

KDS 67 10 20 : 2018

# 농업용 필댐 설계

2018년 04월 24일 제정

<http://www.kcsc.re.kr>



농림축산식품부



### 건설기준 코드 제·개정에 따른 경과 조치

이 코드는 발간 시점부터 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

## 건설기준 코드 제·개정 연혁

- 이 기준은 KDS 67 10 20 : 2018 으로 2018년 04월에 제정하였다.
- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준의 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요사항	제·개정 (년. 월)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편	• 농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편 제정	제정 (1968. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 댐편	• 콘크리트댐에 관한 사항을 종합하여 댐편으로 개정	개정 (1982. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 콘크리트댐편	• 농업생산기반정비사업 계획설계기준 댐편으로부터 분리하여 콘크리트댐편 제정	제정 (1989. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편	• 농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편 개정	개정 (2002. 12)
KDS 67 10 20 : 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국토교통부 고시 제2013-640호의 “건설공사기준 코드체계” 전환에 따른 건설기준을 코드로 정비</li> <li>• 건설기술진흥법 제44조 및 제44조의 2에 의거하여 중앙건설심의위원회 심의·의결</li> </ul>	제정 (2018. 04)

제 정 : 2018년 04월 24일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

소관부서 : 농림축산식품부 농업기반과

관련단체(작성기관) : 한국농어촌공사(한국농공학회)

개 정 :   년   월   일

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

# 목 차

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고 기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호 정의 .....	1
1.6 댐 일반 및 형식결정 .....	1
1.7 친환경설계 및 수변정비 .....	5
1.8 저수용량 결정 .....	18
1.9 설계홍수량 결정 .....	28
2. 조사 및 계획 .....	43
3. 재료 .....	43
3.1 축제재료 .....	43
3.2 토질재료 .....	44
3.3 필터재료 .....	48
3.4 사석재료 .....	50
3.5 차수벽재료 .....	52
4. 설계 .....	53
4.1 기초설계 .....	53
4.2 표준단면설계 .....	76
4.3 침투수 및 간극수압검토 .....	92
4.4 안정성 검토 .....	113
4.5 기계 및 전기설비 .....	125
4.6 이설 및 진입도로 .....	166



## 농업용 필댐 설계

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

- 내용 없음

#### 1.2 적용범위

- 내용 없음

#### 1.3 참고 기준

- (1) 농지개량사업계획 설계기준, 1989 : 콘크리트댐편
- (2) 농업생산기반정비사업계획 설계기준, 2002 : 필댐편
- (3) 댐 설계기준, 2011

#### 1.4 용어의 정의

- (1) 댐높이 : 댐마루의 상류단을 통과하는 연직면과 기초면이 교차하는 최저기초지반의 표고차를 말한다. 기초지반에 지수벽의 저폭이 10 m 이상일 때는 지수벽 직하류의 기초지반을 최저기초지반으로 취한다.
- (2) 여유고 : 설계최고수위와 댐마루의 표고차를 말한다. 설계최고수위는 일반적으로 설계홍수위를 말하며, 게이트식 물넘이를 가진 댐에서는 평상시 만수위 또는 홍수조절시 만수위가 설계홍수위보다도 높을 경우는 높은 수위를 취한다. 댐마루에서 덧쌓기 높이는 포함하지 않으며 파라핏(parapet) 높이가 3 m 이상일 경우는 여유고에 포함시킨다.
- (3) 댐길이 : 댐마루에서 댐의 종단방향 총길이를 말한다. 양안 접속부의 굴착부분을 포함한다. 댐체에 접속해서 물넘이나 발전소 건물 등이 있을 경우는 이를 포함한 길이로 한다.
- (4) 댐부피 : 댐 전체부피를 말하며 상류비탈면의 사석공, 불투수성 블랭킷(blanket), 하류비탈끝의 토드레인(toe drain) 등 체체에 접속된 부분의 인공구조물체적은 모두 포함된다.
- (5) 비탈면기울기 : 비탈면의 수평길이와 수직높이의 비를 “할”로 나타낸 것을 말한다. 상·하류 사면의 평균기울기는 댐마루 상(하)류의 비탈머리와 상·하류 비탈끝의 수평차/표고차를 “할”로 나타낸 것을 말한다. 이 때 압성토가 있을 경우는 이를 포함시키며, 불투수성 블랭킷은 제외한다.
- (6) 덧쌓기 : 댐을 완성한 시점에서 댐 설계단면을 초과하는 부분을 말한다. 따라서 댐 완성시까지 이미 침하한 부분은 덧쌓기 중에 포함되지 않는다.

## 1.5 기호의 정의

- 내용 없음

## 1.6 댐 일반 및 형식결정

### 1.6.1 댐 일반

- (1) 댐높이는 댐기초지반의 최저점과 댐마루의 표고차를 말하며, 여유고는 설계최고수위와 댐마루의 표고차를 취하는 것을 원칙으로 한다. 댐길이는 댐마루에서 종단방향 댐의 총 길이를, 댐부피는 댐 전체 부피를 말하며, 비탈면기울기는 비탈면 수평길이와 수직높이의 비를 말하며, 덧쌓기는 댐을 완성한 시점에서 댐설계단면을 초과하는 부분을 말한다.
- (2) 필댐은 단면형상이 크고 저폭이 넓어서 기초에 전해지는 응력이 적고 댐 부근의 천연재료를 이용할 수 있으며, 시공의 기계화율이 높으나 댐체 구성재료가 괴상 또는 입자상의 흙과 돌이므로 침투수에 유의해야 한다.
- (3) 필댐은 콘크리트댐보다 단면형상이 크고 저폭이 넓으므로 댐체의 자중과 수압을 폭넓게 기초지반에 전달한다. 따라서 단위면적당 하중이 적고 단단한 암반기초에 비하여 지내력이 적은 풍화암이나 하천퇴적물 위에도 기초지반의 투수성에 대한 처리를 하면 시공할 수 있다. 특히 균일형 필댐은 설계시의 조건이 만족되면 거의 모든 지질의 기초지반에도 시공이 가능하다.
- (4) 필댐은 부근에서 구해지는 천연재료를 목적에 따라 이용하여 시공할 수 있으므로 도로의 개수, 보수 등을 포함한 운반비를 고려하면 운반조건이 나쁠 때 유리하다.
- (5) 필댐은 재료채취, 싣고 부리기, 운반, 성토 등 각 공정에서 대형기계의 기계화시공이 가능하여 인력이 거의 필요치 않고 또한 재료의 이용 범위가 넓어 시공의 경제성이 높다.
- (6) 필댐은 입상재료의 집합체로서 소성체이므로 활동파괴와 토질차수준에서 침투류에 의한 파이핑의 위험이 있고 제체가 침하하며, 유실되기 쉽다.
- (7) 댐의 활동에 대한 안전성은 보통 원호활동법으로 검토를 하고있으나 활동면이 직선, 곡선 또는 그 조합의 경우도 있으므로 이들도 고려하여 검토해야 한다.
- (8) 균일형이나 존형댐에서 침투류에 의하여 제체 재료가 유출되면 파이핑이 일어나 댐이 파괴되는 경우가 있으므로 구성재료 중에서 특히 미세립의 흡입자가 침투수에 의하여 유동되지 않도록 침투유속을 제한시키거나 적절한 필터를 설치하는 등의 배려를 해야 한다.
- (9) 한편 축제재료의 성질이나 시공법에 따라 약간의 차이는 있으나 댐체는 입상체의 집합체이므로 제체의 침하는 피할 수 없다. 따라서 필댐 위에 다른 구조물을 시공하는 것은 좋지 않으므로 물넘이와 기타 수리구조물은 댐본체와 떨어져서 설치한다. 또한 월류 또는 빗물, 파랑 등에 의한 침식에 대하여 약하다. 따라서 댐이 월류되면 흐르는 물에 의하여 재료가 유실되므로 결괴로 이어지므로 홍수량 산정시는 주의해야 하며, 설계홍수량에 대처할 수 있는 물넘이 단면을 결정하고 댐 높이도 충분한 여유를 가지도록 해야

한다.

## 1.6.2 댐형식 결정

- (1) 댐형식은 직접적으로 댐터의 지형, 지질, 기상, 수문, 지진 등의 자연적인 조건과 축제 재료의 종류 및 매장량, 교통관계 등 지역적인 조건 및 간접적으로 댐건설 목적, 규모, 공사기간, 기술력, 노동력, 건설장비 등의 조건 등 고려되는 모든 조건을 종합적으로 비교 검토한 후 안전하고 또한 공사비가 저렴한 것을 선정해야 하며, 이는 “KDS 67 10 05 1.2 설계의 기본”에서 규정하는 사항을 만족시켜야 한다.

### 1.6.2.1 일반사항

- (1) 지형, 지질이 양호한 댐터는 콘크리트댐의 시공이 가능하며, 기초지반이 불량하던가 퇴적층이 깊은 곳에서는 필댐이 유리하다. 일반적으로 댐터의 현상계수(댐길이/댐높이)가 적을 때는 댐부피가 적은 콘크리트댐이 경제적이다 하고 있다. 필댐은 콘크리트 댐보다 기초지반의 접지폭이 넓으므로 지반에 작용하는 응력이 적어 지반의 지지력이 적어도 된다. 경제성비교에서 필댐은 전체 공사비에서 차지하는 물넘이 공사비의 비율이 높아질 염려가 있으므로 신중히 검토해야 한다.

### 1.6.2.2 필댐 형식의 결정

필댐의 각 형식의 특성을 각 항목별로 정리하면 대략 다음과 같으며, 이러한 특성을 충분히 고려하여 필댐의 형식을 결정 한다.

#### (1) 댐의 높이

- ① 낮은 댐에서는 어떠한 형식을 취해도 구조상의 문제는 별로 없으나 일반적으로 시공이 간편하고 쉽게 댐체의 지수성을 확보할 수 있으면 단면이 단순한 균일형이 적합하다.
- ② 댐의 높이가 30 m 이상일 경우는 축제재료의 전단강도, 간극수압 발생 등의 문제가 있으므로 보통 균일형 이외의 형식으로 결정하는 경우가 많으며, 일반적으로 존형이 유리하다.
- ③ 높은 댐에서는 전단강도가 큰 재료를 사용할 수 있고 아울러 불투수존이 얇고 간극수압 소산이 빠른 것 등의 이유로 토석재료에 의한 존형 필댐이 유리하다.
- ④ 표면차수벽형은 댐 높이가 높으면 제체의 변형량이 증가하여 차수벽에 끼치는 영향이 크므로 불리하다.

#### (2) 재료의 성질과 양

- ① 댐터 부근에서 경제적으로 축제재료를 구할 수 있고 또한 댐 및 물넘이, 기타 부대구조물의 기초굴착에서 얻어진 암석, 자갈, 흙 재료의 선택범위가 광범위할 경우는 존

## 농업용 필댐 설계

형이 유리하다. 이 때 안정상 유효하도록 트랜지션이나 록존을 다시 구분하거나 랜덤을 설정하여 재료를 효과적으로 이용할 수 있게 해야 한다.

- ② 댐터 주위에 세립분이 비교적 많고 함수비가 많은 토질재료가 있는 경우는 쌓아 올리는 속도조절, 배수시설 등의 처리 때문에 균일형이 유리하지만 단면형식은 존형에 준하는 것이 좋다. 또한 이러한 재료를 불투수존에 사용할 때는 자갈이나 깬돌을 혼합하여 재료의 강도와 압축성 및 시공성을 개량하면 높은 존형댐에도 사용할 수 있다.

### (3) 지형

- ① 댐의 양안부가 급경사일 경우는 댐체의 부등침하가 일어나기 쉬우므로 차수존형이나 표면차수벽형은 적합하지 않다. 존형으로 할 경우도 높은 댐에서는 불투수성존의 두께를 충분히 취하거나 재질을 잘 개량하여야 한다.
- ② 댐 양안부의 원지반 형상에 따라서는 경사차수존형이 투수상 또는 댐부피면에서 유리하나 댐이 높을 때는 경사차수존형은 댐체의 변형이 문제가 되는 경우가 있으므로 주의해야 한다.

### (4) 지질

- ① 기초가 암반이면 어느 형식으로 결정해도 좋으나 변형량이 큰 연암 또는 다공질의 암, 균열이 발달된 암의 경우는 인공재료의 코어형이나 표면차수벽형은 부적합하다.
- ② 기초가 토질이면 균일형이 가장 적합하며, 사력 등의 투수성기초이면 균일형이나 존형이 적당하고 특히 블랭킷공법으로 할 경우는 경사차수존형이 구조설계상 유리한 경우가 많다.

### (5) 기상조건

- ① 한랭지나 강우가 많은 지방에서는 토질재료의 함수비가 높아서 시공성에 예민하게 영향을 주어 시공가능일수에 많은 제한을 받으므로 토질재료가 많이 필요한 균일형은 불리하다.
- ② 일반적으로 투수성재료는 기상조건에 영향을 비교적 적게 받으므로 투수단면이 큰 경사차수존형이 강우가 많은 계절에도 차수존 외에는 시공할 수 있으므로 유리하다.
- ③ 공사기간을 단축해야 할 경우는 불투수성존에 발생하는 간극압을 되도록 빨리 소산시키기 위하여 불투수성존의 두께를 얇게 하고 투수성존의 두께를 크게 하거나 배수시설을 계획할 수 있는 존형이 유리하다.

### (6) 저수지의 용도

- ① 홍수조절용 방재댐이나 양수발전용 등과 같이 공용인 댐의 경우는 수위가 급강하하는 일이 빈번하므로 중심에 차수존이 있는 존형이나 표면차수벽형이 유리하다.

### 1.6.2.3 댐형식 결정시 대안비교 방법

전술한 댐형식 결정시의 고려사항을 유의하여 답사 및 기본조사 자료를 가지고 일반적으로 다음과 같은 사항을 비교 검토한다.

#### (1) 댐 기초지반

- ① 토질 및 지질조사 자료를 이용하여 토질과 암질(강도), 암반의 분포상태, 단층 및 파쇄대유무 등을 검토한다. 뿔댐의 경우는 기초지반의 반력이 콘크리트댐보다 적어서 일반적으로 기초지반의 건조밀도가 다짐한 성토의 건조밀도 이상이면 기초지반으로서 양호하다고 볼 수 있다.

#### (2) 재료 구득

- ① 뿔댐의 경우는 일반적으로 댐 예정지 부근에서 성토재료를 쉽게 구할 수 있으나 자연환경보호지구로 되어있는 경우는 문제점이 있으므로 취토장을 먼 곳에 선정해야만 하는 경우도 있다.

#### (3) 댐 형식

- ① 주변에서 양질의 점토와 포토재료를 쉽게 구할 수 있으면 존형 어스필댐이 유리하고 주변에서 사력재료를 쉽게 구할 수 있는 경우는 록필댐이 유리하다.

#### (4) 수몰지 조건

- ① 댐위치에 따른 수몰지의 농경지매수, 이설도로, 이주민 및 민원 대책 등을 검토한다.

#### (5) 종합검토

- ① 전술한 바에 따라 댐형식이 뿔댐과 콘크리트댐 두 종류가 제안되었을 때는 환경영향평가 결과와 함께 종합적으로 검토하여 댐형식을 채택한다.

## 1.7 친환경설계 및 수변정비

- (1) 갈수기에 적절한 하천유지용수를 댐에서 공급하여 댐 하류하천의 건천화를 방지하고 정상적인 하천환경과 생태계가 유지되도록 하여야 한다. 댐 건설 시에는 자연훼손을 최소화하고 자원활용을 최대화하는 개발방법을 선정하여야 한다. 댐 건설 후에는 자연환경과 인공구조물이 조화를 이루는 친수녹지 공간을 조성하여 주민들이 쉽게 접근하여 활동함으로써 삶의 질을 향상할 수 있도록 한다. 갈수기에도 적절한 하천유지용수를 댐에서 공급할 수 있도록 저수용량 설계시 이를 고려하고, 환경친화적 설계와 관리로 지속 가능한 농업용수 개발과 관리가 되어야 한다.
- (2) 물 사용량의 증가로 많은 지역에서 과도한 하천취수로 인하여 하류하천 유량이 상류보

## 농업용 필댐 설계

다 줄고 있으며, 저수지와 지하수 수위는 현저히 감소하고 있다. 유역에서 배출되는 오염물질의 부적절한 처리로 인하여 하천과 저수지 수질은 오염되고, 수생 생태계는 심각하게 위협받고 있다. 식량증산은 품종개량, 화학비료와 농약 투입과 함께 관개시설의 활성화에 기인한 바 크다. 따라서, 물 수요량에 대응하는 공급량의 부족으로 신규 수자원 개발이 불가피할 것으로 추정하고 있다. 물 부족이 예상되는 상황에서 어떻게 환경친화적 설계와 관리로 지속 가능한 농업용수의 개발과 관리가 철저히 요구되고 있다.

### 1.7.1 기본개념

- (1) 저수지 설치 시 자연경관과 주요 생태계와의 영향을 최소화하고 저수지의 수질관리에 필요한 조사를 통하여 환경보전계획을 검토한다.
- (2) 저수지 유역의 환경보전을 기초로 지역주민과 인근 도시민의 휴식, 리크레이션, 자녀교육의 장소 제공을 위한 친수녹지공간조성 방안에 대해서도 검토한다.
- (3) 농촌용수개발사업 추진이 환경에 미치는 영향을 최소화하고 관련시설물 및 공간이 주민생활에 활용될 수 있도록 최선의 개발전략과 대안을 마련하고 지역주민 및 관련기관의 의견을 최대한 수렴한다.
- (4) 친환경적 댐·저수지설계는 농촌지역의 생활·농업·공업·환경용수 등을 확보하는 동시에 자연환경과 인간 활동이 조화를 이루는 지속 가능한 개발을 하여 농업의 공익기능을 최대한 살리면서 환경보전과 개발이 조화를 이루도록 한다. 수질개선, 생태계보전, 문화재보호 방안 등에 대해서는 관련분야 전문기관 및 전문가의 의견 수렴과 더불어 도움을 받을 수도 있다. 이를 위해서는 조사단계별로 다음의 환경조사를 실시하여 설계에 반영하여야 한다.

### 1.7.2 댐이 환경에 미치는 영향

- (1) 댐·저수지 기능의 긍정적 효과를 극대화하고 부정적 환경영향을 최소화하는 노력이 필요하다. 댐·저수지 건설은 생활·공업·농업용수공급, 수력발전, 내륙운하, 홍수피해경감, 갈수량 증대, 위락시설 등 긍정적인 개발효과가 큰 반면, 환경에 미치는 부정적 영향도 있게 마련이다. 댐이 환경에 미치는 영향은 물리적 영향, 생화학적 영향 및 인간에 미치는 영향에 대한 대책을 수립해야 한다. 이러한 부정적인 생물학적 영향에도 불구하고 저수지는 보다 큰 긍정적인 효과가 있기 때문에 물 관리 기술자는 생물학자들과 협력하여 부정적 영향을 극복해야 한다.
- (2) 건설기간 중에는 대규모 토공작업에 따라 주위에 교통장애가 야기되고 소음과 먼지, 하천수질오염이 발생되므로 이를 최소화할 수 있는 현장에 적합한 사전조치를 취해야 한다.
- (3) 건설 후에는 문화유적지 수몰, 저수지 수변 포락과 산사태 발생, 저수위변화, 퇴적물, 부영양화발생, 냉해피해, 지하수위 및 지하수량 변화, 하류하천 및 저수지의 유황변화 및 위락시설에 의한 오염 등이 우려되며 이를 최소화할 수 있는 조치를 취해야 한다.

### 1.7.3 댐형식과 친환경적 설계

- (1) 댐 형식은 안전성, 경제성, 환경친화성을 고려하여 적합한 형식을 선정한다. 자연훼손을 최소화하고 주변경관에 잘 어울려야 한다.
- (2) 댐 형식은 댐터의 지형, 지질, 기상 및 수문, 축제재료의 종류 및 매립량 등의 자연조건과 댐의 이용목적, 규모, 공사기간 등을 종합적으로 검토하여야 하며, 자연훼손을 최소화하고 주변경관에 잘 어울리도록 선정한다.

### 1.7.4 유역변경 댐건설이 환경에 미치는 영향

- (1) 수자원의 급증과 지역적 불균형으로 수자원이 풍부한 지역의 남는 물을 부족한 지역으로 분배하는 유역변경에 의한 이수광역화 사업이 필요하다. 다만, 기본적으로 현재 시스템으로 이용가능한 수자원 효율을 높여야 한다. 또한 물류유통, 관광, 자연환경과 사회문제까지 종합적으로 평가해야 한다. 최근 유역변경에 의한 이수광역화 사업에 대한 관심과 구체적 계획이 확대되고 있다. 그러나, 유역변경에 의한 수자원개발에 앞서 현재 시스템으로 이용 가능한 수자원의 효율을 제고하는 것이 기본이다.
- (2) 유역변경 댐 건설의 필요성: 유역변경 댐에 의한 수자원개발에 앞서 현재 시스템으로 이용 가능한 수자원의 효율을 제고하는 것이 가장 중요하다. 즉 물 사용기술의 개선과 물을 적게 쓰는 산업으로의 대체, 절수와 자체 유역 내에 저수지 건설에 의한 현지 수자원 공급량 증대 등 수자원을 가장 효율적으로 이용한 뒤에 최종대안으로 유역변경에 의한 수자원개발로 효율적인 지역적 재분배를 계획하여야 한다. 또한 물류유통, 관광, 자연환경과 사회적 문제까지 종합적으로 평가해야 한다. 우리 나라에서도 수자원 수요-공급의 지역적 불균형으로 유역변경에 의한 댐건설의 필요성이 점점 증대하고 있다. 섬진강 섬진댐에서 동진강으로 농업용수공급, 낙동강 영천댐에서 형산강으로 공업용수, 한강 도암댐에서 남대천으로 발전용수, 섬진강 주암댐에서 영산강으로 생활용수, 금강 용담댐에서 만경강으로 생공용수를 공급하는 것은 대표적인 유역변경에 의한 수자원개발이다.
- (3) 유역변경 댐 건설의 고려사항: 대규모 유역변경 댐 건설에 고려해야할 사항에는 기술적, 사회·경제적, 법적·정치적 및 환경보전적 측면 등 네 가지 측면이 있다.
- (4) 기술적 측면은 사업을 수행하고 운영을 관리하는 것이 목적인 반면, 사회경제적 측면과 환경보전적 측면은 사회의 순이익을 극대화시키는 것과 환경의 최적조건을 보전하는 것으로 자연파괴의 최소화를 목적으로 하기 때문에 개발을 억제하는 기능이 있다. 기술적 측면이 강조되다가 경제성을 검토하게 되었고, 뒤이어 환경을 고려하게 되었다. 경제적 효율은 대단히 중요한 사업의 판단기준이 되며 Howe & Easter의 관계식에 환경에 미치는 제반영향(대기, 수질, 소음 등)을 환경비용(EC)으로 나타내면 다음식과 같다.

$$(DB_m + SB_m) + (DB_t + SB_t) > (DC_x + SC_x) + SC_c + TC + EC$$

$$TC + [(DC_x + SC_x) - (DB_t + SB_t)] < TC_a + EC_a$$

## 농업용 필담 설계

여기서,  $DB_m + SB_m$  : 물을 받는 지역의 직·간접이익,  
 $DC_x + SC_x$  : 물을 보내는 지역의 직·간접손해,  
 $DB_t + SB_t$  : 통과지역 직·간접이익,  
 $SC_c$  : 경쟁적 지역의 간접손해,  
TC : 현재안 총비용,  $TC_a$  : 최선안 총비용, EC : 환경비용

그러나 환경비용을 금액으로 환산하는 것은 대단히 어려운 문제이지만 평가해야 한다.

- (5) 대규모 유역변경 댐 건설사업은 경제성만으로 평가할 수 없고 종합적으로 평가해야 한다. 평가방법은 정형화된 것도 없고 전문가 평가, 모의발생게임, 최적화 모형, 모의발생 모형 중에서 어느 방법을 선택할 것인가도 문제이다. 우리 나라는 수자원개발에 앞서 경제성 분석으로 사업의 타당성을 평가하였으나 1982년부터는 환경보전법에 따라 환경에 미치는 영향도 평가하도록 규정하고 있다.
- (6) 수리권은 하천유량을 배타적, 독점적으로 사용하는 권리를 뜻하는 것으로 하천의 자연유량은 강우와 기후에 따라 변화한다. 유역변경에 의한 댐 건설에 앞서 지역적, 국가적, 국제적 측면과 법적, 정치적 측면에서 수리권에 대한 검토가 반드시 이루어져야 한다.
- (7) 미기상, 대기, 기상변화의 가능성, 특히, 증발량 증가와 안개발생 증가도 검토해야 한다. 유역변경 댐 건설은 재할용이 가능한 자연자원과 인간의 보건위생에 미치는 영향도 검토되어야 한다.
- (8) 환경에 미치는 영향 : 유역변경에 의한 댐 건설이 환경에 미치는 영향에는 수문학적 변화, 유기물오염, 토양, 침식과 퇴적, 생태계 변화, 보건위생 등이 있다. 주무 중앙행정부서는 환경영향평가(EIA) 초안을 작성해야 한다. 이 초안은 관련 부서와 공공기관 및 시민단체의 의견을 종합하기 위하여 공람한 뒤, 의견을 종합한 개선안을 각 기관에 회신해 주어야 한다. 적극적으로 악영향을 경감할 수 있는 대책의 제시, 개발방향의 전환, 또는 사업중단 등을 포함할 수 있다. 합리적인 환경영향평가를 위해서 반복적, 공개적으로 시민이 참여하는 개념도입이 필요하다. 이는 사업수행자로 위임받은 기술전문가들에 의하여 계획된 사업내용이 시민의 관심을 반영할 수 없기 때문이다. 또한 문제점 제시, 대비안 작성, 영향평가, 사업순위 결정 등 전통적인 4단계를 반복적으로 추진하며 각 단계별로 진행과정에 따라 상호보완적으로 추진하는 것이 바람직하다.

### 1.7.5 수변정비의 기본개념

- (1) 지역주민 및 인접 도시민의 휴식·여가공간 및 자녀 교육의 장소로 활용할 수 있는 저수지 주변정비를 지형, 공간이용 및 토지이용을 고려 하여 시설물 및 공간조성 계획을 검토한다.
- (2) 교육적·휴식 및 레크레이션 목적의 접근이 양호한 지역, 생태적 환경이 잘 보전되어 있고 물을 포함한 다양한 서식환경을 지닌 지역, 자연환경이 파괴되어 복원이 필요한 지역 등 입지조건을 고려해야 한다. 사회적 가치관의 변화에 따라 지금까지 방치되었던 저수지 수변(水邊)을 물과 숲이 있는 아름다운 자연환경을 보전, 정비하여 지역주민과 도시민에게 휴식공간을 제공하도록 저수지의 친수기능을 강화해야 한다.



## 1.7.6 저수지 주변정비

### 1.7.6.1 지형에 따른 지역구분

#### (1) 산림계곡

- ① 산림생태계와 계곡생태계를 이해하고 표고와 사면에 따른 다양한 임상구조에 관한 자연학습을 할 수 있다.
- ② 산림·계곡보존지역, 관찰지역, 인공서식환경시설지구 등을 포함한다.
- ③ 다양한 학습공간을 제공함과 동시에 심신단련을 통한 정신적 건강을 위해 시설지구(삼림욕 등)의 도입이 가능하다.

#### (2) 초 지

- ① 산림과 저수지를 연결하는 추이대로서 다양한 동·식물이 서식할 수 있는 환경을 조성하고 생태적으로 자연천이가 되는 과정을 학습을 할 수 있다.

#### (3) 담수지

- ① 저수지로 유입되는 하천의 하류지역에 조성되는 것으로, 자연자원을 보전하고 이용하여 식생구조 및 식물관찰을 목적으로 하여 점이지대로서의 중요성을 일깨워주는 공간을 조성한다.
- ② 수공간의 형태에 따라 특징지어지는 생태적 특성과 육지와 연결되는 점이대의 공간으로 다양한 생물서식환경을 이해하고 체계적 공간별 학습을 할 수 있다.

### 1.7.6.2 공간이용에 따른 지역 구분

공간이용정도에 따라 자유허용, 제한허용, 절대보전 지역으로 구분한다.

#### (1) 자유허용지역

- ① 인공시설물 위주의 공간으로 생태공원의 중심역할을 담당하며 관찰동선의 출발점 및 도착지의 역할을 한다.
- ② 방문객센터(visitor center)나 광장을 두어 쉽게 접근할 수 있도록 하며 관리 및 실내 학습의 공간 등이 도입될 수 있다.
- ③ 이벤트 공간을 통한 리크레이션 지구 등으로 자연과 친근감을 가질 수 있는 공간

#### (2) 제한허용지역

- ① 초지, 산림, 연못, 습지 등의 자연학습 공간으로 관찰로를 따라 안내원의 지시에 따라 소그룹별로 관찰 및 체험을 할 수 있는 지역
- ② 다양한 소생물권(biotope)을 조성하여 종 다양성을 촉진시키고 생태적 안정화를 꾀할 수 있는 지역

#### (3) 절대보전지역

- ① 서식처보호지역으로써 기존 수변이 낮고 갈대 등 서식환경이 잘 조성되어 있으며, 은신처의 조건이 충족되어 있는 장소로서 인간의 간섭을 배제할 수 있는 지역
- ② 관리를 위한 출입을 제외하고는 일체의 접근을 할 수 없도록 한다.

### 1.7.6.3 토지이용에 따른 지역구분

전체 토지이용계획을 살펴보면 기존 저수지설계의 기능적인 설계보다는 환경친화적 측면을 고려하여 간섭(활동)정도와 공간이용의 정도에 따라 자유허용지역, 제한허용지역, 절대보전지역으로 구분한다. 그리고 지형단면에 따라 산림계곡, 초지, 담수습지로 구분하여 저수지의 생태적인 특성을 잘 나타낼 수 있도록 기본적인 토지이용 계획기준을 설정한다. 이를 바탕으로 생태공원에 도입될 수 있는 활동유형들을 수용할 수 있도록 공간을 세분화한다.

#### (1) 자유허용지역

- ① 자유허용지역에는 인간활동의 중심역할을 하는 공간과 인공시설물위주의 공간으로 관리시설지구, 편익시설지구, 리크레이션지구, 휴식 및 여가지구 등 토지이용이 가능하다.

#### (2) 제한허용지역

- ① 제한허용지역에는 인간의 활동이 이루어지기는 하나 환경에의 영향이 적은 관찰·학습지구, 연구시설지구 등의 토지이용이 가능하다. 관찰·학습지구는 저수지의 생태적인 특성을 지형단면에 따라 구분하여 관찰할 수 있도록 습지지구, 초지지구, 산림지구로 구분한다.

#### (3) 절대보전지역

- ① 절대보전지역은 동식물의 서식환경이 조성되어 생태적인 가치가 높은 공간으로 야생조류보전지구, 서식처보전지구 등의 생태기반시설지구의 토지이용이 가능하다.

#### (4) 친수녹지공간 정비

- ① 저수지 수면은 매력적인 경관요소이며 주변 수림과 더불어 인근 주민의 휴식 및 관광목적으로 활용할 수 있는 가능성이 크다. 환경친화적 관점에서 환경교육, 휴식, 오락적 기능을 수용하기 위해 저수지 설계에 생태공원의 개념을 근거로 하는 친수녹지공간 조성을 검토한다.
- ② 저수지는 유역의 홍수조절, 농업생산을 위한 관개, 휴양과 휴식 및 생태적 기능을 갖고 있으면서, 독특한 경관을 유지하고 있다.
- ③ 저수지 수변 친수녹지공간 정비에는 생태공원조성, 저수지수면 활용시설 및 녹색공간 조성 등이 있다. 이러한 저수지 친수녹지공간 정비를 계획하는데는 단계별로 적절한 동선체계에 따라 수립하는 것이 중요하다.

#### (5) 생태공원조성

- ① 생태공원은 자연의 생태적 원칙과 지역의 자연적, 역사적 특성에 입각하여 자연지역과 유사한 야생동식물의 서식처를 제공하고 생태적 과정이 일어나게 함으로써 자연생태계의 보전 및 복원, 생태적 순환과정의 회복, 그리고 자연관찰 및 교육의 기회를 제공하기 위하여 조성되는 공원이라 할 수 있다. 이러한 생태공원의 입지조건으로 고려되어야 할 사항들은 다음과 같다.

가. 생태환경이 잘 보전되고 물을 포함한 다양한 서식환경을 지닌 지역

- ㉠ 특정한 생태환경이 잘 보전되어 생태공원으로서 잠재력이 높은 지역
- ㉡ 저수지나 하천과 같이 물을 포함해 수변생태계와 육상생태계의 특징을 잘 보여주는 지역

나. 자연환경이 파괴되어 복원이 필요한 지역

- ㉠ 도시화의 확장으로 파괴되어 가는 지역의 보호와 회복이 필요한 지역
- ㉡ 방치된 지역과 이전의 기능이 상실된 지역
- ㉢ Green network의 거점으로서 인공적으로 조성하는 경우

다. 접근성이 확보되어 교육적·오락적 목적의 접근이 가능한 곳 등이다.

- ㉠ 저수지의 물은 수면으로써의 매력적인 경관요소일 뿐 아니라, 저수지 물과 유입하천, 수위변동으로 인한 습지, 수변, 주변의 산림, 농지, 초지 등의 자연환경요소는 수중생태계와 육상생태계가 만나는 곳으로서 다양한 서식환경을 조성하게 된다.
- ㉡ 생태공원의 역할에는 생물다양성 증대에 기여, 생태적 순환과정 확립, 생태학습공간의 제공, 생태네트워크 거점 등에 있다.
- ㉢ 저수지는 생태공원의 역할과 기능에 대한 양호한 입지조건을 갖추고 있으며, 그 잠재력이 매우 높다. 따라서, 생태공원의 입지조건 및 역할을 충분히 이해하고 저수지 설계시 생태공원의 개념을 근거로 친수 및 녹지공간 조성방안을 적극적으로 검토하여야 한다.

#### 1.7.6.4 저수지 수면 활용시설 및 녹색공간 조성

##### (1) 저수지 수면 유지용수

- ① 지역자원을 유효하게 이용하기 위하여 저수지를 관광자원으로 이용하려는 것은 당연하고, 커다란 사회적 요청이 되고 있다. 농업수리시설을 관광시설로 이용하는 것은 농어촌정비법에 기초한 규정에 따라 가능하다.
- ② 농업기반공사 재산의 타목적 사용 및 수익사업이 가능하지만, 이 경우에는 재산 본래 용도와 목적을 방해하지 않는 범위내에서 농수산부장관의 승인을 얻게되어 있다. 타목적으로 사용하여 얻은 수입은 관리수탁자에게 귀속한다.
- ③ 저수지 수면을 관광자원으로 이용하려면 원래의 저수지 목적인 관개용수와 농촌관광용수 사이에 저수지 수위와 수질에 대한 조정이 필요하다.

#### 1.7.6.5 저수위의 원활한 조정과 유지

- (1) 관광을 위한 저수위 유지측면에서만 보면 가급적 저수위를 높게 유지하기를 바라지만, 관개용수측면에서는 필요한 용수를 자유롭게 방류하기를 바란다. 관광사업자와의 계약서에는 농업수리 우선 원칙이 명기되어야 한다. 그러나, 관개용수측에서도 관광지 존재는 경제적 이득이 있으므로, 관광에 협조하기 위하여 농업용수 사용을 가급적 줄이려는 경향이 있게 된다. 관개저수지는 10년 빈도 갈수를 대상으로 계획된 경우가 많

## 농업용 필담 설계

아 평균 10년에 1번은 댐 바닥이 드러나게 된다. 따라서, 매년 수위가 매우 낮아지는 저수지는 관광이용의 대상으로 적합하지 않고, 도시화에 따라 관개면적이 상당히 감소한 도시근교지구에서나, 자기 구역외에 별도의 간접유역이 있어 그곳으로부터 풍부한 유입량을 기대할 수 있는 도시 근교지구에서는 관광이용의 대상으로 좋은 조건을 가지게 된다. 또는, 관광 성수기(4월~11월)에 수위가 낮을 때에는 주위에 관정을 설치하여 지하수를 양수하여 저수지에 유입시킬 수도 있다. 보트 승선장은 지형에 따라 차이는 있지만 보통 저수위가 3m 이상 낮아지면 승선에 문제가 있고, 양어의 경우에는 수위가 급격히 저하하거나 댐이 바닥이 드러나는 경우는 피해야 한다.

### 1.7.6.5 저수지의 수질 보전

- (1) 관광지가 되면 사람이 많이 모이게 되어 적절한 대책을 세우지 않으면 수질은 나빠진다. 여기에 관해서도, 관광측과 조합간에 계약에서 엄격히 규정되어야 한다. 많은 경우에, 식당에서의 배수는 별도로 정화하여 하천으로 방류하던가, 토양식 처리방법으로 지하에 침투시키던가 한다. 이 경우에도 간접유역에서 유입량이 많으면, 저수지의 물의 회전수가 많은 경우에는 수온이 상승하는 것을 억제하기도 하므로 좋은 조건이 된다. 한편, 여름에 수위가 낮아지면 수온이 상승하고 이끼와 프랑크톤이 번성하여 수질이 악화된다.

### 1.7.6.6 저수지 수변 활용 레저시설

- (1) 여가활동은 정신과 마음에 활력을 재충전하는 행락형과 몸과 신체를 단련하는 스포츠형으로 구분할 수 있으나 보통 둘을 동시에 충족할 수 있는 방법을 모색하게 된다. 이러한 욕망은 자연스럽게 산이 있고 물이 있는 대자연 찾게 되며, 이처럼 산이 있고 물이 있는 곳이 농업용 저수지이다. 농업용 저수지를 활용하여 “레저” 시설을 설치함으로써 국민정서에 부합하고 국토의 균형발전을 도모하며 증가되는 여가활동을 건전하게 유도할 수 있다. 농업용 저수지를 활용할 수 있는 수상 레저시설로는 수영장, 스피드 보트 및 수상스키장, 조정, 윈드썰핑 및 수상골프연습장 등이 있다.

### 1.7.6.7 동선체계

- (1) 이러한 저수지 친수·녹지공간 정비를 계획하는데는 적절한 동선체계에 따라 수립하는 것이 중요하다.

### 1.7.6.8 동선별 계획

- (1) 저수지 설계에 생태공원의 개념을 도입하려면, 차량진입 허용정도를 최소화하고 동선체계를 3단계로 계층화하는 원칙을 설정한다. 전체적인 동선체계를 주동선, 보조동선 및 관찰로, 차량동선 및 서비스도로 나누며, 계획 대상지 내에서는 보행동선을 위주로 한다. 차량동선 및 서비스도로는 방문객센터가 위치한 편익시설지구까지만 진입을 허

용하고, 비상차량을 위한 동선은 보행로를 이용하는 것으로 한다. 주동선은 각 지구의 중심부를 연결하는 보행로 및 자전거도로로 구성되며, 보조동선 및 관찰로는 대상지 내의 자연에 대한 흥미유발과 동시에 자연현상에 대한 이해와 경험을 돕고, 교육적 효과를 얻고자 하는 목적으로 주관찰로, 보조관찰로, 습지 관찰로로 구성된다.

#### 1.7.6.9 동선체계의 유형

##### (1) 순환형

- ① 주 출입구를 중심으로 자전거 동선과 보행동선이 저수지를 순환하면서 각 공간단위를 루프형식으로 연결하는 형식이다.
- ② 평지형 저수지와 같이 주변을 순환할 수 있는 공간이 있는 저수지에 유리하다
- ③ 저수지 주변을 모두 관찰할 수 있는 장점이 있으나, 저수지 주변이 모두 인간의 행위에 노출된다는 단점이 있다.

##### (2) 부분순환형

- ① 순환할 수 없는 지역이 있는 경우, 이를 제외한 공간을 순환하면서 각 공간단위를 연결하는 형식이다.
- ② 계곡형 저수지와 같이 주변일부가 급경사지나 절벽과 같이 접근이 불가능한 지역이 존재하거나, 절대적으로 보존해야 할 지역이 있는 경우에 적용할 수 있다.
- ③ 접근가능한 지역이 동선을 순환시킬 만한 공간이 충분할 때 적용할 수 있는 유형이다.

##### (3) 비순환형

- ① 순환할 수 없는 지역이 있는 경우, 이를 제외한 공간을 선형으로 연결하는 형식이다.
- ② 저수지 주변 일부가 급경사지나 절벽과 같이 접근이 불가능한 지역이 존재하거나, 절대적으로 보존해야 할 지역이 있는 경우에 적용할 수 있다.
- ③ 접근가능한 지역이 동선을 순환시킬만한 공간이 부족할 때 적용된다.

#### 1.7.6.10 호안 정비

- (1) 저수지 호안은 육지생태계와 담수생태계가 만나는 전이지대로 다양한 생물서식처를 제공하는 공간이므로 육지생태계와 담수생태계의 단절을 방지하기 위하여 자연생태계를 고려한 호안정비방안을 검토한다.
- (2) 저수지 호안을 생태적으로 건강하고, 자연경관과의 조화롭고, 주민의 여가교육공간으로의 활용성을 높일 수 있도록 호안을 정비해야 한다. 호안 정비공법은 생태적으로 중요한 역할을 담당하는 저수호안을 생태적으로 재생시키고자 하는 것이다.
- (3) 국토의 도시화에 따라 토지이용이 증대되고 하천 유역에서의 생산 활동이 증대되면서 하천은 이수, 치수 기능만을 고려한 배수로 기능을 담당하는 하천이 되어왔다. 생태공학을 이용한 호안처리방법은 스스로를 보호하는 자생력을 이용하게 된다. 일단 식생의 안정화가 구축되면 식생은 자기 유지가 가능하다. 살아있는 식물들이 홍수나 유사퇴적

에 의한 상태의 변화와 같은 외부의 힘에 의해 충격을 받았을 때 식물들은 재생과 적응이 쉽다.

#### 1.7.6.11 호안(갈수위와 홍수위 사이)사면의 식생 처리

- (1) 저수지 갈수위와 홍수위 사이의 호안사면과 하천의 저수지 유입부의 하천수위변동과 수면에서 이는 파도에 의해 사면에서 발생하는 침식을 방지하고 주변 환경과 조화를 이루며 경관적으로 바람직한 식생에 의한 사면처리 방법의 설계요소를 고려하여야 한다.
  - ① 식재 대상지역은 경관적으로 민감한 돌출부위와 생태서식공간을 우선 검토한다.
  - ② 수종 선정시 유지관리가 용이하고 자연환경에 적응 가능한 수종을 선정한다.
  - ③ 저수지 주변의 토양분포 및 사면경사를 고려한다.
  - ④ 토양환경의 변화시 인위적 에너지 투입량 최소화한다.
  - ⑤ 주변의 식생과 식재 목적을 고려한다.
  - ⑥ 인간의 이용에 따른 인위적 간섭작용을 고려한다.

#### 1.7.6.12 수변지구(갈수위에서 평수위의 완만한 경사지)의 식재계획 및 설계

- (1) 저수지의 하단부에는 댐구조물과 여수로가 위치하고 상단부에는 유입하천이 있다. 그리고 저수지 주변으로는 일반적으로 담수지, 초지 또는 농지, 산림지가 단계적으로 나타난다. 따라서 이러한 토지피복상태를 고려하고 경관생태학적 원리를 도입하여 식재계획을 수립하고 설계한다.
  - ① 저수지의 식생 구조를 고려하여 단계별로 구분하여 설계한다.
  - ② 관찰테크를 따라 다양한 식물의 관찰과 경관을 고려하여 식재한다.
  - ③ 생태학적 추이대로 다양한 생물이 서식할 수 있도록 설계한다.
  - ④ 습기가 많은 곳에서 잘 자랄 수 있는 식물재료를 택한다.
  - ⑤ 수생식물을 이양하지 않아도 자연적으로 수생식물이 번식하도록 유도한다.
  - ⑥ 비오톱(biotope)이 형성되면 이에 적응할 수 있는 동·식물이 자생하게 되므로 처음부터 지나친 경관용 식재를 피한다.
  - ⑦ 침식 위험이 있을 때에는 토목용재료(무생명재료)를 혼합하여 침식에 의한 피해를 가능한 한 최소화한다.
  - ⑧ 수역을 정비할 때는 수변선에 다양한 변화를 주어 급경사지, 완경사지, 돌출부분, 섬 등을 조성하고 특성을 살릴 수 있도록 식재하여 생물상이 풍부하게 한다.

#### 1.7.6.13 진입 및 이설도로

- (1) 저수지의 진입 및 이설도로 건설에 따른 저수지 수변과 인접 지역으로의 동물이동 단

절 방지 및 서식지 훼손의 최소화 방안을 노선 선정시 충분히 검토하여야 한다.

- (2) 진입 및 이설도로 사면의 녹화 및 생태이동통로의 계획과 설계에는 도로의 안정성, 지형조건 및 경제성 등을 고려하여 동물(양서류 포함)의 이동통로 설치, 서식처 보호시설 설치를 검토하여야 한다.

#### 1.7.6.14 진입 및 이설도로 사면의 녹화계획 및 설계

- (1) 저수지 이설도로 건설에 따른 사면은 토양이나 암반이 그대로 노출됨으로 인해 시각적으로 부정적 영향을 줄 뿐만 아니라 붕괴 등의 위험이 상존하므로 사면안정시설과 함께 주위경관과의 조화를 이룰 수 있는 자연재료를 활용한 사면보호 녹화공법을 적용한다.

#### 1.7.6.15 진입 및 이설도로의 생태이동통로 계획 및 설계

- (1) 주변지역에 대한 충실한 생물상 조사를 통하여 생물종, 서식공간의 위치와 이동경로 등을 파악하여 도로가 이들 공간을 우회하거나 불가피할 경우에는 동물들의 이동통로를 확보해주어야 한다.

가. 생태이동통로의 위치 선정

- ㉠ 대상 동물을 선정하고 주요 이동경로를 파악한다.
- ㉡ 대상동물의 서식 특성, 범위, 산란 및 번식 패턴을 고려한다.

나. 이동통로 형식 선정

- ㉢ 양서류를 위한 이동통로의 경우 도로 개설에 따른 배수 목적으로 설치된 구조를 이용한다. 특히, 저수지 주변의 경우 양서류에게 양호한 서식 조건을 갖추고 있으므로 도로 개설에 따라 고립된 서식지를 배수로를 이용한 생태통로를 조성하여 연계시킨다.
- ㉣ 야생동물로 하여금 다른 서식지로의 이동을 도와준다. 따라서 저수지 주변에 공원을 조성함에 있어 저수지 주변 도로의 개설로 인하여 야생동물의 서식처가 나뉘게 될 때에 이러한 생태교량을 조성한다.
- ㉤ 생태터널은 도로의 하단부에 설치하는 유형으로 교량에 비하여 규모가 작으며 적은 비용으로 많은 장소에 설치가 가능한 장점이 있다. 생태이동통로를 조성함에 있어 저수지 주변 도로에 지형적 여건상 생태교량을 설치할 수 없는 경우나 소형동물의 이동을 위한 경우에는 생태터널을 조성한다.
- ㉥ 생태이동 통로의 규모는 박스의 경우에는 가로, 세로 크기가 각각 4.27m 이상을 권고하고 있으며, 육교, 터널 등의 경우 폭에 대하여는 명시적인 자료가 없으나 하천변 및 저수지 주변의 수변식생을 야생동물 이동 통로로 이용할 경우 약 15m 정도의 폭이면 될 것으로 본다.
- ㉦ 노루 및 멧돼지의 경우 도로 주변에 설치된 가드레일에 의해서 이동의 제한을 받는 것이 관찰되는데, 자동차 통행안전에 지장이 없는 경우에 가드레일 1개 정도만 제거해도 대형동물이 이동할 수 있다.

### 1.7.7 하류하천정비

- (1) 댐·저수지로 인하여 하류하천유황이 감소될 가능성을 신중히 검토 하여야 한다. 특히 건기에도 어류와 야생동물이 생존에 필요한 수심과 유량이 확보되고 수질이 보전되도록 환경용수량을 공급하고 하상과 하안을 정비하여야 한다.
- (2) 하천유지유량 크기에 따라서 소수력 발전을 실시하는 것이 바람직하며, 이 때 하천경관을 개선하여 주민의 정서를 함양할 수 있도록 하류하천의 친수공간확보를 위한 친수용수량을 동시에 검토하여 환경용수량을 결정한다.
- (3) 하천이 갖는 치수기능과 환경기능은 어느 정도 상반된 면을 가지고 있다. 하천생태계, 경관 및 친수성 등 하천환경 요소들은 하상과 하안 재료에 따라 상당한 영향을 받으므로 저수지 하류하천정비에는 목적에 따라 다양한 재료가 선택되도록 하도 및 지역특성 등을 충분히 반영한다. 하천생태계, 경관, 친수성 등 하천환경 요소들을 보전하고 향상시키며 홍수기에도 유실되지 않도록 최적 재료를 비교 검토한 후 선택하여 적용하거나 재료의 조합도 바람직하다.
- (4) 중규모 관개저수지 설계 또는 관리에 하류하천의 건천화를 방지하여 하천생태계를 유지하기 위하여 하천유지용수를 공급하는 방안을 강구해야 한다.

#### 1.7.7.1 하천유지용수의 공급

##### (1) 일반

- ① 댐·저수지 하류하천의 기능이 유지될 수 있도록 최소의 하천유지용수를 댐에서 공급하는 것을 보장하여야 한다.
- ② 갈수기에 하류측 하천의 기능이 유지될 수 있도록 기득수리권에 대한 책임방류를 보장하도록 되어있다.
- ③ 하천유지용수는 주요지점에서 유수(流水)의 정상적 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 유량이며 평균 갈수량과 환경보존 유량 중에서 큰 값으로 산정한다. 여기서 평균 갈수량이란 자연상태의 하천에서 갈수 시에도 흘렀다고 볼 수 있는 유량으로 하천의 건천화 방지 등 자연하천이 갖고 있는 최소한의 기능을 수행하도록 하류에 흐르게 보장해 주어야 할 유량을 의미한다. 또한 환경보존유량이란 주운, 하천관리시설의 보호, 수질보존, 어업, 하구폐쇄의 방지, 지하수위의 유지, 동식물의 보호, 경관의 기능을 종합적으로 고려하여 하천환경보전을 위하여 설정하여야 할 유량을 말한다. 또한, 하천의 경관을 개선하고 시민정서 함양을 위한 소하천 환경용수 공급도 친수공간 확보차원에서의 하천유지용수로 취급할 수 있다.
- ④ 하천유지용수는 다음 사항을 고려하여 보장되어야 하며 그 수량은 댐 건설로 인하여 감소평가 되어서는 안된다.  
가. 댐지점 하류에서 유수를 점용하고 있는 수리기득권으로 취수시기나 취수량이 건설부 등 관계기관의 허가를 받았거나



- 나. 하천의 어족을 보호하는데 필요한 최소소요수량, 유속 및 수질
- 다. 주운, 위락 또는 경관을 해치지 않을 정도의 수심 및 유량
- 라. 오염희석이나 염해방지 또는 하구 폐색(閉塞)을 막는데 필요한 수량
- 마. 하천 양안의 지하수위 유지라든가 하천시설물이 피해를 받지 않도록 필요한 하천유지용수를 조사, 분석하여 원칙적으로 사용자 관계기관과 협의하여 댐으로부터 우선 공급되도록 해야 한다.

(2) 소수력 발전용수로의 활용

- ① 댐·저수지 하류하천의 기능이 유지될 수 있도록 최소의 하천유지용수를 댐에서 공급하는 것을 보장해야 한다. 이 때, 하천유지유량의 크기에 따라 소수력 발전 가능성을 검토한다.
- ② 하천유지용수는 주요지점에서 유수(流水)의 정상적 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 유량이며 평균갈수량과 환경보존유량 중에서 큰 값으로 산정한다. 하류 하천에 부족한 하천유지 용수로 공급되는 유량의 경제성을 검토하여 소수력발전과 연결하여 개발하는 방안이 바람직하다.
- ③ 하천유황은 연도별, 시기별로 변화가 크고, 용수를 관개기에만 공급하므로 비관개 기에는 하천유지용수량을 공급할 수 있어도 수량이 작은 관개저수지에서는 소수력 발전을 하는 것은 곤란하다.

(3) 갈수기 친수용수량

- ① 친수용수량은 수혜지구 주민들의 호응도가 높고, 농촌의 경관유지기능 및 주민 친수활동 공간으로 활용가능성이 높을 때 친수공간 조성에 필요한 용수이다.
- ② 주민에게 물놀이, 낚시, 보트, 스케이트, 만남의 터, 자연 동·식물의 서식처 등 다목적기능을 가진 친수공간(親水空間)을 제공하기 위해서는 친수용수량이 필요하다. 도시화에 따라 관개면적이 크게 감소한 관개저수지의 경우, 하천경관을 개선하고 시민정서함양을 위한 친수공간 확보차원에서 친수용수량을 결정할 수 있다. 하천유지용수량 범위 내에서 고려하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 친수공간조성에 필요한 용수량이 하천유지용수량 및 희석용수량을 초과할 경우 관련기관 및 주민의견을 수렴하여 별도의 초과용수를 고려할 수 있다. 친수공간제공문제는 경제성보다는 사회적 측면에서 접근해야할 것이다.

(4) 하류하천 친수용수량

- ① 저수지를 건설하려면 수질보전과 수리기득권 측면에서 하천유지용수 책임방류량을 여름철 갈수기 유입량이 0.40 mm/day 이하인 경우 0.40 mm/day 이 되도록 방류하고, 겨울철 유입량이 0.25 mm/day 이하인 경우 0.25 mm/day 이 되도록 방류하는 것을 검토할 수 있다.
- ② 갈수기 도시하천의 건천화를 방지하여 하천 생태계를 유지하고, 경관을 개선하여 시민의 정서를 함양하기 위한 친수공간 확보차원에서의 하천유지용수 공급의 필요성이 최근 대두되고 있다.

(5) 하류하천 수질

## 농업용 필댐 설계

하류하천 수질은 물고기의 이동, 양생, 정화 등에 결정적으로 영향을 주므로 댐에는 수심별로 저류수를 방류할 수 있는 시설이 필요하며, 다음 사항에 대하여 환경보전 당국과 신중히 협의한다.

- ① 건기에 야생동물 생존에 필요한 수심 및 유량의 확보
- ② 수면의 급격한 변동이 어류와 야생동물에 주는 해로운 점
- ③ 어류 및 야생동물 번식을 위한 수질조건의 보장
- ④ 어족의 먹이와 은신처가 인위적으로 훼손되는지 여부

### 1.8 저수용량 결정

- (1) 댐 저수용량은 일반적으로 이수용량과 퇴사량으로 구성되었으나, 최근에는 하류하천의 생태보전을 위한 환경용수용량과 재해방지를 위한 홍수조절용량이 추가되고 있다.

#### 1.8.1 이수용량

- (1) 이수용량은 농업용수, 공업용수, 생활용수 등과 같이 이수 목적으로 사용되는 용수를 확보하기 위한 저수용량으로서, 농업용 저수지에서는 관개 시기별 조용수량(수요량)과 10년 빈도 한발시의 하천유량(공급량)을 기준으로 이를 정한다.

#### 1.8.2 이수용량 산정

- (1) 이수용량은 관개시기별 조용수량(수요량) 누가곡선에서 기준갈수년의 하천유량(공급량) 누가곡선을 뺀 값 중에서 최대값을 구하고 여기에 저수지에서의 손실량(저수면 증발량)을 더한 값으로 한다. 여기서 기준갈수년의 하천유량이라고 하면 10년 빈도 갈수년의 하천유량을 말한다.

$$\begin{aligned}\text{이수용량} &= \text{최대부족수량} + \text{저수지 손실량} \\ &= \text{Max}\{\text{관개시기별 } \Sigma[\text{조용수량} - \text{하천유량}]\} + \text{저수지 손실량}\end{aligned}$$

여기서 저수지 손실량은 최대부족수량의 5 %를 취한다.

#### 1.8.3 하천유량의 산정

- (1) 저수지점의 하천유량(유입량)을 산정하는 방법에는 실측법과 간접법이 있다.

##### 1.8.3.1 실측법

- (1) 기존자료를 활용할 경우

- ① 장기간의 수위자료가 있는 곳에서 가능하며 건교부에서 발간하는 수문연보 및 홍수 통제소 등에서 20년 이상의 장기간 일평균 수위자료가 있는 지점이 대상이다. 기존의 자료를 활용할 경우에도 상류 유역에 대규모 댐 등의 저류시설이나 취수시설이 설치된 경우에는 설치 전·후를 기준으로 유황이 변하게 되므로 이에 대한 조사 및 분석이 선행되어야 한다. 이 경우 수위자료를 유량으로 환산할 수 있는 수위-유량

곡선식이 필요하며 수문연보 및 홍수통제소의 유량측정보고서 등을 참조하여 구할 수 있다. 이수계획을 위한 장기 유출량으로 산정할 경우 평·갈수위를 제대로 반영할 수 있는 수위-유량 곡선식이 필요하지만 우리나라의 경우 여름철 홍수로 인한 하상변동 및 수위관측소의 잦은 이동으로 평·갈수위를 제대로 반영하는 수위-유량 곡선식이 많지 않으므로 수위자료를 수집할 경우에는 수위관측소의 변동상황도 세밀히 조사해야 한다. 일반적으로 분석 절차는 다음과 같다.

가. 수문연보 등에서 연도별, 일별 평균수위자료를 수집한다. 자료연수는 20년 이상이 좋다.

나. 수문연보 및 유량측정보고서 등에서 수위-유량곡선식 자료를 수집한다. 수위-유량곡선식은 수위표 이동, 하상변동, 영점표고 변동 등이 있을 경우 이를 고려하여 보완 적용한다. 특히 수위-유량곡선식은 하상변동 등의 영향으로 자료기간 중 여러 개가 있을 수 있으므로 빠짐없이 수집해야 한다.

다. 수위자료를 상기 수위-유량곡선식에 대입하여 유량으로 환산한다.

라. 일별 유출량 자료를 토대로 유황분석을 실시하여 갈수량, 평수량 등을 산정하고 연평균유출량 및 유출율 등을 산정한다.

마. 연평균 유출량, 유출율을 기준으로 기설지구나 문헌을 참고하여 산정결과가 일반적인 범위 내에 있는지를 판단한다.

#### (2) 기존자료를 보완하여 적용할 경우

- ① 기존 수위관측 자료가 있고 계속적인 수위 관측을 실시하고 있으나 만족할 만한 유량측정 성과가 없을 경우 단기간의 수위-유량측정을 실시하여 수위-유량곡선식을 보완하거나 새로이 작성하여 활용한다. 수위-유량곡선식을 보완할 경우 수위표 이동 등 그 동안 주변 여건의 변동을 고려하여 자료의 연속성(정상성)을 신중히 검토하여 적용한다.

### 1.8.3.2 간접유출량 해석

- (1) 중·소유역의 경우 해당지점에 직접 적용할 장기간의 수위관측자료는 거의 없는 실정이므로 수위-유량해석이 가능한 지점의 유출량 성과자료를 활용하여 해당지점의 유출량 분석을 실시해야 한다. 관측지점의 유출량 산정방법은 가)와 나)와 같으며 계획지구의 유출량은 유역면적비나 비유량에 의하여 유출량을 산정한다.

### 1.8.3.3 간접법

- (1) 하천의 유출량 산정은 실측자료를 근거로 산정하는 것이 바람직하지만, 기본계획 수립 지구나 소규모 지구의 경우 수문 관측을 실시할 시간적, 경제적 여유가 없기 때문에 경험적이고 일반화된 강우-유출 모형을 이용할 수밖에 없다. 이와 같은 무계측 유역에 적용되는 유출모형에는 장기간 수문 관측 자료가 있는 여러 곳의 유출자료를 근거로 통계적인 다중 상관분석을 실시하여 일반화된 매개변수를 유도하여 유출량을 산정하고 있다. 농업용수개발이 주 대상이 되는 중·소유역은 대체로 장기간 수문관측 자료가

## 농업용 필댐 설계

없어 일반화된 유출모형을 적용해야 한다. 중소유역에 적합하고 농업용수개발에 적용되는 일 단위 유출모형에는 DIROM(Daily Irrigation Reservoir Operation Model)과 DAWAST(Daily Watershed Streamflow Model) 등이 있다.

### 1.8.3.4 DIROM

- (1) 유역특성인자로부터 탱크모형의 매개변수를 예측하여 무계측유역에서도 하천유량을 추정할 있도록 수정된 모형을 말한다. 지표 및 중간유출과 지하수 유출성분을 나타내는 탱크모형의 매개변수와 유역면적, 논, 밭, 임야 구성비 등 유역별 지상인자와의 다중회귀분석을 실시하여 최적의 매개변수를 추정하여 일단위 유출량을 추정하도록 한 모형이다.

### 1.8.3.5 DAWAST 모형

- (1) DAWAST 모형은 대상유역에서의 물 수지 분석에 의하여 강우시에는 일 강수량에 의한 초기손실, 침투량에 의한 토양수분량 증가, 심층침투에 의한 지하수량 증가를 추적하고, 비강우시에는 유역증발산에 의한 토양수분량 감소와 기저유출 누출에 의한 지하수량 감소를 추적하는 방법으로 일 유출량을 산정하는 모형이다. 토양층의 저류능력과 유역증발산계수-지형 및 토양인자를 매개변수로 우리 나라 하천의 주요 지점에서 관측된 강우-유출자료를 토대로 모형 운전에 필요한 매개변수를 추정하여 적용성을 확대하고 있다.

### 1.8.3.6 가지야마(梶山) 월수수량 공식

- (1) 지금까지 무계측하천의 유출량 산정에 가지야마 월수수량 공식을 많이 적용하여 왔으나 월 또는 순단위 유출량이라는 구조적 문제점과 유출량의 정확도와 일반성에 있어 많은 문제점이 있다고 지적되고 있다. 개략적인 연평균 유출을 추정 등에 활용이 가능하나 관개용 저수지의 물수지 분석을 위한 유입량 산정 등에는 적합하지 않다. 순(旬)단위 이상의 유출모형은 하천유출량의 시간적 변화를 파악할 수 없어 갈수량 해석, 일단위의 물수지 분석을 통한 저수지 거동해석, 일 단위의 물 관리 계획을 수립할 수 없기 때문이다.

## 1.8.4 환경용수용량

- (1) 환경용수용량은 농촌지역 내 하천 및 용배수로의 정상적인 기능을 수행하는데 필요한 최소한의 유지유량 혹은 친수 환경을 위한 친수용수 등을 제공하기 위하여 필요한 저수용량으로서 환경용수량과 기준 갈수년의 하천유량을 기준으로 하여 이를 정한다.
- (2) 환경용수량은 신규 저수지를 설계하거나 기존 저수지를 승상할 경우 현지여건을 감안하여 저수지 유효저수량 산정에 반영해야 할 수량으로 저수지 지점의 기준갈수량 또는 관개구역내 중심마을 하수처리 희석수량, 친수용수 등 농촌환경보전에 필요한 수량 중

큰 값을 적용한다.

- (3) 하류하천의 생태보전과 친수환경에 필요한 환경용수량을 공급할 수 있도록 환경용수량을 저수량에 추가하도록 하였다.

#### 1.8.4.1 환경용수의 정의

- (1) 환경용수는 농촌지역 내 생태계보전, 경관유지, 수질보전, 지하수위 유지 등 하천과 수리시설물의 정상적인 기능을 수행하는데 필요한 최소한의 유지유량과 관개구역내 친수환경에 필요한 친수용수 등 농촌환경보전을 위하여 확보해야 할 수량이다.

#### 1.8.4.2 환경용수의 종류

##### (1) 하천유지용수

- ① 하천유지용수는 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 용수를 말한다. 하천유지용수는 갈수량을 기준으로 산정하되, 하천 수질 보전·하천 생태계 보호·하천 경관 보전·염수 침입 방지·하구막힘 방지·하천 시설물 및 취수원 보호·지하수위 유지 등을 위한 하천유지유량을 감안하여 산정한다. 여기서 갈수량은 과거 자연상태 하천에서 갈수기에 흘렀던 유량으로서 자연과 사람이 공유할 수 있는 최소한의 유량을 말하며 기준갈수량, 평균갈수량 등을 산정한 후 해당 하천의 규모나 특성 및 유량공급 가능성 등을 고려하여 결정한다.

##### (2) 친수 용수

- ① 용수로에 친수공간을 설치하는 경우에는 비관개기에 별도의 친수용수가 필요하다. 친수(親水)용수는 농촌의 경관기능보전 및 친수활동을 위하여 필요한 용수로서 주로 비관개기에 친수환경을 위하여 공급하는 용수를 말한다. 친수활동이란 수변공간 중의 산책, 스포츠, 물놀이, 낚시 등의 레크레이션이나 경관을 통하여 심리적, 정서적 만족을 얻는 활동을 말한다.
- ② 친수용수는 농경지에서 관개용수로서 소비되지 않는 용수이므로 송수시의 손실을 제외한 나머지의 양이 그대로 하천으로 환원된다. 친수용수는 수량일부가 독립된 용수로서 관개기에는 관개용수를 친수용수로 활용할 수 있으나, 비관개기에는 별도의 친수용수의 수량이 필요하게 된다. 친수용수량은 하천유지용수량 범위내에서 고려하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 친수공간 조성에 필요한 용수량이 하천유지용수량 및 희석용수량을 초과할 경우 관련기관 및 주민의견을 수렴하여 별도의 초과용수를 고려할 수 있다.
- ③ 친수용수량은 시간에 관계없이 거의 일정한 값을 갖고, 친수용수는 수로식 소수력(小水力)발전과 연계하면 비관개기의 소수력 발전용수로서 유효하게 이용될 수 있다.

#### 1.8.4.3 환경용수량 산정

## 농업용 필댐 설계

### (1) 적용의 원칙

- ① 환경용수는 2급 지방하천 이하의 농촌 용수구역 내 소하천 및 용·배수로에서 일정유량을 보장하기 위한 것으로 저수지를 설계할 경우 필요한 저수량을 미리 확보해야 한다.
- ② 환경용수량은 계획지점의 기준갈수량과 관개구역내 중심마을 하수처리수의 희석에 필요한 수량, 친수용수량 등 농촌환경보전에 필요한 유량 중 큰 값을 적용한다.
- ③ 환경용수를 산정하기 위한 기준갈수량은 10년 빈도 갈수량을 의미하며 농촌환경보전유량은 관개구역 내 중심마을의 하수처리 희석수량과 용·배수로 등의 시설물 유지·관리 수행 등 현지 여건에 따라 결정되는 가장 큰 수량을 의미한다.
- ④ 유역변경을 위한 저수지를 설계할 경우나 수리권 분쟁이 예상되는 곳, 환경보전이 지역사회 문제로 부각된 지역에 용수이용계획을 수립할 경우에는 지역주민, 지자체와 충분히 협의하고 현지여건을 감안하여 환경용수량을 결정하고 필요한 수량을 확보하도록 한다.
- ⑤ 환경용수는 댐이나 저수지 설치로 인하여 차단되는 기존의 갈수량을 보장해주는 것이므로 시설물을 설계할 경우 적정한 환경용수 방류시설을 설치하도록 해야 한다. 일본에서의 방류시설은 기준갈수량에 해당하는  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 100 \text{ km}^2$ 의 유량을 방류할 수 있도록 되어 있다.

### 1.8.4.4 기준 갈수량의 산정

기준 갈수량은 10년 빈도 갈수량으로 분석 기간 동안 매년 갈수량을 빈도 분석하여 비초과확률 10 %에 해당하는 갈수량이며 일반적으로 우리 나라의 이수계획의 기준이 된다. 기준 갈수량의 산정은 실측자료가 있는 경우와 실측자료가 없는 경우로 구분할 수 있다.

#### (1) 실측자료가 있는 경우

- ① 저수지 계획지점에 장기간 수위관측 자료가 있을 경우 이 자료를 이용하여 기준갈수량을 산정한다. 계획지점이 아닌 수계 내 상·하류부의 수위관측자료를 활용할 경우에는 수위관측지점에서의 기준 갈수량을 산정한 다음, 양 유역의 유역면적비, 비유량비 등에 의하여 계획지점의 기준 갈수량을 결정한다.

#### (2) 실측자료가 없는 경우

- ① 실측자료가 없는 경우에는 기존 문헌자료에 나타난 수계별 또는 지역별 비유량자료를 활용하는 방법과 탱크모형과 같은 유출모형을 이용하여 일별 유출량을 모의발생시켜 기준 갈수량을 산정하는 방법으로 나눌 수 있다.
- ② “농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편“(농림부, 1998)에는 유역상태에 따른 기준갈수량이 수록되어 있으므로 이를 활용할 수 있다. 위 설계기준에서는 유역상태를 다음의 4가지로 분류하여 10년 빈도 갈수량을 결정하고 있다.
- ③ 유역 내 양수장, 취입보 등 수리시설이 많고 유역내 임상상태가 빈약할 경우 :  $0.0902 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 100 \text{ km}^2$

- ④ 유역내 임상이 보통이고 감수심도 보통이어서 갈수량이 보통인 경우 :  $0.1804 \text{ m}^3\cdot\text{s}/100 \text{ km}^2$
- ⑤ 유역내 임상은 보통이나 감수심이 적어 갈수량이 비교적 많은 경우 :  $0.2706 \text{ m}^3\cdot\text{s}/100 \text{ km}^2$
- ⑥ 임상이 좋고 상류부 수리시설물이 적어 갈수량이 가장 많은 경우 :  $0.3608 \text{ m}^3\cdot\text{s}/100 \text{ km}^2$
- ⑦ 실측자료와 적정한 비유량 자료가 없을 경우에는 일별 유출모형에 의한 모의발생 유출량을 이용하여 기준갈수량을 산정할 수 있다.
- ⑧ 일유출량은 HOMWRS(Hydrologic Operation Model for Water Balance)의 유출량 부 모형(DIROM) 또는 DAWAST모형으로 해당관측소의 강수량 자료를 이용하여 모의발생시켜 결정한다.

#### 1.8.4.5 환경용수량을 고려한 저수용량 산정

##### (1) 하천유지유량

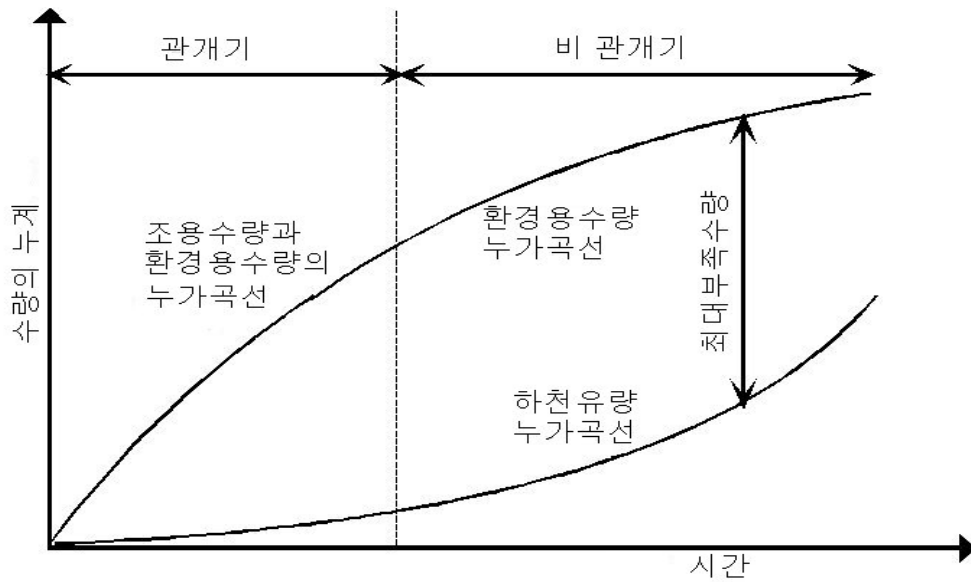
- ① 하천유지유량은 자연적 요인인 평균 갈수량과 인위적 요인인 환경보전유량 가운데 큰 값을 선택한다. 일본에서는 발전용 댐 하류 하천유지유량으로서  $0.1\sim0.3 \text{ m}^3\cdot\text{s}/100 \text{ km}^2$  을 제시하고 있는데, 이것은 우리 나라 기준 갈수량의 범위에 해당된다. 성주댐의 경우에는 하천유지유량으로서 임상이 좋고 상류부 수리시설물이 거의 없는 지역의 기준 갈수량인  $0.36 \text{ m}^3\cdot\text{s}/100 \text{ km}^2$ 이 설정되어 있다.

##### (2) 친수용수량

- ① 비관개기의 친수용수량을 어느 정도로 할 것인가는 중요한 과제인데, 일본에서는 비관개기의 친수용수량으로서 관개기 조용수량의 약 20~40 %의 값을 취한다.

##### (3) 환경용수량을 고려한 저수용량

- ① 필요수량으로서 1년에 걸쳐 관개기간의 조용수량 및 환경용수량의 누가곡선과 비관개기간의 환경용수량 누가곡선을 작성하고, 공급수량으로서 하천유량의 누가곡선을 작성하여 그 차이의 최대값(<그림 1.8.-1>) 환경용수량을 고려한 저수용량 산정)에 저수지 손실량을 더한 것을 환경용수량을 고려한 저수용량으로 정한다.



〈그림 1.8-1〉 환경용수량을 고려한 저수용량 산정

환경용수량을 고려한 저수용량 = max {관개시기별  $\Sigma$ [조용수량+환경용수량-하천유량]+  
비관개시기별  $\Sigma$ [환경용수량-하천유량]}+저수지손실량

여기서 저수지 손실량은 최대부족수량의 5%를 취한다.

### 1.8.5 홍수조절용량

- (1) 하류지역의 홍수피해가 클 것으로 예상되어 PMF를 적용하여 설계하는 저수지에는 집중호우 및 이상강우에 의한 하류지역의 홍수피해를 줄이기 위하여 농업용수 공급에 필요한 유효저수량 외에 홍수조절을 위한 저수용량을 추가로 확보할 수 있다.

#### 1.8.5.1 홍수조절용량 산정

- (1) 지금까지 농업용 필댐은 홍수조절기능이 없어 이상 홍수시 급격한 수위상승에 따른 제당월류의 위험이 높고, 유입홍수를 그대로 방류하므로써 하류지역의 홍수피해가 커질 수 있으므로 농업용 필댐에서도 댐 파괴로 인한 인명과 재산피해가 클 것으로 예상되는 일정규모 이상의 댐에 대해서는 홍수조절기능 확보가 필요해졌다.
- (2) 가능최대홍수량(PMF)을 적용하여 설계하는 농촌용수 저수지에는 집중호우 및 이상강우에 의한 하류지역의 홍수피해를 줄이기 위하여 홍수조절용량을 저수용량에 추가로 포함할 수 있다. 홍수조절용량은 하류하천 및 저수지 규모를 고려하여 결정하며 홍수조절을 위한 수위별 수문조작 계획을 수립한다.

#### 1.8.5.1 하천설계기준

- (1) 하천설계기준(한국수자원학회, 2000)에 의하면, 홍수조절용 저수지의 홍수조절용량은



대상이 되는 홍수량 및 조절방법에 따라 다르나, 저수용량의 20 % 정도로 한다. 또한, 유역비 홍수량(= 홍수조절용량/유역면적)은 대략 100 mm 이상으로 하는 것이 바람직하며, 그 이하의 경우에는 수문 일정개도 조절 방법, 자연조절 방법 등이 채택될 수 있는지 검토해야 한다.

#### 1.8.5.2 홍수조절 저수위 관리

- (1) 홍수조절용량을 확보하지 않는 저수지 중 하류부에 도시나 집단주거, 공공시설 등이 있어 유사시 침수로 인명과 재산피해가 예상되거나, 지형적인 여건에 따라 과거 집중호우가 자주 발생하여 수해가 우려되는 지역은 이상홍수에 대비하여 사전 수위조절을 위한 비상 수문 등 방류시설을 할 수 있다. 방류시설의 규모는 저수지 규모와 하류지역 홍수피해 정도를 고려하여 결정하되 최소한 1~3일 내에 홍수기 제한수위까지 낮출 수 있는 규모로 설치한다.
- (2) 수문(Gate)식 물넘이 구조로 된 저수지는 홍수유입량 관측시설, 수위계측시설, 홍수위험경보 시설 등 홍수 예·경보시설을 설치하여 홍수피해를 사전에 대비할 수 있도록 한다. 홍수조절용량을 별도로 확보하지 않은 저수지는 홍수기 제한수위를 설정하여 홍수조절을 할 수 있다. 저수지 수위관리는 하천법 제38조 규정에 의한 댐 관리 규정을 별도로 작성하여 지자체의 승인을 받아 관리하도록 되어 있다. 따라서, 홍수기 제한수위는 댐 관리 규정에 따라 설정한다. 다만, 유효저수량의 70~80 % 수준에서 설정하는 것을 참고한다.
- (3) 저수지에 홍수가 유입되면 유입량의 일부가 저수지에 저류되는데, 유입홍수량과 유출홍수량의 차이가 홍수조절량이 된다. 저수지를 통한 홍수조절 방법은 단순하지는 않아, 일반적으로 다음과 같은 경우에 적용한다.
  - ① 유역면적이 5km<sup>2</sup> 이하이거나 홍수도달시간이 1시간 미만인 농업용 저수지의 경우, 원칙적으로 홍수조절용량을 고려하지 않는다.
  - ② 만수면적이 유역면적의 1/30 보다 크고 홍수도달시간이 상당히 긴 경우에는 홍수조절을 고려한다.
- (4) 논에서는 20년 빈도 홍수량의 24시간 담수가 허용되지만 도농(都農)혼주화, 논외 범용농지화, 도시지역 확대 및 고밀도화, 하천개수공사의 지연, 양호한 댐터 고갈 등으로 농촌지역에도 높은 치수의 안정성이 요구되고 있다. 따라서, 농업용 저수지에 홍수조절용량을 설정하여 관리함으로써 홍수시 하류하천과 농경지의 침수피해를 경감시키는 방안이 대두되고 있다. 그러나, 홍수조절용량을 두면 치수효과를 기대할 수 있지만 이수측면에서 용수공급에 위협 부담이 될 수 있기 때문에 적절한 홍수조절용량을 설정해야 한다. 홍수기의 저수위 변화는 홍수발생 전에 홍수조절을 위하여 미리 예비 방류하여 인위적으로 저수위를 강하시킨 상태에서 홍수가 유입되는 경우와 관개용수공급으로 이미 자연적으로 저수위가 강하한 상태에서 홍수가 유입되는 경우가 있다.
- (5) 농업용 저수지의 경우 용수공급의 지장이 없는 범위 내에서 방류량 및 방류시간을 정하여 홍수발생 즉시 하류지역에 예비 방류할 수 있도록 되어 있다.

### 1.8.5.3 설계홍수량 결정의 기본

- (1) 댐 설계에 필요한 홍수에는 유역으로부터 저수지로 흘러 들어오는 유입 설계홍수, 물넘이 방류 설계홍수, 가배수 시설의 설계홍수 등이 있다.
- (2) 국내 실무에서는 여수로의 설계기준 홍수량으로 필댐의 경우 200년 빈도의 저수지 유입 홍수량의 120 % (500~1,000년 빈도)를 채택하여 저수지 추적에 의한 방류량으로 사용하였다.
- (3) 그러나, 최근 이상호우가 자주 발생하고 있어 이와 같은 빈도홍수량은 댐의 수명 기간 동안 초과될 확률이 높아졌다. 소양강댐의 경우(설계홍수량 1000년 빈도) 최대유입량은  $11,995 \text{ m}^3/\text{s}$  (1990년 9월12일)로 500년 빈도에 육박한 값이었으며 현재 댐체를 보강하고 있다. 따라서, 댐의 규모가 큰 경우 댐 여수로나 댐 마루표고의 결정은 댐의 가상 파괴로 인한 예상 피해 규모를 고려하여 가능최대 홍수량을 기준으로 결정할 수도 있다.
- (4) 가능최대 홍수량은 가능최대강수량으로 인한 홍수량을 말하며, 유역에서의 가능최대 강수량이란 「주어진 지속기간 동안 어느 특정 위치에 주어진 유역면적에 대하여 연중 어느 지정된 기간에 물리적으로 발생할 수 있는 이론적 최대 강수량」이라 정의한다.
- (5) 댐 물넘이(spillway)의 설계홍수량은 저수지의 PMF를 유입수문곡선으로 하고 저수지를 통해 홍수 추적하여 물넘이 단면에서의 최대 방류량을 택함으로서 결정된다.

### 1.8.5.4 댐 설계 홍수량 산정시 고려사항

- (1) 저수지 유입설계 홍수 수문곡선의 산정은 댐 유역의 지리적 위치에 따른 최대 호우의 특성, 유역의 배수구역, 유역의 토양 및 식생피복 및 유출분포 특성 등을 고려하여 수행해야 한다. 유역의 홍수 규모는 유역의 지리적 위치에 따른 지형, 지질, 및 강우 특성에 따라 크게 변화한다. 따라서 설계 홍수량을 결정할 때에는 대상유역의 이들 영향인자에 대한 올바른 지식이 필요하다.
- (2) 가능 최대호우는 특정위치에서 특정호우면적에 주어진 지속 기간동안 수문·기상학적 으로 발생 가능한 최대강수량을 내리게 하는 호우로서 대규모 댐의 유입 설계 홍수량 결정을 위한 기준 호우이다. 가능최대강수량은 기발생한 극대호우의 강우깊이-호우면적-지속기간(DAD) 관계를 이용하여 발생호우의 수분 최대화와 호우전이에 의해 포락 과정을 거쳐 결정되며, 강우지속기간별, 유역면적별 최대 가능강수량의 관계(PMP-DAD)로 표시된다.
- (3) 우리 나라의 경우는 한국건설기술연구원(한국 가능최대 강수량 추정, 건설교통부, 2000년 6월)에서 연구 발표한 PMP가 설계의 기준 강수량이 될 수 있으며, PMP도는 강우지속기간 1, 2, 6, 12, 24, 48, 72 시간, 호우면적 25, 100, 200, 1,000, 2,000, 10,000, 20,000  $\text{km}^2$ 에 대하여 전국에 걸쳐 등우선도의 형태로 작성되어 있어 PMP추정 및 검증에 매우 유효하다.
- (4) 댐 유역의 상류 하천망, 유역경계 등을 표시하는 유역도는 지형도로부터 작성하며, 유

역면적, 유로 경사 및 연장 등 유역특성에 관한 자료와 기 설치된 수문관측소(우량, 수위, 유량)도 총괄하여 표시해야 한다. 또한, 유역의 토양 분포, 식생피복 상태 및 토지 이용현황에 관한 것은 토양도, 토지 이용도로부터 획득하는 것이 바람직하다. 유역도 작성의 신뢰도를 높이기 위해 현지 답사를 해야 한다.

#### 1.8.5.5. 가능최대홍수량 산정방법

- (1) 가능최대홍수량은 댐 유역의 면적규모와 설계 강우지속기간에 상응하는 가능최대 강수량과 사·공간 분포를 고려한 가능최대호우를 결정한 후에 단위 유량도법, 유역 홍수 추적법과 같은 강우-유출 관계 모형을 사용하여 유출계산 과정을 거쳐 저수지로의 유입설계 홍수수문곡선으로 산정한다.
- (2) 댐 유역의 가능최대 강수량은 수문 기상학적 분석으로 작성된 PMP도로부터 댐 유역의 면적크기와 설계 강우지속기간에 해당하는 PMP를 결정한다.
- (3) 이를 공간적 및 시간적으로 분포시켜 가능최대호우(Probable Maximum Storm, PMS)를 작성하여 유출계산에 사용하도록 한다.
- (4) 댐 유역에 대한 가능최대호우가 결정되면 강우-유출관계 모형에 의해 가능 최대 홍수의 시간분포를 표시하는 PMF 수문곡선을 계산하게 된다. 흔히 사용되는 강우-유출관계 모형으로는 단위유량도법, 합성 단위유량도법, 유역홍수추적법 등이 있으며, 이들 간단한 모형의 적용 방법에 대해서는 후술한다. 이외 강우-유출관계 모형으로 선형 혹은 비선형의 유출모형들이 많이 개발되어 있으나 우리 나라 설계 실무에서는 입력되는 수문 및 기상자료의 미흡으로 사용이 보편화되어 있지 않다.

#### 1.8.5.6 빈도홍수량의 산정 방법

- (1) 빈도홍수의 산정은 기왕에 발생한 침투홍수량 자료계열의 빈도해석에 의하는 것이 원칙이나 홍수량 자료가 없을 경우에는 빈도 분석에 의해 설계강우를 결정한 후 강우-유출 모형을 사용하여 설계홍수량을 산정한다.
- (2) 빈도 홍수는 특정 발생빈도를 가지는 홍수의 크기로서 발생빈도는 평균 재현기간(average return period)으로 표시된다. 소규모 댐이나 수공구조물을 설계할 경우 이들 구조물의 가상파괴로 인한 경제적, 사회적 피해가 극심하지 않다고 판단될 경우에는 가능 최대 홍수량을 기준으로 설계할 경우의 건설 공사비를 절감시키기 위해서 빈도 홍수를 사용할 경우가 있다.
- (3) 빈도 홍수량은 댐 지점에서의 장기간 홍수량 자료가 계측되었을 경우 연 최대홍수량 계열을 작성하여 확률론에 의해 빈도분석(frequency analysis)을 행하여 빈도곡선을 얻음으로써 내삽 혹은 외삽에 의해 재현기간별 홍수량을 추정하여 구하는 것이 원칙이다. 그러나 실제로는 댐 지점에서 장기간의 홍수량 기록이 없는 경우가 대부분이므로 빈도분석으로 빈도 홍수량을 얻기란 우리 나라의 경우 특히 힘들다. 따라서, 비교적 자료가 풍부한 강우자료의 빈도 분석으로 댐 유역의 강우지속기간별 빈도우량을 결정한 후 이를 적절한 강우-유출 모형에 의해서 빈도홍수량을 결정하는 방법이 많이 사

## 농업용 필댐 설계

용되고 있다. 이 방법에서의 가정은 홍수의 발생빈도가 그의 원인이 되는 강우의 발생 빈도와 동일하다는 것이나 강우-유출 관계의 비선형성을 감안하면 문제가 없지는 않으나 실무에서는 다른 대안이 없으므로 많이 적용되고 있다.

### 1.8.6 퇴사량

- (1) 설계퇴사량은 20년간의 퇴사량을 추정하여 정한다. 다만, 사방댐 등 효과가 확실한 퇴사방지시설 등이 있을 때에는 효과를 고려해도 좋다.

### 1.8.7 용량배분

- (1) 저수지의 용량배분은 이수용량이나 홍수조절용량과 같은 유효저수용량과 퇴사용량을 포함하는 사수용량으로 구분된다. 이수목적과 홍수조절 목적을 동시에 가진 댐에서는 홍수기에 홍수조절을 위하여 상시만수위보다 낮은 제한수위를 설정하고 있다.

### 1.8.8 물 관리 자동화를 위한 원격 관측/제어(TM/TC)시설

- (1) 관개면적 100 ha 이상인 저수지 지구에서 유역배율이 낮거나(예 : 1 : 4 이하) 농촌용수를 다목적으로 공급하므로 용수부족이 예상되는 필댐에서는 원격 관측/제어 (TM/TC)시설을 도입하여 물 관리 자동화를 도모하고 간단·윤환관개 시스템을 통하여 효율적으로 절수하여 가뭄을 극복할 수 있다.

## 1.9 설계홍수량 결정

### 1.9.1 설계홍수량 기준

- (1) 농업용 댐의 설계홍수량은 200년 확률홍수량, 기왕 최대홍수량, 지역 최대홍수량 중 큰 값을 설계홍수량으로 하며 필댐에서는 20 %를 증가 시킨 유량을 기준으로 하되 붕괴에 따른 인적, 물적 피해가 크게 예상 되는 지구는 가능최대홍수량(PMF)을 설계홍수량으로 한다.
- (2) 일정규모(예 : 유역면적 2,500 ha, 저수용량 500만  $m^3$ )이상 필댐 또는 댐 하류에 도시 또는 집단거주지역, 국가중요시설이 있는 필댐은 가능 최대강수량(PMP)을 적용하여 설계홍수량을 산정한다. 이 경우, 하류지역 홍수피해를 줄이기 위하여 농촌용수 공급에 필요한 유효저수량 외에 홍수조절용량을 저수용량에 추가로 확보할 수 있다.
- (3) 수공구조물은 홍수로 인한 피해에 노출되어 있다. 홍수를 완전 방어하는 것은 불가능하며 경제적으로 타당성이 없기 때문에 수공구조물 설계에는 어느 정도 홍수의 위험을 고려해야 한다. 설계목적으로는 허용위험에 상당한 최대홍수를 정의하는 것이 필요하며, 이를 설계홍수라 한다.
- (4) 설계홍수량은 홍수특성, 홍수빈도, 홍수피해 가능성과 사회·경제적 요인을 종합적으로 고려한 후, 최종적으로 수공구조물 설계나 하천관리를 위하여 채택하는 설계강우량으

로 추정되는 수문곡선의 침투홍수량을 말한다.

- (5) 이러한 댐의 설계홍수량은 댐 표고의 결정, 댐의 안전성 검토, 저수지 홍수조절능력의 검토, 홍수추적 등에 필수적인 자료가 된다. 또한 댐은 수공구조물 중에서 규모가 가장 크며, 월류 등 기타 원인으로 댐이 파괴될 때 발생하는 인명 및 재산 손실이 크기 때문에 설계기준이 강하다. 더구나 지구온난화와 엘리뇨 현상 등으로 집중호우 현상이 빈번하게 되어 댐 규모가 큰 경우는 가능최대홍수량을 고려해야 한다.

#### 1.9.1.1 설계 수리구조물 분류

- (1) 수리구조물의 종류는 구조물의 규모나 안전도 등을 고려하여 구분하며, 일반적으로 구조물 파괴에 따른 잠재적 피해를 근거로 다음과 같이 분류된다.

##### ① 소규모 수리구조물

가. 파괴되어도 인명손실이 없으며 피해액은 구조물을 대체하거나 수리비용 정도인 경우로서 배수구, 도시 우수관거, 공항 배수시설, 도로 암거, 도시 우수저류지, 소하천 제방, 소규모 댐의 여수로 및 부속시설 등이 이에 해당한다.

##### ② 중규모 수리구조물

가. 파괴되었을 경우에 약간의 인명손실이 있을 수 있으며 피해액은 구조물 관리자나 소유자의 재정 능력내에 있는 경우로서 수력발전시설, 관개용 수로, 중규모 댐과 저수지, 도시 홍수조절지, 철도 암거 등이 이에 해당된다.

##### ③ 대규모 수리구조물

가. 파괴되었을 경우에 막대한 인명손실과 광범위한 피해가 초래되는 경우로서 대규모 다목적 댐이나 조정지, 대하천 제방, 여수로, 원자력 발전시설, 대규모 관개수로, 하구언과 같은 것은 대규모 수리구조물의 대표적인 예이다.

#### 1.9.1.2 설계 빈도

- (1) 최적 수문 설계빈도는 구조물 공사에 소요되는 비용과 안전이 균형을 이루도록 선정하고, 수리구조물의 파괴로 인한 피해를 함께 고려하여 일반적으로 구조물의 중요도, 구조물의 수명연한, 경제성 등에 따라 결정한다.
- (2) 수리구조물의 설계를 위한 설계빈도는 추정한계치와 구조물별 설계빈도 개념을 바탕으로 결정될 수 있다.
- (3) 추정한계치는 수문정보를 최대치로 사용하여 어떤 위치에서 발생 가능한 수문사상의 최대크기로 정의된다. 추정한계치는 수리구조물의 크기를 고려하여 빈도를 설정하거나 설계빈도 이상에 대해서는 과거에 발생한 수문사상을 이용하여 수문기상학적으로 가능한 최대치를 추정하여 이용한다.
- (4) 최종 수문학적 설계값은 공학적 판단과 설계자의 경험에 따라 결정되어야 한다. 이를 결정하기 위해서는 설계강우와 홍수량의 위험도 분석, 치수경제성 분석, 그리고 경험과 표준기준에 따라 결정해야 한다.
- (5) 수문학적 설계규모를 판단하는 기준은 수문설계자의 공학적 판단과 경험을 바탕으로

결정하는 것이 바람직하다. 특히 극한 수문사상에 대한 수리구조물의 설계값을 결정하기 위해서는 공학적 판단과 함께 내용(耐用)연한을 초과하지 않는 설계기간에 닥칠 위험도를 평가하고, 연평균 비용을 최소화할 수 있는 재현기간에 대한 치수경제분석, 구조물 종류, 중요도, 홍수지역의 개발 정도에 바탕을 두어야 한다.

- (6) 댐은 규모가 큰 구조물이지만 일률적으로 기준을 적용하는 것보다는 규모별로 기준을 다르게 적용하는 것이 타당하다. 우리나라 필댐의 규모도 저수용량이 수십만  $m^3$ ~수천만  $m^3$ 의 범위로 매우 다양하다.
- (7) 따라서, 저수용량이 500만  $m^3$  이상 유역면적 25  $km^2$  이상인 경우에는 이상호우로 인한 댐의 안전을 고려하여 가능최대홍수량이 유입되는 것을 가상해야 한다. 그리고, 댐 높이가 15 m 이하인 소규모 댐에서는 댐이 범람될 때 침수가 예상되는 하류 유역의 토지이용 현황과 댐 파괴의 손실복구의 경제성을 고려하여 설계빈도를 50년~200년으로 다양하게 적용하는 것으로 한다.

### 1.9.1.3 설계홍수량 결정의 기본

- (1) 댐 설계에 필요한 홍수에는 유역으로부터 저수지로 흘러 들어오는 유입설계홍수, 물넘이 방류 설계홍수, 가배수 시설의 설계홍수 등이 있다.
- (2) 국내 실무에서는 여수로의 설계기준 홍수량으로 필댐의 경우 200년 빈도의 저수지 유입 홍수량의 120 % (500~1,000년 빈도)를 채택하여 저수지 추적에 의한 방류량으로 사용하였다.
- (3) 그러나, 최근 이상호우가 자주 발생하고 있어 이와 같은 빈도홍수량은 댐의 수명 기간 동안 초과될 확률이 높아졌다. 소양강댐의 경우(설계홍수량 1000년 빈도) 최대유입량은 11,995  $m^3/s$  (1990년 9월12일)로 500년 빈도에 육박한 값이었으며 현재 댐체를 보강하고 있다. 따라서, 댐의 규모가 큰 경우 댐 여수로나 댐 마루표고의 결정은 댐의 가상 파괴로 인한 예상 피해 규모를 고려하여 가능최대 홍수량을 기준으로 결정할 수도 있다.
- (4) 가능최대 홍수량은 가능최대강수량으로 인한 홍수량을 말하며, 유역에서의 가능최대 강수량이란 「주어진 지속기간 동안 어느 특정 위치에 주어진 유역면적에 대하여 연중 어느 지정된 기간에 물리적으로 발생할 수 있는 이론적 최대 강수량」이라 정의한다.
- (5) 댐 물넘이(spillway)의 설계홍수량은 저수지로의 PMF를 유입수문곡선으로 하고 저수지를 통해 홍수 추적하여 물넘이 단면에서의 최대 방류량을 택함으로서 결정된다

### 1.9.1.4 댐 설계 홍수량 산정시 고려사항

- (1) 저수지 유입설계 홍수 수문곡선의 산정은 댐 유역의 지리적 위치에 따른 최대 호우의 특성, 유역의 배수구역, 유역의 토양 및 식생피복 및 유출분포 특성 등을 고려하여 수행해야 한다. 유역의 홍수 규모는 유역의 지리적 위치에 따른 지형, 지질, 및 강우 특성에 따라 크게 변화한다. 따라서 설계 홍수량을 결정할 때에는 대상유역의 이들 영향인자에 대한 올바른 지식이 필요하다.

- (2) 가능 최대호우는 특정위치에서 특정호우면적에 주어진 지속 기간동안 수문·기상학적 으로 발생 가능한 최대강수량을 내리게 하는 호우로서 대규모 댐의 유입 설계 홍수량 결정을 위한 기준 호우이다. 가능최대강수량은 기발생한 극대호우의 강우깊이-호우면 적-지속기간(DAD) 관계를 이용하여 발생호우의 수분 최대화와 호우전이에 의해 포락 과정을 거쳐 결정되며, 강우지속기간별, 유역면적별 최대 가능강수량의 관계 (PMP-DAD)로 표시된다.
- (3) 우리 나라의 경우는 한국건설기술연구원(한국 가능최대 강수량 추정, 건설교통부, 2000년 6월)에서 연구 발표한 PMP가 설계의 기준 강수량이 될 수 있으며, PMP도는 강우지속기간 1, 2, 6, 12, 24, 48, 72 시간, 호우면적 25, 100, 200, 1,000, 2,000, 10,000, 20,000  $\text{km}^2$ 에 대하여 전국에 걸쳐 등우선도의 형태로 작성되어 있어 PMP추정 및 검증 에 매우 유효하다.
- (4) 댐 유역의 상류 하천망, 유역경계 등을 표시하는 유역도는 지형도로부터 작성하며, 유역면적, 유로 경사 및 연장 등 유역특성에 관한 자료와 기 설치된 수문관측소(우량, 수 위, 유량)도 총괄하여 표시해야 한다. 또한, 유역의 토양 분포, 식생피복 상태 및 토지 이용현황에 관한 것은 토양도, 토지 이용도로부터 획득하는 것이 바람직하다. 유역도 작성의 신뢰도를 높이기 위해 현지 답사를 해야 한다.

#### 1.9.1.5 가능최대홍수량 산정방법

- (1) 가능최대홍수량은 댐 유역의 면적규모와 설계 강우지속기간에 상응하는 가능최대 강 수량과 사·공간 분포를 고려한 가능최대호우를 결정한 후에 단위 유량도법, 유역 홍수 추적법과 같은 강우-유출 관계 모형을 사용하여 유출계산 과정을 거쳐 저수지로의 유 입설계 홍수수문곡선으로 산정한다.
- (2) 댐 유역의 가능최대 강수량은 수문 기상학적 분석으로 작성된 PMP도로부터 댐 유역의 면적크기와 설계 강우지속기간에 해당하는 PMP를 결정한다.
- (3) 이를 공간적 및 시간적으로 분포시켜 가능최대호우(Probable Maximum Storm, PMS)를 작성하여 유출계산에 사용하도록 한다.
- (4) 댐 유역에 대한 가능최대호우가 결정되면 강우-유출관계 모형에 의해 가능 최대 홍수 의 시간분포를 표시하는 PMF 수문곡선을 계산하게 된다. 흔히 사용되는 강우-유출관 계 모형으로는 단위유량도법, 합성 단위유량도법, 유역홍수추적법 등이 있으며, 이들 간단한 모형의 적용 방법에 대해서는 후술한다. 이외 강우-유출관계 모형으로 선형 혹 은 비선형의 유출모형들이 많이 개발되어 있으나 우리 나라 설계 실무에서는 입력되 는 수문 및 기상자료의 미흡으로 사용이 보편화되어 있지 않다.

#### 1.9.1.6 빈도홍수량의 산정 방법

- (1) 빈도홍수의 산정은 기왕에 발생한 침투홍수량 자료계열의 빈도해석에 의하는 것이 원 칙이나 홍수량 자료가 없을 경우에는 빈도 분석에 의해 설계강우를 결정한 후 강우-유 출 모형을 사용하여 설계홍수량을 산정한다.

- (2) 빈도 홍수는 특정 발생빈도를 가지는 홍수의 크기로서 발생빈도는 평균 재현기간 (average return period)으로 표시된다. 소규모 댐이나 수공구조물을 설계할 경우 이들 구조물의 가상과괴로 인한 경제적, 사회적 피해가 극심하지 않다고 판단될 경우에는 가능 최대 홍수량을 기준으로 설계할 경우의 건설 공사비를 절감시키기 위해서 빈도 홍수를 사용할 경우가 있다.
- (3) 빈도 홍수량은 댐 지점에서의 장기간 홍수량 자료가 계측되었을 경우 연 최대홍수량 계열을 작성하여 확률론에 의해 빈도분석(frequency analysis)을 행하여 빈도곡선을 얻음으로써 내삽 혹은 외삽에 의해 재현기간별 홍수량을 추정하여 구하는 것이 원칙이다. 그러나 실제로는 댐 지점에서 장기간의 홍수량 기록이 없는 경우가 대부분이므로 빈도분석으로 빈도 홍수량을 얻기란 우리 나라의 경우 특히 힘들다. 따라서, 비교적 자료가 풍부한 강우자료의 빈도 분석으로 댐 유역의 강우지속기간별 빈도홍수량을 결정한 후 이를 적절한 강우- 유출 모형에 의해서 빈도홍수량을 결정하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이 방법에서의 가정은 홍수의 발생빈도가 그의 원인이 되는 강우의 발생 빈도와 동일하다는 것이나 강우- 유출 관계의 비선형성을 감안하면 문제가 없지는 않으나 실무에서는 다른 대안이 없으므로 많이 적용되고 있다.

### 1.9.2 사용자료

- (1) 설계 홍수량 산정에는 유역의 수문기상자료와 지상자료가 필요하다. 수문기상자료는 설계빈도에 따른 설계강우량과 홍수량 자료를 말하며, 지상자료는 유달시간 계산, 유역 망 작성에 필요한 지형자료와 유출곡선지수 및 유출계수 산정에 필요한 토지이용 및 토양자료와 홍수흔적 등 홍수위로부터 수리계산에 의한 홍수량을 산정하는데 필요한 하천 종횡단 자료, 하천재료 등을 말한다.

#### 1.9.2.1 설계 강우량

- (1) 설계 강우량은 설계 홍수량을 산정하기 위한 기준강우량으로 설계목적에 따라 1시간, 1일, 2일 연속의 강우지속시간에 해당하는 빈도별 확률강우량, 가능최대강우량과 강우 분포를 산정한다.

##### ① 자료의 선정 및 수집

가. 유역내와 인근의 모든 관측지점으로 티센망을 구성하여 면적평균강우량을 산정한다. 설계빈도에 따라 20~30년 이상의 연최대치 계열의 1시간, 1일, 2일 연속 최대강우자료를 수집한다.

나. 최근의 집중호우 자료를 고려해야 한다. 과거 연최대 강우량 보다 최근의 연최대 강우량이 크게 나타나 확률분석에서 이상 값으로 처리될 수가 있으나 이를 제외시키지 않고 포함시켜야 한다.

다. 특히 댐-저수지와 배수시설이 건설된 이후에 그 지역에 설계빈도 이상의 강수량이 발생하였을 때, 그 강수량을 포함한 시계열 강수량자료로 분석하고 상향조정된 설계강수량으로 설계홍수량을 추정하고, 이에 안전하도록 배수구조물(물넘이 또



는 배수장)를 확장하여 보강하는 방안을 강구하도록 보완해야 한다.

## ② 빈도 분석

가. 여러 개의 확률분포함수를 검토하여 적합한 분포를 사용하거나 권장 확률분포 함수를 사용할 수 있다. 여러 개의 확률분포함수를 사용할 때는 적합도 검정이 필요하며, “한국확률강우량도 작성”(건설부, 2002) 및 “배수개선 홍수분석시스템 개발”(농어촌진흥공사, 1997)에서는 권장 확률분포함수로 극치1분포(Gumbel 법)를 추천하고 있다.

## ③ 확률강우량 산정

가. 기상청 및 건교부에서 관할하는 기상자료를 최근의 자료까지 포함하여 확률 분석을 한다. 분석 프로그램은 인정된 프로그램을 활용하거나 새롭게 작성하여 사용할 수 있다.

나. 유달시간이 1시간 미만의 작은 유역의 확률강우량은 IDF 곡선에서 구할 수 있다. 또한 한국 확률강우량도(건설부, 2002)를 활용할 수 있다.

## ④ 강우분포율

가. 설계수문곡선을 작성하기 위해서는 1일 또는 2일 확률강우량을 1시간 단위의 강우량으로 배분시켜 유출량을 계산해야 한다.

나. 확률강우량 배분방법에는 物部 공식, 강우강도식(건교부 IDF 곡선 등), Huff 4분위법, 삼각우량주상도법(Yen & Chow), Pilgrim & Corderly, Keifer & Chu 등의 방법이 있다.

다. 物部 공식의 지역상수  $n$ 값을 우리 나라 각 지점(농업진흥공사, 1982)에 따라 수정하였고 시간별 강우분포율을 산정하였다.  $n$ 값이 없는 관측소에서는 연최대치 계열의 1시간 최대강우자료를 이용하여  $n$ 값을 추정할 수 있다.

라. 유달시간이 1시간 이하인 소유역에서는 IDF 곡선에서 해당 유달시간을 강우지속시간으로 하는 강우강도를 직접 읽는다.

마. PMP 배분에는 미국 NWS(US National weather service) 방법을 적용한다.

### 1.9.2.2 홍수량 자료

(1) 연최대 홍수량 자료가 있으면 이를 빈도 분석하여 설계 홍수량을 계산하는 것이 모의에 의한 오차를 줄일 수 있기 때문에 바람직하다. 빈도 분석하기 위해서는 적어도 20~30년의 자료가 필요하다.

(2) 우리 나라에서는 계획지구에 관측된 홍수량 자료가 있는 경우는 매우 드문 형편이다. 따라서, 통상 설계홍수량은 설계강우량으로부터 모의에 의해 계산하고 있다. 그러나, 홍수량 자료가 빈도 분석에 사용될 정도의 자료수가 되지 못하더라도 가능한 수집해야 한다. 설계강우량으로부터 계산한 결과와 비교하여 홍수량 자료의 적정성을 판단하는데 사용할 수 있기 때문이다.

(3) 홍수량 자료는 수위관측소가 있는 경우와 없는 경우로 구분하여 수집한다. 수위관측소가 있는 경우는 수위-유량관계식이 있을 때는 이로부터 직접 유량을 계산하고, 없을

때는 등류 공식 등의 간접 방법에 의해 유량을 계산한다. 수위관측소가 없는 경우는 홍수흔적, 인근 주민의 청취 등으로부터 최대수위를 구하고 경사-면적법 등 간접 방법에 의해 홍수량을 계산한다. 홍수량 자료와 함께 유역과 인근 지역 관측소의 강우량 자료를 함께 수집해야 한다.

### 1.9.2.3 유역망 구축

- (1) 유역면적이 작고 형상이 단순한 경우에는 1개의 단일유역으로 간주하여 분석한다. 그러나 유역이 크고 하천이 복잡하거나 중요구조물이 많은 유역에서는 유역망을 작성하여 홍수유출량을 산정한다.
- (2) 유역이 큰 경우 전체 유역을 우선 소유역으로 적절히 분할해야 하며, 상류로부터 하류로 축차적으로 유출계산을 하는데 사용된다. 소유역을 구분할 때는 다음 사항을 고려해야 한다.
  - ① 분할된 소유역은 단일 유역의 특성을 가져야 한다.
  - ② 주요 지류와 본류의 합류점이 분할된 유역의 출구점이 되도록 한다.
  - ③ 기설 및 계획댐 지점을 출구점이 되도록 한다.
  - ④ 지형적 분수계와 지하수 분수계 등의 지형 및 하도특성을 고려한다.
  - ⑤ 홍수예경보를 목적으로 할 경우에는 우량관측소의 분포를 고려하여 본류와 지류상의 수위관측소가 가급적 분할 유역의 출구점이 되도록 한다.
  - ⑥ 보나 배수장 등이 수리시설물의 지배구역을 고려한다.

### 1.9.2.4 유달시간

- (1) 유달시간은 유역의 가장 먼 지점으로부터 유역의 출구 혹은 설계지점까지 물이 유하하는 시간으로서 산정방법에는 Rziha, Kerby, Kraven 및 California 도로국 공식 등이 있다.
- (2) 강우에 의한 유출의 반응을 유역반응이라고 하며 유역반응을 나타내는 시간변수는 홍수유출량 산정에 있어서 매우 중요한 요소이다. 이러한 시간 변수의 정확도는 설계홍수유출량 추정시 설계강우량과 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며 이 때 주로 사용하는 시간변수 중 하나가 유달시간( $T_c$ )이다.

### 1.9.2.5 산정절차

- (1) 지형도 상에서 홍수유출량 산정지점과 유역의 최원점 사이의 하천유로를 결정한다.
- (2) 유로를 따라 지형표고와 변곡점간의 거리를 측정한다.
- (3) 구간별 경사를 경사자승법으로 구한다.
- (4) 적용조건에 알맞은 유달시간 공식에 표고, 거리, 경사를 적용한다.
  - ① 산정방법  
가. Rziha 방법

- (가) 산간부에서 평야부(경사 1/200 이상)로 옮겨가는 곳에 적용한다. 우리나라  
에서와 같이 산간하천과 평야부 하천이 혼재할 때 사용하며, 유로의 경사  
도가 상이한 구간의 유달시간을 계산하고, 구간별 유달시간을 합산하여  
총 유달시간을 구한다.

$$T_c = \frac{L}{W_1}, W_1 = 20 \times \left(\frac{H}{L}\right)^{0.6}$$

여기서,  $T_c$ 는 유달시간(s),  $W_1$ 은 홍수도달속도(m/s),  
 $H$ 는 최상류지점과 유역출구까지의 고저차(m),  
 $L$ 은 최상류지점과 유역출구까지의 수평거리(m)이다.

#### 나. Kerby 방법

- (가) 산정에서 하천 시발점까지 구간에서 적용한다. 지표면 흐름이 주된 영역  
에서 유역면적이 0.04  $\text{km}^2$  보다 작고 경사가 1%보다 작으며 또한 지체계  
수가 0.8보다 작고 유로길이가 0.4 km 이하인 지구에 적용한다.

$$T_c = 1.44 \frac{(nL)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

여기서,  $T_c$ 는 유달시간(min),  $n$ 은 지체계수,  
 $L$ 은 유역의 최원점에서 하도시점까지의 유로연장(m),  
 $S$ 는 유역최원점과 하천발원점 까지의 평균경사이다.

#### 다. Kraven 방법

- (가). 평야부(경사 1/200 이하)에 주로 적용하며 경사도에 따라 개략적인 유속  
이 정해져 있다.

$$T_c = \frac{L}{W}$$

여기서,  $T_c$  : 유달시간(s),  $L$  : 유로연장(m),  
 $W$  : 유역평균유속으로 1/100인 경우 3.5 m/s, 1/100~1/200인 경우 3.0 m/s,  
1/200이하인 경우 2.1 m/s를 적용한다.

#### 라. California 도로국 공식

- (가) 산간지역의 소유역에 적용하며, 각 구간별 경사도가 심할 경우 가중평균  
을 사 용해야 하며 반대로 각 구간별로 적용하면 안된다.

$$T_c = (0.869 \frac{L^3}{H})^{0.385}$$

여기서,  $T_c$  : 유달시간(h),  $L$  : 가장 긴 유로장(km),  $H$  : 평균고저차(m)이다.

### 1.9.2.6 토지이용 및 토양자료

- (1) 유출곡선지수와 유출계수 산정에 토지이용 및 토양자료가 사용된다. 자료조사는 지형  
도(국립지리원)와 토양도(농촌진흥청)를 기초로 유역면적에 따라 조사의 정도를 다르  
게 할 수 있으며, 유역면적이 작을수록 상세하게 조사한다. 유역면적이 크면 상세하게

조사하여도 이것이 유출량 계산의 정확도를 크게 개선시키는 것이 아니며, 조사 자체의 업무량이 많기 때문에 유역면적에 따라 조사의 정도를 적절히 한다. 그러나, 수치 정보가 구축되어 있으면 새롭게 기준을 정립하여 사용할 수 있다.

#### 1.9.2.7 하천 종횡단 자료 및 하천재료

- (1) 수위 자료가 있더라도 수위-유량 관계식이 없는 경우나 홍수흔적의 수위자료로부터 간접적으로 유량을 계산하기 위해서는 하천 종횡단 자료와 하천 하상재료를 조사한다. 하천 종횡단 자료의 조사구간은 경사-면적법에 의해 홍수량을 추정하기 때문에 등류 개념에 가까운 구간을 선정하는 것이 좋다.

#### 1.9.2.8 가능최대 강수량

##### (1) 추정방법

- ① 가능최대 강수량추정방법에는 두 가지 방법이 있다. 하나는 수문-기상학적 방법이고 다른 하나는 통계학적인 방법이나 통계학적인 방법은 자료의 한계성과 방법의 불확실성으로 인하여 자주 사용되지 않고 지표로서만 이용된다.
- ② 수문-기상학적 방법은 호우효율을 고려하여 관측강우량을 증가시키는 방법을 따르고 있으며, 다음 식과 같이 수분최대화, 호우전이, 포락의 세 단계로 가능최대강수량을 추정한다.

$$PMP = OP \times RIP \times RHT \times RVT \times RGE$$

- ③ 여기서 OP : 관측강우량(mm), RIP : 수분최대화비, RHT : 수평전이비, RVT : 수직전이비, RGE : 지형영향 이다.
- ④ 관측강우량은 댐 지역과 같은 면적과 형상에 해당하는 면적강우량이어야 하며 호우전이와 포락을 고려하여 우리 나라에서 가장 크고 중요한 호우를 모두 선정하여 면적강우량을 산정해야 한다.
- ⑤ 선정된 대상호우지역의 그 계절에 해당하는 최대 12시간 이슬점을 관측이슬점의 최대치와 50년 또는 100년 빈도 이슬점을 이용하여 산정하고, 댐 지역에도 같은 방법으로 최대 12시간 지속 이슬점을 산정한다.
- ⑥ 대상호우 기간의 수분 유입을 대표할 수 있는 대표 12시간 지속 이슬점을 호우발생 지역내에서 산정한다.
- ⑦ 호우지역별로 최대 및 대표 12시간 지속 이슬점을 이용하여 수분최대화를 실시한 후 대상호우를 댐 지역으로 전이시킨다. 이때 전이에 필요한 수평전이비는 호우지대와 전이지대의 최대 12시간 지속이슬점에 의한 가능강수량에 의해, 수직전이비는 두 지대간의 표고차이에 따른 가능강수량에 의해 산정된다. 물론 지형에 의한 강수량의 변화를 고려한 지형 영향비를 고려하는데 두 지점간의 100년 강수량의 비가 이용된다.
- ⑧ 전이되어 조절된 면적강수량 중에 최대치를 가능최대 강수량으로 채택한다.

## (2) 한국 가능최대 강수량도

- ① 건설교통부는 댐과 같은 주요 수공구조물의 설계 홍수량 결정을 위해 전국에 일관된 한국 가능 최대 강수량도(PMP도)를 작성 제시하였다. 이 PMP도는 건설교통부가 한국건설기술연구원에 조사연구를 위탁하여 2000년 6월 한국 가능최대강수량도('99 수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 「한국 가능최대 강수량 추정」)를 발간하였으며, 우리 나라의 공인된 PMP 결정 기준이다. 이 PMP도는 수문기상학적 방법을 이용하였으며, 강우지속기간은 1, 2, 6, 12, 24, 48, 72시간, 호우면적 25km<sup>2</sup>, 100 km<sup>2</sup>, 200km<sup>2</sup>, 1,000km<sup>2</sup>, 2,000km<sup>2</sup>, 10,000km<sup>2</sup>, 20,000km<sup>2</sup>를 기준으로 하여 PMP도를 1 : 1,500,000 지형도 위에 등우선의 형태로 작성하였다. 전국 PMP도는 전국에 걸쳐 1969~1999년에 걸쳐 발생한 주요 호우사상의 DAD 분석과 수분 최대화, 호우전이, 포락 등의 과정을 거쳐 작성하였다.

## (3) 추정절차

- ① PMP를 추정하고자 하는 대상구역의 위치와 구역면적 및 구역중심을 1 : 50,000 혹은 1 : 25,000 지형도 위에서 결정한 후 구역 중심의 좌표를 전국 PMP 도로 옮겨 위치를 결정한다. 대상구역 중심을 기준으로 지속기간(1, 2, 6, 12, 24, 48, 72시간) 별로 구역면적보다 크고 작은 호우면적에 해당하는 가능최대강수량(PMP)을 PMP도로 부터 보간하여 읽으며, 지속기간과 구역면적의 연속성과 일관성을 위하여 강우깊이-지속기간 관계의 포락 및 균일화 곡선을 그린 후 강우깊이-면적-지속기간에 대한 포락 및 균일화를 실시하여 이 곡선으로부터 구역면적에 해당하는 지속기간별 PMP를 읽어 결정한다.

## (4) 가능최대호우의 결정

- ① 설계 구역에 대하여 결정된 지속기간별 가능최대 강수량의 시간적 분포 결정에 의한 PMP 주상도의 결정은 원칙적으로 대상구역에 대하여 분석된 강우의 시간분포형에 따라야 하나 이의 결정이 어려울 때에는 기타 방법에 의존할 수밖에 없다. 설계 강우인 최대가능강수량의 시간적 분포는 대상구역 강우의 시간분포 특성분석에 의한 표준 분포형에 맞추어야 한다.
- ② 실무의 경우 전방위, 중방위, 후방위 등으로 시간강우량을 배열하는 방법인 blocking 방법이 이용되어 왔으나 실제호우와의 비교가 이루어지지 않아서 임의적으로 사용되고 있는 실정이다. 「한국 가능최대 강수량 추정」에서 추천하고 있는 시간분포방법은 Huff 방법이며, 아울러 공간분포 형상도 실제호우의 경우와 이상적인 형태의 호우로 구분하여 적용성을 고찰하였다.

## (5) 지속기간의 결정

- ① 댐 설계시에는 댐 마루표고, 물넘이, 수문 및 배열의 결정, 저수지 운영, 강우의 시공간분포까지 고려하고 또한 이들의 상호작용이 매우 복잡하기 때문에 일정하고 고정된 형태로 가능최대강수량의 지속기간을 설정할 수 없다.
- 가능최대 강수량의 지속기간은 구역특성, 강우의 시공간특성, 댐의 특성 등의 상호

작용을 최적으로 반영할 수 있도록 여러 지속기간을 선택하고, 강우-유출관계 및 저수지 추적을 통하여 최대의 홍수량이 발생하는 시간을 최적의 가능최대 강수량의 지속기간으로 설정해야 한다.

### 1.9.2.9 유효강수량주상도 작성

#### (1) 유효수량 산정방법의 분류

- ① 설계강수량 주상도로부터 시간구간별 손실수량을 제외시켜 작성하는 것으로, 일정비법, 일정손실률법, 초기손실-일정손실률법, 침투곡선법, 표준형 강우-유출관계곡선법 등이 있다.

#### (2) 일정비법

- ① 시간구간별 강수량의 일정비가 손실되고 나머지가 유효수량이 된다고 가정하는 것으로서 유출계수(runoff coefficient)와 같은 개념으로 유효수량을 계산하는 방법이다. 이 방법은 과다한 선행강우로 인해 유역의 지표면이 거의 포화되어 있을 경우에는 비교적 적절한 결과를 주는 것으로 알려져 있다.

#### (3) 일정손실률법

- ① 강우기간 동안의 손실률(또는 침투능)이 일정하다고 가정하는 방법으로  $\phi$ -index방법과 동일한 개념을 가진다. 이 방법은 유역의 선행 토양함수량이 많고 큰 호우를 대상으로 할 경우 적절한 방법이다.

#### (4) 초기손실-일정손실률법

- ① 유역의 토양수분미흡량이 초기침투량으로 충족될 때까지는 유출이 발생하지 않으며, 초기손실이 발생한 이후에는 일정률로 손실된다고 가정하는 방법으로 유역이 비교적 건조한 상태에 있을 경우 적절한 방법이다.

#### (5) 침투곡선법

- ① 강우가 계속됨에 따라 토양의 침투율이 감소하는 특성을 표시하는 Horton, Holtan, Phillips 등의 침투능곡선으로 시간구간별 손실량을 계산하는 방법으로 이론적으로는 가장 합리적이지만 유역상태에 맞는 침투능곡선 계산이 어렵다.

#### (6) 표준형 강우-유출관계 곡선법

- ① 광범위한 수문관측자료의 분석으로 유역의 유출특성에 따라 강수량과 유출량의 관계를 설정해 둬으로써 특정 강수량이 발생했을 경우의 유출량을 산정하는 방법이다. 가장 대표적인 방법은 미국 토양보존국(US Soil Conservation Service ; SCS) 유효수량 산정법으로 유역의 토양형, 식생피복형 및 처리상태 등의 유출특성과 선행 토양 함수조건 등을 고려하는 등 객관성이 높다.

#### (7) 유효수량 산정방법의 선택 및 손실량의 결정

- ① 강우손실량의 계산에 의한 유효수량의 산정을 위한 5가지 방법은 각각 장단점을 가지고 있으며 적용대상 유역에서의 검증절차를 거쳐 가장 적절한 방법을 선택함이 원칙이나 그러하지 못할 경우에는 적용의 객관성이 높은 방법을 선택하는 것이 바람직하다.

- ② 댐 대상유역의 내외에 강우-유출자료가 있는 경우 PMP 추정시의 강우손실은 주요 홍수로 해석된 강우손실값 중 가장 작은 값으로 선정하는 것이 바람직하다. 우리나라 중소유역에 대한 유출량의 실측자료가 부족하여 강우손실량의 계산을 위한 적절한 방법이 설정되어 있지 않아 유효우량의 계산에 어려움이 많으나 비교적 객관성이 높고 유역의 지상인자의 결정에 의해 계산이 가능한 SCS의 유효우량 산정법이 많이 사용되고 있다.

### 1.9.3 산정방법

- (1) 설계홍수량 산정 방법은 사용 목적에 따라 첨두 홍수량과 홍수수문 곡선 산정으로 구분된다. 또한, 각각의 방법은 홍수유출량 자료의 유무에 따라 계측 유역과 무계측 유역으로 구분된다.
- (2) 첨두 홍수량 산정은 계측 유역에는 빈도분석 방법을, 무계측 유역에는 합리식 등을 사용한다.
- (3) 홍수수문곡선 산정은 계측 유역에는 대표단위도 방법 또는 홍수 수문모형을, 무계측 유역에는 합성단위도법을 사용한다.

#### 1.9.3.1 빈도분석 방법

- (1) 기왕의 장기간 홍수자료를 확률처리해서 설계홍수량으로 취하는 방법이다. 확률처리의 대표적 방법으로는 대수확률지법, 대수정규분포, Type I 극치분포, Gammma 분포 등에 의한 빈도계수법을 들 수 있다.

#### 1.9.3.2 합리식에 의한 방법

- (1) 홍수의 첨두유출량을 계산하기 위한 간편한 방법으로 저류효과를 고려할 필요가 없는 소규모 유역에 적용해야 신뢰도가 높다. 도시배수로, 경지정리 배수로 단면, 소류지 물넘이, 비행장 배수로, 도로 횡단암거 등의 단면결정을 위하여 홍수도달시간이 짧은 단기간 호우시 첨두홍수량을 추정하는데 가장 널리 적용되고 있다. 입력자료는 유역면적, 도달시간을 지속시간으로 하는 설계빈도의 강우강도, 유출계수이며, 도달시간은 토지이용상태, 유역경사, 하천길이에 의하여 결정된다.

$$Q = \frac{1}{3.6} C \cdot I \cdot A$$

여기서, Q 는 피크 유량(m<sup>3</sup>/s), A 는 유역면적(km<sup>2</sup>), C 는 유역특성에 따른 유출계수, I 는 홍수도달 시간의 평균강우강도(mm/h)이다.

#### 1.9.3.3 적용범위

- (1) 합리식을 적용할 수 있는 소유역은 ① 강우가 시간과 공간에 대하여 균일하게 분포하고 ② 강우지속시간이 홍수도달시간 보다 크고 ③ 유출은 주로 표면류(Overland flow)이고 ④ 하천류의 저류과정은 무시할 수 있는 등의 특성을 가지는 규모를 말한다. 적

용범위는 홍수도달시간 1시간 미만, 유역면적은 도시지역 1.3~2.5 km<sup>2</sup>, 농경지유역 10 km<sup>2</sup> 까지가 일반적이다.

### 1.9.3.4 유출계수

- (1) 합리식 적용에는 적합한 유출계수 C 값 선택이 가장 중요하다. 건설교통부는 유역상태별 유출계수 값을 제시하고 있으나, 우리 나라 유역에서 체계적으로 조사된 유출계수가 없는 실정이므로 이에 대한 실험적 연구가 필요하다.

### 1.9.3.5 단위유량도법

- (1) 시간강우 및 유출자료가 관측된 경우에만 단위유량도 유도과 적용이 가능하며, 중규모 유역(1,000~5,000 km<sup>2</sup>)에 주로 적용하고 있다.
- (2) 단위유량도(unit hydrograph)는 1932년 Sherman에 의해 제안되었으며, 「특정 단위시간 동안 균일한 강도로 유역 전반에 걸쳐 균등하게 내리는 단위 유효우량(1 cm)으로 인하여 유역 출구에 발생하는 직접유출량의 시간적 변화를 나타내는 곡선」이라 정의할 수 있고 일정기저시간 가정, 비례 가정 및 중첩 가정을 전제로 한다.
- (3) 단위유량도의 유도
  - ① 호우사상의 선택  
가. 단위 유량도를 실측 수문자료로부터 유도할 경우에는 다음 사항을 고려하여 가급적 단일 침투홍수를 가지는 단순호우사상을 택하여 해석함이 바람직하다.
  - ② 강우지속기간 동안 강우강도가 가급적 균일하게 분포한 강우사상
  - ③ 유역 전역에 걸쳐 강우의 공간적 분포가 가급적 균일한 강우사상
  - ④ 강우의 지속기간이 유역지체시간의 약 10~30 % 정도
  - ⑤ 호우로 인한 직접유출고(유효우량)가 약 13~44 mm 이상인 강우사상
- (4) 단위유량도의 유도절차
  - ① 단순호우 사상별 단위유량도의 유도는 직접 유출 수위곡선 및 총우량 주상도의 작성, 직접유출고의 계산에 의한 단위유량도 시간종거의 계산, 단위유량도의 지속기간 결정 등의 순서로 이루어진다.
  - ② 유역내 자기우량 관측소에 기록된 시간별 누가우량자료와 유역출구 지점(댐 지점)의 시간수위 자료(수위 수문곡선)로 다음 절차를 따른다.
  - ③ 직접유출 수문곡선은 유역 출구지점에서 관측된 수위수문곡선을 rating curve에 의한 유량수문곡선으로 바꾼 후에 기저유출을 분리시킴으로써 작성한다. 기저유출을 분리하는 방법에는 주지하수 감수곡선법, 수평직선 분리법, N-Day법 등이 있다.
  - ④ 총우량 주상도(total rainfall hyetograph)는 대상 유역내외의 우량관측점에 기록된 누가우량곡선을 Thiessen법, 등우선법 혹은 산술평균법 등으로 시간별로 평균하여 유역평균 누가우량곡선을 작성한 후 이로부터 시간구간별 강우강도를 계산하여 작성한다.
  - ⑤ 직접유출고는 직접 유출수문곡선에 의해 직접 유출용적(m<sup>3</sup>)을 산정하고 이를 유역



면적으로 나누어 계산된다.

- ⑥ 단위유량도의 시간별 종거는 단위유량도가 단위유효우량(혹은 단위 직접유출고, 1 cm)으로 인한 직접유출수문곡선이므로 비례가정에 의거 직접유출 수문곡선의 시간별 종거를 유역평균 직접유출고로 나누어 유도한다.
- ⑦ 유도된 단위유량도의 지속기간은 단위유량도의 지속기간이 유효우량의 지속기간과 같이 정의되므로 총우량주상도로부터 직접유출고에 상응하는 유효우량을  $\phi$ -index 방법으로 분리했을 때의 유효우량의 지속시간으로 한다.

### 1.9.3.6 홍수 수문 모형

- (1) 우리 나라에서 홍수 수문모형이 설계에 적용된 예는 드물지만, 수문자료와 지상 공간 자료의 축적과 정보화 시대에 부응하여 수문모형을 사용하는 것도 바람직하다. 수문모형의 수는 많지만 몇 가지를 살펴보면 다음과 같다.
- (2) 저류함수법
  - ① 홍수류의 운동방정식에 유역이나 하천에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 대입하여 홍수류의 연속방정식을 해석함으로써 홍수유출량을 계산하는 방법이다. 우리나라에서는 한강홍수예정보, 다목적댐의 홍수기 운영 등에 사용되어 왔고 계산절차가 간편하다.

### 1.9.3.7 USDAHL

- (1) 유역의 지표유출, 침투, 증발산, 중간유출, 지하수 등 거의 모든 수문순환과정을 포함한다. 유역 수문자료와 유역특성의 변이를 곧바로 수용할 수 있는 융통성이 있어 실제 유역수문반응을 예측하는 범위가 크다. 이 모형은 경지유역에서의 적용을 위해 개발되었으며, 소하천 유역에 가장 잘 맞으며 건조지역보다는 습윤지역에 더 잘 적용될 수 있는 것으로 알려져 있다.

### 1.9.3.8 Tank 모형

- (1) 유역을 일련의 저수지 조합으로 보는 모형으로서 Tank의 측면유출을 통해 유출이 발생하며 바닥출구를 통해서는 침투가 발생하고 Tank 내에서는 저류성분이 존재하는 것으로 본다.

### 1.9.3.9 HEC-1

- (1) 미공병단에서 개발한 종합홍수량 산정 프로그램으로 유역망에 따른 홍수유출량 산정이 가능하다. 소유역 적용에는 주의를 요한다.

### 1.9.3.10 합성 단위유량도법

- (1) 단위유량도의 특성변수들을 유역 유출특성인자들과 상관시켜 수문자료가 없는 무계측

유역에 대한 단위유량도를 작성하는 방법으로 SCS방법, Snyder방법, 나까야스(中安), 유역홍수추적법 등이 있다. 이 중에서 필댐의 설계홍수량 계산에 가장 많이 사용된 방법은 SCS방법이고, 논 유역의 특성을 고려하여 SCS방법을 응용한 FAS(홍수분석시스템)과 하천기본정비계획에서 널리 사용되는 유역 홍수추적법을 소개하면 다음과 같다.

### 1.9.3.11 SCS 합성단위유량도법

- (1) 미국 토양보존국(SCS)이 미계측유역의 유량도를 작성하기 위해서 미국내 여러 지역의 소유역으로부터 유도한 단위도의 특성을 종합하여 만든 무차원 단위도를 이용하는 방법이다.

### 1.9.3.12 홍수분석시스템

- (1) FAS(Flood Analysis System)는 SCS 홍수유출방법을 우리 나라 논 유역의 유출특성을 고려하여 개발한 홍수유출 해석 전산 프로그램이다.
- (2) 기존의 홍수유출모형(HEC-1, Complex Method)등은 외국에서 개발된 것으로 대단위 유역을 대상으로 개발되어 산간 소유역에는 적용성이 떨어지며, 우리 나라 유역의 중요한 특징 중 하나인 논 유출을 고려하지 않고 있다. 또한, 첨두홍수량에 직접 영향을 미치는 유역의 경사도 인자를 고려할 수 없는 단점이 있다. 따라서, FAS는 유역경사도를 5가지로 구분하여 보완, 개발한 홍수유출 추정모형으로 기준화된 설계절차에 따라 배수개선사업을 수행하는 것을 목표로 하였으며, 논 유역의 홍수유출량, 일반유역의 홍수유출량 산정 및 홍수추적으로 구성하고 기초자료를 DB로 관리하는 종합홍수분석 시스템이다.

### 1.9.3.13 유역 홍수추적법

- (1) 유역 홍수추적법은 대상유역을 한 개 또는 여러 개의 저수지와 하천으로 구성되어 있다고 가정하여 유역으로부터 출구지역으로의 홍수유출량을 계산하는 방법이다. 대표적인 방법으로 Nash 모형, Clark 모형 등이 있다.
- (2) 하천유역을 일련의 저수지 혹은 일련의 저수지와 하도로 구성하여 각 저수지의 저류 방정식(storage equation)으로부터 수문학적 홍수추적방법에 의해 순간단위유량도를 유도한 후 특정 호우로 인한 홍수유출 수문곡선을 계산하거나 혹은 저수지 유입량을 직접 계산하고, 방정식에 입력하여 유출량을 구함으로써 홍수유출 수문곡선을 얻는다.

$$I - O = \frac{dS}{dt}$$

여기서, I와 O는 저수지로의 시간별 유입량(m<sup>3</sup>/s) 및 유출량(m<sup>3</sup>/s)이고 S는 저수지내(또는 저수지와 하도내) 저류량(m<sup>3</sup>, (m<sup>3</sup>/s)·d)이다.

## 2. 조사 및 계획

- 내용 없음

## 3. 재료

### 3.1 축제재료

- (1) 축제재료 선택은 경제적으로 얻을 수 있는 모든 재료의 성질을 활용 하여 댐의 차수와 안정 기능을 효과적으로 발휘하도록 구성한다.

#### 3.1.1 재료의 분류

##### (1) 재료의 분류

- ① 흙은 토질공학적 분류로서는 입경에 따라 점토, 실트, 모래, 자갈 등의 토질재료와 암질재료로 분류하고, 암질재료는 사석재료 및 록(rock)재료로 구분한다. 또한, 재료의 성질이 영성하고 고르지 못하여 장래 풍화에 의하여 변질될지도 모르는 재료를 일괄해서 랜덤재료라 한다.
- ② 땜땜의 설계 시공상에 있어서 다진 뒤의 투수성에 따라 불투수성 재료, 투수성 재료, 그 중간의 투수성을 가지는 것을 반투수성 재료로 분류하며, 일반적으로 토질재료는 불투수성 재료로서, 사력재료 및 록재료는 반투수성 또는 투수성 재료로서 사용한다. 여기서 불투수성이란 다진 재료의 투수계수가  $1 \times 10^{-5}$  cm/s 보다 적은 것, 투수성이란 다진 재료의 투수계수가  $1 \times 10^{-3}$  cm/s보다 큰 재료, 또 반투수성이란 다짐을 한 재료의 투수계수가 불투수성과 투수성과의 중간정도인 것을 각각 표준으로 한다.
- ③ 땜땜은 물을 막는 불투수성부와 땜체의 안정을 유지할 투수성부를 최소한의 구성요소로 하며, 이 요소의 경계에는 반투수성부를 두어 재료의 급변에 의한 사고를 방지하도록 설계하고 있다. 그러나, 이들 세부분의 서로 상대적인 성질이므로 각각의 축제재료의 안정성이나 불투수성은 물론 필요하나 땜 전체로서 기능을 잘 발휘하도록 설치하는 것이 중요하다. 특히, 기초압반하고 접하는 차수 존의 토질재료는 함수비 및 최대 입경이 일반 차수재료와는 달라야 하므로 특별한 고려가 필요하다.

##### (2) 축제재료의 입도 범위

- ① 흙의 투수성, 강도, 압축성 등을 고려하여 각 부분의 재료를 선택하는 방법에는 여러 경우가 있으나 개략적인 방법으로 입도곡선에 의하는 것이 가장 간편하다.

##### (3) 재료의 혼합

- ① 축제재료의 성질을 보다 적절히 하기 위해서 재료를 혼합하여 토성개량을 할 때가 있다. 취토장이 여러 층으로 되어 있을 때는 쇼벨로 채취하면 쉽게 혼합시킬 수 있다. 또 여러 개소의 취토장의 이질재료를 토성개량하기 위하여 스톡파일 방식으로

혼합하여 신뢰성이 높은 재료를 얻을 수가 있다. 이의 단점은 야적장(stock yard)의 확보 및 고가로 된다는 것이다.

### (4) 큰 입자의 제거

- ① 축제재료중의 허용 최대 입경은 보통 전압후의 층 두께보다 다소 적은 정도이다. 불투수성부에서 양측식 롤러일 때, 12~15 cm 타이어 롤러인 경우는 이보다 약간 커진다. 그러나 랜덤부나 투수성부에서는 60 cm에서 100 cm 정도까지 허용된다. 특히 큰 자갈을 적게 함유한 때에는 손으로 고를 수 있으나 20~40 % 이상 함유한 때는 스크린 플랜트를 설치하는 것이 유리하다. 실트나 모래에 큰 자갈이 있는 재료는 그대로 불투수성 재료 또는 랜덤 재료로 쓰는 것이 좋은가 또는 체를 통하여 투수성 재료와 불투수성 재료로 나누어서 쓸 것인가를 비교 검토할 필요가 있다.

## 3.2 토질재료

### (1) 토질재료의 일반적 성질

- ① 토질재료는 댐 안정에 미치는 팽창 및 압축(수축)성이 적고, 수용성 물질이나 유기물을 포함하지 않은 재료를 사용하여야 하며, 다짐이 용이하고 시공시 간극압의 발생량이 적은 재료로서 다짐 상태에서 소요의 투수계수와 전단강도를 만족시켜야 한다.
- ② 토질재료는 일정한 다짐에너지로 다질 때, 최대건조단위중량이 되는 최적함수비를 가지며 일정 함수비일 때는 고함수비 점성토를 제거하면 다짐에너지가 클수록 건조단위중량이 커진다.
- ③ 토질재료의 다짐상태에서의 투수계수 및 전단강도는 재료의 종류 및 입도에 따라 다르고 함수비 및 건조단위중량에 따라 크게 영향을 받는다.
- ④ 일반적으로 동일 토질재료는 건조단위중량이 클수록 전단강도가 크고 투수계수 및 변형량은 적은 경향이 있다.

### (2) 투수계수

- ① 투수계수는 세립분을 많이 함유하는 재료일수록 작다. 동일재료를 일정한 다짐에너지로 다졌을 때 최적함수비보다 다소 습윤 측에서 투수계수는 최소가 되고 다짐에너지를 크게 하여 건조단위중량이 커질 때 투수계수는 작아진다.

### (3) 토질재료의 전단강도

- ① 토질재료의 전단강도는 일반적으로 겉보기 점착력과 전단저항각의 강도정수로 표시한다. 이들 정수는 유효응력 표시에 의한 정수( $c'$ ,  $\phi'$ )와 전응력 표시에 의한 정수( $c$ ,  $\phi$ )의 2종으로 구분된다.
- ② 전단강도는 동일재료를 일정한 다짐에너지로 다질 때 최적함수비보다 습윤측 또는 건조측이 될수록 저하되며, 다시 다짐에너지를 크게 하여 건조단위중량이 커질 때에는 전단강도는 커진다.
- ③ 전응력 표시(비압밀비배수 조건)일 때, 강도정수는 동일재료, 동일건조단위중량일 때,

포화도 또는 함수비 및 구속압에 큰 영향을 받는다.

- ④ 전단시험시의 포화도가 높을수록 점착력성분(이하 점착력이라 한다)이 커지고 전단저항각은 작아진다. 역으로 포화도가 낮아지면 점착력이 작고 전단저항각은 커진다.
- ⑤ 유효응력으로 표시할 때에는 강도정수에 미치는 포화도의 영향이 적고 동일재료, 동일건조밀도이면 거의 일정한 점착력과 전단 저항각을 나타내는 경향이 있다. 또 조립분을 많이 함유한 재료일수록 점착력이 작고 전단 저항각이 큰 경향을 나타낸다. 더욱이 건설단계에서는 다짐할 때의 함수비가 높고 투수성이 낮은 재료일수록 성토 시 과잉 간극수압이 높아진다. 또 저류수의 침투에 의하여 제체 내에 간극수압이 작용한다. 이와 같은 압력은 전단강도에 크게 영향을 끼치므로 시공중 성토완료 직후 및 성토완료 수년 후 각 단계에서의 제체 내의 간극수압을 정밀하게 추정하여 이것을 안정 해석에 쓸 필요가 있다.

#### (4) 토질재료의 다짐

- ① 다짐은 일반적으로 조립분을 많이 함유하는 재료일수록 용이하며 동일재료를 일정한 다짐에너지로 다질 때는 최적함수비 부근의 다짐이 더욱 용이하다. 이토와 같은 고품수비 점성토는 자연함수비가 최적함수비보다 상당히 높고 실제시공이 어려울 뿐 아니라 다짐에 의한 뒤섞임 영향으로 전단강도가 저하되는 일이 많다.
- ② 또 자연함수비가 최적함수비보다 적은 토질재료도 있다. 따라서 다짐에너지에 특히 유의하여야 하며 때에 따라서는 재료를 효과적으로 다지기 위하여 함수비를 조정해야 한다.

#### (5) 토질재료의 변형량

- ① 조립분을 많이 함유하고 건조밀도가 클수록 다짐 후의 변형량은 적다. 조립분을 많이 함유한 재료는 압축변형이 주가 된다.
- ② 또 세립분을 많이 함유한 재료는 압밀변형이 주로서 압밀은 장시간을 요하며 성토완료 후까지 계속할 때도 있다. 제체의 변형을 될 수 있는 대로 적게 하기 위하여 재료의 압축지수를 0.2 정도 이하로 하는 것이 좋다.

#### (6) 유기물

- ① 재료중 유기물은 화학변화에 의하여 재료의 성질을 변화시키는 경향이 있으므로 유기물을 많이 함유하는 재료는 좋지 않다.
- ② 재료 중 나무뿌리 초류는 부패 용출하여 간극을 생기게 함으로 제거해야 한다. 재료중의 유기물 함유량은 재료 종류, 기후, 식생, 수분, 환경 등에 따라서 다르나 이탄과 같이 대부분이 미분해 유기물인 흙이나 일부 연약축적 지반에서와 같이 10 % 정도의 유기물을 함유하는 흙 또는 화강토와 같이 1% 내외의 부식분을 함유한 흙 등이 있다. 유기물 함유량이 2~4 % 정도가 되면 전단강도나 압축성에 영향을 주므로 이러한 재료는 사용하지 않는 것이 좋다

### 3.2.1 사력재료

#### (1) 사력재료의 일반적 성질

- ① 사력재료는 단단하고 입도가 양호하며 건조단위중량이 큰 재료로서 다짐이 용이하고 변형량이 적은 재료가 바람직하다. 특히 세립분의 함유량이 많은 경우 시공 중에 과잉간극수압이나 수위 급강하시의 잔류 간극수압이 발생하지 않도록 주의한다.
  - ② 사력재료의 전단강도는 입자의 형상, 입도, 건조단위중량은 물론이고 응력상태에 따라서도 다르다. 일반적으로 재료가 단단하며 입도가 좋고 건조단위중량이 클수록 전단강도가 크다. 투수성은 입도에 따라 특히 세립분 함유량에 따라 현저하게 다르다.
  - ③ 동일재료에서는 건조단위중량이 클수록 투수계수는 작다. 다짐은 일반적으로 입도가 양호할수록 쉽고 큰 건조단위중량이 얻어진다. 변형량은 건조단위중량이 클수록 적다.
- (2) 사력재료의 전단강도
- ① 사력재료의 전단강도는 일반적으로 마찰력 성분이 지배적이고 토질재료보다 록재료에 가까운 경향을 나타낸다. 그러나 투수성이 낮은 사력재료에서는 시공중의 과잉간극수압이나 수위급강하시의 잔류간극수압에 대하여 검토하는 것이 필요하다. 다짐 정도는 토질재료의 다짐특성에서와 같이 최적함수비나 최대건조단위중량이 뚜렷하게 나타나지 않으므로 상대밀도로 나타내는 때가 있다.

### 3.2.2 록재료

- (1) 록재료의 일반적 성질
- ① 록재료는 다진 상태에서 소요의 전단강도와 투수성(투수계수는 일반적으로  $1 \times 10^{-3}$  cm/s 보다 클 것)을 만족하고, 유해물질을 함유하지 않은 단단하고 내구성이 크고 변형이 적은 재료가 바람직하다. 특히, 록재료로서 가장 요구되는 것은 안전성이므로, 견고하고 균열이 적고 물이나 기상작용에 대한 내구성이 커야 한다. 또한 될수록 크고 모난 것이 좋고 얇은 조각으로 깨지는 것은 좋지 않다. 화성암, 변성암은 좋으나 수성암은 그대로 록재료로서 쓰지 못할 경우도 있다. 암석에서 가장 문제되는 것은 발파에 의한 입도이다.
  - ② 록재료는 주로 평균입경이 15 cm 이상의 것을 말하며, 이상적으로는 무게 250~500 kgf(입경 45~60 cm)이상, 10 cm이하의 입경을 5 % 이상 포함하지 않을 것, 부릴 때에 파쇄되지 않고, 비중 2.5이상, 압축강도 700 kgf/cm<sup>2</sup> 이상, 내구성(황산나트륨) 0.015 % 이하를 추천하고 있으나 현장 조건, 댐의 규모 등에 따라 조절하여 사용할 수도 있다. 만약, 암에 황철광이 함유되어 있으면 물이나 산소와 화학반응하여 유해물질이 발생할 우려가 있으며, 단층 파쇄대의 점토광물에 의하여 강알카리성 물이 발생되는 경우도 있으므로 암의 화학적 작용과 영향에 대하여도 충분히 고려할 필요가 있다.
  - ③ 록재료에는 시공 중에 파쇄되어 세립화 하는 재료나 풍화할 우려가 있는 재료도 있고 또 반투수성 재료의 범위에 속하는 때도 있다. 따라서 이들 재료를 사용할 때는 설계치 결정이나 존의 배치에 있어 적절한 고려를 해야 한다.
  - ④ 록재료의 전단강도는 재료의 경도, 입자의 형상, 입도 및 응력상태에 따라 다르다. 일

반적으로 재료가 굳은 것, 입도가 좋고 밀도가 클수록 전단강도는 크고 축제 후의 변형량도 적다.

- ⑤ 특히 충분한 고결작용을 받지 않은 점토 세일은 일반적으로 무르고 전압에 의하여 파쇄된다. 실내 시험기준은 아직 규정이 없으나 압축강도, 흡수량, 충격시험, 로스앤 젤레스 마모시험, 풍화도 시험(건습 반복법, 황산나트륨법, 동결융해법) 등 과거부터 콘크리트 골재시험으로서 해온 것을 참고로 하고, 화학적 성질에 관한 시험, 직사일 광 등으로 유화작용을 결정한 시험 등 암의 역학적, 화학적 성질을 파악해서 축제재료로서의 적부를 검토할 필요가 있다.
- ⑥ 또, 공기에 노출되어 건습의 반복을 받으면 쉽게 슬래킹(slaking)되어 세편으로 부서지는 것이 많다. 그 결과 재료의 중요한 성질인 전단강도, 투수성, 압밀도 등 중요한 성질에 변화가 생겨서 이것이 제체 안정에 좋지 못한 영향을 끼치는 경우가 있다고 생각되어 종래 암의 축조재료로서 의문시되는 일이 많았다.

## (2) 록재료의 전단강도

- ① 록재료의 전단강도는 사력재료와 같이 전단 저항각이 지배하며 다짐정도도 상대밀도로 나타내는 일이 많다.

## (3) 록 재료의 투수성

- ① 록 재료의 투수성을 지배하는 요인은 전단강도에서와 같이 여러 가지 있으나 크게 영향을 미치는 것으로 입도와 단위중량이 있다. 입도 중에서도 재료와 세립분 함유량은 투수성에 큰 영향을 끼친다

## (4) 록 재료의 내구성

- ① 록 재료는 물 및 기상작용에 대하여 안전하고 내구성이 큰 것이 요망되나 부득이 시공 중에 파쇄되어 세립화되는 재료나 풍화의 염려가 있는 재료를 쓸 때는 설계치의 선정을 신중히 함은 물론 존의 배치에 있어 물 및 기상작용에 대하여 영향을 적게 받도록 충분히 고려한다. 재료 풍화의 용이성을 표시하는 법은 확립되어 있지 않으나 콘크리트 골재의 안정성 시험, 동결융해시험의 결과나 비중, 흡수량 등을 참조하여 내구성을 판단한다.
- ② 재료의 내구성에 관하여 황산나트륨법에 의한 손실중량이 15 %때나 비중이 2.5 이상이고 흡수량이 3 % 이하의 재료일 때는 내구성이 좋다고 판단한다.

## (5) 록 재료의 화학적 성질

- ① 종래 암에 대하여서는 화학적 작용에 의한 환경오염원이 되는 예는 볼 수 없었다. 그러나 근래 어떤 종류의 암은 자연퇴적상태에서는 활발한 화학반응을 일으키지 않은 경우에도 굴착, 성토에 의해서 대기나 물의 작용을 받아 화학반응이 촉진되어 유해물질이 발생해서 오염원이 되는 것이 밝혀졌으므로 암의 화학적 성질에 대해 유의할 필요가 있다. 더욱이 암의 화학적 성질에 관한 표준시험 방법은 확립되어 있지 않으므로 타 분야 전문지식을 도입하여 화학적 성질을 명확히 하는 것이 요망되나 적어도 광물성분의 화학분석을 함과 동시에 암편을 물에 담구어 용출 시험할 필요가 있다.

### 3.2.3 이행부 재료

- (1) 불투수성부와 투수성부와의 중간에 설치되는 재료를 말하며, 경우에 따라서는 흙, 모래, 자갈 상태의 것까지 있다. 포장형 댐에서 막돌쌓기도 하나의 이행부를 생각하면 중량 500 kg 이상이고 길이가 폭의 2~3배의 모난 직사각형 암석까지 포함하게 된다. 불투수성 범위를 벗어날 정도의 조립재료가 되면 건조단위중량, 내부 마찰각, 점착력 등의 시험을 하기 위해서는 대규모의 시설과 시간을 필요로 한다.
- (2) 트랜지션의 주목적은 투수성존과 불투수성존의 중간에 배치하여 그 사이 입도의 급격한 변화를 피하여 양측의 투수성, 응력 및 변형의 영향을 완화하는데 있다. 따라서 이 재료는 필터재료에 비하여 떨어지는 입도 조건으로 사용할 수가 있다. 일반적으로 사력재료가 사용되나 때에 따라서는 자갈이나 암설 또는 반투수성의 범위를 벗어날 수 있는 정도의 조립재료를 써도 좋다.
- (3) 또 필터에 비하여 트랜지션의 폭은 넓으므로 제체의 역학적 안정에 충분한 전단강도를 가진 재료일 것이 요망된다.

### 3.2.4 시험성토

- (1) 중소 댐에서는 시험성토를 필요로 하지 않으나 대규모 댐 일수록 경비를 들여서라도 시험을 하는 것이 훨씬 경제적인 공사비가 될 수 있다. 보통 시험성토는 착공초기에 하는 것이나 필요하면 설계 중에도 시도하여 공사를 실시하기도 한다. 이 시험의 주안점은 굴착, 다지기의 가장 좋은 방법을 발견하려는 데 있다. 즉, 다짐 두께, 함수비, 전압 기계, 전압횟수 등을 정하고 특수한 문제점(재료와 혼합법, 큰 자갈의 분리법, 토랑계수의 결정)을 찾아내어 현장에 있어서의 투수계수, 전단강도와 실내시험의 값들을 비교하는 것이 큰 목적이다. 다음과 같은 경우에는 반드시 시험성토를 해서 확인해야 한다.
  - ① 소량의 세립분을 함유한 막재료를 코어로 쓸 때의 투수도, 분리여부 또는 두 가지의 다른 재료를 혼합하는 가장 좋은 방법은 어느 것인가, 어느 정도의 강우량일 때까지 시공이 가능한 가, 함수비가 큰 흙의 건조속도는 어느 정도 인가 등
  - ② 록필의 시험성토는 층상으로 해서 전압 가능 여부, 사수의 가부 및 수량 등을 알기 위해서 더욱 중요하다.
  - ③ 연암을 사용할 때는 반드시 시험성토를 한다. 기계로 굴착하여 전압할 때의 파쇄도와 불투수도, 크러셔에 넣었을 때의 파쇄도, 그리고 토취장은 깊이에 따라 암과 같이 점차로 견고해지는 것이 보통인데 깊이와 견고도와의 관계를 확인해야 한다.

## 3.3 필터재료

- (1) 입도가 크게 다른 두 재료를 서로 인접시켜 놓을 때 그 경계에 일정한 조건을 만족시키는 입도의 필터를 넣어 세립분의 유출이 없고 침투수가 안전하게 투과하도록 해야 한다.



## (2) 필터의 역할 및 중요성

- ① 필터(filter)는 토공 구조물에서 침투수의 침투를 촉진하면서 흙입자의 유동을 방지하기 위하여 설치한 것을 말한다.
- ② 필터는 어떠한 재료라도 좋다는 사고방식이 보급되어 갈수록 필터의 중요성도 더욱 강조되어야 한다. 댐 기초 취수관으로 부터의 누수도 대부분 필터의 잘못된 설계에서 기인하는 경우가 많으므로, 필터재료는 투수성이 크게 다른 두가지 재료(불투수성 존과 투수성 또는 반투수성 존)의 중간에 위치하여 투수성에 의한 불투수성 재료의 유출을 방지하고 침투수를 완전히 배출 유하시켜 파이핑 등에 의한 침투파괴를 방지할 수 있는 사력재료를 사용해야 한다.

## (3) 필터의 법칙

- ① 필터재료는 바닥재료보다는 투수성이 커야 하나 너무 커도 좋지 않다. 필터재료는 크게 1) 필터재료의 공극 크기는 현장에서 보호재료보다 더 큰 입자를 보유할 수 있도록 충분히 적어야 하며, 2) 필터재료는 필터 속에서 침투력과 정수압의 상승을 방지하기 위하여 투수성이 커야 하는 전제조건을 만족시켜야 하며, 보통 다음 조건을 만족시켜야 한다.

$$\text{가. } \frac{\text{필터재료의 15 \% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 15 \% 입경}} \geq 4 \sim 5$$

$$\text{나. } \frac{\text{필터재료의 15 \% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 85 \% 입경}} < 4 \sim 5$$

- ② 필터재료의 입도곡선은 보호되는 재료의 입도곡선과 거의 평행인 것이 좋다.
- ③ 필터로 보호되는 재료가 조립재료를 함유할 때는 재료의 25 mm 이하의 부분에 대하여 ① 및 ②를 적용한다.
- ④ 필터재료는 점착성이 없는 것으로 0.074 mm 이하의 세립분 함유량은 원칙적으로 5 % 이하로 하는 것이 좋다.
- ⑤ 필터재료의 최대치수는 보호되는 층이 흙이나 모래일 때 75 mm로 하는 것이 좋다.
- ⑥ 필터재료는 보호되는 재료보다 10~100배의 투수성을 가지는 것이 좋다. 상기에서 ①은 파이핑 방지를 확실히 하기 위한 것이고 ②는 필터의 투수성이 보호되는 재료의 투수성보다 크게 되도록 정한 것이다.
- ⑦ 미국 공병단은 다음과 같은 조건을 제시하였다.

$$\text{가. } \frac{\text{필터 재료의 50 \% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 50 \% 입경}} \leq 25$$

$$\text{나. } \frac{\text{필터 재료의 15 \% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 85 \% 입경}} \leq 5$$

## 3.3.1 필터의 두께

- (1) 필터 두께는 이론적으로 얇은 것이 좋지만 시공조건과 지진에 대한 안전성을 고려하여

## 농업용 필댐 설계

여유있게 설계한다. 수평필터의 최소두께는 모래 15 cm, 자갈 30 cm 이지만 보통 1.0×1.0의 모래를 10~15 m 간격으로 설치한다.

- (2) 수직필터는 토-드레인(toe drain)을 연결하며, 최소두께는 2.0~3.0 m가 보통이지만 재료 구하기가 어려운 경우에는 거푸집을 사용하여 1.0~1.5 m 정도로 설계할 수도 있다.

### 3.3.2 필터의 제조

- (1) 자연상태의 재료로는 전술한 입도 조건을 만족하는 경우가 적으므로 최근에는 ① 콘크리트 골재를 제조하는 것과 같은 방법으로 씻기 또는 크러셔로 깨뜨린 것을 채가름하는 방법, ② 자연재료와 인공재료를 혼합하는 방법, ③ 토목섬유(geotextile)를 이용하는 방법 등 인공적으로 제조하는 일이 많다.

〈표 3.4-1〉 필터의 설계기준

구 분	설 계 기 준		
	수 직(경사) 필 터	수 평 필 터	
		폭(m)	높 이(m)
높 이	홍수위(댐외 제측)		
두 겹	30 m 이하 : 1.0 m 이상	0.5~1.0 m	0.5~1.0 m
	40 m 이하 : 1.5 m	1.0~2.0 m	1.0~1.5 m
	50 m 이하 : 2.5 m	1.0~3.0 m	1.0~1.5 m
	50 m 이상 : 2.5 m	1.0~3.0 m	1.0~1.5 m
	특수 경우 : 3.0~4.0 m	별도 여건	별도 여건
간 격	전 구간	10.0~40.0 m	

## 3.4 사석재료

- (1) 상·하류면의 보호 및 안정을 위하여 사면 보호공을 설치하며, 여기에 사용되는 사석은 요구되는 강도 및 내구성을 가져야 한다.

### ① 보호공

가. 일반적으로 필댐에서 암석, 호박돌 이외의 재료로 이루어진 상류사면은 파랑에 의한 침식, 저수위 급저하시나 진동에 의한 유출 및 기상작용에 의한 풍화 등을 방지하기 위하여 보호공을 설치한다. 또는 저수위 급저하시에는 제체 내에 비정상류가 되어, 유선은 상류사면에 침출되고 특히 저수위 상부 부근의 사면에 집중 유출하여 그 침투압에 의해 토립자가 유출되는 것을 방지하기 위하여 설치한다.

나. 파랑에 의한 침식은 저수가 있는 한 항상 계속적으로 작용하여 특히 풍우시에는 사면 전체가 연화상태에서 큰 파랑이 작용하기 때문에 사면이 크게 침식된다. 또 파랑침식은 비점성토가 점성토보다 크게 침식된다.

다. 기타 동결, 한해(旱害)에 의한 균열 등 자연의 기상작용에 의한 풍화가 발생한다. 이들 여러 가지 사면파괴 작용으로부터 제체(어버트먼트나 원지반에 시공된 블랭

킷 등의 성토공)을 포함한 상류사면을 보호해야 한다.

② 사석의 크기와 두께

- 가. 사석의 크기와 두께는 각각의 돌이 파랑에 의하여 움직이지 않고 제체의 흙의 흡출작용에 의하여 유출되지 않을 것 등의 조건을 만족해야 한다.
- 나. 일반적으로 보호공으로 사용되는 사석재는 비중은 2.5 이상, 흡수율은 3 % 이하, 압축강도는 40MPa(400 kgf/cm<sup>2</sup>) 정도를 가져야 하며, 최대 입경은 1.5×D50로 하고, 2.5 cm 이하의 입자까지 포함된 배합이 좋은 재료이어야 한다. 따라서 이보다 불량한 암석재료는 다시 사석 두께에 안전치를 둘 필요가 있으며, 사석두께는 사석 최대 입경의 2배 이상으로 하되 최소 1.0 m 이상이 좋다.
- 다. 미 육군 공병단에서는 기준(〈표 3.5.-1〉 사면 사석공의 규모)을 정하고 있으며 이 〈표 3.5.-1〉를 사용하려면 다음 점을 유의해야 한다. 또한, 사석두께는 사석 최대 입경의 2배 이상으로 하되 최소 1.0 m 이상이 좋다.
- 라. 사석재료의 비중은 2.60, 최대 입경은 1.5×D50로 하고, 2.5 cm 이하의 입자까지 포함된 배합이 좋은 재료이어야 한다. 따라서 이보다 불량한 암석재료는 다시 사석 두께에 안전치를 둘 필요가 있다.
- 마. 제체 재료는 점토에서 조립자까지 포함한 입도배합이 양호한 경우를 기준으로 하고 이 때문에 실트분이 많은 경우에는 필터의 두께를 증가시킬 필요가 있다.
- 바. 상류면 경사가 1 : 50 보다 완만할 때에는 〈표 3.5.-1〉 보다 작아도 좋다. 또 사면 경사가 1 : 10보다 완만할 때에는 하류측 쪽에는 사석 평균경이 15 cm의 입도배합이 좋은 재료로 두께 30 cm로 하면 충분하다.
- 사. 사석공에서는 수면 부근에 큰 파력이 작용하여 사석 상호간의 간극이 클 때, 그 간극 내에서 필터재료의 분리나 유동이 생겨 사석의 변형이나 제체의 흡출현상이 발생하므로 사석의 간극은 최소가 되도록 충전시켜야 한다.
- 아. 콘크리트 블록을 사용할 때, 두께는 10 cm 이상으로 하며 파랑이 높을 때에는 연결 블록을 쓰면 좋다. 블록의 안전상 사면 위에는 틀을 설치하여 평면방향을 충분히 고정시켜야 한다. 틀의 구획 나누기는 블록의 치수, 사면의 경사에 따라 다르나 100 m<sup>2</sup> 정도로 하는 것이 좋다.

〈표 3.5.-1〉 사면 사석공의 규모

파 고 (m)	사석 평균경 (D <sub>50</sub> , cm)	최소 사석두께 (cm)	최소 필터두께 (cm)
0~0.6	25	30	15
0.6~1.2	30	45	15
1.2~1.8	38	60	23
1.8~2.4	45	75	23
2.4~3.0	52	90	30

(주 : 사석의 최대 입정보다 크고 1.5×D50보다 클 것)

### 3.5 차수벽 재료

- (1) 양질의 불투수성 재료를 구득할 수 없는 경우에는 차수벽 형을 적용 하며, 차수벽 재료는 아스팔트 콘크리트와 철근콘크리트가 주로 사용 한다. 여기에 사용되는 재료는 소요의 차수성, 강도 및 내구성을 가져야 하며, 댐의 안정에 영향을 미치지 않는 재료를 선정 한다.

#### 3.5.1 재료일반

- (1) 양질의 불투수성 재료를 구득할 수 없는 경우 또는 구득이 가능하더라도 비경제적인 경우에는 차수벽 형을 적용하며, 차수벽 재료는 아스팔트 콘크리트와 철근 콘크리트가 주로 사용된다. 또한, 여기에 사용되는 재료는 소요의 차수성, 강도 및 내구성을 가져야 하며, 댐의 안정에 영향을 미치지 않아야 한다. 따라서, 차수벽에 사용되는 재료는 충분한 시험을 통하여 소요의 조건을 만족하는 재료를 선정하여 사용한다.

##### 3.5.1.1 재료의 분류와 적용

- (1) 차단벽재료는 아스팔트 콘크리트와 철근콘크리트로 분류한다. 일반적으로 양재료 모두 불투수성의 필재료가 없을 때의 포장용 댐에 적용한다. 재료는 소요의 차수성, 강도 및 내구성을 가질 것이 필요하다.

##### 3.5.1.2 재료의 사용범위

- (1) 차수벽 재료에는 과거에 목재, 철근콘크리트, 강판 등이 이용되어 왔으나 최근에는 재료로서의 성질의 이점이나 신뢰성 등에서 아스팔트 콘크리트를 이용하는 일이 많다. 기타의 조건이나 기술의 진보 등에 의하여 철근콘크리트를 사용하든가 고분자계 재료, 프리팩트 콘크리트 등 다른 재료의 사용도 가능하다고 생각된다.

### 3.5.2 아스팔트 콘크리트

#### 3.5.2.1 재료의 성질

- (1) 아스팔트 콘크리트는 투수성, 강도, 기능성, 사면에서의 안정성 및 내구성이 아스팔트, 골재, 필러(filler) 등 재료의 종류, 입도 및 혼합물 배합에 따라 크게 영향을 받으므로 구성재료의 선정에 있어서는 신중한 검토가 필요하다.
- (2) 특히 온도변화나 반복하중에 의한 영향도 크기 때문에 충분한 주의를 요한다. 차수벽 재료에 쓰이는 아스팔트 콘크리트는 일반적으로 아스팔트, 골재, 필러로 되고 또 보호막을 형성하는 아스팔트 매스틱은 아스팔트와 필러로 이루어지나 어느 것이든 가열 처리하여 포설하는 혼합물로 사용목적에 따라 첨가물을 혼입하는 때가 있다.

### 3.5.2.2 아스팔트

- (1) 아스팔트는 기상상황, 사면경사 및 시공조건을 고려하여 설계조건에 적합한 성질을 가지고 있는 것을 사용한다.

### 3.5.2.3 골재

- (1) 조골재는 일반적으로 천연 또는 파쇄골재 및 슬래그 등으로 그 성상은 깨끗하고 단단하며 내구적이고 적당한 입도를 가지고 가열에 의한 품질의 변화 및 다짐에 의한 파쇄를 일으키지 않고 얇은 압편, 세장석편, 유기물 및 석분 등의 유해량을 함유하지 않은 것으로 한다.
- (2) 세골재는 천연사 또는 파쇄사 및 슬래그 등으로 그 성상은 깨끗하고 단단하며 내구적이고 가열에 의하여 품질의 변화를 일으키지 않으며 점토, 실트, 유기물 등의 유해량을 함유하지 않은 것으로 한다

### 3.5.2.4 필러

- (1) 일반적으로 시멘트, 석회석분말, 소석회 분말, 기타의 광물질분말을 사용하나 먼지, 흙 등을 함유하지 않고 또 덩어리가 없는 것으로 한다.

### 3.5.2.5 첨가물

- (1) 첨가물로서 사용하는 아스베스트는 아스팔트 콘크리트의 안정성 등을 증강하기 위하여 첨가하는 것이나 아스팔트 콘크리트의 재료특성 및 시공성에 영향을 주므로 사용량에 대한 검토가 필요하다.

### 3.5.2.6 철근 콘크리트

- (1) 철근 콘크리트는 콘크리트 표준 사양서에 따라 소요의 수밀성, 강도 및 내구성을 가지는 것으로 한다.

## 4. 설계

### 4.1 기초설계

#### 4.1.1 일반사항

- (1) 필댐의 기초설계 내용은 터파기와 기초처리를 포함하여 계획한다. 또한 필댐의 기초는 기초로서의 조건을 만족시켜야 하며, 제체 및 원지반의 특성에 따라 설계한다.
- (2) 필댐의 기초설계 내용은 댐터의 터파기 및 기초 처리 방법 등을 포함하며, 세부적인 기초처리 방법 및 공법 등은 원지반 특성에 따라 설계할 수 있는 내용을 포함한다. 필댐의 기초는 축제 중 및 축제 후 재하에 대하여 충분한 지지력을 가지며 침투수를 억제하고 침투 파괴에도 충분한 저항성을 가져야 한다. 저수기능 유지의 입장으로 보아 제체

와 기초는 일체이며, 기초의 특성에 따른 제체 설계가 필요하다. 기초설계의 적부는 기초처리 뿐만 아니라 제체 설계, 건설비 및 공기에 영향을 미친다. 이를 위하여 합리적이고 적절한 조사를 하고 기초 상태를 충분히 파악하여 많은 대책방법을 종합적으로 비교 검토하여 최적의 설계를 해야 한다. 기초 상태는 지질과 입도조성에 따라 다르고 기초처리 대책도 기초 상태에 따라 달라져야 한다. 필댐은 견고한 지반뿐만 아니라 연약한 지질의 지반에도 건설이 가능하므로 일률적인 구조로 된 것은 비교적 적고 기초지반의 지질에 따라 댐 형식이 정해지며 또 댐의 규모나 사용목적에 따라서 기초처리를 하게 된다.

- (3) 댐터 부지의 기초는 지지력, 전단력, 파이핑 등에 충분히 안정하여야 하며, 이들 조건에 만족하지 않는 경우에는 원칙적으로 조건에 맞는 지반이 노출될 때까지 터파기를 해야 한다. 또한, 기초 원지반과 성토재료와의 접촉부가 단단하게 접합하도록 성토하여야 하며, 장래에 부식에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 생각되는 초목뿌리 등 유기물을 함유한 표토, 소요 전단강도를 얻을 수 없는 점토나 실트의 슬립층, 파이핑의 원인이 되는 암반의 균열과 모래 부스러기 등을 제거하여야 한다. 다만, 그 양이 많아서 전량을 굴착하면 비경제적일 경우 암반의 정밀조사, 토질시험, 안전성 검토를 하여 이것을 그대로 두어도 좋은 설계구조를 별도로 고려하는 경우에는 구애받지 않아도 된다. 따라서 정밀조사가 되어 있지 않은 경우는 흙쌓기 공사에 앞서 시굴 또는 트렌치 굴착을 실시하고 지층 관찰결과에 따라서 적절한 조치를 해야 한다.
- (4) 필댐의 기초는 ① 충분한 전단강도를 가질 것, ② 변형 침하량이 적을 것, ③ 침투수량이 충분히 적을 것, ④ 침투파괴를 일으키지 않을 것, ⑤ 지진 시 액상화 현상을 일으키지 않을 것 등의 조건을 만족시켜야 한다. 그러나, 규모에 비하여 굴착깊이가 너무 깊거나 소규모 댐, 적당한 처리에 의하여 조건을 만족시킬 수 있는 경우에는 기초처리를 해야 한다. 이러한 기초처리 방법은 댐의 규모, 하중뿐만 아니라 토질조사, 암반조사 등 충분한 조사결과를 바탕으로 설계하여야 한다.
- (5) 필댐의 기초는 지질적으로는 암반기초와 토질기초로 대별하고 다시 토질기초를 ① 투수성지반 기초(모래, 사력 등), ② 불투수성지반 기초(실트, 점토 등), ③ 연약지반 기초, ④ 미 고결층 지반 기초 등 4종류로 분류할 수 있다. 그러나, 실제로는 이와 같이 명확히 구분되기도는 오히려 이들의 조합에 의해 구성된 경우가 많다. 따라서 기초 설계 및 처리 시에는 지질적 특징을 충분한 정밀도를 가지고 명확히 밝혀둘 필요가 있다.

### 4.1.2 암반기초

- (1) 암반기초는 필댐 기초로서는 충분한 지지력을 가지나, 차수부에 존재하는 풍화암 등 취약부분을 제거하고 그라우팅 등 기초처리를 해야 한다. 또한 암반과 축제재료와의 접촉성을 증대시켜 접촉면을 통한 누수를 감소시켜야 하며, 접촉면과 층상지반을 통한 활동에 대하여 검토한다.

#### 4.1.2.1 일반사항

- (1) 암반기초에는 어느 형식의 필댐이라도 건설이 가능하다. 기초가 암반인 경우에는 그 지지력은 축제재료의 지지력과 비교하면 훨씬 크다. 따라서 제체가 안전하기 위해서는 기초지반의 한계 지지력보다 상당히 작게 되도록 단면을 선정해야 되므로 기초지반의 지지력은 큰 문제가 없다. 보통 충분한 지지력을 가진 기초에 대해서는 주로 절리, 균열 또는 단층 등으로부터의 누수대책을 고려하는 것이 좋다. 또 외력에 의해 간단히 붕괴되는 풍화된 암반 또는 층리, 균열 등이 일정 방향으로 발달하여 있는 퇴적암, 예를 들면 세일, 점판암, 이암, 실트암 등 및 풍화된 편암 특히 운모를 많이 함유한 경우에는 댐터의 원지반이 활동하는 경우가 있으므로 활동에 대한 검토가 필요하다.

#### 4.1.2.2 댐부지 굴착

- (1) 댐 부지의 굴착은 제체 각 존에 대해서 안전성 (활동, 변형) 및 시공성을 고려하여 적당한 깊이까지 실시해야 한다. 이는 지질조사의 결과로부터 얻은 탄성과 속도나 암 등급 등을 참고하여 결정한다. 제체 각 존에 관하여 지지력을 중심으로 검토함과 아울러 일반적으로 표토 및 암반이 많이 풍화된 부분, 균열이 많은 부분 등을 제거하여야 한다. 굴착 도중에 용출수, 공동, 가스분출 등을 만날 경우가 있다. 이와 같은 우려가 있는 경우에는 굴착에 앞서 그라우팅 처리를 하는 것을 고려할 수도 있으나, 이는 설계자가 조사설계 단계에 이에 관하여 충분히 검토하여 그 범위가 최소가 되도록 한다.

#### 4.1.2.3 암반기초의 터파기 깊이

- (1) 암반기초는 필댐의 기초로 지지력이 충분하다. 그러나, 암반표면의 풍화암, 균열부분, 모래 부스러기 등의 취약부분을 제거하여 암반내의 침투수 또는 암반과 축제재료와의 접촉부를 통과하는 누수에 의하여 파이핑이나 대량의 저수손실이 일어나지 않도록 주의해야 한다. 또한, 암반은 보통 깊이가 깊어질수록 투수계수가 작아지므로 터파기를 깊게 하는 것은 좋으나, 깊이는 원칙적으로 표면의 풍화부분만을 제거하는 것이 좋다.
- (2) 터파기의 깊이는 주로 탄성과 속도, 투수단면도, RQD 등을 바탕으로 결정하며, 저속도층이나 투수층이 얇은 경우에는 그 층을 제거하며 깊은 경우에는 지반개량을 하는 것이 일반적이다.

#### 4.1.2.4 바닥 터파기 (지수 트렌치)

- (1) 제체 차수부(코어)의 기초부분의 굴착을 바닥 터파기라 하고 굴착에 의해 이루어진 부분을 지수 트렌치라 한다. 바닥 터파기를 하는 이유는 첫째, 기초지반의 표층 중에서 풍화된 부분, 균열이 발달된 부분을 제거하여 지수효과와 충분한 지지력을 확보하고, 제체 차수부와 접착도를 높이기 위한 것이고, 둘째 차수부의 종단방향의 부등침하를 적게 하기 위한 것 등이다.
- (2) 지수 트렌치의 형상 설계시에는 차수부 내부에 침하에 따른 균열이 발생되지 않는 지형, 지질, 저수압 또는 차수재료의 물리적, 역학적 특성 등에 대하여 종합적으로 검토

한다.

- (3) 지수 트렌치의 계획깊이는 일반적으로 시추추상도, 탄성파속도의 분포, 투수단면도 및 RQD 등으로부터 결정한다. 저속도층이나 투수층이 얇은 경우(10m 정도)에는 그 층을 제거하고, 깊은 경우에는 지반개량이 가능한 깊이까지 굴착하는 것으로 계획한다.
- (4) 차수부 폭이 넓을수록 암반과의 접촉면적이 크고 접착성이 좋게 되므로 접촉면을 따라 흐르는 누수량을 적게 할 수 있다. 그러므로 축제재료와의 접착이 어려운 암반일수록 터파기 폭을 넓게 한다. 그러나 차수부 폭은 안전상 얇게 하는 것이 좋으나 접촉부만은 폭을 넓게 하는 예도 있다. 또 부득이 하여 터파기 폭을 좁게 할 경우에는 파이핑 현상이 생기지 않도록 필터를 암반과의 접촉면의 하류부측에 배치하는 것이 좋다.

#### 4.1.2.5 암반의 종류에 따른 기초의 설계

- (1) 암반 종류에 따라 기초의 설계를 달리하여 충분한 안전성을 가질 수 있도록 한다. 특히, 풍화되기 쉬운 암반이나 균열성의 암반, 층상 퇴적암 암반, 용암성 암반, 화성암 암반 등의 특성을 파악하여 기초를 설계한다.

##### ① 풍화되기 쉬운 암반기초 및 균열성의 암반기초

가. 세일, 점판암, 이암 또는 실트암 등은 보통 대기에 노출되면 풍화되기 쉽다. 이와 같은 종류의 암반에 대하여는 풍화 방지대책이 필요하다. 또 균열이 많은 암반에는 후술하는 블랭킷 그라우팅이 필요할 때도 있다.

나. 일차굴착, 마무리굴착의 2단계 굴착법이 있고 마무리 굴착면은 장기간 대기에 노출되지 않도록 해야한다. 이 종류의 암반은 보통화약을 사용하지 않고도 굴착 가능하며, 그라우팅 종료 후에 큰 해머 등에 의하여 마무리 굴착을 할 수 있다.

다. 그라우팅에 의하여 표면피복을 한다. 기초지반면이 1.0~1.5m 깊이에서 평면적 구멍간격을 1m 전후로 하여 수많은 그라우팅 공법으로 기초 지반면에 페이스트 가유출하는 것을 기대하는 것이다. 그라우트 페이스트를 암반면에 누출시키기 때문에 암반면은 피복 보호되어 풍화방지의 역할을 한다.

라. 아스팔트유제나 우레탄 고무액을 암반표면에 살포하여 불투수 피막을 형성한다. 이와 같은 종류의 재료에 의해 처리한 경우에는 축제시에 이를 제거하지 않고 성토를 할 수 있다. 일본 山村댐은 불투수성지반(제3기 이암층, 두께 2~3 m)으로서 신뢰성에 문제가 있어 이 공법이 채용되었다. 또 풍화방지용으로서 모르타르를 뿜어 붙이는 수도 있다.

##### ② 층상 퇴적암반기초(제3기층)

가. 제3기의 이암 및 사암이 호층으로 구성된 기초는 그 지층의 경계면에 지하수경로(파이핑 공)가 형성되는 예가 있으므로 지수대책에 충분한 주의가 필요하다. 지수대책은 저수지전역에 걸친 수리지질도를 작성하여 지수처리 및 양압력의 감쇄를 필요로 하는 부분 등에 대해서 종합적으로 검토하여 댐 형식과 관련시켜 대책을 강구해야한다.

나. 기초지반이 층상으로 된 퇴적암일 때 경사가 활동하기 쉬운 방향으로 기울어진



경우(流盤), 침투수에 의한 간극수압 때문에 전단저항이 저하하여 활동하기 쉬우므로 설계 시에는 이와 같은 종류의 검토도 필요하다.

다. 세일층에서 활동한 예로, 미국의 와코댐(Waco dam)은 높이가 겨우 27m인데, 6m 이상이나 하층 암층을 따라 수평방향으로 활동하는 보기 드문 사고가 생겼다. 이 댐의 비탈기울기는 상당히 완만하게 설계하였으나 세일면에 따라 활동하는 안정계산에 대해서는 검토하지 않아 발생한 사건이다.

#### ③ 용암성 암반기초

가. 이 종류의 암반 내에는 균열이나 공동이 존재하는 수가 있으므로 침투수에 대하여는 댐의 기초이외의 주변 산지부에 대해서도 충분한 검토가 필요하다.

나. 또 지층이 복잡한 것도 이 암반의 특징으로 표층이 암반이라고 하여도 그 하부에는 연약한 점토층이 퇴적되어 있는 경우도 있어 활동에 대한 검토나 대책뿐만 아니라 변형에 관한 검토 및 대책도 필요할 때가 있다. 저수지 내에서 용출수가 있는 곳이 많다고 인정될 경우 기초전체의 그라우트에 의한 처리는 경제적으로 곤란한 경우가 많다. 이 같은 경우에는 점토 블랭킷과 그라우팅을 병용하는 등 방법을 고려할 수 있다.

#### ④ 화성암기초

가. 화강암, 안산암 등의 기초는 풍화대와 신선한 암반과의 경계면과 절리면이 침투 및 활동에 대하여 약점이 되기 쉬우므로 암반의 경사를 충분히 검토할 필요가 있다. 또 이 종류의 암반에는 관입암맥의 방향에 의하여 심부까지 풍화를 받아서 점토화하는 경우가 많으므로 단층처리와 같은 처리를 필요로 하는 경우도 있다.

### 4.1.2.6 배수공

- (1) 그라우팅으로 암반내의 누수를 막는 것이 공사비 및 시공 속도면으로 보아 곤란한 경우에는 그라우팅 대신에 약간 하류부에 배수공을 설치하는 것이 좋다. 이것은 누수량이 댐의 경제성으로 보아 허용할 수 없는 정도의 경우를 제외하고는 하류측의 양압력을 감소시키는 점으로나 또는 하층의 조사가 충분한 점으로도 그라우팅공과 같은 역할을 할 수 있는 것이다. 이 방법은 아주 최근에 이용하게 된 것으로, 높이가 큰 댐 특히 층상으로 된 퇴적암인 경우에 효과적이다. 배수공의 지름은 5.1~7.6cm이면 충분하고, 그 위치는 ① 댐 안에도 좋고, ② 비탈 끝도 좋다. ①의 경우는 제체 안정상 유리하고 ②의 경우는 누수량을 결정할 수 있어 편리하다. ③의 경우는 경사끝에서 경사진 방향으로 파면 ①, ②경우의 장점을 병용할 수 있다.

### 4.1.3 미고결층 기초

- (1) 하상의 모래층 또는 사력층과 같은 투수성 지반 위에 댐을 축조할 경우에는 제체나 기초를 통하여 흐르는 투수량이 허용범위 내에 있도록 설계한다. 동시에 침투수를 안전하게 댐 밖으로 흘려보내기 위한 적절한 조치를 강구하여 침투수에 의한 제체나 기초의

파이핑에 대하여 충분한 안정성을 갖도록 한다.

### 4.1.3.1 일반사항

- (1) 투수성 지반 위에 댐을 축조하는 경우에는 기초지반으로 누수가 되더라도 요구되는 저수량을 만족시킬 수 있고, 안정상의 문제가 없다면 댐의 건설이 가능하다.
- (2) 흙 지반을 지질학적으로 분류하면 ① 비교적 새로이 퇴적한 것으로서 사질점토를 주체로 한 소위 충적층과 ② 제3기 또는 홍적세의 사력 및 점토층 ③ 풍화잔류토 등 3종류가 있다. 충적층은 하상부 등의 한정된 범위로 두껍게 퇴적하여 투수성이나 지지력 면에서 문제가 되는 경우가 많다. 이에 반해서 제3기층이나 홍적층은 성층상태가 좋으며 또 투수층이 호층을 이루고 있는 특징이 있다. 실트와 점토가 층상으로 퇴적되어 있지 않은 한 사질층은 잘 다져지므로 활동이나 변형이 문제되는 경우는 적다. 이 때문에 댐 기초로서의 검토 및 대책은 ① 누수량을 허용범위로 감소시키는 것, ② 침투수에 의하여 생기는 간극수압을 안전하게 처리하는 것 등이 있다.

### 4.1.3.2 침투수 억제대책

- (1) 침투수량이 과다하여 요구되는 저수량을 만족시킬 수 없는 경우에는 침투수 억제 방법을 사용하여 침투수량을 줄이고 댐의 안정성을 확보하여야 한다.
- (2) 침투수량을 허용치 이내로 감소시켜서 제체의 안정을 확보하려면 투수층의 두께, 입도 분포, 기초의 지질구조 등에 따라 적합한 공법을 선택한다. 물론 두 가지 이상을 혼용할 수도 있다.
- (3) 지질구성은 예를 들면 투수층이 원지반에 이르기까지 연속하는 경우 투수층이 댐터 양안의 구릉을 감아 올라가는 경우 또는 하상에 부분적으로 존재하지만 투수성 모래층이 깊게 존재하는 등 여러 가지 경우가 있다.

### 4.1.3.3 넓은 코어

- (1) 코어 밑의 투수성 기초를 불투수층에 도달할 때까지 굴착하고 코어용 흙으로 되묻고 전압하는 방법이다. 파는 깊이가 깊으면 지하수 배제나 굴착량 증대 등으로 비용이 많이 든다. 굴착된 재료는 다른 부분에 유용하는 것이 경제적이다. 지하수 배제에는 자갈 또는 난투수성 지반 이외의 경우 웰포인트 공법이 유효하다. 펌프 양수일 때에는 직립관을 세우고 그 속에 자갈을 채우면서 수면을 흠쌓기 면보다 항상 3 m 정도 낮게 하면서 올려 간다. 이 자갈층에는 나중에 그라우팅해도 좋고 그냥 두어도 좋다.

### 4.1.3.4 널말뚝

- (1) 현재는 별로 사용하지 않는다. 균질기초일 때에는 효과가 있고 일시적으로 대량의 누수를 방지할 필요가 있을 때 또는 실트기초의 액상화 현상을 막을 목적을 겸할 때는 좋은 방법이다. 널말뚝이 불투수층까지 도달하지 않을 때에는 차수효과가 감소된다.

널말뚝의 관입깊이가 불투수층 두께의 50 %일 때, 누수량은 3/4이고 80 % 깊이에서 누수량은 1/2밖에 안된다. 상당한 차수효과를 올리려면 투수층 두께의 95 % 이상 관입해야 한다.

#### 4.1.3.5 투수성 기초

- (1) 댐은 미고결지층을 터파기한 후 암반위에 축조되는 것이 가장 바람직하다. 이는 미고결층에 대한 그라우팅이 암반에 비해 대단히 어려울 뿐만 아니라 막대한 공사비가 소요되며 시공 효과 즉, 지반개선이 암반에 비해 불량하기 때문이다.
- (2) 미고결지층에 그라우팅을 한 국내외의 시공사례를 보면 주입열이 4~19열로써 많은 찬공을 하였고, 주입율이 8.9~18.6 %에 달하는 엄청난 주입량이 소모되었음에도 시공 후의 투수계수는 대개  $K = \alpha \times 10^{-4}$  cm/s로 개선되었다.
- (3) 부득이 미고결 토사층 위에 댐을 축조하여야 하는 경우에는 미고결층에 대해 많은 시료를 채취하여 입도분석을 하고, 손쉽게 구할 수 있는 시멘트계열의 입도분석 자료와 비교하여 적정한 주입재료를 선정한다.
- (4) Claude Caron(1982)은 토사층에서 주입재 침투는 토사공극을 채우는 충전(impregnation or permeation), 지반의 약한 부분을 파괴하면서 맥상으로 침투하는 할렬(fracturing) 및 할렬-충전(fracturing permeation) 등 세가지 유형으로 분류할 수 있다. Yeneda 등(1996)도 주입시간이 경과함에 따른 압력변화의 곡선으로부터 세가지 유형의 특징을 보고한 바 있다.
- (5) 주입재료의 기본성질 중 가장 중요한 요소는 미세립이어야 한다. 즉, 주입재의 입자가 토립자 사이를 무리없이 통과할 수 있을 정도로 미세립질이 요구된다. 이에 대해 G.A. Kravetz, Karol, Yeneda, 미국공병단 등이 주입가능비(groutability ratio) 관계식인  $N = D_{15} / G_{85}$  ( $D_{15}$  : 토립자 입경가적곡선상의 15 % 입경,  $G_{85}$  : 주입재 입경가적곡선상의 85 % 입경) 을 발표하였는데,  $N > 25$  이상일 때는 충전주입이 되며  $N < 10$  이하일 때는 할렬주입이  $N = 10 \sim 25$  범위일 때는 할렬-충전주입이 된다고 하였다. 이때 토사의 입경가적곡선은 No. 4 체(4.76 mm)를 통과하는 모래이하의 세립질로 구성하여야 한다.
- (6) 주입가능비 검토 결과 시멘트 계열의 주입재로는 충전주입이 되지 않는다고 하여 용액형 그라우트의 대표적 약액인 물유리를 설계해서는 안된다.
- (7) 물 유리는 주입 후 용탈현상에 의해 내구성이 현격하게 저하되며 지하수와 토양을 오염시키는 등 환경적인 측면에서 문제가 있기 때문이다.

#### 4.1.3.6 완전 차수벽

- (1) 콘크리트 차수벽과 널말뚝의 장점을 겸하여 개량한 형식의 콘크리트 채움 널말뚝, 이코스(ICOS) 공법, 프리팩터 공법, 슬러리 트랜치 공법 등 신공법이 시험 중에 있다. MIP공법은 조약돌이 없을 때에는 경제적이고 최소 두께 30 cm로서 충분히 차수효과가 있다.

#### 4.1.3.7 압성토

- (1) 침투수의 양압력에 의하여 제체 비탈면이 활동하지 않도록 하는 것이 목적이다. 그러나 누수방지역할은 거의 못하므로 기초지반을 통과하는 누수량이 그대로 허용되는 경우에만 사용한다. 누수량만 걱정하지 않는다면  $1 \times 10^{-1}$  cm/s의 기초지반 위에도 안전한 댐이 축조되는 것이다. 다만, 이 경우에도 동수경사가 1/25 이하로 되도록 불투수성부의 밑면을 깊게 해야 한다.

#### 4.1.3.8 압력감소용 우물

- (1) 제방부지에 작용하는 침투수압은 수평 블랭킷에 의하여 어느 정도 저하시킬 수 있지만 침투수압을 다시 저하시킬 필요가 있는 경우에는 제체 하류비탈끝에 우물을 설치하여 배수하는데 이를 압력감소용 우물 공법이라 한다.
- (2) 지표면을 덮고 있는 불투수층이 두꺼울 때 또는 층상으로 되어 있을 때는 배수구의 시공이 곤란하므로 압력감소용 우물이 좋다. 이것은 지표에서부터 투수층의 전 깊이를 뚫도록 지름 15~60 cm의 우물을 8~30 m 간격으로 파는 것이다. 이 우물의 약 1/2 직경을 가진 유공관을 우물 안에 넣고 둘레에 필터를 채운다. 관 재료로는 목재, 플라스틱, 아스팔트를 칠한 양철관이 적당하다. 우물 안은 가끔 물을 채워서 씻어야 한다. 압력감소용 우물은 침투수의 침투로 깊이를 감소시켜 침투수량을 증가시키는 결점이 있으므로 처음에는 개소수를 적게 하고 필요에 따라 신설하는 것이 좋다.
- (3) 기초의 투수성 및 지수 트렌치 바닥의 투수성이 비교적 낮고, 제체 불투수성부와의 접촉이 충분한 경우에는 시공상 필요한 최소치를 채용해야 한다. 시공상 필요한 폭은 굴착기계나 다짐기계가 트렌치 중에서 능률적으로 운행 가능한 보통 4 m 이상을 필요로 한다.

#### 4.1.3.9 불투수성 블랭킷(blanket)

- (1) 블랭킷은 기초지반의 침투수 억제뿐만 아니라 댐터 원지반의 투수층에서의 침투억제에 대하여도 효과적이다. 이를 경사 블랭킷 또는 원지반 블랭킷이라 부른다. 산터의 사면 블랭킷을 시공하는 경우는 댐 본체의 차수부는 완전히 접속시켜야 하므로 댐 본체를 경사차수형으로 하는 것도 바람직하며, 산터의 사면 블랭킷은 아스팔트 페이싱(facing)을 하는 수도 있다.
- (2) 두께는 수압의 1/10을 표준으로 하며, 보통 1~3 m가 많고 제체 부근일수록 두껍고 상류로 감에 따라 얇게 한다. 투수성 지반의 바로 위에 얇은 불투수성 지표가 덮혀 있을 때는 표면을 긁어서 구멍을 메우고 다시 전압하는 정도로 충분하다. 그러나 수평방향 투수계수  $k$ 가 큰 지반에서는 블랭킷을 하여도 반드시 파이프에 대한 충분한 저항성을 주는 것은 아니다.
  - ① 자연 블랭킷 : 투수성 기초의 표층에 불투수성 흙이 퇴적하여 자연 블랭킷을 형성하고 있을 경우, 블랭킷에 의하여 생기는 유효 침투로 길이  $xf$ 는 다음 식으로 구한

다.  $x_f$ 는 손실수두( $\Delta h_b$ )를 생기게 하는데 필요한 길이로, 블랭킷에 의한 손실수두( $\Delta h_b$ )는 댐 상류에 완전 불투수성판을 수평으로  $x_f$ 만큼 깔 것과 동일한 것을 의미한다. 또 수평 침투수량은 다음식 으로 나타낼 수 있다.

$$q_f = \frac{k}{x_r + x_d} h \cdot d$$

여기서,  $q_f$ 는 기초의 침투수량,  $h$ 는 저수위와 하류수위와의 차를 나타낸다.

$$x_f = \sqrt{\frac{t \cdot d \cdot k}{k_1}}$$

여기서,  $t$ 는 블랭킷의 두께,  $d$ 는 기초의 두께,  $k_1$ 은 블랭킷의 연직투수계수,  $k$ 는 기초의 투수계수이다.

## ② 인공 블랭킷

기초지반에 비하여 어느 정도 불투수성 재료가 얻어질 경우에는 상류측은 불투수성 수평 블랭킷을 연장하는 편이 불완전한 차수벽보다도 유효하다. 블랭킷의 소요길이( $x$ )와 그 때의 기초지반을 통과하는 침투수량( $q$ )은 다음 방법으로써 계산할 수 있다.

블랭킷의 길이는

$$x = \sqrt{\frac{2 \cdot t \cdot d \cdot k}{k_1}} \quad (\text{m})$$

기초 침투수량은

$$q = \frac{k \cdot d \cdot h}{0.63 x + b} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{m})$$

여기서,  $h$ 는 블랭킷 위의 전 수두(m),  $t$ 는 블랭킷의 두께,  $d$ 는 투수성 기초의 깊이,  $b$ 는 댐 불투수성 부분의 아래 폭,  $k$ 는 투수성 기초의 수평방향의 평균 투수계수,  $k_1$ 은 블랭킷의 수직방향 평균투수계수(ms)이다.

### 4.1.3.10 연속지수벽공

- (1) 기초지반에 좁은 트렌치를 굴착하여 지수벽을 설치하는 공법이다. 되메우기 하는 재료로서는 무전압 점토, 콘크리트 또는 아스팔트 등을 사용한다.
- (2) 이 공법은 지진시의 거동이 이론적으로 명확하게 밝혀져 있지 않음은 물론 연속벽과 제체의 진동주기의 상이에 따라 양자의 접합부에 틈이 생기거나 균열이 발생하는 위험성이 있으므로 제체부와 떨어져 설치하는 것이 바람직하다.

### 4.1.3.11 배수도랑

- (1) 배수도랑이라 함은 투수성 기초 또는 제체로부터의 침투수를 안전하게 댐 밖으로 배수하기 위한 시설을 말한다. 이것은 비탈끝 배수도랑과 수평 배수도랑으로 나눌 수 있

다. 비탈끝 배수도랑은 위의 어떤 방법을 채용하던 간에 반드시 병용해야 한다. 하천의 기울기가 아주 급하지 않는 한 댐 지점의 지표면은 대개 불투수층이 얇을 때에는 위험성이 크게 된다. 이 수압을 없애는 가장 간단한 방법이 비탈끝 배수도랑이다.

- (2) 투수성 지반의 차수방법이 완전하지 않을 때에는 수평 배수도랑을 병용하는 것이 좋다. 수평 배수도랑에는 댐체 단면저부의 하류측에서부터 약 1/3범위 내에서 전면적으로 설치하는 수평 블랭킷 식과 줄모양으로 설치하는 스트라이프식(stripe)이 있다. 어느 것이나 기초지반과 댐체와의 경계면에 설치하는 것이므로 파이핑을 일으키지 않도록 필터조건이 맞는 재료라야 한다.

### 4.1.3.12 파이프의 매설

- (1) 댐 바닥부분에 파이프를 넣는 것은 누수량 배제가 효율적이고 경제적이며 또 투수량이 정확히 측정되는 이점이 있는 반면 필터가 불충분하면 파이핑의 원인이 되고 파이프 자체가 파괴되거나 막히는 위험이 있어 미국 공병단에서는 하류 비탈끝 배수도랑에도 유공관 사용을 금지하고 있다. 파이프 매설의 조건은 ① 파이프는 두께 30 cm 이상의 필터로 감아 싸는 것 ② 유공관 지름은 필터의 85 % 입경의 반 이하로 할 것 등이다.

### 4.1.3.13 전면포장

- (1) 저수지의 물이 매우 귀중해서 댐 및 기초의 투수계수가  $1 \times 10^{-7}$  cm/s 이하를 요구하는 경우가 있다. 포장재료로서는 아스팔트계 재료, 프린트코트 콘크리트, 벤토나이트계 재료, 플라스틱 등이 있다.

### 4.1.3.14 기타의 차수공법

- (1) 상기의 차수공법 외에 부분 치환공법, 특수 약액주입에 의한 차수공법이 있다. 그러나 이와 같은 공법은 지수의 신뢰성이 적으므로 제고 30 m 이하의 낮은 댐이나 차수를 위한 보조수단으로 사용하는데 지나지 않는다. 또 특수 고압 그라우트에 의한 공법도 사용되고 있다. 약액 주입시에는 사람이나 가축에 대한 위험이 있을 수도 있으므로 공법채용에는 신중한 검토가 필요하다.

#### ① 양압력의 처리대책

가. 투수성 지반 위에 건설된 댐은 완전한 지수를 유지할 수 없기 때문에 누수에 의한 양압력이 발생하게 된다. 이러한 양압력은 제체의 비탈끝 부분의 퀵샌드나 파이핑의 원인이 되어 결국 제체의 붕괴를 유발하게 되므로 기초지반의 지질구조 및 투수성을 고려하여 적절한 공법을 강구하여 안전성을 확보한다. 대표적인 공법은 수평 드레인, 블랭킷 또는 연속 지수벽, 그라우트 공법, 전면포장 등이 사용된다.

나. 투수성지반 위의 댐에서는 완전지수를 기대할 수 없다. 특히 필댐의 특수성에서

다소의 누수가 있는 것을 전제로 하면 상당히 높은 양압력이 생기는 수가 있다. 양압력의 증가는 전체의 안정성의 저하뿐만 아니라 수직응력이 작은 제체 사면 끝 부근에서 퀵샌드나 파이핑의 현상이 나타나서 제체 붕괴의 위험을 초래한다. 양압력의 처리방법 및 구조는 기초지반의 지질구성과 투수성에 따라 다르다. 다음에 대표적인 것을 기술한다.

- (2) 균일한 투수성기초인 때에는 수평 드레인으로 처리하는 것이 보통이다. 투수량에 따라서 단면을 결정하지만 그 양에 따라서 드레인 말단을 필터 구조로해서 하류 사면끝 드레인에 접속시킨다.
- (3) 호층상태의 기초인 때에는 투수, 불투수의 층이 호층으로 존재하는 경우가 많다. 콘크리트 연속벽 등으로 완전지수를 하는 것은 별도로 하고 기타방법 예를 들면 블랭킷 공법, 그라우트 공법 등에 의하여 지수하는 경우는 대부분 기초지반 내에 압력감소용 우물 또는 트렌치형 드레인을 설치한다.
- (4) 블랭킷에 의하여 지수하는 경우에는 침투로길을 연장하여 침투량을 억제한다. 이 경우 제체하부의 불투수부는 가장 유효한 침투로 길이로 사용된다.
- (5) 전면포장인 때에는 포장기초를 투수재료로 조성하고 포장면을 통과한 지하수나 저수지 주변의 강수가 포장면 배면에서 양압력으로 작용하지 않도록 외제로 배제하여야 한다. 포장재료로서는 주로 아스팔트계, 고무시트계 재료가 사용된다.

#### 4.1.4 연약지반 기초

- (1) 점토, 실트, 유기물 등으로 구성되어 연약하고 소성이 큰 예민성 지반 또는 연약 지반 위에 댐을 축조할 경우에는 활동파괴와 압밀침하에 대하여 충분한 안전율을 고려하여 설계한다.

##### 4.1.4.1 일반사항

- (1) 점토, 실트, 유기질로 이루어진 연약지반(이 기준에는 표준관입시험의 N치가 20 이하의 범위를 연약지반으로 함)인 때에는 특히 활동파괴, 과대한 침하 또는 변형이 생기므로 시공 중에도 충분히 주의 깊게 관찰함은 물론 필요에 따라서 설계 변경을 하는 등 신중한 처리를 해야 한다. 한정된 토질시험으로서 설계단계에서 성토작업에 따른 압밀의 진행과 그에 따른 강도증가 또는 변형을 올바르게 예측하는 것은 상당히 어려우므로 침하계, 변위계, 경사계, 간극수압계 등의 각종계기를 설치하여 시공중의 거동 관측은 물론 적당한 기간마다 교란되지 않은 시료를 채취하여 비압밀, 비배수 전단강도를 조사해서 압밀의 진행상황을 확인하면서 시공을 진행할 필요가 있다.

##### 4.1.4.2 완성 전·후의 진행성 파괴

- (1) 기초지반이 연약하고 소성이 큰 예민성 점토 또는 유기질토인 경우에는 반드시 활동파괴에 대하여 검토한다. 특히 슬립층이 있는 경우에는 이를 제거하거나 치환하여 완

속 파괴에 대하여 대책을 강구한다.

- (2) 필댐 활동의 대부분은 기초지반이 연약하고 소성이 큰 예민성 점토 또는 유기질 토양인 경우에 일어난다. 더욱이 공사 중 활동의 대부분이 이에 의한 것이며 또 완성 직후는 물론이고 완성수년 후에도 활동하는 예가 많으므로 특히 주의해야 한다. 제체 재료가 점토질인 때에 이 경향은 더욱 현저하다. 그 원인은 연약지반의 전단저항력이 점증하는 댐 하중 또는 완성 후 장기에 걸쳐 반복되는 저수위 변동에 따른 침투수나 간극수압의 복잡한 변화에 적응할 수가 없어 일시적이라도 균형을 잃은 상태가 나타나기 때문일 것이다.
- (3) 실내시험의 결과로부터 안전계산을 해서 충분한 안전율을 취하였는데도 활동한 예가 있다. 이는 기초 지반 중에 보링 주상도에 나타나지 않는 정도의 얇은 연약층이 있거나 포화시에는  $\phi = 0$ 과 같은 점토층이 있어서 순간적으로 안전율을 저하시키기 때문인 것으로 생각된다.
- (4) 교란되지 않은 시료에 대한 정밀한 시험을 했다 하여도 안전율은 다른 때보다 세심한 주의를 기울려 정해야 한다. 따라서 연약 기초지반 중에는 반드시 간극수압계를 매설해 두어야 한다.

#### 4.1.4.3 압밀 침하량

- (1) 연약지반에 있어서의 또 하나의 문제는 압밀침하에 의하여 댐 높이, 여유고 부족을 초래하는 일이다. 따라서, 연약지반에 건설되는 댐인 경우에는 댐 높이, 여유고 등에 압밀침하량을 고려하여야 한다. 침하와 시간과의 관계는 침하량의 대부분이 시공중에 끝나는 것과 동시에 시공 중에는 전침하량의 수분의 일밖에 침하하지 않는 것이 있다. 침하량과 침하에 요하는 시간은 테르자기(Terzaghi)의 압밀이론에 의하여 실내시험 결과로서 최종 압밀침하량  $\Delta H$ 와 90% 압밀에 요하는 시간  $t$ 는 다음 식으로 계산된다.

$$\Delta H = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot H$$

$$t = \frac{1}{C_v} \cdot H^2 \cdot T_v$$

여기서,  $H$ 는 압밀되는 점토층의 두께,  $e_1$ 는 댐 축조전의 공극비,

$e_2$ 는 댐 축조 후의 공극비,  $C_v$ 는 압밀계수,  $T_v$ 는 시간계수이다.

#### 4.1.4.4 연약지반 처리공법

- (1) 기초지반이 연약하고 소성이 큰 예민성 점토 또는 유기물이 많은 경우에는 반드시 활동파괴에 대하여 검토하여야 한다. 특히, 슬립층이 있는 경우에는 이를 제거하거나 치환하여 완속파괴에 대하여 대책을 강구하여야 한다.



#### 4.1.4.5 압성토 공법

- (1) 연약지반 처리공법 중에서 압성토로 사용하는 재료는 중량이 무거울수록 좋고 특별히 선택할 필요는 없다. 압성토 쌓기가 필요한 경우에는 안정계산에 의하여 높이를 결정하는 것이 원칙이나 높이가 낮거나 중요도가 낮은 댐인 경우에는 개략적인 방법으로도 구할 수 있다.

#### 4.1.5 느슨한 기초지반

- (1) 기초지반이 저소성이고 단일 입경의 고운 모래 등으로 되어 상대밀도가 작은 느슨한 지반에 필댐을 축조할 경우에는 액상화에 의한 파괴를 방지하기 위한 적절한 조치를 강구해야 한다.

##### 4.1.5.1 일반사항

- (1) 지반이 느슨하고 포화된 실트 또는 가는 모래가 균등한 입도를 가진 경우에는 액상화에 대한 검토를 해야 한다. 특히, 지진 등 횡하중에 의한 파괴시 큰 피해가 예상되는 곳에서는 반드시 안정성을 검토해야 한다. 상대밀도를 이용하거나 한계간극비를 사용하여 개략적으로 액상화의 가능성을 판단할 수 있다. 그러나 간편법의 결과를 맹신해서는 안된다.

##### 4.1.5.2 액상화 방지를 위한 입도 분포

- (1) 일반적으로 거칠은 모래일수록, 입도 배합이 좋은 모래일수록 액상화 가능성은 적어진다. 또, 상대밀도가 50 % 이상의 모래는 입도에 관계없이 액상화 현상이 생기기 어렵다.

$$\text{상대밀도}(\%) = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

여기서,  $e_{\max}$  : 흙이 가장 느슨한 상태의 공극비,

$e_{\min}$  : 흙이 가장 조밀한 상태의 공극비,

$e$  : 현장에서의 흙의 공극비

##### 4.1.5.3 액상화 방지대책

- (1) 액상화 방지대책으로서는 느슨한 재료를 제거하고 좋은 재료로 치환하는 방법과 상대밀도를 증가시키는 방법이 있는데, 현장의 여건과 재료의 구득 가능성, 공사비, 공사기간 등을 고려하여 적당한 공법을 선정한다.

상대밀도를 증가시키는 방법에는 ① 엉성한 재료를 파내서 그대로 다시 전압하는 방법, ② 소량의 발파에 의하여 다지는 방법, ③ 말뚝박기법, ④ 진동기초법 등이 있다.

#### 4.1.6 그라우팅 설계

- (1) 그라우팅 시공에 앞서 지하지질 상태 확인, 주입 영향권 확인, 주입재와 주입공법의 선

택, 주입공 간격과 주입심도 등을 결정하기 위하여 조사찬공과 주입시험을 실시해야 한다. 설계서에 정한대로 일정한 간격으로 실시하나 터파기면의 암질상태, 지질구조 등에 따라 조절할 수 있다.

### 4.1.6.1 그라우팅의 종류

#### (1) 시험 그라우팅

- ① 대개의 경우 주입공의 설계는 이미 완성한 댐의 실적이나 설계의 기준에 의해 정하고 있으나 대규모 또는 중요한 현장에서는 시공계획을 수립하기 위해 반드시 시험(pilot)그라우팅의 과정을 거쳐 결정해야 한다.
- ② 그라우팅 공사비에서 찬공 공사비가 차지하는 비용이 대단히 크다. 따라서 가능한 공간격을 넓게 하여야 할 것이다. 그러나 절리, 파쇄대 등의 구조의 방향, 암질의 상태에 따라 주입재의 확산 범위는 댐터마다 다르고 같은 댐터라도 구간마다 차이가 있으므로 이 범위를 확인하기 위해서는 시험구간을 적당히 넓게 잡아 찬공, 주입한 후 루전시험 등으로 주입효과를 판정하여 공간격과 주입량을 결정한다.
- ③ 필요한 주입공의 공간격, 공수, 배열 형태를 결정하기 위한 시험주입의 형태는 정해진 방법이 있는 것은 아니지만 중간내삽법(中間內插法), 정삼각형 중앙내삽법, 2열 정삼각형 중앙내삽법, 정사각형 중앙내삽법 등이 있는데, 그라우팅의 기본설계 즉, 공간격, 열간격, 열수, 주입재의 종류와 터파기면의 넓이, 지질상태 등을 감안하여 적절한 방법을 택한다.

#### (2) 컨솔리데이션 그라우팅

- ① 댐체와 접하는 암반이 이완되어 담수후 침투류 발생과 댐체의 하중에 기초변형이 일어날 우려가 있는 부분에는 암반의 변형성 개량과 지지력 증가를 위한 컨솔리데이션 그라우팅을 설계한다. 특히 균열·파쇄대 등의 틈이 많은 부분과 단층구간에 대하여 중점적으로 설계한다.

#### (3) 블랭킷 그라우팅

- ① 블랭킷 그라우팅은 풍화되거나 약간 풍화된 암석, 심하게 파쇄된 암석 또는 수평의 층상 암석을 따라 새는 물을 막기에는 커튼 그라우팅 만으로는 지수보강효과를 거둘 수 없을 때 침투로장을 길게 할 목적으로 커튼 그라우팅에 연접하여 설계한다.

#### (4) 커튼 그라우팅

- ① 댐 기초에서 누수되는 물을 최대한 차단하여 양압력을 줄이고 파이핑 발생을 방지하기 위해서 기초 암반의 깊은 심도까지 커튼 그라우팅을 설계한다.

### 4.1.6.2 찬공계획

#### (1) 찬공기

- ① 회전식시추기는 BX 구경으로 150 m 이상 찬공 할 수 있는 능력이어야 하고 동력은 20 HP 이상, 회전수는 1,200 rpm 이상이어야 한다.

- ② 충격식 장비로 컨솔리데이션주입공 또는 커튼 주입공을 찬공토록 설계한 경우에는 설계심도를 무리없이 찬공할 수 있는 능력이어야 하며, 암분의 비산과 스라임의 원활한 배제를 위해 습식으로 찬공할 수 있는 구조이어야 한다.
- ③ 찬공기는 작업장의 조건, 지질여건, 찬공심도, 찬공구경, 작업내용 등을 고려하여 선정한다. 장비의 능력이 우수해야 함은 물론이고 바퀴, 크롤러 또는 스키드에 탑재되어 장비의 이동이 원활하여야 하며 완만한 경사부에도 무난히 이동할 수 있는 장치가 있으면 더욱 이상적이다.
- ④ 이외에도 안전사고가 발생하지 않게 안정적이어야 하며 공의 편차발생을 줄일 수 있는 부대장치의 확보도 필수적이다. 어떤 장비이든 룯드의 연결·절단이 신속하여야 하고 360° 임의의 각도로 찬공할 수 있어야 하며 이동이 자주식이어야 할 뿐 아니라 암질에 따라 비트의 회전속도를 조정할 수 있는 다단변속기가 부착된 것이어야 한다.

## (2) 찬공 구경

- ① 토사층의 찬공구경은 BX, 암반층은 AX로 설계하나 암반층의 조사공과 검사공은 BX로 계획하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 주입재의 침투상태를 확인코자하는 경우는 NX 이상의 구경으로 설계한다.
- ② 찬공장비의 성능, 찬공도중에 발생하는 스라임의 효과적인 배제, 주입직전의 공내 세척의 용이성, 패커사용 여부, 공내 봉락가능성, 암석 상태, 찬공경사각, 찬공심도 등을 고려하여 정한다. 찬공구경은 가능한 한 작은 것을 택해야 찬공공사비를 줄일 수 있다. 주입공은 AX 또는 EX로 계획하나 공내세척의 편리성, 지질구조대의 암편 돌출가능성, 주입수의 배제(bleeding), 공의 편차 발생방지 등을 감안하여 AX로 설계함이 타당하다. 그러나 조사공과 검사공은 시추코어의 관찰을 위해 회전식 공법으로 BX 이상의 구경으로 계획한다.
- ③ 특히 검사공에서 절리, 균열 등에 주입된 주입재의 상태를 확인하고자 할 때는 최소 NX로 찬공한다. 그러나 찬공수의 압력 분사와 코어바렐의 진동으로 인해 주입재가 제거되어 확인이 어려울 때가 많다. 개보수나 성토과정에서 그라우팅을 할 때는 점토층은 BX구경 이상으로 하여야 하며, 자갈이나 호박돌이 많은 경우에는 케이싱타입 및 주입관 설치를 위해 최소 NX구경으로 하여야 하며 때로는 150 mm 구경 이상으로 찬공을 해야 할 때도 많다.

## (3) 찬공방향

- ① 커튼 그라우팅의 찬공방향과 찬공각도는 절리계의 방향과 경사 그리고 실제 가능한 시공성에 의해 정한다.
- ② 주입공은 절리를 직각으로 절단하는 방향이 바람직하다. 이는 주입재가 절리로 침투하는데 가장 유리한 수리조건을 만들기 때문이다. 그러나 절리계가 여러 방향성을 가질 때 각각의 절리를 이상적으로 절단할 수가 없으므로 각 절리의 중요도, 투수성, 시공성을 감안한 절충방향을 택해야 한다.
- ③ 현장에서 단순한 절리계 일 때는 숙련된 기술자는 적정한 경사 방향과 경사도를 결정할 수 있으나 복잡한 절리계 일 때는 스테레오네트(stereo net) 또는 하반구등면

적투영법으로 작성하여 이를 정한다.

- ④ 컨솔리데이션·블랭킷 그라우팅에서는 특별한 사유가 없는 한 수직찬공을 한다. 수직 공을 찬공할 때는 간이수준기와 직각형의 판재를 시추롯드에 대어보면 수직을 잡을 수 있으며, 한 개의 절리면 절단을 위한 경사공 일 때는 수준기와 기포경사계로 각도를 잡을 수 있으나 두 개 이상의 경사면을 절단하는 찬공방향과 각도를 잡을 때는 프리즘컴파스(prismatic compass)와 같은 측량장비로 합성각과 방위각을 취한다.
- ⑤ 절리의 경사가 30~60° 범위일 때는 수직찬공으로 쉽게 절단되어서 주입재 확산 효과가 좋으며, 수평절리나 수직절리보다 들림현상도 거의 없다. 수직절 리가 발달된 곳에서는 찬공능률이 떨어지지만 경사찬공으로 설계해야 한다.

### 4.1.7 투수시험

#### 4.1.7.1 일반사항

##### (1) 시험방법

- ① 토사층에서는 변수위시험법이나 패커투수시험법 적용을 원칙으로 하며, 이때 시험 구간 상부의 케이싱과 시추공벽 사이에는 공간이 발생하지 않도록 케이싱 타입이 철저하게 되어야 하며, 공간이 발생하였다고 판단될 때에는 이 공간을 주입재로 채워 이 사이에 주수가 되지 않도록 해야한다. 암반층의 투수시험은 패커투수시험 법이나 루전시험법으로 하며 하향식으로 싱글패커를 사용해야 하고 시험구간 (stage)은 3~5 m로 한다.

##### (2) 펌프, 수량계, 압력계의 규격

- ① 펌프는 시험방법에 따라 다르나 기본조사실시설계 조사공의 투수시험과 시험 그라우팅 때는 100~200 l/min 이상의 송수능력이 있어야 하고 여러 단의 기어가 장착되거나 엔진의 속도조절로 송수량이 조절되어야 한다. 그러나 시공완료 후 확인 투수시험 때는 60 l/min 펌프를 사용할 수 있다.
- ② 수량계는 흡입·배출구경이 25~40 mm이고 200 l/min 이상을 측정할 수 있는 “디지털” 형태이어야 한다. 압력계는 눈금단위가 0.01MPa(0.1 kgf/cm<sup>2</sup>)인 것을 사용하고 오일을 충전한 안전장치(gauge saver)가 부착되어야 한다. 이때 수량계와 압력계는 나란히 배열되어야 하고 지면에서 1 m 정도 높게 설치한다.

##### (3) 시험압력과 시간

- ① 시험심도 m당 투수시험 압력은 토사층에서는 0.011MPa(0.11kgf/cm<sup>2</sup>/m), 암반층은 0.023MPa (0.23 kgf/cm<sup>2</sup>/m)를 기준으로 하나, 암반층은 변위가 일어나지 않는 한 조금 높게 적용한다.
- ② Lu시험은 낮은 압력→중간 압력→높은 압력→중간 압력→낮은 압력의 5단계로 실시 한다.
- ③ 시험시간은 패커투수시험 때는 압력별로 안정이 이루어진 후 5분 간격으로 압력과 주수량이 3회 이상 같은 값이 될 때까지 하며, Lu시험은 압력단계별로 5~10분으로 한다.

## (4) 변수위시험법

- ① 투수시험코저하는 구간 윗부분까지 찬공한 후 케이싱을 타입하고 시험구간 만큼 더 파낸다. 케이싱내의 물을 퍼내거나 주수한 후의 시간별 수위변화를 측정하여 투수계수를 산출하는데, 구경이 작은 케이싱을 사용하므로 공내의 물을 퍼내기가 어려워 대개 케이싱 정부까지 주수한 후 수위변화를 측정한다. 케이싱과 공벽사이의 공간은 그라우팅을 하여 이 사이로 물이 들어가지 않게 한다. 이 방법은 지층이 점토 또는 실트질점토로서 시험구간이 무너지지 않을 경우에 사용할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{사용공식은 } K &= \frac{r^2}{2L(T_2 - T_1)} \ln\left(\frac{L}{r}\right) \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \text{ 또는} \\ &= \frac{(2.3)^2 r^2}{2L(T_2 - T_1)} \log\left(\frac{L}{r}\right) \log\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \text{ 이다.} \end{aligned}$$

K : 투수계수(cm/s), r : 공의 반경(cm)

L : 시험구간(cm), H1 : 임의의 시간 (T1)의 수위(cm)

H2 : 임의의 시간 (T2)의 수위(cm), (단, L/r > 8의 조건)

시험구간이 무너질 때는 이 구간에 유공관의 케이싱을 설치하여 투수시험을 하는 방법도 있으나 지층의 많은 부분이 케이싱으로 막히게 되어 투수계수의 정확도는 떨어진다.

## (5) 패커 투수시험법

- ① 균열성 암반의 투수성을 평가하기 위하여 일반적으로 널리 이용되고 있는 현장 투수시험방법으로서 시추공내 일정한 길이의 주수구간에 압력수를 주입하고 주수량과 주수압의 관계를 이용하여 그 구간의 투수계수를 다음의 공식으로 구하는 방법이다.

$$K = \frac{2.3Q}{2\pi LH} \log\left(\frac{L}{r}\right) : L \geq 10r$$

여기서, K : 투수계수(cm/s), H : 수두(cm) < Hg(gravity) + Hp(pressure) >

r : 공의 반경(cm), Q : 주수량(cm/s)

위 식에서 투수계수는 주수량에 비례한다고 가정하여 동수경사가 1 일 때의 평균 유속으로 투수성을 표현한 것으로서 균열성 암반 중의 물의 흐름과 같이 Darcy의 법칙이 적용되지 않는 조건하에서는 그 자체의 의미를 상실하지만 어느 지반의 투수도를 비교하고 분류하는데는 충분한 의미를 갖는다.

투수시험은 찬공이 끝난 후 특정한 구간의 상하 2개소에 패커를 설치하여 주수하는 더블패커(double packer) 방식이 있고 찬공을 하는 과정에서 필요한 구간을 정하여 시험하는 싱글패커(single packer) 방식이 있다. 전자는 패커를 빼내지 않고 연속적으로 시험을 할 수 있어 능률적이지만 패커의 암반 밀착 불량으로 누수될 가능성이 커서 실제보다 큰 값의 투수계수가 산출될 수 있으므로 후자의 방법이 더 좋다.

- ② 일반적으로 투수시험 구간은 높은 댐의 기초지반에서는 5 m로 하나, 낮은 댐에서

는 3 m 정도로 구간을 잡아 싱글패커를 사용하여 하향식으로 시험한다. 만약에 무너지는 구간이 길 때는 이 구간을 모두 찬공한 후 투수시험을 하기에는 무리가 있으므로 시험구간을 짧게 하는 방법이 가장 좋으며 시험후 이 구간을 시멘팅하여야 계속 찬공을 할 수 있다. 시험구간을 너무 길게 잡으면 주 투수구간의 위치를 정확하게 잡을 수 없어 주입심도 결정에 오류를 일으킬 수 있다.

#### 4.1.8 루전시험

##### 4.1.8.1 일반사항

- (1) 루전시험은 공내에 물을 넣어서 투수도를 구하는 방법으로 1 Lu는 10 bars의 압력에서 시험구간 1 m당 1 l/min의 주수량이 들어가는 조건의 투수도를 의미한다. 그러나 10 bars 압력은 대개 투수시험에서 너무 과다하여 훨씬 적은 압력으로 시험을 한 후 보정하여 Lu값을 산출하는데 이의 보정 방법은 다음과 같다. 실제 터파기 표부의 치밀 견고치 않은 암석에 10 bars의 압력을 적용할 수 없지만, 낮은 시험 압력에서도 만족할만한 시험결과를 얻을 수 있다.

$$\text{Lugeon 값} = \text{주수량 (l /m/min)} \times \frac{10(\text{bars})}{\text{실제압력}}$$

$$1 \text{ Lugeon} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

1 Lu는 그라우팅이 거의 되지 않을 정도로 수밀(水密)하여 물이 새지 않을 정도의 지반 상태이며, 10 Lu는 댐 형식에 관련없이 불균질한 지층에서는 대개의 경우 그라우팅을 한다. 100 Lu는 절리가 심하게 발달되었을 뿐 아니라 절리의 틈이 개구상으로써 주입수가 다량 들어가는 지반상태이다.

##### (2) 시험방법

- ① 시험방법은 패커 투수시험 방법과 동일하며 시험구간은 5 m 정도로 하나, 낮은 댐에서는 짧게 잡는 것이 투수성 지층심도를 정확하게 파악할 수 있어 그라우팅계획이 과다해지지 않게 된다. 부정확한 Lu값은 주로 패커의 누수에 그 원인이 있다. 또한 집어넣은 물이 시험구간에서 방사상 또는 수평상으로 들어가지 않고 시험구간에서 윗쪽 또는 아래쪽으로 발달된 절리계를 따라 물이 들어가는 경우에도 생긴다. 이와 같은 부정확성을 줄이기 위해서는 싱글패커를 사용하여 찬공과정에서 수시로 시험하는 하향식 수압시험을 채택한다.
- ② 펌프는 패커투수시험에서 처럼 200 l/min의 능력이 있는 것을 사용해야 하며 여러 단의 기어가 장착된 것이거나 엔진의 속도를 조절하여 회전수가 빨라질수록 펌프의 송수능력이 증가하는 것을 반드시 사용해야 한다. 밸브를 잠그어야 시험압력을 높일 수 있는 펌프는 송수량이 줄어지므로 이 자료로 구한 Lu값은 큰 의미가 없다.

##### (3) 적정시험압력

- ① 시험압력은 낮은 압력→중간 압력→높은 압력→중간 압력→낮은 압력의 5단계로 실시한다. 시험압력은 높은 압력을 적용하여도 암반에 변위나 파쇄가 발생하지 않는다면 최대 10 bars까지 올려 볼 수 있다.

- ② 경험법칙으로는 치밀한 암반에서는 최대 시험압력을 심도 m당 0.23 kgf/cm<sup>2</sup>(= 1 psi/ft<sup>2</sup>)이 적당하며 암질이 불량할 때는 더 적은 압력을 적용한다.
  - ③ 지표면 또는 터파기면에 가까운 얕은 심도나 연암에 높은 압력으로 주입하면 지반이 교란되므로 적은 압력을 적용하고 Lu값을 보정하여 산출한다.
  - ④ 단계별 시험압력은 주입수가 정류(steady flow)된 상태에서의 압력을 의미하며, 실제 이처럼 안정이 될 때까지는 10분 정도 소요된다. 단계별 실제 시험시간은 5~10분으로 하는데 조사공의 경우에는 보통 10분 정도가 바람직하다.
- (4) Lu값과 그라우팅 시공범위
- ① Kutzner(1996)는 암반에서 실시한 투수시험자료, 시공경험 및 시멘트 주입량으로부터 그라우팅 시공범위를 정하는 기준을 제안하였다. 즉 제안된 값의 Lu값보다 더 높은 투수성을 보일 때는 그라우팅을 시공한다.
  - ② 대개 지반개선 목표 Lu값은 높은 댐, 특별한 위험이 있다고 예상되는 경우 및 상부 터파기면을 포함한 표층부에는 낮은 값을 적용하고, 낮은 댐과 심부 지수커튼에는 비교적 높은 값을 적용한다.

#### 4.1.8.2 주입체계와 장비

##### (1) 혼합기

- ① 주입체계는 주입재료를 혼합기에 투입하여 충분히 혼합되게 한 후 이를 교반기에 보내며, 교반기에서는 주입재료가 가라앉지 않도록 낮은 rpm으로 교반되어야 하며, 이를 주입펌프가 흡입하여 주입공으로 보내는 방법으로 갖추어져야 한다. 혼합기는 동력 25 Hp 이상, rpm 1,000 이상의 고속고전단 믹서로써 주입재료가 완전히 분리될 수 있는 것을 현장 투입하도록 설계한다.
- ② 시멘트는 미세립 입자로 물과 혼합되면 덩어리가 되려는 성질이 있어 입자의 표면이 흡수(wetting) 상태가 되는 것이 방해받으며 공기가 입자에 달라붙어 있어 흡수를 더욱 지연시킨다. 따라서 고속믹서를 사용하면 시멘트입자가 완전히 분리되므로 덩어리가 만들어지지 않고 입자의 표면이 수막으로 싸여 완전히 흡수될 수 있어서 시멘트 입자간에 화학적으로 충분히 활성화되게 하여 강도와 내구성 증대에 필요한 충분한 수화작용이 일어난다.
- ③ 입자 개개가 분리되지 않은 덩어리 상태의 주입재는 미세한 절리에 침투되지 못하고, 균열의 좁아진 부분에 다다르면 그 부분에 막혀 버려 더 이상의 주입재 침투를 방해하는 장애물의 역할을 하게 된다.
- ④ 좋은 혼합기의 조건은 rpm 1500이상의 고속 로터(rotor)를 사용하여 15초 또는 1분 이내에 주입재료의 혼합을 끝낼 수 있어야 한다. 이 고속 로터는 격렬한 와류와 고전단(high shearing) 작용을 하여 신속하게 완전한 혼합이 되도록 할 뿐 아니라 혼합이 다 된 주입재를 교반기로 보내는데 사용된다. 고속혼합기로 시멘트는 물론이고 모래, 벤토나이트, 플라이애시 등 모든 주입재료를 효과적으로 혼합시킬 수 있다. 혼합기를 회전시키는 동력은 15~25 Hp 정도이다.

## 농업용 필댐 설계

### (2) 교반기

- ① rpm 100 이상이어야 하며 1조의 용량이 200 l 이고 토출관경은 50 mm 이상이어야 한다. 수직축에 2조의 페달이 장착되어야 하며 가장 아래쪽의 페달은 드럼의 바닥 가까이에 부착된 것이어야 한다. 또한 주입량을 측정할 수 있는 계심장치가 있어야 하며, 교반기는 뚜껑이 없어서 육안으로 주입속도를 관찰할 수 있는 구조이어야 한다. 교반기는 혼합기에서 만들어진 주입재를 저장하는 곳으로서 주입펌프에 의해 주입공으로 보내지기 전까지 주입재가 침전되지 않도록 계속 교반하는 장치이며, 주입공으로 주입되지 못하고 패커에서부터 되돌아오는 주입재가 모아지는 곳이기도 하다.
- ② 교반기 크기는 대개 200 l 이고 rpm은 100이 적당하다.
- ③ 교반기에는 주입량을 측정할 수 있는 계심장치(dipstick)를 하여야 하고 주입을 담당하고 있는 기술자들이 항상 주입속도를 관찰할 수 있게 뚜껑이 없는 것이어야 한다.

### (3) 주입펌프

- ① 주입도중 압력의 변동이 적은 피스톤펌프, 나선형 로터펌프, 다이어프램 펌프 등을 사용하고 배출압력 25 kgf/cm<sup>2</sup> 이상, 배출량 70 l/min 이상, 배출관경 50 mm 이상을 사용토록 설계한다.
- ② 펌프는 교반기에 담겨진 주입재를 빨아서 주입배관을 통해 주입공까지 보내는 역할을 하는 것으로 종류가 다양하다. 이들은 발브가 있는 것과 발브가 없는 것 두가지로 나누어진다. 발브가 없는 주입펌프에는 나선형로터(helical rotor)펌프, 와권(centrifugal)펌프가 있으며 발브가 있는 것에는 피스톤(piston)펌프, 다이어프램(diaphragm)펌프, 램(ram)펌프 등이 있다.

### (4) 주입장치장치

- ① 주입량 조절시스템에는 주입재를 주입공내로 들어가게하는 주입량 조절밸브, 순환배관에서 주입공내로 들어가지 않고 교반기로 되돌아가게하는 리턴밸브, 그라우팅이 끝난 후 주입재 역출방지를 위한 역출방지밸브가 있다. 이외에도 주입공내의 물과 빈배합의 주입재를 지표로 배제하는 브리더밸브와 교반기와 주입펌프 사이에서 양을 조절하는 밸브가 있으며 주입펌프에서 직관으로 주입재를 배출시키는 곳에도 밸브를 설치한다.

### (5) 패커

- ① 패커는 주입대상구간을 몇 개로 나누어 주입재가 나누어진 구간에만 들어가도록 하며 수압시험 때도 시험구간에만 주수되도록 하는 장치이다. 또한 시추공 상부의 각종 조절장치를 단단하게 고정시키는 역할도 한다. 이는 기본적으로 붕괴된 지층이나 팽창된 지층에도 자유롭게 설치할 수 있어야 하고 주입압력이 가하여지더라도 움직이지 않고 고정될 수 있어야 하며 확실하게 막음(sealing)이 되어야 한다.
- ② 패커에는 기계식(mechanical)과 팽창식(inflated) 두 가지가 있는데, 기계식은 부드러운 고무로 만든 슬리브(sleeve)가 팽창하여 공벽에 밀착될 수 있도록 고안된 장치인데 지표에서 나사를 조이면 고무가 길이방향으로 팽창하여 공벽에 부착된다. 팽창



식은 조그마한 튜브로 공급되는 압축공기, 질소 또는 수압으로 인하여 고무가 팽창 되도록 하는 장치이다. 어느 것이 좋은 장치인가 하는 의견은 분분하나 대개 주입공이 원형이고 편평한 경우에는 기계식이, 공벽이 거칠어서 울퉁불퉁할 때는 팽창식이 좋다. 즉 세일, 사암, 석회암 등이 얇은 층후로 교호하여 발달하고 있어 공경이 불규칙한 퇴적암에는 팽창식이 좋다. 압력은 15 kgf/cm<sup>2</sup>까지 가능하다.

#### 4.1.8.3 주입재료

##### (1) 주입재료로써 요구되는 기본성질

- ① 주입재료는 지반의 토립자 공극이나 암반의 절리 등에 침투성이 높아야 한다. 즉 주입재료의 입자가 작아야 한다.
- ② 그라우트중의 입자는 균등하게 분산하고 블리딩 현상이 적으며 유동성이 좋아야 한다.
- ③ 고강도가 발현되고 수밀성과 내구성이 좋아야 한다.
- ④ 주입재료에는 흙이나 지하수를 오염시키는 물질이 포함되지 않은 무공해라야 한다.
- ⑤ 경제성이 있어야 한다.
- ⑥ 주입대상지층의 물성과 유사해야 한다.

##### (2) 물

- ① 현탁액이나 약액에 들어가는 물은 주입재의 고결이나 최종 특성에 유해한 영향을 미치는 물질 즉 칼륨이나 나트륨염이 많이 용해되었거나, 강산강알카리 성분의 물은 사용하지 말아야하고 또한 유기물질이 함유되지 않은 깨끗한 것을 사용해야 한다. 음용수나 생활용수로 사용할 수 있는 정도이면 만족하며 특별한 주변여건으로 유해한 성분이 함유되었을 것으로 의심이 되면 수질시험 분석을 해야 한다. 특히 방조제 그라우팅공사 때 담수호의 물을 사용해야 할 경우에는 수질에 대한 검토가 필요하다. 주입수로 사용되는 물의 온도는 10~37℃ (50~100°F)이어야 한다.

##### (3) 시멘트

- ① 포틀랜드 시멘트는 KSL 5201에 의하면 5가지 종류가 있으며 제1종은 보통포틀랜드 시멘트로 불리우며 재료값이 싸서 그라우팅 재료로 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 내화화성이 떨어진다. 제2종은 보통정도의 내화 산업용으로 만들어졌으며 1종에 비해 수화열 발생이 적다. 제3종은 조강 시멘트로 2주 정도에 강도가 나야하는 긴급한 그라우팅에 사용되며 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 입경이 작기 때문에 미세한 공극의 주입재료로 사용하기도 한다. 이의 분말도는 3,300 cm<sup>2</sup>/g 이상으로 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 세립이어서 빨리 응결되어 조기강도가 실현된다. 강도실현이 빠르나 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 강도가 그리 높지는 않다. 수화과정에서 수화열이 격렬하게 발생하나 기온이 높지 않으면 그라우팅에 크게 나쁜 영향은 미치지 않는다. 제4종은 제2종에 비해 수화열이 적고 제1종에 비해 강도실현이 늦으며, 그라우팅 재료로는 일반적으로 사용치 않으나 높은 수화열이 있어서는 안되는 대용량의 그라우트주입에 사용된다. 제5종은 황산

염이 많은 토사나 지하수가 있을 때 사용하는 것으로 강력한 내황산염 그라우트 재료이다.

- ② 해수나 온천지역과 같이 염소이온이나 황산염이온이 많은 지역의 구조물에 사용될 수 있는 시멘트는 보통 포틀랜드계 5종 시멘트가 사용되고 있다. 5종 시멘트는 내화성을 높이기 위해서 시멘트 수화물의 화학적 저항성에 영향을 미치는  $C_3A(3CaO \cdot Al_2O_3)$ 량을 규격화하여 5 % 미만으로 관리되고 있지만, 다른 물리·화학적 특성은 보통 포틀랜드시멘트와 차이점이 거의 없다.
- ③ 최근에는 내화학적 시멘트로 고로슬래그 시멘트나 플라이애시 시멘트 등 혼합시멘트가 더 일반적으로 사용되는 경향이다.

#### (4) 초미립자 시멘트

- ① 분말도  $6,000 \text{ cm}^2/\text{g}$  이상인 콜로이드시멘트 또는  $8,000 \text{ cm}^2/\text{g}$  이상인 건식 마이크로시멘트를 사용하거나, 습식분쇄장치에서 초미립화한 습식시멘트를 사용할 때는 제품의 분말도를 포함한 물리적 특성 분석표를 제출하도록 시방서에 명기하여야 한다.
- ② 주입재료의 입자가 작을수록 침투성이 좋아지므로 70년대 후반부터 일본에서는 시멘트입자를 보다 더 미립화시켜서 현탁형 그라우트의 주입성을 개선시키고자 노력하였다. 이에는 초미립자 시멘트(마이크로시멘트)와 미립자 시멘트(콜로이드 시멘트) 두 가지가 있으며 국내에서도 생산 공급되고 있다.
- ③ 포틀랜드 시멘트의 최대 입경은  $100 \mu\text{m}$ , 평균입경  $17 \mu\text{m}$ 인데 비해 국내에서 생산 판매되고 있는 마이크로 시멘트는 각각  $24 \mu\text{m}$ ,  $4.2 \mu\text{m}$ 이며, 콜로이드 시멘트는 각각  $24 \mu\text{m}$ ,  $7.5 \mu\text{m}$ 이다.
- ④ 마이크로 시멘트나 콜로이드 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트에 비해서 장기강도는 물론이고 초기강도도 매우 우수하다. 따라서, 주입공사시 보통 포틀랜드시멘트에 비해 주입성이 좋고 고강도가 발현되며 내구성도 향상될 것으로 판단된다.
- ⑤ 분말도가 크다는 것은 현탁액 그라우트의 전단저항력이 작아지기 때문에 주입압의 손실을 줄일 수 있으므로 침투력이 향상되고, 주입반경을 넓힐 수 있다는 것을 의미한다.

#### (5) 벤토나이트

- ① 벤토나이트는 함수비 12 % 이하, 입도는 No.200체( $0.074 \text{ mm}$ ) 잔류량이 25 % 이하, 팽윤도( $\text{ml}/2\text{g}$ ) 20 이상의 Na형-벤토나이트나 활성벤토나이트를 설계해야 한다. 벤토나이트 1 kg에 물 10 l 비율로 첨가하여 고속믹서에서 수분간 혼합한 후 10~24시간 동안 수화된 것을 사용하고, 사용량은 설계서에 정한 비율 이하로 사용하며 믹서에 투입하는 순서는 벤토나이트 슬러리를 넣고 다음에 물을 넣으며 나중에 시멘트를 넣는 것으로 공사 시방서에 명기해야 한다.

#### (6) 모래

- ① 몰탈용 모래입도는 No. 16체( $1.19 \text{ mm}$ )를 통과하여야 하며 No. 100체( $0.149 \text{ mm}$ )를 통과하는 세립질이 25 % 이하일 때는 주입재의 운반능력이 떨어지므로 세립질을 첨가해야 한다. 사용하려는 모래는 입도분석을 하여야 하며 결과에 따라 벤토나이트

등의 혼화제 사용여부를 검토해야 한다. 모래는 주입 비용을 아끼기 위해 시멘트와 혼합하여 모래질그라우트(모르타르)재료로 사용하는데 이는 대단히 큰 절리나 뒤텔 그라우팅 등에 극히 제한적으로 이용된다. 모래는 반드시 입도분석을 하여 굵은 크기의 입자는 체로 쳐서 제거하는 등 작은 입경만을 사용해야 하며 혼화제 첨가 없이 모래 : 시멘트 = 2 : 1 정도의 모르타르 주입이 한계점이다. 더욱이 주입장에서 부터 주입공까지의 거리가 100m 이상으로 멀거나 주입장보다 높은 위치에 주입할 때는 주입배관이 막히는 등 시공상에 어려움이 대단히 많다. 모르타르는 침하현상 때문에 바람직한 주입재가 아니므로 가능하면 이의 설계·시공은 하지 말아야 한다.

#### (7) 주입재료의 선정

- ① 암반에 대한 주입재료는 보통 포틀랜드시멘트로 설계하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 주입성을 증대시키기 위해 벤토나이트를 소량 첨가할 수 있는데 시멘트 중량의 4 %를 초과해서는 안된다.
- ② 시험그라우팅 때 미세절리로 인하여 지반개선효과가 개량목표치 이하 일 경우에는 초미립자시멘트 설계를 고려한다.
- ③ 암반의 강도 및 내구성을 향상시키기 위해서는 포틀랜드시멘트 현탁액을 주입하는 것이 가장 바람직하다. 시멘트는 다른 주입재료에 비해 강도 발현이 우수하고 값이 싸며 쉽게 구할 수 있는 장점이 있어 국내뿐만 아니라 세계적으로 가장 많이 사용하고 있다. 또한 여러 가지 종류가 있어 지반의 여건이나 공사의 목적에 맞게 골라서 사용할 수 있다. 암반에 대한 그라우팅의 종류에 관계없이 보통 포틀랜드시멘트를 일반적으로 사용하고 있으나, 미세한 균열이 발달한 암반에는 시멘트의 입경 때문에 잘 침투되지 않는다. 따라서 절리틈새 크기를 조사하는 것이 설계나 시공에 필요하다. 절리의 크기는 시추코어나 터파기면의 암질조사 때 간단한 도구를 틈새에 집어넣어 보는 방법으로 조사해보는 것이 가장 편리하다(클립 0.8 mm, 서류핀 0.6 mm, 옷핀 0.5 mm, 사무용칼 0.3 mm, 양면면도날 0.1 mm). 암반균열 주입에서 암반균열 폭과 주입가능한 주입재의 최대입경과의 관계를 J.K. Michel이 제안한 주입가능비는 다음과 같다.

$$N = \frac{D_{fissure}}{G_{max}} > 3$$

여기서,  $D_{fissure}$  : 암반균열폭,  $G_{max}$  : 주입재 입자의 최대 입경

보통 포틀랜드시멘트의 최대입경은 100  $\mu\text{m}$ , 국내산 마이크로시멘트의 최대입경은 24  $\mu\text{m}$ 이므로 주입이 가능한 암반균열의 최저폭은 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 경우 300  $\mu\text{m}$ , 마이크로시멘트를 사용한 경우 70  $\mu\text{m}$  수준이 된다. 따라서, 미세균열이 많이 발달된 암반지역에서는 마이크로시멘트나 콜로이드시멘트를 사용하는 것이 유리하다. T.B. Kennedy(1958)는 보통 포틀랜드시멘트가 0.2 mm 보다 작은 균열에는 주입이 불가능하다고 발표한 바 있으며, A.C. Houlsby(1990)는 주입에 특별한 주의를 기울이지 않더라도 0.5 mm에는 주입가능하며 0.4 mm의 틈새일 때는 특별한 시공

관리가 필요하다고 하였다.

- ④ 보통 포틀랜드 시멘트보다 더 세립질인 주입재료를 쓰거나 규산소다 등의 약액을 사용하여 지수해야할 정도이면 그 암반은 대단히 양호한 상태이므로 그라우팅공사를 할 필요가 없다는 주장도 있다.
- ⑤ 그러나 시공과정에서 수압시험을 해보면  $K=10^{-4}$  cm/s 정도의 투수도를 나타내는 지층임에도 주입이 잘 되지 않아 지반개선이 거의 되지 않는 경우가 흔하다. 더욱이 규모가 큰 댐의 경우에는 묘안이 없어 약액주입으로 침투성을 높여 보거나 여러 공을 추가 시공하고 있다. 따라서 시험 그라우팅 때 주입 전후의 수압시험자료로 지반의 개선효과를 검토하여 미세질리로 인하여 보통 포틀랜드 시멘트입자가 침투하지 못해 기대한 만큼 개선이 되지 않았다고 판단이 되면 다른 주입재 즉 초미립자시멘트나 약액을 사용하는 것으로 검토되어야 할 것이다. 그러나 그라우팅 예정지의 전 구간, 전심도가 미세한 균열로 이루어진 것은 아니므로 미세질리구간과 심도에만 초미립자시멘트를 사용하거나, 설계주입량의 20~30 % 정도를 초미립자시멘트를 반영하여 현장 주입과정에서 적절하게 사용토록 한다. 벤토나이트 사용은 주입재의 고결강도의 저하와 점성의 증가 같은 좋지 않은 현상이 생기므로, 부배합에서는 2 %, 빈배합에서는 4 % 정도를 사용하는 것이 좋다.

## 4.2 표준단면 설계

### 4.2.1 댐 축선의 선정

- (1) 댐 축선은 지형 및 지질조건, 제체의 규모, 형식, 부대구조물의 형식 및 배치, 시공의 난이도 등을 종합적으로 판단하여 댐 길이가 가장 짧고 제체의 체적이 최소가 되는 지형을 택하는 것이 원칙이다. 그러나 저수압에 의한 댐 중앙부의 인장응력, 댐 축의 수평이동, 미관 등을 고려하여 약간 아치모양을 취하는 경우도 있다.

#### 4.2.1.1 일반사항

- (1) 양안부 기초바닥의 지질이 좋고 충분한 두께가 있고, 또 댐 길이가 가장 짧게 될 지형을 택하는 것이 원칙이다. 그러므로 대부분은 직선형으로 되나 불투수부가 얇은 댐에서는 저수압에 의한 변화를 고려하여 다소 아치 모양으로 해도 좋다.
- (2) 댐 지점의 개략적인 위치가 결정된 뒤에도 댐 축선은 여러 가지로 생각할 수 있으며 그 비교가 불충분한 경우에는 비경제적인 굴착이나 댐의 부피 증대를 가져오기 때문에 표층의 지형적 관점뿐만 아니라 지질도 겸하여 가장 좋은 축선을 정해야 한다.

#### 4.2.1.2 댐 축선의 선정시 고려할 사항.

- (1) 댐의 위치가 대체로 결정되면 댐 축의 위치는 다각적으로 검토되어야 한다. 즉 몇 개의 예정선을 취하여 비교 검토하고 또 댐의 형식에 대하여도 비교할 필요가 있다.
- (2) 댐 축은 지형, 지질조건을 충분히 고려하여 선정해야 한다. 지형상 제체의 체적이 나 굴착량을 최소로 할뿐만 아니라 단층이나 파쇄대 또는 산사태, 지층 등의 규모를 확

인하여 가장 좋은 위치에 설치해야 한다. 댐 양단부의 두께를 충분하게 취하여 소 요의 크리프비가 확보될 수 있도록 댐 축선을 선정해야 한다.

- (3) 댐 본체와 부대구조물의 위치를 배치함에 있어 특히 댐 축선과 물넘이와의 관계는 매우 중요하다. 물넘이를 산복사면에 설치할 때에는 토공량이 대단히 많아지는 경우가 있으며, 또 홍수시 그 유량이 많을 때에는 보통 물넘이의 방수로 중심선은 가 급적 하심에 일치되도록 설정한다. 이와 같은 위치관계를 충분히 고려하여 댐 축을 선정해야 한다.
- (4) 댐 축선은 일반적으로 직선으로 하는 경우가 많으나, 수압에 의하여 댐 중앙부가 수평 이동하여 댐축 방향에 인장응력이 발생할 가능성이 있기 때문에 댐 축을 상류 측에 대하여 볼록한 아치형으로 하는 예가 있다. 이 경우 반경은 400~1,500 m가 좋다.
- (5) 댐의 조건에서 댐 축선을 원호로 할 것인지는 명확하게 밝혀지지 않고 있다. 그러나, 일반적으로 안정감과 미관상의 이유로 댐 축선을 원호로 함으로서 제체 체적을 감소시킨 예나 지형지질 조건을 유리하게 한 예도 있다.

## 4.2.2 제체의 단면구성

- (1) 필댐의 단면구성은 소정의 기능을 발휘할 수 있도록 기초지반, 제체 재료, 시공조건 및 경제성 등을 고려하여 종합적으로 판단하여 결정한다.

### 4.2.2.1 제체 형식의 선정

- (1) 댐의 제체 단면 구성(Zoning)은 소정의 기능을 발휘할 수 있고, 또 최소의 비용이 되도록 기초지반, 제체 재료, 시공조건 및 시공 사례 등을 종합적으로 판단하여 결정한다.
- (2) 형식의 선정은 물론이고, 각 존의 배치, 순서 및 기하학적 형상으로 된 제체 단면의 설계는 제체 재료의 입도나 조성에 따라 조합 방법이 다르고, 제체의 포화도나 재하상태에 따라 다르기 때문에 일률적인 수학적 해석 방법이라든가 공식을 적용하여 설계할 수는 없다. 또한 상세한 조사나 시험의 결과를 바탕으로 한 댐 제체 내의 응력과 변형의 관계 등도 설계에 반영하여 검토한 다음 최종 단면을 결정해야 한다.

### 4.2.2.2 존의 기능

- (1) 각 존의 기능은 기본적으로 차수, 배수 및 외력에 대한 안정성으로 나누어진다. 일반적으로 댐 높이가 높아짐에 따라, 침투와 역학적 측면에서 투수성 존(shell zone, transition, filter zone 등)과 불투수성 존(차수벽 포함)등이 필요하다.
- (2) 각 존의 물리적·역학적 특성은 각 존의 기능으로부터 정해지고, 역으로 재료의 특성으로부터 존의 단면을 결정하는 기법이 많이 쓰이고 있다. 따라서 각 존의 기능이나 재료의 물리적·역학적 특성은 인접 존과의 상대적 관계에서 일정한 균형을 이루어야 한다.
- (3) 최근 높은 댐의 불투수성 존에 대하여는 다만 단순히 차수 존으로서의 투수계수가 소정의 값이면, 좋다고 하는 사실 이외에 필터나, 트랜지션 존 사이의 탄성적 특성의 차가 크면 불투수성 존에 아치작용이 생기어 균열이 발생하는 일이 있다고 지적되었다.

- (4) 배수기능에 대해서는 특히 균일형 필댐에서는, 직립 드레인에 의해 침윤선을 저하시키는 최소한 제체 사면 하류단쪽으로 침윤선이 사면에 침출되지 않도록 하기 위하여 하류 비탈끝 드레인(toe drain)을 설치할 필요가 있다.
- (5) 일반적으로 많이 축조되고 있는 존형 필 댐에서도, 불투수성 존과 투수성 존 사이의 투수계수의 차가 작을 때에는 침윤선이 사면에서 침출하는 수가 있으므로 하류 비탈끝 드레인이 필요하다.

### 4.2.2.3 기초지반과 존잉(zoning)

- (1) 기초지반의 상태도 존잉에 큰 영향을 주는 일이 있다. 특히 투수성 암반에 접했을 때에는, 블랭킷 그라우팅을 광범위하게 시공해야 하므로 차수 존 폭을 넓게 취해야 한다. 또 지수 트렌치의 하류면에는 필터 존을 설치해야 한다.
- (2) 압축성 지반에 축조된 댐의 존잉은 기초처리공법과의 관계, 투수성 존의 폭이나 위치에 대하여 고려를 해야 한다. 이때에는 폭을 두껍게 하든가, 필렛 혹은 블랭킷을 설치하거나, 경우에 따라서는 기초처리(지수벽) 위치를 불투수성 존과 함께 제체의 상류측 위치까지 이동시키는 것도 고려할 수 있다.

### 4.2.2.4 시공방법과 존잉(zoning)

- (1) 시공방법과 존잉의 관계도 충분히 검토할 필요가 있다. 시공 중에 간극압이 발생하면 여러 가지 사고가 일어나므로 시공 속도의 규제나 피에조미터에 의한 시공관리는 물론이고 균일형 필댐에서는 수평방향의 드레인을 여러층 설치한 사례가 많이 있다.
- (2) 제체의 일부로 시공된 가물막이 댐 단면이나 표고는 가배수 터널의 단면과 가물막이 댐의 시공 기간의 성토 가능량을 비교해서 결정하는 경우도 있다.

### 4.2.2.5 존잉(zoning)의 수정

- (1) 안정 해석의 결과, 사면이 불안정한 경우 존잉을 재검토한다. 일반적으로 사면의 안전율이 부족한 경우 다음과 같은 방법으로 안전율을 높인다.
  - ① 사면 경사를 완화시킨다.
  - ② 존형에서는 록존(rock zone)을 증가시키든가 혹은 록존을 둘로 나누어 표층존에 전단강도가 높은 신선한 록재를 사용한다.
  - ③ 균일형 필댐이나 토질기초에서는 압성토를 실시하여 랜덤 존을 설치한다.
  - ④ 균일형 필댐이나 불투수성 존이 두꺼울 때에는 수평 드레인을 증가시켜 간극압을 저하시키거나 전단강도를 증가시키는 방법을 사용하고 있다.
  - ⑤ 또 응력 변형 해석의 결과로서도, 전항 3)에서 논한 바와 같이 불투수성 존과 트렌지션 존간의 역학적 특성이 너무 차이가 나서 불투수성 존에 아칭작용(arching action)이 일어나는 경우에는 트렌지션 존의 재질을 개량함과 동시에 존의 배치나 혹은 불투수성 존의 단면을 변화시키는 일도 있을 수 있다.

- ⑥ 불투수성 존의 기초부분의 굴착을 너무 깊게 하면, 불투성 존에 아칭작용이 일어나고, 또 암반부 인장응력이 생기거나 안전율이 저하하는 존이 발생하는 예도 있다. 이와 같은 경우에는 기초굴착형상을 변경하여 불투수성 존을 넓혀서 가급적 평평한 형으로 접촉시킨다. 또 불투수성 존과 암반기초와의 응력변형 때문에 야기되는 문제에 대하여는 댐 횡단면 방향에서도 극단적인 형상변화는 피하는 것이 좋다. 댐 양안부의 경사가 급하고 더욱이 사면 길이가 길 때에도 침하변형 등으로 균열을 일으킬 위험성이 있어서, 굴착형상을 변경하든가, 이 부분의 불투수성 존 폭을 넓히는 등의 대책을 강구해야 한다.

#### 4.2.2.6 불투수성 존과 암반접촉부

- (1) 불투수성 존과 암반접촉부에 접착 점토(contact clay)를 배치하는데, 이는 층의 시공에 있어 불투수성 존과 암반을 밀착시킴과 동시에 불투수성 존의 댐 어버트에서의 침하시 전단과 변형을 받는 존으로서 효과적이라고 생각된다.
- (2) 일반적으로 조립부분을 함유하지 않은 토질 재료를 약간 습윤층 함수비로 하여 두께 10 cm 정도로 시공한다.

#### 4.2.3 제체의 비월류부 높이

- (1) 제체의 비월류부 높이는 상시만수위, 서차지 수위 및 설계홍수위에 안전상 필요한 높이를 더한 높이 중 가장 높은 높이로 한다.
- (2) 댐마루의 높이는 콘크리트 댐에서는 비월류부 최상면의 높이로 하고 필댐에서는 비월류부의 높이에 필요한 보호층 등을 포함한 최상면의 높이로 한다.

##### 4.2.3.1 제체의 비월류부 높이 기준

- (1) 댐 제체의 비월류부 높이는 댐종류, 물넘이 게이트의 유무 및 월류수심(H)에 따라 상시만수위, 서차지 수위 및 설계홍수위에 대한 높이를 구하여 그 중에서 가장 큰 값 이상으로 한다.

<표 4.2.-1> 제체의 비월류부 높이

물넘이 게이트 유무	월류수심	H > 2.5 m	H ≤ 2.5 m
물넘이 게이트가 있는 댐		$H_f + h_w + h_e + 1.5$ $(h_w + h_e < 1.5 \text{ 일 때는 } H_f + 3)$ $H_s + h_w + h_e / 2 + 1.5$ $(h_w + h_e / 2 < 1.5 \text{ 일 때는 } H_s + 3)$ $H_f + h_w + 1.5$ $(h_w < 0.5 \text{ 일 때는 } H_h + 2)$	$H_f + h_w + h_e + 1.5$ $(h_w + h_e < 1.5 \text{ 일 때는 } H_f + 3)$ $H_s + h_w + h_e / 2 + 1.5$ $(h_w + h_e < 1.5 \text{ 일 때는 } H_s + 3)$ $H_h + h_w + 1.5$ $(h_w < 0.5 \text{ 일 때는 } H_h + 2)$
물넘이 게이트가 없는 댐		$H_f + h_w + h_e + 1$ $(h_w + h_e < 2 \text{ 일 때는 } H_f + 3)$ $H_s + h_w + h_e / 2 + 1$ $(h_w + h_e / 2 < 2 \text{ 일 때는 } H_s + 3)$ $H_h + h_w + 1$ $(h_w < 1 \text{ 일 때는 } H_h + 2)$	$H_f + h_w + h_e + 1$ $(h_w + h_e < 1 \text{ 일 때는 } H_f + 2)$ $H_s + h_w + h_e / 2 + 1$ $(h_w + h_e / 2 < 1 \text{ 일 때는 } H_s + 2)$ $H_h + h_w + 1$ $(h_w < 1 \text{ 일 때는 } H_h + 2)$

(주)  $H_f$  : 상시만수위(m),  $H_s$  : 서차야지 수위(m),  $H_h$  : 설계홍수위(m),  $h_w$  : 바람에 의한 파랑의 저수지 수면으로부터의 높이(m),  $h_e$  : 지진에 의한 파랑의 저수지 수면으로부터의 높이(m)

(2) 물넘이 게이트가 있는 댐에서는 게이트가 없는 댐 보다 0.5 m 높게 한다. 이것은 물넘이 게이트가 있는 댐의 게이트 조작의 오차 등을 고려한 것이다. 또한 필댐은 제체를 구성하는 재료 특성상 홍수가 댐마루를 월류하는 위험성을 고려하여 콘크리트댐 보다 1 m 높게 한다.

- ① 비월류부 높이 산정의 기준이 되는 저수지 수위는 상시만수위, 서차지 수위 및 설계홍수위를 사용한다. 그러나 비월류부 높이 산정에는 이러한 3가지 수위에 저수면의 파랑의 높이를 더해 주어야 한다.
- ② 파랑은 바람에 의한 것( $h_w$ )과 지진에 의한 것( $h_e$ )이 있으나 이중  $h_e$ 는 상시만수위에 대해서는 전파랑고, 서차야지 수위에 대해서는 1/2파랑고를 더하는 것으로 하고 설계홍수위에 대해서는 고려하지 않는 것으로 한다. 이것은 댐 설계 홍수량에 상당하는 홍수와 지진이 동시에 일어날 가능성을 고려한 것이나 여기서  $h_w$  및  $h_e$ 는 모두 저수지 수면으로부터의 높이이고 파랑 높이를 가리키는 것은 아니다.
- ③ 물넘이에 게이트가 없는 필댐에서 댐설계 홍수량이 물넘이를 유하할 때의 비월류심이 2.5m 이하인 경우는 상시만수위 및 서차지 수위에 대하여 부가하는 하한치를 완화한다. 이것은 필댐의 게이트가 없는 물넘이는 게이트가 있는 것에 비하여 일반적으로 월류물넘이가 길고 월류수심이 적으며 더욱이 홍수량의 증가에 대하여 수위 상승이 작은 것 등을 고려한 것이다. 그러나 설계홍수량에 대한 최소부가값에 대하여는 완화하지 않으므로 이 항의 규정이 유효하기 위해서는 설계홍수위와 서차지 수위 또는 상시만수위와의 차가 1.0 m 미만의 경우로 된다. 이 경우 적용조건의 하나인 “월류수심 2.5 m이하”의 “월류수심”은 설계홍수위를 저수지의 저류효과를 고려하여 정한 댐에 있어서는 설계홍수위시 월류수심이 아닌 것에 주의할 필요가 있다.
- ④ 필댐의 제체내 유로형성 및 누수방지를 위하여 시공하는 중심점토(Core)는 이상 홍



수에 의한 수위 상승 등을 고려하여 댐 마루에서 0.5 m 낮은 지점에 계획한다. 중심 점토의 폭은 설계홍수위를 기준으로 최소 2 m 이상으로 한다.

(3) 파랑의 저수면으로부터의 높이

① 바람에 의한 파랑의 저수지면에서의 높이

바람에 의한 파랑의 저수지면에서의 높이는 설계홍수위상태에서 풍속 및 대안거리 와의 관계 또한 제체상태에 따른 반사체나 도파고 등을 고려하여 정한다.

가. 제체 상류면이 대개 연직인 경우

(가) 콘크리트 댐과 같이 제체의 상류면이 대개 연직인 경우 저수지면으로부터의 파고는 반사체를 고려하여 반파고의 2배 즉 전파고로 한다. 또한 전파고는 풍속 및 대안거리를 고려하여 보통 Sverdrup-Munk-Bretschneider의 방법(SMB법)에 의하여 구한다.

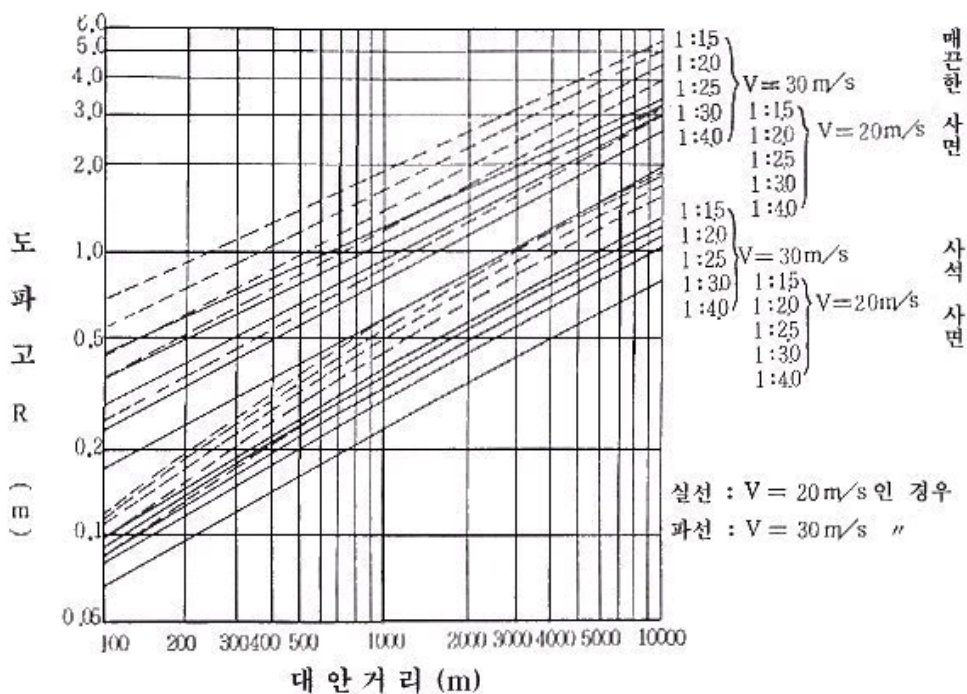
나. 제체 상류면이 경사져 있는 경우

(가) 필댐과 같이 제체 상류면이 경사져 있는 경우는 파랑 도파고를 고려한 식으로 구한다.

$$hw = R$$

여기서  $hw$  : 바람에 의한 파랑의 저수지면으로부터의 높이(m),  $R$  : 도파고(m)이다.

도파고  $R$ 의 계산치는 SMB법에 의하여 구한 파고와 파장 및 Saville에 의하여 유도된 <그림 4.2.-1>을 이용하여 구한다.



<그림 4.2.-1> SMB법과 Saville의 방법에 의한 도파고

여기서 R은 상류면 기울기, 사면 보호재료와의 관계를 조합하여 구한 것이다. 바람에 의하여 생기는 파랑의 저수면에서의 높이를 검토함에 있어서 필요한 제요인을 취하는 방법은 다음과 같다.

(나) 대안거리

- ㉔ 대안거리는 바람이 불어 파랑을 일으킬 수 있는 자유수면거리를 말한다. 따라서, 본래 댐으로부터 최고풍속의 방향으로 쉐 직선거리를 사용하면 충분할 것이나 풍향 등의 자료도 적으므로 여기서 댐으로부터 대략 직선 거리로 하여 최대가 되는 대안거리를 채용하는 것으로 한다.

(다) 풍속

- ㉔ 댐 부지에서 장기관측자료가 없는 경우에는 원칙적으로 풍속 30 m/s를 채용한다. 단지 약풍대에 해당되는 지역에서 국지적인 강풍의 위험이 없는 댐부지의 경우는 20 m/s의 풍속을 취해도 좋다.
- ㉕ 파고 계산을 위한 풍속은 최대 풍속기록보다 낮은 값을 취하는 이유는 다음과 같다.
  - 순간최대풍속은 파랑을 일으킬만한 취송시간이 없기 때문에 이것을 취하는 것은 불합리하다.
  - 풍향이 대안거리 최대방향과 일치하지 않는 수가 많다.
  - 대부분의 경우 댐부지는 산간부에 있고 따라서 지형, 식생 등의 영향을 받아서 풍속이 약해진다.

(라) 댐의 사면조도

- ㉔ “평활사면”이라는 것은 비교적 평활한 사면을 가진 콘크리트 블록, 돌붙임 등의 평활한 사면인 경우이다. “사석사면”이라는 것은 록훔댐과 같이 파랑이 사석의 간극에 흡수되어 버리는 경우를 말한다. 따라서 이 중간경우에 대해서는 각각의 조도에 따라 중간 값을 취할 수 있다.

(마) 댐의 사면기울기

- ㉔ 사석사면의 경우에 기울기로 인하여 파도가 기어오르는 높이(도파고)의 변화는 대개 내측이 평활사면인 경우, 기울기가 급할수록 도파고는 크게 되고 이 경향은 대안거리가 길수록 커진다. 따라서 사석사면에 대해서는 너무 지나치게 기울기에 대해서 고려할 필요는 없으나 평활사면에서 낮은 댐일수록 기울기가 급한 것은 도파고를 조장하게 된다.

② 지진에 의한 파랑의 저수면으로부터의 높이

가. 지진에 의한 파랑의 저수지 수면으로부터의 높이는 상시만수위와 서차아지수위에 대해 각각의 수위상태에서 저수지수면 이상의 높이를 취하는 것이 원칙이다.

③ 제체의 비월류부의 높이와 댐마루의 높이

가. 댐마루의 높이는 비월류부에 차수벽 상부의 보호층 등을 포함한 최상면의 높이로 하며 댐 중앙부를 정점으로 한 종단기울기로 인하여 생긴 높이나 댐마루 상류측에 만든 물결막이(parapet)는 포함하지 않는 것으로 한다.

또한 제체의 비월류부 높이는 필댐에서는 차수벽의 최상면 높이로 한다.

#### 4.2.4 댐마루 표고 및 더돋기

- (1) 필댐의 댐마루 표고는 제체의 비월류부 높이에 불투수층 최상단에 필요한 보호층을 포함한 높이로 한다.
- (2) 또한, 시공 시에는 이 높이에 댐 완성 후 기초지반과 제체 침하량을 예측하여 충분한 더쌓기를 해서 시공 한다

##### 가. 댐마루 표고

- (가) 댐마루 표고는 결정된 비월류부 높이에 불투수층의 천단 보호에 필요한 보호층의 높이를 더한 것으로 한다. 또한, 불투수층의 최상단은 축제종료 후에 침하가 예상되므로 정해진 댐 관리기간동안의 침하량을 예측하여 더돋기를 하여 소정의 높이로 시공한다. 이 때 댐 관리상 정해진 기간으로 경년변화에 있어서의 제2기 종료 후(댐의 거동이 정상상태로 달할 때까지의 기간으로 중요한 댐 또는 높은 댐에서는 축조 후 3년 이상 경과된 후)로 한다.

##### 나. 더돋기(더쌓기)

- (가) 더돋기는 댐 완성 후 댐의 거동이 정상상태에 달할 때까지의 기간 또는 축조 후 3년 이상의 경과한 시점까지 기초지반과 축제재료의 침하량에 충분한 안전율을 가하여 더돋기를 해야 한다. 이 때 종단방향으로 캠버(camber)를 붙이는 것이 좋고 양안 접합부는 안전하게 10 cm 이상 더 쌓는 것이 바람직하다. 횡단방향의 비탈면 더돋기는 축제상부를 조금 세워서 쌓는 것으로 한다.
- (나) 필요한 더돋기를 결정하기 위한 기초지반 및 제체의 침하량 추정은 이론적 기법으로는 유한요소법을 이용한 축제 과정의 변형해석 또는 토질재료의 경우에는 압밀해석이 연구되어 있다. 그러나 침하량은 기초지반이나 재료의 성질, 시공방법 등의 많은 요인에 의해 지배되므로 현시점에서는 토질공학적 기법에 의하여 실제의 값을 추정하는 것은 곤란하다. 따라서 침하량에 영향을 미치는 요인을 포함하여 과거의 실패에 준하여 추정한다.
- (다) 제체 각부의 더돋기 양의 판단은 댐 종단면의 최심부를 구하여 이 높이를 횡단방향으로는 댐마루 단부로 취하고 사면하단 또는 적당한 소단을 0으로 해서 직선적으로 구분한다. 침하량은 시공 중에 대부분이 끝나므로 완성 후에는 아주 작고, 특히 최근 댐이 중전압기로 충분히 다져지므로 댐 완성 후 침하량은 1 % 미만이 대부분이다.

#### 4.2.5 댐마루 폭

- (1) 댐마루 폭은 파랑침식이나 침투수에 대한 안전성, 파이핑 또는 지진시의 붕락이나 활동 등에 대한 안전성과 공용도로나 유지관리용 도로 또는 시공상의 중기계 주행 등에 필요한 폭으로 한다.
- (2) 특히, 댐 완성 후 댐 마루를 도로로 이용할 경우에는 양안 접속도로와의 관계를 충분히 고려해야 한다.

#### 4.2.5.1 일반사항

(1) 통행에 의한 마찰이나 균열을 방지하기 위하여 댐 마루에 적절한 보호를 해야 하며, 단면과 노면포장은 연결도로와 같게 하고 양안에는 주차장을 두는 것이 좋다. 곡선으로 연결되는 곳은 느린 곡선으로 하며, 내제측에는 흉벽(breast wall), 외제측에는 갯돌을 설치할 수 있도록 폭을 결정한다.

(2) 댐마루 폭의 결정

① 댐마루의 폭은 공식에 의한 계산 결과를 참고하여 도로의 이용이나 제단내의 중심점토, 수직필터의 규모, 유지관리, 경제성 및 시공성 등을 고려하여 중심점토와 수직필터를 보호할 수 있는 폭으로 결정한다.

② 일반적으로 댐 높이가 50 m 이상일 때에는 8~10 m 정도(도로와 겸용일 경우 약 10 m 정도), 댐 높이가 15~50 m일 경우에는 6 m 정도(도로와 겸용일 경우 8 m 정도), 댐 높이가 15 m 이하일 경우는 5 m 정도로 한다. 또한 표면 차수벽 필댐일 경우는 6~7 m가 적당하며, 설계상 특별히 고려할 필요가 없는 경우에는 5~10 m 정도가 좋다.

#### 4.2.6 불투수층 존(차수벽)의 두께 및 단면 설계

(1) 불투수층 존의 두께는 투수성의 허용한도, 시공상의 최소 폭, 사용되는 점토재료의 조성 및 점성, 필터층의 유무 등을 고려하여 두께를 결정 하여야 하며, 토질이나 댐 높이에 관계없이 수압의 30~50 % 정도의 두께를 가져야 한다.

##### 4.2.6.1 불투수층 존의 두께와 수압과의 관계

(1) 불투수층 존의 두께는 위에서 열거한 요소를 고려하여 결정하는 것이 원칙이다. 그러나, 필댐이 어떠한 나쁜 조건에서도 안전하기 위해서는 토질이나 댐높이에 관계없이 수압의 30~50 % 정도의 두께를 가져야 한다.

(2) 수압의 15~20 % 정도의 두께를 가지는 경우에는 다소 얇은 감은 있으나 주의 깊은 설계와 시공이 필요하며, 이 때 필터의 설계는 엄격한 기준을 지키도록 한다. 수압의 10 % 이하는 누수로 체체의 결괴가 없는 특수조건 외에서는 사용해서는 안된다.

##### 4.2.6.2 불투수층 존의 단면설계

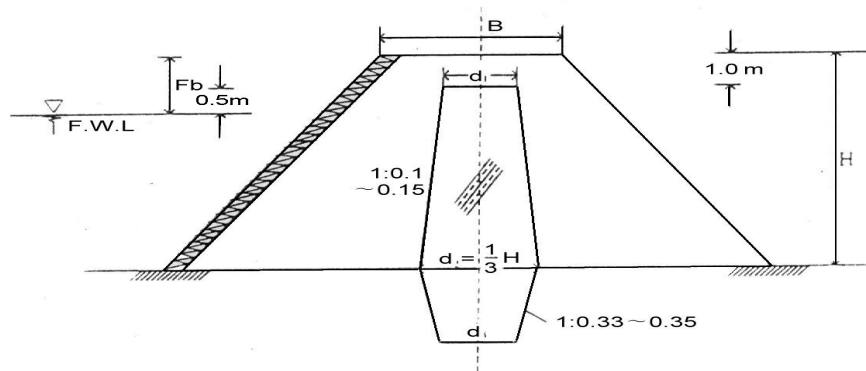
(1) 단면 기준 (<그림 4.2.-2> 필댐의 불투수층 존의 설계 참고)

① 점토 정폭( $d_1$ )의 계산

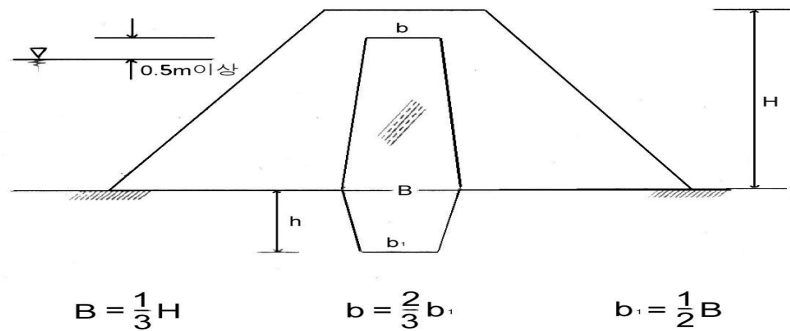
$$d_1 = 1.5 \sim 3.5 \text{ m 단, } H \leq 30 \text{ m, } d_1 = 2.5 \sim 4.0 \text{ m 단, } H > 30 \text{ m}$$

② 지반면의 점토 폭( $d_2$ ) :  $d_2 = \frac{1}{3} H \text{ (m)}$

③ 터파기 면의 점토 폭( $d_3$ ) :  $d_3 \geq \frac{1}{2} d_2 > 1.0 \text{ (m)}$



〈그림 4.2-2〉 필댐의 불투수층 존의 설계



〈그림 4.2-3〉 Wagman의 이론에 의한 불투수층 존의 설계

- ④ 점토사면 기울기  
 지반상부 :  $S1 = 1 : 0.10 \sim 0.15$ , 지반하부 :  $S1 = 1 : 0.33 \sim 0.35$
- ⑤ 홍수위 상부의 점토 높이 : 0.5 m
- ⑥ 댐마루와 점토 상부와의 간격 : 1 m 이하  
 다만, 댐 마루에 도로 설치할 경우 도로포장에 필요한 높이로 함.
- (2) Wagman 이론(〈그림 4.2-3〉 Wagman의 이론에 의한 불투수층 존의 설계)
- ① 지반면의 점토 폭(B) :  $B = \frac{1}{3} H$  (m)
- ② 터파기 면의 점토 폭( $b_1$ ) :  $b_1 \geq \frac{1}{2} B$  (m)
- ③ 점토 정폭(b) :  $b = \frac{2}{3} b_1$  (m)  
 설계홍수위 지정폭이 최소 2 m 이상이어야 한다.
- ④ 수면과 점토 상부와의 간격 : 0.5 m 이상
- (3) W. L. Strange 이론
- ① 양질의 지반 :  $h \leq \frac{1}{2} H$  (m) •비교적 좋은 지반 :  $h \leq H$  (m)
- ② 견고한 암반(소규모) :  $h \geq 1.8$  m •견고한 암반(대규모) :  $h \geq 3.0$  m

#### 4.2.7 사면경사와 소단

- (1) 사면경사와 소단의 배치는 댐 형식, 제체의 구조, 축제재료, 기초지반, 시공조건 등을 고려하여 최소의 축제량으로서 최대의 안전도를 얻도록 결정해야 한다.

##### 4.2.7.1 사면경사

- (1) 제체의 안정상 필요한 평균사면의 경사는 표면 차수벽형 필댐이나 극히 연약지반상의 댐인 경우를 제외하고, 상류측 사면을 하류측 사면보다 5 % 정도 완만하게 하며, 대략 20~40 %의 범위 내로 한다. 특히 연약지반에서는 40 % 보다 완만하게 하거나, 기초가 양호한 암반이며 축제재료도 양질인 록 재료가 대부분일 경우에는 20 % 보다 급하게 할 때도 있다.

- (2) 댐 형식에 따른 필댐의 평균 사면경사

- ① 균일형 흙 댐은 댐 높이가 클수록 사면을 완만하게 하며, 또 하류측에는 배수도랑을 설치한다.
- ② 투수성부가 큰 댐(균일형 이외)에는 댐 높이에 따라 사면의 변화는 적으나 불투수부의 위치와 크기에 따라 사면이 정해지므로 존(zone)을 신중히 나누어야 한다.
- ③ 경사진 코어형 록필댐에서는 하류사면은 축제재료의 안식각과 거의 같게 한다. 즉, 둥근 자갈인 때는 17 %, 모난 암석은 12 %, 얇은 층으로 해서 전압하는 경우에는 10 %로 할 수 있다.
- ④ 중심코어 록필댐에서는 하류사면은 16~18 %가 좋다.
- ⑤ 철근콘크리트 포장형 댐의 하류사면 경사는 댐수목 암석의 안식각에 가깝게 하는 것이 시공 및 안전상 유리하다.
- ⑥ 아스팔트 포장형 댐의 상류측 사면은 15~17 %가 가장 적당하다.

- (3) 높이가 높은 필댐에 있어서의 검토 요소

- ① 제체의 구조

가. 댐 높이가 크게 됨에 따라서 시공 중에 발생하는 공극수압도 증대하므로 완성 직후의 안정만을 유지하기 위해서는 막대한 단면이 필요케 되는 수가 있다. 특히 불투수성부가 크면 댐체 중에 침윤선을 저하시킬 목적으로 수직 또는 수평 배수도랑을 설치하는 것이 유리하다.

- ② 축제재료의 선택

가. 댐 높이가 높게 되면 전단저항이 큰 재료를 사용하는 혼합형 댐이 유리하다. 축제재료가 원거리에 있을 때는 경제성을 분석하여 시공조건, 입지조건 등을 고려하여 기술적으로 유리한 형식을 택해야 한다.

- (4) 필댐의 사면경사에 따른 유의사항

- ① 안전율이 같으면서 축제량을 적게 하려면 단면상부는 급하게 하고 하부는 완만하게 하는 것이 좋다. 이는 댐 높이가 클수록 또한 기초지반이 약할수록 유리하다. 특히, 계곡이 좁은 지형에서는 하부측을 완만하게 하는 것이 부피가 늘지 않고, 또 상류측 사면에서 저수압이 최대로 작용하는 점은 밑에서 1/3~1/4 지점이므로 안전

성도 증가되어 유리하다.

- ② 사면의 변화부는 상류사면에서는 상시 만수위나 최저수위 부근으로 하고 후자의 변화부에는 3~6 m의 소단을 두는 것이 좋다. 상류사면의 소단은 암석이 탈락되는 것을 방지할 목적으로 설치하지만 저수시의 사석하단이 메이지 않도록 하기 위하여 또는 시공상, 관리상 편리한 점이 있으면 소단을 만들고 연직높이 10~15 m 마다 소단을 두는 것이 좋다.
  - ③ 댐 길이가 긴 댐에서는 전 길이를 통하여 동일 경사로 할 필요는 없고 댐 높이, 기초지반, 축제재료에 따라 적당히 단면을 수정하는 것이 좋다.
  - ④ (댐 길이)/(댐 높이)의 비가 작은 댐에서는 상·하류방향 단면의 안정계산에서 댐축방향의 힘이 있게 되므로 사면을 다소 급하게 해도 좋다.
  - ⑤ 시공속도가 빨라서 댐 또는 기초지반 내에 큰 공극이 발생할 위험이 있으면 사면을 완만하게 하는 것이 안전하다.
- (5) 소단
- ① 댐 사면에 소단을 설치하는 목적은 경험상 또는 시공상의 이유가 대부분이고 안정 해석상으로는 연약지반상의 댐인 경우, 댐 하부에서는 완만하게 하고 도중에 몇 개의 경사 변화점을 설치해서 마루부에 갈수록 경사를 급하게 하는 것이 유리하다.
  - ② 경험상 이유로서는 암석 존의 상류측이나 록 재료의 돌붙임(riprap)을 시공하는 경우, 저수위 부근에서 제내수의 침출로 인한 부분적 손상이 생기는 일이 있으므로 소단이 필요하다.
  - ③ 시공상으로는 암석 존에 소단을 설치하는 것은 사석재료나 표층 록 재료의 정리작업상, 표면활동의 안전상 소단을 설치하는 것이 하는 것이 유리하다.
  - ④ 댐 하류사면에 대해서는 평상시의 댐 관리작업을 위하여 또는 필댐에서 때붙임 공사를 하는 경우에 우수의 배제를 위해서 높이 10~15 m 마다 폭 3 m 정도의 소단을 설치하는 것이 좋다.

## 4.2.8 드레인의 설계

- (1) 침투류에 의한 침투수압의 감소, 파이핑의 방지, 제체의 침하방지, 내부침식 등을 방지하기 위하여 드레인을 설치한다. 드레인은 기능과 목적에 맞는 재료를 선택하여 안정성 또는 침투수에 대한 안정성을 검토하여 설치한다.

### 4.2.8.1 일반사항

#### (1) 드레인의 기능

- ① 침투류에 의해 침투수압이 토립자에 작용하여 세립자가 조립자의 간극에 씻겨 내려가는 일이 생긴다. 그 결과 제체 내에 파이핑을 유발하고 내부 침식을 일으키며 이것이 제체의 국부적인 침하나 파괴의 원인으로 된다. 이 현상을 방지하기 위해서 배수 존을 설치한다. 배수 존은 토립자의 이동을 방지하고 침투수를 작은 손실수두로서 통수될 수 있는 필터의 기능을 가져야 한다.

## 농업용 필댐 설계

### (2) 드레인의 구분

- ① 드레인 : 하류사면끝 드레인, 수평 드레인, 직립 드레인, 복합 드레인, 사면보호공 기초 드레인, 제체와 산턱과의 접촉면에 연하여 설치하는 드레인 등이 있다.

가. 하류 비탈끝 드레인 : 하류사면의 끝에 설치한 드레인으로서 토 드레인(toe drain)이라고도 한다.

나. 수평 드레인 : 제체 내에 어떤 표고차로 블링킷 상이나 줄모양으로 수평하게 설치하는 드레인을 말한다.

다. 직립 드레인 : 직립 드레인과 수평 드레인으로 구성된 드레인을 말하며 직립 부분은 존형에서 불투수성부의 양측에 설치하는 경우 단순히 필터라 하고, 균일형댐의 중앙부에 설치한 경우에는 차단층이라 한다.

라. 복합 드레인 : 가), 나), 다)를 조합한 드레인을 말한다.

마. 사면보호공 기초 드레인 : 상류사면 보호공의 기초에 설치하는 드레인을 말한다.

바. 기타 : 제체와 산턱과의 접촉면에 연하여 설치하는 드레인 등이 있다.

### (3) 필터의 설계

- ① 필터는 입도가 현저하게 다른 흙 또는 사력 등의 배수 측면에 접촉시켜 설치하고 재료는 「필터재료」에 준한다. 필터층의 두께는 시공시의 재료분리, 필터층 내부의 공극, 시공기계 등을 고려하여 결정한다.

- ② Creager, Justin 등은 필터의 15 % 크기(필터재료의 15 % 입경)의 50배 이상으로 하고, 특히 제1층은 모래의 두께 30 cm 이상으로 한다. 또 조립 필터재료는 20 cm 이상, 세립 필터재료는 15 cm 이상의 두께로 한다.

### (4) 필터의 배수능력

- ① 필터의 투수성은 실내투수시험에 의해서 구하는 것이 바람직하다. 부득이한 경우 깨끗한 모래인 필터재료의 투수성은 다음 Hazen 식을 사용하여 계산해도 좋지만 시험을 해서 확인해야 한다.

$$k = C \cdot D_{10}^2$$

여기서, k는 투수계수(cm/s), D10는 유효경(cm)으로 입경가적곡선상의 10% 입경,

C는 정수 90~120(보통 100을 사용)를 나타낸다.

직립 드레인에 접촉되는 수평 드레인의 배수능력은 침투수량의 10배 이상의 능력을 주어야 한다. 또 산턱으로부터의 침투수가 가급적 제체 내에 들어오지 않도록 적극적으로 방지해야 한다.

## 4.2.8.2 드레인의 설계

### (1) 수평 드레인

- ① 제체 내에 수평한 형상으로 배치한 때에는 두께를 30 cm 이상으로 하고, 직립 드레인에 접촉시켜서 설치하는 드레인공은 하류측 댐 부지에 블링킷 상으로 설치한 경우와 침수 배수를 위해서 줄모양으로 설치하는 경우가 있다. 전자의 두께는 30 cm



이상으로 하고 후자는 여러 층의 필터를 조합하여 배수시키는 것으로 한다.

(2) 직립 드레인

- ① 폭은 단일층인 경우 2~5 m, 여러 층인 경우에는 1층의 폭은 1 m 이상으로 하여 보호층의 배수면에 접하여 조립층, 다음에 자갈층의 순으로 필터의 입도를 변화시켜 나간다. 또 단일층일 때에는 필터재료의 구입하기 힘든 경우는 거꾸집을 사용해서 두께를 1~1.5 m 정도로 축소시켜도 좋다.

(3) 하류 비탈끝 드레인

- ① 하류 비탈끝 드레인은 여러 층의 필터를 조합시켜 보호층에 접하는 층을 세립필터로 하고 다음에 조립, 자갈, 굵은 자갈 등으로 점차 변화시켜 가고 비탈끝 사면막이 돌쌓기공이나 기타 보호공을 통하여 배수한다.

각 층의 두께는 수평 드레인(집수배수용)의 설계에 준한다.

(4) 사면 보호공 기초 필터

- ① 성토사면이 조립재로 될 때에는 사력필터의 두께를 20 cm 이상으로 하고, 세립일 경우에는 입도를 조정된 필터재를 두께 20 cm 이상으로 설치한다.

## 4.2.9 제체 보호공

- (1) 제체의 상류사면, 하류사면 및 댐마루 파괴, 침식, 파랑에 의한 침식 또는 손상을 방지하기 위하여 적절한 재료로 보호공을 설치한다.

### 4.2.9.1 상류사면 보호공

(1) 보호공의 설치

- ① 암석, 호박돌 이외의 재료로 이루어진 상류사면은 파랑에 의한 침식, 저수위 급저하시나 진동에 의한 유출 및 기상작용에 의한 풍화 등을 방지하기 위하여 보호공을 설치한다.
- ② 파랑에 의한 침식은 저수가 있는 한 항상 계속적으로 작용하여 특히 풍우시에는 사면 전체가 연화상태에서 큰 파랑이 작용하기 때문에 사면이 크게 침식된다. 또 파랑 침식은 비점성토가 점성토보다 크게 침식된다.
- ③ 저수위 급저하시에는 제체 내에 비정상류가 되어, 유선은 상류사면에 침출되고 특히 저수위 직상 부근의 사면에 집중 유출하여 그 침투압에 의해 토립자가 유출된다.
- ④ 기타 동결, 한해에 의한 균열 등 자연의 기상작용에 의한 풍화가 발생한다. 이들 여러 가지 사면파괴 작용으로부터 제체(어버트먼트나 원지반에 시공된 블랭킷 등 성토공)을 포함한 상류사면을 보호해야 한다.

(2) 보호공의 형식

- ① 보호공의 형식에는 필터층 위에 설치한 사석, 장석, 콘크리트 블록, 철근콘크리트 슬래브 등이 있다. 일반적으로 다음과 같은 이유로 사석이 가장 좋다.  
가. 제체의 형식에 잘 대응하고, 파력에 의하여 자연적으로 돌이 낙착되어 안정된다.  
나. 쇄파력이 커서 파가 높이 올라가지 못하므로 제고를 낮추어도 된다.

다. 시공이 용이하므로 경제적이다. 물론 돌의 재질은 풍화 및 파쇄에 견디기 위해서 견고해야 한다.

- ② 사석재로 사용되는 재료는 골재로서의 시험에 합격하는 것이 바람직하지만, 지역의 기상조건, 댐의 규모, 석재의 매장현황 등을 검토하여 결정한다. 장석은 뒷채움을 완전하게 하여 파력에 의한 돌의 파쇄나 위치의 변동을 일으키지 않도록 하며, 미관은 좋으나 파의 상승억제 효과가 사석보다 낮고 공사비가 높게 된다.
  - ③ 콘크리트 블록공은 양질의 석재를 경제적으로 얻기 어려운 경우에 쓰인다. 이것의 단점은 제체의 침하 변형에 대한 적응이 곤란하며 틈이나 블록 자체의 파괴가 생기고 그 파괴부에서 제체 표면 세굴이 일어나는 일이 많다.
  - ④ 사석에 비하면 시공 후에 그 면이 평활하여 파의 상승 높이가 높게 되나 구하기가 쉽고 시공이 유용하기 때문에 중규모 이하의 댐에 적용하는 일이 많다. 철근 콘크리트 슬래브는 제체의 침하 변형에 적응할 수 없고 내진성이 약하다. 또 파의 상승 높이가 커지는 등 구조상의 단점이 있고 공사비가 고가로 되나 내구성이 좋다. 차수를 겸한 아스팔트 콘크리트, 아스팔트 이차제품, 인조고무, 화학합성 재료 등을 사용하는 일이 많다.
  - ⑤ 이와 같은 재료를 사용하는 경우에는 일반적으로 파의 상승고가 높아져서 제고를 높게 해야하며, 또 월파에 의하여 재료의 이면에 물이 들어가지 않도록 해야 한다. 또 풍화에 대한 저항성이 낮아서 항시 유지관리에 충분한 주의를 해야 한다. 기타 기초처리에는 배기, 배수에 대한 배려가 필요하다.
- (3) 보호공의 기초처리
- ① 저수위의 변동에 따라 제체 내에 침투류에 의하여 제체의 토립자가 흡출되는 것을 방지할 목적과 보호공 재료의 안정을 조장하고 시공을 용이하게 하는 것 등 때문에 제체 표면에 필터층(주로 모래와 자갈)을 설치한다.
  - ② 두께는 콘크리트 블록을 설치할 때는 15 cm 이상, 기타 사석, 장석 등 일 때는 30~100 cm로 하는 것이 좋다. 보호공은 적어도 최저수위에서 댐마루까지 시공하는 것이 원칙이며 부득이 사면의 중간만을 시공할 때는 저수부의 기초다짐공을 완전하게 하여 보호공의 활동이 일어나지 않도록 한다.
  - ③ 또 다짐공은 저수부의 파랑에 의하여 세굴되지 않는 구조로 하고, 폭 2 m 이상의 소단을 설치해야 한다.
  - ④ 보호공의 상단은 갯돌, 콘크리트, 도로연석(curb stone) 등을 시공하여 보호공의 파괴를 방지해야 한다.
- (4) 사석 크기와 두께
- ① 사석재로 사용되는 암석은 수압에 대하여 강한 암질로서는 화성암, 변성암, 경사암, 경석회암 등은 좋으며, 사석 크기와 두께는 축제재료의 기준에 준하며 파랑에 의하여 움직이지 않고 제체의 흠이 흡출작용에 의하여 유출되지 않을 것 등이 조건을 만족시켜야 한다. 또한, 사석공에서는 수면 부근에 큰 파력이 작용하여 사석 상호간의 간극이 클 때, 간극 내에서 필터재료의 분리나 유동이 생겨 사석의 변형이나 제

체의 흡출현상이 발생하므로 사석의 간극은 최소가 되도록 충전시켜야 한다. 사석 크기와 두께는 본 설계기준 7. 축제재료의 사석재료에 준한다.

#### (5) 하류측 보호공

##### ① 보호공

- 가. 제체의 하류사면이 강우, 동해 기타에 의해 침식 손상되는 것을 방지하기 위하여 소요의 보호공을 설치해야 한다.
- 나. 제체 하류 사면은 록필 댐을 제외하고, 일반적으로 반투수성 또는 투수성 재료로 축제되어 있기 때문에 세립토나 점토분이 빈약하여 우수에 의하여 침식되기 쉽다. 또 한랭지에서는 모세관 현상에 의하여 동결작용이 발생되기 쉽기 때문에 성토재가 조립토일 때에는 수평 폭 1.0~1.5 m로 식물이 성장하기 쉬운 세립분을 함유한 흙을 사용하여 표면처리를 함으로써 식생을 조장하고, 동기 지표면의 동결방지를 함과 동시에 우수에 의한 침식을 방지할 수 있다.
- 다. 보호공으로서의 기상조건을 고려하여 떼불임공(줄떼, 평떼), 종자 뿌리기 등을 한다. 이들 식생은 필요에 따라 시비, 살수 등을 실시한다.
- 라. 기타 누수측정 시설이나 하류시설 등의 연락을 위하여 계단을 설치해서 사면을 보호한다. 또한, 빗물이 흘러 한 곳으로 집중되면 침식이 크게 되므로 일정한 높이마다 배수로나 붙은 소단을 설치하는 것이 좋으며, 산바닥과 접속부에는 빗물의 침식을 받지 않도록 처리하여야 한다

##### ② 배수공

- 가. 제체 하류사면과 어버트먼트와의 연락부 : 어버트먼트에서의 지표수를 사면과 산턱의 접속부에 승수로로 설치하여 하류의 제외로 배수시킨다. 승수로의 규격은 강우, 지형, 집수면적, 동결상황 및 유출토사, 낙엽 등을 고려하여 결정한다.
- 나. 제체 사면에서의 배수, 사면길이가 긴 경우에는 강우에 의하여 침식되는 일이 있으므로 소단을 설치해서 그곳에 상부사면의 지표수를 받기 위한 승수로를 만들어 양안의 어버트먼트의 승수로에 배수한다.
- 다. 이 승수로의 설계에 있어서는 제체는 구 하안부 또는 계곡의 최심부에서 최대 잔류침하가 일어날 것을 고려하여 수로경사를 결정해야 한다. 제체의 길이가 길 때에는 승수로에 맨홀을 설치하여 거기에서 사면에 슈트 또는 관을 설치해서 하류 제외로 배수한다.

##### ③ 댐 마루부

- 가. 댐 마루부는 파랑에 의한 물보라, 우수, 동결에 의한 연약화 및 교통 등에 의한 손상으로부터 보호하기 위하여 보호공을 설치한다.
- 나. 물보라나 우수에 의한 연약화 방지를 목적으로 댐마루면에 포장(아스팔트 콘크리트, 콘크리트, 잘 다짐한 자갈 섞인 점토층 상에 자갈 포설 등)을 시공해야 할 필요가 있다. 포장두께는 댐마루의 이용상황, 기상상태에 따라 다르나, 동결심이나 외부로부터의 침수를 고려하여 보호층의 두께를 결정한다.

다. 일반적으로 토질 차수벽의 경우에는 약 50 cm의 보호층을 설계한 예가 많다. 댐 마루면에는 배수를 위해 소요의 횡단경사를 주어야 한다.

아스팔트 콘크리트 포장, 콘크리트 포장 횡단 기울기 : 1.5~2.0 %

기타의 횡단 기울기 : 3.0~5.0 %

라. 댐마루면의 배수는 상하류 비탈머리에 배수구를 설치하고 침수한 다음 저수지 또는 제외로 배수한다. 한쪽으로만 경사를 둘 때에는 저수지 측에 경사지게 배수한다. 토석재료로 된 표면 보호공일 때에는 우수가 제체 내에 침투하지 않도록 입도배합이 좋은 흙을 잘 다져서 이용하며, 양 끝에는 L형 블록이나 연석을 놓고 댐마루에는 댐마루 보호용 자갈을 포설한다.

마. 폭풍우시의 파랑에 의한 물보라 및 예측할 수 없는 산사태에 의한 이상 상승을 고려하여 상류측 물결막이(parapet)를 설치하는 예도 있다. 보호공은 제체의 일부로서 설계해야 하며 따라서 제고는 보호공 두께를 포함시켜야 한다.

### 4.3 침투수 및 간극수압의 검토

#### 4.3.1 침투류 해석

(1) 제체 및 기초는 침투수에 대한 안전하도록 설계하여야 하며 이를 위해서는 침투류 해석이 필요하다. 특히, 담수 개시 직후, 저수 후 수위 급강하 시 등의 경우에는 비정상 상태라 보고 침투수에 대하여 반드시 검토하여야 한다.

##### 4.3.1.1 침투류 해석의 필요성

(1) 필댐을 설계할 때 침투현상에 대하여 다음과 같은 사항을 검토한다.

- ① 제체 및 기초지반 내에서의 침투유량(누수량)의 결정
- ② 침투수가 제체 및 기초지반의 안정성에 미치는 영향
- ③ 침투 조절방법

(2) 누수량은 댐의 저수 효율면에서 허용 누수량을 1일당 총 저수량의 0.05 %의 값을 한도로 하고 있는 경우가 많다. 침투수가 제체 안정성에 끼치는 영향을 검토하는 방법으로는 파이핑과 보일링(boiling)에 대한 안정성을 검토하는 방법과 제체 내의 침윤선을 결정하는 방법 및 제체와 기초의 안정해석을 하기 위하여 유선망을 결정하는 것 등이 있다.

(3) 침투 조절방법을 검토하는 데는 다음과 같은 방법이 기본적으로 고려되어야 하며, 이의 방법을 선택하고 검토하는 데에는 침투류의 해석이 필요하다.

- ① 파이핑이나 보일링을 방지하기 위하여 필터를 설치한다.
- ② 침투수 자체를 감소시킨다.
- ③ 배수를 안전하게 촉진시킨다.

일반적으로 이들 3가지 방법을 조합해서 채택하는 것이 보통이다.

#### 4.3.1.2 침투류 해석의 기본 방정식

- (1) 2차원의 정상 침투류에서 임의의 미소요소에 대하여 흐름의 연속성법칙으로부터 다음 식이 성립한다.

$$\frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial V_x}{\partial x} = 0$$

여기서,  $V_z$ 는  $V_x$ 는 각각 연직방향(z) 및 수평방향(x)의 침투유속이다. 또한, 각 방향의 침투유속을 Darcy의 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$V_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

$$V_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x}$$

여기서,  $h$ 는 고려되는 지점의 동수압,  $k_z$  및  $k_x$ 는 z방향 및 x방향의 투수계수이다. 위의 식을 이용하여 연립하면 2차원의 Laplace 방정식이 된다.

$$k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = 0$$

#### 4.3.2 침윤선

- (1) 제체내의 침투수 흐름은 축제재료의 투수계수와 동수경사에 의해 지배되는 자유수면(침윤선)을 가지게 되는데, 이 침윤선의 위치를 결정하는 것은 제체의 안정계산, 제체내의 침투류 해석, 침투수 지하공법 등의 검토에 필요하다. 또 침윤선이 높은 경우에는 제체의 안전에 지대한 영향을 미치므로 적절한 공법을 사용하여 안전하게 침투수를 배제시켜야 한다.

##### 4.3.2.1 일반사항

- (1) 제체 내의 침투수의 흐름은 주로 재료의 투수계수와 동수경사에 지배 즉, 제체재료의 투수에 관한 성질 및 저수위 등이 경계조건에 의해 지배되며, 일반적으로 자유수면을 갖는 흐름으로 된다. 이 자유수면을 침윤선(또는 침윤면)이라고 한다.
- (2) 침윤선의 위치를 결정하는 것은 제체 안정계산을 위한 수압조건의 결정 및 제체 내의 침투류에 대한 안전성 검토에 필요하며, 또 침투유량의 결정 및 침출점의 위치의 조절 등을 하기 위한 배수 대책공을 검토에 필요하다.
- (3) 침투수에 영향을 주는 재료가 이방성인 경우에는 수평 및 수직방향의 투수계수 비가 달라지므로 이에 대하여도 충분히 검토한다.
- (4) 이와 같이 필담을 설계할 때에는 침투수에 대하여 검토하고 침윤선을 결정해야 한다. 또한, 담체를 구성하는 흙이 극히 굵은 입자로 된 경우에는 모세관현상은 거의 볼 수 없으나 반대로 고운 입자로 되었을 때는 모세관현상에 의하여 비교적 높은 곳까지 수

분이 상승하므로 이에 대해서도 고려한다.

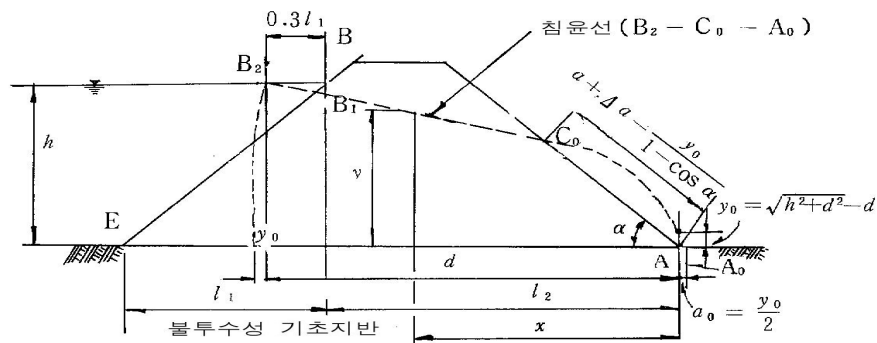
#### 4.3.2.2 침윤선 구하는 방법

- (1) 침윤선을 구하는 방법은 A. Casagrande 방법이 주로 사용되는데, 불투수성 기초지반 위에 균일성 재료로 축조된 침윤선은 포물선 형상을 가진다. 그러나, 제체의 수평 및 수직 투수계수의 비, 하류사면의 경사각, 드레인의 설치여부, 차수벽의 위치 등에 따라 침윤선은 수정되어야 한다. 이 경우 침윤선은 어느 경우에도 제체밖으로 나와서는 안 된다. 여기서는 균일형 필댐에 대해서만 언급한다.
- (2) 침윤선은 (<그림 4.3-1> 균일형 필댐의 침윤선(기본 포물선))에서 제체 하류 비탈면 점 A점을 초점으로 하고 A점에서 하류측  $y_0/2$  만큼 떨어진 점  $A_0$ 와 상류측 수면상의 B2 점을 통과하는 포물선이 침윤선의 기본 방정식이다. 이 기본 포물선을 점 A를 원점으로 하고 횡축에  $x$ , 종축에  $y$ 를 취한 좌표에서는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2}$$

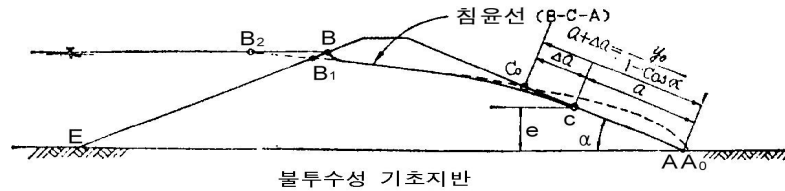
$$\text{단, } y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

여기서,  $h$ 는 A, B 점의 수직거리,  $d$ 는 B2, A점의 수평거리,  $l_1$ 는 B, E점의 수평거리,  $l_2$ 는 B, A점의 수평거리, A는 제체 하류 비탈끝(불투수성부) - 기본 포물선의 초점,  $A_0$ 는 A보다 하류측으로  $y_0/2$ 만큼 떨어진 점(좌표의 원점), B는 상류 비탈면과 저수면과의 접점(기본포물선을 통과하는 점),  $B_1$ 은 기본 포물선과 B점의 연직선과의 교점,  $B_2$ 는 B점에서 수평방향으로  $0.3 l_1$ 배만큼 상류측으로 떨어진 곳을 나타낸다.



<그림 4.3-1> 균일형 필댐의 침윤선(기본 포물선)

기본 포물선이 구해지면, 제체 상류의 비탈면은 등수두면이므로 이 면에 대해서 직각으로 수정하고, 또 하류의 비탈면에 대해서는 제체 밖으로 포물선이 나오는 일은 없도록 다음과 같이 수정한다.



〈그림 4.3-2〉 균일형 땄댐의 침윤선(수정 포물선)

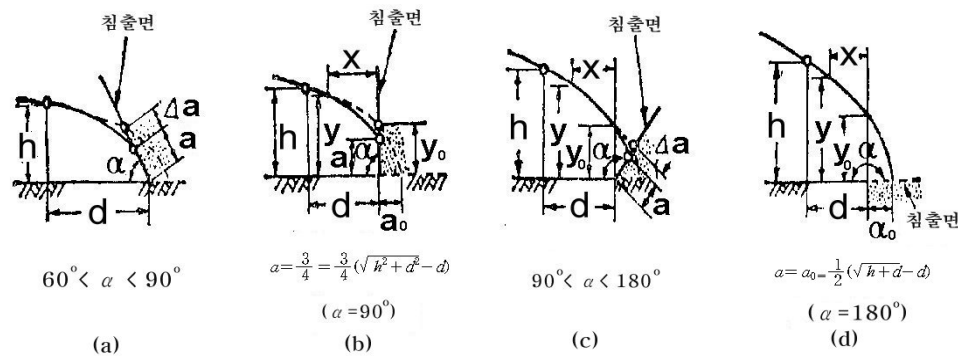
균일형 땄댐의 침윤선(수정 포물선)의 침윤선(B-C-A)은 균일형 땄댐의 침윤선(기본 포물선)의 기본 포물선(B2-Co-Ao)을 수정한 것으로 유입점에서 유선은 사면에 직각으로 되고, Co점은 C점 즉 사면거리  $\Delta a$ 만큼 아래쪽으로 내려오게 된다. 이  $\Delta a$ 는 유출면 경사각에 따라 다르고 다음 식으로 구한다.

$$a + \Delta a = \frac{y_o}{1 - \cos \alpha}$$

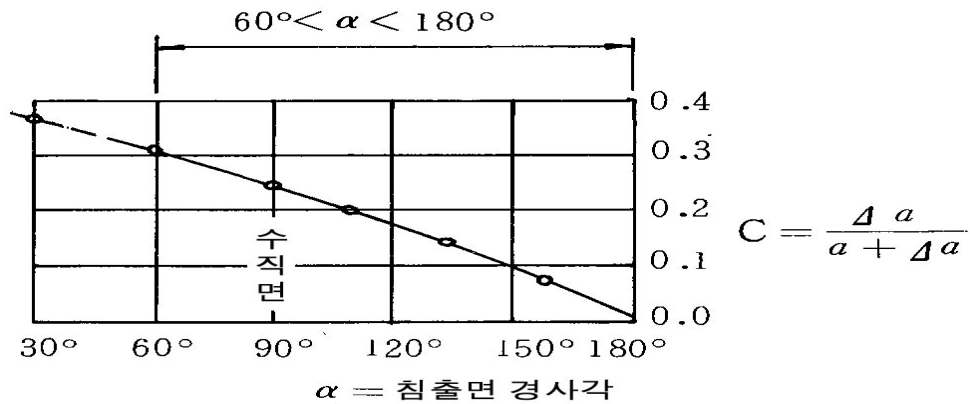
단,  $a$ 는 사거리 AC,  $\Delta a$ 는 사거리 CoC,  $\alpha$ 는 침출면의 경사각을 나타낸다.

$\alpha$ 의 값으로부터  $C = \frac{\Delta a}{a + \Delta a}$ 를 아래의 그림 “〈그림 4.3-3〉 침출면 경사각( $\alpha$ )의 변화에 따른  $\Delta a$ ”에서 구하고,  $a$  및  $\Delta a$ 의 값을 위 식에서 구한다.  
침출면의 경사각( $\alpha$ )가  $\alpha < 30^\circ$ 의 경우는  $\alpha$ 를 다음 식에서 구한다.

$$\alpha = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \cot^2 \alpha} \dots$$



〈그림 4.3-3〉 침출면 경사각( $\alpha$ )의 변화에 따른  $\Delta a$



〈그림 4.3-4〉 침출면 경사각에 따른  $\alpha$ 와 C의 관계

#### 4.3.2.3 투수계수의 비등방성

- (1) 일반적으로 필댐과 같이 층상으로 다져서 축조되는 흙 구조물은 역학적 제 성질이 비등방성인 것이 보통이다. 이와 같은 제체의 투수계수의 비등방성은 제체 내의 침투수의 흐름에 영향을 주기 때문에 가능한 이 비등방성에 대해서 명확히 밝혀두는 것이 좋다. 일반적으로 수평방향의 투수계수( $k_h$ )와 수직방향의 투수계수( $k_v$ )와의 비( $k_v/k_h$ )의 값은 텀핑 롤러로 다진 경우는 1/2~1/10(평균 1/5), 타이어 롤러인 경우는 1/20~1/30(평균 1/25)로 된다.
- (2) 장투수시험 등에 의하여 필댐의 투수성의 비등방성을 구하는 것은 곤란하며, 실제로 건설된 필댐의 투수계수의 비등방성을 알기 위해서는 건설 후 필댐 제체내 침윤선의 포텐셜을 측정해서 얻은 값과 건설시의 확정치인 투수계수의 비등방성을 기초로 해서 얻은 이론적인 값을 비교해서 개략적인 결정을 하고 있다.

#### 4.3.2.4 침윤선을 저하시키는 방법

- (1) 침윤선이 높은 경우에는 침투수량의 증가는 물론이고 파이핑이나 유효응력의 감소에 따른 제체의 안정에 지대한 영향을 미치게 되므로 적당한 방법을 통하여 침윤선을 저하시켜야 한다.
- (2) 중심 코어형댐을 선정하는 것이 가장 이상적이지만 댐형식은 현지에서 수집할 수 있는 축재재료에 의해 정해지기 때문에 그 때마다 적절한 배수시설이 필요하다. 배수시설에는 ① 제체인 종단방향에 띠 모양으로 몇 줄 설치하는 줄모양 배수도랑, ② 종단방향 전면(뒤)에(두께 1~3 m) 설치하는 직립배수도랑, ③ 하류측 제체 바닥면에 부설한 수평배수도랑, ④ 하류 비탈 끝에 설치하는 비탈끝 배수도랑 등이 일반적으로 쓰이고 있으나 그밖에 용도에 따라서는 적절한 배수도랑을 선택해야 한다. 배수도랑 재료의 입경은 인접하는 재료에 따라 정해지며, 세립재료를 중간층으로서 사용하여 제체 재료가 배수도랑 안에 유입하는 것을 방지해야 한다.



### 4.3.3 유선망

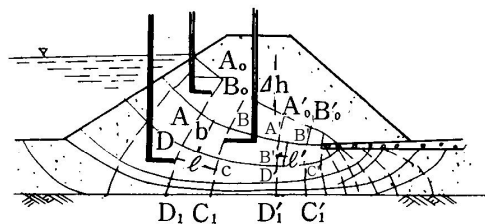
- (1) 제체 및 투수성 기초지반 내의 침투수의 유동 형상, 침투수압의 분포, 안정계산을 위한 간극수압의 분포 등을 파악하기 위하여 유선망을 그려 검토한다.

#### 4.3.3.1 제체의 유선망

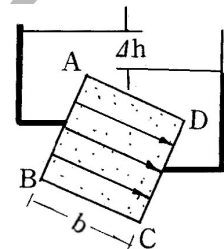
- (1) 유선망을 그리는 방법으로는 모형실험 또는 도해법에 의하는 것이 일반적이다. 특히, 투수계수가 달라지는 층을 통과하는 경우에는 굴절의 원리를 사용하여 유선망을 수정하여야 한다.
- (2) 유선망에 의하여 제체 및 투수성 기초지반 내의 침투수 유동형상과 침투수압의 분포 상태를 파악하며, 또 이것을 응용하여 댐의 계획 및 댐체와 기초의 구조설계상 필요한 침투수량을 계산하여 댐체의 안정검토에 필요한 제체의 간극수압의 분포를 알 수 있다.
- (3) 아래의 “<그림 4.3-5> 유선망”에서  $A_0B_0A_0'B_0'$ 는 침윤선,  $A_0D_1$ ,  $B_0C_1$ ,  $A_0'D_1'$ ,  $B_0'C_1'$ 는 서로 인접한 등수두선,  $ABA'B'$ ,  $DCD'C'$ 는 유선이다. 유선망구획  $ABCD$  또는  $A'B'C'D'$ 는 등수두선과 유선을 적당한 폭으로 취해서 정방형이 되도록 그린다. 이와 같이 2개의 유선사이의 정방형의 구획이 2개 위치하고, 제체의 종단방향으로는 단위길이를 취해서 Darcy 법칙을 적용하면 다음 관계가 얻어진다.

$$q = k \cdot i \cdot b$$

여기서,  $q$ 는 침투수량( $\text{cm}^3/\text{s}$ ),  $b$ 는 침투면적( $\text{cm}^2$ ),  $k$ 는 투수계수( $\text{cm/s}$ ),  $i$ 는 등수경사를 나타낸다.



<그림 4.3-5> 유선망



<그림 4.3-6> 침투압

정사각형 ABCD에 대하여 유선방향의 길이를  $l$ , 폭을  $b$ 라 하면  $b$ 와  $l$ 은 같으므로, 임의의 유선망을 단위길이당 흐르는 침투수량은 다음 식으로 표시된다.

$$\Delta q = k \cdot i \cdot b = k \cdot \frac{\Delta h}{l} \cdot b = k \cdot \Delta h$$

여기서,  $\Delta h$ 는 침투수가  $l$ 만큼 흐르는 사이에 일어난 손실수두( $\text{cm}$ )로서 보통 손실수두의  $h$ 를  $N_p$  구분하여  $\Delta h = h / N_p$ 로 된다.

정사각형 ABCD에 대한 침투수량은  $\Delta q = k \cdot \Delta h$  또는 정방형  $A'B'C'D'$ 에 대해서는  $\Delta q$

=  $k \cdot \Delta h$ 로 되어 당연히  $\Delta q = \Delta q'$ 로 되고, 2개의 유선사이에 있는 영역을 흐르는 침투수량은 같게 된다.

#### 4.3.3.2 침투수압(침투압)을 구하는 방법

##### (1) 침투수압을 구하는 방법

- ① 침투수가 흙 속에서 손실되는 에너지가 침투수압이 되며, 토립자 표면과 침투수와 사이에 일어나는 점성 마찰력 등에 저항하는 힘이다. 이 침투수압은 토립자를 흐름의 방향으로 이동시키려고 하는 힘이 되어 제체의 안정성을 검토하는데도 관계하는 양이 된다. 침투수압을 구하는 데는 유선망에서 구한 임의의 정방형 ABCD를 사용한다.
- ② 위의 <그림 4.3.-6> “침투압”에서 AB, CD를 등수두선, AD, BC를 이와 직교하는 유선으로 한다. 이 경우 흙덩어리 ABCD에 작용하는 침투수압(J)는 AB, BC의 길이를  $b$ 라 할 때, 제체 종축방향의 단위길이당 침투수압은 다음 식으로 표시된다.

$$J = \gamma_w \cdot \Delta h \cdot b$$

여기서,  $\gamma_w$ 는 물의 단위중량이다.

이것을 체적  $b^2 \times 1$ 로 나누면 단위체적당의 침투수압( $j$ )이 아래의 식과 같다.

$$j = \gamma_w \cdot i_w$$

여기에서  $i_w$ 는  $\Delta h / b$ 로서 등수두선에 직각이며, 유선에 연한 등수경사를 표시한다. 또한 이 침투수압은 등수두선에 직각방향으로 작용한다.

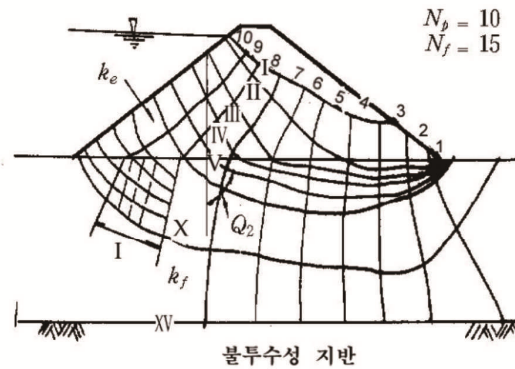
##### (2) 기초의 침투압을 처리하는 방법

- ① 기초의 침투압을 처리하려면 제체 하류비탈끝 부근에 적당한 간격으로 압력감소용 우물 또는 트렌치형 배수도랑 등을 설치한다.

##### (3) 기초의 유선망

- ① 제체부와 기초부의 투수성이 같을 때는 제체부의 유선을 기초부까지 확장하여 그리면 된다. 이때  $k_e$ 는 제체의 투수계수,  $k_f$ 는 기초의 투수계수,  $k_h$ 는 수평방향의 투수계수,  $k_v$ 는 수직방향의 투수계수이다.
- ② 제체부와 기초부와의 투수계수가 다를 때는 아래의 “<그림 4.3.-7> 기초의 유선망 (제체와 기초의 투수성이 다를 때)”과 같이 그의 배수만큼 유선을 증가시킨다. 즉, <그림 4.3.-7>과 같이 정사각형의 면은 유선 5와 포텐셜 1에 의하여 형성된다. 또 <그림 4.3.-7>에서 유선의 굴절각은 다음 식으로 주어진다.

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{k_f}{k_e} \cdot \tan \theta_1 \right)$$



$$k_f = 5k_e \quad k_h = k_v$$

$$\theta_1 = 34^\circ (0.674), \quad k_f/k_e = 5, \quad \frac{k_f}{k_e} \tan \theta_1 = 3.370 : \theta_2 = \tan^{-1} 3.37 = 73^\circ 30'$$

<그림 4.3-7> 기초의 유선망(제체와 기초의 투수성이 다를 때)

라. 저수위가 급격히 저하할 때

제체내의 침투면은 저수위의 저하속도, 재료의 투수성 및 경계조건 등에 의하여 다르나 일반적으로 제체의 투수계수가  $k = 1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 보다 작을 때는 순간적으로 임의의 수위까지는 저하한 것으로 보고 유선망을 그린다. 즉,  $k = 1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 의 범위에서는 저수위 강하에 따라 어느 정도 제체 수위도 강하하지만 비워 두었을 때 호수가 있으면 저수위가 순간적으로 저하한 경우와 같은 유선으로 생각한다.

#### 4.3.4 침투유량

- (1) 유선망 또는 수식에 의하여 제체 또는 기초지반을 흐르는 침투유량을 산출하며, 이 때 어느 경우에도 적절한 투수계수를 선정한다.

##### 4.3.4.1 일반사항

- (1) 필댐을 설계할 때, 침투유량(누수량)에 대한 검토가 중요하다. 저수위에서의 누수는 ① 제체의 누수, ② 기초의 누수, ③ 산턱에서의 누수 등이 있으며 이들 누수량을 정확히 분리하여 알아둘 필요가 있다.
- (2) 허용 누수량은 저수지의 목적에 따라 다르지만 관개용 댐에서는 저수량의 0.05 %/일 이하를 표준으로 한다.

##### 4.3.4.2 침투유량의 계산

- (1) 침투유량을 계산하는 방법은 유선망을 이용하는 방법과 수식에 의하여 구하는 방법이 주로 사용된다. 이 때 댐체의 불투수성부가 비등방성일 때는 수정한 투수계수  $\bar{k}$ 를 써

## 농업용 필댐 설계

서 누수량을 산출하는 것이 보통이지만 안전을 보아 수평방향의 투수계수를 사용해도 좋다.

### (2) 균일형 필댐 및 존형 필댐(중심 차수존형)

#### ① 유선망을 사용할 경우

$$Q = k \cdot h \cdot L \cdot \frac{N_f}{N_p}$$

#### ② 수식을 사용할 경우

$$Q = k \cdot y_o \cdot L$$

여기서, Q 침투유량(cm<sup>3</sup>/s), N<sub>f</sub> 유선의 분할수, N<sub>p</sub> 등수두선의 분할수,  
h 전수두(cm), k 투수계수(cm/s), L 종단길이(cm),

$$y_o = \sqrt{h^2 + d^2} - d \text{ 이다.}$$

### (3) 존형 필댐(경사 차수존형)

#### ① 유선망을 사용할 경우

가. 균일형과 동일하다.

#### ② 수식을 사용할 경우

$$q = \frac{H - 0.5 h_2}{b + CM} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{H}{\sin \theta_1} + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right) \cdot k$$

여기서, q는 침투유량(cm<sup>3</sup>/s),

CM은 경사 차수존의 하류면의 최하단을 통하는 유선이 길이이다.

### 4.3.4.3 제체의 투수계수

- (1) 제체의 투수계수가 비등방성일 때는 수정한 투수계수( $\bar{k}$ )를 사용하여 침투유량을 산출하는 것이 보통이나 안전을 고려하여 수평방향의 투수계수(k<sub>h</sub>)를 사용하는 것이 좋다. 수정 투수계수( $\bar{k}$ )는 다음 식으로 구한다.

$$\bar{k} = \sqrt{k_h \cdot k_v}$$

여기서, k<sub>h</sub>는 수평방향의 투수계수, k<sub>v</sub>는 수직방향의 투수계수이다.

### 4.3.5 수치해석에 의한 침투류 해석

- (1) 제체 및 기초지반의 침투류에 대하여 수치해석 방법으로 침투류 수두, 유속 분포, 침투 유량, 침투수압 분포 등을 예측할 수 있으며 이를 바탕으로 누수량 및 댐의 안전성을 검토할 수 있다. 수치해석방법으로는 유한요소법과 유한차분법이 이용되는 경우가 많은데, 이 때 경계조건, 재료의 계수 등 입력치를 충분히 검토한 후 사용한다.

#### 4.3.5.1 수치해석에 의한 검토

- (1) 제체 및 기초지반의 침투류에 대한 해석방법으로 일반적으로 유한요소법이 이용되는 경우가 많다. 유한요소법은 해석대상 구조물을 다수의 요소로 분할(2차원 해석에서는 삼각형 혹은 사각형 요소로 분할)하고 분할된 각각의 요소는 절점으로 연결되어 있는 각 요소에 미치는 수리학적 성질(투수계수, 동수경사)에 근거하여 모든 절점 및 요소의 수두, 유량 등을 구하는 방법이다.
- (2) 침투류를 해석함으로써 수두, 유속분포, 유량, 침투수압분포 등을 구할 수 있으나 해석대상 영역이 포화상태나 불포화상태 혹은 정상상태나 비정상상태에 따라 침투류 기본식과 투수특성이 다르므로 해석에 주의한다. 해석 결과는 재료 특성을 나타내는 물성치 및 해석시의 경제조건에 따라 좌우되므로 입력치에 대해서는 충분한 검토가 필요하다.
- (3) 이러한 수치해석적 방법의 이점을 다음과 같다.
  - ① 비균질이나 비등방성의 재료도 취급이 간단하다.
  - ② 임의의 경계조건에 적용하도록 요소의 형상과 크기를 달리하기 쉽다.
  - ③ 3차원 침투문제에도 적용할 수 있다.

#### 4.3.6 침투수에 의한 안정성 검토

- (1) 필댐의 제체 및 기초는 침투수에 대하여 안전하도록 설계해야 한다. 특히 필댐의 제체 및 기초지반의 누수를 완전히 차단할 수 없기 때문에 침투수압, 동수경사 등을 검토하여 파이핑, 수리적 파쇄(hydraulic fracturing) 등에 대하여 안전하도록 파이핑 방지대책 등을 강구하여 설계한다.

##### 4.3.6.1 파이핑의 원인

- (1) 필댐의 제체 및 기초는 누수를 완전히 차단하지 않고 허용 한도내로 제한하는 것이므로 침투수압, 동수경사 등을 검토해야 한다. 침투수압은 차수존의 성질, 댐의 형식 및 규모에 영향을 받고, 또한 허용누수량은 저수지의 목적 및 안전성에 따라 다르기 때문에 일률적으로 결정할 수는 없지만 어느 한도를 넘어서면 분사현상(quick sand)과 보일링 및 파이핑 등의 침투로 인한 파괴요인이 되므로 신중한 검토와 대책이 필요하다. 파이핑이란 제체 및 기초의 내부에 동수경사 또는 침투압이 클 때 입자가 유출되고 침식을 받아 터널을 형성하여 단면이 확대되고 침식이 상류에까지 미치게 되어 결국 유속이 증대하여 일거에 파괴되는 현상이다. 침투압이란 침투수가 단위체적의 입자에 주는 힘으로 동수경사와 물의 단위중량의 곱으로 표시된다.
- (2) 파이핑의 원인은 대상재료의 불균일성이나 지질조건의 사소한 변화 등에 의한 경우가 많으므로 이론적인 취급은 곤란하지만 파이핑의 원인을 분류하면 다음과 같다.
  - ① 다지기 불충분 : 흙쌓기의 다지기 불충분 이외에 암거 여수로 등 콘크리트 구조물 주변의 다지기 불충분 및 기초 접합부 암반과의 접촉부의 다지기

불충분 등이 때때로 파이핑 유발의 원인이 된다.

- ② 수용성 물질의 존재 : 기초지반내 백악층(白堊層)이 있을 때 그것이 나출한다. 그러나 흙 중에 함유되어 있는 가용성 염분은 흙쌓기의 시공관리만 좋으면 유출위험은 없다.
- ③ 균열 : 흙쌓기의 부등침하에 의한 균열, 흙쌓기의 건조나 동물이 만든 구멍에 의한 균열, 암거 자신의 균열 또는 파괴에 의해 쌓은 흙의 균열 등이 있다.

#### 4.3.6.2 파이핑의 진행

- (1) 댐이 처음으로 만수되었을 때에 생기는 누수와 몇 해 지난 후에 비로소 생기는 누수가 있다. 전자는 위험하지 않고 멀지 않아 일정한 양의 맑은 물로 되나 후자의 경우에 흙탕물이 점점 커갈 때는 댐 파괴의 원인이 되므로 저수지 물을 신속히 방류하지 않으면 위험하다. 이러한 때는 처음의 누수량은 적어도 하루 비탈끝이 침식되어 포화되어 진탕이 되고 작은 활동이 생기어 그것이 진행성 파괴로 되어 수 시간 또는 수 일 때로는 수 개월 사이에 결궤(決潰)하기에 이른다.

#### 4.3.6.3 균열의 발생 원인

- (1) 파이핑을 일으키는 누수는 균열로 기인하는 것이 많은데 여기에 대한 관심은 적다. 이것은 발견이 어렵고 결궤의 직접 원인으로 된 현상이 보이지 않고 그 원인은 균열이 현저하지 않았기 때문이다. 균열의 종류는 여러 가지가 있으나 대개 3~5 cm 정도인 것이 많고 15 cm까지 되는 것은 드물다.

#### 4.3.6.4 댐 축에 직각방향의 균열

- (1) 기초지반이 불규칙하기 때문에 일어나는 댐의 부등침하, 제체의 침하로 인한 인장변형에 의해서 균열이 발생한다. 이는 어느 경우에도 댐 축에 직각방향으로 일어나고, 또 침투수의 수로 역할을 하기 때문에 매우 위험한 것이지만 그 중에서도 연약지반에서 기초암반이 돌출해 있는 경우에는 가장 심한 균열이 발생한다.

#### 4.3.6.5 댐 축에 평행방향의 균열

- (1) 댐마루 부근에서 나타나는 것이 특징이지만, 댐 직각방향의 균열과 같이 직접수로로서의 역할을 하지 않기 때문에 그다지 위험하지는 않다. 균열의 깊이도 얕은 것이 보통이며 트렌치를 파서 되메우면 되지만, 너무 깊은 경우에는 물을 주입하여 관측을 해보는 것이 좋다. 주원인으로서의 압축성 기포상의 트렌치식 댐, 축제재료 및 시공기술의 불균질성에서 오는 제체의 부등침하 등을 들 수 있으며, 지진시의 균열도 대부분 이 원인에 의한 것이다.

#### 4.3.6.6 제체 내부의 균열

- (1) 댐표면이 모래, 자갈, 암 등으로 덮여있는 경우에 균열은 외부에서 보이지 않는다. 그러나, 압축성 차수 존이 침하하려는 것을 양측의 비압축성 존이 지지하여 자유로운 침하를 방해하기 때문에 차수 존과의 경계면에 균열이 발생하는 일이 있다.

#### 4.3.6.7 수리적 파쇄(수압할렬, hydraulic fracturing)

- (1) 수압할렬(수리적 파쇄) 가능성에 대하여 검토하여 이와 같은 현상이 발생하지 않도록 한다. 수압할렬이란 수압에 의하여 재료가 파괴되는 현상으로 이론적으로는 불투수부 내의 자중에 의한 유효응력이 그 부근의 수압보다 적을 때 나타나는 현상으로 설명한다. 통상적인 불투수부의 형상이라면 유효응력이 수압보다 작아지는 일은 없었지만 트랜치 굴착부위의 위의 불투수층이나 급한 경사의 기초암반부위 부근의 불투수성부에서 부등침하로 인한 아칭(arching)현상에서 유효응력이 수압보다 적어지는 경우가 있을 수 있다.
- (2) 키 트랜치(key trench)의 폭이 좁으면 아칭작용에 의하여 트랜치 중의 차수 존에 작용하는 연직응력이나 측방응력이 침투수가 갖는 수압보다 작게 되어 수리적 파쇄가 발생하게 된다.

#### 4.3.6.8 파이핑의 검토 방법

- (1) 한계유속에 의한 방법(Justin의 방법)

- ① 제체 및 기초의 흡입자 입경에 대하여 소류력에 의하여 입자가 밀려나가는 한계의 침투유속을 구하는 다음과 같은 식을 제안했다. 입자는 그 한계치(즉, 입자가 이동하여 파이핑이 발생하는 한계유속)를 넘으면 파이핑이 발생한다.

$$V = \sqrt{\frac{W \cdot g}{A \cdot \gamma_w}} \quad (\text{cm/s})$$

여기서, W는 흡입자의 수중중량, A는 물의 흐름을 받는 흡입자의 면적(cm<sup>2</sup>),  
g는 중력가속도(cm/s<sup>2</sup>),  $\gamma_w$ 는 물의 단위체적중량(g/cm<sup>3</sup>)을 나타낸다.

<표 4.3-1> 입경과 한계유속

입경 (mm)	4.0~4.8	2.8~3.4	1.0~1.2	0.7~0.85	0.4~0.7	0.25~0.5	0.11~0.25	0.075~0.11	0.044~0.075
한계유속 (cm/s)	20.0	17.0	10.0	8.5	7.0	4.2	3.5	2.5	2.0

실제의 흡입자에는 여러 크기의 입자가 혼합되어 있어 입경의 기준을 정하기 어려우므로 침투류 해석에서 얻어지는 침투류의 실제 유속은 “<표 4.3-1> 입경과 한계

유속”의 입경에 대한 한계유속의 1/100이하가 되도록 한다.

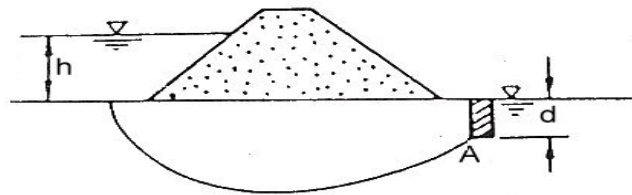
(2) 한계동수경사에 의한 방법

- ① 물이 정지상태에 있는 경우 흙 입자에 작용하는 수압은 간극수압이지만 흐름상태에 있는 경우에는 침투수압을 받는다. 침투수압이 어느 한도 이상이 되면 입자는 부유상태로 되며, 이 현상을 분사현상(quick sand)이라 하고 파이핑으로 확대될 위험성이 있다. “<그림 4.3-8> 분사현상”의 A점에서 침투수압과 토피중량과의 균형을 생각하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\gamma_w \cdot h &= (\gamma_t + \gamma_w) \cdot d \\ &= \frac{G_s - 1}{1 + e} \cdot \gamma_w \cdot d \\ i_c &= \frac{h}{d} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \\ &= (1 - n) \cdot (G_g - 1)\end{aligned}$$

여기서,  $\gamma_w$  및  $\gamma_t$ 는 흙과 물과 단위체적중량,  
e 및 n는 흙과 간극비 및 간극률,  
 $G_s$ 는 토립자 비중을 나타낸다.

- ②  $i_c$ 는 분사현상의 발생유무를 판단하는 기준치로 한계동수경사라 한다. 흙입자간의 저항력은 입자의 점착력, 중량, 입자구조에 따라 변하지만 정상적으로는 소성지수가 클수록 저항력이 크고 점착력이 없는 세립토에서는  $i_c = 0.5 \sim 0.8$ 로 알려지고 있다.



<그림 4.3-8> 분사현상

(3) Lane의 간편법

- ① Lane(1935)은 가중 크리프비(weighted creep ratio)를 기준으로 파이핑에 대한 안전율을 검토하는 방법을 제시하였다. 크리프비는 다음 식과 같다.

$$CR = \frac{l_w}{h_1 - h_2}$$

여기서,  $h_1 - h_2 = \Delta H$ 는 상하류면의 수두차,

$l_w$ 는 유선이 구조물 아래 지반을 흐르는 최소거리를 나타낸다.



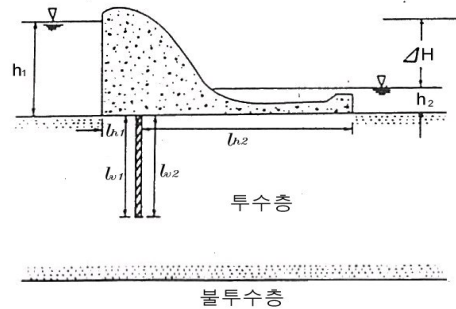
“〈그림 4.3-9〉 최소유선거리를 계산하는 방법”에서

$$I_w = \frac{\sum I_h}{3} + \sum I_v, \quad I_w = I_{h1} + I_{h2}, \quad I_v = I_{v1} + I_{v2} \text{의 관계를 가진다.}$$

위식에서 만일 가장 짧은 유선이 45° 보다 더 가파르면 이것은 연직거리로 간주하고 45° 보다 더 완만하면 수평거리로 간주하여 유선의 최소거리를 계산한다. 상기의 식으로 계산된 크리프비가 아래의 <표 4.3-2> (크리프비 안전치(Lane, 1935))에 제시된 각 흙에 대한 값보다 크면 파이핑에 대하여 안전하다.

<표 4.3-2> 크리프비 안전치(Lane, 1935)

흙의 종류	크리프 비 안전치
아주 잔 모래 또는 실트	8.5
잔 모래	7.0
중간 모래	6.0
굵은 모래	5.0
연약 또는 중간 점토	2.0 - 3.0
단단한 점토	1.9
견고한 점토	1.6



<그림 4.3-9〉 최소유선거리를 계산하는 방법

#### (4) 파이핑의 방지책

- ① 댐체의 차수준은 소요차수기능을 갖도록 설계되어야 함은 물론이고 파이핑에 대해서도 세심한 주의를 기울여야 한다. 침투파괴에 대한 안전대책으로 다음을 들 수 있다.
  - 가. 파이핑, 균열에 대하여 저항성이 큰 차수재료를 사용한다.
  - 나. 적정한 입도의 필터 재료를 사용한다.
  - 다. 지진발생시 균열 및 부동침하가 발생하지 않도록 신중히 설계한다.
  - 라. 시공시 주의를 요한다.
  - 마. 균일형 댐의 경우 배수구를 적절히 배치하고, 침투로 인한 파괴가 예상되는 경우 재료선정에 신중을 기한다.
  - 바. Curtain grouting (지수주입) 등 지수공 설치
  - 사. 파쇄대 단층처리
  - 아. 블랭킷 또는 전면 포장형 지수
  - 자. 감압정(Relief well)설치
- ② 일반적으로 점토인 경우,  $IP > 15$ 의 고소성(塑性) 점토는 파이핑에 대하여는 최대의 저항성이 있으며, 다음으로  $IP > 6$ 의 중소성 점토이거나 입도 분포가 좋은 굵은 모래 또는 가는 자갈, 셋째는  $IP < 6$ 의 저소성 재료 중에서 입도 분포가 좋은 자갈, 모래, 실트의 혼합물이며, 최저는  $IP < 6$ 이고 특히 균일한 입경의 잔모래인 경우가 가장 저항성이 적은 것으로 알려져 있다. Sherard는 누수에 대한 저항성에 따라 재료를 다음과 같이 분류하였다.

## 농업용 필댐 설계

### 가. 대단히 좋은 재료

- (가) 자갈과 모래의 세립분(細粒分)이 혼합된 입도분포가 좋은 조립 재료
- (나) D85가 2" 보다도 굵고, D50이 1/4" 보다도 굵은 재료
- (다) 세립분이나 점착성이 없으면서 #200 이하는 20 % 정도인재료

### 나. 좋은 재료

- (가) 자갈, 모래, 점토질 세립분이 혼합된 입도분포가 좋은 재료
- (나) D85는 1" 보다도 굵은 재료
- (다) 세립분은 소성지수 12 이상의 무기질 점토(CL)
- (라) 소성지수가 12 보다 큰 프라스틱한 점토(CH)

### 다. 약간 좋은 재료

- (가) 점성이 없는 세립분을 포함하고 입도분포가 약간 좋은 자갈질로 중간점토 부터 세립까지를 함유한 재료
- (나) D85는 3/4" 보다 굵고 D50은 0.5 mm와 3.0 mm사이에 있으며, #200 이하는 25% 정도인 재료
- (다) 소성지수가 12보다 큰 중위의 점성을 갖는 점토(CL)

### 라. 나쁜 재료

- (가) 조립한 것을 함유하지 않고 점성이 낮은 점토(CL 및 CL~ML)로 소성지수는 5~8 사이에 있고 액성한계는 25 보다 큰 재료
- (나) 조립한 것을 함유하지 않는 중정도로부터 고소성의 실트로 소성지수는 10 이상 ML 혹은 MH)인 재료
- (다) 점성이 없는 세립분을 함유한 중정도의 모래

### 마. 대단히 나쁜 재료

- (가) 세립이며, 입도가 나쁘고 점성이 없는 실트질 모래인 경우는 D50이 0.3 mm 보다 세립인 재료
- (나) 점성이 중정도부터 전혀 없는 실트(ML)질로 소성지수 10 이하인 재료

## 4.3.7 간극 압의 검토

- (1) 필댐에서 간극수압의 변화는 제체의 안정에 지대한 영향을 미치게 된다. 따라서, 시공 중 및 완성직후의 간극수압, 상시 저수시의 간극수압, 수위가 급강하할 때의 간극수압 등을 추정하여 안정계산 시 고려한다.

### 4.3.7.1 일반사항

- (1) 일반적으로 흙이 건조하여 불포화 상태에 있으면 물은 토립자 표면의 흡착수 또는 토립자 접촉부에 존재하여 초생달 모양(meniscus)을 형성하고 간극수압은 부(-)압의 상태로 된다. 또 포화상태(때에 따라서는 불포화 상태의 경우도 있음)에서 외력이 작용한 경우 흙덩어리는 흙의 골격응력과 간극압의 양자로서 평형을 유지하고 이 경우 간극압은 정(+)압의 상태로 된다. 이러한 정(+)의 간극압이 커지면 유효응력이 작아지고 따라

서 전단저항력이 감소하기 때문에 제체의 안정성에 큰 영향을 미치므로 반드시 안정 계산시 검토한다.

- (2) 특히, 수위가 급격히 저하할 때는 간극압은 정상상태에 있는 저수위가 강하할 때 제체 수위가 저수위에 따라서 같이 저하하지 못하기 때문에 저수위에 의하여 상류측 사면에 작용하고 있던 수압이 감소되고 제내와 저수지측의 수위차가 크기 때문에 침투는 저수지측에 향해서 일어나므로 제체 안전상 위험한 상태가 되므로 반드시 제체 안정 계산에서는 간극압을 검토한다.

#### 4.3.7.2 간극압의 추정

##### (1) 시공중 및 완성직후의 간극압의 추정

###### ① 간극압의 소산을 고려하지 않을 경우

가. 불투수성부 또는 포화도 85% 이상인 점성토에서는 시공중(하중증가기간)의 성토중량에 의한 제체의 압밀로 인하여 간극수압(과잉수압)이 발생한다.

나. 간극압은 일반적으로 완성직후에는 최대가 되고 경년후 침투수에 의한 수압보다도 크게 되는 수가 있다. 간극압의 크기와 분포는 주로 시공중의 함수비, 흙의 성질, 댐의 높이, 드레인의 유무, 시공중 공사 중지기간의 유무 등에 의하여 간극압의 소산속도와 소산시간에 관계된다. 시공중인 간극압의 추정에는 다음과 같은 방법이 있다.

(가) 압밀시험을 하지 않고 경험치를 사용하는 방법

- ㉠ MH, CH, CL, ML ..... 활동면상의 토주중량의 60~80 %
- ㉡ 기타의 점성토 ..... 50 %
- ㉢ 낮은 댐 또는 대댐으로 시공속도에 문제가 없는 대댐 ..... 활동면상의 토주중량의 50 %

(나) 압밀시험에 기인한 Hilf의 방법

- ㉠ 공기의 압축성에 관한 Boyle의 법칙과 공기가 수중에 용해되는 Henry의 법칙을 조합한 것으로 다음 식으로 주어진다.

- ㉡ 흠뻑기 시에 중지기간이 없을 때

$$u = \frac{P_a \cdot \Delta}{V_a + h \cdot V_w - \Delta}$$

$$= \frac{P_a \cdot \frac{\Delta H}{H_o}}{n_o \left( 1 - (1 - h) \frac{S_o}{100} \right) - \frac{\Delta H}{H_o}}$$

- ㉢ 흠뻑기 시에 중지기간이 있을 때

$$u = \frac{(P_a + u_2) \cdot \frac{\Delta H'}{H_o}}{n_o \left( 1 - (1 - h) \frac{S_2}{100} \right) - \frac{\Delta H'}{H_o}}$$

(다) 이 식은 포화도  $S_o$ 가 85 % 이상인 경우(이 때 간극 속의 공기압과 수압이 거의 같게 된다)는 근사적으로 다음 식이 성립하는 것으로 생각한다.

$$\sigma = \sigma' + u$$

(라) 여기서,  $u$ 는 간극압,  $\sigma$ 는 전응력,  $\sigma'$ 는 유효응력( $=\sigma - u$ ),  $P_a$ 는 댐 지점의 대기압,  $\Delta$ 는 원용적에 대한 압축량( $=\Delta h/H_o$ ),  $H_o$ 는 압축시료 두께,  $\Delta H$ 는 시료 압축량,  $V_a$ 는 처음 다진 후의 간극내 자유 공기량( $= n_o(1 - S_o)$ ),  $h$ 는 수중에서의 공기 용해도(Henry의 계수로 20℃ 일 때 0.0198),  $V_w$ 는 당초 다진 후의 간극내 수량( $= n_o S_o$ ),  $n_o$ 는 당초 다진 후의 간극율(%),  $S_o$ 는 당초 다진 후의 포화도(%),  $\Delta H_2/H_o$ 는 성토 재개시의 흙의 압축량(%),  $u_2$ 는 흙쌓기 재개시의 간극율( $= n_o - \Delta H_2/H_o$ ),  $S_2$ 는 성토 재개시의 포화도

$$\left( = \frac{S_o(1 + \frac{u_2}{P_a})}{1 + \frac{u_2}{P_a}(1 - h) \frac{S_o}{100}} \right), n_2 \text{는 흙쌓기 재개시의 간극율}(= n_p - \Delta H_2/H_o),$$

$\Delta H'/H_o$ 는 흙쌓기 재개시의 압축량 증가분(%)으로 ( $\Delta H_2/H_o$ 로부터의 증가분)을 나타낸다.

다. 이 Hiltz 식으로 추정된 간극압과 전응력과의 관계를 구하기 위해서는 시공시의 함수비와 밀도를 갖는 흙의 불포화 시료에 대하여 압밀시험을 하고, 압밀응력과 압축량  $\Delta = \Delta H/H$ (%)의 관계를 구해 두어야 한다. Hiltz 식은 최적함수비보다 습윤측의 함수비로 다진 흙에 대하여 성립한다. 또 최적함수비의 건조측에서는 재하중에 의한 압밀은 간극 속의 공기만을 배제하므로 간극압의 증가는 아주 작게 된다.

라. 간극압의 소산을 고려한 경우

(가) 전 항에서는 성토 진행중 간극압은 소산되지 않는 것으로 해서 유도하였다. 그러나, 간극압은 시공속도나 차수준의 나비, 드레인의 유무 등에 의하여 정도의 차이는 있으나 소산되고 있다. 이것을 고려해서 간극압을 구하면 더 실제의 상태에 가까운 값을 얻을 수 있을 것이다. 이것을 구하는데 다음과 같은 진행방법이 있다.

마. 경험치에 의한 경우

(가) Hiltz의 방법에 의하여 소산계수를 사용해서 추정한다.

㉞ 성토 중지기간이 없을 때

$$u = \frac{P_a \Delta}{V_a + h \cdot V_w - \Delta} \cdot (1 - A)$$

㉞ 성토 중지기간이 있을 때

$$\Delta u = \frac{(P_a - u_2) \frac{\Delta H'}{H_o}}{n_2 \left( 1 - (1-h) \frac{S_2}{100} \right) - \frac{\Delta H'}{H_o}} (1 - A)$$

여기서, A는 소산계수

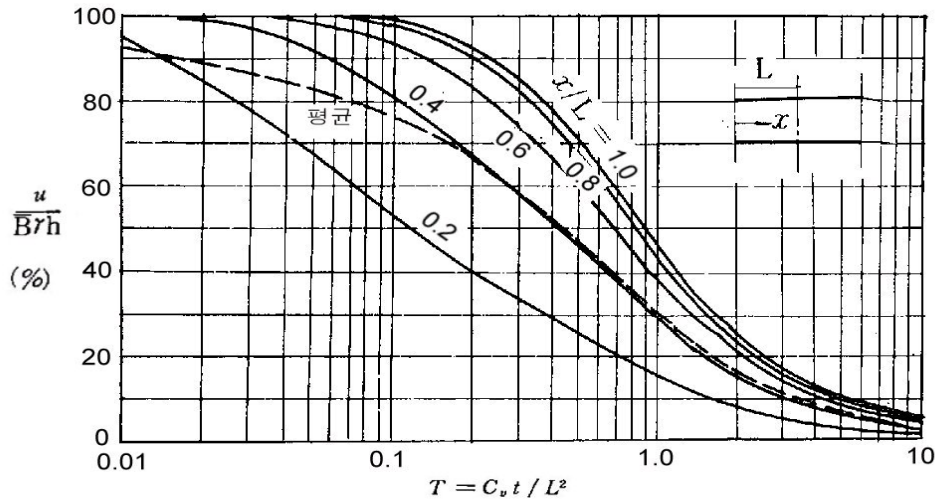
<표 4.3.-3> 소산계수(A)

댐의 형식	배수도랑의 유무	A
존형 댐(중심차수존형 댐)	유	0.5 ~ 0.8
균일형 댐	무	0.3 ~ 0.5

바. 압밀이론에 의하여 간극압의 소산을 계산하는 방법

(가) 얇은 차수 코어부에서 배수는 수평방향으로만 생긴다고 가정한 경우  
배수거리는 일정하여 하중만이 시간에 따라 일정속도로 증가할 경우 즉, 성토고가 일정속도  $a$ 로 시공될 때는 Terzaghi의 압밀해를 Duhamel의 정리에 따라서 적분하면 간극압  $u$ 는 아래 <그림 4.3.-10>과 같이 된다.

(나) 성토 높이에 비하여 성토 폭이 큰 완경사의 균일형 필댐  
이 경우는 간극압은 근사적으로 연직방향으로만 소산된다. 성토가 일정속도  $h(t) = at$ 로 시공될 경우의 간극압  $u$ 는 Gibson에 의하여 구하고 ( $\frac{u}{B_y h}$ )는 배수조건에 대하여 다음 <그림 4.3.-10>과 같이 된다.

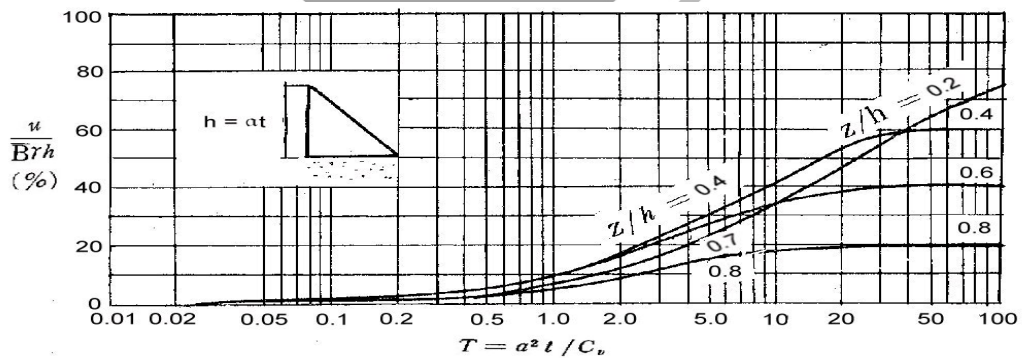


※ B : 간극압계수  $r$  : 성토의 단위체적중량 L : 불투수성부의 두께의 1/2  
 $x$  : 필터와 불투수성부의 접촉면부터 불투수성부내까지의 수평거리

〈그림 4.3-10〉 배수거리 일정, 하중이 일정 속도로 증가하는 경우의 간극수압과 시간과의 관계

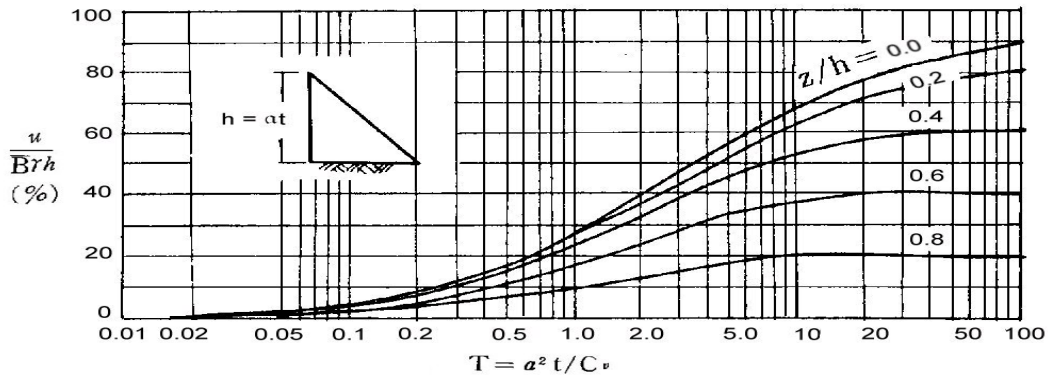
#### 4.3.7.3 상시 저수시의 간극압

- (1) 이 경우는 일정 수위를 장시간 유지하고 있기 때문에 이 상태에서 간극압(수두로서 나타낸 것)은 포화 영역의 포텐셜에서 위치의 포텐셜을 뺀 것으로서 계산된다. 얇은 차수부 또는 투수계수가  $5 \times 10^{-5}$  cm/s 이상의 성토내의 만수시 간극압은 중력수의 흐름에 대한 이론적 분포에 가깝고 침윤선의 윗면은 분명하게 식별된다.



$z$  : 성토저면부터 연직상향의 거리  
 $a$  : 성토의 시공속도

〈그림 4.3-11〉 토층두께 하중과 함께 시간에 비례해서 증가하는 경우의 간극수압(기초는 투수성)



$z$  : 성토저면부터 연직상향의 거리  
 $a$  : 성토의 시공속도

〈그림 4.3-12〉 토층두께, 하중과 함께 시간에 비례하여 증가하는 경우의 간극수압(기초는 불투수성)

- (2) 간극압 내 공기는 침투수에 의하여 상하류측면으로 밀려난다. 따라서 침윤선을 구하고 등수두선에 의하여 간극압을 구할 수 있다. 그러나 투수계수  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  이하의 두꺼운 불투수성부 내의 간극수압은 중력수의 흐름에 대한 이론적 분포와는 전혀 다르다. 따라서 이 경우의 간극압을 지배하는 요소는 건조와 강우와 침투를 지배하는 모세관 현상이다. 그래서 간극 내의 공기는 장시간에 걸쳐서 다졌을 때와 같은 상태를 유지한다.

#### 4.3.7.4 수위가 급격히 저하할 때의 간극압

- (1) 수위가 급격히 저하하는 경우란 정상상태에 있는 저수위가 강하할 때 제체수위가 저수위에 따라서 같이 저하하지 못하는 경우를 말한다.
- (2) 이 때 저수위에 의하여 상류측 비탈면에 작용하고 있던 수압이 감소되고 제내와 저수지측의 수위차가 크기 때문에 침투는 저수지측에 향해서 일어나므로 제체의 안전상 극히 위험한 상태로 된다. 제체 수위의 저하속도는 축제재료의 투수성, 간극을 및 저수위의 강하속도에 따라서 다르나 일반적으로 투수계수가  $10^{-7} \text{cm/s}$  차수(order) 이하의 재료에서는 제내 수위의 저하는 거의 없는 것으로 생각된다.
- (3) 따라서 일반적으로 불투수 재료에는 만수시의 정상 침투상태의 간극수압이 100 % 잔류하는 것으로 생각된다. 이 경우 여러 가지 경사의 사면에 안전율을 간편하게 구하는 방법이 Morgenstern에 의해서 주어졌다.
- (4) “〈그림 4.3-13〉 수면강하속도와 사면의 안정성의 관계(다만, 사면 경사도 30%인 경우)” 는 투수계수가  $k = 10^{-1} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$  정도의 재료로서 기울기가 30 %인 비탈면에서의 수면강하 속도와 비탈면 붕괴의 위험성과의 대략적인 관계를 나타낸 것이다. 그러나 수면상하 속도가 1일에 30 cm 정도면  $k = 10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$  이하 재료에서는 비탈면 기울기가 30 %라도 활동할 가능성이 있으므로 이 경우는 비탈면을 암괴(岩塊) 또는

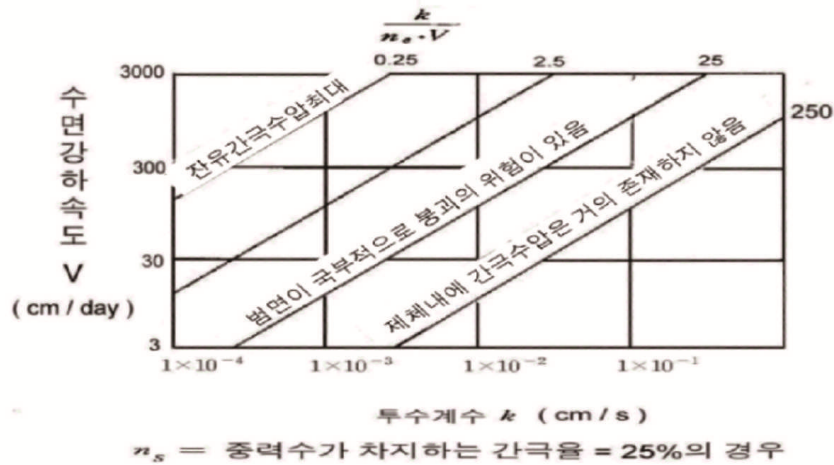
## 농업용 필댐 설계

콘크리트 블록 등으로 보호해야 한다.

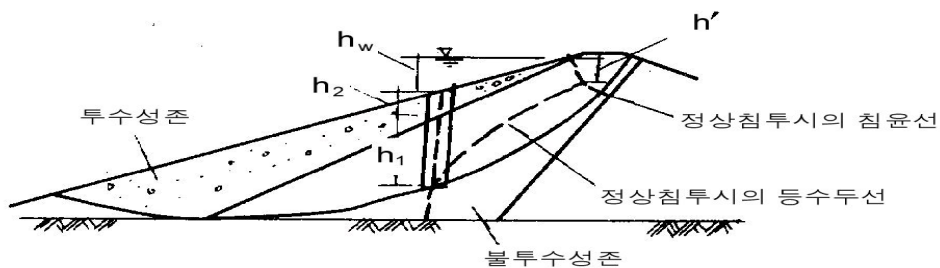
- (5) 록 필댐에서 압축성 불투수성 재료의 상류측이 저수지의 수면강하와 거의 동시에 수위가 내려갈 수 있을 정도의 투수성 재료로 되어 있는 경우, 급속 강하직후의 간극수압은 Bishop의 식에 의하여 구할 수 있다(<그림 4.3-14> 급속 강하시의 간극수압의 계산 참고).

$$u_1 = \gamma_w \{ h_1 + h_2 (1 - n_s) - h' \}$$

여기서  $h_1$ 는 정상 침투시의 등수두선이 활동면과 교차하는 점에서의 불투수 존의 두께,  $h_2$ 는 등수두선과 활동면이 교차하는 점 위에 있는 투수성부의 두께,  $n_s$ 은 수면이 저하할 때 투수성부에서 유출하는 물의 단위체적중 차지하는 율(중력수가 차지하는 간극율),  $h'$ 는 정상 침투상태일 때 침윤선의 만수면에서의 저하거리이다.



<그림 4.3-13> 수면강하속도와 사면의 안정성의 관계(다만, 사면 경사도 30%인 경우)



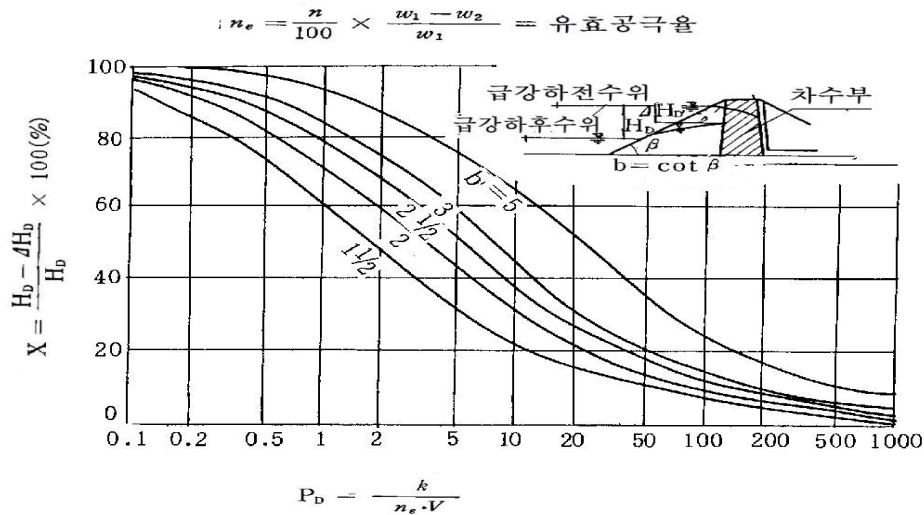
<그림 4.3-14> 급속 강하시의 간극수압의 계산

- (6) 반투수성 존에 대해서는 수위가 저하할 때의 침윤면은 시간이 경과함에 따라 형상이 변하는 비정상류가 되기 때문에 간극압을 정확히 파악하는 것은 곤란하나 미분방정식 또는 유한요소법으로 수치해석을 함으로써 이 과정을 점차 추적할 수 있다. 수위가 강하할 때 간극압의 실측치와 이론치를 비교한 예는 거의 없고 토질과의 관계도 거의 알려지지 않고 있으나 기존 자료를 종합하면 다음과 같이 말할 수 있다.

- ① 상류측 투수성 존에서는 간극압은 발생하지 않고 수위변동에 따른다.



- ② 불투수성 존의 간극압 분포는 수위 강하의 경계조건을 그대로 사용해서 제체는 비압축성이며 모세관현상이 없다는 가정에서의 유선망으로 구한 수압에 가깝다.



〈그림 4.3-15〉 수면 급강하시 쉘체의 침윤선과 차수부 전면과의 교점위치를 구하는 그림

- ③ 불투수성 존의 간극압은 수위저하가 완만할 때는 수위강하에 따르며 수위저하가 급격한 경우는 그 영향을 받는다.
- ④ 극히 세립의 점토질로 된 불투수성 존의 간극압에 대해서는 아직도 믿을만한 측정 결과는 없다. 또 원형 활동면 분할법(slice method)에 의하여 제체의 활동파괴를 검토하는 경우에 수위가 급격히 저하할 때의 반투수성존 중의 수위(간극압)는 “〈그림 4.3-15〉 수면 급강하시 쉘체의 침윤선과 차수부 전면과의 교점위치를 구하는 그림”을 사용해서 간단히 구하는 것이 좋다.

## 4.4 안정성 검토

### 4.4.1 활동에 대한 안전성 검토

- (1) 필댐의 제체 및 기초지반은 각종 토질시험의 결과에서 도출된 타당한 재료상수를 바탕으로, 제체 및 기초에 작용하는 각종 하중을 충분히 고려하여 여러 방법으로 안정계산을 하여 정해진 안전율을 만족하도록 설계한다.

#### 4.4.1.1 활동에 대한 안전율

- (1) 필댐은 제체재료의 성질과 기초지반 상태 등을 고려해서 제체내부, 제체와 기초지반과의 접합 부 및 부근에서의 활동에 대해서 충분한 활동저항을 갖도록 설계한다. 제체의 활동에는 일반적으로 제체사면의 활동(사면붕괴)과 제체의 기초면에 연한 활동(사면성 붕괴)을 생각할 수 있으며, 기초지반의 강도가 약한 경우에는 기초지반 내를 통과하는 활동면 (저부붕괴)에 대해서도 검토한다. 또한 안정계산에 사용하는 축제재료

## 농업용 필댐 설계

의 설계 강도정수는 적절한 토질시험에 의해서 얻어진 결과를 바탕으로 시공조건 등을 고려하여 결정해야 한다.

〈표 4.4.-1〉 필댐의 안전율

구분	제 조 건	저수위	지진	안전율		비 고
				상류	하류	
1	완성 직후 (간극압 최대)	바닥상태	없음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부존이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함. 2) 수위는 보통 댐높이의 45~50%를 취하여 계산함
2		일부저수	〃	1.3	-	
3		급강하	〃	1.2	1.2	
4	평상시	만수	있음	1.2	1.2	
5		일부저수	〃	1.15	-	

〈표 4.4.-2〉 활동파괴를 검토하는 경우

경우	저수지의 수위	저수지의 수위 (정수압)	침투류(간극압) 의 상태	설계 진도	원형 활동면 분할법의 적용	
					유효응력	계산사면
1	설계홍수위	설계홍수위	설계홍수위에서 침투류가 정상상태	-	유효응력	상하류측
2	서차지수위	서차지수위	서차지수위에서 침투류가 정상상태	50 %	유효응력	상하류측
3	상시만수위	상시만수위	상시만수위에서 침투류가 정상상태	100 %	유효응력	상하류측
4	중간수위	중간수위	중간수위에서 침투류가 정상상태	100 %	유효응력	상하류측
5	빈경우 (완성직후)	-	축제중의 간극압이 잔류	50 %	전응력 유효응력	상하류측
6(a)	수위급강하	강하후의 최저수위	상시만수위에서 최저수위까지 강하했을 때이며 간극압이 잔류	100 %	유효응력	상류측
6(b)	수위급강하			50 %	유효응력	

(2) 필댐 사면의 활동에 대한 안전율은 재료시험이나 안정계산의 정밀도가 불충분한 경우나 또는 연약한 지반상의 댐과 같이 불확정한 요소가 포함되기 쉬운 경우에는 1.5를 표준으로 하고 정밀도가 충분한 경우라도 “〈표 4.4-1〉 필댐의 안전율”의 값 이상의 안전율을 취해야 한다.

(3) 안전율을 얼마로 하느냐 하는 것은 그 상태가 일어날 확률과 파괴된 경우의 위험도에 따라 정해지는 것이다. “〈표 4.4-1〉 필댐의 안전율”에서 구분란 1, 2의 안전율이 1.3으로 최대인 것은 어떤 댐에서도 반드시 있을 수 있는 상태이기 때문이다. 이에 대해서는 구분 4, 5의 경우는 극히 드물게 발생하는 상태이고 특히 5의 경우는 파괴된 경우라도 물이 흘러 넘쳐 피해가 생길 염려가 없으므로 안전율을 작게 취해도 된다. 활동파괴를 고려하는 경우는 “〈표 4.4.-2〉 활동파괴를 검토하는 경우”에 의거하여 실시한다.

### 4.4.2 변형에 대한 검토

(1) 필댐은 필요에 따라 기존 댐의 관측치나 실내 및 현장시험 등을 통하여 얻은 물성치를

- 바탕으로 제체 및 기초에 대하여 변형해석을 실시하여 변형에 대한 안정성을 검토한다.
- (2) 대규모 땔댐에 있어서는 제체 및 기초에 대하여 변형 해석을 실시해야 한다. 변형해석은 기존 땔의 관측기록과 실내 및 현장시험 등을 통하여 얻은 물성치를 기초로 하여 수치해석을 한다.
- (3) 땔댐의 변위는 연직방향의 변위(침하), 땔의 상하류방향의 변위 및 땔의 축방향변위의 3가지 변위로 나눌 수 있다. 땔댐에 있어서는 이들 세방향 변위는 막을 수 없고 그 양도 콘크리트 땔에 비해서 매우 크다. 변위의 크기 및 시간적인 변화는 부등침하와 사일로(silo) 현상의 방지, 땔의 더썩기 결정 및 균열발생방지 등의 점에서 중요한 요소가 된다.
- (4) 변형에 대한 검토가 필요한 경우는 ① 땔이 높을 경우, ② 땔 양안부의 경사가 급하거나 크게 변화하는 경우, ③ 각 존의 물성치가 크게 다를 경우, ④ 변형이 큰 재료로 축조하는 경우, ⑤ 구조물과의 접합부가 긴 경우, ⑥ 내진설계를 하는 경우 등이다. 변형에 대한 검토방법은 Clough(1967), Duncan(1969) 등이 유한요소에 의한 해석방법을 제안한 이후 여러 유사해석방법이 실시되고 있으나 그 중 Duncan-Chang 방법이 가장 널리 사용되고 있다.

#### 4.4.3 액상화의 검토

- (1) 땔댐이 느슨한 사질지반에 축조된 경우나 지진 등의 외력에 의하여 과잉 간극수압의 상승에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 기초지반이나 제체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토한다.

##### 4.4.3.1 액상화 현상

- (1) 땔댐의 축조지반이 모래나 실트 등으로 구성되어 횡하중에 의하여 과잉간극수압이 증가하여 유효응력을 초과할 것으로 예상되는 곳에서는 반드시 액상화에 대한 안정성을 검토한다.
- (2) 제체 또는 기초지반을 구성하고 있는 흙이 느슨한 경우 지진력에 의하여 과잉간극수압이 발생하여 토립자 사이의 전단강도를 상실하는 것을 액상화라 한다. 액상화에 관계하는 인자를 들면 다음과 같다.
- ① 토질조건 : 토질, 점토, 다짐도
  - ② 정적응력조건 : 지진적의 유효구속압의 크기, 비등방성 등
  - ③ 동적응력조건 : 지진력 (하중의 크기, 계속시간 및 방향 )
- (3) 액상화의 기구는 완전하게 규명되지는 않았으나 모래나 실트로 구성된 흙이 포화상태로 되고, 또한 느슨하게 쌓인 상태에서 지진력이 가해지면 체적이 수축되는 것과 같이 되므로 그에 따라 간극수압이 상승하여 간극수가 배출될 때까지 토립자가 간극수중에 일시적으로 뜬 상태로 되어 토립자간의 전단강도가 상실되는 것으로 해설할 수 있다. 따라서 사질토도 근대적 공법으로 치밀하게 다짐을 하면 제체에서의 완전 액상화 발생은 거의 생각할 수 없다. 그러나 느슨한 사질지반상에 축조된 경우 또는 과잉간극수압의 상승에 의해 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 때에는 기초지반이나 제체의

액상화에 대해서 검토하여 충분히 안전하도록 설계할 필요가 있다.

#### 4.4.3.2 액상화의 검토 방법

- (1) 액상화를 검토하는 방법은 반복 삼축압축시험의 결과를 이용하는 방법과 동적 응력조건을 바탕으로 모의 해석하는 방법, 간편법 등이 있는데, 댐 규모, 안전도, 재료상수의 정확성, 파괴시 피해 등을 고려하여 적절한 방법을 선정한다. 제체나 기초지반의 토질은 일반적으로 한정되어 있으나 특히 액상화에 강한 흙 즉 점착성이 큰 흙의 유무 또는 다른 토질과의 혼합에 의한 토질개량에 대해서 검토한다. 다른 양질재료를 얻기 어려운 경우에는 입도시험 또는 반복삼축 압축시험 등에 의해 액상화의 난이를 검토한다. 액상화 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음과 같은 검토를 한다.
- (2) 흙을 치밀하게 다질수록 액상화의 저항력이 증가하므로 시공상 가능한 다짐도의 검토, 다짐도(지반인 때는  $N_{60}$ )와 액상화의 관계를 반복 삼축 압축시험 또는 유사재료의 자료 등으로 검토한다. 액상화의 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음 1) 2) 3)항목을 추정하여 흙의 액상화 저항력과 정적, 동적응력 조건을 고려한 해석을 한다.
- (3) 제체 또는 기초지반내의 지진전의 응력상태를 추정한다. 이 추정방법으로는 가) 댐 마루를 반무한 지표면으로 가정하여 침유면의 위치와 흙의 단위체적중량으로부터 유효구속압을 구하는 방법, 나) 댐의 축조과정~저수를 고려하여 유한요소법에 의한 유효응력을 구하는 방법이 시행되고 있다.
- (4) 제체 또는 기초지반의 지진시 작용응력상태를 추정한다. 이 방법에는 가) 기존 연구성과를 실용화하는 방법, 나) 유한요소법에 의한 지진응답해석법 등이 시도되고 있다.
- (5) 흙의 액상화 응력비는 반복삼축압축시험에 의해 구하는 것이 바람직하다. 이 경우 압밀 조건으로서는 가) 등방압밀조건, 나) 비등방압밀조건이 있다.
- (6) 상기 2)항에 있어서 나)를 채용할 경우에는 비등방압밀조건으로 시험하는 것이 바람직하다. 물론 액상화응력비는  $\tau_{IN} / \sigma_{co}$  (여기서  $\tau_{IN}$  :  $n$ 회의 반복재하회수로 액상화할 때의 동적전단응력,  $\sigma_{co}$  : 초기 평균유효구속압)로 나타낼 수 있다.
- (7) 1)항에 의해 구한 유효구속압과 2)항에 의해 구한 지진시 작용응력으로부터 지진시의 응력비를 구하고 여기에 3)항에 의하여 구한 응력비와 비교해서 1 이 넘는지 여부에 의해 액상화의 가능성을 판정한다.

#### 4.4.3.3 액상화 방지 대책

- (1) 액상화의 가능성이 있는 지반이나 제체에 대해서는 상대밀도를 증가시키거나 치환, 드레인의 설치 등 충분한 대책을 강구한다.
- (2) 액상화 대책으로는 ① 다짐에 의하여 상대밀도를 증대, ② 액상화하기 어려운 흙으로 치환, ③ 상재하중의 증가와 지하수위를 저하, ④ 드레인으로 간극수압의 소산 촉진 등이 있다.

#### 4.4.4 저수지 주변의 안정성에 관한 검토

- (1) 저수지는 소요의 수밀성이 가지고 활동 파괴 또는 투수파괴가 일어나지 않아야 하며, 저수지 및 저수지 주변 산터 부근의 누수, 산사태, 토사붕괴 등에 대해서도 안전하여야 하며, 피해가 예상되는 경우에는 적절한 대책을 강구한다.

##### 4.4.4.1 누수의 검토

- (1) 저수지 주변의 조사는 댐조사의 초기단계부터 시행하여 투수성 지반의 분포구조의 개요를 파악하고 저수면이 투수성 지반에 걸리지 않도록 저수지의 규모를 결정하는 등 댐터의 선정에 대해서는 충분히 검토한다.
- (2) 다음에 열거하는 종류의 것은 투수성 지반으로 취급하여 누수를 검토한다.
- 가. 미고결 조립 퇴적물 : 화산회, 제4기층의 사력, 부분적인 제3기층의 사암, 역암  
나. 입상으로 느슨한 풍화암 : 석비레, 화산암  
다. 절리, 불규칙한 틈새기 : 화산암의 수축절리(판상, 주상) 세일의 망목상의 절리, 단층파쇄대, 광맥  
라. 용해성 공극 : 다공질 석회암, 석회암 동굴, 용암 터널
- (3) 또한, 지형도, 항공사진, 지질광산도, 수리지질도, 토질분류도 등으로부터 구성 지질과 표층지질을 판독하고 투수성지반 풍화대, 단층파쇄대, 저부(saddle) 및 단층곡 지형 등의 분포와 구조를 해석하여 저수에 따른 주변 산터로부터의 누수의 유무에 대해서 관찰하여 누수기구를 파악하고 누수량을 예측한다.
- (4) 저수지 지반으로부터 누수량 및 동수경사를 예측한 결과, 허용한계를 넘었다고 인정되는 경우에는 누수에 대한 조치를 강구해야 한다. 누수의 허용한계를 결정하는 근거로는 저수의 경제적 측면(저수효율)과 안전성 확보(파이핑) 등의 두 측면에 두고 있는데, 저수효과를 올리기 위해 지반의 파이핑을 방지하는 방법으로서 지하연속벽 공법, 그라우팅 공법, 불투수 블랭킷 공법, 전면포장 공법 등이 사용된다.

##### 4.4.4.2 원지반의 보전

- (1) 저수지 주변의 산터 형상과 보전
- ① 대지에는 여러 가지 변형 에너지가 축적되어 있으며 침식작용에 의해서 계곡이 깊어지게 되면 상부에 있던 암석의 하중이 제거되어 암석내부의 형태가 변하여 응력의 재분배 현상이 일어나고 절리나 틈새기가 생기게 된다. 이 틈새기를 통해서 여러 가지의 풍화작용이 암석의 내부로 진행된다. 저수지 주변의 산터는 원래 이와 같은 풍화가 이루어지기 쉬운 조건하에 있으며 급경사면은 자중에 의한 전단력이 끊임없이 작용해서 불안정한 요소가 많아진다. 또한 저수지 주변의 산터는 저수, 이설도로, 수로, 기타의 시설공사 등을 하게 되므로 여러 가지의 영향을 받는다. 따라서 저수지 완성후 산터에서의 산사태나 토지붕괴 등이 예상되는 불안정한 개소를 조사 검토하여, 해석한 결과치가 장기적인 안정을 확보할 수 없다고 예측되고 노선의 변

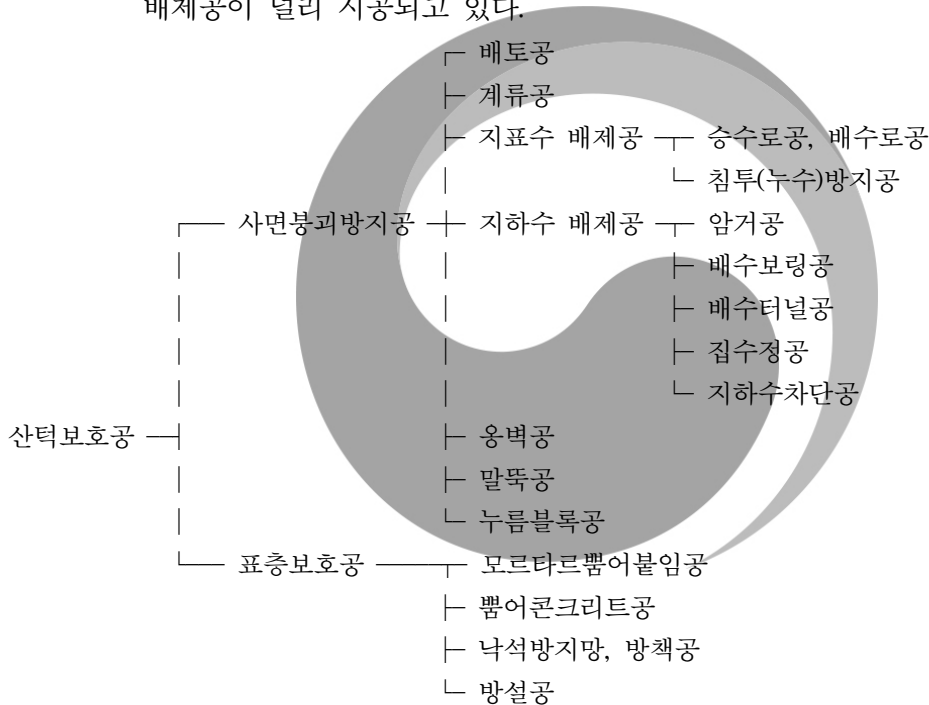
경이 곤란하다고 인정되는 블록에 대해서는 보전공을 실시한다.

(2) 저수지가 산터의 안정에 미치는 영향

- ① 산터의 안전도를 환경항목으로 설정하여 댐 공사에 의해서 발생하는 영향인자를 도출, 분석하여 예측과 평가를 한다.
- ② 댐 후보지의 모든 것을 대상으로 해서 지형도, 항공사진, 지질광산도, 산사태분포도, 토지분류도, 대책복구 관계자료 등을 모집해서 저수지 주변 원지반의 지형지질의 개요를 파악하고, 댐공사 중 및 저수지 완성 후에 산터가 받는 영향은 “<표 4.4-3> 산터의 안정에 미치는 영향” 과 같이 정리한다.

(3) 산터 보전공의 설계

- ① 산터의 보전에는 “<그림 4.4-1> 산터 보전공의 분류” 에서 보여주는 공법이 고려될 수 있다. 이들 가운데 주된 보전공의 적용은 다음과 같다. 자연 상태 하에서 지하수위를 낮추며 저수지 또는 강우시에 지하수위의 상승을 방지하기 위하여 지하수 배제공이 널리 시공되고 있다.



<그림 4.4-1> 산터 보전공의 분류

〈표 4.4.-3〉 산터의 안정에 미치는 영향

종목	영향 종류	산터가 받는 영향의 양상			
구분	상 태	지반형상변화	사면붕괴	세굴, 침식	파이핑
저수 관리	1.저수위 상승	<ul style="list-style-type: none"> <li>절리면의 풍화 촉진</li> <li>붕적토의 점착력 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수면부근붕괴</li> </ul>		
	2.저수위 급강하	<ul style="list-style-type: none"> <li>과잉간극수압 발생</li> <li>연직유효감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>산사태</li> <li>붕괴</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 흡출에 의한 파이핑</li> </ul>
	3.호우	<ul style="list-style-type: none"> <li>과잉간극수압 발생</li> <li>연직유효감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>붕괴</li> <li>낙석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>도랑형태의 침식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>용수에 의한 관공 작용</li> </ul>
이설 도로 건설	4.성토공	<ul style="list-style-type: none"> <li>사면상부의 전단력 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>산사태, 붕괴 유발</li> <li>성토자체의 미끄러짐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>도랑형태의 침식</li> <li>시트상 침식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>성토저면의 용수에 따른 파이핑</li> </ul>
	5.절토공	<ul style="list-style-type: none"> <li>지반이완</li> <li>사면하부를 절토하는 경우 전단증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>산사태</li> <li>비탈머리붕괴</li> <li>낙석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>우수의 침투 증가</li> <li>절토사면의 도랑 형태의 침식</li> </ul>	
	6.터널공	<ul style="list-style-type: none"> <li>지반이완</li> <li>풍화촉진</li> <li>지하수의배제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사면안정도가 증가하는 경우도 있음</li> </ul>		
공사중	7.발파 8.중기작업	<ul style="list-style-type: none"> <li>진동에 의한 지반이완</li> <li>동적수평응력 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>붕괴</li> <li>낙석</li> <li>설봉</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>포화모래층의 분출</li> </ul>

#### 4.4.5 필댐의 내진설계 및 방재공

(1) 필댐 및 부속시설의 내진성 확보를 위해 필요한 최소 요구조건을 만족하도록 신설되는 높이 15 m 이상인 총저수량 50만  $m^3$  이상의 댐 및 부속시설에 대하여 내진설계 및 방재공을 적용한다.

##### 4.4.5.1 내진설계 방법

(1) 지진시에는 댐 및 기초의 직접 파괴 이외에 저수지주변 또는 물넘이 사면의 활동이나 저수의 진동에 의한 간접 피해도 발생할 수 있기 때문에 이에 충분히 검토해야 한다.

(2) 기본 개념

① 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출 상태는 있어서는 안된다. 어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확보하여야 하며, 댐의 정상수명기간 내에 설계 지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.

(3) 설계 방법

① 내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적인 방법으로 해석하는 진도법과 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 있다.

- ② 댐 내진설계 방법은 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있는데, 이미 경험적으로 안정적인 방법임이 입증되고 있다. 이 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.
- ③ 선진국에서는 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있다. 이 방법도 댐 설계에 적용할 때는 ① 설계 지진파형의 설정, ② 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성, ③ 해석 방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정, ④ 파괴규준 및 파괴현상의 모의 등의 문제점이 있어 적용에 신중해야 한다.
- ④ 특히, 우리 나라의 경우 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하여 설계기준으로 동적 해석방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.

### 4.4.5.2 설계 지반운동 및 설계진도

#### (1) 설계지반운동

- ① 설계지반운동은 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다. 설계지반운동은 수평 2축 방향성분으로 정의되며 세기와 특성은 동일한 것으로 가정하고, 지진에 의한 수직 방향의 영향이 댐 안정에 영향을 주게 되는 경우는 이 방향의 지진력을 고려하여 하며 크기는 수평방향의 지반운동의 1/2로 본다. 또한, 댐의 내진설계 시에는 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 해야 한다.

#### (2) 설계진도

- ① 우리 나라의 지진구역을 아래 <표 4.4.-4>와 같이 설정한다. 각 지진구역에서의 평균 재현주기 500년의 지진 지반운동에 해당하는 지진구역계수는 구역 I에서는 0.11, 구역 II에서는 0.07이다. 평균 재현주기별 최대 유효지반가속도의 중력가속도에 대한 비를 의미하는 위험도 계수는 평균 재현주기 500년일 때 1.0이며, 1,000년일 때는 1.4이다.
- ② 필댐 설계시 적용되는 설계진도는 지진 구역계수에 내진 등급별 설계지진의 평균 재현주기에 따른 위험도 계수, 지반계수 및 댐 형식별 할증계수를 곱한 값에 중력가속도를 곱하여 구한다. 단, 지반계수와 댐 형식별 할증계수는 정역학적 설계방법인 진도법에 의한 경우에만 적용한다.
- ③ 그러나 위의 방법으로 산출된 설계진도가 0.2 g 이상이어서 우리 나라보다 지진규모나 발생빈도가 훨씬 높은 나라에서 적용하는 진도보다 과다하다고 판단되는 경우 설계자는 적용 설계진도를 0.2 g 이하로 조정할 수 있다.



〈표 4.4.-4〉 지진구역 구분

지진구역	행정구역	
Ⅰ	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도남부 <sup>(1)</sup> , 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부 <sup>(2)</sup>
Ⅱ	도	강원도 북부 <sup>(3)</sup> , 전라남도 남서부 <sup>(4)</sup> , 제주도

(주) : (1) 강원도 남부 : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시,

(2) 전남 북동부 : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전남 남서부 : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

#### 4.4.5.3 내진등급과 설계지진 수준

(1) 댐 내진 등급은 “〈표 4.4.-5〉 댐의 내진 등급과 설계지진” 과 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진 특등급의 두가지 등급으로 분류한다.

#### 4.4.5.4 지진하중

(1) 지진시 댐에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 댐에 작용하는 사하중에 설계진도를 곱한 지진 관성력을 고려하여야 하며, 이 관성력의 작용방향은 댐의 안정성에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석하여야 한다. 이는 유체의 동압력의 영향뿐만 아니라 수면과의 영향이 고려되어야 한다.

〈표 4.4.-5〉 댐의 내진 등급과 설계지진

내진 등급	댐	설계지진의 평균재현주기
내진 특등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐</li> <li>• 법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐</li> <li>• 총저수량 2천만 m<sup>3</sup> 이상인 댐</li> </ul>	1,000 년
내진 I 등급 댐	높이 15m 이상이고 총저수량 50만 m <sup>3</sup> 이상인 댐	500 년

#### 4.4.5.5 필댐의 내진설계

(1) 필댐은 형식에 따라 내진설계에 반영할 지진하중의 종류 및 적용범위가 조금씩 다르다.

##### ① 내진설계상의 주의점

가. 내진 설계상의 일반적인 주의점은 다음과 같다.

(가) 연약기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화 현상을 일으키지 않도록 충분한 기초처리를 한다.

(나) 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반위보다도 토질기초위에서 더욱 크기 때

문에 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 모두 암반위에 설치하도록 설계한다.

- (다) 지진에 의한 진동 및 지진시의 단층이동에 의한 댐마루의 침하에 대비하여 충분한 여유고를 둔다.
- (라) 균열이 발생하기 어려운 재료에 의해 폭 넓은 트랜지션 존을 설치한다.
- (마) 제체의 중심부 부근에 직립 및 수평 드레인(drain)을 설치한다.
- (바) 배수층에는 충분한 단면을 주어 비록 지진시에 균열이 발생하여 제체침투량이 증가해도 이것을 안전하게 장외로 배출시킬 수 있도록 한다.
- (사) 점토차수 존은 균열이 발생하기 어려운 소성이 있는 재료로 만들고 또한 차수재폭은 충분히 크게 한다.
- (아) 점토차수 존의 상류부에도 입도배합이 좋은 재료로 된 필터 존을 설치한다. 이것은 점토차수 존의 균열 스톱퍼(crack stopper)로서의 역할을 하기 때문이다.
- (자) 지진에 의하여 저수지에 발생한 파랑이 제체를 월류해도 제체가 쉽게 침식당하지 않도록 댐마루를 보호한다.
- (차) 점토차수 존의 어버트먼트 암착부에 있어서 폭을 넓게 해둔다.
- (카) 제체의 침투수에 의한 포화부분이 될 수 있는 한 적게 되는 위치에 점토차수 존을 설치한다.
- (타) 주변 산의 사면이 지진시에 저수지내로 붕락하지 않도록 사면의 안정대책 공을 해 둔다.
- (파) 만일 파괴되었을 때의 하류 마을까지의 홍수도달시간이나 재해의 규모를 추정하는 동시에 피해를 극소화하기 위한 구체적 대책 등을 고려해 둔다.

② 설계 거동 한계

가. 필댐은 지진이 발생해도 붕괴되어서는 안되며, 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.

- (가) 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐의 강도에는 영향이 없어야 하며, 제체 및 기초에 액상화가 발생하지 않아야 한다.
- (나) 제체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 하며, 제체에 과도한 침하가 발생하지 않아야 하고, 균열은 댐의 저수능력의 저하를 초래해서는 안된다.
- (다) 지진으로 발생하는 수면파가 제체를 월류하거나 수리구조물, 부속구조물 및 양안 의 붕괴나 누수에 의해 댐의 기능이 손상되어서는 안된다.

4.4.5.6 정역학적 설계기준

- (1) 설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.

① 지진력

가. 진도법에 의한 정역학적 설계에서 댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 체체 무게에 설계진도를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.

나. 활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 활동면에 수직으로 작용하는 지진관성력은 수평 관성력의 1/2로 계산할 수 있으나 수평 지진 관성력을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 실제로는 적용하지 않는다.

#### 4.4.5.7 활동면법에 의한 지진시 사면안정 검토

- (1) 댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 사면안정 검토이다.
- (2) 활동면 위의 체체가 활동하므로 하는 힘은 정수압, 해당 체체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진 관성력이고 이를 외력에 저항하려는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다. 활동면의 중심에 대하여 외력의 모멘트가 저항 모멘트를 초과하지 않는 한 댐은 활동에 대하여 안정하다고 판단하는 것이다. 사면안정 검토에 작용하는 지진 관성력은 저수지의 수위 상태와 발생빈도 등을 고려하여 차등 적용한다. 지진 관성력 계산을 위한 체체의 무게와 같은 계산 방법에 의한다. 지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다. Bishop법에 의한 사면안정 해석에서는 대체로 간극수압에 설계진도를 곱한 값을 적용하고 있다. 일반적으로 설계진도는 댐 상부에서 저면까지 같다고 가정한다.

#### 4.4.5.8 동적 설계

- (1) 최근에 건설되는 댐은 해석법의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화되고 있는 추세이다. 과거 경험적인 방법인 진도법은 보수적으로 채택되어 왔으나, 적정 지진 규모와 경제적인 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적해석 기법의 적용이 필요하다.
- (2) 이러한 동적인 방법은 축재재료의 비선형 거동특성이 고려한 비선형 모델링 방법을 사용하거나 타당성이 입증된 단순화된 방법으로 해석해야 한다.
- (3) 부속 구조물의 응답은 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법에 의해서 해석하고 일반 구조물의 지진응답 해석법을 준용한다.
- (4) 동적해석에서 일반적으로 선형적 방법을 응력해석에 이용하고 있으나 면밀한 검토를 위하여 단계적 해석이 사용되어야 하며, 흙의 소성적 성질과 동적 간극수압을 고려하며, 주로 유한차분법이나 유한요소법을 사용하여 해석한다.

#### 4.4.6 매설계측 안정관리

- (1) 댐을 축조하는데는 여러 종류의 계기를 매설하여 축조과정에서의 안전과 품질관리를 하고 댐이 완성되어 담수호에는 댐내부에서의 응력변화와 이에 따른 댐체의 거동을 관

## 농업용 필댐 설계

측하여 안전관리에 활용한다.

- (2) 계기설치수량은 기존댐의 설치실례와 운영실적을 참고하여 정하되 운영기간중의 고장 등을 고려하여 20 % 정도의 여유물량을 추가하도록 한다.

계기설치수량은 기존댐의 설치실례와 운영실적을 참고하여 정하되 운영기간중의 고장 등을 고려하여 20 % 정도의 여유물량을 추가하도록 한다.

연약지반 위에 댐이나 높이가 큰 필댐에서는 기본적으로 다음과 같은 계기를 설치해야 한다.

### 4.4.6.1 간극수압계

- (1) 주로 차수부에 설치하여 축조공사중 간극수압을 측정하여 축조속도를 관리하고 담수 후에는 간극수압의 소산상황 측정, 침윤선의 추적 및 지진시 제체내의 간극수압 거동을 측정할 목적으로 적절한 위치에 설치한다. 일반적으로 제체단면 중 큰 단면을 갖는 댐중앙 단면을 포함한 2~3개 단면에 표고 15~20 m마다 댐축에 직각방향의 평면상에 하류측 필터 및 상류측에 설치한다.

### 4.4.6.2 토압계

- (1) 필댐 각 존간에 수평으로 일정표고에 설치하여 중량에 의한 토압과 수압에 의한 응력변화를 측정, 유효응력을 파악한다. 일반적으로 간극수압계와 같은 곳에 매설하되 45°-3성분의 유효토압을 측정해서 내부응력의 크기와 방향을 측정하여 응력-변형을 해석하고 성토단면의 전단변형에 의한 댐의 안정성을 확인한다. 이때 같은 평면상에 3~4개 토압계를 설치해야 한다.

### 4.4.6.3 층별침하계

- (1) 차수부에 수직으로 일정간격(특이 5 m 간격이 일반적임)마다 설치하여 층별 침하량을 측정한다.

### 4.4.6.4 수평변위계

- (1) 댐의 변형과 수위변화에 따른 수평방향의 변형을 측정하기 위하여 각 존간의 수평면성에 일정간격으로 여러 개의 변위계를 설치한다.

### 4.4.6.5 누수측정장치

- (1) 필댐하류에 누수집수벽을 설치하고 일정구간별 누수량 집수정 및 측정장치를 설치하여 구간별 누수량을 측정한다.

### 4.4.6.6 지진계

- (1) 지진 발생시 댐체의 진진응답을 해명하기 위하여 침투부의 기초암반면, 중간표고부 및

댐 정상부 혹은 댐 경사면에서 설치한다.

#### 4.4.6.7 압반변위 측정계

- (1) 기초압반 부위에 설치하여 압반의 변형특성 및 하중의 내력(내하성, 耐荷性)을 측정한다.

#### 4.4.6.8 전단변위 측정계

- (1) 재료가 상이한 성토면의 상대변위의 측정이나 급한 비탈경사를 갖는 양안부에 설치하여 기 초지반과 성토부의 전단변위를 측정한다.

### 4.5 기계, 전기설비

#### 4.5.1 적용범위

- (1) 이 기준은 댐에 설치되는 모든 게이트(Gate), 밸브(Valve) 및 스크린(Screen)에 적용한다.

##### 4.5.1.1 일반

- (1) 이 기준은 댐에 설치되는 설비기기로 취수용, 홍수조절용 및 방류에 사용되는 모든 게이트(Gate), 밸브(Valve) 및 스크린(Screen)에 적용한다.

이들 설비에 있어서는 관련 법규나 기준이 많으므로 이를 고려하여 설계할 필요가 있다. 관련법규 및 기준으로는 다음과 같은 것이 있다.

관련법령에는 ① 농어촌정비법 ② 하천법 ③ 건설기술관리법 ④ 산업안전보건법 ⑤ 환경정책기본법 ⑥ 수질환경보전법 ⑦ 하수도법 ⑧ 전기사업법 ⑨ 전기공사업법 ⑩ 전력기술관리법 ⑪ 전기통신사업법 ⑫ 전파법 ⑬ 소방법 ⑭ 국가기술자격법 ⑮ 건축법 ⑯ 근로기준법 ⑰ 소음·진동규제법 등이 있다.

관련규정에는 ① 농업기반시설관리규정(농림부 훈령 제1030호 2000. 6. 7) ② 농업용수 수질관리지침 ③ 전기안전관리업무처리지침 ④ 전기공사업 면허 관리지침 ⑤ 한국전력공사전기공급 약관 ⑥ 내선규정 ⑦ 전기설비기술기준 ⑧ 한국공업규격 ⑨ 수문 철관 기술기준 (농업기반공사) 등이 있다.

##### 4.5.1.2 설비의 종류

- (1) 댐에 설치되는 설비는 게이트 등의 기계설비와 수배전설비 등의 전기설비, 원방감시 제어 설비 등의 통신·제어설비, 기상이나 수문관측을 위한 관측설비를 말한다. 각 설비의 종류를 설치 목적별로 분류하면 <표 4.5.-1> 설비의 종류와 분류 와 같다.

〈표 4.5.-1〉 설비의 종류와 분류

설치목적	설비종류		분류
취수	취수설비	취수게이트(밸브)	기계설비
		선택취수게이트	
	제진설비	스크린	
홍수조절	물넘이설비	물넘이 게이트	
방류	방류설비	방류게이트(밸브)	
전원(전력·조작·조명용 등)	수·배전설비, 예비발전설비		전기·통신 제어설비
운전·조작	통신·제어설비	원방감시제어설비 등	
기상·수문관측	관측설비	기상관측장치	
		수위계, 유량계	

#### 4.5.1.3 정의

(1) 이 기준에서 게이트(Gate)라 함은 강재를 주요구성재료로 하는 비체(扉體 - Gate Leaf), 호구(戶溝-Guide Frame), 고정부(固定部), 개폐장치(Hoist)를 말하며 기타의 게이트(Stainless강제, Aluminum제, 강화Plastic제)는 이 기준의 적용에서 제외한다. 다만, 강제 각낙판(Stop Log)은 이 기준이 적용된다. 일반적으로 필댐에 사용되고 있는 게이트의 형식과 명칭은 다음과 같다.

##### ① 롤러 형식

가. 롤러게이트 (Roller Gate) (fixed Wheel Gate)

나. 캐터필러게이트 (Caterpillar Gate) (Roller mounted Gate)

다. 다단식(多段式)롤러게이트

(가) 힌지(Hinge) 형식

㉔ 레이디얼게이트 (Radial Gate)기복게이트(起伏Gate, Flap Gate)

(나) 슬라이드(Slide) 형식

㉔ 슬라이드게이트 (Slide Gate)·각낙판 (Stop Logs)

(2) 이들 게이트는 일반적으로 문비(門扉), 지승부(支承部), 호구(戶溝), 고정부(固定部), 개폐장치(開閉 裝置)로 구성된다.

① 문비라 함은 수압을 직접 받는 부분과 문비에 걸리는 하중을 고정부에 전하는 부분으로 구성된다.

② 호구라 함은 콘크리트 속에 묻혀서 문비에 걸리는 수압하중을 받거나 문비의 지승부와 접촉하여 지수하는 부분을 말한다.

③ 고정부라 함은 문비의 지승부로부터 콘크리트에 하중을 전하는 부분을 말하지만 힌지형식 이외에서는 일반적으로 호구라고 칭하고 있다.

④ 개폐장치라 함은 문비를 개폐하기 위한 장치를 말한다.

(3) 이 기준의 적용을 받는 고압밸브라 함은 수두 25 m 이상으로 통수량 5 m<sup>3</sup>/s 이상의 밸브를 말하며 일반적으로 구경은 600 mm 이상이다.

(4) 일반적으로 고압밸브에는 슬리브밸브(Sleeve valve), 콘-밸브(Cone valve), 게이트밸브

(Gate valve), 스루스밸브 (Sluice valve), 접형밸브(Butterfly valve) 등이 있다.

- (5) 이 기준에서 소형, 중형, 대형 게이트의 크기라 함은 3방지수형 게이트에 있어 소형게이트 10 m<sup>2</sup> 이하, 중형 게이트 50 m<sup>2</sup> 이하, 대형 게이트 50 m<sup>2</sup>을 초과하는 것을 표준으로 한다.

#### 4.5.2 기계설비

- (1) 게이트 및 밸브의 종류, 형상, 크기, 문수(門數)는 설치장소, 사용목적 및 사용조건 등에 따라 결정한다. 게이트 및 밸브는 예상되는 하중에 대한 안전, 충분한 수밀성 유지, 개폐의 용이성과 정확성, 내구성, 진동에 대한 안전, 보수의 편리성 등이 고려되어야 한다.

##### 4.5.2.1 게이트 및 밸브의 설계

- (1) 게이트는 설치장소, 사용목적 및 조건에 따라 아래 <표 4.5.-2>와 같이 분류된다.



## 농업용 필댐 설계

〈표 4.5.-2〉 게이트의 선정

게이트 명칭	설치장소	설치목적	게이트의 형식(표준)
Crest gate	댐 월류부	· 댐 안전을 확보하기 위한 홍수방류	· 롤러 게이트·레이디얼 게이트 · 드럼 게이트·기복(起伏) 게이트 · 기복(起伏)게이트가 있는 2단롤러게이트 · Hook식 2단 롤러 게이트
대용량 방류 게이트	방류관 중간부 또는 하류말단	· 유량조절	· 고압 레이디얼 게이트 · 고압 롤러 게이트 · 고압 슬라이드 게이트
소용량 방류 게이트·밸브	· 게이트형식에 따라 방류관 중간 부 또는 하류말단 · 밸브형식에 따라 방류관 하류 말단	· 저수(低水)방류 · 홍수조절 · 수위유지관리	· 고압 슬라이드 게이트 · 제트 플로우 게이트 · 할로우 제트 밸브 · 콘 밸브 · 콘스리브 밸브
취수구·침사지· 수조 게이트	취수구· 침사지·수조	침사지·도수로·수조·방류관 의 점검 · 수리시의 폐쇄	저수심의 경우 · 롤러 게이트·슬라이드 게이트 고수심의 경우 · 고압롤러게이트·캐터필러게이트
방류철관용 밸브	방류철관 시단부 또는 말단	방류철관의 점검·수리시의 폐쇄	· 접형 밸브 ·슬루스 밸브 · 로터리 밸브
방수구 게이트	방수구	· 수차 및 Draft tube의 점검, 수리용 · 홍수시의 역류방지	· 롤러 게이트 · 슬라이드 게이트
배사(排砂) 게이트		· 댐·침사지·도수로·수로 등에서 토사와 물을 함께 배출한다	· 슬라이드 게이트 ·롤러 게이트 · 레이디얼 게이트
표면 취수 게이트 및 선택 취수 게이트	· 저수지내 · 제체(堤體)	· 저수지표층온수취수 · 저수지 임의층의 선택 취수(탁수처리 등)	· 슬라이드 게이트 ·롤러 게이트 · 직선다단식 게이트 · 반원형다단식 게이트 · 원형다단식 게이트 · 다공식 및 복식 게이트 · 다관식 게이트
예비 게이트	방류관 입구	· 점검·수리시 폐쇄 · 긴급시 유수차단	· 고압롤러 게이트 ·롤러 게이트
부(副)게이트 · 밸브	관로 도중	소용량방류관게이트, 밸브의 점검·수리시 폐쇄 및 유수 차단	· 슬라이드 게이트 · 고압슬라이드 게이트 · 링폴로 게이트 ·슬루스 밸브
수리용 게이트	수로의 입구, 도중, 출구	점검·수리시 폐쇄	· 롤러 게이트·슬라이드 게이트 · 각락판(Stop Logs) ·플로팅게이트

### 4.5.2.2 설계일반

#### (1) 설계조건

① 설계할 경우에 고려하여야 할 기본적인 조건은 다음과 같다.

가. 게이트는 예상되는 개폐하중에 대하여 확실하게 개폐조작이 가능해야 한다. 개폐하중에는 중량, 각종마찰력, 상향력, 하향력 등이 작용하므로 이들을 고려하여 충분한 능력을 갖는 개폐장치를 설치하여 비체의 개폐를 용이하고도 확실하게



해야한다.

나. 게이트는 본항에서 언급하는 “고려하는 하중”, “하중의 조합”, “개폐하중과 조합” 항에 따라 안전한 구조로 한다.

다. 게이트는 사용환경, 사용조건에 따라 적절한 수밀성을 가져야 한다. 문비의 수밀을 유지하기 위해서는 여러 형상의 탄성재료를 사용하고 있으나 일반적으로 저수압에서는 연질고무, 고수압에서는 경질고무를 사용한다. 특히 고수압에서는 고무를 접촉면에 압력으로 눌러 붙게 하는 방법이 취하여 지고 있다. 또한 수밀재로 금속을 사용하는 경우도 있다.

라. 게이트는 장시간 사용하는 것이므로 설치장소의 환경, 사용조건, 수질, 조작빈도 등에 따라 부식, 마모를 고려하여 적절한 내구성을 가져야 한다.

마. 고수압에서 개폐할 문비를 설계할 경우에는 비체의 형상, 호구의 형상, 비체배면에 대한 공기보급 등이 진동의 원인이 되므로 주의하여야 한다.

바. 게이트의 성질상 특히 운전, 보수가 용이하게 될 수 있도록 고려한다.

#### 4.5.2.3 고려하는 하중

- (1) 비체 설계에는 비체중량, 물의 중량, 정수압하중, 부력, 상하방향수리력, 개폐력, 지진시동수압하중, 지진시관성력, 이압하중, 풍하중, 설하중, 빙압에 의한 하중, 온도하중, 유수에 의한 수압 변화 및 이로 인한 진동에 따른 하중 증가를 고려한다.

#### 4.5.2.4 정수압하중

- (1) 저류수에 따른 정수압은 비체와의 접촉면에 대해 수직으로 작용하는 것으로서 다음 식으로 계산한다.

$$P = W_o \cdot h_o$$

여기서  $P$  : 접촉면상의 임의의 정수압 ( $\text{kN/m}^2$ )  $\{\text{tf/m}^2\}$ ,  $W_o$  : 물의 단위체적중량 ( $\text{kN/m}^3$ )  $\{\text{tf/m}^3\}$ ,

$h_o$  : 비체의 직상류의 수위에 파랑고를 가한 것에서 접촉면상의 임의점까지의 수심 (m)

##### ① 상기의 $h_o$ 를 계산하는 경우의 파랑고는

가. 비체의 직상류의 수위가 상시 만수위가 될 경우

바람에 의한 파랑고 + 지진에 의한 파랑고

나. 비체의 직상류의 수위가 서차지(Surcharge)가 되는 경우

바람에 의한 파랑고 + 지진에 의한 파랑고의 1/2

다. 비체의 직상류의 수위가 설계홍수위가 되는 경우

바람에 의한 파랑고

라. 바람에 의한 파랑고

##### ② 댐의 상류면이 연직에 가까운 콘크리트댐과 같은 경우에는 S.M.B법 (Sverdrup Munk Bretchneider)으로 Wilson의 개량식이 일반적으로 사용된다.

## 농업용 필댐 설계

$$h_w = 0.00077 V \cdot F^{0.5}$$

여기서  $h_w$  : 모든 파고(유의파) (m),  $F$  : 대안거리 (m)

$V$  : 수면위 10m에서 10분간 평균풍속(m/s)(보통 20~30m/s)

댐 상류면이 경사하고 있는 필댐과 같은 경우에는 S.M.B법에 의한 Wilson의 개량식과 Saville법을 조합시킨 것이 있다.

### ③ 지진에 의한 파랑고

$$h_e = \frac{k \cdot \tau}{2\pi} \sqrt{g \cdot H}$$

여기서  $h_e$  : 반파고 (m),  $k$  : 설계진도,  $\tau$  : 지진주기 (s) (일반적으로 1 sec)

$g$  : 중력 가속도 9.80665(m/s<sup>2</sup>),  $H$  : 상시만수위에서 기초지반까지의 수심 (m)

### (2) 설계진도

- ① 게이트의 설계진도는 댐의 종류 및 지역의 구분에 따라 <표 4.5.-3> 설계진도 에 표시된 값 이상으로 한다.

<표 4.5.-3> 설계진도

지역 구분		강진대 지역	중진대 지역	약진대 지역
댐 종류	중력식 콘크리트 댐	0.12	0.12	0.10
	아치식 콘크리트 댐	0.24	0.24	0.20
필 댐	댐 제체가 균일한 재료에 의한 것	0.15	0.15	0.12
	기타의 것	0.15	0.12	0.10

### 4.5.2.5 지진시 동수압 하중

- (1) 게이트에 작용하는 동수압의 계산식은 Westergaard의 식에 따른다.

$$P_d = \frac{7}{8} W_o K \sqrt{H \cdot h}$$

- (2) 여기서  $P_d$  : 수심 h에서의 동수압 (kN/m<sup>2</sup>) {tf/m<sup>2</sup>},  $W_o$  : 물의 단위중량 (kN/m<sup>3</sup>) {tf/m<sup>3</sup>}, h : 동수압이 작용하는 점,  $K$  : 설계진도  $H$  : 저수지 수면에서 기초지반까지의 수심(m) (바람 및 지진 에 의한 파고는 포함하지 않음),  $h$  : 저수지 수면에서 임의의 점까지의 수심 (m)
- (3) 지진시 제체에 작용하는 외력은 지진시 관성력 이외에 지수동수압이 있다.
- (4) 동수압을 구할 경우 Westergaard식 및 Zanger의 실험식이 많이 쓰여지고 있으나 여기에서는 Westergaard의 간이식을 표시하였다.

### 4.5.2.6 지진시 관성력

- (1) 비체에 작용하는 지진시관성력은 비체의 중량에 설계진도를 승한 값으로 하여 수평방

향에 작용한다.

$$I = K \cdot W$$

여기서  $I$  : 지진시 비체의 관성력 (kN) {tf},  $K$  : 설계진도

$W$  : 비체의 중량 (kN) {tf}

(2) 또한 셸구조나 원통형 등의 폐단면내에 물이 있을 경우에는 물 중량도 가산한다.

#### 4.5.2.7 이압하중(泥壓荷重)

(1) 이압은 연직력에 있어서는 퇴적물의 수중에서의 중량을 취하는 것으로 하고 수평력에 있어서는 다음 계산식으로 구한다.

$$P_e = C_e \cdot W_1 \cdot d$$

여기서  $P_e$  : 접촉면상의 임의점에서의 수평방향의 이압(kN/m<sup>2</sup>) {tf/m<sup>2</sup>}

$C_e$  : 이압계수 (0.4~0.6)

$W_1$  : 퇴적물의 수중에서의 단위중량 (kN/m<sup>3</sup>) {tf/m<sup>3</sup>}

$d$  : 퇴적물면에서 접촉면상의 임의점까지의 깊이 (m)

(2) 퇴적물은 이토의 입자가 수중에 부유하고 있는 것이 아니고 퇴적물의 공극에 물이 충만되어서 일체로 되어있는 상태에 있으므로 퇴적물의 수중에서의 단위체적중량은 다음 식으로 구한다.

$$W_1 = W - (1 - v) W_o$$

여기서  $W$  : 퇴적물의 개산단위체적중량 (14.7~17.7 kN/m<sup>3</sup>), (1.5~1.8tf/m<sup>3</sup>)

$v$  : 퇴적물 공극율(0.30~0.45),  $W_o$  : 물 단위체적중량(9.807kN/m<sup>3</sup>) {1.0tf/m<sup>3</sup>}

#### 4.5.2.8 풍하중

(1) 풍하중은 수직투영면적에 작용 것으로 하여 다음의 값으로 한다.

$$P_w = P \cdot C \cdot A$$

여기서  $P_w$  : 풍하중 (kN) {tf},  $A$  : 수직투영면적 (m<sup>2</sup>)

$P$  : 단위투영면적당 작용하는 풍하중 (2.94kN/m<sup>2</sup>) {0.3tf/m<sup>2</sup>}

$C$  : 형상계수 (평면형상 : 1.2, Truss형상 풍상측 : 1.6, Truss형상 풍하측 : 1.2, 원통 형상(1개 있는 것) : 0.7)

#### 4.5.2.9 설하중

(1) 설하중은 눈의 단위체적중량에 따라 크게 다르다.

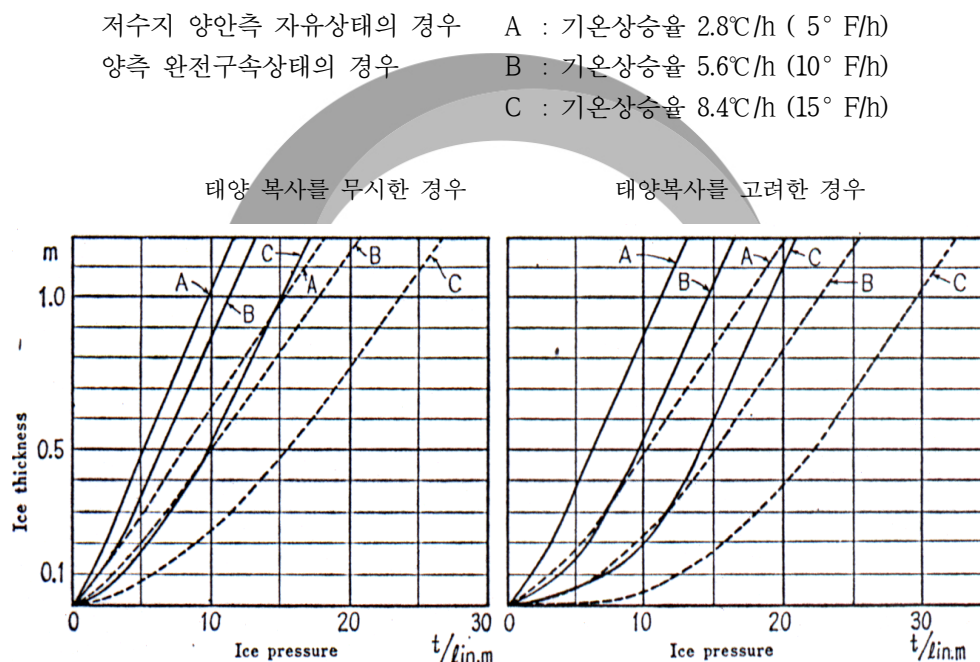
(2) 갓내린 눈 : 1.47 kN/m<sup>3</sup>{0.15 tf/m<sup>3</sup>}, 내린지 좀 지난 눈 : 2.94 kN/m<sup>3</sup>{0.30 tf/m<sup>3</sup>} 압축된 눈 또는 다량의 물을 함유한 눈 : 4.90~6.86 kN/m<sup>3</sup> {0.50~0.70 tf/m<sup>3</sup>}

#### 4.5.2.10(氷壓)에 의한 하중

- (1) 빙압에 대해서는 현지에서의 기온의 상승률, 얼음두께, 저수지의 양안의 상황, 결빙면  
에 대한 직사일광의 정도 등 여러 조건에 따라 고려한다.  
이것에 관한 일례를 <그림 4.5-1> 빙후(氷厚), 빙압(氷壓)과의 관계에 표시한다.

#### 4.5.2.11 온도하중

- (1) 온도변화에 의한 영향이라 함은 문비를 설치할 상태를 기준하여 온도변화에 의한 비체의 신축을 말하며 비체가 구속되면 롤러지승부, 호구, 콘크리트 등에 악영향을 미칠 우려가 있으므로 호구강과 보조롤러 등은 간격을 두어 온도변화에 대하여 고려할 필요가 있다.



〈그림 4.5-1〉 빙후(氷厚), 빙압(氷壓)과의 관계

(주) 저수지양안 무구속 : 양안경사가 완만하고 어름의 끝이 떠올라갈 수 있는 상태  
저수지양안 완전구속 : 양안이 급경사로 결빙이 부동의 경우

#### 4.5.2.12 유수에 의한 수압의 변화

- (1) 유수에 의한 수압의 변화라 함은 유수 중 비체를 조작할 경우 비체사방의 물의 압력분포가 비체형상 및 호구형상에 따라 변화하여 비체에 걸리는 수평 및 연직방향하중이 정수중의 경우와 다르므로 비체강도 및 조작하중에 대해 이 영향을 고려할 필요가 있다. 진동에 의한 하중증가는 종래의 실적에 의하여 최고로 설계정하중의 10 % 정도로 한다.

#### 4.5.2.13 하중의 조합

(1) 전항의 하중은 다음 각항의 조합에 대하여 고려하여야 하며 게이트의 용도, 종류, 설치 장소에 따라 결정한다.

① 문비의 경우

가. 상 시 : 비체중량, 물의 중량, 정수압하중, 부력, 상하방향 수리력, 개폐력, 풍하중, 설하중, 온도하중, 이압, 파압, 수격압, 빙압에 의한 하중

나. 지진시 : 비체중량, 물의 중량, 정수압하중, 부력, 상하방향 수리력, 설하중, 이압, 파압, 빙압, 지진시 동수압에 의한 하중, 지진시 관성력

② 방류관의 경우

가. 매설관

㉠ 관내만수시 : 내압, 수격압, 온도변화에 의한 하중

㉡ 관내빈 경우 : 침투수압, 콘크리트타설압, 그라우트주입압에 의한 하중

나. 노출관 : 내압에 의한 하중, 관의 중량, 물의 중량, 설하중, 수격압, 토압, 온도변화에 의한 하중

다. 내장관 : 침투수압, 콘크리트타설압, 그라우트주입압에 의한 하중

(2) 일반적으로 각 하중은 다음에 표시하는 경우에 대하여 고려한다.

① 비체중량 : 경간에 대해 비체의 높이가 약 1/10 이하의 비체

② 물의 중량 : 기복(起伏)게이트를 갖인 2단 롤러게이트에서 비체권상시 비체내외에 물을 갖인 상태에서 권상하는 경우

③ 개폐력 : 래이다 열게이트의 경우는 와이어로프의 장력, 지승부의 마찰력 등, 기타 문비에의 개폐력의 전달부에 대하여 검토한다.

④ 풍하중 : 수면위에 권상된 비체의 경우

⑤ 설하중 : 대설지역에서의 문비의 수평주빔 및 각주 등에서 적설하중을 고려할 필요가 있을 경우

⑥ 온도하중 : 온도변화에 의한 영향을 받는 특히 장경간게이트 등의 경우에 고려한다.

⑦ 이압 : 퇴적물이 있는 장소에 설치하는 문비

⑧ 파압 : 파의 충돌에 의한 압력을 특별히 고려할 필요가 있을 경우

⑨ 수격압 : 수로내의 수격작용에 의한 압력을 받는 경우

⑩ 빙압 : 극한지에서 결빙방지장치가 없는 경우

⑪ 유수에 의한 수압변화 및 이것에 기인하는 진동에 의한 하중증가

: 고수심에서 조작하는 게이트, 비교적 수심이 있는 대형게이트의 저부부근, 장경간 게이트, 배면에 물이 있는 상태에서 방류하는 게이트, 다만 진동억제를 고려한 고압게이트는 이에 한하지 않는다.

#### 4.5.2.14 개폐하중과 조합

(1) 게이트 개폐하중

① 다음 항목을 안전한 방향으로 조합시켜 계산한다.

- 가. 비체의 중량(ballast 중량 포함)
- 나. 지승부 마찰력
- 다. 수밀고무마찰력
- 라. 이압에 의한 마찰력
- 마. 부력
- 바. 월류에 의한 상향력·하향력
- 사. 하단방류시의 상향력·하향력
- 아. 기타 하중

(2) 개폐하중의 계산법

① 개폐하중의 조합은 다음과 같이 표시한다.

- 가. 지승부 롤러 회전마찰력

(가) Roller Gate

$$F_w = \frac{\mu_1 + (\mu_2 \text{ 또는 } \mu_3) \cdot r}{R} \cdot P$$

여기서  $F_w$  : Roller 회전마찰력 (kN) {tf},  $\mu_1$  : Roller의 회전마찰계수 (1.0mm) {0.1cm},  
 $\mu_2$  : 미끄럼베어링의 미끄럼마찰계수,  $\mu_3$  : 굴림베어링의 회전마찰계수  
 $r$  : Roller축의 반경 또는 베어링 평균반경 (mm) {cm},  
 $R$  : Roller의 반경 (mm){cm},  $P$  : 조작시의 전수압하중 (kN) {tf}

(나) Caterpillar Gate

$$F_u = \frac{\mu_4}{R} \cdot P$$

여기서  $F_u$  : Roller회전마찰력 (kN){tf},  $\mu_4$  : Roller회전마찰계수(1.0mm) {0.1cm}  
 $R$  : Roller의 반경 (mm) {cm},  $P$  : 조작시의 전수압하중 (kN) {tf}

(다) 금속간의 미끄럼마찰력

$$F_s = \mu_s \cdot P$$

여기서  $F_s$  : 금속과 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf}  
 $\mu_s$  : 금속간의 미끄럼마찰계수,  $P$  : 조작시의 전수압하중 (kN) {tf}

(라) 수밀고무의 미끄럼마찰력

$$F_r = \mu_r \cdot (q + P \cdot b) \cdot \sum l$$

여기서  $F_r$  : 수밀고무와 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf},  
 $\mu_r$  : 수밀고무와 금속간의 미끄럼마찰계수,  $q$  : 수밀고무의 초기 압착력 (kN/m)  
 {tf/m},  
 $P$  : 수밀고무에 작용하는 평균수압 (kN/m<sup>2</sup>) {tf/m<sup>2</sup>},  $b$  : 수밀고무의 유효수압폭 (m)  
 {m}  
 $\sum l$  : 고무의 접동총길이 (m) {m}

(마) 퇴적물과 금속간의 미끄럼마찰력

$$F_e = \mu_e \cdot P_e$$

여기서  $F_e$  : 퇴적물과 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf},

$\mu_e$  : 퇴적물과 금속간의 미끄럼마찰계수,

$P_e$  : 개폐시의 전퇴적물의 압력에 의한 하중 (kN) {tf}

(바) 부력

$$F_b = W_0 \cdot V$$

여기서  $F_b$  : 부력 (kN) {tf},  $W_0$  : 물의 단위체적중량 (9.807kN/m<sup>3</sup>) {1.0tf/m<sup>3</sup>}

$V$  : 비체가 배제하는 물의 체적 (m<sup>3</sup>) {m<sup>3</sup>}

(사) 월류수에 의한 상향력·하향력

$$F_u = k_1 \cdot W_0 \cdot H \cdot D \cdot B$$

여기서  $F_u$  : 월류수에 의한 상향력·하향력 (kN) {tf},

$k_1$  : 월류부의 형상에 따라 추정하는 계수로서 과거의 실적이나 모형실험에 따라 정함,

$W_0$  : 물의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>) {tf/m<sup>3</sup>},  $H$  : 월류수심 (m) {m},

$D$  : 월류관의 상하류방향의 폭 (m) {m}  $B$  : 좌우월류관간의 거리 (m) {m}

(아) 하단방류시의 상향력·하향력

$$F_d = k_2 \cdot W_0 \cdot H_d \cdot A$$

여기서  $F_d$  : 하단방류시의 상향력·하향력 (kN) {tf},

$k_2$  : 일반적으로 0.15~0.5 정도의 범위에서 취한다. 비체하부의 형상과 토목형상에 따른 계수로서 과거의 실적이나 모형실험 등으로 정함,

$W_0$  : 물의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>) {tf/m<sup>3</sup>},  $H_d$  : 설계대상 수심 (m) {m},

$A$  : 게이트리프의 상류측의 저면판의 투영면적 (m<sup>2</sup>) {m<sup>2</sup>}

(자) 기타의 하중

㉓ 비체중량에는 와이어로프, 스프링, Rack봉 등의 비체와 개폐장치 를 연결 하는 등등의 중량이 포함된다. 또한 자중하강시에 대하여도 비체중량 을 고려한다.

㉔ 셀구조게이트의 경우에는 장기간 수중에 있게되면 게이트 내부에 토사가 퇴적될 가능성이 있다. 설치환경에 따라 퇴적에 따른 토사의 하중을 고려 한다.

㉕ 필요에 따라 비체내부의 물의 중량, 파에 따른 하중, 비체상의 설하 중 등 도 고려한다.

② 대표적인 게이트형식에 따른 개폐하중의 조합의 예를 표시한다.

가. Roller Gate, Slide Gate

(가) Roller Gate :  $W = G + F_w + F_r + F_e + F_b + F_u + F_d$

(나) Slide Gate :  $W = G + F_s + F_r + F_e + F_b + F_u + F_d$

여기서  $W$ : 개폐하중 (kN) {tf},  $G$ : 비체의 자중 (kN) {tf}

$F_w$ : Roller회전마찰력 (kN) {tf},  $F_s$ : 금속과 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf}

$F_r$ : 수밀고무와 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf}

$F_e$ : 퇴적물과 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf},  $F_b$ : 부력 (kN) {tf}

$F_u$ : 월류수에 의한 상·하향력 (kN){tf},  $F_d$ : 하단방류시 상·하향력(kN){tf}

(다) Radial Gate

$$W = \frac{G \cdot r + P_1 \cdot \mu_1 \cdot r_1 + P_2 \cdot \mu_2 \cdot r_2 + P_3 \cdot \mu_3 \cdot r_3}{R}$$

여기서  $W$ : 개폐하중 (kN){tf},  $G$ : 비체자중 (kN) {tf}

$r$ : Trunnion pin 중심(中心)부터 중심(重心)까지의 거리 (m) {m}

$P_1$ : 조작시의 수압 + 개폐력의 합력 (kN) {tf}

$\mu_1$ : Trunnion pin 베어링의 마찰계수,  $r_1$ : Trunnion pin의 반경 (m) {m}

$P_2$ : 수밀고무에 작용하는 전수압 + 초기압착력 (kN) {tf}

$\mu_2$ : 수밀고무의 미끄럼마찰계수

$r_2$ : Trunnion Pin 중심(中心)부터 수밀고무 접촉면 중심까지의 거리 (m) {m}

$P_3$ : Trunnion부분의 Thrust력 (kN) {tf}

$\mu_3$ : Trunnion Boss와 Thrust를 받는 미끄럼마찰계수

$r_3$ : Trunnion Boss와 Thrust를 받는 미끄럼면의 평균반경 (m) {m}

$R$ : 회전중심(Trunnion중심)부터 와이어로프 또는 Cylinder Rod 중심까지의 거리 (m) {m}

(라) 기복(起伏)게이트

$$W = \frac{G \cdot r + P_1 \cdot r_1 + P_2 \cdot \mu_1 \cdot r_2 + R_b \cdot \mu_2 \cdot r_3}{R}$$

여기서  $W$ : 개폐하중 (kN) {tf},  $G$ : 비체자중 (kN) {tf}

$R$ : 회전중심부터 개폐력 작용선까지의 거리 (m) {m}

$r$ : 회전중심부터 중심(重心)까지의 거리 (m) {m}

$P_1$ : 조작시의 수압하중 (kN) {tf},

$r_1$ : 회전중심부터 수압중심까지의 거리 (m) {m}

$P_2$ : 수밀고무에 작용하는 전수압 + 초기압착력 (kN) {tf}

$\mu_1$ : 수밀고무의 미끄럼마찰계수

$r_2$ : 회전중심부터 수밀고무 접촉면 중심까지의 거리 (m) {m}

$R_b$ : 하부지승축의 반력 (kN) {tf}

$\mu_2$ : 지승베어링의 미끄럼마찰계수,  $r_3$ : 지승축의 반경 (m) {m}

#### 4.5.2.15 개폐속도

- (1) 비체의 개폐속도는 사용목적에 적합한 것이어야 한다. 방류에 의한 상하류에 대한 영향, 기타를 고려해서 보통 0.3~0.5 m/min 정도로 한다. 다만, 자동제어 또는 기타의 목



적으로 개폐속도를 저속으로 했을 경우 0.1 m/min 정도, 갑문 등에 있어 고속으로 했을 경우는 1.0~5.0 m/min 정도로 한다. 기복(起伏)게이트에서 유량을 조절할 경우 열고 닫는 시간은 일반적으로 10~20분 정도로 한다. 고압밸브류는 0.05~0.1 m/min 정도로 한다. 또한 정전 등 비상시에 예비동력을 사용하는 경우에는 속도를 0.05~0.1 m/min 정도로 하는 것도 많다.

#### 4.5.2.16 양정

- (1) 비체의 양정은 전개시에 유수에 대하여 안전하여야 하며 보수관리를 고려하여 결정한다. 댐의 홍수용 문비에 대해서는 권상후 비체의 하단과 유수면과의 간격은 배수시 예상되는 유하물의 형상, 크기 등에 따라 결정해야 하지만 권상후의 비체의 하단은 댐 설계홍수량을 방류할 경우에는 월류수면보다 1.5 m 이상의 간격이 필요하다. 다만 월류수심이 2.5 m 이하에서는 1.0 m 이상이면 좋다. 기복(起伏)게이트의 경우에는 전개시(倒伏時)비체의 높이가 하천의 계획하상고 이상으로 되어서는 안된다.

#### 4.5.2.17 게이트의 사용재료

- (1) 게이트 제작자는 사용 전에 재료시험을 하여 KS에 합격되는가를 확인한다. 다만, 재료가 제철회사가 시행한 재료시험성적표로서 명백히 되어 있는 것은 게이트 제작자의 시험으로 대체할 수 있다.
- (2) 화학성분 및 기계적 성질 등을 충분히 검토했을 경우에는 기재한 종류 이외의 재료에 대해서도 사용할 수 있다.
- (3) 고압밸브 및 스크린에 사용하는 재료는 본 조항을 적용한다.
- (4) 철판두께에 따른 강 종류의 선정은 <표 4.5.-4> 판 두께에 따른 강 종류의 선정기준에 기초 하여 선정하는 것을 표준으로 한다.
- (5) 두께가 특히 두꺼운 경우 및 특수한 재료를 사용할 경우에는 가공성, 용접성, 기타 제작상 등의 문제가 생기므로 전항의 “강재의 검사기준”에 포함하는 일반적인 시험 이외의 문제점에 대해 시험하도록 했다. 각각의 강재에 대해 KS에 규정된 시험 이외에 시행되는 시험에는 다음과 같은 것이 있다.

특수한 것에 대해서는 내식성시험, 구조물시험 등이 있다.

- ① 모 재 : 가공성시험, 열영향시험, 취성시험, 자기탐상시험(대형주단강품)
- ② 용접부 : 경도시험, 균열성시험, 이음강도시험, 취성시험
- ③ 용접재료: 작업성시험

#### 4.5.2.18 마찰계수

- (1) 게이트 접동부 및 회전부와 개폐장치의 마찰계수는 <표 4.5.-4>와 같다.
- (2) 본 조항의 마찰계수는 게이트의 개폐하중 및 개폐장치의 용량 계산에 사용하는 표준치이다.
- (3) 마찰계수는 접촉면의 건습상태, 윤활상태, 온도, 운전시간, 표면 상태(精度, 오염 등)등

## 농업용 필댐 설계

에 따라 다르므로 사용상태에 따라 적절한 값을 써야한다.

- (4) 비체의 중량에 비하여 마찰저항력이 큰 경우에는 특히 접촉면의 윤활, 방청에 유의한다.

〈표 4.5.-4〉 판 두께에 따른 강 종류의 선정기준 (단위 mm)

판두께 강종	8	16	22	25	32	40	50	100
SS400								
SM400A								
SM400B								
SM400C								
SM490A								
SM490B								
SM490C								

- (주) ① 용접구조용 재료후판(厚板)은 길드(killed)강을 사용함이 바람직하다.  
 ② 기온이 현저하게 낮은 지방에서는 저온시의 인성(靱性)이 양호한 재료를 선정한다.  
 ③ 용접구조용내후성강재(SMA)는 용접구조용강재(SM)에 준한다.  
 ④ 동일한 문비에서 다종의 강종류를 사용하는 것을 피해야 한다.  
 ⑤ 문비는 교량에 비해서 충격하중이 작으므로 상기 두께를 초과했을 정도에도 용접성에 대하여 주의해서 시행관리를 하면 사용하여도 지장이 없다.

〈표 4.5.-5〉 문비 각부의 마찰계수

항 목	마찰계수
1. 지승부 롤러의 회전마찰	1.0 mm {0.1cm}
2. 지승부 베어링의	
(가) 미끄럼 베어링의 미끄럼마찰	0.2
(나) 굴림 베어링의 회전마찰	0.01 ~ 0.02
3. 수밀고무와 스테인리스강판과의 미끄럼마찰	
(가) 물에 젖어있는 상태	0.5 ~ 0.7
(나) 건조한 상태	0.9 ~ 1.2
(다) 수밀고무에 4불화에티렌 수지를 바른 경우	0.1
4. 수밀부, 또는 지승부금속간의 미끄럼마찰	0.3 ~ 0.6
5. 금속과 퇴적물의 미끄럼마찰	0.3 ~ 0.5

〈표 4.5.-6〉 개폐장치 각부의 마찰계수

항 목	마찰계수
1. 스프링이 Screw면	0.2
2. Worm gear의 Screw면 (기동시)	0.06 ~ 0.1
3. Worm gear의 Screw면 (운전시)	0.03 ~ 0.06
4. Brake의 마찰면	
(가) 주철과 주철, 또는 주강 (건조)	0.1 ~ 0.2
(나) 주철과 주철, 또는 주강 (윤활)	0.08 ~ 0.12
(다) 강판과 주철, 또는 주강 (건조)	0.15 ~ 0.20
(라) 강판과 주철, 또는 주강 (윤활)	0.10 ~ 0.20
(마) 청동과 주철, 또는 주강 (건조, 윤활)	0.10 ~ 0.20

#### 4.5.2.19 기계효율

- (1) 개폐장치 각부의 기계효율은 〈표 4.5.-7〉을 표준으로 한다. 다만, 이들의 효율이나 계수는 윤활의 정도, 주위온도, 운전시간 등에 따라 변하므로, 특수한 환경에 사용할 경우, 그에 합당하도록 수정하여 사용한다.
- (2) 감속기는 치차의 단수, 온도, 부하율 등에 따라 기계효율은 크게 달라지므로 종 전대로 개개의 기기의 신뢰가 있는 데이터를 근거로 하여 효율을 정할 필요가 있다.

〈표 4.5.-7〉 개폐장치 각부의 기계효율

항 목	마찰계수
1. Sheave (미끄럼베어링이 붙어 있는 것)	0.95
2. Sheave (구름베어링이 붙어 있는 것)	0.98
3. Drum (미끄럼베어링이 붙어 있는 것)	0.95
4. Drum (구름베어링이 붙어 있는 것)	0.98
5. 평치차, Bevel gear(개방형, 미끄럼베어링이 붙어 있는 것, 1단)	0.95
6. 평치차, Bevel gear(유곡형, 미끄럼베어링이 붙어 있는 것, 1단)	0.97
7. Rack Gear(Rack 와 Pinion)	0.90
8. Chain(Sprocket 1개당)	0.95

〈표 4.5.-8〉 각종 감속기의 기계효율

Helical 감속기		Worm 감속기		Cyclo 감속기		
단수	기계효율	단수	기계효율	단수	감속비	기계효율
3단형	0.82 ~ 0.96	1단형	0.37 ~ 0.59	1단형	1/59~1/11 1/121~1/87	0.80 ~ 0.85 0.65 ~ 0.75
4단형	0.80 ~ 0.94	2단형	0.35 ~ 0.57			
5단형	0.77 ~ 0.93	3단형	0.34 ~ 0.56			
조건 : 주위온도 0℃, 부하율 100%				조건 : 주위온도 20℃		

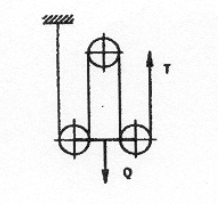
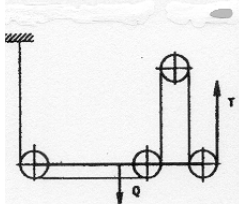
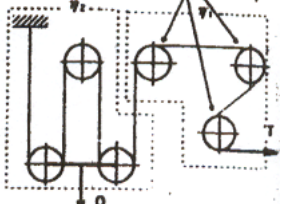
- (3) Cyclo 감속기의 기계효율은 Roller type, Pin type에 따라서 다르며 또 윤활유의 종류,

## 농업용 필댐 설계

주위온도, 운전기간에 따라 변화하므로 설계 시 충분히 검토할 필요가 있다. 각종 감속기의 기계효율은 <표> 각종 감속기의 기계효율로 구한다.

(4) Sheave의 전효율은 ①표준적인 형식 ②와이어로프로 끄는 경우 ③전향(轉向)Sheave로 조립한 경우에 따라 아래의 표로 구하는 것이 좋다.

<표 4.5.-9> Sheave 전효율

① 표준적인 형식	②와이어로프로 끄는 경우	③전향(轉向)Sheave로 조립한 경우
 $\eta_0 = \frac{1}{n+1} \cdot \frac{1-\eta^{n+1}}{1-\eta}$ <p>여기서, <math>\eta_0</math>: Sheave전효율  <math>\eta</math>: Sheave 1개 효율 = 0.95  <math>n</math>: Sheave 총수</p> <p>(상기 그림의 경우)  <math>n = 3</math></p>	 $\eta_0 = \frac{1}{n} \cdot \frac{1-\eta^m(1-\eta)-\eta^{n+1}}{1-\eta}$ <p>여기서, <math>\eta_0</math>: Sheave전효율  <math>\eta</math>: Sheave 1개 효율 = 0.95  <math>n</math>: Sheave 총수  <math>m</math>: Drum축 Sheave수</p> <p>(상기 그림의 경우)  <math>n = 4, m = 3</math>          (Sheave 가 역배치의 경우)  <math>n = 4, m = 1</math></p>	 $\eta_0 = \eta_1 \cdot \eta_2$ <p>여기서, <math>\eta_0</math>: Sheave 전효율  <math>\eta_1</math>: 전향Sheave의 효율 = <math>\eta^{m'}</math>  <math>\eta</math>: Sheave 1개 효율 = 0.95  <math>m'</math>: 전향 Sheave수  <math>\eta_2</math>: ①, ②식으로 구한 효율</p> <p>(상기 그림의 경우)  <math>m' = 3</math>  <math>\eta_2</math>는 ①식으로 계산한다.          여기서 Sheave의 수 <math>n = 3</math> 이다.</p>

### 4.5.2.20 허용응력

(1) 비체, 호구, 고정부, 스크린에 사용하는 구조용강재, 주철재, 단강품 및 기계구조용 탄소강의 허용 응력은 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 상시 물에 잠긴 상태에 있는 게이트의 경우
- ② 상시 물에 잠긴 상태에 있지 않는 게이트의 경우
- ③ 위에서 규정하고 있지 않은 재료를 사용할 때의 허용응력에 대하여는 위의 규정에 준하여 각 응력을 결정하는 것으로 한다.
- ④ 동일 축방향의 응력만이 아닌 경우는 합성응력을 다음 식으로 계산하여 허용치 이내에 있어야 한다.

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 3\tau^2}$$

여기서,  $\sigma_g$ : 합성응력(kgf/cm<sup>2</sup>),  $\sigma_1$ : 축응력×(인장을 정(正)으로 함) (kgf/cm<sup>2</sup>),

$\sigma_2$ :  $\sigma_1$ 에 직각방향의 축응력(인장을 정(正))(kgf/cm<sup>2</sup>),  $\tau$ : 전단응력 (kgf/cm<sup>2</sup>)

합성응력에 대한 허용치: 상시 1.5  $\sigma_a$ , 지진시 0.9  $\sigma_y$

여기서  $\sigma_a$  : 허용응력 (kgf/cm<sup>2</sup>),  $\sigma_y$  : 항복점응력 (kgf/cm<sup>2</sup>)

(2) 접합용강

(3) 마찰접합의 고력볼트

① 지진시 허용응력의 증가

가. 게이트에 가해지는 지진시 관성력 및 동수압은 최대진도를 받는 일은 드물고 지진계속시간은 극히 단시간이므로 이때의 허용응력을 상기 “가)항”의 값보다 50 % 증가할 수가 있다. 다만, 지진시 합성응력이 90 %를 넘지 않도록 할 필요가 있다.

② 허용면압

가. 접동부, 회전부의 허용면압은 <표> 허용 면압 을 표준으로 한다.

<표 4.5.-10> 허용 면압

재 료 명	허 용 면 압(단위 : N/mm <sup>2</sup> {kgf/cm <sup>2</sup> })				
	접 동 부		회 전 부		
	접동시	정지시	비체지승부	개폐장치베어링	정지시
청동주물 인청동주물 연청동주물	6 {60} 이하	18 {180} 이하	14 {140} 이하	6 {60} 이하	28 {280} 이하
오일리스베어링	-	-	23{230}이하	23{230}이하	45{450}이하

- (4) 본 항은 슬라이드게이트의 지승부, 롤러게이트, 래디얼게이트, 기복(起伏)게이트 등의 회전지승부 및 개폐장치의 베어링 등의 접동시·회전시와 정지시의 허용 면압의 표준치를 표시한 것이다.
- (5) 롤러와 핀(Pin), 래디얼게이트의 트러니온보스(Trunnion Boss, Hube)와 핀, 기복(起伏)게이트의 베어링과 핀 등은 모두 비체에 걸리는 수압하중을 지지하면서 회전하고 또 그 하중을 완전히 고정부에 전하는 것이므로 충분한 강도와 강성을 가지면서 근소한 회전각도에서도 확실히 회전하고 비체의 처짐으로 한쪽만 닿지 않는 구조로 한다.
- (6) 일반적으로 문비의 회전지승부는 대하중을 받을 경우가 있어 회전속도는 아주 느리고 제한된 범위내의 각도에서 회전하는 경우가 많아서 윤활제 주입이 곤란한 경우가 많다.
- (7) 비체의 회전지승부에 사용되는 베어링은 외부급유형의 플랜베어링(Plane bearing), 오일리스(Oiless)형의 플랜베어링, 롤러베어링 등이 사용되고 있다.
- (8) 외부급유형의 플랜베어링은 부시(Bush)에 BC, LBC, PBC등의 재료를 사용하고 이것에 적당한 유구를 파서 구리스건(Grease gun), 집중윤활방식 등으로 윤활한다.
- (9) 이 경우 하중에 따라 내후성이 좋은 유지를 사용하면 회전허용면압은 축의 투영면적에 대해 150~200 kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 값을 취할 수 있고 미끄럼마찰계수는 0.2 정도이다. 최근에는 고체윤활제를 부시(Bush)에 내장한 오일리스베어링(Oiless bearing)이 편리성

## 농업용 필댐 설계

이 인정되어 널리 지승부의 베어링에 쓰여지고 있다. 이 베어링은 본래 급유의 필요가 없으나 축의 재질 및 수질에 따라서는 발청도 생각하여야 하므로 축의 방청을 고려한 급유가 바람직하다. 따라서 급유하는 경우에는 고체윤활제에 적합한 성분의 구리스를 사용하는 것이 좋다.

- (10) 고체윤활제에는 2유화몰리브덴, 흑연, 불소수지 등이 사용되어 이것으로 축수성능이 변한다. 또 윤활제의 부시가 수중에서 전식작용(Galvanic Action)을 일으키지 않을 것도 수중베어링의 경우에는 필요하다.
- (11) 오일리스베어링을 사용할 경우, 베어링의 회전허용면압은 250 kgf/cm<sup>2</sup> 정도까지 취할 수 있고 미끄럼마찰계수는 0.1~0.2 정도이다.
- (12) 따라서 정지허용면압은 회전허용면압의 2배 이내로 함이 좋다.
- (13) 고압게이트에서 강하력이 부족한 롤러게이트나 레이디얼게이트의 트러니언편의 베어링에는 롤러베어링이 사용되는 수도 있다. 그 경우 자동조심효과가 있는 스페리컬롤러베어링의 사용이 바람직하다. 또 수분(水分)의 침입을 방지하기 위해 내부에 구리스를 충전해서 씰(Seal)장치를 부착할 필요가 있다.
- (14) 롤러베어링의 로울링마찰계수는 0.01~0.02 정도이고 하중계수는 기본정정격하중(基本靜定格荷重)에 대하여 1.2~1.5 정도로 한다.

### 4.5.2.1 개폐장치용 재료의 안전율

- (1) 개폐장치에 사용하는 재료의 안전율은 <표 4.5.-11> 사용재료의 안전율 과 같다.

<표 4.5.-11> 사용재료의 안전율

종 류	안 전 율		
	인 장	압 축	전 단
일반 및 용접 구조용 압연강재(SS, SM)	5	5	8.7
탄소강 단강품용 강편(SF)	5	5	8.7
기계 구조용 탄소 강재(SM-C)	5	5	8.7
스테인리스 강봉(STS)	5	5	8.7
탄소 주강품(SC)	5	5	8.7
회 주철품(GC)	10	3.5	17
구상흑연 주철품(GCD)	7	2.5	12
청동 주물(BC)	8	8	10
와이어로프	8 (개폐정하중에 대하여)		
판 Link Chain	6.5 (개폐정하중에 대하여)		

### 4.5.2.2 허용처짐도

- (1) 비체의 휨에 의한 처짐도는 구조물로서 필요한 강성·수밀성·동적 안정성 및 조작시의 안전성을 고려해서 <표> 허용처짐도에 표시하는 값 이하로 한다. 경간이라 함은 롤러 게이트의 경우는 지점간, 레이디얼게이트 및 기복(起伏)게이트의 경우는 순경간을 취하는 것으로 한다.

〈표 4.5.-12〉 허용처짐도

형 식	허용 처짐도
문비(고무 수밀)	1/800
저압 문비(금속 수밀)	1/1,000
고압 문비(금속 수밀)	1/2,000
셀구조 롤러 게이트	1/800(수평, 연직), 1/600(합성)
수리용 게이트	1/600
기계대	1/2,000
개폐장치가대	1/1,000
스크린 주빔	1/600
점검대 등 빔	1/600

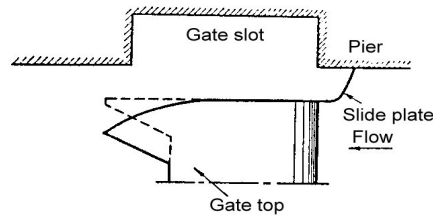
※ 저압문비 : 설계수심 25 m 미만, 고압문비 : 설계수심 25 m 이상

- (2) 탄성수밀재료를 수밀부에 사용한 문비에서는 상기의 처짐으로도 충분한 수밀성이 얻어지지만 특수한 경우는 별도로 고려한다.
- (3) 예컨대 수밀부가 금속접촉형인 문비에 있어서는 수밀성을 확보하기 위하여 1/1,000~1/2,000일 것이 바람직하다. 더욱이 장경간 게이트에서는 최대한도를 1/600로 인상하여도 좋다.
- (4) 수밀의 정도가 통상의 문비보다도 떨어지는 것이 허용되는 각낙판과 같은 문비에 있어서는 1/600을 넘어도 좋다. 다만 상기의 것은 레이디얼게이트의 각주와 같은 좌굴, 압괴의 우려가 있는 부재의 처짐에는 적용되지 않는다.

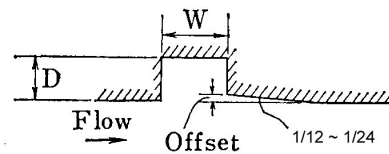
#### 4.5.2.3 부재에 관한 사항

- (1) 문비에 관련된 각종 부재를 설계함에 있어 ① 여유두께 ② 최소 판두께 및 세장비(細長比) ③ 플레이트 거어더(Plate girder) ④ 스킨플레이트(Skin plate) 등에 대하여 충분히 검토해야 한다.
- (2) 비체·호구·고정부 비체·호구·고정부를 설계함에 있어 ① 비체, 호구, 고정부의 형상 ② 수밀부 ③ 회전지승부 등에 대하여 충분히 검토해야 한다.
- (3) 비체, 호구, 고정부의 형상
  - ① 비체, 호구, 고정부의 형상은 사용목적에 따라 적절한 조합을 선택한다. 문비는 사용방법에 따라 장시간 비체상부에서의 월류, 저부에서의 사류(射流)에 닿게되는 수도 있어 이들의 수류 때문에 과도한 진동을 일으키는 수가 있다.
  - ② 이들의 진동은 어느 정도 비체, 호구, 고정부의 형상을 연구개량하므로써 제거할 수 있다. 이들 형상의 조합은 과거의 경험, 실험 또는 수리시험으로서 결정함이 좋다. 예컨대 장경간의 문비에서 월류가 있을 때는 비체정부의 형상은 월류로 유해한 진동을 일으키지 않는 형상으로 하고, 비체 배부에 공기공급을 완전히 할 수 있도록 연구한다. 공기공급장치의 일례로서 비체 정부(頂部) 양측에 〈그림 4.5.-2〉 공기공급장치 와 같은 도류판이나 스포일러(Spoiler) 등을 설치한다.
  - ③ 일반적으로 고수심에서 조작하는 문비에서는 비체(Gate leaf)의 저면폭이 크면 개도

에 따라서 저면의 압력은 불안정하게 변동하여 비체의 진동이 야기된다. 따라서 비체저면의 수평부분을 수밀상 허용할 수 있는 한까지는 작게 함이 좋다. 10 m 정도 이상의 수심에서 장시간 부분 개방되는 게이트의 호구형상은 <그림 4.5-3> 호구부의 형상 과 같은 형상으로 하고 오프셋(Offset)은 호구폭 $W$ 에 대하여  $0.075W \sim 0.10W$  정도로 하고 호구하류부의 기울기는 수심에 따라 다르지만  $1/12 \sim 1/24$ 로 할 필요가 있다.



<그림 4.5-2> 공기공급장치



<그림 4.5-3> 호구부의 형상

#### 4.5.2.24 수밀부(水密部)

- (1) 수밀부의 형식, 구조는 문비 형식, 사용목적에 따라 적절한 수밀을 확보하여야 하며, 수밀재는 문비의 사용조건에 따른 형상, 재질로서 내구성이 우수한 것이어야 한다.
- (2) 문비의 수밀부는 일반적으로 금속판에 금속판, 고무, 목재 등을 접속시키고 있으나 스테인리스강판과 고무로 수밀부를 구성하고 있는 경우가 가장 많다. 이들 수밀고무는
  - ① 간단하게 교체가 가능
  - ② 개폐 시 적절한 마찰력 유지
  - ③ 어느 정도의 처짐에도 수밀성 유지
  - ④ 내구력이 있어야 한다.
- (3) 일반적으로 사용되는 수밀고무는 천연고무 또는 합성고무(Chloroprene계)가 있으며 전자는 강도가 크고 후자는 내후성이 우수하여 보통 합성고무의 사용이 권장되고 있다.

#### 4.5.2.25 회전 지승부

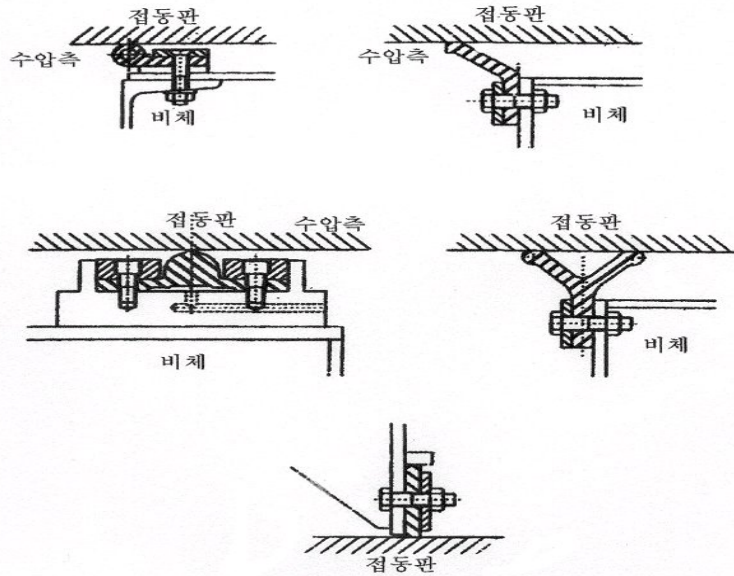
- (1) 회전지승부는 지지하는 외력, 회전속도, 사용빈도를 고려하여 적절한 구로로 하고 비체를 원활히 조작할 수 있고 보수, 관리가 용이한 것이어야 한다.
- (2) 롤러 게이트의 롤러와 핀(Pin), 레이디얼 게이트의 트러니온 보스(Trunnion boss, Hube)와 핀, 기복 게이트의 베어링과 핀 등은 모두 비체에 걸리는 수압하중을 지지하면서 회전하고 또 그 하중을 완전히 고정부에 전하는 것이므로 충분한 강도와 강성을 가지면서 근소한 회전각도에서도 확실히 회전하고 비체의 처짐으로 한쪽만의 당기가 생기지 않는 구조로 해야 한다.

#### 4.5.2.26 개폐장치

- (1) 개폐장치를 설계함에 있어
  - ① 형식 선정
  - ② 원동기의 용량과 시간정격
  - ③ 예비동력설비의 형식과 용량
  - ④ 보호장치와 부속설비
  - ⑤ 제동기구
  - ⑥ 비상폐쇄장치
  - ⑦ 와이어로



프 ⑧ 유압펌프 및 전동기용량 등에 대하여 충분히 검토해야 한다.



<그림 4.5-4> 수밀부의구조

## (2) 형식 선정

- ① 개폐장치의 형식을 선정할 때에는 게이트의 종류, 크기, 사용목적, 사용빈도 및 설치장소를 고려하여 결정한다.
- ② 개폐장치의 형식에는 기계식과 유압식이 있으며, 각종 문비에 대한 개폐장치의 적용 예를 <표> 개폐장치 형식의 선정 에 표시한다.
- ③ 기계식에는 ① 와이어로프 윈치식(Wire rope winch) (1 motor 2 drum winch식, 1 motor 1 drum winch식, 2 motor 2 drum winch식 등) ② 스핀들식(Spindle) ③ 랙식(Rack) 등이 있다.
- ④ 유압식에는 ① 유압실린더식 (고정실린더식 직결식 및 링크식, 요동(搖動)실린더 직결식 및 레버식 ② 유압실린더 와이어로프식 ③ 유압모터 와이어로프식 ④ 유압모터랙크식 등이 있다.

## (3) 원동기의 용량과 시간정격

- ① 개폐장치에 사용하는 원동기의 용량과 시간정격에 대하여 다음 사항을 고려하여 결정한다.
  - 가. 원동기용량은 계산된 개폐력에 대하여 100 % 이상의 용량의 것으로 하고 원동기의 정격토크에 대해 기동토크는 200 % 이상, 최대토크가 300 % 이하로 한다.
  - 나. 전동기의 시간정격은 전양정을 운전하는데 필요한 시간 이상으로 한다. 다만 1 회당의 운전계속시간 이상으로 한다.
  - 다. 자동제어 등에서 기동, 정지를 빈번하게 되풀이하는 경우는 장시간의 반복운전을 해도 지장이 없는 것으로 한다.
  - 라. 개폐장치에 직결해서 사용하는 내연기관의 용량은 계산 개폐력의 150 % 이상의

용량의 것이어야 한다.

- ② 일반적으로 문비의 개폐장치에는 특수농형삼상유도전동기가 사용되고 있고 그 용량은 개폐력에 따라 결정한다.
  - ③ 개폐력의 계산치는 비체의 자중, 베러스트(ballast)의 자중, 지승부, 수밀고무 및 퇴적물에 의한 마찰력, 부력, 월류수에 의한 상향력 하향력, 하단방류시의 상향력 하향력 기타 필요한 하중을 고려해서 산정해야 한다.
  - ④ 특히 소용량의 개폐장치에서는 감속기, 전달기구의 고유의 저항이 계산출력에 비하여 크므로 개폐출력 산정에는 주의를 요한다.
  - ⑤ 최대개폐력은 전개의 기동시에 생기는 것이 보통이나 수침(水侵)하는 문비나 고압 문비에서는 부분개방류시에 생기는 것이 있으므로 충분히 검토해서 산정할 필요가 있다.
  - ⑥ 특수농형삼상유도전동기를 사용하는 경우는 전전압기동을 원측으로 하고 있으므로 기동전류에 의한 전원 및 전선로의 전압강하나 기동시 저항토크의 증가를 고려해서 그 기동토크는 200 % 이상으로 했다.  
권선형유도전동기를 사용하는 경우는 최대토크는 200 % 이상 300 % 이하이면 좋다.
  - ⑦ 전동기의 정격에는 연속정격, 단시간정격, 반복정격 등이 있으며 문비의 사용목적이나 조작방식 등에 따라 적절한 정격을 선정해야 한다.
- (4) 각 개폐장치의 특징은 다음과 같으며, 형식을 선정할 때에는 각각의 특징을 고려한다.
- ① 와이어로프 윈치식(wire rope winch)의 경우  
가. 이 형식은 중형 문비 및 대형 문비에 널리 사용된다.
  - ② 스피들식(spindle) 및 랙크식(rack)의 경우  
가. 이 형식은 소형 문비에 적합하다. 또한 대형 문비 또는 고양정의 문비에는 구조상 무리가 있으므로 사용하지 않는 것이 좋다.
  - ③ 유압 실린더식(cylinder)의 경우  
가. 이 형식은 고양게이트에 널리 사용된다. 비체의 개도를 정확하게 조정할 필요가 있는 경우 또는 개폐장치를 협소한 장소에 설치해야 할 경우 등에 유리 하나 다른 형식에 비하여 기름교환 등 유지관리에 비용이 요한다.  
또한 유압실린더의 지지부분은 개폐력의 반력을 지지하기가 곤란한 경우가 있으므로 충분히 주의해야 한다.
  - ④ 유압실린더 와이어로프(cylinder wire rope)식의 경우  
가. 이 형식은 상기 (가)항 및 (나)항의 사용이 곤란할 시, 즉 개폐장치의 설치면적이 협소할 때, 개폐장치를 비체 또는 각주내에 설치할 경우 등에 사용된다. 선정에는 사용빈도, 유지관리 등을 충분히 검토해야 한다. 따라서 고양정, 대하중의 문비에서는 구조상 무리가 있는 것은 사용하지 말아야 한다.
  - ⑤ 유압모터 와이어로프(motor wire rope)식의 경우  
가. 복수의 문비가 설치될 경우는 밸브의 절환에 의한 한 대의 유압펌프로 복수의 문비를 조작하는 이점이 있다. 개폐속도를 무단변속으로 할 경우 등에 편리하

다.

#### 4.5.2.27 예비동력설비의 형식과 용량

- (1) 예비동력설비는 문비의 중요성을 충분히 검토해서 결정해야 한다. 대표적인 형식으로서는 다음과 같은 것이 있다.
- (2) 개폐용 동력이 전동기인 경우는 ① 비상전원이 정지했을 때 내연기관에 직결된 예비발전기에서 수전하는 것 ② 전동기가 고장 등의 경우에 개폐장치에 직결된 내연기관 또는 수동장치에 의하여 조작하는 것 등이 있다.
- (3) 개폐용 예비동력의 용량은 문비의 사용목적에 따라 확실히 조작되는 용량 이상의 것으로 해야한다. 또 예비발전기의 용량은 전동기의 시동전력, 조명용전력, 기타 필요한 사용부하를 고려해서 충분한 것으로 해야한다.
- (4) 예비동력설비에 대해서 개폐장치에 직결된 내연기관의 용량은 일반적으로 배치상 될 수록 소형의 것이 좋으므로 비체승강속도를 0.05~0.1 m/min 정도로 하고 특히 대형 문비에서는 0.05 m/min 정도가 채용되고 있다.

#### 4.5.2.28 보호장치 및 부속장치

- (1) 개폐장치에는 필요에 따라 다음에 표시한 안전장치 및 부속설비를 설치한다.
  - ① 보호장치 : ① 제한개폐시 ② 비상용제한개폐기 ③ 과부하검출장치 및 과부하 방지장치 ④ 비체경사보정장치 ⑤ 와이어로프 이완검출장치 ⑥ 와이어로프 이탈 방지장치 ⑦ 인터록(inter lock) 장치

## 농업용 필댐 설계

〈표 4.5.-13〉 개폐장치 형식의 선정

문비의 종류	용도	개 폐 장 치 의 형 식					
		기계식			유압식		
		와이어로프식 원치식	스핀들식	랙크식	실린더식	실린더와이어로프식	유압모터와이어로프식
롤러 게이트	댐 및 발전용	○	△	△	△	△	△
	언(堰) 용	○	△	△	△	△	△
	문 비 통 선 문	대형문비	○	×	×	△	△
		중형문비	○	△	△	△	△
		소형문비	△	△	○	△	×
	갑 문 용	○	△	△	×	△	△
고압 롤러 게이트	댐 및 발전용	○	△	△	△	×	△
레이디얼게이트	댐 및 발전용	○	×	×	△	△	△
고압 레이디얼 게이트	댐 및 발전용	×	×	×	○	×	×
슬라이드게이트	댐 및 발전용	고압	○	○	×	○	×
		기타	○	○	○	○	×
	언(堰) 용	×	○	○	△	×	×
	수문·통선문	○	△	○	×	△	△
표면취수게이트 및 선택취수 게이트	댐 및 발전용	○	×	×	×	×	×
댐 Flap부 게이트	댐용	×	×	×	○	×	×
기복 게이트	언(堰) 용	△	×	×	○	△	△
마이터 게이트 스윙 게이트	갑문용	×	△	○	○	×	×
섹터 게이트	갑문용	○	×	×	○	△	△
횡인 게이트 *	육갑용(陸閘用)	△	△	△	△	×	×

주: ○ : 사용하기에 적당한 형식, △ : 경우에 따라 사용하기에 적당한 형식

× : 사용하기에 부적당한 형식, \* : 횡인게이트는 자주식 형식이 많다.

② 부속장치 : ① 비체휴지장치 ② 비체개도지시장치 ③ 와이어로프 단말조정장치 ④ 계장장치 ⑤ 기타

(2) 개폐장치의 종류와 안전장치 및 부속설비의 일반적인 조합을 〈표〉 안전장치 및 부속설비의 일반적인 조합에 표시한다.

〈표 4.5.-14〉 안전장치 및 부속설비의 일반적인 조합

안전장치 및 부속설비의 종류	개 폐 장 치 의 형 식					
	전동개폐장치			유압개폐장치		
	와이어 로프식	스핀들식	랙크식	실린더식	실린더와이어 로프식	유압모터와이어 로프식
1. 제한개폐기	○	○	○	○	○	○
2. 비상용제한개폐기	○	○	○	○	-	○
3. 과부하방지장치	○	○	○	○	○	○
4. 문비휴지장치	○	-	-	○	○	○
5. 문비경사조정장치	○	-	-	○	○	○
6. 비체개도지시장치	○	○	○	○	○	○
7. 와이어로프이완 방지장치	○	-	-	-	○	○
8. 와이어로프이탈 방지장치	○	-	-	-	○	○
9. 와이어로프단말 조정장치	○	-	-	-	○	○
10. 인터록장치	○	○	○	○	○	○

## (3) 제한개폐장치

- ① 이 개폐기는 양정의 상한, 하한 및 특정한 위치에서 비체를 자동적으로 정지시키는 것으로 방수성, 방진성 등이 우수하고 확실하게 작동하는 것이어야 한다.

## (4) 비상용 상한제한개폐장치

- ① 이 개폐장치는 제한개폐장치가 고장 등의 경우에 작동하는 것으로 일반적으로 비체의 움직임이 직접 리미트스위치를 작동시키는 것이 많다.

## (5) 과부하검출장치 및 과부하방지장치

- ① 이 장치는 개폐장치에 과부하가 발생했을 경우 동력을 자동적으로 차단하는 것이다. 개폐용동력에 내연기관을 사용할 경우는 이 장치를 설치하지 않아도 좋다. 윈치식, 스핀들식 및 랙크식의 경우는 과전류계전기, 토크리미터, 미끄럼클러치, 샤프, 좌굴방지장치등이 일반적으로 사용되고 있다.

- ② 샤프의 경우는 핀이 절단해도 비체가 자중강하치 않도록 고려해야한다.

유압실린더식 및 유압실린더 와이어로프식의 경우는 일반적으로 릴리프 밸브가 설치되고 있다.

## (6) 비체경사조정장치

- ① 1문의 비체를 2대의 개폐장치를 권장되는 형식에 있어서 비체의 경사를 조정할 때는 차동싱크로가 일반적으로 사용되고 있다.

## (7) 와이어로프이완검출장치 및 이탈방지장치

- ① 와이어로프로 개폐하는 문비에 있어서 이물 등으로 와이어로프가 이완되거나 시브에서 이탈하는 경우가 있으므로 와이어로프이완검출장치, 이탈방지장치를 설치하는 것이 바람직하다.

## (8) 인터록(inter lock) 장치

## 농업용 필댐 설계

- ① 개폐장치에는 오동작 또는 중복작동 등에 의한 사고방지를 위하여 인터록장치를 설치해야 한다.
  - ② 인터록장치에는 ① 기측 및 원방조작으로 할 수 있는 경우는 기측조작을 우선하고 기측조작중에는 원방조작은 되지 않도록 하는 것 ② 개폐용동력을 절환으로 조작하는 경우는 일방의 개폐용동력이 운전중에는 다른 개폐용동력은 작동치 않거나 또는 동력을 전달치 않도록 하는 것 ③ 비체가 휴지장치로 유지되고 있는 경우는 폐작동 되지 않도록 하는 것 ④ 압착식의 문비에서는 압착식 비체는 개폐되지 않도록 하는 것 등이 있다.
- (9) 비체휴지장치
- ① 이 장치는 비체를 장시간 휴지할 때, 개폐장치 및 비체를 보수 점검할 경우에 사용하는 것으로 수동 또는 자동조작으로 되는 것이어야 한다.
  - ② 와이어로프원치식의 경우는 흑크식이, 유압실린더식 및 유압실린더 와이어로프식 일 때는 흑크 또는 스크류가 각각 일반적으로 사용되고 있다.
  - ③ 랙크식의 경우는 랙크부분을 췌기등으로 고정하는 방법이 일반적으로 채용되고 있다.
- (10) 비체 개도지시장치
- ① 이 장치는 비체의 개도를 회전에서 검출하는 것으로 비체의 작동에서 직접검출하는 것도 있으나 제어에 적합한 것을 사용해야 한다.
  - ② 표시는 기측조작의 것은 기측에, 원방조작을 하는 경우는 기측 및 원방조작반에 각각 설치하는 것이 바람직하며 방법은 아날로그(Analogue)표시와 디지털(Digital) 표시가 있다. 개도검출장치에서 개도지시장치까지의 전송방법에는 A/D converter, Potential meter 및 Synchro 전기(Selsyn)가 일반적으로 사용되고 있다.
- (11) 와이어로프 단말조정장치
- ① 좌우의 와이어로프의 길이를 조정하기 위하여 와이어로프 단말에 스크류식(Turn buckle식)의 조정장치를 설치하는 것이 일반적이다.
- (12) 계장장치
- ① 조작반의 계기류 및 표시류는 문비를 안전, 확실하게 조작할 수 있게 설치되어야 한다.
- (13) 기타
- ① 개폐장치에는 위험방지를 위하여 필요에 따라 급유장치, 보호카바, 오일휀, 생물진입방호설비를 설치한다.
- (14) 제동기
- ① 개폐장치에는 비체를 소요개도에서 확실하게 정지할 수 있는 제동기구를 설치한다.
  - ② 비체를 소요개도에서 정지하고 개도를 유지하고, 동력절환시의 비체강하방지를 위하여 제동기구가 필요하다.
  - ③ 개폐장치의 예비동력으로서 수동 또는 내연기관을 사용하는 경우는 동력절환 시 무제동에 따른 비체 자동강하를 방지하기 위하여 제동기구 또는 록(Lock)기구를 설치

한다.

브레이크의 용량은 너무 과대하면 정지시의 충격력이 커지므로 전동기의 경우는 정격토크에 대해, 내연기관의 경우는 최대토크에 대해 각각 150 % 정도로 하는 것이 바람직하다.

유압개폐장치에서는 체크밸브(Check valve) 또는 스톱밸브(Stop valve)로서 비체를 제동하는 것이 많다.

#### (15) 비상용 폐쇄장치

- ① 문비의 급폐쇄를 필요로 하는 경우에는 안전, 확실하게 작동하는 비상용 폐쇄장치를 설치한다.
- ② 취수구, 방류관, 수조 등에 설치되는 문비의 개폐장치에는 도수로, 방류관 등에 사고가 일어날 때 무동력으로 급속폐쇄할 필요가 있을 경우는 유수차단가능한 비상폐쇄장치를 설치한다.
- ③ 장치는 클러치로 동력설비와 분리해서 비체를 강하시키는 것이 많고 강하속도는 4~8 m/min의 실례가 많다.  
속도제어에는 수동브레이크, 전동브레이크, 원심브레이크, 팬브레이크(Fanbrake), 유압 펌프브레이크, 발전브레이크 등이 사용된다.  
이들의 브레이크의 구성재료는 고압, 고회전에 견뎌야 하므로 강인한 재료를 사용하고 설계, 운전에 대해서는 세심한 주의를 기울여야 한다.
- ④ 참고로 개폐장치의 종류와 급강하장치와의 일반적 조합은 다음표와 같다.

〈표 4.5.-15〉 개폐장치와 급강하장치와의 조합

비상용 폐쇄장치	개 폐 장 치 의 형 식					
	전동개폐장치			유압개폐장치		
	와이어 로프 원치식	스핀들식	랙크식	실린더식	실린더 와이어 로프식	유압모터 와이어로프식
팬 브레이크	○	×	△	×	×	×
유압 브레이크	○	×	△	×	×	×
발전 브레이크	○	×	△	×	×	×
원심 브레이크	○	×	○	×	×	×
유압제어	×	×	×	○	○	○
극수변환 전동기	○	△	△	×	×	×

주: ○ : 사용하기에 적당한 형식, △ : 경우에 따라 사용하기에 적당한 형식 × : 사용하기에 부적당한 형식

#### 4.5.2.29 와이어로프 및 드럼, 시브

##### (1) 와이어로프 및 드럼, 시브의 직경

- ① 와이어로프는 인장력, 사용빈도, 사용조건, 환경 등의 영향을 고려하여 적합한 것으로 하여야한다.
- ② 와이어로프가 드럼이나 시브에 감길 때는 와이어 로프의 소선은 굽힘응력을 받는

다. 드럼이나 시브의 직경이 너무 작으면 굽힘응력이 커져서 소선은 빨리 피로하여 단선하기 쉽게되며 또 와이어로프의 무리한 굴곡으로 변형, 내부마찰 그리고 드럼 또는 시브와의 접촉응력이 커져서 와이어로프는 빨리 손상한다.

- ③ 이어로프의 수명(내피로성)은 일반적으로 인장력과 드럼, 시브의 직경과 와이어로프 경과의 비 및 와이어로프의 종류로 결정되나 소선경이 일정치 않는 종류도 있으므로 드럼, 시브의 직경은 와이어로프의 직경과의 비로 결정했다.
  - ④ 럼, 시브의 직경은 큰 편이 와이어로프의 안전에서는 바람직하며 발전소의천장크레인 등에는 와이어로프경의 20배 이상이 채택되고 있으나 문비에서는 일반적으로 운전회수가 적고 와이어로프의 권취속도나 충격력도 비교적 적기 때문에 와이어로프 경에 대하여 드럼경은 19배 이상, 시브경은 17배 이상으로 했다.
  - ⑤ 일반적으로 문비용 와이어로프는 운전시간, 회수, 와이어로프권취속도나 충격력이 적으므로 내식성이 우수한 교차연(交叉燃)와이어로프를 사용하고 동종내에서 가장 내피로성이 좋은 KS 6호 6×37이 바람직하다.
  - ⑥ 자동제어를 하는 문비, 갑문등과 같이 빈번하게 동작하는 문비의 와이어로프는 내피로성(조반굽힘피로)이 우수한 것이 바람직하므로 특히 우수한 특성을 가지고 또 모양이 이그러지기 어려운 평행연 와이어로프로 라이너형(Liner)[KS 13호 6×Fi(29)] 또는 워링톤셀형[KS 6호 6×37]의 3배 [6×Fi(29)]또는 6배[6×WS(36)]정도로 한다. 또한 와이어로프의 선정은 내피로성이 특히우수하고 또 시각검사가 유리한 [6×WS(36)]적당하나 시장성을 고려해서 선정할 필요가 있다.
  - ⑦ 수침하는 문비 등의 와이어로프는 유수에 의하여 유수중의 쓰레기의 요동으로 와이어로프에서 진동하는 수가 있으므로 주의를 요한다.
- (2) 와이어로프의 권취층수(卷取層數), 플리트앵글(Flit angle) 및 여유감기
- ① 와이어로프의 플리트앵글은 <표> 플리트 앵글 에 표시된 값 이내로 한다. 문비를 2본의 와이어로프를 사용해서 수평으로 권상하기 위해서는 드럼상에서 와이어로프가 불규칙으로 겹쳐서는 안되므로 본 조항에서 플리트 앵글을 규정했다.

<표 4.5.-16> 플리트앵글

드 럼	일층권부	다층권부
홈이 없는 드럼	2°	1.5°
홈이 있는 드럼	4°	1.5°

- ② 여유감기 수는 3번 이상으로 하고 와이어 로프의 단부는 드럼에 적절한 방법으로 고착시켜야 한다. 드럼의 와이어로프감기 층수는 상기의 후리트 앵글을 만족시키고 또한 비체의 양정, 와이어로프의 걸림수 및 개폐장치의 스페이스(Space)를 고려해서 결정할 필요가 있으며 층수변환부의 와이어로프의 겹치기가 불규칙하여서 와이어로프의 수명을 단축케 할 수가 있으므로 2층권 이하로 하는 것이 많다. 와이어로프 감기층수에 의한 직경변화는 토크변화, 권상속도변화를 가져오므로 주의를 요한다. 드럼의 두께는 다음 계산식에 따른다.



$$t = K \cdot \frac{T_0}{\sigma P}$$

여기서,  $t$  : 드럼의 평균두께(mm){cm},

$K$  : 층권계수(1층권 : 1.0, 2층권 : 1.7, 3층권 : 2.2, 4층권 : 2.4, 5층권 : 2.6, 6층권 : 2.7),

$T_0$  : 와이어로프에 걸리는 개폐 정하중 (N){kgf},

$\sigma$  : 드럼의 원주방향의 허용압축응력 (N/mm<sup>2</sup>){kgf/cm<sup>2</sup>},

$P$  : 드럼의 홈피치(Pitch) (mm){cm}

와이어 로프의 드럼에 감기는 단부는 클립(Clip)으로 눌러 놓던가 드럼에 구멍을 뚫어 와이어 로프를 관통시켜 소켓 메탈(Socket metal) 채우기 등으로 와이어 로프가 드럼에서 이탈치 않도록 견고히 취부해야 한다.

#### 4.5.2.30 유압펌프 및 원동기용량

##### (1) 유압펌프

- ① 유압개폐장치의 설계압력 및 설계유량은 일반적으로 각각 유압펌프의 정격토출압력의 80 %, 정격토출량의 90 % 이하로 한다.  
또 펌프의 구동원동기의 출력은 설정된 펌프의 성능에 대하여 충분한 것이어야 한다.
- ② 문비의 유압개폐장치에서는 내압성, 누유를 고려하면 너무 높은 압력을 사용한다는 것은 좋지 않으므로 일반적으로 유압펌프의 정격토출압력을 70 kgf/cm<sup>2</sup>, 140 kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 하는 것이 많다.
- ③ 이들 유압개폐장치는 장시간 방치될 경우도 있으므로 유압배관내의 손실, 가동부분의 자중이나 패킹(Packing)등의 마찰손실, 배압 등도 고려해서 설계압력을 유압펌프의 정격토출압력의 80 % 이하로 했다.
- ④ 설계유량은 유압펌프의 용적효율저하, 유압밸브의 유누출을 고려해서 유압펌프 정격토출량의 90 % 이하로 했다.
- ⑤ 유압개폐장치에 유압모타를 사용할 경우는 유압 모타의 기계효율, 피구동부의 속도, 감속기구의 관성력 등을 고려해서 유압 모타의 기동력을 결정할 필요가 있다.
- ⑥ 관내의 압력손실은 관의 길이, 직경, 작동유의 점도 등에 따라 좌우된다. 이들의 손실은 특별한 경우를 제외하고 통상 정격토출압력의 20 % 의 여유로 대체된다. 다만 배관길이 및 배관 굽힘회수가 특히 큰 경우에는 압력손실을 산출해서 결정할 것이 필요하다. 또 한냉지에는 작동유의 점도가 높지 않으므로 펌프용량 및 배관저항 등에 따라 특별한 고려가 필요하다.
- ⑦ 유압펌프구동용의 원동기는 유압펌프의 최대소요축입력 이상의 용량이 있으면 좋고 일반적으로 유압펌프 기동시에는 전부하가 걸리지 않으므로 특별히 기동토크는 규정치 않는다.

##### (2) 유압실린더(Cylinder)

## 농업용 필댐 설계

- ① 유압실린더에 대해서는 KS에 규격화되어 있으나 문비 설계의 경우는 반드시 규격대로가 아니어도 지장이 없다.

지침상의 계산식은 강관의 내압시험에 쓰이는 식에서 도출한 것으로서 안전율은 내압시험의 경우 정격토출압력의 1.5배의 시험을 해서  $\frac{\text{인장응력}}{3}$ 의 응력이 되도록, 또 두꺼운 관이라는 것을 고려해서  $1.5 \times 3 \times 1.1 \approx 5$ 로 했다.

부식대  $\alpha$ 에 관해서는 유압실린더의 점검, 도장을 하기 어려운 경우는 비체의 여유 두께 정도를 취함이 바람직하다.

- ② 유압실린더의 소요내경은 개폐력과 설계압력에 따라 결정한다.

또한 유압실린더의 튜브(Tube)의 두께는 다음 식에 따라야 한다.

$$t = \frac{PD}{200\sigma_a} + \alpha$$

여기서  $t$ : 튜브의 최소두께(最小肉厚)(mm){cm},  $P$ : 정격토출응력(N/mm<sup>2</sup>){kgf/cm<sup>2</sup>},

$D$ : 튜브 내경 (mm){cm},  $\sigma_a$ : 허용응력 =  $\frac{\text{인장강도}}{5}$  (N/mm<sup>2</sup>){kgf/cm<sup>2</sup>},

$\alpha$ : 부식 (mm){cm}

### (3) 유압배관

- ① 유압배관은 KS D 3562 압력배관용탄소강관 또는 KS D 3564 고압배관용 탄소강관을 사용하고 접합부는 기름유출이 없도록 완전히 접합한다.
- ② 토목구조물의 신축부나 온도변화에 따른 신축에 대해서는 신축이음을 사용하던가 또는 적절한 조치를 강구해야 한다.
- ③ 유압배관내의 유속이 과대하게 되지 않도록 내경을 결정한다.
- ④ 유압배관을 시행한 후에는 플러싱오일(Flushing Oil) 등으로 청소를 해야 한다.
- ⑤ 1문의 게이트에 복수의 유압실린더를 설치하는 경우는 각 유압실린더가 동조하도록 배려해야 한다.
- ⑥ 배관용 강관은 보관중에 발청 및 먼지의 침입이 없는 상태로 보관해야 한다. 배관시 공에 있어서는 정격압력의 2분간 이상으로 내압시험을 하여 기름누출, 변형 등이 없는 것을 확인해야 한다.
- ⑦ 배관은 부식을 고려해서 콘크리트속에 완전히 매입하든가 노출의 경우는 외부도장이 용이하게 할 수 있도록 시공할 것이 필요하다. 특히 콘크리트매설의 경우는 매설에 충분한 내압누유시험을 해야 한다. 관로내의 유속은 유압배관의 계통에서는 펌프 흡입회로측은 1.5 m/s 이하, 펌프 압력회로측은 4.0 m/s 이하로 하는 것이 좋다. 배관용 강관은 신설의 경우는 물론 수리후 기름을 새로 충전하는 경우도 필히 스케일(Scale), 슬래그(Slag), 수분, 먼지, 모래등을 제거해서 유압기기의 작동불량이 일어나지 않도록 양호한 플러싱오일(Flushing Oil)을 사용해서 충분한 청소를 해야 한다. 1문의 게이트에 대해서 복수의 실린더에 유압배관을 할 때는 되도록 압력손실이 동등하도록 해서 동기작동이 되도록 해야한다.

### (4) 작동유

- ① 작동유는 펌프, 사용압력, 사용온도범위, 내구성 등을 고려하여 적당한 것을 사용해야 한다.
- ② 작동유는 특별한 경우를 제외하고 석유계가 사용되고 있으며 적절한 점도를 가진 산화안정성, 항유화성, 유동성, 방청방식성, 소포성, 항착화성 등의 제성질이 우수한 것이어야 한다.
- ③ 한냉지에서 사용할 경우는 저온유동성이 양호한 것으로서 사용최저온도 보다 적어도 10℃ 낮은 유동점의 작동유를 사용할 필요가 있다. 작동유의 사용온도범위가 넓은 경우는 점도지수가 보통 90~150 정도가 적당하다.
- ④ 유조내의 유온은 55℃ 이하, 유압계 내부의 국부적 최고온도는 80℃ 이하로 유지해야 하며, 자동조절게이트에서 사용빈도가 큰 것은 유온이 올라가기 쉬우므로 유량을 증가하던가 유냉각기를 설치할 필요가 있다. 저온한계는 -20℃ 정도이므로 이와 같은 온도에서 사용할 경우에는 유압펌프의 운전을 장시간 warming-up을 피하던가 또는 유조내에 가열기를 넣을 것이 바람직하다.

#### 4.5.2.31 스크린(Screen)

- (1) 취수탑 취입문비 유입구에 설치되는 스크린은 다음 사항을 고려하여 설계한다.
  - ① 스크린은 손실수두가 작은 형상의 것으로 하고 유수에 의한 진동이 발생치 않도록 유속을 고려해서 형상, 치수 및 지지조건 등을 정해야 한다.
  - ② 스크린 및 지지구조물은 예상되는 쓰레기 양 등을 고려해서 정해지는 수위차에 견딜 수 있도록 구조를 정해야 한다.
- (2) 취수탑 취입문비 유입구에 설치하는 스크린은 취수탑 취입문비 개방시 유입하는 유목, 낙엽, 수초, 생활쓰레기, 농업용 폐자재 등의 유입으로 문비, 밸브 등에 손상을 주거나 유수를 저해하는 우려가 있어 유입수로 입구에 설치된다. 스크린에는 고정형과 가동형, 수직형과 경사형 등이 있다. 스크린에 유착하는 각종 부유물을 제거하기 위한 여러 종류의 제진 설비가 사용된다.
- (3) 제진 설비는 저수지 취수탑에 유입되는 부유물을 제거하기 위하여 꼭 필요한 시설물이라고 말할 수는 없지만 양배수장 및 용수로 잠관 입구에는 반드시 설치해야 할 설비이다. 제진 설비에는 ① 체인(Chain)식 (Rotary type), ② 로프(Rope)식 ③ 스윙암(Swing arm)식, 링암(Ring arm)식 ④ 레이크(Rake)식 ⑤ 네트(Net)식 ⑥ 트래블링스크린(Traveling Screen) 등이 있다.
- (4) 이러한 여러 종류의 스크린도 설치하는 취수탑 형식에 따라 모양이 결정되며 취수탑 형식을 분류하면 ① 원형 철근콘크리트 취수탑, ② 부표형 취수탑, ③ 실린더 문비형 취수탑, ④ 복식 취수탑, ⑤ 정량표층수 취수장치, ⑥ 부표식 암(Arm)형 취수장치, ⑦ 권양 문비식 온수 취수장치, ⑧ 반원형 롤라 문비장치, ⑨ 빈지식 취수장치 등이 있다. 스크린 바의 간격은 통과해서는 안될 쓰레기 크기에 따라 정한다. 통상 스크린바는 유선에 평행하게 설치되며 간격은 60~150 mm 정도이다. 스크린 바의 폭은 두께의 12배 이하로 하는 것이 보통이고 최소는 50 mm 정도이다. 스크린 바의 횡방향좌굴을 방지

## 농업용 필댐 설계

하기 위하여 지지간격은 두께의 70배 이내로 하는 것이 보통이고 횡방향좌굴을 고려한 허용응력은 다음 식으로 계산된다.

$$\text{허용응력} = 0.6 \times \text{항복점응력} \times \left(1.23 - 0.0153 \frac{L}{t}\right)$$

여기서  $L$  : 횡방향의 지지간격(mm){cm},  $t$  : 바(Bar)의 판두께(mm){cm}  
스크린을 통과하는 유속은 0.6~1.0 m/s 정도의 것이 많지만 양수발전소의 취·방수구 스크린을 통과하는 평균유속은 3~4 m/s 정도의 것도 있다.

스크린 바에 의한 손실수두의 계산에는 Kirschmer식이 사용된다.

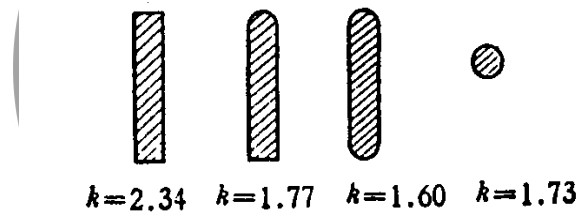
$$h_r = K \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \sin \alpha$$

여기서  $h_r$  : 스크린 통과시 손실수두(mm){cm},  $t$  : 스크린 바의 판두께(mm){cm},

$b$  : 바와 바간의 간격(mm){cm},  $V$  : 접근유속(m/s),  $g$  : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>),

$\alpha$  : 스크린이 수평면과 이루는 각도,  $K$  : 계수<그림 4.5-5>

강도계산에 쓰이는 스크린 내외면에 생긴 수위차는 저수두의 경우는 0.6~1.5 m 정도가 보통이지만 쓰레기 등이 많고 청소가 불충분한 경우에는 스크린 높이의 60~100 %를 스크린의 설계수두로 잡는다.



<그림 4.5-5> 스크린 바의 형상과 계수

- (5) 스크린 바는 수위차에 견딜 수 있도록 적당한 간격으로 하류면에 수평빔을 설치하여 스크린 바에서 전달된 수압은 수평빔을 통해서 측벽에 전달된다. 또 수평빔의 굽힘에 의한 처짐은 경간의 1/600 이하로 한다. 스크린 바는 휨이 없는 것으로 하고 또한 연결재가 레이크(Rake)에 닿지 않도록 주의할 것이 필요하다. 유수 중에 있는 스크린에는 수류방향력이 작용하지만 스크린을 통과하는 유속이 크면 스크린 바의 하류영역에 발달된 Karman와(渦)가 발생하고 스크린 바에는 어떤 진동수의 수류직각방향력이 작용한다. 힘과 진동수는 유속에 비례하여 크게 된다. 따라서 스크린을 통과하는 유속이 큰 경우에는 특히 수류직각방향력에 의하여 일어나는 진동에 대해서 검토할 필요가 있다.

또한, 홍수시 저수지내로 유입되는 대형 부유물의 유입을 방지하기 위하여 스크린과 함께 사방댐을 설치한다.

### 4.5.3 전기설비

- (1) 댐 시설에 있어서의 전기설비는 수변전설비와 배전 설비로 되어 있으며, 댐 시설의 규모, 입지조건, 신뢰도, 경제성 및 운전관리의 편의성 등을 고려하여 설계한다.

### 4.5.4 관측설비

- (1) 관측설비는 저수지의 기계, 전기설비의 합리적인 운용을 위해서 필요한 수위, 유량, 우량 등의 데이터를 관측하는 것으로서 적절한 기기를 선정하여 사용목적, 사용조건, 경제성 등을 고려하여 설계한다.

#### 4.5.4.1 설계일반

- (1) 저수지 시설의 기계설비에서 사용하는 관측설비는 저수지내의 저수된 용수를 필요한 수량만큼 합리적으로 공급하기 위한 유량측정장치, 저수지내·외의 수위를 검측하여 시설된 각종 문비의 개폐여부와 개폐정도를 결정하기 위한 수위측정설비 등으로 이루어진다.

#### 4.5.4.2 수위계

- (1) 다음 사항에 유의하여 설치한다.
- ① 설치위치는 댐설비의 운전방식에 따라 운전목표수위, 제어수위 및 감시수위등의 측정에 적합한 위치로 하고 하천이나 수로 등에서는 안정된 흐름의 장소로 한다. 또 수위계 설치장소에는 필요에 따라 양수표를 병설한다.
  - ② 계측정밀도는 댐설비의 운전, 감시, 제어등에 적합한 것으로 하고 평상시에는 물론 이상시에도 안정된 작동이 유지되고 유수 및 쓰레기 등의 피해나 영향을 방지할 수 있는 기구나 방식을 선택한다.

#### (2) 수위계의 분류

- ① 수위계란 일반적으로 수위를 검출하는 액면측정용 계기를 말하며 댐이나 하천 및 저수지 등의 수위를 검출하기 위한 수위검출기로 또는 월류수심 제어 등에서 볼 수 있듯이 취수량을 조절하여 수위를 일정하게 하기 위한 수위조절기의 감시제어용 검출기로 사용된다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 수위계류로 수위를 검출하는 방법과 검출된 수위를 모니터(monitor)하거나 또는 텔레메터에 신호를 전송하기 위해서 신호변환을 하는 방법의 2가지로 크게 나누어서 분류한다.

#### 가. 검출방법에 의한 분류

- ㉠ 검출방법에 따라서 수위계는 직접 수면에 부자(Float)등을 띄워서 수면의 변화를 직접 검출하는 것과 수면에서 직접 수위를 검출하는 것이 아니고 압력대 등을 이용해서 어떠한 간접적인 방법에 의해서 검출하는 것이 있다. 즉 직접검출방법과 간접검출방법의 2가지인데 이것을 근거로 해서 각종 수위계를 분류하면 표 검출방법에 의한 수위계의 분류 와 같다. 또한

수면을 검출하는 방법에는 여기에 나타난 것 이외에 빛의 굴절률을 이용하는 것, 수압을 전기적으로 검출하는 것, 그리고 저항선을 이용하는 것 등이 있다.

나. 신호변환방법에 의한 분류

- ㉔ 신호변환에 의한 분류로는 검출방법에 의한 분류와 같이 수위를 직접 전기 신호로 검출하는 직접변환방법과 어떤 방법으로 검출된 수위를 신호변환기를 사용해서 변환하는 간접 변환방법의 2종류로 구분되어 수위계를 분류하면 <표> 신호변환방식에 의한 수위계의 분류 와 같다.

(3) 수위계의 비교

- ① <표> 검출방법에 의한 수위계의 분류 와 <표> 신호변환방식에 의한 수위계의 분류 에서 설명한 수위계의 특성을 비교하여 수위계를 분류하면 <표> 수위계의 비교와 같다.

<표 4.5.-17> 검출방법에 의한 수위계의 분류

수위계	직접검출	부자식	부자식, 자력식
		탐침식	추미식, 전극식
	간접검출	압력식	기포식, 압력바란스식
		정전용량식	
		음파식	

<표 4.5.-18> 신호변환방식에 의한 수위계의 분류

수위계	직접변환	자력식	ON-OFF 신호
		압력바란스식	전압신호
		정전용량식	전류신호
		음차식	전류신호
		전극식	ON-OFF신호
	간접변환	부자식 추미식 기포식	싱크로전기
			포텐서메타
			사후트엔코다
			마이크로스위치

#### 4.5.4.3 유량계

(1) 유량계 분류

- ① 유량계는 측정 유로에 의해 개방수로형과 폐관로용으로 나누어 <표> 측정 유로에 의한 유량계의 분류 와 같이 분류하고, 유량계를 측정원리에 의하여 분류하면 <표> 측정원리에 의한 유량계의 분류 와 같다.

〈표 4.5.-19〉 수위계의 비교

수 위 계	검출소자	검출 정도	양 정	출 력 신 호
부자식수위계	부자	$\pm 0.2\sim 0.5\%$	대, 중, 소	조합되는 발신기 종류
자력식수위계	리드수위치	$\pm 1 \text{ cm}$	대	접점신호
추미식수위계	세이브전극	$\pm 0.3\%$ (검출감도 3mm)	중, 대	조합되는 발신기 종류
전극식수위계	전 극	$\pm 0.5\%$	소	접점신호
기포식수위계	기포(가스)압	$\pm 0.1\sim 1\%$ (검출감도 1cm)	중, 대	조합되는 발신기 종류
압력밸런스 수위계	벨로즈	$\pm 0.5\sim 1\%$	소	전압신호
정전용량식 수위계	정전용량	$\pm 1\%$	소, 중	전류신호
음파식수위계	음파	$\pm 1\text{cm}$	중, 대	전류신호

〈표 4.5.-20〉 측정 유로에 의한 유량계의 분류

개 방 수 로 형	폐 관 로 형
Weir 유량계, Flume 유량계, Parshall, Flume 유량계, Parmer-Bowlus Flume 유량계, 전자기 유량계, 초음파 유량계, 잠수전자기유량계, Pito관(차압), Turbine 유속계	차압유량계, 전자기유량계, 초음파유량계, 면적유량계, 와류유량계, 용적유량계, Turbine유량계, 질량유량계 (열, Coriolis힘, 각 운동량)

## (2) 유량계의 특징

- ① 관로 도중에 설치하는 유량계의 종류, 원리, 특징 등을 〈표〉 관로 도중에 설치하는 유량계 에 표시하지만 어느 것이나 관로 내에 유체가 충만해 있어야 한다.

〈표 4.5.-21〉 측정원리에 의한 유량계의 분류

유 량 계	체 적 유 량	실 측 식	용 적 유 량 계
		유 속 식	전자기 유량계, 초음파 유량계
			Turbine 유량계, 와류 유량계
		추 측 식	차압 유량계, 면적 유량계
			Weir 유량계, Flume 유량계
	질 량 유 량		열 유량계, Coriolis 힘 질량 유량계

## 농업용 필댐 설계

〈표 4.5.-22〉 관로 도중에 설치하는 유량계

종류 항목	오리피스식	벤투리식	전자유량계	초음파유량계	용적식유량계
측정 원리	관로에 조리개를 설치해서 전후의 차압 $\Delta P$ 를 측정, 유량계산 $Q = K\sqrt{\Delta P}$	오리피스와 동일	자계(磁界)중에서 운동하는 액체에 발 생하는 기전력 E에 서 액체속도로 유량 측정 $Q = KED$	유수에 동일방향과 반대방향에 초음파 를 발진하여 전파속 도 차이 $\Delta f$ 로 유량 측정 $Q = K \cdot \Delta f$	회전자와 케이스 사이에 일정용적을 두어 회전자의 회전 수를 측정으로 통과 체적을 측정 $Q = K \cdot q \cdot N$
적합성	25 $\phi$ ~100 $\phi$ 측정범위는 작음	50 $\phi$ ~3,000 $\phi$ 측정범위는 작음	6 $\phi$ ~2,400 $\phi$ 유속 1‰~10‰최고압 20kgf/cm <sup>2</sup> 측정범위가 크다. 액체가 전도성일 것	300 $\phi$ ~3,000 $\phi$ 구경에 관계없음	20 $\phi$ ~250 $\phi$ 정도 소구경에 적합 스트레이너가 필요
압력 손실	$\Delta P \cdot (1 - \text{비})$ 손실은 큼	차압의 10~30% 정도, 오리피스 에 비하여 작음	없음	없음	손실은 작음
최소직관 정류부분	상류(10~50)D 하류측 5D	상류측 (10~50)D 하류측 (3~ 5D)	상류측 5D~10D 하류측 3D~ 5D	상류측 10D~50D 하류측 5D	불필요
고형물, 부유물의 영향	· 영향이 있다 · 부적합	· 오리피스 보다 양호, · 부적합	· 영향이 적다.	· 영향이 있다. · 부적합 · 미량기포도 유해	· 부적합
보수	공기빼기, 차압산출부, 도압관청소	· 오리피스와 같음	· 액체에 따라 전극 봉청소필요	· 없음	· 스트레이너 청소 · 미터 본체 점검 필요
적용	· 상수, 농업용수	· 상수, 농업 용수, 우수	· 상수, 하수, 농업 용수, 우수	· 상수, 농업용수 · 특히 대구경관에 적합하다.	· 엔진연료, 공급 수도용의 계측
비고	· 비교적 저렴 · 저레이놀즈 수의 측정은 불가	· 오리피스에 비하여 고가	· 비교적 고가 · 외부전원의 영향을 받기 쉬워 접지, 실톤 등의 대책을 요함	· 대구경에 비해 비교적 저렴 · 정류가 불충분하면 펄스발진으로 맥동 류발생 · 전자유량계에 보다 응답성 늦음 · 자동제어계에 추가 한 사용실적이 적다.	

### (3) 기타 계측설비

- ① 댐 설비의 제어방식, 계측기기의 사용목적, 또는 사용조건에 의해 필요한 경우에는 압력계, 개도계 등의 계측설비를 하는 것으로 한다.

## 4.5.5 시공

- (1) 게이트 제작 및 설치는 다음 사항을 고려하여 시공한다.



#### 4.5.5.1 스킨플레이트(Skin plate)의 가공

- (1) 굽히는 스킨플레이트는 밴딩롤러(Bending roller)나 기타 기계로 같은 모양이 되도록 정확히 굽힘시켜야 한다.

#### 4.5.5.2 조립

- (1) 비체, 호구, 개폐장치등을 조립할 경우는 각부의 치수, 형상이 설계와 잘 합치하고 기능이 충분히 발휘될 수 있도록 정확히 조립한다.
- (2) 호구, 비체가 공장에서 완성할 수 없는 것은 형상 및 치수가 설계에 합치한다는 것을 확인하기 위해서 공장내에서 정확히 가조립한다.

#### 4.5.5.3 설치

- (1) 운반상의 취급
  - ① 문비는 제작 및 설치시의 운반과정에서 변형 및 파손이 생기지 않도록 취급에 만전을 기한다.
- (2) 설치
  - ① 문비는 형상 및 치수가 기능을 충분히 발휘될 수 있도록 정확히 설치한다.
- (3) 설치시 홍수에 대한 고려
  - ① 홍수의 우려가 있는 시기에 문비를 설치할 때는 홍수에 의한 피해가 생기지 않는 상태에서 작업한다.
- (4) 호구, 고정부의 설치
  - ① 호구 및 고정부는 비체를 원활히 개폐할 수 있도록 정확하게 설치한다.
- (5) 수밀부의 설치
  - ① 수밀부는 누수를 극력 적게 하도록 조절해서 설치한다.
- (6) 도장사양
  - ① 도장사양은 문비가 설치될 환경에 가장 적응되는 것으로 선택한다.

#### 4.5.5.4 제작

- (1) 스킨플레이트의 가공
  - ① 스킨플레이트를 제작하기 위해서 철판을 원형으로 굽힘하는 데는 롤(Roll)기 또는 프레스(Press)로 해야한다.
  - ② 상온에서 가공함을 원칙으로 하지만 특히 후판이어서 롤기 또는 프레스의 능력을 넘을 경우는 철판을 가열해서 열간가공으로 해도 지장이 없다.
  - ③ 다만 열처리강판과 같이 가열로 재질에 변화를 가져오는 강재를 사용하고 있는 경우는 열간가공방식을 채용해서는 안된다.
  - ④ 3본 Pyramid roll기를 사용할 경우는 판의 양단을 롤기로 굽힐 수가 없으므로 양단 약 30 cm는 프레스 등으로 규정의 원호상으로 굽힘가공을 해주어야 한다. 이 가공

은 일반적으로 단곡(端曲)이라고 칭하고 있으나 해머(Hammer) 등으로 타설해서는 안된다. Pinch roll형의 롤기를 사용할 때는 단곡도 할 수 있으므로 프레스로 단곡을 할 필요는 없다.

### (2) 조립

- ① 문비의 조립에 있어서는 각부치수가 설계치수에 합치하도록 조립되지 않으면 완성 후의 문비개폐나 수밀성이 불완전하게 되기 쉽다. 비교적 소형 문비로서 공장에서 조립된 것을 그대로 현지에 운반할 수 있는 경우는 공장내에서 충분히 치수 계측을 하고 설계치수(도면치수)와 합치시켜 이것을 적당히 보강해서 현장으로 운반한다.
- ② 대형의 호구, 비체는 일반적으로 공장에서 가조립을 하여 각부치수를 조정하고 또 변형을 수정해서 설계치수(도면치수)에의 실측표를 작성하고 합치된 마크를 한 후 해체하여 현장으로 운반한다. 이때에 만약 호구가 설치되어 있으면 설치치수를 실측표와 대조하여 필요하면 비체를 조정하여야 한다.
- ③ 롤러 축, 핀 등은 미리 편심축이나 라이너(Liner)로 조절할 수 있다.
- ④ 용접구조의 경우는 특히 변형이 일어나기 쉬우므로 장경간게이트의 용접에 의한 수축, 호구평면의 용접에 의한 변형 등에 특히 주의한다.

## 4.5.5.5 설치

### (1) 운반상의 취급

- ① 문비 설치장소는 수송조건이 나쁜 곳에 있는 것이 많다. 나쁜 길을 장거리 운반하므로 수송도중에 파손이나 변형할 우려가 많다. 그러므로 부재는 수송조건을 고려하여 되도록 큰 블록으로 함이 바람직하며 블록의 강성이 부족한 부분은 적당하게 보강할 필요가 있다.
- ② 또 기계가공면 등은 목재 등으로 보호하고 수송 중에도 녹이 발생하지 않도록 적당한 도료나 그리스 등을 도포할 필요가 있다. 크레인설비가 없는 장소에서의 상·하차에는 특히 부재를 손상치 않도록 주의를 요한다. 전기부품, 기계부품은 특히 주의해서 취급하여 되도록 비에 젖지 않도록 한다.
- ③ 수밀고무는 보통 감아서 수송하기 때문에 도중에 감은 자리가 생기므로 취부전에 펴두는 것이 바람직하다.

### (2) 설치

- ① 문비의 개폐조작 및 수밀성의 양부는 설치에 크게 영향을 받는 것이므로 비체, 호구 다같이 공장내에서 가조립한 실측표를 참조하고 기능을 발휘할 수 있도록 설치한다. 특히 수밀관계는 신중히 설치할 필요가 있다.
- ② 레이디얼게이트의 각주와 같이 매우 큰 압축력과 밴딩모멘트를 받는 부재에서는 초기 변형이 각주의 좌굴에 대해 매우 중요한 요소가 되므로 초기변형이 각주길이에 대해 1/1,000 이내가 되도록 특히 주의 깊게 설치한다.

### (3) 설치시 홍수에 대한 고려

- ① 일반적으로 문비의 설치시 홍수기를 피하는 것이 바람직하지만 부득이 홍수기에 설

치할 경우는 설치중의 문비가 침수되어 부재의 손상, 유실 또는 문비에 의한 유수저해 때문에 막대한 손해가 생길 우려가 있으므로 미리 홍수대책을 세워두어야 한다. 대책으로는 개폐장치를 먼저 조립해 놓고 홍수예보가 있을 경우는 바로 조립중의 비체를 권상하든가 또는 비체의 조립장소를 높은 곳에 놓고 그 하부로 홍수가 유하할 수 있도록 한다.

② 또 건기에 문비를 조립하고 우기의 조립은 되도록 피할 것이 바람직하다.

#### (4) 호구, 고정부의 설치

- ① 비체를 원활하게 개폐할 수 있도록 하기 위해서는 비체의 수압을 집중해서 받는 호구, 고정부를 정확하게 설치함이 가장 중요하다.
- ② 롤러게이트의 경우는 각 롤러의 롤러 답면이 동일평면상에 있어야 하고 롤러 레일답면도 좌우 동일평면상에 설치되어 각 롤러가 전부 균등하게 롤러레일답면에 접촉하여야 한다.
- ③ 만일 접촉이 같지 않는 경우는 일부의 롤러에 하중이 집중하고 그 때문에 롤러가 파손되거나 조작이 원활하지 않을 우려가 있다.
- ④ 레이디얼게이트의 경우 양호한 수밀, 원활한 개폐조작을 가능케 하기 위하여 좌우의 트러니언핀 중심이 정확하게 동일선상에 있고 그 핀의 주위를 회전하는 비체의 측면은 정확히 피어측면 호구위를 슬라이딩하도록 하여야 한다.
- ⑤ 설치의 정확을 기하기 위하여 적당한 지그(Jig)를 사용함이 좋고 또 설치시의 조정을 가능케하기 위해 라이너, 웨지, 조정볼트를 사용하는 경우가 많다.
- ⑥ 호구의 설치작업은 가장 중요하므로 정확히 설치되지 않으면 양호한 수밀, 원활한 개폐조작을 기대할 수 없다.
- ⑦ 호구의 설치에 있어서는 1차 콘크리트 타설시에 되도록 블록아웃(Block out)하여 설치용 조정볼트 또는 철근을 매입해 놓고 이것으로 호구를 소정의 위치에 정확하고 견고하게 고정해 놓고 2차 콘크리트 타설시의 압력으로 이동되지 않도록 유의한다. 또 호구 설치 후, 설치치수 실측표를 작성해서 그것을 문비를 조립할 때 참고하는 것이 좋다.
- ⑧ 인상식 문비의 경우 원칙적으로 호구는 다소 위가 넓은 경향이 있게 설치함이 바람직하다.

#### (5) 수밀부의 설치

- ① 문비는 지수를 목적으로 하는 것인 이상 완전 지수가 바람직 하지만 일반적인 경우에는 대단히 어렵다. 그러나 누수를 가급적 적게 하는 것이 꼭 필요한 일이다. 문비는 각 모통이가 누수하기 쉽고 다단식 문비에서는 상하비의 접촉부가 누수하기 쉽다. 누수량의 허용범위를 정의하는 것은 어렵다. 즉 문비의 종류에 따라 허용량도 변하여야 한다. 선택(표면)취수설비의 비체에서는 어느 정도의 누수는 허용되는 것도 많다.
- ② 수밀부에서의 누수는 수밀접촉면의 부정(不整)에 의한 것, 호구부재와 콘크리트간의 틈에 의한 것 등이 있다.
- ③ 수밀고무의 접촉불완전에 의한 것은 고무조임볼트를 조정해서 고무의 돌출량을 조

정하거나 고무에 강재칩재를 붙이는 등으로 조절하여 지수한다.

- ④ 공사중의 세멘트풀이 호구에 부착 또는 철근의 잔재 등으로 수밀고무가 손상을 받을 수 있으니 주의를 요한다. 수밀고무는 적당한 압력으로 호구에 접촉하도록 현장조립시 잘 조정할 필요가 있다.

(6) 도장사양

- ① 문비에는 방청이나 미관상 도장이 필요하다.
- ② 일반적으로 문비는 항상 태양광선 및 풍우에 의하여 퇴색되는 부분과 수중에 침적되는 부분이 있고 또는 수위의 변동에 따른 건·습상태의 변화가 반복하는 조건하에 수면상에 있는 부분, 혹은 태양광선의 영향은 적으나 항상 고습도하에 노출되어있는 부분 등 통상의 철구조물과 다른 극심한 부식환경에 있다고 말할 수 있다.
- ③ 도장은 최종적으로는 도막으로 성능을 발휘해서 비로소 효과가 있는 것으로 도막성능의 좋고 나쁨은 환경에 따른 도료의 선택 즉 도장의 사양과 시공이 적절한지의 여부에 좌우되는 것이다.
- ④ 근래 고분자화학의 진전에 따라 도료도 다종 다양한 것이 생산되고 있으나 안정된 기술, 작업성에서 이것을 환경별로 구역별로 사용토록 했다.

4.5.5.6 환경의 종류와 설명

- (1) 해수 : 구조물이 상시 해수에 침적되거나 해수 물방울에 노출되거나해서 해수의 영향을 심하게 받는 경우, 또는 오염수의 영향을 심하게 받는 도시지역의 오염하천 등을 말한다.
- (2) 담수 : 구조물이 상시 저수지에 침적되거나 물의 영향을 받는 환경을 말한다. 산간 대부분을 점하고 있는 일반적으로 청정한 하천을 말한다.
- (3) 해안 : 해상 및 해안선으로부터 약 2 km 이내를 말하고 주로 해염입자의 영향을 받는 지역을 말한다.
- (4) 공업도시 : 공업지대 및 도시의 시가지를 말하고 아류산 가스의 영향을 극심하게 받는 지역을 말한다.
- (5) 기타 : 해안지역, 공업도시와 같은 가혹한 조건 이외의 산간부 및 전원지대를 말한다.

4.5.5.7 도장계(塗裝系)

- (1) 도장계는 시공시 도장전문업체에서 제출한 승인된 특수사양에 따라 조정되어야 한다.
- (2) 도장계는 각 도료의 전색제를 주체로 한 일반적 명칭으로, 액폭시수지계, 염화고무계, 후탈산수지계 등과 같이 분류되어 있으며 1차 프라이머, 하도, 중도, 상도라는 도료의 조합, 도장회수 및 도장장소까지 구분했다.
- (3) 도막두께에 대해서는 소지면의 조도, 용접부, 강재의 모퉁이부분 등의 문제가 있으므로 표준치를 표시해서 최저치를 두었으나 특히 핀홀이 생기기 쉬운 용접부는 반드시 도장할 필요가 있다.

- (4) 또한 개폐장치의 기계류는 통상 블라스트클리닝(Blast cleaning)을 적용하는 것은 어려우나 전동공구나 디스크샌더(Disc sander)등을 써서 커머셜블라스트 (Commercial blast)에 준한 수준으로 하는 것이 바람직하다.
- (5) 해수 중에 설치되는 문비에서 해중 미생물의 부착을 방지할 필요가 있는 것은 방오도료를 칠할 수가 있다.

#### 4.5.5.8 도장시공

##### (1) 하지처리

- ① 강재의 하지처리는 제철소 또는 공장에서 블라스트장치를 써서 모래, 광재, 그리트(Grit) 또는 쇼트(Shot)등의 연소재(研掃材)를 강재면에 압축공기로 뿜어서 밀스케일(Mill scale)(흑피), 적철, 또는 기타의 때를 제거하는 작업이지만 전처리로서 강재면에 부착해 있는 유지류(그리스, Machine 유)를 신너(Thinner)등의 유기용제를 이용하여 닦아내야 한다.
- ② 피도장물의 소지면의 하지처리 판정은 주관적인 것이므로 판정하기가 어렵지만 SSPC 및 SIS로 미리 하지처리의 급수를 표준사진으로 표시하고 있으므로 이 사진과 대비하면 서 판정하는 것이 바람직한 방법이다.
- ③ 하지처리는 제철소에서 일반적으로 시행하고 있는 SSPC의 커머셜블라스트로 했다. 제품가공 전에 블라스트한 것은 가공 후 용접한 자리, 손상부를 샌더, 파워브러쉬(Power brush)등으로 녹을 제거한 다음 소정의 도장을 하여야 한다. 또한 블라스트 이외의 하지처리로서 염산, 유산, 인산 등의 산용액에 의한 산세법도 있으나 소지면은 커머셜블라스트면과 같은 정도로 제청되어 있어야 한다.

##### (2) 도장시공의 제한

- ① 다음과 같은 경우에는 원칙적으로 도장시공을 하여서는 안된다.
  - 가. 기온이 5℃ 이하일 때
  - 나. 습도가 85 % 이상일 때
  - 다. 도료가 경화 건조되기 전에 비가 올 염려가 있을 때
  - 라. 강재의 표면에 습기가 있을 때
  - 마. 염천으로 인하여 도장면에 기포가 생길 염려가 있을 때
  - 바. 중복되는 도장의 경우 전도막의 건조가 불충분할 때
- ② 도장할 때의 기상조건, 기온은 매우 중요하므로 습도 90 % 이상에서 워시프라이머(Wash primer)를 도장하면 백화현상이 생겨 층간 박리의 원인이 되므로 다른 도료를 감안하여 85 % 이상으로 규정하였다. 기온이 낮아지면 도료의 점도가 증가해서 작업성이 나빠지고 더구나 도료 건조는 극단으로 나빠진다. 특히 에폭시수지계, 탈-에폭시는 10℃ 이하가 되면 극단으로 건조시간이 늦어지지만 다른 도료의 종합적 견지에서 5℃ 로 규정하였다.
- ③ 탈-우레탄(Tar-Urethane)수지도료는 10℃ 이하에서도 도장간격은 24H ~7D으로 할 수 있다. 또 피도장면의 온도가 35℃ 이상이 되는 여름에는 도료의 건조가 빨라지

지 않도록 주의가 필요하다.

- ④ 앞에서 기재한 도장간격은 기온 20℃, 습도 75 % 를 기준으로 하고 있으나 조건이 다른 경우는 간격에 다른 점이 있다는 것에 주의해야 한다.

특히 탈-에폭시수지계, 에폭시수지계에 대해서는 최대 도장간격이 7일 이내이므로 운반, 설치까지의 사이가 장기간이 걸리는 것은 공장에서 도장하는 것을 원칙으로 하나 부득이할 경우에는 피도면을 거칠게 하는 등의 필요한 조치를 취한다. 상시수 중에 있는 문비의 경우는 도장과 전기방식을 병용하면 효과가 있다. 이 경우에도 도장에 의한 방식이 주이고 전기방식은 보조여야 한다.

### (3) 전기방식법

- ① 전기방식법에는 유전양극방식과 외부전원방식이 있으나 문비의 경우에는 시공이 간단한 유전양극방식이 주로 쓰인다. 전기방식법의 종류와 장단점을 비교하면 다음표와 같다.

〈표 4.5.-23〉 전기방식법의 종류와 장단점 비교

구분	유전양극방식	외부전원방식
장점	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 설치방법이 간단하다.</li> <li>2. 방식대상체가 작은 경우 비용이 경제적이다.</li> <li>3. 근접 타배관에 간섭 영향이 없다.</li> <li>4. 과방식의 염려가 없다.</li> <li>5. 외부의 전원이 필요 없다.</li> <li>6. 유지관리비가 적다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 방식효과의 범위가 넓다.</li> <li>2. 방식 대상체가 클 경우 비용이 경제적이다.</li> <li>3. 양극 소모가 적다.</li> <li>4. 전압, 전류의 조절이 쉽다.</li> <li>5. 양극 설치 수량이 적다.</li> <li>6. 비저항으로 인한 제한이 적다.</li> </ol>
단점	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 방식효과의 범위가 작다.</li> <li>2. 방식대상체가 클 경우 비용이 크다.</li> <li>3. 양극 소모로 일정기간 보충해야 한다.</li> <li>4. 방식전류의 조절이 곤란하다.</li> <li>5. 비저항이 낮은 물이나 토양환경 외에는 활용하지 못한다.</li> <li>6. 양극 설치 수량이 많다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 방식대상체가 작은 경우에는 초기 투자비가 많이 든다.</li> <li>2. 강력하여 근접 타배관에 간섭을 준다.</li> <li>3. 과방식에 주의해야 된다.</li> <li>4. 외부전원이 필요하다.</li> <li>5. 유지관리비가 많다. (전력비, 인건비)</li> </ol>

## 4.5.6 검사

- (1) 문비의 제작과정에서는 재료검사, 치수검사, 용접검사, 공장가조립검사, 현장검사를 할 것이 필요하다. 그러나 문비의 종류, 규모, 중요도에 따라서 그 일부를 생략할 수도 있다.

## 4.6 이설 및 진입도로

### 4.6.1 일반사항

- (1) 이설도로 및 진입도로 건설은 합리적인 계획과 설계가 이루어지도록 하여야 하며, 저수지 수변과 인접 지역으로의 동물이동 단절방지 및 서식지 훼손의 최소화 방안을 노선 선정시 충분히 검토한다. 이설도로는 댐 건설에 따른 수몰 등으로 인하여 사용하지 못

하는 기존도로의 대체도로를 말하며, 진입도로는 댐 공사를 위하여 댐 건설지 또는 기타 부대시설 등에 접근하기 위한 도로를 말한다.

- (2) 이설도로 및 진입도로는 “KDS 67 35 00” 농도의 설계기준을 참고한다.

#### 4.6.2 설계시 고려사항

- (1) 댐 건설로 수몰되는 도로의 이설계획을 제시한다.
- (2) 이설도로는 도로의 기능확보, 인근 주민의 편의 제공, 장래 지역발전 및 경제성을 고려하여 합리적인 계획이 되도록 한다.
- (3) 댐 건설을 위해 필요한 이설 및 진입도로 등을 위한 측량은 기능과 목적에 부합되도록 시행되어야 한다.
- (4) 이설도로 공사를 실시하기에 앞서 공사의 목적, 내용 및 규모에 따라 적당한 세부측량이 선행되어야 한다. 일반적으로 댐 지점의 상·하류부에 걸쳐서 좌·우안의 가용면적을 정확히 파악하고 상호 연관성이 깊은 가설비는 한 곳으로 모아서 배치함으로써 유기적인 기능이 발휘될 수 있도록 한다.
- (5) 이설도로는 보통 저수지 주변에 개설되므로 도로의 구조시설 기준 및 농도의 구조시설 기준에 따라 설치하며 주변경관과 조화되도록 노선과 도로단면 계획에 유의한다.
- (6) 진입도로 노선은 공사비, 댐 및 부대시설 배치계획, 공사재료원, 시공계획, 지역여건 등을 고려하여 공사에 편리하도록 계획한다. 만일 기설도로가 있으면 운반자재의 양, 크기, 중량 등을 고려하여 개량 정비한다.
- (7) 진입도로는 공공도로와는 달리 사용기간이 짧고 사용목적이 제한되는 점을 특히 고려한다. 따라서 진입도로의 규모는 도로 건설비와 댐 축조비의 경제성 검토에서 결정된다.

#### 4.6.3 도로계획 및 설계 절차

- (1) 도로의 계획 및 설계는 도로 현황 및 교통, 노선, 경제, 환경, 토질, 그리고 용지 및 보상, 물가, 기상, 장애물 등에 대한 조사가 이루어져야 한다. 이설 및 진입도로의 설계는 관련계획 검토, 조사예정지 검토, 예정지 노선답사, 현장조사, 노선측량, 설계기준사항 검토, 도로구조 계획, 도로설계 등의 순서로 실시한다.

#### 4.6.4 기하구조

- (1) 도로의 설계속도와 기하구조는 도로의 중요도, 계획교통량, 지형, 환경조건을 고려하여 결정한다.
  - ① 기하구조 설계시 고려하여야 할 사항
 

가. 도로의 기능, 교통량과 이의 구성, 설계속도, 지형, 경제성, 차량특성, 인간특성, 안전성, 환경적 측면을 고려한다.
  - ② 설계기준자동차

가. 설계기준자동차는 도로 구조설계의 기준이 되는 자동차를 말하며, 이설 및 진입 도로의 설계에는 중대형자동차가 안전하고 원활하게 통행할 수 있도록 한다.

③ 설계속도

가. 설계속도

(가) 설계속도는 도로의 기하구조를 결정하기 위해 사용되는 것으로 도로의 구조면에서 보는 경우와 차량의 주행면에서 보아 다음과 같이 정의한다. 즉, 도로구조면에서 보면 차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 물리적 형상을 상호 관련시키기 위하여 정해진 속도를 말하며, 차량 주행면에서 보면 도로설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건하에서 보통의 운전자가 도로의 어느 구간에서나 쾌적성을 잃지 않고 안전하게 주행할 수 있는 속도를 말한다.

나. 주행속도

(가) 주행속도는 지형이나 연도(沿道)상황 및 도로의 실제 선형을 따라서 운전자가 선택하는 속도를 말하며, 일반적으로 주행속도는 설계속도의 70~90% 정도이다.

다. 설계속도의 결정

(가) 설계속도는 도로설계의 기본이 되는 속도로서 도로의 구분, 도로의 중요도, 계획교통량, 지형, 환경조건을 고려하여 결정하며, 지방지역의 국지도로(군도) 및 면도에서는 50km/h, 산지는 40km/h 이상으로 한다. 다만, 지형상황 등을 고려하여 부득이하다고 인정되는 경우에는 위의 속도에서 20km/h를 뺀 속도를 설계속도로 할 수 있다.

라. 설계속도와 기하구조의 관계

(가) 설계속도와 기하구조의 관계에서 직접 관련되는 요소는 곡선반경, 곡선 길이, 완화곡선길이, 종단기울기, 종단곡선길이, 시거, 편기울기 등이며, 간접 관련 요소는 차선평, 길어깨 폭, 확폭 등이다.

④ 설계구간

가. 설계구간은 도로 기능, 지역 및 지형과 계획교통량에 따라 동일한 설계기준을 적용하는 구간을 말하며, 노선의 성격이나 중요성, 지역 및 지형 상황이 대체로 같은 구간은 원칙적으로 동일한 설계구간으로 함이 바람직하다.

(가) 설계구간의 길이

㉠ 동일한 설계구간은 자동차가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있는 충분한 길이를 가져야 하며, 지방지역의 기타 도로에 대한 설계구간의 표준 길이는 15~10 km로 하며, 부득이한 경우 설계속도만을 떨어뜨리는 최소구간의 길이는 2 km로 한다.

(나) 설계속도가 다른 구간을 접속시킬 경우에는 인접한 설계구간과의 설계속도의 차이는 20km/h 이하가 되도록 하되, 점차적으로 감속을 유도한다. 또한, 급격한 기하구조 변경은 운전자의 기대감 상실로 사고를 유발할 우려가 있



으므로 충분한 거리에서 운전자가 인지할 수 있도록 접속한다.

#### ⑤ 횡단면 구성

가. 도로의 횡단면을 구성하는 데는 계획도로의 기능, 계획목표년도의 계획수준, 교통의 안전성과 효율성 등을 고려할 필요가 있다. 횡단 구성면의 표준은 보도가 없는 경우와 한쪽 또는 양쪽에 보도를 설치하는 경우로 구분한다.

#### ⑥ 선형 설계

가. 도로의 선형 설계시에는 자동차 주행의 충분한 안전성, 쾌적성, 경제성을 확보할 수 있도록 배려하고, 동시에 선형이 지형, 지질, 경관 등의 조건에 대하여 적응성을 가지며 기술적·경제적으로 타당하여야 한다. 평면선형은 직선, 원곡선 및 완화곡선으로 구성되고, 종단선형은 2차 포물선과 직선으로 구성되며, 선형설계시 평면 또는 종단선형을 개별적으로 검토하지 않아야 한다. 종단선형 설계시 지형과 적합하며, 원활한 선형이 되도록 한다.

### 4.6.5 횡단면 구성

#### 4.6.5.1 횡단면 계획시 유의사항

- (1) 필댐이 느슨한 사질지반에 축조된 경우나 지진 등의 외력에 의하여 과잉 간극수압의 상승에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 기초지반이나 제체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토한다.
- (2) 일반적으로 도로의 횡단면을 구성하는데 있어서 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.
  - ① 계획도로의 기능에 따라 횡단면을 구성하며, 설계속도가 높고 계획교량량이 많은 노선에 대해서는 높은 규격의 횡단구성요소를 갖출 것.
  - ② 계획목표년도에 대한 교통수요와 요구되는 계획수준에 적응할 수 있는 교통처리 능력을 갖출 것.
  - ③ 교통의 안전성과 효율성을 검토하여 구성할 것.
  - ④ 교통상황을 감안하고 필요에 따라서는 자전거 및 보행자를 분리할 것.
  - ⑤ 교차접속부의 교통처리 능력, 교통처리 방식 및 필요한 경우 출입제한 방식도 검토할 것.
  - ⑥ 인접지역의 토지이용 실태 및 계획을 충분히 감안하여 연도에 대한 생활환경보전에 노력할 것.
  - ⑦ 도로의 횡단구성 표준화를 도모하여 도로의 유지관리, 양호한 경관확보, 유연한 도로기능을 확보할 것.

#### 4.6.5.2 횡단면 구성요소

- (1) 도로의 횡단 구성요소는 차도, 중앙분리대, 길어깨, 주정차대, 자전거도로, 자전거보행자도, 보도, 식수대 및 측대로 이루어지며, 지방지역도로의 횡단면 구성은 표준으로 하고, 지형적 조건에 따라 조정한다.

〈표 4.6-1〉 지방지역의 도로 횡단 구성면의 표준

구 분	설계 속도 (km/h)	차선평 (m)	길 어깨(m)		측대 (m)	보도 (m)
			우측	좌측		
집산도로 (지방도 및 군도)	50~60	3.0	1.25	0.5	0.25	1.5
국지도로 (군도)	40~50	3.0	1.0	0.5	0.25	1.5

#### ① 차도

가. 도로의 차선수는 도로의 구분 및 기능, 지형 상황, 설계시간 교통량 등을 고려하여 정한다. 차로의 폭은 도로의 구분, 설계속도 및 지역 등에 따라 다르나 설계속도 60 km/h 미만인 경우에는 3 m 이상으로 한다. 2차선 이상인 도로의 차선평은 노면표시의 중심선에서 중심선까지로 하며, 폭은 3 m 이상으로 한다. 리도를 1차선으로 설계하는 경우에는 5 m 이상 차선평을 원칙으로 하되 지형상황 등을 참작하여 부족하다고 인정하는 경우에는 차선평을 4 m 이상으로 할 수 있다.

#### ② 길 어깨

가. 도로의 주요 구조부를 보호하거나 차도의 효용을 유지하기 위하여 도로에는 차도와 접속하여 길 어깨를 설치한다. 차도의 오른쪽 길 어깨의 폭은 도로의 구분과 설계속도에 따라 최소폭은 0.5~1.0 m 이상으로 한다.

### 4.6.6 선형 설계

#### 4.6.6.1 선형 설계요소

(1) 이설 및 진입도로의 선형은 도로의 특성상 설계속도 최고 60 km/h 까지를 주 고려대상으로 하며, 선형(alignment)은 도로 중심선이 입체적으로 그리는 형상으로, 평면선형과 종단선형으로 구분된다.

#### ① 평면선형

가. 평면선형은 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 형상을 평면적으로 본 것으로, 평면선형은 자동차의 주행궤적에 따르도록 직선, 원곡선 및 완화곡선으로 구성되며 고려해야할 요소는 곡선반경, 곡선 길이, 곡선부의 편기율기, 곡선부의 확폭 및 완화구간 등이다.

#### ② 종단선형

가. 종단선형은 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 형상을 종단적으로 본 것으로, 종단선형은 직선과 곡선으로 구성된다. 설계요소로는 종단기율기, 종단기율기구간의 제한길이, 종단곡선, 오르막차선 설치 등이 있다.

#### ③ 선형 설계시 고려 사항

가. 평면, 종단선형을 개별적으로 검토하지 말 것

- 나. 개개의 선형이 아닌 일련의 선형으로 검토할 것
- 다. 직선을 우선으로 하고 곡선을 보조적인 선형으로 하지 말 것
- 라. 최소규격에 구속되지 말고 여유있게 할 것

#### 4.6.6.2 평면선형시 유의사항

(1) 평면선형시 유의사항은 다음과 같다.

- ① 선형은 주변 지형에 적합해야 한다.
- ② 선형은 연속적이어야 한다.
- ③ 도로 교각이 작은 경우에는 곡률이 실제보다 크게 보이는 착각을 방지하기 위하여 충분한 곡선길이를 확보하여야 한다.
- ④ 높은 성토가 연속되는 구간에는 가능한한 곡선반경을 크게 한다.
- ⑤ 직선과 원곡선 사이에 클로소이드(clothoid) 곡선을 삽입할 때 클로소이드의 파라미터  $A(m)$ 와 원곡선 반경  $R(m)$ 과의 사이에는  $\frac{R}{2} \leq A \leq R$  이 되게 하고, 곡선반경  $R$ 이 큰 경우에는  $\frac{R}{3} \leq A \leq R$  가 되도록 한다.
- ⑥ 배향곡선 사이에 짧은 직선을 삽입하는 것은 피하도록 한다.
- ⑦ 평면선형의 설계시 종단선형과 조화를 이루도록 한다.

(2) 평면선형의 설계 방법

- ① 평면 선형구성의 종류는 긴 직선-짧은 곡선에 의한 선형구성, 긴 곡선-짧은 직선에 의한 선형구성, 연속적인 곡선에 의한 선형구성으로 구분한다.
- ② 긴 직선-짧은 곡선에 의한 선형 구성은 과거에서부터 전통적인 설계수법으로 이용되어 왔으며, 이는 주어진 지형조건에서 기본이 되는 도로축선의 직선을 먼저 설정하고, 이들을 원곡선과 클로소이드곡선으로 연결하는 방법으로, 보통 도시내 또는 평야부 지역에서 사용된다.
- ③ 연속적인 곡선에 의한 선형 구성은 곡선이 연속될 수록 시각적으로 원활함의 정도가 증대되며, 이는 주어진 지형조건 등에서 먼저 기본이 되는 원곡선을 설정하고, 이들 원곡선을 적절한 클로소이드 곡선으로 연결하는 새로운 선형설계방법이다. 일반적으로 산이나 골짜기가 많은 지방지역인 저수지 이설도로 및 농도에 적합한 방법이다.

(3) 평면선형설계요소중 원곡선(최소곡선반경, 최소곡선길이), 완화곡선길이 산정 및 완화곡선 생략 등에 대한 계산 및 적용은 농도의 구조·시설기준과 도로의 구조·시설기준(건설교통부, 1999)의 곡선반경, 곡선의 길이, 완화구간을 참조한다.

(4) 평면선형요소 설계

① 평면곡선반경

- 가. 자동차가 곡선부를 안전하게 주행할 수 있도록 곡선부의 최소 회전반경을 정하여야 하는데, 이설 및 진입도로에서는 차도의 곡선부의 곡선반경은 당해차도의 설계속도에 따라 “〈표〉 최소 평면곡선반경의 길이” 이상으로 한다.

나. 최소 곡선반경의 규정치는 안전성과 쾌적성이 확보되도록 정해져 있지만 이들은 최소한의 값이며, 선형의 균형(balance)을 생각하여 최소곡선반경의 규정치를 적용하는 것을 될 수 있으면 피하고 가능하면 최소곡선반경의 규정치의 1.5 배 정도를 최소치로 하여 설계하는 것이 바람직하다.

- ② 노면에서 횡방향으로 미끄러지지 않기 위한 최소 회전반경은 설계속도와 편기율기, 노면 마찰계수 사이에 다음 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$R > \frac{V^2}{127(i+f)}$$

여기서, R = 최소곡선반경(m), V = 설계속도(km/h), i = 편기율기(%)

f = 노면과 타이어 사이의 마찰계수이다.

<표 4.6-2> 최소 평면곡선반경

설계속도 (km/h)	최소 평면곡선반경 (m)		
	적용 최대 편기율기		
	6 %	7 %	8 %
60	140	135	130
50	90	85	80
40	60	55	50
30	30	30	30
20	15	15	15

평면곡선부의 최소곡선반경에서 편기율기 최대치는 도로의 구분 및 지역의 기상조건에 따라서 i = 6 % 및 8 %로 규정되어 있으며, f = 0.10~0.15 이다.

- ② 도로의 곡선길이

가. 도로의 최소 곡선길이는 다음과 같은 조건을 고려하여 정한다.

(가) 운전자가 핸들조작에 불편을 느끼지 않을 조건

- ㉠ 곡선부 길이를 L(m), 곡선부 통과시간을 t(s), 속도를 V(m/s)라 하면 L은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 운전자가 핸들조작에 불편을 느끼지 않을 곡선부의 통과시간은 4 초간의 곡선길이도 무리가 없다고 알려져 있으며, 이는 최소완화구간의 2배가 된다.

$$L = t \cdot V$$

(나) 곡선반경이 실제보다 짧게 보이는 착각을 일으키지 않을 조건

- ㉡ 외선길이를 N, 최소완화구간의 길이 l, 도로교각을  $\theta$  라 하면, 곡선의 길이 L(m)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = 2l = 688 \frac{N}{\theta}$$

(다) 이상 계산에서 차도의 평면곡선부의 중심선 길이는 “<표> 평면곡선의 길이”의 길이 이상으로 한다. 도로 구조·시설기준에 관한 규칙에서는 도로의 교각이 50 이상일 경우는 (1) 조건을, 50 미만일 때는 (2) 조건을 만족하도록 하고 있다.

## ③ 곡선부의 편기율기

가. 평면곡선부에서 자동차가 원심력에 저항할 수 있도록 하기 위하여 설치하는 횡단기율기로서, 당해도로의 구분, 지역의 적설정도, 설계속도, 평면곡선반경 및 지형상황 등을 고려하여 편기율기를 둔다.

## (가) 편기율기 설치 요령

- ㉔ 도로의 곡선부를 주행하는 자동차는 원심력을 받게 되는데 노면과 타이어 간에 생기는 마찰에 의해서 이에 대항하며, 횡단방향으로도 안정된 주행을 유지할 수 있도록 편기율기를 설치한다. 공사의 시공성 및 유지관리면에서 도로 곡선부의 최대 편기율기는 지방지역의 적설 한냉지역은 6 %, 기타지역은 8 %로 이내로 한다.

〈표 4.6-3〉 평면곡선의 길이

설계속도 (km/h)	평면곡선의 최소 길이 (m)		
	도로 교각이 5° 미만인 경우	도로 교각이 5° 이상인 경우	비 고
60	$350/\theta$	70	$\theta$ 는 도로 교각의 값으로 2° 미만이면 2° 로 한다.
50	$300/\theta$	60	
40	$250/\theta$	50	
30	$200/\theta$	40	
20	$150/\theta$	30	

## (나) 편기율기 접속설치 비율

- ㉔ 곡선부를 확폭하는 경우에는 완화구간내에서 편기율기를 접속 설치하며, 편기율기 접속 설치비율은 주행 쾌적성에 문제가 없는 범위에서 설치한다.

〈표 4.6-4〉 편기율기 접속설치 비율

설계속도 (km/h)	60	50	40	30	20
편기율기 접속설치비율	1/125	1/115	1/100	1/75	1/50

## (다) 편기율기 설치길이 산정식

- ㉔ 편기율기 설치의 원칙적으로 완화곡선 전체길이에 걸쳐서 시행하며, 길이 산정식은 다음과 같다.

$$L_s = \frac{B \cdot \Delta i}{q}$$

여기서,  $L_s$  : 편기율기의 설치 길이(m), B : 기준선에서 차도까지의 거리(m),

$\Delta i$  :  $|i_1 - i_2|$  시점과 종점의 기울기차이 절대값,  $q$  : 편기율기 설치율(m/m)

## ④ 평면곡선부의 확폭

가. 차도 곡선부의 차선 폭은 당해 곡선부의 곡선 반경에 따라 결정한다.

(가) 설계차량과 확폭량의 산정기준 : 설계차량은 중대형 자동차를 대상으로 해서 확폭량을 산정하며, 확폭을 필요로 하는 최소 곡선반경은 계산으로 구한 확폭량이 0.20 m 이상이 되는 반경을 대체로 기준으로 해서 그 보다 큰 곡선반경의 경우에는 확폭하지 않는다. 또한 차선당 최소 확폭량은 설계 및 시공상의 편리를 고려하여 0.25 m 단위로 확폭량을 정하며, 설계 속도 40 km/h미만의 저속에 대하여는 차량의 차선중심선상에서 어느 정도까지는 차선의 좌측으로 이동하여 운전이 가능하다는 점과 경제성을 고려하여 확폭량을 정한다.

〈표 4.6-5〉 곡선부의 확폭량 (단위 : m)

곡선 반경	차선당 최소확폭량	곡선반경	차선당 최소확폭량
100 이상 150 미만	0.25	25 이상 30 미만	1.25
55 이상 100 미만	0.50	20 이상 25 미만	1.50
40 이상 55 미만	0.75	18 이상 20 미만	1.75
30 이상 40 미만	1.00	15 이상 18 미만	2.00

#### 4.6.6.3 종단선형시 유의사항

(1) 종단선형시 유의사항은 다음과 같다.

- ① 선형은 지형에 적합하고 원활하여야 한다.
- ② 앞쪽과 뒤쪽 끝만 보이고 중간이 폭 패여 보이지 않는 오목형 종단곡선은 피하도록 한다.
- ③ 오목부에 삽입하는 종단곡선은 충분히 길게 하여 시각적으로 원활한 선형이 되도록 한다.
- ④ 동일 방향으로 굴곡하는 두 종단곡선 사이에 짧은 직선 구간을 두는 것은 피하도록 한다.
- ⑤ 길이가 긴 오르막구간에서는 오르막기울기가 끝나는 정상부근에서 기울기를 비교적 완만하게 선형을 계획한다.
- ⑥ 종단기울기는 완만하게 할수록 좋지만 노면배수를 위하여 최소 0.3~0.5 %의 종단기울기를 둔다.
- ⑦ 오르막길이가 길고 종단기울기가 큰 경우에는 오르막 차선 설치와 기울기를 낮추어 설치하지 않는 방안을 비교한다.
- ⑧ 터널내 환기를 고려하여 장대터널의 오르막 기울기는 2 % 이내로 하고, 특별한 경우에도 3%를 넘지 않도록 한다.
- ⑨ 교량 위치가 오목선형에 있지 않도록 한다.

(2) 종단선형의 설계 방법

- ① 종래 종단선형의 설계방법은 평면선형 설계와 마찬가지로 먼저 지형의 변화에 따른 요철에 맞추어 기준점이나 절성토의 균형 등의 조건을 고려하여 직선형으로서 종단

기울기를 설정하고 이들을 연결하는 직선에 따라 종단형상의 기본형이 정해지며, 다음에 종단기울기의 변화점에 종단곡선을 필요에 따라 적절한 길이로 삽입시키는 방법이다.

- ② 새로운 설계 방법은 먼저 지형에 맞추어 종단곡선을 설정하고, 인접하는 종단곡선 끼리는 접하도록 하거나 직선을 삽입하여 연결해 가는 방법이다. 두 종단곡선을 포괄하는 하나의 종단곡선으로 치환한다.
  - ③ 종단곡선을 될 수 있는 대로 크게 잡는 것은 설계와 시공의 양면에서 어려우나, 완성되면 도로는 지형에 잘 어울리고 연속적으로 흐르는 듯한 인상을 주어 쾌적한 주행을 할 수 있다.
- (3) 평면 및 종단선형을 이상적으로 조합시키는 요령
- ① 직선부에서 종단선형은 긴 연장의 일정한 기울기 구간에서 국부적인 작은 굴곡을 피하도록 한다.
  - ② 곡선부에서 종단선형은 단구간의 둥근 언덕모양의 굴곡을 피하고, 긴 구간에 걸쳐 종단기울기를 일정하게 하도록 한다.
  - ③ 종단곡선상에 긴 연장의 직선기울기에 있는 굴곡은 멀리 떨어진 옆에서 보이지 않는다.
  - ④ 두 평면곡선 사이에 종단선형상 정점부의 짧은 직선구간 : 곡선사이의 짧은 직선구간과 정점부의 반향곡선(reverse curve)은 피한다.
  - ⑤ 종단곡선상 굴곡의 바닥에 변곡점의 설치를 피한다.
  - ⑥ 언덕 등에 의하여 도로의 일부가 보이지 않아서 도로가 불연속된 것처럼 보이는 불연속 효과를 줄인다.
  - ⑦ 평면곡선과 종단곡선이 다른 방향으로 대응하여 균형된 도로인 경우에 시각 효과가 좋다.
  - ⑧ 평면곡선 반경에 있어서 교각이 매우 작을 때는 작은 곡선반경보다 큰 곡선반경이 바람직하다.
  - ⑨ 긴 연장의 직선부와 평면곡선이 적은 것을 조합하여 원활하지 못한 경우에는 직선부와 곡선부 사이에 완화구간을 설치한다.
- (4) 식재에 의한 시각환경
- ① 하향기울기의 좌회전 커브에서 도로 우측의 식재는 운전자에게 불안감을 해소시키며, 직선부 또는 곡선부의 변곡점 부근에 정점이 있을 때 도로 우측의 식재는 도로의 선형을 운전자에게 미리 알리는 역할을 해준다.
- (5) 종단기울기 및 종단곡선 설치
- ① 종단기울기 및 종단곡선 설계시 유의사항은 다음과 같다.
    - 가. 서로 다른 종단기울기를 접속시키는 경우 연속된 급기울기의 중간에 극히 짧은 구간을 평탄구간이나 완기울기를 삽입하지 말 것
    - 나. 적설 및 한냉지에서는 급기울기를 피할 것
    - 다. 대형차가 많은 경우, 오르막차선을 설치하는 것의 경제성을 검토할 것

라. 긴 평탄구간은 좋지 않으며, 노면배수를 고려하여 0.3~0.5 %의 종단기울기를 설치한다.

마. 하나의 평면곡선내에서 종단선형의 요철을 반복하는 것은 피한다.

바. 긴 곡선구간에 오목형 종단곡선의 삽입은 피한다.

사. 같은 방향으로 굴곡하는 두 직선사이에 짧은 직선의 삽입은 피한다.

## ② 종단기울기 및 종단곡선 길이

가. 종단기울기는 도로의 진행방향 중심선의 길이에 대한 높이의 비율을 말하며, 도로의 구분, 지형상황과 설계속도에 따라 차도의 종단기울기 및 종단길이는 다음과 같다. 종단곡선의 길이는 종단곡선의 최소변화비율에 의하여 산정한 길이와 “<표> 차도의 종단기울기 및 종단길이”의 종단곡선의 최소길이 중 큰 값 이상으로 한다.

<표 4.6-6> 차도의 종단기울기 및 종단길이

설계속도 (km/h)	종단 기울기 (%)		종단곡선의 최소길이 (m)
	표 준	부득이한 경우	
60	5	7	50
50	6	9	40
40	7	10	35
30	8	11	25
20	10	13	20

## (6) 평면선형과 종단선형의 조합

① 평면선형과 종단선형의 조합은 도로환경과 조화를 이룰 수 있도록 설계시 ① 선형의 시각적 연속성을 확보할 것, ② 선형의 시각적, 심리적 균형을 확보할 것, ③ 노면의 배수 및 자동차의 운동역학적 요구에서 적합한 기울기가 취해질 수 있는 조합을 택할 것, ④ 항상 도로환경과의 균형을 고려할 것 등에 유의한다.

### 4.6.6.4 포장설계

(1) 차도는 교통량, 노상의 상태, 기후조건, 경제성, 시공성 및 유지관리 등을 고려하여 적절한 두께 및 재질 등의 구조로 포장한다. 포장은 아스팔트콘크리트 포장 또는 시멘트 콘크리트 포장으로 하고, 계획교통량, 자동차의 중량, 노상의 지지력, 기상상황, 경제성 등을 고려하여 포장구조를 결정한다. 다만, 교통량이 적거나 특별한 사정이 있는 경우에는 토사계 포장 구조로 할 수 있다.

(2) 이설도로 포장을 계획하기 전에 포장형식 검토, 포장단면 가정, 최적단면 결정, 동결깊이 검토, 포장구조 결정과 같은 순서에 의해서 포장형식을 먼저 결정한다.

#### ① 포장의 종류

가. 도로는 교통량, 노상의 상태, 기후조건, 경제성, 시공성 및 유지관리 등을 고려



하여 자동차가 안전하고 원활하게 통행할 수 있는 공법으로 포장한다. 도로의 포장은 가요성 포장인 아스팔트 콘크리트 포장과 강성포장인 시멘트 콘크리트 포장, 토사계 포장 등으로 분류되며, 포장공법을 선정할 때는 재료, 장비, 지형, 지세와 기후조건 등과 같은 영향인자와 구조적 특성, 시공성, 주행성, 경제성, 내구성, 미끄럼 저항 및 노면안정성 등을 고려한다.

## ② 아스팔트 포장과 시멘트콘크리트 포장

가. 아스팔트 포장은 노반 위에 아스팔트 혼합물로 포장하여 표면을 노면으로 사용하는 것을 말하며, 표층, 중간층, 기층, 보조기층으로 이루어져 있다. 콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브를 표층으로 하는 포장을 말하며, 콘크리트 슬래브 및 보조기층으로 구성되어 있다. 일반적으로 아스팔트 콘크리트포장과 시멘트 콘크리트포장의 장단점은 아래 표와 같다.

〈표 4.6-7〉 아스팔트 포장과 시멘트콘크리트 포장의 장·단점

포장 항목	아스팔트 포장	콘크리트 포장
내구성	· 중차량 증가로 포장수명 단축 · 5~10년마다 덧씌우기 필요	· 중차량에 대한 내구성 양호 · 포장수명 20~30년
주향성	· 소음, 진동이 적고 평탄성 및 승차감 양호	· 소음, 진동이 있고 평탄성 불리
시공성	· 시공경험 풍부, 포장설비 유리 · 품질관리에 숙련도 요함	· 포장 장비가 까다로우나 슬립폼 페이퍼 사용으로 시공성 향상
미끄럼 저항성	· 다소 불리	· 초기에는 아스팔트포장에 비해 다소 유리함
양생기간	· 양생기간이 짧아 즉시 교통개방 가능	· 양생기간이 길어 교통 중단
유지보수 및 경제성	· 유지보수가 잦아 보수비 고가 · 부분 보수작업 용이함 · 유가변동에 영향을 받음	· 유지보수가 없어 보수비 저렴 · 보수작업이 어려움 · 시멘트 수급 파동에 영향을 받음

또한, 아스팔트 포장과 콘크리트 포장에 대하여 토질, 지역교통, 재료, 기상, 공사기간, 경제성 등의 적용 조건을 비교하면 아래의 〈표〉와 같다.

〈표 4.6-8〉 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 적용조건 비교

## 농업용 필드 설계

구분 항목	아스팔트 포장	콘크리트 포장
토질조건	· 토질 적용성 유리	· 불균질 토질에는 불리
지역교통 조건	· 중차량이 많은 구간은 불리(내구성 불리) · 조기 교통개방이 필요한 곳 적용에 유리 : 양생기간이 짧다.	· 내구성 양호로 중차량 구간 유리 · 조기개통구간은 불리 : 양생기간이 길다
현지재료 조건	· 노반공사비가 많이 소요 · 노반재료입수가 곤란한 곳에 불리	· 노반재료 입수가 곤란한 곳에 적용시 유리
기상조건	· 강우, 강설량이 많거나 고온 다습 지대 등에 불리 · 수분에 약함	· 기상작용(수분)에 대한 저항성 유리
공사기간	· 공사기간 급박한 경우 유리 · 시공성, 양생 등 유리	· 공사기간 급박한 경우 불리
경제성 (유지보수)	· 초기 건설비 다소 유리 · 유지보수가 잦아 보수비는 고가, 보수작업은 용이 · 유가변동에 영향을 받음	· 초기 건설비 다소 비싸다 · 유지보수 별로 없어 보수비는 유리, 보수작 업은 어려움 · 시멘트 수급 파동에 영향

### ③ 아스팔트 및 콘크리트 포장 설계법

가. 이설 및 진입도로 포장은 농도의 구조·시설기준에 있는 포장설계 방법을 적용하고, 기타 세부내용은 도로포장 설계·시공지침(건설부, 1991)을 참조한다. 우리 나라는 AASHTO방법(1972) 및 TA법을 주로 사용하고 있다.

(가) 포장설계는 다음과 같은 조건을 만족하도록 한다.

- ㉠ 작용하중에 의해 발생하는 노상응력이 허용치 이하가 되도록 한다.
- ㉡ 환경조건에 맞는 내구적인 구조물이어야 한다.
- ㉢ 안전하고 쾌적한 자동차 주행이 되도록 한다.

나. 아스팔트 포장 설계법

- (가) AASHTO INTERIM GUIDE METHOD (1972)
- (나) 개정 AASHTO METHOD (1986)
- (다) TA법

다. 콘크리트 포장 설계법

- (가) PCA 방법(Portland Cement Association Method)
- (나) AASHTO INTERIM GUIDE METHOD (1972)
- (다) 개정 AASHTO METHOD (1986)0

### ④ 토사계 포장

가. 토사계 포장은 자연 흙을 이용하거나 노상 위에 자갈, 쇄석, 모래 등을 깔고 표면을 노면으로 사용하는 것으로 다른 포장 형식보다 훨씬 경제적이므로 교통량이 적은 도로에 많이 사용한다. 현장조건에 따라 적용하며, 토사도와 사리도의 특징은 다음과 같다.

(가) 토사도

- ㉠ 토사도는 자연토사만을 사용하는 도로로서 구조가 간단하지만 노면이 약

하기 때문에 파손이 크다. 물에 약하고 동상 피해 및 배수에 유의하여야 하며, 토사도의 재료는 조립분이 많고 결합재로서 적당량의 점토가 섞인 것이 좋다. 표면배수를 위한 횡단 기울기는 3~6 % 정도로 크게 하며, 종단 기울기는 0.5~4 %의 범위를 사용한다. 표면건조를 위해서 햇볕이 잘 드는 곳을 택한다.

(나) 사리도

㉔ 사리도는 노면을 자갈, 쇄석, 모래 등으로 만든 도로로서 배수에 유의하고, 사리도의 노반두께는 일반적으로 10~20 cm 정도이다.

⑤ 동결에 대비한 포장설계

가. 한냉지에는 교통하중에 대하여 필요한 두께와 동결깊이를 비교하여 도로가 동상으로 파괴되지 않도록 한다. 동결깊이(depth of frost penetration)는 노면에서 지중온도가 0℃인 선까지의 깊이를 말하며, 이를 결정하는 방법에는 직접 측정하는 방법과 그 지방의 일평균기온 및 열전도율 등의 기상자료로부터 추정하는 방법이 있다. 이중 동결지수와 동결깊이와의 관계는 다음과 같다.

$$z = C\sqrt{F}$$

여기서, z는 동결깊이(cm), F는 동결지수(℃·day), C는 노면의 일조조건, 토질, 배수조건 등에 따라 결정되는 계수로서 3~5의 값을 사용한다.

나. 보통, 북쪽으로 향한 산악도로에서 용수의 침투가 많고 실트질이 많은 토질의 경우 C = 5 정도, 햇빛이 적당히 있고 토질 및 배수조건이 양호하면 C = 3, 중간 조건이면 C = 4 를 사용한다. 그리고, 전체 동결깊이로부터 비동상재료층의 두께를 산정한다. 동상방지층 재료는 배수성이 양호한 재료로서 최대입경은 100 mm 이하, 직경 0.075 mm 이하의 함유량이 15% 이하, 0.02 mm 이하의 함유량이 3 % 이하인 쇄석 또는 모래를 사용한다.

〈표 4.6-9〉 전국 지점별 동결지수 (단위 : ℃·day)

지점	지반고 (m)	동결지수	동결기간	지점	지반고 (m)	동결지수	동결기간
춘천	74.0	823	79	보은	170.0	786	61
강릉	26.0	309	60	영동	40.0	708	60
수원	36.9	801	60	보령	33.0	515	60
서산	19.7	613	60	정읍	30.0	439	61
청주	59.0	630	60	남원	115.0	465	60
포항	5.6	213	56	무주	190.0	675	59
군산	26.3	430	60	합평	9.0	435	26
전주	51.2	393	60	장흥	40.0	328	60
울산	31.5	174	56	순천	23.0	802	112
충무	32.2	97	44	영주	145.6	708	60
목포	53.4	150	56	의성	73.0	515	60
제천	220.0	947	102	울진	11.0	626	60
충주	50.0	802	112	거창	224.9	626	61

#### 4.6.6.5 배수시설

- (1) 도로에는 도로구조의 안정과 도로시설의 보전, 교통안전, 유지보수 등을 위하여 구, 우수집수정 및 도수로, 배수관 등 적절한 배수시설을 설치한다.
- (2) 도로 파괴는 직접 또는 간접적으로 물이 원인이 되어 일어나는 경우가 많다. 그러므로 도로의 설계, 시공 및 유지에 있어서는 포장이나 구조물 못지 않게 배수시설에도 유의한다. 도로설계에서 고려하여야 할 배수의 종류는 표면배수, 지하배수, 횡단배수 등으로 분류할 수 있다.

##### ① 배수시설 계획시 유의사항

- 가. 배수계획 및 설계를 위해서는 ① 지형 및 지표면의 피복상황, ② 강우량, 기온, 일사 등의 기상자료, ③ 토질, 지질 및 투수성, ④ 기존 배수시설 단면과 배수계통 등을 조사하여 배수시설의 위치, 형식, 수량 등을 결정한다.
- 나. 배수시설에는 측구, 배수구, 배수관, 암거(culvert) 등이 있는데 각각의 기능에 따라 설계유량을 흐르게 하도록 충분한 배수능력과 적절한 유속을 얻을 수 있도록 배려하고 교통에 지장이 없도록 구조나 배치에 주의한다.
- 다. 노면배수를 위하여 도로의 횡단기울기를 차도부 1.5~2 %, 길어깨는 4%를 원칙으로 하고 노측으로 집수되는 표면수는 측구를 통하여 신속한 배수가 되도록 한다.
- 라. 절토부의 경우에는 노측에 측구를 설치하여 노면수 및 표면수를 종방향으로 유도시키며 종단기울기에 따라 측구의 형식 및 재료를 결정한다.
- 마. 도로를 횡단하는 수로와 종단 배수된 유수를 집수하여 유출시키기 위하여 배수관 및 암거 등의 횡단배수시설을 설치한다.

##### ② 배수 유말처리

- 가. 도로배수는 반드시 하천 또는 배수로까지 유도하도록 계획한다. 소규모 측구에서 넘친 우수나 비탈 끝에 측구를 설치하지 않는 경우에 비탈면을 흐른 우수 등은 자연방류하도록 설계하는데 인근 전, 담 등에 유입되지 않도록 계획한다.

##### ③ 배수시설의 규모 결정

- 가. 배수시설의 규모 결정은 축척 1/25,000 지형도상의 계획노선에 대하여 유역면적과 구조물 설치 위치별 유량을 배수구조물 설계법에 의거 계산을 한 후 현지조사를 실시하여 과거의 최고 홍수위, 기존 구조물 규격 등의 필요한 자료를 수집한다. 현지조사 항목은 과거 최고 홍수위, 부근 기존 구조물의 규격, 부근 수리시설 현황 및 용량, 하천 현황 등이며, 자료수집 항목에는 강우강도, 강우시간(지속시간), 강우빈도 등이다.

##### (가) 설계빈도 적용

구조물의 종류별 설계빈도 기준은 다음과 같다.

㉠ 교량 :  $L < 100$  m의 소교량은 50년,  $L \geq 100$  m의 장대교는 100년

㉡ 측구 : 5년 ㉢ 암거 및 배수관 : 25년 ㉣ 노면 및 비탈면 배수 : 3년


(나) 표면 배수시설의 크기를 결정하기 위한 계획유출량은 아래의 식의 합리식 또는 단위도법 등을 이용하여 산정한다.

$$Q = \frac{1}{3.6} C i A$$

여기서 Q : 유출량(m<sup>3</sup>/s), C : 유출계수, I : 강우강도(mm/h), A : 집수면적(km<sup>2</sup>)



집필위원	분야	성명	소속	직급
	관개배수	김선주	한국농공학회	교수
	농업환경	박종화	한국농공학회	교수
	토질공학	유 찬	한국농공학회	교수
	구조재료	박찬기	한국농공학회	교수
	수자원정보	권형중	한국농공학회	책임연구원



자문위원	분야	성명	소속
	농촌계획	손재권	전북대학교
	수자원공학	윤광식	전남대학교
	지역계획	김기성	강원대학교
	수자원공학	노재경	충남대학교
	농지공학	최경숙	경북대학교
	관개배수	최진용	서울대학교

건설기준위원회	분야	성명	소속
	총괄	한준희	농림축산식품부
	농업용댐	오수훈	한국농어촌공사
	농지관개	박재수	농림축산식품부
	농지배수	송창섭	충북대학교
	용배수로	정민철	한국농어촌공사
	농도	조재홍	한국농어촌공사 본사
	개간	백원진	전남대학교
	농지관개	이현우	경북대학교
	농지배수	남상운	충남대학교
	취입보	김선주	건국대학교
	양배수장	정상옥	경북대학교
	경지정리	유 찬	경상대학교
	농업용관수로	박태선	한국농어촌공사 본사
	농업용댐	손재권	전북대학교
	농지배수	김정호	다산건설턴트
	농지보전	박종화	충북대학교
	농업용댐	김성준	건국대학교
	해면간척	박찬기	공주대학교
	농업수질및환경	이희익	한국농어촌공사 본사
	취입보	박진현	한국농어촌공사 본사

중앙건설기술심의위원회	성명	소속
	이태욱	평화엔지니어링
	성배경	건설교통기술협회
	김영환	한국시설안전공단
	김영근	건화
	조의섭	동부엔지니어링
	김영숙	국민대학교
	이상덕	아주대학교

농림축산식품부	성명	소속	직책
	한준희	농업기반과	과장
	박재수	농업기반과	서기관

설계기준  
KDS 67 10 20 : 2018

## 농업용 필댐 설계

---

2018년 04월 24일 발행

농림축산식품부

관련단체 한국농어촌공사

58217 전라남도 나주시 그린로 20(빛가람동 358) 한국농어촌공사

☎ 061-338-5114 E-mail : webmaster@ekr.or.kr

<http://www.ekr.or.kr>

(작성기관) 한국농공학회

06130 서울시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동 365-4) 과학기술회관 본관 205호

☎ 02-562-3627 E-mail : j6348h@hanmail.net

<http://www.ksae.re.kr>

국가건설기준센터

10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)

☎ 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr

<http://www.kcsc.re.kr>

※ 이 책의 내용을 무단전재하거나 복제할 경우 저작권법의 규제를 받게 됩니다.