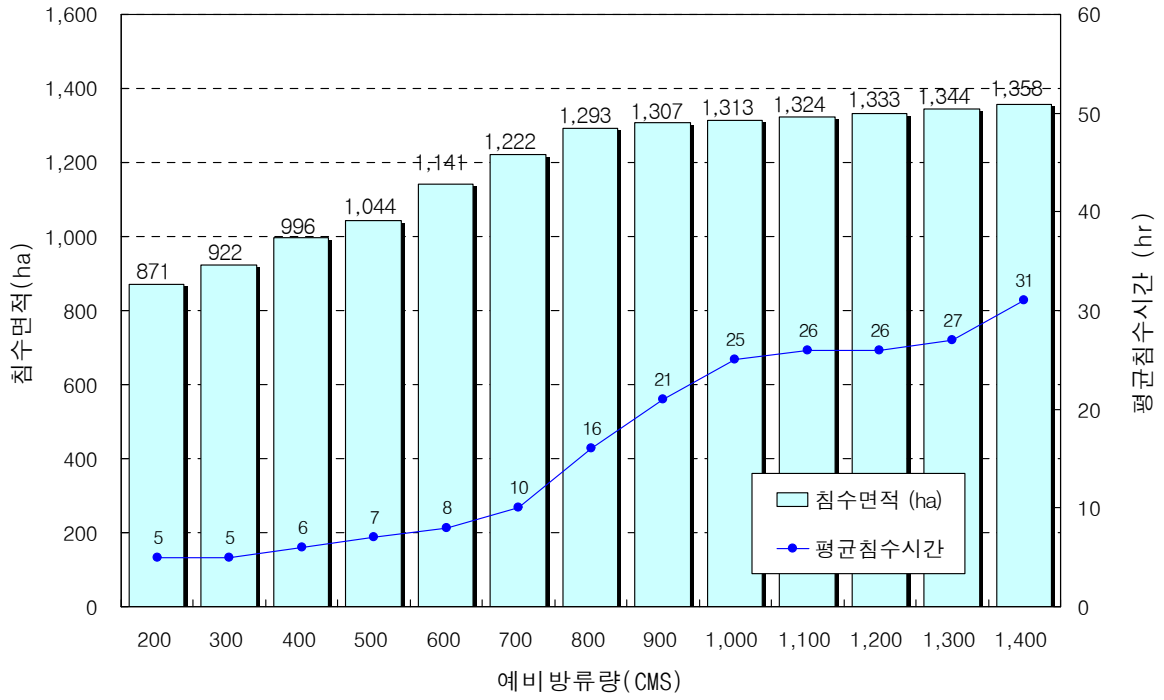


<그림 12.4> 예비방류량 677㎥/sec일 경우 유입량, 방류량, 수위 비교

(4) 적정 예비방류량 결정

예당지의 예비방류량 기준으로 하류 하천의 개수전에 200㎥/sec, 개수후에 최대 677㎥/sec로 제시한 것은 하류부에 외수월류가 발생하지 않는 무해유량을 기준으로 했기 때문이다. 이 기준을 따를 경우 금회 산정한 100년 빈도 설계홍수량 유입 조건에서 예비방류량을 677㎥/sec로 설정하면 확보 가능한 홍수조절 용량을 모두 활용할 수 있으면서 하류 하도의 홍수소통 부담을 최소화 할 수 있게 된다. 만약 예비방류량을 그 이하로 할 경우 확보 가능한 홍수조절 용량을 충분히 활용하지 못하게 되어 홍수조절 효과가 감소하며, 예비방류량을 677㎥/sec 보다 크게 할 경우에는 추가로 확보할 수 있는 홍수조절 용량은 동일하지만 하류 하도의 홍수소통 부담이 커지게 된다. 이러한 판단은 무해방류량 기준으로 예당지의 방류량과 하류 구간의 제방고, 즉 외수범람에 대한 안정성만을 고려한 것으로 볼 수 있다. 그러나 최적의 예비방류량은 하류부에 피해를 유발하지 않는 홍수위와 지속시간을 기준으로 결정하여야 하며, 특히 삽교천과 곡교천의 합류 및 서해안 조위에 따른 삽교호의 배수영향을 감안할 때 어떠한 홍수상황에서도 예비방류로 인해 하류부의 피해가 가중되지 않도록 적정한 예비방류량을 결정하여야 한다.

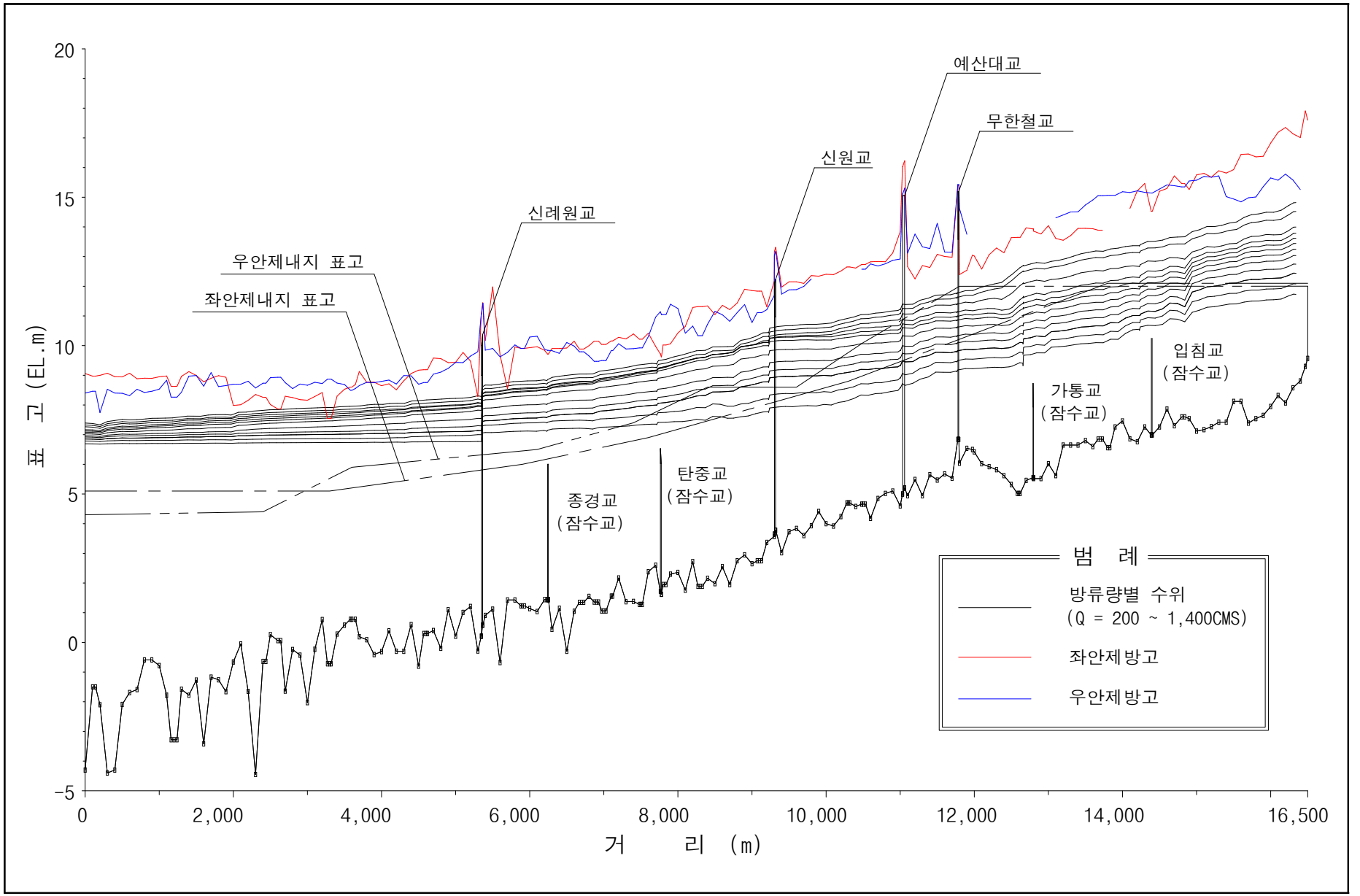
<그림 12.5>는 방류량별로 무한천 유역의 내수침수 면적과 침수시간을 비교한 것이다. 예당지의 방류량이 700㎥/sec을 초과하면 평균침수시간이 10시간에서 16시간으로 급증하는 것을 알 수 있다.



<그림 12.5> 예당지 방류량별 하류지역침수특성 비교

또한, <그림 12.6>은 예당지의 방류량을 200㎥/sec에서 1,400㎥/sec 까지 100㎥/sec 간격으로 일정하게 유지하였을 경우의 무한천 하구부터 예당지 구간의 수위와 양안 제방고 및 제내지 최저답고를 비교한 것이다. 이 결과에 의하면 예당지의 방류량이 200㎥/sec에 불과하여도 무한천 하구로부터 약 6km 상류 지점 까지는 삽교천의 배수영향으로 하도의 홍수위가 최저답고를 0.3m 이상 초과하여 내수침수 피해를 유발할 위험이 있다. 삽교천의 배수영향을 벗어난 구간에서는 예당지의 방류량 별로 하도에 발생하는 수위가 상이하여 양안 제내지의 내수배제에 미치는 영향을 일률적으로 평가할 수 없지만 대체로 방류량이 600~700㎥/sec 정도이면 하구로부터 약 10km 상류 지역부터는 하천 연안 저지대에 대한 내수침수 피해 유발 요인이 거의 없을 것으로 판단된다.

이상의 검토 결과 예당지의 홍수조절 가능공간을 최대로 활용할 수 있으면서, 하류부의 부담을 최소화 할 수 있는 예비방류량의 최대값은 677㎥/sec이며, 예비방류량을 그 이상으로 할 경우 하류지역의 피해를 유발하는 반면 홍수조절공간 확보 효과는 더 이상 발생하지 않게 되므로 현 예당지 운영규정에서 채택한 예비방류량의 상한치 677㎥/sec는 적절한 것으로 평가된다.



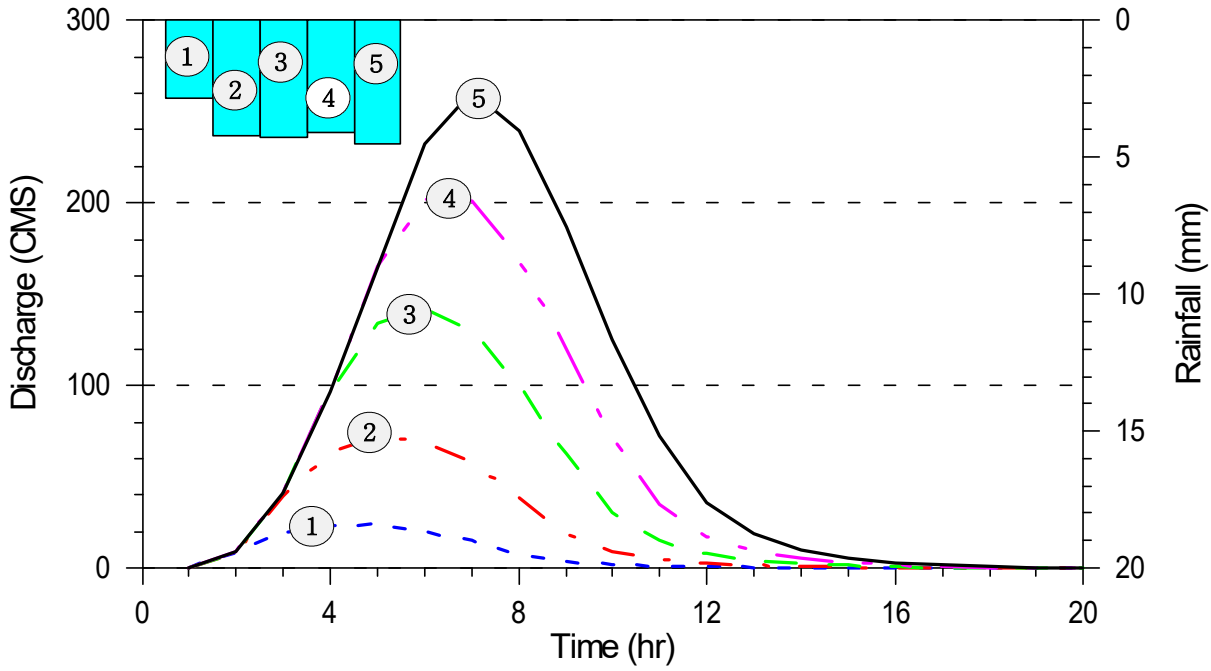
<그림 12.6> 예당지 방류량별 무한천 수위 비교

(5) 예비방류 시행지침 개발

예당지 운영규정에 예비방류가 명문화 되어 있고, 예비방류를 적절히 시행하면 비용의 소요 없이 홍수절용량을 추가로 확보 할 수 있음에도 불구하고 지난 20여년간 예비방류 실적이 전혀 없는 것은 불확실한 강우 예측에 근거하여 예비방류를 시행할 경우 이수용량의 손실이 발생할 위험 때문이다. 즉, 강우 초기에 예비방류를 시행하여 홍수조절용량을 확보하였으나, 강우가 예측한 만큼 발생하지 않을 경우 후속 유입량 부족으로 만수위를 회복하지 못할지 모른다는 부담 때문일 것이다.

이러한 관점에서 예비방류 지침을 개발하되, 불확실한 강우예측에 의존하기 보다는 예당지 유역의 도달시간이 4시간 정도이고, 유역의 저류와 지체에 의해 강우 발생 후 예당지 유입부터 종료까지의 시간이 대략 10시간 이상 소요되는 유출특성을 활용하면 이수용량의 손실 없이 예비방류 운용이 가능할 것이다.

금회 과업에서 제안하는 확정적인 수문사상에 의한 예비방류 운용지침의 개념을 소개하면 다음과 같다.



<그림 12.7> 확정적인 수문사상에 의한 예비방류량 결정 개념도

<그림 12.7>에서와 같이 유역에 강우가 발생하면 그 결과는 예당지 유입으로 나타난다. 즉, 강우주상도 '①'과 같은 강우가 발생하면 '①'번 수문곡선과 같이 약 10시간에 걸쳐 예당지로 직접유출량이 유입하게 된다. 따라서 첫 시간의 강우 종료후 '①'번 수문곡선을 예측할 수 있으며, 강우와 동시에 예당지로 유입한 홍수량을 감하면 나머지 양

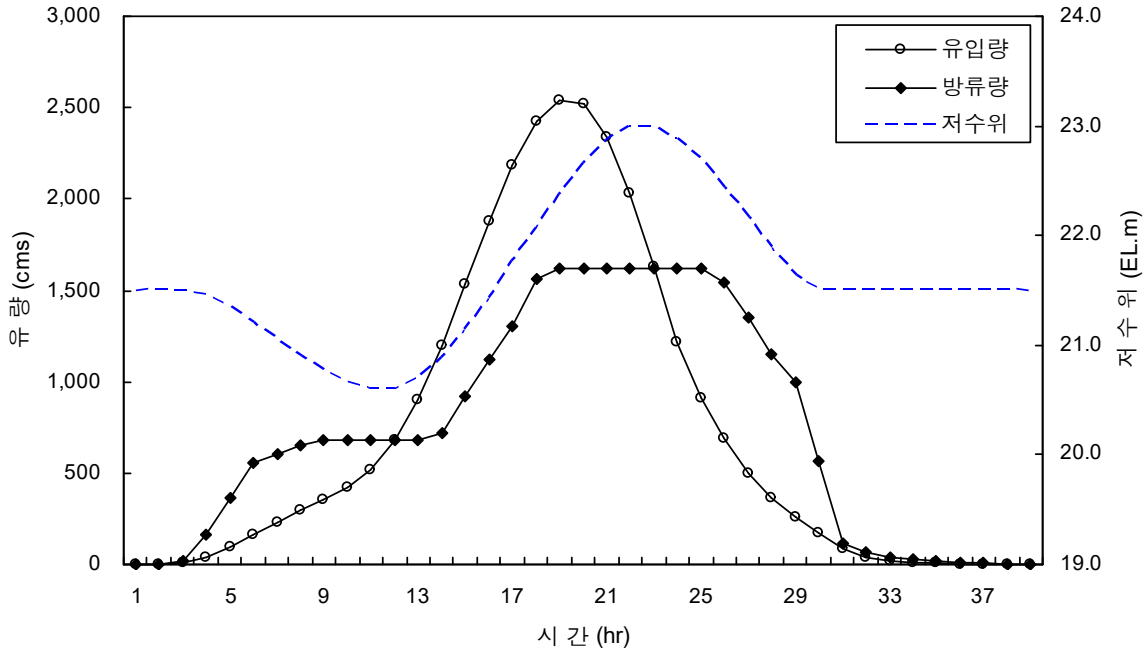
이 앞으로 예당지로 유입하는 홍수량이 된다. 이와 같이 이미 발생한 강우량에 의해 향후 예당지로 유입할 홍수량을 홍수추적모형에 의해 산정할 수 있으므로 이 양 만큼 예비방류가 가능하며, 강우가 계속 발생하지 않을 경우에는 방류를 중단하면 예측한 홍수량이 유입함에 따라 이수용량을 회복할 수 있게 된다. 또한 '②'번 강우와 같이 계속적으로 강우가 발생하면 예당지로 유입하는 홍수량은 '②'수문곡선과 같이 변화하는데 이미 '①'번 수문곡선에 해당하는 양을 전 시간에 예비방류 하였으므로 해당 시간단계에서는 '②'번 수문곡선과 '①'번 수문곡선의 차에 해당하는 홍수량에서 강우와 동시에 예당지로 유입한 양을 감하여 예비방류량으로 결정한다.

이와 같이 실제 발생한 강우량을 관측하여 향후 예당지로 유입할 홍수량을 추정한 후 그 양의 범위내에서 예비방류를 시행함으로써 이미 발생한 홍수사상에 유연하게 대처하면 이수용량의 손실 없이 홍수조절용량을 추가로 확보하여 대규모 홍수시 예당지와 하류 하천의 치수안전도를 제고할 수 있다.

특히 전산장비 및 유출모의모형의 발달로 확정적인 수문사상에서 홍수량 예측의 정확도가 제고되고 있으며, 예당지 주변에 설치된 수위관측소의 기록을 실시간으로 활용 가능하므로 삽교천 홍수예경보 시스템과 연계하여 강우량 관측과 유입홍수량 예측을 실시간으로 시행하면 이상의 개념과 같은 예비방류 시행이 가능할 것이다. 아울러 강우량 및 강우시간의 경과 또는 호우의 특성에 따라 유역의 유출특성과 하도의 특성이 변화하므로 실측된 유입량에 의해 홍수추적 모형의 제반 매개변수를 실시간으로 보정하는 Filtering 기법이나, Fuzzy 기법을 활용할 경우 예비방류의 효율과 이수측면의 안전성을 제고할 수 있을 것이다.

<그림 12.8>은 100년 빈도 홍수시 확정적인 수문사상에 기초하여 예비방류를 시행한 결과이다. 이때 예비방류량은 최대 677㎥/sec을 초과하지 않도록 하였으며, 방류량의 급격한 증가가 예당지 하류 지역의 침수상황을 악화시키지 않도록 현재의 일정률·일정량 방식을 유지하는 것으로 계획하였다. 또한 강우량이 감소하는 시기에는 일시적으로 방류를 중단하여 이수손실이 없도록 하였다.

그 결과 예당지의 첨두홍수위가 위험수위인 EL. 23.0m를 초과하지 않도록 운영하는 조건에서 100년 빈도 홍수시의 첨두방류량이 1,620㎥/sec로 산정되어 현 예당지운영 규정에 의해 최대 677㎥/sec로 일정하게 예비방류할 경우에 비해 첨두방류량이 147㎥/sec 증가하지만, 이수용량 손실에 대한 부담 없이 홍수조절용량을 최대 810만㎥ 추가로 확보함으로써 실제 방류능력을 감안하여 산정한 첨두방류량에 비해서 333㎥/sec 감소하고, 예당지의 첨두홍수위를 위험수위인 이내로 유지하는 효과를 기대할 수 있다.



<그림 12.8> 확정적인 수문사상에 의한 예비방류

12.2.3 홍수보험 제도의 도입

가. 홍수보험의 필요성

국가차원의 재해대책은 재해피해를 경감시키기 위한 정부의 체계적인 노력으로 이해될 수 있으며 보통 3단계의 과정을 거쳐 발전한다. 1단계는 어떤 재해가 발생하면 그에 따른 복구 및 구호대책을 수립하는 것이 재해대책의 주요 수단이 되는 단계로서 후진국형 재해대책 단계라고 할 수 있다. 2단계는 각종 재해방지 시설의 건설에 의한 구조적인 재해대책 단계라 볼 수 있다. 이에 비해 3단계는 구조적 대책 시행과 더불어 토지이용규제 및 개발규제 등을 통한 홍수터 관리, 풍수해보험제도 등의 비구조적 대책을 병행하는 단계이다.

홍수에 의한 피해는 다른 자연재해에 비해 상대적으로 구조물을 만들어 피해를 경감시키는 수단이 유효하게 작용하는 특징이 있다. 예를 들어 저수지는 집중호우시 발생하는 첨두홍수량을 저감하고, 하천제방은 유수의 흐름이 미리 정해진 통로를 따라 이루어질 수 있도록 유도하며, 하도개수를 병행할 경우 첨두수위를 저하시킬 수 있다. 또한 분류수로(Diversion Channel)를 만들어 홍수피해를 유발하는 초과유량의 흐름을 다른 지역으로 유도하여 피해를 경감할 수 있다. 이와 같이 구조물을 건설하여 홍수로 인한 침수피해를 경감시키는 방법을 통칭하여 구조적(홍수방어)대책이라 한다. 이제까지 구조적 대책은 구조물의 건설과 유지관리에 많은 비용이 소요되지만, 홍수의 발생빈도나 피해규모를 줄이는데 상당히 효과적인 수단으로 인식되어 왔다. 특히 발생빈도가 잦은 소규

모 홍수의 위험을 제거하는데 있어 매우 효과적인 수단으로 활용되어 왔다.

그러나 구조적인 대책만으로는 홍수의 위험을 감소시키는데 한계가 있다. 그 이유는 홍수방어 대책의 일환으로 건설되는 토목구조물들은 그 구조물의 특성과 중요도에 따라 적절한 빈도의 설계강우 또는 설계유량에 맞추어 건설되기 때문에 구조물이 감당할 수 있는 용량을 초과한 강우 또는 유량이 발생할 경우 피해를 입을 위험이 상존하기 때문이다. 특히 주목할 것은 구조적 대책이 갖고 있는 본질적인 문제점 중의 하나가 홍수방어구조물의 설계빈도를 상향시켜도 그 피해액은 절대적으로 감소하지 않는다는 점이다. 상식적으로 생각하면 현행 50년 빈도로 설치되어 있는 홍수방어 구조물의 설계빈도를 100년으로 상향시키면 홍수피해가 감소할 것으로 생각되지만 실제적으로는 그렇지 않다는 것이다. 홍수방어 구조물의 설계빈도를 상향시키면 홍수피해를 입을 확률이 적어진다는 믿음 때문에 과거 홍수취약지구의 개발이 가속화 되는 경향이 있고 그 결과 피해가 발생할 경우 규모가 커지게 되는 것이다. 따라서 연간 기대손실 측면에서 보면 피해발생 확률은 감소하여도 피해가 발생할 경우 그 규모가 증가하여 결국 홍수방어 구조물의 설계빈도를 상향시켜도 기대손실은 감소하지 않고 경우에 따라 증가하는 결과를 나타내기도 한다.

우리나라는 오랜 기간 동안 전국적으로 댐 건설, 하도 개수, 제방 축조 등의 구조적 대책을 통해 홍수피해를 경감시키기 위한 노력을 지속적으로 시행해 왔다. 그 결과 과거에 비해 홍수조절 능력이 상당히 향상된 것도 사실이다. 그러나 매년 발생하는 홍수피해액은 감소하지 않고 오히려 증가하는 추세에 있는데 이와 같은 사실은 앞에서 설명한 바와 같이 구조적 대책으로는 홍수피해를 경감시키는데 한계가 있으며 이와 병행하여 비구조적인 대책이 필요하다는 것을 보여주고 있는 것이다. 따라서 홍수보험은 홍수예경보 및 대피체제 마련, 홍수터내의 토지이용 규제, 내홍수화, 재해영향평가제 등과 더불어 홍수피해를 겸감 시키기 위한 비구조적인 대책의 역할을 담당하게 된다.

나. 홍수보험 제도의 개요

(1) 개 념

홍수보험은 풍수해에 의해 발생한 홍수피해를 보상해 주는 보험제도이다. 이제 까지는 전통적으로 태풍이나 호우 등으로 인해 발생한 홍수로 생활근거를 잃어버린 사람들에 대해서 국가가 사회구호차원에서 제한적인 형태의 경제적 보조를 해오고 있다. 그런데 홍수보험제도를 통해 홍수로 인한 위험에 대비하고자 한다면 그 동안 국가가 시행해 오던 구호차원의 보조기능을 새로운 보험제도가 일정부분 담당하게 되는 것으로 볼 수

있다. 이러한 면에서 볼 때 홍수보험은 어느 정도 사회보험의 기능을 갖는다. 그렇지만 홍수보험이 홍수에 의해 발생하는 피해의 상당부분을 보전해 주어 결과적으로 기존의 구호차원을 넘어선 부분까지 보상한다면 이 부분은 민간보험과 유사한 성격을 갖게 된다고 할 수 있다.

(2) 홍수보험의 역할

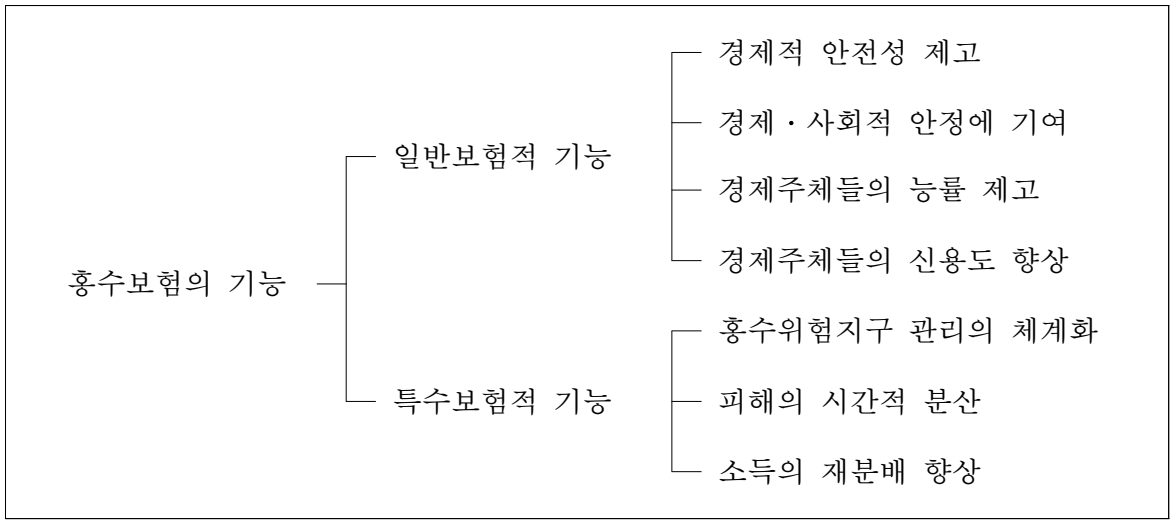
자연재해로 인한 피해의 대부분이 이상자연현상에 의하여 발생되는 것이기 때문에 국가는 국민의 경제사회적 활동을 원활하게 하기 위한 대책을 시행하여야 할 책무를 갖게 된다. 그러한 관점에서 국가는 자연재해로 인한 피해가 발생하였을 경우에 공공시설에 대한 피해복구를 전적으로 담당하는 것은 물론 개인의 사적 피해에 대해서도 당장의 의식주를 해결할 수 있는 정도로 빈약한 수준의 보조·지원을 구호차원에서 실시하고 있다. 그렇지만 이와 같은 개인의 사적 피해에 대한 보조·지원은 자연재해를 제외한 다른 사고로 인한 피해시 국가차원의 보조·지원이 거의 실시되지 않는다는 사실에 비추어 형평성이 결여된 것으로 논란의 소지를 제공할 수 있다.

자연재해의 특성상 피해를 입은 개인에게 국가차원에서 구호의 의미를 갖는 보조·지원이 실시된다고 하여 자연재해 피해에 대한 보조·지원 책임을 전적으로 국가가 담당해야 한다는 것은 문제가 있다. 재해피해를 당한 사람들도 이러한 피해가 자신들의 경제사회적 활동과정에서 발생하였을 것이므로 피해자들도 피해를 스스로 극복해야할 공동의 책무를 갖는 것이다. 따라서 지금까지 국가가 개인의 사적 피해에 대해서도 구호차원의 보조·지원해오던 것을 확대발전시킨다는 의미에서 재해위험이 높은 지역에 거주하거나 그 지역에서 경제사회적 활동을 하는 개인들의 참여와 국가의 보조·지원을 동시에 포함하는 홍수보험의 도입이 필요한 것이다. 그러므로 홍수보험은 현행 국가가 전적으로 담당하는 재해구호체계를 국가와 개인이 동시에 담당하는 재해구호체계로의 변화를 의미하여, 이는 개인의 자주방재의식을 고취시키는 역할을 할 것으로 기대된다.

특히, 홍수보험의 도입을 통해 국가가 홍수피해 발생시 피해 주민들에게 제한적인 형태의 보상이나 보조를 하던 제원을 활용하여 홍수보험료의 일정 부분을 부담함으로써 피해구제 기능이 국가에서 민간으로 이전되며, 시설물에 의한 홍수방어에 의존할 경우 예상되는 하류지역의 피해 증가 요인을 제거할 수 있다는 점이 홍수보험의 중요한 역할이라 할 수 있다.

(3) 홍수보험의 기능

홍수보험의 기능은 크게 일반보험적인 기능과 특수보험적인 기능으로 나눌 수 있다. 일반보험적인 기능은 홍수보험이 가지고 있는 보험이라는 성격으로 인해 나타나는 기능으로서 대다수의 다른 보험도 가지고 있는 일반적인 기능이다. 반면에 특수보험적 기능은 홍수보험이 대상으로 하는 보험과 차별적성을 갖는 기능이다. 이와 같은 홍수보험의 일반보험적 기능과 특수보험적 기능을 정리하여 나타내면 다음 그림과 같다.



<그림 12.9> 홍수보험의 기능

다. 홍수보험제도의 시행방안

행정자치부 산하 국립방재연구소에서는 '98년에 '홍수보험제도의 시행방안 연구(Ⅰ), 1998.12, 행정자치부'라는 연구성과를 통해 홍수보험제도의 시행 방안을 제시하였다. 동 연구에서 홍수보험의 상품개발 방안으로는 홍수보험제도가 국내 최초로 도입되는 점을 감안하여 효율적, 지속적으로 운영될 수 있고 보험 가입율을 제고시키는 방향으로 상품이 개발되어야 할 것을 제시하였다. 구체적인 시행방안으로서 홍수로 인한 주택피해만을 보통약관에서 담보하고, 담보대상의 범위, 가입방식, 가입주체 등을 단계적으로 확대하도록 하며 홍수위험에 맞는 요율산정 방안을 제안하였다. 즉, 홍수보험이 의무보험의 형태로 운영될 것을 고려하여 기존 의무보험의 예정손해율, 예정사업비율, 예정이익률을 준용하도록 하고 등급요율 체계를 적용하여 건축물 구조별, 홍수피해 빈도수에 따른 지역별로 등급요율을 산출하도록 하였으며, 요율산출(안)을 제시하였다. 아울러 홍수위험에 맞는 책임준비금 적립제도의 도입을 제안하였다. 아울러 이러한 홍수보험의 상품개발 방안을 기초로 홍수보험제도의 운영방안을 다음과 같이 제안하였다.

1) 홍수보험의 특성과 심각한 역선택의 문제를 감안할 때 의무보험의 형태로 영위되

어야 한다.

2) 보험가입단위는 보험사업자의 편의를 고려하고 체계적인 위험관리 활동이 가능하도록 지방자치단체로 한다. 또, 홍수피해가 매년 증가하고 있고 대규모 피해가 예상됨에 따라 공동보험 형태로의 운영을 고려하여야 한다. 즉 모든 손보사는 공동보험에 참여하고 사전에 약정된 비율대로 책임을 부담하게 된다.
3) 홍수위험 지역에 대한 경제적 지원책으로서 지방자치단체가 의무가입대상 계약 보험료의 50%를 지원할 것을 제안하였다.
4) 홍수보험의 인수능력 확대방안을 제시하였다.
5) 관련법규의 제정 및 개정방안을 제안하였다. 즉, 기존 자연재해대책법에 홍수위험지구의 설정, 보험가입 의무조항 등을 신설하고 정부지원의 근거조항을 삽입하여야 한다.
6) 효율적인 보험관리를 위한 전산시스템 구축방안을 제시하였다. 향후 동 보험제도를 시행하면서 나타나는 문제점들을 분석하고, 이를 개선함으로써 빠른 시일내에 제도를 정착시키는 방향으로 추진하도록 한다.

이상의 홍수보험제도 시행 방안은 아직까지 시행에 옮겨지지 않고 있으며, 단지 일부 손해보험사가 판매하고 있는 화재보험에 추가로 보험료를 내고 “풍수해 위험 추가보장 계약”에 가입하는 형태의 제한적인 시행이 민간을 중심으로 이루어지고 있다.

홍수보험제도가 그 기능을 제대로 발휘하기 위해서는 외국의 사례에 비추어 볼 때 홍수보험 제도에 대한 법률 뿐만 아니라 홍수터 관리에 관한 법률과 이를 운용할 행정조직이 갖추어져야 하며, 홍수위험지도 작성, 홍수위험지구의 선정 및 고시, 홍수보험요율 제정 등과 같은 조치가 선행되어야 한다. 따라서 그 시행까지는 많은 시간과 비용이 소요되겠지만 국가 기간사업인 방재대책에 있어서 한 형태로서 홍수보험제도 도입 필요성은 이미 충분한 공감대를 형성하고 있으므로 그 도입을 서둘러야 할 것이다.

특히 삽교천 유역의 경우 상류지역의 치수대책으로서 이제까지와 같이 하도 대응으로 일관할 경우 그 부담이 하류지역으로 전이 되므로, 유역 전체적인 차원에서는 피해규모를 감소시키지 못할 것으로 예측된다. 그 대안으로서 무조건적인 저류위주의 홍수방어대책 또한 저평지의 발달이 빈약한 상류지역의 생산기반을 상실케 하는 부작용을 초래할 수 있다. 이러한 유역특성을 고려할 때 ‘제 9 장 치수단위구역 구분 및 치수안전도 설정’에서 제시한 바와 같이 예당지 상류지역은 계획빈도의 상향과 구조적인 홍수방어대안의 도입을 제한함으로써 유역 전체적으로 홍수발생 위험을 균등하게 분담하는 대신 홍수보험제도를 도입하여 손실을 보완하는 것이 합리적이고 바람직한 치수대책이라고 할 수 있다.

12.2.4 홍수터 관리

가. 홍수터 관리의 기본개념

홍수터는 지형학적으로 강이나 하천, 호수나 저습지, 또는 바다 해안선의 수체와 접한 공간으로서 상대적으로 지형이 낮아 홍수 발생 시 침수되었거나 침수될 수도 있는 지역을 말한다.

홍수터 관리는 자연하천이나 농경지, 그리고 상업용지 등으로 다양하게 이용되고 있는 하천공간에서 홍수소통능력을 그대로 유지하면서 자연적 여건과 토지이용의 필요성에 맞도록 홍수터 개발을 유도하거나 지도하여 홍수피해를 줄이고 하천공간을 효율적으로 이용할 수 있도록 하는 제반활동이라 할 수 있다. 즉, 홍수터 관리는 홍수발생시에 홍수량을 조절하는 것이 아니라 홍수에 대처하거나 사전에 홍수피해를 예방하려는 대책인 것이다.

좁은 의미에서 홍수터 관리는 홍수량을 잘 조절하는 것이 아니라 하도나 하천부지가 충분한 홍수소통능력을 가지면서 홍수피해를 줄일 수 있도록 하는 홍수위험구역 지정, 홍수방어능력 제고, 토지이용 제한, 건축법규 정비, 침수선의 결정 등의 활동을 의미한다. 이러한 활동을 통하여 홍수위험지역의 개발을 최대한 억제하여 피해가능성을 줄이고 홍수의 규모를 증대시키지 않으면서 홍수터내 토지를 효율적으로 이용할 수 있도록 한다. 보다 넓은 의미에서 홍수터 관리는 어떤 지역에서 홍수피해를 막거나 감소시키기 위하여 예방차원에서 사용될 수 있고, 홍수터내 자연과 문화 자산을 보호하고 유지하는데 사용 가능한 모든 분석과 대책을 통틀어 말한다. 이러한 대책에는 홍수위험지도 작성, 하천개수 및 관리사업, 골재 채취량 조절, 그리고 하천변 식생제거 등이 있다.

홍수터 관리의 기본적인 절차는 ① 범람가능성의 평가와 침식선의 결정, ② 수리수문과 기타 분야의 기술을 기초로 홍수터 관리를 위한 기준 설정, ③ 설정된 규정의 관리강화와 각 지역에 맞도록 규정을 수정·보완 하는 것으로 구분할 수 있다. 이를 수행하기 위해서는 사회적 여건, 유역도, 지형도, 하천 횡단면도, 수문기록 등이 자료가 필요하며 필요한 자료가 입수되면 수리계산과 수문분석을 통하여 침식선을 결정하여 침식선 내외의 토지에 대한 홍수지역 구분, 지역구분 규정, 건축법규에 의하여 토지이용 및 개발 지침을 결정하고 홍수터 관리의 우선순위를 결정한다. 또한 어느 지정지역의 홍수터 이용 또는 개발계획을 수립할 때 계획 구조물이나 매립을 표시하는 지도와 도면을 첨부하여 하천 홍수소통능력의 감소여부와 자산피해 정도가 검토되어야 한다.

나. 홍수터 관리의 절차

(1) 침식선의 결정

홍수로(floodway)는 계획홍수를 소통할 수 있는 저수로와 홍수터로 구성된다.

침식선은 홍수로의 양안 경계면으로 정의되며 이 침식선 내부(홍수로)에는 공작물의 설치나 매립을 허용하지 않음으로써 계획된 홍수소통능력을 보존하는데 침식선의 설정 목적이 있다. 침식선을 결정하기 위해서는 과거의 홍수기록을 포함한 수문자료의 빈도분석과 더불어 해당지역의 인구와 자산의 밀집상태 및 상하류 여건 등 사회적 문제를 함께 고려한다. 미국의 경우 침식선을 설정할 때 해당지역의 자산정도에 따라 주로 50년에서 100년 빈도 홍수위선까지, 혹은 하천에 따라서는 표준설계홍수량(SPF)까지도 고려하고 있다.

(2) 홍수지역 구획정리

홍수지역 구획정리는 공중보건과 사회복지를 위한 토지이용과 개발, 자산 보호를 위해 종합적인 계획 아래 특정한 목적에 맞도록 해당지역을 구획 정리하는 것이다.

(3) 지역구분(zoning) 규정

지역구분 규정은 건물 위치, 지역사회에 필요한 부지, 도로, 공원 및 학교의 배치 등 합리적인 토지개발을 보장하기 위하여 토지를 세분하는데 채택되는 지방행정기관의 규정과 기준을 말한다.

이러한 규정에는 도로의 소요 폭, 측구의 필요성, 구분된 지역의 크기, 도로 및 택지의 위험수위 표고, 치수안전도, 홍수로의 규모, 세분된 지도상에 홍수로 명시, 그리고 유수단면을 제한하는 매립금지구역 등을 규정한다. 특히 미개발지역의 건설을 규제하는 데는 매우 효과적인 수단이 된다.

(4) 건축법규

건축법규는 건물이나 구조물의 설계, 시공, 그리고 건축재료를 규제하는 기준을 설정하여 인명, 공중보건, 자산, 사회복지 시설을 보호하는 것이다. 건축규제는 단독으로 시행되는 예는 별로 없고, 앞의 지역구분 규정이나 토지세분화 규제와 병행하여 실시되는 것이 바람직하다.

건축법규 기준은 크게 홍수위험구역내 건축물 건축금지와 건축물 내수화(耐水化)의 두

가지로 나눌 수 있다. 홍수위험구역내의 건축금지는 현실적으로 토지이용을 극대화하고자 하는 계획과 서로 상반되며, 홍수에 대한 저지대 건물의 내수화는 비구조적 홍수방어대책 중에서 중요한 사항으로 침수예상지역의 모든 주택과 빌딩에 적용되며 기존 및 신축 건물에 따라 구별하여 시행하여야 한다. 일반적으로 건축법규 기준은 홍수방어계획에 따라 ① 건물을 지을 때 내수가 가능한 건축자재를 사용하고, 건물의 바닥을 일정한 높이, 즉 홍수위선 이상으로 올려짓거나 홍수위선 이하의 구조는 내수구조로 하는 반영구 대책, ② 홍수예경보를 발표한 후 문이나 물이 들어올 수 있는 경로를 차단하거나 피해가능 물자를 재배치하는 방안과 같은 임시대책, ③ 홍수시 모래주머니 등을 사용하여 물이 침입하지 못하도록 하는 응급대책으로 나눌 수 있다.

건축물의 내수화를 위한 주요 사항은 다음과 같다.

- ○ 홍수시 건물이 움직이거나 뜨는 것을 방지하기 위해 앵커를 설치한다.
- ○ 일정한 위험홍수위선보다 높게 지하실을 설치하고 일층 표고를 규제한다.
- ○ 수압과 유속에 의한 붕괴에 견딜 수 있도록 벽을 보강하고 홍수의 침투를 막을 수 있도록 벽을 방수화 한다.
- ○ 방수효과가 큰 문이나 셔터를 설치하고 일시적 또는 반영구적으로 폐쇄한다.
- ○ 침투수를 배수할 수 있는 펌프를 설치하고 하수관이나 우수관의 역류방지를 위한 체크밸브를 설치하는 것 등이다.

(5) 홍수방지 (floodproofing)

홍수방지대책은 홍수침입에 의한 건물 자체구조와 내부시설의 피해를 줄이기 위하여 홍수가 건물내부로 유입하여 피해를 일으키지 않도록 하는데 목적이 있다. 홍수방지대책은 홍수유입을 차단하는 홍수방어벽을 설치하거나 건물의 내구성을 증대시키며, 또는 건물의 표고를 높이는 방법으로 구성된다. 효과적으로 홍수를 방지하기 위해서는 홍수상황이나 예경보를 명확히 파악하고 전문적인 기술 또는 내수화 건축법규를 재정하여 수립할 필요가 있다. 특히 홍수터나 홍수위험구역에 있는 고가의 자산은 단독으로 홍수를 방어해야 한다.

건물주위는 홍수벽으로 보호를 하거나 홍수에 노출된 건물의 위험홍수위 아래 부분은 창문이 없도록 설계하고 수압에 견디도록 견고하게 보강한다.

다. 삽교천 유역의 홍수터 관리 중점사항

우리나라 대부분의 하천 유역에서 그러하듯 삽교천 유역의 중하류부 또한 축제를 통

해 홍수로를 명확히 구분한 결과 홍수소통 단면이 최소로 축소되어 제외지에는 실질적인 의미의 홍수터는 존재하지 않게 되었다. 따라서, 굳이 홍수터라 할 수 있는 부분은 과거에는 홍수터에 해당하는 지역이었으나 제방으로 인해 제내지로 구분된 하천변 저지대라 할 수 있다. 이 지역은 비록 제방에 의해 외수로부터 보호받고 있으나, 과거 홍수터의 특성에서 완전히 벗어나지 못해 내수배제 불량으로 인한 침수피해가 빈발하고 있으며, 외수범람의 잠재피해지역이라 할 수 있는 치수적으로 취약한 지역이다. 그러나 한편으로는 하도로 유입하는 홍수의 일부를 저류하여 지체유출 시킴으로써 하도의 부담을 덜어주고 홍수위를 저하시키는 역할을 하는 홍수터의 기능을 하고 있다.

삽교천 유역의 경우 상기한 바와 같이 치수적으로 취약한 상습침수지역과 홍수터의 기능을 함께 보유하고 있는 하천변 저지대가 비구조적인 치수대책으로서의 홍수터 관리 대상이 되며, 그 핵심적인 목표는 현재와 같은 홍수터의 기능을 보존하며, 지역내 재산가치의 상승을 제한하여 예상피해의 규모를 최소화 하도록 하는데 있다.

따라서, 삽교천 유역의 홍수터 관리는 홍수터의 규제에 기초하며, 이러한 규제는 홍수터의 보존과 함께 장래의 개발을 조절하여 위험도를 최소화함으로써 장래의 홍수피해 규모를 감소시키데 목표를 두고 시행되는 토지이용 규제의 형태로 운용되어야 한다.

토지이용규제는 장래의 홍수피해를 최소화하기 위하여 적합하게 제한된 토지만을 활용해야 한다는 정부당국의 입장과 상습침수지역의 개발에 의해 이익을 얻고자하는 토지소유자들과 분쟁에 직면할 수 있다. 이런 문제들은 다음과 같은 사항들의 검토를 통하여 해결할 수 있을 것이다.

- ○ 토지이용 제한과 상습침수위험지역의 조정에서 얻을 수 있는 잠재적인 홍수피해의 절감에 대한 검토
- ○ 토지이용 규제보다 더 경제적이고 효과적인 홍수경감대책과 다른 대안의 이용 가능성 검토
- ○ 토지이용 규제에 의해 충족되는 경제, 사회 및 환경적 목적의 달성정도 검토

토지의 이용규제 또는 계획적 억제는 개발지구의 억제 및 건축과 개발의 억제 등 두가지 대안을 이용한다. 일반적으로 이들은 홍수피해의 위험이 높은 신규 및 기존 개발지역에 적용된다.

행정기관은 상습침수지역 내에서 수행되는 활동 유형을 규정하여야 하는데 이때 상습침수지역은 홍수피해의 위험뿐만 아니라 경제, 사회 및 환경적 요소들의 객관적 평가를 통해 설정되어야 한다. 또한, 개발과 건축의 허가단계에서 홍수방어에 역행되지 않는 개발과 전체적인 홍수 피해의 수준이 크게 증가되지 않아야 한다는 보장을 위한 적정한

조건을 제시하여야 한다.

행정기관은 인명과 재산의 위험을 최소화하기 위하여 필요한 대책과 홍수피해의 위험을 최소화하기 위하여 제시된 개발 또는 대책들이 적정성을 검토해야 한다. 구체적인 검토내용은 다음과 같다.

○ 개발지역의 표고가 계획홍수위보다 높은가 ?
○ 건축재료의 적정성
○ 홍수시 대피 경로의 유무
○ 성토 또는 이와 유사한 행위가 홍수의 거동을 방해하지 않는가?

일반적으로 소규모 개발과 기존 건물의 증축에 대한 규제의 필요성은 크지 않다. 그러나 사업이 대규모이고 홍수피해의 증가에 큰 영향을 주거나 홍수의 흐름에 방해가 된다면 이들은 더욱 엄격하게 규제를 해야 한다.

모든 경우에 있어 개인의 재산권 행사를 제한하는 규제는 적법한 절차에 의해 시행되어야 하며, 이를 위해서는 제반 관계법령이 제정, 정비되어야 한다. 그러나 그에 선행되어 공공의 안전에 위해를 가하면서 개인의 이익을 취하는 행위는 강력히 규제되어야 하며, 치수적으로 취약한 지역임을 인지하고서도 개인의 이익을 위해 개발사업을 시행할 경우 그에 따른 피해의 부담도 함께 감수하는 이익과 손해 모두에 있어 수익자 부담의 원칙을 지킴으로써 이익은 개인이 취하고 피해는 공공이 부담하는 경우가 없도록 하여야 할 것이다.

12.2.5 홍수예경보

가. 홍수예경보의 개요

홍수예경보의 목적은 강우로 인해 발생하는 홍수의 규모와 발생시간을 정확하고 신속하게 예측하여 댐 수문조작에 의한 홍수조절을 가능하게 하고 홍수에 대비할 수 있도록 유관기관 또는 지역주민에게 사전에 홍수에 관한 정보, 즉 예측되는 홍수위와 그 발생시간을 제공함으로써 홍수로부터 피해를 최소화 하는데 있다.

이러한 목적을 위하여 홍수예경보 System은 정확하고 신속하게 관측한 Data를 수집하는 통신시설 및 수집된 Data를 이용하여 최단시간에 예측결과를 얻을 수 있는 System(Software 및 Hardware)과 이 결과를 판단하는 경험 있는 인력으로 구성된다.

홍수예경보의 전달은 홍수통제상황실, 건설교통부, 중앙재해대책본부, 각 시도 재해대책본부, 유관 언론기관 등에 통보하고 경보소에 경보를 발령함으로써 각종 조작, 주민

대피 등의 조치를 실시할 수 있도록 하고 있다.

홍수예경보는 홍수주의보, 홍수경보, 해제로 구분하여 실시하고 있다.

ㅇ 홍수주의보

홍수주의보는 기준지점의 홍수위가 지정홍수위를 넘어 계속 상승하여 경계홍수위에 가까워 질 것이 예상되는 경우와 지정홍수위에 도달하지 아니한 경우라 하더라도 강우 등의 상황에 비추어 경계홍수위에 가까워 질 것이 예상되는 경우에 발령

ㅇ 홍수경보

홍수경보는 기준지점의 홍수위가 경계홍수위를 넘어 계속 상승하여 위험홍수위에 가까워 질 것이 예상되는 경우와 경계홍수위에 도달하지 아니한 경우라 하더라도 강우 등의 상황에 비추어 위험홍수위에 가까워 질 것이 예상되는 경우에 발령

ㅇ 해 제

해제는 기준지점의 홍수위가 지정홍수위 이하로 내려가 홍수피해의 우려가 없다고 인정되는 경우에 홍수주의보를 해제하며, 홍수경보는 기준지점의 홍수위가 지정홍수위에 가까워져서 홍수경보를 계속 유지할 필요가 없다고 인정되는 경우 홍수경보를 홍수주의보로 바꾸어 발령한 후 해제

나. 비구조적 치수대책으로서의 홍수예경보의 역할

효과적이고 가치 있는 치수대책이 되기 위해서는 홍수예경보가 시기적절하고 정확해야 하며 반드시 경보를 받은 예상피해지역 주민들이 무엇을 해야 할지에 대한 교육과 훈련을 통해 주민의식을 제고해야 한다. 이러한 교육·훈련에는 홍수피해로부터 재산을 보호하고 대피하는 행동요령들이 포함되어야 한다. 이상의 조건을 만족했을 때 홍수예경보는 침수지역관리와 홍수피해 경감에 가장 중요한 비구조적인 대책이 될 수 있다.

침수지역관리에서 홍수예경보는 인명과 재산의 실제적인 피해를 방지한다는 직접적인 가치와 경제 및 사회적 혼란을 최소화한다는 간접적인 가치를 가지고 있다. 홍수예경보의 직접적인 효과는 인명을 보호하고 홍수피해를 경감하기 위한 행동을 취할 수 있도록 한다는 것이다. 또한, 홍수예경보는 홍수조절지, 홍수 저류 및 유수지역과 관련된 수리시설 등 홍수예측에 기반을 두고 있는 이들 시설의 운영에 절대적 도움이 되며, 홍수예경보는 안전한 지역으로의 주민대피 및 긴급홍수방어활동 계획수립을 지원한다.

비구조적인 치수대책으로서 홍수예경보는 다음과 같은 조건을 충족시켜야 한다.

○ 홍수예경보의 정확성

○ 예상 홍수피해지역 주민들의 재산보호 또는 대피 할 수 있도록 충분한 홍수예경보 시간

○ 예상피해지역 주민들이 홍수예경보의 내용을 인정하고 행동하는 의식수준

○ 홍수예경보시 효율적인 대처와 행동을 위한 비상대처계획의 수립

다. 삽교천유역 홍수예경보시스템 현황

삽교천 유역의 홍수예경보시설은 '중소하천 홍수예경보 시스템 기본계획조사 보고서, 1997, 건교부'에서 타당성 검토 및 기본계획 수립 후 '98년 12월 31일에 설치되어 금강홍수통제서에서 운영하고 있다. 삽교천 유역의 홍수예경보 기준은 무한천에 위치한 원평수위표 지점의 홍수위로 경계홍수위와 위험홍수위는 다음과 같다.

<표 12.4> 삽교천 유역 홍수예·경보 홍수위 기준표

수 계 명	지 점 명	경계홍수위 (m)	위험홍수위 (m)	비 고 (영점표고 : EL.m)
삽 교 천	원 평	4.5	5.0	5.651

(1) 금강홍수통제소의 전산 시스템 현황

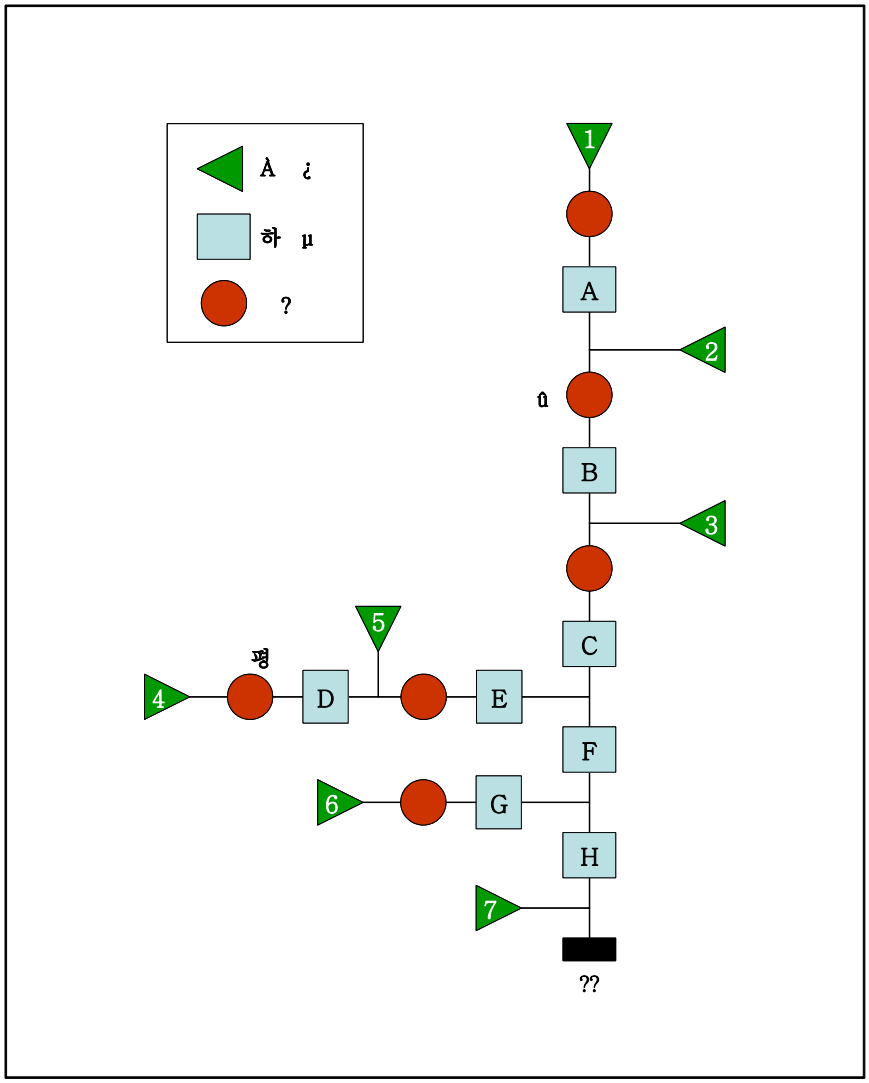
홍수예경보를 위한 전산장비는 매년 홍수기간 중 무인 T/M 관측소로부터 전송되어 오는 우량 및 수위자료를 On-Line 프로그램을 통해 Real Time Database화하고 강우발생시 수문현황 파악, 유출계산을 통한 예측치 산출 등의 업무에 활용되고 있다. 현재 홍수예경보 업무에 사용되고 있는 전산 System은 LGS-30000 기종으로 Cpu가 인텔펜티엄 200MHZ 2EA이며, 수문자료 관리를 위해 RDBMS(ORACLE 7.3.3) 시스템이 구축되어 있다. 또한, 홍수기 주전산기의 장애에 대비하여 LG-IBM PC서버를 보조전산기로 이용하는 이중화 시스템을 구축하여 비상시 연속적인 홍수예경보 업무를 수행 할 수 있도록 구성되어 있다.

매시간 입력되는 자료는 컴퓨터를 통해 처리되어 수위, 우량, 예당지 자료를 전용회선을 통해 G.D.P(Graphic Display Panel)로 송신하여 자동표시 할 수 있다.

재해대책업무에 필요한 여러 가지 자료를 각 유관기관에 신속히 전파하기 위하여 한강홍수통제소, 대전지방국토관리청에 매시간 수문자료를 직접 조회할 수 있도록 Network를 구성해 놓고 있으며, 특히 연안 저지대 주민에게 신속한 수문자료를 제공하여 비상시 대피할 수 있도록 자동음성응답시스템(A.R.S)를 설치 운영하고 있다.

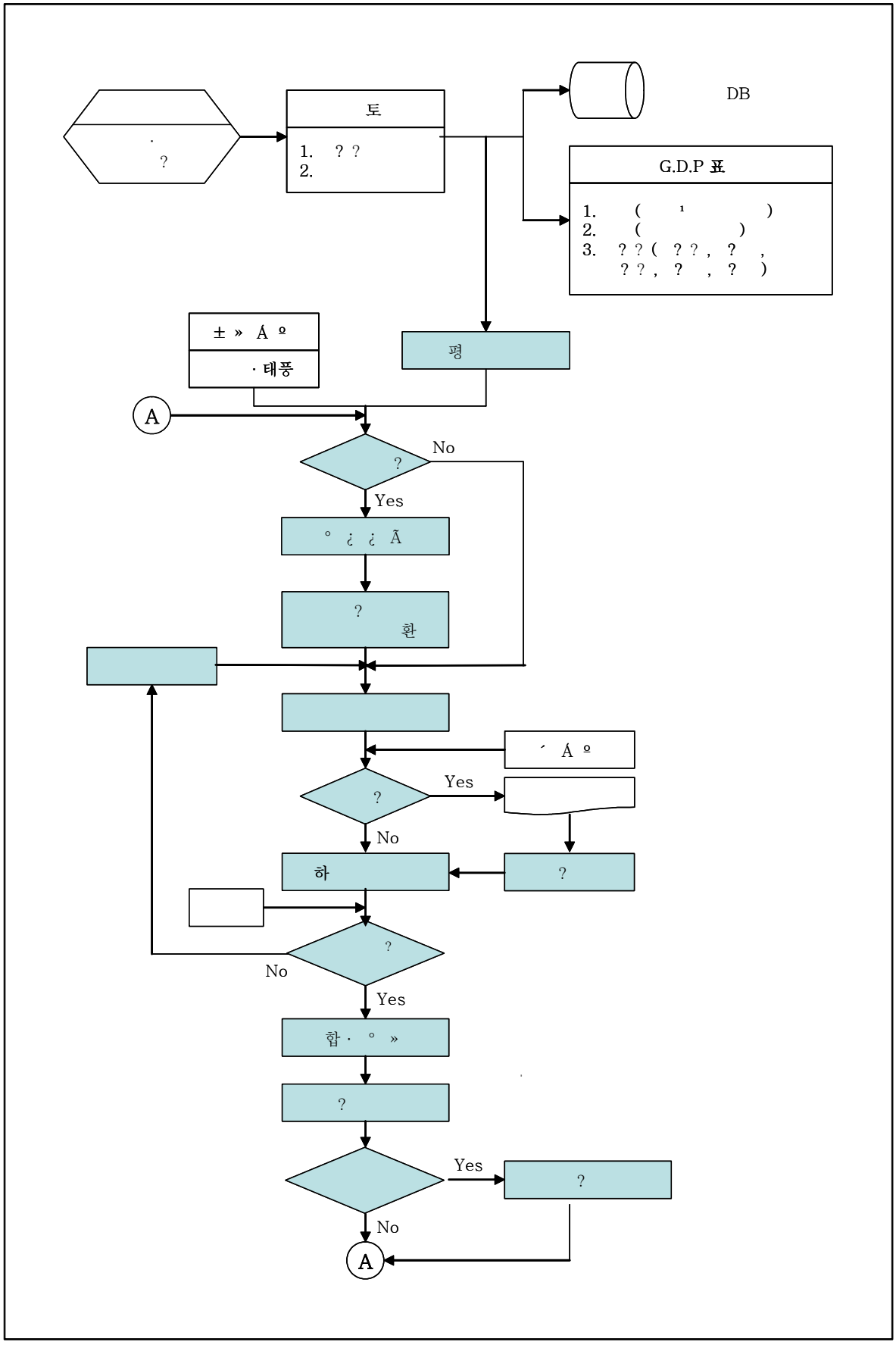
(2) 홍수예·경보 절차 및 모형

삽교천 유역에서 매 시간 관측되는 수위 및 우량자료는 T/M중계소(원효봉 중계소)를 통해 금강홍수통제소 무전실 제어장비에 수집되어 실시간으로 전산시스템에 입력된다. 전산시스템에 입력된 자료는 1차 처리를 거친 후 수문자료DB에 저장되고, 아울러 홍수유출 계산에 기본자료로 사용된다.



<그림 12.10> 삽교천 유역 유출계산 모식도

자료의 1차 처리는 ①이상자료의 검색 처리, ②결측 자료의 검색 처리로 대별되며, 이상자료의 검색은 자료 고유의 상한값 및 하한 값에 의한 검색과 Bit별 검색을 통해 그 내용에 따라 자동적으로 정상적인 값으로 처리된다. 결측자료의 처리는 우량의 경우에는 강우량 상관법에 의해 보완되도록 수정하였으나, 이에 대한 상관관계를 보다 정확히 하기 위해 RDS 방법으로 실시하고 있다. 또한 수위자료는 매시간 수위로 보완될 수 있도록 하였다.



<그림 12.11> 홍수예경보 전자계산 과정

삽교천 유역의 홍수예경보 방법은 강우-유출법을 채택하였으며, 유역의 유출은 Nash형 단위도를 적용한 수문곡선 합성법, 하도 유출은 'Kinematic Wave'법을 채택하여 구축하였으며, 세부내용은 다음과 같다.

○ 유역평균 우량 : 티센평균법
○ 유효 우량 : 유출률과 포화우량 이용법
○ 유역 유출 : Nash형 합성단위도를 적용한 수문곡선 합성법
○ 하도 유출 : Kinematic Wave 방법
○ 강우 결측치 보완 : RDS 방법
○ 수위 결측치 보완 : 선형외삽법
○ 강우예측 : 3시간 평균 강우량 유지법 + Yen과 Chow 방법

라. 삽교천 홍수예경보시스템의 문제점 및 개선방안

(1) 제도적 문제점 및 대책

금강홍수통제소의 홍수예경보 시설은 실시간 자료수집 및 예보시스템으로서 자동화/컴퓨터화 되어 있어 선진외국과 비교하여 장비 및 시스템 면에서는 손색이 없으나, 업무수행의 측면에서 몇가지 문제점을 안고 있다.

첫째, 홍수예경보 업무가 전문화 되어있지 않고, 건설교통부내 다른 기술업무와 마찬가지로 순환보직 되고 있는 실정이다. 따라서, 국토계획이나 도로건설 등을 담당하던 일반 토목기술자가 보직이 변경되어 홍수예경보 업무를 맡게 되어 전문성이 떨어지고 있는 문제가 발생하고 있다. 이에 비해 국제연합에서는 홍수예경보, 수문관측, 하천운영 업무를 담당하는 기술자들을 토목기술자가 아니라 수문기술자(Hydrologist)로 분류하여 일반기술자들과는 별도로 인사 관리할 것을 모든 국가들에게 권장하고 있다. 우리나라에서도 이러한 조치는 기상분야에서 찾아 볼 수 있는데, 기상예보업무는 기상직으로 분류된 특수직 전문가들이 당당하고 있다.

홍수예경보 및 이에 필요한 자료구축 및 관리를 위한 전문인력 부족의 문제는 2005년 5월 '하천정보센터(센터장 1명, 연구관 2명 등 3명의 박사와 토목직 연구사 7명과 기상직 연구사 2명 등 9명의 석사 등 도합 12명의 전문 연구직 인력 확보)'의 개소로 어느 정도 해소될 것으로 기대되나 지속적인 전문인력 보강 및 자질향상을 위한 노력이 필요하다.

홍수예경보의 정확도를 높이기 위해서는 홍수유출계산 프로그램을 다루는 인력의 전문성이 그 성패를 좌우하는 요소이지만 무엇보다 신뢰도 높은 실시간 수문자료의 획득

이 가장 중요하다. 따라서, 앞서 언급한 전문인력의 보강과 더불어 각종 수문관측 시설의 설치 밀도 개선, 장비 현대화 및 유출계산 소프트웨어의 개량 등으로 홍수예경보 업무의 대폭적인 개선이 필요하다.

둘째, 홍수예경보 업무와 수문관측 업무가 동일 부서내에서 이루어지고 있다는 것이다. 수문관측업무는 그 자체가 방대하고 다양한 기술과 오랜 현장경험을 필요로 하기 때문에 홍수예경보 업무와는 별도로 운영되어야 할 것이다.

셋째, 전국의 홍수예경보 시스템을 총괄하는 조직이 없으며 각 유역별 업무가 독립적으로 수행되고 있다는 점이다. 현재의 5대강 유역의 홍수통제소는 상호 대등한 관계로 각 하천별로 수문관측 업무 및 홍수예보 업무를 독립적으로 수행하고 있다. 이러한 조직운영과 시스템 개선을 위해 '하천정보센터'를 중심으로 각 유역별 홍수통제소를 총괄할 수 있는 조직이 필요할 것으로 판단된다.

(2) 기술적인 문제점 및 대책

삽교천 유역은 하류에 삽교호 배수갑문이 위치하며, 배수갑문의 배수영향구간에서 내수침수피해가 많이 발생하는 특징이 있다. 따라서 삽교호 홍수예경보시스템은 강우-유출계산에 있어 서해안 조위에 따른 삽교호 배수갑문의 영향을 고려할 수 있으며, 하류부 저지대의 침수특성을 해석할 수 있는 기능을 보완할 필요가 있다.

현재 삽교천 유역 홍수예경보시스템의 강우-유출 계산은 유역의 유출은 Nash형 합성단위도법을, 하도유출은 Kinematic Wave모형을 사용하고 있으며, 예경보의 기준은 무한천의 예당지에서 하류로 약 5.3km 지점에 위치한 원평 수위표로 설정되어 있다. 그러나 Kinematic wave 모형은 하천의 흐름 해석에 있어 중력만을 고려하여 부정부등류인 홍수흐름을 등류에 가까운 흐름으로 해석함으로써 삽교천 하류의 조위에 의한 배수영향과 예당지 방류의 영향을 고려하지 반영하지 못하고 있다. 또한 예당지 방류 영향권에 위치한 원평 수위표 지점의 수위를 예경보의 기준으로 채택하고 있는바 실제 홍수피해가 빈발하는 삽교천 유역 하류부의 홍수위 변화특성을 반영하는데 한계가 있다.

이러한 기술적인 문제점을 개선하기 위해 삽교천 유역의 홍수예경보시스템은 다음과 같은 사항을 보완하여야 할 것이다.

① 침수범위 예측시스템의 구축

예측홍수에 대한 제내지의 침수범위를 계산하고 GIS를 이용하여 침수예상지역을 표시할 수 있는 시스템이 필요하다. 근래 들어 침수양상이 외수범람에서 내수침수로 변화하는 추세에 있음으로 침수범위 예측은 외수범람 뿐만 아니라 내수침수 지역의 예측도 가능하여야 한다.

② 동역학파 모형을 이용한 하도의 흐름특성 분석 및 예측

연속방정식과 운동량방정식을 사용하여 대상 구간내의 실제 흐름변화상황을 파악할 수 있는 동역학파 모형을 이용하여 하도내 홍수흐름을 해석하여야 한다. 동역학파 모형을 활용할 경우 원하는 임의의 지점에 대한 수위, 유량, 유속 등의 다양한 정보를 파악할 수 있으며, 홍수흐름 해석에 있어 하천구조물의 영향, 본류 수위 상승으로 인한 지류의 배수위, 수문조작의 영향, 하천형태의 변화, 홍수터의 영향, 하천바닥의 조도, 조위의 영향 및 댐 운영을 반영할 수 있어 삽교천 하류 구간의 조위에 의한 배수영향 분석과 예당지의 방류에 의한 영향을 분석할 수 있다.

③ 홍수예측 결과의 온라인처리 시스템

예측자료 및 우량현황을 실시간으로 그래픽 처리하여 그 결과를 치수, 방재관련 유관기관 및 지자체와 공유하고 홍수관련 대책을 신속히 마련할 수 있는 온라인시스템이 구축되어야 한다.

④ 홍수예경보 기준 지점의 다양화

동일한 강우 조건에서도 삽교천 하류부의 홍수위는 서해안 조위가 어떤 상태에 있느냐에 따라 크게 변화한다. 삽교천의 홍수위에 미치는 조위의 영향은 하구에서 대략 20km 정도 상류까지 미치는 것으로 파악되며 대부분의 침수취약 지역이 이 구간에 위치하고 있다. 그러나 현재 예경보의 기준이 되고 있는 원평 수위표 지점은 이 구간 밖에 위치하여 삽교천의 홍수위에 미치는 서해안 조위에 의한 영향을 반영하지 못하고 있다. 오히려 예당지의 방류영향권내에 위치하고 있어 홍수위가 예당지 방류량에 크게 좌우되고 있다. 문제는 삽교천 수계의 주요 하천 중 무한천의 홍수유출이 예당지의 홍수조절에 의해 가장 늦게 나타나고 있어 원평 수위표 지점의 홍수위를 기준으로 예경보를 실시할 경우 삽교천 본류나 곡교천 유역의 홍수상황에 비해 뒤늦은 결과를 초래할 위험이 있다.

따라서 삽교천의 구만 수위표, 곡교천의 강청 수위표와 무한천의 하류부에 위치한 창소 수위표 등 기존의 수위표 지점의 홍수위를 예경보의 기준으로 포함하고 삽교호에 인접한 위치에 수위표를 추가로 설치하는 등의 예경보 기준의 다양화와 지역화가 필요하다.

12.2.6 비상대처계획 수립

최근 기상이변 등으로 인해 자연재해의 양상이 점차 대형화되고 또한 빈번하게 발생함에 따라 예상치 못한 대규모 재해에 대비하기 위하여 가상재해 시나리오별 피해예상지역의 파악 및 체계적인 비상대처계획(EAP, Emergency Action Plan) 수립의 필요성이 대두되고 있다.

비상대처계획은 하천범람, 댐 붕괴 등 비상상황이 발생하였을 때 그 영향지역내의 생명과 재산 손실을 최소화하기 위한 것으로서 극한홍수 및 지진발생 등의 재해발생시의 상황을 예측하고 이에 효율적으로 대처하기 위한 가능한 최선의 사전계획을 수립하는 것이다.

국내에서는 아직까지 비상대처계획의 수립이 활성화 되지 않았지만, 근래 들어 빈발하는 홍수를 포함한 각종 자연재해에 대한 대책으로서 구조적 대책이 한계를 보이고 있으며 특히, 2002년 태풍 '루사'로 인해 강릉남대천 유역의 장현 저수지와 동막 저수지가 붕괴되어 하류부 섬석천과 금광천 유역에 큰 피해가 발생하고, 강릉시 상류부의 오봉저수지와 고령군 상류부 성주댐의 경우 붕괴 직전까지 도달하였으며, 2003년 태풍 '매미'에 따른 피해 발생 후 댐, 저수지 등을 중심으로 EAP 수립에 대한 필요성이 제기되고 있다. 그러나 아직까지는 비상대처계획 수립에 대한 법적 근거가 미약하여 의무화되지 못하고 있는 상황이다

비상대처계획수립에 대한 그간의 국내 추진상황은 다음과 같다.

- ○ 1999. 12 : 수해방지종합대책으로 시행 확정
- ○ 2001. 7 : 하천법시행령 개정 시도
  (하천법시행령에 의무화 규정을 신설하려 하였으나 법제처 심의시 모법인 하천법에 근거가 없는 규정이라 하여 삭제)
- ○ 2003. 4 : 국무총리 국무조정실 수해방지대책기획단 수해방지대책백서에서 이를 추진하도록 명기함
- ○ 2004. 1 : 하천법 제15조의2(하천부속물의 비상대처계획) 신설, 하천법 시행령 제8조의2(비상대처계획수립) 신설, 부칙(시행일 및 수립기간)
- ○ 2004. 10 : 풍수해 등의 예방과 대책에 관한 법률 제34조 (댐, 저수지 붕괴대비 비상대처계획 수립)…국회제출, 입법 추진중 임

2004년 현재 주요 기관별 비상대처계획 수립현황을 정리하면 다음과 같다.

○ 한국수자원공사(다목적댐 및 생공용수댐)
- 2001-2002년 : 한강권역 댐(6개소) 수립
- 2003-2004년 : 낙동강권역 댐(14개소) 수립
- 2003-2004년 : 금강권역 댐(4개소) 수립
- 2004-2005년 : 섬진강권역 댐(6개소) 실시중

○ 농업기반공사
- 2004-2011년 : 농업용 댐에 대해서 실시예정
- 2004년 : 남대천 유역 4개 저수지, 안성천 유역 8개 저수지 완료 예정

○ 한국수력원자력
- 2005-2008년 : 발전용 댐에 대해서 실시예정
- 원자력발전소 상류부에 댐이 위치한 경우에는 IAEA 규정에 의해 비상대처계획 수립이 의무화되어 있는 상황

○ 각 지방자치단체에서 관리중인 저수지 : 계획 수립되지 않음

비상대처계획의 수립, 활용 및 관련 협조기관이 행정자치부, 소방방재청, 건설교통부, 지방자치단체 등 매우 방대하지만 현재 제한된 시설물 관리기관 중심으로만 수립되거나 수립예정에 있어 소방방재청에서는 '댐 붕괴 등에 따른 비상대처계획(EAP) 수립지침 작성방안 연구, 2004,12, 소방방재청'을 통해 우리나라의 실정에 적합한 비상대처계획 수립의 방법과 표준적인 형태을 제시하였다. 이 연구는 댐과 저수지 붕괴를 대상으로 한 것이지만 그 영향이 제방 붕괴와 하천범람의 형태로 이어진다는 점에서 치수계획 측면에서 비구조적 대책으로 유용하다고 판단된다.

따라서, 본 과업에서 별도의 비상대처계획 수립 방안을 제시하기 보다는 소방방재청에서 제시한 비상대처계획 수립지침의 내용을 간략히 소개하고, 삽교천 유역의 비상대처계획을 수립하는데 참고자료로 활용할 수 있도록 홍수규모별 예상침수지도를 작성하고, 본 보고서 '제 15장 유역관리계획'에 PMF 발생시 예당지 안전성 검토를 시행하고 예당지의 붕괴시 예상되는 피해정도와 범위를 분석하여 제시하였다.

가. 비상대처계획 수립의 기본요소

비상대처계획은 기본적으로 경보순서도, 비상감지/평가/분류, 책임, 대비, 침수범람도, 부록 등의 6가지 요소가 반드시 포함되어야 한다. 따라서 이와 같은 6가지 요소를 준비하는데 필요한 내용들이 기본적으로 조사되어야 한다. 기본적인 6가지 요소를 간단하게

정리하면 다음과 같다.

(1) 경보순서도 : 이는 누가 누구에게 어떤 우선순위로 경보하는지를 보여준다. 경보순서도의 정보는 긴급대처를 담당하는 사람에게 적시에 통지하기 위해 필요하다.

(2) 비상감지/평가/분류 : 긴급대처가 필요한 상황 또는 비상상황의 조기 발견과 평가는 매우 중요하다. 긴급상황의 적절한 분류와 그에 대한 적절한 절차를 사전에 마련하여 상황의 긴급성을 기반으로 한 적절한 대처과정을 확실하게 수립한다. 긴급상황이 발생하는 것을 기다리는 것보다 긴급상황의 정도를 확인하는 동안 비상대처계획을 활성화하는 것이 더 효율적이다.

(3) 책임 : 비상대처계획과 관련된 업무는 비상대처계획을 수립하는 동안 이루어져야 한다. 댐 소유자들은 개발, 유지관리 그리고 비상대처계획의 실행을 담당한다. 법적인 의무가 있는 정부와 지자체 비상사태 관계 담당자는 위기 상황의 지역주민들에 대한 경고와 신속한 대피를 담당한다. 또한, 비상대처계획은 댐의 비상상황 발생시 효율적이고 적절한 행동이 보장되도록 댐 소유자의 책임을 명확하게 하여야 한다. 댐과 댐 하류특성이 모두 다르기 때문에 비상대처계획은 대상 댐의 개별적인 특성을 정확하게 반영해야 한다.

(4) 대비 : 대비 행동은 긴급상황에 대한 반응을 용이하게 하고 여수로 방류나 댐 붕괴의 영향을 저감하게 한다. 이 절에서는 모든 비상사태 이전에 취해야 할 행동들을 규정한다.

(5) 침수 범람도 및 대피경로도 : 침수 범람도는 댐의 파괴로써 범람되는 지역들의 경계를 나타내야 한다. 침수 범람도는 범람상황 또는 댐의 파괴에 의한 영향을 받는 지역 주민들에게 적시에 통보 및 대피 명령을 내려야만 하는 정부와 지자체 담당 비상사태 관계자 및 댐 소유자들이 이용하게 된다. 이러한 침수 범람도는 홍수 범람지역을 도식적으로 표현하고 위험 지역 첨두홍수의 발생시각을 판단하기 위한 도달시간을 알려줌으로써 대피가 효율적으로 이루어지도록 한다.

(6) 부록 : 부록은 비상대처계획의 유지관리와 개발에 사용되는 자료들을 보완하고 추가하는 정보를 포함한다.

나. 비상대처계획 수립 관련 각 시설물별 검토사항

(1) 댐 하류 하천연안역 주요시설물의 종류 및 규모조사

댐 하류 하천연안역의 주요시설물의 종류 및 규모는 댐 붕괴로 인해 피해를 입을 가능성이 있는 시설물을 종류 및 규모별로 파악하여 피해액 추정에 사용할 기초자료를 조

사하기 위한 준비 되어져야 한다. 이를 위해 기본적으로 다음과 같은 내용에 대한 조사가 수행되어야 한다.

(가) 하류지역 거주인구의 표고별현황 조사

댐 붕괴로 인해 영향은 침수범람도를 제작해서 파악할 수 있으며, 표고별 인구조사를 통해 침수범람도상의 침수가능 가옥수 및 대피가 필요한 인구의 규모가 결정될 수 있다. 또한, 각종 조건의 변화로 인해 댐 붕괴에 따른 침수범람구역이 계속해서 변화할 수 있으므로 표고별로 거주인구를 조사해서 상황에 따른 대처계획 수립이 참고할 수 있어야 한다.

(나) 하류지역 주요 시설물의 표고별 현황 조사

현재까지 주요 시설물(공공시설, 민간시설, 문화시설 등)의 재산피해액 산정은 침수면적에 따른 피해액 산정공식을 이용해서 이루어져 왔다. 따라서, 표고별 주요 시설물에 대한 조사를 통해 침수범람도 작성에 따른 침수면적을 산정하고 예상 재산피해액을 추정할 수 있을 것이며, 정확한 피해액의 추정을 위해서는 각 시설물의 경제적 가치에 대한 면밀한 조사 및 평가가 이루어져야 할 것이다. 또한, 대피시설의 선정 및 대피로의 결정에도 이용할 수 있다. 이를 위해서는 대피시설물로 이용가능한 고지대의 학교, 관공서, 교회, 마을회관 등과 같은 시설물들과 이 시설물로의 접근경로 및 방법에 대한 종합적인 분석이 필요하다.

(다) 표고별 인구 및 시설물 현황의 상세 도면화

이러한 작업을 통해 정리된 인구 및 시설물에 대한 내용은 상세한 도면화 작업을 통해 정확한 현황파악이 이루어질 수 있어야 하며, 전산화 작업을 통해 관계 기관 등의 담당자들이 이 정보를 접하고 이용할 수 있도록 조치되어야 한다.

(2) 댐 붕괴에 따른 주요시설물의 피해위험도 조사

(가) 인명 피해에 대한 잠재성

인명 부문의 피해에 대한 잠재성을 조사하는 주요 항목은 피해잠재지표, 댐 하류지역의 위험성, 미래 발달의 가능성, 경고의 타당성 등과 같은 내용을 기준으로 해서 구성된다. 각각의 항목별 조사방법은 다음과 같다.

① 피해잠재지표

피해잠재지표는 댐 붕괴에 따른 홍수 피해 잠재성의 정량화를 뜻한다. 수치적으로는 100년 빈도 첨두홍수량과 예측된 댐 붕괴시 첨두홍수량과의 비를 의미한다. 이것은 댐 붕괴시의 홍수량을 일반적인 하천의 홍수량과 비교할 수 있는 간단한 지표를 제공할 수 있으며, 하류지역의 위험도를 고려하지 않은 상태에서 모든 댐에 적용 및 평가될 수 있다. 100년 빈도 첨두 홍수량의 산정지점은 해당 댐의 하류에 위치하며 댐 붕괴로 인한 범람 영향을 제일 처음 받는 거주지점이 선택된다. 만약 하류지역에 상시 거주지가 없다면, 댐의 1㎞ 하류지점에서 산정한다.

② 댐 하류지역의 위험성

위험지역의 인구는 댐 붕괴로 인한 범람으로부터 인명 피해의 잠재성의 척도로써 사용된다. 위험지역의 인구는 댐 붕괴시 하류지역으로부터 피난해야하는 사람의 수를 말한다. 인구 위험도는 '댐의 하류지역에 거주하면서 댐 붕괴시 위험에 처할 수 있는 사람의 수'로 정의되며, 여기에는 상시 거주지, 작업장 및 임시 사용지의 인구를 포함한다.

위험 지역의 인구에 대한 평가는 '댐 붕괴 범람 해석과 하류지역 위험 평가'를 고려한 기술적인 분석과 정보를 기반으로 수행될 수 있고, 만약 알려진 특별한 기준이나 정보가 없다면 가구당 3명이 거주하는 것으로 가정하는 것이 일반적이다.

해당 지점별 정보는 정수 또는 폐수시설, 제조 또는 생산 시설, 농업기반시설 등과 같은 공간적인 정보는 반드시 수록되어져야 한다. 추가적으로 리조트와 같은 임시사용 시설 및 야영지와 휴양지역 등의 위험지역 인구를 추정하기 위해 침수 범람도 제작시에 계절별 특성이 고려되어야 하며, 침수될 지역과 위험 지역의 인구를 추정하는 것은 매우 신중하게 이루어져야 한다.

③ 추후 개발 가능성

계획 기간내에 댐 하류지역의 개발 가능성이 있다면 위험지역의 인구가 증가될 수 있음을 의미한다. 따라서, 이러한 개발 가능성은 댐 하류지역 위험요소들의 분류 및 하류지역 주민보호를 위한 시설물 계획의 수정을 필요로 한다.

하류지역 개발의 영향의 미 고려로 인해 기 수립된 비상대처계획이 단기간에 수정되는 상황을 피하기 위해, 현재의 위험지역 거주인구에 대한 추정결과를 참고하여 미래의 개발상황에 대한 예측을 실시해야 한다. 미래의 개발상황에 대한 예측은 약 15~20년 후의 상황을 고려해서 실시되고, 많은 검토를 통해 좀더 현실적인 예측이 이루어져야

한다. 비상대처계획의 계획과 수립 단계에서 장래 문제의 소지가 있는 상황은 지속적으로 건의 및 분석되어야 한다.

④ 경고의 타당성

경고의 타당성은 댐 붕괴로부터 인명 피해의 상황을 결정하는 주된 요인이다. 기존의 연구는 상황발생 후 5분 미만의 짧은 시간에 실시된 위험 경고가 인명피해의 잠재성을 현저히 감소시킴을 보여주었으며, 90분 이상의 대피 시간이 확보되었을 경우에도 현저히 적은 인명피해가 발생하였다. 하류지역 거주자들에 대한 경고는 공식적인 경보발령을 통해 이루어진다. 일반적인 경고방식은 지자체의 긴급권한으로 라디오, 전화 또는 공고문을 통하거나, 이례적인 하천흐름 상태에 대한 주민들의 자각을 통해 이루어지게 된다.

기술적인 분석을 통해 정의된 경고시간의 개념은 '위험상황의 자각 또는 위험상황의 통지를 받은 후 대피를 위해 가능한 시간'과 같다. 경고 시간의 단축을 위해서는 댐의 붕괴 특징, 감시 담당 분야에서 확보 가능한 시간, 위험상황 인식, 하류지역의 거주자들에 대한 경보발령 시작절차 등이 검토되어야 한다. 또한 통신수단의 두절 등과 같이 야간에 일어날 수 있는 불리한 요소들도 검토되어야 한다.

경고 발령을 인지할 수 없는 지역에 거주하는 주민들에게는 홍수 시작에 대한 자각이 경계 태세를 취할 수 있는 유일한 방법이다. 자각의 경우 경고시간의 개념은 위험한 홍수 수위에 도달했을 때 재빠르게 대처할 수 있는 시간이다.

예기치 못한 기상이변은 상대적으로 큰 위험 잠재성을 내포함으로 홍수로 의한 댐 붕괴 경고 시간이 다른 원인으로 인한 붕괴시보다 더 중요하게 된다. 그러나 연속적인 상황 또는 예측가능한 상황에서 발생한 홍수는 하류 잠재위험 지역의 주민들에게 경계태세를 취하게 할 수 있다.

적절하지 않은 경고의 사례는 다음과 같은 특징들을 포함한다. 첫째, 댐 소유자, 댐 감시자, 주민들에의해 관찰되지 않고 멀리 떨어진 지역에서 첫 발견이 이루어지는 경우, 둘째, 고지대로의 접근이 제한되어 있고 대피로가 침수 유역에서 일직선으로 위치한 좁고 한정된 유역의 경우, 셋째, 지진과 같은 천재지변에 댐의 붕괴가 발생해서 하류지역의 주민들 충분한 대피시간을 확보할 수 있는 경고가 이루어지지 못한 경우 등이다.

(2) 재산피해의 잠재성

재산피해는 주거지, 상업 및 제조 공장, 가축의 손실, 농업 지구, 농작물, 도로, 고속도

로와 같은 시설물에 대해 발생한 일시적이고 영구적인 경제손실 피해를 의미하며, 또한 경제적인 파탄과 공공시설의 피해도 포함한다. 잠재적인 재산피해와 경제손실을 추정은 재산가치에 대한 관련 손실의 규모를 적절하게 판단해서 실시되어야 한다.

(3) 환경의 피해

환경 피해에 대한 검토 필요성은 붕괴된 저수지물이 사람, 수중 생물 등에게 해로운 물질을 배출할 가능성이 있기 때문이다. 즉, 댐의 붕괴로 인한 유출수가 가정 또는 축산폐수 처리장, 산업폐수 처리장, 광산에서 발생하는 화학물질, 중금속이 유입될 수 있는 광산지구, 침전물로 인한 넓은 뻘층 또는 슬러지의 조성 환경 등과 접촉할 가능성이 있을 수 있다. 또한, 수중 생물들의 일시적인 피해도 고려해야 한다. 댐 붕괴로 인해 댐 하류의 하상에 침전 및 퇴적물이 발생하여 하천생태계를 붕괴시키고, 이로 인해 지역의 어업활동 등에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

다. 비상시 대피시설로 활용가능 한 시설물 파악

(1) 대피시설의 선정 기준

일반적으로 댐 하류지역에는 고지대가 존재하지 않는 것이 일반적이다. 따라서, 범람분석을 통해 침수범람도를 작성한 후 침수되지 않으면서 교통이 편리하고 접근하기 쉬운 고지대에 위치한 적절한 시설물을 선택해서 대피시설로 지정하는 것이 필요하다.

대피시설은 피해 이재민의 거주지역과 지역여건을 감안해서 지정되어야 하며, 수용면적은 1인 1평 이상을 원칙으로 하고 공공건물, 교회, 회관, 학교강당 등을 일반적으로 지정한다. 또한 화장실, 간이목욕실 등을 확보하거나 설치하고, 월동시에는 24시간 적절한 실내온도와 통풍이 유지될 수 있어야 하며, 철저한 화재예방이 이루어질 수 있는 곳이어야 한다. 이외에도 지자체별로 수용시설간의 많은 차이가 발생해서 해당 시설을 이용하는 주민들간에 위화감이 조성되지 않도록 주의해야 한다.

(2) 침수범람도의 작성

침수범람도에는 댐의 파괴로써 범람되는 지역들의 경계를 나타내야 한다. 침수범람도는 범람상황 또는 댐의 파괴에 의한 영향을 받는 지역 주민들에게 적시에 통보 및 대피명령을 내려야만 하는 정부와 지자체 비상사태 담당 관계자 및 댐 소유자들이 활용하게 된다. 즉, 침수범람도는 홍수범람 지역을 도식적으로 표현하고 위험지역 첨두홍수 발생시각을 판단하기 위한 도달시간을 제시함으로써 적정한 시점의 경고 및 대피를 용이하

게 한다.

침수범람도는 정부와 지자체 비상사태 기관과의 협의를 통해 댐 소유자에 의해 작성되어져야 한다. 이는 정부 기관들이 비상사태 발생 시 침수범람도에 따른 계획을 수립하고 대처하며, 또한 침수범람도가 정부(지자체)비상대책기관이 원하는 정보를 얻을 수 있는 중요한 자료이기 때문이다. 침수범람도 작성에 필요한 사항들은 다음과 같다.

첫째, 침수범람도 상의 유량 조건은 동일해야 한다. 비상대책 정부기관 및 관련 지자체에게 예기치 못한 댐 붕괴시와 예상되는 댐 붕괴 시의 댐 하류에서 최대 수위, 도달시간, 범람지역 등의 정보를 제공해야 한다.

둘째, 범람지역의 경계를 나타내는 방법을 설명하여야 한다. 최소 및 최고 홍수위 조건에 대한 지점별 유출량, 붕괴직전 수위에 도달가능한 시간, 댐 붕괴시 지점별 홍수파의 도달시간 등을 표 및 지도상에 나타내야 한다.

셋째, 침수범람도는 위험지역에 거주하고 있는 하류지역 주민들이 확인할 수 있도록 충분하게 작성되어야 한다. 침수범람도 상에는 붕괴 전 수위, 붕괴 후 수위, 중요한 지역에 위치한 시설물들의 침수상황 등이 제공되어야 한다.

넷째, 댐 붕괴에 의해 영향을 받는 지역은 예외적인 환경들까지 명확하게 설명되어야 한다. 관측된 수위를 비교하여 예상되는 홍수의 규모와 깊이에 관한 정보, 예상되는 위험 특별지역이 표시되어야 한다. 가능한 주요 도로, 철도와 같이 잘 알려진 지명이 그 지역의 이름 또는 경계로 사용되어야 한다.

다섯째, 널리 통용되는 지형 지도를 사용해야 한다. 모의 댐 붕괴를 통한 침수 예상 지역은 침수범람도에 도시되어야 한다. 범람된 지역에 도시된 선들은 각각의 두께와 형식으로 명확하게 도식화되어야 한다. 침수의 경계선이 다른 호수나 저수지 유역에 포함될 때, 침수로 인한 호수나 저수지의 수위상승을 나타낼 수 있어야한다. 이 상승된 수위로 인한 2차 댐의 붕괴가 예상될 경우에는 2차 댐의 붕괴로 인한 하류 침수지역도 동일한 방법으로 도시되어야 한다.

그 외에도 실제 침수 지역은 지도상에 나타난 지역과 다를지도 모르며, 실제 댐의 붕괴와 범람의 환경에 따라 달라질 수 있을 것이다. 댐 소유자는 지역 관할기관과 이런 문제들을 해결하기 위해 수시로 침수범람도를 검토하고, 하류 지역의 변화를 반영하기 위해 정기적으로 비상대처계획을 수정 및 보완해야 한다.

또한, 적절한 긴급대처담당 정부기관과 협의하여 관련된 다른 정보들도 비상대처계획에 포함시켜야 한다. 긴급대처와 관련된 정부기관의 주 관심사는 침수범람도의 비상대피소와 대피경로에 있기 때문이다.

라. 비상대처계획 수립관련 기관별 협조체제 구축방법

(1) 관련기관의 조사

댐 소유기관, 관련 지방자치단체(도/시/군), 경찰, 소방서, 군부대, 의료기관, 방송국, 기상청 등과 같은 관련기관 조사와 비상대처계획 작성, 승인 및 긴급대처시 지휘통솔 체계 정립을 위해 필요한 기관별 역할을 분석해서 적절한 협조체제를 구축하기 위한 사전 조사가 필요하다. 따라서, 지자체의 비상관리체계 및 비상사태 관리책임자, 소방서, 경찰서, 비상응급 의료부서, 방송국 등과 같은 기관들에 대한 조사가 이루어져야 한다.

그 외에도 비상사태 대처기관의 적절한 대처와 활동을 위해 폐쇄된 도로의 통지 및 우회방법, 보도기관과의 연락체계, 대피소와 보호소의 현황, 경찰과 응급의료부서의 인력과 시설을 고려한 대처 능력 등을 명확히 파악하여 협조체계의 구축에 만전을 기할 수 있도록 하여야 한다.

(2) 비상대처계획 작성, 승인 절차에 관련되는 기관간의 업무처리 체계구축

비상대처계획은 작성, 승인 및 배포된 후에 그 작업이 종료된다. 만약 그 계획이 실행되지 않거나 검증되는 등의 정기적인 관리가 없다면, 비상대처계획의 효율성을 잃게 되고 더 이상 실행될 수 없게될 것이다. 만약 비상사태 대처기관과 조직이 바뀐다면, 그 수행방법을 포함한 모든 것들이 그들의 역할과 책임에 맞지 않게 된다. 따라서, 관련 계획을 지속적으로 수정 및 보완하여 살아있는 자료로 유지해야 한다. 이를 위해 다음과 같은 내용의 업무처리 체계구축이 필수적이다.

(가) 훈련

댐 붕괴와 같은 비상사태는 흔한 일이 아니다. 따라서, 훈련과 실행은 신속한 조작과 적시 반응을 유지하는 것이 필요하다. 연습의 진행상황과 준비의 정도는 평상시 댐 소유자와 전 직원의 정기적인 비상사태 연습을 통해 평가된다.

정부 및 지자체 비상사태 담당관계자들은 댐 소유주와 전 직원에게 가능한 모든 훈련과 연습에 참여하도록 장려해야 한다.

댐 소유자는 비상사태에 대한 대비와 경감, 대처 능력을 증진시키고 비상대처계획이 실제 비상사태 상황에서 얼마나 효율적인지를 인지시키기 위해 정기적으로 비상대처계획을 훈련해야 한다. 또한, 정기적인 훈련은 최신의 비상대처계획을 확인하는 좋은 방법이다.

훈련프로그램에는 다섯 가지 종류가 있다. 모든 훈련프로그램이 다섯 가지 훈련을 모두 실행하는 것을 요구하지는 않는다. 따라서, 추후 복잡한 훈련을 통해 좀 더 나은 성

과를 얻기 위해 처음에는 쉬운 훈련 프로그램부터 수행할 것을 권장한다. 이는 비상사태 훈련이 좀 더 복잡해지고 발전되면서 실시되어야 한다는 것을 의미하기도 한다. 가장 간단한 단계에서 복잡한 단계까지 다섯 가지 훈련방법은 다음과 같다.

① 오리엔테이션 세미나

이 훈련은 비상대처계획의 규칙과 중요성을 상기시키고 댐 소유자와 정부 및 지자체 비상사태 관리기관이 비상대처계획과 연관된 포괄적인 훈련에 대해 논의하는 세미나이다. 세미나에서는 비상대처계획의 실제 연습을 거론해서는 안 된다. 대신에 그것은 비상대처계획 자체와 그 역할, 의무 및 관련 절차들과 친숙하게 하기 위한 모임이다.

② 연습

연습은 실제 훈련과 관련하여 가장 낮은 수준의 훈련이다. 그것은 하나의 비상사태 대처행동절차를 평가하고 발전시키고 기술을 유지하는 것이다. 연습의 한 예는 소유자의 대처반응에 따라 전화번호와 다른 통신수단의 타당성을 확인하기 위해 수행하는 실내훈련이다. 연습을 통해 진행중인 훈련의 필요한 부분에 대해 검토할 수 있다.

③ 탁상 훈련

탁상훈련은 연습보다 좀 더 높은 수준의 훈련이다. 탁상훈련은 회의실에서 댐 소유자와 정부 및 지자체 비상사태관리 관계자와의 만남을 의미한다. 형식은 일반적으로 최소한의 긴장 상태에서 비공식적으로 진행된다. 그 훈련은 참가자들에 의해 모의실험을 통한 사건의 설명으로 시작하여 비상대처계획과 대처방안의 절차를 평가하고 서로간의 조화와 책임의 관계에 대한 논의가 진행된다.

④ 실제 훈련

실제 훈련은 댐 소유자 및 정부와 지자체 비상사태담당기관의 관련 전 직원이 참여하면서, 댐 하류지역 주민들의 모의 대피훈련이 포함되지 않은 가장 높은 수준의 훈련이다. 이것은 실제 비상사태에서 이루어지는 댐 소유주와 정부 및 지자체 비상사태 담당기관 전 직원의 다양한 행동을 포함한다. 실용훈련은 긴장으로 유발되는 상황에서 시간의 제한을 통해 댐 붕괴와 다른 특별한 상황에 대한 가정을 두고 진행된다. 이 훈련은 내부 능력과 댐 소유자의 대처능력, 그리고 비상사태 담당관계자의 직책에

따라 행해지는 비상대처계획 운용의 적합성을 평가하는 것을 의미하며, 댐 소유자와 비상사태담당 직원간의 조화능력을 평가하는 것을 포함한다.

⑤ 대규모 훈련

대규모 훈련은 가장 복잡한 훈련이다. 이 훈련은 실제 인력과 자원을 동원하여 긴박한 상황에서 비상대처계획(댐 발주자와 정부 및 지자체 비상사태관리기관 모두)의 실질적인 운용능력을 평가한다. 이것은 적절한 대처능력을 파악하기 위하여 업무분야의 이동과 재배치를 포함한다. 참가자들은 가능한 가장 높은 수준의 모의상황을 구현한 동적인 환경에서 실제적으로 그들의 역할을 민첩하게 행동해야 한다. 만약 사전에 이미 공지되었다면, 위험지역 거주자들의 실제 대피훈련도 실시될 수 있을 것이다.

이러한 광범위한 비상대처계획 훈련은 댐 붕괴를 가정하고 시간제한을 통한 긴박한 상황에서, 댐 소유자와 정부 및 지자체 비상사태 당국 전 직원들 간의 상호작용과 참여를 포함한 좀 더 깊이 있는 비상대처계획 훈련이다. 실제 훈련과 대규모 훈련은 광범위한 훈련임을 인지해야 한다. 이러한 두 가지 형태의 훈련의 차이점은 대규모 훈련은 실제 업무의 이동과 인력 동원을 실시하고 실용 훈련은 현장의 행동들을 모의실험을 통해 실시한다는 것이다. 이 광범위한 훈련은 항시준비태세의 검증 및 붕괴, 오작동, 파괴와 같은 비상사태시에 필수적인 훈련과 연습을 제공한다.

모든 댐 소유자를 위하여, 위에서 언급한 오리엔테이션 세미나, 연습, 탁상훈련, 실제훈련은 비상대처계획 훈련 프로그램 내에서 가장 강조되는 것이다. 댐 소유자는 적어도 5년에 한번은 실제훈련을 실행하도록 권장된다. 탁상훈련은 평소에 자주 행해져야한다.

대규모 훈련은 선택적인 비상사태 훈련 활동으로 검토되어야 하고 실제 업무이동과 재배치를 평가할 특별한 필요가 있을 시에 행해져야 한다. 대규모 훈련이 행해질 때, 안전은 광범위한 실제행동 때문에 중요한 사항이다. 만약 댐 소유자가 대규모 훈련을 행하고자 한다면, 관련사항은 대규모 훈련 실행 이전에 확인될 수 있도록 해야 하고 모든 훈련 목록에 대해 실시될 수 있도록 해야 한다. 또한 대규모 훈련이 실행되기 전에 실제훈련이 적어도 한번은 실시해야 한다. 실제훈련과 대규모 훈련의 시행은 비용을 줄이고 비상사태기관의 자원을 공유하기 위해 예정된 다른 훈련과 조정 및 협의하여야 한다.

비상사태 대처훈련과 장비시험은 구두나 보고서로 검토되어야 하고, 비상대처계획은 필요시 재검토 및 수정되어야 한다. 비상대처계획의 평가는 각 분야에 걸쳐 즉각적인 비상사태에 대한 훈련과 대처행동에 의해 이루어져야 한다. 그 평가는 기존의 절차를

수행하는 개인적인 행동이 아니라 비상대처계획에 의한 절차와 다른 사항들에 주안점을 두어야 한다.

훈련을 포함한 모든 참여자들의 대처행동은 이미 숙지되어있어야 한다. 훈련의 훈련이나 실제상황에서의 전·중·후 상황과 각각의 참여기관의 대처행동, 비상사태에 대한 인식과 비상대처계획이 수행되어지는 시간을 논의하고 검토되어야 한다.

평가의 목적은 통지목록의 유효기간이 지난 전화번호, 부정확한 정보를 지닌 범람유역지도와 절차, 우선사항, 할당된 책임, 자원, 장비 및 수행인원의 수준과 같은 비상대처계획의 능력과 부족함을 확인하는 것이다. 평가가 완료된 후에 비상대처계획은 재검토하고 승인되어야 하며, 재검토사항은 각 분야(부서)에 배포되어야 한다.

(나) 정기적인 수정 및 보완

정기적인 훈련을 통해 비상대처계획의 능률과 효율성, 수행에 있어서의 시간제한 등과 같은 사항을 전반적으로 검토 및 평가하고, 취약지역에 대한 대처방안을 향상시킬 수 있어야 한다.

비상대처계획 담당기관 해당 임무수행자의 교체와 연락망의 변경을 포함한 다양한 변화가 발생하기 때문에 비상대처계획의 재검토와 최신화가 빈번히 요구되어 진다. 따라서, 통지순서도를 포함한 전화번호와 수행인원의 재검토는 주기적으로 이루어져야 한다. 또한, 댐 혹은 홍수계획의 어떠한 변화라도 발생한다면 침수범람도상의 정보에 영향을 줄 수도 있기 때문에 비상대처계획의 재검토가 실시되어야 한다.

관련 상황이나 계획이 재검토되어 수정 및 보완된 비상대처계획은 모든 참여기관에 배포되어야 한다. 비상대처계획의 재검토를 통한 수정 및 보완은 즉각적으로 이루어져야 하며, 재작성된 비상대처계획은 적어도 5년마다 모든 관계기관에 배포되어야 한다.

(3) 긴급대처시 지휘체계 및 기관별 책임과 임무, 협조체계의 주요 원칙 설정

(가) 훈련을 통한 업무체계 구축방안 검토

비상대처계획의 작성과 승인을 위해서 가장 효율적인 방법은 광범위한 훈련을 통해 기관들끼리의 조율이 이루어지는 것이다. 사전훈련이 실시된다면 다음과 같은 목적의 달성이 가능할 것이다.

첫째, 비상대처계획에 수록된 내부행동, 외부통지절차 및 침수범람도 등과 같은 정보의 타당성과 개선사항의 파악, 둘째, 댐 소유자와 정부 및 지자체기관이 필요한 정보와 수행인원의 수정 및 보완여부 분석, 셋째, 댐 소유자와 정부 및 지방기관 사이의 협조

능력을 향상시키는 것으로 실제 비상사태시 성공적인 대처를 위해 각 분야에서 필수적인 책임사항들의 조정, 넷째, 댐 소유자와 정부 및 지방 비상사태 담당자들의 규정과 책임을 명백히 하는 것, 다섯째, 댐 붕괴 혹은 비상사태상황에 대해 대처하는 사람들의 수행능력을 향상시키는 것, 마지막으로 수립된 비상대처계획이 공식적인 승인을 얻는 것이다.

이와 같은 훈련을 통해 각 기관들간의 업무체계 구축이 이루어져야 하며, 만약 사전훈련의 실시가 어려운 경우에는 위의 여섯 가지 항목들을 종합적으로 고려하여 기관들의 업무체계 구축을 실시해야 한다.

(나) 기본 고려사항

비상대처계획의 작성은 댐의 붕괴로 인한 영향, 방대한 유출로 인한 홍수, 혹은 경보, 대피 및 홍수에 대한 법률적인 책임을 지는 모든 관할지역과 정부기관의 조정에 의해 이루어져야 하며, 각 관계기관의 능력과 책임에 대한 실질적인 고려를 통해 구체적으로 수립되어야 한다.

주민들의 대피와 경고명령을 담당하고 있는 정부와 지자체 비상사태 담당자들의 적절한 협력은 그들이 담당해야할 아주 중요한 임무이며, 비상대처계획 수립과정에 참여하여 비상대처계획의 신뢰성과 구성요소의 정확성을 향상시켜야 한다. 관계 담당자들은 업무에 대한 협의를 통해 지원인력, 통신의 대체방안과 야간, 휴일, 주말 등의 대처방안 등을 검토하고 적절성을 판단하게 된다.

따라서, 댐 비상사태 발생시 이행되어야 하는 댐 소유자의 직무와 책임, 그리고 비상사태담당자들의 조치는 최대한의 조화가 필수적이다. 특히, 비상대처계획 수행과정을 용이하게 하기 위해서 댐 소유자는 위험지역 주민들의 경보와 대피 책임을 가진 지자체 비상사태 담당자들과 함께 대처행동에 대한 협력방안을 구축해야 한다. 이러한 과정은 다양한 기관들에 협력속에 사건의 재발방지, 대처, 예방에 도움을 줄 수 있다.

(다) 긴급대처계획 수행에 따른 책임

긴급대처계획은 댐의 관리와 운영에 책임을 지는 인원 혹은 기관과 비상대처계획의 다양한 수행과정에 책임을 지는 인원 혹은 단체를 명확히 해야 하며, 몇 가지 특별한 책임들은 다음과 같은 것들이 있다.

① 댐 소유자의 책임

비상대처계획에 댐 소유자와 댐 소유자가 위임한 책임자의 임무는 명확히 명시되어

야 한다. 운영자들은 비상대처계획의 중요성과 왜 비상대처계획이 필요한지에 대해 조언하며, 비상대처계획에에는 운영자의 임무가 명시되어야 한다. 전통적인 통신방법에 따라 접촉하고자 하는 이들과는 비상사태상황에 대한 전달체계가 명확하게 구축되어야 한다.

비상대처계획 통지과정을 수행하는 중에 운영자가 취해야 할 특수한 행동들이 포함되어야 한다. 이는 피할 수 없는 연속적인 홍수상황이 발생한 경우에 적절하게 여수로 문을 개방하거나 물의 유입량을 조절하여 적절히 대응하는 것을 의미하며, 예측된 비상사태 동안의 운영상 지침도 명시되어야 한다.

명령체계에 대해서도 명시되어야 한다. 통지를 받아야 하는 관계자와 댐 소유자, 통지의 우선순위가 결정되어 있어야 한다. 가능한 댐 소유자의 직원 중 감독관에게 직접 통지하는 것이 가장 바람직하다. 비상사태 상황의 중대성을 지연, 완화, 경감시킬 수 있는 행동에 대해서도 준비할 필요가 있다.

이렇게 비상대처계획에 명시된 책임은 조직간의 능력과 책임의 전체적인 상황이 확실히 관리에 있어 일정수준으로 조정되어 있어야 한다. 비상대처계획은 댐의 붕괴, 사용 중의 많은 방출, 경고나 피난의 법률상 책임을 가지고 있는 것에 영향을 받는 다른 조직간의 조화와 협의의 결과로서 발전을 이루어야 한다.

② 통지에 관한 책임

지자체 관계자들에게 통지를 해야 하는 책임을 가진 직원들은 비상대처계획에 정확히 명시되어 있어야 한다. 그러나, 댐의 붕괴나 비상사태 발생시에는 통지에 관한 책임과 권한은 댐 운영자나 지자체 관계자에게 위임될 수도 있으며, 이런 상황에 대해서 비상대처계획에 수록되어야 한다.

비상대처계획 수행성공에 있어 비상사태에 대한 정보를 정확하게 적시에 유포하는 것은 매우 중요하다. 비상상태 전반에 걸쳐 주기적으로 매체나 공공에게 정보를 유포해야 하는 책임을 진 사람이 명시되어 있어야 한다. 만약 상황이 유동적일 경우에는 모든 언론매체에 유포될 정보에 대해서 확인해야 한다.

댐 소유자는 댐에 발생한 문제점 등과 같은 댐의 특별정보를 대중매체에 통지하는 과정을 정확히 해야 하며, 이를 통해 잘못된 정보와 소문의 유포 가능성을 최소화할 수 있다. 통지흐름도상에 책임을 가지는 기관을 표시하는 것은 각 관계기관들의 경보발표에 대한 정확성을 향상시키는데 도움이 될 것이다.

지자체 담당기관은 일반적으로 경보와 대피활동을 위하여 주요통제기능을 수행할 '

비상사태대처기구'나 혹은 '사고통제시스템'을 설립할 것이다. 이러한 기구의 유용성은 지자체 관계자들과의 협의를 통해 결정해야 한다. 댐 전문가와 공공정보 담당자 및 비상사태대처기구 관계자들 간의 적절한 조화와 대화는 비상대처계획의 성공적인 수행에 결정적인 요인이 된다. 특히, 비상대처계획에 대한 훈련을 통해 전반적인 검증이 이루어지다면, 자연스러운 상호 협력에 도움이 될 것이다.

③ 대피에 관한 책임

경보와 대피는 법적인 의무를 가지고 있는 지자체 당국의 책임이다. 일반적으로 댐 소유자는 홍수가 예상되거나 댐 붕괴가 임박했을 때, 비상사태관리 관계자에게 이를 알리는 책임을 가지고 있다.

댐 소유자는 정부기관을 대신해서 주민에 대한 경고나 대피를 수행할 수 없다. 그러나 경고나 대피가 충분치 못하고 댐 하류지역에 거주자가 남아 있을 긴급한 경우에는 임시적으로 그 역할을 대신할 수도 있다. 이 같은 경우에 댐 소유자는 그 지역 주민들에게 직접 경보 등의 조치를 해야하며, 비상사태상황이 더 악화되기 이전에 관련기관 관계자와의 조정도 필요하다.

④ 기간, 안전, 종료 및 추적에 관한 책임

주민들은 댐의 현재 상황에 대해 감시하고, 비상사태의 시작과 종료 기간동안에 댐의 상황을 알릴 의무가 있는 지자체 관계자들의 행동에 대해 평가해야 한다. 또한, 비상사태 중에 댐에 대해 조치될 수 있는 안전 규정이 주민들에게 설명되어야 한다.

비상사태가 종료되었을 경우에는 이른 주민들에게 알릴 의무가 있는데, 관련 지자체 비상사태 관계자들은 재해대처활동의 종료에 대한 통지 의무가 있기 때문이다.

비상사태의 추적평가는 모든 관계자가 참여한 가운데 종합적으로 이루어져야 하며, 평가 결과는 보고서로 제출되어야 한다.

⑤ 비상대처계획 조정자의 책임

댐 소유자는 비상대처계획 재검토의 준비, 연습 및 관련 세미나의 실시, 비상대처계획 훈련 조정과 같은 비상대처계획과 관련된 모든 활동에 책임을 지는 조정자를 명확히 해야 한다. 따라서, 긴급대처계획에 대해 의문사항이 있다면 관련 조정자에게 문의할 수 있도록 해야 한다.

12.3 구조적 대책

12.3.1 예당지 증고 검토

예당지는 당초 농업용수 공급을 목적으로 건설되었기 때문에 이수용량의 일부를 우기에만 한시적으로 홍수조절용량으로 활용하는 현 운영체계에서 대규모 홍수에 대비한 홍수조절 능력을 갖추었다고 할 수 없으며, 오히려 무한천 지방2급 구간의 하천정비기본계획 및 '11.2.3 예당지'에서 검토한 바와 같이 장기간의 호우로 인해 홍수조절공간이 만수된 상태에서 첨두홍수가 유입하는 형태의 홍수시에는 자체의 안전마저 담보할 수 없는 상황이 발생할 수 있는 것으로 평가되었다.

따라서, 예당지를 증고하여 자체의 안전성을 확보하고, 확장된 홍수조절공간을 활용하여 하류지역의 홍수부담을 저감하는 방안에 대해 예산군 등의 해당 지역을 중심으로 논의가 있어 왔다. 그러나 예당지 상류 지역의 지형특성을 고려할 때 예당지의 증고로 인한 수몰면적의 증가 및 주변 도로의 이설에 소요되는 비용이 막대할 것으로 예상할 뿐 구체적인 타당성 조사는 시행된바 없다.

본 절에서는 예당지의 안전성 증대와 홍수조절능력 보강방안으로서 가장 확실한 효과가 기대되는 예당지 증고의 효과와 그에 수반되는 소요 비용을 개략적으로 산정하여 비교함으로써 홍수방어대안으로써 예당지 증고의 타당성을 검토하고자 한다.

가. 소요비용

예당지 증고에 따른 소요비용은 편입지역의 보상비, 도로의 이설 또는 승상비 및 예당지 자체의 시설보강에 소요되는 공사비로 구분하여 산정하였다. 예당지 증고에 소요되는 비용 중 보상비는 '농업생산기반정비사업 계획설계기준(필댐편), 2002, 농림부'에 의하면 홍수위를 기준으로 한다고 되어 있으나, 예당지 증고 및 계획홍수위 상향조정에 따른 추가 침수면적 산정의 기준이 되는 현재의 보상선이 명확하지 않고, 금회 산정한 예당지의 빈도별 홍수위가 현재의 운영기준과 방류시설을 기준으로 산정한 관계로 증고 이후의 변화를 반영하지 못하는 한계가 있다. 따라서 예당지 증고에 따른 편입면적은 제정고를 기준으로 개략적으로 산정하였으며, 도로이설 및 승상 연장 산정에 있어서도 이 기준을 적용하였다.

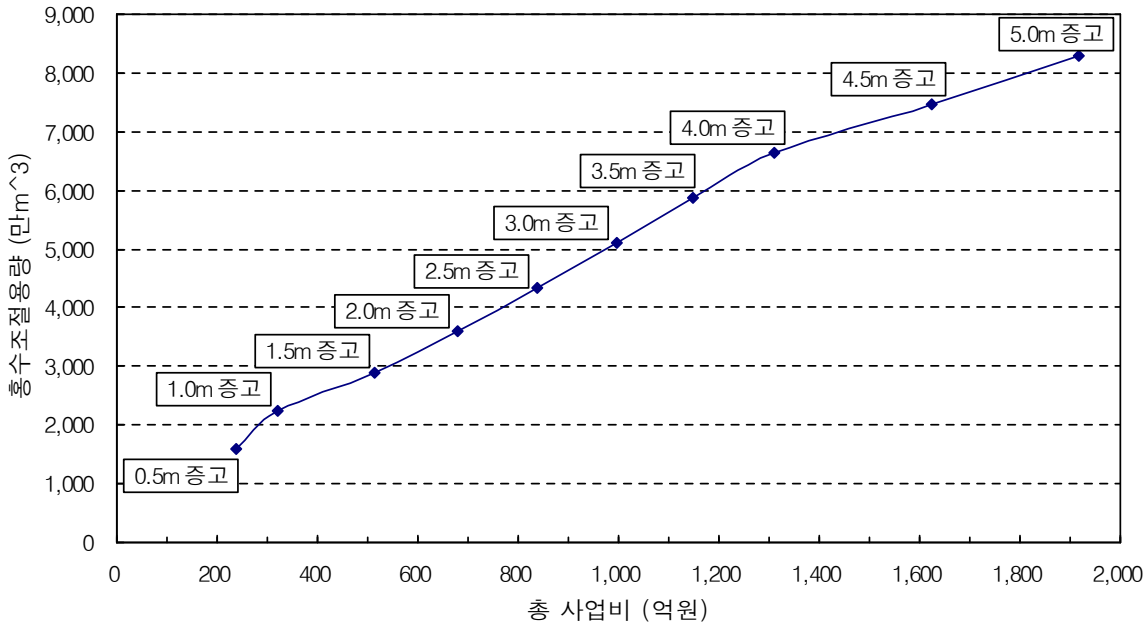
이에 비해 저류공간의 배분 기준으로는 현재의 제체 정단고 EL. 25.0m와 위험수위 EL. 23.0m 및 계획홍수위 EL. 22.5m의 관계를 유지하는 것으로 하여 계획제정고 -2.0m를 위험수위, 계획제정고 -2.5m를 계획홍수위로 가정하였다. 이상의 기준을 적용하여 예

당지 증고에 따른 사업물량을 개략적으로 추정한 결과 및 이 물량에 의해 산정한 소요 사업비는 <표 12.5>에 증고 높이별로 수록하였다.

그러나 금회 산정한 예당지 증고규모별 소요사업비는 <표 12.5>의 사업물량을 기준으로 개략 추정한 비용으로서 예당지의 계획홍수위 상승에 따른 배수영향 구간의 제방 보강 및 배수시설 개량 등의 간접비용은 제외한 금액이다. 따라서, <표 12.5>의 결과는 예당지 증고의 사업규모를 가늠하는 기준으로서만 참고하여야 할 것이다.

<표 12.5> 예당지 증고에 따른 사업물량 및 소요 사업비 추정

증고높이 (m)	사업물량		사업비 (백만원)					홍수조절용량 (천㎥)	조절용량 단위비용 (원/㎥)
	편입면적 (ha)	도로연장 (m)	예당지 보강	도로 숭상	기타	보상비	계		
0.5	39.2	-	16,953	-	680	6,072	23,705	15,980	1,483
1.0	78.5	-	19,065	-	785	12,144	31,994	22,323	1,433
1.5	125.7	4,300	21,497	6,184	4,025	19,649	51,355	29,038	1,769
2.0	173.0	7,800	23,307	11,034	6,595	27,154	68,090	36,114	1,885
2.5	228.6	8,800	25,508	12,464	7,437	38,334	83,743	43,428	1,928
3.0	284.2	10,500	26,595	14,797	8,738	49,515	99,645	50,905	1,957
3.5	340.6	11,600	28,666	16,324	9,635	60,367	114,992	58,578	1,963
4.0	397.0	13,100	30,748	18,274	10,751	71,219	130,992	66,467	1,971
4.5	527.8	14,800	32,834	20,645	12,083	96,897	162,459	74,592	2,178
5.0	658.6	15,500	34,928	21,632	12,716	122,575	191,851	82,975	2,312



<그림 12.12> 증고 규모별 사업비 변화 비교

나. 사업효과

예당지 증고의 효과는 홍수조절능력 향상에 따른 자체안정성 제고와 하류부의 홍수량 감소로 나타난다. 물론 제체 증고의 결과 이수용량의 추가확보도 가능하지만, 근래 들어 예당지의 몽리면적 증가가 거의 없으며, 향후에도 증가가 예상되지 않아 추가적인 용수 소요 역시 없다고 볼 수 있고, 예당지 증고의 목적이 자체의 안정성 제고와 홍수조절능력의 증대에 있는 만큼 추가로 확보된 저류공간이 모두 홍수조절용 활용된다고 보고 사업효과를 치수측면에서만 검토 하였다.

금회 실시한 예당지 내용적 산정결과에 의하면 현 홍수조절용량은 10,135천㎥이고, 이 용량을 기준으로 현 예당지 운영체계에 따라 산정한 100년 빈도 홍수시 첨두방류량은 1,953㎥/sec로 '94년 기본계획(보완) 성과에 비해 663㎥/sec이 증가하였다.

그러나 예당지를 증고하여 홍수조절능력을 증대할 경우 1.5m만 증고 하여도 하류 구간의 계획홍수량 산정의 기준이 되는 100년 빈도 홍수시의 첨두방류량이 '94년 기본계획(보완)시 산정한 1,290㎥/sec 이하로 감소하여 하류구간의 계획홍수량을 유지할 수 있게 되며, 2.0m를 증고할 경우 예비방류량의 상한치를 2000년 이전과 같이 200㎥/sec로 하여도 동일한 효과를 기대할 수 있다.

<표 12.6> 홍수조절용량별 첨두방류량 비교 (100년 빈도 홍수 기준)

증고규모	홍수조절용량 (천㎥)	첨두방류량 (㎥/sec)		비 고
		예비방류 최대 200㎥/sec	예비방류 최대 677㎥/sec	
-	10,135	-	1,953	현 상태
1.0m	22,323	1,959	1,467	
1.5m	29,038	1,425	1,177	
2.0m	36,114	1,147	941	
2.5m	43,428	741	925	

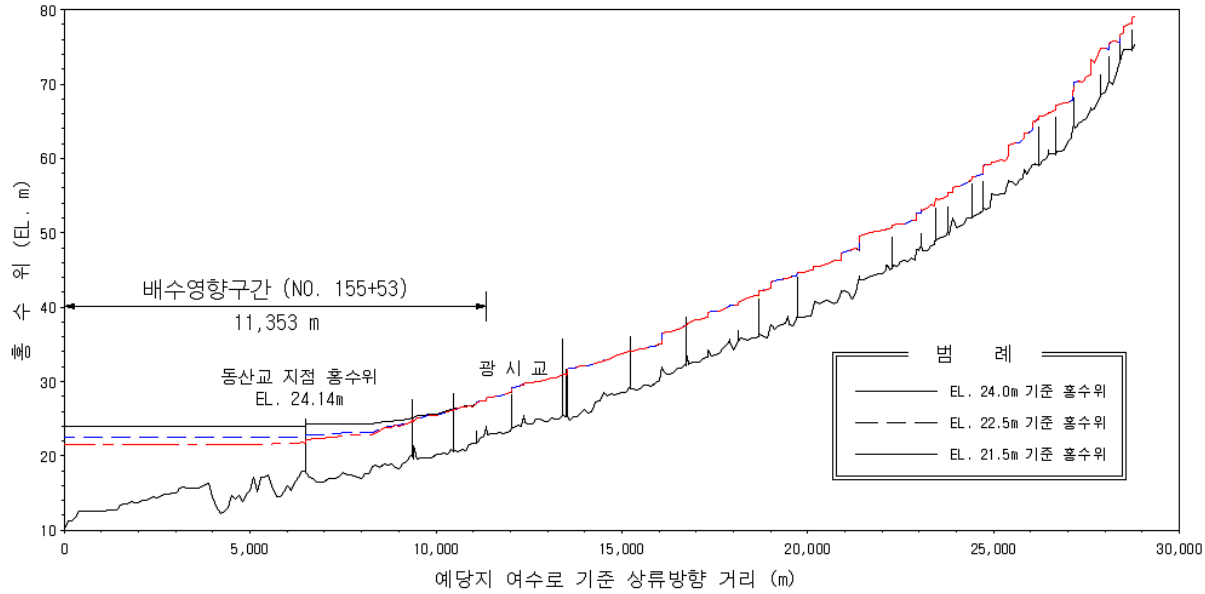
다. 예당지 증고 타당성 검토

예당지 증고의 규모는 사업비 증가에 따라 예상되는 홍수조절용량의 변화를 비교하여 가장 효율적으로 홍수조절용량을 확보할 수 있는 규모를 선택하거나 예당지의 첨두방류량을 어느 규모로 유지하는가 하는 치수적인 기준에 의해 결정하여야 할 것이다. 이러한 기준 중 전자의 기준에 따를 경우, 1.0m를 증고 하는 것이 홍수조절용량 대비 소요비용이 최소가 되어 경제적으로 가장 효율적인 증고 규모가 될 것이다. 그러나 이 경우 예당지 하류 구간의 현 계획홍수량을 유지하지 못하게 되며, 무엇보다도 위험수위가

EL. 24.0m에 불과하여 '89년 무한천 지방2급 구간의 하천정비기본계획시 산정한 30년 빈도 이상의 첨두홍수위에 미달하는 문제가 발생한다.

따라서, 최소 1.5m 이상을 증고하여 위험수위를 EL. 24.5m 이상으로 확보하여야만 예당지의 안전성을 제고한다고는 목적을 만족할 수 있으며, 이 경우 첨두방류량이 현 운영 기준으로 1,177㎥/sec가 되어 하류 구간의 계획홍수량을 유지할 수 있게 된다.

예당지를 1.5m 증고하여 계획홍수위를 EL. 24.0m로 상향조정 할 경우와 현 계획홍수위인 EL. 22.5m 및 홍수기 제한수위인 EL. 21.5m를 기준으로 100년 빈도 홍수시의 예당지 상류구간의 홍수위를 산정하여 비교한 결과 계획홍수위 상향으로 인한 영향은 예당지 여수로 지점에서 상류로 약 11.35km 까지 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그러나 무한천 지방하천 구간의 홍수위 산정의 기준이 되는 동산교 지점의 홍수위가 현 100년 빈도 기점홍수위인 EL. 24.36m 뿐만 아니라, 무한천 지방 2급 구간의 계획빈도인 50년 빈도 기점홍수위 EL. 24.16m 보다는 낮은 EL. 24.14m가 되어 상류 구간의 계획홍수위에 미치는 영향은 거는 것으로 분석되었다.



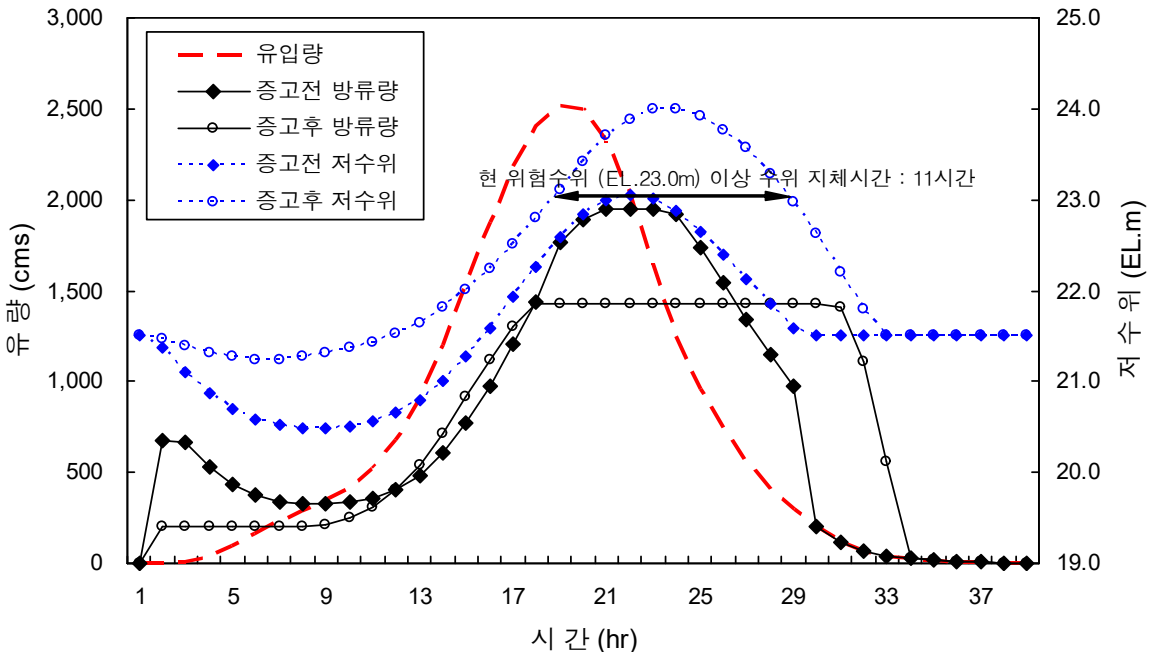
<그림 12.13> 예당지 증고에 의한 계획홍수위 상향조정 영향 분석

이상의 분석 결과 예당지의 적정 증고 규모를 1.5m로 채택하였으며, 이 경우 사업비는 보상비 포함 약 513억원으로 예상된다. 예당지 증고에 따라 추가로 확보되는 공간은 치수전용 댐과 같이 홍수조절 전용공간으로만 활용하는 것으로 하고 이수용량은 현재와 같이 운용하여 추가적인 수몰지가 발생하지 않게 함으로써 사업시행에 따른 예당지 상류 지역의 손실이 발생하지 않도록 하여야 할 것이다. 즉, 예당지의 운용을 현재와 동일하게 유지함으로써 평상시 상시만수위는 EL. 22.5m, 홍수시 만수위는 EL. 21.5m를 유지

하고 증고에 의해 추가로 확보된 공간은 홍수조절용으로만 운용하여 대규모 홍수시에만 계획홍수위인 EL. 24.0m 이내에서 저수위를 유지하면 일시적인 침수지역이 발생할 뿐 본 사업의 시행으로 상시 수몰되는 지역이 발생하지 않게 되어 예당지 주변 농경지 손실과 각종 시설물의 이설 및 숭상 부담을 최소화 할 수 있을 것이다.

본 사업의 결과 100년 빈도 홍수시 현 예당지 조건에서 예상되는 첨두홍수위인 EL. 23.06m 이상의 홍수위가 지속되는 시간은 11시간 정도로 추정되며, 이러한 수리특성을 감안 할 때 예당지 증고에 의해 추가로 확보된 공간을 활용하여 홍수를 조절하는 방식은 저류에 의한 것이라고 하기 보다는 홍수를 하류 하도의 통수능에 해당하는 수준으로 지체유출 시키는 것이 더 적합한 표현일 것이다.

특히 이 방안은 예당지의 만수면적 10.88㎢를 활용하여 홍수조절공간을 확보하기 때문에 홍수저류시설을 신규로 설치하는데 비해 수몰, 침수 등의 영향면적 최소화가 가능하여 예당지의 안전을 제고하면서 하류지역의 홍수부담을 저감시키는데 가장 효과적이고 경제적인 방안으로 평가된다.



<그림 12.14> 예당지 증고 전·후의 방류특성 비교

라. 예당지 증고에 따른 대책

예당지를 증고 하여도 상시만수위를 현재와 같이 유지하여 추가적인 수몰지역이 발생하지 않도록 함으로써 예당지 주변지역의 손실을 최소화 하며, '89년에 수립된 무한천 지방2급 구간의 하천정비기본계획에 산정한 100년 빈도 첨두홍수위 이상으로 위험수위를 상향조정하되, 계획홍수위는 무한천 지방2급 구간의 기점홍수위를 감안하여 EL.

24.0m로 설정함으로써 상류 지역의 계획홍수위에 미치는 영향이 없도록 계획하였다.

그러나 대규모 홍수의 발생으로 예당지의 첨두홍수위가 계획홍수위인 EL. 24.0m 까지 상승할 경우 예당지의 기존 보상지역외 지역에서 일시적인 침수가 발생할 수 있어 이에 대한 대책을 수립하였다.

예당지 증고 및 계획홍수위 상향조정에 따른 영향지역을 파악하기 위해 1/5,000 항측도를 기반으로 GIS 기법을 활용하여 계획홍수위 EL. 24.0m를 기준으로 예상침수지역을 구분한 결과 <그림 12.15>와 같이 예당지 주변 저지대 및 무한천 지방2급 구간의 무제부 지역 약 70ha가 이 범위에 포함되며 이 중 답작지의 면적은 47.8ha인 것으로 분석되었다. 현재 예당지 주변은 지방도 616호선이 둘러싸고 있어 저수지와 경계를 형성하고 있으며, 대부분의 마을과 시설이 지방도 616호선을 경계로 저수지 반대편에 위치하고 있다. 따라서 예상침수지역은 저수지와 지방도 616호선 사이에 위치한 기존 수몰보상지역 배후에 위치한 답작지가 대부분이며, 예당지 축조 이전에 계곡이었던 지형특성상 무한천 하류부 좌안측에 위치한 관음리 지역을 제외하면 농경지가 계단식으로 형성되어 있다.

이 지역을 보호하기 위해 제방을 축조할 경우 내수침수의 우려가 있고, 과거 예당지 운영기록에 의하면 예당지의 첨두홍수위가 위험수위인 EL. 23.0m를 초과한 경우가 '95년에 단 한번 기록될 정도로 예상침수빈도가 크지 않아 된 제방축조를 지양하고, 예상침수지역을 매입·보상하되 기존의 예당지 수몰보상지역과 동일하게 현재의 토지이용형태를 유지할 수 있도록 하였다. 그러나 이러한 분석이 1/5,000 항측도를 기반으로 이루어졌기 때문에 국지적인 저지대 도로의 침수 및 마을에서 이격되어 저지대에 위치한 독립농가 등의 파악이 누락될 우려가 있음으로 사업물량 및 소요사업비는 전술한 바와 같이 예당지의 계획제정고를 기준으로 산출하여 향후 사업시행에 따르는 변동요인을 수용할 수 있도록 하였다.

<표 12.7> 예당지 증고에 따른 편입지역 면적

단위 : ha

구 분	답	전	습지, 기타	임목	주거 및 상·공업	포장길	계
계획홍수위 기준 (EL. 24.0m)	47.8	5.5	15.9	0.1	0.3	0.3	69.9
계획제정고 기준 (EL. 26.5m)	81.9	7.3	19	4.9	8.4	4.2	125.7

또한 예당지 상류에 위치한 무한천 지방2급 구간 및 신양천, 화산천 등의 주요 하천의 하천정비기본계획이 수립된지 10년 이상이 경과하였거나, 기본계획이 미수립 되어 체계적인 정비가 필요한 것으로 판단되어 무한천 지방2급 구간을 포함한 예당지 상하류

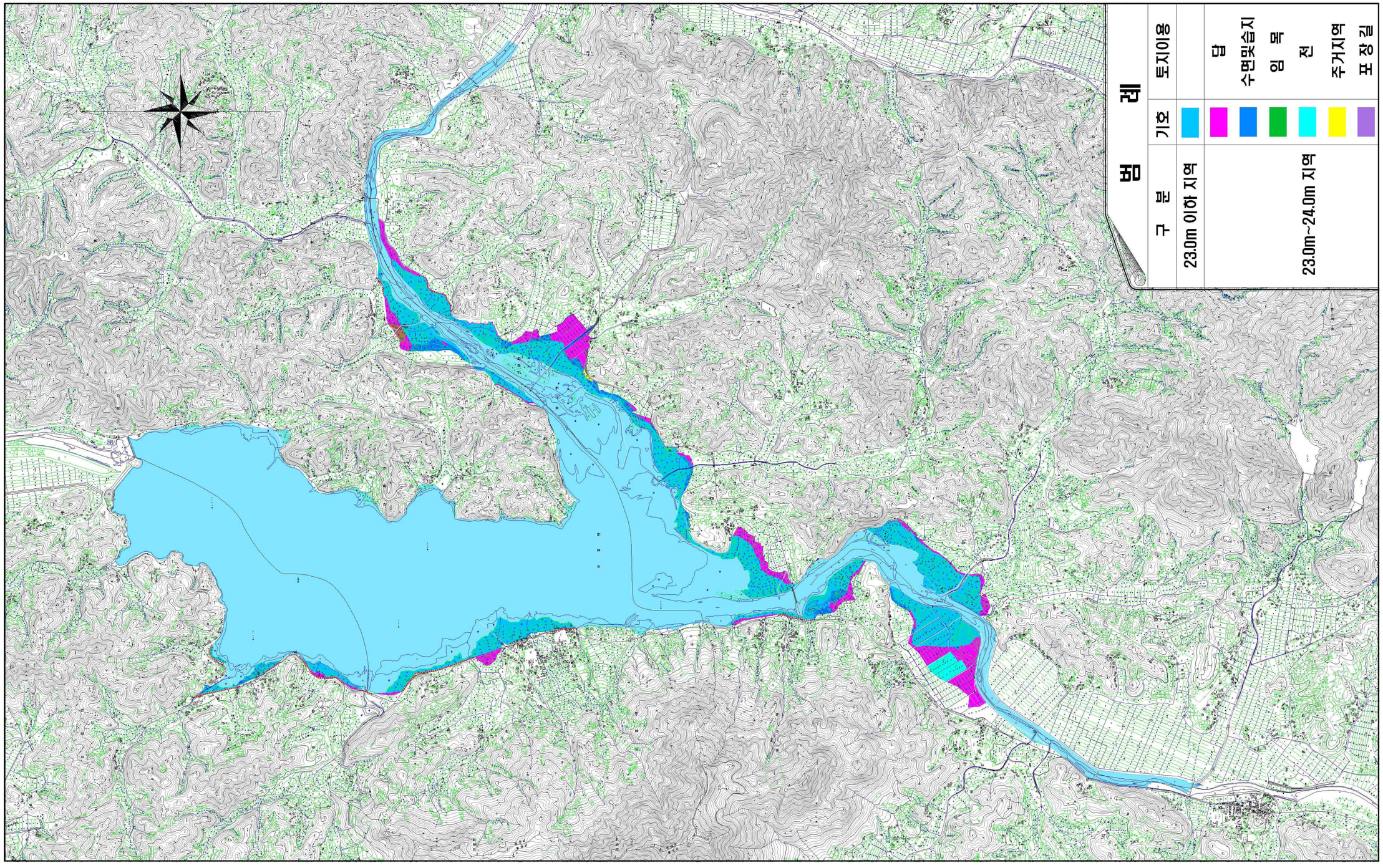
지역 8개 하천에 대한 종·횡단 측량을 실시하고, 홍수량과 홍수위를 산정한 후 본 계획에서 설정한 치수안전도를 기준으로 기존 제방 및 주요 하천구조물의 능력검토를 실시하여 정비계획을 수립하였다. 아울러 광시면 지역은 예당지 증고에 의한 배수영향 구간에서 약 1km 상류에 위치하고 있지만 지방도 616호선과 무한천 사이에 위치한 일부 지역이 저지대인 관계로 하천의 홍수위가 상승하면 내수배제 불능 또는 하천으로 부터의 역류로 인해 침수피해가 빈발하는 지역이므로 이에 대한 대책으로서 배수시설을 정비하고, 집수정과 수중펌프를 활용한 간이배수펌프장을 설치하는 방안을 제시하였다.

이상의 내용은 별권보고서 '삽교천수계 지방하천정비계획 검토 보고서'에 수록하여 향후 하천개수사업의 시행의 필요성 파악과 그 규모를 추정하는데 기본자료로 활용할 수 있도록 하였다.

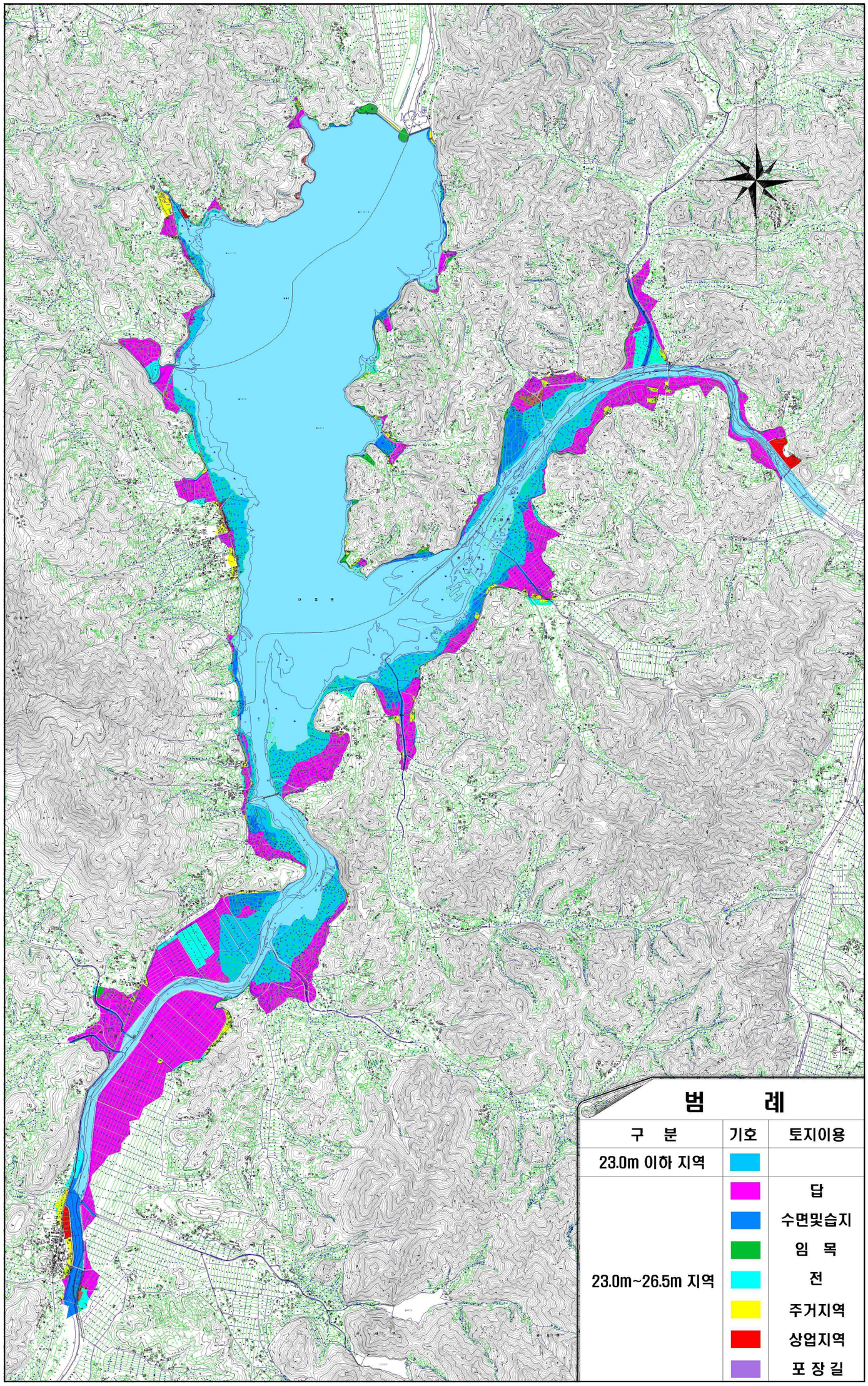
<표 12.8> 삽교천수계 지방하천의 정비계획 수립 결과

하 천 명	치수안전도 (홍수빈도)	축제·보축 (km)	구조물 (개소)	사업비 (백만원)	사업효과	
					농경지(ha)	건물(동)
삽교천(지방2급)	80년	13.23	8	32,767	229.68	124
곡교천(지방1급)	80년	5.75	-	8,035	100.76	44
곡교천(지방2급)	50년	0.21	1	216	2.55	1
무 한 천	50년	31.21	18	37,821	380.81	193
신 양 천	50년	21.13	9	24,815	205.63	72
화 산 천	50년	18.94	11	24,460	388.07	160
강 촌 천	50년	7.75	31	10,816	110.95	132
관 산 천	50년	1.83	8	1,781	24.70	63
수 정 천	50년	3.90	25	4,572	39.07	5
용 굴 천	100년	2.97	16	10,920	10.13	150
예 산 천	100년	2.34	8	7,826	0.36	145
계		109.26	135	164,029	1,492.71	1,089

또한 예당지 주변 습지에서 자생하는 멸종위기식물인 매화마름의 보전을 위해 환경관리 방안을 수립하여 제시하고, 예당지와 접하고 있는 대흥면 소재지의 문화유적과 연계된 '예당호 역사·생태공원조성 기본계획, 2003.12, 예산군'과 연계하여 기존의 관광형태인 여행, 유람 등 유원지 개념에서 탈피하여 체험과 참여, 자연보전 등 현지 자연환경과 하나가 될 수 있는 관광형태인 생태관광으로 전환을 유도할 수 있는 생태공원 조성방안을 제시하는 등 예당지 주변 저지대의 다각적인 활용방안을 검토하였으며, 그 내용은 본 보고서 '제 15장 유역관리계획'에 수록하였다.



<그림 12.15> 예당지 계획홍수위(EL. 24.0m 기준) 기준 예상침수지역



<그림 12.16> 예당지 중고에 따른 편입면적 산출 기준 (계획제정고 EL. 26.5m 기준)

12.3.2 예비방류를 위한 방류시설 계획

가. 예당지의 방류능력 검토

전 절에서 예당지의 홍수조절능력을 증대시킬 수 있는 비구조적인 대책으로서 실제 발생한 강우량에 의해 예당지 유입량을 추정하여 예비방류를 시행함으로써 이수적인 손실 없이 추가로 홍수조절용량을 확보하는 방안을 검토하였다. 또한 예당지 하류구간의 계획빈도인 100년 빈도 홍수와 현 여수로의 월류부 정점표고 EL. 19.5m를 기준으로 홍수조절 공간을 최대로 확보할 수 있는 최소의 예비방류량으로 677㎥/sec이 적정한 것을 알 수 있었다.

그러나 이상의 결과에 의해 예비방류를 시행하기 위해서는 예당지의 방류시설이 항상 목적한 양만큼 방류가 가능한지를 검토하여야 한다. 그 이유는 방류량이 저수위에 의해 결정되며, 방류시설에 설치된 수문은 방류량을 목적한 규모로 제한할 수는 있지만 증가시켜 주지는 못하기 때문이다. 따라서, 100년 빈도 홍수시 예당지의 수위가 낮은 홍수초기에 목적하는 규모로 예비방류 실시가 가능한지를 다음과 같이 검토하였다.

(1) 개도고별 방류량

예당지의 방류시설은 상시 농업용수를 공급하는 터널식 방수로와 홍수시 저수위 조절을 목적으로 설치된 여수로로 구분된다. 이중 터널식 방수로는 초당 21.39㎥의 용수공급을 목적으로 예당지 용수간선에 연결된 시설이며, 홍수시에는 방류를 중지하고 평시에만 운용하는 시설이다. 따라서 홍수에 대비한 예비방류에 사용할 수 있는 시설은 여수로가 유일하며 그 제원은 <표 12.9>와 같다.

<표 12.9> 예당지 여수로 제원

구 조	월류언 표고 (EL. m)	연 장	게이트 (B×H×련)	최대 방류량 ㎥/sec
콘크리트	19.5	247.5	6.0×3.6×26	1,624

예당지의 여수로를 통한 방류량은 월류부에 형성되는 수심 즉, 저수위에서 월류언 표고를 감한 값에 의해 결정되며 여수로에 설치된 테인터 게이트의 개도를 조정하여 방류량을 조절하게 된다.

예당지와 같이 Ogee형 월류부에 텐인터 게이트로 방류량이 조절되는 형식에 있어서 흐름특성은 저수위에 비하여 개도고가 낮은 경우는 오리피스의 흐름이 형성되고, 저수위에 비하여 개도고가 한계수심 이상인 경우는 완전월류 흐름이 형성되며, 양 흐름 특

성사이에서는 천이역의 흐름이 형성되게 된다. 각각의 경우에 있어서 방류량은 다음과 같이 산정한다.

□ 오리피스 흐름

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C \cdot B \sqrt{2g} \cdot (H_1^{\frac{3}{2}} - H_2^{\frac{3}{2}})$$

□ 완전월류흐름

$$Q = C \cdot B \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

여기서, Q : 방류량(㎥/sec)

C : 유량계수

H_1, H_2, H : 수두(m)

B : 폭(m)

<표 12.10> 저수위 및 개도고에 따른 방류량표

단위 : ㎥/sec/1련

개도고 (m)	저 수 위 (EL. m)												
	19.60	19.70	19.80	19.90	20.00	20.10	20.20	20.30	20.40	20.50	20.60	20.70	20.80
0.10	0.34	0.68	0.91	1.09	1.24	1.38	1.51	1.63	1.74	1.85	1.95	2.05	2.14
0.20	0.39	0.97	1.52	1.93	2.27	2.57	2.83	3.08	3.31	3.52	3.72	3.91	4.09
0.30	0.39	1.17	1.78	2.51	3.07	3.55	3.97	4.36	4.72	5.05	5.36	5.66	5.94
0.40	0.39	1.17	2.15	3.30	3.62	4.31	4.92	5.46	5.96	6.42	6.85	7.26	7.65
0.50	0.39	1.17	2.15	3.30	4.22	4.84	5.66	6.38	7.03	7.63	8.19	8.72	9.22
0.60	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	5.05	6.17	7.10	7.92	8.68	9.38	10.03	10.65
0.70	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	6.36	7.59	8.62	9.55	10.40	11.19	11.94
0.80	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	7.77	9.10	10.23	11.26	12.20	13.08
0.90	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	10.70	11.92	13.04	14.07
1.00	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	11.82	12.38	13.69	14.89
1.10	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	12.53	14.14	15.53
1.20	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	14.28	15.97
1.30	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	16.10
1.40	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
1.50	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
1.60	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
1.70	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
1.80	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
1.90	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.00	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.10	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.20	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.30	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.40	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.50	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.60	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.70	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.80	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
2.90	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
3.00	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
3.10	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
3.20	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
3.30	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
3.40	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
3.50	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78
3.60	0.39	1.17	2.15	3.30	4.59	6.02	7.56	9.21	10.95	12.78	14.70	16.70	18.78

<표 12.10> 저수위 및 개도고에 따른 방류량표 (계속)

단위 : ㎥/sec/1련

개도고 (m)	저수위 (EL. m)												
	20.90	21.00	21.10	21.20	21.30	21.40	21.50	21.60	21.70	21.80	21.90	22.00	22.10
0.10	2.23	2.31	2.40	2.48	2.56	2.63	2.71	2.78	2.85	2.92	2.99	3.06	3.12
0.20	4.28	4.45	4.61	4.77	4.93	5.08	5.23	5.37	5.52	5.65	5.79	5.92	6.05
0.30	6.21	6.47	6.71	6.95	7.19	7.41	7.63	7.86	8.07	8.27	8.48	8.67	8.87
0.40	8.02	8.37	8.71	9.04	9.35	9.66	9.95	10.24	10.52	10.80	11.06	11.32	11.58
0.50	9.69	10.15	10.58	11.00	11.40	11.79	12.17	12.54	12.90	13.24	13.58	13.91	14.24
0.60	11.24	11.79	12.33	12.84	13.34	13.82	14.28	14.73	15.16	15.59	16.00	16.40	16.80
0.70	12.64	13.31	13.95	14.57	15.16	15.72	16.27	16.81	17.33	17.83	18.32	18.80	19.26
0.80	13.91	14.70	15.45	16.16	16.85	17.52	18.16	18.78	19.38	19.97	20.54	21.09	21.63
0.90	15.03	15.94	16.81	17.64	18.43	19.19	19.93	20.64	21.33	22.00	22.65	23.28	23.90
1.00	16.00	17.05	18.04	18.98	19.88	20.75	21.59	22.39	23.17	23.93	24.66	25.38	26.07
1.10	16.81	18.00	19.13	20.19	21.21	22.19	23.13	24.03	24.90	25.75	26.57	27.37	28.15
1.20	17.44	18.80	20.07	21.27	22.41	23.50	24.55	25.55	26.52	27.46	28.38	29.26	30.12
1.30	17.87	19.42	20.86	22.20	23.47	24.68	25.84	26.96	28.03	29.07	30.07	31.05	32.00
1.40	20.92	19.84	21.47	22.97	24.39	25.73	27.01	28.24	29.42	30.56	31.66	32.73	33.77
1.50	20.92	21.54	21.87	23.58	25.15	26.64	28.05	29.40	30.69	31.94	33.14	34.30	35.43
1.60	20.92	23.14	21.98	23.97	25.75	27.39	28.95	30.42	31.84	33.19	34.50	35.77	36.99
1.70	20.92	23.14	25.41	24.07	26.14	27.98	29.69	31.31	32.85	34.33	35.75	37.12	38.44
1.80	20.92	23.14	25.41	27.74	26.23	28.36	30.27	32.04	33.73	35.33	36.87	38.35	39.78
1.90	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	30.64	32.61	34.45	36.20	37.87	39.47	41.01
2.00	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	32.89	32.98	35.01	36.92	38.73	40.45	42.11
2.10	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	33.05	35.38	37.47	39.44	41.30	43.09
2.20	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	35.44	37.83	39.98	42.01	43.93
2.30	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	37.88	40.33	42.54	44.63
2.40	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	42.88	45.16
2.50	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	45.58	45.49
2.60	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	45.53
2.70	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
2.80	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
2.90	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
3.00	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
3.10	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
3.20	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
3.30	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
3.40	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
3.50	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00
3.60	20.92	23.14	25.41	27.74	30.13	32.57	35.06	37.60	40.19	42.83	45.51	48.23	51.00

<표 12.10> 저수위 및 개도고에 따른 방류량표 (계속)

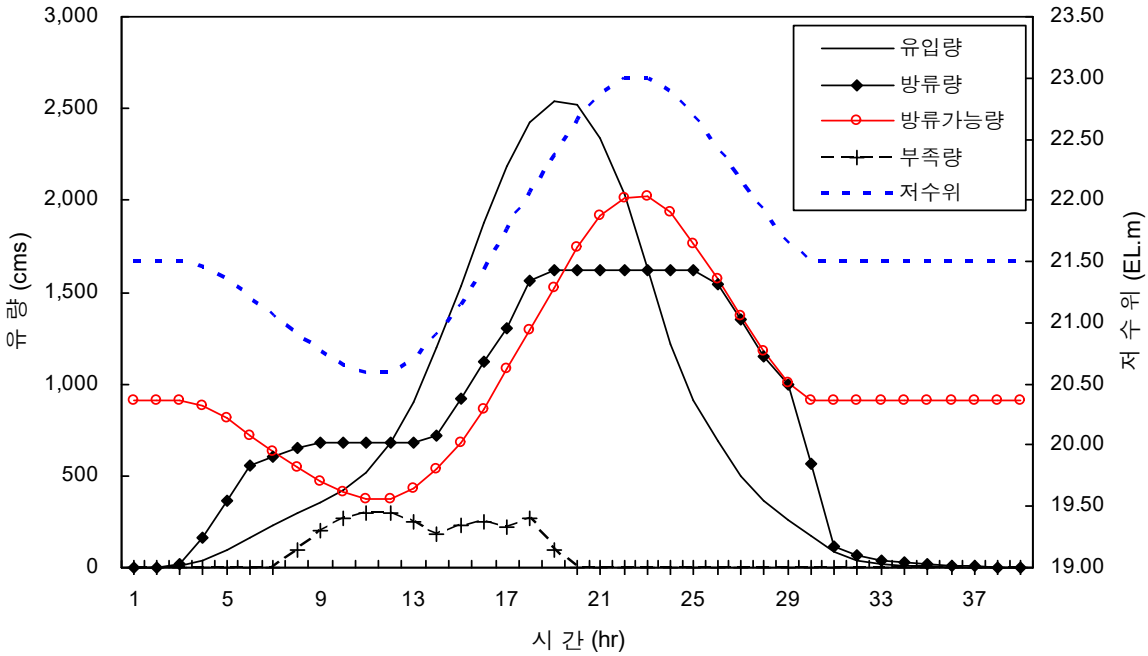
단위 : ㎥/sec/1련

개도고 (m)	저수위 (EL. m)												
	22.20	22.30	22.40	22.50	22.60	22.70	22.80	22.90	23.00	23.10	23.20	23.30	23.40
0.10	3.19	3.25	3.31	3.37	3.43	3.49	3.55	3.61	3.67	3.72	3.78	3.83	3.89
0.20	6.18	6.30	6.42	6.55	6.66	6.78	6.90	7.01	7.12	7.23	7.34	7.45	7.55
0.30	9.06	9.24	9.43	9.61	9.79	9.96	10.13	10.30	10.47	10.63	10.80	10.96	11.11
0.40	11.85	12.10	12.34	12.58	12.82	13.05	13.28	13.50	13.73	13.95	14.16	14.37	14.59
0.50	14.55	14.86	15.16	15.46	15.75	16.04	16.32	16.63	16.91	17.18	17.45	17.72	17.98
0.60	17.18	17.56	17.93	18.29	18.64	18.99	19.33	19.67	20.00	20.32	20.65	20.96	21.27
0.70	19.72	20.16	20.60	21.03	21.44	21.86	22.26	22.66	23.05	23.43	23.81	24.18	24.54
0.80	22.16	22.67	23.18	23.67	24.16	24.63	25.10	25.56	26.01	26.45	26.89	27.32	27.74
0.90	24.50	25.09	25.67	26.23	26.78	27.33	27.86	28.38	28.89	29.39	29.89	30.38	30.86
1.00	26.75	27.42	28.06	28.70	29.32	29.93	30.53	31.11	31.69	32.25	32.81	33.36	33.90
1.10	28.91	29.65	30.37	31.08	31.77	32.45	33.11	33.76	34.40	35.03	35.65	36.26	36.86
1.20	30.96	31.78	32.58	33.36	34.12	34.87	35.61	36.33	37.03	37.73	38.41	39.08	39.74
1.30	32.92	33.82	34.70	35.55	36.39	37.21	38.02	38.80	39.58	40.34	41.08	41.82	42.54
1.40	34.78	35.76	36.72	37.65	38.57	39.46	40.34	41.20	42.04	42.87	43.68	44.48	45.26
1.50	36.53	37.60	38.64	39.66	40.65	41.62	42.57	43.50	44.41	45.31	46.19	47.05	47.90
1.60	38.18	39.34	40.47	41.57	42.64	43.69	44.71	45.72	46.70	47.67	48.62	49.55	50.46
1.70	39.73	40.98	42.19	43.38	44.53	45.66	46.77	47.85	48.90	49.94	50.96	51.96	52.94
1.80	41.17	42.51	43.82	45.09	46.33	47.54	48.73	49.89	51.02	52.13	53.22	54.29	55.34
1.90	42.50	43.94	45.34	46.71	48.03	49.33	50.60	51.83	53.04	54.23	55.39	56.53	57.65
2.00	43.71	45.26	46.76	48.22	49.64	51.02	52.37	53.69	54.98	56.24	57.48	58.69	59.89
2.10	44.81	46.46	48.07	49.62	51.14	52.61	54.05	55.45	56.82	58.17	59.48	60.77	62.03
2.20	45.77	47.55	49.26	50.92	52.53	54.10	55.63	57.12	58.57	60.00	61.39	62.76	64.10
2.30	46.61	48.51	50.34	52.11	53.82	55.49	57.11	58.69	60.23	61.74	63.21	64.66	66.07
2.40	47.30	49.34	51.29	53.18	55.00	56.77	58.49	60.16	61.79	63.38	64.94	66.47	67.96
2.50	47.82	50.02	52.11	54.12	56.06	57.94	59.76	61.53	63.25	64.93	66.58	68.19	69.76
2.60	48.15	50.54	52.79	54.93	57.00	58.99	60.92	62.79	64.61	66.39	68.12	69.81	71.47
2.70	48.19	50.86	53.30	55.60	57.80	59.92	61.96	63.94	65.86	67.74	69.56	71.34	73.09
2.80	53.81	50.89	53.61	56.11	58.46	60.72	62.88	64.98	67.01	68.98	70.90	72.78	74.61
2.90	53.81	56.66	59.56	56.42	58.96	61.37	63.68	65.89	68.04	70.12	72.14	74.11	76.04
3.00	53.81	56.66	59.56	59.46	59.27	61.87	64.33	66.68	68.95	71.14	73.27	75.34	77.36
3.10	53.81	56.66	59.56	62.49	59.28	62.16	64.81	67.32	69.73	72.05	74.29	76.47	78.59
3.20	53.81	56.66	59.56	62.49	65.46	62.17	65.11	67.81	70.37	72.82	75.19	77.48	79.70
3.30	53.81	56.66	59.56	62.49	65.46	68.47	65.11	68.09	70.84	73.45	75.95	78.37	80.71
3.40	53.81	56.66	59.56	62.49	65.46	68.47	71.51	74.60	71.13	73.92	76.58	79.13	81.59
3.50	53.81	56.66	59.56	62.49	65.46	68.47	71.51	74.60	74.42	74.20	77.05	79.75	82.35
3.60	53.81	56.66	59.56	62.49	65.46	68.47	71.51	74.60	77.72	74.19	77.32	80.21	82.96

(2) 예비방류 도입에 따른 방류능력 부족

<표 12.10>은 예당지 저수위와 여수로 문비의 개도고별 방류량으로서 계획홍수위(EL. 22.5m) 조건에서 26련의 문비를 완전 개방할 경우 최대방류량은 기존의 최대방류량인 1,645㎥/sec와 근사한 1,625㎥/sec이지만, 위험수위인 EL. 23.0m에서는 2,020㎥/sec에 달하는 것으로 평가되었다.

금회 산정한 100년 빈도 홍수량 유입시 최대 677㎥/sec의 예비방류를 시행하여 산정한 이론적인 방류수문곡선과 예비방류량에 따라 변화하는 저수위를 고려한 실제 방류가능량을 비교한 결과, 예비방류 효과로 저수위가 홍수기 제한수위 보다 낮은 EL. 21.13m에서 첨두방류를 최초로 실시하는 시기에 목표 방류량과 방류 가능량의 차이가 1,011㎥/sec로 가장 크게 나타났다.



<그림 12.17> 목표 방류량과 실제 방류 가능량 비교 (100년 빈도)

현재의 예당지 방류시설 조건에서 저수위가 낮은 홍수 초기에 최대 677㎥/sec의 예비방류를 위해서는 저수위가 EL. 21.13m 이상이 되어야 하지만, 이때의 저수위가 EL. 20.59m 이므로 실제 방류량은 377.12㎥/sec이 되고 방류능력을 초과하는 양은 저류되게 된다. <표 12.11>에서 보는 바와 같이 홍수발생 7시간 이후부터 약 13시간 동안은 목표방류량이 방류가능량을 초과하여, 그 차이 만큼이 저류되게 되므로 현재의 방류시설로는 앞서 분석한 바와 같은 예비방류에 의한 홍수조절용량 추가 확보를 기대할 수 없다. 따라서, 저수위 EL. 20.59m에서 최대 발류능력 부족분인 300㎥/sec 이상의 방류능력을 갖춘 여수로를 신설하여 목표한 예비방류를 시행할 수 있도록 하여야 한다. 신설 여수로는 기본적으로 홍수초기의 예비방류량을 최대 677㎥/sec로 유지할 수 있도록 하는 기능을

목표로 하지만, 예비방류를 통한 홍수조절 능력 확보뿐만 아니라 과거에 비해서 급증한 예당지 유입홍수량에 대처하고, 특히 이상홍수에 대비하여 방류능력을 증대시킴으로써 예당지의 안전성 제고에도 크게 기여할 것이다.

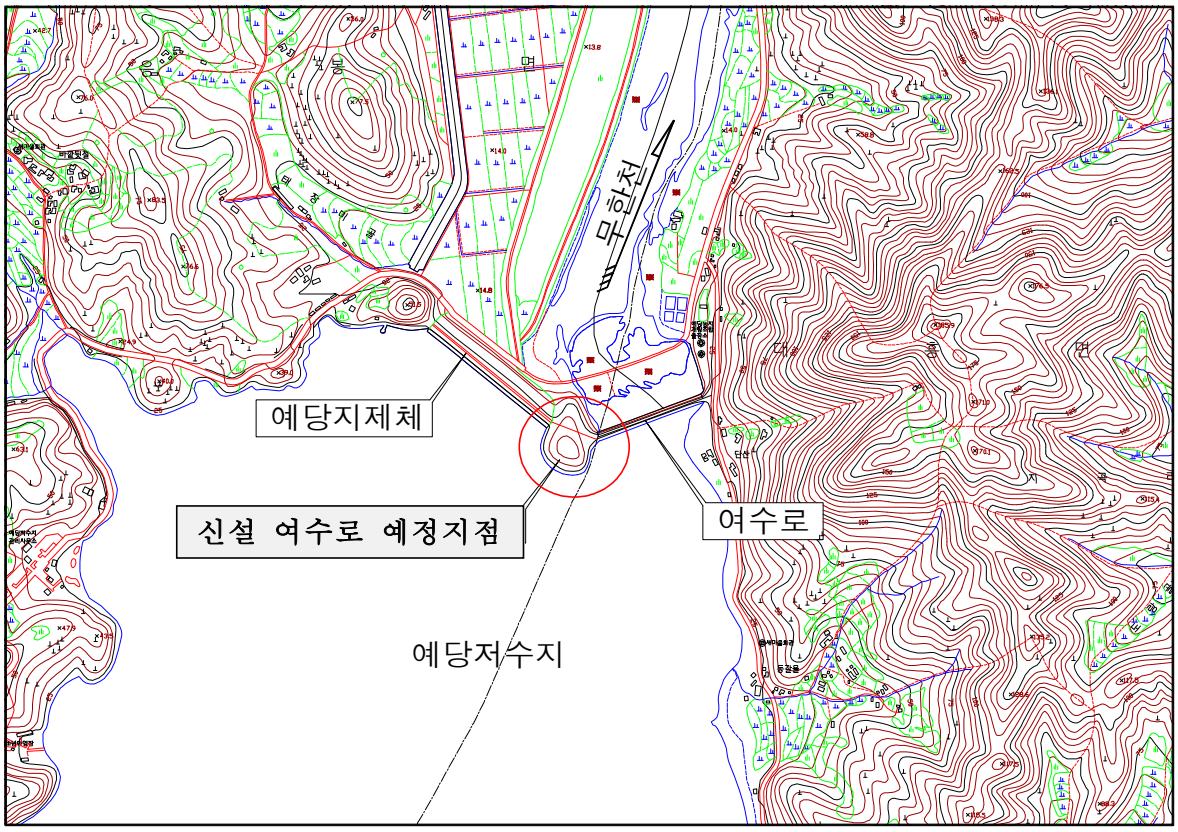
<표 12.11> 100년 빈도 홍수 유입시 목표 방류량과 방류능력 비교

시간 (hr)	유입량 (㎥/sec)	목표방류량 (㎥/sec)	저류량변화 (㎥)	누가저류량 (㎥)	저수위 (EL. m)	방류가능량 (㎥/sec)	부족량 (㎥/sec)
1	0.00	0.00	0	35,624,320	21.50	911.61	0.00
2	0.31	0.31	0	35,624,320	21.50	911.61	0.00
3	9.07	15.85	-24,408	35,599,912	21.50	911.61	0.00
4	41.83	160.20	-426,132	35,173,780	21.45	879.04	0.00
5	98.39	360.72	-944,388	34,229,392	21.35	814.90	0.00
6	165.29	556.35	-1,407,816	32,821,576	21.20	721.26	0.00
7	230.79	599.23	-1,326,384	31,495,192	21.05	630.87	0.00
8	291.75	647.88	-1,282,068	30,213,124	20.91	549.68	-98.20
9	348.54	677.00	-1,182,456	29,030,668	20.77	471.82	-205.18
10	415.78	677.00	-940,392	28,090,276	20.66	413.18	-263.82
11	518.65	677.00	-570,060	27,520,216	20.59	377.12	-299.88
12	679.01	677.00	7,236	27,527,452	20.59	377.12	-299.88
13	906.73	677.00	827,028	28,354,480	20.69	428.94	-248.06
14	1,196.54	717.92	1,723,018	30,077,498	20.89	538.35	-179.57
15	1,527.65	916.59	2,199,816	32,277,314	21.14	684.70	-231.89
16	1,866.74	1,120.04	2,688,106	34,965,419	21.43	866.11	-253.93
17	2,172.77	1,303.66	3,128,789	38,094,208	21.76	1,086.00	-217.66
18	2,402.74	1,561.78	3,027,452	41,121,660	22.06	1,297.15	-264.63
19	2,519.52	1,620.00	3,238,272	44,359,932	22.37	1,525.77	-94.23
20	2,497.17	1,620.00	3,157,812	47,517,744	22.65	1,740.86	0.00
21	2,327.96	1,620.00	2,548,656	50,066,400	22.87	1,915.33	0.00
22	2,027.35	1,620.00	1,466,460	51,532,860	22.99	2,012.46	0.00
23	1,639.91	1,620.00	71,676	51,604,536	23.00	2,020.62	0.00
24	1,243.87	1,620.00	-1,354,068	50,250,468	22.89	1,931.42	0.00
25	956.11	1,620.00	-2,390,004	47,860,464	22.68	1,764.37	0.00
26	743.96	1,540.00	-2,865,744	44,994,720	22.43	1,571.19	0.00
27	557.16	1,369.78	-2,925,432	42,069,288	22.16	1,369.78	0.00
28	406.34	1,183.26	-2,796,912	39,272,376	21.90	1,183.26	0.00
29	299.90	1,004.48	-2,536,488	36,735,888	21.64	1,004.48	0.00
30	202.83	511.60	-1,111,572	35,624,316	21.50	911.61	0.00
31	112.28	112.28	0	35,624,316	21.50	911.61	0.00
32	66.04	66.04	0	35,624,316	21.50	911.61	0.00
33	40.20	40.20	0	35,624,316	21.50	911.61	0.00
34	24.80	24.80	0	35,624,316	21.50	911.61	0.00
35	15.40	15.40	0	35,624,316	21.50	911.61	0.00
36	9.40	9.40	0	35,624,316	21.50	911.61	0.00

나. 방류시설 계획

(1) 위치 선정

소요예비방류능력 확보를 위한 신규 방류시설의 입지는 우선 기존 하도와의 연결이 용이한 지점이어야 하며, 공사중 예당지의 기능에 미치는 영향이 최소화 되어야 한다. 또한 기존 제체와 여수로의 안전에 위해요인이 없어야 한다. 이러한 조건을 충족시킬 수 있는 입지로는 현 여수로와 제체 사이의 구릉지가 적합한 것으로 선정되었다. 이 지점은 현 여수로의 감세지와 직접 연결될 수 있어 무한천으로 300㎥/sec의 유량을 방류하는데 있어 추가적인 수로의 건설과 같은 부대시설 설치 부담이 없다. 또한 물막이 설치가 용이하여 예당지의 정상적인 운영에 지장을 주지 않으며, 여수로 좌안측 Abutment와 제체의 우안측 연결부를 피하여 공사할 경우 기존 구조물에 미치는 영향 없이 공사가 가능할 것으로 판단된다.



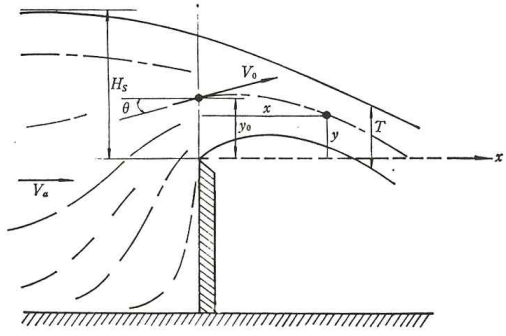
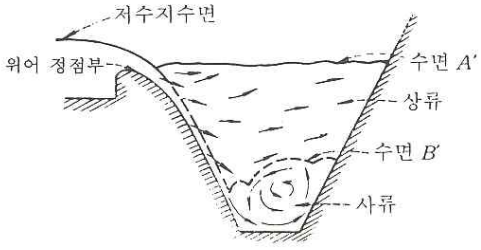
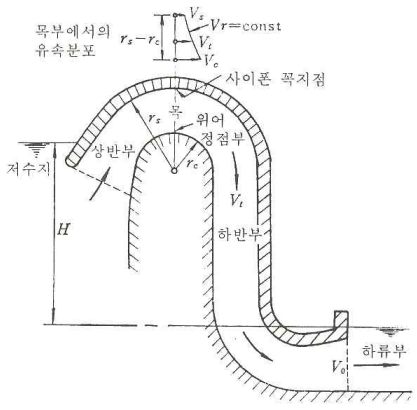
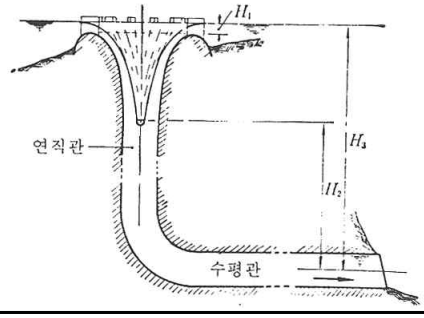
<그림 12.18> 신설 여수로 예정 입지

(2) 형식 및 규모 검토

여수로는 저수지의 안전을 위해 저류된 유량을 하류로 방류하는 구조물로서 수문을 설치하여 방류량을 조절할 수 있는 제어식(문비식)과 그렇지 않은 비제어식(무문식)으로 나눌 수 있고 수리학적 특성에 따라 개수로식과 여수로식 및 관수로식 여수로로 구분할

수 있다. 각각의 여수로 형식별 특징은 다음과 같다.

<표 12.12> 여수로의 형식 비교

구분	특 징	형 태
월류형	○많은 양의 홍수를 월류시킬 수 있는 가장 경제적인 형식으로 댐의 여수로에 많이 사용되고 있다. ○정면에서 보이는 형태는 폭이 큰 구형단면을 가진 위어이며, 구조물의 측면형태는 유량계수를 최대로 하고 구조물과 월류한 수맥사이에서 발생하는 부압으로 인한 추가적인 외력과 공동현상에 의한 구조물의 손상을 방지토록 예연위어 위로 월류하는 수맥 아래의 곡선과 일치하도록 만든다.	
측수로형	○월류형 위어부와 월류한 홍수를 하류로 흘려보내는 위어부에 평행한 측수로로 구성된다. ○측수로형 여수로는 수로내 흐름상태가 상당히 불안정하므로 여수로 위치의 지반이 견고한 암반으로 되어 있어 공사비의 상당한 절감이 예상될 경우 또는 여수로의 길이를 충분히 확보하기 어려운 경우에 채택한다.	
사이폰형	○여수로 월류부 상의 수두를 크게 하기 곤란할 때 채택하는 형식이다. ○위어 정점부를 따라 만곡관로를 만들어 이 관로를 통해 흐르게 하므로 저수지 수위와 하류 수위차가 증가하여 방류량이 증가하는 이점이 있다. ○홍수규모가 작고 여수로 설치공간에 제한을 받는 경우 제체내에 설치 가능하고 저수지 수위가 자동적으로 일정 범위내에 유지되는 장점이 있다.	
나팔형	○지형조건이 협소하여 여수로 설치 공간이 제한될 경우에 사용한다. ○저수지의 물이 흘러들어가는 입구부와 연직관, 만곡부, 수평관 등으로 구성되며, 하류부 수위보다 약간 높은 위치에서 방류토록 설계한다.	

<표 12.12>에서 알 수 있듯이 여수로의 형식은 결국 소요 방류능력을 확보하기 위한 구조물의 규모와 설치 예정지점의 지형조건이 결정의 중요한 기준으로 작용한다.

금회 계획하는 신규 여수로의 규모는 저수위가 EL. 20.59m 일 때 300㎥/sec의 유량을 방류할 수 있어야 하며, 이때의 하류부 수위로 100년 빈도 계획홍수위인 EL. 15.26m를 적용할 경우 수두차는 5.33m에 불과하다.

이렇게 상하류의 수두차가 크지 않으므로 신설 여수로를 관수로 형태로 계획할 경우 직경이 약 5.65m에 달하는 규모가 필요하거나 이와 동등한 통수능력을 확보할 수 있는 여러개의 시설이 필요하다. 아울러 이러한 구조물들이 터널식으로 굴착하여 설치된다는 시공상의 부담을 감안하여야 한다.

□ $Q = A \cdot V = A \cdot \sqrt{\frac{2gH}{(f_1 \frac{l}{d} + f_2)}}$ ..... (식 12.1)

여기서, Q : 방류량 (㎥/sec)

A : 여수로 단면적 (㎡)

H : 수두(m),

l : 관로 연장(100m 가정)

d : 여수로 직경(m)

f1 : 마찰손실계수(0.03 가정)

f2 : 만곡손실계수(0.2 가정)

이에 비해 월류형 여수로를 설치할 경우 목표방류량과 방류능력 차가 가장 크게 발생하는 때의 수위가 EL. 20.59m이고 계획 여수로의 정점표고를 EL. 16.0m로 가정하면 여수로 문비를 통한 방류 초기의 흐름은 완전오리피스 흐름과 같으므로 다음 식에 의해 방류량을 산정할 수 있다.

□ $Q = \frac{2}{3} \cdot C \cdot B\sqrt{2g} \cdot (H_1^{3/2} - H_2^{3/2})$ ..... (식 12.2)

여기서, Q : 방류량 (㎥/sec)

C : 유량계수

B : 여수로폭(m)

H1, H2 : 수두(m)

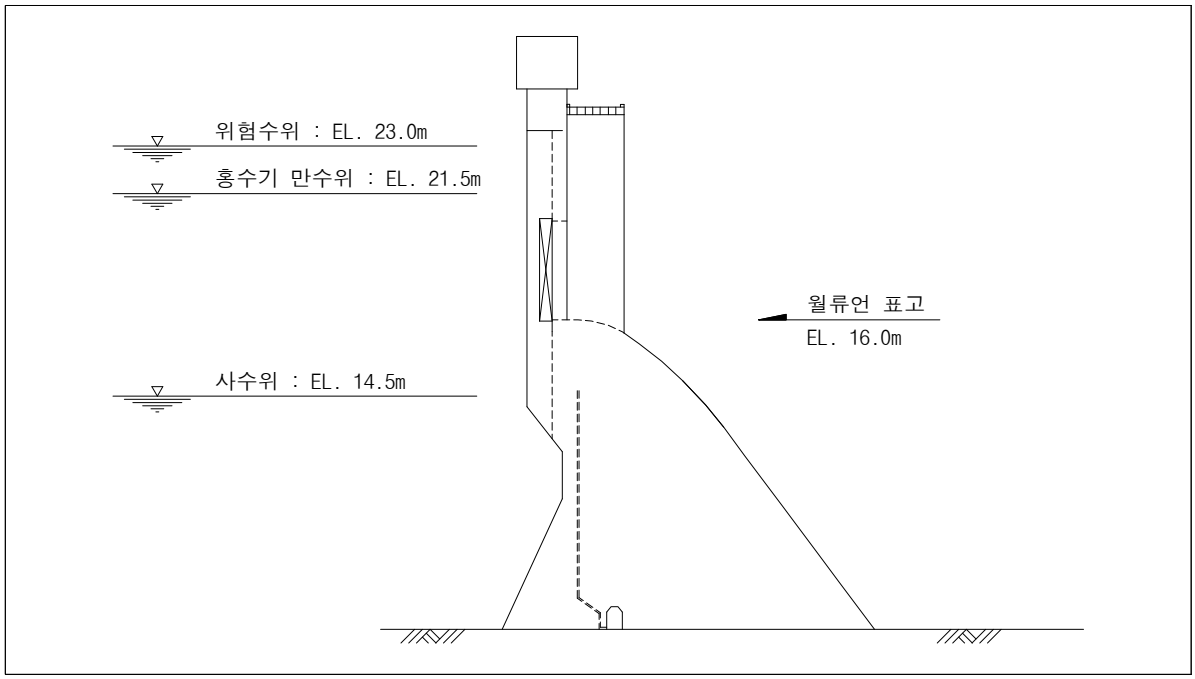
(식 12.2)에 의해 목표 방류량을 기준으로 신설 여수로의 규모를 계산하면 설치 예정 지점의 지형을 고려할 때 폭 5.0m 높이 3.0m 규모로 4련을 설치하여야 한다. 이 경우 최대 유속은 약 5.00m/sec이므로 별도의 감세공은 설치하지 않고 기존 여수로 하부에 위치한 감세지를 함께 사용하는 것으로 계획할 수 있다. 또한 문비의 형식으로는 구조가 간단하면서 지수효과가 큰 Roller Gate 형식을 채택하였다.

아울러 기존 여수로의 정점표고를 낮추는 방안과 현 여수로 하부에 방류구를 추가로 설치하는 방안을 검토한 결과 예당지 여수로는 1962년에 완공된 노후 구조물로서 기존 콘크리트 구조물 절취과정에서 발생되는 진동으로 인하여 구조물 전체의 손상을 야기할 수 있으며, 타 형식에 비해 수심이 깊은 곳에서 작업하여야 하므로 가물막이 댐이 필요하고 기존 콘크리트 절취하기 위해 충진파쇄제나 와이어소(Wire Saw)와 같은 최신 공법을 적용하여야 하므로 타 공법에 비해 공사비 증가가 예상된다.

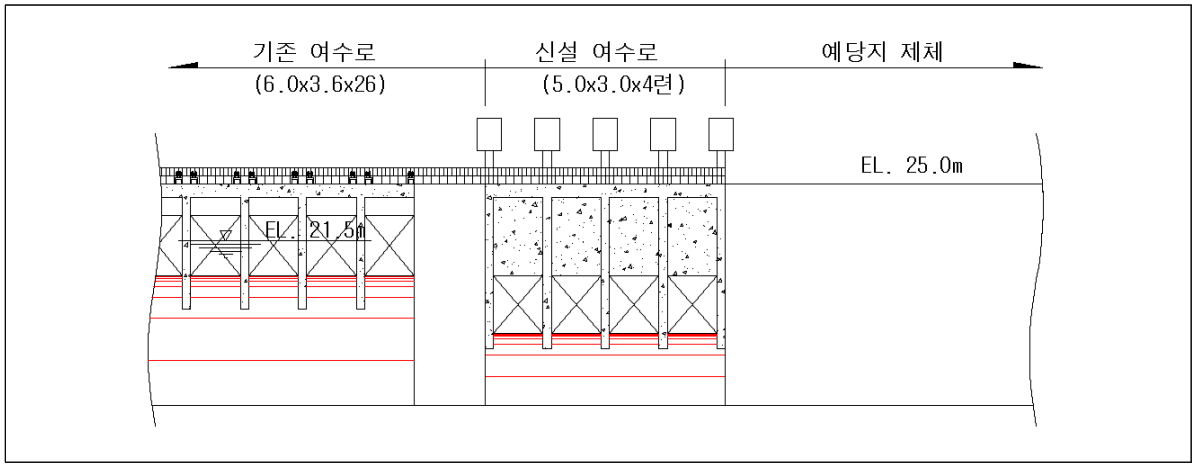
다. 신설 여수로 규모 및 형식 결정

이상의 신설 여수로 형식에 대한 검토결과 공사가 용이하고 비용이 저렴하며 공사 중에도 예당지의 기능에 영향을 주지 않는 기존 여수로와 같은 형태의 월류형 여수로를 채택하였으며, 월류부가 상시만수위 이하에 위치하게 되므로 문비 형식으로는 차수성이 있는 Roller Gate 형을 채택하였다. 그러나 이 결과는 기본계획 차원에서 이루어진 것이므로 사업이 확정된 후 실시설계시 수리모형 실험을 실시하여 목적한 기능을 충족시킬 수 있는 최선의 설계가 되도록 하여야 할 것이다.

신설 여수로는 앞서 검토한 바와 같이 폭 5.0m, 높이 3.0m의 문비를 4련 설치하는 규모가 되며 이에 소요되는 공사비는 대략 33억원으로 추정된다.



<그림 12.19> 계획 여수로 측면도



<그림 12.20> 계획 여수로 정면도

<표 12.13> 신설 여수로 개략 공사비 산정

구 분	금 액 (천원)	비 고
토 공	793,000	
구 조 물 공	434,000	
기 타	148,000	가물막이 및 차수공
소 계	1,375,000	
제 경 비	688,000	직접공사비의 50% 적용
문비 운반 및 설치	1,282,000	
계	3,345,000	

12.3.3 기존 농업용 저수지의 치수목적 활용

삽교천 유역의 수계구성 형태는 전형적인 수지상으로서 삽교천, 곡교천, 무한천 등의 주요 하천을 간선으로 하고 100여개 법정하천들이 간선 하천으로 직접 유입하는 지선형태로 발달되어 있다. 지형 또한 이러한 수계구성 특성을 반영하여 주요 하천을 제외한 지류 유역에 저류시설을 설치할 경우 충분한 공간을 확보하기도 어렵지만 유역이 작아 그 공간을 충분히 활용할 수 없는 형편이다. 이에 비해 무한천과 신양천 등의 유역 상류부에서 간선 역할을 하는 주요 하천에 치수전용 댐이나 저류지 등을 설치할 경우에는 지형특성상 수몰지역이 막대하게 발생하는 문제가 있다.

따라서, 본 절에서는 홍수조절을 위한 별도의 저류공간을 확보하기 보다는 유역내에 산재한 농업용 저수지를 활용하여 홍수량을 분산저류 함으로써 하류지역의 부담을 경감하는 방안에 대해 검토하였다. 농업용 저수지의 홍수조절능력 확보 방안으로는 준설이나 여수로에 가물막이를 설치하여 치수목적의 저류공간을 확보하는 방안과 저수지를 증고하고 수문을 설치하여 홍수조절 기능을 부여하는 방안으로 구분하여 검토하였으며, 어떤 경우에도 현재의 이수용량은 유지하는 것을 전제로 하였다.

가. 유역내 저수지 현황

삽교천 유역내에는 총 166개소의 농업용 저수지가 위치하고 있으나, 치수목적으로 활용하기 위한 검토대상 저수지는 전체 유역을 대상으로 배후의 유역면적과 저류공간이 비교적 큰 저수지 24개소(삽교천 8개소, 곡교천 6개소, 무한천 10개소)를 선정하였다. 검토대상 저수지의 현황은 <표 12.14>와 같다.

<표 12.14> 검토 대상 저수지 현황

하천명	저수지명	행정구역			유역면적 (ha)	만수면적 (ha)	관개면적 (ha)	비 고
		시군	읍면	동리				
삽교천	오 봉	당진	신평	상오	2,020.0	74.0	348.1	
	순 성	당진	면천	원동	850.0	48.0	216.2	
	봉 림	예산	봉산	봉림	840.0	19.0	229.3	
	옥 계	예산	덕산	옥계	1,182.0	31.0	296.8	
	용 봉	예산	덕산	둔리	420.0	16.0	91.9	
	홍 양	홍성	금마	장성	2,410.0	86.0	441.3	
	홍 동	홍성	장곡	지정	1,480.0	48.0	232.3	
	도 고	아산	도고	석당	2,093.0	97.0	832.0	
곡교천	가 혜	아산	염치	동정	1,588.0	81.0	585.0	
	마 산	아산		방축	1,776.0	91.0	149.0	
	궁 평	아산	송악	궁평	4,333.0	112.0	1,106.0	
	아산수철	아산	배방	수철	442.0	8.0	106.0	
	월 랑	아산	음봉	월랑	421.0	22.0	132.0	
	천 호	천안		신부	850.0	33.0	36.0	
무한천	수 철	예산	예산	수철	490.0	15.0	201.5	
	관 산	청양	비봉	관산	250.0	9.0	94.0	
	천 태	홍성	장곡	천태	881.0	-	246.0	
	수 정	청양	화성	수정	106.0	5.0	53.0	
	화 암	청양	화성	화암	170.0	6.0	68.0	
	매 산	청양	화성	매산	345.0	6.0	108.0	
	여래미	예산	신양	여래미	380.0	14.0	138.3	
	신 대	청양	운곡	신대	754.0	25.0	218.0	
	방 산	예산	대술	상항	690.0	33.0	265.6	
	송 석	예산	대술	송석	560.0	24.0	171.4	

나. 저류공간 확보를 위한 여수로 개량

(1) 기본개념

삽교천 유역내에 위치한 농업용 저수지들은 예당지를 제외하고는 <그림 12.21>에서 보는 바와 같이 여수로에 유출량을 조절하는 시설이 없어 저수위가 월류부 정부 보다 높으면 하류로 방류되고 낮으면 방류가 전혀 발생하지 않게 된다. 따라서 저수지의 상시 만수위는 월류부 정점표고와 같다고 볼 수 있지만 일부 저수지는 <그림 12.22>와 같이 월류부 상단에 가물막이를 설치하여 관개기에 필요로 하는 용수를 추가로 확보하기도 한다.

현재 삽교천 유역내에 위치한 농업용 저수지에 있어 여수로는 홍수시 제체의 안전을

위해 잉여분의 유량을 방류하는 통로의 역할을 할 뿐이지만 폭이 좁은 여수로의 월류부에 가물막이를 설치할 경우 적은 비용으로 용이하게 저류용량을 증대시킬 수 있다. 이러한 방법은 이제까지 이수적인 필요에 의해 사용되어 왔지만 홍수시 유역내에 위치한 저수지에 일시적인 저류가 가능하도록 여수로의 월류부를 개량하여 유출량을 분산저류하면 하류의 부담을 감소시킬 수 있을 것이다.

홍수방어 대안으로서 여수로 개량 방안은 홍수사상이 비교적 단기간에 발생하며, 때로는 예상치 못한 시기에 일어나는데 비해 대부분의 농업용 저수지에 상주 관리자를 두고 있지 못한 실정을 감안하여, 저수위에 따라 자동으로 작동하거나 원격조정이 가능하며, 필요한 시기에 신속하게 기능을 발휘하여 홍수 유출량을 저류해야 한다는 기본방침하에 검토하였다. 그 결과 전술한 기능적인 요구를 충족하면서 비용이 저렴하고 공사가 간단한 여수로 월류부 개량 방법으로서 Rubber보 형식의 가동보를 설치하는 것으로 결정하였다.

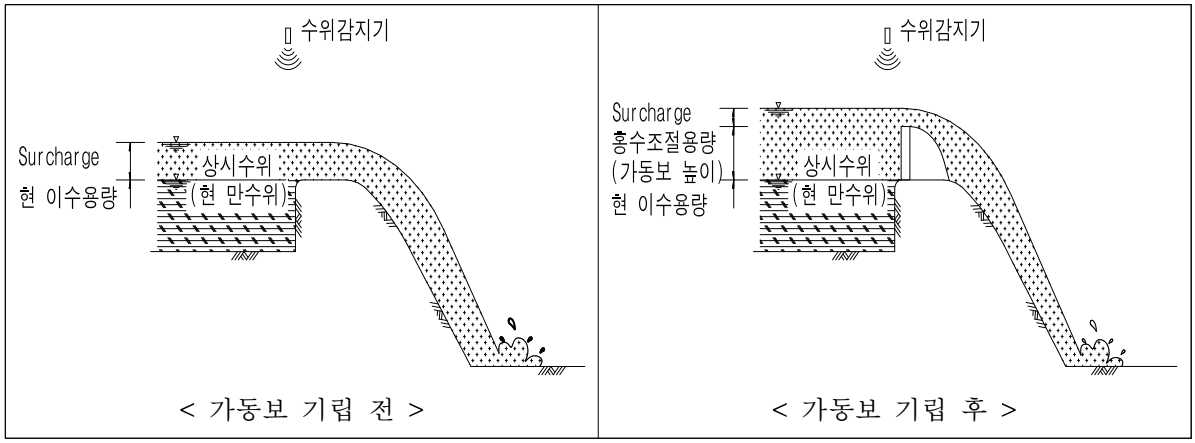


<그림 12.21> 홍동저수지 유출부 전경



<그림 12.22> 이수용량 확보를 위한 가물막이 설치 시설

이 방안의 개념은 기존 여수로의 월류부 상단에 가동보를 설치하여 홍수 유입 및 유출상황에 따라 운영함으로써 상시만수위 이상의 공간에서 홍수조절용량을 확보하는 것으로 이수용량 추가확보를 위해 여수로 월류부에 가물막이를 설치하여 운영하는 이제까지의 관행과 동일하지만, 이수용량 확보를 위한 가물막이는 홍수기 저수지의 안전을 위해 철거하는데 반해 금회 검토한 방안은 평시에는 월류부를 현 상태대로 유지하지만 홍수가 발생하면 가동보를 기립시켜 상시만수위 이상의 공간에 일시적으로 홍수를 저류하는데 근본적인 차이가 있다.



<그림 12.23> 여수로 개량에 의한 홍수조절 용량 확보방안 (가동보 설치)

(2) 적용대상 저수지 선정

홍수조절 용량을 확보하는데 있어 이 방법의 장점은 병목형태의 여수로 월류부에 가물막이를 설치함으로써 그 높이에 해당하는 공간을 저류용적으로 확보한다는 것이다. 따라서 여수로 월류부가 좁을수록 비용이 적게 드는 반면 만수면적이 넓을수록 확보할 수 있는 저류공간이 증가하여 월류부 개량효율을 극대화 할 수 있다.

이런 이유로 월류부 개량대상 저수지는 만수면적이 넓어야 하며, 월류부 상단에 가동보를 설치할 수 있는 구조이어야 한다. 또한 이 방법은 일시적이나마 상시만수위 이상으로 저수위를 상승시키므로 저수지의 안전을 위해 가동보 운영에 있어 다음과 같은 제약조건이 있다.

가동보 운영의 제약 조건

- ○ 가동보 상단고 + 월류부 수두 < 제체 둑마루 표고
- ○ 침윤선이 제체단면을 벗어나지 않을 것

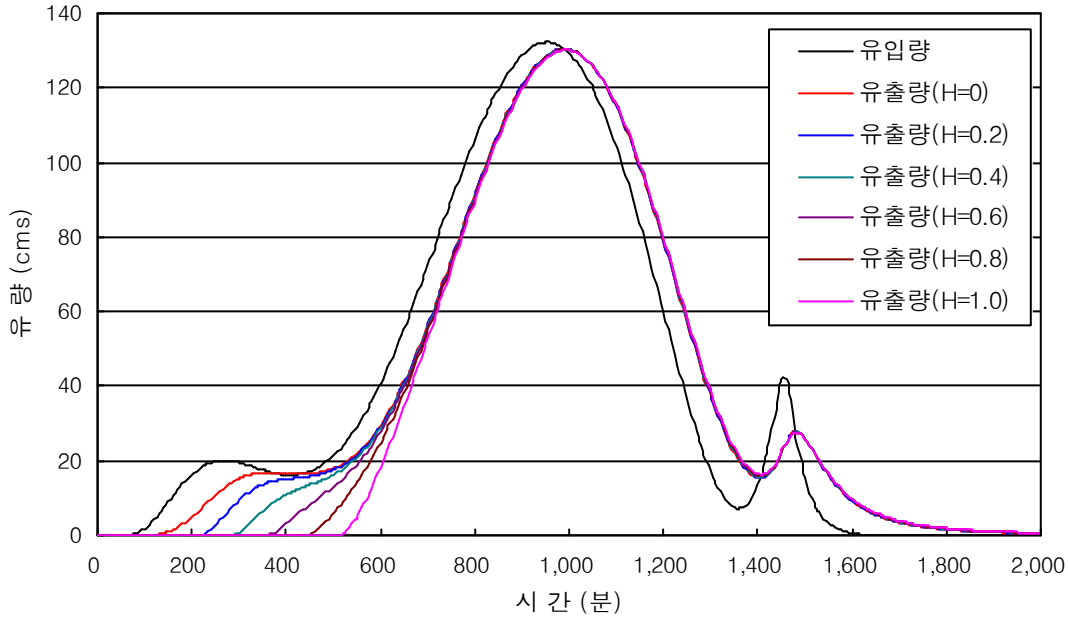
이 조건은 가동보를 기립시켜 저류공간을 확보한 이후에도 계속된 홍수의 유입으로 추가 확보된 저류공간이 만수되어 결국 가동보를 월류하여 방류하게 될 때 가동보 상단에 형성되는 월류수위로 인해 저수지의 안전이 위협받지 않도록 하는데 목적이 있다. 따라서 현 여수로 월류부 상단과 제체 둑마루 표고간에 차이가 작을 경우 가동보 설치 자체가 불가능 하거나 가동보의 기립 높이가 작아서 저류공간 확보 효율이 저하된다.

앞서 선정한 <표 12.11>의 저수지 중 현장조사를 통해 가동보 설치가능 여부를 확인한 결과 삽교천 유역의 오봉, 옥계 저수지와 무한천 유역의 송석 저수지, 그리고 곡교천 유역의 마산 저수지는 월류부 상단과 제체 둑마루 표고차가 크지 않거나 월류부 구조상

가동보 설치가 불가능한 것으로 판단하여 검토 대상에서 제외하였다.

(3) 홍수조절 효과 분석

홍수발생 초기에 가동보를 기립시켜 저류공간을 추가로 확보할 경우의 홍수조절 효과를 가동보 설치전의 유출량과 비교하여 첨두유출량 저감효과를 검토하였다. <그림 12.24>는 삽교천 시점부에 위치한 홍동저수지의 100년 빈도 유입량을 대상으로 현재와 같이 가동보를 설치하지 않은 상태와 0.2~1.0m의 높이로 가동보를 설치하였을 경우의 유출수문곡선을 비교한 결과이다.



<그림 12.24> 가동보에 의한 홍수조절효과 비교

<그림 12.24>에서 가동보를 기립시킬 경우 초기유출이 다소 지연되는 것을 알 수 있으나, 첨두유출량의 크기와 발생시기는 가동보의 높이에 관계없이 유사하게 발생하는 것을 알 수 있다. 홍동저수지의 100년 빈도 홍수시 첨두유입량은 132.23㎥/sec이고 여수로 유출부에 가동보를 설치하지 않은 현재와 같은 유출조건에서 첨두유출량은 130.47㎥/sec인데 비해, 가동보를 설치할 경우의 첨두유출량은 가동보의 높이에 따라 130.15~130.41㎥/sec으로 분석되었다. 따라서, 가동보에 의해 확보된 저류공간은 초기유출을 지연하는데 효과가 있지만 일단 이 공간이 만수될 경우의 유출특성은 가동보 설치 이전과 크게 다르지 않음을 알 수 있으며, 기대할 수 있는 첨두홍수량 저감효과는 크지 않은 것을 알 수 있다.

이러한 결과는 유출량 조절기능 없이 단순히 저류공간만을 확장한 결과 첨두홍수량이 유입하기 전에 이미 홍수조절공간이 만수되어 홍수조절 기능을 상실하기 때문이다.

(4) 소요 사업비 추정

여수로에 가동보를 설치하여 홍수조절용량을 일시적으로 확장하는 방안의 장점은 가동보 설치비용 이외에 다른 공종의 사업비가 필요하지 않아 비교적 저렴한 비용으로 사업을 시행할 수 있다는 점이다.

일반적으로 가동보의 형식은 상단 고정식과 하단 고정식으로 구분할 수 있는데, 상단 고정식은 부유물질에 의해 작동에 지장 받을 위험이 있으므로 하단 고정식을 선정하였으며, 도복과 기립에 있어 신속하게 작동할 수 있고 유지관리가 용이한 고무보를 채택하였다. 가동보의 설치비용은 과거 설치 사례를 바탕으로 높이별 설치연장에 따른 공사비를 회귀식으로 유도하여 추정하였다.

가동보 설치에 필요한 공사비는 가동보 설치 이외에 가동보 설치에 적합하도록 여수로의 월류부를 보강하는 공정 및 조작실 설치로 크게 구분하여 공사비를 추정하였으며, 가동보 작동에 필요한 전기를 인입하기 위한 비용은 인접한 자연부락이나 지방도를 기준으로 거리를 산정하여 추정하였다.

<표 12.15> 가동보 설치 공사비 추정 기준

단위 : 원

공 종	공 사 비	비 고
가 동 보	H=0.5m, 공사비(원)=4,271,300×L+89,153,000 H=0.8m, 공사비(원)=5,471,800×L+102,387,000 H=1.0m, 공사비(원)=-1,086×L^2+6,612,000×L+113,611,000 H=1.2m, 공사비(원)=7,434,100×L+125,903,000 H=1.5m, 공사비(원)=8,755,700×L+152,043,000 H : 가동보 높이(m), L : 가동보 설치 높이(m)	제경비 포함
구 조 물 공	74,722원/㎥ × H × L	제경비 제외
1차측 전기 인입공사	기본거리(200m) : 484,000원 추가거리(1m당) : 39,000원/m	제경비 제외
조 작 실	35,000,000원/개소	제경비 제외

<표 12.16> 저수지별 가동보 설치비용 추정 결과

일련번호	저수지명 칭	가동보설치			구조물공 (천원)	조작실 (천원)	1차측 전기인입공		제경비 (천원)	공사비 (천원)
		연장 (m)	높이 (m)	금 액 (천원)			거 리 (m)	금 액 (천원)		
1	순성	40	1.0	376,400	2,991	35,000	200	484	19,237	434,112
2	봉림	45	1.2	460,400	4,038	35,000	200	484	19,761	519,683
3	용봉	40	1.2	423,300	3,589	35,000	200	484	19,537	481,910
4	홍양	60	1.0	506,400	4,486	35,000	200	484	19,985	566,355
5	홍동	70	0.8	485,400	4,187	35,000	405	8,479	23,833	556,899
6	수철	30	1.0	311,000	2,243	35,000	200	484	18,864	367,591
7	관산	25	1.0	278,400	1,869	35,000	470	11,014	23,942	350,225
8	천태	60	1.2	571,900	5,384	35,000	200	484	20,434	633,201
9	수정	20	0.8	211,800	1,196	35,000	590	15,694	25,945	289,636
10	화암	20	1.2	275,600	1,795	35,000	1,162	38,002	37,398	387,795
11	매산	25	0.5	195,900	935	35,000	470	11,014	23,474	266,323
12	여래미	25	1.0	278,400	1,869	35,000	200	484	18,677	334,430
13	신대	60	1.5	677,400	6,729	35,000	200	484	21,107	740,720
14	방산	40	1.2	423,300	3,589	35,000	200	484	19,537	481,910
15	가혜	70	1.2	646,300	6,281	35,000	522	13,042	27,161	727,784
16	궁평	130	1.5	1,290,300	14,581	35,000	200	484	25,032	1,365,397
17	수철	30	1.2	348,900	2,692	35,000	200	484	19,088	406,164
18	월랑	25	1.2	311,800	2,243	35,000	425	9,259	23,251	381,553
19	천호	40	1.5	502,300	4,486	35,000	200	484	19,985	562,255
20	도고	40	1.2	422,900	3,589	35,000	200	484	19,537	481,510

【주】 공사비는 (구조물공+조작실+1차측 전기 인입공사)×{1+0.5(제경비)}+가동보 설치비임.

다. 준설에 의한 홍수조절용량 확보

기존 농업용 저수지의 저류용량을 확보하는 방안 중 준설의 장점은 추가적인 시설물 공사비용과 보상비를 필요로 하지 않는다는 점이다. 저수지의 준설은 일반적으로 유사의 퇴적으로 인한 내용적의 감소를 보완하는 수단으로서 실시되어 왔으나, 홍수조절용량 확보 수단으로서의 준설은 이러한 저류용량유지 차원이 아니라 저류가능 용적을 확장하는 것을 의미한다.

금회 검토에서는 준설에 의해 발생한 토사의 사토거리를 10km로 가정하여 비용을 계산하였다. 그 결과 1㎥의 홍수조절용량을 확보하는데 소요되는 총비용은 약 18,546원으로 추정되었다.

<표 12.17> 저수지 준설비용 추정 기준

공 종	장 비	단 위	단 가	비 고
준 설	준설선 비항 SD 600HP	원/㎥	4,236	
사 토	적재 : 백호 0.7㎥	원/㎥	897	
	운반 :덤프트럭 15ton(L=10㎞)	원/㎥	5,957	
	정리 : 도쟈 19ton	원/㎥	150	
기 타		원/㎥	1,124	
소 계		원/㎥	12,364	
제 경 비	순공사비의 50%	원/㎥	6,182	
계		원/㎥	18,546	

<표 12.17>의 저수지 준설비용은 일반적인 농업용 저수지의 준설비용에 비해 다소 과대하게 추정되었는데 그 이유는 저수지 내용적 유지를 위한 유지관리 측면의 준설은 비관개기에 저수지 수위를 최대한 낮추어 놓고 수면 이상의 공간을 육상작업에 의해 굴착하는데 비해, 금회 계획한 홍수조절공간 확보를 위한 준설은 그 규모를 고려할 때 내용적 유지 측면의 준설과 방법을 달리 할 수밖에 없고, 대상 저수지가 20여 개소에 달해 이수손실이 없도록 하기 위해서는 수중공사가 불가피할 것으로 판단하였기 때문이다.

홍수방어 대안으로서 준설의 단점은 이러한 비용이 목표한 홍수조절용량을 유지하기 위해서는 지속적으로 소요된다는 점이고, 무엇보다도 저수지를 준설하여 홍수조절용량을 확보하여도 유출조절 기능이 없을 경우 초기에 유입된 홍수에 의해 홍수조절용량이 잠식되어 실질적으로 첨두홍수량 저감효과가 거의 없다는 점에서 전술한 여수로 개량과 효과는 동일한데 비해 동일한 홍수조절공간을 확보하는 비용이 여수로에 가동보를 설치하는 비용에 비해 10배 이상 커서 경제적이지 못하다는데 있다.

<표 12.18> 저수지 준설 및 가동보 설치 공사비 비교

일련번호	저수지명	가동보설치				가동보 설치 대비 저수지 준설 규모				저류량 1㎥ 확보 비용		비 고
		연장 (m)	높이 (m)	저류량 (㎥)	공사비 (천원)	공사비 기준		저류량 기준		가동보 설 치 (원)	저수지 준 설 (원)	
						준설량 (㎥)	공사비 (천원)	준설량 (㎥)	공사비 (천원)			
1	순성	40	1.0	393,084	434,112	23,407	434,112	393,084	7,290,136	1,104	18,546	
2	봉림	45	1.2	229,174	519,683	28,021	519,683	229,174	4,250,261	2,268	18,546	
3	용봉	40	1.2	204,408	481,910	25,984	481,910	204,408	3,790,951	2,358	18,546	
4	홍양	60	1.0	576,755	566,355	30,537	566,355	576,755	10,696,498	982	18,546	
5	홍동	70	0.8	318,334	556,899	30,028	556,899	318,334	5,903,822	1,749	18,546	
6	수철	30	1.0	151,187	367,591	19,820	367,591	151,187	2,803,914	2,431	18,546	

<표 12.18> 저수지 준설 및 가동보 설치 공사비 비교 (계속)

일련번호	저수지명	가동보설치				가동보 설치 대비 저수지 준설 규모				저류량 1㎥ 확보 비용		비 고
		연장 (m)	높이 (m)	저류량 (㎥)	공사비 (천원)	공사비 기준		저류량 기준		가동보 설 치 (원)	저수지 준 설 (원)	
						준설량 (㎥)	공사비 (천원)	준설량 (㎥)	공사비 (천원)			
7	관산	25	1.0	104,194	350,225	18,884	350,225	104,194	1,932,382	3,361	18,546	
8	천태	60	1.2	525,377	633,201	34,142	633,201	525,377	9,743,642	1,205	18,546	
9	수정	20	0.8	43,692	289,636	15,617	289,636	43,692	810,312	6,629	18,546	
10	화암	20	1.2	50,374	387,795	20,909	387,795	50,374	934,236	7,698	18,546	
11	매산	25	0.5	34,410	266,323	14,360	266,323	34,410	638,168	7,740	18,546	
12	여래미	25	1.0	145,539	334,430	18,032	334,430	145,539	2,699,166	2,298	18,546	
13	신대	60	1.5	379,847	740,720	39,939	740,720	379,847	7,044,642	1,950	18,546	
14	방산	40	1.2	297,922	481,910	25,984	481,910	297,922	5,525,261	1,618	18,546	
15	가혜	70	1.2	895,610	727,784	39,242	727,784	895,610	16,609,983	813	18,546	
16	궁평	130	1.5	1,811,805	1,365,397	73,622	1,365,397	1,811,805	33,601,736	754	18,546	
17	수철	30	1.2	86,938	406,164	21,900	406,164	86,938	1,612,352	4,672	18,546	
18	월랑	25	1.2	209,215	381,553	20,573	381,553	209,215	3,880,101	1,824	18,546	
19	천호	40	1.5	415,391	562,255	30,316	562,255	415,391	7,703,841	1,354	18,546	
20	도고	40	1.2	1,047,951	481,510	25,962	481,510	1,047,951	19,435,299	459	18,546	

라. 저수지 증고

(1) 증고 대상 저수지 선정

기존 농업용 저수지의 여수로에 가동보를 설치하여 홍수시 일시적으로 저류공간을 확장하는 방안은 저류공간 확보 측면에서는 준설에 비해 경제적이지만, 유출조절 기능이 부재하여 확보한 저류공간을 적절히 활용하지 못함으로써 그 치수효과가 미흡하고, 무엇보다 저수지의 홍수위가 가동보 설치 이전에 비해 상승함으로써 저수지의 안전에 위해요인이 발생한다는 점에서 효과적인 치수대책이라 할 수 없다.

또한 여수로 개량에 의해 해당 저수지 자체로는 어느 정도의 홍수조절 효과가 발생하여도, 대부분의 저수지가 유역의 상류부에 위치하고 홍수도달 시간이 짧아 첨두홍수 발생시간이 본류와 상이하므로 유역 전체적으로는 첨두홍수량 저감 효과가 없거나 오히려 본류의 첨두홍수량을 증가시키는 경우가 발생할 수 있다.

따라서, 주요 하천의 본류에 위치하거나 본류와 첨두홍수 발생시간이 유사한 위치에 있는 저수지를 치수목적으로 활용하되 유출조절 기능을 부여하는 것이 효과적이라 판단하여 삽교천 유역내 주요 하천의 본류 또는 본류와 첨두홍수 발생시간이 유사한 위치에 있는 저수지 중에서 만수면적이 커서 증고에 소요되는 비용을 최소화 하면서도 상대적

으로 큰 홍수조절용량 확보가 가능하고, 아울러 공사비와 보상비가 저렴하게 소요될 수 있는 저수지를 선정하였다.

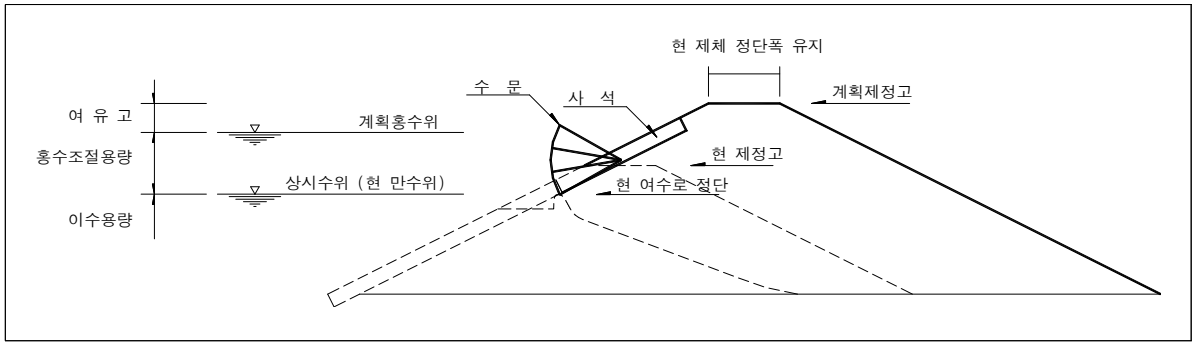
그 결과 삽교천 유역내에서 만수면적이 가장 큰 곡교천의 지류인 온양천 상류에 위치한 궁평 저수지와 삽교천 시점부에 위치한 홍동 저수지 및 삽교천의 1지류인 장성천 상류의 홍양 저수지, 무한천 유역의 상류에 위치한 신대 저수지를 증고하여 치수목적으로 활용하는 방안을 검토하였다. 금회 검토대상으로 선정된 저수지는 본류의 첨두홍수 저감에 미치는 영향도 다른 저수지에 비해 우수하지만 궁평 저수지는 아산시 상류에 위치하고, 홍양 저수지는 홍성읍에서 삽교천 본류와 합류하는 장성천의 상류에 위치하여 아산시와 홍성읍의 치수안전에 기여하는 바가 클 것으로 예상된다.

<표 12.19> 저수지 증고대상 저수지 제원

저수지명	하 천 명			유역면적 (㎢)	유 효 저류용량 (천㎥)	월류부 연 장 (m)	월류부 표 고 (EL.m)	제정부 표 고 (EL.m)
	본 류	제1지류	제2지류					
홍 동	삽교천	삽교천	-	14.58	795	70	38.7	40.7
홍 양	삽교천	장성천	-	21.34	1,660	60	28.0	30.8
신 대	무한천	신양천	운곡천	9.64	1,716	60	94.0	97.2
궁 평	곡교천	온양천	-	43.41	6,913	130	64.0	68.8

(2) 저수지 증고 계획

기존 농업용 저수지의 효과적인 증고 계획을 수립하기 위해 현장조사를 실시하여 지장물과 지형적인 특성을 조사하였으며, 각 저수지별로 유역비홍수량 100mm에 해당하는 저류용량을 저수지 증고에 의해 확보할 수 있는 홍수조절용량의 상한치로 하고, 유효저류용량의 20%를 하한치로 하는 5개의 홍수조절용량을 기준으로 계획제정고를 구분하여 공사비와 보상비를 추정하였다. 이 결과에 의해 소요비용대비 홍수조절용량 곡선을 작성하여 경제적인 저수지 계획고를 결정하는 기준으로 활용하였다.



<그림 12.25> 저수지 증고 및 용량배분 계획

이때 설계홍수량은 200년 빈도 홍수량의 1.2배로 하고 저수지 운영은 홍수조절용량이

크지 않은 점을 감안하여 일정량 방식을 채택하였으며, 계획제정고는 계획홍수위에 현 여유고와 "바람에 의한 파랑고+1.5m"를 더한 값 중 큰 값으로 결정하였다. 또한 현 여수로의 월류부 상단에 문비를 설치하여 현재의 이수용량은 그대로 유지하되 저수지 증고에 의해 확보한 저류공간은 홍수조절 공간으로만 활용하는 것으로 계획하였다.

① 증고규모별 제원

각 저수지별로 유역비홍수량 100mm에 해당하는 저류용량을 상한치로 하고, 유효저류용량의 20%를 하한치로 하는 5개의 증고규모를 결정하여 각각의 경우에 대해 소요제원을 산정한 결과는 <표 12.20>과 같다.

<표 12.20> 저수지별 증고규모별 소요제원

저수지	현 제정고 (EL.m)	증고높이 (m)	계 획 제정고 (EL.m)	계 획 홍수위 (EL.m)	홍 수 조절용량 (㎥)	비 고
홍 동	40.70	0.85	41.55	39.10	158,999	
		1.65	42.35	39.90	483,754	
		2.39	43.09	40.64	808,496	
		3.09	43.79	41.34	1,133,258	
		3.75	44.45	42.00	1,458,008	
홍양	30.80	0.59	31.39	28.59	331,999	
		1.36	32.16	29.36	782,506	
		2.09	32.89	30.09	1,232,994	
		2.79	33.59	30.79	1,683,502	
		3.49	34.29	31.49	2,133,997	
궁평	68.80	1.17	69.97	65.17	1,382,599	
		1.74	70.54	65.74	2,122,220	
		2.28	71.08	66.28	2,861,812	
		2.81	71.61	66.81	3,601,432	
		3.34	72.14	67.34	4,340,991	
신대	97.20	1.38	98.58	95.38	343,198	
		1.92	99.12	95.92	498,397	
		2.45	99.65	96.45	653,606	
		2.97	100.17	96.97	808,805	
		3.49	100.69	97.49	963,993	

② 비용산정

저수지 증고에 소요되는 공사비는 제체증고, 홍수조절용 문비 설치 및 부대공에 소요되는 비용에 대해 추정하였으며, 저수지 증고에 의해 확보된 공간을 총수조절 목적으로 활용할 경우 일시적으로침수가 예상되는 지역의 보상비는 기존 저수지의 토지매입선이 명확하지 않은 관계로 현 저수지 제정고에서 계획제정고까지의 면적을 대상으로 토지이용 현황에 따라 구분하여 산정하였다. 이때 전작지 면적의 50%에서 비닐하우스 제배가 이루어지고 있는 것으로 가정하였으며, 가옥보상과 이주보상비 산정에 기준이 되는 예상 침수지역의 세대수 및 가구당 인구 추정은 해당 군청의 통계자료를 활용하여 추정하고 가옥보상은 1세대의 건평을 국민주택 25.7평(85㎡)을 기준으로 하여 산정하였다.

<표 12.21> 홍동저수지 증고 공사비 추정 결과

증고높이		단위	증고 규모별 추정사업비				
			0.85m 증고	1.65m 증고	2.39m 증고	3.09m 증고	3.75m 증고
계획홍수위		EL.m	39.10	39.90	40.64	41.34	42.00
계획제정고		EL.m	41.55	42.35	43.09	43.79	44.45
홍수조절용량		㎥	158,999	483,754	808,496	1,133,258	1,458,008
사업비	토공	백만원	140	237	333	427	519
	구조물공	백만원	29	34	39	43	47
	부대공 및 기타	백만원	85	135	186	235	283
	제경비	백만원	127	203	279	353	425
	수문운반 및 설치비	백만원	1,010	1,909	2,695	3,481	4,266
	보상비	백만원	295	601	916	1,235	1,553
	계	백만원	1,685	3,119	4,448	5,774	7,093

<표 12.22> 홍양저수지 증고 공사비 추정 결과

증고높이		단위	증고 규모별 추정사업비				
			0.59m 증고	1.36m 증고	2.09m 증고	2.79m 증고	3.49m 증고
계획홍수위		EL.m	28.59	29.36	30.09	30.79	31.49
계획제정고		EL.m	31.39	32.16	32.89	33.59	34.29
홍수조절용량		㎥	331,999	782,506	1,232,994	1,683,502	2,133,997
사업비	토공	백만원	106	192	280	365	457
	구조물공	백만원	31	35	40	44	49
	부대공 및 기타	백만원	217	317	441	573	715
	제경비	백만원	177	272	381	491	611
	수문운반 및 설치비	백만원	1,397	1,800	2,485	3,238	3,915
	보상비	백만원	1,129	1,323	1,538	1,773	2,044
	계	백만원	3,057	3,939	5,165	6,484	7,791

<표 12.23> 궁평저수지 증고 공사비 추정 결과

증 고 높 이		단 위	증고 규모별 추정사업비				
			1.17m 증고	1.74m 증고	2.28m 증고	2.81m 증고	3.34m 증고
계 획 홍 수 위		EL.m	65.17	65.74	66.28	66.81	67.34
계 획 제 정 고		EL.m	69.97	70.54	71.08	71.61	72.14
홍 수 조 절 용 량		㎥	1,382,599	2,122,220	2,861,812	3,601,432	4,340,991
사업비	토 공	백만원	502	693	879	1,064	1,253
	구 조 물 공	백만원	95	103	109	116	123
	부 대 공 및 기 타	백만원	1,222	3,415	3,919	4,513	5,123
	제 경 비	백만원	910	2,106	2,454	2,847	3,250
	수 문 운 반 및 설 치 비	백만원	4,898	6,338	8,067	9,508	10,948
	보 상 비	백만원	3,083	11,154	12,552	14,032	15,560
	계	백만원	10,710	23,809	27,980	32,080	36,257

<표 12.24> 신대저수지 증고 공사비 추정 결과

증 고 높 이		단 위	증고 규모별 추정사업비				
			1.38m 증고	1.92m 증고	2.45m 증고	2.97m 증고	3.49m 증고
계 획 홍 수 위		EL.m	95.38	95.92	96.45	96.97	97.49
계 획 제 정 고		EL.m	98.58	99.12	99.65	100.17	100.69
홍 수 조 절 용 량		㎥	343,198	498,397	653,606	808,805	963,993
사업비	토 공	백만원	374	494	616	736	860
	구 조 물 공	백만원	31	34	36	38	41
	부 대 공 및 기 타	백만원	329	476	656	1,186	1,420
	제 경 비	백만원	367	502	654	980	1,161
	수 문 운 반 및 설 치 비	백만원	1,449	1,830	2,287	2,440	3,050
	보 상 비	백만원	102	144	185	570	646
	계	백만원	2,652	3,480	4,434	5,950	7,178

③ 증고규모의 결정

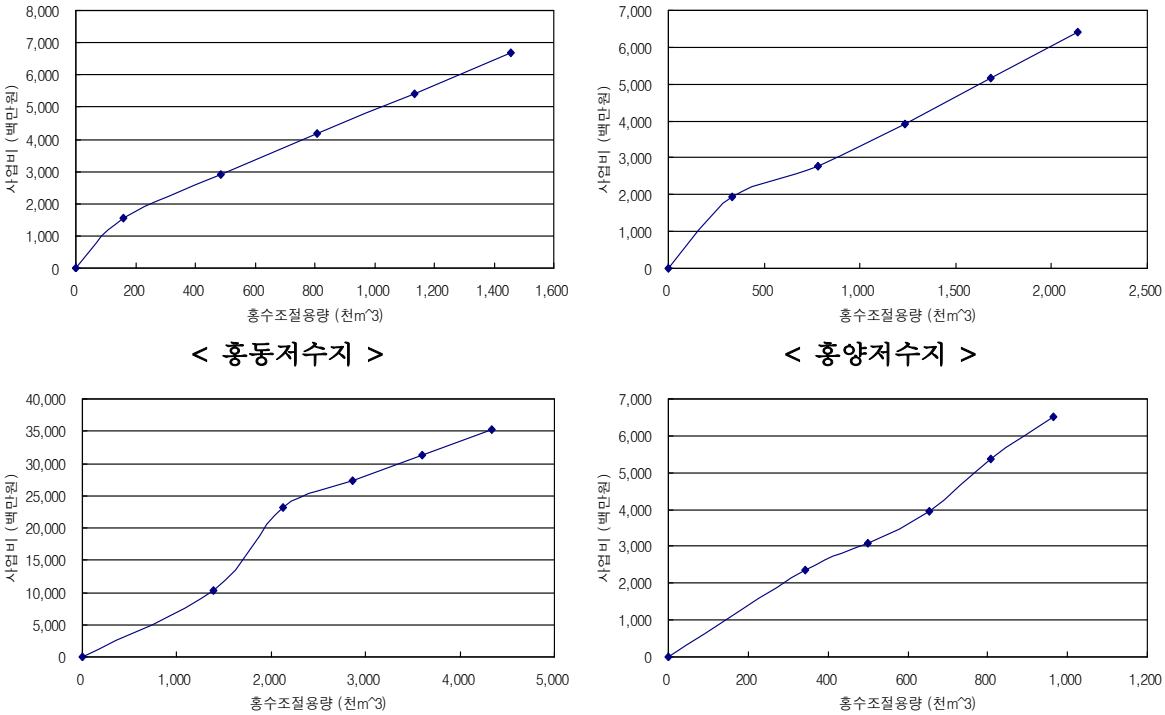
4개 저수지의 최종 증고 규모는 앞에서 산정한 홍수조절용량별 보상비와 공사비에 의해 증고비용대비 저류용적 관계곡선을 작성하여 가장 저렴한 비용으로 최대의 홍수조절용량을 확보할 수 있도록 결정하였으며, 현장조사를 통해 조사된 증고에 제한을 주는 요소를 최대한 반영하여 결정하였다.

저수지별로 증고에 제한을 주는 지형, 지물에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

홍동저수지 주변은 전형적인 농경지로 증고에 지장을 주는 특별한 지장물은 없으며, 홍양저수지는 저수지 주변에 자연부락과 농로 및 일부 위락시설이 위치하여 증고시 일

부가 계획홍수위 이하에 위치하게 될 것으로 예상된다. 신대저수지는 상류측 일부 지역만 답작과 전작이 이루어지고 있을 뿐 대부분이 임야지대이며, 궁평저수지는 제체 일부를 포함하여 현 저수지 서측 경계에 632호 지방도가 위치하고 있고 일부 지방도 구간에 자연부락이 접하여 숭상이 곤란한 구간이 있다.

각 저수지별 증고규모는 <그림 12.26>의 증고비용 대비 저류량 곡선에서 변곡점에 해당되는 저류용적을 확보할 수 있도록 결정하였으며, 이 결과에 의한 최종 결정된 저수지 증고계획과 이에 소요되는 비용을 정리하면 <표 12.25> 및 <표 12.26>과 같다.



< 홍동저수지 > < 홍양저수지 >

< 궁평저수지 > < 신대저수지 >

<그림 12.26> 저수지별 홍수조절용량 대비 사업비 곡선

이상의 검토 결과 홍동과 홍양 저수지는 증고에 의한 홍수조절용량 증가와 사업비의 증가 성향이 유사하여 검토대상 규모 중 상한치인 유역비홍수량 100mm에 해당하는 홍수조절용량을 확보할 수 있도록 각각 3.75m와 3.49m를 증고 하는 것으로 계획하였다. 신대저수지는 2.45m 이상 증고 할 경우 사업비의증가가 그 이전에 비해 다소 가파르게 증가하는 것으로 분석되어 2.45m를 증고 하여 현 유효저수량의 약 38%에 해당하는 홍수조절용량을 확보하고, 궁평 저수지는 약 1.2m 이상 증고 하면 저수지 북측 경계에 위치한 632호 지방도와 지방도 주변 자연부락의 수몰로 인해 보상비가 급격히 증가하므로 검토대상 규모의 하한치에 해당하는 1.17m를 증고 하는 것으로 계획하였다.

<표 12.25> 저수지 증고계획

구 분	홍동 저수지	홍양 저수지	궁평저수지	신대 저수지	비 고
계획홍수위 (EL.m)	42.00	31.49	65.17	96.45	
여 유 고 (m)	2.45	2.80	4.80	3.20	
홍수조절용량(10^3m^3)	1,458(3.30)	2,134(3.49)	1,383(1.17)	654(2.45)	
계획제정고(EL.m)	44.45	34.29	69.97	99.65	
현제정고(EL.m)	40.70	30.80	68.80	97.20	
수문신설(B×H×n)	5.0×3.8×11련	5.0×4.0×9련	5.0×1.7×20련	7.0×3.0×20련	
증 고 규 모 (m)	3.75	3.49	1.17	2.45	

【주】( )의 값은 홍수조절 공간의 수심(m)임.

<표 12.26> 저수지 증고 사업비

단위 : 백만원

공 종	홍동 정수지	홍양 저수지	신대 저수지	궁평 저수지	비 고
토 공	519	457	616	502	
구 조 물 공	47	49	36	95	
부대공 및 기타	283	715	656	1,222	
제 경 비	425	611	654	910	
수문운반 및 설치비	4,266	3,915	2,289	4,898	
보 상 비	1,553	2,044	185	3,083	
계	7,093	7,791	4,434	10,710	

(3) 효과분석

저수지 증고의 효과를 최대화하기 위해 여수로에 수문을 설치하여 홍수조절이 가능하도록 계획하였으며, 홍수조절기법은 홍수조절용량이 충분하지 않으므로 일정량 방법을 채택하여 일정유량까지 유입량을 전부 방류하다가 그 이상이 되면 일정량을 방류하는 것으로 가정하였다. 이렇게 각 저수지별 홍수조절 방식에 의해 산정된 계획방류량을 기준으로 하도추적을 실시하여 본류 홍수량 산정지점에서의 첨두홍수량 감소 효과를 분석함으로써 저수지 증고에 따른 홍수조절 효과를 평가하였다. 그 결과 100년 빈도 홍수를 기준으로 삽교천 국가하천 시점부는 69.0~90.1㎥/sec, 무한천의 예당지 유입량은 38.7㎥/sec의 첨두홍수량 감소가 기대된다. 그러나 곡교천의 국가하천 시점부인 온양천 합류후 지점의 첨두홍수량은 오히려 38.9㎥/sec 증가하는 것으로 분석되어 본류 유역에서는 치수효과를 기대하기 어려운 것으로 판단된다. 이러한 결과는 궁평 저수지가 위치한 온양천의 첨두도달시간이 본류인 곡교천에 비해 빠른데 원인이 있다. 즉, 궁평 저수지에 의한 홍수조절로 온양천의 홍수수문곡선 감수부가 증가한 것이 결과적으로 첨두홍수가 늦게 나타나는 곡교천의 첨두홍수량을 증가시키는 역할을 한 것으로 설명할 수 있다.

<표 12.27> 저수지 증고에 의한 홍수조절 효과 검토

저수지	지점	첨두홍수량 (㎥/sec)	홍수규모										비고
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	300년	500년	
홍동	저수지 지점	현 재	67.1	82.3	97.0	105.6	116.2	125.4	130.5	144.2	153.7	164.2	
		증고후	12.3	22.6	33.6	40.2	48.6	56.0	60.2	71.4	79.4	88.2	
		첨두홍수량 변화	54.8	59.7	63.4	65.4	67.6	69.4	70.3	72.8	74.3	76.0	
	덕산천 합류후	현 재	725.7	885.0	1,042.9	1,135.0	1,247.6	1,353.0	1,402.0	1,553.0	1,652.0	1,764.0	국가하천 시 점
		증고후	670.5	825.5	980.2	1,069.9	1,181.6	1,284.5	1,333.0	1,481.9	1,579.0	1,690.2	
		첨두홍수량 변화	55.2	59.5	62.7	65.1	66.0	68.5	69.0	71.1	73.0	73.8	
홍양	저수지 지 점	현 재	103.9	128.8	152.6	166.3	183.4	199.0	206.4	229.2	242.6	259.3	
		증고후	24.0	42.5	61.0	71.9	85.8	98.8	104.9	124.1	135.4	149.8	
		첨두홍수량 변화	79.9	86.3	91.6	94.4	97.6	100.2	101.5	105.1	107.2	109.5	
	덕산천 합류후	현 재	725.7	885.0	1,042.9	1,135.0	1,247.6	1,353.0	1,402.0	1,553.0	1,652.0	1,764.0	국가하천 시 점
		증고후	649.2	804.0	958.7	1,048.4	1,160.2	1,263.3	1,311.9	1,461.2	1,558.7	1,670.3	
		첨두홍수량 변화	76.5	81.0	84.2	86.6	87.4	89.7	90.1	91.8	93.3	93.7	
궁평	저수지 지 점	현 재	137.4	165.0	193.9	210.8	231.3	250.8	259.4	287.2	304.4	325.3	
		증고후	72.0	95.7	121.0	135.9	154.6	172.3	180.2	205.6	221.4	240.6	
		첨두홍수량 변화	65.4	69.3	72.9	74.9	76.7	78.5	79.2	81.6	83.0	84.7	
	온양천 합류후	현 재	953.7	1,135.6	1,321.5	1,429.3	1,563.2	1,690.0	1,746.0	1,925.0	2,038.0	2,170.5	국가하천 시 점
		증고후	947.4	1,138.7	1,335.1	1,449.4	1,591.6	1,725.7	1,784.9	1,976.0	2,095.1	2,237.4	
		첨두홍수량 변화	6.3	-3.1	-13.6	-20.1	-28.4	-35.7	-38.9	-51.0	-57.1	-66.9	
신대	저수지 지 점	현 재	33.8	41.4	49.1	53.5	59.1	64.4	66.7	74.2	79.3	84.9	
		증고후	7.5	12.9	18.8	22.4	26.9	31.2	33.1	39.5	43.7	48.6	
		첨두홍수량 변화	26.3	28.5	30.3	31.1	32.2	33.2	33.6	34.7	35.6	36.3	
	예당지 유 입	현 재	1,343.0	1,630.0	1,916.0	2,081.0	2,287.0	2,476.0	2,565.0	2,838.0	3,018.0	3,222.0	
		증고후	1,314.7	1,599.4	1,882.6	2,046.5	2,250.4	2,437.6	2,526.3	2,797.1	2,976.2	3,178.5	
		첨두홍수량 변화	28.3	30.6	33.4	34.5	36.6	38.4	38.7	40.9	41.8	43.5	

마. 농업용 저수지 치수목적 활용방안

삽교천 유역내에 산재한 소규모 농업용 저수지에 홍수조절기능을 부여하기 위한 방안으로서 1) 준설, 2) 여수로 월류부에 가동보 설치, 3) 저수지를 증고 및 수문 설치 등의 방안에 대해 검토한 결과 준설은 비용이 과다하게 소요되고, 공사 중 하상에 퇴적된 오염물질의 부유에 의한 2차 오염, 홍수저류공간 유지를 위한 지속적인 준설의 필요 등 유지관리에 부담이 크며, 여수로 월류부에 가동보를 설치하여 홍수조절 공간을 추가로 확보하는 방안은 홍수조절공간 확보에 소요되는 비용은 저렴하지만 유출량을 조절할 수 있는 기능이 없어 홍수조절 공간을 효과적으로 사용할 수 없으므로 첨두홍수량 감소 효과가 미미하며, 저수지의 위치에 따라 본류의 첨두홍수량 저감에 기여하는 정도가 상이하여 실질적으로 치수효과를 기대할 수 없는 경우가 많은 것으로 분석되었다.

이에 비해 저수지를 증고하여 홍수조절 용량을 확보하고, 여수로에 수문를 설치하여 유출량을 조절할 경우 사업비가 다른 방안에 비해 크게 소요되는 부담은 있지만 홍수조절 효과가 가장 확실한 방안이라 판단된다. 그러나 궁평 저수지의 증고효과 분석에서 볼 수 있듯이 저수지의 위치에 따라 본류의 첨두홍수량을 오히려 증가시키는 역효과도 발생할 수 있으므로, 본류의 치수대책 측면에서는 증고대상 저수지의 입지를 충분히 고려하여야 할 것이다.

이상의 검토결과 삽교천 유역내에 위치한 농업용 저수지의 치수목적 활용방안으로서 삽교천과 무한천 본류의 첨두홍수량 감소 효과가 기대되는 홍동, 홍양, 신대 저수지의 증고 및 수문을 설치하여 운영하되, 앞서의 예당지 증고와 같이 현 상시만수위는 그대로 유지하여 이수용량의 손실이 없도록 하고, 증고에 의해 확보된 공간은 홍수시에만 일시적으로 활용하는 치수전용 공간으로 계획하였다.

따라서, 저수지 증고에 의해 상향조정된 계획홍수위 이하의 지역은 영구적인 수몰지역은 아니며, 홍수시에만 일시적인 침수가 발생하는 하천구역과 같은 형태가 될 것이다.

12.3.4 천변저류지

가. 개 요

홍수방어 대안으로서 저류시설은 크게 지역외 저류시설(Off Site형)과 지역내 저류시설(On Site)로 구분하며, 지역외 저류시설은 하도를 기준으로 설치 위치에 따라 On-line 방식과 Off-line 방식의 시설로 구분되는데 On-line 형식의 저류시설은 주로 하천을 횡단하는 구조물로 댐, 조절지 등이 있고, Off-line 형식은 하천 주변에 시설물을 설치하여 홍수량을 조절하는 것으로서 천변저류지가 여기에 해당한다.

천변저류지는 일반적으로 하천 또는 수로에 접하여 제방의 일부를 낮춘 월류언을 이용하여 첨두홍수량의 일부를 저류하는 형식으로 운영하는데 이러한 형태는 과거 농경지 조성 및 보호를 목적으로 홍수터에 제방을 축조하여 보수기능을 상실한 구(舊)하도를 복원한다는 개념에 바탕을 두고 있다. 따라서 하도의 흐름에 직접적인 영향을 미치므로 첨두홍수량 조절효과가 우수하고 그 효과가 즉시 나타나는 장점이 있어 당해 하천의 상류로는 수위저감 효과를, 하류로는 홍수량 저감 효과를 기대할 수 있다. 반면에 다른 저류시설에 비해 농경지 손실이 거의 없고, 특히 대부분의 천변저류지가 침수취약지역에 설치되므로 취약지역을 해소하면서도 다른 지역의 치수안전성을 제고할 수 있다는 점에서 바람직한 홍수방어대안이라 할 수 있다.

그러나 천변저류지를 설치하는 대부분의 지형에 있어 저류수심을 충분히 확보할 수 없으므로 목적한 효과를 발휘하기 위해서는 다른 방법에 비해 상대적으로 넓은 평면적 공간을 필요로 하며, 현재 농경지로 사용하는 지역을 천변저류지로 활용할 경우 지역 주민들의 심리적 거부감을 극복해야 하는 부담이 있다.

나. 천변저류지 부지 보상방안 검토

천변저류지는 하도를 유하하는 홍수의 유입이 용이하여야 하며, 가능한 적은 면적에 많은 양을 저류할 수 있는 조건을 충족시켜야 한다. 이러한 관점에서 천변저류지로 적합한 지형은 하천에 접한 저지대라 할 수 있는데 이런 지역의 대부분은 외수범람뿐 아니라 강제배수시설이 없을 경우 수시로 내수침수 피해를 당하는 치수적으로 취약지역으로 분류되는 지역이다. 또한 이 지역들은 일반적으로 중요한 시설이 위치하거나 인구 밀집지역이기 보다는 농경지로 활용되는 지역으로서 천변저류지로 활용할 경우 비록 완성제방에 의해 보호받을 때에 비해 외수범람에 의한 침수피해 발생확률이 증가하지만 전혀 경작이 불가능한 상황이 되는 것은 아니다. 특히 실제 홍수조절을 위해 홍수량을 월류시켜 사용하는 빈도가 낮을 경우 현재의 토지이용 상태를 유지할 수 있을 것이다.

따라서, 농경지로 이용되는 지역을 천변저류지로 활용할 경우 부지에 대한 보상방안으로서 국가가 대상지역을 매입하는 방법 외에도 현재와 같이 경작을 하면서 천변저류지로 사용하여 대상지역에 침수피해가 발생하였을 경우 보상하는 방안도 적용 가능할 것이다. 이러한 배경에서 천변저류지로 활용하는 지역의 합리적이고 경제적인 보상방안을 검토하기 위해 무한천의 예당지 직하에 위치한 손지지구와 입침지구를 대상으로 국가가 사업시행 단계에서 천변저류지 부지를 전량 매수하는 경우와 피해 발생시 수시로 보상하는 방안에 대해 다음의 3가지 경우를 가정하여 소요비용을 비교하였다.

천변저류지 보상방안에 대한 소요비용 비교 사례

1) 월류부 표고를 50년 빈도 홍수위로 설정하여 50년간 사용할 경우의 부지 매입비와 피해 보상비 비교
2) 월류부 표고를 50년 빈도 홍수위로 설정했을 때, 부지매입과 피해보상 비용이 같게 되는 사용기간
3) 천변저류지를 설치하여 50년간 사용할 때, 부지매입과 피해보상 비용이 같게 되는 월류부 표고

※ 3개 사례 검토에 있어 할인율은 “치수사업 경제성분석 방법연구, 2004, 건설교통부”에서 제안한 6%를 적용하고, 토지에 대한 잔존가치는 당초 매입에 사용한 비용의 100%로 가정.

각각의 사례에 대한 경제성 검토에 앞서 매입비용과 침수피해가 발생했을 경우의 보상비를 다음과 같이 산정하였다.

<표 12.28> 손지・입침지구 부지 매입비 산출내역

구 분	단 가 (원)	면적 (㎡)		보상비 (백만원)			비고
		손 지	입 침	손 지	입 침	계	
답	12,150	575,644	645,233	6,994	7,840	14,834	
전	14,250	82,884	32,867	1,181	468	1,649	
주거지	30,000	14,305	0	429	0	429	
하 도	0	6,404	1,680	0	0	0	
포장길	0	267	0	0	0	0	
비닐하우스	23,000	82,884	32,867	1,906	756	2,662	
가옥보상	400,000	2,130	0	852	0	852	
이주보상비	13,622,250	18	0	245	0	245	
계		679,503	679,780	11,608	9,064	20,672	

<표 12.28>에서 손지지구와 입침지구는 주로 답작지로 이용되고 있으므로 매입비용은 이 지역 답작지 공시지가의 1.5배를 공통적으로 적용하였고, 손지지구내에 위치한 인가의 이주보상비 등을 포함한 기타 비용은 침수피해 발생시에만 보상하는 경우에도 사업

초기에 공통적으로 소요되는 비용이므로 비교대상에서 제외하였다. 즉, 토지매입과 홍수발생시 보상방안의 비용 비교는 천변저류지 대상 부지중 경작지로 활용되는 지역에 대한 매입비용과 이 지역에 침수피해가 발생하였을 경우의 보상비만을 비교하였으며, 이러한 기준에서 손지, 입침지구의 매입비는 16,483백만원으로 추정되었다.

이에 비해 침수피해 발생시 보상비는 손지, 입침지구의 매입대상 지역 전체를 답작지로 가정하고 2003년 기준 예산군의 쌀 생산량과 1등품 쌀 수매가격을 기준으로 산정하였다. 답작의 경우 침수시간 및 침수심에 따라 피해정도가 달라지므로 홍수규모별로 보상비가 차이나는 것이 현실적이지만 금회 검토에서는 피해가 발생하였을 경우 100% 보상하는 것을 가정하였다. 보상비 산출 내역은 다음과 같다.

- ○ 예산군 쌀 생산량 : 533 kg/10a
- ○ 쌀 수매가(일등품 기준) : 58,020 원/40kg
- ○ 답작지역 면적 : 13,366 a
- ○ 보상비(100% 피해 기준) : 13,366/10 × 530 × 58,020/40 = 1,033백만원

□ 검토사례 1 : 월류부 표고를 50년 빈도 홍수위로 설정하여 50년간 사용할 경우의 부지 매입비와 피해 보상비 비교

현시점에서의 부지 매입비는 16,483백만원이며, 50년 후의 잔존가치는 다음의 식에 의해 895백만원으로 산정되었다.

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{16,483}{(1+0.06)^{50}}$$

여기서 F : 미래의 가격

i : 할인율 (%), 6% 적용

n : 기간

P : 현재의 가격

따라서, 실제 부지매입에 소요되는 비용은 현 시점의 부지매입비에서 50년 후의 잔존가치를 감한 금액인 15,588백만원이 된다. 이에 비해 현 시점에서의 총 소요 보상비는 천변저류지 월류부의 표고를 50년 빈도 홍수위를 기준으로 하였으므로, 매년 50년 빈도 이상의 홍수가 발생할 초과확률에 해당 하는 보상비 소요가 발생하며 이 비용을 다음식에 의해 현 시점의 가격으로 환산하여 누계하면 326백만원이 된다.

$$P = A\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n} = 20.66\frac{(1+0.06)^{50}-1}{0.06(1+0.06)^{50}} = 325.640$$

여기서 A : 매년 보상비 소요 (보상비 × 50년 빈도 이상의 홍수 발생확률)

= 1,033 × 0.02 = 20.66

이상과 같이 현 시점을 기준으로 천변저류지 부지 매입비와 50년간 침수피해가 발생할 경우 소요되는 보상비를 산정한 결과 부지매입비가 15,588백만원으로 피해보상비 326백만원의 약 48배에 해당하여 부지 매입보다는 침수피해 발생시 보상하는 것이 매우 경제적인 것으로 나타났다.

□ **검토사례 2 : 월류부 표고를 50년 빈도 홍수위로 설정했을 때, 부지매입과 피해보상 비용이 같게 되는 사용기간**

매년 발생하는 보상비 소요는 다음의 균등부금현가계수를 통해 산정할 수 있는데 이때 천변저류지 사용기간 n이 무한대로 커지면 다음과 같이 할인율의 역수에 해당하는 값이 되므로 현 시점을 기준으로 산정한 피해보상비의 상한치는 413백만원이 된다. 그러나 이 값은 앞서 산정한 매입비의 2.65%에 불과하므로 천변저류지 부지에 대한 매입비와 보상비가 같게 되는 사용기간 산정은 불가하며, 이 결과에 의해 천변저류지 월류부의 표고를 50년 빈도 홍수위를 기준으로 하였을 경우 부지를 매입하는 것 보다는 피해가 발생했을 경우 전액 보상하는 방안이 매우 경제적이라 할 수 있다.

$$P = A\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n} = \frac{A}{i} = 20A = 20\times 20.66 = 413.2$$

□ **검토사례 3 : 천변저류지를 설치하여 50년간 사용할 때, 부지매입과 피해보상 비용이 같게 되는 월류부 표고**

천변저류지를 50년간 사용하면서 현 시점에서의 순 매입비 15,588백만원에 해당 하는 보상비를 지출하려면 매년 발생하는 보상비 소요는 989백만원으로 다음의 균등부금자본환원계수에 의해 산출되었다.

$$A = P\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} = 15{,}588\frac{0.06(1+0.06)^{50}}{(1+0.06)^{50}-1} = 989.0$$

매년 보상비 소요가 989백만원 발생하기 위한 홍수의 초과확률은 1회 침수피해 보상비 1,033백만원을 고려할 때 0.957이 되며, 이는 매년 침수피해가 발생하는 것을 의미한다. 따라서, 천변저류지를 설치하는데 있어 월류제를 설치하지 않고 무제부로 환원하여도 매년 발생하는 피해를 보상하는 것이 부지를 매입하는 것과 경제적으로 차이가 없으며, 특히 천변저류지에 제방을 설치하지 않을 경우 하도의 수위 저하시 침수된 유량을 배제하는데 유리하므로 실질적으로 천변저류지 부지의 이용에 있어 바람직한 형태라고 할 수 있다.

이상의 검토에 의해 손지·입침지구와 같이 주로 답작지로 이용되고 있는 하천변 저지대를 천변저류지로 활용할 경우 경제적인 효율만을 추구한다면 부지를 국가가 매입하지 않고, 현재의 토지이용 상태를 그대로 유지하면서 침수피해가 발생하였을 경우에만 피해보상을 실시하는 것이 유리할 것이다. 그러나 이런 결론은 토지이용을 제한하여 결국 개인의 사유재산권을 침해할 소지가 있으며, 특히 개인에게 침수피해의 위험을 감수토록 강요하는 결과가 될 수 있음에 주의하여야 한다. 따라서, 천변저류지 설치에 따른 보상방법으로서 실제 발생하는 피해에 대해 보상하는 방법을 채택하기 위해서는 대상부지의 토지이용을 상대적으로 침수피해가 적은 형태로 제한 할 수 있는 제도적 뒷받침이 필요하고, 아울러 보상에 대한 합리적인 기준이 마련되어야 하며, 특히 매년 반복되어 침수피해 위험에 노출되는 것에 대한 보상이 선행되어야 할 것이다.

현행 법률체계에서 홍수방어대안으로 천변저류지를 설치하기 위한 시행 가능한 방안은 하천법을 근거로 하여 하천구역 또는 연안구역으로 편입하는 것이며, 이를 위해서는 하천정비기본계획에서 세부적인 검토를 시행하여 천변저류지의 적합성 여부를 확인하고, 하천구역과 연안구역 중 어느 구역에 해당되는지를 검토하여 하천대장에 기재하고 하천관리위원회의 심의를 거쳐 천변저류지 구역을 설정하여야 한다.

다. 천변저류지 대상지역 선정

천변저류지 설치 대상지역으로 이상적인 입지는 제방에 접하여 자연지형이나 도로와 같은 인공시설로 둘러싸인 저지대로서 지역내에 자산가치가 높은 시설이 없고, 해당 천변저류지가 유발하는 치수효과의 공간적인 한계범위 이내에 인구 밀집지역이나 지역의 경제적인 가치가 높거나 치수적으로 보호할 필요성이 높은 지역이 위치하여야 한다. 아울러 천변저류지를 설치하는데 있어 지역주민들의 정서도 충분히 감안하여야 할 것이다. 즉, 치수적으로 안전한 지역에 천변저류지를 설치하여 타 지역을 보호하는 것 보다는 침수피해가 빈발하거나 치수적으로 취약한 지역을 천변저류지화 하는 것이 해당 지역주민들에게 천변저류지 설치의 당위성을 설득하는데 유리할 것이다. 특히 상습침수지역을 천변저류지로 활용할 경우 부지를 매입하지 않고 피해가 발생하였을 경우에만 보상하는 방안의 도입이 용이하며, 침수피해의 보상을 통해 해당 지역의 치수적인 문제를 해소하는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

이러한 관점에서 볼 때 삽교천 유역의 상류부는 하천변 저지대의 면적이 작고 경작지가 계단식으로 형성되어 저류공간을 충분히 확보하기 어려우며, 천변저류지 입지로서 적당한 지형이어도 주변에 보호할 만한 지역이 없어 실질적인 효과를 기대하기 어려우며,

무엇보다 치수적으로 크게 취약하지 않아 천변저류지화 할 경우 부지를 전량 매입하는 경우도 발생할 있어 경제적으로 부담이 예상된다.

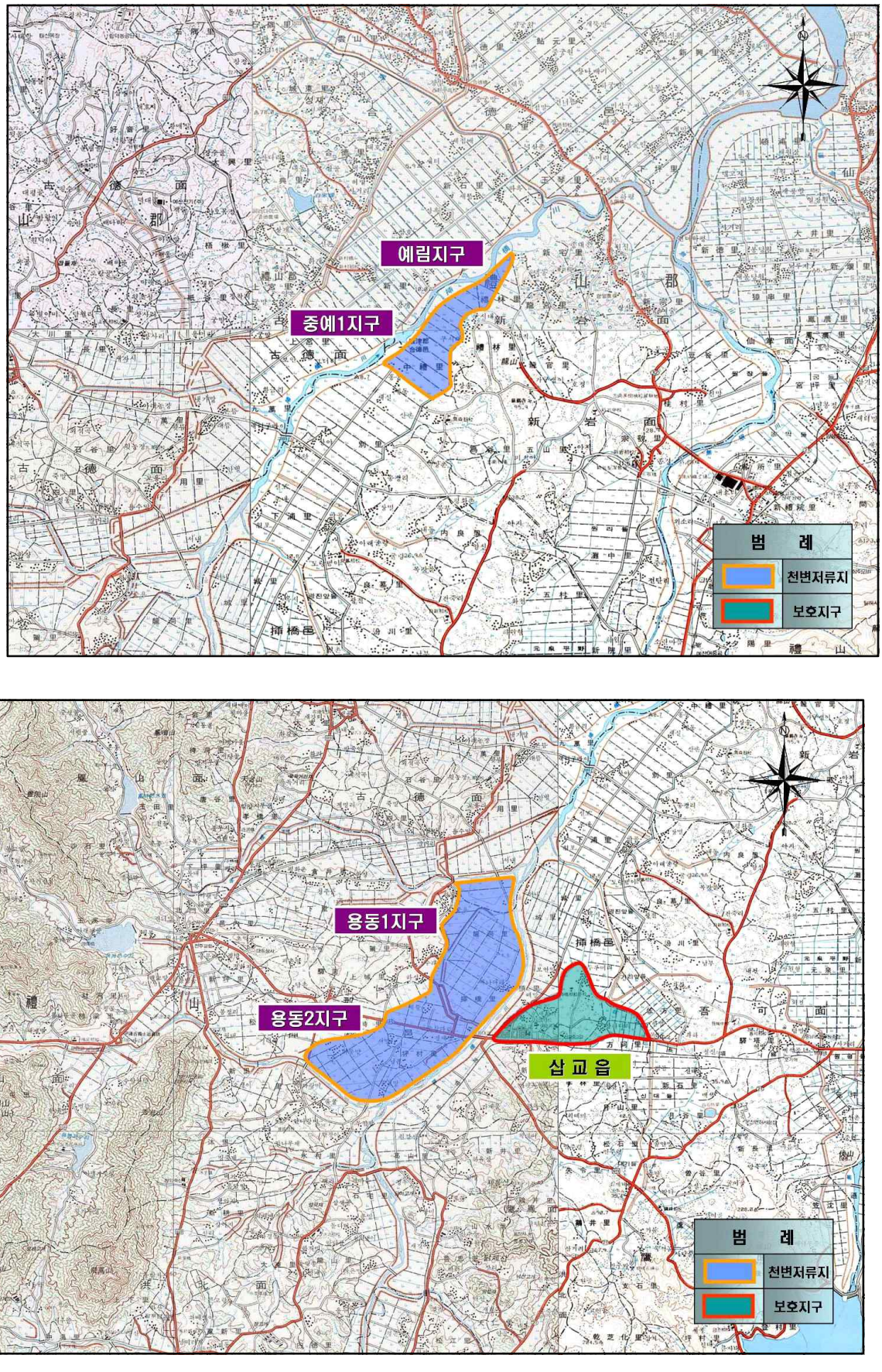
따라서, 금회 과업에서는 유역 중하류부에 위치한 침수취약지역 중 자산가치가 낮고 주변에 인구가 밀집된 도시나 경제적인 가치가 높은 지역이 위치한 지역을 대상으로 천변저류지 설치를 검토하였다. 검토 대상지역은 '제 9 장 치수단위구역 구분 및 치수안전도 설정'에서 치수단위소구역으로 설정한 주요 하천변 저지대로서 '치수사업 경제성분석 방법연구, 2004, 건설교통부'에서 제시한 방법에 의해 지역의 자산가치를 평가하여 천변저류지 입지 선정의 기준으로 활용하였다.

그 결과 삽교천 유역의 중예1, 예림, 용동1, 용동2 지구와 곡교천 유역의 산양, 곡교3, 와천, 중방 지구 및 무한천 유역의 신종, 계촌, 손지, 입침 지구 등 12개 지구를 선정하여 천변저류지 설치 효과 및 경제성을 검토하였다. 선정된 12개의 지구 중 용동2 지구를 제외한 11개 지구는 전체 54개의 치수단위소구역 중 자산가치 기준으로 하위 30%에 포함되며, 특히 입침 지구 등 8개 지구는 자산가치가 가장 작은 지역으로서 지구내에 주거지역이나 산업지역이 포함되지 않고 순수하게 경작지로만 활용되는 지역이다. 또한 검토대상 지구의 상류나 하류 지역에 인접하여 도시가 위치하거나 자산가치가 높은 농공단지가 위치하여 천변저류지로 인한 홍수유하량 감소나 홍수위 저하의 효과가 크게 기대되는 지역으로 인접한 2개의 지구를 연계하여 운영함으로써 홍수저류능력을 확장하고 특정지역에 피해가 집중되는 것을 방지하도록 계획하였다.

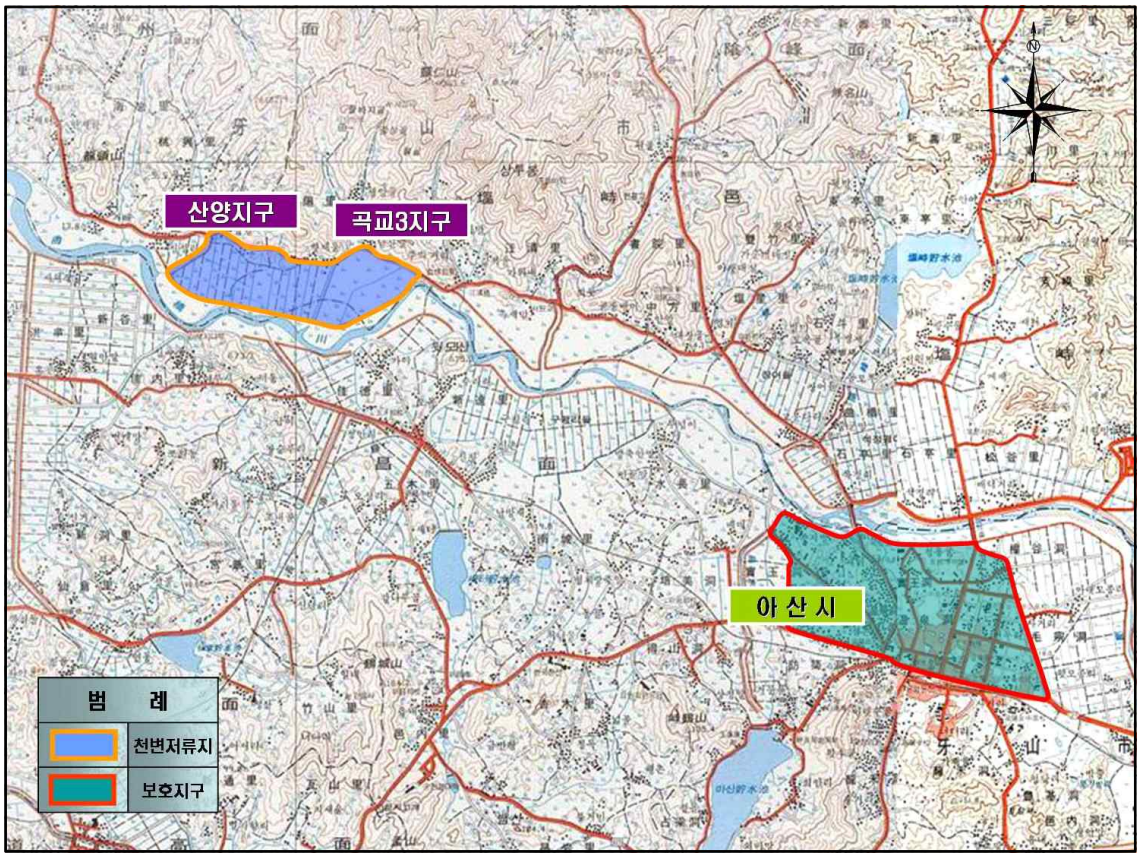
<표 12.29> 천변저류지 입지의 특성

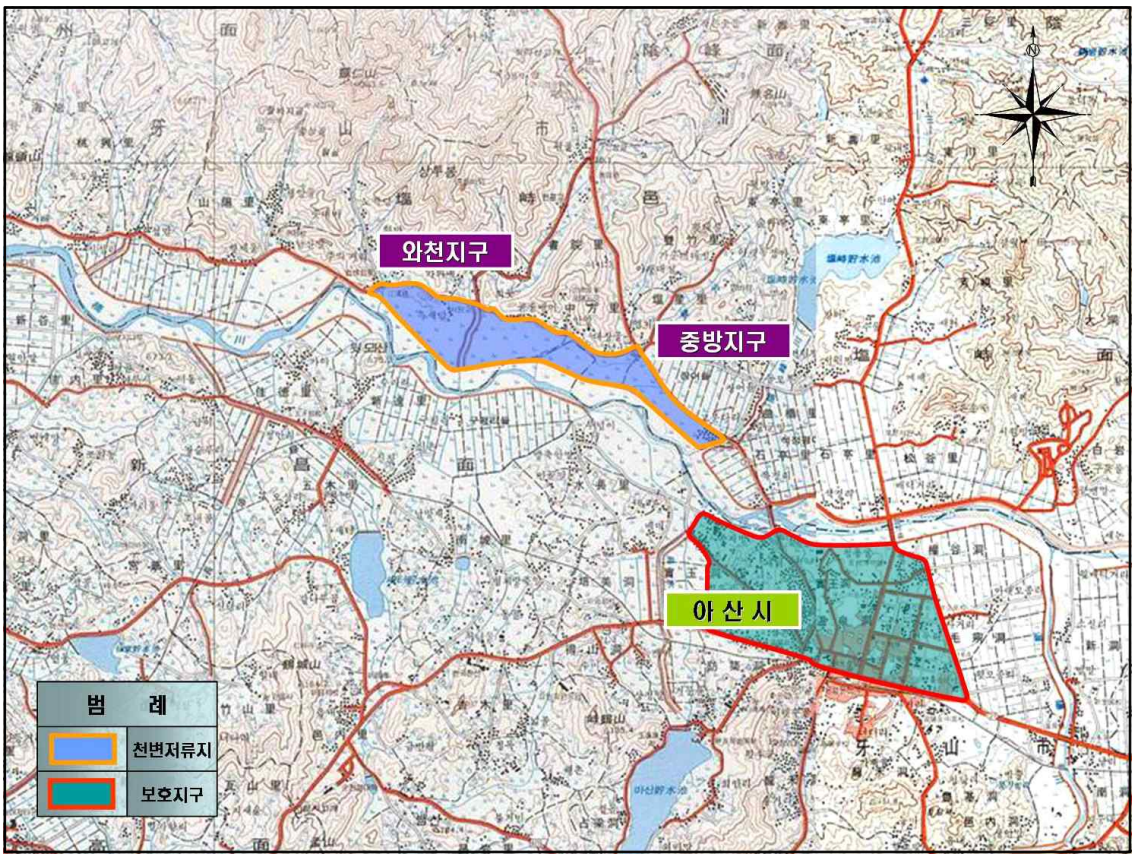
수계	지구명	면적(ha)	자산가치 (백만원)	비자산 (백만원/ha)	기대효과	비고
삽교천	예림배수장	67.0	343	5.1 (50)	삽교천 홍위를 저하시킴으로써 직하류에서 합류하는 무한천의 홍수위 저하	연계운영
	중예1배수장	92.8	627	6.8 (41)		
	용동1배수장	98.8	474	4.8 (54)	직하류 우안측에 위치한 삽교읍 보호	연계운영
	용동2배수장	496.3	51,906	104.6 (11)		
곡교천	산양배수장	80.7	489	6.1 (43)	상류에 위치한 아산시 보호	연계운영
	곡교잔류3	67.3	342	5.1 (51)		
	와 천	38.1	189	5.0 (53)	상류에 위치한 아산시 보호	연계운영
	중방배수장	82.1	408	5.0 (52)		
무한천	신종배수장	155.8	804	5.2 (48)	대안측에 위치한 신례원읍 보호	연계운영
	계촌배수장	125.5	644	5.1 (49)		
	손 지	78.2	1,719	22.0 (37)	하류에 위치한 예산읍과 원평지구내 농공단지 보호	연계운영
	입 침	77.9	409	5.3 (47)		

( )안은 비자산의 순위임.

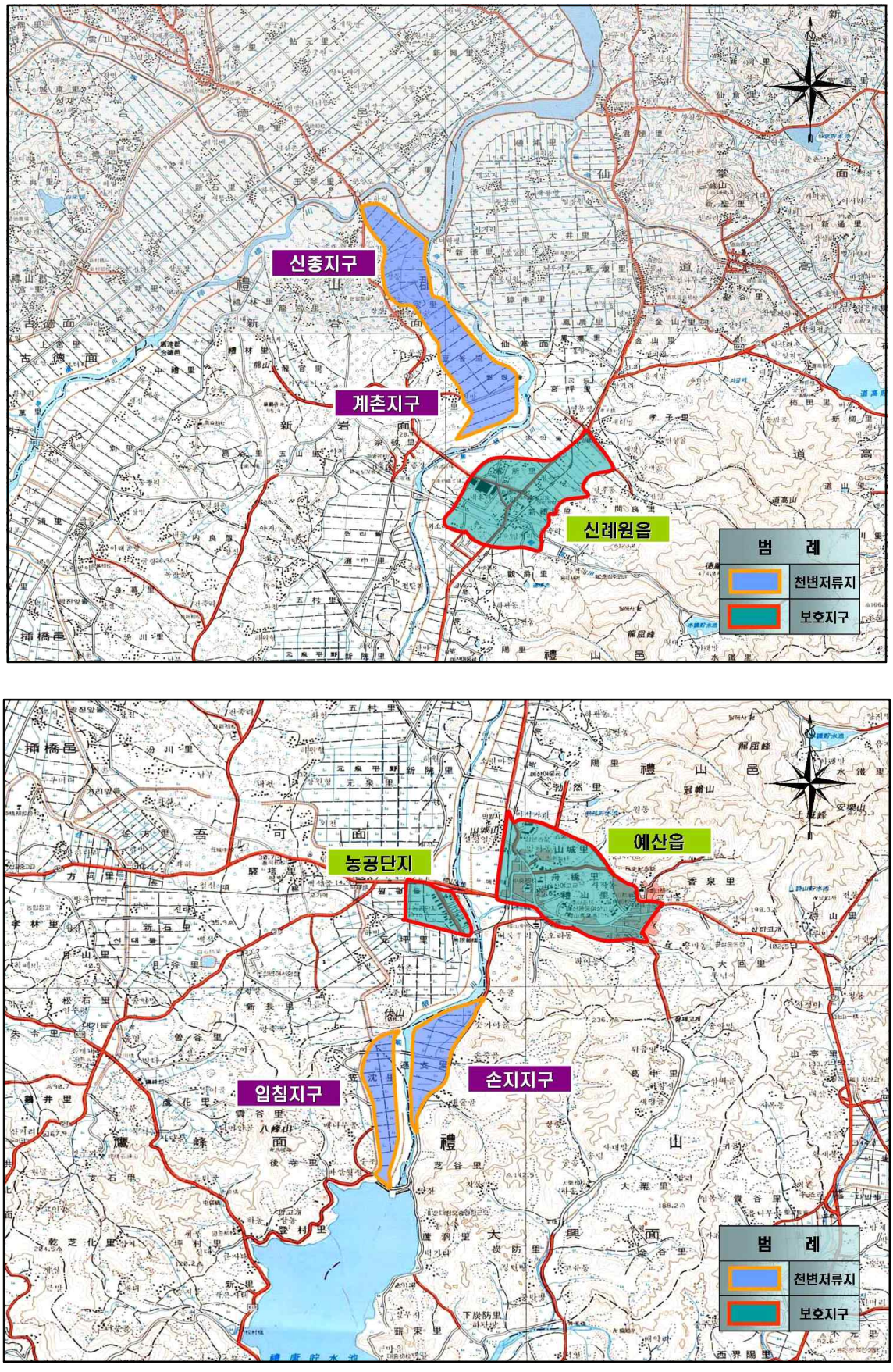


<그림 12.27> 천변저류지 설치 검토대상지구 위치도 (삽교천)





<그림 12.28> 천변저류지 설치 검토대상지구 위치도 (곡교천)



<그림 12.29> 천변저류지 설치 검토대상지구 위치도 (무한천)

<표 12.30> 치수단위소구역의 자산가치

치수단위 소 구 역	총 계			주거지역			농업지역						산업지역	
	면 적 (ha)	자 산 (백만원)	비자산 (백만원/ha)	면 적 (ha)	건 물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면 적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소계	논	밭	소계	논	밭		
계	13,367.6	1,434,676	107.3	419.6	546,637	140,132	12,299.6	12,111.8	187.8	65,194	63,261	1,934	48.3	682,713
곡교잔류4	205.6	350,606	1705.4	18.8	111,943	32,506	158.3	123.7	34.6	1,027	646	381	10.2	205,131
원평배수장	246.7	315,700	1279.9	2.1	2,094	468	204.1	156.8	47.3	1,290	819	471	26.2	311,848
발연배수장	37.7	32,169	853.4	1.6	3,951	1,086	33.9	33.9	0.0	177	177	0	1.3	26,955
무한	27.5	11,990	436.2	0.7	1,694	466	22.3	22.3	0.0	116	116	0	0.5	9,715
곡교잔류5	405.0	158,759	392.0	22.0	53,458	10,516	353.2	349.1	4.1	1,868	1,823	45	6.8	92,918
산성배수장	26.3	5,614	213.6	1.4	3,526	970	22.9	22.9	0.0	120	120	0	0.0	998
염성배수장	125.5	16,612	132.4	3.6	8,727	1,717	108.9	108.9	0.0	569	569	0	0.4	5,599
탄중배수장	309.4	38,076	123.1	19.4	29,205	7,288	267.9	229.3	38.7	1,583	1,197	386	0.0	0
성리2배수장	83.5	9,098	109.0	7.3	7,182	1,529	74.0	74.0	0.0	387	387	0	0.0	0
발연	28.5	3,048	106.9	0.9	2,276	626	26.7	25.3	1.4	146	132	13	0.0	0
용동2배수장	**496.3**	**51,906**	**104.6**	**30.0**	**29,487**	**6,276**	**441.1**	**434.1**	**7.1**	**2,338**	**2,267**	**71**	**1.6**	**13,806**
하포배수장	172.8	17,527	101.4	14.0	13,785	2,946	152.3	152.3	0.0	796	796	0	0.0	0
궁평	105.9	9,927	93.7	2.9	7,059	1,941	98.3	98.2	0.1	514	513	1	0.0	413
삽교잔류7	60.5	5,475	90.6	4.4	4,282	911	53.9	53.9	0.0	282	281	0	0.0	0
하평1배수장	522.6	41,513	79.4	33.0	30,882	8,075	475.2	462.1	13.1	2,556	2,414	142	0.0	0
삽교잔류6	32.5	1,949	59.9	1.0	1,031	219	26.9	26.9	0.0	141	141	0	0.1	558
삽교잔류1	197.0	11,224	57.0	0.2	200	55	178.3	177.1	1.2	938	925	13	0.7	10,030
하평2배수장	766.1	43,156	56.3	33.5	31,549	7,840	721.2	721.2	0.0	3,767	3,767	0	0.0	0

<표 12.30> 치수단위소구역의 자산가치 (계속)

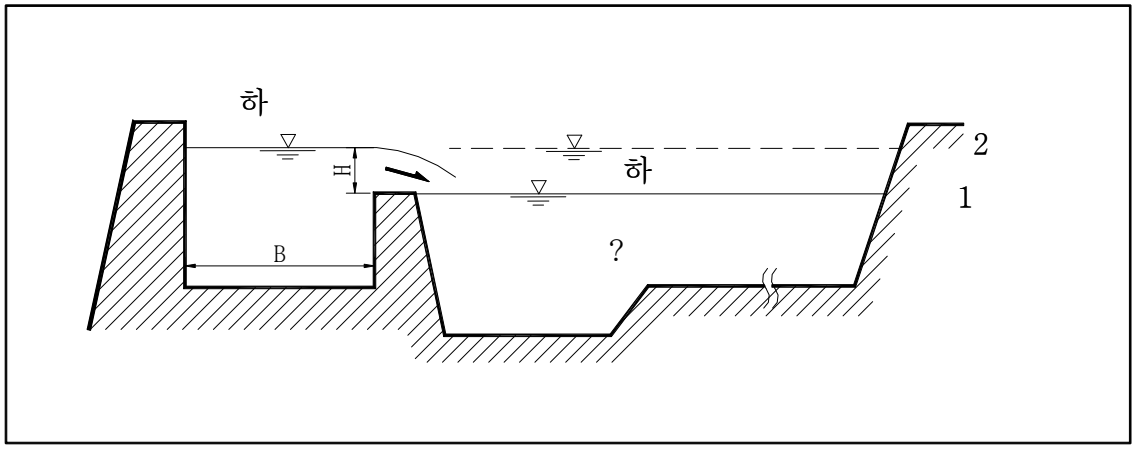
치수단위 소 구 역	총 계			주거지역			농업지역						산업지역	
	면 적 (ha)	자 산 (백만원)	비자산 (백만원/ha)	면 적 (ha)	건 물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면 적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소계	논	밭	소계	논	밭		
신덕배수장	550.1	27,233	49.5	16.2	20,148	4,356	522.3	522.3	0.0	2,728	2,728	0	0.0	0
신석배수장	547.8	26,783	48.9	20.4	19,135	4,973	512.2	512.2	0.0	2,675	2,675	0	0.0	0
중예2배수장	172.1	8,236	47.9	6.2	6,130	1,288	156.5	156.4	0.1	818	817	1	0.0	0
삽교잔류4	1,515.7	71,285	47.0	66.5	50,233	13,660	1,415.1	1,414.9	0.2	7,392	7,390	2	0.0	0
곡교잔류1	675.9	30,212	44.7	17.5	21,487	5,371	642.3	642.3	0.0	3,355	3,355	0	0.0	0
성리1배수장	281.7	12,590	44.7	9.4	9,234	1,966	266.2	266.2	0.0	1,390	1,390	0	0.0	0
황금배수장	151.3	6,275	41.5	4.4	4,580	956	141.5	141.5	0.0	739	739	0	0.0	0
봉농배수장	117.8	4,859	41.3	1.7	3,735	563	107.4	107.4	0.0	561	561	0	0.0	0
신리배수장	347.7	14,257	41.0	10.5	10,045	2,529	322.2	322.2	0.0	1,683	1,683	0	0.0	0
신창배수장	221.4	9,066	40.9	4.8	4,819	3,127	209.1	204.2	4.8	1,120	1,067	53	0.0	0
곡교잔류2	170.1	6,938	40.8	5.1	4,118	2,092	139.3	139.2	0.1	728	727	1	0.0	0
남원2	522.4	21,146	40.5	16.4	14,648	4,059	464.5	462.4	2.2	2,438	2,415	23	0.0	0
하포천	222.3	8,798	39.6	6.5	6,378	1,343	206.2	206.2	0.0	1,077	1,077	0	0.0	0
용리1배수장	100.9	3,804	37.7	2.6	2,733	571	95.9	95.9	0.0	501	501	0	0.0	0
가덕배수장	98.4	2,759	28.0	1.4	1,388	901	89.3	88.8	0.6	470	464	6	0.0	0
삽교잔류3	1,047.6	28,020	26.7	25.9	17,881	4,954	992.5	992.5	0.0	5,184	5,184	0	0.0	0
남원3	258.2	6,680	25.9	1.1	1,343	372	239.0	238.1	0.9	1,253	1,244	10	0.3	3,711
도고배수장	102.4	2,484	24.3	1.4	1,706	369	78.3	78.3	0.0	409	409	0	0.0	0
손지	**78.2**	**1,719**	**22.0**	**1.2**	**1,050**	**234**	**73.4**	**62.3**	**11.1**	**436**	**325**	**110**	**0.0**	**0**

<표 12.30> 치수단위소구역의 자산가치 (계속)

치수단위 소 구 역	총 계			주거지역			농업지역						산업지역	
	면 적 (ha)	자 산 (백만원)	비자산 (백만원/ha)	면 적 (ha)	건 물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면 적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소계	논	밭	소계	논	밭		
삽교잔류2	207.4	2,840	13.7	0.6	514	261	197.8	197.8	0.0	1,033	1,033	0	0.1	1,032
용리2배수장	252.0	2,953	11.7	1.4	1,398	294	241.4	241.4	0.0	1,261	1,261	0	0.0	0
남원1	237.4	2,331	9.8	0.8	977	271	207.2	207.1	0.1	1,083	1,082	1	0.0	0
중예1배수장	**92.8**	**627**	**6.8**	**0.1**	**122**	**26**	**91.6**	**91.4**	**0.2**	**479**	**477**	**2**	**0.0**	**0**
신가배수장	59.9	384	6.4	0.1	69	15	57.5	57.5	0.0	300	300	0	0.0	0
산양배수장	**80.7**	**489**	**6.1**	**0.1**	**47**	**24**	**80.0**	**79.9**	**0.1**	**418**	**417**	**1**	**0.0**	**0**
수장배수장	72.8	425	5.8	0.1	81	53	54.7	53.8	0.9	291	281	10	0.0	0
창소배수장	54.8	314	5.7	0.0	0	0	46.7	32.0	14.7	314	167	147	0.0	0
종경배수장	566.1	3,208	5.7	0.3	308	69	541.5	540.8	0.6	2,831	2,825	6	0.0	0
입침	**77.9**	**409**	**5.3**	**0.0**	**0**	**0**	**75.3**	**72.0**	**3.3**	**409**	**376**	**33**	**0.0**	**0**
신종배수장	**155.8**	**804**	**5.2**	**0.0**	**0**	**0**	**154.0**	**154.0**	**0.0**	**804**	**804**	**0**	**0.0**	**0**
계촌배수장	**125.5**	**644**	**5.1**	**0.0**	**0**	**0**	**123.3**	**123.3**	**0.0**	**644**	**644**	**0**	**0.0**	**0**
예림배수장	**67.0**	**343**	**5.1**	**0.0**	**0**	**0**	**65.2**	**64.9**	**0.4**	**343**	**339**	**4**	**0.0**	**0**
곡교잔류3	**67.3**	**342**	**5.1**	**0.0**	**0**	**0**	**65.4**	**65.4**	**0.0**	**342**	**342**	**0**	**0.0**	**0**
중방배수장	**82.1**	**408**	**5.0**	**0.0**	**0**	**0**	**78.1**	**78.1**	**0.0**	**408**	**408**	**0**	**0.0**	**0**
와천	**38.1**	**189**	**5.0**	**0.0**	**0**	**0**	**36.2**	**36.2**	**0.0**	**189**	**189**	**0**	**0.0**	**0**
용동1배수장	**98.8**	**474**	**4.8**	**0.0**	**0**	**0**	**90.8**	**90.8**	**0.0**	**474**	**474**	**0**	**0.0**	**0**

라. 천변저류지 형태 및 운영방안

천변저류지의 홍수조절 방식은 <그림 12.30>에서 보는 바와 같이 2단계로 구분하여 파악할 수 있다.



<그림 12.30> 천변저류지의 홍수조절 개념

1단계는 하도내 흐름방향의 측방에 설치된 월류제를 통한 횡월류에 의해 월류제 상단을 초과하는 수위 이상의 홍수량이 천변저류지내로 유입되는 것이고, 2단계는 월류부 상단까지의 천변저류지 용적이 만수되면, 그 위의 공간이 하도의 일부로 기능하는 것을 말한다. 따라서 1단계는 하천의 홍수량을 월류제에 의해 천변저류지로 분류함으로써 하류로 유하하는 첨두홍수량의 크기를 직접적으로 제어하는데 비해 2단계에서는 하도의 저류공간을 확대하여 첨두홍수량의 감쇄를 유도한다고 할 수 있다.

이렇게 천변저류지의 홍수조절 기능이 하도의 수위에 따라 상이하게 작용하여 유황이 복잡해지므로 천변저류지가 홍수의 흐름특성에 미치는 영향을 해석적으로 분석하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 본 검토에서는 HEC-RAS의 'Storage Area' 기능을 활용하여 하도의 횡월류제 설치 위치에 천변저류지의 내용적을 기준으로 'Storage area'를 설치하고 하도와 'Storage Area'를 연결하는 측방구조물에 Weir를 설치하여 횡월류가 발생하도록 하였다. 이때 측방구조물에 설치하는 Weir의 제원은 다음의 Weir 공식을 사용하여 목표한 유량이 월류하는데 충분한 규모로 결정하였다.

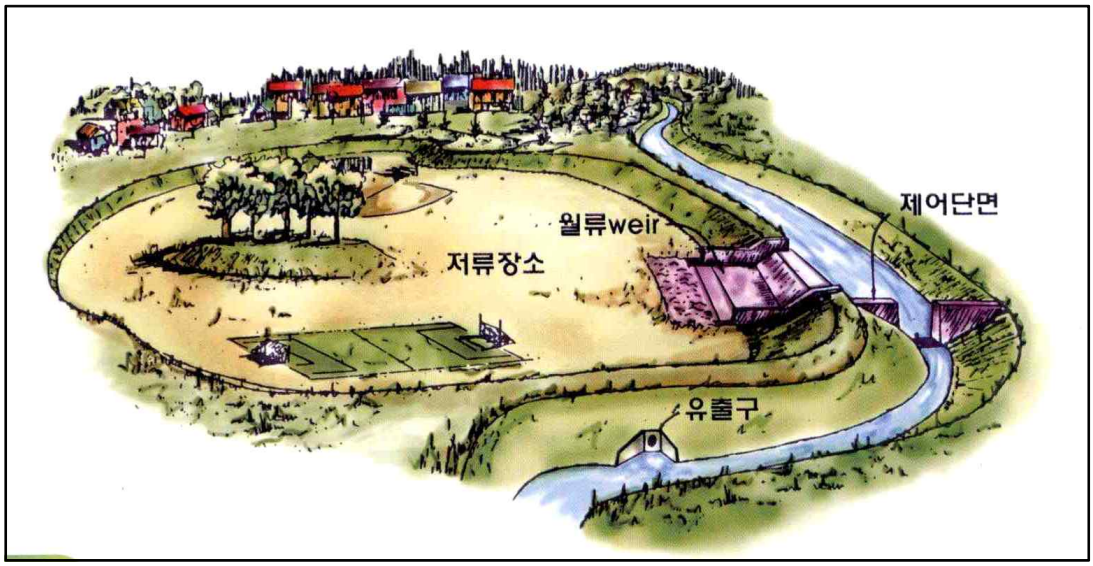
$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2}$$

여기서 Q : 월류량(m^3/sec) , C : 유량계수

L : 월류폭(m) , H : 월류수심(m)

천변류지가 목적한 기능을 수행하기 위해서는 홍수의 유입이 원활하여야 하며, 현재 경작지로 활용되고 있는 천변저류지 부지의 특성을 감안할 때 하도의 홍수위가 저하할

경우 유입한 홍수를 빠르게 배제하여 침수피해를 최소화함으로써 보상비를 절감할 수 있도록 배수시설의 규모를 가능한 크게 설치하여야 한다. 그러나 하도를 유하하는 홍수는 흐름방향을 따라 직진하려는 성향을 가지고 있으므로 횡월류제를 통해 홍수를 유입시키는 데는 한계가 있다. 따라서, <그림 12.31>에서 보는 바와 같이 하도를 횡단하는 구조물을 설치하여 횡월류제로의 흐름을 유도하기도 하지만 이 경우 상류로 배수영향을 유발하여 상류에 미치는 천변저류지의 효과를 감소시킬 우려가 있다. 또한 홍수를 유입시키기 위한 월류Weir와 저류지내로 유입한 홍수를 배제하기 위한 배수시설을 분리하여 설치함으로써 구조물 설치비용이 이중으로 소요되는 문제가 발생한다.



<그림 12.31> 천변저류지의 일반적인 형식

이러한 일반적인 천변저류지의 형식의 단점을 보완하고, 특히 경작지로 활용되고 있는 지역을 대규모 홍수시에만 일시적으로 저류지로 활용한다는 금회 과업의 천변저류지 활용계획에 따라 <그림 12.32>과 같은 형태의 천변저류지를 계획하였다. <그림 12.32>에서 제안한 형태와 <그림 12.31>과 같은 천변저류지의 가장 큰 차이는 월류제를 통해 홍수를 유입시키는 것이 아니라 배수통문 형태의 수문을 통해 외수를 유입시킨다는 점이다. 이렇게 함으로써 월류제에 비해 홍수유입 효율을 높이고, 하도의 홍수위가 저하할 경우 다시 수문을 통해 저류된 홍수를 배제함으로써 홍수의 유입구와 유출구를 분리하여 설치하는 일반적인 형식에 비해 구조물의 활용성을 극대화 하였다. 아울러 홍수의 유입과 배제는 수문과 연결된 유도수로를 통해 이루어지게 하여 침수심의 급격한 상승으로 국지적인 피해가 발생하지 않고, 저류된 유량의 배제는 신속하게 할 수 있도록 하였다. 이러한 시설은 평상시에 내수배제용으로 활용할 수 있음으로 시설물의 운영효율을 극대화 할 수 있는 장점이 있다.



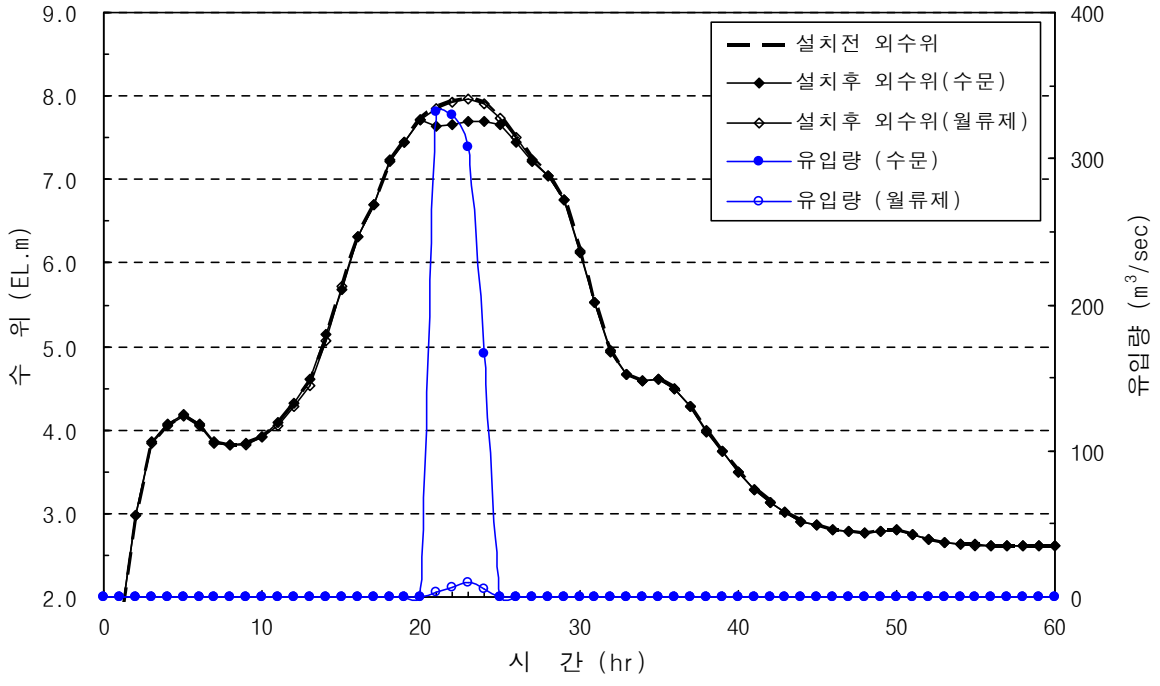
<그림 12.32> 홍수역유입식 천변저류지 개념도

횡월류제 형식의 천변저류지와 수문을 통해 홍수를 유입시키는 천변저류지의 효율성을 검토하기 위해 동일한 홍수조건에서의 천변저류지 유입량을 비교하였다. 검토조건으로 횡월류제의 연장은 90m로 하고, 수문의 규모는 6.0m(B)×3.5m(H)×5련으로 가정하였다. 또한 30년 빈도 이상의 홍수부터 천변저류지를 운영하는 것으로 하여 월류제의 정점표고를 30년 빈도 홍수위로 하고, 수문의 운영도 하도의 홍수위가 30년 빈도 홍수위 이상으로 상승할 경우 개방하는 것으로 설정하였다. 이때 30년 빈도 이상의 홍수를 대상으로 천변저류지를 운영하는 것으로 결정한 이유는 12개 대상지역 중 8개 지역에 배수펌프장이 설치되어 있으나, 일반적인 농경지 배수펌프장의 계획빈도가 20년 미만임을 감안할 때 30년 빈도 이상의 홍수 조건에서는 침수피해가 불가피할 것이므로 이때부터 천변저류지로 활용할 경우 타 지역의 치수효과와 더불어 천변저류지 지역의 침수지역 해소효과를 기대할 수 있기 때문이다.

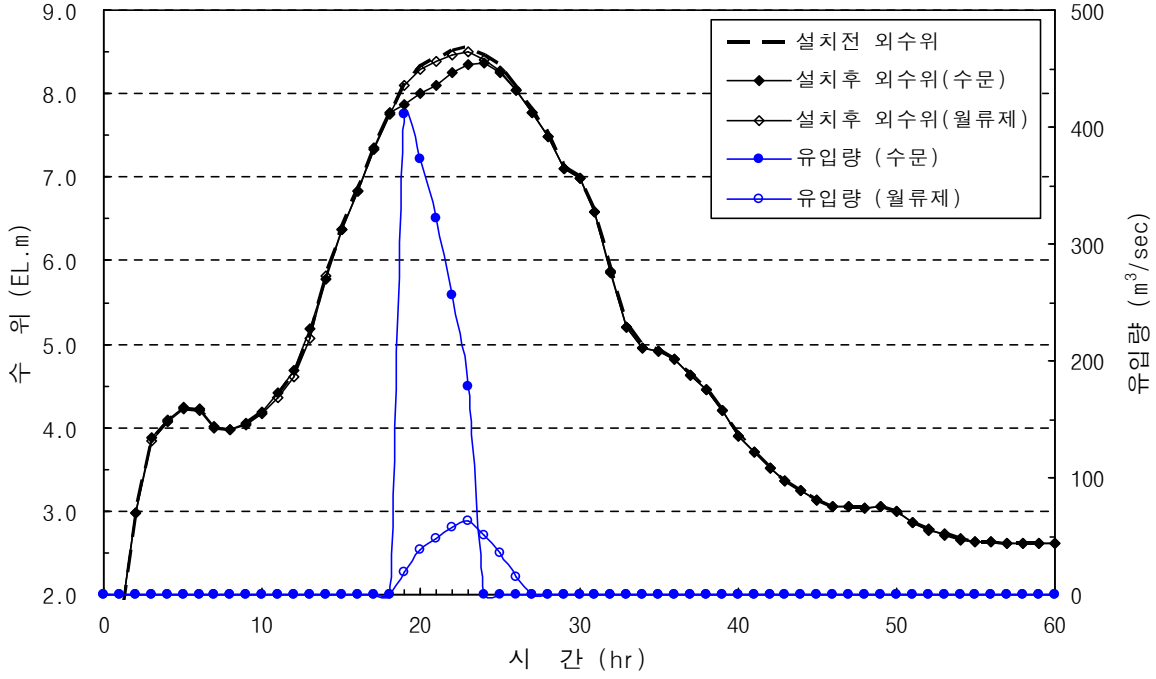
<표 12.31>의 천변저류지 홍수유입량을 비교하면 하도에 통제구조물이 없는 조건에서 횡월류제를 통한 홍수유입량은 매우 작은 것을 알 수 있는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 흐름이 직진하는 성향 때문이다. 이러한 현상은 홍수의 규모가 클수록 개선되지만, 계획대상 홍수의 규모가 커진다는 것은 그 발생확률을 고려할 때 실질적인 효과가 감소하는 것을 의미한다. 이에 비해 수문을 통한 홍수유입은 천변저류지와 하도의 수두차에 의해 발생하기 때문에 초기 유입량이 가장 크고 천변저류지의 침수심이 증가 할수록 감소하는 형태를 보이고 있지만 횡월류제 형식에 비해 작은 규모의 홍수에도 유입량이 커서 그 만큼 치수대책으로서 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 12.31> 유입방식에 따른 천변저류지 홍수유입량 비교

유입방식	저류지명	홍수규모별 유입량(㎥)					
		50년	80년	100년	200년	300년	500년
수 문	용동1,2	1,305,900	2,043,108	2,200,932	3,232,908	3,730,464	4,070,016
	중예1-예림	1,433,916	1,579,608	1,848,492	2,221,380	2,634,408	2,838,564
	와-중방	967,788	1,057,140	1,096,308	1,146,024	1,408,680	1,509,264
	산양-곡교	1,604,844	1,817,316	1,961,100	2,131,560	2,190,852	2,221,632
	신종-계촌	4,090,932	4,565,736	4,930,704	5,542,200	5,820,120	6,638,148
	손지-입침	733,536	816,156	1,026,468	1,163,448	1,271,376	1,582,632
월류제	용동1,2	63,900	265,680	408,960	1,017,972	1,517,760	2,092,464
	중예1-예림	97,920	387,468	551,988	1,362,384	1,801,584	2,184,228
	와-중방	60,948	253,080	350,856	573,084	606,492	630,432
	산양-곡교	54,936	237,600	338,436	837,216	1,237,536	1,735,380
	신종-계촌	89,208	378,432	537,768	1,175,580	1,764,468	2,616,768
	손지-입침	90,036	362,808	503,964	608,148	723,024	836,748
유입량비 수문/월류제	용동1,2	20.44	7.69	5.38	3.18	2.46	1.95
	중예1-예림	14.64	4.08	3.35	1.63	1.46	1.30
	와-중방	15.88	4.18	3.12	2.00	2.32	2.39
	산양-곡교	29.21	7.65	5.79	2.55	1.77	1.28
	신종-계촌	45.86	12.06	9.17	4.71	3.30	2.54
	손지-입침	8.15	2.25	2.04	1.91	1.76	1.89



<그림 12.33> 홍수유입 방식의 효과 비교(신종-계촌 지구, 50년 빈도 홍수)



<그림 12.34> 홍수유입 방식의 효과 비교(신종-계촌 지구, 200년 빈도 홍수)

마. 천변저류지 효과

상습침수지역인 하천변 저지대를 천변저류지로 활용하는데 있어 비용은 유입시설 설치비용과 천변저류지로 활용하였을 경우의 피해를 보상하는 비용으로 구성되며, 편익은 천변저류지를 운영하였을 경우의 삽교천 유역 전체의 피해경감기대액이라 할 수 있다. 따라서, 금회 계획하는 천변저류지가 치수사업으로서 경제성을 갖기 위해서는 최소한 천변저류지 지역의 피해액 보다는 타 지역의 피해경감기대액이 커야 하며, 이러한 비교는 홍수의 규모별 발생확률을 감안하여야 한다.

천변저류지 설치의 경제성을 평가하기 위해 각각의 천변저류지 지역과 삽교천 유역 전체의 홍수규모별 피해액을 설치 전과 후로 구분하여 추정한 후 발생확률에 대해 차분함으로써 유역 전체적인 연평균피해경감기대액과 천변저류지 지역의 연평균보상비를 산정하였다. 이때 홍수피해액 산정은 '치수사업 경제성분석방법 연구, 2004, 건설교통부'에서 제안한 '다차원 홍수피해 산정방법'을 사용하였다.

<표 12.32>에서 유역 전체의 연평균피해경감기대액과 천변저류지로 인한 천변저류지 대상 지구의 연평균피해액 증가분을 비교한 결과 곡교천의 '산양-곡교3' 지구와 '와천-중방' 지구의 연평균피해경감기대액이 천변저류지 설치 후의 해당 지역 피해액의 증가분보다 각각 38.54백만원과 53.54백만원 커서 천변저류지로 활용하는데 경제성이 우수할 것으로 판단된다. 그 밖의 지구는 천변저류지 지역의 보상비 소요 즉, 천변저류지로 활용하기 전과 후의 피해액 차이가 연평균피해경감기대액 보다 커서 경제성이 낮은 것으

로 나타났다. 이러한 결과는 '다차원 홍수피해 산정방법'에서 농경지의 침수심이 1m를 초과하면 농작물 피해뿐만 아니라 농경지가 유실된다고 가정하여 피해액을 산정하도록 한데 그 원인이 있다. 따라서 천변저류지로 활용하기 위해 홍수를 유입시킬 경우 현재 농경지로 활용되고 있는 대상 지역의 침수심이 1m를 초과함으로써 피해액이 급증하기 때문에 대부분의 지구에서 경제성이 낮게 평가되는 것이다. 그러나 자산가치가 높은 아산시에 인접한 '산양-곡교3'지구와 '와천-중방'지구는 아산시의 피해저감에 기여하는 바가 커서 경제성이 우수한 것으로 분석되며, 다음으로 예산읍과 농공단지가 위치한 원평지구 상류의 '손지-입침'지구의 경제성이 우수하지만 보상비 소요가 유역 전체의 연평균피해 경감기대액 보다 1.42백만원 크게 나타났다.

이상의 분석 결과 금회 과업의 목표연도인 2016년의 토지이용상황을 기준으로 천변저류지로서의 활용가치가 있는 지구는 곡교천의 국가하천구간 연안에 위치한 '산양-곡교3' 지구와 '와천-중방'지구로서 상류에 위치한 아산시의 홍수피해 저감에 기여할 것으로 기대된다. 그 밖의 지역은 현재의 치수경제성 분석 기준으로는 경제적인 효과가 미흡한 것으로 판단되어 금회 과업의 치수대책으로는 채택하지 않았으나, 향후 해당지역 및 주변지역의 여건변화에 따라 그 경제성을 재검토 할 수 있을 것이다.

<표 12.32> 천변저류지 경제성 분석 (예림-중예1 지구)

단위 : 백만원

구 분	천 변 저 류 지				삽교천 유역		
	홍수규모별 피해액		평균피해액 (발생확률 고려)		홍수규모별 피해액		피해경감 기대액
	설치전	설치후	설치전	설치후	설치전	설치후	
5년	0	0	0.00	0.00	37,081	37,081	0.00
10년	0	0	0.00	0.00	55,182	55,182	0.00
20년	0	0	0.00	0.00	87,339	87,339	0.00
30년	0	0	0.00	0.00	109,702	109,702	0.00
50년	579	3,041	3.86	20.27	135,539	134,891	4.32
80년	703	3,213	4.81	23.45	167,573	166,149	7.77
100년	724	3,271	1.78	8.11	179,121	178,112	3.04
200년	807	3,360	3.83	16.58	219,426	218,554	4.70
300년	932	3,402	1.45	5.63	251,525	250,428	1.64
500년	1,013	3,434	1.30	4.56	276,800	275,497	1.60
500년 이상			1.01	3.43			1.30
계			18.04	82.03			24.37

<표 12.32> 천변저류지 경제성 분석 (용동 1, 2 지구) (계속)

단위 : 백만원

구 분	천 변 저 류 지				삽교천 유역		
	홍수규모별 피해액		평균피해액 (발생확률 고려)		홍수규모별 피해액		피해경감 기대액
	설치전	설치후	설치전	설치후	설치전	설치후	
5년	0	0	0.00	0.00	37,081	37,081	0.00
10년	0	0	0.00	0.00	55,182	55,182	0.00
20년	0	0	0.00	0.00	87,339	87,339	0.00
30년	0	0	0.00	0.00	109,702	109,702	0.00
50년	1,020	5,804	6.80	38.70	135,539	134,400	7.59
80년	1,274	8,679	8.60	54.31	167,573	165,496	12.06
100년	1,322	8,679	3.24	21.70	179,121	177,466	4.67
200년	1,539	12,795	7.15	53.68	219,426	217,648	8.58
300년	1,888	13,754	2.86	22.12	251,525	249,479	3.19
500년	2,458	18,286	2.90	21.36	276,800	274,009	3.22
500년 이상			2.46	18.29			2.79
계			34.01	230.16			42.10

<표 12.32> 천변저류지 경제성 분석 (산양-곡교3 지구) (계속)

단위 : 백만원

구 분	천 변 저 류 지				삽교천 유역		
	홍수규모별 피해액		평균피해액 (발생확률 고려)		홍수규모별 피해액		피해경감 기대액
	설치전	설치후	설치전	설치후	설치전	설치후	
5년	0	0	0.00	0.00	37,081	37,081	0.00
10년	0	0	0.00	0.00	55,182	55,182	0.00
20년	0	0	0.00	0.00	87,339	87,339	0.00
30년	0	0	0.00	0.00	109,702	109,702	0.00
50년	1,680	2,922	11.20	19.48	135,539	133,071	16.45
80년	1,688	2,929	12.63	21.94	167,573	164,290	21.57
100년	1,692	2,932	4.23	7.33	179,121	175,970	8.04
200년	1,703	2,941	8.49	14.68	219,426	216,997	13.95
300년	1,730	2,946	2.86	4.91	251,525	248,855	4.25
500년	1,739	2,951	2.31	3.93	276,800	274,244	3.48
500년 이상			1.74	2.95			2.56
계			43.46	75.22			70.30

<표 12.32> 천변저류지 경제성 분석 (와천-중방 지구) (계속)

단위 : 백만원

구 분	천 변 저 류 지				삽교천 유역		
	홍수규모별 피해액		평균피해액 (발생확률 고려)		홍수규모별 피해액		피해경감 기대액
	설치전	설치후	설치전	설치후	설치전	설치후	
5년	0	0	0.00	0.00	37,081	37,081	0.00
10년	0	0	0.00	0.00	55,182	55,182	0.00
20년	0	0	0.00	0.00	87,339	87,339	0.00
30년	0	0	0.00	0.00	109,702	109,702	0.00
50년	867	2,204	5.78	14.69	135,539	133,077	16.41
80년	1,050	2,212	7.19	16.56	167,573	161,564	31.77
100년	1,074	2,219	2.66	5.54	179,121	176,621	10.64
200년	1,277	2,230	5.88	11.12	219,426	217,101	12.06
300년	1,299	2,228	2.15	3.71	251,525	248,389	4.55
500년	1,460	2,240	1.84	2.98	276,800	273,263	4.45
500년 이상			1.46	2.24			3.54
계			26.96	56.84			83.42

<표 12.32> 천변저류지 경제성 분석 (신종-계촌 지구) (계속)

단위 : 백만원

구 분	천 변 저 류 지				삽교천 유역		
	홍수규모별 피해액		평균피해액 (발생확률 고려)		홍수규모별 피해액		피해경감 기대액
	설치전	설치후	설치전	설치후	설치전	설치후	
5년	0	0	0.00	0.00	37,081	37,081	0.00
10년	0	0	0.00	0.00	55,182	55,182	0.00
20년	0	0	0.00	0.00	87,339	87,339	0.00
30년	0	0	0.00	0.00	109,702	109,702	0.00
50년	321	5,422	2.14	36.15	135,539	135,043	3.31
80년	429	5,442	2.81	40.74	167,573	166,257	6.80
100년	561	5,522	1.24	13.71	179,121	177,466	3.71
200년	540	5,557	2.75	27.70	219,426	218,468	6.53
300년	576	5,560	0.93	9.26	251,525	250,610	1.56
500년	825	5,564	0.93	7.42	276,800	275,525	1.46
500년 이상			0.82	5.56			1.27
계			11.62	140.54			24.64

<표 12.32> 천변저류지 경제성 분석 (손지-입침 지구) (계속)

단위 : 백만원

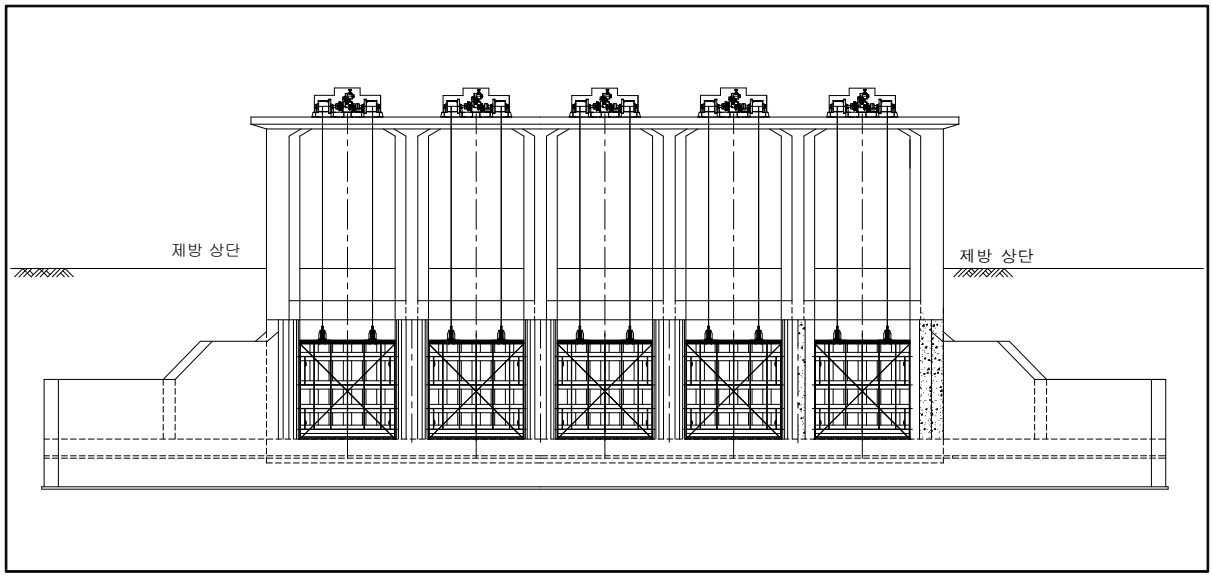
구 분	천 변 저 류 지				삽교천 유역		
	홍수규모별 피해액		평균피해액 (발생확률 고려)		홍수규모별 피해액		피해경감 기대액
	설치전	설치후	설치전	설치후	설치전	설치후	
5년	0	0	0.00	0.00	37,081	37,081	0.00
10년	0	0	0.00	0.00	55,182	55,182	0.00
20년	0	0	0.00	0.00	87,339	87,339	0.00
30년	0	0	0.00	0.00	109,702	109,702	0.00
50년	488	2,756	3.25	18.37	135,539	133,933	10.71
80년	613	2,988	4.13	21.54	167,573	164,751	16.61
100년	816	3,213	1.79	7.75	179,121	177,378	5.71
200년	934	3,450	4.37	16.66	219,426	217,519	9.13
300년	1,068	3,665	1.67	5.93	251,525	245,938	6.25
500년	1,183	3,897	1.50	5.04	276,800	272,150	6.82
500년 이상			1.18	3.90			4.65
계			17.89	79.19			59.88

천변저류지를 설치하는데 소요되는 비용은 대부분 홍수유입수문 설치비에 해당하며, 침수피해가 발생하였을 경우의 보상비는 발생확률을 고려하여 연평균비용으로 환산함으로써 매년 일정하게 소요되는 유지관리비 항목으로 계상할 수 있을 것이다.

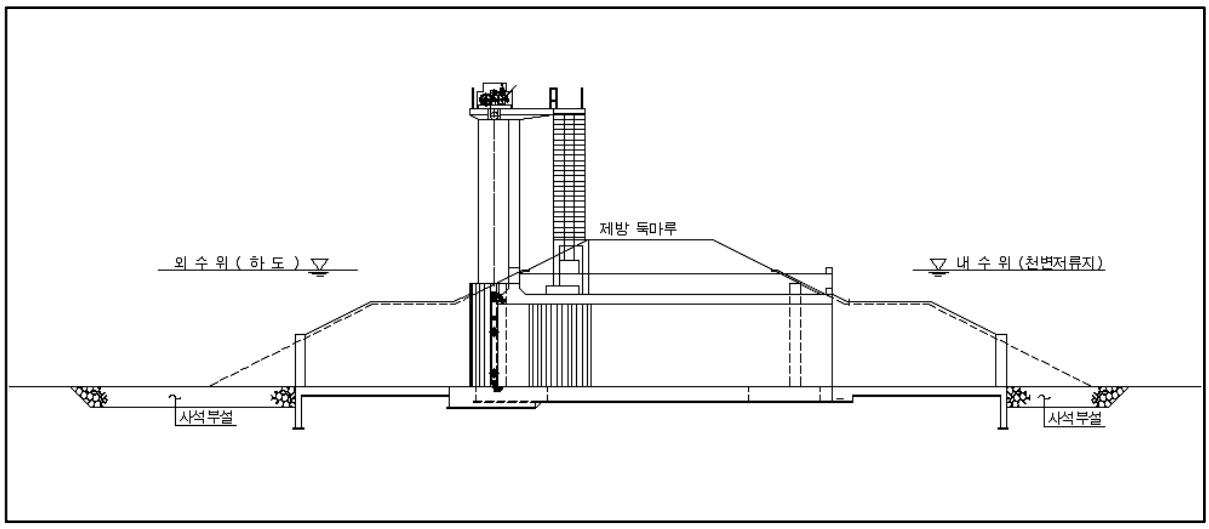
앞서 계획한 홍수유입수문의 규모 6.0m(B)×3.5m(H)×5련을 기준으로 추정한 사업비는 1개소당 약 1,835백만원 추정되었는데 이는 기존 제체에 수문만을 설치하는 비용으로서 천변저류지 설치에 따른 제방의 보강비용과 유입수로의 설치비는 반영하지 않은 값이다.

<표 12.33> 천변저류지 홍수유입수문 설치비 추정

구 분	금 액 (천 원)	비 고
토 공	81,000	
호 안 공	66,000	
구 조 물 공	348,000	
부 대 공	178,000	
제 경 비	613,000	
문비 운반 및 설치	549,000	인양식 전동수문
보 상 비	-	
계	1,835,000	



<그림 12.35> 천변저류지 홍수유입수문 정면도



<그림 12.36> 천변저류지 홍수유입수문 측면도

바. 천변저류지(하부지) 계획

천변저류지로서 손지 지구와 입침 지구는 다소 경제성이 부족하지만 인접한 하류지역에 예산읍과 농공단지가 위치해 있는 주변 여건과, 예당지 직하류에 위치한 입지특성을 효율적으로 활용하기 위하여 예당지 하류의 무한천 하도에 제수문을 설치하고 손지 및 입침 지구를 저류공간으로 활용하여 예당지의 방류량을 조절할 수 있도록 운영하는 예당지의 하부지 설치를 계획하였다.

제수문은 현재 무한천의 홍수소통에 지장을 초래하는 잠수교(No.144) 지점에서 하도를 횡단하는 제방을 신설하여 설치하며, 신설 제방의 둑마루는 잠수교의 역할을 대신할 수 있도록 충분한 폭을 확보하고 포장을 하여 교량으로서 활용할 수 있도록 계획하였다. 제

수문의 규모는 상하류의 수위차에 의한 암거내 흐름을 가정하여 (식 12.3)에 의해 100년 빈도 예당지 방류량 소통이 가능하도록 결정하였으며, 현 저수로부에 설치하여 평상시 개방하여 놓고 홍수시에만 개·폐 조작을 하는 것으로 계획하였다. 즉, 계획 제수문의 역할은 평상시 무한천 하도의 흐름을 유지하고 홍수시에는 천변저류지와 하도의 여유공간을 활용하여 예당지 방류량을 조절할 수 있도록 운영하는 것이다.

$$HW = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \left(K_e + \frac{19.6n^2 \cdot L}{R_n^{4/3}} + K_{exit}\right) + TW - S_0 \cdot L \quad \text{.....(식 12.3)}$$

여기서, HW : 상류측 수위(EL. m), R_h : 동수반경

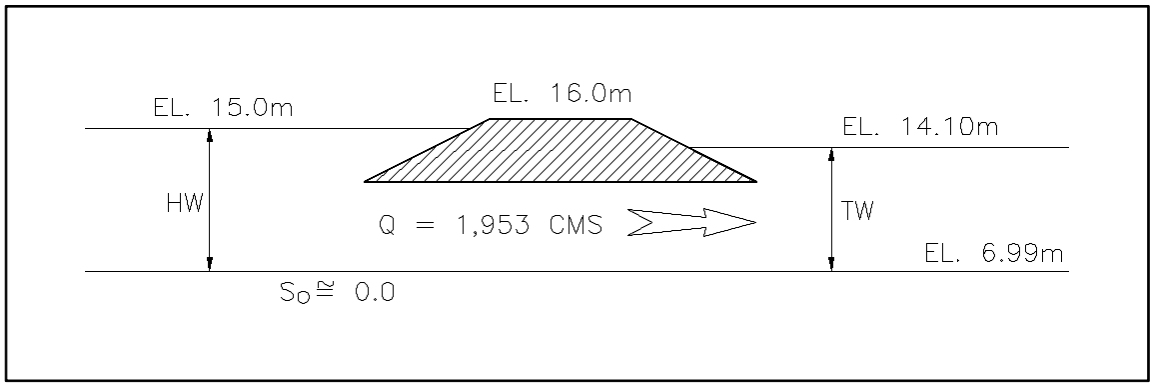
V : 암거내 평균유속 (m/sec), S_0 : 하상경사,

K_{exit} : 유출구 손실계수 (1.0), L : 암거연장(m)

K_e : 유입구 손실계수 (0.2), n : 암거의 조도계수

TW : 하류측 수위 (EL. m),

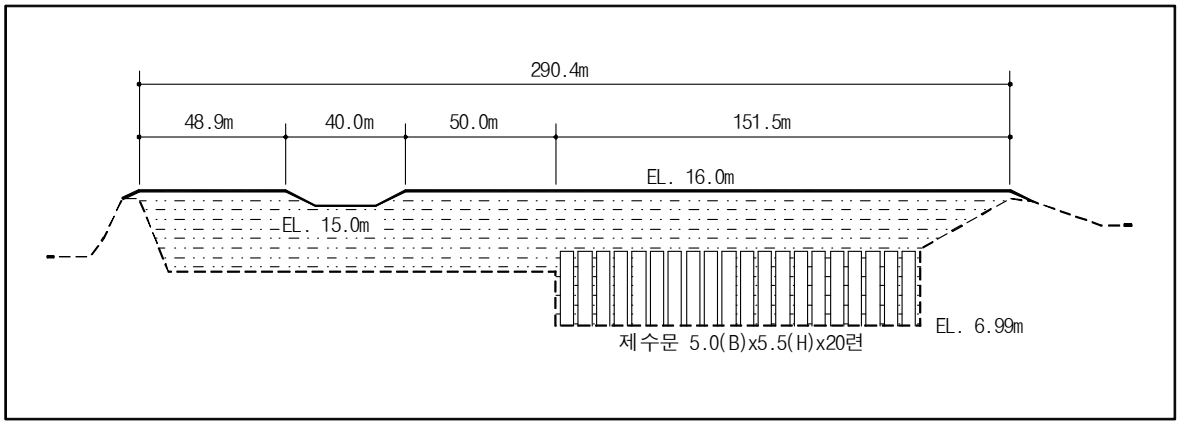
<식 12.3>에서 하류측 수위는 100년 빈도 홍수시 제수문 설치 예정지점(No.144)의 계산수위인 EL. 14.10m를 적용하고 상류측 수위는 대상지역의 지형조건과 홍수위 계산 결과에 의해 EL. 15.0m로 계획하였다. 이러한 상·하류 수위조건에 의해 산정된 소요 단면은 5.0m(B)×5.5m(H)×20련이며, 이때의 유속은 최대 3.55m/sec 이다.



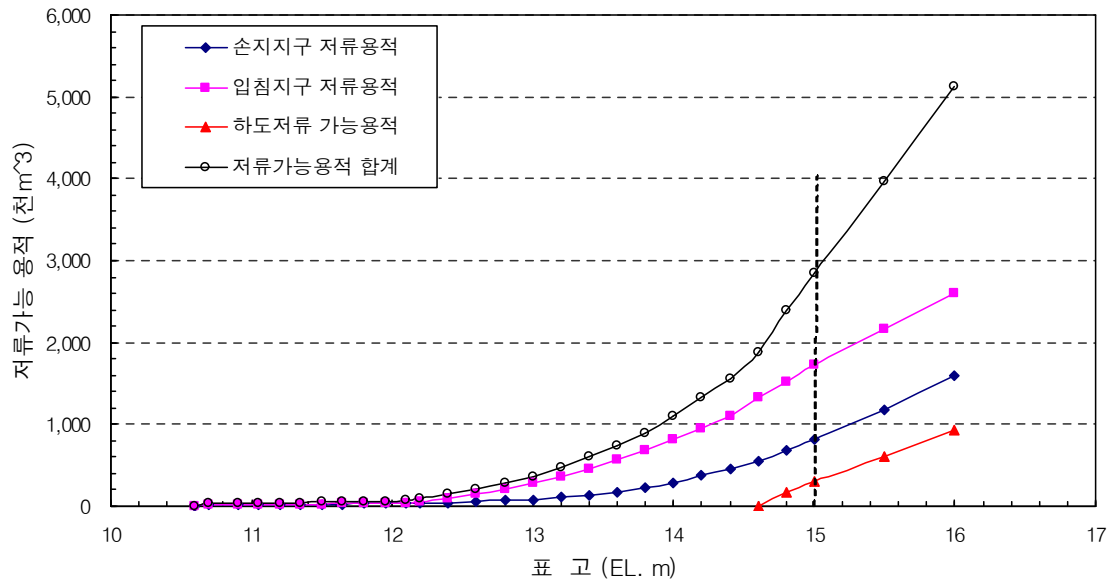
<그림 12.37> 제수문 규격 결정을 위한 흐름 특성 가정

또한 예당지의 계획빈도가 200년임을 감안하여 제수문에 의해 조성되는 하부지 역시 200년 빈도 규모의 홍수에 안전하도록 둑마루 표고를 결정하고 보조적인 안전장치로 신설 제방 좌안측에 여수로를 계획하였다. <식 12.3>에서 하류 수위로 200년 빈도 계산수위 EL. 14.23m를 적용했을 때 예당지의 200년 빈도 첨두방류량의 1.2배인 2,558㎥/sec를 제수문을 통해 방류하기 위해서는 암거내 유속이 4.65m/sec가 되며, 상류 수위는 EL.

15.64m로 상승한다. 따라서 신설제방의 둑마루 표고는 EL. 16.0m로 결정하고 좌안측에 바닥고 EL. 15.0m의 비상여수로를 설치하되 제방 둑마루를 통한 통행에 지장이 없도록 상부 폭 40m의 사다리꼴 단면으로 계획하였다.



<그림 12.38> 하부지 조성을 위한 신설 제방과 제수문 정면도

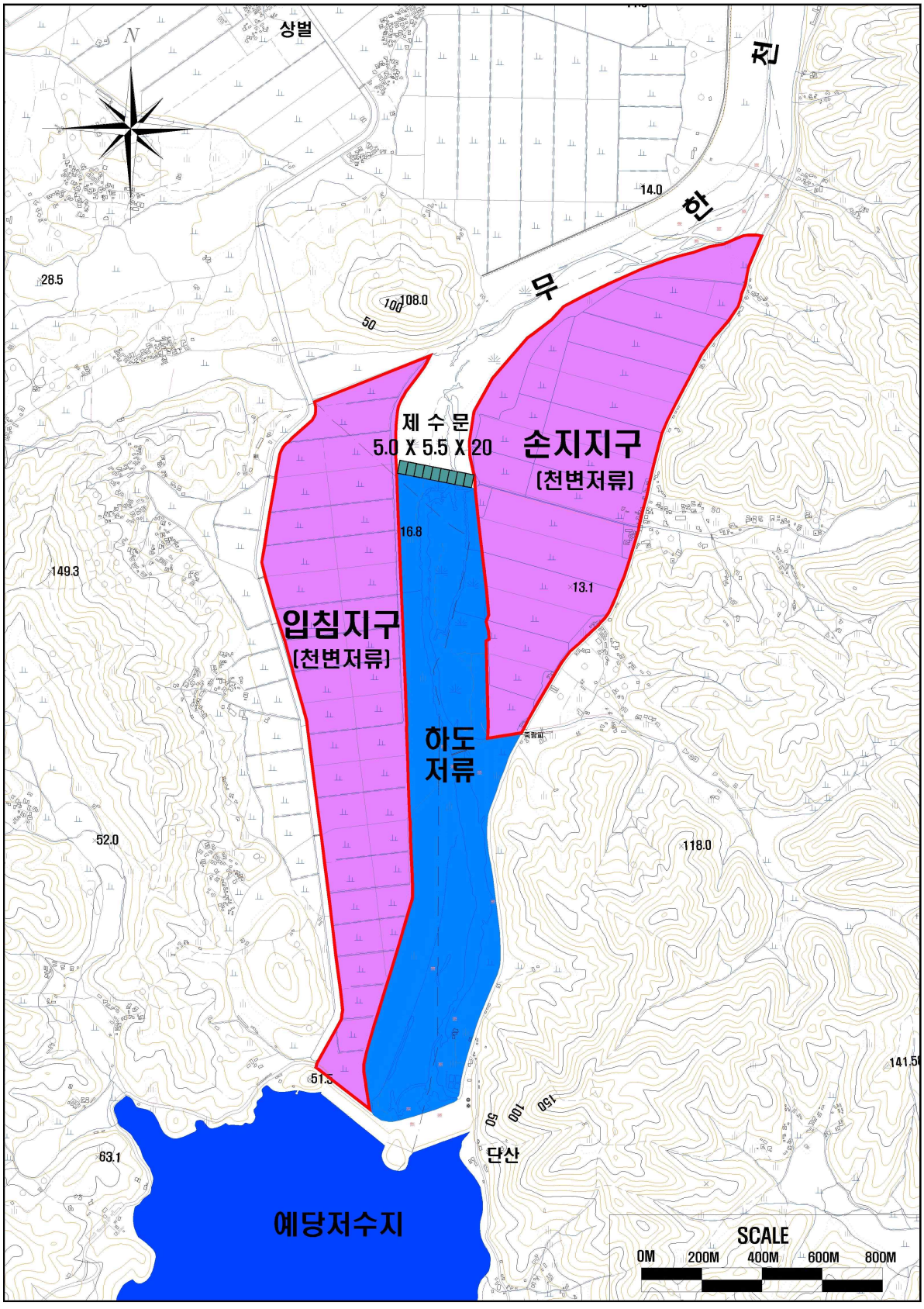


<그림 12.39> 예당지 하부지의 저류가능 용적

이렇게 조성되는 하부지의 저류 가능용적은 EL. 15.0m를 기준으로 할 때 천변저류지로 활용하는 손지 지구와 입침 지구 및 하도의 여유공간을 모두 포함하여 2,839천㎥가 되며, 이 용적은 예당지의 첨두방류량을 1시간동안 약 790㎥/sec 저감할 수 있는 규모로서 예당지의 급격한 방류시 하류에 미치는 영향을 완화할 수 있는 완충역할을 하는 것이 하부지의 설치 목적이다.

손지·입침지구를 천변저류지로 활용하는데 소요되는 보상비를 포함하여 하부지 설치

에 소요되는 비용은 <표 12.34>와 같다.



<그림 12.40> 하부지 평면 계획

<표 12.34> 하부지 개략 공사비 산정

구 분	금 액 (천 원)	비 고
토 공	497,000	제수문 및 월류제
구 조 물 공	1,306,000	
부 대 공	589,000	손지지구 도로 파라펫 설치
소 계	2,392,000	
제 경 비	1,196,000	
문비 운반 및 설치	3,328,000	
보 상 비	20,672,000	<표 4.25> 참조
계	27,588,000	

<표 12.34>의 하부지 개략공사비 산정과 더불어 손지, 입침 지구를 굴착하여 홍수저류공간을 추가 확보함으로써 사업의 효율을 극대화 하는 방안을 검토한 결과 현 계획에서 하부지의 저류공간 1㎥를 확보하는데 소요되는 비용은 7,618원/㎥인데 비해 굴착에 의해 홍수조절 공간 1㎥을 확보하는 비용은 굴착토사의 사토거리가 5km일 경우 7,536원이며, 사토거리가 그 이하일 경우 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 본 사업을 시행하게 될 경우 실시설계 단계에서 손지·입침 지구에서 가까운 곳에 사토장을 확보하여 굴착에 의해 홍수조절용량을 증대하는 방안을 검토하여야 할 것이다.

<표 12.35> 사토거리별 굴착에 의한 저류공간 확보비용 비교

공종		장비	단위	사 토 거 리					
				5km	6km	7km	8km	9km	10km
절 토		백호 1.0m3	원/㎥	781	781	781	781	781	781
사토	운반	덤프 15ton	원/㎥	4,093	4,439	4,782	5,125	5,472	5,814
	정지	도쟈 19ton	원/㎥	150	150	150	150	150	150
소 계			원/㎥	5,024	5,370	5,713	6,056	6,403	6,745
제경비			원/㎥	2,512	2,685	2,857	3,028	3,202	3,373
계			원/㎥	7,536	8,055	8,570	9,084	9,605	10,118

12.3.5 삽교호 배수갑문 증설

가. 배수갑문 증설의 필요성

삽교호 방조제 배수갑문의 증설은 이 지역 주민들의 주요 숙원사업으로서 '95년 삽교천 유역 대홍수 이후 여러 차례 그 필요성이 제기되어 왔다.

배수갑문 증설이 필요한 기술적인 이유는 삽교호 방조제가 건설된 '79년 이후 현재까지의 확률강우량과 설계홍수량의 증가로 인해 삽교천의 계획홍수위 산정의 기준이 되는 삽교호의 내수위가 상승하였으므로 이 요인을 제거하여 삽교호의 수위를 설계 당시에 평가된 수준으로 저감시키는데 있다.

이에 비해 지역 주민들이 현실적으로 느끼는 배수갑문 증설의 필요성은 계획규모에 훨씬 미치지 못하는 홍수가 발생하여도 배수갑문을 통한 홍수배제가 원활하지 못한데 근거한다. 실제로 삽교천 하천정비기본계획이 수립된 이후 이 지역에 계획규모에 근접한 홍수가 발생한 것은 '95년 8월 홍수가 유일하지만 삽교천 유역 중·하류부 하천 연안에 위치한 저지대는 거의 매년 침수피해를 입고 있으며, 그 원인이 외수범람이 아니라 장기간 하도의 수위가 상승하여 발생한 내수배제 불량에 의한 침수이다. 물론 이 지역에는 내수처리를 위해 현재 많은 수의 배수펌프장을 설치하여 운영하고 있으며, 가까운 장래에 3개소의 배수펌프장이 신설될 예정에 있다.

그러나 농경지 배수펌프장은 대부분 30cm의 무해침수심과 24시간 미만의 관수(침수심 70cm 미만)를 허용하여 설계하기 때문에 배수펌프장이 설치된 지역도 어느 정도의 침수가 불가피하게 발생하고 있는데, 지역 주민의 입장에서는 이러한 상황 역시 침수의 한 형태로 여기므로 항상 침수가 발생하는 것으로 인식하게 된다. 특히 이 지역의 토지이용 형태가 답작에서 비닐하우스 등 침수에 취약한 형태로 전환되는 추세여서 소규모 홍수시에도 지역주민들이 느끼는 침수피해의 정도는 점차 증가하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 지역 주민들의 입장에서는 하도의 수위가 신속하게 저하하여 내수배제를 원활히 할 수 있기를 바라며 그러한 요구가 삽교호 배수갑문 증설로 이어지고 있는 것이다.

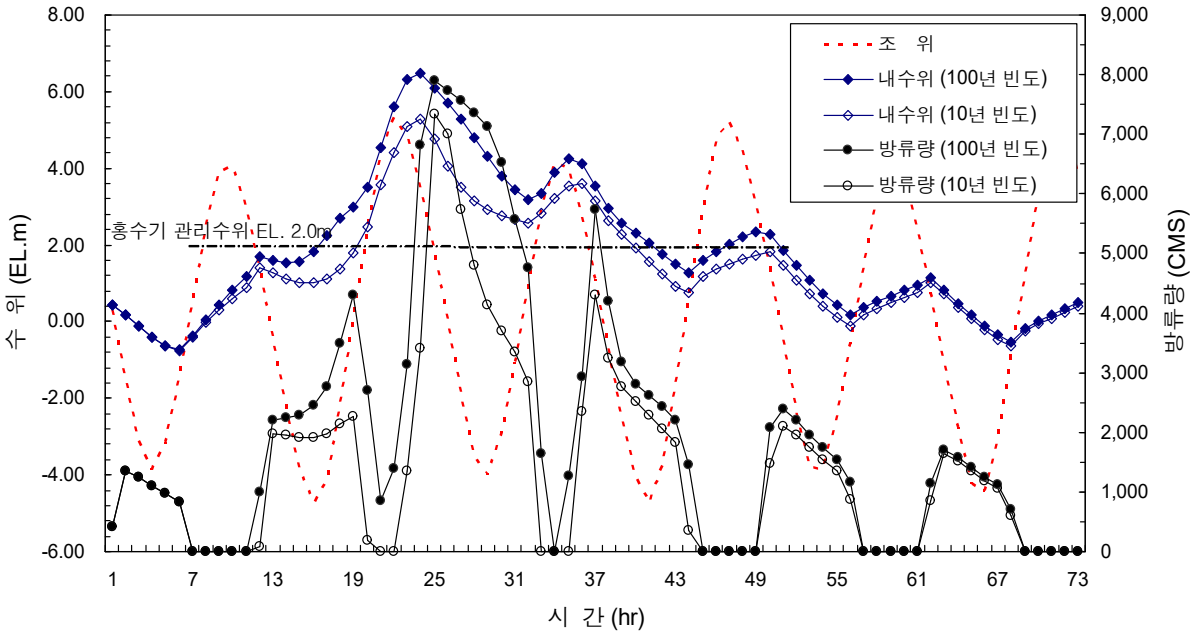
지역 주민들이 소규모 홍수시에도 홍수배제가 원활하지 못하고 지체된다고 느끼는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다.

삽교천 유역에서 발생한 홍수는 최종적으로 삽교호 배수갑문을 통해 서해로 방류 되므로 하도가 홍수 배제의 통로이며 배수갑문은 그 출구인 셈이다. 그러나 본 보고서에서 이미 여러 차례 검토한 바와 같이 삽교천 유역에서 발생한 홍수를 서해로 배제하는 데는 제한조건이 있다. 삽교호의 내수위가 조위보다 높아야 유역에서 발생한 홍수를 배수갑문을 통해 서해로 배제할 수 있는 반면에 조위가 내수위보다 높을 경우에는 내수위

보다 낮아지기 까지 방류를 못하고 그동안 삽교호에 유입된 홍수는 지체되어 내수위 상승과 함께 상류로 배수 영향을 유발한다. 이 영향이 하구로부터 삽교천 약 20km, 무한천은 약 5km 상류까지 미치며, 그 결과 삽교호 배수영향 구간 연안의 저지대 내수배제는 더욱 어려워지게 된다.

이렇게 유역에서 발생한 홍수가 최종적으로 삽교호의 내수위와 조위차에 의해 방류되고, 삽교호 배수지체로 인해 발생한 배수영향이 상류로 상당 구간까지 영향을 미치는 조건에서 현지 주민들이 체감하는 하도와 배수갑문의 통수능력은 오히려 소규모 홍수시에 부족하게 느껴질 수 있다. 그 이유는 대규모 홍수가 발생하여 삽교호의 내수위가 높을수록 내수배제가 가능한 기간이 증가하는데 비해 홍수의 규모가 작으면 내수위가 낮아 방류불능 시간이 길어지고 시간당 방류량도 줄어들기 때문이다.

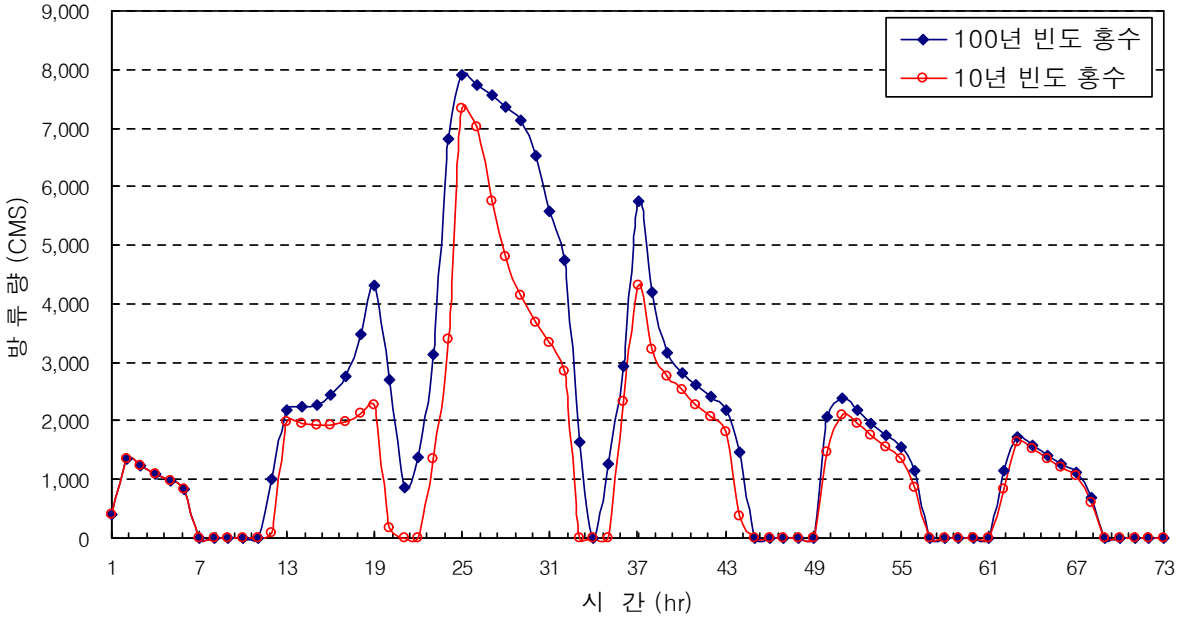
<그림 12.41>은 배수갑문을 통한 홍수배제에 가장 지장을 받는 조위조건에서 100년 빈도 홍수와 10년 빈도 홍수시의 삽교호 수리특성을 비교한 것이다. 두 경우에 있어 차이는 조위는 일정한데 비해 홍수발생 후 약 13시간 후 부터 즉, 삽교호로 홍수량이 본격적으로 유입하는 시기부터 내수위의 차이가 발생하고 그로 인해 배수갑문을 통한 방류특성이 상이해지며, 조위가 내수위 보다 높아서 발생하는 방류불능 기간도 전체 홍수기간 중 삽교호의 내수위가 홍수기 관리수위인 EL. 2.0m 보다 높은 기간을 기준으로 100년 빈도 홍수시에는 4시간인데 비해 10년 빈도 홍수시에는 8시간으로 두배 정도 길어진다는 점이다.



<그림 12.41> 홍수 규모별 삽교호의 수리특성 비교

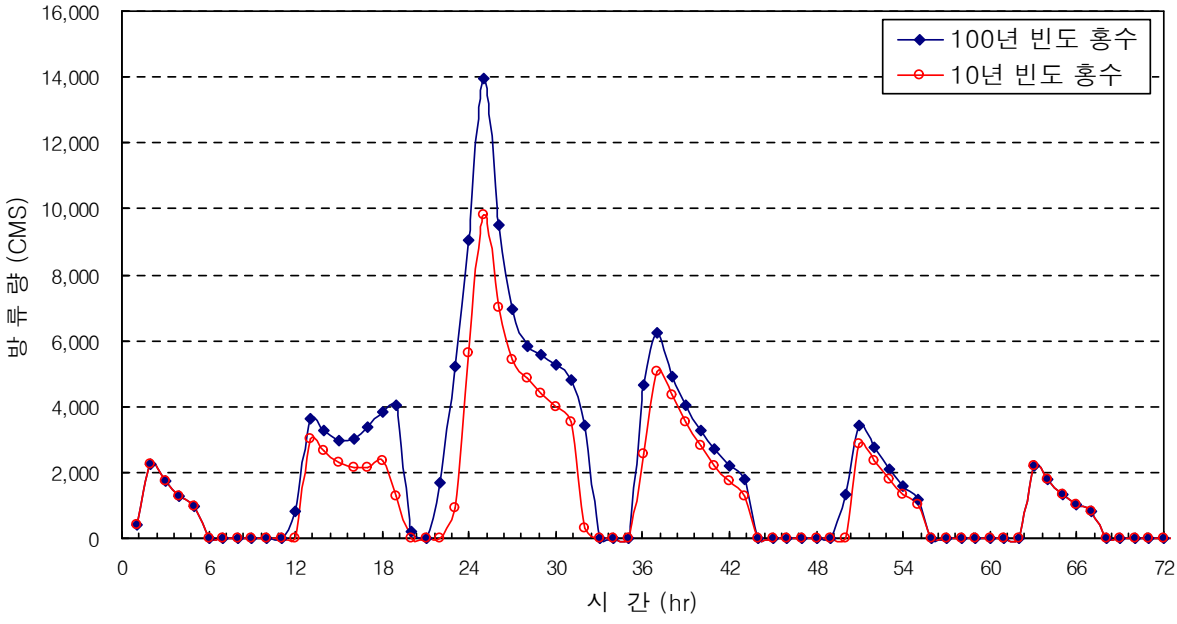
<그림 12.42>는 상기한 수리특성 중 시간당 방류량만을 비교한 결과인데 홍수의 본격

적인 유입으로 삽교호의 수위가 홍수기 관리수위인 EL. 2.0m 보다 높게 형성되는 기간 동안 시간당 방류량과 방류곡선의 형태가 상이함을 명확히 확인할 수 있다. 이 결과로서 대규모 홍수보다 소규모 홍수에서 삽교호 배수갑문을 통한 홍수배제가 상대적으로 원활하지 못함을 알 수 있다.



<그림 12.42> 홍수 규모별 방류특성 비교

이에 비해 <그림 12.43>은 현재의 배수갑문을 2배 규모로 확장한다고 가정하여 모의한 방류특성을 앞서와 동일하게 비교한 결과인데 10년 빈도 홍수와 100년 빈도 홍수의 방류특성이 <그림 12.42>에 비해 매우 유사하게 변화한 것을 알 수 있다.



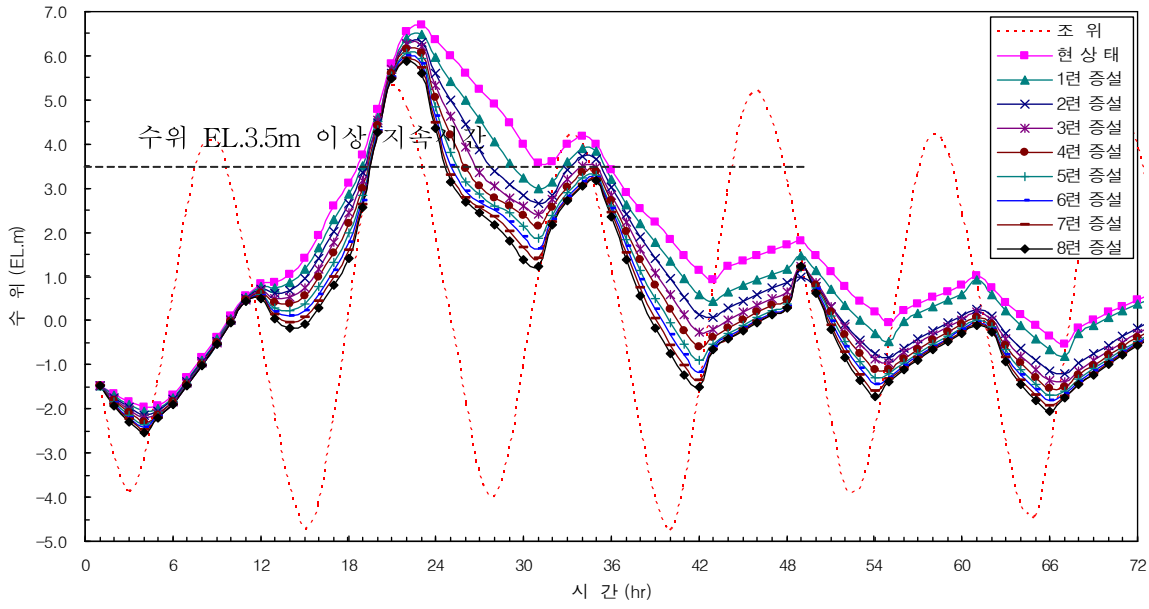
<그림 12.43> 홍수 규모별 방류특성 비교 (배수갑문 6련 증설시)

이상의 분석결과 현재의 배수갑문 규모로는 발생빈도가 잦은 소규모 홍수 조건에서 오히려 홍수배제가 원활하지 못함을 알 수 있으며, 그 영향이 삽교천 유역 하류부에 배수영향으로 나타남으로써 저지대의 내수배제를 더욱 어렵게 하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 배수갑문을 확장할 경우 홍수규모에 관계없이 방류특성이 유사해져서 소규모 홍수시의 홍수배제가 원활해 질 것으로 예상된다.

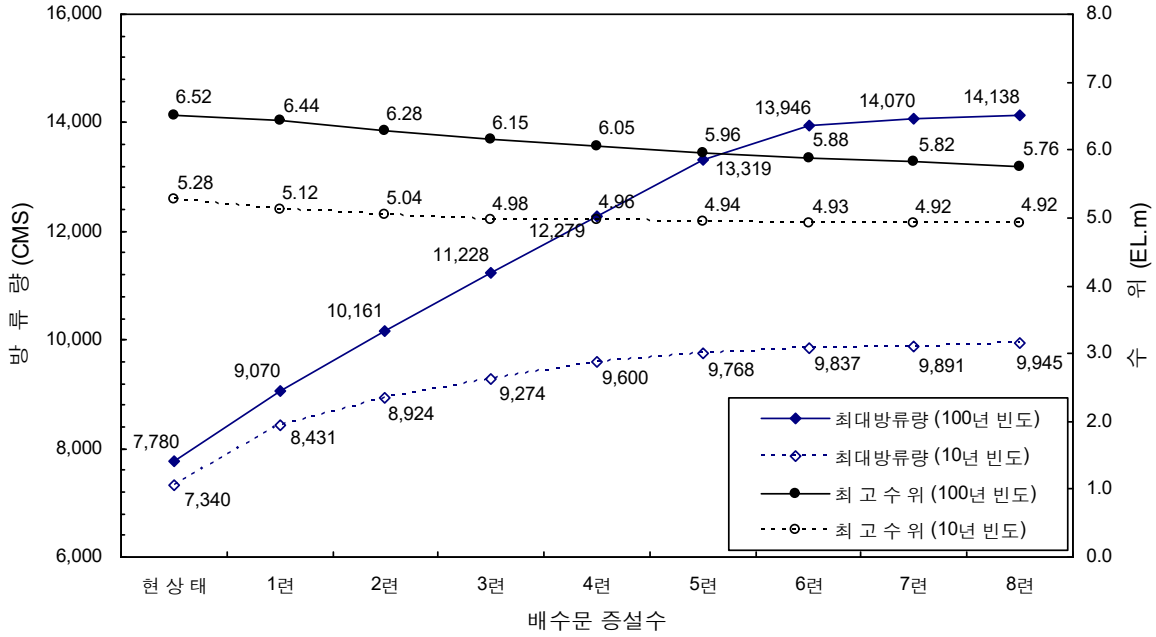
이러한 관점에서 볼 때 삽교호 배수갑문의 증설은 과거에 정해진 계획홍수위를 유지하는 목적 이전에 어떠한 홍수조건하에서도 안정된 방류능력을 유지하여 신속한 홍수배제가 가능하여야 한다는 측면에서 접근하여야 할 것이다.

나. 증설 효과

현재 20m(B)×6m(H) 6련인 삽교호 배수갑문을 1련(20m×6m)부터 8련 까지 증설하는 것을 가정하여 삽교호의 수리특성을 분석한 결과 100년 빈도 홍수를 기준으로 삽교호의 첨두홍수위가 0.08~0.76m 까지 감소하였으나, 배수문 증설수가 증가 할수록 수위저하 효과는 감소하는 것으로 나타났다. 이에 비해 수위지속시간은 현저한 감소를 보이고 있는데, 예를 들어 삽교천 유역 하류부의 내수침수를 유발하는 삽교호의 수위를 최소 EL. 3.5m로 가정할 때 이 이상의 수위지속 시간이 현 상태에서는 약 15시간에 달했지만, 배수갑문을 현재의 2배로 확장할 경우에는 약 6시간 정도로 현저하게 감소하였다. 따라서 배수갑문의 증설이 100년 빈도 홍수시 삽교호의 수위를 현 계획홍수위 산정 기준이 되었던 EL. 5.10m로 저하시킬 수는 없지만 신속하게 홍수를 배제하여 내수침수 피해를 경감 하는데 큰 효과가 있을 것으로 기대할 수 있다.



<그림 12.44> 배수갑문 증설에 따른 삽교호 수리특성 변화



<그림 12.45> 배수갑문 증설에 따른 최고수위와 방류능력 변화 비교

<그림 12.45>는 배수갑문의 적정 확장규모를 결정하기 위해 100년 빈도 홍수와 10년 빈도 홍수시 배수갑문 증설수에 따른 최고수위와 최대방류량을 비교한 것인데, 배수갑문 증설수에 따라 점진적으로 감소하는 최고수위에 비해 최대방류량의 변화성향은 변곡점이 명확하게 나타나고 있다. 이 결과에 따르면 배수갑문 증설의 목적을 삽교호 내수위를 설계당시의 수준으로 저감하는데 둘 경우 증설규모 선정이 매우 어려워진다. 왜냐하면 배수갑문을 8련 증설하여도 삽교호의 첨두홍수위는 EL. 5.76m로서 현 계획홍수위 산정시의 기점수위인 EL. 5.10m를 크게 초과하여 당초 목적을 달성할 수 없으며, 배수갑문 증설에 따른 내수위의 변화가 일정한 성향을 유지하며 점진적으로 변하기 때문이다.

이에 비해 배수갑문 증설의 목적과 기대효과를 신속한 홍수배제와 그에 따른 내수침수 지역의 해소 또는 피해경감에 둘 경우 적정 증설규모의 선정은 <그림 12.45>의 배수갑문 증설에 따른 최대방류량 변화곡선을 통해 쉽게 결정할 수 있다. 즉, 배수갑문 증설에 소요되는 비용이 배수갑문 수에 비례한다고 가정하면 한계비용 측면에서 최적의 증설규모가 100년 빈도 홍수를 기준으로 할 경우 6련에 해당하며, 하천연안 저지대의 침수시간에 직접적인 영향을 미치는 수위지속시간 역시 <그림 12.45>에서와 같이 배수갑문 증설수가 6련 이상이 될 경우 차이가 없게 되어 삽교호 배수갑문의 증설규모는 6련이 적정할 것이다.

이상의 검토결과 및 삽교천 유역 하류지역의 치수안전도 혹은 삽교천 수계 주요 하천의 국가하천구간 계획빈도가 100년임을 고려할 때, 홍수방어 대안으로서 삽교호 배수갑

문의 확장규모는 배수갑문을 6련 증설하여 현재의 2배로 확장하는 것이 적정 규모라 판단되며, 사업비 대비 배수갑문 증설효과를 최대로 할 수 있을 것이다. 또한 이 결과는 '94년에 보완된 삽교천 하천정비기본계획 성과에서 배수갑문 5련 증설의 필요성을 제기한 것과도 어느 정도 일치하는 것으로 볼 수 있다.

다. 배수갑문 확장계획

신설 배수갑문의 입지는 기초지반의 상태와 수리특성, 유지관리 편의 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 하며, 아울러 시공이 용이하고 공사비가 저렴하게 소요되는 위치를 선정하여야 한다.

이러한 기준으로 볼 때 삽교호 방조제의 당진측에 위치한 현 배수갑문에 연하여 설치하는 것이 적절할 것으로 판단되는데 그 이유는 다음과 같다.

- ○ 아산호(안성천 하구)와 접해 있는 지리적인 특성상 홍수방류시 수리적인 간섭을 피하는데 유리하다.
- ○ 기초암반이 EL.-2.0m～EL. -10.0m에 형성되어 기초처리가 용이하다.
- ○ 현 배수갑문에 근접하여 설치함으로써 유지관리가 용이하다.
- ○ 삽교대교가 방조제의 좌안측단에서 약 400m 지점으로 연결되므로 공사중 방조제를 통행하는 교통처리가 용이하며, 별도의 시설을 필요로 하지 않아 공사비를 절감할 수 있다.

배수갑문 증설에 소요되는 사업비는 현 배수갑문의 구조와 문비형식을 참조하여 개략적으로 산정하였다. 그 결과 총 사업비는 약 602억원으로 추정되었는데 주요 공정별로는 배수갑문 기전공사비가 207.6억원으로 가장 큰 비중을 차지하며, 다음으로는 가물막이 공사비용이 약 190억원 정도 소요될 것으로 예상된다.

<표 12.36> 삽교호 배수갑문 확장비용 추정 결과 (6련 증설)

구 분	세 부 공 정	금액 (백만원)	비 고
토 공	가물막이공사	12,786	
구조물공	배수갑문 구조물 및 갑문내 교량	7,093	
배수갑문기전공사	문비 제작, 운반 및 설치	20,758	
소 계		40,637	
제경비 및 기타		19,543	
계		60,180	

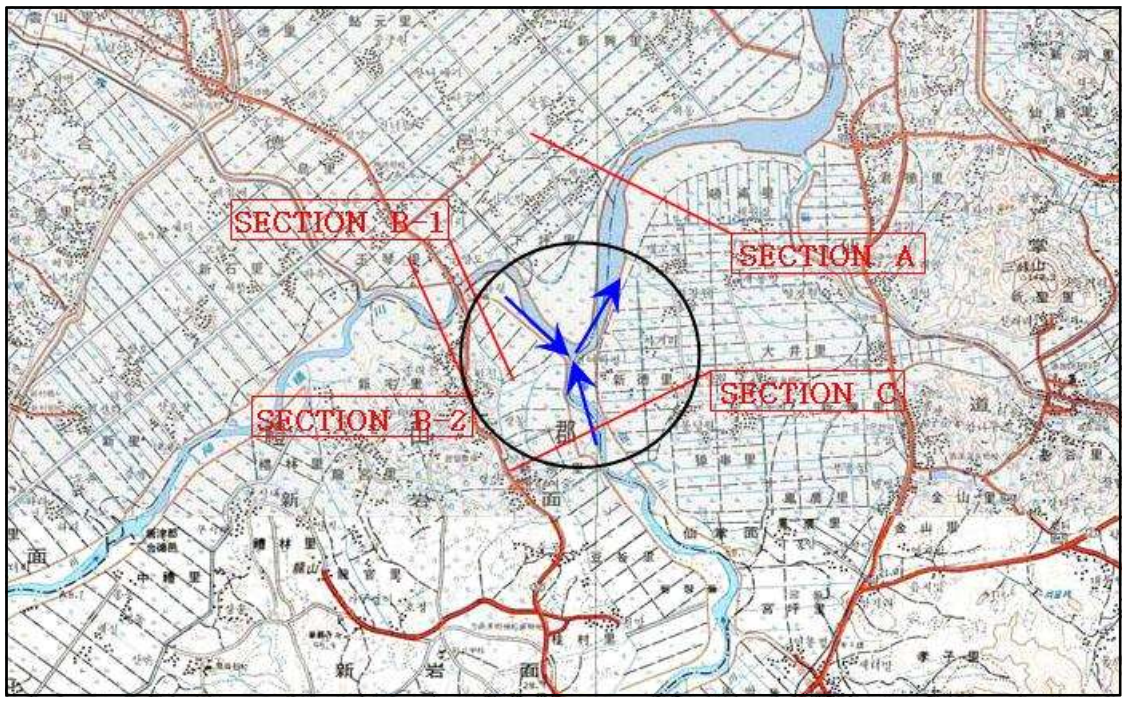
++++++++++++ CAD 도면 A3 삽입 ++++++++++++

<그림 12.46> 삽교호 배수갑문 현황도

12.3.6 삽교천과 무한천 합류부 개선

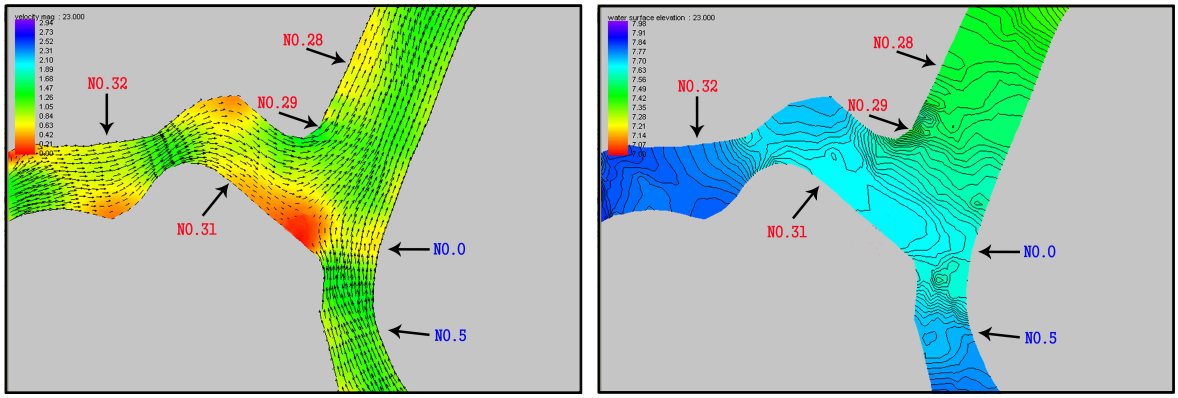
가. 합류부 개선의 목적

삽교천은 무한천과의 합류부 약 1.3km 상류에 위치한 구양교 지점을 지나면서 갑자기 흐름 방향을 전환하여 무한천의 흐름에 수직방향으로 합류한다. 합류부의 이러한 기하학적 특성으로 인해 '3.2.2 하도특성 및 하상변동 검토'에서 이미 검토한 바와 같이 합류부 직하류 구간에서 좌·우안을 번갈아 가면서 편기된 불안정한이 발생하고 있으며 삽교천과 무한천 흐름이 상호 간섭함으로써 원활한 흐름을 유지하지 못하여 홍수배제에 지장을 받고 있다. 특히 합류점 직상류 삽교천 구간에 위치한 구양교 지점은 상·하류에 비해 하폭이 100m 정도 협소한 협착부를 이루고 있어 상류에는 배수위 상승을 유발하고, 하류로는 구양교 지점을 통과하면서 가속된 흐름이 무한천 흐름에 대한 간섭을 증가시키고 있는 것으로 판단된다.



<그림 12.47> 삽교천과 무한천 합류부 형상

현 하도조건에서 금회 산정한 100년 빈도 홍수시의 흐름특성을 2차원 수치해석모형인 RMA-2에 의해 분석한 결과 <그림 12.48>에서 볼 수 있는 바와 같이 삽교천과 무한천 합류부의 유속이 상하류 구간에 비해 감소하며 사수역이 크게 발달한 것을 알 수 있다. 또한 구양교 지점의 수위가 불규칙하게 형성되어 있어 흐름이 안정적이지 못하며 합류부 직하류에서는 합류후의 흐름이 우안측으로 편기된 영향으로 좌·우안의 수위차가 눈에 띄게 나타나고 있다.



< 현 상태의 유속분포 > < 현 상태의 수위분포 >

<그림 12.48> 현 상태의 흐름특성

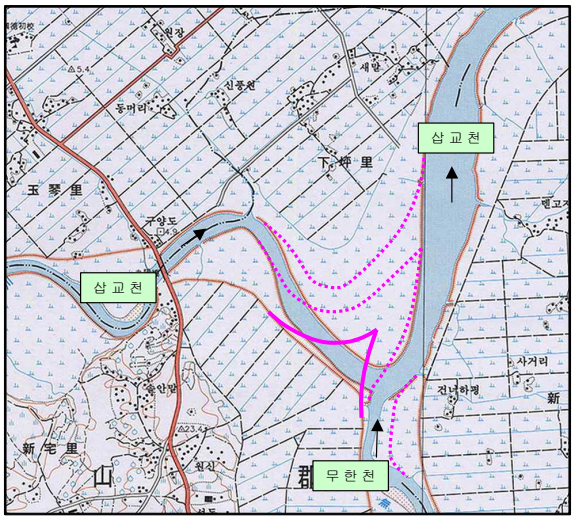
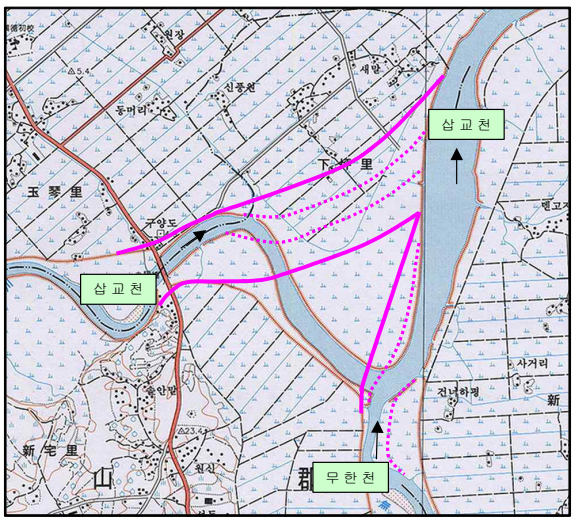
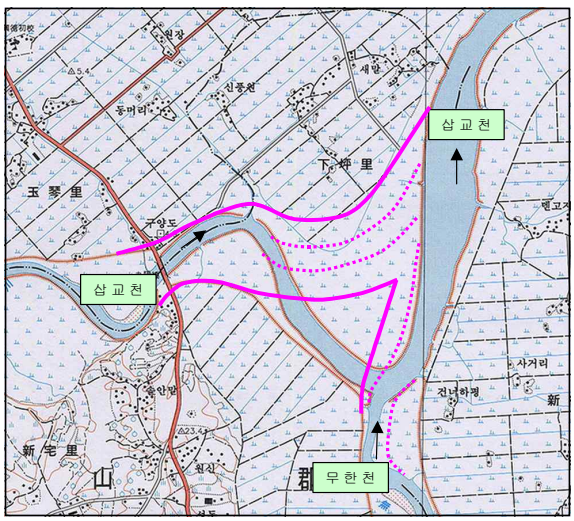
삽교천 유역 중하류부는 하천의 계획규모에 크게 미치지 못하는 소규모 홍수시에도 내수배제 불능에 의해 침수피해가 발생하고 있으며, 그 대책으로 삽교천과 무한천, 곡교천 등 주요 하천을 따라 저지대에 내수배제 목적으로 배수펌프장이 설치되어 운영되고 있다. 그러나 내수처리 대책으로서 배수펌프장에 의한 강제배수는 하도내 홍수위의 상승을 초래하는 부작용이 있으므로, 향후 저지대의 내수처리 대책은 자연배제가 가능하도록 하도내 수위를 신속하게 저하시켜 침수시간을 단축하는 것에 주력하여야 할 것이다.

삽교천과 무한천 합류부의 개선은 하도의 통수능을 증대시켜 신속한 홍수배제를 도모하는데 그 목적이 있으며, 이는 결국 하도의 홍수위를 저하시켜 자연배수에 의한 내수배제가 가능토록 함으로써 저지대의 침수시간을 단축하는 것이 궁극적인 목적이다.

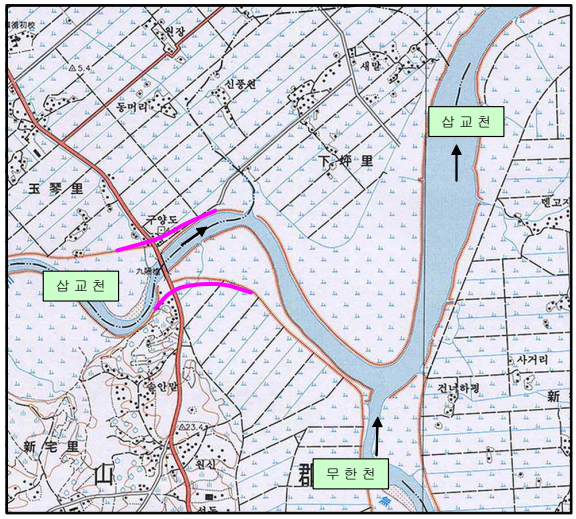
나. 합류부 개선방안 검토

삽교천과 무한천 합류부의 개선방안은 다음과 같이 4개 비교안에 대해 개선효과와 이에 소요되는 비용 및 시공성 등을 종합적으로 고려하여 결정하였다. 4개 개선방안의 주요 차이점은 1안의 경우 현 지형조건에서 사유지의 손실 없이 적용가능한 방법이며, 2안은 1차분 보고서에서검토한 바와 같은 개념의 수리적으로 가장 이상적인 형태이며, 3안은 1안과 2안의 절충형태로서 일부 사유지의 손실을 감수하되, 그 규모를 최소화 한 것이다. 4안은 삽교천의 구양교 지점을 확폭하여 협착부를 해소함으로써 상류로의 배수위 상승 요인을 제거하는 것을 목적으로 함으로 지형적으로는 삽교천과 무한천의 합류부 개선방안이라고 할 수 없으나, 합류부 직상류의 삽교천 유속을 증가시키는 요인을 제거함으로써 삽교천과 무한천 흐름의 균형을 이루는데 영향을 미칠 것으로 예상되는바 실질적으로 합류부 흐름의 개선효과를 기대할 수 있을 것이다.

4개 비교안의 평면형태와 계획의 개요는 <그림 12.49>와 같다.

구분	평 면 계 획	계 획 개 요
1 안		○ 합류부 사수역 발생위치에 도류제 설치 홍수시 원활한 합류 유도 ○ 현 고수부지에 저수로 신설, 평상시 유로 개선 소요비용 토 공 : 5,237 백만원 호 안 공 : 283 백만원 기 타 : 124 백만원 제 경 비 : 2,636 백만원 계 : 8,280 백만원
2 안		○ 현 합류부 좌안측 농경지에 첩수로를 설치하여 이상적인 합류부 형상 구축 ○ 구양교 지점을 확보하고 하폭에 맞게 구양교 개축 소요비용 토 공 : 10,049 백만원 호 안 공 : 1,345 백만원 구조물공 : 4,752 백만원 기 타 : 454 백만원 제 경 비 : 8,047 백만원 보 상 비 : 5,608 백만원 계 : 30,255 백만원
3 안		○ 1안에 비해 도류제의 규모를 확대 설치 ○ 원활한 합류부 형상을 만들기 위해 좌안측 기존 제방 일부를 제내측으로 이설 ○ 구양교 지점을 확보하고 하폭에 맞게 구양교 개축 소요비용 토 공 : 9,155 백만원 호 안 공 : 1,026 백만원 구조물공 : 4,752 백만원 기 타 : 361 백만원 제 경 비 : 6,078 백만원 보 상 비 : 2,697 백만원 계 : 24,069 백만원

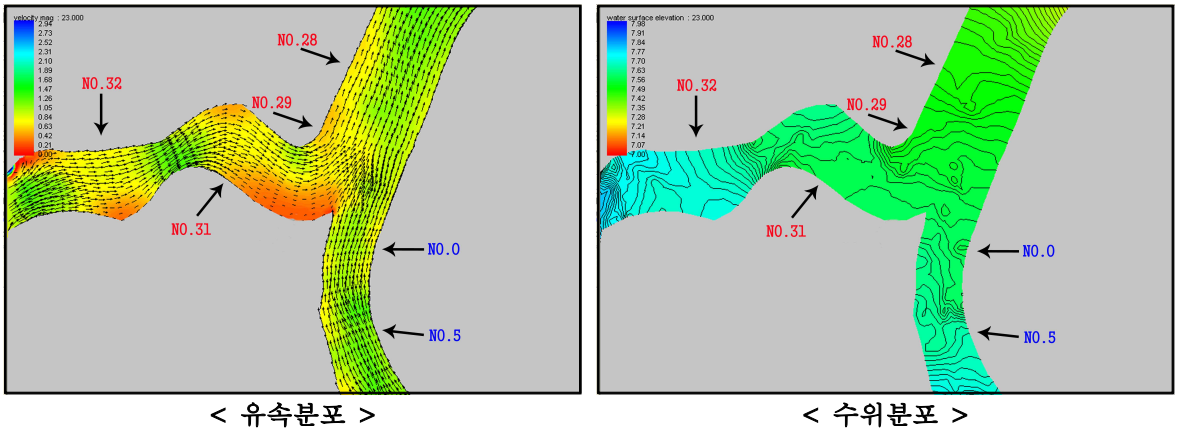
<그림 12.49> 삽교천-무한천 합류부 개선방안 비교

구분	평 면 계 획	계 획 개 요	
4 안		○ 구양교 지점의 협착부 확폭 ○ 구양교를 적정 하폭에 맞추어 개축	
		소요비용	토 공 : 2,015 백만원 호 안 공 : 270 백만원 구조물공 : 4,752 백만원 기 타 : 352 백만원 제 경 비 : 3,166 백만원 보 상 비 : 467 백만원 계 : 11,022 백만원

<그림 12.49> 삽교천-무한천 합류부 개선방안 비교 (계속)

다. 개선효과 분석

합류부에 도류제를 설치하고 저수로를 개선한 결과 합류부 직하류의 유속분포가 현 상태에 비해 상당히 개선되어 국지적인 사수역이 해소된 것을 볼 수 있으며, 우안측으로 편기되어 발생하였던 편수위도 다소 감소한 것을 <그림 12.50> 2차원 수치해석 모형의 분석결과에서 알 수 있다. 그러나 구양교 지점의 흐름은 현재와 차이가 없으며 특히 구양교를 경계로 하류는 좌안측, 상류는 우안측에서 발생했던 사수역이 현재와 차이 없이 존재하는 것을 볼때 도류제의 설치효과가 하류에는 어느 정도 있으나, 상류로는 영향을 거의 미치지 못하는 것으로 판단할 수 있다.



< 유속분포 > < 수위분포 >

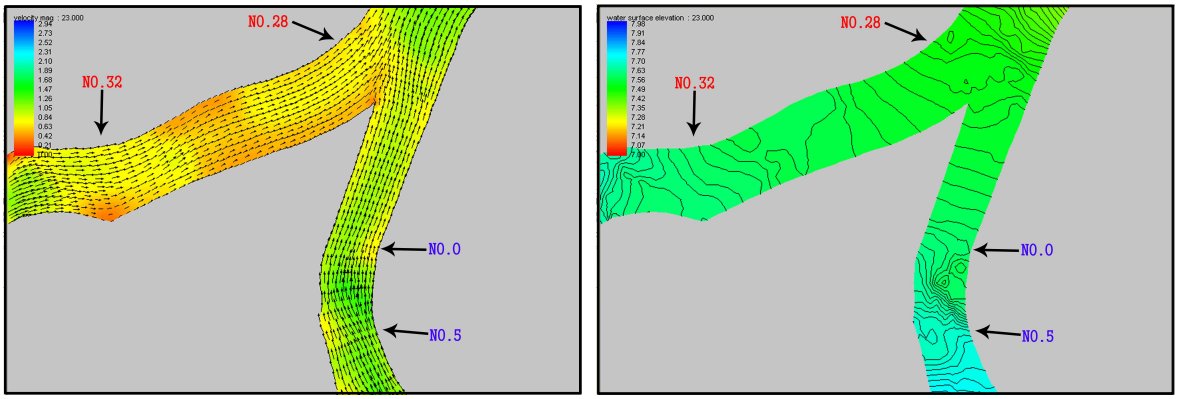
<그림 12.50> 비교 1안의 흐름특성

그러나 구양교 지점을 확폭하고 합류부 좌안측 농경지에 첩수로를 신설하여 수리적으로 가장 이상적인 형태로 합류부를 개선한 비교 2안의 흐름특성 분석결과 현재의 흐름

에서 볼 수 있던 사수역과 합류부 직하류 구간의 편수위가 거의 사라져서 흐름이 매우 안정적이고 원활하게 개선된 결과를 볼 수 있다. 특히 구양교를 지나서 급격히 사행하던 흐름이 첩수로에 의해 직선화됨으로써 구양교 상·하류의 사수역이 소멸하고 합류부 상류의 삽교천 흐름이 원활해진 것을 볼 수 있다.

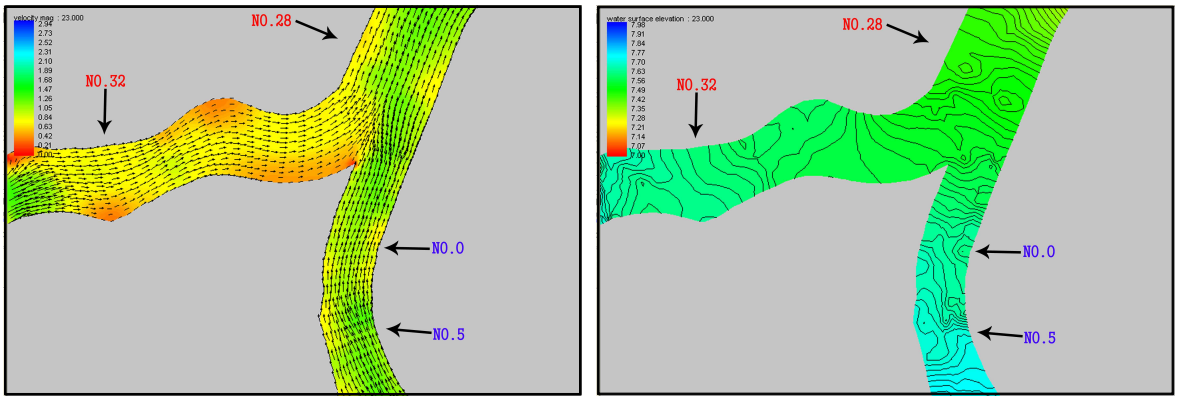
이에 비해 비교 1안과 비교 2안의 절충안으로써 비교 1안과 같이 도류제를 설치하되 그 규모를 확대하고, 비교 2안과 같이 구양교 지점을 확폭한 비교 3안의 흐름분석 결과 합류부의 사수역은 완전히 사라졌고 구양교 상·하류의 사수역도 그 범위가 상당히 축소되었으나, 합류부 직하류 구간의 편수위 현상은 완전히 개선하지 못한 것으로 분석되었다.

합류부 직하류 구간에서 우안측으로 발생하는 편수위는 결국 삽교천의 흐름이 무한천의 흐름보다 우세하여 합류 후의 흐름이 일시적으로 우안측으로 편기되어 나타나는데, 비교 3안의 결과는 도류제의 규모가 두 흐름이 원활히 합류하는데 부족한 것을 의미한다. 그러나 비교 3안 보다 도류제를 확대하면, 좌안측 농경지를 더욱 잠식하게 될 것이고 결과적으로 비교 2안에 가까운 형태가 될 것이다.



< 유속분포 > < 수위분포 >

<그림 12.51> 비교 2안의 흐름특성

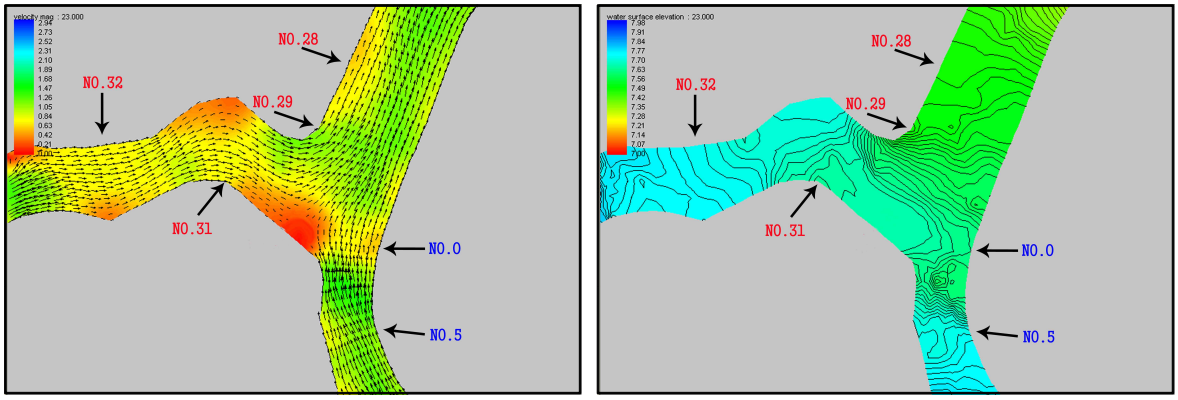


< 유속분포 > < 수위분포 >

<그림 12.52> 비교 3안의 흐름특성

구양교 지점의 협착부만 해소하는 4안의 경우 구양교 상류지점의 수위가 다소 저하되

지만 전체적인 흐름특성은 현재와 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.



< 유속분포 > < 수위분포 >

<그림 12.53> 비교 4안의 흐름특성

각 비교안 별로 수위와 유속을 현 상태와 비교하면, 합류부 하류구간의 수위는 큰 변화가 없으나, 상류는 최대 0.2m 정도의 수위저하 효과가 있는 것으로 분석되었다. 비교안 별로는 비교 2안과 3안의 수위저하 효과가 상대적으로 크고, 비교 1안과 4안의 효과는 작게 나타났는데, 특히 구양교 지점만 확폭하는 비교 4안의 경우 무한천에 미치는 거의 없는 것으로 분석되어 사업효과가 삽교천에 국한된 결과를 보이고 있다. 그러나 구양교 지점은 상·하류 구간에 비해 하폭이 작은 협착부로서 이 지점이 상류구간 흐름의 지배단면 역할을 하고 있다. 따라서 하류에서 합류부를 개선하여도 그 효과가 구양교 지점으로 인해 상류로 전이되는데 제한을 받고 있으며, 이러한 사유로 비교 1안의 사업효과가 구양교 하류에 비해 상류 구간에서 상대적으로 작게 나타났다. 따라서, 합류부 개선의 효과를 극대화하기 위해서는 구양교 지점의 협착부 해소는 반드시 시행되어야 할 것이다.

각 비교안별로 합류부 개선 전·후의 유속을 비교하면 삽교천의 합류부 상류구간의 경우 현 상태와 비교 1안은 지점별로 유속의 차이가 크게 나타나는데 비해, 비교 2, 3, 4안은 지점별 유속의 차이가 감소하여 흐름이 안정된 것을 알 수 있다. 특히 삽교천의 유속은 크고 무한천의 유속은 상대적으로 작아 균형을 이루지 못했던 합류부의 흐름이 비교 2안과 3안의 결과에서는 상당히 개선됨으로써 무한천의 홍수배제가 원활해졌음을 알 수 있다. 즉, 합류부 개선 전의 무한천 하구부 유속은 0.61m/sec에 불과한데 비해 합류부 개선 후의 유속은 비교 2안과 3안의 결과 0.91~0.95m/sec로 약 50% 가까이 증가하였는데, <표 12.37>에서와 같이 수위가 저하하여 통수단면이 다소 감소한 것을 감안하더라도 전체적인 통수량은 증가한 것으로 판단된다. 이에 비해 삽교천은 합류부 개선 후의 수위와 유속이 동시에 저하된 것으로 나타나서 유하량이 감소한 것을 알 수 있다. 이러한 결과에 의해 비교 2안 및 비교 3안과 같이 합류부를 개선할 경우 삽교천에 비해 홍

수배제가 지체되었던 무한천의 문제점이 상당히 개선된 것을 알 수 있다.

<표 12.37> 합류부 개선 전·후의 수위 비교

하천	측점	수위(EL.m)					현상태 대비 수위차(m)			
		현상태	비교1안	비교2안	비교3안	비교4안	비교1안	비교2안	비교3안	비교4안
삽교천	25	7.26	7.26	7.28	7.26	7.26	0.00	-0.02	0.00	0.00
	26	7.35	7.34	7.36	7.33	7.34	0.01	-0.01	0.02	0.01
	27	7.44	7.43	7.45	7.43	7.43	0.01	-0.01	0.01	0.01
	무한천 합류후	7.54	7.54	7.47	7.48	7.53	0.00	0.07	0.06	0.01
	무한천 합류전	7.63	7.56	7.54	7.53	7.62	0.07	0.09	0.10	0.01
	31	7.68	7.58	7.57	7.57	7.68	0.10	0.11	0.11	0.00
	32	7.68	7.58	7.57	7.59	7.70	0.10	0.11	0.09	-0.02
	33	7.79	7.70	7.60	7.62	7.74	0.09	0.19	0.17	0.05
	34	7.81	7.72	7.63	7.65	7.76	0.09	0.18	0.16	0.05
무한천	0	7.66	7.59	7.61	7.65	7.65	0.07	0.05	0.01	0.01
	5	7.73	7.65	7.69	7.70	7.72	0.08	0.04	0.03	0.01
	10	7.79	7.71	7.75	7.75	7.78	0.08	0.04	0.04	0.01
	15	7.87	7.80	7.83	7.84	7.86	0.07	0.04	0.03	0.01
	20	7.92	7.91	7.88	7.89	7.91	0.01	0.04	0.03	0.01
	25	8.07	8.06	8.03	8.04	8.06	0.01	0.04	0.03	0.01
	30	8.10	8.09	8.06	8.07	8.09	0.01	0.04	0.03	0.01

<표 12.38> 합류부 개선 전·후의 유속 비교

하천	측점	수위(EL.m)					현상태 대비 수위차(m)			
		현상태	비교1안	비교2안	비교3안	비교4안	비교1안	비교2안	비교3안	비교4안
삽교천	25	1.22	1.20	1.20	1.20	1.21	0.02	0.02	0.02	0.01
	26	1.19	1.18	1.17	1.18	1.19	0.01	0.02	0.01	0.00
	27	1.10	1.07	1.04	1.07	1.10	0.03	0.06	0.03	0.00
	무한천 합류후	1.12	0.79	0.98	0.99	1.01	0.33	0.14	0.13	0.11
	무한천 합류전	0.67	0.52	0.64	0.64	0.63	0.15	0.03	0.03	0.04
	31	0.64	0.63	0.52	0.60	0.61	0.01	0.12	0.04	0.03
	32	1.13	1.16	0.69	0.74	0.79	-0.03	0.44	0.39	0.34
	33	0.68	0.69	0.68	0.68	0.67	-0.01	0.00	0.00	0.01
	34	0.88	0.90	0.87	0.91	0.89	-0.02	0.01	-0.03	-0.01
무한천	0	0.61	0.96	0.91	0.95	0.61	-0.35	-0.30	-0.34	0.00
	5	1.03	1.03	1.03	1.02	1.03	0.00	0.00	0.01	0.00
	10	1.03	1.04	1.03	1.03	1.03	-0.01	0.00	0.00	0.00
	15	1.14	1.15	1.14	1.14	1.14	-0.01	0.00	0.00	0.00
	20	1.21	1.21	1.22	1.22	1.21	0.00	-0.01	-0.01	0.00
	25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	30	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00

라. 합류부 개선방안의 결정

삽교천과 무한천 합류부 개선안에 대한 효과를 비교한 결과 단순히 도류제를 설치하거나 구양교 지점의 협착부를 제거하는 비교 1안과 4안에 비해 합류부의 형태를 개선하는 비교 2안과 3안의 효과가 매우 큰 것을 알 수 있으며, 특히 합류부 상류의 삽교천 수위에 미치는 영향을 고려할 때 구양교 지점의 확폭은 필수적인 것으로 판단된다.

합류부 개선방안으로서 비교 2안과 3안의 차이는 합류부 좌안측의 삽교천 유로변경에 따른 기존 농경지의 편입면적에 있다. 즉, 비교 2안은 합류부를 수리적으로 이상적인 형태로 만들기 위한 방안인데 비해, 비교 3안은 비교 2안의 결과 기존 농경지의 손실이 커서 사업비가 증가하고, 지역 주민들의 반대로 사업시행이 곤란할 것을 우려하여 농경지 손실을 최소화한 방안이다. 이에 비해 비교 1안은 현 지형조건에서 도류제만을 설치하여 농경지 손실이 전혀 발생하지 않지만 사업효과는 그만큼 감소한다.

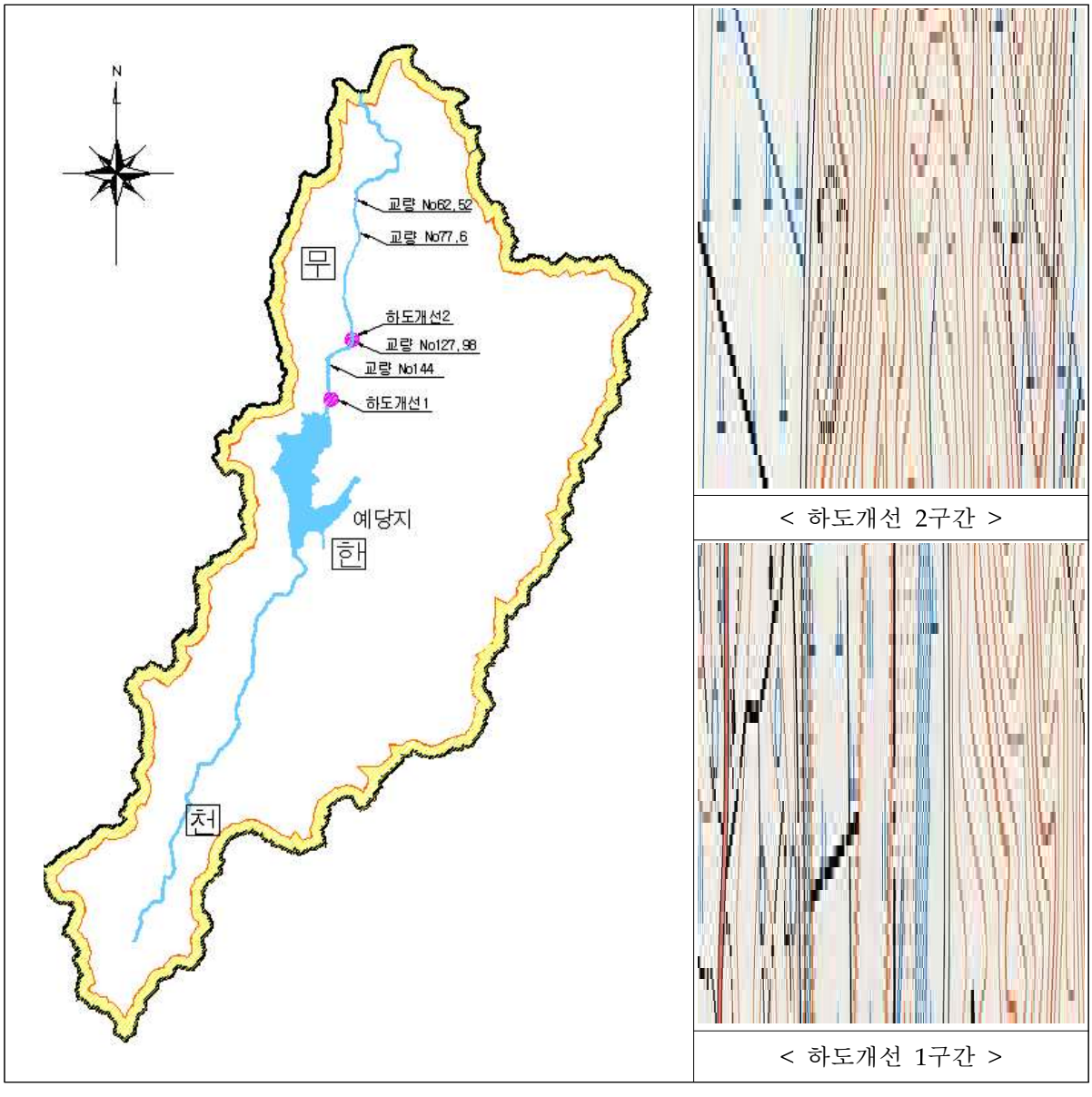
따라서, 삽교천과 무한천 합류부 개선방안으로서 목적한 효과를 기대할 수 있으며, 농경지 손실도 가능한 줄일 수 있는 비교 3안을 채택하였다. 이에 소요되는 비용은 <그림 12.49>에 수록한 바와 같이 구양교 개축 비용을 포함하여 약 240억원으로 예상되며, 본 사업의 시행으로 삽교천과 무한천의 합류를 원활히 유도하고 흐름을 안정시킴으로써 삽교천에 비해 상대적으로 홍수배제가 지체되던 무한천의 홍수소통 능력을 증대할 것으로 기대된다. 아울러 구양교 지점의 협착부를 해소함으로써 상류의 배수위 상승요인을 제거하고, 합류부 개선효과가 구양교 상류의 삽교천 중상류 구간까지 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다.

12.3.7 하도정비

가. 검토 개요

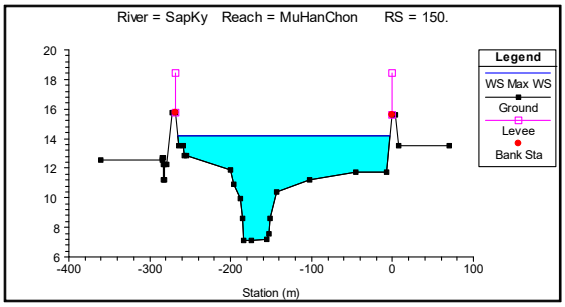
무한천 예당지 하류 구간의 통수능 증대를 목적으로 <그림 12.54>에서 보는 바와 같이 2개소의 하도정비 구간과 4개소의 잠수교 지점을 선정하여 홍수소통에 지장을 초래하는 지형, 지물을 제거하였을 경우의 효과에 대해 검토하였다.

검토 대상으로 선정된 2개소의 하도정비 구간은 상·하류에 비해 통수단면이 협소하여 유속과 수위상승 정도가 다른 구간에 비해 크게 나타나는 구간이며, 잠수교 지점은 교량 구조물이 홍수위 보다 낮게 설치되어 있어 그 자체로도 통수단면을 잠식하며, 홍수유하시 부유물이 걸려 예기지 못한 수위상승을 유발할 위험이 높은 지점이다.

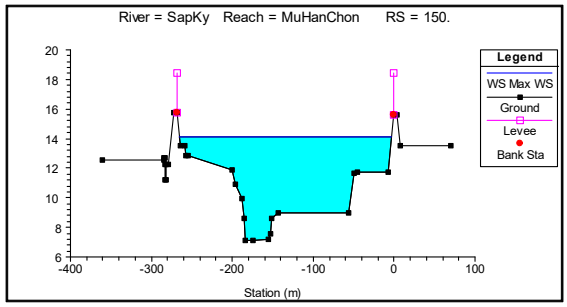


<그림 12.54> 하도정비 대상지점 위치도

하도 및 잠수교 개선 효과는 현 지형과 개선계획을 반영한 개선 후의 지형조건에서 100년 빈도 홍수시의 수위변화 및 인근 저지대의 침수시간 변화를 기준으로 분석하였다. 이때 잠수교 지점의 개선 후 효과는 잠수교를 제거하고 소요 형하여유고를 확보한 가상의 교량을 설치한 상태에서 분석하였으며, 상하류의 고수부지 발달 상태를 고려하여 잠수교 철거 후 저수로를 일부 정비하는 것을 포함하여 개선 후 횡단면 형상을 가정하였다.

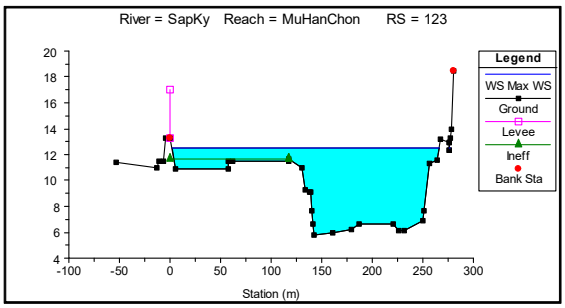


개선 전 (No. 144)

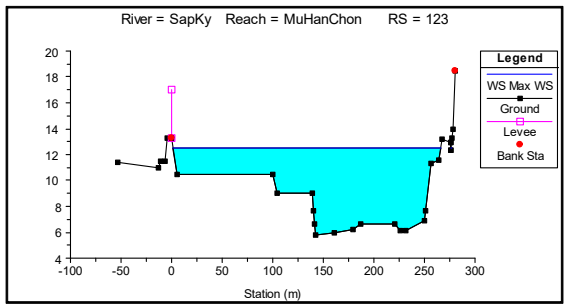


개선 후 (No. 144)

<그림 12.55> '하도개선 1구간'의 개선 전·후 횡단면 비교

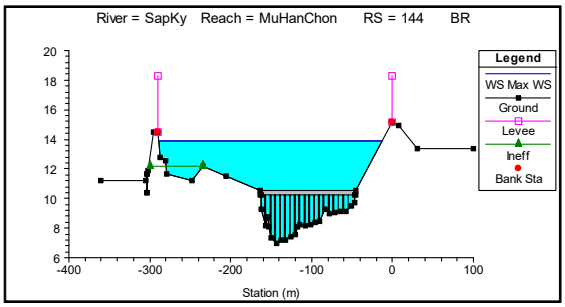


개선 전 (No.123)

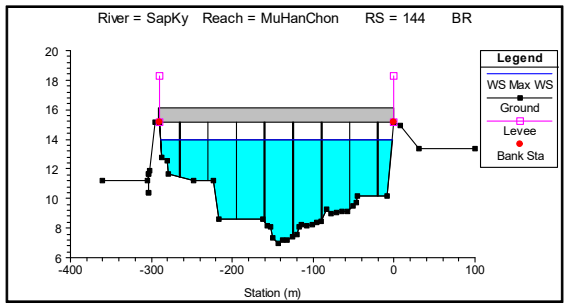


개선 후 (No.123)

<그림 12.56> '하도개선 2구간'의 개선 전·후 횡단면 비교

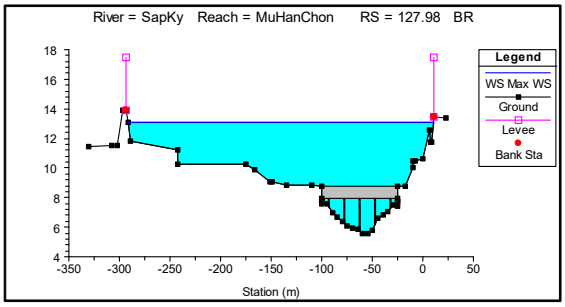


개선 전 (No.144)

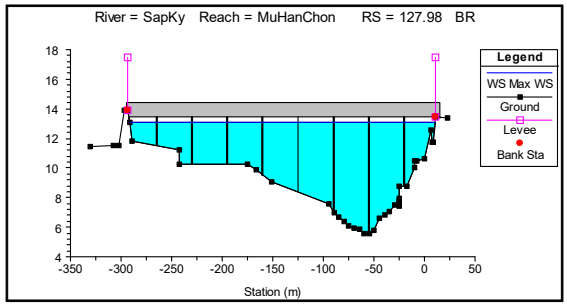


개선 후 (No.144)

<그림 12.57> 입침교 지점의 개선 전·후 횡단면 비교

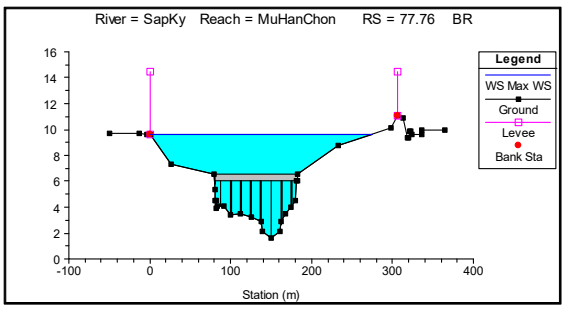


개선 전 (No.127+98)

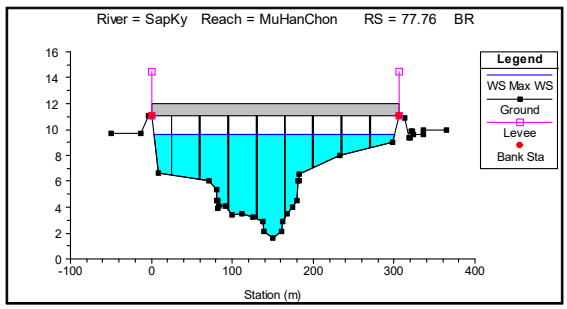


개선 후 (No.127+98)

<그림 12.58> 무명교 지점의 개선 전·후 횡단면 비교

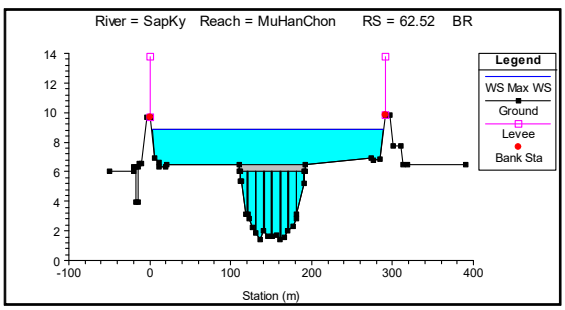


개선 전 (No.77+76)

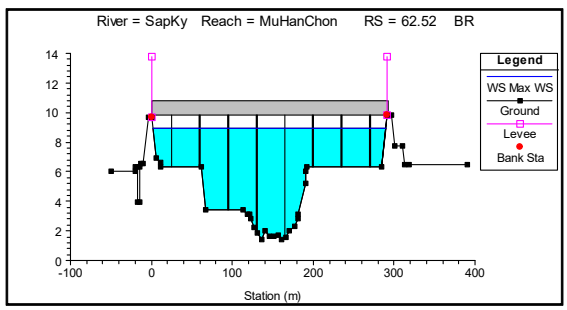


개선 후 (No.77+76)

<그림 12.59> 탄중교 지점의 개선 전·후 횡단면 비교



개선 전 (No.62+52)



개선 후 (No.62+52)

<그림 12.60> 종경교 지점의 개선 전·후 횡단면 비교

나. 하도정비 효과 검토

하도개선 및 잠수교 개량에 의한 홍수위저하 효과는 <표 12.39> 및 <표 12.40>과 같다. 하도내 저수로부의 협착구간 해소 위주로 하도정비를 시행할 경우 하도개선 1, 2구간의 홍수위는 0.03m에서 최고 0.21m까지 저하할 것으로 분석되었으며, 특히 두 구간을 동시에 정비할 경우 홍수위 저하효과가 커서 예당지 까지 약 3.7km 구간의 홍수위가

0.2m 정도 저하할 것으로 예상된다. 이에 비해 잠수교를 설계기준 상의 소요제원을 확보한 정상적인 교량으로 개축할 경우의 홍수위는 크게 저하하지 않는 것으로 분석되어 특정 지점보다는 홍수소통에 지장을 초래하는 구간 전체를 정비하는 것이 홍수위저하 효과가 큰 것으로 나타났다.

따라서, 무한천에 설치된 잠수교의 통행수요가 지역주민들로 한정되어 크지 않은데 비해 하폭이 넓은 구간에 설치되어 있으므로 정상적인 교량으로 개축할 경우 공사비 부담이 크고 경제적 타당성도 작은 반면, 철거할 경우 이 지역 주민들이 느끼는 불편이 심해 많은 반대가 예상되는 만큼 잠수교의 철거 또는 개축보다는 저수로 협착부를 해소하는 방향으로 하도정비를 실시하는 것이 효과적일 것이다.

<표 12.39> 하도정비에 의한 수위저하 효과

구 분	하도정비 구간	수위저하 구간	수위저하 (m)	추정 사업비(억원)
하도개선1	No 149~No152	No.153~No.165 (1.2km)	0.06~0.13	6.37
하도개선2	No 120~No127	No.128~No.165 (3.7km)	0.03~0.21	9.53
하도개선3	No 149~No152, No 120~No127	No.128~No.165 (3.7km)	0.20~0.21	15.9

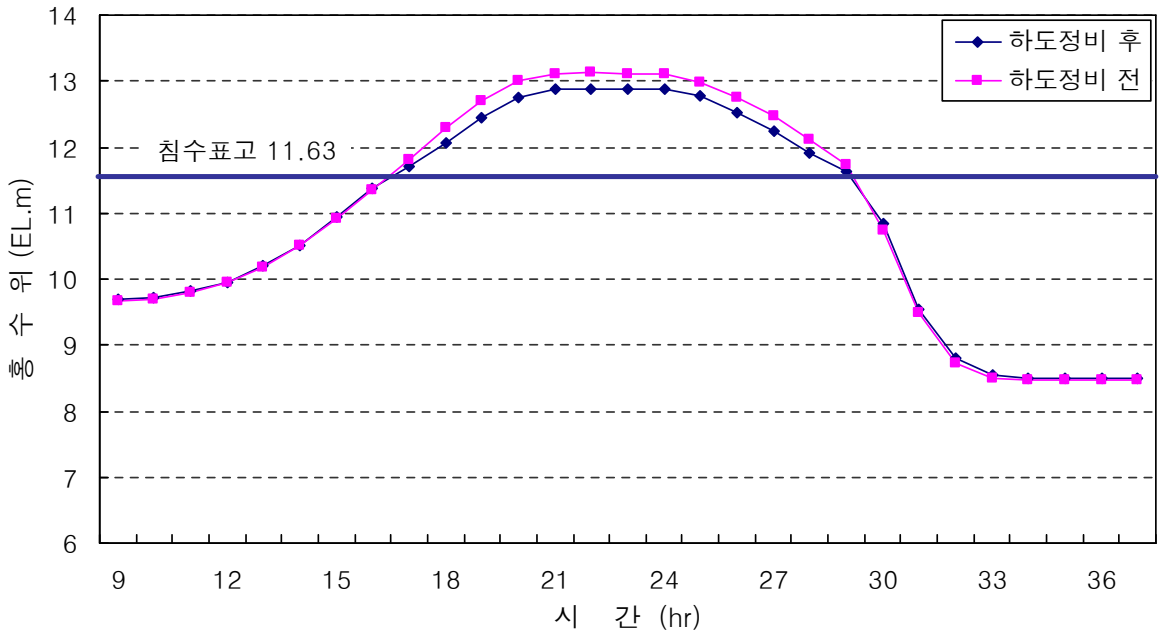
<표 12.40> 잠수교 개량에 의한 수위저하 효과

명 칭	측 점	수위저하 구간	수위저하 (m)	추정 사업비(억원)
입 침 교	No. 144	No.145~No.158 (1.3km)	0.0~0.04	43.69
무 명 교	No. 127.98	-	-	40.44
탄 중 교	No. 77.6	No.78~No.93(1.5km)	0.0~0.03	44.95
종 경 교	No. 62.52	No.63~No.83(2.0km)	0.0~0.03	43.35

그러나 하도정비에 의해 홍수위 저하가 가장 크게 나타난 No.128 지점의 수위수문곡선을 분석한 결과 하천 연안 농경지의 허용침수심에 해당하는 홍수위 지속시간이 하도정비 이전에 비해 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 즉, 하도정비에 의한 홍수위 저하는 <그림 12.61>에서와 같이 고수위에서 크게 나타나고 홍수위가 낮을수록 그 차이가 줄어드는 특징을 보이고 있는바 이 결과에 의하면 하도정비는 홍수위를 저감하여 외수범람의 위험을 감소시키는데 어느 정도 효과가 있지만 제내지 지반고가 낮은 무한천의

경우 내수침수 해소에 미치는 효과는 실질적으로 없는 것으로 판단된다.

<표 12.41>은 하도개선 및 잠수교 개축에 의해 홍수위저하가 가장 크게 발생하는 지점의 수위수문곡선에서 산정한 제내지 침수표고 이상의 수위지속시간을 비교한 것인데 <그림 12.60>과 같이 하도정비 전·후의 수위지속시간 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 이때 침수표고는 제내지 최저답고에 허용침수심 0.3m를 더한 값을 기준으로 하였다.



<그림 12.61> No.128 지점의 하도정비(하도개선 3) 전과 후의 수위수문곡선 비교

<표 12.41> 하도정비에 의한 침수표고 이상의 수위지속시간 변화 비교

구 분	침수시간 비교측점	침수표고 (농경지표고)	수위지속시간 (hr)		비 고
			정 비 전	정 비 후	
하도개선 1	No 153	14.60 (14.30)	0	0	
하도개선 2	No 128	11.63 (11.33)	13	13	
하도개선 3	No 153 No 128	14.60 (14.30) 11.63 (11.33)	0 13	0 13	
입침교 개축	No 145	11.72 (14.42)	15	15	
무명교 개축	No 128	11.63 (11.33)	13	13	
탄중교 개축	No 78	9.66 (9.36)	5	5	
종경교 개축	No 63	6.60 (6.30)	19	19	

다. 홍수방어대안으로서 하도정비가 시행에 대한 제한 사항

전술한 검토 결과 효과가 불확실하고 공사비 부담이 큰 잠수교의 개량 보다는 하도의 협착부 해소가 홍수위저하에 효과적인 것을 알 수 있었다. 그러나 하도정비에 의한 홍수위 저하 효과가 고수위에서 크게 나타나고 수위가 낮을수록 감소하는 특성이 있어 결과적으로 수위지속시간 측면에서는 하천변 저지대의 내수배제에 영향을 미칠 정도의 효과가 없어 저지대의 침수해소 또는 개선에는 큰 효과가 없는 것으로 판단되었다. 따라서, 하도대응 위주의 치수계획을 지양하는 유역종합치수계획의 취지를 감안하여 홍수방어대안으로 채택하지 않았으나, 하천 중심의 하천정비기본계획에서는 하도내 홍수위를 낮추는 방안으로서 검토할 수 있을 것으로 사료된다.

하도정비의 기술적인 효과 이외에 신중하게 검토하여야 할 사항으로 하도정비 시행시 현실적으로 나타나는 문제인 하도에서 굴착한 토사의 처리문제인데, 대부분 하천변 저지대의 복토에 사용된다는 점에서 유수지역의 감소를 초래하여 결과적으로 하도의 홍수소통 부담을 증대시키는 부작용을 초래할 우려가 있다.

치수대책으로서 하도정비의 목적은 홍수배제를 원활히 하여 하도의 홍수위를 신속하게 저하시킴으로써 외수범람과 내수침수의 원인을 해소하는데 있는데, 이러한 목적으로 하도의 토사를 굴착하여 하천변 저지대에 복토함으로써 유수지역을 잠식하고 그 결과로서 하도의 홍수부담을 증대시킨다면 결국 다른 지역의 수해위험을 가중하는 결과를 초래하여 홍수방어 대안으로서의 시행 목적을 상실하게 될 것이다. 따라서 만약 하도정비를 시행할 경우 하도에서 굴착한 토사는 처리비용의 증가가 수반되더라도 하천변 저지대의 복토에 활용하는 것은 지양하고, 최소한 계획홍수위선 이상의 지역에 사토처리 하는 것을 원칙으로 하여야 할 것이다.

제 13 장 치수사업의 경제성 분석방법

13.1 치수사업의 편익 산정

13.2 치수경제성 분석

제 13 장 치수사업의 경제성 분석방법

치수사업의 경제성 분석을 위한 국내의 적용기준으로 2000년 까지는 '하천시설기준(현 하천설계기준)'에 수록된 간편법을 사용하였으나, 이 방법은 다른 사회간접자본 시설의 경제성을 분석하는 방법에 비해 편익이 작게 산정되어 사업의 경제성이 낮게 평가되는 단점이 있으므로 2001년 부터는 '치수사업경제성분석 개선방안연구(건교부, 2001)'에서 제시한 방법(개선법)을 적용하여 왔다.

개선법은 간편법의 문제점으로 지적되어온 사업의 편익이 낮게 평가되는 점을 개선하기 위해 할인율 개념을 도입하고, 사회간접자본 시설의 피해 및 훼손에 따른 기회비용과 구조물 잔존가치의 반영 등 일부 개선된 방법을 제시하였으나, 편익산정을 위해 제시한 침수면적-피해액 관계식이 지역적 특성을 반영하는데 한계가 있으며, 식 자체의 특성상 독립변수인 침수면적과 관련된 변수항 보다 상수항의 영향이 커서 침수면적의 변화에 따른 편익의 차이가 크게 나타나지 않게 됨으로 결과적으로 사업의 경제성이 비용에 의해 좌우되는 불합리한 결과를 보이는 문제가 발생하였다. 또한 홍수규모와 무관하게 고정된 홍수빈도율을 적용함으로써 홍수의 규모별 발생확률을 고려하지 못하며 사업시행 이후에도 상존하는 내수침수와 같은 피해요인을 반영하지 못하는 부분도 개선해야 할 사항으로 지적되었다.

이러한 사유로 건교부에서는 '치수사업 경제성분석 방법연구(건교부, 2004)'를 통해 침수피해유형과 토지이용을 고려한 침수피해액 산정방법인 다차원 홍수피해 산정방법(다차원법)을 제시하고 아울러 사업의 경제성을 분석하기 위한 할인율, 구조물의 내용연수, 유지관리 비용 등에 대한 합리적인 선정근거와 함께 대안의 수립, 평가 및 최선대안의 선정에 이르는 일련의 의사결정 과정을 체계화 하였다.

본 과업에서는 상기 연구성과를 통해 제시된 다차원법과 제반 기준에 의해 홍수방어 대안요소 시행에 따른 편익을 산정하고, 경제성분석을 실시하였으며, 홍수방어 대안요소의 조합으로 이루어지 유역종치수계획(안)의 선정과 투자우선순위 결정 또한 동 연구에서 제시한 방법을 적용 하였다.

13.1 치수사업의 편익 산정

13.1.1 치수사업의 대상편익

치수사업에서 경제성분석은 사업전후의 홍수피해 감소효과를 편익으로 간주하여 분석

하는 것이 일반적이다. 즉, 치수대책의 시행에 의해 경감되어지는 홍수피해부분을 편익으로 고려하는 것이다.

치수사업의 경제효과는 범람원내 자산피해 방지효과 즉, 홍수로 인한 직접·간접적인 침수피해 감소효과와 치수안전도 향상에 따른 토지이용의 고도화 등의 간접적인 효과가 있다. 그러나, 치수사업의 간접적인 효과는 금액으로 계량화 하는 것이 매우 어렵고 그 합리적인 적용기준이 없으므로 다차원법에서는 사업시행 전후의 직접피해액만 자산피해와 인명피해로 구분하여 산정함으로써 치수사업의 편익을 결정하도록 하였다.

<표 13.1> 다차원법의 편익 항목

편익 분류		편익 내용	비 고
직접피해 절감편익	자산피해 절감편익	○ 주거지역(건물+가정용품) 피해경감 ○ 농업지역(농경지+농작물) 피해경감 ○ 산업지역(유형자산+재고자산) 피해경감	일반자산
		○ 공공시설물 피해경감	
	인명피해 경감편익	○ 인명손실 경감 ○ 이재민 경감	개선법과 동일하게 산출

다차원법에서 직접피해액 항목은 크게 인명 피해액, 건물 피해액, 건물내용물 피해액, 농경지 피해액, 농작물 피해액, 사업소 유형·재고자산 피해액, 공공시설물 피해액의 7가지로 분류된다. 이중 인명 피해액과 공공시설물 피해액을 제외한 5가지 피해액은 일반자산의 평가액을 근거로 산정하며 피해복구 후, 같은 장소에서 다시 생활을 시작하기 위해서 가옥이나 가재 등을 재조달 하는 경우가 많기 때문에 실제로 지출하는 피해액에 가까운 재조달 가격 또는 복구비를 근거로 직접적인 피해액을 산정한다.

<표 13.1>의 편익 항목 중 일반자산에 해당하는 주거지역, 농업지역, 산업지역 피해경감액과 공공시설물 피해경감액은 다차원법에서 새로운 방법을 제시하였으나, 인명피해 경감편익은 다차원법에서도 기존의 개선법과 동일한 방법을 적용한다.

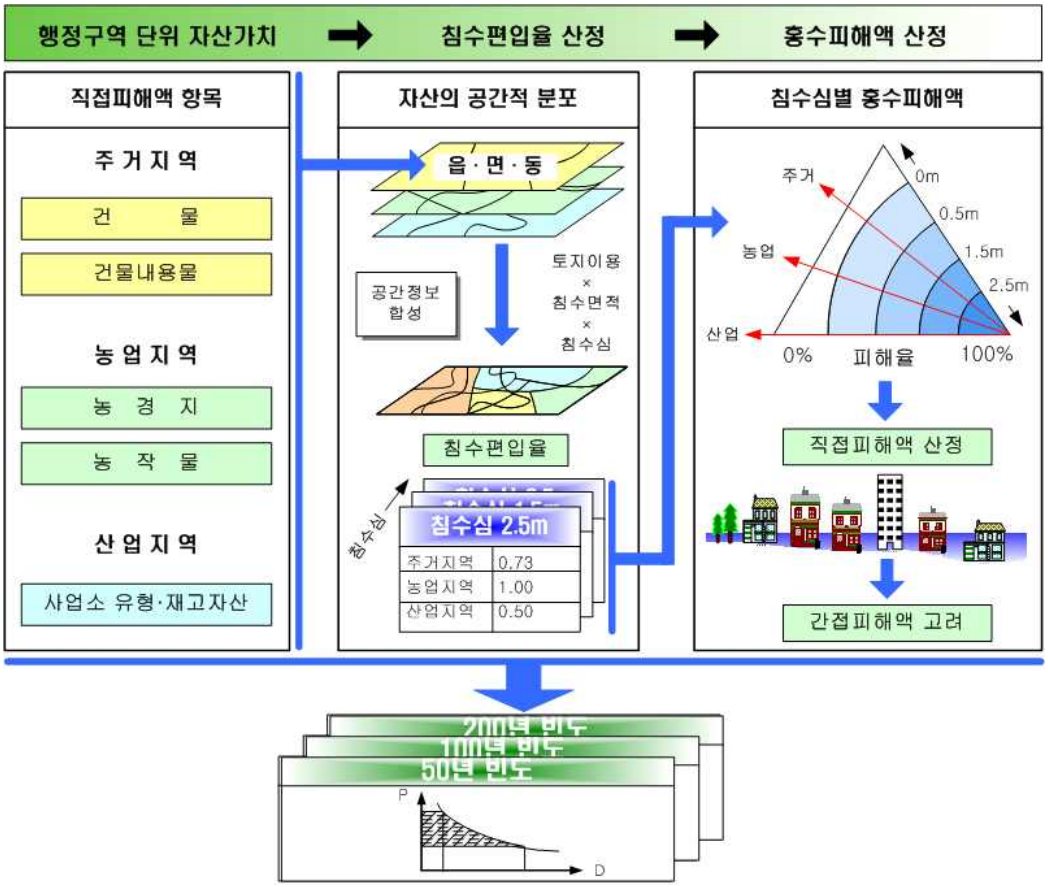
13.1.2 다차원 홍수피해산정방법의 기본구성

가. 일반자산피해액 산정의 대상자산

직접피해 산정의 대상자산은 인간이 생존이나 생활을 하기 위한 거주지나 농업, 제조업 그리고 서비스업 등 경제활동을 영위하기 위하여 축적해온 동산 및 부동산 등을 그 대상으로 한다. 즉, 건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 사업소 유형·재고자산이 이에 해당하며 공공시설물 대비되는 개념에서 일반자산으로 구분한다.

<표 13.2> 지역특성에 따른 대상자산

지 역 특 성	대 상 자 산
주 거 지 역	· 건물 : 일반세대의 주거용 건물 · 건물내용물 : 일반세대의 주거용 가정용품
농 업 지 역	· 농경지 : 전 · 답 · 농작물 : 홍수시에 있어서의 대표작물
산 업 지 역	· 사업소 유형 · 재고자산 : 사업소자산 중 토지를 제외한 생산설비나 재고자산



<그림 13.1> 다차원 홍수피해산정방법(MD-FDA)의 개념도

나. 일반자산 피해액 산정의 기본 단위

홍수피해지역의 범위가 홍수피해액에 미치는 영향을 구체적으로 측정하기 위하여 홍수지역의 범위를 행정구역상의 '읍 · 면 · 동' 단위로 설정하였다. 물론 '읍 · 면 · 동' 보다 더 작은 단위로 지역의 범위를 설정하는 것이 피해액 산정 결과의 정확도를 훨씬 높일 수 있지만, 피해액 산정방식이 가져야 할 합리적인 특성들인 정확성(precision), 가능성(feasibility), 편의성(convenience), 그리고 단순성(simplicity) 등을 최대한 조화롭게 만족시켜줄 수 있는 현실적인 단위는 '읍 · 면 · 동'이라고 판단하였기 때문이다.

다. 일반자산 피해액 산정의 입력자료

직접피해액을 구체적으로 산정하기 위해서는 다음과 같은 자료가 있어야 한다.

① 직접피해 대상자산 자료

② 침수심-피해율 관계

③ 해당지역의 침수심 자료

그러므로 직접피해액 산정식을 사용하여 실제 홍수피해액을 산정하기 위해서는, ①의 정보와 ②의 정보를 사전에 준비하여 위의 관계를 미리 설정해두고, 그리고 실제로 특정한 홍수가 발생하게 되면 ③의 정보를 이러한 관계에 대입함으로써 실제 홍수피해액을 산정하게 된다.

13.1.3 행정구역별 자산조사

치수사업의 편익을 산정하기 위해서는 우선 홍수규모별 예상피해액을 추정하여야 하며, 이는 침수피해 예상지역의 자산규모에 기초하여 결정된다. 다차원법에서는 자산조사의 기준을 '읍·면·동'과 같은 행정구역 단위로 구분하여 해당 지역의 특성을 반영하는 구체적인 자산 산정방법을 제시하고 있다. 조사대상 지역의 특성은 일차적으로 특정지역이 가지고 있는 주거특성, 농업특성, 산업특성으로 대분류된다. 이러한 지역특성에 관한 정보는 통계청과 같은 공공기관의 데이터에서 수집할 수 있다.

<표 13.3> 직접피해 대상자산과 피해액 산정방법

지역특성	분류		자료	산정방법
주거특성	건물	단독주택	① 건축형태별 건축연면적 주택수 ② 건축형태별 건축단가 ③ 아파트, 연립주택의 층수 ④ 읍면동별 건축형태별 주택수	해당 읍면동의 평균건물연면적에 건축단가를 곱해서 산정 (①×②×④, ③은 고려사항)
		아 파 트		
		연립주택		
	건 물 내용물		① 가정용품 보급률 및 평균가격 ② 지역별 가정용품 평가액 ③ 읍면동별 세대수	세대수에 1세대당 평가단가를 곱하여 산정 (②×③, ①은 고려사항)
농업특성	농경지	전	① 매몰,유실에 의한 피해액 ② 읍면동별 전,답 면적	매몰이나 유실이 발생하였을 경우 피해액을 바로 산정(①×②)
		답		
	농작물	전	① 단위면적당 농작물평가단가 ② 읍면동별 전,답면적 ③ 읍면동별 경작작물의 종류	논면적, 밭면적에 시군구별 단위면적당 농작물평가단가를 곱하여 농작물 자산을 산정 (①×②, ③은 고려사항)
		답		
산업특성	유형자산		① 산업분류별 1인종사자수당 사업체 유형·재고자산액 ② 읍면동별 산업분류별 종사자수	산업대분류마다 종업자수에 1인당 평가단가를 곱하고 사업소 유형고정자산·재고자산을 산정(①×②)
	재고자산			

가. 주거특성

(1) 건물자산

건물자산가치는 (식 13.1)과 같이 해당 읍면동의 건축연면적에 건축단가를 곱해서 가옥자산을 산정한다. 대상건물을 주거건축물에 국한하여 가치를 산정하였기 때문에 사업소 건물이 평가되지 않아, 과소평가 될 우려가 있으나 산업지역의 유형고정자산항목에 사업체에 대한 건물부분이 포함되어 있다. 보다 자세한 자산산정을 위해서는 사업소 건물을 구체적으로 분리할 있는 방법이 요구된다.

건물자산가치(원) = 단위면적별 건축형태별 건축단가(원/㎡)
× 건축형태별 연면적 비율(㎡/개소)
× 가구수(개소) :
× 기준년 건설업 Deflator .....(식 13.1)

여기서, 건축형태별 연면적은 해당 읍면동의 시군통계연보를 근거로 평수별 가구수에 관한 자료를 바탕으로 산정하며, 시군통계연보에 이와 관련된 통계자료가 없을 경우 전국평균자료인 <표 13.4>를 이용하여 산정할 수 있다. 가장 최근에 조사된 건축형태별 평수별 가구수는 2000년 기준이다.

<표 13.4> 전국평균 건축연면적별 가구수비

주택형태 \ 평수		7평미만	7-9평	9-14평	14-19평	19-29평	29-39평	39-49평	49-69평	69-99평	99평이상
단독주택	읍	0.0043	0.0122	0.0910	0.2299	0.4313	0.1539	0.0385	0.0277	0.0076	0.0036
	면	0.0034	0.0113	0.1045	0.2530	0.4446	0.1448	0.0211	0.0138	0.0023	0.0011
	동	0.0058	0.0122	0.0588	0.1242	0.2737	0.1603	0.1179	0.1383	0.0719	0.0370
아파트	읍	0.0003	0.0062	0.0759	0.4342	0.4115	0.0503	0.0177	0.0038	0.0001	0.0000
	면	0.0010	0.0111	0.0935	0.4726	0.3741	0.0370	0.0086	0.0019	0.0001	0.0000
	동	0.0007	0.0288	0.1233	0.3569	0.3706	0.0699	0.0409	0.0086	0.0004	0.0000
연립주택	읍	0.0029	0.0032	0.0645	0.3409	0.4862	0.0889	0.0085	0.0037	0.0012	0.0000
	면	0.0005	0.0059	0.0716	0.3006	0.4962	0.1168	0.0068	0.0016	0.0000	0.0000
	동	0.0016	0.0048	0.1413	0.3722	0.3931	0.0584	0.0128	0.0123	0.0034	0.0000
다세대주 택	읍	0.0035	0.0266	0.1529	0.3549	0.4068	0.0461	0.0069	0.0021	0.0001	0.0000
	면	0.0006	0.0156	0.1096	0.3642	0.4332	0.0708	0.0040	0.0019	0.0001	0.0000
	동	0.0029	0.0095	0.2585	0.3984	0.2851	0.0342	0.0060	0.0043	0.0010	0.0000
영업용건물내주택	읍	0.0360	0.0399	0.1382	0.1759	0.2845	0.1704	0.0711	0.0571	0.0177	0.0093
	면	0.0246	0.0306	0.1271	0.1663	0.3085	0.1888	0.0691	0.0611	0.0153	0.0086
	동	0.0352	0.0332	0.1015	0.1201	0.2431	0.1910	0.1082	0.0976	0.0408	0.0293

출처) 통계청(2002). 주택총조사보고서(5년주기)

단위면적별 건축형태별 건축단가는 한국감정원의 '건물신축단가표(2000)'를 기준으로 <표 13.5>에 제시하였다. 시군구별 별도의 건축단가자료가 있을 경우 그 자료를 사용할 수 있다.

<표 13.5> 건축형태별 건축단가

단위 : 원/㎡

주택형태 / 주택구조	단독주택	아파트	연립주택	다세대주택	비거주용 건물내
철근콘크리트조	722,822	566,001	566,001	722,822	537,593
철골조	-	-	-	-	483,143
연와석조	683,124	489,288	489,288	683,124	450,002
목조	512,604	-	-	512,604	431,919
목골모르타르조	378,972	-	-	378,972	190,691
토벽조	378,972	-	-	378,972	190,691
블록조	508,428	-	-	508,428	409,187
간이목골모르타르조	378,972	-	-	378,972	190,691

출처) 한국감정원(2000). 건물신축단가표

건물자산가치를 사업평가 기준년에 맞추어 산정하기 위해 경제통계에 있어서 금액으로 표시된 통계량에서 물가상승에 의한 명목적 증가분을 제거하기 위하여 제수(除數)의 형태로 쓰이는 <표 13.6>의 기준년 건설업 디플레이터(deflator) 보정지수를 이용하였다.

<표 13.6> 연도별 건설업 Deflator 보정지수

연도	건설업 Deflator
1997	100.00
1998	104.74
1999	104.02
2000	106.02
2001	109.61
2002	114.44
2003	122.36

주 1) 각 부문별 지수는 2003년도 단가로 환산을 위한 상대지수임. 2000년 개정기준 자료를 이용.
주 2) 한국은행, 특히 건설업 Deflator지수는 지출 GDP 항목 중 건설투자 항목을 이용.

(2) 건물내용물

건물내용물 자산가치는 (식 13.2)에 의해 산정한다.

건물내용물 자산가치(원) = 가정용품 평가액(원/세대수)
× 세대수
× 소비자 물가지수 .....(식 13.2)

여기서, 가정용품평가액은 통계청에서 작성한 '국부통계조사보고서(1999)'의 1997년말 현재 가정용품 보급률 및 평균가격으로부터 각 가정용품 항목별 보급률과 평균가격을 곱하고 전체를 합하여 최소평가액(4,572,147원/세대)과 최대평가액(29,939,652원/세대)을 산정하였다. 기초수량이 되는 세대수는 해당년 시군통계연보의 읍면동 자료를 이용할 수 있다.

가정용품평가액은 실무적인 분석에서는 평균값 또는 대표값을 이용하는 것이 편리하다. 이 값은 지역주민의 문화수준이나 소득수준을 고려하여 조정하는 것이 합리적으로 이나 문화수준의 평가는 평가시 주관적 개입가능성이 높기 때문에 다차원법에서는 '치수사업경제성분석 개선방안 연구(건교부, 2001)'에서 제시한 도시분류구분을 이용하여 <표 13.7>과 같이 도시분류별로 최대평가액에서부터 최소평가액까지 등간격으로 차등을 두어 제시하였다. 또한 특정 통계년도의 건물내용물 자산가치는 사업평가 기준년에 맞추기 위해 소비자가 구입하는 상품이나 서비스의 가격변동을 나타내는 기준년 소비자 물가지수를 이용하여 조정하도록 하였다.

<표 13.7> 도시분류별 가정용품 평가액

도시유형 / 평가액	대도시	중소도시	전원도시	농촌지역	산간지역
가정용품 평가액(원/세대)	27,402,902	22,329,401	17,255,900	12,182,399	7,108,898

<표 13.8> 년도별 소비자 물가지수

년도	소비자물가지수	비 고
1997	100.00	'치수사업 경제성분석 방법연구(건교부, 2004)' 에서 제시
1998	107.54	
1999	108.43	
2000	110.86	
2001	115.41	
2002	118.51	
2003	122.73	
2004	127.16	금회 산정

주) 각 부문별 지수는 2003년도 단가로 환산을 위한 상대지수임. 2000년 개정기준 자료를 이용

나. 농업특성

농업 특성은 각각의 읍면동 단위에 주어진 전이나 답으로 구체화 되고, 전·답의 면적이나 해당 농작물로 측정된다. 전국의 읍면동 전답의 면적과 농작물은 각 지역의 시·군 통계연보로 부터 과거 몇 년간의 자료를 수집할 수 있다.

(1) 농경지

전답별 경지면적은 해당지역의 시·군 통계연보로 부터 과거 몇 년간의 자료를 수집한다. 농경지는 침수되어도 어느 침수심 까지는 피해가 거의 발생하지 않으며, 매몰이나 유실이 발생하였을 경우 피해액을 바로 산정한다.

(2) 농작물

논면적, 밭면적에 시군구별 단위면적당 농작물 평가단가를 곱하여 (식 13.3)과 같이 농작물 산가치를 산정한다.

농작물 자산가치 = 단위면적당 농작물 평가단가(원/ha)
× 농작물 작부면적(ha)
× 소비자 물가지수 .....(식 13.3)

농작물 자산에 대한 평가에서 전, 답의 대표작물 및 특수농작물에 대한 생산량은 논의 경우는 벼의 수확량(생산량), 밭의 경우는 주요한 작물의 수확량으로 하되 시군별 통계자료에 의한 곡종별 작물통계에 의거 최근 5개년 간의 자료중 최대 및 최소 수확량을 제외한 3개년 간의 값의 수확량 평균치를 평년작으로 하여 적용한다.

단위면적당 농작물 평가단가는 <표 13.9>에 제시된 값을 적용하며, 그 외의 경우 (식 13.4)에 의해 산정한다. 논벼의 경우 <표 13.10>과 같이 도평균 생산비 값을 사용하며, 기타 농작물에 대해서는 전국평균 생산비 값을 사용하였다.

단위면적당 농작물 평가단가 $c = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{\sum A_i}$ .....(식 13.4)

여기서, i : 해당지역의 홍수기 논·밭작물종 P : 가격
x : 평년 수확량 A : 작부면적

기초수량이 되는 농작물 작부면적은 해당년 시군통계연보의 읍면동 자료를 이용한다. 현재 시군통계연보에 농작물 수확량(생산량)은 시군단위 및 읍면동단위로 지역별로 서

로 상이하게 제시되어 있다. 따라서, 시군단위로 제시된 농작물 수확량을 읍면동 단위로 전환하기 위해 시군별 작부면적에 대한 해당 읍면동의 작부면적에 대한 비율을 사용하여 읍면동단위의 농작물 수확량을 산정하였다.

<표 13.9> 농작물별 생산비 (2002년 기준)

농 작 물	10a당 생산비(원)	가마당 생산비	
		기준무게(kg)	생산비(원)
겉 보 리	223,239	76.5	72,574
쌀 보 리	248,920	76.5	72,581
마 늘	1,232,861	100	101,380
양 파	981,828	20	3,219
고 추	1,227,759	10	45,490
참 깨	441,998	60	489,816

출처) 통계청(2002). 농산물생산비통계

<표 13.10> 지역별 논벼의 생산비 (2002년 기준)

시 도	10a당 생산비(원)	가마(80kg)당 생산비(원)
경 기 도	536,892	87,426
강 원 도	474,079	84,566
충 청 북 도	478,628	75,549
충 청 남 도	504,110	76,795
전 라 북 도	615,810	99,323
전 라 남 도	529,544	94,569
경 상 북 도	515,923	84,655
경 상 남 도	519,586	93,562
제 주 도	-	-

출처) 통계청(2002). 농산물생산비통계

다. 산업특성

(식 13.5)와 같이 산업대분류마다 종업자수에 1인당 평가단가를 곱하여 사업소 유형고정자산 및 재고자산을 산정한다.

산업지역 자산가치(원) = 산업분류별사업체 1인당 유형자산 및 재고자산평가액(원/인)
× 사업체별 종사자수(인)
× 소비자 물가지수 .....(식 13.5)

산업분류별 사업체 1인당 유형자산 및 재고자산 평가액은 통계청의 '국부통계조사보고서(1999)'에서 제시한 산업별 사업체 유형고정자산 및 재고자산을 산업분류별 종사수로 나누어 산정하였으며, 지역별 편차를 감안하여 시도별로 구분하여 적용한다. 이때 기초수량이 되는 사업체별 종사자수는 해당년 시군통계연보의 읍면동 자료를 이용할 수 있다. '국부통계조사보고서(1999)'에서 제시하는 산업대분류와 시군통계연보의 사업체별 종사자수 데이터항목이 상이하므로, <표 13.11>에 의해 표준화하며, <표 13.12>에 시도별 산업분류별 사업체 1인당 종사자의 유형자산, 재고자산을 제시하였다.

<표 13.11> 국부통계조사보고서(1999)와 시군통계연보의 사업체별 항목

「국부통계조사보고서」 산업대분류	시군통계연보 종사자수 데이터 항목
A. 농업, 수렵업 및 임업	농업 및 임업
B. 어업	어업
C. 광업	광업
D. 제조업	제조업
E. 전기,가스 및 수도사업	전기, 가스 및 수도사업
F. 건설업	건설업
G. 도·소매 및 소비자용품 수리업	도매 및 소매업
H. 숙박 및 음식점업	숙박 및 음식점업
I. 운수,창고 및 통신업	운수업
	통신업
J. 금융 및 보험업	금융 및 보험업
K. 부동산,임대 및 사업서비스업	부동산 및 임대업
	사업서비스업
L. 공공행정,국방 및 사회보장행정	공공행정, 국방 및 사회보장 행정
M. 교육서비스업	교육 서비스업
N. 보건 및 사회복지사업	보건 및 사회복지사업
O. 기타공공,사회 및 개인서비스업	오락, 문화 및 운동관련 서비스업
	기타 공공, 수리 및 개인서비스업

<표 13.12> 시도별 산업분류별 사업체 1인당 종사자의 유형자산 및 재고자산

단위 : 천원

산업 분류	강원도		경 기		경 남	
	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산
A	3,633,007	498,790	6,105,347	2,396,981	6,383,463	546,964
B	1,107,118	28,581	110,606	27,655	295,847	13,437
C	164,116	4,976	285,756	20,881	102,124	3,998
D	361,616	29,327	296,024	42,431	179,216	37,041
E	787,349	17,905	737,448	33,948	1,596,787	4,812
F	70,296	4,326	32,198	13,023	58,920	17,613
G	51,830	44,570	31,833	18,362	23,596	14,519
H	80,645	315	309,026	5,210	38,385	63
I	90,924	1,558	56,584	3,063	60,890	2,138
J	41,361	2,195	28,932	1,120	42,641	954
K	37,891	5,643	38,730	3,964	51,518	3,197
L	0	0	0	0	0	0
M	40,962	6	102,719	10	44,825	60
N	42,496	24,004	59,777	1,316	49,264	1,375
O	49,873	291	83,416	759	91,207	1,968

산업 분류	경 북		광 주		대 구	
	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산
A	7,352,112	997,724	2,519,888	430,223	2,404,024	186,813
B	3,852,727	140,657	0	0	0	0
C	101,179	6,120	97,018	5,263	145,738	844
D	361,187	55,257	128,027	69,070	129,142	24,723
E	4,094,063	13,318	2,559,004	3,984	800,173	4,234
F	38,991	3,287	67,774	36,033	36,104	71,514
G	31,497	46,624	27,422	14,631	24,910	22,922
H	35,289	446	30,237	1,073	22,791	453
I	97,966	1,737	111,579	1,271	39,591	952
J	35,596	14,479	31,806	366	122,919	467
K	27,277	1,169	79,926	8,586	18,686	1,183
L	0	0	0	0	0	0
M	133,664	4	83,921	4	69,009	0
N	60,886	1,502	38,535	1,948	46,769	893
O	61,454	910	53,858	424	50,144	98

출처) 통계청(1999). 국부통계조사보고서

주 1) 산업분류는 <표 5.11>의 「국부통계조사보고서」 산업대분류와 같다.

주 2) 「국부통계조사보고서」의 산업별 사업체 유형고정자산 및 재고자산을 산업분류별 종사수로 나누어 산정

<표 13.12> 시도별 산업분류별 사업체 1인당 종사자의 유형자산 및 재고자산 (계속)

단위 : 천원

산업분류	대 전		부 산		서 울	
	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산
A	6,545,968	567,742	5,068,454	448,144	182,400	165,741
B	0	0	661,901	13,710	443,281	1,839
C	69,466	6,408	104,571	1,714	32,193	2,851
D	104,884	23,248	144,150	21,850	58,287	20,492
E	941,157	6,595	1,172,962	12,899	642,452	12,033
F	137,949	20,345	126,376	59,188	127,285	63,449
G	24,949	18,810	35,202	17,498	51,177	30,042
H	26,099	391	45,920	925	33,306	940
I	79,933	3,308	177,187	983	356,199	6,095
J	39,777	125	26,751	344	153,712	18,035
K	73,213	21,687	30,755	532	47,449	5,325
L	0	0	0	0	0	0
M	89,767	4	85,835	15	133,808	56
N	95,130	1,187	49,805	1,187	38,670	1,695
O	56,014	65	67,895	219	74,179	1,374

산업분류	울 산		인 천		전 남	
	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산
A	6,420,721	1,397,838	1,962,014	935,830	5,658,394	756,792
B	255,945	35,400	1,595,680	41,760	147,937	29,645
C	97,607	4,356	157,547	2,995	51,867	3,544
D	342,215	44,095	166,184	52,765	450,154	53,276
E	527,311	5,162	1,355,159	302,744	2,035,252	55,653
F	13,991	2,930	71,034	4,982	27,632	4,020
G	37,641	20,678	28,497	12,673	49,624	26,729
H	37,817	1,345	24,808	200	49,215	371
I	135,468	16,777	66,448	334	69,761	1,403
J	33,820	583	16,764	62	31,459	2,243
K	13,835	292	39,732	18,372	81,446	2,005
L	0	0	0	0	0	0
M	80,582	262	52,866	12	37,172	12
N	54,549	2,219	50,496	1,140	60,297	1,658
O	100,832	683	57,260	118	67,314	288

<표 13.12> 시도별 산업분류별 사업체 1인당 종사자의 유형자산 및 재고자산 (계속)

단위 : 천원

산업 분류	전 북		충 남		충 북	
	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산
A	3,551,537	426,765	3,394,217	608,642	9,963,972	1,657,111
B	961,517	177,985	2,853,541	503,301	1,102,500	695,500
C	83,354	12,853	107,740	14,053	54,980	14,031
D	211,479	41,883	419,694	40,810	375,478	45,430
E	1,021,101	9,430	2,119,874	4,700	621,164	1,483
F	59,311	4,130	22,768	7,208	171,839	49,529
G	30,853	25,641	27,774	33,209	39,195	16,918
H	40,717	426	37,566	316	28,736	882
I	38,166	1,082	60,317	2,494	58,283	1,902
J	31,602	5	36,972	2,370	39,861	602
K	20,409	2,325	21,784	1,810	22,551	2,156
L	0	0	0	0	0	0
M	91,940	0	100,652	91	36,349	8
N	54,096	3,377	35,978	1,269	229,387	1,788
O	102,263	866	40,505	244	82,304	170

13.1.4 침수편입율 산정

가. 공간정보 자료의 활용

기존의 홍수피해액 산정방법(개선법)에서는 피해지역을 대도시, 중소도시, 전원도시, 농촌지역, 산간지역 등으로 특성에 따라 5개군으로 구분하고 특성별 가중치나 속성값들을 침수면적에 곱하는 1차원적인 방법으로 피해액을 계산하였다. 그러나 이 방법은 최소 구분단위를 시·군·구로 하고 있어서 그 정밀도가 낮을 뿐 아니라 지역의 대표적 특성을 인구라는 하나의 독립변수만으로 구분하고 있어서 실제 피해지역의 자산가치가 올바르게 반영되었다고 할 수 없다. 또한 침수지역에 대한 공간적 정의 없이 수치적으로만 침수면적을 산정하기 때문에 침수심에 대한 고려가 불가능하며, 피해지역 내에서도 토지의 이용형태나 인구밀집도 등에 따라 피해액 산정방법이 달라야 함에도 이를 반영하지 못하는 단점이 있었다.

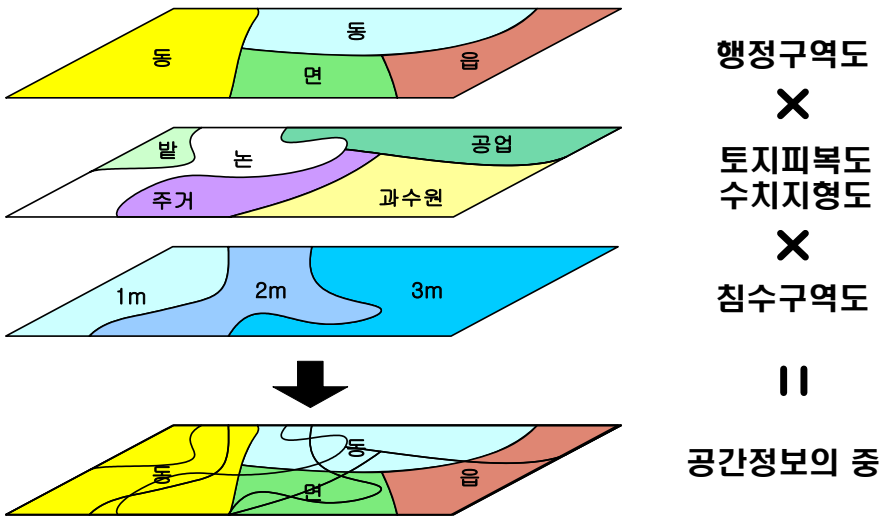
따라서, 다차원법에서는 개선법의 단점을 보완하기 위하여 피해지역의 '읍·면·동' 단위의 행정구역, 침수구역 및 침수심, 토지이용상태 등의 공간정보를 지리정보시스템(GIS; Geographical Information System)과 연계하여 행정구역 내에서도 침수피해지역의 침수심에 따라 주거지역, 농업지역, 산업지역별로 침수편입율을 산정하도록 하였다.

주거와 산업의 경우는 수치지형도의 대분류 항목인 건물레이어(code 4)에서 추출된

건물도형의 분포를 사용할 수 있는데, 정밀한 결과를 얻기 위하여 1/5,000 수치지형도를 사용하는 것이 바람직하며, 산업지역의 경우 수치지형도 보다는 중분류 항목인 1:25,000 토지피복도의 공업(code 120), 상업(code 130), 위락(code 140) 항목을 합한 면적분포를 사용하는 것이 보다 정확한 결과를 담보할 수 있다. 농업의 경우는 전국을 포괄하며 현재 널리 사용되고 있는 1/50,000 및 1/25,000 토지피복도의 농업지역(code 200) 항목을 사용하는 것이 추천된다.

나. 침수편입율의 산정

침수편입율이란 행정구역 내에서 주거, 산업, 농업 등 지역특성요소의 총자산가치를 실제 침수된 부분에 대한 자산가치로 환산하기 위해 지역특성요소별로 지리요소인 공간객체들의 위치(position)정보를 침수심별로 중첩하여 전체에 대한 비율로 나타낸 것이다. 따라서 침수편입율은 행정구역별로 산정되며 주거, 산업, 농업의 세 가지 지역특성요소들이 각각 편입되는 침수심별로 산정되고 침수심별 편입율의 합은 언제나 1이 된다. <그림 13.2>은 침수편입율을 산정하기 위하여 공간정보를 중첩하는 개념을 나타내고 있다. 이러한 침수편입율은 지역특성요소의 공간적 분포만을 고려하는 것이기 때문에 도형자료의 개수나 면적이 행정구역내의 통계자료와 반드시 일치할 필요는 없다.



<그림 13.2> 침수편입율 산정을 위한 공간정보의 중첩

13.1.5 침수피해액 산정

침수피해액은 대상지역의 항목별 자산액에 침수편입율과 침수피해율을 곱하여 산출한다. 단, 공공시설물 등의 피해에 관해서는 공공시설물 자산으로부터의 직접적인 추계

가 곤란하기 때문에 일반자산피해액과의 관계로부터 산정한다.

가. 주거특성과 침수심에 따른 피해액

(1) 건물피해액 산정

건물피해액은 (식 13.6)과 같이 등지반고 지구별 건물자산액에 추정 침수심 등에 따르는 피해율을 곱해서 산출한다. 다만 자산 피해율은 주거형태와는 무관하나 층수는 고려한다는 가정하에 <표 13.13>에서 제시한 건물피해율에 의하여 산정한다. 이때 고층주택(아파트, 연립주택) 등에서는 침수대상 건물내의 전 가구가 피해를 받는 것으로 잘못 산정되어 피해를 과다하게 평가할 가능성이 있다. 일반적으로 침수심이 수미터 이내인 것을 감안하여 3층 이상 부분을 무시하여 건물자산을 건물평균계수(평균층수) 등을 이용해서 보정하는 것이 바람직하다.

건물피해액 = 건물자산가치(원)
× 주거지역 침수편입율
× 침수심별 건물 침수피해율 .....(식 13.6)

<표 13.13> 침수심별 건물 피해율

단위 : %

침 수 심	0m~0.5m	0.5m~1.0m	1.0m~2.0m	2.0m~3.0m	3.0m 이상
단 독 주 택	15	32	64	95	100
아 파 트	15/ n_1	32/ n_1	64/ n_1	95/ n_1	100/ n_1
연 립 주 택	15/ n_2	32/ n_2	64/ n_2	95/ n_2	100/ n_2

주 1) n_1 = 아파트 층수, n_2 = 연립주택 층수

주 2) 하천설계기준(건설교통부, 2000)

- 소파 : 홍수피해로 인한 경미한 파괴로 사용에 별 지장이 없는 경우
- 반파 : 홍수피해로 인하여 주요 구조(기둥, 벽체, 지붕)에 대한 수리를 요하는 경우
- 전파 : 홍수피해로 파괴되어 그 형태는 있으나 개축하지 않고는 사용이 불가능한 경우
- 유실 : 홍수로 인한 주택이 완전 유실되어 그 형태가 없는 경우

주 3) 아파트와 연립주택의 층수를 고려

(2) 건물내용물 피해액 산정

등지반고 지구별 건물내용물 자산액에 추정침수심 등에 따르는 피해율을 곱해서 산출하는데 주거형태와 무관하고 자산의 피해율은 모두 같다는 가정하에 <표 13.14>의 건물내용물 피해율에 의하여 산정한다.

건물내용물 피해액 = 건물내용물 자산액
× 주거지역 침수편입율
× 침수심별 건물내용물 침수피해율 .....(식 13.7)

<표 13.14> 침수심별 건물내용물 피해율

단위 : %

침 수 심	0m~0.5m	0.5m~1.0m	1.0m~2.0m	2.0m~3.0m	3.0m 이상
피 해 율	14.5	32.6	50.8	92.8	100

주 1) 침수심별 피해율은 일본의 계수를 인용하여 산정
주 2) 아파트와 연립주택의 층수를 고려

나. 농업특성과 침수심에 따른 피해액

(1) 농경지 피해액 산정

논과 밭의 침수심에 따른 피해는 동일한 기준을 적용한다. 그리고 홍수피해의 경계선을 침수심 1m로 정한다. 침수심이 1m 이상인 경우에 농경지 매몰 및 유실에 의한 피해가 발생하는 것으로 하고, 그 피해액은 통상적으로 책정되는 농경지의 매몰이나 유실에 따른 피해액의 평균값을 사용한다. 농경지 피해액은 (식 13.8)에 따라 산정하며, <표 13.15>는 농경지와 피해율을 나타내고 있다.

농경지 피해액 = 매물, 유실의 평균피해액(원)
× 농업지역 침수편입율(면적)
× 침수심별 농경지 침수피해율 .....(식 13.8)

<표 13.15> 침수심별 농경지 피해율

침수심 / 피해율		1m 이하	1m 이상	비 고
피해내용		침수	매몰, 유실	• 매몰과 유실의 평균값을 사용
농경지	논	0%	100%	• 매몰 : 매몰면적(㎡)×0.1(m)×2,940원/㎥ • 유실 : 유실면적(㎡)×0.2(m)×5,660원/㎥
	밭	0%	100%	

출처) 중앙재해대책본부(2003). 자연재해조사 및 복구계획수립 지침

(2) 농작물 피해액

침수심 1m 이하에서는 논이나 밭이 침수되기는 하지만 매몰 및 유실 등의 농경지 피해액는 발생하지 않는다고 가정한다. 따라서, 농작물 피해액만 <표 13.16>의 침수심별 피해율을 적용하여 (식 13.9)에 의해 산정한다.

농작물 피해액 = 농작물 자산가치
× 농업지역 침수편입율
× 침수심별 농작물 피해율 .....(식 13.9)

<표 13.16> 침수심별 농작물 피해율

침수심 / 피해율		1m 이하					1m이상
농작물	침수시간	1일이하	1~2	3~4	5~6	7일이상	
	논	14%	27%	47%	77%	95%	100%
	밭	35%	51%	67%	81%	95%	100%

주) 농업재해피해조사보고요령, 농작물 피해율 산정기준 참조.

다. 산업특성과 침수심에 따른 피해액

읍면동의 산업특성과 침수심에 따른 피해는 <표 13.17>과 같이 유형자산의 피해, 재고자산의 피해 두 가지 형태로 구분한다. 사업체 유형고정자산·재고자산액에 침수심에 맞는 피해율을 곱하여 산정한다.

유형·재고자산 피해액 = 유형·재고자산가치(원)
× 산업지역 침수편입율
× 침수심별 유형·재고자산 침수피해율 .....(식 13.10)

<표 13.17> 침수심별 유형자산·재고자산 피해율

침수심 / 피해율(%)	0m~0.5m	0.5m~1.0m	1.0m~2.0m	2.0m~3.0m	3.0m 이상
유형자산	23.2	45.3	78.9	96.6	100
재고자산	12.8	26.7	58.6	89.7	100

주) 침수심별 피해율은 일본의 계수를 인용

13.1.6 총피해액 산정

앞에서 산정한 주거지역, 농업지역, 산업지역에 대한 일반자산 피해액에 인명/이재민 피해액 및 공공시설물 피해액을 더하여 총피해액을 계산한다.

가. 인명피해액

인명손실 및 이재민 손실 피해액은 기존의 개선법과 동일하게 산출한다.

(1) 인명손실

인명피해손실 추정방법은 (식 13.11)과 같다.

인명손실액 = 침수면적당 손실 인명수(명/ha)
× 손실 원단위(원/명)
× 침수면적(ha) .....(식 13.11)

여기서, 손실 원단위는 1998년 불변 가격으로 1인당 사망 2억 5천만원, 부상 2천만원을 적용하되 '98년 대비 분석기준년의 국민소득증가율 적용하여 보정한다. 또한, 단위 침수면적당 손실인명수는 과거 30년간의 자료로부터 <표 13.18>와 같이 제시하였다.

<표 13.18> 단위 침수면적당 손실 인명수

단위 : 명/ha

구 분	대도시	중소도시	전원도시	농촌지역	산간지역
사 망	0.004	0.004	0.001	0.002	0.002
부 상	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002

(2) 이재민 피해 손실

이재민 피해손실액 추정방법은 (식 13.12)와 같다.

이재민 피해액 = 침수면적 기준 이재민발생 추정결과(명)
× 대피일수(10일 적용)
× 일평균 국민소득(원/명·일) .....(식 13.12)

여기서, 대피일수는 최근 10년간의 재해연보를 참고하여 평균 10일로 산정하였으며, 일평균 국민소득은 분석기준년의 1인당 일평균 국민소득을 적용하여 산출한다. 침수면적당 발생 이재민 수는 과거 30년간의 자료를 평균한 <표 13.19>를 기준으로 한다.

<표 13.19> 단위 침수면적당 발생 이재민수

단위 : 명/ha

구 분	대도시	중소도시	전원도시	농촌지역	산간지역
이재민수	1.85	1.17	0.27	0.37	0.98

나. 일반자산 피해액

일반자산 피해액은 건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 사업체 유형자산 및 재고자산 피해액을 전술한 방법에 의해 구하여 (식 13.13)과 같이 합계함으로써 산정한다.

$$\text{일반자산피해액} = \sum_{i=1}^{n} [RD_i(\text{건물}, \text{건물내용물}, \text{침수심}) + AD_i(\text{농경지}, \text{농작물}, \text{침수심}) + ID_i(\text{사업체유형·재고자산}, \text{침수심})] \quad \text{(식 13.13)}$$

여기서, $RD_i(\cdot)$, $AD_i(\cdot)$, $ID_i(\cdot)$: 거주, 농업, 산업지역 피해액 함수

n : 해당 읍면동 갯수

$RD_i(\cdot)$, $AD_i(\cdot)$, $ID_i(\cdot)$는 침수심-피해액 함수이나 현재로서는 함수를 도출할 수 있는 자료가 거의 없는 실정이다. 따라서, 다차원 피해산정방법에서 제시한 방법에 따라 거주, 농업, 산업지역 일반자산 피해항목별 자산을 조사하고, 여기에 침수심에 따른 피해율을 곱하는 것으로 피해액 함수를 나타내었다.

다. 공공시설물 피해액

침수지역내 공공시설물의 피해액을 직접산정 하는 것이 거의 불가능한 경우에는 일반자산 피해액에 대한 공공토목시설의 피해액 비율을 사용하는 것이 일반적이다. 다차원법에서는 일본의 일반자산 피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율을 적용하는 것으로 하여 일반자산피해액의 1.694배를 적용하는 것으로 하였다.

이상의 절차에 의해 직접피해액은 다음과 같이 계산 된다.

$$\text{직접피해액} = \text{일반자산피해액} + \text{공공시설물 피해액} + \text{인명피해액}$$
$$= 2.694 \times \text{일반자산피해액} + \text{인명피해액} \quad \text{(식 13.14)}$$

<표 13.20> 일반자산피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율(일본)

시설	도로	교량	하수도	도시시설	공익	농지	농업용시설	소계
피해율	0.616	0.037	0.004	0.002	0.086	0.291	0.658	1.694

출처) 건설성 하천국(2000). 치수경제조사메뉴얼

13.1.7 치수경제성 검토 대상지역의 자산가치

상기한 절차에 의해 금회 과업의 수혜지역으로서 유역종합치수계획의 치수경제성 검토 대상지역인 치수단위소구역의 자산가치를 산정한 결과는 다음과 같다.

<표 13.21> 치수단위 소구역을 구성하는 행정구역의 총자산가치

행정구역		총계		주거지역			농업지역						산업지역	
		면적 (ha)	자산가치 (백만원)	면적 (ha)	건물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소계	논	밭	소계	논	밭		
계		72,485	20,951,077	3,280	4,809,732	1,361,489	42,430	28,266	14,163	296,466	147,637	148,829	1,081	14,483,390
당진군	소계	18,711	3,371,787	844	792,340	215,528	13,083	9,287	3,796	89,589	48,509	41,081	163	2,274,330
	합덕읍	5,207	1,132,174	274	257,125	67,232	3,879	2,831	1,048	26,129	14,785	11,344	56	781,688
	순성면	4,411	574,980	148	133,175	36,900	2,469	1,409	1,060	18,834	7,359	11,475	29	386,071
	우강면	3,852	333,520	203	139,828	38,743	2,955	2,560	395	17,646	13,371	4,275	12	137,303
	신평면	5,240	1,331,112	219	262,212	72,653	3,780	2,488	1,292	26,980	12,994	13,987	66	969,267
아산시	소계	22,491	10,719,855	1,034	2,231,597	715,307	10,866	7,653	3,213	75,338	39,973	35,365	564	7,697,613
	염치읍	4,241	929,842	155	375,126	73,793	1,505	1,095	411	10,236	5,717	4,519	34	470,688
	인주면	4,272	1,944,993	161	131,207	66,662	2,042	1,455	587	14,060	7,600	6,460	178	1,733,065
	선장면	3,693	745,819	144	180,017	38,948	2,390	1,905	485	15,288	9,949	5,339	42	511,567
	도고면	4,407	649,599	149	323,449	48,778	1,543	1,072	472	10,788	5,598	5,190	35	266,583
	신창면	3,915	2,517,307	191	190,602	123,690	2,344	1,324	1,020	18,142	6,914	11,229	116	2,184,871
	온양1동	163	869,730	46	167,206	67,320	36	26	10	245	135	110	26	634,959
	온양3동	783	1,470,672	74	519,835	137,141	555	515	40	3,135	2,691	444	42	810,561
	온양4동	1,017	1,591,893	113	344,154	158,974	451	262	189	3,445	1,370	2,075	91	1,085,319
예산군	소계	26,829	6,464,365	1,218	1,632,788	397,967	15,765	9,956	5,808	109,890	52,003	57,887	339	4,323,720
	고덕면	4,433	724,549	164	171,520	35,816	3,443	2,130	1,313	24,211	11,128	13,083	69	493,003
	대흥면	3,591	194,911	74	62,266	13,880	782	517	265	5,343	2,700	2,643	5	113,422
	삽교읍	4,983	732,105	267	262,445	55,861	3,838	2,830	1,008	24,831	14,781	10,049	46	388,968
	신암면	3,656	911,883	144	141,444	29,727	2,700	1,651	1,049	19,080	8,625	10,455	52	721,631
	예산읍	4,277	2,653,173	302	748,210	205,722	1,233	714	519	8,902	3,729	5,173	84	1,690,339
	오가면	3,184	900,846	172	169,395	37,814	2,584	1,552	1,032	18,387	8,105	10,282	57	675,250
	응봉면	2,705	346,897	96	77,507	19,147	1,184	562	622	9,137	2,934	6,203	27	241,106
홍성군	소계	4,454	395,070	184	153,008	32,686	2,715	1,369	1,346	21,648	7,152	14,496	15	187,728
	홍북면	4,454	395,070	184	153,008	32,686	2,715	1,369	1,346	21,648	7,152	14,496	15	187,728

<표 13.22> 치수단위 소구역내 행정구역별 자산가치

행 정 구 역		총 계		주 거 지 역			농 업 지 역						산 업 지 역	
		면적 (ha)	자산가치 (백만원)	면적 (ha)	건물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소 계	논	밭	소 계	논	밭		
계		38,461.6	1,434,676	419.6	546,637	140,132	12,299.6	12,111.8	187.8	65,194	63,261	1,934	48.3	682,713
당진군	소 계	10,015.5	251,871	197.6	166,320	44,569	5,196.6	5,179.0	17.6	27,241	27,050	190	0.9	13,741
	합덕읍	3,123.0	133,048	103.6	97,041	25,374	2,021.6	2,008.5	13.1	10,632	10,490	142	0.0	0
	순성면	1,772.1	458	0.4	331	92	6.5	6.5	0.1	34	34	1	0.0	0
	우강면	3,046.1	86,989	85.2	58,795	16,291	2,278.6	2,278.4	0.2	11,902	11,900	2	0.0	0
	신평면	2,074.3	31,377	8.5	10,152	2,813	889.9	885.7	4.2	4,671	4,626	45	0.9	13,741
아산시	소 계	13,070.0	613,729	92.9	231,713	61,759	2,932.5	2,887.3	45.2	15,578	15,081	497	17.5	304,679
	염치읍	3,259.6	176,507	25.6	62,185	12,233	679.4	675.4	4.1	3,572	3,527	45	7.2	98,517
	인주면	2,275.9	10,070	5.8	4,678	2,377	379.4	379.2	0.2	1,983	1,981	2	0.1	1,032
	선장면	2,354.1	56,420	33.0	41,214	8,917	1,204.0	1,204.0	0.0	6,289	6,288	0	0.0	0
	도고면	2,714.6	4,474	1.7	3,735	563	33.6	33.6	0.0	175	175	0	0.0	0
	신창면	1,749.8	15,649	8.0	7,957	5,164	477.1	470.8	6.3	2,528	2,459	69	0.0	0
	온양1동	95.4	111,924	5.9	21,413	8,621	30.8	20.8	10.0	218	109	110	3.3	81,672
	온양3동	257.0	221,100	12.9	90,524	23,882	127.1	102.5	24.6	806	535	271	5.4	105,888
	온양4동	363.6	17,586	0.0	6	3	1.1	1.1	0.0	6	6	0	1.5	17,571
예산군	소 계	13,835.7	569,073	129.1	148,605	33,803	4,170.0	4,045.1	125.0	22,373	21,128	1,246	29.8	364,292
	고덕면	1,386.8	15,299	9.5	9,976	2,083	620.3	620.3	0.0	3,240	3,240	0	0.0	0
	대흥면	2,810.5	1,747	1.2	1,050	234	78.7	67.6	11.1	463	353	110	0.0	0
	삽교읍	2,091.9	100,194	66.7	65,606	13,964	1,192.0	1,184.9	7.1	6,259	6,189	71	1.7	14,364
	신암면	2,042.3	40,848	28.8	28,256	5,939	1,253.9	1,232.0	21.9	6,653	6,435	218	0.0	0
	예산읍	2,972.1	84,725	14.2	35,263	9,696	298.0	270.6	27.3	1,686	1,414	272	1.9	38,080
	오가면	1,067.7	325,897	8.6	8,453	1,887	660.7	606.4	54.3	3,708	3,167	541	26.2	311,848
	응봉면	1,464.6	363	0.0	0	0	66.5	63.2	3.3	363	330	33	0.0	0
홍성군	소 계	1,540.4	2	0.0	0	0	0.4	0.4	0.0	2	2	0	0.0	0
	홍북면	1,540.4	2	0.0	0	0	0.4	0.4	0.0	2	2	0	0.0	0

<표 13.23> 치수단위 소구역별 자산가치

행정구역		총 계		주거지역			농업지역						산업지역	
		면적	자산	면적	건물	건물내용물	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적	자산가치
		(ha)	(백만원)	(ha)	(백만원)	(백만원)	소 계	논	밭	소 계	논	밭	(ha)	(백만원)
계		13,367.6	1,434,676	419.6	546,637	140,132	12,299.6	12,111.8	187.8	65,194	63,261	1,934	48.3	682,713
삽교잔류1	신평면	197.0	11,224	0.2	200	55	178.3	177.1	1.2	938	925	13	0.7	10,030
	소 계	197.0	11,224	0.2	200	55	178.3	177.1	1.2	938	925	13	0.7	10,030
삽교잔류2	인주면	207.4	2,840	0.6	514	261	197.8	197.8	0.0	1,033	1,033	0	0.1	1,032
	소 계	207.4	2,840	0.6	514	261	197.8	197.8	0.0	1,033	1,033	0	0.1	1,032
남원1	신평면	236.6	2,331	0.8	977	271	207.2	207.1	0.1	1,083	1,082	1	0.0	0
	우강면	0.8	0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0.0	0
	소 계	237.4	2,331	0.8	977	271	207.2	207.1	0.1	1,083	1,082	1	0.0	0
남원2	순성면	292.0	11,145	6.4	7,632	2,115	265.5	263.4	2.1	1,398	1,376	22	0.0	0
	우강면	222.4	9,544	9.7	6,685	1,852	192.7	192.6	0.1	1,007	1,006	1	0.0	0
	신평면	8.0	456	0.4	331	92	6.4	6.4	0.0	33	33	0	0.0	0
	소 계	522.4	21,146	16.4	14,648	4,059	464.5	462.4	2.2	2,438	2,415	23	0.0	0
남원3	순성면	0.4	1	0.0	0	0	0.2	0.1	0.1	1	0	1	0.0	0
	신평면	257.8	6,678	1.1	1,343	372	238.9	238.0	0.8	1,252	1,243	9	0.3	3,711
	소 계	258.2	6,680	1.1	1,343	372	239.0	238.1	0.9	1,253	1,244	10	0.3	3,711
삽교잔류3	우강면	1,047.6	28,020	25.9	17,881	4,954	992.5	992.5	0.0	5,184	5,184	0	0.0	0
	소 계	1,047.6	28,020	25.9	17,881	4,954	992.5	992.5	0.0	5,184	5,184	0	0.0	0
삽교잔류4	선장면	74.9	400	0.0	18	4	72.5	72.4	0.0	379	378	0	0.0	0
	우강면	1,105.1	48,466	48.9	33,749	9,351	1,027.4	1,027.3	0.1	5,367	5,365	1	0.0	0
	합덕읍	335.8	22,418	17.6	16,466	4,306	315.2	315.2	0.0	1,646	1,646	0	0.0	0
	소 계	1,515.7	71,285	66.5	50,233	13,660	1,415.1	1,414.9	0.2	7,392	7,390	2	0.0	0
도고배수장	선장면	102.4	2,484	1.4	1,706	369	78.3	78.3	0.0	409	409	0	0.0	0
	소 계	102.4	2,484	1.4	1,706	369	78.3	78.3	0.0	409	409	0	0.0	0
예림배수장	신암면	67.0	343	0.0	0	0	65.2	64.9	0.4	343	339	4	0.0	0
	소 계	67.0	343	0.0	0	0	65.2	64.9	0.4	343	339	4	0.0	0

<표 13.23> 치수단위 소구역별 자산가치 (계속)

행정구역		총 계		주거지역			농업지역						산업지역	
		면적 (ha)	자산 (백만원)	면적 (ha)	건물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소 계	논	밭	소 계	논	밭		
하평2배수장	신암면	117.0	10,392	8.3	8,118	1,706	108.6	108.6	0.0	567	567	0	0.0	0
	우강면	67.8	958	0.7	480	133	65.9	65.9	0.0	344	344	0	0.0	0
	합덕읍	581.3	31,807	24.5	22,951	6,001	546.7	546.7	0.0	2,856	2,856	0	0.0	0
	소 계	766.1	43,156	33.5	31,549	7,840	721.2	721.2	0.0	3,767	3,767	0	0.0	0
하평1배수장	신암면	0.8	2	0.0	0	0	0.4	0.4	0.0	2	2	0	0.0	0
	우강면	0.1	1	0.0	0	0	0.1	0.1	0.0	1	1	0	0.0	0
	합덕읍	521.7	41,510	33.0	30,882	8,075	474.8	461.7	13.1	2,553	2,411	142	0.0	0
	소 계	522.6	41,513	33.0	30,882	8,075	475.2	462.1	13.1	2,556	2,414	142	0.0	0
신석배수장	신암면	38.5	898	0.6	593	125	34.6	34.6	0.0	181	181	0	0.0	0
	합덕읍	509.3	25,884	19.8	18,542	4,848	477.5	477.5	0.0	2,494	2,494	0	0.0	0
	소 계	547.8	26,783	20.4	19,135	4,973	512.2	512.2	0.0	2,675	2,675	0	0.0	0
신리배수장	고덕면	112.8	2,785	1.8	1,844	385	106.5	106.5	0.0	556	556	0	0.0	0
	신암면	12.1	49	0.0	0	0	9.4	9.4	0.0	49	49	0	0.0	0
	합덕읍	222.8	11,423	8.8	8,201	2,144	206.4	206.4	0.0	1,078	1,078	0	0.0	0
	소 계	347.7	14,257	10.5	10,045	2,529	322.2	322.2	0.0	1,683	1,683	0	0.0	0
중예1배수장	신암면	92.3	625	0.1	122	26	91.3	91.2	0.2	478	476	2	0.0	0
	합덕읍	0.5	1	0.0	0	0	0.2	0.2	0.0	1	1	0	0.0	0
	소 계	92.8	627	0.1	122	26	91.6	91.4	0.2	479	477	2	0.0	0
중예2배수장	신암면	171.1	8,233	6.2	6,130	1,288	155.8	155.7	0.1	814	813	1	0.0	0
	합덕읍	1.0	4	0.0	0	0	0.7	0.7	0.0	4	4	0	0.0	0
	소 계	172.1	8,236	6.2	6,130	1,288	156.5	156.4	0.1	818	817	1	0.0	0
하포천	삽교읍	87.8	1,739	1.1	1,088	232	80.2	80.2	0.0	419	419	0	0.0	0
	신암면	130.0	7,038	5.4	5,289	1,112	122.0	122.0	0.0	637	637	0	0.0	0
	오가면	4.5	21	0.0	0	0	4.0	4.0	0.0	21	21	0	0.0	0
	소 계	222.3	8,798	6.5	6,378	1,343	206.2	206.2	0.0	1,077	1,077	0	0.0	0

<표 13.23> 치수단위 소구역별 자산가치 (계속)

행정구역		총 계		주거지역			농업지역						산업지역	
		면적 (ha)	자산 (백만원)	면적 (ha)	건물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소 계	논	밭	소 계	논	밭		
황금배수장	고덕면	151.3	6,275	4.4	4,580	956	141.5	141.5	0.0	739	739	0	0.0	0
	소 계	151.3	6,275	4.4	4,580	956	141.5	141.5	0.0	739	739	0	0.0	0
용리1배수장	고덕면	96.9	3,783	2.6	2,733	571	91.9	91.9	0.0	480	480	0	0.0	0
	삽교읍	4.1	21	0.0	0	0	4.0	4.0	0.0	21	21	0	0.0	0
	소 계	100.9	3,804	2.6	2,733	571	95.9	95.9	0.0	501	501	0	0.0	0
하포배수장	삽교읍	155.2	16,063	12.9	12,655	2,694	136.8	136.8	0.0	714	714	0	0.0	0
	오가면	17.7	1,464	1.1	1,131	252	15.5	15.5	0.0	81	81	0	0.0	0
	소 계	172.8	17,527	14.0	13,785	2,946	152.3	152.3	0.0	796	796	0	0.0	0
용리2배수장	고덕면	236.0	2,179	0.8	819	171	227.5	227.5	0.0	1,188	1,188	0	0.0	0
	삽교읍	16.0	774	0.6	578	123	14.0	14.0	0.0	73	73	0	0.0	0
	소 계	252.0	2,953	1.4	1,398	294	241.4	241.4	0.0	1,261	1,261	0	0.0	0
성리1배수장	삽교읍	281.7	12,590	9.4	9,234	1,966	266.2	266.2	0.0	1,390	1,390	0	0.0	0
	소 계	281.7	12,590	9.4	9,234	1,966	266.2	266.2	0.0	1,390	1,390	0	0.0	0
용동1배수장	고덕면	54.5	271	0.0	0	0	51.8	51.8	0.0	271	271	0	0.0	0
	삽교읍	44.3	203	0.0	0	0	38.9	38.9	0.0	203	203	0	0.0	0
	소 계	98.8	474	0.0	0	0	90.8	90.8	0.0	474	474	0	0.0	0
용동2배수장	고덕면	2.1	6	0.0	0	0	1.2	1.2	0.0	6	6	0	0.0	0
	삽교읍	494.2	51,900	30.0	29,487	6,276	439.9	432.9	7.1	2,331	2,261	71	1.6	13,806
	소 계	496.3	51,906	30.0	29,487	6,276	441.1	434.1	7.1	2,338	2,267	71	1.6	13,806
성리2배수장	삽교읍	83.5	9,098	7.3	7,182	1,529	74.0	74.0	0.0	387	387	0	0.0	0
	소 계	83.5	9,098	7.3	7,182	1,529	74.0	74.0	0.0	387	387	0	0.0	0
삽교잔류6	삽교읍	32.5	1,949	1.0	1,031	219	26.9	26.9	0.0	141	141	0	0.1	558
	소 계	32.5	1,949	1.0	1,031	219	26.9	26.9	0.0	141	141	0	0.1	558
신가배수장	삽교읍	59.9	384	0.1	69	15	57.5	57.5	0.0	300	300	0	0.0	0
	소 계	59.9	384	0.1	69	15	57.5	57.5	0.0	300	300	0	0.0	0

<표 13.23> 치수단위 소구역별 자산가치 (계속)

행정구역		총 계		주거지역			농업지역						산업지역	
		면적 (ha)	자산 (백만원)	면적 (ha)	건물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소 계	논	밭	소 계	논	밭		
삽교잔류7	삽교읍	60.0	5,473	4.4	4,282	911	53.5	53.4	0.0	279	279	0	0.0	0
	홍북면	0.4	2	0.0	0	0	0.4	0.4	0.0	2	2	0	0.0	0
	소 계	60.5	5,475	4.4	4,282	911	53.9	53.9	0.0	282	281	0	0.0	0
곡교잔류1	선장면	548.6	26,810	15.9	19,819	4,288	517.7	517.7	0.0	2,704	2,704	0	0.0	0
	신창면	127.3	3,402	1.7	1,669	1,083	124.6	124.6	0.0	651	651	0	0.0	0
	소 계	675.9	30,212	17.5	21,487	5,371	642.3	642.3	0.0	3,355	3,355	0	0.0	0
곡교잔류2	인주면	170.1	6,938	5.1	4,118	2,092	139.3	139.2	0.1	728	727	1	0.0	0
	소 계	170.1	6,938	5.1	4,118	2,092	139.3	139.2	0.1	728	727	1	0.0	0
산양배수장	염치읍	37.7	197	0.0	0	0	37.7	37.7	0.0	197	197	0	0.0	0
	인주면	43.0	292	0.1	47	24	42.3	42.3	0.1	221	221	1	0.0	0
	소 계	80.7	489	0.1	47	24	80.0	79.9	0.1	418	417	1	0.0	0
가덕배수장	신창면	98.4	2,759	1.4	1,388	901	89.3	88.8	0.6	470	464	6	0.0	0
	소 계	98.4	2,759	1.4	1,388	901	89.3	88.8	0.6	470	464	6	0.0	0
곡교잔류3	염치읍	67.3	342	0.0	0	0	65.4	65.4	0.0	342	342	0	0.0	0
	소 계	67.3	342	0.0	0	0	65.4	65.4	0.0	342	342	0	0.0	0
와천	염치읍	38.1	189	0.0	0	0	36.2	36.2	0.0	189	189	0	0.0	0
	소 계	38.1	189	0.0	0	0	36.2	36.2	0.0	189	189	0	0.0	0
신창배수장	신창면	221.4	9,066	4.8	4,819	3,127	209.1	204.2	4.8	1,120	1,067	53	0.0	0
	소 계	221.4	9,066	4.8	4,819	3,127	209.1	204.2	4.8	1,120	1,067	53	0.0	0
중방배수장	염치읍	82.1	408	0.0	0	0	78.1	78.1	0.0	408	408	0	0.0	0
	소 계	82.1	408	0.0	0	0	78.1	78.1	0.0	408	408	0	0.0	0
수장배수장	신창면	63.8	422	0.1	81	53	54.1	53.2	0.9	288	278	10	0.0	0
	온양4동	9.1	4	0.0	0	0	0.6	0.6	0.0	4	3	0	0.0	0
	소 계	72.8	425	0.1	81	53	54.7	53.8	0.9	291	281	10	0.0	0

<표 13.23> 치수단위 소구역별 자산가치 (계속)

행정구역		총 계		주거지역			농업지역						산업지역	
		면적 (ha)	자산 (백만원)	면적 (ha)	건물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소 계	논	밭	소 계	논	밭		
염성배수장	염치읍	125.5	16,612	3.6	8,727	1,717	108.9	108.9	0.0	569	569	0	0.4	5,599
	소 계	125.5	16,612	3.6	8,727	1,717	108.9	108.9	0.0	569	569	0	0.4	5,599
곡교잔류4	온양1동	44.6	111,924	5.9	21,413	8,621	30.8	20.8	10.0	218	109	110	3.3	81,672
	온양3동	157.7	221,100	12.9	90,524	23,882	127.1	102.5	24.6	806	535	271	5.4	105,888
	온양4동	3.2	17,582	0.0	6	3	0.5	0.5	0.0	3	3	0	1.5	17,571
	소 계	205.6	350,606	18.8	111,943	32,506	158.3	123.7	34.6	1,027	646	381	10.2	205,131
곡교잔류5	염치읍	405.0	158,759	22.0	53,458	10,516	353.2	349.1	4.1	1,868	1,823	45	6.8	92,918
	소 계	405.0	158,759	22.0	53,458	10,516	353.2	349.1	4.1	1,868	1,823	45	6.8	92,918
신덕배수장	도고면	0.8	4	0.0	0	0	0.8	0.8	0.0	4	4	0	0.0	0
	선장면	513.8	26,480	15.7	19,672	4,256	488.7	488.7	0.0	2,552	2,552	0	0.0	0
	신암면	35.5	748	0.5	476	100	32.8	32.8	0.0	171	171	0	0.0	0
	소 계	550.1	27,233	16.2	20,148	4,356	522.3	522.3	0.0	2,728	2,728	0	0.0	0
신종배수장	신암면	155.8	804	0.0	0	0	154.0	154.0	0.0	804	804	0	0.0	0
	소 계	155.8	804	0.0	0	0	154.0	154.0	0.0	804	804	0	0.0	0
봉농배수장	도고면	36.0	4,470	1.7	3,735	563	32.8	32.8	0.0	171	171	0	0.0	0
	선장면	48.8	245	0.0	0	0	46.9	46.9	0.0	245	245	0	0.0	0
	신암면	12.5	50	0.0	0	0	9.5	9.5	0.0	50	50	0	0.0	0
	예산읍	20.5	95	0.0	0	0	18.2	18.2	0.0	95	95	0	0.0	0
	소 계	117.8	4,859	1.7	3,735	563	107.4	107.4	0.0	561	561	0	0.0	0
계촌배수장	신암면	125.5	644	0.0	0	0	123.3	123.3	0.0	644	644	0	0.0	0
	소 계	125.5	644	0.0	0	0	123.3	123.3	0.0	644	644	0	0.0	0
궁평	신암면	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0.0	0
	예산읍	105.9	9,927	2.9	7,059	1,941	98.3	98.2	0.1	514	513	1	0.0	413
	소 계	105.9	9,927	2.9	7,059	1,941	98.3	98.2	0.1	514	513	1	0.0	413

<표 13.23> 치수단위 소구역별 자산가치 (계속)

행정구역		총 계		주거지역			농업지역						산업지역	
		면적 (ha)	자산 (백만원)	면적 (ha)	건물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소 계	논	밭	소 계	논	밭		
종경배수장	신암면	247.4	1,242	0.0	0	0	237.6	237.6	0.0	1,241	1,241	0	0.0	0
	예산읍	2.0	11	0.0	0	0	2.0	2.0	0.0	11	11	0	0.0	0
	오가면	316.6	1,956	0.3	308	69	301.8	301.2	0.6	1,579	1,573	6	0.0	0
	소 계	566.1	3,208	0.3	308	69	541.5	540.8	0.6	2,831	2,825	6	0.0	0
창소배수장	신암면	11.6	48	0.0	0	0	8.8	8.3	0.4	48	44	4	0.0	0
	예산읍	43.2	266	0.0	0	0	38.0	23.7	14.3	266	124	142	0.0	0
	소 계	54.8	314	0.0	0	0	46.7	32.0	14.7	314	167	147	0.0	0
탄중배수장	신암면	118.8	9,733	7.7	7,527	1,582	100.5	79.8	20.8	624	417	207	0.0	0
	예산읍	42.6	21,586	6.8	16,757	4,607	33.8	24.2	9.6	222	126	95	0.0	0
	오가면	148.1	6,756	5.0	4,920	1,098	133.6	125.3	8.3	738	654	83	0.0	0
	소 계	309.4	38,076	19.4	29,205	7,288	267.9	229.3	38.7	1,583	1,197	386	0.0	0
무한	예산읍	27.5	11,990	0.7	1,694	466	22.3	22.3	0.0	116	116	0	0.5	9,715
	소 계	27.5	11,990	0.7	1,694	466	22.3	22.3	0.0	116	116	0	0.5	9,715
발연배수장	예산읍	37.7	32,169	1.6	3,951	1,086	33.9	33.9	0.0	177	177	0	1.3	26,955
	소 계	37.7	32,169	1.6	3,951	1,086	33.9	33.9	0.0	177	177	0	1.3	26,955
발연	예산읍	28.5	3,048	0.9	2,276	626	26.7	25.3	1.4	146	132	13	0.0	0
	소 계	28.5	3,048	0.9	2,276	626	26.7	25.3	1.4	146	132	13	0.0	0
원평배수장	예산읍	2.1	20	0.0	0	0	2.0	0.0	2.0	20	0	20	0.0	0
	오가면	244.5	315,680	2.1	2,094	468	202.1	156.8	45.3	1,270	819	451	26.2	311,848
	소 계	246.7	315,700	2.1	2,094	468	204.1	156.8	47.3	1,290	819	471	26.2	311,848
산성배수장	예산읍	26.3	5,614	1.4	3,526	970	22.9	22.9	0.0	120	120	0	0.0	998
	소 계	26.3	5,614	1.4	3,526	970	22.9	22.9	0.0	120	120	0	0.0	998
손지	대흥면	78.2	1,719	1.2	1,050	234	73.4	62.3	11.1	436	325	110	0.0	0
	소 계	78.2	1,719	1.2	1,050	234	73.4	62.3	11.1	436	325	110	0.0	0

<표 13.23> 치수단위 소구역별 자산가치 (계속)

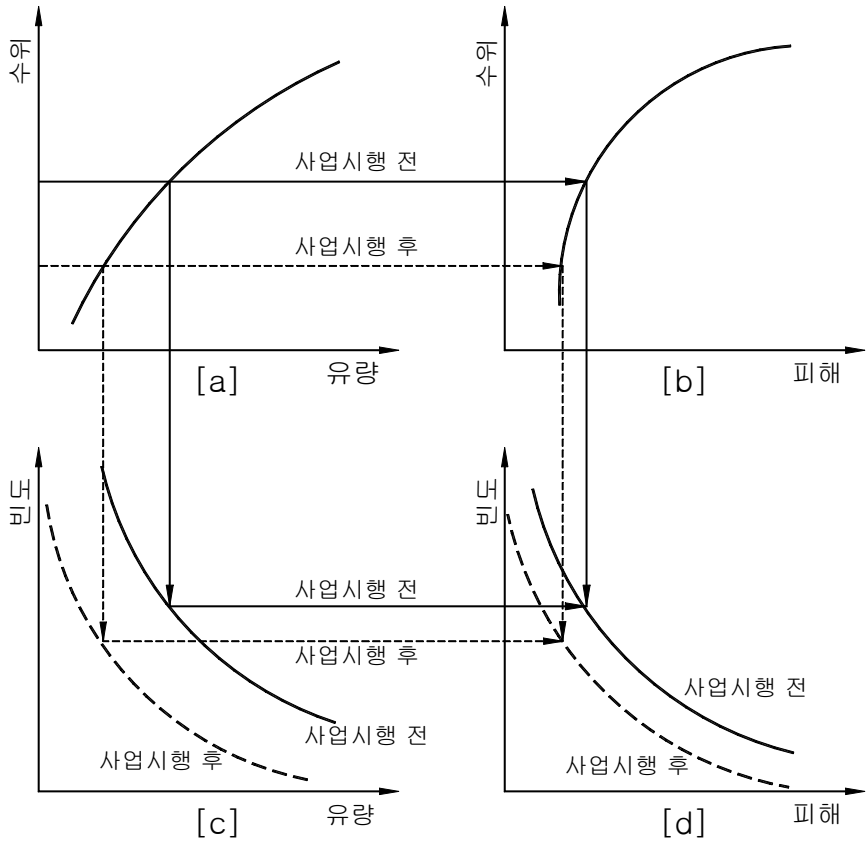
행정구역		총 계		주거지역			농업지역						산업지역	
		면적 (ha)	자산 (백만원)	면적 (ha)	건물 (백만원)	건물내용물 (백만원)	면 적 (ha)			자산가치 (백만원)			면적 (ha)	자산가치 (백만원)
							소 계	논	밭	소 계	논	밭		
입침	대흥면	5.5	28	0.0	0	0	5.3	5.3	0.0	28	28	0	0.0	0
	오가면	4.2	19	0.0	0	0	3.5	3.5	0.0	19	18	0	0.0	0
	응봉면	68.1	363	0.0	0	0	66.5	63.2	3.3	363	330	33	0.0	0
	소 계	77.9	409	0.0	0	0	75.3	72.0	3.3	409	376	33	0.0	0

13.2 치수경제성 분석

13.2.1 편익의 산정

가. 연평균 피해경감기대액의 산정

직접편익은 연평균 피해감소액으로부터 산정한다. 연평균 피해감소액은 치수사업이 있을 경우와 없을 경우의 확률피해액으로부터 구하며, 확률피해액은 현지조사에 의해 홍수위-피해곡선(stage-damage curve)을 작성하고 각 홍수위에 대한 빈도분석을 함으로써 구한다.



<그림 13.3> 홍수빈도와 피해액 관계의 결정

홍수위별 피해액의 산정은 침수위별 홍수범람지역의 구획을 설정하고, 침수시간 및 침수심에 따라 피해액을 설정하여야 한다. <그림 13.3>은 홍수의 빈도와 피해액의 관계로부터 직접편익을 구하는 과정을 설명하고 있다. <그림 13.3>에서 (a)는 수위-유량곡선으로서 하천의 주요지점에서의 기존 값을 이용하거나 하도의 홍수추적에 의해서 구할 수 있다. (b)는 홍수위-피해곡선으로 각 수위에 따른 피해액의 관계를 나타내고 있다. (c)는 유량에 따른 빈도(또는 초과확률)를 나타내는 유량-빈도곡선으로 유량대신 홍수위

를 이용해도 된다. 마지막으로 (d)의 피해-빈도곡선(damage-frequency curve)은 위 두 곡선 (b)와 (c)의 관계에 의해서 도출되는데, 치수사업 시행 후의 유량-빈도곡선을 추적해 가면 이에 상응하는 새로운 피해-빈도곡선이 유도되며, <그림 13.3>에서 실선과 점선은 각각 사업시행 전후를 나타낸다. (d)에서 두 곡선의 면적차이가 사업시행으로 인한 직접편익을 의미한다.

연평균 피해액은 (식 13.15)에 의해서 구할 수 있다.

$$E(D)=\int_{h_0}^{\infty} D(h)F(h)dh=\int_{h_0}^{\infty} D(h)dF(h) \quad \text{.....(식 13.15)}$$

(식 13.15)를 차분화하면, (식 13.16)을 구할 수 있다.

$$E(D)=\sum D(h)\cdot P(h)\Delta H \quad \text{.....(식 13.16)}$$

여기서, $E(D)$: 연평균 피해액 기대치

$D(h)$: 수위가 h일 때 피해액

$P(h)$: 수위가 h일 때 확률밀도함수의 종거

$F(h)$: 수위가 h일 때 누적분포함수

h_0 : 무해수위

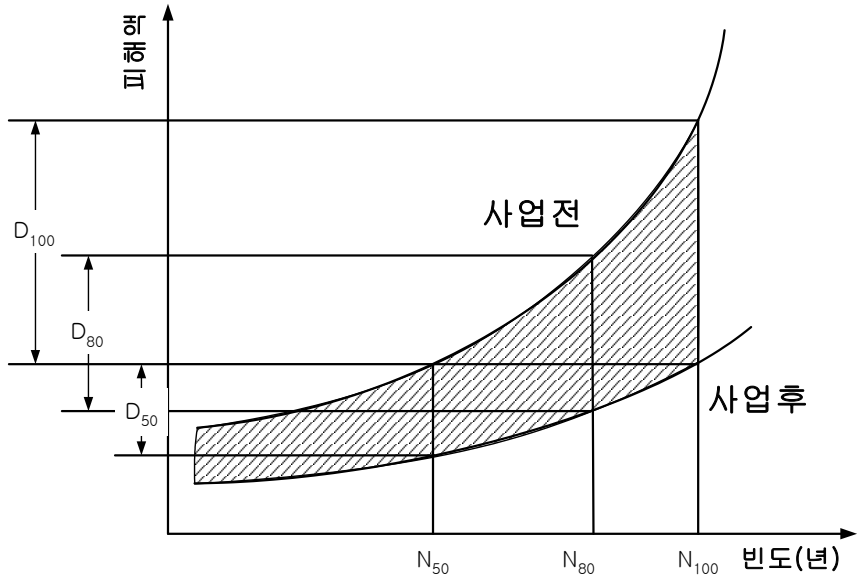
ΔH : 수위간격

수위별 피해액의 관계는 해당 수계에 이미 조사된 자료가 있으면 분석이 용이하나, 분석된 자료가 없는 실정이라면 정확하게 산정하기는 어렵다.

따라서, 홍수빈도-피해액 함수작성이 아닌 <표 13.24>과 <그림 13.4>와 같이 산정할 수 있도록 조사대상 유량규모별 피해액을 산정한다.

<표 13.24> 연평균 피해경감기대액의 산정절차

유량 규모	연평균 초과 확률	피해액			구간 평균 피해 경감액	구간 확률	연평균 피해 경감액	연평균 피해 경감액 누계
		사업전	사업후	피해 경감액				
Q_0	N_0			$D_0(=0)$	$\frac{D_0+D_1}{2}$	N_0-N_1	$d_1=(N_0-N_1)\times\frac{D_0+D_1}{2}$	d_1
Q_1	N_1			D_1	$\frac{D_1+D_2}{2}$	N_1-N_2	$d_2=(N_1-N_2)\times\frac{D_1+D_2}{2}$	d_1+d_2
Q_2	N_2			D_2	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮			⋮				
Q_m	N_m			D_m	$\frac{D_{m-1}+D_m}{2}$	$N_{m-1}-N_m$	$d_m=(N_{m-1}-N_m)\times\frac{D_{m-1}+D_m}{2}$	$d_1+d_2+\cdots+d_m$



<그림 13.4> 유황개선사업에 대한 연평균피해경감기대액 산정

조사대상 유량규모는 홍수피해가 없는 경우를 최소로 보고, 계획홍수량을 포함한 발생 가능한 최대 홍수시의 홍수량을 최대로 잡아 빈도별 홍수량등을 토대로 4~6개 정도의 유량규모로 정한다.

연평균 피해감소액은 먼저 빈도별 홍수에 대하여 치수사업으로 인한 피해감소액을 구하여 이를 전 구간에 대하여 구한다. 댐을 예로 들면, 빈도별 홍수의 초과확률을 구간으로 나누고, 구간별로 댐 건설전후의 피해액의 차이에 홍수의 구간발생확률을 곱하여 전 구간에 대해 합산하게 된다.

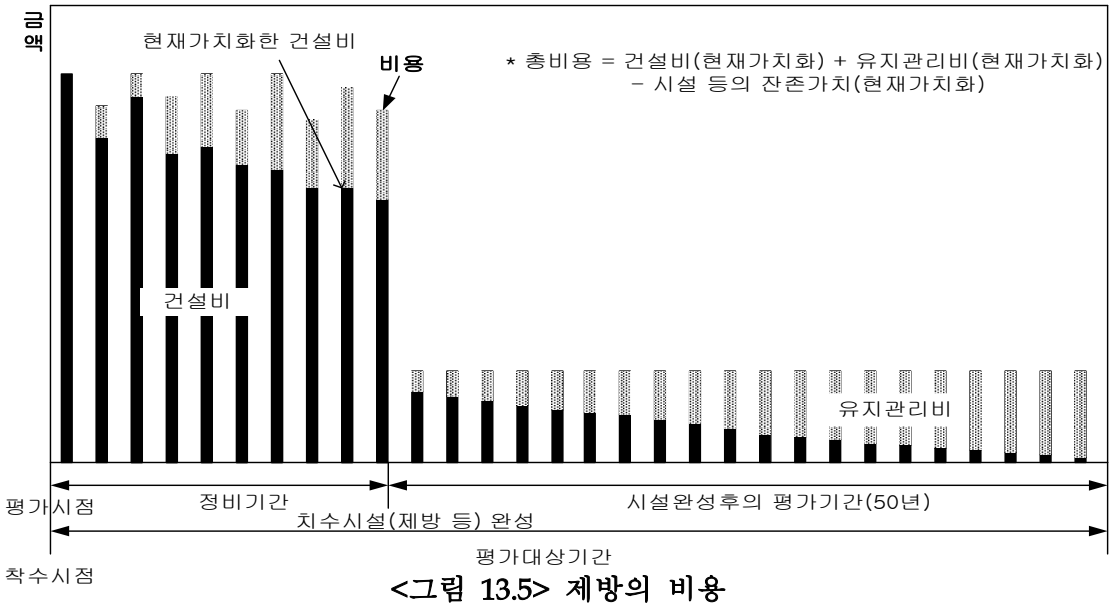
나. 연간균등편익의 산정

치수사업에 의한 편익은 직접편익과 간접편익을 산정하고 이들로부터 경제성장에 따른 자산증가를 감안하여 연간균등편익을 계산하도록 한다. 홍수피해 감소에 따른 편익은 평가 당시의 사회, 산업, 경제 상태를 기준으로 산출하는 것이다. 그러나 장래 경제가 성장함에 따라 총자산과 총생산액은 더 늘어날 것이므로, 홍수피해 잠재성은 더욱 커질 것이고 이렇게 증가되는 피해를 홍수조절로 감소시킬 수 있다는 점을 감안하여야 한다.

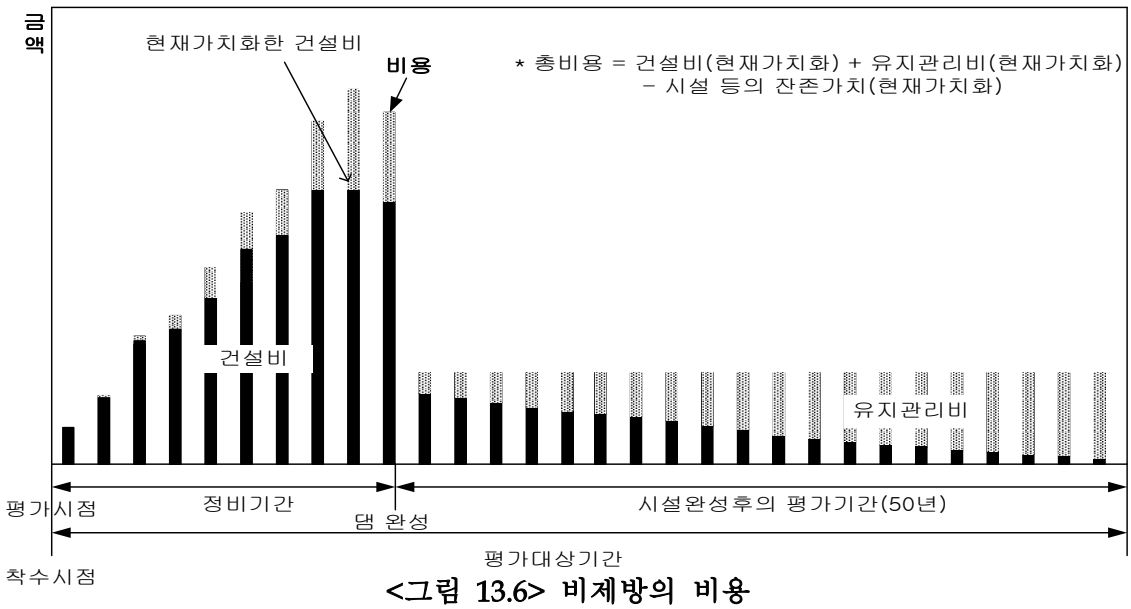
금회 과업에서는 편익 산정시 예상피해지역의 자산증가를 반영하기 위해 KDI의 연구결과를 이용하여 2003~2012년간은 매년 5.2%를, 2013년부터 10년간은 성장율이 매년 0.1% 둔화되고, 2022년 이후에는 4.2%로 계속 유지된다고 가정하여 경제성장율을 적용하였다.

13.2.2 비용의 산정

치수사업의 비용 산정은 치수시설의 완성에 필요한 사업비 및 평가대상기간내의 유지관리비를 대상으로 하며 시설의 건설비, 용지비, 보상비 및 유지관리비 등으로 구분된다. 이 중 건설비, 용지비, 보상비는 시설을 완성하지 까지 소요되는 비용이고, 유지관리비는 시설완성후 그 수명을 고려한 평가기간 동안 소요되는 비용이다. 치수사업에 투자되는 비용 중 평가대상기간이 끝나는 시점에 있어서 잔존가치를 평가할 수 있을 경우 비용에서 제외 한다. 금회 과업에서 구조물의 잔존가치는 개선법과 동일하게 반영하여 축제공은 사업비 기준 80%, 호안공은 20%, 보상비는 100%를 잔존가치로 보고 초기 투자 사업비에서 시설물의 잔존가치를 차감한 순 사업비의 2%를 연평균 유지관리비로 적용하였다.



<그림 13.5> 제방의 비용



<그림 13.6> 비제방의 비용

13.2.3 경제성 평가

가. 편익・비용분석의 평가기준

여러 가지 투자계획 중에서 하나를 선택하거나 또는 최적규모로 결정된 시설에 대한 경제성 평가를 위해서는 일반적인 기준이 필요하다. 이러한 기준을 평가기준(evaluation criteria), 평가지표(evaluation indicator) 또는 투자기준(investment criteria)이라고도 하며, 순현가(NPV; net present value), 편익・비용비(B/C; benefit-cost ratio), 내부수익율(IRR; internal rate of return)의 세 가지가 주로 이용되고 있다.

(1) 순현가(NPV; Net Present Value)

NPV(= B - C)는 대상사업이 정해진 기간 내에 가져다주는 편익과 비용의 차이에 관심을 두는 지표이다. 즉, 투자사업으로부터 장래에 발생할 편익과 비용의 차인 순편익을 현재가치화하여 합산한 것으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$NPV = \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} = \sum_{k=1}^{n} \frac{NB_k}{(1+r)^k}$$

여기서, Bk는 k년차에 발생하는 편익, Ck는 k년차에 발생하는 비용, NBk는 k년차에 발생하는 순편익(= Bk - Ck), n은 분석기간, r은 할인율이다.

잔존가치를 편익과 별도로 고려하는 경우에는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$NPV = \sum_{k=1}^{n} \left[\frac{NB_k}{(1+r)^k} + \frac{S_n}{(1+r)^n} \right]$$

여기서, Sn은 잔존가치이다.

이 지표는 상대적인 기준이 아니기 때문에 경합되는 사업간의 우선순위를 결정할 때 혼란을 초래할 우려가 있다. 그러나, 순편익은 규모가 비슷한 시설물을 서로 비교할 때 편리하며, 수자원 개발사업과 같이 자원개발의 여지가 제한된 경우에 유용한 척도가 된다.

(2) 비용편익비(B/C; Benefit/Cost Ratio)

B/C는 NPV와 비슷한 단일계산 분석으로서 정해진 기간 내에 분석대상사업에 투입된 비용대비 편익의 비율에 관심을 두는 지표이다. B/C는 투자사업으로 인하여 발생되는 편익의 연평균 현재가치를 비용의 연평균 현재가치로 나눈 것을 말하며, 이 비율이 클수록 투자효과가 크다. B/C는 투자자본의 효율성을 나타내며, 모든 조건이 동일할 경우

비용편익비가 높은 사업이 선택된다. 식으로는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{B}{C} = \sum_{k=1}^{n} \frac{B_k}{(1+r)^k} / \sum_{k=1}^{n} \frac{C_k}{(1+r)^k}$$

이 기법은 단순히 편익과 비용의 절대규모에 관심을 두기 때문에 투자규모가 큰 사업이 유리하게 나타나는 NPV의 문제점을 피하고 여러 가지 사업을 객관적인 입장에서 비교할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 즉, 사업에 투자한 자본의 규모를 고려한 상태에서 편익의 크기를 확인할 수 있다. 예를 들어, 두 개의 사업이 NPV가 같은 경우라도 두 사업의 투자규모가 다르다면 규모가 작은 사업이 규모가 큰 사업에 비해 B/C가 크게 산정되기 때문에 두 사업에 대한 투자우선순위를 판단할 수 있다.

따라서, B/C는 초기투자비에 대한 부담이 있는 상태에서 여러 가지 투자대안이 있을 경우 각각에 대한 우선순위를 평가할 때 사용하는 기법으로서 단일한 투자대안에 대한 평가결과는 항상 NPV와 같다. 다만 이 기법은 비용과 편익의 항목선정에 따라 그 값이 변할 수 있기 때문에 사업의 성격이 다른 대안들을 비교할 경우 그 결과가 자의적으로 변화할 수 있다는 문제가 있다. 또한, 실제 비용과 편익의 크기가 표현되지 않기 때문에 B/C 하나만으로는 분석이 충분치 못하다. 사업 규모를 결정할 때 NPV와 B/C는 사업의 규모가 증가되면 어느 정도까지는 증가시킬 수 있으며, 이 경우 NPV가 최대가 되는 곳에서 사업규모를 결정할 수 있다.

(3) 내부수익율(IRR; Internal Rate of Return)

IRR(B=C)은 비용편익비가 '1'이 되는 할인율을 의미하며, 순현가로 평가할 때는 순현가가 '0'이 되도록 하는 할인율을 말한다. 식으로는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{B_k - C_k}{(1+r)^k} = \sum_{k=1}^{n} \frac{NB_k}{(1+r)^k} = 0$$

이는 대상 사업이 정해진 기간 내에 가져다주는 수익률과 시장 이자율과의 비교평가를 위해 사용되는 기법이다. 즉, 사업으로 인하여 발생하는 편익의 연평균 현재가치와 비용의 연평균 현재가치가 같아지는 할인율로서 허용최소 수익률을 초과할 경우 사업의 타당성이 있는 것으로 판단한다. 이 방법에서는 할인율이 최소투자수익률과 같을 경우 비용편익비가 '1'보다 작으면 사업계획을 기각하는 것이 원칙이다.

이 방법은 순현가나 비용편익비를 구하는데 어떤 할인율을 적용해야 할지 불분명하거나 어려운 점이 많을 때 적용한다. 그러나 사업규모에 대한 정보가 반영되지 못하기 때

문에 IRR만으로는 투자우선순위를 결정할 수 없다.

이 기법은 경우에 따라 한 개 이상의 값이 도출될 수도 있기 때문에 세 가지 방법 중 가장 신뢰성이 떨어진다. 따라서, 이 기법은 NPV나 B/C를 통해 타당성이 검증된 사업에 대해 보완적으로 평가하는 기법이라 할 수 있다. 분석과정에서 비용과 편익을 할인하는데 사용되는 이자율에 대한 논쟁을 피할 수 있다는 것이 장점이다. 내부수익률은 국제금융기관에서 차관공여를 위한 평가지표로 널리 이용된다.

나. 평가기준의 비교검토

순현가(NPV)분석은 모든 타당한 경제적 자료를 단일 계산화하여 심사나 순위매김이 가능토록 하여준다. 적절한 할인율에 의해 순편익 흐름내의 미래가를 현재가로 계산한다. 일반적으로 순현가가 '0'보다 작거나 같으면 사업안을 기각하는 것이 원칙이다. 그리고 사업의 예산에 대한 제약이 없을 경우 가장 높은 순현가를 나타내는 사업이 가장 먼저 우선순위 결정을 받게 된다. 또한 예산이 제약될 경우라도 예산집행제약 내에서 가장 높은 순현가를 보이는 사업이 가장 높이 평가된다.

<표 13.25> 경제성 분석기법의 특징

방법	특징 및 장점	단점
순현가 (NPV)	· 적용이 쉽다. · 결과나 규모가 유사한 대안을 평가할 때 이용된다. · 각 방법의 경제성 분석결과가 다를 경우 이 분석 결과를 우선으로 한다.	· 투자사업이 클수록 크게 나타난다. · 자본투자의 효율성이 드러나지 않는다.
편익·비용비 (B/C ratio)	· 적용이 쉽다. · 결과나 규모가 유사한 대안을 평가할 때 이용된다.	· 사업규모의 상대적 비교가 어렵다. · 편익이 늦게 발생하는 사업의 경우 낮게 나타난다.
내부수익률 (IRR)	· 투자사업의 예상수익률을 판단할 수 있다. · NPV나 B/C 적용시 할인율이 불분명할 경우 이용된다.	· 짧은 사업의 수익성이 과장되기 쉽다. · 편익발생이 늦은 사업의 경우 불리한 결과가 발생한다.

편익·비용비율(B/C ratio)분석은 통상적인 평가방법으로 순현가 분석과 같이 단일계산 분석법이다. 그런데 편익·비용비율 분석 하나만으로는 분석이 충분치 못하다. 왜냐하면 실제비용과 편익의 크기가 나타나 있지 않기 때문이다. 타당한 사업규모의 결정에서 순현가와 편익·비용비율은 사업 규모의 증가에 따라 어느 규모까지는 증가시킬 수 있다. 이 경우 사업규모를 순현가가 최대가 되는 곳에서 사업규모를 결정할 수 있다.

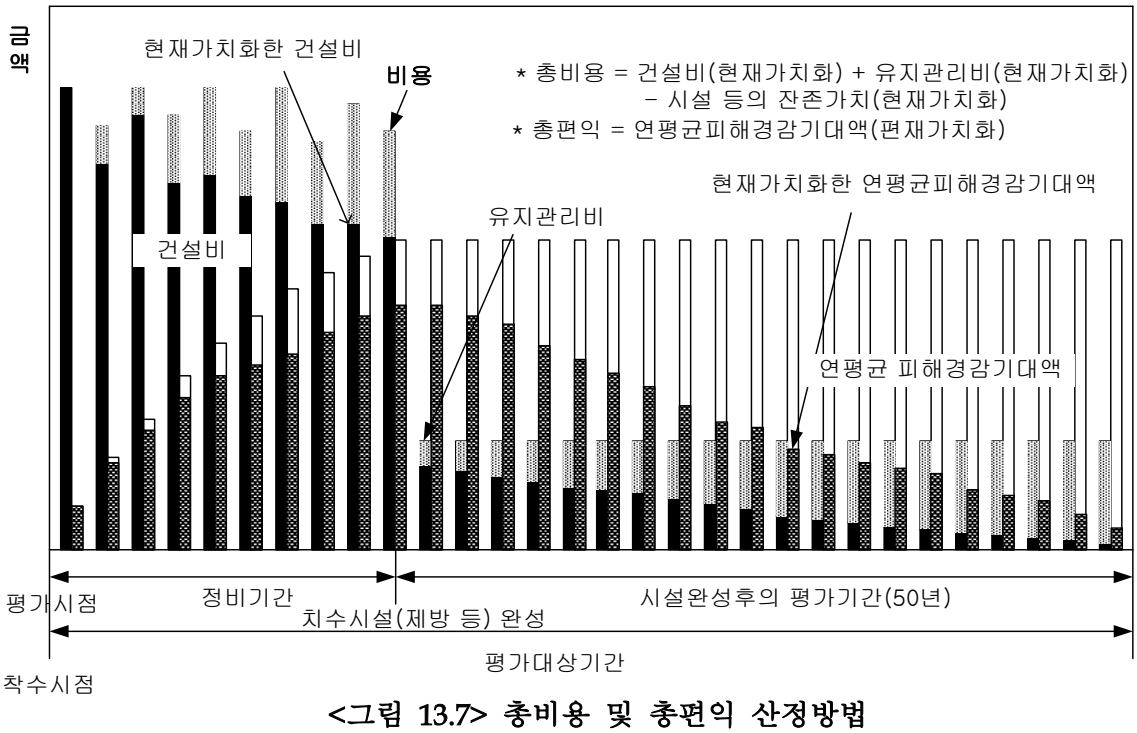
내부수익률(IRR)을 이용하여 결정하는 방법은 사업의 내부수익률이 사업평가에 이용된 수익률보다 작을 경우 사업을 기각하는 것이다. 이 방법은 NPV나 B/C비율을 구하는데 어떤 할인율을 적용해야 할지 불분명하거나 어려운 점이 많을 때 이용되기도 하나, 사업규모에 대한 정보가 반영되지 못하므로 투자의 우선순위를 결정하는 평가에는 독립적으로 이용이 불가능하다. 경제성 평가기법의 각 방법별 장단점을 비교하면 <표 13.25>와 같다.

다. 경제성평가

치수사업에 대한 경제성평가는 총비용과 그 투자에 대한 총편익을 비교한다. 총비용과 총편익의 비교 방법은 앞에서 제시된 평가기준(evaluation criteria)으로써 순현가(NPV ; Net Present Value), 편익·비용비(B/C ; Benefit-Cost ratio), 내부수익율(IRR ; Internal Rate of Return)의 세 가지를 이용한다.

동일치수사업에 대해서는 편익·비용비 기준에 의한 평가가 가능하나, 유역종합치수계획 측면에서는 제방사업과 하천유황개선사업의 독립적인 형태 및 각 대안에 대한 조합이 대안평가의 대상이 될 경우 평가의 한계가 있다. 따라서, 평가기준의 선택은 각각의 치수사업에서 평가기준의 특성에 따라 가장 합리적인 방법을 이용하며 평가한다.

치수시설물의 건설 및 유지관리에 필요한 총비용과 치수사업에 의해 야기되는 총편익(피해 경감)을 할인율을 이용해서 현재가치화하여 비교한다(<그림 13.7 참조>).



<그림 13.7> 총비용 및 총편익 산정방법

이를 위해, 평가시점을 현재가치화의 기준시점으로 하고, 치수시설의 건설기간과 치수시설의 완성에서 50년까지를 평가대상기간으로 한다. 치수시설의 완성에 필요한 비용과 치수시설의 완성부터 50년간의 유지관리비를 현재가치화한 것의 총합에서 총비용을 연평균 피해경감기대액을 현재가치화 한 것의 총합에서 총편익을 각각 산정한다.

<그림 13.7>에서 표시한 대로 치수사업의 투자계획과 그것에 의해 야기되는 편익을 시계열적으로 취급하고, 각 년의 건설비, 유지관리비, 연평균피해경감기대액 등을 현재가치화해서 총비용, 총편익을 산정하는 것으로 한다.

한국개발연구원(KDI)에서 발간한 '예비타당성조사 수행을 위한 일반지침(2001)'에 의하면 공공사업의 할인율은 <표 13.26>과 같다. 공공사업의 할인율은 지금까지 사용해온 명목 할인율을 크게 벗어나지 않음으로써 발생하는 혼란을 방지하고, 향후 물가상승이 크지 않다는 사실을 근거로 하여 실질 할인율을 7.5%로 제시하고 있다.

<표 13.26> 공공사업의 적용할인율

공 항 부 문	도 로 부 문	철 도 부 문	항 만 부 문
7.5%	7.5%	7.5%	7.5%

그러나 일률적인 할인율의 적용보다는 사업별 공공성, 간접편익의 포함 범위와 고려여부, 편익계산시 간편법의 이용유무 등을 고려하여 판단해야 한다. 기존 다목적댐의 타당성 조사보고서에는 8~12%, 하천정비계획에는 8% 내외의 할인율이 적용되어 왔다. 그러나 치수사업은 미래의 기후변화에 대비한 안정성과 인명피해 감소 등의 사회안정효과 등을 고려한다면 다른 공공사업보다 낮은 할인율이 적용됨이 바람직하다. 한국개발연구원(KDI)의 상기 예비타당성 보고서에서도 치수사업의 경우에는 6%의 할인율 적용을 제시하고 있다.

금회 과업에서는 이상의 검토 결과에 의해 사업의 할인율로 6%를 적용하고, 분석기간은 50년으로 설정하였다.

제 14 장 유역종합치수계획(안) 수립

14.1 홍수방어 대안요소의 평가

14.2 유역종합치수계획(안) 수립

14.3 유역종합치수계획(안) 시행에 따른 수리・수문특성 변화

제 14 장 유역종합치수계획(안) 수립

14.1 홍수방어 대안요소의 평가

14.1.1 홍수방어 대안요소별 치수효과 검토

가. 삽교호의 최고첨두수위 발생 조건 기준

‘제 12 장 홍수방어 대안요소사업의 검토’에서 채택한 홍수방어대안 요소에 대해 개별적인 사업효과를 침수면적 감소와 홍수위 저하 측면에서 검토한 결과 삽교호 배수갑문을 현재의 2배로 확장하는 것이 침수면적과 홍수위 저감 측면에서 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 다음으로는 예당지를 증고하는 방안의 치수효과가 크며 특히 무한천 유역만을 대상으로 할 경우에는 배수갑문 확장보다도 침수면적 감소에 크게 기여하는 것으로 분석되었다.

이에 비해 예비방류를 시행할 경우 삽교호와 무한천 하구의 첨두홍수위 저하 효과가 없을 뿐만 아니라 침수면적은 오히려 증가하였는데 이 결과는 예비방류가 고조의 영향으로 삽교호의 수위가 급격히 상승하는 시기에 삽교호 유입량을 증가시킨 결과를 가져왔기 때문이다. 특히 예비방류로 인해 삽교천과 무한천의 홍수위가 정상적인 상황보다 조기에 상승함에 따라 하천 주변 저지대의 내수배제 불능 상황이 빨리 시작됨으로써 침수면적이 오히려 증가하는 역효과를 보이고 있다. 따라서, 예비방류가 예당지의 홍수조절용량을 추가로 확보함으로써 예당지의 안전을 제고하고 아울러 첨두방류량을 저감하여 무한천 전 구간의 첨두홍수위를 저하시키는 효과가 있어 외수에 대한 치수안전도를 어느 정도 증대시킬 것으로 기대되지만 삽교천 유역과 같이 내수침수가 주요 피해원인인 지역에서는 효과적인 홍수방어대안이라고 할 수 없다.

그 밖에 농업용 저수지 증고나 삽교천과 무한천 합류부 개선방안 등은 침수면적을 감소시키고 하도의 홍수위 저하에 어느 정도 기여하고 있으며, 배수갑문 증설이나 예당지 증고 방안에 비하면 그 효과는 사업시행 이전에 비해 그리 크지 않지만 5년 또는 10년 빈도와 같은 소규모 홍수에 치수효과가 상대적으로 크게 나타나서 지역주민들이 체감하는 사업의 효과는 클 것으로 예상되며, 곡교천 중류부에 계획한 2개소의 천변저류지는 30년 빈도 이상의 홍수에서 침수면적 감소 및 삽교천과 곡교천의 홍수위 저하 요과가 커서 대규모 홍수 및 이상홍수에 대한 대응방안으로서 유용할 것으로 판단된다.

다음은 삽교호의 첨두홍수위가 최고가 되는 조위조건에서 각 홍수방어 대안요소의 치수효과를 검토한 결과이다.

<표 14.1> 홍수규모별 배수갑문 증설 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,711	210	4.67	4.22	-0.45	4.70	4.27	-0.43	5.50	5.47	-0.03
10년	5,008	4,775	233	5.28	4.85	-0.43	5.29	4.92	-0.37	6.18	6.06	-0.12
20년	6,069	5,716	353	5.74	5.17	-0.57	5.78	5.20	-0.58	6.76	6.62	-0.14
30년	6,457	6,258	199	6.05	5.38	-0.67	6.08	5.42	-0.66	7.09	6.91	-0.18
50년	7,106	6,849	257	6.24	5.67	-0.57	6.28	5.71	-0.57	7.32	7.17	-0.15
80년	7,598	7,274	324	6.47	5.81	-0.66	6.50	5.84	-0.66	7.55	7.39	-0.16
100년	7,773	7,443	330	6.49	5.87	-0.62	6.52	5.91	-0.61	7.61	7.47	-0.14
200년	8,312	8,129	183	6.78	6.04	-0.74	6.82	6.07	-0.75	7.89	7.73	-0.16
300년	8,594	8,390	204	6.95	6.16	-0.79	6.99	6.19	-0.80	8.06	7.87	-0.19
500년	8,836	8,606	230	7.17	6.21	-0.96	7.19	6.24	-0.95	8.26	7.99	-0.27

<표 14.2> 홍수규모별 예당지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,728	193	4.67	4.43	-0.24	4.70	4.46	-0.24	5.50	5.26	-0.24
10년	5,008	4,901	107	5.28	5.09	-0.19	5.29	5.10	-0.19	6.18	5.87	-0.31
20년	6,069	5,880	189	5.74	5.54	-0.20	5.78	5.57	-0.21	6.76	6.39	-0.37
30년	6,457	6,403	54	6.05	5.81	-0.24	6.08	5.84	-0.24	7.09	6.67	-0.42
50년	7,106	7,045	61	6.24	6.07	-0.17	6.28	6.11	-0.17	7.32	6.96	-0.36
80년	7,598	7,432	166	6.47	6.26	-0.21	6.50	6.30	-0.20	7.55	7.20	-0.35
100년	7,773	7,672	101	6.49	6.36	-0.13	6.52	6.39	-0.13	7.61	7.33	-0.28
200년	8,312	8,270	42	6.78	6.71	-0.07	6.82	6.75	-0.07	7.89	7.72	-0.17
300년	8,594	8,569	25	6.95	6.94	-0.01	6.99	6.98	-0.01	8.06	7.99	-0.07
500년	8,836	8,831	5	7.17	7.20	0.03	7.19	7.22	0.03	8.26	8.26	0.00

<표 14.3> 홍수규모별 삽교천-무한천 합류부 개선 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,892	29	4.67	4.69	0.02	4.70	4.72	0.02	5.50	5.41	-0.09
10년	5,008	4,981	27	5.28	5.27	-0.01	5.29	5.28	-0.01	6.18	6.06	-0.12
20년	6,069	6,051	18	5.74	5.74	0.00	5.78	5.77	-0.01	6.76	6.67	-0.09
30년	6,457	6,438	19	6.05	6.04	-0.01	6.08	6.07	-0.01	7.09	7.01	-0.08
50년	7,106	7,086	20	6.24	6.24	0.00	6.28	6.27	-0.01	7.32	7.23	-0.09
80년	7,598	7,552	46	6.47	6.46	-0.01	6.50	6.49	-0.01	7.55	7.47	-0.08
100년	7,773	7,720	53	6.49	6.48	-0.01	6.52	6.52	0.00	7.61	7.53	-0.08
200년	8,312	8,306	6	6.78	6.76	-0.02	6.82	6.80	-0.02	7.89	7.80	-0.09
300년	8,594	8,585	9	6.95	6.93	-0.02	6.99	6.97	-0.02	8.06	7.98	-0.08
500년	8,836	8,830	6	7.17	7.15	-0.02	7.19	7.18	-0.01	8.26	8.18	-0.08

<표 14.4> 홍수규모별 예당지 하부지 설치 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,919	2	4.67	4.64	-0.03	4.70	4.67	-0.03	5.50	5.46	-0.04
10년	5,008	5,002	6	5.28	5.26	-0.02	5.29	5.27	-0.02	6.18	6.15	-0.03
20년	6,069	6,065	4	5.74	5.71	-0.03	5.78	5.75	-0.03	6.76	6.67	-0.09
30년	6,457	6,444	13	6.05	6.01	-0.04	6.08	6.04	-0.04	7.09	7.00	-0.09
50년	7,106	7,083	23	6.24	6.21	-0.03	6.28	6.24	-0.04	7.32	7.23	-0.09
80년	7,598	7,560	38	6.47	6.43	-0.04	6.50	6.46	-0.04	7.55	7.46	-0.09
100년	7,773	7,740	33	6.49	6.45	-0.04	6.52	6.49	-0.03	7.61	7.52	-0.09
200년	8,312	8,289	23	6.78	6.75	-0.03	6.82	6.79	-0.03	7.89	7.82	-0.07
300년	8,594	8,574	20	6.95	6.93	-0.02	6.99	6.96	-0.03	8.06	8.00	-0.06
500년	8,836	8,807	29	7.17	7.14	-0.03	7.19	7.17	-0.02	8.26	8.19	-0.07

<표 14.5> 홍수규모별 예비방류 시행 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,921	4,053	-132	4.67	4.86	0.19	4.70	4.89	0.19	5.50	5.62	0.12
10	5,008	5,129	-121	5.28	5.31	0.03	5.29	5.32	0.03	6.18	6.20	0.02
20	6,069	6,155	-86	5.74	5.76	0.02	5.78	5.79	0.01	6.76	6.68	-0.08
30	6,457	6,509	-52	6.05	6.05	0.00	6.08	6.08	0.00	7.09	6.97	-0.12
50	7,106	7,179	-73	6.24	6.25	0.01	6.28	6.28	0.00	7.32	7.23	-0.09
80	7,598	7,710	-112	6.47	6.50	0.03	6.50	6.53	0.03	7.55	7.50	-0.05
100	7,773	7,933	-160	6.49	6.50	0.01	6.52	6.54	0.02	7.61	7.55	-0.06
200	8,312	8,372	-60	6.78	6.86	0.08	6.82	6.90	0.08	7.89	7.94	0.05
300	8,594	8,669	-75	6.95	7.04	0.09	6.99	7.07	0.08	8.06	8.10	0.04
500	8,836	8,913	-77	7.17	7.28	0.11	7.19	7.30	0.11	8.26	8.33	0.07

<표 14.6> 홍수규모별 홍동저수지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,907	14	4.67	4.61	-0.06	4.70	4.64	-0.06	5.50	5.46	-0.04
10년	5,008	5,006	2	5.28	5.24	-0.04	5.29	5.25	-0.04	6.18	6.15	-0.03
20년	6,069	6,059	10	5.74	5.68	-0.06	5.78	5.71	-0.07	6.76	6.66	-0.10
30년	6,457	6,450	7	6.05	5.97	-0.08	6.08	6.01	-0.07	7.09	7.02	-0.07
50년	7,106	7,084	22	6.24	6.19	-0.05	6.28	6.23	-0.05	7.32	7.25	-0.07
80년	7,598	7,590	8	6.47	6.44	-0.03	6.50	6.48	-0.02	7.55	7.52	-0.03
100년	7,773	7,770	3	6.49	6.47	-0.02	6.52	6.50	-0.02	7.61	7.58	-0.03
200년	8,312	8,311	1	6.78	6.75	-0.03	6.82	6.79	-0.03	7.89	7.86	-0.03
300년	8,594	8,593	1	6.95	6.93	-0.02	6.99	6.96	-0.03	8.06	8.04	-0.02
500년	8,836	8,836	0	7.17	7.14	-0.03	7.19	7.17	-0.02	8.26	8.24	-0.02

<표 14.7> 홍수규모별 홍양저수지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,908	13	4.67	4.63	-0.04	4.70	4.66	-0.04	5.50	5.46	-0.04
10년	5,008	4,996	12	5.28	5.22	-0.06	5.29	5.24	-0.05	6.18	6.16	-0.02
20년	6,069	6,064	5	5.74	5.70	-0.04	5.78	5.74	-0.04	6.76	6.71	-0.05
30년	6,457	6,452	5	6.05	6.00	-0.05	6.08	6.03	-0.05	7.09	7.05	-0.04
50년	7,106	7,086	20	6.24	6.21	-0.03	6.28	6.25	-0.03	7.32	7.28	-0.04
80년	7,598	7,585	13	6.47	6.43	-0.04	6.50	6.47	-0.03	7.55	7.52	-0.03
100년	7,773	7,768	5	6.49	6.46	-0.03	6.52	6.50	-0.02	7.61	7.58	-0.03
200년	8,312	8,309	3	6.78	6.74	-0.04	6.82	6.78	-0.04	7.89	7.85	-0.04
300년	8,594	8,593	1	6.95	6.92	-0.03	6.99	6.96	-0.03	8.06	8.04	-0.02
500년	8,836	8,836	0	7.17	7.14	-0.03	7.19	7.16	-0.03	8.26	8.24	-0.02

<표 14.8> 홍수규모별 신대저수지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,921	0	4.67	4.66	-0.01	4.70	4.69	-0.01	5.50	5.49	-0.01
10년	5,008	5,006	2	5.28	5.27	-0.01	5.29	5.28	-0.01	6.18	6.17	-0.01
20년	6,069	6,067	2	5.74	5.73	-0.01	5.78	5.77	-0.01	6.76	6.75	-0.01
30년	6,457	6,452	5	6.05	6.03	-0.02	6.08	6.07	-0.01	7.09	7.06	-0.03
50년	7,106	7,101	5	6.24	6.23	-0.01	6.28	6.27	-0.01	7.32	7.29	-0.03
80년	7,598	7,590	8	6.47	6.45	-0.02	6.50	6.49	-0.01	7.55	7.52	-0.03
100년	7,773	7,765	8	6.49	6.48	-0.01	6.52	6.51	-0.01	7.61	7.59	-0.02
200년	8,312	8,298	14	6.78	6.77	-0.01	6.82	6.81	-0.01	7.89	7.87	-0.02
300년	8,594	8,585	9	6.95	6.94	-0.01	6.99	6.98	-0.01	8.06	8.04	-0.02
500년	8,836	8,826	10	7.17	7.16	-0.01	7.19	7.18	-0.01	8.26	8.23	-0.03

<표 14.9> 홍수규모별 궁평저수지 증고 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,921	3,846	75	4.67	4.63	-0.04	4.70	4.67	-0.03	5.50	5.49	-0.01
10	5,008	4,972	36	5.28	5.26	-0.02	5.29	5.27	-0.02	6.18	6.18	0.00
20	6,069	6,064	5	5.74	5.72	-0.02	5.78	5.75	-0.03	6.76	6.75	-0.01
30	6,457	6,455	2	6.05	6.02	-0.03	6.08	6.05	-0.03	7.09	7.08	-0.01
50	7,106	7,105	1	6.24	6.23	-0.01	6.28	6.26	-0.02	7.32	7.31	-0.01
80	7,598	7,579	19	6.47	6.45	-0.02	6.50	6.48	-0.02	7.55	7.54	-0.01
100	7,773	7,773	-	6.49	6.47	-0.02	6.52	6.51	-0.01	7.61	7.60	-0.01
200	8,312	8,315	-3	6.78	6.77	-0.01	6.82	6.80	-0.02	7.89	7.88	-0.01
300	8,594	8,597	-3	6.95	6.94	-0.01	6.99	6.98	-0.01	8.06	8.05	-0.01
500	8,836	8,838	-2	7.17	7.16	-0.01	7.19	7.18	-0.01	8.26	8.25	-0.01

<표 14.10> 홍수규모별 천변저류지(와천-중방 지구) 설치 효과 (최고첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,921	0	4.67	4.67	0.00	4.70	4.70	0.00	5.50	5.50	0.00
10년	5,008	5,008	0	5.28	5.28	0.00	5.29	5.29	0.00	6.18	6.18	0.00
20년	6,069	6,069	0	5.74	5.74	0.00	5.78	5.78	0.00	6.76	6.76	0.00
30년	6,457	6,457	0	6.05	6.05	0.00	6.08	6.08	0.00	7.09	7.09	0.00
50년	7,106	6,999	107	6.24	6.21	-0.03	6.28	6.25	-0.03	7.32	7.31	-0.01
80년	7,598	7,461	137	6.47	6.40	-0.07	6.50	6.43	-0.07	7.55	7.52	-0.03
100년	7,773	7,634	139	6.49	6.46	-0.03	6.52	6.50	-0.02	7.61	7.60	-0.01
200년	8,312	8,197	115	6.78	6.75	-0.03	6.82	6.79	-0.03	7.89	7.88	-0.01
300년	8,594	8,478	116	6.95	6.90	-0.05	6.99	6.94	-0.05	8.06	8.03	-0.03
500년	8,836	8,705	131	7.17	7.14	-0.03	7.19	7.17	-0.02	8.26	8.24	-0.02

<표 14.11> 홍수규모별 천변저류지(산양-곡교3 지구) 설치 효과 (최고첨두수위 발생조건)

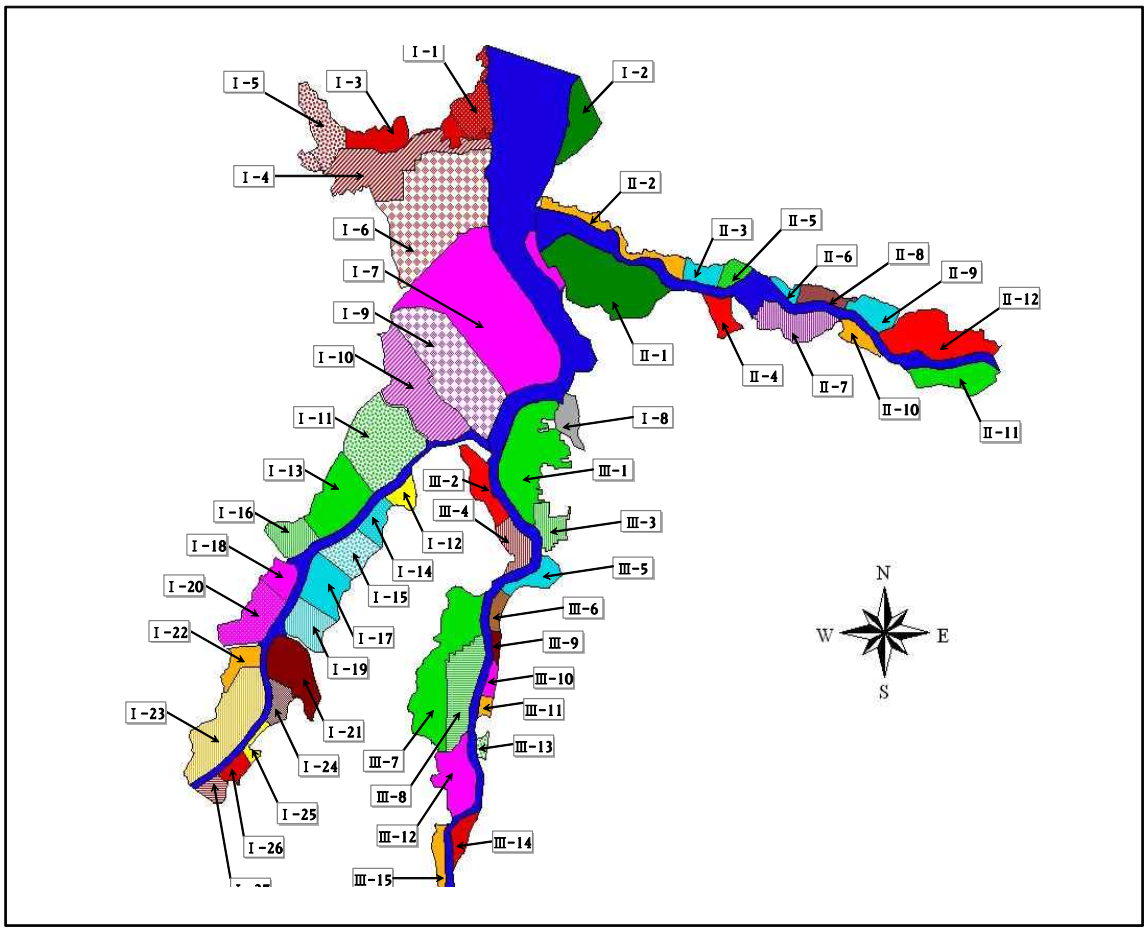
재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,921	0	4.67	4.67	0.00	4.70	4.70	0.00	5.50	5.50	0.00
10년	5,008	5,008	0	5.28	5.28	0.00	5.29	5.29	0.00	6.18	6.18	0.00
20년	6,069	6,069	0	5.74	5.74	0.00	5.78	5.78	0.00	6.76	6.76	0.00
30년	6,457	6,457	0	6.05	6.05	0.00	6.08	6.08	0.00	7.09	7.09	0.00
50년	7,106	6,953	153	6.24	6.22	-0.02	6.28	6.25	-0.03	7.32	7.31	-0.01
80년	7,598	7,441	157	6.47	6.42	-0.05	6.50	6.46	-0.04	7.55	7.54	-0.01
100년	7,773	7,600	173	6.49	6.44	-0.05	6.52	6.48	-0.04	7.61	7.59	-0.02
200년	8,312	8,174	138	6.78	6.74	-0.04	6.82	6.77	-0.05	7.89	7.87	-0.02
300년	8,594	8,456	138	6.95	6.91	-0.04	6.99	6.94	-0.05	8.06	8.04	-0.02
500년	8,836	8,696	140	7.17	7.11	-0.06	7.19	7.14	-0.05	8.26	8.23	-0.03

사업시행 전과 각각의 홍수방어 대안요소 사업을 시행하였을 경우 배수갑문 증설에 의한 침수면적 감소가 가장 크며, 예당지 증고의 경우 발생빈도가 잦은 소규모 홍수일수록 침수면적 감소 효과가 크지만 홍수규모가 증가 할수록 그 효과는 감소하는 것을 알 수 있다. 이에 비해 예비방류를 시행할 경우 침수면적은 오히려 증가하고 있으며 다른 홍수방어 대안요소는 사업시행 전과 비교하여 침수면적이 큰 차이를 보이지 않고 있어 배수갑문 증설과 예당지 증고에 비해 치수효과가 상대적으로 매우 작은 것을 알 수 있다. <표 14.10>과 <표 14.11>의 천변저류지 설치후의 침수면적 감소는 천변저류지 지역의 침수피해를 전액 보상하는 조건으로 운영하는 계획에 근거하여 해당 천변저류지 지역의 면적을 침수면적에서 제외한 결과이다. 따라서 사업시행으로 순수하게 감소한 침수면적은 <표 14.10> 및 <14.11>의 면적에서 각각 와천-중방 지구 및 산양-곡교3 지구

의 침수면적을 제외하여 산정하여야 하며, 홍수발생 확률을 고려하여 산정한 연평균침수면적 감소는 각각 3.11ha와 3.93ha이다.

각 홍수방어 대안요소별로 치수효과가 미치는 지역적 범위를 검토하기 위해 치수단위구역별로 사업시행 이전과 홍수방어 대안요소사업 시행 후의 침수면적, 침수심 등을 비교한 결과 삽교호 배수갑문 증설 효과는 삽교 1~4, 곡교 1, 2 등 삽교호 배수영향 구간 내에 위치한 저지대에서 나타나며, 삽교천-무한천 합류부 개선 효과는 신석, 중예 1, 신덕, 봉농 등 삽교천과 무한천 합류부 직상류에서, 예당지 증고는 무한 1, 2, 원평 등 예당지로부터 가까운 무한천 유역의 저지대를 중심으로 효과를 보이고 있다. 그밖에 궁평저수지 여수로 개선은 곡교천 국가하천 구간의 상류부에서, 홍동과 홍양 저수지 증고 효과는 삽교6, 7 등 삽교천 국가하천 구간 시점부 부근의 치수단위소구역에서 나타나고 있고, 하부지 설치 효과가 나타나는 지역적 범위는 대체로 예당지 증고 효과가 나타나는 지역과 일치하지만 그 효과는 예당지 증고에 비해 매우 작은 것으로 분석되었다.

이상의 검토 결과 통수능력 증대를 목적으로 한 홍수방어 대안요소의 효과는 사업지역을 기준으로 상류에 영향을 미치며, 저류시설을 설치하면 하류지역에서 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.



<그림 14.1> 치수단위소구역 위치도

<표 14.12> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 치수단위소구역별 면적과 침수심 변화

단위 : ha, m

구역명	재 현 기 간	구 분	사업전	갑 문 증 설	합류부 개 선	예당지 증 고	하부지 고 려	예 비 방 류	홍 동 저수지	홍 양 저수지	신 대 저수지	궁 평 저수지
삽교1 Ⅰ-1	20년	면 적	153.12	126.97	153.12	146.11	153.12	154.05	147.26	147.26	153.12	147.26
		침수심	1.81	1.44	1.81	1.74	1.81	1.85	1.78	1.78	1.81	1.78
	100년	면 적	170.12	146.11	170.12	168.80	170.12	170.39	169.91	169.91	170.12	169.81
		침수심	2.46	1.74	2.46	2.29	2.46	2.51	2.43	2.43	2.46	2.42
삽교2 Ⅰ-2	20년	면 적	93.92	71.49	93.92	91.07	92.49	93.92	89.69	89.69	92.49	89.69
		침수심	1.64	1.48	1.64	1.62	1.63	1.64	1.61	1.61	1.63	1.61
	100년	면 적	137.73	100.97	137.73	134.99	137.73	140.46	134.99	134.99	137.73	133.65
		침수심	1.95	1.69	1.95	1.93	1.95	1.97	1.93	1.93	1.95	1.92
남원천 Ⅰ-3	20년	면 적	592.63	494.25	592.63	588.60	588.60	591.29	583.51	583.51	589.94	584.97
		침수심	5.13	4.94	5.13	5.10	5.10	5.12	5.08	5.08	5.11	5.09
	100년	면 적	713.66	629.52	713.66	710.28	711.41	720.42	710.28	711.41	713.66	711.41
		침수심	5.59	5.27	5.59	5.56	5.57	5.61	5.56	5.57	5.59	5.57
삽교3 Ⅰ-4	20년	면 적	491.44	277.73	494.19	480.80	491.44	497.14	488.82	488.82	491.44	486.20
		침수심	0.95	0.71	0.96	0.91	0.95	0.97	0.94	0.94	0.95	0.93
	100년	면 적	818.28	478.33	818.28	813.62	818.28	847.86	815.90	815.90	818.28	815.90
		침수심	1.29	0.90	1.29	1.25	1.29	1.32	1.27	1.27	1.29	1.27
삽교4 Ⅰ-5	20년	면 적	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		침수심	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100년	면 적	671.26	479.95	671.26	668.52	671.26	676.19	665.97	668.52	668.52	663.18
		침수심	0.33	0.07	0.33	0.32	0.33	0.35	0.31	0.32	0.32	0.30
도고천 Ⅰ-6	20년	면 적	111.16	110.21	111.16	110.00	111.16	111.55	110.76	110.76	111.16	110.86
		침수심	6.19	6.00	6.19	5.96	6.19	6.27	6.11	6.11	6.19	6.13
	100년	면 적	115.62	113.56	115.62	114.70	115.62	116.20	115.22	115.22	115.56	115.31
		침수심	7.12	6.69	7.12	6.93	7.12	7.21	7.04	7.04	7.11	7.06
하평2 Ⅰ-7	20년	면 적	433.94	433.94	433.94	433.94	433.94	441.00	433.94	433.94	433.94	433.94
		침수심	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.45	0.41	0.41	0.41	0.41
	100년	면 적	512.84	502.88	502.88	512.84	512.84	516.51	502.88	502.88	502.88	502.88
		침수심	0.60	0.59	0.59	0.60	0.60	0.62	0.59	0.59	0.59	0.59
하평1 Ⅰ-8	20년	면 적	152.98	152.98	151.80	152.98	152.98	154.06	152.98	152.98	152.98	152.98
		침수심	1.11	1.11	1.10	1.11	1.11	1.12	1.11	1.11	1.11	1.11
	100년	면 적	167.46	167.46	166.52	167.46	167.46	168.58	167.46	167.46	167.46	167.46
		침수심	1.24	1.24	1.23	1.24	1.24	1.25	1.24	1.24	1.24	1.24
신석 Ⅰ-9	20년	면 적	190.99	190.99	188.76	190.99	190.99	192.58	190.99	190.99	190.99	190.99
		침수심	0.54	0.54	0.51	0.54	0.54	0.56	0.54	0.54	0.54	0.54
	100년	면 적	216.44	216.44	215.78	216.44	216.44	223.13	216.44	216.44	216.44	216.44
		침수심	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79
예림 Ⅰ-10	20년	면 적	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51
		침수심	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
	100년	면 적	36.05	36.05	36.05	36.05	36.05	36.39	36.05	36.05	36.05	36.05
		침수심	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07

<표 14.12> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 치수단위소구역별 면적과 침수심 변화 (계속)

단위 : ha, m

구역명	재현기간	구 분	사업전	갑문증설	합류부개선	예당지증고	하부지고려	예비방류	홍동저수지	홍양저수지	신대저수지	궁평저수지
신리	20년	면 적	153.00	153.00	153.00	153.00	153.00	153.00	153.00	153.00	153.00	153.00
Ⅰ-11		침수심	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	100년	면 적	210.84	210.84	210.84	210.84	210.84	211.97	210.84	210.84	210.84	210.84
		침수심	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97
중예1	20년	면 적	58.11	58.11	54.12	58.11	58.11	58.25	58.11	58.11	58.11	58.11
Ⅰ-12		침수심	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
	100년	면 적	74.10	74.10	74.10	74.10	74.10	74.22	74.10	74.10	74.10	74.10
		침수심	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.38	1.37	1.37	1.37	1.37
중예2	20년	면 적	67.65	67.65	67.65	67.65	67.65	67.65	67.65	67.65	67.65	67.65
Ⅰ-13		침수심	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
	100년	면 적	105.93	105.93	105.93	105.93	105.93	105.93	105.93	105.93	105.93	105.93
		침수심	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
황금	20년	면 적	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ⅰ-14		침수심	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100년	면 적	62.51	62.51	62.51	62.51	62.51	63.33	62.51	62.51	62.51	62.51
		침수심	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07
하포1	20년	면 적	115.24	115.24	115.24	115.24	115.24	115.24	115.24	115.24	115.24	115.24
Ⅰ-15		침수심	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
	100년	면 적	148.06	148.06	148.06	148.06	148.06	148.06	148.06	148.06	148.06	148.06
		침수심	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
용리1	20년	면 적	86.68	86.68	86.68	86.68	86.68	86.68	86.68	86.68	86.68	86.68
Ⅰ-16		침수심	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
	100년	면 적	99.23	99.23	99.23	99.23	99.23	99.23	99.23	99.23	99.23	99.23
		침수심	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
하포2	20년	면 적	65.66	65.66	65.66	65.66	65.66	65.66	65.66	65.66	65.66	65.66
Ⅰ-17		침수심	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
	100년	면 적	93.47	93.47	93.47	93.47	93.47	93.47	93.47	93.47	93.47	93.47
		침수심	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
용리2	20년	면 적	76.29	76.29	76.29	76.29	76.29	76.29	76.29	76.29	76.29	76.29
Ⅰ-18		침수심	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
	100년	면 적	155.98	155.98	155.98	155.98	155.98	155.98	155.98	155.98	155.98	155.98
		침수심	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
성리1	20년	면 적	116.89	116.89	116.89	116.89	116.89	116.89	116.89	116.89	116.89	116.89
Ⅰ-19		침수심	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	100년	면 적	139.46	139.46	139.46	139.46	139.46	139.46	139.46	139.46	139.46	139.46
		침수심	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21
용동1	20년	면 적	98.76	98.76	98.76	98.76	98.76	98.76	98.76	98.76	98.76	98.76
Ⅰ-20		침수심	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
	100년	면 적	100.81	100.81	100.81	100.81	100.81	100.81	100.81	100.81	100.81	100.81
		침수심	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33

<표 14.12> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 치수단위소구역별 면적과 침수심 변화 (계속)

단위 : ha, m

구역명	재현기간	구분	사업전	갑문증설	합류부개선	예당지증고	하부지고려	예비방류	홍동저수지	홍양저수지	신대저수지	궁평저수지
용동2 Ⅰ-21	20년	면적	180.75	180.75	180.75	180.75	180.75	180.75	179.31	179.31	180.75	180.75
		침수심	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.69	0.69	0.70	0.70
	100년	면적	209.08	209.08	209.08	209.08	209.08	209.08	209.08	209.08	209.08	209.08
		침수심	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
성리2 Ⅰ-22	20년	면적	39.24	39.24	39.24	39.24	39.24	39.24	39.24	39.24	39.24	39.24
		침수심	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	100년	면적	40.51	40.51	40.51	40.51	40.51	40.51	40.51	40.51	40.51	40.51
		침수심	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
삽교6 Ⅰ-23	20년	면적	26.34	26.74	26.34	26.74	26.34	26.74	25.60	25.60	26.34	26.74
		침수심	1.49	1.50	1.49	1.50	1.49	1.50	1.39	1.39	1.49	1.50
	100년	면적	30.28	30.28	30.28	30.28	30.28	30.28	30.15	30.15	30.28	30.28
		침수심	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.12	2.12	2.14	2.14
신가 Ⅰ-24	20년	면적	38.70	38.70	38.70	38.70	38.70	38.70	38.70	38.65	38.70	38.70
		침수심	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.02
	100년	면적	40.32	40.32	40.32	40.32	40.32	40.32	40.29	40.29	40.32	40.32
		침수심	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.31	1.31	1.32	1.32
삽교7 Ⅰ-25	20년	면적	28.44	28.44	28.44	28.44	28.44	28.44	27.96	27.96	28.44	28.44
		침수심	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.72	1.72	1.74	1.74
	100년	면적	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.63	36.90	36.90
		침수심	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.96	1.97	1.97
곡교1 Ⅱ-1	20년	면적	486.53	455.08	486.53	477.99	486.53	492.50	486.53	486.53	486.53	474.96
		침수심	1.58	1.47	1.58	1.55	1.58	1.60	1.58	1.58	1.58	1.54
	100년	면적	626.34	565.26	626.34	621.04	626.34	626.34	621.04	621.04	621.04	605.20
		침수심	1.94	1.81	1.94	1.93	1.94	1.94	1.93	1.93	1.93	1.90
곡교2 Ⅱ-2	20년	면적	84.40	76.98	84.40	83.69	84.40	85.29	83.33	83.33	83.69	82.69
		침수심	1.86	1.71	1.86	1.85	1.86	1.88	1.84	1.84	1.85	1.83
	100년	면적	121.01	105.99	121.01	120.18	120.18	121.31	120.18	121.01	121.01	121.01
		침수심	2.40	2.05	2.40	2.38	2.38	2.41	2.38	2.40	2.40	2.40
산양 Ⅱ-3	20년	면적	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.30
		침수심	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.52
	100년	면적	80.63	80.63	80.63	80.63	80.63	80.63	80.63	80.63	80.63	80.62
		침수심	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.89
가덕 Ⅱ-4	20년	면적	44.30	38.72	44.30	40.28	44.03	44.78	40.90	40.90	44.03	41.35
		침수심	0.83	0.70	0.83	0.74	0.82	0.85	0.76	0.76	0.82	0.77
	100년	면적	79.28	73.03	79.28	79.11	79.28	79.70	78.99	78.99	79.28	78.99
		침수심	1.42	1.27	1.42	1.41	1.42	1.45	1.40	1.40	1.42	1.40
곡교3 Ⅱ-5	20년	면적	65.00	65.00	64.97	64.97	65.00	65.06	65.00	65.00	65.00	64.83
		침수심	0.64	0.64	0.63	0.63	0.64	0.66	0.64	0.64	0.64	0.54
	100년	면적	66.60	66.18	66.28	66.32	66.32	66.28	66.29	66.32	66.32	66.26
		침수심	1.42	1.25	1.29	1.31	1.31	1.29	1.30	1.31	1.31	1.27

<표 14.12> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 치수단위소구역별 면적과 침수심 변화 (계속)

단위 : ha, m

구역명	재현기간	구분	사업전	갑문증설	합류부개선	예당지증고	하부지고려	예비방류	홍동저수지	홍양저수지	신대저수지	궁평저수지
와천 Ⅱ-6	20년	면적	43.34	43.34	43.34	43.30	43.34	43.34	43.34	43.34	43.34	43.30
		침수심	8.02	8.02	8.02	8.01	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.01
	100년	면적	45.42	45.42	45.42	45.42	45.42	45.47	45.42	45.42	45.42	45.42
		침수심	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64	8.65	8.64	8.64	8.64	8.64
신창 Ⅱ-7	20년	면적	159.26	159.26	159.26	159.26	159.26	159.26	159.26	159.26	159.26	157.47
		침수심	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.32
	100년	면적	194.66	194.20	194.66	194.20	194.66	194.66	194.66	194.66	194.66	193.05
		침수심	1.61	1.60	1.61	1.60	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.58
중방 Ⅱ-8	20년	면적	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.68
		침수심	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
	100년	면적	58.56	58.56	58.56	58.56	58.56	58.56	58.56	58.56	58.56	58.22
		침수심	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54
염성 Ⅱ-9	20년	면적	60.41	60.41	60.41	60.41	60.41	60.41	60.41	60.41	60.41	59.92
		침수심	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.96
	100년	면적	80.73	80.73	80.73	80.73	80.73	80.73	80.73	80.73	80.73	71.91
		침수심	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.29
수장 Ⅱ-10	20년	면적	30.04	30.04	30.04	30.04	30.04	30.04	30.04	30.04	30.04	29.83
		침수심	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.59
	100년	면적	37.41	37.41	37.41	37.41	37.41	37.41	37.41	37.41	37.41	37.41
		침수심	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
곡교4 Ⅱ-11	20년	면적	87.92	87.92	87.92	87.92	87.92	87.92	87.92	87.92	87.92	87.56
		침수심	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.76
	100년	면적	104.86	104.86	104.86	104.86	104.86	104.86	104.86	104.86	104.86	100.38
		침수심	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.39
곡교5 Ⅱ-12	20년	면적	171.93	171.93	171.36	171.93	171.36	171.36	171.36	171.36	171.36	168.77
		침수심	0.77	0.77	0.76	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.71
	100년	면적	239.38	239.38	239.38	239.38	239.38	239.38	239.38	239.38	239.38	235.28
		침수심	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.04
신덕 Ⅲ-1	20년	면적	426.27	426.27	423.06	426.27	426.27	432.42	426.27	426.27	426.27	426.27
		침수심	0.16	0.16	0.15	0.16	0.16	0.18	0.16	0.16	0.16	0.16
	100년	면적	507.02	507.02	504.89	507.02	507.02	512.68	507.02	507.02	507.02	507.02
		침수심	0.32	0.32	0.31	0.32	0.32	0.35	0.32	0.32	0.32	0.32
신종 Ⅲ-2	20년	면적	90.98	90.98	90.98	90.98	90.98	94.60	90.98	90.98	90.98	90.98
		침수심	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.67	0.61	0.61	0.61	0.61
	100년	면적	134.22	123.48	123.48	134.22	134.22	136.13	123.48	123.48	134.22	134.22
		침수심	0.90	0.89	0.89	0.90	0.90	0.93	0.89	0.89	0.90	0.90
봉농 Ⅲ-3	20년	면적	8.05	8.05	7.90	8.05	8.05	8.37	8.05	8.05	8.05	8.05
		침수심	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06
	100년	면적	15.20	15.20	14.67	15.20	15.20	16.26	15.20	15.20	15.20	15.20
		침수심	0.22	0.22	0.21	0.22	0.22	0.24	0.22	0.22	0.22	0.22

<표 14.12> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 치수단위소구역별 면적과 침수심 변화 (계속)

단위 : ha, m

구역명	재현기간	구분	사업전	갑문증설	합류부개선	예당지증고	하부지고려	예비방류	홍동저수지	홍양저수지	신대저수지	궁평저수지
계촌 Ⅲ-4	20년	면적	24.03	24.03	24.03	24.03	24.03	25.49	24.03	24.03	24.03	24.03
		침수심	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.67	0.61	0.61	0.61	0.61
	100년	면적	75.44	50.95	50.95	75.44	75.44	78.64	50.95	50.95	75.84	75.84
		침수심	0.90	0.89	0.89	0.90	0.90	0.93	0.89	0.89	0.90	0.90
궁평 Ⅲ-5	20년	면적	34.50	33.64	33.88	21.73	30.73	30.62	33.88	33.95	33.64	34.05
		침수심	7.45	7.35	7.38	6.62	7.29	7.28	7.38	7.39	7.35	7.40
	100년	면적	48.09	46.01	47.13	38.10	46.71	47.13	47.29	47.44	47.75	47.59
		침수심	8.28	8.15	8.22	7.70	8.19	8.22	8.23	8.24	8.26	8.25
창소 Ⅲ-6	20년	면적	19.03	18.20	18.51	11.34	16.93	16.54	18.51	18.65	17.53	18.65
		침수심	1.75	1.68	1.70	0.75	1.56	1.51	1.70	1.71	1.62	1.71
	100년	면적	31.21	29.99	30.49	20.75	29.32	29.64	30.61	30.61	30.73	30.73
		침수심	2.59	2.51	2.55	1.88	2.47	2.49	2.56	2.56	2.57	2.57
종경 Ⅲ-7	20년	면적	212.44	212.44	210.97	147.69	210.97	244.63	212.44	212.44	210.97	212.44
		침수심	1.54	1.54	1.53	1.25	1.53	1.69	1.54	1.54	1.53	1.54
	100년	면적	292.89	292.89	291.65	291.65	291.65	333.94	292.89	292.89	291.65	292.89
		침수심	1.89	1.89	1.88	1.88	1.88	1.99	1.89	1.89	1.88	1.89
탄중 Ⅲ-8	20년	면적	34.25	34.25	34.01	20.92	34.01	38.49	34.25	34.25	34.01	34.25
		침수심	0.64	0.64	0.63	0.36	0.63	0.79	0.64	0.64	0.63	0.64
	100년	면적	54.66	54.66	54.05	54.05	54.05	71.91	54.66	54.66	54.05	54.66
		침수심	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	1.09	0.99	0.99	0.98	0.99
무한1 Ⅲ-9	20년	면적	15.61	15.61	15.41	8.52	14.11	13.99	15.61	15.61	14.57	15.67
		침수심	1.46	1.46	1.44	0.39	1.27	1.25	1.46	1.46	1.33	1.47
	100년	면적	22.87	22.66	22.66	16.02	22.41	22.81	22.98	22.98	23.07	22.98
		침수심	2.17	2.15	2.15	1.52	2.13	2.16	2.18	2.18	2.19	2.18
발연 Ⅲ-10	20년	면적	23.14	23.14	23.11	-	23.07	22.99	23.14	23.14	23.11	23.14
		침수심	0.66	0.66	0.65	-	0.63	0.61	0.66	0.66	0.64	0.66
	100년	면적	25.24	25.21	25.18	25.24	25.24	25.80	25.21	25.24	25.24	25.24
		침수심	1.32	1.31	1.30	1.32	1.32	1.50	1.31	1.32	1.32	1.32
무한2 Ⅲ-11	20년	면적	16.32	16.36	16.32	7.96	15.05	14.84	16.32	16.36	15.49	16.36
		침수심	1.62	1.63	1.62	0.34	1.42	1.39	1.62	1.63	1.49	1.63
	100년	면적	20.57	20.57	20.57	16.03	20.10	20.35	20.52	20.57	20.57	20.57
		침수심	2.32	2.32	2.32	1.58	2.24	2.28	2.31	2.32	2.32	2.32
원평 Ⅲ-12	20년	면적	24.29	24.29	24.21	2.41	19.69	18.70	24.29	24.29	21.72	24.29
		침수심	1.67	1.67	1.66	0.38	1.47	1.44	1.67	1.67	1.53	1.67
	100년	면적	49.78	49.78	49.78	24.03	44.48	46.20	49.78	49.78	47.88	49.78
		침수심	2.40	2.40	2.40	1.64	2.29	2.34	2.40	2.40	2.39	2.40
산성 Ⅲ-13	20년	면적	14.01	14.01	14.01	-	12.32	11.97	14.01	14.01	12.58	13.93
		침수심	0.52	0.52	0.52	-	0.34	0.31	0.52	0.52	0.41	0.51
	100년	면적	20.52	20.00	20.00	13.93	20.52	21.25	20.08	20.08	20.52	20.52
		침수심	1.09	1.09	1.09	0.51	1.14	1.22	1.10	1.10	1.14	1.14

<표 14.12> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 치수단위소구역별 면적과 침수심 변화 (계속)

단위 : ha, m

구역명	재현기간	구분	사업전	갑문증설	합류부개선	예당지증고	하부지고려	예비방류	홍동저수지	홍양저수지	신대저수지	궁평저수지
손지 Ⅲ-14	20년	면적	30.00	30.00	30.00	29.24	29.31	29.31	30.00	30.00	29.31	30.00
		침수심	0.42	0.42	0.42	0.34	0.35	0.35	0.42	0.42	0.35	0.42
	100년	면적	38.60	38.60	38.60	29.64	36.60	37.17	38.60	38.60	38.43	38.60
		침수심	0.83	0.83	0.83	0.39	0.61	0.63	0.83	0.83	0.72	0.83
입침 Ⅲ-15	20년	면적	16.20	16.20	16.20	15.65	15.65	15.62	16.20	16.20	15.65	16.20
		침수심	1.10	1.10	1.10	0.94	0.94	0.93	1.10	1.10	0.94	1.10
	100년	면적	38.90	38.90	38.90	15.72	19.36	19.10	38.90	38.90	38.90	38.90
		침수심	1.92	1.92	1.92	0.96	1.43	1.41	1.92	1.92	1.56	1.92

나. 삽교호의 최저첨두수위 발생 조건 기준

전 절의 홍수방어 대안요소별 치수효과는 삽교호의 첨두홍수위가 최고가 되는 조위조건을 기준으로 분석한 결과로서, 이와 상반되는 조건이 삽교호의 첨두홍수위가 최소가 되는 조건이다. 이 두 경우의 차이는 첨수홍수위 값뿐만 아니라 전술한 '10.3.2 삽교천 하구부의 수리특성'에서 검토한 바와 같이 첨두홍수위가 최고가 될 경우 홍수위수문곡선은 첨예한 형태로 형성되어 수위지속시간이 짧은 반면 첨두홍수위가 가장 낮을 경우는 홍수위수문곡선의 첨두부가 뭉뚝하게 형성됨으로써 수위지속시간이 길어지는 상반된 특징이 있다.

이렇게 상반된 조건하에서 홍수방어 대안요소의 효과를 검토하는 것은 앞서 여러차례 언급한 바와 같이 삽교천 유역 하류부의 수리·수문 특성이 동일한 강우조건에서도 서해안 조위에 따라 상이하게 나타나기 때문이다.

<표 14.13> 홍수규모별 배수갑문 증설 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,498	101	3.93	3.30	-0.63	3.96	3.36	-0.60	5.55	5.51	-0.04
10	4,666	4,544	122	4.25	3.74	-0.51	4.27	3.80	-0.47	6.05	5.95	-0.10
20	5,903	5,551	352	4.49	4.15	-0.34	4.52	4.18	-0.34	6.65	6.63	-0.02
30	6,413	6,173	240	4.62	4.25	-0.37	4.64	4.28	-0.36	6.89	6.86	-0.03
50	7,140	6,646	494	4.63	4.40	-0.23	4.67	4.44	-0.23	7.12	7.08	-0.04
80	7,629	7,236	393	4.84	4.44	-0.40	4.88	4.48	-0.40	7.35	7.28	-0.07
100	7,893	7,445	448	4.98	4.49	-0.49	5.01	4.56	-0.45	7.44	7.38	-0.06
200	8,449	8,134	315	5.40	4.82	-0.58	5.44	4.90	-0.54	7.74	7.62	-0.12
300	8,748	8,398	350	5.58	5.05	-0.53	5.62	5.13	-0.49	7.94	7.81	-0.13
500	9,008	8,709	299	5.97	5.33	-0.64	6.01	5.41	-0.60	8.12	7.98	-0.14

<표 14.14> 홍수규모별 예당지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,480	119	3.93	3.64	-0.29	3.96	3.67	-0.29	5.55	5.32	-0.23
10	4,666	4,554	112	4.25	4.08	-0.17	4.27	4.10	-0.17	6.05	5.79	-0.26
20	5,903	5,746	157	4.49	4.31	-0.18	4.52	4.33	-0.19	6.65	6.36	-0.29
30	6,413	6,337	76	4.62	4.45	-0.17	4.64	4.47	-0.17	6.89	6.60	-0.29
50	7,140	7,072	68	4.63	4.63	0.00	4.67	4.67	0.00	7.12	6.91	-0.21
80	7,629	7,542	87	4.84	4.88	0.04	4.88	4.91	0.03	7.35	7.20	-0.15
100	7,893	7,758	135	4.98	5.01	0.03	5.01	5.05	0.04	7.44	7.32	-0.12
200	8,449	8,404	45	5.40	5.44	0.04	5.44	5.49	0.05	7.74	7.70	-0.04
300	8,748	8,729	19	5.58	5.69	0.11	5.62	5.74	0.12	7.94	7.98	0.04
500	9,008	8,843	165	5.97	6.16	0.19	6.01	6.19	0.18	8.12	8.22	0.10

<표 14.15> 홍수규모별 삽교천-무한천 합류부 개선 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,581	18	3.93	3.93	0.00	3.96	3.96	0.00	5.55	5.37	-0.18
10	4,666	4,649	17	4.25	4.24	-0.01	4.27	4.26	-0.01	6.05	5.89	-0.16
20	5,903	5,852	51	4.49	4.49	0.00	4.52	4.51	-0.01	6.65	6.52	-0.13
30	6,413	6,399	14	4.62	4.62	0.00	4.64	4.64	0.00	6.89	6.76	-0.13
50	7,140	7,120	20	4.63	4.64	0.01	4.67	4.67	0.00	7.12	7.00	-0.12
80	7,629	7,597	32	4.84	4.86	0.02	4.88	4.90	0.02	7.35	7.23	-0.12
100	7,893	7,834	59	4.98	4.99	0.01	5.01	5.03	0.02	7.44	7.33	-0.11
200	8,449	8,445	4	5.40	5.41	0.01	5.44	5.45	0.01	7.74	7.65	-0.09
300	8,748	8,743	5	5.58	5.59	0.01	5.62	5.63	0.01	7.94	7.82	-0.12
500	9,008	9,003	5	5.97	5.97	0.00	6.01	6.01	0.00	8.12	8.02	-0.10

<표 14.16> 홍수규모별 예당지 하부지 설치 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,594	5	3.93	3.89	-0.04	3.96	3.92	-0.04	5.55	5.53	-0.02
10	4,666	4,662	4	4.25	4.22	-0.03	4.27	4.24	-0.03	6.05	6.03	-0.02
20	5,903	5,900	3	4.49	4.47	-0.02	4.52	4.49	-0.03	6.65	6.62	-0.03
30	6,413	6,402	11	4.62	4.59	-0.03	4.64	4.62	-0.02	6.89	6.84	-0.05
50	7,140	7,121	19	4.63	4.62	-0.01	4.67	4.65	-0.02	7.12	7.08	-0.04
80	7,629	7,609	20	4.84	4.84	0.00	4.88	4.88	0.00	7.35	7.30	-0.05
100	7,893	7,830	63	4.98	4.98	0.00	5.01	5.01	0.00	7.44	7.41	-0.03
200	8,449	8,426	23	5.40	5.40	0.00	5.44	5.44	0.00	7.74	7.72	-0.02
300	8,748	8,729	19	5.58	5.58	0.00	5.62	5.62	0.00	7.94	7.94	0.00
500	9,008	8,983	25	5.97	5.95	-0.02	6.01	5.99	-0.02	8.12	8.12	0.00

<표 14.17> 홍수규모별 예비방류 시행 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,757	-158	3.93	3.97	0.04	3.96	4.01	0.05	5.55	5.66	0.11
10	4,666	4,987	-321	4.25	4.30	0.05	4.27	4.31	0.04	6.05	6.21	0.16
20	5,903	5,986	-83	4.49	4.47	-0.02	4.52	4.50	-0.02	6.65	6.67	0.02
30	6,413	6,526	-113	4.62	4.57	-0.05	4.64	4.61	-0.03	6.89	6.89	0.00
50	7,140	7,273	-133	4.63	4.84	0.21	4.67	4.88	0.21	7.12	7.17	0.05
80	7,629	7,780	-151	4.84	5.15	0.31	4.88	5.19	0.31	7.35	7.42	0.07
100	7,893	8,070	-177	4.98	5.28	0.30	5.01	5.32	0.31	7.44	7.55	0.11
200	8,449	8,538	-89	5.40	5.65	0.25	5.44	5.69	0.25	7.74	7.92	0.18
300	8,748	8,829	-81	5.58	5.95	0.37	5.62	5.98	0.36	7.94	8.11	0.17
500	9,008	9,085	-77	5.97	6.28	0.31	6.01	6.32	0.31	8.12	8.32	0.20

<표 14.18> 홍수규모별 홍동저수지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,593	6	3.93	3.92	-0.01	3.96	3.95	-0.01	5.55	5.51	-0.04
10	4,666	4,663	3	4.25	4.25	0.00	4.27	4.27	0.00	6.05	6.00	-0.05
20	5,903	5,887	16	4.49	4.51	0.02	4.52	4.53	0.01	6.65	6.55	-0.10
30	6,413	6,409	4	4.62	4.63	0.01	4.64	4.66	0.02	6.89	6.79	-0.10
50	7,140	7,119	21	4.63	4.66	0.03	4.67	4.69	0.02	7.12	7.03	-0.09
80	7,629	7,627	2	4.84	4.85	0.01	4.88	4.88	0.00	7.35	7.30	-0.05
100	7,893	7,888	5	4.98	4.98	0.00	5.01	5.01	0.00	7.44	7.40	-0.04
200	8,449	8,447	2	5.40	5.40	0.00	5.44	5.44	0.00	7.74	7.71	-0.03
300	8,748	8,746	2	5.58	5.58	0.00	5.62	5.62	0.00	7.94	7.90	-0.04
500	9,008	9,006	2	5.97	5.93	-0.04	6.01	5.97	-0.04	8.12	8.09	-0.03

<표 14.19> 홍수규모별 홍양저수지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,590	9	3.93	3.91	-0.02	3.96	3.94	-0.02	5.55	5.48	-0.07
10	4,666	4,657	9	4.25	4.25	0.00	4.27	4.27	0.00	6.05	5.98	-0.07
20	5,903	5,891	12	4.49	4.50	0.01	4.52	4.53	0.01	6.65	6.59	-0.06
30	6,413	6,411	2	4.62	4.62	0.00	4.64	4.65	0.01	6.89	6.83	-0.06
50	7,140	7,121	19	4.63	4.65	0.02	4.67	4.68	0.01	7.12	7.07	-0.05
80	7,629	7,626	3	4.84	4.85	0.01	4.88	4.90	0.02	7.35	7.29	-0.06
100	7,893	7,890	3	4.98	4.98	0.00	5.01	5.02	0.01	7.44	7.39	-0.05
200	8,449	8,444	5	5.40	5.40	0.00	5.44	5.44	0.00	7.74	7.70	-0.04
300	8,748	8,745	3	5.58	5.58	0.00	5.62	5.62	0.00	7.94	7.87	-0.07
500	9,008	9,006	2	5.97	5.91	-0.06	6.01	5.95	-0.06	8.12	8.07	-0.05

<표 14.20> 홍수규모별 신대저수지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,599	0	3.93	3.89	-0.04	3.96	3.92	-0.04	5.55	5.53	-0.02
10	4,666	4,664	2	4.25	4.24	-0.01	4.27	4.26	-0.01	6.05	6.04	-0.01
20	5,903	5,902	1	4.49	4.49	0.00	4.52	4.51	-0.01	6.65	6.64	-0.01
30	6,413	6,408	5	4.62	4.62	0.00	4.64	4.65	0.01	6.89	6.88	-0.01
50	7,140	7,136	4	4.63	4.64	0.01	4.67	4.67	0.00	7.12	7.11	-0.01
80	7,629	7,622	7	4.84	4.85	0.01	4.88	4.89	0.01	7.35	7.33	-0.02
100	7,893	7,886	7	4.98	4.98	0.00	5.01	5.02	0.01	7.44	7.43	-0.01
200	8,449	8,435	14	5.40	5.40	0.00	5.44	5.44	0.00	7.74	7.74	0.00
300	8,748	8,740	8	5.58	5.58	0.00	5.62	5.62	0.00	7.94	7.94	0.00
500	9,008	8,998	10	5.97	5.97	0.00	6.01	6.00	-0.01	8.12	8.12	0.00

<표 14.21> 홍수규모별 궁평저수지 증고 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,599	3,561	38	3.93	3.94	0.01	3.96	3.97	0.01	5.55	5.54	-0.01
10년	4,666	4,650	16	4.25	4.25	0.00	4.27	4.27	0.00	6.05	6.05	0.00
20년	5,903	5,908	-5	4.49	4.50	0.01	4.52	4.52	0.00	6.65	6.65	0.00
30년	6,413	6,413	0	4.62	4.62	0.00	4.64	4.65	0.01	6.89	6.89	0.00
50년	7,140	7,140	0	4.63	4.63	0.00	4.67	4.67	0.00	7.12	7.12	0.00
80년	7,629	7,627	2	4.84	4.86	0.02	4.88	4.90	0.02	7.35	7.35	0.00
100년	7,893	7,894	-1	4.98	5.00	0.02	5.01	5.03	0.02	7.44	7.44	0.00
200년	8,449	8,449	0	5.40	5.42	0.02	5.44	5.46	0.02	7.74	7.74	0.00
300년	8,748	8,749	-1	5.58	5.59	0.01	5.62	5.63	0.01	7.94	7.94	0.00
500년	9,008	9,017	-9	5.97	5.94	-0.03	6.01	5.98	-0.03	8.12	8.12	0.00

<표 14.22> 홍수규모별 천변저류지(와천-중방 지구) 설치 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,599	0	3.93	3.93	0.00	3.96	3.96	0.00	5.55	5.55	0.00
10	4,666	4,666	0	4.25	4.25	0.00	4.27	4.27	0.00	6.05	6.05	0.00
20	5,903	5,903	0	4.49	4.49	0.00	4.52	4.52	0.00	6.65	6.65	0.00
30	6,413	6,413	0	4.62	4.62	0.00	4.64	4.64	0.00	6.89	6.89	0.00
50	7,140	6,999	141	4.63	4.62	-0.01	4.67	4.65	-0.02	7.12	7.12	0.00
80	7,629	7,461	168	4.84	4.78	-0.06	4.88	4.82	-0.06	7.35	7.34	-0.01
100	7,893	7,634	259	4.98	4.95	-0.03	5.01	4.99	-0.02	7.44	7.44	0.00
200	8,449	8,197	252	5.40	5.37	-0.03	5.44	5.41	-0.03	7.74	7.73	-0.01
300	8,748	8,478	270	5.58	5.56	-0.02	5.62	5.59	-0.03	7.94	7.93	-0.01
500	9,008	8,705	303	5.97	5.89	-0.08	6.01	5.93	-0.08	8.12	8.11	-0.01

<표 14.23> 홍수규모별 천변저류지(산양-곡교3 지구) 설치 효과 (최저첨두수위 발생조건)

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5	3,599	3,599	0	3.93	3.93	0.00	3.96	3.96	0.00	5.55	5.55	0.00
10	4,666	4,666	0	4.25	4.25	0.00	4.27	4.27	0.00	6.05	6.05	0.00
20	5,903	5,903	0	4.49	4.49	0.00	4.52	4.52	0.00	6.65	6.65	0.00
30	6,413	6,413	0	4.62	4.62	0.00	4.64	4.64	0.00	6.89	6.89	0.00
50	7,140	6,957	183	4.63	4.62	-0.01	4.67	4.66	-0.01	7.12	7.12	0.00
80	7,629	7,441	188	4.84	4.83	-0.01	4.88	4.87	-0.01	7.35	7.35	0.00
100	7,893	7,600	293	4.98	4.96	-0.02	5.01	5.00	-0.01	7.44	7.44	0.00
200	8,449	8,174	275	5.40	5.38	-0.02	5.44	5.42	-0.02	7.74	7.74	0.00
300	8,748	8,456	292	5.58	5.57	-0.01	5.62	5.61	-0.01	7.94	7.94	0.00
500	9,008	8,696	312	5.97	5.87	-0.10	6.01	5.91	-0.10	8.12	8.12	0.00

다. 치수효과 검토의 기준

상기한 두 조위조건에서 사업시행 전과 각 홍수방어 대안요소 시행 후의 예상침수면적을 비교한 결과 <표 14.24>에서 보는 바와 같이 사업 시행 전의 침수면적과 사업시행에 따른 침수면적 감소효과는 대체로 30년 빈도 이하의 홍수에서는 최고첨두수위 발생조건에서 크게 나타나고 50년 빈도 이상의 홍수시에는 최저첨두수위 발생조건에서 크게 나타나는 상반된 성향을 보이고 있다.

이러한 결과는 <그림 14.2>의 삽교호 지점 수위수문곡선을 통해 설명할 수 있다. 그림에서 홍수위수문곡선의 형태는 첨두홍수위가 높을수록 첨예한 형태가 되고 첨두홍수위가 낮을 경우 완만한 모양을 보이고 있다. 따라서, 첨두홍수위의 크기와는 달리 삽교호 주변 지역에 침수피해를 유발하는 홍수위 지속시간은 홍수규모에 따라 다르게 나타날 수 있는데 예컨대 이 지역의 최저답고 EL. 3.0m 이상의 수위지속시간은 100년 빈도 홍수시 최저첨두수위 발생조건에서 약 23시간으로 최고첨두수위 발생조건일 경우의 20시간에 비해 3시간 정도 길게 예상되었다.

이렇게 삽교호 배수갑문의 홍수배제에 영향을 미치는 조위 조건과 홍수규모에 따라서 외수위는 낮아도 침수면적은 증가하는 내수침수의 특성상 치수계획을 수립하는데 있어서 하도의 홍수위 저하뿐만 아니라 수위지속시간을 단축시키는 것도 중요한 사항이므로 홍수방어 대안요소의 치수효과를 검토하는데 있어 첨두홍수위 보다는 전체적인 침수면적 감소 정도로 그 효과를 판단하는 것이 적절할 것이다. 또한 유역종합치수계획의 시행을 통해 보호하여야 할 대상인 저지대가 밀집된 삽교천 유역 중하류부의 계획빈도에 해당하는 100년 빈도의 홍수발생시 첨두홍수위와 침수면적이 상반된 성향을 보임에 따

라 계획의 기준으로 어떤 조위조건을 채택 하는가도 문제가 된다.

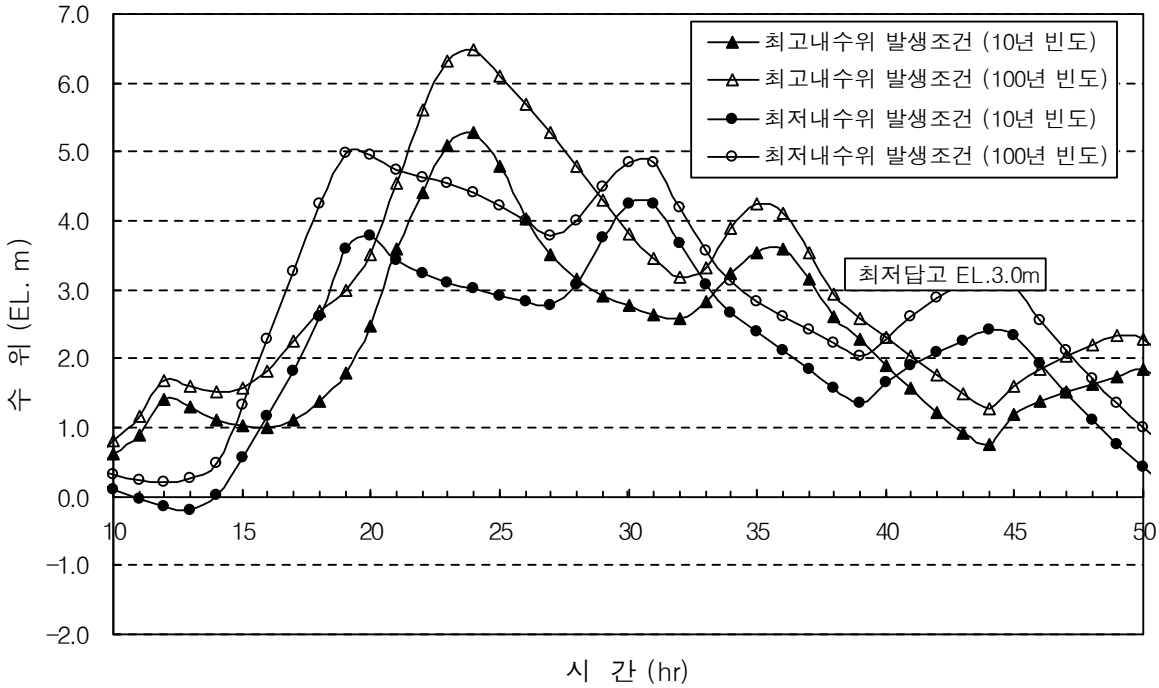
본 과업의 홍수방어 대안수립 목표는 후술할 '14.2.1 유역종합치수계획의 목표'에서 설정한 바와 같이 소규모 홍수시에는 내수침수 피해를 최소화 하고, 계획빈도에 해당하는 대규모 홍수시에는 외수범람의 위험을 제거하는 것이다. 따라서 홍수방어 대안요소의 치수효과 검토는 소규모 홍수시의 침수면적이 크고, 홍수 규모에 관계없이 외수위가 높게 형성되는 최고첨두수위 발생조건을 기준으로 설정하였다.

<표 14.24> 최악과 최적 조위 조건에서의 예상침수면적 차이 (삼교천 유역)

단위 : ha

재현기간	사업전	사업시행 후										
		배수갑문 증설	예당지 증고	합류부 개선	하부지 설치	예비 방류	홍동 저수지	홍양 저수지	신대 저수지	와천 중방	산양 곡교3	궁평 저수지
5년	322	213	248	311	325	296	314	318	322	322	322	285
10년	342	231	347	332	340	142	343	339	342	342	342	322
20년	166	165	134	199	165	169	172	173	165	166	166	156
30년	44	85	66	39	42	-17	41	41	44	44	44	42
50년	-34	203	-27	-34	-38	-94	-35	-35	-35	0	-4	-35
80년	-31	38	-110	-45	-49	-70	-37	-41	-32	0	0	-48
100년	-120	-2	-86	-114	-90	-137	-118	-122	-121	0	0	-121
200년	-137	-5	-134	-139	-137	-166	-136	-135	-137	0	0	-134
300년	-154	-8	-160	-158	-155	-160	-153	-152	-155	0	0	-152
500년	-172	-103	-12	-173	-176	-172	-170	-170	-172	0	0	-179

【주】 표의 면적은 「최고첨두수위 발생조건 기준 침수면적 - 최저첨두수위 발생조건 기준 침수면적」 임



<그림 14.2> 조위 조건에 따른 홍수규모별 홍수위 수문곡선 (삼교호 지점)

라. 피해경감 기대액

홍수방어 대안요소의 시행에 따라 예상되는 연평균피해경감 기대액을 '제 13 장 치수사업의 경제성 분석방법'의 다차원홍수피해 산정방법에 의해 산정하여 조위 조건별로 삽교천과 구분하여 침수면적 감소와 함께 <표 14.25>에 정리하였다. 여기서 피해경감 기대액은 직접피해액만을 대상으로 하며, 현실적으로 계량하기 어려운 간접피해액은 포함하지 않았다.

<표 14.25> 홍수방어 대안요소의 피해경감 기대액

구 분	최고첨두수위 발생조건		최저첨두수위 발생조건		비 고
	피해경감기대액 (백만원)	침수면적감소 (ha)	피해경감기대액 (백만원)	침수면적감소 (ha)	
사업전	29,873	2,636.0	28,430	2,461.0	연평균피해액 및 침수면적
배수갑문 증 설	1,992	133.6	1,625	81.1	
예 당 지 증 고	2,864	104.4	2,710	70.8	
합 류 부 개 선	132	16.9	111	12.3	
하 부 지 설 치	429	2.6	482	3.9	
예비방류 시 행	-271	-74.2	-484	-102.7	예당지 여수로 증설
홍동저수지 증 고	137	7.3	104	4.1	
홍양저수지 증 고	105	7.5	113	5.7	
신대저수지 증 고	174	0.7	173	0.7	
궁평저수지 증 고	378	36.7	189	18.6	
천변저류지 (와천-중방지구)	27	3.1	30	5.0	
천변저류지 (산양-곡교지구)	-5	3.9	-19	5.8	

현재 삽교천 유역에서는 홍수로 인해 매년 300억원 정도의 피해가 예상된다. 만약 배수갑문을 현재의 2배로 증설하면 조위 조건에 따라 삽교천 유역 전체로는 약 16~20억원 정도의 피해가 경감되며, 예당지를 1.5m 증고하여 홍수조절 공간을 확장하면 매년 274~29억원의 피해경감 효과가 예상된다.

<표 14.25>에 의하면 홍수방어 대안요소사업의 시행 효과는 대체로 최고첨두수위 발

생조건에서 상대적으로 크게 예상되었는데 이러한 결과는 발생빈도가 잦은 소규모 홍수시에 최고첨두수위 발생조건에서 침수면적과 피해액이 크게 나타나므로 개선효과도 상대적으로 크게 평가되기 때문이다.

<표 14.25>의 결과에서 예당지 여수로를 증가하여 예비방류를 시행하는 방안은 대규모 홍수시에는 예당지의 안전성을 제고하고 무한천의 홍수위를 저하시켜 외수범람의 위험을 감소시키는 효과는 있지만 소규모 홍수시에는 오히려 하류지역의 내수침수를 가중시키는 결과를 초래함으로써 연평균피해액이 증가하였다. 이에 비해 천변저류지 중 '산양-곡교3' 지구의 피해경감기대액이 음(-)의 값을 갖게 된 이유는 이 지역을 천변저류지로 활용함으로써 기대할 수 있는 타지역의 피해감소액 보다 '산양-곡교3' 지구의 침수피해 보상비가 크게 산정된데 따른 것인데, 이러한 결과는 '다차원홍수피해 산정방법'에서 침수심이 1m 이상이 농경지가 유실된다고 가정하여 피해액을 산정하기 때문이다. 그러나 실제로는 침수가 서서히 진행될 경우 1m 이상의 침수에서도 농경지가 유실될 위험은 크지 않으며, 천변저류지 설치에 따른 홍수위 저하 효과를 제방보강비 감소액으로 정량화 할 경우 피해경감기대액은 '산양-곡교3' 지구의 피해보상비 보다 크게 산정될 것이다.

마. 홍수방어 대안요소 시행에 따른 홍수위 저하 효과

홍수방어 대안요소의 시행으로 홍수위가 저하 하는데 따른 제방보강 공사비 감소액 또한 사업의 편익에 해당할 것이며, 이러한 경제적 이익 못지않게 하도의 홍수위가 저하한 만큼 외수에 대한 치수안전도는 증가할 것이다. 따라서, 삽교천과 곡교천, 무한천의 국가하천 구간에 대해 삽교천은 상류(무한천 합류점~국가하천 시점), 중류(곡교천 합류점~무한천 합류점), 하류(하구~곡교천 합류점)로 구분하고, 곡교천은 강청교를 기준으로 상하류로, 무한천은 상류(예산대교~예당지), 중류(신례원교~예산대교), 하류(하구~신례원교)로 구분하여 각 구간의 홍수위 저하 정도와 그에 따른 제방보강 공사비 감소액을 추정하여 비교하였다.

홍수방어 대안요소 중 홍수위 저하 효과가 가장 큰 방안은 삽교호 배수갑문 증설과 예당지 증고로서 배수갑문 증설의 효과는 주로 삽교천 중하류 구간과 곡교천 하류 구간에서 나타나며, 예당지 증고의 효과는 무한천에서 평균 0.51m의 홍수위 저하로 나타나고 다음으로 삽교천 중하류 구간에서 0.12~0.18m의 홍수위가 감소할 것으로 분석되었다. 또한 두 방안은 각각 240억원 정도의 제방보강 공사비의 절감효과가 있는 것으로 추정되어 앞서의 치수효과 검토결과와 마찬가지로 그 사업효과가 매운 클 것으로 기대된다.

<표 14.26> 홍수방어 대안요소 시행에 따른 홍수위 저하와 제방보강 공사비 감소효과 분석

단위 : m, 만원

구 분	삽 교 천				곡 교 천			무 한 천				제방공사비 경 감 액
	하류	중류	상류	평 균	하류	상류	평 균	하류	중류	상류	평 균	
배수갑문 증설	0.60	0.43	0.02	0.23 (1,479,138)	0.37	0.01	0.18 (833,541)	0.03	0.00	0.00	0.00 (90,041)	2,402,720
예당지 증고	0.12	0.18	0.03	0.09 (511,982)	0.07	0.00	0.04 (188,379)	0.39	0.47	0.71	0.51 (1,690,375)	2,390,736
합류부 개선	0.01	0.02	0.09	0.06 (833,144)	0.00	0.00	0.00 (-)	0.07	0.00	0.00	0.00 (132,283)	965,427
하부지 설치	0.03	0.05	0.01	0.03 (185,162)	0.02	0.00	0.01 (4,240)	0.10	0.08	0.14	0.10 (508,994)	698,396
예비방류 시행	0.00	0.00	0.00	0.00 (-)	0.00	0.00	0.00 (-)	0.08	0.06	0.17	0.10 (459,366)	459,366
홍동저수지 증고	0.02	0.03	0.08	0.06 (277,980)	0.01	0.00	0.01 (4,240)	0.00	0.00	0.00	0.00 (-)	282,220
홍양저수지 증고	0.03	0.03	0.11	0.08 (443,382)	0.02	0.00	0.01 (4,240)	0.00	0.00	0.00	0.00 (-)	447,622
신대저수지 증고	0.01	0.02	0.00	0.01 (76,264)	0.00	0.00	0.00 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00 (-)	76,264
궁평저수지 증고	0.02	0.01	0.00	0.00 (94,764)	0.00	0.00	0.00 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00 (-)	94,764
와천-중방	0.03	0.03	0.00	0.01 (141,764)	0.03	0.02	0.02 (71,476)	0.00	0.00	0.00	0.00 (-)	213,240
산양-곡교	0.04	0.04	0.00	0.02 (146,264)	0.06	0.04	0.05 (107,104)	0.00	0.00	0.00	0.00 (-)	253,368

【주】 삽교천 하류 : 하구 ~ 곡교천 합류점
삽교천 중류 : 곡교천 합류점 ~ 무한천 합류점
삽교천 상류 : 무한천 합류점 ~ 국가하천 시점
곡교천 하류 : 하구 ~ 강청교
곡교천 상류 : 강청교 ~ 국가하천 시점
( )안은 하천별 제방공사비 경감액, 만원

무한천 하류 : 하구 ~ 신례원교
무한천 중류 : 신례원교 ~ 예산대교
무한천 상류 : 예산대교 ~ 예당지

14.1.2 홍수방어대안 요소의 경제성 검토

가. 사업비용 분석

홍수방어 대안요소 사업의 시행에 소요되는 사업비는 해당 공종에 따라 잔존가치가 상이하게 평가되며, 그 결과는 금회 채택한 경제성 분석 방법의 특성상 유지관리비에 반영된다. 금회 과업에서 사업의 경제성 분석 종료 시점의 잔존가치는 건교부에서 '치수사업 경제성 분석 개선방안 연구, 2001. 2'를 통해 제안한 바와 같이 축제공 80%, 호안공 10%, 구조물공(기타 공종 포함) 0%, 보상비 100%를 채택하고, 총 사업비에서 하천시설의 잔존가치를 차감한 사업비의 2%를 연평균 유지관리비로 적용하였다.

따라서, '제 12 장 홍수방어 대안요소사업의 검토'에서 산정한 각 홍수방어 대안요소의 사업비를 공종 특성을 고려하여 다음과 같이 축제공, 호안공, 구조물공 및 기타, 보상비로 구분하여 정리하였다. 금회 수립한 홍수방어 대안요소 시행에 소요되는 사업비는 보상비 포함하여 총 1,967억원으로 집계되었다.

<표 14.27> 홍수방어 대안요소별 사업비 정리

단위 : 백만원

구 분	배수갑문 증설		예당지 증고		합류부 개선	
	세부공정	비용	세부공정	비용	세부공정	비용
축제공			축제공	1,158	축제 및 저수로공	9,155
			도로승상	6,184		
	소 계	-	소 계	7,342	소 계	9,155
호안공						1,026
	소 계	-	소 계	-	소 계	1,026
구조물공	배수갑문 교량	7,093	여수로 보강	629	구양교 개축	4,752
	소 계	7,093	소 계	629	소 계	4,752
기 타	가물막이공	12,786	문비운반 및 설치	19,710	기 타	361
	배수갑문 기전공사	20,758	폐기물 처리	40		
	제경비 및 기타	19,543	제 경 비	3,985	제 경 비	6,078
	소 계	53,087	소 계	23,735	소 계	6,439
보 상 비		-		19,649		2,697
계		60,180		51,355		24,069
구 분	하부지 설치		홍동 저수지 증고		홍양 저수지 증고	
	세부공정	비용	세부공정	비용	세부공정	비용
축제공	제수문 제체	497	토 공	519	토 공	457
	소 계	497	소 계	519	소 계	457
호안공	소 계	-	소 계	-	소 계	-
구조물공	제수문 설치	1,306	구조물공	47	구조물공	49
	소 계	1,306	소 계	47	소 계	49
기 타	문비 운반 및 설치	3,328	문비 운반 및 설치	4,266	문비 운반 및 설치	3,915
	부 대 공	589	부대공 및 기타	283	부대공 및 기타	715
	제 경 비	1,196	제 경 비	425	제 경 비	611
	소 계	5,113	소 계	4,974	소 계	5,241
보 상 비		20,672		1,553		2,044
계		27,588		7,093		7,791

<표 14.27> 홍수방어 대안요소별 사업비 정리 (계속)

단위 : 백만원

구 분	신대 저수지 증고		궁평 저수지 증고		천변저류지 (공통)	
	세부공정	비용	세부공정	비용	세부공정	비용
축제공	토 공 소 계	616 616	토 공 소 계	502 502	토 공 소 계	81 81
호안공	소 계	-	소 계	-	소 계	66 66
구조물공	구조물공 소 계	36 36	구조물공 소 계	95 95	구조물공 소 계	348 348
기 타	문비 운반 및 설치 부대공 및 기타 제 경 비 소 계	2,287 656 654 3,597	문비 운반 및 설치 부대공 및 기타 제 경 비 소 계	4,898 1,223 910 7,031	부 대 공 사급자재비 제 경 비 소 계	178 549 613 1,340
보 상 비		185		3,083		
계		4,434		10,711		1,835

나. 편 익

각 홍수방어 대안요소의 시행에 따라 기대되는 편익은 '14.1.1 홍수방어 대안요소별 치수효과 검토'에서 산정한 연평균 피해경감기대액과 사업시행전 조건의 제방보강 공사비 대비 감소액을 의미한다. 본 절에서는 <표 14.25>의 피해경감 기대액 중 사업의 기준으로 채택한 삽교호의 최고첨두수위 발생조건을 기준으로 산출한 연평균 피해경감기대액과 제방공사비 감소액을 편익으로 채택하였다.

다. 홍수방어 대안요소의 경제성분석 지표 산출결과

홍수방어 대안요소별로 '제 13 장 치수사업의 경제성 분석'에서 제시한 방법에 의해 경제성 분석을 실시하였으며, 사업의 경제성을 판단할 수 있는 지표로는 사업규모와 관계없이 상대적인 사업효율 비교가 가능한 비용편익비(B/C)와 총편익의 규모를 가늠할 수 있는 순현가(B-C)를 함께 채택하였다.

이때 내수침수면적이 오히려 증가하여 연평균 피해경감기대액이 음의 값을 갖는 예비방류 시행방안은 검토대상에서 제외하였다.

<표 14.28> 홍수방어 대안요소의 경제성 검토 결과

단위 : 백만원

구 분	공사비	보상비	사업비	연간 유지관리비	총비용	연간 피해경감 기대액	편 익	비용 편익비 (B/C)	순현가 (NPV)
배수갑문 증설	60,180	0	60,180	733.5	89,505	1,992	92,643	1.04	3,138
예당지 증고	31,706	19,649	51,355	656.1	66,975	2,864	122,792	1.83	55,817
합류부 개선	21,372	2,697	24,069	330.2	32,681	132	14,504	0.44	-18,177
하부지 설치	6,916	20,672	27,588	290.9	29,475	429	22,201	0.75	-7,274
홍동저수지 증고	5,540	1,553	7,093	106.0	10,423	137	7,656	0.73	-2,768
홍양저수지 증고	5,747	2,044	7,791	107.0	11,416	105	10,619	0.93	-797
신대저수지 증고	4,249	185	4,434	69.3	7,036	174	8,423	1.20	1,386
천변저류지 (와천-중방)	1,835	0	1,835	69.9	4,723	83	4,963	1.05	240
천변저류지 (산양-곡교)	1,835	0	1,835	84.9	5,369	70	4,974	0.93	-394
궁평저수지 증고	7,628	3,083	10,711	181.9	15,451	378	13,493	0.87	-1,957

【주】총비용과 편익은 경제성장율을 감안하여 현재가치로 환산하였음.

홍수방어 대안요소의 경제성 검토결과 삽교호 배수갑문 증설과 함께 치수효과가 가장 탁월하면서도 사업비가 적게 소요되는 예당지 증고 사업의 경제성이 가장 높게 평가되었으며, 다음으로 사업비가 가장 적게 소요되는 신대 저수지 증고와 천변저류지 설치 및 삽교호 배수갑문 증설 사업의 비용편익비(B/C)가 '1'보다 높게 나타났다.

한편 삽교천과 무한천의 합류부 개선 방안은 비용편익비가 0.44에 불과하여 사업의 경제성이 가장 낮게 평가되었다. 이 결과는 사업의 수혜지역에 해당하는 삽교천과 무한천 합류부 주변의 저지대가 대부분 경제적 자산가치가 낮은 농경지로 활용되고 있기 때문에 소요사업비에 비해 연평균 피해경감기대액이 작게 산출되었기 때문이다. 그러나 이 지역의 주변에 당진군 합덕읍과 예산군 신례원읍이 5km 이내에 위치하고 있어 향후 개발될 여지가 높은 지역이므로 이러한 평가는 본 과업의 목표연도인 2016년 이후 재검토 되어야 할 것이다. 또한 하부지 설치 방안의 경우 저류공간으로 활용하는 것으로 계획된 예당지 직하의 손지, 입침 지구를 매입하는 방안으로 검토하였기 때문에 보상비가 과다하게 계상되어 경제성이 다소 낮게 평가되었으나, 향후 이 지역을 저류공간으로 활

용하되 피해발생시에만 피해액을 전액 보상하는 방안으로 사업을 추진할 경우 경제성이 상당이 제고될 것으로 기대된다.

상기한 10개 홍수방어 대안의 순현가(NPV), 즉 순편익의 현재가치를 비교하면 예당지 증고의 효과가 상대적으로 커서 다른 방안의 시행에 따른 손실을 보전할 수 있을 것으로 기대할 수 있지만, 이러한 판단은 개개 홍수방어 대안요소의 순현가를 단순집계한 결과에 기초한 것으로 다수의 홍수방어 대안요소를 함께 시행할 경우 예상되는 사업효과의 상승이나 간섭효과를 감안하여 최적의 사업방안을 도출하여야 할 것이다.

그러나 유역종합치수계획의 수립에 있어 단순히 비용과 편익을 비교하는 경제성 분석 결과만으로 사업시행 여부를 결정하는 것은 지양되어야 하며, 치수사업의 효과가 항상 발생하는 것이 아니라 장래 발생할 수 있는 극한적인 사상에 대비한다는 사업특성상 치수사업의 효과는 그만큼 낮게 평가될 수밖에 없다는 한계와 치수사업이 불특정 다수의 인명과 재산을 보호하는 것을 목적으로 하는 공공성과 사회기반시설으로서의 역할을 감안하여야 할 것이다.

14.2 유역종합치수계획(안) 수립

14.2.1 유역종합치수계획의 목표

삽교천 유역의 지형은 대체로 동고서저하여 남동쪽은 차령산맥의 끝자락에 해당하는 고산준령이 분수계를 이루고 있는 반면 유역의 중하류부에 해당하는 북서측은 평균표고가 매우 낮은 평야지대로 이루어져 있다. 수계의 구성은 삽교천 하구에 설치된 삽교호 방조제 약 5km 상류에서 곡교천(유역면적 545㎢)이 합류하고, 다시 그 10km 상류에서 무한천(유역면적 471.8㎢)이 합류함으로써 전체 유역에서 발생한 홍수가 하류부에 집중되어 유출되는 형태인데, 주요 하천의 합류점을 중심으로 EL. 25m 이하의 저평지가 집중적으로 분포하며 그 면적은 389.5㎢로서 전체 삽교천 유역면적의 약 24%에 해당한다. 특히 유역 중하류부의 하천연안 저지대는 하도와의 표고차가 거의 없어 하천의 수위가 상승하면 내수를 자연배제 할 수 없는 지형으로 현재 40여개소의 배수펌프장이 설치되어 운영되고 있으나, 거의 매년 크고 작은 침수피해가 발생하고 있다. 이 지역에 대한 하도 Buffering 분석 결과에 의하면 주요 하천의 국가하천 구간에서 고수부지와 제내지 농경지의 표고차가 2m(지방2급 하천구간은 1.5m)이내인 면적이 전체 유역면적의 25.8%에 해당하는 425.5㎢로 나타나서 계획홍수에 미달하는 소규모 홍수시에도 침수피해가 발생할 위험이 높은 것을 알 수 있다.

이러한 지형과 수계구성 특성으로 인해 삽교천 유역의 중하류부는 침수피해에 매우 취약할 수밖에 없으며, 이는 과거 이 지역에서 발생한 자연재해 기록에 의해서도 확인할 수 있었다. 특히 삽교천 유역내 주요 하천의 국가하천 구간의 개수가 거의 완료된 근래에도 하천의 계획빈도에 크게 못미치는 소규모 홍수에 의한 침수피해가 매년 발생하고 있는 것을 통해 외수범람 방어위주의 현 치수계획의 한계를 확인할 수 있다.

따라서, 본 과업은 삽교천 유역 중하류부에 위치한 저지대를 외수범람으로부터 보호할 뿐만 아니라 내수침수를 해소할 수 있는 치수능력을 보완하는데 중점을 두고 유역종합치수계획을 수립하였다.

본 계획의 기본방침은 상류에서 홍수를 최대한 저류하여 하류 구간의 홍수위상승을 지연시킴으로써 중하류 지역의 내수배제 가능시간을 최대한 확보하는 것과 더불어 하도의 통수능력을 확대하여 유역에서 발생한 홍수를 신속히 배제함으로써 하도의 홍수위를 조기에 저하시키는데 있다. 이렇게 함으로써 하도의 첨두홍수위를 저하시켜 외수에 대한 안전성을 제고할 뿐만 아니라 수위지속시간을 단축하여 저지대의 내수배제 불능 시간을 단축함으로써 침수피해를 경감하여 이 지역의 내·외수에 대한 치수안전도를 향상시키고자 하였다.

이러한 방침에 따라 삽교천 유역의 하류부에는 신속한 홍수배제를 목적으로 삽교호 배수갑문을 증설하고 삽교천과 무한천 합류부 개선계획을 수립하였으며, 중상류 지역을 대상으로는 예당지를 포함한 4개소의 저수지를 증고하고, 곡교천의 국가하천 중류부에 천변저류지를 2개소 설치하여 하도의 홍수소통 부담을 감소시키고 주변 지역의 치수안전도를 제고할 수 있는 홍수저류 위주의 계획을 수립하였다.

아울러 외수에 대한 계획규모에 크게 미달하는 소규모 홍수시에도 내수배제 불능에 의한 침수피해가 발생하는 삽교천 유역의 이중적인 치수특성을 감안하여 이 지역에 거주하는 주민과 방재관련 유관기관이 실제 발생할 수 있는 침수피해 위험을 정확히 인식하여 효과적인 대응을 할 수 있도록 중하류부 하천연안 저지대에 대해서는 농경지 배수펌프장 설계기준을 준용하여 내수침수에 대한 안전도를 평가하였다.

14.2.2 홍수방어 대안요소의 조합에 의한 유역종합치수계획(안) 검토

가. 홍수방어 대안요소 조합

외수범람에 대한 대책으로는 제방을 홍수위 이상으로 축제하는 방안과 홍수위를 낮추는 방안으로 구분할 수 있으며, 내수침수를 해소하기 위해서는 배수펌프장을 설치하여 유역에서 발생한 홍수를 강제배제 하거나 하도의 홍수위를 낮추어 내수배제에 지장을 초래하는 요인을 제거하여야 한다. 그러나 제방을 축조하거나 배수펌프장을 설치하여 강제배수 하는 것은 하도의 홍수위를 상승시키고 홍수의 흐름을 빠르게 변화시켜 치수적으로 취약한 지역의 부담을 가중시키는 결과를 초래한다. 따라서 내수나 외수에 대한 가장 바람직한 대응은 하도의 홍수위를 저하시키는 것이며, 이러한 치수대책을 도입하고자 하는 것이 유역종합치수계획의 기본 취지이다.

본 과업에서는 전 절에서 검토한 홍수방어 대안요소별 특징을 고려하여 <표 14.39>과 같이 홍수방어 대안요소의 조합에 의한 유역종합치수계획(안)의 대안을 설정하고, 각각의 대안에 대해 치수효과와 사업의 경제성을 검토하였다.

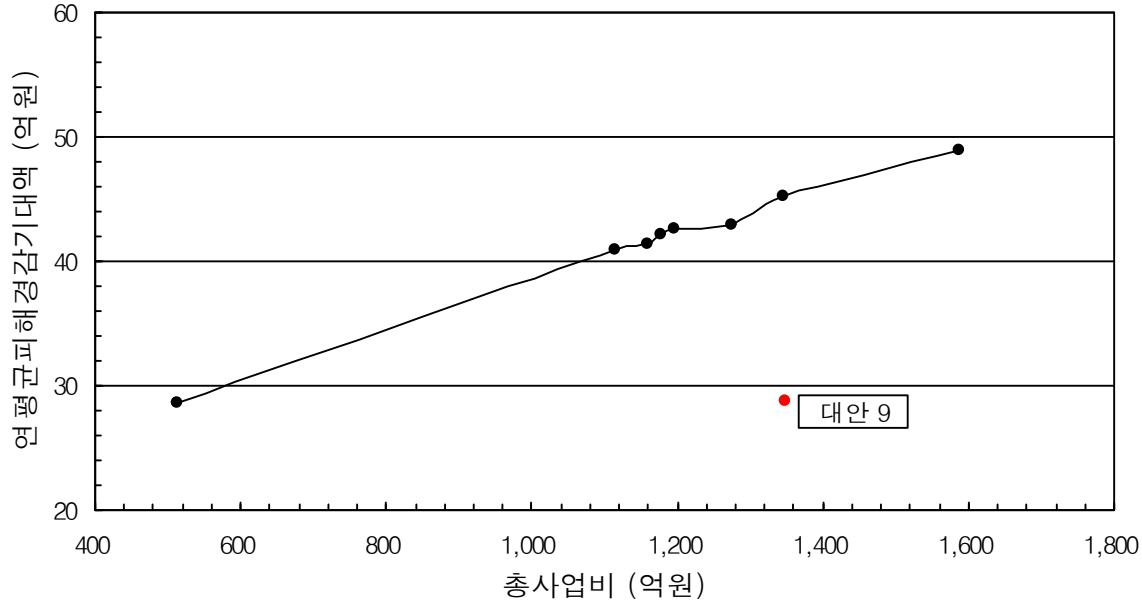
<표 14.30>의 대안들은 홍수방어 대안요소의 순현가(NPV)가 가장 큰 순으로 차례로 사업을 추가하는 형태로 구성되었으며, '대안 9'는 '대안 8'과 같이 홍수방어 대안요소를 모두 시행하되 사업의 경제성이 가장 우수한 예당지 증고 방안을 대신하여 그 대안으로서 개발된 하부지 설치 사업을 시행하였을 경우의 효과를 비교하기 위한 설정하였다. 이때 와천-중방지구와 산양-곡교3지구의 천변저류지 설치와 유사한 사업목적을 갖지만 사업비가 과다하게 소요되어 경제성이 낮고 대규모 홍수시에는 첨두홍수 도달시간 차이로 인해 본류의 첨두홍수량을 증대시키는 역효과가 예상되는 궁평저수지 증고 방안은 제외하였다.

<표 14.29> 홍수방어 대안요소의 조합

대안요소	유역종합치수계획(안)								
	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
예당지 증고	○	○	○	○	○	○	○	○	
배수갑문 증설		○	○	○	○	○	○	○	○
신대저수지 증고			○	○	○	○	○	○	○
천변저류지 (와천-중방)				○	○	○	○	○	○
천변저류지 (산양-곡교)					○	○	○	○	○
홍양저수지 증고						○	○	○	○
홍동저수지 증고							○	○	○
하부지 설치									○
합류부 개선								○	○
총사업비(억원)	514	1,115	1,160	1,178	1,196	1,274	1,345	1,586	1,348

나. 치수계획(안)의 치수효과

홍수방어 대안요소의 조합에 의한 각 치수계획(안)별 치수효과를 분석한 결과 사업비에 따른 편익 즉, 연평균피해경감기대액의 증가가 일정하게 나타나고 있어 계획된 홍수방어 대안요소를 가능한 모두 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그러나 예당지 증고 방안 대신 하부지를 설치할 경우는 다른 대안들에 비해 효과가 크게 감소하며, 삽교호 배수갑문을 증설하는데 따른 사업효과의 증가가 다른 모든 방안들을 시행하는 것보다 크게 나타나므로 예당지 증고와 삽교호 배수갑문을 증설이 유역종합치수계획의 핵심으로 시행되어야 할 것이다.



<그림 14.3> 유역종합치수계획(안)의 사업비 증가에 따른 편익의 변화

<표 14.30> 유역종합치수계획(안)의 대안별 침수면적 감소효과 비교

홍수규모 (재현기간)	사 업 전 침수면적	침수면적 감소 (ha)								
		대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
5년	3,921	193	337	339	339	339	361	406	482	327
10년	5,008	107	308	314	314	314	328	347	387	278
20년	6,069	189	436	438	438	438	442	447	495	428
30년	6,457	54	221	241	241	241	240	252	277	238
50년	7,106	61	321	325	424	560	581	583	589	547
80년	7,598	166	397	397	519	659	662	668	676	640
100년	7,773	101	447	448	559	702	705	670	717	666
200년	8,312	42	229	230	359	498	501	506	517	492
300년	8,594	25	146	149	268	412	413	508	511	481
500년	8,836	5	226	231	363	504	505	506	516	537
연평균		104.4	201.2	202.8	205.7	209.2	220.7	242.8	282.2	200.5

<표 14.31> 유역종합치수계획(안)의 대안별 피해경감기대액

홍수규모 (재현기간)	사 업 전 피 해 액	피해경감기대액 (백만원)								
		대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
5년	37,081	2,658	4,359	4,350	4,350	4,350	4,305	4,731	5,315	3,422
10년	55,182	3,106	6,242	6,423	6,423	6,423	6,865	7,039	7,507	5,528
20년	87,339	18,063	20,714	20,752	20,752	20,752	21,270	21,445	21,701	6,489
30년	109,702	25,418	26,220	26,036	26,036	26,036	25,863	26,379	29,312	12,940
50년	135,539	22,340	27,464	29,290	31,766	33,407	34,323	34,481	34,850	19,933
80년	167,573	21,544	26,850	27,597	30,336	32,611	32,823	33,574	34,469	21,312
100년	179,121	19,568	26,236	26,757	28,281	30,775	30,913	30,592	31,182	18,963
200년	219,426	8,356	11,077	11,604	16,128	18,428	18,592	18,896	19,163	14,058
300년	251,525	9,581	10,191	12,042	15,602	18,080	18,229	20,582	23,634	22,211
500년	276,800	-2,846	5,146	8,067	12,124	14,254	14,285	14,329	14,804	24,924
연평균피해경감기대액		2,864	4,093	4,135	4,208	4,260	4,300	4,527	4,894	2,872

각 대안들의 시행에 따른 침수면적의 변화와 주요 하천 하구부의 홍수위 변화를 비교한 결과를 <표 14.32>~<표 14.40>에 수록하였는데 앞서의 검토 결과와 같이 예당지 증고와 삽교호 배수갑문을 증설하였을 경우의 치수효과가 가장 크게 나타나며, 다른 홍수방어 대안요소를 추가할 경우 개선효과는 상대적으로 미미하다.

각 대안들 중 치수효과가 가장 크게 나타나는 '대안 8'의 경우 삽교천 하구와 곡교천 하구의 100년 빈도 홍수위는 사업시행 전에 비해 0.78m 저하하고, 무한천 하구의 홍수위는 0.59m 저하하여 외수에 대한 치수안전성이 크게 향상될 것을 분석되었다. 침수면적의 감소 또한 연평균발생면적 2,636ha의 10%이상인 282ha가 감소할 것으로 예상된다.

<표 14.32> 유역종합치수계획(안) - 대안1의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,728	193	4.67	4.43	-0.24	4.70	4.46	-0.24	5.50	5.26	-0.24
10년	5,008	4,901	107	5.28	5.09	-0.19	5.29	5.10	-0.19	6.18	5.87	-0.31
20년	6,069	5,880	189	5.74	5.54	-0.20	5.78	5.57	-0.21	6.76	6.39	-0.37
30년	6,457	6,403	54	6.05	5.81	-0.24	6.08	5.84	-0.24	7.09	6.67	-0.42
50년	7,106	7,045	61	6.24	6.07	-0.17	6.28	6.11	-0.17	7.32	6.96	-0.36
80년	7,598	7,432	166	6.47	6.26	-0.21	6.50	6.30	-0.20	7.55	7.20	-0.35
100년	7,773	7,672	101	6.49	6.36	-0.13	6.52	6.39	-0.13	7.61	7.33	-0.28
200년	8,312	8,270	42	6.78	6.50	-0.28	6.82	6.54	-0.28	7.89	7.56	-0.33
300년	8,594	8,569	25	6.95	6.60	-0.35	6.99	6.64	-0.35	8.06	7.72	-0.34
500년	8,836	8,831	5	7.17	6.87	-0.30	7.19	6.88	-0.31	8.26	8.02	-0.24

<표 14.33> 유역종합치수계획(안) - 대안2의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,584	337	4.67	4.07	-0.60	4.70	4.12	-0.58	5.50	5.27	-0.23
10년	5,008	4,700	308	5.28	4.64	-0.64	5.29	4.70	-0.59	6.18	5.73	-0.45
20년	6,069	5,633	436	5.74	5.06	-0.68	5.78	5.10	-0.68	6.76	6.27	-0.49
30년	6,457	6,236	221	6.05	5.27	-0.78	6.08	5.30	-0.78	7.09	6.53	-0.56
50년	7,106	6,785	321	6.24	5.55	-0.69	6.28	5.59	-0.69	7.32	6.85	-0.47
80년	7,598	7,201	397	6.47	5.74	-0.73	6.50	5.77	-0.73	7.55	7.12	-0.43
100년	7,773	7,326	447	6.49	5.79	-0.70	6.52	5.82	-0.70	7.61	7.21	-0.40
200년	8,312	8,083	229	6.78	6.01	-0.77	6.82	6.03	-0.79	7.89	7.58	-0.31
300년	8,594	8,448	146	6.95	6.17	-0.78	6.99	6.20	-0.79	8.06	7.81	-0.25
500년	8,836	8,610	226	7.17	6.24	-0.93	7.19	6.26	-0.93	8.26	8.00	-0.26

<표 14.34> 유역종합치수계획(안) - 대안3의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,582	339	4.67	4.07	-0.60	4.70	4.12	-0.58	5.50	5.26	-0.24
10년	5,008	4,694	314	5.28	4.64	-0.64	5.29	4.69	-0.60	6.18	5.72	-0.46
20년	6,069	5,631	438	5.74	5.06	-0.68	5.78	5.10	-0.68	6.76	6.26	-0.50
30년	6,457	6,216	241	6.05	5.26	-0.79	6.08	5.30	-0.78	7.09	6.52	-0.57
50년	7,106	6,781	325	6.24	5.54	-0.70	6.28	5.58	-0.70	7.32	6.85	-0.47
80년	7,598	7,201	397	6.47	5.93	-0.54	6.50	5.97	-0.53	7.55	7.14	-0.41
100년	7,773	7,325	448	6.49	5.79	-0.70	6.52	5.82	-0.70	7.61	7.21	-0.40
200년	8,312	8,082	230	6.78	5.99	-0.79	6.82	6.02	-0.80	7.89	7.58	-0.31
300년	8,594	8,445	149	6.95	6.16	-0.79	6.99	6.19	-0.80	8.06	7.80	-0.26
500년	8,836	8,605	231	7.17	6.23	-0.94	7.19	6.26	-0.93	8.26	8.01	-0.25

<표 14.35> 유역종합치수계획(안) - 대안4의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,582	339	4.67	4.07	-0.60	4.70	4.12	-0.58	5.50	5.26	-0.24
10년	5,008	4,694	314	5.28	4.64	-0.64	5.29	4.69	-0.60	6.18	5.72	-0.46
20년	6,069	5,631	438	5.74	5.06	-0.68	5.78	5.10	-0.68	6.76	6.26	-0.50
30년	6,457	6,216	241	6.05	5.26	-0.79	6.08	5.30	-0.78	7.09	6.52	-0.57
50년	7,106	6,682	424	6.24	5.50	-0.74	6.28	5.54	-0.74	7.32	6.85	-0.47
80년	7,598	7,079	519	6.47	5.89	-0.58	6.50	5.93	-0.57	7.55	7.13	-0.42
100년	7,773	7,214	559	6.49	5.77	-0.72	6.52	5.79	-0.73	7.61	7.20	-0.41
200년	8,312	7,953	359	6.78	5.97	-0.81	6.82	5.99	-0.83	7.89	7.58	-0.31
300년	8,594	8,326	268	6.95	6.14	-0.81	6.99	6.16	-0.83	8.06	7.80	-0.26
500년	8,836	8,473	363	7.17	6.22	-0.95	7.19	6.24	-0.95	8.26	8.01	-0.25

<표 14.36> 유역종합치수계획(안) - 대안5의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,582	339	4.67	4.07	-0.60	4.70	4.12	-0.58	5.50	5.26	-0.24
10년	5,008	4,694	314	5.28	4.64	-0.64	5.29	4.69	-0.60	6.18	5.72	-0.46
20년	6,069	5,631	438	5.74	5.06	-0.68	5.78	5.10	-0.68	6.76	6.26	-0.50
30년	6,457	6,216	241	6.05	5.26	-0.79	6.08	5.30	-0.78	7.09	6.52	-0.57
50년	7,106	6,546	560	6.24	5.49	-0.75	6.28	5.53	-0.75	7.32	6.84	-0.48
80년	7,598	6,939	659	6.47	5.83	-0.64	6.50	5.87	-0.63	7.55	7.11	-0.44
100년	7,773	7,071	702	6.49	5.75	-0.74	6.52	5.77	-0.75	7.61	7.20	-0.41
200년	8,312	7,814	498	6.78	5.93	-0.85	6.82	5.96	-0.86	7.89	7.57	-0.32
300년	8,594	8,182	412	6.95	6.09	-0.86	6.99	6.12	-0.87	8.06	7.79	-0.27
500년	8,836	8,332	504	7.17	6.19	-0.98	7.19	6.22	-0.97	8.26	8.01	-0.25

<표 14.37> 유역종합치수계획(안) - 대안6의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,560	361	4.67	4.03	-0.64	4.70	4.07	-0.63	5.50	5.19	-0.31
10년	5,008	4,680	328	5.28	4.58	-0.70	5.29	4.64	-0.65	6.18	5.68	-0.50
20년	6,069	5,627	442	5.74	5.03	-0.71	5.78	5.07	-0.71	6.76	6.19	-0.57
30년	6,457	6,217	240	6.05	5.23	-0.82	6.08	5.27	-0.81	7.09	6.46	-0.63
50년	7,106	6,525	581	6.24	5.45	-0.79	6.28	5.49	-0.79	7.32	6.77	-0.55
80년	7,598	6,936	662	6.47	5.79	-0.68	6.50	5.83	-0.67	7.55	7.06	-0.49
100년	7,773	7,068	705	6.49	5.73	-0.76	6.52	5.75	-0.77	7.61	7.15	-0.46
200년	8,312	7,811	501	6.78	5.91	-0.87	6.82	5.94	-0.88	7.89	7.49	-0.40
300년	8,594	8,181	413	6.95	6.07	-0.88	6.99	6.10	-0.89	8.06	7.75	-0.31
500년	8,836	8,331	505	7.17	6.17	-1.00	7.19	6.20	-0.99	8.26	7.95	-0.31

<표 14.38> 유역종합치수계획(안) - 대안7의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,515	406	4.67	4.00	-0.67	4.70	4.04	-0.66	5.50	5.14	-0.36
10년	5,008	4,661	347	5.28	4.56	-0.72	5.29	4.61	-0.68	6.18	5.62	-0.56
20년	6,069	5,622	447	5.74	5.01	-0.73	5.78	5.06	-0.72	6.76	6.15	-0.61
30년	6,457	6,205	252	6.05	5.21	-0.84	6.08	5.24	-0.84	7.09	6.42	-0.67
50년	7,106	6,523	583	6.24	5.42	-0.82	6.28	5.46	-0.82	7.32	6.72	-0.60
80년	7,598	6,930	668	6.47	5.73	-0.74	6.50	5.77	-0.73	7.55	7.02	-0.53
100년	7,773	7,103	670	6.49	5.72	-0.77	6.52	5.74	-0.78	7.61	7.12	-0.49
200년	8,312	7,806	506	6.78	5.89	-0.89	6.82	5.92	-0.90	7.89	7.44	-0.45
300년	8,594	8,086	508	6.95	6.05	-0.90	6.99	6.08	-0.91	8.06	7.73	-0.33
500년	8,836	8,330	506	7.17	6.16	-1.01	7.19	6.18	-1.01	8.26	7.93	-0.33

<표 14.39> 유역종합치수계획(안) - 대안8의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,439	482	4.67	4.03	-0.64	4.70	4.07	-0.63	5.50	4.93	-0.57
10년	5,008	4,621	387	5.28	4.55	-0.73	5.29	4.61	-0.68	6.18	5.50	-0.68
20년	6,069	5,574	495	5.74	5.01	-0.73	5.78	5.06	-0.72	6.76	6.04	-0.72
30년	6,457	6,180	277	6.05	5.19	-0.86	6.08	5.22	-0.86	7.09	6.30	-0.79
50년	7,106	6,517	589	6.24	5.42	-0.82	6.28	5.46	-0.82	7.32	6.58	-0.74
80년	7,598	6,922	676	6.47	5.73	-0.74	6.50	5.77	-0.73	7.55	6.91	-0.64
100년	7,773	7,056	717	6.49	5.71	-0.78	6.52	5.74	-0.78	7.61	7.02	-0.59
200년	8,312	7,795	517	6.78	5.89	-0.89	6.82	5.92	-0.90	7.89	7.34	-0.55
300년	8,594	8,083	511	6.95	6.05	-0.90	6.99	6.07	-0.92	8.06	7.58	-0.48
500년	8,836	8,320	516	7.17	6.15	-1.02	7.19	6.18	-1.01	8.26	7.80	-0.46

<표 14.40> 유역종합치수계획(안) - 대안9의 치수효과

재현기간	침수면적 (ha)			하구부 시간최대 수위 (EL. m)								
				삽교천 하구			곡교천 하구			무한천 하구		
	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감	사업전	사업후	증감
5년	3,921	3,594	327	4.67	4.14	-0.53	4.70	4.19	-0.51	5.50	5.11	-0.39
10년	5,008	4,730	278	5.28	4.70	-0.58	5.29	4.76	-0.53	6.18	5.78	-0.40
20년	6,069	5,641	428	5.74	5.10	-0.64	5.78	5.14	-0.64	6.76	6.34	-0.42
30년	6,457	6,219	238	6.05	5.30	-0.75	6.08	5.33	-0.75	7.09	6.60	-0.49
50년	7,106	6,559	547	6.24	5.51	-0.73	6.28	5.56	-0.72	7.32	6.86	-0.46
80년	7,598	6,958	640	6.47	5.77	-0.70	6.50	5.82	-0.68	7.55	7.11	-0.44
100년	7,773	7,107	666	6.49	5.76	-0.73	6.52	5.79	-0.73	7.61	7.20	-0.41
200년	8,312	7,820	492	6.78	5.92	-0.86	6.82	5.94	-0.88	7.89	7.43	-0.46
300년	8,594	8,113	481	6.95	6.03	-0.92	6.99	6.06	-0.93	8.06	7.58	-0.48
500년	8,836	8,299	537	7.17	6.21	-0.96	7.19	6.24	-0.95	8.26	7.76	-0.50

다. 내수침수 개선 효과 검토

각 치수계획(안)이 저지대의 침수해소에 기여하는 효과를 검토하기 위해 '11.2 기존 치수시설물 능력검토'의 <표 11.8>과 <표 11.9>에서 20년 빈도의 홍수시 0.3m 이상의 침수심이 12시간 이상 지속되는 치수단위소구역을 대상으로 하여 각 치수계획(안) 시행에 따른 20년 빈도 홍수시의 침수시간 단축정도를 비교하였다. 비교대상 치수단위 소구역은 삽교천의 무한천 합류점 하류 3개소, 무한천 합류점 상류 9개소 및 곡교천과 무한천에 각각 7개소와 5개소 등 총 24개소이며 배수체계에 따라서는 자연배수유역 8개소와 배수펌프장에 의한 강제배제유역 17개소로 구분된다.

<표 14.41> 유역종합치수계획 대안별 자연배수 지역의 침수특성 비교

소구역	구 분		유역종합치수계획 대안별 침수면적 (ha)									
			시행전	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
삽교1	최대수심		1.50	1.47	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	128.5 (19.8)	127.8 (18.5)	125.7 (14.3)	125.7 (14.3)	125.7 (14.3)	125.7 (14.3)	125.7 (14.3)	125.7 (14.3)	125.7 (14.3)	125.7 (14.5)
		0.3m ~ 0.5m	**120.2** **(13.7)**	**112.2** **(12.8)**	110.6 (9.3)	110.6 (9.3)	110.6 (9.3)	110.6 (9.3)	110.6 (9.3)	110.6 (9.3)	110.6 (9.3)	110.6 (9.3)
		0.5m ~ 0.7m	94.4 (10.0)	59.7 (9.0)	56.0 (6.0)	56.0 (6.0)	56.0 (6.0)	56.0 (6.0)	56.0 (5.8)	56.0 (5.8)	56.0 (5.8)	56.0 (6.3)
		0.7m ~ 1.0m	47.0 (6.5)	29.8 (5.8)	28.3 (3.2)	28.3 (3.2)	28.3 (3.2)	28.3 (3.2)	28.3 (3.0)	28.3 (3.0)	28.3 (3.0)	28.3 (3.2)
		1.0m 이상	22.6 (3.8)	17.7 (3.2)	17.3 (0.7)	17.3 (0.7)	17.3 (0.7)	17.3 (0.7)	17.3 (0.7)	17.3 (0.7)	17.3 (0.7)	17.3 (0.7)
하포1	최대수심		0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	111.9 (28.3)	111.9 (28.5)	111.9 (28.5)	111.9 (28.5)	111.9 (28.5)	111.9 (28.5)	111.9 (29.2)	111.9 (30.2)	111.9 (29.7)	111.9 (29.5)
		0.3m ~ 0.5m	**76.9** **(25.5)**	**76.9** **(25.3)**	**76.9** **(25.3)**	**76.9** **(25.3)**	**76.9** **(25.3)**	**76.9** **(25.3)**	**76.9** **(26.3)**	**76.9** **(27.2)**	**76.9** **(26.8)**	**76.9** **(26.8)**
		0.5m ~ 0.7m	**45.4** **(23.0)**	**45.4** **(23.0)**	**45.4** **(23.0)**	**45.4** **(23.0)**	**45.4** **(23.0)**	**45.4** **(23.0)**	**45.4** **(23.8)**	**45.4** **(24.8)**	**45.4** **(24.5)**	**45.4** **(24.5)**
		0.7m ~ 1.0m	**36.0** **(20.2)**	**36.0** **(20.0)**	**36.0** **(20.0)**	**36.0** **(20.0)**	**36.0** **(20.0)**	**36.0** **(20.0)**	**36.0** **(21.0)**	**36.0** **(22.0)**	**36.0** **(21.7)**	**36.0** **(21.8)**
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
삽교6	최대수심		1.62	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.41	1.25	1.25	1.25
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	23.8 (15.0)	23.8 (15.0)	23.8 (15.0)	23.8 (15.0)	23.8 (15.0)	23.8 (15.0)	22.7 (15.8)	21.9 (16.5)	21.9 (16.5)	21.9 (16.5)
		0.3m ~ 0.5m	**22.3** **(12.8)**	**22.3** **(12.8)**	**22.3** **(12.8)**	**22.3** **(12.8)**	**22.3** **(12.8)**	**22.3** **(12.8)**	**21.3** **(13.3)**	**17.7** **(13.7)**	**17.7** **(13.7)**	**17.7** **(13.7)**
		0.5m ~ 0.7m	21.3 (10.7)	21.3 (10.7)	21.3 (10.7)	21.3 (10.7)	21.3 (10.7)	21.3 (10.7)	17.1 (11.0)	16.2 (11.2)	16.2 (11.2)	16.2 (11.2)
		0.7m ~ 1.0m	17.1 (8.7)	17.1 (8.7)	17.1 (8.7)	17.1 (8.7)	17.1 (8.7)	17.1 (8.7)	16.0 (8.3)	15.3 (7.8)	15.3 (7.8)	15.3 (7.8)
		1.0m 이상	15.6 (6.7)	15.6 (6.7)	15.6 (6.7)	15.6 (6.7)	15.6 (6.7)	15.6 (6.7)	14.6 (5.8)	13.8 (4.8)	13.8 (4.8)	13.8 (4.8)

【주】( ) 안의 값은 침수시간(hr) 임.

<표 14.41> 유역종합치수계획 대안별 자연배수 지역의 침수특성 비교 (계속)

소구역	구 분		유역종합치수계획 대안별 침수면적 (ha)									
			시행전	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
무한1	최대수심		1.56	0.70	0.70	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.66	1.55
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	7.8 (14.0)	3.9 (25.3)	3.9 (25.3)	3.9 (25.5)	3.9 (25.5)	3.9 (25.5)	3.9 (25.5)	3.9 (25.5)	3.8 (25.5)	7.7 (14.0)
		0.3m ~ 0.5m	**5.7** **(13.3)**	**3.3** **(24.0)**	**3.3** **(24.0)**	**3.3** **(18.2)**	**3.3** **(18.2)**	**3.3** **(18.2)**	**3.3** **(18.2)**	**3.3** **(18.3)**	**3.3** **(17.5)**	**5.7** **(13.2)**
		0.5m ~ 0.7m	**4.8** **(12.8)**	3.0 (9.7)	3.0 (8.0)	2.9 (7.5)	2.9 (7.5)	2.9 (7.5)	2.9 (7.3)	2.9 (7.3)	2.9 (7.0)	**4.8** **(12.7)**
		0.7m ~ 1.0m	**4.3** **(12.0)**	2.6 (2.2)	2.6 (2.2)	- -	- -	- -	- -	- -	- -	**4.3** **(12.0)**
		1.0m 이상	3.6 (10.8)	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	3.6 (10.8)
무한2	최대수심		1.73	0.65	0.65	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	1.66
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	15.9 (13.7)	9.6 (25.0)	9.6 (25.0)	9.4 (25.2)	9.4 (25.2)	9.4 (25.2)	9.4 (25.2)	9.4 (25.2)	9.4 (25.2)	15.6 (13.7)
		0.3m ~ 0.5m	**14.3** **(13.0)**	**7.9** **(14.8)**	**7.9** **(14.2)**	**7.9** **(12.3)**	**7.9** **(12.3)**	**7.9** **(12.3)**	**7.9** **(12.3)**	**7.9** **(12.3)**	**7.9** **(12.0)**	**13.9** **(13.0)**
		0.5m ~ 0.7m	**13.1** **(12.5)**	3.2 (6.0)	3.2 (6.0)	3.2 (5.5)	3.2 (5.5)	3.2 (5.5)	3.2 (5.5)	3.2 (5.5)	3.2 (5.7)	**12.7** **(12.5)**
		0.7m ~ 1.0m	11.9 (11.8)	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	11.4 (11.8)
		1.0m 이상	10.1 (10.5)	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	9.6 (10.7)
입침	최대수심		1.22	1.20	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.13	1.18
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	20.3 (17.3)	19.7 (12.2)	19.1 (11.7)	19.1 (11.7)	19.1 (11.7)	19.1 (11.7)	19.1 (11.7)	19.1 (11.7)	18.8 (11.5)	19.5 (11.7)
		0.3m ~ 0.5m	**16.1** **(15.3)**	16.1 (10.2)	16.0 (9.7)	16.0 (9.7)	16.0 (9.7)	16.0 (9.7)	16.0 (9.7)	16.0 (9.7)	15.9 (9.5)	15.9 (9.8)
		0.5m ~ 0.7m	**15.6** **(14.0)**	15.5 (9.0)	15.4 (8.7)	15.4 (8.7)	15.4 (8.7)	15.4 (8.7)	15.4 (8.7)	15.4 (8.7)	15.3 (8.5)	15.4 (8.5)
		0.7m ~ 1.0m	9.0 (7.8)	8.7 (7.5)	8.4 (7.3)	8.4 (7.3)	8.4 (7.3)	8.4 (7.3)	8.4 (7.3)	8.4 (7.3)	7.9 (7.0)	8.2 (7.2)
		1.0m 이상	6.0 (4.8)	5.9 (4.5)	5.8 (4.0)	5.8 (4.0)	5.8 (4.0)	5.8 (4.0)	5.8 (4.0)	5.8 (4.0)	5.7 (3.5)	5.8 (3.8)
곡교1	최대수심		1.50	1.48	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	368.8 (26.3)	364.4 (26.8)	347.3 (22.0)	347.3 (22.0)	347.3 (22.0)	347.3 (22.0)	347.3 (22.0)	347.3 (22.0)	347.3 (22.0)	347.3 (21.8)
		0.3m ~ 0.5m	**261.2** **(24.2)**	**240.3** **(24.5)**	**225.8** **(19.5)**	**225.8** **(19.2)**	**225.8** **(19.2)**	**225.8** **(19.2)**	**225.8** **(19.3)**	**225.8** **(19.2)**	**225.8** **(19.0)**	**225.8** **(17.7)**
		0.5m ~ 0.7m	**179.6** **(17.5)**	**151.0** **(17.7)**	**141.4** **(12.8)**	**141.4** **(12.8)**	**141.4** **(12.8)**	**141.4** **(12.8)**	**141.4** **(12.8)**	**141.4** **(12.8)**	**141.4** **(12.8)**	**141.4** **(13.0)**
		0.7m ~ 1.0m	**130.4** **(13.5)**	**124.5** **(13.3)**	116.4 (11.5)	116.4 (11.5)	116.4 (11.5)	116.4 (11.5)	116.4 (11.5)	116.4 (11.5)	116.4 (11.5)	116.4 (11.5)
		1.0m 이상	51.3 (11.5)	28.4 (11.3)	25.3 (8.5)	25.3 (8.5)	25.3 (8.5)	25.3 (8.5)	25.3 (8.7)	25.3 (8.7)	25.3 (8.5)	25.3 (8.7)

【주】( ) 안의 값은 침수시간(hr) 임.

<표 14.41> 유역종합치수계획 대안별 자연배수 지역의 침수특성 비교 (계속)

소구역	구 분		유역종합치수계획 대안별 침수면적 (ha)									
			시행전	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
곡교3	최대수심		1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	65.8 (16.7)	65.8 (16.7)	65.8 (16.5)	65.8 (16.5)	65.8 (16.5)	65.8 (16.5)	65.8 (16.5)	65.8 (16.5)	65.8 (16.5)	65.8 (16.5)
		0.3m ~ 0.5m	**65.4** **(14.8)**	**65.4** **(14.8)**	**65.4** **(14.7)**	**65.4** **(14.7)**	**65.4** **(14.7)**	**65.4** **(14.7)**	**65.4** **(14.7)**	**65.4** **(14.7)**	**65.4** **(14.7)**	**65.4** **(14.7)**
		0.5m ~ 0.7m	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**	**65.0** **(13.5)**
		0.7m ~ 1.0m	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**	**64.7** **(12.0)**
		1.0m 이상	56.2 (8.2)	56.2 (8.0)	56.2 (8.0)	56.2 (8.0)	56.2 (8.0)	56.2 (8.0)	56.2 (8.0)	56.2 (8.0)	56.2 (8.0)	56.2 (8.0)
하평2	최대수심		0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	437.6 (23.7)	437.6 (28.2)	437.6 (27.5)	437.6 (27.8)	437.6 (27.8)	437.6 (27.8)	437.6 (28.0)	437.6 (28.0)	437.6 (27.7)	437.6 (21.2)
		0.3m ~ 0.5m	**283.5** **(17.7)**	**283.5** **(21.8)**	**283.5** **(21.2)**	**283.5** **(21.2)**	**283.5** **(21.2)**	**283.5** **(21.2)**	**283.5** **(21.5)**	**283.5** **(21.8)**	**283.5** **(20.8)**	**283.5** **(14.0)**
		0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
하평1	최대수심		1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10	1.10
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	152.8 (16.7)	152.8 (16.2)	152.8 (16.2)	152.8 (16.2)	152.8 (16.2)	152.8 (16.2)	152.8 (16.3)	152.8 (16.3)	116.0 (14.8)	116.0 (15.0)
		0.3m ~ 0.5m	**61.2** **(15.8)**	**61.2** **(15.7)**	**61.2** **(15.7)**	**61.2** **(15.7)**	**61.2** **(15.7)**	**61.2** **(15.7)**	**61.2** **(15.7)**	**61.2** **(15.7)**	**59.9** **(14.2)**	**61.2** **(14.3)**
		0.5m ~ 0.7m	**13.5** **(15.2)**	**13.5** **(14.8)**	**13.5** **(14.8)**	**13.5** **(14.8)**	**13.5** **(14.8)**	**13.5** **(14.8)**	**13.5** **(14.8)**	**13.5** **(14.8)**	**13.0** **(13.8)**	**13.5** **(13.8)**
		0.7m ~ 1.0m	**3.3** **(13.8)**	**3.3** **(13.7)**	**3.3** **(13.7)**	**3.3** **(13.7)**	**3.3** **(13.7)**	**3.3** **(13.7)**	**3.3** **(13.8)**	**3.3** **(13.8)**	**3.2** **(12.7)**	**3.3** **(12.8)**
		1.0m 이상	0.4 (6.3)	0.4 (6.3)	0.4 (6.3)	0.4 (6.3)	0.4 (6.3)	0.4 (6.3)	0.4 (6.3)	0.4 (6.3)	0.0 (5.3)	0.4 (5.3)
신석	최대수심		0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	193.8 (22.5)	193.1 (23.5)	193.1 (23.2)	193.1 (23.0)	193.1 (23.0)	193.1 (23.0)	193.1 (24.2)	193.1 (25.0)	193.1 (21.3)	193.1 (21.3)
		0.3m ~ 0.5m	**125.5** **(16.2)**	**124.8** **(16.5)**	**124.8** **(16.3)**	**124.8** **(16.2)**	**124.8** **(16.2)**	**124.8** **(16.2)**	**124.8** **(16.7)**	**124.8** **(16.7)**	**124.8** **(12.8)**	**124.8** **(13.5)**
		0.5m ~ 0.7m	86.1 (3.3)	85.4 (2.8)	85.4 (2.8)	85.4 (2.8)	85.4 (2.8)	85.4 (2.8)	85.4 (3.2)	85.4 (3.3)	85.4 (1.7)	85.4 (2.2)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

【주】( ) 안의 값은 침수시간(hr) 임.

<표 14.42> 유역종합치수계획 대안별 강제배제 지역의 침수특성 비교

소구역	구 분		유역종합치수계획 대안별 침수면적 (ha)									
			시행전	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
중예1	최대수심		0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	52.3 (20.7)	52.0 (20.7)	52.0 (20.7)	52.0 (20.7)	52.0 (20.7)	52.0 (20.7)	52.0 (20.7)	52.0 (20.7)	52.0 (20.3)	52.0 (20.7)
		0.3m ~ 0.5m	**32.8** **(15.5)**	**32.8** **(15.5)**	**32.8** **(15.5)**	**32.8** **(15.5)**	**32.8** **(15.5)**	**32.8** **(15.5)**	**32.8** **(15.5)**	**32.8** **(15.5)**	**32.8** **(15.3)**	**32.8** **(15.5)**
		0.5m ~ 0.7m	**25.8** **(12.0)**	25.8 (11.7)	25.8 (11.7)	25.8 (11.7)	25.8 (11.7)	25.8 (11.7)	**25.8** **(12.0)**	**25.8** **(12.0)**	25.8 (11.7)	25.8 (11.7)
		0.7m ~ 1.0m	21.5 (7.5)	21.5 (7.5)	21.5 (7.5)	21.5 (7.5)	21.5 (7.5)	21.5 (7.5)	21.5 (7.5)	21.5 (7.5)	21.5 (7.3)	21.5 (7.5)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
용리1	최대수심		1.29	1.28	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	80.7 (30.3)	80.6 (30.5)	80.7 (30.5)	80.7 (30.5)	80.7 (30.5)	80.7 (30.5)	80.7 (31.5)	80.7 (32.3)	80.7 (31.7)	80.7 (31.3)
		0.3m ~ 0.5m	**68.6** **(27.0)**	**68.0** **(27.0)**	**68.0** **(27.0)**	**68.0** **(27.0)**	**68.0** **(27.0)**	**68.0** **(27.0)**	**68.0** **(27.8)**	**68.0** **(28.7)**	**68.0** **(28.3)**	**68.0** **(28.2)**
		0.5m ~ 0.7m	**59.4** **(24.8)**	**59.1** **(24.8)**	**59.1** **(24.8)**	**59.1** **(24.8)**	**59.1** **(24.8)**	**59.1** **(24.8)**	**59.1** **(25.7)**	**59.1** **(26.5)**	**59.1** **(26.3)**	**59.1** **(26.2)**
		0.7m ~ 1.0m	**53.8** **(22.5)**	**53.6** **(22.3)**	**53.6** **(22.3)**	**53.6** **(22.3)**	**53.6** **(22.3)**	**53.6** **(22.3)**	**53.6** **(23.5)**	**53.6** **(24.3)**	**53.6** **(24.2)**	**53.6** **(24.2)**
		1.0m 이상	**32.4** **(18.7)**	**31.9** **(18.7)**	**31.9** **(18.7)**	**31.9** **(18.7)**	**31.9** **(18.7)**	**31.9** **(18.7)**	**31.9** **(19.7)**	**31.9** **(20.7)**	**31.9** **(20.5)**	**31.9** **(20.5)**
하포2	최대수심		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)	64.7 (15.7)
		0.3m ~ 0.5m	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**	**20.6** **(14.7)**
		0.5m ~ 0.7m	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**	**11.7** **(12.3)**
		0.7m ~ 1.0m	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)	3.0 (8.3)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
용리2	최대수심		0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	75.1 (29.2)	74.6 (29.2)	75.1 (29.2)	75.1 (29.2)	75.1 (29.2)	75.1 (29.2)	75.1 (30.2)	75.1 (31.0)	75.1 (30.7)	75.1 (30.5)
		0.3m ~ 0.5m	**57.0** **(26.7)**	**56.7** **(26.7)**	**56.7** **(26.7)**	**56.7** **(26.7)**	**56.7** **(26.7)**	**56.7** **(26.7)**	**56.7** **(27.5)**	**56.7** **(28.3)**	**56.7** **(28.2)**	**56.7** **(28.0)**
		0.5m ~ 0.7m	**51.0** **(24.0)**	**50.8** **(24.0)**	**50.8** **(24.0)**	**50.8** **(24.0)**	**50.8** **(24.0)**	**50.8** **(24.0)**	**50.8** **(24.8)**	**50.8** **(25.8)**	**50.8** **(25.7)**	**50.8** **(25.7)**
		0.7m ~ 1.0m	**28.9** **(20.8)**	**28.6** **(20.8)**	**28.6** **(20.7)**	**28.6** **(20.7)**	**28.6** **(20.7)**	**28.6** **(20.7)**	**28.6** **(21.8)**	**28.6** **(22.8)**	**28.6** **(22.7)**	**28.6** **(22.7)**
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

【주】( ) 안의 값은 침수시간(hr) 임.

<표 14.42> 유역종합치수계획 대안별 강제배제 지역의 침수특성 비교 (계속)

소구역	구 분		유역종합치수계획 대안별 침수면적 (ha)									
			시행전	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
성리1	최대수심		0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.92
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	113.6 (23.5)	113.6 (23.2)	113.6 (23.2)	113.6 (23.2)	113.6 (23.2)	113.6 (23.2)	113.6 (24.3)	113.6 (25.3)	113.6 (25.2)	114.4 (25.2)
		0.3m ~ 0.5m	**74.7** **(20.5)**	**74.7** **(20.3)**	**74.7** **(20.3)**	**74.7** **(20.3)**	**74.7** **(20.3)**	**74.7** **(20.3)**	**74.7** **(21.7)**	**74.7** **(22.5)**	**74.7** **(22.3)**	**75.5** **(22.3)**
		0.5m ~ 0.7m	**47.6** **(18.2)**	**47.6** **(18.2)**	**47.6** **(18.2)**	**47.6** **(18.2)**	**47.6** **(18.2)**	**47.6** **(18.2)**	**47.6** **(19.5)**	**47.6** **(20.2)**	**47.6** **(20.0)**	**48.3** **(20.0)**
		0.7m ~ 1.0m	**26.8** **(15.3)**	**26.8** **(15.3)**	**26.8** **(15.3)**	**26.8** **(15.3)**	**26.8** **(15.3)**	**26.8** **(15.3)**	**26.8** **(16.5)**	**26.8** **(17.3)**	**26.8** **(17.2)**	**27.5** **(17.2)**
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
용동1	최대수심		1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.05	1.04	1.04
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	92.5 (16.5)	92.5 (16.2)	92.5 (16.0)	92.5 (16.0)	92.5 (16.0)	92.5 (16.0)	92.5 (16.5)	92.5 (16.7)	92.3 (16.3)	92.3 (16.5)
		0.3m ~ 0.5m	**86.1** **(14.8)**	**86.1** **(14.5)**	**86.1** **(14.3)**	**86.1** **(14.3)**	**86.1** **(14.3)**	**86.1** **(14.3)**	**86.1** **(14.8)**	**86.1** **(15.0)**	**85.9** **(14.8)**	**85.9** **(15.0)**
		0.5m ~ 0.7m	**53.6** **(13.2)**	**53.6** **(12.7)**	**53.6** **(12.5)**	**53.6** **(12.5)**	**53.6** **(12.5)**	**53.6** **(12.5)**	**53.6** **(13.0)**	**53.6** **(13.2)**	**52.2** **(12.8)**	**52.2** **(13.0)**
		0.7m ~ 1.0m	13.8 (10.3)	13.8 (9.8)	13.8 (9.7)	13.8 (9.7)	13.8 (9.7)	13.8 (9.7)	13.8 (9.7)	13.8 (9.7)	13.3 (9.3)	13.3 (9.5)
		1.0m 이상	2.2 (4.0)	2.2 (3.8)	2.2 (3.8)	2.2 (3.8)	2.2 (3.8)	2.2 (3.8)	2.2 (3.3)	2.2 (3.0)	2.0 (2.5)	2.0 (2.5)
성리2	최대수심		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	38.5 (19.3)	38.5 (19.2)	38.5 (19.2)	38.5 (19.2)	38.5 (19.2)	38.5 (19.2)	38.5 (20.7)	38.5 (21.5)	38.5 (21.5)	38.5 (21.5)
		0.3m ~ 0.5m	**26.0** **(17.3)**	**26.0** **(17.3)**	**26.0** **(17.3)**	**26.0** **(17.3)**	**26.0** **(17.3)**	**26.0** **(17.3)**	**26.0** **(18.2)**	**26.0** **(19.0)**	**26.0** **(18.8)**	**26.0** **(18.8)**
		0.5m ~ 0.7m	**15.5** **(14.7)**	**15.5** **(14.5)**	**15.5** **(14.5)**	**15.5** **(14.5)**	**15.5** **(14.5)**	**15.5** **(14.5)**	**15.5** **(15.2)**	**15.5** **(15.5)**	**15.5** **(15.3)**	**15.5** **(15.5)**
		0.7m ~ 1.0m	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)	4.3 (4.7)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
신가	최대수심		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	35.0 (14.3)	35.0 (14.3)	35.0 (14.3)	35.0 (14.5)	35.0 (14.5)	35.0 (14.5)	35.0 (15.2)	35.0 (15.5)	35.0 (15.3)	35.0 (15.3)
		0.3m ~ 0.5m	**14.4** **(12.0)**	**14.4** **(12.0)**	**14.4** **(12.0)**	**14.4** **(12.0)**	**14.4** **(12.0)**	**14.4** **(12.0)**	**14.4** **(12.7)**	**14.4** **(13.0)**	**14.4** **(13.0)**	**14.4** **(13.0)**
		0.5m ~ 0.7m	12.3 (9.3)	12.3 (9.3)	12.3 (9.3)	12.3 (9.3)	12.3 (9.3)	12.3 (9.3)	12.3 (9.8)	12.3 (10.2)	12.3 (10.2)	12.3 (10.2)
		0.7m ~ 1.0m	3.4 (4.3)	3.4 (4.3)	3.4 (4.3)	3.4 (4.3)	3.4 (4.3)	3.4 (4.3)	3.4 (4.5)	3.4 (4.5)	3.4 (4.5)	3.4 (4.5)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

【주】( ) 안의 값은 침수시간(hr) 임.

<표 14.42> 유역종합치수계획 대안별 강제배제 지역의 침수특성 비교 (계속)

소구역	구 분		유역종합치수계획 대안별 침수면적 (ha)									
			시행전	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
종경	최대수심		1.55	1.55	1.55	1.54	1.54	1.54	1.53	1.53	1.52	1.55
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	208.6 (19.3)	208.6 (24.7)	208.6 (23.8)	207.2 (23.5)	207.2 (23.5)	207.2 (23.5)	205.8 (23.3)	205.8 (23.2)	204.6 (23.0)	208.6 (18.8)
		0.3m ~ 0.5m	**144.3** **(16.5)**	**144.3** **(20.8)**	**144.3** **(20.3)**	**144.3** **(20.0)**	**144.3** **(20.0)**	**144.3** **(20.0)**	**143.4** **(20.0)**	**143.4** **(19.8)**	**141.4** **(19.5)**	**144.3** **(16.3)**
		0.5m ~ 0.7m	**113.8** **(15.8)**	**113.8** **(18.5)**	**113.8** **(17.8)**	**113.8** **(17.7)**	**113.8** **(17.7)**	**113.8** **(17.7)**	**112.8** **(17.5)**	**112.8** **(17.5)**	**111.0** **(17.0)**	**113.8** **(15.7)**
		0.7m ~ 1.0m	**71.4** **(15.0)**	**71.4** **(16.2)**	**71.4** **(15.7)**	**71.4** **(15.3)**	**71.4** **(15.3)**	**71.4** **(15.3)**	**71.0** **(15.3)**	**71.0** **(15.3)**	**70.1** **(14.8)**	**71.4** **(14.8)**
		1.0m 이상	**57.7** **(13.5)**	**57.7** **(12.0)**	57.7 (11.5)	57.7 (11.2)	57.7 (11.2)	57.7 (11.2)	57.5 (11.2)	57.5 (11.2)	57.0 (10.7)	**57.7** **(13.5)**
창소	최대수심		1.83	1.24	1.24	1.25	1.25	1.25	1.25	1.24	1.22	1.75
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	21.1 (15.2)	15.9 (12.7)	16.1 (12.7)	15.9 (12.5)	15.9 (12.5)	15.9 (12.5)	15.9 (12.5)	15.9 (12.5)	15.7 (12.3)	20.3 (14.8)
		0.3m ~ 0.5m	**18.1** **(13.7)**	13.8 (11.7)	14.0 (11.7)	13.3 (11.5)	13.3 (11.5)	13.3 (11.5)	14.0 (11.5)	13.8 (11.5)	13.8 (11.3)	**17.5** **(13.3)**
		0.5m ~ 0.7m	**16.5** **(13.0)**	12.5 (10.7)	12.7 (10.7)	11.9 (10.5)	11.9 (10.5)	11.9 (10.5)	12.6 (10.5)	12.5 (10.5)	12.4 (10.2)	**16.0** **(12.7)**
		0.7m ~ 1.0m	**15.1** **(12.2)**	11.0 (9.5)	11.3 (9.3)	10.5 (9.0)	10.5 (9.0)	10.5 (9.0)	11.2 (8.0)	11.0 (7.7)	10.9 (7.2)	14.6 (11.7)
		1.0m 이상	13.1 (10.5)	9.0 (3.3)	9.1 (3.3)	8.3 (2.5)	8.3 (2.5)	8.3 (2.5)	9.1 (1.8)	9.0 (1.2)	8.9 (0.1)	12.6 (10.2)
탄중	최대수심		0.65	0.65	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.62	0.65
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	34.5 (14.0)	34.5 (13.7)	34.5 (13.0)	34.1 (12.8)	34.1 (12.8)	34.1 (12.8)	34.1 (12.7)	34.1 (12.7)	33.6 (12.2)	34.5 (13.8)
		0.3m ~ 0.5m	**20.7** **(12.2)**	20.7 (9.2)	20.7 (8.5)	20.7 (8.2)	20.7 (8.2)	20.7 (8.2)	20.7 (8.0)	20.7 (7.8)	20.1 (6.8)	**20.7** **(12.2)**
		0.5m ~ 0.7m	15.4 (9.5)	15.4 (4.3)	15.4 (4.0)	15.4 (3.7)	15.4 (3.7)	15.4 (3.7)	15.4 (3.5)	15.4 (3.5)	14.9 (3.0)	15.4 (9.5)
		0.7m ~ 1.0m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
원평	최대수심		1.76	0.90	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	1.72
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	25.1 (15.7)	5.6 (11.8)	6.0 (11.7)	6.0 (11.7)	6.0 (11.7)	6.0 (11.7)	6.0 (11.3)	6.0 (11.5)	6.0 (11.7)	23.6 (15.5)
		0.3m ~ 0.5m	**18.4** **(14.5)**	3.3 (10.0)	3.8 (9.8)	3.8 (9.8)	3.8 (9.8)	3.8 (9.8)	3.8 (9.7)	3.8 (9.3)	3.8 (9.8)	**17.3** **(14.3)**
		0.5m ~ 0.7m	**11.5** **(13.5)**	2.1 (6.2)	2.6 (6.0)	2.6 (5.7)	2.6 (5.7)	2.6 (5.7)	2.6 (5.3)	2.6 (5.2)	2.6 (5.8)	**10.7** **(13.5)**
		0.7m ~ 1.0m	**7.2** **(12.0)**	1.3 0.0	1.6 0.0	1.6 0.0	1.6 0.0	1.6 0.0	1.6 0.0	1.6 0.0	1.6 0.0	6.9 (11.8)
		1.0m 이상	4.4 (10.8)	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	4.2 (10.8)

【주】( ) 안의 값은 침수시간(hr) 임.

<표 14.42> 유역종합치수계획 대안별 강제배제 지역의 침수특성 비교 (계속)

소구역	구 분		유역종합치수계획 대안별 침수면적 (ha)									
			시행전	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7	대안 8	대안 9
신창	최대수심		1.33	1.33	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	144.5 (18.0)	145.0 (18.2)	144.5 (18.0)	144.5 (18.2)	144.5 (18.2)	144.5 (18.2)	144.5 (18.2)	144.5 (18.0)	144.5 (18.2)	144.5 (18.2)
		0.3m ~ 0.5m	100.9 **(16.7)**	100.9 **(16.7)**	100.9 **(16.5)**	100.9 **(16.5)**	100.9 **(16.5)**	100.9 **(16.5)**	100.9 **(16.5)**	100.9 **(16.5)**	100.9 **(16.5)**	100.9 **(16.5)**
		0.5m ~ 0.7m	**52.2** **(15.5)**	**52.2** **(15.5)**	**52.2** **(15.3)**	**52.2** **(15.3)**	**52.2** **(15.3)**	**52.2** **(15.3)**	**52.2** **(15.3)**	**52.2** **(15.3)**	**52.2** **(15.3)**	**52.2** **(15.3)**
		0.7m ~ 1.0m	**39.6** **(14.3)**	**39.6** **(14.2)**	**39.6** **(14.2)**	**39.6** **(14.2)**	**39.6** **(14.2)**	**39.6** **(14.2)**	**39.6** **(14.2)**	**39.6** **(14.2)**	**39.6** **(14.2)**	**39.6** **(14.2)**
		1.0m 이상	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)	16.0 (11.7)
염성	최대수심		0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
	침수심별 침수면적 (ha)	0.3m 이하	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)	56.8 (18.8)
		0.3m ~ 0.5m	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**	**34.5** **(15.0)**
		0.5m ~ 0.7m	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**	**24.4** **(13.2)**
		0.7m ~ 1.0m	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)	20.8 (10.8)
		1.0m 이상	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

【주】( ) 안의 값은 침수시간(hr) 임.

유역종합치수계획의 대안별 내수침수 개선 효과는 예당지만 증고 하는 '대안 1'을 시행할 경우 무한천 중상류 구간에 위치한 저지대에서 나타나며, 삽교호 배수갑문을 증설하면 삽교호 주변 저지대의 침수해소에 효과가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 다른 홍수방어 대안요소는 하천변 저지대의 내수침수에 큰 역할을 하지 못하는 것으로 파악되었다.

특히, 삽교천 상류부에 위치한 홍동 저수지와 홍양 저수지를 증고 할 경우 하천의 홍수위는 저하하지만 그 영향으로 홍수위 지속시간이 증가하여 삽교천 중상류부의 내수침수 상황은 오히려 악화되며, 예당지 증고의 대안으로서 계획한 하부지 설치의 경우 무한천 중상류부 저지대의 내수침수 개선에 큰 효과를 기대할 수 없는 것으로 나타났다.

즉 분석대상 25개 치수단위소유역중 예당지 증고만 계획된 '대안 1'을 시행할 경우 침수심 0.3~0.5m의 침수시간이 12시간 이내로 단축된 치수단위소구역은 4개소이며, 0.5~0.8m의 침수심이 12시간 이내로 단축된 치수단위소구역은 8개소에 달했다. 여기에 삽교호 배수갑문을 증설할 경우 삽교호에 접한 '삽교 1'지구의 허용침수심 이상의 침수시간이 12시간 이내로 감소하는 효과가 발생한다. 그러나 다른 홍수방어 대안요소사업을 추

가할 경우 침수상황이 개선되는 치수단위소구역은 추가로 발생하지 않으며, 단지 침수면적의 감소가 아주 미미하게 나타날 뿐이다.

이러한 결과는 침수시간이 비교적 긴 대부분의 치수단위소구역들이 삽교호의 배수영향을 비교적 작게 받거나 배수영향권에서 벗어난 지역에 위치하여 유역종합치수계획(안)의 핵심인 삽교호 배수갑문 증설에 따른 삽교호 수위저하 효과가 크게 미치지 못하기 때문이다. 또한 삽교천과 곡교천은 예당지와 같이 규모가 큰 저류시설이 없어 상류의 홍수조절 효과가 크지 않은 것도 원인이라 할 수 있으며, 기존 농업용 저수지 증고와 같은 소극적인 대응으로는 목적한 치수효과를 얻는데 한계가 있음을 보여주고 있다.

같은 사유로 무한천 하구로부터 6~7km 상류에 위치한 '종경' 지구와 '무한 1, 2'지구 등은 삽교호의 배수영향권 경계에 위치하고 예당지에서도 약 10km 정도 떨어져 있어 삽교호 배수갑문 증설과 예당지 증고 효과가 모두 미치기 어려운 관계로 내수침수 상황이 개선되지 못하는 결과를 보이고 있다.

따라서, '11.2.2 배수시설'에서 검토한 바와 같이 허용침수심 이상의 침수시간이 24시간을 초과하는 삽교천 국가하천 구간 중상류부의 '하포 1', '용리 1, 2'지구의 내수침수 상황은 개선되지 못하므로 별도의 개선대책 수립이 필요하지만, 삽교호에 인접한 '곡교 1'지구는 사업의 효과로 침수시간이 약 5시간 단축하여 설계기준 이내에 들어오는 결과를 보이고 있다.

분석대상 치수단위소구역을 그 위치에 따라 6개의 군으로 구분하여 유역종합치수계획 대안 시행에 따른 내수침수 개선 효과를 비교하여 <표 14.43>~<표 14.45>에 수록하였다. 또한 전체 치수단위소구역에 대해 사업 시행전의 허용침수심 이상의 침수시간과 내수침수 개선에 가장 효과가 있는 '대안 8'을 시행 한 후의 침수시간을 분석하여 <그림 14.4>와 <그림 14.5>에 도시하였다.

<표 14.43> 유역종합치수계획(안) 시행에 따른 침수특성 변화 비교 (전체)

단위 : ha

하천명	침 수 심	시행전	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6	대안7	대안8	대안9
합계	0.3m ~ 0.5m	2511.2 (25)	2450.7 (21)	2290.0 (20)	2289.3 (20)	2289.3 (20)	2289.3 (20)	2288.0 (20)	2284.2 (20)	2281.2 (20)	2311.2 (23)
	0.5m ~ 0.7m	955.0 (19)	878.5 (11)	869.5 (11)	868.7 (11)	868.7 (11)	868.7 (11)	864.1 (12)	863.1 (12)	858.9 (11)	908.0 (15)
하구부	0.3m ~ 0.5m	120.2 (1)	112.2 (1)	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
곡교천 합류부	0.3m ~ 0.5m	780.9 (1)	758.1 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)
	0.5m ~ 0.7m	179.6 (1)	151.0 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)
무한천 합류부	0.3m ~ 0.5m	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)
	0.5m ~ 0.7m	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.0 (1)	13.5 (1)
삽교천 중상류	0.3m ~ 0.5m	604.7 (11)	603.3 (11)	603.3 (11)	603.3 (11)	603.3 (11)	603.3 (11)	602.3 (11)	598.6 (11)	598.4 (11)	599.2 (11)
	0.5m ~ 0.7m	429.6 (8)	428.4 (7)	428.4 (7)	428.4 (7)	428.4 (7)	428.4 (7)	424.2 (8)	423.3 (8)	421.9 (7)	422.5 (7)
곡교천 중상류	0.3m ~ 0.5m	200.7 (3)	200.7 (3)	200.7 (3)	200.7 (3)	200.7 (3)	200.7 (3)	200.7 (3)	200.7 (3)	200.7 (3)	200.7 (3)
	0.5m ~ 0.7m	141.6 (3)	141.6 (1)	141.6 (1)	141.6 (1)	141.6 (1)	141.6 (1)	141.6 (1)	141.6 (1)	141.6 (1)	141.6 (1)
무한천 중상류	0.3m ~ 0.5m	237.7 (7)	209.5 (3)	210.1 (3)	209.4 (3)	209.4 (3)	209.4 (3)	209.1 (3)	208.9 (3)	206.2 (3)	235.4 (6)
	0.5m ~ 0.7m	190.6 (6)	143.9 (1)	144.5 (1)	143.7 (1)	143.7 (1)	143.7 (1)	143.3 (1)	143.2 (1)	140.9 (1)	188.8 (5)

【주】 ( )안의 값은 침수지속시간이 12시간 이상인 치수단위소구역의 개소수임.

<표 14.44> 유역종합치수계획(안) 시행에 따른 침수특성 변화 비교 (자연배수 유역)

단위 : ha

하천명	침 수 심	시행전	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6	대안7	대안8	대안9
합계	0.3m ~ 0.5m	1101.9 (8)	1062.2 (7)	900.8 (6)	900.8 (6)	900.8 (6)	900.8 (6)	899.8 (6)	896.1 (6)	896.1 (6)	904.5 (6)
	0.5m ~ 0.7m	344.8 (6)	282.8 (3)	273.2 (3)	273.2 (3)	273.2 (3)	273.2 (3)	268.9 (3)	268.0 (3)	268.0 (3)	301.0 (5)
하구부	0.3m ~ 0.5m	120.2 (1)	112.2 (1)	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
곡교천 합류부	0.3m ~ 0.5m	780.9 (1)	758.1 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)	709.0 (1)
	0.5m ~ 0.7m	179.6 (1)	151.0 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)	141.4 (1)
무한천 합류부	0.3m ~ 0.5m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

【주】 ( )안의 값은 침수지속시간이 12시간 이상인 치수단위소구역의 개소수임.

<표 14.44> 유역종합치수계획(안) 시행에 따른 침수특성 변화 비교 (자연배수 유역) (계속)

단위 : ha

하천명	침 수 심	시행전	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6	대안7	대안8	대안9
삽교천 중상류	0.3m ~ 0.5m	99.2 (2)	99.2 (2)	99.2 (2)	99.2 (2)	99.2 (2)	99.2 (2)	98.2 (2)	94.6 (2)	94.6 (2)	94.6 (2)
	0.5m ~ 0.7m	66.7 (1)	66.7 (1)	66.7 (1)	66.7 (1)	66.7 (1)	66.7 (1)	62.5 (1)	61.5 (1)	61.5 (1)	61.5 (1)
곡교천 중상류	0.3m ~ 0.5m	65.4 (1)	65.4 (1)	65.4 (1)	65.4 (1)	65.4 (1)	65.4 (1)	65.4 (1)	65.4 (1)	65.4 (1)	65.4 (1)
	0.5m ~ 0.7m	65.0 (1)	65.0 (1)	65.0 (1)	65.0 (1)	65.0 (1)	65.0 (1)	65.0 (1)	65.0 (1)	65.0 (1)	65.0 (1)
무한천 중상류	0.3m ~ 0.5m	36.2 (3)	27.3 (2)	27.2 (2)	27.2 (2)	27.2 (2)	27.2 (2)	27.2 (2)	27.2 (2)	27.1 (2)	35.5 (2)
	0.5m ~ 0.7m	33.5 (3)	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	33.0 (2)

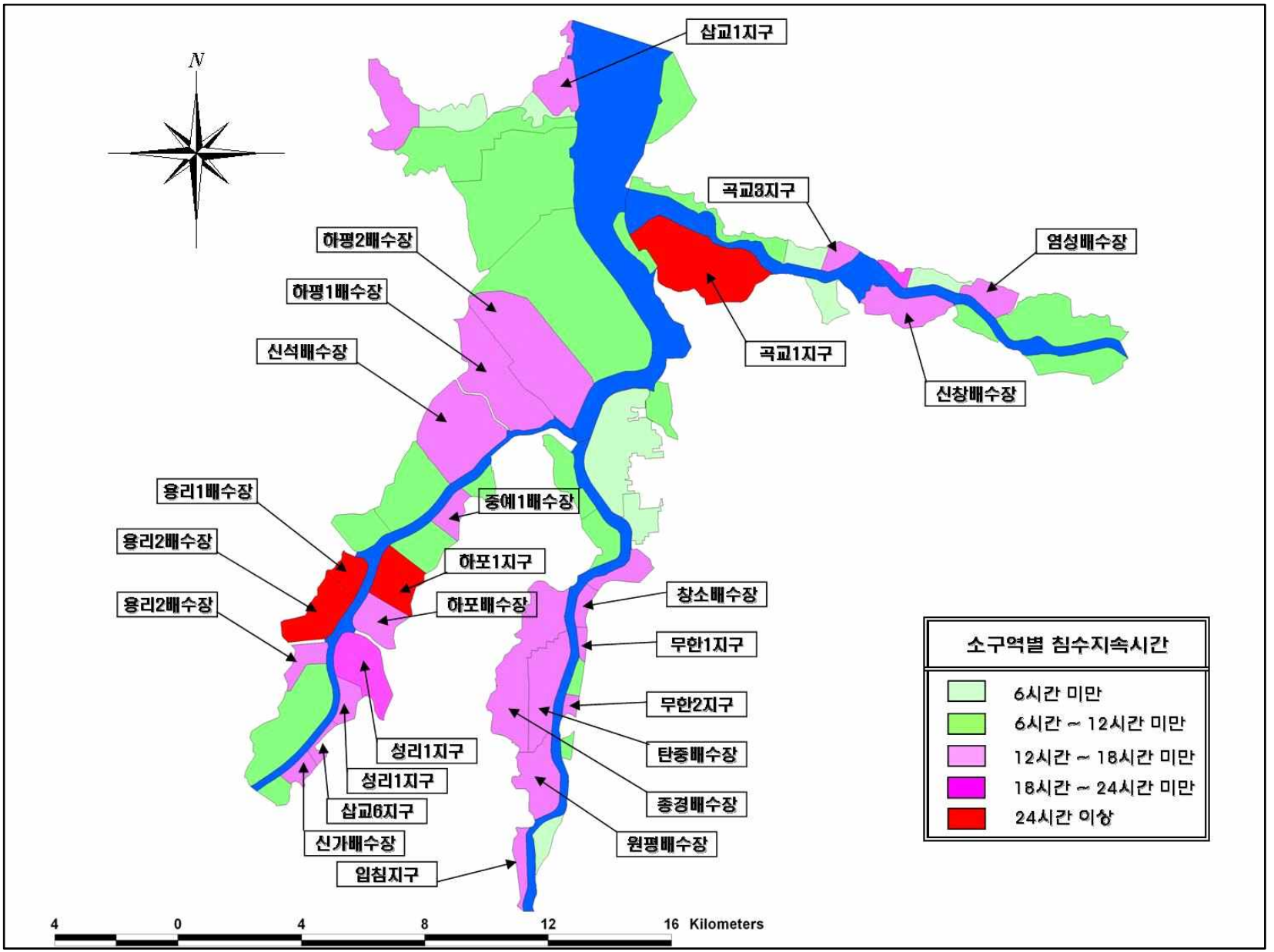
【주】 ( )안의 값은 침수지속시간이 12시간 이상인 치수단위소구역의 개소수임.

<표 14.45> 유역종합치수계획(안) 시행에 따른 침수특성 변화 비교 (강제배수 유역)

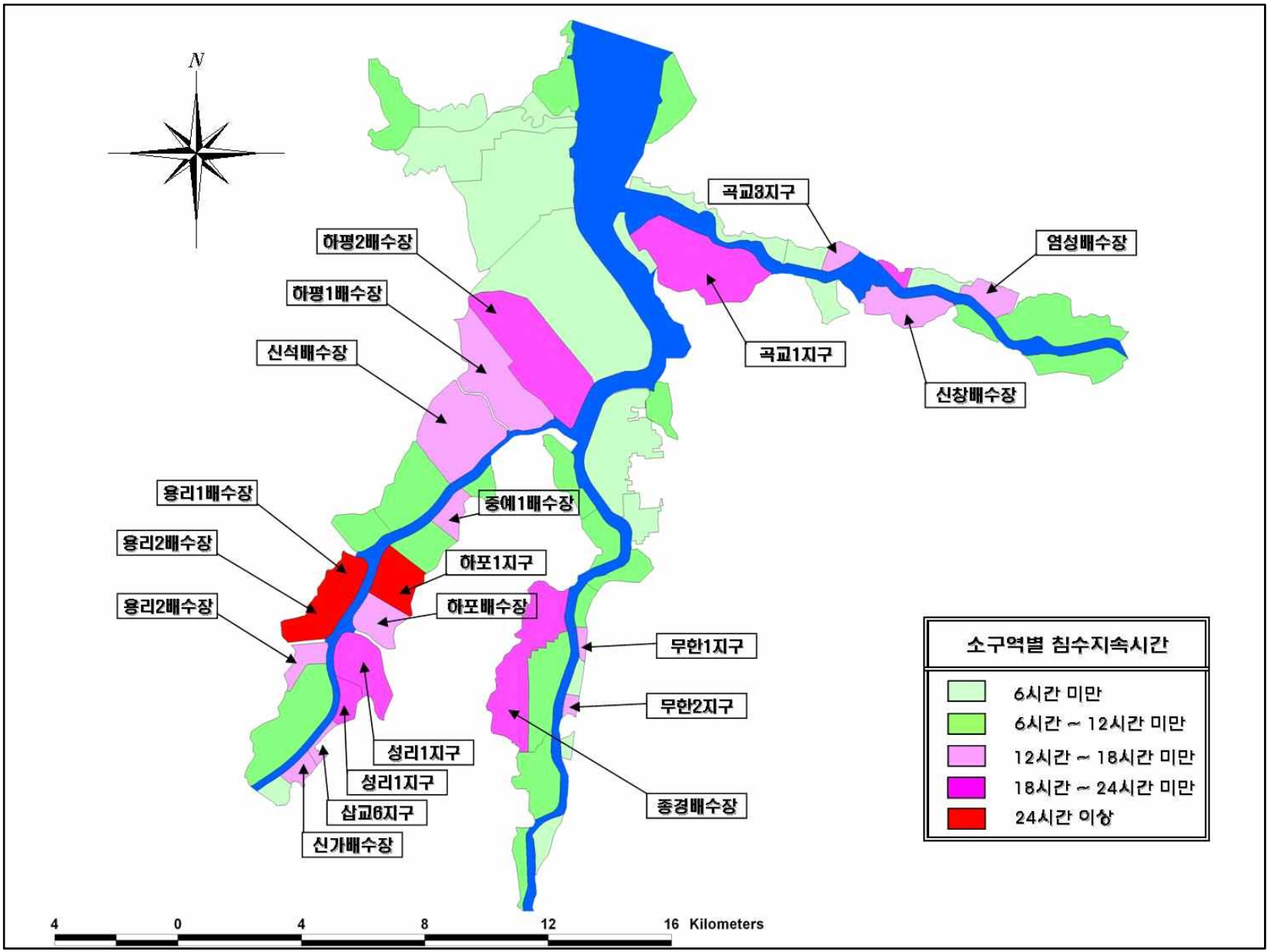
단위 : ha

하천명	침 수 심	시행전	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6	대안7	대안8	대안9
합계	0.3m ~ 0.5m	1409.3 (17)	1388.5 (14)	1389.2 (14)	1388.5 (14)	1388.5 (14)	1388.5 (14)	1388.2 (14)	1388.1 (14)	1385.2 (14)	1406.7 (17)
	0.5m ~ 0.7m	610.2 (13)	595.7 (8)	596.3 (8)	595.6 (8)	595.6 (8)	595.6 (8)	595.2 (9)	595.1 (9)	590.9 (8)	607.0 (10)
하구부	0.3m ~ 0.5m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
곡교천 합류부	0.3m ~ 0.5m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	0.5m ~ 0.7m	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
무한천 합류부	0.3m ~ 0.5m	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)	566.9 (2)
	0.5m ~ 0.7m	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.5 (1)	13.0 (1)	13.5 (1)
삽교천 중상류	0.3m ~ 0.5m	505.5 (9)	504.1 (9)	504.1 (9)	504.1 (9)	504.1 (9)	504.1 (9)	504.1 (9)	504.1 (9)	503.8 (9)	504.6 (9)
	0.5m ~ 0.7m	363.0 (7)	361.8 (6)	361.8 (6)	361.8 (6)	361.8 (6)	361.8 (6)	361.8 (7)	361.8 (7)	360.4 (6)	361.0 (6)
곡교천 중상류	0.3m ~ 0.5m	135.3 (2)	135.3 (2)	135.3 (2)	135.3 (2)	135.3 (2)	135.3 (2)	135.3 (2)	135.3 (2)	135.3 (2)	135.3 (2)
	0.5m ~ 0.7m	76.6 (2)	76.6 (2)	76.6 (2)	76.6 (2)	76.6 (2)	76.6 (2)	76.6 (2)	76.6 (2)	76.6 (2)	76.6 (2)
무한천 중상류	0.3m ~ 0.5m	201.5 (4)	182.2 (1)	182.9 (1)	182.2 (1)	182.2 (1)	182.2 (1)	181.9 (1)	181.8 (1)	179.1 (1)	199.8 (4)
	0.5m ~ 0.7m	157.2 (3)	143.9 (1)	144.5 (1)	143.7 (1)	143.7 (1)	143.7 (1)	143.3 (1)	143.2 (1)	140.9 (1)	155.9 (3)

【주】 ( )안의 값은 침수지속시간이 12시간 이상인 치수단위소구역의 개소수임.



<그림 14.4> 사업 시행 전 치수단위소구역별 침수지속시간

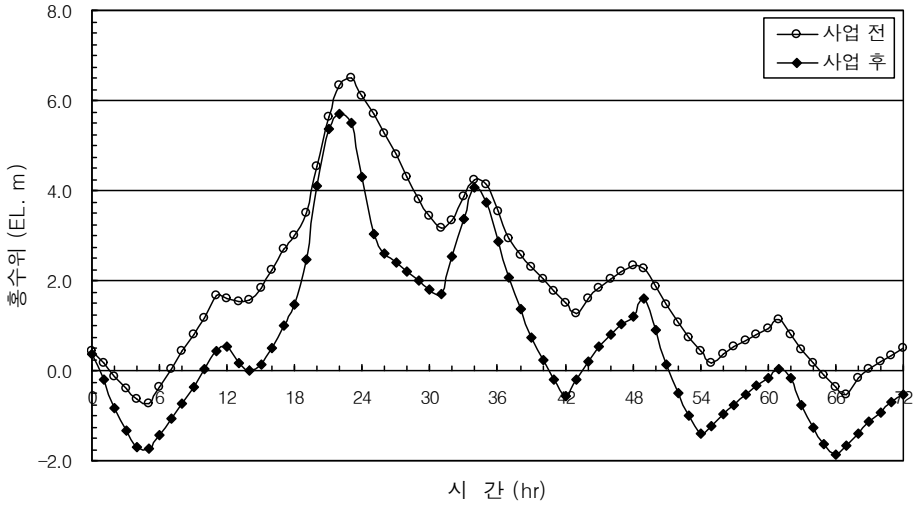


<그림 14.5> 사업 시행 후 치수단위소구역별 침수지속시간

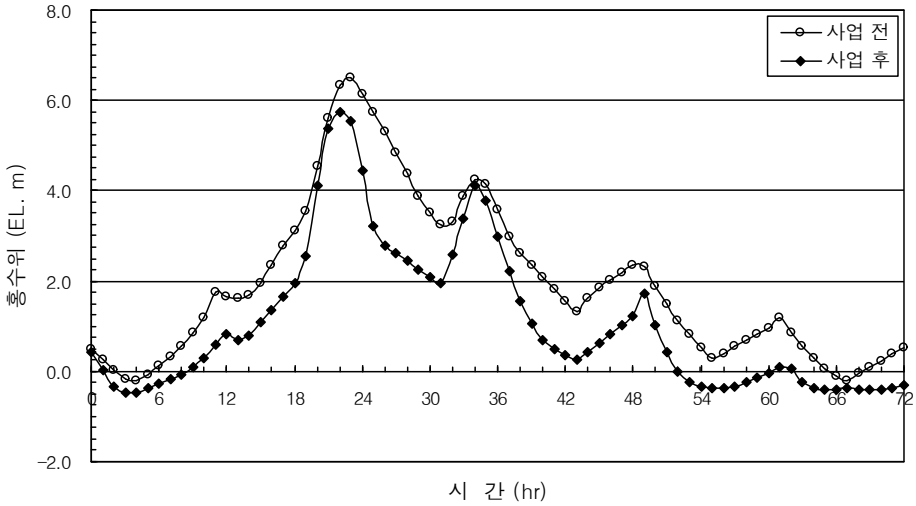
바. 홍수위 저하 효과 검토

본 과업의 목표연도인 2016년을 기준으로 산정한 삽교천의 기점홍수위에 해당하는 삽교호의 100년 빈도 첨두홍수위가 '94년 하천정비기본계획(보완) 당시에 비해 1.43m의 상승요인이 발생한 것을 감안하면, 삽교호의 배수영향을 받는 주요 하천의 중하류 구간은 삽교천과 곡교천의 국가하천 구간 여유고 1.2~1.5m, 무한천 국가하천 구간의 여유고 2.0m를 감안하더라도 외수범람에 대해 안전하다고 할 수 없는 상황이 발생하였다.

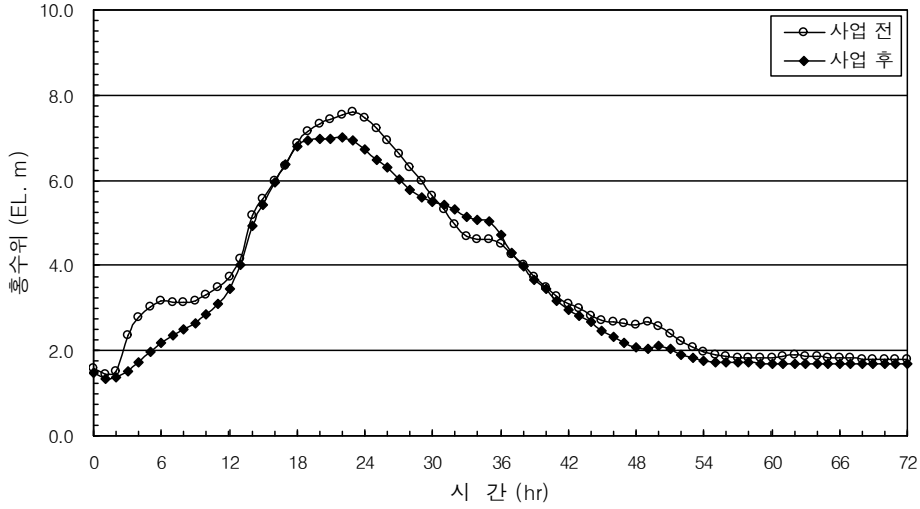
금회 산정한 100년 빈도 홍수위를 기준으로 삽교천과 곡교천 국가하천구간 및 무한천의 예당지 하류 구간의 기설 제방에 대해 평가한 결과 소요 여유고를 확보하지 못하는 구간이 삽교천 43.292km(양안), 곡교천 14.62km와 무한천 28.12km(양안)에 달하는 것으로 나타났다. 그러나 유역종합치수계획(안)을 시행할 경우 삽교호의 첨두홍수위는 100년 빈도 기준으로 최대 0.78m, 곡교천과 무한천 하구의 홍수위는 각각 0.78m와 0.59m 저하하여 그만큼 외수에 대한 안전성이 제고된다고 할 수 있다.



<그림 14.6> 삽교천 하구 지점의 사업전·후 수위수문곡선 비교



<그림 14.7> 곡교천 하구 지점의 사업전·후 수위수문곡선 비교



<그림 14.8> 무한천 하구 지점의 사업전·후 수위수문곡선 비교

다. 유역종합치수계획(안)의 경제성 분석

유역종합치수계획(안)의 대안별 편익을 산정하여 사업 시행에 소요되는 비용과 비교한 결과 예당지만을 증고하는 '대안 1'에 비해 홍수방어 대안요소 사업을 추가함에 따라 비용편익비(B/C)와 순현가(NPV)가 지속적으로 감소하지만, 하부지 설치를 제외한 8개의 홍수방어 대안요소사업을 모두 시행하는 '대안 8'의 까지는 비용편익비 1.06, 순현가 12,590백만원으로 사업에 소요되는 비용보다 예상되는 편익이 큰 것으로 분석되었다. 그러나 예당지 증고를 제외하고 그 대안 사업인 하부지를 설치할 경우는 비용편익비가 0.79, 순현가가 -39,831백만원으로 사업의 경제성이 매우 낮아지게 된다.

<표 14.46> 홍수방어 대안의 경제성 비교

단위 : 백만원

구 분	공사비	보상비	사업비	연간 유지관리비	총비용	연간 피해경감 기대액	편 익	비용 편익비 (B/C)	순현가 (NPV)
대안 1	31,706	19,649	51,355	656.1	66,975	2,864	122,792	1.83	55,817
대안 2	91,886	19,649	111,535	1410.7	156,369	4,093	185,183	1.18	28,814
대안 3	96,135	19,834	115,969	1465.4	162,303	4,135	188,116	1.16	25,813
대안 4	97,970	19,834	117,804	1548.7	167,590	4,208	192,031	1.15	24,441
대안 5	99,805	19,834	119,639	1638.3	172,975	4,260	196,183	1.13	23,207
대안 6	105,552	21,878	127,430	1716.4	183,432	4,300	202,879	1.11	19,447
대안 7	111,092	23,431	134,523	1792.8	193,114	4,527	215,086	1.11	21,972
대안 8	132,464	26,128	158,592	2068.8	223,552	4,894	236,142	1.06	12,590
대안 9	139,380	46,800	186,180	1807.4	189,690	2,872	149,859	0.79	-39,831

이러한 결과는 <표 14.28>에서 이미 검토한 바와 같이 비용편익비가 0.75에 불과할 정

도로 사업의 경제성이 낮은 하부지 설치 사업을 비용편익비가 1.83으로 가장 높고 순현가가 55,817백만원에 달하는 예당지 증고 사업에 대신해서 대안에 포함시켰기 때문으로, 유역종합치수계획(안)에서 예당지 증고 사업을 제외할 경우 사업의 경제성이 급격히 저하되는 것을 보여주고 있다.

따라서, 사업의 치수적인 효과 뿐 아니라 경제적인 측면에서도 예당지 증고 사업이 삽교천수계 유역종합치수계획의 핵심적인 요소가 되어야 함을 알 수 있으며, 그 효과로서 개별 사업으로는 경제성이 낮아 시행이 곤란한 삽교천과 무한천 합류부 개선 사업의 경제성을 보완하여 유역종합치수계획의 일환으로 시행 가능할 수 있게 한다고 할 수 있다.

14.2.3 유역종합치수계획 수립

삽교천 유역에 대해 유역종합치수계획을 수립하기 위해 삽교호 배수갑문 증설 등 11개의 홍수방어 대안요소를 설정하여 치수효과와 사업의 경제성 분석하고, 그 결과를 토대로 홍수방어 대안요소를 조합하여 9개의 대안을 설정하여 그 효과를 검토하였다.

그 결과 삽교천 유역 하류부에 미치는 영향이 큰 삽교호 배수갑문 증설과 무한천 유역 중하류부에 미치는 치수효과가 큰 예당지 증고 방안을 결합할 경우 두 대안요소의 기능이 조화를 이루어 치수적으로 큰 효과를 발휘하는 것으로 분석되었다. 이에 비해 삽교천-무한천 하류부 개선과 예당지의 하부지 건설은 사업 효과에 비해 비용이 과다하게 소요되어 경제성이 낮은 것으로 평가되었으며, 기존 농업용 저수지를 치수목적으로 활용하는 방안은 사업비 소요가 작아 경제성은 양호하지만 치수효과는 배수갑문 증설이나 예당지 증고에 비해 매우 미미한 수준으로 나타났다.

특히 삽교천과 무한천 합류부 개선은 홍수시 삽교천과 무한천의 합류를 원활히 유도하여 홍수를 신속히 배제함으로써 홍수위를 저하하는 효과가 있고, 합류부 주변 저지대의 내수침수 개선에 어는 정도 효과가 있지만 사업의 수혜지역이 대부분 답작지로서 사업비용에 비해 기대되는 편익은 매우 작게 평가되었다. 그러나 사업시행에 대한 지역 주민들의 요구가 크고 이 지역에서 5km 안에 삽교천 유역에서 비교적 도시화가 진행된 당진군 합덕읍과 예산군 신례원읍이 위치하고 있어 장래 주변지역의 개발 가능성을 감안 할 때 유역종합치수계획의 일환으로서 사업을 시행할 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

기존 농업용 저수지를 증고하여 홍수조절 기능을 부여하는 방안은 배수갑문 증설이나 예당지 증고 등에 비하면 그 효과가 작지만 발생빈도가 잦은 소규모 홍수시에 상대적으로 큰 효과를 기대할 수 있어 실질적인 사업의 효과는 작지 않을 것으로 기대되며, 사업

비가 저렴하고 홍수 저류공간 확보에 따른 토지손실을 최소화할 수 있는 장점이 있어 대규모 저류시설을 설치하기 곤란한 지역에서 용이하게 적용할 수 있는 방안이다. 따라서, 홍동, 홍양, 신대 저수지를 증고하여 홍수조절 기능을 부여하고, 치수적으로 활용하는데 적합한 저수지가 부재한 곡교천 유역에는 천변저류지 2개소를 설치하여 30년 빈도 이상의 대규모 홍수에 대비하도록 하였다.

이상의 결과로서 삽교천수계 유역종합치수계획으로 상기한 9개의 대안 중 삽교호 배수갑문을 6련 증설하고, 예당지를 1.5m 증고하여 홍수조절공간으로 활용하는 것을 사업의 근간으로 삼고, 삽교천과 무한천 유역의 상류부에 위치한 홍동, 홍양, 신대 저수지를 보강하여 치수목적으로 활용하는 것과 더불어 곡교천 유역에 2개소의 천변저류지를 설치하여 사업효과의 공간적인 범위를 보완하며, 삽교천과 무한천 합류부를 개선하여 홍수소통을 원활히 할 수 있도록 하는 '대안 8'을 채택하였다.

본 사업의 시행을 통해 기대되는 직접적인 효과는 삽교천과 곡교천 하구의 100년 빈도 첨두홍수위를 각각 0.78m, 무한천 하구는 0.59m 저하시켜 외수에 대한 안전성을 제고함과 더불어 연평균 282ha의 침수지역 해소를 포함한 내수침수의 개선을 통해 연평균 4,984백만원의 피해액을 경감하는 것이다.

<표 14.47> 삽교천수계 유역종합치수계획의 사업효과 추정

구 분	홍수위 저하(m)			연평균 침수면적 감소 (ha)	연간 피해경감 기대액 (백만원)	총사업비 (억원)	비용 편익비 (B/C)	순현가 (NPV)
	삽교천 하구	곡교천 하구	무한천 하구					
사업효과	0.78	0.78	0.59	282	4,984	1,586	1.06	12,590

14.3 유역종합치수계획 시행에 따른 수리·수문특성 변화

14.3.1 계획홍수량

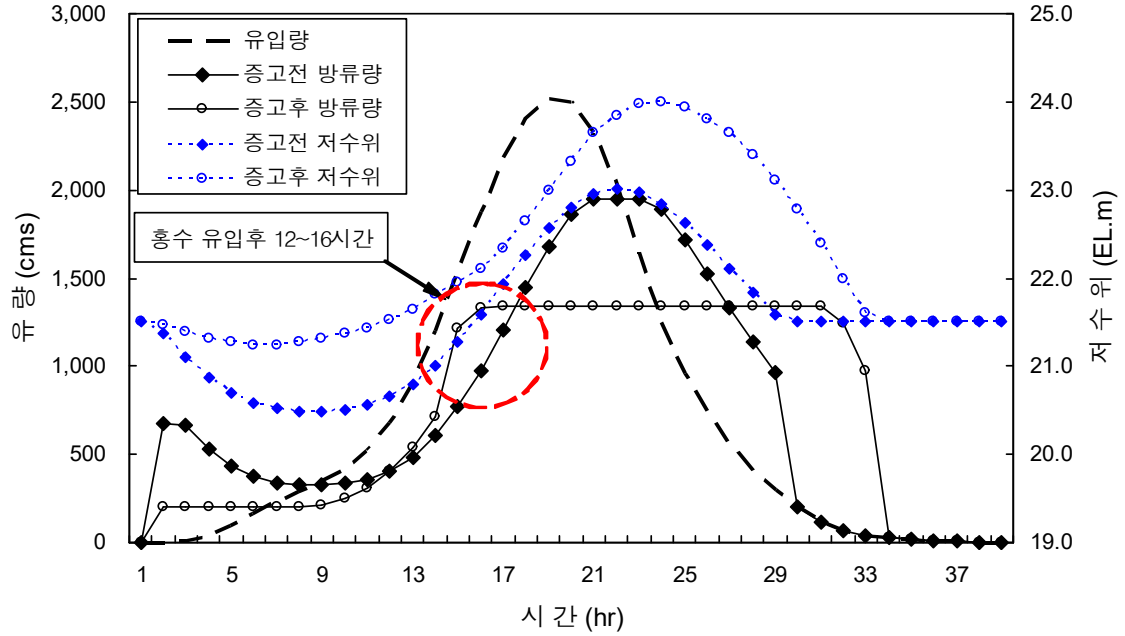
유역종합치수계획의 시행에 따라 예상되는 주요 지점의 계획홍수량 변화를 검토한 결과 삽교천의 무한천 합류부 상류와, 곡교천 및 무한천의 계획홍수량은 감소하였으나, 삽교천 하구 지점의 계획홍수량 감소는 없으며, 오히려 예당지 증고와 삽교호 배수갑문을 확장하는 1단계 사업의 시행결과 무한천 합류부 하류의 주요 지점별 계획홍수량이 증가하는 결과를 보이고 있다. 그러나 삽교천 하류 구간의 계획홍수량의 증가는 2단계 사업의 기존 농업용 저수지 증고와 3단계 사업의 천변저류지 설치 효과로 사업시행 이전의 수준으로 감소하고 있다.

이러한 현상은 예당지 증고 후 무한천 주변 저지대의 내수침수 피해를 저감하기 위해 예비방류량 상한치를 200㎥/sec으로 제한한 때문으로 분석되었다. 즉, <그림 14.9>에서 보는 바와 같이 예당지 증고 전·후의 100년 빈도 방류곡선을 비교하면, 예비방류량을 최대 200㎥/sec으로 제한한 결과 저수위가 상승하고 그로 인해 예당지로의 홍수 유입 후 12~16시간 동안의 증고 후 방류량이 증고 전에 비해 증가하였으며, 그에 따라 첨두방류량 발생시간이 빨라지게 되었다. 따라서, 증고 전에는 예당지 방류량이 예당지 부터 무한천 하구 구간 사이에 위치한 잔유역에서 발생한 홍수량의 감수부와 합성되어 하구부에서도 큰 차이를 보이지 않았지만, 증고 후에는 첨두방류량 발생시간이 빨라진 만큼 잔유역에서 발생한 홍수량수문곡선의 앞 부분과 합성되어 무한천 하구에 이르면 수문곡선은 <그림 14.10>의 'a'와 같이 첨두부가 크게 상승한 형태가 된다. 그 결과 무한천 하구의 첨두홍수량 발생시간은 증고 전에 비해 약 4시간이 빨라지며, 삽교천과 무한천 합류점 하류에서도 도고천, 곡교천, 남원천의 홍수와 합성되면서 동일한 현상이 발생하여 무한천 유역 자체의 첨두홍수량은 감소하였지만 삽교천 하구의 첨두홍수량은 오히려 증가하고 그 발생시간도 사업 전에 비해 조기에 나타나는 결과를 보이고 있다.

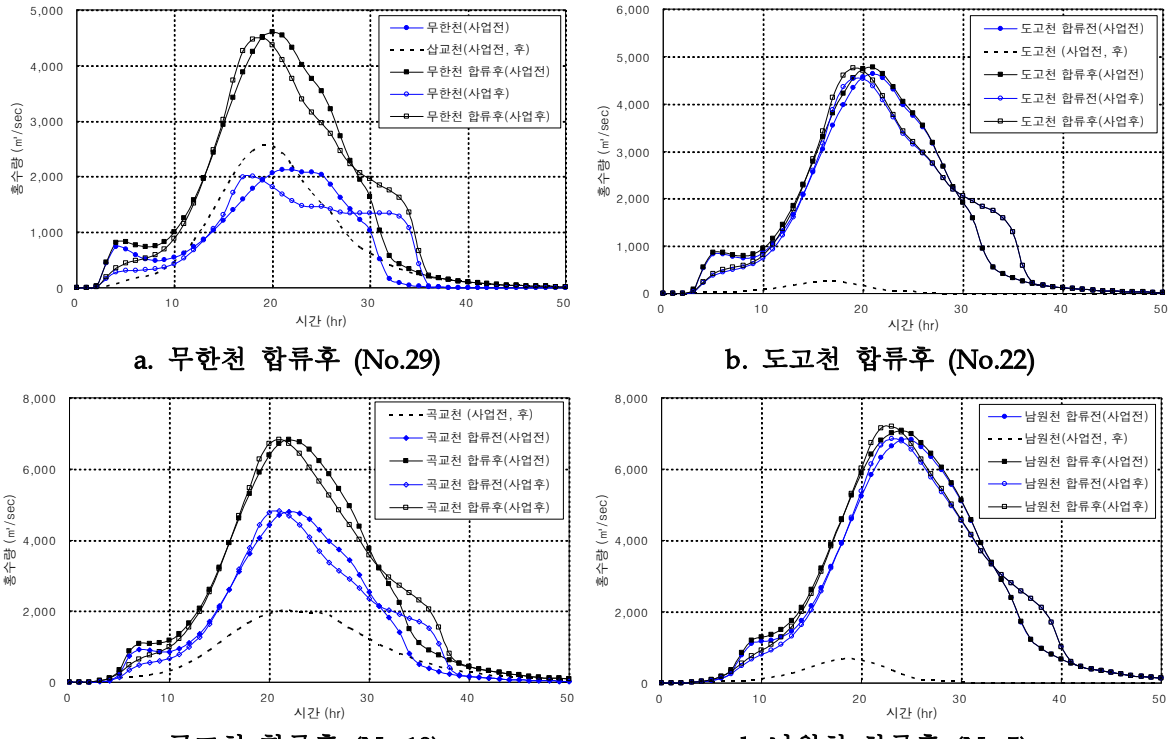
이러한 현상은 유역종합치수계획 2단계와 3단계 사업을 시행할 경우 기존 농업용 저수지 증고와 천변저류지를 통해 삽교천과 곡교천 및 무한천 상류부에서 발생한 홍수를 저류하여 첨두홍수량을 저감시킴으로써 해소되어, 유역종합치수계획이 마무리 되는 3단계 사업 후에는 사업 전의 계획홍수량 규모를 회복할 것으로 예측 되었다.

그러나 삽교천 하류 구간의 계획홍수량 증가는 치수적으로 문제되지는 않을 것으로 판단되는데, 그 이유는 무한천 합류점 하류의 홍수위가 상류에서 유하한 자체 홍수량 보다는 서해안 조위에 따른 배수갑문 조작의 영향에 의해 형성되기 때문에 계획홍수량 증가로 인한 영향이 크게 반영되지 않기 때문이다. 특히 삽교천 유역 하류부는 삽교호 배

수갑문을 증설하여 홍수배제 능력을 현재에 비해 약 1.8배 증대시키는 등 치수계획의 핵심을 신속한 홍수배제에 두었으므로 이 구간에서 첨두홍수량 증가의 영향은 홍수소통능력 증대 효과로 충분히 감당할 수 있을 것을 판단된다.



<그림 14.9> 예당지 증고 전·후의 방류곡선 비교(100년 빈도 홍수시)



a. 무한천 합류후 (No.29)

b. 도고천 합류후 (No.22)

c. 곡교천 합류후 (No.10)

d. 남원천 하류후 (No.5)

<그림 14.10> 유역종합치수계획 시행 전·후(1단계)의 주요 지점 수문곡선 비교

<표 14.48> 유역종합치수계획 시행 전·후의 주요 지점 계획홍수량 변화

단위 : ㎥/sec

하천	등 급	산정지점	부호	유역면적 (㎢)	치 수 안전도	기본홍수량		계획홍수량		유역종합치수계획 시행 후					
										1 단계		2 단계		3 단계	
						현 재	목표연도	현 재	목표연도	현 재	목표연도	현 재	목표연도	현 재	목표연도
삽교천	국가	삽교천 하구	SK-0	1,649.39	100년	7,130	7,145	7,050	7,065	7,170	7,185	7,125	7,140	7,050	7,065
		곡교천 합류후	SK-1	1,521.24	100년	6,910	6,925	6,805	6,820	6,810	6,825	6,735	6,750	6,645	6,660
		곡교천 합류전	SK-2	976.16	100년	4,915	4,915	4,800	4,805	4,820	4,820	4,760	4,760	4,760	4,760
		무한천 합류후	SK-3	903.70	100년	4,750	4,750	4,605	4,610	4,505	4,505	4,420	4,420	4,420	4,420
		무한천 합류전	SK-4	431.90	100년	2,570	2,570	2,570	2,570	2,570	2,570	2,475	2,475	2,475	2,475
		대천천 합류전	SK-5	314.90	100년	1,890	1,890	1,890	1,890	1,890	1,890	1,730	1,730	1,730	1,730
		덕산천 합류후	SK-6	218.06	100년	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,250	1,250	1,250	1,250
	지방1급	화양천 합류전	SK-7	111.93	80년	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120	880	880	880	880
	지방2급	종현천 합류전	SK-8	33.15	80년	520	520	520	520	520	520	455	455	455	455
곡교천	국가	곡교천 하구	GK-0	545.08	100년	2,005	2,020	2,005	2,020	2,005	2,020	2,005	2,020	1,930	1,945
		강청교	GK-1	486.92	100년	1,865	1,880	1,865	1,880	1,865	1,880	1,865	1,880	1,850	1,860
		온양천 합류후	GK-2	397.00	100년	1,735	1,745	1,735	1,745	1,735	1,745	1,735	1,745	1,735	1,745
	지방1급	매곡천 합류전	GK-3	241.34	80년	1,505	1,525	1,505	1,525	1,505	1,525	1,505	1,525	1,505	1,525
		풍서천 합류전	GK-4	65.43	80년	730	730	730	730	730	730	730	730	730	730
	지방2급	양안천 합류전	GK-5	18.90	50년	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
무한천	국가	무한천 하구	MH-0	471.80	100년	2,475	2,475	2,135	2,135	2,015	2,015	2,000	2,005	2,000	2,005
		궁평천 합류전	MH-1	435.96	100년	2,420	2,420	2,080	2,080	1,800	1,800	1,785	1,785	1,785	1,785
		예산대교	MH-2	396.92	100년	2,385	2,385	2,005	2,005	1,535	1,535	1,520	1,520	1,520	1,520
		예당지(유출)	MH-3	368.86	100년	-	-	1,955	1,955	1,340	1,340	1,320	1,320	1,320	1,320
		예당지(유입)				2,530	2,530	2,530	2,530	2,530	2,530	2,485	2,485	2,485	2,485
	지방2급	동산교	MH-4	149.44	50년	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
		강촌천 합류전	MH-5	80.05	50년	835	835	835	835	835	835	835	835	835	835
		기덕천 합류전	MH-6	21.47	50년	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425
신양천	지방2급	신양천 하구	SY-0	190.98	50년	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,115	1,115	1,115	1,115
		화산천 합류전	SY-1	68.56	50년	680	680	680	680	680	680	595	595	595	595

<표 14.49> 유역종합치수계획 시행에 따른 계획홍수량 감소 효과

단위 : ㎥/sec

하천	등 급	산정지점	부호	유역면적 (㎢)	치 수 안전도	계획홍수량		유역종합치수계획 시행 후						비 고
								1 단계		2 단계		3 단계		
						현 재	목표연도	현 재	목표연도	현 재	목표연도	현 재	목표연도	
삽교천	국가	삽교천 하구	SK-0	1,649.39	100년	7,050	7,065	-120	-120	-75	-75	-	-	
		곡교천 합류후	SK-1	1,521.24	100년	6,805	6,820	-5	-5	70	70	160	160	
		곡교천 합류전	SK-2	976.16	100년	4,800	4,805	-20	-15	40	45	40	45	
		무한천 합류후	SK-3	903.70	100년	4,605	4,610	100	105	185	190	185	190	
		무한천 합류전	SK-4	431.90	100년	2,570	2,570	-	-	95	95	95	95	
		대천천 합류전	SK-5	314.90	100년	1,890	1,890	-	-	160	160	160	160	
		덕산천 합류후	SK-6	218.06	100년	1,400	1,400	-	-	150	150	150	150	
	지방1급	화양천 합류전	SK-7	111.93	80년	1,120	1,120	-	-	240	240	240	240	
	지방2급	종현천 합류전	SK-8	33.15	80년	520	520	-	-	65	65	65	65	
곡교천	국가	곡교천 하구	GK-0	545.08	100년	2,005	2,020	-	-	-	-	75	75	
		강청교	GK-1	486.92	100년	1,865	1,880	-	-	-	-	15	20	
		온양천 합류후	GK-2	397.00	100년	1,735	1,745	-	-	-	-	-	-	
	지방1급	매곡천 합류전	GK-3	241.34	80년	1,505	1,525	-	-	-	-	-	-	
		풍서천 합류전	GK-4	65.43	80년	730	730	-	-	-	-	-	-	
	지방2급	양안천 합류전	GK-5	18.90	50년	250	250	-	-	-	-	-	-	
무한천	국가	무한천 하구	MH-0	471.80	100년	2,135	2,135	120	120	135	130	135	130	
		궁평천 합류전	MH-1	435.96	100년	2,080	2,080	280	280	295	295	295	295	
		예산대교	MH-2	396.92	100년	2,005	2,005	470	470	485	485	485	485	
		예당지(유출)	MH-3	368.86	100년	1,955	1,955	615	615	635	635	635	635	
		예당지(유입)				2,530	2,530	-	-	45	45	45	45	
	지방2급	동산교	MH-4	149.44	50년빈도	1,030	1,030	-	-	-	-	-	-	
		강촌천 합류전	MH-5	80.05	50년빈도	835	835	-	-	-	-	-	-	
		기덕천 합류전	MH-6	21.47	50년빈도	425	425	-	-	-	-	-	-	
신양천	지방2급	신양천 하구	SY-0	190.98	50년빈도	1,150	1,150	-	-	35	35	35	35	
		화산천 합류전	SY-1	68.56	50년빈도	680	680	-	-	85	85	85	85	

삽교천 하류 구간을 제외한 유역내 주요 지점의 계획홍수량은 유역종합치수계획 시행에 따라 감소하는데 지역적으로는 무한천의 예당지 하류부 구간에서 홍수량 감소가 가장 크게 나타나고, 삽교천 상류의 홍동 저수지와 홍양 저수지를 증고 하는 2단계 사업 후에는 삽교천 상류부의 홍수량도 최대 240㎥/sec 감소하는 것으로 나타났다.

이어 곡교천 국가하천 구간 중하류부에 천변저류지를 설치하는 3단계 사업 후에는 곡교천의 강청교 하류 구간에서도 홍수량이 최대 75㎥/sec 감소하여, 유역종합치수계획이 마무리 되는 본 사업의 목표연도에는 삽교천 유역의 상습침수 피해지역이 위치한 유역 중하류부의 홍수부담이 크게 저하될 것으로 기대된다. 특히 침수피해가 크게 발생하는 무한천의 예당지 하류 구간과 삽교천의 국가하천 구간 중하류부의 홍수량이 160~635㎥/sec 감소하여 치수적으로 큰 개선효과가 예상된다.

14.3.2 홍 수 위

유역종합치수계획의 시행의 결과 삽교천 하구의 첨두홍수위는 사업 전에 비해 0.78m, 곡교천과 무한천 하구에서는 각각 0.78m와 0.58m 저하하는 것으로 분석되었다.

'11.2. 기존 치수시설물 능력검토'에서 금회 산정한 사업 시행 전의 100년 빈도 홍수위를 기준으로 삽교천과 곡교천, 무한천의 국가하천 구간 기성제중 계획제방고에 미달하는 구간은 삽교천 43.29km(양안)와 곡교천 14.62km(양안)에 달했으며, 무한천은 예당지 하류의 지방2급 구간을 포함하여 예당지 하류의 기성제 중 28.12km(양안) 구간의 보강이 필요한 것으로 평가되었다. 따라서, 계획홍수위를 기준으로 외수범람에 대한 안전성을 확보하기 위해서는 삽교천의 제방은 평균 0.85m, 곡교천은 0.58m, 무한천 제방은 평균 1.26m를 증고 하여야 하며 이에 소요되는 비용은 삽교천 761억원, 곡교천 216억원, 무한천 596억원 등 총 1,573억원으로 추정되었다.

그러나 유역종합치수계획을 시행할 경우 삽교천 국가하천 구간의 홍수위는 평균 0.51m 저하 하며, 곡교천은 평균 0.31m, 무한천은 평균 0.61m 저하하여 제방보강에 소요되는 비용을 677억원 정도 절감할 것으로 기대된다.

따라서, 유역종합치수계획 시행에 따라 절감되는 제방보강 공사비도 사업 시행에 따른 편익으로 볼 수 있으며, 전술한 경제성 분석에서 이러한 제방보강 공사비 절감액을 사업비에서 감하여 적용함으로 그 경제적 효과를 반영하였다.

<표 14.50> 유역종합치수계획 시행에 따른 홍수위 저하 효과

삽교천	구 간	하구	하구~ 곡교천 합류점	곡교천 합류점 ~ 무한천 합류점	무한천 합류점 ~ 국가하천 시점	전구간 평균
	홍수위 저하(m)	0.78	0.76 (L = 5.0 km)	0.68 (L = 9.50 km)	0.34 (L = 17.50 km)	0.51 (L= 32.0 km)
곡교천	구 간	하구	하구 ~ 강청교	강청교 ~ 국가하천 시점		전구간 평균
	홍수위 저하(m)	0.78	0.55 (L = 8.81 km)	0.09 (L = 9.78 km)		0.31 (L = 18.59km)
무한천	구 간	하구	하구 ~ 신례원교	신례원교 ~ 예산대교	예산대교 ~ 예당지	전구간 평균
	홍수위 저하(m)	0.59	0.61 (L = 5.40 km)	0.51 (L = 5.67 km)	0.74 (L = 5.27 km)	0.62 (L = 16.34km)

14.3.3 주요 지점의 수리특성 변화

유역종합치수계획 시행에 따른 효과 중 하도의 홍수소통능력 증대 효과는 홍수저류용량과 같이 정량적으로 계량하기 어려우며, 계획홍수량의 저감에는 기여하지 않지만 하도내에 형성되는 홍수위를 저감하여 결과적으로 하도의 부담을 감소시키는 효과가 있다. 그러나 하도의 홍수소통능력 증대 효과는 기존의 수리·수문 분석방법으로는 홍수위 저하에 의해서만 간접적으로 파악할 수 있을 뿐이며, 이 또한 상류지역에서의 홍수 저류에 의한 하도유입량 감소 효과와 명확히 구분할 수 없어 사업의 효과를 파악하는데 어려움이 있다.

따라서, 금회 과업에서는 동역학파하도추적에 의해 산정한 하도유하량과 하도의 수리특성을 통해 하도의 홍수소통능력 개선사업의 효과를 검토하였다.

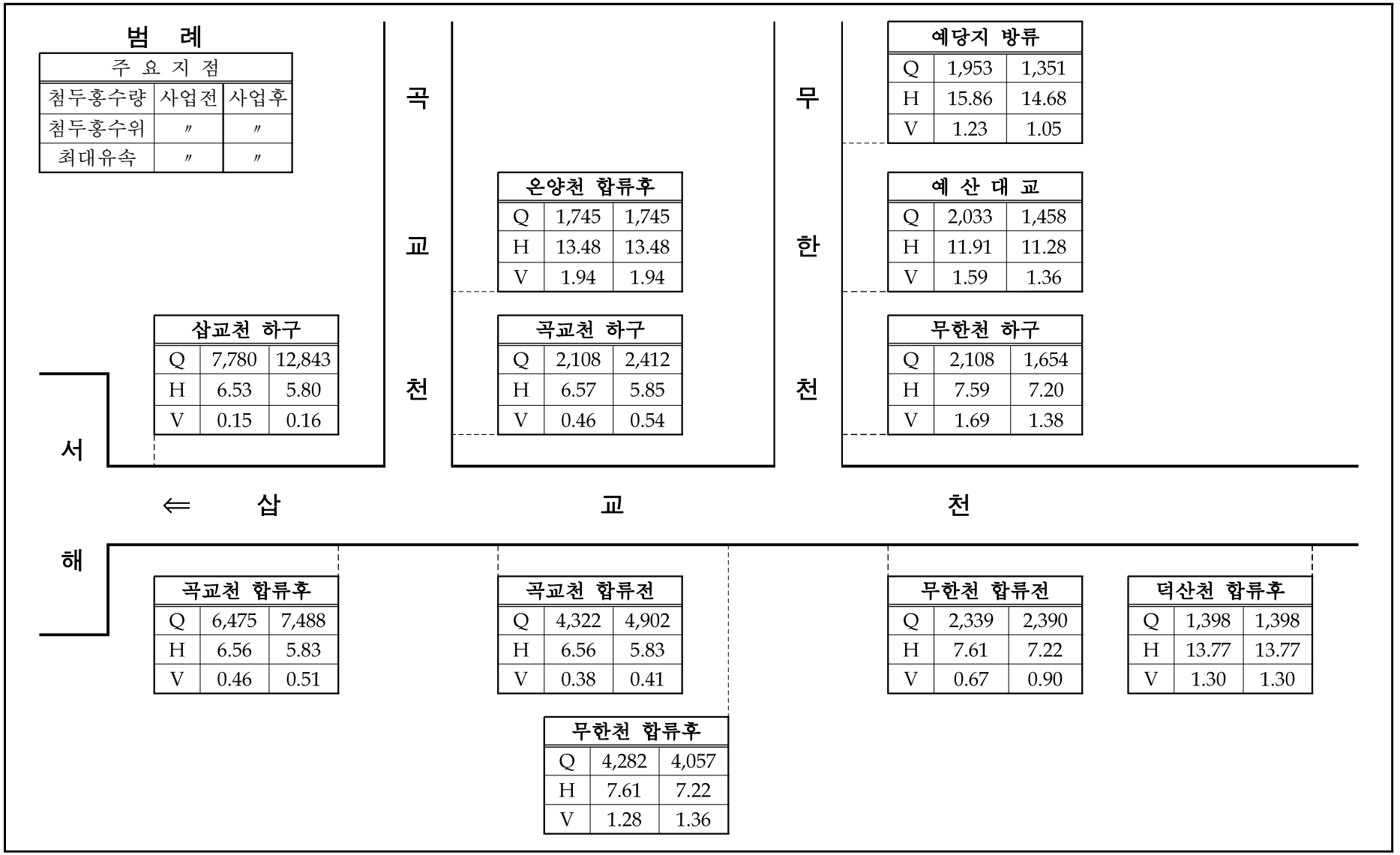
<그림 14.11>의 유역종합치수계획 1단계 사업 시행 후의 수리특성 변화에서는 가장 눈에 띄는 것이 배수갑문 증설로 하구의 통수능이 증가하여 하도유하량이 사업 7,780㎥/sec에서 12,843㎥/sec로 증가하였지만 오히려 홍수위는 EL. 6.53m에서 EL. 5.80m로 0.73m 저하한 결과이다. 이는 삽교호 배수갑문의 방류능력이 증대하여 조위가 저하할 경우 방류가 신속해진 효과가 하천의 흐름에도 영향을 미치기 때문인데 실제로 삽교호 배수영향 구간에 해당하는 삽교천의 무한천 합류점 하류의 주요 지점과 곡교천 및 무한천 하구 지점의 유속이 증가를 보이는 것이 이러한 이유 때문이다. 즉, 하도유하량이 증가하였지만 첨두홍수위는 증가하지 않고 오히려 저하 하는 것은 삽교호에 저류된 홍수의 방류가 원활해져서 그 영향권 내의 유속이 증가하는 등의 홍수흐름이 개선되는 효과 때문이다.

<그림 14.12>의 유역종합치수계획 2단계 사업 시행 후에는 삽교천과 무한천 합류부

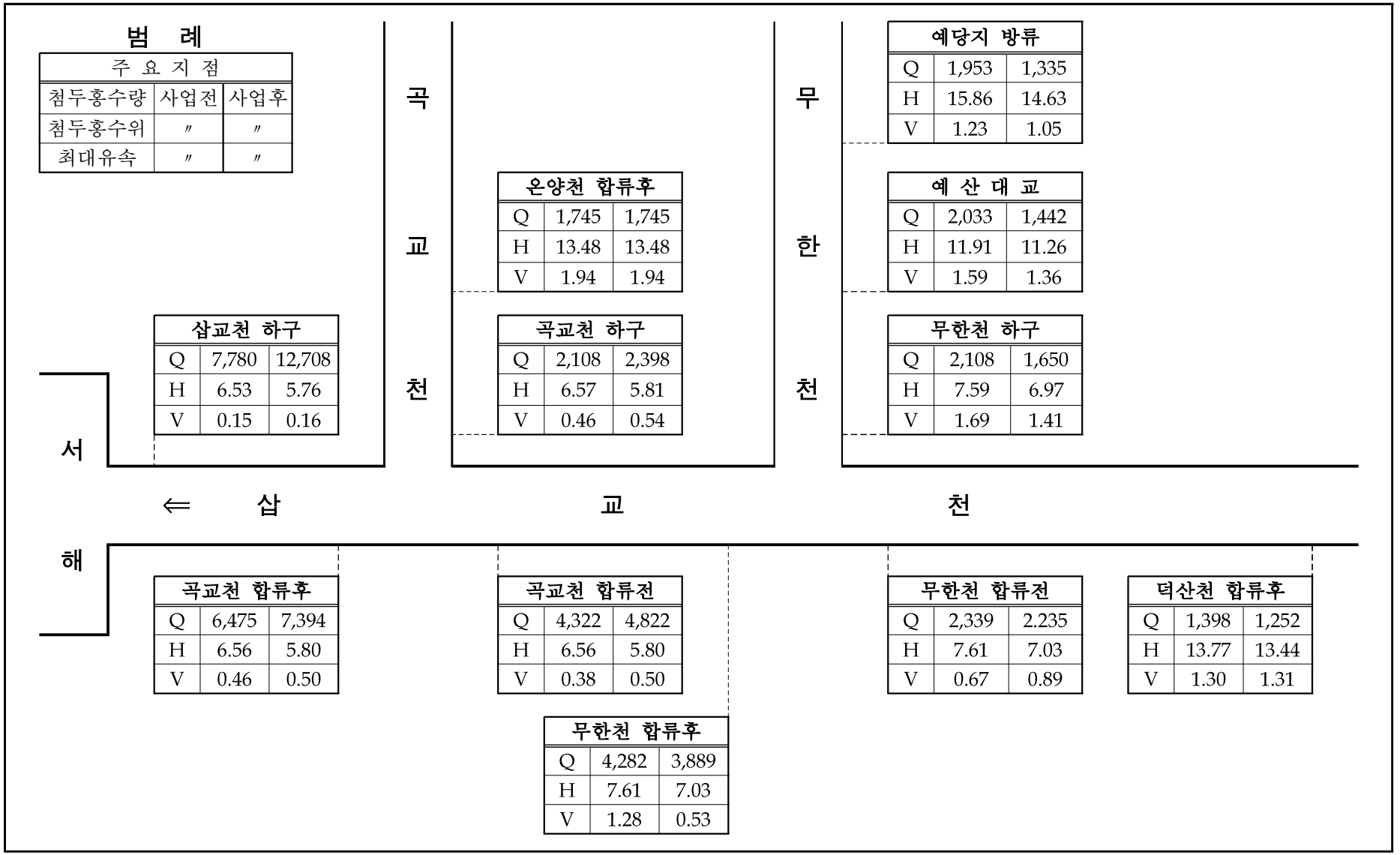
개선 효과로 삽교천의 무한천 합류후 지점의 과다한 유속이 감소하여 <표 14.51>과 같이 상하류의 유속이 균형을 이루는 것을 알 수 있다. 그 결과 '12.3.6 삽교천과 무한천 합류부 개선'에서 목적한 바와 같이 합류전 상류의 무한천 흐름이 원활해지고, 합류점 하류에서 발생하는 흐름의 편기에 의한 수충의 발생 등과 같이 홍수흐름을 저해하고 주변에 피해를 유발하는 요인이 감소하는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

<표 14.51> 삽교천-무한천 합류부 개선 전·후의 유속 비교

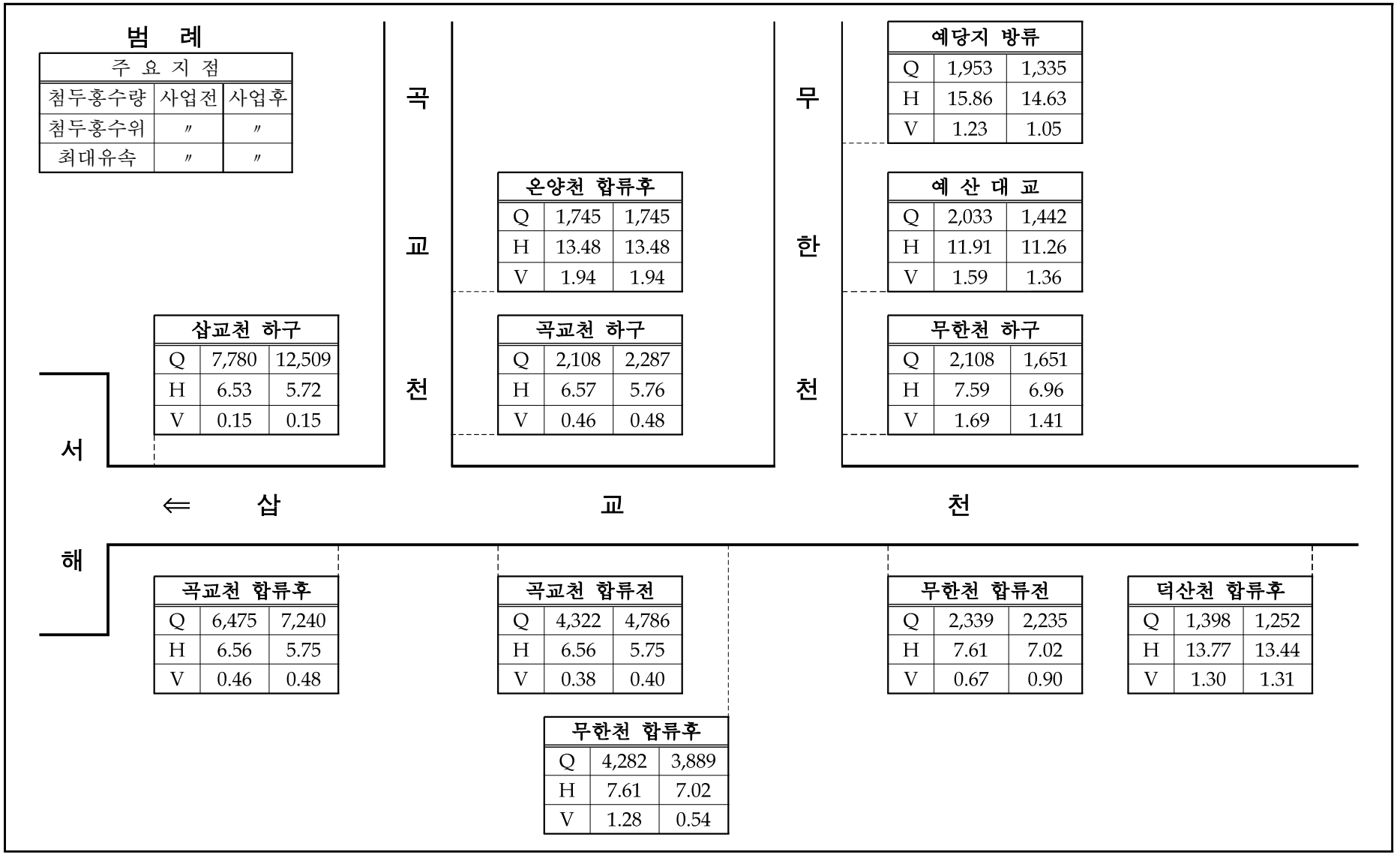
지 점		곡교천 합류전	무한천 합류후	무한천 합류전	비 고
유속(m/sec)	사업전	0.38	1.28	0.67	
	사업후	0.40	0.54	0.89	



<그림 14.11> 유역종합치수계획 1단계 사업 시행 후의 수리특성 변화 비교



<그림 14.12> 유역종합치수계획 2단계 사업 시행 후의 수리특성 변화 비교



<그림 14.13> 유역종합치수계획 3단계 사업 시행 후의 수리특성 변화 비교

14.3.3 홍수량 배분

유역종합치수계획을 시행 할 경우 기존 농업용 저수지를 활용하여 삽교천 유역에 3,592천㎥, 곡교천 유역에 3,057천㎥(100년 빈도 홍수 기준) 및 무한천 유역에 29,691천㎥ 등 총 36,341천㎥의 홍수 저류가 가능하여 하류의 홍수부담을 경감시킬 것으로 기대된다.

유역종합치수계획 시행에 따른 홍수량 배분 효과를 유출용적을 기준으로 검토한 결과 삽교천 유역 전체로는 사업 전에 100년 빈도 홍수시 총 유출용적 457,648천㎥을 하도에서 97.79% 부담하고, 유역에서는 예당지가 유일하게 2.21% 부담하였으나, 사업 후에는 하도에서 92.06%, 유역에서 7.94% 분담하게 되어 하도의 부담이 크게 감소하였다. 유역별로는 삽교천 유역에서 0.78%, 곡교천 유역 0.67%, 무한천 유역 6.49%를 분담하여 홍수시 하도를 통한 유출량이 크게 감소하였으며, 이와 더불어서 삽교천 유역 하류부의 홍수소통능력이 크게 향상됨으로써 그 효과는 무한천 합류부 하류의 삽교천 유역뿐만 아니라 삽교호로 유입하는 곡교천 하류 구간에도 영향을 미쳐 홍수위 저하와 저지대 침수해소에 크게 기여할 것으로 기대된다.

특히 이러한 홍수의 유역분담 효과는 <표 14.53>에서 보는 바와 같이 발생빈도가 잦은 소규모 홍수에 크게 나타나서 지역주민들이 체감하는 사업의 효과는 더욱 크게 느껴질 것으로 기대된다. 참고로 <표 14.52>에서 사업 시행 후의 곡교천 유역 홍수분담량이 홍수규모별로 상이한 것은 천변저류지로의 유입량이 하천의 홍수위에 따라 결정되는 특성 때문이다.

<표 14.52> 홍수 규모별 유역 홍수분담량

단위 : 천㎥

홍수규모 (재현기간)	총유출 용 적	사업 시행 전 유역분담량				사업 시행 후 유역분담량			
		삽교천	곡교천	무한천	계	삽교천	곡교천	무한천	계
5 년	240,971	-	-	10,136	10,136	3,592	-	29,691	33,283
10 년	290,744	-	-	10,136	10,136	3,592	-	29,691	33,283
20 년	341,480	-	-	10,136	10,136	3,592	-	29,691	33,283
30 년	370,958	-	-	10,136	10,136	3,592	-	29,691	33,283
50 년	407,714	-	-	10,136	10,136	3,592	2,573	29,691	35,856
80 년	441,605	-	-	10,136	10,136	3,592	2,874	29,691	36,158
100 년	457,648	-	-	10,136	10,136	3,592	3,057	29,691	36,341
200 년	506,957	-	-	10,136	10,136	3,592	3,278	29,691	36,561
300 년	538,183	-	-	10,136	10,136	3,592	3,600	29,691	36,883
500 년	575,113	-	-	10,136	10,136	3,592	3,731	29,691	37,014

<표 14.53> 홍수 규모별 유역 홍수분담 비율

단위 : %

홍수규모 (재현기간)	사업 시행 전					사업 시행 후				
	하도	유역				하도	유역			
		삽교천	곡교천	무한천	계		삽교천	곡교천	무한천	계
5 년	95.79	-	-	4.21	4.21	86.19	1.49	-	12.32	13.81
10 년	96.51	-	-	3.49	3.49	88.55	1.24	-	10.21	11.45
20 년	97.03	-	-	2.97	2.97	90.25	1.05	-	8.69	9.75
30 년	97.27	-	-	2.73	2.73	91.03	0.97	-	8.00	8.97
50 년	97.51	-	-	2.49	2.49	91.21	0.88	0.63	7.28	8.79
80 년	97.70	-	-	2.30	2.30	91.81	0.81	0.65	6.72	8.19
100 년	97.79	-	-	2.21	2.21	92.06	0.78	0.67	6.49	7.94
200 년	98.00	-	-	2.00	2.00	92.79	0.71	0.65	5.86	7.21
300 년	98.12	-	-	1.88	1.88	93.15	0.67	0.67	5.52	6.85
500 년	98.24	-	-	1.76	1.76	93.56	0.62	0.65	5.16	6.44

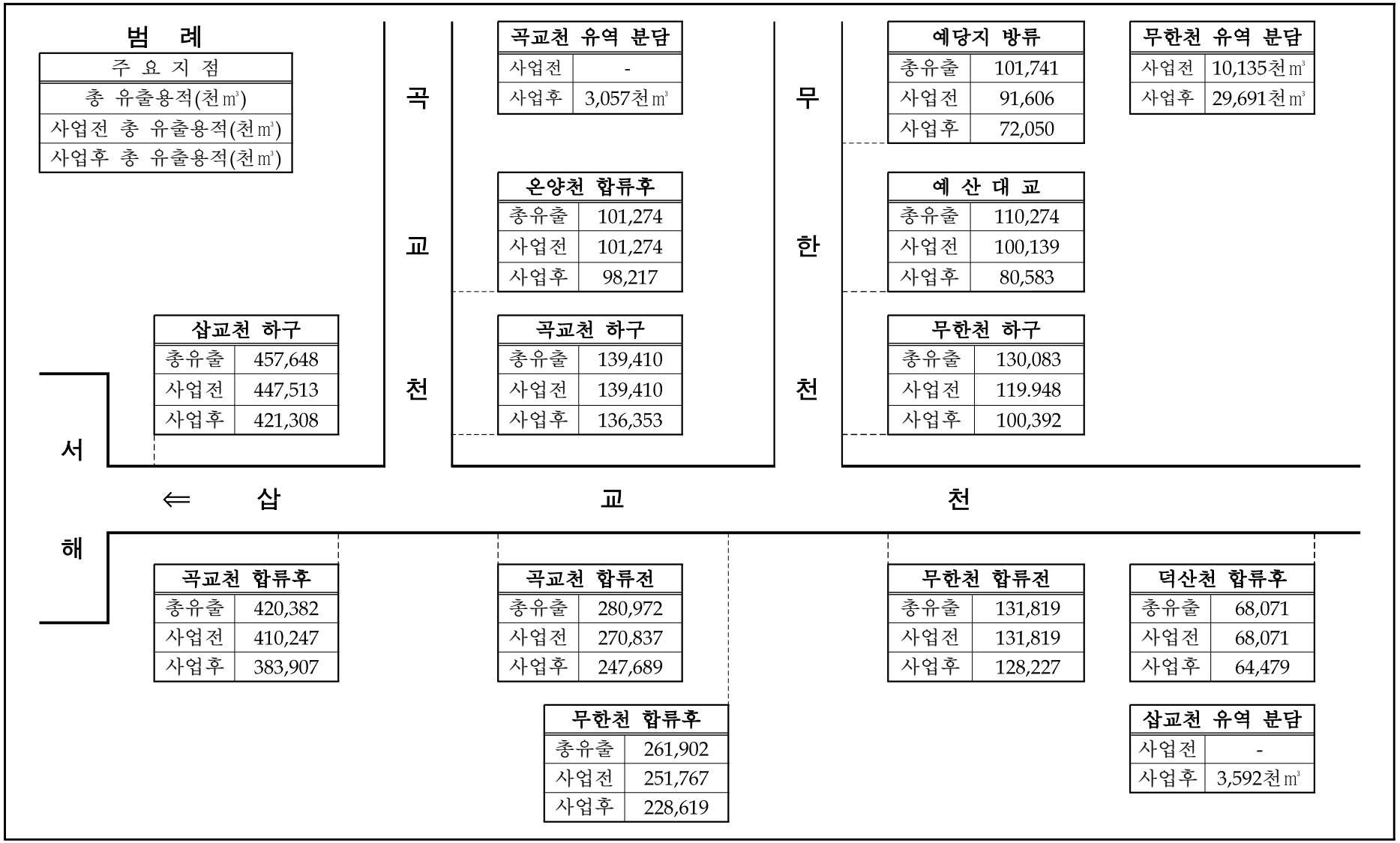
유역의 홍수분담이 무한천 유역에 집중된 것은 예당지 증고 효과에 따른 것으로서 홍수분담 계획이 무한천 유역, 즉 예산군 지역에 치중된 것은 수혜지역 부담원칙을 적용한 때문이다. 즉, 삽교천 상류의 홍성군 지역이나, 곡교천 상류의 천안시는 홍수피해가 크게 발생하지 않는데도 불구하고, 예산군을 중심으로 한 유역하류부의 피해를 저감하기 위한 시설을 과다하게 설치할 경우 지역간 치수편익과 이에 따른 부담의 균형을 이루지 못하기 때문이다. 또한 이 지역에 저류시설을 설치하여도 예산군에 미치는 영향은 무한천 상류에 시설을 설치할 경우에 비해 효과가 매우 떨어지는 기술적인 한계를 감안한 결과이기도 한다.

그러나 삽교천 유역의 상류부는 '12.3.3 기존 농업용 저수지의 치수목적 활용'에서 언급한 바와 같이 수계구성 형태가 전형적인 수지상으로서 삽교천, 곡교천, 무한천 등의 주요 하천을 간선으로 하고 100여개 법정하천들이 간선 하천으로 직접 유입하는 지선형태로 발달되어 있고, 지형 또한 이러한 수계구성 특성을 반영하여 주요 하천을 제외한 지류 유역에 저류시설을 설치할 경우 충분한 공간을 확보하기도 어렵지만 유역이 작아 그 공간을 충분히 활용할 수 없는 한계가 있다. 또한 무한천과 신양천 등의 유역 상류부에서 간선 역할을 하는 주요 하천에 치수전용 댐이나 저류지 등을 설치할 경우에는 지형특성상 수몰지역이 막대하게 발생하는 문제가 있어 실질적으로 홍수를 저류할 수 있는 시설을 설치하기가 적당치 못한 특징이 있다.

따라서, 금회 계획한 유역종합치수계획의 저류시설 계획이 유역의 홍수분담 측면에서

다소 미흡한 감이 있는 것도 사실이다. 이에 대한 보완 방안으로 하류부의 홍수소통 능력을 증대하여 하도의 홍수위를 신속하게 저하할 수 있는 대책을 수립하였지만 궁극적으로는 하천변 저지대를 활용하는 천변저류지가 그 대책으로서 검토되어야 할 것이다.

금회 계획에서는 경제적인 이유 뿐만 아니라 천변저류지 설치와 운용에 필요한 법적, 제도적 기반이 아직까지 완벽하지 못하고, 무엇보다 천변저류지 대상지역을 생활기반으로 하는 지역 주민들의 인식 부족과 같은 현실적인 한계로 인해 곡교천 중하류부 지역에 2개소의 천변저류지를 설치하는 시험적인 시도에 그쳤지만, 향후 지역주민들의 인식 전환과 제도적 장치가 완비될 경우 유역의 홍수분담 대안으로서 천변저류지가 가장 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.



<그림 14.14> 유역종합치수계획 시행 전·후의 홍수량 배분 비교 (100년 빈도 홍수 기준)

제 15 장 유역관리계획 수립

15.1 유역유출상황 모니터링

15.2 홍수방어 시설물 유지관리 방안

15.3 유역내 저류능력 유지방안

15.4 관련계획과 연계방안

15.5 삽교천 유역 특성에 적합한 유출모형 개발

15.6 PMF 발생시 예당지의 안전성 평가

제 15 장 유역관리계획

15.1 유역유출상황 모니터링

15.1.1 삽교천 유역내 수문관측망 평가

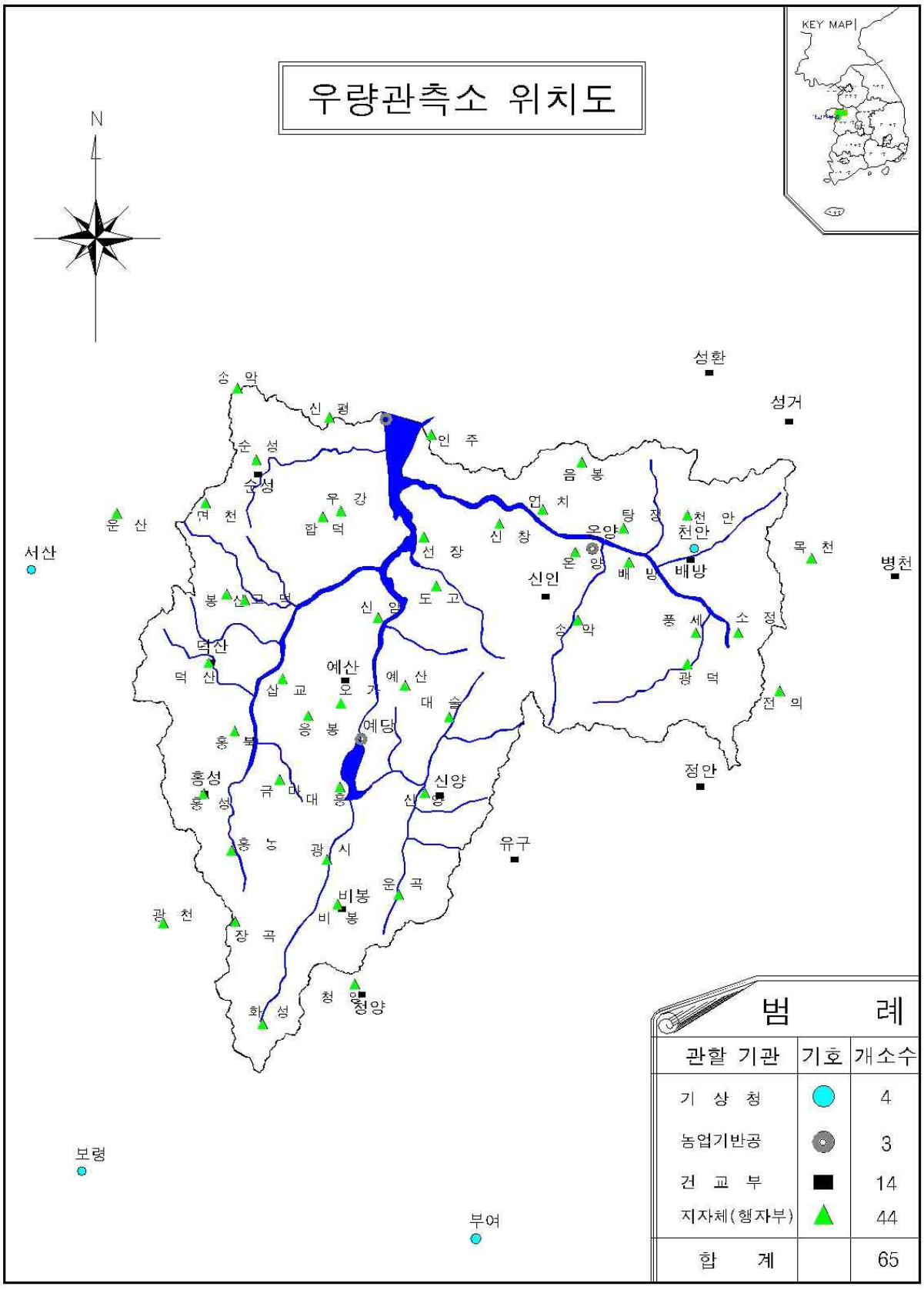
가. 우량관측소

우량관측소 밀도에 대한 기준으로 '하천설계기준(2005, 한국수자원학회)'에는 조사대상 지역의 강우발생 상황이 균일하게 나타나도록 구역을 분할하여 각 1개소 씩을 배치하되, 평면배치와 표고차를 고려하며 만일 균일한 강우 발생상황 구역으로 분할하기 어려울 경우에는 조사대상 지역을 대략 50㎢의 구역으로 분할하여 각 구역마다 1개소를 설치하게 되어 있다. 또한, 댐과 같이 중요성이 요구되는 경우에는 기준밀도보다 더 조밀하게 배치하며, 도시하천 등에서는 조사대상 지역이 좁을지라도 50㎢당 2개 관측소를 설치하는 것을 기준으로 하고 있다.

삽교천 유역 및 인근에 위치한 우량관측소는 관리주체별로는 읍·면·동 단위의 지자체가 44개소로 가장 많았으며, 건교부 관할 관측소가 14개소, 기상청 관할 관측소 4개소, 농업기반공사 관할 3개소 등 총 65개소가 있다. 그러나 기상청 관측소의 경우 천안 관측소를 제외한 3개 관측소는 유역 외에 위치하며, 건교부 관측소는 유역 내에 8개소가 위치하고 있으나 관측기록이 30년 이상인 관측소는 3개소에 불과하다. 농업기반공사의 경우 삽교호 및 예당지의 유지관리를 위해 관측을 실시하고 있으나, 연중 강우에 대한 자료를 구축하고 있지 않으며, 홍수시의 자료에 대해서만 관리하고 있다.

행자부 관할 지자체에서 운영하고 있는 우량관측소는 '95년 이후에 설치되었으며, 전도형 우량계로 교체하여 인터넷상에 실시간 자료를 구축한 것은 2000년 이후로 그 이전의 자료는 관리가 제대로 되고 있지 않은 형편이다. 특히 각 지자체에서 관측한 자료를 취합하여 관리하는 기구가 없으며, 전문인력의 부재로 인해 결측치 및 이상치 등에 대한 검토가 제대로 이루어지지 않아 현재로서는 그 활용성이 매우 미약한 실정이다.

아울러 기상청 관할 관측소를 제외한 여타의 우량관측소의 경우 일강우 자료는 관측년도별로 구축 되어있으나 시강우 자료의 기록 및 관리가 이루어지기 시작한 것은 근래의 일로서 각종 분석에 활용하기에는 자료수가 매우 부족한 것으로 조사되었다.



<그림 15.1> 우량관측소 위치도

<표 15.1> 삽교천 유역내 우량관측소 현황

관리주체	유역내		유역외		합 계	
	30년이상	10년이하	30년 이상	10년이하	30년이상	10년이하
기 상 청	1	-	3	-	4	-
건 교 부	3	5	4	2	7	7
농업기반공사	3	-	-	-	3	-
지 자 체	-	40	-	4	-	44
합 계	7	45	7	6	14	51

삽교천 유역 우량관측망의 평가는 현재 수문분석의 자료로 이용이 가능한 건교부 및 기상청 관측소를 대상으로 한 분석과, 향후 체계적인 관리를 통해 자료를 확보한다는 전제하에 지자체 관할 관측소를 포함한 분석으로 구분하여 실시하였다.

분석방법으로는 유역별 관측밀도를 분석하여 하천설계기준 및 세계 기상기구에서 제안한 기준과 비교하여 전반적인 관측밀도에 대한 분석을 실시하였으며, 또한 우량관측소의 공간적 배치를 분석하기 위해 각 관측소별 관측밀도를 공간적으로 표시하여 관측소가 부족한 지역을 선정하였다.

(1) 우량관측소의 관측밀도 분석

건교부 및 기상청 관할 관측소를 대상으로 한 우량관측망의 밀도는 삽교천 유역내 및 유역외로 구분하여 적정성을 분석하였는데, 유역외는 삽교천 유역내에 위치하지는 않지만 지리적으로 가깝게 있으며, Thiessen망 구성시 포함되는 관측소를 포함하여 분석하였다. 분석결과 세계기상기구 기준인 '250㎢/개소' 보다는 삽교천, 곡교천, 무한천 모두 조밀한 것으로 평가되었으나, 하천설계기준의 '50㎢/개소' 기준은 충족시키지 못하는 것으로 나타났다.

<표 15.2> 우량관측망 적정성 분석 결과(기상청 및 건교부 관측소 대상)

하천명	유 역 면 적 (㎢)	우량관측소 (유역내)				우량관측소 (유역외 주변관측소 포함)			
		개소수	비면적 (개소/㎢)	적정성 여부		개소수	비면적 (개소/㎢)	적정성 여부	
				①	②			①	②
삽교천	1,649.39	9	183.27	O.K	N.G	18	91.63	O.K	N.G
곡교천	545.08	3	181.69	O.K	N.G	7	77.87	O.K	N.G
무한천	471.80	3	157.27	O.K	N.G	6	78.63	O.K	N.G

【주】① : 세계기상기구 우량관측소 밀도기준
② : 하천설계기준 우량관측소 밀도기준

그러나 각급 지자체 관할 관측소를 포함하여 분석한 결과는 하천설계기준의 '50㎢/개소' 보다도 조밀한 것으로 나타났다. 따라서 삽교천 유역의 우량관측소는 신규 설치보다는 현재 설치된 지자체 관측소자료에 대한 관리방법과 인력 확보에 대한 방안을 수립하여야 하며, 자료의 통합관리 등 관측기록의 신뢰성을 제고할 수 있는 방안을 수립·시행하여 활용가치를 높이는 방향으로 이루어져야 할 것이다.

<표 15.3> 우량관측망 적정성 분석 결과(지자체 관할 관측소 포함)

하천명	유역면적(㎢)	우량관측소 (유역내)				우량관측소 (유역외 주변관측소 포함)			
		개소수	비면적(개소/㎢)	적정성 여부		개소수	비면적(개소/㎢)	적정성 여부	
				①	②			①	②
삽교천	1,649.39	49	33.66	O.K	O.K	63	26.18	O.K	O.K
곡교천	545.08	14	38.93	O.K	O.K	20	27.25	O.K	O.K
무한천	471.80	13	36.29	O.K	O.K	17	27.75	O.K	O.K

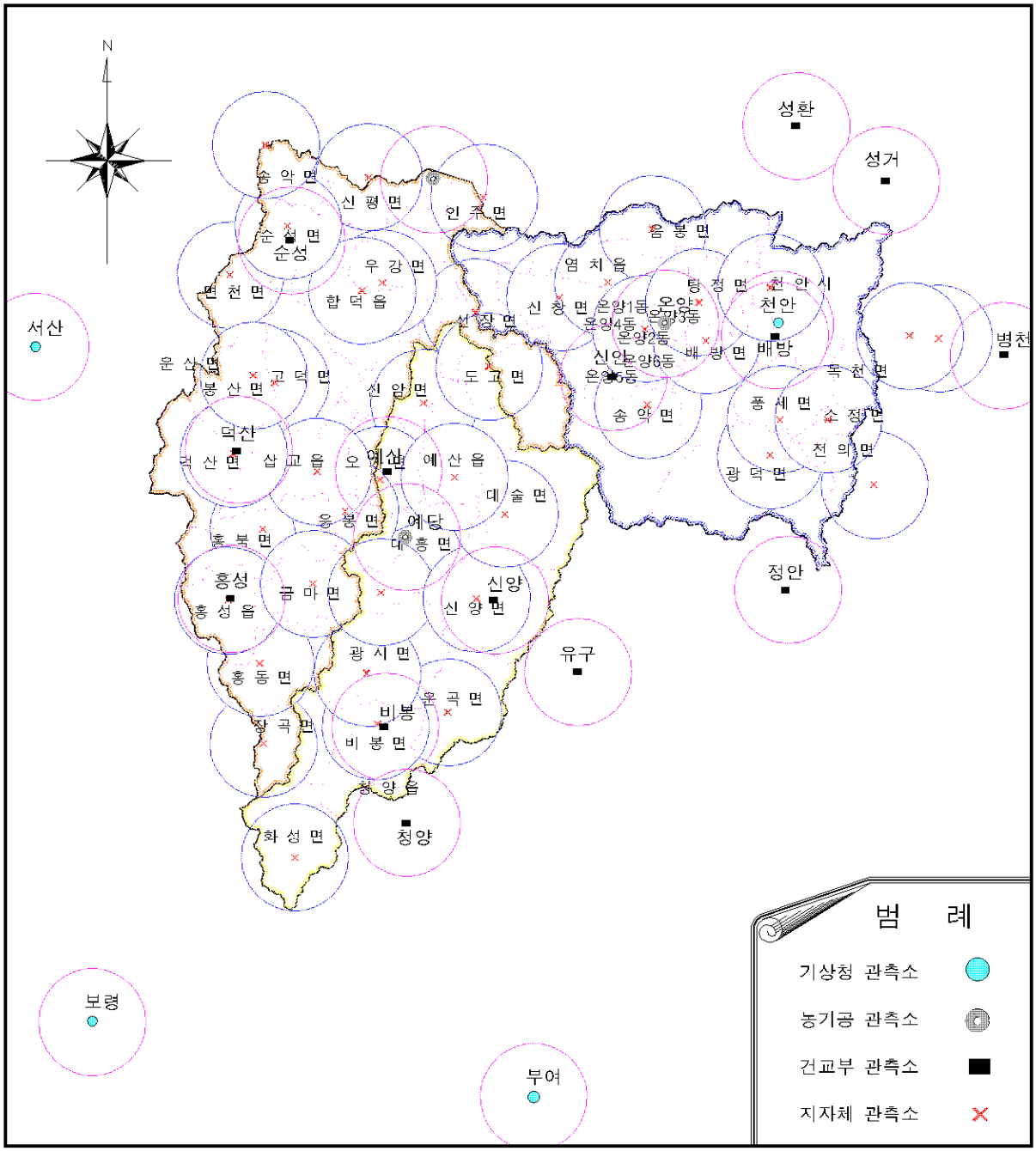
【주】① : 세계기상기구 우량관측소 밀도기준
② : 하천설계기준 우량관측소 밀도기준

(2) 우량관측소의 공간적 배치 분포

삽교천 유역내 우량관측소의 공간적 분포를 평가하기 위해 유역내 및 인근에 위치한 각 우량관측소를 중심으로 '하천설계기준'에서 제시하고 있는 우량관측소 설치 기준인 50㎢의 면적을 가진 원을 작도하여 각 우량관측소의 지배범위 분포를 분석하였다. 그 결과 곡교천과 무한천 및 도고촌 유역의 경계(대술면, 도고면, 송악면 경계)가 만나는 차령산맥 끝자락에 해당하는 산악지역 일부가 관측소의 지배범위에서 사각지대에 놓인 것으로 나타났다.

이 지역은 유역내에서 가장 험준한 산악지형에 속하여 도시의 발달이 미약하므로 지자체의 관측소가 설치되지 못하였으며, 삽교천 유역과 금강 유역의 분수계를 이루는 지형특성상 건교부 관할 관측소 중 삽교천 유역내 신양, 신인 관측소와 금강 유역의 정안, 유구 관측소의 중간에 위치하여 우량관측망의 범위에서 벗어난 것으로 판단된다.

그러나 경사가 급한 지역에 많은 양의 강우가 단 시간에 집중될 경우 지표면을 따라 계곡에 모인 홍수가 높은 수위의 홍수파를 형성한 후 토석류를 동반한 돌발홍수를 일으킬 가능성이 높으므로 하류에 위치한 대술면, 도고면, 송악면의 안전을 위해서는 이 지역에 우량관측소를 신설하여 강우특성을 파악할 필요가 있다.



<그림 15.2> 우량관측소의 분포 검토

(3) 삽교천 유역내 우량관측망 개선방안

삽교천 유역내 우량관측망은 지자체 관할 관측소를 포함할 경우 대체로 관측소 밀도가 26~27㎢/개소로 매우 양호한 편으로, 신규 관측소 설치는 전술한 1개소 이외에는 필요하지 않을 것으로 판단된다. 그러나 각 관측소의 자료보유 현황은 기상청 관측소를 제외하고는 시강우량 기록이 20년 미만이며, 특히 지자체 관측소의 경우 5년 내외로 관측자료가 매우 적으며, 자료 관리도 매우 부실한 실정이다.

부족한 강우기록은 지속적인 관측을 통해 해결할 수 있지만, 관측된 자료의 관리가 부실할 경우 그 신뢰성과 사용성은 크게 저하될 것이다. 따라서, 향후 신뢰성 있고 합리적인 강우자료 구축을 위해 강우자료의 이상치를 보정하고, 결측치에 대한 보완작업을 수행 할 수 있는 기관이 필요하다.

현재 삽교천 유역의 수문자료를 관리하고 있는 금강홍수통제소의 인적구성은 모두 일반 토목직 및 관리직으로 수문자료에 대한 전문성이 부족한 것으로 판단된다.

최근 건교부에서는 수문관측업무와 홍수예경보업무 수행의 전문성 제고를 위해 한강홍수통제소 산하에 박사급의 센터장 1인(4급) 및 연구관(5급) 2명과 석사급의 연구사 9명 등 12명으로 구성된 '하천정보센터'를 설치하였으며, 2005년 5월부터 센터의 업무가 시작되어 홍수통제소 업무의 수행이 크게 개선되리라고 기대된다.

지자체 관측소의 자료를 포함한 삽교천 유역의 강우자료의 관리와 데이터베이스 구축을 위해 금강홍수통제소에 전문인력을 충원하거나, 여의치 않을 경우 '하천정보센터'나 소방방재청에서 통합 관리하는 것이 필요하다.

<표 15.4> 금강홍수통제소 직급별 인원현황

구 분	계	일반계	4급	5급	6급	7급	8급	9급	기능계	7급	8급	9급	10등급
계	26/26	14/14	1/1	2/2	2/2	5/5	4/4		12/12	0/1	0/2	3/9	9/0
조사·관리과	17/17	9/9	1/1	1/1	1/1	3/3	3/3		8/8			2/8	6/0
전기·통신과	9/9	5/5		1/1	1/1	2/2	1/1		4/4	0/1	0/2	1/1	3/0

『자료』 건설교통부 수자원국, 2005. 5
【주】 정원/현원

또한, '95년 이후 지자체에서 건교부 및 기상청 관측망을 고려하지 않고 모든 읍·면별로 관측소를 설치하여 기존 관측소의 반경 5km 이내에 위치한 관측소가 많으므로 이들 관측소는 전문성 있는 기관을 중심으로 통합하여 운영할 필요가 있다.

<표 15.5> 삽교천 유역내 중복 우량관측소 현황

관측소명	홍성	비봉	덕산	신양	신양	천안	온양
관할기관	건교부 지자체	건교부 지자체	건교부 지자체	건교부 지자체	건교부 지자체	기상청 지자체	농기공 지자체

나. 수위관측소

(1) 수위관측소 현황

하천의 수위관측 목적은 기본적으로 국가의 수자원을 정의하고, 이용하고, 아울러 잘 관리할 수 있도록 양질의 수문정보를 제공하는데 있다. 수위관측 자료의 이용은 크게 홍수예경보와 같이 즉시 필요한 자료와 수리구조물의 설계나 수자원 관리 목적과 같이 미래의 또는 장기적으로 필요한 자료로 나눌 수 있는데 일반적으로 전자의 경우는 단순히 수위관측만 시행하여도 그 이용 목적에 충분한 자료를 제공할 수 있는 반면, 후자의 경우는 관측된 수위를 유량으로 환산할 수 있는 수위-유량 관계의 개발이 필요하다.

삽교천 유역내 수위관측소는 건교부에서 관리하는 홍성, 수촌, 구만 등 3개 관측소가 삽교천 본류에 위치하고, 지류인 무한천에 원평 및 창소 관측소, 곡교천에 강청, 한내교, 가송 관측소, 곡교천 지류인 천안천에 배방 관측소, 풍서천에 풍세 관측소 등 총 10개소가 운영되고 있다. 그러나 수위관측소 중 수위-유량 관계곡선(Rating Curve)를 보유하고 있는 관측소는 수촌, 강청, 원평 및 창소 관측소 등 삽교천과 곡교천에 각 1개소 무한천에 2개소씩 4개소뿐이다.

그 밖에 예당지와 삽교호 배수갑문 운영을 위해 농업기반공사에서 자체적으로 관리하는 수위표가 있으나 삽교호 수위관측소는 호우시 내수위를 측정하기위해 목측으로 관측하는 자료로서 정기적인 관측이 아니라 홍수 발생시 배수갑문 개·폐시에만 기록하고 있어, 자료 이용에 한계가 있다. 예당지의 경우 예당저수지 지점에서 수위를 목측으로 관측하다 상류지역인 신양천 합류부의 무봉교 지점에 2002년 12월에 TM수위표를 설치하여 2003년 이후부터 운영중에 있다. 또한 천안시에서 관리하고 있는 남관(곡교천) 및 눈들(천안천) 관측소가 있는데 관측개시 년도가 '95년 이후이며, 자료관리가 제대로 이루어지지 않고 있다.

<표 15.6> 삽교천 유역내 수위관측소 현황

하천명 / 관리주체	삽교천	곡교천	무한천	비 고
건 교 부	3	5	2	곡교천수계내 한내다리, 가송관측소는 곡교천 본류에, 배방, 풍세관측소는 천안천, 풍세천에 설치됨
농업기반공사	1	-	2	삽교호 및 예당지에 수위관측시설이 있으며, 이중 삽교호내 수위관측소는 목측에 의한 관측임.
지 자 체	-	2	-	천안시에서 관리하는 눈들(곡교천) 및 남관(천안천)관측소가 있다.
계	4	7	4	

(2) 수위관측망 적정성 분석 및 개선방안

우량관측소와는 달리 수위관측소의 설치에 대한 정량화된 기준은 없는데 그 이유는 개개 유역의 유출특성과 하천특성이 다르기 때문이다. 따라서, 삽교천 유역의 수위관측망에 대한 평가는 관측자료의 활용성과 신뢰도가 높은 건교부 관측소의 밀도를 타 수계와 비교하고, 이어 삽교천 유역의 유출특성을 파악하는데 있어 적당한 위치에 설치되어 있는지를 정성적으로 평가하는 방법으로 실시하였다.

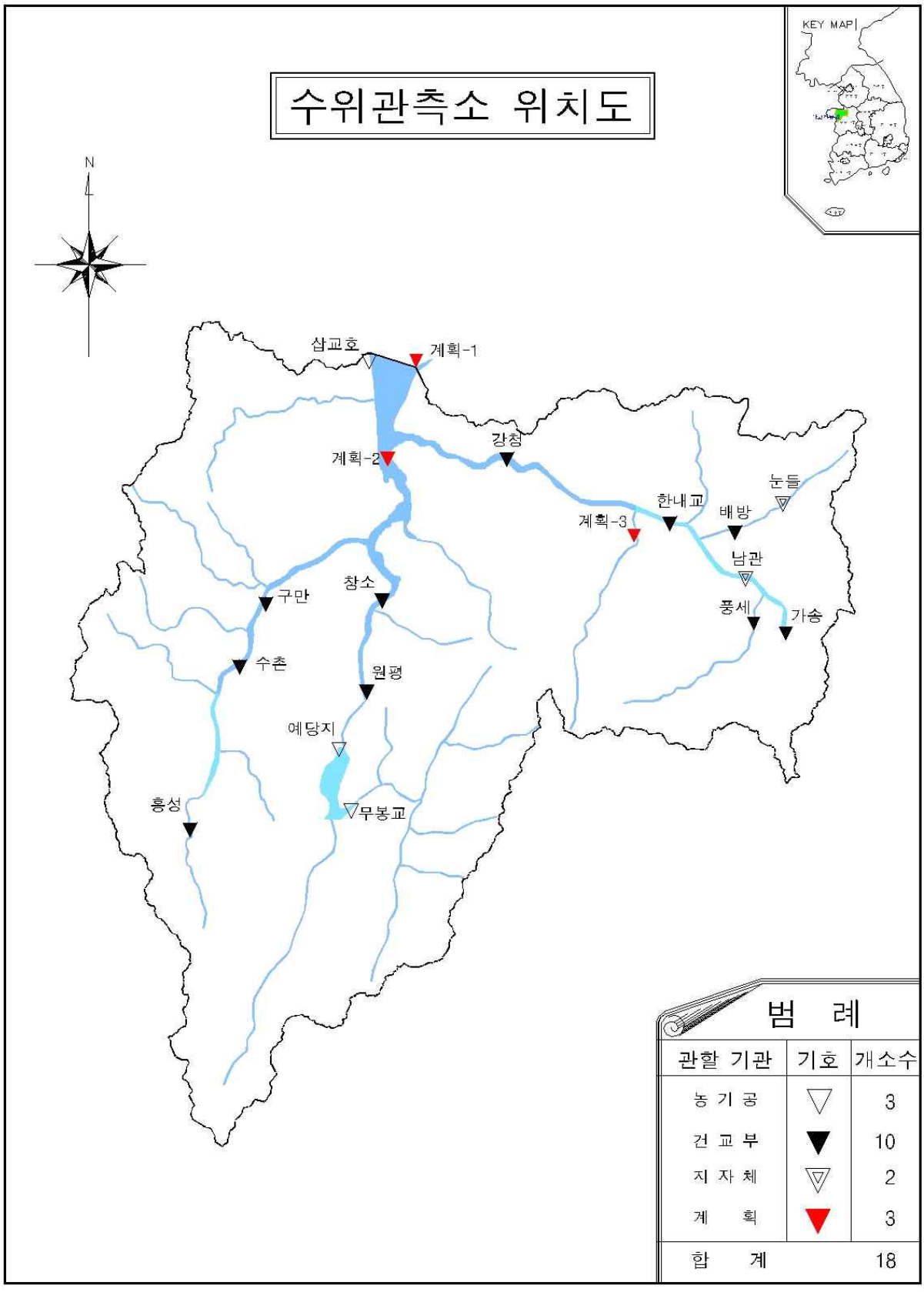
삽교천 유역내 주요 하천의 수계별 수위관측망은 <표 15.7>에서 보는바와 같이, 곡교천의 경우 수위관측소가 5개소로 수계내 총 하천연장 기준으로 43.52km/개소, 유역면적 기준으로는 109.02㎢/개소로 가장 조밀한 것으로 나타났으며, 다음으로 삽교천과 무한천 순으로 나타났다. 이 결과를 타 수계의 수위관측망과 비교하면 삽교천 수계내 수위관측망이 비교적 조밀한 것으로 분석되었다.

<표 15.7> 삽교천 수계 수위관측소 적적성 분석결과

수 계 명	수위관측소 개 소 수	하천연장 기준		유역면적 기준		비 고
		연장 (km)	밀 도 (km/개소수)	면적 (㎢)	밀도 (㎢/개소수)	
삽 교 천	3	217.4	72.47	632.51	210.84	무한천, 곡교천 수계 제외
곡 교 천	5	217.6	43.52	545.08	109.02	천안천 및 풍서천 포함
무 한 천	2	185.0	92.50	471.80	235.90	-
수계 전체	10	620.0	62.00	1,649.39	164.94	

<표 15.8> 주요 수계별 수위관측소 현황

수계명	유역면적 (㎢)	하천연장 (km)	건설교통부			비면적 (㎢/개소)	비연장 (km/개소)
			TM	자기	소계		
한 강	26,218.60	7,159.15	56	8	64	409.67	111.86
낙동강	23,817.30	7,385.10	43	17	60	396.96	123.09
금 강	9,810.40	3,760.21	40	8	48	204.38	78.34
섬진강	4,896.50	2,073.85	15	1	16	306.03	129.62
영산강	3,455.00	1,436.06	29	-	29	119.14	49.52
안성천	1,699.60	606.37	6	1	7	242.80	86.62
계	69,897.40	22,420.74	189	35	224	312.04	100.09
삽교천	1,649.39	620.0	10	-	10	164.94	62.00



<그림 15.3> 수위관측소 현황 및 추가 설치지점 위치도

‘하천설계기준(2005, 한국수자원학회)’에는 수위관측소의 배치와 관련하여 주요 지류 또는 하천의 분·합류 전후, 보, 수문 등의 상하류에 수위관측소를 설치하여 하천수위의 변화 양상을 파악할 수 있어야 하며, 협곡부, 유수지, 호소, 저수지, 하구 등에서는 홍수파의 감소, 홍수파의 전파, 인위조작의 영향, 조석파의 영향 등에 의해 특별한 수리현상이 발생하는 곳에 수위관측소를 설치하도록 규정하고 있다.

삽교천 유역의 건교부 관할 수위관측소는 삽교천 및 곡교천, 무한천의 중·상류부에만 설치되어 있고, 무한천 합류점 하류의 삽교호의 배수영향을 크게 받는 위치에는 설치되어 있지 않고 있다. 또한 삽교천 하구에 위치한 배수갑문 조작의 영향을 평가하고, 배수갑문의 합리적인 운영을 위해 배수갑문 지점의 내·외수위를 동시에 관측하여야 하나 현재 농업기반공사에서 목측에 의해 배수갑문 개문 및 폐문시에만 수위를 관측하여 기록하고 있을 뿐 정밀하고 자동화된 장비에 의한 관측은 이루어지지 않고 있다.

따라서, 삽교호 배수갑문 조작영향 분석 및 배수갑문의 합리적인 운영을 위해 배수갑문 또는 방조제 지점에 수위관측소가 추가로 설치되어야 하며, 하천변 저지대가 발달한 하류지역의 홍수예경보를 위해 무한천 합류점에서 곡교천 합류점 지점사이에 추가적인 관측소 설치가 필요하다. 향후 도시화가 예상되는 온양천 유역도 도시지역의 홍수 예경보를 위해 반드시 추가적인 수위관측소 설치가 필요한 지역이다.

<표 15.9> 삽교천 수계내 수위관측소 추가 설치필요 지점

관측 지점	목 적	비 고
삽교호	○삽교호 배수갑문 조작 영향 분석 ○삽교호 배수갑문의 합리적인 운영을 위해 필요	○배수갑문 내·외수 동시관측
무한천 합류점 ~ 곡교천 합류점	○삽교호 배수갑문 조작 영향 평가 ○삽교천 수계내 타당한 홍수예·경보 실시를 위해 필요	○삽교천 유역내 침수피해가 가장 광범위하게 발생되는 지점으로 삽교호 홍수예경보의 기준이 되는 지점으로 간주할 수 있음
예당지 지점	○삽교호와 연계운영을 위해 필요함. ○예당지의 합리적인 운영을 위해 필요	○기존의 목측수위표를 T/M수위표로 교체 필요
온양천 하구	○아산신도시 및 기업도시 등 향후 급격한 도시화가 예상되는 지역으로 도시지역의 홍수예방을 위해 설치 필요	○삽교천 수계내 향후 도시화가 예상되는 지역

15.1.2 삽교천 유역내 유출상황 모니터링 현황

삽교천 유역내 유출상황 모니터링은 별도의 하천모니터링 사업에 의해서 시행된 적은 없고, 하천정비기본계획, 하상변동 조사, 유량측정 사업 등의 일환으로 개개 사업의 필요에 의해 제한된 항목에 한해 시행하였다. 특히 최근 그 필요성이 부각되고 있는 하천환경에 대한 모니터링은 거의 실시하고 있지 않고 있으며, 수위-유량 관계곡선 개발과 보완을 위한 유량측정은 비정기적으로 시행하고 있는 실정이다.

현재 까지 이루어진 삽교천 유역내 모니터링 현황은 다음과 같다.

가. 유량 측정

유량측정은 수위와 유량의 제반관계를 분석하여 경제적인 이수, 치수계획을 수립하고, 수공수조물 설계에 필요한 수문량을 결정하며, 홍수예경보 실시에 필요한 기초자료를 제공하기위해 실시한다.

삽교천 유역에 위치한 수위관측소는 원평, 수촌 관측소가 각각 일제시대인 1929년, 1932년부터 관측을 시작하였으며, 이후 1962년에 구만, 홍성, 강청, 창소 등의 4개 관측소가 증설되어 관측을 실시하였다. 이후 영점표고 변경 및 관측지점 이설 등의 변동을 거치다 1998년에 모든 관측소에서 TM화가 실시되어 현재까지 이르고 있다. 각 관측소별 변동 상황은 부록에서 수록하였다.

삽교천 유역내 유량측정은 <표 15.10>에서 보는바와 같이 총 6개 수위관측소 중 주요하천인 삽교천, 곡교천, 무한천 본류에 대해 각 1개씩 유량측정을 실시하다가 무한천의 창소 관측소에서 2003년 유량측정을 실시하여 현재는 4개 관측소에서 유량측정 성과를 보유하고 있다.

<표 15.10> 삽교천 유역내 유량측정 현황

관측소	이용자료	영점표고 (EL.m)	인 용 문 헌	비 고
강청	86	3.42	홍수량측정조사보고서(1986)	
	86, 87	3.42	홍수량측정조사보고서(1987)	
	2003	3.42	한국수문조사연보(2003)	
수촌	18, 30, 32	-	한국수문조사서(1963)	
	86	9.703	홍수량측정조사보고서(1986)	
	86, 87	9.703	홍수량측정조사보고서(1987)	
	95, 96	5.828		
	98	5.898		
	99	5.898	한국수문조사연보(1999)	
	0	5.898	한국수문조사연보(2000)	
	99～01	5.898	한국수문조사연보(2001)	

<표 15.10> 삽교천 유역내 유량측정 현황 (계속)

관측소	이용자료	영점표고 (EL.m)	인 용 문 헌	비 고
원평	12	-	한국수문조사서(1963)	
	1898, 1906 18, 26, 30	-	한국수문조사서(1963)	
	86	7.279	홍수량측정조사보고서(1986)	
	86, 87	7.279	홍수량측정조사보고서(1987)	
	86, 87, 89	5.656	홍수량측정조사(한강수역권)보고서(1989)	
	95	5.656		
	95, 96	5.656		
	98	5.656		
	99	5.651	한국수문조사연보(1999)	
	2000	5.651	한국수문조사연보(2000)	
	99～01	5.651	한국수문조사연보(2001)	
창소	2003	-	한국수문조사연보(2003)	

나. 유사량 조사

삽교천 유역의 유사량 조사 성과는 삽교호 방조제 축조 이전인 '71～'73년도에 측정한 자료(삽교천 하천정비 기본계획, 1977, 건설부)와 '78～'90년 한국 농지개발연구소에서 조사한 유사량 자료를 이용하여 분석한 '댐설계를 위한 유역단위 비유사량 조사연구, 1992, 건설부'가 있다. 그러나 그 성과에 차이가 크고, 15～30년 전의 자료에 의해 도출된 결과이므로 향후 삽교호와 예당지 유지관리 및 각종 치수대책 수립의 기초자료로 활용하기 위해서 삽교호와 예당지를 포함한 유역내 주요 지점의 유사량 조사가 추가로 실시되어 그 정확성을 제고하여야 할 것이다.

<표 15.11> 하천별 연도별 연간유사량(1971 ～ 1973년)

단위 : ㎥/년

구 분	삽교천	곡교천	무한천	합 계	비 교
1971년	119,316	100,390	56,356	276,062	예당지 유역 제외
1972년	245,168	215,143	145,148	605,459	
1973년	108,817	168,568	24,536	301,921	
연평균 유사량	157,767	161,367	73,347	394,481	
연평균비유사량 (㎥/년㎢)	251	301	155	240	

<표 15.12> 댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 자료(1992)

단위 : ㎥/년

지 점	유역면적	조사기간	비유사량 (㎥/year/㎢)	비유사량 (TON/year/㎢)	비 고
삽교호	1,263	'78 ~ '90	279	408	314㎥/year/㎢

다. 하상변동 조사

하상변동조사는 하도의 변화 상태를 조사·분석하여 하도의 홍수소통능력 및 호안 등 하천시설물의 안전성에 주는 영향을 평가하여 합리적이고 체계적인 치수대책을 수립하기 위해 실시하고 있다. 삽교천 유역의 하상변동 조사는 하천정비기본계획 및 하상변동조사를 통해 실시하였는데, 하천정비기본계획은 '77년, '94년 및 2004년 등 3회에 걸쳐 시행되었으며, 하상변동 조사는 '87년 1회, 기타 1회로 총 2회에 걸쳐 시행하였다.

<표 15.13> 삽교천 수계 주요 하천의 종·횡단측량 시행 현황

관 련 사 업	하 천 명	측량 년도	비 고
삽교천 하천정비 기본계획	삽교천, 곡교천, 무한천	1977	
삽교천 하상변동조사	삽교천	1987	
삽교천 하상변동조사	곡교천, 무한천	1988	
삽교천 하천정비 기본계획(보완)	삽교천	1994	
삽교천(무한천, 곡교천) 하천정비 기본계획(보완)	곡교천, 무한천	1994	
아산·삽교호 주변 침수원인 분석	삽교천, 곡교천, 무한천	2000	
삽교천 하천정비 기본계획	삽교천, 곡교천, 무한천	2004	2005년 현재 시행중

15.1.3 모니터링 계획

가. 모니터링 결과의 활용

(1) 홍수예경보 시스템의 입·출력으로 활용

강우량 및 수위 관측결과는 홍수예경보시스템의 입력 및 출력으로 활용된다. 현재 삽교천 유역은 홍수예경보시스템이 구축되어 있으며, 건교부에서 관리하는 우량 및 수위 관측소는 모두 T/M설비에 의해 홍수예경보시스템과 연결되어 있으나, 앞서 기술한 삽교천 유역내 수문관측망 평가 결과를 토대로 우량관측소와 수위관측소를 증설하여 운영할 경우 보다 정확한 유역의 상황파악 및 홍수예경보가 가능할 것이다.

(2) 새로운 치수대책의 검증 및 성능평가

삽교천 유역의 유출상황 파악은 유역종합치수계획의 성과를 검증하고 보완 및 개선하는데 필요하다. 특히 금회 개발한 유역 중하류부 구간의 유출 및 침수해석 모형의 매개변수를 결정하고, 그 적용성을 검토하기 위해서는 실제 홍수시의 강우량 및 유출량에 대한 자료의 획득은 필수적이다. 따라서, 이러한 분석이 정량적으로 이루어 질 수 있는 자료의 축적이 필요하다.

(3) 유역 유출응답의 변화 파악

도시화나 기후변화, 기타 다양한 유역 상황의 변화는 유역의 유출응답 특성을 변화시킨다. 따라서 유역 전반적인 변화의 정도를 적절히 파악할 수 있는 수준의 관측망이 필요하며, 이렇게 획득된 자료의 분석을 통해 유역의 유출특성 변화를 정도 있게 파악할 수 있어야 한다.

(4) 유역 수질관리를 위한 정도 있는 유량자료 공급

수량 및 수질을 모두 포괄하는 유역관리에는 특히, 갈수기의 유량이 중요한 역할을 한다. 현재까지는 주로 홍수의 해석에 필요한 고수위의 유량관측 및 수위-유량관계에 많은 관심이 기울여졌지만, 향후 저수위에 대한 중요성도 이에 못지않게 증폭될 것이다. 따라서 현재까지 독립적으로 수행되었던 수질관측(유량측정이 배제된 경우가 일반적) 및 유량관측이 향후 적절히 연결될 수 있도록 저수위 자료에 대한 신뢰도의 향상 방안이 필요하다.

(5) 유역 내 침식 및 토사유출 상황 파악

유역의 변화와 맞물려 변화할 수 있는 것 중의 하나가 유역의 침식 및 토사유출 상황이다. 침식의 경우는 특히, 토지이용의 변화 및 강우특성의 변화와 깊은 관련이 있으며, 토사유출의 상당부분이 하천 세굴인 점을 고려하면 하천 유량의 특성변화도 중요하게 관찰되어야 할 대상이다. 주기적인 유사의 관측 및 저수지 퇴사의 분석을 통해, 아울러 강우 및 유출특성의 변화 모니터링을 통해 유역 내 침식 및 토사유출 상황의 정량적 파악이 가능할 것이다.

나. 삽교천 유역의 모니터링 방안 제시

삽교천 유역의 치수사업효과 검토, 정확하고 효과적인 홍수예경보 운영 및 하천관리

를 위해 정기적인 모니터링이 필요하다. 모니터링은 정기적인 모니터링과 비정기적인 모니터링이 있는데 본 절에서는 삽교천 유역의 정기적인 모니터링 방안을 제시하고자 한다. 삽교천 유역의 유출상황 분석을 위한 정기적인 모니터링으로는 유량조사, 유사량 조사 및 하상변동 조사가 있으며, 그 밖에 하천환경을 위한 모니터링이 있다. 하천환경 모니터링은 본 과업의 특성상 제외하며, 하천관리를 위한 모니터링의 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 수위 및 유량 조사

삽교천 유역의 수위 및 유량조사는 하천정비기본계획 및 유역종합치수계획의 성과를 검증하고, 홍수예경보시스템의 운영을 위해서 필요하다. 삽교천 유역의 수위조사는 기존의 관측소 지점에 추가하여 전술한 수문관측망 적정성 분석에서 제안한 삽교호 방조제 지점의 내·외수 거동 파악을 위한 지점과, 삽교호 배수영향 구간의 특성을 파악하기 위한 무한천 합류부에서 곡교천 합류부 사이에 수위거동에 대한 조사가 필요하다. 또한 도시지역의 유출특성을 파악하기 위해 온양천 유역에 수위조사가 필요하며, 삽교호와 연계된 예당지 운영을 위해 예당지 지점에서도 지속적인 수위조사가 필요하다. 아울러 홍수시 비정기적으로 흔적수위를 조사하여 기존의 홍수위 계산에 사용되어진 매개변수에 대한 검정도 필요할 것으로 판단된다.

유량조사는 홍수관리 및 하천 상시유량관리, 수질관리 등을 위해 필요한 항목으로 수위관측소 지점을 대상으로 정기적으로 실시하여야 한다. 삽교천 유역내 유량조사는 기존의 10개 수위관측소 중 4개 관측소에 대해서만 시행하고 있는 실정으로 상·하류 유출특성분석 및 홍수량 산정시 필요한 매개변수 검정을 위해 유역특성(하천경사 및 토지이용 특성 등)의 변화가 심한 지점에 대해서도 지속적인 조사가 필요할 것이다. 특히 삽교천 유역과 같이 산지지역과 저지대 농경지 지역이 확연하게 구분되는 지역의 경우 산지지역 유출특성 분석을 위해 상류지점에 대한 유량측정이 필요하며, 하류 저지대 유출특성 분석을 위해 하류지역에 대한 유량측정도 동시에 시행하여야 한다.

특히 홍수시 예당지 유입량 파악을 위해 농업기반공사에서 관리하고 있는 무봉교 지점의 유량조사는 시급히 시행할 필요가 있다.

(2) 유사량 조사

하천의 유사량은 하상변동의 예측과 저수지 퇴사량 추정을 위해 필요한 것으로, 삽교천 유역의 경우 유역내 유출특성에 큰 영향을 미치는 삽교호 및 예당지의 내용적 변화

를 추정하기 위해 유사량 조사는 반드시 필요하다 할 것이다.

유사량은 하천의 토지피복상태 및 하상재료 등에 의해 많이 좌우되는데 삽교천 유역의 상류는 대부분 산지지역이며, 하류는 답작 중심의 농경지로서 토지피복 특성이 상하류 지역에서 확연히 구분된다. 따라서 삽교천 유역의 유사량 조사는 <표 15.14>에서 보는바와 같이 상류부의 예당지와 하류부의 삽교호 구간에서 필요할 것으로 판단되며, 측정 시기는 홍수기와 비홍수기로 나누어 실시하여야 한다. 유사량 측정시 한지점에 대해 10회 이상, 홍수시에는 횡단 방향으로 최소 2점이상 선정하여 측정하여야 한다.

<표 15.14> 삽교천 유역의 유사량 측정 필요지점

구 분	목 적	비 고
삽교호 지점	○삽교천 유역 하류부의 토사유출 특성 조사 ○삽교호 퇴사량 추정	삽교천 유역 중·하류부의 경우 하상경사가 완만하며, 저지대 농경지 유역
예당지 지점	○삽교천 유역의 상류부 토사유출 특성 조사 ○예당지 퇴사량 추정	삽교천 유역의 경우 지류인 무한천, 곡교천 과 삽교천의 상류부 특성이 비슷함

(3) 하상변동 조사

하상변동 조사는 하천의 홍수소통 능력과 호안, 수제, 교각, 저수지 등 하천구조물의 안전과 고유기능에 대한 영향을 파악하기 위해 수행하는 것으로, 일반적으로 하천 종·횡단 측량을 실시하여 분석하고 있다. 삽교천 유역의 하천정비기본계획 및 하상변동 조사를 통해 하상변동 추이를 분석한 결과 '95년 대홍수 이후 급격한 하상변동은 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 하지만 삽교호 및 예당지 유지관리를 위해 지속적으로 준설을 실시하고 있는데 이에 따른 영향으로 인해 하상변동이 발생한 개연성은 충분히 클 것으로 판단된다.

삽교천 유역의 하상변동 조사는 대홍수 발생과 하상 준설 및 골재 채취 등의 상황이 발생하지 않는다면 현재와 같이 약 10년마다 실시하여도 무방할 것으로 판단되며, 골재 채취 및 삽교호 준설 시행 후에는 적절한 기간이 경과한 후 하상변동을 조사하여야 할 것이다. 또한 대홍수 이후에는 최대한 빠른 시간내에 하상변동 조사를 실시하며, 특히 교각 및 수제, 보, 수문 등 구조물 주변의 경우에는 세심한 조사가 요구된다.

15.2 홍수방어 시설물 유지관리 방안

홍수방어시설물 유지관리는 완공된 시설물에 대하여 기능을 보전하고, 시설물 이용자의 편의와 안전을 도모하며 재해를 사전에 예방하는데 그 목적이 있으며, 이를 위해 일상적 또는 정기적인 점검·정비와 손상된 부분을 원상복구하여 공용 수명기간 중에 필요한 기능 및 성능을 회복시킴과 동시에 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량과 추가시설을 설치하는 것을 말한다.

본 절에서는 홍수방어 대안요소로서 계획된 각종 시설이 목적한 기능을 유지할 수 있도록 현재 시행되고 있는 유지관리 방안을 검토하고 보완 및 수정이 필요한 사항에 대해서 그 개선방향을 서술하고자 한다.

15.2.1 시설물 유지관리 개념 및 안전점검 종류

가. 시설물 유지관리 개념

유지관리는 시설물의 현재 상태를 파악하고 이상 징후 및 손상 유·무를 조기에 발견하여 보수·보강 등 적절한 조치를 취함으로써 이용자의 편의와 안전을 도모하는 것으로 관련법에서의 유지관리 개념은 다음과 같다.

<표 15.15> 관련법의 시설물 유지관리 개념

관련 법령	관련 내용	비 고
시설물 안전관리에 관한 특별법 (제2조 9항)	완공된 시설물의 기능을 보전하고 시설물이용자의 편의와 안전을 높이기 위하여 시설물을 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량·보수·보강에 필요한 활동을 하는 것	
농어촌 정비법 (제18조)	농업기반시설관리자는 농업기반시설에 대하여 항상 선량한 관리를 하여야 하며, 농업기반 시설의 보호·관리에 필요한 사항은 대통령으로 정한다.	
농업기반시설관리규정 (제2조 5항)	완공된 시설물의 기능을 보전하고 시설물 이용자의 편의와 안전을 도모하기 위하여 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상 복구하는 등 시설의 기능유지 보전에 필요한 활동을 하는 것	

나. 시설물 안전관리 대상 및 종류

홍수방어 시설물의 종류는 시설물안전관리특별법과 농업기반시설관리규정에서 규정하고 있으며, 각 법규별 종류는 <표 15.16> 및 <표 15.17>에서 보는바와 같이 시설물안전

관리특별법의 경우 1종, 2종으로 구분하며, 농업기반 시설관리규정에서는 1종, 2종, 3종으로 나누어 구분한다.

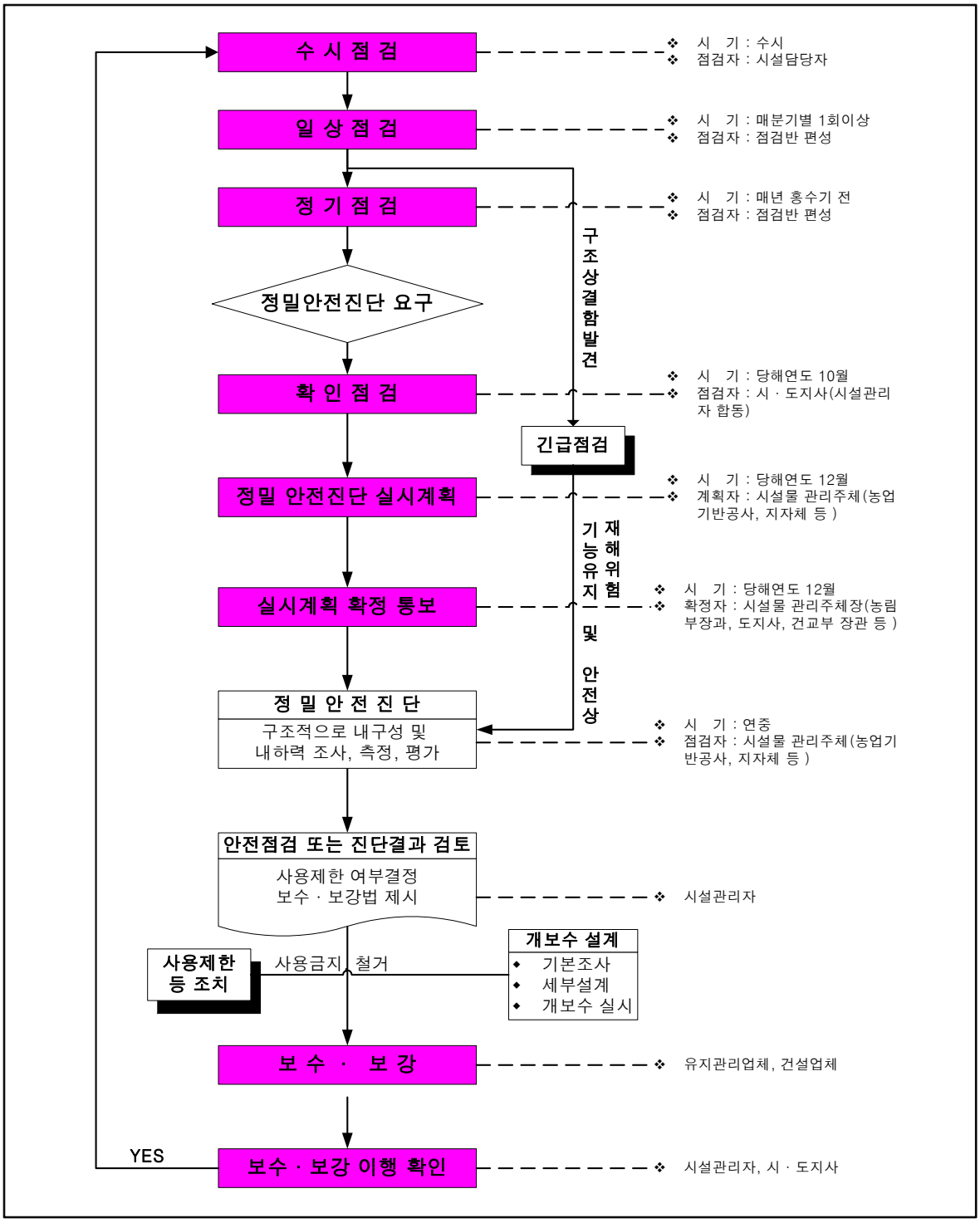
<표 15.16> 시설물안전관리특별법에 의한 시설 구분

종 별	1종	2종
시 설 내 용	○ 댐 : 다목적댐, 발전용댐 및 저수용량 2천만톤 이상의 용수전용댐 ○ 하천 : 하구둑, 특별시 또는 광역시안에 있는 하천의 수문	○ 댐 : 1종시설이외의 지방상수도 전용댐으로 1종시설물에 해당되지 아니한 댐 ○ 하천 : 특별시 또는 광역시 안에 있는 국가하천 제방과 수문, 지방1급 및 지방2급하천의 수문
삽교천 유역 대상시설	○ 삽교 방조제 ○ 예당저수지	국가하천구간(삽교천, 곡교천, 무한천)의 기성제, 배수펌프장, 배수문 등

<표 15.17> 농업기반시설 관리규정에 의한 시설 구분

종 별	1 종	2 종	3 종
시 설 내 용	○ 저수지 : 총 저수량 50만톤 이상인 시설 ○ 양·배수장 : 단위시설(1개소당) 2,000마력 이상의 시설 ○ 방조제 : 방조제 관리법에 의해 국가에서 관리하는 방조제	○ 저수지 : 1종시설 이외의 저수지 ○ 양·배수장 : 단위시설(1개소당) 1,000마력 이상의 시설 ○ 방조제 : 방조제 관리법에 의해 지방자치단체에서 관리하는 방조제	○ 1, 2종 이외의 양·배수장 및 방조제와 공공의 안전에 지장이 없는 취입보, 지하수 이용시설, 용·배수로 및 그 부대시설
삽교천 유역 대상시설	○ 삽교 방조제 ○ 예당저수지	○ 농업기반공사에서 관리하는 홍동저수지외 54개소의 저수지 ○ 종경 배수장 외 7개소	○ 기타 시설물

시설물 안전점검의 종류는 일상점검, 정기점검, 긴급점검이 있다. 일상점검은 매 분기별 1회 이상 일상적인 점검을 실시하는 것으로, 목측에 의해 장비의 운전조작, 장애물 제거 등을 실시하며, 정기점검은 매년 홍수기전에 홍수에 대응하기 위해 실시하는 점검으로 구조적인 결함 등을 판단한다. 정기점검시 필요하면 정밀안전진단을 실시하여 개보수 사업을 추진할 수 있다. 긴급점금은 긴급한 시설의 보수 및 보강필요가 있을 경우 실시하며, 긴급 안전점검팀을 구성하여 실시한다. 각 안전점검 종류별 주요내용은 <표 15.18>과 같으며, 시설물 유지관리 및 안전관리 체계는 <그림 15.4>와 같다.



<그림 15.4> 시설물 유지관리 및 안전관리 체계도

<표 15.18> 안전점검 종류별 주요내용

구 분	점 검 내 용	비 고
일 상 점 검	○ 매 분기별 1회 이상 점검반을 편성하여 실시 ○ 점검내용은 운전조작 및 정비, 재해 및 위험여부 확인, 장애물 제거 등 ○ 점검결과에 따라 노후정도가 심하고 구조적 결함이 발견되어 불안전시설로 판단되면 정밀안전진단을 통한 개보수사업 추진	

<표 15.18> 안전점검 종류별 주요내용 (계속)

구 분	점 검 내 용	비 고
정 기 점 검	○ 매년 홍수기전에 정기적으로 점검반을 편성하여 실시하고 보고 ○ 점검내용은 시설의 기능보전과 재해를 예방하기 위함 ○ 점검결과에 따라 노후정도가 심하고 구조적 결함이 발견되어 불안전시설로 판단되면 정밀안전진단을 통한 개보수 사업 추진	
긴 급 점 검	○ 시설관리자가 공중에 위해를 끼칠 우려가 있거나 긴급히 시설의 보수 또는 보강이 필요할 경우 실시 ○ 임무 - 시설물의 사전재해 예방 - 노후시설물 등에 대한 긴급상황 발생시 합동 대처 - 긴급복구 조치 ○ 운영방법 - 평시업무와 병행하여 상황 발생시 구성된 긴급안전점검팀을 즉각 운영하여 피해 확산 방지와 응급복구 방안 제시 - 안전점검 결과에 따라 해당 관리기관장 책임하에 긴급복구 조치 ○ 기대효과 - 시설물의 사전 재해예방을 통한 우량한 시설관리 도모와 시설물 기능유지 - 재해위험 지구에 대한 신속한 재해대비 및 복구체계 확립 - 진급안전점검 결과에 따라 정밀안전진단 실시지구로 선정하고 개보수 사업 예정지로 추진	

다. 삽교천 유역내 주요 치수시설 관리현황

삽교천 유역내 치수관련 주요 시설물로는 삽교호, 예당지, 기타 저수지 및 배수펌프장이 있으며, 이들 모든 시설물은 수리시설 안전점검표 및 수리시설 관리대장, 자체 관리규정이 작성되어 시행중에 있으나 정밀안전진단은 삽교호 및 예당지를 비롯한 규모가 큰 저수지에 한하여 실시되었으며, 배수펌프장 및 규모가 작은 저수지의 경우 아직까지 시행되지 않고 있다.

<표 15.19> 삽교천유역 농업기반 시설의 관리규정 실시 여부

구 분	삽교호	예당지	농업용 저수지	배수펌프장
준공연도	1979	1962	-	-
수리시설 안전점검표	보 유	보 유	보 유	보 유
수리시설 관리대장	보 유	보 유	보 유	보 유
자 체 관리규정	제 정	제 정	제 정	제 정
정밀안전진단 실시 여부	'02년 실시	'95, '99년 실시	홍동, 천호 등 일부저수지 실시	미실시

15.2.2 삽교호 및 방조제 유지관리방안

가. 삽교호 및 배수갑문 관리현황

삽교호 방조제는 '삽교천 방조제 관리규정'에 의해 관리되고 있으며, 정기점검 및 정밀안전진단을 실시하고 있다. '삽교천 방조제 관리규정'의 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 저수위 관리

- 내수위는 평상시에는 계획만수위 EL. 2.5m, 계획사수위 EL. -1.5m를 유지하고, 이때 유효저수량은 6,278,685ha.m이다.
- 홍수기에는 제한수위 EL. 2.0m를 유지하고 이때 홍수조절 용량은 982.9ha.m이며 홍수로 인하여 예당저수지 수문을 완전 개문시에는 홍수도달시간 이전에 표고 EL. 1.0m의 수위를 유지하도록 하여야 한다.
- 홍수기는 6월 21일부터 9월 20일까지로 한다.

(2) 배수갑문 운영

- 배수문을 통한 방류는 가능한 하류부의 급격한 충격을 피하도록 외수위가 배수문 바닥표고 EL. -3.5m 보다 높을 때 배제함을 원칙으로 한다.
- 배수갑문 조작은 배수갑문기계, 전기관리요령에 의하되 홍수발생 초기부터 내·외수위 조건상 방류가 가능할 때는 6개문을 항상 완전개문 하여야 한다.
- 배수갑문 조작순서는 고장 등 부득이한 경우를 제외하고는 3, 4, 2, 5, 1, 6호 수문의 순으로 개방하고 폐문할 때는 이의 역순으로 한다.

나. 삽교방조제 배수갑문 증설계획

'12.3.5 삽교호 배수갑문 증설'에서 검토한 바와 같이 배수갑문의 증설규모는 현재의 20(B)×6(H)×6련에서 12련으로, 현재와 같은 규모의 배수갑문 6련을 증설하는 것으로서 신설 배수갑문의 입지 및 규모는 다음과 같다.

- 신설 갑문의 입지는 기초지반상태, 유지관리, 방조제를 통한 차량 통행, 경제성 등을 고려하여 당진군 측에 위치한 현배수갑문에 연하여 설치
- 배수갑문 증설규모는 현재 20m(B)×6m(H)×6련 ⇒ 20m(B)×6m(H)×12련으로 설정

다. 홍수시 삽교호 관리 방안

(1) 홍수시 수위관리 및 방류계획 수립

○ 삽교호 관리에 있어 가장 중요한 업무 중 하나는 홍수기 수위관리이며, 삽교호 방조제는 삽교천 최말단부에 위치하여 서해 조위에 절대적으로 영향을 받으며, 한편으로 삽교호의 내수위는 상류로 약 20km 까지 배수영향을 미치므로 상류에서 발생하여 삽교호로 유입하는 홍수량과 서해 조위의 파악 및 변화 추이를 실시간으로 예측하여 배수갑문의 운영에 반영하여야 한다.

○ 삽교호 배수갑문을 효과적으로 운영하기 위해서는 삽교호 내·외수위 관측을 위한 TM수위표가 설치되어야 한다. 현재 삽교호의 수위는 배수갑문 개문 및 폐문 시에만 목측으로 관측하고 있어 주변 지역 및 배수영향 구간의 홍수위 변화를 파악하는데 한계가 있다. 삽교호의 외수위는 한국해양조사원에서 운영하고 있는 인근의 평택항 검조소 및 안흥 지점의 조석과의 상관관계를 분석하여 미리 예측함으로써 홍수상황에 적합한 실시간 운영이 이루어 질 수 있도록 하여야 한다.

○ 이상의 목표를 달성하기 위해서는 금강홍수통제소에서 운영하는 삽교천 홍수예경보시스템과 연계 운영이 절대적으로 필요하며, 홍수위관리를 위한 방류계획 수립 시 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- 삽교호 배수영향권 밖의 하도유하량 파악(삽교천 수촌 지점의 유량, 곡교천 한내교 지점의 유량, 무한천의 예당지 방류량)
- 상기한 수위표지점 하류지점의 잔유역으로 부터의 하도 유입량 추정
- 각 수위표지점에서 삽교호까지의 도달시간을 고려하여 삽교호 유입량 및 홍수위 변화 예측
- 조위의 관측 및 예측 결과와 삽교호의 홍수위 변화 예측 결과와 비교하여 수문 개폐규모 설정
- 부정류모형을 이용한 시간별 삽교호 저수량 및 홍수위 추정
- 상기한 과정을 적절한 시간 간격으로 반복하여 실시간으로 삽교호 방조제 내·외수위 변화 추이를 추적함으로써 배수갑문의 최적운영 도모

(2) 홍수시 삽교호 관리

○ 삽교호 주변은 저지대 농경지가 발달하여 삽교호 수위 지속시간이 내수침수 피해에 큰 영향을 미치므로 삽교호의 홍수위를 신속히 저하시켜 주변 저지대의 배수가 원활히 이루어지도록 하여야 한다.

○ 홍수시 삽교호 관리는 현재와 같이 홍수유출에 대비하여 제한수위를 유지하고, 제한수위시라도 위에서 분석한 결과에 따라 급속한 홍수유입이 예상되는 경우에

는 사전에 예비방류를 시행하여 홍수위를 조절한다.

(3) 배수갑문 조작

○ 수문개방은 하류 전단면에 유량이 고루 분포되도록 전 수문을 고르게 개방하여야 하며, 특별한 사정이 있는 경우 이를 변경할 수 있다.

○ 문비는 배수갑문 중심에 있는 문비를 기준으로 차례로 밖으로 개방한다.

○ 문비의 폐쇄는 개방의 역순으로 한다.

○ 내외 수위차가 작은 경우 문비를 동시에 개방하여 단시간에 최대의 유량을 방류함으로써 신속하게 홍수위를 저하시킬 수 있도록 한다.

라. 일상적인 유지관리 방안

삽교호 방조제는 정기적으로 제방의 변형 및 구조물의 상태를 육안으로 확인하며, 이상이 있을 경우 정밀 안전진단을 실시한다. 방조제의 일반적인 유지관리 사항은 다음과 같다.

가) 방조제의 유지관리 및 일상적 점검항목

방조제는 매분기별로 점검반을 편성하여 제방의 변형을 육안으로 확인하며, 아울러 침하, 누수, 균열 및 포락여부 등을 확인하고, 또한 사면보호공의 유실 및 이완, 담수호 유입토사의 퇴적으로 인한 변화 등을 확인하고 이상이 발생할 경우 긴급점검을 실시하여 세밀한 안전진단을 시행하여야 한다. 또한 홍수기전에 정기적인 점검반을 편성하여 시설의 구조적 결함을 판단하여야 하며, 구조적 결함이 발생되면, 정밀안전진단을 통해 개보수 작업을 시행하여야 한다. 방조제의 일상점검 항목은 <표 15.20>과 같다.

<표 15.20> 방조제의 유지관리 점검항목

구 분	진단항목	세부항목	점검내용	비 고
방조제	토 공	침 하	침하부위, 원인 및 정도	
		균 열	제체의 균열정도 및 여부	
		공동현상	짐승굴, 나무뿌리 및 기타 현상으로 인한 공동현상	
		누 수	위치, 누수원인, 누수여부	
		사면붕괴	사면 슬라이딩, 붕괴여부	
		식 생	Ep, 잡초, 잡목 등의 식생	
		배수처리	측구, 배수구 관리상태	
	피복공	침 하	침하부위, 원인 및 정도	
		유 실	유실부위, 원인 및 정도	

나) 배수갑문 유지관리 및 일상적 점검항목

배수갑문의 유지관리를 위해서는 방조제와 마찬가지로 분기별로 육안에 의한 일상점검을 시행하며, 점검항목은 구조물의 침하 및 균열, 변형 등이고, 배수갑문 바닥의 세굴 및 퇴적에 대해서도 육안으로 확인한다. 또한 문비의 작동여부를 확인하며, 문비 및 제반 금속제 시설물의 부식예방에도 힘써야 할 것이다. 일상점검에서 이상이 발생할 경우에는 긴급점검을 실시하며, 홍수기 전에는 정기점검을 실시한다.

<표 15.21> 방조제의 유지관리 점검항목

구 분	진단항목	세부항목	점검내용	비 고
배수갑문	구조물	침 하	침하부위, 원인 및 정도	
		균 열	균역, 백태, 박리 및 파손여부	
		변 형	부위별 변형의 크기, 방향	
		배수갑문	갑문 바닥의 세굴과 퇴적 및 이상여부	
		누 수	지수벽 및 배수문 고무지수판 누수여부	
	수 문	홍 수 량	방류시설의 기능, 적정성	
		조 위	조위관측시설 작동, 적정성	

다) 기타 유지관리 사항

삽교호 방조제의 안정적인 기능을 유지하기 위한 기타 유지관리 방안으로는 수위표에 대해 영점표고 등에 대한 점검을 실시하여 수위관리를 철저히 하며, 방조제 및 삽교호 내에 오물투기를 금지하고, 관련부지와 수면관리에 따르는 금지행위를 준수하기 위한 관리감독을 철저히 한다. 또한 시설물 준공 후 보수·보강 실적이 있는 부분의 경우 그 연결부 및 보강부에 대해서는 특별히 신경 써서 점검하고 유지관리에 힘써야 한다.

15.2.3 예당지 유지관리방안

가. 예당지 관리현황

예당지는 예당지 관리규정에 의해 관리되고 있으며, 정기점검 및 정밀안전진단을 실시하고 있다. 예당지 관리규정의 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 저수지 수위 및 유효수량

○ 저수지의 설계사수위는 EL. 14.50m로 한다. 이때의 유효 저수량은 4,607ha.m이다.

○ 홍수조절 가능 수위는 EL. 19.50m이며 이때의 저수량은 1,884.4ha.m이다.

○ 저수지 관리자는 예당지 관리규정 제2조에서 규정한 저수지 용도의 사업효과를 보장하기 위해 3월말 현재 저수지 수위를 EL. 22.50m가 되도록 확보하여야 한다.

○ 홍수에 대비하기 위하여 홍수경계 체제시의 저수위는 EL. 21.50m를 유지하여야 한다.

(2) 방 류

○ 홍수발생시 수문조작방식은 일정률-일정량 방류법에 의하고, 일정률은 60%로 하며 이상홍수시는 예외로 한다.

○ 저수지의 사전방류는 최대 677㎥/sec(26련 1.0m 개문)로 한다.

○ 수문조작은 수문의 고장 등 부득이한 경우를 제외하고는 중심부 부터 가장자리로 실시한다. 다만 수문의 점검 등을 필요로 할 경우에는 그러하지 아니한다.

나. 예당지 증고계획

'12.3.1 예당지 증고 검토'에 기술한 바와 같이 예당지를 1.5m 증고 하여 홍수조절용량을 확장하는 방안으로 그 주요 내용은 다음과 같다.

○ 예당지 제체 증고 1.5m : 제정고 EL. 25.0m ⇒ EL. 26.5m

○ 문비 교체 : 6.0(B) × 3.6(H) × 26련 ⇒ 6.0(B) × 5.1(H) × 26련

○ 홍수조절 용량 : 10.2백만㎥ ⇒ 29.2백만㎥

○ 계획홍수위(변동 없음) :

- 홍수시 : EL. 21.5m
- 평상시 : EL. 22.5m

○ 위험수위 :

- 현 재 : EL. 23.0m
- 증고후 : EL. 24.5m

다. 예당지 관리방안

(1) 저수지 관리

예당지는 농업기반공사에서 관리하고 있는 농업용수 전용댐으로 하류지역인 예산군, 당진군 등의 농경지에 용수를 공급하고 있다. 예당지는 당초 용수공급 목적으로만 건설되었으나, 홍수기에 저수위를 상시만수위 EL. 22.5m에서 1.0m 낮추어 운영함으로써

10.2백만㎥의 홍수조절용량을 확보하고 있다. 예당지를 1.5m 증고 할 경우 29.2백만㎥의 홍수조절용량을 확보하여, 하류부 홍수방어에 상당한 효과가 있을 것으로 예상된다.

예당지의 관리는 농업기반공사 예당지사에서 예당지 관리 출장소를 두어 담당하고 있고, 평상시 수문 개문시에는 하류부에 방송 등을 통해 통보한 후 방류를 실시하고 있다. 홍수시에는 예당지 관리 출장소에서 예당지 수문에 설치되어 있는 수위표를 목측으로 관측하여 저수위에 따라 방류량을 결정하고 있다.

그러나 예당지 증고를 통해 치수기능이 강화되면, 건교부(금강 홍수통제소)에서 운영하고 있는 홍수예경보시스템에 포함하여 운영함으로써 삽교호 방조제와 연계한 최적의 운영이 필요할 것으로 판단된다.

(2) 평상시 유지관리

예당지 증고로 인한 홍수조절계획 후에도 평상시 유지관리는 현상태와 변함없이 운영되도록 시설계획 전후의 상시만수위 및 저수용량의 변화가 없도록 운영계획을 수립하였다. 즉, 예당지 본래의 기능인 농업용수 공급을 위해 매년 3월을 기준으로 저수지 수위를 EL. 22.5m가 유지되도록 하며, 하류부 유지유량 및 기타 필요에 의해 저수지 방류시에는 하류 하천에 피해를 입히지 않는 200㎥/sec 이내 방류되도록 수문을 15련 0.5m 개문하고, 방류 전에는 관련기관에 통보를 하고 방송을 통해 일반인들에게 통보하도록 한다.

(3) 홍수시 유지관리방안

가) 홍수경계체제

저수지의 수위를 홍수시 제한수위로 이하로 예비방류 할 필요가 있을 때 저수지 관리자는 지체 없이 예비방류 여부를 결정하도록 하며, 저수지 관리자는 다음 각 사항에 해당하는 경우에는 홍수경계체제에 돌입하여야 한다.

- ○ 중앙기상청의 호우, 태풍 및 폭풍우 주의보 또는 경보가 있을 때
- ○ 재해대책본부의 홍수경계 지시가 있을 때
- ○ 기타 홍수발생이 예상될 때

나) 홍수경계체제시 조치

저수지 관리책임자는 홍수경계체제를 취하였을 때 즉시 다음 각호의 조치를 취하여야 한다.

- ○ 각 관측소, 예당저수지 관리사무소에 연락하여 매시간 기상, 강우, 수위 등의 자료를 수집하여 분석

○ 최대 홍수유입량, 홍수지속시간 등의 변화 예측과 예당저수지 방류계획 및 홍수통제 관련사항의 검토분석 및 필요한 사항

○ 홍수조절에 필요한 계획을 수립하여 예비방류계획 사전통보 및 예비방류 실시

○ 배수문 조작에 필요한 기계전원 등의 검측, 정비, 시운전과 제체 관리에 필요한 조치를 하여야 한다.

(4) 예당지 운영방식 및 방류량 결정

가) 홍수조절방식

홍수시 예당지의 운영은 일정률-일정량 조절방식을 택하고 있는데, 이는 일정량 조절방식과 일정률 조절방식을 혼합한 기법으로, 유입량이 최대 크기에 이를 때까지 유입량의 60%를 방류하고 그 이후에는 일정량을 방류하는 방식으로서 하류의 급격한 홍수량 증가를 방지할 수 있는 장점이 있지만, 예당지와 같이 홍수조절용량이 충분하지 못한 경우에는 장기간의 홍수에는 첨두홍수 유입 이전에 홍수조절 능력을 상실하는 문제가 발생할 수 있다. 실제로 2000년 8월 23일~27일간 발생한 약 5년 빈도에 해당하는 규모의 호우로 인해 예당지에서 27일 12시경부터 2시간 동안 하류의 계획홍수량 1,290㎥/sec을 약 100㎥/sec 이상 초과하여 방류한 사례에서 알 수 있듯이 일정율-일정량 방식으로 운영하는 예당지는 첨두홍수가 지체되어 발생하는 홍수에 취약한 문제점을 지니고 있다.

그러나 첨두방류량 이전의 방류량을 결정짓는 일정율을 상향하는 것은 현 예당지 방류능력으로는 불가능한 것으로 판단된다. 즉, '12.3.2 예비방류를 위한 방류시설 계획'에서 검토한 바와 같이 예당지의 방류량은 저수위에 의해 결정되며, 방류시설에 설치된 수문은 방류량을 목적한 규모로 제한할 수는 있지만 증가시켜 주지는 못하기 때문에 저수위가 낮은 홍수 초기에는 목적하는 규모로 방류하는 것이 불가능 할 경우가 있기 때문이다. 실제로 100년 빈도 홍수시 저수위를 고려한 실제 방류능력 검토 결과 방류량은 유입량의 60% 정도에 불과하며, '12.2.1 삽교호-예당지 연계운영'의 <표 12.1> '예당지 방류 조절에 따른 삽교호 첨두수위 비교' 결과에서도 60% 일정율 방류와 일정량(100%) 방류의 결과에 차이가 없는 것으로 나타나서, 첨두방류 이전의 방류율을 상향 조정하는 것은 현 예당지 방류능력 조건에서는 무의미 하다고 볼 수 있다. 특히 예당지를 증고하여 현재의 2.9배에 달하는 홍수조절 능력을 확보할 경우 하류지역의 부담을 증가시키면서 까지 방류율을 증가시킬 필요는 없는 것으로 판단되어 예당지 증고 이후에도 현재의 일정률(60%)-일정량 방법에 의한 홍수조절 방식은 그대로 유지하는 것으로 하였다.

나) 예비방류량

현 예당지 관리규정에 의하면 예비방류량은 최대 677㎥/sec 범위내에서 시행하도록 되어 있으나, '14.1.1 홍수방어 대안요소별 치수효과 검토'의 결과에서 알 수 있듯이 하류지역의 내수배제 불능을 조기에 유발하여 오히려 침수피해를 증가시키는 문제가 발생한다. 이러한 부작용에도 불구하고 현재의 예당지 규모와 유역면적을 감안할 때 첨두방류량의 감소에 의한 첨두홍수위 저하와 예당지 자체의 안전을 위해 가능한 빠른 시간내에 예비방류를 통해 홍수조절공간을 추가로 확보하는 것이 필요했으나, 예당지를 증고하여 홍수조절용량을 2.9배로 확장하면 하류지역의 내수침수 문제를 야기하면서 까지 과다한 예비방류를 할 필요는 없는 것으로 판단된다.

따라서, 예당지의 예비방류량은 예당지 증고 후에는 과거의 200㎥/sec로 환원하되 계획규모를 초과하는 홍수가 예상되어 예당지 자체의 안전이 문제가 될 경우는 예외로 하는 것으로 운영 규정을 보완할 필요가 있다.

(5) 예당지 일상적 유지관리 방안

예당지의 기능 및 안전을 확보하기 위해 유지관리를 하여야 하며, 예당지 유지관리는 시설보호 및 안전을 위한 관리와 물관리로 구분되나 금회 과업에서는 시설보호 및 안전을 위한 관리를 중심으로 기술하고자 한다.

또한 예당지의 시설물은 제체, 여수토, 수문 및 기타시설로 나누며 이들 기능을 유지하기위해 각 항목별 유지관리를 하여야 하는데 그 내용은 다음과 같다.

가) 제체의 유지관리

예당지는 제체가 Fill댐의 일종인 흙으로 구성된 Earth Dam으로서 일상적으로 제체 사석 및 석축의 침하상태와 토공사면내의 식생의 상태, 침하, 균열, 누수 및 세굴 등에 대해 점검하여 관리하여야 한다. 또한 홍수가 발행한 이후에 방류시설 및 제체 사면의 안정성 여부 등을 점검하여 이상유무를 조사하여야 한다.

<표 15.22> 저수지 제체의 유지관리 점검항목

구 분	점검항목	세부항목	점검내용	비 고
제 체	토 공	식 생	○ 제체의 떼가 잡초, 잡목 등의 번식으로 문제가 있는지 또는 고사한 곳의 면적과 상태	
		침 하	○ 제정부위의 부등침하가 발생 하였는지와 그 규모와 상태	
		균 열	○ 제체에 균열 발생여부와 그 위치, 크기, 방향, 길이 등의 규모와 그 특성과 상태조사	

<표 15.22> 저수지 제체의 유지관리 점검항목 (계속)

구 분	점검항목	세부항목	점검내용	비 고
제 체	토 공	누 수	○ 제체 누수의 위치, 현 누수량과 그 변화 여부, 맑은 물인지 아니면 탁수인지 조사	
		세 굴	○ 댐 사면, 아바트 부위에 수렁과 같이 된 곳은 있는지 여부 조사 ○ 우수 및 동해에 의한 토공사면의 유실부외와 규모 조사	
		붕 괴	○ 사면이 포화에 의해 무너지는 곳의 여부를 조사하고, 무너진 곳의 규모와 크기 조사 ○ 슬라이딩이 일어나는 곳이 있는지를 조사하고, 있을 경우 위치와 크기 조사	
	사석 및 석축	침 하	○ 사면보호 사석이 설치당시와 같이 보존되었는가? ○ 침하 또는 이탈된 위치, 규모를 조사하고 계속 진행 여부 판단	

나) 여수로 및 수문의 유지관리

예당지 여수로는 6.0m×3.6m×26련의 수문이 설치되어 있으며, 감세공은 자유낙하식으로 이루어져 있다. 여수로 및 수문의 유지관리는 여수로의 변형, 방수로의 퇴적 및 균열, 침식, 누수 등에 대해서 점검하여야 하며, 수문의 경우 문비의 누수 및 부식, 도장 등에 대해서 일상적으로 점검하여 이상이 없도록 유지관리를 하여야 한다. 또한 수문의 권양장치의 작동상태를 점검하여 이상이 있을 경우 적절한 조치를 취하여야 한다. <표 15.23>에 배수문 유지관리 점검항목을 기술하였다.

<표 15.23> 예당지 방류시설 유지관리 점검항목

구 분	점검항목	세부항목	점검내용	비 고
여수로		변 형	콘크리트 조인트의 틈이 커지거나 부등침하 여부 결빙에 의한 병압이나 동결에 의한 손상여부	
방수로		퇴 적	침전물이나 부유물, 유목 등의 퇴적여부	
		균 열	콘크리트의 크렉 여부 및 백태 발생 여부	
		침 식	콘크리트 침식여부 및 위치와 크기	
		누 수	콘크리트의 누수발생여부	
수 문	문 비	누 수	누수위치, 누수정도, 누수량	
		부 식	철물의 부식여부 조사	
		도 장	페인트 도장상태 점검	
		로라류 작동	로라의 작동상태 조사	
	권양장치	구동부 작동	권양기 파손여부 및 작동상태 점검	
		와이어 로프	와이어로프의 부식, 마모, 소선 및 단선여부 조사	

15.2.4 농업용 저수지 유지관리

가. 삽교천 유역의 저수지 현황

(1) 저수지 현황

삽교천 유역내 저수지는 예당저수지를 비롯하여 총 166개소가 있으며, 이중 지자체에서 관리하는 저수지가 110개소, 농업기반공사에서 관리하는 저수지가 56개소이다. 행정구역별로는 아산시 41개소, 청양군 40개소, 예산군 29개소, 당진군 12개소 및 홍성군 19개소가 있으며, 천안시 24개소, 연기군 1개소가 있는 것으로 조사되었으나, 홍수조절기능을 가진 저수지는 예당지가 유일하고 대부분 유출량을 조절할 수 있는 수문을 갖추지 못하고 있다.

<표 15.24> 관리주체별 저수지 현황

행정구역	합 계	예산군	청양군	당진군	홍성군	아산시	천안시	연기군
합 계	166	29	40	12	19	41	24	1
농 업 기반공사	56	12	16	7	5	12	4	-
지 자 체	110	17	14	5	14	29	20	1

(2) 증고대상 저수지

금회 삽교천 유역종합치수계획에서 계획한 증고대상 농업용 저수지는 본류의 첨두홍수량 저감에 기여할 수 있는 유출특성을 지닌 삽교천 수계의 홍동, 홍양 저수지, 무한천 유역의 신대 저수지 등 총 3개소로, 각 저수지의 제원 및 증고계획은 <표 15.25>와 같다.

<표 15.25> 증고대상 저수지 제원 및 증고계획

구 분		홍동 저수지	홍양 저수지	신대 저수지	비 고
저수지 제 원	유 역 면 적 (㎢)	14.58	21.34	9.64	
	만 수 면 적 (㎢)	0.48	0.86	0.25	
	제 체 연 장 (m)	191	153	203	
	제 정 고 (EL.m)	40.70	30.80	97.20	
증 고 계 획	월류보 표고 (EL.m)	38.70	28.00	94.00	
	계획홍수위 (EL.m)	42.00	31.49	96.45	
	여 유 고 (m)	2.45	2.80	3.20	
	계획 제정고 (EL.m)	44.45	34.29	99.65	
	홍수조절용량 (10^3m^3)	1,458(3.30	2,134(3.50)	654(2.10)	
	증 고 높 이 (m)	3.75	3.49	2.45	

【주】( )의 값은 홍수조절 공간의 수심(m)임.

나. 농업용 저수지 유지관리 방안

금회 과업에서 증고를 계획한 농업용 저수지는 현재 농업기반공사 각 지사에서 관리하고 있는 농업용수 전용저수지로서 치수목적으로 활용할 경우 저수지의 관리는 현재와 같이 농업기반공사에서 맡고, 홍수시의 방류계획은 홍수예경보시스템을 운영하고 있는 금강홍수통제소의 지침에 따라 시행하는 협조체계가 성립되어야 할 것이다.

(1) 평상시 유지관리

농업용 저수지의 치수목적 활용을 위해 제체 증고후 수문을 설치하여 홍수조절용량을 확보하는 방식을 채택하였다. 그러나 여수로는 현 상태대로 유지하여 이수용량의 변화는 없도록 하고, 제체 증고와 수문 설치에 의해 확보한 공간을 치수전용으로 사용하되, 평상시에는 비워두어 저수지 증고로 인한 상시 수몰면적이 발생하지 않도록 하였다.

이렇게 평상시는 현재와 같이 관리·운영하며, 홍수시에만 일정량 방식에 의해 홍수를 조절하는 것으로 계획하였으므로, 각 저수지는 평상시 수문을 완전히 개문하면 현 만수위를 유지할 수 있어 치수목적의 증고 및 수문 설치에 따른 영향 없이 현재와 같은 상태로 운영이 가능할 것이다.

(2) 홍수시 관리방안

홍수기에는 관리자가 수문 조작에 필요한 기계전원 등의 검측, 정비, 시운전과 제체 관리에 필요한 조치를 하여야 한다.

홍수경계체제를 취하였을 때 즉시 저수지에 상주하여 금강홍수통제소 또는 해당 농업기반공사 지사의 지시에 의해 수문을 조작하여 하류의 첨두홍수량 저감 및 제체의 안전에 만전을 기한다. 인력운영 여건이 허락할 경우 홍수경계체제시 뿐만 아니라 홍수기 동안 관리자가 상주하는 것이 바람직하다.

다. 저수지 홍수조절 방식 결정

(1) 저수지 홍수조절 방식

저수지 운영에 있어 홍수조절은 저수지의 홍수조절용량을 최대한 활용하여 저수지 하류의 홍수피해를 최소화 하는 것을 목표로 하고 있다. 국내에서 사용하고 있는 저수지의 홍수조절방식은 모의기법과 최적화기법으로 크게 나눌 수 있으며, 일반적으로 모의기법에 의한 홍수조절 방식을 채택하고 있다.

모의기법에 의한 홍수조절 방식은 여수로나 방수로의 수문 유·무 또는 수문의 조작

방법에 따라 달라지는데, 유입홍수 예측정도, 수문의 유무 및 수문조작의 용이성, 저수용량 및 방류능력, 홍수조절효과, 유지·운영 관리측면 등을 종합적으로 고려하여 채택하며 다음과 같은 방식이 많이 사용되고 있다.

가) Auto ROM

Auto ROM은 용수의 확보와 댐의 안전만을 보장해주는 방안으로 사실상 가장 간단한 방법이라 할 수 있으며, 댐 수위가 목표수위(상시만수위 또는 홍수기 제한수위)보다 낮을 경우는 목표수위에 도달할 때까지는 방류를 실시하지 않고, 목표수위보다 높을 경우 여수로 방류능력 곡선(Spillway Discharge Rating Curve, Gate Full Open 기준)에 따라 유입량 전량을 방류시켜 목표수위를 유지하게 하는 방법이다.

일반적으로 저수지 운영계획에서 다음과 같은 방식을 적용하고 있다.

- ○ 제한수위에 도달하기 전까지 이수목적의 방류만 시행한다.
- ○ 제한수위에 도달하면 유입량 전량을 방류한다.(이때 유입량이 현재 수위에서의 수문완전 개방시의 방류량보다 크면, 저수위는 상승할 것이다.)
- ○ 첨두 홍수유입이 이루어지고 난 후 저수위가 제한수위로 저하하면 유입량 만큼 방류하되, 최대 발전방류는 계속하는 것으로 한다.

나) Rigid ROM(일정률-일정량 방식)

Rigid ROM은 예측 유입량이 첨두에 이를 때까지는 일정률로 방류하고 첨두 이후에는 일정량으로 방류하는 일종의 일정률-일정량 방식이며, 홍수기 제한수위에 도달한 후 총 방류기간중의 홍수저류 총량이 저수지의 홍수조절용량과 일치하도록 운영한다. 이 방법은 첨두 이후의 일정 방류량과 유입량이 일치할 때 저수지 수위도 동시에 목표로 하는 수위에 도달하게 되므로 홍수조절용량을 최대한 활용할 수 있는 방법이다.

다) 일정률방식

일정률 방식은 실무에서 가장 간단하게 이용할 수 있는 방법으로, 방류량은 댐으로 유입되는 관측 유량에 일정한 비율만큼의 양으로 결정한다. 이때 방류는 물넘이나 수문 등의 방류 시설을 이용하며, 첨두방류가 발생한 시점이 지나고 유입량이 계속 감소하여 방류량이 지정 방류량 보다 작은 값으로 계산되면 이때부터는 지정한 방류량으로 일정하게 방류한다.

라) 일정량방식

홍수 초기에는 유입량을 그대로 방류시키고 방류량이 어느 크기에 도달한 후에는 유입량에 관계없이 방류량을 일정하게 유지하는 방법으로, 이 방법은 대규모 홍수에 대해서는 효과적이나 첨두유량의 발생시간과 그 크기를 정확히 예측하기 곤란하여 조작이 불안하며 중소홍수에 대한 조절 효과도 작다.

(2) 증고대상 저수지 홍수조절 방식

치수목적으로 활용하기 위해 증고를 계획한 농업용 저수지의 홍수시 운영방식은 홍수조절 용량이 크지 않은 여건을 고려하여 일정 유량까지 유입량을 전부 방류하다가 그 이상이 되면 일정량을 방류하는 일정량 방식을 채택하였다. 이러한 결정은 3개 저수지의 홍수조절용량이 크지 않기 때문에 일정률 방식을 채택할 경우 첨두홍수 유입 전에 홍수조절 공간이 만수되는 것을 방지하기 위함이다.

각 저수지별 증고에 따른 방류량을 살펴보면, <표 15.26>에서 보는바와 같이 삽교천 국가하천 구간의 설계 빈도인 100년 빈도를 기준으로 홍동 저수지의 경우 첨두유입량 142㎥/sec를 66㎥/sec로 방류할 수 있도록 계획함으로 53.5%의 조절효과를 기대할 수 있고, 홍양 저수지의 경우는 첨두유입량 195㎥/sec를 126㎥/sec로 방류할 수 있도록 계획함으로 35.4%의 조절효과를 기대할 수 있게 계획하였다. 또한 신대 저수지의 경우 첨두유입량 67㎥/sec를 24㎥/sec로 방류할 수 있도록 계획하였다.

자연조절 방식에서 인위적으로 홍수를 조절할 경우 계획빈도 이내의 홍수에 대해서는 하류에 홍수부담을 감소시키는 효과는 있으나, 계획빈도 이상의 홍수나 홍수조절 운영 실패할 경우 하류측에 홍수부담을 가중시키는 역기능이 발생할 수 있으므로 운영에 주의를 기울여야 한다.

또한 저수지 증고 상세설계시 저수지에 수위표를 설치하여 각 저수지별 수위에 따른 운영방법에 대한 추후 검토가 필요할 것으로 판단되며, 이에 따른 구체적 운영방법이 제시되어야 할 것이다.

<표 15.26> 농업용 저수지 증고에 따른 방류량

구 분	홍동 저수지	홍양 저수지	신대 저수지	비 고
저류량 (천㎥)	1,994	2,051	1,138	
유입량 (㎥/sec)	142	195	67	
방류량 (㎥/sec)	66	126	24	
저감율 (%)	53.5	35.4	64.2	

【주】 100년 빈도 홍수량 기준

15.2.5 천변저류지 유지관리

가. 천변저류지 설치 계획

천변저류지는 하천 또는 수로에 접하여 제방의 일부를 낮춘 월류언이나, 수문을 통해 하천의 홍수량을 유입시켜 저류하는 형식으로 운영하는데, 이러한 형태는 과거 농경지 조성 및 보호를 목적으로 홍수터에 제방을 축조하여 보수기능을 상실한 구(舊)하도를 복원한다는 개념에 바탕을 두고 있다. 따라서 하도의 흐름에 직접적인 영향을 미치므로 첨두홍수량 조절효과가 우수하고 그 효과가 즉시 나타나는 장점이 있어 당해 하천의 상류로는 수위저감 효과를, 하류로는 홍수량 저감 효과를 기대할 수 있다. 반면에 다른 저류시설에 비해 농경지 손실이 거의 없고, 특히 대부분의 천변저류지가 침수취약지역에 설치되므로 취약지역을 해소하면서도 다른 지역의 치수안전성을 제고할 수 있다는 점에서 바람직한 홍수방어대안이라 할 수 있다.

금회 계획에서 천변저류지 설치를 계획한 지점은 곡교천의 중하류부 좌안의 624호 지방도와 제방 사이의 답작지로서 치수단위소구역으로는 와천-중방 지구와 산양-곡교3 지구에 해당한다. 이 지역은 하천변 저지대로서 평상시에도 내수배제에 곤란을 겪고 있는 지역으로서 와천과 산양 지구는 배수펌프장이 위치하여 있다. 그러나 일반적인 농경지 배수펌프장의 계획빈도인 20년 빈도 이상의 홍수가 발생할 경우 침수피해가 불가피한 바 이 지역에 천변저류지를 설치함으로써 침수취약지역을 해소하고, 직상류 좌안측에 위치한 아산시의 저지대 일부를 보호하고, 삽교호로 유하하는 홍수량을 저감하여 삽교호의 홍수위를 다소 저하시키는 효과를 기대할 수 있다.

<표 15.27> 천변저류지 제원

구 분	위 치	면적 (만㎡)	이용수심 (m)	저류용량 (천㎥)	비 고
와천-중방 지구	곡교천 중류부	120.2	3.92	4,876	와천은 강제, 중방은 자연배수구역
산양-곡교3 지구	곡교천 중류부	148.0	3.11	6,261	산양은 강제, 곡교3은 자연배수구역

나. 천변저류지 운영 방안

천변저류지는 간단한 시설로서 기능을 확보할 수 있는 반면 홍수 저류시 발생하는 피해를 보전하여야 하는데, 그 방법은 대상 지역을 매입하여 국유화하는 방안과 피해발생시 피해액에 대한 보상을 실시하는 방안으로 구분할 수 있다. 각 방안별 장단점은 <표 15.28>에 비교하였지만, 부지 매입 방안은 천변저류지 부지의 다양한 활용이 가능한 것

이 가장 큰 장점이며, 이에 비해 피해 발생시만 보상하는 방안은 '12.3.4 천변저류지, 나. 천변저류지 부지 보상방안 검토'의 결과에서 알 수 있듯이 경제적이고, 현재의 토지이용 상을 유지할 수 있는 장점이 있지만 홍수터 관리 측면에서 개발제한 등의 사유재산권 침해 요인이 발생할 수 있다.

<표 15.28> 천변저류지 보상 방안

구 분	장 점	단 점
부지 매입	○ 홍수피해가 발생할 때마다 발생할 수 있는 민원발생 요소 제거 ○ 천변저류지역의 다양한 활용 - 자연형 습지 및 학습공간 - 농경지 - 운동 시설 등	○ 초기 투자비가 많이 들어감. - 용지보상비가 많이 소요됨. ○ 농경지 면적 감소에 따라 이농 인구 발생
피해 발생시 보상	○ 초기 투자비가 적게 들어감 - 용지 보상비가 없음 ○ 감소되는 농경지가 없으며, 지역주민들의 이농현상이 없음.	○ 홍수가 발생할 때마다 민원발생 가능성이 있음. ○ 천변저류지에 대한 활용이 제한적임.

그러나 건교부에서는 하천법 개정을 통해 1961년 하천법 제정이래 유지하고 있는 하천의 국유제를 폐지하여 사유 하천토지에 대한 소유권을 인정하면서 소유자가 매수를 원할 경우 국가가 매수하여 주는 매수청구제를 도입할 계획에 있다. 이는 하천의 국유제를 견지한 바 있는 일본도 1965년 국유제를 폐지한 바 있어, 때 늦은 감이 없지 않으나 자연공물인 하천토지에 대해서도 사유권을 전향적으로 인정하려는 것은 국민의 사유재산권 보호라는 측면에서 매우 긍정적인 평가가 기대된다.

따라서, 이러한 하천법 개정방향의 취지를 반영하여 금회 계획에서도 천변저류지 부지를 매입하지 않고, 홍수를 저류하여 피해가 발생할 때 전액 보상하는 것을 우선으로 하고, 해당 지역의 소유주가 원할 경우에만 매입하는 것으로 계획을 수립하였다.

이렇게 천변저류지를 운영할 경우 연평균피해액에 해당하는 비용이 매년 보상비 소요액이라 할 수 있으며 장래 발생할 수 있는 보상비를 충당할 수 있도록 이 금액을 매년 적립하여야 할 것이다. 따라서 이 비용은 매년 일정하게 소요되는 유지관리비와 같은 개념으로 간주하여도 무방할 것이다.

천변저류지의 연평균피해액은 다음과 같이 계산할 수 있다. 즉, 30년 빈도의 홍수까지는 사용을 하지 않으므로 피해액은 없는 것으로 간주하며, 30년 빈도 보다 큰 규모의 홍수시만 천변저류지로 활용하여 피해액이 발생하며, 이 금액을 해당 규모의 홍수 발생 확률을 고려하여 가중평균 함으로써 연평균피해액을 산정한다.

<표 15.29> 천변저류지의 보상비 소요액 결정을 위한 연평균피해액 산정

단위 : 백만원

홍수규모 (재현기간)	초과확률	구간발생확률	홍수규모별 피해액		연평균 피해액	
			와천-중방	산양-곡교	와천-중방	산양-곡교
5 년	0.200	0.800	-	-	-	-
10 년	0.100	0.100	-	-	-	-
20 년	0.050	0.050	-	-	-	-
30 년	0.033	0.017	-	-	-	-
50 년	0.020	0.013	2,204	2,922	14.69	19.48
80 년	0.013	0.008	2,212	2,929	16.56	21.94
100 년	0.010	0.003	2,219	2,932	5.54	7.33
200 년	0.005	0.005	2,230	2,941	11.12	14.68
300 년	0.003	0.002	2,228	2,946	3.71	4.91
500 년	0.002	0.001	2,240	2,951	2.98	3.93
500년 초과		0.002			2.24	2.95
계					56.84	75.22

다. 천변저류지 홍수조절 방법

천변저류지로 홍수를 유입시키는 방법은 월류제 방식과 수문을 통한 유입 방법으로 구분할 수 있다. 월류제에 의한 방식은 수문설치 비용이 없어 초기 투자비용이 적으며, 비교적 간단하게 운영할 수 있는 장점이 있으나, '12.3.4 천변저류지, 라. 천변저류지 형태 및 운영방안'에서 이미 검토한 바와 같이 홍수유입 효율이 낮으므로, 수문을 통한 홍수유입 방식을 채택하였다.

홍수유입을 위한 수문의 운영은 평상시 일반적인 하천의 수문과 같이 배수용으로 활용하다가 홍수위가 해당 지점의 30년 빈도 홍수위 이상으로 상승하면 수문을 개방하여 하천의 홍수가 유입되도록 하며, 홍수위가 30년 빈도 이하로 저하하면 수문을 폐쇄하여 홍수유입을 중단하며, 하천의 홍수위가 충분히 저하한 후 다시 수문을 개방하여 천변저류지 내의 홍수를 방류하는 형태로 한다. 이러한 운영은 수문에 수위감지 장치를 설치하여 자동으로 운영할 수 도 있지만 가능하면 홍수예경보시스템과 연계하여 금강홍수통제소 또는 해당 지자체에서 직접 조작하거나 원격조정에 의해 운영하는 것이 바람직할 것이다. 천변저류지의 수문개문 시기는 해당 지역의 여건을 감안하고 경제적인 효율성을 극대화 하기 위하여 30년 빈도 홍수위로 결정한 바 해당 하천의 하천정비기본계획 성과를 검토하여 수문의 운영기준을 설정하여야 한다.

<표 15.30> 홍수량 유입방안 비교

구 분	장 점	단 점
월류제 방식	○초기투자비용이 적음 - 수문설치 비용이 없음 ○계산 및 운영이 비교적 간단함.	○월류제 표고가 고정되어 있어 홍수규모에 따른 조절이 불가능. ○대규모 홍수를 제외하고는 월류에 의한 홍수조절 효과가 미미함.
수문 방식	○수문을 통해 월류량을 조절가능. ○홍수규모에 따른 수문개문 시기를 조절하여 홍수조절 효과 극대화	○초기투자비용이 큼 - 수문설치에 따른 추가비용 발생 ○계산 및 운영이 복잡 - 수문 개문 및 폐문 기준에 대한 정확한 계산이 요구됨.

수문의 유지관리는 일반적인 하천의 배수용 수문과 큰 차이가 없으며, 전술한 '삽교호 및 방조제 및 유지관리방안의' 및 '예당지의 유지관리방안'의 '배수갑문 유지관리 및 일상적 점검항목'과 '여수로 및 수문의 유지관리'를 참조 할 수 있을 것이다. 이때 주의할 것은 '<그림 12.28> 홍수역유입식 천변저류지 개념도'에서 보는 바와 같이 수문에 연결되는 유도수로를 충분한 규모로 설치하여 홍수유입시 주변 저지대의 침수가 매우 완만한 속도로 광범위하게 발생하여 농경지와 농작물의 피해가 최소화 되도록 하고 평상시에도 배수용으로 활용도가 높도록 계획하여야 한다.

또한 수문을 통한 홍수유입시 유속이 매우 크게 발생하므로 이에 대비하여 견고하게 구조물을 설치하여야 하며, 국부적인 와류 발생으로 인한 구조물의 피해가 없도록 설계단계에서부터 주의하여야 한다.

15.2.6 배수펌프장 유지관리방안

가. 배수펌프장 현황 및 관리실태

삽교천 유역내에는 2002년 말 현재 기설배수펌프장이 32개소 위치하고 있으며, 그 외에도 공사중인 배수펌프장 10개소, 계획 중인 배수펌프장 2개소가 있다. 배수펌프장의 관리는 창소 배수펌프장을 제외한 대부분의 배수펌프장이 농업기반공사에서 관리를 하고 있으며, 각 배수펌프장은 배수펌프장별 관리규정을 두고 있다. 각 배수펌프장의 관리규정은 대동소이하며, 주요한 내용은 다음과 같다.

(1) 배수펌프장 근무

○ **평시 근무 :** 평상시 배수펌프장 관리자는 배수기 가동시험을 영농기에는 주 1회

이상 무부하 가동시험을 실시하여 제일지에 기록하고 우기전 가능한 범위내에서 인위적으로 담수후 실제 배수시험을 실시하여 전기·기계적 이상 유무를 확인한다.

ㅇ **비상대기 근무 :** 배수펌**프장** 관리자는 다음 각호의 상황이 발생한 경우에는 배수펌프장에 상주하여 비상대기 근무 체제를 취하여야 한다.

- 중앙 기상대의 폭우 및 호우주의보 또는 경계예보가 있을 때
- 배수펌프장 관리자는 20㎜이상 강우시 배수펌프장에 상주하여 예찰 활동을 강화하여야한다.
- 재해 대책본부의 삽교천 홍수 경계지시가 발령된 때
- 계속된 강우로 효교천측 외수위가 상승, 자연배수가 곤란하여 수혜면적의 침수가 예상될 때
- 기타 홍수 발생 및 배수펌프장 가동준비 상황이 예상될 때

(2) 비상대기 근무시 조치사항

비상대기 근무시에는 다음 각 호에 의한 조치를 취하여야 한다.

○ 배수펌프장 가동에 필요한 기계, 전기시설을 점검 정비하고 배수펌프에 운전용 그리스를 주유 한다.

○ 배수펌프장 집수정 내수위 상승 및 외수위의 시간적 변화를 판단하여 배수문으로의 역류를 감시한다.

나. 배수펌프장내 주요 시설

내수배제를 위해 설치한 내수처리시설로는 크게 배수로, 방수로, 배수제, 배수문, 배수펌프, 유수지 또는 저류지, 암거, 하구 처리시설 등으로 나눌 수 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

(1) 배수로

유역내의 빗물을 모아서 유역 밖의 배수구로 유도하기 위해 배치하는 수로로서 간선과 지선 그리고 지류 암거 등으로 이루어진다.

(2) 방수로

유역 밖의 배수구로 연결하는 수로를 방수로라 한다. 또 하천에 첩수로로 연결하여 홍수를 안전하게 배제하기도 하는데 이 첩수로도 방수로의 한 종류이다.

(3) 배수제

제내지의 토지 이용도가 낮고 침수에 의한 피해정도가 크지 않은 경우 또는 제내지의 지반경사가 급하거나 하천제방까지의 거리가 비교적 짧은 경우에는 일시적으로 제내지의 일부를 하천구간으로 사용하는 배수제가 유리할 때가 많다.

(4) 배수문

배수지구의 말단 저수부, 즉 내수하천 하류와 외수하천이 합류하는 부근에 직각으로 설치하게 되며 홍수시 외수위가 내수위 보다 높아져서 외수가 지구내로 역류할 때는 문을 닫아 외수의 침입을 막고 반대로 내수위가 높아지면 배수문을 열어 방류하게 한다. 이 배수문에서 제방의 일부를 완전히 절단하여 설치한 것을 일반적으로 수문이라 하고 제방에 매설된 관에 붙여서 설치한 것을 배수문이라 한다. 배수문 방식은 일반적으로 내수유역이 비교적 작으며 평지가 대부분을 차지하는 경우에 적합한 방식이며 토지 이용도나 이동방향에 따라 보조적으로 배수펌프장도 생각할 수 있다.

(5) 배수펌프장

배수펌프장 시설은 지형, 계획기간, 배수면적 및 배수량 등에 따라 각 요소의 시설이나 조작이 간단하게도 되고 복잡하게도 되며, 배수펌프장 시설은 여러 가지 입지적여건과 요구되는 목적에 따라 시설물의 종류와 방식이 다양하다. 이들 각각에 관한 시설물의 종류는 다음과 같다.

1. 침사지 2. 본체시설 3. 흡수조 4. 냉각수조 (엔진펌프시설의 경우)
5. 연로저장실(엔진 펌프의 경우) 6. 지하펌프실 7. 배수시설의 상부시설
8. 펌프설비 9. 스크린 및 제사 설비 10. 토출수조

(6) 유수지

내수하천이 본류에 합류하는 지역은 홍수에 의해 침수되기 쉬우며 토지 이용도가 낮은 경우가 많으므로 내수에서 유입되는 유출량을 일시적으로 저류 할 수 있는 유수지를 설치하는 것이 일반적이다. 유수지는 원래 내수지역 홍수 유출량을 저류하여 침투시키거나 서서히 방류할수 있도록 하는 것이 좋으나 유출량의 저류 및 유수지 공간의 활용 측면에서 이러한 침투와 자연방류는 고려하지 못하고 배수펌프시설과 조합하여 홍수 유출량만을 직접 배출 할 수 있도록 하는 경우가 많다.

다. 주요시설물 손상의 종류 및 원인

내수처리 시설물에서 발생되는 손상 종류 및 원인인 그 구성요소의 특성과 역할에 따라 다음과 같이 구분하여 살펴볼 수 있다.

(1) 수로 시설의 손상

수로의 손상은 일반적으로 복합적인 원인에 의해서 발생되는 경우가 많으며, 관리 소홀과 환경에 대한 인식부족이 손상을 일으키는 주된 요인이다. 각각의 손상종류 및 원인은 <표 15.31>과 같다.

<표 15.31> 수로시설의 손상 종류 및 원인

시설물		손상종류	손상원인
수로시설	관거	관의노후	○ 대부분 복합적인 원인에 의해서 발생되며, 일반적으로 관로의 손상원인은 관의 부식, 상부하중의 증가이며, 그밖에 기온의 변화 등이 있음. ○ 관의 노후는 누수에도 많은 영향을 미치므로 정기적인 점검으로 철저한 보수, 보강이 요구됨.
		지표면의 침하	○ 상부하중의 증가와 기온의 변화 및 강우에 의한 지반의 풍화와 동상이 원인 ○ 침하는 관의 파손과 밸브의 비틀림을 유발시킴.
		관의 부식	○ 산성의 공장 폐수 등이 침투하는 곳 염분이 함유된 해안 근처 또는 유황분을 함유한 토양에 설치된 철관에서 산, 염수, 황화수소 등에 의해 나타나며 관과 밸브를 부식시킴.
	개거	유하능력 저하	○ 유하능력의 저하 원인으로는 토사 등의 퇴적, 쓰레기 등의 불법투기 및 목초의 번식 등이 있음. ○ 유하능력을 확보하고 양호한 환경을 유지하기 위해서는 이를 제거하여 유하 단면적을 확대시켜야 함.
		호안 손상	○ 하구로부터 방류된 우수의 유속이나 낙차가 크면 세굴로 인해 호안에 손상 발생. ○ 토구 부근에 토사 등이 퇴적되면 방류선의 저면이 높아져 기능의 저하를 유발.
	암거	침전물의 퇴적	○ 침전물의 퇴적원인으로는 유하능력의 저하, 불법투기물 등이 있으며, 암거에 유입된 토사, 부유물질, 점성물질 등의 침전물은 저부에 퇴적되어 그로 인한 유하능력의 저하로 침전물의 퇴적을 가중시킴.
		지표면의 침하	○ 관거의 손상 또는 이음부의 불량으로 인하여 지표면이 침하하는 경우가 많으며 또한 추진공법, 쉴드공법 등으로 부설된 관거는 지반의 부등침하 등으로 지표면의 침하를 발생시킴. ○ 특히 강우시에 암거의 손상부위를 통하여 토중에 유출한 하수가 토사와 함께 재차 유입하여 침하를 촉진시킴.
		쓰레기 유입	○ 대단위 공업단지나 주거가 밀집된 지역에서 주민의 인식부족과 불법투기로 인해 주로 발생. ○ 이로 인해 암거의 부식 및 노후로 인한 기능저하와 여러 가지 사고의 가능성을 증가시킴.

(2) 침사지 및 유수지의 손상

침사지 및 유수지내 손상은 유수지내 유기물이 과다 유입되어 오염이 발생하거나, 침사지에 침전이 제대로 이루어지지 않아 고유의 기능을 발휘하지 못하는 경우가 있다. 침사지 및 유수지의 손상 원인은 <표 15.32>와 같다.

<표 15.32> 침사지 및 유수지의 손상 종류 및 원인

시설물	손상종류	손상원인
침사지 및 유수지	유기물의 과다함유	○ 유입하수량의 과다 등으로 인한 지내의 유속저하로 체류시간이 길어짐에 따라 침전지에 유기물이 과다 함유됨.
	모래침전의 불완전	○ 체사층이 너무 적거나 지내의 유속이 너무 빠른 경우 또는 모래입자의 크기가 너무 작은 경우에 발생.

(3) 배수펌프장 시설의 손상

배수펌프장 시설은 수로에서 집수된 우수를 방류하는 기능을 가진 시설로서 주로 배수구역의 우수를 신속하게 배출하여 침수피해를 방지하는 역할을 하므로 강우, 태풍, 정전 등 주위상황에 따라 신속한 운전 및 관리가 요구된다. 따라서 항상 기기의 구조 성능 작동 등을 익혀 펌프장의 운영 및 상황변화에 대한 대비를 철저히 해야 한다. 배수펌프장 운영에 있어 발생되는 일반적인 손상의 종류와 원인은 <표 15.33>과 같다

<표 15.33> 배수펌프장 시설의 손상종류 및 원인

시설물	손상종류	손 상 원 인
배 수 펌프장	원동기의 과부하	○ 회전속도의 과속, 규정을 초과한 운전, 임펠러와 케이싱의 접촉, 흙 및 이물질의 혼입, 그랜드 패킹의 과다 조임, 전압의 저하, 기타 임펠러에 목재조각이 낀 경우에 주로 발생.
	펌프의 진동	○ 펌프의 진동은 기능 및 능률저하를 유발하며, 진동의 원인으로는 임펠러의 이물질 유입으로 인한 파손, 토출수량의 과다 또는 과소, 펌프와 원동기 축심의 뒤틀림 축받이의 손상 등이 있으며 공기의 혼입과 캐비테이션도 간혹 진동의 원인이 됨.
	축받이부 그랜드부의 열	○ 그리스의 과다 주입, 윤활유의 급유 부족, 축심의 뒤틀림 축받이외 손상, 오일링의 파손, 트라스트의 밸런스 이상 등 여러가지 원인이 있음 ○ 과도한 열의 발생시에는 운전을 멈춘후 손상의 원인을 해결하여 열로 인한 다른 소상의 유발을 방지함.
펌프정	침전물의 퇴적	○ 유속의 감소로 체류시간이 길면 침전물 및 고형물 퇴적 ○ 유입하수량에 따라 적절하게 펌프를 작동 시켜야함.
게이트	누 수	○ 게이트의 파손, 기초볼트의 조임 불균형에 의한 가이드 프레임의 변형, 뒤채움 몰타르의 불량 등이 원인 ○ 이물질이 끼게 된 경우도 간혹 나타남.

<표 15.33> 배수펌프장 시설의 손상종류 및 원인 (계속)

시설물	손상종류	손 상 원 인
스크린	작 동 불 능	○ 청천이 계속된 다음 강우가 있으면 스크린 찌꺼기가 현저하게 많아져 설비가 작동되지 않는 경우가 있음 ○ 우수 펌프운전중에는 스크린 설비를 연속적으로 운전하는 것이 안전.
제 사 설 비	기계의 매 몰	○ 강우시 다량의 토사유입 등으로 인하여 기계가 매몰될 경우 운전불능이 나타남.

라. 배수펌프장 유지관리 일반사항

배수펌프장의 일반적인 관리는 빗물펌프장 및 침사지, 토출수조 등 토목시설과 펌프 설비시설로 구분할 수 있으며, 각 시설별 일반적인 유지관리 내용은 다음과 같다.

(1) 토목시설

가) 빗물펌프장 본체

○ 제방을 횡단하여 내수 또는 하천수를 배제하기 위하여 설치하는 시설로서, 홍수시에 확실하게 운전되도록 일상의 점검과 정비가 중요하다.

○ 빗물펌프장 본체는 냉각수조, 연료 저류조, 지하 펌프실 등으로 구성되지만 펌프설비 등을 지지하기 때문에 펌프기능에 지장이 되는 침하변형이 생기지 않도록 유지관리를 할 필요가 있다.

○ 빗물펌프장 본체로부터 내수와 하천수가 침출하면 물길 형성의 원인이 되기 때문에 수밀성을 확보할 필요가 있다.

○ 부등침하와 지진 등에 의한 침하변형 및 콘크리트의 갈라짐과 열화가 생기지 않는지를 감시와 점검으로 파악하고 펌프기능과 수밀성에 지장이 될 우려가 있는 경우에는 원인을 규명하고 즉시 적절한 대책을 강구한다.

○ 콘크리트 구조부의 갈라짐과 열화는 연 1회 점검에 의해 상황파악을 하고 갈라짐과 열화 등이 새롭게 발생해 있지 않은가 확인하며, 이미 발견되고 있는 곳은 필요시 계측으로 그 진행 상황을 파악한다.

나) 침사지

○ 퇴적토사의 제거

침사지는 유수중의 토사를 침강시켜 펌프의 마모와 손상 등을 방지하기 위해 설치한 것이다. 침강한 토사는 침사지의 본래의 목적을 완수하기 위해 적절히 제거

하여야 하고 제거시 grab bucket 등의 기계를 사용하는 경우는 저판과 측벽 콘크리트 등을 손상하지 않도록 주의하여야 한다.

○ 구체의 점검 관리

침사지는 철근 콘크리트 구조를 원칙으로 하기 때문에 빗물펌프장 본체와 같이 콘크리트 구조부분의 갈라짐과 열화에 유의하여야 한다.

큰 침사지에서 적당한 간격에 신축이음을 설치하는 경우는 부등침하에 의해서 이음부가 벌어지면 수밀성을 확보할 수 없기 때문에 침하와 변형이 생기지 않은지를 감시와 점검에 의해 파악해야 한다. 특히 지반이 연약한 경우에는 주의하여야 한다.

다) 토출수조 배수문, 배수관

○ 구체 및 이음부의 수밀성 확보에 주의하면서 배수문은 '삽교호 및 방조제 및 유지관리방안의' 및 '예당지의 유지관리방안'의 관련 항목을 준용하여 유지관리 한다.

○ 토출수조는 빗물펌프장 본체와 배수문 관의 사이에 설치하고 펌프에 의해 배출된 물을 일단 자유 수면이 있는 수조에 넣어서 정수압에 의해 제외로 배수되도록 설치한다.

○ 토출수조는 보통 제방에 근접해서 설치되어 있기 때문에 토출수조의 변화 상태는 제방에 악영향을 주기 쉽다. 특히 누수가 생기면 배수문 또는 배수관을 따라서 물길이 발생하고 마지막에는 파제하는 경우도 있으므로 정기적으로 점검하고 이상의 조기발견에 노력해야한다.

○ 만약 누수 등의 이상이 발견되면 즉시 적절한 대책을 강구한다.

○ 점검항목은 콘크리트구조부분의 갈라짐과 열화와 양단의 이음부의 손상이 주된 항목이다.

○ 토출수조는 보통 복개되어 있지 않기 때문에 쓰레기 등이 들어갈 가능성이 있는 장소에서는 퇴적물의 제거와 어린이들이 들어가서 떨어지지 않게 안전시설도 확인하여야 한다.

(2) 펌프설비

가) 일반사항

○ 기능을 보전하기 위해 계획적인 유지관리를 하며 필요시 적절한 방법으로 관리운전을 하고 기능 및 작동을 확인한다.

○ 빗물펌프장의 기능을 보전하기 위해 펌프설비의 유지관리를 적절하게 하는 것이 중요하다.

나) 펌프설비기기 구성요소

○ 펌프설비(주 펌프, 주 배관, 변유 등)
○ 주 펌프 구동 설비(주원동기, 감속기 등)
○ 계통기기설비(만수계통, 공기계통, 연로계통, 냉각계통, 윤활유계통 등)
○ 검사 조작제어 실비(감시조작 제어장치, 원격감시조작 제어장치 등)
○ 제진설비(제진기, 반송설비, 저류시설)
○ 부속시설(환기설비, 소화설비, 천정크레인)

다) 점검 정비

빗물펌프장의 펌프설비는 수문의 게이트설비와 같은 것으로서 홍수시만 가동하고 평상시는 멈춰서 있기 때문에 운전 빈도가 낮아 오랫동안 멈춤에 의한 기능저하가 생기기 쉬우므로 점검 정비요령을 정해 계획적인 유지관리를 시행함과 동시에 홍수기 전·후 점검 시에는 원칙으로서 종합적인 기능의 확인 등을 위해 관리 운전을 실시한다.

이들의 보수 관리 결과는 적절하게 기록 보존하고 설비의 변화 파악 및 장기적 보존 관리계획의 자료로서 활용한다. 또한 오래 경과한 설비는 내용한계, 기능보전한계를 파악하기 위해 종합점검(종합적인 기능평가)을 실시한다.

마. 시설물 설치에 관한 사항

내수처리시설은 설계된 홍수시의 계획배수량과 평상시의 계획배수량을 안전하게 소통하고 처리할 수 있게 계획하여야 한다. 또한 계획홍수량을 초과하는 홍수에 대해서도 내수처리 시설은 충분히 지속적인 기능을 발휘 할 수 있도록 하여야 한다.

삽교천 유역내에 설치된 배수펌프장은 계획빈도가 20년 빈도로, 허용침수심 0.3m, 허용침수시간은 24시간 이내로 설계되었다. 또한 배수펌프장의 펌프는 수중펌프로 수중에서도 운영이 가능하도록 설치되었다.

그러나 대규모 홍수시 전기설비가 집중된 기계실이 침수되었을 경우에는 운영이 중단될 위험이 있다. 따라서 기계실의 표고를 계획홍수위 이상으로 설치하여 계획 규모이상의 강우에도 가동할 수 있게 하여야 한다.

현재 삽교천 유역내에 설치된 배수펌프장의 기계실의 표고는 <표 15.34>에서 보는바

와 같이 외수위에 대해 일관성 있는 기준을 적용하여 계획되지 못한 것으로 나타나서, 향후 지속적인 유지관리를 통해 대규모 홍수시에도 기계실이 침수되어 배수펌프장의 기능을 상실하지 않도록 개선해 나가야 할 것이다.

<표 15.34> 배수펌프장의 기계고와 외수위 비교

하천	펌프장명	위치			관리주체	준 공 년 도	기계고 (EL.m))	기본계획 측 점	외수위 (ELm)	비 고
		시군	읍면	동리						
삽교천	내덕	홍성	홍북	내덕	예산지사	2002	18.70	No. 32	18.76 (80년빈도)	
	용산	홍성	홍북	용산	예산지사	2002	15.70	No. 19	15.73 (150년빈도)	
	노은	홍성	홍북	노은	예산지사	2003	15.30	No. 15	15.04 (200년빈도)	
	석택	홍성	홍북	석택	예산지사	2002	13.60	No. 10	13.65 (10년빈도)	
	수촌	예산	삽교	수촌	예산지사	1988	12.60	-	-	
	갈산	예산	삽교	갈산	예산지사	2002	13.65	-	-	
	신가	예산	삽교	신가	예산지사	2004 (예정)	11.50	No. 60	12.67 (50년빈도)	
	성리2	예산	삽교	용동	예산지사	1999	8.50	No. 55	10.53 (50년빈도)	
	성리1	예산	삽교	용동	예산지사	1999	7.50	No. 52	9.38 (50년빈도)	
	양막	예산	오가	양막	예산지사	2000	10.30	-	-	
	용동2	예산	삽교	용동	예산지사	1995	8.70	No. 54	10.15 (50년빈도)	
	용동1	예산	고덕	용리	예산지사	1995	8.00	No. 53	9.77 (50년빈도)	
	사리	예산	고덕	사리	예산지사	1995	9.80	-	-	
	용리2	예산	삽교	하포	예산지사	1994	6.50	No. 49	9.00 (50년빈도)	
	하포	예산	삽교	하포	예산지사	1994	7.00	No. 49	9.00 (50년빈도)	
	용리1	예산	고덕	구만	예산지사	1989	6.50	No. 47	8.75 (50년빈도)	
	상장	예산	고덕	상장	예산지사	2000	8.60	-	-	
	중예2	예산	신암	중예	예산지사	1994	6.00	No. 43	8.24 (50년빈도)	
	중예1	예산	신암	중예	예산지사	1994	6.00	No. 41	7.99 (50년빈도)	
	황금	예산	고덕	황금	예산지사	1994	6.50	No. 45	8.49 (50년빈도)	
	신리	예산	합덕	신리	예산지사	1994	6.00	No. 40	7.86 (50년빈도)	
	예림	예산	신암	용궁	예산지사	2004 (예정)	6.60	-	-	

【주】 외수위는 기계고에 가장 근접한 해당 지점의 빈도별 홍수위 임.(하천정비기본계획 기준)

<표 15.34> 배수펌프장의 기계고와 외수위 비교 (계속)

하천	펌프장명	위치			관리주체	준 공 년 도	기계고 (EL.m))	기본계획 측 점	외수위 (ELm)	비 고
		시군	읍면	동리						
삽교천	신석	예산	합덕	신석	예산지사	1994	5.30	No. 36	7.35 (50년빈도)	
	하평2	예산	합덕	신흥	예산지사	2004 (예정)	7.90	No. 26	6.25 (150년빈도)	
	하평1	예산	합덕	옥금	예산지사	2004 (예정)	8.77	No. 31	6.83 (50년빈도)	
곡교천	산양	아산	염치	산양	온양지사	2000	5.10	No. 13	6.04 (50년빈도)	
	가덕	아산	신창	가덕	온양지사	2004 (예정)		No. 14	-	
	신창	아산	신창	신달	온양지사	1997	7.80	7No. 22	7.71 (150년빈도)	
	수장	아산	신창	수장	온양지사	-	-	No. 27	-	
	중방	아산	염치	중방	온양지사	1991	7.20	No. 23	7.72 (50년빈도)	
	염치	아산	염치	염성	온양지사	2000	11.00	No. 26	8.89 (150년빈도)	
	백암	아산			온양지사	-	6.50	No. 39	12.75 (50년빈도)	
무한천	원평	예산	오가	원평	예산지사	2004 (예정)	10.30	No. 103	10.33 (100년빈도)	
	신원	예산	예산	발연	예산지사	1989	6.30	No. 85	8.72 (50년빈도)	
	탄중	예산	신암	탄중	예산지사	1990	7.57	No. 76	8.16 (50년빈도)	
	산성	예산	예산	산성	예산군	2000		No. 105	10.02 (50년빈도)	
	종경	예산	신암	종경	예산지사	1994	6.00	No. 59	7.38 (50년빈도)	
	창소	예산	예산	창소	예산군	2002		No. 61	7.52 (50년빈도)	
	신종	예산	신암	신종	예산지사	2003 (예정)	4.90	No. 10	6.33 (50년빈도)	
	신덕	아산	선장	신덕	온양지사	2004 (예정)		No. 1	6.23 (50년빈도)	
	봉농	아산	도고	봉농	온양지사	2004 (예정)		No. 25	6.48 (50년빈도)	
	계촌	예산	신암	두곡	예산지사	2004 (예정)	5.90	No. 33	6.56 (50년빈도)	
	발연	예산	예산	발연	예산지사			No. 84	8.66 (50년빈도)	

【주】 외수위는 기계고에 가장 근접한 해당 지점의 빈도별 홍수위 임.(하천정비기본계획 기준)

15.3 유역내 저류능력 유지방안

유역내 저류능력은 홍수시 대책뿐만 아니라 갈수에 대한 대책으로 물관리 차원에서 매우 중요한 사항으로, 금회 계획에서는 치수단위구역 대구역별 저류능력 유지방안과 도시화에 따른 도시지역의 저류능력 유지방안으로 구분하여 수립하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

15.3.1 치수단위구역별 저류능력 유지방안

가. 보수지역의 저류능력 유지방안

보수지역은 우수를 일시적으로 침투시키고 저류하는 기능을 가지는 지역으로 산림, 논밭, 녹지 등의 자연상태를 최대한 유지하여 자연이 가진 보수기능을 보전할 수 있도록 할 필요가 있는 지역이다. 삽교천 유역의 보수지역은 대부분 산지 및 농경지로 구성되어 있으며, 천안시, 아산시 지역 등의 곡교천 유역과 예산읍, 홍성읍 등 일부 도시지역을 제외하고는 향후 개발계획도 거의 없는 지역이다.

도시개발 계획이 없는 지역은 현재의 상태를 최대한 유지하면서 산림녹화에 힘써야 할 것이며, 도시개발 계획이 예상되는 지역의 경우 도시공원화 사업을 최대한 반영하여 자연녹지, 도시공원 등을 최대한 확보하여야 한다. 특히 아산역 주변의 신도시가 예정되어 있는 지역의 경우 현재 토지이용 상황이 산림 및 농경지로 이용되는 곳에 도시화가 진행되기 때문에 불투수 면적 증가에 따른 홍수유출량 증가에 대비하여 저류지 등의 유출억제 계획을 철저히 수립하고, 도시계획 수립시 최대한 녹지를 많이 확보할 수 있도록 하여야 할 것이다.

나. 유수지역의 저류능력 유지방안

유수지역은 우수 또는 하천의 유수가 쉽게 유입해서 일시적으로 저류되는 지역으로 이 기능을 계속적으로 확보하거나 증대시킬 필요가 있는 지역이다. 삽교천 유역내 유수지역은 하류부 삽교호 배수영향을 받는 저지대(국가하천 구간 주변 저지대)를 제외한 하천변 저지대 농경지를 대상으로 선정하였다.

유수지역으로 지정된 지역은 현재 제방축조 공사로 홍수터가 많이 상실된 상태로 On-Line 형태의 저류지 기능을 하던 홍수터가 상실되어 하류측의 홍수피해 가능성이 점차 증가되고 있다. 유수지역에서의 저류능력 유지를 위해 과거 하천상태를 참고로 하여 사행특성을 유지하도록 개수계획을 수립하고, 하천변 저지대의 경우(특히 폐천부지) 홍수터로 이용하여 친환경적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

다. 저지지역의 저류능력 유지방안

저지지역은 유역의 평균고도가 낮고, 경사가 완만하여 홍수시 유하시간이 길어지고 침수피해 발생 가능성이 큰 지역이다. 삽교천 유역의 저지지역은 삽교천, 곡교천, 무한천의 국가하천구간 저지대 농경지를 대상으로 구분하였으며, 이 지역의 특징은 삽교호의 배수영향구간이 대부분인 지역으로 경사가 매우 완만하며, 내수침수피해가 많이 발생하는 지역으로 배수펌프장이 많이 설치되어 있다.

저지지역은 신속한 홍수배제를 위해 하천의 통수능을 확보하는 것이 우선적으로 필요하다. 또한 저지지역에 건설되는 주택 및 건물은 침수피해가 발생하지 않도록 피로티 양식으로 건설하며, 또한 예산읍 및 삽교, 합덕읍 등의 도시지역에는 불투수면적을 최대한 줄이고, 침수통 및 침투 트랜치 등을 설치하여 저류능력을 유지함으로써 홍수유출량을 저감하여 침수피해를 감소시킬 수 있도록 하여야 한다.

15.3.2 도시개발지역의 저류능력 유지방안

가. 도시화에 따른 유출특성 변화

도시화란 도시가 가지는 경제활동의 효율성과 소비생활의 매력을 추구하기 위하여 발생하는 경제사회활동의 집중과 규모의 확대라고 할 수 있다. 이러한 도시화는 시가지의 확대 및 고밀도화에 따라 불투수 지역이 확대되고, 배수시스템의 변화 및 식물생물의 서식처의 감소 등이 발생하고 기저유량의 감소 및 홍수시의 첨두유량의 증대와 유출시간의 단축에 의한 홍수피해의 증가가 발생된다.

나. 도시지역의 저류능력 유지방안

도시지역의 저류능력 유지방안으로는 침투시설설치 및 녹지공간 확보, 저류시설 설치 등이있다. 각 방안별 내용을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 우수침투시설

우수침투를 유도하는데 있어 적용가능한 대표적인 침투시설로는 침투통, 침투트렌치, 침투측구 및 투수성 포장 등이 있으며, 이들 침투시설의 효과를 극대화하기 위해서는 우수의 집수 및 저류, 침투가 용이하게 이루어져야 한다. 또한 토지이용 상황 및 지반의 침투능에 따라 침투시설을 조합하며, 침투시설 단독으로 처리할 수 없는 경우는 지역내 저류시설과 조합하여 설치한다. 각 지역별 적용가능한 침투시설은 <표 15.35>와 같다.

<표 15.35> 적용가능한 우수침투시설의 종류

대분류	분 류	시설명	적용가능 시설
교통시설	도 로	도로	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구
		자전거 도로	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭
		보행자 전용도로	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭
		주차장	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭
도시 공간 시설	광 장	교통광장	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구
		미관광장	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭
	공 원	어린이공원, 근린공원 등	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭
	녹 지	완충녹지, 경관녹지	- 쇄석공극저류
	공공용지	-	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭
공공 문화 시설	학 교	-	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭
	운동장	-	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭
	공공청사	-	- 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수성 포장, 투수성 보도블럭

(2) 녹지공간 확충

도시지역내 녹지공간은 도시공원, 자연공원, 및 기타공원 등이 주를 이루고 있으며, 도시지역내 녹지공간 확충방안은 크게 다음과 같이 구분할 수 있다.

○ 생태축 설정 및 연결

○ 가로녹지율 증대

○ 공원시설의 질적 개선과 공원이용의 활성화

○ 공원녹지 서비스 소외지역의 해소

○ 녹지조성 및 유지관리에 지역주민 참여기회 확대

15.4 관련계획과 연계방안

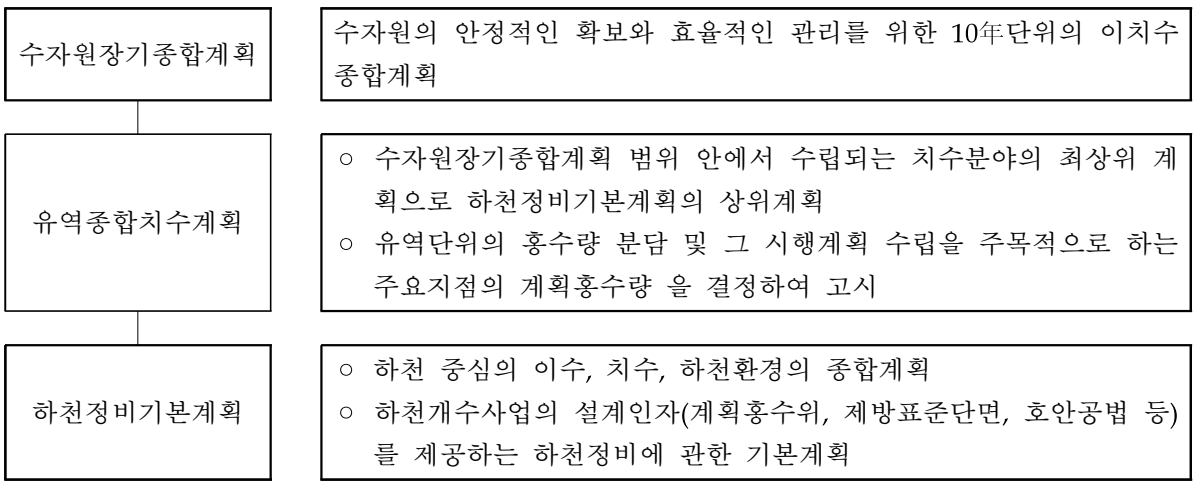
15.4.1 하천정비기본계획

하천정비기본계획은 하천법 제17조 및 동법 시행령 제10조의 규정에 의거한 유역의 강우, 하천의 유량, 하도특성, 환경, 수자원개발 및 이용현황 등 하천의 홍수관리, 용수공급, 하천환경보전 등에 관한 제반 사항을 조사 분석하여 하천에 관한 종합적인 정비, 보전, 이용의 기본이 되도록 하는데 목적을 두고 10년 단위로 수립하는 하천 중심의 이수, 치수, 하천환경의 종합계획이다.

가. 하천정비기본계획의 위상 및 성격

유역종합치수계획은 수자원장기종합계획의 범위 안에서 수립되어야 하며, 하천정비기본계획의 기본이 된다. 따라서, 하천정비기본계획은 유역종합치수계획의 하위계획이라 할 수 있으며, 유역종합치수계획이 유역 단위의 큰 틀에서 다양한 구조적, 비구조적 대책을 통해 치수계획의 기본방향을 설정하는데 비해 하천정비기본계획은 사업대상을 하천 단위로 제한하지만 사업의 내용은 이수, 치수, 하천환경 등을 총괄하는 하천에 관한 종합적인 정비계획이라 할 수 있다.

이러한 치수사업의 체계하에서 하천정비기본계획은 유역단위로 수립되는 유역종합치수계획에 비해 개별 하천을 대상으로 한다는 측면에서 사업범위는 협소하지만, 사업의 내용에 있어서는 치수분야만을 다루는 유역종합치수계획에 비해 이수, 치수, 하천환경 등 하천에 관한 모든 사항을 다루는 종합계획이라 할 수 있으며, 치수계획 측면에서는 개론적인 성격을 띤 유역종합치수계획의 실질적인 시행의 지침을 제공하는 역할을 한다고 할 수 있다.



<그림 15.5> 치수계획의 체계 및 성격

나. 하천정비기본계획의 주요 내용

하천정비기본계획은 하천법시행령 제10조에 따라 하천유역의 국토계획 및 도시계획 등에 대한 변동사항을 고려하여 수립하며, 그 내용에는 다음의 사항을 포함하도록 되어 있다.

(1) 하천의 개황에 관한 사항

○ 유역의 특성 등 일반현황

○ 강우, 기상 및 수질 등 자연조건

○ 수해 및 가뭄피해현황

○ 하천유수의 이용현황

○ 하천유역의 지형·지물 등을 파악하기 위한 측량기준점에 관한 사항

(2) 하천공사의 시행에 관한 사항

○ 기본홍수량(제방·댐·저류지·홍수조절지·방수로 등의 홍수방어시설에 의한 홍수조절계획을 반영하지 아니한 자연상태의 홍수량을 말한다) 및 이의 배분에 관한 사항

○ 계획홍수량, 계획홍수위(계획홍수량에 해당하는 홍수위를 말한다) 및 계획하폭(계획홍수량의 소통에 필요한 양안사이의 거리를 말한다)에 관한 사항

○ 하천 개수, 하도 굴착, 제방(호안, 제체)보강, 하천환경 정비 등 하천 공사에 관한 사항

(3) 하천예정지·하천구역 및 연안구역의 지정을 위한 조사

(4) 그밖에 하천의 환경보전과 적절한 이용에 관한 사항

○ 보전·복원·친수지구 설정 등 하천의 지구별 관리에 관한 사항

○ 고수부지, 폐천부지 현황 및 활용계획에 관한 사항

○ 하천정비기본계획에서 수립된 사업시행으로 생태계 등 환경에 미치는 영향 분석

○ 하천의 유지관리에 필요한 사항

다. 유역종합치수계획과의 조정

전 절의 내용 중 하천정비기본계획에 포함되어야 할 주요 사항은 하천법 시행령 제10조에 규정된 사항이다. 그러나 하천법 시행규칙 '제5조의2(하천유역종합치수계획의 고시)'에는 유역종합치수계획을 수립하거나 변경한 때에는 '홍수량의 산정지점별 현재 및

목표연도의 계획홍수량'을 고시하도록 규정하고 있으며, 하천법 '제11조의3(유역치수계획과 다른 계획과의 관계)'에는 '유역치수계획은 수자원계획의 범위 안에서 수립되어야 하며, 제17조의 규정에 의한 하천정비기본계획의 기본이 된다.'라고 규정하고 있다.

이러한 하천법 관련규정을 통해 하천정비기본계획은 유역종합치수계획에서 산정한 계획홍수량에 근거하여 하천공사의 시행에 관한 사항 등을 수립하여야 하는 것으로 업무의 범위가 설정되어 있다. 그러나 유역종합치수계획에서 산정한 홍수량이 전체 유역을 대상으로 하는데 비해, 하천정비기본계획은 개개 하천유역단위로 계획을 수립하는바 홍수량 산정의 기본이 되는 설계강우의 지속시간이 상이하게 결정되는 문제가 발생할 수 있으며, 그로 인해 동일 지점의 홍수량이 다르게 산정될 수 있다. 즉, 설계강우의 지속시간으로 채택하는 임계지속시간이 유역면적에 크게 지배되기 때문에 전체 유역을 대상으로 홍수량을 산정할 경우와 그 일부에 해당하는 개별 하천유역에 대한 홍수량 산정시 설계강우의 지속시간이 상이하게 되며, 이로 인해 동일한 확률강우량과 계획빈도를 적용하여도 홍수량의 차이가 발생하게 된다.

따라서, 유역종합치수계획에서 계획홍수량을 결정하여 고시 하였어도, 하천정비기본계획에서는 해당 사업의 목적에 적합하도록, 홍수량의 대상범위와 제반 매개변수를 검토하여 그에 합당한 홍수량을 결정하여야 할 것이다.

현재 삽교천 유역의 주요 하천인 삽교천과 곡교천 및 무한천의 국가하천구간에 대한 하천정비기본계획 보완을 2004년 5월부터 착수하여 2006년 중 마무리 하는 일정으로 수행 중에 있다. 이러한 일정을 감안할 때 삽교천 유역종합치수계획에서 계획한 예당지 증고, 삽교호 배수갑문 증설 등 사업비와 시간이 막대하게 소요되는 대규모 사업과, 천변저류지 설치와 같이 현재까지는 일반적으로 시행되지 않고 있는 사업에 대한 계획을 반영하여 결정한 계획홍수량에 기초하여 하천정비기본계획을 수립하는 것이 적합한지 여부에 대한 검토가 수행되어야 할 것이다.

즉, 10년 단위의 계획인 하천정비기본계획에서 사업의 공사기간과 비용문제, 사업시행을 위한 제도적 보완 및 지역주민들의 이해관계 등으로 인해 향후 10년 내에 사업의 시행여부가 불분명할 수 있는 사업계획에 의해 결정한 유역종합치수계획의 계획홍수량을 어느 정도까지 수용하여 계획에 반영할지에 대한 세심한 검토가 필요하다.

15.4.2 하천공사

가 하천공사 실시 현황

2005년 6월 현재 삽교천 유역 중하류부에서 시행되고 있는 하천개수 사업은 총 10건

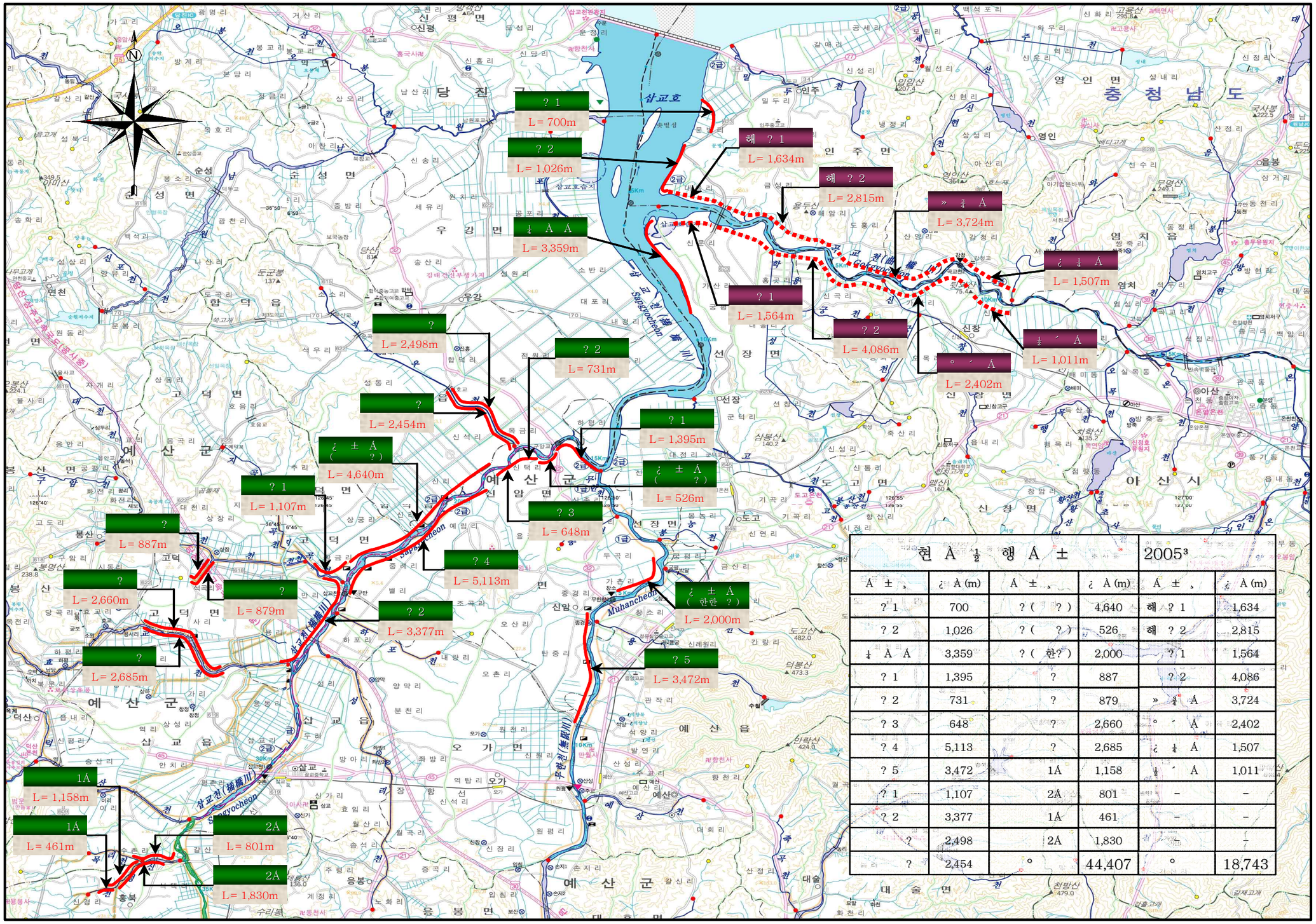
에 사업연장은 48,818m에 달하며, 2005년 중 시행예정인 사업은 곡교천 국가하천 구간의 기성제 보강사업인 곡교지구 하천환경정비사업으로서 사업계획 연장은 18,743m이다.

<표 15.36> 삽교천 유역 중하류부에서 시행중인 하천개수사업 현황

하 천	하천등급	제방명	사업위치	사업연장	공사기간
신경천	지방2급	신경제	충남 예산군 삽교읍 수촌리 일원	4,250m	2003. 6 ~ 2006. 5
대지천	지방2급	대지제	충남 예산군 고덕면 대천리 일원	1,766m	2003. 6 ~ 2007. 5
석우천	지방2급	석우제	충남 당진군 합덕읍 옥금리	4,952m	2003. 5 ~ 2007. 5
남원천	지방2급	남원제	충남 당진군 우강면 부장리	4,411m	2002. 5 ~ 2005. 12
삽교천 무한천	국가하천	옥금제	충남 당진군 합덕읍, 예산군 신암면, 고덕면 일원	7,166m	2003. 5 ~ 2007. 5
효교천	지방2급	효교제	충남 예산군 고덕면, 삽교읍 일원	5,345m	2003. 6 ~ 2007. 5
삽교천	국가하천 (소하천)	인주제	충남 아산시 인주면 문방리, 대음리 일원	1,726m	2004. 10 ~ 2008. 9
삽교천	국가하천	선장제	충남 아산시 인주면 신문리 일원	3,359m	2004. 10 ~ 2008. 9
삽교천 무한천	국가하천	신암제	충남 예산군 신암면 신종리, 신택리 예림리, 탄중리 일원	14,718m	2004. 10 ~ 2008. 9
삽교천	국가하천	고덕제	충남 예산군 고덕면 용리 일원	4,484m	2004. 10 ~ 2008. 9
사업연장 계				48,818m	

<표 15.37> 삽교천 유역 중하류부에서 2005년 중 시행예정인 하천개수사업

하 천	하천등급	제방명	사업위치	사업연장	비 고
곡교천	국가하천	해암제	충남 아산시 인주면 대음리, 금성리, 해암리 일원	4,449	
		신곡제	충남 아산시 선장면 신문리, 가산리, 신곡리 일원	5,650	
		산양제	충남 아산시 인주면 신성리, 산양리 일원	3,724	
		가덕제	충남 아산시 신창면 가덕리 일원	2,402	
		염성제	충남 아산시 염치읍 강청리, 석두리 일원	1,507	
		수장제	충남 아산시 신창면 신달리 일원	1,011	
사업계획연장 계				18,743	



<그림 15.6> 삽교천 유역 중하류부에서 시행중인 하천개수사업구간 위치도

나. 계획홍수위 변동 요인

삽교천의 계획홍수위 산정시 기준이 되는 기점홍수위는 삽교호 방조제 설계당시의 유량규모별 내수위를 기점홍수위로 채택하였으며, 채택한 기점홍수위는 50년 빈도 EL. 4.76m, 80년 빈도 EL. 5.01m, 100년 빈도 EL. 5.10m, 150년 빈도 EL. 5.22m이다.

그러나 삽교호의 100년 빈도 첨두홍수위는 '제 11 장 기존 치수시설의 홍수조절능력 검토'에서 기술한 바와 같이 '94년 기본계획(보완) 당시에도 '76년 삽교호 방조제 설계 성과와 비교하여 하구의 계획홍수량이 5,460㎥/sec에서 6,075㎥/sec으로 약 11.3% 증가하였고, 홍수량의 증가를 고려하지 않아도 삽교호의 첨두수위 계산결과가 0.23m 상승하였으며, 삽교호의 내용적 감소까지 고려하면 삽교호의 계획홍수위가 당초 EL. 5.10m에서 EL. 5.81m로 증가하는 것으로 분석 되었다. 또한 금회 분석결과 확률강우량의 증가에 따라 하구 지점의 목표연도의 계획홍수량 7,065㎥/sec로 증가하고, 장기간의 조위관측 결과에 기초한 설계조위의 조정 등으로 인해 100년 빈도 홍수시의 삽교호 첨두홍수위가 최고 EL. 6.53m에 이르는 것으로 나타났다.

특히 삽교천 유역종합치수계획을 시행하여 삽교호 배수갑문을 6련 증설하더라도 삽교호의 첨두홍수위는 EL. 5.72m가 되어 현재의 삽교천 기점홍수위 EL. 5.10m 보다 약 0.62m 높은 값을 보일 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 삽교호 설계당시의 설계조위 최고값이 EL. 4.80m인데 비해 금회 적용한 설계조위의 고고조에 해당하는 값은 EL. 5.32m로서, 0.52m 높은 값을 적용한데 그 원인이 있으며, 삽교천 하구의 100년 빈도 계획홍수량이 유역종합치수계획 시행 후에도 7,065㎥/sec에 달해 삽교호 설계당시에 비해 약 30% 가까이 증가한데도 영향이 있는 것으로 판단된다.

다. 하천개수사업 시행에 관한 검토

삽교호의 첨두홍수위 분석결과 삽교천의 기점홍수위가 '94년 하천정비기본계획(보완) 당시에 비해 최대 1.43m의 상승요인이 발생했고, 이를 감안하면 삽교천 뿐만 아니라 삽교천 하류부로 유입하는 곡교천과 무한천의 홍수위 또한 크게 상승할 것이 우려되어, 현재 시행 중인 삽교천과 곡교천 및 무한천 국가하천 구간의 하천정비기본계획에서 삽교천의 기점홍수위를 포함한 해당 하천의 기점홍수위와 계획홍수위 조정을 검토할 필요가 있다.

만약 삽교천 등의 유역 중하류부에 위치한 하천의 계획홍수위를 삽교호의 첨두수위 상승을 감안하여 상향조정할 경우 현재 이 지역에서 시행되고 있는 하천개수 사업의 제방보강 및 축제 계획을 전면 재검토 하여야 하는 문제가 발생할 것이다.

이 경우 2005년 말 준공 예정인 남원제를 제외하더라도 현재 유역 중하류부 지역에서 시행 중인 9개소의 제방 공사 구간 중 삽교천 국가하천 시점부에 인접한 신경제와 효교제 및 삽교천의 2지류인 대지제 개수공사를 제외한 6개 사업과, 2005년 중 시행예정인 곡교천 국가하천 구간 중하류부에 대한 하천환경정비사업이 그 대상이 될 것이다.

그러나 하천정비기본계획이 2006년에 준공되고, 만약 이 과정에서 계획홍수위를 조정할 경우 그 결과가 고시되기 위해서는 어느 정도의 시간이 소요되는바 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 치수사업의 시행을 장기간 지체할 수 없으며, 하천정비기본계획에서 치수사업의 경제성 분석을 통해 계획홍수위 상향 조정이 적합하지 않은 것으로 판단하거나, 하도계획을 통해 계획홍수위 상향조정 요인을 해소할 여지가 있으므로 현 시점에서 단지 삽교호의 첨두홍수위 증가 요인만으로 현재 시행중이거나, 가까운 시일내에 시행예정인 사업을 중단하거나 사업계획을 재검토 하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단된다.

특히 유역종합치수계획이나 하천정비기본계획이 10년 단위의 계획으로서 그 동안의 유역의 토지이용, 기상, 유출특성 및 인문·사회·경제 현황의 변화를 반영하여 보완되며, 하천의 설계기준이 하천변 토지이용의 고도화와 재산가치 상승 등의 요인으로 인해 강화되는 추세에 있음으로 하천의 계획홍수위 상승요인은 지속적으로 발생될 것이다. 따라서, 하천제방의 보강 사업 또한 일회성으로 그치는 것이 아니라 지속적인 투자와 시행이 뒤따라야 하는바 현재 시행중인 사업은 현 시점에서 고시된 계획홍수위를 근거로 시행하고, 계획홍수위가 조정되면 이를 반영하여 추가 사업의 필요성을 검토하여야 할 것이다.

15.4.3 예당지 환경관리

가. 일반적 환경관리 방안

예당지는 농업용수로 활용하기위한 저수기능과 더불어 홍수시 홍수조절기능을 담당하고 있다. 금회 계획에서 예당지 증고의 목적은 홍수조절기능의 증진이지만 이에 따라 편입되는 수변지역은 자연생태적 관점에서 생물서식처, 추이대로써 역할을 하며, 유역에서 유입되는 오염원을 정화할 수 있는 자연정화 기능을 하는 공간이다.

따라서 이 공간을 친환경적으로 자연 보전과 인간의 이용이 조화를 이룰 수 있도록 환경관리 방안을 수립하여야 한다.

(1) 개념

저수지 수역, 수질, 공간, 생태계 등 저수지 환경의 구성요소에 의하여 저수지의 환경기능 중 역기능을 최소화하고 순기능을 증진하기 위한 저수지 관리방안을 수립한다.

(2) 기본 방향

○ 풍요롭고 윤택한 환경의 보전 및 창출
○ 지역 주민과 이용자들의 자연친화공간 욕구에 부응
○ 후대에 물려줄 귀중한 자연공간으로 장기적, 광역적, 포괄적 개념의 시행
○ 지역주민의 경제활동에 긍정적 효과를 창출하는 환경관리
○ 지역적(역사·문화적, 인문사회적, 생태적) 특성을 고려한 환경관리
○ 수량과 수질이 일원화된 하천환경관리
○ 저수지 수질 및 생물과 조화된 공간환경관리
○ 저수지 수변부 공간의 적절한 보전과 활용
○ 저수지 및 유역 특성의 보전 및 활성화
○ 저수지 경관의 보전과 창조
○ 저수지와 주변 지역과의 생태적·경관적 네트워크 형성

나. 예당지 환경관리 세부 내용

예당지의 환경관리는 저수지의 자연생태적 원리에 입각하여 생태계 질서에 의해 스스로 유지되도록 관리하여야 하며, 인위적 요소를 최소화하여 야생상태에서 스스로 지속가능한 자연환경이 유지되도록 아래의 내용을 기본방향으로 하여 환경관리 세부 방안을 수립하여야 한다.

○ 생물다양성 보전을 위한 생태적 관리
○ 생태적 수용능력이 가능한 범위 내의 환경관리
○ 저수지를 이용하는 인간과 자연환경과의 조화를 위한 공간관리
○ 양질의 용수 확보를 위한 수질관리

(1) 환경관리 주제 설정

예당지의 자연경관과 이곳에 서식하는 수생식물, 물새 등의 생물 및 저수지의 수질을 친환경적으로 관리하기 위하여 다음과 같은 환경관리 주제를 설정하였다.

○ 야생 동·식물을 위한 생태환경 보전

○ 자연경관 보전 및 수질 개선

○ 예당지의 생태학습 및 생태관광 자원화

(2) 환경관리 세부목표

환경관리 주제에 부합되도록 세부 목표를 설정하였다.

○ 매화마름(멸종위기 Ⅱ급 식물) 서식지 보전

○ 수조류 서식환경 보전

○ 저수지 경관의 자연 친화적 정비

○ 식생정화대를 통한 저수지 유입 오염 정화

○ 매화마름을 비롯한 수생식물을 관찰할 수 있는 생태학습장으로 조성

○ 예당지의 관광 형태를 야생 동식물을 매개로한 생태관광으로 전환

(3) 부문별 환경관리 계획

가) 서식환경관리

예당지의 생물다양성을 증진시키고, 생태적 건전성을 확보하여 야생 동·식물의 서식을 체계적으로 보전하기 위한 방안을 수립하였다.

○ 매화마름 서식지를 예당지의 생태환경 핵심구역으로 설정하여 보전

○ 야생 동·식물 서식처로써 양호한 기존 습지 보전

○ 신규 저류지 확보 공간 중 일부를 조류 먹이 공급을 위한 초지로 조성

○ 조류 휴식을 위한 횃대 설치

나) 공간환경관리

예당지의 수변공간을 효율적으로 이용하기 위하여 공간 환경관리계획을 수립하였다.

○ 매화마름 생태관찰데크 조성

○ 야생 초화류 생육지 및 신규 저류 공간에 습지 조성

○ 조류 관찰대 조성(야생조류의 생태 학습)

○ 기존 낚시터 활용을 일부 지역으로 제한하여 경관의 질적 향상

○ 방문자를 위한 예당지 안내센터 및 생태 주차 공간 확보

○ 저수지 전 지역을 생태관광지로 지정하여 인위적 훼손 최소화

다) 수환경관리

용수공급 목적으로 운영되고 있는 예당지의 지속적인 양질의 수질확보 및 수질개선을 위하여 수환경관리방안을 계획하였다.

○ 수질정화 식생대 설치
- 대흥면 소재지 접경부
- 동산리, 상동산 마을 · 하동산 마을 접경부
- 장전리 사출마을 접경부에 수질정화 식생대 설치

○ 저수지 떡밥 낚시 금지하여 떡밥에 의한 수질 악화 방지

라) 기타 환경경관리

예당지 접경부는 영농에 의하여 병해충 방제를 위한 소독이 빈번히 발생하고 있으며, 이로 인한 폐농약병이 방치될 수 있으므로 주기적으로 수거하여야 한다. 또한 예당지를 찾는 낚시꾼 및 관광객에 의한 생활폐기물이 버려지지 않도록 주기적인 청결작업을 시행하여 한다.

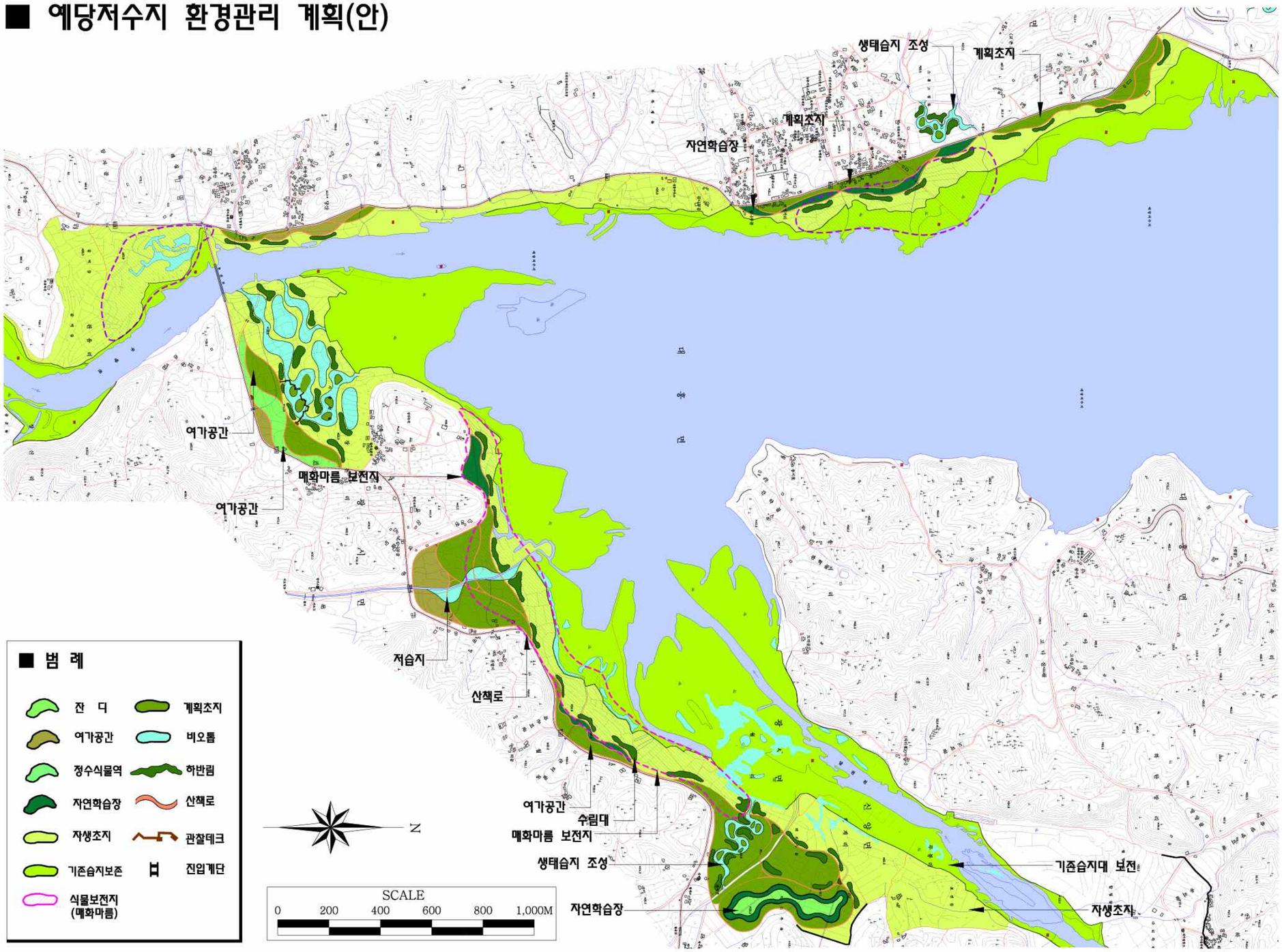
(4) 생태 체험 학습 방안

예당지가 농업용수 확보를 위한 저수지이므로 영농과 관련된 친환경 농법을 체험할 수 있는 체험학습 등의 테마 관광을 계획하는 것도 하나의 방안이 될 수 있다.

○ 친환경적 벼농사 시행(지역 특화 상품 생산)
- 우렁이 농법 등을 통한 친환경 농업 학습

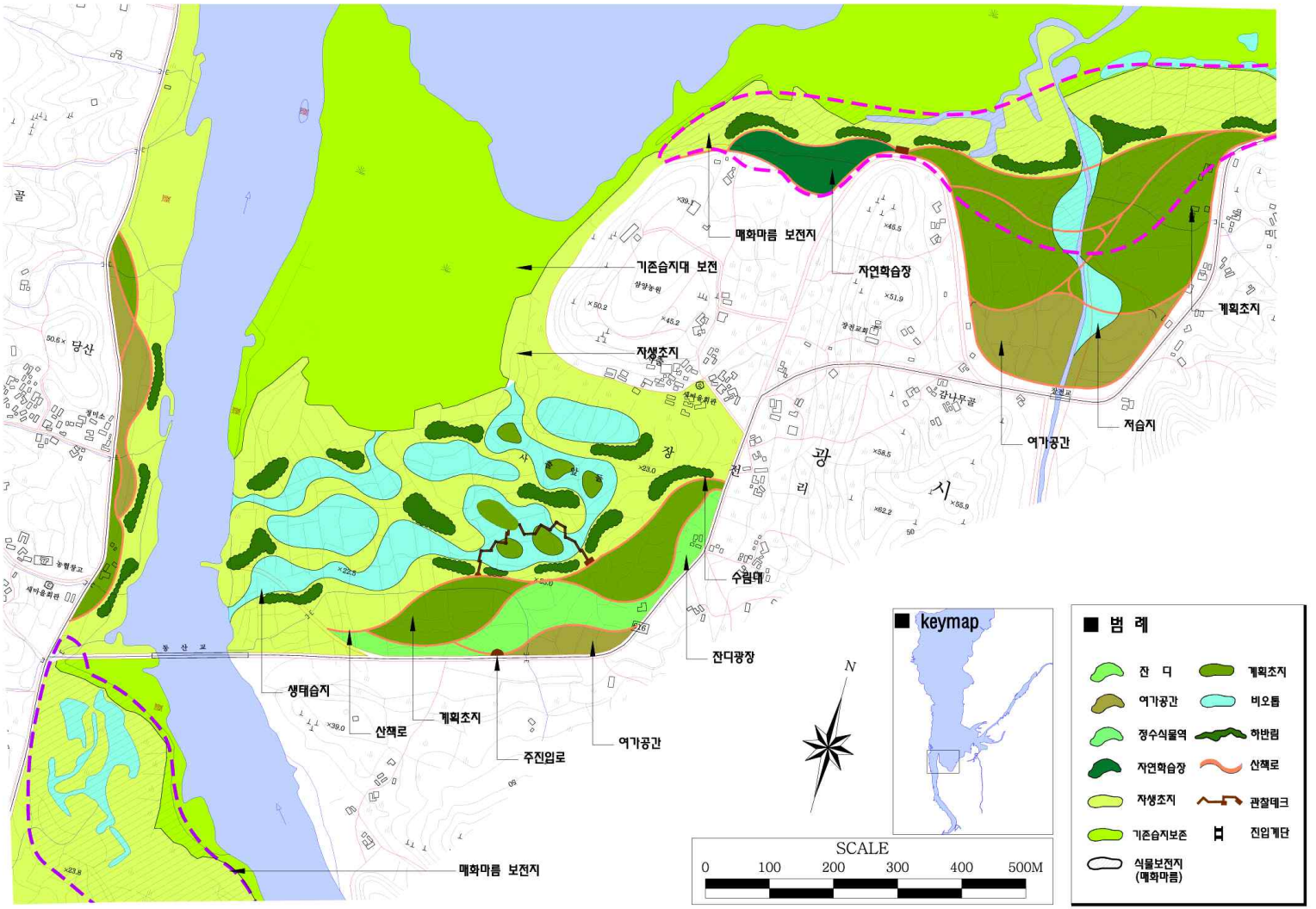
○ 다양한 농촌 생활 체험 관광 유도
- 모내기 체험 행사
- 김매기(논매기) 체험 행사
- 벼베기 체험 행사

■ 예당저수지 환경관리 계획(안)

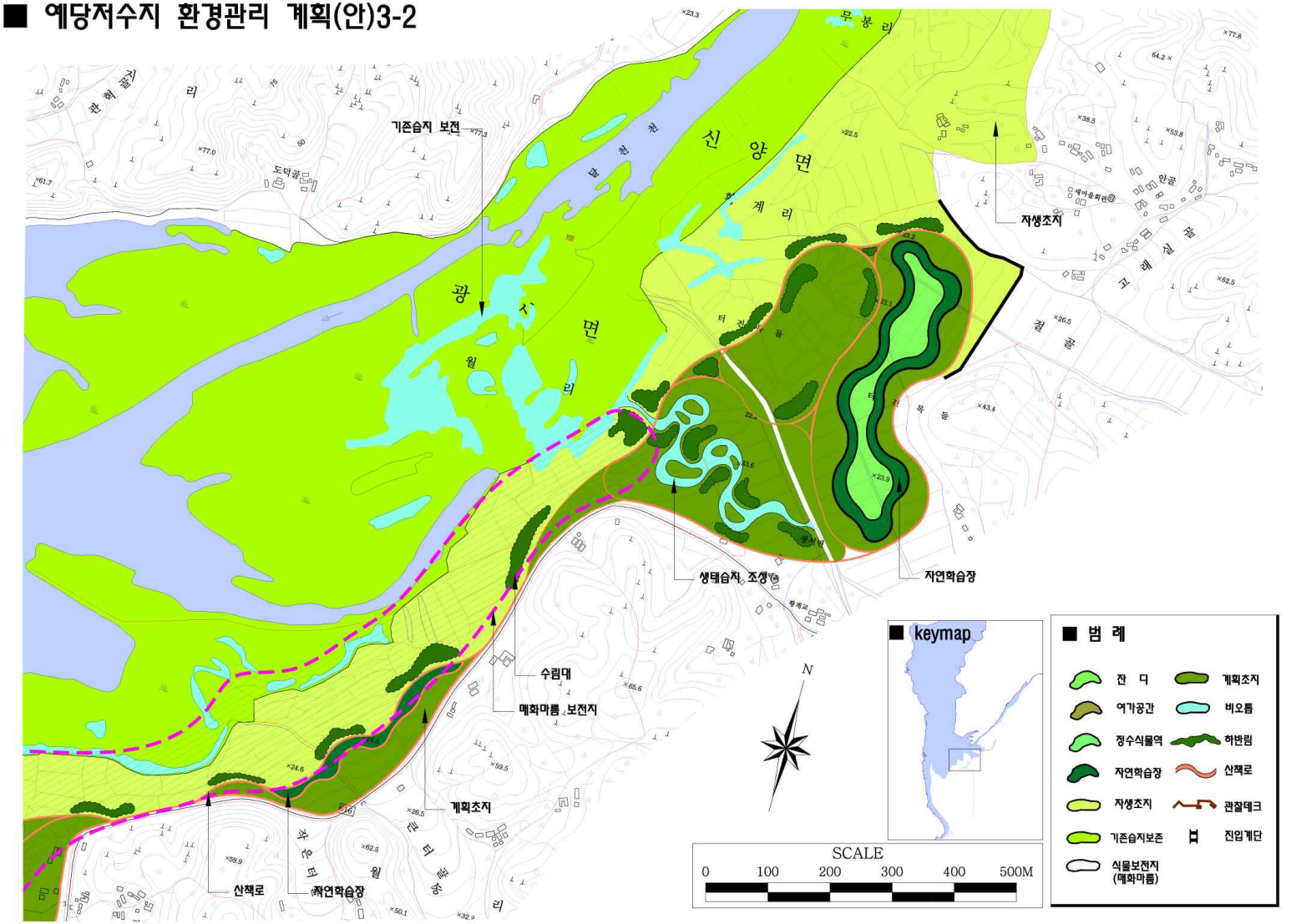


<그림 15.7> 예당지 환경관리(안) 예시도 (전체)

■ 예당저수지 환경관리 계획(안)3-1

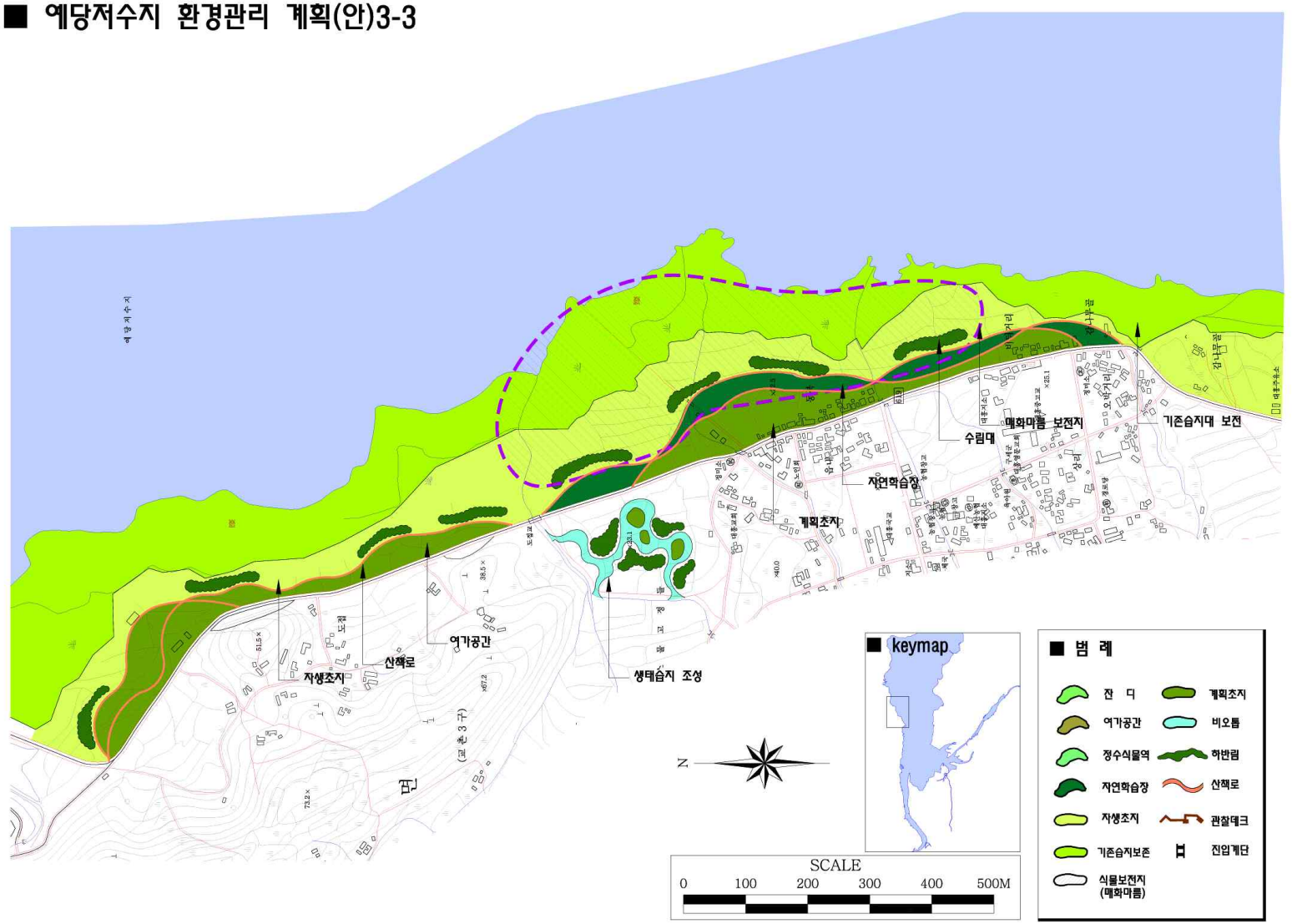


<그림 15.8> 예당지 환경관리(안) 예시도(상세도)



<그림 15.8> 예당지 환경관리(안) 예시도(상세도) (계속)

■ 예당저수지 환경관리 계획(안)3-3



<그림 15.8> 예당지 환경관리(안) 예시도 (상세도) (계속)

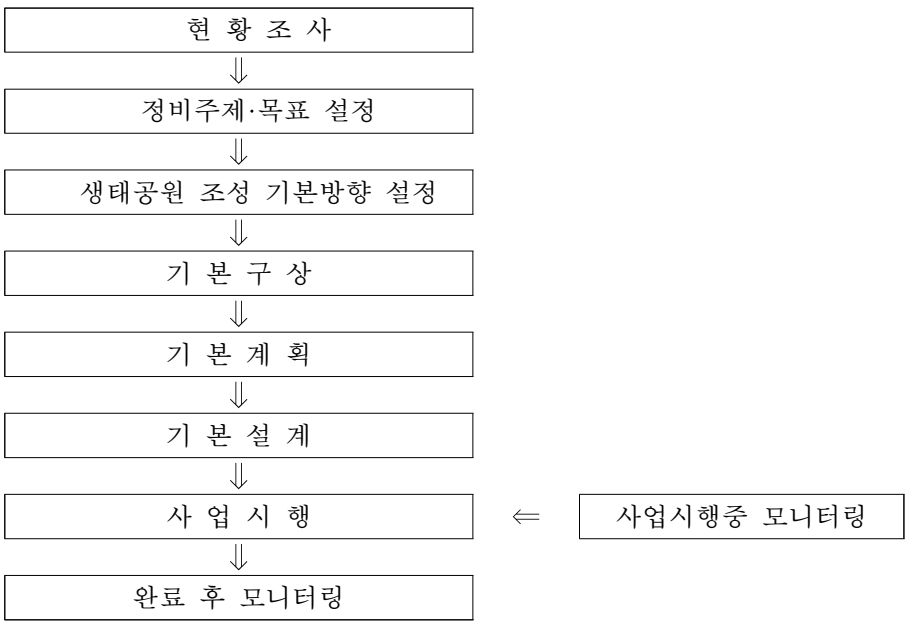
다. 생태공원 조성방안

장기적으로 예당지를 생태공원화 하여 생태관광지로 육성하는 방안을 제시하고자 한다. 기존의 관광형태인 여행, 유람 등 유원지 개념에서 탈피하여 체험과 참여, 자연보전 등 현지 자연환경과 하나가 될 수 있는 관광형태인 생태관광으로 전환을 유도한다.

(1) 기본 방향

예당지는 현재 예산군의 자체 관광지 조성계획에 의하여 관광지로의 조성이 진행되고 있다. 따라서 본 절에서는 예당지와 접하고 있는 대흥면 소재지의 문화유적과 연계된 '예당호 역사·생태공원조성 기본계획, 2003.12, 예산군'과 연계하여 예당지의 환경관리방안의 일환으로 생태공원 조성방안을 제시하였다.

향후 예당지가 지역의 생태적 명소로 남기 위해서는 지속가능한 자연자원을 확보하고 있어야 하므로 예당지를 중심으로 하여 지역을 자연 생태·경관 보전지역으로 지정하고, 생태공원과 생태마을을 조성하여 자연환경의 훼손이 최소화될 수 있도록 생태관광화 한다. 이를 위해서는 '예당호 역사·생태공원조성 기본계획, 2003.12, 예산군'의 생태적 여건에 대한 기초조사가 미흡하므로 예당지의 생물상 및 생물 서식환경 등에 대한 생태현황에 대한 세부조사를 시행하여 그에 따른 계획 수립이 요구된다.



<그림 15.9> 생태공원 조성 절차

또한 자연경관에 대한 분석을 시행하여 경관적 가치를 높일 수 있는 방안으로 생태공원 조성계획을 수립하여야 한다. 생물 및 자연과 접할 수 있는 공원으로 풍부한 동·식물

의 서식과 서식공간의 다양성, 생물과 자연으로의 접근성, 다양성·순환성·안정성·자립성 등 자연생태계의 구조와 기능을 확보하여 생물다양성의 보전 및 증진, 생물종의 유전자 은행 기능 및 생태적 네트워크 형성을 위한 구상을 하여야 한다.

특히 인간의 적절한 이용과 자연의 보전이 조화롭게 유지될 수 있도록 자연생태계의 원리에 따라 각 주제별 관찰·체험·학습의 효과를 얻을 수 있도록 한다.

(2) 생태관광지의 주요 기능 도입 방안

다양한 서식처를 형성하여 생물유기체가 안정된 상태에서 국지적 환경의 개별 특성에 따라 다양한 생물들이 서식할 수 있도록 조성하고, 이에 따라 각각의 biotope이 network을 형성하고 지속적인 생태계의 안정성 확보를 위하여 중요 서식처를 보호지역으로 설정하여 인위적 간섭에 의한 인위적 위협 요인을 배제한다.

생태적으로 안정된 상태를 유지하여 자연환경기작을 관찰·학습할 수 있는 공간을 제공하고, 다양한 야생 동·식물이 서식하는 지역이므로 생태적 교란을 일으키지 않는 범위 내에서 제한된 관찰과 학습이 가능하도록 한다.

자연적 재료로써 조성과 유지관리에 투입되는 에너지의 최소화로 환경학습 효과를 유도하고, 있는 그대로의 모습을 최대한 활용하여 조성함으로써 자연생태적 가치를 높이고 환경교육의 장으로 이용한다.

- ○ 지역의 생태적 명소를 위해 지속가능한 형태의 관광 즉 생태관광 장소로 유도
- ○ 예당지 고유의 식생군락 정착 유도
- ○ 철새 서식환경 보전·복원 방안
- ○ 생태마을 조성 : 생태탐방
- ○ 저류지 공간으로 생물서식공간으로 확보
- ○ 습지 및 수생식생대 조성을 통한 수질정화 기능 확보

라. 매화마름 보전방안

매화마름은 농경이 천수답 형태로 이루어지던 예전에는 흔한 식물이었으나, 경지정리에 의하여 영농방식이 변화하고, 특히 추경이 진행되고, 수리공급 기술의 발달에 의하여 동절기 물을 저수하는 논이 점차 사라지면서 개체수가 현저하게 감소된 식물종의 하나이다. 매화마름이 감소하게 된 원인은 매화마름이 연못, 논 등 습지를 터전으로 살아가는 식물인데 이와 같이 영농 방식의 변화에 의하여 서식환경이 훼손된 때문으로 추정된다. 매화마름의 구체적인 생태적 특성은 밝혀지지 않은 상태이다.

매화마름은 야생동식물보호법에 의하여 멸종위기야생동식물 Ⅱ급 육상식물 제20호로 지정된 희귀종으로 서식지에 인위적 교란이 가해질 경우 절종의 위험성이 매우 높은 종이다.

따라서, 예당지의 제체를 증고 할 경우 기존 매화마름 서식지가 홍수기 동안 일시적으로 홍수위의 영향을 받을 것으로 예상되므로 매화마름의 생태적 특성을 정확히 파악한 후에 그에 따라 구체적 보전방안을 수립하여야 한다.

(1) 매화마름의 특성

가) 분류학적 특성

매화마름의 분류학적 특성은 다음과 같다.

구 분	내 용	비 고
학 명	미나리아제비과(Ranunculaceae)	
	매화마름(*Ranunculus kazusensis* Makino)	
원산지	한 국	
생육환경	적국 각지의 습지, 늪, 연못, 논	
형태	일년생 또는 다년생 초본	
개화기	4월 ~ 5월	
유사종	민매화마름 (*R. yezoensis* Nakai) : 매화마름에 비하여 꽃받침, 열매 및 턱잎에 처음부터 털이 없다.(이창복, 1993)	

나) 형태학적 특징

매화마름의 형태적 특징은 다음과 같다.

구 분	특 징	비 고
줄 기	(1) 50㎝정도이다. (2) 가늘고 길며 속이 비어있고 마디에서 뿌리가 나온다.	-
잎	(1) 서로 어긋난다. (2) 짧은 잎자루가 있고 3~4회 갈라져서 실모양이 된다.	물 속에 있을 때와 물 밖에 있을 때 상이함
꽃	(1) 지름이 1㎝정도이다. (2) 4~5월에 백색으로 핀다. (3) 잎과 마주나며 꽃자루가 3~7㎝정도 물위로 올라와서 1개씩의 꽃이 달린다. (4) 꽃잎은 5개이며 밑 부분에 노란색이 나타난다. (5) 수술과 암술이 많고 꽃밥은 1mm정도이다	-
열 매	(1) 지름 5~6㎜ 정도이다. (2) 작은 열매가 꽃받침 위에 모여 둥근 모양의 덩어리를 형성한다.	-

다) 생태적 특성

매화마름은 서해안을 따라 넓은 분포범위에서 나타나며 농사와 관련된 지역에서 자란다. 대부분 해발고도가 대부분이 10m 내외였으며 경사가 완만한 평탄지로, 20~ 30cm정도의 얕은 수심에서 자생하고 논둑과 논안에 모두 분포한다. 논 안의 물에 잠겨 자생하는 매화마름의 경우 길이는 수십cm에 달하며 뿌리는 얕게 뻗는 반면 논둑에서 자라는 매화마름의 경우에는 길이가 10cm가 채 안되었으나, 뿌리는 매우 깊게 내린다.

동반 출현종으로는 뚝새풀, 개구리자리, 물별이끼, 뿔말, 말즘, 황새냉이, 미나리, 여뀌 등으로 논과 논둑, 농배수로 등에서 출현하는 식물들이다.

라) 생활사

매화마름의 생활사를 지금까지 알려진 내용을 근거로 살펴보면 다음과 같다.

구 분	특 징	비 고
발 아	추수가 끝난 후, 11월경에 발아한다.	-
월 동	발아를 한 후 어린 개체로 겨울을 넘긴다.	-
개 화	4월 말~5월 중순 사이 개화한다.	-
종자생성	5월 말~6월초에 종자를 퍼트린 후 죽는다.	-

(2) 매화마름 보전방안

예당지 증고시 편입되는 수변지역의 경우 현재 답작을 시행하고 있는 바, 농경을 금지할 경우 매화마름이 서식할 수 있을지 지속적인 모니터링을 시행하여야 한다.

따라서 일부구역의 경우 농경을 금지하여 매화마름의 서식을 관찰하고, 일부구역의 경우 현재와 같이 동절기에 수심이 약 30cm정도가 유지된 상태에서 벼농사를 계속하여 매화마름이 서식할 수 있는 환경을 조성한다. 특히 매화마름 보호를 위해서는 농약의 사용을 지양하는 환경농법으로 영농하여야 한다.

- ○ 매화마름의 생태적 특성을 파악하기 위한 장기적 연구 필요
- ○ 다른 생물종과의 관계 규명
- ○ 농경행위와의 관계 규명
- ○ 강화도 매화마름군락지의 경우 - 벼농사 계속 시행
- ○ 친환경농업 시행 필요
- ○ 추경을 가급적 지양하고 봄철 논갈이 시행

15.4.4 기타 (홍동)저수지 환경관리

가. 일반적 환경관리 방안

홍동저수지는 관리주체인 농업기반공사에서 저수지 수질개선을 위한 기본조사가 시행중이며, 향후 수질개선 사업이 시행될 경우 최적의 기법을 적용한 저수지 정비를 통하여 환경친화적 저수지로 조성될 것이다. 따라서 홍동저수지의 환경관리 주제 및 세부목표는 향후 계획에 의거하여 설정토록 하고 본 보고서에서는 바람직한 환경이 유지되도록 수질, 생태계, 주변여건 등이 조화되도록 관리하며, 특히 이용객에 의한 폐기물 무단투기, 저수지 수변 또는 생물 서식처의 훼손 등이 발생치 않도록 하는 등의 일반적인 관리방안을 위주로 저수지 환경관리방안을 제시하였다.

나. 수질 관리 방안

저수지의 수질은 어류뿐만 아니라 모든 생물에 큰 영향을 미치고, 저수지 경관측면에서도 중요한 역할을 하는 인자이므로 적절한 수위에서 유역내 비점오염원에서의 오염물질 유입을 최소화한다.

- 점오염원 차단 : 저수지 유역내 축사 등이 위치할 경우 처리시설을 설치토록 유도하고 무단방류 사전 방지
- 비점오염원 저감 : 저수지로 유입되는 하천 및 수로 등에 자생하는 수생식물 등을 활용하여 지속적이고 광범위한 범위에서 시행
- 저수지 상류 유입 하천의 수질 개선 방안 및 자정력 증대 방안 강구

다. 공간 관리 방안

저수지 수변은 자연적 경관성, 생태적 역할, 공간이용의 적정성 등을 고려하여 위락활동, 정서함양, 환경교육 등의 친수활동이 자연생태계에 악영향을 초래하지 않는 범위내에서 효율적 활용방안을 강구한다.

- 인위적 시설물을 최소화하여 적정 활용 관리
- 저수지 수변부의 경관적 측면에서 훼손 방지 및 훼손시 복구 방안 강구
- 관찰데크 등 학습 및 관찰 시설 등을 절절히 설치

라. 생태계 관리방안

저수지와 주변지역의 생물서식처를 관리하여 생물다양성을 증진시키고, 저수지의 수역

과 수변 및 주변지역까지 전체 생태계가 연계 될 수 있는 연속성이 유지되도록 관리한다.

- ○ 생물 다양성이 증진될 수 있도록 인위적 간섭 최소화
- ○ 외래종 관리 방안 강구(주기적 제거 및 관리)
- ○ 서식처 관리(수변부 식생대 보전-추이대(Eco-tone) 훼손 방지)
- ○ 자생 식물군락 특히 수생식물 군락을 보전
- ○ 현지의 야생동물(어류, 양서류, 조류, 곤충류 등)이 안전하게 서식할 수 있는 저수지 서식환경 조성

15.5 삽교천 유역 특성에 적합한 유출모형 개발

15.5.1 유출모형 개발의 필요성

삽교천 유역은 주요 하천의 중하류부 연안에 홍수위 보다 낮은 저지대가 분포하고 있어 홍수시 하도의 수위가 상승하면 유역에서 발생한 직접유출량의 자연배제가 불가능해져서 결국 배수펌프장에 의한 강제배수에 의존하게 된다. 이러한 지역을 통해 하도로 유입하는 홍수의 유출특성은 지형특성 및 하도의 수위변화와 더불어 배수펌프장의 배제능력에도 영향을 받게 되는데, 일반적인 농경지 배수펌프장의 계획빈도가 20년 정도이고 24시간 이내의 관수를 허용하고 있기 때문에 대개의 하천에서 계획규모에 미달하는 홍수가 발생하여도 유역에서 발생한 직접유출량의 일부는 배수펌프장의 배제능력을 초과하게 되어 저지대에 저류되었다가 홍수위가 하강하면 하도로 유입한다. 이렇게 하도로 직접 유입하지 못하고 하천변 저지대에 저류되는 홍수유출 성분으로 인해 외수범람이 발생하지 않더라도 내수배제 지체에 의한 침수가 발생하게 되며, 아울러 홍수유출에 있어 저지대 저류 및 지체유출 특성을 감안하지 않을 경우 하도의 첨두홍수량과 홍수위가 과다하게 산정될 것이다.

그러나 기존의 치수사업은 내수침수에 대한 고려 없이 외수범람 방어위주로 시행 되었고, 그 영향으로 외수범람을 해석하는 기법은 많이 개발되었지만, 하천변 저지대의 내수침수에 대한 분석기법과 연구실적은 미진한 실정이다.

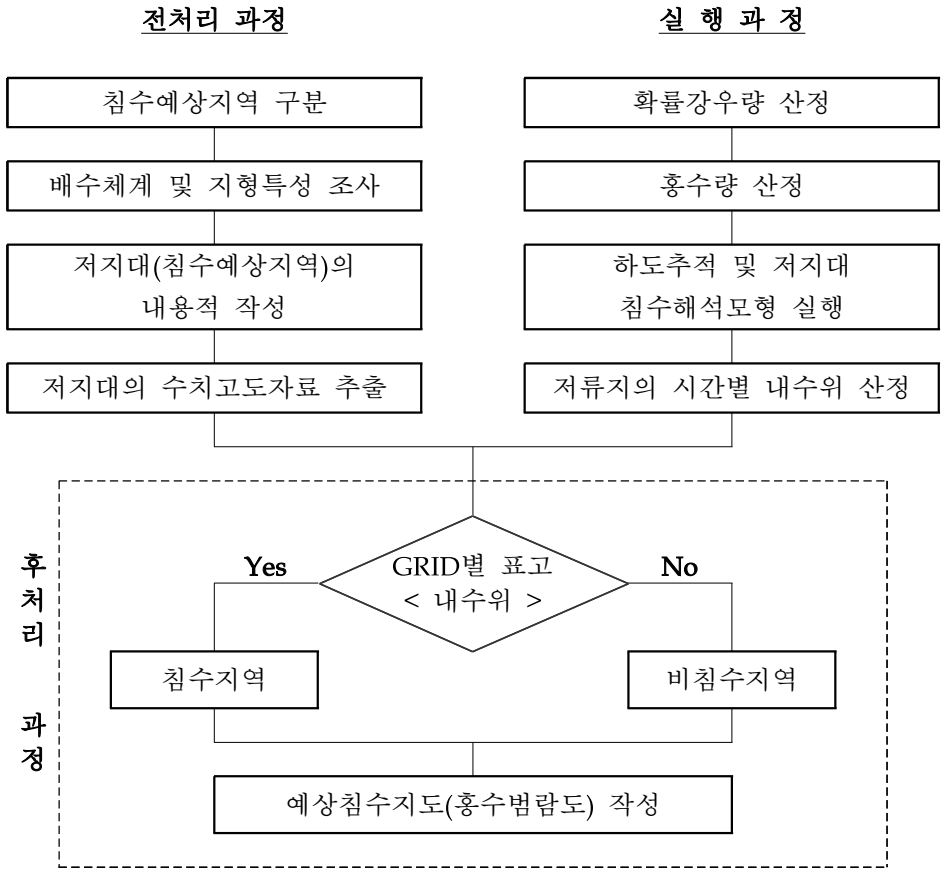
하천변 저지대의 침수에 대한 연구는 과거 침수피해현황 조사에 근거하거나 하천의 홍수위를 제내지로 연장하여 지형도에서 개략적으로 추정하는 방법부터 최근에는 2차원 확산파 및 운동파 천수방정식을 사용하여 제방붕괴 및 월류에 따른 제내지 홍수파 해석을 실시하는 단계로 발전하였으며, 특히 90년대 후반 이후 GIS 기법의 발달과 더불어 활발하게 진행되고 있다. 그러나 이와 같은 연구는 외수범람에 의한 침수를 대상으로 한 것으로서 이상홍수나 불의의 사고에 의한 파제 상황에서 발생할 수 있는 침수현상을 해석하는데는 유용하지만, 유역에서 발생한 홍수가 하도로 유입되기 이전에 발생하는 내수침수와는 근본적으로 다른 현상을 고찰한 것이며, 분석과정에서 하도의 수위상승으로 인한 하천변 저지대의 유출지체 및 저류와 같은 내수침수를 유발하는 근본적인 현상을 반영하지 못하는 한계가 있다. 따라서 지속적인 하천개수사업 시행의 결과 상당한 수준의 외수에 대한 치수안전도를 확보하여 근래 삽교천 유역의 침수피해 양상이 외수범람에서 내수배제 지체에 의한 침수로 변화하는 상황을 감안할 때, 내수침수의 근본적인 원인 고찰에 근거한 새로운 유출 및 침수해석 기법이 필요한 실정이다.

따라서, 금회 과업에서는 하천변 저지대의 저류와 유출지체를 반영하여 실제 유역에

서 발생하는 홍수유출 특성을 가능한 근사하게 모의할 수 있는 방법을 개발하고자 HEC-RAS의 저류지(Storage) 기능을 근간으로 하여 하천변 저지대의 다양한 침수원인 기초한 분석이 가능하도록 유출모형을 구성하여 유역과 하도간에 발생하는 다양한 유출현상을 분석하고, 모형의 해석결과를 GIS 기법과 연계하여 예상침수지도를 작성하였다.

15.5.2 유출 및 침수해석 기법의 개발

본 모형은 GIS 기법에 의해 지형을 분석하여 예상침수지역을 구분하고, 각 저지대의 지형으로부터 수치고도자료(Digital Elevation Model)를 생성하는 전처리 과정과 HEC-RAS의 부정류 해석에 의한 하도의 홍수유출분석 및 저지대 침수해석을 시행하는 실행과정, 그리고 각 저지대의 표고와 침수위를 비교하여 침수지역을 식별하고 그 결과를 시각정보화 하는 후처리 과정으로 구분할 수 있다.



<그림 15.10> 침수해석 모형의 기본 구성

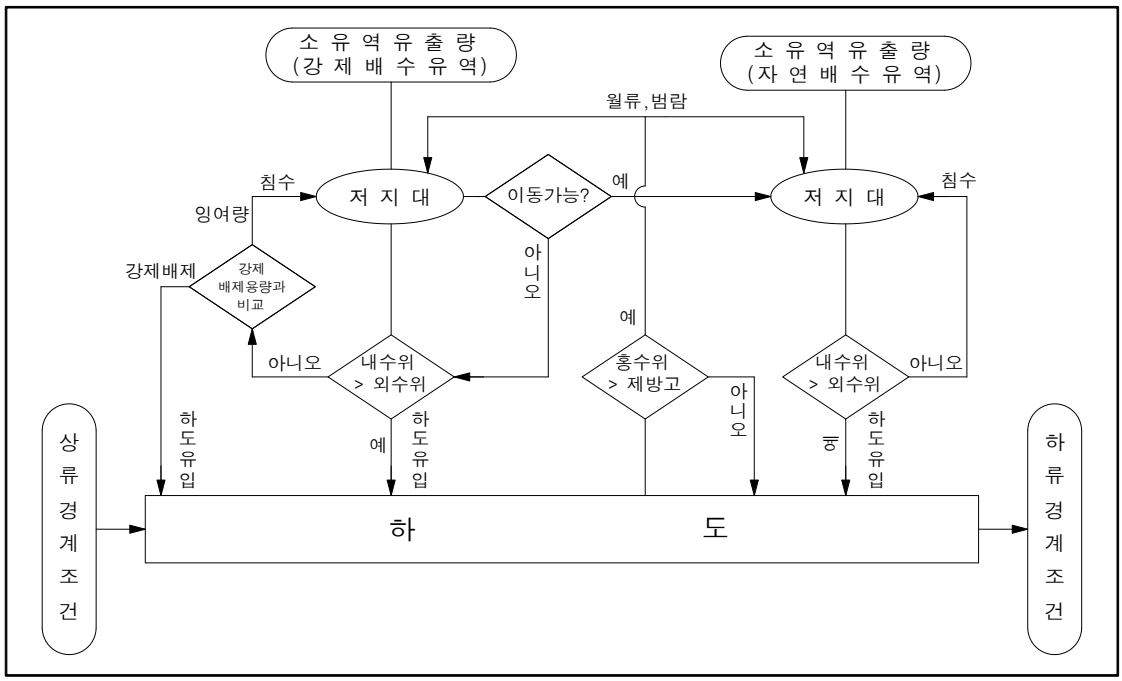
가. 지형의 분석

전처리 과정의 핵심은 해당 지역의 수치지형도로부터 침수피해가 예상되는 저지대의

내용적을 추출하는 것과 수치고도자료(DEM)를 생성하는데 있다. 이 중 저지대의 내용적은 HEC-RAS에 의한 홍수유출 및 침수 해석과정에 있어 저지대를 모의하는 저류지(Storage)를 구성하는데 활용하며, 저지대의 수치고도자료는 HEC-RAS의 실행결과로 획득한 저류지의 내수위와 비교하여 침수지역을 식별하는데 활용된다. 이러한 작업에 선행하여 하천변 저지대 중 침수예상지역을 구분하는 것 또한 전처리 과정의 일부이며, 이때는 실제 현장 조사를 통해 배수체계와 배수시설의 규모 및 운영에 대한 조사가 이루어져야 한다. 금회 과업에서는 ArcView에 의해 지형을 10m×10m의 DEM으로 구분하여 각종 분석의 결과와 침수지도 작성의 정확성을 최대한 확보할 수 있도록 하였다.

나. 홍수유출 및 저지대 침수해석

금회 개발한 모형의 가장 큰 특징은 하천변 저지대를 HEC-RAS의 저류지로 모형화하고 자연배수시설과 배수펌프장을 모의할 수 있는 기능을 사용하여 하도와 연결한데 있다. 따라서 저지대는 1차원의 내용적에 의해 각 저지대를 포함하는 배수유역에서 발생한 홍수가 유입하는 일종의 Pond로 표현되며, 하천의 홍수위와 Pond의 내수위 차에 의해 자연배제량을 산정할 수 있고, 여기에 배수펌프장을 통한 강제배제를 고려하면 저류지로 유입한 홍수량과 하천으로 배제되는 홍수량의 차이를 계산할 수 있어 내수침수를 유발하는 저지대의 침수량과 침수위을 산정할 수 있다.



<그림 15.11> 하도 홍수유입량 결정 및 저지대 침수해석 과정

이러한 분석에 HEC-RAS의 최신 기능을 활용하면 실제 홍수상황에 더욱 근접한 해석

이 가능하다. 즉, 저류지간 연결기능에 의해 홍수시 지표면과 수로를 통한 저류지간 유수의 이동 및 배수로를 통해 연결되어 연계 운영하는 배수펌프장 유역을 모의하여 실제 유역에서 발생하는 침수유량의 종방향 이동에 대해 모의하며, 대규모 홍수시 발생하는 외수범람에 의한 침수피해를 예측하기 위해 하도와 저류지간에 측방구조물(lateral structure)을 설치하고 그 상단부에 Weir를 설치하여 하도의 홍수위가 제방고 보다 높을 경우 발생하는 외수월류에 의한 침수를 해석할 수 있다. 특히 제방파괴(levee breach) 기능을 추가하면 제방붕괴에 의해 홍수가 하도에서 저류지로 역류하고, 하도의 홍수위가 저하하면 다시 하도로 유출되는 특성을 분석할 수 있다.

이상의 분석은 HEC-RAS의 부정류 해석기능에 의해 실행됨으로써 홍수기간 동안 변화하는 저지대의 침수 및 홍수유출 특성을 파악할 수 있다.

다. 침수지역의 식별 및 시각정보화

홍수유출 및 저지대 침수해석 결과의 후처리 과정은 ArcView에서 추출한 저지대(저류지)의 표고와 HEC-RAS에서 산정한 저류지의 내수위(침수위) 곡선을 비교하여 침수심 및 침수지속시간, 침수면적 등을 산정하는 작업이다. 이 과정이 저류지를 구성하는 각 GRID별로 이루어짐으로써 1차원의 침수정보를 2차원 혹은 3차원적으로 확장하여 해석할 수 있게 된다. 금회 과업에서는 ArcView에 의해 작성된 DEM 파일을 ASCII코드로 변환한 후 저류지의 내수위와 비교하여 내수위 보다 표고가 작은 GRID를 침수지역으로 구분하고 그 결과를 다시 ArcView에 의해 시각정보로 변환하였는데 이러한 과정을 침수심별로 또는 침수시간별로 시행하면 다양한 형태의 침수지도 작성이 가능하다.

15.5.3 삽교천 유역 적용

가. 모형의 구축

금회 개발한 모형은 미육군 공병단 수문공학연구소(Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 유역홍수추적 모형인 HMS(Hydrologic Modeling System)와 하도추적 모형인 RAS(River Analysis System)를 사용하여 삽교천 전 유역과 주요 하천의 국가하천 구간을 모형화 하고, DSS File로 연결하여 홍수량 산정과 하도홍수추적이 연계되어 이루어질 수 있도록 구축하였다. 이때 HMS는 RAS 해석구간의 상류경계조건인 국가하천구간 시점부로 유입하는 홍수량과 내부경계조건인 국가하천 구간으로 유입하는 측방유입량을 산정하는데 적용하였으며, RAS의 부정류해석 Routine은 국가하천구간의 하도홍수추적을 통해 홍수량과 홍수위를 계산하는데 적용하였다.

나. 유역의 모형화

본 모형의 상류경계조건인 국가하천 시점부로 유입하는 홍수량은 국가하천 시점부 상류의 유역을 지형과 수계구성 특성 및 면적, 유로연장 등을 고려하여 삽교천 5개소, 무한천 10개소, 곡교천 7개소로 소유역을 구분한 후 Clark 단위도법과 Muskingum 방법에 의해 유역추적과 하도추적을 병행하여 산정하였다. 내부경계조건인 국가하천 구간으로 유입하는 주요 지류유역의 홍수량 또한 삽교천에 37개소, 곡교천에 15개소, 무한천에 16개소의 소유역을 구분하여 Clark 단위도법으로 산정하였다.

다. 하도의 모형화

삽교천 유역 중하류부에 위치한 삽교천, 곡교천, 무한천의 국가하천 구간을 모의대상으로 선정하고, RAS의 다지하천 해석기능을 활용하여 동시에 하도추적을 시행할 수 있도록 하였다. 하천망의 횡단면은 2002년과 2004년에 측량된 성과를 활용하여 삽교천과 곡교천은 500m 무한천은 100m 간격을 기본으로 입력하고, 구조물이 위치한 지점과 단면이 급격히 변화하는 지점 등에는 횡단면 자료를 추가로 입력하였다.

또한 하구에 서해안 조위에 따라 운영되는 배수갑문이 설치된 특성을 반영하기 위해 삽교호 배수갑문 지점에 'Inline Structure' 기능을 사용하여 하구둑을 형성하고 여기에 실제 배수갑문과 동일한 형태의 'Sluice Gate'를 설치하여 서해안 조위에 비해 삽교호의 내수위가 높을 경우 방류하도록 하류 경계조건을 설정함으로써 삽교호의 수리특성을 하도의 유출특성 및 조위와 연계하여 분석할 수 있도록 하였다. 이때 서해안 조위로는 인천지방해양수산청에서 '97년에 삽교호 방조제 지점에서 1년간 관측한 자료를 이용하여 조화분석을 실시하고, 이렇게 결정된 조화상수를 이용하여 조위 모의발생 프로그램인 'TidePre'에 의해 모의발생한 같은 기간의 조위를 실측치와 비교하여 적용성을 검토한 후 최대조위가 발생한 시기를 전후한 96시간의 조위를 채택하였다.

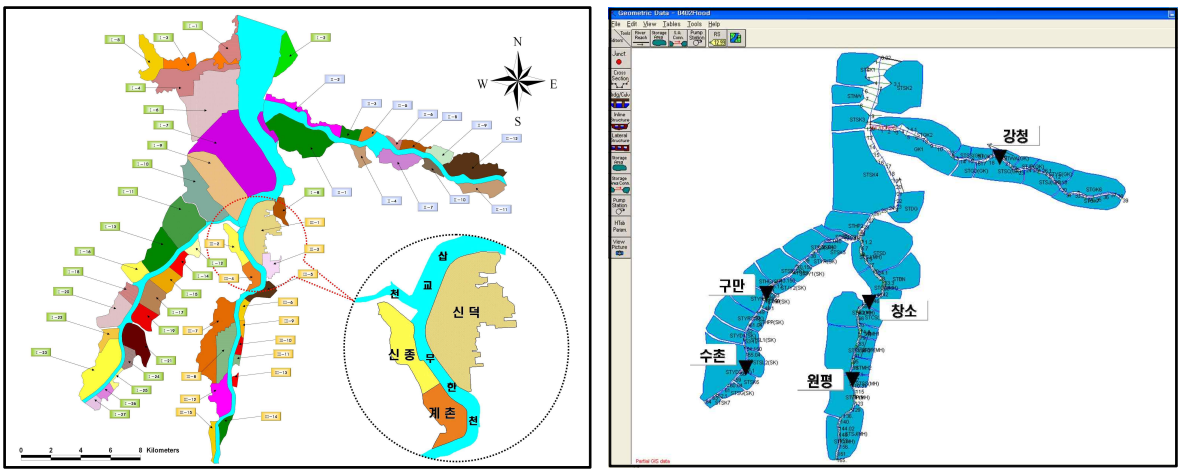
<표 15.38> 모형의 경계조건

구 분		설 정 내 용	비 고
상 류 단 경계조건	삽교천	국가하천 시점부(덕산천 합류후)의 홍수수문곡선	
	곡교천	국가하천 시점부(온양천 합류후)의 홍수수문곡선	
	무한천	예당지의 방류수문곡선	
내 부 경계조건	하 천	주요 지류 유역의 홍수수문곡선	
	저지대	Storage Area로 부터의 배수시설(자연, 강제)을 통한 유입수문곡선	
하류단 경계조건		서해안 조위와 배수갑문의 개문수 및 개도	

라. 저지대의 모형화

하도추적 모의구간내 저지대의 지형특성을 GIS 기법에 의해 분석하여 <그림 15.12>와 같이 지형특성과 배수체계에 따라 구분한 후 이 결과에 의해 RAS에서 저류지(storage area)를 구성하여 하도와 연결함으로써 하천연안 저지대의 유출특성을 분석하고, 내수배제 지체 및 외수범람에 의한 침수를 모의하였다. 본 모형에서 저류지로 구성된 저지대는 54개소이며, 총 면적은 133.7㎢로서 전체 삽교천 유역면적의 약 8.11%에 해당한다.

각각의 저류지는 배수체계에 따라 자연배제 유역은 암거(culvert)로, 강제배수유역은 암거와 펌프(pump)로 하도와 연결하여 저류지를 포함하는 배수유역에서 발생한 홍수가 내·외수위 조건에 따라 하도로 유입하도록 구성하였다. RAS에는 여러대의 펌프를 동시에 운영할 수 있고, 펌프별로 배수능력을 달리 적용할 수 있으며, 각각의 펌프를 내수위에 따라 동시 또는 시차를 두고 가동할 수 있으므로 본 모형에서는 배수펌프장별로 운영방식을 조사하여 가능한 실제 운영상황을 재현할 수 있도록 각종 운영조건을 입력하여 모의하였다.



< GIS 기법에 의한 저지대의 구분 > < 저지대의 모형화 >

<그림 15.12> 저지대의 모형화 과정

또한 홍수시 지표면과 수로를 통한 저류지간 유수의 이동 및 배수로를 통해 연결하여 연계 운영하는 배수펌프장 유역을 모의하여 실제 유역에서 발생하는 홍수의 종방향 이동을 반영할 수 있도록 하였는데 이를 위해 Weir에 의한 저류지연결(storage area connections) 기능을 사용하였다. 즉, 소규모 홍수와 대홍수로 구분하여 소규모 홍수시에는 현재 배수로를 통해 연계 운영되는 배수펌프장유역을 대상으로 하여 각 저류지별 내수위가 배수로 바닥고 보다 0.3m 이상 높게 형성될 경우 서로 연결되게 설정하였으며, 배수로를 통해 연결되지는 않지만 대규모 홍수시 지표면 유출을 통해 유수의 이동이 가능한 지형의 저류지간에는 지형특성에 따라 배수로 바닥에서 1.0~1.5m의 수위가 형성

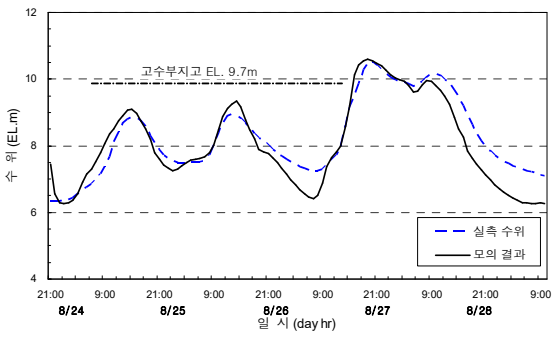
될 때 연결될 수 있도록 Weir의 높이를 조정하여 설치하였다.

마. 외수범람 및 제방파괴

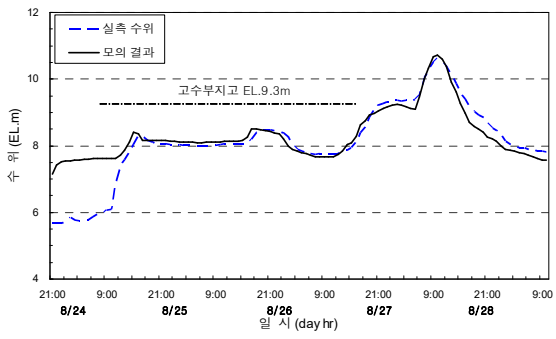
내수침수와 더불어 대규모 홍수시 발생하는 외수범람에 의한 침수피해를 예측하기 위해 하도와 저류지간에 측방구조물(lateral structure)을 설치하고 그 상단부에 Weir를 설치하여 하도의 홍수위가 제방고 보다 높을 경우 발생하는 외수월류를 모의할 수 있도록 하였다. 아울러 제방파괴(levee breach) 기능을 추가하여 홍수위가 제방고를 20cm이상 초과하면 제방파괴가 발생하는 것으로 가정하여 홍수가 하도에서 저류지로 역유입하고, 수위가 저하하면 다시 하도로 유출되는 특성을 분석하였다.

15.5.4 모형의 검증

삽교천 유역 중하류부의 유출특성 분석 및 하천변 저지대의 침수해석을 위해 개발한 본 모형의 적용성을 평가하기 위해 하도조건이 현 상태와 가장 유사한 '99년과 2000년에 발생한 홍수사상을 재현하여 그 결과를 검토하였다. 검토대상 홍수사상은 '99년 8월 2일~4일과 2000월 8월 24일~27일간의 집중호우에 의해 발생한 것으로 이 기간 동안 삽교천 유역에는 최근 20년 동안의 재해연보 기록상으로 3위와 4위에 해당하는 피해가 발생하였으며, 이때 발생한 24시간최대 유역평균 강우량은 대략 5년에서 10년 빈도에 해당하는 규모로 평가되었다. 모형의 검증을 위한 상류단 경계조건으로는 같은 기간동안 기상청 및 건교부 관측소에서 관측된 강우량을 대상으로 HEC-HMS 모형에 의해 산정한 국가하천 시점부의 홍수량 수문곡선을 사용하였으며, 특히 무한천 구간의 상류단 경계조건으로는 이 기간 동안의 강우량과 예당지 운영기록에 의해 방류량을 추정하여 사용하였다.



2000년 홍수의 모의결과 (삽교천 수촌수위관측소)



2000년 홍수의 모의결과 (무한천 원평수위관측소)

<그림 15.13> 모형의 모의 결과와 실측수위 비교

그 결과 <그림 15.13>에서 보는 바와 같이 모의구간내 수위관측소 지점의 실측수위와

모의결과가 근사하게 나타나고 있어 본 모형의 적용성이 양호함을 알 수 있다. 다만 저수로부 이하의 수위에서 모의결과와 실측수위간에 오차가 증가하는 결과를 보이고 있는데 이는 저수로부의 통수단면적이 작아 미세한 유량의 차이에 의해서도 수위차가 상대적으로 크게 발생하기 때문이다. 이러한 오차는 제내지의 침수 피해를 유발하는 수위가 관심의 대상인 본 연구의 목적을 감안할 때 큰 문제가 되지 않을 것이다.

한편 금회 개발한 모형에 의해 산정된 침수면적과 재해연보에 기록된 삽교천 유역과 그 중심에 위치한 예산군의 침수면적을 비교한 결과, 2000년의 삽교천 유역 침수면적을 제외하면 대체로 실제 발생한 침수면적의 66.1~96.5%로 매우 근사하게 모의한 것을 알 수 있다. 그러나 2000년 홍수시 삽교천 유역 전체의 침수면적이 재해연보에는 1,329ha로 기록되어 있는 반면, 모의결과는 2,771ha로 약 2.1배 정도 과대하게 산정 되었다. 이 결과는 2000년의 삽교천 유역과 예산군의 피해액 규모 또는 과거 삽교천 유역 전체의 침수면적과 예산군의 침수면적 규모를 감안할 때 모의결과의 오류 보다 재해연보의 기록에 문제가 있는 것으로 판단된다.

모형의 검증에 대한 상세한 결과는 본 보고서 '제 10 장 홍수량 및 홍수위 산정, 10.2.3 모형의 검증'에 수록하였다.

<표 15.39> 침수면적의 모의결과와 재해연보 기록의 비교

구 분	1999년 8월 2일~4일			2000년 8월 24일~27일			비 고
	재해연보①	모의결과②	②/①(%)	재해연보①	모의결과②	②/①(%)	
삽 교 천	8,296	5,483	66.1	1,329	2,771	208.5	
예 산 군	1,703	1,643	96.5	1,175	807	68.7	

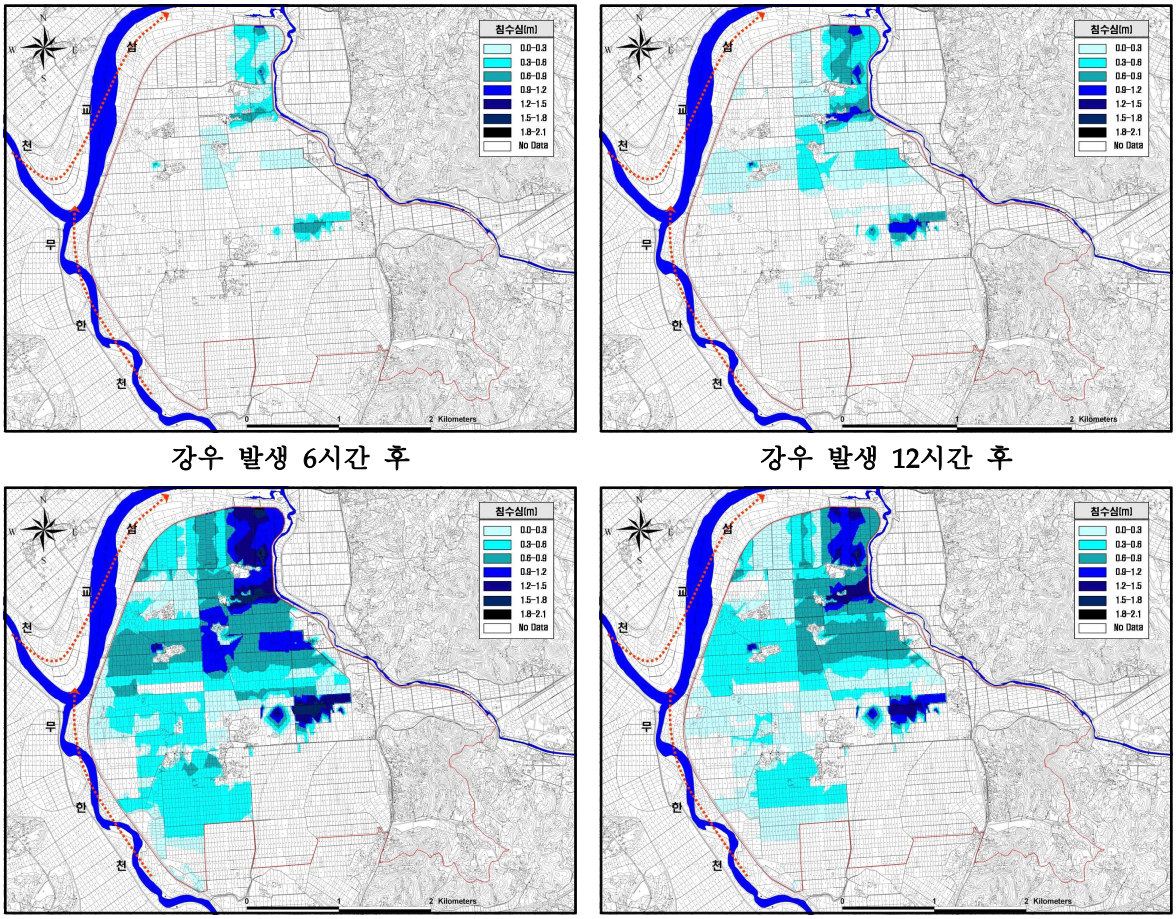
15.5.5 금회 과업의 적용

금회 개발한 유출 및 침수해석 모형의 해석결과는 다양한 형태로 제공되며 본 보고서 '제 10 장 홍수량 및 홍수위 산정', '제 12 장 홍수방어 대안요소사업의 검토', '제 14 장 유역종합치수계획(안) 수립' 등에서 하도유하량의 분석, 저지대의 침수면적 산정 및 주요 지점의 홍수위 계산 등에 적용하였다.

그 밖에도 본 모형의 해석결과 중 저지대의 시간대별 침수특성은 ArcView와 같은 GIS 기법과 연계할 경우 손쉽게 침수지도와 같은 2차원 형태의 시각정보로 변환할 수 있다. 즉, 수치지형도로부터 격자형 수치고도자료(Digital Elevation Model)를 생성한 후 각 격자의 표고와 시간대별 침수위를 비교하여 침수위가 높을 경우 침수지역으로 식별하고, 침수심별로 상이한 형태의 시각정보로 변환함으로써 시간대별, 침수심별 예상침수

지도를 작성할 수 있다.

<그림 15.14>는 삽교천과 무한천 합류부 직하류 우안에 위치한 신덕지구(<그림 15.14> 참조)의 100년 빈도 홍수시 침수양상을 시간대별로 구분하여 작성한 것으로 외수범람은 발생하지 않았으나 내수배제 지체로 인한 침수가 발생하였는데 그림에서 홍수발생 후 24시간 까지 침수지역이 확산되다가 다시 감소하는 양상을 볼 수 있다.



강우 발생 6시간 후 강우 발생 12시간 후

강우 발생 24시간 후 강우 발생 36시간 후

<그림 15.14> 시간대별 침수지도 작성 예 (신덕지구, 100년 빈도 홍수)

<그림 15.14>의 침수지도는 침수범위 뿐만 아니라 침수심을 구분하여 표현함으로써 침수특성을 3차원적으로 파악할 수 있는데 침수심 대신 침수시간별 침수범위를 표현하는 것도 가능함으로 다양한 형태의 침수지도를 작성할 수 있다.

15.5.6 향후 활용 및 보완 방향

금회 과업에서는 삽교천 유역 중하류부의 유출 및 침수특성 분석을 위해 HEC-RAS의 저류지(Storage)기능을 활용하여 홍수시 하도로 직접 유입하는 홍수량과 하천변 저지대에 저류되었다가 지체되어 유입하는 홍수량을 구분하여 산정함으로써 하천변 저지대의

유출특성 및 내수침수의 근본적인 원인 분석에 기초한 유출 및 침수해석모형을 개발하였다. 여기에 제방의 월류 및 파괴로 인한 외수범람 모의기능을 추가함으로써 하도의 홍수위에 따라 변화하는 하천변 저지대의 유출 및 침수특성 뿐만 아니라 외수 월류와 제방파괴에 의해 제내지로 역류하는 홍수량 그리고 이를 고려한 하천의 홍수위 등 치수계획 수립에 필수적이지만 이제까지 분석방법의 한계로 인해 접근하기 힘들었던 다양한 정보를 획득할 수 있었다.

따라서, 본 모형의 적용을 통해 각종 치수계획의 수립 및 홍수범람구역 결정의 정확도를 제고할 뿐만 아니라 외수와 내수에 대한 치수안전도를 구분하여 적용함으로써 홍수피해예측 및 이와 관련된 상세한 정보를 획득할 수 있을 것으로 기대되며, 삽교천 유역 홍수예경보시스템의 유역 중하류부의 유출분석 모형 및 비상대처 계획의 수립에도 활용이 가능할 것으로 사료된다.

이를 위해서는 앞서 기술한 바와 같이 유역의 유출상황 모니터링을 실시하고, 침수발생시 그 특성을 상세히 조사하여 본 모형의 매개변수를 지속적으로 검정하고 보완하며, 특히 다양한 규모의 홍수유출 특성을 조사하여 홍수규모별로 홍수도달시간 및 하도의 흐름특성에 영향을 미치는 조도계수의 범위를 결정하여야 할 것이다.

15.6 PMF 발생시 예당지의 안전성 평가

15.6.1 PMF(가능최대홍수량) 산정

가. PMP(가능최대강수량)의 적용

'6.3 가능최대강수량(PMP)의 추정'에서 실제 호우전이에 의해 추정한 PMP(가능최대강수량) 중 삽교천 유역의 설계강우 지속시간에 해당하는 지속시간 24시간의 PMP를 유역면적에 대해 회귀분석하여 (식 15.1)의 관계를 유도하였다. 각 홍수량 산정지점별 PMP는 해당 지점의 홍수유출에 기여하는 총 면적을 산출하여 (식 15.1)에 의해 결정하였다.

<표 15.40> 실제 호우전이에 의한 PMP(포락후)

단위 : mm

면적 (km^2)	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr	72hr
25	143.51	223.85	371.84	481.58	571.11	680.04	949.32	998.03	1,029.02	1,066.03
50	133.43	209.57	345.62	448.23	532.15	637.60	885.85	943.01	981.41	1,022.34
100	123.36	195.29	319.40	414.88	493.19	595.16	822.37	887.99	933.80	978.65
200	113.28	181.01	293.18	381.53	454.23	552.71	758.90	832.97	886.20	934.95
500	99.96	162.13	258.52	337.45	402.73	496.61	674.99	760.24	823.27	877.19
1,000	89.89	147.85	232.30	304.10	363.77	454.16	611.52	705.22	775.66	833.50
2,000	79.81	133.57	206.08	270.76	324.81	411.72	548.05	650.20	728.06	789.81
5,000	66.50	114.69	171.41	226.67	273.30	355.61	464.14	577.47	665.12	732.05
10,000	56.42	100.41	145.19	193.32	234.34	313.17	400.67	522.45	617.52	688.35
20,000	46.35	86.13	118.97	159.98	195.38	270.73	337.19	467.43	569.91	644.66

$y = -79.376\ln(x) + 1253.5$ .....(식 15.1)

여기서, x는 누가유역면적(㎢), y는 해당홍수량 산정지점의 PMP

나. PMP의 시간적 분포 및 PMF 산정

설계강우의 시간적 분포로서 금회 과업에서 채택한 Huff 분포는 평균적, 통계적 의미를 내포하고 있다. 이에 비해 PMP는 가능최대홍수량(PMF)를 추정하기 위한 것이므로 이러한 개념을 PMP의 시간분포에 적용하는 것은 타당하지 않은 것으로 알려져 있다. 따라서, Huff 분포와 더불어 실무에서 많이 사용하고 있으며, Blocking 방법으로도 알려져 있는 교호블럭 방법에 의해 홍수량을 산정하여 큰 값을 발생시키는 방법을 PMP의 시간분포 방법으로 채택하였다. 이때 교호블럭 방법을 사용한 이유는 이 방법이 확률강우량의 강우강도-지속시간 관계를 사용하여 첨두강우를 포함한 누가강우량이 모든 지속시간에 대해 특정 재현기간의 최대값이 되도록 강우를 분포시키는 방법이기 때문에

PMP에 대한 적용성이 높은 것으로 알려진 방법이기 때문이다.

그러나 <표 15.41>의 결과에서와 같이 유역면적이 클수록 Huff 분포에 의한 PMF가 크게 산정되어, 교호블럭 방법 보다는 금회 채택한 Huff 분포가 PMP의 분포방법으로서 적합한 것으로 판명되어, Huff 3분위를 적용하여 산정한 홍수량을 PMF로 채택하였다.

<표 15.41> 주요지점별 PMF 산정결과

하천	등 급	산정지점	부호	유역면적	PMF(㎥/sec)	
					Huff 3분위	교호블록
삽교천	국가	삽교천 하구	SK-0	1,649.39	19,557	17,618
		곡교천 합류후	SK-1	1,521.24	19,109	17,048
		곡교천 합류전	SK-2	976.16	13,202	11,673
		무한천 합류후	SK-3	903.70	12,795	11,257
		무한천 합류전	SK-4	431.90	6,540	5,320
		대천천 합류전	SK-5	314.90	4,850	3,993
		덕산천 합류후	SK-6	218.06	3,601	2,976
	지방1급	화양천 합류전	SK-7	111.93	1,872	1,532
	지방2급	종현천 합류전	SK-8	33.15	540	454
곡교천	국가	곡교천 하구	GK-0	545.08	5,949	5,414
		강청교	GK-1	486.92	5,550	5,002
		온양천 합류후	GK-2	397.00	5,142	4,367
	지방1급	매곡천 합류전	GK-3	241.34	3,269	2,836
		풍서천 합류전	GK-4	65.43	1,033	891
	지방2급	양안천 합류전	GK-5	18.90	405	402
무한천	국가	무한천 하구	MH-0	471.80	6,866	6,453
		궁평천 합류전	MH-1	435.96	6,775	6,218
		예산대교	MH-2	396.92	6,655	5,940
		예당 저수지	MH-3	368.86	6,587	5,739
	지방2급	동산교	MH-4	149.44	3,016	2,617
		강촌천 합류전	MH-5	80.05	1,744	1,687
		기덕천 합류전	MH-6	21.47	553	681
신양천	지방2급	신양천 하구	SY-0	190.98	3,521	3,367
		화산천 합류전	SY-1	68.56	1,295	1,242

15.6.2 모의 조건의 설정

가. 분석 조건

전절에서 기술한 바와 같이 하도추적 모형인 RAS(River Analysis System)의 동역학파

홍수추적 기능을 근간으로 하천연안 저지대의 유출특성을 분석하고, 내수배제 지체 및 외수범람에 의한 침수를 모의할 수 있도록 개발한 모형에 의해 PMF 발생상황에서의 예당지와 삽교천 유역 중하류부 저지대의 거동을 모의하였다.

이때 분석조건은 다음과 같이 4개의 경우로 구분하여 적용하였다.

○ CASE 01 : 현 상태에서 PMF가 발생하였을 경우

○ CASE 02 : 예당지를 1.5m 증고 후 PMF가 발생하였을 경우 (예당지 제체를 현 제정고 EL. 25.0m에서 EL. 26.5m로 증고하고, 여수로의 문비를 3.6×6.0×26련에서 5.1×6.0×26련으로 교체하였을 경우)

○ CASE 03 : 예당지 증고를 포함한 유역종합치수계획을 시행한 이후 PMF가 발생하였을 경우

○ CASE 04 : 유역종합치수계획을 시행하고, 하천의 제방을 소요 규모로 완전히 개수한 후, 예당지가 PMF 상황에서도 붕괴되지 않도록 방류능력 증대하였을 경우(여수로 11련 증설)

<표 15.42> CASE별 조건 비교

조건별	예당지				CASE별 조건			
	폭	높이	련수	제정고	예당지 증고	유역종합 치수계획 시행	예당지 여수로 증설	하천개수
CASE 1	3.6	6.0	26	25.0	×	×	×	×
CASE 2	5.1	6.0	26	26.5	○	×	×	×
CASE 3	5.1	6.0	26	26.5	○	○	×	×
CASE 4	5.1	6.0	39	26.5	○	○	○	○

이상의 4가지 경우를 기준으로 모형을 구축하여 PMF 발생시의 예당지의 거동과 삽교천유역 중하류부의 홍수위 및 침수면적 변화를 분석하였다.

나. 예당지의 방류능력 및 저수위 변화

예당지의 저수위와 여수로 문비의 개도고 및 개문수에 따른 방류량 관계는 '12.3.2 예비방류를 위한 방류시설 계획'에서 이미 분석하였으며, 그 결과에 의하면 계획홍수위(EL. 22.5m) 조건에서 26련의 문비를 완전 개방할 경우 총 방류량은 1,624㎥/sec이지만 위험수위인 EL. 23.0m에서는 2,020㎥/sec에 달하는 것으로 평가되었다. 그러나 PMF는 그 규모가 일반적인 빈도개념의 홍수량과는 비교할 수 없는 막대한 양으로서 최대 유입량이 7,090㎥/sec에 달할 것으로 추정되는바 예당지의 현 여수로 방류능력으로는 감당

할 수 없는 규모이므로 저수위가 제정고를 초과하여 월류가 발생하고 결국 구조물의 붕괴라는 최악의 상황이 발생될 것이다.

이러한 예당지의 거동을 모의하기 위해 금회 개발한 홍수추적 모형내에 HEC-RAS의 'Inline Structure' 기능을 활용하여 여수로와 제체에 해당하는 구조물을 설치하고, 앞서 분석한 예당지의 저수위와 개도고 및 개문수에 따른 방류량 관계를 만족시킬 수 있도록 'Elev. Controlled Gate'를 설치하였다.

각 분석조건별 최대방류량과 저수위는 <표 15.43>과 같다.

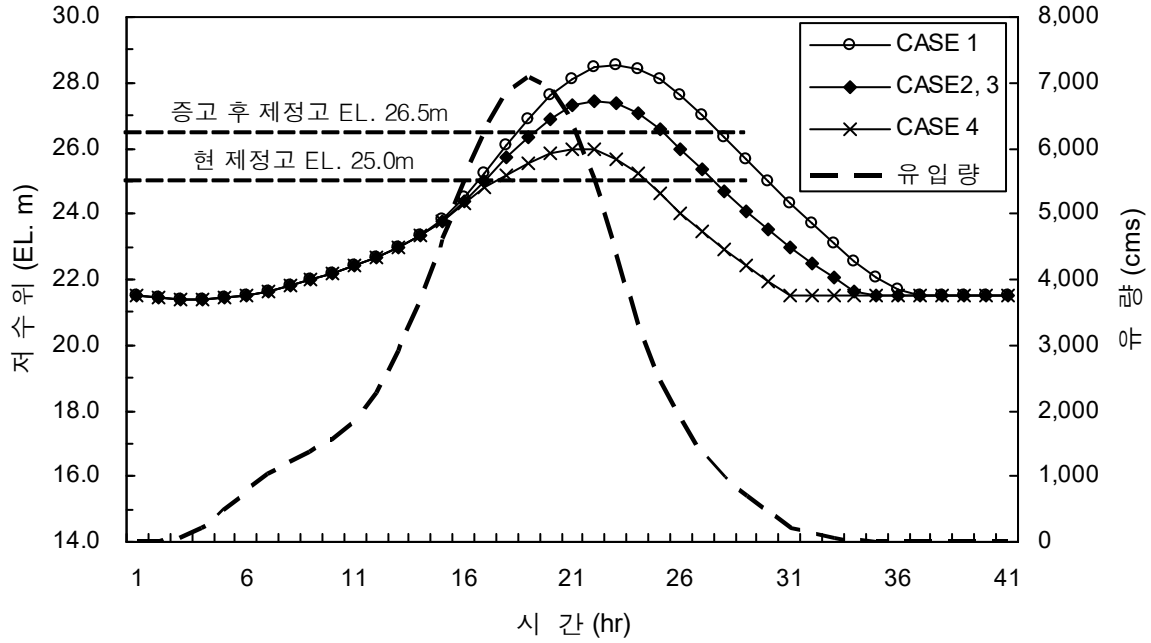
<표 15.43> 조건별 예당지 최대방류 가능량

분 석 조 건	수문 규모			제정고 (최고수위) (EL. m)	여수로 1련당 방류량 (㎥/sec)	최대방류량 (㎥/sec)	비 고
	폭 (m)	높이 (m)	련수 (개소)				
CASE 1	6.0	3.6	26	25.0 (25.0)	118.36	3,077	
CASE 2	6.0	5.1	26	26.5 (26.5)	180.86	4,702	
CASE 3	6.0	5.1	26	26.5 (26.5)	180.86	4,702	
CASE 4	6.0	5.1	37	26.5 (26.0)	168.07	6,218	예당지 붕괴 없음

각 분석조건별 최대방류량은 'CASE 1'의 경우 현 제정고가 EL. 25.0m이고 저수위가 제정고를 초과하면 제체가 붕괴 된다고 가정하여 저수위 EL. 25.0m를 기준으로 최대방류량을 계산한 결과 3,077㎥/sec(118.36㎥/sec×26련)로 추정 되었다. 'CASE 2'와 'CASE 3'의 경우는 제체를 1.5m증고하고, 여수로의 문비를 높이 5.1m로 교체하는 것을 가정하였으므로 저수위가 EL. 26.5m를 초과하면 제체가 붕괴되며, 이때의 개도고는 5.1m를 적용하였다. 따라서 이 경우의 최대방류량은 4,702㎥/sec(180.86㎥/sec×26련)으로 계산 되었다. 'CASE 4'는 예당지가 붕괴되지 않도록 여수로를 증설하여 방류능력을 증대한 경우로서 제체의 안전을 위하여 저수위가 제정고 보다 0.5m 낮은 26.0m를 초과하지 않는 조건으로 소요 방류능력을 도출한 결과 여수로를 현재의 26련에서 37련으로 증설하는 것이 필요하며, 이 경우 최대 6,218㎥/sec(168.07㎥/sec×37련)까지 방류가 가능한 것으로 분석되었다. 각 분석조건별 예당지의 이론적인 최대방류량은 <표 15.43>과 같다. 따라서, 모형내에 구성한 예당지의 임계방류량이 <표 15.43>의 최대방류량에 가깝도록 수문의 유량계수 값을 조절하여 모의조건과 이론적인 예당지의 거동이 가능한 일치하도록 하였다.

참고로 예당지로의 PMF 유입시 저수위가 제체를 월류하지 않도록 하기 위한 제정고

를 산출하기 위해 제체에 가상의 'Levee'를 설치하여 저수위가 제정고를 초과하도 계속 상승할 수 있도록 가정하여 최고수위를 분석한 결과 현 예당지의 조건에서는 저수위가 EL. 28.55m 까지 상승하며, 제체를 1.5m 증고한 만큼 여수로의 방류능력을 확장할 경우는 EL. 27.46m, 여수로를 11련 증설할 경우는 EL. 25.98m로 분석되었다.

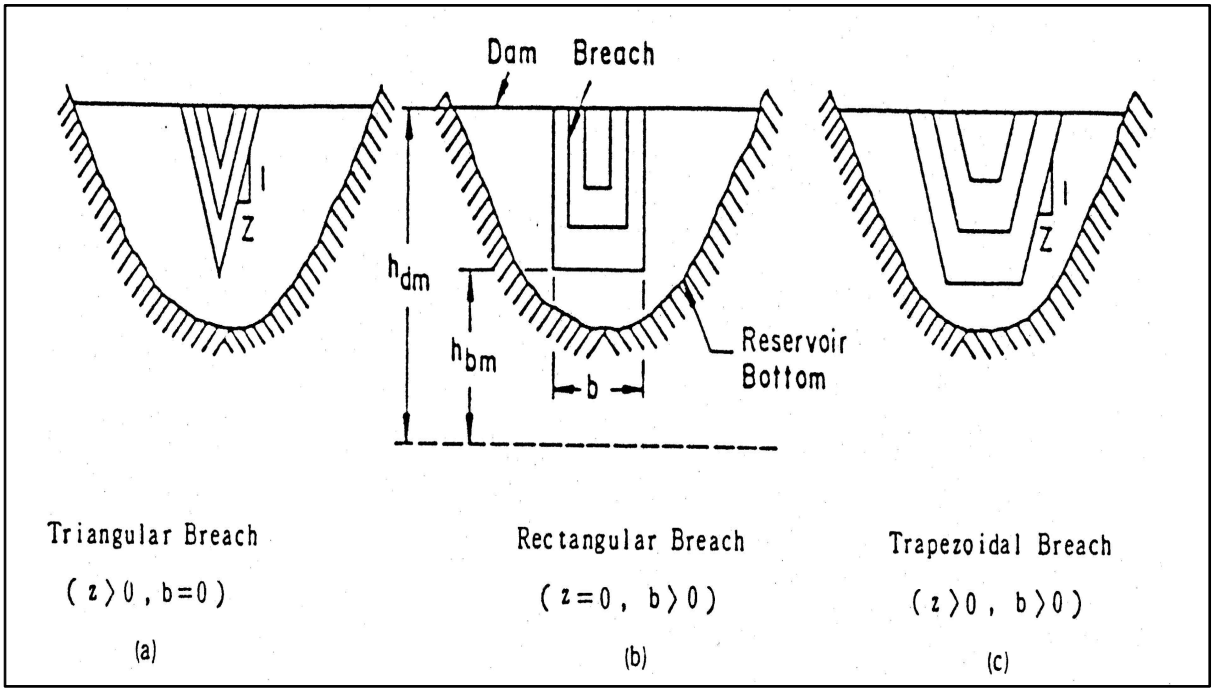


<그림 15.15> 제체 월류가 없을 경우의 분석조건별 저수위의 변화

다. 제체의 붕괴형태와 붕괴시간 설정

댐 및 제방의 붕괴로 인한 홍수의 양상은 붕괴부의 형태 및 크기, 붕괴지속시간 등에 의하여 큰 영향을 받는다. 지금까지 실제로 관측된 붕괴부 형태는 매우 다양하고 그 크기도 불확실한 면이 많지만 이를 유형화하면 다음의 <그림 15.16>과 같이 3가지 기본형으로 구분될 수 있다. 이 중에서 <그림 15.16>(c)의 사다리꼴형은 붕괴면의 경사 z($0 \leq z \leq 1$)와 붕괴부의 바닥폭 b를 변화하면 세가지의 모든 경우를 수용할 수 있는 일반형이 된다. 이와 같은 여러 가지 붕괴형상 중 사다리꼴 형태를 예당지 제체 붕괴 및 하류부 하천의 제방 붕괴형태로 적용하였다.

제체의 붕괴면 면적은 '제방붕괴와 제내지 범람 실험 및 해석, 도시홍수재해관리기술연구단(2004.12.29)'에서 제시한 바 있는 (식 15.2)와 (식 15.3)을 사용하여 각 제방 및 예당지 제체의 붕괴폭을 결정하여 산출하였다. 즉, (식 15.2)와 (식 15.3)에 의해 결정된 붕괴폭을 사다리꼴 형태의 저폭으로 가정하고, 저폭 표고는 제방의 경우는 해당 제내지의 최저지반고를 기준으로 하고 예당지의 경우는 사수역 표고인 EL. 14.5m를 적용하였으며, 사면경사는 1:2로 가정하였다.



<그림 15.16> 필댐 붕괴부의 모식도

붕괴부 면적의 시간적 변화는 (식 15.4)~(식 15.6)을 이용하여 결정하였으며, 하천 제방에 대해서는 0.2m 이상의 월류수심이 발생하게 되면 <그림 15.18>과 같이 붕괴발생 순간에 계산된 총 붕괴면적의 50%가 붕괴되고 이후 60분후 까지 선형적으로 면적이 증가하여 최종 붕괴면적에 도달하는 것으로 가정하였다.

그러나 예당지는 저류된 유량 규모와 그 위치에너지를 감안할 때 일반 제방에 비해 붕괴가 급격하게 진행 될 것으로 예상되어, 최초 붕괴시 전체 면적의 80%가 붕괴하고 이후 60분후 까지 면적이 증가하는 것으로 설정하였다.

○ 하천제방 붕괴폭 산정

- 하천 합류점 : $B_b = 2.0(\log_{10} B)^{3.8} + 77$ ..... (식 15.2)

- 하천 합류점 이외 : $B_b = 1.6(\log_{10} B)^{3.8} + 62$ ..... (식 15.3)

여기서, B_b = 제방 붕괴폭, B = 하천폭.

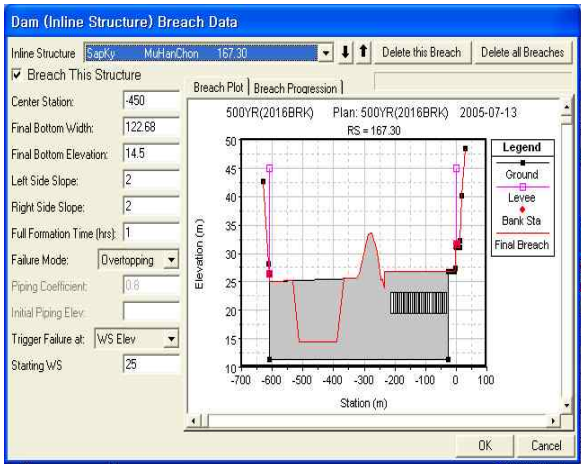
○ 붕괴폭의 시간적 변화

- $t = 0$일 경우 : $'B_b = B_b/2$ ..... (식 15.4)

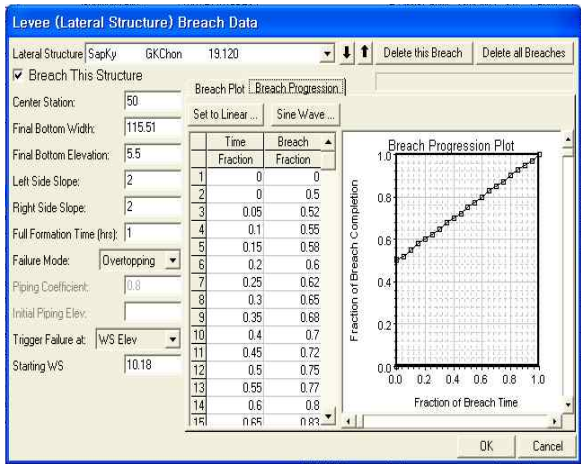
- $0 < t \leq 60$일 경우 : $'B_b = \frac{B_b}{2}(1+\frac{t}{60})$ ..... (식 15.5)

- $t > 60$일 경우 : $'B_b = B_b$ ..... (식 15.6)

여기서, $'B_b$ = 임의시간 붕괴폭, B_b : 제방 붕괴폭



<그림 15.17> 예당지 붕괴 설정



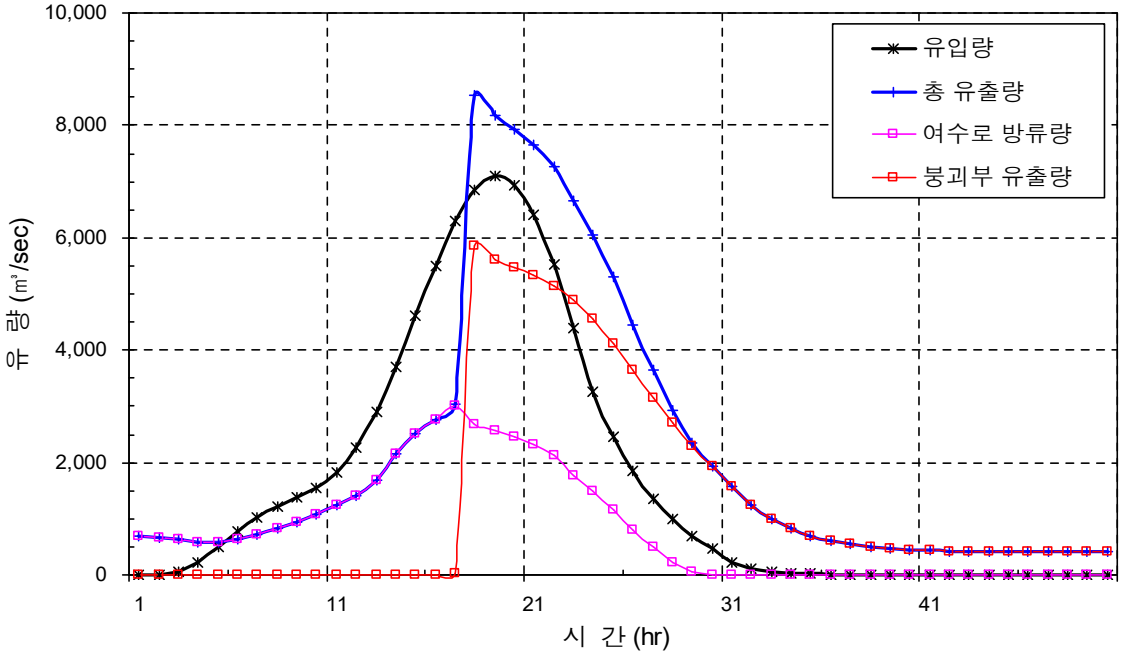
<그림 15.18> 시간별 붕괴폭 변화

15.6.3 예당지 붕괴로 인한 영향분석

가. 예당지 지점의 유출량 변화

(1) 현 상태의 PMF가 발생할 경우(CASE 1)

현 상태에서 PMF가 발생할 경우 홍수유입 17시간만에 저수위가 현 제정고(EL. 25.0m)를 월류하여 붕괴가 발생하였으며, 이때 최대 8,530㎥/sec의 유량이 하류로 유출되는 것으로 분석되었다. 이 유량 중 제체의 붕괴부를 통해 5,858㎥/sec의 유출이 발생하였으며, 여수로를 통해 방류된 유량은 2,672㎥/sec로 분석되었다.

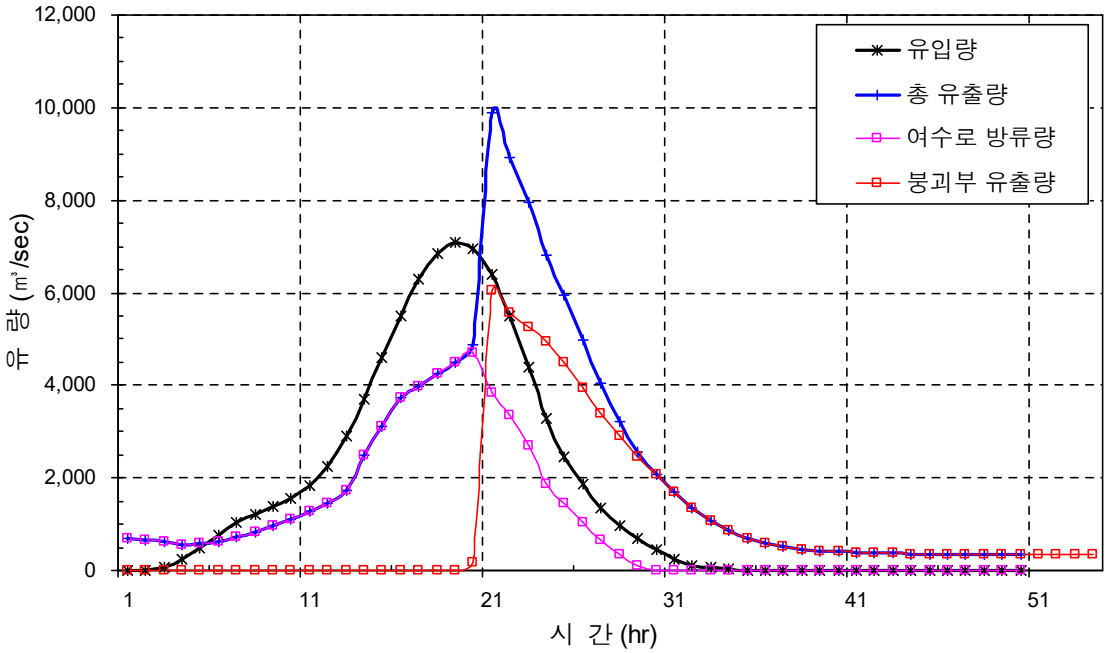


<그림 15.19> 예당지 지점에서의 유출량 변화 분석결과 (CASE 1)

(2) 예당지 제체를 1.5m 증고하였을 경우(CASE 2, 3)

예당지 제체를 1.5m 증고하고 여수로의 문비를 6.0m(b)×3.6m(H)×26련에서 6.0m(B)×5.1m(H)×26련으로 확장하여 홍수 저류 및 방류능력을 증대시켰을 경우에도 홍수 유입 21시간 후에 저수위가 제정고 EL. 26.5m를 월류하여 제체가 붕괴되는 것으로 예측되었다. 특히 이때의 최대 유출량은 9,888㎥/sec로, 현 규모에서 붕괴될 경우에 비해 약 16% 증가하는 것으로 분석되어 예당지의 증고가 PMF 상황에서 예당지의 안전을 유지하지 못하는 것으로 나타났으며, 제체의 증가에 의해 추가로 확보한 홍수조절 공간에 저류되었던 유량이 하류로 유출되면서 오히려 그 규모가 증가하였다.

이상의 분석 결과 예당지의 증고에 따른 홍수조절 용량의 확장은 PMF 발생시 예당지의 안전을 보장하지는 못하며, 단지 제체의 붕괴시점을 약 4시간 지연시키는 효과는 있지만 제체 붕괴시의 유출량은 현 상태에 비해 증가시키는 문제가 발생할 것으로 예상된다.

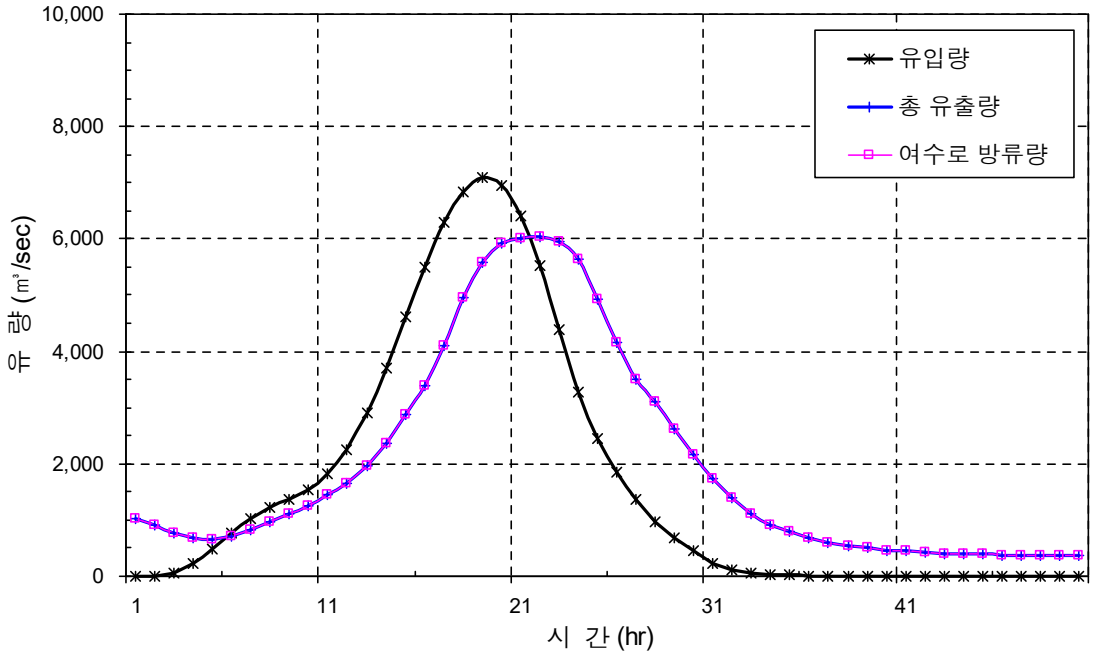


<그림 15.20> 예당지 지점에서의 유출량 변화 분석결과 (CASE 2 및 CASE 3)

(3) 예당지 증고 및 여수로를 확장할 경우(CASE 4)

예당지 증고를 포함한 유역종합치수계획을 시행한 후 현 제방을 계획홍수위 기준으로 완전개수하며, PMF 발생시에도 예당지의 안전을 유지하기 위해 여수로를 증설할 경우를 가정하여 예당지의 거동을 모의 하였다. 이때 여수로의 증설 규모는 저수위가 증고 후의 제정고 EL. 26.5m 보다 0.5m 낮은 EL. 26.0m를 초과하지 않도록 11련을 추가로 설치하는 것으로 가정하였다.

이 경우 예당지의 이론적인 최대방류량은 6,218㎥/sec로서 현 예당지 하류의 무한천 구간 계획홍수량 1,290㎥/sec의 약 4.8배에 해당한다. 그러나 모형에서 모의된 결과는 홍수유입 22시간 후에 댐의 여수로를 통해 최대 6,045㎥/sec가 방류되며 예당지의 붕괴는 발생하지 않는 것으로 분석되었다.



<그림 15.21> 예당지 지점에서 유량변화 분석 결과 (CASE 4)

나. 주요 지점의 홍수위 변화

각 분석조건별 주요 지점의 홍수위를 비교한 결과 'CASE 1'과 'CASE 2'가 삽교천 하구에서 EL. 8.39m~8.40m, 곡교천 하구에서 EL. 8.41m~8.43m의 값을 보이는데 비해 'CASE 3'과 'CASE 4'의 경우는 각각 EL. 6.83m~6.85m 및 EL. 6.84m~6.85m의 범위를 보여 약 1.5m 이상 낮게 평가되었다. 이 결과는 삽교호 배수갑문 증설에 따른 효과로서 삽교호로 유입한 홍수의 배제가 원활히 이루어짐으로써 홍수위가 크게 저하한 것으로 풀이된다. 특히 예당지 지점의 유출조건이 동일한 'CASE 2'와 'CASE 3'의 경우에 있어 무한천 상류의 원평수위표 지점의 홍수위는 같지만 하구의 홍수위는 배수갑문 증설을 감안한 'CASE 3'의 결과가 0.16m 낮게 나타나서, 이러한 분석을 뒷받침 하고 있다.

이에 비해 삽교호에서 상대적으로 멀리 떨어져 있어 배수영향을 작게 받는 무한천 하구의 홍수위는 EL. 9.37m~9.77m로 분석조건별로 큰 차이를 보이지 않고 있으나, 예당지만 증고 한 경우인 'CASE 2'에서의 홍수위가 가장 높고, 제체 증고에 병행하여 여수로를 증설함으로써 PMF시에도 예당지가 붕괴되지 않은 경우인 'CASE 4'의 홍수위가 가장 낮을 것으로 분석되었다.

<표 15.44> 가능최대 홍수량 발생시 하구에서의 홍수위 비교

단위 : EL. m

구 분	분석조건 별 홍수위				비 고
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	
삽교천 하구	8.39	8.40	6.83	6.85	
곡교천 하구	8.41	8.43	6.84	6.85	
무한천 하구	9.71	9.77	9.59	9.37	
무한천 (원평수위표)	16.12	16.45	16.45	15.12	

다. 침수면적 및 예상피해액

삽교천 유역에 PMF 발생시 예상되는 침수면적 및 피해액은 <표 15.45>와 같다. 유역 전체로는 분석조건에 따라 15,508ha~16,248ha의 침수면적이 발생하며, 이 경우의 예상 피해액은 38,090억원~47,010억원으로 추정되었다. 이러한 피해 규모는 피해면적으로는 500년 빈도 홍수시 예상되는 면적의 약 2배, 피해액 기준으로는 10배 이상에 해당되어 그 피해의 정도가 얼마나 막대한지를 가늠할 수 있다.

<표 15.45> 분석조건별 침수면적 비교

지역구분	조건별 침수면적 (ha)				비 고
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	
하구부	1,628	1,629	1,375	1,374	
곡교천 합류부	3,757	3,757	3,487	3,410	
무한천 합류부	3,023	3,033	2,996	2,952	
삽교천 중상류부	4,441	4,440	4,429	4,457	
곡교천 중상류부	1,681	1,681	1,676	1,676	
무한천 중상류부	1,718	1,733	1,731	1,639	
침수면적 계	16,248	16,273	15,694	15,508	
총 피해액 (억원)	46,217	47,010	43,589	38,090	

<표 15.45>의 분석조건별 피해액을 비교한 결과 PMF 발생시 피해규모에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 예당지의 붕괴여부이며, 다음으로 배수갑문의 증설로 나타났는데, 예당지가 붕괴되지 않을 경우는 약 5,500억원의 피해액이 감소(CASE 3과 4의 비교)하고, 배수갑문을 증설할 경우 약 2,628억원의 피해액이 감소 (CASE 1과 3의 비교)하는 것으로 분석 되었다.

이에 비해 예당지를 증고만 할 경우 예상되는 피해면적 및 피해액이 현 상태에서

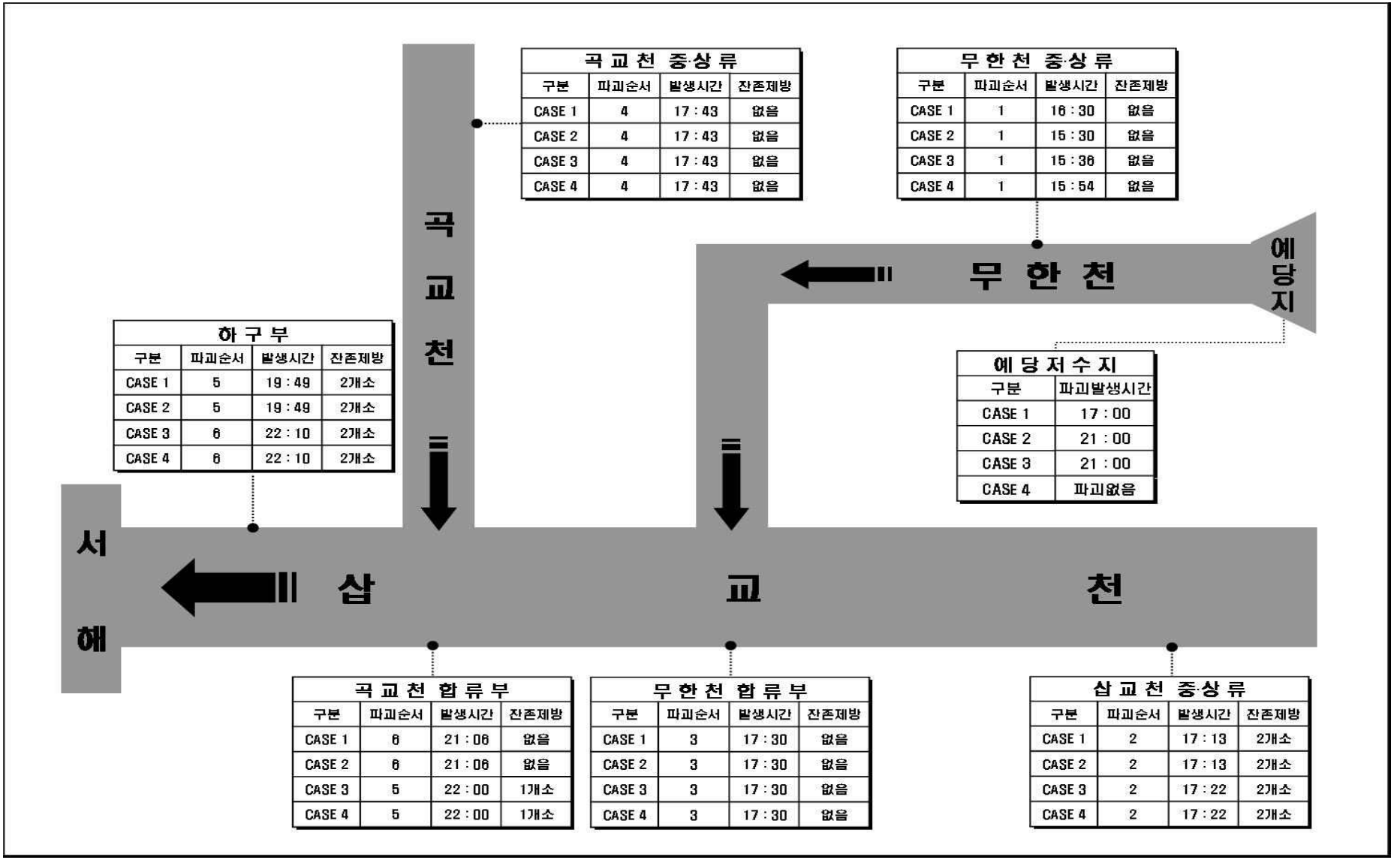
PMF가 발생할 경우에 비해 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 제체를 1.5m 증고하여 홍수조절용량을 약 3배로 확장하였지만 PMF의 규모가 막대하여 홍수조절 공간만으로는 유입량을 감당할 수 없어 결국 제체 월류에 의한 붕괴가 발생하는바, 현 상태에 비해 추가로 저류되어 있던 유량이 제체 붕괴시 유출로 나타남으로써 앞서 분석한 바와 같이 최대유출량이 현 상태의 8530㎥/sec보다 1,358㎥/sec 증가한 9,888㎥/sec에 달하기 때문이다.

<표 15.45>의 분석조건에 따른 침수면적의 공간적 차이를 비교한 결과에 따르면 배수갑문 증설의 효과로 'CASE 3'과 'CASE 4'의 하구부 침수면적이 작게 예측되었으며, 예당지가 붕괴되지 않을 경우에는 무한천 중상류부의 침수면적도 약 100ha 정도 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 삽교천과 곡교천 중상류부의 침수면적은 눈에 띄는 변화가 없으며, 단지 배수갑문을 증설 하였을 경우 침수면적이 미미하게 감소하는 것으로 나타났으나, 예당지의 붕괴나 존치 여부에는 영향을 받지 않은 것으로 분석되었다. 따라서, 이 지역의 피해는 예당지의 붕괴로 인해 발생한 것이 아니라 PMF 자체로 인해 발생한 것임을 알 수 있으며, 이러한 결론은 예당지 하류지역의 하천제방 붕괴시간의 비교를 통해서도 확인할 수 있다.

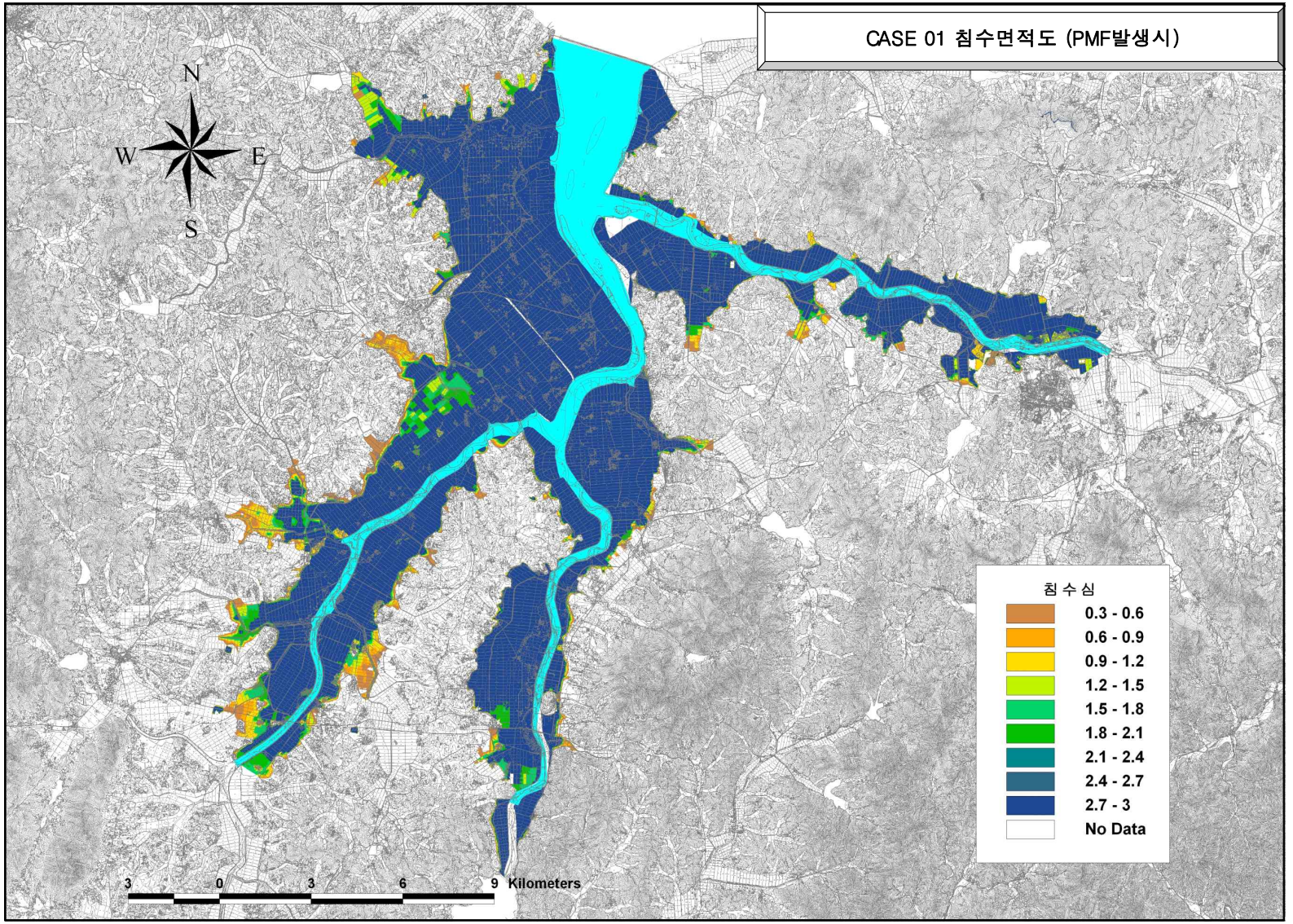
즉, 삽교천과 곡교천 및 무한천 국가하천 구간 연안의 54개 치수단위소구역의 제방붕괴 시간을 분석한 결과 무한천 중상류 → 삽교천 중상류 → 무한천 합류부 → 곡교천 중상류 → 곡교천 합류부 및 하구부의 순으로 제방이 붕괴하며, 예당지의 붕괴는 현상태에서는 무한천 중상류부 제방 붕괴 이후에, 증고후에는 곡교천 중상류부 제방의 붕괴 이후에 발생함으로 PMF시 삽교천 유역 중하류부 하천의 범람 및 제방붕괴의 원인은 예당지의 붕괴 이전에 발생한 해당 지역의 홍수유출 때문이며, 단지 예당지 붕괴로 인해 그 피해가 증가한다고 할 수 있다.

이상의 분석결과 삽교천 유역에 PMF가 발생할 경우 예상되는 피해의 규모는 상상할 수 없을 정도로 막대하지만 예당지 증고와 더불어 여수로를 증설하여 제체월류에 의한 붕괴를 방지하고 삽교호 배수갑문을 증설하여 홍수소통능력을 증대할 경우 그 피해를 약 17.6% 저감할 수 있을 것으로 기대되지만, 예당지만 증고 할 경우는 PMF와 같은 이상홍수로 인해 붕고될 경우에는 오히려 피해규모가 증가할 것으로 예상되었다.

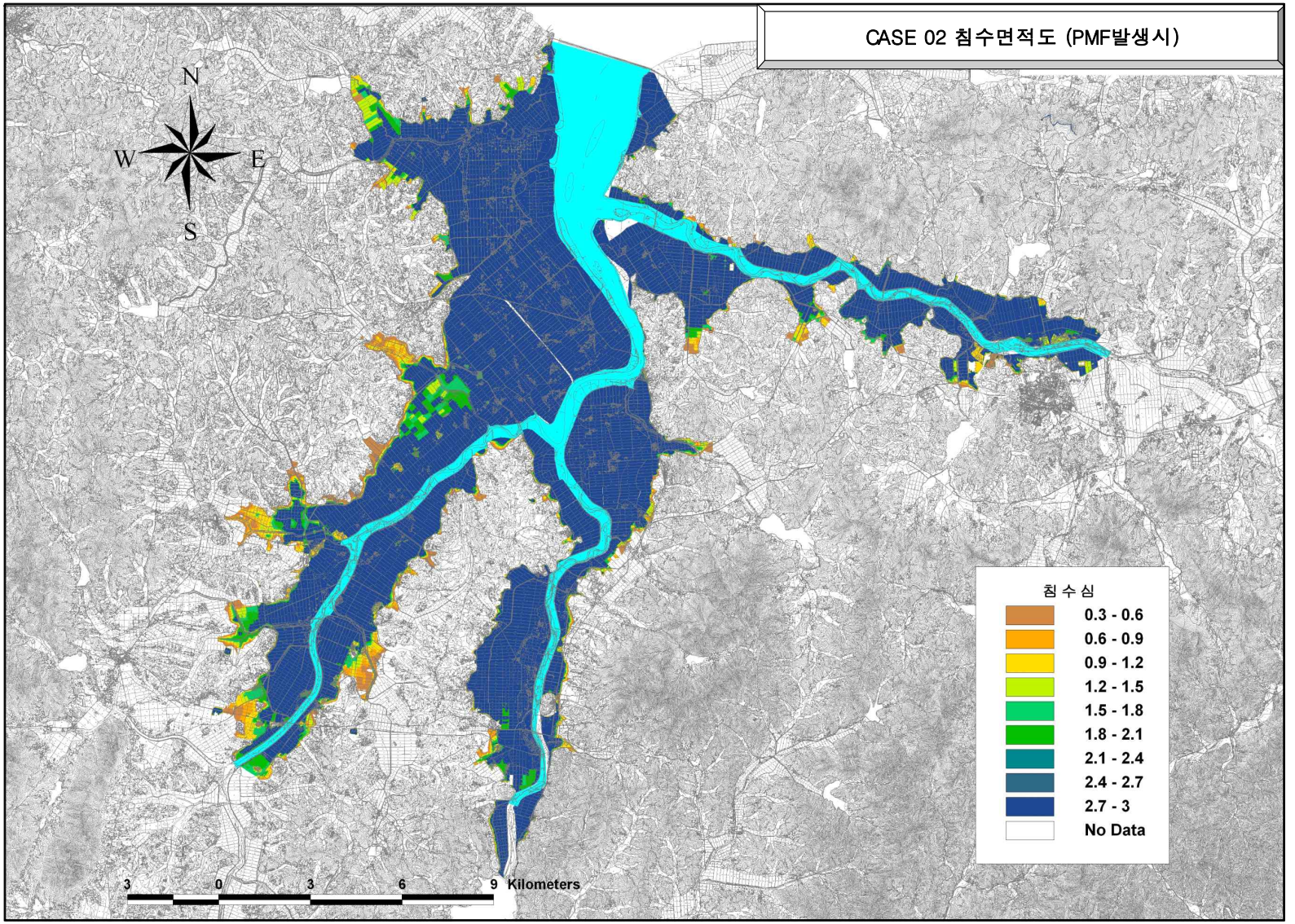
따라서, 2002년 강릉 지방에서 일부 지속시간에서 기존의 PMF를 초과하는 이상홍수가 발생한 이후 기존 대규모 댐의 안전에 대한 검토를 시행하고 있는 것과 같이 예당지의 안전기준을 PMF로 상향조정 하는 것에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다.



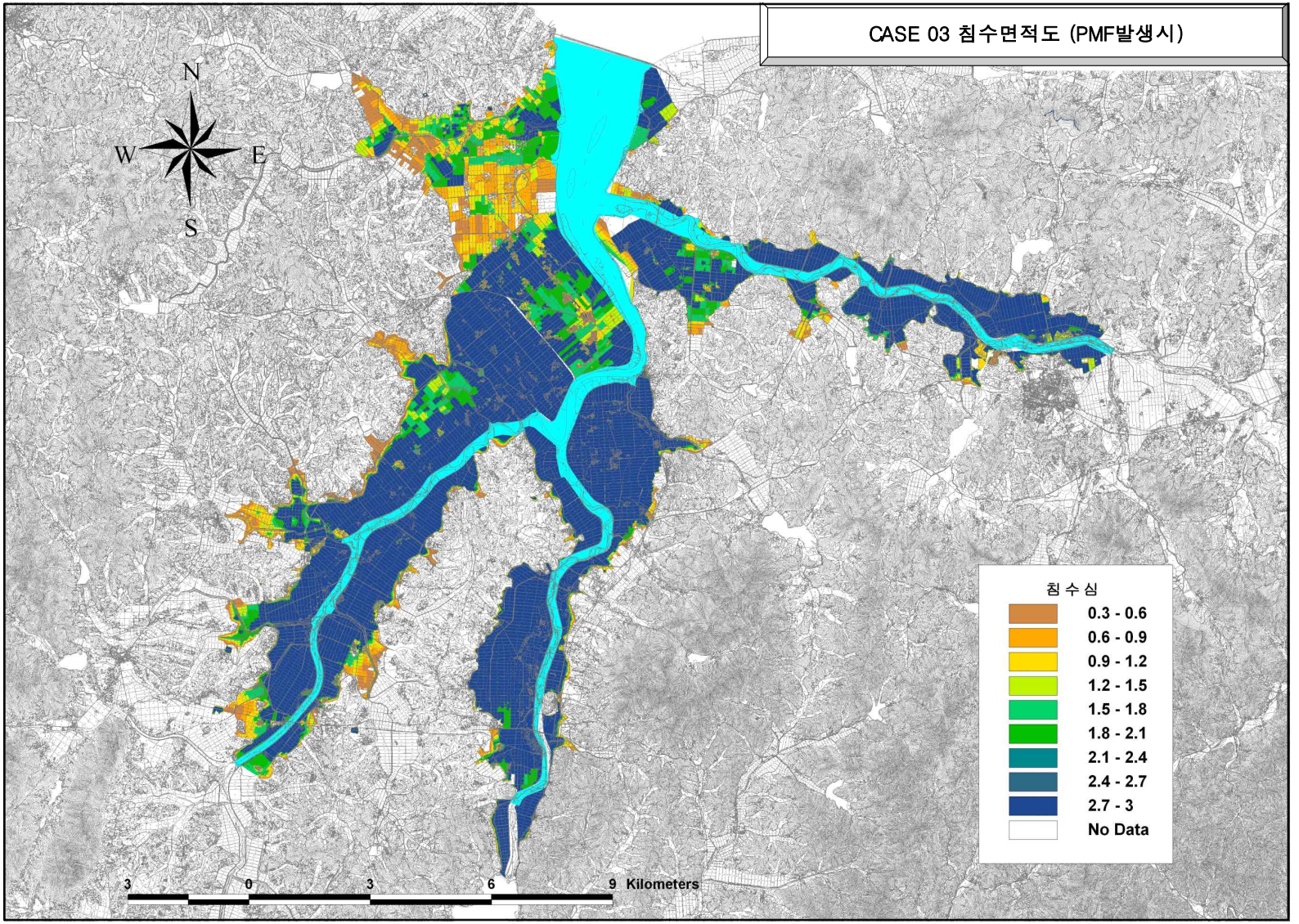
<그림 15.22> PMF발생시 소구역별 제방파괴시간



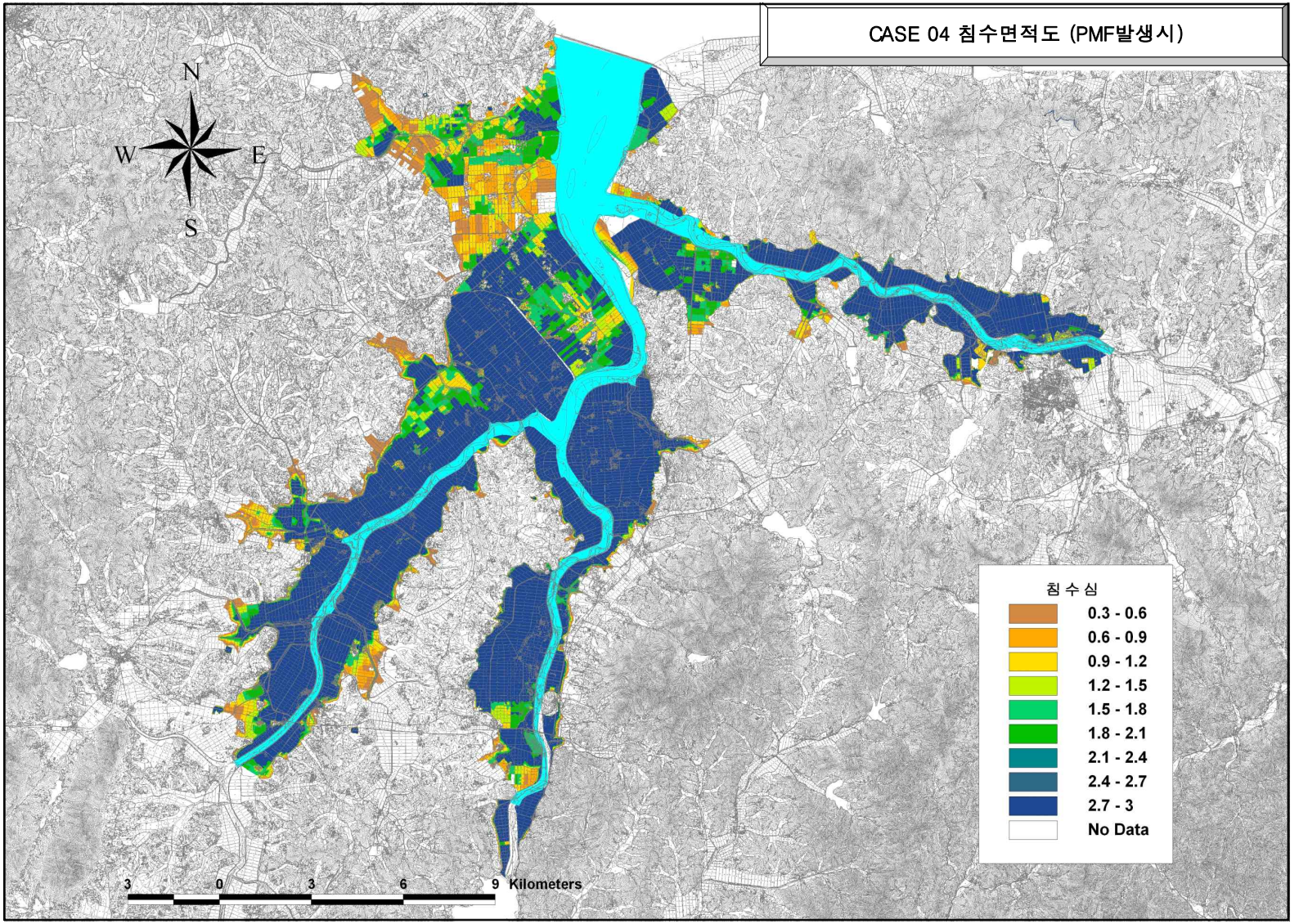
<그림 15.23> PMF발생시 침수구역 및 침수심 : CASE 1



<그림 15.23> PMF발생시 침수구역 및 침수심 (계속) : CASE 2



<그림 15.23> PMF발생시 침수구역 및 침수심 (계속) : CASE 3



<그림 15.23> PMF발생시 침수구역 및 침수심 (계속) : CASE 4

제 16 장 시행계획의 수립

16.1 사업시행 계획

16.2 유역하천관리협의회 구성 계획

제 16 장 시행계획의 수립

16.1 사업시행 계획

16.1.1 단계별 사업시행 계획

삽교천 유역종합치수계획은 홍수방어 대안요소사업의 치수효과와 경제성, 사회적 여건, 사업효과의 공간적 범위를 고려하여 다음과 같이 3단계로 구분하여 추진하는 것으로 계획을 수립하였다.

본 사업의 목표연도는 2016년으로 설정하였으며, 소요되는 총 사업비는 현재의 가격을 기준으로 약 1,587억원으로 추정되었다.

<표 16.1> 삽교천 유역종합치수계획의 단계별 시행계획

시행구분	사 업 종 류	추정사업비	사업의 특성
1 단 계	삽교호 배수갑문 증설 예당지 증고	1,116억원	기대효과 및 경제성 가장 우수
2 단 계	삽교천-무한천 합류부 개선 홍동, 홍양, 신대 저수지 증고	434억원	홍수량 분산 및 사업효과의 지역적 균형 도모
3 단 계	대규모 홍수대비 천변저류지 설치 (와천-중방, 산양-곡교3 지구)	18.5억원/개소 (사용시 보상비 소요)	지역 주민들의 인식전환 및 관련법령 정비·보완 필요

<표 16.1>과 같이 삽교천 유역종합치수계획을 구성하는 홍수방어 대안요소 사업을 단계별로 시행하고자 하는 것은 추정사업비가 약 1,600억원에 가까운 사업을 일시에 시행하기는 현실적으로 어려울 것으로 판단한 때문이다. 따라서, 사업의 치수적인 효과가 가장 우수하고, 공사규모가 큰 삽교호 배수갑문 증설과 예당지 증고 사업을 1단계로 우선 시행하고, 이어 2단계로 홍수량의 지역적 분산을 통해 사업효과의 지역적인 균형을 도모하는 측면에서 기존 농업용 저수지의 증고 사업과 삽교천과 무한천 합류부 개선사업을 시행하는 것으로 계획하였다.

천변저류지 설치를 3단계 사업으로 계획한 것은 30년 빈도 이상의 대규모 홍수에 대비하는 사업의 특성상 그 시행이 다른 사업에 비해 시급하지 않고, 아직까지 인위적인 천변저류지가 설치되지 않은 상황에서 천변저류지 지역의 토지이용 규제, 피해발생시 보상 등에 관한 관련 법령의 정비 및 사업시행을 원활히 할 수 있도록 천변저류지 설치 지역 주민들의 인식전환에 상당한 기간이 소요될 것이라 판단했기 때문이다.

이상의 단계별 사업시행 계획에 기초한 연차별 사업시행 계획은 <표 16.2>와 같다.

<표 16.2> 삽교천 유역종합치수계획의 연차별 사업시행 계획

구 분	사 업 명	연차별 사업시행 계획										
		2006	07	08	09	10	11	12	13	14	15	2016
1단계	삽교호 배수갑문 증 설		·····	·····	·····	———	———	———	———	———		
	예당지 증고		·····	·····	·····	———	———	———	———	———		
2단계	삽교천-무한천 합류부 개선				·····	·····	·····	———	———		———	———
	홍동저수지 증고				·····	·····	———	———	———			
	홍양저수지 증고				·····	·····	———	———	———			
	신대저수지 증고				·····	·····	———	———	———			
3단계	천변저류지 설치							·····	———	———	———	
기 타	비구조적 대책											

【주】 ····· 준비 및 설계 ——— 공 사

삽교천 유역종합치수계획은 1년간의 계획입안 기간을 거쳐 1차로 2007년에 1단계 사업을 시작하되 사업준비 및 설계에 소요되는 기간을 3년으로 예정하고, 이어 공사에 소요되는 기간을 5년으로 가정하였다. 2단계 사업은 2009년부터 시작하여 기존 농업용 저수지 증고 사업은 2년의 준비기간과 3년의 공사기간이 소요되며, 삽교천과 무한천 합류부 개선사업은 준비에 3년, 공사기간 5년을 가정하여 최종 준공시기는 본 사업의 목표연도인 2016년으로 계획하였다.

3단계 사업인 천변저류지 설치는 이를 뒷받침 할 수 있도록 홍수관리제도 강화, 하천토지 매수청구제 도입 등을 주요 내용으로 하는 하천법 개정(안)이 입법예고된 상태이므로 조속한 시일내에 관련제도와 법령이 정비될 것으로 예상되지만, 기존의 농경지에 인위적으로 홍수를 유입시켜 타 지역을 보호한다는 천변저류지의 운영개념에 대한 국민적인 공감대를 형성하는데 필요한 홍보기간과 해당 지역 주민들에게 확실한 피해보상에 대한 인식을 심어주는데 소요되는 기간을 감안하여 유역종합치수계획 사업의 실시 5년 후인 2012년부터 시행하되, 사업의 공종이 간단하므로 준비기간 1년, 공사기간으로 3년을 설정하였다.

기타 금회 계획에서 제안한 홍수예경보시스템 보완, 비상대처계획 수립 등을 포함한 비구조적 대책의 실시는 유관기관에서 그 필요성을 면밀히 검토하여 자체적으로 실시

가능할 것으로 판단하여 유역종합치수계획의 시행계획에는 구체적으로 포함시키지 않았으나, 향후 본 사업의 시행을 뒷받침하기 위해 구성되는 '삽교천 유역하천관리협의회'에서 그 시행을 추진하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

이상의 연차별 사업시행 계획에 따르면 삽교천 유역종합치수계획의 시행에 따른 치수효과가 나타나기 시작하는 시기는 2014년 이후로서, 그 동안에는 현재의 치수계획 체제하에서 홍수발생에 대비한 방재활동에 주력하며, 구조적인 대책에 비해 저렴한 비용으로 신속하게 실시할 수 있는 홍수예경보시스템 보완, 비상대처계획 수립 등의 비구조적인 대책을 우선 착수하여야 할 것이다.

16.1.2 연차별 투자계획

삽교천 유역종합치수계획의 연차별 사업계획에 기초한 사업비 투자 계획은 다음과 같다. <표 16.5>에서 각 사업의 연차별 사업비는 '치수사업경제성분석 개선방안연구(건교부, 2001)'에서 제안한 공종별 투입비율에 <표 14.27> 홍수방어 대안요소의 공종별 사업비를 적용하여 산출하였다. 공사기간에 따른 연차별 사업비 투입비율은 <표 16.3> 및 <표 16.4>와 같다.

<표 16.3> 연차별 사업비 투입비율 (사업기간 5년)

단위 : %

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
축 제 공	-	30.0	30.0	30.0	10.0	100.0
호 안 공	-	30.0	30.0	30.0	10.0	100.0
구조물공	-	30.0	40.0	30.0	-	100.0
보 상 비	70.0	30.0	-	-	-	100.0
기 타	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	100.0
계	17.6%	21.2%	22.4%	21.2%	17.6%	100.0%

<표 16.4> 연차별 사업비 투입비율 (사업기간 3년)

단위 : %

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
축 제 공	-	70.0	30.0	-	-	100.0
호 안 공	-	30.0	70.0	-	-	100.0
구조물공	-	30.0	70.0	-	-	100.0
보 상 비	70.0	30.0	-	-	-	100.0
기 타	20.0	60.0	20.0	-	-	100.0
계	29.4%	54.0%	16.7%	0.0%	0.0%	100.0%

<표 16.5> 삽교천 유역종합치수계획의 연차별 사업비 투자계획

단위 : 백만원

사 업 명	사 업 기 간										사 업 비		
	2007	08	09	10	11	12	13	14	15	2016	설계비	공사비	계
배수갑문 증 설	*718*	*718*	*718*	10,617	12,745	13,455	12,745	10,617			2,154	60,180	62,334
예 당 지 증 고	*613*	*613*	*613*	18,501	13,033	7,201	7,138	5,481			1,839	51,355	53,194
삽교천-무한천 합류부 개선			*294*	*294*	*294*	3,176	6,577	6,243	5,768	2,306	882	24,069	24,951
홍동저수지 증 고			*137*	*137*	2,082	3,828	1,183				274	7,093	7,367
홍양저수지 증 고			*150*	*150*	2,479	4,092	1,220				300	7,791	8,091
신대저수지 증 고			*87*	*87*	849	2,656	929				174	4,434	4,608
천변저류지 설치(2개소)						*151*	536	1,970	1,164		151	3,670	3,821
설계비 계	1,331	1,331	1,999	668	294	151					5,774		
사업비 계				29,118	31,188	34,408	30,328	24,311	6,932	2,306		158,592	
계	1,331	1,331	1,999	29,786	31,482	34,559	30,328	24,311	6,932	2,306			164,366

【주】 사업비에 밑줄 표시가 된 것은 설계비를 구분한 것임.

<표 16.5>에서 밑줄로 구분된 값은 해당 사업의 시행을 위한 기본 및 실시설계비를 추정한 값이다. 삽교천 유역종합치수계획의 연차별 시행계획에 따르면 직접적인 공사가 시작되는 것은 2010년부터 이며, 그 이전의 기간은 사업의 준비 및 설계에 소요되는 기간이다. 따라서, '14.1.2 홍수방어대안 요소의 경제성 검토'의 <표 14.27>에 제시한 직접적인 공사에 소요되는 비용 이외의 사업의 준비에 소요되는 비용이 이 기간동안 소요될 것이므로 홍수방어 대안요소별 사업비에 기본설계 및 실시설계비 요율을 적용하여 설계비를 추정하였다.

그 결과 사업의 시행에 소요되는 직접적인 비용 1,586억원 이외에 약 58억원의 설계비가 추가로 소요될 것으로 추정되었다.

16.1.3 사업시행 및 관리 주체

삽교천 유역종합치수계획의 시설물 계획 중 저류시설 계획은 기존의 시설을 최대한 활용하여 경제적이고, 수몰지역이 최소화 되도록 계획하는 것을 기본방침으로 정하였으며, 이에 따라 농업기반공사에서 관리하는 예당지 및 홍동, 홍양, 신대 저수지를 증고하여 홍수조절 용량을 추가로 확보하는 계획을 수립하였다. 또한 하류부의 홍수소통 능력을 증대하기 위해 삽교호 배수갑문을 현 규모의 2배로 확장하는 계획을 수립한바, 이 또한 농업기반공사에서 관리하는 시설이다.

따라서, 본 사업의 계획대상 시설물 중 실질적으로 치수사업의 주체인 건설교통부에서 건설하여 관리하는 시설은 천변저류지 설치와 관련된 국가하천 구간의 제방과 삽교천과 무한천 합류부 개선사업의 일환으로 개축이 예정된 국도 32호선 상의 교량인 구양교에 불과하며, 삽교천 유역의 구조적 치수대책이 대부분 농림부에서 설치하여 운영하는 기존 시설물에 의존하고 있다.

그러나 이러한 시설들은 치수목적이 아닌 이수목적으로 건설하여 운영되고 있는 시설인바 비록 치수목적으로 활용 하더라도 현재의 이수기능을 저해하지 않도록 계획하였으나, 시설물의 비용분담 측면에서 치수사업의 편익에 해당하는 사업비는 그 주체인 건설교통부에서 부담하는 것이 타당한 것으로 사료 된다.

또한 본 사업의 수혜지역이 대부분 삽교천과 곡교천 및 무한천의 국가하천 구간 연안에 위치한 저지대임을 감안할 때 사업에 소요되는 비용은 전액 국비로 부담하며, 그 시행주체는 건설교통부가 되어야 할 것으로 판단된다. 그러나 사업에 소요되는 인력과 시설물의 공사 및 운영 경험 등을 감안할 때 공사는 해당 시설의 유지관리 기관에 위탁하여 시행하는 것도 한 방법이 될 것이다.

이러한 사업의 특성을 고려할 때 본 삽교천 유역종합치수계획의 시행 주체는 건설교통부가 되어야 하며, <표 16.5>의 주요 구조적 대책에 소요되는 사업비는 국비에서 부담하되, 공사의 시행은 현 시설물의 관할기관에 위탁시행 함으로써 그 동안 유지, 관리하면서 쌓아온 경험을 바탕으로 효과적인 사업시행이 가능하도록 하는 것이 바람직 할 것이다. 사업시행 후의 유지관리는 '15.2 홍수방어 시설물 유지관리 방안'에서 제안한 바와 같이 현재의 관할기관에서 유지관리 및 운영하되, 홍수기 치수상의 필요가 있을 때에만 금강홍수통제소의 통제에 따라 운영하는 것이 바람직할 것이다.

<표 16.6> 시설물별 사업비 부담 및 사업시행 주체

시설물명	주요수혜지역	사업비 부 담	사업시행 주 체	공사시행	평 상 시 유지관리	홍수시 운 영
삽교호 배수갑문	삽교천 유역 하류부	국비	건설교통부	농업기반공사 (위탁시행)	농업기반공사	건설교통부
예당지	무한천 예당지 하류부	국비	건설교통부	농업기반공사 (위탁시행)	농업기반공사	건설교통부
삽교천과 무한천 합류부	삽교천-무한천 합류부 직상류 지역	국비	건설교통부	건설교통부	건설교통부	건설교통부
홍 동 저수지	삽교천 국가하천 시점부 상류 지역	국비	건설교통부	농업기반공사 (위탁시행)	농업기반공사	건설교통부
홍 양 저수지		국비	건설교통부	농업기반공사 (위탁시행)	농업기반공사	건설교통부
신대저수지	신양천변 저지대	국비	건설교통부	농업기반공사 (위탁시행)	농업기반공사	건설교통부
천변저류지	아산시 저지대 및 곡교천 하류부	국비	건설교통부	건설교통부	건설교통부 (해당 지자체)	건설교통부

16.2 유역하천관리협의회 구성 계획

16.2.1 유역하천관리협의회의 필요성

지금까지의 치수사업은 하천제방 축조와 배수펌프장을 통한 제내지 홍수배제 위주로 이루어지면서 하천단위의 국지적인 규모로 일관해 왔다. 그 결과 동일 수계내에서 국가하천, 지방하천, 소하천 등으로 각각 구분되어 관리됨으로 인해 유역의 일관성 있는 관리가 부재한 문제점을 도출하였다. 또한 강우가 우기에 집중되는 우리나라의 기상특성상 치수와 이수문제를 분리하여 다룰 수 없는 형편임에도 불구하고 하천의 수량과 수질을 치수와 이수 측면에서 조화롭게 관리, 운영하는 조직이 마련되지 못하여 부처간, 지역간의 갈등이 심화되어 하천과 관련된 다양한 입장과 의견들을 능률적으로 수렴하고 이를 반영할 수 있는 조직의 필요성이 대두 되었다.

이러한 현실의 인식에 근거하여 지금까지의 하천 중심의 치수방식을 유역전체를 대상으로 전환하고, 하천에서의 다목적댐 건설, 하천개수사업 등의 구조적인 대책뿐만 아니라 홍수예경보, 수방관리체제 등의 비구조적인 대책과 함께 유역내의 보수, 유수기능 유지를 위한 유역종합치수대책의 시행과 더불어 유역 단위의 치수와 이수 사업 및 하천관리를 위한 기존의 관련 조직간의 협력관계 강화가 필요하게 되었다.

이러한 배경에서 2004년에 하천법의 개정을 통해 유역치수계획의 수립 및 변경에 유역주민 등의 의견을 반영하기 위하여 유역별로 유역주민, 관계 기관의 공무원 및 직원 등이 포함된 유역하천관리협의회를 구성·운영할 수 있는 근거를 마련하게 되었다.

16.2.2 국내 하천 및 저수지 관리 협의회 현황

현재 국내에서 운영 중인 유역하천관리협의회와 유사한 성격의 하천 및 저수지 관련 협의회 조직으로는 '안양천수질개선대책협의회', '시화호관리위원회', '형산강살리기광역협의회', '팔당호수질정책협의회', '왕숙천유역환경관리협의회' 등이 있으며, 유역종합치수계획의 시행을 위해 구성된 '안양천 유역하천관리협의회' 등을 들 수 있다.

본 절에서는 삽교천 유역하천관리협의회 구성계획 수립에 앞서 국내의 유사 협의회의 추진 경위, 조직 및 구성, 주요 임무, 추진사업을 검토하여 이를 삽교천 유역하천관리협의회 구성을 위한 기초자료로 활용하였다.

가. 안양천 수질개선대책협의회

도시화 및 산업화로 인한 인구 집중으로 수질오염이 날로 심화되는 안양천의 수질을 개선하여 수변지역 주민의 자연환경 및 생활환경을 맑고 쾌적하게 만들기 위하여 '99년에 안양천 유역 13개 자치단체가 참여하는 '안양천 수질개선대책협의회' 구성

(1) 구 성

안양천 유역 13개 자치단체장(구로구, 강서구, 양천구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구, 안양시, 광명시, 군포시, 의왕시, 부천시, 시흥시)

(2) 주요 기능

○ 수질개선을 위한 공동사업 추진에 관한 사항
○ 수질생태계 조사 등 공동연구에 관한 사항
○ 하상 퇴적물 준설에 관한 사항
○ 안양천 살리기 지역주민 참여 프로그램 운영추진에 관한 사항
○ 기타 지역환경 보전에 관한 사항 등

(3) 추진사업

○ 안양천 및 지류천 수질오염도 검사 동시 실시
○ 안양천 유역 폐수배출업소 합동단속 실시
○ 안양천 기초 환경학술 조사 및 수질개선 종합대책 수립
○ 안양천 하천지도 제작 및 안양천 살리기 사업추진

나. 시화호 관리위원회

해양오염방지법에 따라 특별관리해역으로 지정된 시화호의 수질개선 및 환경보전을 위하여 해양수산부의 주관에 의한 관계부처 합동으로 시화호특별관리해역 종합관리계획을 수립하였는바, 동 계획의 원활한 시행을 위하여 해양수산부장관 소속하에 시화호관리위원회를 설치

(1) 구 성

위원장을 포함한 20인 이내의 위원으로 구성하되, 위원장은 해양수산부차관이 되고, 위원은 관계부처의 국장급 공무원 및 당해 자치단체의 부시장과 그 밖에 해양수산부장관이 위촉하는 자로 함.

(2) 주요 기능

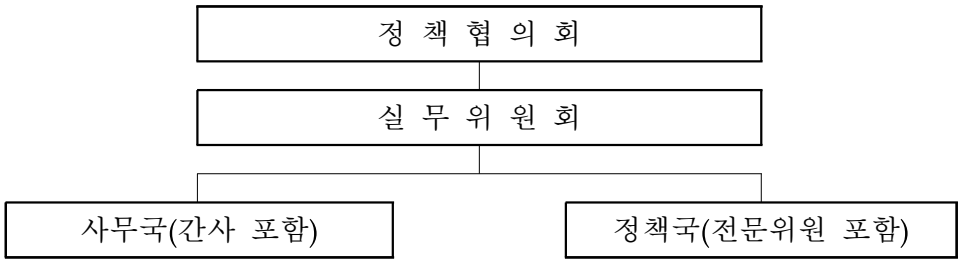
해양수산부장관 소속하에 시화호관리위원회를 설치하고, 시화호의 수질개선 및 환경보전과 관련한 주요사항에 등에 대하여 심의 및 조정

다. 팔당호 수질정책협의회

'팔당호 수질정책협의회'는 환경부가 2003년 고시개정을 추진하는 과정에서 지자체·지역주민들과의 협의('03.7.28)에 따라, 공동으로 합의된 개선방안을 마련하기 위한 제도적 장치로 협의체를 구성

(1) 구 성

정책협의회 산하에 실무위원회 및 사무국과 정책국을 둠.



(2) 협의회 구성

○ 환경부차관(국장 및 한강유역청장에게 위임)

○ 경기도 행정부지사

○ 가평·광주·남양주·양평·여주·용인·이천 7개 시·군 단체장 및 의회의장

○ 지역주민대표 9인 등 총 25명

(3) 협의회 대표

○ 환경부차관, 경기도행정부지사, 시장·군수대표, 의회의장대표, 주민대표 2인 등 공동대표 6인

(4) 실무위원회 구성(20명)

○ 환경부 등 관계기관 과장 및 사무국장, 정책국장, 주민 7인

(5) 기능 및 역할

○ 기능 : 팔당호 수질관리 및 팔당수계 지역주민의 삶의 질 향상을 위한 정책협의기능

○ 역할 :

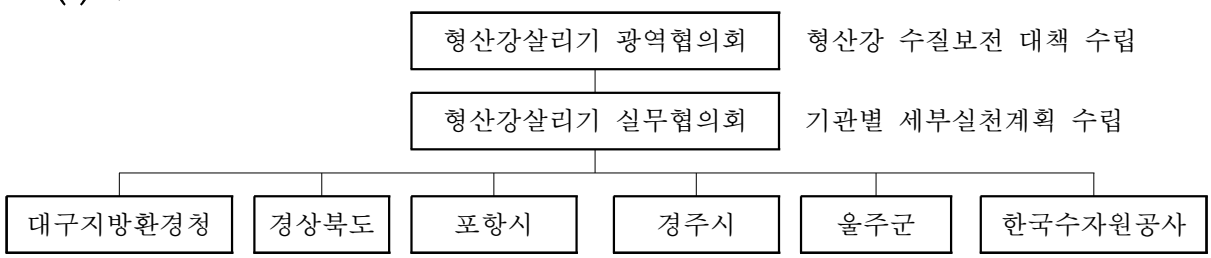
- 팔당호 수질보전을 위한 정책 개발 및 제도개선방안 협의
- 팔당수계 7개 시·군의 환경보전과 지역발전을 조화시키기 위한 정책개발 및 제도 개선방안 협의
- 팔당호 수질관리를 위한 주민계도·홍보 및 민·관 공동대처방안 협의
- 기타 고시개정 내용에 대한 협의 등 팔당호 수질관리방안 협의

라. 형산강 살리기 광역협의회

형산강 수질보전을 위하여 이 지역의 환경관련 기관이 각자 자율적으로 환경행정을 수행함에 따라 광역적이고 체계적인 관리가 미흡하고, 포항시민들의 상수원으로 이용되고 있는 형산강 하류지역에서 물고기 집단 폐사 사고 발생 등으로 인하여 형산강 수질이 악화되고 있다는 불안감으로 환경행정에 대한 신뢰기반 붕괴 우려가 발생함에 따라 형산강 수계 상·하류지역 자치단체간의 오염원에 대한 책임공방 등 지역갈등이 표출 됨.

이러한 배경에서 형산강 수질보전을 위하여 대구·경북지역의 환경행정을 책임지고 있는 대구지방환경청이 주도적으로 종합·조정적인 역할을 수행하고, 형산강수계 유관기관, 전문가 및 시민단체가 참여하는 '광역협의회'를 구성.

(1) 구 성



○ 광역협의회(15명)

구분	소속기관	직위	구분	소속기관	직위
의장	대구지방환경청	청장	당연직위원	경주시 포항시 울주군 부산지방국토관리청	부시장 부시장 부군수 하천공사과장
부의장	경상북도 경상북도 경주시 포항시 울주군	보건환경산림국장 교육환경위원장 산업건설위원장 보사산업위원장 의회의장	위촉직위원	한국수자원공사 푸른포항21추진협의회 경주환경운동연합 서라벌대학 한동대학교	포항권관리단장 회장 의장 교수 교수

○ 광역실무협의회(5명)

소속기관	직 위	소속기관	직 위
포항환경출장소	소 장	울주군	환경보호과장
경주시	환경보호과장	한국수자원공사	포항용수관리사무소장
포항시	환경보호과장		

(2) 광역협의회의 기능

○ 형산강 수질보전을 위한 종합대책마련과 기관(단체)별 역할분담 및 조정

○ 수질오염사고 방제대책 및 갈수기대책의 수립과 집행에 관한 사항

○ 기타 형산강 수질보전을 위하여 필요한 사항 심의·조정

(3) 광역실무협의회의 기능

○ 형산강 수질관리를 위한 계획서 작성

○ 광역협의회에서 심의·조정된 사항에 대한 집행

마. 왕숙천유역환경관리협의회

왕숙천에 관한 무관심 속에 수질 오염 및 하천환경의 파괴 가속화 되자 왕숙천의 역사성을 부각해 지역주민의 자긍심을 함양하고, 왕숙천 유역의 물문화 창출을 목적으로 '95년 3월 21일 발족

(1) 구 성

○ 구리시, 남양주시, 포천시의 부시장을 비롯하여 각 지자체의 지방의원 2명, 민간 전문가 2명 등을 합쳐 총 15명의 위원으로 구성

○ 협의회장 : 지자체 부시장 중에서 선임

(2) 주요 기능

○ 왕숙천유역내 지자체간의 이해 대립시 합리적인 조정역할 기능 담당

○ 왕숙천유역환경관리협의회내에 하천환경정보센터를 설립, 왕숙천의 상시 모니터링 수행

○ 왕숙천유역환경관리협의회의 지부를 설치, 각 지부별로 하천감시 활동 수행

바. 안양천 유역협의회

안양천 유역협의회는 '안양천 유역종합치수계획. 2005.1, 건교부'에서 구성 계획을 수립하였으며 그 주요한 내용은 다음과 같다.

(1) 구 성

안양천 유역협의회는 서울특별시와 해당 기초차지단체인 7개구, 경기도와 해당 기초자치단체인 6개시, 유역내 농업용 저수지 관리기관인 농업기반공사, 중앙하천관리위원회 중 2인, 민간 및 NGO 대표 등 총 30인으로 구성하였으며, 건설교통부 서울지방국토관리청에서 주관하는 협의회와 간사회, 실무회로 구분하였다. 협의회 의장은 서울지방국토관리청장, 간사회 의장은 하천국장, 실무회 의장은 하천계획과장이 각각 맡는 것으로 하였다.

<표 16.7> 안양천유역종합치수계획 협의회 구성조직표

관계기관	협의회	간사회	실무회	비고
서울지방국토관리청	청 장*	하천국장*	하천계획과장*	
서울특별시	건설국장	치수과장	하천계장	
강서구	부구청장	건설국장	건설과장	
구로구	부구청장	건설국장	건설과장	
영등포구	부구청장	건설국장	건설과장	
관악구	부구청장	건설국장	건설과장	
금천구	부구청장	건설국장	건설과장	
동작구	부구청장	건설국장	건설과장	
양천구	부구청장	건설국장	건설과장	
경기도	건설교통국장	건설국장	하천계장	
안양시	부시장	건설국장	건설과장	
의왕시	부시장	건설국장	건설과장	
과천시	부시장	건설국장	건설과장	
시흥시	부시장	건설국장	건설과장	
광명시	부시장	건설국장	건설과장	
군포시	부시장	건설국장	건설과장	
농업기반공사	부시장	유지관리이사	시설관리처장	
중앙하천관리위원회 2인				
주민 및 비영리단체 11인				

*는 각각의 장을 말함.

(2) 기 능

안양천 유역협의회는 유역종합치수계획(안)에 대한 각 지자체 및 관련기관의 의견을 수렴하여 최적의 방안을 확정하는 기능을 하며, 하류측에 홍수피해를 유발하는 상류측의 개발행위, 시설물의 건설에 대한 홍수처리방안, 치수시설물과 관련된 비용분담에 관한 사항, 기타 효율적인 유역치수를 위하여 필요한 사항 등에 대한 논의를 한다.

16.2.3 유역하천관리협의회 구성 대상 조직 및 역할

가. 삽교천 유역내 행정구역 현황

삽교천 유역내 행정구역은 충남 예산군 전체와 천안시, 아산시, 서산시, 연기군, 청양군, 홍성군, 당진군 일부 지역 등 3개시 5개군으로 구성되어 있으며, 각 시군별 편입면적비는 <표 16.8>과 같다.

<표 16.8> 삽교천 유역 행정구역현황

행정구역	면 적 (㎢)		편 입 비 (%)	비 고
	전체면적	편입면적		
예 산 군	542.76	524.27	0.97	
당 진 군	302.73	194.40	0.64	
아 산 시	442.29	419.16	0.95	
연 기 군	79.10	21.86	0.28	
천 안 시	258.02	196.36	0.76	
청 양 군	163.51	123.77	0.76	
홍 성 군	237.05	186.36	0.79	
서 산 시	82.75	0.72	0.01	

나. 삽교천 유역내 치수방재 관련기관 현황 및 역할

(1) 관련기관 현황

삽교천 유역하천관리협의회에 참여 가능한 기관으로는 충청권의 금강과 삽교천 유역을 중심으로 건설, 시설물 유지관리, 치수·방재사업 등을 대전지방국토관리청을 비롯하여 유역내 지자체인 충청남도와 예산군 등 8개 시·군이 있다. 이중 서산시 및 연기군은 편입면적이 미미하여 제외하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 공기업으로는 농업기반공사가 있으며, 관련 전문가로는 유역내·외에 위치한 대학의 교수 등도 참여가 가능할 것으로 판단된다.

한편 삽교천 유역내에서 활동하고 있는 시민단체로는 대전충남 녹색연합, 늘푸른 예산 21 협의회, 청양 포럼, 당진 환경운동연합, 천안·아산 환경운동연합, 아산 YMCA, 천안 YMCA, 홍성 YMCA 등이 있다.

(2) 관련기관의 역할

상기한 관련 기관의 현재 임무를 크게 정리해 보면 하천정비기본계획의 수립 및 시행,

하천구조물 관리, 재해대책 및 복구업무 등으로 요약 할 수 있다. 추후 삽교천 유역하천관리협의회 구성시 이러한 기능을 조율한다면 효과적일 것으로 판단된다. 관련 기관별 현재 임무는 다음과 같다.

<표 16.9> 관련기관의 주요 업무

관 계 기 관	관 련 임 무
대전지방 국토관리청 하천국 하천계획과, 하천공사과	○ 하천사업 시행계획 수립 및 공사감독 ○ 재해대책업무, 하천대장보완 작성, 수문조사
금강 홍수통제소	○ 수문자료 관측, 홍수예경보 운영
충청남도 건설교통국 복지환경국	○ 치수사업 및 하천정비기본계획 수립 ○ 홍수 등 자연재해대책 수립, 각종 하천관련업무
자자체 건설(행정)과	○ 하천,소하천 개보수 사업설계 및 공사, 유지보수
자자체 재난(안전)관리과	○ 재난예방, 긴급구조, 재난상황운영, 재해피해조사 및 복구
농업기반공사 충남본부	○ 하구언 유지관리, 수리시설물 건설 및 유지관리
농업기반공사 시·군 지사	○ 삽교방조제 및 예당지 관리 ○ 배수펌프장, 저수지 등 농업용 시설물 건설 및 관리

16.2.4 삽교천 유역하천관리협의회 구성 및 운영 방안

가. 유역하천관리협의회 구성

하천법 시행령에서 규정한 유역하천관리협의회 구성과 관련한 조항에 따르면 유역하천관리협의회 구성 인원은 30인 이내로 하며, '당해 유역의 주민 중에서 시·도지사가 추천하는 자'와 '수자원개발·하천·도시·환경·법률 및 경제에 관한 학식과 경험이 풍부한 자'를 전체 인원의 1/2이상 위촉하도록 명시하고 있다.

이러한 규정에 따라 삽교천 유역하천관리협의회는 건설교통부 대전지방국토관리청이 주관하며, 서산시와 연기군을 제외한 각 지자체 공무원 등 10인과 농업기반공사 관계자 2인 및 민간위원 13인 등 총 25인으로 구성하며, 업무의 효율을 위해 협의회 산하에 실무회를 두는 것으로 계획하였다.

협의회의 의장 대전지방국토관리청의 하천국장, 실무회의 의장은 대전지방국토관리청 하천국에서 삽교천 유역에 대한 업무를 담당하고 있는 하천공사과장이 각각 맡는 것으로 하고, 민간위원을 제외한 행정기관과 농업기반공사의 대표는 당연직으로 하는 것을 원칙으로 하였다.

협의회를 구성하는 민간위원은 충남도지사가 추천하는 자로 하되, 지역주민대표는 충남도지사의 위임을 받아 해당 지자체의 장이 추천할 수 있도록 하였다.

□ 하천법 시행령의 유역하천관리협의회의 구성 관련 조항

제7조의3 (유역하천관리협의회의 구성) ①법 제11조의2의 규정에 의한 유역하천관리협의회(이하 "협의회"라 한다)는 위원장 1인을 포함한 30인 이내의 위원으로 구성한다.

②위원은 다음 각호의 1에 해당하는 자중에서 건설교통부장관이 임명 또는 위촉한다. 이 경우 제2호 내지 제4호에 해당하는 자를 2분의 1 이상 위촉하여야 한다.

1. 관계 중앙행정기관 및 지방자치단체의 5급 이상 공무원중에서 소속기관의 장이 추천하는 자
2. 당해 유역의 주민중에서 시·도지사가 추천하는 자
3. 시민단체(비영리민간단체지원법 제2조의 규정에 의한 비영리민간단체를 말한다)에서 추천하는 자
4. 수자원개발·하천·도시·환경·법률 및 경제에 관한 학식과 경험이 풍부한 자

③위원장은 위원중에서 건설교통부장관이 지명하는 자가 된다.

④공무원이 아닌 위원의 임기는 2년으로 하되, 연임할 수 있다.

<표 16.10> 삽교천 유역하천관리협의회 구성(안)

관계기관	협 의 회	실 무 회	비 고
대전지방 국토관리청	하 천 국 장	하천계획 계장 하천공사 계장	당연직
금강 홍수통제소	통 제 소 장	조사과장	〃
충청남도	건설교통국장 복지환경국장	하천, 방재계장 도시계획 계장 수질관리계장	〃
천 안 시	부 군 수	재난관리과장	〃
아 산 시	부 군 수	재난관리과장	〃
홍 성 군	부 군 수	재난관리과장	〃
당 진 군	부 군 수	재난안전관리과장	〃
청 양 군	부 군 수	재난안전관리과장	〃
예 산 군	부 군 수	재난안전관리과장	〃
농업기반공사 충남본부	본 부 장	사업관리과장 유지관리과장	〃
농업기반공사 시·군 지사	지 사 장	유지관리과장	〃
시민대표	삽교천 유역내에서 활동하고 있는 시민단체 대표 4 인	대표 1인	위촉직
주민대표	삽교천 유역내 거주하는 주민 중 지자체 별로 각 1인 (서산시, 연기군 제외, 총 6 인)	대표 2인	〃
관련분야 전문가	충남도 지방하천 관리위원 3인	대표 1인	〃
계	25인	19인	

나. 유역하천관리협의회의 운영

유역하천관리협의회의 운영은 하천법 시행령의 관련 규정을 원칙으로 하며, 추가로 필요한 사항은 가칭 '삽교천 유역하천관리협의회 운영규정'을 제정하여 이에 따르는 것으로 계획하였다.

□ 하천법 시행령의 유역하천관리협의회의 구성 관련 조항

제7조의4 (협의회의 운영) ①위원장은 협의회를 대표하고, 그 업무를 총괄한다.
②위원장이 부득이한 사유로 직무를 수행할 수 없는 때에는 위원장이 미리 지명한 위원이 그 직무를 대행한다.
③협의회의 회의는 건설교통부장관 또는 위원장이 소집하며, 위원장은 그 의장이 된다.
④협의회의 회의는 재적위원 과반수의 출석과 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다.
⑤이 영에 규정된 것외에 협의회의 운영에 관하여 필요한 사항은 협의회의 의결을 거쳐 위원장이 정한다.

다. 유역하천관리협의회의 주요 업무

(1) 협의회의 업무

○ 삽교천 유역종합치수계획에 대한 각 지자체 및 관련기관의 의견을 수렴하여 최적의 방안 확정
○ 유역종합치수계획에 따른 각 지자체별 기본원칙 및 수행방안 협의
○ 삽교천 유역내 토지이용, 유출상황 모니터링 및 지형특성에 맞는 장래 유역개발계획에 맞는 유역개발계획 수립
○ 삽교천 유역관리에 필요한 재원조달 및 운영방안 협의

(2) 실무회의 임무

○ 협의회에서 협의한 내용 실천에 필요한 행정조치
○ 삽교천유역의 유역현황을 지속적으로 모니터링할 수 있는 시스템의 개발 및 각종 홍보계획 수립
○ 유역내 하천시설, 저류용구조물, 하천현황에 대한 자료유지
○ 기존 상·하위 계획 및 협의내용의 적정 실행여부 감독
○ 삽교천 유역내 하천관련 민원 파악
○ 재해대비 침수예측지도 및 재난 대피도 작성 비치

바. 삽교천 유역하천관리협의회 운영규정(안)

삽교천 유역하천관리협의회의 운영규정(안)을 다음과 같이 작성하여 제시하였다. 본 운영규정은 유역하천관리협의회 첫 번째 협의회 개최시 의결하여 시행하여야 할 것이다.

제1조(목적) 삽교천 유역하천관리협의회(이하 '협의회')는 기존의 일시적이고 단편적인 홍수방어 및 유역관리체계를 개선하고 보다 미래지향적이고 발전적이며 재해에 강한 삽교천 유역을 구축하기 위해 삽교천 유역에 포함된 지방자치단체간의 원활한 업무협조와 협의를 통한 종합적인 유역관리를 목적으로 한다.

제2조(기능) 협의회는 다음 각 호의 사항을 중점적으로 검토하고 협의한다.

○ 삽교천 유역의 이수/치수/환경을 고려한 전반적 유역관리 방안에 관한 사항

○ 삽교천 유역내 유역관리에 관련된 각 지자체 및 이해당사자간 의견수렴에 관한 사항

○ 삽교천 유역내 하천부지이용, 하천시설의 유지 및 관리에 관한 사항

○ 삽교천 유역종합치수계획에 관한 사항

○ 홍수재해지도 및 재난대피도 작성에 관한 사항

제3조(구성)협의회이 구성은 하천법 시행령의 관련 규칙을 따른다.

제4조(조직)협의회는 '별표 1'과 같이 협의회와 실무회로 구분한다.

제5조(협의회의장) 협의회의 의장은 대전지방국토관리청 하천국장으로 한다.

제6조(실무회의장) 실무회의 의장은 대전지방국토관리청 하천공사과장으로 하며, 실무외의 민간위원은 협의회에서 호선에 의해 대표를 뽑아 위임한다.

제7조(임무) 협의회의 각 조직의 임무는 다음과 같으며 유역종합치수계획과 관련된 세부업무는 다음과 같다.

○ 협의회의 임무

1) 하천의 정상적 기능유지를 위한 이수/치수/하천환경을 고려한 복합적인 계획에 관한 사항
2) 유역특성에 맞는 유역개발 및 관리계획 수립에 관한 사항

○ 실무회의 임무

1) 협의내용 실천에 필요한 행정조치에 관한 사항
2) 홍수시 재해관리에 관한 사항
3) 협의 내용의 홍보에 관한 사항
4) 유역내 하천형황 및 시설의 자료유지에 과한 사항
5) 유역내 하천관련 민원에 관한 사항

제8조(협의회의 운영) 협의회의 운영에 관한 사항은 하천법 시행령의 관련 규정을 따른다.

제9조(회의) 회의에 과한 사항은 다음 각 호에 따른다.

○ 회의는 정기회의와 수시회의로 나누며 정기회의는 상반기(4월)와 하반기(10월) 각 1회씩 개최하며 수시회의는 중요안건의 처리 및 의장의 요구가 있을 경우 소집한다.

○ 정기회의는 의장이 소속된 기관에서 개최하며 수시회의는 의장의 결정에 따른다.

○ 협의회에서 결정된 협의내용은 구체적이고 명확하게 문서로 작성되어야 한다.

○ 실무회는 협의회가 열리기 14일전에 협의안건을 의장에게 서면으로 통보하고, 의장은 안건제출일로부터 7일 이내에 각 지자체별 협의회에 안건을 회부한다.

○ 원활한 협의회진행을 위하여 각 지자체별 협의회, 실무회는 협의안건에 대한 내용을 충분히 검토하여야 하며 필요시 전문가의 의견을 반영할 수 있다.

○ 협의회는 전문가, 주민대표, 시민/환경단체의 참석이 필요하다고 생각될 경우 사전에 이를 협의 안건을 서면으로 통보하여야 한다.

제10조(회의록작성) 간사회 및 실무회는 협의회의 회의내용을 성실히 작성하여 보관하여야 한다.

제11조(자료제출요구) 원활한 협의회의 운영을 위해서 협의회에서는 각 지자체에 관련 자료에 대한 협조를 요구할 수 있다.

제12조(경비의 처리) 협의회의 운영에 필한 회의비 및 전문가 활동비는 각 지자체별로 분담하는 것을 원칙으로 하며 분담률에 대해서는 협의회에서 별도로 정한 바에 따른다.

제13조(협의 내용의 이행) 협의회에서 결정된 협의내용은 각 지자체에 서면으로 발송되어야 하며 각 지자체는 협의내용을 적극적이고 성실히 반영하여 효율적인 유역관리에 힘써야 한다.

제14조(협의내용조정) 협의회에서 결정된 협의내용에 관한 조정에 필요한 경우 각 지자체는 20일 이내에 조정사유를 포함하여 회장에게 서면으로 제출하여야 하며 회장을 필요시 관련지자체를 중심으로 수시회의를 소집할 수 있다.

제15조(기타사항) 본 운영지침은 첫 번째 정기협의회시 최종협의 후 유효하며 본 운영지침에 포함되지 않은 사항에 대해서는 이후 정기협의회 안건 상정시 추가 조항으로 정할 수 있다.

제16조(운영세칙) 협의회 운영에 관한 세칙은 협의회에서 따로 정한다.

< 별표 1 > 삽교천 유역하천관리협의회 구성

관계기관	협 의 회	실 무 회	비 고
대전지방 국토관리청	하 천 국 장	하천계획 계장 하천공사 계장	당연직
금강 홍수통제소	통 제 소 장	조사과장	〃
충청남도	건설교통국장 복지환경국장	하천, 방재계장 도시계획 계장 수질관리계장	〃
천 안 시	부 군 수	재난관리과장	〃
아 산 시	부 군 수	재난관리과장	〃
홍 성 군	부 군 수	재난관리과장	〃
당 진 군	부 군 수	재난안전관리과장	〃
청 양 군	부 군 수	재난안전관리과장	〃
예 산 군	부 군 수	재난안전관리과장	〃
농업기반공사 충남본부	본 부 장	사업관리과장 유지관리과장	〃
농업기반공사 시·군 지사	지 사 장	유지관리과장	〃
시민대표	삽교천 유역내에서 활동하고 있는 시민단체 대표 4 인	대표 1인	위촉직
주민대표	삽교천 유역내 거주하는 주민 중 지자체 별로 각 1인 (서산시, 연기군 제외, 총 6 인)	대표 2인	〃
관련분야 전문가	충남도 지방하천 관리위원 3인	대표 1인	〃
계	25인	19인	