

발 간 등 록 번 호

11-1543000-001998-01



## 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼



농림축산식품부



한국농어촌공사

# CONTENTS



## 제1장 총론

1.1 매뉴얼의 개요 .....	2
1.1.1 매뉴얼의 목적 .....	2
1.1.2 매뉴얼의 구성 .....	2
1.1.3 매뉴얼의 활용범위 및 주의사항 .....	5
1.2 용어의 정리 .....	5
1.3 농업용수 수질개선사업 .....	7
1.3.1 법적근거와 성격 .....	7
1.3.2 사업의 기본원칙 .....	9
1.3.3 사업의 시행절차 .....	10
1.3.4 사업단계별 주요내용 .....	11



## 제2장 현황 분석 및 조사

2.1 조사의 목적과 기본원칙 .....	22
2.1.1 조사의 목적 .....	22
2.1.2 조사의 기본원칙 .....	22
2.2 조사 개요 .....	23
2.2.1 조사계획 .....	23
2.2.2 조사항목 .....	23
2.2.3 조사방법 .....	24
2.2.4 사업의 단계 및 규모별 조사 분야와 요구 수준 .....	26
2.3 일반현황 조사 .....	28



2.4 오염원 조사 및 부하량 산정 .....	31
2.5 수질 조사 .....	34
2.6 생태 조사 .....	36
2.7 수리·수문 조사 .....	38
2.8 토양 및 퇴적물 조사 .....	42
2.9 수질예측 .....	44
2.10 토목 조사 .....	49
2.11 지역주민 의견수렴 .....	50



### 제3장 수질개선사업 계획

3.1 계획의 기본구상 .....	52
3.2 수질오염 특성 분석 .....	56
3.3 유입·삭감부하량 산정 방법 .....	57
3.4 적용가능 대책 수질개선공법 선정 .....	59
3.5 공법의 설계 방향 및 검토사항 .....	63
3.6 수질개선대안 설정 및 수질예측 .....	68

# CONTENTS



## 제4장 수질개선대책 세부설계

4.1 유역대책 .....	82
4.2 유입수 대책 .....	83
4.2.1 공통계획 및 시설 .....	83
4.2.2 인공습지_지표흐름습지 .....	87
4.2.3 인공습지_지하흐름습지 .....	95
4.2.4 인공습지_지표-지하 조합형 인공습지 .....	98
4.2.5 식생수로 .....	99
4.2.6 침강지(sedimentation basin) .....	102
4.2.7 미세조류 수처리 공법 .....	107
4.2.8 바이오스톤볼 접촉산화시설 .....	111
4.2.9 사상성 조류매트 산화지 공법 .....	113
4.3 호내대책 .....	114
4.3.1 포식성 천적생물 적용기술 .....	114
4.3.2 퇴적물 준설 .....	119
4.3.3 물순환장치 .....	120
4.3.4 응집제에 의한 영양염류 및 퇴적물 용출제어 .....	123
4.3.5 다단 가압부상 장치 기술 .....	125
4.4 호안공법 .....	126
4.5 수질개선사업 시공관리 .....	138



제5장 운영 및 유지관리 .....	144
---------------------	-----



## [해설편]

<b>제2장 현황 분석 및 조사</b> .....	159
1. 부하량 산정 .....	160
2. 수질 조사 .....	168
3. 생태조사 .....	173
4. 토양의 수문학적 특성조사 .....	178
5. 수질예측모형 종류 및 선정 .....	179
6. 토목조사 .....	203
<b>제3장 수질개선사업 계획</b> .....	207
1. 계획의 기본구상 .....	208
2. 수질개선 목표 설정 .....	209
3. 수질오염 특성 분석 .....	216
4. 유입·삭감부하량 산정 방법 .....	219
5. 적용가능 대책 수질개선공법 선정 .....	222
6. 공법의 설계 방향 및 검토사항 .....	225
7. 수질개선대안 설정 및 수질예측 .....	227
<b>제4장 수질개선대책 세부설계</b> .....	241
1. 유역 대책 세부설계요령 .....	242
2. 유입수 수질개선대책시설 세부 설계 요령 .....	248
3. 호내 대책 .....	376
<b>제5장 운영 및 유지관리</b> .....	413
1. 일반적 유지관리 .....	414
2. 수질개선대책시설별 유지관리방안 .....	417
3. 현장 점검주기 .....	437



# 제1장 총론





# 제1장 총론

## 1.1 매뉴얼의 개요

### 1.1.1 매뉴얼의 목적

- 본 매뉴얼의 목적은 농업용수 수질개선사업에 필요한 조사·설계의 기본 방향 및 제반절차에 대한 해설을 제공하고, 수질개선사업 추진시 오염원, 수질특성 등 현장 여건을 충분히 감안하여 각 전문분야별 조사·계획 및 설계를 적절하게 수립할 수 있도록 함으로서 수질개선사업이 효과적, 안정적으로 이루어지도록 하는 것에 있음
- 본 매뉴얼은 2009년 편찬된 「농업용저수지 수질개선 조사·설계 편람」의 내용을 보완, 수정한 것으로 최신의 수질개선기술을 반영하고, 설계, 유지관리 분야의 문제점을 해결하여 수질개선사업 공법 선진화와 설계, 유지관리 분야의 실효성을 향상 시키고자 하였음

### 1.1.2 매뉴얼의 구성

- 본 매뉴얼은 제1장 총론, 제2장 현황분석 및 조사, 제3장 수질개선 사업계획, 제4장 수질개선대책 세부설계, 제5장 운영 및 유지관리로 구성되어 있음

#### 가. 총론의 구성

- 총론은 매뉴얼의 개요, 용어의 정의, 농업용수 수질개선사업 개요로 구성됨
- 제1절 매뉴얼의 개요에서는 매뉴얼의 작성목적, 구성, 활용범위 및 주의사항에 대하여 기술함
- 제2절 용어의 정의에서는 본 매뉴얼에 사용된 중요한 용어에 대한 정의를 수록함
- 제3절 농업용수 수질개선사업 개요에서는 본 사업의 법적근거, 기본원칙, 시행절차, 사업단계별 주요내용에 대하여 기술함

## 나. 현황분석 및 조사의 구성

- 현황조사는 농업용수 수질개선사업의 계획수립에 필요한 전문분야별 조사항목으로 총 12개의 절로 구성되어 있음
- 제1절은 조사의 목적과 기본원칙에 대해 기술함
- 제2절은 조사 전반에 필요한 개요로 조사계획, 조사항목 및 조사방법, 사업단계와 사업규모에 따른 조사 분야 및 요구수준에 대해 기술함
- 제3절은 사업대상지구의 전반적인 일반현황조사로서 저수지 포함 유역의 지형·지세, 기상·수문조건, 자연환경, 저수지 제원·기능, 유역상황, 홍수위부지 현황, 문화재지표조사, 관련 상위계획 조사 등에 대해 기술함
- 제4절은 오염원 조사 및 부하량 산정으로 생활계, 축산계, 산업계, 토지계 및 양식계 등 각 오염원의 조사요령 및 부하량 산정방법 기술함
- 제5절은 수질조사에 대해 조사 범위와 항목, 지점, 빈도, 조사 및 분석방법에 대하여 기술함
- 제6절은 생태분야별 조사항목과 조사빈도에 관하여 기술하였으며 조사·설계자가 사업성격에 따라 선택하여 반영할 수 있도록 제시함
- 제7절 수리·수문조사에서는 기상, 지형 및 지질, 용·배수계통 등 수리(水利) 상황, 유역 및 하천조사, 토지이용상황, 토양수문군 분류방법 등에 관하여 기술함
- 제8절 토양 및 퇴적물 조사에서는 조사범위, 조사지점, 조사항목 및 조사빈도, 조사 및 분석 방법에 대하여 기술함
- 제9절 수질예측모형 종류 및 선정에서는 수질개선 사업에 적용가능한 유역과 수체의 수질예측모형 종류를 기술하고, 각 수질예측모형별 장·단점을 기술하여 사용자에게 적합한 모형을 선택하도록 제시함
- 제10절 토목조사에서는 유역 및 하천조사, 지형 및 수심측량, 기초지반조사 등에 관하여 기술함
- 제11절 지역주민 의견수렴에서는 지역주민 의견수렴 대상 및 방법과 의의에 대하여 기술함

## 다. 수질개선 사업계획의 구성

- 수질개선 사업계획에서는 기본구상, 수질오염 특성 분석, 유입부하량, 삭감부하량 산정방법, 적용가능 대책 수질개선공법 선정, 공법의 설계 방향 및 검토사항, 수질개선대안 설정 및 수질예측의 6개 절로 구성함

- 제1절 계획의 기본구상에서는 계획수립의 절차, 사업목표와 목표수질 설정요령에 대하여 기술함
- 제2절 수질오염 특성분석에서는 수질오염 유형분류와 그에 따른 대책, 오염원 분포 특성을 제시함
- 제3절 유입·삭감부하량 산정방법에서는 오염원자료로부터 유역의 유입부하량 및 삭감부하량을 산정하는 것에 대해 기술함
- 제4절 적용가능대책 수질개선공법 선정에서는 수질개선공법 중에서 자연정화공법에 대한 기본적인 수처리 효율과 적용조건을 제시하고, 농촌지역에 적합한 수질개선계획수립 방향에 대하여 기술함
- 제5절 공법의 설계방향 및 검토사항에서는 공법선정을 위한 검토사항, 수질개선공법분류 및 선정요령, 설계강우량 산정방법 등을 기술함
- 제6절 수질개선대안 설정 및 수질예측에서는 대안설정 방법과 그에 따른 수질예측 방법, 유역모델과 저수지모델의 연계 방안 등을 기술함

#### 라. 수질개선대책 세부설계의 구성

- 제4장은 본 매뉴얼의 핵심 중점분야로 수질개선사업에 적용 가능한 수질개선공법에 대한 기본 설계 인자와 설계요령을 제시하여 수질개선공법의 세부 설계 대책수립을 효과적이고 효율적으로 수행할 수 있도록 구성함
- 각론으로 들어가기 전에 설부설계시 Check list를 제시하여 설계 전 중점사항을 사전 검토할 수 있도록 하였음
- 제1절 유역대책에서는 소규모하수도 공법의 정화원리 및 특징과 설계요령, 적용사례로 구성하여 기술함
- 제2절 유입수대책에서는 총 8개 수질개선대책시설의 정화원리 및 특징과 설계요령, 적용사례로 구성하여 기술함
- 제3절 호내대책에서는 최신기술을 포함한 총 5개 수질개선공법에 대한 정화원리 및 특징과 설계요령, 적용사례로 구성하여 기술함
- 제4절 호안공법에서는 수질개선대책 적용시 필요한 호안공법에 대한 기술별 특성과 설계요령, 적용사례로 구성하여 기술함
- 제5절 수질개선사업 시공관리에서는 수질개선대책 시설 설계후 시공단계에 필요한 공법별 현장점검사항을 제시하여 적정 설계와 시공관리가 용이 하도록 제시함

## 마. 운영 및 유지관리의 구성

- 제5장 운영 및 유지관리에서는 운영 및 유지관리의 기본방향 및 목표를 제시하였으며, 각 시설별 유지관리방안을 포함함
- 또한, 유지관리에 대한 일반적인 사항으로 유지관리 계획수립, 모니터링과 관리체제 및 유지관리 방법에 대해 기술하고, 수질개선 시설별 유지관리방안에 대해 제시함

### 1.1.3 매뉴얼의 활용범위 및 주의사항

- 본 매뉴얼은 농업용수 수질개선사업 계획수립, 설계, 시공에 활용함
- 농업용수 수질개선방법은 오염물질의 종류, 오염의 형태, 대상시설 규모, 적용기술의 안정성, 지역의 특수성, 전문분야의 다양성, 환경과의 조화 등의 조건에 따라 매우 광범위할 수 있으므로 본 매뉴얼의 적용범위는 제한적일 수 있음
- 사업대상 지구의 오염특성과 여건 등에 따라 특별한 수질개선 방법이 필요할 경우에는 새로운 기술이나 기법의 적용도 가능하며 이러한 경우에는 전문가의 자문 등 도입 방안에 대한 검토를 거쳐야 함
- 본 매뉴얼 내용 중에서 참고문헌이 제시되면 필히 참고문헌을 찾아 구체적인 이론과 계수 등을 확인하여 적용하여야 함

## 1.2 ○ 용어의 정리

본 매뉴얼에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

- “농업용수 수질개선사업”이라 함은 농어촌정비법 제21조 제3항의 “농어촌 용수의 수질개선대책 등”의 일환으로 추진되는 수질개선사업으로 농업용저수지와 담수호를 대상으로 함
- “수질개선 대상구역”이라 함은 농업용수 수질개선사업에서 목표수질을 설정하여야 하는 수계 구간 및 그 영향을 주는 유역을 말함
- “점오염원”이라 함은 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제2조 규정에 의한 폐수배출시설, 하수 발생시설, 축사 등으로서 관거·수로 등을 통하여 일정한 지점으로 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말함
- “비점오염원”이라 함은 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제2조에서 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원으로 정의하고 있음

- “강우유출수”라 함은 비점오염원의 수질오염물질이 섞여 유출되는 빗물 또는 눈 녹은 물 등을 말함
- “불투수층”은 빗물 또는 눈 녹은 물 등이 지하로 스며들 수 없게 하는 아스팔트, 콘크리트 같은 포장된 지붕, 도로, 주차장, 보도 등을 말함
- “수질오염물질”이라 함은 “점오염원” 및 “비점오염원”으로부터 발생하는 유기물, 유사, 영양염류, 병원균, 독성물질 등 수질오염의 원인 물질을 말함
- “발생부하량”이라 함은 “점오염원” 및 “비점오염원”으로부터 발생하는 오염부하량으로 발생원단위를 이용하여 산정한 것을 말함
- “배출부하량”이라 함은 발생부하량 중에서 공공수역으로 배출되는 오염부하량으로써 배출원단위를 이용하여 산정한 것을 말함
- “유달부하량”이라 함은 배출부하량이 지천을 통하여 대상 수역까지 유입되는 과정에서 자정되어 감소되는데, 이 때 대상지점까지 도달된 부하량을 말함
- “삭감”이라 함은 수질환경에 미치는 악영향을 감소시키기 위해 오염원의 관리 및 처리방법을 통해 오염물질의 부하량을 제거 또는 감소시키는 것을 말함
- “수질모델링”이라 함은 계산식 또는 전산모델을 이용하여 오염원과 수질의 관계를 분석하고 오염부하량의 증감을 비롯한 환경요인 변화에 따른 수질변화를 모의하는 것을 말함
- “유역대책”이라 함은 하·폐수처리시설, 분뇨 및 축산폐수공공처리 시설, 소규모하수도시설 등 상류 유역에서의 점오염원 및 비점오염원 대책을 말함
- “유입수 대책”이라 함은 저수지로 유입되는 하천이나 배수로, 저수지 홍수위부지 등에 적용하는 인공습지, 침강지, 초생수로, 식생여과대, 침투도랑, 습식저류지, 생물포착지 등의 대책을 말함
- “호내 대책”이라 함은 저수지 홍수위부지, 수변부, 호수면에 적용하는 퇴적물준설, 물순환장치 등의 대책을 말함

## 1.3 ○ 농업용수 수질개선사업

### 1.3.1 법적근거와 성격

#### 가. 법적 근거

- 농업용수 수질개선사업 시행은 농어촌정비법 제 21조와 동법 시행령 제 28조, 친 환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률(시행 2017.6.3.) 제 7조와 제10조에 근거를 두고 있음

**[표 1] 농업용저수지 수질개선사업 시행에 대한 관련 법규**

※ 농어촌정비법 제 21조(농어촌용수 오염방지와 수질개선 등)
<p>① 농림축산식품부장관이나 농업생산기반시설관리자는 오염물질이 흘러들어 농어촌용수가 오염되어 영농과 농어촌 생활환경에 지장을 줄 우려가 있다고 인정되면 환경부장관이나 지방자치단체의 장에게 다음 각 호에서 규정하고 있는 명령과 조치 등을 하도록 요구할 수 있다. &lt;개정 2013.3.23., 2014.3.24., 2017.1.17.&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 「물환경보전법」 제12조 및 제39조부터 제44조까지의 규정</li> <li>2. 「하수도법」 제25조제2항, 제33조, 제40조제1항·제2항 및 제41조제1항</li> <li>3. 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」 제10조제2항, 제17조제4항 및 제25조제10항</li> <li>4. 「지하수법」 제16조 및 제16조의3</li> </ol> <p>② 환경부장관 또는 시·도지사는 제1항의 요구를 정당한 사유없이 거부하여서는 아니된다.</p> <p>③ 농림축산식품부장관은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 농어촌용수 오염으로 영농과 농어촌 생활환경에 지장을 줄 것이 우려되면 농어촌용수의 수질개선 대책을 수립·시행할 수 있다. &lt;개정 2013.3.23.&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 저수지 및 담수호 등 호수와 늪의 수질오염</li> <li>2. 농경지에서 발생하거나 배출되는 오염물질로 인한 농어촌용수의 오염</li> <li>3. 「지하수법」 제16조의2에 따른 지하수오염유발시설로 인한 농어촌용수의 오염</li> </ol> <p>④ 농림축산식품부장관은 농어촌용수 오염 방지 및 수질개선 대책 수립을 위하여 환경부장관과 협의하여 전국적인 농어촌용수 수질측정망을 구축·운영하여야 한다. 이 경우 농림축산식품부장관은 농어촌용수 수질측정망 구축·운영 계획을 환경부장관에게 통보하여야 하며, 환경부장관은 「물환경보전법」 제9조의2에 따른 측정망 설치계획의 결정·고시에 이를 포함하여야 한다. &lt;신설 2015.1.6., 2017.1.17.&gt;</p> <p>⑤ 농림축산식품부장관은 제4항에 따른 농어촌용수 수질측정망 운영 결과를 환경부장관에게 제공하여야 한다. &lt;신설 2015.1.6.&gt;</p> <p>[시행일 : 2018.1.18.] 제21조</p>

**[표 1] 농업용저수지 수질개선사업 시행에 대한 관련 법규 (계속)**

**※ 농어촌정비법 시행령 제 28조(농어촌용수의 수질개선대책 등)**

① 법 제21조 제3항에 따른 농어촌용수의 수질개선 대책에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 농어촌용수의 오염현황 및 전망
  2. 농어촌용수의 수질개선을 위한 사업 주체별·단계별 대책 및 사업계획
- ② 농림축산식품부장관은 농어촌용수의 수질개선을 위한 대책의 수립을 위하여 농어촌용수의 수질오염 실태를 파악하려면 농림축산식품부령으로 정하는 전문검사기관에 수질검사를 의뢰할 수 있다.

**※ 친환경농어업법 제7조(친환경농어업 육성계획)**

① 농림축산식품부장관 또는 해양수산부장관은 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 5년마다 친환경농어업 발전을 위한 친환경농업 육성계획 또는 친환경어업 육성계획(이하 "육성계획"이라 한다)을 세워야 한다. <개정 2013.3.23.>

② 육성계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. <개정 2013.3.23., 2016.12.2.>

1. 농어업 분야의 환경보전을 위한 정책목표 및 기본방향
  2. 농어업의 환경오염 실태 및 개선대책
  3. 합성농약, 화학비료 및 항생제·항균제 등 화학자재 사용량 감축 방안
  - 3의2. 친환경 약제와 병충해 방제 대책
  4. 친환경농어업 발전을 위한 각종 기술 등의 개발·보급·교육 및 지도 방안
  5. 친환경농어업의 시범단지 육성 방안
  6. 친환경농수산물과 그 가공품 및 유기식품등의 생산·유통·수출 활성화와 연계강화 및 소비 촉진 방안
  7. 친환경농어업의 공익적 기능 증대 방안
  8. 친환경농어업 발전을 위한 국제협력 강화 방안
  9. 육성계획 추진 재원의 조달 방안
  10. 제26조 및 제35조에 따른 인증기관의 육성 방안
  11. 그 밖에 친환경농어업의 발전을 위하여 농림축산식품부령 또는 해양수산부령으로 정하는 사항
- ③ 농림축산식품부장관 또는 해양수산부장관은 제1항에 따라 세운 육성계획을 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사(이하 "시·도지사"라 한다)에게 알려야 한다. <개정 2013.3.23.>

**※ 친환경농어업법 제10조(농어업 자원 보전 및 환경 개선)**

① 국가와 지방자치단체는 농지, 농어업 용수, 대기 등 농어업 자원을 보전하고 토양 개량, 수질 개선 등 농어업 환경을 개선하기 위하여 농경지 개량, 농어업 용수 오염 방지, 온실가스 발생 최소화 등의 시책을 적극적으로 추진하여야 한다.

② 제1항에 따른 시책을 추진할 때 「토양환경보전법」 제4조의2와 제16조 및 「환경정책기본법」 제12조에 따른 기준을 적용한다.

## 나. 기본성격

- 최근 농업·농촌정책은 6차 산업의 활성화와 함께 농촌어메니티를 중시하는 농촌 지역 정책이 주가 되고 있으며, 과거 농업용저수지가 농업의 생산기능, 특히 쌀 생산기능에 한정적으로 활용되어 온 반면 현재는 농업의 다원적 기능을 유지·보전하는 차원에서 그 기능을 확대하는 방안으로 적극 모색되고 있음
- 농업용수 수질개선사업은 농업생산기반 정비사업 뿐만 아니라, 농촌지역 개발사업, 자연환경 보전사업 등 공공사업의 성격을 가지고 있음

### 1.3.2 사업의 기본원칙

- 농업용수 수질개선사업은 사업효과의 극대화를 위하여 필요한 경우에는 관계기관과 협의하여 마을하수도정비사업, 하천정비사업, 농업생산기반정비사업 등과 연계하여 시행할 수 있음
- 사업시행은 지역 및 재정여건을 고려하여 단계별로 추진하며, 중앙정부, 지자체, 수면관리자 및 지역주민이 각자 역할분담을 통해 효율적인 수질관리 체계를 구축하여 사업효과를 높이고 지속적인 유지관리가 가능하도록 해야 함
- 수질개선공법은 운영, 유지관리가 용이하고 주변지형, 자연환경 등과 조화를 이루도록 친환경적인 공법으로 선정하되, 국내외 적용사례 등을 고려하여 수처리 효율이 안정적인 것을 선택함
- 농업용수 수질개선사업은 국가환경종합계획, 자연환경보전기본계획 등 상위계획을 수용하여야 하며, 시·군종합계획, 농업·농촌발전계획, 정주권 개발계획 등 관련계획간 상충이 발생하지 않도록 하며, 계획의 방향 및 목표 설정, 수질개선대안 제시 등 일련의 계획과정이 일관된 체계를 유지하여야 함

### 1.3.3 사업의 시행절차

사업시행 절차는 농림사업시행지침의 내용을 원칙으로 하되, [그림 1]과 같이 예정지(타당성)조사, 기본조사, 세부설계를 순차적으로 시행하며, 공사의 규모와 특성에 따라 타당성조사와 기본조사 또는 기본조사와 세부설계를 함께 시행할 수도 있음



[그림 1] 농업용수 수질개선사업 시행절차

### 1.3.4 사업단계별 주요내용



#### 예정지 조사

- **조사대상** : 농업용수 수질개선 중장기대책('16. 12월)에서 정한 수질개선 대상 저수지
  - ▶ 일반적으로 수질오염이 심각하거나, 수질오염으로 인한 민원 발생 등으로 수질개선이 시급하다고 판단되는 시설 또는 친수요구도, 생태보전 기능 등 용수요구도가 높아 지역 주민, 용수공급자 및 지자체, 시설관리자가 사업시행을 적극 요구하는 지역
- **조사내용** : 수질오염상태 진단에 필요한 최소항목에 대한 개략조사 실시
  - ▶ 농림축산식품부가 시달하는 사업예정지 조사요령을 참조하여 조사하고, 사업예정지 조사결과는 시·도에 제출
  - ▶ 다만, 대상지가 농업용수 수질측정망 지구인 경우 측정망조사 자료 이용 가능함
  - ▶ 수질개략조사는 수질오염 원인분석 및 평가를 목적으로 하며, 주요 지점에 대한 수질조사를 통해 수질개선사업의 필요성 여부를 종합적으로 검토함
  - ▶ 개략조사항목은 상류유역의 오염원조사 및 하천유황분석, 현장수질조사 결과 포함함
  - ▶ 오염원조사와 하천유황분석은 문헌자료를 우선 활용하되, 필요시 추가 조사
  - ▶ 수질항목은 pH, 수온, 전기전도도, 용존산소량(DO), 총유기탄소(TOC), 총질소(T-N), 총인(T-P), 부유물질(SS), 엽록소 a (Chl-a) 등 9 개 항목을 기본조사하며 필요시 추가
- **보고서에 포함될 사항** : 농림축산식품부가 시달하는 사업예정지 조사요령 참조
  - ▶ 시설 및 유역현황 : 시설 현황, 유역개황 및 주요 오염원, 저수지 활용 상황, 수질현황 및 주요오염원인, 환경기초시설 현황(계획) 등을 제시
  - ▶ 수질개선방안 : 수질개선목표, 오염 저감을 위한 실적 및 계획(유역, 호내), 타 사업 및 정책과 연계방안, 사업완료 후 활용 및 관리방안
  - ▶ 사업규모 및 내용 : 소요사업비, 사업내용, 연차별 투자계획



#### 사업예정지의 선정

- **예정지 선정(우선) 요령**
  - ▶ 수질오염도가 높고 주민접근성이 높은 지구
  - ▶ 저수지 상류오염원 저감대책이 수립 또는 계획되어 있어 수질개선효과를 볼 수 있는 지구
  - ▶ 상류 환경기초시설 보급률(계획포함)이 우수하여 호내 대책 병행시 수질개선이 용이한 지구
  - ▶ 지자체 및 주민의 수질보전 의지가 강하여 향후 유역오염원의 감소, 오염물질배출 저감 등을 기대할 수 있는 지구

### 사업예정지의 선정 (계속)

- ▶ 저비용으로도 목표수질을 달성할 수 있는 지구
- ▶ 타 정책사업과 연계하여 수질개선효과를 볼 수 있는 지구
- ▶ 수질개량조사 결과를 토대로 수질오염도, 수질개선 효과, 수질개선시설 규모, 개량사업비, 사업시행여건, 지역특성 등을 종합적으로 검토하여 사업의 우선순위를 결정함

### [표 2] 예정지 조사에 관련된 법적 근거

#### ※ 농어촌정비법 제7조(농업생산기반 정비계획과 예정지 조사)

- ① 농림축산식품부장관은 제3조에 따른 자원 조사 결과와 제4조에 따른 농어촌 정비 종합계획을 기초로 논농사, 밭농사, 시설농업 등 지역별·유형별 농업생산기반 정비계획을 세우고 추진하여야 한다.
- ② 농림축산식품부장관은 다음 각 호의 경우 제1항에 따른 농업생산기반 정비계획에 따라 해당 지역에 대한 예정지 조사를 하여야 한다.
  1. 농업생산기반 정비사업을 하려는 자가 신청하는 경우
  2. 농림축산식품부장관이 농업생산기반 정비사업의 필요성을 인정하는 경우

#### ※ 농어촌정비법 시행령 제 7조 (예정지 조사)

법 제7조제2항에 따른 농업생산기반 정비계획 대상지역에 대한 예정지 조사 대상 항목은 다음 각 호와 같다.

1. 사업 예정 지구의 현황
2. 사업별 투자 소요액
3. 사업 시행의 효과
4. 사업 시행 예정지의 위치도
5. 그 밖에 제1호부터 제4호까지에 준하는 사업타당성 판단에 필요한 사항

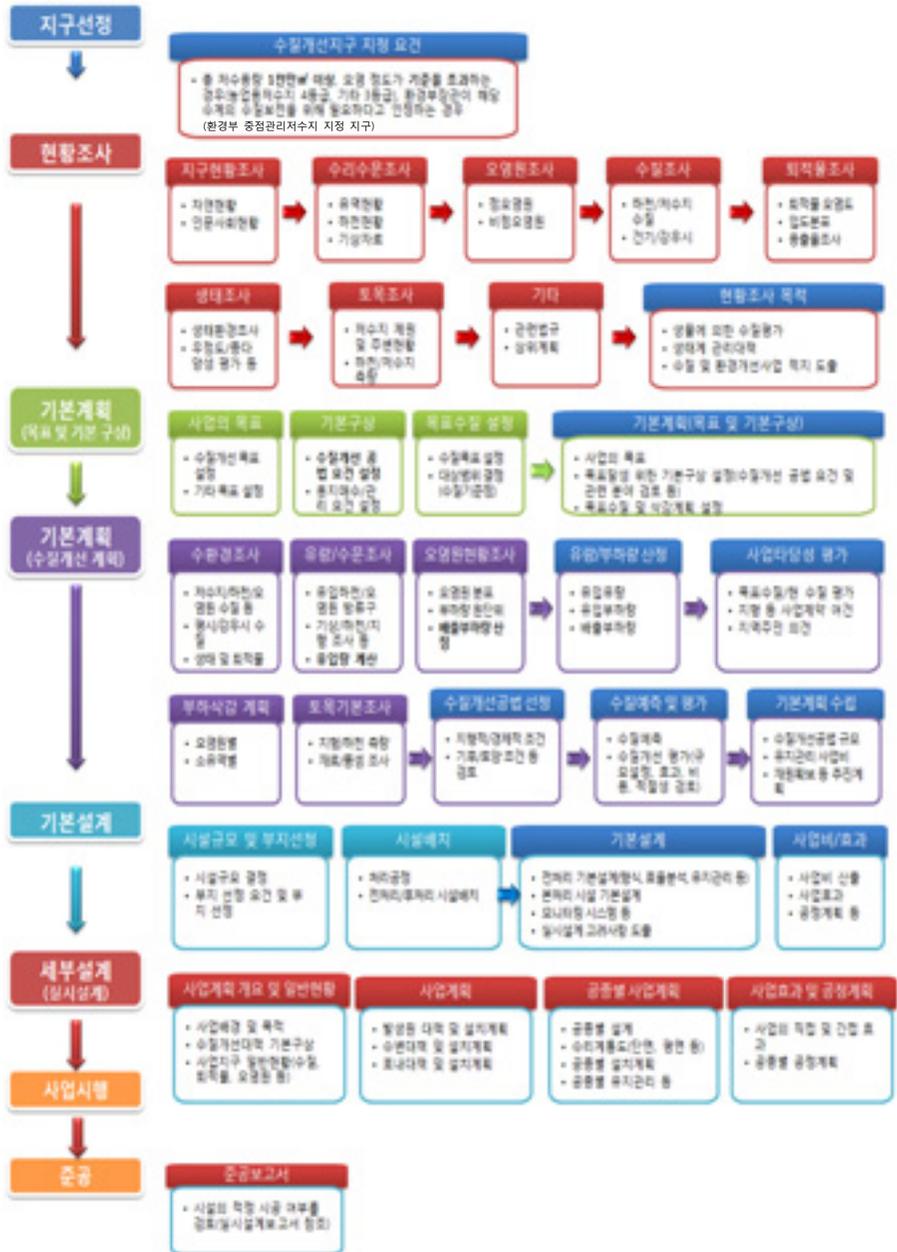
### 기본조사 및 세부설계

- 사업지구 선정 프로세스 : (시설관리자) 수질개선사업 예정지 조사서 작성, 시·도에 제출  
 ⇒ (시·도) 수질개선사업 예정지 조사서를 농식품부에 제출 ⇒ (농식품부) 수질개선사업  
 기본조사지구 선정 (사업대상지 선정 평가기준(붙임3)에 따라 기본조사지구 선정, 기본조  
 사 완료 후 확정된 기본계획에 따라 세부설계·사업착공)
- 조사·설계자는 다음 사항에 유의하여 조사를 실시함
  - ▶ 용지매수를 최소화할 수 있도록 최신의 수질개선공법을 적용하며 운영, 유지관리가 쉬  
 운 공법을 우선적으로 검토함
  - ▶ 수질개선 시설의 규모결정은 연간의 수질 및 유량 변화를 충분히 고려할 수 있도록 현  
 지조사를 충실히 실시한 후 결정함
  - ▶ 저수지를 포함한 상류유역에 대해 종합적인 수질오염 저감대책을 수립·제시하여야 하며  
 과학적인 수질예측기법을 이용하여 사업시행 전·후의 수질개선 효과를 제시하여야 함
  - ▶ 다만, 모델링을 통한 예측 등의 정량적 수질개선평가가 어려운 저수지의 경우에는 비계  
 량적 지표로써 개선 효과를 제시할 수 있음
- 기본계획 수립시에는 농어촌정비법 제8조 및 동법 시행령 제8조의 사항을 포함해야 함



[그림 2] 기본조사시 대책수립과정

농업용저수지 수질개선사업의 기본조사 및 세부설계의 주요내용 및 절차



[그림 3] 농업용저수지 수질개선사업 기본조사 및 세부설계 주요 내용



## 사업신청(사업시행예정자)

-  기본조사 대상지 : 농림축산식품부가 시달하는 사업예정지 조사요령을 참조하여 사업예정지 조사결과를 시·도에 제출(별도 시달하는 조사요령 참조)
  - ▶ 시·군·구는 예정지조사와 관련하여 당해 저수지의 상류 환경기초시설 가동·설치계획 등에 대해 적극 협조
-  사업시행 대상지 : 기본계획수립 또는 세부설계가 완료된 지구를 대상으로 한 신규착수와 시행중인 지구의 시행에 필요한 익년도 예산을 신청



## 사업자선정

-  농림축산식품부
  - ▶ 기본조사(기본계획수립) 대상지 : 시·도가 제출한 사업예정지 조사내용을 감안하여 기본조사(기본계획수립) 대상지를 선정 (한국농어촌공사가 기본조사를 추진할 수 있도록 기본조사 대상지를 시·도 및 한국농어촌공사에 통보)
  - ▶ 사업시행 대상지 : 수질개선사업 대상지는 한국농어촌공사의 기본조사 결과를 토대로 기본계획을 수립하여 시·도 및 한국농어촌공사에 통보(수시)
-  시·도
  - ▶ 사업시행 대상지 : 농림축산식품부가 수립한 기본계획 등을 토대로 세부설계 및 사업시행계획을 수립(확정)하고 사업시행자를 선정
-  기본조사자(한국농어촌공사)
  - ▶ 타법·타사업 관련, 지자체·주민 호응도, 현지여건 등을 우선 확인하여 사업시행에 제약요인이 있을 경우에는 즉시 기본조사를 중단하고, 해당 시·도 및 농림축산식품부와 협의(당해지역 주민, 지자체, 지방환경청 등의 의견을 수렴하여야 함)
  - ▶ 「농어촌정비법 시행령」 제8조 규정사항과 다음사항을 포함한 기본계획안을 작성, 농림축산식품부에 제출
  - ▶ 사업지구의 오염원 현황, 인구현황, 환경기초시설(마을하수도, 오수처리장 등) 설치 등 관련사업 추진현황(계획포함) 및 필요성 여부
  - ▶ 수환경조사 결과(수환경 구조, 하천자연도, 퇴적물 특성, 생태환경 등)
  - ▶ 사업시행 여건(지역주민들의 사업시행동의 여부, 사업시행자 의견, 해당 지자체 의견, 연관사업, 권리설정 내역, 제약사항 등)
  - ▶ 저수지를 포함한 상류유역에 대한 종합적인 수질오염저감대책 및 사업시행 전·후의 수질개선효과 예측치

## 세부설계 실시 및 시행계획 수립

### 농림축산식품부

- ▶ 기본계획이 수립된 지구에 대하여 사업의 타당성, 경제성, 시급성 등에 따라 사업시행 지구를 선정하여 시·도 및 한국농어촌공사에 통보

### 시·도

- ▶ 기본계획이 수립된 지구 중에서 농림축산식품부가 선정 통보한 사업시행 지구에 대하여 세부설계 실시
- ▶ 한국농어촌공사 또는 엔지니어링기술진흥법 제21조의 규정에 따라 산업통상자원부장관에게 신고하고 신고증을 교부받은 자 중에서 세부설계자를 선정
- ▶ 사업시행자로부터 사업시행계획 승인(또는 변경승인)이 신청되면 시행계획을 승인하고 그 내용을 고시하여야 함
- ▶ 사업시행계획 승인(또는 변경승인)결과를 농림축산식품부에 보고(별지1호서식)하되 농림축산식품부의 지시사항 이행내역과 검토내역을 첨부하고, 공사비가 기본계획보다 변경되었을 경우에는 변경내역 첨부

### 사업시행자

- ▶ 시·도지사가 신규사업 시행지구를 통보하면 사업시행자는 세부설계를 실시하고 시행계획을 세워야 함
- ▶ 사업시행계획을 공고하고 동의서를 첨부하여 시·도지사에게 사업시행계획 승인(또는 변경승인)을 신청
- ▶ 시·도지사의 사업시행계획 승인 후 용지매수, 공사발주 및 계약 등을 이행
- ▶ 세부설계자는 타법·타사업 관련, 주민호응도, 현지어건 등을 우선 확인하여 사업시행에 어려운 문제점이 있을 경우에는 즉시 세부설계를 중단하고 해당 시·도 및 농림축산식품부와 협의
- ▶ 세부설계자는 수해면적의 변경 또는 기본계획의 주요한 변경 등이 필요하다고 판단될 경우에는 시·도 및 농림축산식품부와 사전 협의
- ▶ 세부설계서에는 사업완공 후 저수지 수질을 효율적으로 관리하기 위한 시설운영지침 등을 제시

**공사추진 (사업시행자)**

- 공정계획을 수립할 경우에는 부담, 인공습지 등 주요공종의 공사시기를 신중히 검토하여 조기에 사업효과를 거양할 수 있도록 하되, 공사로 인한 영농기 급수에 차질이 발생하거나 무리한 공기 단축으로 인한 부실공사가 발생하지 않도록 하여야 함
- 사업시행자는 하절기 호우기간 중에는 수해에 대비하여 수방자재(마대, 말뚝, 중장비 등)를 확보하는 등 현장관리에 철저를 기함
- 공사감리는 한국농어촌공사, 엔지니어링기술진흥법 제21조의 규정에 따라 산업통상자원부에 신고하고 신고증을 교부받은 자 중에서 선정하여 위탁 시행
- 공사감리자는 전문분야별로 적정인원을 배치하고, 배치상황을 사업시행자에게 제출, 사업시행자는 배치상황을 검토한 후 시·도지사에게 보고
- 공사감리자는 공사감리업무를 장기간 계속하여 수행할 수 있는 직원을 배치하여야 하며, 특별한 사유로 현장을 일시적으로 떠나거나 교체시에는 사업시행자와 사전협의
- 사업시행자는 공사감리원이 감리업무를 불성실하게 수행할 경우에는 교체를 요구
- 공사감리자는 착공전에 설계도면과 현지를 대조하여 설계미비 여부 및 공정순위를 파악하고 시공 중에는 철저한 공사감리 뿐만 아니라 굴착, 집토, 골재의 야적 등으로 인하여 주민에게 피해가 발생되지 않도록 하며, 수해민의 의견을 수시로 청취하여 민원을 사전에 방지
- 사업시행자는 소속 기술직원을 현지 전담자로 지정하여 공사감리원과 유기적인 협조로 공사를 촉진하고 시공상황을 파악하며 수시 현장확인(사진촬영 포함), 공정계획의 수립 및 업무일지를 기록
- 기타 세부적인 사항은 공사감리위탁계약서에 의하여 함
- 사업시행자는 사업을 완료한 때에는 시공회사의 준공계(공사감리자 확인), 유지관리 지침서(필요시 공사감리자가 작성), 예비검사 결과, 매수한 토지 등의 현황을 포함하여 사업준공도서를 시·도지사에게 제출하고, 준공검사를 신청

**이행점검단계(사업시행자)**

- 사업시행자가 국고보조 사업비를 수령하였을 때는 세부설계비와 용지매수 보상비를 우선 지급
- 사업목적에 맞게 자금이 적정하게 집행되었는지 여부 등을 수시로 점검하고 자금집행에 철저를 기하여야 함

**성과측정**

- 지원예산 등으로 한국농어촌공사가 추진한 사업성과를 점검하여 성과 측정



### 사업평가 및 환류

- 사업평가 : 농림축산식품부 평가전담부서에서 농림축산사업 성과평가 실시
- 환류 : 농림축산사업 성과평가 결과에 따라 예산반영 및 제도개선 사항 환류

### [표 3] 기본계획 수립에 관한 법적 근거

#### ※ 농어촌정비법 제 8조 (농업생산기반 정비사업 기본계획의 수립)

① 농림축산식품부장관은 제7조제2항에 따른 예정지 조사 결과 농업생산기반 정비사업 중 타당성이 있다고 인정되는 사업은 그 지역에 대한 기본조사를 하고 농업생산기반 정비사업 기본계획을 세워야 한다. 다만, 제2조제5호나목의 경지 정리, 농업생산기반시설의 개수·보수 및 준설 사업은 다음 각 호의 자가 기본조사를 하고 농업생산기반 정비사업 기본계획을 세워야 한다.

1. 사업지역이 1개 광역시·도 또는 특별자치도(이하 “시·도”라 한다)인 경우: 관할 광역시장·도지사 또는 특별자치도지사(이하 “시·도지사”라 한다)
2. 사업지역이 2개 이상의 시·도에 걸쳐 있는 경우: 농림축산식품부장관이 관할 시·도지사와의 협의를 거쳐 지명하는 시·도지사

② 제1항에도 불구하고 제7조제2항에 따른 예정지 조사 결과 타당성이 있다고 인정된 농업생산기반 정비사업 중 일정 규모 미만의 사업 등 대통령령으로 정하는 사업은 기본조사를 생략할 수 있다.

#### ※ 농어촌정비법 시행령 제 8조(농업생산기반 정비사업 기본계획의 수립)

① 법 제8조제1항에 따른 농업생산기반 정비사업 기본계획에 포함되어야 할 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 농업생산기반 정비사업 기본계획의 개요
2. 사업별 기본설계도서
3. 사업별 추정사업비 수입·지출 예산서
4. 사업별 추정사업비 명세
5. 사업효율 분석 결과
6. 사업 대상 지역의 위치도
7. 그 밖에 제9조의 농업생산기반 정비사업 시행계획을 세우는 데 필요한 사항

② 농림축산식품부장관 또는 시·도지사는 제1항에 따라 농업생산기반 정비사업 기본계획을 세울 때에는 대상 지역을 관할하는 시·도지사나 시장·군수·구청장(광역시 자치구의 구청장을 말한다. 이하 같다)의 의견을 들어야 한다.

③ 법 제8조제2항에서 “일정 규모 미만의 사업 등 대통령령으로 정하는 사업”이란 법 제2조제5호나목부터 다목까지의 사업 중 수혜면적이 50만제곱미터 미만인 사업[같은 호 나목의 사업 중 농업생산기반시설의 기능유지를 위한 개수·보수와 준설(浚渫)의 경우에는 면적의 규모에 관계없이 이에 포함된다]과 같은 호 라목 및 사목의 사업을 말한다.

**[표 4] 사업시행계획에 대한 법적 근거**
**※ 농어촌 정비법 제9조(농업생산기반 정비사업 시행계획의 수립 등)**

- ①농림축산식품부장관 또는 시·도지사는 제8조에 따른 농업생산기반 정비사업 기본계획 중 타당성이 있는 농업생산기반 정비사업에 대하여는 농업생산기반 정비사업 시행자를 지정하여야 한다.
- ②농업생산기반 정비사업 시행자는 농업생산기반 정비사업 기본계획에 따라 사업을 하려면 해당 지역에 대한 세부 설계를 하고, 농업생산기반 정비사업 시행계획을 세워야 한다.
- ③농업생산기반 정비사업 시행자는 농업생산기반 정비사업(저수지의 개수·보수 등 농림축산식품부령으로 정하는 농업생산기반 개량사업은 제외한다) 시행계획을 공고하고, 제11조에 따른 토지에 대한 권리를 가지고 있는 자에게 열람하도록 한 후 3분의 2 이상의 동의를 받아야 한다.
- ④농업생산기반 정비사업 시행자는 농림축산식품부령으로 정하는 특수한 사유로 인하여 제3항에 따른 동의를 받을 수 없는 경우에는 그 지역 수혜면적(受惠面積)의 3분의 2 이상에 해당하는 토지 소유자의 동의를 받아야 한다.
- ⑤토지 등에 대한 권리를 가지고 있는 자는 제3항에 따라 공고된 농업생산기반 정비사업 시행계획에 이의가 있으면 공고일부터 30일 이내에 농업생산기반 정비사업 시행자에게 이의신청을 할 수 있다. 이 경우 농업생산기반 정비사업 시행자는 이의신청일로부터 30일 이내에 이의신청에 대한 검토의견을 이의신청인에게 알려야 하고, 이의신청 내용이 타당하면 농업생산기반 정비사업 시행계획에 그 내용을 반영하여야 한다.
- ⑥농업생산기반 정비사업 시행자가 농업생산기반 정비사업 시행계획을 수립하면 농림축산식품부령으로 정하는 서류를 첨부하여 농림축산식품부장관에게 승인을 신청하여야 한다. 다만, 제2조 제5호나 목의 경지 정리, 농업생산기반시설의 개수·보수 및 준설 사업은 시·도지사에게 승인을 신청하여야 한다.
- ⑦농림축산식품부장관 또는 시·도지사는 농업생산기반 정비사업 시행계획을 승인한 경우에는 그 내용을 고시하여야 한다.
- ⑧농업생산기반 정비사업 시행자는 승인받은 농업생산기반 정비사업 시행계획을 변경하려는 경우에는 농림축산식품부장관 또는 시·도지사의 승인을 받아야 한다.
- ⑨농림축산식품부장관 또는 시·도지사는 제8항에 따라 농업생산기반 정비사업 시행계획 변경을 승인한 경우에는 그 내용을 고시하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항은 그러하지 아니하다.

**※ 농어촌 정비법 시행령 제9조(농업생산기반 정비사업 시행계획의 수립)**

법 제9조제2항에 따른 농업생산기반 정비사업 시행계획에 포함되어야 할 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 농업생산기반 정비사업 시행계획의 개요
2. 세부 설계도서
3. 사업비 수입 · 지출예산서
4. 사업비 명세서
5. 사업 시행 지역의 위치도
6. 그 밖에 농업생산기반 정비사업의 시행에 필요한 사항



제2장  
현황 분석  
및 조사





## 제2장 현황 분석 및 조사

### 2.1 ○ 조사의 목적과 기본원칙

#### 2.1.1 조사의 목적

##### 수질개선사업을 계획적으로 추진하기 위한 기초자료 획득

- (저수지 특성과 수질환경에 영향 주는 공간구조 이해) 지형, 기상-수문조건, 자연환경, 저수지 제원, 유역상황, 홍수위부지 현황조사, 저수지 기능, 문화재 등 조사
- (저수지 환경 및 수질실태 파악, 수질여건 변화 판단 및 개선과제 도출) 오염원 조사, 부하량 산정, 수질 조사, 생태 조사, 수리-수문 조사, 퇴적물 조사 및 토목 조사 등 실시

#### 2.1.2 조사의 기본원칙

##### 기본원칙 (조사시 주의사항)

- 현장조사와 자료조사 병행
- 해당지역 계획자료 조사와 연계, 필요시 유관기관 담당자와 조사결과 공유
- 한 분야의 조사는 다른 분야 조사결과 해석에 이용되고, 전반적인 수질환경 해석에 크게 영향을 줄 수 있으므로, 가능한 한 자료가 상호 보완적으로 분석에 도움이 될 수 있도록 조사 항목별로 연계된 조사계획 수립해야 함

## 2.2 ○ 조사 개요

### 2.2.1 조사계획

#### ✉ 조사방향

- ❶ 지역의 환경용량에 기초하여 단위구역별로 조사 실시
- ❷ 가능한 공간화 계획 수립하여 공간적인 수질상태가 파악될 수 있게 함

#### ✉ 조사계획

- ❶ 현장조사, 실내분석, 문헌 및 자료조사로 시행
- ❷ 자료조사 : 당해년도 중심으로 실시, 목표연도 자료는 관련계획 또는 중앙정부, 지방자치단체 및 시민단체 등 제공의 과거자료로 추정, 활용하고 근거 명기할 것
- ❸ 표준지침활용 : 호소환경조사지침(환경부, 2017), 전국자연환경조사지침(환경부, 2012), 수질오염총량관리기술지침(환경부, 2014)
- ❹ 기존지침에 규정되지 아니한 사항에 대해서는 조사자 판단에 따라 조사요령 확립
- ❺ 조사목적에 부합되게 조사항목, 조사지점, 조사빈도를 조정하여 조사계획 수립
- ❻ 사업시행 단계(예정지조사-기본계획-세부/실시설계)별 조사가 원칙
- ❼ 사업 특성 및 시급성 등에 따라 예정지조사와 기본조사는 병행 시행 가능
- ❽ 수질정화시설은 시설별 설계요소를 충족할 수 있도록 조사계획 수립
- ❾ 시설운영 단계에서도 효율 확보 확인 위한 모니터링 계획 수립
- ❿ 조사항목 중복, 누락 주의하며, 적정설계가 이루어질 수 있도록 합리적으로 계획

### 2.2.2 조사항목

- ❶ 농업용수 수질개선계획 수립시 제2장의 각 절에 열거한 내용 및 항목 조사 실시
- ❷ 다만, 대상지역의 특성을 고려하여 항목 일부를 제외 또는 추가할 수 있음
- ❸ [표 5] 참조

### 2.2.3 조사방법

#### 현황조사

- ❶ 각종 문헌이나 통계자료 또는 각종 환경측정망 조사 자료의 수집, 현지조사 등의 방법 고루 사용 할 것
- ❷ 우선, 문헌, 각종 통계자료 조사한 후 현지조사, 주민의향조사 등을 통해 검증하여 조사 자료의 신뢰도 확보
- ❸ 다른 법령의 규정 또는 공공기관에서 해당 지역을 조사한 공식자료 있을 시 활용 가능
- ❹ 이 경우 1년 이내의 자료를 수집하는 것을 원칙으로 하고 1년 이내의 자료수집이 어려울 경우 가장 최근의 자료를 사용해야 함
- ❺ 자연환경종합 GIS-DB, 국토환경성평가지도 등 환경지리정보(EGIS)와 환경정책, 대기질, 물환경, 상수도, 폐기물, 화학물질 등 부문별로 구축된 환경정보망 자료를 최대한 활용하는 것을 권장함
- ❻ 오염원 조사는 오염물질 부하량을 산출하는 기초가 되는 가장 중요한 자료이므로 적용할 오염원단위(unit loading)를 고려하여 조사계획 수립
- ❼ 조사양식은 「수질오염총량관리기술지침(2014)」(환경부) 서식 활용

[표 5] 주요 조사분야별 조사 목적 및 내용

조사분야	조사목적	조사내용	조사 빈도	조사 방법
1. 일반현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 목표수질 설정</li> <li>◦ 사업타당성 분석</li> <li>◦ 수질개선편위 위치 선정</li> <li>◦ 오염물질 유입구조 파악</li> <li>◦ 관련 계획간 상호 연계방안 검토</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 위치, 지형-지질, 기후, 수자원현황, 하천 및 호소 현황, 홍수부지, 법정보호종 등</li> <li>◦ 가용토지자원, 지역의 환경기준, 관련법 및 계획, 매장문화재 지표조사 등</li> <li>◦ 국가환경보전계획, 국토종합계획, 하수도정비기본계획, 하천정비기본계획, 지역개발계획, 농림개발사업계획 등</li> </ul>	1회	자료 조사
2. 오염원 조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 발생부하량 산정</li> <li>◦ 배출부하량 산정</li> <li>◦ 유역외부로부터 유입부하 검토</li> <li>◦ 점비점오염원의 부하비율 파악</li> <li>◦ 장래 부하량 추정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 오염원은 저수지를 중심으로 소유역별로 구분하여 조사</li> <li>◦ 인구(재래식, 수세식), 가축(규모별 조사), 토지이용(논, 밭, 과수원, 임야, 도로, 택지, 수면), 사업장</li> <li>◦ 폐수발생량, 오염물질 발생부하량 및 배출부하량 산정</li> <li>◦ 외부유입 오염부하</li> </ul>	1회	자료 조사

[표 5] 주요 조사분야별 조사 목적 및 내용 (계속)

조사분야		조사목적	조사내용	조사 빈도	조사 방법
3. 수질 조사	비강우	◦점오염원의 영향과 시기별 오염도 파악	◦하천유황 및 저수지 수질변화를 파악할 수 있는 빈도로 조사 ◦저수지의 수질을 대표할 수 있는 지점에 대하여 수심별 조사 ◦수질조사 항목 : 수온, pH, EC, DO, TOC, T-N, T-P, SS, Chl-a, NH3-N, NO3-N, NO2-N, Org-N, PO4-P, Org-P 등 15개 항목	1회/계절 ~ 1회/2월	현장 조사 실내 분석
	강우	◦비점오염 유출규모 파악 ◦유달을 산정 ◦시설규모 설정 ◦유량-부하량 관계 도출 ◦수질모델의 보정	◦지표유출이 발생하는 강우사상 2개 이상에 대하여 수질 및 유량 조사 ◦조사지점 수는 유역특성을 고려하여 결정하고 대표 유입하천 1지점이상 조사를 원칙으로 함 ◦수질조사 항목 - 수온, pH, EC, DO, TOC, T-N, T-P, SS, Chl-a, NH3-N, NO3-N, NO2-N, Org-N, PO4-P, Org-P 등 15개 항목 ◦유량조사 : 수위-유량 관계	2회/년 이상	현장 조사 실내 분석
4. 생태조사		◦유용식물 활용 방안 검토 ◦수질오염 생물지표 및 생태이동통로 설치방안 검토 ◦천연기념물 등 법적 보호종 파악	◦계절별 동식물 변화상을 파악하여 우점종 및 지역 고유종 파악 ◦조사항목 : 동식물, 동식물플랑크톤, 하천자연도 평가, 식생군락도, 식생분포도 등	1회/하계(필수) ~ 1회/계절 이상	자료 조사 현장 조사 실내 분석
5. 수리·수문 조사		◦유역 강우-유출특성 파악 ◦처리대상 유량결정 등 수질개선 방안 검토 ◦홍수대책 등 검토	◦지형·지질, 수문기상, 수문토양군, 이수상황, 수원조사, 하천조사, 토지피복상황 등을 상세하게 조사함 ◦유량조사(평시, 강우시)	1회	현장 조사
6. 퇴적물 조사		◦준설 여부 판단 ◦호 내부생산 오염 부하량 추정	◦퇴적물 오염도, 퇴적심도, 퇴적물분포 ◦조사항목: 용출물(TOC, T-N, T-P), 유기물함량, 영양염류함량, 퇴적물산소소비속도(SOD), 퇴적물 입도 등	1회/년 이상	현장 조사 실내 분석
7. 토양조사		◦수질개선 시설 위치 선정 등의 기초자료 제공 ◦수리·수문분석 기초 자료 제공	◦정밀조사 ◦토성, 토양구조, 중금속 함량 등 토양학적 특성 ◦분포경사, 모재, 식생, 삼투량 등 수문학적 특성	1회	현장 조사 실내 분석

[표 5] 주요 조사분야별 조사 목적 및 내용 (계속)

조사분야	조사목적	조사내용	조사 빈도	조사 방법
8. 토목조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦시설설치계획 기초 자료</li> <li>◦수질개선방안 및 시설 설치 위치 파악</li> <li>◦시설물 계획 기초자료 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦수준측량, 삼각측량, 지형 및 수심 측량, 노선측량, 재료 및 토질조사, 기초지반조사, 시설 위치 선정 조사 등</li> <li>◦지하매설물조사, 품셈조사 등</li> </ul>	1회	현장 조사
9. 주민의견 수렴조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦지역실정에 맞는 수질개선방안 채택</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦사업에 대한 기대감, 주민의견 수렴</li> <li>◦전략환경영향평가지 주민설명회 개최</li> </ul>	1회	주민 설명회

## 2.2.4 사업의 단계 및 규모별 조사 분야와 요구 수준

### 가. 사업단계별 조사수준



#### 예비타당성조사

- 사업의 기본구상을 토대로 사업목표와 이를 위한 수단을 설정하여 경제적, 기술적 타당성, 사회 및 환경적 타당성을 종합적으로 검토하고 사업시행의 타당성 판단
- 목적시설물의 실현방법에 있어 여러 대안을 비교·검토하여 최적 안을 선정해야 함
- 주로 자료조사와 현장답사를 실시하여 기초조사사항과 관련 상위계획 검토



#### 기본설계

- 사업시행 여부를 결정하는 중요한 단계
- 타당성조사를 토대로 목적시설물의 규모, 배치, 형태, 공사방법 및 기간, 소요비용 등에 대한 조사 및 분석과 비교·검토를 거쳐 최적의 대안 선정
- 주요시설물에 대한 예비설계를 수행한 후 종합적인 검토를 거쳐 기본계획(안) 확정

**세부/실시설계**

- 기본계획 토대로 대상 시설물의 규모, 배치, 위치, 형태, 공사방법 및 기간, 소요비용, 유지 관리 등에 관하여 세부 조사와 분석, 비교·검토를 통하여 상세한 설계 수행
- 시공 및 유지관리에 필요한 사항을 결정하여 시공하게 됨
- 사업시행 여건상 시급성을 감안하여 “2009년도 예비타당성 조사 운용지침” 제11조에 의해 예비타당성조사를 생략하고 기본설계와 세부/실시설계를 병행시행 할 수 있고, 또는 예비타당성조사와 기본계획을 생략하고 세부/실시설계를 시행 할 수도 있음

**나. 사업규모별 조사수준**

**중소규모 농업용 저수지의 수질개선**

- 수체의 오염구조가 단순하고, 기존 자료도 확보가 용이하며, 채택될 수질개선 공종도 단순하고 사업규모도 소규모 가능성 큼
- 예비타당성조사를 기본설계에 포함하여 시행하여 사업기간 단축 가능함

**대규모 하구담수호의 수질개선**

- 유입하천의 유역이 넓어 수질오염구조가 복잡하고, 오염원인 규명도 어려우며, 채택될 개선공종도 다양하고, 처리해야 할 유량이 많음
- 예비타당성조사-기본설계-세부설계 등의 단계를 거치되 계절적 수질변화, 생태적 환경변화 등을 감안하여 충분한 시간을 가지고 수질개선계획을 수립, 시행하여야 사업시행의 착오를 사전 예방 할 수 있음

**[표 6] 사업단계별 조사분야**

조사부문	예비타당성조사	기본설계	세부/실시설계
일반현황	○	△	
오염원조사	○	○	
수질조사	○	○	△
생태조사		○	
수리·수문조사		○	○
퇴적물조사		○	

[표 6] 사업단계별 조사분야 (계속)

조사부문	예비타당성조사	기본설계	세부/실시설계
토양조사		○	
토목조사		○	○
지역주민 의견수렴 조사		○	
관련상위계획조사	○	○	△

※ ○ 필수, △ 보완, 기본계획 확정전 전략환경영향평가, 시행계획 승인전 소규모환경영향평가를 실시하여야 함

[표 7] 사업규모별 조사단계

구 분	예비타당성조사	기본설계	실시설계
중소규모 저수지(수면적 3km <sup>2</sup> 미만)	-	○	○
대규모 하구담수호(수면적 3km <sup>2</sup> 이상)	○	○	○

## 2.3 ○ 일반현황 조사

### 지형지세

- 지형도, 지질도, 토양도, 식생도 및 항공사진 등을 수집·정리
- 지형의 형성요인, 지질 및 토양의 분포, 현식생 및 잠재식생을 파악
- 지형지세 조사에 대한 세밀한 사항은 '2.7 수리·수문조사' 참고
- 현재 및 향후 토지이용과 그 토지이용이 수질오염에 미치는 영향 분석

### 기상·수문조건

- 일반기상** : 기온 강수량 등 연, 월 평균 및 최고, 최저에 대한 최근 10년 자료 분석
- 특수기상** : 연강수량 및 연간최대일강수량의 최근 10년 정도 기록, 태풍, 낙뢰, 벼락, 눈사태 등 분석
- 하천유량** : 주요하천의 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량, 계획홍수량 등을 파악하는 유황분석 실시
- 사업 범위내 주요하천의 유량 및 유역도 등 조사 ['2.7 수리·수문조사' 참고]
- 지형지세 조사에 대한 세밀한 사항은 '2.7 수리·수문조사' 참고



### 자연환경

- **조사** : 자연환경보전지역, 자연환경경비지역, 자연환경조성지역 등을 법률이나 조례에 의한 지정의 유무를 구분하여 조사 [전국자연환경조사지침(환경부, 2012) 참조]
- **분석** : 법률상의 위반 여부, 법률에 의한 신규지정 가능성 여부 등을 검토



### 저수지 제원

- **조사** : 저수지 기본제원 외에 제당상상, 준설, 관개면적 확대 등 주요 재정비 사항 조사
- **분석** : 저수지 이력에 따른 수질오염 원인을 분석하여 유역 및 저수지상황 등 검토



### 저수율(수위) 변동

- **조사** : 최근 5년간 저수지 저수율 월변화, 연변화 조사
- **분석** : 저수율이 낮은 시기와 녹조발생시기가 중첩되는 경향이 크므로 녹조발생시기인 4~6월 9~10월의 평균 저수율과 그에 따른 평균수심 변화 등 저수지 수질오염 영향성 분석

**[표 8] 저수지 시설 조사표**

구분	저수지명	위치	유역면적 (ha)	관개면적 (ha)	저수량 (천 <sup>3</sup> m)	제당(m)			물넘이			홍수위			만수위	
						형식	높이	길이	구조	길이 (m)	일류수심 (m)	수위 (m)	면적 (ha)	수량 (m <sup>3</sup> /s)	수위 (m)	면적 (ha)
당초																
현재																



### 유역상황

- **목적** : 저수지 수질오염 원인을 분석하고 수질개선대책수립을 위한 기초자료 마련
- **주요 하천현황을 파악하는 것으로, 하천분포형상, 유량, 수질, 수온, 하도(河道) 및 하상(河床)에 대한 상황을 조사함**
- **하천분포형상 및 하천별 관할 유역면적 분석(도상검토), 하천의 하상변동과 퇴사량 분석, 저수지 상류의 배수와 퇴사 분석(하상상황), 유입수원에 대한 유량, 수온, 수질 분석, 저수지 상류 하천의 정상적인 기능유지(수위, 유량, 수질) 확보 여부 분석**
- **유역상황 자료는 물 공급 계획, 준설 계획 및 저수지 기능 검토 등에 사용**

### 홍수위부지 현황조사

- 목적 : 적절한 수질개선 시설물 설치 예정 부지를 파악하고 시공 가능 여부 등 검토
- 수질개선시설의 위치 선정, 수질개선을 위한 수변녹지 조성 및 저수지의 수변활용계획 등에 필요한 자료 조사 [표 9]
- 대축척 지도를 이용하여 토지이용현황, 토지소유자 및 앞으로의 활용가능성과 분포도 양의 특성 조사

[표 9] 홍수위부지 면적조사

홍수위		홍수위부지 이용현황(ha)				앞으로 활용가능성
수위	면적	논	밭	잡종지	기타	
m	ha					

- 주) 1. 홍수위부지 이용현황은 홍수시 침수되는 면적(홍수위와 만수위 사이의 면적)에 대한 토지이용실태를 조사한다.  
 2. 앞으로 활용가능성은 수질개선사업과 관련된 시설의 설치는 물론 수질개선사업과 관련 없는 활용가능성도 조사한다.

### 저수지의 기능

- 목적 : 현재 및 향후 저수지 기능별 목표수질의 만족여부 분석, 수질개선 목표 수립의 기초 자료로 활용
- 저수지 기능이란 단순 이수기능 외에 살아있는 유기체로서 영향을 미치는 총체적 활동을 말함
- 수질개선의 목표치를 좌우하는 지표이므로, 현재의 기능보다는 제2장에서 조사된 모든 자료를 활용하여 면밀하게 분석한 미래의 기능이 더욱 중요함

### 매장문화재 지표조사

- 목적 : 매장문화재 지표조사를 통해 시설물 계획이 문화재나 사적에 악영향을 미치지 않게 미리 파악
- 지표의 원형변경(절토, 성토, 굴착, 수몰 등) 등의 현상변경을 초래하는 사업면적이 3만㎡ 이상인 건설공사가 대상사업임
- 문헌조사, 현장조사, 보완조사를 단계별로 실시. 계획기간 중 1회 실시가 원칙임
- 단, 전문성을 요하므로 전문기관에 의뢰하여 실시하고, 보호 방안 등 검토

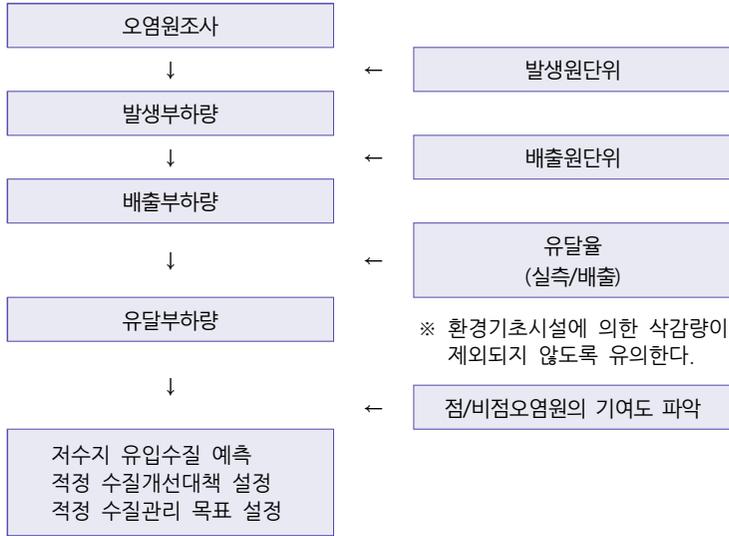
### 관련 상위계획 조사

- ❶ 목적 : 저수지 수질개선을 위한 상위계획의 내용과 조사내용을 분석하여 수질개선사업과의 중복성, 연계성 등을 파악하고 최적 활용 방안을 도출
- ❷ 수질개선계획 수립에 관련되는 직접적인 계획으로는 환경정책기본법에 의한 국가환경종합계획, 시도 환경보전계획, 시·군·구 환경보전계획과 국가환경종합계획의 하위계획인 자연환경보전기본계획, 수계별물관리종합대책, 전국수도종합계획, 하수도정비기본계획, 국가폐기물관리종합계획, 환경생태계획 등을 들 수 있음
- ❸ 간접적인 관련계획으로는 국토종합계획, 시도 종합계획, 시·군 종합계획, 각급의 도시계획 및 공단계획 등이 있음
- ❹ 농어촌정비법에 의하여 시행되는 농업생산기반정비사업, 농어촌생활환경정비사업 및 한계농지정비사업 등 개별사업법에 의해 시행되는 권역내의 단위사업의 관련성 분석

## 2.4 ○ 오염원 조사 및 부하량 산정

### 오염원조사 목적 및 개요

- ❶ 목적 : 수질에 영향을 미치는 오염원의 분포현황을 파악하여 오염원 특성에 부합하는 수질 관리 및 개선방안 도출
- ❷ 산정방법 : 「수질오염총량관리기술지침(2014)」(환경부)에 준한 부하량산정식 및 원단위 적용을 원칙
- ❸ 발생 및 배출 원단위는 지역특성을 반영할 수 있도록 실증자료에 의거한 실측원단위 사용이 원칙. 다만, 실측원단위가 없는 경우 상기 지침, 계획에서 제시된 원단위 사용
- ❹ 오염원 장래변화 예측은 저수지유역 관할 행정기관의 협조를 받아 시도 중장기 계획을 참조하여 인구변화, 축산시설물 변화 등의 조사 통해 수행



[그림 4] 오염원 조사자료의 활용

### 조사요령

- 오염총량관리기술지침, 오염총량관리 기본방침(환경부훈령, 2017)에 의하여 조사된 오염원조사 자료를 최대한 확보 및 활용
- 조사범위와 조사항목은 대상지역 특성에 따라 결정하고 조사요령은 오염총량관리기술지침(환경부, 2014)의 조사양식 및 작성요령을 따름
- 조사기준일은 조사일 기준으로 전년도 12월 31일로 하며, 목표연도는 기본계획, 실시계획, 시공 등을 고려, 조사기준일 해당년도로부터 8년 후까지로 함

### 조사항목

- 생활계 오염원, 축산계 오염원, 산업계 오염원, 토지계 오염원, 양식계 오염원, 매립계 오염원, 환경기초시설조사

**조사방법 및 조사빈도**

- 생활계 : 행정구역별 인구를 조사한 후, 인공위성사진 및 수치지형도를 활용하여 소유역내의 주거 비율을 파악하고 이를 고려한 행정구역 인구를 산정
- 축산, 산업, 양식, 매립계 : 수질오염원조사 자료에 제시된 주소를 활용하여 정확한 위치를 파악한 후 해당 구역으로 구분
- 토지계 : GIS 자료를 활용하여 소유역별 지적면적 조사
- 조사빈도 : 계획수립 기간 중 1회를 원칙으로 함

**부하량 산정**

- 부하율 자체를 측정할 수 없으므로 먼저 유량과 농도를 측정하거나 모델을 사용할 경우 계산절차를 통하여 유량과 농도를 구한 후 이 둘을 곱하여 산출함
- 수계에서 농도와 유량이 시간에 따라 변하므로 부하량을 산정할 때 핵심사항은 최소의 비용으로 가장 근접한 결과를 얻을 수 있는 샘플링 시간을 결정하는 것임
- 유량과 농도조사는 농업용수 수질개선 조사설계 매뉴얼(한국농촌공사, 2006) 및 수문관측 매뉴얼(건설교통부, 2005)을 따름
- 유량과 농도조사의 일반적 사항은 '2.7 수리수문조사'와 '2.5 수질조사' 참조
- 부하량 산정 방법에는 실측에 의한 오염부하량 산정, 원단위에 의한 부하량 산정, 모델링을 통한 오염부하량의 산정, 장래 부하량 산정 등이 있음 [해설 참조]
- 조사빈도 : 계획수립 기간 중 1회를 원칙으로 함

**부하량 산정 방법**

- 실측에 의한 오염부하량의 산정
- 원단위에 의한 부하량 산정 : 수질오염총량 관리기술지침에 의한 부하량 산정, 개략 원단위에 의한 부하량 산정
- 모델링을 통한 오염부하량의 산정
- 장래 부하량 산정

● 세부내용은 해설편 참고

## 2.5 ○ 수질 조사

### 개요

- 목적 : 오염원에 따른 수질변화의 계절적 특성을 파악하고, 수질정화방법과 설계수질 결정, 시설규모 결정, 수질모델링의 기초자료로 활용하기 위함
- 수질개선사업을 위한 기초자료 수집 : 저수지 유역 환경상태 파악, 수질오염물질 등의 유입, 확산, 전달기구 등 조사
- 오염물질의 거동 분석, 유량-수질의 상관성 분석, 수질모델링의 입력 자료를 구축하기 위해 유량조사와 동일지점에서 실시해야함
- 계절별 강우특성과 저수지 수면의 풍향, 풍속, 저수지의 물리구조적특성, 저수율 변화 등을 함께 조사하여 저수지 수질에 미칠 수 있는 요인 분석이 동시에 이루어져야 함

### 범위와 항목

- 수질조사 지점은 하천수계 및 호소수역으로 나누고, 수질조사 시기는 비강우시와 강우시를 구분하여 실시
- 수질 변화에 영향을 미칠 수 있는 계절, 기상, 수위변동 및 선행강우 등 고려
- 조사항목은 “물환경보전법”의 항목을 기준으로 함
- 수질모델링이 필요할 경우 사용 모델 종류에 따라 탄소(C)와 질소(N), 인(P) 태별 분석 필요
- 중금속 등 사람의 건강보호에 관한 항목은 필요시 추가할 수 있음
- 강우시 강우량과 유량이 함께 측정, 조사되어야 하며, 비강우시에도 유량조사 필요함
- 수질조사 필수항목 : BOD(하천), TOC(호소), (COD, 필요시), TP, TN
- 수질환경기준 선택항목 : 수온, pH, EC, DO, TOC, (COD), SS, TP, TN, 투명도, Chl-a, 유해남조류 현존량
- 수질모델링에 필요한 항목 : 수온, DOC, DTN, DTP, BOD, RDOM, LDOM, RPOM, LPOM, TN, TP, NH4-N, NO3-N, NO2-N, Org-N, PO4-P, Org-P 등 모델입력자료 형식
- 사람의 건강보호에 관한 항목 : 카드뮴(Cd), 비소(As), 크롬(Cr), 시안(CN), 수은(Hg) 등

### 조사 지점의 선정

- 조사구간 : 대상 저수지의 유입하천과 저수지 호내에서 조사
- 조사지점 선정시 고려사항
  - ▶ 물리적 상황이 여의치 않는 경우, 유황분석이 최대한 가능하고 상하류 대표가능 지점 선정

### 조사 지점의 선정 (계속)

- ▶ 저수지 배수위(Back-Water) 영향을 받지 않고 유역의 유량이 유입되지 않는 지점
- ▶ 유역현황이 상이한 2개 이상의 유입하천이 있는 경우 강우 수질 조사지점 추가
- 호내지점은 수리조건을 충분히 고려하여 호수면적과 유입하천수를 기준으로 선정[표 10]
- 수질모델링시 호를 유입부, 천이역, 호수역으로 구분(호수면적 따라 개소수 결정), 각 분할 요소마다 1점씩 조사하는 것을 원칙으로 함
- 분할요소(segment)가 많을수록 정밀한 수질예측이 가능하지만, 너무 과다하면 인적, 물적 손실이 크며, 너무 과소하게 분할하면 모형의 보정 및 검증이 곤란할 수 있음.

**[표 10] 호소의 규모에 따른 수질조사 계획지점**

주유입하천수	호수면적	
	300 ha 미만	300 ha 이상
1 개소	1~2	2~3
2 개소	2~3	3~4
3 개소 이상	3~4	4~5

### 조사빈도

- 월 1회 이상 실시할 것을 권장하지만, 필요에 따라 간소화 할 수 있음
- 연평균 물순환율과 저수율을 고려하여 기본계획단계에서는 최소 1회/계절 이상
- 수질모델링을 위해서는 1회/2개월 조사빈도 요구
- 조사빈도별 모집단 평균 추정의 정확도 [표 11] 참조

**[표 11] 조사 횟수와 모집단 평균의 추정오차와의 관계**

년 조사횟수	조사빈도	신뢰한계 95%에서 추정 폭	모 평균의 추정값
4	각 계절에 1회	1.5 $\sigma$	0.25~1.75
6	2개월에 1회	1.0 $\sigma$	0.50~1.50
12	1개월에 1회	0.6 $\sigma$	0.70~1.30
26	2주에 1회	0.4 $\sigma$	0.80~1.20
53	1주에 1회	0.3 $\sigma$	0.85~1.15
365	1일에 1회	0.15 $\sigma$	0.925~1.075

### 조사 및 분석 방법

- **단일수심 조사**: 수심이 얇고 바람의 영향을 많이 받거나 이류가 강하여 쉽게 물이 혼합되는 호수. 호수 전체의 수질과 생물상 분포 등이 거의 일정함
- **수심별 조사**: 수심이 깊고 성층이 있는 호수. 수심별로 생물상이나 물리, 화학적 성상이 뚜렷한 차이를 보일 수 있으므로 수심별 조사 필요
- **현장 조사(수온, pH, EC, DO 등)**: 가능한 세밀히 조사하되 수심이 얇은 호수에서는 균일한 수심 간격으로 조사하고, 수심이 깊은 호수에서는 표층수에서는 수심을 조밀하게 그 이하의 수심에서는 측정수심 간격을 늘려 조사. 수직순환기(turnover)에는 관측 수심의 층수를 줄일 수 있음
- **채수**: 현장조사 항목을 고려하여 수심별 수질특성이 확연히 구분되는 심도에서 각각 채취함을 원칙으로 하며, 수심 5m 이상에서는 1/3등분 심도에서 각각 채취.
- **수질조사 및 분석방법**: '수질오염공정시험법'에 의하여 실시하며, 수질분석은 농어촌경비법 시행규칙 제8조에 근거하는 수질분석 전문기관에 의뢰.
- 수질 조사분석 결과 작성표는 해설편 표 2-12 참조

## 2.6 생태 조사

### 개요

- **목적**: 사업지구를 포함한 주변지역의 생태환경 변화 예측 및 인근에서 자생하는 유용 생태 자원의 발굴 및 활용방안을 모색하기 위함
- 호소환경조사지침(환경부, 2017)과 전국자연환경조사지침(환경부, 2012)에 준함
- 본 매뉴얼에 제시한 사항과 조사지구 특성에 따라 조사범위, 조사내용 등을 조정할 수 있음

### 조사 범위와 항목

- **공간적 범위**: 저수지와 저수지 유입 하천을 중심으로 좌우 100m 내외의 지역 및 저수지 및 하천의 특성에 영향을 미칠 수 있는 지점
- **조사항목**: '식물상 및 식생(수생식물, 식물플랑크톤)'과 '동물상(동물플랑크톤, 저서성 대형무척추동물, 어류, 양서파충류, 조류, 포유류)'으로 구분하여 필요항목 조사
- 본 매뉴얼에 제시한 사항과 조사지구 특성에 따라 조사범위, 조사내용 등을 조정할 수 있음
- **식물상 및 식생**: 저수지의 수변, 수중, 하상 식물상 및 식생 분포현황, 특징 있는 식물과 식

### 조사 범위와 항목 (계속)

물군락(법정보호종, 특기종, 천연기념물, 노거수 및 보호수, 특정식물군락 등)의 분포 상황 조사

- **동물상** : 육상동물(포유류, 조류, 양서·파충류) 및 수생동물(동물플랑크톤, 어류, 저서성대형무척추동물)의 종 분포상황, 주요종의 개체수 및 우점도, 종 다양도 등 군집분석, 특징있는 생물의 분포상황(법정보호종, 특산종, 희귀종, 희소종, 특정개체군) 조사



[그림 5] 생물상의 분류 및 분류군

### 조사지점의 선정과 조사빈도

- **조사지점** : 생물상별로 대표지점 선정, 단 수생생물 조사시 수질조사지점을 고려하여 동일 지점 선정하고, 수질조사 지점 외 생물상 특성 별 추가 조사시 지점 추가 가능
- **조사빈도** : 1회/계절 이상을 원칙으로 하고, 하계조사는 반드시 포함하여 조정 가능

### 조사 및 분석 방법

- 일반적인 조사 및 분석방법은 호소환경조사지침(환경부, 2017)과 전국자연환경조사지침(환경부, 2012)에 준하며, 매뉴얼 해설부분에 자세히 수록함
- 동식물플랑크톤 조사는 담수역에 분포하는 동식물 플랑크톤 전 분류군을 대상으로 하며 현장조건 및 수질특성 등 필요에 따라 실시함
- 대형 수생식물 현지 조사는 수생식물 최대성장기이고 피도가 안정되는 7월 중순부터 8월 하순에 집중적으로 실시하되, 식물 종에 따라 봄철과 가을철(9월) 최대성장 시기도 가능하며 개화기를 중심으로 조사할 수도 있음
- 퇴적물 준설이 검토되는 경우에는 호소 저층 대형무척추동물조사를 실시할 수 있음
- 어류의 이동을 제한할 수 있는 구조물 등이 설치되는 경우에는 어류조사를 실시하여 어도 등 이동통로 조성 등을 검토하여야 함

## 2.7 수리·수문 조사

### 개요

- ❶ 목적 : 유역 유출에 영향을 미치는 요소들을 분석하고 수문특성을 파악함으로써 수질개선 시설의 위치, 규모, 설계유량, 홍수해석 등의 중요 설계인자를 결정하기 위함
- ❷ 조사내용 : 지형·기상, 토양·지질·수리상황, 하천현황, 유역 토지이용 및 피복상황 등
- ❸ 한국농어촌공사와 시·군, 기상청 등 관련기관 보유 자료와 국가수자원관리종합정보시스템(www.wamis.go.kr) 자료를 최대한 활용하고 자료 미흡 시 현장조사 실시
- ❹ 현장조사는 지형도, 토양도, 하천도 등을 참고하여 실시하며 기타 세부적인 내용은 조사 설계 실무요령(2011, 한국농어촌공사) 등을 참고

[표 12] 수리수문 조사항목

조사항목	조 사 내 용
유역조사	표고, 표고별 면적, 유역면적, 유역평균경사, 유역의 방향성, 형상계수, 유역형상
하천조사	하천명, 유로연장, 하상경사, 하상계수, 하천밀도, 하천사행특성, 홍수흔적조사, 하천단면구조
수문토양 조사	수문학적 특성에 따른 토양통 분류
유역피복조사	임야, 농경지, 대지 등의 토지이용형태 조사
강수량조사	지배관측소 선정, 최근 30년간의 일별·월별·년별 강수량 조사
하천수위조사	현장실측 또는 기존관측소의 수위자료 수집
하천유량조사	현장실측 또는 기존관측소의 유량자료 수집
지하수조사	지하수위 관측
유사조사	하천 유사량 산정(부유사량, 소류사량, 하상재료, 산정방법 등)
용배수상황조사	용배수계통, 용배수시설 등
용수이용현황조사	생활·공업·농업용수의 취수위치, 취수량, 취수설비 등

### 기상조사

- ❶ 수질개선대책을 수립하는 주요인자로서 특히 강우상황은 유역의 식생상황과 더불어 수 원, 수량 및 수질에 영향을 미치므로 가능한 장기간의 기상자료를 수집해야 함
- ❷ 30년 이상의 장기 관측자료가 좋으며 최소 10년 이상의 자료를 수집해야 함
- ❸ 강우량은 대상지구내 설치된 강우량 측정 장치에 의해 측정된 자료를 최대한 활용
- ❹ 해당지역 기상자료가 없을 경우에는 가장 가까운 관측소 기상자료 활용

**[표 13] 기상조사표 양식**

관측소명 :	위치 :													
관측기간	월별												계	평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
평균기온 (℃)														
평균강수량(mm)														
평균 강우 일수														
평균증발량(mm)														
상대습도 (%)														
평균풍속(m/s)														

주) 1. 관측소, 기상청, 지방기상청 및 기상대로부터 자료를 수집한다.  
 2. 월별 일조시간은 자료수집이 가능할시 기록하여 두면 참고가 된다.

**지형 및 지질조사**

- ❶ 계획지구의 위치, 지형, 지세, 경사도, 주요도시, 행정구역 조사 및 계획지구의 유역과 수해 면적, 그 주변 시설물 현황 등 설계요소 결정에 필요한 기초자료 조사
- ❷ 사군 보유자료를 수집 이용하고, 미흡한 내용은 현장조사하여 지형도에 표시
- ❸ 유역의 지질조사는 지질자원연구원 발행 지질도 (1:250,000, 1:50,000), 지질연구보고서 등에 수록되어 있는 자료를 이용하여 지질 단면도 작성
- ❹ 필요시 현장 조사시험으로 자료 취득 가능함
- ❺ 예정지조사에서는 암반의 위치, 종류 등 기초자료만을 육안으로 파악, 상세자료는 기본조사 또는 세부설계에서 취득함

**수리상황 조사**

- ❶ 지구 내 및 그 주변 수리시설의 위치 및 이용 상황을 조사하여 수질에 미치는 영향 및 문제점 등을 파악
- ❷ **용배수 계통조사**: 지구 내 및 주변에 있는 수리시설에 대하여 용수계통, 용수시설의 기능, 용수량 현황, 관개면적, 용수관행 등과 농업용수 외에 지구 내 축산용수, 관광용수, 생활용수와 이에 따른 저수지, 양수장, 보, 수문 등의 수리시설과 배수계통을 조사하여 이를 도면에 기입하고 정리하여 기본계획 수립에 활용

### 수원조사

- ❶ 지구 내 및 그 주변의 각종 수원에 대하여 수량, 수질 및 권리관계 조사하고, 현지 청문조사, 현장답사 등을 통하여 보완함
- ❷ 수문분석에 필요한 계획지구의 유량산정 기초자료로 활용하기 위해 반드시 실시함
- ❸ 기존의 계획지구 부분에서 측정된 하천 등의 유량 관측 자료도 함께 수집함
- ❹ **하천조사** : 대상지구 유량을 적정하게 판단하기 위해 실시하며, 유량관측 자료가 없을 경우 현장조사하거나 유역특성이 유사한 인근지역 자료를 이용하여 비유량법 등으로 추정하고, 기존자료와 실측자료를 이용하여 수위-유량 조사표를 작성함
  - ▶ 현장조사시 이수기, 홍수기 등 구분하고, 홍수기에는 강우사상의 직접유출 발생시점을 기준으로 유량상승시 2회, 첨두유량 발생시 1회, 유량하강시 2회 등 총 5회 이상 조사
- ❺ 저수지 조사 : '2.3 일반현황 조사' 및 '2.10 토목조사'를 참고

[표 14] 유역 하천현황 조사표(양식)

하천명		위 치		연장	등급	지정근거
본류	하천	기점	종점			

[표 15] 하천특성 조사표(양식)

하천명	유역면적 A(km <sup>2</sup> )	유로장 L(km)	유역평균폭 A/L(km)	형상계수 A/L <sup>2</sup>	하천밀도 L/A	평균경사 (%)

[표 16] 수위-유량 조사표(양식)

하천명	조사지점	수위 (EL m)	하폭 (m)	평균수심 (m)	평균유속 (m/s)	유량 (m <sup>3</sup> /day)	비고

주) 기존자료를 활용하고 기존자료가 없을 시는 실측에 의한다.



### 유역 및 하천조사

- ④ 유역조사 : 강우-유출 관계에 영향을 미치는 유역의 형상과 하천의 형태, 토양의 특성, 토지 이용 상태 등 유역이 갖고 있는 특성을 조사함. 유역경계를 확정하여 유역도 작성하고 유출량 산정을 위한 모형에 적용되는 각종 입력자료 생산에 활용함
- ④ 유역조사에는 유역답사, 유역피복임상조사, 유역토양조사, 하천상황 분석 등 포함
- ④ 유역피복임상조사 : 유역내 산림, 논, 밭, 수면 등 토지용도별 면적구성비와 투수면적과 불투수피복 면적비 등을 조사하여 유역유출계수, 유역증발계수 등을 결정해야 함
- ④ 유역토양조사 : 유역의 침투특성과 유출율 등을 평가하여 유출 정도를 파악 함
- ④ 하천특성 분석 : 소유역별로 하천유형, 배수계통, 하천 취수시설 및 용수이용상황과 유로연장, 하폭, 유량, 하상경사, 하천밀도, 하상계수, 조도계수 등 조사



### 지하수 이용현황

- ④ 지하수 부존량 및 이용실태 조사. 지하수 이용의 원인이 저수지의 용량부족인지, 수질오염이나 급수시기 때문인지 등에 대한 조사 병행
- ④ 저수지의 수질개선으로 지하수이용을 저수지이용으로 대체할 수 있는 가능성을 심층적으로 검토



### 토지이용 상황 조사

- ④ 비점오염발생 영향을 파악하기 위해 영농현황 등을 시·군 행정 통계자료와 현지답사에 의하여 지목별로 조사하고 토지이용과 관계되는 제 관계를 파악해야 함
- ④ 비점오염부하량 산정에 이용할 수 있도록 전, 답, 대지, 임야, 기타 등으로 구분 작성
- ④ 농용지의 토지이용 방식, 작부방식, 작목별 작부면적 등 조사
- ④ 유역 내 및 그 주변의 토지이용규제, 토지이용계획 및 지역개발 계획 등을 조사하여 장래 토지이용 추정 필요 (각 시도 수질오염총량관리 기본계획 등 참고)

**[표 17] 토지이용현황 조사표**

구분	총면적	지목별 면적 (km <sup>2</sup> )					경지율(%)	임야율(%)
		전	답	임야	대지	기타		

주) ① 기타는 수면, 잡종지 등으로 구분한다.

### 토양의 수문학적 특성조사

- 유역에 분포된 토양의 피복상태, 토지이용상태, 침투특성에 따른 유출율 등의 수문학적 특성 자료를 도출하여 강우-유출 해석에 기초자료 제공
- 농촌진흥청 발간 정밀토양도(1/25,000)를 이용하거나 현장조사 통해 보완
- 토양의 종류와 토양종류별 물리·화학적 특성을 토대로 수문학적 토양그룹 분류
- 토양그룹 분류가 어려울 때는 토양 수문 전문가에게 자문 받도록 함
- 분류기준은 미농무성 토양보존국(UADA/SCS)의 수문학적 토양군 분류기준에 따라 A, B, C, D로 구분하여 적용
- 토양통(soil series)별 수문학적 토양군 분류 및 유출수문곡선(Curve Number) 작성

## 2.8 ○ 토양 및 퇴적물 조사

### 토양조사

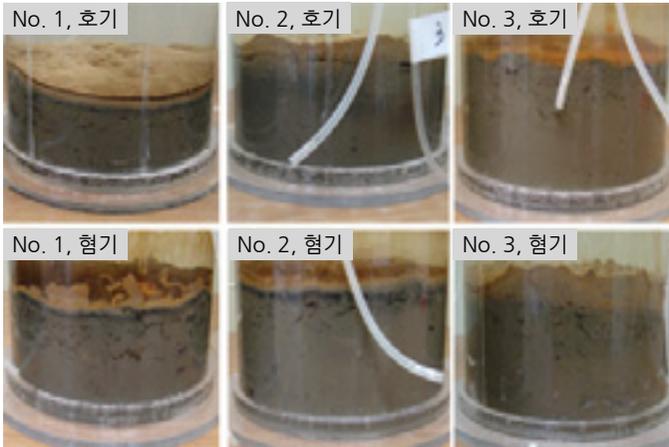
- 목적 : 인공습지 등 수질개선시설 예정부지 등에 대한 토양의 생태적, 물리·화학적 특성을 조사하여 토양부문의 기초자료 제공
- 농촌진흥청의 현지조사 및 분류방법에 따라 실시하고, 농촌진흥청 정밀토양도(1/25,000)를 활용하거나 현지조사를 실시하여 대상지구 토양분포와 특성 조사
- 토양오염조사방법은 환경부의 “토양오염실태조사지침”에 따름
- 조사기준 : 농업생산기반정비사업의 개략 토양조사기준, 극정밀 토양조사기준 적용
- 조사지점 : 수질개선시설(예, 인공습지 등) 예정부지 등에 대하여 실시
- 물리적 특성조사 : 토양단면조사 통해 토성 및 배수등급, 유효토심, 투수계수, 토양경도 등을 조사하고 토양단면도를 작성함
- 화학적 성분조사 : pH, EC, OM, TN, 유효인산, 양이온치환용량, 기타 유해성분 등 조사
- 분석 : 토양오염공정시험기준, 농촌진흥청 토양 및 식물체분석법 등에 준하여 실시하고, 별도 전문기관에 의뢰함

**퇴적물 조사**

- ❁ **목적** : 호소바닥에 퇴적된 유기물, 영양염류가 호소 내부생산에 미치는 영향을 파악하며, 퇴적물과 수체간의 물질순환을 규명하여 수질개선대책을 세우기 위함
- ❁ **조사지점** : 하천과 호소의 퇴적물 특성을 대표 할 수 있는 지점, 수질조사 동일 지점
  - ▶ 단, 용출을 시험 지점은 퇴적물 오염도와 저층수 존재여부에 따라 선정하는 것이 원칙이며 대표적인 2개 지점을 선정하여 비교 평가할 수 있도록 함
- ❁ **조사항목** : 퇴적심도와 퇴적물의 이화학적 특성 조사, 퇴적물의 오염실태를 파악할 수 있는 항목(유기물함량, 강열감량, TN, TP 등)과 용출특성을 파악할 수 있는 항목(TOC, TN, TP 등) 조사
- ❁ 이외에 퇴적물의 재활용여부를 판단하기 위한 입도분석과 수질모델링 입력자료로 퇴적물 산소소비속도(SOD, sediment oxygen demand) 등 추가 가능
- ❁ **조사빈도** : 1회/년 이상, 호소 수질이 안정된 시기에 실시. 유입수에 농약, 중금속 함유가 의심될 경우 년 1 ~ 2회 조사하여 농축여부 파악 필요
- ❁ **조사방법** : 코어샘플러, 그랩샘플러 등으로 시료채취하며 수직분포 조사 필요시 퇴적 심도 별 주상시료(core sample)를 채취, 비닐지퍼백, 유리, 플라스틱 용기 사용원칙
- ❁ **분석방법** : 토양오염공정시험기준, 토양 및 식물체분석법, 폐기물처리 공정시험법 등에 준하여 실시하고, 별도 전문기관에 의뢰함



**[그림 6]** 퇴적물 시료채취용 그랩 샘플러



[그림 1] 퇴적물 용출실험 후 측면에서 본 퇴적물의 성상 사례

[표 18] 퇴적물에 포함된 무기인의 성상별 분석 결과 사례

	Loosely bound-P		Al-P		Fe-P		Reductant-P		Ca-P		Sum
	(C*)	(%**)	(C*)	(%)	(C*)	(%)	(C*)	(%)	(C*)	(%)	
No. 1	1.7	0.1	146	12.5	548	46.7	356	30.3	122	10.4	1174
No. 2	0.8	0.1	145	11.8	590	47.9	375	30.4	122	9.9	1233
No. 3	3.4	0.4	96	12.3	362	46.1	210	26.8	113	14.4	785

\* Concentration :  $\mu\text{g-P/g}$  sediment

\*\* 총 무기인 중 비율(%)

## 2.9 ○ 수질예측

### 수질예측모형 종류

- **목적** : 현재의 조사분석 자료를 바탕으로 수질개선 사업 시행 후 수질개선 효과를 예측함으로써 기본 계획의 적정성, 효율성을 파악하고 사업효과 등을 추정하기 위함
- **모형의 종류** : 유역수질모델과 수체수질모델로 구분
- **유역수질모델** : 유역에서 수체(하천, 저수지)로 유출되는 유출량과 수질농도 산정
  - ▶ 단순모델(simple model), 중간모델(mid-range model), 복잡한 모델(detailed model)
  - ▶ 저수지에 적용가능한 대표적 모델로는 HSPF와 SWAT 모델이 주로 사용됨

### 수질예측모형 종류 (계속)

- **수체수질모델** : 수계로 유입된 오염물질의 이송·확산과 수질반응 기작 모의에 사용, -오염 부하량과 수질의 시간적 변동성 고려 유·무에 따라 정상상태 모델(steady state model)과 비정상상태 모델(unsteady state model)로 구분
  - ▶ 수질의 공간적 변동성 고려 수준에 따라 완전혼합 box 모델, 1차원 모델, 2차원 모델, 그리고 3차원 모델로 구분
  - ▶ 수리해석과 수질해석이 분리되어 순차적으로 수행하는 비연동 모델과 CE-QUAL-W2 또는 ELCOM-CAEDYM, EFDC와 같이 동시에 수행하는 연동 모델로도 구분
  - ▶ 정상상태 모델 : 유역에서 일정한 오염부하가 지속적으로 유입될 때 하천 또는 저수지의 공간적 수질변화 예측을 위해 사용, 대표적인 모델로 QUAL2E가 있음
  - ▶ 비정상상태 모델 : 시간 따라 변화하는 동적 오염부하 상태에서 하천 또는 저수지의 시공간적인 수질변화 예측 위해 사용, 대표적 모델은 WASP, CE-QUAL-W2 등 임

### 수질예측모형의 선정

- **선정기준** : 대상 저수지의 지형적 특성, 수질의 시간적 공간적 변동성, 모델의 수리 및 수질 해석 기능, 관심 수질 모의 항목, 요구되는 입력자료의 수준, 사용자 전문성, 계산효율성, 사용편의성, 수치해석 안정성 등 고려
- 저수지의 수심이 얇고(7m 이내) 수평방향의 수질변동이 적어 완전혼합 상태를 가정할 수 있다면 완전혼합 box 모델 적용
- 수심이 얇고 긴 하천형 정상상태 수질모의 : QUAL2E 또는 이와 유사한 모델
- 수심이 얇고 긴 하천형 비정상상태 수질모의 : DYNHYD-WASP5 또는 CE-QUAL-RIV1 모델
- 수심이 얇고 수평방향의 수질변동이 큰 경우 : DYNHYD-WASP5 또는 RMA2-RMA4와 같은 수심평균 1차원(x) 또는 2차원(x-y) 모델 적용
- 수심이 깊고(7m 이상) 수평방향의 수질변동이 적은 경우 : 성층화 해석이 중요하므로 WQRRS와 DYRESM과 같은 연직방향 1차원(z) 모델 선정
- 수심이 깊고 흐름방향 수질변동은 있으나 횡방향 변동은 적은 경우 : CE-QUAL-W2와 같은 횡방향 평균 2차원(x-z)모델 선정
- 수심이 깊고 흐름방향과 횡방향의 수질 변동이 모두 큰 경우 : ELCOM-CAEDYM, GEMSS, MIKE3, EFDC-WASP7, EFDC와 같은 3차원(x-y-z)모델 선정. 단, 성층화 현상이 뚜렷하고 유입 하천수의 밀도류 해석이 중요한 경우 모델을 충분히 보정한 후 사용.
- [표 22]는 저수지 수리, 수질해석에 자주 적용되는 비정상상태 다차원 수질모형 비교

[표 19] 유역수질모델의 적용성 비교

고려사항	HSPF	SWAT
숙련도 요구수준	고도의 전문성	보통의 전문성
모델 구축 소요시간	6개월 이상	1개월 이상
입력자료 요구수준	높음	중간
기술지원 가능성	높음	보통
사용자 편의환경	높음	높음
구매 비용	없음	없음

자료출처: USEPA. 2005. TMDL Model Evaluation and Research Needs. EPA/600/R-05/149. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research

[표 20] 주요 유역수질모형의 오염물질 모의항목 비교

Parameter/Endpoint	AGNPS	STEPL	GWLfa	HSPF	P8-UCM	SWAT	SWMM
Total phosphorus (TP) load	▶	○	▶	●	●	▶	●
TP concentration	▶	—	▶	●	●	▶	●
Total nitrogen (TN) load	▶	○	▶	●	●	▶	●
TN concentration	▶	—	▶	●	●	▶	●
Nitrate concentration	—	—	—	●	—	▶	●
Ammonia concentration	—	—	—	●	—	▶	●
TN:TP mass ratio	—	—	▶	●	—	▶	●
Dissolved oxygen	▶	—	—	●	—	▶	●
Chlorophyll a	—	—	—	●	—	▶	—
Algal density (mg/m <sup>3</sup> )	—	—	—	—	—	—	—
Net total SS load	—	○	—	●	●	—	●
Total SS concentration	▶	—	—	●	●	▶	●
Sediment concentration	▶	—	▶	●	●	▶	●
Sediment load	▶	○	▶	●	—	▶	●
Metals concentrations	—	—	—	●	—	▶	●
Conductivity	—	—	—	●	—	—	—
Pesticide concentrations	▶	—	—	●	—	▶	—
Herbicide concentrations	▶	—	—	●	—	▶	—
Toxics concentrations	—	—	—	●	—	—	—
Pathogen count (E. coli, fecal coliform)	—	—	—	●	—	▶	●
Temperature	—	—	—	●	—	▶	—

Key: — Not supported ○ Annual ▶ Daily ● Hourly

a. GWLF calculations are performed on a daily basis, but the results are presented on a monthly basis.

자료출처 : USEPA. 2005. TMDL Model Evaluation and Research Needs EPA/600/R-05/149. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, OH.

[www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r05149/600r05149.htm](http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r05149/600r05149.htm)

**[표 21] 수체 수질모델의 종류**

시간에 따른 분류 공간에 따른 분류	정상상태	비정상상태
완전혼합 box 모델	Vollenweider	동적 box 모델
1차원 모델	QUAL2E	CE-QUAL-RIV1, DYRESM, WQRRS, DYNHYD-WASP5, MIKE1
2차원 모델		CE-QUAL-W2, RMA2
3차원 모델		EFDC-WASP7, ELCOM-CAEDYM, GEMSS, DELFT3D, MIKE3, EFDC

**[표 22] 저수지 수질 모델 특성 비교**

구 분	CE-QUAL-W2	EFDC-WASP7	ELCOM-CAEDYM	GEMSS	EFDC
1. 수리해석 특성					
수위 변동 해석	●	●	●	●	●
유속: x 성분 (u)	●	●	●	●	●
유속: y 성분 (v)	x	●	●	●	●
유속: z 성분 (v)	●	●	●	●	●
수온 성층 해석	●	○	●	▲	●
밀도류 거동 해석	●	○	●	▲	●
2. 수질해석 특성					
유사(탁수) 해석	●	●	●	●	●
부영양화 해석	●	●	●	●	●
독성물질 해석	○	●	○	▲	x
수리-수질 연동해석	●	x	●	●	●
3. 효율성 및 편의성					
자료 요구수준	●	●	●	●	●
전문성 요구수준	▲	●	●	●	●
계산의 효율성	●	▲	○	○	○
사용자 편의성	●	●	▲	○	○

(x : 없음, ○ : 낮음, ▲ : 보통, ● : 높음)

[표 23] 주요 수체 수질모델의 특성

구분	특성
WASP5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DO, BOD, 온도, N-series, P-series, 독성유기화합물, 중금속, 총대장균군, 조류농도에 대해 예측가능</li> <li>- 적용할 때에는 DYNHYD(2차원-상하구분불가) 및 기타 수리모델과 연계하는 것이 바람직함</li> <li>- 호수에 적용할 때에는 상하층구분을 적용하여 EUTRO(3차원모델-상하, 좌우Segment구분함) 적용</li> <li>- 우리나라의 호소에 많이 적용된 모델이나, 유량의 유출입에 대해 유동적으로 입력이 어려움</li> </ul>
WASP7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Window버전으로 EFDC와 연동해서 모의</li> <li>- 부영양모델, 독성모델 외에 Mercury, Heat 모델이 추가</li> <li>- 모의결과를 그림으로 표현할 수 있는 postprocessor 기능이 추가</li> <li>- CBOD의 경우 분해 속도에 따라 CBOD(1), CBOD(2), CBOD(3) 3가지 종류로 구분하여 모의가 가능하도록 개선</li> </ul>
CE-QUAL-W2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수심이 깊고, 길이가 긴 호소에 적합한 모델</li> <li>- 수체의 흐름에 대한 여러 형태적용이 가능함</li> <li>- 상류경계조건을 고려하여 유입량을 산정하기 어려운 하천의 하구나 저수지에 적용이 가능</li> <li>- 호소의 성층분석에 적용 가능</li> <li>- 온도, 염분도, SS, DO, TOC, 인, 질소 등 총 21가지에 대해 예측 가능한 2차원 모델</li> <li>- WQRRS모델의 특성에 Segment의 구분이 있음</li> <li>- CE-QUAL-R1에서 발전한 모델</li> </ul>
GEMSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시공간적 수리 및 수질변화 예측을 위한 3차원 시변화 모델링 지원을 위한 통합시스템</li> <li>- 강, 호수, 하구, 해양 등의 수체에서 다양한 수질 문제 해결을 위해 많이 적용</li> <li>- 수리모델(GLLVHT)과 수질모델(WQDOM)으로 구성</li> <li>- 11가지의 수질항목(DO, NH3, NO3, PO4, Phyt, ON_D, ON_P, OP_D, OP_P, CBOD_D, CBOD_P) 모의 가능</li> </ul>
ELCOM-CAEDYM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 호수, 저수지, 하구를 위한 범용 3차원 수리동력학 모델(ELCOM)과 호수와 저수지의 수질 및 생태계 동적 모델(CAEDYM)을 연결하여 3차원 수리, 수질, 수생태계 모의</li> <li>- C, N, P, Si의 다양한 순환과정, DO순환, 입자크기별 6개까지의 무기부유물질(SS), 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 어류 등의 생태모의 가능</li> </ul>
DELFT3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 곡선좌표계를 사용하기 때문에 불규칙한 경계에 효율적으로 적용 가능</li> <li>- DO, BOD, TOC, 유기물질, 무기물질, 영양물질, 플랑크톤, 중금속 등 모의 가능</li> <li>- 수체의 수위변화, 유속 및 흐름방향 확인 가능</li> </ul>
EFDC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 수질모델</li> <li>- EFDC는 크게 유동, 퇴적물이동, 수질의 세 요소로 구성</li> <li>- 수온, 염분, 용존산소, 식물성 조류(3개 그룹), 탄소순환계, 질소순환계, 인순환계, 규소순환계를 포함하는 21개 항목에 대해 예측 가능</li> <li>- 담수호 수질예측에 많이 이용되고 있음</li> </ul>

## 2.10 토목 조사

### 토목조사 개요

- **목적** : 수질개선 시설물의 위치 선정과 규모 결정, 공사비산출 등을 위하여 실시
- **조사내용** : 수지(담수호포함) 제원조사, 주변 현황조사, 유역 및 하천조사, 주변 지형 및 수심 측량, 기초지반조사 등
- **조사방법** : 수질개선 시설물의 적정한 예정위치 등을 미리 도상에서 검토한 후 현장조사에서 확인 및 보완

### 주변 현황조사

- **목적** : 도로현황, 토취장(점토, 성토채취장), 모래, 자갈 채취장 및 석산 등 계획지구 인근 현황을 조사하여 수질개선대책 수립을 위한 소요사업비 추정에 활용
- 수질개선시설 설치시 지하매설물을 피하는 것이 바람직하므로 용수관, 배수관, 상하수도관, 가스관, 전기 및 전화선 등 지하매설물에 대해 충분히 조사, 도면에 기록
- 수질개선 시설물의 목적에 부합하는 위치(예; 홍수위부지, 호내 매립 등)를 관계기관 및 지역주민과 협의
- 구조물 시공시 수해면적에 공급되는 용수량이 충분한지 검토
- 저수지 홍수위선 내에 위치한 하천부지에 대해 저수지 설치사업 당시 하천점용 및 공작물 설치에 필요한 사전협의 선행여부 확인
- 필요시 하천점용허가 및 공작물설치에 대한 하천관리청 협의 하고, 그 외 주민의견 수렴을 위해 가능한 주민설명회를 개최하여 의견수렴 권장
- 하천 부지에 시설물 설치가 불가능할 때에는 사유지를 매입하여 설치하여야 하며 이때에는 가능하면 토지 소유자의 동의서를 첨부해야 함

### 유역 및 하천조사

- **목적** : 수질개선 시설물의 위치선정 및 규모결정을 위해 실시
- 강우-유출 관계규명을 위한 유역형상, 하천형태, 토양특성, 토지이용상태 조사
- 수리, 수문조사 참조
- 측량은 공공측량 작업규정 및 측량법 등 관계법규에 의하여 실시
- 측량시행시 우선 기준점 설치 위해 국립지리원 제공 삼각점 또는 수준점으로부터 수질개선시설물 인근까지 측량하고 측량지점의 식별을 위해 표지(Station mark) 설치

### 유역 및 하천조사 (계속)

- 지형측량은 수질개선대책 시설 설치 예정지(인공습지, 침강지, 양수시설 등) 및 주요 시설물 주변에 대하여 실시
- 수심측량은 음향측심기, GPS 등의 장비로 측정, 측선간격 50 m, 소규모 저수지 20 m이하
- 수심측량자료로 바닥등고선 구하고, 등수심선도 작성 후 내용적표 및 내용적 곡선도 작성

### 기초지반조사

- 목적:** 지층의 구성상태 및 제반 지반공학적 자료를 얻기 위해 시추조사시험을 실시하고 그 결과를 검토하여 안정적인 설계, 시공 기초자료 제공
- 조사분석항목:** 현장조사항목으로 시추조사, 표준관입시험, 지하수위측정과 실내 물성시험항목으로 함수량시험, 액소성시험, 비중시험, 입도분석 등 7개 항목
- 조사지점 및 빈도:** 침강지, 양수시설 등 주요 시설의 설치지점. 계획기간 중 1회 실시
- 연약지반이거나 가능성이 있는 경우** 세부/실시설계 또는 시공시 연약지반 처리공법으로 구조물의 기능이 원활하도록 해야 함

## 2.11 ○ 지역주민 의견수렴

### 지역주민 의견수렴 조사

- 목적:** 모든 이해관계자들이 파트너 ship에 기초한 수질보전 활동 필요성이 증가하고, 주민 스스로가 수질개선계획과 실천과정에 참여하여 수질환경에 대한 전문지식과 이해를 얻는 전문적 주민교육과 주민역량 증대기능을 가지며, 지속가능 지역발전 유도
- 수질개선계획 수립과정에 다양한 방법으로 주민 등의 의견청취 창구를 마련하고 제안된 의견이 타당하다고 인정되는 때에는 이를 계획에 반영해야 함
- 의견수렴의 대상은 관계기관, 지방의회 의원, 지방의제21 추진기구, 주민대표, 관계전문가, 시민단체, 사업자 등이 해당되며, 의견수렴 방법은 “지역환경계획 수립 및 집행과정에서의 시민참여 활성화 방안 가이드라인(환경부, 2005)” 참조
- 수질개선계획 수립과정에서 해당 지역의 주민을 대표하는 지역민으로부터 과거의 수질상황에 대한 구두 모니터링을 실시하고 기록, 보관하여야 함

제3장

수질개선사업  
계획





## 제3장 수질개선사업 계획

### 3.1 계획의 기본구상

#### 계획수립의 절차

- 수질개선사업 절차는 지구선정, 현지조사, 기본구상, 기본설계, 세부설계, 시공, 준공 순으로 이루어지며, 기본계획은 기본구상, 수질개선계획 및 기본설계를 포함
- 기본계획 수립은 목표수질설정, 오염특성분석, 적용가능대책 및 공법선정, 공법의 설계기준 및 기타 사항 검토, 수질개선 대안설정 및 수질예측, 평가, 세부설계 순으로 이루어짐



[그림 8] 전반적 수질개선대책 수립 흐름도

## 수질개선 목표 설정

- 수질개선 목표의 명확화 : 농업용저수지 수질개선계획을 수립할 때에는 처리목표 및 달성 기준, 이용목적 등 계획의 목표 및 대상지역이 명확해야 함.
- 수질개선 목표설정 시 고려할 사항 : 대상지구의 이치수, 생태환경적, 친수기능적 측면 및 하천상태, 공공시설 안전성, 현 기술의 수준, 법률적 요구수준 등 고려
  - ▶ 해당수역에 이미 설정된 수질환경기준을 만족해야 하며, 설정된 기준이 없는 경우 농업용저수지 유형분류(2017) 절차에 따라 맞춤형 목표수질을 설정하거나 하천 및 호소 수질기준의 IV등급(농업용저수지)을 1단계 목표수질로 설정
- 목표수질 설정 : 농업용저수지 유형분류에 따른 관리목표 설정 및 관리방안 연구(한국농어촌공사, 2017) 결과에 따른 용수요구도별 목표 수질 준용
  - ▶ 일반농업형 : 농업용수 관리용도의 목표수질 이상 (호소 생활환경 기준 중 IV등급, TOC 6.0mg/L 이하)
  - ▶ 경관친수형, 친환경농업형, 생태보전형 : 호소 생활환경 기준 중 보통(III) 등급 (TOC 5.0mg/L 이하)
    - ※ 환경기준 : 환경정책기본법 시행령 제2조의 별표1 수질환경기준(개정'13.03.01.)
- 농업용저수지 수질개선사업의 목표수질은 생활환경보전에 관한 항목을 기준으로 설정하는 것을 원칙으로 하며, 단일지표로써 유기물(BOD 또는 TOC)항목을 설정하는 것 보다 계획 지역의 특성에 따라 SS, TN, TP, Chl-a 등 주요 평가항목을 선정하여 각 항목에 맞는 기준 설정
- 적용 시기는 연간 기준을 원칙으로 하되, 필요한 경우 관개기로 한정할 수 있음

※ 환경부지정 중점관리저수지 : 수질및수생태계보전에관한법률의 제31조의 2항(중점관리저수지의 지정 등)과 3항(중점관리저수지의 수질 개선 등)에 근거하여 지정된 중점관리 저수지의 수질개선 달성목표는 환경부 예규 제542호(중점관리저수지의 지정 및 수질개선을 위한 업무처리지침안, 2015)의 제4조(달성목표)에서 명시한 기준(표 24)를 따름

**[표 24] 용수요구도 측면에서 농업용저수지 수질 달성목표**

호소 유형	호소용도	달성목표	요구도 (대상)
일반 농업형	벼농사 등 일반적인 농업용수로 활용 (농산물 안전성 확보)	호소 생활환경 기준 중 약간나쁨 (IV) 등급 이상 (TOC 6.0mg/L 이하)	필수 (호소)
경관 친수형	관광, 레저, 수변휴양 기능을 가지며, 경관과 심미적 안정감 확보	호소 생활환경 기준 중 보통(III) 등급 이상(TOC 5.0mg/L 이하)	높음 (호소)
친환경 농업형	친환경농산물 재배 비율이 높아 청정 농업용수 요구도가 높은 저수지	호소 생활환경 기준 중 보통(III) 등급 이상(TOC 5.0mg/L 이하)	선택적 (호소/용수로)
생태 보전형	생태적으로 중요한 서식처 기능을 하는 저수지로 녹조, 빈산소 방지 등 생태적으로 건강한 수환경 요구	호소 생활환경 기준 중 보통(III) 등급 이상(TOC 5.0mg/L 이하)	낮음 (호소) ※ 향후증가

[표 25] 수질환경기준(하천)

등급	상태 (캐릭터)	기 준								
		수소 이온 농도 (pH)	생물 화학적 산소 요구량 (BOD) (mg/L)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	총유기 탄소량 (TOC) (mg/L)	부 유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (T-P) (mg/L)	대장균군 (군수/100mL)	
									총 대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	la 	6.5 ~8.5	1 이하	2 이하	2 이하	25 이하	7.5 이상	0.02 이하	50 이하	10 이하
좋음	lb 	6.5 ~8.5	2 이하	4 이하	3 이하	25 이하	5.0 이상	0.04 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II 	6.5 ~8.5	3 이하	5 이하	4 이하	25 이하	5.0 이상	0.1 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III 	6.5 ~8.5	5 이하	7 이하	5 이하	25 이하	5.0 이상	0.2 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV 	6.0 ~8.5	8 이하	9 이하	6 이하	100 이하	2.0 이상	0.3 이하	-	-
나쁨	V 	6.0 ~8.5	10 이하	11 이하	8 이하	쓰레기 등 이 떠있지 아니할 것	2.0 이상	0.5 이하	-	-
매우 나쁨	VI 	-	10 초과	11 초과	8 초과	-	2.0 미만	0.5 초과	-	-

\* COD는 2015. 12. 31 까지 적용, 현재 적용안함

비고 1. 등급별 수질 및 수생태계 상태

- 가. 매우 좋음 : 용존산소가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계로 여과·살균 등 간단한 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음.
- 나. 좋음 : 용존산소가 많은 편이고 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음.
- 다. 약간 좋음 : 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태의 다소 좋은 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수 또는 수공업용수로 사용할 수 있음.
- 라. 보통 : 보통의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 일반 생태계로 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 생활용수로 이용하거나 일반적 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 마. 약간 나쁨 : 상당량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 농업용수로 사용하거나, 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 바. 나쁨 : 다량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 산책 등 국민의 일상생활에 불편감을 유발하지 아니하며, 활성탄 투입, 역삼투압 공법 등 특수한 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 사. 매우 나쁨 : 용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살기 어려움.
- 아. 용수는 당해 등급보다 낮은 등급의 용도로 사용할 수 있음.
- 자. 수소이온농도(pH) 등 각 기준항목에 대한 오염도 현황, 용수처리방법 등을 종합적으로 검토하여 그에 맞는 처리방법에 따라 용수를 처리하는 경우에는 당해 등급보다 높은 등급의 용도로도 사용할 수 있음.

[표 25] 수질환경기준(호소) (계속)

등급	상태 (캐릭터)	기준									
		수소 이온 농도 (pH)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	총유기 탄소량 (TOC) (mg/L)	부 유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (T-P) (mg/L)	총질소 (T-N) (mg/L)	클로로 필-a (Chl-a) (mg/m <sup>3</sup> )	대장균군 (군수/100mL)	
										총 대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	la 	6.5 ~8.5	2 이하	2 이하	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.2 이하	5 이하	50 이하	10 이하
좋음	lb 	6.5 ~8.5	3 이하	3 이하	5 이하	5.0 이상	0.02 이하	0.3 이하	9 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II 	6.5 ~8.5	4 이하	4 이하	5 이하	5.0 이상	0.03 이하	0.4 이하	14 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III 	6.5 ~8.5	5 이하	5 이하	15 이하	5.0 이상	0.05 이하	0.6 이하	20 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV 	6.0 ~8.5	8 이하	6 이하	15 이하	2.0 이상	0.10 이하	1.0 이하	35 이하	-	-
나쁨	V 	6.0 ~8.5	10 이하	8 이하	쓰레기 등 이 떠있지 아니할 것	2.0 이상	0.15 이하	1.5 이하	70 이하	-	-
매우 나쁨	VI 	-	10 초과	8 초과	-	2.0 미만	0.15 초과	1.5 초과	70 초과	-	-

\* COD는 2015. 12. 31 까지 적용, 현재 적용안함

비고

1. 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7 미만일 경우에는 총인의 기준을 적용하지 아니하며, 그 비율이 16 이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 아니한다.
2. 등급별 수질 및 수생태계 상태는 가목(2) 비고란 제1호와 같다.
3. 상태(캐릭터) 도안 모형 및 도안 요령은 가목(2) 비고란 제2호와 같다.

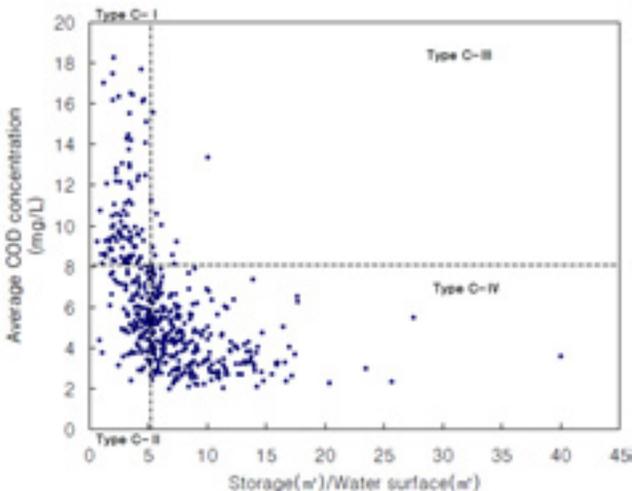
다. 지하수

지하수환경기준항목 및 수질기준은 「먹는물관리법」 제5조 및 「수도법」 제18조의 규정에 의하여 환경부령이 정하는 수질기준을 적용한다. 다만, 환경부장관이 고시하는 지역 및 항목은 적용하지 아니한다.

### 3.2 수질오염 특성 분석

#### 수질오염 유형 분류

- ❏ 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 : 저수율, 체류시간, 수심, 유역면적, 유역형상, 유역경사, 토지이용상황, 수표면적, 연령 (퇴적량), 유입오염원 (TOC, SS, TN, TP 등)
- ❏ 호소수질의 결정 : 외적요인으로 유입 오염물질(특히 초기강우 유출수)과 내적요인으로 유입된 영양염류와 퇴적 용출물질, 수심과 저수율, 기상(기온, 일조시간)에 의한 조류의 1차 생산량으로 결정됨
- ❏ 특히, (평균 수심) × (연평균 저수율)이 5m 이내의 저수지는 퇴적용출과 내부 생산성이 높아 저수지 수질이 나빠질 수 있으며, 이런 경우 유입대책 보다는 내부순환대책, 녹조제어 대책이 필요함
- ❏ 수질오염 유형분류 : 농어촌연구원(2002)에서 전국 498개소 농업용저수지를 대상으로 제시한 종합정비형, 호내정비형, 유역정비형, 관리형 등 4가지 유형 활용
  - ▶ 오염유형분류를 위한 수질인자 중 저수지 수질오염을 나타내는 가장 대표적 수질자료로 화학적 산소요구량(COD)을 선택하였고, 물리적 인자로는 호의 유효저수량(ST, Effective Storage) 대 호의 만수면적(WS, Water surface)의 비, 즉, 유효평균수심을 물리적 지표로 활용하여 [그림 9]와 같은 저수지 오염유형 분류도 작성
  - ▶ 분류의 기준으로서 수질지표는 COD농도 8mg/L(호소수질환경기준 IV등급 농업용저수지 수질기준)를 기준으로 하였고, 물리적 지표인 ST/WS 비는 5 m를 기준으로 함
- ❏ 오염유형에 따른 수질개선대책 적용 방법 : 표 26 참조



[그림 9] COD와 S/W 비를 이용한 농업용저수지 유형분류

**[표 26] 호소의 수질오염유형별 특성 및 수질보전대책 방향**

유형	유형별 특성 및 수질보전대책 방향
종합정비형 (C-I형)	<ul style="list-style-type: none"> <li>구조적으로 부영양화에 취약</li> <li>오염원인에 따라 내부원인형과 외부원인형으로 세분될 수 있음</li> <li>내부원인형인 경우는 준설이나 제체송상 등 평균수심을 증가시킬 수 있는 대책을 강구하여야 함</li> <li>외부원인형은 유역 유입 점오염원 및 비점오염원의 저감대책을 시행해야 함</li> </ul>
호내정비형 (C-II형)	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 수질오염은 되지 않았으나 구조적으로 부영양화에 취약하여 수질저하 우려가 높기 때문에 평균수심을 증가시킬 수 있는 대책 강구해야 함</li> </ul>
유역정비형 (C-III형)	<ul style="list-style-type: none"> <li>부영양화의 제어가 가능한 구조를 가지고 있음</li> <li>유역으로부터의 유입부하가 큼</li> <li>비교적 소형(평균 저수량 약 150만톤)임</li> <li>유역내의 점오염원 및 비점오염원의 저감대책을 강구하여야 함</li> </ul>
관리형 (C-IV형)	<ul style="list-style-type: none"> <li>부영양화의 제어가 가능한 구조를 가지고 있음</li> <li>양호한 수질을 유지하기 위해서는 관련기관 및 유역 주민들과의 유기적인 공조 필요</li> </ul>

### 오염원 분포 특성

- 제 2장 조사 및 성과해석방법 편의 각 조사항목과 오염원조사 자료와의 상호연관성을 분석하여 오염원별 수질오염 기여도 평가
- 오염원별 수질오염 기여도는 발생 및 배출부하량을 이용하여 평가하면 편리함
- 소유역별 수질오염 기여도는 각 오염원별 발생 및 배출부하량을 합산하여 소유역별로 합계를 내어 비교하면 수질개선대책을 어느 유역을 위주로 수립해야 할지를 명확히 판단할 수 있음

## 3.3 유입·삭감부하량 산정 방법

### 유달을 산정

- 유달을이란 유역에서 발생한 오염물질이 하천이나 수로 등을 유하하는 동안 자정작용에 의해 감소되거나 불명오수의 유입 등으로 증가되는 영향을 반영한 인자 임
- 유달을 산정은 전 소유역을 대상으로 한 실측이 가장 정확하지만 현장여건에 따라 1~2개의 대표 소유역에 대하여 실측하고, 미계측 소유역은 실측유달을을 적용하거나 대상지구와 유사한 유역 특성의 유달을을 관련문헌 등을 적용하여 계산함



### 유달율 산정 (계속)

- 유달율은 유입부하량 추정에 이용되거나 장래 오염원자료로부터 계산된 배출부하량을 이용하여 장래 유입부하량 추정에 사용

$$\text{유달율}(\%) = \frac{\text{실측부하량}}{\text{배출부하량}} \times 100$$

$$\text{실측부하량} = \text{실측수질} \times \text{실측유량}$$

$$\text{장래유입부하량} = \text{유달율} \times \text{장래배출부하량}$$



### 유입부하량 산정

- 유입부하량 산정 : 강우 수질-유량조사 ⇒ 수질농도-유량 관계식(C-Q식), 하량-유량 관계식(L-Q식) 유도 ⇒ 수문모형에 의해 추정된 일유출량(Q) 자료를 도출된 L-Q식에 적용 ⇒ 일유입부하량 추정
- 일유입부하량은 수질예측모형 입력자료나 간편 BOX 모형으로 호소수질예측 이용가능
- 단, 통계학적으로 유의하지 않은 관계식을 적용에 유의해야 함



### 삭감부하량 산정

- 오염유형, 소유역별 오염특성 분석결과를 바탕으로 목표수질을 달성하기 위한 삭감부하량을 산정하고 산정된 삭감량을 각 오염원 또는 소유역별로 배분해야 함
- 삭감부하량은 저수지 실측수질과 목표수질 차이만큼의 유입부하량 삭감 설정
  - 삭감유달부하량(kg/yr) : (저수지 실측수질 - 목표수질(mg/L)) × 유역유입량(m³/yr)
  - 일평균 삭감부하량(kg/day) : 삭감유달부하량(kg/yr) ÷ 365일
  - 삭감배출부하량(kg/day) : 일평균 삭감부하량(kg/일) ÷ 유달율
- 삭감배출량을 오염원별 · 소유역별 오염기여도에 따라 배분, 삭감배출부하량 산정표 작성하여 계획수립에 활용
- 오염부하량은 3.6절의 수질예측 기초자료이고, 3.4 수질개선공법 선정의 중요 인자가 되므로 최대한 충실히 조사 · 분석해야 함

**[표 27] 수질오염 항목별 삭감배출부하량 산정표(예시)**

구 분	현황수질 (mg/L)	목표수질 (mg/L)	유입부하량 (kg/day)	계획삭감량 (kg/day)	달성삭감량 (kg/day)	예측수질 (mg/L)
COD	10.3	8.0	467.8	104.4	191.6	6.0
T-N	2.196	1.0	99.7	54.3	57.7	0.918

**[표 27] 수질오염 항목별 삭감배출부하량 산정표(예시) (계속)**

구분	현황수질 (mg/L)	목표수질 (mg/L)	유입부하량 (kg/day)	계획삭감량 (kg/day)	달성삭감량 (kg/day)	예측수질 (mg/L)
T-P	0.090	0.1	4.1	0.0	2.4	0.038

- 계획삭감량 = 유입부하량 ×  $\left(1 - \frac{\text{목표수질}}{\text{현황수질}}\right)$

- 달성삭감량 = 처리시설별 정화에 의한 삭감량의 총합

- 예측수질 =  $\left(\frac{\text{유입부하량} - \text{달성삭감량}}{\text{오염물질 유입량}}\right) \times 1000$

### 3.4 ○ 적용가능 대책 수질개선공법 선정

#### 수질개선공법의 분류

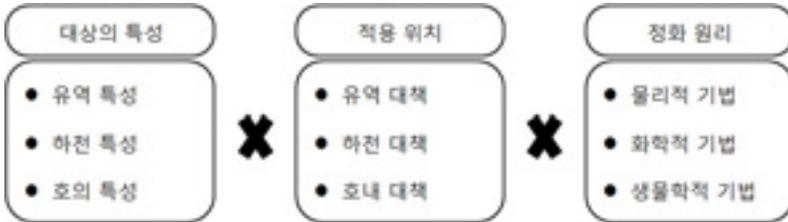
- ☑ 호소 수질개선을 위한 적용가능대책 및 수질개선공법은 크게 유역대책과 호소대책으로 구분되며, 유역대책은 상류오염원대책과 유입수대책, 호소대책은 호내대책과 호안대책으로 구분되는데 본 사업에는 유입수대책, 호내대책, 호안대책이 적용가능 함
- ☑ 수처리 방식 : 장치형(기계처리방식), 자연형(자연정화방식) 구분, 주로 자연형 적용함
- ☑ 시설 설치 위치 : On-line형과 Off-line형 구분, 유량관리가 용이한 Off-line형 선호함
- ☑ 정화 원리 : 물리적, 화학적, 생태공학적 방법 등으로 구분, 최근 융복합 적용 선호

#### 수질개선공법 선정의 기본원칙

- ☑ 기본원칙 : 처리대상 수량과 수질, 방류수역의 물 이용상황, 수질개선목표 달성여부, 처리 시설의 입지 및 동력조건, 유지관리상의 조건 등을 고려하여 선정
- ☑ 목표 처리효율과 법적기준이나 앞으로 강화될 법적 기준을 달성할 수 있는 공법
- ☑ 운전관리가 쉽고 시설운영이 지속적이고 연속적으로 이루어질 수 있는 공법
- ☑ 시설설치비, 운영, 유지관리비의 경제성을 고려하고, 저에너지·고효율 공법 우선 검토
- ☑ 자연정화방식을 적극 고려하고, 마을하수도 등 기계처리방식과의 복합처리 공법도 고려
- ☑ 처리수(水) 재이용이 필요한 경우 이를 고려하여 가능한 공법 선정
- ☑ 건기시 및 강우시에도 적용 가능한 공법 선정
- ☑ 생태관광, 교육, 생물서식처, 홍수저감 등 부가효과와 유지관리 용이한 기법 우선 고려
- ☑ 자연유하 처리 공법을 우선 고려하고, 여건상 인위적 취수를 병행하는 방안 적용
- ☑ 사업효율화를 유지관리에 지역주민 참여가 가능한 시설이 우선 고려

### 수질개선공법 선정요령

- **기본원칙** : 적용대상의 특성, 적용위치, 정화원리를 고려하여 합리적인 공법 선택
- **대상특성** : 오염원분포 및 유달특성, 하천 및 호의 수질오염정도, 수리수문학적특성 등
- **위치선정** : 효과적인 기능 발휘를 위해 유역, 유입수, 호내 등 적절한 위치 선정
- **공법선정** : 오염물질 종류와 배출특성에 따라 물리적, 화학적, 생물학적 정화기법을 검토하여 하나 또는 둘 이상의 조합된 공법으로 가장 효율적인 수질개선공법 선정
- **공법선정요령** : 대상지구의 수질오염 특성, 물리적 특성에 따라 일차 적용가능 공법 선정 후, 구체적인 기대효과와 현장 적용여건 등을 면밀히 검토하여 최종 선정



[그림 10] 수질개선공법 선정 기준

[표 28] 적용조건에 따른 공법선정 요령

적용 대상	원 리	수질개선공법	성형성 있음	수면적이 넓고 수질이 다름	수면적 좁음	호소 지형잡	물 전이 회을 적음	저층수 오염	저층 용존 산소 없음	퇴물 오염	면적이 있음	오염원천에 표이되지	내부생산인 조류발생에 영향이	장정대책 필요	농업하가 큼	비점원부하 큼		
유역 대책	발생부하 삭감	오염원 입지규제														×		
		물이용 합리화															×	
	점오염원부하 삭감	배출규제													×	×		
		소규모 하수도 분뇨처리고도화									○			○	×	×	×	
비점원부하 삭감	농업계 부하의 삭감													×	×			
	비특정부하의 삭감															○		
유입수 배제	우회수로										○					○		
유입수 대책	직접정화	인공습지									○	○				○	○	
		식생수로														○	○	
		식생여과대														○	○	
		식생체류지														○	○	
		침강지									△	○		△			△	
		침투저류지										○	○			△	○	
		침투도랑														△	○	
		접촉산화수로														△	○	
		미세조류수처리공법										○		○		○	○	
		응집침전처리형 시설												○			△	
호내 대책	호내 발생부하 삭감	퇴적물 준설															○	
		퇴적물피복(호내재료)																
	부영양화의 억제	퇴적물피복(호외재료)																○
		양식업 대책														○		×
		인공순환/폭기시설	△	○	△	○												△
		천적생물 적용기술	○	○	○	△	○									○		△
영양염농도 저하	무인수질개선 선박	△	○	○	△												×	
	부유식물이용			△													△	
	조류제거(살조제 등)				○									○	○		△	
	생태계제어(인공식물섬)			△	△								○				△	
호안 조성	호안환경보전	식생계 호안(인공호안)		○	△						○	△				△	×	
		석재계 호안(인공호안)		△	○						○	△				△	×	
		블럭계 호안(인공호안)		△	○						○	△				△	×	
		방틀계 호안(인공호안)		△	○						○	△				△	×	
		망태계 호안(인공호안)		○	△						○	△				△	×	
		석재계 호안(조합호안)		○	○						○	△				○	×	
망태계 호안(조합호안)		○	○						○	△				○	×			

○:적용가능성이 큰 기술, △:적용성이 있는 기술, ×: 적용성이 낮은 기술

주) 아무 표시가 없는 개선기술은 기본요건에 좌우되지 않음

[표 29] 적용가능 공법의 비교검토 사례

구분	대책	기대효과	적용여건	채택
유역	마을 하수도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BOD 제거효과 높음</li> <li>• 고도처리시설 추가 시 T-N, T-P 제거효과 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중장기 계획수립 필요</li> <li>• 00호 유역만 집중 투자 곤란</li> <li>• 00호 수질개선 효과가 큰 소유역부터 우선 설치 계획 검토</li> </ul>	◎
	축산분뇨 수거처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BOD, T-N, T-P의 제거효과가 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소규모 사육농가 많은 경우 현실적으로 적용 곤란</li> </ul>	△
유입수	퇴적물	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염물질 직접제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 00천 및 배수로 적용 곤란</li> </ul>	×
	습지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 질소와 인의 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 00천 이용가능 부지 확보 곤란</li> <li>• 00천내에 현재 갈대가 밀집되어 자연정화 효과를 기대할 수 있음</li> </ul>	×
	우회수로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초기강우 오염물질 저수지 유입 방지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초기우수 배수거가 설치됨</li> </ul>	◎
호	인공습지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비점오염 질소와 인 제거</li> <li>• 오염된 호소물도 처리가능</li> <li>• 저농도 고유량 처리 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교적 넓은 부지확보 필요</li> <li>• 평시 농경배수 정화효과 낮음</li> <li>• 활용가능 부지는 충분히 있음</li> </ul>	◎
	침강지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비점오염 제거효과가 높음</li> <li>• 호 내용적 감소 방지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하천말단부 또는 호 유입부 적용</li> <li>• 00호 유입부에 설치가능 부지 있음</li> </ul>	◎
내	인공순환	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정체수역 형성 방지</li> <li>• 녹조현상 방지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정체수역 방지를 위해서는 최소 1회/2주의 물순환이 요구됨</li> <li>• 자연순환 또는 강제순환 검토</li> </ul>	○
호	인공포기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수체 교란으로 녹조 제어</li> <li>• 혐기성을 호기성으로 변화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수면포기는 대상 면적이 넓어 비효율적임</li> <li>• 낮은 수심으로 혐기성 저층수가 존재하지 않음</li> <li>• 녹조현상이 가장 심한 지점에 한해 수면포기장치 설치 검토</li> </ul>	△
내	퇴적물 준설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염물질 직접 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 퇴적물 용출실험 결과 수질에 미치는 영향이 거의 없음</li> <li>• 준설시 사수역이 형성되어 수질관리에 불리하므로 적용 곤란</li> </ul>	×
내	퇴적물 피복	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염물질 용출방지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 퇴적물 용출실험 결과 수질에 미치는 영향이 거의 없음</li> <li>• 내용적 감소</li> </ul>	×
	살조제	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부영양화 방지효과가 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 투입재료의 안전성과 장기적인 효과기대 곤란</li> <li>• 살조제를 투여할 만큼 녹조발생 심각하지 않음</li> </ul>	×

◎ 적용, ○ 적극적 검토, △ 효과는 있으나 적용 곤란, × 적용곤란

### 3.5 ○ 공법의 설계 방향 및 검토사항

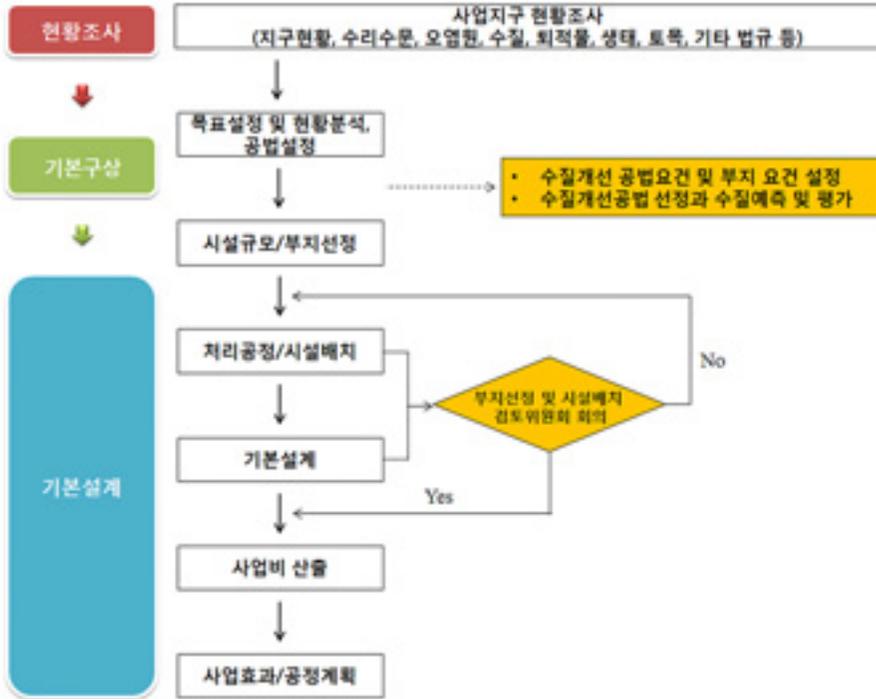
#### 실시설계 단계 Check list

항목	세부항목	점검사항
사업 계획	발생원대책	• 발생원대책의 적정성
	수변대책	• 수변대책의 적정성
	호내대책	• 호내대책의 적정성
공중별 계획	취입보	• 취입보 형태 및 선정의 적절성
	어도	• 어도의 종류 및 적절한 어도 선정 여부 • 어도 설계의 적절성(유속, 경사 등)
	유입폐기물	• 유입폐기물 관리위한 스크린 설계의 적절성
	인입수로	• 인입수로 형식 및 수로길이의 적절성(수두확보에 적합한 형식의 취입보 선정, 인입수로를 단축하고 가능한 U자 형태 수로 적절)
	침사지	• 침사지의 비용효율적 기하학적 형태(유입오염물질의 종류에 따른 기하학적 형태 선정) • 유입부 토사관리위한 에너지 소산시설의 유무
	인공습지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유입유량의 안정적 확보</li> <li>• 체류시간 및 계획수심의 적절성</li> <li>• 비용효율적 기하학적 형태(강폭비 2:1~4:1, 수평흐름, 단회로 방지)</li> <li>• 습지 개별 셀의 연결방법(깊은습지 및 얕은 습지의 반복적 배치)</li> <li>• 습지의 셀간 분할의 적절성(수류의 균일한 이동을 유도하고 적정 습지 셀수 확보)</li> <li>• 복수계열의 습지설계(운영과 유지보수의 용이성을 위하여 복수계열 설계 타당)</li> <li>• 습지 셀간 연결수로의 형태의 적절성(다양한 연결수로 유형별 장단점 분석 후 선택)</li> <li>• 습지수위 조절 구조물 선정의 적절성(지별 수위조절장치 및 침수 방지위한 by pass 수문 필요)</li> <li>• 개방수역의 확보의 적절성(내부생산을 위한 산소 및 탄소 공급원으로서의 개방수역 필요)</li> <li>• 배출연못의 설치현황</li> <li>• 유량측정 구조물의 설계반영 여부(유량측정의 용이성 확보)</li> <li>• 습지의 수리학적 흐름의 적절성(수리계통도 검토)</li> <li>• 식생도입시 도입종보다는 자생종을 우선적으로 선정</li> <li>• 다양한 습지식물 선정 및 반영여부</li> <li>• 습지내 유입수류의 균일한 분배</li> <li>• 장비 접근시설 및 탐방객 주차시설의 적절성</li> <li>• 제방 및 호안 조성의 적절성</li> <li>• 유지관리 기준정립 및 용이성 확보</li> </ul>

항목	세부항목	점검사항
공중별 계획	침강지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 침강지 구성요소의 적절성</li> <li>• 협잡물 제거 통스크린 반영 여부</li> <li>• 물순환장치의 적절성</li> <li>• 제방석측의 적절성</li> <li>• 인공식물섬의 비용효율성(면적, 관리의 용이성 등)</li> <li>• 사석부담의 적절 설계</li> <li>• 저수지 배출수문과 우회배출용 수문의 적절성</li> <li>• 조류관리 대책의 반영 및 효율성 검토</li> </ul>
	지하흐름형 인공습지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유입분배수로의 적절성</li> <li>• 내부폐색 저감위한 토사관리 방안</li> <li>• 습지의 수리학적 흐름의 적절성</li> <li>• 식생도입시 도입종보다는 자생종을 우선적으로 선정</li> <li>• 습지내 유입수류의 균일한 분배</li> <li>• 제방 및 호안 조성의 적절성</li> <li>• 적정 식물관리 방안</li> </ul>
	식물섬	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식물섬형태 및 기능의 적절성</li> <li>• 설치방식 및 설치위치의 타당성</li> <li>• 효과예측의 타당성</li> <li>• 식재종 선정의 타당성</li> <li>• 유지관리 용이성 및 계획의 타당성</li> </ul>
	퇴적물 준설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 퇴적물 산경의 합리성</li> <li>• 퇴적물 준설계획의 타당성</li> <li>• 퇴적물 준설방법의 적절성</li> <li>• 준설 퇴적물의 처리방안</li> </ul>

### 기본계획과 기본설계 절차 및 검토사항

-  **주요 절차**: 기본계획과 세부설계는 현황조사, 기본구상, 시설규모, 부지선정, 처리공정 시설배치, 세부설계, 사업비산출, 사업효과 및 공경계획 순으로 진행
-  **주요 검토사항**: 부지선정 및 시설배치에 대한 검토위원회 검토 반드시 수행
-  **검토위원회 검토항목**: 목표설정 타당성, 적용공법, 부지선정 및 시설배치 적정성 등



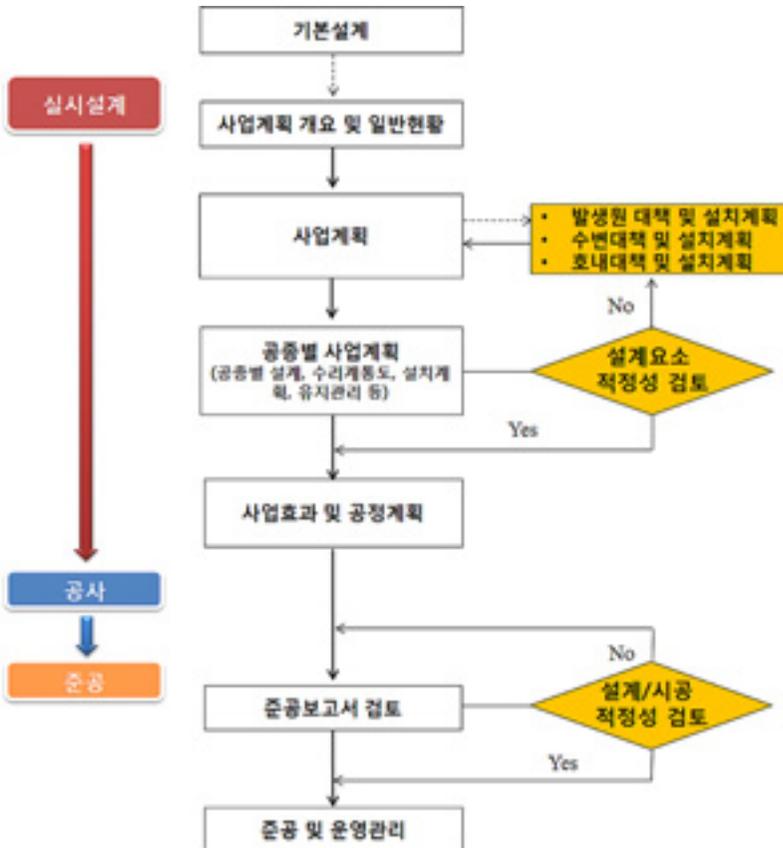
[그림 11] 기본설계 과정

[표 30] 부지선정 및 시설배치 단계에서의 Check list

항목	세부항목	점검사항
목표설정	사업의 목표	• 사업지구 지정에 대한 사업목표의 타당성
부지선정	부지선정에 기본구상 반영여부	• 오염물질의 농도가 높은 유입하천 인근 지점 • 유입하천으로부터 자연유하가 가능한 지점 • 토지매입 용이하고 시설에 대한 주민 민원제기 낮은 지점 • 유지관리에 지역주민의 참여가 가능한 지점
시설배치	시설배치에 기본구상 반영여부	• 토사 및 유입 폐기물의 전처리를 위한 시설이 구비 • 시설내부 체류시간을 최대한 늘릴수 있는 유로 연장 확보 • 가급적 자연유하가 가능하도록 시설배치
공법선정	공법선정에 기본구상 반영여부	• 생태친화적 수질개선 공법 도입 • 자연유하 가능 공법 선정, 저에너지/고효율 공법 적용 • 건기시/강우시 적용가능한 시설 • 복합적 효과(수질개선, 생태관광, 생물서식처, 환경교육, 홍수저감 등)를 가지면서 유지관리가 용이한 기법

### 실시설계 방향

- ❏ 사업지구의 기상, 수질, 오염원, 유역현황, 저수지 등의 현황 및 실측 자료를 활용하여 수질 목표 달성을 위한 수질개선사업의 세부설계를 수행하는 단계
- ❏ 사업계획(발생원 대책, 수변대책과 호내대책 및 설치계획)과 공중별 사업계획(공중별 설계, 수리계통도, 설치계획 및 유지관리 등)이 포함
- ❏ 세부설계 단계의 공중별 사업계획에서 설계요소의 적정성 검토가 반드시 수행되어야 함
  - ▶ 공중별 설계, 수리계통도, 설치계획 및 유지관리 등 전반적 설계요소 검토 진행
- ❏ 설계요소 적정요소 검토 후 후속공정인 사업효과 및 공정계획으로 사업 진행해야 함
  - ▶ 설계요소가 적절하지 못했을 경우 설치계획 재수정 과정을 거쳐야 하므로 손실이 큼
- ❏ 실시설계 과정과 설계요소 점검사항, 공법선정시 점검 사항 등을 제시함



[그림 12] 실시설계 과정

[표 31] 공법선정시 Check list

관련 분야	검토항목
유역 관련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토지이용현황 : 개발지역, 농지, 도로 등</li> <li>• 개발지 규모 및 형태 : 불투수 포장지역면적, 나대지 등</li> <li>• 수로 및 하천 : 형태, 단면, 경사도, 종류 등</li> <li>• 하수도 보급상황 : 보급률, 형식</li> <li>• 방류수역 현황 : 상수원보호구역, 생태보호구역, 자연환경보전지역 등</li> <li>• 자연유하가능 여부 : 평지, 경사지</li> </ul>
유량 관련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염원 종류 : 평상시 배출오염원, 강우시 배출오염원</li> <li>• 정화대상 유량규모 : 갈수량, 평수량, 강우시 초기유량</li> <li>• 홍수조절 필요성여부</li> <li>• 가뭄대책 또는 용수재이용 여부</li> </ul>
수질 관련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유입수질 : 오염물질 종류와 농도, 협잡물, 고형물 등 종류와 규모, 토사유입량</li> <li>• 방류수질(목표수질) : 환경기준, 부유물질, 유기물질, 질소, 인, 기타</li> </ul>
가용부지 등 기타 관련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위 치 : 제내지, 제외지, 경사지, 지하, 하천바닥, 둔치, 호 수면 등</li> <li>• 가용면적 : 홍수위부지, 유지 등 사용가능 규모</li> <li>• 취배수 계획 : 자연유하 가능 여부</li> <li>• 수위확보시설 필요여부 : 기존보 이용가능 여부, 보신설 검토</li> <li>• 주변지역과 조화 : 친수공간, 생태계보호</li> <li>• 지반조건 : 투수성, 차수성</li> <li>• 유지관리 방법 및 비용 등</li> </ul>

**설계강우량(WQv, water quality volume) 산정**

- 수질개선 대책시설 용량산출** : 설계강우량 또는 수질예측모형으로부터 산정

  - ▶ 오염물질의 총체적인 영향에 대처하거나 또는 구체적으로 특정 오염물질을 정해진 수준으로 제거하고자 할 경우에는 처리해야 할 강우유출수의 양을 기준으로 결정함
- 설계강우량 산정식** :  $WQv = P \times Rv \times A \times 10$

  - ▶ WQv : 강우유출량(m<sup>3</sup>), P : 설계강수량(mm), Rv : 유출계수, A : 집수면적(ha), 10은 환산계수
  - ▶ 유출계수는 하수도시설기준(2005, 환경부) 유출계수를 기준 값으로 적용
- 첨두유량(Qwp)** : plug-flow의 형태를 갖는 식생수로, 초생수로, 식생여과대 등과 Off-Line 시설의 유량분배시설 설계를 위해서는 WQv와 첨두유량도 중요

  - ▶ Qwp는 확률빈도 80%에 해당하는 강우 중 최대강도일 때를 기준으로 함
  - ▶ 산정방법에는 가지야마식, SCS방법, Tank 모형(Dirom) 등이 사용가능 함

[표 32] 토지이용별 유출계수

구분	도로	도시	농지	임야
유출계수	0.8	0.7	0.2	0.3

[표 33] 유량조건별 유출계수

유량조건	유출계수
저수기	0.25
평수기	0.60

### 3.6 수질개선대안 설정 및 수질예측

#### 수질개선대안 설정

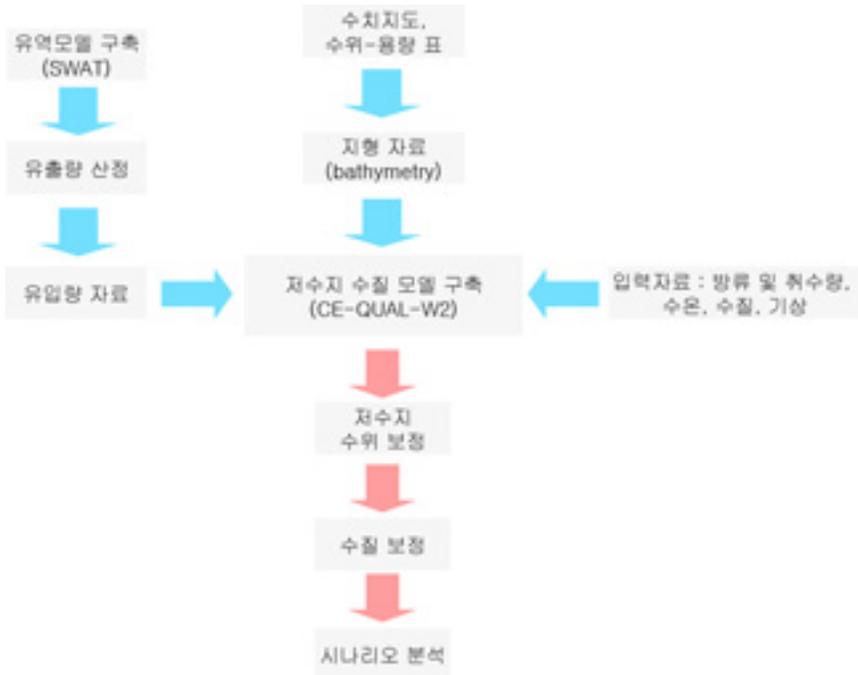
- 선택 가능한 여러 가지 방법을 검토하여 가장 경제적이고 합리적인 수질개선계획을 도출하기 위한 과정
- **설정과정** : 대책방향 결정 ⇒ 삭감부하량 산정 ⇒ 소구역별 삭감대상 설정 ⇒ 적정공법선정 ⇒ 역할분담 (구역관리자/시설관리자) ⇒ 대안 평가 항목 결정 ⇒ 대책별 평가 ⇒ 대안의 종합 평가 및 최적 대안선정
  - ▶ **삭감대상 우선순위** : 소규모하수도 같은 점오염원에 대한 구역대책이 최우선 고려, 유입수 대책, 호내 대책 순으로 검토
- **대안평가 항목** : 효율성, 경제성, 사회성
  - ▶ **효율성** : 관리방안별 장점 및 단점을 기술적 관점에서 평가, 오염물 제거 효율, 적용가능성, 처리수질의 안정성, 부정적 영향
  - ▶ **경제성** : 관리방안의 적용시 필요한 초기투자비를 비교·평가, 초기투자비, 운영비, 운영기간 및 비용 편익 모두 고려
  - ▶ **사회성** : 관리방안의 적용시 사회적 요구의 수용 여부 평가, 투자우선순위, 향후 개발계획과의 연계성, 환경친화성, 그 외 긍정적 부가 기능 등
- **대책별 대안평가** : 구역 대책, 유입수 대책, 호내 대책으로 구분하여 효율성, 경제성, 사회성을 중심으로 Excellent, Good, Fair, Poor의 순으로 등급화
  - ▶ 각 수질개선대안별 상대적 비교를 위해 Matrix 평가에서 결과를 Excellent, Good, Fair, Poor에 대응되는 점수를 부여하여 평가
- **대안 종합 평가 및 최적 대안선정** : 다양한 공법을 조합한 수질개선 시나리오를 작성하여 평가Matrix와 수질예측결과를 토대로 종합평가를 하고 최적대안 선정
  - ▶ 대안별 평가 결과와 각 대안의 공법 정화효율을 모두 고려, 1차 대안 선택
  - ▶ 1차 선택 시 3~5개의 대안을 선택하여 각각의 장단점을 고려하여 최적 대안 선택
  - ▶ 1차 대안들의 장단점 평가 후 대상지역에 가장 적절한 대안 선택, 최종 대책으로 추진



## 수질예측

- **수질예측 목적** : 원인해석(수질오염 원인, 주요 결정변수 해석)과 장래예측(장래 수질오염 진행 예측, 선정 대책의 효과평가)
- **적용모델** : 유역수질모델과 하천과 저수지 수치모델, 또는 단순 박스(BOX)모형, 간단한 물질수지모델(Simple Mass Balance Model) 적용
- **수질예측방법** : 대상지구 규모, 오염물질 종류와 물리·화학·생물학적 기작, 지형·유량·수질 입력자료와 매개변수 등의 구축 정도에 따라 적절한 방법 선택
  - ▶ 유량과 수질 자료가 부족하거나 미계측되는 경우에는 유량자료는 강우-유출 모델을 사용하여 생산하고, 유역수질모델 또는 원단위 방법으로 경계조건 부하량 산정 함
- **수질예측모델 적용 절차** : 목적설정 ⇒ 모델선정 ⇒ 모델구축 ⇒ 모델적용
  - ▶ **목적설정** : 모델 적용 목적 명확히 설정, 예측 수질항목, 시간적·공간적 정밀도 결정
  - ▶ **모델선정** : 적용목적, 저수지 지형특성, 성층 및 수리해석의 중요성 등 고려, 필요시 모델을 수정하여 사용해야 함
  - ▶ **모델구축** : 입력자료 구성, 매개변수 산정, 모델 보정과 검증, 매개변수의 민감도 분석을 포함하며, 실측결과와 비교한 충분한 보정 및 검증, 매개변수사용시 실측값 우선사용, 불확실한 입력자료, 매개변수의 모의결과 영향파악 위한 민감도분석 등 실시
  - ▶ **모델적용** : 저수지 수질오염 원인분석, 장래수질예측, 수질개선대책 평가 등에 적용, 대책평가는 다양한 대안 시나리오를 구성하여 경제적, 효과적인 대책이 선정되도록 함
- **수질예측 결과 정리** : 각 대안별 및 계획추진 단계별로 이해가 쉽도록 그래프, 표로 정리
  - ▶ 수질개선대안별 장래 수질예측 결과와 최종 선정 대안이 단계별로 추진에 따른 수질개선효과를 제시함

○ 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼



[그림 13] 유역모델과 저수지모델을 연계한 수질모델 적용 절차 예시

제4장

수질개선대책  
세부설계





## 제4장 수질개선대책 세부설계



### 개요

- ☀ 본 장에서는 수질개선대책시설의 설치위치에 따라 분류하여 기술함
- ☀ 4.1절은 유역대책으로 소규모하수도공법 등의 정의, 특징, 설계요령 기술
- ☀ 4.2절과 4.3절에서는 유입수 및 호내대책으로 농업용수 수질개선사업에 적용성이 높은 공법을 제시하고, 정의와 특성, 정화원리, 설계인자를 기술함
  - ▶ **유입수 대책** : 인공습지, 침강지, 미세조류 수처리, 접촉산화수로, 식생수로, 수변 완충 지대, 휴경답 등 유희농지 이용, 사상성 조류매트 산화지 공법
  - ▶ **호내 대책** : 천적생물 적용기술, 융복합수처리공법, 무인항법 수질개선 장치, 인공순환 /폭기시설, 조류수거선 및 수거장치, 응집제에 의한 영양염류 및 퇴적물 용출제어, 퇴적물 준설, 기타공법(인공식물섬, 오퍼라디칼, 오존, 초음파, 플라즈마 장치 등)



### 세부설계시 Check list

항목	점검 시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
1. 설계전 준비사항 점검	조사			
1.1 조사도면 수집		• 국립지리원에서 발행한 지형도(S=1:5,000), 토지이용도, 지적도 등		
1.2 기상 및 수문관측자료		• 기상청 및 국토교통부 산하 관측소의 기상자료 등		
1.3 관련사업 및 계획자료		• 대상지구와 관련된 시·군 사업자료 조사 - 수변개발사업, 공원조성 사업 등		
1.4 삼각점 및 수준점 성과		• 국립지리원 측량성과표 활용(삼각점, 수준점 등)		
1.5 목적외 임대사업 관련자료		• 낚시임대 등 각종 임대사업에 따른 영향 검토		
2. 도상검토 확인	조사			
2.1 주요시설물의 예정지 검토		• 인공습지, 침강지, 취입보 위치 및 취입관 노선 검토 등		

항목	점검 시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
2.2 조사측량범위 검토		• 수준측량, 지형측량 범위 결정 등		
3. 조사내용				
3.1 공통사항		• 레벨 및 토탈스테이션 등 각종장비 오차 설계범위내 적절성 • 도면표기방법에 따라 정확하게 표기 • 품셈 및 조사비적산기준(조사항목) 확인 등		
3.2 유역조사	조사			
3.2.1 유역경계		• 유역경계는 1/5,000 지형도 등고선의 분수계로 확정하고 현지에서 확인		
3.2.2 토지이용현황		• 유역내 토지피복상태, 농경지, 하천 등		
3.2.3 유입하천 및 배수로		• 하천 및 배수로 경사도 등		
3.2.4 환경오염원 조사		• 유역내 농가, 축사, 공장 등 오폐수 및 토시오염원 조사		
3.3 현장조사	조사			
3.3.1 시설물 예정지 조사		• 시공조건, 환경조건, 사회적조건 - 취입보, 인공습지, 침강지 등 건설위치 중심		
3.3.2 보상물 조사		• 예정지 및 상류 침수가능지역 - 토지조사(사유지), 지장물조사, 문화재조사, 공공시설 등		
3.3.3 진입도로 및 공사용도로		• 시공시 접근용이성 조사		
3.3.4 조사측량범위 설정		• 예정지의 조사측량 범위 결정		
3.3.5 환경기초시설 현황		• 저수지 유역내 환경기초시설 현황 및 오염원 조사		
3.3.6 타사업과의 연관성		• 상위 관련계획조사(도시계획, 도로, 하천, 개발계획 등)		
3.4 측량조사	측량			
3.4.1 삼각측량		• 기설삼각점 좌표확인, 사업구역내 기준점 확인, 삼각점 설치 위치 확인, 측량정도 확인 등		
3.4.2 수준측량		• BM 설치위치는 안전하고 발견하기 쉬운 위치에 설치		
3.4.3 현황측량		• 현황측량 면적은 기본조사는 예정지(안)의 1.5배, 세부설계시는 기본조사 면적의 1.2배를 기본적으로 적용 • 취입보 상류의 침수우려지역은 현황측량 실시 • 취입관 노선의 지장물 측량(배수로, 교량 등) • 유입하천 및 배수로 표고측량시 만수위에 최소 1.0m 이상 상류로 측량 실시 ※ 기타사항은 측량관련법규 및 세칙에 의거 수행		

항목	점검 시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
3.4.4 표석매설		<ul style="list-style-type: none"> <li>파손 및 이동가능성이 없고 영구보존 가능한 지역</li> </ul>		
3.5 토양조사	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장조사, 실내시험결과 확인 및 검토</li> <li>- 토양화학분석법, Methods of Soil Analysis 등</li> <li>지하수위 현황조사 등</li> </ul>		
4. 수리·수문분석				
4.1 유역도 분할	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>유역도는 강우의 분수경계, 토지이용상황 등을 적절하게 반영하여야 함</li> <li>소유역은 시설물 위치기준으로 구분하되 최소 1:5,000 도면을 이용하여 적절하게 작성</li> <li>토지이용형태별 소유역별 면적합산하여 총유역과 비교하여 면적확정 후 사용</li> </ul>		
4.2 수문기초자료 분석	조사			
4.2.1 관측소 선정		<ul style="list-style-type: none"> <li>사업구역에서 지형상 가장 근접하고 수문학적으로 대표값을 나타내는 관측소 선정</li> <li>강우량 자료가 최소 10년이상 보유한 관측소</li> <li>관측소 선정시 2개 이상의 관측소와 인접될 경우 평균면적우량 추정방법인 Thiessen법을 이용할 것</li> </ul>		
4.2.2 유역유출량 산정	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>인공습지 유입량은 90%강우사상법, 30mm강우법, DIROM모형에 의한 평균유출량 결과를 이용함</li> <li>강우자료는 10년 이상의 자료를 이용하며 농업용 저수지 유역에 적합하도록 수정된 DIROM모형으로 설계유량을 결정하는 것이 일반적임</li> <li>강우량 30mm/d의 평균 유출량을 인공습지 설계유량으로 하고 30mm/d 초과유량은 침강지의 설계유량으로 함</li> <li>다만, 설계유량으로 목표하는 수질을 만족하지 못하는 경우에는 수질모델링을 통하여 목표수질이 가능한 유입유량을 산정하여 이를 설계유량으로 결정할 수 있음</li> <li>또한, 유역유출량의 호소순환량이 있을 경우 설계유량에 합산하여 산정 ※ 90%강우사상법, 30mm강우법, DIROM모형 설계편람 참조</li> </ul>		
4.2.3 저수용량 분석	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>인공습지 개발전후를 비교하여 용수부족상황 확인</li> <li>용수부족 발생시 최소화 방안 및 저수지 내용적 확보방안 수립(지사 유지관리 담당자 협의 필요) ※ HOMWRS 매뉴얼 참조</li> </ul>		
5. 저수지 유형		<ul style="list-style-type: none"> <li>저수지 유형은 유역대책형과 호내대책형으로 분류</li> <li>- 유역대책형 : 유역 발생 오염원으로 수질이 악화되는 저수지</li> <li>- 호내대책형 : 저수지 내부생산에 의해 수질이 악화되는 저수지</li> </ul>		

항목	점검 시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
5. 저수지 유형		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용수요구도별 유형 : 경관친수형, 친환경농업형, 생태보전형, 일반농업형</li> <li>• 유형별 대책 : 오염부하량 및 유입양상(강우패턴), 시기별 조류발생특성, 평균수심과 저수율변화 등을 종합 검토한 후 대책적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유역대책 : 마을하수도, 접촉산화, 박층류법, 수생식물, 여과, 인공 습지시스템, 미세조류수처리, 바이오스톤볼, 토양정화시스템 등</li> <li>- 호내대책 : 천적생물 적용기술, 조류응집부상수거, 조류증식억제, 수생식물, 퇴적물 준설, 피복, 강제 순환, 인공식물섬, 포기 등</li> </ul> </li> </ul>		
6. 인공습지 설계사항				
6.1 인공습지 입지조건	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인공습지 주변 유역이 경사가 급한 사면이 있는 곳은 가급적 피함</li> <li>• 공사비를 절감하고 주위경관과 어울리기 위해서는 결성토작업이 최소가 될 수 있는 부지</li> <li>• 유지관리가 용이하고 생태계에 미치는 영향이 적은 위치</li> <li>• 인공습지와 취입보가 가급적 가까운 지역</li> <li>• 용지매수 비용을 최소화할 수 있는 홍수면 부지 및 유희지 등을 활용</li> <li>• 용지매수가 필요한 경우 인공습지의 형태변경 등으로 용지매수면적을 최소화할 수 있는 방안 강구</li> <li>• 수질정화와 수생식물생육에 부적합한 토양(역질토, 사력질토, 사질토, 양질사토, 중점질토 등)에 대한 토양조사결과(객·복토 등) 적용</li> </ul>		
6.2 인공습지 규모산정	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수리학적 체류시간에 의한 방법               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 계획유량을 목표시간동안 체류시킬 수 있는 내용적을 확보하는 방법으로 체류시간을 고정하면 면적 및 수위에 제한을 받을 수 있으므로 지형여건, 경제성 등을 고려하여 적용이 가능</li> <li>- <math>A_s = (Q \times \text{HRT}/d) / n</math></li> </ul> </li> <li>여기서,  <math>A_s</math> : 인공습지의 면적(m<sup>2</sup>)  <math>Q</math> : 유입유량(m<sup>3</sup>/hr)  <math>\text{HRT}</math> : 체류시간(hr)  <math>d</math> : 인공습지의 수심(m)  <math>n</math> : 시스템의 공극율(공극의부피/총부피, 보통 0.75 적용)</li> <li>• RBS에 의한 방법</li> <li>• 유역면적비에 의한 방법</li> <li>• 모델을 이용한 1차 반응식</li> </ul> <p>※ 인공습지규모 산정방법 및 적용성 설계편람참조</p>		

항목	점검 시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
6.3 취입보 설계사항				
6.3.1 취입보 설치위치	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>취입보 위치선정시 자연유하로 인공습지 계획유량 유입이 가능한 곳 선정. 다만, 자연유입이 불가능할 경우 펌프시설을 통한 유입방안 강구</li> <li>취입보는 저수지 만수위 기준에 해당하는 유입하천 및 배수로 위치에 가급적 선정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자연유하를 위한 최소한의 수두차 확보 필요</li> </ul> </li> <li>어도는 관련기관과 협의하여 설치유무를 판단할 것                             <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 관련법 : 내수면어업법 시행규칙 제20조(어도의 설치 기준 및 방법) 참조</li> </ul> </li> <li>지방하천 및 소하천인 경우,                             <ul style="list-style-type: none"> <li>관련자료(하천정비기본계획)를 조사하여 개수여부 및 관련계획을 확인하고 관련기관과 협의 할 것</li> </ul> </li> <li>취수보 위치에 토사유입이 과다발생하지 않는 지점</li> <li>취입보의 고장으로 홍수시 도복이 불가능한 비상시를 대비하여 안전대책 수립이 용이한 장소(진입도로 및 정비용이성 고려)</li> </ul>		
6.3.2 취입보 형식결정	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>취입보 설치시 상류농경지 침수 및 배수불량이 없을 경우 고정보를 우선적으로 검토하고 침수위험 가능성이 있을 경우에는 가동보를 대안으로 검토</li> <li>고정보는 친환경적으로 설계사항에 반영하고 토사유입이 많을 경우 배사시설을 검토할 것</li> <li>가동보는 유지관리 및 비용측면을 종합적으로 고려하여 설계에 반영하되 유송잡물에 의한 피해 및 누수의 위험성이 없는 형식을 가급적 선정할 것                             <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 가동보 장단점 기본조사 보고서</li> </ul> </li> </ul>		
6.3.3 취입보 취수량 결정	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>취수량은 DIROM모형 결과를 이용하여 강우량 30mm/d 미만 유출량의 평균을 설계유량으로 결정</li> </ul>		
6.3.4 취입보 상류 침수검토	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>유입하천 및 배수로 횡단면도 조사(측량시 포함)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 보에서 최소 0.5~1.0km 이상 상류단면 확보</li> </ul> </li> <li>유입하천 및 배수로 계산유량을 입력조건으로 부등류 수리계산을 통한 상류 수위상승영향 검토</li> <li>침수 및 배수불량 발생시 취입보 높이를 조정하거나 취입보 위치를 재검토하여 위치 선정 필요</li> </ul>		
6.3.5 취입보 기초공	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>취입보의 기초공은 상부의 하중, 하류세굴 및 파이핑에 대해 안전하게 지지하는 구조가 되도록 함</li> </ul>		
6.4 펌프시설 설계사항				
6.4.1 펌프시설 설치위치	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연유하로 인공습지 유입이 불가능할 경우, 펌프시설 도입을 검토하며 유입수 유입이 용이하고 설계유량이 충족될 수 있는 규모로 2대 이상을 설치</li> <li>전기인입이 편리하고 인공습지와 가급적 가까운 곳</li> <li>토사 및 부유물의 유입이 적고 홍수에 대한 시설의 안전과 기능이 확보될 수 있는 곳</li> <li>소음 및 진동 등으로 주변의 환경보전상 문제가 되지 않는 곳</li> </ul>		

항목	점검시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
6.4.2 펌프시설 설계조건	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수질개선을 위한 펌프시설은 보통 소규모이므로 다음과 같은 기본적인 인자를 검토함               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 펌프형식</li> <li>- 펌프대수(2대 이상)</li> <li>- 펌프운전조건(취수량, 운전조건, 운전시간 등)</li> <li>- 입지조건(펌프장 부지, 관로노선 등)</li> <li>- 펌프시설 제어방식 등</li> </ul> </li> <li>• 펌프시설 및 전기인입과 관련하여 기전부 및 해당지사와 사전협의 필요               <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 기타 펌프시설은 조사설계 실무요령(2011) 참조</li> </ul> </li> </ul>		
6.5 취수관				
6.5.1 취수관 설치위치	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 취수관의 입구는 취입보 직상류에 설치하며 계획용수량을 안정적으로 취수하고 토사나 부유물이 유입되지 않도록 설계(필요시 스크린 설치)</li> </ul>		
6.5.2 취수관 설계조건	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 취입구의 높이는 토사퇴적에 의해 매몰되지 않도록 설계하도록 할 것               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 취입보 설계수심을 H로 할 때 설계취수위에서 0.4H 이내로 정하는 것이 바람직함</li> <li>- 취입관은 취입보에서 최소 1.0m 이상 상류에 설치하여 쓰레기 등에 의한 막힘현상을 방지함</li> </ul> </li> <li>• 취입관의 크기는 원형 및 구형단면으로 하며 강수량 30mm기준 유출량이 유입될 수 있도록 설계               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 초기비점오염물질이 전량 인공습지로 유입될 수 있도록 여유있게 설계</li> </ul> </li> <li>• 취입관의 단면설계 기준               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개수로 : Manning공식                   <math display="block">Q = A \cdot V</math> <math display="block">V = 1/nR^{2/3} I^{1/2}</math>                   여기서                   <ul style="list-style-type: none"> <li>Q : 유량(m<sup>3</sup>/sec)      V : 평균유속(m/sec)</li> <li>A : 유수단면적(m<sup>2</sup>)    I : 동수기울기</li> <li>R : 경심(m)            n : 조도계수</li> </ul> </li> <li>- 관수로 : Hazen-Williams공식, 평균유속공식 등                   <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 수리계산은 “조사설계 실무요령(2011)” 참고</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• 취입관의 최소곡률 반경 : 암거는 수로폭의 10배 이상</li> <li>• 수로유속 : 콘크리트 수로는 최대유속 3.0m/s 적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최소유속은 0.3m/s 적용(퇴적방지 목적)</li> </ul> </li> <li>• 수로의 기울기 : 1/300 ~ 1/1,000 적용</li> <li>• 피복토 두께(암거) : 0.6m 이상</li> <li>• 맨홀설치 : 유지관리를 위해 100m마다 1개소 설치               <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 관수로 표준세부기준은 “조사설계 실무요령” 참고</li> </ul> </li> </ul>		
6.6 침사지				

항목	점검 시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
6.6.1 침사지 설치위치	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>침사지는 취입보→취입관→침사지로 연결되며 부유물질 및 오염물질을 1차적으로 제거할 수 있는 위치에 선정</li> </ul>		
6.6.2 침사지 설계조건	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>침사지의 수심은 1.5~1.8m 정도 되도록 설계</li> <li>침사지의 준설 주기는 3~5년 정도의 용량으로 설계하여 침사지 기능을 유지할 것</li> <li>침사지 용량결정을 위한 토사유출량 적용공식                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원단위법</li> <li>- 범용토양손실공식(RUSLE)</li> </ul> </li> <li>침사지 체적은 전체 습지용량(얕은습지, 깊은연못)의 10~20% 범위내에서 설계하는 것이 바람직함. 다만, 유입토사유출량이 클 경우에는 25%까지 가능</li> </ul>		
6.7 월류보				
6.7.1 월류보 설치위치	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>월류보는 침사지→얕은습지, 얕은습지→얕은습지, 얕은습지→배출연못의 3가지 경우에 설치됨</li> </ul>		
6.7.2 월류보 설계조건	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>월류보 재료에 따라 콘크리트 월류보 또는 사석월류보로 구분되며 월류방식에 따라 전면월류 또는 부분월류로 구분되어짐                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전면월류시에는 월류보의 길이가 길어지고 공사비가 증가하는 단점이 있으나 균일한 표고로 시공시 수리학적으로 사수역이 발생하지 않는 장점이 있음</li> <li>- 부분월류시에는 일부분만 월류보를 설치하고 나머지 구간은 흙사면으로 처리하여 공사비 측면에서 매우 유리하나 사수역 발생의 우려가 있음. 또한, 계획유량이 안전하게 흐를수 있도록 통수단면을 여유있게 설계하도록 함(단면은 Manning공식 적용)</li> </ul> </li> <li>일반적으로 월류보의 상류 및 하류의 수두차는 0.05m~0.1m 정도로 할 수 있으나 가급적 0.1m 정도 유지하는 것이 자연유하측면에서 유리함</li> </ul>		
6.8 얕은습지, 깊은연못				
6.8.1 설치위치	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>침사지→얕은습지→깊은연못→얕은습지 순으로 직렬배열함을 원칙으로 하며 지형여건에 따라 얕은습지 안에 깊은연못을 배치시킬 수 있음</li> </ul>		
6.8.2 설계조건	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연유하식의 경우 습지구배가 1.0%, 인공습지내 월류보의 단차는 0.1m를 초과하지 않도록 설계할 것</li> <li>상시적으로 습지상태를 유지하기 위한 집수면적의 최소크기는 10ha 정도를 권장함</li> <li>식물의 성장시기 및 준공직후에는 식생활착을 위해 수위조절이 필요함(필요시 비상배출구 설치)</li> <li>얕은습지의 토양은 수분을 충분히 보유할 수 있고 식물성장에 문제가 없어야 함(습지바닥이 절토단면 발생시 0.2m 정도 복토 필요)</li> <li>깊은연못의 경우 필요시 안전사고 방지를 위한 헨스 설치 검토</li> <li>모기 등의 유충이 성장하지 않도록 인공습지 내부에 정체층이 없도록 설계</li> </ul>		

항목	점검시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
6.9 배출연못	조사 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>배출연못은 인공습지의 수위를 유지시키며 강우시 유입유량이 초과될 경우 빠른 배제를 위해 방류관을 취수관 크기보다 크게 설계할 것</li> <li>배출연못의 수심은 1.5~1.8m 기준으로 설계하고 전체 습지용량의 10%(~20%) 정도로 설치하는 것이 바람직함</li> <li>배출연못의 수면적이 넓을 경우 조류발생 등 유기물 재생산이 이루어 질 수 있으므로 주의가 필요함</li> <li>배출연못의 계획수위는 저수지 만수위보다 0.5~0.1m 이상 높게 설계하여 자연배수가 가능하도록 함(다만, 배출펌프 설치시는 예외)</li> <li>배출연못에 배출펌프를 설치할 경우 관리도로 사면에 안정된 기초가 되도록 설계하며 자동수위계를 이용할 수 있도록 검토할 것</li> <li>홍수시 또는 만수시 등의 저수지 수위가 상승시에는 역수방지벽을 설치하여 저수지 유량이 배출연못으로 유입되지 않도록 설계</li> <li>유지관리 및 비상시 배출연못 유량배제를 위한 비상배출구 설치 필요</li> </ul>		
7. 침강지 설계사항				
7.1 침강지 설치위치	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>입자성 오염물질의 유입부하가 높은 하천 유입부의 저수지 내(하천에 설치하지 않것)에 넓게 설치하며 유입수를 저류시켜 오염물질을 침전시킬 수 있는 위치선정</li> <li>유입부에 퇴적을 집중적으로 유도하여 퇴적으로 인한 저수지의 내용적 감소를 예방할 수 있는 위치선정</li> <li>강우시 유입되는 토사와 흡착된 인 등의 침강을 유입부에서 집중적으로 축진시켜 저수지의 수질을 보호할 수 있는 위치선정</li> </ul>		
7.2 침강지 설계조건	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>침강지는 일강수량 30mm이상의 유출량이 발생시 대상유량으로 함</li> <li>설계기준 유입량은 체류시간 6~12시간 정도로 설계하며 현지여건에 맞는 침강지 형식으로 검토할 것(보조댐형, 차수막형, 준설형 등)</li> </ul>		
7.2.1 침강지 규모산정	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>침강지 규모산정은 다음과 같은 3가지 방법을 검토하고 지역여건에 적당한 방법을 선정 할 것                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유출량에 따른 규모 산정 : 일 30mm 초과유출량 기준 침강기준시간을 6~12시간 확보할 수 있는 규모 계획</li> <li>- 유역면적비 규모산정 : 유역면적의 0.7~1.0%나 저수지 규모의 10% 중 적은 값을 채택(비교적 침강지 규모가 크게 산정)</li> <li>- 유출고에 따른 규모 산정 : 년 평균유출고 기준 30mm이상시 체류시간 6~12시간 기준으로 침강지 규모 계획</li> </ul> </li> <li>※ 침강지 규모산정 방법 설계편람 참조</li> </ul>		

항목	점검 시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
7.2.2 침강지 수심	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>수심은 성층화현상을 방지하기 위하여 6m이하가 적당하고 평균적으로 3~5m로 설계토록 검토</li> <li>침강지 준설시 기존 호안과 최소 4.0m 이상 이격거리를 두어 검토할 것</li> </ul>		
7.2.3 침강지 체류시간	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>체류시간은 6시간 정도만 되어도 높은 정화효과 기대가 가능하며 12시간 정도 증가시키는 것이 수질정화 및 홍수조절에 유리함</li> </ul>		
7.2.4 기타	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>침강지내 사수역 발생시 유수흐름을 개선하기 위하여 중도나 정류벽 등의 설치 검토가 필요함</li> </ul>		
7.3 부댐 설계조건				
7.3.2 부댐 형식	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>부댐의 형식은 저수지 홍수위와 만수위 등을 고려하여 결정하며 현지지형에 맞게 형식을 선정함 - 보조댐형, 차수벽형, 준설형</li> <li>보조댐형은 사석 및 영구구조물로 조성, 차수벽형은 커튼형식의 개랑형 형식, 준설형은 바닥을 굴착하여 침강지 조성</li> <li>부댐 형식 결정시 수심이 낮을 경우에는 별도의 부댐 및 차수벽을 설치하지 않고 바닥을 굴착하여 침강지를 조성하는 준설형을 검토할 것 ※ 부댐형식 기본조사 보고서 참조</li> </ul>		
7.3.3 부댐 규모	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>부댐의 높이는 저수지 홍수위와 만수위를 고려하여 결정하며 일반적으로 만수위보다 0.5m 아래에 설치함</li> <li>녹조방지 및 저수지와외의 분리를 위해 제고고 보다 0.5~1.0m 아래에 차수벽을 두어 본 저수지와 분리되는 구조와 전단면을 투수성으로 설계하는 것은 지역여건을 고려하여 설계하도록 함</li> <li>부댐 기초지반에 대한 침하검토 및 연약지반의 경우 시공시 문제점 등 검토 필요</li> </ul>		
8. 인공식물섬 설계사항				
8.1 인공식물섬 설치위치	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>침강지내 설치는 영양물질 제거 및 조류의 이상 증식을 방지하고자 하는 위치(기타위치 설치가능)</li> </ul>		
8.2 인공식물섬 설계조건	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>침강지내 계획수심이 최소 1.0m이상 확보되는 지점에 설치함</li> <li>침강지 수표면적의 5% 정도로 설치하는 것을 권장함</li> </ul>		
9. 물순환장치 설계사항				
	설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>일반적으로 저수지 호내 깊은 수심을 선정하여 설치하며 2대 이상 설치시 영향반경을 고려하여 적정하게 배치함(영향반경 : 150~250m)</li> <li>또한, 유지관리시 편리성을 고려하여 위치를 선정하며 홍수시에도 안전한 지역에 설치할 것</li> </ul>		

항목	점검 시기	설계내용 및 방법	적합여부	
			여	부
10. 보고서 작성		1) 기본설계시 (1) 요약보고서 (2) 기본계획(안) (3) 사업계획위치도 (4) 사업계획평면도 (5) 조사·설계 관련 파일 • 측량성과(평면도, BM 성과표 등) • 계획평면도, 축면도, 수리계통도 등 • 계획유량 산정결과 • 시행전후 내용적 • 시설별 편입용지도 및 조서 • 개략사업비 산정 (6) 기타자료 • 시험성적표(유입하천 수질, 호내 수질 등) • 기술검토회 결과 • 전략환경영향평가 협의자료 • 어도관련 협의자료 2) 세부설계시 (1) 요약보고서 (2) 사업계획서 (3) 사업계획위치도 (4) 사업계획평면도 (6) 사업계획도 (7) 세부설계 관련 파일 • 측량성과(평면도, BM 성과표 등) • 계획평면도, 축면도, 수리계통도 등 상세도면 • 공종별 세부물량 • 계획유량 산정결과 • 시행전후 내용적 • 시설별 편입용지도 및 조서 • 세부사업비 산정 (6) 기타자료 • 기술검토회 결과 • 소규모 환경영향평가 협의자료		

## 4.1 유역대책

### 소규모 하수도 시설개요

- 정의 : 공공하수도중 1일 하수처리용량 500m<sup>3</sup> 미만의 하수처리시설
- 계획설계방향 : 소규모하수도 고유의 특성이나 지역특성을 충분히 고려하여 유지관리가 용이하고 경제적인 시설로 계획, 수처리 목표 값 달성여부 중요, 초기투자를 적게 하여 즉시 투자효과가 나타나는 시설로 계획
- 준수사항 : 소규모 하수도의 방류수 수질은 하수도법 시행규칙 별표1 공공하수처리시설의 방류수 수질기준 [표 4-3]와 [표 4-4]을 준수
- 공법적용 : 관련업체 최신기술 운용하고, 자연생태적 하수처리공법인 KN-NEWS공법의 설계요령만 수록함

### 가. 자연생태적 하수처리공법(KN-NEWS공법)

#### 시설개요

- 구성 : 유기물과 부유고형물을 주로 처리하는 고친수성 바이오필터조와 질소, 인 및 잔존 유기물을 처리하는 계단형 상하흐름 인공습지로 구성
- 원리 : (고친수성 바이오필터조) 바이오 세라믹계열의 고친수성여재가 충전된 생물반응조에 오수를 분사하여 여과, 흡착 및 미생물 분해에 의해 수질 정화 (계단형 상하흐름 인공습지) 물이 상하로 이동하면서 흐르기 때문에 표면부 호기성조건과 바닥부 혐기성조건이 조성되어 질소 제거효율 향상
- 정화효율 : BOD 95 %, SS 94 %, TN 91 %, TP 94 %
- 처리(방류)수질 : BOD 7.5 mg/L, SS 5.6 mg/L, TN 9.2 mg/L, TP 0.96 mg/L
- 적용대상 : 용지확보가 용이한 곳, 하수발생량 200m<sup>3</sup>/일 이하 소규모 농촌마을 지역

#### 설계요령

- 수처리공정 : 유입→스크린 및 침전조→유량조정조→고친수성 바이오필터조→상하흐름 인공습지조→소독방류조→방류
- 설계인자 : 하수량, 체류시간, 수심단자
- 개략공사비(Q=60m<sup>3</sup>/day) : 330백만원 (순공사비)
- 유지관리비 : 125만원/년

**[표 34] 자연생태적 하수처리공법의 설계요령**

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용지확보가 용이한 곳</li> <li>• 하수발생량이 200m<sup>3</sup>/일 이하인 소규모 농촌마을 지역</li> </ul>
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주요 설계인자 : 하수량, 체류시간, 수심단차 등이 있음               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평균하수량은 150~200 l/인일 정도로 함</li> <li>- 혐기조(침전조) 체류시간 :18-24시간</li> <li>- 유량조정조 체류시간 : 8-15시간</li> <li>- 고친수성 필터조 : 8-15시간</li> <li>- 상하흐름형 인공습지 : 12-24시간</li> <li>- 수면적 부하 : 1.0m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d 이하</li> <li>- 습지처리조의 용량은 하수 1m<sup>3</sup>/일 기준으로 1~1.5m<sup>3</sup>으로 함</li> <li>- 습지처리조의 체류시간은 12~24시간으로 함</li> <li>- 습지처리조의 높이는 1m 내외가 되도록 함</li> <li>- 각 계단의 높이 차이를 20cm 이상 확보</li> </ul> </li> </ul>
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 흐름이 한쪽으로 쏠리지 않고 월류할 수 있도록 할 것</li> <li>• 일상적인 유지관리에 주민들이 참여할 수 있는 방안을 강구</li> <li>• 상하류 흐름이 원활히 이루어지도록 각 계단의 높이 차이를 20cm 이상 확보하고, 하부의 흐름공간을 충분히 확보해야 한다.</li> <li>• 상류부를 흐를 때에는 흐름이 한쪽으로 쏠리지 않고 격벽의 전단면을 통하여 월류할 수 있도록 해야 한다.</li> <li>• 식물고사에 의한 오염물질 재용출을 방지하기 위하여 연간 1~2회 정도 식물을 절취할 필요가 있다.</li> </ul>

## 4.2 유입수 대책

### 4.2.1 공통계획 및 시설

#### 취입지점의 선정 (고려사항)

-  하천에 대한 수리권, 용수이용특성, 취입지점 하천의 구조적 특성(제방고, 폭, 깊이) 및 보강공사 실시규모 및 배수위로 인한 영향, 하천정비사업 실시여부, 취입지점 인근의 부지 확보와 매입가능성을 동시에 종합적으로 고려하여 결정
-  취입보 형태, 확보 수도 및 부지 형상, 습지 배열/배치 등을 종합 고려 후 결정
-  취입지점은 기본계획 단계에서 결정하여 유역 수문수질모델링 작업에 반영하고 세부설계 단계에서 습지설계에 반영되도록 계획

### 취입보 형식 선정

- ❏ **취입보 종류** : 콘크리트 취입보, 기계식 권상형 가동 취입보, 고무가동 취입보, 기계식 회전형 가동 취입보, 기계식 유압형 가동 취입보, 게이트수문형 취입보
- ❏ **설계시 고려사항**
  - ▶ 취수량을 조절 가능해야 하며 취수보 내부 퇴적 유사를 배출시킬 수 있는 구조설계
  - ▶ 취입보와 습지 유입구에 수문을 설치하여 취입량을 조절, 또는 차단할 수 있는 있는 구조
- ❏ **대표 취입보의 특성**
  - ▶ 콘크리트 취수보 : 하천 유황에 따라 수문을 조절하여 습지 유입 유량 관리 가능, 유사퇴적이 빨라 적정 취수량 확보를 위해 퇴적유사 배제를 위한 별도의 수문 설치
  - ▶ 고무 가동보 : 하천수위가 일정 수준이상으로 상승하면 자동으로 전도되어 분류하천의 유량을 우회시키므로 보의 높낮이에 의한 수위조절 기능을 기대하기 어려움
  - ▶ 기계식 권상형 가동보 및 기계식 회전형 가동보, 그리고 기계식 유압형 가동보는 가동보의 각도조절에 의해 수위조절이 가능한 구조로 취입 유량 관리가 가능함

[표 35] 취입보 형식 별 적용 및 참고지구

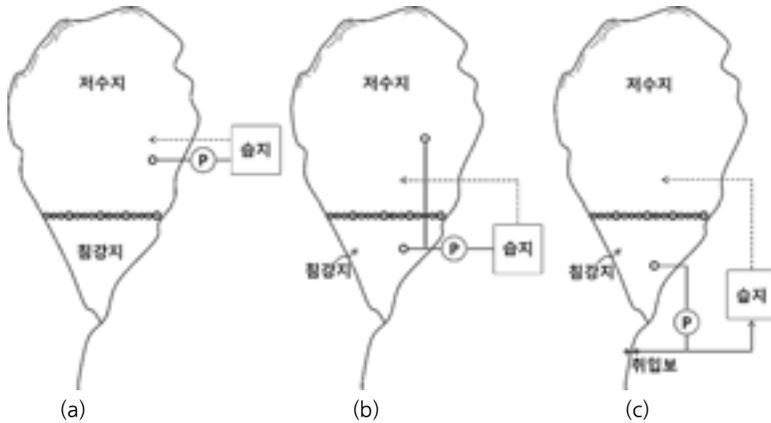
취입보 형식	적용	참고
콘크리트 보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유로경사가 큰 유입하천 (계곡형 저수지)</li> <li>• 배후지 범람의 위험이 적은 곳</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 감든지구 1호 습지</li> </ul>
고무 가동보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수위확보가 어렵고 유로경사가 작은 비교적 큰 하천</li> <li>• 고정형 취입보 설치시 배후지 범람위험이 큰 지역</li> <li>• 기저유량이 상시적으로 흐르는 하천</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공산지구 1호, 2호 습지</li> <li>• 도고 2호 습지</li> </ul>
권상형 가동보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유로경사가 중간정도로 제방고가 높은 소규모 하천으로 콘크리트 보와 연계하여 설치가 가능한 곳</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 성암지구 1호, 2호 습지</li> </ul>
유압식 가동보 회전식 가동보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수위변동이 심한 하천으로 습지로 유입되는 유량을 비교적 세밀하게 조절할 필요가 있는 하천</li> <li>• 생활하수 유입 및 도시비점유출이 있는 하천</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상성지구 1호 습지</li> <li>• 월천지구 습지</li> </ul>
게이트형 수문	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유로경사가 완만한 지역으로 홍수시 즉각적인 수문조작이 가능한 민가지역 하천</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍동지구 1호 습지</li> </ul>

### 양수취입방식

- ❏ **취입방법의 종류** : 취입보 취입, 양수 취입
- ❏ **취입보 취입** : 취입보 퇴적으로 인한 준설, 강우시 폐농업자재로 인한 기계고장 발생, 고의 파손, 임의 차단, 평수기, 갈수기 유량부족 등으로 취입불가 문제 발생 가능
- ❏ **양수 취입** : 취입보 설치가 곤란한 지역에서 하천수 대신 호내수나 침강지 내부 정체수를 양수에 의해 취수하여 인공습지에 공급, 처리한 후 저수지로 방류하는 방식

[표 36] 양수취입시설 설계요령

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평시 기저유량 발생없고 수두확보가 어려워 취입보 설치여의치 않은 지구</li> <li>• 오염도가 강한 저수지에서 침강지 및 저수지에서 녹조발생이 우려되는 지구</li> <li>• 취입보 설치에 의한 취수가 가능하나 갈수기나 저수기때 취입수량이 충분하지 않은 사업지구에서 취입보 취수를 보장할 필요가 있는 사업지구</li> </ul>
설계요령	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 크게 저수지에 조성된 부댐의 정체수를 양수처리 한 후 처리수를 호내로 배출하거나 호내수를 직접 양수처리한 후 호내로 배출시키는 방안을 구상</li> <li>• 취수지점은 저수지 물이나 침강지 정체수를 안정적으로 취수할 수 있는 지점</li> <li>• 양수시설의 위치는 시설가동에 의한 소음피해나 주민 민원이 없는 지점 선정</li> <li>• 양수관련 시설의 설계는 농업용수 양수시설 설계방법 준용</li> </ul>



[그림 14] 양수취입방식의 적용방법 모식도

### 인입수로

- **정의** : 취입보, 양수기에 의해 취수한 하천수, 호내수, 침강지 정체수를 습지 선단 침사지 까지 이송하는 관거 또는 수로
- **인입수로 형식** : 암거형과 개수로 형으로 구분
- **형식 권장** : 청소, 준설, 유지관리 용이성을 위해 가급적 U자 개수로 형으로 설계
- **인입수로 길이** : 취수보와 습지선단의 유입구 사이의 이격거리, 수두확보가 관건으로 길 이가 짧을수록 좋음
- **설계요령** : 최대 50m를 초과하지 않게 하며 불가피할 경우 점검보와 부분 개수로 형태로 설계
- 인입수로의 길이가 길어질수록 취입보 하류부와 상류부의 생태적 단절구간이 증가하고, 특히 암거형태이고 그 길이가 길어질수록 수두손실이 증가하고 관거 점검이 어려우며 유사와 협잡물 등에 의한 막힘 문제 등으로 유지관리에 어려움이 발생함

[표 37] 인입수로 설계요령

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하천수 및 저수지 물과 침강지 부댐 정체수 취입 후 습지선단으로 인입</li> <li>· 양수방식 취입 후 습지선단으로 취입수의 인입</li> </ul>
설계요령	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수두확보에 적합한 형식의 취입보 선정, 인입수로의 길이를 최대한 단축</li> <li>· 가급적 U자 형태의 개수로 형태로 설치하고 그렇지 않을 경우 부분적 개수로나 점검구를 설치하여 유지보수 및 수문관측이 용이하도록 설계</li> <li>· 인입수로의 길이는 최대 50m를 초과하지 않도록 하며 불가피할 경우 점검부와 부분 개수로 형태로 설계</li> <li>· 단 양수취입방식일 경우에는 인입수로의 길이제한은 적용되지 않음</li> <li>· 저수지 유입부 유역특성으로 인하여 수두확보가 어렵고 취수보를 설치할 경우 인근의 농경지나 민가의 침수가 우려되는 지역이면서 인입수로의 길이가 지나치게 길어지는 사업지구에는 양수취입방식을 적극적으로 고려</li> </ul>



유량측정 구조물

- 일상적인 모니터링 및 오염물질의 유입 부하량 및 삭감 부하량의 산출이나 설계요소의 검토 및 습지 물수지 분석은 물론 인공습지 운영현황 분석에 반드시 필요
- 유량측정은 가급적 자동화하고, 실시간 전송이 가능한 최신 기술 적용 할 것

[표 38] 유량측정 구조물의 설계요령

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하천수 및 저수지 호내와 침강지 물 취입 후 습지유입구 및 최종 유출구</li> <li>· 하수처리장 방류수가 유입되는 습지 유입구 및 최종 유출구</li> </ul>
설계요령	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 취입보에서 습지 침사지를 연결하는 인입수로를 개수로 형태로 시공하거나 암거 중간부에 점검구간을 개수로 형태로 설치하여 유량측정 및 수질시료 채취가 가능하도록 설계</li> <li>· 시공비용의 절감을 위해 취입보와 습지 침사지 연결관거 일부분을 지면으로 노출된 형태로 설계시공</li> <li>· 삼각 또는 사각웨어는 강우시 유입되는 하천의 높은 토사농도로 유입유량 측정에 적합하지 않으며 유속과 수위측정이 가능하고 일정한 단면을 갖는 개수로 형태가 적당하고, 필요시 토사퇴적 염려가 적은 파살플름 유량계 설치</li> <li>· 최종 배출연못과 저수지 배출구 일부분은 삼각 또는 사각웨어 적용 가능</li> <li>· 저수지 유입 전에 하수처리장 방류수의 추가적인 처리를 위해 조성되는 습지의 유입-유출구에는 삼각 또는 사각웨어 설치</li> <li>· 암거에 비만관식 자기식 유량계를 설치할 수도 있으나 국내 경험에 따르면 고가의 설치비용 및 유지관리 문제가 발생되므로 채택하지 않도록 함</li> <li>· 양수취입방식을 적용할 경우 취입관로에 만관계 유량계를 설치하거나 인입수로에 파살플름을 설치하고 유출부에는 파살플름, 삼각 또는 사각웨어 설치</li> </ul>

## 4.2.2 인공습지\_지표흐름습지



### 인공습지 공통사항

- **인공습지 종류** : 흐름형태별로 분류하여 크게 지표흐름습지와 지하흐름습지로 구분
  - ▶ 지표흐름습지(Free water surface flow system, FWS) : 얇은 습지(Shallow Wetland), 이중목적 얇은 습지(Extended Detention Shallow Wetland), 연못/습지 시스템(Pond/Wetland System), 소규모 습지("Pocket" Wetland)
  - ▶ 지하흐름습지(Subsurface flow system, SFS) : 지하흐름습지, 지하침투습지
- **인공습지의 선정** : 유입유량과 유입수질 특성, 가용부지 면적, 생태특성, 경관조성 효과, 소득원 창출 및 유지관리 용이성, 친수공간으로의 이용가능성 등 고려하여 결정
- **인공습지의 형태 결정** : 단일 수심의 정형화된 습지를 계획하지 않도록 하며, 주요한 식물을 정수식물로 계획하되 수심을 다양화하여 정수식물과 침수식물, 부엽식물과 부유식물들이 자연스럽게 도입될 수 있는 다공중, 다형태, 다자연성을 고려하여 결정
- **인공습지의 환경·생태적 기능** : 수질정화 기능, 수문학적 기능, 생태적 기능, 문화적 기능, 경제적 기능, 기후조절 기능 등
- **수질정화기작** : 침전, 침강, 생물화학적반응, 분해, 여과, 세포합성, 질산화, 탈질화, 휘발, 흡착, 소멸 등
- **제거되는 오염물질** : SS, BOD, N, P, 중금속, 병원균 등

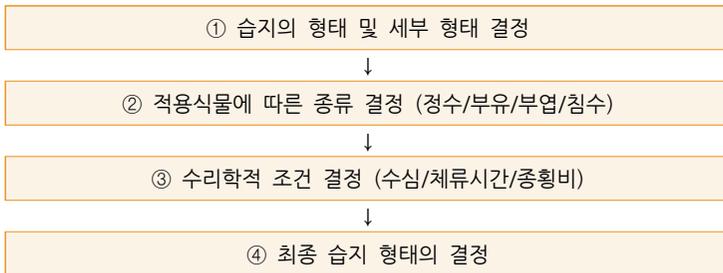
**[표 39] 인공습지 설계 요소**

구분	설계요소
구성요소	인공습지의 주요 구성요소는 식물, 토양, 수문이 기본이며, 수질정화에 중요한 기능을 하는 미생물과 이와 연계된 소형 동물이 포함됨
자연환경요소	인공습지의 운영 및 식물의 생육조건, 생물도입 등과 관련된 기온, 강수량, 풍속 고려
토양	습지식물을 지지하며 생물학적 또는 화학적 정화장소이며 또한 제거된 오염물질의 저장공간 제공. 토양의 주요 고려특성으로는 투수성, 유효토심, 토양경도, 양이온치환용량, 토양산도, 전기전도도 등이 있음
수리수문	인공습지 설계를 위한 수리수문학적 요소 중에서 설계유량, 수리부하율, 체류시간, 수심이 가장 중요함
수질	수질은 일반적인 농업용저수지나 하천수에서 가장 중점적으로 제거되어야 할 항목은 부영양화 원인물질인 질소와 인 임. 또한 농업용수 수질관리기준인 BOD(TOC)와 SS 역시 중요 항목임. 현장조사 결과를 바탕으로 설계 유입수질 결정 후 사업목적에 부합하도록 목표 방류수질 설정
식물	미나리, 줄, 부들류, 갈대, 창포, 꿀풀류, 고랭이류나 사초류 등 이용가능 수질정화 기능 향상과 생물의 서식공간 창출을 위해 식재 식물은 단일종 보다는 다양한 식물종으로 구성된 혼합식재 형태로 도입 권장
생물서식환경 및 경관	자연습지와 유사하고 생태적으로 건강한 생물서식환경으로 조성하며, 생물자원을 활용한 경관조성을 고려한다면 중요한 관광자원으로 활용 가능

### 인공습지 설계순서도



[그림 15] 인공습지의 설계 순서도



[그림 16] 습지의 형태 결정 순서

### 지표흐름습지 개요

- ☞ **정의** : 하천수나 호소수 등 오염된 유입수 대부분을 습지토양 표층 위로 흐르게 하여 물리, 화학, 생물학적 자연정화기능을 이용한 수질개선공법
- ☞ **정화원리** : 갈대 등 수생식물이 생장하도록 인공적으로 습지를 조성하여 오염된 하천수나 호소수를 습지의 지표면을 통해 흘려보냄으로서 식물에 의한 흡수, 미생물에 의한 분해, 흡수, 식생대에 의한 접촉, 침전, 여과, 토양으로 흡착, 침투 등 자연정화
- ☞ **정화효율** : BOD 10~40%, SS 40~60%, TN 30~50%, TP 40~60%

### 지표흐름습지 설계 기본 검토사항

- ☞ **토양** : 수분을 충분히 보유할 수 있고, 약간의 침투성과 식물성장장애가 없어야 함
  - ▶ 필요시 객토작업 검토
  - ▶ 기반토양은 수문학적 토양그룹 "C" 또는 "D"가 적합하며 "A"나 "B" 그룹이 주종을 이루는 지역의 경우 투수손실을 억제 할 수 있도록 바닥 다짐, 라이닝 처리 등 검토
- ☞ **지형** : 일조량 감소로 식물성장 장애가 있을 수 있고, 식물수확, 유지관리가 불편한 급경사 사면이 있는 곳은 가급적 피함. 대상지의 수로, 하천경사는 15% 이하가 적당하며, 공사비 절감 및 주위 경관과의 조화, 절토작업 최소화 될 수 있는 지역 선정
- ☞ **기후조건** : 풍속, 풍향, 강우량, 일조시간, 최고, 최저기온 등 기후조건에 따라 습지의 증발산량과 우점 식생이 달라지므로 주변 유사환경 사전 검토 후 반영
- ☞ **지하수위** : 습지 위치 지역에 보호를 요하는 대수층(주민 식수원 등)이 있으면 차수막 설치 또는 지하수위가 습지로부터 최소한 0.6~1.2m 이상 떨어지게 해야 함
- ☞ **습지경사** : 자연유하 습지의 경우, 전체습지 경사가 0.5~1% 초과하지 않게 하고, 각 습지 셀의 유입구와 유출구의 수두차는 가급적 0.1m를 초과하지 않도록 함
- ☞ **유하거리** : 셀별 100m 이상을 초과하지 않도록 하며, 장폭비(총횡비)는 2:1~4:1 정도

### 식생 설계

- ☞ **계획수립** : 식물종 선정 (5~7종), 식재관리, 수확일정 등 생물다양성 향상 방안 수립
- ☞ **식물종 선정** : 수질정화능력, 생산량과 침수내성 등 고려, 주변 생태계 고려하여 회피 식물종 사전 검토, 갈대, 줄, 부들을 주 식생으로, 원지역 식생 2~4종 추가 설계
  - ▶ 깊은습지(30~60cm) : 갈대, 줄, 부들, 수련, 골풀, 여러연꽃 등(경수, 부엽식물)
  - ▶ 얕은습지(10~30cm) : 창포, 노랑꽃창포, 붓꽃, 미나리 등(습생식물)
- ☞ **식물도입(식재)** : 자연유도, 식물체 직접식재 (포트, 롤식재, 지하경 이식), 씨앗파종
  - ▶ 대상지에 자생 수생식물 있을 경우 지하경 채취(30cm 절단, 보관) 후 이식 권장

### 식생 설계 (계속)

- ▶ **식재밀도** : 1~4본/m<sup>2</sup>가 가장 적절하며, 조기정착 필요시 25~49본/m<sup>2</sup>(식재간격 15~20cm 이상 확보)까지 적용 가능하지만, 최대한 자연정착 유도하는 것을 권장함
- ▶ **식생정착** : 식재 초기 습윤 상태 유지하고, 점차 수심 10cm부터 수위 상승 유도, 조기 정착 통해 수질개선 효율향상은 물론 구조물 침식 방지 효과 기대할 수 있음
  - ▶ 습지 설계시 수위조절 장치 도입 필수, 수위조절 통한 식생관리가 가능해야 함
- ▶ **식물수확** : 공급 오염물질 제거, 습지활성도 증가, 식생부산물 관리로 습지수명 연장
  - ▶ 2차 생장 유도로 습지효율 향상 (6~7월), 고사식생 제거관리 (11~12월, 익년 2~3월)

**[표 40] 지표흐름 인공습지 설계요령 요약**

항목	설 계 요 령
기본 요건	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수위부지 등 이용가능 부지의 확보가 용이할 것</li> <li>• 가능하다면 자연유하 방식으로 취수할 수 있는 지형조건을 갖춘 곳</li> <li>• 갈수기에도 기저유량이 충분히 흐르는 유역</li> <li>• 질소와 인의 유입부하가 높은 경우</li> </ul>
설계 제원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주요 설계제원은 체류시간, 수심, 습지의 구성 등이 있음</li> <li>• 인공습지의 면적은 1차 반응 모델식, 강우심법, 유역면적비법 등 다양한 산정방법이 제안되고 있으며, 참고로 유역면적비법에서는 유역면적의 1-3%가 적절한 것으로 권장되고 있으나 국내여건을 고려할 때에는 1% 내외로 현장 여건에 따라 결정</li> <li>• 침사지, 배출연못을 포함한 습지 내용적은 설계 WQv와 동일하게 결정</li> <li>• 체류시간은 저농도 고유량의 하천수 또는 저수지 물을 대상으로 하는 경우에는 12-48시간 정도로 하는 것이 안정적인 정화효과를 기대할 수 있으며, 부지확보의 어려움이 있는 경우에도 최소한 6-12시간 정도의 체류시간을 확보하는 것이 바람직함</li> <li>• 인공습지의 수심은 처리목적에 따라 다양하게 적용가능하며, 얇은 습지는 10-30cm 깊은 습지는 30-60cm, 개방수역은 100cm 이상으로 적용</li> <li>• 인공습지는 침사지-습지-배출연못으로 배열하는 것이 수질정화효과가 가장 높으며 습지면적의 25%이상을 개방수역으로 조성</li> <li>• 습지의 유효거리 200m이상을 초과하지 않도록 하며, 장풍비(중형비)는 2:1-4:1 정도로 설계</li> <li>• 식재밀도는 1m<sup>2</sup> 당 1~4본이 적절 (필요에 따라 25~49본 까지 적용가능)</li> </ul>
정화 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BOD 10-40%, SS 40-60%, TN 30-50%, TP 40-60%</li> <li>• 생태계보호, 종 다양성, 경관개선 및 친수기 능 등 부가적인 효과도 있음</li> </ul>
시공 및 유지 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연유하식의 경우에는 전체 습지구배가 0.5-1%를 초과하지 않도록 하며, 유입구와 유출구의 수두차는 가급적 0.2m를 초과하지 않도록 함</li> <li>• 식물성장시기에 따른 적절한 수위관리를 위해 수위조절장치가 필요함</li> <li>• 습지의 수명은 일반적으로 10-20년 정도로 추정하고 있으므로 준설이 필요하며 처리처분은 퇴적물 오염평가 기준(국립환경과학원, 2015)에 따라 실시함</li> </ul>
유의 사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연조건에 따라 적용상의 제약이 있을 수 있음</li> <li>• 유기물의 경우에는 5-10mg/L 이하에 대해서는 수처리 효율의 변화가 매우 심함</li> <li>• 조성초기에는 식물의 절취가 필요치 않으나 5년 정도 시간이 경과된 이후에는 사후모니터링 자료를 참조하여 식물절취를 검토하여야 함</li> <li>• 축산폐수 등 고농도 오폐수처리목적의 인공습지 설계 시에는 본 매뉴얼의 적용에 주의하여야 함</li> <li>• 설계시 모기 등의 해충발생 억제방안이 강구되어야 함</li> </ul>



### [참고] 호소 퇴적물 오염평가 기준 (국립환경과학원 예규)

□ 호소퇴적물 오염평가기준		□ 퇴적물 지점별 오염평가 기준			
등급	1	2	3		
부속					
유기물 및 영양염류	총탄소기농도(Cd)	2200%			
	총질소(N)농도	5.8000%			
	총인(P)농도	1.8000%			
중금속	구리(Cu)농도	800%이하	770%이하	1,500%이하	1,500%이하
	아연(Zn)농도	800%이하	250%이하	400%이하	400%이하
	니켈(Ni)농도	300%이하	270%이하	300%이하	300%이하
	카드뮴(Cd)농도	200%이하	44.7%이하	87.1%이하	87.1%이하
	수은(Hg)농도	5.0%이하	6.47%이하	7.14%이하	7.14%이하
	망간(Mn)농도	300%이하	1,270%이하	12,000%이하	12,000%이하
	크롬(Cr)농도	800%이하	1,200%이하	6,000%이하	6,000%이하
	코발트(Co)농도	220%이하	270%이하	300%이하	300%이하
비고	1. 퇴적물 표적물의 상태 가. 호소 : 저층이나 저지의 평평을 일정한 깊이의 층이 되어 있어 나타나는 상태 나. 저수 : 저지층에서 퇴적이 나타날 가능성이 높으며, 퇴적시점을 통해 사행말과 퇴적물 다. 사발 : 저지층에서 퇴적이 나타날 가능성이 높으며, 조류 평형을 일화하고 퇴적하여 표층 부유 퇴적물 라. 배수 : 침투하고 일정한 깊이에 퇴적되지만, 수질이 악화될 때 배수되어 퇴적물 표층 부유 퇴적물 로 한 지점이 배수 고지에 퇴적될 경우 표층과 같은 퇴적물 층으로 분포 로 "급속부" 및 "중속부" 기준 적용"은 아래 하위에서 적용함  호소퇴적물 오염평가기준(예규) 제2019-001호 (단위 : 국가유량 측정 단위, %이하 : 국가유량 측정 단위 이하 기준)				
	2. 퇴적물 지점별 오염평가 기준 가. 호소 : 저층이나 저지의 평평을 일정한 깊이의 층이 되어 있어 나타나는 상태 나. 저수 : 저지층에서 퇴적이 나타날 가능성이 높으며, 퇴적시점을 통해 사행말과 퇴적물 다. 사발 : 저지층에서 퇴적이 나타날 가능성이 높으며, 조류 평형을 일화하고 퇴적하여 표층 부유 퇴적물 라. 배수 : 침투하고 일정한 깊이에 퇴적되지만, 수질이 악화될 때 배수되어 퇴적물 표층 부유 퇴적물 로 한 지점이 배수 고지에 퇴적될 경우 표층과 같은 퇴적물 층으로 분포 로 "급속부" 및 "중속부" 기준 적용"은 아래 하위에서 적용함  호소퇴적물 오염평가기준(예규) 제2019-001호 (단위 : 국가유량 측정 단위, %이하 : 국가유량 측정 단위 이하 기준)				



### 제4장

수질개선대책 세부설계



### 침사지 설계

-  목적 : 유입수에 포함된 토사 등 입자성 오염물질 제거를 위한 전처리, 유량조정분배
-  종류 : 방사형 구조(생태형습지), 역방사형 구조(비점처리), 장방형 침사지(유량일정)
-  고려사항 : 유입유량 변동성 및 유입수의 입자성 물질 분포 특성 사전 조사 필수
  - ▶ 하천수 : 강우특성에 따라 시기별 유입유량 변동성 크고, 입자성 무기물질 함량 큼
  - ▶ 저수지 양수 : 일정유량 유입, 무기입자성보다 조류 등 유기입자성 물질 함량 큼
-  침사지 형태 결정 : 유량변동 심한 하천수 유입시 쇄굴 대비 방사형침사지 권장, 저수지 양수시에는 장방형 침사지(권장, 침사효율 극대) 또는 역방사형 침사지 가능
-  침사지 설계사항 [환경부 기준 포함]
  - ▶ 강우유출수 처리 및 인공습지의 수명연장과 유지관리 측면에서 중요한 지점으로 경계 벽이 있는 독립적인 셀로 구성
  - ▶ 장폭비 2:1이상으로 조성, 수심 1.2~1.8m의 깊이, 유속은 습지내부에 퇴적물 침식이 일어나지 않을 정도의 유속을 유지하고 약 2~5시간의 체류시간을 갖도록 설계
  - ▶ 침사지의 용량은 유역특성에 따라 전체습지면적 대비 5~15% 정도 범위에서 결정
  - ▶ 퇴적물 모니터링 : 침사지내 퇴적량 측정을 위해 가능한 한 원지반 표면에 퇴적물 쿠편을 3곳 이상에 설치 또는 퇴적물 깊이를 측정할 수 있는 측정자 설치
  - ▶ 퇴적물 준설 : 보통 3~5년 주기로 퇴적물 준설 실시, 작업 위한 유지관리 공간 확보

## 습지의 형상 및 설계

- ▶ 습지의 장폭비, 유하거리, 셀수 등 습지형상과 구조는 습지기능과 효율에 직접 영향
- ▶ 습지의 장폭비 (중횡비) : 2:1 ~ 4:1을 기준으로 설계, 수리학적 효율 최대 발휘 기준임
  - ▶ 계획부지 여건과 배치한계 및 시공문제 등으로 기준 만족 불가시, 습지내부에 중도, 침투둑, 돌망태, 깊은습지 조성 등 흐름조건을 수평흐름 형태로 변화시키도록 유도
  - ▶ 흐름의 배분과 혼합은 오염물질 제거 극대화, 여과, 침전 등 물리적 제거기능 개선
- ▶ 습지 유하거리 : 유하거리가 길어지면 오염물질의 처리기회가 증가하지만 수두손실이 증가하고 내부 흐름이 원활하지 못해 습지 종점에 도달하지 못하는 등 문제 발생
  - ▶ 습지 유하거리는 수질정화효과와 수리부하율을 고려, 100 ~ 200 m 내외로 설계
- ▶ 습지면적 : 단위 습지 셀 크기는 0.25 ~ 1ha범위, 셀 수는 단위 면적으로 적정 분할
- ▶ 습지면적비율 : 얇은 습지 50%, 깊은 습지 30%, 개방수역 20%
  - ▶ 얇은 습지 수심 0.2m(0~0.3), 깊은 습지 0.7m(0.3~1.0), 깊은 못(개방수역) 1.5m(1~2)
- ▶ 습지 셀수 : 여러 개의 개별 셀로 분할하는 이유는 사수역을 줄여 수리학적 체류시간을 최대한 길게 확보하고 기능을 배분하여 오염물질 제거효율을 극대화하기 위함
  - ▶ 셀 수는 수리학적 흐름에 미치는 영향과 합리적인 관리지점 수를 고려하여 결정
  - ▶ 1ha ~ 2ha 범위 습지에서는 단일 셀 면적 0.5ha 초과하지 않도록 설계하며 셀 수는 침사지를 포함하여 5개 이하로 설계
  - ▶ 2ha 이상의 습지에서는 2계열 이상 복수계열로 조성, 단일 셀 면적이 0.5ha를 초과하지 않도록 하고, 셀 수는 침사지와 배출연못 포함, 5개 이하 설계
  - ▶ 습지면적이 1ha 이하인 경우, 셀 구분 없이 유도수로로 연결한 단일습지 즉 포켓습지의 형태로 설계(유도수로, 중도, 침투둑 등 이용하여 유수흐름 확보)

## 습지 구조물 설계

- ▶ 습지 셀과 셀간 연결 방법 : 침사지에서 습지내부 통과 동안 셀과 셀간 연결방법에 따라 유수흐름과 수질정화효과에 큰 영향을 미치므로 용수계통도, CFD 검토 필요
  - ▶ 개별 셀과 셀을 전폭웨어의 형태로 연결하는 방법, 즉, 셀과 셀을 분리하는 월류벽 전체 상부면을 통하여 수류의 균일한 유입흐름을 유도하는 구조 권장 (예, 홍동)
  - ▶ 습지 유입유량이 비교적 일정한 사업지구에 적용가능하며 유량변동이 극심하여 유입수 유량이 매우 적은 경우 개별습지의 흐름 단절로 정체되는 단점 있음
- ▶ 습지 셀 간의 연결수로 : 습지 셀간 연결수로 형태는 대략 8가지 형태
  - ▶ 운영 및 유지관리 효율성 위해 개수로 형태 추천, 유량분배 효율화 위해 전면 월류형 또는 콘크리트 물넘이 형 추천

## 습지 구조물 설계 (계속)

- **습지의 배치** : 수류유도 격벽 이용(월천, 상성), 깊은습지/ 얇은습지의 횡적배치(공산), 복수계열 습지(감돈) 등이 수질개선에 유리
- **개방수역 조성** : 내부생산이 활발하게 진행되어 산소 공급원 역할 뿐 만 아니라 탄소원 공급처로 질산화 유도에 중요한 요소로 작용
  - ▶ 습지경사면으로부터 5m 정도 이격된 지점에 2m 깊이 도랑 조성 또는 HDPF 포설
- **배출연못** : 습지 처리수를 한 지점에 모으는 기능, 유출구 막힘 및 퇴적물 재부상 방지, 조류나 식물체로부터 발생된 입자성 물질의 침전제거, 광살균 효과, 여름철 습지 유출수 수온 낮추는 기능 수행, 장방형의 개방수역으로 조성
  - ▶ 규모 : 처리유량에 맞추어 규모 최소화, 출구에 자갈쇄석, 자갈여과망 등 설치
  - ▶ 깊은 연못형태(수심1~2m)로 조성, 조류발생 등 최소화를 위해 체류시간 6시간 이내가 되도록 규모를 산정하고, 바닥 자갈 포설 등으로 침전물의 재부유, 식생도입 방지
  - ▶ 배출구는 배출연못 물이 잘 배제되는 규모와 구조로 설치, 방류수 역류 안되게 설치
- **수위조절 구조물** : 생태적/수질공학적 기능과 침수범람 방지기능 수행에 매우 중요
  - ▶ 습지별 By-pass 수로 및 수위조절장치는 필수적으로 설계에 반영
  - ▶ 홍수시 하천 유입유량으로부터 습지침수 방지 위해 침사지에 비상배출구나 수문 설치
  - ▶ 식생관리 등 습지 전체 수위조절 위해 배출연못 유출구에 조절 수문 설치
  - ▶ 현지여건에 따라 침수방지 위해 필요한 경우 습지별 비상배출구나 수문 설치
  - ▶ 저수지물 역류 우려 유출구에 월류형태의 비상 유출수로를 갖추고, 동시에 역류방지용 자동수문 설치
- **최종 배출구 및 배수구의 형태** : 저수지물의 역류가 방지되고, 비상배수가 이루어지도록 설계 문비 설치
- **제방 및 호안** : 습지사면의 안전도와 누수 방지를 위해 토목공사 기준을 따라 조성하고, 수위변동, 식생침입 등에 따른 붕괴, 침하를 최대한 방지할 수 있도록 하며, 가급적 내구성과 소생물 서식공간 확보를 위해 수층부 등에는 석축호안을 권장함
  - ▶ 습지경계는 대부분 유지관리도로의 기반이 되는 제방이나 독의 형태로 시공
  - ▶ 제방과 독, 법면을 설계할 때 가장 중요한 고려사항은 내구성과 안전문제
  - ▶ 수심이 1.2m 이상을 초과할 때에는 펜스나 안전벤치를 설치하도록 권장

## 운영 및 유지관리 구조물

- **운영, 유지관리계획 사전 수립** : 설계 단계에서 시설의 운영, 관리, 모니터링 계획을 적절히 수립하고, 주기적 점검 관리를 위한 운영, 관리 구조물을 설계에 반영해야 함
- **유량수질 모니터링 장치** : 습지 조성 후 처리효과를 확인하기 위한 시료채취나 유량측정이 가능한 구조로 설치하고, 주기적으로 오염물질 유입량, 유출량 및 제거율 등을 조사할

### 운영 및 유지관리 구조물 (계속)

수 있어야 함

- ▶ 유입유량측정 : 취입보-침사지 개수로 형태 인입수로 또는 중간점검구에서 유량관측
- ▶ 유출유량측정 : 최종 배출연못과 저수지 사이 배출구에서 유량측정 가능토록 설계
- ▶ 유입, 유출수질 측정 : 유량측정지점에서 수질 채취가능 하도록 채취구 설치
- ▶ 최신의 자동모니터링 시스템 도입하여 실시간 측정 관리 시 더욱 효율적 관리 가능

**유지관리도로** : 운영관리를 위한 진입도로 및 유지관리 도로 설치, 습지 형상 및 여건 등을 고려하여 장비가 접근할 수 있는 도로와 유지관리인이 상시 모니터링, 유지관리를 할 수 있는 안전한 작업 공간 확보 방안을 설계에 포함해야 함

- ▶ 중장비 도입을 위한 노폭 약 4m의 콘크리트 포장 접근로 필수
- ▶ 유지관리용도의 접근로(노폭은 최소한 3.7m)는 중장비에 버틸 수 있도록 충분히 안정된 구조로 하고 노면경사는 15% 이하가 되어야 함
- ▶ 접근성 요구 시설은 침사지, 습지내부 통행로, 유출부 임. 자동차 운행 가능해야 함

**퇴적물 준설 및 식물 절취 공간 확보** : 퇴적물 준설은 침사지, 배출연못 위주로 2~5년 주기로 퇴적량 분석하여 실시(습지 10년 주기) 식물 절취 작업 시기에 함께 진행

- ▶ 식물절취는 1년 또는 격년으로 현장여건 반영하여 적정 시기에 진행(참고, 동방지구)
- ▶ 이때 차랑진입 및 작업 공간 계획을 수립하여 필요한 공간, 시설을 설계에 반영

**기타부대시설** : 사업지구 특성, 주변 여건 등을 고려하여 화장실, 주차장, 휴게시설 등 편의시설 설치 반영

### 설계시 제반 고려 사항

**운영개시 시점** : 공사 완료 후 빠른시간 내 정수식물이나 사면 식생이 정착되어야 하며, 수질개선시설로서 습지의 운영개시는 모든 공사 완료 후 현장이 안정상태에 도달한 시점에 이루어져야 함

**다른 개선 시설과의 연계** : 유입수질 특성에 따라 전처리가 필요한 경우 습지는 처리계열 중 최종단계 또는 그 전단계에 연계되어야 함

- ▶ 전처리 시설로 토사나 다른 부유물질을 포착 제거하기 위한 완충대/식생여과대, 식생수로, 침사지, ED형 저류지, 습식저류지 등을 전처리 시설로 고려할 수 있음

**법적검토** : 지역내 공사 중 훼손 가능성이 있는 멸종위험이나 보호종 동식물 조사

**안전사고** : 안전사고에 대비하여 인공습지 주위에 안전펜스 설치

**조성후 5년 정도 경과된 이후에는 사후모니터링 자료를 참조하여 식물절취 검토**

**위생해충 문제** : 인공습지 조성으로 모기 같은 위생해충 발생 방지위해 습지 내부에 정체 구간 없도록 설계하며, 미꾸라지 등의 물고기로 모기유충 제거

**축산폐수 등 고농도 오폐수처리 목적의 인공습지 설계시에는 본 매뉴얼 적용 주의**

### 4.2.3 인공습지\_지하흐름습지



#### 개요 및 특성

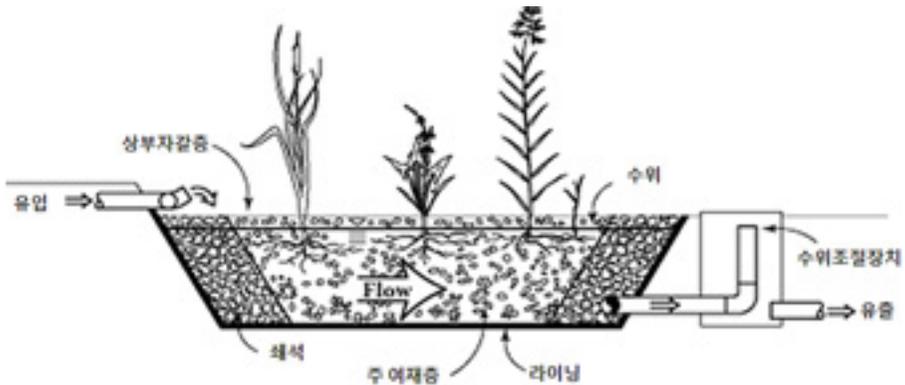
- **정의** : 지하흐름습지(subsurface flow wetland)는 원지반을 굴착하여 입자가 큰 모래, 자갈 등의 여재를 채운 후 여재층 상단보다 낮은 수위로 흐름이 유지되며, 식물은 여재 사이로 뿌리를 뻗으며 자라는 형태로서 수평흐름습지와 수직흐름습지로 분류됨
  - ▶ 수평흐름습지(horizontal subsurface flow wetland) : 지하에서 수평방향으로 연속적인 포화흐름 형태로 물이 이동하게 되는데 이때 오염물질이 여재와 식물의 뿌리와 접촉이 일어나면서 처리가 이루어지고, 각 접촉면에서는 생물학적 분해 가능
  - ▶ 수직흐름습지(vertical flow wetland) : 유입수는 균일하게 여재층을 통하여 상부(up-flow), 또는 하부방향(down-flow)으로 유하, 수리학적으로 다양한 조건으로 운전이 가능하나 보통 폐수를 처리할 때에는 간헐적 또는 충격부하의 형태로 운영
- **적용** : 여재 폐색으로 인해 소규모 하수처리시설의 방류수 처리에 유용하게 적용 가능하며, 영양염류 추가처리를 위해 지표흐름습지 후단에 수평흐름습지 적용 가능함
  - ▶ 수직흐름습지보다 수평흐름습지를 주로 적용함
- **장단점** : 장점은 영양염류, 유기물 정화효율이 높고, 병해충 피해가 적으며, 단점은 여재층진 비용 및 폐색문제 발생시 유지관리 비용 증가
- **정화원리** : 습지하부에 모래와 자갈로 여과층 포설, 상부는 식생유지, 하부는 여재표면의 미생물 생물막에 의한 분해, 여재공극을 통한 여과 등 미생물분해, 수생식물의 흡수와 여과층에서의 물리적 여과 등으로 오염물질 정화
- **정화효율** : BOD 68%, SS 72%, TN 60%, TP 43% (마산저수지 결과)

**[표 41] 지하흐름 인공습지 설계요령 요약**

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소규모 방지시설의 배출수 및 습지 방류수를 처리하는 경우에 적용</li> <li>• 부지의 확보가 용이하고, 질소와 인의 유입부하가 높은 곳</li> <li>• 가급적 일정 유량 유입 가능하고, 자연유하의 지형조건을 갖춘 곳</li> </ul>
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주요설계 인자는 수평유속, 통수단면적, 장폭비, 바닥경사 등                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유량분배가 가능한 구조의 습지 유입부와 유출부의 설치</li> <li>- 유입부와 유출부에는 굵은 자갈 충전</li> </ul> </li> <li>- 여재의 선정은 현장여건 및 목표 제거효율 등을 고려하여 결정</li> <li>- 여재는 가급적 단일여재로 충전하고 3종 이상은 자제</li> <li>- 설계유량과 설계수평유속을 가지고 수직 단면적을 산출하고 현장조건에 맞는 목표처리효율을 달성하는데 필요한 체류시간과 습지의 길이와 폭의 결정</li> <li>- 장폭비는 2:1~3:1 이하가 되도록 설계</li> <li>- 여재층 깊이는 최대 1m 이하가 되도록 설계하며, 상하흐름습지는 2m 가능</li> <li>- 식물체의 지지를 위해 상부 0.2m 두께로 큰모래층 포설</li> <li>- 습지 셀은 복수로 설계하며 병렬로 연결하여 운영, 직렬연결은 비효율적임</li> <li>- 각 습지 셀의 여유고는 50cm 이상으로 설계</li> <li>- 바닥층에 퇴적을 배제를 위한 배제층과 바닥 방류구 설치</li> </ul>

[표 41] 지하흐름 인공습지 설계요령 요약 (계속)

항 목	설 계 요 령
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수시 매물 등의 위험이 큰 하천 둔치에는 설치를 피할 것</li> <li>• 바닥 경사는 8% 이내로 하고 바닥경사가 없이 월류 형태로 유출이 일어나는 경우 바닥경사는 1%(0.001)로 가정</li> <li>• 여재는 효율이 우수한 상업용 여재도 적용가능하며, 산소공급장치 포함가능</li> </ul>



[그림 17] 수평흐름형 습지의 모식도

### 설계요령

- 방법** : 농업용수 수질개선사업에서는 유량, 수질 특성상 지하수평흐름습지 적용
  - ▶ 적용단계에서 여과거리향상과 탈질 유도 위해 상하흐름습지로 변형적용 가능함
- 적용** : 마을하수도 등 고농도 하수 직접처리 또는 지표흐름습지 후 추가처리 적용
- 주요설계 인자** : 수평유속(투수계수), 통수단면적(공극율 확보), 장폭비, 바닥경사 등
  - ▶ 투수계수 10,000 m/d 이상, 공극율 40 % 이상, 장폭비 2:1~3:1, 바닥경사 8%이내
- 깊이** : 0.8 ~ 1m (바닥퇴적물 배제층 0.1m, 여재층진 0.5~0.7m, 식재기반 0.2m)
  - ▶ 바닥퇴적물 배제층 : 바닥 0.1m 깊이의 공간을 두어 침전 퇴적물을 모으고, 정기적으로 배제할 수 있도록 설계, 1~2m 간격으로 바닥에 유출밸브를 설치
  - ▶ 여재층진 : 공극율 40% 이상 유지될 수 있도록 유효경 30~100mm의 중간자갈과 큰 자갈을 혼합하여 층진, 골재의 종류는 상관없으나 석분 등이 포함되지 않도록 함
  - ▶ 식재기반 : 굵은모래 (유효경 2mm이상)를 0.2m 이상 포설, 갈대, 참뽕 등 식재
  - ▶ 경계막 : 배제층과 여재층진층, 식재기반층의 각 경계에 경계막이 포설되며, 주로 투과율 50%의 농업용 차광막 2겹을 사용함
  - ▶ 여유고 : 0.5m 정도의 여유고로 표층 퇴적과 강우시 범람을 방지할 수 있도록 함



### 설계요령 (계속)

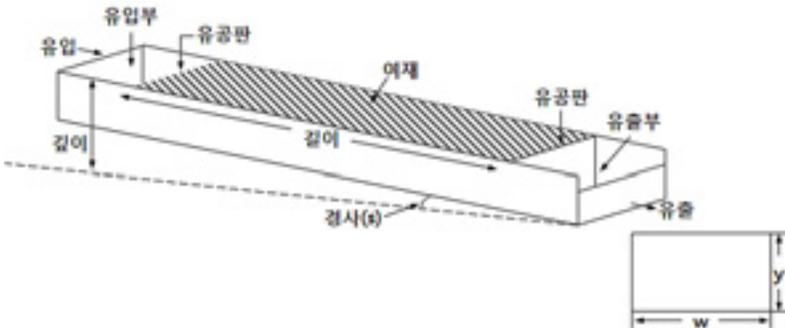
- ❶ 구조 : 사각박스형으로 구성하고, 유입부와 유출부 각 2m 구간은 식재 없이 굽은 자갈만 전층 포설, 방류구는 자갈층상부와 동일한 높이에 설치하여 전면 통수 후 유출
- ❷ 배치 : 유입 - 깊은 연못형의 침전조 - 자갈층 - 지하흐름습지 - 자갈층 - 방류
  - ▶ 다단계의 직렬구조 보다는 동일 형태의 병렬구조로 설계하는 것이 효율적임
- ❸ 식생 : 갈대, 부들, 줄, 달뿌리풀 등 지하경 발달이 우수한 정수식물 위주로 식재하고 창포, 노랑꽃창포 등 수염뿌리 발달이 좋은 습생식물도 가능함
- ❹ 운영관리 : 정상 수평흐름이 이루어질 수 있도록 설계, 유량, 수질 모니터링 반영
- ❺ 유지관리 : 퇴적물관리는 정기적으로 퇴적물 배제층의 바닥 밸브를 열어 배수작업 하고, 식재기반층 표면의 퇴적물은 동절기 식물 절취시기에 긁어 제거
- ❻ 기능개선 : 효율향상 위해 상업용 여재 사용이 가능하며, 산기관, 미세기포 공급 장치 등 산소공급 방안도 병행할 수 있음

[표 42] 일반적으로 지하 흐름형 습지에 적용되는 여재의 특성

여재형태	유효경 D10 (mm)	공극율 (%)	투수계수 (m/day)
굽은 모래(coarse sand)	2	28-32	100 - 1,000
자갈 모래(gravelly sand)	8	30-35	500 - 5,000
잔자갈(fine gravel)	16	35-38	1,000 - 10,000
중간 자갈(medium gravel)	32	36-40	10,000 - 50,000
큰 자갈(coarse rock)	128	38-45	50,000 - 25,000

\*\* 유속 = 투수계수(ks) ×바닥경사(s),

Natural Systems for Waste Management and Treatment, McGraw Hill, 1995.

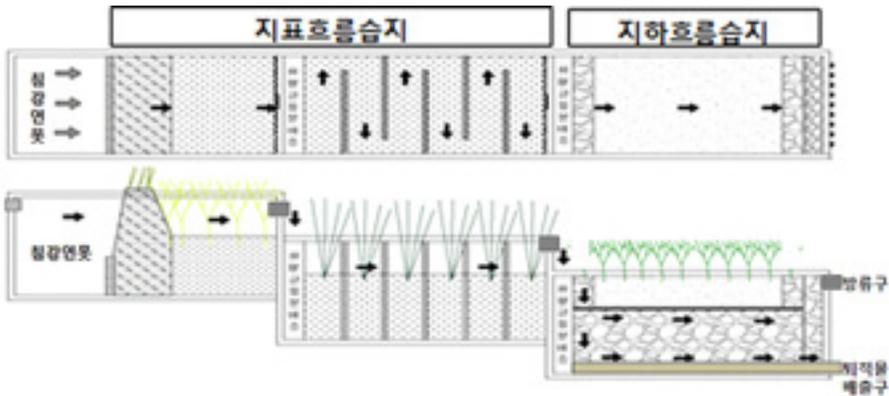


[그림 18] 수평지하흐름형 습지의 설계요소

## 4.2.4 인공습지\_지표-지하 조합형 인공습지

### 개요 및 특성

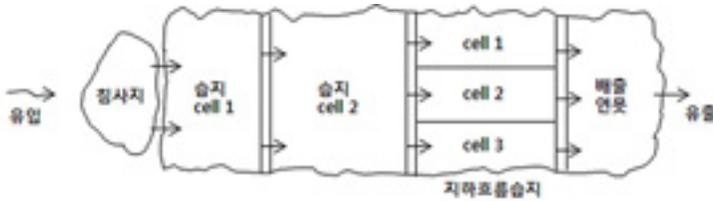
- 정의 : 지표흐름습지와 지하흐름습지를 적절하게 배치하여 습지가 가지는 침전, 흡착 산화, 응집, 분해, 흡수, 여과 등의 복잡한 정화기능을 향상시켜 고효율화 한 습지
- 적용 : 지표흐름습지와 지하흐름습지를 직렬로 배치, 침강연못을 전처리시설로 도입
  - 침강연못은 유량의 균등분배와 유입수 중의 입자상 고형물 1차 제거
  - 지표흐름습지를 통해 식물체에 의한 흡수와 호기성 산화
  - 지하흐름습지를 통해 혐기-호기 탈질화를 유도하도록 설계
- 장단점 : 지표, 지하흐름습지의 장점 강화, 지표, 지하흐름습지의 단점은 최대한 보완
- 정화원리 : 침강연못의 침전, 분해, 지표흐름습지에서 침전, 응집, 산화(질산화)와 미생물에 의한 유기물의 분해, 토양 흡착, 식물 흡수, 지하흐름습지에서 접촉여과에 의한 여과, 흡착과 미생물 막(biofilm)에 의한 산화, 탈질, 분해, 식물 흡수 작용
- 정화효율 : BOD 89%, SS 82%, TN 60%, TP 70% (마산저수지 결과)



[그림 19] 지표-지하 조합형 인공습지의 모식도

[표 43] 지표-지하조합형 인공습지 설계요령 요약

항목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>지표흐름습지 처리수질을 개선, 향상시켜야 하는 사업지구에 적용</li> <li>하천수 및 강우유출수의 직접처리는 제한하는 것이 바람직하다.</li> </ul>
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>주요 설계방법은 지표흐름습지, 지하흐름습지의 설계요령과 동일</li> <li>직렬식 연결보다는 병렬식 또는 분배수로를 이용한 다중유입 방식을 권장</li> </ul>
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>주요 고려사항은 지표흐름습지, 지하흐름습지와 동일</li> <li>터파기 : 터를 파고, 다짐 후 고르기를 하지 않을 경우 차수막 찢어짐</li> <li>라이닝 : 지하수로의 유입, 지하수의 유입 차단 위해 차수능력 필요</li> <li>토양 : 식물성장과 오염물질 흡착, 분해 기능. 양토(Loamy soil)는 뿌리 침투에 매우 적당하면서도 오염물질을 흡착하는 능력도 뛰어나 권장함</li> <li>여재충진 : 여재의 균등도 높여 투수능력 확보 필요. 층 구분 분리막 설치</li> </ul>



[그림 20] 지표흐름습지와 지하흐름습지의 배치예시

### 4.2.5 식생수로



#### 개요 및 특성

- 정의** : 식생을 갖춘 개수로로 집수구역으로부터 발생하는 강우유출수의 양(WQv, water quality volume)을 포착하여 처리/운송하는 수로. 강우유출수에 함유된 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 고유의 특성을 가짐
- 적용** : 습식식생수로, 건식식생수로가 적용가능하며, 식생여과대나 초생수로에 비해 훨씬 높은 수준의 오염물질 처리 능력을 가져 현장 적용성 높음
  - ▶ 식생수로 경사는 매우 완만하게 설계되므로 유출이 느리고 얇게 흘러서 입자상 오염물질의 침전이 일어나고 침식발생 가능성 감소, 흐름방향으로 투수독이나 체크댐을 설치하여 침전이나 침투 도모
- 장단점** : 강우유출수와 비점 동시처리가능, 비교적 저렴하고, 침식방지 효과적이거나, 유지관리 많이 요구되고, 급경사지 적용제한, 위생해충발생, 대수층 오염 등의 단점

### 습식 식생수로 (수로형 습지, wet swale or wetland channel)

- ▶ **특성** : 지하수위 또는 투수성 불량토양까지 굴착하여 조성한 수로로서, 다단형의 작고 수심이 얇은 습지 셀을 이루도록 중간 중간에 체크댐 설치
- ▶ **정화원리** : 수분의 보유와 늪지의 조건을 갖추도록 설계되므로 수로를 따라 습지식생 유지 가능. 수분 보유 위해 낮은 지하수위와 투수성이 불량한 토양이 요구되며, 정화원리는 기본적으로 수로형 습지와 동일함
- ▶ **정화효율** : TSS 75%, TP 25%, TN 40%, 중금속 20%
- ▶ **적용** : 완만한 경사지, 침식이 일어나지 않을 정도의 유속이 유지되게 충분히 큰 통수단면적이 확보 가능한 지구, 집약농업지구(시설원예단지), 축산단지, 논 유출수 등
- ▶ **설계인자** : 집수면적 2ha 미만지역에 도입
  - ▶ 경사 : 1~4% 이내(1~2% 권장), 2% 경사 초과시 에너지 경사를 제한하여 1~2% 경사를 만족하도록 15~30cm 낙차공 설치. 낙차공 직하부에 에너지 소멸장치 구비
  - ▶ 수로 수심 : 최대수심은 수로 끝에서 45cm 이하 유지, 평균수심 30cm 적정
  - ▶ 수로 바닥 폭 : 적절한 여과작용이 일어날 수 있도록 0.6~2.4m 적당
  - ▶ 수로의 크기 : 최대수심 지점에서 45cm 깊이로 WQv를 저장할 수 있어야 함
  - ▶ 폭의 크기를 확장가능하나 수로 내 물결형성 방지를 위해 독이나 벽체를 갖추거나 보강한 단면으로 시공(사다리꼴 단면 또는 보강 단면 설계), 측벽경사 2:1미만 준수
  - ▶ 수로내부 : 체크댐 설치하여 다단 셀 구조, V-notch웨어 설치하여 작은 유량 적용
  - ▶ 전처리/유입구 : 유입구에 견치석, 돌망태 등으로 에너지 소산장치 구비하고, 침사지 조성, 침사지 용량은 불투수 면적 1ha 당 강우유출수 60m<sup>3</sup>을 처리할 수 있는 규모. 수로 선단에 잔자갈 여과대를 설치하고 측벽 경사는 완만하게 조성
  - ▶ 유출구 : 세굴과 침식으로부터 보호될 수 있도록 설계
  - ▶ 식생 : 정수식물을 식재하고 습지식생을 유지 위해 물수지 분석 선행 검토
- ▶ **유지관리** : 수로내 식생관리, 퇴적물 관리, 침식 및 세굴 관리, 지하수 오염방지 관리

### 건식 식생수로 (dry swale)

- ▶ **적용** : 농공단지, 농업용저수지 유입하천과 노면유출수, 문화마을, 관광단지 주차장 및 노면 유출수 처리 등에 적용
- ▶ **정화원리** : 대부분의 시간동안 건조한 상태로 유지되는 식생 갖춘 수로로서, 배수시스템 상부에 여과상(filter bed)을 두고 있어 강우시 WQv 전량이 여과상을 통과하고 수로바닥을 통하여 침투가 일어나는 기작을 가짐
- ▶ **정화효율** : TSS 90%, TP 50%, TN 50%, 중금속 40% (강우시)

## 건식 식생수로 (dry swale) (계속)

- **설계인자** : 집수면적, 수로경사 등은 습식 식생수로와 동일 적용
  - ▶ 구성 : 75cm 깊이 정도의 투수성 토층과 길이방향으로 관경 10cm 크기의 유공 PVC 또는 HDPE 배수관으로 구성
  - ▶ 투수성 토층 : 투수성 미디어의 투수속도는 0.3m/일(최대 0.45m/일)이 적당하며 투수성 여과섬유(permeable filter fabric)는 자갈층과 그 상부의 토층사이에 위치
  - ▶ 전처리 / 유입구 : 습식식생수로와 동일, 호우시 고유량 우회수로 설치
  - ▶ 유출구 : 하부배수관을 통하여 유출된 처리수는 우수배제계통이나 침식을 일으키지 않는 안정적인 낙차공을 통하여 유출시킴
  - ▶ 식생 : 유지관리가 쉬운 땃장잔디가 적당. 자연상태의 잔디가 좋으나 필수조건은 아니며, 유지관리는 안정된 상태에서 수로바닥과 경사면 피복 정도로 수행
  - ▶ 시공 주의사항 : 굴착된 트렌치(도랑)의 바닥토층이 압밀되면 안 되며 자갈, 투수성 토양 넣기 전에 흙을 긁어 뒤집음, 수로 측부 돌출된 나무나 식물의 큰 뿌리는 잘라내고, 측벽에는 공극이 없고 균일한 상태가 되도록 깎아내리는 것이 좋음
- **유지관리** : 습식식생수로와 동일

## 식생수로의 타당성 평가

**[표 44]** 식생수로의 타당성 평가

항 목	적합성 여부
일반 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소규모 주거지역 또는 비주거지역에 적합</li> <li>• 부지요구도가 지나치게 크므로 고밀도 주거지역에는 부적합</li> <li>• 지역단위 강우유출수 관리에는 부적합</li> </ul>
물리적 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 집수구역 : 2ha 미만</li> <li>• 필요부지 : 불투수지역의 10~20%</li> <li>• 수로경사 : 4%를 초과해서는 안 됨</li> <li>• 수두 : 유입구와 유출구 사이의 수두차가 0.3m</li> <li>• 지하수위까지 최소 이격거리 : 투수성이 매우 불량한 토양</li> </ul>

## 4.2.6 침강지(sedimentation basin)



### 개요 및 특성

- ☑ **정의** : 유입수를 6시간 정도 저장시켜 입자성 오염물질을 가라앉히는 일종의 저류지로서, 저류지 유입부 바닥을 깊게 준설하거나 혹은 부뎀을 쌓아 강우시 유입토사의 침강을 촉진하는 시스템
- ☑ **목적** : 강우시 유입되는 토사와 이에 흡착된 인 등 영양염류의 침강을 촉진시켜 저수지 수질오염 방지
- ☑ **적용** : 입자성 오염물질의 유입부하가 높은 경우 또는 유역이 도시화되어 홍수시에 SS부하가 높아지는 경우 적용
- ☑ **침강지 종류** : On-line 침강지(부뎀형, 차수형 침강지), Off-line 침강지 등이 있음
  - ▶ On-line 침강지 : 별도의 부지 확보가 용이하지 않은 하천의 말단, 즉 저수지 호내 유입부에 직접 설치하여 오염물질을 침강에 의하여 제거하고자 할 때 설치하며, 부뎀형과 차수형이 있음. 농업용저수지 수질개선사업에 활용
  - ▶ Off-line 침강지 : 별도의 부지 확보가 용이할 경우 하천의 수로를 변경하여 설치하며, 침전효율 향상 및 응집과 침전 같은 보조 대책, 그리고 준설 등의 유지관리에 유리한 침강지로 수질개선 이외에 생태서식공간, 친수공간, 자연학습장 등 다양한 친수공간으로의 활용이 가능함. 대규모 담수호 유입하천, 대하천 본류의 수질개선에 활용
- ☑ **정화원리** : 유입하천에서 이송된 토사와 각종 오염물질은 저수지내에서 유속 감소로 저수지 바닥에 점차 침강, 퇴적됨.
  - ▶ 입자성 오염물질의 침강에 따른 일차적인 물리적 처리와 침강지내에서 생물, 화학적 작용에 의한 분해, 불용화 등 수질정화 기작 발생
- ☑ **정화효율** : 입자성 물질량, 체류시간, 침전물 제거빈도에 의존
  - ▶ (강우시) COD 10~50%, TN 15~45%, TP 20~45%, SS 20~60%
  - ▶ (평 시) COD 0~10%, TN 10~30%, TP 20~30%, SS 10~50%
- ☑ **설계방향** : 수처리효율 대비 침강지의 적정 규모 결정과 현지 여건에 맞는 침강지 형식(준설, 차수막, 보조뎀형)의 결정



## 사석 부댐형 침강지 설계요령

- 📍 구성요소 : 사석부댐, 배출수문, 우회배출수로, 호안보강석축, 협잡물 제거 통 스크린
  - ▶ 필요에 따라 경관 및 영양소 흡수 제거 목적의 식물섬과 물순환 장치 등 추가 가능
- 📍 침강지 면적(규모) 산정 : 저수지 만수위 수면적의 5~10% 범위에서 결정
- 📍 퇴적량 측정 : 원지반에 퇴적물 쿠펜 5곳 이상, 퇴적깊이 추정 기준자 3곳 이상 설치
- 📍 내용적 산정 : 침강기준 시간 6시간 이상, 유출량은 일 30 mm 초과 유출량 기준
  - ▶ 홍수시에도 어느 정도의 침강시간을 확보할 수 있는 규모로 침강지와 부댐 계획
- 📍 부댐의 설치 : 제정보다 0.5~1.0m 아래에 차수벽을 두어 저수지 본체와 분리
  - ▶ 부댐 설치위치의 수심이 낮은 경우 부댐 없이 바닥을 굴착하여 침강지 조성 가능
- 📍 부댐의 높이 : 연간 수위변동 등 고려하여 만수위보다 0.5~1.0m정도 낮게 계획
- 📍 호안의 조성 : 침식, 붕괴에 안전해야 하며, 사석쌓기를 권장함. 4.5 절 참조



[그림 21] 침강지 부댐의 구성요소



## 제4장

### 사석 부댐형 침강지의 기능개선 방안

- **조류증식 억제방안** : 침강지내 오염물질 농축으로 평시(고수위시) 조류 문제 발생
  - ▶ 유입부 식물 식재 : 침강지 만수위에서 침강지 수심 약 30cm 이하로 유지되는 유입부에 정수식물(갈대, 줄, 부들 등)을 식재하여 햇빛 차단, 영양염류 흡수하는 방법
  - ▶ 식물섬 설치 : 침강지 중앙에 정수식물이 식재된 식물섬을 띄워 동일한 조류증식 억제 효과 기대, 저수위시 식물섬 뿌리 활착방지 필요
  - ▶ 천적생물 배양장치 운영 : 침강지내에서 집중 발생하는 조류를 억제하기 위해 조류를 포식하는 천적생물 배양장치를 도입 운영
- **침강지-습지의 연계운영** : 저수지 유입하천 유량이 작은 갈수기 때 침강지에는 조류발생이 인공습지에는 유입수 부족으로 기능상실의 문제가 대두되므로 이 시기 침강지의 물을 습지로 순환하여 침강지 수질개선과 습지의 기능유지의 효과 달성 가능
- **사석 부댐의 생태단절해소 방안** : 사석부댐의 설치로 어류 등 수생동물의 이동이 차단되어 생태단절의 문제 제기 빈발. 침강지내 어도 수문을 설치하여 이동통로 확보
  - ▶ 기존 배출수문에 인접하여 식물섬과 연계한 어도수문을 설치하여 중층의 비교적 깨끗한 물과 함께 수생동물이 이동가능 하도록 함

**[표 45] 사석 부댐형 침강지의 설계 요령 요약**

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토사 등 입자성 오염물질의 유입부하가 높은 저수지 유입 하천수 처리</li> <li>• 저수지 유역의 토지이용에서 논 보다 밭이 차지하는 비율이 높은 지역</li> <li>• 평지형 보다는 계곡형 저수지에 적합</li> </ul>
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유역면적비 규모산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 침강지 수표면적은 저수지 만수위 수면적의 5~10% 범위에서 결정</li> </ul> </li> <li>• 유출량에 따른 규모산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 침강기준시간은 6시간 이상으로 계획하고 유출량은 년 평균 유출량을 기준으로 하되, 홍수시에도 어느 정도의 침강시간을 확보할 수 있는 규모로 계획</li> </ul> </li> <li>• 부댐의 규모 및 형식                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 부댐의 높이는 침강지의 홍수와 연간 수위변동 등을 고려</li> </ul> </li> <li>• 수심                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 성층화현상을 방지하기 위해 5~6m 이하가 적정</li> <li>- 평균수심이 4~5m 정도가 되도록 계획</li> </ul> </li> <li>• 체류시간                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 6시간 정도만 되어도 높은 정화효과 기대 가능</li> <li>- 12시간 정도로 증가시키는 것이 수질정화 및 홍수조절에 유리</li> </ul> </li> <li>• 침강지와 습지의 연계운영을 위한 양수시설의 설치</li> <li>• 침강지 유입부에는 협잡물 제거를 위한 통 스크린을 설치</li> <li>• 침강지 유입부에 대한 조류증식 억제대책이 필요하다.</li> <li>• 침강지 유입부에서 조류억제를 위한 대책으로 침강지 만수위 조건에서 침강지 수심이 약 30cm 이하로 유지되는 유입구역에 정수성 식물을 식재</li> <li>• 저수지 수체와 침강지 사이에 어류의 이동이 가능하도록 어도의 설치</li> </ul>

**[표 45] 사석 부댐형 침강지의 설계 요령 요약 (계속)**

항 목	설 계 요 령
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저수지 유입하천 처리를 위해서 부지확보가 가능한 경우에는 On-line보다 Off-line으로 설치하는 것이 바람직함</li> <li>• On-line으로 설치할 경우에는 침강지 수심확보가 가능한 저수지 유입부에 시공함</li> <li>• 처리대상 유량 및 수질을 결정하기 위해서는 강우시 수질-유량 조사자료에 대한 검토가 필요</li> <li>• 침두홍수 제어를 병행하면 치수효과도 기대가 가능</li> <li>• 용존성 COD, TN, TP 및 SS 농도, 함수비, 유입하천의 10년 정도의 유황, 지형특성 및 지반특성 등의 파악이 필요</li> <li>• 침강지 내의 사수역방지 등 수류의 흐름을 개선하기 위한 중도나 정류벽의 설치 권장</li> <li>• 침강속도식 채택 : 유사 특성(비점착성, 점착성)을 구분하여 침전물질의 침강속도를 산출하고, 침강지의 효율을 평가</li> </ul>

**차수막형 침강지 설계요령**

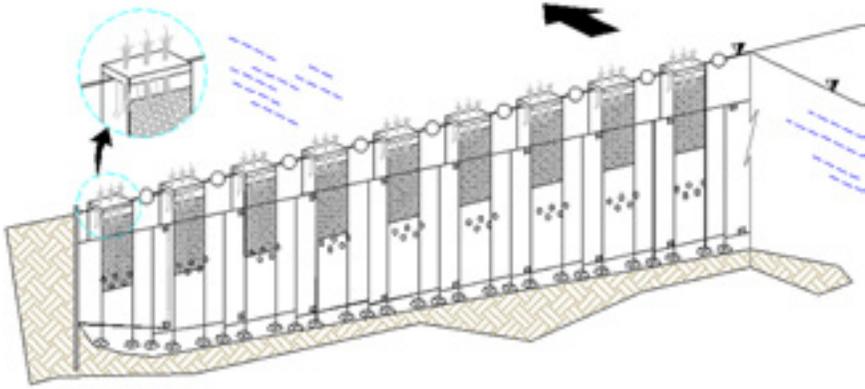
- 특징** : 침강지, 인공식물섬, 차수막, 생물메디아로 구성되어 있으며, 기존의 사석 부댐 대신 타포린 소재의 차수막을 이용한 간편 부댐형식으로 인공구조물이 들어가지 않아 비용이 저렴하고 설치, 관리가 간편하며, 어류 등 생물이동이 자유로운 장점
- 정화원리** : 입사성 침강가능 유기물질의 일부를 제거하고 침강장치를 통과하면서 생물메디아로부터 생산된 미생물의 다양성을 이용한 수질개선효과와 인공식물섬 하부로 성장한 식물 뿌리로부터 영양염류가 흡수 제거
- 정화효율** : SS 55%, TN 60%, TP 55%
- 설계인자** : 설치수심(3~7m), 길이(200m 이내 권장, 초과시 중간 고정장치 도입), 재질(내구성 좋은 재질, 타포린 등 자외선 차단, 방염, 내항균 처리된 폴리에틸렌 소재 권장), 계류장치의 계류력(풍압력, 조류력, 표류력 등 실정고려하여 조합) 등

**[표 46] 차수막형 침강지의 설계 요령 요약**

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저수지, 하천의 유입부나 오염물질을 집중적으로 처리해야 하는곳</li> </ul>
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 침강지 실용화시스템의 주요 설계인자는 설치수심, 길이, 재질, 계류장치의 계류력 등이 있다.</li> <li>• 개량형 침강지는 2~5m 수심을 가지는 위치에 적용</li> <li>• 전체 길이 200m를 초과하지 않도록</li> <li>• 수지상의 구조를 가지는 농업용 저수지의 유입부에 설치하도록 권장</li> <li>• 개량형 침강지는 상시 물에 잠겨 있는 상태이기 때문에 차수막, 인공식물섬, 생물메디아 등을 선택할 시 내구성이 좋은 재질을 선택</li> <li>• 설계치로는 풍압력의 하중계수를 1.3, 조류력 1.0, 표류력 0.7로하고 최대 풍속을 사용해서 계산하였으며 계산된 계류력은 200 kgf</li> </ul>

[표 46] 차수막형 침강지의 설계 요령 요약 (계속)

항 목	설 계 요 령
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실용화시스템은 2~5m 수심을 가지는 위치에 적용</li> <li>• 안전성과 유지관리를 위해 전체 길이 200m를 초과하지 않도록</li> <li>• 나일론 또는 코코넛 섬유 재질로 구성되는 것이 바람직</li> </ul>



[그림 22] 차수막형 침강지 모식도



[그림 23] 차수막형 침강지 적용사례

## 4.2.7 미세조류 수처리 공법



### 개요 및 특성

- **정의** : 농업용저수지에서 발생하는 유해 조류 대신 유용한 조류를 이용하여, 저수지로 유입되는 오염물질(영양염류)을 사전에 유용 미세조류와 접촉시켜 흡수, 제거하고 성장한 유용조류를 수거, 자원화하는 기술
- **목적** : 오염된 하천수의 호소 유입에 따른 유해 조류 발생을 사전에 예방하기 위해 오염 하천수에 포함된 인, 질소 등 영양염류를 유용조류로 사전에 처리하기 위함
- **적용** : 축산폐수, 농경배수, 하수처리 방류수 등 고농도 영양염류가 포함된 하천수
- **정화원리** : 하천으로 유입되는 고농도 인, 질소 등 영양염류(녹조 유발 인자)를 수로형의 연속흐름식 조류 배양시스템에서 유용조류의 고밀도 배양으로 흡수, 제거하며, 배양된 조류를 수거한 다음 영양염류가 제거된 청정수만 방류되는 원리임
- **정화효율** : COD 60~70%, TOC 50~65%, SS 80~100%, TN 70~90%, TP 80~100%
  - ▶ 유입수범위 : COD 10~40 mg/L, TOC 8~20 mg/L, SS 5~40 mg/L, TN 5~30 mg/L, TP 0.5~3.0 mg/L
  - ▶ 유출수범위 : COD 5~8 mg/L, TOC 4~6 mg/L, SS 0~1 mg/L, TN 0.6~4.0 mg/L, TP ND~0.1 mg/L
- **장단점** : 인공습지대비 높은 영양염류 처리효율을 보이며, 수거조류의 자원적 활용이 가능하고, 동절기에도 적용가능한 반면, 부지요구도, 초기 설비 요구도가 높으며, 운영관리 기술 습득이 필요함
- **설계 방향** : 유량 및 수질변동이 심하지 않은 소규모 하천, 하폐수 방류수 처리 등에 도입하며, 컴팩트하고 자동화 가능한 설비로 설계. 후단에 천적생물 배양장치 추가 적용할 수 있음



### 설계요령

- **시설구성** : 양수⇒전처리⇒미세조류배양⇒농축⇒수거건조⇒방류수안정화⇒방류
- **전처리시스템** : 하천수에 포함된 무기 입자 침전, 유기영양염의 무기화촉진, 생물 제거, 미생물 활성화 [침전, 여과, 혐기호기 분해]
  - ▶ 구성 : ①유량조정 및 1차 침전조 → ②여과조 → ③폭기조 → ④2차 침전조
    - ① 수심 2m, 체류시간 1시간, 물탱크형태, 유입밸브, 유출밸브, 유지관리용 바닥드레인
    - ② 수심 1.5m(상부 왕사 Ø3~5mm 0.5m, 하부 자갈 Ø50 mm, 1m), 체류시간 2시간, 유입밸브, 유출밸브(저층 여과수 유출), 표층 바이패스관(잉여수 배제), 관리용 바닥드레인
    - ③ 수심 1.5m, 체류시간 1시간, 순산소 공급(산기관), 유입·유출밸브, 관리용 바닥드레인
    - ④ 수심 2m, 체류시간 1시간, 물탱크형태, 유입밸브, 유출밸브, 유지관리용 바닥드레인

**설계요령 (계속)**

- 미세조류 배양시스템 : 유용 미세조류, 무기 영양염, 빛, 수차 교반, 체류시간, 수심
  - ▶ 다단계 연속흐름 배양 : 순환형 단위 장치(50m×4m)의 연결형태, 반송, 재순환 가능
  - ▶ 적용조류 : *Senedesmus acuminatus*, *S. quadricauda*, *S. ecornis*, *Padistrum duplex*
  - ▶ 농업용저수지 유입부에 적용시 저수지 서식조류 이용가능. (중주공급 : 농어촌연구원)
  - ▶ 체류시간 : 6~12시간 (동절기 : 12~24시간), 동절기 운영 필요시 하우스 설비 포함
  - ▶ 배양수심 : 0.5m (배양초기 0.1m ~0.3m 수준에서 1차 배양 후 수위 상승)
  - ▶ 수차 : 평균유속 0.03 m/s, 50m 수로의 수차속도 40~60 rpm
- 조류 농축시스템 : 침지형 평막을 이용한 변형 농축 공정 (100톤/일 규모시)
  - ▶ 이송펌프 : 100L/min x 4mH x 0.2kW
  - ▶ 농축조 : 200W x 600 Lx 1400H
  - ▶ 체류시간 : 6~12시간 (동절기 : 12~24시간)
  - ▶ 분리막 : PES, 0.15 μm, 490 X 1,000 x 6T
  - ▶ 흡입펌프 : 자흡식 , 20L/min x 15mH x 300W
- 조류 수거 및 건조 시스템 : 자연침강 ⇒ 탈수 ⇒ 건조 (5톤/일) ※제어반 필요
- 방류수 안정화 시스템 : 일시적으로 조류 수거를 낮거나, 배양문제 발생시 안전한 수질 확보 필요, 소규모 지하흐름습지 또는 천적생물 배양장치 적용 (해당편 참조)

**[표 47] 미세조류 수처리시설 설계인자**

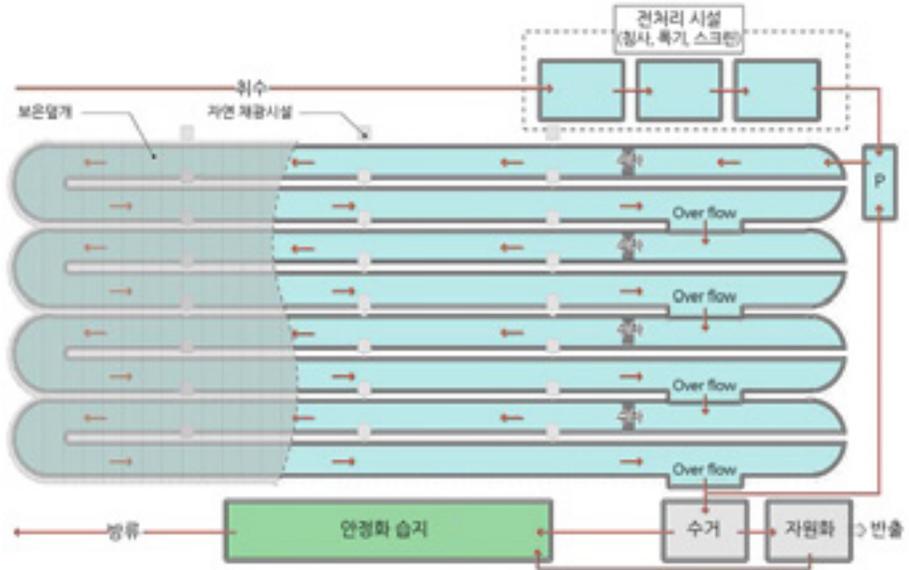
항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인, 질소 등 영양염류 오염물질의 부하가 높은 저수지 유입 하천수 처리</li> <li>• 마을하수도, 하수처리장, 축산분뇨처리장 방류수의 추가처리</li> <li>• 점오염원이 유역에 분산되어 미처리 상태로 유입되는 소규모 오염하천</li> </ul>
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배양조                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 중간중간 수문을 설치하여 수위가 유지될 수 있도록 해야 함.</li> <li>- 대상지역 토양을 굴취하여 평탄화 과정을 거친 후 방수시트로 마무리하여 누수 방지</li> <li>- 수로 깊이 0.5m, 여유고 0.3m</li> <li>- 원활한 배수를 위해 배수구 쪽으로 약간의 경사 형성</li> <li>- 수차의 폭을 고려하여 배양조의 너비(통상 2m)를 결정</li> <li>- 동절기 운영이 필요한 경우 전동개폐 하우스 설비 추가해야함</li> <li>- 농축조의 조류를 반송하기 위한 반송 설비 필요</li> </ul> </li> <li>• 농축설비                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 침지형 평막을 이용한 변형 농축 공정으로 농축조류의 80% 반송, 20%조류는 수거설비로 이송</li> <li>- 농축조의 처리수는 방류수안정화 설비로 이송하여 추가처리 후 최종 방류</li> </ul> </li> </ul>

**[표 47] 미세조류 수처리시설 설계인자 (계속)**

항 목	설 계 요 령
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수거 및 건조설비                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1차 자연침강 : 농축조에서 이송 조류의 자연침강, 체류시간 2시간</li> <li>- 침강 상등수는 농축조로 다시 이송</li> <li>- 최종침강된 조류는 컨베이어 벨트로 이송. 여분의 물을 자연적으로 분리하도록 벨트를 물이 빠지는 형태로 하부에 물받이의 여액은 다시 농축조로 이송</li> <li>- 물이 제거된 이송조류는 열풍건조와 분쇄기로 신속히 건조하여 함수율이 20% 이내가 되도록 함</li> <li>- 분말조류는 포장후 냉장보관 또는 자원화 업체 공급, 여건에 맞게 적정 활용</li> </ul> </li> <li>• 방류수 안정화 설비 및 최종방류                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일시적으로 조류 수거를 낮거나, 배양문제 발생시 안전한 수질 확보 필요, 소규모 지하흐름습지 또는 천적생물 배양장치 적용 (해당편 참조)</li> </ul> </li> </ul>
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유입하천 처리시 부지확보가 가능한 경우에는 Off-line으로 설치하고, 부지확보가 어려운 경우 저수지 수면 활용 가능 (부유형 장치 도입 가능)</li> <li>• 오염도가 심하고 유입유량의 변동이 크지 않으며, 생물독성 물질의 유입이 적은 지역에 적용해야 함</li> </ul>



**[그림 24] 미세조류 수처리 시설 현장가동 전경**



[그림 25] 미세조류를 이용한 수처리 시설 평면도



[그림 26] 배양시설 현장 사진

## 4.2.8 바이오스톤볼 접촉산화시설



### 개요 및 특성

- **정의** : 수처리용 접촉 담체인 바이오스톤볼 내외부 표면에 부착 성장하는 호기성, 임의성, 혐기성 미생물에 의한 유기물과 영양염류의 산화 및 분해(생물학적 처리)와 바이오스톤볼에 의한 여과 기능(물리적 처리) 등을 이용한 수질 개선 공법
  - ▶ 바이오스톤볼 : 크기 2~3cm의 쇠석(자갈)을 직경 10cm 크기의 구형으로 성형 후, 천연 셀룰로오스, 백토, 물, 복합유용미생물 등의 코팅재로 제조한 수처리용 담체
- **목적** : 저수지로 유입되는 유입수 및 오염된 농업용 저수지의 수질정화 및 수질개선
- **적용** : 유입수 처리, 호내 정체수 순환 처리, 관개용수 도수 및 양수전처리 등 적용
- **정화원리** : 접촉 담체인 바이오스톤볼의 표면에 생물막을 부착 및 형성시키는 고정 생물막법의 일종으로 유속 변화에 따른 물리적 침강과 생물학적 분해가 주요 기작임
- **정화효율** : (평균) BOD 68.9%, COD 44.4%, TOC 18.9% SS 85.5%, 클로로필-a 81.9%, T-N 23.2%, T-P 51.8%
  - ▶ 유입수범위 : COD 7~48 mg/L, TOC 5~20 mg/L, SS 20~120 mg/L, TN 1~10 mg/L, TP 0.1~1.0 mg/L
  - ▶ 유출수범위 : COD 3~11 mg/L, TOC 3~15 mg/L, SS 1~28 mg/L, TN 1.3~6.0 mg/L, TP 0.05~0.5 mg/L
- **장단점** : 접촉 담체가 친환경적이고 반영구적으로 사용 가능하고, 유체 흐름을 방해하는 폐색현상이 거의 없으며, 단독 또는 습지나 수로의 여재로 다양하게 적용가능. 토사 유입 방지를 위한 전처리시설(침사지, 침강지 등)이 필요하고, 대량 처리 곤란
- **설계 방향** : 구조물형 또는 습지의 단독시설로 적용하거나, 조합형 인공습지와 연계하여 습지간 연결접촉수로 또는 지하흐름습지로 활용, 토목구조물 최소화 설계

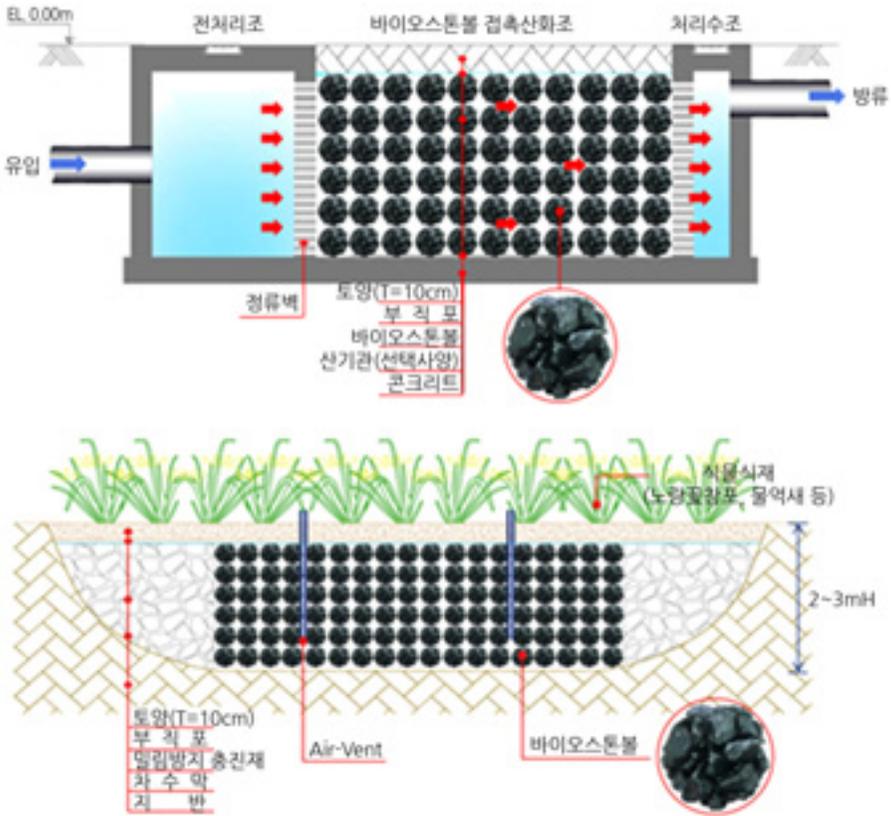


### 설계요령

- **방법** : 유기물의 흡착, 산화, 분해 등의 과정이 원활히 일어날 수 있도록 최소한의 유하거리(5m 이상) 및 체류시간(1.3hr 이상)이 확보되도록 설계
- **주요설계 인자** : 수체류시간, 접촉산화조의 규모, 바이오스톤볼의 충전수량, 바이오스톤볼의 공극률과 압축강도 등
  - ▶ 체류시간 : BOD 기준으로, 10 mg/L 이하 일때는 1.3 시간, 10~20 mg/L일 경우는 1.5시간, 20mg/L 이상일 경우는 적정 체류시간을 별도로 검토하여 적용
  - ▶ 유효용적(m<sup>3</sup>) = 접촉산화조 전체 용적(m<sup>3</sup>) - 바이오스톤볼이 차지하는 용적(m<sup>3</sup>)
  - ▶ 바이오스톤볼의 공극률 : 약 60~70 % 정도
  - ▶ 바이오스톤볼 충전수량 =  $\frac{\text{접촉산화조 용적} \times \text{조내 바이오스톤볼 공극률}}{\text{바이오스톤볼 용적} \times 100}$

설계요령 (계속)

- ▶ 유하거리 최소 5m 이상, 유효수심은 유량, 부지특성 및 현장여건에 따라 1~4m 이내
- 📍 정류벽 및 정류공 : 유입 및 유출부는 층류흐름 형성을 위한 정류벽 설치, 정류벽 정류공의 직경과 개수는 바이오스톤볼의 직경 및 수량을 고려하여 결정
- 📍 폭기 : BOD 기준 20mg/L 이상의 농업용 저수지 유입수에는 전단 폭기방식 운전
- 📍 역세척 배관 : 폭 1~2m 간격, 공기 또는 세척수 토출공은 0.5~1m 간격으로 배치
- 📍 운영관리 반영사항 : 침전 협잡물의 부착상태, 토사 퇴적량, 슬러지, 폐색 등 점검구 반영 및 관리가능 구조, 산기관, 펌프 등의 이물질 여부 수시 확인 가능 구조 설계



[그림 27] 바이오스톤볼 접촉산화시설의 적용 유형

## 4.2.9 사상성 조류매트 산화지 공법



### 개요 및 특성

- 정의** : 오·폐수내의 유기물질 제거뿐만 아니라 영양염류, 병원성 미생물의 제거에 탁월한 효과를 가지고 있는 산화지를 기본 처리시설로 하고, 전처리시설인 유량조정조와 후처리 시설인 유출제어조를 결합한 고도 통합 산화지 시스템
- 목적** : 유기물의 농도는 낮으나 질소와 인과 같은 영양염류가 높아 고도처리가 요구되는 농촌지역의 소하천과 저수지 유입하천에 효과적인 수질정화방법
- 적용** : 영양염류 농도가 높은 소하천, 마을오수처리에 적용
- 정화원리** : 수체의 용존성 영양염류를 조류의 성장에 따른 생체량으로 전환하여 증식된 조류를 회수하는 자연정화능력 이용
- 정화효율** : COD 74%, SS 80%, TN 76%, TP 84%
- 장단점** : 건설 및 운전비용이 저렴하고 처리효율이 양호한 반면, 수리학적 체류시간이 적절하지 않을 경우, 조류의 유출로 질소, 인의 농도를 증가시킬 수 있음
- 설계방향** : 생산된 부유조류입자의 제거를 반드시 고려하여 설계해야 함

**[표 48] 사상성 조류매트 산화지공법의 설계요령 요약**

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영양염류 농도가 높은 소하천, 마을오수처리시설로 적합</li> <li>• 시설설치 부지 확보가 용이하고 자연 유하식으로 취수가 가능한 곳에 적합</li> </ul>
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 처리시스템은 유량조정조, 산화지, 유출제어조의 다단식 연속 산화지로 구성되며 주요 설계제원은 수심과 체류시간임</li> <li>• 유량조정조 및 유출제어조               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 형상 : 장방형 (L:W=1:6)</li> <li>- 수심 : 호기성 상태를 유지할 수 있도록 0.4~0.8 m 이내</li> </ul> </li> <li>• 사상성 조류매트 산화지               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 형상 : 직렬 (수로형태 배열)</li> <li>- 수심 : 산화지 바닥까지 태양광이 투과할 수 있도록 하며 최소 20~40 cm 유지</li> </ul> </li> </ul>
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유기물질 과부하에 따른 악취발생 등의 문제가 있음</li> <li>• 겨울철 저수온기에 효율이 저하되므로 10℃ 이상의 온도로 유지해야함</li> <li>• 처리기준에 적합한 유출수를 얻기 위해서는 설계시 합성된 부유조류입자의 제거를 반드시 고려하여야 함.</li> </ul>

## 4.3 호내대책

### 4.3.1 포식성 천적생물 적용기술

#### 개요 및 특성

- 정의 : 하천 및 호소 내 자연 상태에서 녹조의 원인 생물인 식물플랑크톤과 끊임없이 경쟁하며 식물플랑크톤을 포식하는 동물플랑크톤(천적생물)을 현장에서 분리하여 포식자의 개체수를 선택적으로 증가시키고, 녹조 원인생물을 포식하여 억제함으로써 생태계 내 평형관계를 유지하는 기술
- 목적 : 농업용저수지 호내에 발생한 조류대발생(녹조)의 초기억제 및 제거
- 적용 : 녹조 발생이 문제가 되는 저수지 호내 또는 수변에 적용하여 녹조발생 제어
- 정화원리 : 녹조를 포식하는 동물플랑크톤을 인위적으로 배양, 방류하여 녹조 제거
- 정화효율 : 녹조 포식에 따른 Chl-a, COD, TP 저감
  - ▶ Chl-a 50~80 %, COD 30~70%, TP 30~80%
- 장단점 : 생태적으로 건강하고, 지속성이 높지만, 환경에 따라 안정적 처리까지 시간소요
- 설계방향 : 호내보다 호내와 인접한 육상에 설치하고, 단위규모 20톤 이상 설계

#### 설계요령

- 방법 : 천적생물 배양장치는 동물플랑크톤 등 미소생물들을 활용한 기술이기 때문에 체류 시간, F/M비 등의 공학적 설계인자와 각 공정에 맞는 펌프유량, 원수 분리조 유입유량, 배양조 체류시간, 천적생물 배양조 유입유량 등의 수공학적 설계인자를 고려하여 설계
- 적용 : 인의 농도가 높지 않으면서 녹조가 발생하는 저수지, 동물플랑크톤 비율 낮아 녹조 발생에 취약한 저수지의 녹조제어에 적용
- 구조 : 원수유입(양수)→선택분리(원수 분리조)→먹이생물배양→천적생물배양→살포
- 적용규모 : 100만톤 저수지의 경우 100톤 규모의 장치 적용시 전 수역 제어가능
  - ▶ Chl-a농도 저감을 위한 현장 최대 개체군 밀도를 한계수용 개체군 밀도(K)로 하는 별도 개체군으로 로지스틱형 성장식 적용, 천적생물 개체군 밀도로 산정
  - ▶ 산정식 :  $dN/dt = rN(K-N)/K$   
(N : 개체군 성장율, t : 시간, r : 개체군 증가율, K : 개체군 밀도)
  - ▶ 규모의 기준은 천적생물 배양조의 규모를 대상으로 함 (단위규모 20톤, 병렬 설계)

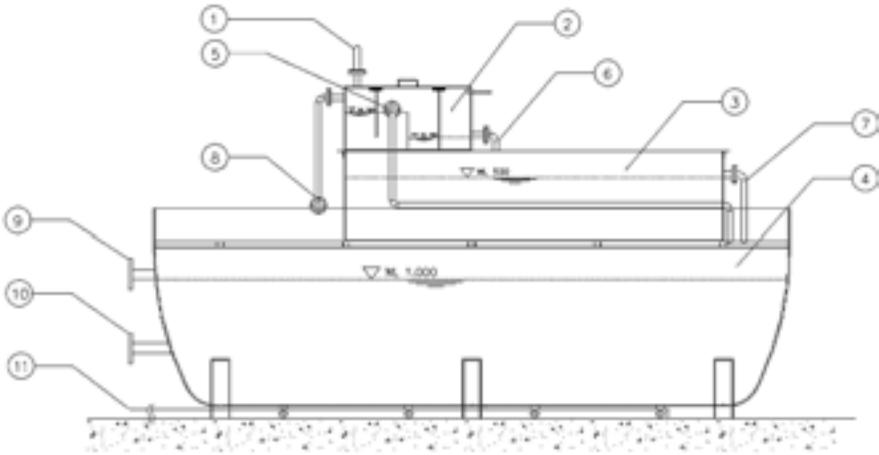


### 설계요령 (계속)

- 천적생물 또한 계절 및 현장에 맞는 종주를 배양하기 때문에 천적생물 종주에 특성에 따른 배양장치를 설계해야 하며, 하천 및 호안에 안정적으로 정착하기 위해서는 3m이상의 수심 또는 은신처를 제공
- 육식어류의 투입으로 2차 소비자를 유지시켜 토착 포식 어류의 보호 및 살포한 동물플랑크톤의 개체 조절 등 최상위포식자 역할을 유지
- 자연수역 내 분포하는 자연 천적생물의 분리기술과 수중 어류, 수서곤충 등 배제하며, 현장 상황에 맞는 천적 생물 배양 장치 적용기술 및 선택적 살포 하여 녹조제어에 효과적인 종주 확보 및 천적생물의 안정적으로 배양

[표 49] 천적생물 배양장치의 설계요소 및 설계인자

구 분	설 계 요 소	설 계 인 자
원수 분리조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원수펌프 1식/1조 : 350w, 11m, 200 l/min</li> <li>• 분리막 1식/1조 : 500 μm STS 메시망</li> <li>• 원수의 조류 농도가 낮아 천적생물의 배양이 원활하지 않을 때만 식물 플랑크톤 배양조로 원수 이송</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규격(용량) 1.0 mW×1.0 mL×0.7 mH (0.5 m<sup>3</sup>, 유효수심 0.5 m)</li> <li>• 체류시간 : 10 min 이상</li> <li>• 유입유량 : 36.97 l/min</li> </ul>
식물 플랑크톤 배양조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교반펌프 1식/1조 : 200 w, 9 m, 150 l/min</li> <li>• 일시적 가동 : 원수의 조류 농도가 낮아 천적생물의 배양이 원활하지 않을시 가동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규격(용량) 2.5 mW×4.5 mL×0.7 mH (6.75m<sup>3</sup>, 유효수심 0.6m)</li> <li>• 체류시간 : 2.5 day</li> <li>• 유입유량 : 1.87 l/min</li> </ul>
천적생물 배양조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 브로와 1식/1조 : 60 l/min, 천적생물의 생존에 필요한 산소를 천적생물 배양조에 주입하기 위하여 설치</li> <li>• 산기장치 4식/1조 : 고압스틱형, 효율적인 산소전달과 수체의 교반을 목적으로 설치</li> <li>• 방충망 5식/1조 : 배양조 상부에 2 mW × 1 mL로 제작된 방충망을 설치(가장 전면부는 0.5 mW × 0.4 mL 2식 따로 설치)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규격(용량) [3.0 mW×1.2 mH+(3 mW×0.7 mH)/2] × 5.4 mL (20.65m<sup>3</sup>, 유효수심 1.6 m)</li> <li>• 체류시간 : 4.0 day</li> <li>• 유입유량 : 3.59 l/min</li> </ul>



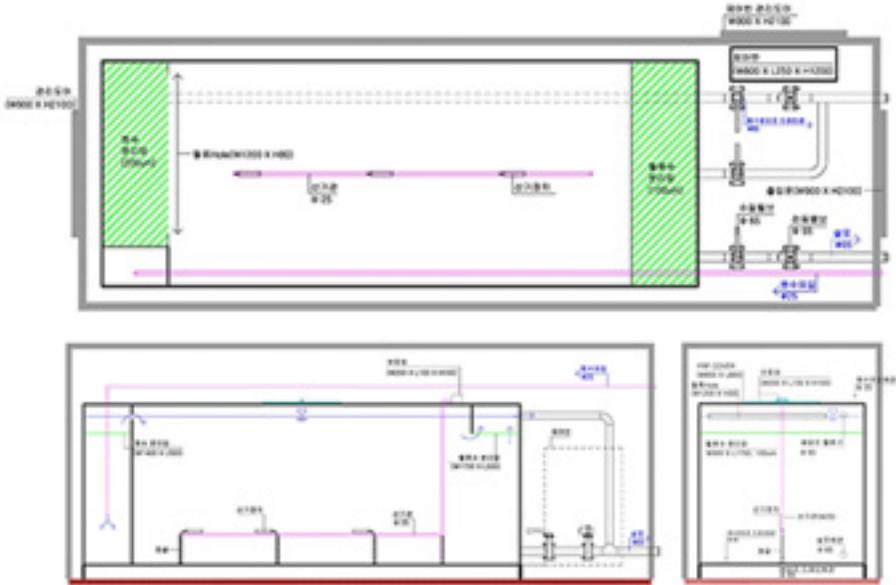
[그림 28] 천적생물 배양장치 도면예시

[표 50] 각 부분 명칭

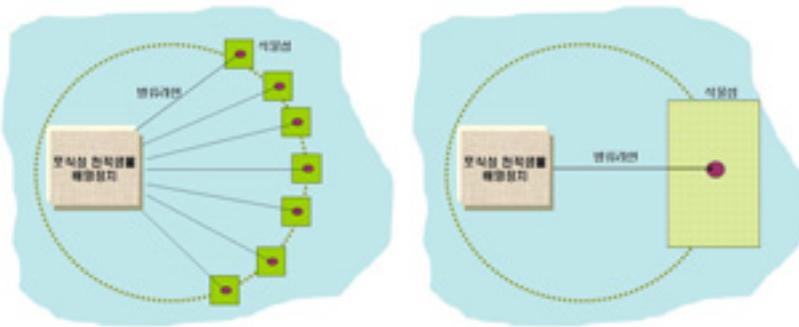
No.	명 칭	No.	명 칭
①	유입관	②	원수분리조
③	식물플랑크톤 배양조	④	천적생물 배양조
⑤	동물배양조 이송관	⑥	식물배양조 이송관
⑦	이송관(식물→동물)	⑧	월류관
⑨	유출관	⑩	대량살포 방류관
⑪	DRAIN		

[표 51] 천적생물 활용도가 높은 자연수역 분포 종

지각류	<i>Moina spp.</i> <i>Sida crystallina</i> <i>Daphnia ambigua</i>	<i>Simocephalus spp.</i> <i>Daphnia similoides</i> <i>Daphnia galeata</i>
요각류	<i>Calanoid copepoda</i>	<i>Eodiaptomus spp.</i>



[그림 29] 이동성이 높은 컨테이너형 배양장치



[그림 30] 점살포와 면살포 방식

### 천적생물 적용기술



생태계내 가장 강력한 식물플랑크톤 포식자 "*Daphnia*" (물벼룩)

천적생물 배양장지 (실규모, 100톤규모)

### 육식어류 도입방안



부입(13.06.27) 9cm

157일 20cm

300일 30cm

생물자원량 분석 후 매기모니터

### 천적생물 배양장지 운영 및 녹조제어 전략

#### 녹조발생전 (사전예방)

- 자연분포 천적생물 도입
- 녹조 포식력 증가로 초기억제
- 배양장지 가동만으로 달성 (구입할 가동 시작(주 1회 일보))

#### 녹조발생 (조기진화)

- 천적생물 증주 도입 (다양화)
- 녹조 포식력 증가로 초기진화
- 정문적인 증주관리 필요
- 4월 부터 적용(주 1회 일보)

#### 자연분포 천적생물



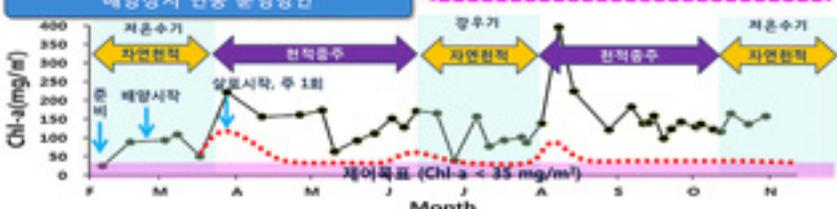
*Daphnia galatun*, *Moina*, *Simocyclops*

#### 천적생물 증주 (물벼룩)



*Daphnia similoides*, *Daphnia pulex*, *Daphnia galatun*

#### 배양장지 연중 운영방안



Chl-a(mg/l) vs Month (F, M, A, M, J, J, A, S, O, N)

계절: 겨울(겨울), 봄(봄), 여름(여름), 가을(가을), 겨울(겨울)

작업형태: 자연친화, 천적증주, 자연친화, 천적증주, 자연친화

상호시작, 주 1회

제어폭표 (Chl-a < 35 mg/ml)

#### 연대적 녹조관리 방안



예방 단계: 녹조 발생 전, 사전 예방 (자연분포 천적생물 도입, 배양장지 가동)

진화 단계: 녹조 발생 후, 초기 진화 (천적생물 증주 도입, 관리)

제어 단계: 녹조 발생 후, 제어 (천적생물 증주 도입, 관리)

회복 단계: 녹조 발생 후, 회복 (자연친화, 천적생물 증주 도입, 관리)

모니터링: 녹조 발생 전, 모니터링 (수질, 생물 자원량)

#### 실용화 모델



환경신기술 제 446호 (환경부, 2014)

관련 특허 등록 4건, 실용신안 1건

[그림 31] 천적생물 적용기술 도입 및 활용방안

## 4.3.2 퇴적물 준설



### 개요 및 특성

- 정의 : 퇴적물의 유입 및 축적에 따른 저수지 용량의 감소에 따라 원래의 이용목적에 지장을 초래할 경우 회복시킬 수 있는 방법
- 목적 : 호소내 장기간 퇴적된 퇴적물로부터 오염물질의 용출 및 재부유 방지
- 적용 : 저수지 이용목적, 준설토의 적치장소 및 예산확보가 가능한 경우
- 정화원리 : 유기물, 영양염 및 중금속등 독성물질의 함유율이 높은 퇴적물을 준설장비를 이용하여 오염물질을 직접 제거함으로써 퇴적물로부터 오염물질의 용출 및 재부유 등을 방지
- 정화효과 : 준설된 퇴적물에 포함된 용존산소를 소모하는 유기물 (SOD), 영양염류 (N, P), 중금속 (Fe, Mn 등) 및 PCB 등과 같은 독성물질 등의 제거에 효과
- 장단점 : 수심의 증가 및 내부 체적 증가, 뿌리있는 수생식물의 제거, 추운 지방의 경우 동절기 결빙에 따른 어류의 동사 방지를 위한 수심 확보 등에 용이하지만, 준설토의 처분을 위해 처분 방법의 확립 및 충분한 용지 및 처분 방안 확보가 필수적
- 설계방향 : 육상준설과 수중준설의 방법을 대상지 성격에 맞게 설정



### 설계요령

- 기본요건 : 오염퇴적물의 퇴적상황이 준설에 의한 제거에 적합한 경우, 준설토의 처리, 처분지의 확보가 가능한 경우
- 설계제한 : 퇴적도 축적 심도, 퇴적물의 용출 영향 및 뿌리 있는 수생식물의 제어를 위한 준설토 제거 심도 결정, 준설방법 및 준설장비의 결정, 준설토 처리면적 결정
- 고려사항 : 준설시 바닥층 교란에 의한 오염물질 용출이나 재부유 등으로 인해 영양염류, 중금속 또는 PCB 등 독성물질 유출에 의한 수질 오염 가능성
  - ▶ 어류의 먹이가 되는 호소 바닥 유기물이 소실될 우려
  - ▶ 저서 생물에 대해 부적적인 영향 발생
  - ▶ 준설토 적치장은 충분한 양의 준설토를 저장할 수 있도록 설계
- 준설펌프 용량의 산정을 위한 수두의 계산 (Pierce, 1970)
  - 필요한 총 에너지 (HTDH) = 총 흡입 수두 + 총 방출수두
  - 총 흡입 수두 = 흡입수두 + 흡입유속수두 + 흡입마찰수두
  - 총 방출 수두 = 방출수두 + 추가유속수두 + 방출마찰수두

### 설계요령 (계속)

- 준설편프 용량의 산정(Q 토출량, D 입경(m), Vd 속도(m/h), HTDH 총에너지, E 펌프 효율)
  - ▶ 토출량(m<sup>3</sup>/h)  $Q = \frac{\pi}{4} \times 3600 D^2 V_d$
  - ▶ 마력수(BHP, Brake HP)  $BHP = \frac{QH_{TW} S_u}{2.737E}$
- 준설토 적치장의 설계(USACE, 1987) : 사전조사, 준설토 적치장 설계 (Montgomery, 1978), 설계농도 (CD) 의 산정, 준설토 시간 (TD) 의 산정, 준설토가 차지하는 체적의 산정, 준설토적치장 깊이의 산정 등 고려하여 설계

## 4.3.3 물순환장치

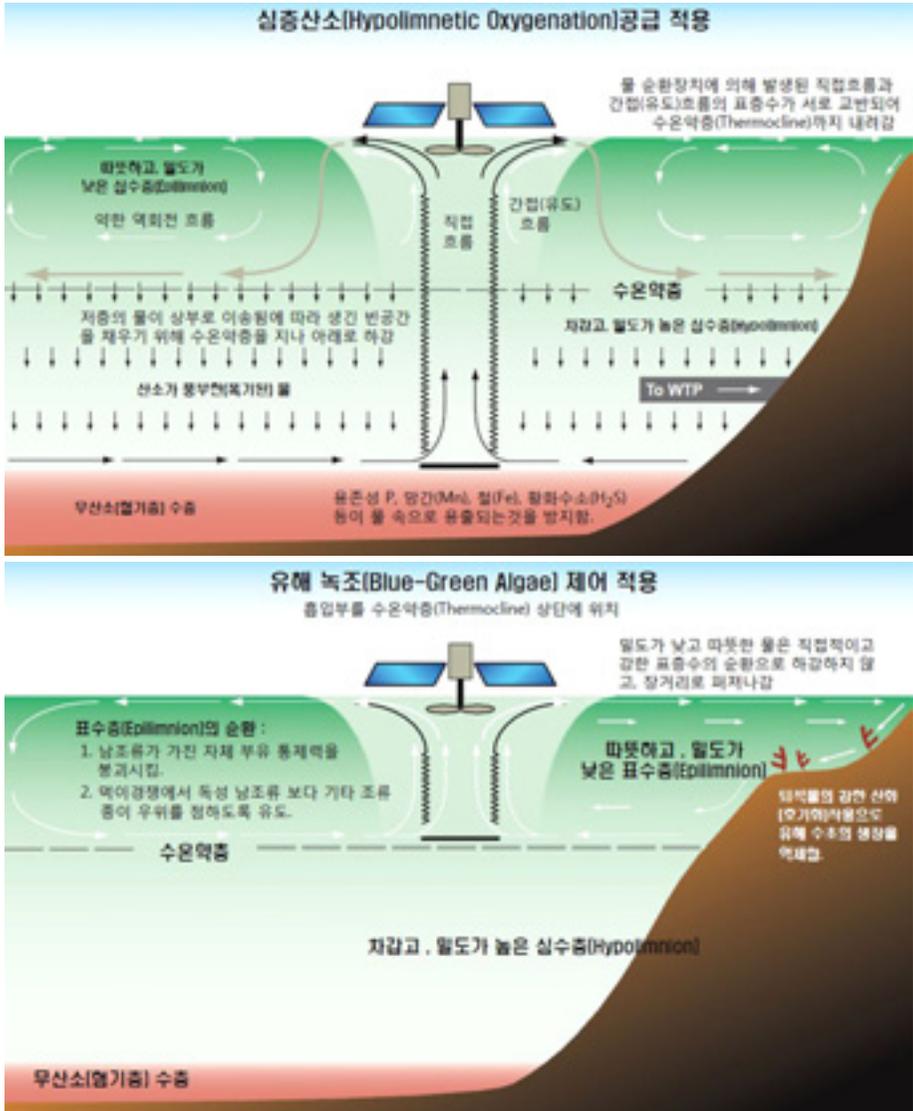
### 개요 및 특성

- 정의 : 호소의 정체 또는 성층현상으로 인하여 대기 중의 산소가 효과적으로 전달되지 않아 심수층의 산소가 고갈되는 경우 기계적인 에너지를 이용하여 호소의 수체를 순환시켜서 산소를 공급할 수 있도록 고안된 인공순환 장치
- 목적 : 정체된 호소나 하천구간에서 물의 흐름을 조성하여 조류발생을 억제하고, 저산소 또는 무산소 환경에 산소를 공급하여 혐기화로 인한 영양염류 용출을 방지하고, 호기적으로 유기분해작용을 촉진하며, 생물서식에 좋은 환경 조성
- 적용 : 유기물이 많거나 유기 퇴적량이 많아 산소농도 낮은 정체 호소 또는 하천
- 정화원리 : 수체에 수류를 형성하거나 직접 공기 또는 산소를 주입하여 정체된 층위를 파괴하고, 산소 농도를 증가시킬 수 있도록 폭기함
- 정화효과 : 수질개선 보다 관리의 목적으로 정화효율 수치 제시 곤란함
  - ▶ 산소농도가 증가 및 호소 내부의 화학적 산화작용 촉진, 용존산소 농도 증가로 생태계 보호, 결빙 방해로 동절기 어류 폐사 방지
  - ▶ 퇴적물로부터 인 및 중금속의 용출 억제, 황화수소 등의 발생 등으로 인한 냄새 문제 제어, 조류성장 방해하여 호내 녹조현상 제어
- 설계방향 : 호소의 수심, 연간 저수율 변화(수위변동), 바닥지형, 층위형성 특성, 수질 및 퇴적물 용출특성, 저층수 산소농도 등을 고려하여 인공순환, 폭기 설계 방향 설정



## 설계요령

- 📌 **설계요소** : 저수지의 용적, 인공순환/폭기 장치의 종류, 인공순환/폭기 장치 콤프레서의 용량, 공기 공급을 위한 호스의 길이
- 📌 **주의사항** : 인공순환/폭기장치의 용량이 과소하게 설계된 경우 성층현상이 파괴되지 않고 수질이 개선되지 않거나 악화될 수 있음
- 📌 **형식** : 저층수 폭기, 인공순환
  - ▶ 저층수폭기 : 외부폭기형, 내부폭기형
  - ▶ 인공순환(물순환) : 기계적 혼합, 공기양수통형식, 산기관형식
- 📌 산기관(Line Pipe)형 인공순환 장치 설계(Davis의 에너지 수지식 이용)
  - ▶ 호소의 성층현상을 고려한 공기공급량, 파이프형 산기관 길이, 제공해야하는 압축공기량 결정
  - ▶ 산기관 말단에서의 공기요구량과 산기관의 길이는 비교적 계산 간편하나, 압축발생장치의 필요압력과 마찰손실을 고려한 실제 산기관 길이는 반복계산 통해 계산 필요
- 📌 산기관형 인공순환장치 설계(Schladow의 무차원 변수이용)
  - ▶ 서동일 등 (2004a)이 국내의 실정과 맞게 변형 개발
- 📌 간헐식 공기양수통형 인공순환 장치 설계(chladow and Patterson의 방법)
  - ▶ 양수통 상부에서 분출하는 수체의 유속 및 유량 산정, 최대 상승거리 산정, 총 위치에너지 산정, 운동에너지 증가분 산정, 설치대수 및 공기량 산정



[그림 32] 심층산소공급 순환 모형과 유해남조류 제어순환 모형

[표 52] 인공순환/폭기장치의 특성 및 효과 (○: 유효, △: 유효하나 문제 있음, ×: 무효)

구 분		저층수 수질 개선	조류 제어	냄새 방지	농작물 영양	탁도 문제	냉수어 증식	온수어 증식	증발 방지	부영 양화 방지	비 고
전층폭기 (간헐식)	간헐식 양수통형	○	○	○	△	×	△	○	○	○	수심 5m 이상
전층폭기 (연속식)	다공산소 전이형	○	○	○	△	△	△	○	○	○	수심에 무관
	양수통형	○	○	○	△	×	△	○	○	○	간헐식과 거의 유사 효율저조
	펌프양수형	○	○	○	△	×	△	○	○	○	
심층폭기 (공기)	육상폭기	○	×	×	○	○	○	△	×	○	-
	상향류폭기	○	×	×	○	○	△	△	×	○	
	하향류폭기	○	×	×	○	○	△	△	×	○	
심층폭기 (순산소)	육상흡입형	○	×	×	○	○	○	△	×	○	-
	수중흡입형	○	×	×	○	○	○	△	×	○	
표면폭기	Rotor폭기	×	×	×	○	△	○	△	△	△	수심 3m 이상 효과 없음
	펌프폭기	×	×	○	○	○	○	△	△	△	
	주입폭기	×	×	○	○	○	○	△	△	△	
상하층 분리순환 폭기		○	○	○	○	○	○	○	○	○	수심 30m 이상

### 4.3.4 응집제에 의한 영양염류 및 퇴적물 용출제어

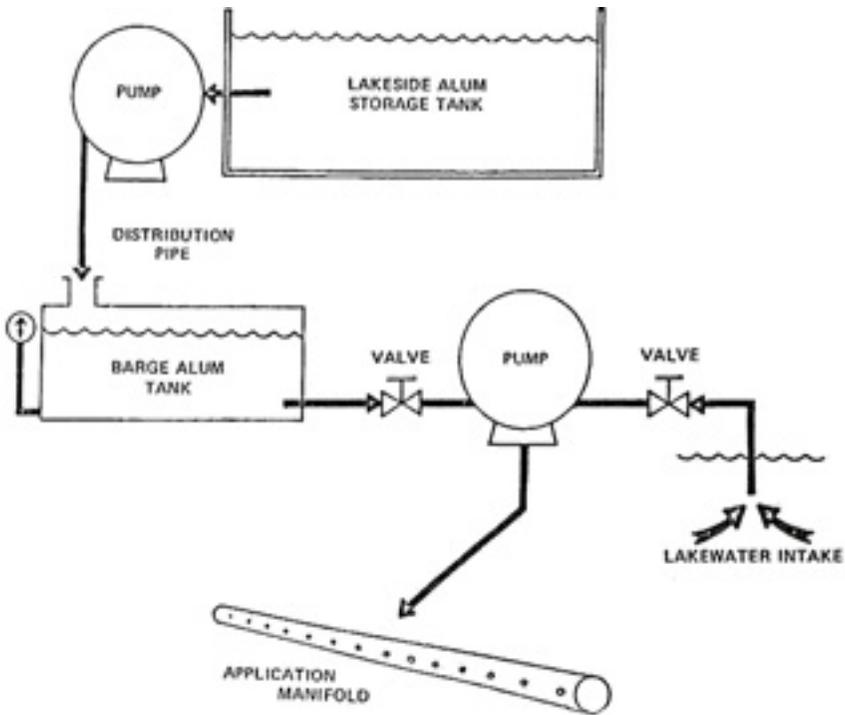


#### 개요 및 특성

- 정의** : 수체에 알루미늄염 또는 철염 등의 화학약품을 투입하여 수중의 용존 무기형태의 인 등을 불용성의 화합물로 응집, 침전시키거나 조류를 침강시키고 퇴적물로부터의 용출량을 삭감하는 방법
- 목적** : 수중의 영양염류 농도를 저감시키거나 퇴적물의 용출을 저감시키는 데 사용
- 적용** : 인의 과다 유입, 퇴적물 용출이 활발하여 조류대발생 등 문제가 심각한 호수
  - ▶ 오염물질의 용출이 퇴적물에 기인하는 경우 10년 이상의 지속효과가 보고된 사례도 있으나, 체류시간이 짧고 외부유입부하가 큰 인공호의 경우에는 자주 투입하여야 하고, 유실로 인한 실활율이 커서 부적합 함
- 정화원리** : 알루미늄염 또는 철염 등의 화학약품이 용존 인과 결합, 불용화
- 정화효율** : BOD 40~60%, SS 80~95%, T-P 30~90%
- 설계방향** : 퇴적물에 의한 인의 용출이 지배적인 경우에 효과적이며, 외부 오염물질 유입 차단을 우선 시행하는 것이 바람직하므로 가급적 신중하게 사용, 설계할 것

### 설계요령

- 주요설계 인자 : 응집제의 종류, 투입량, 투입빈도
  - ▶ 응집제 : Al, Ca, Fe 등 금속양이온, 황산알루미늄과 PAC(poly-aluminum chloride)
  - ▶ 알루미늄 응집제 최대 투여 가능량 : pH 6에 도달하는 양
- 유의사항 : 소량이 투여되는 경우 수질에 부정적인 영향을 미칠 수 있음
  - ▶ 투입시기의 결정을 위해서는 수질 및 생물의 계절적 특성파악이 필요
  - ▶ 철염과 칼슘염도 사용되나 자세한 산정 방법은 알려지지 않음



[그림 33] Alum 투입장치의 구성

### 4.3.5 다단 가압부상 장치 기술

#### 개요 및 특성

- ☞ **정의** : 호소 및 하천의 취수정으로부터 유입된 원수에 응집제를 주입/혼화하여 다단 가압 부상조를 이용하여 부유물질 및 녹조, 영양염류 등을 부상 분리/제거하는 공정
- ☞ **목적** : 유입하천 또는 저수지내 일부구간에 집적되어 있는 부유물질 및 녹조, 영양염류 등 제거
- ☞ **적용** : 녹조 현상 등 조류의 대량 발생 혹은 사멸에 의한 수질오염, 악취발생, 혐오감유발 등의 문제를 일으키고 있는 경우 및 조류가 바람 등에 의해 저수지내 특정구역으로 고농도로 집적되어 처리가 용이한 경우 적용[수심 4m 이상에서는 효과 낮음]
- ☞ **정화원리** : 미세기포를 수중에 분사하여 기포와 함께 오염물질 및 조류를 부상시키며 응집 부상된 조류 및 오염물질을 슬러지 웬스로 농축시켜 웬스 내 부유물질을 슬러지로 수거하는 원리
- ☞ **정화효율** : 폐쇄된 수체에서 시험적용사례에 의한 정화효과
  - ▶ BOD 83%, COD 79.4%, Chl-a 94.4%, TN 55.3% 및 TP 97.8%

#### 설계요령

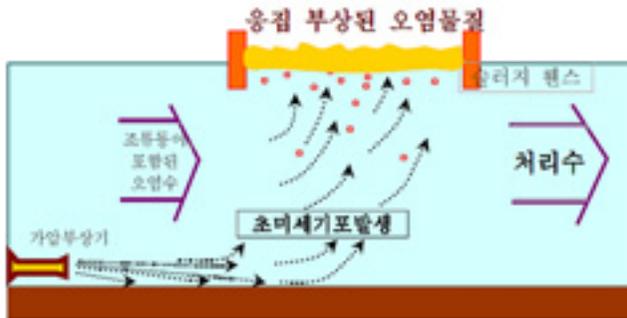
- ☞ **구성** : 취수펌프, 응집제 주입/혼합, 다단가압부상조(가압펌프, 공기포화기), 처리수조
- ☞ **주요설계 인자** : 수심, 온도, 압력, 용존 기체의 농도, 처리 대상 수질 및 용량, 응집제의 종류 및 농도, pH 등이 있으며 조류 제거 방법에 따라 적용수심 제한(4m 이내)
- ☞ **고려사항** : 저수지내 계절별 조류의 연직 및 평면적인 분포와 발생특성 파악 필요
  - ▶ 화학응집제 이용시 잔류성분검사 필요 (조류제거제 등록물질)
  - ▶ 조류제거 장비 가동에 다량의 전기에너지와 화학약품 등 유지관리 비용 발생

[표 53] 다단 가압부상 장치 수공학적 설계요소

공학적 설계요소	
다단 가압부상 시설	• 설계유량 : 목표순환빈도
혼화조	체류시간(sec), 혼합강도(G), 응집제 형태 및 투입농도
가압부상조	체류시간(min), 수리학적 부하율( $m^3/m^2$ -hr), 운영압력(atm), 설계 A/S 비 가압탱크 용량( $m^3$ ), 스키머, 재순환비
재순환조	용량( $m^3$ )
기타	수심, 온도, 압력, 응집제의 종류 및 농도, pH, 용존기체의 농도, 처리대상 수질 및 용량

[표 54] 다단 가압부상 장치 공학적 설계요소

수공학적 설계요소	
압력	2.5 ~ 4.5 kg/cm <sup>2</sup>
가압탱크에서의 체류시간	2~5분
부상분리조	20~30분
부상속도	6~16cm/분
표면적부하	90 ~ 220 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d



[그림 34] 다단 가압부상 장치 기술 개요도

## 4.4 호안공법

### 개요 및 특성

- 정의** : 제방 또는 호안을 유수에 의해 파괴 및 침식으로부터 직접 보호하기 위해 제방 앞비탈에 설치하는 구조물로 퇴적물로 인한 오염 방지와 수생식물의 서식지 제공으로 수질정화에 효과적인 공법
- 목적** : 제방 또는 호안의 파괴 및 침식 보호, 생물서식지 활용 및 수질오염방지
- 적용** : 저수로에 발생하는 난류를 방지하고 고수부지 세굴을 방지하기 위해 저수로에 적용하는 저수호안, 하천, 저수지가 복단면일 경우 고수부지 위의 앞비탈을 보호하기 위해 설치하는 고수호안, 고수호안과 저수호안이 일체화된 제방호안 등이 있음
- 설계 방향** : 생태적 건강성 회복을 우선 고려하며, 장기적이고 종합적인 관점에서 설계되며 돌, 흙, 나무 등의 자연재료를 이용하여 설계함



## 설계고려사항

- ☀ 호안공법은 사업목적, 하천유형 및 특성, 설치 위치 등을 고려한 적용구간 특성과 하천 및 저수지의 수리특성을 고려하여 유선과의 관계에 따라 결정
- ☀ 호안공법 설계 시 하천 및 저수지의 수리적 및 구조적 특성, 생물서식 환경, 자연 상태에 가까운 단면 계획, 공법에 사용되는 친환경 재료 이용 등을 고려하여 설계
- ☀ 호안공법은 가능한 범위 내에서 횡방향 경사를 완만하게 하여 물리적 안정성을 확보하며, 치수적 안정성 확보가 가능한 생물서식처 복원공법을 우선 고려
- ☀ 호안재료의 공극률은 어류의 산란 및 어류 서식에 유리한 공법 우선 적용
- ☀ 식생녹화 공법에 의한 하천 및 저수지 생태계 보전을 고려하고, 주변 생태 환경 및 상황을 고려하여 자연 재료를 우선적으로 사용하여 자연 상태에 가까운 단면 계획
- ☀ 살아있는 식생을 이용한 하천공사는 장기적으로 경제성 및 유지관리에 유리하나 단기적 (활착기간)으로는 유실대책 필요
- ☀ 식생위치, 지하수위, 저수위 및 홍수위와 같은 하천 특성과 각각의 식생 특징을 고려하여 현장에 알맞은 수종 선택
- ☀ 식물 종자 고유성을 보전하기 위해 해당 구역의 식물상 파악 후 유사종 선택
- ☀ 유속이 느린 곳에는 정화식물, 종자재배, 자연 채취한 뗏장, 분두 등의 형태로 사용
- ☀ 호안공법은 사업목적, 하천유형 및 특성, 설치 위치 등을 고려한 적용구간 특성과 하천 및 저수지의 수리특성을 고려하여 유선과의 관계에 따라 결정
- ☀ 호안공법 설계 시 하천 및 저수지의 수리적 및 구조적 특성, 생물서식 환경, 자연 상태에 가까운 단면 계획, 공법에 사용되는 친환경 재료 이용 등을 고려하여 설계
- ☀ 자연호안은 기존 자연적 구조와 상태를 유지하는 호안으로 필요 시 비탈면에 식생을 도입하여 물에 씻겨 나가거나 패이지 않도록 보호. 또한 자생식생 재생을 원칙으로, 필요시 줄떼(평떼), Seed Spray 등 활용하여 비탈면 조기 녹화로 토양유실 방지
- ☀ 인공호안은 홍수 시 제방 침식이 예상되는 구간에 제한적으로 적용되는 시설물로 제방을 안전하게 보호하고 식물의 정착을 통하여 하천의 수변 구역과 논, 밭 또는 산림지역과의 생태적 연결성을 확보하기 위하여 자연소재 및 인공소재 등 적용



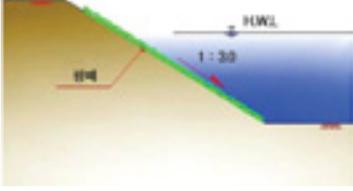
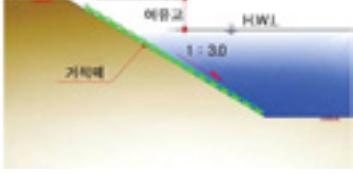
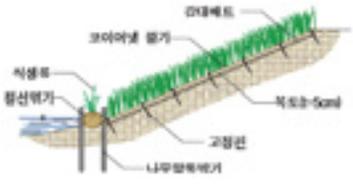
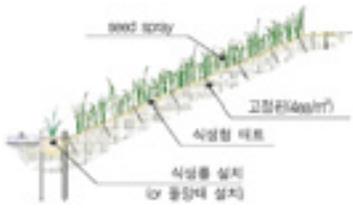
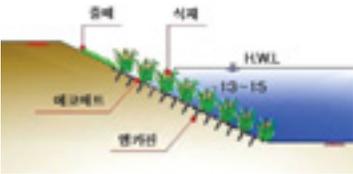
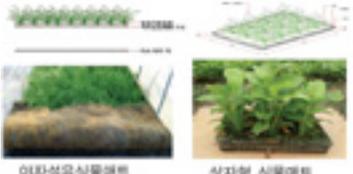
[그림 35] 호안 공법 선정 방법

[표 55] 호안 형식에 따른 적용 가능한 공법 분류

구분	호안형식	안정성	친환경성	경관성	유지관리	적용 가능 부분
자연호안	자연식생 재생형	X	O	O	O	비수충부
인공호안	식생계	△	O	O	O	비수충부 일부공법 수충부 가능
	석재계	O	△	△	O	
	블럭계	O	△	△	△	
	방틀계	O	△	△	△	
조합호안	망태계	O	△	△	X	수충비, 비수충부
	석재계	O	△	O	O	
	방틀계	O	△	O	△	
	망태계	O	△	△	X	

O: 양호, △: 보통, X: 불량

[표 56] 식생계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
평떼	유속(m/s): 2 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 2 하상경사: 완류 비수충부, 사수부	
Seed spray	유속(m/s): 2 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 2 하상경사: 완류 비수충부, 사수부	
식생매트형	유속(m/s): 3 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 3~8 하상경사 : 완류, 중류 비수충부, 사수부	
입체식 매트형	유속(m/s) : 4 소류력(kg/m <sup>2</sup> ) : 8 하상경사 : 완류 비수충부	
에코매트	유속(m/s): 3 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 8 하상경사 : 완류, 중류 비수충부	
야자섬유 매트	유속(m/s): 3~5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 3~10 하상경사: 완류, 중류 비수충부	

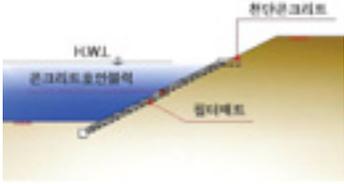
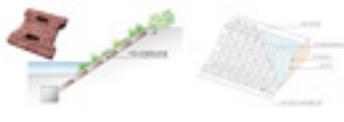
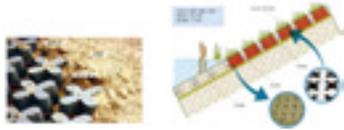
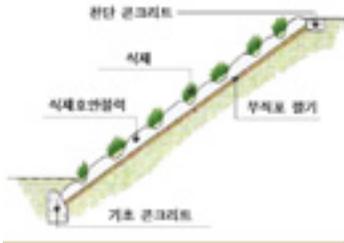
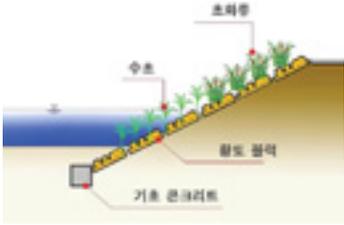
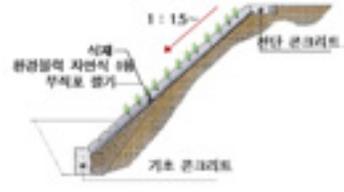
[표 56] 식생계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자 (계속)

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
<p>다기능 개비온 기초와 완성형 식물매트공법</p>	<p>유속(m/s): 6 소류력(kg/m<sup>2</sup>): 25 하상경사: 중류, 급류 비수충부, 수충부</p>	
<p>연속섬유 보강토공법</p>	<p>유속(m/s): 5 소류력(kg/m<sup>2</sup>): 16 하상경사: 중류, 완류 비수충부, 수충부, 사수부</p>	
<p>친환경 식생 토낭</p>	<p>유속(m/s): 중/저유속(정수역) 소류력(kg/m<sup>2</sup>): 8 이하 하상경사 : 완류 비수충부</p>	

[표 57] 석재계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
자연석 쌓기	유속(m/s): 3~5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 급류, 중류 수충부, 사수부	
자연석 돌붙임	유속(m/s): 3~5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부, 비수충부, 사수부	
스톤네트형	유속(m/s): 5~8 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 20 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부, 비수충부	
스톤 매트릭스형	유속(m/s): 8 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류 수충부	
사석부설	유속(m/s): 3 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부	
랩스톤	유속(m/s): 10 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 20 이하 하상경사: 급류 수충부, 사수부	

[표 58] 블럭계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
콘크리트 호안 블럭	유속(m/s): 2 ~ 7 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부, 비수충부	
섬유 혼합 다공성 소일 블록 공법	유속(m/s): 5.0이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16.0 이하 하상경사: 급류, 중류 비수충부	
일체형 생태 호안 블럭 공법	유속(m/s): 6 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류, 완류 수충부, 사수부	
환경 생태 블럭	유속(m/s): 4 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 급류, 중류 수충부, 사수부	
황토 블럭	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 급류, 중류 비수충부	
친환경 블럭	유속(m/s): 4 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 중류, 완류 비수충부	

[표 58] 블럭계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자 (계속)

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
식생 옹벽 블록형	유속(m/s): 7 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 80 이하 하상경사: 급류 수충부	
섬유 혼합 다공성 소일 블록	유속(m/s): 6 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부	
생태 블럭	유속(m/s): 2.0~7.0 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16.0 하상경사: 급류 비수충부	

[표 59] 방틀계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
사각 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 하상경사: 급류 수충부	
사각 방틀: 세굴 방지틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 하상경사: 급류 수충부	
사각 방틀: 식생 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 하상경사: 급류 수충부	
삼각 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 하상경사: 급류 수충부	

[표 60] 식생계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
평떼	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중하류 완경사면에 적합하지만 적용구간이 다소 한정됨</li> <li>• 시공초기 식재에서 활착까지 유실대책 필요</li> <li>• 식생조건(지하수위, 저수위 및 홍수위 등) 및 홍수지속 시간에 따라 선별하여 설치</li> </ul>
Seed spray	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동절기 시공의 제약이 있으며, 발아 및 초기 활착 시까지 유지관리가 필요함</li> <li>• 식생조건(지하수위, 저수위 및 홍수위 등) 및 홍수지속 시간에 따라 선별하여 설치</li> </ul>
식생매트형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 호안 하단 매트 연결부 세굴현상에 주의하여야 함</li> <li>• 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 초기에 이루어질 수 있도록 시공 시기와 방법 등에 주의하여야 함.</li> <li>• 하폭이 넓은 구간의 사수부에 속하는 구간에서 적용 가능성이 있으며, 홍수유속을 고려하여 복토면 아래에 연결 블록과 같은 은폐호안 등을 설치하여 보호할 필요성이 있는지를 검토하여 설치하는 것이 좋음</li> </ul>
입체식 매트형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 매트부에 의한 침식방지 효과로 원지반 토립자의 흡출방지와 식생정착 후에는 보강망이 식물의 뿌리와 줄기를 단단히 눌러 유수력과 양력에 대한 저항력을 가짐</li> <li>• 유수와 함께 떠내려 오는 미사를 흡착하므로 별도의 복토공사가 필요 없으며, 식물 정착을 위한 기반계의 역할을 함</li> <li>• 빠른 유속에서도 콘크리트를 쓰지 않고 식생호안을 형성하며, 항국적인 치수강도와 환경 친화성 있음</li> </ul>
에코매트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 초기에 이루어질 수 있도록 시공시기와 방법 등에 주의하여야 함</li> <li>• 도입될 식생은 주변 환경과 관계를 고려해야 하며, 식생의 정착을 위해 수위분석도 병행해야 함</li> <li>• 하폭이 넓은 구간의 사수부에 속하는 구간에서 적용 가능성이 있으며, 홍수유속을 고려하여 복토면 아래에 연결블록과 같은 은폐호안 등을 설치하여 보호할 필요성이 있는지를 검토하여 설치하는 것이 좋음.</li> </ul>
야자섬유 매트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비탈면 시공시 매트 연결부에 적절한 장치를 통해 세굴발생 개선필요</li> </ul>
다기능 개비온 기초와 완성형 식물 매트 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수층부에 설치할 경우, 초장이 긴 식물을 식재하여 토양의 세굴을 방지하는 것이 바람직함</li> </ul>
연속섬유 보강토공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 별도의 유지관리가 불필요함</li> </ul>
친환경 식생 토낭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 초기에 이루어질 수 있도록 시공시기와 방법 등에 주의해야 함</li> </ul>

**[표 61] 석재계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리**

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
자연석 쌓기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사용하는 암석의 크기는 홍수에 대한 내성, 하도와의 조화에 따라 결정</li> <li>• 홍수류에 의해 유실이 발생하지 않도록 견고히 쌓아야 하며, 대부분의 하천에 적용성이 높음</li> <li>• 기초부 침식, 배면부 토사의 흡출에 따른 문제점과 자연석 크기에 따른 안정성의 차이를 고려해서 시공해야 함</li> </ul>
자연석 돌붙임	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배면부의 토질이 연약지반일 경우 침하 발생 가능성 있으며, 돌의 직경에 따른 안정성 차이가 있음</li> <li>• 석재의 색깔이 주변환경과 어울리는지 검토하여 시공하는 것이 바람직함</li> </ul>
스톤네트형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일체형 제품으로 공기 단축 가능</li> <li>• 곡선부/변화구간에 시공이 가능하며, 장비를 이용하여 한번에 여러 개의 제품을 운반 설치 가능함</li> </ul>
스톤 매트리스형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 맞춤형 제작품을 설치하므로 공기를 단축시킬 수 있음</li> <li>• 기존지형에 최소한의 피해를 주기에 복구를 위한 비용의 발생이 적음</li> </ul>
사석부설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사용하는 임석의 크기는 홍수에 대한 내성, 하도와의 조화에 따라 결정함</li> <li>• 홍수류에 의해 유실이 발생하지 않도록 할 필요가 있으나, 대부분의 하천에 적용성이 높음</li> <li>• 신설 호안뿐만 아니라 기설 호안의 전면에도 시공함으로써 써 유속을 감소시키며, 수제를 다공질로 하는 등 효과가 큼</li> </ul>
랩스톤	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기초콘크리트의 타설은 토목공사 표준시방서상의 관련 제규정에 의해 시공하여야 함</li> <li>• 블록은 하단에서부터 설치하되, 블록간 이타일이 없고 전체가 일체가 되도록 견고하게 결속하여야 함</li> <li>• 식물생육에 적합한 사질양토를 복토하고, 현장 내 토양이 식재에 적합하지 않을 경우에는 식생토 반입계획 마련하여야 함</li> </ul>
콘크리트 호안 블록	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단기적으로 부분적인 유지관리가 필요하며, 곡선부 구간에는 정밀 시공이 요구됨</li> <li>• 환경, 생태적 측면에서 매우 불리하므로 가급적 도입을 지양하여야 함</li> </ul>
섬유 혼합 다공성 소일 블록 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식생초기에 종자가 발아할 때까지 수분 관리가 요구되므로, 이를 위해 현장에서는 거적을 사용하여 시공하여야 함</li> <li>• 식생의 시기에 따른 공사시기를 조절할 필요가 있으며, 식생 정착 후에는 특별한 유지관리가 요구되지 않음</li> </ul>
일체형 생태 호안 블록 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 균열 파손 시 커팅을 통해 해당 부분만 재시공함</li> </ul>
환경생태블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 굴요성 부족으로 지반침하에 대한 저항력이 약함</li> <li>• 블록훼손 시 장비투입에 의한 복구 필요함</li> </ul>
황토 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 황토 본래의 색상과 질감으로 주변 환경과 조화로운 경관을 창출함</li> <li>• 부분적인 블럭 교체로 유지보수 용이함</li> <li>• 긴급공사에 적용 가능함</li> </ul>
친환경 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하천 호안에 자연 친화적인 하천개수공사를 시공하는 경우 블록 사이에 식재를 하여 동·식물의 서식과 세굴을 방지함으로써 하천호한, 인공호수, 비탈면 등 생태공간을 조성할 수 있음.</li> <li>• 변하지 않는 자연석의 질감을 유지함으로써, 자연하천에 조화되는 경관을 형성함</li> <li>• 시공할 비탈면은 유해물질 등을 제거하고, 평탄하게 시공될 수 있도록 면을 고르고, 부직포는 비탈면에 깔아주고, 그 이음부는 적정 간격을 유지하도록 함</li> </ul>

**[표 62] 블럭계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리**

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
식생 옹벽 블록형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부분적인 유지보수 가능함</li> <li>• 수로에 인접한 석축 및 옹벽대용으로 가능함</li> <li>• 건식제품으로 높은 강도를 가지며 동결융해에 대한 저항성 높음</li> </ul>
섬유 혼합 다공성 소일 블록	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기초콘크리트 위로 어소블록 및 옹벽블록 조합을 설치함</li> <li>• 배면에 자갈포설 및 성토 후 다짐하여, 블록조적 후 전면 식재함</li> </ul>
생태 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시각적으로 위화감이발생하지 않도록 표면 마무리 등의 대책 수립이 필요함</li> <li>• 부분적으로 경관을 강조하고자 하는 경우를 제외하고는 기본적으로 저수로 호안에의 적용성이 낮음</li> <li>• 초기에는 인공색이 강하나 시간경과에 따라 완화됨</li> </ul>
어소 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1:0.3~1:0.5의 급경사면에도 적용가능하며 옹벽대용의 급경사지 저수부와 호안기단부 세굴방지를 요하는 지역에 설치 가능하며, 타블럭과 혼합사용 가능함</li> <li>• 호안의 치수적 기능을 유지하면서 생물의 서식처 기능을 겸비할 수 있음</li> </ul>
사각 방틀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식생대 조성이 힘든 하천 중간에 인위적인 식생대를 조성, 하천 생태계의 기초가 됨</li> <li>• 식생방틀 내에 코이어롤을 설치함으로써 식물 활착이 가능함</li> <li>• 수변 생태계의 기초가 되는 저서생물의 서식처가 되어 먹이사슬의 기초 공급원 역할을 수행함</li> </ul>
사각 방틀: 세굴 방틀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보 아래에 적용시 단수를 조정 설치함으로써 어도의 기능도 가능함</li> <li>• 돌 틈에 토사가 퇴적되면 자연적으로 초본류가 자라서 미려한 수변 경관을 창출함</li> <li>• 활착 전 주기적인 수분 공급을 실시하여야 함</li> </ul>
사각 방틀: 식생 방틀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식생대 조성이 힘든 하천 중간에 인위적인 식생대를 조성, 하천 생태계의 기초가 됨</li> <li>• 식생방틀 내에 코이어롤을 설치함으로써 식물 활착이 가능함</li> <li>• 수변 생태계의 기초가 되는 저서생물의 서식처가 되어 먹이사슬의 기초 공급원 역할을 수행함</li> </ul>
삼각 방틀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방틀공 및 침상공의 상단이 계획홍수위보다 높을 경우 식재한 식생은 생존이 어려우므로 유의하여야 함</li> <li>• 수위의 상승하강이 심한 구간은 부식의 진행이 빠르므로 이에 유의해야 함</li> <li>• 돌의 크기가 너무 작으면 흡출에 의하여 공극이 생기기 쉬우므로 상자의 크기와 돌의 크기에 유의해야 함</li> </ul>

## 4.5 ○ 수질개선사업 시공관리

### 공종별 현장점검사항

수질개선사업 공사감독 점검사항은 기본적으로 공사감독업무지침(2013.02.22)에 따르며, 그 외 시공시 시설별 점검사항은 다음사항을 따름

#### 주요 점검 사항

- ▶ 공통사항 : 시공전 각종 인허가 사항 파악 등
- ▶ 취입보 : 시공후 상류 농경지 침수 및 계획 유량 유입 여부 등
- ▶ 펌프장 : 시공전 계획유량, 대수, 위치선정 등
- ▶ 인공습지 : 취입관, 침사지, 얇은습지, 깊은습지, 배출연못, 배출관의 설치높이 및 시공후 계획수심 확보 여부 등
- ▶ 침강지 : 침강지 준설토 재이용방안 및 사토장 위치선정 등
- ▶ 부댐 : 부댐 침하검토 및 사석중량, 크기 검토 등

### 공통사항

구분	관리 사항	점검기준		점검사항	여	부
		방법	시기			
공 통 사 항	시공 관리	검토	시공 전	1. 시공사의 공사내용(정화원리, 공종의 구성, 물흐름, 취입보, 침전지, 얇은습지, 깊은연못, 배출연못 등)을 정확히 파악하고 있는가?		
	“	“	“	2. 현지형과 설계도가 부합하는가?		
	“	“	“	3. 시공구간, 시공량 및 시공순서를 검토하였는가?		
	“	“	필요 시	4. 우회배수 등 공사중 유입수 배제계획을 검토하였는가?		
	“	“	시공 전	5. 소하천, 지방하천, 진입도로 등 각종 인허가 사항을 파악하였는가?		
	“	“	“	6. 용지매수 및 보상에 대한 내용을 검토하였는가?		
	재해 대책	관찰	필요 시	7. 홍수시 토사 및 오염물질 유입 등에 따른 시공상의 문제점 및 이에 대한 대책을 검토하였는가?		
	시공 측량	검측	시공 전	8. 시공측량 실시 필요성을 검토하였는가?		
	시공 관리	검토	“	9. 전기인입시 농업용 사용 가능성을 검토하였는가?		

참고 : 점검사항 여부란에 ○ 표시  
해당사항이 없으면 - 표시



## 취입보

구분	관리 사항	점검기준		점검사항	여	부
		방법	시기			
취입보	시공 관리	검토	시공전	1. 계약자(취입보 설치업체)의 취입보 설치목적, 취입보 형식 및 재질, 운영방법 등 주요내용을 파악했는지?		
	“	“	“	2. 공정계획의 적절성을 검토(홍수기 피할 것)했는지?		
	“	“	“	3. 전기시설 인입계획은 적절한지? 4. 기계 및 전기시설 설치의 적절성을 검토했는지?		
	“	“	“	5. 가배수시설 계획은 적절한지? - 가배수로 시설(홍수량, 통수여부, 계획고, 제거계획 등) - 펌프시설(취수량, 대수, 위치선정 등)		
	재해 대책	“	시공중	6. 홍수시 재해에 대한 대책수립을 검토했는지? - 상류 농경지 및 관련 침수 가능성 검토 - 침수 가능성 있는 경우의 대책 검토 - 홍수시 시설물 유실 가능성 검토		
	시공 관리	“	시공전	7. 하천내 차집관 등 시설이 하천관리상 장애를 주는지?		
	시공 관리	검토	시공전	8. 하천관리청과 협의 또는 인허가 관련 사항 검토했는지?		
	“	관찰	시공중	9. 바닥보호공 시공의 적절성을 검토했는지? - 사석시공시 물림 정도의 적절성을 검토했는지(표면에 큰 사석 시공 등)? - 돌망태 시공시 규격 및 크기를 확인했는지?		
	“	“	시공후	10. 유송잡물에 의해 취입보 가동 정지, 파손 등 피해 볼 우려는 없는지?		
	“	“	“	11. 취입보(가동보)의 도복각도를 임의로 조절할 수 있는지? 조절할 수 없다면 문제는 없는지?		
	“	“	“	11. 자연취수 가능여부를 검토했는지? - 불가능시 펌프 등 대체 취수시설 설치 방안 검토했는지?		
	“	“	“	12. 취입보 설치후 점검사항 검토했는지? - 설치후 누수량 발생 여부 - 설치후 상류침수 및 농경지 배수불량 발생 여부 - 설치후 취입보 정상가동 여부 - 설치후 취입관까지 정상적으로 수위상승 여부 - 설치후 취입관으로 계획유량 유입 여부		

**펌프장**

구분	관리 사항	점검기준		점검사항	여	부
		방법	시기			
펌프장	시공 관리	검토	시공전	1. 계약자(펌프장 설치업체)가 펌프장 설치목적, 용량, 펌프형식, 운전방법 등을 파악했는가?		
	“	“	“	2. 외선공사계획 검토 여부(최종 전주위치 확정)		
	“	“	“	3. 펌프장 흡입 및 토출 계획고를 충분히 검토했는가?		
	“	“	시공전 시공중 시공중	4. 펌프장 소요마력, 대수, 위치선정 등 검토확인 여부 - 계획유량을 충분히 취수할 수 있는가? - 시운전계획 및 정상작동 상태 확인 공정은 수립되었는가? - 흡입부에 스크린 설치 필요성을 검토했는지?		
				5. 펌프의 이상시 대처방법에 관한 매뉴얼이 완비되었는가?		

**인공습지**

구분	관리 사항	점검기준		점검사항	여	부
		방법	시기			
취입관	시공 관리	검토	시공전	1. 취입관 설치 높이 및 크기가 적절한지 검토했는가?		
	“	관찰	시공후	2. 취입관 주변 누수 및 손상발생 여부를 확인했는가?		
	“	“	“	3. 취입관 계획유량이 원활하게 유입되는지 검토했는가?		
침사지	“	검토	시공전	4. 침사지 지반고가 설계도와 부합하는지 확인했는가?		
	“	관찰	시공후	5. 침사지 사면 시공상태의 적절성을 확인했는가? - 수위상승시 함수비 증가로 인한 유실 위험성 여부 - 사면 보호공 및 식생상태의 적절성 여부		
	“	검토	시공중	6. 사석시공시 돌의 규격 및 시공안전성을 검토했는가? - 밑돌은 충분한 안전성을 갖도록 큰 돌로 시공 여부		
	재해 대책	관찰	시공후	7. 유입수 토사량 과다로 과도한 퇴적 발생여부 확인했는가? - 토사제거가 용이한 구조 여부(장비접근성 등)		
월류보	시공 관리	검토	시공전	8. 월류보의 계획높이가 설계도와 부합하는가?		
	“	관찰	시공후	9. 월류보의 침하 우려는 없는지 검토했는가?		
	“	“	“	10. 월류보 기준 상→하류 계획유량의 원활한 흐름을 확인했는가? - 월류보 설치에 따른 통수단면 축소 등의 문제는 없는가? - 통수단면이 축소된 경우 통수단면확보, 상류침수대책 등은 수립되었는가?		

## 인공습지 (계속)

구분	관리 사항	점검기준		점검사항	여	부
		방법	시기			
얕은 습지	시공 관리	검토	시공전	11. 얕은습지 지반고가 설계도와 부합하는지 확인했는가?		
	“	“	“	12. 얕은습지 식재식물 종류, 시기 및 식재밀도 등을 검토했는가? - 식재식물은 가능한 한 식재예정지에 자생하는 식물이 적절 - 고사할 우려가 있는 겨울에 식재하는 것은 부적절		
	“	관찰	시공후	13. 얕은습지 계획수심 유지가 가능한지 확인했는가? - 수심을 조절할 수 있는 장치가 구비되어 있는가?		
	“	관찰	시공후	14. 얕은습지에서 물이 사수역없이 전 단면에 균일하게 흐르나?		
깊은 습지	“	검토	시공전	15. 깊은습지 지반고가 설계도와 부합하는지 확인했는가?		
	“	관찰	시공중	16. 깊은습지 사면 시공상태가 적절한지 검토했는가? - 수위상승시 함수비 증가로 인한 유실위험성 여부		
	“	검토	시공후	17. 사석시공시 돌의 규격 및 시공안전성을 검토했는가? - 밑돌은 충분한 안전성을 갖도록 큰 돌로 시공 여부		
배출 연못	“	검토	시공전	18. 배출연못 지반고가 설계도와 부합하는지 확인했는가?		
	“	관찰	시공중	19. 배출연못 사면 시공상태의 적절성을 확인했는가? - 수위상승시 함수비 증가로 인한 유실 위험성 여부 - 사면 보호공 및 식생상태의 적절성 여부		
	“	“	시공후	20. 사석시공시 돌의 규격 및 시공안전성을 검토했는가? - 밑돌은 충분한 안전성을 갖도록 큰 돌로 시공 여부		
배출 관	“	검토	시공전	21. 배출관 설치높이 및 크기가 적절한지 확인했는가?		
	“	관찰	시공후	22. 배출관 계획유량이 원활히 배수되는지 확인했는가?		
	재해 대책	관찰	시공후	23. 저수지 만수시 역류 발생여부를 확인했는가? - 역류발생시 역수방지벽 설치 - 펌프시설(배제용) 설치 적정성 여부 등		
관 리 도 로	시공 관리	검토	시공전	24. 관리도로 폭 및 진입로 접근성이 적절한지 검토했는가?		
	“	관찰	시공후	25. 관리도로 사면의 시공상태가 적절한지 검토했는가? - 사면보호공 적절 시공, 식물식재 적정 여부 등		

**침강지**

구분	관리 사항	점검기준		점검사항	여	부
		방법	시기			
침강지	시공 관리	검토	시공전	1. 침강지 바닥고가 설계도에 부합하는지 검토했는가?		
	“	“	시공전 시공중	2. 침강지 준설시 준설하는 부분이 기존호안의 사면안정을 위해 기존사면으로부터의 이격거리가 최소 4.0m 이상되는가?		
	“	“	시공전	3. 준설토를 인공습지 조성, 부댐 조성, 관리도로 조성 등 재이용 가능성을 검토하였는가?		
	“	“	시공전	4. 사토장 위치 및 상태가 적절한지 확인했는가?		
				5. 침강지 사면 시공상태의 적절성을 확인했는가? - 수위상승시 함수비 증가로 인한 사면유실 위험성 여부 - 사면 보호공 및 식생상태의 적절성 여부		

**부댐**

구분	관리 사항	점검기준		점검사항	여	부
		방법	시기			
부댐	시공 관리	검토	시공전	1. 부댐 계획고가 설계도에 부합하는지 확인했는가?		
	“	“	“	2. 부댐 기초지반 침하 가능성 점검 및 대책 수립했는가?		
	“	“	“	3. 시공중 유입수 배제계획은 적절히 수립되었는가?		
	재해 대책	“	“	4. 부댐 사석의 중량 및 크기가 적절한지 검토했는가? - 홍수시 유실우려 가능성 검토 여부		
	시공 관리	“	“	5. 사토장 위치 및 상태가 적절한지 확인했는가?		
	재해 대책	“	“	6. 부댐 공정계획이 적절히 수립되었는가? - 홍수기 가급적 피하고 갈수기에 시공		
	시공 관리	“	“	7. 장비접근성 등 준설 여건에 대한 검토를 했는가?		

제5장

운영 및  
유지관리





## 제5장 운영 및 유지관리

### 기본방향 및 목표

- ▶ **기본방향** : 수질개선대책시설마다 필요로 하는 관리 방안 및 점검사항을 작성하여 수질정화 효율을 유지할 수 있도록 하고, 주요 항목의 지속적인 모니터링을 통해 현재의 상황을 파악하고 조치할 수 있도록 함
- ▶ **목표** : 수질개선대책시설을 농업용저수지에 적용함으로써 나타나는 수질정화효율을 설계시 계획했던 목표 값을 유지할 수 있도록 함
  - ▶ 시간이 지남에 따라 수질개선대책시설 및 장비에 훼손 및 노후현상이 나타날 수 있음을 감안하여 주기적인 점검 및 관리방안을 설정하여 앞에 말한 현상이 나타났을 경우 즉각적인 보수 및 교체 등의 조치에 활용하기 위함
  - ▶ 수질측정항목에 대하여 항목별 체계적이며 지속적인 모니터링을 통하여 수질개선대책 시설 및 장비가 원활히 작동하고 있음을 판단하고, 이상이 있을 경우 즉시 조치할 수 있는 방안을 마련
- ▶ **적용범위**
  - ▶ 농어촌정비법 시행령 제28조에 의한 수질개선시설 설치 및 관리에 적용
  - ▶ 기타 수질관리의 일환으로 설치된 장기, 단기 수질개선대책시설에 적용가능

### 모니터링

- ▶ **기본방향** : 사업계획 구역의 오염부하량 저감, 대상시설의 수질개선 효과 및 시설의 성능 평가하여 경제적이고 효율적인 관리 유도과 관리기술 발전에 기여
- ▶ **모니터링 계획수립 시 고려사항**
  - ▶ 사업시행 전후 오염원 및 오염부하량의 변화 추이
  - ▶ 수질개선 효과
  - ▶ 생태변화 추이
  - ▶ 수질개선시설의 운영실태



### 일반적 유지관리 방향 및 유의사항

- 수질개선대책시설 및 부속시설 등에 필요로 하는 관리 및 일상점검과 수시점검을 실시하여 수질정화 효율을 유지할 수 있도록 하여야 함.
- 개별시설 유지관리는 지역특수성, 공법특성에 따라 유지관리계획 별도 수립, 시행함
- 수질개선 계획에서 설치된 수질개선시설, 친수시설 등이 농업수리시설 본래의 기능을 방해하지 않도록 적절한 유지관리를 실시하여야 함
- 호우시 수해예방 대책은 물론 평상시에도 수해방지에 만전의 조치를 취해야 하며, 특히 수위변동이 있는 경우에는 각 수위에 대한 사고방지 준비 등 안전성 확보 시행
- 수질개선시설 부지에 대한 농약, 비료 살포는 피해야하고, 제초작업이나 수목 가지치기 등에 있어서도 미관뿐만 아니라 생물의 서식환경도 관리해야 함
- 개별시설의 안정성과 연중변동상황을 지속 점검하여 성능 유지와 안전사고 예방실시



### 자연생태적 하수처리공법(KN-NEWS 공법)

- **평상시 관리** : 고농도의 제초제가 유입되지 않도록 함. 연간 1~2회 정도 식물 절취 필요, 여름철 온실내부 온도 급상승 방지 위해 환기 유지
- **동절기 관리** : 온도 저하 방지 위해 창문 개방 안함, 가을철에 절지 작업을 통하여 건전한 식물의 휴면 준비 실시
  - ▶ 식물 절지 작업시 충전된 여재위에서 작업해서는 안되며, 각 격벽이 있는 곳을 찾아 이곳을 밟고서 조심스럽게 작업 시행



### 인공습지

- 인공습지는 정기적으로 1년에 최소 2회 이상 그리고 호우 뒤에 반드시 점검해야 함
- 초기에는 설계원안에 맞게 작동하는지 여부를 평가하고, 제방의 침식이나 과도한 토사의 퇴적여부를 점검하며, 식물이 기대한 만큼 성장하는지 확인하여야 함
- 유출·입구 폐쇄여부, 습지내 및 출구 부근의 침식발생 등을 확인해야 하며, 이와 같은 점검 사항을 바탕으로 보수할 부분에 대한 조치가 이루어져야 함.
- **취입보** : 장마, 태풍 등 큰 유출이 발생한 경우에는 취입보 및 주변을 전반적으로 점검하고 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 취입보 앞 퇴적 토사, 쓰레기 등 제거
  - ▶ 많은 강우시를 제외하곤 보를 전도시키거나 각낙판을 제거하지 말고 유지하며, 취수구 관리로 고농도 강우 초기유출수가 습지로 유입되어 정화될 수 있도록 관리 철저
  - ▶ 취입구와 인공습지 사이 연결수로가 막혔는지 반드시 점검. 특히, 관수로인 경우는 눈에 보이지 않으므로 세심한 점검이 필요

## 인공습지(계속)

- **어도** : 생태 연결기능 유지 위해 일정 유량이 상시 흐르도록 하며, 생물이동이 용이하도록 어도내 이물질, 쓰레기 없도록 관리하고, 입·출구 낙차 발생 시 개보수 실시
- **펌프** : 펌프를 이용하여 호소수를 인공습지에 유입할 경우 펌프 흡입구 스크린관리, 운전 중 소음, 진동, 펌프필터 상태점검, 주기적으로 펌프이상 상태점검
- **침전지** : 식생 도입 방지, 퇴적물 50cm 이상 쌓인 경우 준설 실시. 최대 5~10년을 주기 제거를 원칙으로 하며, 상황에 따라 매년 점검, 관리 필수(모니터링 체계 반영)
  - ▶ 퇴적물 제거는 침전지내 저류수를 완전 배제 후 실시하는 것이 바람직함
- **얕은습지** : 식물이 잘 자라도록 관리하고, 일년에 1~2회 식물 절취 실시
  - ▶ 보강식재 : 식재 후 2년 경과시 식생면적이 얕은습지 면적의 50%가 되지 않을 경우
  - ▶ 식물절취 : 최대성장기(6~7월)나 고사시기(11~12월) 등 연 1~2회 이상 절취 권장 절취시에는 생장점 보호를 위해 지면 10cm 상부를 자르는 것이 익년도 식생성장에 유리하며, 배수 후 절취 또는 수상콤바인을 이용한 절취 등 현장여건 고려해서 실시
  - ▶ 습지 퇴적물 관리 : 토양관리와 연계하여 경운 후 일정 토량을 제거하거나, 표층 퇴적물을 제거한 후 경운하는 방법으로 관리하는 것이 바람직함
  - ▶ 수위관리 : 습내 내에서 계획 체류시간을 확보할 수 있도록 적정 수위 관리 실시
  - ▶ 적정수심(계획수심) : 식재초기 또는 경운·절취 후에는 식물 활착을 위해 식물이 물에 잠기지 않도록 낮은 수위로 관리(절취시 절취 부분이 완전히 잠기지 않도록 관리)하고, 정상적으로 식물이 성장한 후에는 설계수심을 적정 하게 유지할 수 있도록 함
  - ▶ 유량관리 : 갈수기 침강지 또는 저수지 물을 양수하여 습지 내 용수 지속 유지 관리
  - ▶ 유량분배 : 유입수가 전단면을 고르게 흐르도록 분배수로 및 습지표면 관리 필요
- **깊은연못** : 장기간 운영으로 퇴적물 증가, 식물침투, 사면유실, 붕괴 등 정상운영이 곤란할 수 있으므로 정기적인 시설관리 필요
  - ▶ 식생 침투 방지 위해 1.0m 이상 수심유지, 개방수역 확보, 수심 확보 및 기능 유지를 위해 5년 주기로 퇴적물 제거(연간 1~2cm 정도 퇴적), 사면 보호 유지 관리 실시
- **배출연못** : 습지 처리수가 저수지로 유출되는 구간으로 월류부에서 이물질이 호내로 유입되지 않도록 하여야 하며, 그 외 일반적인 시설관리는 깊은연못과 동일함
  - ▶ 퇴적물 관리, 저수지물 역류 방지 및 식물침투, 사면유실·붕괴 등 정기적 관리 점검
- **문비** : 인공습지의 구간 분리, 또는 일정 수심 유지, 일정한 체류시간을 확보하기 위한 시설로 밸브, 수문, 각낙판, 엘보형 파이프 등이 있으며, 적정 문비 높이조절 필요
  - ▶ 이물질, 손상, 소실 등에 의해 유량조절이 방해받지 않도록 유출입부를 수시로 점검
  - ▶ 유입유량 변화에 따라 적정 체류시간 확보 위해 문비관리 실시(홍수기↑, 갈수기↓)
- **관리도로** : 도로면 포설 자갈 유실 방지 및 즉시 복구 노력, 1년 주기 정비, 잡초제거, 일반 차량 진입금지, 사면유실관리(잔디 등 식생피복 및 유지관리)

**[표 63] 인공습지의 유지관리 활동 및 계획**

유지관리 활동	계 획
장마기 또는 대형 호우발생 후 점검 : 제방의 안정성, 침식징후, 식물성장, 배수계통, 구조적 훼손여부	필요할 때
침입식물 여부, 쓰레기 및 협잡물, 유출입구 폐쇄, 유도수로 폐쇄, 침식, 퇴적물의 깊이, 침전지 유출입구의 구조, 제방에 관목류 성장, 물이 고여 있는지 여부, 부등침하 발생여부, 균열, 누수, 제방의 안정성	6개월 간격
유출입구 구조점검, 관로, 침전지, 유도수로내 쓰레기 점검, 식물의 과도성장 및 병충해 감염여부, 기름띠, 악취, 비정상적인 물의 외관 여부, 수문제어계통, 밸브, 기계적인 장치	년 단위
유출입구의 쓰레기 제거, 제방과 접근로의 주기적인 벌초작업	1년에 3~4회
습지연못, 유출입구, 제방, 수문과 기타 기계장치의 보수작업실시, 침식발생지역의 보수, 쓰레기 협잡물의 제거	필요할 때
침전지로부터 퇴적물 제거, 퇴적물에 독성 또는 특정유해물질 함유여부(관리규정에 따라 농지살포나 매립실시)	필요할 때 (5~7년)
습지용량이 퇴적물에 의해 상당 수준 감소하였을 경우 또는 이에 의해 식물의 서식여건이 나빠진 경우 퇴적물의 제거, 습지로부터 탁수유출 여부를 점검, 특히 고수위에서 저수위로 진행되는 동안 퇴적물 유출 및 무산소 물 방류여부	필요할 때 (3~5년)

[표 64] 인공습지의 유지관리 점검 체크리스트

시설명 :

관리인 성명/주소/전화번호 :

점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	만족(S)/불만족(U)	특이사항
<b>제방/비상여수로</b>		
• 식생은 온전한가?		
• 제방의 침식문제?		
• 제방에 설치류 활동?		
• 제방의 균열, 슬라이딩, 팽창 여부?		
• 누수/침투현상 발생?		
• 여수로가 말끔한가?		
• 비상여수로 설치지역에 침식?		
<b>유출입구 구조물 및 수로</b>		
• 쓰레기 존재? 제대로 작동?		
• 쓰레기 랙에 쓰레기? 제대로 작동?		
• 퇴적물 축적량?		
• 콘크리트/석재 구조물의 상태?		
• 금속성 관로는 정상상태?		
• 수문작동은 정상?		
• 출수수로는 정상? 침식?		
<b>침사지</b>		
• 퇴적물 축적여부?		
• 상수위 습지상태		
• 침입종의 존재?		
• 육안으로 관측되는 오염현상?		
• 연안지역 침식문제?		
• 유입수 출구지역 침식발생여부?		
• 습지 선단과 말단 정상상태?		
• 다른 활동에 의해 잠식현상 발생?		
• 퇴적물 축적량은?		
<b>식생지역</b>		
• 식생은 적절한가?		
• 정상적인 식물성장이 이루어지고 있는가?		
• 침전이 과도하게 이루어지고 있는가?		
<b>안전사항</b>		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?		
• 위험지역으로 경고되고 있나?		
<b>보수활동계획</b>	<b>예정일</b>	

점검자 서명:

점검자 성명:



### 지하하름 인공습지

- **침사지** : 2~3년 주기로 갈수기에 토사 등 퇴적물을 제거 권장, 장마철 이후 정밀 점검을 실시하여 필요시 토사 등 제거
- **식물제거** : 고사 식물체가 접촉여재의 폐색 가능성 있어 1년 주기로(11~12월) 절취
  - ▶ 잔재물 처리에 각별한 주의 필요
- **여재관리** : 고농도 폐수처리 용도가 아니면 폐색우려 낮음, 교대운영, 건조 등 실시
  - ▶ 유지관리 용이성 위해 패키지화 여재 채움, 또는 제거가 용이한 것 이용
  - ▶ 접촉여재 폐색 시 들어내 세척하여 다시 채움
- **운영관리** : 2조 이상 설치·운영이 바람직함, 1년 주기 교대 운영 권장
  - ▶ 미운영 기간 동안 침전지 건조 또는 퇴적물 제거, 여재관리 및 세척, 식물관리 및 제거 등의 시설관리 실시, 습윤 상태 유지하여 식생의 정상 성장 유지 필요



### 식생수로

- 정상기능을 유지할 수 있도록 침전부 및 여과시설, 유입·출수로의 쓰레기 및 협잡물 등 주기적 제거 관리 실시
- 장마 등 큰 유출이 있는 경우 토사 등 퇴적물, 협잡물, 시설손상 등 시설 전반 점검
- 식생관리 및 유입, 유출 수량, 문비 관리, 사면관리 등 정기적 점검 필요



### 침강지

- **퇴적물관리** : 지역여건 고려, 5년 주기 권장, 저수위기 침강지 저류수 배제시기 실시
- **부유쓰레기 관리** : 강우 직후 빠른 시일 내에 제거 (침전 또는 부패시 제거곤란, 수질오염 우려 발생)
- **부담관리** : 붕괴위험 수시 점검, 식생 도입시 구조물취약 우려, 식생제거 관리 필요
- **비상수문관리** : 저류수 완전배제 등 비상시 외에는 개방하지 않아야 기능 유지 가능
  - ▶ 평수기 일부 개방하여 어도로 활용 (생태계 이동통로 확보), 적정 가동 여부 점검
- **녹조관리** : 오염물질 침강, 집적으로 녹조발생 가능 높음. 적정하게 제거 관리 필요
- **안전관리** : 일반인 접근으로 인한 시설훼손, 안전사고 등 발생 우려 있으므로 관리자의 낚시객 등 일반인의 접근·통행을 금지하고, 상시점검 관리 실시



### 강제폭기/순환장치 (물순환장치)

- 시설관리 : 배를 이용하여 작동상황 정기 점검, 풍량에 의한 도복 방지 등 설치 관리
- 태양전지판 : 평면형으로 조류(鳥類) 분변에 쉽게 오염, 주기적인 세정을 통해 광전기 전환율을 높여주는 운영관리 필요, 축전지 수명 2~5년 내외로 정기적 교체 필요
- 물흡입관의 수심조절 : 초기 표층에서 저층부로 넓혀가는 것이 유리, 수심별 운영기간은 저수지 여건별로 달라 지속 모니터링 후 조절
- 위치관리 : 가능한 수심이 깊은 곳에 설치 권장, 조류 접근 막기 위해 경보등 설치
- 안전관리 : 일반인 접근 금지, 동절기 주변 얼음 두께 얇아 익사사고 발생 위험 높음

### 미세조류

- 시설유지 관리 : 전처리조, 배양조, 인공습지 체크리스트에 준한 상시점검 실시.
  - ▶ 미세조류 수처리 시설 내 누수 확인. 시설 파손 및 크랙 여부 점검
- 전처리조 시설관리 : 계측장비(설치 및 현장계측)로 전처리기술 탱크수질 상시 측정. 펌프 가동 및 탱크별 유량, 탱크수량 점검 및 조정(유량계 설치), 퇴적물 정기점검
- 사계절 운영관리 : 사계절(동절기포함) 운영 적정화 위해 유량측정 및 현장 계측장비 이용, 각 조사지점에서 일변화 등 운영조건 모니터링 실시
- 배양시스템 관리 : 수로내 흐름의 불균형으로 인한 미배양 또는 과배양 상태 수시 점검, 배양조 내 동물플랑크톤 등 배양 방해요소 출현 파악 및 실시간 조치
  - ▶ 반응조 내 자동 모니터링 시스템 도입, 유입유량 및 반응유량, 배양조 유출유량 실시간 점검, 운영계획에 따른 관리 점검 및 보수 실시
- 농축수거장치 관리 : 농축조는 동절기 운영 위해 하우스 내부에 설치, 분리막 막힘정도를 파악하는 음압계 설치, 연 1회 내외 NaOCl (0.5 %)로 Cleaning 실시
- 방류수 안정화 시설관리 : 방류수질 정기 모니터링, 수질 초과시 시설 재점검 실시



[그림 36] 미세조류 수처리 시스템 운영관리 계획

**[표 65] 미세조류 수처리 시설의 유지관리 점검 체크리스트**

시설명 :

관리인 성명/주소/전화번호 :

점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	만족(S)/불만족(U)	특이사항
<b>양수부 및 전처리시설</b>		
• 취수부 이상유무 확인		
• 모터 가동시 운전상황 점검		
• 전기시설의 이상유무 확인		
• 전처리시설 수위확인		
• 전처리시설 막힘 확인		
• 전처리시설 배관 누수 확인		
<b>미세조류 배양시스템</b>		
• 유입부의 유량균등유입 확인·조치		
• 수차의 이상유무확인, 이물질제거		
• 배양조의 수위 및 정상흐름 확인		
• 각 배관의 밸브 조정 및 이상확인		
• 배관 및 배양조 누수확인 및 조치		
• 주변장치(교반기 등) 이상유무		
• 배양조 내 협잡물 제거		
<b>미세조류 수거시설</b>		
• 유입부의 유량균등유입 확인·조치		
• 수거장치 이상유무확인, 이물질제거		
• 수거조내 수위 및 정상흐름 확인		
• 각 배관의 밸브 조정 및 이상확인		
• 배관 및 배양조 누수확인 및 조치		
• 수거상태 이상유무 확인		
• 수거조류의 정리, 보관		
<b>유출부</b>		
• 유출부 주변 이물질 제거		
• 유출배관의 정상위치 확인		
• 유출배관의 파손유무 점검		
• 유출배관 안전관리 및 조치		
• 유출수질의 육안 이상유무 확인;		
<b>안전사항</b>		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?		
• 위험지역으로 경고되고 있나?		
<b>보수활동계획</b>	<b>예정일</b>	

점검자 서명:

점검자 성명:



## 바이오스톤볼 접촉산화시설

- 전처리 시설의 모래침전 유무 또는 헤파물 부착 상태 등
- 유입수 분배조 유입수의 정상적 유입점검, 유입구내 토사 퇴적량 조사 및 인발
- 바이오스톤볼 접촉산화조 이물질 제거, 슬러지 퇴적 상태 및 폐색 여부 등
- 처리수조의 헤파물에 의한 막힘 점검, 미처리 SS 및 탈리 미생물 유출 여부 등
- 송풍기 오일 주유상태, 동력전달 벨트상태, 기계 이상 소음 유무상태, 베어링 및 구동부 온도, 전류계 및 압력계의 정상 여부 등
- 산기관의 막힘 여부 및 슬러지 부착 상태, 펌프류 이물질 여부 등 수시 확인
- 밸브류 수동 작동여부, 부식 및 볼트 이완 상태, 작동부 그리스 및 오일 주입 상태
- 콤프레셔 오일 주유상태, 동력전달 벨트상태, 기계 이상 소음 유무상태, 베어링 및 구동부 온도, 전류계 및 압력계의 정상 여부 등



**[표 66] 바이오스톤볼 접촉산화시설의 유지관리 점검 체크리스트**

시설명 :

관리인 성명/주소/전화번호 :

점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	만족(S)/불만족(U)	특이사항
<b>1. 유입부</b>		
• 유입부 스크린에 협잡물에 의한 유입수 방해여부?		
• 육안으로 관측되는 오염현상?		
• 유입수 유량이 적정 처리유량인지 확인여부?		
• 유입배관 돌출 및 누수여부?		
<b>2. 침사조</b>		
• 침사조저부 퇴적물 축적여부?		
<b>3. 전처리조 및 유량분배조</b>		
• 유입수가 균등하게 분배 되는가?		
• 포기장치(산기관) 작동 여부?		
• 유량분배조 수위가 적정한가?		
• 유량분배조 내부 이물질이 존재여부?		
• 조내 퇴적물 축적여부?		
<b>4. 바이오스톤볼 접촉 산화조</b>		
• 바이오스톤볼의 형상 변형이 있는가?		
• 역세기 상부까지 공기전달이 이루어지는가?		
• 육안으로 확인시 유입대비 탁도의 변화는 개선되는가?		
<b>5. 방류조</b>		
• 유량분배조와 방류조의 처리수 수위가 적정한가?		
• 유량분배조의 재포기 장치(산기관) 작동여부?		
• 조내 퇴적물 축적여부?		
<b>6. 방류수역(방류배출부)</b>		
• 퇴적물에 의해 유출수의 방해여부?		
• 적정유량이 배출되는지 여부?		
• 처리수의 상태(유입대비/유출)가 적정한가?		
<b>7. 기타</b>		
• 토목구조물의 균열 및 누수여부?		
• 기계장치(브로워등) 정상가동여부(이상소음등)?		
• 바이오스톤 접촉산화조 상부 식생상태가 적절한가?		
• 시설상부 침하 여부?		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?		
• 안내판 상태는 양호한가?		
<b>보수활동계획</b>		<b>예정일</b>

점검자 서명:

점검자 성명:



## 천적생물 적용기술

- **양수설비** : 저수지에서 배양시설로 물을 유입시키는 수중펌프와 연결배관이 해당됨
  - ▶ 수중펌프는 운전 전, 중, 후의 작동상태 확인, 작동이 안 될 시 임펠러부분에 이물질부착여부, 전선의 피복파손, 누전여부를 조사. 모터 손상시 즉시 교체 함
  - ▶ 연결배관은 지상 쪽에서는 물리적인 충격, 자외선 등에 손상될 수 있으며 수중에서는 지속적으로 가해지는 펌프압력에 의해 누수가 발생하거나 연결부위가 해체될 수 있으므로 유입유량이 적거나 나오지 않을 때 점검하며 손상되었을 경우 교체함
- **원수분리조** : 동물플랑크톤과 식물플랑크톤이 잘 분리될 수 있도록 분리막이 찢어지거나 훼손되지 않았는지, 막힘현상이 나타나지 않는지 등 항상 체크를 해야 하며, 분리조에서 분배되는 각 유량의 양이 적합한지 정기적 관리 실시
- **각 배양조의 최적 체류시간 확보** : 유입량조절을 통해 이루어지는데 밸브 조작이나 배관에 이물질이 유입 등으로 유입량이 변할 수 있으므로 정기적으로 확인 관리
- **식물플랑크톤 배양조** : 먹이생물의 질적 관리를 위해 배양상태 등을 꼼꼼히 체크
- **동물플랑크톤 배양조** : 수중교반량과 먹이생물 공급비율, 먹이생물의 질 등을 항상 관찰하고, 관리해야 함
- **천적생물 살포** : 대량배양한 천적생물 살포장치의 상태를 항상 점검하고 관리
- **산소공급** : Blower와 산기관을 통해 동물플랑크톤 배양조에 산소를 공급하는데 공기방울 사이즈가 크면 천적생물 배양 및 증식에 영향을 미칠 수 있으므로 산소 공급은 수면에 잔잔한 여울이 생기는 정도로 미세하게 조절하여 주입함
- **분리망** : 원수분리조에 설치된 분리망의 상태를 정기적으로 점검하여 막힘현상에 의해 유입된 원수가 분리망을 넘어가는 현상이 나타나지 않도록 분리망 청소를 실시하고 안정적으로 원수가 공급될 수 있도록 함
- **누적오염물질의 제거** : 배양 중 생성되는 동물플랑크톤 사체와 탈피 잔재물 등의 유기성 물질이 침강되어 바닥에 쌓이게 되면 배양환경이 나빠지므로 월 1회 청소 실시
  - ▶ 장마기 탁수유입이 심각할 경우 양수 일시중지, 회분배양으로 전환하여 보호조치 함
- **동절기 관리** : 결빙현상으로 배관, 배양조 파손. 11월 가동중단 후 완전배수 관리
- **천적생물 동면관리** : 동절기 휴면양 생성하면 배양조 배수, 습윤상태 유지, 동면 유도



**[표 67] 천적생물 배양장치의 유지관리 점검 체크리스트**

시설명 :

관리인 성명/주소/전화번호 :

점검일자/시간/현장특이사항 :

점검사항	만족(S)/불만족(U)	특이사항
<b>배양지 양수 및 저장조</b>		
• 취수부 스크린 부착물 제거		
• 모터 가동시 운전상황 점검		
• 전기시설의 이상유무 확인		
• 저장조 수위확인		
• 저장조 온도조절장치 이상 확인		
• 탱크 및 배관 누수 확인		
<b>식물플랑크톤 배양조</b>		
• 유입부의 유량균등유입 확인·조치		
• 여과막 이상유무확인, 이물질제거		
• 각 수조의 수위 및 정상흐름 확인		
• 각 배관의 밸브 조정 및 이상확인		
• 배관 및 수조의 누수확인 및 조치		
• 수조 주변장치(교반기 등) 이상유무		
• 수조 내 협잡물제거		
<b>천적생물 배양조</b>		
• 유입부의 유량균등유입 확인·조치		
• 여과막 이상유무확인, 이물질제거		
• 각 수조의 수위 및 정상흐름 확인		
• 각 배관의 밸브 조정 및 이상확인		
• 배관 및 수조의 누수확인 및 조치		
• 수조 주변장치 이상유무		
• 수조 내 협잡물제거		
<b>유출부</b>		
• 유출배관의 정상위치 확인		
• 유출부 주변 이물질 제거		
• 유출부 경광등정상작동 확인·조치		
• 유출배관 안전관리 및 조치		
• 메소코즘 이상유무 확인		
<b>안전사항</b>		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?		
• 위험지역으로 경고되고 있나?		
<b>보수활동계획</b>		<b>예정일</b>

점검자 서명:

점검자 성명:



농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

# 해설편



제2장  
현황 분석  
및 조사





## 제2장 현황 분석 및 조사

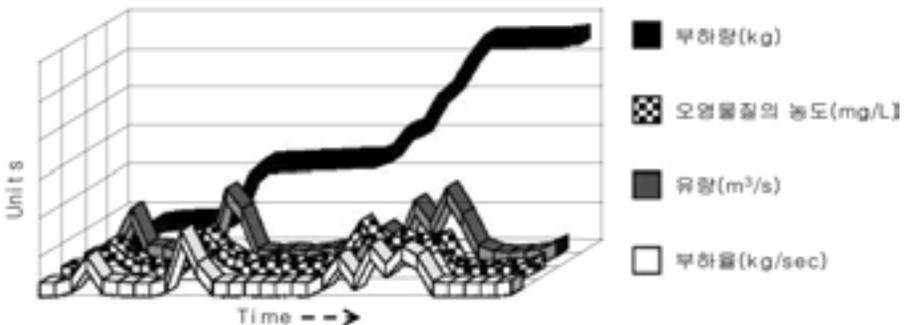
### 1. ○ 부하량 산정

#### 가. 개요

- 오염물질 부하량(pollutant load)이란 오염원으로부터 특정시간동안 수계로 유입되는 오염물질의 질량 또는 중량을 말한다. 어떤 수계로 유입되는 부하량을 산정하기 위해서는 특정기간 동안의 부하율을 합산하여 산출한다.
- 오염물질 부하율/loading rate 또는 flux)이란 부하량이 특정 관측지점 또는 수계의 특정지점을 단위시간 동안 통과한 오염물질의 중량으로 정의된다. 수학적으로 부하량은 부하율을 시간에 따라 적분한 값을 나타낸다.

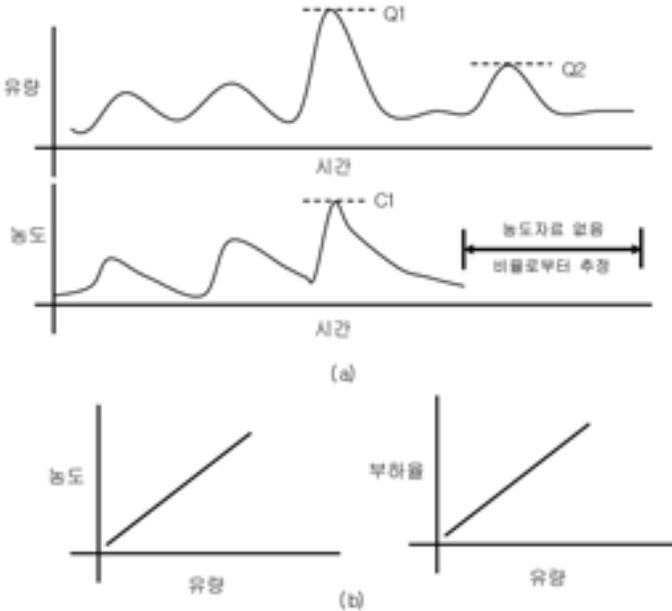
#### 나. 실측에 의한 오염부하량의 산정

- [그림 2-1]은 오염물질 부하량의 산정과정을 그림으로 나타낸 것이다. 그림에 나타난 농도자료는 24시간 동안 자동샘플러를 이용하여 채취한 유량가중혼합시료를 1개월 동안 분석한 값이다.



[그림 2-1] 시간에 따른 유량, 농도, 부하율 및 누적 부하량

- 누적부하량은 모든 샘플링 시간간격에서 산출된 부하율을 순차적으로 누적한 값을 의미한다.
- 일반적으로 농도자료 보다는 유량자료가 많기 때문에 농도자료가 결측된 경우에는 [그림 2-2]와 같이 유량-농도곡선식 등을 이용하여 부하율을 산정할 수도 있다.



[그림 2-2] 부하율 산정방법: (a) 유량비율법, (b) 회귀법

- 부하량 평가방법에는 다음과 같은 것이 있다.
  - 평균법이란 월 또는 분기별 부하량을 말하며 일반적으로 통계학적으로 편중분포 (biased) 되어 있을 수 있다. 이러한 경향은 샘플수가 감소할수록 증가한다. 예를 들어 4개의 분기별 부하량을 합하여 결정되는 연간 부하량은 12개의 월간 부하량을 합하여 산정한 연간 부하량보다 훨씬 크게 편중분포(biased) 되어 있을 수 있다.
  - 일반적으로 회귀분석법(regression approach) 보다 비율법(유량과 농도의 비율로부터 산정하는 방법, ratio approach)이 신뢰성이 높고, 이 두 방법이 평균법보다 좋은 결과를 제공할 수 있다. 회귀분석법은 유량과 농도사이의 강한 통계적인 상관관계로부터 도출된 것이므로 통계 분석된 유량범위 내에서 훨씬 유용한 방법이 될 수 있다.

## 다. 원단위에 의한 부하량 산정

### 1) 수질오염총량 관리기술지침에 의한 부하량 산정

- 전국오염원조사결과(국립환경과학원)를 기초자료로 하여 환경부의 수질오염총량 관리기술지침에 따라 부하량을 산정 한다.

### 2) 개략 원단위에 의한 부하량 산정 방향

- 원단위를 이용하면 유역에서의 다양한 토지이용으로부터 발생하는 오염부하량을 손쉽게 산정할 수 있다.
- 원단위는 단위시간동안 단위면적의 토지로부터 발생하는 오염물질 중량으로 정의 된다. 따라서 원단위에 토지면적을 곱하면 부하율을 산정할 수 있다.
- 원단위법의 정확도는 부하율에 따라 좌우되므로, 장기간 오염물질 부하량의 측정결과를 바탕으로 부하율을 얻는다면 오차를 최소화할 수 있다. 그러나 오염물질의 운송기작은 단순히 토지이용에 따른 함수가 아니며, 강우-유출기작과 토양침식과정에 의해 좌우되므로 이 방법에 의한 추정결과는 통계값 이상의 의미를 갖지 못한다.
- 부하량 산정시 적용하는 발생원단위는 실측자료를 우선으로 하되 실측자료가 없는 경우 아래에 제시된 환경부 고시 제2006-69(2006.5.11) 표본조사 방법에 따른다.

### 3) 인구에 의한 부하량

가) 발생부하량 =  $\Sigma(\text{인구수} \times \text{발생부하원단위})$

[표 2-1] 인구 기준 발생원단위

(단위 : g/인/일)

구 분	BOD	TN	TP
시 가	50	10.5	1.2
비 시 가	49	13.2	1.5

자료출처 : 오염총량관리계획 수립지침

#### 나) 배출부하량

- 하수처리구역 : 1인1일하수발생량(시가) 및 하수종말처리시설 방류수질 적용
- 배출부하량 = 처리구역내 인구 × 1인당1일하수발생량 × 하수종말처리시설 방류수 농도
- 하수발생량 원단위 = 1인당 일평균 급수량 × 유효수율 × 오수전환율

[표 2-2] 하수발생량 원단위

(단위 : L/인·일)

구 분	일평균 급수량(L/일)	유 효 수 율	오수전환율	원 단 위
시 가	346	0.86	0.9	268
비 시 가			0.85	253

자료출처 : 2007 상수도통계 및 하수도 통계

[표 2-3] 하수종말처리시설 처리수질(2006년 전국 평균)

(단위 : mg/L)

구 분	BOD	TN	TP
하수종말처리	5.0	11.705	1.051

자료출처 : 2007 하수도 통계

- 하수미처리구역 : 1인1일하수발생량(비시가) 및 단독정화조 처리 적용
- 배출부하량 : 미처리구역인구×발생원단위×분뇨부하비×(1-기준처리비율/100)+미처리구역인구×발생원단위×(1-분뇨부하비)

[표 2-4] 하수미처리구역 분뇨발생부하비

구 분	BOD	TN	TP
분뇨발생부하비	0.35	0.82	0.60
기준처리율	65%	10%	10%

자료출처 : 오염총량관리계획 수립지침

#### 4) 축산에 의한 부하량

가) 발생부하량 =  $\Sigma(\text{축종별 사육두수} \times \text{발생원단위})$

[표 2-5] 축산분뇨 발생유량 및 발생부하원단위

(단위 : m³/두/일, g/두/일)

구 분	발생유량	BOD	TN	TP
한 우	0.0164	528	116.8	36.1
젖 소	0.0456	556	161.8	56.7
말	0.0097	259	77.6	24.0
돼 지	0.0086	109	27.7	12.2
가 금	0.0001	5.2	1.1	0.4
양(사슴)	0.0007	10	5.8	0.9
개	0.0011	18	8.4	1.6
기 타	0.0010	14	7.1	1.3

나) 배출부하량

[표 2-6] 축산분뇨자원화시설의 축분처리방법별 처리율과 농지배출계수

수 질 항 목	축분처리방법	자원화처리율	농지배출계수
BOD	톱 밥 발 효	0.4	0.10
	퇴 비 화	0.5	0.10
	액 비 화	0.3	0.12
	퇴 비 + 액 비	0.5	0.10
	위 탁	0.5	0.10
	기 타	0.5	0.10
	미 처 리	0.2	0.15
TN	톱 밥 발 효	0.2	0.20
	퇴 비 화	0.2	0.25
	액 비 화	0.18	0.20
	퇴 비 + 액 비	0.2	0.20
	위 탁	0.2	0.20
	기 타	0.15	0.20
	미 처 리	0	0.40
TP	톱 밥 발 효	0	0.05
	퇴 비 화	0	0.05
	액 비 화	0	0.08
	퇴 비 + 액 비	0	0.05
	위 탁	0	0.05
	기 타	0	0.05
	미 처 리	0	0.10

자료출처 : 오염총량관리계획 수립지침

● 축산분뇨자원화시설을 거쳐 비점오염원 배출로 산정

● 배출부하량 : 축종별 사육두수×축산분뇨 발생원단위×(1-자원화처리율)×농지배출계수

5) 비점오염원에 의한 부하량

가) 발생부하량 =  $\Sigma(\text{토지이용면적} \times \text{발생원단위})$

[표 2-7] 비점오염원에 의한 발생부하량 원단위

(단위 : kg/km<sup>2</sup>/일)

구 분	BOD	TN	TP
논	2.30	6.56	0.61
밭	1.60	9.44	0.24
대 지	85.90	13.69	2.10
임 야	1.00	2.20	0.14
목 장	35.10	5.37	1.72
골 프 장	1.00	3.56	2.76
기 타	1.00	0.06	0.03

나) 배출부하량

● 배출부하량 : 발생부하량 × 비점오염원 유출계수(0.25적용)

[표 2-8] 비점오염원 유출계수

비점오염원 유출계수	0.25
------------	------

자료출처 : 오염총량관리계획 수립지침

6) 산업폐수에 의한 부하량

가) 발생부하량 =  $\Sigma(\text{폐수발생량} \times \text{발생원단위})$

나) 배출부하량 = 폐수방류량 × 배출허용기준

[표 2-9] 폐수배출시설 배출허용기준

항목 지역	BOD(mg/L)		TN (mg/L)	TP (mg/L)
	1일 폐수 배출량이 2,000m <sup>3</sup> 이상	1일 폐수 배출량이 2,000m <sup>3</sup> 미만		
청정지역	30	40	30	4
가 지 역	60	80	60	8
나 지 역	80	120	60	8
특례지역	30	30	60	8

자료출처 : 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률

## 라. 모델링을 통한 오염부하량의 산정

- ④ 유역으로부터 저수지로 부하되는 오염부하량을 산정하는 방법으로 다양한 유역수질모델(watershed model)을 사용할 수 있다.
- ④ 유역수질모델은 유역의 점오염원과 강우시 유출에 의해 지표 및 지표 하로 부하되는 비점오염원의 수계 유출 부하량을 산정하도록 개발되었으며, 대상오염물질의 운송기작의 모의수준에 따라 단순모델(simple model), 중간수준의 모델(mid-range model), 복잡한 수준의 모델(detailed model)로 구분할 수 있다. 각 모델에 대한 특징, 적용성, 선정 기준에 대한 상세한 해설은 2.10.1절을 참고한다.
- ④ 단순모형은 단위 부하량을 이용하는 방법과 유출사상 평균농도에 관한 확률분포 개념에 근거한 통계적 방법 등이 이에 속하며, EPA Screening, Simple Method 등이 이에 속한다.
- ④ 중간수준의 모델은 비교적 단순화된 단일 홍수사상 및 연속 모형에 대한 수문 순환을 고려한 유역비점원오염 추정 모형을 포함하며 GWLF, Q-ILLUDAS 등이 해당한다.
- ④ 고급수준의 모델은 단일 및 연속 홍수사상에서 유역의 다양한 토지이용과 오염물질이 복잡한 운송기작을 해석할 수 있는 모형으로써 SWAT, HSPF, SWMM, AnnAGNPS 등이 해당한다.
- ④ 해당 농업용저수지 수질개선 사업을 위한 적절한 유역수질모델의 선정은 대상 유역의 규모와 토지이용 특성, 관심 수질 항목, 요구되는 모의 수준, 출력자료의 시간단위 정도, 가용할 수 있는 입력자료의 수준, 그리고 과업의 예산과 허용시간 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.

### 모델링 결과의 불확실성

- ① 모델은 실제 일어나는 현상을 단순화하므로 모델링 결과는 불확실하다. 따라서 예측의 불확실성을 정량화하여 모델링 결과에 포함시켜야 한다.
- ② 예측결과와 불확실성은 자연적인 과정의 변동이나 샘플링과 분석, 모델링 과정(입력자료, 매개변수, 모델 구조)에서 수반되는 오차에 의해 발생한다.
- ③ 모델은 정량화되지 않는 불확실성을 내포하고 있는데 이러한 불확실성은 부적절한 모델인자의 사용으로부터 발생된다.
- ④ 모델의 불확실성은 민감도분석, 1차 오차분석, Monte Carlo 모의 기법 등을 사용하여 분석한다.

- 유역수질모델이 결정되면 실측 유량과 수질자료를 이용하여 모형을 보정 및 검증한 후 오염부하량 산정에 활용한다. 모형의 정확도는 실측값과 모의 값의 회기분석, 상태오차, 모형의 효율지수, 그리고 가설검증(t-test) 등을 통하여 수행한다.

## 마. 장래 부하량 산정

### 1) 생활계

- 자연적 인구 증가와 소규모 개발 사업에 의한 인구이동을 반영하여 연차별 총인구의 증감율로 예측한다.
- 시·군·구 단위의 과거 오염원조사 자료와 환경통계연감의 총인구를 바탕으로 목표 연도의 전국 하수처리율을 고려하여 인구 추정한다.
- 인구추정 방법은 등차급수, 등비급수, 지수성장법, 기하곡선법, 최소자승법, 시계열 분석, 지속할당모델 등을 사용할 수 있으며, 해당 유역의 특성에 맞는 방법을 선정한다.

### 2) 축산계

- 시·군·구 단위의 과거 5년간 축종별 사육두수에 근거한 연차별 자연증감율을 수학적 등차급수 방법으로 추정한다.

### 3) 산업계

- 시·군·구 단위의 과거 5년간 업종별 폐수 발생·배출량 현황에 근거한 연차별 자연증감율을 수학적 등차급수 방법으로 추정한다.

### 4) 토지계

- 해당년도의 총 토지면적을 기준으로 시·군·구 단위의 과거 5년간 지목별 면적 현황에 근거한 연차별 자연증감율을 수학적 등차급수 방법으로 추정한다.

### 5) 양식계 및 매립계

- 해당년도의 매립장 침출수량과 양식장 월사료투여량을 기준으로 하여 목표년도까지 동일하게 예측한다.



## 2. ○ 수질 조사

[표 2-10] 호소의 규모에 따른 수질조사 계획지점

주유입하천수	호수면적	300 ha 미만	300 ha 이상
	1 개소		1~2
2 개소		2~3	3~4
3 개소 이상		3~4	4~5

[표 2-11] 조사 횟수와 모집단 평균의 추정오차와의 관계

년 조사횟수	조사빈도	신뢰한계95%에서 추정 폭	모 평균의 추정값
4	각 계절에 1회	1.5 $\sigma$	0.25~1.75
6	2개월에 1회	1.0 $\sigma$	0.50~1.50
12	1개월에 1회	0.6 $\sigma$	0.70~1.30
26	2주에 1회	0.4 $\sigma$	0.80~1.20
53	1주에 1회	0.3 $\sigma$	0.85~1.15
365	1일에 1회	0.15 $\sigma$	0.925~1.075



채수기



투명도측정기

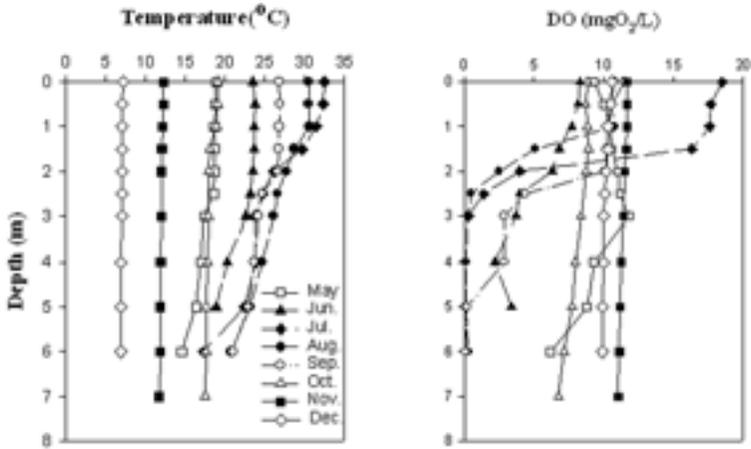


수질조사



수질측정기

[그림 2-3] 수질 조사 장비



[그림 2-4] 수심별 수온 및 용존산소 조사 예



[표 2-12] 하천에서 수질조사 현장 실험 양식(예)

시료채취기록부(하천에서 사용 가능)

지점	채수여부( )			조사일	20 년 월 일		
작성자				도착시간			
접근방법	다리, 제방, 도보, 배, 기타			출발시간			
기상	강우여부, 바람상태, 운량상태						
수온	℃	DO	mg/l	pH		25℃전기전도도	µS/cm
유량 측정(사람이 걸어 들어가서 측정한 경우)							
하천폭 m							
구간	출자높금 (m)	거리 (m)	수심 (cm)	유속(m/s)			
				X			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
필요시 계속							
참고사항: 정도관리용 시료 채취 여부, 경위도좌표, 기타 특이사항 (물색, 이물질, 조류증식 등)							

[표 2-13] 호소에서 수질조사 현장 실험 양식(예)

시료채취기록부(호소에서 사용가능)

지점			조사일	년 월 일			
작성자			도착시간	:			
수심/수위			출발시간	:			
기상개황	강우여부, 바람상태, 운량상태						
<b>시료채취 및 현장측정</b>							
구분	수심 (m)	채수 여부	현 장 측 정 항 목				투명도 (m)
			수온 (°C)	pH	DO (mg/ℓ)	전기 전도도 (μS/cm)	
표층							
중층							
저층							
<b>수온의 수직분포</b>							
구간	수심 (m)	채수 여부	현 장 측 정 항 목				현장측정기에 저장된 것을 인쇄하여 붙여도 됨
			수온 (°C)	pH	DO (mg/ℓ)	25°C전기 전도도 (μS/cm)	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
필요시 계속							
참고사항: 정도관리용 시료 채취 여부, 경위도좌표, 기타 지점의 특이사항(물색, 이물질, 조류증식 등)							



### 3. ○ 생태조사

**[표 2-15] 식물상 및 식생 조사 및 분석 방법**

항목		내 용
식물상	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 조사경로를 따라 이동하면서 출현하는 식물목록을 작성 및 기재된 식물종을 동정하여 조사함</li> <li>◦ 보호수, 노거수 및 법적보호종의 출현 확인</li> </ul>
	항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식물 종류 집계표 작성</li> <li>◦ 식물 목록은 “이우철, 원색한국기준식물도감, 1996” 참조</li> </ul>
식생	조사	◦ 대별되는 수변식생군락을 대상으로 식생분포를 조사
	항목	◦ 식물군락 분포현황, 군락배분모식도 작성

**[표 2-16] 동물상 조사 및 분석 방법 (원곡천, 신월천 하천정비기본계획 참조)**

항목		내 용
육상 동물상	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 포유류의 경우, 현지조사는 제방부, 수초대 등에 서식하는 설치류의 서식흔적 조사와 하천을 중심으로 인근에 형성된 삼림지대의 임연부에 서식하는 포유류에 대한 직접관찰 및 흔적조사(족적, 배설물)를 실시</li> <li>◦ 양서·파충류는 족대를 이용하여 자갈 밑, 수변식물 등에 은신하고 있는 개체를 수집하고 둔치부 습지, 웅덩이 등에서 유생, 알주머니 등을 확인</li> <li>◦ 조류의 경우, 하천 제방과 경작지 및 둔치 주변을 이동하면서 정점센서스(Point Census)와 선조사법(Line Census)에 의하여 좌우 폭 50m 범위내에서 쌍안경을 사용하여 관찰하거나, 울음소리로 서식조류를 확인</li> </ul>
	분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ ‘환경부, 제2차 자연환경 전국기초조사지침, 2001’에 준함</li> <li>◦ 우점도지수 및 종다양도지수 산출</li> </ul>
어류	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 족대(망목 3×3mm), 손그물(망목 2×2mm)를 이용하여 채집</li> <li>◦ 채집표본은 종을 동정하여 개체수를 기록한 후 대부분 방류하고, 사진촬영 및 표본제작에 필요한 소수의 개체들은 산채 또는 70% Ethyl Alcohol로 고정</li> </ul>
	분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 학명의 적용과 어류목록의 배열순서 및 생태구분 등은 ‘환경부, 제2차 자연환경 전국기초조사지침, 2001’에 준함</li> <li>◦ 우점도지수 및 종다양도지수 산출</li> </ul>
저서성 대형 무척추 동물	조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 정확한 저서성 대형무척추동물상의 파악을 위해 하천 중앙부 여울에서 Suber-Net(30×30cm)을 이용하여 정량채집(2회)을 실시하고 Scoop Net을 이용하여 수변 및 미소서식처(Riffle-Run-Pool)에 대한 정성채집 실시</li> <li>◦ 채집된 시료는 Kahle's Solution에 고정하여 실내로 운반하고 경멸한 후, 70% Ethyl Alcohol에 고정</li> </ul>
	분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 학명의 체계 및 국명은 ‘한국곤충학회, 한국곤충명집, 1994’와 ‘한국동물분류학회, 한국동물명집, 1997’에 준함</li> <li>◦ 군집분석; 우점도 지수, 다양도 지수, 종풍부도 지수, 균등도 지수 산출</li> </ul>



달뿌리풀(*Phragmites Japonica Steud*)



갯버들(*Salix Gracilistyla Miquel*)



버드나무(*Salix Koreensis Anderss*)



환삼덩굴(*Humulus Japonicus Sieb. et Zucc*)



쑥(*Artemisia Princeps Var. Orientalis Hara*)



달맞이꽃(*Oenothera Odorata Jacquin*)

**[그림 2-5] 우리나라 저수지 유역내 다분포 식물 사례**



메기(*Silurus asotus*)



붕어(*Carassius carassius*)



빙어(*Hypomesus olidus*)



쏘가리(*Siniperca scherzeri*)



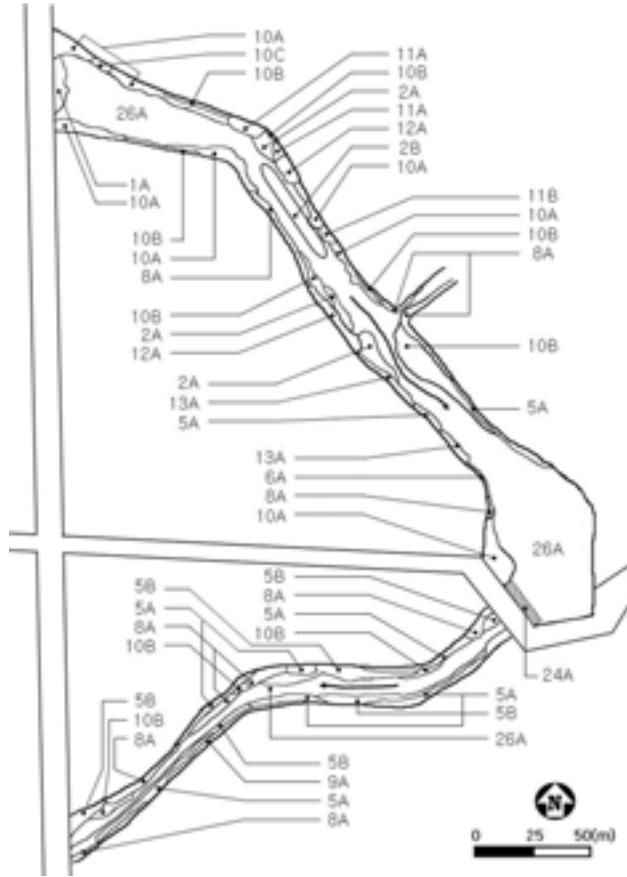
잉어(*Cyprinus carpio*)



향어(*Gyrinus carpio specularis*)

[그림 2-6] 우리나라 저수지 다분포 어류 사례

하천명	판교천
조사일	2004. 09.04



기본분류	군락구분	기호	기본분류	군락구분	기호	기본분류	군락구분	기호
침수식물 군집	검정말	1A	갈대 군집	갈대	8A	버드나무 교목림	호랑버들	12A
부엽식물 군집	노랑어리연꽃	2A	물억새 군집	물억새	9A	그 외 관목림	죽제비싸리	13A
	마름	2B		나도겨풀	10A		인공구조물	수문
1년생초본 군집	환삼덩굴	5A	그 외 벼과, 사초과 초지	줄	10B	개방수면	개방수면	26A
	고마리	5B		도깨비사초	10C			
다년생광엽초원	미국가막사리	6A	버드나무 관목림	갯버들	11A			

[그림 2-7] 하천식생도 조사 사례

[표 2-17] 식물군집 구조 조사표 작성사례

하 천 명	판교천		조사일	2004년 10월		방형구 번호	판교-3		
위도(N)	36°04'31.2"		경도(E)	126°41'14.4"		방형구면적(m <sup>2</sup> )	1×1		
지 형	고수부지	경 사	0°	토성	사양토	토 습	습		
군 집 명	고마리					군집기호	5B		
계층구조	우점종		높이(m)	식피율(%)		흉고직경(cm)			
교 목 층									
아교목층									
관 목 층									
초 본 층	고마리		0.45	100					
교 목 층		아 교 목 층		관 목 층		초 본 층			
종 명	피도	종 명	피도	종 명	피도	종 명	피도	종 명	피도
						고마리	100		
						환삼덩굴	5		
						도루박이	5		
						갈대	1		
									

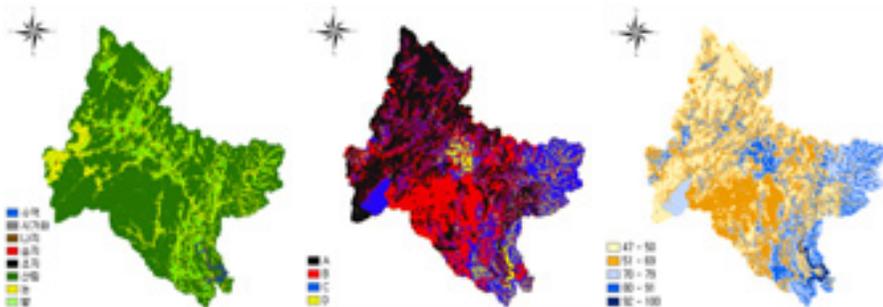
## 4. 토양의 수문학적 특성조사

### 가. 수문학적 토양군 분류기준

- 미국 농무성 토양보존국(UADA/SCS)의 수문학적 토양군 분류기준에 따른 A, B, C, D로의 구분은 우리나라 토양에도 적용될 수 있다. 즉 우리나라의 수문학적 토양군은 토성, 배수등급, 투수성, 투수저해토층의 유무 및 출현 깊이, 지하수위 등 침투수량을 지배하는 요인별로 분류기준을 정하였다.
- 이 기준을 적용하여 A, B, C, D군으로 구분할 수 있으며, A군은 미국 농무성의 정의에서와 같이 습윤상태에서 침투율이 빠르고 토심이 깊으며 배수가 상대적으로 양호한 조립질 토양들로서 유출율이 낮은 토양들인 반면에, D군으로 갈수록 유출율이 높은 토양들이다.

### 나. 토양통별 수문학적 토양군 분류 및 유출수문곡선

- 우리나라의 수문학적 토양군을 토양통별로 분류한 결과는 A군이 100개통, B군이 97개통, C군이 75개통, 그리고 D군이 118개통으로 분류된다. 우리나라의 토양통은 한국토양정보시스템(<http://asis.rda.go.kr>)에 제시되어 있다. 우리나라의 토양통별 수문군 분류 및 토양수문군 분류에 대한 세밀한 내용은 “친환경농업을 위한 토양조사기준 및 업무요령 개발(농어촌연구원,2006)”, “유출을 추정을 위한 토양수문군의 분류(정정화 등,1995)” 및 “유출곡선 지수법의 활용을 위한 수문학적 토양군 분류(농업과학기술원,2007)” 등을 참고한다.



[그림 2-8] 수문학적 토양군 분류에 따른 CN값 산정 사례

[표 2-18] AMC II 조건에서의 유출수문곡선(CN) 값

토지이용형태 \ 수문학적토양군	A	B	C	D
논	67	78	85	89
밭	63	75	83	87
주거지	59	74	82	86
산지	45	66	77	83

자료출처 : 이재수, 수문학, 구미서관, pp. 335-336, 2006.

## 5. ○ 수질예측모형 종류 및 선정

- 농업용저수지 수질개선사업의 조사와 기본계획 수립에 필요한 수질예측 모형은 크게 유역수질모델(watershed model)과 수체수질모델(waterbody water quality model)로 구분할 수 있다.
- 유역수질모델은 유역으로부터 수체(하천과 저수지)로 유출되는 유출량과 수질농도를 산정하는데 사용하며, 수체수질모델은 수계로 유입된 오염물질의 이송·확산과 수질반응 기작을 모의하는데 사용한다. 일부 복잡한 수준의 유역수질모델은 오염물질의 하도 및 저수지 추적기능이 있으나, 대부분 수질반응 기작이 단순하므로 농업용저수지의 수질모델로 사용하기에는 부적합하다.
- 유역수질모델과 수체수질모델의 종류와 특징, 그리고 선정방법은 다음과 같다.

### 가. 유역수질모델

#### 1) 유역수질모델의 종류

- 유역수질모델은 대상으로 하는 홍수사상(단일 또는 연속), 유역의 규모(포장규모, 중규모 유역, 대 유역), 유역의 토지이용 특성(농촌, 도시, 복합), 적용 이론과 해석 방법(경험적 모형과 물리적 모형) 등 다양한 방식에 의해 분류가 가능하지만 대체로 단순모델(simple model)과 중간모델(mid-range model), 복잡한 모델(detailed model)로 나누고 있다. 이와 같이 분류하는 기준은 모델의 복잡성과 시간, 출력정보의 분석과 표시방법 등이다.
- 단순모델은 쉽고 신속하게 문제가 되고 있는 오염원을 규명하는데 사용된다. 복잡한 모델은 정량적으로 오염물질 부하량을 산출해야 하기 때문에 많은 비용과 노력

이 필요하다. 중간형 모델은 비용과 복잡성, 정확성 측면에서 단순모델과 복잡한 모델의 중간정도에 위치한다.

☑ [표 2-19]~[표 2-22]은 단순모델, 중간수준의 모델, 복잡한 수준의 모델의 분류기준에 따른 해당 모델의 종류와 각 모델들의 특징 및 장단점을 간략히 기술한 것이다.

[표 2-19] 오염부하량 산정모델의 종류

단순모델	중간수준의 모델	복잡한 수준의 모델
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ EPA Screening</li> <li>◦ Simple Method</li> <li>◦ Regression Method</li> <li>◦ SLOSS-PHOSPH</li> <li>◦ Federal Highway Model</li> <li>◦ Watershed Management Model</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ SITEMAP</li> <li>◦ GWLF</li> <li>◦ Urban Catchment Model</li> <li>◦ Automated Q-ILLUDAS</li> <li>◦ SLAMM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ SWAT</li> <li>◦ STROM</li> <li>◦ DR3M-QUAL</li> <li>◦ SWRRBWQ</li> <li>◦ SWMM</li> <li>◦ HSPF</li> <li>◦ AnnAGNPS</li> </ul>
현장 중심형 모델		통합모델
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ CREAM/GLEAMS</li> <li>◦ Opus</li> <li>◦ WEPP</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ PC-VIRGIS</li> <li>◦ WSTT</li> <li>◦ LWMM</li> <li>◦ GISPLM</li> <li>◦ BASIN</li> </ul>

[표 2-20] 단순형 모델의 특징

단순형 모델(simple watershed models)	
적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 오염원의 상대적인 크기 평가가 필요한 경우</li> <li>◦ 관리계획을 수립할 때 척도가 필요한 경우</li> <li>◦ 모니터링 프로그램의 보조도구</li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 유역의 지형학적 특성과 오염물질 발생량과의 경험적인 관계로부터 도출</li> <li>◦ 엑셀이나 계산기를 통하여 계산할 수 있는 수준</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 신속하고 최소한의 자료와 적은 노력으로 목표 달성</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 계산치는 연평균 유출량에 불과</li> <li>◦ 대략적인 오염부하의 산정</li> <li>◦ 제한적인 예측능력</li> <li>◦ 경험적인 바탕에서 개발된 모델이므로 다른 유역에 적용하는데 한계</li> <li>◦ 오염물질의 분해와 전환과정이 고려되지 않음</li> <li>◦ 유역내부에서 이송과정이 설명될 수 없음</li> <li>◦ 비점오염 저감시설 효과평가 불가</li> </ul>

[표 2-21] 중간수준 유역모델의 특징

중간수준의 유역모델 (mid-range watershed models)	
적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 유역단위의 오염경감 프로그램</li> <li>◦ 관리대안의 상대적인 비교</li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 단순모델과 상세한 수학적 모델의 중간경도로 경험적 바탕으로부터 개발                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질의 발생과 이송관계</li> <li>- 단순모델에 비해 많은 현장자료 적용</li> <li>- 유역에서 토지이용패턴과 상관관계 설명 가능</li> </ul> </li> <li>◦ 추가로 수집된 자료를 가지고 보정할 필요가 있음</li> <li>◦ 조사유역에 따라 맞춤형 모델링 가능</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 계절적, 연도별 부하량과 장기적인 수질경향 평가가능</li> <li>◦ 연속적인 모의를 통하여 다양한 형태의 강우사상과 조건에 따른 부하량 비교평가 가능</li> <li>◦ GIS와 연계한 모델인자의 평가 가능</li> <li>◦ 비교적 다양한 유역에 적용가능</li> <li>◦ 그래픽 기능과 통계처리 능력보유</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 단순가정으로 인해 예측결과의 정확성에 한계가 있음</li> <li>◦ 분해 및 전환과정을 고려하지 않음</li> <li>◦ 유역내 오염물질의 이송과정해석이 포함되지 않음</li> <li>◦ 대부분 최적관리방안의 효과검증 불능</li> </ul>

[표 2-22] 복잡합 수준의 유역모델

복잡한 수준의 유역모델 (detailed watershed models)	
적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 오염부하량의 산출뿐만 아니라 수계영향 예측 가능</li> <li>◦ 수질오염의 원인파악이 필요한 경우</li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 연속적인 모의과정을 통해서 유량과 오염물질 농도 예측</li> <li>◦ 침투, 수문유출, 오염물질 축적, 하천영향, 지하수/지표수의 상호작용 모의</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 단순/중간수준의 모델과 비교하여 훨씬 큰 공간적/시간적 조건에서 모의</li> <li>◦ 세세한 수문모의결과를 잠재적인 제어방안 설계에 활용 가능</li> <li>◦ 다른 생물학적 모델과 연계가능</li> <li>◦ GIS와 연계 가능</li> <li>◦ 수계의 모든 지점에서 상당한 수준에서 정확한 유량과 수질예측 달성</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 자료수집과 모델적용을 적용하는데 많은 시간과 비용 소요</li> <li>◦ 비전문가가 사용하기에는 어려움이 있음</li> <li>◦ 유속, 침전, 분해 등에 속도인자 필요</li> <li>◦ 입력자료준비와 검보정과정에 많은 전문적인 지식과 시간 필요</li> </ul>

## 2) 주요 유역수질모델의 특징

- 미국환경청(USEPA, 2008)에서는 주요 유역수질모델로써 AGNPS, STEPL, GWLF, HSPF, SWMM, P8-UCM, 그리고 SWAT 등을 선정하였다.
- 여기에서는 농업용저수지의 유역특성에 적합하며 국내 적용사례가 가장 많은 HSPF와 SWAT 모델의 특성을 설명하였다.

### 가) HSPF(Hydrological Simulation Program-Fortran)

#### ① 모델 개요

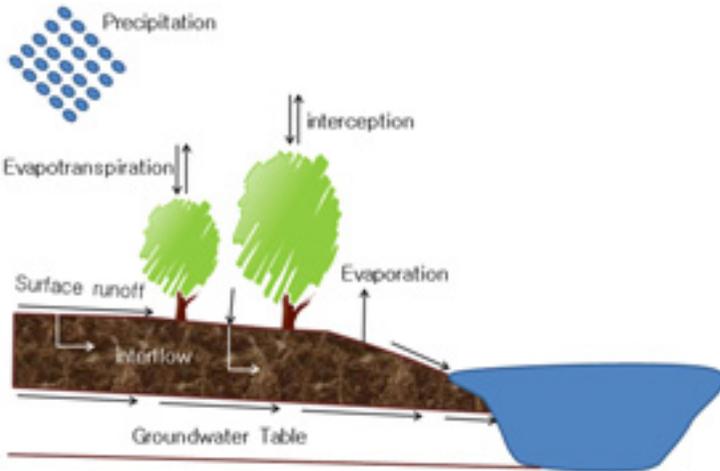
- 1970년대 중반 미환경청에서 오염총량제의 도입에 따라 점오염원과 비점오염원의 영향을 함께 고려하고자 개발
- 유역모델과 하천모델이 결합된 형태
- 광범위한 유역조건에 적용이 가능
- HSPFEXP, WDMutil 등과 같은 보조 프로그램이 개발
- 요구되는 입력자료 및 매개변수가 방대함
- 최적의 매개변수 값을 찾기 위하여 많은 노력과 시간이 필요
- 소유역에 대해 평균적인 매개변수 값을 적용
- 수질모의항목
  - DO, BOD, 퇴적량, 중금속 및 pH
  - 질소, 인, 플랑크톤
  - 탄소관련(내성유기탄소, 총유기탄소, 총무기탄소, 이산화탄소, 포화이산화탄소 농도, 유입탄소량, 유출탄소량) 등

#### ② 입력자료

- GIS 자료 : DEM, 토지피복도, 하천도, 유역도
- 기상자료 : 온도, 이슬점온도, 풍속, 강우, 운량, 증발산량, 일사량(시 또는 일단위, 증발산과 일사량은 보조 프로그램에서 계산)

#### ③ 출력결과

- 수문관련 유출량, 차단량, 지하수량, 토양층별 수분량, 증발산량
- DO, BOD, 퇴적량, 중금속 및 pH
- 질소, 인, 플랑크톤
- 탄소관련(내성유기탄소, 총유기탄소, 총무기탄소, 이산화탄소, 포화이산화탄소 농도, 유입탄소량, 유출탄소량) 등



[그림 2-9] HSPF 모델에서 고려하는 유역 수문순환 과정

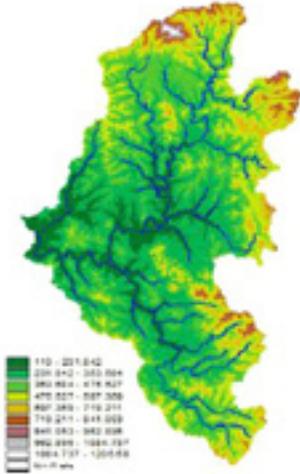
#### 나) SWAT(Soil and Water Assessment Tool)

##### ① 모델 개요

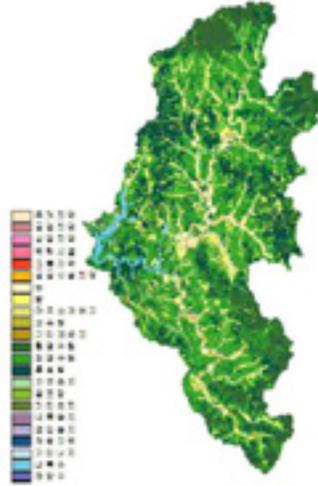
- ❶ 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)에서 개발한 모형으로 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 유출과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리 방법의 영향을 예측하기 위해 개발된 모형
- ❷ 일단위 모의가 가능한 유역단위의 준 분포형 장기강우유출모형
- ❸ 4가지 부모형(수문 부모형, 토양유실 부모형, 영양물질 부모형, 하도추적 부모형)으로 구성
- ❹ 수문 부모형은 저류 방정식에 의해 일단위로 물수지를 산정하며, 침식과 유사량은 수정된 범용토양유실공식(MUSLE)에 의해 산정
- ❺ 각 수문반응단위(HRU)에 따라 추정
- ❻ 영양물질인 질소와 인의 기작은 작물잔류물과 시비량에 의한 순환으로 이루어짐
- ❼ 수질모의 항목
  - 질소 :  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , Org-N
  - 인 :  $\text{PO}_4\text{-P}$ , Org-P
  - 살충제

② 입력자료

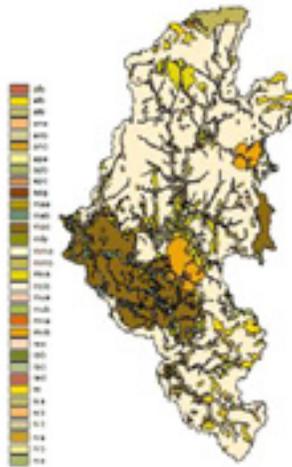
GIS자료 - DEM, 토지피복도, 토양도, 하천도, 유역도



[그림 2-10] 표고자료



[그림 2-11] 토지피복도



[그림 2-12] 토양도

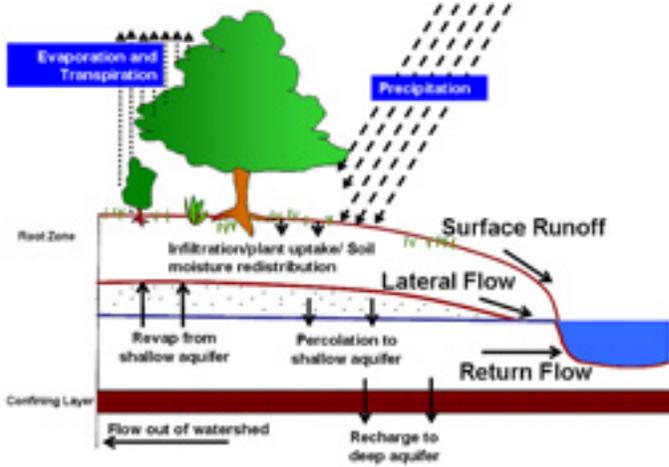
기상자료 - 최고온도, 최저온도, 풍속, 강우, 일사량, 상대습도 (일단위)

③ 출력결과

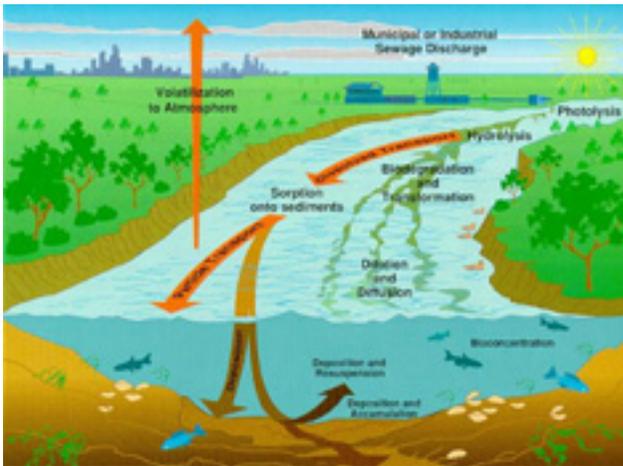
• 직접유출량, 지표하유출량, 토양수분, 침루량, 지하수량, 증발산량

• 수질모의 항목

- 질소 :  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , Org-N
- 인 :  $\text{PO}_4\text{-P}$ , Org-P
- 살충제



[그림 2-13] SWAT 모델에서 고려하는 유역 수문순환 과정 (Neitsch et al., 2002)



[그림 2-14] 하천에 대한 SWAT 모형의 추적과정 (Neitsch et al., 2002)

### 3) 적정 유역수질모델의 선정

- ❶ 저수지 수질개선 사업을 위한 유역수질모델의 선정은 대상 유역의 규모와 토지이용 특성, 관심 수질 항목, 요구되는 모의 수준, 출력자료의 시간단위 정도, 입력자료와 사용자의 숙련도 요구 수준, 모델 구축 소요 시간, 사용자 편의성 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.
- ❷ 또한 과업의 예산과 기간, 가용할 수 있는 입력자료 등을 고려하여 적절한 수준의 모델을 선정한다.
- ❸ [표 2-35]는 농촌유역의 유역수질모델로 자주 적용되고 있는 SWAT과 HSPF 모델의 특성을 비교한 것이다.
- ❹ [표 2-36]은 유역 수질 해석에 자주 적용되고 있는 모형인 SWAT과 HSPF 모델의 적용성을 비교한 것이다.
- ❺ [표 2-37]은 주요 유역수질모델의 수질모의 항목을 비교한 것으로서 적정 수질모델의 선정에 활용할 수 있다.

## 나. 수체수질모델

### 1) 수체수질모델의 종류

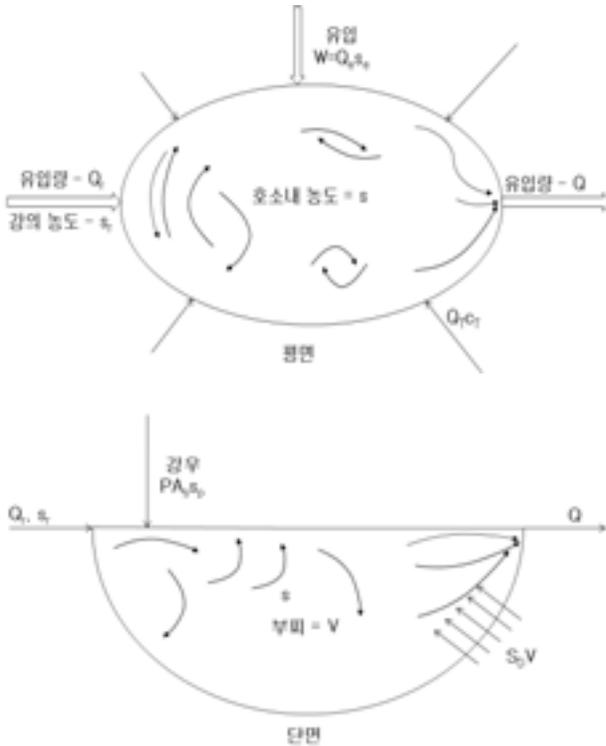
- ❶ 수체수질모델의 종류는 오염부하량과 수질의 시간적 변동성 고려 유무에 따라 정상상태 모델(steady state model)과 비정상상태 모델(unsteady state model)로 구분되며, 수질의 공간적 변동성 고려 수준에 따라 완전혼합 box 모델, 1차원 모델, 2차원 모델, 그리고 3차원 모델로 구분할 수 있다.
- ❷ 또한 DYNHYD-WASP 또는 EFDC-WASP과 같이 수리해석과 수질해석이 분리되어 순차적으로 수행하는 비연동 모델(decoupled model)과 CE-QUAL-W2 또는 ELCOM-CAEDYM과 같이 동시에 수행하는 연동 모델(coupled model)로도 구분된다.
- ❸ 정상상태 모델은 유역으로부터 일정한 오염부하가 지속적으로 유입될 때 하천 또는 저수지의 공간적 수질변화를 예측하기 위해 사용되며, 대표적인 모델로 QUAL2E가 있다.
- ❹ 비정상상태 모델은 유역으로부터 시간에 따라 변화하는 동적 오염부하 상태에서 하천 또는 저수지에서의 시공간적인 수질변화를 예측하기 위해 사용되며, 대표적인 모델로 WASP, CE-QUAL-W2, EFDC 등이 있다.

## 2) 주요 수체 모델의 특징

### 가) Box 모델

#### ① 완전혼합 저수지 모델

- 완전혼합 Box 모델은 수체의 수심이 성층화를 일으킬 정도로 깊지 않고 수평방향으로의 흐름특성 및 물질의 농도 변화가 무시할 만한 상태에 적용하며, 수체를 완전 혼합된 상태로 가정하며 유입부하량, 수체내 수질반응과 침강, 유출부하량의 물질 수지를 고려하여 수체 내 수질을 예측한다.



[그림 2-15] 완전 혼합호수의 평면 및 단면의 모습

- 수체에서의 유입되는 부하량의 총 양은 다음과 같다.

$$W = Q_e s_e + Q_r s_r + Q_T s_T + P A_s s_p + S_D V$$

- 수체내에 부하되는 오염물질의 물질수지방정식은 아래와 같이 세운다.

$$V \frac{dc}{dt} = W(t) - Qc - kVc - vA_s c$$

여기서  $c$ 는 수질농도[ML<sup>-3</sup>],  $t$ 는 시간[T],  $V$ 는 수체의 체적[L<sup>3</sup>],  $Q$ 는 유출량 [L<sup>3</sup>T<sup>-1</sup>],  $W$ 는 부하량[MT<sup>-1</sup>],  $k$ 는 1차 수질반응 계수[T<sup>-1</sup>],  $v$ 는 침강속도[LT<sup>-1</sup>],  $A_s$ 는 수면적[L<sup>2</sup>]이다.

- 위 식에 적용 가능한 수질항목에는 BOD, 입자성유기물(POM)이 있으며, 적용이 가능한 매개변수의 범위는 다음과 같다.

**[표 2-23] 물질수지방정식에 적용 가능한 매개변수 범위**

수 질 항 목	k(수질반응계수, day <sup>-1</sup> )	v(침강속도, m/day)
BOD	0.05 ~ 0.5	-
POM	0.001 ~ 0.111	0.02 ~ 2.1

- 오랜 시간 동안 부하량  $W$ 가 일정하게 들어온다면, 시스템은 정상상태에 도달하게 되며 수질농도는 아래와 같이 결정된다.

$$c = \frac{W}{Q + kV + vA_s}$$

- 특정 시점에서 오염부하량의 삭감(또는 증가)이 이루어 질 경우 수체내 오염물질의 농도는 시간에 따라 변하게 되며, 이 경우 비정상상태의 수질농도는 다음과 같이 결정한다.

$$c = c_0 e^{-\lambda t}$$

여기서  $\lambda = \frac{Q}{V} + k + \frac{v}{H}$

- 반응에 소요되는 시간은 아래와 같이 계산 가능하다.

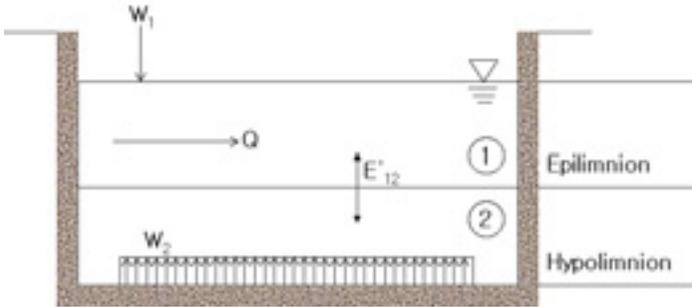
$$t_\phi = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{100}{100 - \phi}$$

여기서,  $t_\phi$ 는  $\phi\%$ 의 반응 (또는 농도 저감)이 일어나는데 소요되는 시간을 나타낸다. 예로써 수질농도가 50%로 저감되는데 소요되는 시간은 다음과 같다.

$$t_{50} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{100}{100 - 50} = \frac{0.693}{\lambda}$$

② 성층화된 저수지 Box 모델

- [그림 2-20]와 같이 여름철 수온차로 인한 성층화된 호수에서 층별 유입 및 유출을 고려하여 물질수지식을 구성한다.
- 표수층은 부하량  $W$ 와 상류로부터 유입량  $Q$ 가 들어오고 심수층과 함께 확산에 의해 혼합된다.
- 심수층은 퇴적물로부터의 부하량과 표수층과 확산에 의해 혼합된다.



[그림 2-16] 성층화된 저수지의 물질수지 개념도

- 각 층에서는 1차 수질반응에 의해 소멸되는 것을 가정하면, 수질반응식은 다음과 같다.

$$V_1 \frac{dC_1}{dt} = W_1 - QC_1 + E'_{12}(C_2 - C_1) - k_1 C_1 V_1$$

$$V_2 \frac{dC_2}{dt} = W_2 + E'_{12}(C_1 - C_2) - k_2 C_2 V_2$$

여기서  $E'_{12}$ 의 단위는  $[L^3T^{-1}]$ 이다.

- 정상상태에서의 수질농도는 다음과 같이 해석할 수 있다.

$$C_1 = \frac{(W_1 + \beta W_2)/Q}{1 + (1 - \beta)E'_{12}/Q + k_1 V_1/Q}$$

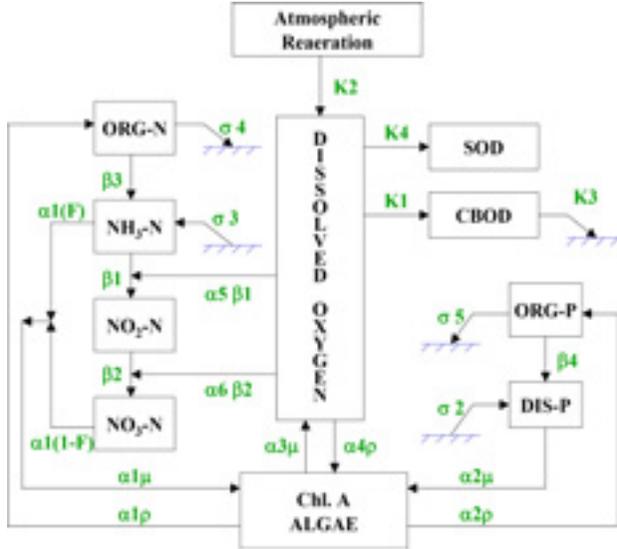
$$C_2 = \beta \left( C_1 + \frac{W_2}{E'_{12}} \right)$$

$$\beta = \frac{E'_{12}}{E'_{12} + k_2 V_2}$$

## 나) 1차원 모델 : QUAL2E

### ① 모델 개요

- QUAL2E모델은 미국 환경청(USEPA)에서 개발하였으며, 하천 수질 모의에 주로 사용되고 있는 모델로 흐름 방향으로 1차원인 정상상태(steady state)의 수질을 모의할 수 있다.
- 모델에 적용시킬 전 대상수역을 크게 몇 개의 구간(reach)로 나누고 각 구간을 일정한 길이를 가지는 소구간(element)으로 다시 나누어 각 수질항목의 농도를 소구간 별로 계산한다.
- 각 구간 내부에서는 하상의 경사, 하천의 종단면적 그리고 마찰계수 등을 포함한 각 소구간의 수리학적 또는 지형학적 특성과 BOD분해율, 저층의 용출율, 조류의 침강속도 등을 포함한 화학적 분해속도 등이 일정하다고 가정한다.
- 수리해석은 유량-유속, 유량-단면적의 회귀관계를 이용하는 유량계수법 또는 하천 단면을 사다리꼴로 해석하는 Manning 식을 사용한다.
- 수질모의 항목
  - 용존산소(Dissolved Oxygen)
  - 생물학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand)
  - 온도(Temperature)
  - 엽록소 a(Algae as Chlorophyll a)
  - 유기질소(Organic Nitrogen as N)
  - 암모니아성 질소(Ammonia as N)
  - 아질산성 질소(Nitrite as N)
  - 질산성 질소(Nitrate as N)
  - 유기인(Organic Phosphorus as P)
  - 용존인(Dissolved Phosphorus as P)
  - 대장균(Coliform)
  - 임의의 비보존성 물질(Arbitrary Nonconservative Constituent)
  - 3종류의 보존성 물질(Three Conservative Constituents)



[그림 2-17] QUAL2E 모형의 주요 수지인자 상호간의 반응도

② 입력자료

- ④ 유량계수 또는 하천의 사다리꼴 단면 제원
- ④ 최상류 및 지류 유입 유량 및 수질 경계조건
- ④ 구간별 초기 수온 및 수질
- ④ 점오염원 및 취수량 자료
- ④ 기상자료

③ 출력결과

- ④ 하천구간별 수리해석 결과: 유량, 유속, 수심, 하폭, 도달시간, 확산계수
- ④ 하천구간별 수질해석 결과: 입력자료와 동일한 수질항목, DO 물질수지

다) 2차원 모델 : CE-QUAL-W2

① 모델 개요

- ④ 2차원 횡방향 평균(Laterally averaged) 수리 및 수질 모델로써 미국 주요 저수지 관리 기관에서 댐 저수지의 수질관리 모델로 사용
- ④ 횡방향 폭에 비해 수심이 깊고 길이가 긴 저수지를 모의
- ④ 수위, 유속, 수온, 밀도 등을 고려한 수리학적 유동 모의가 가능

## 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

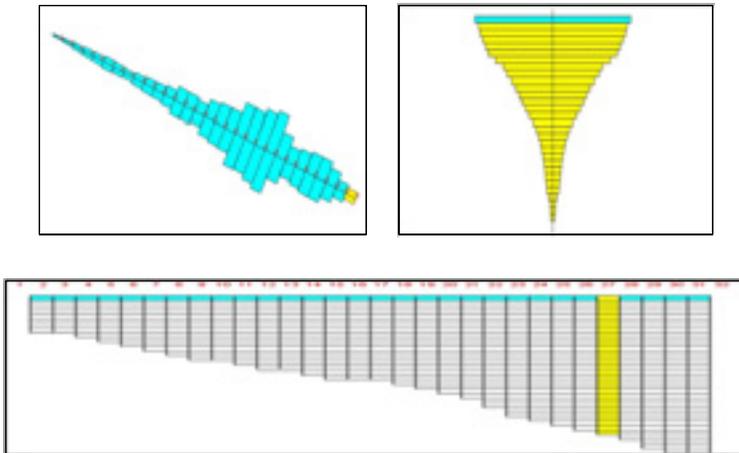
● 유입량을 산정하기 어려운 수체에 적용이 가능

● 수질모의 항목

- Inorganic Suspended Solids
- Organic Matters(LDOM, RDOM, LPOM, RPOM)
- CBOD
- Algae, Epiphyton, Macrophytes, Zooplankton
- Nutrients(PO<sub>4</sub>-P, TP, Org-P, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TN, Org-N,)
- DO, Total Iron, Dissolved Silica, Sediment

### ② 입력자료

● 저수지 수체의 지형자료



[그림 2-18] CE-QUAL-W2 모델에서의 지형자료(Bathymetry)

● 모의기간 내 기상자료(Julian Day, 기온, 이슬점온도, 풍속, 풍향, 운도)

● Wind Sheltering Coefficient

● Shad input file

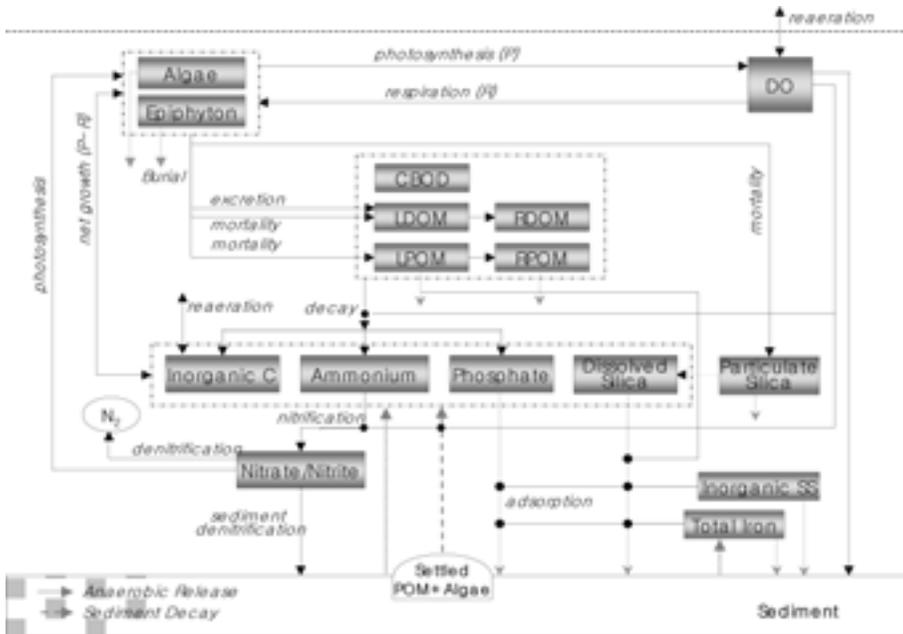
● 수온, 모의 수질항목의 농도, 유입 및 유출량, 저수지 수위

### ③ 출력결과

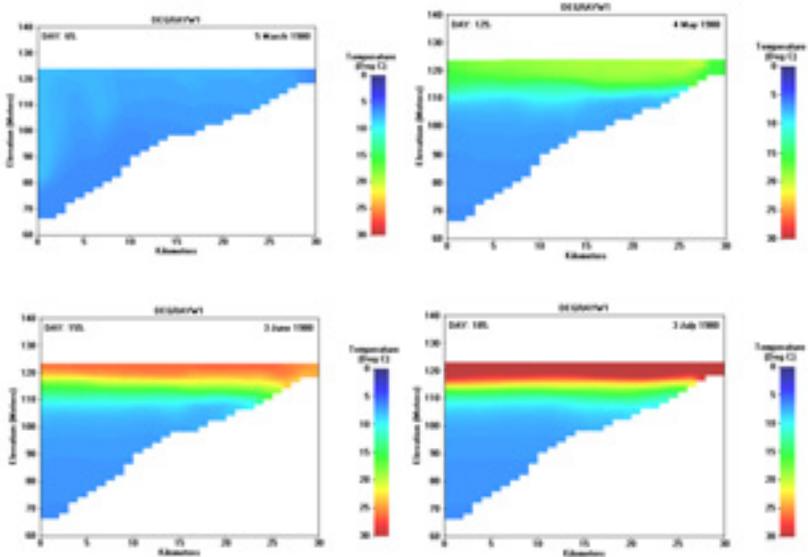
● 형태 - Animation, Profile, Time series, Dam release, Time-depth, Zone volume

수질모의 항목

- Inorganic Suspended Solids
- Organic Matters(LDOM, RDOM, LPOM, RPOM)
- CBOD
- Algae, Epiphyton, Macrophytes, Zooplankton
- Nutrients(PO<sub>4</sub>-P, TP, Org-P, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TN, Org-N,)
- DO, Total Iron, Dissolved Silica, Sediment



[그림 2-19] CE-QUAL-W2모델의 수질모의 항목간 상호작용(국립환경과학원, 2006)



[그림 2-20] CE-QUAL-W2를 이용한 저수지 수온모의 결과 예시

라) 3차원 모델

① WASP

㉠ 모델 개요

- ④ WASP(Water Quality Analysis Simulation Program) 모델은 미국환경청에서 1981년에 개발한 하천, 저수지, 하구, 해안 등 광범위한 수계에 적용할 수 있는 범용 수질 모델이다.
- ④ 이 모델은 물질전달계수, 유속, 오염 부하량과 경계조건 등을 원하는 시간간격에 따라 자유롭게 입력할 수 있는 동적 모델이다.
- ④ 또한 대상 수체를 3차원 box 형태로 구획하여 모의하기 때문에 정밀한 시뮬레이션도 가능하지만, 실제 수리모델의 종류에 따라 1차원 또는 3차원 해석이 가능하다.
- ④ WASP5 모델은 수리해석을 위해 1차원 동적 수리해석 모델인 DYNHYD 모델을 연동하여 이용하고, WASP7 모델은 3차원 수리해석이 가능한 EFDC의 수리모듈을 연동하여 이용한다.
- ④ 부영양모델 (EUTRO), 독성모델(TOXI) 외에 Mercury, Heat 부 모델 추가
- ④ 결과를 그림으로 표현할 수 있는 postprocessor기능이 보완

수질모의 항목

- NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, Chl-a, BOD, DO, Organic-N, Organic-P

[표 2-24] WASP 모델의 수질모의 항목과 복잡도

수질번호	항목명	설명	복잡도					
			1	2	3	4	5	6
1	NH <sub>3</sub> -N	Ammonia Nitrogen	x	o	o	o	o	o
2	NO <sub>3</sub> -N	Nitrate Nitrogen	x	x	o	o	o	o
3	PO <sub>4</sub> -P	Inorganic Phosphorus	x	x	x	o	o	o
4	Chl-a	Phytoplankton Carbon	x	x	x	o	o	o
5	CBOD	Carbonaceous BOD	o	o	o	o	o	o
6	DO	Dissolved Oxygen	o	o	o	o	o	o
7	ON	Organic Nitrogen	x	x	o	o	o	o
8	OP	Organic Phosphorus	x	x	x	o	o	o
복잡도 수준		모의방법						
1		Modified Streeter-Phelps BOD-DO Eq. with SOD						
2		Modified Streeter-Phelps Eq. with NBOD						
3		Linear DO Balance with Nitrification						
4		Simple(Linear) Eutrophication						
5		Intermediate (Nonlinear) Eutrophication						
6		Intermediate Eutrophication with Benthos						

㉞ 입력자료

지형자료

수질측정자료 - 모의하고자 하는 기간에 대한 수질자료

유량자료 및 수온자료

기상자료 - 기압, 기온, 상대습도, 강수량, 증발량, 일사량, 운량, 풍속, 풍향

㉞ 출력결과

Profile과 Time series 형태로 출력 가능

3D 형태의 animation으로 출력 가능

수질모의 항목

- NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, Chl-a, BOD, DO, Organic-N, Organic-P

## ② GEMSS(Generalized Environmental Modeling Systemfor Surfacewaters)

### ㉠ 모델 개요

- 시공간적 수리 및 수질 변화 예측을 위하여 3차원 시변화 모델링 지원을 위한 통합 시스템
- 강, 호수, 하구, 해양 등의 수체에서 다양한 수질 문제 해결을 위해 많이 적용
- 수리모듈(GLLVHT)로 x, y, z 방향의 흐름을 해석
- 수질모듈(WQDPM)로써 3차원 희석 및 확산 모형 해석
- 11가지의 수질항목(DO, NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, Phyt, ON\_D, ON\_P, OP\_D, OP\_P, CBOD\_D, CBOD\_P) 모의 가능

### ㉡ 입력자료

- 지형자료 - 모델 내 격자생성모듈(Gridgen)을 활용하여 자동생성
- 유량 및 수질 측정 자료
- 기상자료 - 기온, 이슬점, 풍향, 풍속, 운량, 태양복사에너지, 기압

### ㉢ 출력결과

- 모의 항목의 시공간적 분포를 확인 가능
- 수질모의 항목 : DO, NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, Phyt, ON\_D, ON\_P, OP\_D, OP\_P, CBOD\_D, CBOD\_P



[그림 2-21] GEMSS 모델의 지형자료(새만금)

## ③ ELCOM-CAEDYM

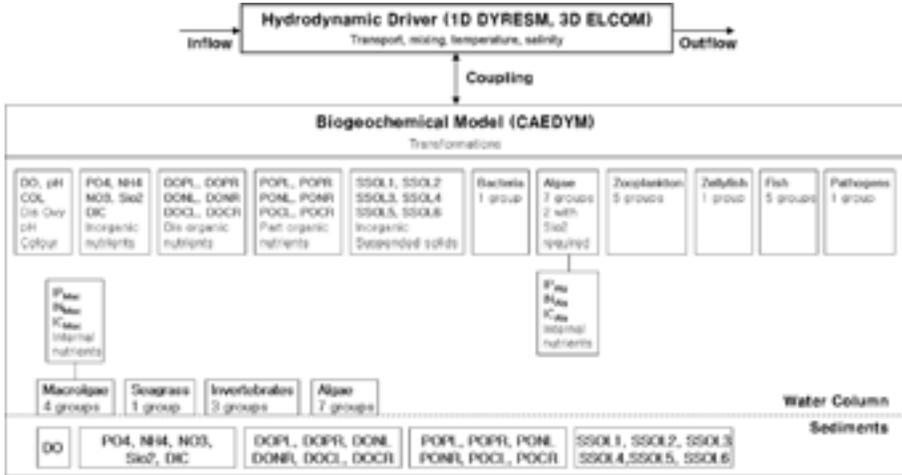
## ㉠ 모델 개요

## ELCOM(Estuary, Lake and Coastal Ocean Model)

- 호수, 저수지, 하구를 위한 범용 3차원 수리동역학 모델
- 시공간적인 수온과 염분농도의 변화를 예측하는데 사용
- CAEDYM과 연결되어 호수와 저수지의 수질 및 생태계의 동적 모델링을 위한 3차원 수리 해석 결과를 제공

## CAEDYM(Computational Aquatic Ecosystem Dynamic Model)

- 다양한 수리모델과 쉽게 연결될 수 있도록 설계된 수생태계 모델
- 수리모델의 연동해석 (coupling)은 특히 수체의 태양복사에너지 투과능이 물의 탁도와 수질농도(부유물질, 유기물, 식물성플랑크톤 등)에 의존하는 경우 수질-수리 상호작용을 반영할 수 있어 보다 정확한 해석 가능
- C, N, P, Si의 다양한 순환과정, DO 순환, 입자크기별 6개까지의 무기 부유물질(SS), 그리고 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 어류 등의 생태모의 항목을 포함
- 종 또는 특정 그룹 조류의 생태적 상호작용 해석이 가능한 범용적 생물지구화학 모델
- 수질모의 항목
  - Suspended sediment (6 SS groups)
  - Light (NIR, PAR, UVA, UVB)
  - Dissolved oxygen (DO)
  - Organic nutrients (POML, POMR, DOML, DOMR)
  - Inorganic nutrients (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, DIC)
  - Heterotrophic bacteria (BAC)
  - Phytoplankton (Chl-a/C, IN/IP, toxins)
  - Higher biology (zooplankton, fish, eggs & larvae)
  - Benthic biology (microalgae, bivalves, macroinvertebrates)
  - Pathogens & indicator organisms (crypto, coliforms, phages)
  - Geochemistry (pH, ions, minerals, metals)
  - Sediment diagenesis



[그림 2-22] CAEDYM에서 고려하는 수체와 퇴적층의 수질모의 항목

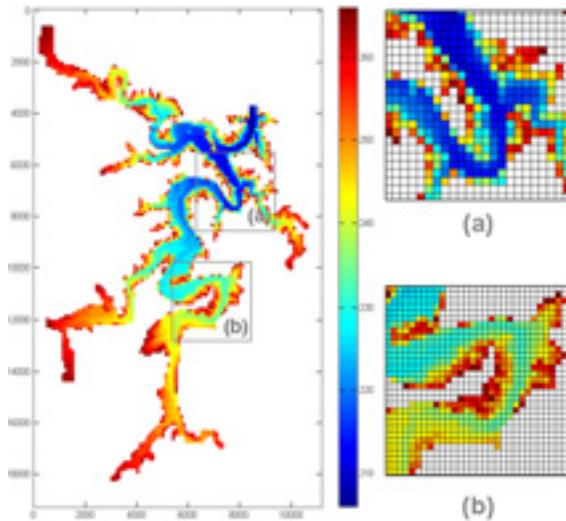
㉠ 입력자료

지형자료

기상자료 - 풍속, 풍향, 기온, 상대습도, 기압, 일사량, 전운량, 강우량

유량 및 수온자료

수질 측정 자료



[그림 2-23] ELCOM의 지형 자료

## ㉔ 출력결과

- ④ 수직구조에 대한 Profile
- ④ 시공간적인 변화 확인 가능
- ④ 수체 전체에서의 변화 확인
- ④ 수질모의 항목
  - Suspended sediment (6 SS groups)
  - Light (NIR, PAR, UVA, UVB)
  - Dissolved oxygen (DO)
  - Organic nutrients (POML, POMR, DOML, DOMR)
  - Inorganic nutrients (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, DIC)
  - Heterotrophic bacteria (BAC)
  - Phytoplankton (Chl-a/C, IN/IP, toxins)
  - Higher biology (zooplankton, fish, eggs & larvae)
  - Benthic biology (microalgae, bivalves, macroinvertebrates)
  - Pathogens & indicator organisms (crypto, coliforms, phages)
  - Geochemistry (pH, ions, minerals, metals)
  - Sediment diagenesis

## ④ DELFT3D

## ㉑ 모델 개요

- ④ 곡선좌표계(curvilinear coordinate)를 사용하기 때문에 불규칙한 경계에 효율적으로 적용이 가능
- ④ 가변격자(variable grid)를 사용하여 정밀한 흐름정보가 필요한 대상영역을 세분화함으로써 계산 결과의 정확도와 함께 계산 효율을 높일 수 있음
- ④ 고정경계에서 기조력이나 기상력으로부터 발생하는 조석 및 부정류의 계산이나 수질 및 유사이동 등의 계산을 위한 동수역학적 기초를 제공하는데 이용되도록 만들어졌음.

## ㉒ 입력자료

- ④ 지형자료
- ④ 수질측정자료
- ④ 수온, 수위 및 유량자료

● 수질모의 항목

- DO, BOD, TOC
- Organic Matters(DOM, POM)
- Inorganic Matetters
- Nutrients(NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, Si)
- Phytoplankton, Grazer, Coli Bacteria
- Heavy Metals(As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn)
- Organic Micropollutants
- Sediments

⊕ 출력결과

● 수체의 수위변화 모의 확인

● 유속 및 흐름방향 확인 가능

● 수질모의 항목

- DO, BOD, TOC
- Organic Matters(DOM, POM)
- Inorganic Matetters
- Nutrients(NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, Si)
- Phytoplankton, Grazer, Coli Bacteria
- Heavy Metals(As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn)
- Organic Micropollutants
- Sediments

⑤ EFDC

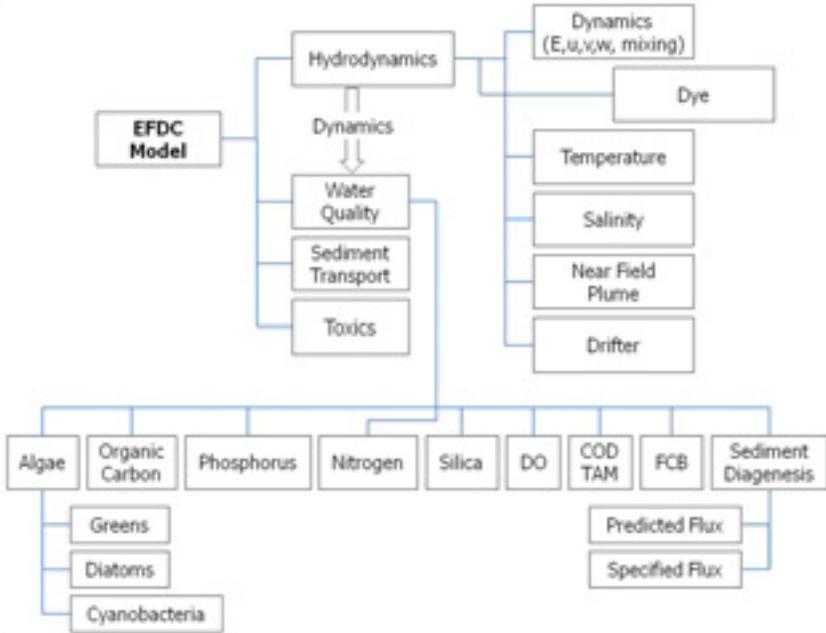
① 모델 개요

● EFDC 모델은 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 수치모델로서 미국 VIMS(Virginia Institute of Marine Science)에서 개발되었으며, 미국 환경청의 공인 모델로 지정되어 있음

● EFDC 모델은 크게 유동, 퇴적물이동, 수질의 세 요소로 구성되어 있으며, 유동모델 부분은 수온과 염분이 함께 고려된 3차원 천수방정식을 기본으로 하고 있음

● EFDC 모델은 연속방정식과 수평방향 운동방정식, 열염보존 방정식, 물 그리고 퇴적물을 포함한 물질 보존방정식들로 구성되어 있음

- ④ 수온, 염분을 비롯한 용존산소, 식물성 조류(3개 그룹), 탄소순환계, 질소순환계, 인순환계, 규소순환계를 포함하는 21개 상태변수를 모의하며, EFDC 모델과 연계되어 운용되고 있음
- ④ 수질모델 부분은 CE-QUAL-ICM 또는 Chesapeake Bay water 수질모델(Cerco and Cole, 1993)을 기본으로 하고 있으며, 미국 환경청의 수질오염총량(TMDL)에 이용하고 있음



[그림 2-24] EFDC 모델의 개요

- ㉠ 입력자료
  - ④ 지형자료
  - ④ 수질측정자료
  - ④ 수온, 수위 및 유량자료
- ㉡ 출력결과
  - ④ 수체의 수위변화 모의 확인
  - ④ 유속 및 흐름방향 확인 가능

● 수질모의 항목

- DO, TSS, COD
- 유기탄소(난분해성 입자 유기탄소(RPOC), 분해성 입자 유기탄소(LPOC), 용존 유기탄소(DOC))
- 유기인(난분해성 입자 유기인(RPOP), 분해성 입자 유기인(RPOP), 용존 유기인(DOP) 및 총인산염(PO<sub>4</sub>t))
- 유기질소(난분해성 입자 유기질소(RPON), 분해성 입자 유기질소(LPON), 용존 유기질소(DON)), 암모늄 질소(NH<sub>4</sub><sup>-</sup>) 및 질산염 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
- 생물성기원의 입자성 실리카(규토(SU)), 용존 가용 실리카(SA)
- 조류(남조류(Bc), 규조류(b), 녹조류(Bg), 고착성 조류(Bm))

### 3) 적정 수체수질모델의 선정

- 수체 수질모델의 선정 기준은 과업대상 저수지의 지형적 특성, 수질의 시간적 공간적 변동성, 모델의 수리 및 수질 해석 기능, 관심 수질 모의 항목, 요구되는 입력자료의 수준과 사용자의 전문성, 계산의 효율성, 사용 편의성, 수치해의 안정성 등을 고려하여야 한다.
- 저수지의 수심이 얇고(7 m 이내) 수평방향의 수질변동이 적어 완전혼합 상태를 가정할 수 있다면 완전혼합 box 모델을 적용할 수 있다.
- 수체가 수심이 얇고 긴 하천형이며 정상상태의 수질모의가 필요한 경우에는 QUAL2E 또는 이와 유사한 모델을 선정한다.
- 수체가 수심이 얇고 긴 하천형이며 비정상상태의 수질모의가 필요한 경우에는 DYNHYD-WASP5 또는 CE-QUAL-RIV1 모델을 적용할 수 있다.
- 저수지의 수심이 얇고(7 m 이내) 수평방향의 수질변동이 큰 경우에는 DYNHYD-WASP5 또는 RMA2-RMA4와 같은 수심평균 1차원(x) 또는 2차원(x-y) 모델을 적용할 수 있다.
- 저수지의 수심이 깊고(7 m 이상) 수평방향의 수질변동이 적은 경우에는 성층화 해석이 중요하므로 WQRRS와 DYRESM과 같은 연직방향 1차원(z) 모델을 선정한다.
- 저수지의 수심이 깊고(7 m 이상) 흐름방향의 수질변동은 있으나 횡방향 변동은 적은 경우에는 CE-QUAL-W2와 같은 횡방향 평균 2차원(x-z) 모델을 선정한다.
- 저수지의 수심이 깊고(7 m 이상) 흐름방향과 횡방향의 수질 변동이 모두 큰 경우에는 EFDC-WASP7, ELCOM-CAEDYM, GEMSS, MIKE3, DELFT3D, EFDC와 같은 3차원(x-y-z) 모델을 선정한다. 단, 성층화 현상이 뚜렷하고 저수지로 유입한 하

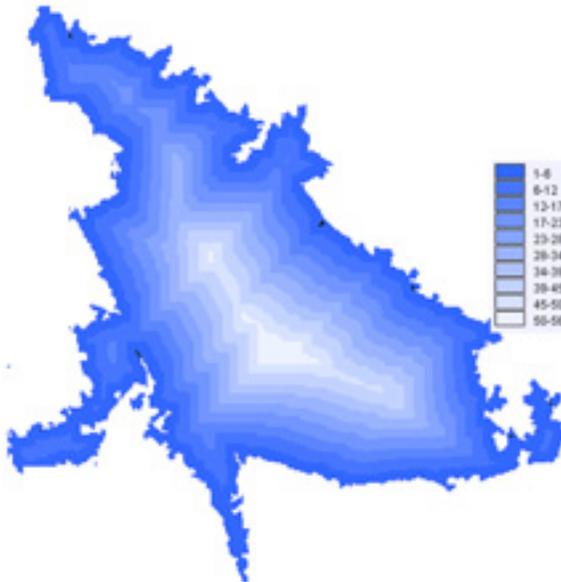
천수의 밀도류 해석이 중요한 경우에는 모델을 충분히 보정한 후 사용하도록 한다.

● [표 2-25]는 국내외에서 저수지 수리 및 수질 해석에 자주 적용되고 있는 비정상상태 다차원 수질모형인 CE-QUAL-W2, EFDC-WASP7, ELCOM-CAEDYM, GEMSS, EFDC를 대상으로 모델의 특성을 비교한 예이다.

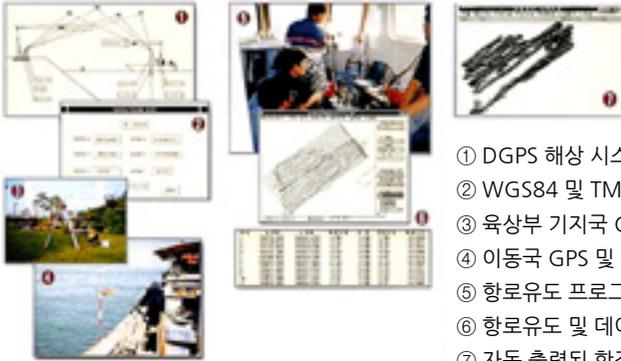
## 6. ○ 토목조사

[표 2-25] 주요 자재 및 재료현황 조사표

구 분	위 치	채취량	현재상태	비 고
토취장				
모 래				



[그림 2-25] 격자단위의 GIS ASCII 포맷에 의한 등수심선 작성 사례



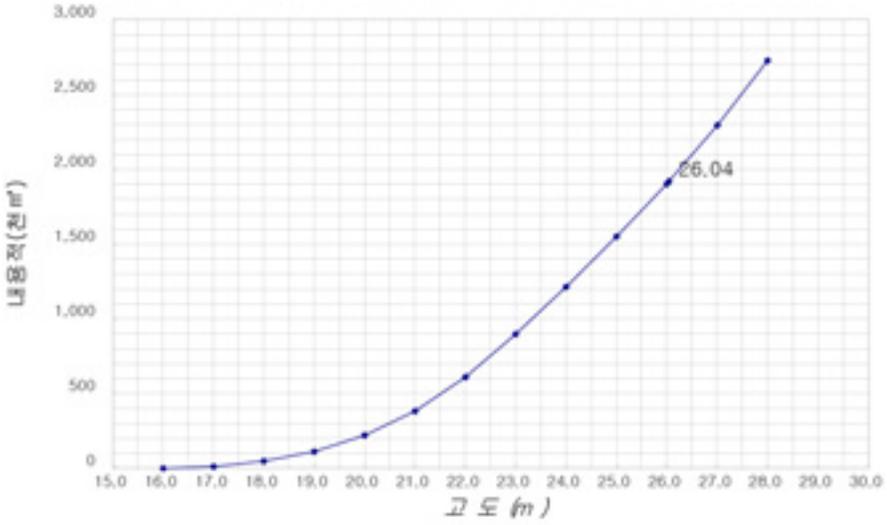
- ① DGPS 해상 시스템의 계통도
- ② WGS84 및 TM좌표계 변환 소프트웨어
- ③ 육상부 기지국 GPS 설치 후 철수
- ④ 이동국 GPS 및 수심측정기 설치
- ⑤ 항로유도 프로그램에 의한 측량장면
- ⑥ 항로유도 및 데이터 수집 디스플레이
- ⑦ 자동 출력된 항적도



[그림 2-26] GPS 장비를 이용한 저수지 수심측량 과정 및 전경

[표 2-26] 수위-내용적 표 작성사례

수위(EL.m)	수표면적(m <sup>2</sup> )	평균수표면적(m <sup>2</sup> )	단위내용적(m <sup>3</sup> )	누가내용적(m <sup>3</sup> )	비고
16.0	2,003	1,001	1,001	1,001	
17.0	21,401	11,702	11,702	12,703	
18.0	49,947	35,674	35,674	48,377	
20.0	135,064	107,523	107,523	220,865	
22.0	265,664	228,197	228,197	611,958	
24.0	327,982	316,856	316,856	1,214,510	
25.0	342,443	335,213	335,213	1,549,723	
26.04	367,980	367,000	14,680	1,918,634	만수위
27.0	415,042	391,511	375,851	2,294,485	홍수위



[그림 2-27] 수위-내용적 곡선도 사례



제3장

수질개선사업  
계획



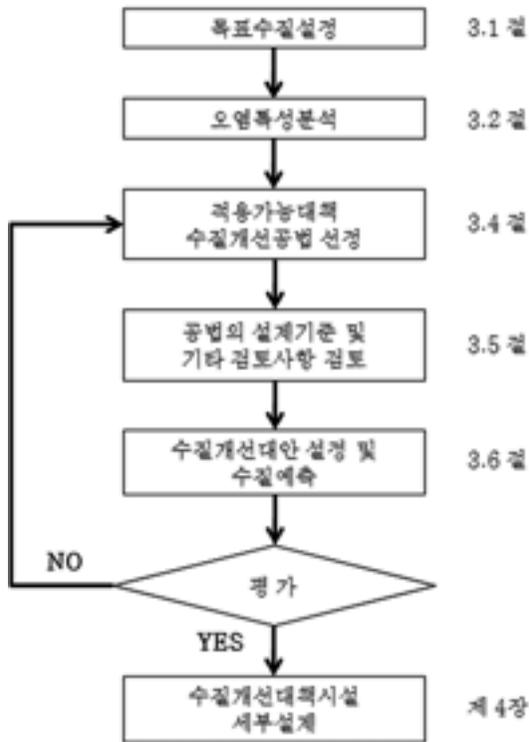


## 제3장 수질개선사업 계획

### 1. ○ 계획의 기본구상

#### 가. 계획수립의 절차

● [그림 3-1]은 수질개선사업을 목표설정에서 계획수립하기까지의 과정을 도식화한 것이다.



[그림 3-1] 수질개선대책 계획수립 흐름도

## 2. ○ 수질개선 목표 설정

### 가. 농업용저수지 유형분류에 따른 관리목표

- 농업용수 수질측정망지구의 담수호를 제외한 농업용저수지 953개소를 대상으로 용수요구도에 따른 농업용저수지의 유형분류와 맞춤형 관리목표를 설정하였음
- 농업용저수지 유형분류를 위해 활용한 자료는 주민 친수요구도 평가를 위한 인구밀집도, 저수지 생태적 가치 평가를 위한 국토환경성 평가 지도, 친환경농산물 재배에 필요한 청정용수 요구도는 저수지 인근지역의 친환경농산물 등록 작물 수 등이며, 저수지별로 분석하였음
- 953개 저수지에 대해 크게 2가지 분류 기준에 따라 유형분류함
- 먼저 현재 수질상태의 TOC 기준 수질 등급에 따라 관리목표(Ⅲ등급, 또는 Ⅳ등급)를 설정하여 절대보전형(Ⅰ등급), 보전형(Ⅱ등급), 보전관리형(Ⅲ등급), 일반관리형(Ⅳ등급), Ⅳ등급 개선형(Ⅴ, Ⅵ 등급), Ⅲ등급 개선형(Ⅳ, Ⅴ, Ⅵ 등급)으로 구분하였으며, 다음으로 저수지 요구도에 따라 경관친수형, 친환경농업형, 생태보전형, 일반농업형으로 분류함
- 각 유형별 세부분류와 해당저수지의 수와 분포비율을 표 와 같음
- 또한, 각 유형별 저수지 수질관리 목표는 표와 같음

[표 3-1] 유형별 분류 방식과 관리목표 설정

분류유형	세부 분류 유형	개수	합계
보전형	절대보전형(Ⅰ등급)	493 (51.7%)	771 (80.9%)
	보전형(Ⅱ등급)	169 (17.7%)	
	보전관리형(Ⅲ등급)	109 (11.4%)	
일반관리형(Ⅳ등급)	일반관리형	26 (2.7%)	26 (2.7%)
Ⅳ등급 개선형	일반농업형	39 (4.1%)	39 (4.1%)
Ⅲ등급 개선형	경관친수형	47 (4.9%)	117 (12.3%)
	친환경농업형	50 (5.2%)	
	생태보전형	20 (2.1%)	
합계			953

[표 3-2] 유형별 관리목표

분류유형	세분류 유형	개수	현수질 등급	관리목표	통합관리목표	합계
보전형	절대보전형	493	I	I	TOC 기준 III	771개
	보전형	169	II	II		
	보전관리형	109	III	III		
관리형	관리형	27	IV	IV	IV	26개
IV등급 개선형	IV등급 개선형	39	V, VI	IV	IV	39개
III등급 개선형	경관친수형	47	IV, V, VI	III	III	117개
	친환경농업형	55				
	생태보전형	20				

[표 3-3] 절대보전형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
절대 보전형 (493)	경관 친수형 (55)	울산	2	송정(울산), 공암
		경기	5	마장, 청용(안성), 고모, 우금, 냉정(포천)
		강원	5	취병, 대안, 장현, 경포, 금연
		충북	6	영호, 보청, 무수, 금석, 용계, 하당
		충남	3	문암, 천흥, 산수
		전북	6	인교, 백석, 내장, 구이, 화정, 신림
		전남	12	관기, 대포, 금동, 대지, 서성, 금산, 서산(강진), 금곡, 파산, 금사(강진), 작천, 월가
		경북	2	방산(포항), 남매
		경남	14	와룡, 백천, 구룡(사천), 석계(사천), 용치, 덕곡(사천), 진례, 입곡, 하이, 대가(고성), 양화, 연죽, 적량, 강선
	생태 보전형 (167)	부산	3	용천(기장), 병산, 안평
		대전	1	장안
		울산	4	문죽, 고련, 차리, 길천명촌
		경기	7	오남, 도척, 금주, 기산(포천), 산정(포천), 중리(포천), 소법
		강원	30	조연, 원창, 신매, 탄부, 우천(학곡), 운남, 황둔, 삼교, 오봉(강릉), 동막(강릉), 옥계(강릉), 사천(강릉), 초당, 상오안, 굴운, 생곡, 두미리, 대룡(홍천), 상안, 추동(횡성), 부곡, 신리, 산명호, 토교, 잠곡, 만대, 인정, 거진(송강), 도원(고성), 설악
		충북	11	중산, 송강, 선고, 한계, 노현, 구룡(보은), 비룡, 강진, 산막, 분지, 송면
		충남	8	우목, 내현, 수락(논산), 신동(금산), 삼산(부여), 신대(운곡), 칠갑, 천장
		전북	24	부전, 주촌, 불당, 옥계(남원), 용평, 용진, 광곡, 백여, 동상, 신반월, 신암, 신경, 황금, 무풍(증산), 괴목, 공경, 용림, 대곡(오동), 죽계, 팔덕, 양신, 대가(순창), 대방, 둔바말

[표 3-3] 절대보전형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지 (계속)

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명	
절대보전형	생태보전형	전남	37	월용, 행정, 동교, 백용, 나주호, 백운(광양), 무동, 월산2(월산), 구성, 봉경, 약천, 백련, 효곡, 문수, 정산, 용산(보성강), 진봉, 담안, 금전, 이만(청풍), 왕경, 안심(화순), 송단, 유천, 내리, 성산(장흥), 조양, 월남, 성전, 양촌, 원선2, 금계(함평), 길용, 영마, 유탄, 장성호, 달성	
		경북	14	오어, 석계(경주), 금계(삼가), 순흥, 단산(영주), 상판, 월매, 기사, 사동, 지슬, 대비, 성주, 창평, 매화	
		경남	28	우곡, 학동(마산), 월정(진주), 지내, 시례, 가인(봉의), 감물, 요고, 동부(거제), 서암, 천락, 봉성, 산정(함안), 삼봉, 척정, 복곡, 하동, 목계, 향양, 울현, 월평(함양), 서하, 서상, 옥계(함양), 상천(거창), 매산(거창), 노곡, 죽전	
	친환경농업형(77)	충북	7	구룡(충주), 노티, 박석, 송평, 장연, 이곡, 대곡(괴산)	
		충남	6	옥계(보령), 장전, 고품, 황락, 상천(부여), 관산	
		전북	4	금풍, 덕산(무주), 월정(순창), 구림	
		전남	49	승월, 연화(여수), 신품(여수), 화동, 만봉, 문학, 운암(담양), 담양호, 흑석, 천은, 구만, 둔사, 사정, 운대1, 증광, 해평, 도촌, 영천(보성), 화죽, 임수, 우치, 농안, 부안, 동촌, 하봉, 풍길, 월계, 신촌, 석문(강진), 봉양(강진), 대월, 월평(강진), 학동(강진), 월곡, 구시, 구산(해남), 장수(해남), 백호, 오류, 신기, 가학(해남), 울치, 구산(함평), 용암(영광), 신학, 백운(완도), 청용(완도), 수장, 와우(진도)	
		경북	4	반곡(상주), 신동(고령), 덕곡(고령), 직은	
		경남	7	칠곡(의령), 월곡(창녕), 오방(고성), 옥천(남해), 삼화, 가북, 오산(합천)	
		일반농업형(194)	울산	1	복안
			경기	2	미산, 금사(장흥)
			강원	18	궁촌, 반계, 고산, 손곡, 칠성(강릉), 언벌, 신왕, 청랑, 좌운, 오원, 자포, 계촌, 용화, 동송, 월운, 인흥, 학사평, 인구
			충북	14	추평, 백마(제천), 쌍암, 도원(보은), 궁, 서대, 장찬, 범화, 누교, 연곡, 화산(진천), 문광, 덕평, 만년
	충남		13	요룡, 평정, 영천(한천), 성연, 신창(서산), 석동(금산), 청림(금산), 화성, 종천, 도림, 매산(청양), 가곡(홍성), 옥계(예산)	
	전북		29	용산(정읍), 입암, 수청, 고기, 마곡, 청계(남원), 금평, 안덕, 대아, 송풍, 노촌, 필덕, 장남, 동화, 천천(와룡), 지소(양악), 성남, 오봉(임실), 청계(순창), 고수(조산), 고십, 성송, 창내, 유유, 석포, 개암, 청림(부안), 가늘골, 금광(부안)	
	전남		55	운천, 대룡(순천), 덕용(나주), 외동, 구암, 덕중, 금사(고흥), 대룡(고흥), 용은, 송산, 가학(고흥), 시목2, 원등, 대강, 금사2, 추동(보성), 칠동, 학동(보성), 울어, 장천, 귀산, 감동(보성), 고시, 장치, 도암, 가수(화순), 연지, 운주, 하산, 계산, 서봉, 장산, 삼흥, 명주, 중흥(강진), 당전, 도룡, 영동, 동해, 신평, 쌍경, 연소, 성양, 도갑, 사천(무안), 불갑, 수양(장성), 모암, 백암(장성), 죽청, 월성(장성), 가래, 오산(진도), 사천(진도), 도찬	

제3장  
수질개선사업계획

**[표 3-3] 절대보전형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지 (계속)**

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
절대보전형	일반농업형	경북	23	용곡(포항), 덕동, 화산곡, 권이, 박달, 대현, 왕신, 화산, 횡계, 내금, 오태, 안룡, 회룡, 경천(문경), 송백, 하도(경산), 대산(청도), 금천, 소성(성주), 인촌, 금화, 봉학(칠곡), 금봉(봉화)
		경남	39	평암, 발산, 응석, 어옥, 남성, 술기, 가천(사촌), 상항, 소태, 조천, 삼가(합천), 석천, 덕암, 궁유(벽계), 명관, 노단이, 옥천(창녕), 감동(창녕), 봉현, 사촌, 갈천, 선동, 좌련, 삼덕, 갈곡, 내산, 노구, 남치, 옥중, 도리, 손항, 축산(함양), 남산, 웅양, 지산, 장계(합천), 울곡, 명곡, 가회

**[표 3-4] 보전형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지**

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
보전형 (169)	경관친수형 (37)	대구	1	옥연
		광주	1	지정(광주)
		경기	5	용덕, 발랑, 기천, 기산(양주), 원부(홍아소)
		강원	3	홍업, 향호, 학
		충북	6	광혜, 호암, 화곡(충주), 용산(음성), 무곡, 충도
		충남	5	옥서, 고남, 탐정, 서부, 수철
		전북	4	미륵(남산), 왕궁, 애당, 백산
		전남	2	장수(고흥), 임천
		경북	8	강사, 하동(경주), 옥산(경주), 하곡, 용곡(경주), 금오, 소월, 중화
		경남	2	답천, 두량
	일반농업형 (69)	대구	1	달창
		인천	1	하점
		광주	1	왕동
		울산	1	두돌
		강원	2	개운(홍천), 삼배
		충북	6	모점, 중리(청주), 용곡(청주), 삼기, 방곡, 신흥
		충남	7	기산(공주), 유계, 정안, 동곡, 덕용(부여), 대사, 여래미
		전북	8	일대, 유곡, 경천(완주), 벽남, 월성(임실), 연화(고창), 연기, 운호
		전남	10	덕동1, 장유, 오월(죽암), 대곡(보성), 연화(해남), 입석, 광대, 고서, 원산, 수락(신안)
		경북	20	대보, 반곡(포항), 마북, 청계(포항), 신택지, 계화곡(경주), 내태, 화산(영천), 당지, 임고, 황령, 지평, 송림, 고매, 우산, 수야, 김전, 송내(성주), 달서
경남	12	백암(진주), 장평, 평촌, 가산(진주), 오방(진주), 동항, 운정, 가수(의령), 구계, 가천(고성), 울원, 중촌		

[표 3-4] 보전형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지 (계속)

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
보전형	생태 보전형 (34)	대전	1	방동
		울산	3	정자, 두산, 화산(울주)
		경기	2	마둔, 백학
		강원	2	가정, 하궁
		충북	5	백록(보은), 농암, 백곡, 원남, 미호
		충남	2	청천, 적누
		전북	5	오성(정읍), 선암, 청웅, 대산(순창), 도솔계
		전남	1	광주호
		경북	10	보문, 송선(경주), 직지, 오라, 화장(구천), 갈평, 봉학(성주), 지천, 동명, 온정
		경남	3	인담, 홍사, 덕곡(밀양)
	친환경 농업형 (29)	경기	2	장계(안성), 덕산(안성)
		충북	4	용당, 월외, 소암, 맹동
		충남	4	은곡, 흥동, 송석(예산), 산묵
		전북	1	오산(고창)
		전남	13	정석, 덕산(보성), 어은, 수동(장흥), 덕촌, 모령, 군곡, 연보, 학파1, 동경, 와우(영광), 오동, 용산(진도)
		경북	5	은천, 덕가, 판곡, 보미, 양지

[표 3-5] 보전관리형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
보전 관리형 (109)	경관 친수형 (35)	인천	1	국화
		광주	1	풍암
		경기	9	반월, 용담, 두창, 애룡(연풍), 공능, 금광, 상지, 용설, 원당
		충북	1	장군
		충남	8	용연(천안), 입장, 가혜, 성암, 송악, 반산, 홍양, 마은
		전북	8	기지, 미룡(미제), 대위, 금마, 도순(용화), 만수(정읍), 대화, 노동
		전남	1	천망
		경북	4	삼정(삼정리), 조박, 용연(포항), 대성
		경남	2	금호(진주), 초동

**[표 3-5] 보전관리형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지 (계속)**

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
보전 관리형 (109)	일반 농업형 (43)	경기	1	마지
		충북	4	대덕(충주), 복성, 매전, 소수
		충남	7	계룡, 중흥(공주), 신송, 옥산(부여), 복심, 문산, 용봉
		전북	7	원수, 능, 공산, 도천(고창), 성내(고창), 사산, 청호
		전남	5	침교, 동백, 학파2, 월선, 발매
		경북	17	용천(포항), 회화, 심곡, 남사, 성지, 매정, 옥성, 가천(영천), 고경, 송지, 용성, 용암(의성), 대평(고령), 자산, 운암(예천), 돈담, 죽안
		경남	2	가산(밀양), 송원
	생태 보전형 (20)	대구	2	단산(대구), 노홍
		충북	3	개심, 봉소, 칠성(괴산)
		전북	2	옥곡, 수송
		전남	2	감둔, 대동
		경북	11	대제, 남북, 청상, 조성 신평(청송), 고현, 도곡, 화매, 도천(영덕), 묘곡, 동면
	친환경 농업형 (11)	광주	1	오운1
		경기	1	대평(양평)
		충북	3	신항, 주봉, 양덕
		충남	1	방산(예산)
		전북	2	석우, 수동(고창)
		전남	2	해원, 대덕(영광)
		경북	1	기동

**[표 3-6] 일반관리형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지**

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
일반 관리형 (26)	일반 농업형	인천	2	김촌, 인산
		경기	1	삼합
		충남	5	진죽, 동부(서천), 주항, 미포, 수룡
		전북	5	지선, 석남, 흥덕, 상암, 종암
		전남	4	도덕, 신덕, 봉양(영광), 옥실
		경북	9	안심(포항), 오봉(김천), 만운, 신양, 호민, 도유, 우분, 효천, 하늘

**[표 3-7] IV등급 개선형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지**

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
IV등급 개선형 (39)	일반 농업형	인천	5	길상2, 고려, 양오, 삼산(강화), 상하
		충남	12	신구, 신창(아산), 중앙, 산택골, 순성, 축동, 도내, 대야, 중장, 귓소골, 죽림, 정죽
		전북	2	덕림, 영전
		전남	8	세동, 연봉2(2연봉), 오호, 관춘, 화원1, 화원2, 일로2(제2호), 송정(진도)
		경북	11	광덕, 주평, 장수곡, 백현, 오로, 삼산(구미), 유상, 산호, 토현, 개천, 대맥
		경남	1	봉산

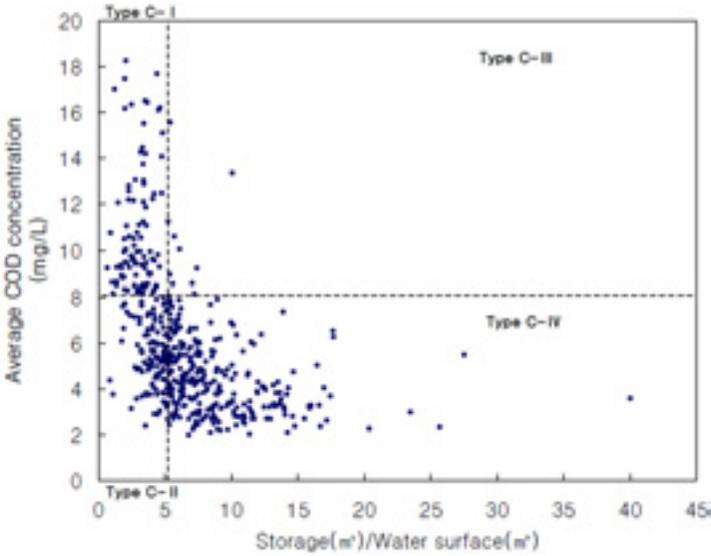
**[표 3-8] III등급 개선형 저수지의 용수요구 유형별 해당 저수지**

대분류	세분류	지역	개소수	저수지명
III등급 개선형 (117)	경관 친수형 (47)	대구	1	용연(달성)
		인천	3	길정, 대산(강화), 하도(강화)
		세종	1	용암(세종)
		경기	10	왕송, 기흥(신갈), 성호(설성), 만수(안성), 칠곡(안성), 어천, 동방, 보통, 홍중, 효촌
		충북	3	연제, 오성(음성), 금정
		충남	9	대정(천안), 업성, 신희, 월랑, 봉재, 냉정(아산), 전대, 공리, 봉림
		전북	5	옥녀, 옥구, 앵금, 괴동, 고마
		전남	1	봉암(고흥)
		경북	10	영지, 우로, 청, 대승, 개운(상주), 중덕, 문천, 송내(경산), 매원, 내야
		경남	4	산남, 주남, 송고, 장척
	생태 보전형 (20)	대구	2	연경, 하빈
		경기	2	홍부(물왕), 봉암(양주)
		충북	2	추풍령(황금), 이담
		충남	2	궁평, 예당(대흥)
		경북	12	진실, 무을, 옥관, 사곡, 창림, 풍락, 점곡, 금봉(의성), 가음, 나기평, 구매, 백록(영덕)
	친환경 농업형 (50)	인천	2	고구, 난정
		경기	7	창리, 이동, 용풍(풍토용연), 고삼, 덕우, 먹우, 향리
		충북	3	오창, 백마(괴산), 금성
		충남	19	학정, 양전, 풍년, 경천(양화), 마산, 상성, 성내(아산), 죽산(아산), 도고, 풍전, 감홍, 가곡(논산), 석문(당진), 초대, 오봉(당진), 장곡, 천태, 인평, 승언2호
		전북	2	서지, 예전
		전남	16	대정(고창), 풍도, 매곡, 내봉, 월악, 지정(장흥), 서산(장흥), 강경, 성산(영암), 수양(무안), 월천, 봉덕, 둔전, 봉암(진도), 봉동, 탄동
		경남	1	상신

### 3. ○ 수질오염 특성 분석

#### 가. 수질오염 유형 분류

- 저수지의 수질에 영향을 미치는 인자로서 체류시간, 수심, 유역면적, 유역형상, 유역경사, 토지이용상황, 수표면적, 저류량 등 여러 가지 요인이 있다.
- 호수 수질은 내적 요인과 외적 요인에 의해서 결정된다. 내생 유기물량은 1차 생산 활동의 결과로서 호수의 수광량(受光量)에 따라 좌우되며, 수광량은 수표면적에 따라 달라진다. 호수의 수심에 따라서도 유기물의 분해량이 달라진다. 1차 생산성이 높은 수층을 유광층 또는 보상심도라고 부르며 투명도의 약 2.5배 수심에 해당된다.
- 일반적으로 수심이 얇은 호수가 부영양화 상태로 더 쉽게 변한다는 보고가 있다. 일본에서의 조사 결과를 보면, 호수의 수심이 얇아질수록 클로로필-a의 농도는 지속적으로 증가하는 것을 보인다.
- 우리나라의 농업용저수지의 평균 수심은 대부분 10m이하로써 일단 부영양화 상태가 되면 바닥에 쌓이는 유기물이 많아져 저수지의 수질이 퇴적층으로부터 용출되는 오염물질(특히 인)의 영향을 많이 받을 가능성이 높다. 이를 내부부하라고 하는데, 이 경우, 수질이 개선된 외부 유입수가 유입되더라도 실제 저수지 수질이 개선되지 않는 경우가 많다.
- 농업기반공사 농어촌연구원(2002)에서는 전국 498 개소 농업용저수지 수질측정망 조사대상 농업용 저수지 및 하구담수호의 과거 1990년부터 2001년까지 수질자료와 호의 물리적 인자를 이용하여 저수지 오염유형을 분류하는 연구를 수행한바 있다.
- 이 연구에서 오염유형분류를 위한 수질인자 중 저수지 수질오염을 나타내는 가장 대표적 수질자료로 화학적 산소요구량(COD)을 선택하였고, 물리적 인자로는 호의 유효저수량(ST, Effective Storage) 대 호의 만수면적(WS, Water surface)의 비, 즉, 유효평균수심을 물리적 지표로 활용하여 [그림 3-2]와 같은 저수지 오염유형분류도를 작성하였다. 이 방법은 저수지 수질개선 대책방향을 설정하는 유용한 판단수단으로서 많은 수의 저수지와 수질자료를 바탕으로 하였기 때문에 간단하면서도 적용에 무리가 없는 방법이다.
- [그림 3-2]에서 분류의 기준으로서 수질지표는 COD농도 8mg/L(호수수질환경기준 IV등급 농업용저수지 수질기준)를 기준으로 하였고, 물리적 지표인 ST/WS 비는 5 m를 기준으로 하였다.



[그림 3-2] COD와 S/W 비를 이용한 농업용저수지 유형분류

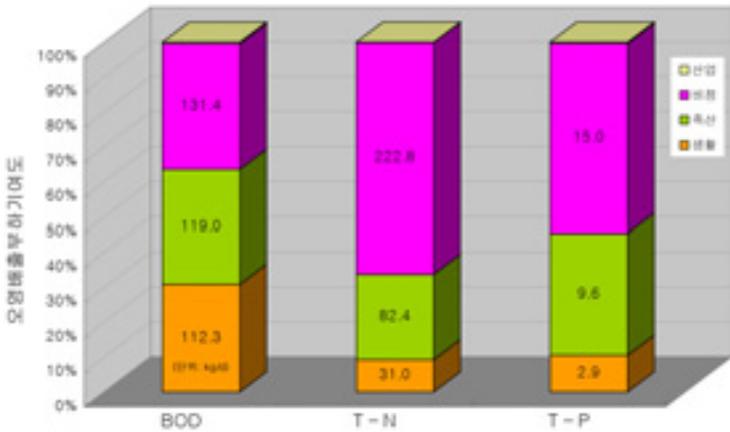
### 나. 오염원 분포 특성

수질오염물질 발생원의 일반적인 특징은 [표 3-9]와 같다.

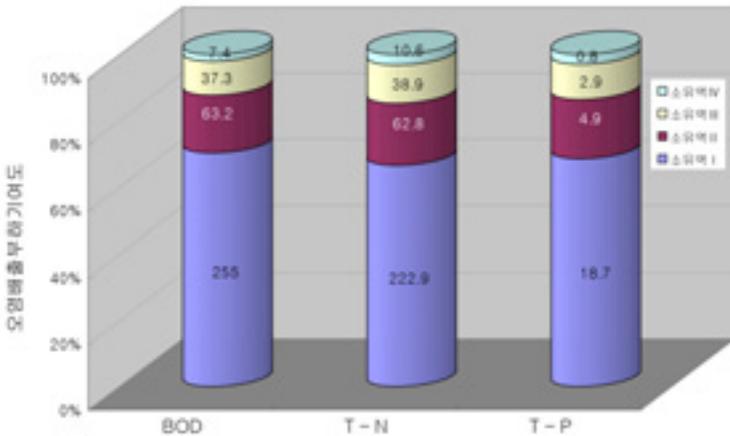
[표 3-9] 수질오염물질 발생원과 특징

오염원		발생원	특징
점오염원	대규모 밀집형	<ul style="list-style-type: none"> <li>공장·사업장</li> <li>도시하수</li> <li>분뇨처리장</li> <li>대규모축사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농도가 높은 물이 수역의 한 지점에서 집중적으로 배출</li> <li>주로 인위적인 활동이 원인이 된다.</li> <li>오염물질의 이동은 파이프나 하수도를 통하여 이루어진다.</li> <li>인위적인 활동 즉 시각(時刻)과 요일에 따른 변화가 있다.</li> </ul>
	소규모 산형	<ul style="list-style-type: none"> <li>소규모공장</li> <li>경화조</li> <li>소규모축사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부하지점이 적다.</li> <li>유역에 넓게 분산되어 있어 비점오염원과 유사하다.</li> <li>유사 비점원오염이라고도 하여 비점오염원 취급 가능</li> </ul>
비점오염원		<ul style="list-style-type: none"> <li>시가지</li> <li>논</li> <li>밭·과수원</li> <li>초지</li> <li>산지</li> <li>건설현장</li> <li>매립지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>오염원을 찾기 어렵다.</li> <li>오염원이 넓은 장소에 퍼져있다.</li> <li>수문 현상의 올바른 이해와 적용이 필수적이다.</li> <li>일반적으로 강수기간 중 빗물과 함께 수역으로 유입한다.</li> <li>저농도이나 처리해야 할 수량이 많으므로 조절이 어렵다</li> <li>점원오염과 아주 다른 비점오염원 관리방안 강구되어야 함</li> <li>인위적인 부하는 물론, 자연적인 부하도 포함된다.</li> <li>정체수역(호소, 저수지)의 부영양화와 밀접한 관계가 있다.</li> </ul>

[그림 3-3]은 각 오염원별 및 소유역별 오염배출부하 기여율의 사례를 나타낸 것이다. 그림에서 오염원별로 유기물(BOD)은 생활계, 축산계, 비점오염계가 유사함을 알 수 있고, 질소와 인은 비점오염원의 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 소유역별로는 소유역 1의 영향이 확연히 차이가 남을 확인 할 수 있다. 따라서 유기물은 점오염원인 생활계와 축산계 대책을 강구하고, 질소와 인의 저감을 위해서는 비점 오염에 대한 대책을 강구하되, 소유역 1을 우선적으로 검토대상으로 하여야 함을 알 수 있는 사례이다.



1) 오염원별 오염배출부하 기여율 산정



2) 소유역별 오염배출부하 기여율 산정

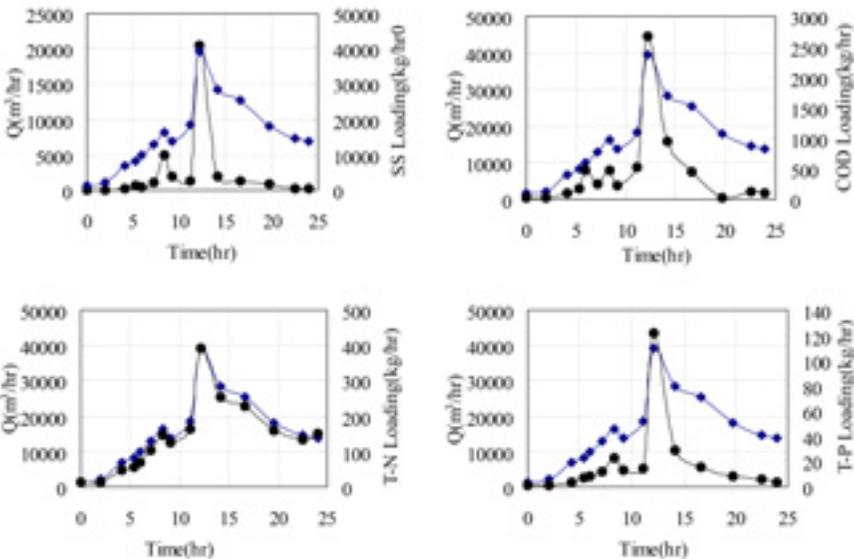
[그림 3-3] 오염원 및 소유역별 오염배출기여도 산정 사례

## 4. 유입-삭감부하량 산정 방법

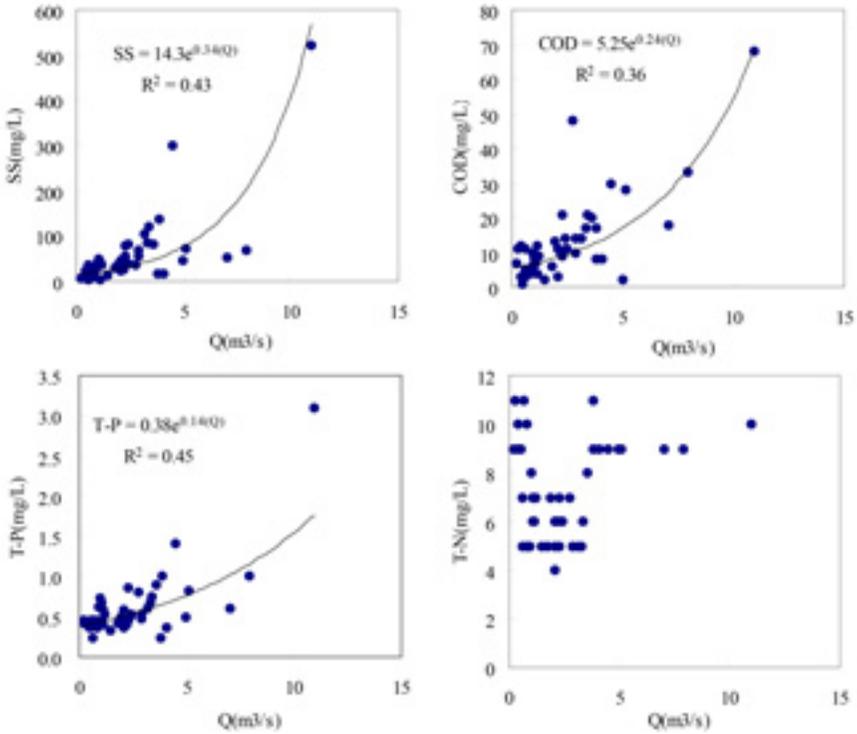
- 소유역별로 산정한 배출부하량은 하천이나 수로 등을 통하여 유하하는 동안 자정작용에 의한 제거 및 불명오수의 유입 등으로 증가되는 현상이 발생할 수 있으므로 이러한 영향을 반영하기 위한 인자로 유달율이 있다.
- 유달율은 실측에 의한 것이 가장 정확하지만, 일반적으로 조사지구 전 소유역에 대하여 유달율을 실측하는 것은 인력 및 조사비용 등의 제한으로 어렵기 때문에 1~2개의 대표 소유역에 대하여 실측에 의한 유달율을 산정한다.
- 미계측 소유역은 실측유달율을 적용하거나 사업대상지구와 유사한 유역 특성의 유달율을 관련문헌조사 등을 통해 적용할 수 있다.

### 가. 유입부하량 산정 방법

- 강우시 수질-유량 조사결과를 수질예측모델의 검·보정이나 미계측 기간 또는 장래의 유입부하량 추정에 이용한다. 강우시 유량-수질조사 자료로부터 농도(C)-유량(Q) 또는 부하량(L)-유량(Q)의 관계식을 도출할 수 있다.



[그림 3-4] 강우시 유량-부하량 조사 사례



[그림 3-5] 강우시 수질농도-유량 관계식 유도 사례

- [그림 3-4]는 강우시 수질조사 자료를 이용하여 부하량-유량 수문곡선(pollutograph)을 도시한 것이며, [그림 3-5]는 [그림 3-4]의 자료에 통계기법을 적용하여 수질농도-유량 관계식(C-Q식)을 유도한 것이며, 부하량-유량 관계식(L-Q식)도 동일한 방법으로 유도가 가능하다. 다만, 통계학적으로 유의하지 않은 관계식을 적용하는 것은 적합하지 않음을 유의해야 한다.
- 수문모형에 의해 추정된 일유출량(Q) 자료를 도출된 L-Q식을 이용하면 일유입부하량을 추정할 수 있다. 일유입부하량은 수질예측모형의 입력자료나 간편한 BOX 모형에 의한 호소의 수질예측에 이용할 수 있다.

## 나. 삭감부하량 산정 방법

❶ 삭감부하량을 간편하게 산정할 수 있는 방법은 저수지의 실측 수질과 목표수질의 차이만큼의 유입부하량을 삭감하도록 설정하는 것이다. 삭감부하량의 산정 사례는 다음과 같다.

- ① 저수지의 실측 평균수질이 COD 10.3mg/L이고, 목표수질이 8.0mg/L, 연간 유역유입량이  $16.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 이라면, 삭감유달부하량은  $(10.3-8) \text{mg/L} \times 16,700,000 \text{m}^3 / \text{yr} = 38,410 \text{kg/yr}$ 이며 이를 일평균 삭감부하량( $38,410 \text{kg} / 365 \text{일} = 105 \text{kg/일}$ )으로 환산한다.
- ② 산정된 삭감 유달부하량은 유달울이 고려된 것이므로 삭감 유달부하량을 유달울로 나누어 삭감배출부하량을 추정한다.
- ③ 산정된 삭감배출량은 [표 3-10]와 같이 다시 오염원별 · 소구역별로 오염기여도에 따라 배분하여 삭감배출부하량 산정표를 작성한다.

[표 3-10] 수질오염항목별 삭감부하량 산정의 예

구 분	현황수질 (mg/L)	목표수질 (mg/L)	유입부하량 (kg/day)	계획삭감량 (kg/day)	달성삭감량 (kg/day)	예측수질 (mg/L)
COD	10.3	8.0	467.8	104.4	191.6	6.0
T-N	2.196	1.0	99.7	54.3	57.7	0.918
T-P	0.090	0.1	4.1	0.0	2.4	0.038

- 계획삭감량 = 유입부하량  $\times \left(1 - \frac{\text{목표수질}}{\text{현황수질}}\right)$

- 달성삭감량 = 처리시설별 정화에 의한 삭감량의 총합

- 예측수질 =  $\left(\frac{\text{유입부하량} - \text{달성삭감량}}{\text{오염물질 유입량}}\right) \times 1000$

❷ 오염부하량은 3.6절에서 다루는 수질예측의 기초가 되는 자료이므로 가능한 한 충실히 조사·분석하여야 하며, 3.4.3 수질개선공법 선정요령의 중요한 인자가 된다.

## 5. ○ 적용가능 대책 수질개선공법 선정

### 가. 수질개선공법의 분류

● 호소수질개선을 위한 적용가능대책 및 공법은 다음과 같이 분류된다.

- ① 오염원대책: 호소 유역에서 발생하는 오염물질을 처리하는 오염원 대책이며 소규모하수도 공법, 우회수로, 기타 공법 등이 포함된다.
- ② 유입수 대책: 호소로 유입되는 유입수의 수질개선 대책으로 다양한 공법이 적용 가능하며, 여기에는 인공습지, 식생수로, 식생여과대, 식생체류지, 침강지, 침투저류지, 침투도랑, 접촉산화수로, 미세조류 수처리 공법, 응집침전 처리형시설, 식생방틀, 생태호안블록 등이 포함된다.
- ③ 호내 대책: 유역, 유입수 대책에도 불구하고 호내 녹조발생 등의 수질문제에 대비하여 호내 수질개선 대책이 필요하며 여기에는 퇴적물 준설, 인공순환/폭기시설, 천적생물 적용기술, 무인 수질개선 선박, 다층형 부유습지, 끈상 접촉산화공법, 다단 가압부상 장치 기술 등이 포함된다.
- ④ 호안 공법: 유입수 대책으로 선정된 공법의 효율을 향상시키기 위한 방안으로 자연호안, 인공호안 및 조합호안과 같은 다양한 호안공법이 유입하천 및 유입수 수질개선 공법 내에 적용될 수 있다.

#### 1) 수처리방식에 따른 분류

● 수처리 방식에 따라 크게 기계처리방식과 자연처리방식으로 나눌 수 있으며, 각 처리방식별 수질개선공법의 종류는 [그림 3-6]과 같다.



[그림 3-6] 수처리방식에 따른 분류

● 기계처리방식은 주로 점오염원의 제거 기법이 대부분이며, BOD의 제거 효율은 높으나 TN 및 TP의 제거효율은 BOD에 비하여 낮다. 기계처리방법으로는 [그림 3-6]과 같다.

- 자연정화방식은 [그림 3-6]과 같으며, 주로 자갈, 토양, 식물, 미생물 등 자연재료를 이용하여 자연정화기능을 강화하는 방법들이다.
- 본 매뉴얼은 주로 자연정화방식을 활용한 수질개선공법을 다룬다.

## 2) 시설의 설치 위치에 따른 분류

- 처리 시설의 위치에 따라 직접처리형(On-line)과 분리처리형(Off-line)으로 구분할 수 있으며, [그림 3-7]에 나타내었다.



[주] \*는 분리 처리형으로도 적용 가능

**[그림 3-7] 수질개선시설의 설치 위치에 따른 분류**

## 3) 정화 원리에 따른 분류

- [그림 3-8]는 수질개선공법을 정화 원리에 따라 물리적(침강), 화학적(화학약품), 생태공학적(미생물, 식물 등) 방법과 기타방법으로 분류하고 각 정화 원리에 따른 수질개선공법의 종류와 처리대상 오염물질을 분류한 것이다.
- 물리적 방법은 자연 에너지를 이용하여 중력침강, 접촉침전 및 여과에 의해 수질을 개선하는 방법으로써 대표적인 공법으로는 침강지, 식생대, 모래여과 등이 있다.

- 화학적 방법은 응집제, 살조제, 제초제 등 화학약품을 이용하여 인위적으로 오염물질을 응집, 침전, 제거하는 공법을 말한다.
- 생태공학적 방법은 식물이나 토양 및 수중의 미생물을 이용하여 오염물질을 흡수·분해하는 방법으로서 인공습지, 접촉산화공법 등이 대표적이다.
- 기타의 방법에는 유입되는 오염물질을 직접적으로 계외로 배제시키는 유입수 배제(By-pass), 오염물질의 농도를 낮추는 희석, 수중에 산소를 공급하는 포기 등의 방법이 있다.



[그림 3-8] 정화원리에 따른 수질개선공법의 분류

### 나. 수질개선공법 선정의 기본원칙

- 공법선정시 토사 및 유입 폐기물의 전처리를 위한 시설 구비
- 시설내부의 체류시간을 최대한 늘릴 수 있는 유로 연장 확보 고려
- 식생도입시에는 외래종(도입종)보다는 자생종 우선 고려

## 6. ○ 공법의 설계 방향 및 검토사항

### 가. 농업분야의 WQv 산정 사례

- 동일 일강우량 30mm이더라도 강우지속 시간과 강우강도에 따라 유출량에 차이가 있을 수 있으며 강우지속시간을 예측하는 것은 어려운 작업이다. 또한 현재 강우분포율 분석방법들은 시설물의 안전성확보를 위해 극한조건으로 제안되어 있어 오염물질 저감을 위한 소량의 강우에 대한 강우지속시간 및 강우분포율 분석방법들은 제안되어 있지 않은 실정이다.
- [표 3-11]은 설계강우량 30mm 강우지속시간을 24시간분포로 가정하여 설계유량을 산정한 사례로 설계유량은 SCS복합단위도법을 사용하였다.
- SCS 방법은 토지이용상태, 토양조건과 선행강우조건을 동시에 반영할 수 있으며, 개략적인 전체 유출량의 규모를 쉽게 추정할 수 있다.
- SCS방법에 의한 직접유출량 추정식은 아래와 같다.

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

- 여기서 Q는 유역의 직접유출량(mm), P는 강우량(mm), S는 최대잠재저류량이며, S는 다음 식으로 구할 수 있다. CN은 유출수문곡선번호이다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254(mm)$$

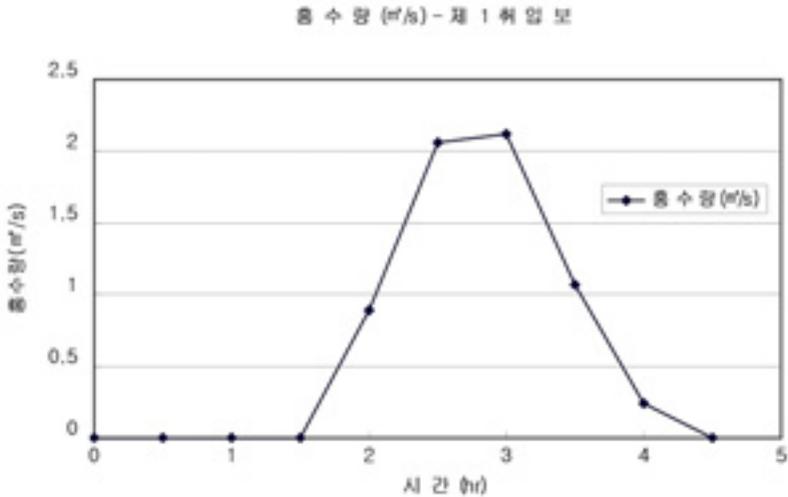
[표 3-11] 설계강우량 및 강우 분포 사례

시 간	간	분포율	강우량
0	0.5	17.6	5.28
0.5	1	24.8	7.44
1	1.5	30.4	9.12
1.5	2	34.3	10.29
2	2.5	38.2	11.46
2.5	3	42.1	12.63
3	4	47.4	14.22
4	5	52.1	15.63
5	6	57.7	17.31
6	9	66.4	19.92
9	12	75	22.5
12	24	100	30

[표 3-12] 설계유량분석을 위한 유역특성 입력자료 사례

유역명	유역면적(ha)	유출시간(hr)	CNIII	침투율(in/hr)
달산,죽전천	770.78	0.83	91	0.07
갯골천	36.57	0.46	90	0.05
중동천	65.66	0.45	92	0.07

24시간지속 30mm 강우량에 대한 각 기준점(제1호 취입보, 제2호 취입보, 제3호 취입보)에 대한 침투홍수량 및 총유출량은 [표 3-13]과 같이 산정되었다.



[그림 3-9] 기준점에서 30mm/d 강우유출 홍수곡선 사례

[표 3-13] 설계유량 및 침투홍수량 산정사례

유역명	총유출량 (ha·m)	침투홍수량(m <sup>3</sup> /s) - ①	설계유량(m <sup>3</sup> /s) - ①×0.75	비고
제1호 취입보	1.16	2.11	1.58	유량포착율 75% 적용
제2호 취입보	0.09	0.11	0.08	
제3호 취입보	0.13	0.29	0.22	

## 7. ○ 수질개선대안 설정 및 수질예측

### 가. 수질개선대안 설정

#### 1) 고려사항

- 먼저 3.2.1절의 수질오염 유형 분류에서 대책방향을 결정 한 후 전체적인 삭감부하량을 산정하여 3.2.2절의 오염원 및 소유역별 오염부하 기여율로부터 삭감대상을 설정한다. 삭감대상의 우선순위는 소규모하수도와 같은 점오염원에 대한 유역대책이 최우선적으로 고려되어야 하고 유입수 대책, 호내 대책 순으로 검토하여야 한다.
- 삭감대상이 설정되었다면 배분된 삭감량을 달성하기 위하여 어떠한 수질개선 기술을 적용할 것인지를 결정한다. 수질개선 기술에는 절수, 비료사용량 절감 등의 비구조적 기술이 적용될 수도 있고 인공습지, 마을하수도과 같은 구조적 기술이 적용될 수도 있으며, 두 가지 기술이 복합적으로 적용되어야 할 경우도 있다.
- 구조적 수질개선 기술은 일반적으로 수질개선공법이라 하며 마을하수도, 화학침전 등의 기계처리방식과 인공습지, 저류지 등과 같은 자연처리방식으로 구분 할 수 있다. 수질개선공법의 선택은 처리대상 수질 및 수량, 목표수질, 수질환경기준, 처리시설 규모, 입지조건, 유지관리 조건, 경제성 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- 수질개선 공법이 선정되면 유역관리자가 해야 할 일과 시설관리자가 해야 할 일을 명확히 구분하여 역할분담이 되도록 하여야 한다.

#### 2) Matrix 분석 기법에 의한 수질개선대안평가

##### 가) Matrix의 평가항목 산정

##### (1) 효율성 : 관리방안별 장점 및 단점을 기술적 관점에서 평가

##### (가) 오염물 제거 효율

- 관리방안의 기술적 관점 중 가장 기본적인 처리효율을 평가하는 항목  
예) BOD, COD, TN, TP의 제거효율 검토

##### (나) 적용가능성

- 관리방안의 현장 적용가능성 여부와 운전시 무리가 없는지를 평가하는 항목  
예) 위치 확보, 시공성, 유지관리의 용이성 등

##### (다) 처리수질의 안정성

- 관리방안이 유량과 수질변동에 대응하면서 기대수질 및 처리효율을 달성, 유지할

## 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

수 있는지를 평가하는 항목

예) 배출 허용 기준 및 목표수질의 안정성 여부 등

### (라) 부정적 영향

● 관리방안의 적용시 발생 가능한 부정적인 영향을 평가하는 항목

예) 약품투입 등 2차 오염유발 여부, 외해 방류로 인한 영향 등

### (2) 경제성 : 관리방안의 적용시 필요한 초기투자비를 비교·평가

● 경제성 비교 평가시에는 초기투자비, 운영비, 운영기간 및 비용편익을 모두 고려하여야 한다.

### (3) 사회성 : 관리방안의 적용시 사회적 요구의 수용 여부 평가

#### (가) 투자우선순위

● 관리방안별로 기술적, 경제적 효과를 분석하고 투자 가능한 예산을 고려하여 우선순위 결정

#### (나) 향후 개발계획과의 연계성

● 추가적인 개발계획 수립시 타사업과 연계 적용될 수 있는지를 평가

#### (다) 환경친화성

● 대상지역 자연, 주민 등을 포함한 생태적요소를 고려한 관리방안 적용

### 나) 대책별 평가 Matrix

● 평가방법은 유역 대책, 유입수 대책, 호내 대책으로 구분하여 효율성, 경제성, 사회성을 중심으로 Excellent, Good, Fair, Poor의 순으로 등급화 하여 평가등급기준 및 각 대책별 평가는 다음의 [표 3-14]와 같은 형식으로 나타낸다.

● 각 수질개선대안별 상대적 비교를 위해 Matrix 평가에서 결과를 Excellent, Good, Fair, Poor 등 대응 점수를 부여, 평가하도록 한다.

[표 3-14] 수질개선대책의 평가등급 기준 예

구 분		등 급 기 준	비 고	
효 율 성 (Efficiency)	오 염 제 효 율	E	80 % 이상	- COD, TN, TP의 처리 효율 측면 고려
		G	60 ~ 80 %	
		F	40 ~ 60 %	
		P	20 ~ 40 %	
	적 용 가 능 성	E	적용 가능	- 현장 적용 가능성 유무 고려(대 규모, 소규모) - 운전 효과(일시적, 영구적) - 기술 적용의 어려움
		G	기 제시되어 운영되는 방안	
		F	특정지역에만 가능	
		P	적용 불가능	
	처 리 수 질의 안 정 성	E	법 규제 이하 도달 가능, 목표수질 달성 유지, 안정성 확보	- 대책 적용시 유량 변동에 대응 여부 - 처리수질의 안정성 평가
		G	처리효율 80 % 이상 달성 가능	
		F	말단에 후속관리 대안을 적용 필요, 일시적 효과 있음	
		P	반드시 후속처리 필요	
	부 정 적 영 향	E	부정적 효과 없음	- 관리방안 적용시 2차 오염물질 유발 및 외해 방류로 오염물질 유발 여부 고려
		G	잠재적인 부정적 효과 있음	
		F	2차오염물 유발에 대한 대책 필요	
		P	부정적 영향이 많아 실적용 곤란	
경 제 성 (Economy)	단 위 삭 감 량 / 초 기 투 자 비 율	E	상위 1, 2 위	- 초기투자비, 운영비, 운영기간 이 모두 고려되어야 하나, 본 자료는 3개 오염물질(BOD, TN, TP)의 단위삭감량당 초기투자 비율의 순위에 의해 평가함
		G	상위 3, 4 위	
		F	상위 5, 6 위	
		P	상위 7, 8 위	
사 회 성 (Sociality)	투 자 선 순 위	E	오염제어시 반드시 필요함, 시급성	- 투자가능한 예산을 고려하여 우선순위 결정
		G	현실 적용 타당성 있음	
		F	특정지역에 한정하여 관리	
		P	현실적용 불가능, 예산확보 불가능	
	향 후 개 발 계 획 과 의 연 관 성	E	농업, 공업, 관광용수 등 이수목적 사용 가능	- 추가적인 개발계획 수립시 타사업과 연계 적용될 수 있는지를 고려
		G	연계처리 후 이용 가능 및 특정지역만 사용	
		F	개발지역의 부지요구, 변경 필요	
		P	연계성 없음	
	환 경 친 화 성	E	친환경적 설비로 활용할 수 있음	- 대상지역의 주민 및 자연보전 및 생태학적 요소 고려
		G	별다른 영향 없음	
		F	환경파괴 가능성 없음	
		P	환경파괴 및 2차오염 유발, 외해 영향	

주) E, G, F, P는 각각 Excellent, Good, Fair, Poor

[표 3-15] 수질개선대책별 평가 Matrix의 예

구 분	효 율 성					경 제 성		사 회 성				
	오염물질 제거 효과	적용 가능성	처리 수질 안정성	부정적 영향	점수	단위 삭감량/ 초기 투자비	점수	투자 우선 순위	향후 개발 계획과 안정성	환경 친화성	점수	
유역	하수처리장	E	E	E	E	1	P	4	E	E	E	1
	마을하수도	G	G	G	G	2	F	3	F	G	G	2.33
	축산폐수	E	E	E	E	1	E	1	E	E	E	1
	액비탱크	E	E	E	E	1	E	1	E	E	E	1
호내	자연형하천	P	G	F	F	3	E	1	F	P	G	3
	식생수로	P	G	F	F	3	E	1	F	P	G	3
	인공습지	P	G	F	G	2.75	G	2	G	G	E	1.67
	침강지	F	G	F	G	2.5	G	2	E	G	E	1.33
제도	양식장불허	E	G	E	E	1.25	E	1	E	E	E	1

주) E, G, F, P는 각각 Excellent(1점), Good(2점), Fair(3점), Poor(4점)

다) 대안의 종합 평가 및 최적 대안선정 사례

- 수질개선대안의 설정은 다양한 수질개선공법을 조합하여 수질개선을 위한 시나리오를 작성하여 평가 Matrix와 수질예측결과를 토대로 종합적인 평가를 하고 최적 대안을 선정한다.
- 여러 수질개선대안별 종합적인 평가결과를 다음 [표 3-16]와 같이 나타낸다.

[표 3-16] 수질개선대책 대안별 평가 결과의 예

대 안	효 율 성	경 제 성	사 회 성	평 균
I	1.81	1.50	1.25	1.52
II	2.38	1.25	2.08	1.90
III	2.38	1.25	2.08	1.90
IV	2.33	1.00	2.33	1.89
V	1.85	1.00	1.80	1.55
VI	2.00	1.00	2.00	1.67
VII	2.81	1.50	2.25	2.19
VIII	2.50	1.40	2.00	1.97
IX	2.21	1.33	1.83	1.79
X	1.89	1.29	1.71	1.63

수질개선대책 대안별 평가 결과와 각 대안에 포함되어 있는 수질개선공법의 정확화를 모두 고려하여 1차적으로 대안을 선택한다.

[표 3-17] 대안별 수질예측결과 및 평가결과의 예

수질 항목	기본대책 예측수질	대안별 예측수질									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
COD (mg/L)	9.5	8.9	8.7	8.2	8.4	8.4	8.0	8.2	8.7	8.1	7.8
TN (mg/L)	4.281	3.955	3.942	3.605	3.779	3.682	3.735	3.763	3.737	3.523	3.473
TP (mg/L)	0.113	0.103	0.105	0.096	0.098	0.093	0.096	0.104	0.102	0.093	0.090
Matrix 평가	평균	1.52	1.90	1.90	1.89	1.55	1.67	2.19	1.97	1.79	1.63
	효율성	1.81	2.38	2.38	2.33	1.85	2.00	2.81	2.50	2.21	1.89
	경제성	1.50	1.25	1.25	1.00	1.00	1.00	1.50	1.40	1.33	1.29
	사회성	1.25	2.08	2.08	2.33	1.80	2.00	2.25	2.0	1.83	1.71
1차 선택						○	○			○	○

1차 선택을 할 경우, 한 개의 대안을 선택하는 것이 아니라 3~5개의 대안을 선택하여 각각의 장점 및 단점을 고려하여 최적의 대안을 선택한다.

1차 선택된 대안들의 비교는 다음의 [표 3-18]와 같이 한다.

[표 3-18] 1차 선택 대안별 장점 및 단점 비교의 예

구분	예측수질(mg/L)			Matrix 평가	장점	단점
	COD	TN	TP			
대안V	8.0	3.682	0.093	1.55	목표수질 달성 투자비가 다소 낮음	축산처리시설 거부감 양식장 제한 민원 소지
대안VI	8.2	3.735	0.096	1.67	목표수질 근접 투자비가 다소 낮음	축산처리시설 거부감 목표수질달성 불확실
대안IX	8.1	3.523	0.093	1.79	목표수질 근접	축산처리시설 거부감 투자비 높음
대안X	7.8	3.473	0.090	1.63	목표수질 달성	축산처리시설 거부감 양식장 제한 민원소지 투자비 높음

1차 선택이 된 대안들에 대해 장점 및 단점의 평가가 되면, 현재 수질개선을 하고자 하는 지역에서의 가장 적절한 대안을 선택하여 수질개선대책으로 추진한다.

## 나. 수질예측

### 1) 수질예측 개요

- 수질개선사업에서 저수지 수질예측은 2가지 목적으로 수행 할 수 있다.
  - 원인해석 : 대상 저수지의 수질오염 원인과 주요 결정 변수를 해석하기 위한 수단으로 수질모델을 적용.
  - 장래예측 : 대상 저수지의 장래 수질오염 진행을 예측하거나 선정된 수질개선대책의 효과를 평가하기위한 수단으로 수질모델을 적용.
- 수질예측은 2.10절에 제시된 유역수질모델과 하천과 저수지 수치모델을 사용하거나 단순 박스(BOX)모형 또는 간단한 물질수지모델(Simple Mass Balance Model)을 적용할 수 있다.
- 수질예측방법은 대상지구의 규모, 오염물질의 종류와 물리·화학·생물학적 기작, 지형·유량·수질 입력자료와 매개변수 등의 구축 정도에 따라 적절한 방법을 선택하여 사용하도록 한다.
- 저수지 유입하천의 유량과 수질 자료가 부족하거나 미계측되는 경우에는 유량자료는 강우-유출 모델을 사용하여 생산하고, 유역수질모델 또는 원단위 방법으로 경계 조건 부하량을 산정 한다. [그림 3-14]은 유역모델과 저수지 수질모델을 연계 적용하여 농업용저수지 수질예측을 실시하는 절차를 보여준다.

### 2) 수질예측모델 적용 절차

#### 가) 목적설정

- 수질예측 모델의 적용 목적을 명확히 설정한다.
- 예측이 필요한 수질항목, 시간적·공간적 정밀도를 결정한다.

#### 나) 모델의 선정

- 적정 모델의 선정은 적용목적, 저수지의 지형 특성, 그리고 성층 및 수리해석의 중요성 등을 고려하여야 하며 2.10절에 제시된 모델의 특성과 선정 기준을 참고하여 결정한다.
- 모델의 적용목적이 수질개선대책의 효과 평가인 경우에는 선정된 모델이 대책기술의 수질개선 원리를 모의할 수 있는지 확인하여야 하며, 필요시 모델을 수정하여 사용한다.

#### 다) 모델의 구축

- ④ 모델의 구축은 입력자료 구성, 매개변수 산정, 모델의 보정과 검증, 매개변수의 민감도 분석을 포함 한다.
- ④ 모델은 실측결과와 비교하여 충분히 보정 및 검증되어야 한다.
- ④ 매개변수는 실측자료가 있는 경우 실측값을 우선 사용하고, 그렇지 않은 경우, 기존의 문헌을 참고하여 적합한 범위 값 내에서 보정한다.
- ④ 불확실한 입력자료와 매개변수가 모의결과에 영향을 미치는 정도를 파악하기 위해 민감도분석을 실시한다.

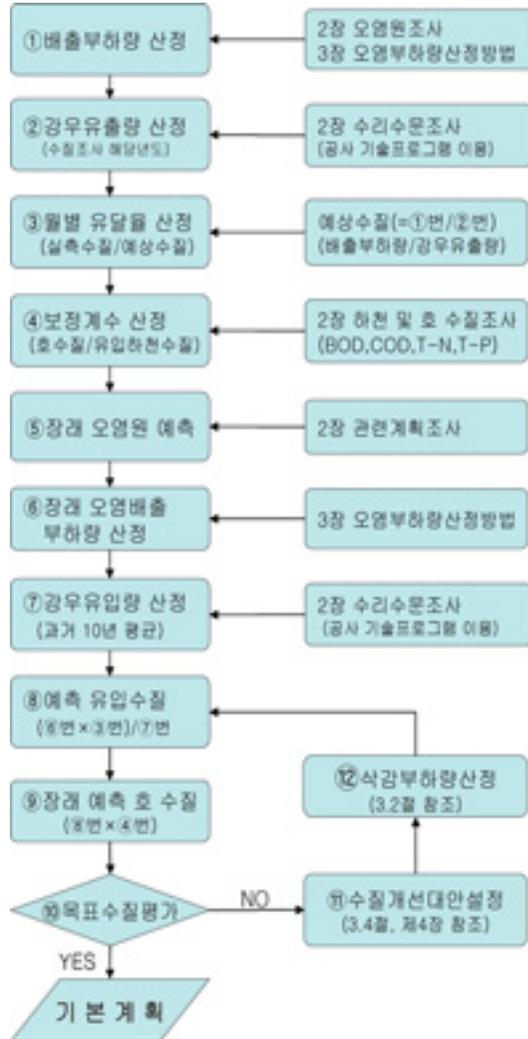
#### 라) 모델의 적용

- ④ 보정과 검증을 마친 모델은 대상 저수지의 수질오염 원인분석, 장래 수질예측, 수질 개선대책의 평가 등에 사용한다.
- ④ 수질개선대책의 평가는 다양한 대안 시나리오를 구성하여 경제적이고 효과적인 대책이 선정되도록 한다.

### 3) 수질모델의 적용 예시

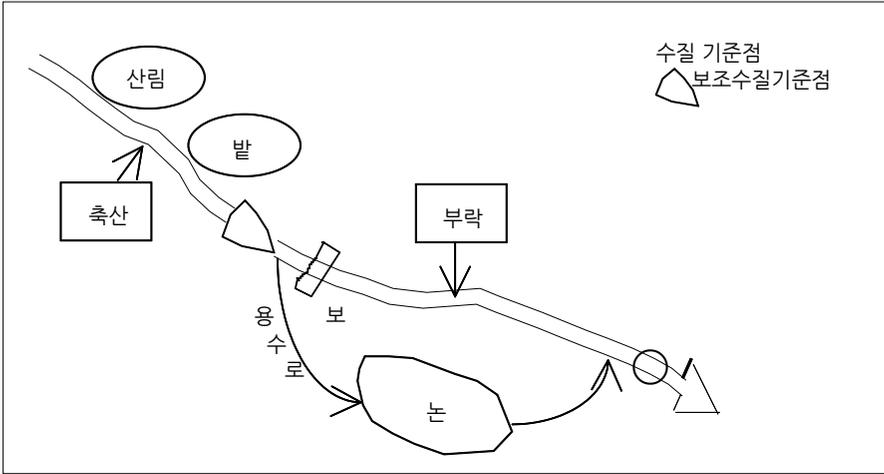
#### 가) 단순모형

- ④ 단순모형 중에서 저수지를 하나의 완전 혼합된 수체로 단순화하여 물질수지를 표현하는 단순박스모형이 있다. [그림 3-10]은 단순박스모형을 이용한 수질예측과정의 흐름을 나타낸 것이다.



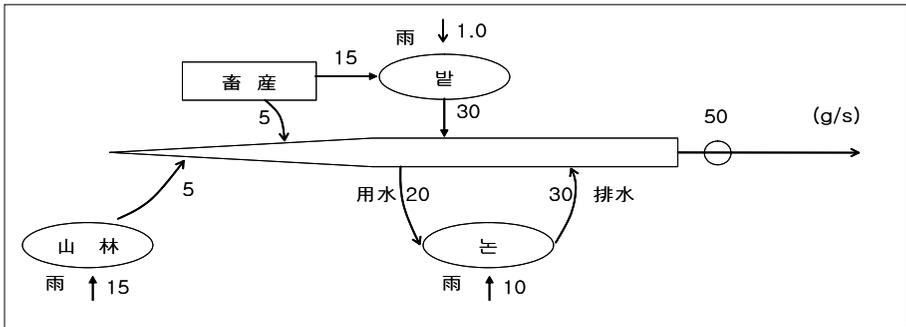
[그림 3-10] 단순BOX모형에 의한 수질예측 흐름도

- 단순모형 중에서 물질수지모델은 목표로 하는 수질기준점을 기준으로 대상 지역내의 오염부하의 유출구조를 오염원과 배출로의 연결성을 양적으로 표시한 흐름도이다.
- 물질수지 흐름도의 작성방법은 [그림 3-11]과 같이 자연하천이나 용배수로 등 그 지역의 주요한 물 흐름을 지도상에 표시하고 점오염원이나 비점오염원의 배수구나 취수구의 위치를 정확하게 표기하는 것이 중요하다.



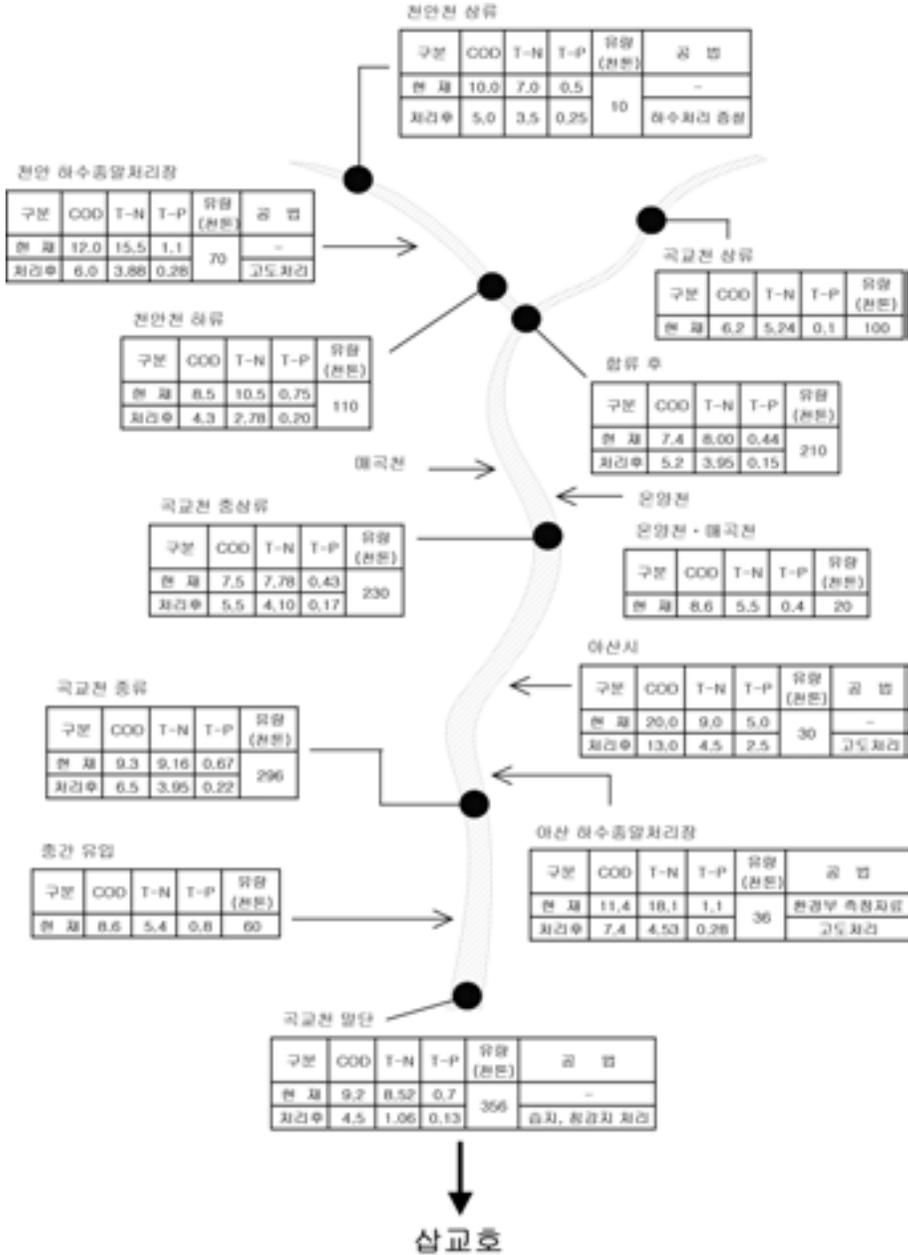
[그림 3-11] 물질수지흐름도 작성을 위한 모식도

지도를 기본으로 물질수지흐름도를 작성한다. 처음에는 그다지 복잡하지 않고 단순한 것을 작성한다. 물질수지흐름도에는 오염원별 배출부하량이나 하폐수량을 기입한다. [그림 3-12]는 농업유역에서 관개기의 물질수지흐름도를 모식한 것으로 각 오염원에서 하천으로의 유·출입 관계를 잘 보여 주는 사례이다.



[그림 3-12] 농업유역의 관개기 물질수지흐름도 작성 사례

[그림 3-13]은 물질수지법을 이용하여 수질개선대상 하천의 각 소유역별 수처리공법 적용단계별 하천수질을 예측한 사례이다.



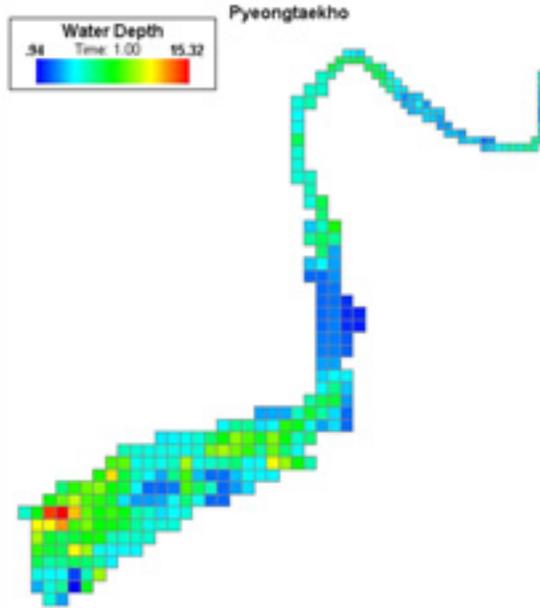
[그림 3-13] 물질수지법에 의한 하천 수질예측 사례

## 나) 수치모형

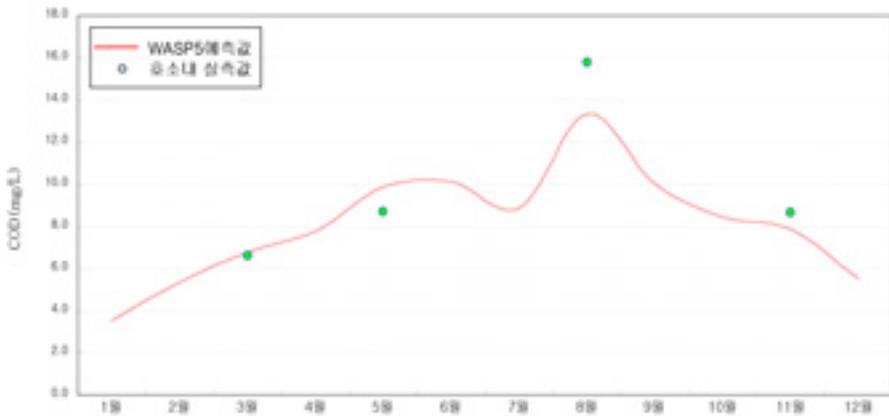
- 수치모형은 우리나라에서 적용한 사례가 많고 검증된 모델을 사용하는 것이 기술적, 경제적 측면 등 여러 가지 면에서 유리하다.
- 현재까지 외국에서 개발되어 우리나라에 적용하여 검증 또는 변형된 수치모형으로 하천의 경우는 QUAL2E, QUAL2E-K, CE-QUAL-ICM 등이 있으며, 저수지모형으로는 2장에서 소개한 CE-QUAL-W2(정세웅 등, 2007), EFCOM-CAEDYM(정세웅 등, 2008, 2009), DELFD3D, GEMMS 등이 있다.
- 유역 수문유출특성을 고려할 수 있는 유역수질 예측모형으로는 2장에서 소개한 HSPF, SWAT 모형 등이 있으며 도시와 농촌유역이 혼재된 복잡한 유역에 적용이 가능하나 모형의 매개변수 등의 구축이 복잡하다.
- WASP은 DYNHYD(1차원)와 EFCOM(1, 2, 3차원)와 같은 수리모델과 함께 사용하며 부영양화와 독성물질 모의가 가능하여 농업용저수지에 활용도가 높으나, 수심이 깊은 저수지에서는 성층해석에 한계가 있다.
- 저수지 수질예측에 성층해석이 중요한 경우(수심이 깊고 퇴적물 용출이 중요한 경우)에는 2차원 모델인 CE-QUAL-W2 또는 3차원 모델인 EFCOM-CAEDYM이 적합하다(정세웅 등, 2007, 2008, 2009).
- 모형이 선정되었다면 현장조사 자료를 이용하여 보정 및 검증 과정을 거친 후 수질예측을 실시한다.

## 4) 수질예측 결과의 정리

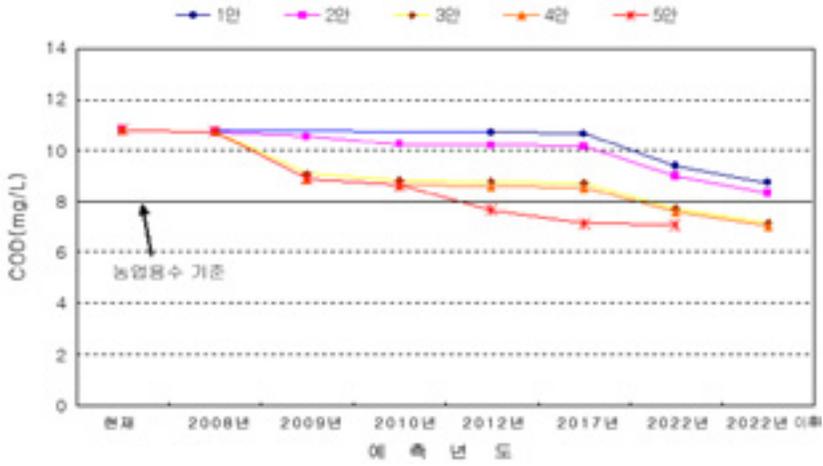
- 수질예측결과는 각 대안별 및 계획추진 단계별로 이해가 쉽도록 그래프 등으로 표현하거나 표로 정리한다. [그림 3-16]의 a)는 설정한 수질개선대안별 장래 수질예측 결과를 나타낸 것이며, b)는 최종 선정된 대안이 단계별로 추진됨에 따른 수질개선효과를 나타낸 것이다.



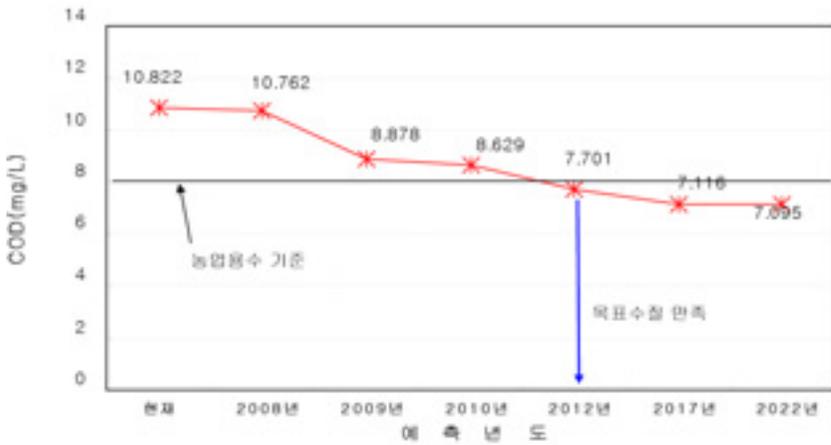
[그림 3-14] WASP 모형 적용을 위한 Segment 분할 사례



[그림 3-15] 현장 자료와 수치모형 예측치의 보정 사례



a) 수질개선대안별 장래 수질예측 결과 표현 사례



b) 최적대안의 사업시행 단계별 수질개선효과 사례

[그림 3-16] 수질개선대안별 장래수질예측 결과 사례



제4장

수질개선대책  
세부설계





## 제4장 수질개선대책 세부설계

### 1. 유역 대책 세부설계요령

#### 가. 소규모 하수도

- [표 4-1]은 소규모 시설의 처리 공법별 분류기준이며 공법별 분포현황은 접촉산화 공법이 30%(343개소)로 가장 많았고 기타가 17%로 178개, 고효율합병정화시설이 15%로 178개, 고도처리공법에 포함된 기타가 14%(158개) 등의 순으로 나타났다.
- 소규모 하수처리 공법 중 실제 농업용 저수지 조사, 설계자가 직접설계하지 않고 관련업체에 설계요청을 하고 있는 부분은 제외하고, 본 장에서는 자연 생태적 하수처리공법(KN-NEWS공법)의 정화원리 및 세부 설계 내용을 수록하였다.

[표 4-1] 소규모하수도 처리공법 분포

구 분		해 당 기 술
접촉산화법		접촉산화공법, 3단 접촉폭기, 토양피복형접촉산화, 현수미생물접촉폭기, 혐기성접촉폭기, 폐비닐여재이용오수처리(SWPP)
고효율합병정화시설		고효율합병정화, 담체이용오수합병정화, 미생물조정조를 이용한 고효율정화, 오수합병정화
모관침윤트랜치법		모관침윤트랜치공법, 자연정화법
고도 처리 공법	회분식활성슬러지법	회분식활성슬러지법, 변형회분식 활성슬러지법, 연속회분식 활성슬러지법
	AO법	혐기성 및 호기성 생물학적 처리 등
	담체 및 막공법	섬모상미생물막법, 유동상 담체공법(NPR)
	고도처리공법의 기타	분노 및 고농도 유기오폐수 고도처리공법, OAM공법, KSBNR공법, SMMIAR공법, 상향류생물반증조를 이용한 고도처리(KNR), B3공법
기타		이차관을 이용한 토양식 오수정화공법, 바이오필터, 호기성 미생물에 의한 오폐수정화공법, 막분리법, 목편발효침공법, 수초골재침상하수처리공법, 호기성침전지법 등

● 농어촌지역 하수발생량 원단위는 조사대상 마을 및 조사자 등에 따라서 편차가 심한데, 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 조사한 자료를 바탕으로 마련된 소규모하수도사업통합지침(환경부, 2007)에서는 [표 4-2]와 같이 농어촌지역 평균하수발생량 원단위사례를 제시하고 있다.

[표 4-2] 농어촌지역 평균하수발생량 원단위 사례

구분	원단위 (ℓ/인·일)			유형별 특징
	평균	하한	상한	
농촌형	161	150	172	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 임야면적 70%이하</li> <li>◦ 농업이 주생계 수단임</li> </ul>
산촌형	149	122	176	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 임야면적 70%이상</li> <li>◦ 밭농업의 비중이 큼</li> </ul>
어촌형	162	145	179	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 해변인접</li> <li>◦ 농업과 어업이 병존</li> </ul>
주택단지형	190	179	201	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 주택단지조성사업으로 형성</li> <li>◦ 농업이외 업종 종사자 많음</li> </ul>

● 소규모하수처리시설을 포함한 공공하수처리시설의 방류수 수질기준은 다음과 같다.

[표 4-3] 2012.1.1일부터 적용되는 방류수 수질기준

구분		생물화학적 산소요구량 (BOD, mg/L)	화학적 산소요구량 (COD, mg/L)	부유 물질량 (SS, mg/L)	총질소 (T-N, mg/L)	총인 (T-P, mg/L)	대장균 군수 (개/㎖)	생태독성 (TU)
1일 하수 처리용량 (500㎡이상)	I 지역	5 이하	20 이하	10 이하	20 이하	0.2 이하	1000 이하	1
	II 지역	5 이하	20 이하	10 이하	20 이하	0.3 이하	3,000 이하	
	III 지역	10 이하	40 이하	10 이하	20 이하	0.5 이하		
	기타지역	10 이하	40 이하	10 이하	20 이하	2 이하		
1일 하수처리용량 (500㎡미만 50㎡이상)		10 이하	40 이하	10 이하	20 이하	2 이하	3,000 이하	1
1일 하수처리 용량 (50㎡ 미만)		10 이하	40 이하	10 이하	40 이하	4 이하		

비고 : 1. 겨울철(12월 1일~3월 31일까지)의 총 질소와 총 인의 방류수수질 기준은 60mg/ℓ 이하와 8mg/ℓ 이하를 각각 적용한다.

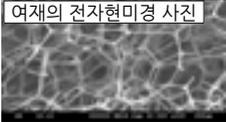
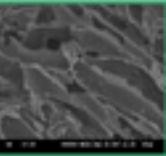
2. 생태독성 방류수수질기준은 물벼룩에 대한 급성 독성시험을 기준으로 하되, (수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙) 별표 13 제2호나목3) 비교란 제2호 본문에 따른 폐수배출 시설에서 배출되는 폐수가 유입되고 1일 하수처리용량 500세제곱미터(㎥) 이상인 공공하수처리시설에 적용한다.

## 나. 자연생태적 하수처리공법 (KN-NEWS공법)

### 1) 특징

- 물이 잘 흘러가게 하기 위하여 유입부의 높이보다 유출부의 높이를 낮게 하고, 바닥을 계단형으로 구성함으로써 단계적으로 낮아지도록 하여 사수역이 없이 물이 흐르도록 하였다.
- 물이 상하로 흐르도록 하여 접촉여재와 물이 접촉하는 길이를 길게 함으로서 여과 효율을 높일 수 있다.
- 계단형 인공습지에는 식물을 식재하여 뿌리부근에서 미생물이 활발히 오염물질을 분해할 수 있는 환경을 조성하고, 경관성이 향상되도록 하였다.

**【표 4-4】 고친수성 바이오 필터와 상하흐름형 인공습지 비교**

구분	특징
고친수성 바이오 필터	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 구조적 특징                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미생물 자산화로 인하여 잉여슬러지의 발생이 없어 역세척이 불필요하고 공극폐쇄의 문제가 없음.</li> <li>- 경량화, 단순화로 설치용이 : 최소한의 기계, 전기장치 사용</li> </ul> </li> <li>○ 고친수성 여재기능                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미생물 부착성장공간 제공, 여과기능, 흡수 및 수분 유지와 오염물 흡착·제거 기능 제공</li> <li>- 고친수성으로 유입 및 유량 변동에 능동적 운전 가능</li> </ul> </li> <li>○ 관리적 특징 : 컴프레서, 블로워, 교반기, 반송설비, 역세척 장비, 전동밸브 등 배재로 소음 및 전력사용량 감소</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 60%;">  <p>여재의 전자현미경 사진</p>  <p>고친수성바이오필터여재</p> </div> </div>
상하흐름형 인공습지	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>pH : 6.5, 공극률 : 40%, 비중 : 1.0,                      전도도 : 0.85 mS/cm,                      양이온교환용량 : 25.15meq/100g</p> </div>   </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기존 식재기반재의 개선                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 토양, 모래, 쇄석 등의 기존 식재기반 재료에서 탈피</li> <li>- 큰 공극률 유지로 막힘현상이 거의 없음.</li> </ul> </li> <li>○ 정화식물의 활발한 생육과 미생물 활성을 동시에 만족시키는 식재기반형접촉여재(NPS 수질정화재) 개발 적용, 하수의 질소·인 등 영양염류 제거</li> <li>- 식물의존도가 낮아서 동절기 처리효율 저하 없음.</li> <li>- 영양물질 중심의 처리로 장기적인 운전에도 안정적인 처리효율 유지</li> <li>○ 3차원적 상하흐름 적용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수리학적 수도손실을 보상하여 월류현상을 없애고 3차원 흐름으로 확대하여 사용부지를 최소화</li> <li>- 표면에 하수유출이 되지 않아서 모기발생문제를 원천적으로 해결</li> </ul> </li> <li>○ 관리적 측면                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 인공습지 공법의 면적에 비하여 75% 이하로 감소하여 관리면적 감소</li> <li>- 생태학습의 장으로 이용가치가 높음.</li> </ul> </li> </ul>

[표 4-5] 자연생태적 하수처리공법의 장점 및 개선점

장 점	개선점
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식물, 수생동물, 토양미생물 등 자정능력 최대 활용</li> <li>◦ 소음발생이 없음</li> <li>◦ 기계장비 및 복잡한 전기시설이 없어서 유지관리에 전문인력이 필요없음</li> <li>◦ 슬러지 처리비용 및 유지관리 비용이 최소</li> <li>◦ 주변경관 향상 및 휴식공간, 자연학습장 등 활용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 기존공법의 단점중 개선점                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 부지면적 75% 감소</li> <li>- 고친수성 바이오필터 공정으로 극복</li> <li>- 효율적인 온실 시스템 도입</li> <li>- 상하흐름 인공습지 공정으로 극복</li> </ul> </li> </ul>

## 2) 정화원리 및 효율

### 가) 정화 원리

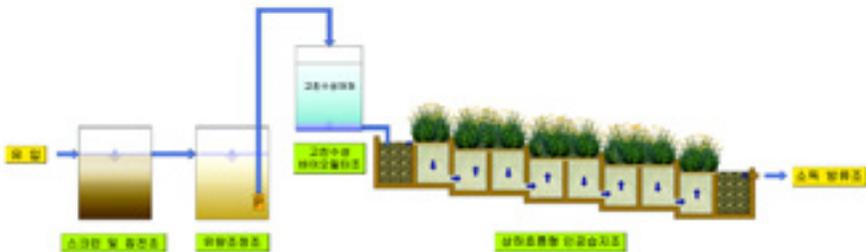
-  고친수성 바이오필터조는 바이오 세라믹계열의 고친수성여재가 충전된 생물반응조에 오수를 분사하여 여과, 흡착 및 미생물 분해에 의한 수질을 정화한다.
-  인공습지 내에서 물이 상하로 이동하면서 흐르기 때문에 하나의 습지 내에 표면부분을 흐를 때 호기성조건과 바닥부분을 흐를 때 혐기성조건이 조성되어 질소의 제거효율을 높일 수 있다.

### 나) 정화효율

[표 4-6] 자연생태적 하수처리공법의 처리 효율

측정항목	유입수질(mg/ℓ)	방류수질(mg/ℓ)	제거율(%)
BOD	48 - 240	7.5	95.2
SS	34 - 180	5.6	93.6
TN	18 - 32	9.2	90.6
TP	1.5 - 16.3	0.96	93.7

### 다) KN-NEWS공법 수처리 공정도



[그림 4-1] KN-NEWS공법의 처리공정도

### 3) 적용사례

● 설계사례 (Q=60m<sup>3</sup>/day)

**[표 4-7] 설계 인자**

구 분	항 목	설 계 범 위	비 고
체류시간 (HRT)	제1 혐기성조	6 hr 이상	
	제2 혐기성조	6 hr 이상	
	제3 혐기성조	6 hr 이상	
	유량조정조	8 hr 이상	
	상하흐름형 인공습지	12-24 hr	
살수 선속도	고친수성바이오필터	5.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·일 이하	
수면적 부하	상하흐름형 인공습지	1.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·일 이하	

**[표 4-8] 스크린조**

구 분	항 목	단 위	내 용	비 고
설계기준	체류시간	시간	-	
시설계획	제 원	m	2.5m×0.7m×H1.25m(He 0.2)	
	조 수	조	1	
설계검토	실체류시간	시간	-	
장 치	세목스크린	대	바스크린 간격 10mm(STS 304)	

**[표 4-9] 혐기성조 #1, 2, 3(침전조)**

구 분	항 목	단 위	내 용	비 고
설계기준	체류시간	시간	18~24	
시설계획	제 원	m	3.4m×2.5m×3.0mH(2.00mHe)	1지
			3.4m×2.5m×3.0mH(1.95mHe)	1지
			3.4m×2.5m×3.0mH(1.90mHe)	1지
	조 수	조	3	
설계검토	실체류시간	시간	$\frac{49.725}{60} \times 24 = 19.89$	

[표 4-10] 유량 조정조

구 분	항 목	단 위	내 용	비 고
설계기준	체류시간	시간	8~15	
시설계획	제 원	m	2.1m×8.0m×3.0mH(1.5mHe)	
	조 수	조	1	
설계검토	실체류시간	시간	$\frac{25.2}{60} \times 24 = 10.08$	
장 치	유량조정펌프	대	0.2m <sup>3</sup> /min x 2.2KW	

[표 4-11] 고친수성 바이오필터(UHMB)

구 분	항 목	단 위	내 용	비 고
설계기준	체류시간	시간	8~15	
	살수 선속도	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·일	5.0 이하	
시설계획	제 원	m	Φ2.1m×2.9mH(2.0mHe)	
	수 량	기	4	
설계검토	살수 선속도	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·일	$\frac{60}{13.85} = 4.33$	

[표 4-12] 상하흐름형 인공습지(UDFW)

구 분	항 목	단 위	내 용	비 고
설계기준	체류시간	시간	24 시간	
	수면적 부하	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·일	1.0 이하	
시설계획	제 원	m	11.2m×2.25m×1.4mH(1.2mHe)	
	조 수	조	2	
설계검토	실체류시간	시간	$\frac{60.48}{60} \times 24 = 24.19$	
	수면적 부하	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·일	$\frac{60}{60.48} = 0.99$	

[표 4-13] 개략 공사비

(단위 : 원)

공 종	사 업 량	사 업 비	비 고
1) 토목공사	1식	68,768,500	- 시운전비 포함(기계) - 제경비 별도 - 부가세 별도
2) 건축공사	1식	69,295,500	
3) 기계공사	1식	172,045,000	
4) 전기공사	1식	13,925,472	
5) 시운전비	1식	5,000,000	
총 사 업 비		329,034,472	순공사비

[표 4-14] 유지관리비

(단위 : 원/년)

공 종	유지관리비	비 고
전 력 비	465,709	월 : 38,809원
슬러지 처리비	780,000	
총 사 업 비	1,245,709	

KN-NWES공법 설치 사례



[그림 4-2] KN-NWES공법 설치 사례(내외부 전경)

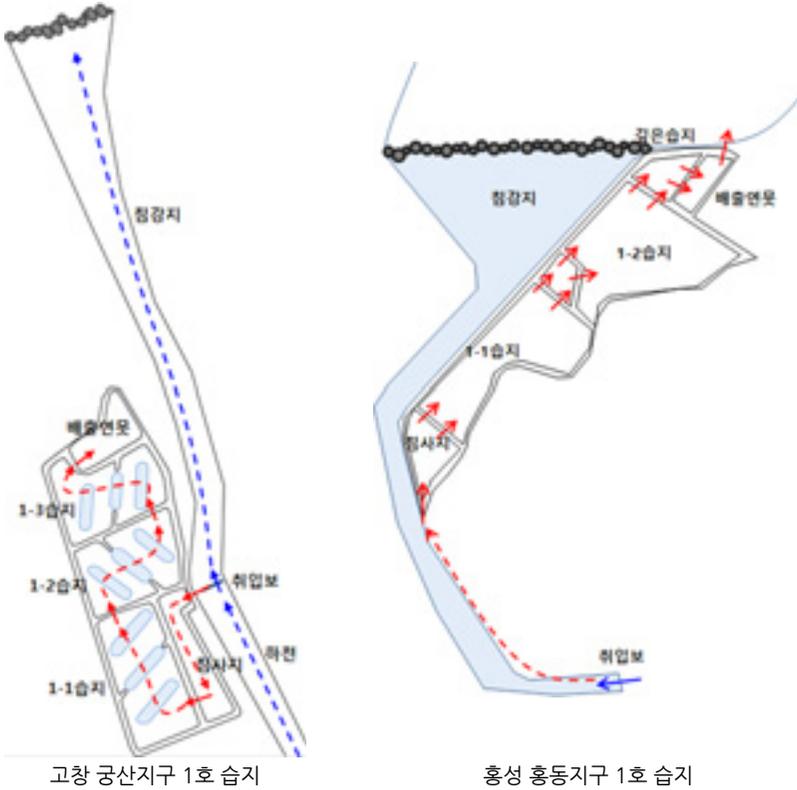
## 2. 유입수 수질개선대책시설 세부 설계 요령

### 가. 공통계획 및 시설

#### 1) 취입지점의 선정

##### 가) 사례연구

- 유입수 수질개선대책 시설을 계획할 때 가장 우선 결정할 사항은 취입지점 (취입보 위치)의 선정이다.
- 기존 시설에 대한 조사결과 습지의 형상, 배열 및 배치에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 취입지점인 것으로 조사되었으며 고창 공산지구 1호 습지와 흥성 흥동지구 1호 습지를 사례로 설명하면 다음과 같다.
- 먼저 고창 공산지구 1호 습지의 경우 취입지점이 부지의 중앙근처에 위치하고 있어 침사지에서 역류되도록 (하천의 흐름과 반대방향으로 흐르도록) 설치되어 있어 수리설계 뿐만 아니라 습지배열과 배치에 어려움이 되고 있다.

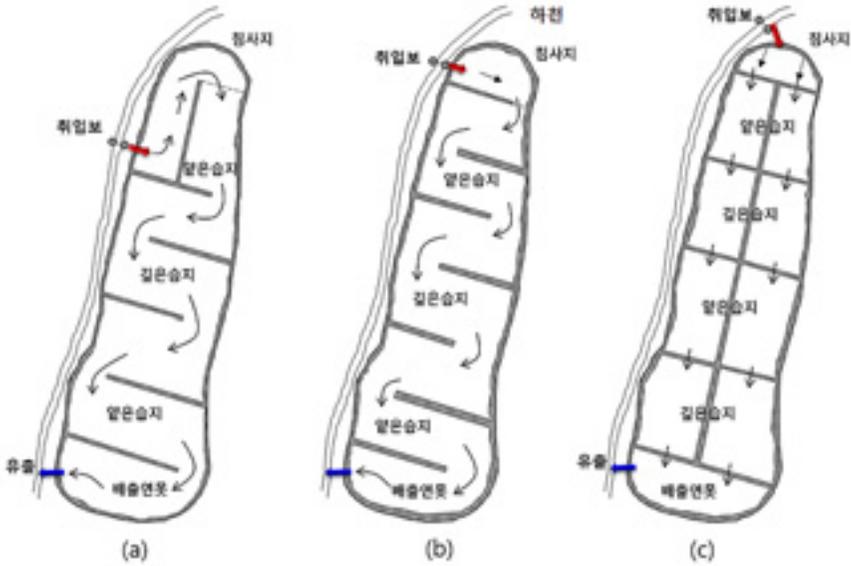


[그림 4-3] 취입지점의 위치에 따른 습지형상 및 배치

이와 반면에 홍동습지의 경우 취입지점이 습지의 상류지역에 위치하고 있어 자연스러운 중력흐름이 연속적으로 이어져 습지배열과 배치에 장점을 가지고 있다.

나) 취입지점 선정시 고려사항

- ❶ 취입지점을 선정하고자 할 때 하천에 대한 수리권 및 취입지점 하천의 구조적 특성 (제방고, 폭, 깊이) 및 보강공사 실시규모 및 배수위로 인한 영향, 하천정비사업 실시여부, 취입지점 인근의 부지확보와 매입가능성을 동시에 종합적으로 고려하여 결정한다.
- ❷ 또한 설치하고자 하는 취입보의 형태, 확보하고자 하는 수두 및 부지의 형상, 습지의 배열/배치 등을 종합적으로 고려한 후 결정한다.
- ❸ 취입지점은 기본계획 단계에서 결정하여 유역 수문수질모델링 작업에 반영하고 세부설계 단계에서 습지설계에 반영되도록 계획한다.



• 부지확보 → 취수지점 선정 (수리권, 하천구조, 부지매입의 불확실성 등)

[그림 4-4] 취입지점에 따른 습지배열 및 배치

(취입지점 a - 나뭇, b - 보통, c - 좋음)

## 2) 취입보 형식의 선정

### 가) 취입보의 종류

- 습지의 최선단에 위치하는 취입보는 하천수를 취수하는 시설로 습지관련 수리시설 중 가장 중요한 요소이다.
- 저수지 상류유역에 존재하는 점오염원 즉 소규모 하수처리장 등과 같은 방류수 수질개선을 목적으로 설치하는 경우는 습지와 방류수를 습지 선단부와 직접연결하면 되므로 별도의 취입시설은 필요 없다.
- 취입보의 설치는 저수위 기간이나 갈수기 동안에 취입보 하류부와 상류부의 생태적 단절을 초래할 수 있다.

[표 4-15] 취입보 종류 및 장·단점

 <p>(콘크리트 취입보)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 장점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조가 단순하여 준설 이외의 별도의 유지관리 필요 없음</li> </ul> </li> <li>◦ 단점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 홍수시 대량의 토사유입으로 퇴적량 증가</li> <li>- 취입보 토사퇴적으로 빈번한 준설 필요</li> <li>- 주기적인 준설이 없으면 취수위 확보 곤란</li> <li>- 수위증가시 급격한 유량증가</li> <li>- 수동 수문조절(수위 및 퇴적사 배출)</li> <li>※ 취입보 수위조절수문을 통하여 취수량 조절가능</li> <li>※ 퇴적사 배출수문 조작으로 부분적인 퇴적량 조절가능</li> </ul> </li> </ul>
 <p>(기계식 권상형 가동 취입보)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 장점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동개폐가 및 가동보의 각도에 따라 유량 조절이 가능하고 평상시 취수위 확보가 용이</li> <li>- 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 대량의 토사유입 차단</li> <li>- 기계식이지만 구조가 비교적 간단</li> <li>- 취입보 내부의 퇴적사 배제가능</li> <li>- 콘크리트 보와 연계하여 탄력적인 설계가능</li> </ul> </li> <li>◦ 단점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기계식으로 수문과 수문을 사이에 협잡물 걸림으로 수문유지관리가 어려움</li> </ul> </li> </ul>
 <p>(고무가동 취입보)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 장점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 취수위의 안정적 확보가능(큰 수두확보에 유리)</li> <li>- 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 토사유입 차단</li> <li>- 홍수시 홍수유량의 유입차단</li> <li>- 지방하천이상의 비교적 큰 하천에 적합</li> <li>- 안정적 습지가동 기대</li> <li>- 홍수시 자동 전도로 보 내부에 유사의 퇴적염려 없음</li> </ul> </li> <li>◦ 단점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고가의 설치비용</li> <li>- 취입보 가동을 위한 수위계, 펌프실 등 부대시설필요</li> <li>- 평상시 취수위 조절 불가능</li> <li>- 안정적 운전가능하나 유지관리가 어려움</li> </ul> </li> </ul>
 <p>(기계식 회전형 가동 취입보)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 장점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 취수수위의 안정적 확보가능(큰 수두확보에 유리)</li> <li>- 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 토사유입 차단</li> <li>- 홍수시 홍수유량의 유입차단</li> <li>- 취수위 및 취입유량 조절가능</li> </ul> </li> <li>◦ 단점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고가의 설치비용</li> <li>- 취입보 가동을 위한 구동모터 등 부가장치 필요</li> <li>- 안정적 운전가능하나 유지관리가 어려움</li> </ul> </li> </ul>

**[표 4-15] 취입보 종류 및 장·단점 (계속)**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 장점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 취수수위의 안정적 확보가능(큰 수두확보에 유리)</li> <li>- 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 토사유입 차단</li> <li>- 홍수시 홍수량의 유입차단</li> <li>- 자동운전</li> </ul> </li> <li>◦ 단점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고가의 설치비용</li> <li>- 취입보 가동을 위한 구동모터 등 부대시설 필요</li> <li>- 안정적 운전가능하나 유지관리가 어려움</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 장점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조가 간단하여 유지관리용이</li> <li>- 수동 게이트 수문의 개폐로 단순한 구조</li> <li>- 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 토사유입 차단</li> <li>- 홍수시 홍수량의 유입차단</li> </ul> </li> <li>◦ 단점                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 안정적 운전가능하나 홍수시 수동개폐 필요</li> <li>- 홍수시 전도되지 않을 경우 대량의 토사유입으로 인입수로 및 침사지 매물발생 우려</li> </ul> </li> </ul>

나) 설계요령

**[표 4-16] 취입보 설계요령**

항 목	설 계 요 령
적용대상	◦ 농업용 저수지 유입하천
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 취입보의 기능은 크게 취수량을 조절 할 수 있어야 하며 취수보 내부에 퇴적되는 유사를 배출시킬 수 있는 구조로 설계</li> <li>◦ 취입량은 취입보와 함께 습지 유입구에 수문을 설치하여 취입량을 조절하거나 차단할 수 있는 있는 구조로 설치</li> <li>◦ 구조적으로 가장 간단한 형식의 취수보인 콘크리트 취수보에서 취수량은 처리대상 하천의 유황에 따라 수문을 조절하여 습지로 유입되는 유량을 관리</li> <li>◦ 콘크리트 보에서는 유사퇴적이 매우 빠르게 이루어지므로 적정 취수위 확보를 위하여 퇴적된 유사를 보로부터 배제시킬 수 있는 별도의 수문을 설치</li> <li>◦ 고무 가동보는 하천수위가 일정 수준이상으로 상승하면 배후지의 범람을 방지하기 위하여 자동으로 바람이 빠지면서 전도되므로 고무 가동보는 수위가 미리 정해진 수위 이상으로 상승할 경우 전도되어 분류하천의 유량을 우회시키므로 보의 높낮이에 의한 수위조절 기능을 기대하기 어려움</li> <li>◦ 이와 반면에 기계식 권상형 가동보 및 기계식 회전형 가동보, 그리고 기계식 유압형 가동보는 가동보의 각도조절에 의해 수위조절이 가능한 구조로 취입유량을 관리가능</li> </ul>

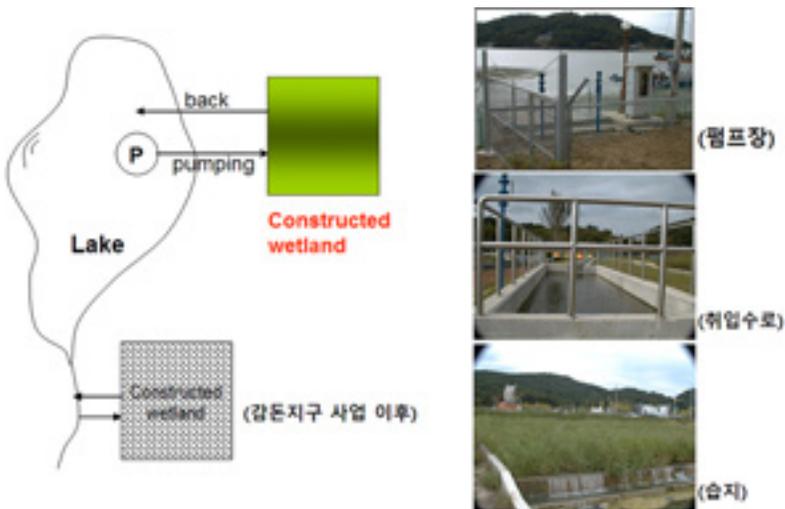
### 3) 양수취입방식

#### 가) 기존취입 방식의 문제점

- ❶ 취입보의 형식에 관계없이 농업용수 수질개선 사업지구의 인공습지를 운영하는데 있어 가장 큰 애로사항은 취입시설로 나타남
- ❷ 문제점으로 취입보 퇴적물의 빈번한 준설 및 강우시 유역으로부터 발생하는 폐비닐과 농업 잔재물 등으로 인한 빈번한 기계적인 고장발생
- ❸ 또한 취입시설물의 고의 파손 및 훼손과 같은 피해도 발생하는 것으로 조사됨
- ❹ 또한 강우시를 제외하고는 거의 기저유량이 발생되지 않아 평상시 취입이 불가능한 지구에도 취입보가 설치된 곳도 있으며 이와 같은 지구의 습지에서 정상적인 기능을 기대하는 것은 불가능

#### 나) 양수취입방식

- ❶ 양수방식은 취입보 설치가 어렵거나 설치해도 정상적인 기능을 기대하기 어려운 지역에는 하천수 직접취입 대신에 호내수나 침강지 내부의 정체수를 양수방식에 의해 취수하여 인공습지로 공급 처리하는 방식을 말한다.
- ❷ 양수방식의 취입방법은 1997년에 시행된 충남 아산 마산저수지 수질개선행연구에 Pump and treat-back 방식이 적용된 바 있다.
- ❸ 호내 중심부에서 강제 취수된 호내수는 인입수로를 통하여 호안에 조성된 인공습지를 통하여 처리된 후 다시 저수지로 배출되는 구조로 시공한다.



[그림 4-5] 양수방식에 의한 습지설계

**[표 4-17] 양수방식 취입의 장단점**

<b>장점</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 호내수를 직접 양수하여 습지 유입수로 공급하므로 하천유황에 관계없이 상시적으로 취입이 가능하다.</li> <li>◦ 상시적으로 습지로 물이 유입되므로 계절에 상관없이 원활한 습지기능을 기대할 수 있다.</li> <li>◦ 습지로 유입되는 유량 및 수질변수가 비교적 일정하게 관리되므로 습지 성과와 효율의 모니터링 및 평가가 매우 용이하다.</li> <li>◦ 양수방식의 취입을 기존의 취입보 방식과 연계하여 운영할 경우 평상시와 강우시 수질개선사업의 효과를 극대화 할 수 있다.</li> <li>◦ 기존의 취입보 방식과 비교하여 유지관리가 단순하다.</li> </ul>
<b>단점</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 펌프가동에 따른 전력비가 과도하게 소요된다.</li> <li>◦ 주변에 민가가 있을 경우 펌프가동에 따른 소음민원이 따를 수 있다.</li> <li>◦ 호내수의 연속적인 습지순환 결과로 증발산에 의한 저수량 손실을 야기할 수 있다.</li> <li>◦ 펌프사용에 대한 관련 기관 및 시민사회의 공감대 형성이 필요하다.</li> </ul>

#### 다) 양수취입방식의 적용방법

**[표 4-18] 양수취입방식의 적용방법**

<b>호중양-습지-호중양 (a)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 호중양의 물을 직접 양수하여 인입수로를 통해 습지 유입, 처리 후 호중양으로 방류</li> <li>◦ 호소내 조류를 포함한 영양염류, 부유성 유기물 등의 처리에 효과적이거나 유입수 농도가 비교적 낮을 수 있음</li> <li>◦ 가급적 조류 밀집지역, 퇴적물 용출 많은 지역, 오염수 유입지점의 인접지역에서 양수할 수 있도록 함</li> </ul>
<b>침강지 및 호중양-습지-호중양 (b)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 침강지와 호중양의 물을 동시에 또는 가변적으로 양수하여 습지 처리가 가능한 방식</li> <li>◦ 1단계는 오염도가 비교적 높은 침강지의 물을 양수하고, 저수위로 침강지내 수량이 부족할 경우 호내수를 양수하여 연중 습지를 효율적으로 가동할 수 있는 방식임</li> <li>◦ 인공습지 처리수는 호중양으로 방류</li> </ul>
<b>취입보 및 침강지-습지-호중양 (c)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 취입보를 통해 하천수를 기본적으로 취입하고, 하천수 부족시 침강지물을 양수하여 효율적으로 습지운영 가능한 방식</li> <li>◦ 하천수의 고농도 영양염류와 침강지 내부의 조류문제를 동시에 해결할 수 있는 효율적 방안임</li> <li>◦ 습지를 통해 처리된 물은 호중양으로 방류함</li> </ul>

### 4) 인입수로

#### 가) 인입수로 형식

- 인입수로의 형식은 크게 암거형과 개수로 형으로 설치할 수 있으나 청소 및 준설 그리고 유지관리를 위하여 가급적 개수로 형으로 설계함을 원칙으로 한다.

인입수로의 형태	적용현황
<p>취입보-습지: 도로관통 암거</p>	<p>고창 공산지구 1호 습지</p>
<p>취입보-습지: U자형 개수로 연결</p>	<p>서산 성암지구 1호 습지</p>
<p>취입보-습지: 암거 + 개수로 연결</p>	<p>무안 감돈지구 3호 습지</p>
<p>취입보-습지: 암거+점검구 설치</p>	<p>아산 도고 1호 습지</p>

[그림 4-6] 인입수로의 설치사례

나) 인입수로 길이

- 인입수로의 길이는 취수보와 습지선단의 유입구 사이의 이격거리를 나타낸다. 인입수로의 길이는 수두확보를 위해 취수보의 위치가 중요한 변수로 작용한다.
- 인입수로의 길이가 암거형태이고 그 길이가 길어질수록 수두손실이 증가하고 관거 점검이 어려우며 유사와 협잡물 등에 의한 막힘 문제 등으로 유지관리에 큰 어려움이 발생하고 있다.
- 인입수로의 길이가 길어질수록 취입보 하류부와 상류부의 생태적 단절구간이 늘어나는 문제가 발생할 가능성이 높다.

[표 4-19] 기존사업지구의 인입수로 길이 현황

인입수로 길이	10m 이하	50m 이하	100m 이하	300m 이하	300m 이상	계
개소수	7	7	2	5	1	22
비율(%)	31.8	31.8	9.1	22.7	4.5	100
비고	도로관통 취수보와 습지연결	수두확보를 위해 취수보 설치위치에 따라 인입수로거리 상이함				

5) 유량측정 구조물

- 습지에서 유량측정 구조물은 일상적인 모니터링 및 오염물질의 유입 부하량 및 삭감 부하량의 산출이나 설계요소의 검토 및 습지 물수지 분석에 반드시 필요하다.
- 기존 사업지구 습지시설에서 유입유량 및 유출유량을 측정할 수 있는 구조물을 구비하고 있는 습지는 단 1개소도 없다.
- 삼각 또는 사각웨어(weir)는 강우시 유입되는 하천의 높은 토사농도 때문에 유입유량 측정에는 적합하지 않으나 유출유량 측정에는 적용이 가능하다. 그리고 유량측정 장치의 설치가 어려운 사업지구에는 유속과 수위측정이 가능하고 일정한 단면과 일정 거리 이상의 직선구간을 갖는 개수로도 적용가능하다.



취입보



취입수문



유지관리도로 통과 암거

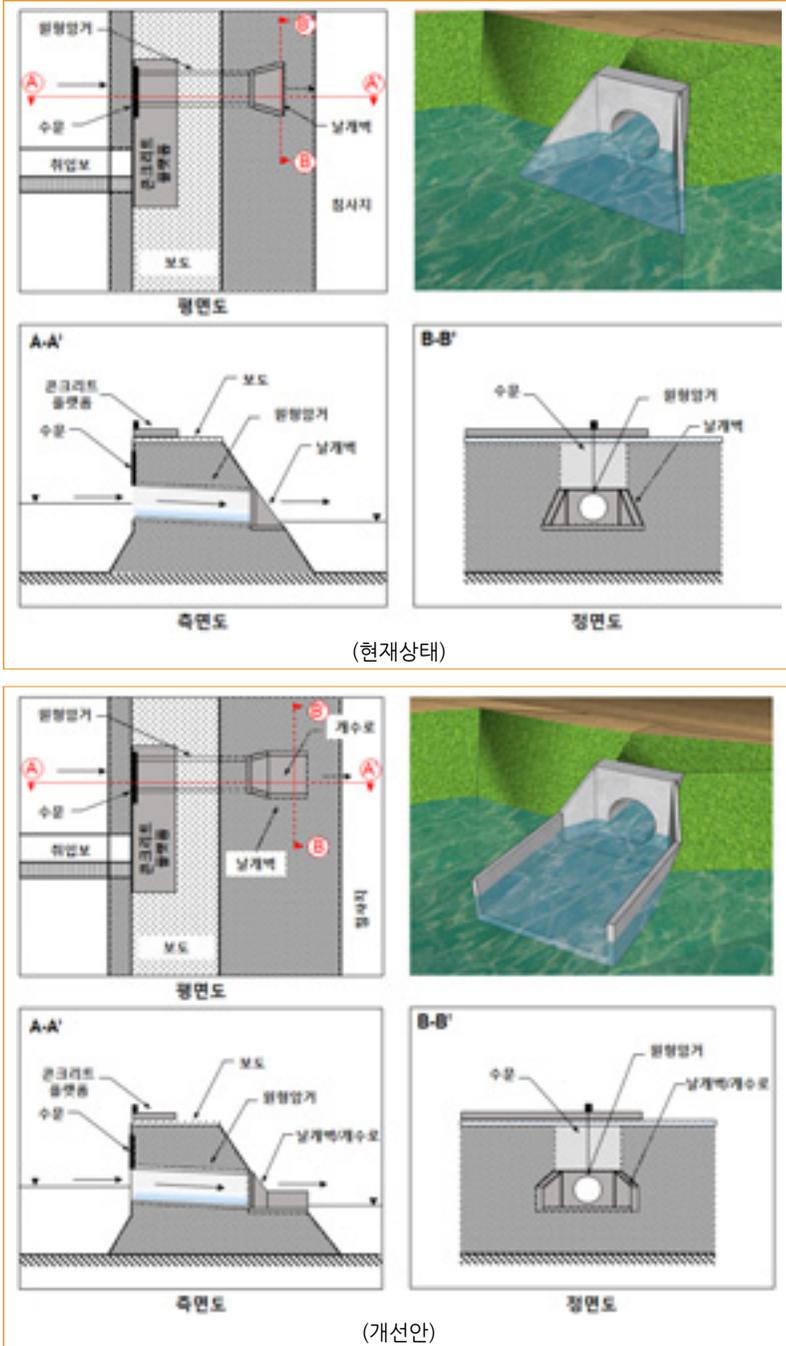


침사지 유입부

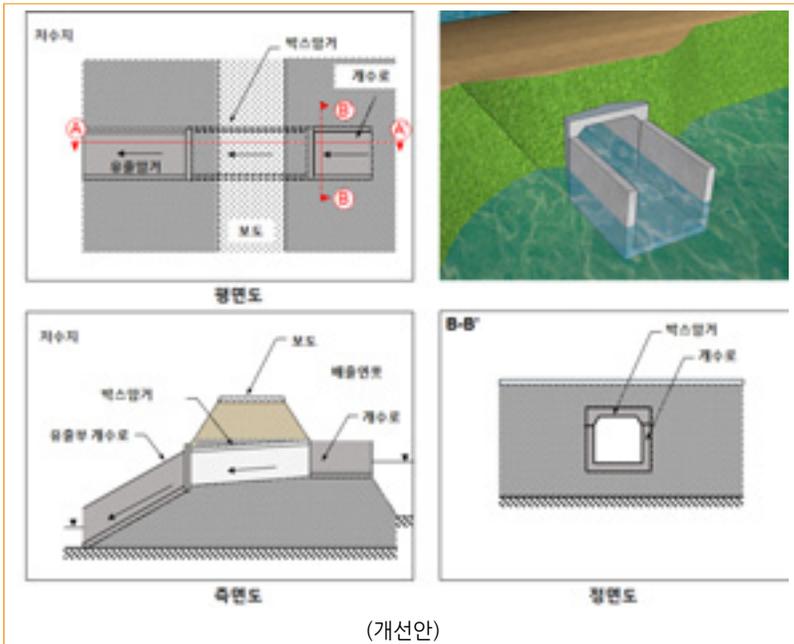
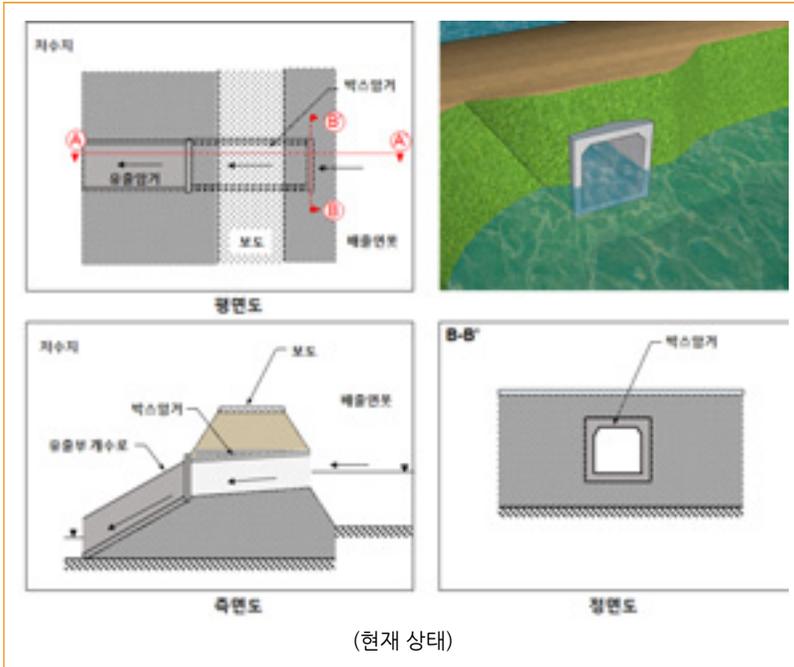


침사지

**[그림 4-7]** 유량관측 및 시료 채취가 불가능한 구조로 시공된 유입부



[그림 4-8] 기존 취입수로의 형태 및 개선안



[그림 4-9] 기존 유출구의 형태 및 개선안

## 나. 인공습지

### 1) 개요

#### 가) 인공습지의 종류

- 인공습지는 크게 흐름형태별, 적용식물종류별, 처리목적별로 구분할 수 있으나 본 서에서는 흐름형태별로 분류하였다.

#### (1) 지표흐름습지(Free water surface flow system, FWS)

##### (가) 얕은 습지(Shallow Wetland)

- 최적 식재 깊이는 15cm 이하이며 습지 전체면적 중 최소 50% 이상은 식재되어야 한다. 오염물질 처리를 위한 인공습지에 가장 많이 이용되는 형태이다.

##### (나) 이중목적 얕은 습지(Extended Detention Shallow Wetland)

- 강우에 의해 발생하는 유량을 일시 저류함으로써 유량조정과 수질변동에 따른 습지에의 영향을 최소화하고, 일부 오염물질을 제거한다.

##### (다) 연못/습지 시스템(Pond/Wetland System)

- 깊은 연못과 얕은 습지가 조합되어 있는 시스템을 말한다.

##### (라) 소규모 습지("Pocket" Wetland)

- 약 2ha 미만의 소규모 유역으로부터 배출되는 강우유출수를 처리하기 위한 습지로서 평시 수위는 지하수에 영향을 받는다.

#### (2) 지하흐름습지 (Subsurface flow system, SFS)

- 유입수가 하부층으로 전부 흘러 표면에는 흐름을 볼 수 없는 시스템으로 하부층은 전형적으로 여러 가지 크기의 자갈, 쇄석, 또는 토양으로 이루어진다.
- 소규모 시설의 저농도 유출수를 처리하는 경우에 적용 가능

#### 나) 인공습지의 선정

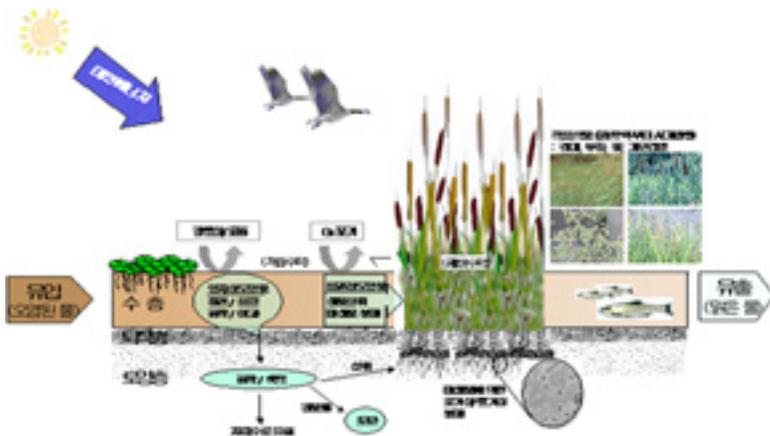
- 인공습지를 적용함에 있어 단일형태의 단일공종의 습지 선택 및 적용은 바람직하지 않다. 또한 인공습지의 기능을 단순히 수질정화의 기능만으로 간주해서도 안 된다.
- 인공습지가 가지는 부가적 가치, 즉 생물다양성, 자원재순환, 경관창조 등의 가치를 충분히 고려하고 부각시킬 때 비로소 습지의 제 기능을 발휘할 수 있게 된다. 따라서 인공습지의 순기능을 고려한 인공습지의 선택이 이루어져야 한다.

다) 인공습지의 형태 결정

- 인공습지 조성시 단일한 수심의 정형화된 습지를 계획하지 않도록 하며, 주요한 식물을 정수식물로 계획하되 수심을 다양화하여 정수식물과 침수식물, 부엽식물과 부유식물들이 자연스럽게 도입될 수 있는 자연화 된 인공습지를 계획하는 것이 효과적이다.
- 단일공종 및 단일형태의 습지적용을 지양하고, 다공종, 다형태, 다자연성을 고려하여 결정한다.

라) 인공습지의 구성 요소

- 인공습지의 주요 구성요소는 식물, 토양, 수문이며 그 외에 수질정화에 중요한 기능을 하는 미생물과 이와 연계된 소형 동물이 포함된다.



[그림 4-10] 인공습지의 구성요소

(1) 식물

- 인공습지에서는 미나리, 줄, 부들류, 갈대, 창포, 골풀류, 고랭이류나 사초류 등을 이용할 수 있다. 수질정화 기능 향상과 생물의 서식공간 창출을 위해 식재 식물은 단일종보다는 다양한 식물종으로 구성된 혼합식재 형태로 도입하는 것이 좋다.

(2) 토양

- 대상지역 토양의 물리적·화학적 성질의 조사는 토성, 입경, 투수계수, 토양단면, 토양수분, 유기물함량, 총질소, 총인, 기타 유해성분 등을 포함한다. 토양은 큰 잔재물이 없는 것이 좋으며, 식물성장에 적합한 pH, EC, TN, 유효인산, 유기물함량을 갖춘 사양토가 적당하다.

(3) 수문

습지 설계에 관련된 수문학적 요소 중 가장 중요한 것은 설계유량 결정을 위한 유역유출량 추정이다. 따라서 유출에 영향을 미치는 모든 요소들을 고려하여 습지의 수문거동을 파악하고, 습지의 설계용량과 체류시간, 수심, 면적 등의 산정에 활용한다.

마) 인공습지의 환경·생태적 기능

[표 4-20] 습지의 환경·생태적 기능

구 분	기 능
수질정화 기능	습지 고유기능에 의한 오염물질의 제거
수문학적 기능	홍수통제, 지하수함양, 농·공업용수 공급
생태적 기능	야생생물의 섭식, 서식처, 곤충, 어류, 조류의 산란장, 수초, 저서생물의 서식, 산란장, 생물종다양성의 보고, 생태계의 연결고리
문화적 기능	지역 환경에 따른 특징적 문화, 자연교육, 관광기능
경제적 기능	어패류의 산란장, 먹이공급처, 해·수산물양식, 경제작물의 생산
기후조절 기능	국지적 대기 온습도 조절

바) 수질정화기작과 오염물의 종류

[표 4-21] 인공습지의 수질정화 기작

오 염 물	제 거 기 작
SS	침전
BOD	침전, 생물화학적반응, 분해, 여과
N	세포합성, 질산화, 탈질화, 휘발
P	침강, 흡착
중금속	흡착
병원균	소멸

## 2) 지표흐름습지 설계

### 가) 개요

#### (1) 정의

- 하천수나 호소수 등 오염된 유입수 대부분을 습지토양 표층 위로 흐르게 하여 물리, 화학, 생물학적 자연정화기능을 이용한 수질개선공법

#### (2) 목적

- 인공습지는 인간의 요구와 필요성에 의해 자연습지의 형태 및 기능을 모방하여 설계, 시공, 운영되는 인위적 습지로서 자연습지가 가지고 있는 정화능력을 향상시켜 수질정화를 목적으로 이용하는 습지로서, 생활하수, 축산폐수, 농경지 배수 등의 처리에 사용된다.

#### (3) 특징

- 농경지 유역외 도로 등 운송로, 테마파크, 골프장 등 스포츠 레저시설, 택지를 포함한 도시화 지역, 도시화 진행 지역에 적용할 수 있다.
- 얕은 저수조, 흙 혹은 다른 매체(식물의 뿌리를 지탱 시켜줄), 그리고 얕은 수위를 유지시켜 줄 수 있는 구조로 이루어져 있다.
- 수면이 기질의 상부에 있으므로 지표흐름습지의 외형은 흡사 자연적인 습지와 비슷한 형태를 보인다. 따라서 자연서식지를 제공해 줄 수 있으며, 수질개선 외에 미관 향상을 가져올 수 있다.
- 지표흐름습지의 지표와 근접한 수면은 호기 상태이며, 하부의 수층과 기질은 혐기 상태에 있어 유기물질과 영양염류를 처리한다.

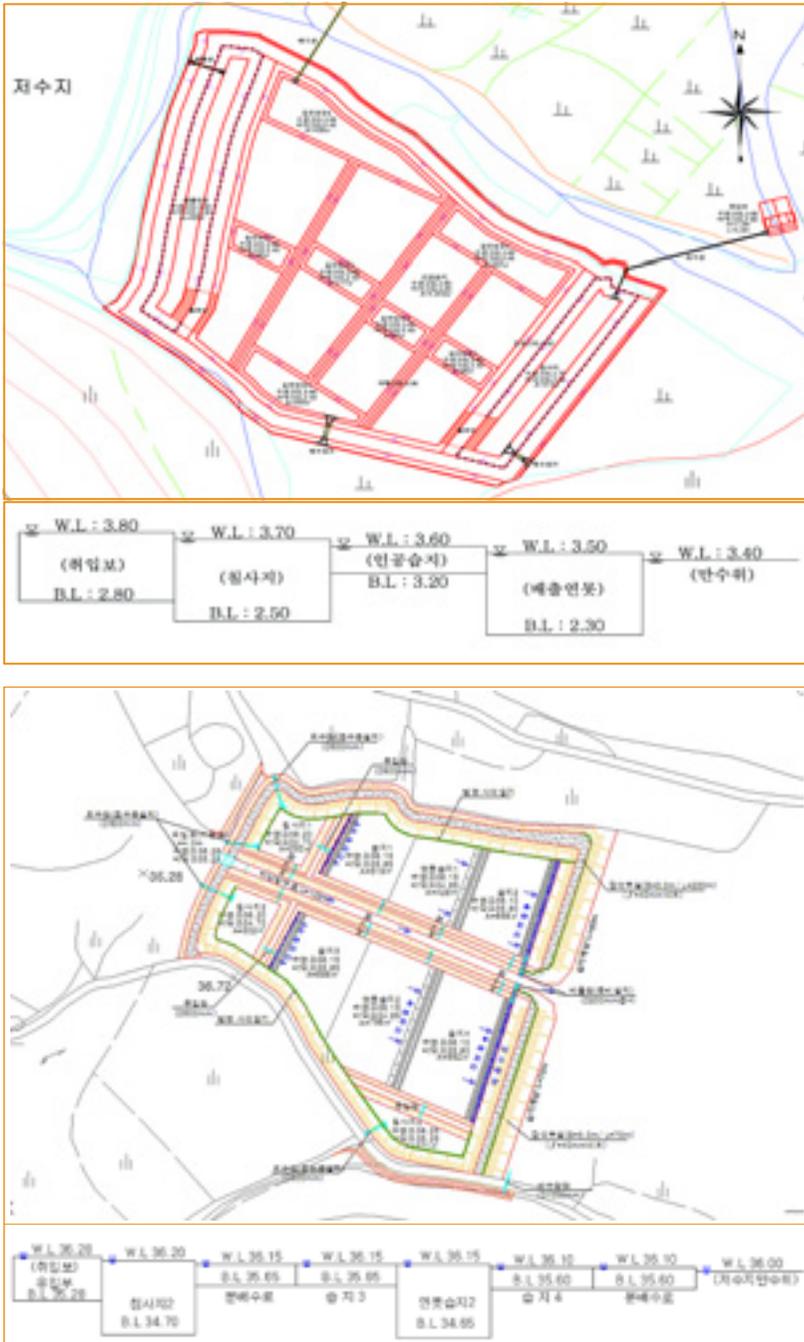
#### (4) 지표흐름 인공습지 장단점

[표 4-22] 지표흐름 인공습지의 장단점

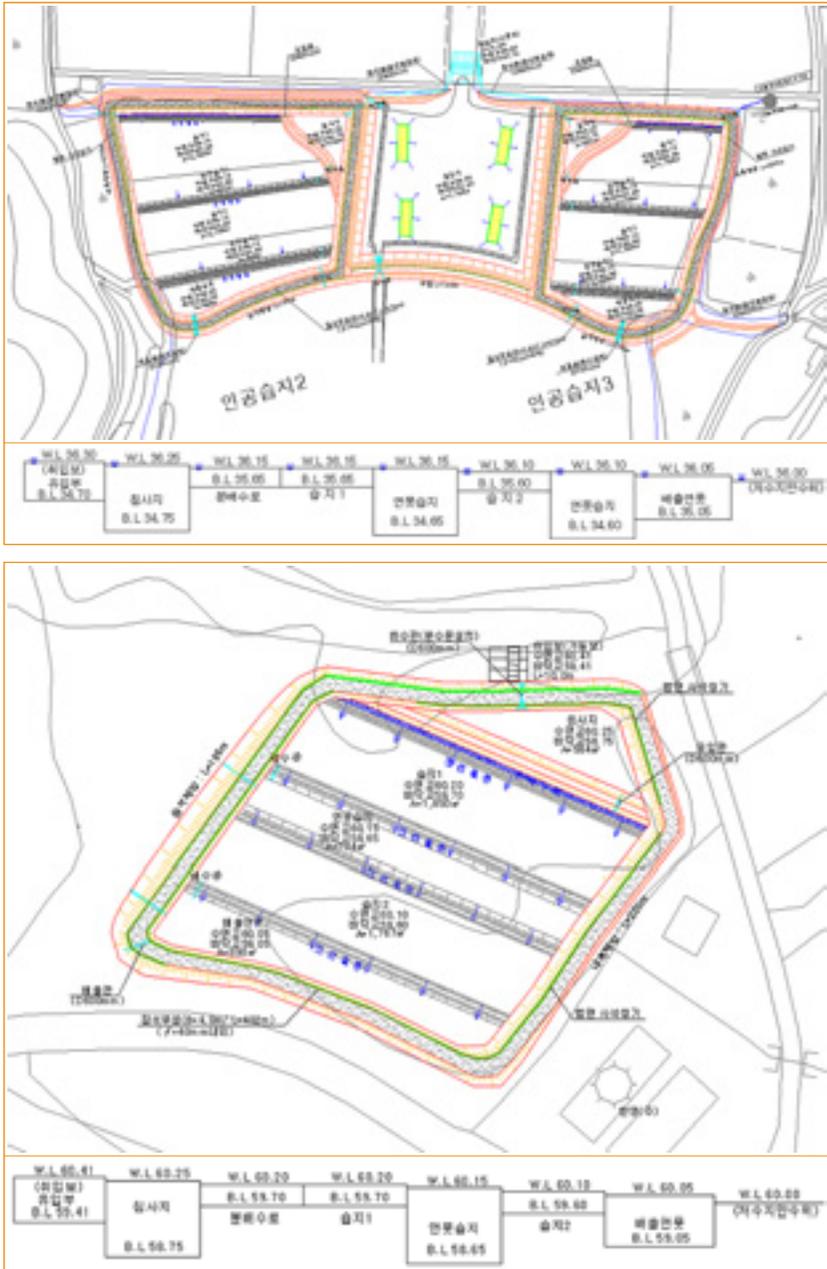
장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 건설비 및 유지관리비용이 적음</li> <li>◦ 중금속, 병원성 미생물의 저감</li> <li>◦ 영양염류의 제거효과가 높음</li> <li>◦ 홍수 경감 효과</li> <li>◦ 생태계다양성 향상 및 야생동식물 서식처 제공</li> <li>◦ 경관향상 및 녹지 공간 확충</li> <li>◦ 오염부하 변동에 적응성 높음</li> <li>◦ 하천하류의 수질개선</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 가을철/동절기 오염물질 재용출 우려</li> <li>◦ 다양한 유량조건에서 식생유지 곤란</li> <li>◦ 다른 저감시설과 비교하여 부지요구도가 큼</li> <li>◦ 장기간 운영시 기능 저하 우려</li> <li>◦ 모기 등 해충발생 우려</li> </ul>



[그림 4-11] 자연지형을 활용한 습지설계 사례



[그림 4-12] 인공습지의 설계 사례



[그림 4-12] 인공습지의 설계 사례(계속)



[그림 4-12] 인공습지의 설계 사례(계속)

나) 정화원리 및 효율

(1) 정화원리

갈대 등 수생식물이 성장하도록 인공적으로 습지를 조성하여 오염된 하천수나 호수수를 인공습지의 지표면을 통해 흘러보냄으로서 식물에 의한 흡수, 미생물에 의한 분해·흡수, 식생대에 의한 접촉·침전·여과, 통양으로 침투 등의 자연정화기능을 이용한 수질개선공법이다.

(2) 정화효율

인공습지의 정화효율은 습지의 규모와 유량, 유입농도의 영향을 받게 되므로 일률적인 효율을 나타내기 어렵다. 따라서 정화효율에 영향을 주는 인자를 고려하여 결정하여야 한다.

마산저수지 인공습지를 대상으로 한 다년간('01년 ~ '04년)의 연구결과를 바탕으로 도출한 유출수 농도 추정식은 인공습지의 정화효율을 결정하는데 유용하게 이용될 수 있다. 유출수 농도추정식은 표현 모델식을 이용하여 비선형회귀분석을 실시하여 도출하였다.

$$\ln \left( \frac{C_o - C^*}{C_i - C^*} \right) = - \frac{k}{q}$$

여기에서,  $C_o$  = 유출수 목표 수질 (mg/L),

$C_i$  = 유입수 수질 (mg/L)

$C^*$  = 배경농도 (background concentration, mg/L)

$k$  = 1차식반응상수 (m/yr 또는  $m^3/m^3/yr$ )

$q$  = 수리부하율 (m/yr 또는  $m^3/m^3/yr$ )

$$COD_o = 8.24 + (COD_i - 8.24) * \exp\left(-\frac{79.70 \times A}{0.0365Q}\right), \quad R^2=0.57$$

$$TN_o = 0.438 + (TN_i - 0.438) * \exp\left(-\frac{93.42 \times A}{0.0365Q}\right), \quad R^2=0.73$$

$$TP_o = 0.044 + (TP_i - 0.044) * \exp\left(-\frac{91.37 \times A}{0.0365Q}\right), \quad R^2=0.64$$

여기에서  $A$  = 습지 소요면적(ha),

$Q$  = 유량 ( $m^3/day$ )

- 유출수 농도추정식을 이용하여 유출수의 농도를 추정하고 유입수 농도와 비교하여 인공습지의 정화 효율을 결정하도록 한다.

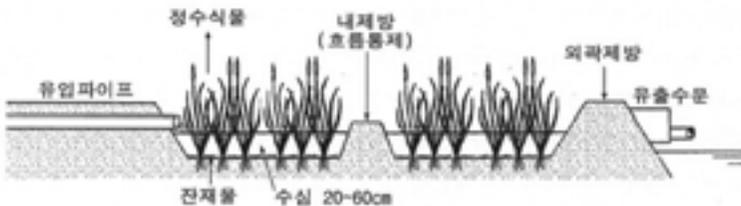
**[표 4-23] 인공습지의 체류시간별 수질정화효율 (%)**

HRT	구분	BOD	COD	SS	Chl-a	TN	TP
1시간	평균	26.1	5.5	52.1	30.1	17.0	15.5
	최대	72.1	20.0	86.0	82.5	30.2	32.8
3시간	평균	22.3	7.0	50.6	36.9	15.2	13.2
	최대	61.5	23.0	79.0	93.0	29.6	56.0
6시간	평균	27.7	12.9	60.7	36.0	18.6	19.6
	최대	73.4	41.2	96.8	91.1	61.4	66.5
12시간	평균	47.9	18.2	75.2	51.4	27.9	34.7
	최대	100.0	47.1	96.4	87.6	51.2	75.8
24시간	평균	44.3	10.5	75.5	62.1	47.4	34.2
	최대	100.0	40.0	98.9	100.0	79.7	90.8
48시간	평균	20.2	0.4	71.4	78.0	60.0	44.0
	최대	94.7	27.2	92.2	98.1	89.6	82.6
72시간	평균	22.6	-7.2	68.0	77.5	56.7	43.3
	최대	97.4	27.2	95.9	98.6	83.3	83.5

[표 4-24] 국내외 인공습지의 수처리 효율(예시)

습지명	수질 항목	평균농도 (mg/L)		효율 (%)	체류시간
		유입	유출		
북미인공습지 데이터베이스	BOD	30.3	8.0	74	5~14 day
	TSS	45.6	13.5	70	
	TN	9.03	4.27	53	
	TP	3.78	1.62	57	
석문습지1 (인공조절)	BOD	10.9	3.5	68	1~3 day
	TSS	16.1	6.1	62	
	TN	6.86	1.93	72	
	TP	0.49	0.11	78	
석문습지2 (자연도래)	BOD	4.0	2.9	22	2~5day
	TSS	23.1	8.0	50	
	TN	3.30	1.50	52	
	TP	0.30	0.14	51	
반원습지 (시화갈대습지)	BOD	18.7	15.0	20	1~3 day
	TSS	14.4	5.3	63	
	TN	19.3	13.6	30	
	TP	0.91	0.69	24	
동화습지 (시화갈대습지)	BOD	12.9	8.1	37	1~2 day
	TSS	17.1	6.8	61	
	TN	4.7	2.5	47	
	TP	0.20	0.10	52	
마산습지 (저수지 물 처리)	BOD	7.4	9.0~3.1	26~23	1hr~72hr
	TSS	22.5	11.5~4.4	52~68	
	TN	1.86	1.68~0.57	17~57	
	TP	0.16	0.14~0.05	16~43	

(3) 지표흐름 인공습지 단면도



[그림 4-13] 지표흐름 인공습지 단면도

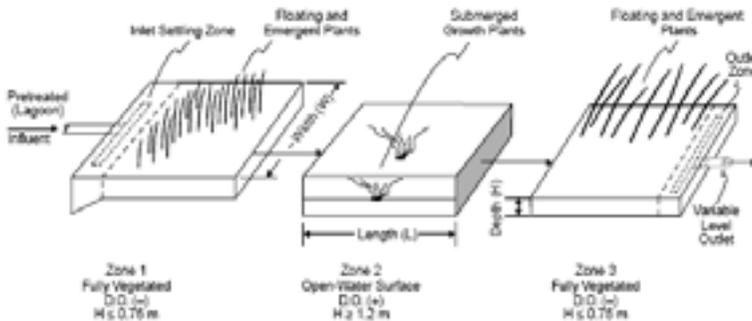
[그림 4-14]는 일반적으로 적용되고 있는 일반습지대 구획을 보여주고 있다.

- zone 1 : 부유 물질과 콜로이드성 물질로 유입되는 유입수가 혐기 또는 무산소 상태에서 응집과 침전으로 제거되는 구간
- zone 2 : 혐기성 폐수에 산소를 공급하여 호기성 생분해와 질산화가 이루어지는 구간
- zone 3 : zone 1과 같이 무산소 상태에서 응집과 침전, 탈질을 수행하는 구간

침강과 병원균 제거는 1구역에서 체류시간, 2구역에서의 체류시간과 온도, 그리고 3구역에서의 체류시간과 관련이 있다.

구획의 개념은 시간과 공간에서 처리공정 중복과 같은 인위적인 것이고 특별한 물리적인 구획을 나타내는 것은 아니다.

그러나 개개의 출구 조절을 위하여 단일 기능구역으로 분리하여 계획하여도 무관하다.



[그림 4-14] 지표흐름인공습지의 구성

#### 다) 지표흐름 인공습지 설계요령 요약

##### (1) 설계요령

###### 토양

- 인공습지 설치후보지의 토양은 수분을 충분히 보유할 수 있고 또한 어느 정도 침투가 일어날 수 있어야 하며 식물의 성장에 문제가 없어야 한다.
- 식물씨앗의 파종이나 식재 이전에 토양이 식물의 성장에는 문제가 없는지 조사하고 그렇지 않다면 객토작업에 관한 검토가 필요하다.
- 기반토양은 수문학적 토양그룹 "C" 또는 "D"가 습지조건 유지에 적합하며 "A"나 "B" 그룹 토양이 주종을 이루는 지역에서 습지를 조성하고자 할 경우 투수손실을 억제 할 수 있도록 바닥의 다짐 또는 라이닝 처리 등을 검토해야 한다.

### ❶ 식생

- 식물종의 선정, 식재, 수확일정의 수립 등은 습지설계의 중요한 과정 중의 하나이다. 식생의 정착은 시간에 따른 자연적인 식생유도, 인공적으로 어린 식물체를 직접 식재하는 방법, 식물의 씨앗 파종과 같은 3가지 방법에 의해 가능하다.
- 식물 종을 선정할 때 우선적으로 수질정화능력을 고려하여 생산량과 참수내성 등을 고려한 도입식물 및 주변 생태계를 고려한 회피 식물종에 대한 검토가 이루어져야 한다. 또한 과거에 인공습지에서 성공적인 적용이 이루어져 검증되었는지 여부를 확인해야 한다.
- 인공적인 식재밀도는 1~4본/㎡가 적절하며, 가능하다면 최대한 자연정착을 유도하는 것이 유리하다.
- 인공습지 공사 완료 후에 가급적 빠른 시간 내에 식생이 정착되도록 유도하는 것은 첫해 생육기간 동안 습지의 각종 구조물의 침식을 방지하기 위함이다.
- 주기적인 수확은 다양한 식물종의 성장을 촉진시켜 습지로 공급되는 오염물질을 더 많이 제거하기 위함이다. 수확이 오염물질 처리효과의 향상을 위한 목적이라면 성장기이자 관개기 물부족 시기인 6~7월 기간 동안 이루어지는 것이 효과적이다.
- 또한 주기적인 수확을 통하여 습지 내에 축적된 영양소와 잉여로 존재하는 유기물질을 제거하여 습지의 수명을 연장하기 위해서는 11~12월에 제거 노력을 하며, 이듬해 식생이 성장하기 전이면서, 습지가 충분히 마른 상태인 2~3월에 제거하는 것도 효율적이다.

### ❷ 지형

- 인공습지 구성에 적합한 지형은 습지를 둘러싸고 경사가 급한 사면이 있는 곳은 가급적 피하는 것이 좋다. 그 이유는 이러한 사면은 일조량을 감소시켜 식물의 성장에 장애가 될 수 있기 때문이며, 또한 식물의 수확이나 유지관리 작업을 수행할 때 안전문제를 일으킬 수 있기 때문이다.
- 공사비를 절감하고 주위 경관과 어울리기 위해서는 절토작업이 최소화 될 수 있는 지역을 부지로 선정한다. 인공습지를 설치하고자 하는 지역에서 수로나 하천의 경사는 15% 이하가 적당하다.

### ❸ 지하수위

- 인공습지와 지하수위까지의 이격거리에 관한 기준은 정해져 있지 않으나 습지가 위치할 지역에 보호를 요하는 대수층(인근 주민의 식수원)이 있으면 차수막을 설치하거나 지하수위가 습지로부터 최소한 0.6~1.2m 이상 떨어져 있어야 한다.

● 습지경사

- 자연유하식의 경우에는 전체습지 경사가 0.5-1%를 초과하지 않도록 하며, 유입구와 유출구의 수두차는 가급적 0.2m를 초과하지 않도록 한다.

● 침사지

- 인공습지에서 침사지는 토사 등 입자상 오염물질의 제거를 위한 전처리 목적으로 설치되며 침사지의 형태는 방사형 구조의 침사지와 역방사형 구조, 그리고 장방향 침사지 구조로 설치할 수 있다.
- 방사형 침사지의 흐름특성은 유입부의 유속이 빠르고 후단으로 진행할수록 유속이 점감되는 흐름을 보이므로 대부분의 침전퇴적이 후단부에서 이루어진다. 이와 같은 흐름특성으로 선단부에서는 침식과 세굴이 발생할 수 있으며 대부분의 퇴적이 후단부에 집중되므로 퇴적량이 증가할 경우 침사지와 후속 습지사이의 흐름이 단절될 수 있다.
- 방사형 침사지에서는 후단부에 퇴적되는 입자상 물질과 함께 먹이도 집중되므로 수생생물의 주요 서식처 및 산란처가 되므로 생태형 침사지라 부른다.
- 이에 반하여 역방사형 침사지는 구조적으로 선단의 유속이 가장 느리고 후단의 유속이 빠르므로 대부분의 퇴적이 침사지 유입부에 집중된다. 따라서 침사지와 습지의 흐름단절 가능성이 상대적으로 적은 장점을 갖는 반면 유입부에 퇴적량의 증가로 유입부 표고가 증가하여 하천수의 유입을 방해할 수 있다. 이와 같은 형태의 침사지는 보통 비점오염저감 목적의 습지에 적용되며 퇴적량 파악 및 준설 등 유지관리가 용이한 장점을 갖는다.
- 장방향 침전지는 입자상 물질의 침강에 필수적인 가장 이상적인 수평흐름을 기대할 수 있다.



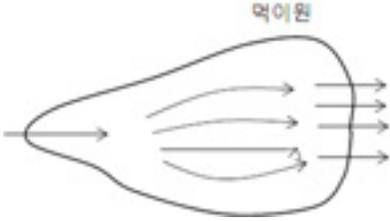
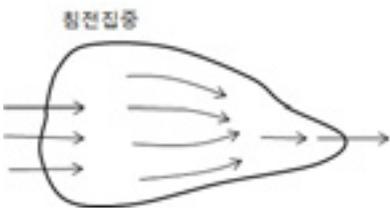
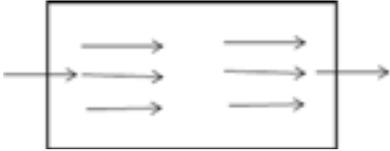
(아산 상성지구 1호 습지 방사형침사지)



(서산 성암지구 2호 습지 장방향 침사지)

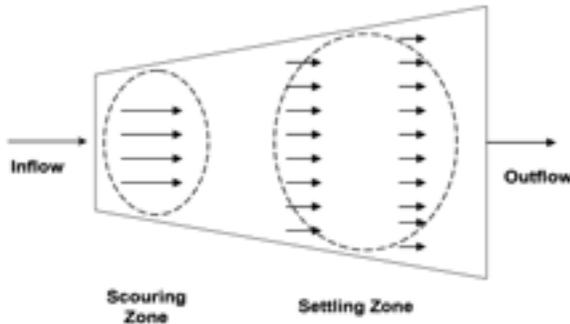
**[그림 4-15] 침사지 설치 대표사례지구**

[표 4-25] 침사지의 기하학적 형태 별 장단점

습지 침사지의 기하학적 형태	특징 및 장단점
 <p style="text-align: center;">먹이원</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 방사형 침사지</li> <li>- 생태형 구조로 출구가 수생생물의 산란과 서식을 위한 먹이원으로서 기능수행</li> <li>- 출구 쪽에 침전이 집중되는 구조로 퇴적이 중-하류지역에 형성됨</li> <li>- 시간에 따라 출구부가 매몰되어 흐름에 장애로 작용</li> <li>- 홍수유량 유입시 후단부 매몰</li> <li>- 자연적인 경관창출</li> </ul>
 <p style="text-align: center;">침전집중</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 역방사형 침사지</li> <li>- 보통 비점오염물질 처리목적의 습지에 적용되는 구조로 침전작용이 침사지 선단에 집중</li> <li>- 수심을 선단부에서 하류부로 진행할수록 감소하도록 설계</li> <li>- 유수의 흐름이 양호: 하류부의 너비는 선단부 너비의 1/3 정도로 결정</li> <li>- 홍수유량 유입시 선단 퇴적량 증가</li> <li>- 자연적인 경관창출</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 장방형 침사지</li> <li>- 수평흐름을 유도함으로써 침전효율을 극대화시킬 수 있으며, 유량이 비교적 일정한 경우에 유리함</li> <li>- 사수대(dead space)로 인한 수리학적 체류시간의 단축</li> <li>- 인공적인 경관창출</li> </ul>

- 현재 농업용수 조사-설계 매뉴얼에는 침사지의 형식이나 용량결정에 대한 언급은 없다.
- 환경부에서 제시하고 있는 기준에 따르면 “인공습지 침사지는 강우유출수 처리 및 인공습지의 수명연장과 유지관리측면에서 중요한 지점으로 경계벽이 있는 독립적인 셀로 구성되어야 하고 장폭비는 2:1이상으로 조성해야 하며 수심은 1.2 ~ 1.8m의 깊이를 가져야 하며 유속은 습지내부에 퇴적물 침식이 일어나지 않을 정도의 유속을 유지하고 약 2~5시간의 체류시간을 갖도록 설계한다”라고 규정하고 있다.
- 한편 “침사지의 용량은 수질처리용량(WQv)의 10%이상을 처리할 수 있어야 하며 보통 3~5년을 주기로 퇴적물 준설을 실시한다”라고 규정하고 있다.

- 그러나 농업용 저수지 유역은 농경지의 분포와 형태, 경작방법 및 유역 경사도 등 강우시 토사유출량에 영향을 미치는 요인들이 유역에 따라 크게 다르므로 일률적인 기준의 적용은 곤란하며 유역특성에 따라 전체습지면적 대비 5~15% 정도 범위에서 결정하면 무난할 것으로 사료된다.
- 환경부의 장폭비 기준은 이상적인 수평류를 유도(관형반응기 거동)하기 위한 것으로 판단되며 일반적인 하수처리장 등의 침전지 설계기준을 원용한 것으로 사료된다.
- 그러나 강우 유출수 처리목적의 인공습지 침사지와 일반 하수처리장이나 정수장 침전지와와의 가장 큰 차이점은 유량변동이다. 인공습지의 경우 유입유량이 강우 여부 및 강우조건에 따라 엄청난 차이를 보이므로 일반적인 침전지 설계방식을 따르면 큰 오류를 범할 수 있다.
- 인공습지와 같이 유량변동이 심한 침사지에서는 세굴에 대비하여 [그림 4-16]과 같이 장방형이 아닌 썩기형태(방사형구조)가 적절하다.
- 유입구 부분은 단면을 작게 해서 빠른 유속을 유도하여 퇴적을 방지, 세굴을 촉진하면서 동시에 유입 에너지를 소산시키고 후단으로 갈수록 단면적을 확장해서 수평유속을 점진적으로 감소시켜 침전을 유도하는 구조가 적절하다.

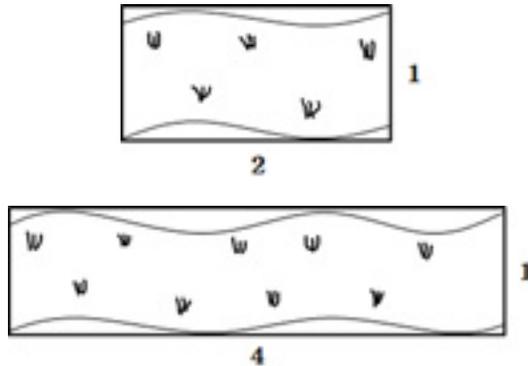


[그림 4-16] 방사형 구조의 침사지

- 침사지에서 일정수준 이상의 퇴적물이 축적될 경우 준설을 실시해야 하는데 현재 모든 사업지구에서 퇴적량을 산출할 수 있는 원지반 지표 쿠폰이나 측정자가 설치되어 있지 않다.
- 따라서 침사지에서 퇴적량을 측정하기 위해서 가능한 한 원지반 표면에 퇴적물 쿠폰을 3곳 이상에 설치하거나 퇴적물 깊이를 측정할 수 있는 측정자를 설치한다.

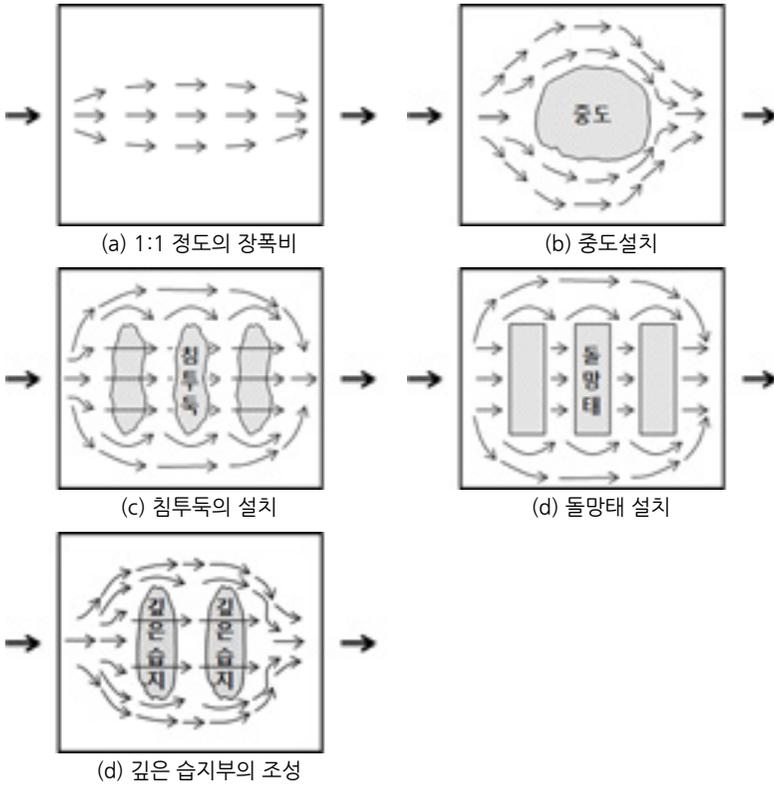
### ● 습지의 기하학적 형상

- 습지 설계시 장폭비(종횡비)는 2:1 ~ 4:1을 기준으로 설계한다. 이는 수평흐름을 최대한 유지하고 혼합류와 채널링 및 단회로를 방지하여 수리학적 효율이 최대한 발휘될 수 있도록 유도하기 위함이다.
- 그러나 장폭비가 너무 클 경우 마찰면의 증가로 수두손실이 증가할 뿐 만 아니라 셀 수의 증가 및 분리벽체 수의 증가로 복잡한 흐름구조와 습지의 유효면적 및 내용량의 감소와 함께 시공비가 증가하므로 기준 이내에서 결정한다.



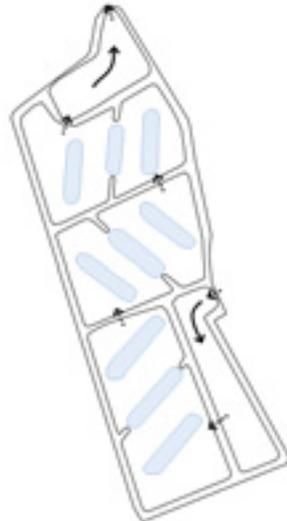
[그림 4-17] 습지의 장폭비 설계

- 계획부지의 여건과 배치한계 및 시공문제 등으로 장폭비의 기준을 만족시킬 수 없을 경우에는 습지내부에 중도나 침투둑, 돌망태, 깊은 습지의 조성으로 흐름조건을 가급적 수평흐름의 형태로 변화시키도록 유도한다.
- 예를 들어 장폭비가 2:1 이상으로 설계할 수 없는 경우 습지의 출구방향을 향한 채널링 및 단회로의 발생으로 사공간이 커서 수리학적 체류시간이 단축되어 목표처리효율을 달성하기 매우 어렵다.
- 이와 같은 경우에 지내부에 중도나 침투둑, 그리고 돌망태, 깊은 습지부를 설치할 경우 유입되는 물을 습지 앞과 뒷면으로 구부러지게 흐르게 하고 수류의 흐름을 분산시켜 수리학적 효율을 향상시키게 된다.
- 또한 이와 같은 구조의 습지에서는 수생생물의 서식처 및 산란처를 확대하여 습지의 생태적 기능을 크게 확장시킬 수 있다.
- 또한 이와 같은 설계를 통하여 인공적으로 조성되는 습지가 자연적인 외관을 갖도록 하면서 의도한 처리기능이 최대한 발휘될 수 있다.

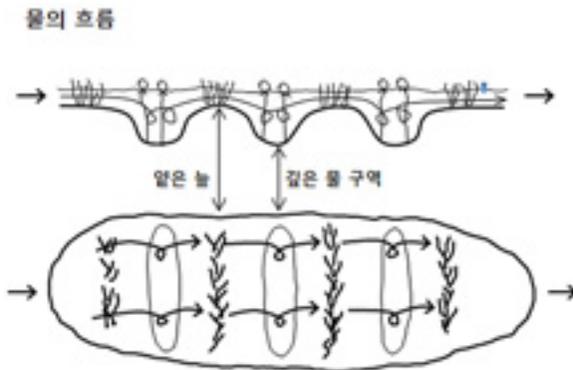


**[그림 4-18] 장폭비 효과의 향상 및 보완방안**

- 정형화된 습지의 동일한 셀 내부에서 깊은 습지와 얇은 습지의 반복적인 종적배치는 단회로 및 채널링을 방지하여 수리학적 효율을 향상시킨다.
- 습지를 유하하는 흐름의 배분과 혼합은 오염물질 제거를 극대화하고 여과 및 침전 등과 같은 물리적 제거기능을 개선할 수 있다.



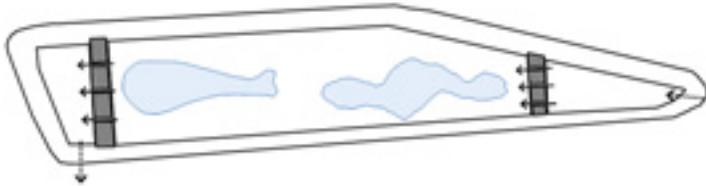
[그림 4-19] 수평흐름 및 수리학적 효율향상을 위한 우수사레지구 (고창 공산지구 1호 습지)



[그림 4-20] 깊은 습지와 얕은 습지의 흐름방향에 대한 종적 배치효과

- 의성개천지구 습지에서는 셀과 셀을 분리하는 벽체 전체 상부 면을 통하여 수류의 이동을 유도하는 구조로 흐름방향으로 얕은 습지와 깊은 습지를 배치하고 있다.
- 이와 같은 구조는 앞서 제시한 흐름방향과 직각으로 반복적인 배치와 다르게 수리학적 효율상승을 기대하기 어려우며 오히려 수류흐름을 습지의 중앙부로 집중시켜 수리학적 체류시간을 단축시킬 수 있다.
- 특히 하절기 습지의 깊은 습지부에 성층화가 발생될 경우 밀도류의 발생으로 수리학적 체류시간이 단축될 수 있다.

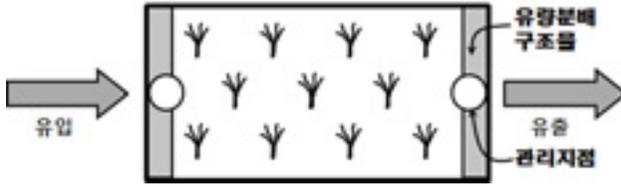
- 그러나 이와 같은 배치의 장점은 유량변동이 심한 습지에서 연속적인 유수흐름 및 공간을 확보할 수 있는 장점이 있다.



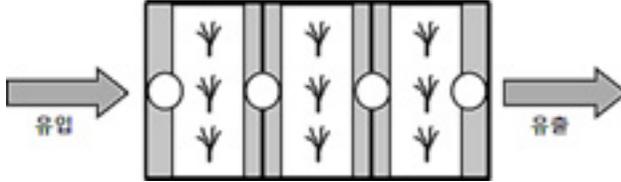
[그림 4-21] 수리학적 효율저하를 가져오는 대표 사례지구: 의성 개천지구 2호 습지

**습지를 구성하는 셀 수**

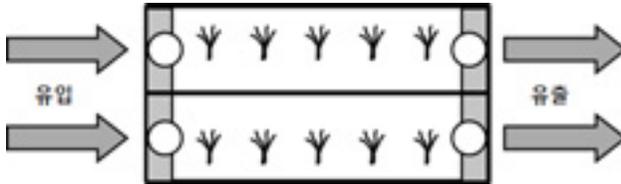
- 습지를 여러 개의 개별 셀로 분할하는 이유는 사공간을 줄여 수리학적 체류시간을 최대한 길게 확보하여 오염물질 제거효율을 향상시키기 위함이다.
- 또한 습지의 오염물질 처리기능을 셀 별로 배분하여 처리기능이 최대로 발휘될 수 있도록 유도하기 위함이다.
- 예를 들어 얇은 습지에서는 주로 자연적인 산소공급 및 탈기, 오염물질의 호기성 분해 및 질산화 촉진 및 자연적인 햇빛을 이용한 살균효과 등을 기대하기 위하여 배치하며 깊은 습지는 탈질 및 복잡한 유기물질의 단순화 등을 유도하기 위하여 배치한다.
- 그리고 한 개의 습지가 과도하게 클 경우 제초작업 및 보수공사 등과 같은 유지관리가 지나치게 어렵기 때문에 셀과 셀을 나누는 제방을 유지관리용 도로나 접근근로로 활용할 수 있기 때문이다.
- 또한 습지를 일렬로 배열된 조성습지를 따라서 그 수심을 변동시키면 서로 다른 다양한 식물체가 활착되도록 촉진시키며 따라서 야생동물의 서식처의 제공과 제거시키고자하는 오염물질의 다양성을 증진시키게 된다.
- 셀 수는 수리학적 흐름에 미치는 영향과 합리적인 관리지점 수를 고려하여 결정한다.



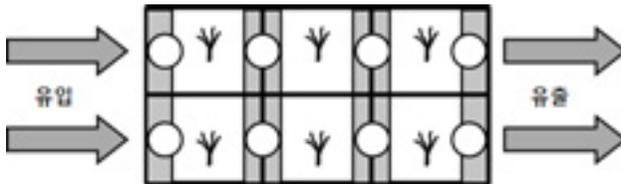
(a) 셀 수 1개: 단회로 채널링 및 사수대 존재로 수리학적 효율 저하



(b) 셀 수 2개: 수리학적 효율 (a)보다 좋음, 관리지점 3개소



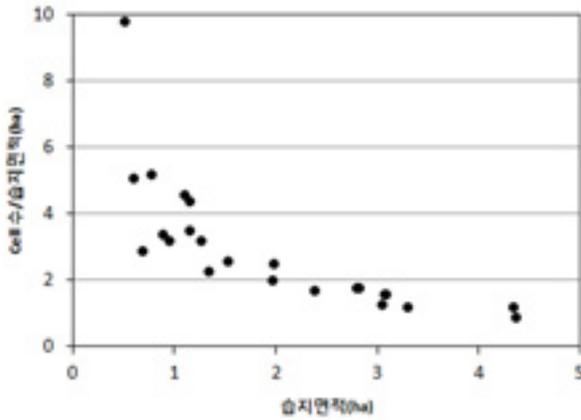
(c) 셀 수 2개 : (a)와 (b) 보다 수리학적 효율 우수, 관리지점 4개



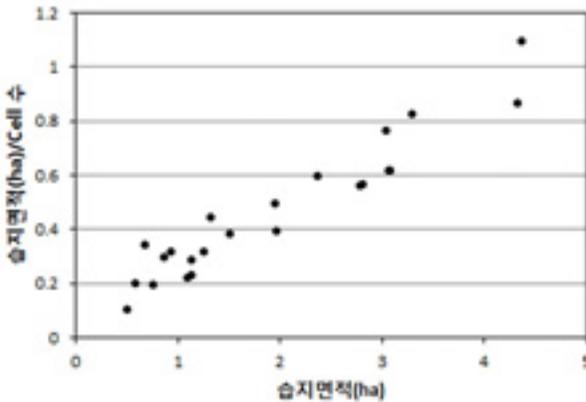
(d) 셀 수 6개: 수리학적 효율 가장 좋음, 관리지점 6개

**[그림 4-22]** 셀 수에 따른 수리학적 효율 및 관리지점 수의 변화

- 습지를 구성하고 있는 셀의 수가 지나치게 많을 경우 공사비의 상승 및 셀을 구분하는 제방 또는 벽체로 유효습지 면적이 감소하게 된다. 또한 수리학적 효율이 떨어지고 관리지점 수가 증가하여 유지관리가 어렵다.
- 기존 사업지구의 단위 습지 면적당 습지 셀 수를 조사한 결과 습지규모가 증가할 수록 셀의 크기가 증가하고 있으며 아산 도고지구 2호 습지의 단일 셀의 크기가 거의 1ha에 육박하고 있으며 습지규모가 작을수록 셀 수가 지나치게 많게 조성 되었으며 가장 작은 셀의 면적은 아산 상성지구 2호 습지에서 0.1ha 이었다.



[그림 4-23] 기존사업지구의 전체 습지면적에 따른 단위면적 당 셀의 개수



[그림 4-24] 기존사업 지구의 전체 습지면적에 따른 셀 당 습지면적

#### 포켓습지

- 전술한바와 같이 습지를 구성하고 있는 셀의 수가 지나치게 많을 경우 수리학적 효율이 떨어지고 유지관리가 어렵게 되는 문제가 발생이 되고 작은 규모의 습지에 지나치게 많은 셀로 분할하게 되면 수도손실이 커져서 적절한 유수흐름을 기대하기 어렵다.
- 따라서 소규모 습지의 경우에는 여러 개의 셀로 구분하는 대신 유도수로나 중도, 접근로 등으로 유수흐름 및 저류수를 확보하는 포켓습지의 형태로 조성하는 것이 바람직하다.



[그림 4-25] 소규모 인공습지를 일체형으로 조성한 포켓습지의 사례 1



[그림 4-26] 소규모 인공습지를 일체형으로 조성한 포켓습지의 사례 2

- 기존 사업지구 중 0.5ha 규모의 소규모 습지에 5개의 셀로 분할한 습지조성 사례가 있다. 부지면적에 비해 지나치게 많은 셀로 분할한 결과 수류의 흐름이 복잡하여 에너지 손실이 커서 초기 설계단계에서 기대한 유수 흐름이 발생되지 않고 일부 셀을 제외하고는 대부분 육화된 상태를 보이고 있다.
- 이와 같이 소규모 습지는 개별적 셀로 분할하는 대신 유도수로(pilot channel) 및 중도(island), 그리고 침투둑을 이용하여 포켓습지의 형태로 조성하는 것이 바람직하다.

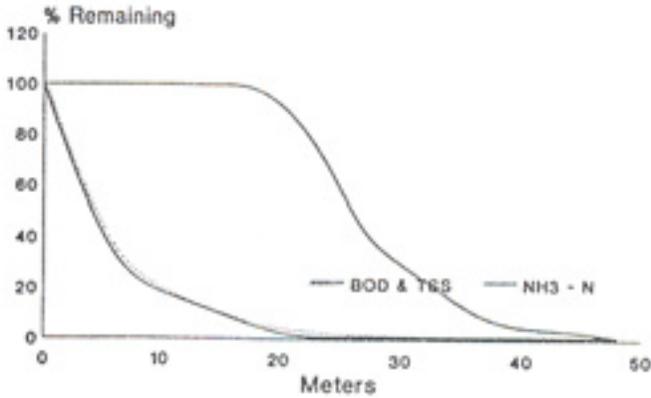


[그림 4-27] 대표사례지구: 아산 상성지구 2호 습지(습지면적 = 0.5ha)

#### 습지의 유하길이

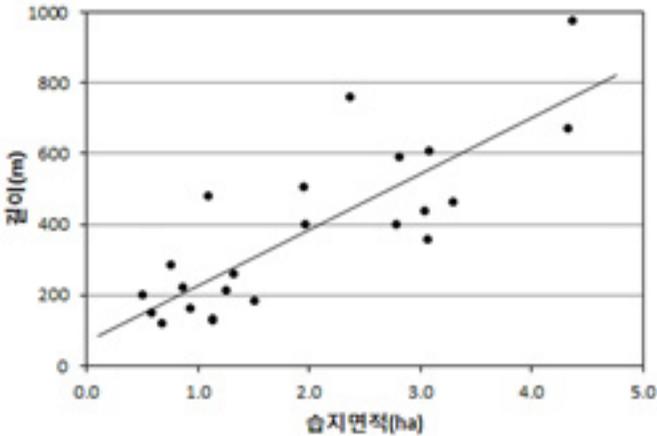
- 습지에서 오염물질 제거를 위해 셀의 수 뿐 만 아니라 전체 습지의 유하길이기도 중요하다.
- 기존 사업지구 습지의 유하거리를 산출한 결과에 따르면 전체 사업지구 평균 유하거리는 377m로 나타났으며 최저 120m, 최대 970m에 이르는 것으로 나타났다.
- 유하거리가 길어지면 오염물질의 처리기회가 증가하지만 수두손실이 증가하여 습지내부 흐름이 원활하지 못하고 저류효과의 발생으로 습지의 종점에 도달하지 못하고 중간에 범람하여 유출이 발생한다.
- 인공습지에서 BOD와 SS 등의 유기성 또는 입자성 물질은 유입된 직후부터 제거되기 시작하여 20 m 정도의 거리를 유하하게 될 때 대부분이 제거되어지며, 암모니아성 질소는 50 m 정도를 유하하게 되면 대부분 질산화 과정을 거치게 된다. 인공습지의 유하거리가 100 m 정도가 되면 오염물질의 정화작용은 거의 종결된 상태로서 100 m가 넘는 습지를 조성하게 된다면, 100 m 이후 지점에서

는 더 이상의 수질정화 기능을 기대하기 어려운 소모적 길이로 간주되므로 인공 습지는 100 m가 넘지 않는 소단위로 구분하여 조성하는 것이 좋다.



[그림 4-28] 습지 길이에 따른 오염물질 제거비율

- 기존 사업지구 조사결과에 따르면 습지크기가 증가할수록 유하거리도 증가하는 경향을 보여주고 있다.
- 이와 같은 결과는 조성된 대부분의 습지가 규모에 관계없이 단일계열의 습지로 시공되었기 때문이며 일정규모 이상의 습지에 대해서는 복수계열의 습지조성을 전제로 가급적 100~200 m 내외로 설계한다.



[그림 4-29] 전체사업지구의 습지면적과 유하거리와의 관계

● 습지 셀 수의 결정

- 습지면적이 1ha 이하인 경우에는 가급적 셀 구분 없이 유도수로 연결한 단일 습지 즉 포켓습지의 형태로 설계한다.
- 습지면적이 1ha - 2ha 범위에서는 단일 셀 면적이 가급적 0.5ha를 초과하지 않도록 설계하며 셀 수는 침사지를 포함하여 5개 이하로 설계한다.
- 2ha 이상의 습지에서는 가능하다면 2계열 이상의 복수계열로 습지를 구성하며 단일 셀 면적이 0.5ha를 초과하지 않도록 하며 셀 수는 침사지와 배출연못을 포함하여 최대 5개 이하로 설계한다.

● 복수계열의 습지설계

- 복수계열로 습지를 설치하게 되면 운영과 유지보수가 한결 쉬운 장점이 있다.
- 대부분의 국내외 습지설계지침에 따르면 복수계열의 설계를 권장하고 있다.
- 복수계열의 습지로 설계하게 되면 셀의 크기 및 수를 결정하는데 유리하고 수리학적 흐름을 향상시킨다.



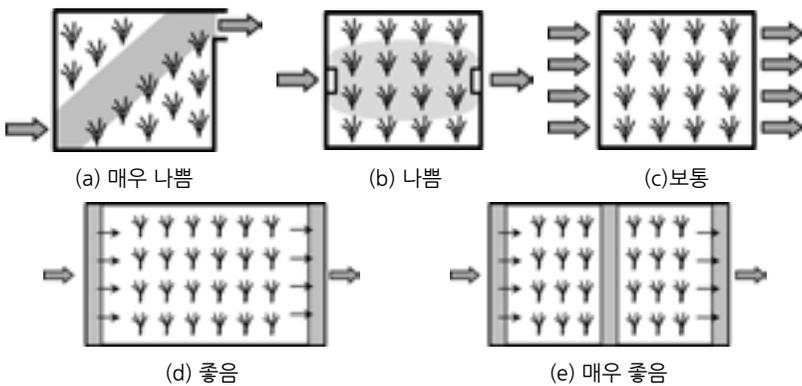
[그림 4-30] 복수계열의 습지 설계사례 (감동지구 2호 습지, 습지면적 = 2.8ha)

(습지의 장폭비 문제는 깊은 습지와 얇은 습지의 반복 배치로 극복)

- 그러나 복수계열로 설계하고자 하면 계획부지의 형상이 목적에 부응하여야 하며 시공비용 상승이 불가피하다.
- 또한 침사지로부터 각 계열의 습지면적 비율로 일정하게 유입수를 분배하여 유입시켜야 하는데 유량분배에 대한 적절한 구상과 함께 분배 구조물의 설치가 필요하다.

**습지 셀과 셀의 연결**

- 습지에서 셀 간의 연결방법은 사수대의 형성 및 채널링(channeling) 등에 영향을 미치므로 매우 중요하다. 그림에 5가지 방법을 제시하였으니 습지 설계시 참고하기 바란다.
  - (a) 매우 나쁨 - 장폭비 문제와 단회로 및 채널링 발생으로 사수대 최대
  - (b) 나쁨 - 장폭비 문제와 단일 유입구 유입으로 채널링 발생으로 사수대 과다형성
  - (c) 보통 - 장폭비 문제를 해결하기 위해 동원된 다중유입은 기술적으로 달성하기 어려움
  - (d) 좋음 - 범(berm) 또는 도랑(ditch)을 이용한 다중유입으로 수리학적 효율이 크게 개선됨
  - (e) 매우 좋음 - 범(berm) 또는 도랑(ditch)을 이용한 월류방식의 유입과 중간부에 정류목적의 범(berm) 또는 도랑(ditch)의 추가로 수리학적 효율이 크게 증대됨



**[그림 4-31] 습지 셀의 연결형태**

- 상기 그림 (a)는 셀과 셀을 연결하는 가장 단순한 형태의 수평흐름유도 방법이며 정수장 소독조에서 철저하게 혼합류를 배제하여 단회로의 발생을 최소화시키고자 할 때 적용되는 방법이다.

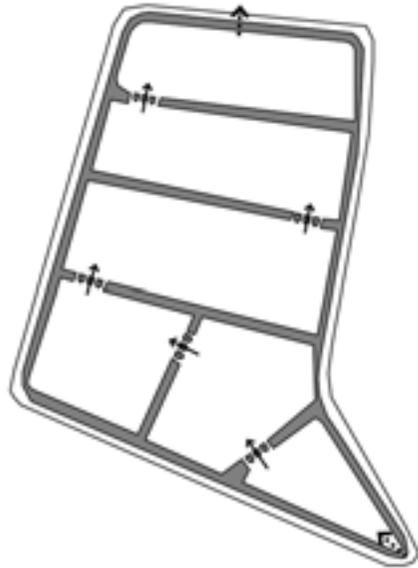
## 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

- 이와 같은 방식의 습지연결 전제조건은 각 습지의 장폭비가 2:1-4:1 이상이 되어야 하며 유량이 상시적으로 일정하게 유입되어야 한다.
- 유량이 일정하게 유입되지 않을 경우 유수흐름에 사용되지 않는 공간 즉 사수지역 발생이 과다하다.
- 또한 사수대에 퇴적량 증가로 육화가 빠르게 진행될 수 있다.
- 수심이 얇은 사수대에 대량의 사상성 조류가 증식하여 수위저하로 육화될 경우 이와 같은 조류의 사멸로 수질악화 및 냄새문제 발생 가능성이 높다.
- 따라서 유량변동이 매우 극심한 농업용수 수질개선을 위한 습지의 설계에서는 가능한 한 적용하지 않도록 한다.
- 대표사례지구는 함평 월천 사업지구와 고창 공산 사업지구 2호 습지이다.



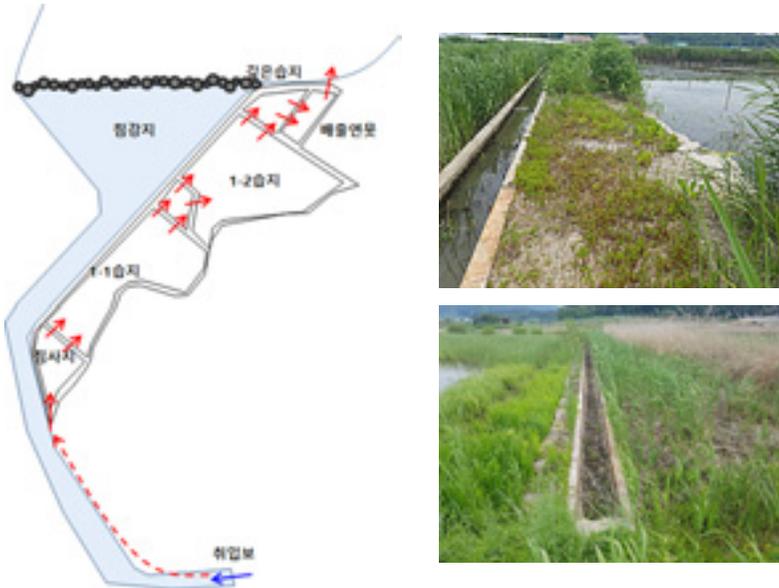
[그림 4-32] 가장 나쁜 습지 각 셀과 셀의 연결방법  
대표사례지구 - 함평 월천지구 습지

- 기본적으로 앞서 제시한 사례와 동일한 구조이나 셀을 분리/독립시킬 수 있는 격벽에 연결수로(구조물)를 설치한 경우이다.
- 동일하게 유수흐름에 사용되는 않는 공간 즉 정체수층(사수지역) 발생이 과다하여 앞서 기술한 경우와 동일한 문제가 발생한다. 특히 하천유량이 작은 건기에는 습지바닥이 노출되거나 수위가 낮게 유지되어 사상성 조류번식이 쉬운 구조이다.
- 장점으로서는 전체습지 뿐 만 아니라 지별 수문의 설치로 셀별 수위관리가 가능한 구조이다.



**[그림 4-33]** 나쁜 ~ 좋은 단계의 습지 각 셀과 셀의 연결방법  
대표사례지구: 아산 상성지구 1습지

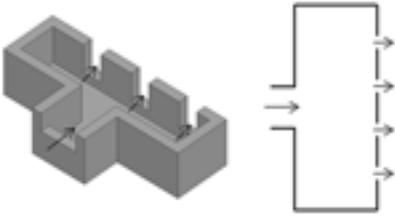
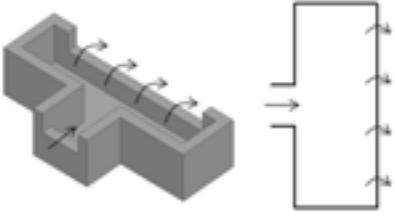
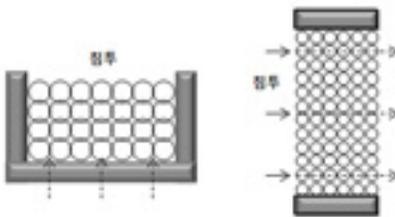
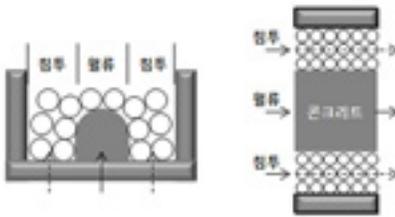
- 습지의 개별 셀과 셀을 전폭웨어의 형태로 연결하는 방법을 말한다.
- 셀과 셀을 분리하는 월류벽 전체 상부면을 통하여 수류의 균일한 유입흐름을 유도하는 구조이다.
- 이와 같은 형태의 연결은 습지 유입유량이 비교적 일정한 사업지구에 적용가능하며 유량변동이 극심하여 유입수 유량이 매우 적은 경우 개별습지의 흐름이 단절되어 정체되는 단점이 있다.
- 대표사례지구는 홍성 홍동지구 1호 습지와 칠곡 하빈 지구의 2호 습지이다.



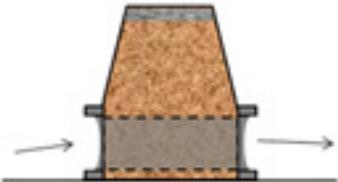
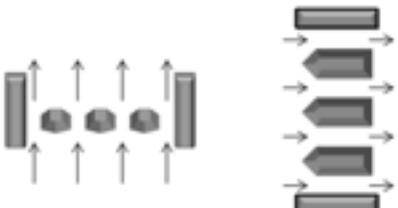
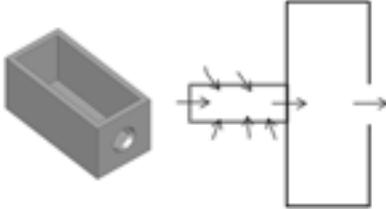
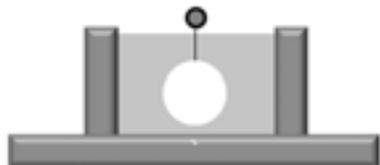
[그림 4-34] 매우 좋음 습지 각 셀과 셀의 연결방법  
대표사례지구: 홍성 홍동지구 1호 습지

#### 습지 셀 간의 연결수로

- 기존 사업지구의 습지 셀간 연결수로 형태는 대략 8가지 형태로 분류될 수 있으며 유형 별 구조 및 대표 설치사례를 그림과 사진으로 나타내었다.
- 사업지구에는 습지 연결유형은 월류형인 오리피스 구조, 전폭월류 구조, 사석제 방 월류구조, 콘크리트 물넘이 구조 및 방류통 구조가 적용되고 있으며 개수로형으로 암거구조 및 U 자 콘크리트 구조가 적용되고 있다.
- 습지의 각 셀을 연결하는 방법은 크게 월류형과 개수로 형으로 분류할 수 있으며 월류형은 침투기능을 갖는 침투 월류형으로 구분할 수 있다.
- 월류형은 유역면적이 충분히 커서 상시적으로 기저유량이 발생하는 지구가 아니면 셀 간의 유수흐름이 단절될 수 있다.
- 그러나 유역이 비교적 커서 건기에도 일정수준 이상의 기저유량이 흐르는 하천 수 처리를 위하여 설치된 고창 공산지구나 아산 도고지구 습지에서는 연결수로의 형태에 상관없이 습지에서의 유수흐름은 양호하다.

<p style="text-align: center;">오리피스 형</p> 	<p style="text-align: center;">의성 개천지구 1호 습지</p> 
<p style="text-align: center;">전폭웨어 형</p> 	<p style="text-align: center;">홍성 홍동지구 1호 습지</p> 
<p style="text-align: center;">침투월류형 I</p> 	<p style="text-align: center;">고창 공산지구 2호 습지</p> 
<p style="text-align: center;">침투월류형 II</p> 	<p style="text-align: center;">함평 월천지구 습지</p> 

[그림 4-35] 습지 셀 간의 연결수로 형태 및 설치사례(계속)

<p style="text-align: center;">사석제방 월류형</p> 	<p style="text-align: center;">칠곡 하빈지구 1호 습지</p> 
<p style="text-align: center;">암거 통수형</p> 	<p style="text-align: center;">서산 성암지구 1호 습지</p> 
<p style="text-align: center;">콘크리트 물넘이형</p> 	<p style="text-align: center;">아산 상성지구 2호 습지</p> 
<p style="text-align: center;">방류통형</p> 	<p style="text-align: center;">화성 동방지구 1호 습지</p> 
<p style="text-align: center;">개수로 수위조절용</p> 	<p style="text-align: center;">의성 개천지구 2호 습지</p> 

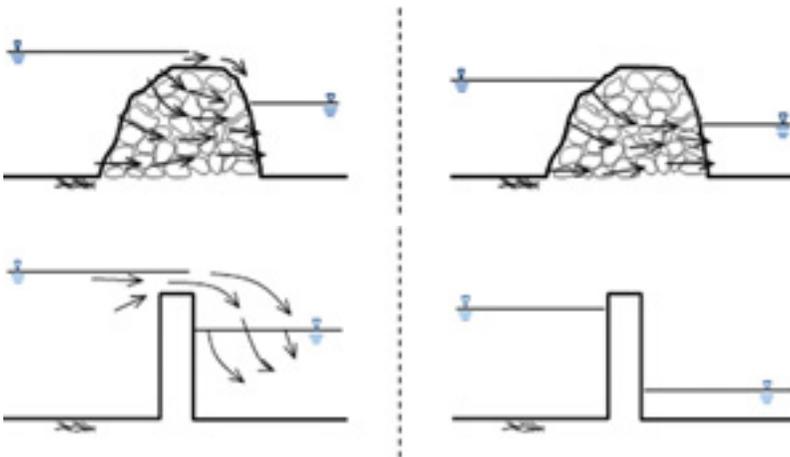
[그림 4-35] 습지 셀 간의 연결수로 형태 및 설치사례

- 특히 전폭웨어형은 유량분배나 습지 셀 전 구역에서 흐름을 유지시킬 수 있는 장점이 있으므로 비교적 일정한 유량이 유지되는 대형 하천이나 하수처리장 방류수의 처리나 침강지의 물을 습지로 연속적으로 순환시킬 경우 적용될 수 있는 구조이다.
- 개수로 형태의 암거 및 U자형 수로에서 수문이 설치되어 있지 않는 경우 습지수위 관리 및 유수흐름 관리는 불가능하므로 가급적 적용하지 않도록 한다.

■ 연결수로 유형별 장단점		
• 월류형	오리피스형	> 습지의 각 셀을 연결하는 방법은 크게 월류형과 개수로형으로 분류할 수 있으며 월류형은 침투기능을 갖는 침투 및 월류형으로 구분할 수 있음
	전폭 웨어형	> 월류형은 유역면적이 충분히 커서 상시적으로 기저유량이 발생하는 지역이 아니면 셀간의 유수흐름이 단절될 수 있음
	사석제방 월류형	> 현장조사결과 유역이 비교적 커서 건기시에도 월형수준 이상의 기저유량이 흐름은 하천수 처리를 위하여 설치된 고창 중서지구나 여산 도고지구 습지에서는 연결수로의 형태에 상관없이 습지에서의 유수흐름은 양호하였음
	콘크리트 불넘어형	> 전폭 웨어형은 유량분배나 습지 셀 전 구역에서 흐름을 유지시킬 수 있는 장점이 있으므로 비교적 일정한 유량이 유지되는 하수처리장 방류수의 처리나 침강지의 물을 습지로 연속적으로 순환시킬 경우 적용될 수 있는 구조
• 개수로형	암거형	> 개수로 형태의 암거 및 U자형 수로에서 수문이 설치되어 있지 않는 경우 습지수위 관리 및 유수흐름 관리는 불가능
	U자 수로형	

[그림 4-36] 습지 셀 연결수로 유형 별 장단점

- 한편 침투와 월류가 동시에 일어날 수 있는 연결구조는 습지로 유입되는 유량의 큰 변화에도 유수흐름을 확보하는데 매우 유리한 구조이다. 따라서 유량변동이 매우 큰 소규모 유역에 설치되는 습지에는 침투/월류형 연결수로가 적당하다.



[그림 4-37] 침투/월류형 연결수로와 월류형 연결수로의 비교

### 개방수역의 조성방법

- 습지에서 일정수준의 개방수역을 유지하는 것은 대단히 중요한데 그 이유는 내부생산이 가장 활발하게 진행되는 지역으로 산소 공급원 역할 뿐 만 아니라 탄소원의 공급처로서 반드시 필요하며 특히 질산화 유도에 없어서는 안 될 중요한 요소이기 때문이다.
- 기존 사업지구 조사결과 대부분의 습지에서 습지내부 식물체의 성장제어 및 절취 등의 관리가 이루어지지 않아 개방수역 파악이 대단히 어렵다.
- 비교적 최근인 2014년에 조성된 아산 도고지구 2호 습지에서만이 개방수역을 확연하게 구분할 수 있었다.



(감든지구 습지에서 개방수역을 찾아보기 어려운 상황)



(고창 공산지구 습지에서도 대부분 식물체가 전체 습지를 점유)

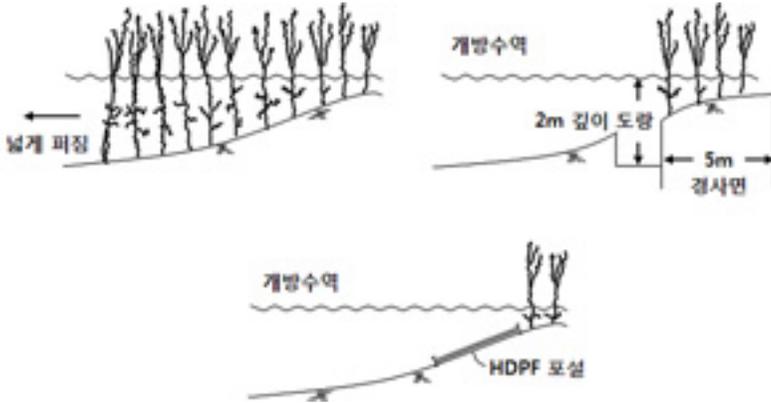


(비교적 최근인 2014년에 조성한 아산 도고 2호 습지에서는 개방수역이 확연하게 구분됨)

### [그림 4-38] 습지의 개방수역 현황

- 습지에서 식물체의 절취 및 수확만으로 개방수역을 유지하는 것은 불가능하다.
- 습지에서 식물체의 확산(spread)을 방지하기 위한 일환으로 습지경사면으로부터 5m 정도 이격된 지점에 도랑을 조성하게 되면 정수성 식물의 번성을 제어할 수 있다.

- 다른 대안으로 골프장의 헤저드 연못에서 널리 사용되는 방법으로 식물체의 성장을 허용한 지점으로부터 경수성 식물의 성장 한계수심까지 뿌리를 내릴 수 없도록 HDPF(고밀도 합성수지 필름막)을 포설하여 식물체의 확산을 제어할 수 있다.



[그림 4-39] 습지에서 개방수역 설계요령

#### 배출연못의 설계

- 습지의 최종 배출구에 조성되는 마이크로 풀은 습지에서 처리된 물을 한 지점으로 모으는 기능과 함께 유출구의 막힘 및 퇴적물 재부상 방지, 그리고 여름에 습지 유출수의 수온을 낮추는 기능을 수행한다.
- 배출연못은 전체적으로 개방수역으로 조성한다.
- 또한 배출연못을 통하여 최종적으로 조류나 식물체로부터 발생된 입자상 물질의 침전제거와 함께 식물체가 없으므로 풍부한 햇빛으로 인한 살균효과를 기대할 수 있다.
- 전체 사업지구에서 습지의 말단에 설치된 대부분의 배출연못은 장방형 구조를 갖고 있으며 일부 수리문제로 유수의 흐름이 적절하지 않은 사업지구를 제외하고는 대체로 수심이 깊고 영양소 공급의 감소로 식물체의 성장이 잘 억제되어 있다.
- 대표사례로 흥동지구 1호 습지와 아산 도고지구 2호 습지의 배출연못을 보여주고 있다.



**[그림 4-40]** 홍성 홍동지구 1호 습지의 배출연못

(최종 습지처리수를 좌우 측부를 통하여 월류 및 침투과정을 통하여 수집하는 구조로 설계)



**[그림 4-41]** 아산 도고지구의 배출연못

(배출연못의 우측제방에 설치된 연결수로를 통하여 습지처리수가 모이는 구조)



제4장

수질개선대책 세부설계

[그림 4-42] 전체 사업지구 배출연못 현황



함평 월천지구 습지



고창 공산지구 1호 습지



고창 공산지구 2호 습지



칠곡 하빈지구 1호 습지



칠곡 하빈지구 2호 습지



칠곡 하빈지구 3호 습지



의성 개천지구 1호 습지



의성 개천지구 2호 습지

[그림 4-43] 전체 사업지구 배출연못 현황



농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

- 홍수시 하천으로부터 유입되는 유량으로부터 습지의 침수를 방지하기 위하여 침사지에 가급적 비상배출구 또는 수문을 설치한다.
- 계절별로 습지 전체의 수위조절을 위해 배출연못 유출구에는 가능하면 수문을 설치한다.
- 현지여건에 따라 침수방지를 위해 필요한 경우 습지별 비상배출구나 수문을 설치한다.
- 저수지로부터 역류가 우려되는 유출구에는 월류형태의 비상 유출수로를 갖추도록 하며 이와 함께 역류방지용 자동수문을 설치한다.

최종 배출구 및 배수구의 형태

- 사업지구에 설치된 최종 배출구 및 그 형태를 소개하였다.



[그림 4-45] 배출부의 형태 및 구조



의왕 왕송지구 2호 습지



화성 동방지구 2호 습지



서산 성암지구 1호 습지 (저수지 배수위 영향지구)



아산 상성지구 1호 습지 (저수지 배수위 영향지구)



아산 도고지구 2호 습지

[그림 4-45] 배출부의 형태 및 구조 (계속)

비상 배수구의 형태

- 사업지구에 설치된 주요 비상배수구의 형태를 보여주고 있으며 모든 습지 별 비상 배수구가 구비된 홍동 지구 1호 습지를 제외하고는 대부분 침사지에서 비상 배수가 이루어지도록 설계되었으며 수문형식은 농진식 문비가 설치되어 있다.



함평 월천지구 1호 습지



칠곡 하빈지구 1호 습지



홍성 홍동지구 1호 습지



무안 감돈지구 2호 습지

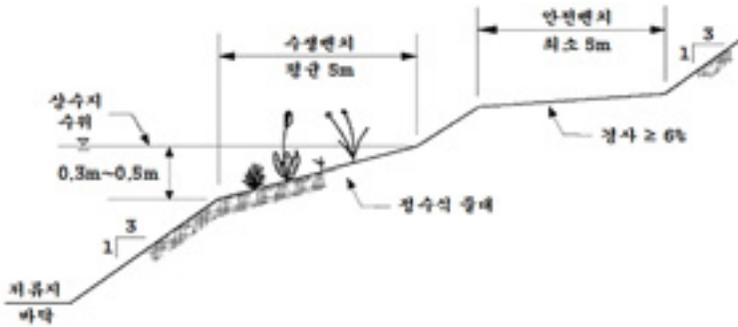


의왕 왕송지구 1호 습지

[그림 4-46] 비상 배출부의 형태 및 구조

● 제방 및 호안 조성

- 제방과 호안은 습지의 수명 뿐 만 아니라 습지의 기능 및 유수의 흐름을 유지하는데 중요한 요소이며 제방 및 호안조성 설계요령은 4.5 절에 준한다.



[그림 4-47] 제방의 설계기준



[그림 4-48] 습지 제방 및 독 설치사례 (감둔지구 1호 습지, 2007년)



[그림 4-49] 습지 제방 및 독 설치사례 (감둔지구 1호 습지, 2017년)



함평 월천지구 둑 (사석 쌓기와 토공)



무안 김돈지구 1호 습지호안(콘크리트공)



홍성 홍동지구 1호 습지 (사석쌓기)



서산 성암지구 1호 습지  
(석축/토공 - 붕괴)



칠곡 하빈지구 1호 습지법면  
(콘크리트 블록시공)

**[그림 4-50]** 습지제방 사면공사 예: 석축 및 식생블럭 쌓기



홍성 홍동지구 1호 습지 (석공+토공)



칠곡 하빈지구 2호 습지 (석공+토공)



서산 성암지구 1호 습지 (토공-침식문제)



고창 공산지구 2호 습지 (토공-침식문제)



홍성 홍동지구 3호 습지(토공+콘크리트)



화성 동방지구 1호 습지 (토공+콘크리트)

[그림 4-51] 습지제방 사면공사 예: 토공 및 석축

장비 접근시설

- 사업지구의 모든 시설에 유지관리목적의 접근로가 설치되어 있으나 노폭이 좁고 대부분 토공으로 시공되어 있어 중장비의 진입이 어려운 실정이다.
- 전체 조사대상 사업지구 중 식물체의 수확이나 습지의 보수 및 개선작업을 실시할 때 필요한 장비 접근로는 흥동지구 1호 습지 이외에는 전무한 실정이다.
- 흥동지구 1호 습지에는 노폭 약 4m의 콘크리트 포장 접근로가 습지 주요지점에 설치되어 있다.



[그림 4-52] 장비 진입로가 조성된 우수사례지구(흥성 흥동지구)

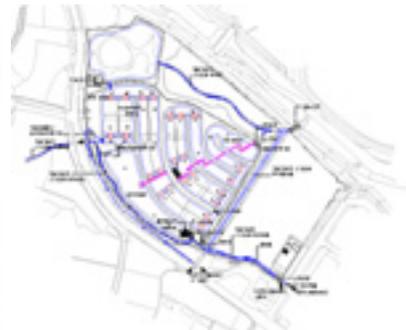
(2) 적용사례

☑ 감돈저수지 인공습지(전남 무안)



[그림 4-53] 감돈저수지 인공습지의 평면배치도 및 전경

☑ 주암호 인공습지 (전남 보성)



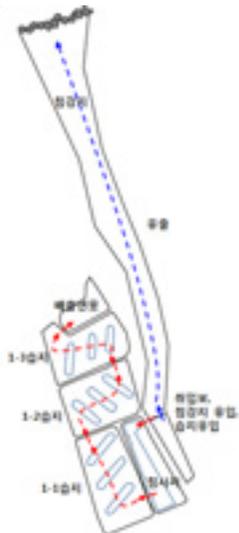
[그림 4-54] 주암호 인공습지의 평면 배치도 및 전경

월천지구 인공습지 (전남 함평)



[그림 4-55] 월천지구 인공습지의 평면 배치도 및 전경

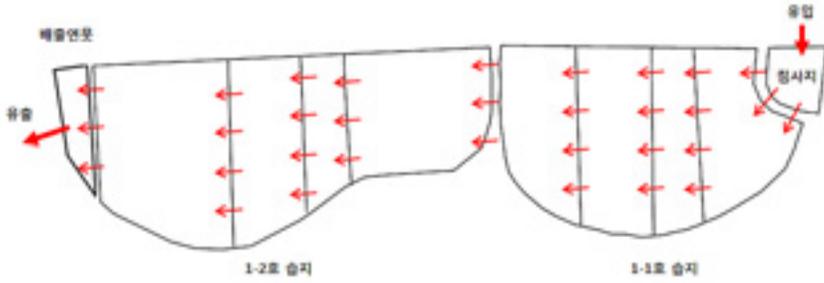
공산지구 1호 인공습지 (전북 고창)



[그림 4-56] 공산지구 1호 인공습지의 평면 배치도 및 전경

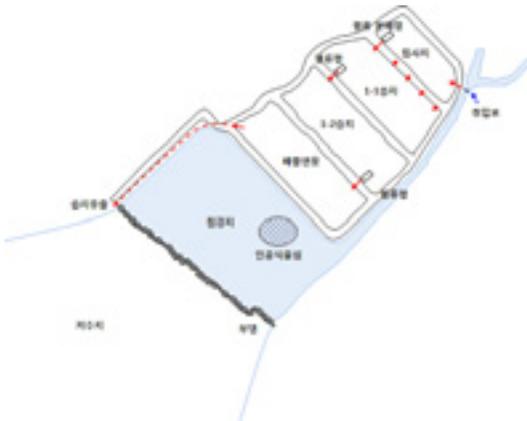


● 왕송지구 1호 인공습지 (경기 의왕)



[그림 4-59] 왕송지구1호 인공습지의 평면 배치도 및 전경

● 동방지구 1호 인공습지 (경기 화성)



[그림 4-60] 동방지구 1호 인공습지의 평면 배치도 및 전경

● 성암지구 1호 인공습지 (충남 서산)



[그림 4-61] 성암지구 1호 인공습지의 평면 배치도 및 전경

● 홍동지구 1호 인공습지 (충남 홍성)



[그림 4-62] 홍동지구 1호 인공습지의 평면 배치도 및 전경

○ 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

● 도고지구 2호 인공습지 (충남 아산)



[그림 4-63] 도고지구 2호 인공습지의 평면 배치도 및 전경

● 상성지구 1호 인공습지 (충남 아산)



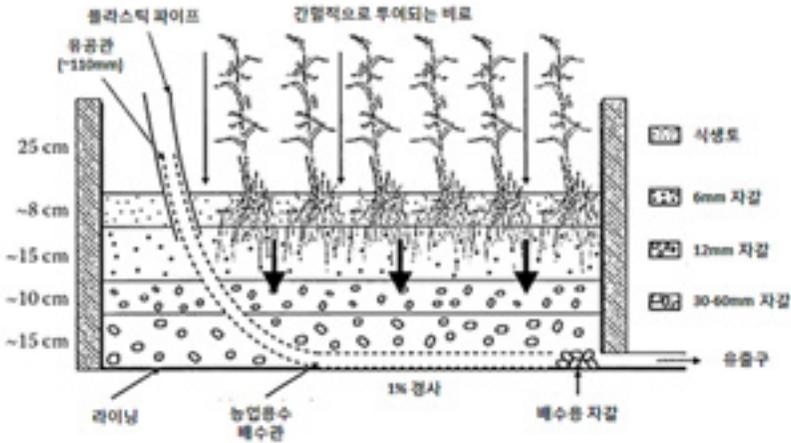
[그림 4-64] 상성지구 1호 인공습지의 평면 배치도 및 전경

## 다. 지하흐름습지 설계

### 1) 개요

#### 가) 특징

- 물이 습지내부에 부분적으로 채워지는 경우(불포화 흐름)가 있는데 이때에는 자연 통풍원리에 의해 산소가 자연적으로 공급되므로 질산화에 유리한 여건이 형성된다. 그러나 질산화에 의해 완전히 질소를 제거할 수 없으므로 수직흐름습지 후단에 지표흐름습지나 수평흐름 습지를 결합하여 탈질을 유도하기도 한다.
- 유입 유출부에 수리학적 단차가 필요하며 단차가 없거나 작은 경우 수평흐름습지와 유사한 수리학적 거동이 나타난다.
- 유럽에서는 하수처리용으로 도입하는 경우가 많으나 북미에서는 적은 편이며, 한 가족용으로부터 도시전역을 대상으로 하는 대규모인 것에 이르기까지 다양하다.
- 미국에서 가동 중인 가장 대규모 시스템은 루이지니아주의 Crowley에 있는 것으로 그 계획유량은 13,000 m<sup>3</sup>/d이다.



[그림 4-65] 일반적인 수직흐름 습지의 단면도

나) 적용

- 지하 흐름형 습지는 많은 운영결과 심각한 폐쇄현상을 경험하였기 때문에 소규모 마을하수도의 유출수를 처리하는 경우에 적용가능하다.
- 하수처리시설 방류수는 상당한 수준으로 질산화가 이루어진 상태이고 저수지 유역에서 수직흐름형태의 습지 설치에 요구되는 수리학적 조건을 갖춘 부지를 찾는 것이 매우 어려우므로 수직흐름 습지보다는 가급적 수평흐름 습지를 적용한다.
- 지표흐름습지 후단에 영양염류의 추가처리를 위해 수평지하흐름습지를 배치할 경우 수질개선효과를 기대할 수 있다.

다) 지하흐름습지 장단점

[표 4-26] 지하흐름습지의 장점 및 단점

장 점	단 점
유입수가 전부 하부층으로 흘러들어 표면에는 흐름을 볼 수 없는 시스템으로 습지위로 사람의 접근이 가능하며, 모기 등 병해충 피해가 적음	지표습지보다 필요면적이 적어도 된다고는 하지만 여재를 조달하고, 소정의 장소에 설치하기 위한 비용이 비교적 비싸기 때문에 지하습지의 장점이 상쇄되는 경우도 있음

2) 정화 원리 및 효율

가) 정화원리

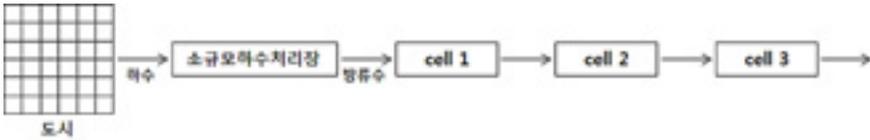
- 지하흐름습지는 습지하부에 모래와 자갈로 여과층을 포설하여 상부는 습지로 이용하고 하부는 여과 및 미생물분해시설로 이용하는 습지로서 침전, 미생물분해, 수생식물의 흡수와 여과층에서의 물리적 여과 및 미생물분해 기능 등으로 정화하는 기법이다.

나) 정화효율

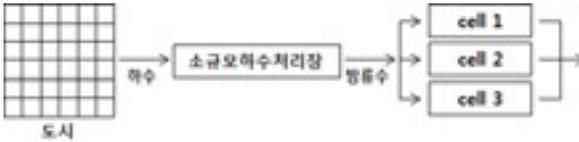
[표 4-27] 전남 음천천 인공습지의 정화효율

형태	BOD	SS	TN	TP
지하흐름 인공습지	85%	85%,	35%	50%

### 3) 설계요령



(a) 가장 피해야할 설계예시



(b) 좋은 설계예시



(c) 가장 좋은 설계예시

[그림 4-66] 수평 지하흐름형 습지의 배열

### 4) 적용사례

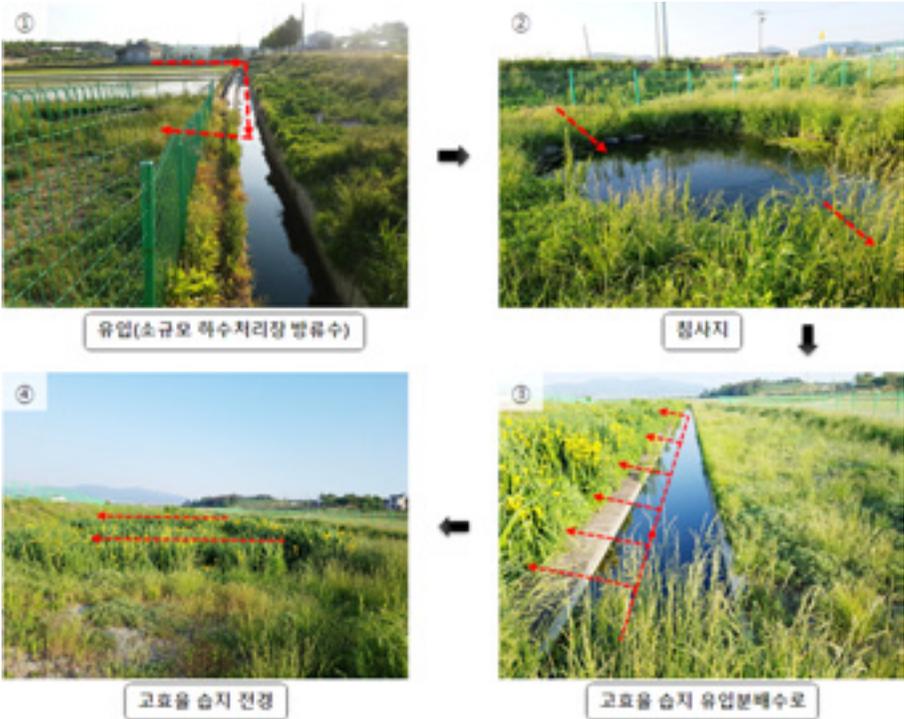
#### ● 서산 성암지구

- 성암지구 지하흐름습지 (수평흐름형태)의 구성 및 주요부 사진자료를 보여주고 있다. 하수처리장 방류수는 지하흐름 습지로 개수로를 통하여 침사지를 거쳐 습지로 유입된다.
- 습지 처리수는 하류농민들의 수리권 및 수질분쟁 가능성을 배제하기 위하여 후단에 위치한 하천수 처리목적의 지표흐름습지를 통하지 않고 별도의 관거를 통하여 저수지로 유입되는 구조로 설계 시공되어 운영되고 있는데 좋은 설계사례로 평가된다.
- 유량분배 및 오리피스 방식의 처리수 배제, 유입구와 유출구의 수두차, 유입부와 유출부의 구비, 운영방식 등 모든 부분의 설계가 우수한 시설로 판단되며 우수사례로 참고할 만하다.

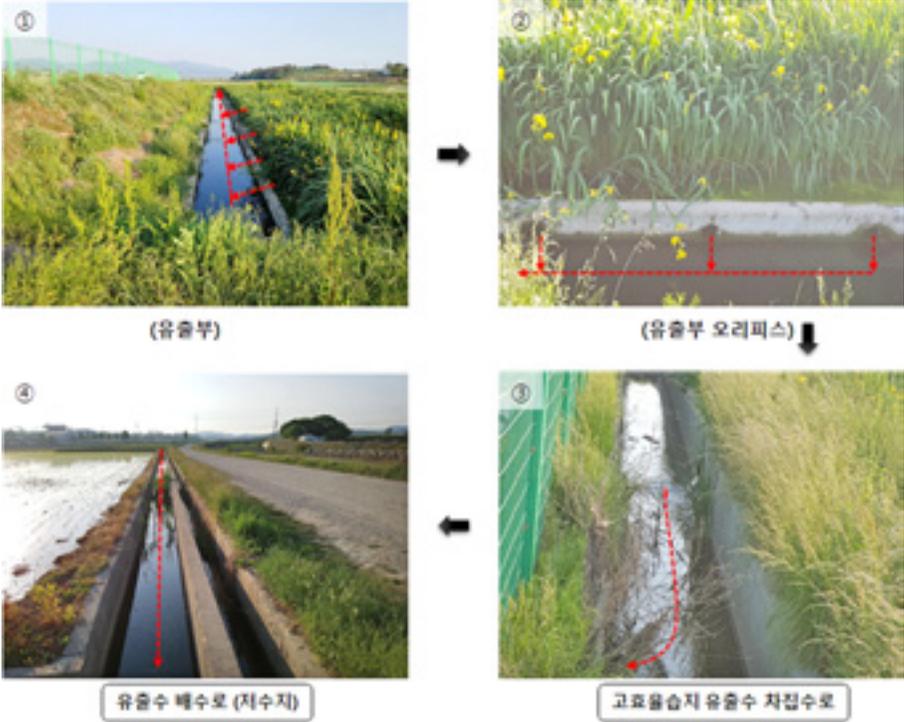
농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼



[그림 4-67] 서산 성암 사업지구 지하흐름습지

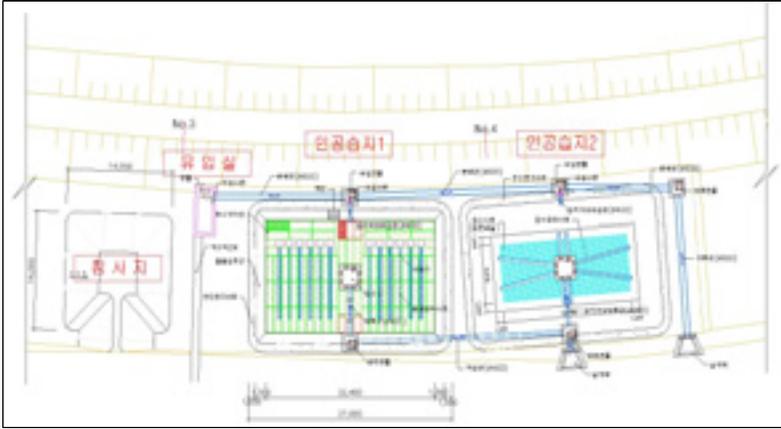


[그림 4-68] 서산 성암지구 지하흐름습지 주요부 사진자료



[그림 4-69] 서산 성암지구 지하흐름습지 주요부 사진자료 (계속)

전남 옴천천 지구



[그림 4-70] 지하하름 인공습지 설계 사례(전남 옴천천)

● **홍동 사업지구 지하흐름습지**

- 홍동사업지구 지하흐름습지 주요부의 사진자료를 제시하였다. 본 습지는 평상시 및 강우유출이 일어나는 동안으로 구분하여 후단 지하흐름습지와 연계하여 운영 되도록 설계된 점이 특징이다.
- 평상시에는 하천수를 선단에 설치된 침사지에서 전처리 후 대부분이 지하흐름습지를 통과하여 후단 지하흐름습지에서 추가적인 처리가 이루어지는 형태를 보이고 있다.
- 그러나 강우시에는 침사지로 유입된 강우 유출수가 침사지 측면의 오리피스스를 통하여 후단 지하흐름습지로 유입되도록 설계되어 있다.
- 그러나 전처리 목적의 침사지의 설계오류로 침전성능을 기대하기 어려울 뿐 만 아니라 수리 구조적으로 또한 강우기에 높은 토사농도의 강우유출수가 By-pass 되지 않고 지하흐름습지로 유입되어 여재공극을 폐색시키기 좋은 구조로 사료된다. 실제 현장조사결과 지하흐름습지의 공극이 막혀 침사지 벽체를 범람하여 습지상부로 침입한 흔적이 보이고 있으며 정상적인 지하흐름습지 기능을 기대하기 어려운 실정이다.
- 본 시설의 기본계획 측면에서 가장 큰 문제점은 막히기 쉬운 지하흐름 습지를 강우유출수가 유입되는 습지선단에 배치한 점이며 습지의 기하학적 특성(정방향 구조)에 비추어 평상시 하천수의 처리나 하수처리장 방류수 처리에도 한계가 있을 것으로 판단된다.



[그림 4-71] 홍성 홍동지구 지하흐름습지 주요부 사진자료

## 라. 지표-지하 조합형 인공습지 설계

### 1) 개요

#### 가) 정의

인공습지의 주요 구성요소는 식물, 토양, 수문이며 그 외에 수질정화에 중요한 기능을 하는 미생물과 이와 연계된 소형 동물이 포함되며, 침전, 흡착 산화, 응집, 분해, 흡수 등의 복잡한 정화기능이 작용한다. 이와 같은 인공습지를 인위적으로 조성하여 고효율로 수질을 정화한다.

#### 나) 목적

형태별 인공습지의 최적조합으로 수질정화, 동식물 서식처 조성, 경관창출

#### 다) 특징

지표흐름습지와 지하흐름습지를 직렬로 배치하고 침강연못을 전처리시설로 도입하도록 하고 있으며, 침강연못은 유량의 균등분배와 유입수 중의 입자상 고형물을 1차 제거하기 위해 설치하며, 지표흐름습지를 통해 식물체에 의한 흡수와 호기성 산화를, 지하흐름습지를 통해 탈질화를 유도하도록 설계한다.

### 라) 장점 및 단점

**[표 4-28] 지표-지하흐름 인공습지의 장점 및 단점**

장 점	단 점
지표흐름과 지하흐름 습지의 장점을 조합하여 수처리효율을 높일 수 있도록 설계	지하흐름습지에서는 여재의 막힘 현상이 발생하여 전체 습지의 기능이 중단될 수 있음

### 2) 정화원리 및 효율

#### 가) 정화원리

정화원리는 침강연못(조정지)에서는 입자성 오염물질을 제거하고, 지표흐름습지는 질산화와 미생물에 의한 유기물의 산화작용이 일어나며, 지하흐름습지에서는 접촉 여재에 의한 인의 흡착과 미생물에 의한 섭취 작용이 일어난다.

지하흐름습지는 지반을 굴착하고 입자가 큰 모래 또는 작은 자갈 등의 여재를 채운 습지이다. 오염된물이 유입되면 모래나 자갈같은 여재에 입자상물질이 억류 제거된다. 또한, 여재에 호기성, 혐기성막이 형성되어 유입되는 유기물, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> 등이 호기성박테리아에 의해 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>로 변화하며 혐기성박테리아에 의해 유기산, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>로 변화되어 제거된다.

## 나) 정화효율

[표 4-29] 지표-지하 조합형 인공습지

구 분	BOD	COD	SS	TN	TP
지표-지하 조합형 인공습지	89%	34%	82%	54%	72%

자료출처 : 한국농촌공사, 2006

## 3) 설계시 유의사항

#### 터파기

- 적정깊이까지 터를 파고 바닥을 평평하게 고르기를 한다.
- 다짐 후 고르기를 하지 않을 경우 차수막 설치 시 찢어질 수 있다.

#### 라이닝

- 인공습지는 지하수로 유출됨으로써 야기되는 지하수오염이나 지하수가 역으로 습지 내부로 침투해 들어오는 것을 방지해야 한다.
- 현장의 토양으로 적절한 차수효과를 가질 수 있으려면 토양내 점토성분(5% 이상)이 많아야 하며 이 경우 다짐만으로도 충분한 차수효과를 가질 수 있다.

#### 토양층진

- 토양의 특성은 식물뿌리의 성장과 오염물질의 흡착에 영향을 미친다.
- 모래질이 많은 경우 오염물질의 흡착능력은 떨어지는 반면 식물의 성장에는 좋은 조건을 제공한다. 양토(Loamy soil)는 뿌리가 침투하기에 매우 적당하면서도 오염물질을 흡착하는 능력도 뛰어나다. 그러나 밀도가 매우 높은 점토(Clay)나 셰일(Shale) 특성을 많이 가지고 있는 토양지역의 경우 뿌리의 성장이 원활하지 못하고 영양소가 부족하고 매우 낮은 수리전도도를 가지므로 좋지 않다.
- 일반적으로 토양은 습지에 사용되기 전에 분석되어야 한다. 토양분석은 토양입도, 유기물함량 등을 포함한다.

#### 여재포설

- 지하흐름습지에 여재로 보통 모래와 자갈이 사용된다.
- 모래는 식생 기반재 역할을 하며, 자갈은 지하흐름습지의 투수능력을 원활하게 하여 처리용량을 늘리고자 시공한다.
- 두 개의 여재에서 가장 중요한 것은 여재의 균등도를 높여 투수능력을 확보하는 것이다. 두 개의 서로 다른 성질의 매질이 상하로 존재하기 때문에 모래가 자갈 층사이로 흘러들어가는 일이 발생할 수 있다. 따라서 두 층을 구분하기 위해 적

절한 분리막층을 둔다.

- 공사시 특히 주의해야 할 것은 습지여재의 압밀을 피하기 위해서 작은 기계를 사용하거나 작업동선을 잘 선택하도록 한다.

#### ● 식물식재

- 지하흐름습지의 경우 표층의 모래는 투수성이 좋은 것을 사용한다.
- 부적절한 설계시 표층은 수분함량이 적기 때문에 수분부족으로 정수성 식물들은 생육하기 어려운 환경이 조성된다.
- 식물은 단시간에 사업효과를 얻기 위한 설계자의 의도가 있다면 촘촘히 심을 수도 있고 자연습지를 모방하려고 할 경우 밀도를 달리해서 식재할 수 있다.
- 지나치게 밀집해 심는 경우 물 흐름의 수로화(Channelling) 현상을 초래할 수 있다.
- 식재된 식물은 식재 후 식물의 끝부분이 항상 물 밖으로 나와 있도록 조절하고 있으며, 성장에 따라 점차적으로 원하는 수심으로 운영한다.

#### 4) 적용사례

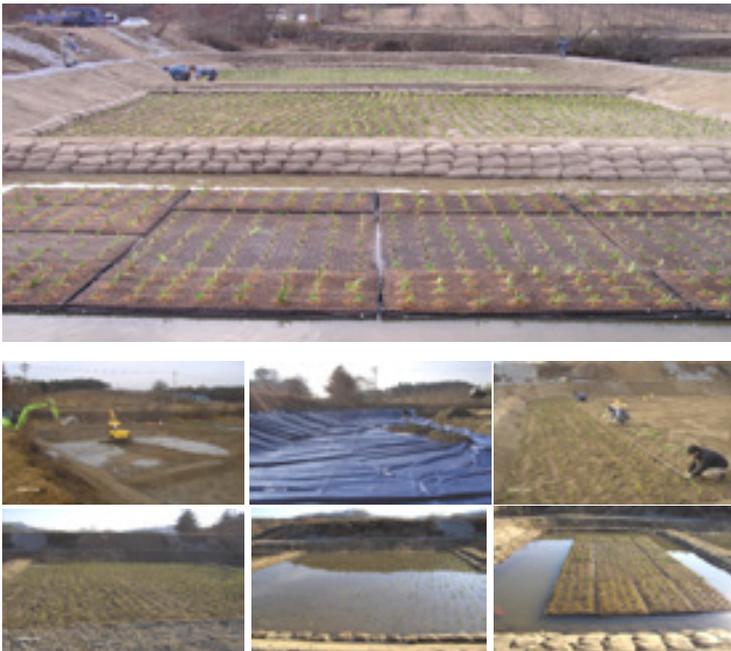
##### ● 지표-지하조합형 인공습지공법의 사례: 충남 아산 도고지구

- 도고 사업지구에 설치된 지하흐름습지는 자유흐름습지와 조합형으로 선단부에서는 자유흐름습지를 이용하여 하천수를 처리하고 그 처리수를 Polishing 하는 목적으로 설치되었다.
- 지하흐름습지의 유입부와 유출부 사이 수두차가 충분하여 침투흐름이 양호하여 지하흐름 유출수에 함유된 조류세포 및 입자상 오염물질의 제거에 적절한 배치로 판단된다.



[그림 4-72] 아산 도고지구 지표 흐름습지-지하흐름습지 조합 사례

지표-지하조합형 인공습지공법의 사례: 충남 신유지구



[그림 4-73] 지표-지하조합형 인공습지 설치사례(충남 신유지)

## 마. 식생수로

### 1) 개요

#### 가) 정의

식생수로(enhanced swale)는 식생을 갖춘 개수로로 집수구역으로부터 발생하는 강우유출수의 양(WQv, water quality volume)을 포착하여 처리/운송하는 수로를 말한다. 이것은 강우 유출수에 함유된 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 고유의 특성을 가지고 있다는 측면에서 일반수로와 큰 차이가 있다.

#### 나) 특징

식생수로는 식생여과대(vegetative filter strip)나 초생수로(grass channel)와 비교하여 훨씬 높은 수준의 오염물질 처리를 달성하기 때문에 혼동해서는 안 된다.

- 보통의 초생수로는 여과상을 갖춘 건식침투형 수로와 동일한 처리능력을 갖도록 설계되지 않는다. 식생여과대는 수로형 흐름이 아닌 지표면을 따라 넓은 흐름을 수용하도록 설계된다. 초생수로와 식생여과대를 결합하여 통합 비점오염 저감시설로도 사용될 수 있다.

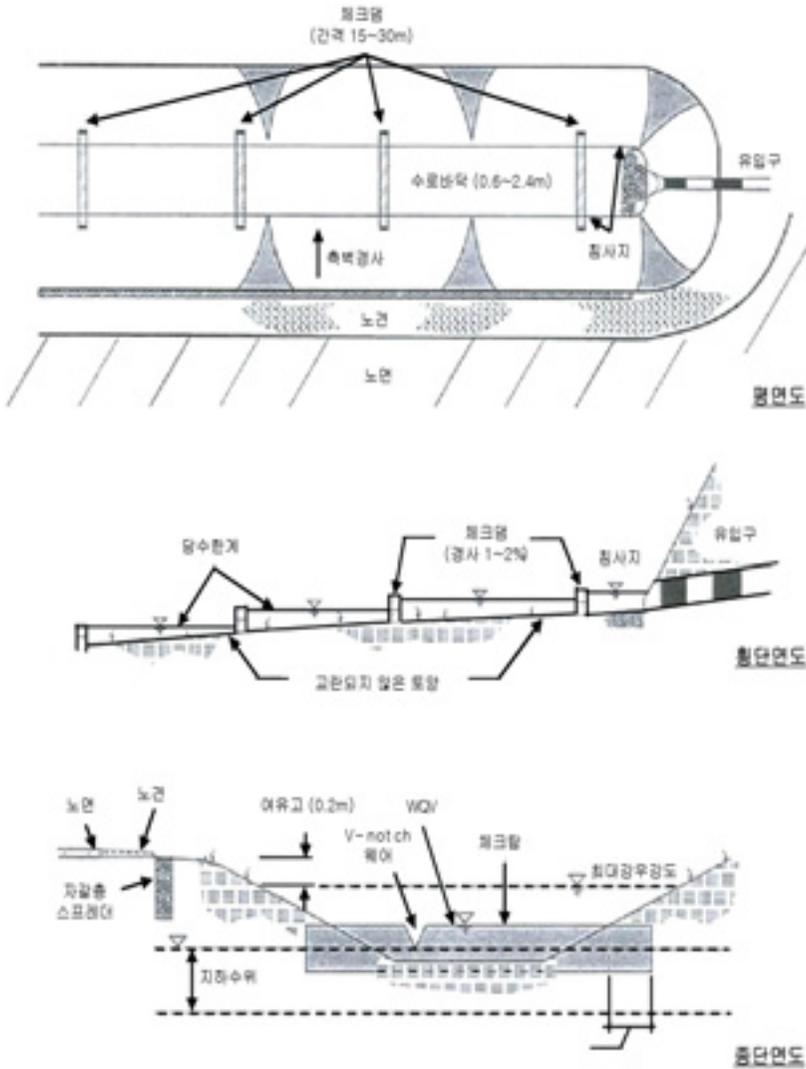
#### 다) 장점 및 단점

[표 4-30] 식생수로의 장·단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 강우유출수의 운송과 비점오염물질 처리를 동시에 달성가능</li> <li>◦ 경계석(또는 연석)을 갖춘 배수로 설치비용과 비교하여 저렴</li> <li>◦ 유출속도의 경감으로 도랑이나 수로침식방지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경계석을 갖춘 배수로보다 훨씬 많은 유지관리필요</li> <li>◦ 경사가 급한 곳에는 적용 불가능</li> <li>◦ 침적된 토사의 재부상 가능성</li> <li>◦ 잠재적으로 위생해충 문제가 발생될 가능성이 큼</li> <li>◦ 대수층 오염 가능성</li> </ul>

2) 습식 식생수로

가) 평면도 및 종단면도 예



[그림 4-74] 습식 식생수로의 평면도 및 종단면도 예

나) 설계요령

**[표 4-31] 습식 식생수로의 설계요령 요약**

항 목	설 계 요 령
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식생수로의 입지는 지형학적으로 매우 완만한 경사를 갖는 지역이 좋으며 침식을 일으키지 않을 정도의 유속이 유지될 수 있도록 충분히 큰 통수단면적을 확보할 수 있는 지역이어야 함.</li> </ul>
설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식생수로를 설치하고자 하는 지역의 집수면적은 2ha 미만</li> <li>◦ 식생수로의 경사는 최소 1%, 최대 4%를 초과하지 않도록 설계해야 하며 1~2%의 경사가 이상적임, 평균수심은 0.3m 정도가 유지</li> <li>◦ 식생수로의 바닥 폭은 적절한 여과작용이 일어날 수 있도록 0.6~2.4m가 적당하며, 측벽 경사는 2:1을 초과하지 않도록 한다.</li> <li>◦ 습식 식생수로                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 습식 식생수로의 크기는 최대수심을 나타내는 지점에서 45cm 깊이</li> <li>- 체크댐(check dam)을 설치하여 단단형 습지 셀로 조성</li> </ul> </li> <li>◦ 전처리/유입구                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 식생수로 유입구는 견치석(rip-rap)이나 돌망태(gabion)를 사용하여 에너지 소산장치(energy dissipator)를 구비</li> <li>- 견식 또는 습식 식생수로에는 전처리 시설로 유입구에 침사지를 설치</li> <li>- 수로의 선단을 시점으로 강우시 수로측부에서 유입되는 수막유량(sheet flow)을 처리하기 위해서 잔자갈 여과대를 설치하고 측벽의 경사는 완만하게 조성</li> </ul> </li> <li>◦ 유출구의 구조                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 습식 식생수로: 수로 유출구는 세굴과 침식으로부터 보호될 수 있도록 설계</li> </ul> </li> <li>◦ 지형학적 특성                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 급한 경사지 : 경사가 4% 이상일 경우 타당성이 없다.</li> </ul> </li> <li>◦ 경관                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수로에 정수식물을 식재하고 상시적으로 습지식생을 유지</li> <li>- 지역여건, 토질, 수리조건에 맞는 잔디종과 비관목류 습지식생종 포함</li> <li>- 나무나 관목류는 식생수로 식물로 적절치 않음</li> </ul> </li> <li>◦ 유지관리도로 : 식생수로를 따라서 공공도로 또는 자가용 도로와 연결된 최소 노폭 4m 크기의 유지관리용 도로 개설, 내부도로 경사는 최대 15% 이하가 되도록 하고 도로로부터 3.7m이내 에는 장애물이 있어서는 안 되며 중장비와 차량의 이동을 위하여 도로가 안정화되어야 함</li> </ul>
설계시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 하류유역 고려사항                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질 대량배출 잠재성이 큰 유역으로부터 발생하는 강우유출수의 침투를 방지하여 지하수 오염가능성을 사전에 차단</li> </ul> </li> </ul>

다) 설계 과정

- 1. 제3장에서 제시한 방법에 의하여  $WQ_v$ 와  $WQ_v$  침투유량 ( $Q_wq$ )를 산출한다.
- 2. 현장여건이 식생수로를 설치하기에 적합한지 검토한다.
- 3. 전처리시설의 용량을 산출한다. 침사지의 용량은 전체집수구역 중 불투수면적 1ha 당 강우유출수 60m<sup>3</sup>을 처리할 수 있는 규모로 설치되어야 한다.
- 4. 식생수로의 제원을 결정한다. 수로 말단의 수심이 45cm 이하가 되도록 바닥 폭, 깊이, 길이, 수로경사를 결정한다.

☑ 배수 및 유출시간

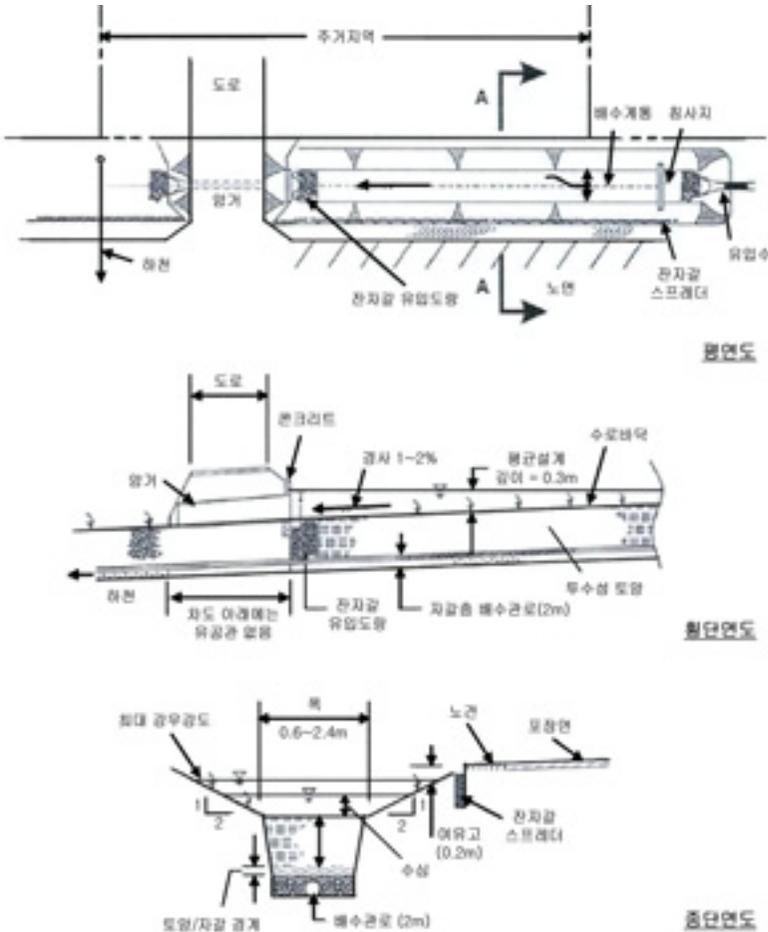
- 건식 식생수로에서는 48시간 동안에  $WQ_V$ 를 전량 침투시킬 수 있어야 한다.
- 식생수로에서는 전체  $WQ_V$ 를 차집 처리할 수 있어야 한다.

☑ 침투독의 오리피스의 크기를 결정한다. 6시간 이내에  $WQ_V$ 를 완전히 통수시킬 수 있어야 한다.

☑ 식생조성과 경관계획을 수립한다.

3) 건식 식생수로

가) 건식 식생수로의 평면도 및 종단면도



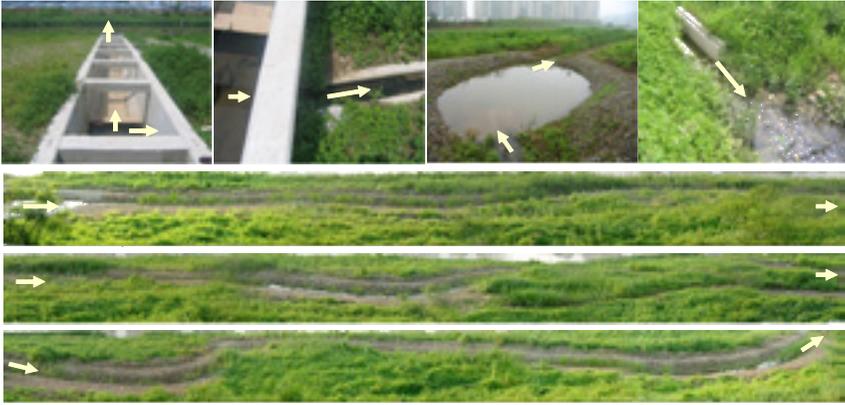
[그림 4-75] 건식 식생수로의 평면도 및 종단면도

나) 건식 식생수로 설계요령

[표 4-32] 건식 식생수로 설계요령 요약

항 목	설 계 요 령
적용 대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식생수로의 입지는 지형학적으로 매우 완만한 경사를 갖는 지역이 좋으며 침식을 일으키지 않을 정도의 유속이 유지될 수 있도록 충분히 큰 통수단면적을 확보할 수 있는 지역이어야 함.</li> <li>◦ 완충지대가 훼손되지 않고 자연상태를 그대로 유지하고 있는 지역을 입지 후보지로 고려</li> </ul>
설계 인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 건식 식생수로 규격                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 식생수로를 설치하고자 하는 지역의 집수면적은 2ha 미만</li> <li>- 식생수로의 경사는 최소 1%, 최대 4%</li> <li>- 평균수심은 0.3m 정도가 유지</li> <li>- 식생수로의 바닥 폭은 적절한 여과작용이 일어날 수 있도록 0.6~2.4m가 적당, 측벽 경사는 2:1을 초과해서는 안 됨</li> <li>- 건식 식생수로는 전체 WQv를 45cm 이하로 저류</li> <li>- 완전배수시간은 48시간 이하가 최대값이나 24시간 정도가 적당</li> <li>- 건식 식생수로의 바닥은 75cm 깊이 정도</li> <li>- 투수속도는 0.3m/일(최대 0.45m/일)이 적당</li> </ul> </li> <li>◦ 전처리/유입구                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 식생수로 유입구는 견치석(rip-rap)이나 돌망태(gabion)를 사용하여 에너지 소산장치(energy dissipator)를 구비</li> <li>- 건식 또는 습식 식생수로에는 전처리 시설로 유입구에 침사지를 설치</li> </ul> </li> <li>◦ 유출구의 구조                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 건식 식생수로 : 우수배계통이나 침식을 일으키지 않는 안정적인 낙차공을 통하여 유출</li> </ul> </li> <li>◦ 지형학적 특성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 급한 경사지 : 경사가 4% 이상일 경우 타당성이 없다.</li> <li>- On-Line으로 설계된 식생수로라고 해도 시설보호를 위하여 호우시 발생하는 고유량을 우회 시킬 수 있도록 우회수로를 설치해야 한다. 강우유출수는 침사지에 의해 미리 전처리</li> <li>- 식생수로는 2년 빈도의 홍수시 발생하는 최대유속이 주어진 토양과 식생조건하에서 침식을 일으키지 않을 정도의 흐름이 유지되어야 함</li> <li>- 주거지역과 비주거지역을 구분하여 건식 및 습식 식생수로를 결정해야 함.</li> <li>- 토양의 투수성이나 지반의 경사 등을 고려하여 타당성을 검증한 후 도입을 결정함</li> </ul> </li> </ul>
설계시 고려사항	<p>습식 식생수로와 동일</p>

4) 적용 사례



[그림 4-76] 경기도 용인 경안천 고수부지에 설치된 습식 식생수로 (상좌로부터 배수로, 인입수로, 침사지, 유출구, 식생수로)



[그림 4-77] 식생수로 설계 사례

## 바. 침강지

### 1) 개요

- 강우기간 중에는 유역에 쌓여 있던 많은 양의 비점오염원 물질이 저수지로 씻겨 들어오게 되며, 이들은 저수지의 부영양화 문제 즉, 수화현상, 물고기의 폐사 등의 문제가 발생하기 때문에 강우시 오염부하량을 줄이는 효과적인 방법으로 침강지가 많이 이용되며, 물리적, 화학적, 생물학적인 과정에 의해 강우유출에 포함된 오염물질의 상당량을 제거하는 기능을 한다.
- 오염물질저감 기능 외에 유입부에서 입자성물질의 퇴적을 집중적으로 유도함으로써 퇴적으로 인한 저수지의 내용적 감소를 줄일 수 있다.

### 2) 특징

- 설계의 요점은 수처리효율 대비 침강지의 적정 규모 결정과 현지 여건에 맞는 침강지 형식(준설, 차수막, 보조댐형)의 결정에 의한다.
- 저수지의 유입하천은 토사와 각종 오염물질을 이송하게 되어 저수지내에서 유속의 감소로 저수지 바닥에 퇴적된다. 퇴사로 인한 내용적의 감소율은 통상적인 중규모 저수지 설계기준의 값 10%보다 2~3배 정도 큰 값을 보이고 있어 저수지의 내용적 확보를 위해서는 준설작업이 필요할 경우가 많다.

### 3) 침강지의 일반적인 장점 및 단점

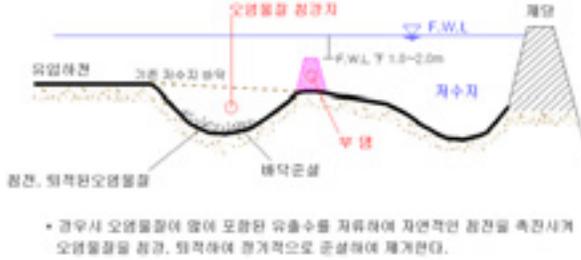
**[표 4-33] 침강지의 장·단점 비교**

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 강우시 대규모 수량에 포함된 오염물질 제거에 가장 경제적, 효과적 방법</li> <li>◦ 입자성 오염물질 사전 차단으로 저수지 수질보호 및 퇴적에 따른 내용적 감소 예방</li> <li>◦ 강우시 떠내려온 부유쓰레기의 집적효과</li> <li>◦ 운영 및 유지관리가 용이하며, 시공비 및 유지관리 비용이 상대적으로 저렴함</li> <li>◦ 퇴적물 준설이 용이하며, 유류 등 유해화학오염사고 발생시 1차 방어벽 역할 기대</li> <li>◦ 침강지 부댐의 사석 기반부 및 측면은 어류의 중요한 서식처 및 산란처 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 상대적으로 넓은 수면적 요구</li> <li>◦ 공사 난이도 높고, 재해시 시설유실위험</li> <li>◦ 용해성 오염물질의 제거효율이 낮음</li> <li>◦ 큰 강우시 침강된 퇴적물 재부상 유출</li> <li>◦ 침강 오염물질에 의한 조류발생 심각</li> <li>◦ 오염물질 집적으로 고수온기 냄새 발생, 쓰레기 집적 후 관리 소홀시 민원발생 가능</li> <li>◦ 부댐이 어류 등 수생동물의 이동통로를 차단하여 생태단절 유발</li> </ul>

#### 4) 정화원리 및 정화효율

##### 가) 정화원리

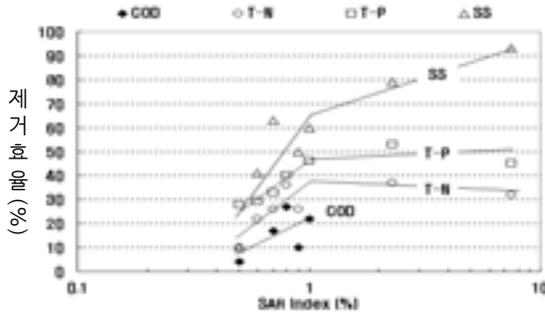
- 입자성 오염물질을 침강시키는 일차적인 물리적 처리와 침강지내에서 생물·화학적 작용에 의한 수처리의 효과가 있다.



[그림 4-78] 침강지의 정화원리 모식도

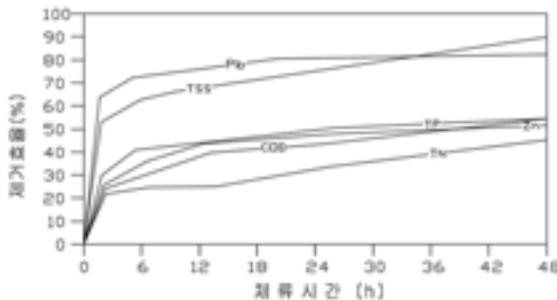
##### 나) 정화효율

- 하천수 중의 입자성물질량, 체류시간, 침전물 제거빈도에 의존한다.



\* SAR(water surface to watershed area ratio, 유역면적비)

##### a) On-line 침강지의 규모와 수처리효율의 관계



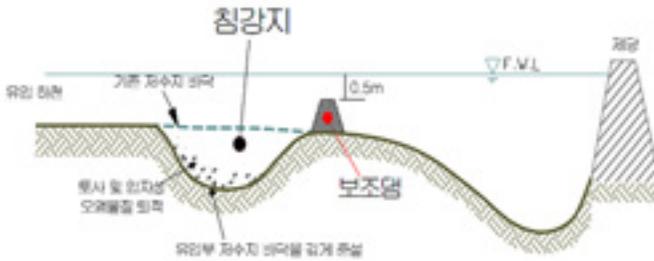
##### b) 침강지의 체류시간과 수처리효율의 관계

[그림 4-79] 침강지의 규모 및 체류시간과 수처리효율의 관계

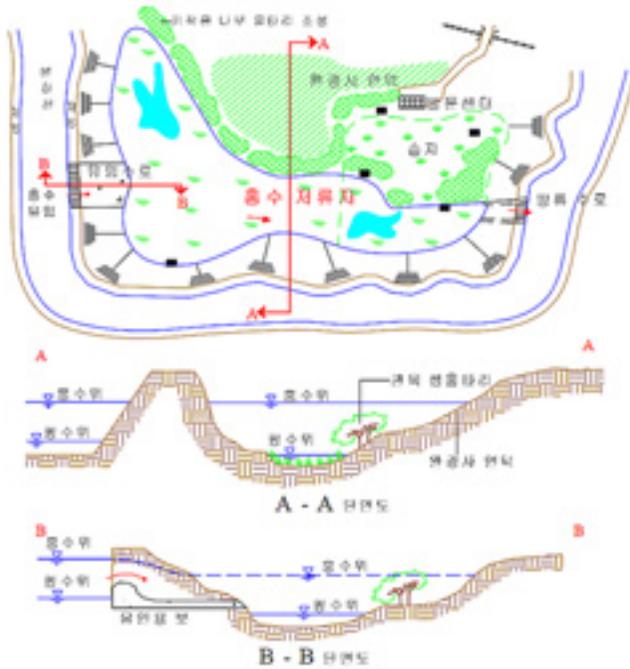
[표 4-34] 침강지의 수처리효율

유형	COD(%)		T-N(%)		T-P(%)		SS(%)	
	강우	평시	강우	평시	강우	평시	강우	평시
준설형	11	5	17	13	23	20	19	15
차수막형	14	5	31	25	25	20	44	30
보조댐형	50	5	44	32	43	23	55	47

자료 출처 : 한국농어촌공사, 2006



a) On-line 침강지 모식도



b) Off-line 침강지 모식도

[그림 4-80] On-line 및 Off-line 침강지 모식도

## 5) 부댐형 침강지의 설계

### 가) 침강지 규모산정 : 저수지 만수위 수면적의 5~10% 범위

- 기존 설계 매뉴얼에 따르면 침강지의 수표면적은 유역면적의 0.6~0.8% (SAR 지수)나 저수지 수면적(만수)의 10%에 해당되는 값 중 작은 값을 취하여 침강지 용량을 산출하도록 규정하고 있다.
- 사업지구 별 침강지 및 저수지 면적과 비율을 조사한 결과를 제시하였다. 저수지 수면적과 침강지 면적의 비율은 사업지구에 따라 상이하며 그 범위는 2.5~12.9%이었으며 평균 5.7%를 보였다.
- 저수지 유역면적 대비 침강지 면적비율을 나타내었다. 전체 사업지구 평균 비율은 0.24%, 범위는 0.08-0.43%로 조사되었다.
- 이와 같은 결과를 놓고 볼 때 설계조건을 문구대로 완벽하게 만족시키는 사업지구는 단 한곳도 없으며 저수지 수면적 대비 10% 규정을 만족시키는 사업지구는 감둔지구와 흥동지구 2개소 뿐 인 것으로 조사되었다.
- 현재 설계매뉴얼의 유역면적 대비 비율은 강우시 유출량의 크기를 반영하기 위한 지표로 제시된 것으로 판단되나 대체로 사업지구 저수지 수면적은 유역의 크기가 증가하면 증가하는 관계를 보이므로 유역면적 대비 비율에 해당하는 규정은 삭제되어도 무방할 것으로 사료된다.

**[표 4-35] 사업지구 별 침강지 및 저수지 수면적과 비율**

번호	수질개선지구	침강지 (㎡)	저수지 (㎡)	비율 (%)
1	무안 감둔지구	42,931	332,340	12.9
2	함평 월천지구	16,096	540,293	3.0
3	고창 공산지구	40,317	607,142	6.6
4	칠곡 하빈지구	8,045	320,528	2.5
5	의성 개천지구	31,417	457,986	6.9
6	의왕 왕송지구	48,786	737,428	6.6
7	화성 동방지구	13,527	415,588	3.3
8	서산 성암지구	71,392	1,050,000	6.8
9	홍성 흥동지구	42,801	398,905	10.7
10	아산 도고지구	54,635	856,065	6.4
11	아산 상성지구	16,902	292,849	5.8
12	고흥 연봉지구	17,906	437,578	4.1
평균				5.7

[표 4-36] 사업지구 별 유역면적 대비 침강지 면적 비율

번호	수질개선지구	침강지 (ha)	유역면적 (ha)	비율 (%)
1	무안 감돈지구	4.3	1,001	0.43
2	함평 월천지구	1.6	1,308	0.12
3	고창 공산지구	4.0	3,025	0.13
4	칠곡 하빈지구	0.8	956	0.08
5	의성 개천지구	3.1	1,295	0.24
6	의왕 왕송지구	4.9	1,555	0.31
7	화성 동방지구	1.4	628	0.22
8	서산 성암지구	7.1	1,936	0.37
9	홍성 홍동지구	4.3	1,345	0.32
10	아산 도고지구	5.5	2,097	0.26
11	아산 상성지구	1.7	481	0.35
12	고흥 연봉지구	1.8	2,292	0.08
평균				0.24

#### 나) 침강지 내용적의 산정

- 강우시 유출되는 오염물질의 대부분은 초기 강우시 유출하게 되며, 유출된 오염물질이 유입되지 않도록 침강에 필요한 시간 이상으로 내용적(WQv)을 확보할 수 있는 규모를 검토한다.

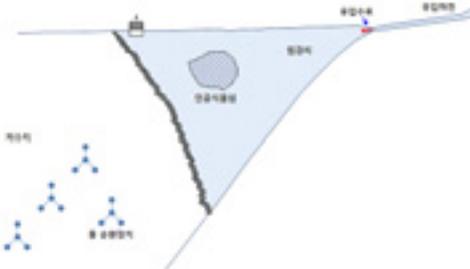
#### 다) 부댐의 설치

- 침강지의 토사축진과 저수지 수질을 보호하기 위해 침강지와 부댐을 계획하며, 부댐 단면을 최대한 줄이기 위해 석력식으로 계획한다.

#### 라) 호안의 조성

- 기존지구 침강지 호안시공의 대표사례를 보면, 대부분의 침강지 호안은 사석쌓기 공법으로 시공되어 있으며 일부 침강지의 경우에는 흙쌓기 및 침강지 시공 이전 상태의 자연적인 호안상태를 유지하고 있다.
- 사석 쌓기로 시공된 호안의 경우에도 사업지구별로 시공규격 및 품질이 다양한 것으로 조사되었다.
- 침강지 수위는 홍수기 및 배수기에 급격한 변동을 보이므로 호안경사가 급한 경우에는 침식이나 붕괴의 위험이 있다. 침식, 붕괴가 발생될 경우 호안을 따라 형성된 경작지 농민들의 민원을 초래할 수 있다.
- 호안조성 시공방법 및 규격, 품질에 대한 조항은 4.5 절을 참조한다.

[표 4-37] 사석부담 형식의 침강지 설치사례

<p>고흥 연봉 지구</p>		
<p>서산 성암 지구</p>		
<p>무안 감돈 지구</p>		
<p>아산 도고 지구</p>		

• 사석 쌓기 시공



(감동지구 1호 침강지)



(도고지구 2호 침강지)



(개천지구)

• 흙 쌓기 시공



(도고지구 1호 침강지)



통동지구 2호 침강지

[그림 4-81] 침강지 호안 시공현황

마) 침강지 설치지점

- 침강지는 저수지 본류 저류부에 설치해야 유속의 저감과 함께 토사의 침강을 기대할 수 있다. 사업지구에 조성된 침강지는 1개소를 제외하고는 대부분 저수지 본류부에 사석부담이 설치된 반면에 고창 공산지구의 경우에는 저수지 유입 하천부에 설치되어 있어 설계목표 침강효율을 기대할 수 없을 뿐 만 아니라 토사의 퇴적으로 침강지의 기능을 상실한 상태이다.
- 저수지 유입하천에서 준설을 통해 침강지 유효수심 3~5m를 확보하는 것은 가능하지만 부담으로부터 떨어진 상류 하천 바닥의 세굴과 하상유사 이동으로 쉽게 매물되므로 주기적인 준설이 이루어져야 한다.
- 따라서 침강지를 설치하고자 할 때에는 준설에 의한 유효수심 확보가 최소로 이루어질 수 있도록 저수지 본류부에서 방사류 흐름을 기대할 수 있는 부지를 후보지로 선정한다.



[그림 4-82] 침강지 입지선정 대표사례 (나쁜 사례)



[그림 4-83] 고창 공산지구 침강지 입지현황

## 6) 조류증식 억제방안

- ❶ 저수지 고수위가 유지되는 동안 저수지 유입유량이 작을 때에 수심이 낮은 침강지 유입부를 중심으로 조류발생이 문제가 되고 있다. 따라서 침강지 유입부에 대한 조류증식 억제대책이 필요하다.
- ❷ 유입부 식물식재 : 침강지 만수위에서 침강지 수심이 약 30cm 이하로 유지되는 유입구역에 정수성 식물을 식재한다.
- ❸ 식물섬 설치 : 침강지 중앙에 정수식물이 식재된 식물섬을 띄워 동일한 조류증식 억제효과 기대, 저수위시 식물섬 뿌리 활착방지 필요
  - 기존지구에서 침강지 수위조건에 따른 식물섬의 상태를 나타내었다.
  - 침강지의 식물섬은 침강지 수위 변동에 따라 유연하게 상하 수직이동이 가능해야 하지만, 갈수기 침강지내 물이 완전 배수시 퇴적면상에 가라앉은 식물체가 바닥토양에 뿌리를 내려 다시 부상하지 않은 사례가 보고되고 있다.
  - 따라서 식물섬 설치시 식물체 뿌리가 침강지 바닥에 활착되지 못하도록 식물섬 구조물내 뿌리가 갇히는 구조로 설계해야 한다.
- ❹ 천적생물 배양장치 운영 : 침강지내에서 집중 발생하는 조류를 억제하기 위해 조류를 포식하는 천적생물 배양장치를 도입 운영할 수 있다.



[그림 4-84] 침강지 유입부의 조류번식 억제방안



고흥 연봉지구 (만수시 정상 부유상태)



아산 상성지구 (배수시 부유상태)



아산 도고지구 (완전 배수시 좌초상태)



서산 성암지구 (완전배수시 바닥 안착상태)

**[그림 4-85]** 침강지에서 수위조건에 따른 식물섬의 상태

### 7) 침강지-습지의 연계운영

- ❶ 저수지 유입하천 유량이 작은 갈수기 때에 침사지에서 수리학적 체류시간의 증가로 침강지 정체수에서 대량의 조류발생이 이루어질 가능성이 높다. 특히 생활하수나 축산폐수, 가축사육단지 강우유출수 및 하수처리장 방류수 등이 유입되는 저수지에서는 특히 조류번성 및 악취발생 우려가 높다.
- ❷ 또한 대부분 사업지구 습지에서 특히 유역면적이 작은 지역에 설치된 습지에서 이와 같은 시기에 습지로 유입되는 유량의 부재와 작은 유량으로 수처리 관점에서 습지기능의 상실 및 습지의 공간적 활용성의 저하로 비효율적인 수질개선편의 운영이 초래되고 있는 형편이다.
- ❸ 따라서 저수지 유입하천의 유황에 따라 침강지의 정체수를 습지로 순환하여 습지의 처리기능을 유지함과 동시에 그 효율성을 향상시키고, 침강지 정체수의 조류발생우려를 저감하는 연계운영계획을 수립한다.



[그림 4-86] 홍성 홍동지구 2호 습지의 침경지 연계방안

### 8) 사석 부담의 생태단절해소 방안

- 사석부담의 설치로 어류 등 수생동물의 이동이 차단되어 생태단절의 문제 제기가 빈발하므로 어도 수문을 설치하여 이동통로를 확보한다.
  - 기존 배출수문에 인접하여 식물섬과 연계한 어도수문을 설치하여 중층의 비교적 깨끗한 물과 함께 수생동물이 이동가능 하도록 한다.

## 9) 설계시 고려할 사항

### ④ 침강의 형태

- 현탁입자의 침강에는 비응집성 입자의 단독 침강(discrete settling),
- 입자가 응집되어 생긴 floc상의 응집침강(flocculent settling),
- 응집 현탁액이 격자구조를 형성하여 현탁부분과 맑은 층 부분이 경계면을 나타내며 침강하는 계면침강(zone settling),
- 침강된 슬러지층의 중력으로 인하여 하부의 슬러지를 서서히 누르면서 하부의 물을 상부로 분리시키는 압밀침강(compression settling)

### ④ 침강속도 식

- 단독입자(discrete particle)란 입자가 침강하면서 크기, 형태, 중량 등 물리적 성질이 변하지 않고 침강하는 입자를 말한다.
- 미립자가 중력에 의해 수중으로 침강하면서 차츰 가속도가 가해져서 침강속도가 증가하고 물의 마찰저항력이 증가하여 입자의 중력과 균형이 이루어질 때 입자는 등속도로 침강한다.
- 이때 일정한 속도를 한계침강속도(critical settling velocity) 또는 종속도(terminal settling velocity)라 하고 일반적으로 침강속도라 사용된다.
- 입자의 중력과 입자에 작용하는 유체의 마찰저항으로부터 결정되는 단독입자의 침강속도는 Stoke's 침강속도식으로 계산하며, 층류(Re<1)의 경우 구형 또는 구형에 가까운 입자가 정지유체 또는 층류중을 침강하는 경우에 적합하며 부유물 입자의 응집성이 아주 크지 않은 경우에 사용한다.

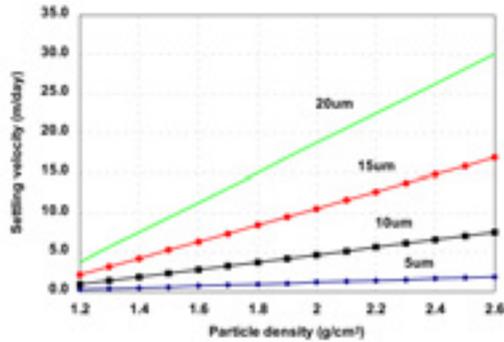
$$V_s = \frac{g(\rho_s - \rho_w)}{18\mu} D^2$$

- 여기서,  $v_s$ 는 침강속도[LT<sup>-1</sup>],  $g$ 는 중력가속도[LT<sup>-2</sup>],  $\rho_s$ ,  $\rho_w$ 는 각각 입자와 물의 밀도[ML<sup>-3</sup>],  $\mu$ 는 점성계수[ML<sup>-1</sup>T<sup>-1</sup>],  $d$ 는 입자의 직경[L]
- 단독입자의 침강속도는 입자와 액체의 밀도 차에 비례하여 입자크기의 제곱에 비례하고 액체의 점도에 반비례하므로 입자의 침강속도를 증가시키기 위해 입자의 크기가 매우 중요하기 때문에 응집처리가 필요할 수도 있다.
- 필요한 침전지의 면적비는 유역의 토지이용과 침강시키고자 하는 오염물질의 입자의 크기에 따라 다르다. 토사의 종류별 입자크기와 Stokes 방정식으로 계산한 침강속도는[표 4-38]과 같다.

[표 4-38] 입자크기별 stoke's 침강속도

분 류(토성)	입경		침강속도*	
	mm	μm	cm/sec	m/day
Coarse to medium silt	0.062	62.0	0.34463	297.76
Fine to very fine silt	0.008	8.0	0.00574	4.96
Very fine silt to coarse clay	0.004	4.0	0.00143	1.24
Coarse clay	0.003	3.0	0.00081	0.70
Medium to fine clay	0.002	2.0	0.00036	0.31
Fine clay	0.001	1.0	0.00009	0.08
Very fine clay	0.0005	0.5	0.00002	0.02

\* 수온=20℃, 입자 밀도=2.65g/cm<sup>3</sup> 기준 Stokes 침강이론식 적용



[그림 4-87] 입자크기별 밀도에 따른 침강속도 변화

[표 4-39] 자연수에서 산정된 오염물질별 입자의 침강속도

입자 형태		직경(μm)	침강속도 (m/d)
식물플랑크톤	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2	0.08(0.24)*
	<i>Thalassiosira nana</i>	4.3~5.2	0.1~0.28
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	8.4	0.27(0.89)
	<i>Asterionella formosa</i>	25	0.2(1.48)
	<i>Thalassiodisus rotula</i>	19~34	0.39~2.1
	<i>Coscinodiscus lineatus</i>	50	1.9(6.8)
	<i>Melosira agassizii</i>	54.8	0.67(1.87)
	<i>Rhizosolenia robusta</i>	84	1.1(4.7)
입자형 유기탄소		1~10	0.2
		10~64	1.5
		> 64	2.3
진흙		2~4	0.3~1.0
실트		10~20	3~30

자료출처 : Wetzel, 1975; Burns and Rosa, 1980, Charpra, 1999, \*( )은 안정성장단계

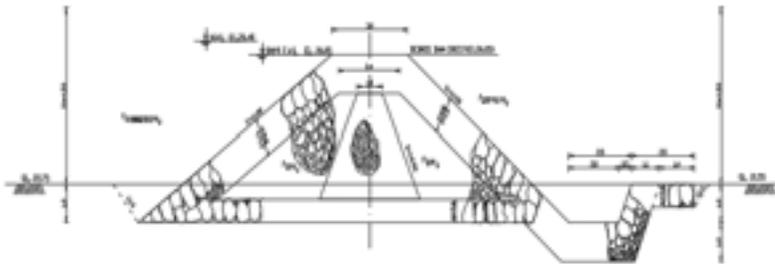
### 10) 적용 사례



a) 강우시 토사를 포함한 오염물질이 침강지내에 갇혀 있는 모습



b) 평시의 보조댐형 침강지 모습



c) 보조댐형 침강지의 사석보조댐 단면도

[그림 4-88] 부댐형 침강지 설치 사례(전남 무안 감돈저수지)

## 사. 개량형 침강지 (차수막형 침강지)

### 1) 개요

- 차수막형 침강지는 농업용수 수질개선을 위해서 호 유입부에 조성된 침강지 기능을 강화하기 위해 인공식물섬, 차수막, 생물메디아를 도입하고 중층방류를 위해 배출 구조를 개선하여 영양염류의 제거효율 향상시킨 시설로서 생물서식처 제공 등 생태적 효과도 높다.
- 하천 유입부에 저수지를 횡단하여 생물메디아를 설치하고, 천공되거나 겹쳐진 차수막을 저수지 바닥까지 설치한 후 수면에 인공식물섬 설치
- 침강지 실용화시스템은 유입하천수를 저류하여 입자성 침강가능 유기물질의 일부를 제거하고 침강장치를 통과하면서 생물메디아로부터 생산된 미생물의 다양성을 이용한 수질개선효과와 인공식물섬 하부로 성장한 식물 뿌리로부터 영양염류가 흡수 제거되도록 설계
- 처리수는 수표면으로부터 1~2m 이하의 인공식물섬 하부로 유출

### 2) 설계방법

- 차수막은 고정식으로 물 흐름을 차단하는 것이 아니라 커튼식으로 추와 함께 드리워진 유동적인 시스템이다. 따라서 수심이 깊어 질 경우 차단효과가 떨어질 가능성이 있으므로 설치수심은 저수지 만수위 기준으로 최대 7m 정도이며, 보통 3~6m 수심 위치에 적용한다.
- 저수지를 횡단하여 설치되기 때문에 안전성과 유지관리를 위해 전체 길이 200m를 초과하지 않도록 해야 한다. 만약 200m를 초과할 경우 중간에 고정장치를 설치하도록 한다.
- 설치 길이가 길어질 경우 예상되는 문제점은 전체 시스템의 뒤틀림, 처리효과 저하, 유지관리시 어려움 등이 있을 수 있다. 따라서 수지상의 구조를 가지는 농업용 저수지의 유입부에 설치하도록 권장한다.
- 상시 물에 잠겨 있는 상태이기 때문에 차수막, 인공식물섬, 생물메디아 등을 선택할 시 내구성이 좋은 재질을 선택하여야 한다.
- 차수막은 부식 및 파손이 안 되도록 합성수지재 계열의 재질을 선택하는데 자외선 차단, 방염, 내항균 처리된 폴리에틸렌 소재를 선택하는 것이 좋다.
- 인공식물섬은 공동연구기관에서 개발된 제품을 사용하였는데 적정 부력을 가지며 식물이 성장할 수 있는 식생기반재를 제공함과 동시에 일광, 수분에 의한 손실이

적고, 외부충격에도 강한 재질로 구성된 경우 사용가능하다.

- 생물메디아는 곤상 또는 면상의 구조로 설치되는데 미생물이 부착할 수 있는 섬유상의 다공질매체나 비표면적이 많아 부착생장에 용이하며 유체흐름에 저항성이 적은 소재로 선택되어야 한다. 따라서 나일론 또는 코코넛 섬유 재질로 구성되는 것이 바람직하다(코코넛섬유는 장기간 물에 침수될 경우 자연분해에 의해 조직이 해체될 수 있으므로 밀도를 높이거나, 고무로 코팅된 제품을 사용하는 것이 유리하다).
- 계류장치를 설계하는 것은 전체 시스템의 안전성과 관련이 있다. 이 경우 계류력을 산정하는데 계류력은 풍압력과 조류력(항력) 및 표류력(파랑)의 합으로 산정할 수 있다. 계류력은 풍압력, 조류력, 표류력 등 각각의 실정을 고려하여 조합하는 것으로 하지만 일반적으로 홍수시를 제외하고는 풍압력이 가장 높다. 따라서 설계치로는 풍압력의 하중계수를 1.3, 조류력 1.0, 표류력 0.7로하고 최대 풍속을 사용해서 계산하였으며 계산된 계류력은 200 kgf 이다. 여기에 제시된 계수들은 경험적으로 안전한 값들이 제시되었으며 설치하고자 하는 위치와 강우시 최대유속을 고려하여 설계에 반영하여야 한다.

### 3) 적용사례



[그림 4-89] 개량형 침강지 실용화시스템 설치 전경

## 아. 미세조류 수처리 공법

### 1) 기술개요

#### 가) 정의

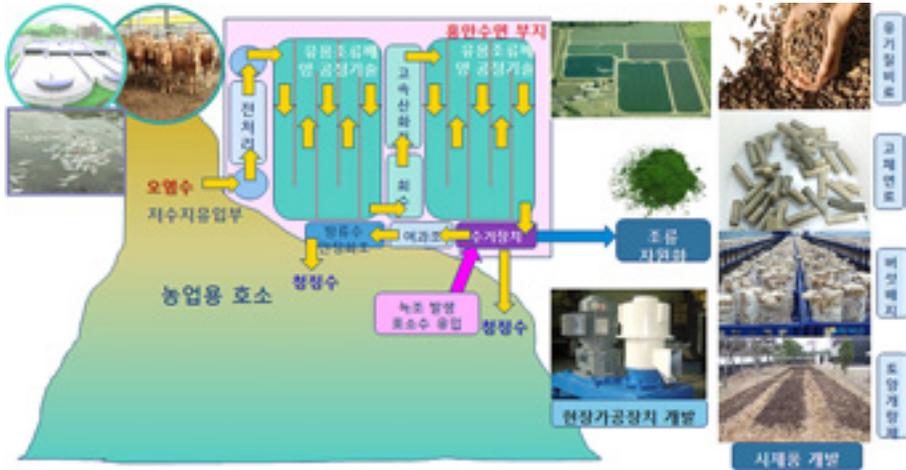
- 미세조류는 아주 약간의 영양염류만 있어도 대량 번식하여 생산성이 매우 높은 생물공장으로 호소는 물론 정체 하천, 하구역, 해역 등에서 녹조 및 적조를 일으키는 유해생물로서 수질관리의 주요 대상이 되고 있다.
- 본 기술은 농업용저수지에서 발생하는 유해 조류 대신 유용한 조류를 이용하여, 저수지로 유입되는 오염물질(영양염류)을 사전에 유용 미세조류와 접촉시켜 흡수, 제거하고 성장한 유용조류를 수거, 자원화하는 공법이다.
- 대상 오염수에 유용미세조류를 배양하여 오염물질(유기물) 및 영양염류(질소, 인) 등을 흡수, 저감하고, 이를 수거하여 자원(사료, 퇴비 등)으로 재활용 하는 기술이다.

#### 나) 목적

- 본 기술은 오염된 하천수의 호소 유입에 따른 호소 내 녹조 현상 등을 사전에 예방하기 위하여 호소 유입 전, 오염 하천수의 처리 및 비점오염원(논, 밭, 도심지, 도로 등)에서 강우시 발생되어 하천 및 호소로 유입되는 오염수를 사전에 처리하는 것을 목적으로 한다.
- 배양 조류회수 기술은 안정적인 수처리 및 조류의 자원화, 상업적 활용에 필요하다.
- 이를 통하여 대상 하천수의 오염물질을 저감하여 호소의 수질을 안정화 하고, 사용된 유용미세조류를 자원화 하여 활용할 수 있도록 한다.

#### 다) 특징

- 미세조류를 이용하여 수질을 개선하는 기술로서, 유희부지에 미세조류를 배양하여 비점오염물질, 특히 질소와 인 등의 영양염류를 효율적으로 제거하여 처리효율이 높고, 시스템이 단순하며, 유지관리가 용이할 뿐만 아니라, 미세조류 바이오매스의 자원화, 온실가스 저감 등 지역 환경에 부가적 혜택을 제공할 수 있는 미래지향적 녹색기술로 표현될 수 있다.
- 오염하천을 통해 저수지로 유입되어 녹조를 유발하는 고농도 영양염류를 저수지 유입 전에 클로렐라, 스피룰리나와 같은 인간과 친숙한 미세조류를 인위적으로 고밀도 배양하여 용존 인을 완전 흡수시킴으로 인해 저수지 유입수의 영양염류를 제거하고, 이로 인해 녹조발생 잠재성을 감소시키고 최종적으로 수질개선을 달성할 수 있도록 함. 배양된 미세조류는 자원으로 활용할 가치가 높으므로 수거하여 양식 사료 등 다각적인 농어업재료로 전환하여 사용 가능하게 한다.



[그림 4-90] 개발기술의 개념

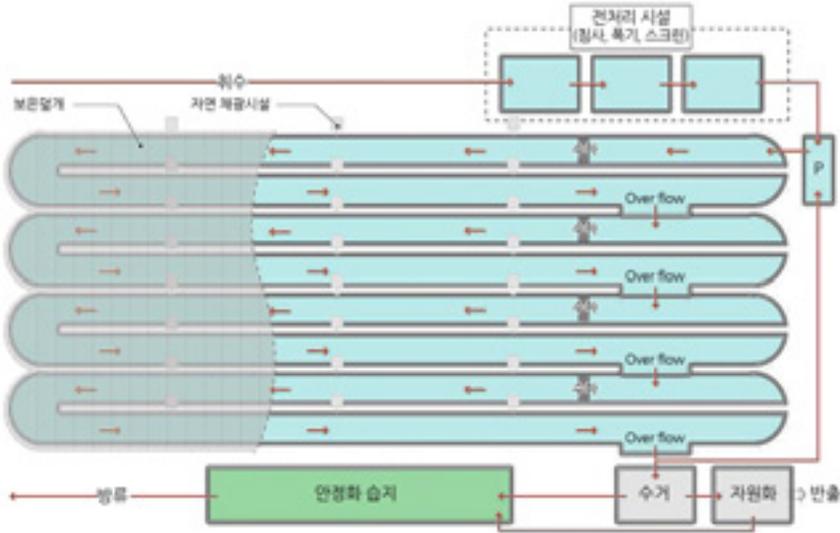
특히, 자연정화기술이 동절기 또는 저온수기 적용성이 떨어진다는 단점을 극복할 수 있는 사계절 운영시스템을 도입할 수 있으며, 이를 통해 유입하천에서의 영양염류(특히, 인 저감), 호내 녹조 사전예방, 유용조류의 자원화 기술을 포함하는 생태적으로 안전하고 건강한 선제적 녹조관리기술로 적용가능하다.

본 기술은 크게 4개의 공정으로 구성된다.

- 전처리공정 : 유입되는 오염수의 입자성 물질 및 동물성 플랑크톤 등을 제거하여, 조류의 배양을 극대화 할 수 있도록 하는 공정으로서 침사, 폭기, 스크린의 세부 공정을 거친다.
- 배양공정 : 배양공정은 전처리된 오염수에 유용미세조류의 성장을 극대화하기 위하여 인위적으로 구성된 수로에 일정한 체류시간 및 유속으로 흐르게 하며, 유용미세조류를 배양함. 이를 위해 수차 및 덮개 시설 등을 설치한다.
- 수거공정 : 배양조에서 성장한 미세조류를 통해 정화된 하천수와 미세조류를 분리하는 공정으로서 자원화에 적합한 응집제를 사용하며, 빠른시간에 응집 및 회수 공정을 거칠 수 있도록 가압부상공정을 거치도록 한다. 조류의 전처리로 사용하는 약품은 위생상 동물의 식용에 사용 가능한 약품을 사용한다. (단, 수거조류를 식용으로 사용하지 않을 경우는 예외로 함.) 전처리 약품을 신속히 분산하여 가능한 많은 조류입자와 접촉할 수 있는 순간 분산장치를 갖추어 가능한 약품사용량을 줄인다. 수거장치는 단위처리량이 큰 미세기포를 이용한 부상장치로 조류를 수거한다. 이를 통해 수거된 조류는 물이 분리되는 콘베이어를 통해 건조장

치 및 자원화 공정으로 운반되며, 정화된 하천수는 안정화 공정 (천척생물반응조 또는 인공습지 등)을 거쳐 최종 방류하게 된다.

- 자원화공정 : 하천수와 분리된 조류는 건조 및 파쇄 등의 공정을 거쳐 분말 형태의 사료로 최종 배출되며, 이를 장어양식 및 새우양식 등의 사료로 공급된다.



[그림 4-91] 유용미세조류를 이용한 수처리 시설

## 라) 기술의 장·단점

### (1) 장점

- 인공습지대비 영양염류 처리효율이 매우 높으며, 안정적 방류 수질 수준 유지한다.
- 동절기 적용방안을 제시하여 자연정화기술이지만 사계절 처리가 가능
- 오염하천 수질개선 목적 외에 양식장 수처리 및 사료공급, 수상태양광 사업 연계 등 다양하게 활용 가능하다.
- 최근 미세조류를 활용한 다양한 농촌폐수, 하수, 중금속 폐수 및 난분해성 폐수 등의 오염원 저감효과를 입증되고 있으며, 특히 하수 방류 수질 기준항목에 포함되지 않는 환경호르몬, 의약/항생물질, 농약류의 저감효과가 알려지고 있는 바, 환경분야에서의 활용범위가 확대될 전망이다.
- 농촌폐수 등 소규모 지역에 미세조류 활용을 통한 수질 오염 저감으로 큰 수계의 오염 및 미세조류의 부영양화 등의 수환경 재해를 사전에 방지할 수 있으며, 동시에

생산된 미세조류는 회수하여 퇴비화, 토양개량제, 사료 등으로 사용이 가능하다.

- 미세조류를 이용한 수질개선 과정 중 상당량의 이산화탄소가 제거되며 생산된 미세조류는 회수하여 바이오 디젤 등으로 에너지화하여 재이용할 수 있으므로, 지구온난화현상을 해결하는 데 기여가 가능하다.
- 요구되는 장치가 컴팩트하여 운영관리가 용이하고, 자동화가 가능하다.

## (2) 단점

- 부지 요구면적이 넓은 편이나 인공습지 면적대비 70%로 유사하다.
- 처리 유량 변동에 민감한 편임. 비점오염 위주의 강우 유출수보다는 비교적 유입유량이 안정적인 마을하수도, 하수처리장, 축산분뇨처리장 방류수의 추가처리, 점오염원이 유역에 분산되어 미처리 상태로 유입되는 고농도의 소규모 오염하천 등에 적합하다.
- 생물오염에 민감하고, 수서곤충, 동물플랑크톤 등의 오염에 취약하다.
- 미세조류 자원화 분야의 제품시장이 확보되지 않아 활용에 시간 소요. 미세조류를 활용한 자원화 분야의 적용은 원료의 대량 확보가 쉽지 않으며, 따라서 조류 기반 제품의 경제성을 판단하기 어렵고 관련 제도적 지원도 지연되고 있는 상황이다.
- 미세조류를 이용한 상업화를 위해서는 현재 배양 규모의 1,000배 이상 수준으로 확대될 필요성이 있지만 국내 여건에 맞는 산·학·연·정의 유기적인 연계 기술개발과 선진국과의 협력연구로 기술적 문제를 극복해야할 시기라 여겨진다.
- 기존의 수질개선 기술에 비해 장치가 많아 어렵게 생각될 수 있으며, 수거장치 등에 대한 운전기술을 습득해야 한다.

## 2) 원리 및 효율

### 가) 원리

- 미세조류를 이용한 고농도 오염하천의 수처리 및 조류 자원화 기술은 전처리조 - 배양조 - 방류수안정화 습지를 거쳐 정화된 처리수가 유출부를 통해 방류되도록 설계된다.
- 전처리조 : 미세조류의 배양 효율의 극대화를 위해 오염하천 등의 유입수를 1차 침전(입자성 및 혐기성 물질을 분해)-여과(자갈과 바이오필름을 이용하여 여과)-폭기(호기성 산화)-2차 침전(입자성 및 혐기성 물질을 분해)의 4단계를 거치게 하는 시스템이다.

● 배양조

- 배양 및 정화 : 자연형 수로 등을 modify한 고밀도 연속흐름식 배양시스템으로, 저수지 하천에서 유입되는 축산폐수와 생활하수 내 인(녹조 유발 인자)을 이용, 제거하면서 미세조류가 고밀도로 배양된다.
- 수거 및 자원화 : 조류입자가 갖고 있는 표면전하를 중화시키면 미세한 조류가 적당한 크기로 서로 뭉쳐지고, 이 뭉쳐진 flock은 표면적이 대단히 크고 거칠어 부상하기에 좋은 조건을 갖추게 되는데, 여기에 미세한 공기 기포를 부착시키면 순간적으로 빠르게 수표면으로 부상됨. 부상된 조류를 수 표면에서 스키머를 이용하여 한쪽으로 수집하여 수계로부터 최종 분리한다.
- 방류수안정화 습지 : 조류수거기술에서 미처 수거되지 않은 잔여 미세조류 및 배양 중 유입되는 미세먼지 등 처리수의 2차 오염을 막기 위해 습지를 이용한 자연적 처리기법으로 처리수를 처리 및 안정화하여 방류한다.
- 유출부 : 방류수 안정화 습지를 거친 처리수는 유출부 조정조를 통해 유입되었던 배수로로 방류되며, 비상시 유출유량을 조정하도록 한다.

나) 효율

(1) 수처리 효율

- 적용범위 : COD 60~70%, TOC 50~65%, SS 80~100%, TN 70~90%, TP 80~100%, PO<sub>4</sub>-P 80~100%
- COD 66.9% (26.0 → 8.6 mg/L), TOC 53.9% (12.8 → 5.9 mg/L), SS 99.0% (20.5 → 0.2 mg/L), TN 83.2% (22.608 → 3.757 mg/L), TP 95.5% (2.049 → 0.050 mg/L) PO<sub>4</sub>-P 99.3% (1.426 → 0.005 mg/L)

(2) 수거효율

- 전반적으로 90 % 이상의 수거효율 유지
- COD 90.9 %, SS 99.9 %, Chl-a 100 %, T-P 90.7 %

(3) 최종방류수 수처리 특성 및 방류수 안정화

- 고밀도 조류배양을 통해 HRT 0.5~1일로 운영할 경우, 저온수기에도 목표수질(TN, TP, PO<sub>4</sub>-P) 달성이 가능하며, 안정적인 수처리 효과를 얻을 수 있다.
- 유입수 농도의 수준에 따라 체류시간을 적절히 증가하여 운영한다면 수질환경기준 III등급 달성 가능하다.

## 다. 설계예시

### (1) 전처리 설계인자(250 m<sup>3</sup>/d 설치 가정시)

#### 1단계 (침전조-유입부)

- 구성 : 사각구조 물탱크 1개소, 유입밸브 1식, 유출밸브 1식, 완전 배수 가능한 바닥드레인 1식
- 규격 : 7 × 6 × 1.5 m(수심 1.2 m)
- 용량 : 50 ton
- 일유입유량 : 300 ton
- 일처리량 : 300 ton
- 체류시간 : 2 hr

#### 2단계 (여과조)

- 구성 : FRP 물탱크 1개소, 유입밸브 1식, 유출밸브 1식(저층수), 완전 배수 가능한 바닥드레인 1식
- 상부 : 왕사(Ø3~5 mm), 0.3 m
- 하부 : 자갈(Ø50 mm), 0.7 m
- 접촉면 : 방충망 또는 차광막(2겹)
- 규격 : 10 × 7 × 1.5 m(수심 1.2 m)
- 용량 : 80 ton
- 일유입유량 : 300 ton
- 일처리량 : 300 ton
- 체류시간 : 2 hr

#### 3단계 (폭기조)

- 구성 : FRP 물탱크 1식, 유입밸브 1식, 유출밸브 1식, 완전배수 가능한 바닥드레인 1식, 에어레이터 2식, Tube형 산기관 2식
- 규격 : 7 × 6 × 1.5 m(수심 1.2 m)
- 용량 : 50 ton
- 일유입유량 : 300 ton
- 일처리량 : 300 ton
- 체류시간 : 2 hr

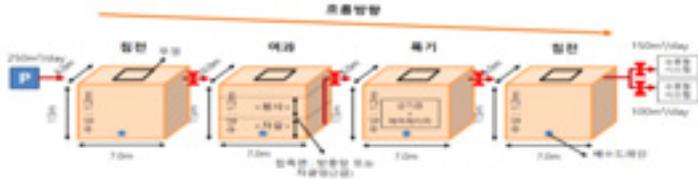
#### 4단계 (침전조-유출부)

- 구성 : FRP 물탱크 1식, 유입밸브 1식, 유출밸브 2식, 완전배수 가능한

농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

바닥드레인 1식

- 규격 : 7 × 6 × 1.5 m(수심 1.2 m)
- 용량 : 50 ton
- 일유입유량 : 300 ton
- 일처리량 : 300 ton
- 체류시간 : 2 hr



[그림 4-92] 전처리조 구성 모식도 및 설치 현황

(2) 배양 설계인자(250 m<sup>3</sup>/d 설치 가정시)

- 배양조 규모 : 1000 m<sup>3</sup> (50 m × 4 m × 5조)
- 처리용량 : 500 m<sup>3</sup> (1000 m<sup>3</sup> × 0.5 m)
- 체류시간 : 2일
- 일 처리량 : 250 m<sup>3</sup>

(3) 펌프설비

- 처리유량에 따라 변동되나 1일 처리유량을 100m<sup>3</sup>를 기준하면,  
 $Q = 100\text{m}^3/\text{d} \times 1/8\text{hr} \Rightarrow \text{약 } 12.5\text{m}^3/\text{hr}$  (1일 8시간 운전기준)
- 수조 : 체류시간 30min (빈번한 펌프 기동-정지 방지)  
 $V = 30\text{min} \times 12.5\text{m}^3/\text{hr} \Rightarrow \text{약 } 6.3\text{m}^3$  (유효용량)

(4) 교반설비

- 교반기 : 180rpm 이상
- 교반조 : 15min × 12.5m<sup>3</sup>/hr  $\Rightarrow$  약 3.2m<sup>3</sup> (HRT 15min 이상)

(5) 농축설비

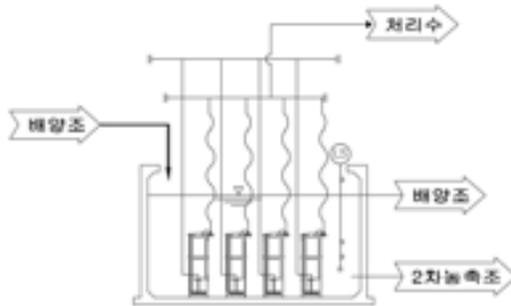
- 침지형 평막을 이용한 변형농축공정
- 조류의 분리막 침착 방지 위해 고른 분포의 Air Scrubbing
- 농축 후 자연 침전시 30min내 침강

[표 4-40] 침지식 분리막 Pilot 제원

ITEM	사양
이송펌프	100L/min x 4mH x 0.2kW
농축조	200W x 600 Lx 1400H
분리막	PES, 0.15 $\mu$ m, 490 X 1,000 x 6T
흡입펌프	자흡식 , 20L/min x 15mH x 300W



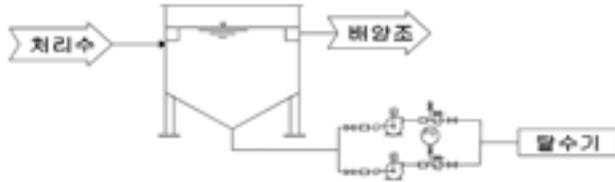
[그림 4-93] 침지식 분리막 실험



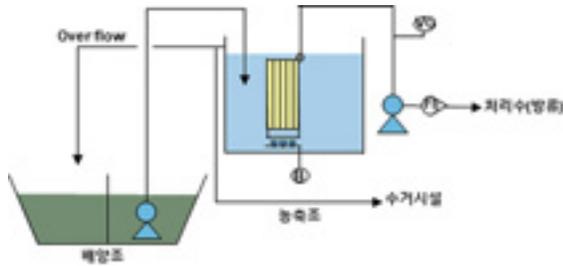
[그림 4-94] 농축조 설계도

(6) 2차 농축조 및 건조

- 농축 조류를 자연 침강법으로 2차 농축 후 탈수 또는 열풍건조



[그림 4-95] 2차 농축조 설계도



[그림 4-96] 조류의 농축 및 반송 시스템

(7) 제어반

- 총 전력량 : 10kW
- 자동운전 : 펌프 Pit에 수위가 차면 그 신호에 의해 수거설비가 자동으로 가동
- 수동운전 : 전기설비 개개로 버튼으로 기동 및 정지

3) 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

가) 운영 및 유지관리를 위한 중점 설계 요소

(1) 전처리조

- 미세유용조류의 전처리시스템은 오염하천 유입수의 입자성 물질을 저감하고, 유기성 영양염류 및 동물플랑크톤 등의 미세유용조류의 생장에 방해되는 물질을 제거하기 위한 시스템이다.
  - 침사조 : 조목스크린과 세목스크린 장치로 구성되며 오염하천수의 대략적인 큰 이물질을 걸러주는 역할과 원수 펌프가 설치되어 유입유량을 일정하게 조정하는 기능을 가진다.
  - 폭기조 : 오염하천 유입수에 잔류하는 유기물 제거를 목적으로 접촉폭기 방식의

미디어와 브로워로 구성

- 스크린조 : 폭기조 월류수를 미세 스크린이 장착된 드럼스크린 방식으로 입자성 물질을 제거하며 막힐 경우 자동 세척 할 수 있도록 구성됨.

☘ 전처리 시스템은 미세조류의 배양 효율의 극대화를 위해 오염하천 등의 유입수의 일련의 처리과정을 거치는 시스템으로서 다음과 같은 역할 및 특화 요소가 필요하다.

- 방해물질 제거 : 무기입자성 물질 (광물) 및 조류생장 방해생물 (혼입조류, 포식생물 등)의 배양조 유입을 사전에 차단하기 위한 제거
- 유기성 영양염류의 유기화 : 조류에 직접 이용되는 무기질소 및 인산염인의 농도를 증가하기 시켜 미세조류 활성을 극대화

## (2) 배양조

☘ 전처리시스템을 거친 유입하천수를 유입시키고 미세용조류 종주를 공급하여 배양하는 시스템 배양시스템은 수로모양 형태의 시스템을 가진다.

☘ 지그재그 형태의 수로로서 중간 중간 수위유지를 위한 수문 설치

☘ 수로의 구조는 대상지역 토양을 굴취하여 평탄화 과정을 거친 후 방수시트(HDPE 필름 등)으로 마무리한다.

☘ 배양시스템은 수리학적 체류시간 (HRT) 2일을 가진 규모로 설치하며, 지속적인 배양을 위해 유입유량의 1/2을 반송하는 시스템을 가진다.

- 수리학적 체류시간 : 2day (Min.) ~ 4day (Max.)

## (3) 수거 및 자원화

☘ 배양된 녹조류를 수거하여 자원화 시설에 투입하기 위하여 응집 반응 후 부상분리 방법으로 수거하고, 수거된 녹조류를 건조 공정을 거쳐 수분을 제거한 분말 형태의 녹조류를 생산하는 시스템이다.

☘ 또한 용수로 사용하는 자원화시설 및 약품 용해수의 생산을 위하여 Macro filter를 통과시켜 양호한 용수를 생산하도록 한다.

☘ 배양조는 24시간 가동

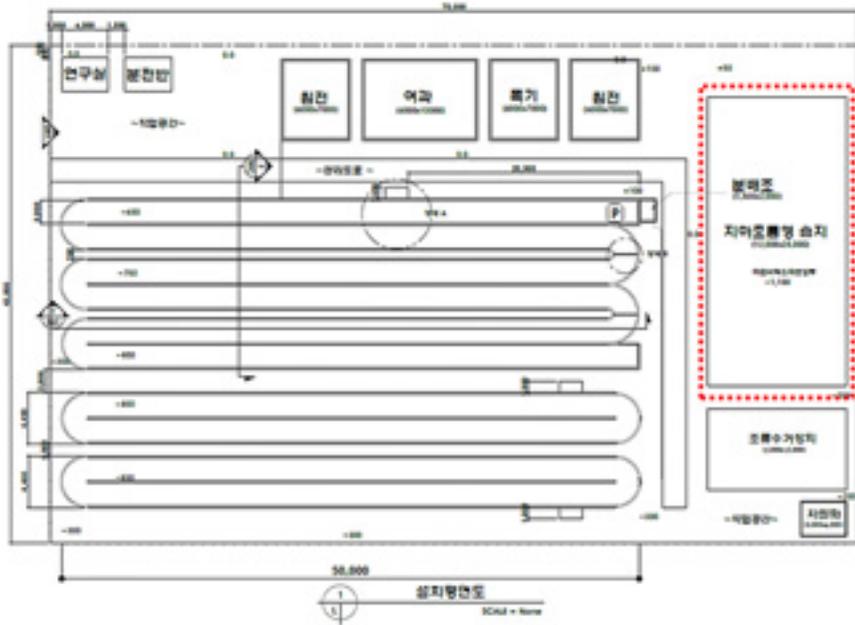
☘ 수거 및 건조는 일일 8시간 가동

## (4) 방류수 안정화 습지

☘ 유입수의 오염물질 처리를 위해 배양된 미세조류는 수거시설을 거쳐 처리수와 분리됨. 그러나 미세조류의 특성상 수거시설을 거친다고 하여도 잔여 되는 미세조류가 존재하며, 배양 중 유입되는 미세먼지 등으로 인해 처리수를 그대로 방류하는 것은 2차 오염을 유발할 수 있다.

따라서 배양-수거 처리된 처리수를 안정화 할 수 있는 여러기법 중 자연적 처리기법 인 인공습지 형태의 안정화 습지를 구성하여 처리수를 안정화하여 방류한다.

- 방류수안정화 습지는 지하흐름습지로 구성되었으며, 360 m<sup>2</sup>(12 m×25 m×1.2 m)로 설치함. 습지유입부 1 m 구간과 습지유출부 1 m 구간에는 자갈을 채웠으며, 습지 중앙부에는 왕사로 채워 모래여과 기능을 이용하여 체류시간은 69 hr (투수계수 0.5 적용)로 하여 방류수를 안정화한다.



[그림 4-97] 방류수 안정화 습지 설치 도면 예시



[그림 4-98] 방류수 안정화 습지 설치 예시

## 나) 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

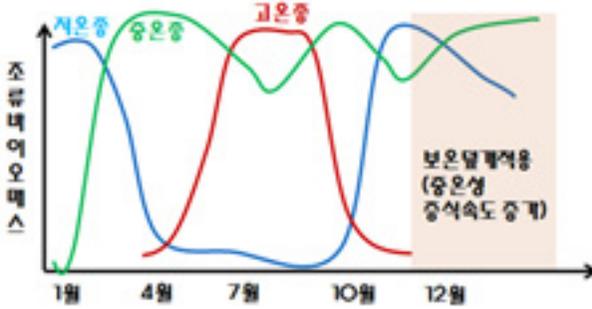
- 미세조류 수처리시스템의 최적 조건 및 효율을 도출하기 위하여 다음과 같이 운영 계획을 수립하고 그 계획에 따라 시스템을 운영이 필요하다.
- 기본 운영조건 및 종별 운영조건에 따라 기본 인자의 최적 운영방안에 대한 운영 안을 제시하였다.
- 기본인자로는 최적 체류시간(배양시간), 배양온도(덮개 유무), 최적 유입유량 및 최적 반송율 등이 필요하다.
- 체류시간은 기본적으로 체류시간이 길수록 배양효율 및 수처리 효율이 높게 나타나지만, 지나친 체류시간 유지는 미세조류의 폐사 및 천적생물의 발생 등 문제점이 발생됨. 처리시스템 공간의 경제성 등을 고려할 때 최적체류시간은 2일이 적합한 것으로 판단된다.
- 배양온도는 저온수기(동절기)뿐만 아니라 중온수기, 고온수기에서도 수처리 효율에 영향을 주는데, 덮개를 설치한 배양조에서는 외부 오염물질의 유입빈도가 낮고 배양조의 효율이 우수함을 보임. 이에 따라 노지 배양시 보온덮개의 설치가 적합하다고 판단된다.
- 최적 반송률은 물순환 속도와 연관이 있는데, 반송률이 높을수록 물 순환속도는 빨라지게 되므로, 유입유량을 조절하여 반송률은 50%을 유지할 시 최적의 배양효율이라고 판단된다.

### (1) 기본운영 조건

- 대상 시설에 대하여 미세조류 배양시간(체류시간), 기온/수온, 물 순환 속도, 수처리 효율(유입 및 유출 수질), 배양밀도를 기본 운영 조건으로 이용해야 한다.
- 체류시간은 2~4일에서 미세조류 생산량, 수처리 효율 등에 따라 적절한 선택 및 적용 필요하다.
- 계절변화에 의한 대상지 주변 기온 및 수온(10 ℃~30 ℃) 변화에 따라 운영이 필요하며, 특히 동절기에는 보온덮개의 이용도 권장한다.
- 물순환 속도는 수차의 속도 조절을 통하여 0.03 m/s~1 m/s 정도로 유지가 필요하다.

### (2) 유용미세조류 종별 운영 조건

- 계절별 최적 운영을 위하여 유용미세조류 종별 배양전략을 수립하고 그에 따라 유용미세조류의 공급 계획이 필요하다.
- 사계절 운용이 가능하고 환경변화에 따른 종 감수성을 개선하여 탄력 저항성을 강화하여 기후변화를 고려한 혼합종 적용이 필요하다.



[그림 4-99] 미세조류 수처리 시스템 유용조류 배양전략

(3) 자원화 운영 조건

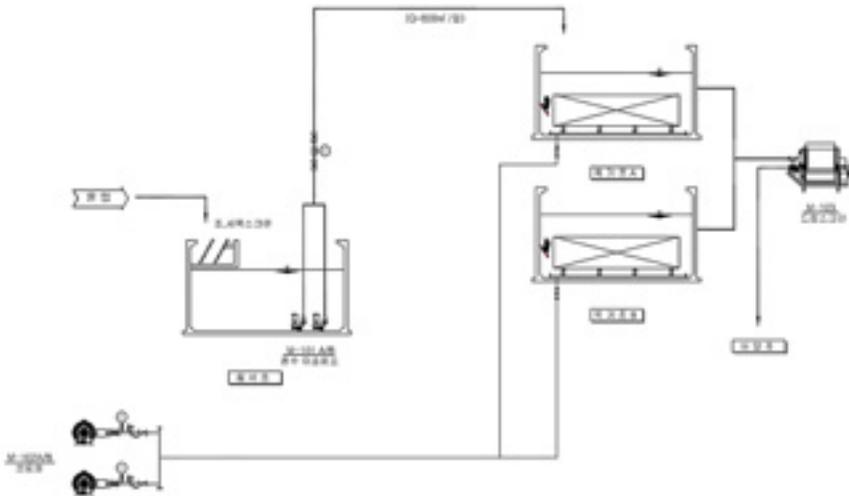
- 현장에서 약품을 용해시키기 위하여 청수공급이 가능하도록 한다.
- 현장에 이물질이 날아들어 운전상 어려움이 있으니 하우스 설치한다.
- 장기간 운전 정지시 부패한 저장물을 폐기할 수 있는 저장조 설치한다.

4) 설계예시 및 시방서

가) 설계예시(800m<sup>3</sup>/day 처리시)

(1) 전처리 시스템

- 공정도

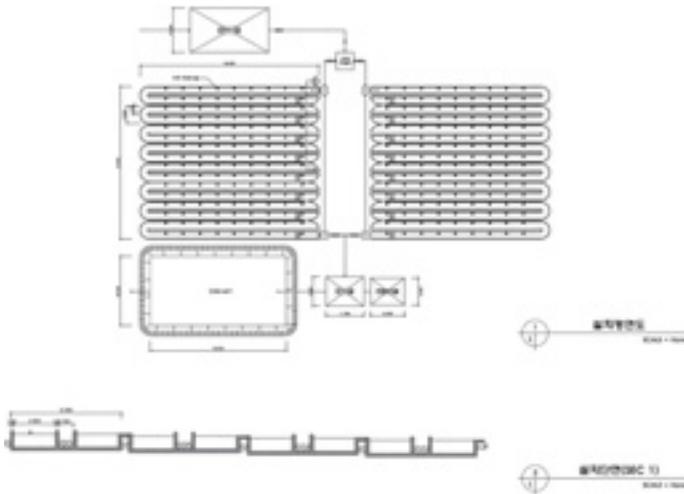


☉ 사양

- Q'ty : 1unit
- Capacity : 800m<sup>3</sup>/day
- Material : STS304 etc.
- Accessories
  - 조,세목 스크린 × 2sets
  - 접촉 폭기조 × 1set
  - 드럼 스크린 × 1set

(2) 유용미세조류 배양 시스템

☉ 공정도

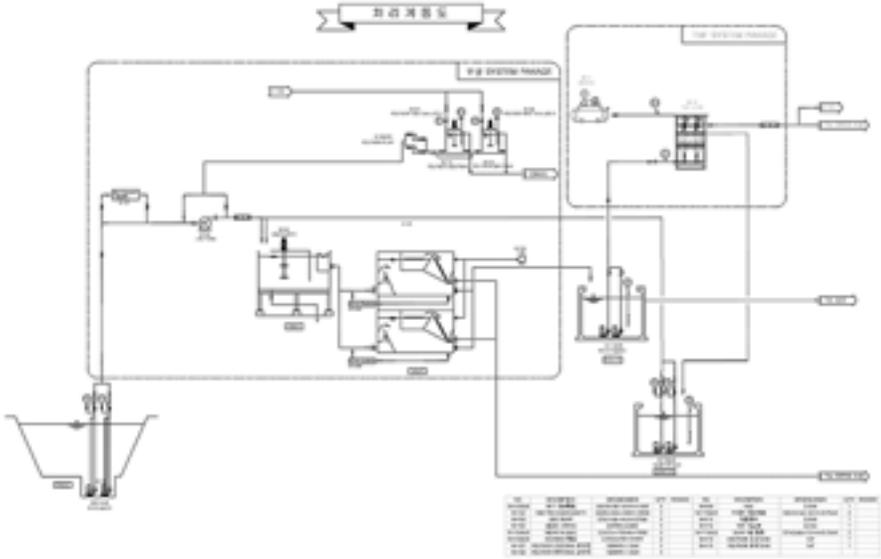


☉ 사양

- Q'ty : 2unit
- Capacity : 800m<sup>3</sup>/day
- 면적 : 10,500m<sup>2</sup> (70m×150m)
- Material : 토양, HDPE, 콘크리트 등 etc.
- Accessories
  - 배양수로 × 2sets
  - 수차 × 6sets
  - Pump × 4sets
  - 유량분배조 : 1unit

### (3) 유용미세조류 수거 시스템

#### 공정도

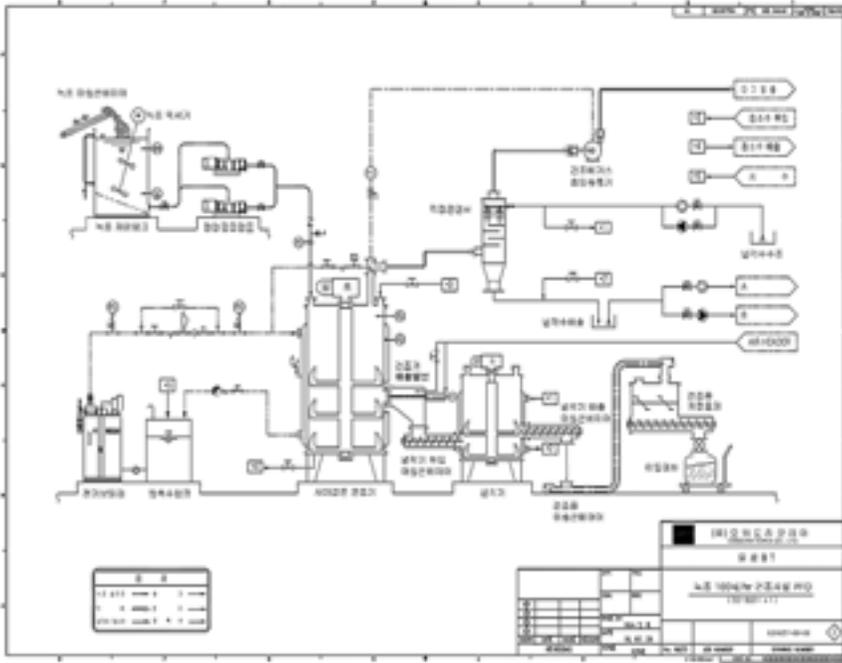


#### 사양

- Q'ty : 1unit
- Capacity : 800m<sup>3</sup>/day
- Material : STS304, PE etc.
- Accessories
  - Electro Aggregator × 1set
  - Coagulation Reactor × 1set
  - DAF × 2sets
  - Chemical Dosing System × 1set
  - Pump × 8sets
  - Instrument × 1Lot
  - TMF System × 1unit

(4) 유용미세조류 자원화 시스템

공정도



사양

- Q'ty : 1unit
- Capacity : 수거녹조 800kg/day기준
- Material : STS304 etc.
- Accessories
  - 건조기 × 1set
  - 파쇄기 × 1set
  - 냉각기 × 1set
  - 전기히터 × 1set
  - 열회수기 × 1set
  - 집진기 × 1set

### 5) 최신기술 및 융복합기술

- ❶ 배양시스템은 농업용저수지에서 발생하는 녹조현상 원인인 오염하천수를 미세조류를 이용하여 정화하는 것이 가장 큰 목표임. 따라서 이에대한 초점을 맞추어 배양시스템을 설계 및 설치하여야 한다.
- ❷ 다양한 배양시스템 기술 중 유입되는 오염하천을 효과적으로 처리하기 위해서는 유입유량이 다량으로 유입되고 있으며, 바이오매스의 회수 보다는 수처리의 목표에 맞춘 Open pond system이 적합할 것으로 판단된다. 또한 오염물질이 지속적으로 발생하여 하천으로 유입되고 있기 때문에 Batch type의 기존 Open pond system으로는 처리의 한계가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 보완한 연속식 흐름을 발생시키는 Open pond system을 적용한다.
- ❸ 연속흐름식 배양시스템 (FCC)로서 연속적으로 고밀도로 미세조류를 배양하기 위하여 1차적으로 유입된 원수의 전처리 과정을 거쳐 연속흐름식 수조에 미세조류를 고밀도로 배양하여 이를 통해 오염물질을 저감시키고, 오염물질을 저감한 처리수를 후처리과정을 통해 최종 방류하여 원수에 함유된 영양염류 및 유무기 오염물질을 저감하는 시스템이다.
- ❹ 오염 부하량이나 조류의 종에 따라 체류시간을 조절하기 위하여 Open pond system은 Raceway 방식으로 구성하였고 수차의 회전속도와 수중에 작용하는 수차의 길이를 조정하는 방식을 선택하였으며, 연속흐름방식은 배양수로의 연결부에



[그림 4-100] 고밀도 연속흐름식 배양 시스템 및 수차반송시스템 개략도

높이 조절이 가능한 위어에 설치하여 높이를 조정하여 체류시간을 조절하는 방식으로 구성한다. 또한 지속적인 유입수의 공급에 따른 고밀도 조류 배양을 유지하기 위하여 배양수는 일정부분 반송되어 유입수와 혼합될 수 있도록 반송 시스템을 도입한다. 이를 통하여 자연유하식 고밀도 연속흐름식 배양시스템을 구성한다.

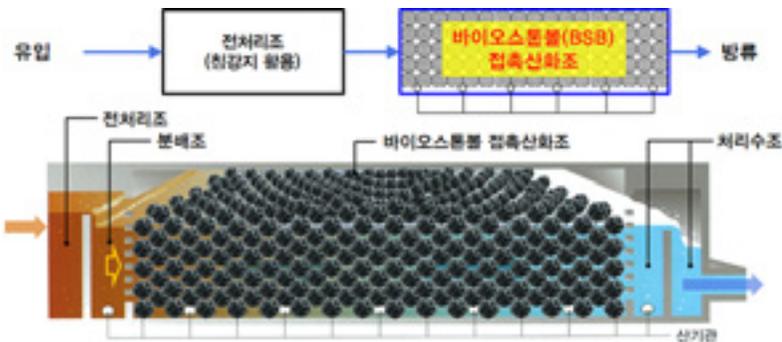
## 자. 바이오스톤볼 접촉산화시설

### 1) 정의

- “바이오스톤볼(Bio-Stone Ball, BSB)”이란 크기 2~3cm 쇄석(자갈)을 친환경 에폭시계 수지로 접착하여 직경 10cm 크기의 구형으로 성형 후, 담체 내·외부 표면에 천연셀룰로오스, 백토, 물, 복합유용미생물로 구성된 미생물 코팅제로 함침 및 건조시켜 제조한 수처리용 담체이다.
- 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설은 수처리용 접촉 담체인 바이오스톤볼 내외부 표면에 부착 성장하는 호기성, 임의성, 혐기성 미생물에 의한 유기물과 영양염류의 산화 및 분해(생물학적 처리)와 바이오스톤볼에 의한 여과기능(물리적 처리) 등을 이용한 수질개선공법이다.



[그림 4-101] 수처리용 바이오스톤볼(Bio-Stone Ball, BSB)



[그림 4-102] 바이오스톤볼 접촉산화시설의 기본구성 및 흐름도

**[표 4-41] 바이오스톤볼 접촉산화시설의 기능 및 역할**

구분	기능 및 특성
전처리조	<ul style="list-style-type: none"> <li>입자성 오염물질을 침전시켜 제거</li> <li>바이오스톤 접촉산화조 시설 보호 및 수처리 효율 제고 목적</li> <li>침강지, 침사지 등 활용</li> </ul>
분배조	<ul style="list-style-type: none"> <li>바이오스톤볼 접촉산화조 전단부로, 접촉산화조에 수평 흐름으로 균등하게 유입수를 분배하는 역할</li> </ul>
바이오스톤볼 접촉산화조	<ul style="list-style-type: none"> <li>바이오스톤볼 사이의 공극과 내부 쇄석 사이의 공극에 의해 형성되는 유리(流離) 현상을 이용한 입자성 고형 유기물 분리 및 분해</li> <li>바이오스톤 볼에 부착 성장하는 호기성, 임의성, 혐기성 미생물에 의한 유기물과 영양염류의 생물학적 처리</li> <li>현장여건에 따라 상부 수생식물 식재 가능(습지형)</li> </ul>

## 2) 특징

- 자갈 또는 쇄석을 접착력이 높은 친환경 수지로 접합하여 강도와 내구성을 극대화함으로써 구조적으로 안정하고 반영구적으로 사용이 가능하다. 바이오스톤볼을 구성하고 있는 쇄석들에 의해 형성되는 내부공극과 바이오스톤볼 사이의 간극에 의해 생기는 외부공극으로 인해 접촉산화조 내에서 60% 이상의 공극률이 형성됨으로써 유체 흐름이 원활하고 폐색현상이 거의 없다.
- 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설에서는 바이오스톤볼 내부와 외부에 유속차이로 인한 유리(流離) 현상이 발생함으로써 고액분리와 접촉 침전 효과가 높다. 운전 초기 다양한 미생물 군집으로 구성된 생물막의 형성 속도 및 부착 미생물의 개체수 증가 효과를 제공함으로써 운전 초기에 미생물 안정화 기간을 단축시키고, 유입수 유량이나 수질 변동으로 인한 비정상적 조건에서도 안정적인 수처리 기능 유지가 가능한 기술이다. 바이오스톤볼을 충전한 접촉조내에서는 다양한 미생물이 서식할 수 있는 혐기성, 임의성, 호기성 조건이 동시에 형성되어 유기물질과 영양염류를 함께 처리한다. 바이오스톤볼 접촉산화시설은 생물학적 반응과 물리적 기능 등이 단일 반응조에서 이루어지는 컴팩트한 기술이다.
- 수질정화를 위한 수리학적 체류시간이 짧아 부지면적이 매우 적게 소요된다. 바이오스톤볼 내외부 표면의 부착 미생물에 의한 유기물 산화와 유기물을 먹이로 하는 원생동물과 후생동물 및 고등동물을 공존시켜 일반 접촉산화공법보다 슬러지 발생이 적다.

### 3) 장단점

#### 가) 장점

- 접촉 담체가 친환경적이고 반영구적으로 사용 가능함
- 유기물과 SS, 총인 및 클로로필-a의 제거 효율이 높음
- 유체 흐름을 방해하는 폐색현상이 거의 없음
- 슬러지 발생 적음
- 시설 설치비용이 경제적임(타 접촉산화공법 대비 약 40% 이상 절감)
- 소요 부지면적이 작음(인공습지의 약 1/50~1/100)
- 구조물 단독 또는 상부 식생이 적용된 습지형이나 수로형으로 다양하게 적용가능

#### 나) 단점

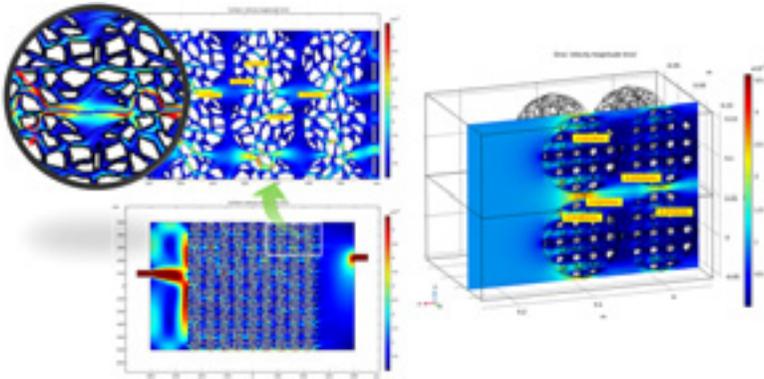
- 모래 및 토사 등 유입방지를 위한 전처리시설(침사지, 침강지 등) 필요
- 초기강우 등 대규모 유량 처리 곤란

### 4) 정화원리 및 효율

#### 가) 정화원리



[그림 4-103] 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설의 정화원리



[그림 4-104] 바이오스톤볼 접촉산화시설의 전산유체유동해석(CFD)

접촉 침전, 분리, 생물 흡착과 미생물에 의한 유기물과 영양염류의 산화와 환원이 정화작용의 주를 이루고 있으며, 바이오스톤볼은 물리적·생물학적 정화작용의 효율을 극대화시키는 접촉재이다. 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설은 다음과 같은 정화작용을 갖는다.

(1) 접촉 침전 효과

담채와 담채 사이에는 대소의 간극(間隙)이 존재하는데, 그 공간은 작고 침전 거리가 극히 짧기 때문에 침전이 일어나기 쉬움.

(2) 생물 흡착 효과

수중의 부유물과 접촉 여재는 미약하지만 상반되는 전기적 성질을 갖기 때문에 흡착 현상이 생기며, 여재 표면에 생긴 생물막의 점성으로 부유물이 흡착됨

(3) 생물 산화 및 분해 효과

여재 표면에 발달한 생물막으로 수중의 유기물이 흡수되어 미생물의 에너지원이 되고, 이 때문에 유기물의 일부는 생물체로 동화되고, 일부는 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O로 산화 분해됨

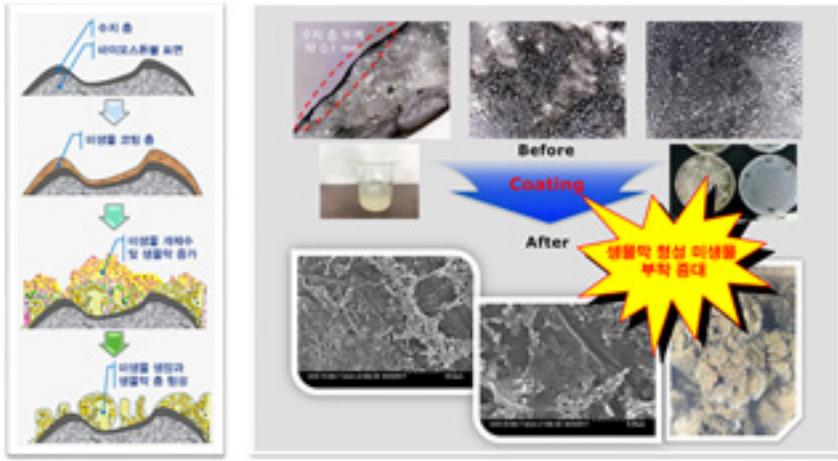
(4) 슬러지의 분해 및 감량 효과

침전 및 흡착에 따라 수중에서 분리되고, 또 생물체가 된 슬러지는 다시 미생물의 먹이가 되면서 슬러지에 포함된 유기물은 약 1/4까지 감소함. 또 동시에 슬러지의 체적은 시간이 흐름에 따라 압밀(壓密)에 의해 1/10~ 1/15까지 감소함

(5) 부유성 물질의 정화

접촉산화법에서는 유기성 SS 뿐만 아니라 무기성 SS도 생물막의 표면에 부착되어 생화학적 작용을 하므로, 부유성 물질의 제거 및 분해 작용에 중요한 역할을 함 특히, 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설은 바이오스톤볼 내부와 외부에 유속차

이로 인한 유리(流離) 현상이 발생함으로써 고액분리와 접촉 침전 효과가 높다. 설펜 결합제로 사용된 천연 수지와 미생물 코팅액 성분인 천연셀룰로오스와 백토로 도포된 바이오스톤볼의 표면은 생물막 형성에 유리한 표면 환경을 제공함으로써, 결국 바이오스톤볼 표면에 잘 발달한 생물막은 생물 흡착 효과와 생물 산화 및 분해 효과를 향상시킨다.



[그림 4-105] 바이오스톤볼 표면의 생물막

● 바이오스톤볼 내외부 표면의 부착 미생물에 의한 유기물 산화와 유기물을 먹이로 하는 원생동물과 후생동물 및 고등생물을 공존시켜 슬러지 발생량을 최소화시킨다.

나) 정화효율

[표 4-42] 바이오스톤볼 정화효율

구분	유입수	유출수	처리효율 (%)
BOD (mg/L)	9.7 (4.3~12.2)	2.9 (0.3~4.7)	68.9 (34.9~97.4)
COD (mg/L)	20.1 (7.8~47.3)	11.0 (3.3~11.4)	44.4 (26.1~64.7)
TOC (mg/L)	8.4 (4.6~18.2)	6.6 (3.7~14.7)	18.9 (8.5~50.0)
SS (mg/L)	45.5 (20.0~120.0)	7.7 (1.4~28.0)	85.5 (73.1~96.2)
Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )	163.5 (40.0~500.7)	30.3 (3.7~99.9)	81.9 (57.2~91.8)
T-N (mg/L)	3.899 (1.853~8.594)	2.930 (1.350~6.115)	23.2 (6.4~39.5)
T-P (mg/L)	0.321 (0.167~0.854)	0.156 (0.046~0.425)	51.8 (15.7~80.1)

“양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리 기술개발 및 적용”의 연구결과

## 5) 설치기준 및 설계인자

- 자연친화적인 측면 또는 경관적인 측면을 고려하여, 구조적 안정성에 문제가 없는 범위 이내에서는 가능한 토목 구조물은 최소화하는 것이 바람직하다.
- 바이오스톤볼 접촉산화시설은 저수지로 유입되는 평상시 유량 전체를 처리하는 것을 기본 원칙으로 하며, 강우시에는 시설내부로 토사가 유입되지 않도록 유입수를 차단하는 것이 바람직하다.
- 바이오스톤볼 접촉산화시설은 미생물을 이용한 생물학적 처리공법의 특성면에서 유기물의 흡착, 산화, 분해 등의 과정이 원활히 일어날 수 있도록 최소한의 유하거리(5m 이상) 및 체류시간(1.3hr 이상)이 확보되도록 설계하여야 한다.
- 바이오스톤볼 접촉산화시설 하부에는 슬러지 퇴적 및 오염물질 재용출 또는 바이오스톤볼 공극 폐색을 방지하기 위한 공기 또는 수세척 설비를 갖추는 것이 바람직하며, 역세척 주기는 주1회, 월1회, 반기1회, 년1회 등 현장여건에 따라 선택적으로 시행한다. 역세척 배관은 폭 1~2m 간격, 공기 또는 세척수 토출공은 길이 50cm ~ 1m 간격으로 배치한다. 단, 세척 및 인발설비는 전기를 이용한 동력시스템이 가장 효율적이나, 현장 여건상 부득이한 경우에는 슬러지 인발배관을 지상부 호스 커플링으로 연결하여 필요시, 주기적으로 버큘로리 등을 이용하여 강제흡입하여 수동인발하거나, 콤푸레샤를 이용하여 강제 수동역세할 수 있도록 구성하는 것이 좋다.
- 유입 BOD 기준 20mg/L 이하의 농업용 저수지 유입수는 경제성을 고려하여 자체 용존산소(DO)만으로 처리하는 무폭기 시스템으로 설계할 수도 있다. 다만, 항상 일정한 처리효율을 유지하기 위해서는 유입 분배조에 상시 공기를 공급하는 전단 폭기방식으로 설계 및 운전하는 것이 가장 효율적이다.
- 바이오스톤 접촉산화조 유입수의 DO는 평균 6~7mg/L 이상을 유지하여야 한다. 다만 방류수의 저수지 영향을 고려하여 최소 DO 2mg/L 이상이 유지되도록 운영하는 것이 바람직하다. 따라서, 처리수의 DO가 낮은 경우에는 처리수조에 별도의 재폭기 시스템을 구축하는 것이 좋다.
- 바이오스톤볼 접촉산화시설을 습지 형식으로 조성할 경우, 상부에 식재되는 식물은, 가능한 수질정화효율이 높고, 다년생이며, 경관성이 좋은 노랑꽃창포, 갈대, 부들, 물억새, 부처꽃, 줄, 세모고랭이, 달뿌리풀 등의 정수식물을 적용하는 것이 바람직하다.

● 접촉산화조의 규모(V)

$$V(m^3) = \frac{Q \cdot HRT}{24}$$

여기서, Q : 설계 유입유량(m<sup>3</sup>/day), HRT : 수리학적 체류시간(hr)

- 정류벽의 규격은 접촉산화조의 폭과 유효높이와 동일하게 결정한다. 다만, 정류벽에서 정류공의 면적은 전체의 40 % 정도의 수준으로 산정한다.
- 정류공의 개수는 정류벽에 맞는 바이오스톤볼의 개수와 동일하게 산정한다. 또한 정류공의 직경은 바이오스톤볼이 유실되지 않는 크기로서, 정류공의 면적에서 정류공의 개수로 나누어 산정한다.
- 유입 BOD 기준 20mg/L 이하의 농업용 저수지 유입수는 경제성을 고려하여 자체 용존산소만으로 처리하는 무폭기 시스템으로 설계할 수 있다. 다만, 항상 일정한 처리효율을 유지하기 위해서는 유입 분배조에 상시 공기를 공급하는 전단 폭기방식으로 운전하는 것이 효율적이다.
- 역세척 배관은 폭 1~2m 간격, 공기 또는 세척수 토출공은 길이 50cm~1m 간격으로 배치한다.

6) 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

가) 운영 및 유지관리를 위한 중점 설계 요소

- |                |         |
|----------------|---------|
| ● 전처리 시설       | 유입수 분배조 |
| ● 바이오스톤볼 접촉산화조 | 처리수조    |
| ● 송풍기          | 산기관     |
| ● 펌프류          | 밸브류     |
| ● 콤프레셔         |         |

나) 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

- 전처리 시설의 모래침전 유무 또는 협잡물 부착 상태 등
- 유입수 분배조 유입수의 정상적 유입점검, 유입구내 토사 퇴적량 조사 및 인발
- 바이오스톤볼 접촉산화조 이물질 제거, 슬러지 퇴적 상태 및 폐색 여부 등
- 처리수조의 협잡물에 의한 막힘 점검, 미처리 SS 및 탈리 미생물 유출 여부 등
- 송풍기 오일 주유상태, 동력전달 벨트상태, 기계 이상 소음 유무상태, 베어링 및 구동부 온도, 전류계 및 압력계의 정상 여부 등
- 산기관 막힘 여부 및 슬러지 부착 상태, 펌프류 이물질 여부 등 수시 확인

- 밸브류 수동작동여부, 부식 및 볼티이완상태, 작동부 그리스 및 오일주입상태
- 콤프레셔 오일 주유상태, 동력전달 벨트상태, 기계 이상 소음 유무상태, 베어링 및 구동부 온도, 전류계 및 압력계의 정상 여부 등
- 바이오스톤볼 접촉산화시설을 토목구조물이 없는 습지 형식으로 조성할 경우,
  - 상부 식재식물은 가능한 수질정화효율이 높고, 다년생이며, 경관성이 좋은 노랑꽃창포, 갈대, 부들, 물억새, 부처꽃, 줄, 세모고랭이, 달뿌리풀 등의 정수식물을 적용한다.
  - 식재 이후 식재한 식생이 잘 활착할 수 있도록 경쟁식물을 제거하거나 성장을 억제시키는 것이 바람직하다.
  - 동절기 고사에 의한 오염물질 재용출과 식물의 고사체 부패에 의한 유기물 증가를 방지하기 위하여, 년1회(동절기 고사전) 예초하는 것이 바람직하다.
  - 또한 주기적인 점검을 통해 외래 잡초류 및 환삼덩굴류의 덩굴식물은 자생식물에 비해 침식안정성, 생태서식처, 하천경관 등의 측면에서 불리하므로 제초작업을 하는 것이 바람직하다.
  - 특별히, 수질개선을 위한 습지 등의 보조적인 공정으로 활용하는 경우에는, 목표수질 달성에 필요한 기준 체류시간(1.3hr) 또는 유하거리(5m)와 무관하게 현장여건에 맞추어 단순 충전 포설 깊이, 폭, 길이로 설계 및 적용이 가능하다.

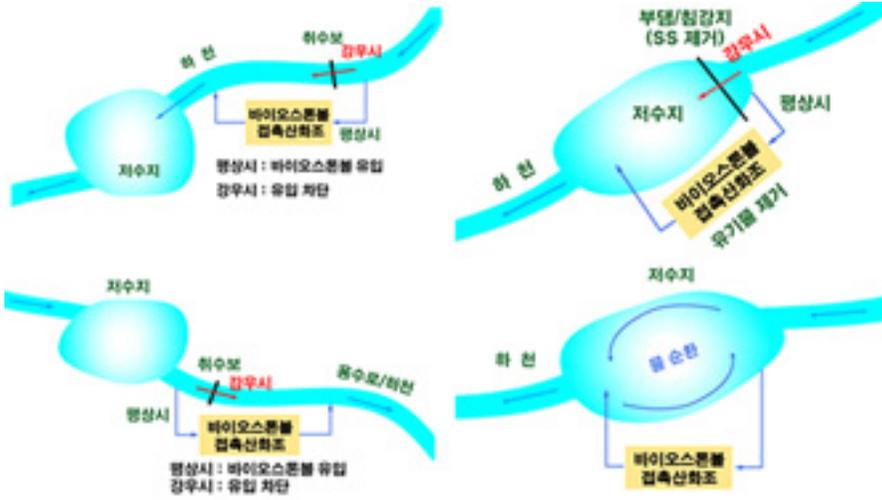
## 7) 설계예시 및 시방서

### 가) 설계예시

- 바이오스톤볼 접촉산화시설은 구조물형 또는 습지형의 단독시설로 적용하거나, 조합형 인공습지 시스템과 연계하여 인공습지의 지하 흐름형 부분 공정으로서 활용할 수도 있다.
- 설계 유형 1(단독처리형)

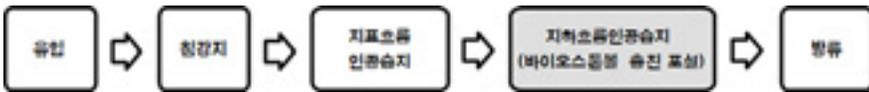


[그림 4-106] 설계 유형 1(단독처리형)

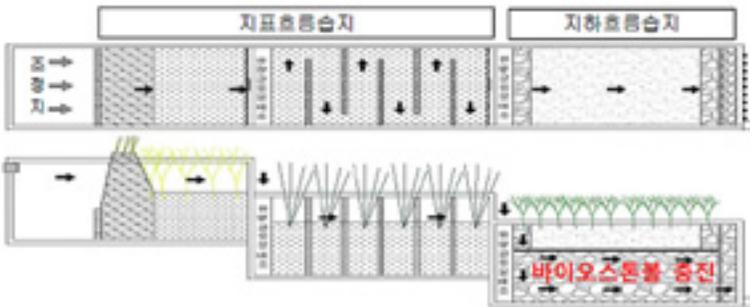


[그림 4-107] 설계 유형 1 (단독처리형) 적용 예시

● 설계 유형 2(지하흐름 흡지형)

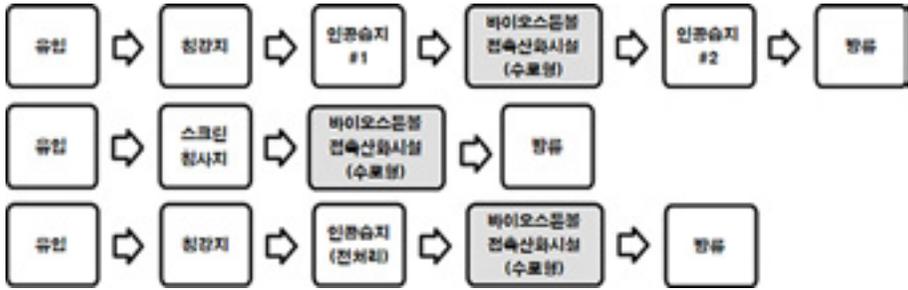


[그림 4-108] 설계 유형2(지하흐름 흡지형)

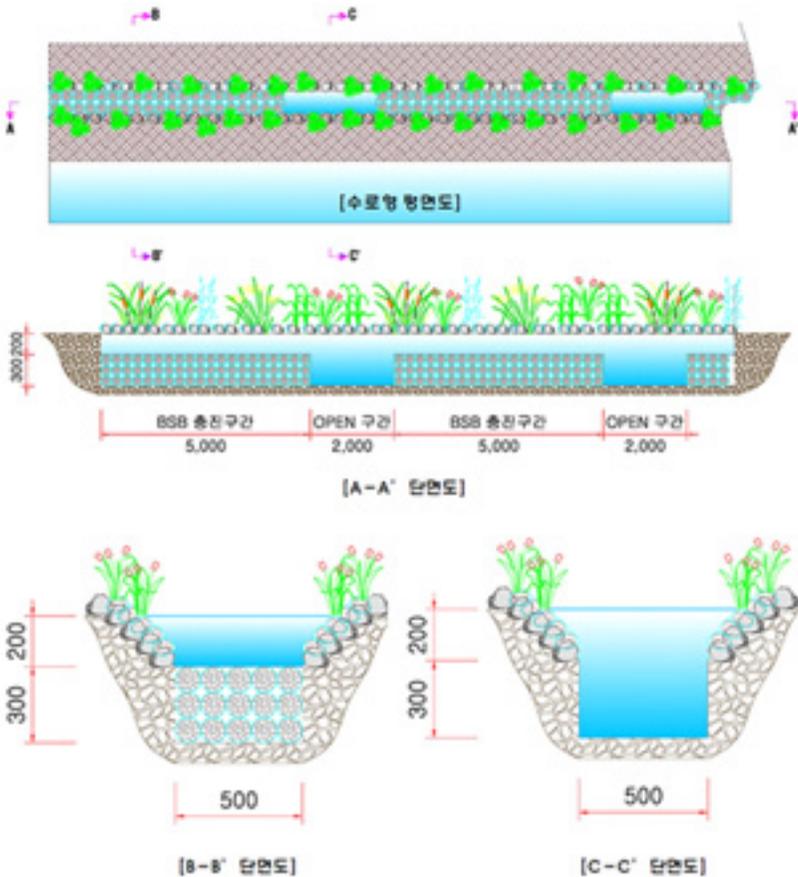


[그림 4-109] 설계 유형2(지하흐름 흡지형) 적용 예시

설계 유형 3(수로형)



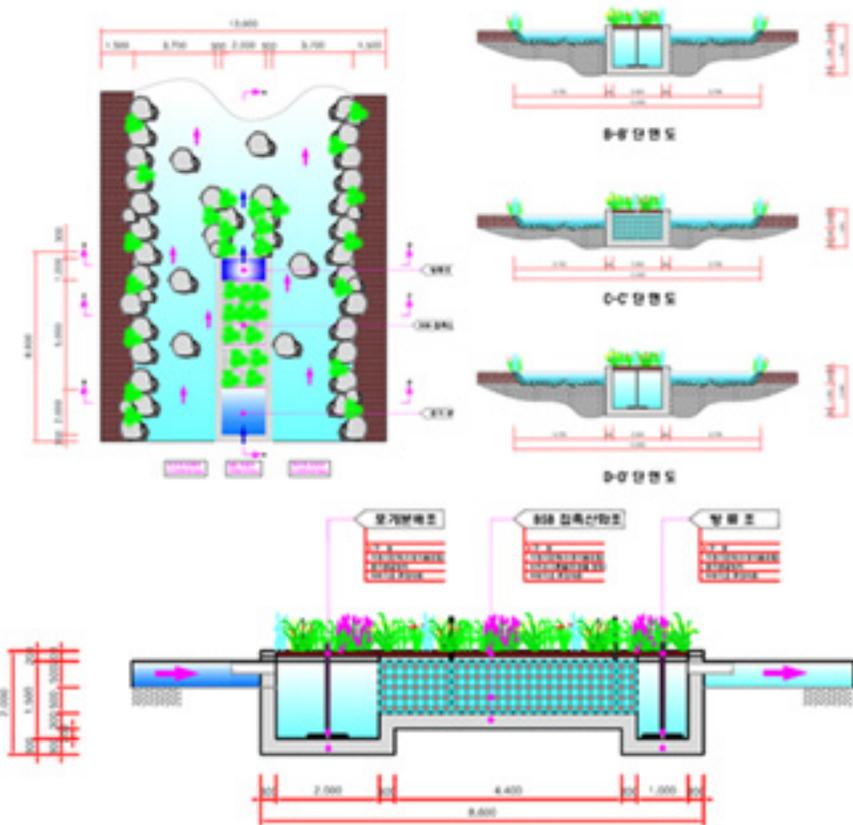
[그림 4-110] 설계 유형 3(수로형)



[그림 4-111] 설계 유형 3(수로형) 설계 예시(자연수로식)

기타 응용 및 활용방안

복합유용미생물이 함침 코팅된 쇄석이나 자갈을, 바이오스톤볼의 형태 또는 블록형, 봉형, 판형 등으로 다양하게 성형 제작하거나, 일정한 틈이 없이 접합수지만을 도포 및 혼합하여 일반 자갈포설과 같은 방식으로 무작위 포설하는 등 현장 여건에 맞게 선택적으로 응용하거나 활용 가능하다.



[그림 4-112] 설계 유형 3(수로형) 설계 예시(암거수로식)



[그림 4-113] 기타 응용 및 활용방안

- 접합수지 결합에 의한 구조적 안정성 및 내구성 확보
- 부착미생물에 의한 오염물질 분해 및 쇄석 여과에 의한 수질개선 기능
- 쇄석간 공극에 의한 자연 식물 생육조건 확보(자연발아 유도)
  - (a) 수로 또는 습지 사면이나 호안 : 농업용 관개수로, 인공습지 또는 습지 연결수로 등의 호안재로 활용, 콘크리트 블록 또는 식생매트 대체하여 호안 침식 등에 대한 내구성 확보
  - (b) 부댐 조성 : 부댐 내부 충전재로 활용
  - (c) 취수보 또는 여울 조성 : 콘크리트보를 자연형으로 대체
  - (d) 취수보 에이프런 하류부 세굴방지 : 보 하류부 낙차에 의한 세굴 방지, 거석이나 돌망태 또는 콘크리트블록제품 대체
  - (e) 콘크리트보 자연형 피복 : 기존 콘크리트 보(狀) 표면에 포설하여 피복, 피복층 공극 배양토 타설 또는 자연 퇴적 유도, 공극간 토양에 의한 식물 생육 또는 자연발아 유도, 식물 생육형 자연형보로 전면 개체 가능
  - (f) 자연형 어도(魚道) 조성 : 기존의 콘크리트 블록형 어도 대체, 자연형 계단격벽 조성 및 격벽 식물 생육 유도, 식물 생육에 의한 어도 이용 물고기 먹이원 확보로 생태적 기능성 제고

#### 나) 시방서

- 바이오스톤 접촉산화시설은 미생물을 이용한 생물학적 처리공법의 특성면에서 유기물의 흡착, 산화, 분해 등의 과정이 원활히 일어날 수 있도록 최소한의 유하거리(5m이상) 및 체류시간(1.3hr이상)이 확보되도록 설계하여야 한다. 단, 인공습지 등 타 공법과 연계하는 보조적인 공정으로 활용하는 경우에는 체류시간과 무관하게 단순 충전 또는 포설할 수 있다.
- 바이오스톤볼은 최대 직경이  $10 \pm 0.5\text{cm}$ , 쇄석 크기 20~25mm, 볼 내부공극률 30~50%, 충전체적 전체 공극률 60%이상, 압축강도 3MPa 이상, 반영구적이어야 한다.
- 바이오스톤볼 접촉수지는 수중 생물에 위해가 없는 친환경적인 재료이어야 하며, 하절기 및 동절기를 고려하여 내열성 및 내한성을 가진 것이어야 한다. 또한 장기간 사용시 접착력이 떨어지지 않도록 내구성을 가진 것이어야 한다.
- 미생물 코팅액은 천연 셀룰로오스, 백토가 주원료인 천연재료로 배합된 것으로서, 바이오스톤볼을 쉽게 함침 및 건조될 수 있도록 묽은 점도를 유지하여야 하며, 함침 후 자연 건조는 30분~1시간 이내에 이루어지는 것이 바람직하다. 또한, 수처리시설 운전 중 물에 의해 벗겨지거나 분해되지 않아야 하며, 피복된 코팅액 내부의 미생물이 쉽게 활성화될 수 있는 성상이어야 한다.

- 바이오스톤볼 접촉산화시설 하부에는 슬러지 퇴적 및 오염물질 재용출 또는 바이오스톤볼 공극 폐색을 방지하기 위한 공기 또는 수세척 설비를 갖추는 것이 바람직하며, 역세척 주기는 주1회, 월1회, 반기1회, 년1회 등 현장여건에 따라 선택적으로 시행한다. 역세척 배관은 폭 1~2m 간격, 공기 또는 세척수 토출공은 길이 50cm ~ 1m 간격으로 배치한다.

## 차. 사상성 조류매트 산화지 공법

### 1) 개요

#### 가) 정의

- 사상성 조류매트 산화지(Filamentous Algae Matrix Pond)는 산화지 처리공법의 전형적인 문제점인 조류의 유출에 의한 2차적인 오염을 방지하기 위하여 사상성 부착조류를 선택적으로 이용한 공법이다.

#### 나) 특징

- 사상성 조류매트 고속산화지는 사상성 조류의 과도한 증식을 인위적으로 조성하여 algae-matrix를 생성시켰으며, 이러한 algae-matrix는 유기물과 영양염류에 대한 높은 제거효율과 단회로 방지 등의 부수적인 효과도 얻을 수 있는 방법이다.
- 사상성 조류매트 산화지로서 부착성 사상성 조류인 *Oedogonium* sp. 및 *Spirogyra* sp.를 우점종으로 하는 조류군을 증식시켜 조류합성에 의한 잔류 유기물질과 용존성 인과 질소 제거를 주 기능으로 한다.
- 후처리조인 유출수 제어조(Effluent Control Basin)로서 산화지에서 높아진 pH를 안정화하고, 방류수역으로의 조류의 유출을 제어하며, 산화지내에서 미 제거된 용존성 인과 질소를 황성탄 흡착으로 제거하는 고도처리 기능을 수행하는 시설이다.
- 전수심에 걸쳐 조류의 과도한 증식을 유인하여 수표면 전체에 스폰지 형태의 algae-matrix를 생성, 오염수를 수층 전체에서 접촉을 원활하게 만들어 영양염류에 대한 높은 제거효율(수질개선효과)을 가져오고, 단회로 방지 등의 부수적인 효과도 얻을 수 있는 수처리기술이다.

#### 다) 장점 및 단점

[표 4-43] 사상성 조류매트 산화지공법의 장점 및 단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 처리효율이 양호하다.</li> <li>◦ 건설 및 운전비용이 저렴하다.</li> </ul>	<p>하폐수 처리시 수리학적 체류시간이 적절하지 않을 경우, 조류의 유출로 유기물질 및 질소, 인의 처리효율이 크게 저하시켜 오히려 질소, 인의 농도를 증가시킬 가능성도 있다</p>

## 2) 정화원리 및 정화효율

### 가) 정화원리

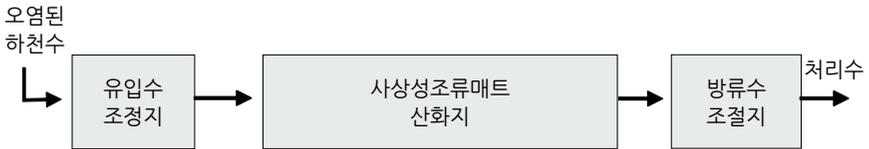
조류매트 산화지는 조류의 성장에 따른 생체량으로 전환하여 증식된 조류를 회수하는 원리로서, 무동력 친환경적으로 오염물질을 제거하는 수질정화공법이다. 이 공법은 유기물의 농도는 낮으나 질소와 인과 같은 영양염류가 높아 고도처리가 요구되는 농촌지역의 소하천과 저수지 유입하천에 효과적인 수질정화방법이라 할 수 있다.

### 나) 정화 효율

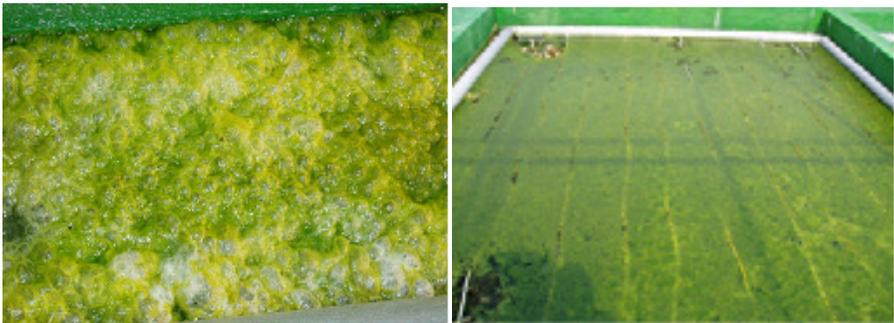
**[표 4-44] 사상성 조류매트 산화지공법의 수처리효율(FAMP)**

SS	COD	T-N	T-P	DTN	DTP
80%	74%	76%	84%	93%	98%

## 3) 공법의 모식도



a) 사상성 조류매트 산화지 공정 모식도



b) 사상성 조류매트 산화지에서 성장하는 사상성 조류

**[그림 4-114] 사상성 조류매트 산화지 공법**

#### 4) 설계시 고려사항

[표 4-45] 사상성 조류매트 산화지 공법의 문제점

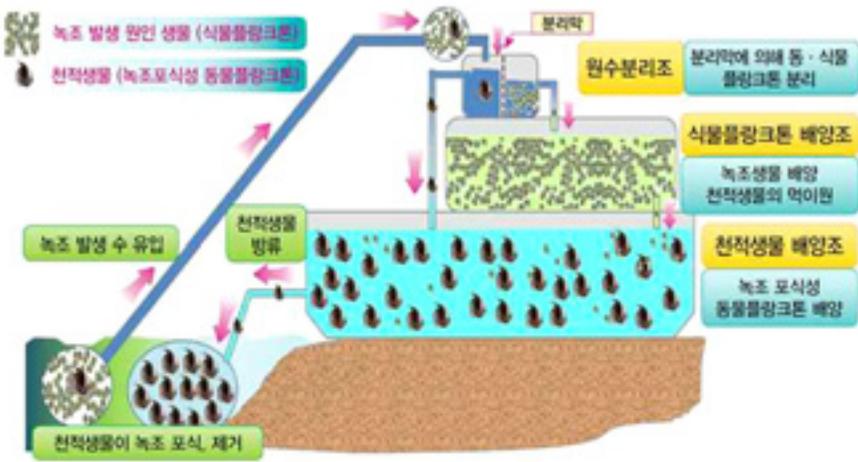
문제발생	원 인
BOD5 제거율 저조	<ul style="list-style-type: none"> <li>유기물질 과부하</li> <li>얼음으로 덮혔던 산화지</li> <li>조류 대발생</li> <li>산화지에서 단회로가 발생함</li> <li>온도 급저하</li> </ul>
과도하게 높은 pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류에 의한 이산화탄소와 중탄산염의 소비</li> </ul>
과도하게 낮은 pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>과도한 유기물질의 축적</li> <li>지나친 질산화</li> </ul>
저조한 대장균 사멸율	<ul style="list-style-type: none"> <li>단회로 발생</li> <li>부유물질 농도가 너무 높음</li> </ul>
높은 유출수 SS 농도	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류 대번식</li> <li>봄, 가을 전도기간</li> <li>과도한 혼합</li> </ul>
악취 발생	<ul style="list-style-type: none"> <li>유기물질 과부하</li> <li>결빙 후 해빙</li> <li>불량한 포기 및 혼합</li> </ul>

#### 5) 적용사례



[그림 4-115] 충남 서산시 성암저수지 유입하천에 설치된 산화지





[그림 4-117] 천적생물 배양장치 공법의 배양장치 원리 및 구조

## 2) 정화원리 및 정화효율

### 가) 정화원리

- 녹조를 포식하는 동물플랑크톤을 인위적으로 배양, 방류하여 녹조를 제거 할 수 있다.



[그림 4-118] 천적생물 배양기술의 녹조제어 원리

나) 정화 효율

**[표 4-46] 포식성 천적생물 적용기술의 수처리효율**

Chl-a	COD	T-P
50~80 %	30~70%	30~80%

**3) 설계 시 고려사항 및 설계 인자**

- 천적생물 배양장치는 동물플랑크톤 등 미소생물들을 활용한 기술이기때문에 체류 시간, F/M비 등의 공학적 설계인자와 각 공정에 맞는 펌프유량, 원수 분리조 유입 유량, 배양조 체류시간, 천적생물 배양조 유입유량 등의 수공학적 설계인자를 고려하여 설계해야한다[표 4-47].
- 천적생물 또한 계절 및 현장에 맞는 종주를 배양하기 때문에 천적생물 종주에 특성에 따른 배양장치를 설계해야 하며, 하천 및 호안에 안정적으로 정착하기 위해서는 3m이상의 수심 또는 은신처를 제공해야한다. 또한 육식어류의 투입으로 2차 소비자를 유지시켜 토착 포식 어류의 보호 및 살포한 동물플랑크톤의 개체 조절 등 최상위포식자 역할을 유지해야 한다.
- 본 공법은 자연수역 내 분포하는 자연 천적생물의 분리기술과 수중 어류, 수서곤충 등 배제하며, 현장 상황에 맞는 천적 생물 배양 장치 적용기술 및 선택적 살포 하여 녹조제어에 효과적인 종주 확보 및 천적생물의 안정적으로 배양할 수 있다.

**[표 4-47] 천적생물 배양장치 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소**

천적 생물 배양장치 공정	수공학적 및 공학적 설계요소
설계유량	목표순환빈도
원수 분리조	수리학적 부하율( $m^3/m^3-hr$ ), 체류시간(hr), 고형물질 부하율( $kg/m^3-hr$ )
먹이 배양조	수리학적 체류시간(hr), 혼합방법 및 강도(G)
천적생물 배양조	수리학적 부하율( $m^3/m^3-hr$ ), 체류시간 F/M 비( $kg$ 조류/ $kg$ 천적생물-일), 유입유량

가) 설치기준

- 천적생물 배양장치 적용 타당성이 높은 저수지의 조건
  - 최근 3년간 Chl-a 평균농도가 지속적으로 높은 저수지
  - 평균수심 3.0m 이상 저수지 (=유효저수량(㎡) ÷ 수표면적(㎡))
  - 지속적인 외부오염원(예, 유류낙시터, 점오염원 등)이 없는 저수지
  - 광산폐수, 중금속 등 생물 독성 물질 유입이 없는 저수지
  - 급경사의 산간형저수지 등 생태건강성이 낮고 생물상이 빈약한 저수지
  - 전기공급, 유지관리 용이성, 시설안전성 등 운영관리가 용이한 곳
  - 천적생물 배양장치를 도입할 적정 홍만수면 부지가 있는 곳
- 최적 규모는 배양장치에서 천적생물이 살포되어 현장에서 증가, 한달간 주 1회 살포시 목표로 하는 Chl-a 농도를 저감시킬 수 있는 개체군 밀도에 도달할 수 있는 배양장치의 용량으로 산정한다. 이 산정을 위해 증식 특성은 다음과 같이 고려한다.
  - 지각류 종의 평균 섭식량인 1.4μg/L 적용
  - 개체군성장률은 녹조류를 혼합섭식한 평균 개체군 성장률 0.25가정
  - 주 1회 살포되는 천적생물은 목표 Chl-a 농도 저감을 위한 현장의 최대 개체군 밀도를 한계수용 개체군 밀도(K)로 하는 별도의 개체군으로 로지스틱형 성장식을 적용하여 현장의 전체 천적생물 개체군 밀도로 산정

$$dN/dt = rN(K-N)/K$$

N : 개체군 성장율, t : 시간, r : 개체군 증가율, K : 개체군 밀도  
 산정식적용 Chl-a농도 저감량과 저수지용량별 배양장치 규모 제시

[표 4-48] Chl-a 농도 및 저수지 용량에 따른 천적생물 배양장치 규모

Chl-a 농도 저감량	저수지 용량		
	100만톤	75만톤	50만톤
200 → 35 mg/㎡	300톤	280톤	200톤
150 → 35 mg/㎡	260톤	180톤	140톤
100 → 35 mg/㎡	140톤	100톤	70톤
70 → 35 mg/㎡	80톤	60톤	40톤

나) 설계인자

- 배양장치 규모는 20㎡(동물플랑크톤 배양조 기준)이 적정하다.

[표 4-49] 천적생물 배양장치의 설계요소 및 설계인자

구분	설계요소	설계인자
원수 분리조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원수펌프 1식/1조 : 350w, 11m, 200 l/min</li> <li>- 분리막 1식/1조 : 500 μm STS 메시망</li> <li>- 원수의 조류 농도가 낮아 천적생물의 배양이 원활하지 않을 때만 식물 플랑크톤 배양조로 원수 이송</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 규격(용량) 1.0 mW×1.0 mL×0.7 mH (0.5 m<sup>3</sup>, 유효수심 0.5 m)</li> <li>- 체류시간 : 10 min 이상</li> <li>- 유입유량 : 36.97 l/min</li> </ul>
식물 플랑크톤 배양조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 교반펌프 1식/1조 : 200 w, 9 m, 150 l/min</li> <li>- 일시적 가동 : 원수의 조류 농도가 낮아 천적생물의 배양이 원활하지 않을시 가동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 규격(용량) 2.5 mW×4.5 mL×0.7 mH (6.75m<sup>3</sup>, 유효수심 0.6m)</li> <li>- 체류시간 : 2.5 day</li> <li>- 유입유량 : 1.87 l/min</li> </ul>
천적생물 배양조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 브로와 1식/1조 : 60 l/min, 천적생물 생존에 필요한 산소를 배양조에 주입하기 위하여 설치</li> <li>- 산기장치 4식/1조 : 고압스티형, 효율적인 산소전달과 수체의 교반을 목적으로 설치</li> <li>- 방충망 5식/1조 : 배양조 상부에 2 mW × 1 mL로 제작된 방충망을 설치(가장 전면부는 0.5 mW × 0.4 mL 2식 따로 설치)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 규격(용량) [3.0 mW×1.2 mH+(3 mW ×0.7 mH)/2] × 5.4 mL (20.65m<sup>3</sup>, 유효수심 1.6 m)</li> <li>- 체류시간 : 4.0 day</li> <li>- 유입유량 : 3.59 l/min</li> </ul>

[표 4-50] 천적생물 현장적용 장치의 특성 및 기능

구분	적용목적	규모 (천적생물량)	장점	단점	적용성
수상형 장치	녹조발생지점에서 천적생물 배양, 살포	10톤 (5톤×2조)	녹조발생 수역 바로 적용가능	태풍등에 안전성 낮음 부력체 비용이 높고, 내구연한은 3년 정도로 짧음	낮음
육상형 장치	수변 녹조집적구간에서 천적생물 배양, 살포	30톤 (10톤×2조)	시설안정성이 높고, 유지관리 근성이 좋음	호중양 국소지역 녹조발생시 접근성이 낮음	높음
cage	천적생물 보호장치 제공 및 천적생물의 추가 증식 장치로 활용	72톤 (36톤×2조)	천적생물이 물고기 포식되지 않고 장기유지가능, 추가배양 적용	500μm의 플랑크톤네트를 사용하므로 주기적인 네트관리 (청소,교체) 요구	높음

4) 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

가) 운영 및 유지관리를 위한 중점 설계 요소

[표 4-51] 원수분리조 설계요소 및 부대시설

구 분	설 계 조 건 (20㎡ 기준)	비 고
유입유량	3.47 l/min	
체류시간	10 min 이상	
필요용량	0.035 ㎡ 이상	
규 격	1.0 mW × 1.0 mL × 0.5 mH	
원수펌프	25A × 4.2 l/min × 0.29 kw × 7 MH	
부대시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유입 배관 32A</li> <li>- 동물배양조 이송관 32 A</li> <li>- 식물배양조 이송관 32 A</li> <li>- 역세척수 공급관 15 A</li> <li>- DRAIN 및 OverFlow 50 A</li> <li>- 분리망 25 ㎍(전면부 80 ㎍)</li> </ul>	

[표 4-52] 식물플랑크톤 배양조 설계요소 및 부대시설

구 분	설 계 조 건 (20㎡ 기준)	비 고
유입유량	3.47 l/min	
체류시간	2.5 day	
필요용량	6.25 ㎡ 이상	유입유량의 50%
규 격	3.0 mW × 4.5 mL × 0.7 mH	
실 용량	6.75 ㎡	
부대시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유출 배관 32A</li> <li>- 수중 교반기(0.29kw 수중펌프 사용)</li> </ul>	

[표 4-53] 동물플랑크톤 배양조 설계요소 및 부대시설

구 분	설 계 조 건 (20㎡ 기준)	비 고
유입유량	3.47 l/min	
체류시간	4.0 day	
필요용량	20.0 ㎡ 이상	유입유량의 50%
규 격	3.0 mW × 8.24 mL × 1.5 mH	반 원통형
실 용량	20.5 ㎡	
부대시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 평시 유출관 65A</li> <li>- 대량살포 유출관 65A</li> <li>- 산소공급용 BLOWER</li> <li>- CERAMIC 산기관 3개</li> </ul>	

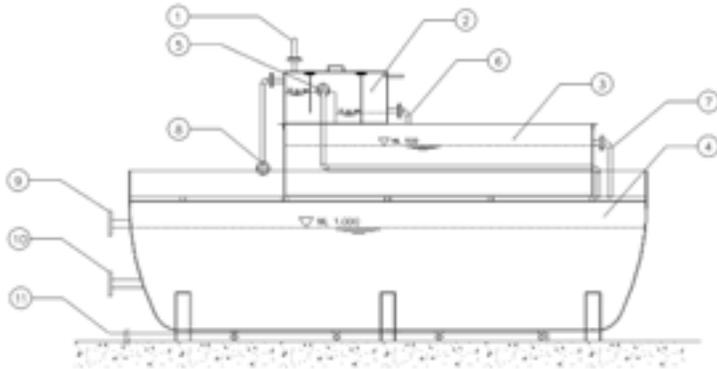
나) 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

[표 4-54] 천적생물 배양장치 운영을 위한 설계반영 사항

시스템 가동	천적생물 배양장치 운영사항	비고
원수펌프 가동	24 hour/day	수동관리
식물플랑크톤 배양조 체류시간	1.5~2.5 day	
천적생물 배양조 체류시간	2.5~4.0 day	
원수분리조 유입유량	3.59~5.74 ℓ/min	밸브조정
식물플랑크톤 배양조 유입유량	1.88~3.13 ℓ/min	밸브조정
천적생물 배양조 유입유량(20m <sup>3</sup> )	3.59~5.74 ℓ/min	밸브조정
식물플랑크톤 배양조 교반펌프 가동	100 min / 2 hour	자동관리
역색척 펌프 가동	10 min / 8 hour	자동관리

5) 설계예시 및 시방서

가) 설계예시



[그림 4-119] 천적생물 배양장치 도면예시

[표 4-55] 각 부분 명칭

No.	명 칭	No.	명 칭
①	유입관	②	원수분리조
③	식물플랑크톤 배양조	④	천적생물 배양조
⑤	동물배양조 이송관	⑥	식물배양조 이송관
⑦	이송관(식물→동물)	⑧	월류관
⑨	유출관	⑩	대량살포 방류관
⑪	DRAIN		

## 나) 시방서

- 천적생물 배양장치를 설계할 때 배양장치의 규모는 각 대상수역의 입지여건에 따라 달라지기 때문에 본 신청서에서는 10 m<sup>3</sup> 배양장치를 기준으로 하여 설계 값을 제시한다.
- 원수분리조는 체류시간 10min 이상 확보할 수 있는 용량으로 하고 식물플랑크톤과 동물 플랑크톤을 분리하여 각 배양조로 이송할 수 있는 구조로 한다. 또한 일정량을 이송할 수 있도록 유량조절 밸브가 설치되어야 한다.
- 식물플랑크톤 배양조는 체류시간을 2.5일로 하며 충분한 일조량을 확보할 수 있는 구조로 한다.
- 천적생물 배양조는 체류시간을 4일로 하며 수면적의 50%는 직사광선을 피할 수 있는 구조로 한다. 유출구에 75 $\mu$ m 메쉬망을 설치하여 동물플랑크톤 배양 기간동안 천적생물의 유출을 막을 수 있어야 하고 산소공급장치를 설치하여 미세기포를 공급하며 천적생물 대량살포를 위한 별도의 방류구를 설치하여야 한다.

## 6) 최신기술 및 융복합기술

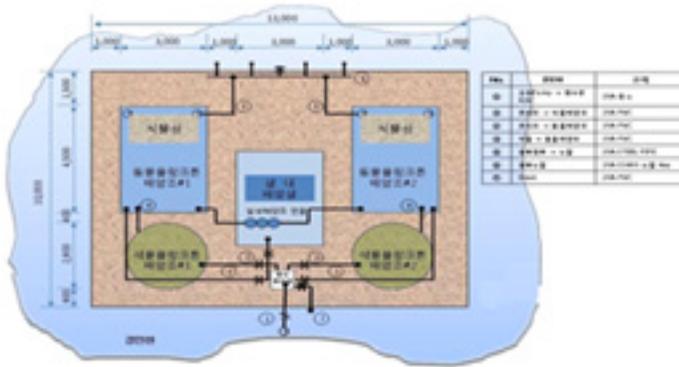
- Chl-a의 연중 평균 농도 100 mg/m<sup>3</sup> 이상의 녹조 심각한 저수지는 원수에 포함된 먹이원이 충분하여 천적생물 배양조의 먹이원으로 식물플랑크톤을 별도로 배양할 필요가 없다.
- 농업용수 수질개선 사업에 적용하고자 이동성, 미관, 유지관리 편의성을 높이고 시설의 소형화 및 집적화를 유도하였다. 차량에 탑재하여 이동 가능한 크기로 제작하고, 저수지 환경변화에 따라 이동설치가 가능한 방향으로 향상되었으며, 시설의 내구성을 높이기 위하여 Containerization 기술을 구현하였다.
- 배양조 10m<sup>3</sup>급 기준으로 차량 탑재 가능한 사이즈 및 유지관리용 출입문 3개소가 적용되었으며, 제어반에 의한 주기적인 자동살포 및 원수분리조 침전물 자동 드레인이 가능한 형태로 설계되었다.
- 상하류식 분리스크린 적용으로 스크린 면적 증가 및 막힘 현상을 방지하여유지관리 편리성이 증대되었으며, 원수분리조에 드레인 별도적용으로 원수분리조 침전물 상시 제거가 가능하며, 천적생물 휴면란 배양을 위해 별도 공간을 조성하였다. Base 위에 배양장치와 제어반을 설치하고 컨테이너를 씌우는 구조로 적용되었다.

## 7) 적용사례 및 효율

- 본 기술은 경안천, 전대저수지 및 초대저수지에 적용된 바 있으며, 그림 4.5, 4.6에 전대저수지와 초대저수지에 적용된 모습을 제시하였다.
- [표 4-56]는 초대저수지에 적용된 천적생물 배양장치의 수공학적 및 공학적 설계인자를 정리하여 나타내었다.
- 초대저수지의 경우 천적생물 배양을 효과적으로 안정시키기 위하여 인공 식물섬을 경관생태학의 패치개념으로 천적생물의 은신처를 제공하여 천적생물의 밀도를 증가시킨다.
- 녹조가 발생하기 전인 2월부터 운영하였으며, 현장에서 분리되는 자연 천적생물을 주요 적용 종으로 하여 일주일 간격으로 살포한다.
- 그 결과 배양장치에서 녹조를 유발시키는 남조류가 선택적으로 크게 감소하였으며, 식물플랑크톤의 제거율은 59.6~95.3%로 나타났다. 뿐만 아니라 COD는 52.6%, TP는 68.9%, Chl-a는 64.3%의 제거효율로 수질개선 효과가 있는 것으로 평가된다.
- 또한 인공식물섬 등의 수변 습지대에서 높은 서식을 보여 침강지내, 인공습지 후반부 등에 적용 가능하다.
- 2차 소비자인 메기를 투입하여 소형어류를 조절하여 녹조제어효과를 높이고 저수지내 물질 순환을 조절하는 역할을 수행하였으며, 기존에 서식하고 있는 토착 포식어류의 보호 및 활용도가 중요하다.
- 그러나 수온 변화 및 하절기에 포식성 수서곤충 유입으로 인한 천적생물 밀도 감소 등 적절한 대책 수립이 필요하다.



[그림 4-120] 육상형 천적생물 배양장치 운영모습(2011년 설치, 전대저수지)



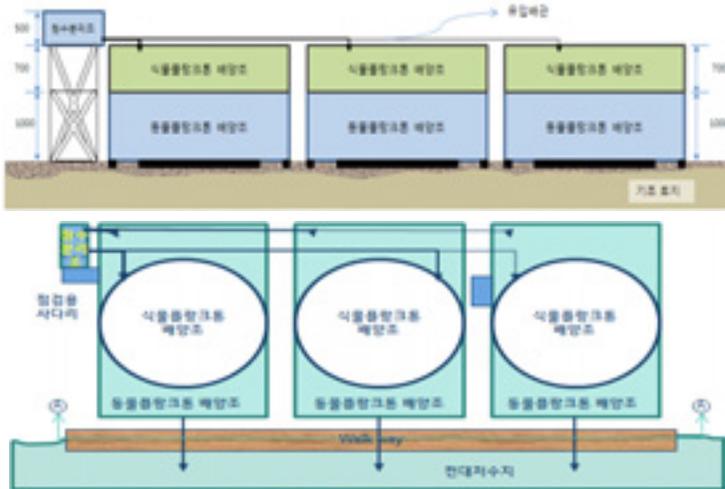
배치 단 면 도



[세양조 #2]  
 ~ 배양장치 = 3.5mW x 10mL,  
 ~ 전대저수지(전대저수지) = 3.5mW x 4mL

구분	명칭	수량
배	배수 펌프	1대
배	식물성 유기물 배양조 #1	4대
배	식물성 유기물 배양조 #2	4대

[그림 4-121] 천적생물 배양장치의 적용 사례 (경안천)



[그림 4-122] 천적생물 배양장치 배치단면도 (전대저수지)



[그림 4-123] 천적생물 배양장치의 적용 사례 (초대저수지)

[표 4-56] 실규모 천적생물 배양장치 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소

초대저수지	수공학적 및 공학적 설계요소
원수 분리조	<ul style="list-style-type: none"> <li>용적: 1.0 m(W) × 1.0 m(L) × 0.7 m(H) = 0.7 m<sup>3</sup></li> <li>체류시간: 10min 이상</li> <li>유입 유량: 37L/min</li> </ul>
먹이 배양조	<ul style="list-style-type: none"> <li>용적: 2.5 m(W) × 4.5 m(L) × 0.7 m(H) = 6.75 m<sup>3</sup></li> <li>체류시간: 2.5 day</li> <li>유입유량: 1.87 L/min</li> </ul>
천적생물 배양조	<ul style="list-style-type: none"> <li>용적: 10m<sup>3</sup>규모 6식, 20m<sup>3</sup>규모 2식</li> <li>- 2.0 m(W) × 1.2 m(H) + (2 mW × 0.5 mH)/2] × 4 m(L) = 10 m<sup>3</sup></li> <li>- 3.0 m(W) × 1.2 m(H) + (3 mW × 0.75 mH)/2] × 5.4 m(L) = 20 m<sup>3</sup></li> <li>체류시간: 4.0 day</li> <li>유입유량: 1.74 L/min(10m<sup>3</sup>), 3.51 L/min(20m<sup>3</sup>)</li> </ul>

## 8) 기대효과

- 본 공법은 2~3년간 장기간의 적용으로 생태구조를 개선하여 녹조를 제어하는 기술로 타 공법에 비해 동력 및 약품사용 등의 유지관리비용이 상대적으로 작고 넓은 수역에 지속적인 효과가 나타났다.
- 특히 오염원 유입이 적지만 녹조가 간헐적으로 발생하는 호소의 장기적 관리 방안으로 적합하며, 생태계내의 먹이망 기능을 강화하여 녹조발생을 억제하는 방법으로 지속성과 선택성이 높으며, 상위 먹이망으로 연결되어 있어 2차오염의 우려가 없을 뿐만 아니라 생태먹이망을 정상화 시켜 건강성 회복이 가능하다.
- 또한 본 기술은 녹조원인생물을 포식, 제거하는 생태적 녹조제어 기술이나 COD 및 TP의 수질개선효과와 동시에 천적생물이 호내 도입으로 2차적인 녹조제어 유도함으로써 시너지 효과가 발생한다.

## 9) 운영 시 고려사항 및 유지관리

- 이 공법은 최소 2~3년의 적용 기간이 필요하며, 계절별 수온 및 하절기 수서곤충 유입방지 등 대상지역에 따른 지속적인 유지관리 및 보완이 필요하다.
- 적정 운영을 위한 천적생물 배양장치 적용 위치
  - 저수지 유입부, 제방 등 저수지 형상과 바람의 방향에 따라 녹조생물이 집적되는 곳
  - 저수지의 홍만수면 부지 활용 : 홍만수면 부지의 경우 이른봄 저수율 100%일 때 물에 잠겨 접근이 불가능할 수 있으므로 시설 설치시 바닥을 1 m이상 높이는 것이 좋음.
  - 수초대가 발달한 경우 천적생물 포식자의 공격을 받을 수 있으므로 천적생물은 수초대를 벗어난 호 중앙에 살포하는 것이 좋음(살포지점에 인공식물섬 적용시 천적생물의 은신처 역할로 어류 포식으로부터 천적생물을 보호함, 야간에 적정 위치로 이동).
  - 100톤 이상 규모의 천적생물 적용시 50톤 단위로 분산 적용하는 것이 유리함.

## 나. 퇴적물 준설

### 1) 개 요

#### 가) 정화 원리 및 특징

- 유역에서 토사 또는 오염물질이 지속적으로 유입되는 경우 준설효율이 감소할 수 있으므로 오염원 제거 후 실시 및 사전 타당성 조사 철저

#### 나) 퇴적물 준설 환경기준

**[표 4-57] 국내에서 적용되는 퇴적물 준설 환경기준**

지역	항 목	기 준		비 고
팔 당 호	T-N(mg/kg)	1,100 이상		4개 항목 중 2~3개 항목이 기준을 초과한 지역 또는 특정항목의 농도가 매우 높은지역
	T-P(mg/kg)	800 이상		
	강열감량(%)	7.0 이상		
	COD(mg/g)	20 이상		
한 강 하 류	T-N(mg/kg)	2,000 이상		5개 항목 중 2~3개 항목이 기준을 초과한 지역이면서 동경만 기준에 의한 평가점이 6점 이상인 지역
	T-P(mg/kg)	1,000 이상		
	강열감량(%)	10 이상		
	COD(mg/g)	20 이상		
	황화물(mg/g)	1.1 이상		
대 청 호	T-N(mg/kg)	3,000 이상		4개 항목 중 2개 이상 항목이 기준치를 상회하는 지역
	T-P(mg/kg)	1,500 이상		
	강열감량(%)	7.0 이상		
	COD(mg/g)	20 이상		
청 초 호	강열감량(%)	0~5 미만	0	3개 항목이 평가점이 6점 이상이면 퇴적물 제거 (일본의 동경만 평가기준 적용)
		5~15 미만	3	
		15 이상	6	
	COD(mg/g)	13 미만	0	
		13~20 미만	1	
		20~30 미만	2	
		30~40 미만	4	
		40 이상	6	
		황화물(mg/g)	0.6 미만	
	0.6~1.0 미만		1	
	1.0~5.0 미만		2	
	5.0~10.0 미만		4	
	10.0 이상		6	

● 우리나라의 퇴적물 준설 환경기준(안)은 다음과 같다.

**[표 4-58] 퇴적물 예비기준 및 제거기준(안)**

항목	예비기준(mg/kg-dry)					제거기준 (mg/kg-dry)
	자연상태	약간오염	중간오염	현저한 오염	심한오염	
	I	II	III	IV	V	
Cd	< 0.2	0.2 ~ 0.6	0.6 ~ 1.2	1.2~2.4	> 2.4	30
Cr	< 83	83 ~ 249	249 ~ 498	498 ~ 996	> 996	1,000
Cu	< 45	45 ~ 135	135 ~ 270	270 ~ 540	> 540	540
Hg	< 0.2	0.2 ~ 0.6	0.6 ~ 1.2	1.2 ~ 2.4	> 2.4	15
Pb	< 20	20 ~ 60	60 ~ 120	120 ~ 240	> 240	1,000
Zn	< 95	95 ~ 285	285 ~ 570	570 ~ 1,140	> 1,140	2,500
As	-	-	-	-	-	150
PCBs	-	-	-	-	-	15

자료출처 : 환경부·국립환경과학원, 2006

● 미국 환경부에서 발표한 5대호 담수퇴적물 오염분류 기준은 [표 4-59]과 같음

**[표 4-59] 미국환경부의 5대호 담수 퇴적물 오염분류 기준**

Compound	Non-Polluted	Moderately Polluted	Heavily Polluted
VS(%)	< 5	5 ~ 8	> 8
COD Sed	< 40,000	40,000 ~ 80,000	> 80,000
Phosphorus	< 420	420 ~ 650	> 650
TKN	< 1000	1,000 ~ 2,000	> 2,000
NH3	< 75	75 ~ 200	> 200
CN	< 0.10	0.10 ~ 0.25	> 0.25
As	< 3	3 ~ 8	> 8
Ba	< 20	20 ~ 60	> 60
Cd	-	-	> 6
Cr	< 25	25 ~ 75	> 75
Cu	< 25	25 ~ 50	> 50
Fe	< 1.7%	1.7 ~ 2.5%	> 2.5%
Mn	< 300	300 ~ 500	> 500
Ni	< 20	20 ~ 50	> 50
Pb	< 40	40 ~ 60	> 60
Zn	< 90	90 ~ 200	> 200
Oil and grease	< 1,000	1,000 ~ 2,000	> 2,000
		Polluted	
Hg		≥ 1	
TotalPCBs		≥ 10	

● 국내에서 적용된 준설기준은 [표 4-57]과 같으며 농업용 저수지의 준설 환경기준 (안)을 [표 4-60]과 같이 제안 한 바 있음(한국농어촌공사, 2007)

**[표 4-60] 농업용 저수지 퇴적물 준설 환경기준(안)**

항 목	제안기준	준설 필요성
T - P	1,000 mg/kg 이상	3항목 기준초과: 높음 2항목 기준초과: 중간
C/N	10.0 이하	
평균수심	4.0 m 이하	

## 2) 준설 기술의 종류

### 가) 육상준설

● 저수지 수면 위 노출지역의 토사를 제거함으로써 준설비용이 저렴하고, 준설효율이 높으며, 노출지역과 비관개기에 한해 제한적으로 준설 가능

### 나) 수중준설

● 선박을 이용하여 물속의 토사, 저니 등 퇴적물을 제거하는 방법으로 상시 준설 가능

**[표 4-61] 준설방법별 특징**

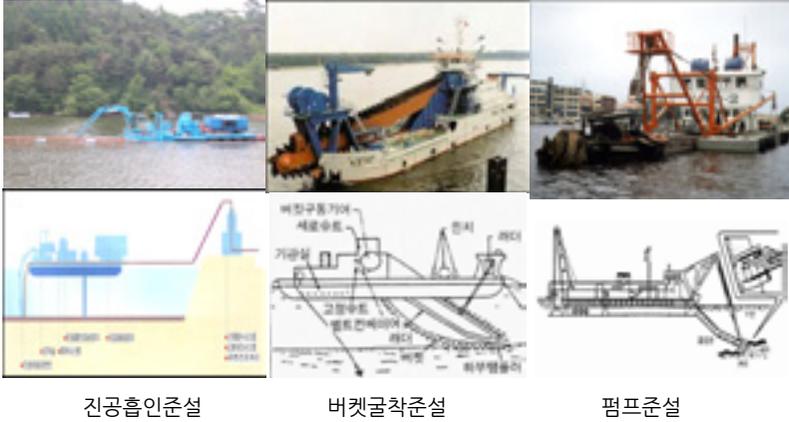
구 분	육상준설	수중준설
개 요	◦ 백호 등을 이용하여 노출지역의 퇴적토사 제거	◦ 선박을 이용한 오염퇴적물 제거 - 진공흡인, 버킷굴착, 펌프준설 등
적용구역	◦ 바닥이 노출된 곳(유입부 부근)	◦ 물에 잠겨 있는 지역
장 점	◦ 저비용	◦ 상시준설 및 환경준설 가능
단 점	◦ 갈수상태에서 준설 가능 ◦ 준설시기 제한적(비관개기 등) ◦ 수변공간 교란	◦ 담수상태서만 준설 가능 ◦ 고비용



**[그림 4-124] 백호에 의한 육상 준설 공법**

[표 4-62] 선박을 이용한 수중준설공법 비교

	진공흡인압송공법	그래브, 백호굴착, 대선공법	마이크로펌프선
오니 함니율	<ul style="list-style-type: none"> <li>50~70%</li> <li>퇴적오니·부니·실트질토, 사질토 등 회수가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>80~100%</li> <li>하상·호소 등을 버킷 등으로 굴착하여 준설</li> <li>오니·부니·실트질토 등의 연약토 회수 불가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5~15%</li> <li>퇴적오니·사질토 등은 회수가 가능</li> <li>샌드펌프를 사용하여 준설하여 여수가 많음.</li> </ul>
송니 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>수상·육상 배관(밀폐시스템 채용)</li> <li>수저에서 직접 흡인하여 처분장에 흡인토를 압송</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>토운선·직접반출 트럭으로 반송</li> <li>버킷으로 굴착 후, 배관을 사용해 공기압송이 가능하나, 수분이 적기 때문에 장거리 압송은 불가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수상·육상 배관을 사용해 압송</li> </ul>
오니확산 탁수발생	<ul style="list-style-type: none"> <li>수저에 퇴적되어 있는 오니를 드럼어태치먼트에 의해 교반·집진 시킨 후 탁수와 동시에 회수하여 흡인하기 때문에 거의 발생하지 않음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수저를 직접 굴착하여 회수하기 때문에 오니의 확산에 의한 탁수·악취가 발생됨.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수저에 퇴적되어 있는 오니를 샌드펌프로 회수하기 때문에 확산은 적다. 토질에 따라 원지반을 교반하기 때문에 탁수가 발생하는 경우도 있음.</li> </ul>
소음	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기압축기·파워쇼벨 등을 사용하지만, 특정 건설기계 허용치 이내</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>파워 쇼벨 등을 사용하지만, 특정 건설기계허용치 이내</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>특정 건설기계의 허용치 이내</li> </ul>
냄새	<ul style="list-style-type: none"> <li>회수된 오니는 수상 및 육상 압송관으로 처분지까지 압송되기 때문에 오니의 비산이나 미관상 불결감이 없음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수저를 직접 굴착하기 때문에 오니 확산에 의한 탁수·악취 발생</li> <li>토운선으로 반출하여 트럭 등으로 운반하기 때문에 미관상 불결감 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>오니는 압송관에 의해 처리장까지 압송되기 때문에 악취의 발생은 없음</li> </ul>
흡수 장비폭	<ul style="list-style-type: none"> <li>흡수는 80cm 정도 수심이 얇은 도시 하천, 호소 등이나 교각이 많은 장소에서도 시공 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대선에 따라 다양하지만 교각이 많은 장소에서는 적합하지 않음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대선에 따라 다양하지만 교각이 많은 장소에서는 적합하지 않음.</li> </ul>
대상 지반	<ul style="list-style-type: none"> <li>오탁의 확산이 거의 발생하지 않으므로 오니토, 실트질토, 사질토 및 중금속 등으로 오염된 오염토 등회수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>오탁의 발생이 되어도 문제가 없는 지반에 적용하나 연니, 부니의 회수는 불가능</li> </ul>	
평균 처리량	<ul style="list-style-type: none"> <li>60m<sup>3</sup>/h(후처리 및 토질에 따라 변화)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>버킷용량에 따라 변화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>샌드펌프 용량에 따라 변화</li> </ul>
후처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>필터프레스, 고화처리, 자연건조 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고화처리, 자연건조 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>여수가 95~85%로 많기 때문에 일반적인 육상처리 방법으로는 불가능하며 탁수처리시설 필요</li> </ul>



[그림 4-125] 수중 준설 방식의 예

다) 버킷 준설 (Grab Dredge)

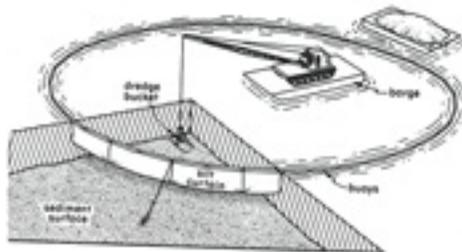
호소의 수질개선을 위해 가장 많이 사용되는 버킷 준설장치는 [그림 4-126]에 나타난 바와 같은 그랩 타입

(1) 장점

- 준설장소의 이동이 용이
- 제한된 장소에서 작업을 시행, 호안 부근의 공사에 주로 사용
- 호안에 흔히 발견되는 나무 동치나 폐기물 등의 존재에 큰 영향을 받지 않음

(2) 문제점

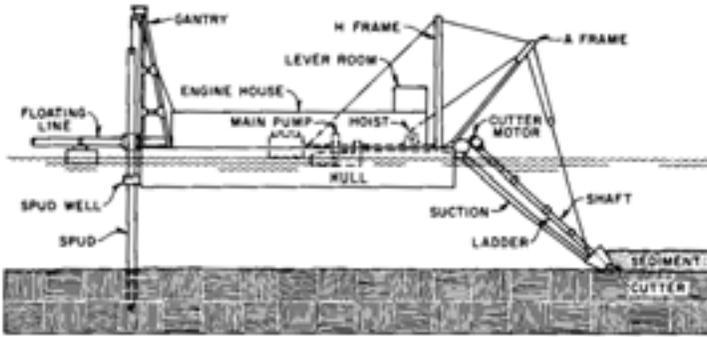
- 준설장소와 가까운 곳에 준설토를 적치해야 한다는 것 (통상 30-40 m 이내)
- 시공후에 호소 바닥면이 거칠고 불균등하게 된다는 것
- 탁수가 심하게 발생하므로 반드시 방진막을 사용
- 대부분의 호내 퇴적물질은 입자가 작고 응집성이 커서 제거 효율이 낮음



[그림 4-126] 그랩 준설 방식과 방진막의 사용예

라) 펌프 준설 (Hydraulic Dredge)

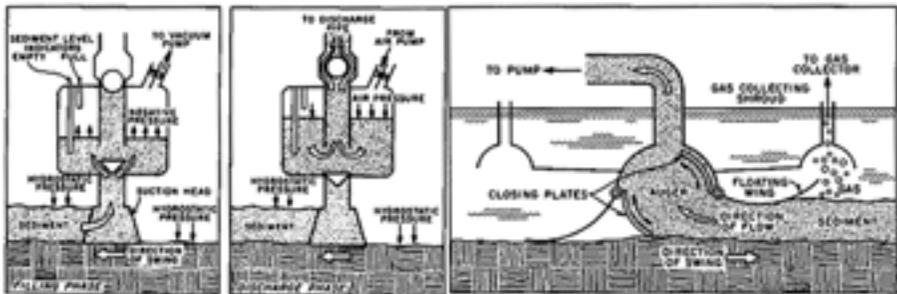
- 가장 많이 사용되는 것은 [그림 4-127]과 같은 형태의 전방 절단기 준설형 (Cutter-Head Section Dredge)



[그림 4-127] 전방 절단기형 준설 방식 (Barnard, W. D., USACE Tech. Rep. No. DS-78-13, Vicksburg, MS, 1978)

마) 진공흡입식 준설 (Pneumatic Dredge)

- 재부상을 최소화할 필요가 있는 미세한 퇴적물의 준설을 위해 사용
- 기존의 준설 방식보다 3 배 이상의 고형물 함량 증가 또는 수분함량의 감소



[그림 4-128] 진공흡입식 준설 장치의 예

3) 설계요령

가) 주요 고려사항

- 준설토 적치 장소는 미관상 좋지 않을 뿐 아니라 건조 또는 결빙되는 경우 표면에 얇은 외피를 형성하므로 사람과 차량이 진입할 경우 파괴되어 위험할 수 있음

나) 준설펀프 용량의 산정을 위한 수두의 계산 (Pierce, 1970)

필요한 총 에너지 (HTDH) = 총 흡입 수두 + 총 방출수두

총 흡입 수두 = 흡입수두 + 흡입유속수두 + 흡입마찰수두

총 방출 수두 = 방출수두 + 추가유속수두 + 방출마찰수두

4) 준설토 적치장의 설계 (USACE, 1987)

준설토 적치 면적 결정의 가장 중요한 요소

- 적치될 준설토의 물량

- 준설토의 입도분포, 비중, 가소성, 침강특성 등 퇴적토의 특성

가) 사전 조사

(1) 현장 조사: 제거가 요구되는 준설토 부피의 결정

(2) 퇴적물의 특성 실험

함수율, Atterberg 한계, 유기물함량, 미세 입자의 비중, 입도분포

(3) 퇴적물의 침강 특성 실험

응집침강 (flocculent settling) 실험

지역/압밀침강 (zone/compression) 실험

나) 담수 퇴적물의 준설토 적치장 설계 (Montgomery, 1978)

다) 설계농도 (CD) 의 산정

라) 준설토 시간 (TD) 의 산정

마) 준설토가 차지하는 체적의 산정

바) 준설토적치장 깊이의 산정

다. 인공순환/물순환/폭기시설

1) 인공순환/물순환/폭기시설의 개요

가) 장치의 특징

호소, 저수지 인공순환/물순환/폭기시설에는 펌프, 수류, 공기방울 등 사용

호소 하부의 물을 연속적으로 표면에 끌어올려 층류를 형성하여 수표면의 사방으로 흐르게 하며, 이 과정에서 대기의 자외선과 산소에 접촉되어 물의 정화작용이 발생

수체(水體)를 효율적으로 넓고 크게 순환시키며, 순환운동 과정에서 대기의 산소는

물에 흡수되어 수체에 고르게 분배, 혼합함으로써 물이 순환운동으로 자연정화기능을 인공적으로 극대화시킨 것임

- 장치의 형식은 크게 저층수폭기와 인공순환 2가지

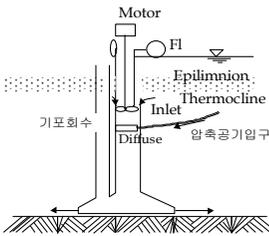
나) 장치의 종류

(1) 저층수 폭기 (hypolimnetic aeration)

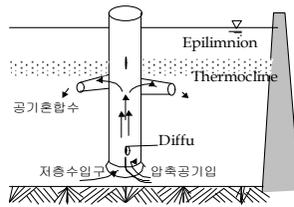
- 성층현상에 영향을 주지 않으면서 호소의 심층수에 공기나 산소 주입
  - 차가운 물에 서식하는 물고기(cold water fisheries) 보호
- 동물플랑크톤을 적절히 유지하면서 식물플랑크톤 수를 제어 가능함
  - 저층수에 충분한 산소가 존재하면 낮에는 동물플랑크톤이 저층수로 이동하여 숨을 장소(shelter)를 제공받으므로 시각적으로 먹이를 포획하는 물고기로부터 보호 받을 수 있음

저층수 폭기 장치의 형식

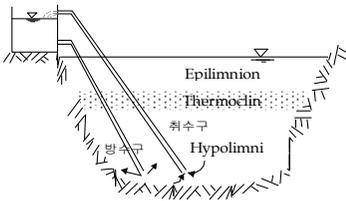
- 외부폭기형 : 호소 저층수를 호소 외부에 설치된 용기로 끌어 올려 산소를 공급 다시 표층의 물에 영향이 없도록 저층으로 다시 주입
- 내부폭기형 : 직접 호소저층에 설치된 용기를 통해 산소나 공기를 주입해 심층수와의 혼합을 유도



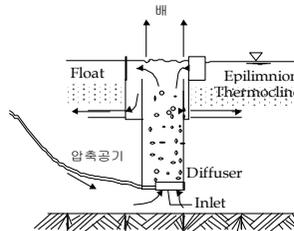
(a) 하향류폭기형 심층폭기장치



(b) 심층폭기용 (서독 Bemhart 형, 1967)



(c) 심층폭기용 (스위스 Mercier, 1949)

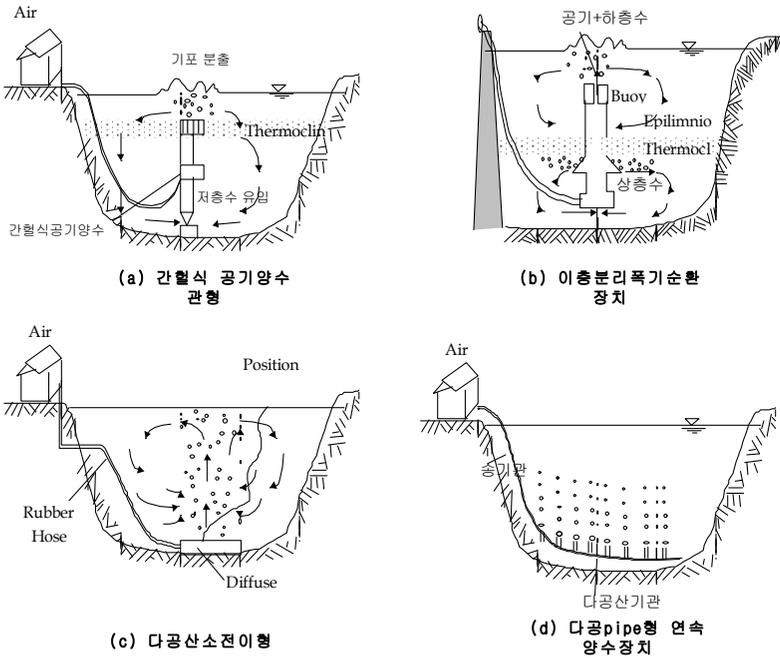


(d) 상향류폭기형 심층폭기 장치

[그림 4-129] 폭기장치의 형식

나) 인공순환 (artificial circulation, 물순환)

- 지속적인 수체의 혼합작용에 의해 저층수가 대기와 접촉해 산소가 풍부한 표층수와 혼합, 성층현상을 파괴하며 산소공급을 유도하는 방법
- 정체 및 폐쇄수역 등의 용존산소량이 적은 심층수를 표층으로 이송시켜 수표면에 Near Laminar Flow를 형성시키고 용존산소가 높은 표층수를 대기압에 의해 심층부로 하강시켜 수중에 산소를 공급하고 혐기화된 저질층의 호기화 유도
- 인공순환의 형식 ([그림 4-130] 참조)
  - 기계적 혼합 (mechanical mixing system)
    - 회전날개 (fan blades) 또는 제트 수류 (water jets)를 이용 순환 유도
    - 용존산소가 고갈된 심층수를 폭기가 이루어지는 표층까지 펌프를 이용해서 끌어올리는 방법 (Irwin et al., 1966)
    - 커다란 회전판 (fan)을 바지선 위에 설치해 산소가 풍부한 표층수를 호소 저층으로 보내서 폭기를 유도하는 방법 등



[그림 4-130] 양수통형 및 산기형 인공순환장치의 종류

- 공기양수통 형식 (air-lift pump system)
  - 호소에 수직으로 설치된 관을 통해 압축 공기를 주입하는 방법
  - 양수통 하단에 공기를 불어넣으면 공기가 양수통 내부에서 부력에 의해 수면으로 이동하며, 아래쪽에 발생하는 부압에 의해 물이 흡입
  - “Air-Gun”형식과 ”Helixor”형식으로 우리나라와 일본에서 이용
- 산기관 형식 (diffuser air pipe system)
  - 현재 미국 및 유럽 등지에서 가장 많이 쓰이는 형식으로 호소 내부에 설치된 관이나 다른 산기관 장치에 압축공기를 주입해서 형성된 공기방울이 호소 표층으로 이동하면서 수체의 혼합을 유도하는 방법

## 2) 설계요령

### 가) 기본요건

- 인공순환/폭기는 수질관리를 위한 근본적인 방법이 아니며 관리목적이 분명한 소규모의 호소에 적용하는 것이 바람직

### 나) 유의사항

- 인공순환/폭기장치의 용량이 과소하게 설계된 경우 성층현상이 파괴되지 않고 수질이 개선되지 않거나 악화될 수 있음
- 성층현상이 발생하면 파괴하기 어려우므로 성층 발생 초기부터 가동
- Cooke 등(1993)은 미국 및 유럽에서의 수중폭기장치 효과를 분석한 결과 공기량과 호소의 크기의 비가  $1.0 \text{ m}^3/\text{min}/\text{km}^2$  (체적기준) 이상 또는  $6 \text{ m}^3/\text{min}/\text{km}^2$  (면적기준) 이상일 경우 효과적인 혼합효과가 있었던 것으로 보고하고 있음

## 3) 설계 방법

### 가) 산기관 (Line Pipe)형 인공순환 장치 설계 방법(Davis의 방법)

- Davis(1980)는 이론식과 경험식을 조합하여 산기관을 이용한 인공순환 장치의 설계에 사용할 수 있는 식을 제안
- 산기관형 인공순환 장치 설계절차
  - 수심에 따른 수표면적과 용량
  - 온도 또는 밀도의 수직 분포
  - 호소안정도와 유입되는 열에너지, 이를 파괴하는데 필요한 에너지량
  - 압축장치에 필요한 공기량

## 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

- 산기관의 길이 (최소한 50 m)
- 산기관과 공기구멍 (0.8 mm)의 지름 및 공기구멍의 간격 (0.3 m)
- 정수압, 관말단부에서의 초과압력, 관내부의 마찰, 관의 휘어짐, 밸브 등에 의한 손실을 고려한 관의 내경과 압축공기압
- 손실압력과 공기량을 고려한 산기관의 길이의 재점검
- 추의 무게

### 나) 산기관형 인공순환장치 설계 방법

● Schladow의 무차원 변수를 이용하는 방법을 서동일등 (2004a) 이 국내의 실정과 맞게 변형 개발

#### ● 설계절차

- 최대 성층현상이 발생하였을 때의 데이터를 선정하고 수체의 특성을 반영한 에너지 산정.
- 선정된 성층 데이터를 선형화하여 선형성층 기울기를 산정.
- Schladow가 제시한 그래프를 이용하여 에너지의 효율을 결정.
- 영향반경을 고려한 설치 대수 산정.
- 수체 전체를 혼합시킬 때 필요한 전체 공기량 산정.

### 다) 간헐식 공기양수통형 인공순환 장치 설계 방법

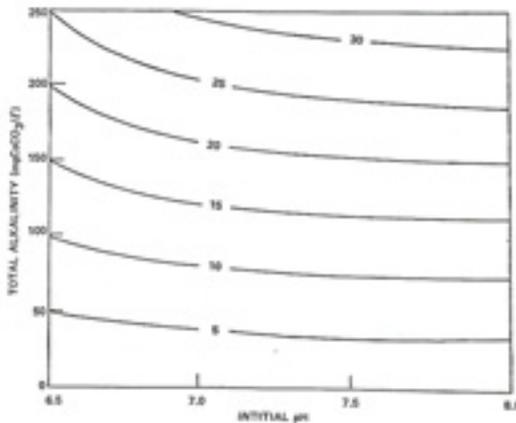
#### ● 설계절차

- 양수통에서의 마찰손실과 가속도의 관계를 고려하여 상부에서 분출하는 수체의 유속 및 유량 산정
- 위에서 계산된 유속에 따른 최대 상승거리 산정
- 산기식 수중 폭기장치와 같은 방법으로 공급하여야 할 총 위치에너지 산정
- 양수통을 통하여 공급되는 단위시간당 운동에너지의 증가분 산정
- 성층파괴에 걸리는 시간을 가정하고 위치에너지와 운동에너지 증가분의 관계에서 설치대수 산정
- 전체 대수에 공급되어야 하는 공기량 산정

## 라. 응집제에 의한 영양염류 및 퇴적물 용출제어

### 1) 알칼리도를 이용하는 alum 투여량 설계방법 (Kennedy, 1978)

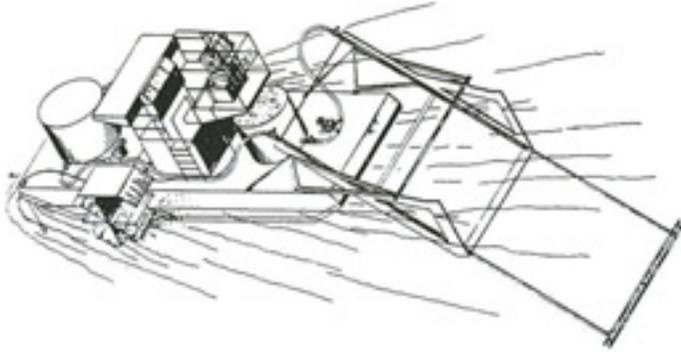
- ① 호소 수심별 충분한 개수의 시료를 확보하여 알칼리도 측정 (pH 4.5)
  - ② 다양한 alkalinity와 pH에 대하여 호소의 최종 pH를 6.0으로 달성할 수 있는 alum 투여량은 [그림 4-131]에 나타냄 (alkalinity 35 mg/L as CaCO<sub>3</sub> 이상의 경우에만 실험된 값)
- 정확한 alum투여량은 알루미늄의 농도가 확인된 alum stock solution 을 이용, 호소시료 적정하여 산정 (1.25mgAl/L는 공업용급 (Technical grade) 입상 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O 15.4211g을 1L에 녹여서 제조). 1.0mℓ의 stock solution을 500mℓ의 수질시료에 투여할 경우 농도는 2.5mg Al/L. 적정 투여량은 pH 6.0을 안정적으로 유지하게 하는 양



[그림 4-131] 호소의 최종 pH 를 6.0 으로 달성할 수 있는 alum 투여량

- ③ 액상 Alum이 사용되는 경우 적정하게 변환하여 사용 필요. 통상 액상 Alum은 8.0~8.5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이며(15.5 ℃), 이는 0.62~0.66 kg/L의 alum 에 해당. 투여 총량은 각 수심의 시료에 필요한 양의 합으로 결정
- 호내에 alum 을 투입하기 전에 부이로 해당 면적을 표시하고 각 면적의 총체적과 알칼리도를 측정하여 수심이 깊은 곳에 적게 투여되거나 수심이 얇은 곳에 과량 투여되지 않게 설계
- 알칼리도 낮은 경우, alum 투여량을 pH 6.0이 되기 이전까지로 감소

## 2) Alum의 투입 방법



[그림 4-132] Alum 투입을 위해 개조된 선박

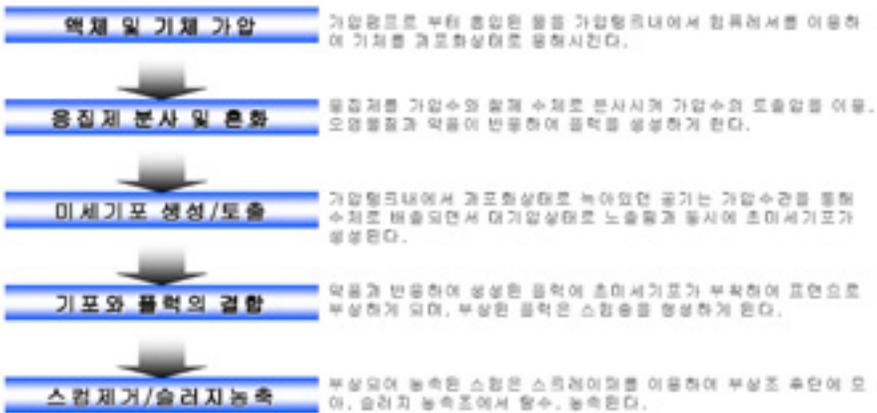
[표 4-63] 적용사례 및 비용 (1991년 기준 소요비용, Cook et al., 1992)

Lake	Treatment type	Physical & Chemical Data	Chemical & Dose	Cost (\$/ha)
Horseshoe Lake Wisconsin(dimictic)	Liquid alum	$A_0 = 8.9\text{ha}, V=3.6 \times 10^5\text{m}^3$ $Z_{\text{max}}=16.7\text{m}, Z=4.0\text{m}$ $\text{Alk}=218\text{-}278\text{mg/l}, \text{pH}=6.8\text{-}8.9$	2.6g Al/m <sup>3</sup>	150
Lake San Marcos	Liquid alum	$A_0 = 18.2\text{ha}, V=4.3 \times 10^5\text{m}^3$ $Z_{\text{max}}=2.3\text{m}$ $\text{Alk}=190\text{-}268\text{mg/l}, \text{pH}=7.3\text{-}9.1$	6.0g Al/m <sup>3</sup>	189
Welland Canal, Ontario, Canada (dimictic)	Liquid alum, surface application	$A_0 = 74\text{ha}, V=6.2 \times 10^6\text{m}^3$ $Z_{\text{max}}=9.0\text{m}, Z=9.0\text{m}$ $\text{Alk}=109\text{mg/l}$	2.5g Al/m <sup>3</sup>	306
Mirror Lake, Wisconsin (monomictic)	Liquid alum and aeration	$A_0 = 5.1\text{ha}, V=4 \times 10^5\text{m}^3$ $Z_{\text{max}}=13.1\text{m}, Z=7.8\text{m}$ $\text{Alk}=222\text{mg/l}, \text{pH}=7.6$	6.6g Al/m <sup>3</sup>	600
Shadow Lake, Wisconsin(dimictic)	Liquid alum	$A_0 = 17.1\text{ha}, V=9.1 \times 10^5\text{m}^3$ $Z_{\text{max}}=12.4\text{m}, Z=5.3\text{m}$ $\text{Alk}=188\text{mg/l}, \text{pH}=7.4$	5.7g Al/m <sup>3</sup>	600
Cline's Pond, Corvallis, Oregon (monomictic)	Liquid Na- aluminate & HCl	$A_0 = 0.4\text{ha}, V=9600\text{m}^3$ $Z_{\text{max}}=4.9\text{m}, Z=2.4\text{m}$ $\text{Alk}=30\text{-}50\text{mg/l}, \text{pH}=7.0\text{-}7.7$	10.0g Al/m <sup>3</sup>	630
West Twin Lake, Ohio(dimictic)	Liquid alum	$A_0 = 34\text{ha}, V=14.2 \times 10^4\text{m}^3$ $Z_{\text{max}}=11.5\text{m}, Z=4.4\text{m}$ $\text{Alk}=102\text{-}149\text{mg/l}$	26.0g Al/m <sup>3</sup>	638

[표 4-64] 적용사례 및 비용 (1991년 기준 소요비용, Cook et al., 1992) (계속)

Lake	Treatment type	Physical & Chemical Data	Chemical & Dose	Cost (\$/ha)
Dollar Lake, Ohio(dimictic)	Liquid alum	A <sub>0</sub> =2.2ha, V=0.86×105m <sup>3</sup> Z <sub>max</sub> =7.5m, Z=3.9m Alk=101-127mg/l, pH=6.7-8.6	20.9g Al/m <sup>3</sup>	756
Medical Lake, Washington(dimictic)	Liquid alum	A <sub>0</sub> =64ha, V=6.4×106m <sup>3</sup> Z <sub>max</sub> =18m, Z=10m Alk=750mg/l, pH=8.5-9.5	12.2g Al/m <sup>3</sup>	2,610

마. 다단 가압부상 장치 기술



제4장  
수질개선대책 세부설계

[그림 4-133] 다단 가압부상 장치 정화 원리



[그림 4-134] 다단 가압부상 장치 기술 적용현황

## 바. 호안 공법

**[표 4-65] 식생계 호안(인공호안) 공법의 기능 및 고려사항**

호안 형식	기능 및 고려사항
평떼	식물재 활용, 친환경적, 경관성 좋음 중·하류 완경사면에 적합함 비탈면경사 : 1:2.0 이상
Seed spray	밭아 및 활착 이후 별도의 유지관리가 필요 없음 식물재 활용, 친환경적, 경관성 좋음 비탈면경사 : 1:2.0 이상
식생매트형	기존포기심기 방식에 비해 활착율이 비교적 높고 뿌리 엉킴이 활발하여 호안의 침식 및 세굴방지효과 있음 성·절토면의 조기녹화, 토양안정 및 침식방지효과 있음 매트의 부분유실이나 지반침하 시 뿌리번식에 의한 자생 복원력이 좋음 다양한 품종 선택이 가능하며 경관이 비교적 좋음 비탈면경사 : 1:1.5 이상
입체식 매트형	소재의 탄력성으로 유수의 충격을 흡수함 빠른 유속에서도 콘크리트를 쓰지 않고 식생호안을 형성하며 환경친화성 좋음 비탈면경사 : 1:1~1:2
에코매트	탄력이 좋아 유수의 충격을 일부 흡수 가능함 다양한 품종 선택이 가능하여 경관이 좋음 비탈면경사 : 1:3.0~1:5.0
야자섬유 매트	식재가 완성된 제품으로 높은 피복률 및 녹화효과에 의해 잡초 및 우점종의 침입을 방지 친환경소재를 사용하여 자연환경에 유사한 생태적 복원 어류·수서생물의 서식처 및 피난처 제공 비탈면경사 : 1:2.0 이상
다기능 개비온 기초와 완성형 식물 매트 공법	식물양태 및 매트로 구성되 소류력, 유속에 강함 식생기반 토양이 깊고 홍수 및 침수 이후에도 식재식물의 생존률이 높아 녹화 효과 우수 어류·수서생물의 서식처 및 피난처를 제공함 비탈면경사 : 1:2.0 이상
연속섬유 보강토공법	하천에서 나오는 준설토를 사질토 대체로 사용 가능함 하천 선형에 굴요성 있게 대응할 수 있음 하부 세굴에 대한 대응력이 강하고, 비탈면 내부에 토양 저항체를 매립함으로써 구조적 안정화를 도모함 조기 식생조성이 가능하며 식물종자 유실 및 배면토사의 유실 우려가 적음 비탈면경사 : 1:2.0 이상
친환경 식생 토낭	생태계를 회복시키는 식생·녹화를 위한 공학적 기술로 급경사면과 곡면의 변화구간에도 이상적임 시공이 간편하여 중장비 없이도 작업이 가능하며 유지관리가 용이함. 현장의 흙을 이용 가능하며, 긴급공사에 적용 가능함 신축성에 있어 결빙과 해빙에 안전 자외선 화재 등에 내구성이 좋음

[표 4-66] 석재계 호안(인공호안) 공법의 기능 및 고려사항

호안 형식	기능 및 고려사항
자연석 쌓기	자연석에 의한 하안부 및 하상부 보호기능 있음 자연석을 매쌓기 하여 틈이 많아 어류나 육상곤충류의 생식장, 피난처 제공 가능, 자연석 쌓기 틈새에 식생이 가능함 비탈면경사 : 1:0.7~1:1.0
자연석 돌붙임	돌붙임과 틈새의 수초 식재에 의한 유속의 수층 및 침식으로부터 호안을 보호할 수 있음, 세굴방지 효과가 좋음 비탈면경사 : 1:1.0~1:3.0
스톤네트형	일정면적을 식생공간으로 적용하여 풍성한 녹화 공간 형성 유수력에 저항하는 힘이 강하여 하상 및 호안의 세굴 방지 비탈면 안정에 효과적임, 역간접축산화법에 의한 하천 자정기능을 향상 비탈면경사 : 1:1.0이상
스톤 매트리스형	치수 안정성 좋음 돌과 수변식물이 어우러져 야생 동식물의 서식처 제공 부대공사에 의한 불필요한 손실 감소, 기존 하천 생태계 보호 비탈면경사 : 1:1.0 이상
사석부설	하안선형을 변화시킴으로써 수제공과 동일한 효과를 얻을 수 있음 여울과 웅덩이의 형성을 촉진할 수 있음, 배수로바닥 저하될 곳에 적합한 석재는 그 부근 하상의 구성 재료보다 무거운 것을 적절히 사용 비탈면경사 : 1:1.0 ~ 1:0.3
랩스톤	블록 내 식생이 가능하여 수상과 비탈면 생태계를 연결하여 생태계 단절을 방지하고 수서생물의 서식 공간 제공이 가능함 재료 구입 및 시공이 용이함, 식물식재 가능함 비탈면경사 : 1:0.3~1:1.5
콘크리트호안 블럭	경계성 및 치수성 양호함, 유지관리 비용이 적게 소요됨 비탈면경사: 1:1.0 ~ 1:3.0
섬유 혼합 다공성 일 블럭 공법	기존 호안블록에 비해 20% 이상 공극 확보로 조기 식생조성이 탁월 식생뿌리, 원지반의 일체화로 호안의 안정성이 우수함 소성황토 및 섬유배합을 통해 시멘트 사용량 및 pH가 저감됨 친수성 천연섬유를 사용하여 강도 및 공극률을 향상시킴 다공성의 통기성이 확보되어 하부지반에 미생물 및 소곤충의 생태조성 등 하천 주변 생태계 복원성 및 경관성이 우수함 비탈면경사 : 1:1.0 이하의 완만한 비탈면
일체형 생태호안 블럭 공법	호안블록이 일체화되어 빠른 유속에도 유실이 발생하지 않음 배면의 허중이 포켓으로 소산되므로 토입경감효과 및 heaving방지 우수, 포켓이 각각 독립적이므로 부분적인 호안 유실이 전체로 확산되지 않음 일체화구조로 블록의 개별탈락이 발생하지 않음 비탈면경사 : 1:1.0~1:3.0
환경 생태 블럭	생태통로 역할 양호함, 블록간 간극 및 유공을 이용한 녹화가 가능함 자연석 문양의 인공적 경관 조성이 용이함 공강생산제품으로 품질이 균열하고 시공성이 좋음 비탈면경사 : 1:1.0~1:3.0

**[표 4-66] 석재계 호안(인공호안) 공법의 기능 및 고려사항 (계속)**

호안 형식	기능 및 고려사항
황토 블록	열전도율이 좋고 수분 조절능력이 있어 수변식물에게 생육조건을 조성함 황토 고유의 특성을 그대로 유지하면서 콘크리트 블록과 동등 이상의 강도와 흡수율 발현이 용이함 비탈면경사 : 1:1.0~1:3.0
친환경 블록	공극 내의 객토는 지반과 연결되어 수변생물의 서식공간을 제공함 투수성이 양호하고 지반의 형태에 대한 신속성이 높아 주변 환경과 조화성이 좋음 블록 간의 맞물림으로 치수적으로 안정됨 비탈면경사 : 1:1.5 이상

**[표 4-67] 블럭계 호안(인공호안) 공법의 기능 및 고려사항**

호안 형식	기능 및 고려사항
식생 옹벽 블록형	생물서식공간의 제공, 경관 양호, 하폭과 고수부 폭이 좁은 상류지역에 적합 수로에 인접하여 석축 및 옹벽대용으로 가능함 비탈면경사 : 1:0.3~1:0.5
섬유 혼합 다공성 소일 블록	기존 호안블록에 비해 20%이상 공극 확보로 조기 식생 조성이 탁월하며, 시멘트 사용량 및 pH가 저감됨 친수성 천연섬유를 사용하여 강도 및 공극률이 향상됨 다공성의 통기성이 확보되어 하부지반에 미생물 및 소곤충의 생태조성 하천 생태계 복원성 및 경관성 우수 비탈면경사 : 1:0.5 또는 1:1.0
생태 블록	치수기능, 식물생육, 활착이 동시 가능 다양한 초화류의 적용으로 하천주변생태계의 교란이 없으며 경관 양호함 고정핀을 이용한 시공으로 블록이 일체화 될 수 있음 비탈면경사 : 1:0.5~1:2.0
어소 블록	경수구역은 자갈, 모래를 넣어 수초의 발생을 유도, 유수구역은 갑석을 넣어 다공질 공간을 형성하여 어류 및 수서생물의 서식처를 제공함 다공성 콘크리트로 부분적 수질정화기능 부여함 비탈면경사 : 1:0.3~1:0.5
사각 방틀	방틀 자체로 어류 및 수서생물의 휴식피난 등에 적합한 음영부와 회유구를 확보함 방틀 돌출부에 코이어롤을 설치, 수층부에 인공 녹화공간 조성에 유리함
사각 방틀: 세굴 방지틀	갯벌들은 뿌리조직에 의한 토양과의 결속력이 좋고 번성한 가지에 의한 유속저감 효과를 가짐 생물서식에 좋은 다공질 공간을 조성하여 산란 장소, 피난 장소로 제공함 갯벌들 군락에 의한 수변의 자연경관 보전 및 창출 효과를 가짐
사각 방틀: 식생 방틀	방틀 자체가 완제품으로 출시되므로 시공이 용이하고 시공기간의 단축에 유리함 방틀 돌출부에 코이어롤을 설치함으로써 수층부에 인공 녹화공간 조성에 유리함
삼각 방틀	구조적 안정성이 높아 수층부 지역의 침식을 방지함 방틀 자체로 어류 및 수서생물의 휴식피난 등에 적합한 음영부와 회유구를 확보함 하폭이 좁은 저수소에 사용하기 좋으며 넓은 통수단면을 확보함

[표 4-68] 식생계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
평떼	유속(m/s): 2 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 2 하상경사: 완류 비수충부, 사수부	
Seed spray	유속(m/s): 2 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 2 하상경사: 완류 비수충부, 사수부	
식생매트형	유속(m/s): 3 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 3~8 하상경사: 완류, 중류 비수충부, 사수부	
입체식 매트형	유속(m/s) : 4 소류력(kg/m <sup>2</sup> ) : 8 하상경사: 완류 비수충부	
에코매트	유속(m/s): 3 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 8 하상경사: 완류, 중류 비수충부	
야자섬유 매트	유속(m/s): 3~5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 3~10 하상경사: 완류, 중류 비수충부	
다기능 개비온 기초와 완성형 식물매트공법	유속(m/s): 6 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 25 하상경사: 중류, 급류 비수충부, 수충부	
연속섬유 보강토공법	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 중류, 완류 비수충부, 수충부, 사수부	
친환경 식생 토낭	유속(m/s): 중/저유속(정수역) 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 8 이하 하상경사: 완류 비수충부	

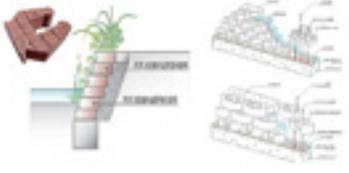
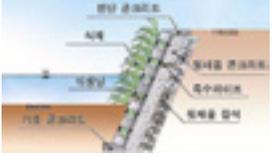
[표 4-69] 석재계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
자연석 쌓기	유속(m/s): 3~5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 급류, 중류 수충부, 사수부	
자연석 돌붙임	유속(m/s): 3~5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부, 비수충부, 사수부	
스톤네트형	유속(m/s): 5~8 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 20 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부, 비수충부	
스톤 매트리스형	유속(m/s): 8 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류 수충부	
사석부설	유속(m/s): 3 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부	
랩스톤	유속(m/s): 10 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 20 이하 하상경사: 급류 수충부, 사수부	

[표 4-70] 블럭계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
콘크리트 호안 블럭	유속(m/s): 2 ~ 7 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부, 비수충부	
섬유 혼합 다공성 소일 블럭 공법	유속(m/s): 5.0이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16.0 이하 하상경사: 급류, 중류 비수충부	
일체형 생태 호안 블럭 공법	유속(m/s): 6 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 이하 하상경사: 급류, 완류 수충부, 사수부	
환경 생태 블럭	유속(m/s): 4 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 급류, 중류 수충부, 사수부	
황토 블럭	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 급류, 중류 비수충부	
친환경 블럭	유속(m/s): 4 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16 하상경사: 중류, 완류 비수충부	
식생 옹벽 블럭형	유속(m/s): 7 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 80 이하 하상경사: 급류 수충부	

[표 4-70] 블럭계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자 (계속)

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
섬유 혼합 다공성 소일 블록	유속(m/s): 6 이하 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 이하 하상경사: 급류, 중류 수충부	
생태 블록	유속(m/s): 2.0~7.0 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 16.0 하상경사: 급류 비수충부	

[표 4-71] 방틀계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
사각 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 하상경사: 급류 수충부	
사각 방틀: 세굴 방지틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 하상경사: 급류 수충부	
사각 방틀: 식생 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 하상경사: 급류 수충부	
삼각 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m <sup>2</sup> ): 60 하상경사: 급류 수충부	

[표 4-72] 식생계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
평떼	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 중·하류 완경사면에 적합하지만 적용구간이 다소 한정됨</li> <li>◦ 시공초기 식재에서 활착까지 유실대책 필요</li> <li>◦ 식생조건(지하수위, 저수위 및 홍수위 등) 및 홍수지속 시간에 따라 선별하여 설치</li> </ul>
Seed spray	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 동절기 시공의 제약이 있으며, 발아 및 초기 활착 시까지 유지관리가 필요함</li> <li>◦ 식생조건(지하수위, 저수위 및 홍수위 등) 및 홍수지속 시간에 따라 선별하여 설치</li> </ul>
식생매트형	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 호안 하단 매트 연결부 세굴현상에 주의하여야 함</li> <li>◦ 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 초기에 이루어질 수 있도록 시공 시기와 방법 등에 주의하여야 함.</li> <li>◦ 하폭이 넓은 구간의 사수부에 속하는 구간에서 적용 가능성이 있으며, 홍수유속을 고려하여 복토면 아래에 연결 블록과 같은 은폐호안 등을 설치하여 보호할 필요성이 있는지를 검토하여 설치하는 것이 좋음</li> </ul>
입체식 매트형	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 매트부에 의한 침식방지 효과로 원지반 토립자의 흡출방지와 식생정착 후에는 보강망이 식물의 뿌리와 줄기를 단단히 눌러 유수력과 양력에 대한 저항력을 가짐</li> <li>◦ 유수와 함께 떠내려 오는 미사를 흡착하므로 별도의 복토공사가 필요 없으며, 식물 정착을 위한 기반제의 역할을 함</li> <li>◦ 빠른 유속에서도 콘크리트를 쓰지 않고 식생호안을 형성하며, 한국적인 치수강도와 환경 친화성 있음</li> </ul>
에코매트	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 초기에 이루어질 수 있도록 시공시기와 방법 등에 주의하여야 함</li> <li>◦ 도입될 식생은 주변 환경과 관계를 고려해야 하며, 식생의 정착을 위해 수위분석도 병행해야 함</li> <li>◦ 하폭이 넓은 구간의 사수부에 속하는 구간에서 적용 가능성이 있으며, 홍수유속을 고려하여 복토면 아래에 연결블록과 같은 은폐호안 등을 설치하여 보호할 필요성이 있는지를 검토하여 설치하는 것이 좋음.</li> </ul>
야자섬유 매트	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 비탈면 시공시 매트 연결부에 적절한 장치를 통해 세굴발생 개선필요</li> </ul>
다기능 개비온 기초와 완성형 식물 매트 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 수충부에 설치할 경우, 초장이 긴 식물을 식재하여 토양의 세굴을 방지하는 것이 바람직함</li> </ul>
연속섬유 보강토공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 별도의 유지관리가 불필요함</li> </ul>
친환경 식생 토낭	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 초기에 이루어질 수 있도록 시공시기와 방법 등에 주의해야 함</li> </ul>

[표 4-73] 석재계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
자연석 쌓기	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 사용하는 암석의 크기는 홍수에 대한 내성, 하도와의 조화에 따라 결정</li> <li>· 홍수류에 의해 유실이 발생하지 않도록 견고히 쌓아야 하며, 대부분의 하천에 적용성이 높음</li> <li>· 기초부 침식, 배면부 토사의 흡출에 따른 문제점과 자연석 크기에 따른 안정성의 차이를 고려해서 시공해야 함</li> </ul>
자연석 돌붙임	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 배면부의 토질이 연약지반일 경우 침하 발생 가능성 있으며, 돌의 직경에 따른 안정성 차이가 있음</li> <li>· 석재의 색깔이 주변환경과 어울리는지 검토하여 시공하는 것이 바람직함</li> </ul>
스톤네트형	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일체형 제품으로 공기 단축 가능</li> <li>· 곡선부/변화구간에 시공이 가능하며, 장비를 이용하여 한번에 여러 개의 제품을 운반 설치 가능함</li> </ul>
스톤 매트리스형	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 맞춤형 제작품을 설치하므로 공기를 단축시킬 수 있음</li> <li>· 기존지형에 최소한의 피해를 주기에 복구를 위한 비용의 발생이 적음</li> </ul>
사석부설	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 사용하는 암석의 크기는 홍수에 대한 내성, 하도와의 조화에 따라 결정함</li> <li>· 홍수류에 의해 유실이 발생하지 않도록 할 필요가 있으나, 대부분의 하천에 적용성이 높음</li> <li>· 신설 호안뿐만 아니라 기설 호안의 전면에도 시공함으로써 유속을 감소시키며, 수제를 다공질로 하는 등 효과가 큼</li> </ul>
랩스톤	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기초콘크리트의 타설은 토목공사 표준시방서상의 관련 제규정에 의해 시공하여야 함</li> <li>· 블록은 하단에서부터 설치하되, 블록간 이탈이 없고 전체가 일체가 되도록 견고하게 결속하여야 함</li> <li>· 식물생육에 적합한 사질양토를 복토하고, 현장 내 토양이 식재에 적합하지 않을 경우에는 식생토 반입계획 마련하여야 함</li> </ul>

[표 4-74] 블럭계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
콘크리트 호안 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단기적으로 부분적인 유지관리가 필요하며, 곡선부 구간에는 정밀 시공이 요구됨</li> <li>· 환경, 생태적 측면에서 매우 불리하므로 가급적 도입을 지양하여야 함</li> </ul>
섬유 혼합 다공성 소일 블록 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 식생초기에 종자가 발아할 때까지 수분 관리가 요구되므로, 이를 위해 현장에서는 거적을 사용하여 시공하여야 함</li> <li>· 식생의 시기에 따른 공사시기를 조절할 필요가 있으며, 식생 정착 후에는 특별한 유지관리가 요구되지 않음</li> </ul>
일체형 생태 호안 블록 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 균열 파손 시 커팅을 통해 해당 부분만 재시공함</li> </ul>
환경 생태 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 굴요성 부족으로 지반침하에 대한 저항력이 약함</li> <li>· 블록훼손 시 장비투입에 의한 복구 필요함</li> </ul>
황토 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 황토 본래의 색상과 질감으로 주변 환경과 조화로운 경관을 창출함</li> <li>· 부분적인 블럭 교체로 유지보수 용이함</li> <li>· 긴급공사에 적용 가능함</li> </ul>

**[표 4-74] 블럭계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리 (계속)**

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
콘크리트 호안 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 단기적으로 부분적인 유지관리가 필요하며, 곡선부 구간에는 정밀 시공이 요구됨</li> <li>◦ 환경, 생태적 측면에서 매우 불리하므로 가급적 도입을 지양하여야 함</li> </ul>
섬유 혼합 다공성 소일 블럭 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식생초기에 종자가 발아할 때까지 수분 관리가 요구되므로, 이를 위해 현장에서는 거적을 사용하여 시공하여야 함</li> <li>◦ 식생의 시기에 따른 공사시기를 조절할 필요가 있으며, 식생 정착 후에는 특별한 유지관리가 요구되지 않음</li> </ul>
일체형 생태 호안 블럭 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 균열 파손 시 커팅을 통해 해당 부분만 재시공함</li> </ul>
환경 생태 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 굴요성 부족으로 지반침하에 대한 저항력이 약함</li> <li>◦ 불록훼손 시 장비투입에 의한 복구 필요함</li> </ul>
황토 블럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 황토 본래의 색상과 질감으로 주변 환경과 조화로운 경관을 창출함</li> <li>◦ 부분적인 블럭 교체로 유지보수 용이함</li> <li>◦ 긴급공사에 적용 가능함</li> </ul>

**[표 4-75] 방틀계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리**

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
사각 방틀	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식생대 조성이 힘든 하천 중간에 인위적인 식생대를 조성, 하천 생태계의 기초가 됨</li> <li>◦ 식생방틀 내에 코이어물을 설치함으로써 식물 활착이 가능함</li> <li>◦ 수변 생태계의 기초가 되는 저서생물의 서식처가 되어 먹이사슬의 기초 공급원 역할을 수행함</li> </ul>
사각 방틀: 세굴 방지틀	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 보 아래에 적용시 단수를 조정 설치함으로써 어도의 기능도 가능함</li> <li>◦ 돌 틈에 토사가 퇴적되면 자연적으로 초본류가 자라서 미려한 수변 경관을 창출함</li> <li>◦ 활착 전 주기적인 수분 공급을 실시하여야 함</li> </ul>
사각 방틀: 식생 방틀	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 식생대 조성이 힘든 하천 중간에 인위적인 식생대를 조성, 하천 생태계의 기초가 됨</li> <li>◦ 식생방틀 내에 코이어물을 설치함으로써 식물 활착이 가능함</li> <li>◦ 수변 생태계의 기초가 되는 저서생물의 서식처가 되어 먹이사슬의 기초 공급원 역할을 수행함</li> </ul>
삼각 방틀	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 방틀공 및 침상공의 상단이 계획홍수위보다 높을 경우 식재한 식생은 생존이 어려우므로 유의하여야 함</li> <li>◦ 수위의 상승-하강이 심한 구간은 부식의 진행이 빠르므로 이에 유의해야 함</li> <li>◦ 돌의 크기가 너무 작으면 흡출에 의하여 공극이 생기기 쉬우므로 상자의 크기와 돌의 크기에 유의해야 함</li> </ul>



제5장

운영 및  
유지관리





## 제5장 운영 및 유지관리

### 1. ○ 일반적 유지관리

#### 가. 모니터링

● 모니터링의 주기와 기간은 [표 5-1]을 참고로 하여 현장여건에 맞도록 조정 할 수 있다.

[표 5-1] 일반적인 모니터링 계획

구 분	빈 도	조사지점	비 고
식생 - 식물현존량	년2회	현장여건에 맞게 선정	
수질분석 - 유입·유출수	최소 분기별1회	주요 유출입부 및 수질개선시설 내부	설계시 모니터링 계획 반영
Water balance - 유출입량 - 강우/증발산량	월 1회	자동계측시설 및 측후소 자료 활용	설계시 모니터링 계획 반영
야생동물조사 - 어류 - 양서류 및 파충류 - 조류	반기별 1회	현장여건에 맞게 선정	
시설관리 - 제방 / 웨어 / 펌프 - 수문 및 수중보 등	상시 관측	설치 지점	

#### 나. 유지관리

##### 1) 관리체제

● 효율적인 농업용수 수질개선시설의 유지관리를 위해서는 지역특성, 시설 이용자, 시설구조, 관리내용 등에 알맞은 적절한 관리주체, 관리비용 부담방법, 관리책임 소재 등 관리체제를 정비할 필요가 있다.

- 정비된 시설이 효율적으로 이용되고, 적절하게 유지 관리되는지 여부는 중요한 사항이므로 유지관리에 적합한 기본방침을 세울 필요가 있다. 기본방침 작성 시에는 시설관리자, 비용부담자, 지역주민과의 충분한 협의와 조정을 거쳐야 한다. 특히 관리경비의 재원 및 지출방법에 대해서는 충분한 논의가 필요하다.
- 수질개선 시설의 유지관리를 원만하게 추진시키기 위해서는 기존의 공공기관에 의존하는 것에서 탈피하여 지역주민 참가형으로 전환할 필요가 있다. 또한, 계획 작성 단계에서 유지관리 내용, 시설관리자 및 관리방법, 유지관리비용의 산출, 비용·역할 분담 및 지역주민참가 등을 내용으로 하는 유지관리계획서를 작성한다.
- 현재 국내에서는 수질개선시설 유지관리 기술축적이 빈약한 실정이므로 장·단기적인 모니터링을 실시하여 수질개선시설의 유지관리에 필요한 관리요소 및 관리기술을 정착화 시킬 수 있도록 하여야 한다.

#### 1) 관리주체

- 수질개선시설의 관리는 수리시설관리자가 하는 것을 원칙으로 하고 가능한 한 지역주민이 주체적으로 참가할 수 있는 형태를 갖추는 것이 바람직하다.

#### 2) 주민참여

- 주민이 자발적으로 참가할 수 있는 공동과제를 설정하면 스스로 시설에 대해 애착을 가지고 관리할 수 있으며, 동시에 공동체의식·사회적 도덕의식 형성에도 이점이 있어 효과적·경제적인 관리가 가능할 수 있다.

#### 3) 유지관리 비용부담

- 수질개선시설의 유지관리비용에 대해 관리내용의 공익성과 관리주체의 성격, 부담능력을 감안하여 공적부담으로 한다.
- 유지관리비용은 관리지구 증가, 관리범위 확대, 관리내용의 고도화로 인해 증가하는 경향이므로 시설관리자의 재정 압박의 요인이 될 수 있다. 따라서 특정수익자에게 관리비용을 징수할 수 있는 방법과 관리비용을 일부 부담할 수 있는 단체를 끌어들이는 등 대책을 검토할 필요가 있다.

#### 4) 관리책임의 명확화

- 수질개선시설이 일반주민에게 개방되는 경우에는 특히 재산소유구분의 명확화(유지관리책임 소재와 관련), 관리규칙 제정(농업수리시설과 관리책임범위, 불특정다수의 책임에 관련된 사항의 책임분담 등)을 검토한다.

## 2) 유지관리방법

- 관리방법으로는 유지관리조직을 중심으로 시설관리자, 지역주민 간에 충분한 협의 조정을 거쳐 행정담당 부분, 비용 부담, 작업의 내용, 시기 및 횟수, 관리 수준 등을 결정함과 동시에 필요에 따라 유지관리 작업계획을 작성하여 유지관리 협정의 제정, 시설장부의 작성, 유지관리요령 정비를 갖추는 것이 바람직하다.
- 또한, 이벤트나 유지관리 연간 계획, 연차 계획을 명확히 하여 그중에서 공공 작업 분담의 체계를 갖추고, 회보나 광고 등을 통해 지역주민에 대한 의식 고취에도 힘을 쏟을 필요가 있다.
- 개별시설에 대한 유지관리 방법은 지역의 특수성, 개선공법의 특성에 따라 유지관리계획을 별도로 수립하여 시행하여야 한다. 수질개선시설의 유지관리상 유의점은 아래와 같은 사항을 고려해 볼 수 있다.

### 1) 농업수리시설의 기능을 방해하지 않을 것

- 수질개선 계획에서 설치된 수질개선시설, 친수시설 등이 농업수리시설 본래의 기능을 방해하지 않도록 적절한 유지관리를 실시해야 한다.

### 2) 안전성을 확보할 것

- 수해예방 대책은 물론 평상시에도 수해사고 방지에 만전의 조치를 취해야 한다. 특히 수위변동이 있는 경우에는 각각의 수위에 대한 사고방지 준비를 철저히 해야 한다.

### 3) 생물의 생식환경 보전

- 본 계획에서 농약 살포는 피해야하고 제초 작업이나 수목 가지치기 등에 있어서도 미관뿐만 아니라 생식환경 관리가 필수적이다.

## 2. ○ 수질개선대책시설별 유지관리방안

### 가. 유역 대책 유지관리방안

#### 1) 자연생태적 하수처리공법(KN-NEWS 공법)

##### 가) 평상시 관리

- 본 시설은 다른 자연정화 공법과는 달리 식물의 생장에 의존도가 낮으나 식물의 생장은 중요한 역할을 한다. 그러므로 식물의 건전한 생장이 이루어 질 수 있도록 평상시 다음과 같은 관리가 필요하다.
  - 시설 내부나 유입수조에 고농도의 제초제가 유입되지 않도록 한다.
  - 식물고사에 의한 오염물질 재용출을 방지하기 위하여 연간 1~2회 정도 식물을 절취할 필요가 있다. 하지만 평상시에도 주민들의 휴식공간 등으로 활용될 수 있으므로 관심 있는 관리가 필요하다.
  - 여름철에는 온실내부 온도가 매우 높아지므로 가급적 창문을 열어두어 환기가 잘 되게 해야 한다.
  - 나비, 잠자리 등 미관을 해치지 않는 곤충의 발생은 자연스러운 현상이고 처리효율과 시설의 유지에는 지장이 없으므로 특별한 대책은 필요 없다.

##### 나) 동절기 관리

- 식물이 적용되어 온실내에서 유지되나 특별한 난방을 실시하지 않으므로 식물은 11월말부터 2월 중순까지 휴면에 들어가게 된다. 하지만 겨울철에도 식물의 뿌리 주위에 서식하는 미생물의 활동으로 처리효율 저하는 발생하지 않으나 미생물들을 겨울철에도 유지될 수 있도록 다음과 같은 관리가 필요하다.
  - 가을철에 절지 작업을 통하여 건전한 식물의 휴면 준비를 한다. 충분한 식물의 휴면은 다음해의 더욱 왕성한 생육을 보장하기 때문에 식물의 생태적인 환경을 만들어 주어야 한다.
  - 식재기반형 접촉여재는 다공성 재질의 특성상 발로 밟거나 무거운짐을 올려놓으면 침하가 일어나기 쉬우며 장시간이 지나면 막힘현상이 발생할 수 있으므로 각별한 주의가 필요하다.
  - 노랑꽃창포 외 소형식물은 노랑꽃창포생장에 큰영향을 주지 않고 미생물활동 및 수질정화에 도움이 될 수 있으므로 제거하지 않아도 되나 대형식물은 노랑꽃창포의 생장에 악영향을 주는 동시에 뿌리가 너무 커져 물의 흐름을 방해할 수 있으므로 제거해 주어야 한다.



## 나. 유입수 대책 유지관리방안

### 1) 인공습지

#### 가) 취입보

##### (1) 시설개요

- ❶ 취입보는 유입수를 인공습지로 유입시켜 안정적으로 오염물질을 정화하도록 하기 위한 유량확보 시설이다. 강우시에 오염된 물이 인공습지로 들어가 정화되도록 미리 전도시키거나 각낙판을 제거하지 말아야 한다.



(고정보)-각낙판 미설치



(고정보)-각낙판 설치



(고무보)



(전동보)

[그림 5-1] 취입보 종류

##### (2) 점검내용 및 관리방법

- ❶ 취입보 유입관로(취입관)는 상시 점검하여 쓰레기 등이 습지로 유입되지 않도록 스크린을 설치하거나 상시 제거하여야 한다.
- ❷ 특히, 강우 후에는 토사나 쓰레기가 취입관 입구 및 내부에 퇴적되어 물 유입을 방해하는지 여부를 반드시 점검하여 제거하여야 한다.
- ❸ 취입보에 침전된 토사나 쓰레기 등이 습지로 유입될 경우 정화효과 저하 및 수명단축이 예상되므로 정기적인 관리가 필요하다.
- ❹ 강우초기 오염 농도가 높은 유출수가 인공습지로 들어가 정화되도록 각낙판을 미리 제거하거나 취입보를 미리 전도시키지 말아야 한다.

- ❶ 취입보를 전도시키거나 각낙판을 제거했을 때 하천의 수위가 최소한 취수구보다 높아야 오염된 하천수가 인공습지로 들어가 정화될 수 있으므로 특히 주의해야 한다.



(전동보 전도)



(각낙판 제거)

**[그림 5-2] 취입보 비정상 운영사례**

- ❶ 강우시 일정 수위에 도달하여 취입보가 자동 전도되거나 각낙판을 제거한 경우에는 강우 후 유입하천이 평시 수위에 도달 뒤 즉시 보를 세우고 각낙판을 끼워 인공습지로 물이 정상적으로 유입되도록 관리하여야 한다.
- ❷ 강우 후 취입구 스크린에 쓰레기가 걸려 유입구가 막혔는지 점검하고, 쓰레기가 걸려 있는 경우에는 즉시 제거하도록 한다. 또한 토사가 쌓여 취입구가 막힌 경우 즉시 제거하도록 한다.
- ❸ 취입구와 인공습지 사이의 수로가 막혔는지 반드시 점검하도록 한다. 특히, 관수로인 경우는 눈에 보이지 않으므로 세심한 점검이 필요하다.



(홍수위)



(평수위)

**[그림 5-3] 하천 수위변화**

나) 어도

(1) 시설개요

- ❶ 취입보 설치에 따라 단절된 상류하천과 저수지 사이에서 어류가 이동할 수 있도록 하기 위해 설치하는 부대시설이다.

## (2) 점검내용 및 관리방법

- 어도의 생태 연결기능을 유지하기 위해 일정 유량이 상시 흐를 수 있도록 하며, 생물이동이 용이하도록 어도내부에 이물질이 없도록 관리하여야 한다. 특히, 강우 후 토사 및 쓰레기가 퇴적되어 정상 가동되지 못하는 경우가 있으므로 강우 후에는 반드시 점검이 필요하다.
- 어도는 어류뿐만 아니라 다양한 생물들이 저수지와 상류하천을 이동하는 연결통로이므로 불법어로 및 포획행위가 발생하지 않도록 해야 한다.



(낙차로 어류 이동 불가능)

(어도 운영)

[그림 5-4] 어도 전경

## 다) 펌프시설

### (1) 시설개요

- 펌프시설은 자연유하로 유입수의 취수가 불가능한 지역에서 펌프를 이용하여 인공 습지에 유입수를 유입시켜 안정적으로 오염물질을 정화하도록 하기 위한 유량확보 시설이다.

### (2) 점검내용 및 관리방법

- 펌프 운전중 흡입이 불가능한 고형물이 임펠러(Impeller) 흡입구를 막지 않도록 스크린을 설치하는 등의 관리가 필요하다.
- 펌프 운전중 이상 소음 또는 진동이 있어서는 안 되며 이 때에는 펌프 및 배관구조, 설치상태 등의 종합적인 점검을 하여야 한다.
- 주기적으로 양수량, 전압, 전류 자동제어반의 작동상태 등을 점검, 기록하여 펌프의 이상상태를 사전에 예방하여야 한다.
- 펌프 필터를 자주 점검하여 청소해 주거나 교체해 준다.
- 안정적인 전기공급과 인공습지로 하천수가 유입되고 있는지 주기적으로 점검하여야 한다.



(펌프시설 전경)

(펌프시설 흡입구)

[그림 5-5] 펌프시설

### 라) 침전지

#### (1) 시설개요

- 침전지는 유입수가 습지로 유입되기 전에 유입수에 포함된 입자성 물질을 침전·제거하는 전처리 시설이다.

#### (2) 점검내용 및 관리방법

- 침전지내에는 식물이 자라지 않아야 하므로 식물이 침투할 경우 지속적으로 제거하여 식물이 서식하지 못하도록 관리하여야 한다.



(평시)

(강우후)

[그림 5-6] 침전지

- 강우 후에는 식물 고사체와 같은 유입된 부상물과 쓰레기를 제거하여 습지로 유입되는 것을 사전에 차단하는 것이 바람직하다.
- 침전지의 규모, 유입수의 특징, 유입량 등에 따라 퇴적물 제거시기 및 횟수는 다를 수 있으며, 시설관리자의 판단에 따라 유동적일 수 있으나, 퇴적물이 50cm 이상 퇴적된 경우에는 준설하는 것이 바람직하다.
- 퇴적물 제거를 통해 일정 수심을 확보하여 침전된 물질이 재부유되어 습지로 유입되지 않도록 주의하여야 한다.

## 마) 얽은습지

### (1) 시설개요

- 얽은습지는 지표흐름형 인공습지 내에 식물이 자라는 적정수심 0.6m 이내의 구간으로서 침전, 흡착, 흡수 등을 통해 수질을 정화하는 시설이다. 물이 인공습지 전단면을 통하여 고르게 흐르도록 관리한다.



(성장기 얽은습지)



(고사기 얽은습지)

[그림 5-7] 얽은습지

### (2) 점검내용 및 관리방법

- 절취시에는 식물 성장점을 보호하고, 잔재물이 남는 것을 최대한 줄이기 위해 지면에서 10cm 상부의 밀동 부분을 절취하는 것이 좋다. 고사체를 태우는 경우가 있으나 이 경우 인의 유출농도가 증가하고, 화재 위험이 있어 특이한 경우를 제외하곤 권장하지 않는다.



(식물절취-밀동 10cm 상부 절취)



(고사체 태우기-권장하지 않음)

[그림 5-8] 식물관리

- 습지토양의 정화능력을 유지하기 위한 경운은 5년 주기로 실시하는 것이 바람직하다.
- 경운시기는 갈수기에 습지내 물을 완전히 배제하여 건조된 상태에서 하는 것을 권장하며, 표토가 건조된 후 습지를 재 운영하는 것이 바람직하다.

- ❶ 경운이 어려운 경우 갈수기에 유입수를 차단하고 일정기간 습지토양을 건조시키는 방법도 있다.
- ❷ 수위가 높아 체류시간이 길어지면 퇴적물과 함께 부패되어 수질이 악화될 수 있고, 수위가 낮으면 체류시간이 짧아져 정화효율이 낮아지고 물이 낮은 곳으로만 흐를 수 있다. 특히, 저수지 만수시에는 저수지 수위와 습지 수위가 같아 유입수가 습지로 원활히 유입되지 못하고 정체될 수 있으므로 저수지 수위를 최대한 낮추어 물이 원활히 흐르도록 한다.
- ❸ 식물은 성장 후 고사되어 습지내에 잔존하는 것이 일반적이거나, 고사체가 지속적으로 누적될 경우 습지의 정상 기능에 장애를 줄 수 있으므로 정기적으로 식물을 절취하여 습지 밖으로 제거하는 것이 좋다.
- ❹ 식물이 침수되면 생장에 지장이 있으므로, 침수되지 않도록 생육초기에는 토양이 촉촉한 정도로 유지하고 식물생장에 맞추어 수위를 높여가도록 한다.
- ❺ 습지에 식물이 밀식하여 성장할 경우 습지의 혐기화로 유기오염물질의 제거능력이 저하되거나 해충이 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위해 습지내 식물이 없는 개방구간(깊은연못)을 25% 정도 유지하여 호기성 구간을 확보하는 것이 바람직하므로 깊은 연못에는 식물이 자라지 못하도록 관리하여야 한다.



(수위가 높아 장기체류시 수질악화)



(수위가 낮아 낮은 곳으로만 물이 흐름)



(생육 초기에 촉촉한 상태로 유지)



(식물이 자람에 따라 수위를 높여감)

[그림 5-9] 수위관리

- 습지로 유입된 물은 한쪽으로만 흐르지 않고 습지 전단면을 고르게 흐르도록 하는 것이 바람직하므로 분배수로 및 습지표면 관리에 유념하여야 한다.
- 식생 습지내의 토양은 습지의 수명과 밀접한 관련이 있으며, 식물의 성장기반이 되며, 토양미생물의 서식처 등 습지의 정화기능에 매우 중요한 역할을 하므로 정기적인 관리가 필요하다.
- 얇은습지에는 평상시와 강우시에 하천수 등이 지속적으로 유입되도록 관리하여야 한다.
- 갈수기에는 유역에서 유하하는 유출량 부족으로 얇은습지 내 유량공급이 제한되어 습지내 수생식물이 정상적으로 생육하지 못해 인공습지의 수질개선 효과가 급격히 저하될 수 있으므로 갈수기에도 습지 내에 물을 공급할 수 있도록 침강지의 용수를 pumping할 수 있는 양수기 및 고무호스를 배치하여 얇은습지에 용수를 지속적으로 공급할 수 있도록 한다.
- 얇은습지의 식물은 그 지역에 자생하는 식물이 우점하도록 하는 것이 유지관리에 유리하며, 특정 종을 식재하는 경우 완전히 우점할 때 까지는 다른 식물이 침입하여 정착하지 못하도록 계속 제거해 주어야 한다.

## 바) 깊은연못

### (1) 시설개요

- 깊은연못은 질산화 및 산소보충, 생물서식처 등 다양한 기능을 하는 구간이며, 수면과 대기가 접촉하여 산소가 물속으로 녹아들어가도록 하기 위한 시설이므로 식물이 자라지 못하도록 관리해야 한다.

### (2) 점검내용 및 관리방법

- 퇴적물 제거시에는 습지운영을 중지하고 깊은연못 내 저류수를 완전배제 후 제거하는 것이 바람직하다.
- 깊은연못은 기능상 식물이 자라지 못하도록 하여 수중에 대기 중의 공기가 들어갈 수 있도록 하는 구간이므로 외부식생이 침투할 경우 지속적으로 제거하여 식생이 없는 구간으로 유지하여야 한다.
- 사면은 구조상 관리가 어려운바 사면유실·붕괴 등을 방지할 수 있도록 관리하여야 하며, 수중사면은 쉽게 유실되므로 퇴적물 제거시 사면이 유실되지 않도록 다짐 또는 보호공 설치를 고려하여야 한다.



[그림 5-10] 깊은연못

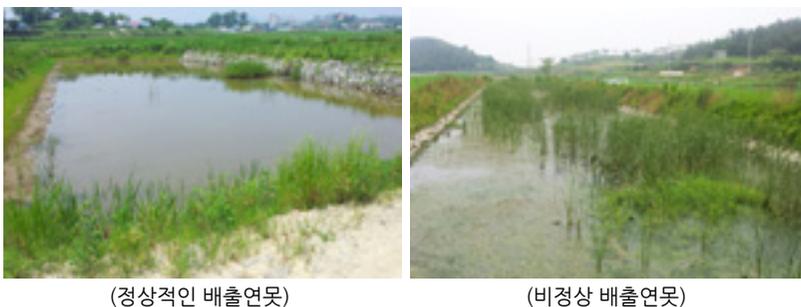
사) 배출연못

(1) 시설개요

- 배출연못은 습지를 흘러나온 물에 부족한 용존산소를 보충하거나 습지에서 이탈된 이물질의 저수지 유입을 방지하기 위한 후처리 시설로서 식물이 자라지 못하도록 지속적으로 관리해야 한다.

(2) 점검내용 및 관리방법

- 배출연못은 월류부에서 이물질이 저수지로 유입되지 않도록 하여야 하며, 그 외 일반적인 시설관리는 깊은연못과 동일하다.
- 퇴적물이 쌓여 수심이 얕아지면 식물이 침투하여 생장할 수 있으므로 식물이 생장하는 경우에는 준설을 하는 것이 바람직하다.
- 저수지 물이 역류하지 않도록 설치한 역수방지벽이 정상적으로 작동하는지 주기적으로 관리 점검하여야 한다.



[그림 5-11] 배출연못

아) 문비

(1) 시설개요

- 인공습지의 구간을 분리하거나 일정 수심 유지, 일정한 체류시간을 확보하기 위한 시설로 밸브, 수문, 각낙판, 엘보형 파이프 등이 있다.

(2) 점검내용 및 관리방법

- 문비는 습지 각 구간별로 적정수심을 유지하여 당초 계획된 체류시간을 확보할 수 있도록 관리하여야 한다.
- 유량이 많은 시기는 수심을 높이고, 유량이 적은 시기는 수심을 낮춰 적절한 체류시간이 확보될 수 있도록 문비의 높이 조절이 필요하며, 빈번한 조절은 어렵더라도 최소한 갈수기와 풍수기에 따른 조절은 필요하다. 즉, 풍수기에는 수심을 높이고, 갈수기에는 수심을 낮추도록 문비를 조절하여 적정 체류시간이 확보되도록 한다.



(정상적인 문비 운영)

(비정상 문비 운영)

[그림 5-12] 문비

자) 관리도로

(1) 시설개요

- 인공습지를 중심으로 시설을 관리할 수 있는 장비나 차량이 통행할 수 있도록 설치한 통행시설이다.

(2) 점검내용 및 관리방법

- 관리도로에 포설된 자갈이 유실되지 않도록 차량은 저속으로 운행하여야 하며, 도로정비는 1년 주기로 하는 것을 권장하나, 집중강우로 유실된 경우는 즉시 정비하여 습지운영에 차질이 없어야 한다. 사면관리는 사면유실을 방지할 수 있도록 식생을 유지하여야 하며, 인공적으로 조성된 잔디의 경우는 5~10cm, 잔디가 아닌 식물들은 10~15cm가 적정하다.

- 관리도로는 주기적으로 점검하여 잡초가 무성할 시에는 제거해야 한다.
- 관리도로는 습지 유지관리를 위한 도로이므로 일반차량 진입을 자제하여 습지내 생물의 서식에 방해가 되지 않도록 하여야 한다.



(정비된 관리도로)

(정비 필요한 관리도로)

[그림 5-13] 관리도로

## 2) 지하흐름 인공습지(고효율습지여상)

### 가) 시설개요

- 유량이 많고 오염농도가 높은 오염수를 정화하기 위해 습지와 여과시설을 연계한 시설로 전처리시설인 침전지와 처리부인 지하흐름형 인공습지로 구성되어 있다.

### 나) 점검내용 및 관리방법

- 침전지는 모래 등 입자성 물질을 가라 앉혀 지하흐름 인공습지에 채운 접촉여재 사이의 공극이 막히는 것을 방지하기 위한 전처리시설로 2~3년을 주기로 갈수기에 토사 등 퇴적물을 제거하는 것을 권장하되 장마철 이후 정밀 점검을 실시하여 필요시 토사 등을 제거하여야 한다.
- 접촉여재는 기 설치된 시설의 운영결과 특별한 관리는 필요하지 않으나, 시설의 교대운동을 통해 미운영 조는 건조 상태를 유지시켜 주는 것이 바람직하며, 정기적인 모니터링을 통해 유출수의 급격한 농도 변화시 접촉여재교환 및 세척 등을 검토하여야 한다.
- 운영습지가 단일조인 경우 갈수기에 운영 중단 후 시설관리를 실시하는 것이 바람직하다.



(시공 중 지하흐름형 인공습지)

(시공 후 지하흐름형 인공습지)

**[그림 5-14]** 지하흐름형 인공습지(고효율습지여상)

### 3) 식생수로

#### 가) 시설개요

- 식물이 자라는 개수로로 집수구역으로부터 발생하는 강우유출수 중의 비점오염물질을 저감함과 동시에 하류로 운송하는 역할을 한다. 식생수로의 경사를 완만하게 하여 강우유출수의 유출속도를 감소시키고 토양 및 식생의 침투·퇴적·여과 등의 기능을 통해 수질을 개선한다.

#### 나) 점검내용 및 관리방법



(상좌로부터 배수로, 인입수로, 침전지, 유출구, 식생수로)

**[그림 5-15]** 경기도 용인 경안천 고수부지에 설치된 습식 식생수로

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

#### 4) 침강지

##### 가) 시설개요

- 일 30mm 이상의 강우가 발생한 경우 인공습지에서 전부 처리할 수 없기 때문에 인공습지에서의 처리량을 제외한 유량을 일정 시간동안 침강지에서 체류시켜 입자성 오염물질을 침강 제거하여 저수지 본체로의 유입을 차단하는 시설이다.

##### 나) 점검내용 및 관리방법

- 퇴적물제거는 일반적으로 5년을 주기로 실시하는 것을 원칙으로 한다. 퇴적물 제거 시기는 저수지 수위가 낮아지는 이양기 등 침강지내 저류수를 배제할 수 있는 시기를 선택하여 시행하는 것이 바람직하다.



(평시 침강지 및 부댐)



(강우시 침강지 및 부댐)

[그림 5-16] 침강지

- 침강지 퇴적물은 저수지 상류유역의 토지이용 및 지역별 강우형태 등에 따라 유지 관리 주기가 다르므로 지역별 여건에 맞게 시행하여야 한다.
- 장기간 침강지내 퇴적물관리를 하지 않을 경우 강우시 퇴적물이 재부유하여 저수지로 유입되어 저수지 전체에 대해 퇴적물관리가 필요한 경우가 있으므로 주기적인 관리가 필요하다.
- 침강지는 오염물질이 가라앉고 수심이 낮으며 햇빛을 받기 때문에 녹조가 발생할 우려가 있으므로 퇴적물을 주기적으로 준설하거나, 녹조가 발생하지 않도록 녹조제거제 등을 살포한다.

## 5) 물순환장치

### 가) 시설개요

- 물이 장기간 정체되는 수역인 저수지의 특성을 감안하여 수평수직방향으로 강제로 물을 순환시켜 전 수층에 용존산소를 지속적으로 공급하는 시설로 수체의 자정능력을 유지시켜주는 수질관리 시설이다.

### 나) 점검내용 및 관리방법

- 물순환장치는 저수지 내에 있기 때문에 배가 없으면 접근할 수 없어 정상적으로 작동하고 있는지 확인할 수 없으므로 주기적으로 배를 이용하여 작동상황을 점검해야 한다.
- 물흡입관의 수심조절은 시설운영 초기에 표층에서 점진적으로 저층부로 넓혀가는 것이 저수지 수질관리에 유리하며, 수심별 운영기간은 저수지 여건에 따라 상이하므로 지속적인 모니터링 후 조절하여야 한다.
- 물순환장치는 자정능력유지, 녹조발생저감 등 수질관리시설로 지속적인 운영 및 세심한 관리가 중요하다.
- 물순환 효과의 극대화를 위해 가능한 수심이 깊은 곳에 설치하는 것을 권장한다. 조류(鳥類)의 접근을 막기 위해 경보등과 같은 보조시설을 설치하는 것도 효과적이다.
- 강한 풍랑에 의해 도복되지 않도록 설치·관리토록 하고, 도복되었을 경우 관련업체에 연락하여 빠른 시일 내에 복구하여야 한다.
- 일반인 접근으로 인한 시설훼손, 안전사고 등의 발생이 우려되므로 관리자와 일반인 접근을 금지하여야 한다.

## 6) 미세조류 수처리 장치

### 가) 시설개요

- 미세조류 수처리 시스템은 오염하천을 통해 저수지로 유입되어 녹조를 유발하는 고농도 영양염류를 저수지 유입 전에 유용조류를 인위적으로 고밀도 배양하여 용존인, 질소를 흡수, 제거함으로써 녹조발생 잠재성을 감소시키고 최종적으로 수질개선을 달성하는 수질개선 시설이다.

### 나) 점검내용 및 관리방법

- 운영관리의 기본인자로 최적 체류시간 (배양시간), 배양온도 (덮개 유무), 최적 유입유량 및 최적 반송을 등이 있다.

- ❶ 체류시간이 길수록 배양효율 및 수처리 효율이 높게 나타났으나, 지나친 체류시간 유지는 미세조류의 사멸 및 조류 포식자인 천적생물 번성 등의 문제점이 발생되므로 현장여건에 맞게 조정한다.
- ❷ 덮개를 설치한 배양조에서 외부 오염물질의 유입빈도가 낮아 안정적 성장 측면에서 우수한 것으로 나타나 덮개 설치를 권장한다.
- ❸ 조류의 고밀도배양을 위한 최적 반송률은 물순환 속도와 연관이 있는데, 반송률이 높을수록 물순환속도는 빨라지게 된다. 반송률 변화에 따른 효율변화를 보면 50% 반송률을 유지할 때 최적의 배양효율이 나타났다.
- ❹ 오염하천에서 토사, 협잡물들이 시설내부로 유입되는 것을 사전 차단하고, 전처리조의 각 시설들의 정상운동을 월 1회 점검하고 관리한다.
- ❺ 수차의 운전상태, 배양상태, 수거상태 및 반송율 등을 매일 점검하고 문제 발생시 적절한 조치를 취한다.
- ❻ 시설내부 일반인 접근으로 시설훼손, 안전사고가 우려되므로 사람의 접근을 철저히 차단하여야 한다.



[그림 5-17] 미세조류 수처리시설 현장 운영 사진

## 7) 바이오스톤볼 접촉산화시설

### 가) 시설개요

- 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설은 수처리용 접촉 담체인 바이오스톤볼 내외 부 표면에 부착 성장하는 호기성, 임의성, 혐기성 미생물에 의한 유기물과 영양염류의 산화 및 분해(생물학적 처리)와 바이오스톤볼에 의한 여과 기능(물리적 처리) 등을 이용한 수질 개선 공법이다.

### 나) 점검내용 및 관리방법

- 전처리 시설의 모래침전 유무 또는 협잡물 부착 상태 등
- 유입수 분배조 유입수의 정상적 유입점검, 유입구내 토사 퇴적량 조사 및 인발
- 바이오스톤볼 접촉산화조 이물질 제거, 슬러지 퇴적 상태 및 폐색 여부 등
- 처리수조의 협잡물에 의한 막힘 점검, 미처리 SS 및 탈리 미생물 유출 여부 등
- 송풍기 오일 주유상태, 동력전달 벨트상태, 기계 이상 소음 유무상태, 베어링 및 구동부 온도, 전류계 및 압력계의 정상 여부 등
- 산기관의 막힘 여부 및 슬러지 부착 상태, 펌프류 이물질 여부 등 수시 확인
- 밸브류 수동 작동여부, 부식 및 볼트 이완 상태, 작동부 그리스 및 오일 주입 상태
- 콤프레셔 오일 주유상태, 동력전달 벨트상태, 기계 이상 소음 유무상태, 베어링 및 구동부 온도, 전류계 및 압력계의 정상 여부 등
- 바이오스톤볼 접촉산화시설을 토목구조물이 없는 습지 형식으로 조성할 경우 상부에 식재되는 식물은 가능한 수질정화효율이 높고, 다년생이며, 경관성이 좋은 노랑꽃창포, 갈대, 부들, 물억새, 부처꽃, 줄, 세모고랭이, 달뿌리풀 등의 정수식물을 적용한다.
- 식재 이후 식재한 식생이 잘 활착할 수 있도록 경쟁식물을 제거하거나 성장을 억제시키는 것이 바람직하다.
- 동절기 고사에 의한 오염물질 재용출과 식물의 고사체 부패에 의한 유기물 증가를 방지하기 위하여, 년1회(동절기 고사전) 예초하는 것이 바람직하다.
- 또한 주기적인 점검을 통해 외래 잡초류 및 환삼덩굴류의 덩굴식물은 자생식물에 비해 침식안정성, 생태서식처, 하천경관 등의 측면에서 불리하므로 제초작업을 하는 것이 바람직하다.
- 특별히, 수질개선을 위한 습지 등의 보조적인 공정으로 활용하는 경우에는, 목표수질 달성에 필요한 기준 체류시간(1.3hr) 또는 유하거리(5m)와 무관하게 현장여건에 맞추어 단순 충전 포설 깊이, 폭, 길이로 설계 및 적용이 가능하다.

## 8) 천적생물 배양장치

### 가) 시설개요

- 저수지내에 발생하는 녹조원인생물을 효과적으로 포식하는 천적생물로서 동물플랑크톤의 군집을 인위적으로 배양하고, 활성화하여 녹조생물을 사전에 억제하고 제어하는 기술로 기존의 저수지가 가진 생태학적 조절기능을 강화하여 생태계 먹이망을 동적 평형상태로 안정화시키는 역할을 한다.
- 다시말해, 오랜 부영양화로 인해 비정상적으로 수생태계가 손상되어 녹조가 빈발하는 농업용 호소의 체질을 개선하여 생태계를 건강하게 정상화시킴으로써 자생적인 녹조 제어 기능을 부여하는 차세대 친환경 미래기술이다. 즉, 생태적으로 약화된 정상중의 복원 개념으로 부작용이 없다.

### 나) 점검내용 및 관리방법

#### (1) 유지관리 기본 방향

- 천적생물 배양장치의 최적 운영을 위해서는 안정적인 유지관리 계획의 수립이 필수적이다.
- 자연환경에서 미소생물을 배양하는 것은 상당히 까다롭고, 많은 변수를 가지고 있으며, 적용 저수지에 따라 시기별로 운영방향이 달라지기 때문에 각 수역의 특성을 잘 반영한 유지관리방안이 적절히 수립되어야만 목적에 따른 기능을 발휘할 수 있을 것이다.
- 원수분리조에서 동물플랑크톤과 식물플랑크톤이 잘 분리될 수 있도록 해야 한다. 그러기 위해서는 분리막이 찢어지거나 훼손되지 않았는지 항상 체크를 해야 하며, 분리조에서 분배되는 각 유량의 양이 적합한지 관리하여야 한다.
- 동물플랑크톤 배양조의 수중교반량과 먹이생물 공급비율, 먹이생물의 질 등을 항상 관찰하고, 관리하여야 한다.
- 먹이생물의 질적 관리를 위해 식물플랑크톤 배양조에서 배양상태 등을 꼼꼼히 체크해야 한다.
- 대량배양한 천적생물의 살포과정에서 중요한 살포장치의 상태를 항상 점검하여 시의 적절하게 현장살포 할 수 있도록 관리해야 한다.

#### (2) 운영 및 유지관리 점검 사항

- 천적생물 배양장치를 운영함에 있어서 가장 중요한 부분은 각 배양장치의 배양조건을 유지하는 것으로 중요 Check Point는 다음과 같다.

- 각 배양조의 최적 체류시간 확보 : 이는 유입량조절을 통해 이루어지는데 밸브 조작이나 배관에 이물질이 유입 등으로 인해 유입량이 변할 수 있으므로 정기적으로 확인하여 정해진 유량이 유입될 수 있도록 한다.
- 산소공급 : Blower와 산기관을 통해 동물플랑크톤 배양조에 산소를 공급하는데 공기방울 사이즈가 크면 천적생물 배양 및 증식에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 산소 공급은 수면에 잔잔한 여울이 생기는 정도로 미세하게 조절하여 주입한다.
- 분리망 : 원수분리조에 설치된 분리망의 상태를 정기적으로 점검하여 막힘현상에 의해 유입된 원수가 분리망을 넘어가는 현상이 나타나지 않도록 분리망 청소를 실시하고 안정적으로 원수가 공급될 수 있도록 한다.

**[표 5-2] 천적생물 배양시설 유지관리 점검사항**

점검사항	점검내용	점검시기
양수설비	- 수중펌프의 이물질부착여부	- 수시점검
시스템작동 판넬	- 배양시설 시스템의 오작동	- 전기가 들어오지 않거나 펌프가 작동하지 않을 때
누수점검	- 배관 및 배양조의 누수여부	- 적정유량이 유지되지 않을 때
누적오염물질 제거	- 배양조 내 슬러지 청소	- 1회/월
플랑크톤 분리장치	- 분리막의 폐쇄여부 및 청소	- 수시점검
동절기 관리	- 배관, 배양조의 결빙현상 발생여부	- 동절기 수시점검

#### 다) 양수설비

- 양수설비는 대상수체에서 배양시설내부로 물을 유입시키는 수중펌프와 연결배관이 해당된다.
- 원수펌프의 위치는 저수지 표층에서 0.5 ~ 1.0 m 사이에 설치되어 있어야하고, 마름 등 식생대 안에 갇히지 않도록 주의해야 하며, 강우시 또는 저수율 감소로 수위저하시 부표의 유실이나 펌프지지선의 이상으로 해당 위치를 벗어나지 않았는지 확인한다.

#### 라) 시스템작동 판넬

- 시스템 작동 판넬은 동절기온도, 비바람, 자외선 등에 영향이 없도록 스테인레스박스 안에 안전하게 설치한다.
- 수중 pump나 교반기를 제어하는 판넬은 정상작동하지 않을 경우 배양시스템이 정지되며 식물 및 동물플랑크톤이 배양되지 못하고 사멸할 가능성이 있으므로 점검 시 주의 깊게 관찰해야한다.

**마) 누수점검**

- ❶ 집수조, 식물플랑크톤 배양조, 동물플랑크톤 배양조는 각각 FRP 재질의 배관에 의해 연결되어 있으며, 동파 또는 햇빛에 파손 또는 부식이 되기 쉬우므로 누수가 발생하지 않는지 꼼꼼히 살펴야한다.
- ❷ 누수여부는 수시점검해서 파악하며 균열이 발생된 곳이 있다면 길이, 방향, 깊이를 진단하여 마감재로 보수한다.

**바) 누적오염물질의 제거**

- ❶ 배양 중 생성되는 동물플랑크톤 사체와 탈피 잔재물 등의 유기성 물질이 침강되어 바닥에 쌓이게 되면 동물플랑크톤의 생육환경이 나빠지므로 시스템이 원활한 기능을 발휘하지 못한다.
- ❷ 따라서 월 1회 청소를 실시하며 장마기 탁수의 유입이 심각할 경우 양수를 일시중지하고 연속배양이 아닌 회분배양으로 전환하여 각종 오염물질로부터 시스템을 보호할 수 있다.

**사) 원수분리조 점검**

- ❶ 식물플랑크톤과 동물플랑크톤을 분리하는 중요한 장치로 25  $\mu\text{m}$ 의 분리막이 폐색될 수 있는 가능성도 매우 높다.
- ❷ 따라서 주기적으로 청소되어야 한다. 청소주기는 유입수의 성상에 따라 다르기 때문에 관리인의 운전경험과 현장 여건에 따라 정하며 만약 플랑크톤 분리장치가 마모나 부식 등의 이유로 파손된 경우에는 즉시 교체한다.

**아) 동절기 관리**

- ❶ 동절기에 온도가 내려가면 정체되어있던 물에 결빙현상이 발생하여 배관이나 배양조를 파손시킬 가능성이 있다. 따라서 동절기에 시스템을 운영하지 않을 시에는 배양조의 drain밸브를 이용하여 물을 모두 배출한 뒤 건조시키며 불가피하게 운영을 해야 할 시에는 얼음이 얼지 않을 정도의 유량을 연속으로 통과시키며 배관에는 열선 등을 이용하여 보온한다.

**자) 현장관리인의 관리**

- ❶ 포식성 천적생물 배양장치의 효과적인 관리를 위해서는 현장에서 상시관리 하는 현장관리인의 관리가 무엇보다 중요하다. 현장관리인을 운영할 경우 다음 사항에 대해 기본지식을 갖추 수 있도록 최소 6개월마다 정기적으로 교육을 실시해야 한다.
- ❷ 시설물 정상가동 상태를 판단할 수 있는 능력 배양



● 문제발생시 긴급 대처요령 숙지

차) 전문가에 의한 정기 점검 및 지도

- 주기적으로 동식물플랑크톤 배양에 지식이 어느 정도 있는 전문가에 의한 정기 관리 및 현장관리인 지도가 이루어 져야하며, 필요시 전문가로 구성된 자문단을 결성하여 시설운영 및 녹조제어에 관한 정기적 점검을 한다.

9) 정기적 체크사항 및 비상시 관리사항

가) 정기적 관리 및 체크 사항

- 포식성 천적생물 배양장치의 유지관리는 크게 정기적 관리와 비상시 관리로 구분하여 수행한다.
- 정기적 관리는 현장관리인이 현장점검일지에 작성되어 있는 항목을 중심으로 각각의 check list의 정상 여부를 확인, 점검하고, 양수장 가동, 시설청소, 여과막 및 유입구의 청소 등 정기적 소모품 관리, 청소, 교체 등의 관리업무를 말하며, 이상발생 시에는 즉각 보고할 수 있도록 하여야 한다.

나) 비상시 관리

- 비상시 관리는 미처 생각지 못한 문제발생시 또는 문제발생이 예상될 경우 이루어지는 관리이다.
- 갑작스런 폭우나 강풍에 따른 시설 파손, 유실 위험 등에 대한 대책마련, 또는 부체, 부교 등 외곽 시설에 대한 손상 방지 작업 등이 그것이다.
- 또한 동절기 배관의 파손 또는 시설운영에 따른 시간경과로 햇빛에 노출된 FRP 파이프 또는 모래주머니 등의 부식에 따른 손상에 대비한 일련의 작업들과 교체, 보강작업 등이 비정기적 관리에 포함되어야 한다.
- 시설운영조건 변경, 즉, 자연분리방법에 의해 가동하다가 종주배양방법으로 전환시 각 장치의 점검 및 수조 내부청소 등이 그것에 해당된다.
- 비상시 관리는 현장관리인의 정기적 업무 외에 발생하는 것으로 관리자의 별도지시에 의해 이루어지고, 또한 단시간에 많은 업무량이 요구되기도 하므로 추가 발생되는 노동력 또는 장비, 재료비 등에 대한 별도의 지원예산이 마련되어 있어야 한다.
- 실제 발생된 비정기적 유지관리 업무로는 9월에 집중된 태풍과 폭우, 강풍에 따른 실시간 상황보고 및 보강, 보수작업, 파손시설 폐기물 정리, 강우에 밀려온 통나무 등 잡쓰레기 제거, 유입 도로 확보, 운영조건 변경시 마다 수조 청소 작업, 실내실험실 등 주변 환경미화 작업 등이다.



[그림 5-18] 천적생물 배양장치 현장 운영 사진

### 3. ○ 현장 점검주기

#### 가. 일상점검

- 수질개선대책시설의 정상적인 운영상태 파악을 위해 지역본부는 1회/월 이상, 지사는 1회/주 이상 일상점검을 실시한다.

#### 나. 안전점검

- 수질개선대책시설을 관리하는 지사는 장마, 태풍 후 정상 운영 여부, 안전 등에 문제가 있는지 여부를 즉시 점검해야 한다.

**[별표] 수질개선대책시설 유지관리 일상·안전점검 및 관리대장**

**[표 5-3] 수질개선사업 수질개선대책시설 일상점검대장[지역본부]**

○ 지 구 명 :  
 ○ 위 치 :  
 ○ 관리주체 :  
 ○ 점 검 일 : ○ 점 검 자 :  
 ○ 수질개선대책시설

인공습지	침강지	물순환장치	천적생물배양장치	기 타
개소, ha	개소, ha	개소	개소, m	

**[ 현장점검 ]**

1) 인공습지 운영상태  
 ○ 취입보 상태  
 - 1호 취입보 : 정상운영( ), 전도( ; 사유 : )  
 - 2호 취입보 : 정상운영( ), 전도( ; 사유 : )  
 ○ 침전지, 얇은습지, 깊은연못, 배출연못 등 습지 내부 상태  
 : 양호( ), 불량( , 내역 : )

2) 침강지(부댐) 내부 운영상태  
 ○ 침강지 내 쓰레기 부유 : 여( ), 부( )  
 ○ 부댐 관리상태 : 양호( ), 불량( )

3) 기타 시설관리  
 ○ 지하하류형 인공습지 상태 : 양호( ), 불량( , 내역 : )  
 ○ 저류지 상태 : 양호( ), 불량( , 내역 : )  
 ○ 식생수로 상태 : 양호( ), 불량( , 내역 : )  
 ○ 물순환장치 상태 : 양호( ), 불량( , 내역 : )  
 ○ 천적생물 배양장치 상태 : 양호( ), 불량( , 내역 : )

4) 특이사항(특별한 상황, 자연재해, 시설물 고장, 퇴적물 축적량 과다 등)  
 ○

**[ 지사점검 ]**

1) 현장 점검실시(점검일지 작성) :  
 2) 조치계획 및 내역 :  
 3) 기타 :

※ 수질개선대책시설 및 현장점검은 지구별 특성에 맞게 조정 가능

[표 5-4] [일상점검] 지표흐름형 인공습지 유지관리대장(지사)

관리주체(지사/부) : 시 설 명 :  
 담당자 : (정) (부) 점검자 성명 :  
 점검일자/시간 :

점검사항	적정(○)/부적정(×)	조치계획 (별도작성)
취입보/취입관/어도/문비		
적정(○) 사례 참조하여 작성		
• 취입보는 기립되어 있는가?	기립:○	첨부자료1
• 취입관이 막히지 않았는가?	막히지 않음:○	
• 취입관 앞에 쓰레기, 토사퇴적은 없는가?	퇴적없음:○	
• 펌프는 수위변화에 따라 잘 작동되고 있는가?	잘 작동:○	
• 임펠러 등에서 이상한 소리는 나지 않는가?	이상 소리 없음:○	
• 스크린에 쓰레기가 걸려 막히지 않았는가?	쓰레기없음:○	
• 예비펌프에 이상은 없는가?	이상없음:○	
• 유출부 문비(각낙판)는 풍수기 높게, 갈수기 낮게 유지되고 있는가?	풍수기 높게, 갈수기 낮게 관리:○	
• 어도에 쓰레기, 퇴적물은 없는가?	없음:○	
• 어도에 물이 잘 흐르는가?	잘 흐름:○	
• 어도 유입부와 유출부에 낙차는 없는가?	낙차없음:○	
• 기타 사항?		
제방/비상수문/관리도로		
• 관리도로 노면이 파손되거나 자갈이 유실되지 않았는가?	파손, 유실없음:○	
• 관리도로 노면에 잡초가 무성하지 않은가?	잡초없음, 예초실시:○	
• 도로사면이 붕괴되지 않았는가?	붕괴되지 않음:○	
• 제방의 균열, 슬라이딩, 팽창 등 여부?	균열, 슬라이딩, 팽창 없음:○	
• 누수/침투현상은 발생하지 않는가?	누수, 침투 없음:○	
• 비상수문은 정상적으로 가동하는가?	정상가동:○	
• 비상수문 설치지역에 침식은 없는가?	침식없음:○	
• 제방에 잡초가 무성하거나 나무가 자라지는 없는가?	잡초없음, 나무없음, 예초실시:○	
• 기타 사항?		

[표 5-5] [일상점검] 지표흐름형 인공습지 유지관리대장(지사) (계속)

점검사항	적정(○)/부적정(×)	조치계획 (별도 작성)
<b>유출입구 구조물 및 수로</b>		
• 유출입구 및 수로에 쓰레기가 쌓여 있지 않은가?	쓰레기 없음:○	
• 유출입구 문비는 제대로 작동하는가?	정상작동:○	
• 콘크리트/석재/각낙판 등 구조물은 정상인가?	이상없음:○	
• 금속성 관로가 부식되지 않았는가?	부식없음:○	
• 수문은 정상적으로 작동하는가?	정상작동:○	
• 출구수로는 물이 정상적으로 흐르는가?	흐름정상:○	
• 출구수로에 침식된 곳은 없는가?	침식없음:○	
• 유출수가 혼탁하거나 물의 색깔이 평상시와 다르지는 않은가?	혼탁하지않음, 물색이 평상시와 다르지 않음:○	
• 기타 사항?		
<b>침전지, 깊은연못, 배출연못</b>		
• 녹조, 기름띠 등 육안으로 관측되는 오염현상은 없는가?	녹조, 기름띠 등 오염현상 관측되지 않음:○	
• 연안지역 침식은 없는가?	침식없음:○	
• 유입수 출구지역에 침식은 없는가?	침식없음:○	
• 침전지, 깊은연못, 배출연못에 식물이 자라지 않는가?	식물없음:○	
• 침전지, 깊은연못, 배출연못에 퇴적물이 50cm 이상 쌓이지 않았는가?	50cm미만 퇴적:○	
• 습지 선단과 말단이 훼손되지 않았는가?	훼손없음:○	
• 기타 사항?		
<b>얕은습지(식생지역)</b>		
• 식재한 수생식물이 잘 자라고 있는가?	잘 자람:○	
• 식물이 침수되지 않도록 수위가 관리되고 있는가?	침수되지 않음:○	
• 식물이 죽거나 병들이 많았는가?	죽거나 병들지 않음:○	
• 절취할 시기가 되지 않았는가?(최대성장기 또는 고사직전)?	절취기 아님 (최대성장기, 고사직전 아님):○	
• 물이 습지 전체로 고르게 흐르는가?	전체로 흐름 (편중되어 흐르지 않음):○	
• 침전이 과도하게 이루어지고 있지 않은가?	퇴적되어 바닥이 수면위로 노출된 부분이 없음:○	
<b>안전사항</b>		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?	민원없음:○	
• 안전 펜스에 이상은 없는지?	이상없음:○	

[표 5-6] [일상점검] 지하흐름형 인공습지 유지관리대장(지사)

관리주체(지사/부) : 시 설 명 :  
 담당자 : (정) (부) 점검자 성명 :  
 점검일자/시간 :

점검사항	적정(○)/부적정(×)	조치계획 (별도 작성)
<b>취입보/취입관</b>		
적정(○) 사례 참조하여 작성		
• 취입보가 기립되었는가?	기립:○	
• 취입관이 막히지 않았는가?	막히지 않음:○	
• 취입관 앞에 쓰레기, 토사가 퇴적되지 않았는가?	퇴적없음:○	
• 펌프는 수위변화에 따라 잘 작동되고 있는가?	잘 작동:○	
• 임펠러 등에서 이상한 소리는 나지 않는가?	이상 소리 없음:○	
• 스크린에 쓰레기가 걸려 막히지 않았는가?	쓰레기없음:○	
• 예비펌프에 이상은 없는가?	이상없음:○	
• 기타 사항?		
<b>유출입구 구조물 및 수로</b>		
• 유출입구에 쓰레기가 쌓여 있지 않은가?	쓰레기 없음:○	
• 유출입구 문비 등은 제대로 작동하는가?	정상작동:○	
• 콘크리트/석재 등 구조물이 훼손되지 않았는가?	훼손되지 않음:○	
• 출구수로는 정상적으로 운영되고 있는가?	정상운영:○	
• 출구수로 사면 등에 침식된 곳은 없는가?	침식없음:○	
• 유출수가 혼탁하거나 물의 색깔이 평상시와 다르지는 않은가?	혼탁하지않음, 물색이 평상시와 다르지 않음:○	
• 침전지에 식물이 자라지 않는가?	식물없음:○	
• 침전지에 퇴적물이 50cm 이상 쌓이지 않았는가?	50cm미만 퇴적:○	
• 제방에 잡초가 무성하거나 나무가 자라지는 않는가?	잡초없음, 나무없음, 예초실시:○	
• 기타 사항?		
<b>식생지역</b>		
• 지상부 식물이 죽거나 병들어 않았는가?	죽거나 병들지 않음(정상생육):○	
• 지하로 정상적으로 물이 유입·유출 되는가?	정상 유입·유출:○	
• 지상부로 물이 흐르지는 않는가?	흐르지 않음:○	
• 접촉여재(채움재)의 공극은 막히지 않았는가?	막히지 않음:○	
• 식물고사체가 방치되지 않았는가?	고사체 없음:○	
• 절취할 시기가 되지 않았는가?(최대성장기 또는 고사직전)?	절취기 아님(최대성장기, 고사직전 아님):○	
• 기타 사항?		
<b>안전사항</b>		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?	민원없음:○	
• 안전 펜스는 이상이 없는지?	이상없음:○	

**[표 5-7] [일상점검] 침강지 유지관리대장(지사)**

관리주체(지사/부) :

시 설 명 :

담당자 : (정)

(부)

점검자 성명 :

점검일자/시간 :

점검사항	적정(○)/부적정(×)	조치계획 (별도 작성)
부담 및 비상수문		적정(○) 사례 참조하여 작성
• 부담 내에 쓰레기, 기름띠가 있지 않은가?	쓰레기, 기름띠 없음:○	
• 비상수문은 닫혀 있는가?	닫혀 있음:○	
• 비상수문은 정상적으로 작동되는가?	정상작동:○	
• 부담의 사석/콘크리트 등 구조물이 훼손된 곳은 없는가?	훼손되지 않음:○	
• 침강지내 녹조 발생 등 오염이 심화되지 않았는가?	녹조없음, 오염심화되지 않음:○	
• 녹조제거, 인불용화 등의 응급조치를 취하지 않아도 되는가?	응급조치 불필요:○	
• 녹조제거, 인불용화 등을 위한 기계장치는 정상적으로 가동되고 있는가?	정상작동:○	
• 침강지 사면은 침식되지 않았는가?	침식없음:○	
• 기타 사항?		
안전사항		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?	민원없음:○	
• 위험 안내판 등 안전시설 정상여부?	이상없음:○	

**[표 5-8] [일상점검] 저류지 유지관리대장(지사)**

관리주체(지사/부) :

시 설 명 :

담당자 : (정)

(부)

점검일자/시간 :

점검자 성명 :

점검사항	적정(○)/부적정(×)	조치계획 (별도 작성)
제방, 유출입구 구조물 및 수로		
적정(○) 사례 참조하여 작성		
• 저류지 내에 쓰레기가 쌓여 있지 않은가?	쓰레기 없음:○	
• 유출입구 문비 등은 제대로 작동하는가?	정상작동:○	
• 콘크리트/석재 등 구조물이 훼손되지 않았는가?	훼손없음:○	
• 출구수로는 정상적으로 운영되고 있는가?	정상운영:○	
• 출구수로 사면 등에 침식된 곳은 없는가?	침식없음:○	
• 제방에 잡초가 무성하거나 나무가 자라지는 않는가?	잡초없음, 나무없음, 예초실시:○	
• 기타 사항?		
저류지		
• 냄새가 나거나 해충이 발생하지 않는가?	냄새, 해충없음:○	
• 물이 정체되지는 않는가?	정체되지 않음:○	
• 물의 오염정도가 심화되지는 않았는가?	심화되지 않음:○	
• 기타 사항?		
안전사항		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?	민원없음:○	
• 위험지역 표시 안전시설 정상 여부?	이상없음:○	

**[표 5-9] [일상점검] 식생수로 유지관리대장(지사)**

관리주체(지사/부) :

시 설 명 :

담당자 : (정)

(부)

점검일자/시간 :

점검자 성명 :

점검사항	적정(○)/부적정(×)	조치계획 (별도 작성)
수변지대	적정(○) 사례 참조하여 작성	
• 식생수로 내에 쓰레기는 없는가?	쓰레기 없음:○	
• 수로 및 말단수로에 퇴적물이 많이 퇴적되지는 않았는가?	퇴적물 없음:○	
• 물이 정체되지는 않는가?	정체되지 않음:○	
• 물의 오염정도가 심화되지는 않았는가?	심화되지 않음:○	
• 수로내에 잡초가 번성하여 물흐름에 방해가되지는 않는가?	잡초없음, 물흐름 정상:○	
• 제방에 잡초가 무성하거나 나무가 자라지는 않는가?	잡초없음, 나무없음, 예초실시:○	
• 수로바닥이 세굴되지는 않았는가?	세굴없음:○	
• 기타 사항?		
안전사항		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?	민원없음:○	
• 위험지역 표시 안전시설 정상 여부?	이상없음:○	

**[표 5-10] [일상점검] 물순환장치 유지관리대장(지사)**

관리주체(지사/부) :

시 설 명 :

담당자 : (정)

(부)

점검일자/시간 :

점검자 성명 :

점검사항	적정(○)/부적정(×)	조치계획 (별도 작성)
<b>물순환장치</b>		
적정(○) 사례 참조하여 작성		
• 정위치에 존재하는가?	정위치:○	
• 물순환이 정상적으로 이루어지고 있는가?	물순환 정상:○	
• 쓰레기가 걸려 있지 않나?	쓰레기 없음:○	
• 태양전지판 등에 새 배설물 등 이물질은 없는가?	이물질 없음:○	
• 흡입관이 저수지 수위에 맞는가?	수위에 맞춤:○	
• 정상작동 여부를 알려주는 경광등은 정상적으로 작용하는가?	정상작동:○	
• 기타 사항?		
<b>안전사항</b>		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?	민원없음:○	

**[표 5-11] [일상점검] 천적생물 배양장치 유지관리대장(지사)**

관리주체(지사/부) : 시 설 명 :  
 담당자 : (정) (부)  
 점검일자/시간 :  
 점검자 성명 :

점검사항	적정(○)/부적정(×)	조치계획 (별도 작성)
천적생물 배양장치	적정(○) 사례 참조하여 작성	
• 정위치에 존재하는가?	정위치:○	
• 배양상태는 양호한가?	배양양호:○	
• 시설이 정상 작동하고 있는가?	정상작동:○	
• 천적생물의 살포가 정상적으로 이루어지고 있는가?	천적생물 정상 살포:○	
• 살포구 주변에 쓰레기가 걸려 있지 않은가?	쓰레기 없음:○	
• 살포 부력재가 파손된 곳은 없는가?	파손되지 않음:○	
• 저수위시 수중 펌프의 위치가 정상적인가?	수중펌프 위치 정상:○	
• 기타 사항?		
안전사항		
• 인근지역 주민으로부터 민원발생 여부?	민원없음:○	
• 낚시객 등 사람이 올라가 있지는 않은가?	올라간 사람없음:○	

 **[첨부자료 1] 점검결과에 대한 조치계획**

지 구 명		점 검 자		점검일시	
문 제 점	○				
대 책	○				
소요사업비 (공종별)	○ -				
※시설물 등 전경 사진					

[첨부자료 2] 점검결과 보고 사례 및 양식

분기별 익월 5일까지 보고

지구명	준공	수질개선대책시설	운영상태	관리 실태
00	'18년	1·2·3·4호 인공습지(취입보)	정상	·문 제 점 : ·조치결과 :
		1·2·3호 침강지(천적생물배양장치)	미운영	·문 제 점 : 2·3호 침강지내 인공식물섬은 수리중 ·조치결과 : 7월초 정상 설치 예정
		물순환장치	정상	-
		1·2호 인공습지(취입보)	정상	-
		고효율 인공습지(취입보)	정상	-
		1·2·3호 침강지(천적생물배양장치)	정상	-
		수초저류지	정상	-
		1·2호 인공습지(취입보)	1호습지 미운영	·문 제 점 : 호우주의보 발생으로 취입보 내렸음(내린날 : 00월 00일) ·조치결과 : 하천 평수위 도달하여 취입보 다시 올림(올린날 : 00월 00일)
		고효율 인공습지	정상	-
		1·2호 침강지(천적생물배양장치)	정상	-
		1·2호 인공습지(취입보)	1호 정상, 2호 부분운영	·문 제 점 : ·조치결과 :
		1·2호 침강지(천적생물배양장치)	정상	-
		물순환장치 1기	정상	-

## ○○지구 농업용수 수질개선사업

## 1. 사업개요

- 사업명 : ○○지구 농업용수 수질개선사업
- 시설현황
  - 위치 :
  - 수혜면적 :
  - 관리주체 :
- 사업개요 : 00시설 00,000 m<sup>2</sup>
  - 인공습지 : 00개소 00,000 m<sup>2</sup>
    - 1호 00,000 m<sup>2</sup>, 2호 00,000 m<sup>2</sup>, 3호 00,000 m<sup>2</sup>
  - 침강지 : 00개소 00,000 m<sup>2</sup>
    - 1호 00,000 m<sup>2</sup>, 2호 00,000 m<sup>2</sup>, 3호 00,000 m<sup>2</sup>
  - 천적생물 배양장치 : 00개소 00,000 m<sup>2</sup>
  - 물순환장치 : 00개소
    - ※ 공중 모두 작성
- 사업기간 : 0000년 00월 ~ 0000년 00월
- 사업비 : 0,000백만원
  - 인공습지 :
  - 침강지 :
  - 인공식물섬 :
  - 물순환장치 :
  - 부대공사 :
    - ※ 공중 모두 작성
- 사업시행자 :
- 시공사 :



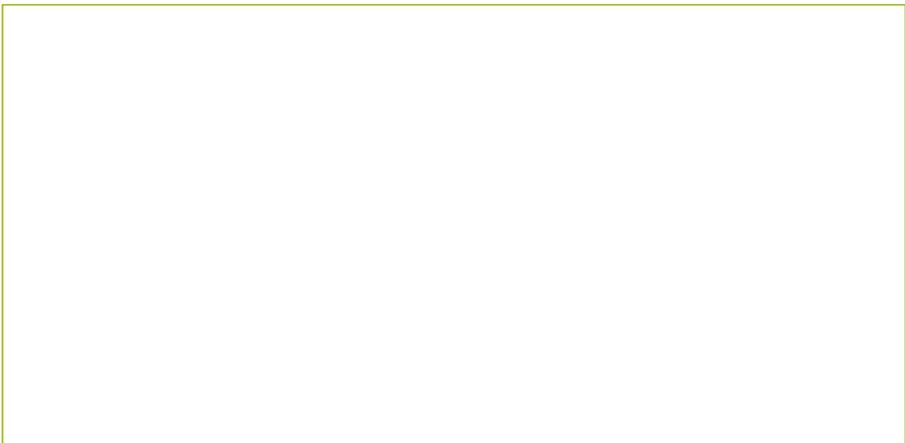
## 2. 사업내용

### 1) 기본계획 대비 준공시 주요공사 변경내용

공 증	기본계획	준 공	증 감	비 고
사업비	- 0,000백만원	- 0,000백만원	00백만원(증0.0%)	
인공습지	- 제1호인공습지 (00,000㎡) - 제2호인공습지 (00,000㎡) - 제3호인공습지 (00,000㎡)	- 제1호인공습지 (00,000㎡) - 제2호인공습지 (00,000㎡) - 제3호인공습지 (00,000㎡)	00,000㎡ 00,000㎡ △00,000㎡	
침강지	- 제1호침강지 (00,000㎡)	- 제1호침강지 (00,000㎡)	00,000㎡	
	- 제2호침강지 (00,000㎡)	- 제2호침강지 (00,000㎡)	00,000㎡	
천적생물 배양장치	- 제1호 배양장치 (00,000㎡)	- 제1호배양장치 (00,000㎡)	00,000㎡	
	- 제2호배양장치 (00,000㎡)	- 제2호배양장치 (00,000㎡)	00,000㎡	
부유식 물순환장치	- 태양광순환장치 (0개소)	- 태양광순환장치 (0개소)	-	
부대공사	- 가설공사, 중기운반, 시험비 등	- 가설공사, 중기운반, 시험비 등	-	

※ 사업개요에서 제시한 공종 모두 포함 작성

### 2) 00지구 농업용수 수질개선사업 계획평면도(준공)



## 참고문헌

- 강창국·이소영·말라·김이형, 2010. 강우시 농업 비점오염원 처리를 위한 FWS 인공습지의 적용성 평가, 환경영향평가, 19(1), pp.83~89
- 강창국, Marla C. Maniquiz, 손영규, 김이형, 2010. 농업지역 내 FWS 인공습지의 수질 정화효율 분석, 한국습지학회지, 12(3), pp.39-47
- 건설교통부, 수문관측 매뉴얼, 2005.
- 고경식, 전의식, 한국의 야생식물, 일진사, 2005.
- 국가수자원관리종합정보시스템, www.wamis.go.kr
- 국립환경과학원, 수질오염총량관리기술지침, 2014.
- 김승현, “황산반토에 의한 인의 화학적 제거 기본원리의 규명”, 대한환경공학회지, Vol. 18, No. 5, 1996
- 농림부, 자율항법 음향측심기술에 의한 농업용 저수지 내용적 측정 관리시스템 개발, 2009.
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 농업용저수지 수질개선사업 조사설계편람. 2009
- 농림축산식품부. 2014. 농어촌 용수 이용합리화 계획
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 농업용저수지 녹조방지를 위한 전적생물 적용기술 실규모 실용화 연구. 2014
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2015. 농업기반정비사업 계획설계기준 개편 연구
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2016. 농업용수 수질개선 사후모니터링 보고서
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2016. 농업용수 수질측정망 보고서
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리 기술 개발 및 적용. 2016
- 농업기반공사, 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계·관리 요령, 2004
- 박기수, 우사평, 김영철, 2013. 강우유출수 처리목적 인공습지의 강우시 오염물질 저감 특성에 관한 연구, 한국습지학회지, 15(1), pp.79-90
- 서동일, 송무석, 허우명, “수중폭기조 설치 및 관리 지침” 한국수자원공사 보고서, 2002.
- 서동일, 권오현, 水中曝氣에 따른 將來 水質變化 豫測 및 效果 糾明에 關한 研究 報告書, 한국수자원공사 보고서, 1994
- 서동일, 송무석, 황현동, 이은형, “저수지 수질관리를 위한 간헐식 양수통형 인공순환장치

- 의 설계방법", 대한상하수도학회지, Vol. 18, No. 4, pp. 445-452, 2004a.
- 서울시정개발연구원, 하천수질정화공법의 평가 및 적용방안, 2004
- 서동일, 송무석, 황현동, 최재훈, "저수지의 수질관리를 위한 산기판형 인공순환장치의 설계방법", 대한상하수도학회지, Vol. 18, No. 4, pp. 437-444, 2004b.
- 송무석, 서동일, "간헐식 폭기형 수체 순환 장치 모델링", 대한조선훈학회논문집, 제 42권 2호, pp. 1-13, 2005.
- 영남대학교 환경문제연구소, 가창댐 조류제어시설 설치 기본 및 실시설계용역 최종보고서, 2001
- 오민호, 2013. 하천 재해예방 및 복구를 위한 섬유혼합 다공성 소일 블록 적용 기술, 한화건설 기술지, 6: pp. 154-157
- 이재수, 수문학, 구미서관, 2006.
- 정세웅, 박재호, 김유경, 윤성완, "대청호 부영영화 모의를 위한 CE-QUAL-W2 모델의 적용", 수질보전, Vol. 23, No. 1, pp. 52-61, 2007.
- 정세웅, 이흥수, 류재일, 류인구, 오동근, "ELCOM-CAEDYM을 이용한 대청댐 유입탁수의 3차원 모델링", 한국수자원학회논문집, Vol. 41, No. 12, pp. 1187-1198, 2008.
- 정세웅, 이흥수, 최정규, 류인구. "3차원 ELCOM 모형을 이용한 대청호 수온성층 모의", 수질보전, Vol. 25, No. 6, pp. 922-934, 2009.
- 차초영, 2007. 하천 수질개선을 위한 오염하천정화 및 비점오염물질 동시 처리기술, 물과 미래, 40(7): pp. 17-23
- 충청북도, 신월천 하천정비기본계획, 2009.
- 한국농촌공사, 남양호 오염물질 유달을 산경 및 퇴적물 용출특성 연구, 2006.
- 한국농촌공사, 농업용수 수질개선공법 매뉴얼, 2006.
- 한국농촌공사, 농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼, 2006.
- 한국농촌공사, 농촌지역 비점오염관리 가이드북, 2007
- 한국농촌공사, 담수호수질개선시험조사 보고서, 2007
- 한국농어촌공사, 미세조류를 이용한 고농도 오염하천 수처리 및 조류자원화 기술 개발, 2016
- 한국과학기술원 해양연구소, 연초댐 수질변화에 대한 기초조사, 1982
- 한국수자원공사, 多目的댐 水中曝氣裝置 設置妥當性 調査研究報告書, p 270~279, 1990

- 한국 수자원공사, 다목적댐 저수지 수질조사 보고서, 1992
- 한국수자원공사 수도관리처, 2000 수중폭기 효과분석 보고서(유지관리 및 운영지침서), 2000
- 한국수자원공사 수도운영처, 연초댐 저수지의 수중폭기에 의한 수질개선 효과분석 보고서, 1993
- 한국수자원공사, 수중폭기 운영관리 최적화 보고서, 2002
- 한국수자원공사, 수중폭기에 의한 대청호 수질개선 효과분석 보고서, 1991한국수자원공사 한강사업본부, 광동-달방댐 수중폭기장치 효과분석 보고서, 1997
- 한국수자원공사, 연초댐 貯水池의 水中曝氣에 의한 水質改善 效果分析, 1992
- 한국수자원공사, 2001년 수중폭기 효과분석 보고서, 2002
- 한국수자원공사, 2006. 시화호 인공습지 수질정화기능 향상 연구 보고서
- 한국토양정보시스템, <http://asis.rda.go.kr>
- 한국환경공단, 수생태 안전성 확보를 위한 조류저감기술. 2012
- 한라건설(주), 2011. 식생방틀을 활용한 하안선형 유도과 하천수생태 복원기술, 지방환경, 12(1): pp. 46-50
- 홍문기, 허영진, 김재근, 2014. 대형정수식물을 활용한 높은 생산성의 인공습지 조성 및 관리, 한국습지학회지, 16(1), pp.61-72
- 허우명, 김재옥, 김범철, 상수원지(달방댐)에서 수중폭기에 따른 수질변화 연구, 한국물환경학회지, 제 15권, p 335~343, 1999.
- 환경부, 2010. 동관시 수생태 복원을 위한 오염 하천·호소 정화 기술 개발(최종)
- 환경부, 2013. 비점오염저감시설(국고보조사업)의 설치 및 관리지침
- 환경부, 수생태복원사업단, 2014. 자연하안 창출 및 하안변화 유도기술 개발(최종)
- 환경부, 인공습지 조성 및 유지관리 가이드라인. 2014
- 환경부, 2014년 조류(녹조)발생과 대응 연차보고서. 2014
- 환경부, 비점오염 저감시설의 설치 및 관라·운영 매뉴얼. 2016
- Boers, P.C.M., Influence of pH on phosphate release from lake sediment, Water Research, 25:309-311, 1991
- Burris, V. L. Daniel F. McGinnis, John C. Little, Predicting oxygen transfer and water flow rate in airlift aerators, Wat. Res. vol. 36. p.4605~4615, 2002
- Cooke, D., Welch, E.B., Peterson, S. A and Newroth, P.R., Restoration and Management of Lake and Reservoirs. Second Edition, LEWIS, 1993

- Cooke, G. Dennis, Eugene B. Welch, Spencer A. Peterson, Peter R. Newroth, Restoration and Management of Lakes and Reservoirs (Second Edition), p.419-450, 1993
- Davis, J. M.. Destratification of reservoirs- a design approach for perforated-pipe compressed- air systems, water res. 1980. p. 497~504
- Department of Local Government Queensland, Review of The application of aeration/ destratification techniques in Australian surface water storages, Table 1, 1986
- Fast, A.W., V.A. Dorr, R.J. Rosen. A submerged hypolimnion aerator, Water Resource Research 1975 (11):287~293
- Imteaz, M. A., Takashi Asaeda, Artificial mixing of lake water by bubble plume and effects of bubbling operations on algal bloom, Water. Research, vol. 34. No. 6. p.1919~1929, 2000
- Jean Margaret R. Mercado, Marla C. Maniquiz-Redillas, 김이형, 2013. 농업지역에 조성된 자유수면형 인공습지의 유로에 따른 영양염류의 변화 평가, 한국습지학회지, 15(2), pp.215-222
- Johnson, Perry L., Thoughts on selection and design of reservoir aeration devices, Lake and Reservoir Management, 1988 : 537~541
- Kennedy, R H., G. Dennis Cooke, Control of lake phosphorus with aluminum sulfate: Does determination and application techniques, Water Resources Bulletin. vol. 18, No. 3, p. 389~395. 1982
- Kennedy, R. H., Nutrient Inactivation with aluminum sulfate as a lake reclamation technique, PHD Dissertation, Kent State University, OH, 1978.
- Kennedy, R.H. and Cooks,G.D., Control of lake phosphorus with aluminum sulfate. Does determination and application techniques, Water Research Bulletin 12:389:395, 1982.
- Kortmann, R. W., George W. Knoecklein, Charles H. Bonnell, Aeration of stratified lakes: Theory and practice. Lake and Reserv. Manage. 8(2): 99~120
- Lorezen, M.W., Arlo Fast, A Guide to aeration/circulation techniques for lake management. EPA, 1977
- Lorezen, M.W., Ralph Mitchell, An evaluation of artificial destratification for

- control of algal Blooms, AWWA, 1974, p.373~376
- McGinnis, D.F. and Little, J.C., Bubble dynamics and oxygen transfer in a speece cone, Wat. Sci. Tech. Vol. 37, No.2, p 285~292, 1998
- McGinnis, D.F. and Little, J.C., Predicting diffused-bubble oxygen transfer rate using the discrete-bubble model, Wat. Res. vol. 36. p.4627~4635, 2002
- Meyer, E.B., Pneumatic destratification system design using a spreadsheet program, WOTS, vol. E-91-1, 1991
- Montgomery, R. L., Methodology for Design of Fine-Grained Dredged Material Containment Areas for Solid Retention, US Army Corps Engineers Tech. Rep. D-78-56, Vicksburg, VA.
- Pastorok, R. A., Thomas M. Grieb, Prediction of lake response to induced circulation, Lake and Reservoir Management, 1984 : 531~536
- Pastorok, R.A., Marc W. Lorenzen, Thomas C. Ginn, Environmental aspects of artificial aeration and oxygenation of reserviors. U.S.Army. 1982
- Pierce, N.D., Inland Lake Dredging Evaluation., Tech. Bull. 46. Wisconsin DNR, Madison, 1970.
- Robert L. France. 2003. Wetland Design, W.W. Norton & Company
- Robert H. Kadlec and Scott D. Wallace, 2009. Treatment Wetland, Taylor and Francis
- Schladow, S.G., Lake destratification by bubble- Plume systems: Design methodology, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 119, No. 3, 1993
- Schladow, S.G.,. Bubble plume dynamics in a stratifide medium and the implications for water Quality amelioration in lakes, Water resources research. vol. 28. NO. 2. p. 313-321, 1992
- Seo, D., "Effect of Air Lift System on Daechung Lake, Korea", The 15th International Symposium of North American Lake Management Society, Toronto, Canada, 1995
- Seo, D. and Raymond P. Canale, "Performance, reliability and uncertainty of total phosphorus models for lake - I. Deterministic analysis",Water Research, Vol. 30, No. 1, pp. 83 ~ 94, 1996
- Sherwood C. Reed et al., 1995. Natural Systems for Waste Management and

Treatment, McGraw Hill

Zic, K., H.G. Srefan, Lake Aerator Effect on Temperature Stratification Analyzed by 'MINLAKE' Model, Lake and Reservoir Management, 4(2): 85~90, 1988

## ■ 집필진 및 검토·자문위원

집필진		
한국농어촌공사 농어촌연구원	수석연구원	이승현
	책임연구원	남귀숙
	책임연구원	최선화
	책임연구원	정진희
	주임연구원	함종화
	주임연구원	최은희
	주임연구원	허남주
	연구원	김민규
사단법인 한국물환경학회	(한서대학교)	김영철 교수
	(공주대학교)	김이형 교수
기술검토 및 자문		
농림축산식품부 기반정비과	사무관	이재천
	주무관	황보현
한국농어촌공사 농어촌연구원 수자원환경연구실	원장	장중석
	실장	장규상
	연구위원	김호일
	연구위원	홍대벽
	연구위원	김병기
한국농어촌공사 환경사업처	처장	안중식
	부장	노경환
	차장	김상현
	차장	황준철
한국농어촌공사 경기지역본부  충북지역본부 충남지역본부  경북지역본부	차장	이복자
	차장	박미현
	과장	최철관
	과장	황선경
	차장	이문용
	사원	한상필
	과장	최준혁

## 주 의

본 매뉴얼은 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아  
한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행하였습니다.

## 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼

발행일 : 2017. 12

발행처 : 농림축산식품부·한국농어촌공사

편 집 : 한국농어촌공사 농어촌연구원  
(사)한국물환경학회

문의처 : 한국농어촌공사 농어촌연구원

TEL : 031-400-1829

FAX : 031-400-1889