비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼

환경부

발 간 등 록 번 호
11-1480000-001430-01

비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼

2016. 2.

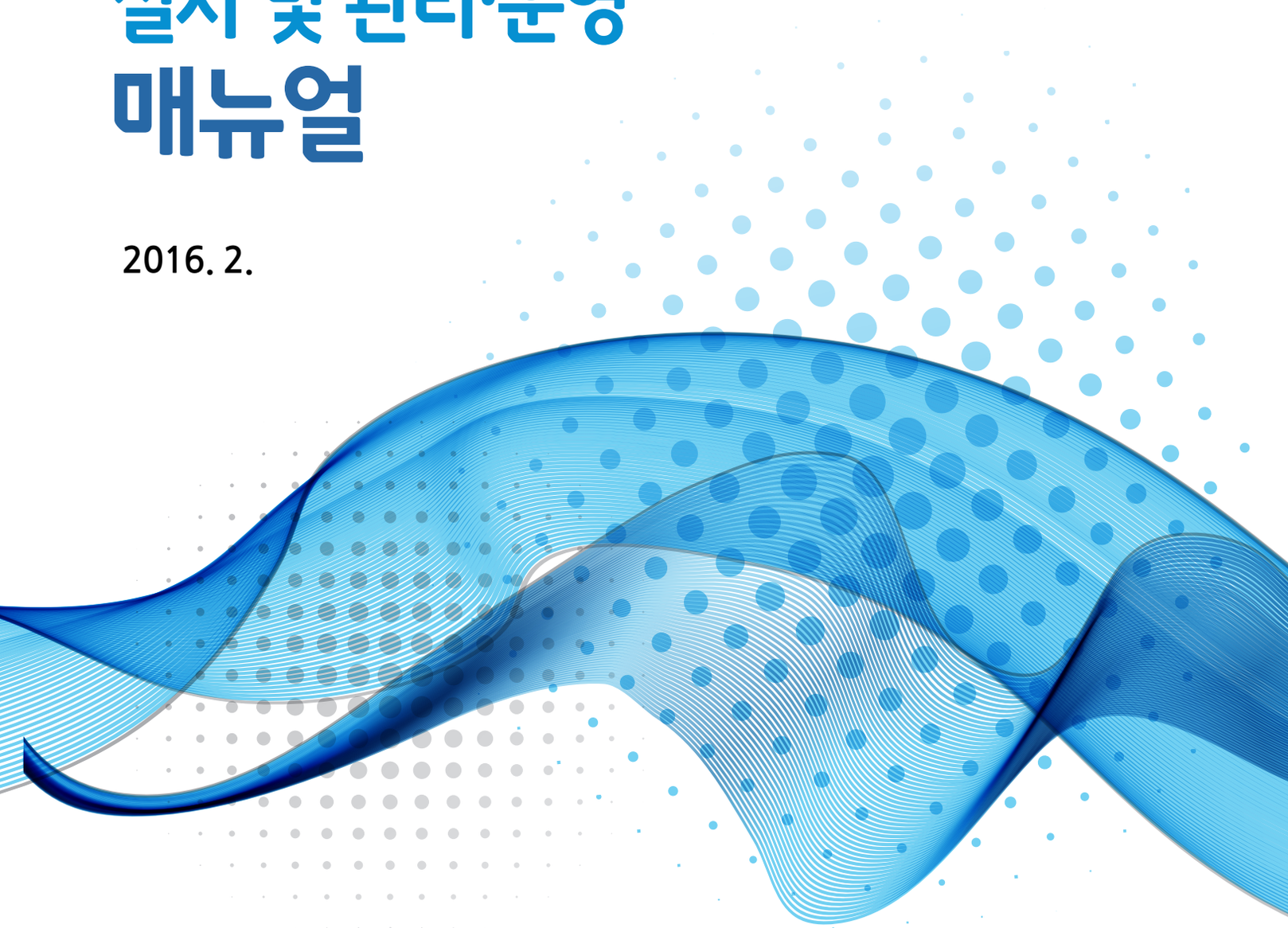
2016·2

환경부

환경부

비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼

2016. 2.



환경부

개정사
FOREWORD

Shared Water, Shared Responsibility

물은 우리의 삶과 터전을 유지하는 근간이며 공기와 함께 우리가 지키고 후세에게 넘겨주어야 할 가장 중요한 자원 중에 하나입니다.

우리나라가 사용하는 물의 대부분은 하늘에서 내리는 빗물에 의존하고 있으나 최근 들어서는 홍수와 가뭄이 자주 발생하는 등 물 관리에 어려움을 겪고 있습니다. 또한 홍수와 가뭄 못지않게 빗물로 인한 환경문제가 나타나고 있습니다. 그것은 비가 올 때 함께 유출되는 비점오염물질입니다.

인간의 토지이용에 따라 발생되는 비점오염물질은 그 양과 농도가 점차 증가되고 있으며, 그 관리의 필요성도 점점 높아지고 있습니다. 정부에서는 「제1, 2차 비점오염원관리 종합대책」을 통해 비점오염원 관리에 대한 제도적 기반과 대책을 마련하고, 매년 적극적으로 추진해오고 있습니다. 그 일환으로 2008년 「비점오염저감시설의 설치 및 관리 · 운영 매뉴얼」을 발간한 바 있으며, 매뉴얼 도입 이후 기술변화와 유지관리 편리성 등을 반영하여 2014년도에 개정판을 발간하였습니다.

금번 일부 개정판은 그간 지속적으로 지적되어온 지하 매설형 시설의 안전문제에 대해 보다 구체적인 기준을 제시하고, 여과형 저감기술에 대한 실험방법을 구체화하여 다양한 기술개발과 실험 시 활용될 수 있도록 하였습니다. 이번 개정 매뉴얼이 비점오염원 관리의 필요성이 높아지고 다양한 관련 기술이 개발되는 상황에서 보다 안전하고, 효율이 우수한 제품의 확대 보급과 비점오염관리기술의 발전에 기여할 수 있기를 기대합니다.

향후에도 최신 기술동향과 관련 연구결과 등을 지속적으로 보완하여 비점관리의 일선에서 최선을 다하시는 비점가족들에게 더 좋은 지침서가 제공될 수 있도록 노력하겠습니다.

2016년 2월

환경부 물환경정책국장 김 영 훈

개정 매뉴얼 시행 시기

◈본 매뉴얼 중 Ⅰ~Ⅳ장의 적용시점은 다음과 같다.

○ 비점오염원의 설치신고제도(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제 53조)

: 신고서 접수일 기준으로 2015년 1월 1일부터 적용

: 국고보조사업 : 최초 예산편성이 2015년도인 사업부터 적용

◈본 매뉴얼 중 'V. 지하매설 비점오염저감시설의 안전시설 기준', VI. 여과형 시설의 실험방법' 은 2016년 2월 25일부터 시행하되, 적용 시점은 다음과 같다.

○ 비점오염원의 설치신고제도(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제53조) : 2016년 7월 1일 이후 접수된 설치신고에 적용

* 다만, 본 매뉴얼 개정 이전에 여과형 시설에 대한 실험을 완료하였거나 매뉴얼 개정 당시 실험 진행 중에 있는 경우로서 본 매뉴얼의 내용에 적합하게 실험하였으나 동영상 촬영이 불가능한 경우에는 2016년 6월 30일까지 실험과정에 대한 사진을 첨부하여 실험보고서를 한국환경공단에 제출하여야 하며, 이 경우 본 매뉴얼에 따른 동영상 제출을 충족한 것으로 본다.

○ 국고보조사업 : 2016년 신규사업부터 적용하되, Ⅵ장은 준공 후 검사로 대체한다.

목 차
CONTENTS

Chapter Ⅰ 목적 및 적용범위

01 목적 · · · · · 2
02 적용범위 · · · · · 3

Chapter Ⅱ 비점오염저감시설의 선정

01 비점오염저감시설의 개요 · · · · · 8
- 비점오염원의 정의 · · · · · 8
- 비점오염물질의 종류 · · · · · 9
- 비점오염저감시설 · · · · · 10

02 비점오염저감시설의 규모 및 용량 결정 · · · · · 12
03 비점오염저감시설의 선정시 고려사항 · · · · · 22
- 개요 · · · · · 22
- 토지이용특성 · · · · · 24
- 물리적 타당성 · · · · · 26
- 기후 및 지역적 요소 · · · · · 28
- 유역요소 · · · · · 30
- 강우유출수 관리능력 · · · · · 33
- 오염물질 제거 · · · · · 34
- 지역사회와 환경요소 · · · · · 36

Chapter Ⅲ 시설별 설치 및 관리·운영 매뉴얼

01 자연형 시설 · · · · · 42
- 저류시설 · · · · · 42
- 인공습지 · · · · · 63
- 침투시설 · · · · · 89
- 식생형 시설 · · · · · 114

02 저영향개발기법 시설 · · · · · 133
- 식생체류지 · · · · · 134
- 나무여과상자 · · · · · 139
- 식물재배화분 · · · · · 141

03 장치형 시설 · · · · · 144
- 여과형 시설 · · · · · 144

목 차
CONTENTS

- 와류형 시설 · · · · · 159
- 스크린형 시설 · · · · · 164
- 응집 · 침전 처리형 시설 · · · · · 168
- 생물학적 처리형 시설 · · · · · 172

Chapter Ⅳ
모니터링 계획수립 및 평가방법

01 개요 · · · · · 178
02 모니터링 계획수립 · · · · · 180
- 목적에 따른 모니터링 계획수립 · · · · · 180
- 모니터링 방법 결정 · · · · · 181
- 모니터링 위치선정 · · · · · 182
- 모니터링 주기 및 시료채취방법 · · · · · 183
- 조사항목의 결정 · · · · · 186
- 강우사상의 선정 · · · · · 187

03 모니터링 평가방법 · · · · · 188

Chapter Ⅴ
지하매설 비점오염저감시설의 안전시설 기준

01 개요 · · · · · 192
02 일반 사항 · · · · · 193
03 지하매설 시설의 세부 안전시설 기준 · · · · · 194
- 출입구 · · · · · 194
- 시설내부구조 · · · · · 195

Chapter Ⅵ
여과형 시설의 실험방법

01 개요 · · · · · 198
02 일반 사항 · · · · · 199
03 실험이 필요한 설계인자 · · · · · 200
04 실험조건 및 실험방법 · · · · · 202
- 실험조건 · · · · · 202
- 여과형 시설의 실험방법 · · · · · 203

표목차
CONTENTS

〈표 1〉 비점오염저감시설별 적용 규모 설계기준 · · · · · 14
〈표 2〉 미국 주요도시에서의 90% 강우사상 · · · · · 17
〈표 3〉 미국 내 지역별 시설용량 기준 · · · · · 18
〈표 4〉 캔터키주의 기준강우강도 · · · · · 20
〈표 5〉 토성에 의해 분류된 수문학적 토양특성 · · · · · 26
〈표 6〉 NRCS 수문학적 토양그룹 · · · · · 27
〈표 7〉 기후 및 지역적인 요소에 따른 시설별 고려사항 · · · · · 29
〈표 8〉 유역요소에 따른 시설별 고려사항 · · · · · 31
〈표 9〉 비점오염저감시설별 강우유출수 관리능력 · · · · · 34
〈표 10〉 비점오염저감시설의 TSS 제거효율 · · · · · 35
〈표 11〉 비점오염저감시설별 저감효율 · · · · · 36
〈표 12〉 지역사회와 환경 요소에 따른 시설별 적용성 · · · · · 37
〈표 13〉 비점오염저감시범시설의 유지관리 용이성 · · · · · 39
〈표 14〉 저류지 설계 체크리스트 · · · · · 58
〈표 15〉 저류지 유지관리 활동 및 계획 · · · · · 60
〈표 16〉 저류지 유지관리 체크리스트 · · · · · 61
〈표 17〉 인공습지 설계 체크리스트 · · · · · 83
〈표 18〉 인공습지 유지관리 및 활동계획 · · · · · 85
〈표 19〉 인공습지 유지관리 체크리스트 · · · · · 86
〈표 20〉 침투시설 설계 체크리스트 · · · · · 107
〈표 21〉 침투도랑의 유지관리 활동 및 계획 · · · · · 109
〈표 22〉 침투도랑 유지관리 체크리스트 · · · · · 110
〈표 23〉 침투저류지의 유지관리 활동 및 계획 · · · · · 111
〈표 24〉 침투저류지 유지관리 체크리스트 · · · · · 112
〈표 25〉 식생형 시설 설계 체크리스트 · · · · · 129
〈표 26〉 식생여과대 유지관리 활동 및 계획 · · · · · 129
〈표 27〉 식생여과대 유지관리 체크리스트 · · · · · 130
〈표 28〉 식생수로의 유지관리활동 및 계획 · · · · · 131
〈표 29〉 식생수로 유지관리 체크리스트 · · · · · 132
〈표 30〉 저영향개발 기술요소의 종류 및 특성 · · · · · 133
〈표 31〉 유입부 유입유속에 따른 손실수두 계산 예시 · · · · · 150
〈표 32〉 비점오염저감시설의 모니터링 목적 · · · · · 179
〈표 33〉 불투수지역에서 시료채취 조건 및 주기 · · · · · 184
〈표 34〉 투수지역에서 시료채취 조건 및 주기 · · · · · 184
〈표 35〉 도시지역과 농촌지역에서의 조사항목 · · · · · 186
〈표 36〉 실내실험에 적용하는 유입수내 입자 입경 구성비 · · · · · 202

그림목차
CONTENTS

〈그림 1〉 적정 저류용량 규모 산정 모식도 · · · · · · · · · · · · · · · · 13
〈그림 2〉 강우강도 발생빈도를 통한 설계유량 산정방법 · · · · · · · · · 14
〈그림 3〉 빈도별 강우분포(Albany, New York) · · · · · · · · · · · · · · 16
〈그림 4〉 TR-55의 q_u 산정 그래프 예시(USDA, 1986) · · · · · · · · · 19
〈그림 5〉 저류지 설치 예 · 42
〈그림 6〉 저류시설 평 · 단면도 · 43
〈그림 7〉 지하저류조 설치 예[환경부] · · · · · · · · · · · · · · · · · · 44
〈그림 8〉 지하저류조 예 · 44
〈그림 9〉 저류지 유출부 구조 · 49
〈그림 10〉 토사포착율에 따른 시설용량 산정 개념도 · · · · · · · · · · 52
〈그림 11〉 수중소단 및 안전소단 · 55
〈그림 12〉 인공습지 형태별 개념도 · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 64
〈그림 13〉 인공습지 설치 예(환경부) · · · · · · · · · · · · · · · · · · 64
〈그림 14〉 인공습지 평 · 단면도 · 65
〈그림 15〉 인공습지의 유입관경 산정 절차 · · · · · · · · · · · · · · · 71
〈그림 16〉 계획유입량 및 관경결정 유입량 결정 · · · · · · · · · · · · 72
〈그림 17〉 유체유동해석(CFD) 절차 · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 76
〈그림 18〉 인공습지 내 유체유동해석(CFD) 결과 예시 · · · · · · · · · 76
〈그림 19〉 침투도랑 설치 예(환경부) · · · · · · · · · · · · · · · · · · 90
〈그림 20〉 침투도랑(Infiltration trench) · · · · · · · · · · · · · · · · 90
〈그림 21〉 침투저류지 설치 예(환경부) · · · · · · · · · · · · · · · · · 91
〈그림 22〉 침투저류지(Infiltration Basin) · · · · · · · · · · · · · · · · 92
〈그림 23〉 침투조 설치 예 · 93
〈그림 24〉 유공포장 설치 예 및 단면도 · · · · · · · · · · · · · · · · · 93
〈그림 25〉 잔디포장의 설치(환경부) · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 95
〈그림 26〉 모래, 미사, 점토 비율에 따른 토성분류(textural triangle) · 97
〈그림 27〉 침투도랑 단면 및 관측정 설치 예 · · · · · · · · · · · · · · 102
〈그림 28〉 형태별 유공포장의 구조 · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 105
〈그림 29〉 식생여과대(Vegetated filter strips) · · · · · · · · · · · · · 116
〈그림 30〉 식생여과대 설치 예(환경부) · · · · · · · · · · · · · · · · · 117
〈그림 31〉 식생수로 설치 예 · 117
〈그림 32〉 건식 식생수로(Dry swale) · · · · · · · · · · · · · · · · · · 118
〈그림 33〉 습식 식생수로(Wet swale) · · · · · · · · · · · · · · · · · · 119
〈그림 34〉 보가 설치된 식생수로 예 · · · · · · · · · · · · · · · · · · 126
〈그림 35〉 식생체류지 구조 · 135
〈그림 36〉 투수지역에 설치되는 식생체류지 구조 · · · · · · · · · · 135
〈그림 37〉 식생체류지의 단면 개념도 · · · · · · · · · · · · · · · · · 136
〈그림 38〉 식생체류지의 용량산정 개념도 · · · · · · · · · · · · · · · 137
〈그림 39〉 나무여과상자 개념도 · 139
〈그림 40〉 식물재배화분 개념도 · 141
〈그림 41〉 유입관과 유출관의 단차 · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 149
〈그림 42〉 유입관과 유출관의 단차(유입유출부 맨홀설치 예시) · · · · 149
〈그림 43〉 우수관거로부터 시설 유입구 분기 예 · · · · · · · · · · · · 149
〈그림 44〉 유효유입단면 예시 · 150
〈그림 45〉 여과조 바닥부 유출구 예시 · · · · · · · · · · · · · · · · · 151
〈그림 46〉 협잡물 및 퇴적물 처리 예(환경부) · · · · · · · · · · · · · 163
〈그림 47〉 비점오염저감시설에서 시료채취지점과 유량측정지점 · · · 183
〈그림 48〉 여재부 손실수두 및 제거효율 실험결과 예시 · · · · · · · · 205
〈그림 49〉 고형물부하별 손실수두 실험결과 예시 · · · · · · · · · · · 206
〈그림 50〉 역세척 운전조건도출 및 손실수두 환원정도 실험결과 예시 · 206

Chapter I

목적 및 적용범위

01 목적
02 적용범위

01 목적

본 비점오염저감시설의 설치 및 관리 · 운영 매뉴얼(이하 “매뉴얼”)은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조제13호의 비점오염저감시설의 설치 및 관리 · 운영기준에 대한 세부적인 기준을 제시함으로써 비점오염저감시설의 설계 및 유지관리의 적절한 수행을 유도하고 이를 통해 효과적인 비점오염원의 관리가 이루어지도록 하는데 그 목적이 있다.

해설

「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」(이하 “법”이라 한다) 제2조제13호에서 정의된 비점오염저감시설은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」시행규칙(이하 “시행규칙”이라 한다) 별표 6에 제시되어 있다. 또한 비점오염저감시설의 설치 및 관리 · 운영기준은 시행규칙 제76조제1항 및 제2항에 규정되어 있으며, 시행규칙 별표 17 및 별표 18에 제시되어 있다.

이에 현행법령이 규정하고 있는 설치 및 관리 · 운영기준은 비점오염저감시설의 필수적 원칙을 정하고 있어 비점오염저감시설을 설계하고 설치 · 운영하기 위해서는 세부적인 사항에 대한 상세한 기준의 제시가 필요하다. 이를 위해 2008년 “비점오염저감시설의 설치 및 관리 · 운영 매뉴얼”이 발간되었으며, 금번에는 매뉴얼 발간 후 축적된 선진기술과 국내여건을 고려한 다양한 요구를 충족시키고 보다 명확한 설계기준을 제시하고자 본 매뉴얼을 개정하게 되었다

본 매뉴얼은 기존 “비점오염저감시설의 설치 및 관리 · 운영 매뉴얼”을 근간으로 하여 비점오염저감시설의 설계 시 필요한 설계인자와 적정한 관리방법을 제시하고자 하였으며, 이에 따라 비점오염저감시설이 효과적으로 설치되고 유지관리되어 시설 본래의 기능을 최대한 발휘하는데 활용할 수 있도록 하였다.

02 적용범위

본 매뉴얼은 법 제2조제13호에서 규정한 비점오염저감시설을 법 제53조 내지 제57조에 의해 설치 및 관리 시에 적용할 수 있다.

해설

본 매뉴얼은 법 제53조의 비점오염원의 설치신고 등에 의해 설치되는 비점오염저감시설의 설치 및 유지관리에 적용하며 법 제53조의2에 따른 상수원의 수질보전을 위한 비점오염저감시설의 설치, 법 제54조 내지 제57조의 비점오염원관리지역의 지정 등을 통하여 지정된 관리지역 및 기타 지역에서 설치되는 비점오염저감시설의 설치 및 관리 · 운영에도 적용할 수 있다.

또한 소규모 환경영향평가 대상사업 중 비점오염을 저감하기 위한 시설 설치 시에도 적용할 수 있다.

비점오염원 설치신고 대상사업 및 사업장

〈「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 시행령(이하 “시행령”이라 한다)제72조〉

1. 「환경영향평가법」 시행령 별표 3의 제1호부터 제17호까지에 해당하는 사업

- 도시의 개발
- 산업입지 및 산업단지의 조성
- 에너지 개발
- 항만의 건설
- 도로의 건설
- 수자원의 개발
- 철도의 건설
- 공항의 건설
- 하천의 이용 및 개발
- 개간 및 공유수면의 매립
- 관광단지의 개발
- 산지의 개발
- 특정지역의 개발
- 체육시설의 설치
- 폐기물처리시설 · 분뇨처리시설 및 가축분뇨처리 시설의 설치
- 국방 · 군사 시설의 설치
- 토석 · 모래 · 자갈 · 광물 등의 채취

2. 「환경영향평가법 시행령」 제54조에 해당되어 같은 법 제32조에 따른 평가서의 재작성 · 재협의의 대상이 되는 경우

3. 법 제53조제1항제2호에 따라 폐수배출시설을 설치하는 다음 사업장 중 부지면적 1만㎡ 이상인 사업장 (괄호안은 '한국표준산업분류'에 따른 중분류 번호임)

- 제철시설
- 섬유염색시설
- 목재 및 나무제품 제조업(16)
- 펄프 · 종이 및 종이제품 제조업(17)
- 코크스 · 석유정제품 및 핵연료 제조업(19)
- 화합물 및 화학제품 제조업(20)
- 고무 및 플라스틱제품 제조업(22)
- 비금속광물제품 제조업(23)
- 제1차 금속산업(24)
- 석탄, 원유 및 우라늄 광업(05)
- 금속 광업(06)
- 비금속광물 광업(연료용은 제외한다)(07)
- 음 · 식료품 제조업(10, 11)
- 전기업, 가스업 및 증기업(35)
- 도매업 및 상품 중개업(46)
- 하수처리업, 폐기물처리업 및 청소 관련 서비스업(37, 38, 39)

4. 법 제33조제2항 및 제3항에 따라 변경허가를 받거나 변경신고를 하는 사업장으로서 부지면적이 100분의 30 이상 증가하는 경우

비점오염원 관리지역 지정기준〈시행령 제76조〉

- 「환경정책기본법 시행령」 제2조에 따른 하천 및 호소의 수질 및 수생태계에 관한 환경기준에 미달하는 유역으로 유달부하량(流達負荷量) 중 비점오염 기여율이 50퍼센트 이상인 지역
- 비점오염물질에 의하여 자연생태계에 중대한 위해가 초래되거나 초래될 것으로 예상되는 지역
- 인구 100만 명 이상인 도시로서 비점오염원관리가 필요한 지역
- 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에 따른 국가산업단지, 일반산업단지로 지정된 지역으로 비점오염원 관리가 필요한 지역
- 지질이나 지층 구조가 특이하여 특별한 관리가 필요하다고 인정되는 지역
- 그 밖에 환경부령으로 정하는 지역

Chapter II

비점오염저감시설의 선정

01 비점오염저감시설의 개요
02 비점오염저감시설의 규모 및 용량 결정
03 비점오염저감시설의 선정시 고려사항

환경부

01 비점오염저감시설의 개요

비점오염원의 정의

비점오염원이라 함은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말한다. 〈법 제2조제2호〉

해설

비점오염원은 건기 시 다양한 토지표면에 축적된 오염물질(유기물, 영양염류, 중금속, 입자상 물질, 각종 유해 화학물질 등)이 강우유출수와 함께 유출되어 수질 및 토양오염을 일으키는 배출원을 지칭한다.

문헌에서는 비점오염을 토지표면에 축적된 오염물, 토양의 침식, 흙덩이, 강우유출량의 증가, 대기 중 오염물질, 부유물질, 용존성 오염물질, 인간의 활동에 의한 오염물질 등이 강우에 의해 유출되는 것이라고 정의하기도 한다.

비점오염원은 특정 장소에서 유출되는 점오염원과 구별되며, 오염물질의 유출 및 배출경로가 명확하지 않아 차집이 어렵고, 발생량 · 배출량이 기상조건(강수량, 강우지속시간, 선행 무강우일수, 최대 강우강도 등)과 유역특성(경사, 토양특성, 유역면적, 피복현황 등)에 의해 크게 좌우되기 때문에 관리에 불확실성이 높아 관리를 위해서는 전문적인 접근이 필요한 것으로 알려져 있다.

비점오염물질 및 그 유출경로는 농작물에 흡수되지 않고 농경지에 남아 있는 비료와 농약, 초지에 방목된 가축의 배설물, 가축사육농가에서 배출되는 미처리 축산폐수, 빗물에 섞인 대기오염물질, 도로노면의 퇴적물, 합류식 하수관거에서 강우시 설계량을 초과하여 하천으로 흘러드는 오수 · 하수와 빗물의 혼합수 등이 있다.

현재 점오염원으로부터 발생하는 오염물질의 감소로 인해 오히려 비점오염원으로부터 발생하는 오염물질의 수계 오염기여도가 높아지고 있다.

비점오염물질의 종류

비점오염물질의 종류는 다음과 같다.

① 토사(Sediment)
② 영양물질(Nutrients)
③ 박테리아와 바이러스(Bacteria & Viruses)
④ 기름과 그리스(Oil & Grease)
⑤ 금속(Metals)
⑥ 유기물질(Organics)
⑦ 농약(Pesticides)
⑧ 협잡물(Gross Pollutants)

해설

비점오염물질은 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 별표 2)로서 본 매뉴얼에서는 유출경로와 수질오염물질의 유사범주를 고려하여 다음의 8가지 종류로 분류하였다.

① 토사(Sediment)에는 영양물질, 금속, 탄화수소 등을 비롯한 다른 오염물질이 흡착되어 같이 이동하게 된다. 토사는 강우유출수의 많은 부분을 차지하는 오염물질로서 수생생물의 광합성, 호흡, 성장, 생식에 장애를 일으켜 치명적인 영향을 미친다.

② 영양물질(Nutrients)인 질소 · 인과 같은 물질은 비료로 사용되는데, 종종 빗물에 의해 유출되어 조류의 성장을 촉진함으로써 하천 · 호소의 수질을 악화시킨다. 주택 및 골프장의 잔디밭이나 농경지, 도시노면 및 하수도에서 유출되어 하천으로 유입된다.

③ 박테리아와 바이러스(Bacteria & Viruses)는 동물의 배설물과 하수도에서 월류된 배출수에서 많이 검출되며 미국에서는 강우유출수에 포함된 고농도의 박테리아와 바이러스로 인하여 하천 · 호소가 오염되어 폐쇄의 원인이 된 사례도 있다.

④ 기름과 그리스(Oil & Grease)는 적은 양으로도 수생 생물에 치명적일 수 있으며, 누출이나 차량 전복 등 사고, 차량 세척, 폐기름의 무단 투기 과정에서 오염이 발생할 수 있다.

⑤ 금속(Metals)은 납, 아연, 카드뮴, 구리, 니켈 등으로서, 도시지역 강우유출수에서 흔히 검출되는 물질이며, 하천으로 유입되는 총금속 물질량 중 50%이상이 토사를 매개체로 하여 배출된다. 금속물질은 수생태계에 치명적이며 생물농축이 일어나고 음용수 오염의 가능성이 있으므로 특별한 관리가 요구된다.

⑥ 유기물질(Organics)은 밭, 논, 산림, 주거지역 등 광범위한 장소에서 유출되며, 특히 합류식 관거에서는 하수관거 바닥에 침전되어 있던 유기물질이 강우 시 일시에 배출되기도 한다. 공업지역에서는 접착제, 세척제, 용제(溶劑) 등의 인공적인 유기 화합물이 광범위하게 사용되고, 부적절하게 저장되며 폐기되는 과정에서 발생하기도 한다.

⑦ 제초제, 살충제, 항곰팡이제와 같은 농약(Pesticides)은 플랑크톤과 같은 수생생물에 축적되어 먹이사슬을 통해 생물농축을 일으켜 어류와 조류에게는 치명적인 결과를 초래할 수 있다.

⑧ 협잡물(Gross Pollutants)에는 건축공사장 및 사업장 등에서 발생하는 쓰레기, 잔재물, 부유물 등에는 중금속, 살충제, 박테리아 등이 포함될 수 있다. 낙엽이나 잔디를 깎은 잔재물, 동물의 배설물, 투기된 쓰레기 등은 박테리아, 바이러스 등을 하천 · 호소로 운반하는 매개체가 되며 용존산소를 감소시켜 어류폐사의 원인이 되기도 한다.

비점오염저감시설

비점오염저감시설은 수질오염방지시설 중 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질을 제거하거나 감소하게 하는 시설을 말한다. 〈법 제2조제13호〉

해설

비점오염저감시설은 시행규칙 별표 6에서 정하고 있으며 자연형 시설과 장치형 시설로 구분된다. 자연형 시설은 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형 시설 등이며, 장치형 시설은 여과형 시설, 와류형 시설, 스크린형 시설, 응집 · 침전 처리형 시설, 생물학적 처리형 시설 등이다. 장치형 시설 중 여과형 시설, 와류형 시설, 스크린형 시설 등은 주로 전 · 후처리 시설로 적용될 수 있다.

비점오염저감시설(시행규칙 별표6)

1. 자연형 시설

- 저류시설 : 강우유출수를 저류(貯留)하여 침전 등에 의하여 비점오염물질을 줄이는 시설로 저류지 · 연못 등을 포함한다.
- 인공습지 : 침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생 식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다
- 침투시설 : 강우유출수를 지하로 침투시켜 토양의 여과 · 흡착 작용에 따라 비점오염물질을 줄이는 시설로서 유공(有孔)포장, 침투조, 침투저류지, 침투도랑 등을 포함한다.
- 식생형 시설 : 토양의 여과 · 흡착 및 식물의 흡착(吸着)작용으로 비점오염물질을 줄임과 동시에, 동 · 식물 서식공간을 제공하면서 녹지경관으로 기능하는 시설로서 식생여과대와 식생수로 등을 포함한다.

2. 장치형 시설

- 여과형 시설 : 강우유출수를 집수조 등에서 모은 후 모래 · 토양 등의 여과재(濾過材)를 통하여 걸러 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다.
- 와류(渦流)형 시설 : 중앙회전로의 움직임으로 와류가 형성되어 기름 · 그리스(grease) 등 부유성(浮游性) 물질은 상부로 부상시키고, 침전가능한 토사, 협잡물(挾雜物)은 하부로 침전 · 분리시켜 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다.
- 스크린형 시설 : 망의 여과 · 분리 작용으로 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하는 시설로서 주로 전(前) 처리에 사용하는 시설을 말한다.
- 응집 · 침전 처리형 시설 : 응집제(應集劑)를 사용하여 비점오염물질을 응집한 후, 침강시설에서 고형물질을 침전 · 분리시키는 방법으로 부유물질을 제거하는 시설을 말한다.
- 생물학적 처리형 시설 : 전처리시설에서 토사 및 협잡물 등을 제거한 후 미생물에 의하여 콜로이드(colloid)성, 용존성(溶存性) 유기물질을 제거하는 시설을 말한다.

02 비점오염저감시설의 규모 및 용량 결정

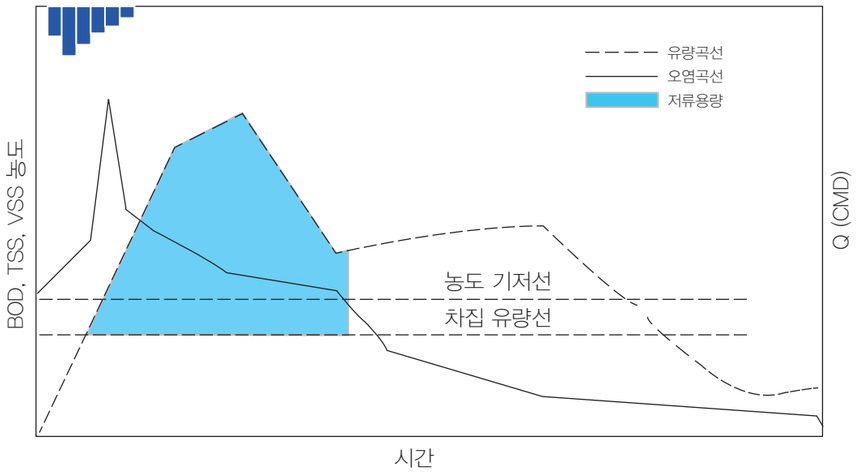
비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

① 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

② 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5mm 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

③ 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

〈시행규칙 별표 17〉



〈그림1〉 적정 저류용량 규모 산정 모식도

해설

① 시설이 지나치게 과대해지지 않도록 유역의 유량 및 오염부하 등 다양한 기초조사를 통해 최적의 시설 규모를 산정하는 것이 바람직하다.

비점오염저감시설의 규모 결정 예는 다음과 같다.

대상유역의 적정 강우사상에 대한 수문곡선(Hydrograph)과 오염곡선(Pollutograph)을 이용하여 수질이 건기상태로 회복되는 시점, 즉 강우초기에 평시 수계의 수질보다 악화되었다가 다시 강우유출수 수질이 건기 유출수 수질로 회복하는 시점까지의 유량으로 규모를 설정하는 것이 좋다.

② 비점오염저감시설의 규모 및 용량을 결정할 때에는 상기의 1항에 의한 방법과 아울러 해당지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석에 따른 비용효과적인 삭감목표량 및 기타 정책적인 삭감 목표량, 관련 규정 등에 따라 설계 강우량을 설정할 수 있으나, 그 결과가 배수구역의 누적유출고로 환산하여 최소 5mm 이상의 강우량을 처리할 수 있는 규모에 합치하여야 한다.

기준이 되는 규모의 결정은 다음의 방법에 따른다.

$$WQv = P1 \times A \times 10^{-3}$$

WQv : 수질처리용량(Water Quality Volume), (m^3)

P1 : 설계강우량으로부터 환산된 누적유출고(mm)

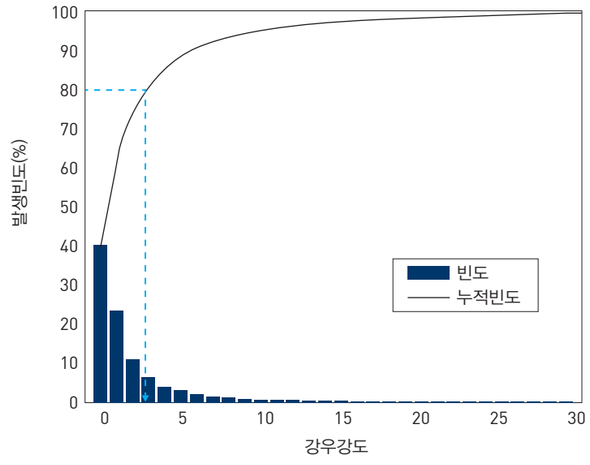
A : 배수면적(m^2)

이에 저류시설, 인공습지 등 강우유출수를 초기에 저류하여 처리하는 시설은 수질처리용량(WQv, m^3)을 활용하여 시설의 용량 및 규모를 결정할 수 있으나 강우유출수를 연속하여 처리하는 시설인 장치형 시설과 자연형 시설 중 식생여과대 및 식생수로 등은 수질처리유량(WQF, m^3/h)으로 설계가 이루어지므로 시설별 특성에 부합하는 용량설계기준을 적용하여 설계하는 것이 좋다.

〈표 1〉 비점오염저감시설별 적용 규모 설계기준

비점오염저감시설 구분		규모 설계기준
저류시설	저류지 지하저류조	WQv
인공습지	인공습지	
침투시설	유공포장(투수성포장) 침투저류지 침투도랑	
식생형 시설	식생여과대 식생수로	WQF
	식생체류지 식물재배화분 나무여과상자	WQv
장치형 시설	여과형 시설 와류형 시설 스크린형 시설	WQF
	응집 · 침전 처리형 시설	–

수질처리유량(WQF, Water Quality Flow)은 합리식을 이용하여 산정하며 이때 기준강우강도를 적용하여 수질처리유량을 결정할 수 있다. 기준강우강도는 최근 10년 이상의 시강우자료를 활용하여 연간 누적발생빈도(Cumulative occurrence frequency) 80%에 해당하는 강우강도로 산정한다.



〈그림 2〉 강우강도 발생빈도를 통한 설계유량 산정방법

산정된 기준강우강도를 합리식에 적용하여 수질처리유량을 산정하며 그 식은 다음과 같다.

$WQF = C \times I \times A \times 10^{-3}$

WQF : 수질처리유량(m^3/h)
C : 처리대상구역의 유출계수
I : 기준강우강도(mm/h)
A : 처리대상구역의 면적(m^2)

상기의 방법으로 산정되는 수질처리유량(WQF)은 자연형 시설 중 식생형 시설과 장치형 시설에 적용할 수 있다.

그 외의 시설은 수질처리용량(WQv)에 의해 시설의 용량을 결정하지만, 응집 · 침전형시설은 전량 저류 후 응집처리하는 경우, 전량 연속처리하는 경우, 일부 저류 후 응집처리하는 경우 등 다양한 경우의 수가 있어 시설의 처리계통에 따라 용량산정방법이 달라지므로 별도의 적용기준을 정하지 않았다.

수질처리유량(WQF)의 산정방법은 전문적인 수문학적 강우해석을 수반하고 기준강우강도를 선정하기 위한 시간 및 재원이 요구된다. 따라서 비점오염원설치신고제도에 의한 비점오염저감시설 등 소규모 시설을 설계하는 경우 연구를 통해 도출된 유출계수와 기준강우강도를 곱한 값인 2.5mm/h를 권고한다. 권고값은 7개 지역별 주요 기상관측소의 전강우자료를 해석하여 기상관측소별 기준강우강도를 산정하였고 이를 평균하였으며, 통상의 소규모시설이 불투수면을 대상으로 하므로 유출계수는 0.8을 고려하여 산정된 범용적인 계수값이다.

비점오염원 설치신고시 수질처리유량(WQF) 산정방법

$WQF = CI \times A \times 10^{-3}$

WQF : 수질처리유량(m^3/h)
CI : 유출계수를 고려한 기준강우강도 2.5(mm/h)
A : 처리대상구역의 면적(m^2)

비점오염원 설치신고시의 수질처리유량(WQF) 산정방법을 상기와 같이 권고하였으나 처리대상구역의 유출계수가 매우 낮거나 면적이 매우 큰 경우에는 해당지역의 강우자료로부터 기준강우강도를 산정하고 해당처리대상구역의 유출계수를 적용할 수 있다.

비점오염저감 국고보조사업 등 기본 및 실시설계가 수반되는 경우에는 기준강우강도를 선정하고 강우유출모형을 이용하여 수질처리유량(WQF)을 산정하는 것이 바람직하다. 다만, 도시지역의 CSOs를

처리하는 경우 초기우수가 아닌 관거월류수를 처리하여야 하고, 지점별 유출특성이 크게 다르므로 현황에 맞게 결정하는 것이 바람직하다.

③ 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 또한 비점오염저감계획서에 비점오염저감시설 외에 비점오염을 저감할 수 있는 비점오염저감대책이 충분히 수립되어 있는 경우 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다. 제외되는 규모나 용량은 비점오염물질이 유출되는 유역현황, 토지이용특성, 방류수계의 중요성, 비점오염저감대책의 실효성 등을 종합적으로 평가하여 산정한다.

비점오염저감 국고보조사업 등 배수구역이 넓은 경우에는 주요 비점오염물질이 유출되는 구역 외에 대부분 임야 등이 포함되는데 임야가 넓을수록 비점오염저감시설이 과대해질 우려가 있으므로 임야가 배수구역 상류에 위치할 경우 임야를 제외한 배수구역을 설정하는 것도 무방하다.

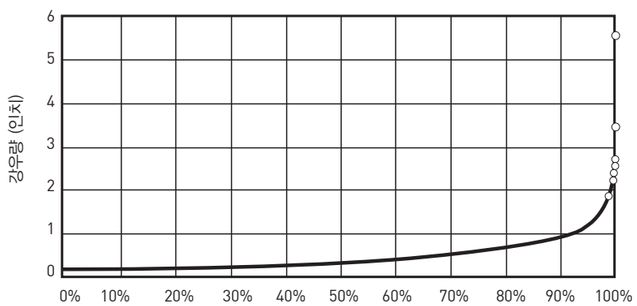
비점오염저감시설 규모결정 방법 참고자료

■ 외국의 수질처리용량(WQv)

다양한 방법의 규모 결정 방법들이 있는데 주로 외국의 강우유출수 관리 관련 자료의 하천과 **제방의 방재 목적 및 지하수, 수질처리 목적을 위한 방법론만 제시하기로 한다.**

● 90% 강우사상(Rainfall event)

전체 강우사상의 90%에 해당되는 강우사상이거나 또는 연중 24시간 강우사상 전체의 90% 이상에 해당되는 강우량으로 용량을 결정하는 방법이다. 이 값은 해당 지역의 강우기록을 조사하여 강우량 빈도 스펙트럼(RFS : Runoff Frequency Spectrum)을 만들어서 결정한다.



〈그림 3〉 빈도별 강우분포(Albany, New York)

● 1인치 규모결정

이 방법은 25mm 강우량을 임의적으로 적용하여 수질처리용량을 산정하는 방법이다. 강우사상 90% 규모결정방법과 그 결과값은 유사하다. 〈표 2〉는 미국의 여러 도시에 대한 90% 강우사상을 분석한 것이다.

〈표 2〉 미국 주요도시에서의 90% 강우사상

도시	강우량
오하이오주 콜럼버스	25.4mm
뉴욕주 알베니	22.9mm
뉴욕주 뉴욕	30.5mm
메릴랜드주 프레더릭	27.9mm
워싱턴 D.C.	30.5mm
아이다호주 보이시	12.7mm
애리조나주 피닉스	20.3mm
콜로라도주 덴버	17.8mm
텍사스주 오스틴	35.6mm
조지아주 서배너	38.1mm
버몬트주 몬트필리어	22.9mm
캘리포니아주 로스앤젤레스	33.0mm

● SCS(Soil Conservation Service Method)법

SCS방법에 의한 직접유출량 추정식은 아래와 같다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

여기서, Q=유역의 직접유출량(mm), P=강우량(mm), S=최대잠재저류량

S는 유역의 토양이나 토지이용 및 토지처리상태등의 수문학적 토양-피복

● 1년 24시간 강우사상

비점오염저감시설의 규모는 1년 빈도 24시간 강우사상을 처리할 수 있는 규모로 한다. 미국 LA 국제공항의 강우자료로부터 계산한 1년 빈도 24시간 강우사상은 25.4mm로 1인치 규모결정과 유사하였으며, 또 다른 지역에서는 33~48mm로 나타났다.

● 미국 USEPA보고서(National Management Measures Guidance to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas, EPA, 2005)

미국 USEPA보고서에서는 도시지역의 비점오염물질을 처리하기 위한 목표와 용량산정기준을 제시하고 있다.

〈표 3〉 미국 내 지역별 시설용량 기준

지역	용량기준
워싱턴주 올림피아	6개월, 24시간 강우 처리
플로리다주 올란도	초기 12.7㎜ 또는 강우 25.4㎜ 중 큰 쪽
플로리다주 윈터파크	저류를 통한 강우 25.4㎜ 처리
메릴랜드주 볼티모어	불투수지역으로부터 유출되는 초기 12.7㎜ 처리
남부 플로리다	13~63㎜에 불수투비율을 곱한 값
델라웨어	입증된 BMP를 이용한 초기 25.4㎜ 처리
플로리다	BMP에따라서 12.7~38.1㎜ 처리
뉴저지	1년, 24시간 강우 또는 2시간당 31.8㎜이상 처리
남부 캐롤라이나	BMP에 따라서 12.7~38.1㎜ 처리

■ 외국의 수질처리용량(WQv)

● Urban Hydrology for Watershed : TR-55을 이용한 WQF 도출

WQF는 다음의 식으로 통해 산정될 수 있다.

$WQF = q_u \cdot WQ_v$

여기서, q_u : 단위 첨두유량(cfs/mi²/in)

q_u는 단위 첨두유량으로 『Urban Hydrology for Watersheds: TR-55』(USDA, 1986)을 참고하여 이를 도출하고 있다. 산정을 위해서는 해당지역의 NRCS Rainfall Distribution Type을 확인하고, 그 지역의 도달시간(Tc)과 Ia/P를 산정한다. 여기서 Ia는 초기차단량을 의미하며, 이는 다음의 식으로 계산할 수 있다.

$Ia = 200/CN - 2$

$CN = 1000/[10 + 5P + 10Q - 10(Q^2 + 1.25QP)^{1/2}]$

여기서 Q=WQv/A이다.

이후 USDA(1986)에 제시되어 있는 도달시간에 따른 q_u 곡선그래프를 이용하여 q_u 를 찾을 수 있다.

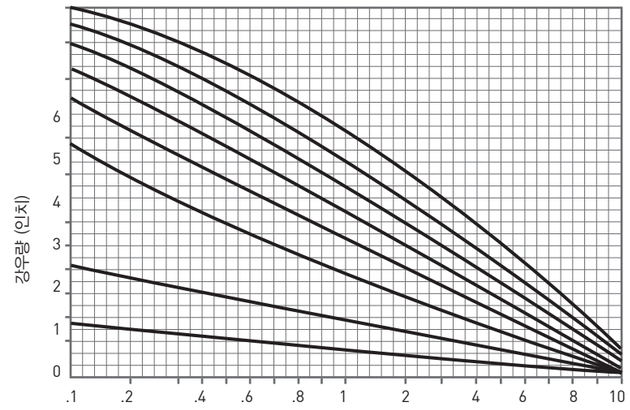


그림 4〉 TR-55의 q_u 산정 그래프 예시 (NRCS Rainfall Distribution Type 1) (USDA, 1986)

이러한 방법으로 WQF를 도출하는 사례는 오하이오주 콜럼버스시, 코네티컷주, 뉴햄프셔주, 하와이주, 뉴저지주, 웨스트버지니아주, 메인주 등이 있다.

● 합리식을 이용하는 방법

합리식은 소규모 유역의 첨두홍수량을 산정할 때 사용되는 방법이며, 계산방법이 간단하기 때문에 도시수문해석에서 널리 사용되는 방법이다. 캘리포니아주 새크라멘토, 오레건주 매리언, 오하이오주 콜럼버스, 켄터키주에서는 이 방법을 이용하여 그 지역의 WQF를 도출한다.

$WQF = C \times I \times A$

여기서, C : 유출계수, I : 강우강도(in/h), A : 집수구역 면적이다.

캘리포니아주 새크라멘토(California Sacramento, 2007)에서는 기준강우강도를 0.18－0.20in/h, 오레건주 매리언에서는 0.17in/h를 기준강우강도로 제안하고 있으며 켄터키주에서는 지역의 도달시간을 구한 다음 도달시간별 기준강우강도를 제안하고 있다.

〈표 4〉 캔터키주의 기준강우강도(Kentucky, 2010)

도달시간(min)	기준강우강도(in/h)
5	1.9
6	1.9
7	1.86
8	1.8
9	1.74
10	1.68
11	1.63
12	1.57
13	1.52
14	1.47
15	1.42
〉15	1.4

■ 수질오염총량관리에서의 비점오염저감시설 수질처리용량(WQv) 산정방법

「수질오염총량관리를 위한 비점오염원 최적관리지침」(국립환경과학원, 2012)에서 수질처리용량(WQv)을 산정하는 방법으로 다음과 같은 식을 제시하고 있다.

$$WQv = 10^{-3} \times P \times A \times Rv$$

- WQv = 수질처리용량(m^3)
- A = 유역면적(m^2)
- P = 설계강우량(mm),
- Rv = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

이는 본 매뉴얼에서 제시하는 수질처리용량 산정식과는 달라 비점오염저감시설을 설계하고자 할 때 다소 혼란의 소지가 있어 두 식과의 관계와 차이를 기술하고자 한다.

「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」에서는 누적유출고 5mm 이상을 처리할 수 있도록 규정하고 있어 동법에 따라 시설을 설치하고자 할 경우에는 법적인 규정을 준수하여야 하므로 본 매뉴얼에서 제시하는 산정식을 적용하는 것이 타당하다. 반면에 수질오염총량관리를 위한 비점오염저감시설을 설치할 경우에는 설계강우량이 증가할수록 강우처리비 및 삭감대상부하비가 증가하므로 보다 많은 삭감량을 계획할 경우에는 설계강우량(P)을 높게 설정하므로 이를 고려한 산정식을 제시하고 있다.

따라서 본 매뉴얼에서 제시하는 식과 「수질오염총량관리를 위한 비점오염원 최적관리지침」에서 제시하는 식은 다음의 기준을 만족할 경우 모두 사용할 수 있다.

$$WQv = 10^{-3} \times P \times A \times Rv \geq 10^{-3} \times P1 \times A$$

- P : 설계강우량(mm)
- P1 : 설계강우량으로부터 환산된 누적유출고(mm)

03 비점오염저감시설의 선정 시 고려사항

개요

비점오염원을 관리하기 위해서는 유역별로 오염원의 현황, 수질현황, 수질목표 등 해당 유역에 대한 종합적인 판단을 통해 관리계획을 수립하여 추진하여야 한다. 이러한 비점오염원 관리를 위한 계획의 수립 시 다음과 같은 원칙이 반영되어야 한다.

1) 비점오염원 관리는 강우유출수의 수량, 수질, 치수 등을 종합적으로 고려하여야 한다.
비점오염저감시설의 설치는 설치되는 지역의 배수, 수량관리, 수질보호, 치수 등을 종합적으로 고려하여야 하며, 효과적인 공간배치계획(better site design)과 기반시설 설계 등도 충분히 고려하여야 한다.

2) 비점오염원 관리는 기존의 자연적인 관리방안을 충분히 이용하여야 하며, 불가피하게 시설의 설치 시 최소한의 유지관리가 필요한 시설을 설치한다.
비점오염원의 관리 시 기존의 습지, 침투성 지역, 식생지역 등 기존의 자연적인 관리방안을 최대한 활용하고, 유지관리가 용이한 자연적인 관리방안을 마련한다.

3) 효과적인 공간배치계획, 비구조적 관리방안 등을 우선적으로 활용하고 비점오염저감시설의 설치 등 구조적인 관리방안은 불가피한 경우에 활용한다.
구조적 관리방안은 발생된 비점오염물질을 차집하여 처리하는 방식으로 주로 저감시설의 설치를 의미하며, 비구조적인 관리방안은 비점오염원 유출을 근본적으로 억제하는 방안으로 토지이용규제, 도시관리, 도로청소 등을 의미한다.
효과적인 공간배치계획, 자연적인 관리방안 등의 비구조적 관리방안은 구조적 관리방안에 비해 유지관리 측면, 경제성 측면, 심미적 측면에서 유리하다. 그러므로 이러한 비구조적 방안을 우선적으로 활용한다.

4) 비점오염저감시설은 다용도로 활용될 수 있도록 하고, 심미적으로 설치지역의 경관에 도움이 되도록 한다.
비점오염저감시설은 설치지역에 경관을 훼손하여 민원을 유발해서는 안 되며, 연못, 습지 등의 자연적 경관을 조성하여 지역의 심미적 가치를 높이도록 해야 한다.

비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 다음의 사항을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 위치에 가장 적합한 시설을 설치한다.

① 토지이용 특성
② 유역 특성
③ 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등)
④ 유지 · 관리의 용이성
⑤ 비용의 적정성
⑥ 안전성
⑦ 기타 요소

해설

부지 및 시설 선정을 위한 과정으로 일련의 행렬표(Matrices)를 이용할 수 있으며, 행렬표는 선정요소들을 종합적으로 고려하여 판단할 수 있는데 유용하다. 위의 선정요소는 지역적 특성을 반영하여 특정한 기준이 추가될 수 있고, 삭제될 수 있다.

① 1단계 : 토지이용 특성
- 부지의 토지이용상황을 고려할 때 어느 시설이 가장 적합한 것인가?
- 처리대상 유역이 비점오염물질의 유출이 높은 토지이용인가?
- 시설 입지 부지가 공공용지인지 또는 여유부지 활용인가?
- 이 단계는 최초 단계로서 설계자가 부지의 토지이용조건에 가장 적합한 시설을 선별하는 단계이다.

② 2단계 : 물리적 타당성(Physical Feasibility)
- 계획부지에서 특정한 비점오염저감시설의 사용을 제한하는 물리적 제한 요인이 있는가?
- 설계자는 특정 개발부지의 토양, 지하수위, 배수구역, 경사조건, 수두조건 등이 비점오염저감시설의 적용을 제한하는지를 검토한다.

③ 3단계 : 기후 및 지역적 요소
- 비점오염저감시설의 활용을 제한하거나 수정하는 어떤 지역적인 특성이 있는가?
- 기후 및 지질학적 특성을 근거로 비점오염저감시설의 선택에 필요한 사항을 상세하게 설명한다.

③ 4단계 : 유역 요소
- 비점오염저감시설이 설치되는 유역에 달성하여야 하는 목표나 제한사항이 있는가?
- 처리된 유출수가 곧바로 인근 하천으로의 배수가 가능한 곳인가?

- 유역요소에서는 보호되어야 할 수자원을 근거로 비점오염저감시설 목표치와 제한요소를 고려하여 평가한다.

⑤ 5단계 : 강우유출수 관리 능력

- 이 단계에서 설계자는 비점오염저감시설이 지하수 재충전, 수질, 수로보호 및 홍수조절을 모두 만족할 수 있는지를 결정하기 위해 비점오염저감시설을 선별한다. 이 단계의 마지막 부분에서 설계자는 하나의 비점오염저감시설이 필요한지, 조합이 필요한지 결정할 수 있다.

⑥ 6단계 : 오염물질 제거

- 각 비점오염저감시설의 오염물질 제거능력은 어떠한가?
- 이 단계에서 설계자는 오염물질 제거측면을 고려하여 목표수질을 유지하기 위해 가장 적합한 비점오염저감시설을 결정한다.
- 참고로 미국의 많은 주에서는 TSS 80% 제거목표 달성여부가 저감시설과 저감시설 계열을 선정하는데 1차적인 검토사항이 되고 있다.

⑦ 7단계 : 지역사회와 환경 요소

- 선정에 영향을 미치는 지역사회 요소 또는 환경적인 장점이나 단점이 있는가?
- 시설 입지로 인하여 생태계의 보존 및 확대에 기여하는가?, 주민들의 심미성 및 안정성을 고려하였는가?
- 이 단계에서 유지관리 편의성, 서식지, 지역사회 수용성, 비용 및 기타 환경요소에 대해 비점오염저감시설을 비교 · 평가한다.

⑧ 8단계 : 기타 요소

- 비점오염저감시설의 설치와 관련된 법적인 제한사항 등이 있는가?

토지이용특성

비점오염저감시설은 다음의 토지이용 특성에 따른 고려사항을 반영하여 선정한다.

① 도로
② 도시지역
③ 농촌지역
④ 유해물질배출지역

해설

도로, 도시지역, 농촌지역 등 토지이용 특성에 따라 비점오염원 유출특성 등 여러 요소가 차별화되므로, 비점오염저감시설의 선정 시 이를 충분히 고려하여야 한다.

① 도로 및 주차장지역은 자동차와 인간의 활동으로 인하여 입자상 물질, 중금속류, 탄화수소 등과 같은 화학물질의 축적과 유출이 높은 토지이용지역이다. 또한 높은 포장율과 작은 배수구역으로 인하여 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기세척효과가 나타난다.

도로는 여유부지 확보가 관건이나 차량사고 시 안전성 확보가 가능하다면 침투시설 및 식생형 시설 등을 포함하여 자연적인 저감능력을 가진 시설을 적용할 수 있다.

② 도시지역은 주거지역, 상업지역, 공공지역 등 다양한 지역으로 구성되어 있고 비점오염의 발생원이 다양하여 일반적인 도로와는 달리 유기물질 및 영양염류 등이 포함되어 있다.

주거지역에 적용 가능한 시설은 소규모 조경부지에도 적용 가능한 침투 및 식생형 시설이 적합하며 신규개발 지역에서는 계획단계에서부터 비점오염저감시설 설치 부지를 확보하는 것이 바람직하다.

고밀도로 개발된 상업 및 공공지역은 토지매입 및 여유부지 확보가 어렵고 유동인구가 많아, 시설 및 공공안전성 확보에 주의하여야 한다.

③ 농촌지역이나 저밀도로 개발된 지역에서는 비점오염물질의 유출특성상 입자상 물질, 영양염류 및 유기물 등의 발생량이 많으므로 자연적 기작을 가진 비점오염저감시설의 설치가 적정하다.

④ 유독물질 등을 처리하는 공장, 유해한 오염물질 과다 배출지역에서는 비점오염물질 특성에 맞는 저감시설 설치가 바람직하며, 토양 및 지하수 오염의 가능성이 있는 경우 오염물질 저감을 위하여 차수층 등을 설치하는 것을 고려한다. 차수층의 투수계수는 $10^{-5} \sim 10^{-6}$cm/sec, 차수층 두께는 5 ~ 10cm 정도로 하는 것이 좋다. 다만, 차수층의 투수계수와 두께는 오염물질의 종류 및 농도, 시설위치의 지형적 특성을 고려하여 증감될 수 있다.

특히 유해물질을 배출하는 산업단지의 경우 강우 시 유출되는 비점오염물질과 사고로 인한 유해물질 유출저감이 동시에 가능하도록 저류지 등을 조성하는 것이 좋다.

물리적 타당성

최적의 비점오염저감시설을 선정하기 위하여 개발 예정 부지의 토양, 경사, 자연유하 가능성 등 물리적 조건을 종합적으로 고려하여야 한다.

① 토양특성
② 지하수위
③ 경사도
④ 자연유하 가능성
⑤ 배수면적

해설

① 오염된 빗물을 처리하는 과정에서 토양 및 지하수 오염을 유발할 가능성이 있으므로 저감시설 설치 예정지의 토양 특성을 평가하여야 한다. 미국의 경우 토양특성 평가는 부지에 대한 NRCS의 토양군(Soil group)조사(〈표 5, 6〉 참고)를 기초로 한다. 부지로 선정된 지역의 토양에 대한 침투속도와 투수성 및 기타 관련 인자를 확인하기 위해서 정밀한 현장 지질시험을 수행한다.

저류지와 습지는 처리대상 오염물질의 종류와 양, 토양특성에 따라 바닥에 차수처리를 할 수 있다.

〈표 5〉 토성에 의해 분류된 수문학적 토양특성

토성분류	유효저류능 (in/in)	최소침투속도 (in/h)	NRCS 분류
모래(Sand)	0.35	8.27	A
양질사토(Loamy Sand)	0.31	2.41	A
사질양토(Sandy Loam)	0.25	1.02	B
양토(Loam)	0.19	0.52	B
미사질양토(Silt Loam)	0.17	0.27	C
사질식양토(Sandy Clay Loam)	0.14	0.17	C
식양토(Clay Loam)	0.14	0.09	D
미사질식양토(Silty Clay Loam)	0.11	0.06	D
사질점토(Sandy Clay)	0.09	0.05	D
미사질점토(Silty Clay)	0.09	0.04	D
점토(Clay)	0.08	0.02	D

〈표 6〉 NRCS 수문학적 토양그룹

토양그룹	토양의 특성	침투속도(mm/h)
Type A	– 유출이 가장 적음. 침투율이 가장 큼 – 실트와 점토를 약간 포함한 모래층 및 자갈층으로 배수양호	7.62–11.43
Type B	– 비교적 낮은 유출율, 비교적 높은 침투율 자갈이 섞인 사질토로 배수가 대체로 양호	3.61–7.62
Type C	– 비교적 높은 유출율, 비교적 낮은 침투율 상당수의 점토와 콜로이드 물질을 포함하고 있어 배수불량	1.27–3.81
Type D	– 유출율이 가장 큼, 침투율이 가장 낮음 – 대부분이 점토질로 이루어져 배수가 대단히 불량	0–1.27

② 지하수위는 비점오염저감시설의 운영에 영향을 준다. 지하수위가 높을 경우 침투가 어렵기 때문에 침투시설의 설치가 곤란하며, 저류지 등의 설치에 있어 지반의 압밀이 어려워 제방 등의 설치가 어렵다.

저감시설의 바닥높이는 지하수위선에서 최소 1m는 떨어져 있어야 하고, 특히 침투시설은 1.2m 이상 떨어지는 것이 바람직하며 오염물질의 종류와 양, 토양특성 등을 종합적으로 고려하여 이격거리를 조정하여야 한다.

③ 빗물을 유입시켜 처리하기 위하여 비점오염저감시설의 주변부지는 적정한 경사도를 주어 강우유출수가 자연적으로 차집되도록 설계하여야 한다. 경사가 급한 지역의 토양이 포화될 경우 경사면 붕괴, 구조물 붕괴 등의 위험이 있으므로, 이를 고려하여야 한다.

④ 비점오염저감시설 유입부와 유출부 높이에 차이를 두어 자연유하로 유출될 수 있도록 시설을 설계하여야 한다.

저감시설이 방류하천과 인접하여 설치되는 경우 저감시설 유출수가 방류하천으로 자유롭게 유출될 수 있어야 한다. 방류하천의 수위증가는 역류현상을 일으켜 저감시설 유출수가 원활하게 배출되지 않아 침수피해가 발생하고 저감시설 성능평가를 위한 모니터링이 불가능한 경우가 있다.

⑤ 인공습지나 저류시설 등에서는 식생의 고사방지 및 유지관리를 위한 적정 유지관리용수의 확보가 필요하나, 해당 유역의 특성으로 인해 일반적인 방법으로 유지관리용수의 수급이 어려운 경우 지하심정의 이용 등을 통한 유지관리용수의 확보방안을 수립하여야 한다.

또한 인공습지나 저류시설의 배수구역은 시설의 용량 및 부지확보의 용이성, 대상유역의 오염원 특성 및 유지관리의 편의성을 고려하여 적정 배수구역 및 부지를 선정하는 것이 중요하다.

기후 및 지역적 요소

다음과 같은 지형, 지리, 기후 등의 조건은 부지에 가장 적합한 시설 및 설계 특성에 영향을 끼친다.

① 낮은 고저차 지형
② 추운 기후
③ 석회암지형
④ 강우
⑤ 경사지
⑥ 하천고수부지와 저수지 홍수부지

해설

① 낮은 고저차 지형, 특히 해안지역에서는 최소의 수두와 지하수위까지 이격 깊이를 필요로 하는 기법이 더 바람직하다. 평탄지역에 저감시설을 설치하고자 할 경우 중력흐름을 담보할 수두차의 확보여부를 검토한다.

② 추운 기후에서는 겨울철 융설(Snowmelt) 및 결빙과 같은 문제를 포함시킬 필요가 있다. 인공습지나 식생형 시설의 경우 적정 식물종 선정 시 겨울철의 기온을 고려한다.

③ 석회암지형에서는 잠재적인 지하수 오염 및 함몰지(Sinkhole) 형성 등의 문제를 고려하여야 한다. 특히 석회암지형에서는 강우유출수가 지하수로 직접 유입되는 경우도 있으므로 지질학적 조사를 세밀하게 하여야 한다.
이러한 지역에서는 오염물질이 쉽게 침투하여 지하수 오염을 초래하므로 이러한 문제를 야기할 수 있는 저감시설의 설치를 금해야 한다. 또한 이러한 지역에서 인공습지나 저류시설은 상시적으로 물이 차있어야 하는 저수공간의 유지가 불가능하다.

④ 강우가 많이 내리는 지역, 특히 빈번하게 태풍이 지나가는 지역에서는 강우에 피해를 입거나 침수에 안전하지 못한 시설은 적용하지 않는 것이 좋다. 집중호우와 강풍이 동반되는 태풍에 의한 시설의 피해를 최소화하기 위해서는 설계용량 이상의 강우유출수의 유입 시 신속한 배제를 할 수 있는 방안을 구축한다.

⑤ 경사가 급한 지역에는 토사의 침전제거나 유출속도의 경감을 목표로 설치되는 저감시설의 설치가 곤란하다. 또한 경사가 급한 지역은 제방의 높이에 영향을 주므로 일부 저감시설의 적용이 부적절할 수 있다.

⑥ 하천 고수부지는 부지확보의 용이성 때문에 후보지로서 선호되고 있다. 그러나 여름철 장마기 하천범람으로 저감시설의 유지관리에 큰 어려움이 있어 가급적 고수부지는 저감시설 입지후보지로 선정하지 않는 것이 좋다. 다만, 고수부지를 설치부지로 선정할 경우에는 시설의 필요성과 침수 등에 의한 유지관리 등의 어려움을 모두 고려하여 시설의 필요성이 우선할 경우에만 부지로 선정하는 것이 타당하다. 또 댐의 상류에 시설을 설치할 때에도 댐 수몰지에 시설을 설치하는 것은 바람직하지 않으며, 만약 댐 수몰선 아래에 시설을 설치하더라도 댐의 만수위선보다는 높은 지역에 시설을 설치하는 것이 바람직하다.

〈표 7〉 기후 및 지역적인 요소에 따른 시설별 고려사항

시설 구분	낮은 고저 (해안지역)	추운 기후	석회암지형	강우량 많은지역
저류 시설	저류지에서 배수가 원활하지 않을 수 있음	겨울의 성능 향상을 위한 설계 필요	• 석회암지대의 함몰지형성(sinkhole) 방지 • 지하수 오염우려지역의 유출수의 침투 등을 방지하기 위해 점토 라이닝의 사용 유도 • 석회암지대에 함몰지가 형성되지 않는 것을 확인하기 위해 토질시험 실시 • 함몰지가 형성 위험을 감소시키기 위해 1.2m 이하의 저류수심 유지	제한사항없음
인공 습지	제한사항 없음	추위에 강한 식생 사용 유도		
침투 시설	지하수위 확인	결빙 위험을 최소화할 수 있는 설계 필요	• 함몰지가 형성될 수 있는 석회암지형에서는 사용 제한 • 다른 석회암 지형에서는 엄격한 전처리 필요	습윤토양에서는 유기물 형성이 증가되므로 더 빈번한 유지관리 필요
여과형 시설	손실수두가 적은 여과가 적합	결빙을 고려한 설계	• 제한사항없음	제한사항없음
식생 수로	최소 경사유지	추위에 강한 식생 사용 유도	• 함몰지 형성이 염려될 때 침투에 대해 주의깊게 분석	수로의 붕괴위험을 감소시키기 위해 밀식된 식생 피복 유도

유역요소

비점오염저감시설의 설계는 기본적으로 강우유출수가 유입되는 하류 수체의 특성에 의해 영향을 받는다. 따라서 적정한 시설을 선정하기 위하여 인근 하천 및 하류지역의 하천 수질 등 다음의 유역요소를 고려하여야 한다.

① 하천
② 대수층 및 지하수
③ 호소
④ 저수지
⑤ 하구

해설

적정한 시설을 선정하기 위하여 인근 하천 및 하류지역의 하천 수질 등 기타 하천의 특성을 고려하여야 한다. 또한 구조적 저감시설의 설계는 기본적으로 방류하천, 즉 하류하천 수계의 본질적인 특성에 의해 영향을 받는다. 어떤 경우에는 유역과 수계 내 생물자원을 보호하고 인간의 건강과 안전을 보호해야하므로 보다 높은 효율의 오염물질 제거성능이 필요하다. 또 하나 중요하게 검토해야 할 사항은 식수원으로 이용되는 지하수나 하천, 저수지를 보호할 필요가 있느냐는 점이다.

설계에 반드시 반영해야 할 사항은 특별관리지역에 강우유출수의 침투를 방지함으로써 혹시 발생할지 모르는 지하수 오염을 방지해야 한다는 점이다. 이와 동시에 오염되지 않은 강우유출수에 의해 건기 시에도 하천유량과 지하수량이 유지될 수 있도록 해야 한다.

유역으로부터 지표면 유출을 통하여 강우유출수가 상수원으로 이용되는 저수지로 유입되는 경우에는 특별한 관심이 필요하다. 처리과정에서 이용 가능한 처리공법에 의해 결정될 문제이지만 관심대상 오염물질 즉 병원성 미생물, 영양물질, 토사, 중금속을 훨씬 높은 수준에서 제거할 필요가 있다.

저수지 수질관리와 관련해서 특별관리구역 강우유출수의 적절한 처리를 통하여 상수원이 오염되지 않도록 해야 한다.

저감시설의 종류별로 다음과 같은 사항을 고려한다.

① 저류시설 : 체류시간을 확보할 수 있는 충분한 공간이 필요하며 저류된 초기우수를 연계처리하거나 자체적으로 처리할 수 있는 방안을 마련한다. 홍수가 우려되는 지역은 홍수조절 방안을 마련한다.

② 인공습지 : 수생태계 보호 차원에서 저온을 유지해야 하는 하천구역에서는 사용이 제한될 수 있다. 홍수가 우려되는 지역의 경우 홍수조절 방안을 마련한다.

③ 침투시설 : 지질의 투수성이 높은 지역에 설치하며 지하수위가 낮은 지역에 적정하다. 필요에 따라 유입수 전처리가 필요할 수 있다.

④ 여과형 시설 : 홍수조절을 위해 저류시설과 조합하는 것이 바람직하며, 유해물질배출지역의 강우유출수는 전처리가 필요하다.

⑤ 식생수로 : 홍수조절을 위해 저류시설과 조합하는 것이 바람직하다.

미국에서 비점오염저감시설의 유역별 고려사항의 예를 〈표 8〉에 나타내었으며, 이러한 유역별 고려사항은 국내 설치유역별로 새로이 검토되어 비점오염저감시설의 선정에 활용해야 한다.

〈표 8〉 유역요소에 따른 시설별 고려사항

시설 구분	Sensitive stream	Impacted stream	Non-supporting stream	Restorable stream
하천의 훼손도	저 ←			→ 고
저류 시설	• 수로보호를 고려 • 하천내 시설 제한 • 저온을 유지해야 하는 하천은 영구연못 면적의 최소화 및 하천변 식생조성으로 그늘 유도	• 수로보호를 고려	• 홍수가 우려되는 지역인 경우 홍수조절에 중점	• 수로보호를 고려 • 가능하면 유역 개선 우선사항(retrofit priority)과 통합설계
인공 습지	• 수로보호를 고려 • 하천내 시설 제한 • 저온을 유지해야 하는 하천은 사용 제한	• 수로보호를 고려	• 홍수가 우려되는 지역인 경우 홍수조절에 중점 • 박테리아 제어를 위해 긴 체류시간 확보	• 수로보호를 고려 • 가능하면 유역개선을 위한 우선사항(retrofit priority)과 통합설계 • 서식지 회복 목표를 지원하기 위해 하천내 습지 시설 설계
침투 시설	• 지하수 재충전을 위한 사용으로는 적극 권장 • 수로보호를 위해 저류시설과 조합	• 수로보호를 위해 저류시설과 조합	• 가능하면 홍수조절을 위해 저류시설과 조합 • 지하수 오염우려 지역 유출수의 직접적인침투 방지	• 수로보호를 위해 저류시설과 조합

여과형 시설	• 수로보호를 위해 저류시설과 조합	• 수로보호를 위해 저류시설과 조합	• 가능하면 홍수조절을 위해 저류시설과 조합	• 수로보호를 위해 저류시설과 조합
식생 수로	• 수로보호를 위해 저류시설과 조합	• 수로보호를 위해 저류시설과 조합	• 가능하면 홍수조절을 위해 저류시설과 조합 • 공간의 제한으로 인해 종종 사용 제한	• 수로보호를 위해 저류시설과 조합 • 공간의 제한으로 종종 사용 제한

※ 하천의 구분은 하천의 훼손정도(유역의 불투수면적 비율 등), 수질오염도 등을 고려한 것으로 Sensitive → Impacted → Non-Supporting → Restorable Streams의 순으로 훼손정도가 심함

시설 구분	대수층	도시 호수	저수지	하구호(Estuary/ Shellfigh beds)
저류 시설 인공 습지	• 투수성 토양은 라이닝이 필요 • 지하수 오염우려지역은 유출수 전처리 필요 • 지하수위와 일정 이격거리 유지	• 인 제거율을 향상시키기 위해 큰 저류지 사용 권장	• 인 제거율을 향상시키기 위해 큰 저류지 사용 권장 • 박테리아 제거율을 향상시키기 위해 긴 체류시간 권장	• 박테리아 제거율을 향상시키기 위해 긴 체류시간 권장 • 높은 질소 제거율 필요.
침투 시설	• 관정으로부터 30m 수평이격거리 및 지하수위로부터 1.2m의 수직 이격거리 유지 • 지하수 오염우려지역은 유출수 전처리되지 않는다면 유입 금지 • 모든 유출수에 대한 전처리 필요	• 높은 인 제거율 필요	• 기반암 및 지하수위로부터 이격거리 유지 • 침투시설 이전 단계에 강우유출수 전처리 필요	제한사항없음 • 단, 계절적인 고지하수위로부터 이격거리 필요
여과형 시설	제한사항없음	제한사항없음	• 보통~높은 수준의 대장균 제거율 필요	• 보통~높은 대장균 제거율
식생 수로	• 지하수 오염우려지역 은 강우유출수 적정 전처리	제한사항없음 • 보통의 인 제거율 필요	• 습식 식생수로의 경우 대장균 제거율이 나쁨	• 습식 식생수로의 경우 대장균 제거율이 나쁨

강우유출수 관리능력

비점오염저감시설은 지역별, 유역별로 수질개선 이외에 지하수 함양, 수로보호, 홍수예방 등 추가적인 사항도 고려하여 설치한다.

해설

식생수로 등의 식생형 시설이나 침투시설 등은 지하수 함양이 가능하며, 지하수 함양이 필요한 지역에는 지하수 함양을 고려하여 비점오염저감시설을 선정한다.

또한 수로보호 및 홍수예방 등이 필요한 지역에서는 비점오염저감시설의 선정 시 이를 고려하여 선정하며, 1개의 시설로 이러한 기능을 충족하지 못할 경우, 여러 시설을 연결하여 이를 충족시키도록 한다. 예를 들어, 식생수로만으로 홍수예방 기능을 충족하지 못할 경우 식생수로의 하부에 저류조 등을 설치하여 홍수예방 기능을 보충하도록 한다.

비점오염저감시설은 수질 및 수량 측면에서 고려되는 것이 바람직하다. 특히 저류시설은 수질뿐만 아니라 수량 측면에서도 홍수예방, 수로보호 등의 부가적인 효과를 지니고 있다.

특히, 저영향개발(Low Impact Development, LID)기법은 개발과 더불어 비점오염관리 및 강우관리에 대한 새로운 방법으로, 개발과 동시에 수원확보, 수질유지, 생태계의 질 향상을 도모할 수 있다. 토지의 종류나 환경에 구애받지 않고 기능적 경관요소를 전략적으로 배치하여, 강우유출수 발생억제 및 오염물질의 침투, 여과, 정화 등의 효과를 기대할 수 있으며 건전한 물순환 시스템 구축에 유리하다.

비점오염저감시설의 강우유출수 관리능력의 예를 〈표9〉에 나타내었으며, 이러한 강우유출수 관리능력은 국내 시설별, 지역별로 적합하게 활용되어야 한다.

〈표 9〉 비점오염저감시설별 강우유출수 관리능력

저감 시설형태	저감시설 종류	저류	여과	침투	증발산	지하수 함량
저류시설	저류지	⦿	X	△	△	△
	지하저류조	⦿	X	△	X	X
인공습지	지표면흐름습지	⦿	X	△	⦿	△
	지하흐름습지	△	⦿	○	○	○
침투시설	유공포장		○	○	○	△
	침투저류지	⦿	○	⦿	○	⦿
	침투도랑	○	⦿	⦿	△	⦿
식생형 시설	식생여과대	△	⦿	○	⦿	○
	식생수로	○	○	○	⦿	△
	식생체류지	○	⦿	○	⦿	⦿
	나무여과상자	○	⦿	○	⦿	△
	식물재배화분	⦿	⦿	○	⦿	△
여과형 시설		△	⦿	X	X	X
와류형 시설		△	X	X	X	X
스크린형 시설		X	△	X	X	X
응집 · 침전 처리형 시설		⦿	△	X	△	X

⦿ 매우 높음, ○ 높음, △ 보통 이하, X 기능 없음

오염물질 제거

비점오염저감시설은 강우유출수 내 다음의 오염물질을 제거하는 능력을 검토하여 선정한다.

① 총부유물질(TSS)
② 총인(T-P)
③ 총질소(T-N)
④ BOD
⑤ 중금속

해설

유역의 토지이용특성 등에 따라 발생 · 배출되는 오염물질의 종류가 다르므로 최적의 비점오염저감시설을 선정하기 위해서는 지역의 오염물질 종류와 특성을 파악하여야 한다.

비점오염저감시설은 TSS의 연간 제거효율 80% 이상을 목표로 하여 설계하는 것이 바람직하며, 단위시설의 연간 TSS 제거효율이 80%에 미치지 못할 경우 여러 시설을 조합하여 TSS 연간 제거효율이 80% 이상이 되도록 구성하는 것이 좋다.

참고적으로 미국에서 비점오염저감시설의 연방기준은 마련되어 있지 않지만 일부 주에서는 〈표 10〉과 같이 총부유물질(TSS) 제거효율 기준을 80% 이상으로 설정하여 관리하고 있다.

비점오염저감시설의 시설별 저감효율은 국내외 자료들을 참고로 고려되어야 하며, 정기적인 모니터링을 통해 수질자료 및 저감효율을 파악하여야 한다.

〈표 10〉 비점오염저감시설의 TSS 제거효율(미국 내 주별 기준의 예)

지역	TSS제거 목표	용량기준
워싱턴주 올림피아	SS 80% 제거	6개월 24간 강우 처리
플로리다주 올란도	연평균 TSS 부하 80% 감소	초기 12.7㎜ 또는 강우 25.4㎜ 중 큰 쪽
플로리다주 윈터파크	연평균 TSS 부하 80% 감소	저류를 통한 강우 25.4㎜ 처리
메릴랜드주 볼티모어	연평균 TSS 부하 최소 80% 제거	불투수지역으로부터 유출되는 초기 12.7㎜ 처리
남부 플로리다	연평균 TSS 부하 최소 80% 제거	13~63㎜에 불수투비율을 곱한 값
델라웨어	연평균 TSS 부하 최소 80% 제거	입증된 BMP를 이용한 초기 25.4㎜ 처리
플로리다	연평균 TSS 부하 최소 80% 제거	BMP에따라서 12.7~38.1㎜ 처리
뉴저지	TSS의 80% 감소	1년, 24시간 강우 또는 2시간당 31.8㎜ 이상 처리
남부 캐롤라이나	연평균 TSS 부하 최소 80% 제거	BMP에 따라서 12.7~38.1㎜ 처리

〈표 11〉 비점오염저감시설별 저감효율

저감시설 형태	저감시설 종류	BOD	TN	TP
저류시설	저류지	34	28	36
	지하저류조	25	24	20
인공습지	인공습지	53	37	60
침투시설	유공포장	75	83	65
	침투저류지	69	58	69
	침투도랑	77	62	73
식생형 시설	식생여과대	44	42	42
	식생수로	34	45	51
	나무여과상자 식물재배화분 식생 체류지	54	49	65
여과형 시설	여과형 시설	50	46	54
와류형 시설		16	11	22
스크린형 시설		15	9	19
응집 · 침전처리형 시설		80	20	85

※ 처리효율은 수질오염총량관리기술지침(국립환경과학원, 2012)을 인용하였고, 명칭은 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인(환경부, 2013)을 준용함.

지역사회와 환경요소

비점오염저감시설의 종류 선정 및 입지 선정 시 지역사회의 의견을 적극적으로 수렴 · 반영하고 불쾌감, 선호도 등을 고려하는 것이 바람직하다. 또한 비점오염저감시설이 지역 생태계의 서식처로서 활용될 수 있도록 한다.

해설

① 지역사회 적용성은 다음의 3가지 요소를 측정하여 평가한다.

- 시장조사 및 선호도 조사
- 지역주민의 민원발생
- 경관적 쾌적성

  평가 결과가 좋지 않을 경우 조경계획을 개선하여 지역사회의 적용성을 높일 수 있다. 또, 비점오염물질 처리 후 시설 내 남은 정체수가 장기간 체류 시 부패로 인한 2차 오염 또는 해충 발생으로 민원 발생이 우려되므로 시설설계 시 비점오염저감시설 내 정체수가 최소화 되도록 고려하여야 한다.

② 비점오염저감시설이 적절하게 조경이 된다면, 야생 동식물의 서식지로 이용될 수 있다. 비점오염저감시설의 크기, 물의 특성, 습지 특성, 식생피복과 완충지역을 포함하여 서식지 등을 평가한다.

〈표 12〉 지역사회와 환경 요소에 따른 시설별 적용성

저감시설 형태	저감시설 종류	적용성		생태서식처	심미성
		도시적 토지이용	농촌적 토지이용		
저류시설	저류지	○	⦿	⦿	⦿
	지하저류조	○	X	X	△
인공습지	지표면흐름습지	○	⦿	⦿	⦿
	지하흐름습지	⦿	○	⦿	⦿
침투시설	유공포장	⦿	○	X	○
	침투저류지	⦿	○	△	○
	침투도랑	⦿	○	△	⦿
식생형 시설	식생여과대	○	⦿	⦿	⦿
	식생수로	○	⦿	⦿	⦿
	식생체류지	⦿	○	⦿	⦿
	나무여과상자	⦿	○	○	⦿
	식물재배화분	⦿	○	⦿	⦿
여과형 시설		○	X	△	△
와류형 시설		○	△	X	△
스크린형 시설		○	○	X	△
응집 · 침전 처리형 시설		⦿	○	X	○

⦿ 매우 높음, ○ 높음, △ 보통 이하, X 기능 없음

비점오염저감시설은 건설 및 유지관리 비용, 유지관리 용이성 및 공공안전성 등을 종합적으로 고려하여 선정한다.

해설

비점오염저감시설의 선정 시 불투수층 처리면적당 상대적인 건설비용을 비교하여 최적의 저감방안을 마련한다. 건설비용은 시설용량에 해당하는 부지면적 매입비용과 공사비 등을 포함하여 검토한다.

또한 향후 시설 운영 과정에서 예상되는 유지관리 인력 및 장비의 활용유무를 검토하여 용이성을 충분히 고려한다. 저감시설 선정 시 고려하여야 할 유지관리 용이성 항목은 아래와 같으며, 이를 고려하여 유지관리 비용을 산출하여 저감시설 선정 시 활용한다.

- 유지관리 빈도
- 여재 활용으로 인한 막힘현상 문제(여재교체)
- 식생관리
- 퇴적물 관리
- 유지관리 위한 특수장비 이용
- 유지관리 인력

〈표 13〉 비점오염저감시범시설의 유지관리 용이성

저감시설 형태	저감시설 종류	유지관리 빈도	여재교체	식생관리	퇴적물 제거	특수장비 활용	유지관리 인력
저류시설	저류지	△	X	○	○	△	△
	지하저류조	○	X	X	○	△	○
인공습지	지표면흐름습지	○	X	⦿	○	○	○
	지하흐름습지	○	X	⦿	○	△	○
침투시설	유공포장	○	○	△	△	△	△
	침투저류지	○	△	△	○	△	△
	침투도랑	○	△	△	○	△	△
식생형 시설	식생여과대	○	△	○	△	○	○
	식생수로	○	△	○	△	○	○
	식생체류지	△	△	○	△	△	△
	나무여과상자	△	△	○	△	△	△
	식물재배화분	△	△	○	△	△	△
여과형 시설		⦿	⦿	X	⦿	⦿	○
와류형 시설		○	X	X	⦿	⦿	○
스크린형 시설		○	X	X	⦿	△	△
응집 · 침전 처리형 시설		○	X	X	⦿	⦿	○

⦿ 높음, ○ 보통, △ 낮음, X 없음

비점오염저감시설의 선정 시 설치되는 위치 특성 등을 고려하여 시설별 상대적인 공공에 대한 안전성을 고려한다. 공공 안전을 위하여 노출된 시설의 경우 공공 안전성을 높이기 위한 방안을 검토하여야 한다.

비점오염저감시설의 선정 등에 있어 기타 지역별 특성을 고려하여 최적의 저감방안이 되도록 한다.

- 비점오염저감시설은 오염원에서 멀어질수록 처리대상지역이 증가하므로 시설로 유입되는 유량은 급격히 증가한다. 이에 따라 시설의 규모가 필요 이상으로 커지게 될 뿐만 아니라 초기강우 외의 강우유출수를 처리하게 됨으로써 처리효과가 저하된다. 따라서 비점오염물질은 발생원에 근접하여 처리하는 것이 바람직하다. 다만, 비점오염저감시설의 개소수가 많으면 유지관리에 어려움이 있으므로 배수구역을 증가시키는 등 유지관리 용이성도 고려하는 것이 좋다.
- 입지와 인허가 관련하여 지자체나 중앙정부에서 규제하고 있는 저감시설 입지규정을 검토하여야 한다. 특히 대규모 저류시설과 인공습지를 설치하고자 할 경우에는 사전에 하류지역 주민과 수리권 문제에 대한 마찰 여부를 검토하는 것이 좋다.

Chapter III

시설별 설치 및 관리·운영 매뉴얼

01 자연형 시설
02 저영향개발(LID)기법 시설
03 장치형 시설

환경부

01 자연형 시설

저류시설

◉ 시설개요

강우유출수를 저류하여 침전 등에 의하여 비점오염물질을 저감하는 시설로 저류지 및 지하저류조 등이 있다.

① 저류지　　② 지하저류조

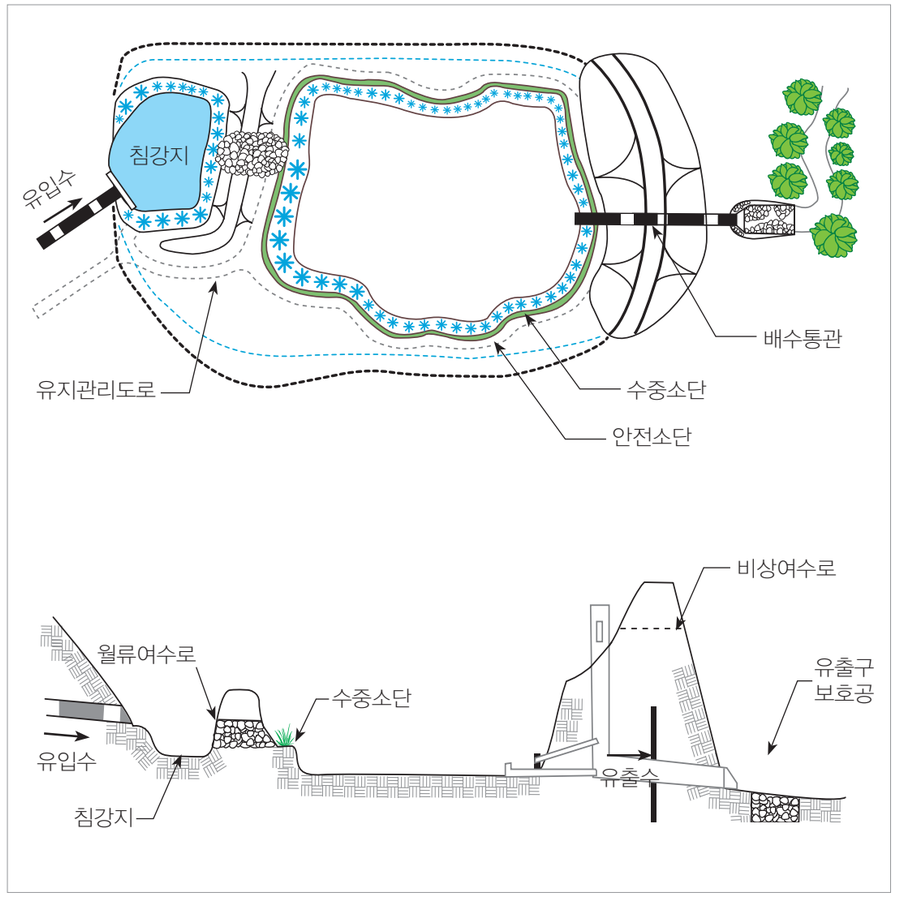
해설

① 비점오염저감시설의 처리대상이 되는 강우유출수에 포함된 오염물질은 저류지에서 중력침전과 일부 생물학적 과정에 의해서 제거된다.

저류지는 저비용으로 고효율의 강우유출수 관리를 할 수 있는 시설로 자연친화적 저류지는 심미적인 효과를 기대할 수 있다. 다만, 저류지가 상시 물을 저류함으로서 악취, 해충의 발생 등이 문제가 될 경우 강제배수장치를 설치하여, 발생강우를 1 ~ 3일 정도 체류하여 침전시킨 후 강제 배수할 수 있다.

재해용저류지는 대규모 개발사업 시 재해예방을 위해 설치하며, 강우 시 첨두유량을 가두어 배수구역 내 홍수량을 줄이는 역할을 한다. 시설의 유출구가 바닥에 있어 상시저류가 불가능하기 때문에 본래의 기능인 첨두홍수량의 조절 외에, 상시저류기능을 확보하여 강우유출수의 토사(오염물질)를 추가적으로 처리 할 수 있다. 이러한 저류지를 "이중목적 저류지"라 한다.

〈그림 5〉 저류지 설치 예



〈그림 6〉 저류시설 평 · 단면도

② 지하저류조는 우수저류시설을 지하에 설치하고 지상부는 주차장, 공원 등 다른 용도로 이용할 수 있도록 구조화한 것이다. 지가가 비싼 시가지에 설치하는 것이 일반적이며, 홍수다발구역인 고밀도 주택가에서 사용하는 방법으로 주로 고층 주택 및 큰 건물 등의 지하공간을 활용하여 설치할 수 있다.

도시지역 또는 주거밀집지역에는 저류조를 설치할 공간이 부족한 경우가 많아 기존의 빗물펌프장을 활용하는 예가 증가하고 있다. 빗물펌프장은 강우유출수가 모이도록 이미 관거가 설치되어 있고 도시지역 내 위치하고 있어 빗물펌프장 지하에 지하저류조를 설치하는 대안도 강구할 필요가 있다.

〈그림 7〉 지하저류조 설치 예[환경부]

〈그림 8〉 지하저류조 예

◉ 설치기준

가) 법적 설치기준(시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한 구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나 화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 저류시설

가. 자연형 저류지는 지반을 절토 · 성토하여 설치하는 등 사면의 안전도와 누수를 방지하기 위하여 제반 토목공사 기준을 따라 조성하여야 한다.

나. 저류지 계획최대수위를 고려하여 제방의 여유고가 0.6미터 이상이 되도록 설계하여야 한다.

다. 강우유출수가 유입되거나 유출될 때에 시설의 침식이 일어나지 아니하도록 유입 · 유출구 아래에 웅덩이를 설치하거나 사석(砂石)을 깔아야 한다.

라. 저류지의 호안(湖岸)은 침식되지 아니하도록 식생 등의 방법으로 사면을 보호하여야 한다.

마. 처리효율을 높이기 위하여 길이 대 폭의 비율은 1.5 : 1 이상이 되도록 하여야 한다.

바. 저류시설에 물이 항상 있는 연못 등의 저류지에서는 조류 및 박테리아 등의 미생물에 의하여 용해성 수질오염물질을 효과적으로 제거될 수 있도록 하여야 한다.

사. 수위가 변동하는 저류지에서는 침전효율을 높이기 위하여 유출수가 수위별로 유출될 수 있도록 하고 유출지점에서 소류력이 작아지도록 설계한다.

아. 저류지의 부유물질이 저류지 밖으로 유출하지 아니하도록 여과망, 여과쇄석 등을 설치하여야 한다.

자. 저류지는 퇴적토 및 침전물의 준설이 쉬운 구조로 하며, 준설을 위한 장비 진입도로 등을 만들어야 한다.

나) 설치기준 해설

(1) 물리적 · 환경적 실현가능여부

저류지 설치 시 다음의 각 항목을 고려하여 물리적 · 환경적 실현가능여부를 판단한다.

① 홍수 발생 위험이 없는 곳에 위치하여야 하며, 하류의 하천이 낮은 수온을 유지하는 곳은 피하는 것이 좋다.

② 비점오염저감을 위해 저류지에는 수질처리를 위해 상시 수위가 유지되는 것이 좋다.

해설

① 저류지의 입지 선정 시 설치부지는 홍수 시 침수위험이 없는 곳에 위치하여야 하며, 최소한의 터파기 작업으로 최대의 저류공간을 확보할 수 있는 곳이 바람직하다. 또한 저류지 설치 예정부지 인근에 자연적인 완충지대나 교란되지 않은 자연환경 등의 특색을 최대한 활용하는 방안을 수립한다.

저류지가 설치될 지역의 경사는 불규칙한 경사도를 갖는 곳은 바람직하지 못하며, 경사도 15% 미만이어야 한다.

하류의 수온이 낮아 저류지의 유출수를 통해 온도상승으로 인한 부정적 효과가 예상되는 곳은 피하는 것이 좋으며, 수온상승을 최소화하기 위해 다음의 조치를 취할 수 있다.

- 하류 수로에 있는 수목의 보존 및 추가식재 고려
- 가능한 인접한 수변에 수림대(forested riparian zone)를 재조성
- 과도한 사석의 사용 자제
- 유출부 부근의 수심을 깊게 조성

② 저류지 부지의 토양이 가지는 투수속도는 저류지의 수위유지에 중요한 요소일 뿐 아니라, 저류지 아래에 대수층이 위치할 경우를 고려하여야 하므로 대상부지 토양의 투수계수를 확인하여야 한다.

설치되는 저류지가 상시 일정한 담수량을 확보하여야 할 경우 저류지 하부 토양의 침투율을 확인할 필요가 있고, 또 강우의 유입을 확보하기 위해 일정 이상의 배수구역을 가지는 것이 좋다. 따라서 지하수로부터의 유입이 없는 경우 기저유출량으로 수위를 유지할 수 있는 배수구역을 가지는 것이 바람직하다. 배수면적 조건은 지역적인 강우 및 온도 특성에 따라서 가변적일 수 있다.

(2) 유입 · 유출 시 안전여부

저류지의 유입부 및 유출부는 다음의 각 항목을 고려하여 설계한다.

① 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것을 대비하여 비상여수로 등 우회시설을 설치하여야 한다.

② 강우유출수의 유입 · 유출에 배수관을 사용할 경우에는 접합부가 새지 않도록 한다.

③ 저류시설의 유입구 부근에 침식이 발생하지 않도록 한다.

④ 유출구는 하류 하천의 지형이나 침식을 유발하지 않도록 설치하여야 하며 유출구 아래의 수로 침식을 방지하기 위해 웅덩이를 설치하거나 사석을 깐다.

⑤ 저류지의 부유물질이 저류지 밖으로 유출하지 아니하도록 여과망, 여과쇄석 등을 설치하는 것이 좋다.

해설

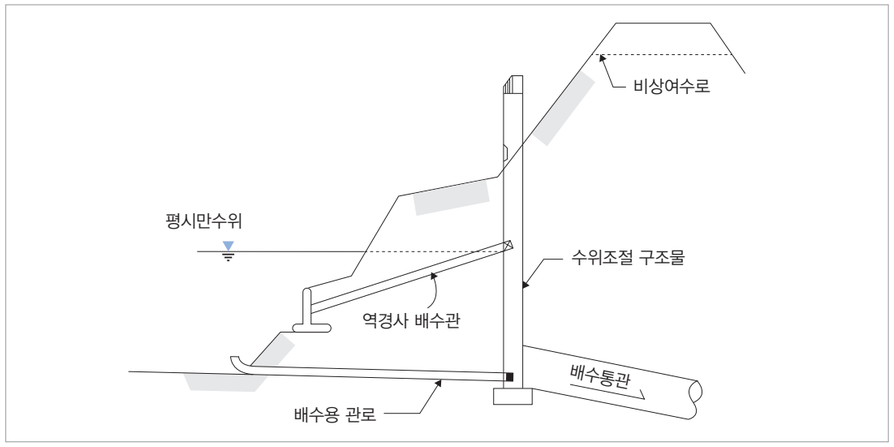
① 저류지의 설계 시 시설의 안정성을 저해할 수 있는 유량 이상으로 강우유출수가 유입될 경우를 대비하여 비상여수로 등의 우회시설을 설치하여야 한다. 저류지에 설치되는 우회시설은 유입유량이 저류지를 경유하여 자연적으로 유출될 수 있는 비상여수로와 유입유량이 저류지를 경유하지 않고 유출될 수 있는 우회수로 등이 있다. 공사 중에 설치하는 침사지 또는 저류지는 우회수로를 만들 경우 토사가 공공유역으로 직접 방류될 우려가 있으므로 특수한 경우를 제외하고는 우회수로를 고려하지 않는 것이 좋다.

② 유입 · 유출을 비롯한 저류지 내에서의 통수 시 침식이 유발되어서는 안 되며, 내구성 증가를 위해 철근 콘크리트관을 사용하는 경우 접합부가 방수가 되도록 하는 것이 좋다. 유입 · 유출관이 누수가 될 경우 관과 토양이 접하는 부분의 침식이 발생하고 관의 안전성에 중대한 위해를 가할 수 있다.

③ 유입구 부근은 침식이 되지 않도록 적절히 보호되어야 하며, 저류지로 유입되는 관은 부분 침수되어도 된다. 유입구를 수로로 설치하는 경우에는 유입수로를 견치석이나 이와 동등한 성능을 발휘하는 방법에 의해 안정된 구조로 하여 물의 유속에 의해 침식을 일으키지 않도록 하는 것이 좋다.

④ 유출구는 하류에 침식을 유발하지 않도록 유출관의 단면을 확대하는 것이 좋다. 저류지 유출구 바로 아래의 수로는 침식을 방지하기 위하여 사석(rip-rap)의 포설, 감세공 등으로 보완할 수 있다. 유출구 보호 및 효과적 오염물질 처리 및 저류를 위한 유출부의 구조는 다음과 같다.

- 저류지로부터 유출유량은 수직 수위조절구조물(riser)과 배수통관(barrel)에 의해 제어될 수 있다. 방류통은 수직으로 세워진 원통관로로 저류지의 바닥에 고정 부착된다. 방류관은 방류통에 수평으로 부착된 관로를 지칭하며 제방하단의 물을 운반하는 기능을 담당한다. 방류통은 유지관리와 보수 시 접근성이 편리하도록 저류지의 제방 내부에 설치한다.
- 저류지의 용도가 단순히 강우유출수에 함유된 비점오염물질의 제거라면 유출구의 구조는 단순한 월류웨어 형태면 가능하다.
- 저류지 바닥에는 배수용 관로를 설치할 수 있다. 배수관로에는 밸브를 갖추어 저류지를 완전배수 또는 부분 배수해야 하는 상황에 대처할 수 있도록 한다.



〈그림 9〉 저류지 유출부 구조

⑤ 저류지의 부유물질이 저류지 밖으로 유출하지 아니하도록 여과망, 여과쇄석 등을 설치할 필요가 있다. 저류지의 상부에는 낙엽 및 협잡물 등이 있을 수 있으며, 하절기에는 조류의 번성에 의해 조류가 공공수역으로 배출될 수 있어 이에 대한 대비가 필요하다. 다만, 여과망을 사용할 경우에는 협잡물에 의한 막힘이 우려됨으로 주의하여야 한다. 또 쇄석층의 통수능이 저류지의 유입유량보다 작지 않도록 설치해야 한다.

(3) 저류지 유입 전(前) 처리

① 저류시설은 효율을 유지하고 관리가 용이하도록 침강지 혹은 이와 같은 처리효율을 가지는 전처리시설을 조성하는 것이 좋다.

② 침강지의 퇴적물을 제거할 수 있도록 유지관리용 접근도로가 설치되어야 하며, 퇴적물 제거가 쉽도록 바닥은 단단하게 설치하는 것이 유리하다.

해설

① 전처리시설의 설치는 강우유출수 처리 및 저류지의 수명과 유지관리 측면에 있어서 중요하다. 침강지는 경계벽(barrier)이 있는 독립된 셀로 구성될 수 있다. 침강지의 용량은 수질처리용량(WQv)의 10% 이상으로 하는 것이 좋고, 최대수심은 1.2 ~ 1.8m 정도로 하는 것이 좋다. 침강지 외의 전처리시설로는 와류형 시설을 사용할 수 있다. 설치 시 「와류형 시설」의 시설기준을 참고 한다.

공사 중에 설치하는 임시구조물의 침사지 등은 영구적인 시설물이 아니므로 경우에 따라 침강지의 설치를 생략할 수 있다.

② 침강지에는 기간별 침전물 퇴적량을 측정할 수 있도록 퇴적심 측정표시장치를 설치할 수 있다. 침강지 바닥은 퇴적물 제거가 용이하도록 경질로 설치하는 것이 유리하며 구조물을 설치할 경우 포장블럭으로 시공할 수도 있다. 또 침강지의 전단부는 쇄석 등을 설치하여 침식을 방지하는 것이 좋다. 침강지에 유지관리를 위한 장비가 접근할 수 있도록 유지관리용 도로가 설치되어야 한다.

(4) 저류시설 구조

① 배수면적에서 계산된 강우유출수를 적정 처리하기 위한 공간을 확보하여야 한다.

② 처리효율을 높이도록 길이 대 폭의 최소 비율은 1.5 : 1로 하고 유로는 가급적 길고 불규칙적으로 만드는 것이 유리하다.

③ 저류시설 설계 시 가급적 습지식물을 식재하도록 하며, 시설 가장자리나 시설의 얕은 지역 내에 식재하는 것이 바람직하다.

④ 저류지가 자갈 섞인 모래나 틈이 있는 암반층에 위치하면 수위 유지 및 오염된 강우유출수로 인한 토양 및 지하수 오염을 예방하기 위해 차수층 설치를 검토한다.

⑤ 그밖에 유지관리를 위한 도로, 비상여수로 및 기타 안전시설이 고려되어야 한다.

⑥ 지하저류조의 정체수로 인해 모기서식 · 악취의 우려가 예상될 경우 강우 종료 후 3일 이내 정체수가 배제될 수 있도록 설계에 반영되어야 한다.

⑦ 지하저류조의 경우 정기점검 및 유지관리 시 유해가스로 인한 피해를 예방하기 위하여 배기시설을 설치하여야 한다.

⑧ 저감시설 설치 후 지하저류조의 퇴적물 관리 및 유지관리를 위해 출입구를 설치하여야 하며, 유출구 방향으로 0.2 ~ 0.5%의 경사를 주어야한다.

⑨ 유입구 크기는 초기우수를 차집할 수 있는 적절한 크기를 산정하여야 한다.

해설

① 저류시설의 용량산정 및 공간 확보를 위한 저류지의 제원결정은 다음을 고려한다.

- 배수면적으로부터 계산된 수질처리용량(WQv)을 저장하기 위한 수질처리공간(Water quality treatment storage)을 확보하여야 한다. 만약 저류지가 재해방지기능을 동시에 갖는 영구저류지일 경우 방재용량과 수질처리용량은 별개로 계산되는 것이 타당하다.
- 저류지의 제방경사는 다음의 사항을 고려하여 설계한다.
  - 유지관리와 보수를 위한 사면은 3:1(가로:세로)이하로 설치하는 것이 바람직하며 나머지 부분도 2:1(가로:세로)이하로 설치하는 것이 바람직하다.
  - 제방높이가 3.0m 이상이고 경사가 3:1(가로:세로) 이상이면 안전소단을 설치하는 것이 좋다.
  - 사석으로 보강된 제방은 경사가 2:1(가로:세로)이하로 하는 것이 좋다.

배수구역이 농촌지역이며 흙탕물을 저감하기 위해 설치하는 저류시설의 경우에는 제거 대상물질 및 배수구역의 크기 등을 고려하여 설계하여야 한다. 배수구역이 지나치게 넓고, 제거 대상물질이 토사나 흙탕물로 한정지어질 경우 수질처리용량(WQv)을 전량 저류하도록 설계하기 보다는 토사 포착율에 따라 저류시설의 용량을 결정할 수 있다.

- 설계대상 유량의 산정 : 설계대상 유량의 산정은 계획홍수량 산정방법을 따르며 대상유역에 대한 설계대상 홍수량을 설계대상 유량으로 산정한다. 단, 재현기간 큰 홍수량을 대상유량으로 결정하면 시설의 효율은 좋아지나 과대설계의 우려가 있으며, 재현기간이 낮은 홍수량으로 설계 시 시설의 처리효율 저하가 발생할 수 있다. 따라서 설계대상유량의 산정은 대상유역의 현황과 시설의 처리효율을 고려하여 신중히 결정하여야 한다.

– 포착대상 입도 결정 : 대상유역의 현장조사를 통해 입도분포를 분석하고 그 결과에 따라 포착대상 입경을 결정한다. 이때 포착대상 입경의 침강속도를 같이 도출한다.

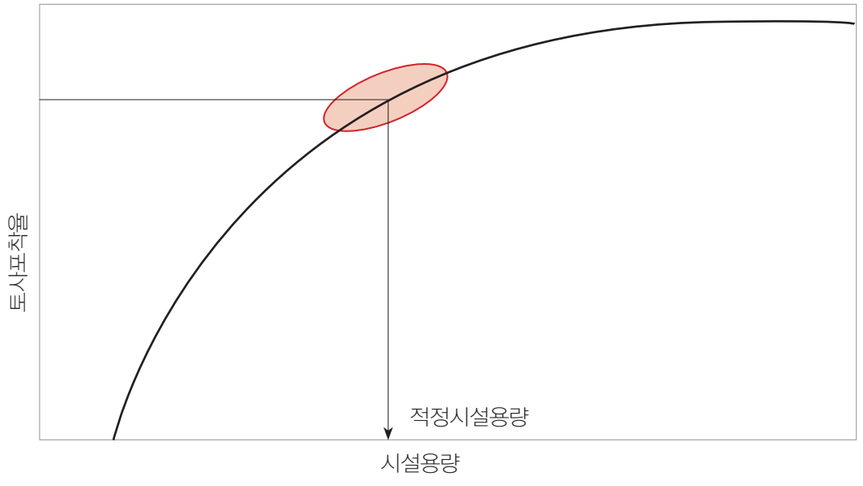
– 설계대상유량과 포착대상 입경의 침강속도를 이용해 소요수표면적을 산정한다. 이때 Hazen 공식을 이용해 다음과 같이 산정한다.

$$A = 1.2 \times \frac{Q}{Vs}$$

A : 저류시설 최소 소요 수면적(m^2)
Q : 침사지 설계대상 유량(m^3/s)
Vs : 포착대상 입경의 침강속도(m/s)

1.2는 침사지의 침전효율 감소를 고려한 보정계수를 의미한다.

– 소요 수면적을 이용하여 침사지의 용량과 용량에 따른 입경별 포착율을 산정한다. 시설의 용량은 〈그림 10〉과 같이 포착율과 용량의 관계를 고려하여 최적의 시설용량을 결정하여야 하며, 변곡점을 정하는 것은 처리효율에 따른 시설의 경제성을 검토하여 결정한다. 또한 설계효율을 산정하여 저감효율이 적정한지를 반드시 검토하여야 한다.



〈그림 10〉 토사포착율에 따른 시설용량 산정 개념도

② 처리효율을 향상시키기 위한 저류지의 형상은 다음과 같다.

- 적절한 기하학적 형상은 단회로(Short-circuiting)를 방지할 수 있으며 지내에서 단회로가 발생하면 목표로 하는 오염물질 제거효율을 달성하기 어렵다.
- 최소 장폭비는 1.5:1이 되어야 하며 단회로의 발생을 방지하기 위해서는 3:1보다 커지는 것이 바람직하다.
- 저류지의 형태는 쐐기모양이 좋은데 그 이유는 유입된 강우유출수가 점진적으로 통수면적이 증가하는 방향으로 진행하면서 유속이 줄어들어 침전효율이 향상되기 때문이다.
- 단회로 방지 등을 통한 처리효율 향상을 위해 도류벽이나 중도 등을 설치하여 저류지 형상을 최적화 할 수 있다.
- 저류지의 최대수심은 성층화 현상과 무산소 조건이 일어나지 않도록 2.4m를 초과해서는 안 된다. 또한 최소 수심은 0.9 ~ 1.2m 사이가 바람직하다.
- 유출구 부근의 수심을 깊게 조성해야 하는 이유는 수온이 낮은 물을 배출시키기 위함이며, 이것은 수온이 상승한 표층수를 방류하였을 때 하천에 미치는 영향을 최소화하기 위함이다.
- 저류지의 윤곽과 형상은 불규칙한 형상으로 조성하여 최대한 자연적 경관을 띄도록 한다.
- 흙탕물저감을 위한 저류시설의 형상 설계는 「인공습지」 편에서 제시한 유체유동해석(CFD, Computational Fluid Dynamics)을 통해 형상을 결정하고, 입자상물질의 제거효율도 예측하는 것이 타당하다. 저류시설의 유체유동해석은 다양한 유속과 다양한 입경을 적용해서 분석하는 것이 바람직하며 유속과 입경을 세분화할수록 정확한 예측이 가능하다.

③ 수중지역 및 육상지역의 식생 안정화를 위해 저류지와 완충지역에 대한 조경 계획을 수립하여야 한다.

- 저류지 설계 시 가능한 한 습지식물 식재를 장려하여야 하며, 이때 습지식물은 수중소단, 안전소단 및 사면을 따라, 혹은 저류지의 얕은 지역 내에 식재되어야 한다.
- 저류지 완충지역 내의 토양은 시공 중에 안정성을 확보하기 위하여 견고히 다짐작업이 이루어지기 때문에 식물의 뿌리 활착이 원활하지 못하므로 이러한 토양에서는 식물을 식재하면 식물이 죽거나 성장에 저해를 받게 된다. 따라서 계획 식재 부지 주위에는 크고 깊은 구멍을 파고 다져지지 않은 상층토로 뒷채움 하는 것이 바람직하다.
- 경험적으로 식재공은 뿌리부분의 직경보다 3배정도 깊고 넓어야 하고, 용기에서 자란 근경의 경우에는 5배 정도 깊고 넓어야 한다. 이렇게 함으로써 줄기가 자유롭게 성장할 수 있다. 음지

식물(Full shade), 겨울에 동해(凍害)를 받기 쉬운 식물, 풍해(風害)가 우려되는 식종은 삼가야 한다. 수목류나 관목류의 밑둥 주위에는 추가적으로 식재면 덮기(Extra mulching)를 함으로써 습기를 보존하고 잡초를 억제하는데 있어 효과적이다.

④ 저류지가 석회암지형(karst), 자갈 섞인 모래(Gravelly sand), 혹은 절리가 있는 암반층(Fractured bedrock) 등 침투율이 높은 토양에 위치할 경우에는 오염된 빗물을 처리하는 과정에서 지하수 오염을 유발할 가능성이 있으므로 처리대상 오염물질의 종류와 양, 토양특성에 따라 바닥에 차수(라이닝)처리를 하여야 한다. 라이닝 재료로는 다음과 같은 것이 있다.

- 15 ~ 30cm 두께의 점토(#200체 통과율 최소 15% 및 최소투수계수 $1x10^{-5}$cm/s)
- 0.76mm(30mil) 차수막
- 벤토나이트
- 화학적 첨가물 사용

⑤ 유지관리 및 안전을 위한 기타시설 등을 설치할 필요가 있다.

- 유지관리 도로는 유지관리의 편의를 위하여 공공도로나 개인도로를 통한 저류지 접근이 가능해야 한다. 유지관리용도의 접근로는 중장비에 버틸 수 있도록 충분히 안정화하여야 하고 경사는 완만하게 하는 것이 좋다.

  접근성이 요구되는 시설로는 유입구, 침강지, 방류구 등이며 가급적 자동차가 진입, 운행 및 방향을 전환 하는데 문제가 없어야 한다.

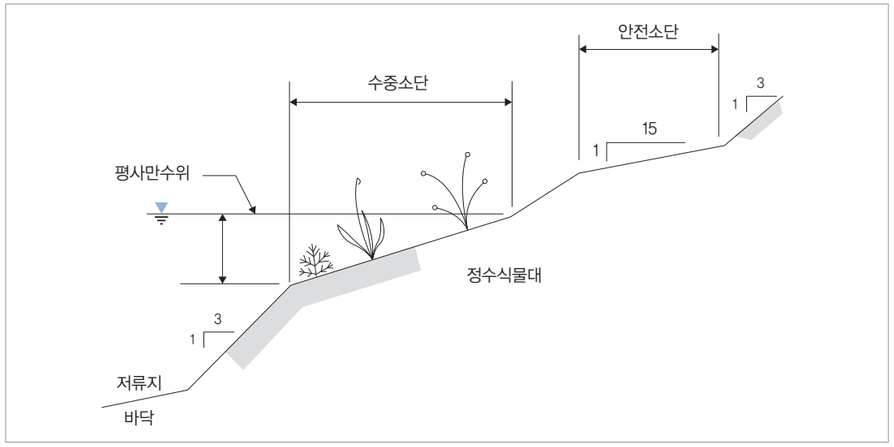
  방류통은 맨홀의 사다리를 이용하여 밸브나 다른 통제장치에 접근이 가능한 구조여야 한다.

  또한, 소규모 시설이라 할지라도 퇴적물 제거를 위해서 차량 진입로를 설치하여야 한다.

- 극한 홍수상황에 대비하여 비상여수로가 구비되어야 한다. 여수로는 제방위로 물이 넘쳐흐르는 것을 방지한다. 극한 홍수조건에서의 수위와 제방 정상부까지 최소한 60cm의 여유고를 가지도록 한다.

- 안전시설로 펜스의 설치를 고려하는 것이 좋다. 저류지 제방내측에 안전소단 및 수중소단을 설치하여 혹시 발생할 익사 사고 등에 대비하는 것이 좋다.

  안전소단(Safety bench)은 수질처리용량 수위경계선으로부터 저류지 사면경사 끝 방향으로 5m 정도 설치할 수 있으며, 최대경사는 6% 정도이다. 수중소단(Aquatic bench)은 상시 수면경계선(Normal shoreline)으로부터 안쪽으로 약 5m에 설치할 수 있고, 최대 깊이는 평시만수위(Normal pool water surface elevation)이하 45cm이다.



〈그림 11〉 수중소단 및 안전소단

- 최종 방류구의 관경이 1.2m보다 클 경우에는 접근을 차단하기 위한 시설을 설치하는 것이 좋으며, 저류지 내 수영이나 낚시를 금지하기 위하여 안내 경고판을 설치하는 것이 좋다.

⑥ 지하저류조의 정체수로 인해 모기서식 · 악취의 발생이 예상될 경우 정체수를 배수시켜 모기서식과 악취의 근원을 제거하여야 한다. 또한 정체수의 배제는 다음에 발생할 강우사상에서 적정 효율을 유지하기 위해서도 중요하다. 정체수 배제를 위해서는 바닥으로부터 40% 되는 지점에 배수관을 설치하는 것이 좋다. 배수관의 위치는 배수구역의 특성, 주요 비점오염물질 등에 따라 조절할 수 있으며, 배수관 하부는 전량 오 · 폐수처리시설로 유입처리 하도록 한다. 다만, 침전이 완료된 배수관 상부의 초기우수는 하천방류 가능여부를 판단하여 처리한다.

⑦ 지하저류조가 대부분 밀폐형으로 설치되므로 저류조 점검 및 배수펌프 유지관리 등 인력작업을 위해서는 배기시설을 설치하여 저류조 내 유해가스를 대기 중으로 원활히 배출할 수 있도록 한다.

⑧ 지하저류조의 바닥에 퇴적된 오염물 청소, 시설물 유지보수 등 유지관리용 출입구를 설치하여야 한다. 상부 표면적에 퇴적물 운반이 가능한 크기의 유지관리 출입구를 저류조의 가장 낮은 부분의 상단에 설치하여야 한다. 또한, 저류조의 바닥경사는 유출구 방향으로 0.5 ~ 2.0%가 적당하며, 저류조 구조는 측부보다 중앙부가 낮도록 설계하여 중앙부로 5%정도의 경사를 줄 수 있으며, 유입구에서 측부까지 0.5 ~ 2%의 경사를 두어 측부에 퇴적물에 쌓이지 않도록 설계할 수 있다. 최근에는 저류 조세척설비 등이 설치되는 예가 많고 세척설비별 요구되는 바닥의 형상이 다르므로 저류조 세척설비를 적용할 경우에는 그 시설 특성에 맞도록 저류조 바닥을 설계한다.

⑨ 배수구역이 넓을수록 초기우수는 분산되는 특성을 가지며 특히, 유출계수가 크지 않은 농촌지역은 유입관경 선정에 더욱 유의하여야 한다. 관경이 지나치게 크면 배수구역 말단의 초기우수가 저류시설에 도달하기 전에 수질처리용량(WQv)을 초과할 수도 있고, 저류시설의 체류시간이 짧아질 우려가 있으므로 적정한 관경을 산정하는 것이 타당하다. 이에 자세한 산정방법은 「인공습지」 편을 참조한다.

◉ 유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준(시행규칙 별표 18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

나. 슬러지 및 협잡물 제거

1) 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

2) 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

3) 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.

마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치 내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 저류시설

저류지의 침전물은 주기적으로 제거하여야 한다.

나) 관리 · 운영 기준 해설

① 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 할 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

② 퇴적물 및 협잡물 제거

㉮ 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 퇴적물 및 협잡물을 제거하여야 한다.

㉯ 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

㉰ 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

③ 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하는 것이 좋다.

④ 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사할 필요가 있다.

⑤ 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하는 것이 좋다.

해설

① 저감시설은 시설의 규모, 처리용량, 처리기작과 상관없이 유지관리에 의해 시설의 효율이 결정될 수 있다. 따라서 저감시설이 제 기능을 발휘할 수 있도록 초기부터 시설의 유지관리를 위한 예산확보와 유지관리주체를 결정하는 것이 필수적이다.

저감시설은 다양한 강우사상에 따른 다양한 유량이 유입됨에 따라 시설의 파손 및 유실 등의 가능성이 상존한다. 따라서 주기적인 점검을 통하여 조기에 보수작업을 할 필요가 있다. 저류시설은 유입관과 토양이 접하는 부위의 쇄굴, 침강지의 퇴적에 의한 유로막힘현상, 침수에 의한 유실, 사면의 슬라이딩 등에 유의하여야 한다.

②~⑤ 저류시설은 유지관리 계획을 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

- 침강지 침전물 제거작업은 연 1회, 또는 퇴적층이 30cm이상이 되었거나, 저류공간이 70% 이내로 남을 경우 실시한다.
- 유해물질 배출지역으로부터 강우유출수가 유입되지 않는 저류지의 경우 준설된 퇴적물에 독성이 있거나 위험한 물질이 아니라고 생각되며, 토양 살포용이나 뒷채움용 등으로 안전하게 처리할 수 있다. 그러나 유해물질 배출지역으로 부터 강우유출수가 유입되는 경우 퇴적물 처리 이전에 퇴적물시험을 실시하여야 한다. 단, 모든 경우에서 「폐기물관리법」의 처리기준을 만족하여야 한다.

〈표 14〉 저류지 설계 체크리스트

점검사항	비고
물리적 · 환경적 실현가능여부	
홍수 시 침수위험 여부	
설치지역의 경사도 (불규칙 경사 지양 / 15% 미만)	
하류부 수온의 적정성	
– 수온 낮을 시 조치사항	
저류지 부지의 토양 침투율	
유입 · 유출 시 안전여부	
우회시설의 설치	
유입 · 유출부 배수관의 누수여부	
유입부 침강지 설치여부 (하나의 유입구로 전체 강우유출수의 10%이상 유입시)	
유입구 부근의 침식 방지	
유출구 부근의 침식 방지	
유출부의 수위조절을 위한 적정 구조여부	
저류지 바닥의 배수용 관로 및 밸브 설계여부	
– 배수관 관경 적정성(계산값보다 한단계 이상)	
저류지 부유물의 유출방지시설	
저류지 유입 전처리	
침강지 용량(수질처리용량의 10% 이상)	
침강지 최대수심(1.2~1.8m)	
침강지 바닥의 경질도	
침강지 유지관리도로 확보여부	
저류시설 구조	
수질처리공간 확보여부(재해방지기능 갖는 경우 별도용량 확보)	
제방 경사도 – 유지관리 및 보수부(3:1 이하)	
– 기타부(2:1 이하)	
– 사석으로 보강된 경우(2:1 이하)	
필요 시 안전소단의 설치(제방높이 3.0m 이상, 경사 3:1 이상 시)	
저류지의 장폭비(최소 1.5:1 이상, 3:1 이상이 바람직)	
저류지 최대수심(2.4m 이하)	
유출구 부근의 수심 적정성	
저류지 형상의 적정성(쐐기형, 불규칙형상 등)	
완충지역의 조성여부	
완충지역 내 부적절한 식물종 포함여부 (음지식물, 풍해 · 동해 취약식물)	
기타시설	
유지관리 도로 설치여부	
유지관리 도로의 안정성, 경사도, 도로폭 확보	
침강지, 유출부에 대한 접근성	
비상여수로 구비	
제방여유고 (극한 홍수조건에서 수위와 제방 정상부까지 60cm 이상)	
유지관리 도로의 안정성, 경사도, 도로폭 확보여부	
기타 안전시설의 확보여부	

〈표 15〉 저류지 유지관리 활동 및 계획

점검사항	계획
• 시설완공 후 서너 개의 강우사상이 지나간 뒤 제방안정성과 침식징후, 유출구의 막힘 및 파손여부	필요할 때 마다
• 유출구의 쓰레기 등 협잡물에 의한 막힘현상 여부 • 수로의 침식 • 침강지의 토사퇴적량 • 제방에 관목류 성장여부 • 지내에 물고임 현상, 제방경사면의 식생밀도 • 지반침하발생, 누수 및 기타 안정성 등	6개월에 1회
• 조류증식, 기름띠, 물의 색도, 악취발생여부 • 과도한 식생 및 물고기 증식여부 • 지내 토사퇴적량 • 밸브, 수문 등 기계적인 요소 • 저류지 성능에 영향을 미칠만한 유역토지 이용형태 변동여부	1년에 1회
유지관리 활동	**계획**
• 유입출구의 쓰레기 청소 • 제방식생 및 접근로의 풀베기작업	1개월에 1회
• 저류지를 습지형태로 운영할 경우 침입종 식생 출현여부	6개월에 1회
• 침식지역의 보수작업, 저류지 운영에 방해가 되는 식생제거 • 수문, 밸브, 유입출구, 제방 등의 보수작업 • 적절한 방법에 의해 조류제거	5~7년에 1회씩
• 습지에 준한 유지관리실행/풀베기 계획수립	필요할 때마다
• 토사퇴적량 모니터링, 퇴적물 제거작업 • 토사분석(입도/유해 폐기물 처리/처분기준 여부)	1년에 1회 (퇴적층이 30cm이상 또는 저류공간이 70%이내로 남았을 경우)

〈표 16〉 저류지 유지관리 체크리스트

- 시설명 :
- 관리인 성명/주소/전화번호 :
- 점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	특이사항/작업내용
제방/비상여수로	
식생과 식재면 덮기의 적절성	
제방침식	
인정되지 않은 식생	
제체의 갈라짐, 팽창, 무너짐	
저류지, 제체선단, 수위조절구조물의 청소 및 기능유지	
하류부에서의 침윤/누수	
사면 또는 사석파괴	
제방상단부의 수직적/수평적 형상	
비상여수로의 장애물과 오물의 제거 여부	
기타사항	
수직배수관과 주요여수로	
저유량 쓰레기방지대책	
웨어 쓰레기 방지대책	
과도한 퇴적물	
콘크리트/벽돌의 상태	
금속파이프 상태	
조절밸브	
저류지 배수밸브	
유출수로 기능	
기타사항	
저류지	
인정되지 않는 식생	
부유물쓰레기 제거	
눈에 띠는 오염	
수면경계선(shoreline) 상태	
기타사항	

점검사항	특이사항/작업내용
침강지	
퇴적상황	
설계수심의 70% 이하시 퇴적물 제거	
저류지 내부의 평상 시 물이 없는 지역	
식생 적정성	
인정되지 않는 식물의 성장	
저유량 수로에서 장애물 제거	
정체되어 있는 물	
토사와 쓰레기의 축적	
기타사항	
저류 유입구 상태	
사석의 손상	
사면침식	
강우유출수 배수관	
끝벽/전면벽	
기타사항	
기타사항	
저류지나 유지관리시설의 침식	
주거지로부터 민원	
미적인 요소	
다른 공공적인 위험요소	
조성된 습지지역	
식물의 성장 양호도	
유해종의 침입 여부	
습지지역의 과도한 퇴적여부	

보수활동계획	예정일

점검자 서명 :

점검자 성명 :

인공습지

◉ 시설개요

침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생 식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화 능력을 인위적으로 향상시켜 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다.

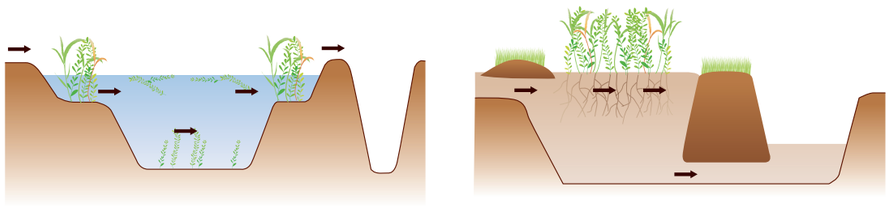
해설

인공습지는 강우유출을 통해 발생되는 비점오염물질을 침전 및 여과, 흡착과 미생물 분해 등의 기작을 통해 제거할 수 있으며, 도시 및 농업지역, 축산단지 등에 다양하게 적용이 가능하다.

인공습지는 오염물질의 제거 외에도 조경적 가치, 야생서식지로서의 역할 등 다양한 기능을 가진 효과적인 비점오염원 관리시설 중 하나이다. 그러나 자연습지와는 달리 지속적인 흐름 또는 수생식물의 성장을 뒷받침할 일정이상의 수위를 필요로 한다.

인공습지는 일반적으로 비표면적을 크게 하기 위하여 다양한 수심대를 갖고 굴곡이 있도록 설계한다. 굴곡이 있는 바닥은 물과 토양과의 접촉면적을 증가시켜 처리효율의 향상을 가져오며 수리학적으로는 단회로(Short circuiting)나 사수역(Dead volume)을 줄여 습지공간이 최대한 활용될 수 있도록 한다.

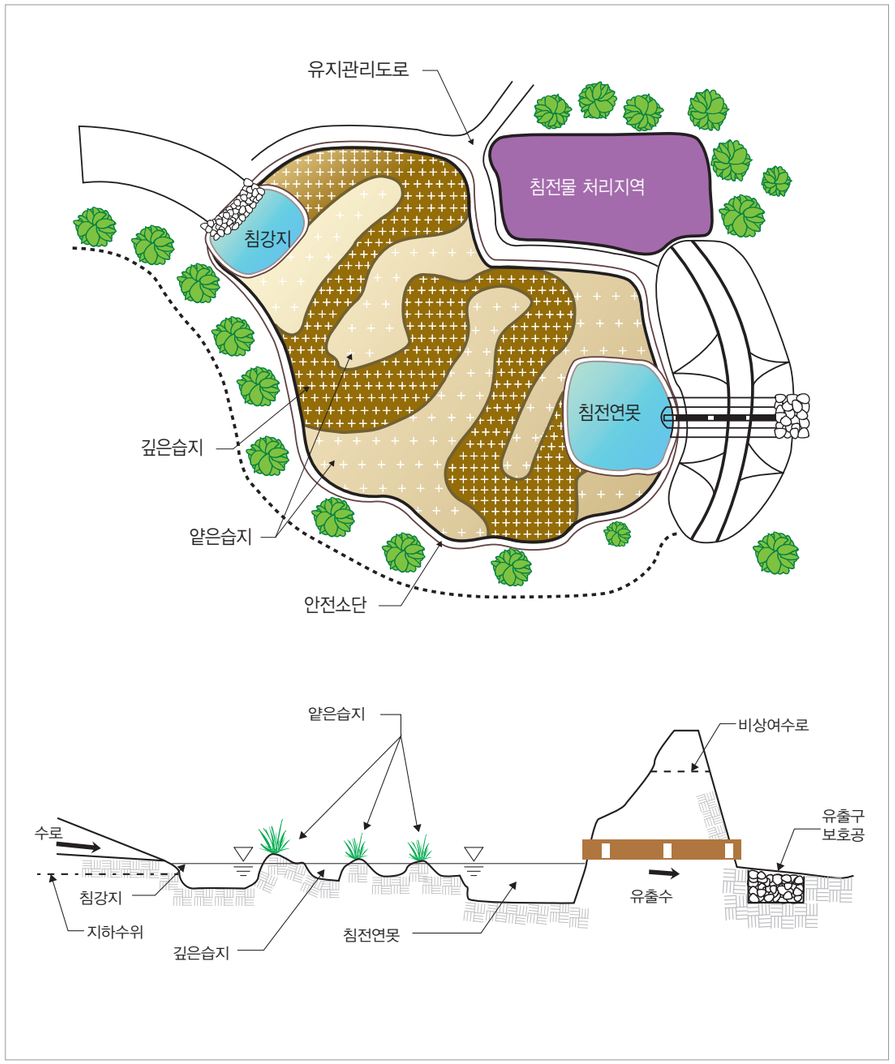
인공습지는 습지 내 유체의 흐름위치에 따라 크게 지표흐름형(Free Water Surface) 인공습지와 지하흐름형(Subsurface Flow) 인공습지로 분류할 수 있다. 비점오염저감시설로서의 인공습지는 강우량의 변동에 대응력이 뛰어나야하고 입자상물질의 유입이 많은 경우 관리의 용이성이 확보되어야 한다. 이에 지하흐름형 인공습지는 지하의 토양층을 통해 강우가 흘러가야 하므로 지표흐름형 인공습지에 비해 시설규모가 커질 수 있다. 지표흐름형 인공습지 내 일부에만 지하흐름형을 설치하는 경우도 있는데 이 경우에도 지하흐름층의 투수능이 계획유입유량보다 커야만 강우유출수를 인공습지 내로 유입시킬 수 있다. 또 지하흐름형은 입자상물질에 의해 폐색이 발생할 수 있으므로 유지관리가 가능한 구조로 설계하는 것이 타당하다.



지표흐름형 인공습지　　지하흐름형 인공습지

〈그림 12〉 인공습지 형태별 개념도

〈그림 13〉 인공습지 설치 예(환경부)



〈그림 14〉 인공습지 평 · 단면도

◉ 설치기준

가) 법적 설치기준 (시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한 구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나 화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 인공습지

가. 인공습지의 유입구에서 유출구까지의 유로는 최대한 길게 하고, 길이 대 폭의 비율은 2 : 1 이상으로 한다.

나. 다양한 생태환경을 조성하기 위하여 인공습지 전체 면적 중 50퍼센트는 얕은 습지(0 ~ 0.3미터), 30퍼센트는 깊은 습지(0.3 ~ 1.0미터), 20퍼센트는 깊은 못(1~2미터)으로 구성한다.

다. 유입부에서 유출부까지의 경사는 0.5퍼센트 이상 1.0퍼센트 이하의 범위를 초과하지 아니하도록 한다.

라. 물이 습지의 표면 전체에 분포할 수 있도록 적당한 수심을 유지하고, 물 이동이 원활하도록 습지의 형상 등을 설계하며, 유량과 수위를 정기적으로 점검한다.

마. 습지는 생태계의 상호작용 및 먹이사슬로 수질정화가 촉진되도록 정수식물, 침수식물, 부엽식물 등의 수생식물과 조류, 박테리아 등의 미생물, 소형 어패류 등의 수중생태계를 조성하여야 한다.

바. 습지에는 물이 연중 항상 있을 수 있도록 유량공급대책을 마련하여야 한다.

사. 생물의 서식 공간을 창출하기 위하여 5종부터 7종까지의 다양한 식물을 심어 생물다양성을 증가시킨다.

아. 부유성 물질이 습지에서 최종 방류되기 전에 하류수역으로 유출되지 아니하도록 출구 부분에 자갈쇄석, 여과망 등을 설치한다.

나) 설치기준 해설

(1) 물리적 · 환경적 실현가능여부

인공습지의 안정적인 기능 유지 및 유지관리의 편의성을 위해 다음과 같은 입지조건들을 고려하여야 한다.

① 인공습지에서 여름철 가뭄과 증발로 인한 수위변화를 고려해야하며, 유지관리용수의 수급이 원활한 곳인지 고려한다.

② 주변에 자연습지가 조성되어 있는 경우에도 바람직하지 않다.

③ 경사가 급한 지역과 하천 제외지는 설치를 피해야 하며, 동절기 강우활동이 일어나는 곳은 이에 대한 검토가 이루어져야 한다.

④ 비점오염저감에 있어 인공습지를 이용한 방법이 적합한지의 여부와 주변 식생 및 생태계에 대한 사전조사를 검토한다.

⑤ 토양의 투수성 정도 및 대수층의 존재여부를 고려할 필요가 있다.

해설

① 인공습지가 여름철의 심한 가뭄과 높은 증발량에 의해 완전히 수위저하가 되지 않고 잘 견딜 수 있는지를 알아보기 위하여 물수지 분석을 실시할 필요가 있다.

- 건기 시 습지에서는 일정 수준의 수위가 유지되도록 하는 것이 좋다.
- 건기 시 유입되는 기저유량의 측정과 함께 지하수위와 토양침투속도를 측정하여 습지로 유입되는 물의 양(유입량, 강수량, 지하수 유입량)이 습지로부터 손실되는 물의 양(유출량, 침투량, 증발산량)보다 많은지 여부를 분석 한다.
- 건기 시에 수위유지를 위해서는 공사 중 바닥 다짐작업을 하고 여의치 않으면 진흙이나 반투수층 또는 차수막을 이용하여 바닥에 라이닝 공사를 실시한다.
- 라이닝 재료의 사용여부는 물수지 분석 후에 결정한다.

② 인공습지를 기존의 습지 내에 설치하는 것은 바람직하지 않다. 다만, 유역 복원의 일환으로 기존의 훼손된 습지를 복원하는 것은 허용될 수 있다.

③ 지형 경사도 및 기후조건

- 지형조건
  - 인공습지의 주변 지형이 경사가 급한 사면으로 습지를 둘러싸고 있어서는 안 된다. 이러한 경우는 일조량을 감소시켜 식물의 성장에 장애가 될 수 있고, 또한 식물의 제초 등 유지관리 시 안전문제를 일으킬 수 있다.
  - 공사비를 절감하고 주위 경관과 어울리기 위해서는 굴착작업이 최소한의 수준에서 이루어질 수 있는 지역을 부지로 선정하는 것이 바람직하며 인공습지로의 유입수로 경사는 15% 이하인지를 확인할 필요가 있다.
  - 하천 제외지에 인공습지를 설치할 경우 홍수 시 잦은 침수로 인해 습지의 사면 및 식생 등이 손상되고, 이를 복구하는데 많은 비용이 발생하므로 대상부지 검토 시 제외하는 것이 바람직하다. 댐 수몰지, 댐 만수위선 내의 부지도 제외하는 것이 바람직하다.
- 기후조건
  - 동절기에는 습지에서 얕은 수심을 갖는 구역이 동결되어 습지의 전체적인 효율을 떨어뜨릴 수 있으며, 이 기간 동안 식생이 자랄 수 없게 되면 식물의 세포로 섭취되는 영양물질 또는 오염물질의 양이 감소한다.
  - 습지 내 수생식물이 없는 경우에는 퇴적물이 부상하여 자유스럽게 이동하게 되고 이때 강우에 의해 급작스럽게 유입유량이 발생할 경우 체류시간이 짧아져 퇴적물 입자가 습지 밖으로 유출되는 일이 일어날 수 있다.
  - 따라서 동절기에 강우활동이 일어나는 지역에는 수심이 깊은 연못을 두어 동결을 방지하는 것이 바람직하다.

④ 인공습지를 적용하기에 적합한 대상지역 검토는 다음과 같다.

- 인공습지는 다양한 지역에 적용할 수 있는데 영양물질과 토사제거가 우선 대상인 지역에 적용될 수 있다.
- 농경지 유역뿐만 아니라 도로 등 운송로와 테마파크, 골프장 등 스포츠 레저시설, 택지를 포함한 도시화 지역이나 도시화가 진행되고 있는 지역에 적용할 수 있다.
- 자연습지를 비점오염저감시설로의 습지로 전용할 수 없으며 또한 필요에 따라 지역 내에 공사 중 훼손될 가능성이 있는 멸종위기종이나 보호종 동식물이 있는지를 조사할 필요가 있다.

⑤ 인공습지 설치후보지의 토양은 토양의 성분, 투수성 및 토양아래 대수층의 존재 여부 등을 고려한다.

- 투수성
  - 수분을 충분히 보유할 수 있거나 어느 정도 침투가 일어날 수 있어야 하며 식물의 성장에 문제가 없어야 한다.
  - 식물씨앗의 파종이나 식재 이전에 토양이 식물의 성장에는 문제가 없는지 조사할 필요가 있고 문제가 있다면 객토작업에 대한 검토가 필요하다. 그러나 지하수위가 높지 않은 지역에서 투수성이 너무 큰 토양은 정상적인 습지유지에 어려움을 줄 수 있다.
  - 지반의 토양은 수문학적 토양그룹 "C" 또는 "D"가 습지조건 유지에 적합하며 "A"나 "B" 그룹 토양이 주종을 이루는 지역에서 습지를 조성하고자 할 경우 바닥을 라이닝 처리하는 것을 검토할 필요가 있다.
  - 현장부지의 토질평가는 현장 보링 시험자료와 투수시험 결과에 근거할 수 있으며, 습지 조성 시 굴착한 토사는 지정된 장소에 잘 모아두었다가 추후 습지바닥이나 제방축조공사에서 활용할 수 있다.
- 토양은 큰 잔재물이 없는 것이 좋으며, 식물성장에 적합한 pH, 전기전도도, T-N, T-P, 유기물 함량을 갖춘 사양토가 적당하다. 식물성장에 저해를 주는 다른 물질들이 혼합되거나 들어가면 안 되며, 식재 토양에는 유해한 잡초가 없어야 한다.
- 습지가 위치할 지역에 보호를 요하는 대수층(인근 주민의 식수원 등)이 있으면 차수막을 설치하거나 습지로부터 지하수위가 최소한 0.6 ~ 1.2m 이상 거리를 두는 것이 바람직하다.

(2) 유입 · 유출 시 안전여부

① 인공습지의 유입구에서 유출구까지의 유로는 최대한 길게 하며, 길이 대 폭의 비율은 최소한 2:1 이상으로 하며, 유로의 경사는 0.5 ~ 1.0% 이내의 범위로 설계한다.

② 인공습지의 유입관은 배수구역에서 발생한 강우유출수가 원활히 유입되도록 계획한다.

③ 강우 시 방류하천 또는 수로의 수위증가가 습지 유출수의 원활한 흐름에 영향을 미치지 않도록 유출부를 설계하는 것이 좋다.

④ 부유성 물질이 습지에서 최종 방류되기 전에 하류수역으로 유출되지 아니하도록 출구 부분에 자갈쇄석, 여과망 등을 설치한다.

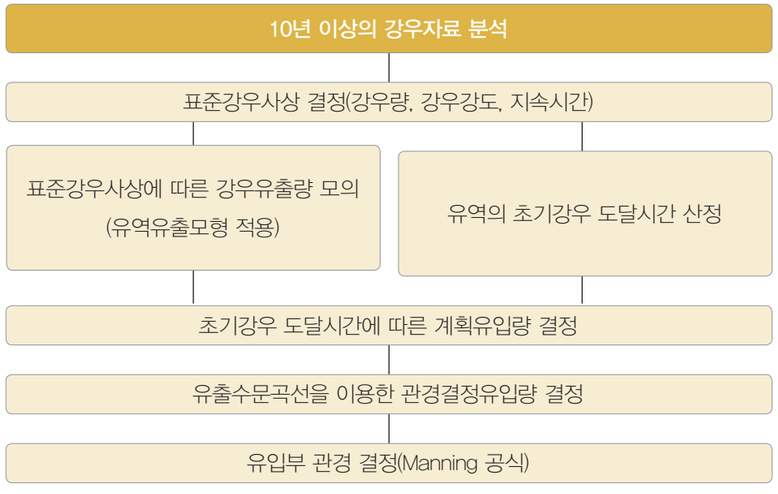
해설

① 유로의 길이 대 폭비를 확보하는 것은 수리학적으로는 단회로(Short circuiting)나 정체구역(Dead volume)을 최소화하기 위한 것이다. 인공습지 내부에 둑(Berm) 등을 설치하여 기술적으로 유로의 길이를 증가시킬 수 있으며, 유로를 최대한 길게 하면 인공습지의 처리능력을 증가시킬 수 있다.

유로의 경사는 유입 · 유출부의 단차를 의미하는 것으로 0.5 ~ 1.0% 이내의 유로경사를 두는 것이 좋다. 인공습지는 전처리시설과 다양한 형태의 물넘이가 설치되므로 반드시 유입구에서 유출구까지 수리계통도를 작성하여 강우유출수의 유입과 유출이 원활한지 여부를 확인하는 것이 바람직하다.

② 인공습지 유입부는 배수구역에서 발생하는 강우유출수가 원활히 습지 내로 유입되도록 설계해야 한다. 이때, 유입관의 관경이 지나치게 크면 배수구역의 말단에서 발생하는 초기우수가 도달하기 전에 수질처리용량을 초과하게 되고, 유입관의 관경이 작을 경우에는 초기우수가 인공습지 내부로 유입되지 못하고 우회할 우려가 있으므로 주의하여야 한다.

이에 다음의 절차에 따라 유입부 관경을 결정하는 것이 바람직하다. 여기서 제시한 유입부 관경결정은 저류시설에도 적용할 수 있다.



〈그림 15〉 인공습지의 유입관경 산정 절차

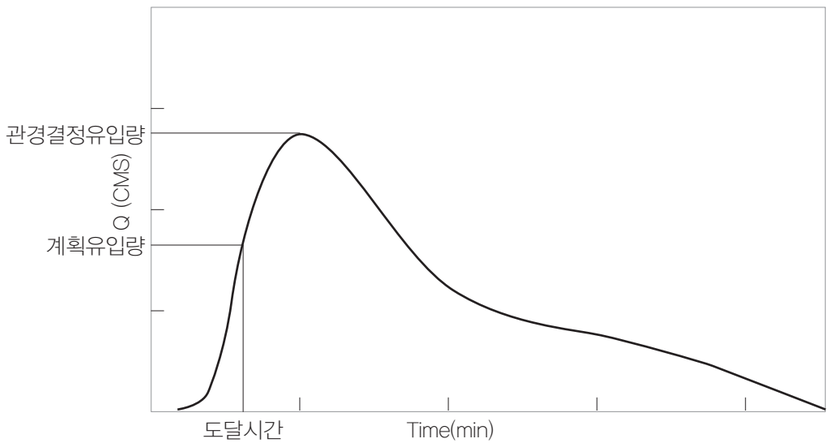
– 강우자료의 분석 : 대상유역의 10년 이상의 시계열자료를 이용하여 강우분석을 수행한다. 이때, IETD(Inter-Event Time Definition) 개념을 이용하여 강우사상을 분리하고, 분리된 강우사상으로부터 시계열강우를 도출한다.

– 표준강우사상의 결정 : 시계열강우 분석 결과를 이용하여 분리된 강우사상에서 표준강우사상을 도출한다. 이때 강우량, 강우강도 및 지속시간 등을 결정한다.

– 표준강우사상에 따른 강우유출량 모의 : 표준강우사상을 이용하여 유역에서 발생되는 유출량의 모의를 수행한다. 배수구역의 말단을 유출구로 설정하고 표준강우사상을 입력하여 최종 유출구의 유출수문곡선을 도출한다. 이 때 유출모형은 배수구역의 특성에 적절한 모형을 적용한다(ex. 도시지역 : SWMM, 비도시지역 : SWAT, HSPF 등)

– 또한, 유역에서 발생하는 초기강우를 전량 차집하기 위해 유역의 도달시간을 결정한다. 이를 산정하기 위한 경험공식으로는 Kirpich 공식, Rziha 공식, Kerby 공식, Kraven (Ⅰ) 공식, Kraven (Ⅱ) 공식, SCS Lag 공식, SCS 평균유속 공식, Kinematic wave 공식 등이 있다. 공식의 적용성과 유역의 특성을 고려하여 유역에 적합한 공식을 적용하여 도달시간을 결정한다.

– 계획유입량 결정 : 유역유출모형을 통한 유출수문곡선과 유역의 도달시간을 이용하여 계획유입량을 결정한다. 이때 다음 〈그림 16〉과 같이 유출수문곡선에서 도달시간에 대한 유량을 계획유입량으로 결정한다. 계획유입량은 시설의 체류시간과 처리효율 등을 산정하는데 적용한다. 일반적으로 인공습지의 체류시간은 6 ~ 24시간으로 알려져 있다.



〈그림 16〉 계획유입량 및 관경결정 유입량 결정

– 관경결정유입량의 결정 : 표준강우를 이용한 계획유입량은 일반적인 시설의 운영을 위한 유입량이므로 표준강우를 상회하는 강우는 고려하지 않았다. 그러나 유역에서는 표준강우를 상회하는 강우의 발생가능성을 고려하여야 한다. 또한 관경이 지나치게 크면 최원거리의 초기강우가 유입되기 전에 시설의 용량이 포화될 수 있으므로, 표준강우에 따른 유출수문곡선의 첨두유량 값을 적용하여 적절한 관경결정유입량을 결정하는 것이 바람직하다.

– 유입부 관경의 결정 : 유입부의 관경은 관경결정유입량과 다음의 Manning's 공식을 이용하여 결정한다.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

여기서, V는 유속(m/s), n은 Manning 조도계수, I는 동수경사, R(=A/P : A는 단면적(m^2), P는 윤변(m))은 경심을 의미한다.

③ 인공습지 유출구가 공공수역과 연결되는 경우, 하천, 수로 등이 강우량에 따라 수위가 증가하여 공공수역의 수위와 인공습지의 수위가 동일하게 되는 순간부터 유출이 발생하지 않을 수 있어 이에 대한 주의가 필요하다.

④ 인공습지의 부유물질이 인공습지 밖으로 유출되지 아니하도록 여과망, 여과쇄석 등을 설치할 필요가 있다. 인공습지의 상부에는 낙엽 및 협잡물 등이 있을 수 있으며, 하절기에는 조류의 번성에 의해 조류가 공공수역으로 배출될 수 있어 이에 대비가 필요하다. 다만, 여과망을 사용할 경우에는 협잡물에 의한 막힘이 우려되므로 주의하여야 한다. 특히 인공습지에 부유식물 또는 조류가 번성하는 경우에는 여과쇄석, 여과망 등과 아울러 배플을 설치하는 것을 고려하여야 한다.

(3) 인공습지 유입 전(前) 처리

강우유출수를 통해 유입되는 퇴적물을 조절하기 위해 유입구에 침강지를 설치한다.

해설

침강지는 강우유출수내 토사나 부유물질이 인공습지에 유입되어 축적되지 않도록 사전에 제거하는 토사제거기능을 수행하며 침강지의 구조는 추후에 기계적인 방법에 의해 퇴적물을 청소할 수 있도록 설계한다. 침강지는 수질처리용량(WQv)의 10%이상을 저류하여 처리할 수 있도록 설계한다.(침강지 시설기준은 저류지편 참조)

(4) 인공습지 구조

① 물이 인공습지의 표면 전체에 분포할 수 있도록 적당한 수심을 유지하고, 물 이동이 원활하도록 습지의 형상 등을 설계하며, 유량과 수위를 정기적으로 점검한다

㉮ 습지에는 물이 연중 항상 있을 수 있도록 유량공급대책을 마련할 필요가 있다.

㉯ 인공습지의 전체 표면적은 적어도 배수면적의 1% 이상으로 하는 것이 바람직하며, 부지 면적이 충분하지 않을 경우 초기 강우에 대응하도록 설치하여야 한다.

② 다양한 생태환경을 조성하기 위하여 인공습지 전체 면적 중 50%는 얕은 습지(0 ~ 0.3m), 30%는 깊은 습지(0.3 ~ 1.0m), 20%는 깊은 못(1 ~ 2m)으로 구성한다.

③ 습지 바닥은 내부 유로와 지형을 최대한 이용할 수 있도록 설계한다.

④ 유출전 퇴적물의 재부유를 막기 위해 1 ~ 2m 깊이의 소규모 연못을 조성한다.

⑤ 그 밖에 유지관리를 위한 도로, 안전소단과 같은 안전시설이 고려되어야 한다.

해설

① 인공습지의 용량, 수심 및 형상은 다음과 같이 설계하는 것이 바람직하다.

- 인공습지 유지용수 공급

– 수생식물이 생장하기 위한 적정유량이 공급되지 않을 경우 식물의 고사가 발생하고, 수생식물의 정화를 통한 비점오염저감기능 저하 및 고사한 수생식물이 오염원이 될 수 있으므로 인공습지의 유지용수공급방안을 고려해야 한다.

- 습지용량

– 인공습지의 전체 표면적은 수질처리용량(WQv)을 전량저류 할 수 있도록 배수면적의 1% 이상으로 하는 것이 좋다. 그러나 부지면적이 제약받을 경우에는 초기강우를 저류하여 수심을 증가시킬 필요가 있다.

- 수심

– 인공습지의 수심은 얕은 습지의 경우 0 ~ 0.3m, 깊은 습지는 0.3 ~ 1.0m, 연못 등 개방수역은 1 ~ 2m이상이 일반적으로 적용되고 있다.

– 처리효율, 수생식물의 생장, 용존산소농도 등을 고려할 때, 평균 0.3m 정도가 유리하지만 반면에 정체 시 조류의 발생, 인공습지 내 수온의 상승 등 다양한 문제가 유발될 수 있다. 따라서 수생식물의 다양성, 자유수표면 확보, 침강성 확보 등을 위해 다양한 수심으로 설계할 수 있다.

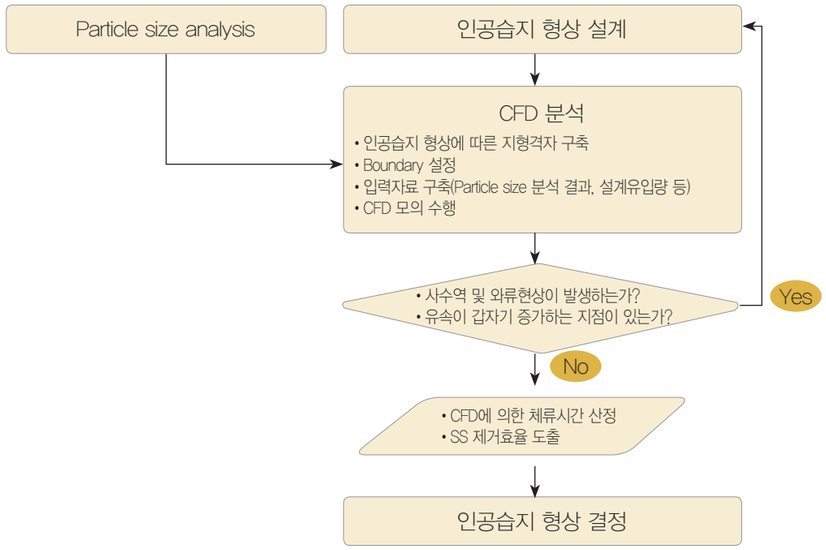
- 인공습지형상

– 인공습지는 불규칙해야 하며 장폭비는 최소 2:1, 최적 비는 4:1 이상으로 하고, 인공습지가 커질수록 가급적 유입구와 유출구 사이의 거리가 멀수록 단회로(short circuiting)의 발생을 최소화 시킬 수 있다.

– 장폭비는 수심이 얕은 지역, 중도, 둑 또는 돌망태(berm, gabion)를 이용하여 크게 할 수 있으며, 이러한 구조는 수리학적 효율을 향상시킬 수 있다.

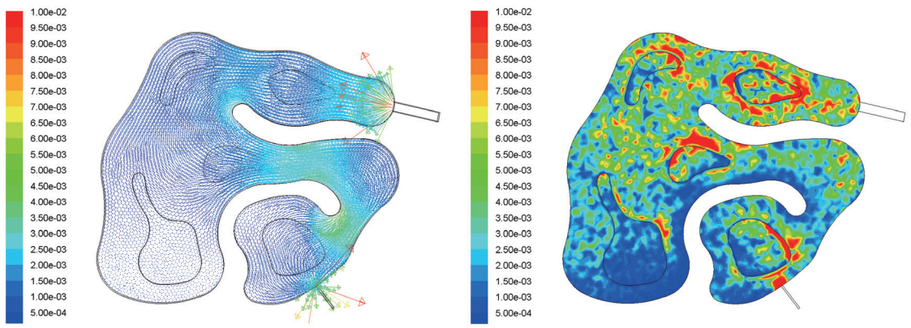
– 인공습지의 형상으로 인해 흐름이 발생하지 않는 사수역이 발생할 경우 처리효율의 저하가 발생한다. 따라서 인공습지의 형상은 사수역이 발생하지 않고 굴곡이 많은 유로를 형성할 필요가 있다. 인공습지의 형상을 설계할 때에는 유체유동해석(Computational fluid dynamics, CFD)을 통해 사수역 발생여부를 검토할 필요가 있다. 또한 유체유동해석은 인공습지내의 SS 저감효율과 토사의 퇴적위치를 분석하는데 적용한다.

유체유동해석 절차는 다음 〈그림 17〉과 같다.



〈그림 17〉 유체유동해석(CFD) 절차

유체유동해석을 위해서는 강우유출수의 입도분포를 파악하고 인공습지 형상에 따른 지형격자를 구축한 다음 유체유동해석을 실시한다. 이때 대표입자와 대표유속만으로 유체유동해석을 하는 경우도 있으나, 세부적인 해석을 위해서는 여러 입자와 다양한 유속으로 유체유동해석을 실시하는 것이 좋다.



수면의 속도 분포 (m/s)

오염 물질의 침전양 (10^6 kg/s)

〈그림 18〉 인공습지 내 유체유동해석(CFD) 결과 예시

● 인공습지의 처리효율

– 인공습지의 처리효율은 계획유입량과 계획유입수질을 산정하여 수질모형을 활용하여 예측할 수 있다. 저감효율 산정을 위한 적용가능 수질모형은 WASP7, RMA2/4, EFDC, MIKE3, GEMSS 등이 있으며, 인공습지 특성을 고려하여 수질모형을 선택할 수 있다. 이때 SS 제거효율은 유체유동해석 등을 통해서 예측하는 것이 바람직하다. 인공습지 등은 시설을 설치한 후 계획한 수질저감효과가 나타나기 위해서는 식생과 토양의 활착 및 안정화가 우선되어야 하므로 시설공사 직후 효율달성여부를 확인하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 따라서 사전에 설계 시 달성 가능한 효율을 예측하는 것이 매우 중요하다. 저류시설도 SS 제거효율을 예측하는 것이 타당하다.

② 인공습지 전체 면적 중 50%는 얕은 습지(0 ~ 0.3m), 30%는 깊은 습지(0.3 ~ 1.0m), 20%는 깊은 못(1 ~ 2m)으로 구성한다. 인공습지 전체 수면적 중 수심 0 ~ 0.3m의 수면적은 50%, 수심 0.3 ~ 1m의 수면적은 30%, 수심 1 ~ 2m의 수면적은 20%가 되도록 하는 것이 좋다. 수심 1 ~ 2m 이상 구간은 모기 유충을 먹고 사는 물고기, 연못 생물체 등의 서식지 역할을 할 수 있다. 다만, 대상유역의 유출특성, 사업부지의 확보 가능성 등을 고려하여 수심별 수면적 비율을 조정할 수 있다.

③ 인공습지의 오염물질 제거능력은 비표면적(표면적/체적)이 증가할수록 증대된다. 이 비율은 습지의 수면적을 증가시키거나 습지 내 다양한 수심으로 복잡한 지형을 형성함으로써 가능하다.

④ 습지의 유출구에 조성되는 작은 연못은 한 지점으로 처리수를 모으는 기능과 함께 유출구 막힘 및 퇴적물 재부상 방지, 그리고 습지 유출수의 수온을 낮추는 기능을 수행한다. 작은 연못의 체적은 수질처리용량(WQv)의 10% 이상이 되도록 하는 것이 좋다.

⑤ 인공습지의 침강지의 준설 및 시설물 관리, 식생관리를 위해 인공습지 주변으로 장비진입을 위한 유지관리 도로를 확보하여야 하며, 수심이 깊은 습지에서 발생할 수 있는 안전사고에 대비하여 안전소단 및 안전휀스 등의 안전시설의 설치를 고려하여야 한다.

(5) 식생설치 및 관리방안

인공습지는 생태계의 상호작용 및 먹이사슬로 수질정화가 촉진되도록 정수식물, 침수식물, 부엽식물 등의 수생식물과 조류, 박테리아 등의 미생물, 소형 어패류 등의 수중생태계를 조성하여야 한다.

① 가급적 지역 내 수생식물 양묘장으로부터 재배식물을 이식하며, 뿌리를 내리는데 충분한 시간을 확보하여 겨울을 날 수 있도록 한다.

② 생물의 서식 공간을 창출하기 위하여 5종부터 7종까지의 다양한 식물을 심어 생물다양성을 증가시킨다.

③ 인공습지는 다양한 식물종과 함께 조밀한 밀도를 유지해야 한다.

④ 인공습지가 잘 조성되어 기능을 발휘할 수 있도록 사전 식재조건을 조성하고 해당 습지의 특성을 고려한 계획에 의해 식재되고 유지관리가 되어야 한다.

⑤ 인공습지의 경계수위로부터 바깥쪽까지 최소 8m의 완충지역을 조성하는 것이 좋고, 인근 자연생태 지역으로부터 생태 통로가 유지될 수 있도록 구성하는 것이 바람직하다.

⑥ 인공습지의 주변지역에 피해를 끼칠 우려가 있는 식물은 가급적 식재를 최소화하여야 한다.

해설

① 식물종의 선정, 식재, 풀베기일정의 수립 등은 중요한 인공습지설계 과정 중의 하나이다. 식생의 정착은 시간에 따른 자연적인 식생유도, 인공적으로 어린 식물체를 직접 식재하는 방법, 식물의 씨앗 파종과 같은 3가지 방법에 의해 가능하다.

비점오염원 저감을 위한 인공습지에 정수식물 군락을 조성하는 가장 신뢰할 수 있는 방법은 지역 수생식물 양묘장으로부터 재배식물을 이식하는 것이다. 습지를 조성하는데 이식방법이 사용될 때 이식하기 좋은 시기에만 식재하도록 한다. 습지 식물은 겨울을 나는데 필요한 뿌리 보존력을 확보할 수 있도록 충분한 성장기간이 필요하다.

② 식물 종을 선정할 때 최우선적으로 고려할 사항은 과거에 인공습지에서 성공적인 적용이 이루어져 검증되었는지 여부를 확인해야 하며 손쉽게 구할 수 있는 식물 종이어야 한다. 또한 인공습지에 식재할 식물은 생장 잠재력, 생존력, 식재와 유지비용 등을 고려하여 선택하여야 한다. 이에 가장 바람직한 종은 부들, 갈대, 고랭이 등의 정수식물(挺水植物)이고 습지의 다양한 역할을 기대한다면 비정수성 수생식물의 도입도 고려할 수 있다.

- 한 품종의 식재수종은 적합한 생육요구수심을 기준으로 구분된 각 식재지역에 식재한다.
- 인공습지로 공급되는 영양물질을 조금이라도 더 많이 제거하기 위해 주기적인 수확을 통해 다양한 식물종의 성장을 촉진시킨다. 또한 주기적인 수확을 통하여 습지 내에 축적된 영양물질과 잉여로 존재하는 유기물질을 제거하여 습지의 수명을 연장하기 위한 노력을 해야 한다.

③ 인공습지는 다양한 식물종과 함께 조밀한 밀도를 유지하는 것이 좋다. 습지내부와 밖의 식물군락은 각각의 기능을 고려하여 선정하며 영양물질과 오염물질 제거뿐만 아니라 다양한 동식물 서식지 제공이라는 측면에서도 중요한 사항이다.

- 습지 표면적의 절반정도를 식재하고 적당한 깊이로 식재를 한다면, 습지는 3년 안에 군락이 형성될 수 있다.
- 식재밀도는 식물의 정착 속도와 식재 비용에 영향을 미치며, 1 ~ 4본/m^2이 바람직하다. 그러나 이는 향후 식생의 번식을 고려한 것이기 때문에 조밀한 식생밀도를 확보하는데 오랜 시간이 필요하다. 따라서 인공습지의 조기 안정화 및 조경적 측면, 식재수종의 번식력 등을 고려하여 식재본수를 증가시킬 수 있으며 이때에는 16 ~ 20본/m^2을 초과하지 않도록 한다.

④ 식재조건 조성, 식재 및 유지관리는 다음과 같은 사항을 고려한다.

- 대부분의 인공습지는 상부토양이 아닌 하층토에 조성되어졌기 때문에 습지 식물의 성장에 필요한 영양물질과 유기물이 부족하게 된다. 이러한 부지에서는, 식재부위를 표토(top soil) 또는 수변지역의 표토로 덮을 수 있다.
- 습지식물의 종자가 포함된 토양으로 습지를 덮는 방법(Wetland mulch)은 습지식물의 군락을 조성하는 하나의 기법이 될 수 있다.
- 인공습지 공사 완료 후에 가급적 빠른 시간 내에 식생이 정착되도록 유도하는 것은 첫해 생육기간 동안 인공습지 구조물의 침식을 방지하기 위함이다.
- 습지 식물은 운반에서 식재하는 과정에서 시들기 쉽기 때문에 습지 식물의 양묘 후 관리에 주의를 기울일 필요가 있다. 식재 후 자주 물을 주고, 그늘을 유지해주어야 한다.
- 습지토양덮기(Wetland mulch)에 이용되는 토양은 자연습지로부터 가져와 인공습지에 사용해서는 안 된다.

⑤ 조경 및 완충계획은 다음 사항을 고려한다.

- 조경계획에는 습지식생을 조성하고 유지하는 방법을 제시하여야 하며, 조경계획에는 최소한 다음과 같은 사항을 포함하여야 한다. 조경 지역에 대한 경계설정 및 이에 따른 식재종 선택, 식재계획, 습지 기반(필요시 토양 교체 포함)을 준비하는 과정과 식재 재료원 등이 포함된다.

- 조경계획에서는 인공습지와 완충지역 내에 야생생물과 조류들이 이용할 수 있는 시설 등을 고려할 수 있다.
- 완충지역은 인공습지의 수위경계선부터 바깥쪽으로 최소 8m 거리까지 조성되는 것이 좋다. 또 관목류는 제방에 식재하지 않는 것이 좋다.

⑥ 인공습지 주변지역에 식재로 인한 병충해 발생, 민원발생의 우려가 있는 식물은 가급적 식재를 최소화 하여 주변지역에 해를 끼치지 않도록 주의한다. 주거지역과 인접한 곳에서는 종자 또는 꽃가루가 흩날리는 식물은 식재계획에서 제외하는 것이 바람직하며, 농촌지역 등에서는 병충해의 매개체인 식생도 제외하는 것이 좋다.

◉ 유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준 (시행규칙 별표 18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

나. 슬러지 및 협잡물 제거

1) 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

2) 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

3) 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.

마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 인공습지

가. 동절기(11월부터 다음 해 3월까지를 말한다)에는 인공습지에서 말라 죽은 식생(植生)을 제거 · 처리하여야 한다.

나. 인공습지의 퇴적물은 주기적으로 제거하여야 한다.

다. 인공습지의 식생대가 50퍼센트 이상 고사하는 경우에는 추가로 수생식물을 심어야 한다.

라. 인공습지에서 식생대의 과도한 성장을 억제하고 유로(流路)가 편중되지 아니하도록 수생식물을 잘라내는 등 수생식물을 관리하여야 한다.

마. 인공습지 침사지의 매몰 정도를 주기적으로 점검하여야 하고, 50퍼센트 이상 매몰될 경우에는 토사를 제거하여야 한다.

나) 관리 · 운영기준 해설

① 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

② 인공습지에서 식생대의 과도한 성장을 억제하고 유로가 편중되지 아니하도록 수생식물을 잘라내는 등 수생식물을 관리하여야 한다.

③ 퇴적물 및 협잡물 제거를 주기적으로 실시하는 것 바람직하다.

④ 유지관리계획을 수립하여 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 하며, 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하는 것이 바람직하다.

해설

① 저감시설은 시설의 규모, 처리용량, 처리기작과 상관없이 유지관리에 의해 시설의 효율이 결정될 수 있다. 따라서 저감시설이 제 기능을 발휘할 수 있도록 초기부터 시설의 유지관리를 위한 예산확보와 유지관리주체를 결정하는 것이 필수적이다.

저감시설은 다양한 강우사상에 따른 다양한 유량이 유입됨에 따라 시설의 파손 및 유실 등의

가능성이 상존한다. 따라서 주기적인 점검을 통하여 조기에 보수작업을 할 필요가 있다. 인공습지는 유입관과 토양이 접하는 부위의 쇄굴, 침강지의 퇴적에 의한 유로막힘현상, 정체구역 발생, 침수에 의한 유실, 사면의 슬라이딩 등에 유의하여야 한다.

② 인공습지의 식재되는 수생식물은 수종에 따라 차이는 있지만 지속적으로 개체수가 증가하고, 특히 하절기에는 과도한 성장이 발생할 수 있으며 이 경우 인공습지 내 수리학적인 흐름을 방해하게 되어 정체구역이 발생하거나 단회로 현상을 유발시킬 수 있다. 따라서 적절한 시기에 풀베기가 필요하며 수생식물의 풀베기를 위해서는 전문가의 자문을 받아서 실시하는 것이 바람직하다. 반면에 인공습지의 식생이 50% 이상 고사하는 경우에는 추가식재를 실시하는 것이 바람직하다.

③ 인공습지 내부에서 발생하는 낙엽, 식물고사체 등이 유출구의 여과망 또는 여과쇄석, 밸브, 펌프, 각락판 등의 수리학적 제어를 방해하지 않도록 제거하며, 습지 내에 단회로 등이 발생되지 않도록 주기적인 유지관리를 실시할 필요가 있다. 또 동절기에는 인공습지에서 말라 죽은 식생을 제거 · 처리할 필요가 있다. 죽은 식생의 제거가 이루어지지 않을 경우 고사한 식생이 인공습지 내 오염부하로 작용할 우려가 있고 유체의 흐름을 방해하거나 변형시킬 수 있다.

비점오염저감시설로서의 인공습지는 강우유출수가 유입되기 때문에 퇴적물에 대한 주기적인 점검을 실시할 필요가 있다. 침강지는 50% 이상 매몰될 경우에는 토사를 제거하여야 하고 퇴적물이 습지 총 체적기준으로 10%를 초과하지 않도록 해야 한다.

④ 유지관리계획은 사면과 제방의 점검, 유입구 및 유출구의 막힘 여부 점검, 퇴적물 점검, 수위점검, 설비의 점검 등을 통해 인공습지가 최적의 상태로 유지되도록 하는 것이다. 인공습지가 수위를 조절할 수 있도록 설계되었다면, 봄에는 수위를 낮추어 생장을 유도하고, 겨울에는 수위를 상승시켜 온도를 유지할 수 있도록 하는 것도 좋다.

식생에 대한 점검주기는 인공습지가 완공 후 첫 1년간은 분기마다, 2 ~ 3년간은 반기마다, 4 ~ 5년간은 1년마다 식재된 식물종의 생존율을 조사하는 것이 바람직하다.

〈표 17〉 인공습지 설계 체크리스트

점검사항	비고
물리적 · 환경적 실현가능여부	
인공습지의 수위유지 가능여부	
– 물수지 분석결과	
– 라이닝 필요시 라이닝 설계 적정성	
주변에 자연습지, 보호종 동식물 존재여부	
습지 설치부지의 경사도(유입수 경사 15% 이하)	
토양의 투수성, 성분의 적합성 및 대수층 존재여부	
유입 · 유출 시 안전여부	
유로의 길이 대 폭비 확보(최소 2:1)	
유출수의 원할한 흐름을 위한 유출부 설계	
부유성 물질의 유출을 막기 위한 적정시설의 설치	
인공습지 유입 전처리	
침강지 용량(수질처리용량의 10% 이상)	
침강지 최대수심(1.2 ~ 1.8m)	
침강지 바닥의 경질도	
침강지 유지관리도로 확보여부	
인공습지 구조	
인공습지의 전체 표면적(배수면적의 1% 이상)	
인공습지내 다양한 수심의 공존여부(①전체 면적 중 50%는 얕은 습지(0 ~ 0.3m), 30%는 깊은 습지(0.3 ~ 1.0m), 20%는 깊은 못(1 ~ 2m)으로 구성, ②전체 표면적의 최소 35%는 15cm 이하의 수심이어야 하고, 최소 65%는 45cm 이하)	
유출부 소규모 연못의 조성(수질처리용량의 10% 이상)	
장폭비의 확보여부	
식생방안	
지역내 수생식물 양묘장으로부터의 이식(불가시 대책)	
생물다양성 확보(5 ~ 7종 권장)	
식생 조밀도의 적정성	

점검사항	비고
식물종 선택의 적정성(구입가능여부, 생존력, 유지비용 등)	
완충지역의 조성(수위경계선으로부터 바깥쪽으로 최소 8m)	
기타시설	
유지관리 도로 설치여부	
유지관리 도로의 안정성, 경사도, 도로폭 확보	
침강지, 유출부에 대한 접근성	
비상여수로 구비	
제방여유고 (극한 홍수조건에서 수위와 제방 정상부까지 60cm 이상)	
유지관리 도로의 안정성, 경사도, 도로폭 확보여부	
기타 안전시설의 확보여부	

〈표 18〉 인공습지 유지관리 및 활동계획

점검사항	계획
• 몇 개의 강우사상 후 또는 대형 호우발생 후 점검: 제방의 안정성, 침식징후, 식생성장, 배수계통, 구조적 훼손여부	필요할 때
• 침입식생 여부, 쓰레기 및 협잡물, 유출입구 막힘, 유도수로 막힘, 침식, 퇴적물의 깊이, 침강지 유출입구의 구조, 제방에 관목류 성장, 설치류 활동 징후, 물이 고여 있는지 여부, 제방 내외측 뗏장의 밀도/활성도, 부등침하 발생여부, 균열, 누수, 제방의 안정성	6개월 간격
• 유출입구 구조점검, 관로, 침강지, 상류 및 하류하천, 유도수로 내 쓰레기 점검 • 식물의 과도성장 및 병충해 감염여부 • 기름띠, 악취, 비정상적인 물의 외관 여부 • 퇴적물 축적량 점검(퇴적물 측정용 마커 검검) • 수문제어계통, 밸브, 기계적인 장치 • 배수구역 또는 습지자체에 습지의 성능에 영향을 미칠 만한 요인이 존재하는지 여부(예: 토지이용변경, 건설현장 등)	연 단위
유지관리 활동	**계획**
• 2주기 성장기간 경과 후 적어도 50% 식생피복을 달성하기 위한 식생의 교체	1회
• 유출입구의 쓰레기 제거, 제방과 접근로의 풀베기작업, 주기적인 풀베기작업 필요, 습지를 둘러싸고 있는 지역은 완충지대로 풀밭이나 나무식재 공간으로 유지	주기적으로 (보통 1년에 3 ~ 4회)
• 습지에서 50% 이상 식생피복이 이루어지지 않았을 경우 식물의 보강식재, 병든 식물, 침입종, 혐오식물의 제거작업 실시, 필요하면 적절한 종을 선정하여 교체, 식생밀도가 너무 커서 물의 흐름에 장애가 발생하거나 특정 야생동물의 번성시 수확작업 실시	1년에 1회 (필요할 경우)
• 습지연못, 유출입구, 제방, 수문과 기타 기계장치의 보수작업 실시, 침식발생지역의 보수, 쓰레기 협잡물의 제거	필요할 때
• 침강지로부터 퇴적물 제거, 퇴적물에 독성 또는 특정유해물질 함유여부(관리규정에 따라 농지살포나 매립실시)	필요할 때 (보통 5 ~ 7년에 한 번)

유지관리 활동	계획
• 습지용량이 퇴적물에 의해 상당 수준 감소하였을 경우 또는 이에 의해 물고기나 식물의 서식여건이 나빠진 경우 퇴적물의 제거, 습지로부터 탁수유출여부을 검검, 특히 고수위에서 저수위로 진행되는 동안 퇴적물 유출 및 무산소 물 방류여부, 방류유속이 하천하류의 침식영향여부	필요할 때

〈표 19〉 인공습지 유지관리 체크리스트

- 시설명 :
- 관리인 성명/주소/전화번호 :
- 점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	특이사항/작업내용
제방/비상여수로	
식생과 식재면 덮기의 적절성	
제방침식	
인정되지 않은 식생	
제체의 갈라짐, 팽창, 무너짐	
습지, 제체선단, 수위조절구조물의 청소 및 기능유지	
하류부에서의 침윤/누수	
사면 또는 사석파괴	
제방상단부의 수직적/수평적 형상	
비상여수로의 장애물과 오물의 제거 여부	
기타사항	
수직배수관과 주요여수로	
저유량 쓰레기 방지대책	
웨어 쓰레기 방지대책	
과도한 퇴적물	
콘크리트/벽돌의 상태	
금속파이프 상태	
조절밸브	

점검사항	특이사항/작업내용
연못 배수밸브	
유출수로 기능	
기타사항	
연못	
인정되지 않는 식생	
부유물쓰레기 제거	
눈에 띠는 오염	
수면경계선(shoreline) 상태	
기타사항	
침강지	
퇴적상황	
설계수심의 70% 이하 시 퇴적물 제거	
습지 내부의 평상 시 물이 없는 지역	
식생 적정성	
인정되지 않는 식물의 성장	
저유량 수로에서 장애물 제거	
정체되어 있는 물	
토사와 쓰레기의 축적	
기타사항	
습지쪽의 유입구 상태	
사석의 손상	
사면침식	
강우유출수 배수관	
끝벽/전면벽	
기타사항	
기타사항	
습지나 유지관리시설의 침식	
주거지로부터 민원	

점검사항	특이사항/작업내용
미적인 요소	
다른 공공적인 위험요소	
조성된 습지지역	
식물의 성장 양호도	
유해종의 침입 여부	
습지지역의 과도한 퇴적여부	

보수활동계획	예정일

점검자 서명 :　　점검자 성명 :

침투시설 (Infiltration System)

◉ 시설개요

강우유출수를 지하로 침투시켜 토양의 여과 · 흡착 작용에 따라 비점오염물질을 줄이는 시설로써 침투도랑, 침투저류지, 침투조, 유공(有孔)포장 등을 포함한다.

① 침투도랑　　③ 침투조

② 침투저류지　　④ 유공포장 등

해설

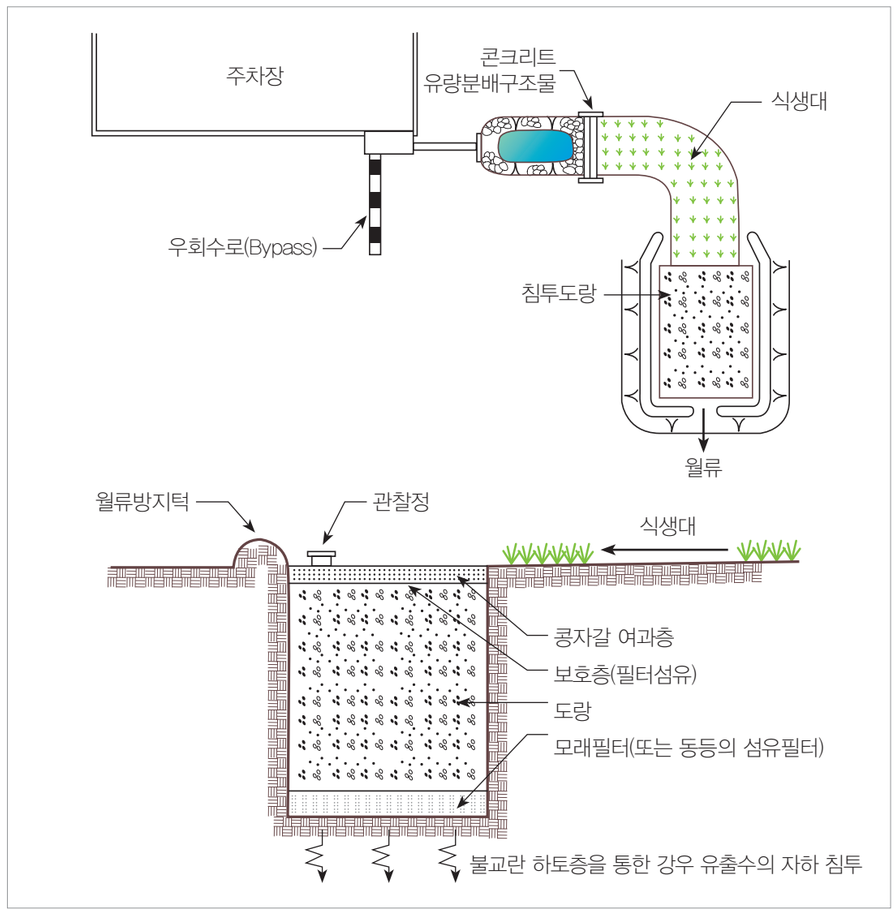
침투시설은 우수가 지하로 침투되도록 유도하는 시설로써 우수를 지표 혹은 지표면 보다 얕은 곳에서 불포화지층을 통해 분산 침투시키는 시설물로 침투도랑, 침투저류지, 침투조 등이 있으며, 빗물이 상부 포장면에 투수되어 지하로 침투될 수 있는 유공포장도 이에 포함된다.

침투시설은 초기강우를 지하토층으로 침투시켜 처리하므로 수질개선 및 지하수 재충전 효과를 기대할 수 있다. 또한 불투수면적율이 높은 도시지역에서 첨두유출량 저감 및 지하수 재충전 기능을 통해 수문학적으로 중요한 기능을 담당할 수 있으나, 관리가 미흡하면 침전물에 의해 공극이 막혀 기능이 제한될 수 있다.

① 침투도랑(Infiltration trench)은 강우유출수를 처리하기 위해서 1 ~ 2.5m(현장여건에 따라 0.3 ~ 3.0m) 깊이로 굴착한 도랑에 자갈이나 돌을 충전하여 조성한 일종의 지하 저류조이며, 차집된 강우유출수는 48시간(최대 3일 이내)에 걸쳐 서서히 도랑의 벽면이나 바닥을 통하여 하부토층을 침투해서 지하수면에 도달하게 된다. 강우유출수의 일부를 침투도랑으로 유입시켜 비점오염물질을 저감할 뿐 만 아니라 현장에서 자연적인 물균형을 유지하고 지하수를 충전하여 기저유량을 유지하는 기능을 수행한다.

침투도랑은 주거지역 또는 상업지역의 강우유출수 처리에 적합하며, 폭이 좁고 긴 도랑형태이므로 저류지를 설치할 수 없는 부지나 배수구역 가장자리 및 자투리땅에 설치하는 것이 일반적이다. 침투도랑 유입 전 식생여과대, 침강지 등을 통과시킴으로써 강우유출수 내 토사를 제거하고 토양 공극의 막힘을 저감시킬 수 있다.

〈그림 19〉 침투도랑 설치 예(환경부)

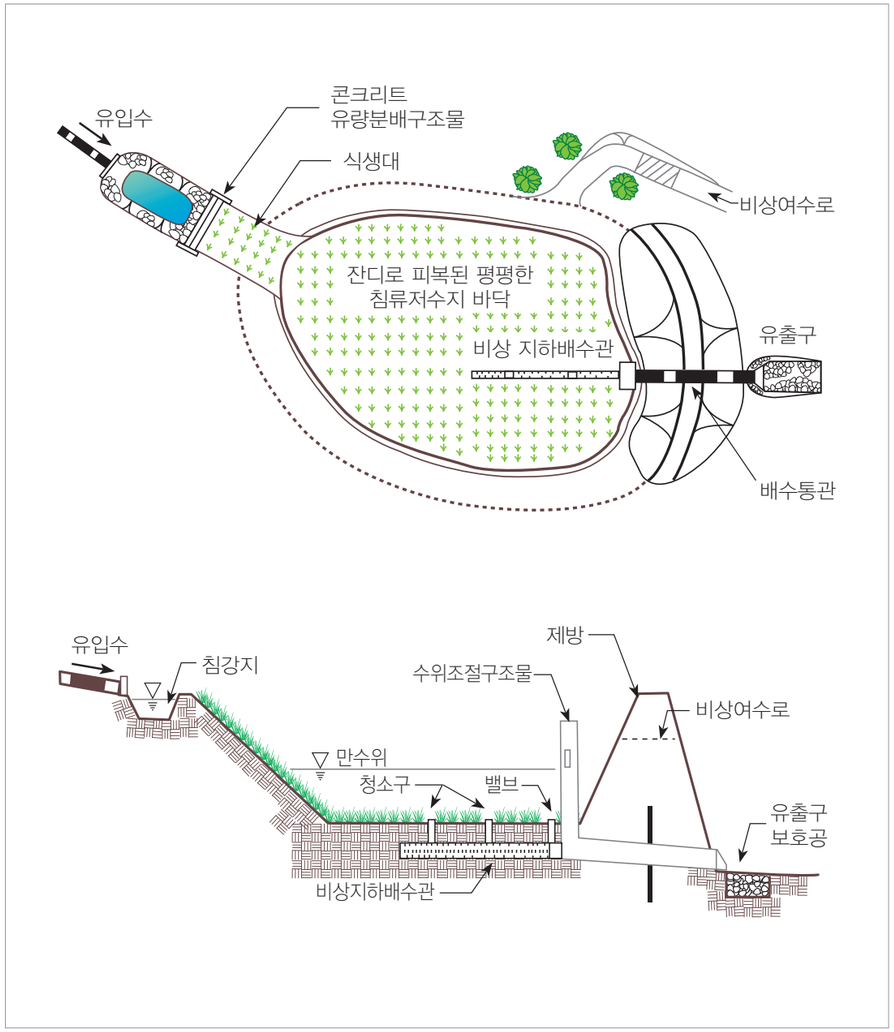


〈그림 20〉 침투도랑(Infiltration trench)

② 침투저류지(Infiltration Basin)는 굴착이나 둑을 쌓아 형성한 저류지로 강우유출수를 얕은 수심의 저류지에 차집하여 임시 저장 및 침투를 통해 오염물질을 제거하도록 설계된 시설이다.

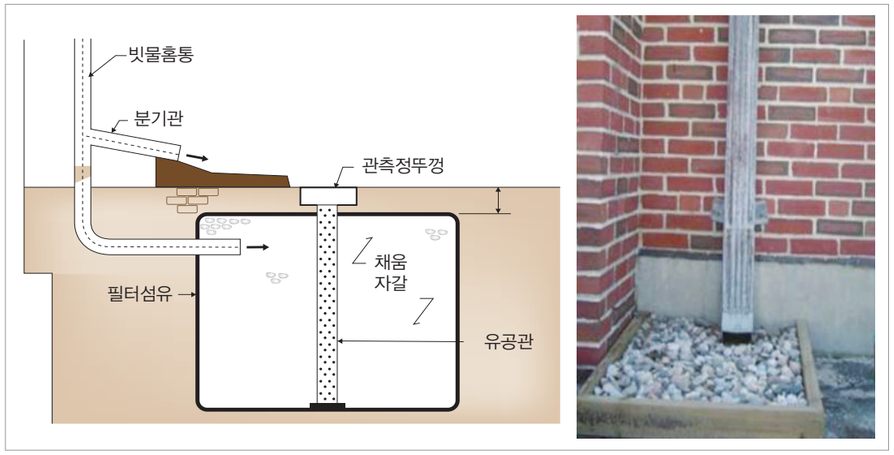
저류된 강우유출수는 최대 3일 이내 저류지 바닥 및 측면을 통해 지하로 침투되는 것이 바람직하며, 이로써 다음 강우에 대비할 수 있고 저류된 물의 혐기화를 방지할 수 있다. 침투저류지 바닥 및 측면 토양의 침투속도가 저하되지 않도록 침사지 설치 및 식생을 조밀하게 피복시켜 강우유출수 내 토사를 사전에 제거하는 것이 중요하다.

〈그림 21〉 침투저류지 설치 예(환경부)



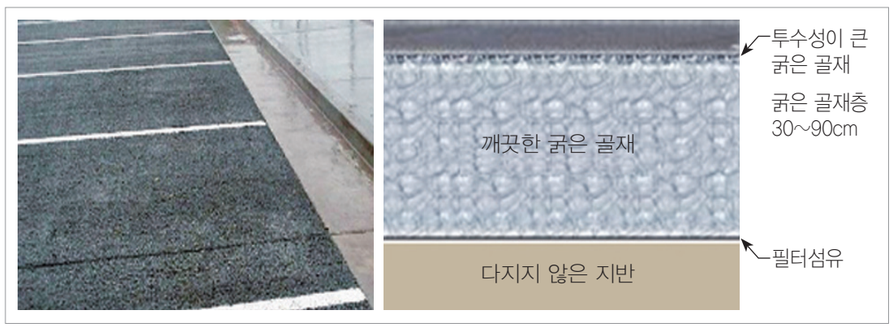
〈그림 22〉 침투저류지(Infiltration Basin)

③ 침투조는 구조물의 외벽을 벽체로 구성한 형태의 침투시설로 주로 소규모의 강우유출수를 처리하는데 사용되며, 토양의 공극 막힘을 관리할 수 있는 구조라면 제한적으로 지하에 설치하는 것이 가능하다. 침투조는 강우유출수 차집과 임시 저장, 지속적인 주변 토양으로의 침투를 유도하여 유량을 감소시키며 오염물질을 제거하는 기능을 갖는다.



〈그림 23〉 침투조 설치 예

④ 유공포장(Porous pavement)은 강우유출수 내 오염물질을 직접 포장체를 통해 하부 지층으로 침투시켜 제거하며, 유공성 아스팔트, 유공성 콘크리트와 같이 상부 포장재의 충분한 공극을 확보하는 유공포장과 더불어 잔디블록, 투수블록 등 투수성 포장재를 활용할 수 있다.



〈그림 24〉 유공포장 설치 예 및 단면도

〈그림 25〉 잔디포장의 설치 예(환경부)

◉ 설치기준

가) 법적 설치기준 (시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한 구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나 화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 침투시설

가. 침전물(沈澱物)로 인하여 토양의 공극(孔隙)이 막히지 아니하는 구조로 설계한다.

나. 침투시설 하층 토양의 침투율은 시간당 13밀리미터 이상이어야 하며, 동절기에 동결로 기능이 저하되지 아니하는 지역에 설치한다.

다. 지하수 오염을 방지하기 위하여 최고 지하수위 또는 기반암으로부터 수직으로 최소 1.2미터 이상의 거리를 두도록 한다.

라. 침투도랑, 침투저류조는 초과유량의 우회시설을 설치한다.

마. 침투저류조 등은 비상시 배수를 위하여 암거 등 비상배수시설을 설치한다.

나) 설치기준 해설

(1) 물리적 · 환경적 실현가능여부

① 침투시설의 하층에 위치한 토양의 침투속도는 13mm/h 이상이어야 하며, 겨울철 동결로 인해 기능이 저하되지 않는 지역에 설치하는 것이 바람직하다.

② 지하수 오염을 방지하기 위하여 최고 지하수위 또는 기반암으로부터 수직으로 최소 1.2m 이상의 거리를 두는 것이 바람직하다.

해설

침투시설 설치 전 토양조건, 지하수위, 경사도 등을 주의 깊게 고려하여야 한다.

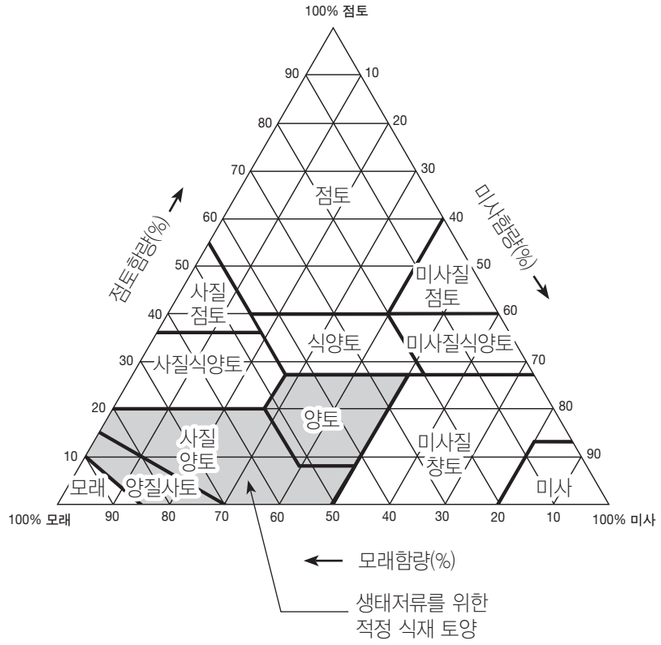
침투시설은 입자상 오염물질(토사)을 적게 함유한 불투수층 지역 강우유출수 처리에 적합하고 토사 부하량이 비교적 낮은 지역에 한정하여 적용해야 한다. 설치예정지역의 토양은 충분한 침투속도를 제공할 수 있을 정도로 투수성이 좋아야 하며 지하수위는 지하수 오염이 일어나지 않도록 낮을수록 좋다.

① 시설부지의 침투속도 또는 투수성을 파악하기 위해 시설 바닥으로부터 최소 1m 정도 하부 토양의 특성을 확인하여야 한다. 유효저류능(Effective water capacity)은 토양 공극 내 저장할 수 있는 물의 양을 나타내며, 최소침투속도는 하부토양이 포화상태일 때 물의 침투속도를 말한다. 모래, 미사, 점토 함유 비율 및 그에 따른 수문학적 토양특성은 흙의 체가름 시험(Gradation test or sieve analysis)을 통해 얻을 수 있다. 미국농무부(USDA : U.S. Department of Agriculture)의 〈그림 26〉과 같은 토성(soil texture)분류에 따른 수문학적 특성은 〈표 5〉와 같으며, 모래와 사질양토의 토성분류는 토양 내 점토 함유량에 따라 구분된다. 대상 지역의 실제 침투속도 시험결과는 〈표 5〉와 다를 수 있으므로 주의하여야 한다. 침투시설에 적합한 토성은 양토(loam), 사질양토(Sandy loam), 양질사토(loamy sand)이고 침투속도는 13 ~ 210mm/h 정도이며, 이 범위 이하 또는 이상의 토양은 침투목적으로 부적합하다.

침투시설의 하층에 위치한 토양의 침투속도는 초기단계에서는 NRCS 토질 분류기준으로부터 결정하고, 최종적으로는 현장 토질시험으로 확인하는 것이 좋다. 토질시험은 450㎡당 최소 1공 이상 실시하는 것이 좋고, 설치부지 내에 최소 2공의 보링을 실시하는 것이 바람직하다.

침투시설의 막힘이나 운영실패를 방지하기 위하여 침투시설이 설치되는 토양은 점토 함유율 20% 이하, 미사/점토 함유율 40% 이하여야 한다. 점토가 30% 이상 포함된 토양은 구조적으로 불안정하고 동상현상(Frost heaving)이 발생하며 모래성 토양은 과도한 배수성 때문에 부적합하다. 과거 매립 지역이었던 곳이나, 성토지역에는 침투시설을 설치하는 것은 바람직하지 않다.

침투시설 조성공사 시 토양압밀이 발생하지 않거나 최소화할 수 있도록 하는 것이 좋다. 토양압밀은 침투시설의 투수능에 악영향을 줄 수 있기 때문이다. 또 시설바닥 하부에 진흙층, 암반층 또는 기타 불투수층이 일부 존재하게 되면 침투속도가 크게 떨어지므로 굴착하여 제거하는 것이 바람직하다.



〈그림 26〉 모래, 미사, 점토 비율에 따른 토성분류(textural triangle)

② 침투시설은 투수성이 매우 양호한 다공성 토양지역에 적합하며 지하수위가 침투시설 바닥과 멀리 떨어지게 설치한다. 또한 침투시설은 잠재적으로 지하수 오염문제를 일으킬 수 있으므로 주의 깊게 입지를 선정하여야 한다.

침투시설의 바닥은 현장 토질시험에 의해 결정된 계절적인 높은 지하수위(High water table) 혹은 기반암(Bedrock) 선으로부터 수직으로 최소 1.2m 이상 이격시켜야 한다.

지하수 보호를 위하여 공단지역 등 고농도의 용존성 오염물질과 중금속이 유출될 가능성이 높은 지역이나 고농도의 농약류가 유출되는 지역에 침투도랑을 설치해서는 안 된다.

(2) 유입 · 유출시 안전여부

침투시설은 용량을 초과한 유량에 대비하여 우회시설을 확보하는 것이 바람직하다.

해설

침투시설의 처리용량을 초과하여 유입되는 강우에 대해서는 우회수로 또는 여수로를 설치하여 침투시설의 안전성을 확보하는 것이 좋다.

(3) 침투시설 유입 전(前)처리

① 침투시설의 막힘현상을 방지하기 위해 수질처리용량의 25% 용량을 처리할 수 있는 전처리시설을 설치하는 것이 바람직하다.

② 전처리시설은 저류시설, 식생형 시설 등의 형태로 설치할 수 있다.

해설

① 침투시설은 토사유입에 의해 막힘현상이 발생할 가능성이 높은 시설이므로 침투시설을 설치할 경우에는 확실한 토사유입 방지대책을 수립하는 것이 좋다. 따라서 침투시설로 유입되기 전에 적어도 수질처리용량의 25%에 해당하는 전처리시설을 설치하는 것이 좋다.
다만, 유공포장과 같이 별도의 배수계통 없이 강우의 대부분이 직접적으로 시설로 유입되는 경우에는 전처리시설을 설치하지 않을 수 있다. 이때에는 시설의 침투능을 저해할 우려가 있는 협잡물 등이 시설로 유입되지 않도록 계획하고 관리하여야 한다.

② 전처리시설은 침강지, 웅덩이 등의 저류시설이나 완충식생대의 형태로 설치하는 것이 일반적이며, 침투시설이 설치되는 부지 및 오염원 특성을 고려하여 적합한 전처리 시설을 결정할 수 있다. 이때 전처리 시설의 시설기준은 수질처리용량의 25%를 처리할 수 있도록 각 시설별 설치기준을 따른다.

(4) 시설구조

(가) 침투시설 공통 설치기준

① 모든 침투시설은 수질처리용량이 하부토양에 침투되는 동안 강우유출수를 저류할 수 있도록 계획한다.

② 침투시설은 강우 후 최대 3일 이내에 전체 수질처리용량이 침투되도록 설계하여야 한다.

③ 시설의 침투능을 육안으로 확인할 수 있도록 시설구조를 계획하고 내부 충전재 및 하부토층의 폐색 시 이를 관리할 수 있는 구조로 설치한다.

해설

① 침투시설은 강우유출수를 시설의 하부토층으로 침투되도록 유도하는 시설이다. 침투시설의 설치에 적합한 토양의 침투속도는 13 ~ 210mm/h로 강우유출수가 시설에 유입되는 속도에 비해 매우 느리므로 침투시설은 침투가 이루어지는 동안 수질처리용량을 저류할 수 있도록 계획한다. 이때 침투시설 내부를 자갈이나 돌로 충전한 경우에는 해당 충전재의 공극률을 계산에 포함하여 시설규모를 결정한다.

또한 수질처리용량이 시설로 유입되는 시간동안 시설의 하부토층으로의 침투량을 추가로 고려할 수 있다

즉, 침투시설의 처리용량은 저류가능 용량과 유입시간 중에 침투되는 양의 합으로 아래의 식으로 산정하며, 그 계산결과가 수질처리용량 이상이 되도록 계획한다

$$V = V_f \times n + 10^{-3} \times k \times T_f \times A_i \geqq WQ_v$$

- V : 처리용량(㎥)
- Vf : 침투시설의 체적(㎥)
- n : 시설내 충전재의 공극률(충전재 정보 불충분시 0.32 적용)
- k : 하부토양의 침투속도(mm/h, 13~210mm/h 범위 내)
- T_f : 유입시간(h, 2시간 적용)
  단, 유입시간에 대한 자료가 있는 경우 해당자료를 활용
- A_i : 침투면적(㎡, 하부토양과 접하여 침투를 유도하는 면적)

여기서

$$A_i = \frac{WQv}{d \times n + T_f \times k \times 10^{-3}}$$

② 모든 침투시설은 강우 후 최대 3일(72시간) 이내에 전체 수질처리용량을 모두 배제하도록 설계되어야 한다. 침투시설은 강우 시 강우유출수를 받아 처리한 후 배수되며, 건기동안에는 시설주위의 토양에 공기가 공급된다. 이로써 지하토층에서 호기성 상태를 유지하여 박테리아의 유기물 분해작용을 촉진시킬 수 있으며 다음 강우사상에 대비할 수 있다. 침투시설의 배제용량은 아래의 식으로 산정하며, 그 계산결과가 수질처리용량 이상이 되도록 계획한다.

$$V_i = Ai \times 10^{-3} \times k \times Td \geqq WQv$$

- V_i : 침투시설의 배제용량
- A_i : 침투면적(㎡, 하부토양과 접하여 침투를 유도하는 면적)
- k : 하부토양의 침투속도(mm/h, 13~210m/h 범위 내)
- T_d : 배제시간(최대 72시간)

③ 침투시설의 경우 침투속도의 감소여부를 지속적으로 관찰하고 관리하여야 한다. 배제시간에 따른 수위변화를 통해 침투속도를 확인할 수 있으며, 충전재 등이 채워진 경우 관측정 등의 설치를 통해 확인이 가능하도록 한다. 침투시설 내부의 충전재 및 하부토양의 폐색 시 이를 교체하거나 삭층을 통해 시설의 기능을 유지할 수 있도록 시설구조를 계획하여야 한다.

(나) 침투도랑 설치기준

① 침투도랑의 배수면적은 2ha 이내로 하는 것이 좋다.

② 침투도랑의 깊이는 1 ~ 2.5m를 원칙으로 하고, 현장여건에 따라 0.3 ~ 3.0m로 조정할 수 있으며, 도랑 내부는 자갈, 돌 등을 충전하는 것이 바람직하다.

③ 침투도랑의 설치는 경사도 6% 이내로 하는 것이 바람직하다.

④ 침투도랑의 침투속도를 확인하기 위해 일정간격으로 관측정을 설치한다.

해설

① 침투도랑 설계 시 최대 배수면적은 2ha 이내로 하는 것이 좋다. 이 조건은 침투시설이 막히는 것을 방지하기 위한 것으로, 일반적으로 배수면적이 크면 토사 및 부유물질의 유입부하가 높아짐으로 침투시설보다는 저류지와 같은 다른 비점오염저감시설을 이용하는 것이 합리적이다.

② 침투도랑의 설계 시 침투도랑이 넓고 얕을 경우 유입유량을 넓은 침투면적에 분포시킴으로서 막힘 위험을 감소시킬 수 있으며, 요구되는 표면적은 도랑의 깊이, 침투속도, 공극률, 그리고 충전시간에 기초하여 결정한다.

도랑의 깊이는 유지관리가 용이하도록 1 ~ 2.5m 사이에서 결정하고 폭은 7.5m 이하로 하는 것이 좋다.

도랑의 바닥은 유량의 균일한 분포와 균일한 침투가 이루어져 막힘 위험을 줄일 수 있도록 평탄하게 조성한다.

도랑에 사용되는 자갈 또는 쇄석은 깨끗하게 세척해야 하며 40%의 공극률을 갖도록 균일한 크기를 사용하며 4 ~ 6cm 크기가 좋다. 흙이 묻어있는 자갈 또는 쇄석이 사용되어서는 안 되며 충전 자갈에 대한 정보가 충분하지 않을 경우 32%의 공극률을 설계계산에 사용할 수 있다.

도랑바닥은 15cm두께로 깨끗이 세척한 모래를 깔아서 배수를 촉진하고 돌과 자갈을 충전하는 동안 원래의 토양이 압밀되는 것에 주의한다.

침투도랑의 벽면과 상층부는 적절한 토목필터섬유(Geotextile filter fabric)로 라이닝 처리하여 파이핑(Soil piping) 현상을 방지하고 원래의 토양보다 훨씬 큰 투수성을 갖도록 만든다. 상층부 필터섬유는 도랑 상부로부터 5 ~ 15cm 아래 부분에 위치하도록 하여 토사가 자갈 충전부에 유입되지 않도록 한다.

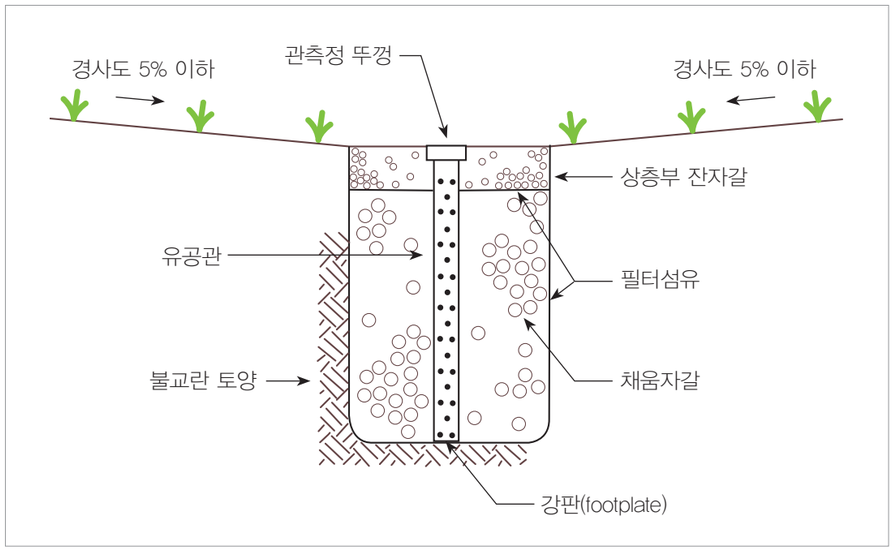
도랑 상층부는 토사입자가 유입되지 못하도록 하는 장벽의 역할을 수행하므로 주기적으로 교체해야 하며 측면부와 쉽게 분리될 수 있는 구조로 설계하여야 한다.

침투도랑의 상층부(필터섬유 상부)는 잔자갈로 덮어 토사여과를 촉진시키고 오염물질 제거를 극대화 한다. 또한 막힘현상이 시작될 경우 잔자갈층을 쉽게 제거하고 다시 덮을 수 있도록 한다. 잔자갈층의 대체수단으로 투수성이 좋은 표토로 덮고 잔디를 식재하여 경관을 향상시킬 수 있다.

③ 침투도랑을 설치할 부지의 경사도를 6% 이하로 계획함으로써 침투면을 고루 활용할 수 있으며, 시설로 유입되는 강우유출수의 유속을 제한할 수 있다. 침투도랑의 측면에서 유입되는 물은 경사도는 5% 이하로 설치한다.

④ 침투도랑에는 유공관(직경 10 ~ 15cm)을 이용하여 관측정을 15m 간격으로 설치해야 하며 관측정은 바닥까지 닿아야 한다. 관측정을 통하여 강우가 완료된 후 배수속도를 파악할 수 있으며 또한 퇴적물의 깊이와 필터섬유의 막힘 여부 및 유지관리시점을 판단할 수 있다.

관측정은 시설의 중심선을 따라서 설치하며 침투도랑의 표면보다 높게 설치한다. 관측정 내부에는 눈에 잘 띠는 부유성 마커를 설치하여 수위를 측정할 수 있도록 한다. 관측정 상부에는 캡을 설치하고 자물쇠를 채워 관계자 이외의 사람이 손대는 일이 발생되지 않도록 한다.



〈그림 27〉 침투도랑 단면 및 관측정 설치 예

(다) 침투저류지 설치기준

① 침투저류지 바닥은 경사가 거의 없고 균일하게 설치하는 것이 바람직하다.

② 침투저류지는 초과유량의 우회시설을 설치하여야 한다.

③ 침투저류지 등은 비상 시 배수를 위하여 암거 등 비상배수시설을 설치하는 것이 바람직하다.

④ 사면경사, 안전소단, 조경계획, 주변완충지역 등에 대한 기준은 「저류시설 중 저류지」의 시설기준을 준용한다

해설

① 저류지 바닥은 경사가 거의 없도록 수심을 균일하게 설계하여 저류지 내 모든 지역에서 균일한 침투가 이루어질 수 있도록 하는 것이 중요하다. 유출구 쪽으로 기울어져 있게 되면 이 부분으로 강우유출수가 모여 전체적인 침투성능을 저하하는 결과를 초래하며 결국 이 부분의 공극이 가장 먼저 막히게 되고 따라서 물고임(Pvonding) 문제가 발생하게 된다.

침투저류지는 넓은 표면적을 갖도록 하며, 식생을 조밀하게 조성하여 침식과 바닥의 세굴을 방지토록 한다.

② 침투저류지는 유출구가 별도로 없어 저류용량을 초과할 것에 대비하여 시설의 안정성을 위해 여수로 등 우회시설을 설치하는 것이 바람직하다.

③ 침투저류지는 설계 시 비상상황에 대비한 비상배수방법이 고려되어야 한다. 침투시설의 침투단면이 막힘현상으로 인해 물고임이 발생하거나, 완전배수 후 유지관리를 수행하기 위해서는 비상배수시설이 필요하다. 이를 위해 지하 암거를 설치하는 방법 등을 강구할 수 있다.

(라) 침투조 설치기준

① 침투조의 배수면적은 2ha 이내로 하는 것이 좋다.

② 침투조는 구조물의 외벽을 견고한 벽체로 구성하며, 지하매설시 관측정을 설치하는 것이 바람직하다.

해설

① 침투조 설계 시 최대 배수면적은 2ha 이내로 하는 것이 좋다. 이 조건은 침투시설이 막히는 것을 방지하기 위한 것으로, 일반적으로 배수면적이 크면 토사 및 부유물질의 유입부하가 높아짐으로 침투시설보다는 저류조와 같은 다른 비점오염저감시설을 이용하는 것이 합리적이다.

② 침투조는 침투저류지와 유사한 구조의 시설로 설치부지가 협소하고 토압에 의한 구조물의 안정성을 확보하기 어려운 경우에 소규모로 설치한다. 콘크리트 등 구조물의 외벽을 견고한 벽체로 구성함에 따라 지하매설이 가능하다. 지하매설 시에는 유지관리용 맨홀 등을 통해 충전물 및 하부토양의 관리 · 교체가 가능한 구조로 계획하여야 하며, 지상에서 시설의 침투속도의 확인이 가능한 관측정을 설치하여야 한다.

(마) 유공포장 설치기준

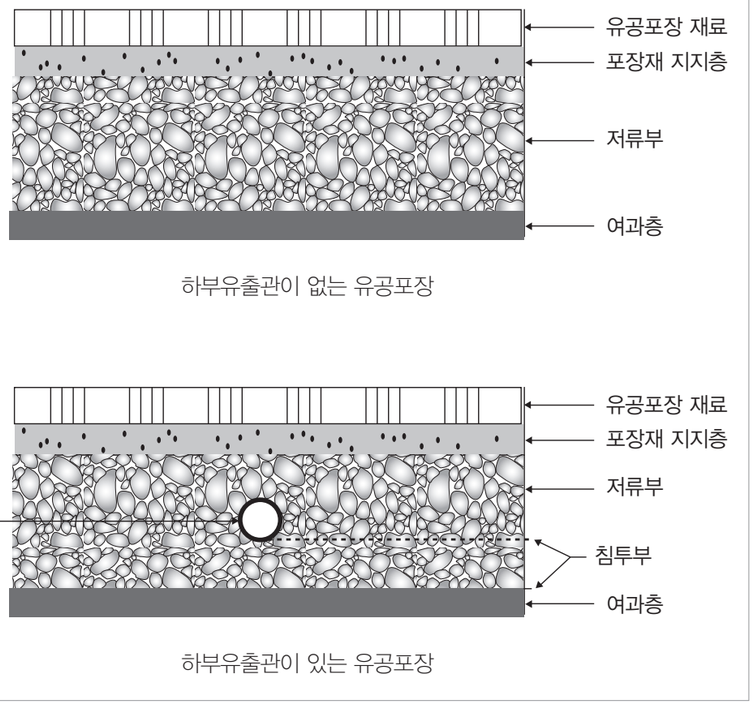
① 유공포장의 하부에 골재층을 두어 빗물을 저장할 수 있도록 한다.

② 유공포장은 설치하고자 하는 부지의 교통량 및 하중을 고려하여 계획한다.

③ 유공포장의 침투속도를 확인하기 위해 일정간격으로 관측정을 설치한다.

해설

① 유공포장(Porous pavement)은 투수성 포장(Permeable pavement)의 한 방법으로 분류되는 경우가 많은데 본 시설기준에서는 투수성 포장의 의미를 갖는 것으로 간주한다. 유공포장의 하부에는 골재층 등을 두어 빗물을 저장하는 공간을 두는 것이 타당하다. 하부저류층 깊이는 설계강우량을 이용해 산정할 수 있으나 통상 30 ~ 90cm의 저류층을 둔다.



〈그림 28〉 형태별 유공포장의 구조

② 유공포장은 상부에 자동차 등의 하중을 지속적으로 받아 시설이 훼손되기 쉬우며 포장재 하부에 위치하는 충전물 및 토양의 관리가 어렵다. 특히 유공성 아스팔트, 유공성 콘크리트의 경우 상부 포장면을 파쇄하지 않고서는 관리할 수 없으므로 제한적으로 활용하는 것이 바람직하다. 차량의 통행량, 주행속도, 하중을 고려하여 포장면의 안정성이 확보된 지역에 설치하며 주로 아래의 부지에 활용하는 것이 바람직하다.

- 주차장 내 주차부지
- 주거지 도로
- 보행자 및 자전거 도로
- 차량 통행이 제한된 광장 및 공원

③ 유공포장에는 포장면적 300m^{2}당 1개소 이상 관측정을 설치해야 하며 관측정은 바닥까지 닿아야 한다. 관측정을 통하여 강우가 완료된 후 배수속도를 파악할 수 있으며 또한 퇴적물의 깊이와 필터섬유의 막힘 여부 및 유지관리시점을 판단할 수 있다.관측정의 간격은 10m 이상 확보하며, 차량 및 보행자의 통행으로 인해 훼손될 우려가 있는 지점은 피하는 것이 좋다.

◉ 유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준 (시행규칙 별표 18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

나. 슬러지 및 협잡물 제거

① 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

② 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

③ 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.

마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 침투시설

가. 토양의 공극이 막히지 아니하도록 시설 내의 침전물을 주기적으로 제거하여야 한다.

나. 침투시설은 침투단면의 투수계수 또는 투수용량 등을 주기적으로 조사하고 막힘 현상이 발생하지 아니하도록 조치하여야 한다.

나) 관리 · 운영 기준 해설

① 침투시설은 침투단면의 투수계수 또는 투수용량 등을 주기적으로 조사하고 막힘 현상이 발생하지 아니하도록 조치하여야 한다.

② 토양의 공극이 막히지 아니하도록 시설 내의 침전물을 주기적으로 제거하여야 한다.

해설

규칙적인 점검과 유지관리는 침투시설의 설계처리성능을 지속적으로 유지하는데 필수적이다.

① 관측정을 통해 강우사상별 강우유출수의 배수속도를 점검하고 정기적으로 전처리 및 침투시설의 토사 퇴적 및 파손 여부를 점검한다.

② 전처리시설에 있는 토사 및 오일을 제거하고 막힘 현상을 제거하기 위하여 주기적으로 침투시설 표면 및 침투층에 부착되어 있는 이물질을 청소하며, 필요 시에는 도랑상부의 잔자갈과 필터섬유를 교체하고 교체된 폐기물은 폐기물관리법에 준하여 처리해야 한다.

〈표 20〉 침투시설 설계 체크리스트

점검사항	비고
물리적 · 환경적 실현가능여부	
시설 하층 토양의 침투속도(13 ~ 210mm/h)	
시설 하층 토성의 적정성(모래, 미사, 점토 함유량)	
겨울철 동상현상 발생 가능 여부	
대상 강우유출수 내 입자상오염물질(토사) 함유량	
시설 하부에 진흙층, 암반층, 기타 불투수층 존재 여부	
시설 하부에 석회암 지대 존재 여부	
대상부지의 과거 매립 및 성토 여부	
대상부지의 경사도(6% 이내)	
시설 바닥으로부터 최고지하수위까지 적정 수직거리 확보 여부	
시설 바닥으로부터 기반암까지 적정 수직거리 확보 여부	
지하수 보호(고농도 오염물질 유출지역 존재여부)	
지표수, 상수원, 우물, 건물기초와의 이격거리	

점검사항	비고
유입 · 유출 시 안전여부	
초과유량에 대비한 우회시설 설치	
유입 전의 처리	
침강지 용량(수질처리용량의 25% 이상)	
침투시설 유입부 식생대 조성	
침투시설 공통 구조	
48시간(최대 3일)이내 수질처리용량 배제가능 여부	
설계용량 산정 검토	
관측정 설치여부 및 설치간격	
침투도랑 구조	
침투도랑의 배수면적(2ha 이내)	
침투도랑 깊이(1 ~ 2.5m, 현장여건에 따라 0.3 ~ 3m)	
침투도랑 내부 모래층 높이 및 쇄석 크기 적정성	
토목필터섬유 설치여부	
침투도랑 상층부(필터섬유 상부) 잔자갈 충전	
침투저류지 구조	
침투저류지 바닥의 평탄성 및 균일성	
침투저류지 내 비상 시 비상배수시설 설치	
침투저류지 식생 조성 및 식생의 조밀도	
침투저류지 표면적 및 수심(넓은 표면적과 30cm 미만 수심)	
제방 경사도	
– 유지관리 및 보수부(3:1 이하)	
– 사석으로 보강된 경우 및 기타(2:1 이하)	
안전소단 설치(제방높이 3.0m 이상, 경사 3:1 이상 시)	
주변 완충지역 조성여부	
주변 완충지역내 부적절한 식물종 포함여부(음지식물, 풍해 · 동해 취약식물)	
침투조 구조	
침투조의 배수면적(2ha 이내)	
유공포장 구조	
유공포장 하부의 골재층 충전	
하부저류층 30 ~ 90cm	

점검사항	비고
하중을 고려한 안전성 확보 지역	
기타 구조	
유지관리 및 복구작업을 위한 도로설치여부	
유지관리 도로의 안정성, 경사도, 도로폭 확보여부	
비상상황에 대비한 암거 설치 등의 비상배수시설 설치여부	
기타 안전시설 확보여부	

〈표 21〉 침투도랑의 유지관리 활동 및 계획

점검사항	계획
• 유지보수 여부를 결정하기 위하여 도랑의 배수시간 기록(강우 후 침투가 완료되는데 소요되는 시간), 강우 후 24시간 이내에 배수가 완료되어야 함, 24시간 또는 며칠이 지나도 도랑내부에 설치된 관측정에 물이 고여 있으면 폐쇄징후	강우 후
• 집수구역, 도랑, 유입부를 둘러보고 쓰레기 제거 등의 청소	월간
• 집수구역에서 토양침식여부 점검	
• 건기 중 3일 동안 관측정 관찰: 폐쇄여부 판단	6개월 간격으로
• 전처리 시설 및 유량분배 시설 점검: 유사 축적량 및 손상/파손 여부 점검	
유지관리 활동	**계획**
• 전처리시설, 월류구조물에 있는 토사 및 오일제거	월간
• 전처리 시설이 식생여과대인 경우 제초 및 풀베기작업	
• 도랑 인근에서 나무가 자라면 제거	6개월 간격으로
• 도랑상부의 잔자갈과 필터섬유의 교체: 토사와 교체한 미디어는 매립처분	필요 시
• 배수구역 내 침식지역의 안정화 작업 실시	
• 정상적인 WQv 처리를 위한 도랑복구작업 시	실패할 경우
• 기존 도랑측벽 토양을 파내고 새로운 토양으로 측벽교체	

〈표 22〉 침투도랑 유지관리 체크리스트

- 시설명 :
- 관리인 성명/주소/전화번호 :
- 점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	특이사항/작업내용
쓰레기 제거	
침투도랑 표면의 쓰레기 제거	
유입파이프 쓰레기 제거	
월류여수로의 쓰레기 제거	
유입부 쓰레기 제거	
침투율	
강우 후 24시간에서 48시간 이내에 완전배수 여부	
침투도랑 관측정에 물이 없어야 되는 상황에 물이 고여있는지 여부	
침사지	
토사의 침전정도	
남은 저류공간의 70%가 넘을 시	
탈수	
비강우기간의 침투도랑 배수	
침투도랑의 퇴적물 제거	
퇴적물의 흔적이 있는지 조사	
토사가 아직 퇴적되어 있지 않은지 조사	
필요시 제거	
유입부/유출부	
유입부/유출부 폐쇄여부	
침식여부	
배수구/비상여수로	
상태양호, 수리필요성 없음	
침식여부	
골재 보수	
쇄석표면 청소	
상층자갈의 폐쇄여부 및 교체 필요성	
침투도랑 교체 필요성	

보수활동계획	예정일

점검자 서명 :　　점검자 성명 :

〈표 23〉 침투저류지의 유지관리 활동 및 계획

점검사항	계획
• 건설 후 저류지 점검 • 대형 강우사상 발생 시 최대허용배수시간 달성여부 점검	매월
• 침하, 균열, 침식, 누수여부 • 제방에 관목류 성장여부 • 유출입수로 상태 • 저류지 토사퇴적량 • 잔디뗏장의 상태	6개월 ~ 1년에 1회
• 침사지 내부 토사퇴적량	필요할 때 마다
유지관리 활동	**계획**
• 저류지 바닥이 젖어있는 경우 압밀을 피하기 위하여 풀베기작업 중단 • 쓰레기/협잡물 청소	필요할 때 마다
• 저류지에 물고임 현상이 발생되면 주기적으로 바닥을 갈아주고 씨앗 재파종 • 초가을에 경운작업과 식생보수작업 실시	
• 저류지 바닥의 퇴적물 제거작업	
• 잔디의 성장속도보다 토사의 퇴적속도가 큰 경우 전처리 시설의 재평가	
• 침사지 등 전처리시설에서 퇴적물 청소	

〈표 24〉 침투저류지 유지관리 체크리스트

- 시설명 :
- 관리인 성명/주소/전화번호 :
- 점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	특이사항/작업내용
쓰레기 제거	
저류조바닥 쓰레기 제거	
유입구 쓰레기 제거	
유출구 쓰레기 제거	
비상여수로 쓰레기 제거	
침사지	
토사의 침강상태	
저류공간의 70% 이상 남아 있는 지	
식재	
필요시 풀베기작업	
침식여부	
지침에 의해 비료를 주었는지	
배수	
비강우기간의 배수	
저류조의 퇴적물 제거	
퇴적의 흔적이 없는지	
퇴적물을 제거할 필요가 없는지	
유입구	
상태 양호	
침식 흔적 없는지	
배수구/월류여수로	
상태양호, 수리필요성 없는지	
침식흔적이 없는지	

점검사항	특이사항/작업내용
구조물 보수	
제방보수가 잘 되었는지	
사면경사가 안정한지	
침식의 흔적이 없는지	
울타리 및 유지관리도로 보수	
울타리 상태가 좋은지	
무단 출입에 따른 파손	
잠금/시근장치 작동이 원활한지	
유지관리도로 상태가 양호한지	

보수활동계획	예정일

- 점검자 서명 :　　점검자 성명 :

식생형 시설 (Vegetation System)

◉ 시설개요

식생형 시설은 토양의 여과 · 흡착 및 식물의 흡착작용으로 비점오염물질을 줄임과 동시에, 동 · 식물 서식공간을 제공하면서 녹지경관으로 기능하는 시설로서 다음을 포함한다.

① 식생여과대　　② 식생수로 등

해설

식생형 시설은 비점오염물질을 저감하고 첨두유량을 조절하여 홍수억제에 기여할 뿐만 아니라 동 · 식물 서식공간을 제공하고 녹지경관으로 기능하는 장점이 있으며, 크게 식생여과대와 식생수로가 있다.

강우 시 토양침식을 줄이기 위해 수로에 식생을 도입한 식생수로는 부유고형물과 금속 등 오염물질의 제거에 효과적이며 침투기능을 통해 박테리아도 제거할 수 있으나 용존성 영양물질의 제거 효율은 높지 않은 것으로 알려져 있다.

강우유출수가 식생여과대(Vegetated filter strips)를 거치면서 유속이 낮아짐에 따라 오염물질이 여과, 흡착, 중력침전으로 제거되는데, 식생여과대는 강우유출수가 여과대 면을 균일하게 흐르게 하는 것이 오염물질 제거에 보다 효과적이다. 지역 내 녹지대가 부족한 경우 하천변을 이용한 식생여과대 조성도 권장할 만하다.

① 식생여과대(Vegetated filter strips)는 식물체를 통한 여과와 토양침투에 의해 비점오염물질을 제거하도록 고안된 균일하게 경사진 지면에 조밀한 식생을 갖춘 넓은 풀밭으로 정의된다.

식생여과대의 일차적인 목적은 작은 지역으로부터 발생하는 강우유출수의 수질을 향상시키거나 다른 비점오염 저감시설의 전처리 공정으로 사용될 수 있다. 조밀한 식생과 토양은 오염물질의 포착, 식생을 통한 여과작용, 토사의 침적작용, 토양에 의한 흡착작용을 가능하게 한다.

식생여과대가 다른 저감시설의 전처리 공정으로 사용될 경우 토사제거와 주 처리 시설로의 부하량을 감소시켜 유지관리 비용을 줄이고 효율을 향상시켜주는 기능을 수행한다.

식생여과대는 불투수면 지역 인근에 입지하거나 주택 및 상업지역 또는 고속도로나 일반도로 인근에 설치한다.

식생여과대는 여과대 표면에 면상류(Sheet flow)를 유지하여야 하므로 처리대상 집수구역의 면적과 처리대상 강우유출수량에 한계가 있다. 처리대상 유량을 식생여과대로 균일하게 유입시킬 수만 있다면 주차장, 도로, 빌딩으로부터 강우유출수를 직접 유입시켜 처리할 수 있다.

설치위치는 수변완충구역 외곽지점이 이상적이고 서로 상반되는 토지이용사이의 완충지대로 적용하게 되면 경관을 향상시킬 수 있으며 투수성 토양에서는 지하수 재충전 기능도 기대할 수 있다.

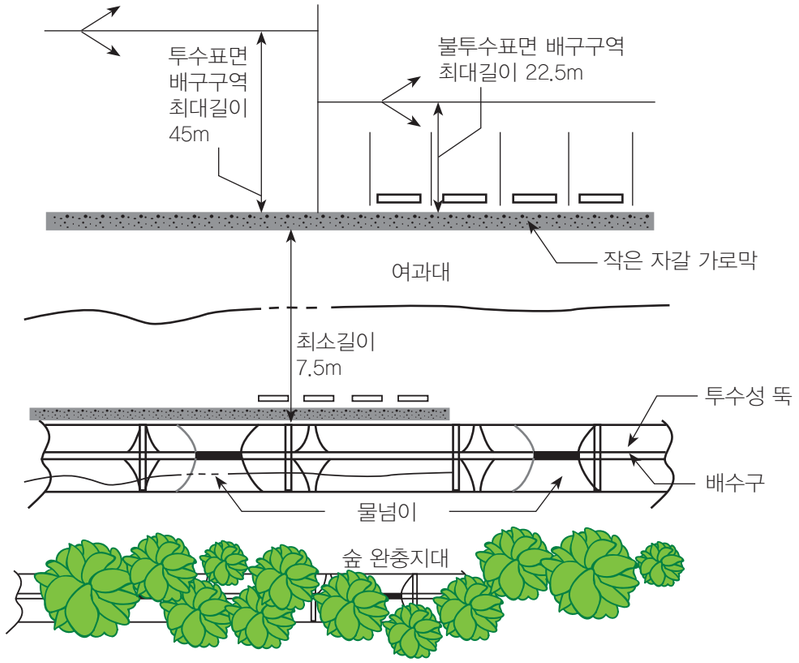
② 식생수로는 식생을 갖춘 개수로이며 배수구역으로부터 발생되는 강우유출수를 포착하여 비점오염물질을 저감함과 동시에 운송하는 역할을 한다. 식생수로의 경사를 완만하게 하여 강우유출수의 유출속도를 감소시키고 토양 및 식생의 침투 · 퇴적 · 여과 등의 기능을 통해 수질을 개선한다.

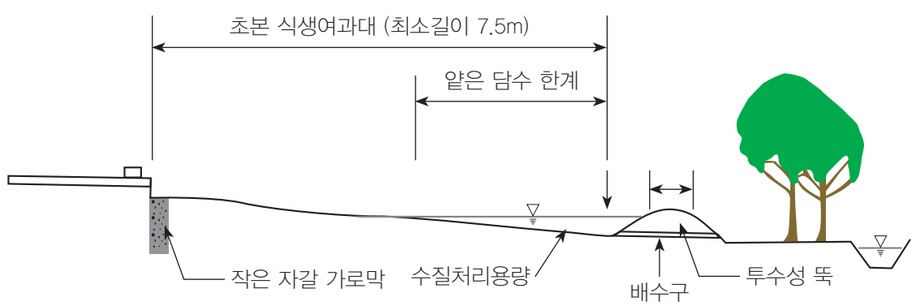
- 건식 식생수로(Dry swale)는 식생을 갖춘 수로로 배수시스템 상부에 여과상(filter bed)을 두고 있다. 이러한 형태의 수로에서는 강우유출수 전량이 여과상을 통과하고 수로바닥을 통하여 침투가 일어나도록 설계된다. 대부분의 시간동안 건조한 상태로 있게 되며 주거지역에서 선호되고 있는 저감시설이다.

  건식 식생수로는 하부배수시스템 상부에 위치한 투수성 여과상과 유출수를 운송하는 개수로로 구성된다. 오염물질은 수로의 주요부에 위치한 토양여과층을 통과하면서 처리된다. 강우유출수는 여과상 하부에 위치한 자갈배수계통과 다공성 관로를 통하여 집수된 후 유출구로 운송된다.

- 습식 식생수로(Wet swale)는 수분의 보유와 습지의 조건을 갖추도록 설계되므로 수로를 따라 습지식생을 유지할 수 있다. 수분을 보유하기 위해서 낮은 지하수위와 투수성이 낮은 토양이 필요하다. 이와 같은 형태의 수로는 기본적으로 수로형태의 습지(Wetland channel)와 동일한 기능을 수행한다.

습식 식생수로는 수로 내 피복된 식생에 의해 강우유출수의 유출속도를 감소시키고 침전 및 흡착에 의해 오염물질을 저감하는 반면, 건식 식생수로는 강우유출수가 여과상을 통과하도록 설계한다는 점에 차이가 있다.

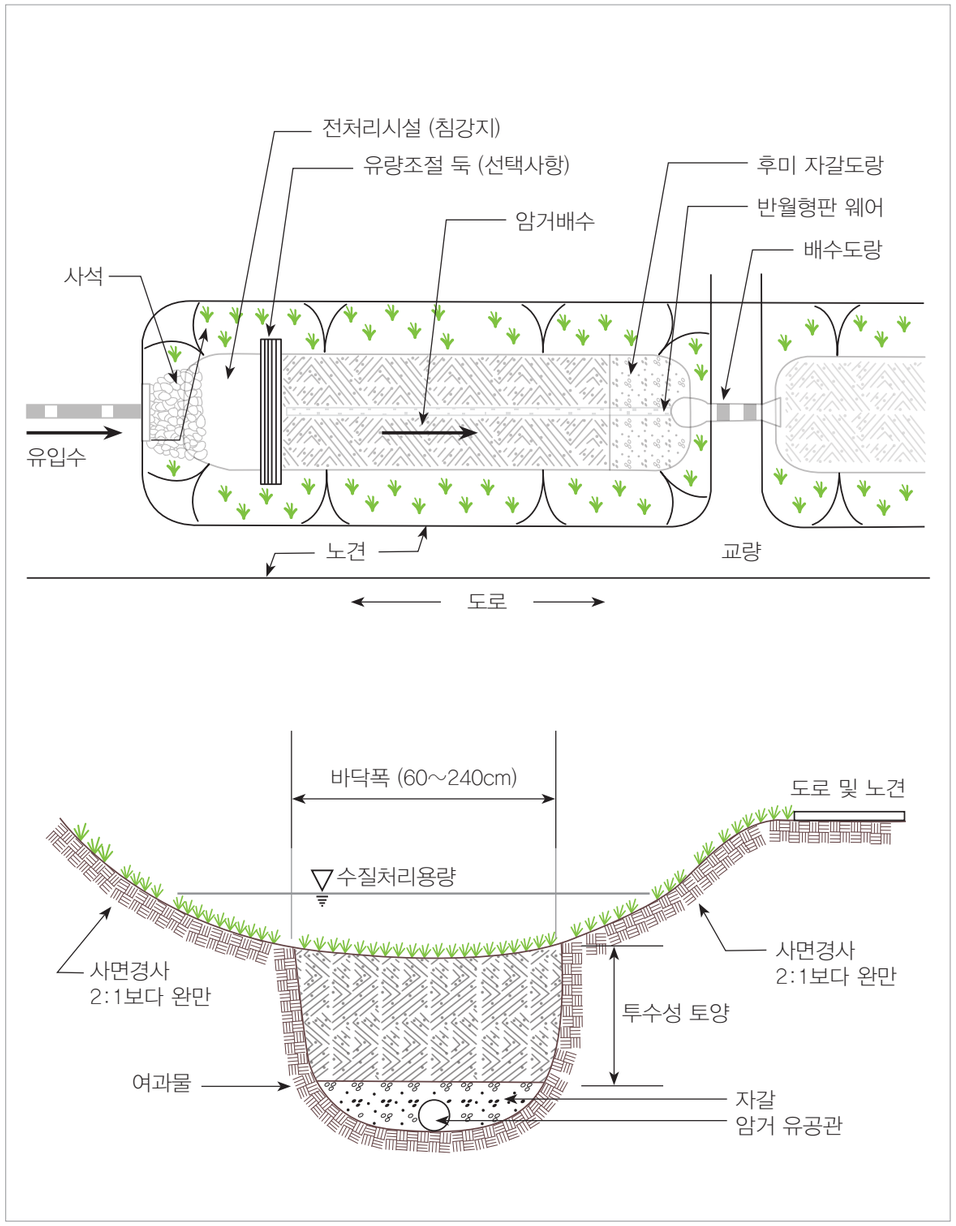




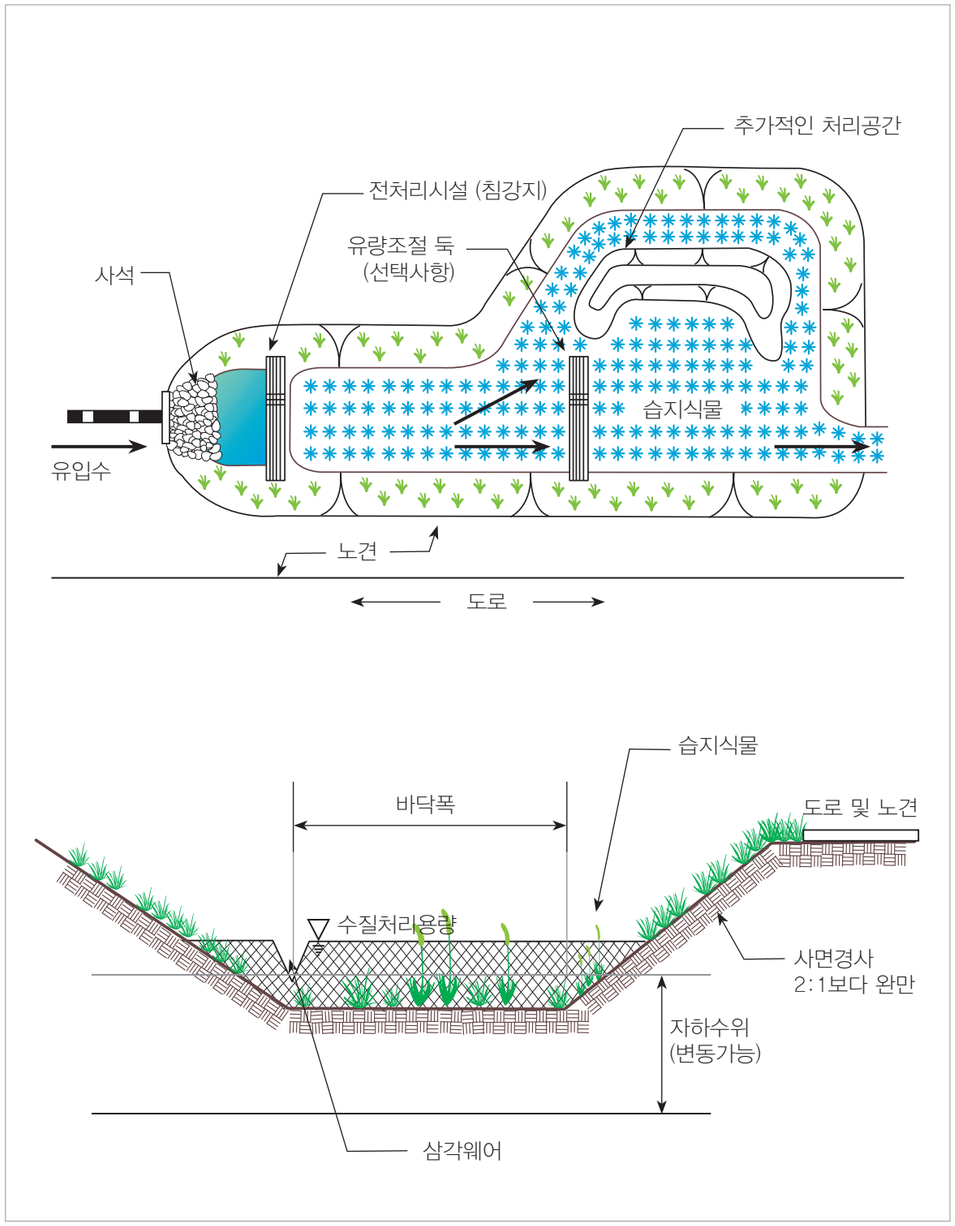
〈그림 29〉 식생여과대 (Vegetated filter strips)

〈그림 30〉 식생여과대 설치 예 (환경부)

〈그림 31〉 식생수로 설치 예



〈그림 32〉 건식 식생수로 (dry swale)



〈그림 33〉 습식 식생수로(wet swale)

◉ 설치기준

가) 법적 설치기준 (시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한 구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나 화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

① 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

② 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

③ 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 식생형 시설

길이 방향의 경사를 5% 이하로 한다.

나) 설치기준 해설

(1) 물리적 · 환경적 실현가능여부

식생형 시설의 안정적인 기능 유지 및 유지관리의 편의성을 위해 다음과 같은 입지조건들을 고려하여야 한다.

① 급한 경사의 지역과 하천 제외지에 설치는 피해야 한다.

② 비점오염 저감에 있어 식생형 시설을 이용한 방법이 적합한지의 여부와 주변 식생 및 생태계에 대한 사전조사를 검토한다.

해설

① 주변 지형이 경사가 급한 사면으로 시설을 둘러싸고 있어서는 안 된다. 이러한 경우는 일조량을 감소시켜 식물의 성장에 장애가 될 수 있고, 유지관리 시 안전문제를 일으킬 수 있다.
하천 제외지에 설치할 경우 홍수 시 잦은 침수로 인해 식생 등이 손상되고, 이를 복구하는데 많은 비용이 발생하므로 대상부지 검토 시 제외하는 것이 바람직하다.

② 식생형 시설을 적용하기에 적합한 지역인지에 대하여 검토하여야 한다.

- 식생형 시설은 다양한 지역에 적용할 수 있는데 영양물질과 토사제거가 우선 대상인 지역에 적용될 수 있다.
- 농경지 유역뿐 만 아니라 도로 등 운송로와 테마파크, 골프장 등 스포츠 레저시설, 택지를 포함한 도시화 지역이나 도시화가 진행되고 있는 지역에 적용할 수 있다.

(2) 유입 · 유출 시 안전여부

① 유입구의 막힘 가능성을 최소화하기 위하여 불투수 지역으로부터 유출수가 직접 유입하는 경우 유입 지점에 최소 15cm 높이의 자갈 격벽을 설치하는 것을 고려할 수 있다.

해설

① 불투수 지역으로부터 유출수가 직접 유입하는 식생수로의 경우, 유입수가 낙하하는 지점에 최소 15cm 높이로 자갈 격벽(Pea gravel diaphragm)을 설치하여 유입구의 막힘 가능성을 최소화할 수 있으며 사석(Rip-rap)이나 돌망태(gabion)를 사용하여 유속을 감소시킬 수 있다.

(3) 식생형 시설 유입 전(前)처리

식생형 시설 유입부에 수질처리용량(WQv)의 10% 정도를 저류할 수 있도록 침강지를 설치하는 것이 좋다.

해설

식생형 시설에는 전처리 시설로 유입부에 침강지를 설치하는 것이 좋다. 식생형 시설의 침강지는 유속을 줄여주는 역할을 하므로 식생여과대의 유입 유속 감소로 유입부 파손 방지, 저류를 통한 협잡물 침전 효과 및 유량조절조의 역할을 한다. 따라서 식생형 시설로 유입되기 전에 적어도 수질처리용량의 10%에 해당하는 전처리시설을 설치하는 것이 좋다.

(4) 식생형 시설 구조

① 계획된 강우유출수를 적절히 처리하기 위해 길이방향의 경사가 5% 이하로 하는 것이 바람직하다.
② 식생 및 토양층과 강우유출수의 유속과 접촉시간을 최대화하여 처리효율을 높이는 것이 좋다.
③ 계획된 강우유출수를 적절히 처리하기 위해 식생형 시설의 폭, 길이, 수심을 결정하여야 한다.
④ 건식 식생수로 설계 시 바닥에 투수성 토양층을 설치하여야 한다.
⑤ 식생형 시설의 유속, 면적, 길이 등 식생과 토양에 의한 침투, 퇴적, 여과 작용이 오염물질의 저감에 적절한지 검토한다.

해설

① 식생여과대의 경우 경사는 2 ~5% 범위에서 결정한다. 이보다 경사가 급할 경우 채널형성에 의한 단회로 문제가 일어날 수 있으며 또한 너무 경사가 완만하면 물이 여과대 표면에 정체될 수 있다.

식생수로의 경사는 최소 1%, 최대 4%를 초과하지 않도록 설계해야 하며 1 ~ 2%의 경사가 이상적이다. 지형적인 특성상 경사가 2%를 초과할 경우에는 에너지 경사를 제한하여 권장된 1~2% 경사를 만족하도록 15~30cm의 낙차공을 설치한다. 낙차공 직하부에는 에너지감쇄공을 구비하는 것이 좋다.

② 강우유출수의 유속과 유하시간(수리학적 체류시간)은 식생형 시설 설계 시 중요한 인자이며, 식생을 거쳐 느리게 흐를수록 토양과 식생에 의한 여과, 흡착 작용에 의해 오염물질의 제거율을 높일 수 있다.

식생여과대의 경우 유속이 느릴수록 강우유출수가 식생 및 토양층과 오래 접촉하므로 여과, 흡착 작용에 의해 오염물질의 제거율을 높일 수 있다. 또한, 전체 표면으로 면상류가 이루어져야 오염물질 제거에 효과가 있으며, 특정구역으로 강우유출수가 집중되면 세굴(channeling)현상이 일어나 처리용량이 크게 훼손되며 식생 및 토양과의 접촉시간이 줄어든다. 따라서, 식생여과대 내 최대 유속은 0.4m/s 이하로 설계한다.

또한, 식생여과대 내 유하시간이 길어지면 식생과 토양층에 의한 여과와 침투로 인한 식생여과대의 저감효율을 높일 수 있다. 따라서 식생여과대는 최소 9분의 유하시간(수리학적 체류시간)을 가지도록 설계 하여야 오염물질 제거 효율을 기대할 수 있다.

식생수로의 경우 식생을 거쳐 유속이 느리게 흐를수록 식생에 강우유출수와 식생 및 토양층과의 접촉 시간이 증가하여 여과, 흡착 작용에 의해 오염물질의 제거율을 높일 수 있다. 강우 시 발생하는 최대유속이 토양과 식생에서 침식을 일으키지 않는지 검토하며, 식생수로의 최대 유속은 0.8m/s가 초과하지 않도록 한다.

또한, 식생수로 내 유하시간이 길어지면 식생과 토양층에 의한 여과와 침투로 인한 식생수로의 저감효율을 높일 수 있다. 식생수로는 오염물질 제거에 있어서 강우유출수가 최소 9분의 유하시간(수리학적 체류시간)을 가지도록 설계하여야 오염물질 제거효율을 기대할 수 있다.

③ 식생여과대와 식생수로 설계 시 폭, 길이, 수심을 결정하여야 한다.

식생여과대 설계 시 폭은 최소 6m 이상으로 설계하여야 유입되는 강우유출수가 일정하게 배분되어 식생여과대로 유입된다.

미세한 침전물의 제거를 위해서 최소 7.5m 이상의 길이를 확보해야한다. 식생여과대에 소단(투수성 둑)을 설치 할 경우 유하시간(수리학적 체류시간)을 증가시킬 수 있어 부지면적을 감소시킬 수 있다. 소단이 없는 경우 식생수로의 길이산정 방법과 동일하게 설계하며, 소단이 있는 경우 소단의 높이를 선정한 후 수질처리용량의 50%가 소단에 의해 차집되도록 설계한다. 소단의 최대 높이는 0.3m 이하로 설계한다.

강우유출수가 식생여과대 표면을 거쳐 흘러야 높은 제거 효율이 나타난다. 또한 수심이 높을 경우 식생 및 토양과의 접촉이 원활하게 이루어지지 않으므로 식생여과대 내 최대 수심은 25mm가 되도록 설계한다.

식생수로 설계 시 바닥에 고랑이 생기는 것을 방지하기 위해 최대 바닥 폭은 2.5m 보다 넓어서는 안 되며, 수로는 대부분의 조건의 경우 적당한 사면경사(3:1 보다 완만)로 설계되어야 한다. 사면 경사는 2:1(가로:세로)보다 급하면 안 된다.

길이는 유입되는 오염물질이 침투, 침전, 여과를 통해 제거 될 수 있는 충분한 길이를 확보해야

하므로 최소 30m 이상으로 한다.

식생수로 내에 흐르는 최대 수심은 수로 내 식생종에 의하여 결정된다. 수로 내 잔디가 식재되었을 경우 최대수심은 7.5cm 이하, 그 외 식종의 식물이 조성될 경우에는 최대수심을 식물의 평균 높이보다 5mm 이하로 한다. 식물의 침수로 인한 문제와 여과능력 유지를 위하여 대규모 강우 사상이 발생했을 때에도 범람하지 않도록 한다. 침수를 예방하기 위한 수로제방 여유고는 최대수심으로부터 15 ~ 30cm 를 부여하여 설계한다.

④ 건식 식생수로의 경우 설계 시 바닥 밑에 30cm ~ 60cm 정도의 투수성 토양을 설치해야 한다. 투수성토양층은 약 30cm의 쇄석층과 흙과 자갈을 혼합하여 15cm 이상의 토양층을 설치하고, 흙과 자갈 혼합층 아래 자갈과 암거 유공관 등으로 구성된 배수시스템을 설치한다.

⑤ 설계용량 산정방법은 다음과 같다.

● 식생여과대

단위 폭 당 유량 산정은 아래의 Manning's 공식을 이용한다.

$$q = \frac{1}{n} y^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

q = 식생여과대 단위 폭 당 유량 ($m^3/s/m$),
y = 최대 허용수심(0.0254m)
n = 조도계수
S = 식생여과대의 흐름방향 경사

식생여과대의 바닥 폭은 단위폭당 유량과 수질처리유량(WQF)를 이용하여 산정한다.

$$q = \frac{Q}{W} \rightarrow \quad W = \frac{WQF}{q}$$

WQF = 수질처리유량(Water Quality Flow, m^3/s)
W = 식생여과대 바닥 폭(m)
q = 식생여과대 단위 폭 당 유량($m^3/s/m$)

식생여과대에서의 유속은 식생여과대 단위 폭당 유량과 최대 허용수심을 이용하여 산정하며 0.4m/s 이하가 되도록 설계한다.

$$V = \frac{q}{y} \langle 0.4m/s$$

V = 식생여과대 유속(m/s)
q = 식생여과대 단위 폭 당 유량($m^3/s/m$)
y = 최대 허용수심(0.0254m)

식생여과대의 길이는 소단이 있는 경우와 없는 경우로 구분하여 산정한다.

– 소단이 없는 경우

$$Tr = \frac{L}{V}$$

$$L = V \times Tr$$

V = 식생여과대 유속(m/s)
Tr = 유하시간(sec)
L = 식생여과대 길이(m)

– 소단이 있는 경우

소단의 높이를 산정한 후, 수질처리용량의 50%가 소단에 의해 차집되도록 설계

$$\frac{WQv}{2} = \frac{1}{2} W \times h \times L$$

$$WQv = W \times h \times L$$

$$L = \frac{WQv}{W \times h}$$

WQv = 수질처리용량(m^3)
L = 식생여과대 길이(m)
W = 식생여과대 폭(m)
h = 소단의 높이(m)

● 식생수로

식생수로의 바닥 폭은 수질처리유량(WQF)을 이용하여 아래 식으로 결정한다.

$$W = \frac{n \times WQF}{D^{\frac{5}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}$$

W = 식생수로 바닥 폭(m, 최대 2.5m)
WQF = 수질처리유량(Water Quality Flow, m^3/s)
식생수로 저류시설을 통과하여 식생수로로 유입되는 평균 유량
D = WQF 통수가능 깊이(m, 최대 0.1m)
S = 식생수로의 종단경사

식생수로의 유속은 수질처리유량(WQF)을 이용하여 결정하며 그 값이 0.8m/s 이하가 되어야 한다.

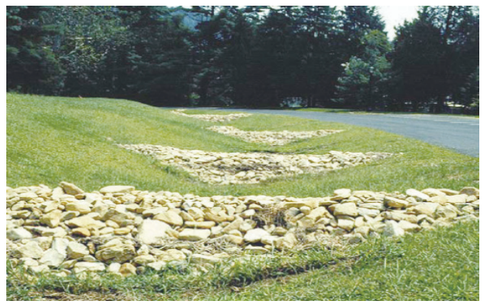
$$V = \frac{Q}{A} = \frac{WQF}{W \times D} < 0.8m/s$$

Q = 유량 (m^3/s)
0.8m/s = 식생수로 최대 허용 유속 당 폭 산정

식생수로의 길이는 아래의 식으로 산정한다.

$$L = V \times Tr$$

L = 식생수로 길이(m)
Tr = 유하시간(수리학적 체류시간), (sec)



〈그림 34〉 보가 설치된 식생수로 예

◉ 유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준 (시행규칙 별표 18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.
나. 슬러지 및 협잡물 제거
① 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.
② 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.
③ 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.
다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.
라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.
마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.
바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 식생형 시설

가. 식생이 안정화되는 기간에는 강우유출수를 우회시켜야 한다.
나. 식생수로 바닥의 퇴적물이 처리용량의 25퍼센트를 초과하는 경우에는 침전된 토사를 제거하여야 한다.
다. 침전물질이 식생을 덮거나 생물학적 여과시설의 용량을 감소시키기 시작하면 침전물을 제거하여야 한다.
라. 동절기(11월부터 다음 해 3월까지를 말한다)에 말라 죽은 식생을 제거 · 처리한다.

나) 관리 · 운영기준 해설

① 식생수로 주변의 풀베기 작업을 실시하며 안전사고에 유의하고 수로 바닥의 퇴적물이 계획된 처리용량의 25%를 초과하였을 때에는 침전된 토사를 제거하는 것이 바람직하다.

② 전처리 시설인 침강지 퇴적물 준설은 정기적으로 수행하여야 하며, 태풍 및 집중 호우 발생 시 집중적 관리가 필요하다.

③ 식생대 지역의 토양 교란을 최소화시킬 수 있도록 식생대 지역에서의 장비 사용을 억제하는 것이 바람직하다.

④ 식생수로에는 정화능력이 뛰어난 수생식물이 조성되도록 관리하고, 과성장된 식물은 주기적으로 풀베기 작업을 하여 수로의 유수흐름에 지나친 장애요인이 되지 않도록 하여야 한다.

⑤ 동절기에 말라 죽은 식생을 제거 · 처리하는 것이 바람직하다.

해설

① 식생수로 주변에 식생이 과다번성할 경우 수로에 대한 인지가 불확실해지고 안전사고 등이 우려되므로 수로 주변의 식생을 관리하는 것이 바람직하다. 또 습식 식생수로의 경우 퇴적물이 수로 계획고의 25%를 초과하면 토사를 제거하는 것이 좋다.

② 식생수로의 안정적인 저감 효율 확보를 위해서 침강지의 퇴적물 준설이 필요하다. 식생수로 침강지 퇴적물 준설은 정기적으로 수행하도록 하며, 태풍 및 집중 호우 발생 시 각별한 관리가 필요하다. 비 강우 기간이 길어지면, 식생수로 침강지 내 악취, 모기 및 해충 등의 발생가능성이 있으므로, 정기적인 관리가 필요하다. 또한 식생수로 침강지의 유입 및 유출부 등의 손상여부를 점검하고 손상된 경우 즉각 보수해야 한다.

③ 식생여과대, 식생수로 지역은 토양을 압착하거나 다짐이 발생할 경우 설치 시 기능에 영향을 줄 우려가 있으므로 중장비등의 통행을 제한해야하며, 유지관리를 위해 장비를 사용할 경우에도 제한적으로 적용하는 것이 바람직하다.

④ 식생이 과성장하거나 퇴적물(쓰레기, 풀베기 작업 후 식물 잔재물 등)을 제거하지 않을 경우 수로 내 물의 흐름이 변경되고 지속적 편류 발생으로 인해 수로 바닥의 침식을 야기할 수 있다. 또 유로편중이 발생하거나 시설의 효율이 감소될 수 있다.

⑤ 「인공습지 유지관리」를 참조한다.

〈표 25〉식생형 시설 설계 체크리스트

점검사항	비고
물리적 · 환경적 실현가능여부	
식생대 설치부지의 경사도	
하천 제외지 여부	
유입 · 유출부 안전여부	
수로의 사면경사(2:1 이하)	
유입지점 자갈격벽 설치(최소 15cm 높이)	
유입 전의 처리	
수로 내 유속 감쇄시설 및 전처리시설 설치	
– 침강지 설치(수질처리용량의 10% 이상)	
– 유입구 자갈격벽 설치	
식생형 시설 구조	
수로 내 수질처리용량의 일시 저류 가능 여부	
수로 바닥 폭, 길이, 수심, 유속, 체류시간 확보 여부	
설계용량 산정 검토	
건식 식생수로 하부 투수성 여과상 충전	
건식 식생수로 여과상 하부 자갈층 충전 및 다공성 관로 설치	
습식 식생수로 부지의 지하수위 및 토양 침투율	
식생방안	
식생 조밀도 적정성	
식물종 선택의 적정성(부지조건, 토양조건, 수분조건)	
도로변 유출수에 대한 내염성 식물 식재여부	

〈표 26〉 식생여과대 유지관리 활동 및 계획

유지관리 활동	계획
• 잔디는 5 ~ 10cm 높이로 유지	규칙적으로
• 유입유량 스프레더의 폐쇄여부 점검과 퇴적물제거	1년 단위로 점검 (단, 조성 후 첫해에는 1년에 2회 실시)
• 침식방지용 식생의 점검	
• 잔디가 적절하게 성숙되었는지 점검 • 그렇지 않을 경우 다른 품종으로 교체	

〈표 27〉 식생여과대 유지관리 체크리스트

- 시설명 :
- 관리인 성명/주소/전화번호 :
- 점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	특이사항/작업내용
쓰레기 제거	
쓰레기 제거여부	
식생여과대 위 퇴적물 제거 여부	
식생	
식생의 건전 여부	
필요 시 풀베기 여부	
침식징후 여부	
유량분배장치	
패쇄여부	
식생	
침식 여부	
필요시 풀베기 작업 여부	
최소 풀베기 깊이의 초과 여부	

보수활동계획	예정일

점검자 서명 :　　점검자 성명 :

〈표 28〉 식생수로의 유지관리 활동 및 계획

점검사항	계획
• 씨앗파종 후와 공사완료 후, 첫 번째 대형호우 후 식생상태, 수로 측벽과 바닥의 피해여부 점검	공사 후
• 침식여부, 불건전한 식생상태와 피해, 침수지역, 채널링, 쓰레기, 퇴적물 축적상태 점검, 장마기 전후에 점검하고 폭우발생 후 점검	6개월 간격으로
• 레벨 스프레더 폐쇄여부와 수로측벽 경사면의 잔디상태와 침식여부 점검, 잔자갈 격벽 폐쇄여부 점검 • 침사지 또는 기타 전처리 시설 쓰레기와 퇴적물 축적상태 점검	1년에 한번씩
유지관리 활동	**계획**
• 안전과 심미적 또는 기타 목적으로 잔디의 키를 5 ~ 10cm로 유지하기 위해 풀베기작업 실시, 풀베기작업 전에 반드시 쓰레기 제거, 풀베기작업 후 식물잔재물이 수로로 유입되는 일이 없도록 할 것 • 건기동안 또는 식생유지에 필요할 경우 수로에 물을 댈 것 • 피해지역(침식)을 보수하고 필요할 경우 식생의 재건작업을 실시하며 침입종을 제거, 비료, 제초제, 살충제의 사용은 절대적으로 필요하다고 판단될 때를 제외하고는 금함(살포량 최소화)	필요할 경우 (빈번하게 또는 계절에 한번)
• 쓰레기, 돌멩이 등을 제거하고 적절히 처분 • 유입구와 잔자갈 격벽의 퇴적물과 쓰레기 청소	6개월 간격으로
• 잔자갈 격벽 폐쇄여부 점검 및 청소 작업 • 초기에 식재한 잔디가 정착하지 못한 경우 대체 잔디종으로 교체, 재파종하거나 객토작업 실시	1년에 한 번씩 또는 필요할 경우
• 수로에서 물 흐름에 장애가 되는 퇴적물 제거. 토사가 수로나 암거에서 8cm 이상 축적될 때 또는 식생을 덮고 있거나 전체 수로유효용적의 10% 이상 퇴적물이 쌓일 때 제거. 퇴적물 청소과정에서 훼손된 잔디의 교체 • 침사지와 전처리 지역의 축적된 퇴적물 제거 • 수로인근, 유출부 침식지역의 보수, 필요하면 안정화 작업(견치석 쌓기, 뗏장잔디)을 수행 • 건식수로의 배수시간이 48시간을 초과할 때에는 모래와 토양여과층을 갈아 엎음, 작업 후 다시 식생을 조성함	필요할 경우 (불규칙적으로)

〈표 29〉 식생수로 유지관리 체크리스트

- 시설명 :
- 관리인 성명/주소/전화번호 :
- 점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	특이사항/작업내용
쓰레기 제거	
쓰레기 제거여부	
퇴적물 제거 여부	
유량조절둑 또는 에너지감쇄장치	
구조물주변으로 물이 흐른 흔적이 없는지	
하류 말단부에서 침식 여부	
토양 투수성	
지하수/ 기반암	
식생 및 수로상태	
식생의 건전 여부	
필요 시 풀베기를 하였는지	
최소 풀베기 깊이를 초과하지 않도록	
침식의 흔적이 없는지	
지침에 의거 비료가 주어졌는지	
수로바닥과 측벽 침식여부	
배수	
비강우 시 배수	
퇴적물 침전	
퇴적물 제거	
유출입구 및 비상여수로	
상태양호, 수리필요성 없음	
침식여부	
토사퇴적여부	

보수활동계획	예정일

- 점검자 서명 :　　점검자 성명 :

02 저영향개발(LID)기법 시설

저영향개발 기법의 시설은 비점오염을 저감함과 더불어 수질 및 수생태계 건강성 향상, 도시 침수 및 열섬현상 완화, 도시경관 개선 등의 다양한 효과를 가진다.

해설

저영향개발(LID, Low Impact Development)기법의 시설로는 「건강한 물순환 체계 구축을 위한 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인」(환경부, 2013)에서 제시된 바와 같이 다양한 시설이 있다. 가이드라인에서는 총 11가지 기술요소를 제시하고 있는데, 본 매뉴얼의 식생형 시설, 침투시설과 중복되지 않는 식생체류지, 나무여과상자, 식물재배화분에 대해서만 시설기준을 제시하기로 한다. 또 유지관리기준은 침투시설과 동일하므로 별도로 제시하지 않는다. 본 매뉴얼에서는 장(章)을 달리하여 수록하였으나 상기의 시설은 식생형 시설에 포함되는 것으로 본다.

〈표 30〉 저영향개발 기술요소의 종류 및 특성

기술요소	저류 기능	여과 기능	침투 기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
식생체류지 (Bioretention)	V	V	V	V	V	V	V	⦿	⦿
옥상녹화 (Greenroof)	V	V		V	V		V	⦿	–
나무여과상자 (Treeboxfilter)		V	V			V	V	⦿	⦿
식물재배화분 (Planter box)		V	V	V	V	V	V	⦿	○
식생수로 (Bioswale)	V	V	V	V	V	V	V	⦿	⦿
식생여과대 (Bioslope)		V	V	V	V		V	○	⦿
침투도랑 (Infiltration trench)	V	V	V	V		V	V	⦿	⦿

기술요소	저류 기능	여과 기능	침투 기능	증발산	생태 서식처	지하수 함양	심미성	적용성	
								단지	도로
침투통 (Dry wells)	V	V	V			V		⦿	○
투수성포장 (Porous pavement)		V	V	V		V		⦿	○
모래여과장치 (Sandfilter)		V	V			V		○	△
빗물통 (Rain barrel)	V							⦿	–

식생체류지 (Bioretention)

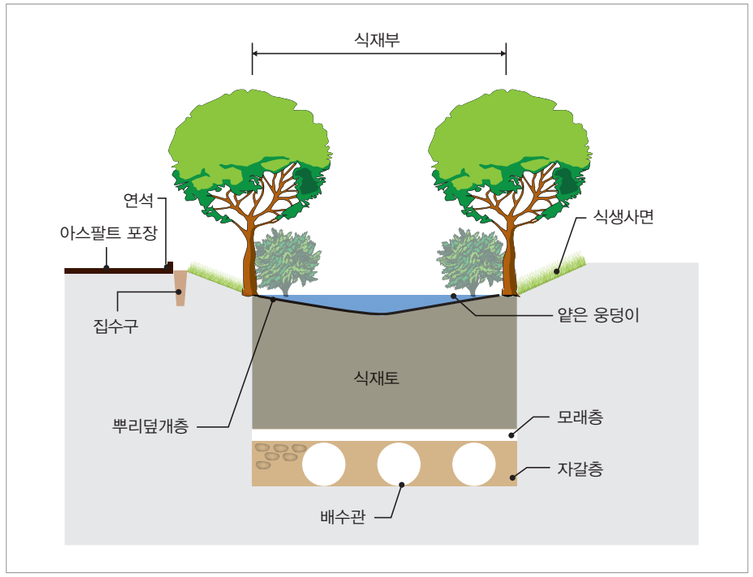
◉ 시설개요

식생체류지는 식물이 식재된 토양층과 모래층 및 자갈층 등으로 구성되며, 강우유출수가 식재토양층 및 지하침투 과정에서 비점오염물질을 저감시키는 시설이다.

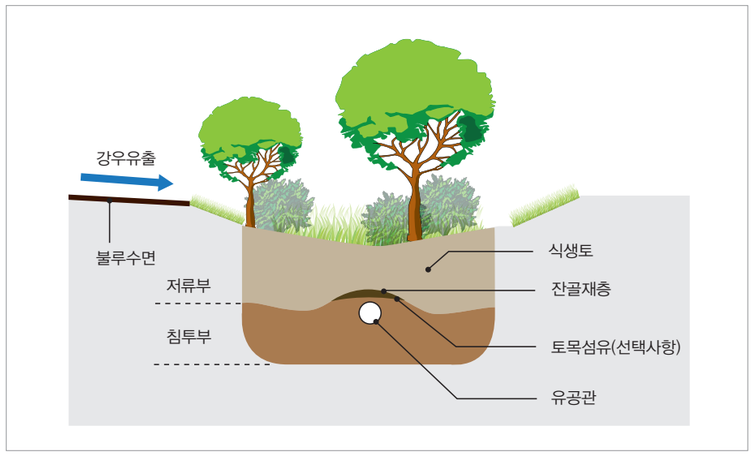
해설

식생체류지는 잔디, 초본식물, 나무 등 다양한 식생들을 식재하여 강우유출수를 침투 및 여과시켜 비점오염물질을 저감시키는 시설로 복합적 기능을 가지고 있다.

식생체류지는 저비용으로 고효율의 강우유출수 관리를 할 수 있으며, 경관성과 심미적 효과가 높고, 주거단지, 산업단지, 각종 공원, 도로, 주차장 등 다방면의 입지에 적용 가능하며, 기존 녹지를 활용할 수 있으므로 부지확보가 용이하다. 기존 녹지공간을 활용하지 않을 경우 비교적 넓은 부지 면적이 소요되므로 토지이용계획 수립 시 설치 부지를 사전에 확보하는 것이 필요하다.



〈그림 35〉 식생체류지 구조



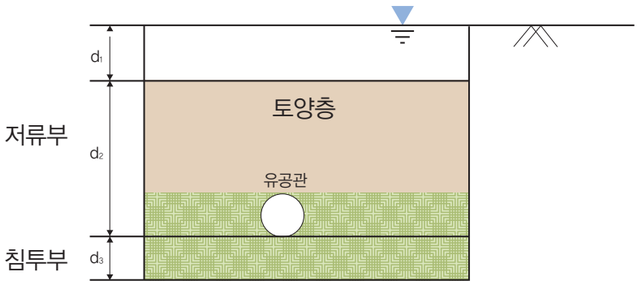
〈그림 36〉 투수지역에 설치되는 식생체류지 구조

◉ 설치기준

① 식생체류지는 유입부, 침강지, 저류 및 침투부 등으로 구성된다.
② 식생체류지는 토양층, 모래층, 자갈층 등으로 구성할 수 있다.
③ 식생체류지의 폭은 최소 50cm 이상으로, 깊이는 최소 0.8m 이상으로 한다.
④ 식생체류지의 식생은 초본 또는 관목으로 구성한다.
⑤ 식생체류지는 강우 후 최대 3일 이내에 전체 수질처리용량이 배제되도록 설계하여야 한다.

해설

① 주거 및 상업지역의 보도, 주차장, 수변공간의 도로와 보도 인근에 적용이 가능하며, 도심지 경관을 향상시키고 친환경적인 개선을 도모할 수 있다. 식생체류지의 형상은 원형, 각형 등 현장에 따라 다양하게 계획할 수 있으나, 단회로(Short circuiting)를 방지하고 충분한 처리시간을 확보하도록 한다. 이러한 식생체류지는 유입부, 침강지 및 저류와 침투부 등으로 구성되며, 저류와 침투부는 다양한 층의 토양으로 구성된다.



〈그림 37〉 식생체류지의 단면 개념도

식생체류지를 비롯한 나무여과상자, 식물재배화분, 유공포장도 모두 동일하게 적용할 수 있다. 〈그림 37〉의 담수심(d_1)은 초기우수가 담수되는 저류공간이며, 저류부는 인위적인 식생 토양층 중 유공관까지를 말한다. 저류부(d_2)는 유공관으로 처리된 초기우수가 빠지게 되므로 침투와는 무관하다. 그러나 유공관 아래는 침투를 통해 초기우수가 처리된다. 따라서 침투부(d_3)는 원지반 토양의 투수속도 등을 고려하여 설계하는 것이 타당하다.

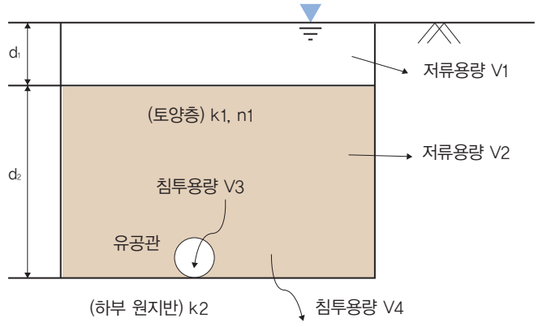
② 식생체류지의 저류와 침투부는 식물이 식재된 토양층과 모래층 및 자갈층 등으로 구성되며, 강우유출수가 식재토양층 및 지하침투 과정에서 비점오염물질을 저감시키는 시설이다. 빗물정원(Rain garden)도 본 시설에 속하며 동일한 시설기준을 따른다.
③ 식생체류지의 상부 담수심은 15 ~ 30cm 정도로 하고 폭은 최소 0.5m 이상으로 하며, 토양층은 30 ~ 60cm로 조성할 수 있다. 물의 저류 및 침투를 위하여 내부 공극은 최소 0.35 이상을 확보한다.
④ 식생체류지의 식생은 다년초 및 관목 등을 적절히 구성하여 식재한다. 단, 시설이 도로 또는 시내에 설치될 때는 시야확보와 경관을 위하여 관목의 경우 1.2m 이하로 조성함이 바람직하다.
⑤ 식생체류지는 강우 후 최대 3일(72시간) 이내에 전체 수질처리용량을 모두 배제하도록 설계되어야 한다. 식생체류지는 강우 시 강우유출수를 받아 처리한 후 전량 배수되어야 다음 강우사상에 대비할 수 있다.

◉ 규모 산정방법

식생체류지의 규모는 수질처리용량에 근거하여 산정한다.

해설

식생체류지의 설계를 위해서는 담수심(d_1)의 용량 V_1, 토양층에 저류되는 용량 V_2, 차집시간동안 유공관으로 나가는 용량 V_3, 하부원지반으로 침투되는 용량 V_4 모든 용량의 합이 수질처리용량(WQv)보다 크도록 설계한다.



〈그림 38〉 식생체류지의 용량산정 개념도

수질처리용량은 다음 각각의 용량의 합으로부터 계산된다.

$V_1 = A \times d_1$, $V_2 = n_1 \times A \times d_2$, $V_3 = k_1 \times A \times T$, $V_4 = k_2 \times A \times T$

시설의 용량 $\Sigma V \geq WQv$

$= V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

$= (A \times d_1) + (n_1 \times A \times d_2) + (k_1 \times A \times T) + (k_2 \times A \times T)$

$= A\,(d_1 + n_1 \times d_2 + k_1 \times T + k_2 \times T)$

식생체류지의 표면적 A_f는

$$A_f = \frac{WQv}{d_1 + n_1 \times d_2 + T_f(k_1 + k_2) \times 10^{-3}}$$

A_f = 식생체류지의 표면적(m^2)

WQv = 수질처리용량(m^3)

d_1 = 담수심 깊이(m)

n_1 = 식재토양층의 공극율

d_2 = 식재토양층의 깊이(m)

k_1 = 식재토양층의 투수속도(mm/h)

k_2 = 하부토양의 침투속도(mm/h)

T_f = 유입시간(h, 2시간 적용)

단, 유입시간에 대한 자료가 있는 경우 해당자료를 활용

이 식은 식생체류지, 나무여과상자, 식물재배화분, 유공포장(하부유공관 있는 경우)등에 공통으로 적용될 수 있다.

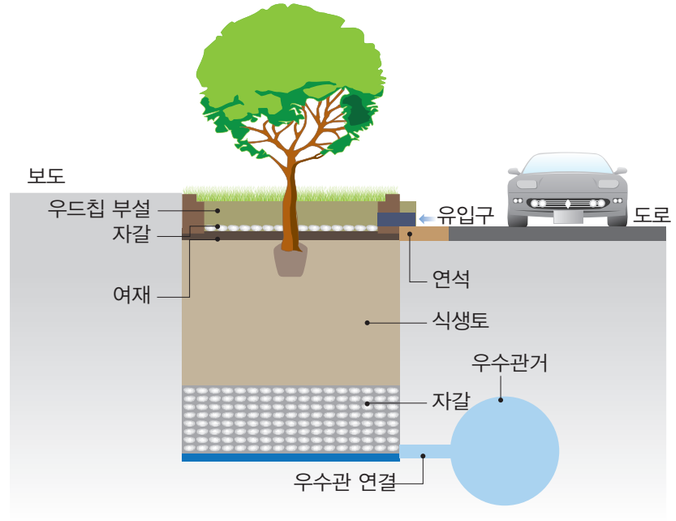
나무여과상자 (Tree box filter)

◉ 시설개요

나무여과상자는 나무 또는 큰 관목이 식재된 박스를 매립하여 식재토양층의 여과 및 나무의 생화학적 반응을 통해 강우유출수에 포함된 오염물질을 저감시키는 시설이다.

해설

나무여과상자는 주로 맨홀 등의 시설로 유입되기 전 가로수 조경공간에 주로 설치되므로 추가적인 부지소요가 적어 시가화 지역의 도로에 적용하기 용이한 시설이다.



〈그림 39〉 나무여과상자 개념도

◉ 설치기준

① 나무여과상자는 유입수의 에너지 분산을 위하여 표면에는 약 5cm 깊이의 자갈층을 두는 것이 좋다.

② 나무여과상자는 유입된 강우유출수를 여과시킨 후 기존 우수관으로 유출되도록 하여야 한다.

③ 나무여과상자의 규모는 폭 1m와 길이 1m를 기준으로 한다.

④ 나무여과상자는 강우량이 많아 설계유입량을 초과할 경우를 대비하여 월류시설을 설치하여 월류된 강우유출수가 기존 우수관로로 배수될 수 있도록 하여야 한다.

⑤ 나무여과상자 내 수목은 가뭄, 침수, 염분에 내성이 있는 것으로 선정하여야 하며, 수목의 뿌리가 지나치게 빨리 성장하는 수목은 피해야 한다.

해설

① 나무여과상자는 유입부의 낙차가 있을 경우 세굴을 방지하기위해 자갈층을 상부에 두거나 유입부에 에너지 감쇄공을 설치하는 것이 좋다.

② 나무여과상자는 도로에서 유출된 강우유출수를 나무여과상자로 유도한 이후 여과와 침투과정을 거쳐 오염물질을 제거한 이후 기존 우수관으로 유출되도록 설계 한다. 물의 저류 및 여과를 위하여 내부 공극은 최소 0.35 이상을 확보하는 것이 바람직하다.

③ 나무여과상자는 도로의 가로수 공간에 설치되어야 하기 때문에 규모에 제한이 있다. 따라서 나무여과상자의 일반적 규모는 폭 1m와 길이 1m를 기준으로 하고 수질처리용량에 적합하도록 깊이와 개수를 산정한다.

④ 강우량이 많아 설계유입량을 초과할 경우에는 월류시설을 설치하여 월류수를 기존 우수관로로 배수시켜야 한다.

⑤ 나무여과상자에 조성되는 관목은 가뭄, 침수, 염분에 내성이 있는 것으로 선정하여야 한다. 또한 수목선정 시 뿌리가 지나치게 빨리 성장하는 종은 피해야 한다.

식물재배화분 (Planter box)

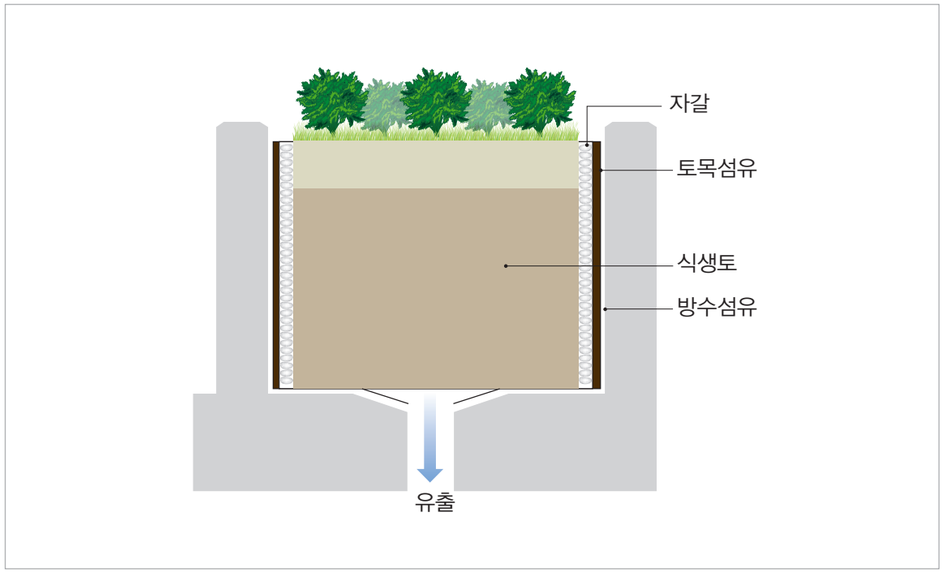
◉ 시설개요

식물재배화분은 식물이 식재된 토양층과 그 하부를 자갈로 채워 강우유출수를 식재토양층 및 지하로 침투시켜 오염물질을 저감시키는 시설이다.

해설

주거 및 상업지역의 보도, 주차장, 수변공간의 도로와 보도 인근에 적용이 가능하며, 도심지 경관을 향상시키고 친환경적인 개선을 도모할 수 있다.

식물재배화분은 현장여건에 따라 식물재배화분을 둘러싼 벽체가 있는 시설과 벽체가 없는 시설 또는 좁은 저류지와 같은 시설 등 그 형태와 구성에 따라 다양하게 적용할 수 있다.



〈그림 40〉 식물재배화분 개념도

◉ 설치기준

① 식물재배화분은 다양한 형상으로 설계할 수 있으며, 단회로를 고려하여 설계한다.

② 식물재배화분은 상부로부터 저류층, 식재토양층, 하부 자갈층 등으로 구성되며, 적정 폭은 최소 50cm 이상으로 한다.

③ 식물재배화분은 초본과 관목으로 적절히 조합하여 식재 한다.

④ 강우량이 많아 설계유입량을 초과할 경우를 대비하여 월류시설을 설치한다.

⑤ 조성되는 수목은 가뭄, 침수, 염분에 내성이 있는 것으로 선정하여야 하며, 수목의 뿌리가 지나치게 빨리 성장하는 수목은 피해야 한다.

⑥ 식물재배화분은 강우 후 최대 3일 이내에 전체 수질처리용량이 배제되도록 설계하여야 한다.

해설

① 식물재배화분의 형상은 원형, 각형 등 현장에 따라 다양하게 계획할 수 있으나, 단회로(Short circuiting)를 방지하도록 설계한다.

② 식물재배화분은 폭은 최소 50cm 이상이 되도록 설치하는 것이 좋다. 식물재배화분의 바닥경사는 모든 방향에서 0.5% 이상이 되지 않도록 주의한다. 물의 저류 및 여과를 위하여 내부 공극은 최소 0.35 이상을 확보하는 것이 바람직하다.

③ 식물재배화분 조성 식재는 초본과 관목을 적절히 조합하여 식재하며, 심미성과 경관성을 고려하여 설계한다.

④ 강우량이 많아 설계유입량을 초과할 경우에는 월류시설을 설치하여 월류수를 기존 우수관로로 배수시켜야 한다.

⑤ 관목은 가뭄, 침수, 염분에 내성이 있는 것으로 선정하여야 한다. 또한 수목선정 시 뿌리가 지나치게 빨리 성장하는 종은 피해야 한다.

⑥ 식물재배화분은 강우 후 최대 3일(72시간) 이내에 전체 수질처리용량을 모두 배제하도록 설계되어야 한다. 강우 시 강우유출수를 받아 처리한 후 전량 배수되어야 다음 강우사상에 대비할 수 있다.

◉ 규모 산정방법

식물재배화분의 규모 수질처리용량에 근거하여 산정한다.

해설

식물재배화분은 처리된 강우유출수가 전량 유공관으로 유출되는 경우와 유공관과 하부토양으로 침투되는 경우로 구분할 수 있다. 후자의 경우에는 식생체류시설의 산정식을 이용할 수 있으며, 전자의 경우에는 다음의 식으로 식물재배화분의 규모를 산정한다.

$$A_f = \frac{WQv}{d_1 + n_1 \times d_2 + T_f \times k_1 \times 10^{-3}}$$

A_f = 식물재배화분의 표면적(m^2)

WQv = 수질처리용량(m^3)

d_1 = 담수심 깊이(m)

n_1 = 식재토양층의 공극율

d_2 = 식재토양층의 깊이(m)

k_1 = 식재토양층의 투수속도(mm/h)

T_f = 유입시간(h, 2시간 적용)

단, 유입시간에 대한 자료가 있는 경우 해당자료를 활용

03 장치형 시설

장치형 시설은 물리 · 화학적, 생물학적 원리를 이용한 장치를 이용하여 비점오염물질을 저감하는 시설로서 협잡물, 부유물질, 일부 유기물질 등의 제거에 효과가 있으나, 용존유기물질, 영양염류, 중금속 등을 저감하는 데는 한계를 가진다.

해설

장치형 시설은 비교적 불투수 면적이 넓으면서 토사의 유입이 적은 장소에 설치하는 것이 효과적이며 와류형 시설, 스크린형 시설은 독립적인 설치보다 전처리 장치로 설치하는 것이 바람직하다.
장치형 시설은 대부분 물리적인 처리기작으로 비점오염물질을 저감하기 때문에 입자성 물질의 제거에 유리하다. 응집 · 침전 처리형 시설은 화학적 처리기작을 가지므로 인(Phosphorus), 중금속 등의 저감효율이 상대적으로 높을 수 있다.
생물학적 처리형 시설은 미생물에 의한 유기물제거가 가능한 시설이나 처리대상수의 간헐적 유입보다는 연속적인 유입이 요구된다. 이에 일반적 생물학적 처리시설과 유사하여 본 매뉴얼에서는 구체적으로 언급하지 않는다.
비점오염원의 관리를 위해서는 장치형 시설 등의 구조적인 저감시설과 함께 비구조적 대책들이 병행되어야 한다.

여과형 시설

◉ 시설개요

여과형 시설은 여과효과를 가지는 다양한 형태의 여재에 강우유출수를 통과시켜 비점오염물질을 저감하는 시설로 전처리조와 여과조로 구성될 수 있다.

해설

여과형 시설은 인위적인 구조물 내에 여재층과 여재의 세척 및 강우종료 후 정체수를 강제 배수할 수 있도록 하여 강우유출수 내 오염물질을 저감하는 시설을 말한다. 고형물의 여과가 가능한 다양한 형태의 여재로 구성된 여재층을 초기강우가 통과하면서 여재층의 공극이나 표면에 오염물질이 포획되고 강우가 종료된 후에는 여재층에 역세척 등을 통해 장기적이고 지속적인 강우유출수 처리가 가능토록 한다. 또 강우종료 후 인위적인 구조물 내에 정체되는 정체수를 배수하여 다음 강우시 정상적인 여과기능이 이루어질 수 있도록 한다.

◉ 설치기준

가) 법적 설치기준 (시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한 구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나 화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.
3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 여과형 시설

가. 시설의 제거효율, 공사비 및 유지관리비용 등을 고려하여 저장용량, 체류시간, 여과재 등을 결정하여야 한다.
나. 여과재 통과수량을 고려하여 여과 면적과 여과 깊이 등을 설계한다.

나) 설치기준 해설

(1) 설치위치 및 설치조건

여과형 시설을 이용해 비점오염을 저감하기 위해서는 다음과 같은 설치조건 및 입지조건을 고려하여야 한다.

① 배수구역 대부분이 불투수면일 경우에 적용한다.
② 여재 교체, 협잡물제거, 장비 수선 등이 가능한 위치 및 구조로 한다.
③ 시설의 효과를 확인할 수 있는 모니터링이 가능하도록 한다.
④ 시설 구조물의 깊이를 최소화 할 수 있도록 한다.
⑤ 오염물질 제거능력을 증가시키기 위해 다른 시설과 조합하여 설계할 수 있다.
⑥ 무인운전이 가능토록 하며, 단지 등 구역 내 설치되는 시설은 중앙감시 및 관리가 가능토록 감시제어설비를 구성하는 것이 좋다.

해설

① 여과형 시설은 여과조에 충전된 여재가 입자상물질을 포착하면서 오염물질을 저감하는 기작을 가지므로 부유물질(토사 등)의 발생이 많은 지역, 나대지가 넓은 지역 등에 적용하지 않는 것이 바람직하다. 부유물질이 많은 강우유출수를 처리할 경우 여재층 폐색이 쉽게 발생하고 특히 전처리조 및 여재층 하단에 토사가 퇴적되어 유지관리 빈도를 증가시키는 원인이 된다. 이에 여과형 시설은 도시지역의 불투수면을 대상으로 하는 것이 일반적이며, 불투수면이 대부분이여도 배수구역 내 부유물질 발생량이 많은 경우에는 여과형 시설의 설치를 재검토할 필요가 있다.

② 여과형 시설은 주기적으로 전처리조 준설, 여재 교체, 부대 장비 수선 등을 수반하는데 이러한 시설의 보수, 유지관리 등이 용이하지 못한 위치는 시설 설치를 지양하여야 한다. 시설의 공동구 입구 또는 시설에 부속된 맨홀이 도로상에 위치하거나, 시설보수 및 준설장비의 진입이 어려운 곳은 시설 설치위치로 부적정하다. 따라서 시설 설치위치는 유지관리 및 개 · 보수작업이 용이하고 작업공간의 확보가 가능한 곳으로 선정하는 것이 좋다.

여과형 시설은 유지관리, 개 · 보수가 가능한 구조로 설치하여야 한다. 여재 교체, 수선을 위한 설비 반출이 충분한 크기의 공동구 또는 맨홀을 설치하는 것이 타당하며, 지하에 설치되는 시설은 작업자가 시설 내 진입을 위한 사다리 등 안전장비를 반드시 설치하는 것이 타당하다. 또 지하시설의 환기 후 작업이 이루어 질 수 있도록 경고문 및 주의사항을 반드시 부착하여야 한다.

여과형 시설의 전처리조와 여과조 하단부에 퇴적된 퇴적물을 효과적으로 준설할 수 있는 구조로 하는 것이 바람직하다. 하향류식 여과형 시설은 여과조 하단으로 준설장비를 삽입하기 어려울 수 있으므로 준설장비 삽입구 등을 설치하는 등 준설장비 삽입이 가능하도록 하는 것이 좋다. 여과조 내 정체수를 자동배수할 수 있는 시설이더라도 준설이 필요할 수 있으므로 이에 유의하여야 한다.

③ 비점오염저감시설은 주기적으로 시설 내로의 유입수와 유출수를 채수하여 분석하는 모니터링이 필요하다. 이에 모니터링은 주로 강우 시 수행하게 되므로 모니터링 수행자의 안전과 용이성이 담보되도록 시설을 설치할 필요가 있다.

또 신뢰성이 확보되는 유입수와 유출수를 채수할 수 있는 구조로 설치할 필요가 있다. 유입수와 전처리조가 혼합된 지점에서 유입수를 채수하거나 유출수와 우회(By-Pass)유량이 혼합된 지점에서 유출수를 채수하는 경우에 모니터링의 신뢰성이 담보되지 않으므로 이에 유의하여야 한다.

장치형 시설은 깊은 지하심도에 설치되는 경우가 많아 모니터링을 위한 유입수 및 유출수 채수가 어려울 수 있으므로 이를 해소할 수 있는 장비를 설치하는 것이 타당하다. 유입수 및 유출수 채수지점이 지면으로부터 2 ~ 3m 이상 지하에 설치되면 인력으로 채수가 힘들 수 있으므로 지면부 가까이에 지하의 채수관과 연결된 자동채수설비 또는 소형펌프설비 등을 설치하거나, 수동으로 채수할 수 있는 구조물 등을 설치하여 지면부에서 채수가 가능토록 하는 것이 타당하다.

또 유량의 측정이 필요한 경우에는 유량측정이 가능하도록 상시계측기를 설치하거나 필요시기에 계측기를 부착할 수 있는 구조가 되도록 한다.

④ 장치형 시설은 주로 지하에 매설되는 경우가 많으므로 유지관리, 모니터링, 여재교체, 설비반출

등이 용이하도록 시설의 심도를 최소화할 필요가 있다. 또 시설이 지하매설되기 때문에 구조의 수밀성, 부식에 대한 대응력, 토압에 대한 구조 안전성 등을 검토할 필요가 있으며, 지하수위선 아래에 설치될 경우에는 구조물의 부력검토도 실시하는 것이 반드시 필요하다.

⑤ 여과형 시설은 입자상 물질에 의한 막힘 현상이 쉽게 발생할 수 있어 다른 비점오염저감시설의 후처리로 적용할 경우 막힘 현상이 줄어들어 유지관리가 용이하다.

⑥ 여과형 시설이 산업단지 또는 주거단지 내 다수의 개소수로 설치될 경우 자동운전 시설에 대한 최소한의 관리를 위해 중앙 감시제어설비를 설치하고 강우 시 운전 이상여부 등을 확인할 수 있도록 하는 것이 좋다.

(2) 유입부 및 유출부

① 자연유하로 유입되는 시설은 시설 손실수두 이상의 유입 및 유출구 단차를 확보하여야 한다.
② 우수관 등에서 시설로 유입을 위한 유입관은 45° 정도로 하는 것이 좋다.
③ 유입구 관경은 설계유량이 원활하게 유입될 수 있고, 유입유속이 지나치게 크지 않도록 설계한다.
④ 시설 유출구는 여과조의 바닥으로부터 일정높이를 이격시켜야 한다.

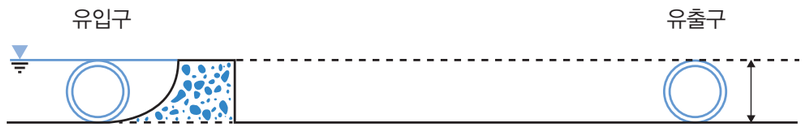
해설

① 여과형 시설은 유입 · 유출관과 여재층 등의 기본적인 손실수두를 가지므로 자연유하로 유입수를 시설로 유입시킬 경우에는 유입관과 유출관의 단차가 요구된다. 유입 및 유출관경의 크기와 여과형 시설의 구조, 여재의 입경 또는 투수속도 등에 따라 시설 고유의 손실수두가 달라질 수 있지만 최소한의 유입 및 유출관의 단차는 30cm 이상 확보하는 것이 바람직하다. 시설의 손실수두를 계산하여 계획한 단차보다 낮은지 여부를 확인할 필요가 있다. 여과형 시설은 강우유출수가 유입되면서 입자상 물질을 포착하기 때문에 시설 운영중에 점차적으로 손실수두가 증가하므로 이를 고려하여 설계하는 것이 바람직하다.

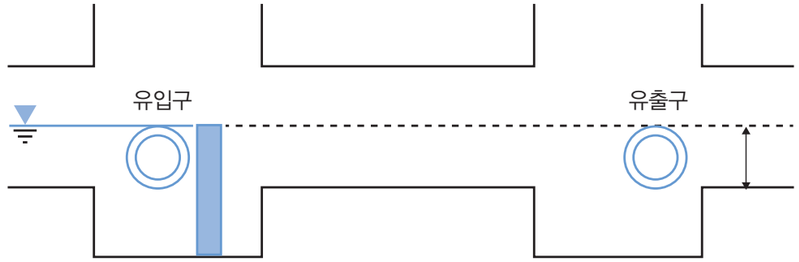
우수본관에서 초기우수를 시설로 유입시키기 위해서는 월류턱 또는 초기우수를 시설로 유도할 수 있는 설비를 설치하여야 한다.

여과형 시설의 단차는 유입부 월류턱과 유출관 바닥의 높이차로 산정할 수 있다. 만약 유입부와 유출부에 맨홀을 설치하는 경우에는 월류턱과 유출부 기존관거 바닥의 높이차로 산정하는 것이 타당하다.

월류턱을 우수본관에 설치할 때에는 기존 우수관의 통수단면이 부족하지 않는지 여부를 확인하여야 하며, 월류턱으로 인해 우수본관의 계획유량에 필요한 통수단면이 만족되지 않을 경우에는 유입부의 우수본관을 확대하여 통수단면을 확보하여야 한다. 맨홀 등을 설치하여 유입부 우수본관을 확대하는 방법도 무방하다.

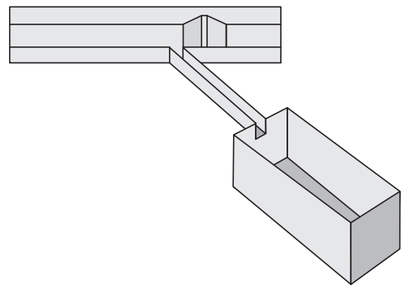


〈그림 41〉 유입관과 유출관의 단차



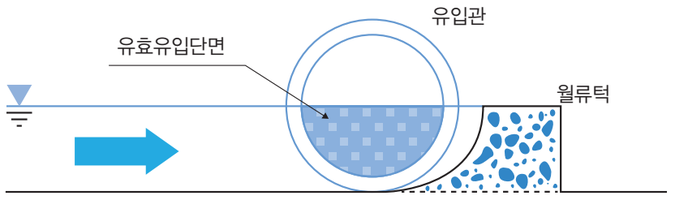
〈그림 42〉 유입관과 유출관의 단차 (유입유출부 맨홀설치 예시)

② 여과형 시설은 우수관거에 월류턱을 설치하여 초기우수를 시설로 유도하는 방법을 대부분 적용하고 있는데 우수관거와 여과형 시설로의 유입관의 각도는 손실수두와 밀접한 관계를 가진다. 유입관의 각도가 90°에 가까워질수록 손실수두가 증가하므로 45° 정도로 설계하는 것이 바람직하다.



〈그림 43〉 우수관거로부터 시설 유입구 분기 예

③ 설계유량이 시설 유입구로 원활하게 유입될 수 있는 관경을 결정할 때 관경의 유효 유입단면은 월류턱까지의 높이로 산정하는 것이 타당하다. 초기우수가 월류되지 않고 시설로 유입될 수 있도록 하기 위해서는 월류턱 높이까지를 고려한 유효 유입단면을 설정하는 것이 타당하다.



〈그림 44〉 유효유입단면 예시

통상 관경을 결정할 때에는 Manning 공식 또는 Kutter 공식 등을 이용할 수 있다. 여과형 시설 유입구의 유속은 손실수두와 밀접한 관련이 있으므로 손실수두가 최소화 될 수 있도록 이를 고려한 유속과 그에 합당한 관경을 결정할 필요가 있다.

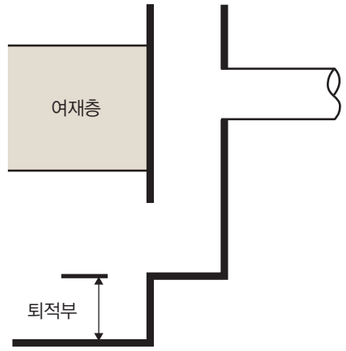
〈표 31〉 유입부 유입유속에 따른 손실수두 계산 예시

유입부 제원 설계특성				유입부 수리특성			
유입관 직경 d (m)	본관 직경 D (m)	직경 비율 (d/D)	분기각 (˚)	손실계수 K	손실수두 h (cm)		
					V=0.01m/s	V=0.1m/s	V=0.5m/s
0.2	1.0	0.2	90	36.65	0.019	1.9	46.7
			60	32.98	0.017	1.7	42.0
			45	27.23	0.017	1.4	34.7
			30	19.40	0.012	1.0	24.7
0.4	1.0	0.4	90	18.24	0.011	0.9	23.2
			60	16.41	0.010	0.8	20.9
			45	13.55	0.008	0.7	17.3
			30	9.65	0.006	0.5	12.3

〈표 31〉은 우수본관이 1,000mm일 때 유입관 직경이 200mm, 400mm의 예를 들어 유입관직경/본관직경(d/D), 유입관 분기각, 유입유속별로 손실수두를 계산한 예이다. 직경비율(d/D)이 0.2, 분기각이 45°, 유입유속이 0.5m/s일 때 손실수두는 약 35cm로 예상된다.

따라서 하수도 시설기준(환경부, 2011)에서 제시하는 우수관거 유속 0.8 ~ 3.0m/s를 적용할 경우 손실수두가 유입 및 유출부 단차보다 커질 우려가 있으므로 주의하여야 한다. 이에 여과형 시설의 유입유속은 0.2 ~ 0.3m/s 이하로 설계하는 것이 바람직하다. 만약 충분한 유입 및 유출부 단차를 확보할 수 있다면 유입유속은 증가될 수 있다. 이 경우에도 시설전체의 손실수두가 단차를 초과할 수는 없다.

④ 여과형 시설 중 하향류식 시설은 여과조 내 여재층 하부에 유출구를 설치하는데 이 경우 여과조 바닥으로부터 약 30cm 이상의 이격을 두는 것이 바람직하다. 여과조 바닥에는 퇴적물이 축적될 수 있어 유출부가 바닥에 있을 경우 바닥에 축적된 퇴적물이 소류될 수 있으므로 적절한 이격거리를 두는 것이 바람직하다.



〈그림 45〉 여과조 바닥부 유출구 예시

(3) 전처리조

① 전처리조는 장방형으로 하며, 길이:폭 비는 2:1 이상으로 하고 유효수심은 1.5~2m정도로 한다.
② 전처리조 규모는 설계유량을 기준으로 한 시설 유효체적의 25%정도로 한다.
③ 전처리조와 여과조의 연결위치 및 연결방법에 주의한다.
④ 전처리조 내에 협잡물을 포집할 수 있는 스크린 또는 망 등을 설치하여 조대협잡물의 제거가 용이하도록 하는 것이 좋다.
⑤ 강우가 종료된 후 전처리조 내 정체수를 배출할 수 있는 배수설비를 설치하는 것이 바람직하다.

해설

① 전처리조는 길이:폭 비율이 2:1 이상의 장방형으로 하고 유입구와 유출구의 거리를 최대한 멀리 위치하도록 하여 고형물이 침전되기에 충분한 체류시간을 주어야 하며, 길이:폭 비율을 2:1 이상으로 설치하기 어려운 경우에는 격벽을 설치하여 길이:폭 비율을 2:1 이상으로 조절할 수 있다.

유효수심은 1.5 ~ 2m 정도로 하는 것이 적절하다. 유효수심이 낮아지면 침전물의 재부상이 발생할 우려가 있고 유효수심이 깊어지면 표면부하율이 높아져 침전효과가 낮아질 수 있다.

② 전처리조의 체류시간이 짧으면 전처리조 고형물 제거효과가 낮아져 여과조에 가해지는 고형물 부하가 증가하므로 안정적인 시설운영이 어렵게 된다. 또 전처리조 체류시간이 길면 제거효율이 증가하나 시설부지와 시설규모도 비례적으로 증가하므로 적정한 규모로 설치하는 것이 바람직하다. 이에 전처리조의 규모는 여과형 시설 전체 유효체적의 25% 정도로 하는 것이 적당하다. 토지이용형태에 따라 초기우수 중의 부유물질 농도가 높을 경우 전처리조의 체류시간을 증가시키는 것이 좋다.

③ 전처리조와 여과조 연결부는 상향류의 경우 전처리조의 하부에, 하향류의 경우에는 전처리조의 상부에 위치하는데, 전처리조 상부에 연결부가 존재할 경우에는 단회로에 의한 고형물의 월류가 발생할 수 있으며, 전처리조 하부에 연결부가 존재할 경우에는 침전된 고형물이 여과조로 유입될 우려가 있으므로 연결부 주변에 정류벽을 설치하여 단회로에 의해 고형물이 월류하거나 유속에 의해 침전된 고형물이 여과조로 유입되는 것을 예방하는 것이 필요하다. 상향류 여과형 시설의 경우 전처리조와 여과조의 연결부가 전처리조 하부에 위치하는데 이 경우에도 전처리조 바닥으로부터 30cm 이상을 이격하는 것이 바람직하다.

④ 강우유출수에는 초기에 조대협잡물이 포함되어 있는 경우가 빈번하고 조대협잡물이 전처리조에 유입될 경우 전처리조 내 배수펌프 고장을 유발할 수 있으므로 전처리조 내로 유입되는 조대협잡물은 전처리조 내 스크린 등을 설치하여 별도 수집될 수 있도록 하는 것이 좋다.

스크린설비를 전처리조 입구에 설치할 경우 막힘현상에 의한 초기우수가 여과형 시설로 유입되는 것을 방해할 우려가 있으므로 시설의 유입구 전단에 설치하는 것은 바람직하지 않다.

전처리조는 협잡물제거 및 고형물 침사가 용이한 와류형시설, 스크린형 시설을 적용하여도 무방하다.

⑤ 전처리조 정체수를 배수하기 위해서는 별도의 운반차량으로 이송처리하여야 하는 어려움과 운영비의 상승을 초래할 수 있으므로 오수관이나 합류식관거로 연계처리하는 방안을 강구하는 것이 좋다. 이때에는 우선 해당 하수도 관리청과 협의하는 것이 필요하다.

(4) 여과조

① 여과조의 선속도는 20m/h 이하로 하는 것이 좋다.
② 여과형 시설의 여재는 입상여재, 섬유사 형태의 여재 등을 사용할 수 있다.
③ 여재층의 두께는 60cm 내외로 하는 것이 좋다.
④ 여재층과 여과조바닥을 이격하여 퇴적물이 침전될 수 있도록 한다.
⑤ 강우가 종료된 후 여과조 내 정체수를 배출할 수 있는 배수설비를 설치하는 것이 바람직하다.

해설

① 여과조의 선속도는 연간 부유물질(SS) 제거효율이 80% 이상이 될 수 있도록 하는 것이 타당하며, 자체적인 손실수두의 증가, 운전 중 막힘현상에 손실수두 증가 등을 고려하여 20m/h 이하로 하는 것이 타당하다.

여과 선속도는 처리유량에 따른 여과조의 단면적을 결정하는 지표로 사용되는데 다음의 식으로 산정될 수 있다.

여과선속도(LV, Linear Velocity, m/h) = WQF/A

WQF : 수질처리유량(m^3/h)
A : 여과조의 단면적(m^2)

선속도는 여재층을 통과시키는 속도가 아니라 여과조 단면적 당 통과시키는 유량에 대한 것으로

여과조의 단면적을 결정하는 설계인자로 활용된다. 따라서 다양한 여재의 형상과 배치형태(방사형 등)와 무관하게 여과조의 단면적으로부터 결정된다. 특히 여과조의 단면적은 여과조의 손실수두와 연관되므로 이에 유의하여야 한다.

② 여과형 시설에 적용하는 여재는 입상여재, 섬유상여재 등 다양한 형태를 적용할 수 있다. 입상여재는 비중이 1 이상인 침전여재와 비중이 1 이하의 부유여재로 구분할 수 있다. 입상여재에는 원형, 봉형 등의 과립형태의 여재와 스펀지형태, 섬유볼형태 등의 여재로 구분할 수 있으며 비중과 형상에 무관하게 독립적인 여재형태를 입상여재라 할 수 있다. 이에 반해 섬유상여재는 섬유사가 중첩되어 일정한 공극을 가지면서 그 공극사이를 초기우수가 통과할 때 오염물질을 부착하거나 포획하여 여과효과를 발휘하는 것을 말한다.

여재를 선정할 때에는 여재의 손실수두가 높지 않고, 투수능이 여과선속도의 1.5 ~ 2배 이상의 여재를 선정하는 것이 좋다. 또 장시간 물속에 잠겨있어도 강도가 변하지 않고, 역세척시 마모가 발생하지 않으며, 균등계수를 확보할 수 있는 종류의 여재를 선정하는 것이 좋다.

입상여재의 경우에는 2 ~ 6mm 정도의 여재를 적용하는 것이 타당하며 균등계수는 2이하의 여재를 사용하는 것이 좋다. 다만 스폰지형태, 섬유볼형태의 경우에는 스폰지, 섬유볼의 공극에 의해 여과효율이 결정되기 때문에 여재의 유효경이 더 증가될 수 있다. 섬유상여재의 경우에는 여재의 크기나 유효공극을 결정하기 어렵기 때문에 연간 SS제거효율 80%를 만족할 수 있는 여재를 선정하는 것이 바람직하다.

입상여재와 섬유상여재 또는 기타의 여재는 반드시 다음의 조건을 공통적으로 만족하는 것이 바람직하다.

- 역세척이 가능하고 역세척 후 손실수두가 최초의 값으로 환원될 수 있는 여재
- 연간 SS제거효율 80% 정도를 달성할 수 있는 여재
- 손실수두가 10cm를 초과하지 않는 여재
- 투수능이 선속도의 1.5 ~ 2배 이상인 여재
- 고형물부하가 4 ~ 6kg/m^{2}에서도 막힘현상이나 손실수두가 거의 발생하지 않는 여재

③ 여재층의 두께는 60cm 정도로 하는 것이 바람직하다. 여재층의 두께가 작을 경우 고형물 제거효율이 급격히 낮아지는 현상이 발생하고, 특히 초기우수의 유입유량이 강우사상별 변동이 심해 안정적인 효율을 확보하기 위해서는 일정두께 이상의 여재층을 확보하는 것이 좋다. 작은 강우량일 때 매우 낮은 여과속도가 발생하며 이때 미세 고형물이 여재층 내부로 더 많이 이동하므로, 여재층이 충분한 두께를 가져야 한다. 여과사(濾過沙)처럼 입경 작은 여재일수록 표면여과가 대부분이나 여재의 입경이 증가할수록 여재내 입자상물질 포획층이 증가하므로 유의하여야 한다.

섬유상 여재는 입상여재에 비해 공극크기가 작아 표면여과의 경향이 증가될 수 있으므로 여재층의 두께는 30cm 정도 또는 그 이상으로 적용할 수 있다.

④ 여과조 바닥부에는 정체수 배수설비, 역세척설비 등이 설치될 수 있으므로 여재층과 여과조 바닥을 이격시키는 것이 좋다. 또 여과조 바닥에는 침전물이 퇴적되고 재부상되지 않도록 퇴적부를 두는 것이 좋다.

⑤ 전처리조와 마찬가지로 여과조의 정체수를 배수하기 위해서는 별도의 운반차량으로 이송처리하여야 하는 어려움과 운영비의 상승을 초래할 수 있으므로 오수관이나 합류식관거로 연계처리하는 방안을 강구하는 것이 좋다. 이때에는 우선 해당 하수도 관리청과 협의하는 것이 필요하다.

(5) 역세척 설비

① 강우가 종료되면 48시간 이내에 역세척을 실시한다
② 역세척은 여재 내 포획된 고형물을 모두 제거할 수 있도록 한다.
③ 역세척수로 처리수를 활용할 수 있다.
④ 역세척 폐수는 처리할 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
⑤ 역세척 설비를 부득이하게 설치 못할 경우 인력에 의한 역세척을 실시할 수 있다.

해설

① 강우가 종료되면 강우가 종료된 후 48시간 내에 역세척을 실시하는 것을 원칙으로 한다. 역세척 폐수를 오수관 또는 합류식관거와 연계처리할 경우에는 관거 내 강우영향이 없어지는 시점에 역세척을 수행하는 것이 바람직하며 48시간이 지나도 합류식관거 등 강우의 영향이 잔존하는 경우에는 72시간 내에 역세척을 수행할 수 있다.

초기우수가 발생하는 강우가 종료되면 역세척을 수행하는 것이 바람직하지만 강우사상이 크지 않아 수질처리용량만큼의 초기우수가 발생하지 않은 경우에는 역세척을 생략할 수 있다. 그러나 누적강우량이 10mm 이상일 경우에는 역세척을 실시하는 것이 좋다.

② 역세척의 방법에는 수세척과 공기세척+수세척의 방법을 적용하는데 여재 내 포획된 고형물을 완전하게 제거하기 위해서는 공기세척+수세척의 방법을 권장한다. 일반적으로 입상여재의 경우에는 공기세척이 50m^3/m^2/h 내외가 좋고 수세척은 40m^3/m^2/h정도로 한다. 역세척 시간은 경우에 따라 다르지만 1 ~ 5분 정도로 수행한다. 그러나 여재의 형상, 입경, 비중 등에 따라 매우 다를 수 있으므로 주의하여야 한다. 따라서 역세척 조건은 여재의 특성을 고려하여 설정하는 것이 바람직하며, 여재 내 고형물이 완전히 제거되어 여재의 초기조건으로 환원되어 처리효율과 손실수두를 회복할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

③ 역세척수는 역세척조건에 따라 소요량이 달라질 수 있는데 소요량에 따라 시상수를 이용하거나 여과형 시설의 처리수를 이용할 수 있다. 처리수를 역세척수로 이용할 경우에는 처리수조를 별도로 설치하는 것이 바람직하며, 산정된 역세척수량을 고려하여 처리수조 규모를 결정한다.

④ 역세척 폐수는 별도의 집수조를 설치하여 집수하여야 하나, 이 경우 별도의 운반차량으로 이송처리하여야 하는 어려움과 운영비의 상승을 초래할 수 있으므로 오수관이나 합류식관거로 연계처리하는 방안을 강구하는 것이 좋다. 이때에는 우선 해당 하수도 관리청과 협의하는 것이 바람직하다.

⑤ 여과형 시설은 강우발생 시에만 운영되어 불규칙한 운전의 특성을 가지고 있고, 대부분이 지하에 매설되고 심도가 깊어 유지관리가 어려운 문제점들을 가지고 있다. 이에 자동운전을 실시하여 불규칙적인 운전과 유지관리의 어려움에 대응하기 위해 역세척 설비를 설치하는 것이다. 역세척 설비는 역세척 폐수 처리가 가능해야하고 역세척 전에 정체수를 우선 배제해야 한다.
이에 정체수 배제, 역세척 폐수 배제가 가능한 관거 등이 없는 경우에는 수동역세척을 실시하고 정체수와 역세척 폐수를 수거처리할 수 있으며, 역세척 설비를 설치하지 않고 주기적인 인력에 의한 세척 및 정체수 배제를 실시할 수 있다.

◉ 유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준(시행규칙 별표 18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

나. 슬러지 및 협잡물 제거

1) 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

2) 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

3) 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.

마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 여과형 시설

가. 전(前) 처리를 위한 침사지(沈砂池)는 저장능력을 고려하여 주기적으로 협잡물과 침전물을 제거하여야 한다.

나. 시설의 성능을 유지하기 위하여 필요하면 여과재를 교체하거나 침전물을 제거하여야 한다.

나) 관리 · 운영기준 해설

① 전처리조는 저장능력을 고려하여 주기적으로 협잡물과 침전물을 제거하여야 한다.

② 여과조의 시설 성능 유지를 위하여 필요하면 여과재를 교체하고, 주기적으로 침전물을 제거하여야 한다.

③ 유량계 연결부 관 내 퇴적물을 주기적으로 제거하고 유량측정값의 오차가 발생하지 않도록 한다.

④ 여재층의 손실수두를 주기적으로 점검하여야 한다.

⑤ 청천시 내부 정체수의 배수를 확인한다.

해설

① 여과시설 전처리조는 하수도시설 중 일차침전지의 기능을 하게 된다. 특히 여과형 시설 전단에서 입자상물질의 충분한 제거는 여과조의 역세척 및 관리주기를 줄여 줄 수 있으며 안정적인 처리효율을 확보할 수 있도록 하는 중요한 시설이다. 따라서 전처리조 퇴적부의 50%가 퇴적되면 준설을 실시할 필요가 있다. 퇴적물의 방치는 퇴적물 내 오염물질의 용출이 발생할 수 있으므로 퇴적부의 퇴적정도와 상관없이 연간 3회 이상의 주기적인 퇴적물 준설이 필요하다. 우기 시에는 잦은 준설과 협잡물 제거가 실시되어야 하고 연간 강우패턴에 따라 강우의 빈도가 줄어드는 시점 즉, 동절기 시작직전에 준설을 시행하거나 또는 강우가 시작하는 시점 즉 초봄에 준설하여 주는 것이 좋다. 또, 대형 강우 후에는 점검하여 준설 필요여부를 확인 할 필요가 있다.

② 여과형 시설은 여재층의 여과속도가 줄어들면 효율적인 초기강우의 처리가 이루어지지 않기 때문에 역세척 후에도 여과속도가 회복되지 않으면 여재를 교체하는 등 여재층에 대한 유지관리가 이루어져야 한다. 여과속도의 회복여부는 처리유량 또는 여재층의 손실수두 측정을 통해 알 수 있다. 또한 여과조의 바닥부 퇴적물도 전처리조 준설 시 동시에 수행하는 것이 좋다.

③ 유량계가 설치된 경우에는 유량계 전 · 후 직관부의 바닥에 퇴적이 발생할 경우 측정오차를 유발 할 수 있으므로 유입관으로부터 유량계 설치부 주위를 주기적으로 깨끗이 청소한다. 유량을 측정하는 센서에 대해서는 자주 청소하여야 하며 유량측정오차가 발생하지 않는지 주기적인 점검이 필요하다.

④ 여재층의 손실수두는 여과형 시설의 처리능력을 결정하는 주요한 인자이므로 여재층의 손실수두가 증가하는지 여부를 주기적으로 점검하여야 한다. 역세척 후 여재층의 손실수두가 초기값으로 회복되는지를 주기적으로 점검하여 회복되지 않을 경우 여재를 교체하거나 회복될 수 있는 방안을 강구하여야 한다. 손실수두의 측정은 다양한 방법이 있으며 간단하게는 여재층 상부의 수위와 여재층하부의 압력으로 구현되는 수위의 차가 손실수두이다. 여재층 하부의 수위는 마노미터 등을 이용하여 측정할 수 있다. 간접적인 방법으로 손실수두의 증가여부를 알아보고자 할 때에는 여과형 시설로의 유입유량을 측정하여 설계유량에 도달하기 전에 우수관 본관의 월류턱으로 월류가 발생하면 여재층의 폐색이 발생한 것으로 예측할 수 있다.

⑤ 청천 시에는 정체수가 완전히 배수되었는지 여부를 우선 점검하고 배수가 이루어지지 않았을 경우에는 배수설비에 대한 점검을 실시한다.

와류형 시설

◉ 시설개요

중앙회전로의 움직임으로 와류가 형성되어 기름 · 그리스 등 부유성 물질은 상부로 부상시키고, 협잡물은 하부로 침전 · 분리시켜 비점오염물질을 저감하는 시설을 말한다.

해설

와류형 시설은 우수관으로부터 초기우수를 원형 와류조의 접선방향으로 유입시켜 와류를 형성시키고 와류에 의한 원심력을 이용하여 입자상물질의 급속침전을 유도하는 시설이다. 일반적으로 와류형 시설은 기름 · 그리스, 부유협잡물 등은 상부로 분리되어 수거처리되고 침전가능한 입자상물질은 하부로 분리되어 수거처리 된다.

와류형 시설은 주로 조대입자상물질의 제거에 유효한 시설이므로 주로 전처리시설에 적용되는 것이 바람직하다.

◉ 설치 기준

가) 법적 설치기준 (시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한 구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나

화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 와류형 시설

가. 입자성(粒子性) 수질오염물질을 효과적으로 분리하기 위하여 와류가 충분히 형성될 수 있도록 체류시간을 고려하여 설계한다.

나. 입자상 수질오염물질의 침전율을 높일 수 있도록 수면적 부하율을 최대한 낮추어야 한다.

다. 슬러지 준설을 위한 장비의 반입 등이 가능한 구조로 설계한다.

나) 설치기준 해설

① 와류형 시설의 유입관은 우수본관으로부터 분기되도록 하고, 와류 형성이 가능한 유속을 고려하여 유입관경을 적정하게 산정한다.

② 와류형 시설의 체류시간은 1.5분 정도로 한다.

③ 퇴적부는 연속운전에 의한 재부상을 최소화 시킬 수 있는 크기와 구조로 한다.

④ 와류형은 초기 강우유출수의 고형물 처리에 효과가 있으며 특히 크고 비중이 높은 고형물의 처리에 사용될 수 있다.

해설

① 와류형 시설은 우수본관에 on-line방식으로 설치하지 않으며 우수본관으로부터 분기된 off-line 방식으로 설치한다. 유입 및 유출부는 「여과형 시설」 편의 설치기준을 준용할 수 있는데, 다만, 0.2 ~ 0.3m/s 이상의 유속으로 유입관경을 설계할 수 있다. 유입유속이 와류형 시설 내부의 와류의 형성에 중요한 인자이므로 와류가 적절히 형성될 수 있는 유속으로 변경하는 것이 바람직하다. 유입유속이 낮으면 와류의 형성이 어려워 입자상물질의 침전효과가 낮아질 수 있으므로 와류의 형성을 위해서 유입유속을 증가시킬 수 있으나, 이 경우 유입관의 손실수두도 증가되므로 유의하여야 한다.

유입부는 와류형 시설의 손실수두를 고려하여 통수에 문제가 없도록 하되 단차가 최소 30cm가 되도록 하는 것이 바람직하다. 이때 유입관에 의한 손실수두와 시설에 의한 손실수두를 모두 합하여 단차보다 작도록 설계하여야 한다. 또 와류형 시설이 여과형 시설 등 다른 시설과 결합될 경우 최초 유입관부터 유출관까지의 손실수두를 모두 산정하여야 한다.

와류형 시설만의 손실수두는 다음의 산식에서 개략적으로 산정할 수 있다.

$$H_d = C_d \frac{V_o^2}{2g}$$

H_d : 손실수두(m)

C_d : 시설의 손실수두계수

V_o : 유입 및 유출관에서의 유속의 평균(m/s)

g : 중력가속도(m/s^2)

와류형 시설의 손실수두계수는 실험을 통해 결정하거나 C_d = 1.75를 적용할 수 있다.

② 와류형 시설의 내부는 와류를 효과적으로 형성시킬 수 있는 구조여야 하며, 체류시간은 1.5분 정도로 한다. 와류형 시설은 입자상 물질이 와류를 거치는 시간이 길어질수록 침강성이 좋아지므로 충분한 체류시간을 확보하는 것이 중요하다. 체류시간이 짧으면 와류형성을 위한 충분한 시간이 확보되지 않을뿐더러 내부에 발생하는 높은 유속에 의해 퇴사부에 퇴적된 침전물이 재부유할 수 있다.

③ 퇴사부는 연속운전에 의한 재부상을 최소화 시킬 수 있는 크기와 구조로 한다. 퇴적물의 재부상을 방지하기 최소 30cm의 여유고를 두는 것이 좋다.

하부의 퇴적물 및 상부 부유물을 기계적으로 처리할 수 있는 구조, 즉 시설의 상부에서 하부의 퇴적물을 직접 수거할 수 있는 구조로 하는 것이 바람직하며 장비 유입이 불가능한 구역이 없도

록 하는 것이 좋다. 또 습지 등의 시설 보다는 해충에 대해 유리하나 해충의 산란을 방지할 수 있도록 설계하는 것이 바람직하다.

④ 와류형 시설은 50 ~ 100㎛미만의 입자상 물질의 제거에서는 비효율적이므로 설계 시 제거대상 물질의 입자크기를 고려해야 한다. 와류형 시설만으로는 협잡물, 고형물 등으로 처리가능 오염항목이 제한되므로 보다 다양한 비점오염물질을 처리하기 위해서는 다른 비점오염저감시설과 조합하여 사용하는 것이 바람직하다.

◉ 유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준(시행규칙 별표 18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

나. 슬러지 및 협잡물 제거

1) 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

2) 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

3) 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.

마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 와류형 시설

침전물의 저장능력을 고려하여 주기적으로 침전물을 제거하여야 한다.

나) 관리 · 운영기준 해설

① 침전물의 저장능력을 고려하여 주기적으로 침전물을 제거하여야 한다.

② 독립적으로 설치된 와류형 시설은 준설차량(진공흡입식) 등을 이용하여 침전물을 제거한다.

해설

① 침전물의 준설은 연간 3회 이상으로 하는 것이 바람직하며 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 하며 제거시기 결정은 육안점검이나 측량막대를 이용한다.

② 와류형 시설은 하수관거 등으로 자동 배수할 수 있을 경우에는 배수설비를 설치하는 것이 타당하고, 독립적으로 설치된 시설의 경우에는 준설차량을 이용하여 협잡물과 침전물을 제거하는 것이 가장 타당하다.

〈그림 46〉 협잡물 및 퇴적물 처리 예 (환경부)

스크린형 시설

◉ 시설개요

망의 여과 · 분리 작용으로 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하는 시설로서 주로 전처리에 사용하는 시설이다.

해설

스크린형시설은 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하기 위해 주로 전처리에 사용되는 방법으로 망의 크기에 따라 처리효율이 달라진다.

스크린의 종류로는 고정스크린, 드럼스크린, 회전스크린 및 마이크로스트레이너(Microstrainer) 등이 있으며, 조대 입자상 물질의 제거에 적용되며 정기적으로 고형물을 제거해 주어야 한다.

가) 법적 설치기준 (시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한 구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나 화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 스크린형 시설

가. 제거대상 물질의 종류에 따라 적정한 크기의 망을 설치하여야 한다.

나. 슬러지의 준설을 위한 장비의 반입 등이 가능한 구조로 설계한다.

나) 설치기준 해설

① 제거대상 물질의 종류에 따라 적정한 크기의 망을 설치하여야 한다.

② 슬러지의 준설을 위한 장비의 반입 등이 가능한 구조로 설계한다.

③ 스크린은 협잡물 등에 의해 막힘현상이 발생하지 않도록 하여야 한다.

해설

① 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하기 위해 주로 전처리에 사용되는 방법으로 망의 크기에 따라 처리효율이 달라지므로 배수구역의 유출특성에 적합하게 선택하여야 한다.

스크린의 종류로는 처리형태에 따라 고정스크린, 드럼스크린, 회전스크린 및 마이크로스트레이너 등이 있다.

② 유지 보수에 필요한 장비 등의 이동통로와 접근로를 구성하며, 스크린에서 인양된 협잡물은

시설의 규모에 따라 컨베이어 또는 협잡물 버킷으로 수집하여 처분될 수 있도록 설계하여야 한다.

③ 스크린 시설에서 가장 중요한 사항은 협잡물 등에 의해 스크린 망에 막힘현상이 발생하지 않는 것이다. 강우유출수 유입방향과 직각방향으로 스크린을 설치하면 막힘현상이 발생하므로 자동세정 또는 무동력의 편향스크린 등을 설계하는 것이 타당하다. 스크린 시설은 막힘현상이 발생하면 초기우수의 유입을 오히려 차단하기 때문에 주의하여야 한다.

◉ 유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준(시행규칙 별표18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

나. 슬러지 및 협잡물 제거

1) 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

2) 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

3) 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.

마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 스크린형 시설

망이 막히지 아니하도록 망 사이의 협잡물 등을 주기적으로 제거하여야 한다.

나) 관리 · 운영기준 해설

① 유출입부와 스크린 장치의 퇴적물 및 폐기물을 주기적으로 제거하여야 한다.

② 스크린의 망이 훼손될 경우 보수보강 또는 교체 한다.

해설

① 스크린형 시설이 동력에 의한 자동세정 또는 편향스크린을 적용하였다 하더라도 망은 주기적으로 세척하는 것이 바람직하다. 주기적으로 망을 세척해서 손실수두가 발생하지 않도록 하여야 한다. 또 스크린 시설 하부에 퇴적되는 침전물은 연간 3회 이상 준설하고 그 방법은 와류형 시설과 동일하다. 스크린 시설을 준설할 때에는 스크린 망에 대한 세척도 동시에 수행하는 것이 좋다.

② 강우유출수는 다양한 종류의 폐기물을 운반하기 때문에 스크린의 망이 훼손될 가능성이 있다. 이 경우 폐기물이 후속공정으로 이탈되므로 망이 훼손여부를 주기적으로 점검하여야 한다.

응집 · 침전 처리형 시설

◉ 시설개요

응집제를 사용하여 고형물을 응집한 후 침강시설에서 오염물질을 침전 · 분리시키는 방법이다.

해설

응집 · 침전 처리형 시설은 응집 · 침전반응에 기초한 물리 · 화학적 처리 프로세스이며, 이 장치의 구성은 크게 약품투입부, 교반부, 응집부, 침전 또는 부상분리 등을 기본공정으로 구성되어 있다.

가) 법적 설치기준 (시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나 화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 응집 · 침전 처리형 시설

단시간에 발생하는 유량을 차집(遮集)하기 위하여 저감시설 전단에 저류조를 설치한다.

나) 설치기준 해설

단시간에 발생하는 유량을 차집하기 위하여 저감시설 전단에 저류조를 설치한다.

해설

응집 · 침전 처리형 시설은 소규모보다는 대규모 배수구역에 적용할 수 있으며, 하수처리시설의 원리와 매우 유사하다. 따라서 대부분의 설계기준은 「하수도시설기준」을 참조한다. 하수도 시설과의 차이는 응집시설 전단에 저류조를 설치하여 일시적인 강우유출수의 발생에 대응하는 것이다. 만약 저류조가 없을 경우에는 응집 · 침전 처리형 시설의 규모가 지나치게 커져서 경제적인 측면에서 매우 비효율적일 수 있다. 따라서 응집시설의 규모를 고려하여 최적의 저류용량을 산정하는 것이 매우 중요하다.

저류조 용량(V, m^3) = WQv(m^3) – 시설 처리유량(m^3/h) × Tf(WQv 차집시간, h)

차집시간은 유역의 특성을 고려하여 결정하는 것이 바람직하며 해당유역의 오염농도도 고려대상에 포함된다.

시설의 비용효과를 높이기 위해서 저류조와 후단의 처리시설을 조합할 때 기존 유수지, 저류지 등을 여건에 맞게 활용할 수 있다.

◉ 유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준(시행규칙 별표 18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

나. 슬러지 및 협잡물 제거

1) 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

2) 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

3) 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.

마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 응집 · 침전 처리형 시설

가. 다량의 슬러지(Sludge) 발생에 대한 처리계획을 세우고 발생한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따라서 처리하여야 한다.

나. 쟈 테스트(Jar-test)를 실시하거나 쟈 테스트를 통하여 작성된 일람표 등을 이용하여 유입수의 농도 변화에 따라 적정량의 응집제를 투입하여야 한다.

다. 주기적으로 부대시설에 대한 점검을 실시하여야 한다.

나) 관리 · 운영기준 해설

① 다량의 슬러지(Sludge) 발생에 대한 처리계획을 세우고 발생한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따라서 처리하여야 한다.

② 쟈 테스트(Jar-test)를 실시하거나 쟈 테스트를 통하여 작성된 일람표 등을 이용하여 유입수의 농도 변화에 따라 적정량의 응집제를 투입하여야 한다.

해설

① 슬러지는 주기적으로 제거하여야 하며 제거주기는 1년 동안의 운영경험과 현장조건을 고려하여 유지관리주기를 결정하며, 다량의 슬러지 발생에 대한 처리계획을 세우고 발생한 슬러지는 신속히 처리한다.

② 응집 · 침전시설의 경우 유입수의 농도 변화에 따른 적정 응집제의 양을 쟈 테스트(Jar-test) 등을 이용해 파악하고, 이에 대한 투입량 자료를 구축하여 최적의 운영이 될 수 있도록 하여야 한다.

생물학적 처리형 시설

◉ 시설개요

전처리시설에서 토사 및 협잡물 등을 제거한 후 미생물에 의하여 콜로이드(Colloid)성, 용존성 유기물질을 제거하는 시설을 말한다.

해설

강우유출수를 일시 저장하여 첨두유량을 감소시키는 효과가 있으며, 미생물에 의한 처리를 통하여 유기물질 처리에 양호한 효율을 기대할 수 있다.

미생물에 의해서 콜로이드성, 용존성 유기물질을 제거하는 시설로 강우유출수가 비연속적으로 유입되는 특성으로 인해 제한적으로 적용된다.

가) 법적 설치기준 (시행규칙 별표 17)

(1) 공통사항

가. 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 설치지역의 유역 특성, 토지이용의 특성, 지역사회의 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 · 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 시설을 설치한다.

나. 시설을 설치한 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한구조로 설치하여야 한다.

다. 침수를 방지할 수 있도록 구조물을 배치하는 등 시설의 안정성을 확보한다.

라. 강우가 설계유량 이상으로 유입되는 것에 대비하여 우회시설을 설치하여야 한다.

마. 비점오염저감시설이 설치되는 지역의 지형적 특성, 기상 조건, 그 밖에 천재지변이나 화재, 돌발적인 사고 등 불가항력의 사유로 제2호에 따른 시설 유형별 기준을 준수하기 어렵다고 유역환경청장 또는 지방환경청장이 인정하는 경우에는 제2호에 따른 기준보다 완화된 기준을 적용할 수 있다.

바. 비점오염저감시설은 시설 유형별로 적절한 체류시간을 갖도록 하여야 한다.

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.
2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5밀리미터 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.
3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 생물학적 처리형 시설

가. 미생물 접촉시설에 이들 수질오염물질이 유입하지 아니하도록 여과재 또는 미세 스크린 등을 이용하여 토사 및 협잡물을 제거하여야 한다.

나. 미생물 접촉시설은 비가 오지 아니할 때에도 미생물정화기능이 유지되도록 설계한다.

나) 설치기준 해설

① 미생물 접촉시설에 이들 수질오염물질이 유입하지 아니하도록 여과재 또는 미세 스크린 등을 이용하여 토사 및 협잡물을 제거하여야 한다.

② 미생물 접촉시설은 비가 오지 아니할 때에도 미생물정화기능이 유지되도록 설계한다.

해설

① 미생물 접촉조 전단에 토사, 부유물 등의 제거와 유량을 제어하기 위한 전처리조를 반드시 설치하여야 한다.

② 강우유출수의 발생량 및 농도가 매우 불규칙적이기 때문에 처리시설 규모, 운전방법, 유지관리 방법 등을 결정함에 있어 장기간의 시뮬레이션과 통계적인 평가를 거친 후 설계되어야 한다.

유지관리

가) 법적 관리 · 운영기준(시행규칙 별표 18)

(1) 공통사항

가. 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분을 보수하여야 한다.

나. 슬러지 및 협잡물 제거

1) 저감시설의 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.

2) 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.

3) 준설한 슬러지는 「폐기물관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.

다. 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

라. 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.

마. 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.

바. 사업자는 제75조제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체 없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.

(2) 생물학적 처리형 시설

가. 강우유출수에 포함된 독성물질이 미생물의 활성에 영향을 미치지 아니하도록 관리한다.

나. 부하변동이 심한 강우유출수의 적정한 처리를 위하여 미생물의 활성(活性)을 유지하도록 한다.

나) 관리 · 운영기준 해설

① 강우유출수에 포함된 독성물질이 미생물의 활성에 영향을 미치지 아니하도록 관리한다.

② 부하변동이 심한 강우유출수의 적정한 처리를 위하여 미생물의 활성을 유지하도록 한다.

해설

① 강우유출수의 수질과 수량에 대한 부하가 불규칙적이며 강우유출수에 포함된 독성물질로 미생물 시스템이 마비될 수 있으므로 이에 대한 대책을 마련하여야 한다.

② 비강우 시가 장기화 될 경우 미생물의 활성화가 문제될 수 있으므로 이에 대한 유지관리 방안을 수립하여야 한다.

Chapter IV

모니터링 계획 수립 및 평가방법

01 개요
02 모니터링 계획수립
03 모니터링 평가방법

환경부

01 개요

비점오염저감시설의 모니터링은 저감시설을 설치한 후 저감시설 상류나 하류지점 등을 선정하여 시설의 처리효과를 확인하고 수질오염물질의 유입량 및 유출량, 제거율 등을 조사하기 위하여 유량 및 수질조사 등을 수행하는 것을 말한다.

해설

비점오염저감시설을 계획 · 설계할 때에는 계획수립 시 모니터링 계획을 충분히 검토하여 손쉽게 관련 조사와 평가를 수행할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

비점오염저감시설에 대한 모니터링은 적절한 방법을 통하여 수집된 수질자료의 경향분석에 의해 당해시설의 운영상태, 관리의 적정성, 오염물질의 삭감정도 등을 파악할 수 있게 해준다. 또, 해당 유역에 대해 비점오염저감대책의 이행에 따른 수질자료의 분석을 통해 비점오염저감시설이 유역의 수질개선 기여정도를 파악할 수 있으며 해당유역의 목표수질을 달성할 수 있는지 여부를 예측하는데 기초자료로 활용될 수 있다.

〈표 32〉 비점오염저감시설의 모니터링 목적

분 야	비점오염원저감시설 모니터링의 목적	효율 검증 가능성
수리학	– 비점오염저감시설의 상하류의 흐름 특성을 개선	–
수문학	– 홍수저감, 유출특성을 개선	V
수질	– 하류지역의 오염물질 저감 – 하류지역의 온도 영향 저감 – 유출수의 요구되는 오염물질 농도 개선 – 쓰레기 및 각종 이물질 제거	V V V –
독성	– 유출수의 실제 독성 저감 – 유출수의 만성적인 독성 저감	V V
규정	– 법 및 규정의 수질 기준 준수	V
이행 가능성	– 비구조적 기법의 경우, 관리와 부실적인 운영의 가능성 파악	–
비용	– 설치비, 운영 및 관리비용 산출	–
심미적	– 현장의 외관과 같은 심미적 모습 향상	–
유지관리	– 유지관리를 통한 운영과 보수보강 스케줄 등을 분석 – 시설의 확장, 보강 및 개선 가능성 판단	– –
시설의 수명	– 장기간 운영 가능성 판단	V
자원	– 하류지역의 환경/침식관리를 개선 – 생태계 서식지 확대 – 기능의 다면적 활용	– – –
안전	– 위험에 대한 안전성 판단 – 하류지역의 환경적 영향 최소화	– –
공공 인식	– 제공하는 정보의 명확성과 이해성 판단	V

02 모니터링 계획수립

목적에 따른 모니터링 계획수립

비점오염저감시설에 대한 모니터링계획은 그 목적에 따라 달라질 수 있다.

① 비점오염원설치신고에 따른 모니터링

② 수질오염총량관리계획 이행평가를 위한 모니터링

③ 연구목적을 위한 모니터링

※ 본 매뉴얼에서는 주로 비점오염원 설치신고에 따른 모니터링과 연구를 목적으로 하는 모니터링을 위주로 그 방법론을 제시한다.

해설

① 비점오염원 설치신고에 따른 비점오염저감시설의 모니터링은 환경부가 고시한 「비점오염저감계획서의 작성방법」에서 정하는 바에 따라 모니터링 주기 및 모니터링 방법을 설정하는 것이 타당하다.

② 수질오염총량관리계획 이행평가를 위한 모니터링은 수계별 「오염총량관리계획 이행평가기준」에 따라 모니터링 주기 및 모니터링 방법을 설정하는 것이 타당하다.

③ 연구를 목적으로 하는 모니터링은 해당배수구역의 특성을 고려하여 모니터링의 주기, 모니터링 항목, 모니터링 방법 등을 선정할 수 있다.

모니터링 방법 결정

모니터링 방법은 육안검사방법(Visual Examination)과 분석에 의한 방법(Analytical Monitoring) 등이 있다.

① 육안검사방법은 강우유출수질 및 시설의 관리상태 등을 대략적으로 평가할 수 있는 간단한 모니터링 방법이다.

② 분석에 의한 방법은 모니터링 위치, 모니터링 주기, 시료채취방법, 조사항목 등을 결정하고 시료를 채취하여 수질농도를 측정하는 방법이다.

해설

① 육안검사방법은 강우유출수 발생 후 대략 30분 이내에 시료를 채취하여, 밝은 장소에서 시료의 색도, 냄새, 탁도, 고형물, 거품, 기름띠 등의 시료 오염도를 관찰 기록하는 것이다. 다만, 강우지속시간이 길어질수록 오염물의 유출이 증가하거나 배수구역이 지나치게 클 경우에는 30분보다 증가된 기준이내에서 시료를 채취할 수 있다.

② 분석에 의한 방법은 수질오염정도에 대해 직접적인 평가가 가능한 방법이며, 오염부하량 및 비점오염저감시설의 처리효과 등을 평가하기 위해서 적용되어지는 방법이다. 이 경우 모니터링의 위치, 모니터링 주기, 시료채취방법, 조사항목 등을 결정하고 이에 따라 모니터링을 실시하는 것이 좋다.

모니터링 위치선정

모니터링 위치는 모니터링에 제한된 자원(시간, 인력, 비용 등)과 지점수에 따라 달라질 수 있으며 일반적으로 비점오염저감시설의 유입량, 유출량, 저류량 등의 수질상태를 대표하는 수질 자료를 획득할 수 있으며 유량 및 수질 측정이 용이한 곳을 선정하는 것이 바람직하다.

① 상류지점선정

② 하류지점선정

③ 중간지점선정

④ 강우측정지점선정

해설

① 상류지점선정

상류지점은 유량이 비점오염저감시설을 통과하기 전에 오염물의 부하량 혹은 유입농도를 나타내는 결과를 산출할 수 있는 곳에 선정되는 것이 좋다.

시설을 거치지 않고 우회되는 흐름(By-pass)이 있는 경우에는 정확한 유량측정이 매우 중요해지므로 비점오염저감시설로 유입되는 유량과 우회되는 유량 및 수질을 모니터링 하는 것이 좋다.

상류지점의 채수 시료는 비점오염저감시설부터 충분히 떨어진 곳에 위치해야한다. 비점오염저감시설과 인접하게 되면 유출시 발생하게 되는 역류, 경사, 식재 등에 의해 영향을 받을 수 있다.

② 하류지점선정

비점오염저감시설의 하류에 선정되는 모니터링 지점은 비점오염저감시설에 의해 처리된 유량과 수질을 정확히 측정할 수 있는 곳으로 하는 것이 좋다.

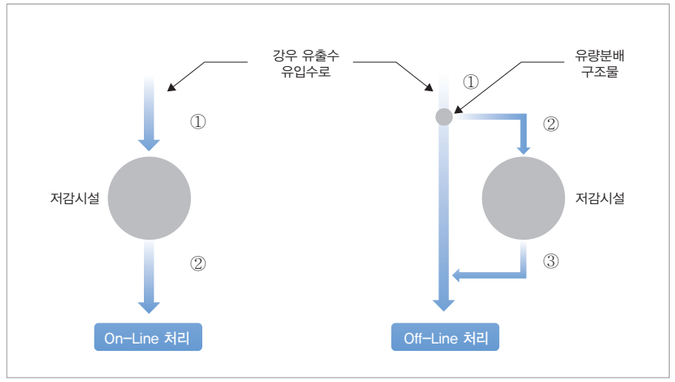
하류지점은 채수 시료가 다른 인자에 의해 교란되기 전인 비점오염저감시설 유출구와 인접한 곳으로 선정하는 것이 좋다.

③ 중간지점선정

비점오염저감시설이 여러 시설로 조합되었거나 다단으로 연계처리되는 경우 각 단위 비점오염저감시설의 효율산정이나 전체 비점저감시설들의 효율을 파악하기 위해 중간지점을 선정하여 조사할 수 있다.

④ 강우측정지점선정

강우측정기는 모니터링 측정지점과 가능한 한 가까운 곳에 설치하는 것이 좋고 침수나 다른 영향에 의해 영향을 받지 않는 곳에 설치하여야 한다.



〈그림 47〉 비점오염저감시설에서 시료채취지점과 유량측정지점

모니터링 주기 및 시료채취방법

① 모니터링 주기는그 목적에 따라 달리할 수 있다.

② 시료채취방법에 다음과 같이 수행할 수 있다.

㉮ 임의시료채취(Grab sampling)

㉯ 혼합시료채취(Composite sampling)

해설

① 모니터링 주기는 모니터링계획에 있어 중요한 고려사항이다. 따라서, 비점오염저감시설의 규모 및 종류, 예산 및 인력의 한계 등에 따라 모니터링 하는 강우사상의 수, 위치, 분석항목 등을 결정하게 된다. 통상적으로 우리나라의 경우 계절적인 변화에 따라 강우특성이 크게 다르기 때문에 봄 4 ~ 5월, 여름 8 ~ 9월, 가을 10 ~ 11월에 강우특성별 시료채취를 실시하는 것이 좋다. 다만, 그 주기의 결정은 모니터링의 목적에 따라 선정하는 것이 바람직하다.

연구를 목적으로 하는 경우에는 시설의 올바른 효율평가를 위해서 의미있는 수질의 유량가중평균농도(EMC : Event Mean Concentration)를 추정하기에 충분한 시료수를 얻을 수 있도록 계획하는 것이 좋다.

② 시료채취방법에는 임의시료채취와 혼합시료채취 등이 있다.

㉮ 임의시료채취(Grab sampling)은 유입 또는 유출에 대해 단순 시료채취하는 것으로 임의시료채취만으로는 발생되는 강우 또는 비점오염저감시설로부터 유출되는 유출수의 대표성을 확보하기 어렵다. 다만, 약식 또는 간이 검사 시에는 강우의 유출이 발생하는 시점으로부터 30분 이내에 시료를 채취하여 수질검사를 실시할 수 있다. 연구를 목적으로 하거나 강우의 발생 후 시간경과에 따른 수질의 변화거동을 파악하기 위해서는 유출시간, 유량변화, 및 현장측정 오염항목(탁도 등)의 변화를 고려하여 시료를 채취하는 것이 타당하다.

임의시료채취방법은 한 지점에서 해당강우사상에 대하여 시간에 따른 강우 수질을 파악할 수 있게 해준다. 특히 기름, 윤활유, TPH(Total Petroleum Hydrocarbon;총석유계탄화수소), 박테리아와 같이 신속하게 변하거나 측정용기에 흡착되는 오염물질에 대해서는 반드시 임의시료채취방법을 선택할 필요가 있다. 또 시간대별 임의시료채취방법은 초기강우의 오염물질변화 거동을 파악할 수 있게 해줌에 따라 배수구역의 특성을 파악하는데 매우 효과적이다. 시간대별 임의시료채취의 횟수 등은 불투수지역과 투수지역에 따라 달라질 수 있는데, 불투수지역에서의 시료채취횟수의 예는 다음과 같다.

〈표 33〉 불투수지역에서 시료채취 조건 및 주기

항목	내 용
선행건기일수	3일 이상
시료채취 횟수	• 강우사상 당 10 ~ 12회 • 강우초기(1시간): 유출직전, 5분, 10분, 15분, 30분, 60분(6회) • 강우종기(종료시까지): 적정시간간격(4 ~ 6회)

또 투수지역에서의 시료채취횟수의 예는 다음과 같다.

〈표 34〉 투수지역에서 시료채취 조건 및 주기

항목	내 용
선행건기일수	3일 이상
시료채취 횟수	• 강우사상 당 15회 이상 • 수문곡선 변화에 따라 시료채취시간의 조절

㉯ 혼합시료채취(Composite sampling)는 몇 개의 임의채취 시료를 섞어 하나의 시료로 만든 것을 말한다. 혼합시료채취를 할 경우 강우사상 중 시간 또는 흐름의 특정 간격으로 시료를 채취후 실험실에서 혼합하는 것이 일반적이며, 유량가중평균농도(EMC) 및 오염부하량을 추정하는데 효과적이다.

혼합시료채취는 전형적인 강우 수질 항목에 대해 적합하나 쉽게 변질되거나(예, 분변성 대장균군, 잔류염소, pH, 휘발성 유기물질), 시료 용기 표면에 부착하는(예, 기름 및 윤활유) 항목들은 적합하지 않다.

● 혼합시료채취 4가지 방법

1) 일정시간–일정부피(Constant Time– Constant Volume) 채수방법

동일 시간간격으로 일정부피의 시료를 채수한 후 이를 혼합하는 방법이며, 시간대별 유출량의 변화가 심한 강우유출수 채수에는 적합하지 않은 방법이다.

2) 일정시간–유출량 증가분에 비례하여 혼합하는 방법

동일시간 간격으로 채수하고 마지막 시료가 채수된 이후 유출량 증가량에 비례하여 혼합하는 방법이다. 동일한 시간간격에 따라 시료를 채취하면서 각 시료채취시에 유출량에 상관없이 매번 일정한 시간동안 시료를 채취하여 최종적으로 모든 시료를 혼합하는 방법이다. 이러한 방법은 시간대별 오염물의 거동등을 파악하는데는 부적합하지만, 유량을 별도로 측정할 필요 없이 손쉽게 혼합시료를 만들 수 있게 해준다.

3) 일정시간–유량에 비례하도록 혼합하는 방법

동일한 시간간격으로 채수하고 각각의 시료가 채취된 시간의 유량에 비례하여 혼합하는 방법으로 가장 일반적으로 사용되는 방법이다. 동일한 시간간격으로 시료를 채수하면서 유량도 동시에 측정하여야 한다.

4) 일정부피–유출량 증가분에 대한 시간비에 비례하여 혼합하는 방법

일정한 부피의 시료를 채수하며 그때 걸리는 시간의 비율대로 시료를 혼합하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 유량의 측정없이 혼합시료를 만들 수 있다.

혼합시료채취시에는 최소 3시간 동안 혹은 전체 강우기간 동안 시료를 채수해야 하며 최소 15분 간격으로 채수하고 매시간 최소 3개 이상의 시료를 확보하는 것이 좋다.

조사항목의 결정

모니터링 시 조사항목은 예산과 모니터링 목적, 시설 및 지역특성 등을 고려하여 측정항목을 선정한다.

해설

조사항목은 우선 모니터링의 목적에 따라 선정하되 예산, 시설의 특성 등을 고려하여 결정하는 것이 타당하다. 비점오염원 설치신고에 따른 모니터링은 총부유물질(TSS)과 BOD를 포함하여 비점오염원 설치신고서에 제시된 주요 발생오염물질을 추가하는 것이 바람직하다. 오염총량관리계획 이행평가를 위한 모니터링시에는 BOD, COD, TN, TP, SS로하며 필요 시 측정항목을 추가할 수 있다. 연구를 목적으로 할 경우에는 투수지역과 불투수지역을 구분하여 항목을 선정하는 것이 바람직하다. 투수지역은 주로 농촌지역이며, 불투수지역은 도시지역을 말한다.

〈표 35〉 도시지역과 농촌지역에서의 조사항목

항 목	도시지역	농촌지역
공통항목	TSS, BOD, COD, T-N, T-P, pH, Turbidity	
선택항목	Conductivity, Oil, Grease, TOC, 중금속(Cd, Pb, Zn)	TKN, NO_2-N, NO_3-N, NH_4-N, PO_4-P, TOC

외국의 경우 도시지역의 강우유출수에 대해서 10개의 일반항목(TSS, BOD, COD, Cu, Pb, Zn, TP, SP, TKN, NO2-N, NO3-N)을 정하고 이에 대해 모니터링을 실시하기도 한다.

강우사상의 선정

모니터링 대상이 되는 강우사상은 최소 3일(72시간)의 선행건기일수를 만족하고 강우량이 10mm 이상의 강우사상을 대상으로 하는 것이 좋다.

해설

모니터링 시 선행건기일수는 강우유출수의 오염농도에 영향을 미치는 인자 중의 하나이다. 선행건기일수가 짧을수록 강우유출수의 오염농도는 낮아질 가능성이 높아진다. 또 배수구역의 투수특성에 따라 달라지지만 강우량이 적을 경우에는 실제 유출이 발생하지 않을 가능성이 있다. 따라서 최소 72시간 이상의 선행건기일수를 확보할 수 있는 강우사상을 대상으로 10mm 이상의 강우량을 가지는 강우를 모니터링 대상으로 선정하는 것이 바람직하다.

03 모니터링 평가방법

모니터링 결과를 통해 비점오염저감시설의 삭감효과를 평가할 때에는 다음과 같은 방법을 활용할 수 있다.

① 부하량 합산법

② 제거효율법

③ 평균농도법

해설

① 부하량 합산법(Summation of Loads)은 유입 되는 부하량의 합에 대한 유출 부하량의 합의 비에 기초한 효율로 정의된다. 즉 유입총부하와 유출총부하로 제거효과를 계산하는 것이다. 비점오염저감시설의 효율평가방법으로 가장 적합하다.

$$\text{SOL에 의한 효율} = 1 - \frac{\sum \text{총유출부하}}{\sum \text{총유입부하}}$$

- 유출 부하량의 합은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{총유출·유입부하} = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n} C_i V_i\right) = \sum_{j=1}^{m} EMC_j \cdot V_j$$

② 제거효율법(Efficiency Ratio)은 일정기간동안 개별 강우사상에 대한 유입 · 유출EMC를 산정하고 각 EMC를 산술평균하여 평균EMC를 환산하여 이를 제거효율계산에 활용하는 방법이다.

$$ER = 1 - \frac{\text{평균유출EMC}}{\text{평균유입EMC}} = \frac{\text{평균유입EMC} - \text{평균유출EMC}}{\text{평균유입EMC}}$$

- 개별강우사상에 대한 강우유출수의 EMC는 다음의 방법으로 산정된다.

$$EMC = \frac{\sum_{i=1} V_i C_i}{\sum_{i=1}^{n} V_i}$$

V_i : i 기간동안 유량(Volume of Flow)

C_i : i 기간과 관련된 평균농도(Average Concentration)

n : 강우사상동안 측정 결과의 총수

- 평균 EMC는 개별 강우사상의 EMC를 산술평균하는 방법으로 산정한다.

$$\text{평균EMC} = \frac{\sum_{i=1}^{m} EMC_j}{m}$$

m : 측정된 강우사상의 수

③ 평균 농도법(Mean Concerltration)은 평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 효율을 산정하는 방법이다.

$$\text{평균농도에희한효율} = 1 - \frac{\text{평균유출농도}}{\text{평균유입농도}}$$

이 방법은 오염부하와 달리 오직 농도만으로 제거효율을 평가하는 방법이며, 유량자료가 없거나 단일 시료에 대한 평가에 적용될 수 있다. 그러나 이 방법은 강우사상 전체에 대한 평가방법으로는 부적합할 수 있다.

Chapter V

지하매설 비점오염 저감시설의 안전시설 기준

01 개요
02 일반 사항
03 지하매설 시설의 세부 안전시설 기준

환경부

01 개요

지하매설 비점오염저감시설의 안전시설 기준은 저감시설을 설치한 후 시설의 청소, 준설, 여재교체 등 시설별 유지관리 수행 시 작업을 용이하게 하고 작업자의 안전을 확보할 수 있도록 하는 안전시설 기준을 말한다.

해설

비점오염저감시설을 계획 · 설계할 때에는 설치 후 운영 시 유지관리가 용이하고 작업자의 안전이 확보될 수 있도록 충분히 검토하여야 한다.

특히 지하 저류조와 장치형 시설은 기본적으로 지하에 설치되고 설치위치의 지형 및 기존 우수관거와의 접합조건 등에 따라 매설심도가 깊어질 수 있어 운영 및 유지관리를 위한 시설계획이 더욱 중요하다.

따라서 지하에 매설되는 비점오염저감시설은 유지관리를 보다 안전하고 용이하게 할 수 있도록 본 안전시설 기준을 활용하여 설계하는 것이 바람직하다.

02 일반 사항

① 지하에 매설되는 비점오염저감시설은 구조적으로 안전하여야 한다.

② 지하에 매설되는 비점오염저감시설은 작업자의 시설 진출입이 안전하고 용이하여야 한다.

③ 지하에 매설되는 비점오염저감시설은 종류별, 기술(공법)별 필요한 유지관리를 할 수 있는 충분한 내부공간을 확보하여야 한다.

해설

① 지하에 매설되는 저감시설은 자중, 적재하중, 수압, 토압, 지진력 및 부력 등 예상되는 하중에 대하여 구조상 안전하고 또한 경제적이며 내구적이어야 한다. 또한 오염농도가 높은 초기 강우유출수를 처리하는 시설이므로 시설의 누수가 없도록 구조나 재료를 선택하여 설계하여야 한다.

② 저감시설은 강우 전 · 후 시설 내 청소, 준설, 여재의 교체 등 지속적이고 빈번한 유지관리활동이 이루어져야 하는 만큼 작업자의 진출입이 안전하고 용이 하도록 설치하여야 한다. 시설 진출입을 위한 시설(안전대책)은 저감시설의 크기와 매설심도를 고려하여 결정하는 것이 바람직하다.

③ 저감시설은 앞서 설명한 바와 같이 시설 내부에 지속적인 유지관리가 필요하므로 작업자가 내부에서 기계설비의 교체, 여재교체, 협잡물 수거 등(설치신고시 수립된 유지관리 계획)을 용이하게 수행할 수 있는 충분한 공간을 확보하는 것이 바람직하다.

03 지하매설 시설의 세부 안전시설 기준

출입구

① 맨홀은 원형과 각형을 사용할 수 있으며 유지관리 및 진출입이 용이하도록 충분한 크기로 설치한다.

② 맨홀 내부에는 고정 사다리 또는 계단형 사다리를 설치하여 작업자가 오르고 내리는데 안전하고 용이하도록 설치하여야 한다.

③ 맨홀 출입구는 작업자의 유지관리가 용이하고, 보행자 및 차량의 안전을 위하여 가급적 도로, 교차로 및 횡단보도 이외의 장소에 설치하여야 한다.

해설

① 맨홀은 원형과 각형을 사용할 수 있으나 원형의 경우 최소 내경 900mm(1호 맨홀) 이상을 사용하여야 하며, 저감시설 내부에 기기 등이 설치되는 경우 향후 유지관리를 고려하여 내경 1,200mm(2호 맨홀)이상 사용하는 것이 바람직하다. 각형은 상기 원형맨홀의 평면적에 준하는 크기를 고려하여야 한다.

② 맨홀 깊이(맨홀 뚜껑에서 구조물바닥까지)가 1.2m 이상인 경우 반드시 사다리를 설치하여야 하며 맨홀 출입부에서 시설 하부까지 바닥과 80° 이내로 유지되도록 설치하여야 한다. 또한 맨홀 출입구에는 맨홀 진입 시 작업자가 안전하게 사다리에 올라 탈 수 있도록 보조 손잡이를 사다리 좌우측 중앙부에 추가로 설치하는 것이 바람직하며 맨홀뚜껑 하부와 사다리와의 이격은 100mm 이하로 한다. 맨홀 출입구 구체길이가 짧아 바로 시설 내부로 연결되는 경우에는 계단식 사다리 설치를 적극 고려하여야 하며 이는 가능한 완만하게 설치하고 내식성 자재를 사용하는 것이 바람직하다. 계단식 사다리를 적용할 경우 맨홀은 원형보다는 각형이 바람직하며 시설의 격벽, 구조 등을 감안하여 위치를 결정하되 측면부에 설치하는 것이 바람직하다.

③ 시설 출입구는 작업자의 유지관리가 용이하고, 보행자 및 차량의 안전을 위하여 가급적 도로, 교차로 및 횡단보도를 피하여야 하며 청소, 준설, 유지보수공사 등을 위한 차량 진입이 가능한 위치에 설치하여야 한다.

시설 내부구조

① 저감시설 내부 공간은 유지관리상 작업자가 서서 작업할 수 있도록 계획한다.

② 저류시설의 경우에는 정체수 배제가 없어 유해가스 등이 발생할 수 있으므로 환기가 가능한 구조로 설치하여야 한다.

해설

① 시설 내부는 작업자가 서서 작업할 수 있고 청소, 준설, 여재교체 시 작업물을 용이하게 운반 · 제거할 수 있도록 수평공간은 0.9m 이상, 수직 작업공간은 1.8m 이상 확보하는 것이 바람직하다. 다만 여과형 시설 여과조의 경우에는 여재층 상단에서 1.5m 이상 확보하는 것이 바람직하다.

② 저류시설은 내부 정체수와 퇴적물 내 유기성 물질의 협기화로 유해가스가 발생할 수 있으므로 환기가 가능한 구조로 설치하여야 한다. 고정형 환기장치를 설치하는 경우 개구부는 외부로부터 빗물, 먼지, 작은 동물, 곤충 등이 들어가지 못하도록 갤러리(Gallery) 또는 방충망을 설치하며 방충망의 재질은 염화비닐, 스테인리스 등 내식성 있는 재질로 한다.

※ 여과형 시설은 강우 종료 후 48시간 이내 정체수를 배제토록 되어 있으므로 환기시설이 필수적이지는 않으며 다만 시설 진입 시 충분히 환기 후 작업을 시행하여야 한다.

Chapter VI

여과형 시설의 실험방법

01 개요
02 일반 사항
03 실험이 필요한 설계인자
04 실험조건 및 실험방법

환경부

01 개요

여과형 시설의 실험방법은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」시행규칙 별표6에 따른 여과형 시설에 대한 것으로 다양한 형태의 여과형 시설의 적정 가동, 제거효율 및 성능유지 가능여부에 대한 객관적 확인을 위한 최소한의 실험방법을 규정한다.

해설

「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 시행규칙 별표6에 따른 여과형 시설은 내부구조, 여재층의 형태, 여재 특성, 수리학적 특성 등이 매우 다양하기 때문에 강우 시 유입이 원활히 지속되고 권장하는 처리효율을 확보하며, 역세척 등으로 성능이 지속적으로 유지되는 지를 확인할 필요가 있다. 기술개발자는 비점오염저감시설을 설치하고자 하는 사업자가 적정한 기술을 선택할 수 있도록 본 실험방법을 준용하여 실험을 수행하고 실험결과보고서를 제공할 필요가 있다.

02 일반 사항

① 비점오염물질의 저감을 위해 여과형 시설을 적용하는 경우 설계의 근거가 되는 시설별 설계인자에 대한 실험결과보고서를 제출하여야 한다.

② 국가공인기관의 인 · 검증을 받은 시설에 대해서는 지정 · 인증 및 검증 시 축적된 실험결과를 활용할 수 있다.

③ 본 실험방법의 수행절차 및 결과는 신뢰성을 확보하여야 하며 기술제공자는 그 신뢰성을 확보할 수 있는 방안을 강구하여 함께 제시하여야 한다.

해설

① 여과형 시설을 적용하는 경우 매뉴얼에서 제시한 실험항목 및 방법에 따라 수행하여 제시하여야 한다. 이때, 실험장치의 구체적 제원(실험장치의 규격, 부대시설의 규모 및 용량 등), 세부적 실험방법(유입유량, 유입수 농도, 선속도, 역세척 방법, 손실수두 측정방법 등) 에 대하여 제시하고, 실험기자재의 구성 및 배치, 각 실험에 대한 사진대지와 처리효율 측정, 여재의 손실수두 측정, 역세척 시험 등에 대한 동영상을 제시하여야 한다. 또한 여과형 시설의 실험은 여재층 두께 및 여과선속도가 본 매뉴얼에 부합하여야 한다.

② 국가공인기관의 인 · 검증을 받은 시설은 기 수행된 실험결과를 활용하여 실험결과보고서를 작성할 수 있다. 다만, 운전조건이 본 매뉴얼 실험조건에 부합하는 경우에만 가능하다. 여기서 국가공인기관의 지정 · 인증 및 검증을 받은 시설이라 함은 환경신기술 인 · 검증, 건설신기술 지정 등을 의미한다.

③ 실험방법의 수행절차 및 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 실험일지, 실험수행 사진대지, 분석방법, 분석결과자료(Raw data) 등 실험의 신뢰성을 객관적으로 증빙할 수 있는 자료들을 작성하고 제시하여야 한다. 이때 보다 신뢰성을 확보하기 위해 제3기관(공공 연구기관, 대학교 및 부설연구소, 정부출연기관 등)에 의뢰하여 실험하는 것이 바람직하다.

03 실험이 필요한 설계인자

① 무부하시 시설 전체의 손실수두
② 적용되는 여재의 특성
③ 저감시설의 제거효율
④ 역세척 운전조건 및 환원정도

해설

① 무부하시 시설 전체 손실수두는 시설의 필요 단차도출을 위한 항목으로 시설의 유입부터 유출까지 시설 전체의 손실수두를 측정하여 제시하여야 한다. 이때, 무부하시 시설의 손실수두는 여재부의 손실수두를 감안하여 20cm가 넘지 않도록 하여야 하며 20cm를 초과할 경우 시설의 구조를 재검토하는 것이 바람직하다. 단, 실제 설계적용 시에는 실험 시와 관로 및 시설형태가 상이할 수 있으며, 연결관의 형태에 따라 손실수두가 변경 될 수 있으므로 손실수두 산정식을 적용하여 설계 손실수두를 적용하는 것이 바람직하다.

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$ (마찰 손실수두 산정공식)

h_L : 총 손실수두
f : 마찰손실계수
L : 관로의 길이(m)
D : 관경(m)
v : 유입 및 유출관의 유속(m/s)
g : 중력가속도(9.8m/s²)

$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$ (기타 손실수두 산정공식)

h_L : 총 손실수두
K : 손실수두계수
v : 유속(m/s)
g : 중력가속도(9.8m/s²)

② 여재 제원상 특성은 입경, 형상, 재질, 균등계수, 비중, 강도, 공극률과 투수속도에 대한 실험을 통해 제원을 상세히 제시하는 것이 바람직하며, 여재 제원에 대한 실험은 공인시험 성적서로 갈음할 수 있다.

③ 여과형 시설의 처리효율과 관련된 설계인자로는 여재부 손실수두 및 제거효율, 고형물부하에 따른 손실수두와 같은 설계인자가 있다.
이때 여재에 대한 손실수두와 제거효율, 고형물부하에 따른 손실수두와 같은 처리효율관련 설계인자는 '4. 실험조건 및 실험방법'에 따라 실험하여 결과를 제시하여야 한다.

④ 역세척을 위한 설계인자는 여재폐색에 따른 역세척 운전조건과 역세척 시 필요 공기량 및 역세수량, 이에 따른 여재의 손실수두 환원정도에 대한 결과제시가 필요하다. 해당 설계인자는 '4. 실험조건 및 실험방법'에 따라 실험하여 결과를 제시하여야 한다.

04 실험조건 및 실험방법

실험조건

① 유입농도는 SS 기준으로 150 ~ 350mg/l 정도로 한다.

② 제거효율의 측정은 유입고형물부하가 4 ~ 6kg/m^{2}의 150%에 도달할 때 까지 실시한다.

③ 역세척에 대한 실험은 폐색된 여재에 대해 역세를 진행하여야 하며, 여재의 조기폐색을 유도하기 위해 임의의 고농도를 유입시킬 수 있다.

해설

① 여과형 시설의 설치기준은 현재 연간 SS 처리효율이 80% 이상 되도록 정하고 있으므로 실험 시 SS를 기준으로 실험하되 유입농도는 150 ~ 350mg/l 정도로 하는 것이 바람직하다. 또한 유입수에 대하여 동일 입자 입경을 적용할 경우 왜곡이 발생할 우려가 있으므로 다음의 입자 입경 구성비에 따른다.

〈표 36〉 실내실험에 적용하는 유입수내 입자 입경 구성비

구분	유사의 입경 (㎛)		
	〈63	63–200	계
구성비 (%)	70 – 80	20 – 30	100

② 제거효율 측정을 위한 실험은 유입 고형물 부하가 4 ~ 6 kg/m^2 의 150%에 도달할 때까지 실시하고 이때까지의 제거효율을 제시한다. 단, 이때 시간에 따른 손실수두의 추세곡선이나 고형물부하에 따른 손실수두의 추세곡선을 얻을 수 있도록 실험을 진행하는 것이 바람직하다.

③ 역세척에 대한 실험은 여재를 폐색시킨 이후 실험하여야 하며, 여재층의 조속한 폐색을 유발하기 위하여 유입 SS 농도를 150 ~ 350 ㎎/L에 보다 높은 임의의 고농도를 유입시킬 수 있다.

여과형 시설의 실험방법

◉ 무부하 시 시설 전체의 손실수두 실험 (실험 불가할 시 손실수두 산정식 이용)

① 무부하 시 시설의 손실수두 실험은 청수로 수행한다.

② 무부하 조건의 유량 유입 시 시설의 손실수두를 측정하여 제시한다.

③ 30분 이상 운전하여 3회 이상 측정하고, 이때의 산술평균값을 제시한다.

◉ 여재의 물리적 특성 평가

① 여재의 입경, 형상, 재질, 균등계수, 비중, 강도, 공극율을 제시한다.

② 해당 실험의 경우 공인시험 성적서로 갈음할 수 있다.

◉ 여재부 투수속도 실험

① 무부하 시 시설의 손실수두 실험은 청수로 수행한다.

② 적정 투수속도는 입상여재의 경우 적용 여과선속도(20m/h 이하)의 2배 이상, 섬유상여재의 경우 1.5배 이상이 되어야 한다.

③ 해당 실험의 경우 공인시험 성적서로 갈음할 수 있다.

◉ 여재의 손실수두 실험

① 여재의 손실수두 실험에서 유입수는 청수로 한다.

② 무부하 시 여재자체의 손실수두가 10cm 이하가 되는지 확인하여야 한다.

해설

여재의 손실수두는 무부하 시 10cm 이하가 되는지 확인하여야 하며, 무부하 시 손실수두가 10cm를 초과할 경우 시설의 안정적인 처리를 위해 손실수두가 10cm 이하인 여재로 변경하는 것이 바람직하다.

◉ 여재의 제거효율 실험

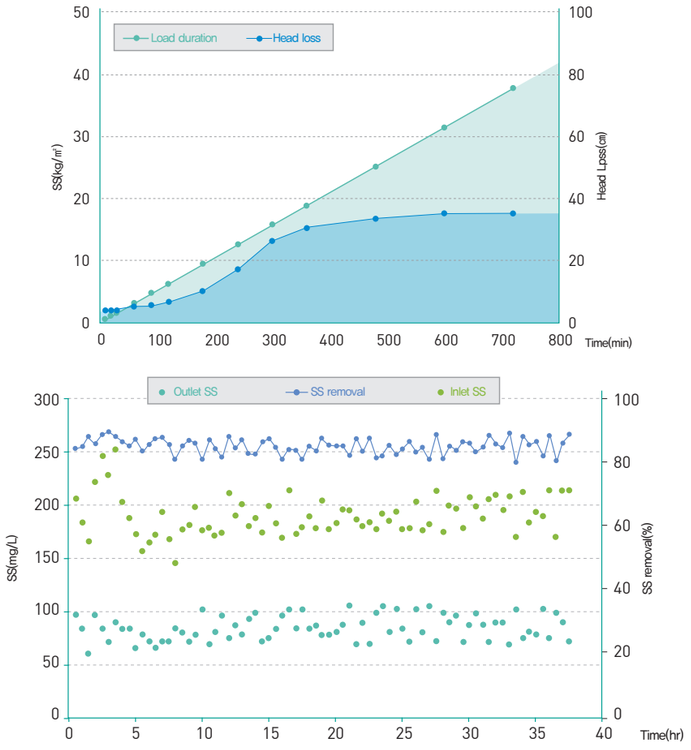
① 유입 농도는 SS 기준으로 150~350mg/L 정도로 하여 실험하며, SS 제거 효율이 80% 이상 되는 지를 실험을 통해 확인한다.

② 여과 실험의 경우 1cycle 수행 시, 유입수, 처리수의 샘플링 및 수질 측정 간격을 최소 30분 이하로 하고, 고형물 부하량 분석을 위해 샘플링 간격에 따라 처리 유량, 여재부 손실 수두 등을 동시에 측정하여 결과값을 제시해야 한다.

③ 추가적으로 역세 후 처리 성능 유지 여부 확인을 위해 최소 3cycle 이상 여과 실험을 수행한다 (1cycle : 여과 실험 및 막힘 현상 발생 후 역세 수행 포함).

해설

SS 제거 효율은 실험시설의 제거효율이 80% 이상인지를 확인한다. 이때 실험시설은 해당 공법의 수리적 특성을 반영(상향류 또는 하향류)한 시설이어야 한다.



〈그림 48〉 여재부 손실수두 및 제거효율 실험결과 예시

◉ 고형물부하에 따른 손실수두 실험

① 유입농도는 SS 기준으로 150 ~ 350mg/l 정도로 한다.

② 유입농도조건에 따라 지속적으로 유입 후 누적고형물 부하별 손실수두를 확인하여 제시한다.

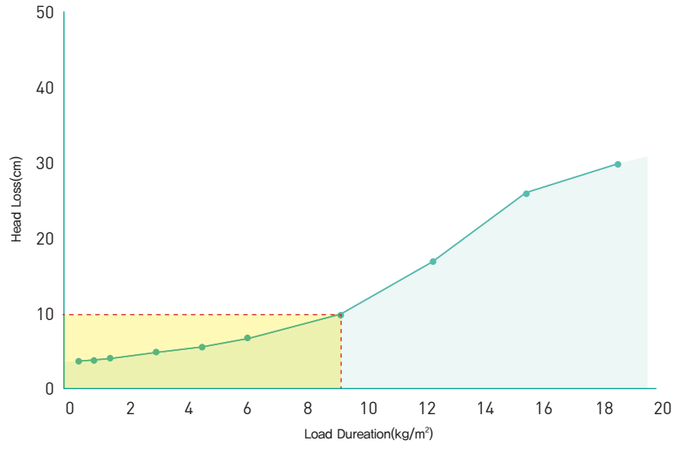
해설

유입농도조건에 따라 지속적으로 제조수를 유입하여 누적고형물부하를 분석하고, 누적고형물 부하에 따른 여재층의 손실수두를 제시하여야 하며, 여재층의 손실수두는 누적고형물부하 4 ~ 6kg/m² 의 150% 내에서 최대 10cm 이내여야 한다. 이때, 누적고형물 부하량은 다음의 식으로 산정한다.

$$L\ (Kg/m^2,\ 고형물\ 부하) = \frac{Q \times C \times T}{A}$$

Q: 유입유량(m^3/min)
C: 유입농도(mg/l)
T : 지속시간(min)
A : 여재면적(m^2)

단, 유입농도는 전체 실험기간 동안 유입수 SS 농도를 3회 이상 측정하고, 이를 산술평균한 값을 적용한다.



〈그림 49〉 고형물부하별 손실수두 실험결과 예시

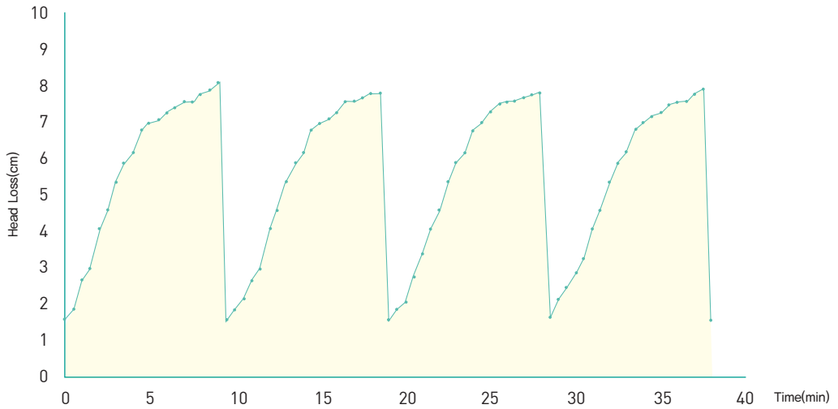
◉ 역세척 운전조건 및 손실수두 환원정도 실험

① 유입농도는 SS 기준으로 150 ~ 350mg/l 정도 이상으로 한다.

② 여재부가 폐색되었을 때를 기준으로 실험한다.

③ 역세를 통한 여재의 손실수두 환원에 대한 실험은 손실수두 회복이 확인될 때까지 역세척 실시하고, 최소 3회 이상 반복 실험하여 역세척 주기를 도출해야 한다.

④ 역세시간, 공기량, 역세수량은 시설의 특성을 고려하여 결정하되 적절한 실험결과를 제시하여야 한다.



〈그림 50〉 역세척 운전조건도출 및 손실수두 환원정도 실험결과 예시

해설

역세척 운전조건의 경우 여재의 폐색이 선행되어야 하므로 기준 실험조건보다 높은 극한조건으로 여재가 폐색되도록 할 필요가 있다. 이때 폐색된 여재의 손실수두를 기준으로 계획된 공기량 및 역세수량을 이용해 손실수두 환원 정도를 확인하여야 하며, 이때 역세 실험에서 사용된 역세수 공급량, 공기 공급량, 역세수 특징 (시상수, 여과처리수 등), 역세척 방법, 역세척 시간 등에 대해 구체적으로 제시하여야 한다. 단, 계획된 역세시간, 공기량 및 역세수량에 의한 역세에도 손실수두가 초기 상태로 환원되지 않을 경우 역세계획을 변경하여 손실수두가 초기상태로 환원되는 적정 시간, 공기량 및 역세수량을 도출하여야 하며, 이때 손실수두 환원 정도를 제시하여야 한다.

단, 역세척의 경우 매뉴얼에서 제시한 기준과의 차이가 50% 이상이거나, 역세척 방법을 공기세척 또는 수세척 중 단일방법으로 하는 등 매뉴얼과 상이한 경우 파일럿실험(Pilot Test)을 통하여 결과를 제시하여야 한다. 여기서 파일럿실험(Pilot Test)은 시설이 현장에 설치되어 운전되는 조건과 동일하게 하여야 하며, 최소 여과단면적은 1㎡ 이상으로 한다.

비점오염저감시설
설치 및 관리·운영 매뉴얼

발행일 | 2016년 2월

발행처 | 환경부

편집인 | **환경부 물환경정책국 수생태보전과**

한국환경공단 수생태시설처

문의처 | **환경부 물환경정책국 수생태보전과**

TEL : 044-201-7050

FAX : 044-201-7054

한국환경공단 수생태시설처

TEL : 032-590-4487

FAX : 032-590-4489