발 간 등 록 번 호
11-1543000-001996-01

최신기술을 반영한 수질개선사업 설계 매뉴얼 재설정 연구 (최종)

Renewal of Design Manual for Water Quality Improvement Project Including New Technology (Final)

농림축산식품부 한국농어촌공사

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “최신기술을 반영한 수질개선사업 설계 매뉴얼 재설정 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017 년 12 월

주관연구기관명 : 한국농어촌공사
연 구 책 임 자 : 남귀숙
연 구 원 : 장규상
이승헌
함종화
김민규

공동연구기관 : (사)한국물환경학회
연 구 책 임 자 : 김영철
연 구 원 : 김이형
박기수
홍정선

요 약 문

□ 연구과제명 : 최신기술을 반영한 수질개선사업 설계 매뉴얼 재설정 연구(최종)

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

1.1.1 배경 및 필요성

○ 환경친화적 수질 개선으로 양질의 농업용수 공급기반 구축하고자 1998년도부터 농업용수 수질개선사업 추진계획을 수립하고 시행하여 왔음

○ 농업용수 수질개선 사업의 조사 및 설계를 위한 지침 및 요령 제정 연구는 1996년에 농업용수 수질개선 시험연구(1996~2004)를 시작으로 인공습지, 침강지 도입을 위한 조건별 인자 검증 연구를 진행하였으며, 그 결과를 바탕으로 2004년「농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리요령」을 발간하였음

○ 2006년까지 시범사업을 통해 얻어진 연구결과를 바탕으로 2006년 실시설계에 필요한 수질개선 공법매뉴얼, 조사·설계 매뉴얼을 연속 발간하여 지금까지 수질개선사업 매뉴얼로 사용하여 왔으며, 2009년 수정, 보완을 거쳐 「농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람」을 작성하여 현재 사용 중에 있음

○ 기존 연구에서 작성된 「수질개선 조사·설계 매뉴얼」또는 「조사·설계 편람」은 침강지 및 인공습지와 같은 자연정화 시설을 주로 이용해 수질개선시설을 설치하도록 권장하고 있음

○ 본 연구는 기존 인공습지, 침강지 조성 기술의 적용한계를 극복하고, 기능개선을 통해 수처리 효율을 증대하고자 하였으며, 다양한 최신 공법과 신기술을 융복합한 새로운 수질개선사업 설계 인자들을 재설정하기 위해 진행하였음

1.1.2 연구목적

○ 기존 수질개선사업 문제점 개선 및 설계요소 반영

○ 최신 공법 및 기술을 반영한 수질개선사업 설계 매뉴얼 재설정

○ 농업용수 수질개선사업 시행체계 및 설계 요소 재정립

1.2 연구 내용

○ 시간적 범위 : 2017년 3월~2017년 12월

○ 기존 수질개선 설계 매뉴얼 재설정

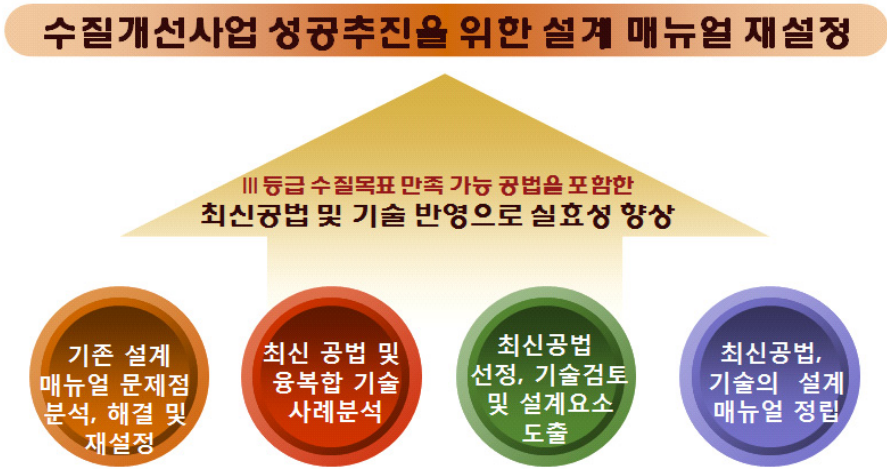
- 기존 수질개선 설계 매뉴얼의 문제점 및 개선방안 검토
- 기존 수질개선 설계 매뉴얼의 재정립

○ 최신 기술 및 공법을 반영한 농업용수 수질개선사업 적정기술 선발

- 수질개선사업 적용가능 공법 및 기술 검토
- 농업용수 수질개선사업 적용가능 적정 공법 선발
- 선발공법의 기술성, 경제성 분석

○ 최신공법 설계매뉴얼 정립

- 신공법·신기술이 반영된 설계 매뉴얼 마련
- 최신공법적용 및 설계매뉴얼 활용방안 제시



<그림 1> 연구절차 및 단계별 연구목표

1.3 기대효과

1.3.1 기대효과

○ 최신 공법 및 기술이 반영된 수질개선 설계 매뉴얼 재설정으로 농업용수 수질개선 기여

○ 농업용수 수질개선사업 기본계획 및 실시설계 단계에 활용하여 사업효과 개선에 기여

○ 최신 매뉴얼의 적용으로 농업용수 수질개선사업 성과향상 및 사업 활성화에 기여

1.3.2 성과 활용 방안

○ 농업용수 수질개선 사업지구 설계 활용

○ 최신 공법 및 기술이 반영된 수질개선 설계 매뉴얼 발간 배포

2. 이론적 고찰

2.1 연구의 이론적 전개방향

○ 본 연구는 수질개선사업 시행 초기인 2006년 작성된 농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼과 2009년「농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람」을 현재 기술수준에서 최신기술을 반영한 다양한 공법의 적용과 그 동안 나타난 사업 시행착오를 재검토하여 반영하고, 향후 수질 기준 Ⅲ등급을 만족할 수 있도록 수질개선 사업 시행효과를 향상시키는 매뉴얼로 작성하고자 하였음 (그림 2)

<그림 2> 연구 전개 방향

2.2 선행연구의 고찰

○ 농업용수 수질개선 사업의 조사 및 설계를 위한 지침 및 요령 제정 연구는 1996년에 농업용수 수질개선 시험연구(1996~2004)를 시작으로 인공습지, 침강지 도입을 위한 조건별 인자 검증을 통해 2004년 「농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리요령」을 발간하였음

○ 이후 2006년까지 실시설계에 필요한 수질개선 공법매뉴얼, 조사·설계 매뉴얼을 연속 발간하였고, 2009년 농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람을 발간하여 지금까지 활용하고 있음

○ 2009년 조사·설계 편람 이후 다양한 최신 공법 및 기술이 개발, 현장에 적용되어 왔으며, 환경부에서도 비점오염저감사업 시행에 필요한 관리지침과 매뉴얼이 꾸준히 재정비되어 왔음

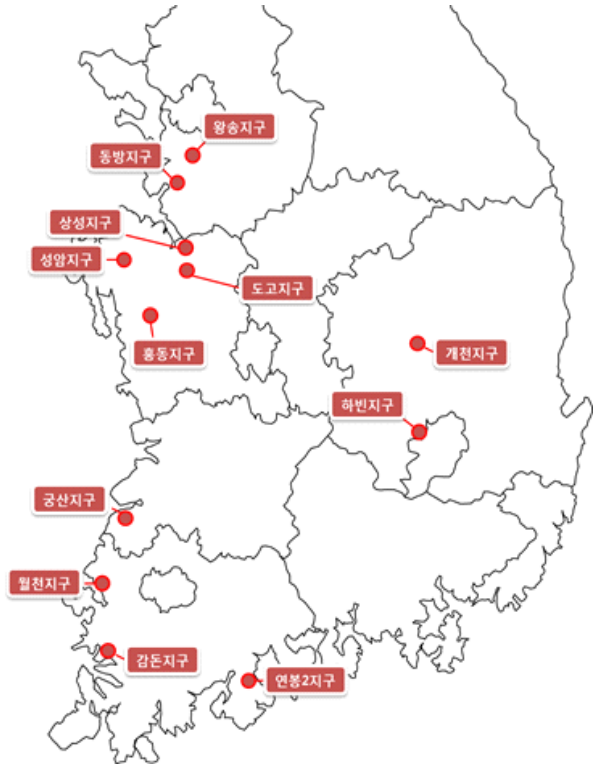
○ 하지만, 농업용수 수질개선 사업분야에서는 그동안 매뉴얼 재정비가 이루어지고 있지 않아 수질개선사업의 적용한계와 공법의 실효성을 향상시키기 위해 설계 매뉴얼 재정비에 대한 요구가 증가한 상태임

3. 기존 수질개선 설계 매뉴얼의 재정립

○ 2016년까지 농업용수 수질개선사업은 87개 지구 중 23개 지구가 준공되었으며, 잔여 65개 지구 중 2017년에는 기본조사 4지구, 세부설계 및 착공 3지구, 공사 진행 13개소, 이중 봉재, 덕림, 문천지구는 금년도 준공 예정임

○ 현재 운영중인 수질개선 사업지구 23개소 중 저수지의 특성, 지역적 분포 및 설치된 공정의 대표성, 접근성과 운영 연수 등을 고려하여 12개 사업지구를 선정, 환경적 토목공학적 조사 분석을 실시함

- 전수조사 지구의 위치와 수질개선사업 진행 현황, 적용공법 등은 그림 3, 표 1과 같으며, 지구의 세부 모습은 그림 4와 같음
- 조사대상 사업지구에 가동 중인 습지는 23개소의 지표흐름습지와 4개소의 고효율습지(지하흐름습지)이며, 침강지는 총 17개소로 on-line 사석 부댐 형식의 침강지임. 12개 사업지구 중 집중사업지구 4개소를 선정하여 하천 유황에 따라 매월 주기적인 현장실태조사를 수행하여 기존 매뉴얼의 문제점과 개선방안을 제시하였음



〈그림 3〉 전수조사 지구 위치도

(표 1) 전수조사 지구 특성

지구명	위치	수질개선사업 진행사항			적용공법
		착공	준공	운영기간	
감돈	전남 무안	'01.01	03.12	14년	인공습지, 침강지, 식물섬
동방	경기 화성	'11.10	'14.12	3년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
왕송	경기 의왕	'12.04	'15.12	2년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
홍동	충남 홍성	'07.06	'09.12	8년	인공습지, 수초저류지, 침강지, 식물섬
성암	충남 서산	'09.10	'12.11	5년	인공습지(고효율), 침강지, 식물섬, 준설
상성	충남 아산	'11.12	'13.12	4년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(태양광)
도고	충남 아산	'10.10	'14.12	3년	인공습지, 수변완충지대, 침강지, 식물섬, 준설, 물순환
궁산	전북 고창	'09.08	'11.12	6년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
월천	전남 함평	'09.08	'11.12	6년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
2연봉	전남 고흥	'13.12	'15.12	2년	침강지, 식물섬, 유입수 여과재, 물순환(부유), 마름제거
개천	경북 의성	'07.12	'09.12	8년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
하빈	경북 칠곡	'12.12	'16.12	1년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)

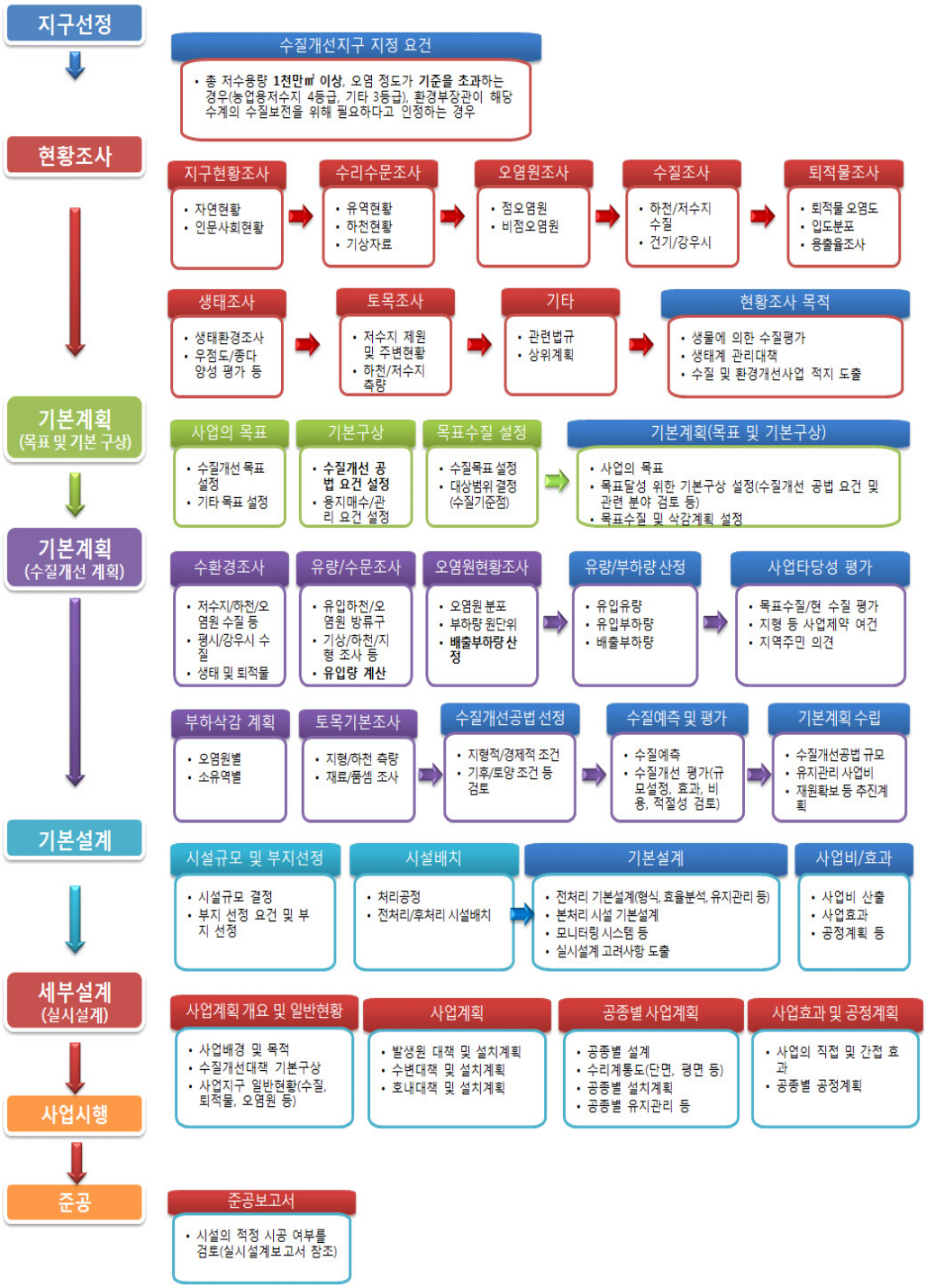
<그림 4> 전수조사 지구 모습

○ 먼저 수질개선 사업 시행절차의 문제점 분석을 통해 개선방안을 제안하고 매뉴얼에 수록함

- 기존에 수행된 기본계획 및 실시설계 보고서와 현장조사 결과를 토대로 평가한 결과 전 과정에 대한 전문가 참여와 검토가 미흡하여 시공 후 운영 시 다양한 문제점을 보여주고 있음
- 그동안 시행된 수질개선 사업절차를 바탕으로 각 단계별 문제점을 분석하고(표 2), 이를 해결할 수 있는 개선방안을 포함하여 종합 시행절차를 제시하였으며(그림 5), 실시설계 과정상 설계요소 체크리스트를 제안하였음 (표3)

(표 2) 기존 기본계획 및 실시설계 과정에서 나타나는 문제점

단계	미흡 사항
기본구상	▪ 대책과 공법의 선정요건 미흡
기본계획	▪ 공법선정에 대한 기본구상과의 부합성 검토 미흡 ▪ 공법위치와 시설배치에 대한 기본구상과의 부합성 검토 미흡
상세설계	▪ 공종별 세부설계에 기본구상 반영 미흡
준공시	▪ 설계와 시공의 적절성 검토과정 미흡
운영시	▪ 상세설계 과정에서 도출된 관리방안의 적절 시행 미흡



<그림 5> 수질개선사업지구의 수질개선사업의 종합적 시행절차

(표 3) 실시설계 과정상의 설계요소 체크리스트

항목	세부항목	점검사항
사업계획	발생원대책	▪ 발생원대책의 적정성
	수변대책	▪ 수변대책의 적정성
	호내대책	▪ 호내대책의 적정성
공종별 계획	취입방식	▪ 취입보 형태 및 선정의 적절성 ▪ 양수취입방식의 도입 필요성
	어도	▪ 어도의 종류 및 적절한 어도 선정 여부 ▪ 어도 설계의 적절성(유속, 경사 등)
	유입 협잡물	▪ 유입협잡물 관리위한 스크린 설계의 적절성
	인입수로	▪ 인입수로 형식 및 수로길이의 적절성(수두확보에 적합한 형식의 취입보를 선정하고 인입수로를 단축하고 가능한 U자 형태 수로 적절)
	침사지	▪ 침사지의 비용-효율적 기하학적 형태(유입오염물질의 종류에 따른 기하학적 형태 선정) ▪ 유입부 토양침식관리를 위한 에너지 소산시설의 유무
	지표흐름 인공습지	▪ 유입유량의 안정적 확보 ▪ 체류시간 및 계획수심의 적절성 ▪ 습지의 비용효율적 기하학적 형태(장폭비 2:1~4:1, 수평흐름을 최대한 유지하고 단회로 방지) ▪ 습지 개별 셀의 연결방법(깊은습지 및 얕은 습지의 반복적 배치) ▪ 습지의 셀간 분할의 적절성(수류의 균일한 이동을 유도하고 적정 습지 셀수 확보) ▪ 복수계열의 습지설계(운영과 유지보수의 용이성을 위하여 복수계열 설계 타당) ▪ 습지 셀간 연결수로의 형태의 적절성(다양한 연결수로 유형별 장단점 분석 후 선택) ▪ 습지수위 조절 구조물 선정의 적절성(수위조절장치 및 침수 방지 위한 by pass 수문 필요) ▪ 개방수역의 확보의 적절성(내부생산을 위한 산소 및 탄소 공급원으로서의 개방수역 필요) ▪ 배출연못의 설치현황 ▪ 유량측정 구조물의 설계반영 여부(유량측정의 용의성 확보) ▪ 습지의 수리학적 흐름의 적절성(수리계통도 또는 CFD 검토) ▪ 식생도입시 도입종보다는 자생종을 우선적으로 선정 ▪ 다양한 습지식물 선정 및 반영여부 ▪ 습지내 유입수류의 균일한 분배 ▪ 장비 접근시설 및 탐방객 주차시설의 적절성 ▪ 제방 및 호안 조성의 적절성 ▪ 유지관리 기준정립 및 용이성 확보
	침강지	▪ 침강지 구성요소의 적절성 ▪ 협잡물 제거 통스크린 반영 여부 ▪ 물순환장치의 적절성 ▪ 제방석축의 적절성 ▪ 인공식물섬의 비용효율성(면적, 관리의 용이성 등) ▪ 사석부댐의 적정 설계 ▪ 저수지 배출수문과 우회배출용 수문의 적절성 ▪ 조류관리 대책의 반영 및 효율성 검토
	지하흐름 인공습지	▪ 유입분배수로의 적절성 ▪ 내부폐색 저감 위한 토사관리 방안 ▪ 습지의 수리학적 흐름의 적절성 ▪ 식생도입시 도입종보다는 자생종을 우선적으로 선정 ▪ 습지내 유입수류의 균일한 분배 ▪ 제방 및 호안 조성의 적절성 ▪ 적정 식물관리 방안
	식물섬	▪ 식물섬 형태 및 기능의 적절성 ▪ 설치방식 및 설치위치의 타당성 ▪ 효과예측의 타당성 ▪ 식재종 선정의 타당성 ▪ 유지관리 용이성 및 계획의 타당성
	퇴적물 준설	▪ 퇴적물 산정의 합리성 ▪ 퇴적물 준설계획의 타당성 ▪ 퇴적물 준설방법의 적절성 ▪ 준설 퇴적물의 처리방안

○ 수질개선사업의 주요 공법으로 12개 지구 중 11개소에서 설치, 운영 중인 지표흐름 인공습지의 시공, 운영현황의 문제점과 개선방안을 제시함

○ 취입보와 취입구, 인입수로

- 습지의 최선단에 위치하는 취입보는 하천수를 습지내로 취수하는 시설로 습지 수리시설 중 가장 중요한 요소이며, 취수량을 조절 할 수 있어야 하고 취수보 내부에 퇴적되는 유사를 배출시킬 수 있는 구조로 설계되어야 함
- 취입보 형식과 가동현황을 분석한 결과 총 6개 형식(콘크리트보, 고무 가동보, 기계식 권상형 가동보, 기계식 회전형 가동보, 기계식 유압형 가동보, 게이트 수문보)으로 구분되며, 전체 21개소 시설 중 4개소 정도가 비정상 작동하였고, 그 원인으로 지속적인 가뭄으로 인한 수위센서 미작동, 취입보 내부의 과도한 유사퇴적 및 기계식 수문 틀에 이물질 걸림 문제 등으로 조사됨
- 취입구는 유사퇴적에 대비해 하상보다 높게 시공되어 취입보에 누수가 생길 경우 습지내 취수가 안되는 문제가 발생하므로 유사퇴적에 대비하고 취수 기회를 높일 수 있도록 취수구 위치 조정 또는 박스형 설계 방안 제시함
- 인입수로는 취수보와 습지선단 유입구 사이의 이격 거리측면에서 중요하며, 인입수로의 길이가 암거형태이고 그 길이가 길어질수록 수두손실이 증가하고 관거 점검이 어려우며, 막힘 등으로 유지관리 어려움이 가중되는데, 조사결과 인입수로 길이 50m 이하가 14개소(64 %), 100m 이상의 시설도 6개소(27 %)에 해당함. 따라서 우선, 수두확보에 적합한 형식의 취입보를 선정하여 인입수로의 길이를 최대한 단축하고 가급적 U자 형태의 개수로 형태나 부분적 개수로 또는 점검구를 설치하여 유지보수 및 수문관측이 용이하도록 설계 제안함

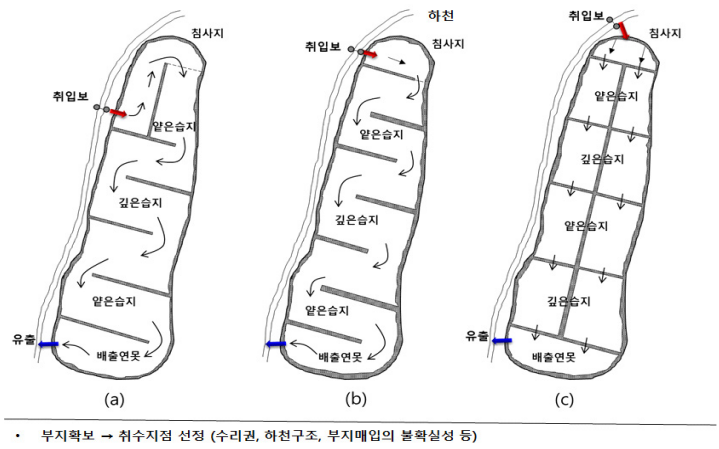
○ 침사지

- 침사지는 토사 등 입자상 오염물질의 제거를 위한 전처리 목적으로 설치되며 침사지의 형태는 방사형 구조의 침사지와 역방사형 구조, 그리고 장방형 침사지 구조로 설치되는데, 수질개선을 목적으로 할 경우 유지관리가 용이한 입구쪽 침전을 극대화하고, 준설작업까지 용이한 역방사형 형태가 유리함.
- 사업지구별 침사지 형태를 보면, 대부분 방사형과 장방형 형태로 조성되어 있고, 역방사형 형태는 나타나지 않았으며, 일부 지구에서는 수평류보다 혼합류를 주로 발생하여 침전을 방해하는 기형적 형태도 관찰됨
- 침사지 규모는 습지면적 대비 0.9~12.6 % (평균 5.6 %)로 일부지역에서는 과소, 과대현상이 나타나고 있으나 설계기준에 명확히 제시되고 있지 않아 본 매뉴얼에서는 습지면적 대비 5~15% 범위를 제안하였음
- 또한, 침사지내 유사 퇴적량을 산출하여 준설 시점을 결정해야 하는데, 모든 사업지구에서 퇴적량을 산출할 수 있는 쿠폰이나 계측기가 설치되어 있지 않

아 최소 3곳 이상의 퇴적물 쿠폰, 또는 측정자 설치를 본 매뉴얼에서 제시함

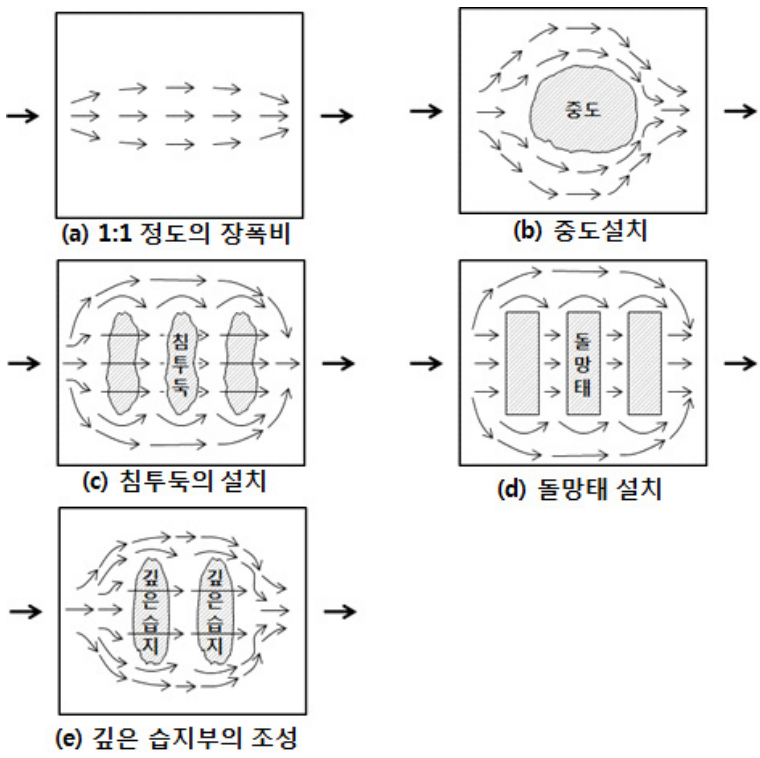
○ 지표흐름 인공습지

- 인공습지의 면적은 사업비와 직결되는 문제로서, 현재는 유역대비법에 의한 습지면적 산출법을 권장하고, 국내여건을 고려하여 유역면적의 1 % 이내에서 습지면적을 산출하도록 제안하고 있으며, 11개 사업지구 평균 습지면적 비율은 0.28 % (0.11 %~0.43 %)로 모든 사업지구에서 설계규정인 1 % 이내를 만족하고 있음
- 습지의 형상과 배치는 취입지점부터 유인수로, 침사지, 습지, 배출연못, 배출구까지 물의 흐름이 원활해야 하는데, 이에 대한 설계기준이 없어 설계상 혼란이 가중되므로, 세부설계과정에서 컴퓨터 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 분석을 통해 유체흐름을 사전 평가할 수 있도록 제시함. 최우수 사례는 홍동지구로 나타남 (그림 6c)



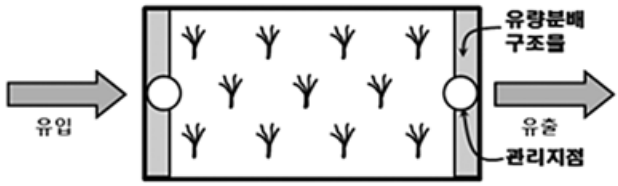
<그림 6> 취입지점에 따른 습지배열 및 배치

- 현재 편람에는 습지의 장폭비가 1:1~4:1을 기준으로 설정되어 있지만, 정상적 개선 효과를 위해서는 2:1~4:1을 권장하고 있는데, 각 지구 분석결과에서는 1:1 이하 13개 (24.5 %), 1:1~2:1 이하 17개 (32.1 %)로 전체습지의 56 % 이상이 적절하지 않은 장폭비로 설계 시공되어 2:1~4:1로 설계할 것을 제시함
- 습지의 유하거리는 단위습지의 수질개선 기능을 향상시키기 위해 고려해야 하는데 현재 편람에 유하거리 100 m를 제안하고 있지만, 실제 조사결과 전체 사업지구 평균 유하거리는 377 m (120 m~970 m)로 매뉴얼에서 제안하고 있는 설계기준을 만족하고 있는 사업지구는 단 1개소도 없었음

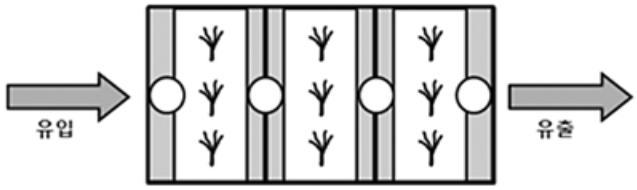


<그림 7> 장폭비 효과의 양상 및 보완 방안

- 습지의 셀 수는 습지의 효율적 관리 측면에서 중요한데, 습지의 규모가 증가할수록 셀의 크기가 증가하고 있으며 (도고 2호 습지의 셀 크기는 거의 1ha에 육박함), 습지규모가 작을수록 셀의 수가 지나치게 많게 조성되는 등 명확한 설계기준이 없는 실정임.
- 본 연구에서는 습지 규모 대비 필요한 셀 면적과 셀 수를 습지면적 1 ha ~ 2 ha 범위에서는 단일 셀 면적이 0.5ha를 초과하지 않도록 설계하며 셀 수는 침사지를 포함하여 5개 이하로 설계하고, 2ha 이상의 습지에서는 가능하다면 2 계열 이상의 복수계열로 습지를 조성하여 단일 셀 면적이 0.5ha를 초과하지 않고, 셀 수 역시 침사지와 배출연못을 포함, 5개 이하로 설계함을 제안하였음
- 습지 셀 간 연결수로의 형태는 습지내 물의 이동과 분배 등 수량관리에 주요 요소로서, 현재 사업지구에는 월류형인 오리피스 구조, 전폭 월류 구조, 사석 제방 월류 구조, 콘크리트 물넘이 구조 및 방류통 구조가 적용되고 있으며 개수로형으로 암거구조 및 U 자 콘크리트 구조가 적용되고 있는데, 운영, 유지관리와 물의 분배 상태를 분석한 결과 개수로 형태의 월류 구조가 적합한 것으로 제안함

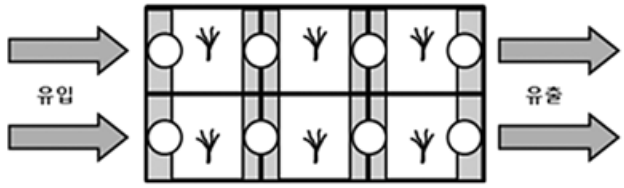


(a) 셀 수 1개: 단회로 채널링 및 사수대 존재로 수리학적 효율 저하



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

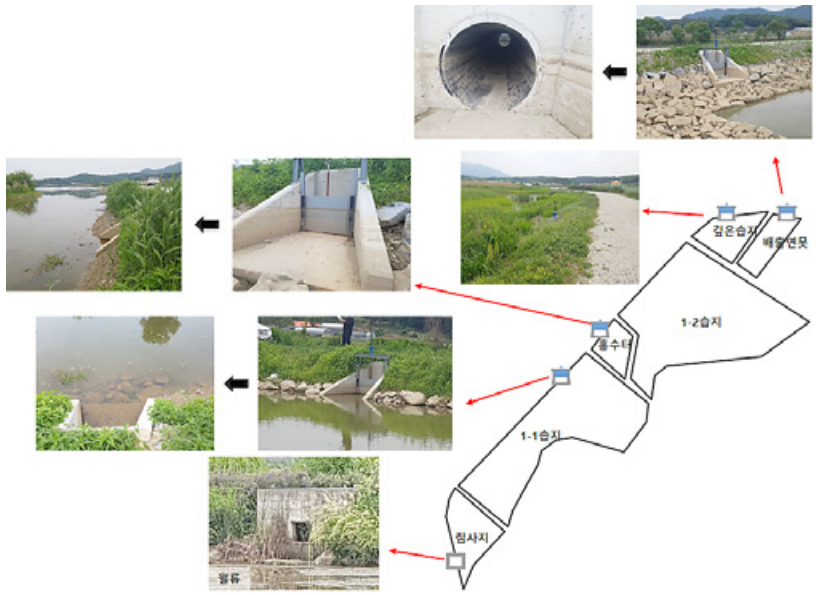
(c) 셀 수 2개 : (a)와 (b) 보다 수리학적 효율 우수, 관리지점 4개



(d) 셀 수 6개: 수리학적 효율 가장 좋음, 관리지점 6개

<그림 8> 셀 수에 따른 수리학적 효율 및 관리지점 수의 변화

- 습지수위 조절 구조물은 홍수기 비상배제, 식생관리, 식물절취, 퇴적물준설 등 유지관리업무에 필요한 시설로서, 비상수문 및 배출구 수문 등의 구비 여부를 파악한 결과 전체 사업지구 중 비상수문은 5개 지구, 습지수위 조절용 수문 역시 5개소에 불과하여 반드시 구비하도록 설계매뉴얼에 명시함
- 습지는 얕은 습지 (수심 0 ~ 0.3m), 깊은 습지 (0.5 ~ 1.0m), 깊은 못 (1.0 ~ 2.0m) 등으로 구분되고, 수질정화 효율 향상을 위해 50 : 30 : 20의 비율을 제안하지만 전체지구 분석결과 따르고 있지 않았으며, 특히 개방수역을 확인하기 곤란한 습지가 많았음. 개방수역이 산소 공급, 질산화 등 습지정화의 주요 기능을 가지고 있으므로 개방수역의 유지 방안에 대해 추가적으로 권고 제안함



<그림 9> 홍동지구의 습지 및 셀의 수위조절장치 설치사례

- 습지의 식생 및 식물관리는 수질정화 효과 유지와 경관적 측면에서 중요하며, 습지 식생은 갈대, 줄, 부들 등 정수 식물을 기본으로 하고, 고랭이, 골풀 등 현지식생, 습생식물로 노랑꽃창포, 창포, 붓꽃 등 4~6종의 식생을 도입하고, 수위 관리를 통해 식물 밀도를 조절할 수 있는 방안을 제시함

○ 배출연못

- 배출연못은 전체적으로 개방수역으로 조성되며, 최종적으로 조류나 식물체로부터 발생된 입자성 물질의 침전 제거와 광 살균 효과, 온도 조절 등을 기대할 수 있는데, 사업지구의 대부분이 배출연못에서 조류의 추가발생 등 수질이 오히려 나빠지는 경향이 파악되어 이를 해결할 수 있는 배출연못의 구조 및 기능 개선 방안을 제시함

○ 제방 및 호안 조성

- 사업지구의 호안을 구성하는 제방 및 둑은 토공이나 콘크리트공, 그리고 석공으로 시공되어 있는데, 단순 토공의 제방과 둑은 침식되거나 유실된 부분이 발생하고 있어 수충부 등 내구성이 요구되는 위치에는 석축 시공을 제안함

○ 수리학적 흐름문제

- 사업지구의 수리학적 흐름을 평가하기 위해 취입보 고장, 인입수로 막힘, 가뭄 및 용수 부족, 습지 수리 설계 문제, 정상운영 등 5가지 사례로 구분하여 조사한 결과, 감돈, 도고, 궁산, 동방, 성암지구의 각 1호 습지에서만 정상 가동됨

- 습지 내 수리학적 흐름문제를 해결하기 위해 설계당시 해당 처리구역의 시기별 용수공급 및 수요량을 분석하고, 설계 단계에서 간략한 수리모형 또는 CFD 분석을 선행할 것 제안함

○ 모니터링 시설

- 습지의 유량측정은 오염물질 유입부하량 및 삭감부하량 산출이나 설계요소의 검토 및 습지 물수지에서 중요한 증발산량 및 침투량 산출에 반드시 필요함
- 습지에서 정기적인 수질측정 역시 습지의 기능적 평가 및 수질개선 효과분석에 매우 중요한 자료를 제공하므로 특정지점에서 수질 및 유량 모니터링이 가능한 구조물은 반드시 필요하지만, 전체 사업지구에서 도입되지 않고 있어 본 매뉴얼에 수질, 유량 모니터링 시설 설치를 제안함

○ 유지관리도로 등

- 모든 사업지구에 유지관리목적의 접근로가 설치되어 있으나 노폭이 좁고 대부분 토공으로 시공되어 있어 중장비의 진입이 어려울 뿐 만 아니라, 휀스 설치로 유지관리 작업을 위한 접근 자체가 어려운 경우도 있음
- 중장비가 접근할 수 있는 적정 노폭을 제안하고, 작업 용이성이 높은 도로계획을 제안함

○ 식물 및 퇴적물 관리

- 습지내 고사식물의 제거를 위한 현장여건의 어려움이 크지만 매뉴얼에 제안된 사항이 없어 본 매뉴얼에서 적정 식물절취 기간과 방법 등 습지식물 유지관리 방안을 제시함
- 퇴적물 관리가 필요한 침사지, 습지내부, 배출연못 등에서 퇴적물 관리방안과 관리시기, 주기 등을 매뉴얼에 제시하여 퇴적물 관리가 용이하도록 함

○ 유지관리계획

- 인공습지 연간, 월간, 주간, 일간 운영, 유지관리 체크리스트를 제시하고, 유지관리계획 수립과 시행에 활용할 수 있도록 함

○ 지하흐름 인공습지 (고효율습지)

- 지하흐름 인공습지는 지표흐름 인공습지에 비해 여과, 분해, 탈질 기능이 우수하여 유기물 및 질소 정화효과가 증가하는 장점이 있는 반면, 여과속도의 제한, 폐색 등의 문제로 현장 관리자로서는 어려운 공법임
- 사업지구 습지 중 지하흐름습지는 3개 지구 3개소에서 운영되고 있으며, 성공적인 사례는 지표흐름 습지 말단에 후처리 습지로서 활용한 사례인데, 바로 배출연못으로 유출되어 방류되는 시스템을 권장하고, 매뉴얼에 제안함

○ 침강지

- 침강지의 구성요소는 그림 10에 나타난 것처럼 사석부댐, 저수지 배출수문, 우회배출수로, 호안보강을 위한 석축, 그리고 유입부에 설치되는 협잡물 제거를 위한 통 스크린 및 침강지 내부에 경관 및 영양소 흡수제거목적의 식물섬, 부댐 내부에 설치되는 물순환 장치 등이며, 식물섬과 물순환 장치는 현장여건에 따라 적용여부 판단 필요 있음. 최근에는 식물섬 도입 자제 추세임
- 설계편람의 침강지 수표면적은 유역면적의 0.6~0.8% (SAR 지수)나 저수지 수면적(만수)의 10%에 해당되는 값 중 작은 값을 취하여 침강지 규모를 산출하도록 규정되어 있으나, 사업지구에서 저수지 수면적과 침강지 면적 비율은 2.5~12.9 % (평균 5.7 %), 저수지 유역면적 대비 침강지 면적비율은 평균 0.24 % (0.08 ~ 0.43 %)로 설계조건을 만족하지 못하고 있으며, 현실적인 적용성을 감안하여 수면적 비율만으로 수정 제안함
- 침강지 문제점은 침강지내 조류발생, 사석부댐위 식물 활착, 부댐으로 인한 어류이동차단, 저수위시 인공식물섬 활착으로 부상기능 상실, 물순환장치의 유실 등이 있으며, 이를 해결하기 위해 적정 수심, 길이, 중층방류 방안, 식물섬 구조개선, 물순환장치 적용방안 등을 제시하여 설계시 활용할 수 있도록 함

<그림 10> 침강지 부댐의 구성요소

- 또한, 침강지에 적용가능한 최신기술과 대안 설정, 호안 및 제방안전성 확보 방안 등을 제안함
- 갈수기 또는 용수부족 시기에 인공습지 내 유입수량의 감소로 습지 기능이 심각하게 저하되는 경우 습지의 처리기능을 향상시키고, 저수지의 수질개선에 기여하기 위해 침강지의 정체수를 습지로 순환하는 습지-침강지, 습지-저수지 연계 운영 방안이 시도 되고 있으며, 그에 대한 적절한 운영방안을 매뉴얼에 보완하여 제시함

○ 최신기술을 반영한 기존 매뉴얼의 재정립

- 기존 인공습지, 침강지 등의 적용 한계를 극복하고, 효율을 향상시키기 위해 적용 가능한 최신기술로서 하이브리드습지, 건식 식생수로 등과 양수방법, 인입수로 개선안 등을 제시함

4. 최신공법 분석 및 적용방안

○ 농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 최신공법을 선별하기 위해 국내외 특허기술과 환경부에 등록된 환경신기술, 한국농어촌공사 단기 수질개선 대책사업, 한국농어촌공사 주관 환경 신기술 전시회, 한국수자원공사 테스트 배드 적용기술, 한국수자원공사 주관 환경기술대전, 환경부 주관 환경기술 발표회, 한국환경산업기술원과 국립환경과학원 등의 R&D 분야 환경기술 등을 종합 분석 함

- 농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 기술은 유역대책으로 유입수의 인, 질소 처리 기술, 호내대책으로 내부생산저감, 녹조예방, 억제, 제거 기술 등이 있음
- 표 4에 기존의 최신 공법을 물리적, 화학적, 생물학적 공정으로 구분하고, 유역 대책과 호내 대책으로 구분하여 제시함
- 농업용수 수질개선사업의 유역대책으로 적용가능한 물리적 공법으로 침강지, 침투도랑, 세라믹 여과형 여재 등을 들 수 있음
- 물리생화학적 대책으로 폭기, 물순환, 부댐, 조류제거선 등이 있으나 최신공법으로 하이브리드 인공습지, 식생여과대, 미세조류 수처리기술, 바이오스톤 접촉산화수로, 천적생물 적용기술 등을 신규로 제안하였음.

○ 농업용수 수질개선사업의 최신기술로서 매뉴얼에 천적생물 적용기술, 미세조류를 이용한 수처리기술, 바이오스톤을 이용한 접촉산화공법, 무인 수질관리선 등 최신 공법을 제안하고, 설계인자를 제시함(표 5)

- 최신공법에 대한 기술검토를 통하여 물리적 실현가능성이 우수하고 현장 적용

성이 높은 기술을 중심으로 저수지 환경에 적합한 미세조류 수처리기술과 바이오스톤 접촉산화수로 등과 녹조가 심각한 저수지에서 녹조를 효과적으로 제거할 수 있는 천적생물 적용기술, 무인항법 수질관리선 등의 기술을 선정하여 필요한 사업지구에 검토될 수 있도록 설계 매뉴얼에 반영함

- 또한 기존의 설계매뉴얼에서는 다루지 않았던 호안조성 부분을 추가하여 수질개선목적이나 공원화 사업 등이 시행되는 저수지의 호안조성이나 침강지 및 습지의 호안 및 제방조성에 활용될 수 있도록 대폭 신설함
- 호안조성 기술은 토목적 설계 및 시공방법 뿐만 아니라 수질정화 원리 및 효과 등도 제시하여 사업관리자나 설계자가 참고할 수 있도록 하였음

(표 4) 농업용수 수질개선 사업에 적용가능한 적정 공법

구분	유역 대책	호내대책
물리적	막여과법 침강지 침투저류지 침투도랑 여과:세라믹볼여재	폭기 : 나노버블발생장치, 순산소 공법 등 물순환: 태양광, 풍력구동 준설: 친환경 준설탈수시스템 부댐: Bio Housing-System, 사력댐 조류제거선: 선박형 녹조제거선 OH라디칼/음이온/초음파/전기분해
화학적	응집침전 응집부상 인불용화	조류제거제(응집, 분해, 침전) : 활성백토, 산화아연, 산화마그네슘 등 복합광물질 천연광물 나노융합기술, 벤토나이트, 천연제올라이트, 소성패각분말, 장화석 등 응집부상: 천연광물, 가압부상분사필터장치 인불용화: Alum, PAC
생물학적	인공습지 : 지표흐름 / 지하흐름 식생여과대: 인공습지와 식물롤 미세조류 수처리 접촉산화수로: 바이오스톤볼	천적생물 적용기술 인공식물섬 미생물 제재 어류 등 생태계 제어
물리+화학		물순환+ 조류제거제 키토산올리고당+라디칼 순환제 활용기술
물리+생물		여과트랩+식생대, 물순환장치+미생물공급 물순환 + 미생물담체

(표 5) 수질 개선 매뉴얼에 포함가능한 최신 공법과 최종 선정된 공법

기 술 명	적용 가능한 공간	선정공법
식생방틀을 활용한 하안선형 유도와 하천 수생태복원기술	호내 유입부 적용기술, 습지 내 적용기술	
다층형 부유습지를 이용한 댐·호의 수생태 복원기술	수면 호내 적용기술	◎
하천 재해예방 및 복구를 위한 섬유혼합 다공성 소일 블록 적용 기술	습지 내 적용 기술	
투수체와 포머를 이용한 현장 설치식 호안공법	수면 호내 적용기술	
물골형상을 활용한 하도육역화 저감 기술	자연 유하 가능 수질 개선 기술, 호내 유입부 적용 기술, 습지 내 적용 기술	
오염하천 및 호소의 정화장치 및 방법 (끈상접촉산화공법, ASCO)	수면 호내 적용기술	
천적생물 배양장치 공법	자연 유하 가능 수질 개선 기술, 호내 유입부 적용 기술, 습지 내 적용 기술	◎
미세조류 수처리 시스템 공법	수면 호내 적용기술	◎
다단 가압부상 장치	수면 호내 적용기술	◎
간헐적 포기습지	습지 내 적용 기술	
바이오스톤볼을 활용한 접촉산화수로	호내 유입부 적용기술, 수면 호내 적용기술, 습지 내 적용 기술	◎
호소 생물다양성증진을 위한 복합부유습지 조성기술	수면 호내 적용기술, 습지 내 적용 기술	
수질정화용 무인항법 장치	수면 호내 적용기술	◎
하천 수변의 하안 유도 및 생태공간 조성기술	호내 유입부 적용 기술	◎
초음파	수면 호내 적용기술,	
물순환장치	수면 호내 적용기술, 습지 내 적용 기술	
아쿠아리프트 조류제어 공법	수면 호내 적용기술, 습지 내 적용 기술	
오존 마이크로버블 공법	수면 호내 적용기술	
복합미생물(KEMM) 공법	수면 호내 적용기술	
자갈접촉 산화법	호내 유입부 적용 기술	

5. 최신기술을 반영한 수질개선 설계매뉴얼 정립

○ 최신기술이 반영된 설계 매뉴얼의 작성방향은 농업용수 수질개선 사업이 진행된 1998년 이후 2004년「농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리 요령」, 2006년 「농업용수 수질개선 공법매뉴얼」, 「농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼」, 2009년 「농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람」에 이르는 농업용수 수질개선 설계매뉴얼의 기본 취지를 따르면서, 사업시행단계의 이해부족, 제도적 미비사항, 시행착오 등을 개선하여 최적의 사업이 진행될 수 있도록 작성함

- 이를 위해 수질개선 사업시행 절차를 종합적으로 개선하고, 전문가 참여 및 검토위원회 기능을 강화하였으며, 사업실시설계 단계의 체크리스트를 제시하여 사업 시행시 오류를 최소화 시키도록 함
- 또한, 환경, 토목간 이해격차를 해소하기 위해 용어 정의와 해설을 보강하였으며, 잘된 사례를 제시하여 설계 시 이해를 도울 수 있도록 함

○ 인공습지, 침강지 등 기존 수질개선사업지구를 분석하여 설계, 시공, 운영, 관리상 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 추가 설계 인자를 매뉴얼에 반영하였으며, 기준이 명확하지 않아 적용이 어려웠던 부분에 대해서는 설계인자를 신설 규정하였음.

- 유입수 대책에 공통적으로 적용되는 설계부분을 신설하여 계획 및 설계단계에서 가장 중요한 사항인 취입방식의 결정 및 취입지점과 취입보 형식의 결정을 우선적으로 고려하도록 함

(표 6) 공통계획 및 유지관리 시설의 신설항목

공통계획 및 시설 (신설 내용)	
취입지점의 선정	사례연구
	취입지점 선정시 고려사항
취입보 형식의 선정	취입보의 종류
	설계요령
양수취입방식	기존취입 방식의 문제점
	양수취입방식
	설계요령
인입수로	인입수로의 형식
	인입수로의 길이
	설계요령
유량측정 구조물	현황
	설계요령

- 지표흐름 인공습지 분야는 기존 사업지구의 조사자료를 바탕으로 기준이 없었거나 모호했던 습지를 구성하는 수리 및 토목 요소의 설계요령을 구체화하여 제시하였고, 그 동안 습지설계에서 현실적이지 못한 설계기준은 과감히 정리하였음

(표 7) 지표흐름습지에서 새롭게 신설, 보완 및 수정된 내용

지표흐름습지에서 새롭게 신설, 보완 및 수정된 내용	
지표흐름 인공습지 설계요령	침사지
	습지의 기하학적 형상
	습지를 구성하는 셀 수
	포켓습지
	습지의 유하길이
	습지의 셀 수 결정
	복수계열 습지설계
	습지 셀과 셀의 연결
	습지 셀 간의 연결수로
	개방수역의 조성방법
	배출연못의 설계
	습지 수위구조물
	최종 배출구 및 배수구의 형태
	비상 배수구의 형태
	제방 및 호안 조성
	장비 접근시설

- 지하흐름습지의 설계요령을 수정 보완하여 설계자가 여재형태에 따라 독창적인 설계가 가능하도록 최소한의 설계방안을 제시하였으며 기존 습지의 적용사례를 통하여 학습할 수 있도록 현장자료를 수록하고, 지하흐름습지의 적용한계를 명확히 제시하였음

(표 8) 지하흐름형 습지 설계의 수정보완 및 신설내용

지하흐름형 습지(수정보완 및 신설내용)	
지하흐름 인공습지 설계	개요
	설계요령
	적용 사업지구 사례 분석
지표-지하 조합형 인공습지 설계	개요
	설계요령
	적용 사업지구 사례 분석

- 기존의 사업지구의 침강지 규모산정 및 내용적 현황을 제시하여 규모산정 방안을 최적화 하였으며, 기존 매뉴얼에 누락된 호안조성방법에 대한 요령과 침강지와 습지의 연계운영 방안을 제시하고, 어도 등 침강지 구성요소에서 누락된 부분을 추가하였음

(표 9) 침강지 설계의 신설 및 수정보완 내용

침강지(신설 및 수정보완 내용)	
설계요령	침강지 규모산정
	침강지 내용적의 산정
	부댐의 규모 및 형식
	호안의 조성
	조류증식 억제를 위한 유입부 식생 식재
	침강지-습지의 연계운영
	침강지 설치지점
	식물섬의 설치

○ 본 매뉴얼의 주요 특징으로 최신 기술을 다수 반영하여 사업 실효성을 높이고, 공법의 다양화와 소형화를 위해 다양한 공법에 대한 설계기준을 제시하고 적용할 수 있도록 하였음

- 20여개의 최신공법에 대한 기술검토를 통하여 물리적 실현가능성이 우수하고 현장 적용실적이 있는 기술을 중심으로 저수지 환경에 적합한 다층형 부유습지기술과 끈상접촉 산화공법 및 녹조문제가 심각한 저수지 현장에서 녹조를 수거 처리할 수 있는 다단 가압부상 기술을 선정하여 필요한 사업지구에 검토될 수 있도록 설계 매뉴얼에 반영하였음

○ 마지막으로 최신기술이 반영된 본 설계매뉴얼의 작성 방향과 개선사항, 적용범위 및 활용방안을 제시하였음

- 매뉴얼의 작성방향으로 매뉴얼의 작성 목적, 구성, 작성방향 등을 제시하였음
- 본 설계매뉴얼의 개선사항으로 개선사업 시행 체계의 개선, 인공습지와 침강지의 설계 개선, 최신공법의 설계 인자 제공등 개선사항을 제시하였음
- 최신 설계매뉴얼의 효율적 사용을 위해 적용범위와 활용방안을 제시하였음

SUMMARY

1. Subject : Renewal of design manual for water quality improvement project including new technology (Final)

2. Research Period : March, 2017~December, 2017

3. Background and Purpose of Study

○ In order to provide environment-friendly agricultural water supply base, plans were established and implemented for the improvement of water quality in agricultural areas started in 1998.

○ The inclusion of agricultural water quality improvement test began in 1996 due to the results of research and planning during the survey and design. Based on the results of this study, the "Guidelines for the design and management of wetlands for the improvement of agricultural water quality" was published in 2004.

○ Survey pilot projects were conducted until 2006 and the data collected were used for the derivation of water quality improvement manual project which began in 2006. In 2009, the "Survey and design manual for water quality improvement project for agricultural reservoir" was revised and improved. This design manual has been continuously used as a water quality improvement manual until now.

○ The “Water Quality Improvement Survey and Design Manual” which have been prepared in the previous studies, recommended the use of natural purification facilities such as sedimentation ponds and constructed wetlands for water quality improvement. This study was conducted to improve the design and performance of sedimentation ponds and constructed wetlands in water treatment by considering new design parameters.

4. Objectives and Contents of Research

4.1 Research objectives

○ This project was conducted to revise water quality improvement project design manual to consider recent advanced techniques

○ This project also reassessed design factors for agricultural water quality improvement

4.2 Contents

○ Revision of existing water quality improvement design manual

○ Selection of appropriate technology for improving water quality of agricultural water reflecting recent advanced techniques technology and construction method

○ Establishment of the recent advanced techniques and revised design manual

5. Results and Conclusions

5.1 Reestablishment of existing water quality improvement design manual

○ Since 2002, 23 water quality improvement facilities have been installed as part of the pilot project in the "Muan Water Reclamation Reservoir Water Quality Improvement Project" in Jeollanamdo Province. 12 out of the 23 water quality improvement facilities were selected in consideration of reservoir characteristics, reservoir distribution, representative of the installed processes, accessibility and operation period.

○ According to the result of on-site survey, most of the facilities were properly designed, constructed and operated, except for some facilities. It was apparent that civil engineering and hydraulic design elements were lacking considering the design of constructed wetlands. This was due to lack of insight into the physical feasibility of the existing design

manual, ambiguity or false assumptions of design provisions, and lack of specificity in some design factors.

○ Common problems in all facilities were related to the stable inflow of river water, and ensuring adequate inflow water determines the operation and efficiency of the constructed wetland. Therefore, selection and designing method of intake facilities has been newly added to ensure stable inflow. In accordance with the watershed, relevant provisions were introduced to ensure correct design of water intake specially for region where the there was low base flow rate or gravity flow can not be accepted. This ensured that there will be an efficient connection between wetlands and reservoirs or wetlands and sedimentation zones can be complemented.

○ Constructed wetlands also need to be evaluated using the data collection and design through post-monitoring and reflect them in the next project, ensuring the efficient development of wetland technology. Therefore, a new design manual has been introduced with proper flow and water quality monitoring.

○ The problem of water quality management for agricultural reservoirs was that the causes of pollution and pollutants have different "site-specific" characteristics in each project area. For this reason, civil engineering and repair design elements of the design manual at a level that does not interfere with or undermine the creativity of wetland designers were included. It also summarized factors that may lead to poor design and construction, and the necessary matters that were caused by the construction. This design manual included both good and bad design elements collected through the field survey which were summarized through photographs and book references.

5.2 Application of recent advanced techniques for agricultural water quality improvement

○ Agricultural reservoirs suffered from too much pollution from watersheds congesting waterways and long-term pollutant deposition led to too much accumulated sediments and pollutants which eventually led to unusual occurrence of algae that hinders sound functioning of the reservoir ecosystem. Due to the depletion of oxygen in deep water, death of benthic organisms and leaching of toxic substances, there were damages to fish, shellfish and other creatures, damages to fish aquaculture and water quality and aqua-ecosystem problems arises.

○ In this study, 20 recent advanced technologies, patents, commercialized technologies, and general - purpose technologies were surveyed considering water quality improvement in agricultural reservoirs. Technical features, performance and efficiency, design and construction plans of these recent advanced techniques were studied.

5.3 Establishment of water quality improvement design manual reflecting recent advanced techniques

○ Through the technical review of the 20 recent advanced techniques, the multi-layered floating wetland technology, aerated string contacted oxidation (ASCO) and multistage pressurized flotation technology were selected for the water reservoir environment and were reflected in the design manual so that its applicability in the project sites may be assessed.

○ Slope protection and stabilization technique was included in the revised design manual which was not covered in the existing design manual. Slope protection and stabilization technique together with sedimentation tanks, wetlands and embankment were used for the improvement water quality and public park development. Principles of slope protection and stabilization technique design, construction and use for water reclamation was also included in the design manual for project managers, planners and designers.

6. Benefits and use of this manual

6.1 Benefits of this manual

○ The reestablishment of water quality design manual and reflection of the recent advanced techniques will lead to improved agricultural water quality.

○ Due to the revision made utilizing the basic plan and implementation design stage of the project for agricultural water quality improvement, the benefits of this project were also improved.

6.2 Use of this manual

○ This manual may be utilized for the agricultural water quality improvement project

○ This manual will be distributed and published reflecting the recent advanced techniques.

차 례

제1장 서론 ····· 3
제1절 연구배경 및 필요성 ····· 3
제2절 연구목적 및 추진체계 ····· 5
제3절 연구사 ····· 8

제2장 연구내용 및 방법 ····· 17
제1절 수질개선사업 지구 공법 분석 ····· 17
제2절 기존매뉴얼의 문제점, 개선방안 및 추가도입요소 분석 ····· 22
제3절 농업용수 수질개선사업 적용가능 최신공법 분석 ····· 24
제4절 최신공법 적용방안 및 설계요소 도출 ····· 24
제5절 최신기술이 반영된 수질개선 설계매뉴얼 작성 ····· 25

제3장 기존 수질개선 설계 매뉴얼의 재정립 ····· 29
제1절 수질개선사업 적용지구 주요공법 분석 및 문제점 도출 ····· 29
제2절 기존 매뉴얼의 개선방안 및 추가 도입요소 ····· 88
제3절 최신기술을 반영한 기존 매뉴얼의 재정립 ····· 130

제4장 최신공법 분석 및 적용방안 ····· 149
제1절 수질개선 사업 적용가능 최신 공법 및 기술 ····· 149
제2절 적정공법 선발 ····· 154
제3절 최신공법 설계에 필요한 공학적 요소 및 공학적 설계인자 도출 ·· 156

제5장 최신기술을 반영한 수질개선 설계매뉴얼 정립 ····· 215
제1절 최신기술이 반영된 설계매뉴얼 작성 방향 ····· 215
제2절 설계 매뉴얼의 개선사항 ····· 218
제3절 최신 설계매뉴얼의 적용범위 및 활용방안 ····· 223

제6장 결론 ····· 227

참고문헌 ····· 237

참여연구원 ····· 239

표 목 차

(표 1.1) 연구추진방법 ····· 6
(표 1.2) 농업용수의 종류와 기능 ····· 8
(표 1.3) 농어촌연구원에서 수행된 농업용저수지 수질개선 연구 ····· 9
(표 1.4) 농어촌연구원 수질개선 연구 성과 요약 ····· 10
(표 1.5) 수질개선 설계 매뉴얼 관련 서적 발간 현황 ····· 12
(표 2.1) 준공년도별 지구 현황 ····· 19
(표 2.2) 시도별 준공지구 현황 ····· 19
(표 2.3) 전수조사 지구 ····· 20
(표 2.4) 대표 조사 지구 및 특징 ····· 21
(표 2.5) 수질분석 항목 및 방법 ····· 21
(표 3.1) 시도별 수질개선사업 지구 현황 ····· 30
(표 3.2) 농업용수 수질개선 사업지구 시설내역 ····· 31
(표 3.3) 농업용수 수질개선 사업지구 상세 시설내역 ····· 32
(표 3.4) 전수조사 지구 특성 ····· 35
(표 3.5) 사업지구 및 습지별 취입보 형식 ····· 36
(표 3.6) 취입보 형식 별 적용현황 ····· 37
(표 3.7) 취입보 형식 별 정상 가동여부 ····· 38
(표 3.8) 사업지구 별 인입수로 형식 및 수로길이 ····· 40
(표 3.9) 인입수로 길이 현황 ····· 41
(표 3.10) 사업지구 별 주요 인입수로 현황 ····· 42
(표 3.11) 침사지의 기하학적 형태 별 특징 ····· 44
(표 3.12) 사업지구 별 침사지 형태 ····· 45
(표 3.13) 침사지의 기하학적 형태 ····· 46
(표 3.14) 부적절한 구조의 침사지 ····· 47
(표 3.15) 사업지구 별 전체 습지면적 대비 침사지 면적 비율 ····· 48
(표 3.16) 사업지구 별 유역면적 대비 습지비율 ····· 49
(표 3.17) 사업지구 별 장폭비 현황 ····· 52
(표 3.18) 조사대상 개별 습지 셀별 장폭비 분석결과 ····· 53

(표 3.19) 조사대상 지구별 전체 습지의 장폭비 분석결과 ····· 53
(표 3.20) 사업지구 및 습지 별 셀수 및 단위면적 당 셀 수 ····· 59
(표 3.21) 사업지구 별 습지의 유하길이 ····· 61
(표 3.22) 연결수로의 유형분류와 설치 사례 ····· 63
(표 3.23) 사업지구 별 습지연결수로의 형태 ····· 65
(표 3.24) 비상수문 설치 및 배출구 수문설치 여부 ····· 66
(표 3.25) 조사대상 습지 중 정상가동 중인 사업지구 및 습지 ····· 77
(표 3.26) 조사대상 습지의 유수흐름 및 정상가동 현황 ····· 78
(표 3.27) 사업지구별 지하흐름 습지 요약 ····· 83
(표 3.28) 수질개선지구로 선정된 사업지구에서의 수질개선대책 ····· 89
(표 3.29) 기존 기본계획 및 실시설계 과정에서 나타나는 문제점 ····· 90
(표 3.30) 기본계획시 부지선정 및 시설배치 단계에서의 검토위원회 체크리스트(안) ··· 93
(표 3.31) 실시설계 과정상의 설계요소 체크리스트(안) ····· 95
(표 3.32) 습지면적대비 배출연못의 비율 ····· 113
(표 3.33) 지하 수평흐름형 인공습지 설계요령 ····· 123
(표 3.34) 일반적으로 지하흐름형 습지에 적용되는 여재의 특성 ····· 124
(표 3.35) 사업지구 별 침강지 및 저수지 수면적과 비율 ····· 125
(표 3.36) 사업지구 별 유역면적 대비 침강지 면적 비율 ····· 126
(표 3.37) 취입보 형식 별 장-단점 ····· 130
(표 3.38) 취입보 형식 별 설계제안 ····· 132
(표 3.39) 인입수로의 설계제안 ····· 136
(표 3.40) 지표-지하 조합형 인공습지의 장점 및 단점 ····· 139
(표 3.41) 지표-지하 조합형 인공습지 ····· 140
(표 3.42) 지표-지하조합형 인공습지 설계요령 요약 ····· 141
(표 3.43) 식생수로의 장・단점 ····· 142
(표 3.44) 식생수로의 정화효율 ····· 143
(표 3.45) 습식 식생수로의 설계요령 요약 ····· 144
(표 3.46) 건식 식생수로의 정화효율 ····· 145
(표 3.47) 건식 식생수로 설계요령 요약 ····· 146
(표 4.1) 최신공법 및 기술 (한국농어촌공사) ····· 150
(표 4.2) 최신공법 및 기술 (유관기관) ····· 151
(표 4.3) 농업용수 수질개선 사업에 적용가능한 적정 공법 ····· 152
(표 4.4) 최근 도입되고 있는 수질개선기술 ····· 153

(표 4.5) 수질 개선을 위한 최신 공법 ····· 155
(표 4.6) 천적생물 배양장치 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소 ····· 157
(표 4.7) Chl-a 농도 및 저수지 용량에 따른 천적생물 배양장치 규모 ····· 158
(표 4.8) 천적생물 배양장치의 설계요소 및 설계인자 ····· 158
(표 4.9) 원수분리조 설계요소 및 부대시설 ····· 159
(표 4.10) 식물플랑크톤 배양조 설계요소 및 부대시설 ····· 159
(표 4.11) 동물플랑크톤 배양조 설계요소 및 부대시설 ····· 159
(표 4.12) 천적생물 배양장치 운영을 위한 설계반영 사항 ····· 160
(표 4.13) 각 부분 명칭 ····· 160
(표 4.14) 실규모 천적생물 배양장치 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소 ····· 164
(표 4.15) 미세조류 수처리 시스템 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소 ·· 166
(표 4.16) 미세조류 수처리 시스템 공정의 수공학적 및 공학적 설계예시 ·· 169
(표 4.17) 바이오스톤볼 접촉산화시설의 기능 및 역할 ····· 172
(표 4.18) 바이오스톤볼 정화효율 ····· 176
(표 4.19) 다단 가압부상 장치 수공학적 설계요소 ····· 190
(표 4.20) 다단 가압부상 장치 공학적 설계요소 ····· 191
(표 4.21) 호안 형식에 따른 적용 가능한 공법 분류 ····· 193
(표 4.22) 식생계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자 ····· 195
(표 4.23) 석재계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자 ····· 196
(표 4.24) 블럭계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자 ····· 197
(표 4.25) 방틀계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자 ····· 198
(표 4.26) 식생계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리 ··· 199
(표 4.27) 석재계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리 ··· 200
(표 4.28) 블럭계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리 ··· 201
(표 4.29) 방틀계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리 ··· 202
(표 4.30) 무인항법 이동식 수질정화 선박 제원(저수지 규모 50만톤 기준) 209
(표 5.1) 공통계획 및 시설(신설항목) ····· 219
(표 5.2) 지표흐름습지에서 새롭게 신설, 보완 및 수정된 내용 ····· 219
(표 5.3) 지하흐름형 습지(수정보완 및 신설내용) ····· 220
(표 5.4) 침강지(신설 및 수정보완 내용) ····· 220
(표 5.5) 호내 대책 신기술 ····· 221
(표 5.6) 호안조성 기술 ····· 222
(표 5.7) 사업수행체계 ····· 222

그 림 목 차

<그림 1.1> 연구의 배경 ····· 4
<그림 1.2> 연구 목표 ····· 5
<그림 1.3> 연구추진체계 ····· 6
<그림 1.4> 최근 개발되어 실용화단계의 신공법, 신기술 예시 ····· 11
<그림 1.5> 연차별로 발간된 수질개선사업 설계 매뉴얼과 문제점 ····· 13
<그림 2.1> 농업용수 수질개선 사업지구 현황(23개 준공지구) ····· 17
<그림 2.2> 농업용수 수질개선사업 설계 문제점 도출 ····· 18
<그림 2.3> 설계 개선안의 도출을 위한 현장방문 조사 계획 ····· 19
<그림 2.4> 전수조사 및 대표지구 지점도 ····· 20
<그림 3.1> 전수조사 및 대표지구 지점도 ····· 29
<그림 3.2> 수질개선 준공지구의 사업 도입 현황분석 ····· 33
<그림 3.3> 전수조사 지구 위치도 ····· 34
<그림 3.4> 전수조사 지구 모습 ····· 35
<그림 3.5> 함평 월천지구에 설치된 회전형 취입보 ····· 39
<그림 3.6> 함평 월천지구 취입보 ····· 39
<그림 3.7> 취입지점의 위치에 따른 습지형상 및 배치, 장폭비 ····· 50
<그림 3.8> 대표사례지구: 함평 월천지구 습지 ····· 54
<그림 3.9> 대표사례지구: 아산 상성지구 1습지 ····· 55
<그림 3.10> 대표사례지구 : 고창 궁산지구 1습지 ····· 56
<그림 3.11> 깊은습지/얕은습지를 흐름방향과 직각으로 반복적 배치 효과 ····· 56
<그림 3.12> 대표사례지구: 의성 개천지구 2호 습지 ····· 57
<그림 3.13> 대표사례지구: 칠곡 하빈지구 2습지 ····· 58
<그림 3.14> 전체 습지면적에 따른 단위면적 당 셀의 개수 ····· 60
<그림 3.15> 전체 습지면적에 따른 셀 당 습지면적 ····· 60
<그림 3.16> 전체사업지구의 습지면적과 유하거리와의 관계 ····· 62
<그림 3.17> 배출부의 형태 및 구조 ····· 67
<그림 3.18> 비상 배출부의 형태 및 구조 ····· 69
<그림 3.19> 습지의 개방수역 현황 ····· 70
<그림 3.20> 홍성 홍동지구 1호 습지의 배출연못 ····· 71

<그림 3.21> 아산 도고지구의 배출연못 ····· 72
<그림 3.22> 전체 사업지구 배출연못 현황 ····· 73
<그림 3.23> 제방의 설계기준 ····· 75
<그림 3.24> 습지 제방 및 둑 설치사례 ····· 76
<그림 3.25> 토공과 석공으로 이루어진 제방 ····· 76
<그림 3.26> 유량관측 및 유입시료 채취가 불가능한 구조로 시공된 유입구 ····· 79
<그림 3.27> 장비 진입로가 조성된 우수사례지구 ····· 80
<그림 3.28> 수평흐름형 습지의 모식도 ····· 81
<그림 3.29> 일반적인 수직흐름 습지의 단면도 ····· 82
<그림 3.30> 침강지 부댐의 구성요소 ····· 84
<그림 3.31> 침강지에서 수위조건에 따른 식물섬의 상태 ····· 85
<그림 3.32> 침강지 유입부의 조류번식 억제방안 ····· 86
<그림 3.33> 침강지 호안 시공현황 ····· 86
<그림 3.34> 수질개선대책과 공법의 설계과정 및 각 단계별 검토사항 ····· 89
<그림 3.35> 수질개선사업 기본계획 내용 점검 및 개선방안 ····· 91
<그림 3.36> 수질개선사업 기본계획 및 기본설계(안) ····· 92
<그림 3.37> 실시설계 절차 개선(안) ····· 94
<그림 3.38> 수질개선사업지구의 수질개선사업의 종합적 시행절차 ····· 96
<그림 3.39> 방사형 구조의 침사지 ····· 98
<그림 3.40> 유역면적 대비 습지비율 및 습지면적 ····· 99
<그림 3.41> 취입지점에 따른 습지배열 및 배치 ····· 100
<그림 3.42> 장폭비 효과의 향상 및 보완방안 ····· 101
<그림 3.43> 처리용 셀수와 오염물질 제거와의 일반적인 관계 ····· 102
<그림 3.44> 처리용 습지의 길이와 오염물질 제거와의 일반적인 관계 ····· 102
<그림 3.45> 대표사례지구: 아산 상성지구 2호 습지 ····· 103
<그림 3.46> 셀 수에 따른 수리학적 효율 및 관리지점 수의 변화 ····· 104
<그림 3.47> 소규모 인공습지를 단일 셀로 조성한 포켓습지의 사례 1 ····· 105
<그림 3.48> 소규모 인공습지를 단일 셀로 조성한 포켓습지의 사례 2 ····· 105
<그림 3.49> 복수계열 습지설계사례 ····· 108
<그림 3.50> 습지 셀의 연결형태 ····· 108
<그림 3.51> 습지 셀 연결수로 유형 별 장단점 ····· 109
<그림 3.52> 침투/월류형 연결수로와 월류형 연결수로의 비교 ····· 110
<그림 3.53> 인공습지 적용시 유용한 연결수로 ····· 110

<그림 3.54> 홍동지구의 습지 및 셀의 수위조절장치 설치사례 ····· 111
<그림 3.55> 습지에서 개방수역 설계방안 ····· 112
<그림 3.56> 습지제방 사면공사 예 : 석축 및 식생불럭 쌓기 ····· 114
<그림 3.57> 습지제방 사면공사 예: 토공 및 석축 ····· 115
<그림 3.58> 기존 취입수로의 형태 및 개선안 ····· 117
<그림 3.59> 서산 성암 사업지구 지하흐름습지 ····· 119
<그림 3.60> 서산 성암지구 지하흐름습지 주요부 사진자료 ····· 120
<그림 3.61> 홍성 홍동지구 지하흐름습지 주요부 사진자료 ····· 121
<그림 3.62> 아산 도고지구 지하흐름습지 ····· 122
<그림 3.63> 수평 지하흐름습지의 설계요소 ····· 124
<그림 3.64> 수평 지하흐름습지의 배열 ····· 124
<그림 3.65> 침강지 입지선정 대표사례 ····· 127
<그림 3.66> 궁산지구 침강지 입지현황 ····· 128
<그림 3.67> 홍성 홍동지구 2호 습지의 침강지 연계방안 ····· 129
<그림 3.68> 양수방식에 의한 습지운영방안 ····· 133
<그림 3.69> 양수취입방식의 적용방법 예시 ····· 135
<그림 3.70> 식생관리가 이루어지고 있는 도로 및 법면 ····· 137
<그림 3.71> 식생관리가 이루어진 제방 및 법면 ····· 137
<그림 3.72> 식생관리가 이루어진 셀 간 연결 전폭웨어부 ····· 137
<그림 3.73> 벌초작업이 이루어진 홍수터 및 장비 진입로 및 주차장 ····· 138
<그림 3.74> 습지와 도로 제방에 야생화의 식재 ····· 138
<그림 3.75> 지표-지하 조합형 인공습지의 모식도 ····· 140
<그림 3.76> 습식 식생수로의 평면도 및 종단면도 예 ····· 143
<그림 3.77> 건식 식생수로의 평면도 및 종단면도 ····· 145
<그림 4.1> 농업용수 수질개선을 위한 환경분야 신기술 신공법 기술설명회 모습 ····· 149
<그림 4.2> 천적생물 배양장치 공법의 배양장치 원리 및 구조 ····· 156
<그림 4.3> 천적생물 배양장치 도면예시 ····· 160
<그림 4.4> 이동성이 높은 컨테이너형 배양장치 ····· 162
<그림 4.5> 천적생물 배양장치의 적용 사례 (전대저수지) ····· 163
<그림 4.6> 천적생물 배양장치의 적용 사례 (초대저수지) ····· 163
<그림 4.7> 미세조류 수처리 시스템의 수처리 개념 ····· 165
<그림 4.8> 미세조류 수처리 시스템 기술의 적용 사례 ····· 168
<그림 4.9> 미세조류의 다양한 활용방안 ····· 170

<그림 4.10> 수처리용 바이오스톤볼 ····· 171
<그림 4.11> 바이오스톤볼 접촉산화시설의 기본구성 및 흐름도. ····· 171
<그림 4.12> 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설의 정화원리. ····· 174
<그림 4.13> 바이오스톤볼 접촉산화시설의 전산유체유동해석 ····· 174
<그림 4.14> 바이오스톤볼 표면의 생물막 ····· 176
<그림 4.15> 설계 유형 1(단독처리형) ····· 180
<그림 4.16> 바이오스톤볼 접촉산화시설의 적용 유형 ····· 181
<그림 4.17> 설계 유형 1(단독처리형) 적용 예시 ····· 182
<그림 4.18> 설계 유형2(지하흐름 습지형) ····· 182
<그림 4.19> 설계 유형2(지하흐름 습지형) 적용 예시 ····· 183
<그림 4.20> 설계 유형 3(수로형) ····· 184
<그림 4.21> 설계 유형 3(수로형) 설계 예시(자연수로식) ····· 185
<그림 4.22> 설계 유형 3(수로형) 설계 예시(암거수로식) ····· 186
<그림 4.23> 기타 응용 및 활용방안 ····· 186
<그림 4.24> 다단 가압부상 장치 기술 개요도 ····· 189
<그림 4.25> 다단 가압부상 장치 정화 원리 ····· 189
<그림 4.26> 다단 가압부상 장치 기술 적용현황 ····· 191
<그림 4.27> 호안의 종류 ····· 192
<그림 4.28> 호안 공법 선정 방법 ····· 194
<그림 4.29> 다층형 부유습지 기술의 공정도 ····· 203
<그림 4.30> 다층형 부유습지 기술의 모형 및 단면 ····· 204
<그림 4.31> 다층형 부유습지 기술의 적용사례 ····· 205
<그림 4.32> 무인항법장치 설계예시 ····· 211

제1장
서 론

제1절 연구배경 및 필요성
제2절 연구목적 및 추진체계
제3절 연구사

제1장 서론

제1절 연구배경 및 필요성

우리나라 수자원 이용 현황은 총 수자원량의 26 % 정도 이며, 이중 농어촌용수는 약 48 %에 해당되는 158 억 톤/년을 차지하고 있다. 2024년 전망에 따르면, 농어촌용수 연간 수요량은 총 175 억 톤이며, 이중 논 용수 104.9 억 톤, 밭용수 32.5 억 톤, 축산용수 2.8 억 톤, 생활용수 12.3 억 톤, 공업용수 11.8 억 톤, 환경용수 10.2 억 톤 등이 요구되고 있다. 농어촌용수 중 가장 많은 양이 요구되는 용수는 농어촌용수의 60 %를 차지하고 있는 논 용수로서 농업용저수지, 하천의 보, 양수장, 담수호 등에서 관개수로를 통해 논으로 공급되고 있다(농림축산식품부, 2014). 주요 농업용수원으로 농업용호소의 수는 전국 17,423 개소로서, 이중 저수지가 17,401개소, 담수호가 22개소로 구성되어 있으며, 유효저수량 대비 77 %가 농업용저수지에 포함되어 있다(농림축산식품부, 2016).

안전하고 안정적인 농업용수 공급을 위해 농업용호소의 양적, 질적 관리에 대한 노력은 계속 되어 왔으나, 최근 녹조 등 유해환경으로부터 안전한 농산물 생산에 대한 요구가 증가하고, 친수 생태, 레저공간으로서 농업용 호소의 이용 측면이 대두되면서 농업용호소의 질적 관리를 위한 다양한 정책적 노력이 이루어지고 있다.

양질의 농업용수 공급기반 구축하기 위해 1996년부터 농업용수 수질개선 시험연구를 시작으로 환경 친화적인 농업용수 수질개선 사업 추진을 위한 현장연구를 진행하였으며, 1998년도부터 농업용수 수질개선 시범사업을 수립하고 시행하였다. 2002년도 전남 무안 감돈저수지에 수질개선 시범사업 지구가 완공되었으며, 2006년에 본격적인 사업지구로 충남 홍성 홍동지구가 완공된 이후 현재까지 22개 지구가 운영되고 있다.

농업용수 수질개선사업의 주요 목적은 깨끗하고 안전한 청정 농업용수 공급을 통한 우수 농산물 생산 환경조성과 자연환경과 영농환경 보호를 통한 쾌적한 농어촌환경의 보전이며, 인공습지, 침강지 등 친환경적인 대책시설을 설치하여 지속적인 수질개선을 도모하고자 하였다.

농업용수 수질개선 사업 시행에는 대상지선정, 예비타당성조사, 기본구상, 기본계획 수립, 설계, 시공, 준공, 운영 및 관리 등 많은 단계의 과정이 필요하며, 환경, 생태, 토목공학 등 다양한 분야의 기술들이 접목되어야 하므로 각 과정의 계획수립과 실행에 시행착오가 많은 편이다. 따라서, 농업용수 수질개선 사업의 조사 및 설계를 위한 지침 및 요령, 매뉴얼의 제정은 사업 성공과 실패를 가르는 중요한 열쇠가 되고 있다. 농업용수 수질개선사업 설계요령, 매뉴얼에 대한 연구는 1996년에 농업용수 수질개선 시험연구(1996~2004)를 시작으로 인공습지, 침강지 도입을 위한 조건별 인자 검증 연구를 진행하였으며, 그 결과를 바탕으로 2004년「농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리요령」을 발간하였다. 이후 2006년까지 시범사업을 통해 얻어진 연구결과를 바탕으로 2006년에 실시설계에 필요한 수질개선 공법매뉴얼, 조사·설계 매뉴얼을 연속 발간하여 지금까지 수질개선사업 매뉴얼로 사용하여 왔으며, 2009년 수정, 보완을 거쳐 「농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람」을 작성하여 현재 사용 중에 있다.

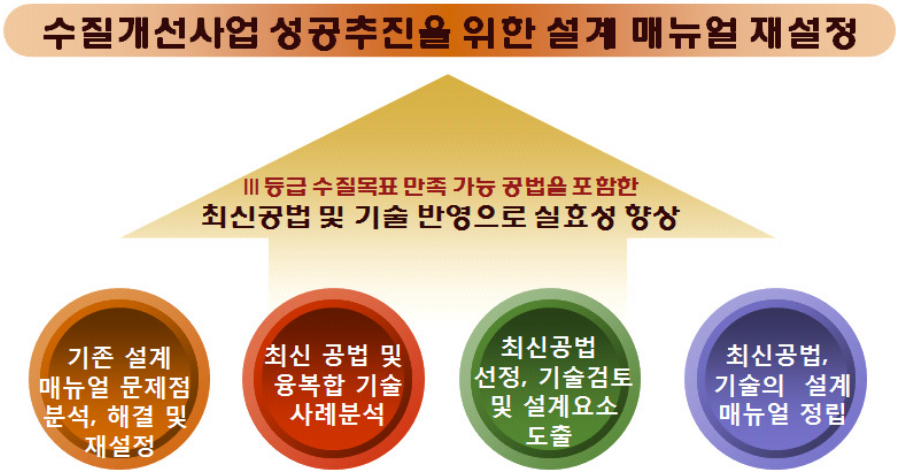
본 연구에서는 기존의 '수질개선 조사·설계 매뉴얼' 또는 '조사·설계 편람'에서 제시된 침강지 및 인공습지와 같은 자연정화 시설의 장단점과 문제점을 분석한 후 기존 인공습지, 침강지 조성 기술의 설계인자를 개선하여 수처리 효율을 증대하고, 다양한 최신 기술과 신공법을 융복합한 새로운 수질개선사업 설계 인자들을 재설정하고자 하였다.

<그림 1.1> 연구의 배경

제2절 연구목적 및 추진체계

1. 연구목적

본 연구의 최종 목적은 농업용수 수질개선사업의 효율화로 성공적인 성과 달성을 유도하고자 기존 매뉴얼의 문제점을 개선하고, 최신 공법과 신기술을 반영하여 설계 매뉴얼을 최신화, 고도화 하는 것이다.



<그림 1.2> 연구 목표

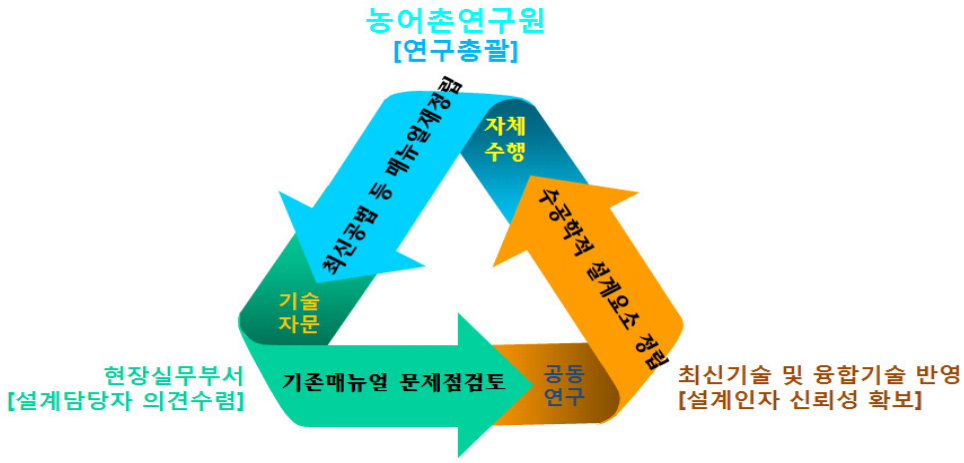
2. 추진전략 및 추진체계

연구 추진 전략은 국내외 유사연구 및 기술개발 자료를 수집, 분석하여 연구의 발전에 피드백 하며, 연구 효율성을 개선하고, 관련 실무자, 전문가 중심 기술협의회, 학회 발표 통한 기술교류와 홍보를 통해 연구의 내실화를 기하고자 하였다.

주요 추진방안으로 농업용저수지, 대형 댐호, 4대강 보구간 등 정체수역의 수질개선사업, 비점저감사업 등 유사사업의 선행연구와 사례를 분석하여 중복연구를 방지하고, 연구의 효율성을 높이고자 하였으며, 연구결과의 신뢰성과 객관성을 확보하기 위해 수처리 기술, 공법의 환경적, 공학적 이해도가 높고, 수리수문학적 분석 분야에 권위를 가진 전문 학술연구기관과 공동연구를 수행하였다. 또한, 관련 분야 국내 전문 연구진, 사업기관 등과 네트워크를 구축하여 전문기술 교류 및 공동세미나를 추진하고, 관련 학술단체와

연계하여 활발한 학술활동과 기술 교류를 통해 연구결과의 객관성과 학문적 완성도를 높였다.

그림 1.2와 표 1.1에 최신기술을 반영한 농업용수 수질개선사업 설계 매뉴얼 2017년 판을 재정립하기 위해 농어촌연구원 수행부분과 공동연구부분을 구분하여 제시하였고, 추가적으로 매뉴얼의 현실적 적용성을 높이기 위해 현장실무부서 설계, 시공, 운영관리 담당자 등의 의견을 수렴할 수 있는 자문위원단을 구성하여 운영하였다.



<그림 1.3> 연구추진체계

(표 1.1) 연구추진방법

자체수행	외부시행 (공동연구)
■ 기존 수질개선 매뉴얼의 수처리 효과 및 운영 문제점 도출 ■ 기존 설계매뉴얼의 개선방안 및 추가 도입요소 검토 ■ 수질개선사업 적용지구 사후모니터링 결과 및 현장 분석 ■ 기존 매뉴얼 문제점 해결, 개선방안 포함 설계매뉴얼 검토 ■ 기존 매뉴얼에 최신기술 반영한 추가 설계매뉴얼 검토 ■ 기존 설계매뉴얼의 재정립 및 활용방안 제시 ■ 최신기술 포함 수질개선사업 적용 가능 공법 및 기술 검토 ■ 농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 적정 공법 최종 선발 ■ 선발공법의 수질개선효과, 적용성, 기술성, 경제성 분석 ■ 최신 공법 설계매뉴얼 작성 및 활용방안 제시 ■ 최종 보고서 및 최신 수질개선사업 설계매뉴얼 작성	■ 기존 설계매뉴얼의 수공학적 문제점 및 설계인자오류 분석 ■ 기존 설계매뉴얼의 토목설계요소 적정화 및 개선안 제시 ■ 기존 설계매뉴얼에 최신기술 반영 시 추가 설계요소 제시 ■ 최신 수질공법의 설계에 필요한 공학적 요소 도출 ■ 최신공법 각 설계요소의 공학적 설계 인자 도출 ■ 최신 기술 반영한 추가 설계 예시도 작성 ■ 최신공법의 설계인자 적용 해설서 및 공통 시방서 제시

3. 기대효과

본 연구의 최종성과물인 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼은 그간의 조사설계 매뉴얼, 조사 설계 편람 등의 문제점을 제분석하고, 최신화된 기술과 현장의 시행착오를 반영함으로서 수질개선사업 실무담당자들이 쉽게 이해하고, 효율적으로 사업을 진행하도록 하는 업무지침서로서 활용될 것이다.

세부적으로는 기술적 측면에서 최신 공법 및 기술이 반영된 수질개선 설계 매뉴얼 재설정으로 농업용수 수질개선 기술의 최신화, 고도화는 물론 사업효과 개선에 기여할 수 있으며, 경제·산업적 측면에서 농업용수 수질개선사업 기본계획 및 실시설계 단계에 본 매뉴얼 적용으로 예산의 효율적 사용은 물론 환경산업분야의 시장 확대와 활성화에 기여한다.

본 연구성과인 최신 매뉴얼의 활용을 통해 농업용수 수질개선사업 성과 향상으로 사업 활성화에 기여하며, 유사한 대형 댐 호, 4대강 보 구간의 비점저감 사업, 수질개선 사업에 확대적용, 효율화를 기대할 수 있다.

제3절 연구사

1. 농업용수 수질개선 연구

농업용수는 전통적 기능으로 농업용수 그 자체로서의 기능과 시대적 요구에 따른 지역용수로서의 기능을 가진다(표 1.2). 농업용수 그 자체의 기능으로 가장 중요한 것은 관개용수이며, 논, 밭관개, 하우스 시설농업에의 용수공급이다(농림축산식품부, 2014). 그러나 최근에는 쌀 공급에 여유가 생기면서 전통적인 관개용수로서의 기능 외에 지역용수로서 지역사회 활동용수, 레크리에이션 용수, 환경용수 등의 기능적 가치가 중요시되면서 농업용수의 질적 향상에 대한 요구도가 증가하고 있다.

(표 1.2) 농업용수의 종류와 기능 (농림축산식품부, 2014)

구분	용수종류	기능
농업용수	관개용수	논, 밭관개, 하우스 등
	수로유지용수	취수위 유지, 잡초방지 등
	영농용수	토양침투, 냉해 및 풍해방지, 방재, 시비용수 등
지역용수	지역사회 활동용수	생활용수, 소방, 양어, 수차 및 소수력 발전 등
	레크리에이션용수	경관보전, 공원용수, 천수, 수영, 물놀이 등
	환경용수	생물 및 수질 보전, 지하수 함양 등

이에 따라, 농업용수 수질개선 연구 방향 역시 단일 공종보다는 융·복합 연구로 진행되고 있으며, 수처리 효율의 고도화를 위한 노력을 요구하고 있다.

농업용수의 주요 수원은 저수지와 담수호를 포함하는 농업용 호소로서 은 전국 17,423개소가 분포하고 있으며, 이중 농업용 저수지 17,401개소, 담수호 22개소로 유효저수량 대비 77 %가 농업용저수지로 구성되어 있다. 따라서 농업용수의 수질개선 연구는 주로 농업용저수지를 대상으로 하고 있으며, 주요 농업용 호소인 농업용수 수질측정망 저수지 975개소 중 수질이 비교적 나쁜 농업용 저수지의 수질개선을 목표로 진행되고 있다.

농업용수 수질개선 연구는 일부 학계에서도 진행되었으나 현장 기술개발 보다는 농업용저수지 수질변화특성과 연계된 개선방안 제시에 한정되어 있거나, 실험실 규모의 소규모 모의실험에 국한되어 있으며, 현장 중심의 연

구는 주로 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 진행되었다.

농업용저수지 수질개선 관련 연구는 1997년부터 본격적으로 시작되었으며, 농업용저수지의 유입오염원 관리(유역관리기술), 저수지의 녹조관리, 저수지 퇴적물관리 기술 개발로 구분되어 진행되었다. 수질개선 초기연구인 농업용수 수질개선 시험연구(1997~2004)는 충남 아산 마산저수지를 대상으로 인공습지, 인공식물섬, 접촉산화수로, 끈상접촉여재, 침강지 등 유입오염원과 호내 수질개선을 위한 자연정화공법 위주의 연구가 이루었고, 2000년대 중반 이후 농업용저수지 수질개선을 위한 생물학적 녹조제어에 관한 연구가 주를 이루었다. 이와 유사한 시기인 2004년~2006년에 비점오염원에 대한 관심이 증가하면서 저수지 유입 오염원관리를 위한 농촌 비점오염 관리방안 연구가 진행되어 농업활동에 의한 비점저감 대책으로 최적관리방안(BMP)을 제시하기도 하였다(농림축산식품부, 2007).

2010년대 들어서부터 물리적, 화학적 공법 등 다양한 공법에 대한 연구가 시작되었으며, 최근에 와서는 물리적/화학적/생물학적 융복합 중심으로 연구방향이 전환되어 과제가 수행되고 있다 (표 1.3).

(표 1.3) 농어촌연구원에서 수행된 농업용저수지 수질개선 연구

연구기간	주요연구내용
1997 ~ 2006	인공습지, 침강지 조성 기술 개발 (설계관리요령 발간)
2002 ~ 2005	농업용저수지의 녹조제어기법 개발
2004 ~ 2017	농업비점 오염원 관리 기술개발 (가이드북 발간, 새만금유역)
2006 ~ 2014	천적생물을 이용한 녹조방지기술 개발 (매뉴얼 발간, 신기술인증)
2009 ~ 2016	미세조류를 이용한 오염하천 수처리 기술 개발
2014 ~ 2017	양질의 수자원확보를 위한 융복합 수처리 기술개발

그 동안 농업용수 수질개선을 위한 농어촌연구원의 주요 연구성과를 요약하면 표 1.4와 같다.

국내에서 연구 개발된 정체수역의 수질개선 기법들은 오염물질 침강지, 준설 등을 이용한 물리적 기법, 화학적 응집제와 초미세기포를 이용한 가압부상방법, 폭기 등 기계적 방법, 또는 응집처리, 인불활성화처리, 살조제처리 등 화학적 처리기법들이 개발되었거나 적용되는 수준에 있다.

(표 1.4) 농어촌연구원 수질개선 연구 성과 요약

구 분	주요성과
농촌유역 비점관리기술 개발	**❍ 인공습지 및 침강지(부댐) 조성기술 개발 (1997~2006)** -국내 환경에 적합한 인공습지 최적 설계, 조성, 관리 기법 개발 -부댐형 침강지와 차수막을 이용한 침강장치 조성 기술 개발 **※ 농업용수 수질개선사업 주요 공법으로 활용 중, 특허 등록 2건, 설계 매뉴얼 제시** **❍ 농업비점 오염원 관리 기술개발 (2004~2016)** -농촌지역 비점오염물질 발생 특성 분석 및 관리방향, 기술 제시 **※ 농촌지역 비점오염관리 가이드북 제시 (2006)** -새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발을 통해 구조적, 기술적, 제도적 방안 제시 **※ 농업비점오염관리 거버넌스 구축 사업모델 및 지표 완성, BMP 지침서 작성 완료**
저수지내 녹조 초기제어를 위한 녹조관리 기술 개발	**❍ 미세조류를 이용한 고농도 오염하천 수처리 기술 개발 (2009~2016)** -축산, 생활, 농업에서 배출되는 인, 질소 고도 수처리 기술개발 -대규모 미세조류 배양장치를 이용하여 인, 질소 고도처리로 녹조 발생 잠재성 감소 -방류부 천적생물 배양장치 등을 배치하여 추가 녹조제어 유도 -미세조류 바이오매스의 양식사료 자원화로 운영비 자립화 유도 **※ 특허 출원 중, 조류자원화 양식사료 시장 공급성 확보**
수생태 건전성 개선을 위한 생태적 녹조관리 기술 개발	**❍ 천적생물과 육식어류를 이용한 생태적 녹조관리 기술 개발 (2006~2014)** -수생태계 먹이망의 비정상적 구조 해소를 위해 녹조 포식 동물플랑크톤(대형지각류, 천적생물) 대량 배양 살포(생태복원) -지각류 포식 소형어류의 개체수 감소위해 육식어류 투입으로 안정적인 생태계 먹이망 구조 유도 -잉여 물고기 자원량 조절을 위해 지역주민 협의체 포획작업 유도 **※ 환경신기술 인증(2014), 특허 3건, 설계매뉴얼 제시**
물리.화학.생물학적 융복합 수처리 기술 개발	**❍ 양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리기술 개발 및 적용 (2014~2017)** -농업용저수지의 부영양화/수질오염 사전 방지 및 양질의 농업용수를 확보할 수 있는 저비용, 고효율의 융복합 수처리 공정 및 시스템 개발 -저수지 유입수대책 기술개발/시제품 제작/현장적용실험 Test-Bed 구축 *고속복합응집장치, 생태융합형 접촉산화시스템, 바이오스톤 접촉산화시스템 -국내 최초 무인항법 이동식 수질정화선 기술개발 및 시험모형 제작 **※ 특허등록 3건**

국내에서 생물조절 기법을 활용한 정체수역의 수질관리는 외국에 비해 훨씬 열악하며, 그간 단편적으로 연구가 진행되어 온 수준이다. 다만 비점오염원의 제어를 위해 인공습지 등을 활용하는 기법은 국내에서도 상당한 수준에 이르러 외국에 비견할 만한 단계에 이르렀다고 평가된다(농림축산식품부, 2014).

지금까지 다양한 수질개선 기술들이 개발되고 적용되어 왔으나, 크게 실효성이 입증된 공법은 많지 않은 실정이다. 물론, 개별기술의 특장점은 분명히 존재하지만 복잡 다양한 수계에서의 현장적용에는 한계를 보이고 있다. 따라서 개별기술의 단점을 극복하고, 장점을 부각시킬 수 있는 융복합기술의 도입이 시도 되고 있으며, 물리화학적, 생물화학적, 물리생물학적, 생물물리화학적으로 융합된 공법의 적용이 복잡다양한 녹조발생 특성과 원인 해결에 더욱 효과적으로 접근할 수 있다.

<그림 1.4> 최근 개발되어 실용화단계의 신공법, 신기술 예시

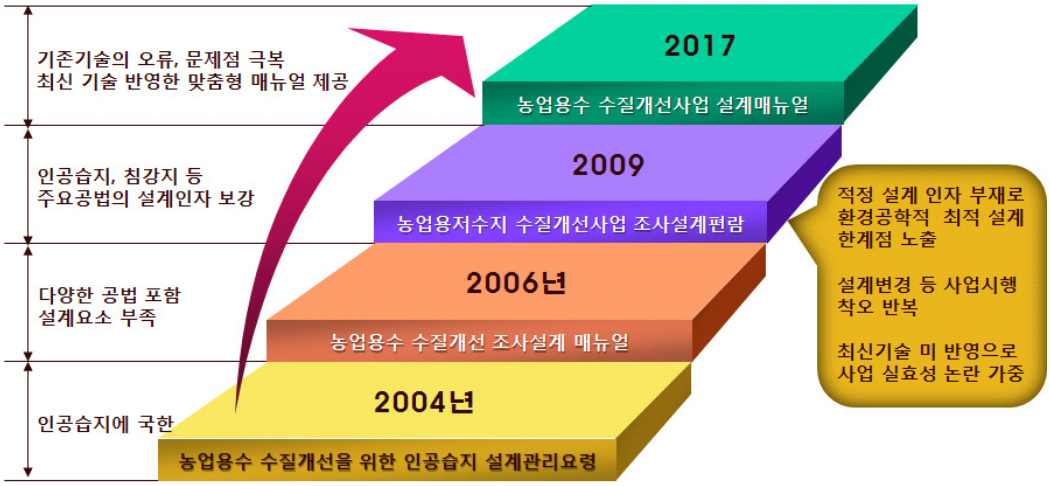
2. 농업용수 수질개선 설계매뉴얼 연구

(표 1.5) 수질개선 설계 매뉴얼 관련 서적 발간 현황

연도	제목	주요내용	발간처
2004	농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리 요령	농업용 저수지나 유입하천 등 농업용수의 수질개선을 위한 인공습지 조성시 설계, 시공, 운영, 관리의 요령을 제시함	농식품부 농어촌공사
2006	농업용수 수질개선 공법 매뉴얼	농업용수 수질개선사업 추진시 오염원 분포, 유입하천의 수질특성 등 고려, 현장조건에 적합한 수질개선 공법 선정 및 설계요령 제시	농식품부 농어촌공사
2006	농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼	농업용수 수질개선사업 추진시 오염원, 수질 등 각 전문분야별 조사요령, 기본구상과 부문별 계획수립, 주요 공법의 설계요령 제시	농식품부 농어촌공사
2007	농촌지역 비점오염 관리 가이드북	농촌지역 비점오염 저감을 위한 최적관리방안(BMPs)을 수립에 필요한 기술적 정보와 정책수립, 저감시설 설계, 시공 등 제시	농식품부 농어촌공사
2009	농업용저수지 수질개선사업 조사설계 편람	농업용저수지 수질개선사업 계획수립에 필요한 조사설계 기본방향,제반 절차의 해설 및 각 분야별 조사, 계획, 설계의 세부요령 제시	농식품부 농어촌공사
2012	수생태 안전성 향상을 위한 조류저감 기술	조류발생원인, 조류제어를 위한 국내외 법제, 조류저감기술 등을 폭 넓게 소개, 정책적, 기술적 업무 수행에 필요한 기초자료 제공과 국민에게 조류이해도를 높이는데 도움을 줄 수 있는 자료제공	한국환경공단
2013	비점오염저감시설의 설치 및 관리지침	비점오염저감시설 설치 국고보조사업의 계획수립, 설치 및 유지.관리의 효율적인 추진 도모, 수질개선 및 수생태계 건강성 확보 기여	환경부
2014	인공습지 조성 및 유지관리 가이드라인	기존의 인공습지 문제점 개선, 적정 유지관리계획 까지 포함한 수질개선 또는 생태복원 인공습지 조성 및 유지관리 가이드라인 제시	환경부
2015	완충저류시설 설치 및 운영관리 지침	공업지역, 산업단지 내 사고 유출수 및 초기우수 저류 목적의 완충저류시설의 계획, 설치, 운영 및 유지관리 효율적 수행 목적	환경부
2016	비점오염저감시설의 설치 및 관리.운영 매뉴얼	기존 비점오염저감시설 설치관리 지침을 보완하여 보다 안전하고, 효율 우수한 제품의 확대 보급과 비점오염 관리기술 발전 도모	환경부

농업용수 수질개선 사업의 조사 및 설계를 위한 지침 및 요령 제정 연구는 1996년에 농업용수 수질개선 시험연구(1996~2004)를 시작으로 인공습지, 침강지 도입을 위한 조건별 인자 검증을 통해 2004년 「농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리요령」을 발간하였으며, 이후 2006년까지 실시설계에 필요한 수질개선 공법매뉴얼, 조사·설계 매뉴얼을 연속 발간하였고, 2009년 농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람을 발간하여 지금까지 활용하고 있다.

2009년 조사·설계 편람 이후 다양한 최신 공법 및 기술이 개발, 현장에 적용되어 왔으며, 환경부 비점사업 분야에서는 꾸준히 신규 기술을 반영한 관리지침이 재정비 되고 있는 실정임에도 불구하고 농업용수 수질개선 사업분야에서는 더 이상의 재정비가 이루어지지 않고 있지 않아 수질개선사업의 적용한계와 공법의 실효성에 대한 논란이 가중되는 등 사업 시행에 어려움을 겪고 있는 실정이었다.



<그림 1.5> 연차별로 발간된 수질개선사업 설계 매뉴얼과 문제점

그동안 발간된 지침과 요령의 주요내용은 표 1.5, 그림 1.5와 같다.

농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼은 법적 수준의 기준과는 분명히 차별화되며, 특히, 농업생산기반 정비사업의 계획설계 기준과 같은 국가 건설기준과는 적용 수위면에서 유연성을 가지고 있다.

즉, 국가주관의 건설 설계기준은 국토교통부 산하 건설기술연구원 국가건설기준센터에서 통합관리하고 있으며, 농업생산기반정비사업의 시행에 필요한 건설기준 역시 농업분야 설계기준으로 관리되고 있다(농림축산식품부, 2015). 그중 농업분야 설계기준은 공통편, 지반편, 구조편, 내진편, 가시설물편, 농업용댐편, 취입보편, 용배수편, 농업용관수로편, 양배수장편, 농어촌도로편, 농지관개편, 농지배수, 경지정리편, 밭기반정비편, 개간편, 해면간척편, 농지보전편, 농업지역개발편, 농업수질 및 환경편 등으로 구분될 예정이다 (농식품부, 2015). 농업분야 설계기준에 포함되는 농업수질 및 환경편은 농업생산기반정비사업 설계기준 친환경편에 수록된 농업용저수지, 용배수로, 양배수장의 친환경조사, 설계, 시공, 유지관리 사업에 요구되는 조사, 설계, 시공, 유지관리에 관한 사항을 코드화하여 제시한 것이다.

따라서, 국가건설기준센터에서 통합 관리하는 농업생산기반정비 사업의 계획설계 기준은 그야말로 건설사업 수행에 필요한 기준으로 한정되어 있으므로, 이미 건설된 농업용 저수지와 담수호의 수질개선을 위한 수처리 공법 및 시설을 적용하고자 하는 농업용수 수질개선 사업과는 엄연한 차이를 보이고 있으며, 본 연구에서 추진하고자 하는 농업용수 수질개선사업 설계 매뉴얼 작성과는 거리가 먼 것으로 사료된다.

제2장
연구내용 및 방법

제1절 수질개선사업 지구 공법 분석

제2절 기존매뉴얼의 문제점, 개선방안 및 추가도입요소 분석

제3절 농업용수 수질개선사업 적용가능 최신공법 분석

제4절 최신공법 적용방안 및 설계요소 도출

제5절 최신기술이 반영된 수질개선 설계매뉴얼 작성

제2장 연구내용 및 방법

제1절 수질개선사업 지구 공법 분석

1. 수질개선 사업지구 적용 공법 및 사후 모니터링 결과 분석

2002년 전라남도 무안군 감돈 저수지 수질개선사업지구에 시범사업의 일환으로 수질개선시설이 설치된 이후 현재까지 총 23개 지구에서 준공 완료되어 운영되고 있다. 그림 2.1에는 연차별 사업지구 시행 상황을 도식화하여 나타내었다. 농업용수 수질개선 설계매뉴얼의 재설정을 위해 기존 사업지구의 현황과 문제점을 분석하고, 개선점과 문제해결 방안을 모색하기 위해 2016년까지 준공된 23개 지구의 적용공법을 분석하는 것은 매우 중요하다.

각 지구의 수질개선 사업 자료를 수집하여 환경특성과 공법 종류, 특성, 개선목표 등을 분석하였다. 분석 자료는 한국농어촌공사 환경사업처, 해당지구 지역본부, 지사의 자료를 활용하였다.

<그림 2.1> 농업용수 수질개선 사업지구 연황(23개 준공지구)

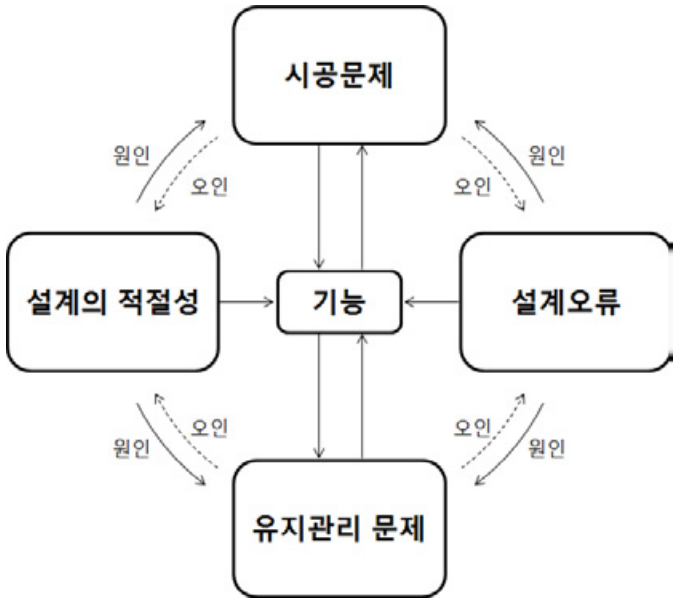
수질개선사업 준공지구 중 운영 4년차 이상의 지구에 대해 수질개선지구 사후 모니터링을 실시하여 효율검증과 수질개선 효과유지를 위한 대안을 도출하고 있다. 2017년의 경우 14개 지구를 대상으로 연 5회의 수질조사와

연 1회의 퇴적물 조사를 수행하였으며, 본 연구에서는 2016년까지 수행된 10개 지구의 사후모니터링 결과를 활용하여 수질개선 사업 효율과 문제점을 분석하였다.

2. 수질개선 사업지구 전수조사 분석

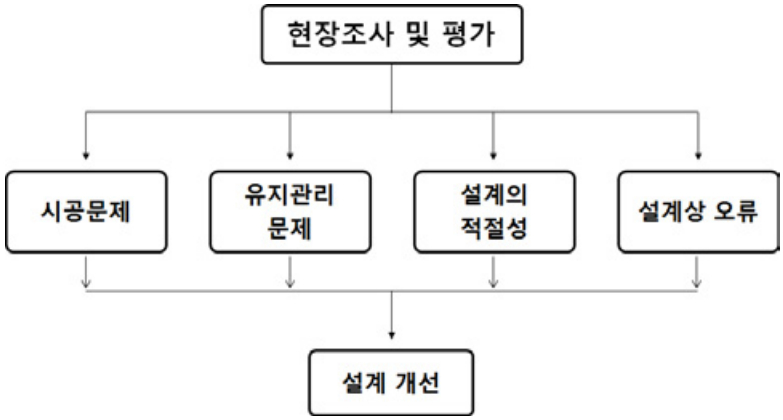
설계의 적절성 및 설계오류와 관련된 문제점의 도출은 시공과 유지관리문제와도 서로 관련이 있기 때문에 정확한 진단을 위해서는 그림 2.2와 같이 유기적인 분석 작업이 필요하였다.

부적절한 설계 및 설계상 오류는 시공 및 추후 유지관리문제의 원인이 될 수 있으며 반대로 설계상에는 하자가 없으나 시공 상 하자나 유지관리 노력의 부족에 의해 발생된 시설의 기능적 문제를 설계문제로 판단하거나 오인하는 경우가 있을 수 있으므로 현장방문 조사시 정확히 구분하여 진단해야 한다.



<그림 2.2> 농업용수 수질개선사업 설계 문제점 도출

따라서 전수조사에서는 시공문제, 유지관리문제, 설계의 적절성, 설계상 오류문제를 파악하여 그림 2.2와 같이 추후 설계매뉴얼 개선의 근거로 활용하고자 하였다.



<그림 2.3> 설계 개선안의 도출을 위한 현장방문 조사 계획

(표 2.1) 준공년도별 지구 현황

2002	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
감돈(전남)	홍동(충남) 개천(경북)	가산(경남)	궁산(전북) 월천(전남)	성암(충남) 설성(경기) 둔전(전남) 대승(경북)	신휴(충남) 승언2(충남) 상성(충남) 도덕(전남)	동방(경기) 도고(충남) 양전(충남)	만수(경기) 왕송(경기) 석남(전북) 2연봉(전남)	홍양(충남) 하빈(대구) 문천(경북, '17예정)

(표 2.2) 시도별 준공지구 현황

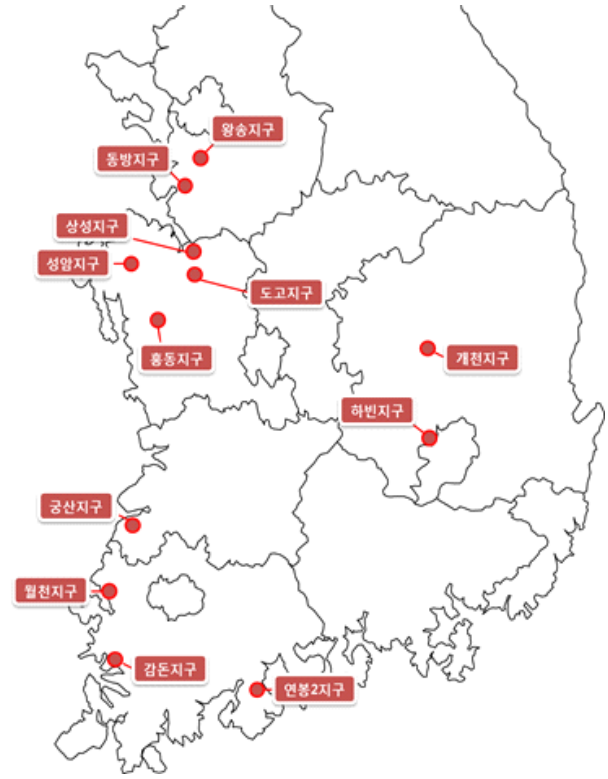
대상지 (개소)	시·도별 분포											비고
	계	대구	인천	광주	경기	충북	충남	전북	전남	경북	경남	
계	87	1	5	1	8	4	28	6	11	21	2	
준공지구	22	1			4		8	2	4	2	1	
		하빈			설성 동방 만수 왕송		홍동 성암 신휴 승언2 상성 도고 양전 홍양	궁산 석남	월천 둔전 도덕 2연봉	개천 대승	가산	

농업용수 수질개선 사업지구 전수조사분석은 대상지구 현황자료, 사후 모니터링 분석 자료 외에 사업지구의 시설현황과 시공오류, 운영 및 관리 문제점 등을 분석하여 설계매뉴얼의 재설정 요소로 반영하기 위해 준공 23개소 중 지역별, 공법별, 준공시기별 특성을 고려하여 12개소를 선별하여 실시하였다 (표 2.1, 표 2.2).

전수조사지구는 표 2.3, 그림 2.4와 같이 시범사업지구인 감돈지구를 포함하여 준공연차별로 고루 선별하여 사업진행에 따른 설계, 시공 현황을 반영하였으며, 지역별로 분배하여 기후차이에 따른 지역적 특성을 도출하고자 노력하였다. 또한, 인공습지와 침강지 외의 공법들이 반영된 2연봉 지구 (유입수 여과재) 등을 고려하여 전수조사 지구를 선정하였다. 전수조사는 5월, 1회에 한하여 시행하였으며, 대상지구의 환경특성, 운영·유지관리현황, 수리, 수문인자 등 설계요소, 토목학적 문제점 등을 분석하였다.

(표 2.3) 전수조사 지구

지구명	위치	지구명	위치	지구명	위치
감돈	전남 무안	성암	충남 서산	월천	전남 함평
동방	경기 화성	상성	충남 아산	2연봉	전남 고흥
왕송	경기 의왕	도고	충남 아산	개천	경북 의성
홍동	충남 홍성	궁산	전북 고창	하빈	경북 칠곡



<그림 2.4> 전수조사 및 대표지구 지점도

3. 대표 지구 정밀 분석

전수조사 지구 12개소 중 수질개선 사업지구로서 기존의 설계, 시공사례를 보이는 지구와 최근의 설계사례를 전형적으로 보여주는 지구로서 충남 홍성 홍동지구(8년차), 충남 아산 도고지구(3년차), 경기 화성 동방지구(3년차), 경기 의왕 왕송지구(2년차) 등 4개 지구를 대표정밀조사 지구로 선정하였다(표 2.4).

(표 2.4) 대표 조사 지구 및 특징

지구명	운영기간	위치	특징	지구명	운영기간	위치	특징
동방	3년	경기 화성	연결수로, 연습지	홍동	8년	충남 홍성	고효율습지
왕송	2년	경기 의왕	하수처리장방류수	도고	3년	충남 아산	식생수로

본 대표정밀 조사를 통해 기존 사업지구의 시기별 문제점을 분석하고, 해결, 개선방안이 포함된 설계 매뉴얼을 재검토하고자 하였으며, 세부공법의 기술 타당성을 분석하고, 설계요소 문제점을 도출하여 해결방안을 제시함과 동시에 최신기술을 접목하여 기능개선이 가능한 추가 방안을 제시하고 매뉴얼에 반영하고자 하였다.

(표 2.5) 수질분석 항목 및 방법

항목	분석 방법	보관 및 전처리	재료 및 기기
수온	-	현장직접 측정	YSI ProPlus
DO		현장직접 측정	YSI ProPlus
pH		현장직접 측정	YSI ProPlus
EC		현장직접 측정	YSI ProPlus
COD	$KMnO_4$에 의한 산분해법	H_2SO_4 conc.(<pH 2) 첨가	-
TOC	과황산 UV 산화법	H_2SO_4 conc.(<pH 2) 첨가	TOC analyzer GE, Sivers 900
TN	UV 분광광도측정법	H_2SO_4 conc.(<pH 2) 첨가	Spectrophotometer HP 8453
TP	흡광광도측정법 (Ascoribic acid)	H_2SO_4 conc.(<pH 2) 첨가	Spectrophotometer HP 8453
Chl-a	흡광광도측정법 (Aceton extration)	GF/F 여과 및 aceton 추출	Spectrophotometer HP 8453

대표정밀조사는 5월~12월까지 월 1회 실시하였으며, 시설의 운영·유지관리현황, 수리, 수문, 수질인자를 분석하였다. 조사지점은 주로 인공습지에서 이루어 졌으며, 인공습지 취입보 (유입하천), 침사지, 습지, 배출연못 (유출수) 등을 대상으로 하였다. 분석항목은 수온, 수소이온농도 (pH), 전기전도도 (EC), 용존산소량 (DO), 화학적산소요구량 (COD), 총유기탄소 (TOC), 부유물질 (SS), 총질소 (TN), 총인 (TP), 엽록소 a (Chl-a), 유량, 수심, 인공습지 식생 (피도, 식종) 등을 분석하였다.

수온, pH, EC, DO 등 현장항목은 종합수질 측정장치 (YSI, ProPlus)를 이용하여 현장에서 채수 즉시 측정하였으며, 반돈채수기(Wild co.)와 변형된 채수장비를 이용하여 표층 시료를 채수한 후, 1 L 폴리에틸렌 병에 담았다.

채수시료는 일반시료와 황산 전처리한 시료를 구분하여 밀봉하고, 냉암조건에서 실험실로 운반하였고, 이후 TOC, COD, TN, TP, Chl-a 등의 실내분석 항목을 수질오염공정시험기준(환경부, 2016)에 의거해 분석하였다(표 2.5).

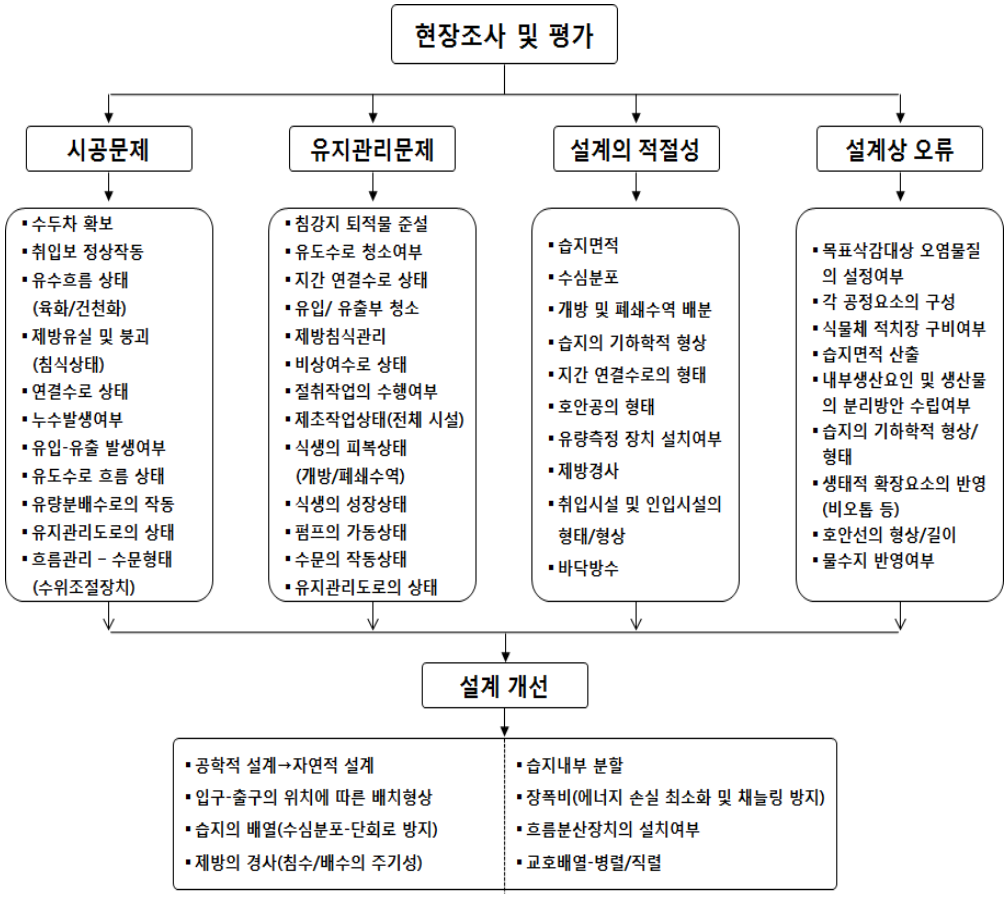
제2절 기존매뉴얼의 문제점, 개선방안 및 추가도입요소 분석

1. 인공습지 등 기존설계 요소 적용시 문제점 및 보완사항 검토

전수조사 결과를 바탕으로 계획, 설계, 시공, 운영, 유지관리 단계별 문제점을 검토하고, 잘된 사례와 잘못된 사례를 분석하여 제시하였다. 또한, 도출된 문제점을 분석하고, 보완사항을 검토하였다.

2. 기존 설계매뉴얼의 개선방안 및 추가 도입요소 검토

기존 설계 매뉴얼 개선을 위해 최근 정부의 수질관리 정책 및 각종 지침 및 매뉴얼 등을 바탕으로 조사-설계 매뉴얼의 수질개선사업 계획부분(사업시행계획 및 절차)을 수정 보완하였다. 설계매뉴얼의 보완, 반영사항 도출 및 해결방안을 모색함에 있어 객관적 신뢰성 확보와 현장 활용성을 높이기 위해 내외부 전문가 협의회 개최를 연 3회(4월, 7월, 10월)이상 개최하여 의견수렴의 단계를 거치는 등 공법타당성 및 설계요소 문제점 도출, 해결방안 제시에 신중을 기하였다.



<그림 2.5> 설계 개선안의 도출을 위한 현장방문 조사내용

3. 최신 기술 반영한 추가 설계 매뉴얼 검토

인공습지, 침강지 등 기존 공법의 수질개선 효율 향상을 위해 추가 도입 가능한 최신기술 등 추가 설계공법 및 적용 방안에 대해 검토하여 제시하였다. 최종적으로 기존 설계매뉴얼의 재정립 및 활용방안을 제시하였다.

제3절 농업용수 수질개선사업 적용가능 최신공법 분석

1. 신공법, 신기술을 포함한 수질개선 사업 적용 가능 공법 및 기술 검토

농업용수 수질개선사업에 적용가능한 최신공법을 분석하기 위해 환경신기술, 농림 신기술, 국내외 특허현황, 기업자료, 그리고 한국농어촌공사, 한국환경공단, 한국수자원공사, LH공사 등 타부처 현장적용 사례와 정부부처의 매뉴얼 및 시범사업 시설을 바탕으로 검토하였다.

2. 농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 적정 공법 선발 및 현장 분석

국내외 자료를 통해 분석한 최신공법과 기술에 대해서는 외부, 내부전문가 그룹 구성 후 기술 자문을 통해 농업용수 수질개선사업에 적용가능한 공법을 선발하였으며, 실제 현장 적용분석을 실시하는 한국농어촌공사, 한국수자원공사, 한국환경공단의 현장 분석자료를 토대로 적용가능성과 수리토목분야 설계요소를 도출하였다.

제4절 최신공법 적용방안 및 설계요소 도출

1. 최신 수질공법의 설계에 필요한 공학적 요소 도출

농업용수 수질개선 사업에 적용 가능한 최신공법의 설계에 필요한 공학적 요소를 도출하기 위해 공법의 기업자료, 공공수역 적용자료 등을 분석하여 적정 요소를 도출하였다.

2. 최신공법 각 설계요소의 공학적 설계 인자 도출

최신공법을 농업용수 설계매뉴얼에 반영하기 위해 각 설계요소의 공학적 설계인자를 도출하였다. 공학적 설계인자는 기술을 보유하고 있는 기업의 자료를 참고하였다.

3. 선발공법의 현장적용성, 지효성, 기술성, 경제성 분석

농업용수 수질개선 사업에 적용 가능한 최신공법의 신뢰성 확보와 수질개선사업 공법 선정시 적정 판단기준을 제공하기 위해 현장적용성, 지효성, 경제성 등을 분석하여 제시하였다.

제5절 최신기술이 반영된 수질개선 설계매뉴얼 작성

1. 최신기술이 반영된 설계매뉴얼 작성 방향

최신기술이 반영된 농업용수 수질개선 사업 설계매뉴얼에 대한 이해도와 활용성을 높이기 위해 매뉴얼의 작성개요, 작성목적, 작성의도, 재설정 방향 등을 제시하였다.

2. 설계 매뉴얼의 주요내용 및 개선사항

최신기술이 반영된 농업용수 수질개선 사업 설계매뉴얼의 주요내용과 차별성, 세부 개선사항에 대해 자세히 작성하였다.

3. 최신 설계매뉴얼의 최종작성 및 활용방안

최신기술이 반영된 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼의 최종안을 요약하여 작성하고, 효율적인 수질개선사업 시행을 위해 활용방안을 제시하였다.

제3장
기존 수질개선 설계매뉴얼의 재정립

제1절 수질개선 사업지구 주요공법 분석 및 문제점 도출

제2절 기존 매뉴얼의 개선방안 및 추가 도입요소

제3절 최신기술을 반영한 기존 매뉴얼의 재정립

제3장 기존 수질개선 설계 매뉴얼의 재정립

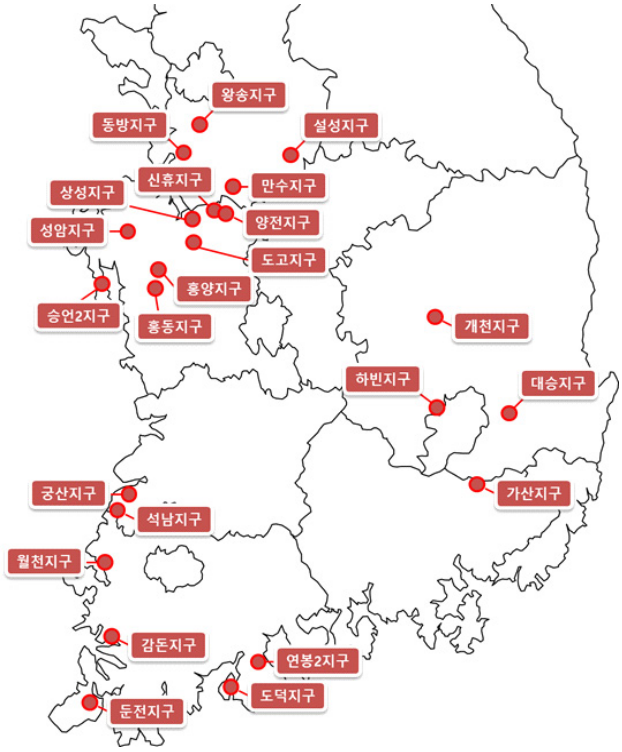
제1절 수질개선사업 적용지구 주요공법 분석 및 문제점 도출

1. 수질개선사업 현황 및 적용지구 특성

가. 수질개선 사업현황

2002년 농업용수 수질개선사업 시범지구로서 감돈저수지를 시작으로 2016년까지 사업대상지 87지구 중 23개 지구(감돈 포함)가 준공되었다. 잔여 65개 지구 중 2017년에는 기본조사 4지구, 세부설계 및 착공 3지구, 공사 진행 지구는 13개소이며, 이중 봉재, 덕림, 문천지구는 금년도 준공 예정이다.

지금까지 준공되어 운영 중인 농업용수 수질개선사업지구의 전국분포는 그림 3.1과 같으며, 각 지구별 시설내역은 표 3.1과 같다.



<그림 3.1> 전수조사 및 대표지구 지점도

(표 3.1) 시도별 수질개선사업 지구 현황

대상지 (개소)	시·도별 분포											비고
	계	대구	인천	광주	경기	충북	충남	전북	전남	경북	경남	
계	87	1	5	1	8	4	28	6	11	21	2	
준공지구	22	1			4		8	2	4	2	1	
		하빈			설성 동방 만수 왕송		홍동 성암 신휴 승언2 상성 도고 양전 홍양	궁산 석남	월천 둔전 도덕 2연봉	개천 대승	가산	시범사업 지구인 감돈지구 제외
시공지구 (세부설계 완료포함)	14				3		6	1	1	2	1	
					기흥 흥부 멱우		풍년 봉재 공리 순성 풍전 축동	덕림	신덕	문천 효천	송고	
기본조사 완료	5				1	1	1		2			
					용풍	연제	신구		제2호 서산			밑줄은 '17년 설계,착공
신규대상	46		5	1		3	13	3	4	17		
			고구 고려 길상2 난정 대산	지정		금성 금정 이담	도내 석문 수룡 신창 업성 오봉 인평 잠홍 장곡 전대 죽산 중왕 초대	괴동 서지 앵금	성산 덕촌 수양 봉동	가음 광덕 대맥 백현 산호 유상 점곡 창림 오로 사곡 삼산 우로 장수곡 주평 청중덕 하늘		밑줄은 시군관리 시설 (14)

농업용수 수질개선 사업에 적용된 주요시설은 인공습지와 침강지이며, 그 외 물순환장치, 인공식물섬 등의 공법이 있다. 각 지구별 준공연도와 세부 시설 개요를 표 3.2, 3.3에 나타내었다.

(표 3.2) 농업용수 수질개선 사업지구 시설내역(2017년 운영기준)

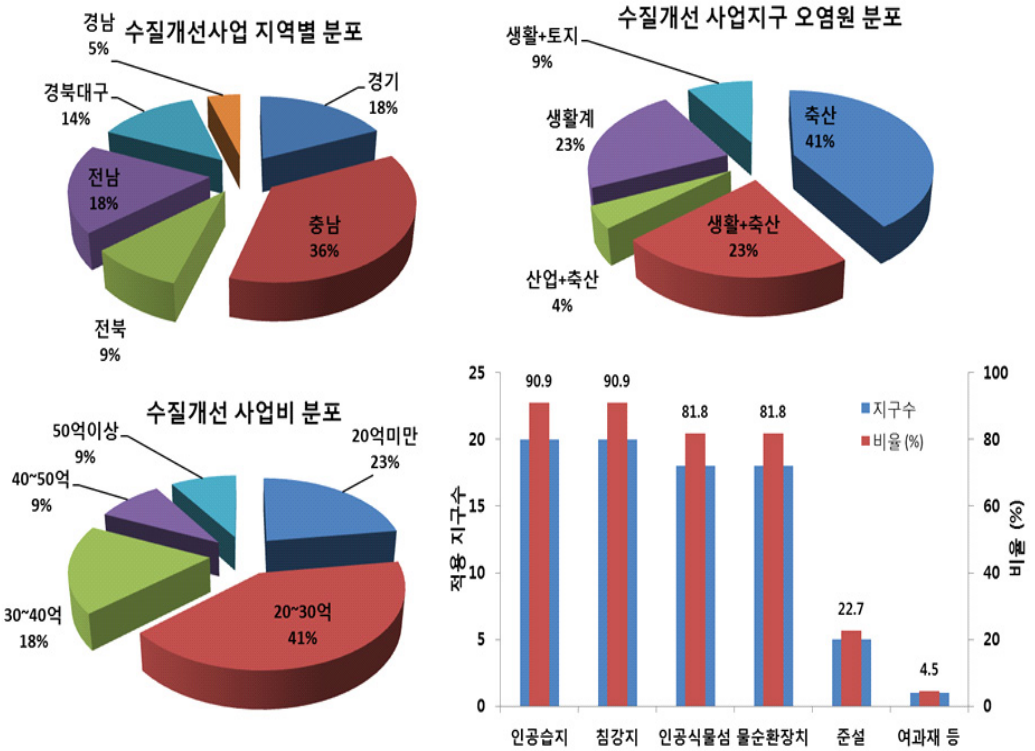
구분	사업지구	준공	인공습지	침강지	인공식물섬	물순환장치
1	감돈지구	2003	○	○	×	○
2	홍동지구	2009	○	○	○	×
3	개천지구	2009	○	○	○	○
4	가산지구	2010	○	○	○	○
5	궁산지구	2011	○	○	○	○
6	월천지구	2011	○	○	○	○
7	설성지구	2012	○	○	○	○
8	성암지구	2012	○	○	○	×
9	둔전지구	2012	○	○	○	○
10	대승지구	2012	○	○	○	○
11	신휴지구	2013	○	○	○	○
12	승언2지구	2013	○	×	○	×
13	상성지구	2013	○	○	○	○
14	도덕지구	2013	×	○	○	○
15	동방지구	2014	○	○	○	○
16	도고지구	2014	○	○	○	○
17	양전지구	2014	○	○	×	○
18	만수지구	2015	○	○	×	○
19	왕송지구	2015	○	○	×	○
20	석남지구	2015	○	×	×	○
21	연봉2지구	2015	×	○	○	○
22	홍양지구	2016	○	○	○	○
23	하빈지구	2016	○	○	○	○

(표 3.3) 농업용수 수질개선 사업지구 상세 시설내역 (2017년 기준)

구분	사업지구	준공	적용공법
1	감돈지구	2003	인공습지 2개소, 침강지 2개소
2	홍동지구	2009	인공습지 3개소, 침강지 3개소
3	개천지구	2009	인공습지 2개소, 침강지 2개소
4	가산지구	2010	인공습지 2개소, 침강지 2개소
5	궁산지구	2011	인공습지 2개소, 침강지 2개소
6	월천지구	2011	인공습지 1개소, 침강지 1개소
7	설성지구	2012	인공습지 4개소, 침강지 3개소
8	성암지구	2012	인공습지 2개소, 고효율습지 1개소, 침강지 2개소
9	둔전지구	2012	인공습지 2개소, 침강지 1개소
10	대승지구	2012	인공습지 2개소, 침강지 1개소
11	신휴지구	2013	인공습지 2개소, 침강지 2개소
12	승언2지구	2013	인공습지 3개소, 침강지 3개소
13	상성지구	2013	인공습지 2개소, 침강지 1개소
14	도덕지구	2013	침강지 1개소
15	동방지구	2014	인공습지 2개소, 침강지 1개소
16	도고지구	2014	인공습지 2개소, 고효율습지 2개소, 침강지 1개소
17	양전지구	2014	인공습지 3개소, 침강지 2개소
18	만수지구	2015	인공습지 2개소, 침강지 1개소
19	왕송지구	2015	인공습지 2개소, 침강지 1개소
20	석남지구	2015	인공습지 1개소
21	연봉2지구	2015	침강지 1개소
22	홍양지구	2016	인공습지 3개소, 침강지 1개소
23	하빈지구	2016	인공습지 3개소, 침강지 1개소

수질개선사업 준공지구의 지역별 분포, 대상지구의 오염원 분포, 소요 사업비 및 각 공종 도입비율을 그림 3.2에 나타내었다.

시도별 수질개선사업지구 분포를 보면 수질오염도가 높은 충남이 28개소 36 %로 가장 많으며, 경북이 21개소, 전남 11개소, 경기 8개소 순으로 나타났다. 수질이 상대적으로 양호한 강원지역에서는 수질개선사업이 이루어지지 않았다. 수질개선 사업지구의 오염원 분포를 보면 축산계 오염원이 41 %로 가장 많고, 다음으로 생활계와 생활계+축산계 등 혼합양상의 오염원 분포를 보이는 지구가 상당하였다. 수질개선사업 사업비는 주로 지구당 20~30억 분포를 보였으며(41 %), 20억 미만(23 %), 30~40억 분포(18 %)가 다음을 차지하였다. 공법의 적용빈도를 보면 1개 지구를 제외한 모든 준공지구에 인공습지가 적용되었으며, 침강지 20식, 인공식물섬, 물순환장치가 각각 18식 등 적용빈도가 높게 나타나 수질개선사업의 주요 공종임을 보여주었다. 그 외 준설, 수초저류지, 수변완충지대, 고효율습지, 여과재 등의 공법이 사용되기도 하였다.



<그림 3.2> 수질개선 준공지구의 사업 도입 현황분석

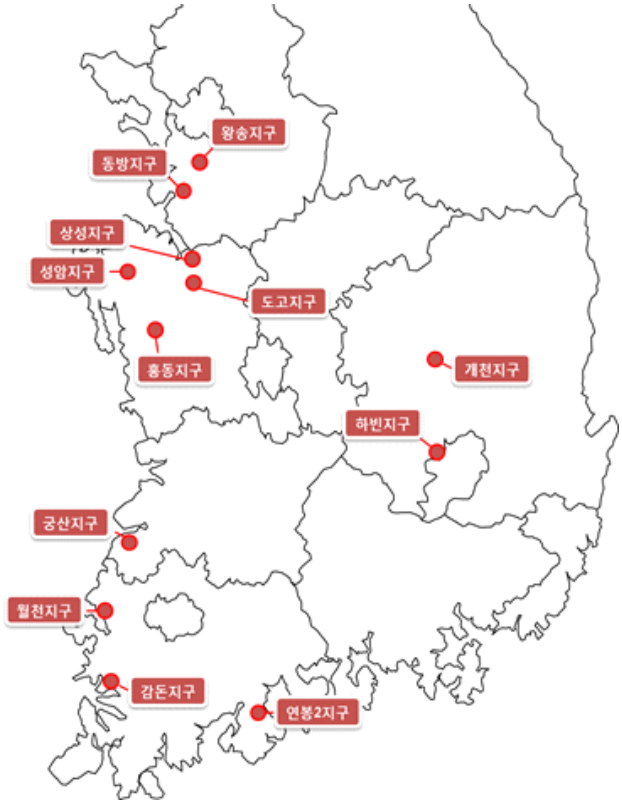
나. 사업지구 특성 (전수조사결과)

전체 23개 사업지구 중 저수지의 특성, 지역적 분포 및 설치된 공정의 대표성, 접근성과 운영 연수 등을 고려하여 12개 사업지구를 선정하여 전수조사하였다.

지역 별 분포는 경기지역에 2개 지구, 충청지역에 4개 지구, 호남지역 3개 지구, 영남지역 2개 지구이다. 전수조사 사업지구 조사대상 습지는 23개소의 지표흐름습지와 4개소의 고효율습지(지하흐름습지) 이었다.

전수조사 지구의 위치와 수질개선사업 진행 현황, 적용공법 등은 그림 3.3과 표 3.4와 같으며, 지구의 세부 모습은 그림 3.4와 같다.

전수조사 대상 사업지구에 가동중인 침강지는 총 17개소이었으며 모든 침강지의 형식은 on-line 사석 부댐 형식의 침강지이다. 12개 사업지구 중 집중사업지구 4개소를 선정하여 하천유황에 따라 추가적인 현장실태조사를 수행하였다.



<그림 3.3> 전수조사 지구 위치도

(표 3.4) 전수조사 지구 특성

지구명	위치	수질개선사업 진행사항			적용공법
		착공	준공	운영기간	
감돈	전남 무안	'01.01	03.12	14년	인공습지, 침강지, 식물섬
동방	경기 화성	'11.10	'14.12	3년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
왕송	경기 의왕	'12.04	'15.12	2년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
홍동	충남 홍성	'07.06	'09.12	8년	인공습지, 수초저류지, 침강지, 식물섬
성암	충남 서산	'09.10	'12.11	5년	인공습지(고효율), 침강지, 식물섬, 준설
상성	충남 아산	'11.12	'13.12	4년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(태양광)
도고	충남 아산	'10.10	'14.12	3년	인공습지, 수변완충지대, 침강지, 식물섬, 준설, 물순환
궁산	전북 고창	'09.08	'11.12	6년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
월천	전남 함평	'09.08	'11.12	6년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
2연봉	전남 고흥	'13.12	'15.12	2년	침강지, 식물섬, 유입수 여과재, 물순환(부유), 마름제거
개천	경북 의성	'07.12	'09.12	8년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)
하빈	경북 칠곡	'12.12	'16.12	1년	인공습지, 침강지, 식물섬, 물순환(부유)

<그림 3.4> 전수조사 지구 모습

2. 수질개선 주요공법 및 문제점 분석

가. 지표흐름 인공습지

(1) 취입보

습지의 최선단에 위치하는 취입보는 하천수를 취수하는 시설로 습지 수리시설 중 가장 중요한 요소이다. 점오염원 즉 하수처리장 등과 같은 방류수 수질개선을 목적으로 설치하는 경우는 습지와 방류수로를 습지 선단부와 직접 연결하면 되므로 별도의 취입시설은 필요 없다. 취입보를 설치할 경우 취입보 하류부와 상류부의 생태적 단절을 초래할 수 있다.

(가) 지구별 취입보 형식

표 3.5에는 사업지구 및 습지별 취입보 형식을 조사하여 제시하였다.

(표 3.5) 사업지구 및 습지별 취입보 형식

번호	수질개선지구	습지명	형식	취수량 조절	퇴적물 배출
1	무안 감돈지구	1호 습지	콘크리트 취입보	○	○
		2호 습지	콘크리트 취입보	○	○
2	함평 월천지구	인공습지	기계식 회전형 가동 취입보	○	○
3	고창 궁산지구	1호 습지	고무 가동 취입보	○	○
		2호 습지	고무 가동 취입보	○	○
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	콘크리트 취입보	○	○
		2호 습지	기계식 유압형 가동 취입보	○	○
5	의성 개천지구	1호 습지	기계식 유압형 가동 취입보	○	○
		2호 습지	콘크리트 취입보	×	○(간이식)
6	의왕 왕송지구	1호 습지	직결	×	×
		2호 습지	기계식 유압형 가동 취입보	○	○
7	화성 동방지구	1호 습지	기계식 유압형 가동 취입보	○	○
		2호 습지	기계식 유압형 가동 취입보	○	○
8	서산 성암지구	고효율 습지	직결	×	×
		1호 습지	기계식 권상형 가동 취입보	○	○
		2호 습지	기계식 권상형 가동 취입보	○	○
9	홍성 홍동지구	1호 습지	게이트 수문형 가동 취입보	○	○
		2호 습지	게이트 수문형 가동 취입보	○	○
		3호 습지	콘크리트 취입보	○	○
10	아산 도고지구	1호 습지	고무 가동 취입보	○	○
		2호 습지	고무 가동 취입보	○	○
11	아산 상성지구	1호 습지	기계식 유압형 가동 취입보	○	○
		2호 습지	기계식 유압형 가동 취입보	○	○

취입보의 기능은 크게 취수량을 조절 할 수 있어야 하며 취수보 내부에 퇴적되는 유사를 배출시킬 수 있는 구조로 설계된다. 취입량은 취입보와 함께 습지 유입구에 수문을 설치하여 취입량을 조절하거나 차단할 수 있는 있는 구조로 설치한다. 구조적으로 가장 간단한 형식의 취수보인 콘크리트 취수보에서 취수량은 처리대상 하천의 유황에 따라 수문을 조절하여 습지로 유입되는 유량을 관리한다. 콘크리트 보에서는 유사퇴적이 매우 빠르게 이루어지므로 적정 취수위 확보를 위하여 퇴적된 유사를 보로 부터 배제시킬 수 있는 별도의 수문을 설치한다.

고무 가동보는 하천수위가 일정 수준이상으로 상승하면 배후지의 범람을 방지하기 위하여 자동으로 바람이 빠지면서 전도된다. 고무 가동보는 미리 정해진 수위 이상으로 상승할 경우 전도되어 본류하천의 유량을 바이패스 시키므로 높낮이에 의한 수위조절 기능을 기대하기 어렵다.

이와 반면에 기계식 권상형 가동보 및 기계식 회전형 가동보, 그리고 기계식 유압형 가동보는 가동보의 각도조절에 의해 수위조절이 가능한 구조로 취입유량을 관리할 수 있다.

(나) 취입보 형식별 적용현황

표 3.6은 취입보 형식별 적용현황을 나타내었다.

(표 3.6) 취입보 형식 별 적용현황

형식	방식	개소수	적용률(%)	비고
콘크리트 보	전폭	5	21.7	
고무 가동보	전폭	4	17.4	
기계식 권상형 가동보	부분형	2	8.7	
기계식 회전형 가동보	전폭	1	4.3	
기계식 유압형 가동보	전폭	6	26.1	
	부분형	1	4.3	
게이트형 수문보	전폭	2	8.7	
기타	-	2	8.7	방류구 직결
계	-	23	100	

설치현황을 보면 전체 23개소 습지시설 중 30 % 정도가 기계식 유압형 가동보, 콘크리트보가 21.7 %, 그리고 고무가동보 17.4 %, 그리고 13 %가 권상형 가동보가 설치되어 있으며 게이트형 수문보가 8.7 %, 그리고 나머지 8.7 %는 하수처리장 방류수 처리를 위한 습지로 별도의 취입보 없이 습지와 직결되어 있다.

(다) 취입보 정상작동 여부

표 3.7에는 취입보 형식 별 가동현황을 나타내었다. 대부분의 취입보는 정상적으로 가동 중이었으나 형식 별로 1개소 시설 정도가 기계적인 문제로 인하여 정상 작동하지 않은 것으로 조사되었다. 전체 21개소 습지 가운데 4개소 정도가 비정상 작동하는 것으로 나타났으며 비정상 작동상태의 원인으로는 지속적인 가뭄으로 인한 수위센서의 미작동, 취입보 내부에 과도한 유사퇴적 및 기계식 수문 틀에 이물질 걸림 문제 등으로 조사되었다.

(표 3.7) 취입보 형식 별 정상 가동여부

형식	방식	전체	정상	비정상	비고
콘크리트 보	전폭	5	4	1	홍성 홍동 3호 습지
고무 가동보	전폭	4	3	1	아산 도고 1호 습지
기계식 권상형 가동보	부분형	2	2	0	-
기계식 회전형 가동보	전폭	1	0	1	함평 월천지구
기계식 유압형 가동보	전폭	6	6	0	-
	부분형	1	0	1	의성 개천 1호 습지
게이트 수문보	전폭	2	2	0	-
계	-	21	17	4	

(라) 침강지 배수위 영향을 받는 취입보

저수지에 조성된 침강지 배수위로 인해 홍수시 취입보 작동이 어려울 것으로 판단되는 취입보는 함평 월천지구에 설치된 기계식 회전형 취입보이다(그림 3.5, 3.6).

<그림 3.5> 암평 월천지구에 설치된 회전형 취입보

<그림 3.6> 암평 월천지구 취입보

(2) 인입수로

인입수로는 취수보나 양수기에 의해 취수한 하천수, 호내수, 침강지 정체수를 습지 선단의 침사지까지 운송하는 관거 또는 수로를 지칭한다.

(가) 인입수로 형식

전수조사결과 사업지구 인입수로의 형식은 크게 암거형과 개수로 형으

로 설치되어 있다. 표 3.8에는 사업지구 별 인입수로의 형식 및 수로 길이, 그리고 수로형상을 조사한 결과를 나타내었다.

(표 3.8) 사업지구 별 인입수로 형식 및 수로길이

번호	수질개선지구	습지명	수로 시공형태	인입수로 길이	수로형상
1	무안 감돈지구	1호 습지	암거형	10m	박스관
		2호 습지	암거형	60m	원형관*
2	함평 월천지구	인공습지	암거형	220m	원형관
3	고창 궁산지구	1호 습지	암거형	15m	-
		2호 습지	암거형	10m	-
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	암거형	15m	원형관
		2호 습지	암거형	50m	원형관
5	의성 개천지구	1호 습지	암거형	30m	원형관
		2호 습지	암거형	10m	원형관
6	의왕 왕송지구	1호 습지	-	직접유입	원형관
		2호 습지	암거형	10m	원형관
7	화성 동방지구	1호 습지	암거형	5m	원형관
		2호 습지	암거형	50m	원형관
8	서산 성암지구	고효율 습지	개수로형	120m	U자 수로
		1호 습지	개수로형	130m	U자 수로 (지상노출)
		2호 습지	암거형	150m	원형관
9	홍성 홍동지구	1호 습지	암거형	310m	원형관
		2호 습지	암거형	230m	원형관
		3호 습지	암거형	10m	원형관
10	아산 도고지구	1호 습지	암거형	90m	원형관
		2호 습지	암거형	15m	원형관
11	아산 상성지구	1호 습지	암거형	45m	원형관
		2호 습지	암거형	10m	원형관

※ 시범사업지구인 감돈지구를 제외한 모든 사업지구에서 취수구의 형상은 원형으로 시공되어 있음

(나) 인입수로 길이

표 3.9에는 사업지구 별 인입수로의 길이현황을 나타내었다. 인입수로의 길이는 취수보와 습지선단 유입구 사이의 이격 거리를 나타내며, 수두확보를 위한 취수보의 위치가 중요한 변수로 작용하는 것으로 판단된다. 자료에 따르면 대부분의 인입수로 길이는 50 m 이하가 14개소로 대부분을 차지하고 있으며 300 m 이상의 길이를 갖는 시설도 6개소를 차지하고 있다.

인입수로의 길이가 암거형태이고 그 길이가 길어질수록 수두손실이 증가하고 관거의 점검이 어려우며 막힘 문제 등으로 유지관리 어려움이 가중된다. 인입수로의 길이가 길어질수록 취입보 하류부와 상류부의 생태적 단절구간이 늘어나는 문제가 발생될 가능성이 높다. 따라서 수두확보에 적합한 형식의 취입보를 선정하여 인입수로의 길이를 최대한 단축하고 가급적 U자 형태의 개수로 형태로 설치하고 그렇지 않을 경우 부분적 개수로나 점검구를 설치하여 유지보수 및 수문관측이 용이하도록 설계를 제안하였다.

저수지 유입부 유역특성으로 인하여 수두확보가 어렵고 취수보를 설치할 경우 인근의 농경지나 민가의 침수가 우려되는 지역이면서 인입수로의 길이가 지나치게 길어지는 사업지구에는 양수취입방식을 고려한다.

(표 3.9) 인입수로 길이 연왕

유하거리	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 인입수로 거리 상이함				

(다) 인입수로의 설치 예

표 3.10에는 사업지구 별 인입수로의 형태 및 길이를 나타내었다. 먼저 고창 궁산지구의 1호 습지는 고무 가동보를 설치한 사업지구로 인입수로는 제방도로 직하부를 통하여 암거형태로 습지선단 침사지와 연결되어 있으며 수로의 길이는 약 15 m이다.

홍동지구 1호 습지에 설치된 인입수로는 암거형으로 수두확보를 위하여 상당히 먼 거리인 300 m이상 이격된 게이트 수문형 취수보와 연결되어 있다. 수로는 마을 민가도로 및 제방도로에 연하여 시공되어 있다.

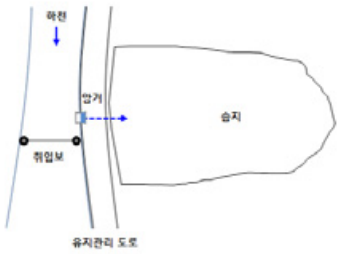
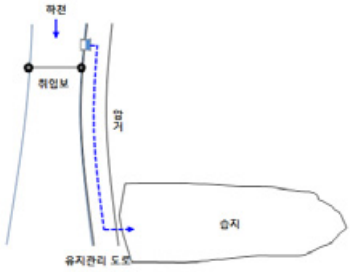
서산 성암지구 1호 습지는 약 130 m 길이의 인입수로와 연결되어 있는데 수로의 형태는 U 자형 개수로이다. 수로의 흐름상태 및 막힘 여부를 육안으로 확인가능하며 퇴적물과 협잡물 청소가 쉽고 유지관리가 매우 용이한 구조로 설계되어 있다.

무안 감돈지구 3호 습지의 인입수로는 부분적으로 개수로 및 암거로

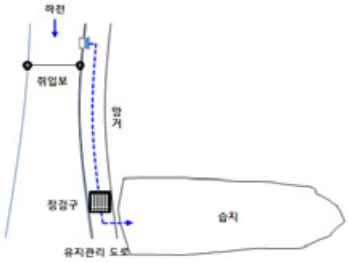
구성되어 있다. 취수보에서 침사지 직전의 도로까지는 개수로의 형태로 도로 통과 구간은 암거로 시공되어있다.

충남 아산 도고 1호 습지의 경우에는 취입보와 습지를 연결하는 45 m 길이의 인입수로에 점검구가 설치되어 수로에서의 흐름 상태를 점검하고 막힘 등의 문제가 발생될 경우 청소가 가능한 구조를 갖고 있다.

(표 3.10) 사업지구 별 주요 인입수로 현황

인입수로의 형태	적용현황
	
취입보와 습지연결: 도로관통 암거	고창 궁산지구 1호 습지
	
인입수로 길이 300m 이상	홍성 홍동지구 1호 습지

(표 3.10) 사업지구 별 주요 인입수로 현황(계속)

인입수로의 형태	적용현황
취입보-습지: U자형 개수로 연결	서산 성암지구 1호 습지
취입보-습지: 암거 + 개수로 연결	무안 감돈지구 3호 습지
	
취입보-습지: 암거+점검구 설치	아산 도고 1호 습지

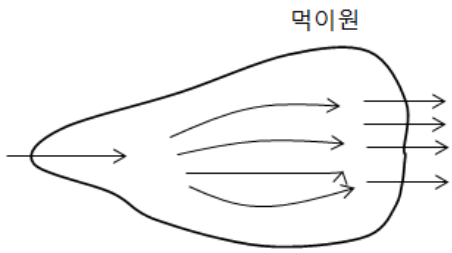
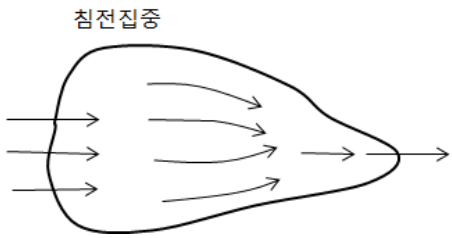
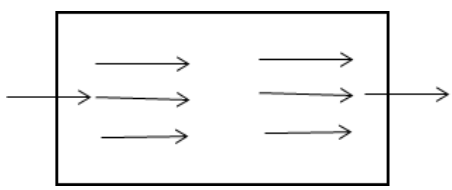
(3) 침사지(forbay)

(가) 침사지의 기하학적 형태

인공습지에서 침사지는 토사 등 입자상 오염물질의 제거를 위한 전처리 목적으로 설치되며 침사지의 형태는 표 3.11에 나타난 것처럼 방사형 구조와 역방사형 구조, 그리고 장방형 구조로 구분된다.

방사형 침사지는 유입부의 유속이 빠르고 후단으로 진행할수록 유속이 감소되므로 대부분의 침전퇴적이 후단부에서 이루어진다. 이와 같은 흐름특성으로 선단부에서는 침식과 쇄굴이 발생될 수 있으며 대부분의 퇴적이 후단부에 집중되므로 퇴적량이 증가할 경우 침사지와 후속 습지사이의 흐름이 단절될 수 있다.

(표 3.11) 침사지의 기하학적 형태 별 특징

습지 침사지의 기하학적 형태	특징 및 장단점
	■ 방사형 침사지 - 생태형 구조로 출구가 수생생물의 산란과 서식을 위한 먹이원으로서 기능수행 - 출구 쪽에 침전이 집중되는 구조로 퇴적이 중-하류지역에 형성됨 - 시간에 따라 출구부가 매몰되어 흐름에 장애로 작용 - 홍수유량 유입시 후단부 매몰
	■ 역방사형 침사지 - 보통 비점오염물질 처리목적의 습지에 적용되는 구조로 침전작용이 침사지 선단에 집중 - 수심을 선단부에서 하류부로 진행할수록 감소하도록 설계 - 유수의 흐름이 양호: 하류부의 너비는 선단부 너비의 1/3 정도로 결정 - 홍수유량 유입시 선단 퇴적량 증가
	■ 장방형 침사지 - 수평흐름을 유도함으로써 침전효율을 극대화시킬 수 있으며, 유량이 비교적 일정한 경우에 유리함 - 사수대(dead space)로 인한 체류시간의 단축

방사형 침사지에서는 후단부에 퇴적되는 입자상 물질과 함께 공급되는 먹이도 집중되므로 수생생물의 주요 서식처 및 산란처가 되기 때문에 생태형 침사지라고도 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 유입부 퇴적량 증가로 유입부의 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.

장방형 침사지는 입자상 물질의 침강에 필수적인 가장 이상적인 수평 흐름을 기대할 수 있다.

(나) 침사지 설치현황

표 3.12에는 사업지구 별로 설치된 침사지 형태를 나타내고 있다. 전수조사 대상 지구 대부분의 침사지가 방사형과 장방형 형태로 조성되어 있다.

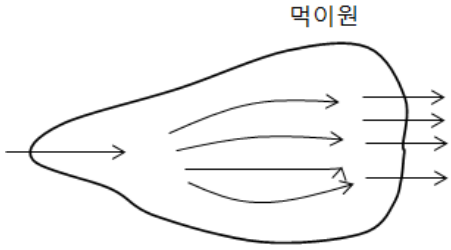
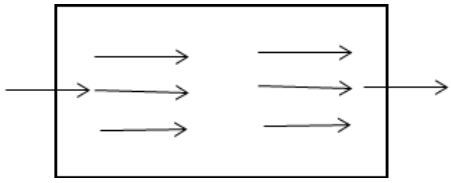
(표 3.12) 사업지구 별 침사지 형태

번호	수질개선지구	습지명	침사지 형태	번호	수질개선지구	습지명	침사지 형태
1	무안 감돈지구	1호 습지	방사형	7	화성 동방지구	1호 습지	장방형
		2호 습지	장방형			2호 습지	장방형
2	함평 월천지구	인공습지	방사형	8	서산 성암지구	고효율습지	원형
						1호 습지	방사형
3	고창 궁산지구	1호 습지	장방형			2호 습지	방사형
		2호 습지	장방형	9	홍성 홍동지구	1호 습지	방사형
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	장방형			2호 습지	방사형
		2호 습지	방사형			3호 습지	장방형
5	의성 개천지구	1호 습지	장방형	10	아산 도고지구	1호 습지	장방형
		2호 습지	방사형			2호 습지	장방형
6	의왕 왕송지구	1호 습지	방사형	11	아산 상성지구	1호 습지	방사형
		2호 습지	방사형			2호 습지	방사형

(다) 침사지 설치 예

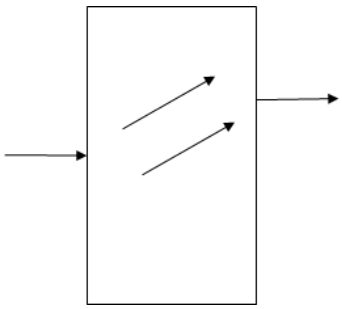
표 3.13은 방사형 침사지(아산 상성지구 1호 습지)와 장방형 침사지(서산 성암지구 1호 습지)의 대표 설치사례를 보여주고 있다. 사업지구 대부분의 습지에서 침사지는 기능적인 측면보다는 선정된 취수보의 위치와 부지의 형태에 맞추어 시공된 측면이 강하게 나타나고 있다.

(표 3.13) 침사지의 기하학적 형태 (아산 상성지구 1호 습지, 서산 성암지구 1호 습지)

침사지의 기하학적 형태	설치사례
	
	

한편 침사지나 침강지 설계원칙에서 크게 벗어난 설치사례가 있는데 대표사례는 홍동지구 3호 습지의 침사지이다(표 3.14). 이와 같은 침사지는 수평류 발생을 기대할 수 없고 혼합류가 지배적으로 발생하여 침전을 방해하는 기형적인 형태를 갖고 있다.

(표 3.14) 부적절한 구조의 침사지

침사지의 기하학적 형태	설치사례
	

(라) 침사지 규모

현재 농업용수 수질개선 조사설계 매뉴얼에는 침사지의 용량결정 방법은 제시되고 있지 않다. 전수 조사대상 사업지구에 설치된 침사지 면적을 분석한 결과(표 3.15) 전체 습지대비 최고 12.6 %, 최저 0.9 %이며 평균 5.6 % 등 사업지구 별로 큰 차이를 보이고 있다.

습지면적 대비 0.9 %로 가장 작은 침사지 크기를 보인 지구는 왕송지구 1호 습지로 하수처리장 방류수의 추가적인 수질개선을 위한 목적으로 조성되어 타당한 설계로 판단된다. 그러나 대체로 영남지역 사업지구인 칠곡하빈지구와 의성 개천지구에 설치된 침사지는 크기가 습지면적 대비 3 % 내외로 지나치게 작게 설계된 것으로 평가되었다. 따라서 조사설계 매뉴얼에 개략적인 침사지 용량결정 방안이 제시되어야 할 것으로 사료된다.

침사지에서 일정수준 이상의 퇴적물이 축적될 경우 준설을 실시하여야 하는데 현재 모든 사업지구에서 토사 퇴적량을 산출할 수 있는 쿠폰이나 자가 설치되어 있지 않다.

(표 3.15) 사업지구 별 전체 습지면적 대비 침사지 면적 비율(%)

번호	수질개선지구	습지명	면적(m^2)	침사지(m^2)	비율(%)
1	무안 감돈지구	1호 습지	27,910	2,206	7.9
		2호 습지	10,937	1,074	9.8
2	함평 월천지구	인공습지	23,800	1,364	5.7
3	고창 궁산지구	1호 습지	43,306	3,007	6.9
		2호 습지	30,809	1,349	4.4
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	11,410	166	**1.5**
		2호 습지	15,213	522	3.4
		3호 습지	11,447	354	3.1
5	의성 개천지구	1호 습지	30,720	577	**1.9**
		2호 습지	5,932	216	3.6
6	의왕 왕송지구	1호 습지	12,599	113	**0.9**
		2호 습지	9,428	293	3.1
7	화성 동방지구	1호 습지	19,643	1,640	8.3
		2호 습지	7,644	964	12.6
8	서산 성암지구	고효율 습지	-	-	-
		1호 습지	30,423	1,393	4.6
		2호 습지	28,192	1,064	3.8
9	홍성 홍동지구	1호 습지	32,957	2,227	6.8
		2호 습지	13,285	1,050	7.9
		3호 습지	6,801	-	-
10	아산 도고지구	1호 습지	8,780	597	6.8
		2호 습지	43,677	2,690	6.2
11	아산 상성지구	1호 습지	19,687	893	4.5
		2호 습지	5,102	531	10.4
평균	-	-	19,552.3	1,104	5.6

(4) 습지의 면적

(가) 설계현황

현행 조사-설계 매뉴얼에서는 유역대비법에 의한 습지면적 산출법을 권장하고 있으며 국내여건을 고려하여 유역면적의 1 % 이내에서 습지면적을 산출하도록 제안하고 있다. 이와 같은 규정은 경험적으로 유역면적을 유출량의 크기로 보고 일정비율의 습지를 조성할 경우 습지의 기능 및 수질개선목표를 달성할 수 있다는 가정에 근거하고 있다.

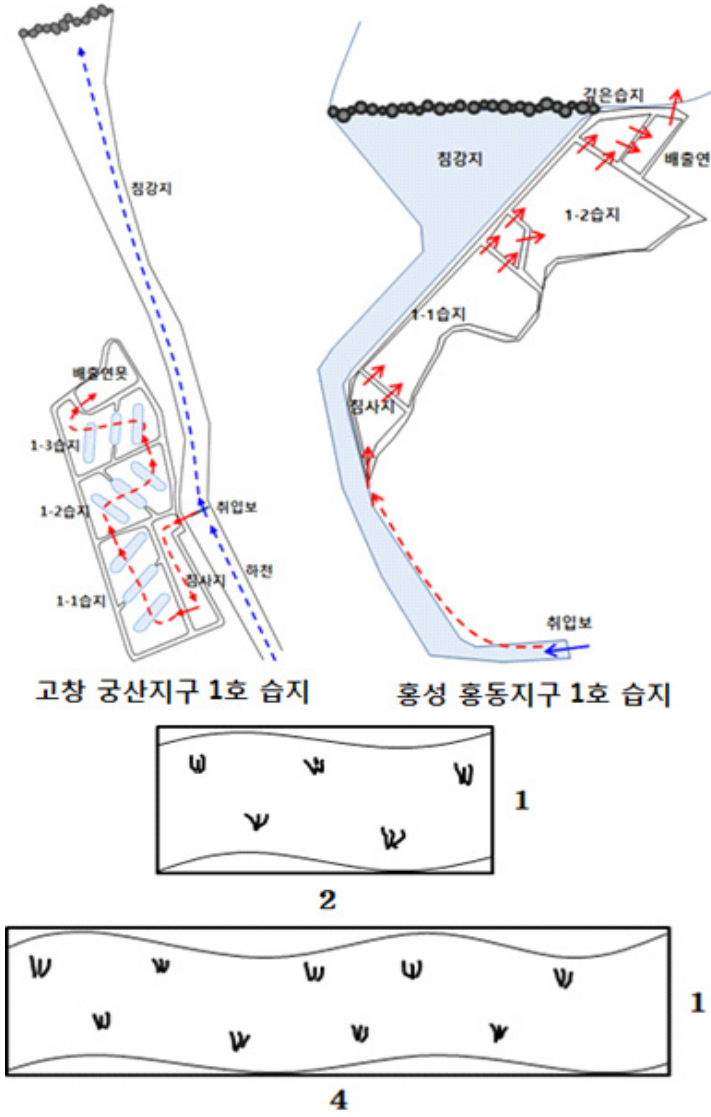
표 3.16은 사업지구 별 유역면적 대비 습지면적 비율을 나타내고 있다. 11개 사업지구 평균 습지면적 비율은 0.28 %로 나타났으며 최저 0.11 %, 최고 0.43 %에 달하고 있다. 모든 사업지구에서 설계규정인 1 %이내를 만족하고 있다.

(표 3.16) 사업지구 별 유역면적 대비 습지비율

번호	수질개선지구	습지(ha)	유역면적(ha)	비율(%)
1	무안 감돈지구	3.9	1,001	0.39
2	함평 월천지구	2.4	1,308	0.18
3	고창 궁산지구	7.4	3,025	0.25
4	칠곡 하빈지구	3.8	956	0.40
5	의성 개천지구	3.7	1,295	0.28
6	의왕 왕송지구	2.2	1,555	0.14
7	화성 동방지구	2.7	628	0.43
8	서산 성암지구	5.9	1,936	0.30
9	홍성 홍동지구	5.3	1,345	0.39
10	아산 도고지구	5.2	2,097	0.25
11	아산 상성지구	0.5	481	0.11
평균				0.28

(5) 습지의 형상 및 배치

현장조사결과 습지의 형상, 배열 및 배치에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 취입지점인 것으로 조사되었으며 고창 궁산지구 1호 습지와 홍성 홍동지구 1호 습지(그림 3.7)를 사례를 보면 취입지점이 부지의 중앙근처에 위치하고 있어 침사지에서 역류되도록 (하천흐름과 반대방향으로 흐르도록) 설계되어 있어 수리설계 뿐 만 아니라 전체적인 습지배치에 어려움이 되고 있다.



<그림 3.7> 취입지점 위치에 따른 습지형상 및 배치, 장폭비

이와 반면에 홍동습지의 경우 취입지점과 습지사이의 거리가 떨어져 있어 자연스러운 흐름이 연출되어 습지배열 및 배치에 장점을 가지고 있다.

(6) 장폭비 (aspect-ratio)

현재 매뉴얼에 따르면 습지 설계시 장폭비는 1:1~4:1을 기준으로 설정되어 있는바 수평흐름을 최대한 유지하고 혼합류와 단회로를 방지하여 수리학적 효율이 최대한 발휘될 수 있도록 유도하기 위함이다.

그러나 장폭비가 너무 클 경우 마찰면의 증가로 수두손실이 증가할 뿐만 아니라 셀 수의 증가 및 분리벽체 수의 증가로 복잡한 흐름구조 및 시공비가 증가하므로 기준 이내에서 결정하는 것이 바람직하다.

그러나 현재 농업용수 수질개선 사업 설계기준에는 장폭비를 1:1~4:1로 설정하고 있어 수정이 요구된다. 1:1의 장폭비에서는 지내 흐름이 수평류 대신 혼합류가 지배하여 단회로가 발생하여 적절한 처리효과를 기대하기 어렵기 때문이다.

표 3.17에 조사대상 사업지구 별 습지 셀의 장폭비 분석결과를 나타내었다.

(표 3.17) 사업지구 별 장폭비 현황

번호	수질개선지구	습지명	셀 1	셀 2	셀 3	배출연못	전체
1	무안 감돈지구	1호 습지	1.0 : 1	1.3 : 1	2.0 : 1	2.4 : 1	2.0 :1
		2호 습지	1.0 : 1	1.7 : 1	8.0 : 1	2.4 : 1	3.8 : 1
2	함평 월천지구	인공습지	2.0 : 1	2.5 : 1	-	5.2 : 1	3.1 :1
3	고창 궁산지구	1호 습지	1.8 : 1	1.4 : 1	1.8 : 1	2.3 : 1	2.7 : 1
		2호 습지	**0.6 : 1**	**0.6 : 1**	1.6 : 1	4.8 : 1	3.0 : 1
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	1.1 : 1	**0.6 : 1**	**0.6 : 1**	6.7 : 1	2.2 :1
		2호 습지	2.3 : 1	**0.4 : 1**	-	6.7 : 1	**1.1 : 1**
		3호 습지	2.7 : 1	**0.4 : 1**	-	13.3 : 1	**1.0 : 1**
5	의성 개천지구	1호 습지	1.0 : 1	1.7 : 1	1.9 : 1	**0.4 : 1**	2.9 : 1
		2호 습지	4.0 : 1	-	-	2.1 : 1	4.4 : 1
6	의왕 왕송지구	1호 습지	1.2 : 1	2.5 : 1	-	0.3 : 1	3.7 : 1
		2호 습지	3.3 : 1	-	-	1.0 : 1	3.0 : 1
7	화성 동방지구	1호 습지	2.6 : 1	2.8 : 1	-	3.0 : 1	1.4 : 1
		2호 습지	**0.3 : 1**	**0.4 : 1**	**0.4 : 1**	3.6 : 1	1.7 : 1
8	서산 성암지구	고효율습지	-	-	-	-	-
		1호 습지	2.3 : 1	2.9 : 1	-	2.5 : 1	3.2 : 1
		2호 습지	2.3 : 1	8.0 : 1	7.5 : 1	0.9 : 1	6.7 : 1
9	홍성 홍동지구	1호 습지	3.0 : 1	1.6 : 1	-	2.6 : 1	4.1 : 1
		2호 습지	1.9 : 1	-	-	2.8 : 1	2.3 :1
		3호 습지	1.1 : 1	-	-	-	**1.1 : 1**
10	아산 도고지구	1호 습지	1.1 : 1	**0.7 : 1**	2.6 : 1	1.4 : 1	3.0 : 1
		2호 습지	2.1 : 1	2.3 : 1	-	5.8 : 1	5.3 : 1
11	아산 상성지구	1호 습지	1.7 : 1	2.5 : 1	2.9 : 1	2.7 : 1	1.5 : 1
		2호 습지	2.5 : 1	2.5 : 1	4.5 : 1	6.0 : 1	3.9 : 1

조사대상 개별 습지 셀별 장폭비를 분석한 결과 1:1 이하가 13개로 24.5 %, 1:1 ~ 2:1 이하가 17개로 32.1 % 전체습지의 56 % 이상이 적절하지 않은 장폭비로 설계 시공되었다.

(표 3.18) 조사대상 개별 습지 셀별 장폭비 분석결과

장폭비	1:1 이하	1:1 ~ 2:1	2:1 ~ 3:1	3:1 이상	계
셀수	13	17	17	6	53
비율(%)	24.5	32.1	32.1	11.3	100

한편 조사대상 전체습지 셀별 장폭비를 분석한 결과에 따르면 1:1 이하가 1개소로 4.3 %, 1:1 ~ 2:1 이하가 6개소 26.1 %로 전체습지의 30 %가 전체적인 습지의 기하학적 형태를 만족시키지 못하는 것으로 분석되었다.

(표 3.19) 조사대상 지구별 전체 습지의 장폭비 분석결과

장폭비	1:1 이하	1:1 ~ 2:1	2:1 ~ 3:1	3:1 이상	계
개소수	1	6	7	9	23
비율(%)	4.3	26.1	30.4	39.1	100

가장 이상적인 습지의 장폭비는 2:1 ~ 4:1 이상으로 이는 환경부의 비점저감을 위한 인공습지 조성 기준에서도 동일하게 제시하고 있다. 따라서 본 매뉴얼에서는 습지의 장폭비로 2:1 ~ 4:1 이상으로 제안하였다.

(7) 습지 개별 셀의 연결방법

(가) 관형반응기(수평) 흐름유도 격벽의 설치

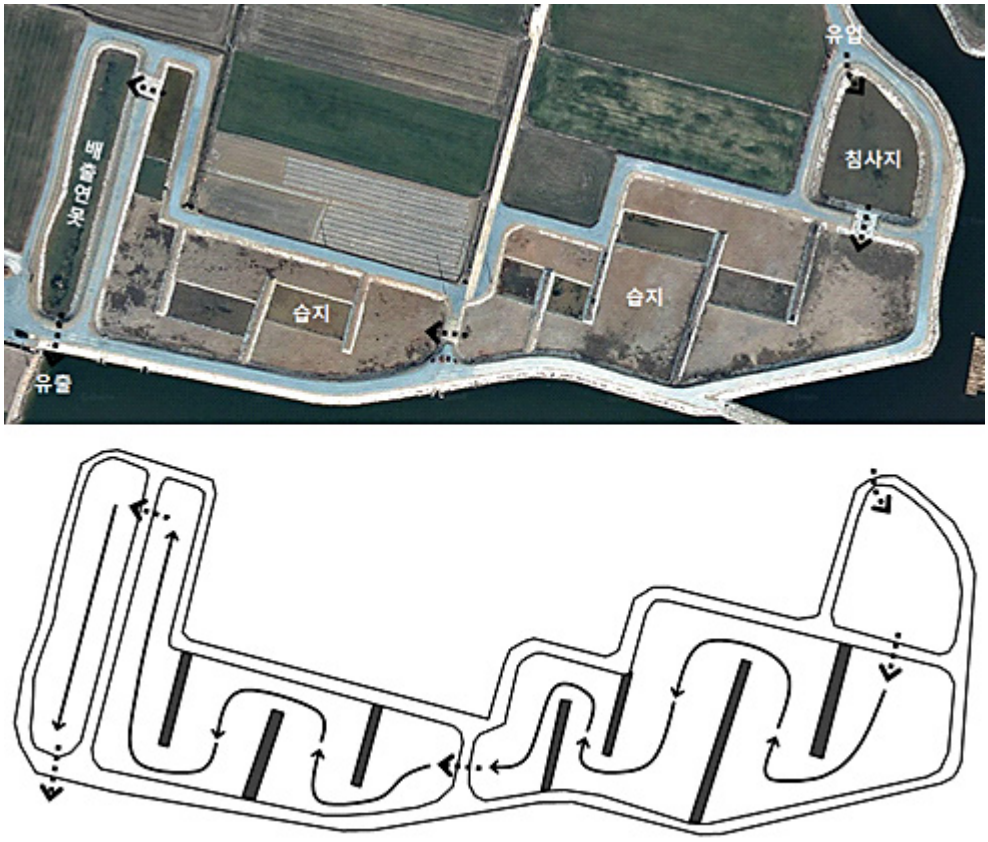
관형반응기(수평) 흐름 유도 격벽의 설치 방법은 습지에서 셀과 셀을 연결하는 가장 단순한 형태의 수평흐름유도 방법이며 정수장 소독조에서 철저하게 혼합류를 배제하여 단회로의 발생을 최소화시키고자 할 때 적용되는 방법이다. 이와 같은 방식의 습지연결 전제조건은 유량이 상시적으로 일정하게 유입되어야 한다.

유량이 일정하게 유입되지 않을 경우 유수흐름에 사용되는 않는 공간

즉 사수지역 발생이 과다하다. 또한 사수대에 퇴적량 증가로 육화가 빠르게 진행될 수 있다.

수심이 얕은 사수대에 대량의 사상성 조류가 증식하여 수위저하로 육화될 경우 증식한 조류의 사멸로 수질저하 및 냄새문제의 발생가능성이 높다. 따라서 시기적으로 유량변동이 심한 농업용수 수질개선을 위한 습지의 설계에서는 가능한 한 적용하지 않도록 한다.

대표사례지구는 함평 월천지구와 고창 궁산지구의 2호 습지이다. 이와 같은 습지에서 수위관리는 전체습지로만 가능하며 개별 습지 셀의 수위 관리는 어렵다 (그림 3.8).

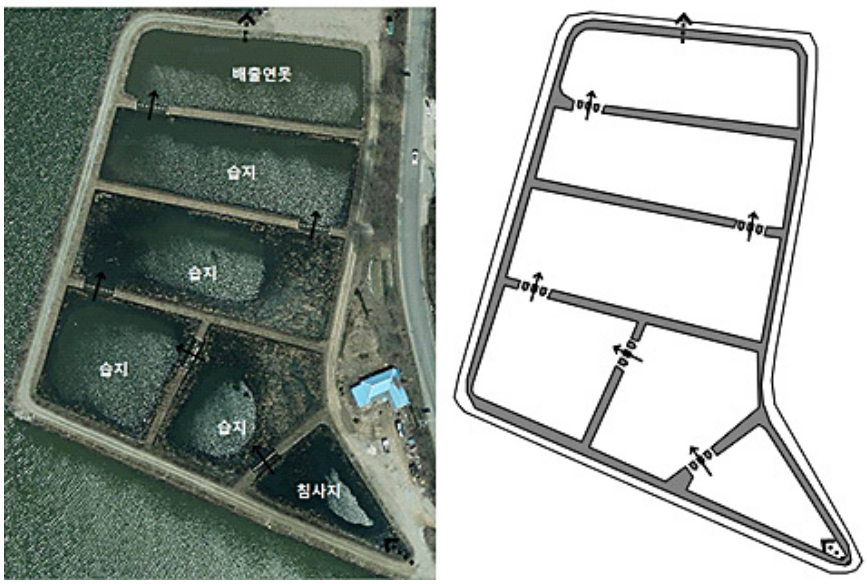


<그림 3.7> 대표사례지구: 함평 월천지구 습지

(나) 수류유도 격벽의 설치(변형)

기본적으로 (가)와 동일한 구조이나 셀을 분리/독립시킬 수 있는 격벽

에 연결수로(구조물)를 설치한 경우이다. (가)의 방법과 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. 장점으로는 전체습지 뿐 만 아니라 개별 수문의 설치로 셀별 수위관리가 가능한 구조이다 (그림 3.9).



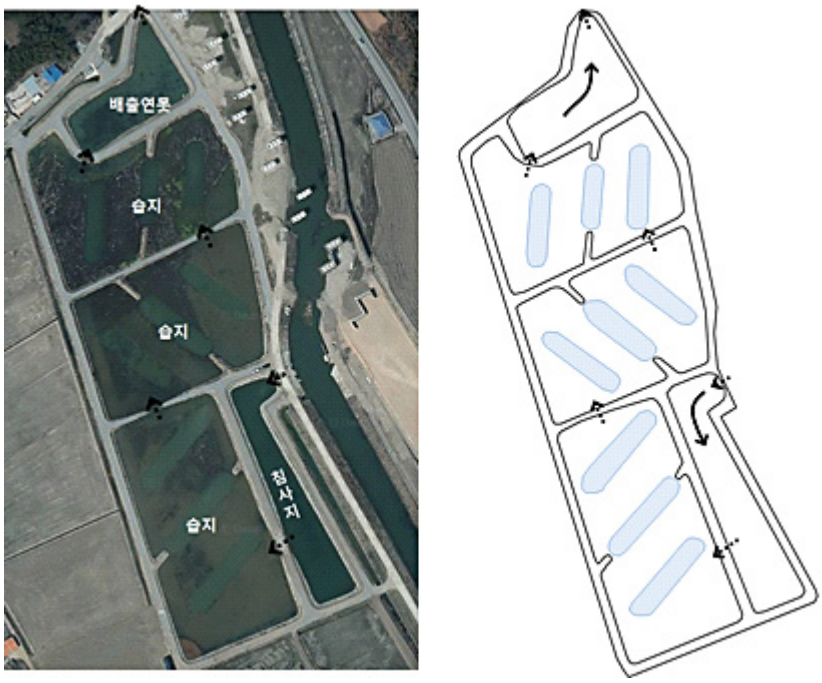
<그림 3.8> 대표사례지구: 아산 상정지구 1습지

(다) 독립된 셀에 깊은 습지/얕은 습지의 반복 종적배치

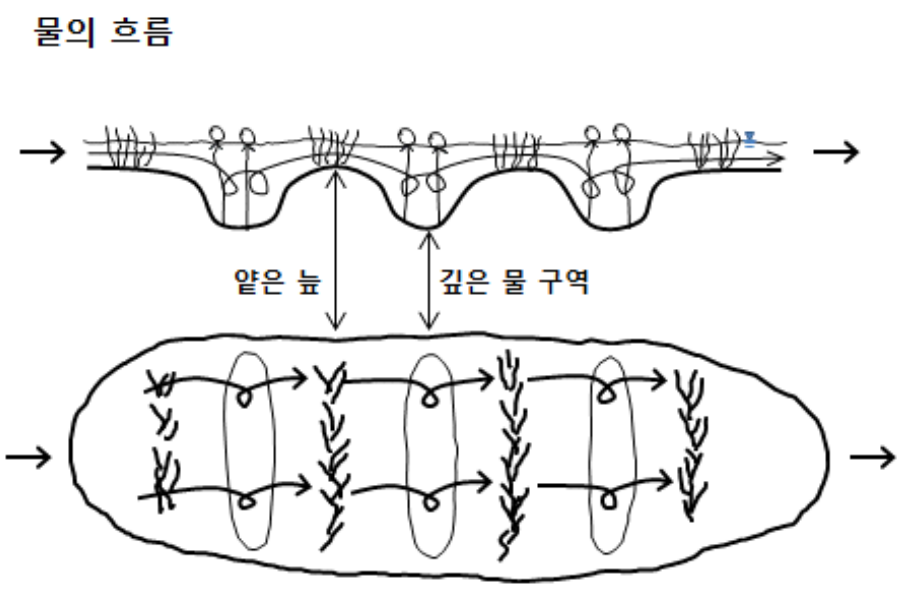
기본적으로 (나)와 동일한 구조이나 셀 내부에 깊은 습지를 종적으로 배치함으로서 수리학적 흐름을 향상시킨 구조이다. 정형화된 습지의 동일한 셀 내부에서 깊은 습지와 얕은 습지의 반복적인 종적배치는 단회로를 방지하여 수리학적 효율을 향상시킨다.

습지를 유하하는 흐름의 배분과 혼합은 오염물질 제거를 극대화하고 여과 및 침전 등과 같은 물리적 제거기능의 개선할 수 있다. 대표사례지구는 그림 3.10에 제시한 고창 궁산지구 1호 습지이다.

한편 습지내부에 깊은 습지의 횡적 배치는 갈수기 습지유량이 없거나 적을 때 습지 서식 생물체의 피난처의 기능을 수행하기도 한다.



<그림 3.9> 대표사례지구 : 고창 궁산지구 1습지

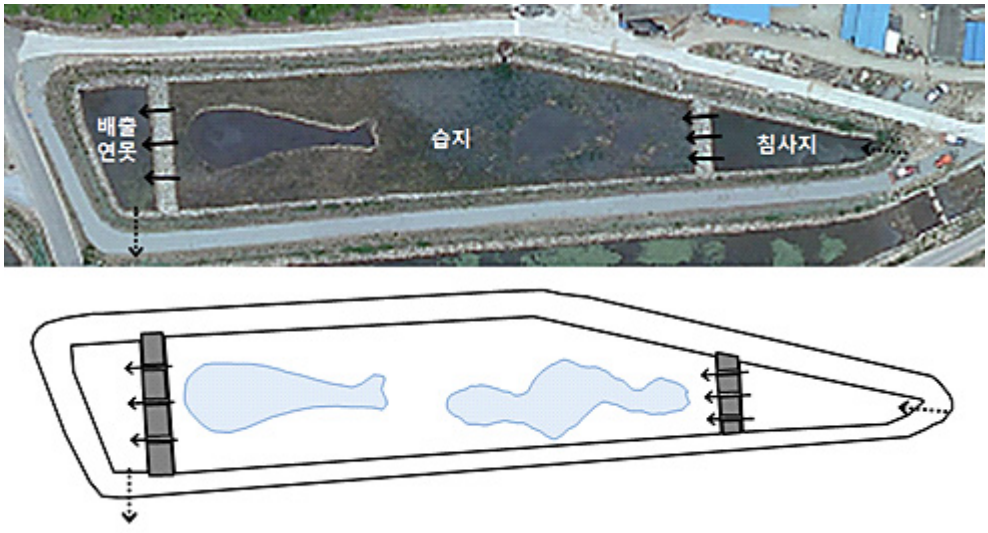


<그림 3.10> 깊은습지 / 얕은습지를 흐름방향과 직각으로 반복적 배치 효과

(라) 월류벽과 깊은 습지/얕은 습지의 횡적배치

셀과 셀을 분리하는 벽체 전체 상부면를 통하여 수류의 이동을 유도하는 구조로 흐름방향으로 얕은 습지와 깊은 습지를 배치한다. 이와 같은 구조는 앞서 제시한 흐름방향과 직각으로 반복적인 배치와 다르게 수리학적 효율 상승을 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. 이와 같은 배치의 장점은 유량변동이 심한 습지에서 연속적인 유수흐름 및 공간을 확보할 수 있는 장점이 있다.

또한 습지와 습지요소 사이에 월류하는 형태의 구조는 유입유량 증가시 자연적인 저류효과를 기대할 수 있으나 개별 셀의 수위 관리는 우회수로 없이는 불가능하며, 전체 습지의 수위는 배출연못의 수문을 조작하여 수위를 조절할 수 있다. 대표사례지구는 그림 3.12에 나타난 것처럼 의성 개천지구 2호 습지이다.

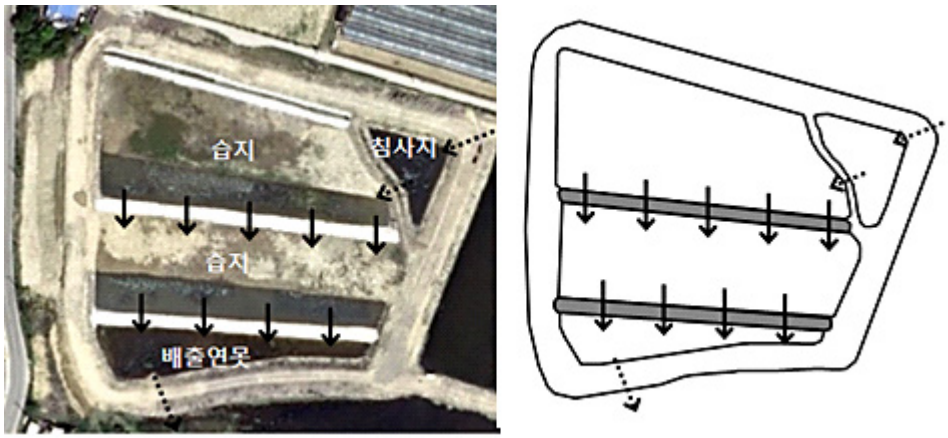


<그림 3.11> 대표사례지구: 의성 개천지구 2호 습지

(마) 월류벽을 통한 셀의 분할

습지의 개별 셀과 셀을 전폭웨어나 광폭웨어의 형태로 연결하는 방법을 말한다. 셀과 셀을 분리하는 월류벽 전체 상부면를 통하여 수류의 균일한 흐름을 유도하는 구조이다.

이와 같은 형태의 연결은 습지 유입유량이 비교적 일정한 사업지구에 적용가능하며 유량변동이 심하여 습지유입유량이 매우 적은 경우 개별습지의 흐름이 단절되어 정체되는 단점이 있다. 대표사례지구는 칠곡하빈 지구의 2호 습지이다.



<그림 3.12> 대표사례지구: 칠곡 하빈지구 2습지

(8) 습지의 셀 수

표 3.20에는 전수대상 습지의 단위면적 (ha) 당 습지 셀의 개수를 분석하여 제시하였다. 사업지구별로 습지를 구성하고 있는 셀 수는 2개에서 최대 5개로 분석되었으며 평균 셀 수는 3.96개로 산출되었다.

조사대상 사업지구의 단위 습지 면적당 습지 셀 수를 산출하여 그림 3.14에 나타내었다. 습지의 규모가 증가할수록 셀의 크기가 증가하고 있으며 아산 도고지구 2호 습지의 단일 셀의 크기가 거의 1 ha에 육박하고 있다. 습지규모가 작을수록 셀의 수가 지나치게 많이 조성되는 경향을 보였으며, 가장 작은 셀의 면적은 아산 상성지구 2호 습지에서 0.1 ha 이었다.

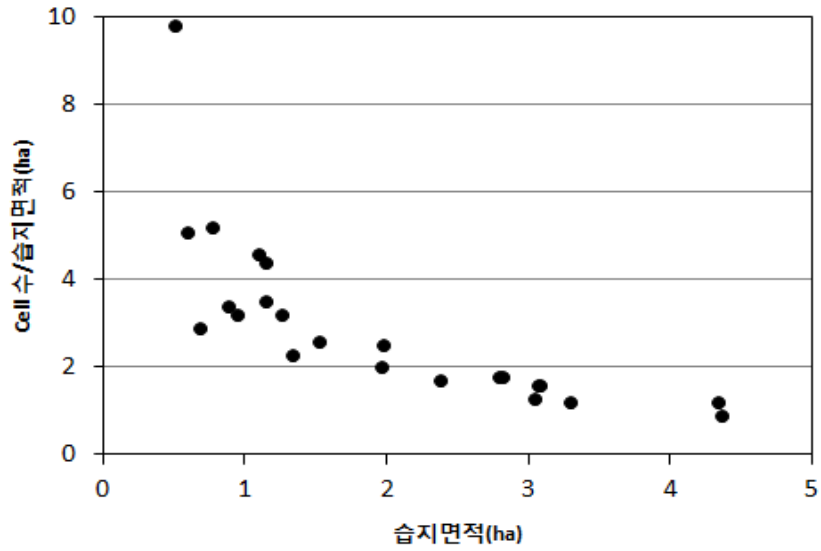
습지를 구성하고 있는 셀의 크기가 지나치게 클 경우 수리학적 효율이 떨어지고 유지관리가 어려운 문제가 발생이 되고, 작은 규모의 습지에 지나치게 많은 셀로 분할하게 되면 수두손실이 커져서 적절한 유수흐름을 기대하기 어렵게 된다.

따라서 습지 셀의 최대 크기 및 규모 별 셀 수에 관한 설계기준의 제시가 필요하였다.

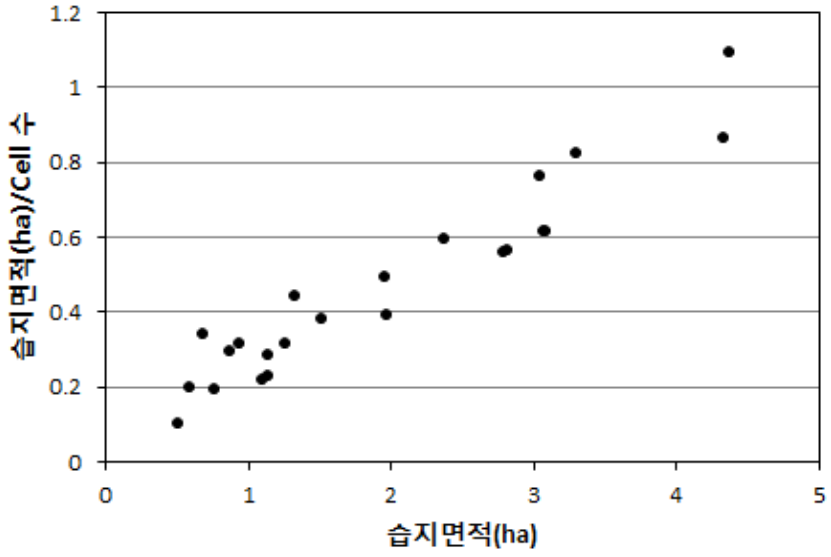
본 연구에서는 습지 규모 대비 필요한 셀 면적과 셀 수를 습지면적 1 ha ~ 2 ha 범위에서는 단일 셀 면적이 0.5 ha를 초과하지 않도록 설계하며 셀 수는 침사지를 포함하여 5개 이하로 설계하고, 2 ha 이상의 습지에서는 가능하다면 2 계열 이상의 복수계열로 습지를 조성하여 단일 셀 면적이 0.5 ha를 초과하지 않고, 셀 수 역시 침사지와 배출연못을 포함, 5개 이하로 설계함을 제안하였다.

(표 3.20) 사업지구 및 습지 별 셀수 및 단위면적 당 셀 수

번호	수질개선지구	습지명	습지 cell 수	면적(m^2)	ha당 cell 수
1	무안 감돈지구	1호 습지	5	27,910	1.8
		2호 습지	5	10,937	4.6
2	함평 월천지구	인공습지	4	23,800	1.7
3	고창 궁산지구	1호 습지	5	43,306	1.2
		2호 습지	5	30,809	1.6
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	5	11,410	4.4
		2호 습지	4	15,213	2.6
		3호 습지	4	11,447	3.5
5	의성 개천지구	1호 습지	5	30,720	1.6
		2호 습지	**3**	**5,932**	**5.1**
6	의왕 왕송지구	1호 습지	4	12,599	3.2
		2호 습지	3	9,428	3.2
7	화성 동방지구	1호 습지	4	19,643	2.0
		2호 습지	**4**	**7,644**	**5.2**
8	서산 성암지구	고효율 습지	-	-	-
		1호 습지	4	30,423	1.3
		2호 습지	5	28,192	1.8
9	홍성 홍동지구	1호 습지	4	32,957	1.2
		2호 습지	3	13,285	2.3
		3호 습지	2	6,801	2.9
10	아산 도고지구	1호 습지	3	8,780	3.4
		2호 습지	4	43,677	0.9
11	아산 상성지구	1호 습지	5	19,687	2.5
		2호 습지	**5**	**5,102**	**9.8**
평균	-	-	3.96	18,737.58	2.83



<그림 3.13> 전체 습지면적에 따른 단위면적 당 셀의 개수



<그림 3.14> 전체 습지면적에 따른 셀 당 습지면적

(7) 습지 유하거리

전술한 바와 같이 오염물질 제거를 위해 셀의 수 뿐 만 아니라 전체 습지의 유하거리도 중요하다. 농업용수 수질개선 조사설계 매뉴얼에 따르면 식생습지의 유하거리를 100 m 이내로 설계할 것을 권장하고 있다.

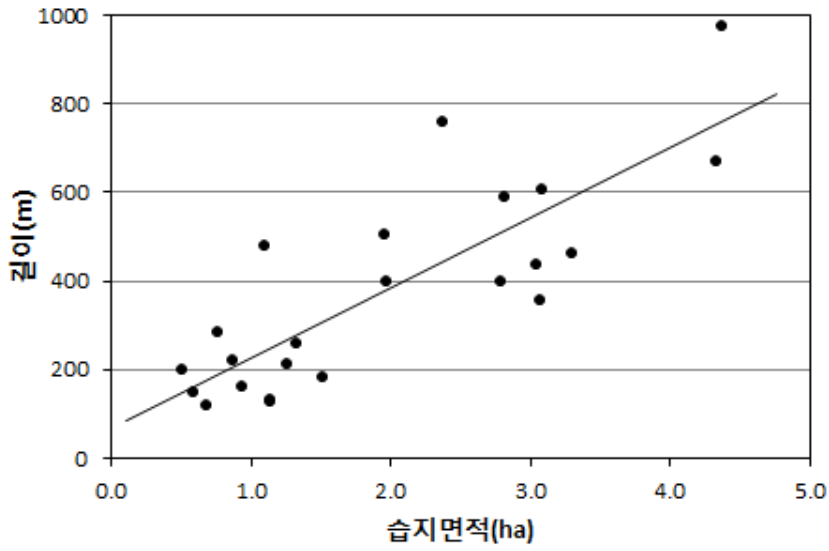
(표 3.21) 사업지구 별 습지의 유하길이

번호	수질개선지구	습지명	습지 cell 수	면적(m^2)	길이(m)
1	무안 감돈지구	1호 습지	5	27,910	400
		2호 습지	5	10,937	480
2	함평 월천지구	인공습지	4	23,800	759
3	고창 궁산지구	1호 습지	5	43,306	670
		2호 습지	5	30,809	605
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	5	11,410	131
		2호 습지	4	15,213	180
		3호 습지	4	11,447	125
5	의성 개천지구	1호 습지	5	30,720	354
		2호 습지	3	5,932	150
6	의왕 왕송지구	1호 습지	4	12,599	212
		2호 습지	3	9,428	162
7	화성 동방지구	1호 습지	4	19,643	504
		2호 습지	4	7,644	284
8	서산 성암지구	고효율 습지	-	-	-
		1호 습지	4	30,423	435
		2호 습지	5	28,192	590
9	홍성 홍동지구	1호 습지	4	32,957	460
		2호 습지	3	13,285	260
		3호 습지	2	6,801	120
10	아산 도고지구	1호 습지	3	8,780	220
		2호 습지	4	43,677	973
11	아산 상성지구	1호 습지	5	19,687	400
		2호 습지	5	5,102	200
평균	-	-	3.96	19,552.3	377.1

표 3.21은 전수조사대상 사업지구 습지의 유하거리를 산출하여 제시하였다. 결과에 따르면 매뉴얼에서 제안하고 있는 설계기준을 만족하고 있는 사업지구는 단 1개소도 없다. 전체 사업지구 평균 유하거리는 377 m로 나타났으며 최저 120 m, 최대 970 m에 이르는 것으로 나타났다.

유하거리가 길어지면 오염물질의 처리기회가 증가하지만 수두손실이 증가하여 습지내부 흐름이 원활하지 못하고 저류효과가 발생하여 습지의 종점에 도달하지 못하고 중간에 범람하여 유출이 발생한다.

그림 3.16에는 습지의 규모에 따른 유하거리를 도시하였다. 습지크기가 증가할수록 유하거리도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 조사설계 매뉴얼에서 제시하고 있는 수치인 100 m와는 큰 차이가 있다. 이와 같은 결과는 조성된 대부분의 습지가 규모에 관계없이 단일계열의 습지로 시공되었기 때문이며 일정 규모 이상의 습지에 대해서 복수계열의 습지 조성을 전제로 200 m 내외로 설계하는 것이 바람직하다.

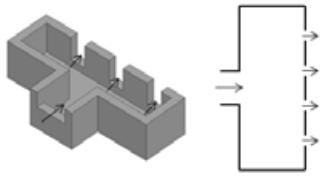
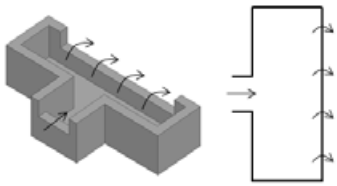
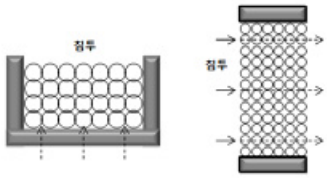
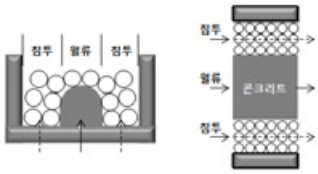
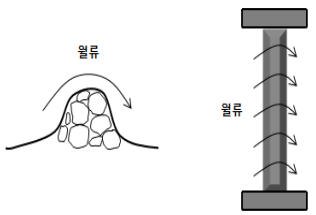


<그림 3.15> 전체사업지구의 습지면적과 유하거리와의 관계

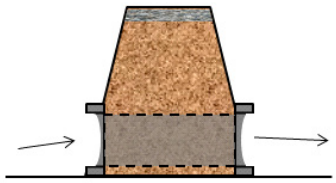
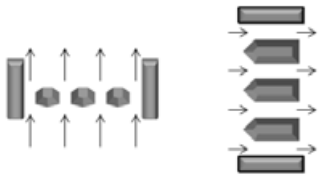
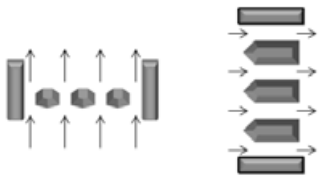
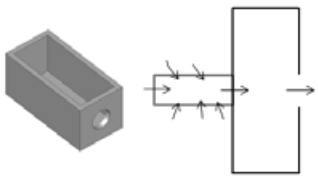
(9) 습지 셀 간 연결수로의 형태

(가) 연결수로의 유형분류

(표 3.22) 연결수로의 유형분류와 설치 사례

적용지구	형태	구조	대표 설치사례
의성 개천지구 1호 습지	오리피스 형		
홍성 홍동지구 1호 습지	전폭웨어 형		
고창 궁산지구 2호 습지	침투월 류형 I		
함평 월천지구 습지	침투월 류형 II		
칠곡 하빈지구 1호 습지	사석제 방 월류형		

(표 3.22) 연결수로의 유형분류와 설치 사례 (계속)

적용지구	형태	구조	대표 설치사례
서산 성암지구 1호 습지	암거 통수형		
아산 상성지구 2호 습지	콘크리트 물넘이형 I		
의왕 왕송지구 생태습지	콘크리트 물넘이형 I		
화성 동방지구 1호 습지	방류통형		

전수대상 사업지구의 습지 셀간 연결수로 형태는 대략 9가지 형태로 분류될 수 있으며 유형 별 구조 및 대표 설치사례를 표 3.22에 제시하였다.

전수조사지구에는 습지 연결유형은 월류형인 오리피스 구조, 전폭월류 구조, 사석제방 월류구조, 콘크리트 물넘이 구조 및 방류통 구조가 적용되고 있으며 개수로형으로 암거구조 및 U 자 콘크리트 구조가 적용되고 있다.

(나) 습지 셀 연결수로 설치현황

표 3.23에는 사업지구 습지에서 침사지→습지, 습지 셀→셀, 그리고 습지 셀→배출연못의 연결수로 형태를 조사 분석한 결과를 제시하였다.

(표 3.23) 사업지구 별 습지연결수로의 형태

번호	수질개선지구	습지명	침사지-습지	셀-셀	셀-배출연못
1	무안 감돈지구	1호 습지	전폭웨어 형	오리피스 형	오리피스 형
		2호 습지	전폭웨어 형	오리피스 형	오리피스 형
2	함평 월천지구	인공습지	침투월류형 Ⅱ	침투월류형 Ⅱ	침투월류형 Ⅱ
3	고창 궁산지구	1호 습지	침투월류형 Ⅰ	침투월류형 Ⅰ	침투월류형 Ⅰ
		2호 습지	침투월류형 Ⅰ	침투월류형 Ⅰ	침투월류형 Ⅰ
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	암거 통수형	사석제방 월류형	사석제방 월류형
		2호 습지	암거 통수형	사석제방 월류형	사석제방 월류형
		3호 습지	암거 통수형	사석제방 월류형	사석제방 월류형
5	의성 개천지구	1호 습지	오리피스 형	오리피스 형	개수로 수위조절용
		2호 습지	오리피스 형	오리피스 형	개수로 수위조절용
6	의왕 왕송지구	1호 습지	전폭웨어 형	전폭웨어 형	전폭웨어 형
		2호 습지	침투/월류	침투/월류	침투/월류
7	화성 동방지구	1호 습지	방류통형	방류통형	암거 통수형
		2호 습지	방류통형	방류통형	방류통형
8	서산 성암지구	1호 습지	전폭웨어 형	암거 통수형	암거 통수형
		2호 습지	전폭웨어 형	암거 통수형	암거 통수형
9	홍성 홍동지구	1호 습지	전폭웨어 형	암거 통수형	암거 통수형
		2호 습지	전폭웨어 형	-	암거 통수형
10	아산 도고지구	1호 습지	사석제방 월류형	-	개수로 수위조절용
		2호 습지	침투월류형 Ⅰ	개수로 수위조절용	침투월류형 Ⅰ
11	아산 상성지구	1호 습지	콘크리트 물넘이형	콘크리트 물넘이형	콘크리트 물넘이형
		2호 습지	콘크리트 물넘이형	콘크리트 물넘이형	콘크리트 물넘이형

(10) 습지수위 조절 구조물

(가) 습지수위조절 구조물 설치현황

습지로 유입되는 유량을 제어할 수 있는 비상수문 및 전체 습지의 수위를 조절할 수 있는 배출구 수문의 구비 여부를 조사하였다. 전체 사업지구 중 비상수문을 갖춘 습지는 전체 사업지구 중 5개 사업지구에 불과하며 마찬가지로 습지수위조절용 수문을 구비한 습지도 5개소에 불과하였다.

개별 습지 및 전체 습지의 수위를 조절할 목적으로 수문이 설치된 곳은 홍동지구 습지가 유일하다. 서산 성암지구 1호 습지에는 저수지로부터 역류방지용 수문이 설치되어 있다.

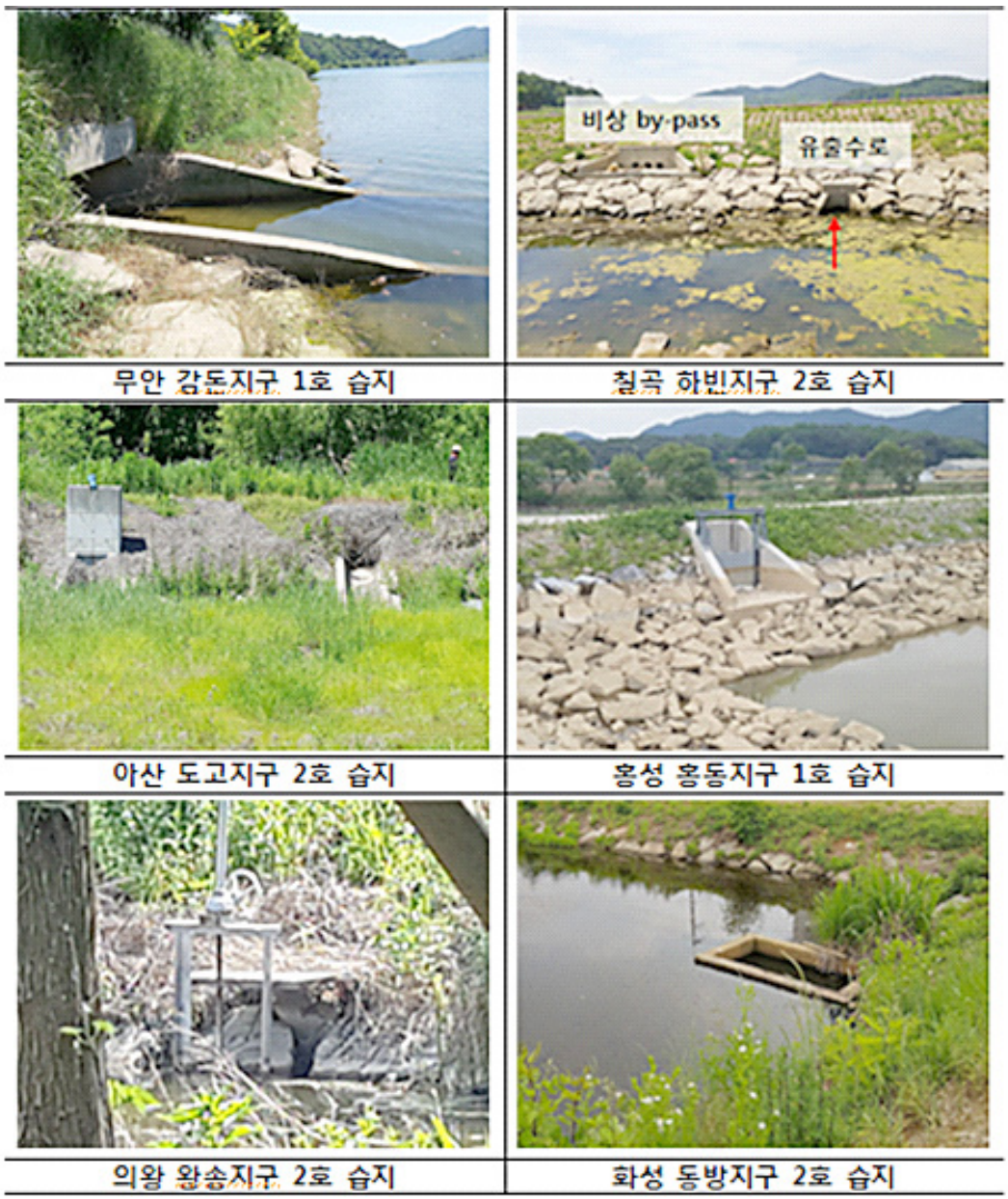
(표 3.24) 비상수문 설치 및 배출구 수문설치 여부

번호	수질개선지구	습지명	비상 수문유무	배출구 형태	배출구 수문유무
1	무안 감돈지구	1호 습지	×	U자형	○
		2호 습지	○	U자형	○
2	함평 월천지구	인공습지	○	원형	×
3	고창 궁산지구	1호 습지	×	원형	×
		2호 습지	×	원형	×
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	○	원형	×
		2호 습지	×	원형	×
		3호 습지	×	원형	×
5	의성 개천지구	1호 습지	×	원형	×
		2호 습지	×	원형	×
6	의왕 왕송지구	1호 습지	○	원형	×
		2호 습지	×	원형	○
7	화성 동방지구	1호 습지	×	원형	×
		2호 습지	×	월류형	×
8	서산 성암지구	1호 습지	×	원형	×
		2호 습지	×	원형	×
9	홍성 홍동지구	1호 습지	○	수문형	○
		2호 습지	×	수문형	○
		3호 습지	×	원형	×
10	아산 도고지구	1호 습지	×	U형	×
		2호 습지	×	U형	×
11	아산 상성지구	1호 습지	×	원형	×
		2호 습지	×	원형	×

***비상수문: 습지유입유량 제어, **배출구 수문: 습지수위조절**

(나) 최종 배출구 및 배수구의 형태

그림 3.17에는 사업지구에 설치된 최종 배출구 및 그 형태를 보여주고 있다.



<그림 3.17> 배출부의 형태 및 구조

서산 성암지구 1호 습지 (저수지 배수위 영향지구)

아산 상성지구 1호 습지 (저수지 배수위 영향지구)

아산 도고지구 2호 습지

<그림 3.17> 배출부의 형태 및 구조 (계속)

(다) 비상 배수구의 형태

그림 3.18은 사업지구에 설치된 주요 비상배수구의 형태를 보여주고 있다. 비상 배수구가 구비된 홍동지구 1호 습지를 제외하고는 대부분 침사지에서 비상배수가 이루어지도록 설계되었으며 전형적인 문비가 설치되어 있다.

<그림 3.18> 비상 배출부의 형태 및 구조

(11) 개방수역의 설치

(가) 개방수역 현황

습지에서 일정수준의 개방수역을 유지하는 것은 대단히 중요한데 그 이유는 내부생산이 가장 활발하게 진행되는 지역으로 산소 공급원 역할 뿐만 아니라 탄소원의 공급처로서 반드시 필요하며 특히 질산화 유도에 없어서는 안 될 중요한 요소이기 때문이다.

사업지구 전수조사결과 대부분의 습지에서 습지내부 식물체의 성장제어 및 절취 등의 관리가 이루어지지 않아 개방수역 파악이 어려웠다. 비교적 최근인 2014년에 조성된 아산 도고지구 2호 습지에서만 개방수역을 구분할 수 있었다.

<그림 3.19> 습지의 개방수역 현황

(12) 배출연못(micropool)의 설치

(가) 배출연못의 설치현황

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 조성된다. 또한 배출연못을 통하여 최종적으로 조류나 식물체로부터 발생된 입자상 물질의 침전제거와 함께 식물체가 없으므로 풍부한 햇빛으로 인한 살균효과를 기대할 수 있다.

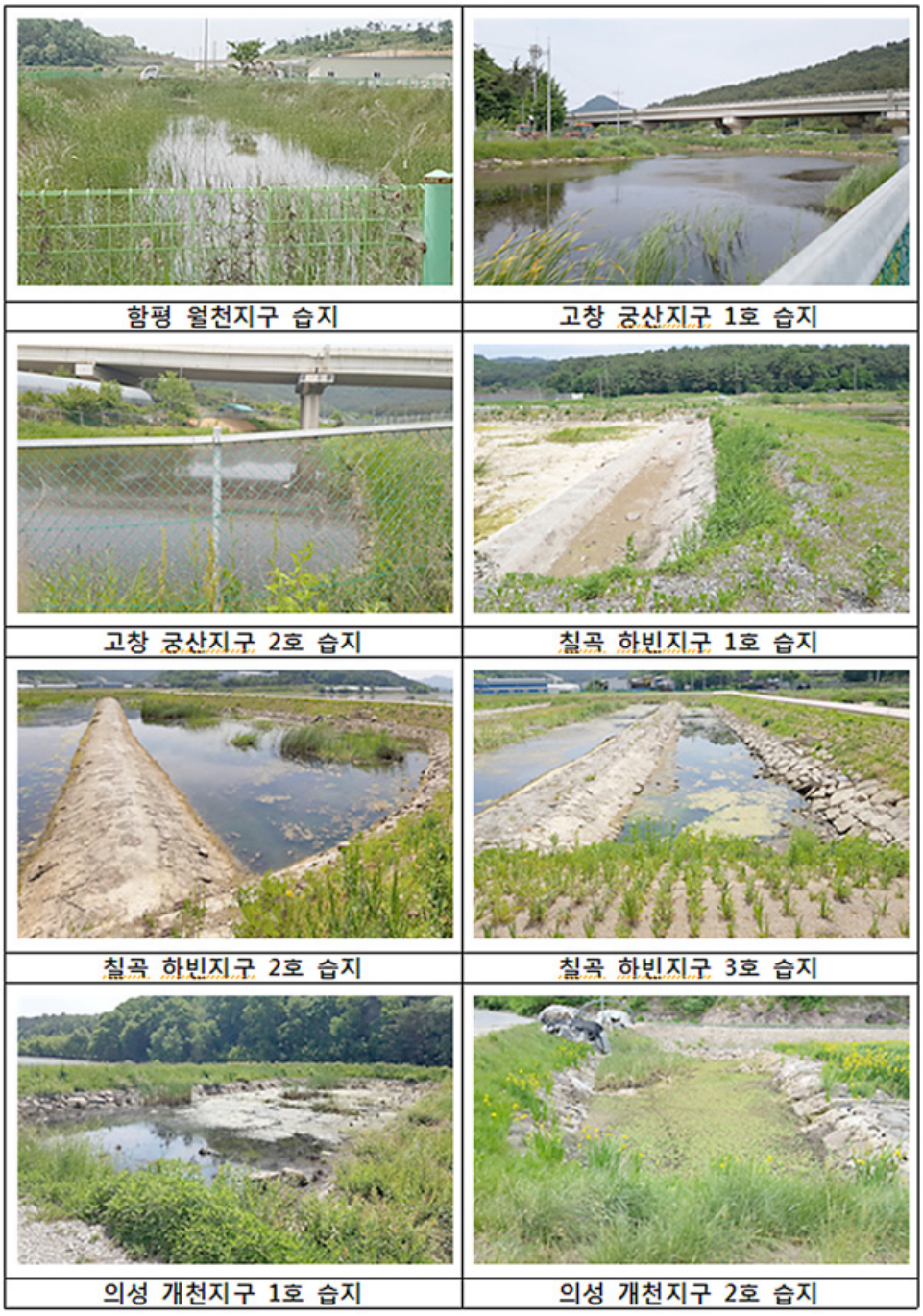
전체 사업지구에서 습지의 말단에 설치된 대부분의 배출연못은 장방형 구조를 갖고 있으며 일부 수리문제로 유수의 흐름이 적절하지 않은 사업지구를 제외하고는 대체로 수심이 깊고 영양소 공급의 감소로 식물체의 성장이 잘 억제되어 있다.

그림 3.20과 그림 3.21에는 대표사례로 홍동지구 1호 습지와 아산 도고지구 2호 습지의 배출연못을 보여주고 있다.

<그림 3.20> 홍성 홍동지구 1호 습지의 배출연못
(최종 습지처리수를 좌우 측부를 통하여 월류 및 침투과정을 통하여 수집하는 구조로 설계)

<그림 3.21> 아산 도고지구의 배출연못 (배출연못의 우측제방에 설치된 연결수로를 통하여 습지처리수가 모이는 구조)

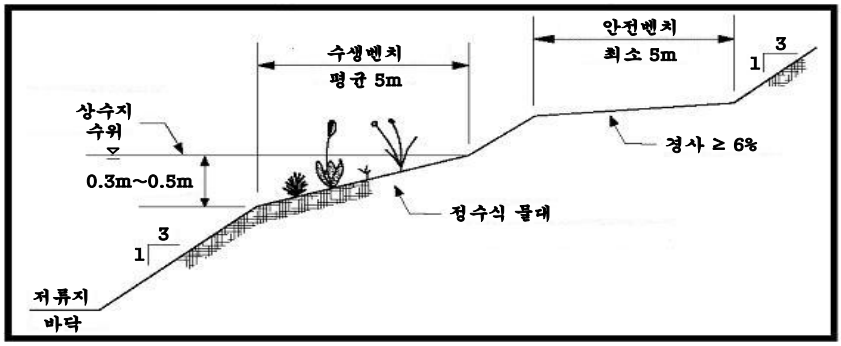
<그림 3.22> 전체 사업지구 배출연못 현황



<그림 3.22> 전체 사업지구 배출연못 현황 (계속)

(13) 제방 및 호안 조성

습지의 구성요소를 나누는 경계는 대부분 유지관리도로의 기반이 되는 제방이나 둑의 형태로 시공된다. 제방과 둑, 법면을 설계할 때 가장 중요한 고려사항은 내구성과 안전문제이다. 안전을 고려하여 수심이 1.2m 이상을 초과할 때에는 펜스나 안전벤치를 설치하도록 권장한다.



<그림 3.23> 제방의 설계기준

제방이나 둑은 석축이나 콘크리트, 토공으로 조성되며 석축은 습지의 내구성 측면에서 가장 훌륭한 시공방법이다. 농업용수 수질개선사업의 원형으로 알려진 무안 감돈지구 습지의 경우 운영 된지 10년 이상의 오랜 시간이 흘렀음에도 초기의 구조를 온전하게 유지하고 있다.

현장조사결과 호안을 구성하는 제방 및 둑은 토공이나 콘크리트 공, 그리고 석공으로 시공되었다. 특히 단순 토공으로 이루어진 제방과 둑은 침식되거나 유실된 부분이 발생하고 있다. 토공과 석공으로 이루어진 제방과 둑도 사업지구 별로 다양한 시공품질을 나타내고 있다 (그림 3.23~25).

<그림 3.24> 습지 제방 및 둑 설치사례 (감돈지구 1호 습지, 2017년)

<그림 3.25> 토공과 석공으로 이루어진 제방

(14) 수리학적 흐름문제

전수조사대상 습지에서 수리학적 흐름문제는 다음과 같은 5가지 유형으로 분류하여 분석하였다.

①취입보 고장: 하천 유수량은 충분한데 취수보의 고장으로 유입-유출발생 없음

②인입수로 막힘: 하천 유수량은 충분하고 취수보는 정상작동 상태인데 인입수로의 막힘으로 유입-유출발생 없음

③가뭄: 취수보는 정상상태인데 하천수량의 부족으로 유입-유출 없음

④습지 수리설계문제: 하천 유수량은 충분하며 취수보는 정상상태에서 습지말단까지 유수흐름이 진행되지 않고 중간에 유출되는 사례

⑤정상: 하천 유량도 충분하고 취수보의 정상가동 상태에서 유입-유출유량 발생되는 사례

표 3.25에는 정상가동 중인 습지를 사업지구 및 습지, 취입보의 형태, 습지면적과 함께 제시하였다. 정상적으로 운영되고 있는 사업지구 및 습지는 유입유량이 상시적으로 일정하게 확보되는 하수처리장 방류수 수질개선목적의 습지와 유역규모가 커서 하천유량이 크고 수두확보가 확실하게 이루어지는 취수보를 갖춘 대형습지로 나타났다.

(표 3.25) 조사대상 습지 중 정상가동 중인 사업지구 및 습지

번호	수질개선지구	습지명	취입보 형식	습지면적(ha)	비고
1	무안 감돈지구	1호 습지	콘크리트 보	2.8	하천수
2	고창 궁산지구	1호 습지	고무 가동보	4.3	하천수
3	의왕 왕송지구	1호 습지	직결	1.3	방류수
4	화성 동방지구	1호 습지	기계식 유압형 가동보	2.0	하천수
5	서산 성암지구	1호 습지	기계식 권상형 가동보	3.0	하천수
6	서산 성암지구	고효율습지	직결	-	방류수
7	아산 도고지구	2호 습지	고무 가동보	4.4	하천수

(표 3.26) 조사대상 습지의 유수흐름 및 정상가동 연황

번호	사업지구	습지명	취입보	하천유량	습지				유출수	비고
					침사지	선단	말단	배출연못		
1	무안 감돈지구	1습지	○	○	○	○	○	○	○	
		2습지	○	×	×	×	×	×	×	
2	함평 월천지구	습지	×	○	저류	×	저류	저류	×	※
3	고창 궁산지구	1습지	○	○	○	○	○	○	○	
		2습지	○	○	○	○	저류	저류	×	a
4	칠곡 하빈지구	1습지	○	○	저류	×	저류	저류	×	
		2습지	○	○	저류	저류	저류	저류	×	
		3습지	○	○	저류	저류	저류	저류	×	
5	의성 개천지구	1습지	○	○	○	저류	×	×	×	
		2습지	×	○	저류	저류	저류	저류	×	
6	의왕 왕송지구	1습지	직결*	○	○	○	○	○	○	
		2습지	○	○	저류	저류	저류	저류	×	
7	화성 동방지구	1습지	○	○	○	○	○	○	○	
		2습지	×	×	저류	저류	저류	저류	×	
8	서산 성암지구	고효율	직결*	-	○	○	○	○	○	
		1습지	○	○	○	○	○	○	○	
		2습지	○	○	저류	×	×	×	×	
9	홍성 홍동지구	1습지	○	○	저류	×	×	저류	×	
		2습지	○	○	저류	×	×	저류	×	
		3습지	○	×	저류	×	저류	-	×	
10	아산 도고지구	1습지	×	×	저류	×	×	×	×	b
		2습지	○	○	○	○	○	○	○	
11	아산 상성지구	1습지	○	×	저류	저류	저류	저류	저류	c
		2습지	○	○	저류	×	×	×	×	d

※ 저수지 배수위 발생
*** 직결: 하수처리장 방류수가 직접유입(취입보 없음)**
a: 습지연못과 배출연못 수두문제로 습지 최종 셀을 통하여 임시 배출수로 및 수문설치
b: 고무 가동보 고장
c: 인입수로 폐색
d: 인입수로 폐색

(15) 유량측정 구조물

(가) 현황

습지에서 유량측정은 오염물질의 유입 부하량 및 삭감 부하량의 산출이나 설계요소의 검토 및 습지 물수지에서 중요한 증발산량 및 침투량을 산출하는데 반드시 필요하다.

전체사업지구 현장 조사결과 유입유량 및 유출유량을 측정할 수 있는 구조물을 갖추고 있는 습지는 단 1개소도 없다. 사업지구 중 유일하게 인입수로를 암거가 아닌 지상에 노출된 개수로의 형태로 설치한 서산 성암지구 1호 습지와 인입수로에 점검맨홀을 설치한 아산 도고 1호 습지에서 하천에서 유입되는 유량의 측정이 가능한 실정이다.

물론 암거에 비만관식 자기식 유량계를 설치할 수도 있으나 과거 국내 경험에 따르면 설치비용 및 유지관리 문제 때문에 쉽지 않다.

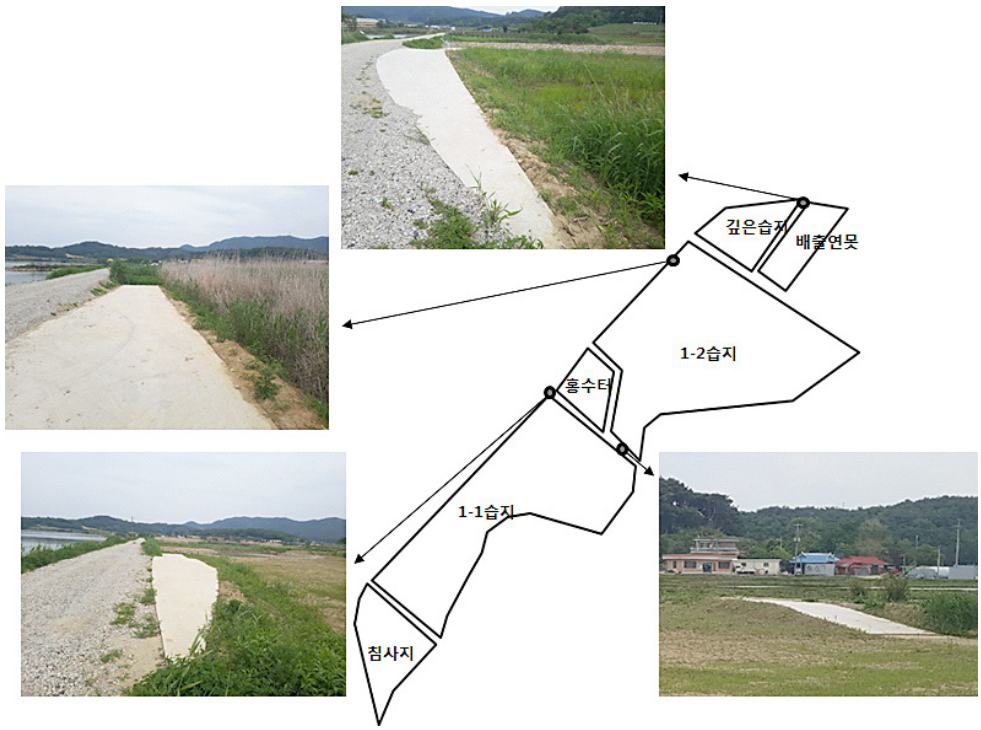
<그림 3.26> 유량관측 및 유입시료 채취가 불가능한 구조로 시공된 유입구

(16) 유지관리 시설

조사대상 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 홍동지구 1호 습지 이외에는 전무한 실정이다.

홍동지구 1호 습지에는 그림 3.27에 나타난 것처럼 노폭 약 4m의 콘크리트 포장 접근로가 습지 주요지점에 설치되어 있다.



<그림 3.27> 장비 진입로가 조성된 우수사례지구(홍성 홍동지구)

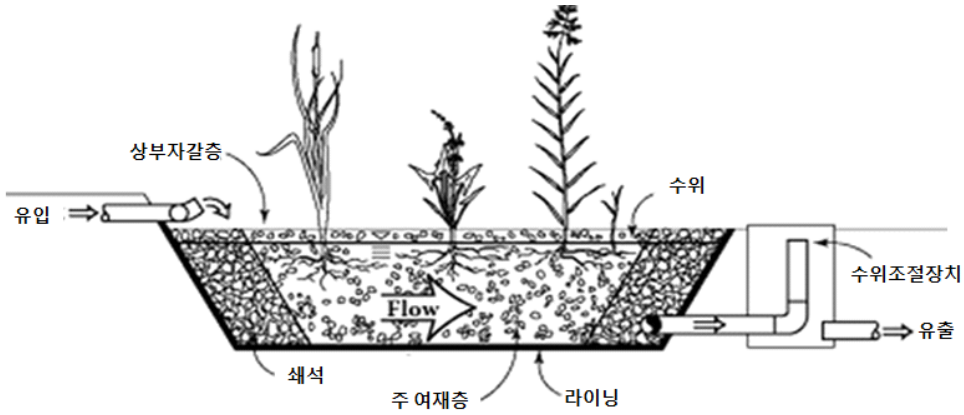
나. 지하흐름습지 (고효율 습지)

(1) 개요

(가) 정의

지하흐름습지(subsurface flow wetland)는 원지반을 굴착하고 여기에 입자가 큰 모래 또는 자갈 등의 여재를 채운 습지를 말한다. 수위는 여재층 상단보다 낮게 유지하며, 식물은 여재 사이로 뿌리를 뻗으며 자라는 형태가 된다. 지하 흐름형 습지는 수평흐름습지와 수직흐름습지로 분류된다.

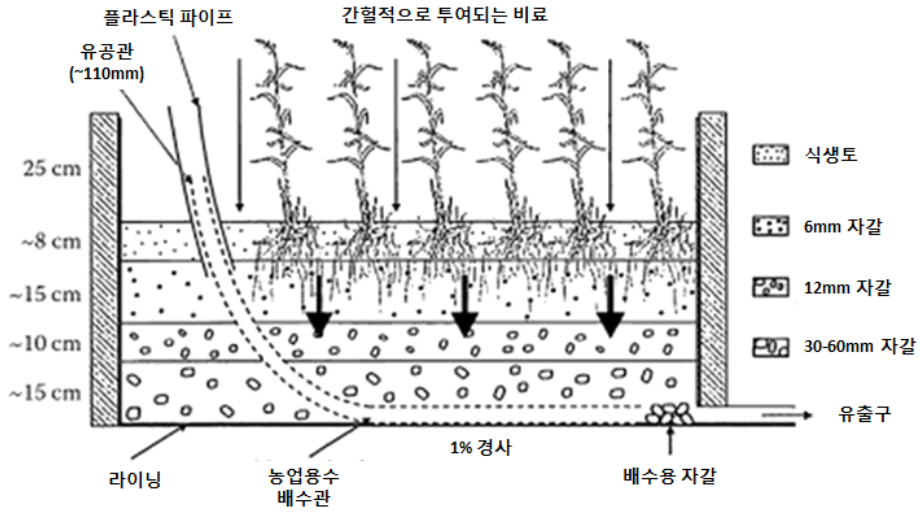
수평흐름형 습지(horizontal subsurface flow wetland)에 도입된 물은 지하에서 수평방향으로 연속적으로 포화흐름의 형태로 이동하게 되는데 이때 오염물질이 여재와 식물의 뿌리와 접촉이 일어나면서 처리가 이루어지고, 오염물질과 각 접촉면에서는 생물학적 증식(생물막, biofilm)이 발생하게 된다. 부지여건에 관계없이 다양한 형태의 설계가 가능한 장점이 있다.



<그림 3.28> 수평흐름형 습지의 모식도

수직흐름습지(vertical flow wetland)로 도입된 유입수는 균일하게 여재층을 통하여 상부(up-flow), 또는 하부방향(down-flow)으로 흐른다. 수리학적으로 다양한 조건으로 운전이 가능하나 보통 폐수를 처리할 때에는 간헐적 또는 충격부하의 형태로 운영된다. 물이 습지내부에 부분적으로 채워지는 경우(불포화 흐름)가 있는데 이때에는 자연통풍원리에 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.



<그림 3.29> 일반적인 수직흐름 습지의 단면도

(나) 적용

지하흐름습지는 일부 고농도 오수처리시 폐색현상을 경험하였기 때문에 개별 생활 하수처리시설의 유출수를 처리하는 경우에 주로 적용한다.

농업용수 수질개선사업에의 적용은 지표흐름습지와 연계하여 적용할 때 질산화, 탈질 등 질소의 처리에 용이하고, 비교적 저농도 유입수로 폐색의 염려가 적은 장점을 가진다.

하수처리시설 방류수가 유입될 경우에도 상당 수준 질산화가 이루어진 상태이지만 난분해성 유기화합물의 추가 처리를 위해 수직흐름 또는 수평흐름 습지의 적용이 가능하다.

(2) 농업용수 수질개선 사업지구에 적용된 지하흐름습지

전수조사대상 사업지구 습지 중 지하흐름습지는 3개 사업지구 3개소의 습지에서 운영되고 있다. 서산 2호 습지에 설치된 지하흐름습지는 서산시 소규모 하수처리장 방류수의 수질개선을 위한 목적으로 설치되었으며 홍동 3호 습지에서 지표흐름습지와 연계한 지하흐름습지는 축산지역 강우 유출수 처리

를 목적으로 설치되었다. 한편 도고 사업지구 1호 습지에 설치된 지하흐름습지는 지표흐름습지 유출수를 최종적으로 개선시키기 위한 용도로 설치된 습지이다.

(표 3.27) 사업지구별 지하흐름 습지 요약

	서산 성암지구	홍성 홍동지구	아산 도고지구
설치목적	하수처리장 방류수 수질개선	축산폐수 유입 하천수 수질개선	습지처리수 수질개선
구조	철근 콘크리트 탱크	철근 콘크리트 탱크	철근콘크리트 탱크
유출입구조	병렬연결	2열 오리피스	월류웨어
식생	노란꽃 창포	미나리	노란꽃 창포
여재		자갈	자갈

다. 침강지

(1) 구조적 요소

침강지의 구성요소는 그림 3.30에 나타난 것처럼 사석부댐, 저수지 배출수문, 우회배출수로, 호안보강을 위한 석축, 그리고 유입부에 설치되는 협잡물 제거를 위한 통 스크린, 침강지 내부 경관 및 영양소 흡수제거 목적의 식물섬과 부댐 내부에 설치되는 물순환 장치 등이다.

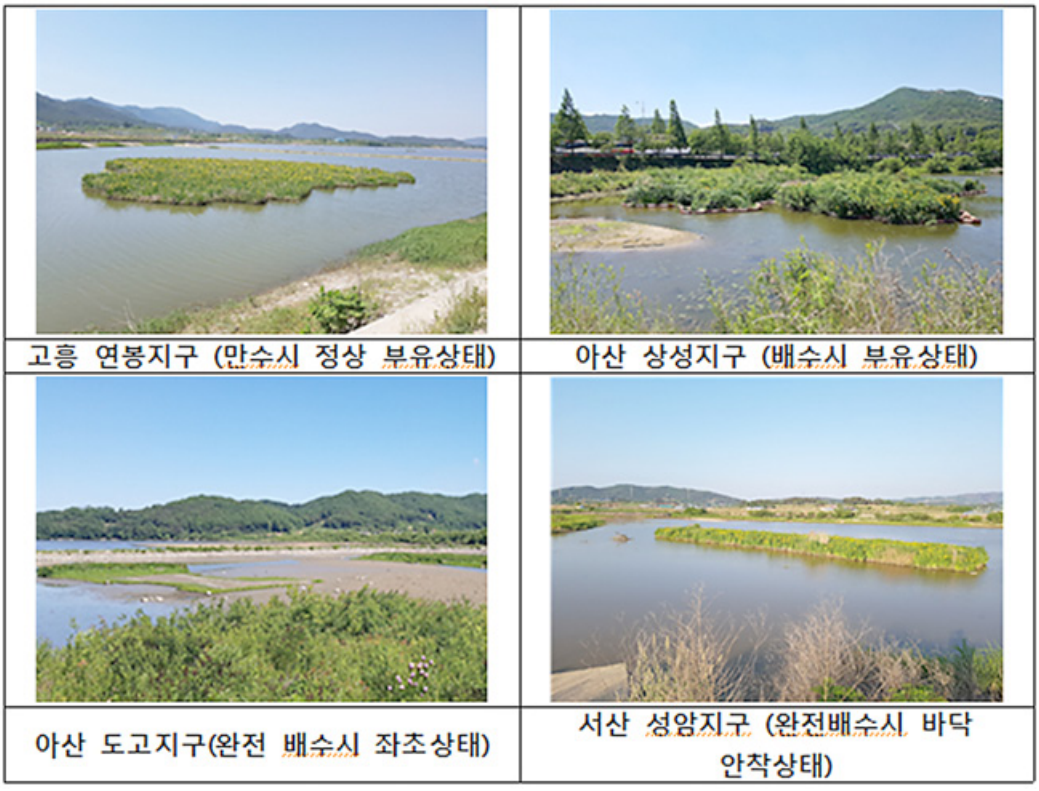
침강지 부댐의 사석 기단부 및 측면은 어류의 중요한 서식처 및 산란처를 제공한다. 이와 반면에 침강지 사석댐은 저수지 본류와 침강지 정체수 사이의 생태적 통로를 단절하는 구조물로 지적받고 있다. 따라서 저수지 수체와 침강지 사이에 어류 이동이 가능하도록 어도 설치를 고려하기도 한다.

<그림 3.30> 침강지 부댐의 구성요소

그림 3.31에는 사업지구에서 침강지 수위조건에 따른 식물섬의 상태를 나타내었다. 한편 침강지에 부유 상태로 설치되는 식물섬은 침강지 수위 변동에 따라 유연하게 상하 수직이동이 가능해야 한다. 그러나 가뭄시기 또는

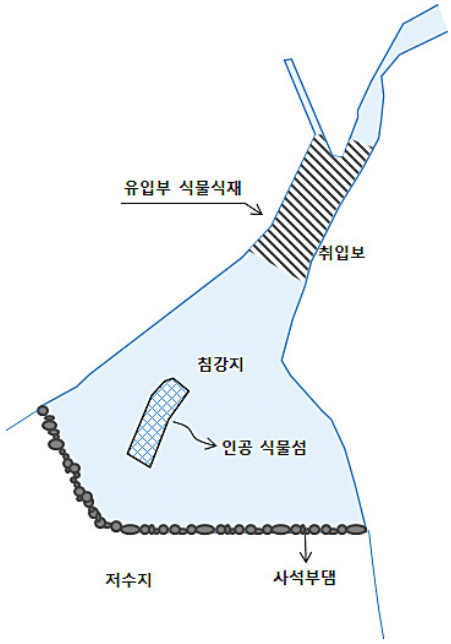
관개기에 침강지 수위가 낮아졌을 경우 퇴적면상에 가라앉은 식물체가 바닥 토양에 뿌리를 내려서 이후 침강지의 수위가 올라가더라도 부상되지 않은 사례가 보고되고 있다. 따라서 침강지에 식물섬을 설치할 경우 갈수기에도 식물체의 뿌리가 침강지 바닥에 활착되지 못하도록 하는 방안이 설계에 반영되어야 한다.

강우기를 제외한 평수기, 갈수기 저수지 수온이 증가할 때 비교적 오염농도가 높은 침강지 유입부를 중심으로 조류가 집중적으로 발생하여 문제가 되고 있다. 이는 침강지의 오염물질 침강기능에 따라 오염물질농도의 집적도가 높기 때문에 나타나는 현상으로 침강지 유입부에서 침강된 오염물질의 저감 방안 및 조류증식 억제방안이 추가적으로 필요하다.



<그림 3.31> 침강지에서 수위조건에 따른 식물섬의 상태

조류억제를 위한 접근방법은 그림 3.32에 나타난 바와 같이 식물체의 식재를 통해 햇빛을 차단하거나, 추가적으로 천적생물 등을 이용한 포식제거하거나, 집적된 조류를 수거하여 자원적으로 활용하는 방안 등을 들 수 있다.



<그림 3.32> 침강지 유입부의 조류번식 억제방안

• 사석 쌓기 시공

(감돈지구 1호 침강지)

(도고지구 2호 침강지)

(개천지구)

• 흙 쌓기 시공

(도고지구 1호 침강지)

홍동지구 2호 침강지

<그림 3.33> 침강지 호안 시공현황

그림 3.33에는 전수조사 대상 침강지 호안시공의 대표사례를 나타내었다. 대부분의 침강지 호안은 사석쌓기 공법으로 시공되어 있으며 일부 침강지의 경우에는 흙쌓기 및 침강지 시공 이전 상태의 자연적인 호안상태를 유지하고 있다. 사석쌓기로 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. 침식이나 붕괴가 발생될 경우 호안을 따라 형성된 경작지 농민들의 민원을 초래할 수 있다.

현재 조사설계 매뉴얼에는 호안시공을 규정하고 있는 항목은 없다. 따라서 침강지 호안조성을 위한 시공방법 및 규격, 품질에 대한 조항의 제시가 필요하다고 판단된다.

제2절 기존 매뉴얼의 개선방안 및 추가 도입요소

1. 사업시행 절차의 개선방안

가. 사업지구내 수질개선대책 수립

농림축산식품부의 '농업용 호소 수질관리지침(2011.9.1. 시행)'의 제6조(오염원 파악)에서는 '수질오염이 심각하여 조속한 수질개선대책이 필요한 호소'나 '도시 개발 및 토지이용 변화에 따른 급격한 오염 부하가 예상되어 수질유지가 필요한 호소' 또는 '기타 일정한 수질을 유지하거나 개선하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있다고 인정되는 호소'에 대해서 시설관리자와 시장·군수는 중점관리시설로 지정된 농업용 호소의 효율적인 수질관리를 위하여 상류지역에 대한 오염원 현황을 파악하도록 명시하고 있다.

또한 시설관리자와 시장·군수는 환경부가 실시하는 전국 오염원조사 자료를 기초로 5년마다 농업용 호소의 상류유역 오염원현황 등을 파악하고, 필요한 경우 현장조사 등을 거쳐 오염원 자료를 제10조에 의한 농업용 호소 수질관리협의회에 보고하도록 명시 하였다.

농림축산식품부의 '농업용 호소 수질관리지침(2011.9.1. 시행)'의 제8조(수질개선대책수립 등)에서는 농업용 호소의 수질을 「환경정책기본법」 시행령 제2조에 의한 호소의 생활환경기준 중 "약간나쁨" 등급 이내로 관리하도록 대책수립을 요구하고 있다.

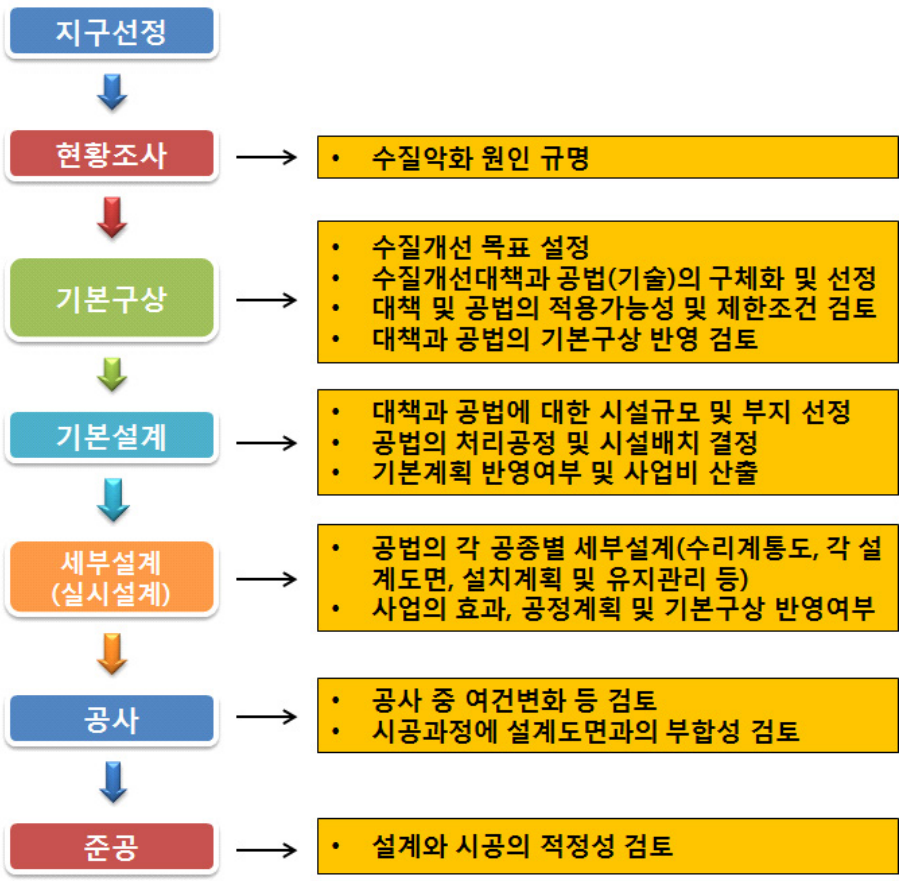
수질개선지구 지정 이후 수질개선대책과 공법의 설계과정 및 각 단계별 검토사항은 아래와 같다.

기존에 수행된 기본계획 및 실시설계 보고서와 현장조사 결과를 토대로 평가한 결과 전 과정에 대한 전문가의 참여를 통한 검토가 미흡하여 시공 후 운영시 다양한 문제를 나타내었다. 그러므로, 수질개선지구의 수질개선대책 수립 과정의 기본구상 단계부터 기본계획, 기본설계, 세부설계 및 시공과 준공 단계의 전 과정에서 검토위원회의 검토를 통해 적절성 및 타당성 검토가 필요하다.

표 3.28, 표 3.29, 그림 3.34에 수질개선사업 대책수립 및 공법설계 전체 과정에서 이루어져야 할 검토사항과 내용, 문제점 등을 제시하였다.

(표 3.28) 수질개선지구로 선정된 사업지구에서의 수질개선대책

항목		내용
기초조사		- 사업구역, 총 저수량, 유역면적, 총사업비 - 상류 오염원 현황 및 현황 조사 - 수질현황 및 예측
수질개선대책	상류대책	하수/폐수 처리시설: 하수종말처리장, 마을하수도, 폐수처리시설 등 분뇨처리시설 비점오염원(농업/도시 등)
	호내대책	수질개선 기술: 인공습지, 침강지 등 수질개선 대책 각종 녹조 관리대책



<그림 3.34> 수질개선대책과 공법의 설계과정 및 각 단계별 검토사항

(표 3.29) 기존 기본계획 및 실시설계 과정에서 나타나는 문제점

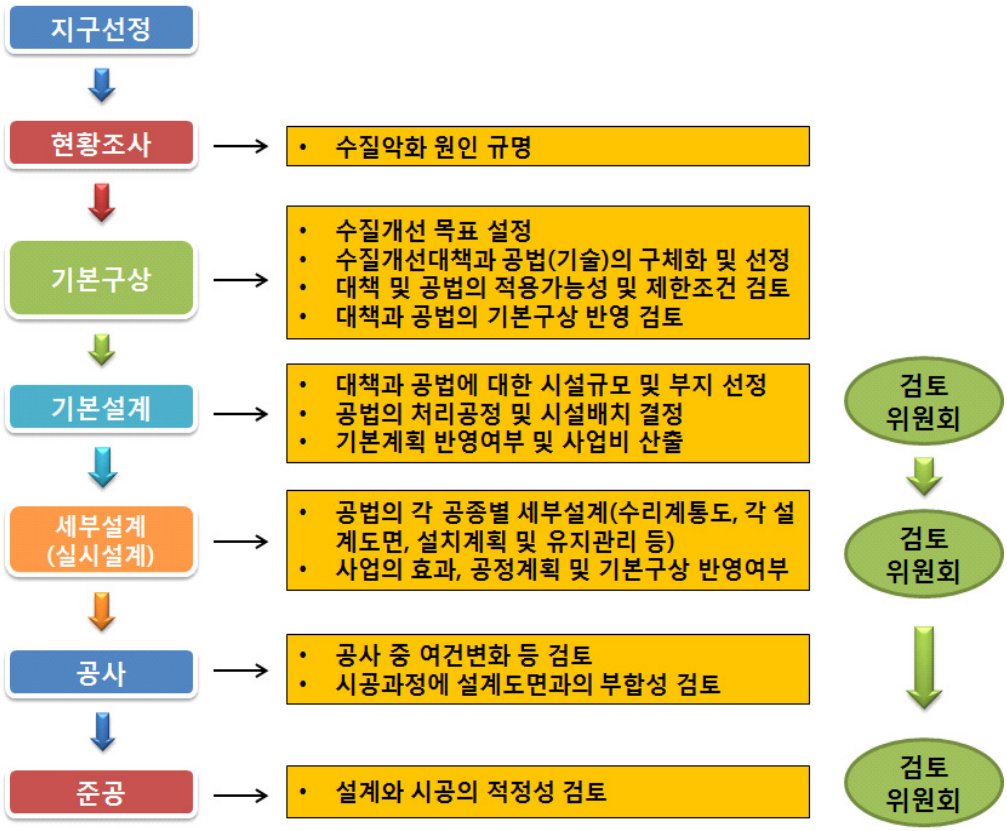
단계	미흡 사항
기본구상	▪ 대책과 공법의 선정요건 미흡
기본계획	▪ 공법선정에 대한 기본구상과의 부합성 검토 미흡 ▪ 공법위치와 시설배치에 대한 기본구상과의 부합성 검토 미흡
상세설계	▪ 공종별 세부설계에 기본구상 반영 미흡
준공시	▪ 설계와 시공의 적절성 검토과정 미흡
운영시	▪ 상세설계 과정에서 도출된 관리방안의 적절 시행 미흡

나. 수질개선사업 기본계획 내용 점검 및 개선방안

수질개선사업지구의 기본계획은 저수지의 수환경현황과 유역현황을 종합적으로 고려하여 수질개선을 위한 사업목표를 정하고 기본구상을 정립하며, 수질개선을 위한 사업의 타당성을 검토하고 수질개선공법을 선정하고, 시설 규모와 부지를 선정하여 기본설계에 대한 사업효과를 도출한다. 기본계획 단계에서는 아래와 같은 항목의 고려가 필요하다.

- 목표 및 기본구상: 사업의 목표, 기본구상 및 목표수질 설정
- 수질개선 계획: 유량과 부하량 산정, 사업타당성 평가, 수질개선공법 선정, 수질예측 및 평가, 기본계획 수립
- 기본설계: 시설규모 및 부지선정, 시설배치, 전처리 및 본처리 시설의 기본설계, 사업비 산출 및 효과

기본계획 중에서 기본구상은 사업의 타당성 확립과 수질개선 공법 및 부지 선정 요건에 중요한 큰 방향을 설정하는 중요한 과정이다. 지금까지 수행한 수질개선사업의 기본계획, 실시설계 및 현장조사 결과에서는 수질개선 공법 선정과 부지선정 및 시설배치 과정에서 수리수문 및 수질 등의 다양한 문제점이 나타나는 것으로 평가되었다. 따라서 향후 기본계획의 기본구상은 다음의 항목을 고려하여 설정하는 것이 필요하였다.

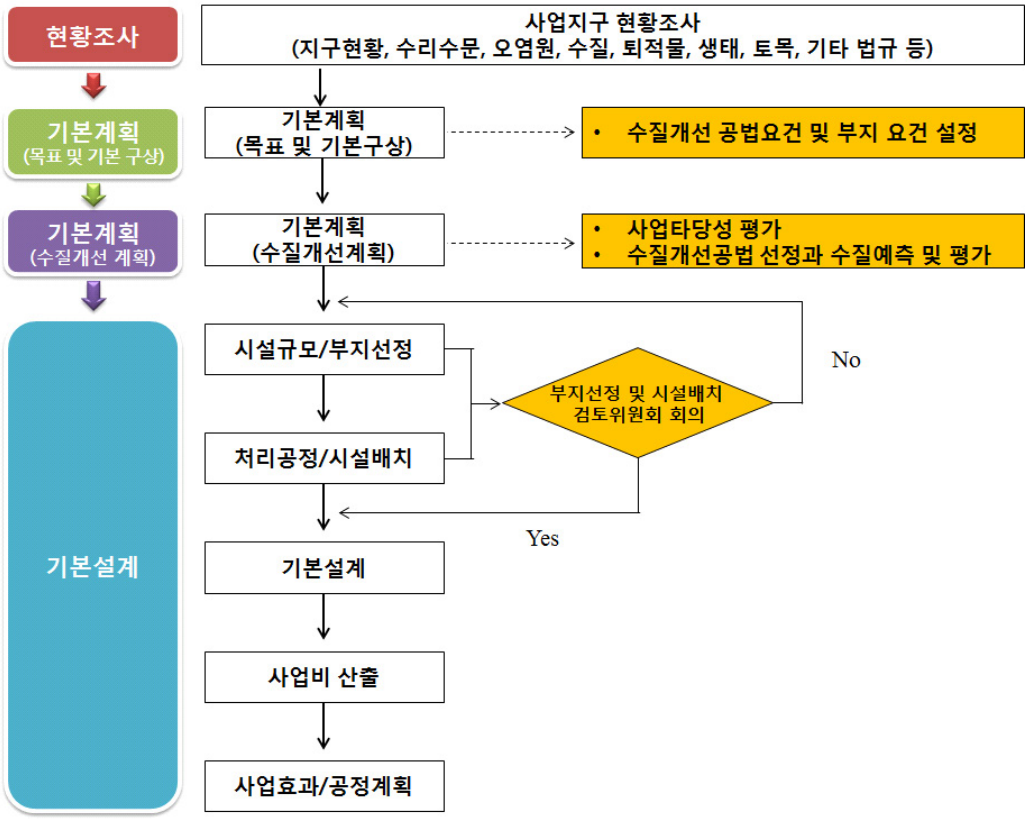


<그림 3.35> 수질개선사업 기본계획 내용 점검 및 개선방안

- 토사 및 유입 폐기물의 전처리를 위한 시설이 구비가 필요
- 생태친화적 수질개선 공법의 도입
- 시설내부의 체류시간을 최대한 늘릴수 있는 유로 연장 확보
- 저에너지/고효율 수질개선공법 적용
- 건기시/강우시 적용가능한 시설
- 복합적 효과(수질개선, 생태관광, 생물서식처, 환경교육, 홍수저감 등)를 가지면서 유지관리가 용이한 기법
- 식생도입시 도입종보다는 자생종을 우선적으로 선정
- 자연유하를 통한 처리가 가능한 공법을 우선적으로 고려하고 저수지 여건상 불가능할 경우 인위적 취수를 병행하는 방안을 적용
- 유지관리에 지역주민의 참여가 가능한 시설

사업의 목표와 기본구상이 결정된 이후에는 수질개선을 위한 기본계획 수립이 필요하며, 이 과정에서는 사업의 타당성에 대한 평가와 수질개선공법의 선정 및 수질예측과 평가가 수행되어야 한다.

그동안 진행된 수질개선사업지구의 기본계획 보고서, 실시설계 보고서 및 현장조사를 수행한 결과를 토대로 시설의 설계와 시공 및 운영을 종합적으로 검토한 결과 시설의 부지선정과 시설배치 과정에 전문가의 의견이 미흡하게 반영된 것으로 나타났으며, 이는 부지선정과 시설배치 과정에서 낮은 수처리 효율, 유지관리 어려움 등의 문제 야기로 연결되는 것으로 평가된다.



〈그림 3.36〉 수질개선사업 기본계획 및 기본설계(안)

(표 3.30) 기본계획시 부지선정 및 시설배치 단계에서의 검토위원회 체크리스트(안)

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 ▪ 토지매입이 용이하고 시설에 대한 주민의 민원제기가 낮은 지점 ▪ 유지관리에 지역주민의 참여가 가능한 지점
시설배치	시설배치에 기본구상 반영여부	▪ 토사 및 유입 폐기물의 전처리를 위한 시설이 구비 ▪ 시설내부의 체류시간을 최대한 늘릴수 있는 유로 연장 확보 ▪ 비용효율적 운영 및 높은 처리효율을 위한 자연유하가 가능하도록 시설배치
공법선정	공법선정에 기본구상 반영여부	▪ 생태친화적 수질개선 공법의 도입 ▪ 자연유하를 통한 처리가 가능한 공법 선정 ▪ 저에너지/고효율 수질개선공법 적용 ▪ 건기시/강우시 적용가능한 시설 ▪ 복합적 효과(수질개선, 생태관광, 생물서식처, 환경교육, 홍수저감 등)를 가지면서 유지관리가 용이한 기법

다. 수질개선사업 실시설계 절차 개선

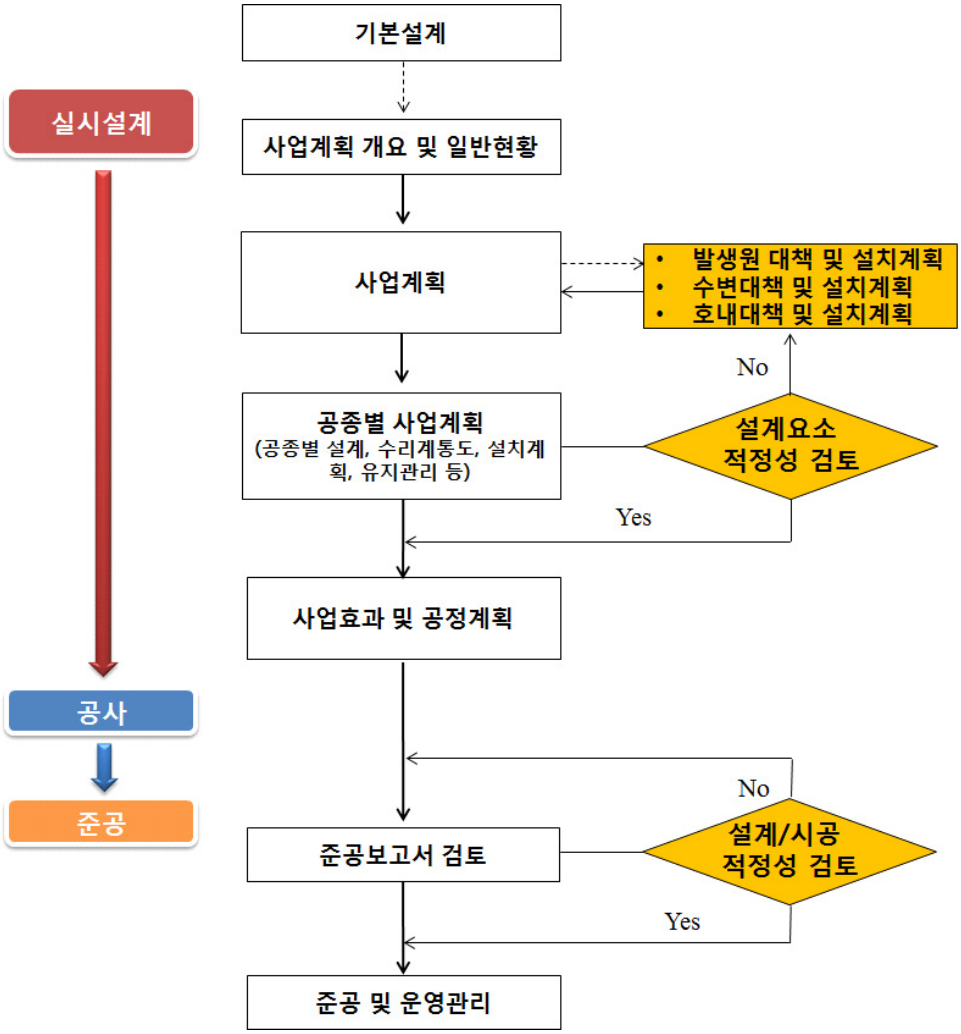
실시설계는 사업지구의 기상, 수질, 오염원, 유역현황, 저수지 등의 현황 및 실측 자료를 활용하여 수질목표 달성을 위한 수질개선사업의 세부설계를 수행하는 단계이며, 사업계획(발생원 대책, 수변대책과 호내대책 및 설치계획)과 공종별 사업계획(공종별 설계, 수리계통도, 설치계획 및 유지관리 등)이 포함된다.

일반적으로 기본설계가 잘 수행 되었다 하더라도 세부설계 단계의 공종별 사업계획 설계요소의 적정성 검토가 수행되지 않을 시 비용효율적으로 수행되지 못할 가능성이 크므로 사업계획 단계에서 공종별 설계, 수리계통도, 설치계획 및 유지관리 등에 대한 전반적 설계요소 검토가 수행되어야 한다.

이러한 설계요소의 적정요소를 검토한 이후 후속공정인 사업효과 및 공정계획으로 사업이 진행되어야 한다.

그러나 공종별 사업계획 단계에서 설계요소가 적절하게 반영되지 못하면, 사업계획의 발생원, 수변대책 및 호내 대책과 설치계획의 재수정 과정을 거쳐야 한다.

기본구상, 기본계획, 실시설계를 통한 공법선정, 부지선정 및 공종별 설계가 잘 수행되었다 하더라도 시공과정에서 설계결과가 제대로 반영되지 못하면 운영관리시에 낮은 효율과 문제점을 나타낼 수 있다. 따라서 준공보고서 검토를 토대로 설계와 시공의 적정성 검토과정이 필요하다.

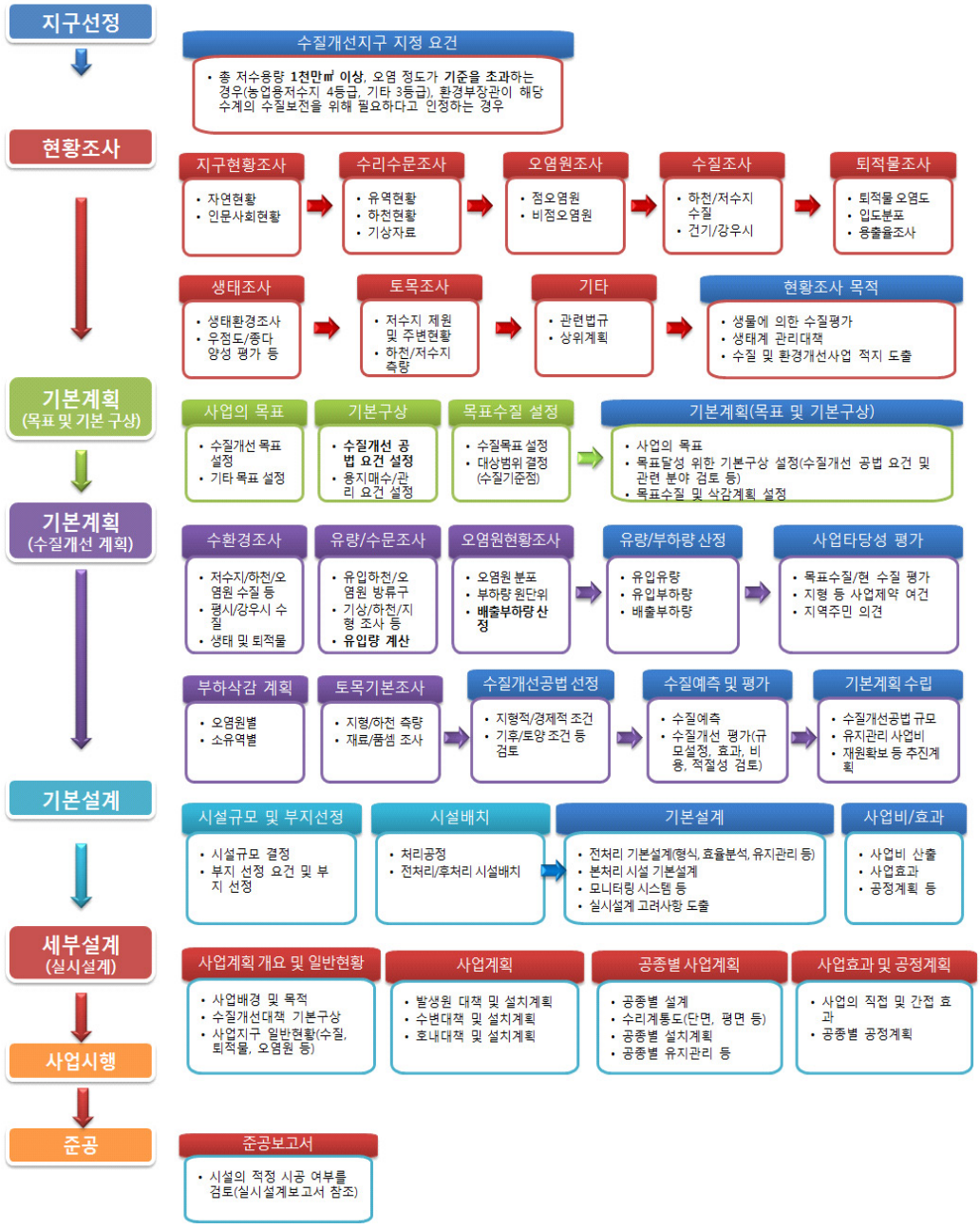


<그림 3.37> 실시설계 절차 개선(안)

(표 3.31) 실시설계 과정상의 설계요소 체크리스트(안)

항목	세부항목	점검사항
사업계획	발생원대책	▪ 발생원대책의 적정성
	수변대책	▪ 수변대책의 적정성
	호내대책	▪ 호내대책의 적정성
공종별 계획	취입방식	▪ 취입보 형태 및 선정의 적절성 ▪양수취입방식의 도입 필요성
	어도	▪ 어도의 종류 및 적절한 어도 선정 여부 ▪ 어도 설계의 적절성(유속, 경사 등)
	유입 협잡물	▪ 유입협잡물 관리위한 스크린 설계의 적절성
	인입수로	▪ 인입수로 형식 및 수로길이의 적절성(수두확보에 적합한 형식의 취입보를 선정하고 인입수로를 단축하고 가능한 U자 형태 수로 적절)
	침사지	▪ 침사지의 비용-효율적 기하학적 형태(유입오염물질의 종류에 따른 기하학적 형태 선정) ▪ 유입부 토양침식관리를 위한 에너지 소산시설의 유무
	인공습지	▪ 유입유량의 안정적 확보 ▪ 체류시간 및 계획수심의 적절성 ▪ 습지의 비용효율적 기하학적 형태(장폭비는 2:1~4:1을 기준으로 하며 수평흐름을 최대한 유지하고 단회로를 방지) ▪ 습지 개별 셀의 연결방법(깊은습지 및 얕은 습지의 반복적 배치) ▪ 습지의 셀간 분할의 적절성(수류의 균일한 이동을 유도하고 적정 습지 셀수 확보) ▪ 복수계열의 습지설계(운영과 유지보수의 용이성을 위하여 복수계열 설계 타당) ▪ 습지 셀간 연결수로의 형태의 적절성(다양한 연결수로 유형별 장단점 분석 후 선택) ▪ 습지수위 조절 구조물 선정의 적절성(지별 수위조절장치 및 침수방지위한 by pass 수문 필요) ▪ 개방수역의 확보의 적절성(내부생산을 위한 산소 및 탄소 공급원으로서의 개방수역 필요) ▪ 배출연못의 설치현황 ▪ 유량측정 구조물의 설계반영 여부(유량측정의 용의성 확보) ▪ 습지의 수리학적 흐름의 적절성(수리계통도 검토) ▪ 식생도입시 도입종보다는 자생종을 우선적으로 선정 ▪ 다양한 습지식물 선정 및 반영여부 ▪ 습지내 유입수류의 균일한 분배 ▪ 장비 접근시설 및 탐방객 주차시설의 적절성 ▪ 제방 및 호안 조성의 적절성 ▪ 유지관리 기준정립 및 용이성 확보
	침강지	▪ 침강지 구성요소의 적절성 ▪협잡물 제거 통스크린 반영 여부 ▪ 물순환장치의 적절성 ▪제방석축의 적절성 ▪ 인공식물섬의 비용효율성(면적, 관리의 용이성 등) ▪ 사석부댐의 적정 설계 ▪ 저수지 배출수문과 우회배출용 수문의 적절성 ▪ 조류관리 대책의 반영 및 효율성 검토
	지하흐름형 인공습지	▪ 유입분배수로의 적절성 ▪내부폐색 저감위한 토사관리 방안 ▪ 습지의 수리학적 흐름의 적절성 ▪ 식생도입시 도입종보다는 자생종을 우선적으로 선정 ▪ 습지내 유입수류의 균일한 분배 ▪ 제방 및 호안 조성의 적절성 ▪적정 식물관리 방안
	식물섬	▪ 식물섬 형태 및 기능의 적절성 ▪설치방식 및 설치위치의 타당성 ▪ 효과예측의 타당성 ▪식재종 선정의 타당성 ▪ 유지관리 용이성 및 계획의 타당성
	퇴적물 준설	▪ 퇴적물 산정의 합리성 ▪퇴적물 준설계획의 타당성 ▪ 퇴적물 준설방법의 적절성 ▪준설 퇴적물의 처리방안

준공보고서 검토시 설계와 시공의 적정성 검토는 실시설계에서의 설계 요소 적정성 검토와 같은 방식으로 진행하며, 현장실사를 통해 수행하여야 한다.



<그림 3.38> 수질개선사업지구의 수질개선사업의 종합적 시행절차

2. 공법별 설계 요소 문제점과 개선방안

가. 인공습지

(1) 침사지

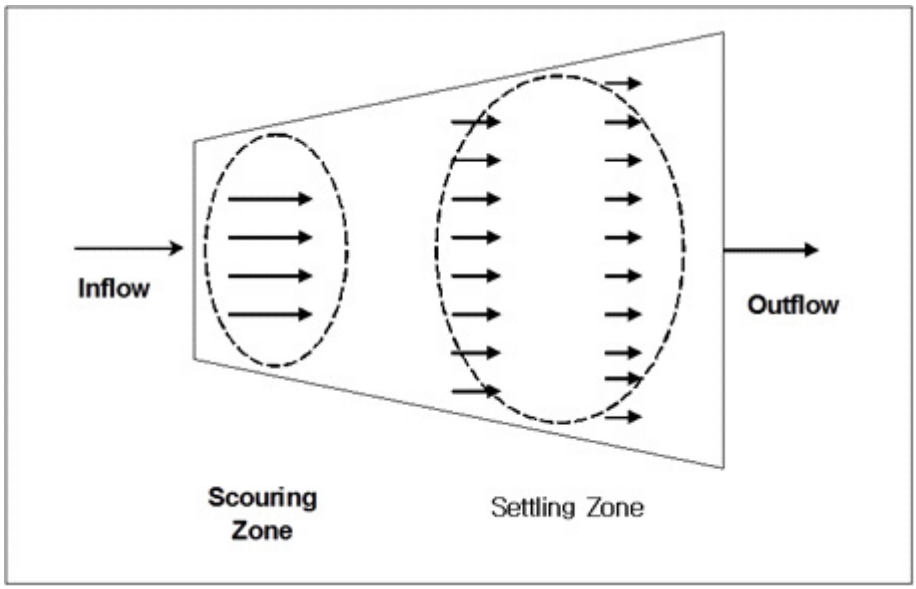
(가) 침사지의 용량산출 및 설계제안

현재 농업용수 조사/설계 매뉴얼에는 침사지 형식이나 용량결정에 대한 언급은 없다. 환경부에서 제시하고 있는 기준에 따르면 “인공습지 침강지는 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 “침강지의 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 유역경사도 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 침강지와 일반 하수처리장이나 정수장 침전지와의 가장 큰 차이점은 유량변동이다. 인공습지의 경우 유입유량이 강우여부 및 강우조건에 따라 엄청난 차이를 보이므로 일반적인 침전지 설계방식을 따르면 큰 오류를 범할 수 있다.

인공습지와 같이 유량변동이 심한 침장지에서는 세굴에 대비하여 그림 3.39와 같이 장방형이 아닌 쐐기형태(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 3.39> 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.

(2) 습지의 면적

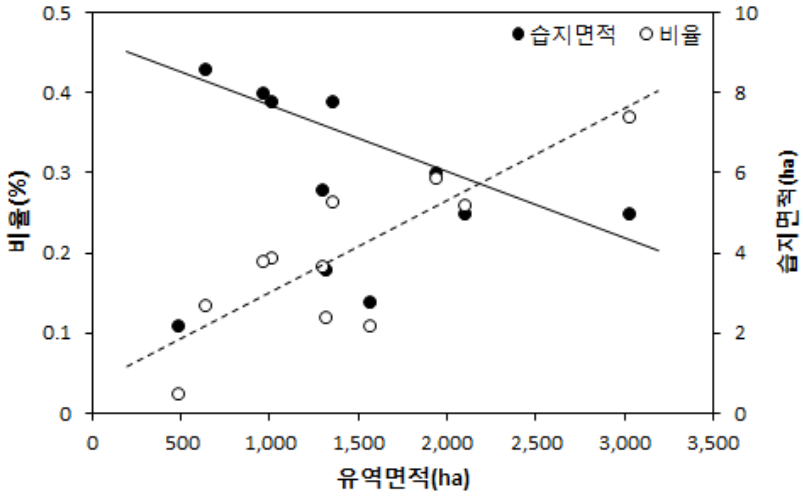
(가) 설계제안

몇몇 지구를 제외하면 대체로 유역면적이 증가할수록 비율이 감소하였고 습지의 규모는 증가하는 경향을 보이고 있다(그림 3.40). 이와 같은 결과는 유역면적이 클수록 어느 정도 습지면적도 커졌지만 면적비율은 오히려 감소하였다는 의미이다.

현행 조사-설계 매뉴얼에서 규정하고 있는 1 % 이내에서 습지면적을 산출하도록 제안하고 있는 규정은 아무리 면적비율이 (습지규모가) 작더라도 1 % 이내의 기준을 만족하므로 설계인자로서 크게 의미가 없다.

따라서 최소면적비율을 포함하는 기준으로 수정 보완되어야 하며 보완

책은 그림 3.40에 나타난 것처럼 기존 사업지구의 유역면적 대비 습지면적과 비율을 참조하여 최소비율을 0.3 %로 규정하는 방안을 제안한다. 또한 수정안은 “습지면적은 국내여건을 고려하여 유역면적의 0.3~1.0% 이내에서 습지면적을 산출한다.”가 적당하다.



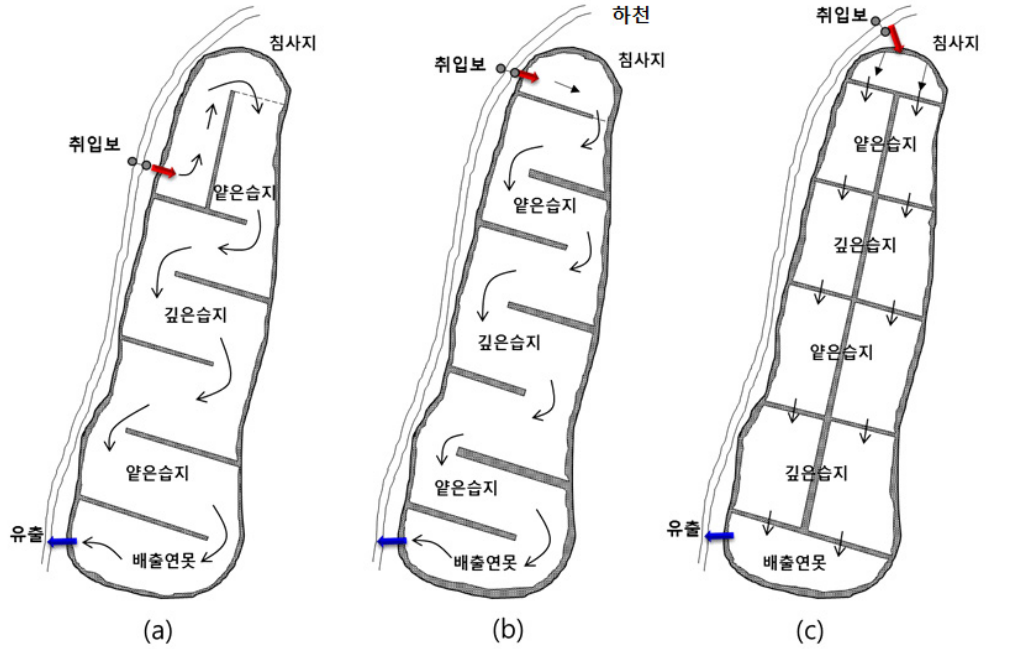
<그림 3.40> 유역면적 대비 습지비율 및 습지면적

(3) 습지의 형상 및 배치

(가) 설계제안

그림 3.41에 나타난 것처럼 취입지점의 위치는 습지의 전체적인 배열 및 배치를 결정한다고 해도 과언이 아니다. 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 결정하여야 한다.

또한 취입지점은 설치하고자 하는 취입보의 형태, 확보하고자 하는 수두 및 부지의 형상, 습지의 배열/배치 등을 함께 고려하여 결정한다. 취입지점은 기본계획 단계에서 결정하여 유역 수문수질모델링 작업에 반영하고 세부설계 단계에서 습지설계에 반영되도록 계획한다.



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

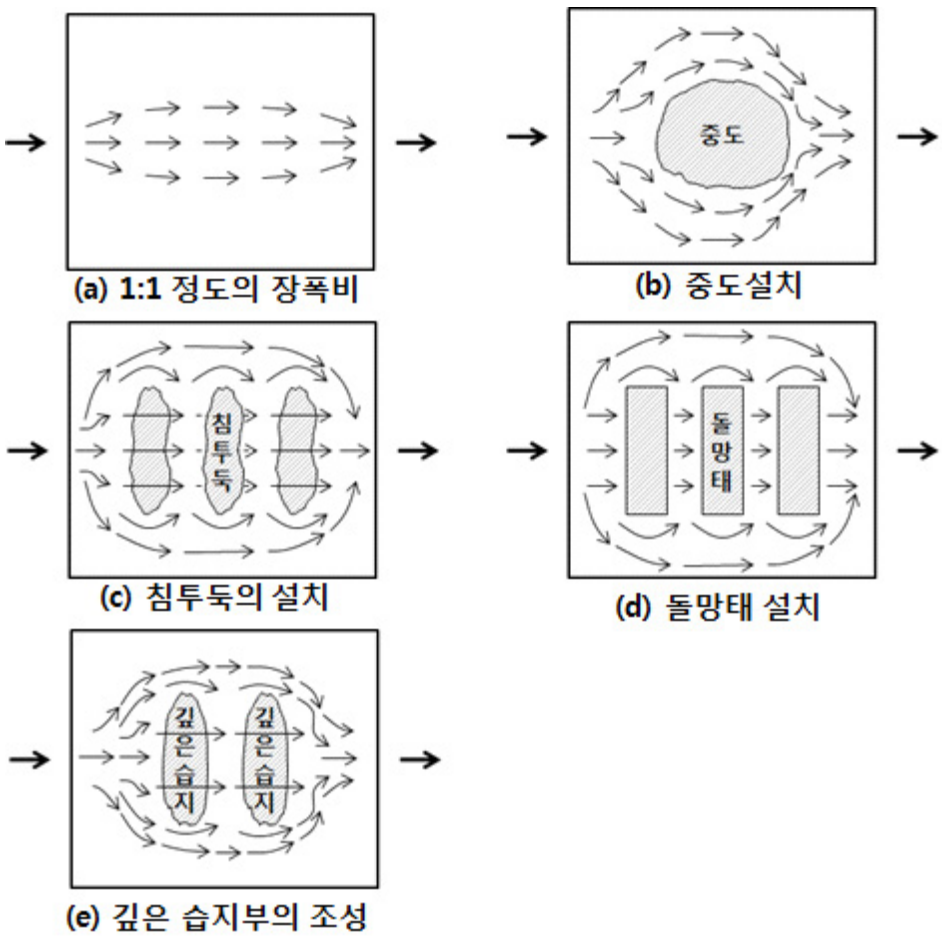
<그림 3.41> 취입지점에 따른 습지배열 및 배치

(4) 습지의 장폭비

계획부지의 여건과 배치한계 및 시공문제 등으로 장폭비의 기준을 만족시킬 수 없을 경우에는 습지내부에 중도나 침투둑, 돌망태, 깊은 습지의 조성으로 흐름조건을 수평흐름의 형태로 변화시키도록 유도한다.

예를 들어 장폭비가 2:1 이상으로 설계할 수 없는 경우 그림 3.42에 나타난 것처럼 습지의 출구방향을 향한 단회로의 발생으로 사공간이 커서 수리학적 체류시간이 단축되어 목표처리효율을 달성하기 매우 어렵다.

이와 같은 경우에 습지 내부에 중도나 침투둑, 그리고 돌망태, 깊은 습지부를 설치할 경우 유입되는 물을 습지 앞과 뒷면으로 구부러지게 흐르게 하고 수류의 흐름을 분산시켜 수리학적 효율을 향상시키게 된다. 또한 구조적으로 습지에서 수생생물의 서식처 및 산란처를 확대하여 습지의 생태적 기능을 크게 확장시킬 수 있고 설계상 인공적인 습지가 자연적인 외관을 갖도록 하면서 의도한 강우 유출수 처리기능이 최대한 발휘되도록 유도한다.



<그림 3.42> 장폭비 효과의 향상 및 보완방안

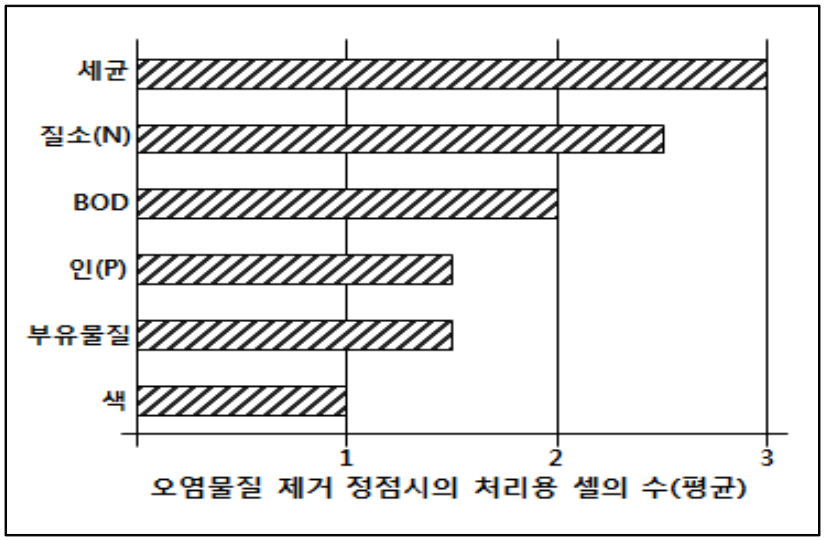
(5) 습지의 분할 (셀수)

(가) 개선방안

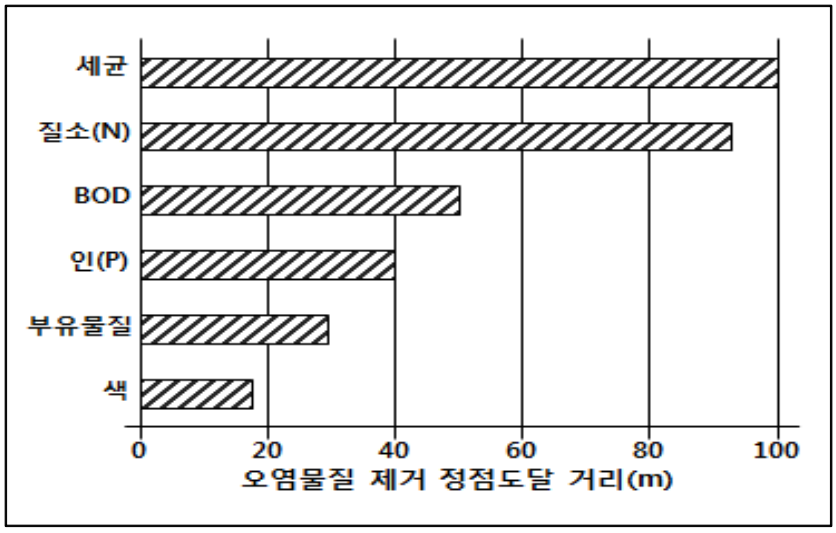
미국에서 많은 인공습지에 대한 모니터링 결과 일반적으로 셀의 수와 오염물질 제거와의 관계를 나타내면 그림 3.43과 같다. 살균효과를 기대하기 위해서는 최소한 셀의 수가 3개 이상이 되어야 함을 보여주고 있으며 질소의 경우 2개 이상의 셀이 요구되며 유기물질의 경우에는 최소한 2개의 습지 셀이 필요함을 의미한다. 이와 같은 결과는 모든 상황에 절대적으로 옳다는 것은 아니며 일반적으로 그렇다는 평가이다.

그림 3.44에는 오염물질 정점 제거를 위해 필요한 최소한의 습지길이

(전체 셀 길이의 합)를 나타내었다. 셀의 수 뿐 만 아니라 전체 습지의 길이도 중요하다는 의미는 적절한 장폭비의 유지가 습지의 정상적인 처리기능을 발휘하는데 필수적인 고려사항임을 함축하고 있다.



<그림 3.43> 처리용 셀수와 오염물질 제거와의 일반적인 관계

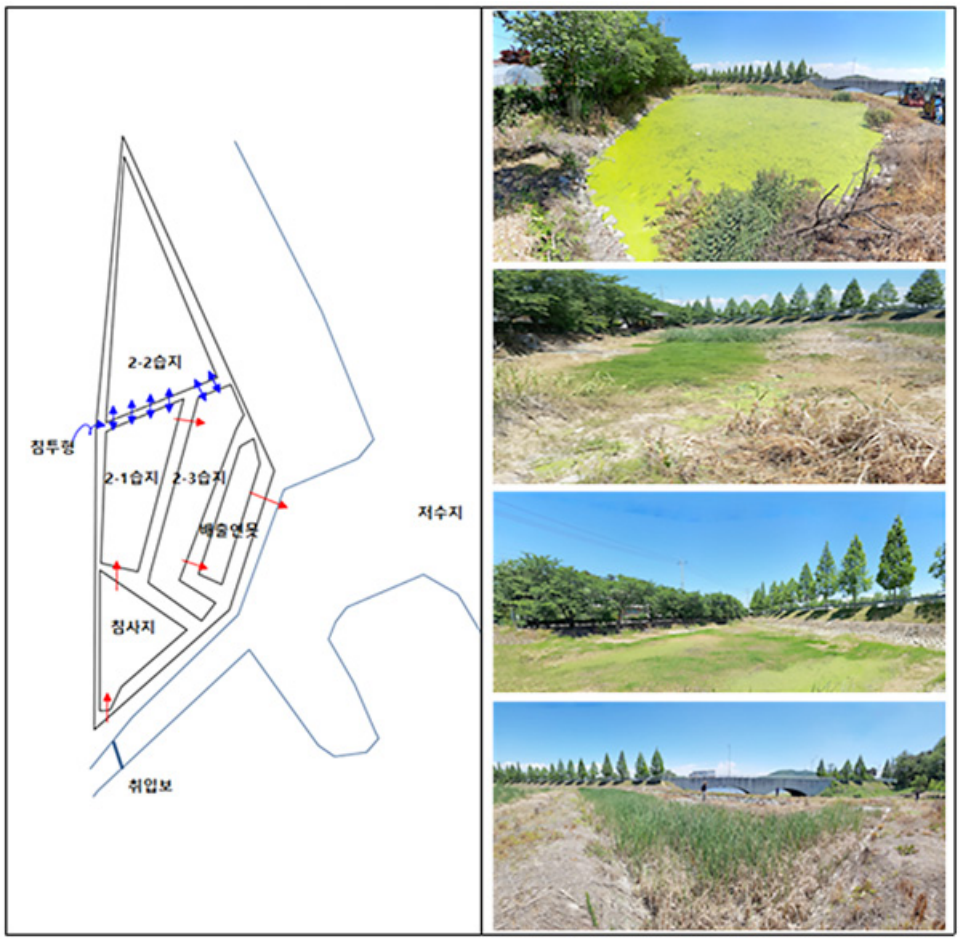


<그림 3.44> 처리용 습지의 길이와 오염물질 제거와의 일반적인 관계

그림 3.45에 0.5 ha 규모의 소규모 습지에 5개의 셀로 분할한 아산 상성지구의 습지사례를 나타내었다. 부지면적에 비해 지나치게 많은 셀로 분할

한 결과 수류의 흐름이 복잡하여 에너지 손실이 지나치게 커서 초기 설계단계에서 기대한 유수 흐름이 발생되지 않고 일부 셀을 제외하고는 대부분 육화된 상태를 보이고 있다.

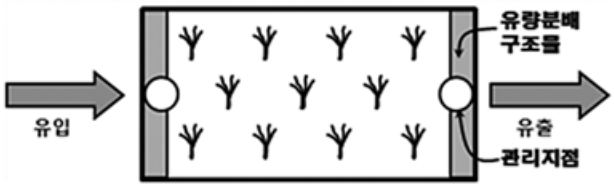
이와 같이 소규모 습지는 개별적 셀로 분할하는 대신 유도수로(pilot channel) 및 중도(island), 그리고 침투둑을 이용한 포켓습지의 형태로 조성하는 것이 바람직하다.



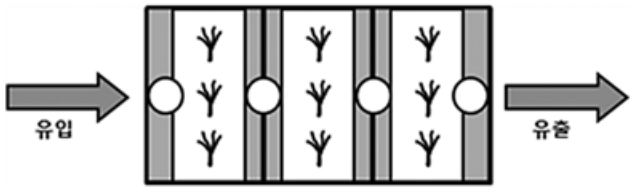
<그림 3.45> 대표사례지구: 아산 상성지구 2호 습지(습지면적 = 0.5ha)

습지를 여러 개의 개별 셀로 분할하는 이유는 사수역을 줄여 수리학적 체류시간을 최대한 길게 확보하여 오염물질 제거효율을 향상시키고 습지의 오염물질 처리기능을 셀 별로 배분하여 처리기능이 최대로 발휘될 수 있도록 하기 위함이다.

예를 들어 얕은 습지에서는 주로 자연적인 산소공급 및 탈기, 오염물질의 호기성 분해 및 질산화 촉진 및 자연적인 햇빛을 이용한 살균효과 등을 기대하기 위하여 배치하며 깊은 습지에서는 탈질 및 복잡한 유기물질의 단순화 등을 유도하기 위하여 배치한다.

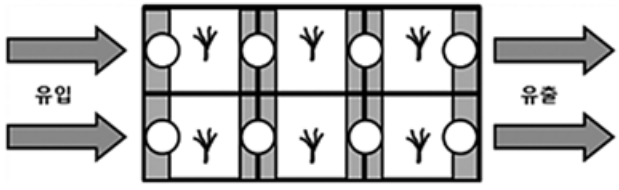


(a) 셀 수 1개: 단회로 채널링 및 사수대 존재로 수리학적 효율 저하



(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

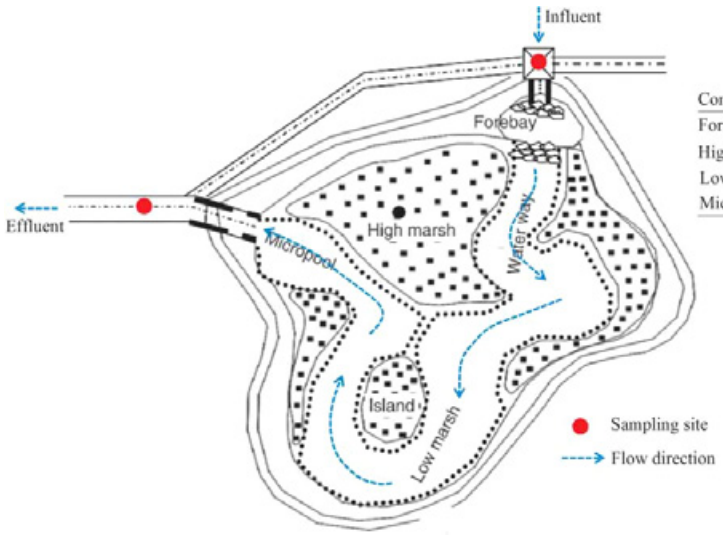
<그림 3.46> 셀 수에 따른 수리학적 효율 및 관리지점 수의 변화

그리고 한 개의 습지가 과도하게 클 경우 제초작업 및 보수공사 등과 같은 유지관리가 지나치게 어렵고, 샐을 적정하게 나눌 경우 셀과 셀을 나누는 제방을 유지관리용 도로나 접근로로 활용할 수 있다. 또한 일렬로 배열된 습지를 따라서 그 수심을 변동시키면 서로 다른 다양한 식물체가 활착되도록 촉진시키며 따라서 야생동물의 서식처의 제공과 제거하려는 오염물질의 다양

성을 향상시킬 수 있다. 셀 수는 수리학적 흐름에 미치는 영향과 합리적인 관리지점 수를 고려하여 결정한다.

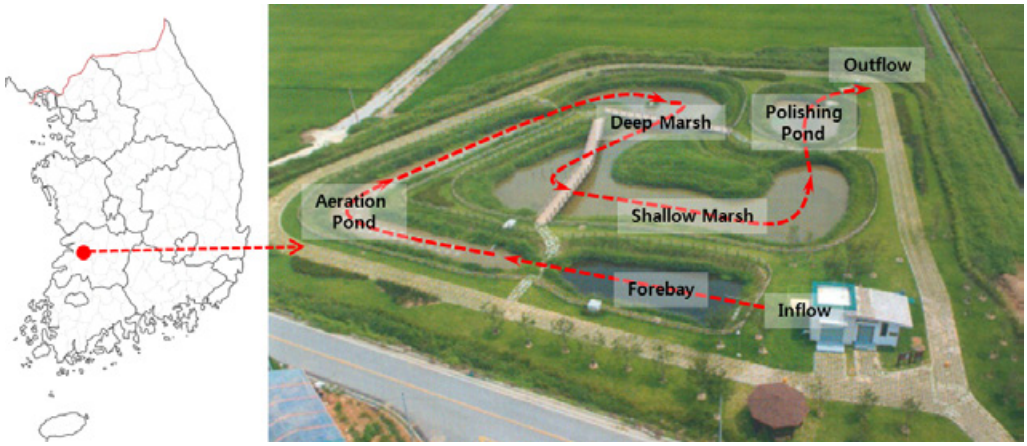
(나) 개선효과

습지를 여러 개의 개별 셀로 분할하는 이유는 사공간을 줄여 수리학적 체류시간을 최대한 길게 확보하여 오염물질 제거효율을 향상시키기 위함이다. 습지의 오염물질 처리기능을 셀 별로 배분하여 처리기능이 최대로 발휘될 수 있도록 하기 위함이다.



Component	Depth (m)	Area (m^2)
Forebay	1.2	61
High marsh	0.2-0.6	549
Low marsh	0.7-1.2	698
Micropool	1.0	80

<그림 3.47> 소규모 인공습지를 단일 셀로 조성한 포켓습지의 사례 1



<그림 3.48> 소규모 인공습지를 단일 셀로 조성한 포켓습지의 사례 2

예를 들어 얕은 습지에서는 주로 자연적인 산소공급 및 탈기, 오염물질의 호기성 분해 및 질산화 촉진 및 자연적인 햇빛을 이용한 살균효과 등을 기대하기 위하여 배치하며 깊은 습지에서는 탈질 및 복잡한 유기물질의 단순화 등을 유도하기 위하여 배치한다.

그러나 작은 유역에 설치된 소규모 작은 습지를 여러 개의 습지로 분할할 경우 기저유량이 발생되지 않는 기간 동안에 셀과 셀 사이에 흐름이 단절되어 마르거나 식물체가 고사되는 상황이 발생하여 이후 유입이 재개되더라도 원래 습지기능이 회복되는데 많은 시간이 소요된다. 따라서 소규모 습지의 경우에는 여러 개의 셀로 구분하는 대신 유도수로나 중도, 접근로 등으로 유수흐름 및 저류수를 확보하는 포켓습지의 형태로 조성하는 것이 바람직하다.

(다) 습지규모 별 습지 셀 수의 결정방안 제안

전술한 바와 같이 셀 수의 증가는 습지의 처리기능 확장에 기여하지만 작은 습지에 지나치게 많은 셀을 배치하게 되면 유수흐름이 복잡해지고 수두손실이 증가하여 역효과가 발생하며 대규모 습지에 단일 셀 습지 면적이 커지게 되면 수리학적 효율이 저하될 뿐 만 아니라 유지관리가 어렵게 된다.

전수대상 사업지구 습지에 대한 조사 분석 결과 다음과 같은 설계방안을 제안한다. 습지면적이 1 ha이하인 경우에는 가급적 셀 구분 없이 유도수로로 연결한 단일습지 즉 포켓습지의 형태로 설계한다.

습지면적이 1 ha ~ 2 ha 범위에서는 단일 셀 면적이 가급적 0.5 ha를 초과하지 않도록 설계하며 셀 수는 침사지를 포함하여 5개 이하로 설계한다.

2 ha이상의 습지에서는 가능하다면 2 계열 이상의 복수계열로 습지를 조성하며 단일 셀 면적이 0.5 ha를 초과하지 않도록 하며 셀 수는 침사지와 배출연못을 포함하여 최대 5개 이하로 설계한다.

(6) 복수계열의 습지설계

(가) 현황

복수계열로 습지를 설치하게 되면 운영과 유지/보수가 한결 쉽다. 대부분의 국내외 습지설계지침에 따르면 복수계열의 설계를 권장하고 있다. 복수계열의 습지로 설계하게 되면 셀의 크기 및 수를 결정하는데 유리하고 수리학적 흐름을 향상시킨다.

그러나 복수계열로 설계하고자 하면 계획부지의 형상이 목적에 부응하

여야 하며 시공비용 상승이 불가피하다. 또한 침사지로부터 각 계열의 습지 면적 비율로 일정하게 유입수를 분배하여 유입시켜야 하는데 유량분배에 대한 적절한 구상과 함께 분배 구조물의 설치가 필요하다. 현장조사결과 전수조사 대상 12개 지구 습지 중 복수계열로 설계/시공된 습지는 무안 감돈지구 1호 습지가 유일하다.

(나) 설계제안

습지의 수리학적 효율이 극대화될 수 있도록 2 ha 이상의 습지는 단일계열의 습지대신에 가급적 2계열 이상의 복수계열로 습지를 조성하며 단일 셀 면적이 0.5 ha를 초과하지 않도록 한다. 가급적 셀 수는 침사지와 배출연못을 포함하여 최대 5개 이하로 설계한다. 복수계열의 습지를 설계할 경우 침사지 이후에 계열 별 원활한 유량분배가 이루어질 수 있는 방안을 강구한다.

습지에서 셀 간의 연결방법은 사수역의 형성 및 단회로 발생 등에 영향을 미치므로 매우 중요하다. 그림 3.50에 5가지 방법을 제시하였으며, 습지 설계시 참고 가능하다.

(a)매우나쁨 : 장폭비 문제와 단회로 수로 채널링 발생으로 사수대 최대

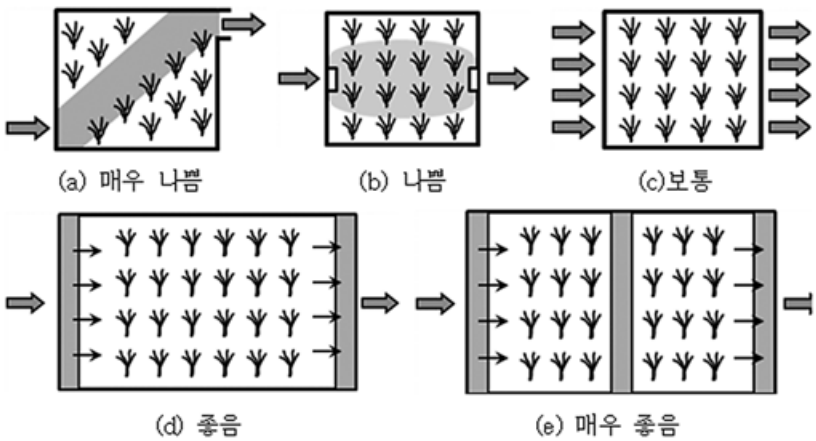
(b)나쁨 : 장폭비 문제와 단일 유입구 유입으로 채널링이 발생하여 사수대 과다 형성

(c)보통 : 장폭비 문제를 해결하기 위해 동원된 이와 같은 형태의 다중유입은 기술적으로 달성하기 어려움

(d)좋음 : 둔덕(berm) 또는 도랑(dicth)을 이용한 다중유입으로 수리학적 효율이 좋음

(e)매우좋음 : 둔덕 또는 도랑을 이용한 월류방식의 다중유입과 중간부에 정류 목적의 둔덕 또는 도랑의 추가로 수리학적 효율이 크게 증대됨

<그림 3.49> 복수계열 습지설계사례 (감돈 2호 습지, 습지면적 2.8ha)
(습지의 장폭비 문제는 깊은 습지와 얕은 습지의 반복 배치로 극복)



<그림 3.50> 습지 셀의 연결형태

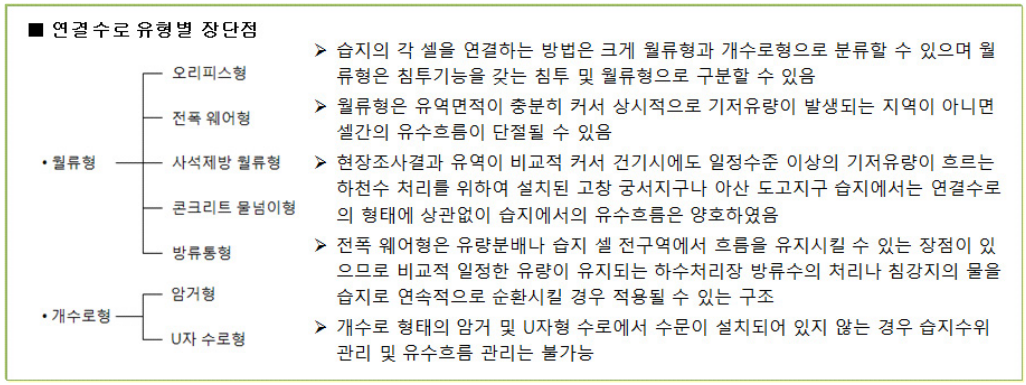
(7) 습지 셀 간 연결수로의 형태 개선방안

습지의 각 셀을 연결하는 방법은 크게 월류형과 개수로형으로 분류할 수 있으며 월류형은 침투기능을 갖는 침투 월류형으로 구분할 수 있다. 월류형은 유역면적이 충분히 커서 상시적으로 기저유량이 발생되는 지구가 아니면 셀 간의 유수흐름이 단절될 수 있다.

그러나 유역이 비교적 커서 건기에도 일정수준 이상의 기저유량이 흐르는 하천수 처리를 위하여 설치된 고창 궁산지구나 아산 도고지구 습지에서는 연결수로의 형태에 상관없이 습지에서의 유수흐름은 양호하였다.

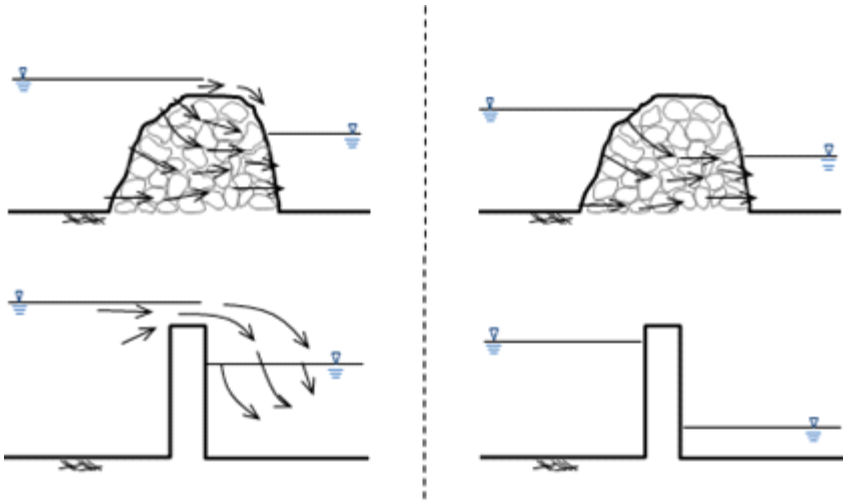
특히 전폭웨어형은 유량분배나 습지 셀 전 구역에서 흐름을 유지시킬 수 있는 장점이 있으므로 비교적 일정한 유량이 유지되는 대형 하천이나 하수처리장 방류수의 처리나 침강지의 물을 습지로 연속적으로 순환시킬 경우 적용될 수 있는 구조이다.

개수로 형태의 암거 및 U자형 수로에서 수문이 설치되어 있지 않는 경우 습지수위 관리 및 유수흐름 관리는 불가능하므로 가급적 적용하지 않도록 한다.

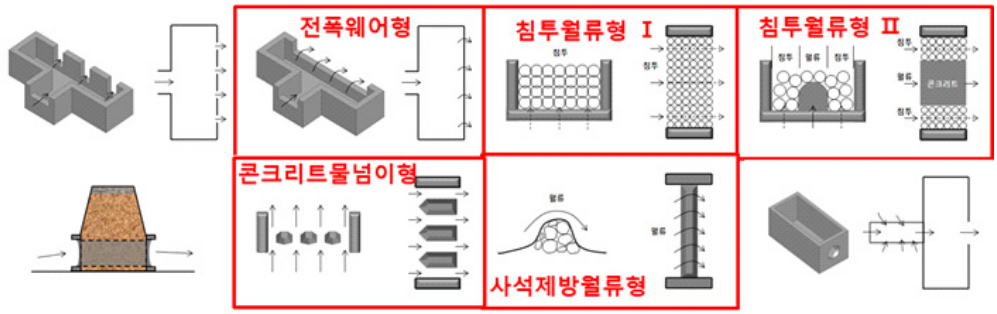


<그림 3.51> 습지 셀 연결수로 유형 별 장단점

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 3.52> 침투/월류형 연결수로와 월류형 연결수로의 비교



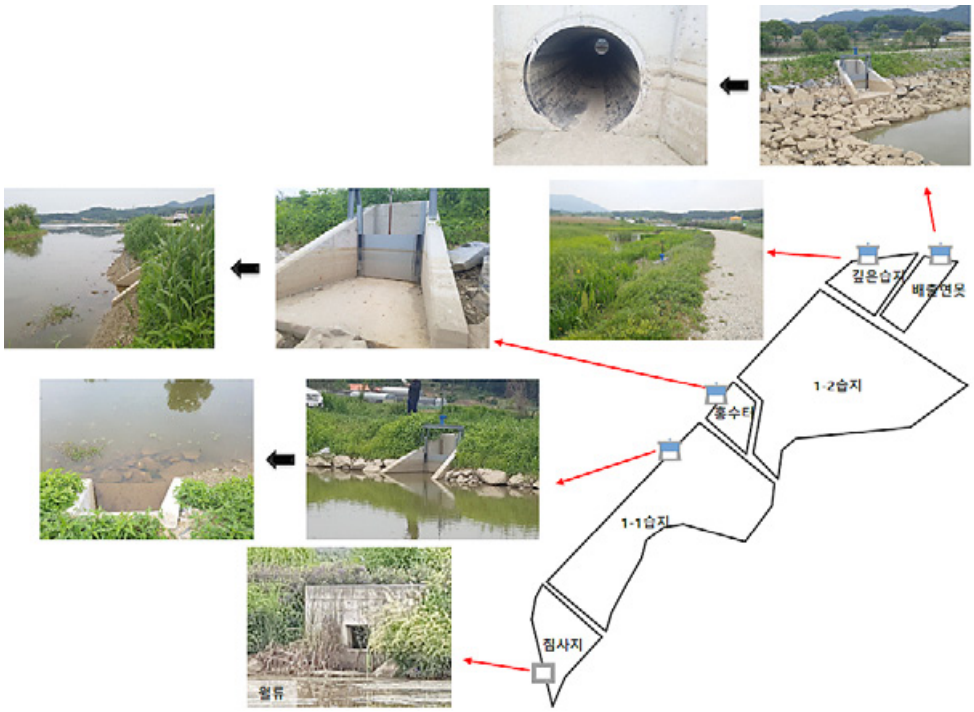
<그림 3.53> 인공습지 적용시 유용한 연결수로

(8) 습지수위 조절 구조물

(가) 우수사례 지구

습지에서 습지수위 조절 구조물은 습지가 생태적/수질공학적 기능을 수행하는데 절대적으로 중요하다. 또한 홍수발생시 습지의 침수범람을 방지하기 위하여 습지별 By-pass 수로 및 수위조절장치는 필수적이다.

그림 3.54에는 우수사례지구로 홍동지구의 수위조절 구조물을 보여주고 있다. 본 지구에는 전체적인 습지수위 조절 수문 및 지별 수위수문이 설치되어 홍수발생시 저수지 유입하천으로 By-Pass 할 수 있는 수문이 설치되어 있다. 비상 By-Pass 수문은 습지상류지역의 침수 및 범람방지에도 대단히 중요하다.



<그림 3.54> 홍동지구의 습지 및 셀의 수위조절장치 설치사례

(나) 설계제안

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.

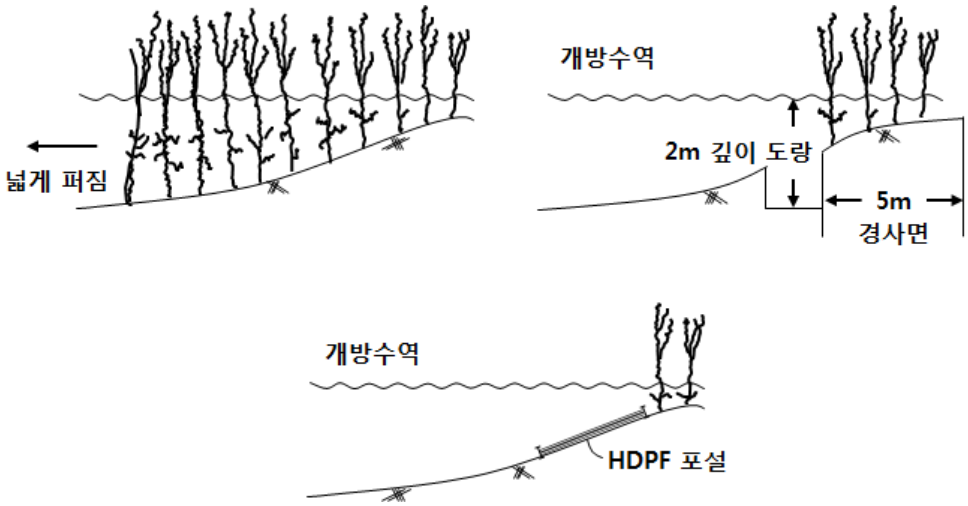
저수지로부터 역류가 우려되는 유출구에는 월류형태의 비상 유출수로를 갖추도록 하며 이와 함께 역류방지용 자동수문을 설치한다.

(9) 개방수역 설치

(가) 개방수역의 설치방법의 제안

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

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



<그림 3.55> 습지에서 개방수역 설계방안

(9) 배출연못(micropool)

가. 배출연못 용량산출 제안

표 3.32에는 사업지구 별 습지면적대비 배출연못의 비율을 나타내었다. 배출연못은 습지면적대비 0.38~10 %의 범위에서 설계되었음을 알 수 있으며 평균비율은 4.4 % 수준으로 조사되었다.

일반적으로 환경부에서 제안하고 있는 비점오염 저감 목적의 습지에서 배출연못의 용량은 습지 전체용적(WQv)의 약 10%를 배정하도록 규정하고 있으나 저수지 상류지역의 오염원에 따라 배출연못이 지나치게 클 경우 조류 재증식이 발생될 수 있으므로 전체 습지용적의 5~10% 범위에서 결정한다.

(표 3.32) 습지면적대비 배출연못의 비율

번호	수질개선지구	습지명	면적(m^2)	배출연못(m^2)	비율(%)
1	무안 감돈지구	1호 습지	27,910	106	0.38
		2호 습지	10,937	106	0.97
2	함평 월천지구	인공습지	23,800	1,180	4.96
3	고창 궁산지구	1호 습지	43,306	2,145	4.95
		2호 습지	30,809	1,605	5.21
4	칠곡 하빈지구	1호 습지	11,410	199	1.74
		2호 습지	15,213	953	6.26
		3호 습지	11,447	560	4.89
5	의성 개천지구	1호 습지	30,720	645	2.10
		2호 습지	5,932	185	3.12
6	의왕 왕송지구	1호 습지	12,599	305	2.42
		2호 습지	9,428	150	1.59
7	화성 동방지구	1호 습지	19,643	1,100	5.60
		2호 습지	7,644	473	6.19
8	서산 성암지구	고효율 습지	-	-	-
		1호 습지	30,423	1,623	5.33
		2호 습지	28,192	913	3.24
9	홍성 홍동지구	1호 습지	32,957	720	2.18
		2호 습지	13,285	720	5.42
		3호 습지	6,801	-	-
10	아산 도고지구	1호 습지	8,780	540	6.15
		2호 습지	43,677	2,173	4.98
11	아산 상성지구	1호 습지	19,687	1,970	10.01
		2호 습지	5,102	350	6.86
평균	-	-	19,552.3	850.9	4.35

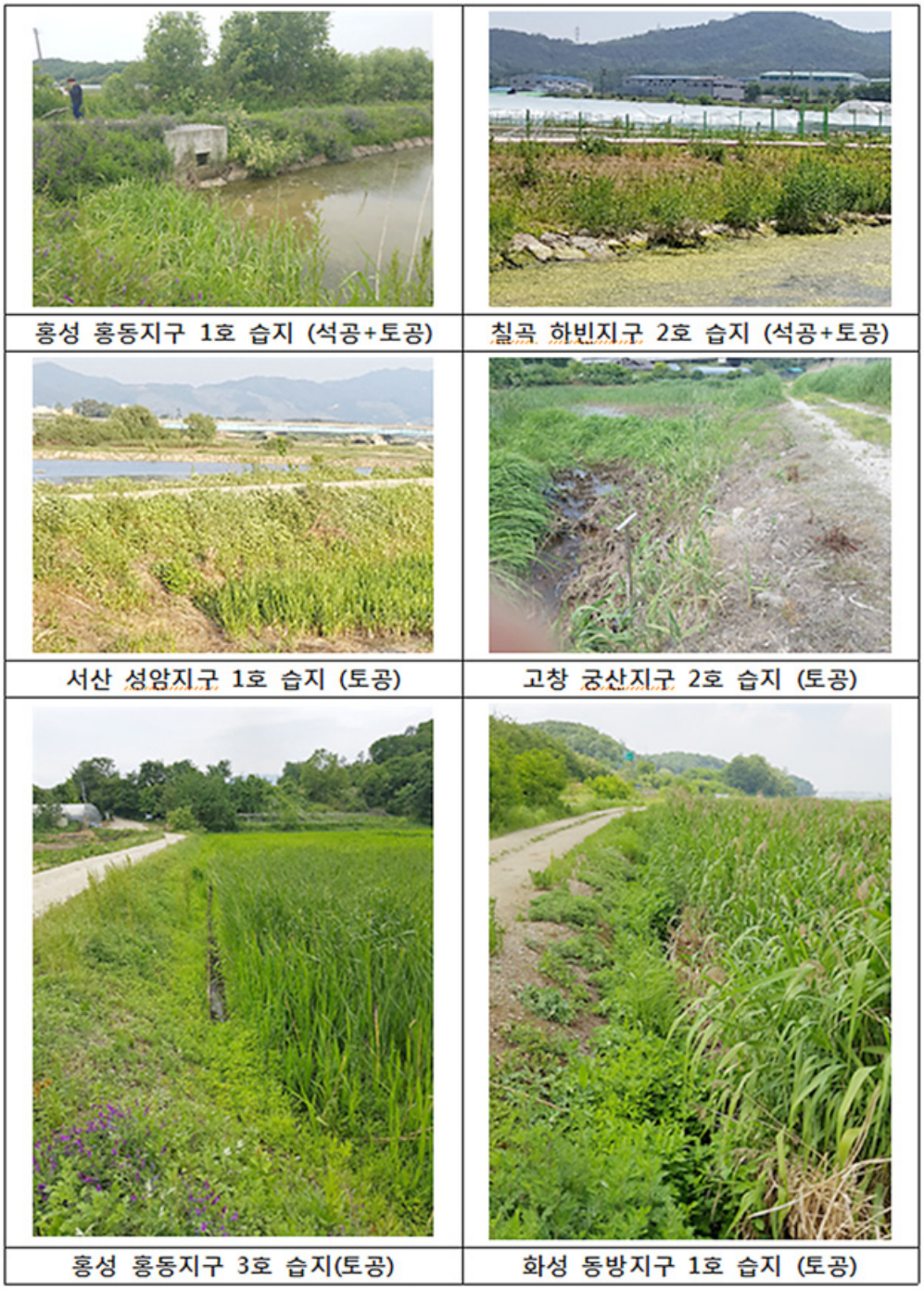
(10) 제방 및 호안 조성

(가) 설계 및 시공제안

제방과 둑은 습지의 수명 뿐 만 아니라 습지의 기능 및 유수의 흐름을 유지하는데 중요한 요소이며 사업비의 큰 부분을 차지한다. 따라서 습지의 규모에 따라 적절한 제방 및 호안조성 규격 및 기준 제시가 필요하다.

제방 및 호안조성 설계요령은 저수지 호안 조성기술을 따른다.

<그림 3.56> 습지제방 사면공사 예 : 석축 및 식생불럭 쌓기



<그림 3.57> 습지제방 사면공사 예: 토공 및 석축

(11) 유량측정 구조물

(가) 설계제안

취수보에서 습지 침사지를 연결하는 인입수로를 개수로 형태로 시공하거나 암거 중간부에 점검구간을 개수로의 형태로 설치하여 유량측정 및 유입수 시료채취가 가능하도록 설계한다. 또한 시공비용의 절감을 위해서 취수보와 습지 침사지 연결 관거의 일부분을 지면으로 노출된 형태로 시공하게 되면 유입유량의 관측이 용이하다.

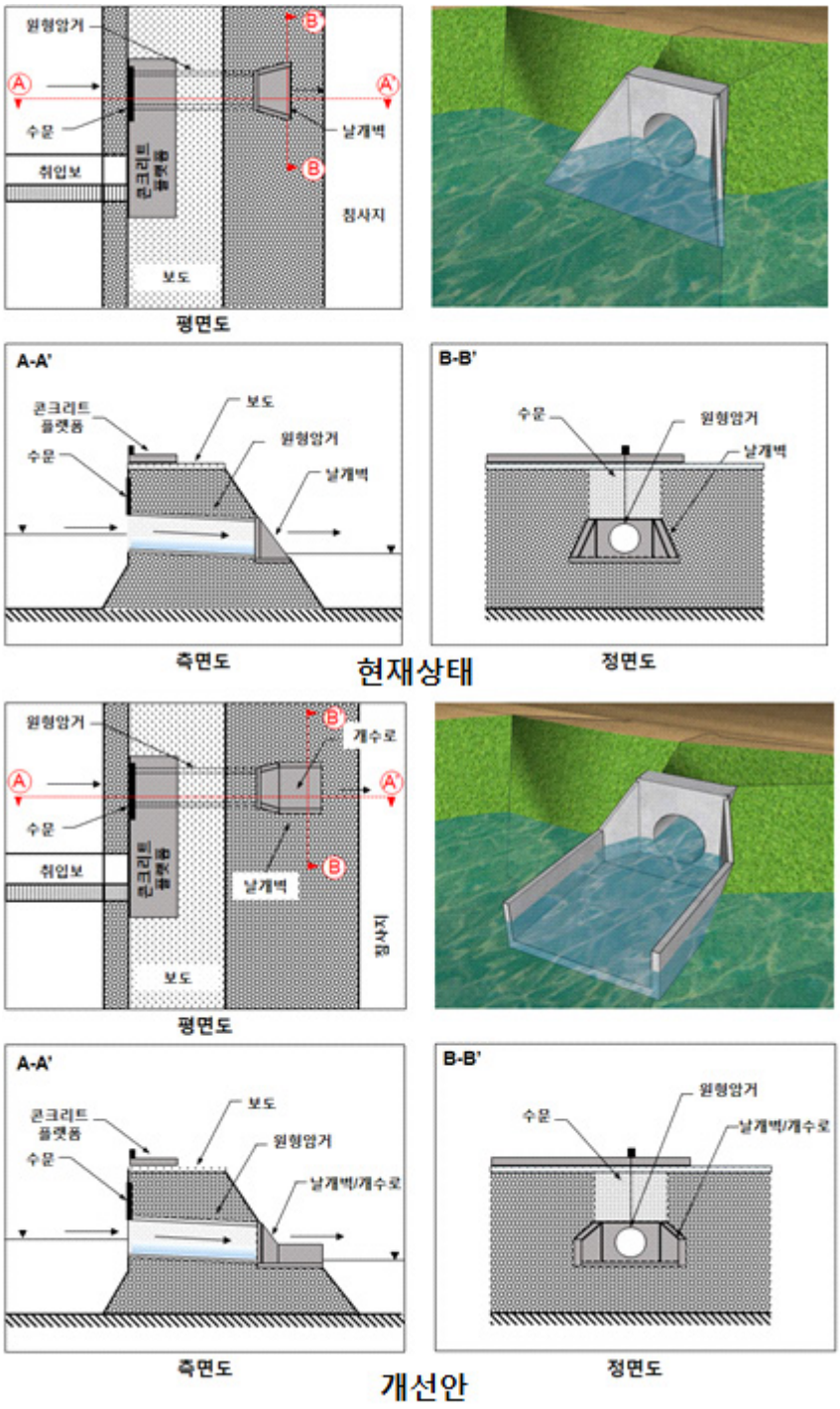
삼각 또는 사각웨어(weir)는 강우시 유입되는 하천의 높은 토사농도 때문에 유입유량측정에는 적합하지 않으나 유출유량 측정에는 적용이 가능하다. 그리고 유량측정 장치의 설치가 어려운 사업지구에는 유속과 수위측정이 가능하고 일정한 단면과 일정 거리 이상의 직선구간을 갖는 개수로도 적용가능하다.

최종 배출연못과 저수지 사이의 배출구의 일부분을 앞서 설명한 방법과 동일하게 설계하면 쉽게 유량측정이 가능하다.

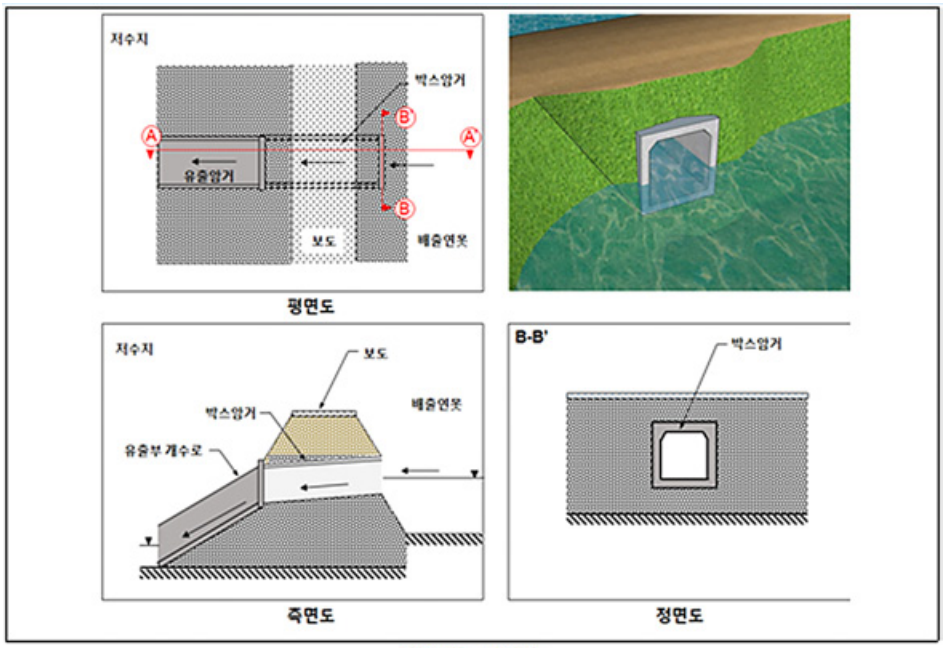
양수취입방식을 적용할 경우 취입관로에 만관계 유량계를 설치하거나 인입수로에 파샬플롬을 설치하고 유출부에는 파샬플름이나 삼각 또는 사각웨어를 설치한다.

(12) 장비진입로 설계 제안

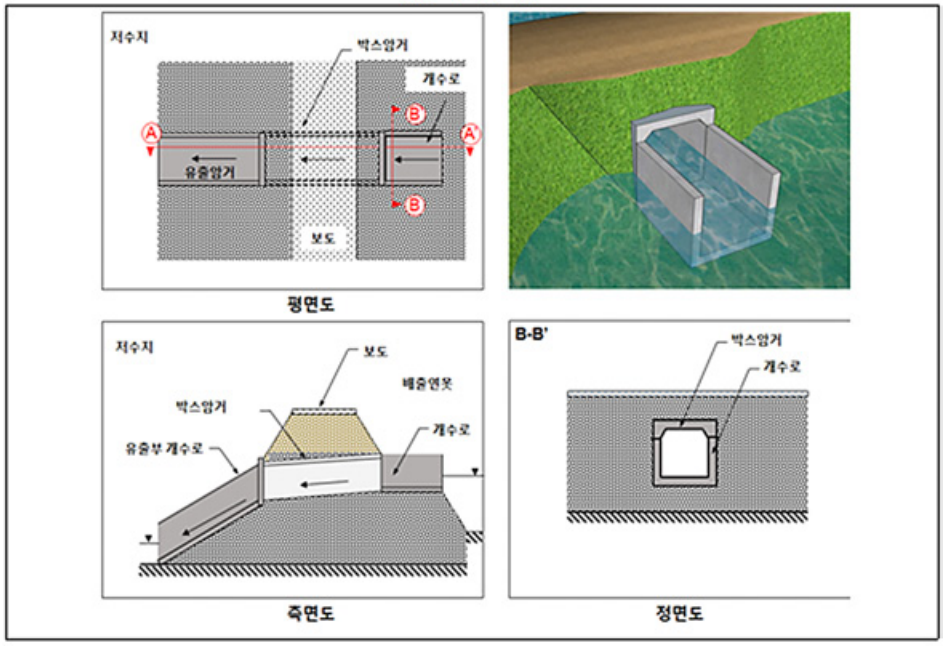
유지관리용도의 접근로(노폭은 최소한 3.7m)는 중장비에 버틸 수 있도록 충분히 안정된 구조로 하고 가급적 노면경사는 15 % 이하가 되도록 설계한다. 접근성이 요구되는 시설로는 침사지, 습지내부 통행로, 유출부 등이며 가급적 자동차가 진입하여 운행하는데 문제가 없어야 한다.



<그림 3.58> 기존 취입수로의 형태 및 개선안



(현재 상태)



(개선안)

<그림 3.58> 기존 배출구의 형태 및 개선안 (계속)

나. 지하흐름습지

(1) 적용사례

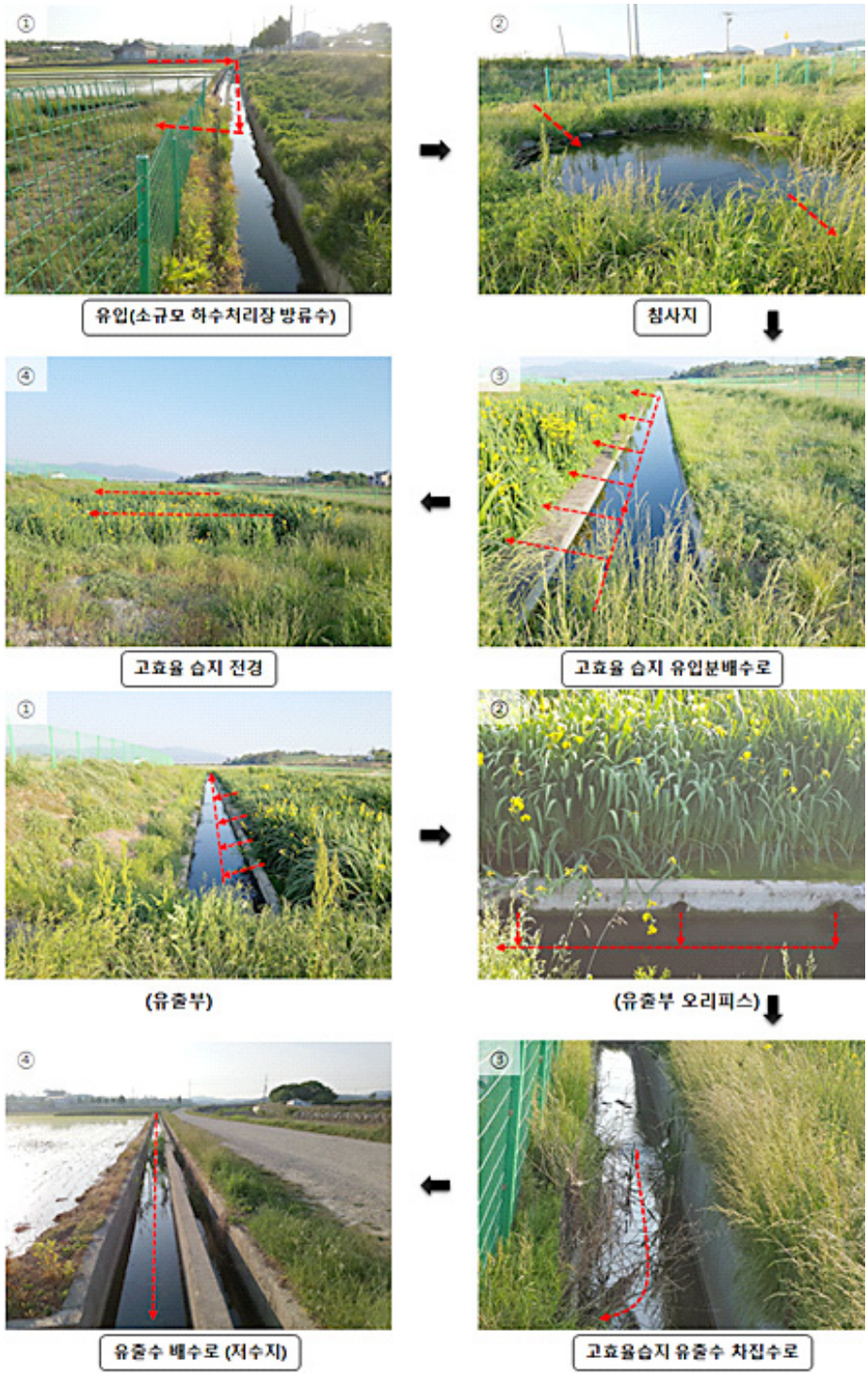
(가) 성암 사업지구 지하흐름습지

그림 3.59와 그림 3.60에는 성암지구 지하흐름습지의 구성 및 주요부 사진자료를 보여주고 있다. 하수처리장 방류수는 지하흐름습지로 개수로를 통하여 침사지를 거쳐 습지로 유입된다.

습지 처리수는 하류 농민들의 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 부문의 설계가 우수한 시설로 판단되며 우수사례로 참고할 만하다.

<그림 3.59> 서산 성암 사업지구 지하흐름습지



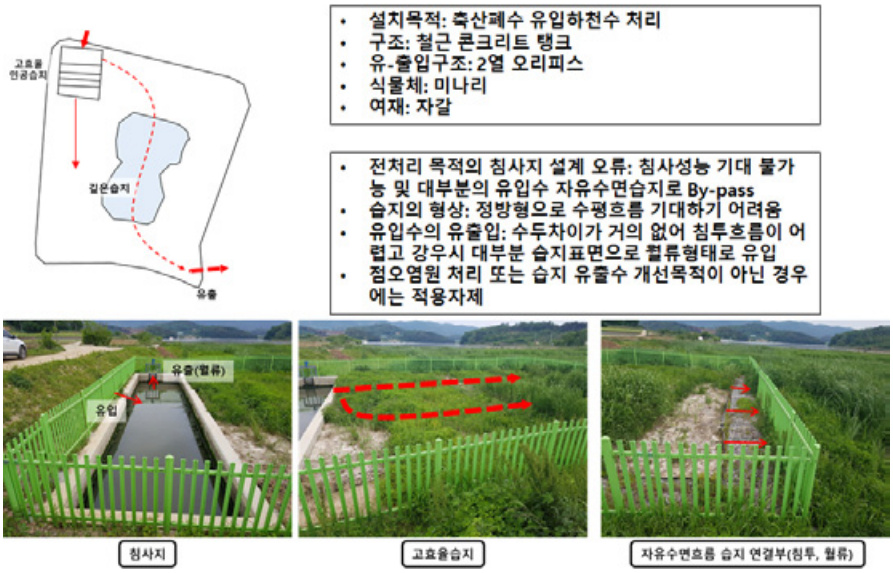
<그림 3.60> 서산 성암지구 지하흐름습지 주요부 사진자료

(나) 홍동 사업지구 지하흐름습지

그림 3.61에는 홍동사업지구 지하흐름습지 주요부의 사진자료를 제시하였다. 본 습지는 평상시 및 강우유출이 일어나는 동안으로 구분하여 후단 지표흐름습지와 연계하여 운영되도록 설계된 점이 특징이다. 평상시에는 하천수를 선단에 설치된 침사지에서 전처리 후 대부분이 지하흐름습지를 통과하여 후단 지표흐름습지에서 추가적인 처리가 이루어지는 형태를 보이고 있다. 그러나 강우시에는 침사지로 유입된 강우 유출수가 침사지 측면의 오리피스를 통하여 후단 지표흐름습지로 유입되도록 설계되어 있다.

또한 전처리 목적 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 지하흐름습지를 강우유출수가 유입되는 습지선단에 배치한 점이며 습지의 기하학적 특성(정방형 구조)에 비추어 평상시 하천수의 처리나 하수처리장 방류수 처리에도 한계가 있을 것으로 판단된다.

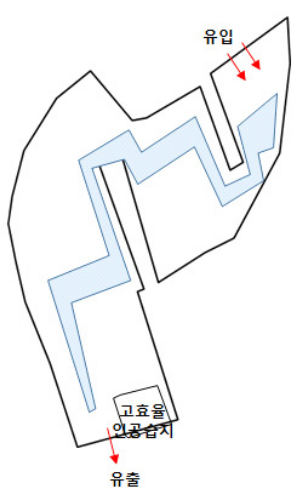


<그림 3.61> 홍성 홍동지구 지하흐름습지 주요부 사진자료

(다) 도고 사업지구 지하흐름습지

그림 3.62에는 도고 사업지구에 설치된 지하흐름습지는 지표흐름습지와 조합형으로 선단부에서는 자유흐름습지를 이용하여 하천수를 처리하고 그 처리수를 안정화하는 목적으로 설치되었다.

지하흐름습지의 유입부와 유출부 사이 수두차가 충분하여 침투흐름이 양호하여 자유수면 유출수에 함유된 조류세포 및 입자성 오염물질의 제거에 적절한 배치로 판단된다.



- 설치목적: 습지 처리수의 최종 수질개선
- 구조: 철근 콘크리트 탱크
- 유-출입구조: 월류웨어
- 식물체: 노랑꽃 창포
- 여재: 자갈

- 침투흐름 양호로 습지 유출수에 함유된 조류세포 및 입자상 오염물질 제거로 수질개선 효과기대
- 이상적인 형태의 지하흐름형 습지 적용 사례

고효율인공습지

<그림 3.62> 아산 도고지구 지하흐름습지

(2) 설계 방안

지하흐름습지의 적용은 하수처리장 등 점오염원 처리수의 수질개선이나 지표흐름습지 처리수질을 개선하거나 향상시키는 사업지구에 그 적용을 한정하는 방향으로 보완해야 한다.

하천수 및 강우유출수의 직접처리는 제한하는 것이 바람직하다. 지하흐름습지를 설계할 경우 개별 셀의 직렬식 연결보다는 병렬식 또는 분배수로를 이용한 측면유입 방식을 권장한다.

지하흐름습지의 설계에 필요한 관한 세부사항은 표 3.33에 제시하였다.

(표 3.33) 지하 수평흐름형 인공습지 설계요령

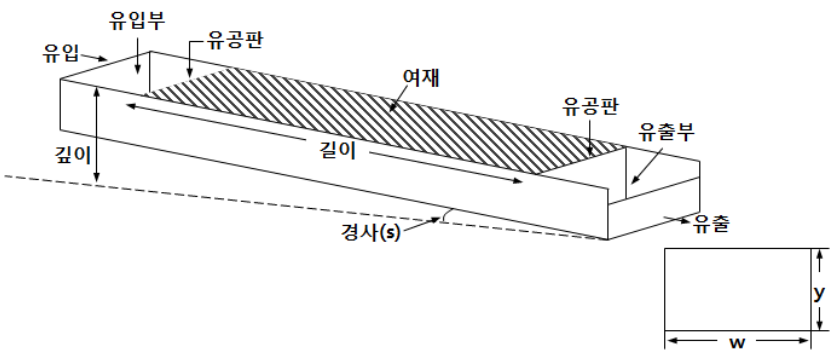
항 목	설 계 요 령
적용대상	○ **소규모 방지시설의 배출수 및 방류수를 처리하는 경우에만 적용** ○ 이용가능 부지의 확보가 용이할 것 ○ 가능하다면 자연유하 방식으로 취수할 수 있는 지형조건을 갖춘 곳 ○ 질소와 인의 유입부하가 높은 경우 **○ 배출수와 방류수에 대한 수리권 분쟁이 없는 지역**
설계인자	○ 주요설계 인자는 수평유속, 통수단면적, 장폭비, 바닥경사 등이다. - 유량분배가 가능한 구조의 습지 유입부와 유출부의 설치 - 유입부와 유출부에는 굵은 자갈을 충진 - 여재의 선정은 현장여건 및 목표제거효율 등을 고려하여 결정 - 여재는 단일여재로 충진 - 설계유량과 설계수평유속을 가지고 수직 단면적을 산출하고 현장조건에 맞는 목표처리효율을 달성하는데 필요한 체류시간과 습지의 길이와 폭의 결정 - 장폭비는 3:1 이하가 되도록 설계 - 여재층의 깊이는 최대 100cm 이하가 되도록 설계하며 상부에는 갈애나 노랑꽃 창포와 같이 뿌리발육이 왕성한 식물종을 식재 - 식물체의 지지를 위해 필요하면 상부에 모래층을 포설 - 습지 셀은 복수로 설계하며 병렬로 연결하여 운용 - 각 습지 셀의 여유고는 50cm 이상으로 설계 - 습지 셀은 복수로 설계하며 병렬로 연결하여 운용
설계시 고려사항	**○ 홍수시 매몰 등의 위험이 큰 하천 둔치에는 설치를 피할 것** ○ 개별 습지의 직렬연결을 피할 것 ○ 바닥 경사는 0~8%로 하고 바닥경사가 없이 월류형태로 유출이 일어나는 경우 바닥경사는 1%(0.001)로 가정 ○ 여재는 모래 자갈등과 같은 자연여재 뿐 만 아니라 효율이 우수한 상업용 여재도 적용가능

표 3.34에는 일반적으로 충진되는 여재의 특성을 나타내었고, 그림 3.63과 그림 3.64는 수평 지하흐름습지의 설계요소와 배열을 도식화 하였다.

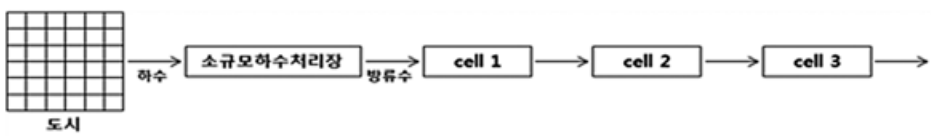
(표 3.34) 일반적으로 지하흐름형 습지에 적용되는 여재의 특성

여재형태	유효경 D_{10} (mm)	공극율 (%)	투수계수 (m/day)	유속 (m/day)
굵은 모래 (coarse sand)	2	28-32	100 - 1,000	0.1 - 1.0
자갈 모래 (gravelly sand)	8	30-35	500 - 5,000	0.5 - 5.0
잔자갈 (fine gravel)	16	35-38	1,000 - 10,000	1 - 10
중간 자갈 (medium gravel)	32	36-40	10,000 - 50,000	10 - 50
큰 자갈(coarse rock)	128	38-45	50,000 - 25,000	50 - 250

** 유속 = 투수계수(ks) ×바닥경사(s), *바닥경사 s가 0일 경우와 유출수가 월류형태로 배출된다는 조건에서의 유속

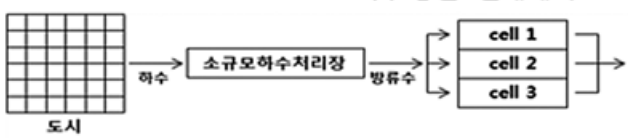


<그림 3.63> 수평 지하흐름습지의 설계요소



(a) 가장 피해야할 설계예시

(b) 좋은 설계예시



(c) 가장 좋은 설계예시

<그림 3.64> 수평 지하흐름습지의 배열

다. 침강지

(1) 설계요령

현재의 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.

표 3.35에는 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. 한편 표 3.36에는 저수지 유역면적 대비 침강지 면적비율을 나타내었다. 전체 사업지구 평균 비율은 0.24 %, 범위는 0.08~0.43 %로 조사되었다.

이와 같은 결과는 설계조건과 사업지구 여건이 상이하여 조건을 만족시키는 사업지구가 없는 것으로 나타났으며, 저수지 수면적 대비 10 % 조건을 만족하는 사업지구는 감돈 지구와 홍동 지구로 분석되었다.

(표 3.35) 사업지구 별 침강지 및 저수지 수면적과 비율

번호	수질개선지구	침강지(m^2)	저수지(m^2)	비율(%)	기준만족
1	무안 감돈지구	42,931	332,340	12.9	○
2	함평 월천지구	16,096	540,293	3.0	×
3	고창 궁산지구	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 홍동지구	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	

현재의 설계 매뉴얼의 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.

한편 침강지에서 퇴적량을 측정하기 위해서 시공시 원지반에 퇴적물 쿠폰을 5곳 이상에 설치하거나 퇴적물 깊이를 추정할 수 있도록 기준자(staff)를 3곳 이상 설치한다.

(표 3.36) 사업지구 별 유역면적 대비 침강지 면적 비율

번호	수질개선지구	침강지(ha)	유역면적(ha)	비율(%)	기준만족
1	무안 감돈지구	4.3	1,001	0.43	×
2	함평 월천지구	1.6	1,308	0.12	×
3	고창 궁산지구	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	`

(2) 침강지 입지 선정

침강지는 저수지 본류 저류부에 설치해야 유속의 저감과 함께 토사의 침강을 기대할 수 있다. 사업지구에 조성된 침강지는 1개소를 제외하고는 대부분 저수지 본류부에 사석부댐이 설치된 반면에 고창 궁산지구의 경우에는 그림 3.65에 나타난 것처럼 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 3~5 m를 확보하

는 것은 가능하지만 부댐으로부터 떨어진 상류 하천 바닥의 세굴과 하상유사 이동으로 쉽게 매몰되므로 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.

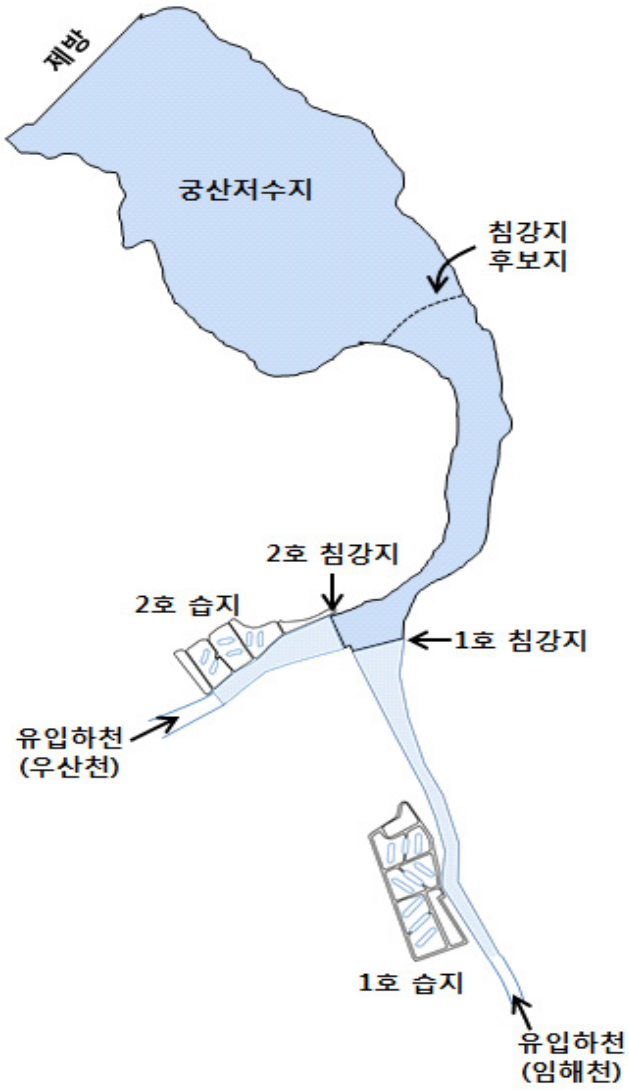
하천수를 침전 처리하고자 할 때에는 on-line 보다는 off-line 형태의 설치가 바람직하다.

(3) 침강지-습지의 연계운영

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.

특히 유역면적이 작은 지역에 설치된 습지에서 이와 같은 시기에 습지로 유입되는 유량이 적어 습지기능의 상실 및 습지의 공간적 활용성의 저하로 비효율적인 수질개선시설 운영이 초래되기도 한다.

<그림 3.65> 침강지 입지선정 대표사례 (나쁜 사례)



<그림 3.66> 궁산지구 침강지 입지연왕

따라서 저수지 유입하천의 유황에 따라 오염물질 침강이 이루어진 침강지 물을 습지로 순환하여 습지의 처리기능을 유지함과 동시에 그 효율성을 향상시키고, 침강지에서 조류발생 우려를 저감하는 연계운영 방안을 시도할 필요가 있으며 그러한 방향으로 설계 매뉴얼의 보완이 필요하다.

<그림 3.67> 홍성 홍동지구 2호 습지의 침강지 연계방안

제3절 최신기술을 반영한 기존 매뉴얼의 재정립

1. 지표흐름 인공습지

가. 취입보

(1) 취입보 형식별 설계시 고려사항

습지 최선단에 위치한 취입보는 하천수 취수 시설로 습지관련 수리시설 중 가장 중요한 요소로 표 3.37에는 취입보 형식별 장단점을 나열하였다.

저수지 상류유역에 존재하는 점오염원 즉 소규모 하수처리장 등과 같은 방류수 수질개선을 목적으로 설치하는 경우는 습지와 방류수로를 습지 선단부와 직접 연결하면 되므로 별도의 취입시설은 필요 없다.

취입보의 설치는 저수위 기간이나 갈수기 동안에 취입보 하류부와 상류부의 생태적 단절을 초래할 수 있다.

(표 3.37) 취입보 형식 별 장-단점

<콘크리트 취입보> 	· **장점** - 구조가 단순하여 준설 이외의 별도의 유지관리 필요 없음 · **단점** - 홍수시 대량의 토사유입으로 퇴적량 증가 - 취입보 토사퇴적으로 빈번한 준설필요 - 주기적인 준설이 없으면 취수위 확보 어려움 - 수위증가시 급격한 유량증가 - 수동 수문조절(수위 및 퇴적사 배출) ※취입보 수위조절수문을 통하여 취수량 조절가능 ※퇴적사 배출수문 조작으로 부분적인 퇴적량 조절가능
<기계식 권상형 가동 취입보> 	· **장점** - 자동개폐가 및 가동보의 각도에 따라 유량조절이 가능하고 평상시 취수위 확보가 용이 - 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 대량의 토사유입 차단 - 기계식이지만 구조가 비교적 간단 - 취입보 내부의 퇴적사 배제가능 - 콘크리트 보와 연계하여 탄력적인 설계가능 · **단점** - 기계식으로 수문과 수문틀 사이에 협잡물 걸림으로 수문유지관리가 어려움

(표 3.37) 취입보 형식 별 장-단점 (계속)

<고무 가동 취입보> 	**· 장점** - 취수위의 안정적 확보가능(큰 수두확보에 유리) - 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 토사유입 차단 - 홍수시 홍수유량의 유입차단 - 지방하천이상의 비교적 큰 하천에 적합 - 안정적 습지가동 기대 - 홍수시 자동 전도로 보 내부에 유사의 퇴적염려 없음 **· 단점** - 고가의 설치비용 - 취입보 가동을 위한 수위계, 펌프실 등 부대시설필요 - 평상시 취수위 조절 불가능 - 안정적 운전가능하나 유지관리가 어려움
<기계식 회전형 가동 취입보> 	**· 장점** - 취수수위의 안정적 확보가능(큰 수두확보에 유리) - 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 토사유입 차단 - 홍수시 홍수유량의 유입차단 - 취수위 및 취입유량 조절가능 **· 단점** - 고가의 설치비용 - 취입보 가동을 위한 구동모터 등 부가장치 필요 - 안정적 운전가능하나 유지관리가 어려움
<기계식 유압형 가동 취입보> 	**· 장점** - 취수수위의 안정적 확보가능(큰 수두확보에 유리) - 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 토사유입 차단 - 홍수시 홍수유량의 유입차단 - 자동운전 **· 단점** - 고가의 설치비용 - 취입보 가동을 위한 구동모터 등 부대시설 필요 - 안정적 운전가능하나 유지관리가 어려움
<게이트 수문형 취입보> 	**· 장점** - 구조가 간단하여 유지관리용이 - 수동 게이트 수문의 개폐로 단순한 구조 - 홍수시 하상의 Bed flow 배제로 습지로 토사유입 차단 - 홍수시 홍수유량의 유입차단 **· 단점** - 안정적 운전가능하나 홍수시 수동개폐 필요 - 홍수시 전도되지 않을 경우 대량의 토사유입으로 인입수로 및 침사지 매몰발생 우려

(2) 취수보 형식 별 설계제안

표 3.38에는 취입보 형식 별 적용 및 참고지구를 제시하였다.

(표 3.38) 취입보 형식 별 설계제안

취입보 형식	적용	참고
콘크리트 보	- 유로경사가 큰 유입하천(계곡형 저수지) - 배후지 범람의 위험이 적은 곳	-무안 감돈지구 1호 습지
고무 가동보	- 수두확보가 어렵고 유로경사가 작은 비교적 큰 하천 - 콘크리트 보와 같은 고정형 취입보 설치로 배후지 범람위험이 큰 지역 - 기저유량이 상시적으로 흐르는 하천	-고창 궁산지구 1호, 2호 습지 -아산 도고지구 2호 습지
권상형 가동보	- 유로경사가 중간정도로 제방고가 높은 소규모 하천으로 콘크리트 보와 연계하여 설치가 가능한 곳	-서산 성암지구 1호, 2호 습지
유압식 가동보 회전식 가동보	- 수위변동이 심한 하천으로 습지로 유입되는 유량을 비교적 세밀하게 조절할 필요가 있는 하천 - 생활하수 및 도시비점유출이 있는 하천	-아산 상성지구 1호 습지 -함평 월천습지
게이트 형 수문	- 유로경사가 완만한 지역으로 홍수시 즉각적인 수문조작이 가능한 민가지역 하천	-홍성 홍동지구 1호 습지

(3) 취입보 적용의 한계

각종 수문조건에 노출된 하천에서 완벽하게 신뢰할 수 있는 취입보는 없다. 대부분의 취입보는 강우시 하천수위가 설계수위이상으로 증가하였을 때 수위감지를 통하여 기계적으로 전도되도록 고안되었으므로 만약에 홍수시 의도한 대로 작동하지 않았을 경우에는 침수나 범람, 그리고 대량의 유사유입으로 습지가 손상될 수 있다.

또한, 가뭄, 갈수기시 농업용수 확보를 위해 취입구조물을 이용하는 경우가 많다. 실제로 다수의 시설에서 이와 같은 문제가 관찰되고 있다.

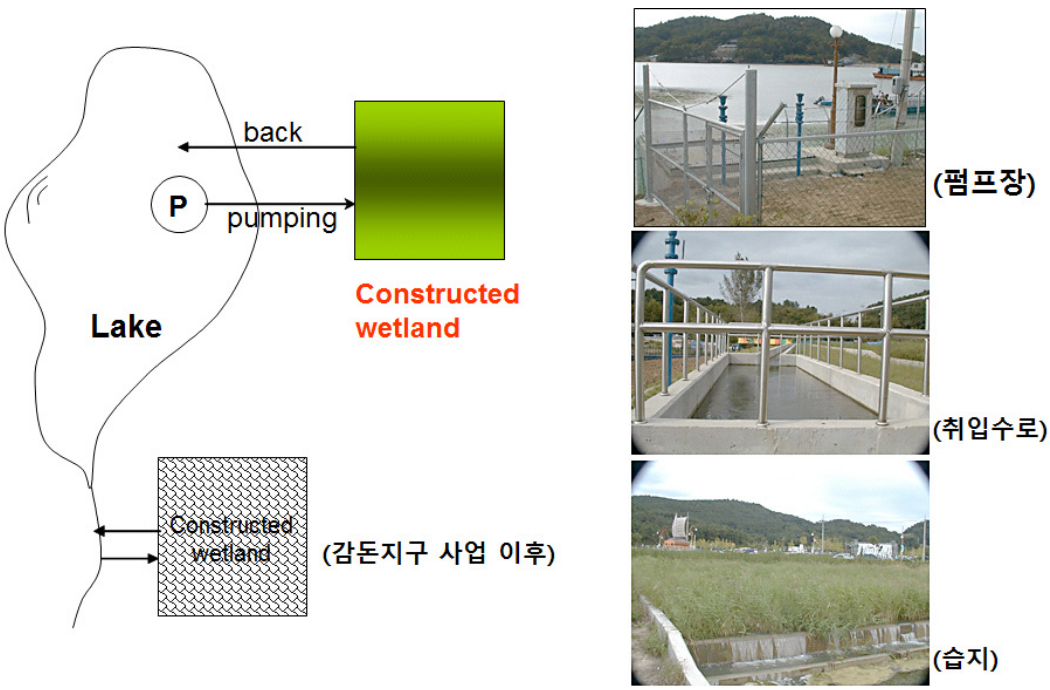
취입지점 및 취입보의 형태를 선정할 때에는 필요한 사항들을 표 3.39에 정리하였다.

나. 양수취입방식

농업용수 수질개선 사업지구의 인공습지를 운영하는데 있어 가장 큰 문제점은 취입시설로 판단된다.

취입보 퇴적물의 빈번한 준설 및 강우시 유역으로부터 발생되는 폐비닐과 농업 잔재물 등으로 인한 기계적인 고장 등이 주요 문제점이었으며, 취입시설물의 고의 파손 및 훼손과 같은 피해도 발생하고 있었다. 또한 강우시를 제외하고는 거의 기저유량이 발생되지 않아 평상시 취입이 안되는 지점에 취입보가 설치된 곳도 있으므로 현황 파악 후 대안이 필요한 것으로 사료되었다.

양수방식은 취입보 설치가 어렵거나 정상적인 기능을 기대하기 어려운 지역에서 하천수의 취입 대신 호내수나 침강지 물을 양수하여 인공습지로 공급 처리하는 방식을 말한다.



<그림 3.68> 양수방식에 의한 습지운영방안

양수방식의 취입방법은 1997년에 시행된 충남 아산 마산저수지의 수질개선 시험연구로 Pump and treat-back 방식이 적용된 바가 있다. 그림 3.68은 마산저수지에 적용된 양수방식의 인공습지 운영을 보여주고 있다. 호내

제방부에서 취수된 호내수는 인입수로를 통하여 인공습지에 유입되고, 처리 후 다시 호내로 배출되는 형태이다.

양수취입방식의 장단점을 정리하면 다음과 같다.

○ 장점

① 호내수를 직접 양수하여 습지 유입수로 공급하므로 하천유황에 관계없이 상시적으로 취입이 가능하다.

② 상시적으로 습지로 물이 유입되므로 계절에 상관없이 원활한 습지기능을 기대할 수 있다.

③ 습지로 유입되는 유량 및 수질변수가 비교적 일정하게 관리되므로 습지 성능과 효율의 모니터링 및 평가가 매우 용이하다.

④ 양수방식의 취입을 기존의 취입보 방식과 연계하여 운영할 경우 평상시와 강우시 수질개선사업의 효과를 극대화 할 수 있다.

⑤ 기존의 취입보 방식과 비교하여 유지관리가 단순하다.

○ 단점

① 펌프가동에 따른 전력비가 과도하게 소요된다.

② 주변에 민가가 있을 경우 펌프가동에 따른 소음민원이 따를 수 있다.

③ 호내수의 연속적인 습지순환 결과로 증발산에 의한 저수량 손실을 야기할 수 있다.

④ 동력이 필요한 펌프사용에 대한 사회적 합의가 필요하다.

양수취입방식은 크게 저수지에 조성된 부댐의 정체수를 양수처리 한 후 처리수를 호내로 배출하거나 호내수를 직접 양수처리한 후 호내로 배출시키는 방안을 구상할 수 있다.

그림 3.69에는 다양한 양수취입방식의 예를 나타내었다. (a)는 평상시 기저유량의 발생이 적거나 없고 수두확보가 어렵거나 하천상황이 허락지 않아 취입보 설치가 여의치 않은 지구에 적용 가능한 양수취입 처리방식의 예를 도시한 것이다. 이와 같은 양수처리방식은 저수지 수변 공원화 사업 등 특별한 경우가 아니면 비용대비 처리효과가 크지 않으므로 가급적 적용을 피한다.

(b)는 (a) 와 같은 조건에서 오염도가 강한 저수지에서 부댐으로 설치한 침강지 및 녹조발생이 우려되는 저수지에 적합한 양수취입방식의 적용을

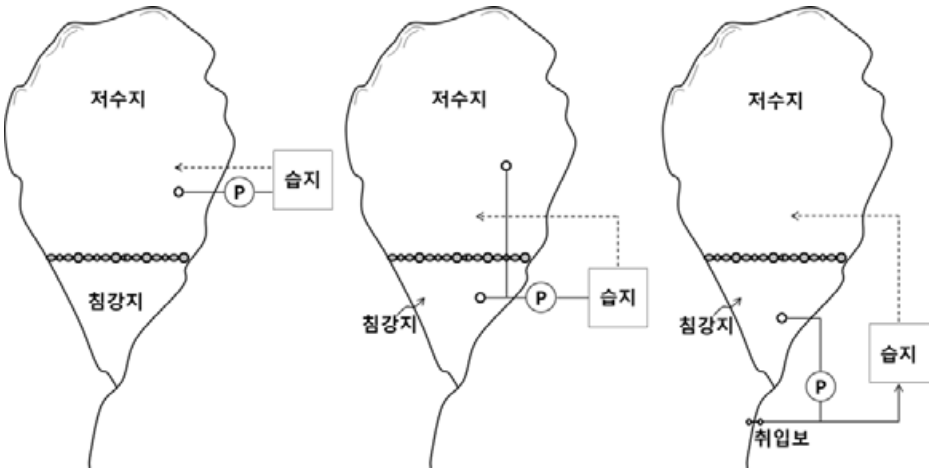
도시하였다.

(c)는 취입보 설치에 의한 취수가 가능하나 갈수기나 저수기때 취입수량이 충분하지 않은 사업지구에서 취입보 취수를 보강하기 위한 방안으로 양수방식을 결합한 예를 도시하였다.

양수취입방식은 크게 저수지에 조성된 부댐의 정체수를 양수처리 한 후 처리수를 호내로 배출하거나 호내수를 직접 양수처리한 후 호내로 배출시키는 방안이 있다.

취수지점은 저수지나 침강지의 물을 안정적으로 취수할 수 있는 지점이며 양수시설의 위치는 시설가동으로 발생되는 소음피해나 주민의 민원이 없는 지점을 선정한다.

추가적인 양수관련 시설의 설계는 농업용수 양수시설 설계방법을 준용한다.



<그림 3.69> 양수취입방식의 적용방법 예시

(a) **(b)** **(c)**

다. 인입수로

(1) 인입수로의 설계제안

(표 3.39) 인입수로의 설계제안

항 목	설 계 요 령
적용대상	○ 하천수 및 저수지 물과 침강지 부댐 정체수 취입 후 습지선단으로 인입 ○ 양수방식 취입 후 습지선단으로 취입수의 인입
설계 요령	○ 수두확보에 적합한 형식의 취입보를 선정하여 인입수로의 길이를 최대한 단축 ○ 가급적 U자 형태의 개수로 형태로 설치하고 그렇지 않을 경우 부분적 개수로나 점검구를 설치하여 유지보수 및 수문관측이 용이하도록 설계 ○ 인입수로의 길이는 최대 50m를 초과하지 않도록 하며 불가피할 경우 점검부와 부분 개수로 형태로 설계 ○ 단 양수취입방식일 경우에는 인입수로의 길이제한은 적용되지 않음 ○ 저수지 유입부 유역특성으로 인하여 수두확보가 어렵고 취수보를 설치할 경우 인근의 농경지나 민가의 침수가 우려되는 지역이면서 인입수로의 길이가 지나치게 길어지는 사업지구에는 양수취입방식을 적극적으로 고려

라. 습지의 운영, 유지관리

지역주민이나 탐방객 입장에서 습지가 누군가에 의해 주기적으로 관리되고 있음을 인지하도록 하는 것은 습지운영에 있어 매우 중요하다.

홍동지구 1호 습지는 인공습지 운영관리에 필요로 하는 최소한의 유지관리가 이루어지고 있는 우수한 사례지구로서 유지관리도로 주변, 각 습지의 배출수 수집연못 주변, 습지 셀과 셀을 연결하는 수로주변, 그리고 홍수시 침수되는 홍수터 등에 대해서 벌초 및 청소작업이 수행되고 있었다.

이와 같이 인공습지의 운영, 유지관리는 인공습지의 수처리 기능 향상은 물론 생물 서식공간으로서, 친수경관 지구로서의 부가적 가치를 창출해 낼 수 있다.

<그림 3.70> 식생관리가 이루어지고 있는 도로 및 법면

<그림 3.71> 식생관리가 이루어진 제방 및 법면

<그림 3.72> 식생관리가 이루어진 셀 간 연결 전폭웨어부

<그림 3.73> 벌초작업이 이루어진 홍수터 및 장비 진입로 및 주차장

<그림 3.74> 습지와 도로 제방에 야생화의 식재

2. 최신기술 도입방안

수질개선사업에 주로 적용되는 지표흐름 인공습지에 추가적으로 적용 가능한 최신기술로 하이브리드 습지, 지표-지하 조합형 인공습지 등을 들 수 있다. 또한, 추가적으로 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화수로의 병행, 고농도 유입수가 있는 곳에 미세조류 수처리 장치의 병행적용, 습지 유출부에 천적 생물 배양장치의 적용 등 신기술의 융복합 적용 등을 들 수 있다.

가. 지표-지하 조합형 인공습지

(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 최적 조합하여 수질 정화효율을 향상시키고자 한다.

(나) 목적

형태별 인공습지의 최적조합으로 수질정화와 동식물 서식처 조성, 경관 창출을 주요 목적으로 한다.

(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 3.40) 지표-지하 조합형 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 접촉여재에 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 입자상 물질이 억류 제거된다. 또한, 여재에 호기성, 혐기성막이 형성되어 유입되는 유기물, O_2, NO_2, NO_3등이 호기성박테리아에 의해 H_2O, CO_2로 변화하며 혐기성박테리아에 의해 유기산, H_2S, CH_4, H_2로 변화되어 제거된다.

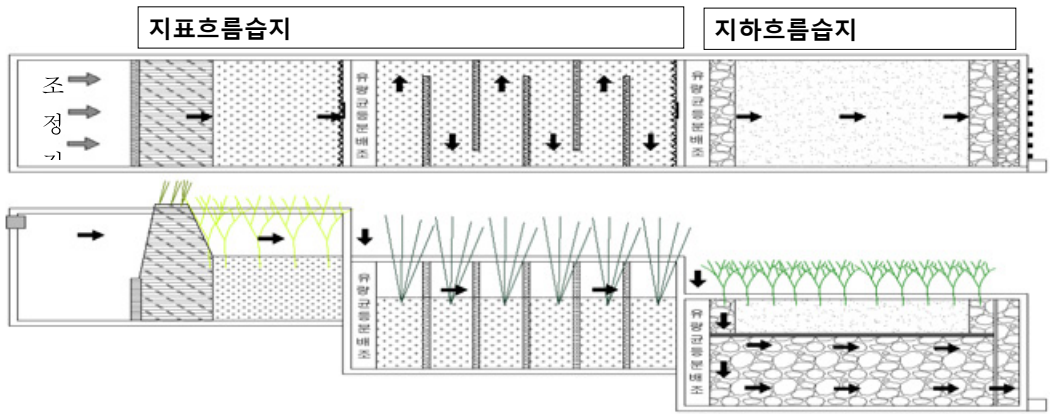
(나) 정화효율

(표 3.41) 지표-지하 조합형 인공습지

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

자료출처 : 한국농촌공사, 2006

(다) 공법의 모식도

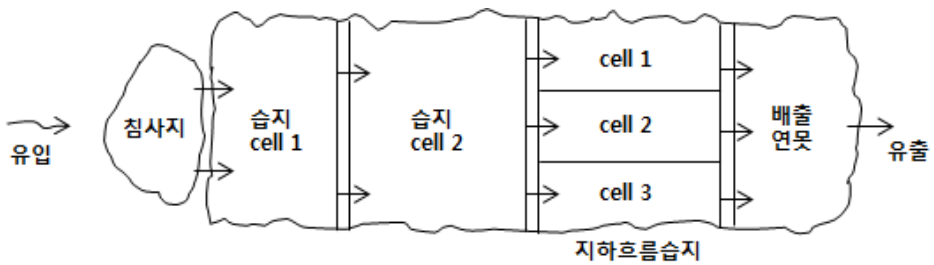


<그림 3.1> 지표-지하 조합형 인공습지의 모식도

(3) 설계요령

(표 3.42) 지표-지하조합형 인공습지 설계요령 요약

항목	설 계 요 령
적용대상	○ 조합형 습지의 구성은 지표흐름습지 처리수질을 개선하거나 향상시키는 사업지구에 그 적용을 한정한다. ○ 하천수 및 강우유출수의 직접처리는 제한하는 것이 바람직하다.
설계인자	○ 주요 설계방법은 지표흐름습지의 설계요령과 동일 ○ 지하흐름습지와 동일 ○ 지표흐름습지와 연계한 지하흐름습지를 설계할 경우 개별 셀의 직렬식 연결보다는 병렬식 또는 분배수로를 이용한 다중유입 방식을 권장
설계시 고려사항	○ 주요 고려사항은 지표흐름습지와 동일 ○ 지하흐름습지와 동일



<그림 3.75> 지표흐름습지와 지하흐름습지의 배치예시

나. 식생수로

(1) 개 요

(가) 정 의

식생수로(enhanced swale)는 식생을 갖춘 개수로로 집수구역으로부터 발생되는 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

습식 식생수로는 집약농업지구(비닐하우스 원예단지), 축산단지, 논 강우 유출수 등에 적용한다. 건식 식생수로는 농공단지, 농업용저수지 유입하천과 직결된 노면유출수, 문화마을, 쇼핑센터 주차장, 관광단지 주차장 및 노면유출수 등에 적용한다.

식생수로의 경사는 매우 완만하게 설계되므로 유출이 느리고 얕게 흘러서 입자상 오염물질의 침전이 일어나고 침식발생 가능성을 줄일 수 있다. 흐름방향으로 투수둑이나 체크 댐을 설치하여 침전이나 침투를 도모한다.

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.

습식 식생수로(수로형 습지)는 지하수위 또는 투수성이 불량한 토양까지 굴착하여 조성한 수로로 구성되며, 다단형의 작고 수심이 얕은 습지 셀(wetland cell)을 이루도록 중간 중간에 체크댐을 설치한다.

건식 식생수로는 하부배수시스템 상부에 위치한 투수성 여과상과 유출수를 운송하는 개수로로 구성된다. 오염물질은 수로의 주요부에 위치한 토양여과지를 통과하면서 처리된다.

(다) 장점 및 단점

(표 3.43) 식생수로의 장·단점

장 점	단 점
○ 강우유출수의 운송과 비점오염물질 처리를 동시에 달성가능 ○ 경계석(또는 연석)을 갖춘 배수로 설치비용과 비교하여 저렴 ○ 유출속도의 경감으로 도랑이나 수로침식방지	○ 경계석을 갖춘 배수로보다 훨씬 많은 유지관리필요 ○ 경사가 급한 곳에는 적용 불가능 ○ 침적된 토사의 재부상 가능성 ○ 잠재적으로 위생해충 문제가 발생될 가능성이 큼 ○ 대수층 오염 가능성

나. 습식 식생수로

(1) 정화원리

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

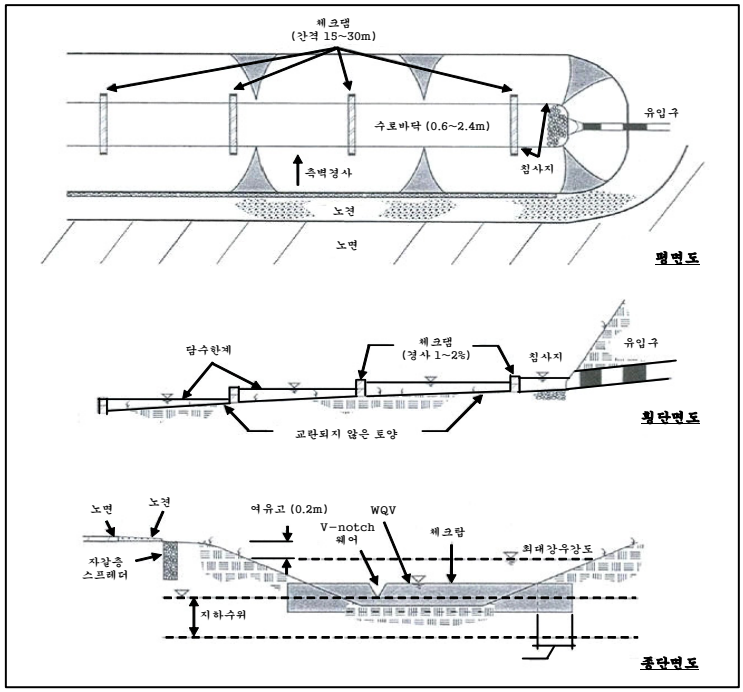
(2) 정화효율

(표 3.44) 식생수로의 정화효율

	TSS	TP	TN	중금속
습식침투형	75%	25%	40%	20%

자료출처 : 농촌지역 비점오염관리 가이드북

(3) 습식 식생수로의 평면도 및 종단면도 예



<그림 3.76> 습식 식생수로의 평면도 및 종단면도 예

(4) 설계요령

(표 3.45) 습식 식생수로의 설계요령 요약

항 목	설 계 요 령
적용대상	○ 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. ○ 완충지대가 훼손되지 않고 자연상태를 그대로 유지하고 있는 지역을 입지 후보지로 고려
설계인자	○ 식생수로를 설치하고자 하는 지역의 집수면적은 2ha 미만 ○ 식생수로의 경사는 최소 1%, 최대 4%를 초과하지 않도록 설계해야 하며 1~2%의 경사가 이상적임, 평균수심은 0.3m 정도가 유지 ○ 식생수로의 바닥 폭은 적절한 여과작용이 일어날 수 있도록 0.6~2.4m가 적당하며, 측벽 경사는 2:1을 초과하지 않도록 한다. ○ 습식 식생수로 - 습식 식생수로의 크기는 최대수심을 나타내는 지점에서 45㎝ 깊이 - 체크댐(check dam)을 설치하여 다단형 습지 셀로 조성 ○ 전처리/유입구 - 식생수로 유입구는 견치석(rip-rap)이나 돌망태(gabion)를 사용하여 에너지 소산장치(energy dissipator)를 구비 - 건식 또는 습식 식생수로에는 전처리 시설로 유입구에 침사지를 설치 ○ 유출구의 구조 - 습식 식생수로: 수로 유출구는 세굴과 침식으로부터 보호될 수 있도록 설계 ○ 지형학적 특성 - 급한 경사지 : 경사가 4% 이상일 경우 타당성이 없다. ○ 하류유역 고려사항 - 오염물질 대량배출 잠재성이 큰 유역으로부터 발생되는 강우유출수의 침투를 방지하여 지하수 오염가능성을 사전에 차단 ○ 경관 - 습식 식생수로 : 수로에 정수식물을 식재하고 상시적으로 습지식생을 유지
설계시 고려사항	○하류유역 고려사항 - 오염물질 대량배출 잠재성이 큰 유역으로부터 발생되는 강우유출수의 침투를 방지하여 지하수 오염가능성을 사전에 차단

다. 건식 식생수로

(1) 정화원리

건식 침투형 식생수로(dry swale)는 식생을 갖춘 수로로 배수시스템 상부에 여과상(filter bed)을 두고 있다. 이러한 형태의 수로에서는 WQv 전량이 여과상을 통과하고 수로바닥을 통하여 침투가 일어나도록 설계된다.

건식 식생수로는 대부분의 시간동안 건조한 상태로 있게 되며 주로 보통 밀도를 갖는 대규모 주거지역이나 주차장 또는 지붕 강우유출수 처리나 농촌지역을 통과하는 고속도로 노면 유출수 처리에 사용된다.

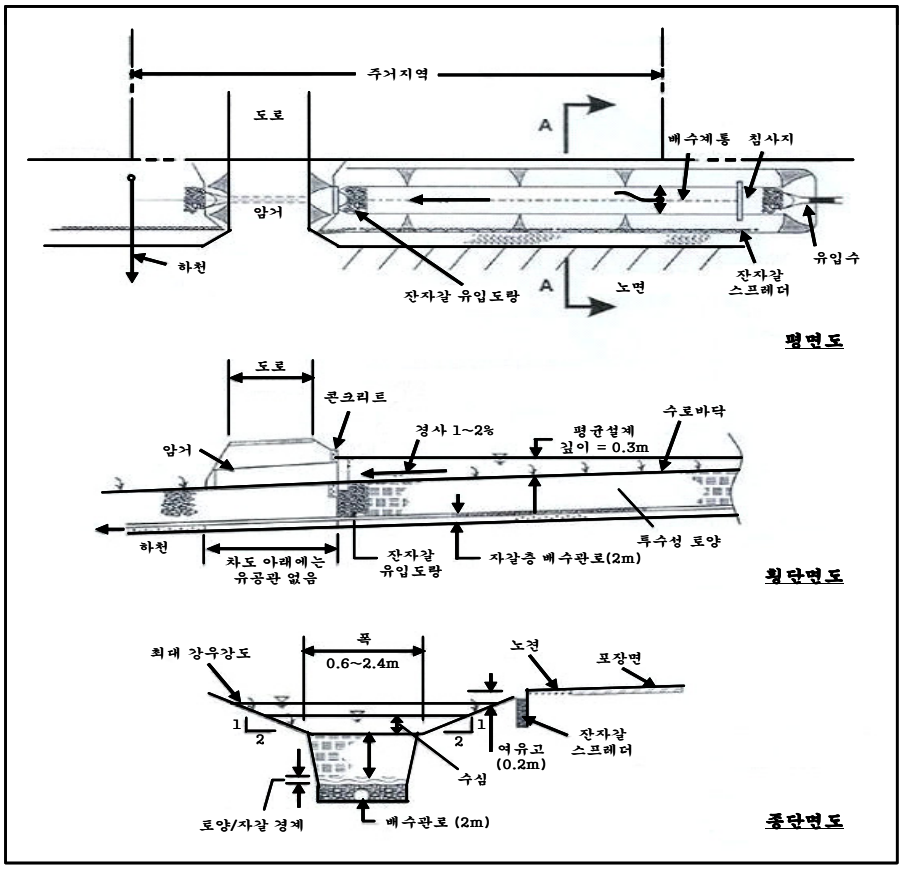
(2) 정화효율

(표 3.46) 건식 식생수로의 정화효율

	TSS	TP	TN	중금속
건식침투형	90%	50%	50%	40%

자료출처 : 농촌지역 비점오염관리 가이드북

(3) 건식생수로의 평면도 및 종단면도



<그림 3.77> 건식 식생수로의 평면도 및 종단면도

(4) 건식 식생수로 설계요령

(표 3.47) 건식 식생수로 설계요령 요약

항 목	설 계 요 령
적용대상	○ 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. ○ 완충지대가 훼손되지 않고 자연상태를 그대로 유지하고 있는 지역을 입지 후보지로 고려
설계인자	○ 건식 식생수로 규격 - 식생수로를 설치하고자 하는 지역의 집수면적은 2ha 미만 - 식생수로의 경사는 최소 1%, 최대 4% - 평균수심은 0.3m 정도가 유지 - 식생수로의 바닥 폭은 적절한 여과작용이 일어날 수 있도록 0.6~2.4m가 적당, 측벽 경사는 2:1을 초과해서는 안 됨 - 건식 식생수로는 전체 WQv를 45㎝ 이하로 저류 - 완전배수시간은 48시간 이하가 최대값이나 24시간 정도가 적당 - 건식 식생수로의 바닥은 75㎝ 깊이 정도 - 투수속도는 0.3m/일(최대 0.45m/일)이 적당 ○ 전처리/유입구 - 식생수로 유입구는 견치석(rip-rap)이나 돌망태(gabion)를 사용하여 에너지 소산장치(energy dissipator)를 구비 - 건식 또는 습식 식생수로에는 전처리 시설로 유입구에 침사지를 설치 ○ 유출구의 구조 - 건식 식생수로 : 우수배제계통이나 침식을 일으키지 않는 안정적인 낙차공을 통하여 유출 ○ 지형학적 특성 - 급한 경사지 : 경사가 4% 이상일 경우 타당성이 없다. - On-Line으로 설계된 식생수로라고 해도 시설보호를 위하여 호우시 발생되는 고유량을 우회 시킬 수 있도록 우회수로를 설치해야 한다. 강우유출수는 침사지에 의해 미리 전처리 - 식생수로는 2년 빈도의 홍수시 발생하는 최대유속이 주어진 토양과 식생조건하에서 침식을 일으키지 않을 정도의 흐름이 유지되어야 함 - 주거지역과 비주거지역을 구분하여 건식 및 습식 식생수로를 결정해야 함. - 토양의 투수성이나 지반의 경사 등을 고려하여 타당성을 검증한 후 도입을 결정함
설계시 고려사항	○ 습식 식생수로와 동일

제4장
최신공법 분석 및 적용방안

제1절 최신공법을 포함한 수질개선사업 적용가능 공법 및 기술

제2절 적정공법 선발 및 효과분석

제3절 최신공법 설계에 필요한 공학적 요소 및 공학적 설계인자 도출

제4장 최신공법 분석 및 적용방안

제1절 수질개선 사업 적용가능 최신 공법 및 기술

1. 신공법, 신기술을 포함한 개선사업 적용가능 공법 및 기술검토

농업용 저수지는 정체수역으로 유역에서 유입되는 오염물질과 장기간의 물질 퇴적으로 인한 퇴적층의 증가로 인해 생태계의 건전한 기능수행을 저해하는 조류가 비정상적으로 발생한다. 이에 심층수의 산소고갈, 저서생물의 고사, 독성물질의 용출로 인한 어패류 및 기타 주요한 생물들의 피해, 어업 등 수산 양식업 피해, 이취미 발생 등 다양한 문제점들이 발생되고 있다.

정부와 지자체에서는 저수지를 포함한 공공수역의 수질관리를 위해 적용 가능한 수질개선 공법을 개발, 발굴하여 적용하고 있으며, 특히, 녹조관리를 위한 사전, 사후 기술에 대한 관심과 집중이 크게 나타나고 있다.

농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 최신공법을 선별하기 위해 국내외 특허기술과 환경부에 등록된 환경신기술, 한국농어촌공사 단기 수질개선 대책사업, 한국농어촌공사 주관 환경 신기술 전시회, 한국수자원공사 테스트베드 적용기술, 한국수자원공사 주관 환경기술대전, 환경부 주관 환경기술 발표회, 한국환경산업기술원과 국립환경과학원 등의 R&D 분야 환경기술 등을 종합 분석하였다.

<그림 4.1> 농업용수 수질개선을 위한 환경분야 신기술 신공법 기술설명회 모습

(표 4.1) 최신공법 및 기술 (환경신기술 설명외, 한국농어촌공사)

번호	공 법 명	기술보유업체명
1	녹조류 발생 억제 및 제거 공법	유니테크상사
2	이코존 다목적 녹조닥터	이코존
3	배터리가 없는 태양광을 이용한 수질정화장치/ OH-Radical과 마이크로버블을 이용한 녹조 및 적조 제거장치	한일이에스티
4	나노버블발생장치를 통한 수질개선(악취제거 및 탁도개선)	하이에너지
5	피토모스를 활용한 녹조제어	골든피트
6	Green TD를 활용한 조류제거 신공법	비오지노키
7	유용미생물이 Killer toxin과 천연 광물질을 활용한 조류 살조 기술	양지엔텍
8	바이오스톤볼 접촉산화공법을 이용한 농업용 저수지 수질개선	수생태복원
9	Bio Housing-System에 의한 저수지 수질정화용 부댐	동산콘크리트산업
10	접촉산화트랩 및 기능성 펌프실을 이용한 호소 조성 및 수질정화 시공기술	엔에프
11	준설탈수시스템	남선개발
12	AirMist 대수역 수질개선 공법	디스텍
13	다목적 수륙양용선을 이용한 수초, 식생제거 및 준설공법/ 환경신기술 405호를 이용한 조류제어 및 수질개선공법	엠씨이코리아
14	저수지 인불용화 공법	바론에이치앤씨솔루션
15	미세조류를 이용한 고농도 오염하천 수처리 및 조류 자원화 기술	네이코스 엔지니어링
16	고효율 태양광 물 순환장치와 자동 수처리제(미생물) 공급장치	씨앤씨솔루션
17	OH Radical System(살균, 탈취, 세정, 정화)	한국이엠비기술
18	Bio-Rotor 이용한 호소수 정화기술/ 토양 피복형 접촉산화공법	토우건설
19	하이드록실 라디칼을 이용한 수질개선 시스템	삼성라디칼
20	키토산올리고당과 라디칼 순환제를 활용한 녹조제거기술	오케이바이오
21	남조류 세포에 직접 반응하여 성장억제 및 클로로필 저감 기술	씨엠아이
22	물순환장치와 인공식물섬을 활용한 수질개선기술	리버앤씨
23	순산소 공법을 이용한 용존산소 공급 시스템	더존코리아
24	인공습지와 식물롤을 이용한 수질개선	녹지원
25	풍력교반과 태양 전기폭기순환에 의한 뿌리수면식재 공법	비오톱코리아

(표 4.2) 최신공법 및 기술 (녹조저감기술대전, 한국농어촌공사/한국수자원공사)

수계	업체명	유형	기술명	기술개요
한강(3)	㈜청옥	물질	올-워터크린	천연광물질(운모)
	㈜JCP TECH	설비	BIORECO 300	미세기포발생장치(부상식)
	한국디지털랩	설비	음이온발전기	음이온발생장치
낙동강(5)	㈜서현에너지, ㈜진행워터웨이	설비	선박형 녹조제거선	과산화수소발생장치(일체형)
	㈜미래이앤아이	설비	폰툰형 녹조제거선	스크류컨베이어식여과장치
	오션에코	설비	산소화이터	산소용해장치
	㈜디스텍	설비	에어미스트-32	미세기포발생장치(자흡식)
	다우전기	설비	녹조제거시스템	가압부상분사필터장치
	㈜코리아베르톨드	설비	MPC-Buoy	초음파발생장치
	㈜운해ENC	설비	융합녹조제거기술	전기분해장치
	㈜아쿠아스마트코리아	물질	BIO-Lair	물순환미생물담체
	㈜씨엠아이	물질	마이팅션	조류제거제
금강(4)	㈜엔티큐	설비	몬스터시리즈	미세기포발생장치(노즐분사식)
	㈜미래이앤아이	설비	하이브리드형물순환장치	물순환장치(태양광,풍력구동)
	㈜그룬	설비	플라즈마조류저감장치	수산기발생장치(플라즈마방전)
	㈜에네트	설비	하천녹조제거시스템	미세기포발생장치(고속충돌식)
영산강(10)	㈜대명산업	물질	블린100	조류응집제, 살포장치(일체형)
	㈜비오지노키	물질	GreenTD	친환경조류제거제
	㈜소마테크	물질	후레쉬라이프W	수질개선제(천연광물,미생물)
	㈜정토산업	물질	포스락	천연광물질(벤토나이트)
	㈜데오베니아	물질	천연제올라이트	천연광물질(제올라이트)
	㈜월드이온에너지	물질	소성패각분말	조류제거제(수산화칼슘)
	㈜엠씨이코리아	물질	워터헬스	조류제거제(천연광물,식물)
	㈜위버텍	물질	위버라이트	천연광물질(장회석)
	㈜오케이바이오	물질	알지크리너, 알지닥터	조류제거제(라디칼순환제)
	㈜엔이씨테크	물질	천연광물나노융합기술	조류제거제(나노융합광물)
	정안환경	물질	Micro-Blaze F.O.G	미생물제
	㈜바이오밴코리아, ㈜현명한사람들	물질	BROST	미생물제

2. 수질개선 사업 적용 가능 공법 및 기술

농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 기술은 유역대책으로 유입수의 인, 질소처리 기술, 호내대책으로 내부생산저감, 녹조예방, 억제, 제거 기술 등이 있다.

표 4.3는 기존의 최신 공법을 물리적, 화학적, 생물학적 공정으로 구분하고, 유역 대책과 호내 대책으로 구분하여 제시하였다.

이러한 농업용 저수지 수질개선을 위하여 유입 부하량 저감을 위한 인공습지와 침강지 설치 및 운영기술 녹조제어를 위한 단기 호내 대책기술, 호소 주변의 수질개선 기술을 개발하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현재 저수지 수질개선을 위한 최신 공법 조사를 수행하였다. 농업용 저수지 수질개선기술에 관한 연구는 많은 연구가 진행되어 있으며 표 4.3에는 수질 개선을 위한 최신 공법을 나타내었다. 농업용수 수질개선사업에 적용하는 공법으로 물리적공법으로 유역대책으로 적용가능한 공법에는 침강지, 침투도랑, 여과세라믹여재 등을 들 수 있다.

(표 4.3) 농업용수 수질개선 사업에 적용가능한 적정 공법

구분	유역 대책	호내대책
물리적	막여과 **침강지** 침투저류지 **침투도랑** **여과:세라믹볼여재**	**폭기** : 나노버블발생장치, 순산소 공법 등 **물순환**: 태양광, 풍력구동 준설: 친환경 준설탈수시스템 **부댐**: Bio Housing-System, 사력댐 **조류제거선**: 선박형녹조제거선(과산화수소, 스크류 컨베이어식 여과장치) OH라디칼 음이온/초음파/전기분해
화학적	응집침전 응집부상 인불용화	조류제거제(응집, 분해, 침전) : 활성백토, 산화아연, 산화마그네슘 등의 복합광물질, 천연광물 나노융합기술, 벤토나이트, 천연제올라이트, 소성패각분말, 장회석 등 응집부상: 천연광물, 식물제재, 가압부상분사필터장치 인불용화: Alum, PAC
생물학적	**인공습지** : 지표흐름 / 지하흐름 **식생여과대**: 인공습지와 식물롤 **미세조류 수처리** **접촉산화수로**: 바이오스톤볼	**천적생물 적용기술** **인공식물섬** 미생물 제재 어류 등 생태계 제어
물리+화학		물순환+ 조류제거제 키토산올리고당+라디칼 순환제 활용기술
물리+생물		여과트랩+식생대, 물순환장치+미생물공급 물순환 + 미생물담체

호내대책으로는 폭기, 물순환, 부댐, 조류제거선 등이 있으나 화학제를 사용한 방법은 장기대책으로 적당하지 않다. 생물화학적 공법으로 유역대책으로 인공습지, 식생여과대, 미세조류수처리. 접촉산화수로 등을 들 수 있으며, 호내대책으로 천적생물 적용기술, 인공식물섬 등을 제안할 수 있다.

표 4.4는 최신 공법의 특징과 처리범위, 적용시기, 제한사항, 문제점 등을 나타내었다.

(표 4.4) 최근 도입되고 있는 수질개선기술

구 분	공 법 특 징
가압 부상 처리	◦개요 : 미세기포 또는 미세기포와 응집제 등을 혼합.분사하여 녹조와 수중, 호저 부니층의 오염물질을 수면위로 부상.제거하여 수질을 개선하는 공법 ◦처리범위 : 호소 전수역의 수층, 부니층 ◦적용제한 : 유효수심 1.5~3m범위의 저수심 지역 ◦적용시기 : 녹조 대발생 초기 또는 대발생후 ◦문제점 : 응집제의 수중 잔류 및 퇴적층의 오염농도 증가
미생물 처리	◦개요 : 미생물 단독 또는 미생물과 보조재를 이용하여 오염물질을 분해.제거하거나 수생태계의 생물활성도를 높여 오염물질을 생물이 흡수.제거함으로써 수질을 개선하는 공법 ◦처리범위 : 호소 전수역의 수중, 부니층 ◦적용제한 : 없음(장마.동절기 제외) ◦문제점 : 수온, pH, 용존산소 등 환경제약이 크고, 안정화에 소요되는 기간이 2개월 정도로 긴 편임
천연물질 처리 (응집부상)	◦개요 : 자연식물 또는 천연광물의 성분을 이용하여 녹조발생억제, 발생된 녹조와 수중오염물질을 제거하여 수질을 개선하는 공법 ◦처리범위 : 호소 전수역의 수층, 부니층 ◦적용시기 : 녹조 발생시기 또는 수질오염도 증가시기 ◦문제점 : 응집 부상원리로 제거되므로 잔존물질의 침전, 재부유됨
물리적 순환처리 (물순환 장치)	◦개요 : 폭기 또는 임펠러를 이용해 저층까지 산소를 공급하여 수직·수평으로 물의 순환을 유도함으로써 수중 및 부니층의 오염물질의 분해제거등 작용을 통해 수질을 개선하는 공법 ◦처리범위 : 유효수심 1.5~3m범위의 저수심 지역 ◦적용시기 : 녹조 발생시기 또는 수질오염도 증가시기 ◦문제점 : 작용범위가 예상 보다 좁고, 수심이 낮은 경우 퇴적층을 교란하여 녹조발생이 가중될 수 있음
전기적 처리	◦개요 : 초음파, UV, 오존 등 전기를 이용하거나, 그 형태를 변경하여 녹조의 발생을 억제하거나, 사멸시켜 수질을 개선하는 공법 ◦처리범위 : 호소 전수역의 표층 ◦적용시기 : 녹조 대발생 초기부터(적용제한 없음) ◦문제점 : 사멸된 녹조의 영양염류 재용출로 녹조재발 가속화

제2절 적정공법 선발

농업용수 수질개선사업의 최신기술로서 매뉴얼에 천적생물 적용기술, 미세조류를 이용한 수처리기술, 바이오스톤을 이용한 접촉산화공법, 무인 수질관리선 등 20개 공법을 제안하고, 적용가능성을 분석하여 최종 7개 공법의 설계인자를 제시하였다.

최신공법에 대한 기술검토를 통하여 물리적 실현가능성이 우수하고 현장 적용성이 높은 기술을 저수지 환경에 적합한 미세조류를 이용한 수처리기술, 바이오스톤을 이용한 접촉산화공법 등과, 녹조문제가 심각한 저수지 현장에서 녹조를 처리할 수 있는 천적생물 적용기술, 다단 가압부상 기술, 무인항법 장치 등을 선정하여 필요한 사업지구에 검토될 수 있도록 설계 매뉴얼에 반영하였다. 또한 기존의 설계매뉴얼에서는 다루지 않았던 호안조성 부분을 추가하여 수질개선목적이나 공원화 사업 등이 시행되는 저수지의 호안조성이나 침강지 및 습지의 호안 및 제방조성에 활용될 수 있도록 대폭 신설하였다. 호안조성 기술은 토목적 설계 및 시공방법 뿐만 아니라 수질정화 원리 및 효과 등도 제시하여 사업관리자나 설계자가 참고할 수 있도록 하였다.

(표 4.5) 수질 개선을 위한 최신 공법 조사

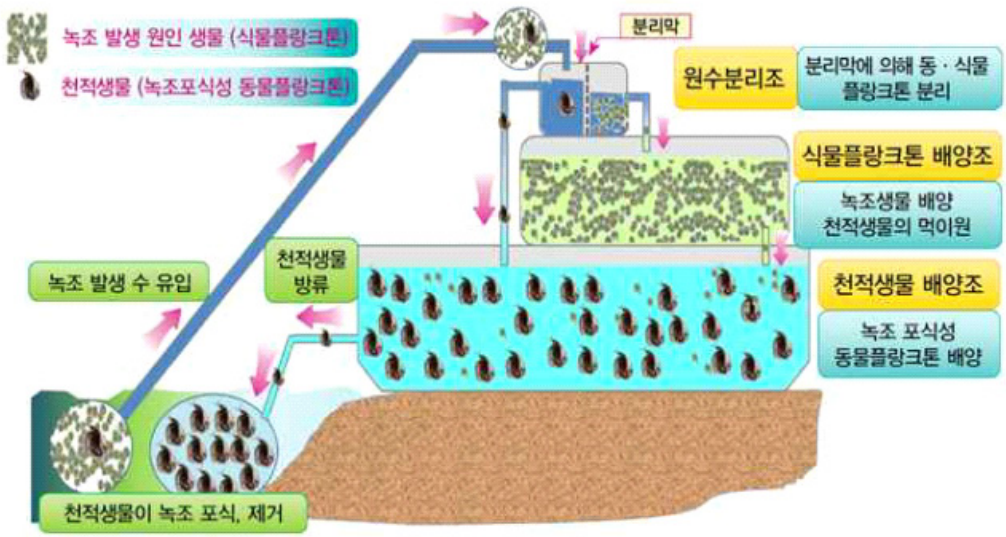
기 술 명	적용 가능한 공간	선정공법
식생방틀을 활용한 하안선형 유도와 하천 수생태복원기술	호내 유입부 적용기술, 습지 내 적용기술	
다층형 부유습지를 이용한 댐·호의 수생태 복원기술	수면 호내 적용기술	◎
하천 재해예방 및 복구를 위한 섬유혼합 다공성 소일 블록 적용 기술	습지 내 적용 기술	
투수체와 포머를 이용한 현장 설치식 호안공법	수면 호내 적용기술	
물골형상을 활용한 하도육역화 저감 기술	자연 유하 가능 수질 개선 기술, 호내 유입부 적용 기술, 습지 내 적용 기술	
오염하천 및 호소의 정화장치 및 방법 (끈상접촉산화공법, ASCO)	수면 호내 적용기술	
천적생물 배양장치 공법	자연 유하 가능 수질 개선 기술, 호내 유입부 적용 기술, 습지 내 적용 기술	◎
미세조류 수처리 시스템 공법	수면 호내 적용기술	◎
다단 가압부상 장치	수면 호내 적용기술	◎
간헐적 포기습지	습지 내 적용 기술	
바이오스톤볼을 활용한 접촉산화수로	호내 유입부 적용기술, 수면 호내 적용기술, 습지 내 적용 기술	◎
호소 생물다양성증진을 위한 복합부유습지 조성기술	수면 호내 적용기술, 습지 내 적용 기술	
수질정화용 무인항법 장치	수면 호내 적용기술	◎
하천 수변의 하안 유도 및 생태공간 조성기술	호내 유입부 적용 기술	◎
초음파	수면 호내 적용기술,	
물순환장치	수면 호내 적용기술, 습지 내 적용 기술	
아쿠아리프트 조류제어 공법	수면 호내 적용기술, 습지 내 적용 기술	
오존 마이크로버블 공법	수면 호내 적용기술	
복합미생물(KEMM) 공법	수면 호내 적용기술	
자갈접촉 산화법	호내 유입부 적용 기술	

제3절 최신공법 설계에 필요한 공학적 요소 및 공학적 설계인자 도출

1. 녹조 포식성 천적생물 배양 및 적용기술

가. 기술의 개요 및 특징

천적생물 배양 및 적용 기술은 녹조의 원인인 식물플랑크톤을 제어하기 위한 생태적 접근으로 하천 및 호소 내 자연 상태에서 1차 생산자인 식물플랑크톤과 끈임 없이 경쟁하며 식물플랑크톤을 포식하는 동물플랑크톤(천적생물)을 현장에서 분리하여 포식자의 개체수를 선택적으로 증가시키고, 녹조원인생물과 천적생물은 거의 유사한 환경을 공유하여 생태계 내 평형관계를 유지하는 기술이다. 그림 4.2에는 천적생물 배양장치 공법의 배양장치 원리 및 구조를 나타낸 것이며, 저수지 원수유입(양수), 선택분리(원수 분리조), 먹이생물 배양, 천적생물 배양, 현장살포 등의 공정으로 구성된다.



<그림 4.2> 천적생물 배양장치 공법의 배양장치 원리 및 구조

나. 설계 시 고려사항 및 설계 인자

천적생물 배양장치는 플랑크톤 등의 미생물들을 활용한 기술이기에 체

류시간, F/M비 등의 공학적 설계인자와 각 공정에 맞는 펌프유량, 원수 분리조 유입유량, 배양조 체류시간, 천적생물 배양조 유입유량 등의 수공학적 설계인자를 고려하여 설계해야한다(표 4.6). 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 유지해야함 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 4.6) 천적생물 배양장치 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소

천적 생물 배양장치 공정	수공학적 및 공학적 설계요소
설계유량	목표순환빈도
원수 분리조	수리학적 부하율(㎥/㎡-hr), 체류시간(hr), 고형물질 부하율(kg/㎡-hr)
먹이 배양조	수리학적 체류시간(hr), 혼합방법 및 강도(G)
천적생물 배양조	수리학적 부하율(㎥/㎡-hr), 체류시간 F/M 비(kg 조류/kg 천적생물-일), 유입유량

(1) 설치기준

천적생물 배양장치의 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/L를 적용
- 개체군 성장률은 타 섭식 가능한 녹조류를 혼합하여 섭식한 ml 평균 개체군 성 장률로 알려진 0.25로 가정
- 주 1회 살포되는 천적생물은 목표 Chl-a 농도 저감을 위한 현장의 최대 개체군 밀도를 한계수용 개체군 밀도(K)로 하는 별도의 개체군으로 로지스트형 생장식을 적용하여 현장의 전체 천적생물 개체군 밀도로 산정

$$dN/dt = rN(K-N)/K$$

○ N : 개체군 성장율, t : 시간, r : 개체군 증가율, K : 개체군 밀도

○ 위 적정규모 산정식을 적용할 경우 Chl-a농도 저감량과 저수지 용량에 따른 적정 배양장치 규모는 표 4.7과 같다.

(표 4.7) 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

(2) 설계인자

천적생물 배양장치는 한 배양조 규모로 20㎥(동물플랑크톤 배양조 기준)이 적정하다.

(표 4.8) 천적생물 배양장치의 설계요소 및 설계인자

구 분	설 계 요 소	설 계 인 자
원수 분리조	- 원수펌프 1식/1조 : 350w, 11m, 200 ℓ/min - 분리막 1식/1조 : 500 ㎛ STS 메시망 - 원수의 조류 농도가 낮아 천적생물의 배양이 원활하지 않을 때만 식물 플랑크톤 배양조로 원수 이송	- 규격(용량) 1.0 mW×1.0 mL×0.7 mH (0.5 ㎥, 유효수심 0.5 m) - 체류시간 : 10 min 이상 - 유입유량 : 36.97 ℓ/min
식물 플랑크톤 배양조	- 교반펌프 1식/1조 : 200 w, 9 m, 150 ℓ/min - 일시적 가동 : 원수의 조류 농도가 낮아 천적생물의 배양이 원활하지 않을시 가동	- 규격(용량) 2.5 mW×4.5 mL×0.7 mH (6.75㎥, 유효수심 0.6m) - 체류시간 : 2.5 day - 유입유량 : 1.87 ℓ/min
천적생물 배양조	- 브로와 1식/1조 : 60 ℓ/min, 천적생물의 생존에 필요한 산소를 천적생물 배양조에 주입하기 위하여 설치 - 산기장치 4식/1조 : 고압스틱형, 효율적인 산소전달과 수체의 교반을 목적으로 설치 - 방충망 5식/1조 : 배양조 상부에 2 mW × 1 mL로 제작된 방충망을 설치(가장 전면부는 0.5 mW × 0.4 mL 2식 따로 설치)	- 규격(용량) [3.0 mW×1.2 mH+(3 mW ×0.7 mH)/2] × 5.4 mL (20.65㎥, 유효수심 1.6 m) - 체류시간 : 4.0 day - 유입유량 : 3.59 ℓ/min

다. 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

(1) 운영 및 유지관리를 위한 중점 설계 요소

(표 4.9) 원수분리조 설계요소 및 부대시설

구 분	설 계 조 건 20㎥	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	-. 유입 배관 32A -. 동물배양조 이송관 32 A -. 식물배양조 이송관 32 A -. 역세척수 공급관 15 A -. DRAIN 및 OverFlow 50 A -. 분리망 25 ㎛(전면부 80 ㎛)	

(표 4.10) 식물플랑크톤 배양조 설계요소 및 부대시설

구 분	설 계 조 건 20㎥	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	-. 유출 배관 32A -. 수중 교반기(0.29kw 수중펌프 사용)	

(표 4.11) 동물플랑크톤 배양조 설계요소 및 부대시설

구 분	설 계 조 건 20㎥	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	-. 평시 유출관 65A -. 대량살포 유출관 65A -. 산소공급용 BLOWER -. CERAMIC 산기관 3개	

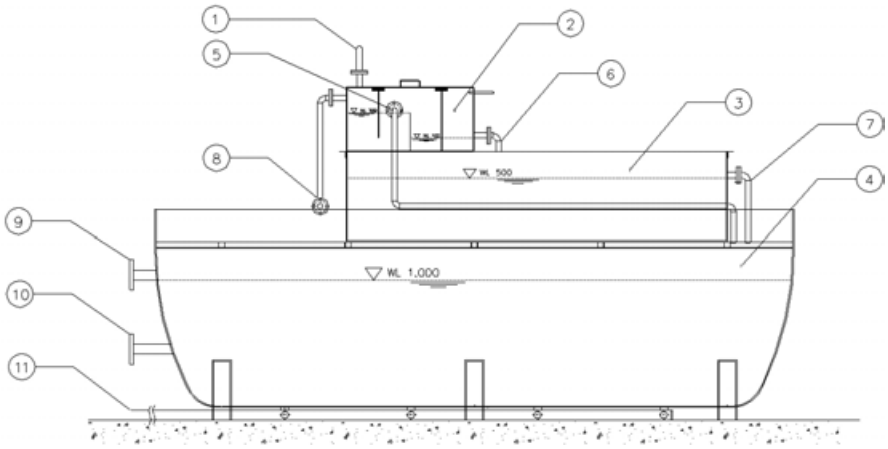
(2) 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

(표 4.12) 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(20㎥)	3.59 ~ 5.74 ℓ/min	밸브조정
식물플랑크톤 배양조 교반펌프 가동	100 min / 2 hour	자동관리
역세척 펌프 가동	10 min / 8 hour	자동관리

마. 설계예시 및 시방서

(1) 설계예시



<그림 4.3> 천적생물 배양장치 도면예시

(표 4.13) 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		

(2) 시방서

○ 천적생물 배양장치를 설계할 때 배양장치의 규모는 각 대상수역의 입지여건에 따라 달라지기 때문에 본 신청서에서는 10 ㎥ 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㎛ 메쉬망을 설치하여 동물플랑크톤 배양 기간동안 천적생물의 유출을 막을 수 있어야 하고 산소공급장치를 설치하여 미세기포를 공급하며 천적생물 대량살포를 위한 별도의 방류구를 설치하여야 한다.

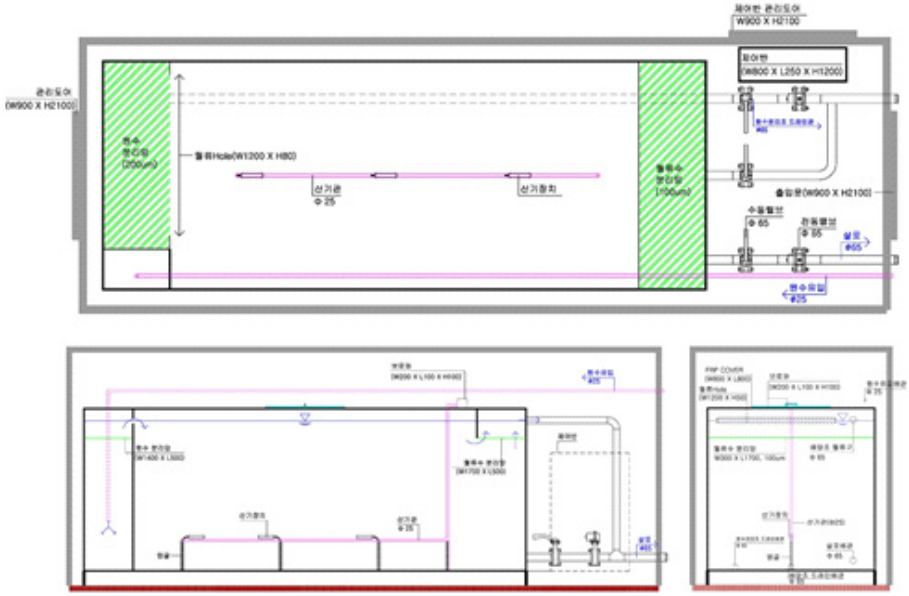
바. 최신기술 및 융복합기술

○ Chl-a의 연중 평균 농도 100 ㎎/㎥ 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 10㎥급 기준으로 차량 탑재 가능한 사이즈 및 유지관리용 출입문 3개소가 적용되었으며, 제어반에 의한 주기적인 자동살포 및 원수분리조 침전물 자동 드레인이 가능한 형태로 설계되었다.

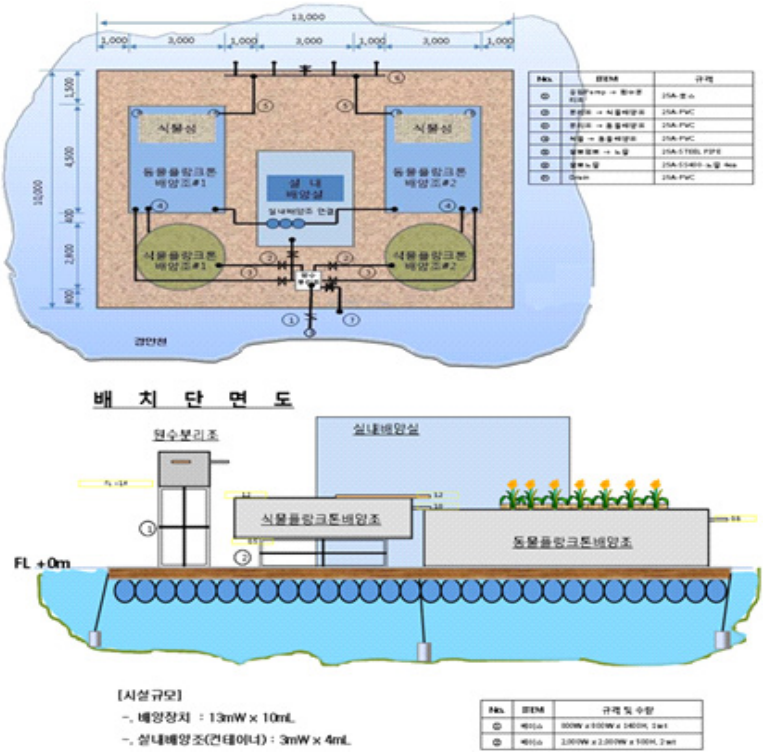
○ 상하류식 분리스크린 적용으로 스크린 면적 증가 및 막힘 현상을 방지하여 유지관리 편리성이 증대되었으며, 원수분리조에 드레인 별도적용으로 원수분리조 침전물 상시 제거가 가능하며, 천적생물 휴면란 배양을 위해 별도 공간을 조성하였다. Base위에 배양장치와 제어반을 설치하고 컨테이너를 씌우는 구조로 적용되었다.



<그림 4.4> 이동성이 높은 컨테이너형 배양장치

사. 적용사례 및 효율

본 기술은 경안천, 전대저수지 및 초대저수지에 적용된 바 있으며, 그림 4.5, 4.6에 전대저수지와 초대저수지에 적용된 모습을 제시하였다. 표 4.14는 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. 또한 2월부터 운영하여 녹조가 발생하기 전에 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 포식 어류의 보호 및 활용도가 중요하다. 그러나 수온 변화 및 하절기에 포식성 수서곤충 유입으로 인한 천적생물 밀도 감소 등 적절한 대책 수립이 필요하다.



〈그림 4.5〉 천적생물 배양장치의 적용 사례 (전대저수지)

〈그림 4.6〉 천적생물 배양장치의 적용 사례 (초대저수지)

(표 4.14) 실규모 천적생물 배양장치 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소

초대저수지	수공학적 및 공학적 설계요소
원수 분리조	- 용적: 1.0 m(W) × 1.0 m(L) × 0.7 m(H)= 0.7 m^3 - 체류시간: 10min 이상 - 유입 유량: 37L/min
먹이 배양조	- 용적: 2.5 m(W) × 4.5 m(L) × 0.7 m(H)= 6.75 m^3 - 체류시간: 2.5 day - 유입유량: 1.87 L/min
천적생물 배양조	- 용적: 10m3규모 6식, 20m3규모 2식 2.0 m(W) × 1.2 m(H) + (2 mW × 0.5 mH)/2] × 4 m(L)= 10 m^3 3.0 m(W) × 1.2 m(H) + (3 mW ×0.75 mH)/2] × 5.4 m(L)= 20 m^3 - 체류시간: 4.0 day - 유입유량: 1.74 L/min(10m^3), 3.51 L/min(20m^3)

아. 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.

자. 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.

2. 미세조류 수처리 시스템 공법 기술

가. 기술의 개요 및 특징

축산폐수, 생활하수, 농경배수 등에 포함된 고농도의 인이 주요 원인으로 작용하여 호소 상류유역에 녹조가 발생한다. 녹조를 유발하는 미세조류가 유해한 남조류(유해조류)인 반면 클로렐라와 같은 유용한 조류도 자연계에 존재하며 이러한 유용 조류 중 우수한 인, 질소 흡수 능력과 생장능력을 이용한다. 따라서 미세조류 수처리 시스템 공법은 하천오염을 통해 저수지로 유입되어 녹조를 유발하는 고농도 영양염류를 저수지 유입전에 유용조류를 인위적으로 고밀도 배양하여 용존 인을 완전히 흡수하여 영양염류를 제거한다. 또한 배양된 유용조류는 자원적 활용가치가 높으므로 수거하여 유기질 비료, 사료 등 다각적인 농어업재료로 전환 하는 기술이며, 미세조류 수처리 시스템의 개념은 그림 4.7과 같으며, 미세조류 수처리 시스템의 공정은 전처리, 미세조류 배양, 미세조류 수거, 자원화 및 안정화 순으로 이루어진다.

<그림 4.7> 미세조류 수처리 시스템의 수처리 개념

나. 설계 시 고려사항 및 설계 인자

미세조류 수처리 시스템 공법은 미세조류를 배양하여 영양염류를 제거하는 공법이기에 유용미세조류의 분리 및 종주특성을 파악해야한다. 따라서 미세조류를 적용하기 전 미세조류 분리 및 확보, 성장량 분석, 수처리 성능 분석 등이 필요하다. 또한 미세조류의 독립영양 대사에 필요한 빛을 공급하기 위해 배양조의 광도를 고려해야 하며, 대량 배양을 위해 체류시간, 수면적 부하율, 여과 속도, 등의 수공학적 설계가 필요하며, 최종침전지에서 미세조류를 수거해야 하므로 침전지의 형상, 유입유량, 배양시스템에 따른 배양조 설계 등의 공학적 요소까지 고려하여 설계해야 한다. 미세조류 수처리 시스템의 수공학적 및 공학적 설계요소를 표 4.15에 나타내었다. 배양된 미세조류는 수처기 기술을 통해 대부분 제거하므로 부패 전 신선한 상태에서 자원적 활용이 이루어지도록 연속 수거, 자원화 연동 설비가 필요하다. 또한 미세조류 방류 시 2차 오염을 방지하기 위하여 방류수안정화를 고려해야한다.

(표 4.15) 미세조류 수처리 시스템 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소

미세조류 수처리 공정	수공학적 및 공학적 설계요소
설계유량	■ 평상시 하천유황기준
전처리공정	■ 침전: 체류시간, 수면적 부하율(m^3/m^2-hr), 수심, 기하학적 형상 ■ 여과: 여과방식, 여과속도(m/일), 깊이(m), 여층의 구성(입도 및 공극율)
배양조	■ 체류시간(hr) ■ 배양조의 형상(유로형) ■ 수심(햇빛투과깊이) ■ 혼합방식 ■ 산소생산속도(kg O_2/m^2-hr) ■ 조류농도(mg/L)
최종침전지	■ 체류시간(hr) ■ 고형물 부하율(kg SS/m^2-일) ■ 깊이(m) ■ 기하학적 형상(각형, 원형)

다. 적용사례 및 효율

미세조류 수처리 시스템 공정은 충남 당진시, 경기도 화성시의 남양호를 대상으로 적용성 분석을 수행하고 있으며, 그림 4.8에는 경기도 안산시 본오배수로를 대상으로 Pilot plant를 적용한 사례이다. 대상지에서는 연속흐름식 배양조와 회전순환식 배양조를 설치하였으며, 전처리 시설 및 수거 및 자원화 시설, 후치리 시설을 설치하였다. 전처리 시설은 조류배양 방해물질 제거, 유기성 영양염류의 무기화 등을 목적으로 1차 침전, 여과, 폭기, 2차 침전 등의 4단계로 이루어져 있으며, 배양시스템은 동절기 운영을 위한 비닐 온실, 보조광원(자연채광시스템, LED 도입)을 적용하였다. 각 시설의 설계 제원은 표 4.16에 나타내었고 수처리 효과로는 COD의 경우 60%, TOC는 53%, SS는 93%, TN은 64%, TP는 85%, PO_4-P의 경우는 81%의 제거효율을 보였으며, 유입수의 농도 수준에 따라 체류시간을 변경하여 오염물질 제거효율을 증가시킬 수 있다. 미세조류 수거 및 자원화는 부상공법으로 수거하였으며, 수거된 미세조류는 양식 사료, 식물 성장 촉진용 유기농 자제 등 여러 가지 방안으로 활용할 수 있다.

<그림 4.8> 미세조류 수처리 시스템 기술의 적용 사례

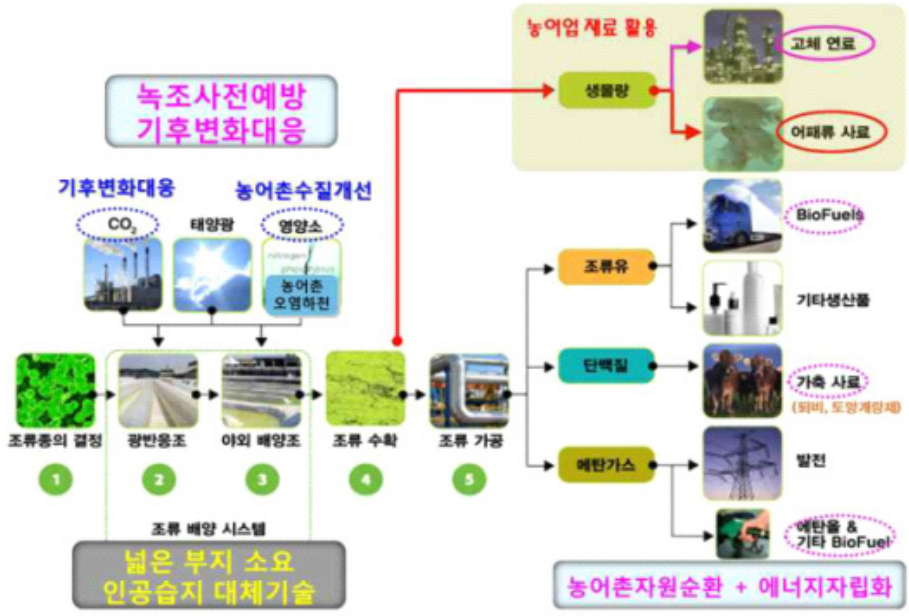
(표 4.16) 미세조류 수처리 시스템 공정의 수공학적 및 공학적 설계요소 예시

처리 공정	수공학적 및 공학적 설계요소	
유입유량	- 250m^3/day	
전처리 공정	침전조	- bypass 배관설치 - 규격 : 7×6×1.5m(수심 1.2m) - 일처리량 : 300 t - 용량 : 50 t - 체류시간 : 4.8hr
	여과조	- 여과여재 교체 및 유출 배관 4식 - 자갈과 바이오 필름을 이용한 여과 - 규격 : 10×7×1.5m(수심 1.2m) - 일처리량 : 300 t - 용량 : 80 t - 체류시간 : 16hr
	폭기조	- 호기성 산화 - 규격 : 7×6×1.5m(수심 1.2m) - 일처리량 : 300 t - 용량 : 50 t - 체류시간 : 4.8hr
	침전조 (유출부)	- 입자성 물질 제거 및 혐기성 분해 - 규격 : 7×6×1.5m(수심 1.2m) - 일처리량 : 300 t - 용량 : 50 t - 체류시간 : 4.8hr
배양조	- 배양조 유입유량: 연속흐름식 배양조(FCC) 150m^3/day, 회전순환식 배양조(RBC) 50m^3/day - 배양조 규모: 연속흐름식 배양조(FCC) 300m^3, 회전순환식 배양조(RBC) 100m^3 - 배양조 체류시간 : 연속흐름식 배양조(FCC) 48hr, 회전순환식 배양조(RBC) 48hr - 빛 공급시스템 : 태양광체광시스템, 보온기술시스템	

라. 기대효과

유용조류의 자원적 활용은 국내뿐만 아니라 국외에서도 미래전략 사업으로 일부 반영되고 있으며, 유입하천에서의 영양염류, 호내 녹조 사전 예방, 유용조류의 자원화 기술을 포함하는 생태적으로 건강하고 안전하다. 본 기술

은 비점오염물질, 점오염원 처리 방류수 등의 유입원의 오염을 제거할 수 있어 하천수를 정화 가능하며, 수거된 미세조류는 사료 및 비료 형태 등의 다양한 방법으로 자원화, 재이용이 가능하여 시장성도 높은 것으로 평가된다(그림 4.9). 또한 저수지내 경우 영양염류 및 녹조를 유발하는 조류를 직접적으로 저감 가능 하며, 수상 태양광 사업과 연계하여 미세조류 수처리 기술의 설치비용을 절감뿐만 아니라 시설에 적용되는 전기 등을 수상 태양광 등을 통해 공급할 수 있어 친환경적이며 경제적이다.



<그림 4.9> 미세조류의 다양한 활용방안

마. 운영 시 고려사항 및 유지관리

현장운영 방법에 따라 최적인자를 도출 하여 운영을 실시하지만 운영인자의 변화를 세세히 운영하기에 어려움이 있다. 배양시스템에서의 빛 공급 유지, 수온, 유입유량, 반송유량, 동절기 운영에 따른 그늘 발생 및 미세조류의 수거가 완전히 되지 않아 습지 폐색 발생 등 여러 어려움이 있어 지속적인 유지관리 및 보완을 해야 한다. 유지관리는 모니터링 시스템을 기반으로 실시간 배양상태, 반응조 내 반송유량, 유입유량 및 배양조 유출 유량을 점검해야 한다.

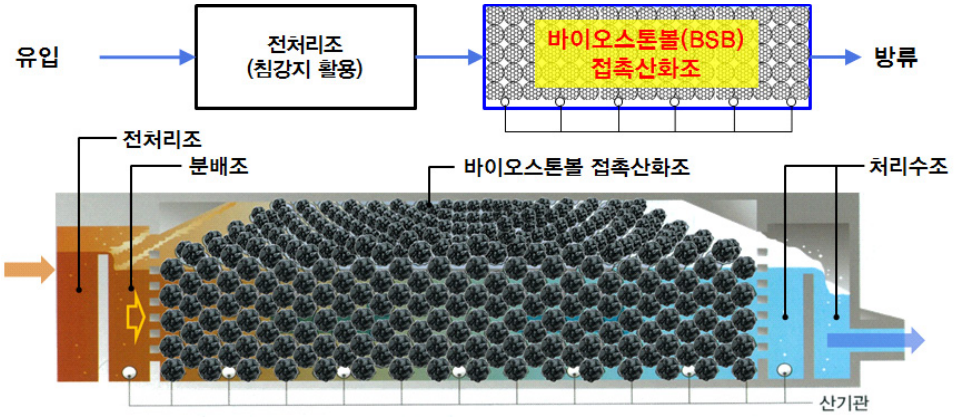
3. 바이오스톤볼 접촉산화시설

가. 정의

“바이오스톤볼(Bio-Stone Ball, BSB)”이란 크기 2~3㎝의 쇄석(자갈)을 친환경 에폭시계 수지로 접착하여 직경 10㎝ 크기의 구형으로 성형 후, 담체 내·외부 표면에 천연셀룰로오스, 백토, 물 그리고 복합유용미생물로 구성된 미생물 코팅재로 함침 및 건조시켜 제조한 수처리용 담체이다.

바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설은 수처리용 접촉 담체인 바이오스톤볼 내외부 표면에 부착 생장하는 호기성, 임의성, 혐기성 미생물에 의한 유기물과 영양염류의 산화 및 분해(생물학적 처리)와 바이오스톤볼에 의한 여과 기능(물리적 처리) 등을 이용한 수질 개선 공법이다.

<그림 4.10> 수처리용 바이오스톤볼(Bio-Stone Ball, BSB)



<그림 4.11> 바이오스톤볼 접촉산화시설의 기본구성 및 흐름도.

(표 4.17) 바이오스톤볼 접촉산화시설의 기능 및 역할

구 분	기능 및 특성
전처리조	입자성 오염물질을 침전시켜 제거 바이오스톤 접촉산화조 시설 보호 및 수처리 효율 제고 목적 침강지, 침사지 등 활용
분배조	바이오스톤볼 접촉산화조 전단부로, 접촉산화조에 수평 흐름으로 균등하게 유입수를 분배하는 역할
바이오스톤볼 접촉산화조	바이오스톤볼 사이의 공극과 내부 쇄석 사이의 공극에 의해 형성되는 유리(流離) 현상을 이용한 입자성 고형 유기물 분리 및 분해 바이오스톤 볼에 부착 생장하는 호기성, 임의성, 혐기성 미생물에 의한 유기물과 영양염류의 생물학적 처리 현장여건에 따라 상부 수생식물 식재 가능(습지형)

나. 목적

저수지로 유입되는 유입수 및 오염된 농업용 저수지의 수질정화 및 수질개선을 목적으로 한다.

다. 특징

농림축산식품부 농촌개발시험연구과제 “양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리 기술개발 및 적용(2016)” 일환으로 농어촌연구원과 충북대학교 협동연구를 통해 개발된 기술이다. 바이오스톤볼 접촉산화시설은 농업용 저수지 유입수 처리, 저수지 호내 정체수 순환 처리, 관개용수 도수 및 양수 전처리 등으로 다양하게 적용할 수 있다. 바이오스톤볼 접촉산화시설은 구조물형 또는 습지형의 단독시설로 적용하거나, 조합형 인공습지와 연계하여 습지간 연결용 접촉수로 또는 지하흐름습지에 활용할 수도 있다.

자갈 또는 쇄석을 접착력이 높은 친환경 수지로 접합하여 강도와 내구성을 극대화함으로써 구조적으로 안정하고 반영구적으로 사용이 가능한 수처리용 담체가 적용된 기술이다. 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 없는 기술이다.

바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설에서는 바이오스톤볼 내부와 외부에 유속차이로 인한 유리(流離) 현상이 발생함으로써 고액분리와 접촉 침전 효과가 높다. 직경 10㎝ 크기의 구형으로 성형된 담체 내·외부 표면에 천연

셀룰로오스, 백토, 물 그리고 복합유용미생물로 구성된 미생물 코팅재로 함침 및 건조시켜 제조한 바이오스톤볼은, 운전초기 다양한 미생물 군집으로 구성된 생물막의 형성 속도 및 부착 미생물의 개체수 증가 효과를 제공함으로서 운전 초기에 미생물 안정화 기간을 단축시키고, 유입수 유량이나 수질 변동으로 인한 비정상적 조건에서도 안정적인 수처리 기능 유지가 가능한 기술이다. 바이오스톤볼을 충진한 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 고등생물을 공존시켜 일반 접촉산화공법보다 슬러지 발생이 적다.

라. 장단점

(1) 장점

○ 접촉 담채가 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

(2) 단점

○ 모래 및 토사 등 유입 방지를 위한 전처리 시설(침사지, 침강지 등) 필요

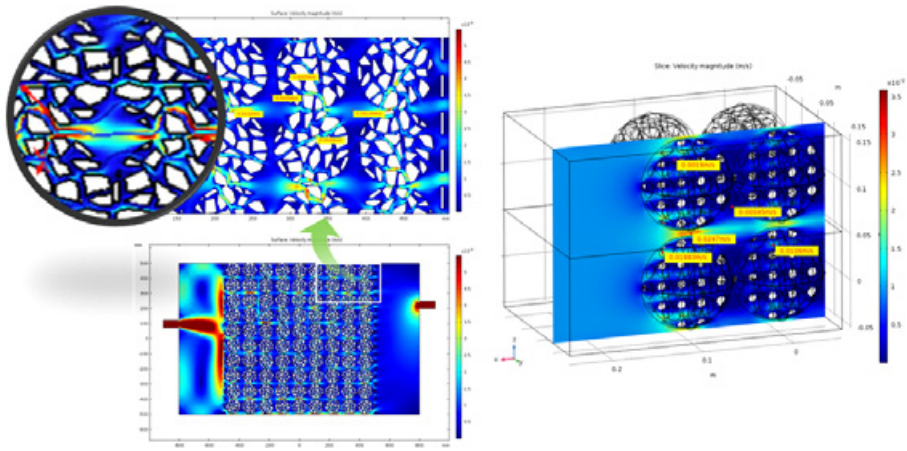
○ 초기강우 등 대규모 유량 처리 곤란

마. 정화원리 및 효율

(1) 정화원리

바이오스톤볼을 이용한 접촉산화공법은 접촉 담체인 바이오스톤볼의 표면에 생물막을 부착 및 형성시키는 고정 생물막법의 일종으로, 근본적인 원리는 바이오스톤볼 내부와 바이오스톤볼과 바이오스톤볼 사이에서 발생하는 유속 변화에 따른 물리적 침강과 생물학적 분해에 의한다.

<그림 4.12> 바이오스톤볼을 이용한 접촉산화시설의 정화원리.



<그림 4.13> 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 침전거리가 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_2, H_2O로 산화 분해됨

(4) 슬러지의 분해 및 감량 효과

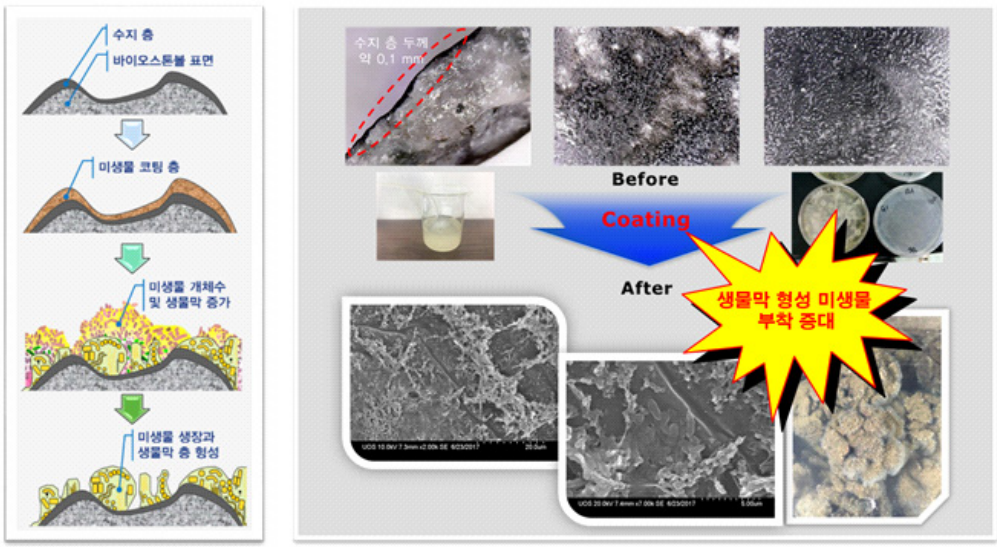
침전 및 흡착에 따라 수중에서 분리되고, 또 생물체가 된 슬러지는 다시 미생물의 먹이가 되면서 슬러지에 포함된 유기물은 약 1/4까지 감소함. 또 동시에 슬러지의 체적은 시간이 흐름에 따라 압밀(壓密)에 의해 1/10~ 1/15까지 감소함

(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 유속차이로 인한 유리(流離) 현상이 발생함으로써 고액분리와 접촉 침전 효과가 높다.

쇄석 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 4.14> 바이오스톤볼 표면의 생물막

바이오스톤볼 내외부 표면의 부착 미생물에 의한 유기물 산화와 유기물을 먹이로 하는 원생동물과 후생동물 및 고등생물을 공존시켜 슬러지 발생량을 최소화시킨다.

(2) 정화효율

(표 4.18) 바이오스톤볼 정화효율

구분	유입수	유출수	처리효율 (%)
BOD (㎎/L)	9.7 (4.3~12.2)	2.9 (0.3~4.7)	68.9 (34.9~97.4)
COD (㎎/L)	20.1 (7.8~47.3)	11.0 (3.3~11.4)	44.4 (26.1~64.7)
TOC (㎎/L)	8.4 (4.6~18.2)	6.6 (3.7~14.7)	18.9 (8.5~50.0)
SS (㎎/L)	45.5 (20.0~120.0)	7.7 (1.4~28.0)	85.5 (73.1~96.2)
Chl-a (㎎/㎥)	163.5 (40.0~500.7)	30.3 (3.7~99.9)	81.9 (57.2~91.8)
T-N (㎎/L)	3.899 (1.853~8.594)	2.930 (1.350~6.115)	23.2 (6.4~39.5)
T-P (㎎/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

바. 설치기준 및 설계인자

(1) 설치기준

○ 바이오스톤볼 접촉산화시설은 농업용 저수지 유입수 처리, 저수지 호내 정체수 순환 처리, 관개용수 도수 및 양수 전처리 등으로 다양하게 적용할 수 있다.

○ 바이오스톤볼 접촉산화시설은 구조물형 또는 습지형의 단독시설로 적용하거나, 조합형 인공습지와 연계하여 습지간 연결용 접촉수로 또는 지하 흐름형 습지로 활용할 수도 있다.

○ 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.

○ 바이오스톤볼은 최대 직경이 10±0.5cm, 단위쇄석 크기 20~25mm, 볼 내부공극률 30~50%, 충진체적 전체 공극률 60%이상, 압축강도 3MPa 이상이어야 한다.

○ 바이오스톤볼 접착수지는 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, 백토 등 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. 단, 세척 및 인발설비는 전기를 이용한 동력시스템이 가장 효율적이나, 현장 여건상 부득이한 경우에는 슬러지 인발배관을 지상부 호스커플링으로 연결하여 필요시, 주기적으로 버큠로리 등을 이용하여 강제흡입하여 수동인발하거나, 콤푸레샤를 이용

하여 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.

(2) 설계인자

○ 주요 설계제원으로는 체류시간, 접촉산화조의 규모, 바이오스톤볼의 충진수량, 바이오스톤볼의 공극률과 압축강도 등이 있음.

○ 체류시간은 유입 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 적용하여야 함.

○ 접촉산화조의 규모(V)

$$V(㎥) = \frac{Q \cdot HRT}{24}$$

여기서, Q : 설계 유입유량(㎥/day), HRT : 수리학적 체류시간(hr)

○ 접촉산화조의 유효용적을 산출하기 위해서는 바이오스톤볼의 공극률을 고려해야함. 일반적으로 접촉산화조 내에서 바이오스톤볼의 공극률은 약 60~70 % 정도임.

접촉산화조 유효 용적(㎥) = 접촉산화조 전체 용적(㎥) - 바이오스톤볼이 차지하는 용적(㎥)

○ 바이오스톤볼 충진수량은 다음 식을 이용하여 산출함

바이오스톤볼 충진수량

$$= \frac{\text{접촉산화조 용적} \times \text{조내 바이오스톤볼 공극률}}{\text{바이오스톤볼 용적} \times 100}$$

○ 바이오스톤볼 접촉산화조의 최적 처리효율을 위해서는 유하거리(조의 길이)

는 최소 5m 이상으로 하고, 유효수심은 유입유량, 부지특성 및 현장의 여건에 따라 1~4m 내에서 결정한다.

○ 접촉산화조 유입 및 유출부는 층류흐름 형성을 위한 정류벽을 설치해야함. 다만, 정류벽 정류공의 직경과 개수는 바이오스톤볼의 직경 및 수량을 고려하여 결정함.

○ 정류벽의 규격은 접촉산화조의 폭과 유효높이와 동일하게 결정함. 다만, 정류벽에서 정류공의 면적은 전체의 40 % 정도의 수준으로 산정함.

○ 정류공의 개수는 정류벽에 맞닿는 바이오스톤볼의 개수와 동일하게 산정함. 또한 정류공의 직경은 바이오스톤볼이 유실되지 않는 크기로서, 정류공의 면적에서 정류공의 개수로 나누어 산정함.

○ 유입 BOD 기준 20mg/L 이하의 농업용 저수지 유입수는 경제성을 고려하여 자체 용존산소만으로 처리하는 무폭기 시스템으로 설계할 수 있음. 다만, 항상 일정한 처리효율을 유지하기 위해서는 유입 분배조에 상시 공기를 공급하는 전단 폭기방식으로 운전하는 것이 효율적임.

○ 역세척 배관은 폭 1~2m 간격, 공기 또는 세척수 토출공은 길이 50cm~1m 간격으로 배치함.

사. 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

(1) 운영 및 유지관리를 위한 중점 설계 요소

○ 전처리 시설
○ 바이오스톤볼 접촉산화조
○ 송풍기
○ 펌프류
○ 콤프레셔
○ 유입수 분배조
○ 처리수조
○ 산기관
○ 밸브류

(2) 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 밸트상태, 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 수동 작동여부, 부식 및 볼트 이완 상태, 작동부 그리스 및 오일 주입 상태

○ 콤프레셔 오일 주유상태, 동력전달 밸트상태, 기계 이상 소음 유무상태, 베어링 및 구동부 온도, 전류계 및 압력계의 정상 여부 등

○ 바이오스톤볼 접촉산화시설을 토목구조물이 없는 습지 형식으로 조성할 경우,

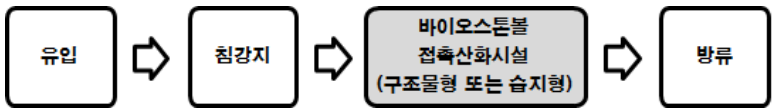
- 상부에 식재되는 식물은 가능한 수질정화효율이 높고, 다년생이며, 경관성이 좋은 노랑꽃창포, 갈대, 부들, 물억새, 부처꽃, 줄, 세모고랭이, 달뿌리풀 등의 정수식물을 적용한다.
- 식재 이후 식재한 식생이 잘 활착할 수 있도록 경쟁식물을 제거하거나 성장을 억제시키는 것이 바람직한다.
- 동절기 고사에 의한 오염물질 재용출과 식물의 고사체 부패에 의한 유기물 증가를 방지하기 위하여, 년1회(동절기 고사전) 예초하는 것이 바람직하다.
- 또한 주기적인 점검을 통해 외래 잡초류 및 환삼덩굴류의 덩굴식물은 자생식물에 비해 침식안정성, 생태서식처, 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 충진 포설 깊이, 폭, 길이로 설계 및 적용이 가능하다.

아. 설계예시 및 시방서

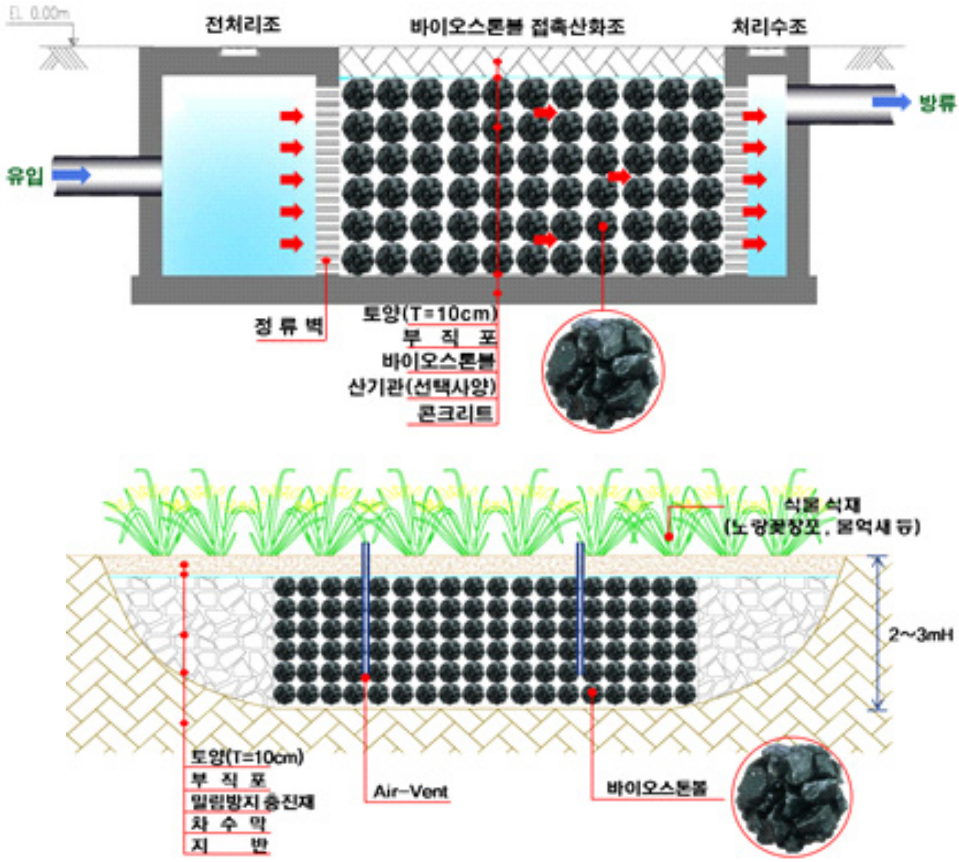
(1) 설계예시

바이오스톤 접촉산화시설은 구조물형 또는 습지형의 단독시설로 적용하거나, 조합형 인공습지 시스템과 연계하여 인공습지의 지하 흐름형 부분공정으로서 활용할 수도 있다.

○ 설계 유형 1(단독처리형)

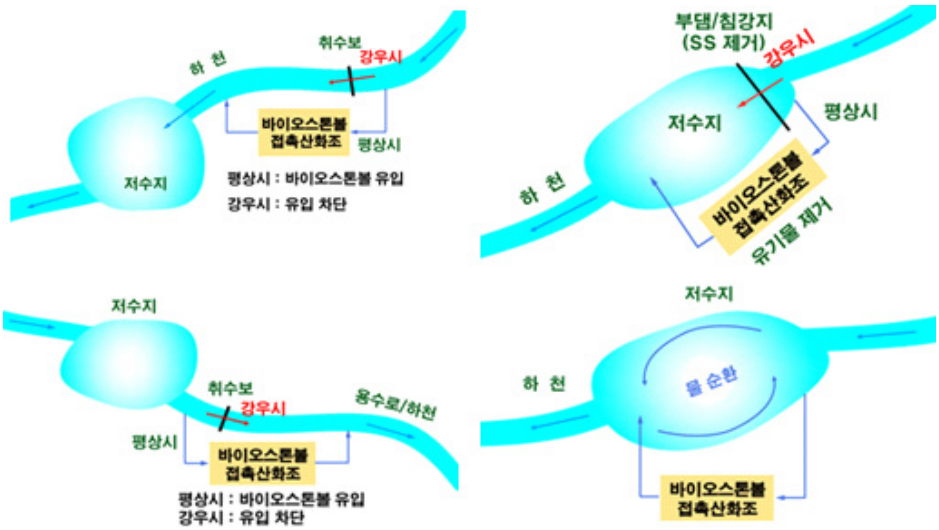


<그림 4.15> 설계 유형 1(단독처리형)



<그림 4.16> 바이오스톤볼 접촉산화시설의 적용 유형

- 저수지로 유입되는 하천수를 전량 취수하여 단독으로 정화하는 방법
- 취수보를 이용한 자연유하 유입 또는 필요시 펌핑 유입
- 유입하천 둔치 또는 저수지 유입부 여유부지 활용
- 바이오스톤볼로 유입되는 무기성SS 제거를 위한 침사지 또는 침강지 조성
- 주처리 단독공정으로서, 생물학적인 분해에 필요한 최소한의 유하거리(5m이상) 및 체류시간(1.3hr이상) 확보 바람직
- 처리효율 제고를 위하여, 유입분배조에 공기공급시설(폭기시설) 적용 바람직(유입수 DO 6~7ppm 항상 유지)
- 현장 여건에 따라, 토목구조물 또는 비구조물 습지형으로 선택 적용
- 강우시에는 토사유입 방지 및 시설물 보호를 위하여 침사후 By-pass 운영
- 공극폐색을 방지하기 위하여, 슬러지 자동 역세 및 인발시스템을 갖추거나, 인발배관 지상부 호스커플링 연결로 필요시 콤푸레샤를 이용한 수동 강제역세 또는 버큠로리를 이용한 수동 강제인발 시스템 적용

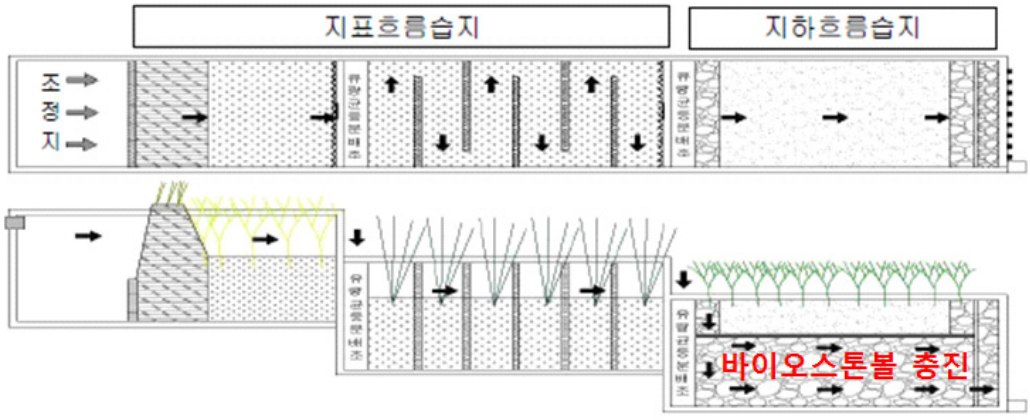


<그림 4.17> 설계 유형 1 (단독처리형) 적용 예시

○ 설계 유형 2(지하흐름 습지형)

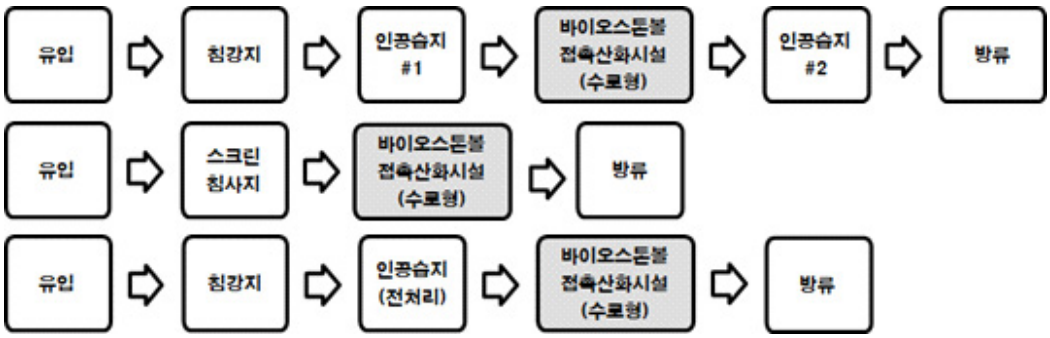
<그림 4.18> 설계 유형2(지하흐름 습지형)

- 조합형 인공습지의 후공정 지하흐름형인공습지로 활용하는 경우
- 기존의 자갈, 모래, 기능성여재 등으로 구성되는 지하흐름형인공습지 충진용 담체를 단순 대체하는 것으로서, 담체간 공극률이 상대적으로 커서 공극폐색 및 유수소통 저해로 인한 Overflow 및 처리유량 감소 문제점 개선 효과
- 지하흐름형의 특성상, 장기간 운영 또는 홍수시 등 비정상운영에 따른 토사 유입 등에 대비하여 역세 또는 슬러지 인발시스템을 구축하는 것이 유지관리적인 측면에서 유리함
- 현장여건에 따라, 자갈이나 모래 또는 기능성여재 등과 병행 적용
- 상부 수생식물은 최소한 30cm 토피가 확보되도록 하며, 수생식물과 바이오스톤볼 경계면에는 부직포와 자갈을 포설함.
- 충진된 바이오스톤볼 담체층으로 상부 수생식물의 뿌리가 파고들어 생육할 경우, 식물 뿌리에 의해 추가적인 수중의 영양염류인 인이나 질소 제거효과를 기대할 수 있음. 단, 원활한 지하 유체흐름에 방해가 되거나, 입자성물질의 퇴적을 가중할 우려도 있으므로, 유입수 성상 또는 식재 식물의 생육특성 등을 면밀하게 고려하여, 부직포 대신 방근시트 적용 등도 함께 검토하는 것이 바람직함
- 바이오스톤볼이 충진된 지하흐름습지 유입수의 용존산소는 높을수록, 체류시간은 길수록 정화효율 향상 및 유지관리적인 측면에서 유리하나, 유입수의 수질이나 전단계 지표흐름습지에서의 처리효율, 경제성 등을 종합적으로 판단하여 가능한 현장 여건에 적합한 제원으로 설계



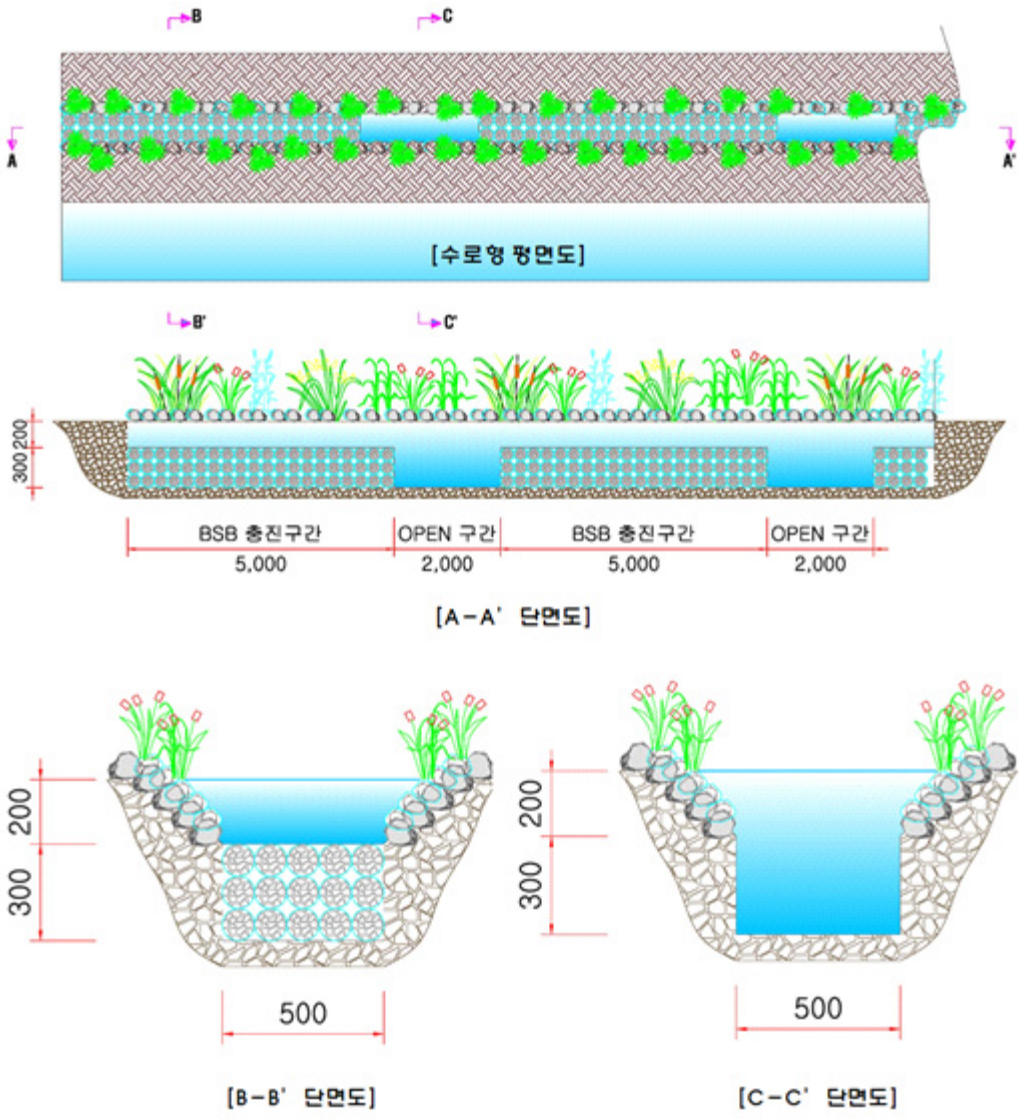
<그림 4.19> 설계 유형2(지하흐름 습지형) 적용 예시

○ 설계 유형 3(수로형)

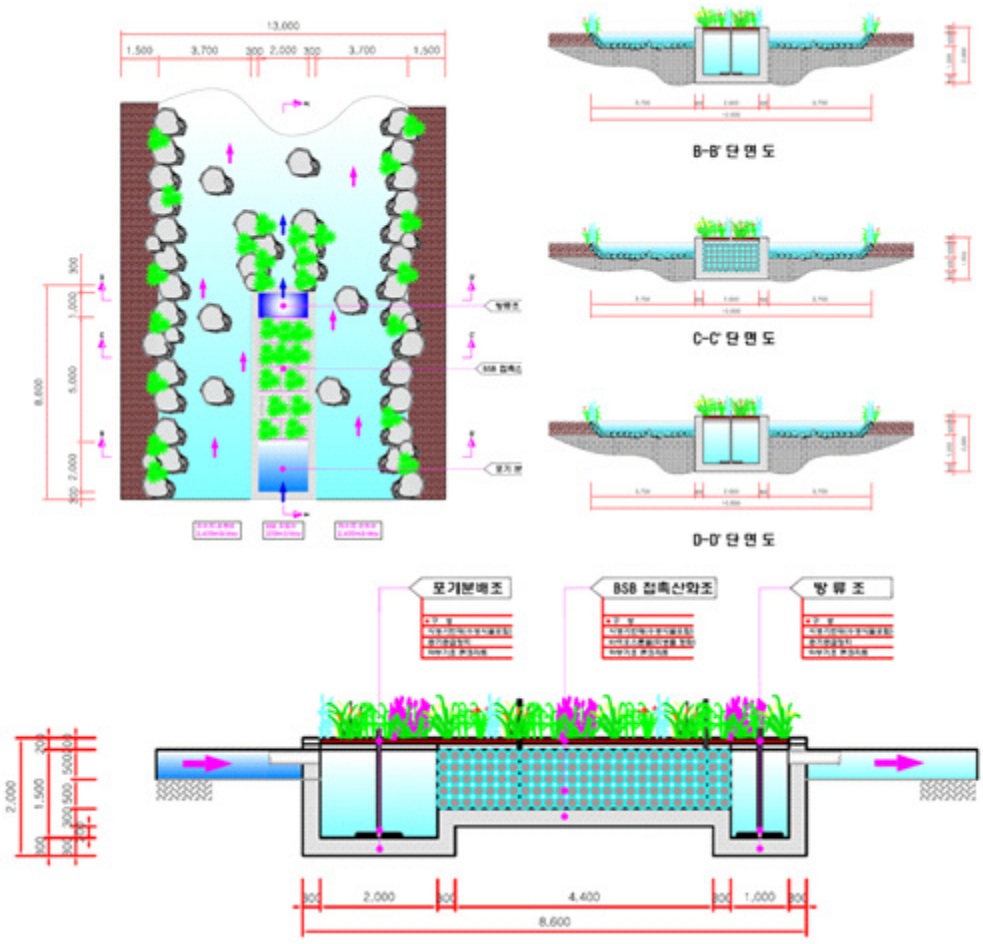


<그림 4.20> 설계 유형 3(수로형)

- 습지와 습지를 연결하는 경우, 또는 독립적인 단일 수로로 운영하는 경우, 또는 인공습지 후처리공정으로 적용하여, 인공습지에서는 T-N, T-P 등 영양염류와 초기강우를 처리하고, 바이오스톤볼 접촉산화시설에서는 전단계에서 미처리된 유기물질을 2차로 처리하는 경우
- 공기공급 또는 체류시간이나 분해에 필요한 유하거리 등과 무관하게 단순 포설 또는 충진
- 포설깊이는 30cm이상으로 하되, 수로의 길이가 길어지는 경우에는 매 5m 간격마다 약 2m정도의 침사 및 유지관리용 비포설구간을 두는 것이 좋음
- 수로 상부 또는 호안은 필요에 따라 정수식물을 식재한 식생형으로 선택 적용할 수 있음. 다만, 식재된 식물이 침수에 의해 줄기가 부패되거나 고사되지 않도록 포설된 바이오스톤볼 상부 수심은 최대 30cm를 초과하지 않도록 하여야 하며, 침수에 강한 갈대, 부들, 노랑꽃창포 등의 식물로 선정.
- 포설구간 입구부에는 쓰레기나 협잡물 또는 대량의 토사가 유입되지 않도록 스크린이나 토사유입방지장치를 적용하는 것이 좋으나, 부득이한 경우에는 최소한 소규모 침사지 또는 침강지를 조성하고 오일펜스를 설치하는 것이 바람직함.
- 수로형의 특성상, 홍수시 충진된 바이오스톤볼이 유실되지 않도록 일정간격마다 말뚝, 타공판, 격벽 등의 밀림방지조치를 하거나, 바이오스톤볼 일정수량을 블록화된 일체형으로 충진 또는 망태로 감싸서 포설
- 현장여건에 따라, 샛강, 도랑형태의 자연수로식 또는 PC구조물이나 콘크리트 현장타설 암거수로식 등으로 선택적 설계. 다만, 상부가 개방되지 않은 암거수로식의 경우에는 점검맨홀이나 역세설비 등을 갖추는 것이 효율적임.



<그림 4.21> 설계 유형 3(수로형) 설계 예시(자연수로식)



<그림 4.22> 설계 유형 3(수로형) 설계 예시(암거수로식)

○ 기타 응용 및 활용방안

복합유용미생물이 함침 코팅된 쇄석이나 자갈을, 바이오스톤볼의 형태 또는 블록형, 봉형, 판형 등으로 다양하게 성형 제작하거나, 일정한 틀이 없이 접합수지만을 도포 및 혼합하여 일반 자갈포설과 같은 방식으로 무작위 포설하는 등 현장 여건에 맞게 선택적으로 응용하거나 활용 가능하다.

<그림 4.23> 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)

1) 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

2) 부댐 조성
- 부댐 내부 충진재로 활용

3) 취수보 또는 여울 조성
- 콘크리트보를 자연형으로 대체

4) 취수보 에이프런 하류부 세굴방지
- 보 하류부 낙차에 의한 세굴 방지
- 거석이나 돌망태 또는 콘크리트블록제품 대체

5) 콘크리트보 자연형 피복
- 기존의 콘크리트 보(洑) 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

6) 자연형 어도(魚道) 조성
- 기존의 콘크리트 블록형 어도 대체
- 자연형 계단 격벽 조성 및 격벽 식물 생육 유도
- 식물 생육에 의한 어도 이용 물고기 먹이원 확보로 생태적 기능성 제고

(2) 시방서

○ 바이오스톤 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. 단, 인공습지 등 타 공법과 연계하는 보조적인 공정으로 활용하는 경우에는 체류시간과 무관하게 단순 충진 또는 포설할 수 있다.

○ 바이오스톤볼은 최대 직경이 10±0.5cm, 쇄석 크기 20~25mm, 볼 내부공극률 30~50%, 충진체적 전체 공극률 60%이상, 압축강도 3MPa 이상, 반영구적이어야 한다.

○ 바이오스톤볼 접착수지는 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.

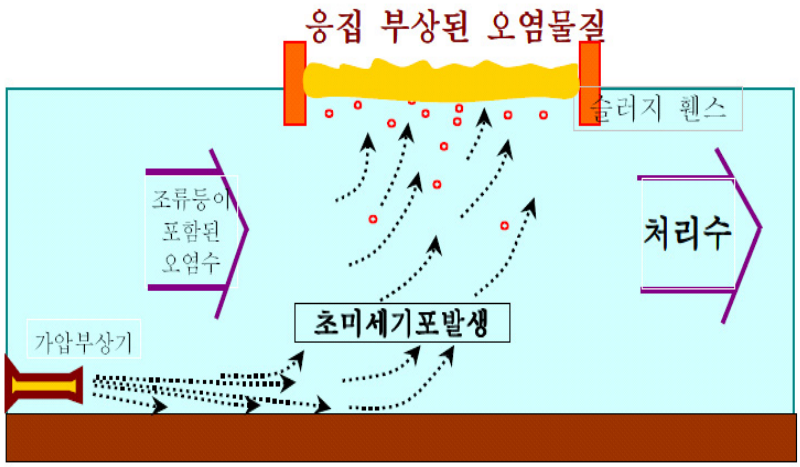
4. 다단 가압부상 장치 기술

가. 기술의 개요 및 특징

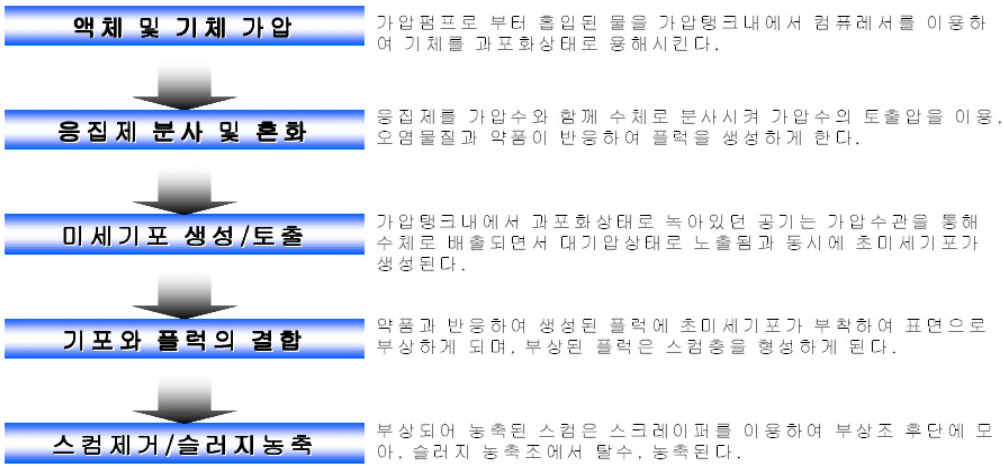
오염하천을 통해 저수지로 유입되어 녹조를 유발하는 고농도 영양염류를 저수지 유입전에 유용조류를 인위적으로 고밀도 배양하여 용존 인을 완전 흡수시킴으로 인해 저수지 유입수의 영양염류를 제거하고, 이로 인해 녹조발생 잠재성을 감소시키고 최종적으로 수질개선을 달성하고자 한다. 녹조 현상과 같이 조류의 대량 발생 혹은 사멸에 의한 수질오염, 악취발생, 혐오감유발 등의 문제를 일으키고 있는 경우 및 발생한 조류가 바람 등에 의해 저수지내 특정구역으로 고농도로 집적되어 처리가 용이한 경우 적용 가능한 기술이다

(그림 4.24).

그림 4.25와 같이 호소 및 하천의 취수정으로부터 유입된 원수에 응집제를 주입/혼화하여 다단 가압부상조를 이용하여 부유물질 및 녹조 응집된 영양염류를 부상 분리/제거하는 공정이다. 미세기포를 수중에 분사하여 기포와 함께 오염물질 및 조류를 부상시키며 응집 부상된 조류 및 오염물질을 슬러지 휀스로 농축시켜 휀스 내 부유물질을 슬러지로 수거하는 원리이다. 가압부상 장치 기술은 취수(펌프), 응집제 주입/혼합, 다단 가압 부상조(가압펌프, 공기포화기), 처리수조로 구성된다.



<그림 4.24> 다단 가압부상 장치 기술 개요도



<그림 4.25> 다단 가압부상 장치 정화 원리

나. 설계 시 고려사항 및 설계 인자

표 4.19는 다단 가압부상 장치의 공학적 설계요소를 나타내었다. 수심, 온도, 압력, 용존기체의 농도, 처리 대상 수질 및 용량, 응집제의 종류 및 농도, pH 등이 있으며 조류 제거 방법에 따라 적용수심이 제한될 수 있으며 일반적으로 4m 이상에 대해서는 효과가 낮은 것으로 알려져 있다.

(표 4.19) 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

다. 적용사례 및 효율

그림 4.26에는 경기도 용인시 기흥 저수지내 가압부상 장치 적용현황을 나타내었다. 가압부상 장치의 경우 수체가 완전히 분리되지 않은 경우에는 정화효과를 정량적으로 파악하기 어려우나, 폐쇄된 수체에서 시험적용사례에 의한 정화효과는 BOD 83 %, COD 79.4 %, Chl-a 94.4 %, TN 55.3 %, TP 97.8 %로 나타났다. 표 4.20은 다단 가압부상 장치 공학적 설계요소를 보여주고 있다.

<그림 4.26> 다단 가압부상 장치 기술 적용현황

(표 4.20) 다단 가압부상 장치 공학적 설계요소

수공학적 설계요소	
압력	2.5 ~ 4.5 kg/cm^2
가압탱크에서의 체류시간	2~5분
부상분리조	20~30분
부상속도	6~16cm/분
표면적부하	90 ~ 220 m3 /m^2 /d

라. 운영 시 고려사항 및 유지관리

어업권이 설정되어있지 않은 수역에서만 적용가능하며 최종처분 단계에서 악취발생이 예상되는 경우에는 고온소각이나 탈취대책 등의 검토가 필요하다. 저수지내 계절별 조류의 연직 및 평면적인 분포와 발생특성에 관하여 파악하여야하며 화학응집제를 이용하는 경우에는 잔류성분검사가 필요하다. 조류제거 장비의 가동을 위해서는 다량의 전기 에너지와 화학약품 등 유지관리 비용이 발생된다.

5. 저수지 호안 조성 기술

가. 기술의 개요 및 특징

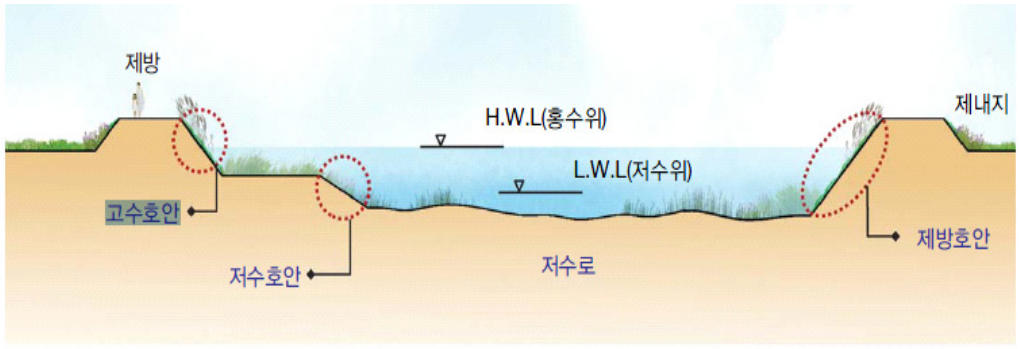
하천 및 저수지의 수질 개선을 위해 앞서 설명한 최신기술의 공법의

적용도 중요하지만, 생태하천 복원 사업의 일부인 하도의 호안공법 적용도 중요한 기술 중에 하나이다. 하천 내 호안공법의 적용은 하천의 생태적 건강성 회복을 최우선으로 고려하여 장기적이고 종합적인 관점에서 설계되며 돌, 흙, 나무 등의 자연재료를 이용한다.

호안공법은 제방 또는 하안을 유수에 의해 파괴 및 침식으로부터 직접 보호하기 위해 제방 앞 비탈에 설치하는 구조물로, 퇴적물로 인한 오염 방지와 수생식물의 서식지 제공으로 수질정화에 효과적이다. 호안공법은 저수로에 발생하는 난류를 방지하고 고수부지의 세굴을 방지하기 위해 저수로에 적용하는 저수호안, 하천 및 저수지가 복단면일 경우 고수부지 위의 앞 비탈을 보호하기 위해 설치하는 고수호안, 고수호안과 저수호안이 일체화된 제방호안 등이 있으며, 그림 4.27과 같다.

저수호안은 다양한 식생대가 존재하며, 수서생물의 서식 및 활동 공간을 제공하는 매우 중요한 구간이므로 수중생태계의 건강성 및 다양성이 보장될 수 있도록 설계해야 한다. 또한, 호안의 생태적 추이대(ecotone) 기능을 회복시키며, 저수호안에 식생여과대를 확보하여 적용하면 수질 정화 효과에 더욱더 효율적이다. 부지확보에 여유가 있는 경우 완경사 호안부를 확보하여 수위 변화에 접하는 호안부위를 넓혀 수변식생의 다양화를 도모할 수 있다.

고수호안은 제방 비탈면에 식생 녹화가 가능한 공법을 이용하여 제방을 보호하고, 제내지와 제외지의 생태적 연결성 등을 고려하여 조성해야 한다. 하천 및 저수지 환경과 제외지와의 연속성 등을 감안하여 호안의 기울기를 완만하게 하여 물리적 안전성을 확보하고 다양한 식생대가 이루어지도록 설계해야한다.



<그림 4.27> 호안의 종류

호안공법은 유선과의 관계와 호안형식에 따라 공법이 분류된다. 유선과

의 관계에 따라 수충부 호안과 비수충부 호안으로 분류되며 수충부 호안은 수류에 의해 물이 부딪히는 곳에 적용되는 호안을 말하며, 일반적으로 유속 2.0m/s 이상의 비교적 빠른 유속분포를 갖는다. 수류의 원심력에 의하여 소류력의 파괴양상이 약 20kg/㎡ 이상으로 나타나, 유속 및 소류력에 대응 가능한 재료를 선택하여야 한다.

유수류에 의한 충격이 적은 구간에 적용되는 호안을 비수충부 호안이라 하며, 수충부 호안과 반대로 유속 2.0m/s 이내의 낮은 유속분포를 갖는다. 하안의 단기간 파괴양상 및 장기간 침식 등이 서로 다르기에 호안의 장기적인 침식 등에 안정적인 공법을 사용해야한다.

호안형식에 의해서는 자연호안, 인공호안 및 조합호안으로 분류되며, 호안조성 시에는 식생녹화 공법에 의한 하천 및 저수지 생태계 보전을 고려하여 적용해야한다. 자연호안은 기존의 자연적 구조와 상태를 유지하는 호안으로 필요 시 비탈면에 풀이나 나무를 심어 물에 씻겨 나가거나 패이지 않도록 보호 할 필요가 있다. 자생식생 재생을 원칙으로 하고 필요 시 줄떼(평떼), Seed Spray 등을 활용하여 비탈면을 조기에 녹화하여 우수로 인한 토양유출을 방지해야한다.

인공호안은 홍수 시 제방 침식이 예상되는 구간에 제한적으로 적용되는 시설물로 제방을 안전하게 보호하고 식물의 정착을 통하여 하천의 수변구역과 논, 밭 또는 산림지역과의 생태적 연결성을 확보하기 위하여 자연소재 및 인공소재 등을 적용한다. 공호안 조류로는 식생계, 석재계, 블록계, 방틀계 및 망태계 등이 있다.

(표 4.21) 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	수충비, 비수충부
	블럭계	O	△	△	△	
	방틀계	O	△	△	△	
	망태계	O	△	△	X	
조합호안	석재계	O	△	O	O	
	방틀계	O	△	O	△	
	망태계	O	△	△	X	

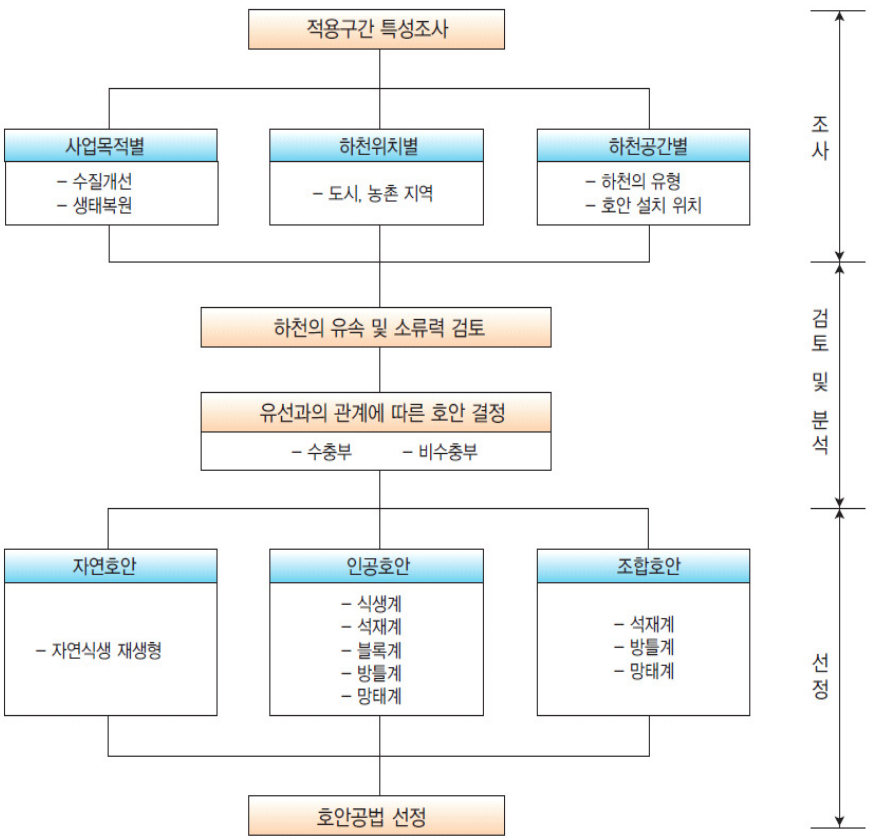
O: 양호, △: 보통, X: 불량

자연호안과 인공호안을 조합한 호안을 조합호안이라 하며, 수리적으로 안정하면서 주변 환경과의 조화, 외견상의 아름다움 등을 고려한 호안이다. 표 4.21은 호안의 분류에 따라 채택할 수 있는 호안형식별 공법을 결정하는 데 이용한다.

나. 설치기준 및 설계인자

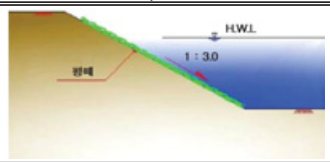
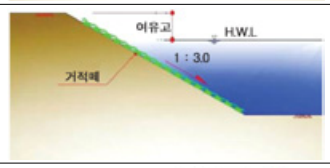
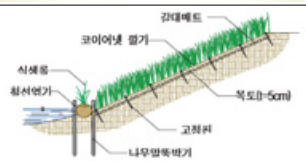
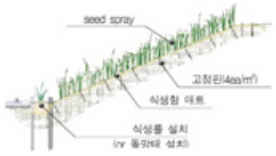
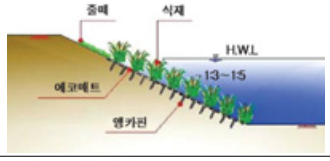
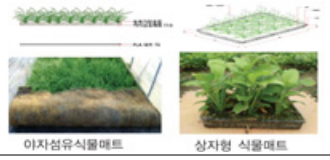
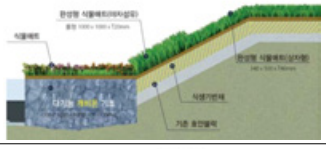
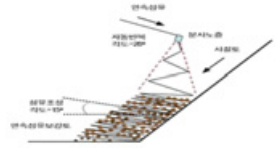
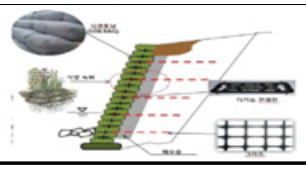
호안공법은 사업목적, 하천유형 및 특성, 설치 위치 등을 고려한 적용 구간 특성과 하천 및 저수지의 수리특성을 고려하여 유선과의 관계에 따라 결정해야 하며, 세부적인 공법 선정 방법은 그림 4.28과 같다.

호안공법 설계 시 하천 및 저수지의 수리적 및 구조적 특성, 생물서식 환경, 자연 상태에 가까운 단면 계획, 공법에 사용되는 친환경 재료 이용 등을 고려하여 설계해야 하며, 기법 별 설계 인자는 표 4.22 ~ 표 4.25와 같다.

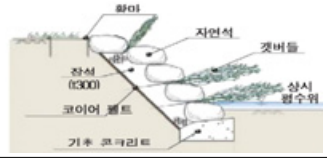
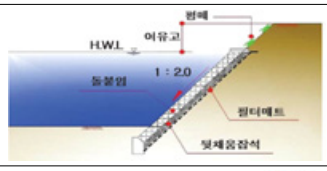
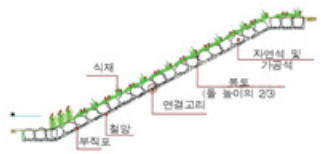
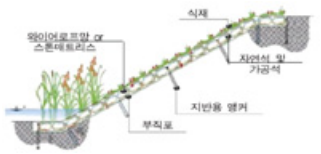
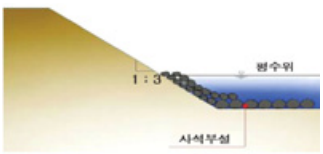
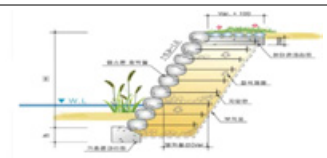


<그림 4.28> 호안 공법 선정 방법

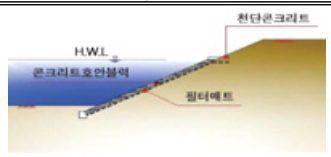
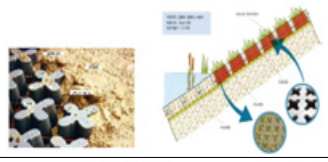
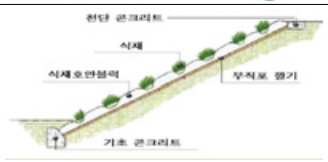
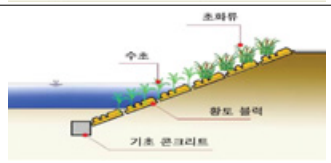
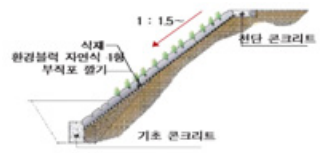
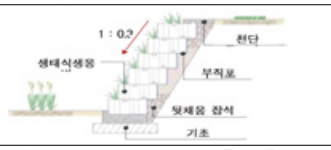
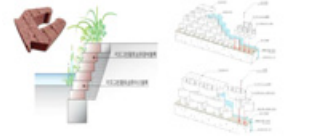
(표 4.22) 식생계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
평떼	- 유속(m/s): 2 - 소류력(kg/m^2): 2 - 하상경사: 완류 - 비수충부, 사수부	
Seed spray	- 유속(m/s): 2 - 소류력(kg/m^2): 2 - 하상경사: 완류 - 비수충부, 사수부	
식생매트형	- 유속(m/s): 3 - 소류력(kg/m^2): 3 ~ 8 - 하상경사 : 완류, 중류 - 비수충부, 사수부	
입체식 매트형	- 유속(m/s) : 4 - 소류력(kg/m^2) : 8 - 하상경사 : 완류 - 비수충부	
에코매트	- 유속(m/s): 3 - 소류력(kg/m^2): 8 - 하상경사 : 완류, 중류 - 비수충부	
야자섬유 매트	- 유속(m/s): 3 ~ 5 - 소류력(kg/m^2): 3 ~ 10 - 하상경사: 완류, 중류 - 비수충부	
다기능 개비온 기초와 완성형 식물 매트 공법	- 유속(m/s): 6 - 소류력(kg/m^2): 25 - 하상경사: 중류, 급류 - 비수충부, 수충부	
연속섬유 보강토공법	- 유속(m/s): 5 - 소류력(kg/m^2): 16 - 하상경사: 중류, 완류 - 비수충부, 수충부, 사수부	
친환경 식생 토낭	- 유속(m/s): 중/저유속(정수역) - 소류력(kg/m^2): 8 이하 - 하상경사 : 완류 - 비수충부	

(표 4.23) 석재계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

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

(표 4.24) 블럭계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
콘크리트 호안 블럭	- 유속(m/s): 2 ~ 7 - 소류력(kg/m^2): 16 이하 - 하상경사: 급류, 중류 - 수충부, 비수충부	
섬유 혼합 다공성 소일 블록 공법	- 유속(m/s): 5.0이하 - 소류력(kg/m^2): 16.0 이하 - 하상경사: 급류, 중류 - 비수충부	
일체형 생태 호안 블록 공법	- 유속(m/s): 6 이하 - 소류력(kg/m^2): 16 이하 - 하상경사: 급류, 완류 - 수충부, 사수부	
환경 생태 블럭	- 유속(m/s): 4 - 소류력(kg/m^2): 16 - 하상경사: 급류, 중류 - 수충부, 사수부	
황토 블럭	- 유속(m/s): 5 - 소류력(kg/m^2): 16 - 하상경사: 급류, 중류 - 비수충부	
친환경 블럭	- 유속(m/s): 4 - 소류력(kg/m^2): 16 - 하상경사: 중류, 완류 - 비수충부	
식생 옹벽 블록형	- 유속(m/s): 7 - 소류력(kg/m^2): 80 이하 - 하상경사: 급류 - 수충부	
섬유 혼합 다공성 소일 블록	- 유속(m/s): 6 이하 - 소류력(kg/m^2) : 60 이하 - 하상경사: 급류, 중류 - 수충부	
생태 블럭	- 유속(m/s): 2.0 ~ 7.0 - 소류력(kg/m^2): 16.0 - 하상경사: 급류 - 비수충부	

(표 4.25) 방틀계 호안(인공호안) 공법의 설계 인자

호안 형식	수리학적 특성 및 설계인자	개요도
사각 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m2): 60 하상경사: 급류 수충부	
사각 방틀: 세굴 방지틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m2): 60 하상경사: 급류 수충부	
사각 방틀: 식생 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m2): 60 하상경사: 급류 수충부	
삼각 방틀	유속(m/s): 5 소류력(kg/m2): 60 하상경사: 급류 수충부	

다. 운영 및 유지관리를 위한 반영사항

호안조성 시에는 식생녹화 공법에 의한 하천 및 저수지 생태계 보전을 고려하여 적용해야한다.

자연호안은 기존의 자연적 구조와 상태를 유지하는 호안으로 필요 시 비탈면에 풀이나 나무를 심어 물에 씻겨 나가거나 패이지 않도록 보호해야 한다. 또한 자생식생재생을 원칙으로 하고 필요시 줄떼(평떼), Seed Spray 등을 활용하여 비탈면을 조기 녹화하여 우수로 인한 토양유출을 방지해야한다.

인공호안은 홍수 시 제방 침식이 예상되는 구간에 제한적으로 적용되는 시설물로 제방을 안전하게 보호하고 식물의 정착을 통하여 하천의 수변구역과 논, 밭 또는 산림지역과의 생태적 연결성을 확보하기 위하여 자연소재 및 인공소재 등을 적용한다. 인공호안 조류로는 식생계, 석재계, 블록계, 방틀계 및 망태계 등이 있으며, 장기간 운영 및 효율 증대를 위하여 운영 시 고려사항 및 유지관리 방안은 표 4.26 ~ 표 4.29과 같이 정리하여 나타내었다.

(표 4.26) 식생계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
평떼	- 중.하류 완경사면에 적합하지만 적용구간이 다소 한정됨 - 시공초기 식재에서 활착까지 유실대책 필요 - 식생조건(지하수위, 저수위 및 홍수위 등) 및 홍수지속 시간에 따라 선별하여 설치
Seed spray	- 동절기 시공의 제약이 있으며, 발아 및 초기 활착 시까지 유지관리가 필요함 - 식생조건(지하수위, 저수위 및 홍수위 등) 및 홍수지속 시간에 따라 선별하여 설치
식생매트형	- 호안 하단 매트 연결부 세굴현상에 주의하여야 함 - 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 초기에 이루어질 수 있도록 시공 시기와 방법 등에 주의하여야 함. - 하폭이 넓은 구간의 사수부에 속하는 구간에서 적용 가능성이 있으며, 홍수유속을 고려하여 복토면 아래에 연결 블록과 같은 은폐호한 등을 설치하여 보호할 필요성이 있는지를 검토하여 설치하는 것이 좋음
입체식 매트형	- 매트부에 의한 침식방지 효과로 원지반 토립자의 흡출방지와 식생정착 후에는 보강망이 식물의 뿌리와 줄기를 단단히 눌러 유수력과 양력에 대한 저항력을 가짐 - 유수와 함께 떠내려 오는 미사를 흡착하므로 별도의 복토공사가 필요 없으며, 식물 정착을 위한 기반제의 역할을 함 - 빠른 유속에서도 콘크리트를 쓰지 않고 식생호안을 형성하며, 항국적인 치수강도와 환경 친화성 있음
에코매트	- 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 조기에 이루어질 수 있도록 시공시기와 방법 등에 주의하여야 함 - 도입될 식생은 주변 환경과 관계를 고려해야 하며, 식생의 정착을 위해 수위분석도 병행해야 함 - 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.
야자섬유 매트	- 비탈면 시공 시 매트 연결부에 적절한 장치를 통해 세굴발생 개선 필요
다기능 개비온 기초와 완성형 식물 매트 공법	- 수충부에 설치할 경우, 초장이 긴 식물을 식재하여 토양의 세굴을 방지하는 것이 바람직함
연속섬유 보강토공법	- 별도의 유지관리가 불필요함
친환경 식생 토낭	- 식생이 단순화 되지 않도록 고려할 필요가 있으며, 식생 정착이 조기에 이루어질 수 있도록 시공시기와 방법 등에 주의해야 함

(표 4.27) 석재계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
자연석 쌓기	- 사용하는 암석의 크기는 홍수에 대한 내성, 하도와의 조화에 따라 결정 - 홍수류에 의해 유실이 발생하지 않도록 견고히 쌓아야 하며, 대부분의 하천에 적용성이 높음 - 기초부 침식, 배면부 토사의 흡출에 따른 문제점과 자연석 크기에 따른 안정성의 차이를 고려해서 시공해야 함
자연석 돌붙임	- 배면부의 토질이 연약지반일 경우 침하 발생 가능성 있으며, 돌의 직경에 따른 안정성 차이가 있음 - 석재의 색깔이 주변환경과 어울리는지 검토하여 시공하는 것이 바람직함
스톤네트형	- 일체형 제품으로 공기 단축 가능 - 곡선부/변화구간에 시공이 가능하며, 장비를 이용하여 한번에 여러 개의 제품을 운반 설치 가능함
스톤 메트리스형	- 맞춤형 제작품을 설치하므로 공기를 단축시킬 수 있음 - 기존지형에 최소한의 피해를 주기에 복구를 위한 비용의 발생이 적음
사석부설	- 사용하는 임석의 크기는 홍수에 대한 내성, 하도와의 조화에 따라 결정함 - 홍수류에 의해 유실이 발생하지 않도록 할 필요가 있으나, 대부분의 하천에 적용성이 높음 - 신설 호안뿐만 아니라 기설 호안의 전면에 시공함으로 써 유속을 감소시키며, 수제를 다공질로 하는 등 효과가 큼
랩스톤	- 기초콘크리트의 타설은 토목공사 표준시방서상의 관련 제규정에 의해 시공하여야 함 - 블록은 하단에서부터 설치하되, 블록간 이탈이 없고 전체가 일체가 되도록 견고하게 결속하여야 함 - 식물생육에 적합한 사질양토를 복토하고, 현장 내 토양이 식재에 적합하지 않을 경우에는 식생토 반입계획 마련하여야 함

(표 4.28) 블럭계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리

호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
콘크리트 호안 블럭	- 단기적으로 부분적인 유지관리가 필요하며, 곡선부 구간에는 정밀 시공이 요구됨 - 환경, 생태적 측면에서 매우 불리하므로 가급적 도입을 지양하여야 함
섬유 혼합 다공성 소일 블록 공법	- 식생초기에 종자가 발아할 때까지 수분 관리가 요구되므로, 이를 위해 현장에서는 거적을 사용하여 시공하여야 함 - 식생의 시기에 따른 공사시기를 조절할 필요가 있으며, 식생 정착 후에는 특별한 유지관리가 요구되지 않음
일체형 생태 호안 블록 공법	- 균열 파손 시 컷팅을 통해 해당 부분만 재시공함
환경 생태 블럭	- 굴요성 부족으로 지반침하에 대한 저항력이 약함 - 블록훼손 시 장비투입에 의한 복구 필요함
황토 블럭	- 황토 본래의 색상과 질감으로 주변 환경과 조화로운 경관을 창출함 - 부분적인 블록 교체로 유지보수 용이함 - 긴급공사에 적용 가능함
친환경 블럭	- 하천 호안에 자연 친화적인 하천개수공사를 시공하는 경우 블록 사이에 식재를 하여 동.식물의 서식과 세굴을 방지함으로써 하천호한, 인공호수, 비탈면 등 생태공간을 조성할 수 있음. - 변하지 않는 자연석의 질감을 유지함으로서, 자연하천에 조화되는 경관을 형성함 - 시공할 비탈면은 유해물질 등을 제거하고, 평탄하게 시공될 수 있도록 면을 고르고, 부직포는 비탈면에 깔아주고, 그 이음부는 적정 간격을 유지하도록 함
식생 옹벽 블록형	- 부분적인 유지보수 가능함 - 수로에 인접한 석축 및 옹벽대용으로 가능함 - 건식제품으로 높은 강도를 가지며 동결융해에 대한 저항성 높음
섬유 혼합 다공성 소일 블록	- 기초콘크리트 위로 어소블록 및 옹벽블록 조합을 설치함 - 배면에 자갈포설 및 성토 후 다짐하여, 볼록조적 후 전면 식재함
생태 블럭	- 시각적으로 위화감이발생하지 않도록 표면 마무리 등의 대책수립이 필요함 - 부분적으로 경관을 강조하고자 하는 경우를 제외하고는 기본적으로 저수로 호안에의 적용성이 낮음 - 초기에는 인공색이 강하나 시간경과에 따라 완화됨
어소 블럭	- 1:0.3 ~ 1:0.5의 급경사면에도 적용가능하며 옹벽대용의 급경사지 저수부와 호안기단부 세굴방지를 요하는 지역에 설치 가능하며, 타블럭과 혼합사용 가능함 - 호안의 치수적 기능을 유지하면서 생물의 서식처 기능을 겸비할 수 있음

(표 4.29) 방틀계 호안(인공호안) 공법의 운영 시 고려사항 및 유지관리

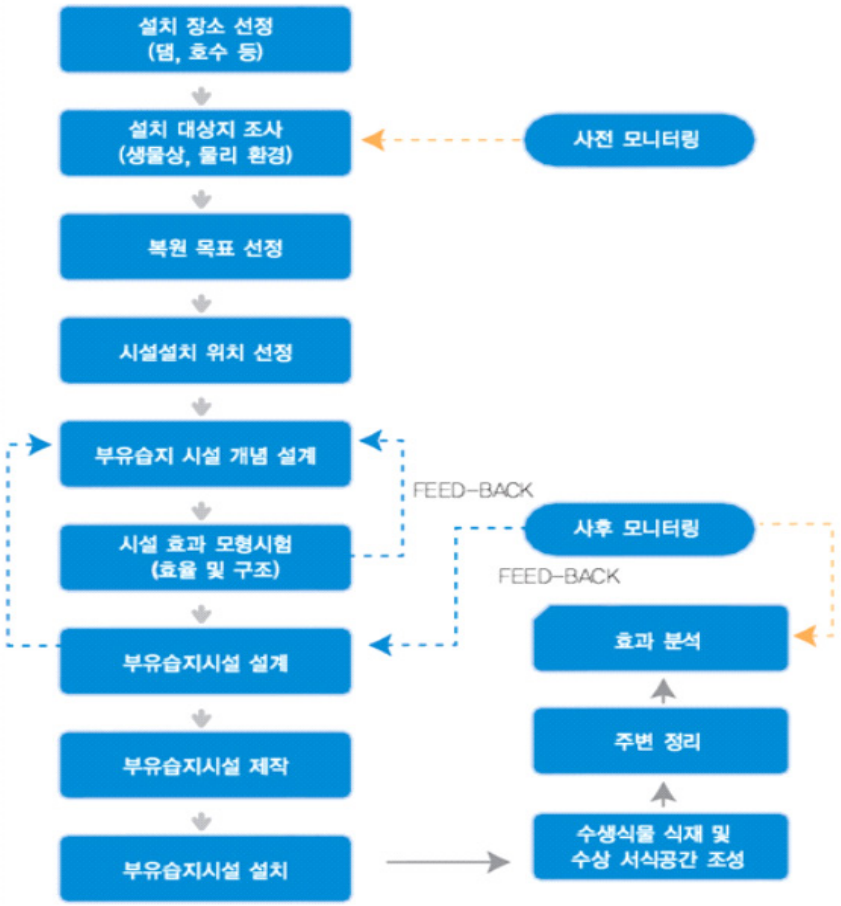
호안 형식	운영 시 고려사항 및 유지관리
사각 방틀	- 식생대 조성이 힘든 하천 중간에 인위적인 식생대를 조성, 하천 생태계의 기초가 됨 - 식생방틀 내에 코이어롤을 설치함으로써 식물 활착이 가능함 - 수변 생태계의 기초가 되는 저서생물의 서식처가 되어 먹이사슬의 기초 공급원 역할을 수행함
사각 방틀: 세굴 방지틀	- 보 아래에 적용시 단수를 조정 설치함으로써 어도의 기능도 가능함 - 돌 틈에 토사가 퇴적되면 자연적으로 초본류가 자라서 미려한 수변 경관을 창출함 - 활착 전 주기적인 수분 공급을 실시하여야 함
사각 방틀: 식생 방틀	- 식생대 조성이 힘든 하천 중간에 인위적인 식생대를 조성, 하천 생태계의 기초가 됨 - 식생방틀 내에 코이어롤을 설치함으로써 식물 활착이 가능함 - 수변 생태계의 기초가 되는 저서생물의 서식처가 되어 먹이사슬의 기초 공급원 역할을 수행함
삼각 방틀	- 방틀공 및 침상공의 상단이 계획홍수위보다 높을 경우 식재한 식생은 생존이 어려우므로 유의하여야 함 - 수위의 상승.하강이 심한 구간은 부식의 진행이 빠르므로 이에 유의해야 함 - 돌의 크기가 너무 작으면 흡출에 의하여 공극이 생기기 쉬우므로 상자의 크기와 돌의 크기에 유의해야 함

6. 다층형 부유습지를 이용한 댐·호의 수생태 복원기술

가. 기술의 개요 및 특징

국내 댐·호수와 같이 수위 변동에 의해 수변이 발달하지 못한 수역에서는 수변의 식생이나 모래, 자갈 등에 산란하거나 은신하는 생물의 서식 공간 훼손이 심각하다. 특히, 수위변동이 크게 나타나 수변이 나지화 되거나 이러한 과정에서 나타나는 침식을 방지하기 위해 수변을 인공화하는 경우, 단순화된 수변의 공간적 특성으로 인해 생물상뿐만 아니라 수질에도 악영향을 끼친다. 자연상태의 호수의 경우 강우, 일사량, 유속 등 다양한 요소가 상호작용하며 안정적인 상태를 이루지만, 인공화가 진행돼 이중의 몇몇 요소가 단절되거나 상호작용의 크기가 바뀌어 안정상태를 벗어나면 수질이 변하게

되어 녹조, 담수적조 등의 현상이 발생한다. 본 기술은 댐, 저수지 등과 같은 인공호수 한가운데 수상부, 사면부, 개방부, 다단수중부로 구성된 부유습지를 설치해 생물 서식공간을 조성하는 기술이며, 기술의 공정도는 그림 4.29와 같다.

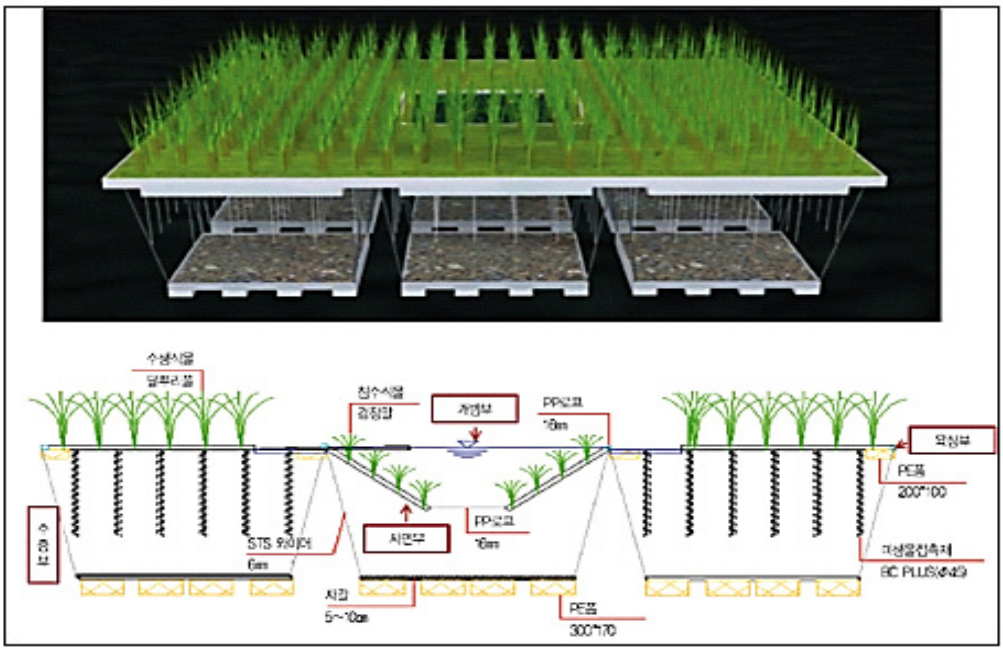


<그림 4.29> 다층형 부유습지 기술의 공정도

나. 설계 시 고려사항 및 설계 인자

육상부는 2단의 산란장인 수중구조를 수면위로 부유·고정시키며 전체적으로 균형 있게 부력을 받아 안정성 확보 가능하도록 설계가 필요하다. 또한, 식재매트 상부에는 갈대와 같은 정수식물과 함께 수변에 많이 자라는 미나리와 침수식물을 식재하여야 한다. 기존에 적용된 부도나 수초재배섬, 식생섬 등은 수표면을 식생대가 덮고 있어 부유체 아랫면은 햇볕이 들지 않았으

나 부유습지의 개방부는 일부분을 개방해 수중으로 빛이 비추도록 설계한다. 개방부는 육상부의 가운데 위치하도록 설계하고 기존의 부도시설에서 육상부는 수중과 물리적으로 단절된 구조였으나 부유습지 기술에서는 사면부를 조성해 육상과 수중을 연결한다. 사면의 기울기와 깊이는 개방부에 설치한 사면부인지 또는 부유습지의 외부로 연결되는 사면부인지에 따라 달리 조성하고, 각각에는 침수식물과 부엽식물 등을 수심에 따라 식재해 수변과 수중 생물의 서식 및 산란·은신처를 제공하는 역할을 수행한다.



<그림 4.30> 다층형 부유습지 기술의 모형 및 단면

다. 적용사례 및 효율

본 기술의 효과 평가를 위하여 소양강댐, 군위댐, 대룡저수지 3곳에 시험적으로 기술을 적용 하였으며, 그림 4.31은 소양강댐에 적용된 모습을 보여주고 있다. 효율 평가 결과, 육상부에서는 생물다양성 향상, 개방부는 부유습지 하부의 수중생태계 건강성 향상 및 생물 증식에 기여하였으며 사면부는 생물의 이동 및 서식공간을 제공 하는 것으로 평가된다. 수변과 사면을 대체하는 부유습지를 조성해 하천과 호수의 연결성을 증대시키고 호수의 생태건강성이 개선될 것으로 기대되며, 이를 통해 국내 하천, 호수 및 저수지 등의

수질환경 개선에 기여할 것으로 평가된다.

<그림 4.31> 다층형 부유습지 기술의 적용사례

라. 기대효과

부유습지는 댐·호가 갖는 자연적인 요소를 극대화하는 것으로, 자연적인 요소가 풍부해지면 상호작용을 통해 녹조나 담수적조와 같은 현상을 방지하거나 축소할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 다양한 식생을 식재함으로써 수생식물의 수질정화 효과와 수중생물의 서식, 산란처로서의 기능 수행함. 본 기술은 하천 및 호수 등에 설치해 수중의 물질 흡수 및 어란 부착을 위한 미생물 부착 메디아를 줄이고 정수식물, 부엽식물, 침수식물의 뿌리를 적용하기 때문에 시설투자비 및 유지관리비의 대폭 절감이 가능하다. 특히, 기존 기술과 달리 수중으로 이어지는 다단 서식산란장의 복합 구조인 만큼 정체되어 있는 호소수에서 환경개선 및 수생태계 기능을 복원할 수 있는 기술이다.

7. 무인항법 이동식 다기능 수질정화시스템

가. 시설개요

(1) 정의

GPS 항법을 기반으로 무인으로 운전하는 수처리 시스템으로 원하는 위치에서, 정해진 시간 동안 무인 체류하면서 수질을 정화하고, 접안 도크에서 충전, 유지관리 및 악천 후 대피 등이 가능하도록 설계된 ICT 등 첨단기술이 융복합된 차세대 다기능 수질관리/정화 시스템

(2) 목적

농업용 저수지, 4대강 등 오염된 하천 등 정체수역의 수질오염을 사전 예방하고 오염된 수질을 정화하기 위하여 개발

(3) 특징

- 수질관리의 자동화(무인운전 및 원격조정)로 수질관리 인력 및 비용 절감 효과
- 자연태양광 및 풍력 발전의 동력 이용으로 유지관리비가 거의 없음
- 수질정화선 접안 도크 설치로 자연재난으로 안전한 관리 가능
- 저수지 유입 오염물질에 대한 상시 감시로 농업용저수지의 수질오염 사전예방
- 필요에 따라 맞춤형 수질정화장치(키트식) 이용으로 수질개선의 효율화

(4) 장단점

○ 장점

- 상시 운영으로 저수지 유입 오염원 감시 및 수질오염의 사전 예방
- 무인 운전 및 원격 조정으로 운영 편리 및 인건비 절감
- 태양광 등 자연 에너지 이용으로 동력비 절감
- 수질의 실시간 측정 및 수질자료 실시간 송수신
- 도크 설치로 장비의 안전한 유지관리

○ 단점

- 태풍 등 기상 악화시 운영 곤란
- 비상 상황시 긴급 대처 곤란

나. 정화 원리 및 효율

(1) 정화원리

무인항법 이동식 수질정화시스템은 필요에 따라 필요한 장비를 키트식으로 장착하여 사용할 수 있도록 고안되었으며, 수질관리를 위해 도입시에는 산소 포기장치, 수질/수심 자동측정기를 탑재하여 호 내에 산소 포기로 수환경을 개선시키고 자동으로 수질을 측정하여 실시간으로 수질자료를 송수신하는 장치이다. 오염된 저수지의 수질개선을 목적으로 도입하였을 때는 저수지 내의 오염물질 저감을 위한 수질정화장치를 탑재하여 운영하는데, 녹조 대량 발생 등 비상 상황시에는 녹조 제거제 또는 미생물 제재 살포가 가능하고, 인 등 오염물질 저감을 위해 초고속 오염물질 고액분리장치 탑재로 수체 내에서 급속응집 및 부상시켜 슬러지 수거/탈수가 가능하다.

(2) 수질정화효율

운영 대상수역의 수질 및 목표수질에 따라 차이가 발생하고, 개방수역으로 수질정화효율을 정확히 정량화하기 어렵다.

- 하루 8시간 운영기준 수처리 면적 40,000 ㎡ (속도 약 4km/h로 운영시)

다. 설치기준 및 설계인자

(1) 설치기준

수질관리 및 수질개선을 대상으로 하는 저수지의 규모, 수질 상태, 수질 목표기준 등을 기준으로 무인항법 이동식 수질정화시스템의 용량 및 규모 결정이 가능하다.

* 수질오염 사전예방을 위한 수질관리 측면에서 저수지 저수량 50만톤 당 무인 이동 선박 1대 설치

(2) 주요시설 및 시설별 사양(저수지 규모 50만톤 기준)

○ 선박크기 : 3mW x 5mL x 0.6mH, 부력 5톤(LLDPE 부력체)

○ 속도, 항속거리 : 정지(0)~4Km/h, 1회 충전 시 8시간/1일 운항 가능

○ 컨트롤러 MCU

64Bit CPU, Embedded Linux, 4MB memory, 64GB MSD, USB, Serial, TTL, RS485, 12V On/Off 접점, 평형 수 제어, 이동 목표지점, 속도, 항속저리 제어,

수질장치 제어, 크루즈 컨트롤, 수동제어모드

○ 서버 관제시스템(스마트폰 APP, 인터넷 웹)

비트맵지도에 이동경로, 작업시작시간, 작업종료시간 설정

출항이동을 시작, 종료시간 복귀 설정

수질정화장치 작동 및 정지 설정

현재의 위치, 진행 시간, 진행 거리, 평균속도 등 모니터링

지나온 항로, 현재 항해속도 표시

모의주행 시물레이션 모니터링

각종장비 작동상태 전송 및 모니터링

수질지도, 수심지도, 일별, 월별, 년별, 전년대비 통계표

수동 강제입항 지시

각종 관제상황 문자알람(알림)

기타 기능설정

○ UHF 통신 : 2~5W, 400MHz

○ 지도 MAP : 디지털 배열기반 도트매트릭스 비트맵

○ 스틸카메라 : 가변셔터, 가변마이크 헤드, 디지털 데이터

○ 밧데리 : DC24V, 1,200A

○ 충전기 : 급속충전기, DC12V~24V, 120A병렬중전

○ 엔진, 스크류 : 24~48V DC 1,500W * 2대(감속포함 총 9마력)

○ DGPS : 3D Dynamic Sensor, beacon DGPS Receive, three-antenna system, accuracy of 0.5° rms, 0.25° rms heading, 0.5° rms. tracking, compensated for with 20cm rms accuracy

○ 레이더 : 적외선 (905nm) 광원 1등급, 360° 개구각, 5Hz~10Hz 스캔 주파수, 0.5m~250m 작업구역, 10%에서의 스캔범위 80m반사율, 거의 모든 형태 물체 감지 가능, ≥ 100ms 반응속도

○ 다목적 수질측정기 : Digital Portable Multi Meter(키트 형)

○ 풍향, 풍속계 : 바람속도, 공기, 온도, 공기량 측정

○ 우량계 : 디지털 우량계

○ 태양광 발전 : DC태양광발전 및 충전설비

○ 접안 시설 : 보트접안설비, 전자석 고박장치, 선박 충전 Kit, OMR 접안 유도 장치

(표 4.30) 무인항법 이동식 수질정화 선박 제원(저수지 규모 50만톤 기준)

항목	내 용
선박크기	3mW x 5mL x 0.6mH, 부력 5톤(LLDPE 부력체)
속도, 항속거리	0(정지)~4Km/h, 1회충전 시 8시간/1일 운항 가능
컨트롤러 MCU	64Bit CPU, Embedded Linux, 4MB memory, 64GB MSD USB, Serial, TTL, RS485, 12V On/Off 접점, 평형 수 제어, 이동 목표지점, 속도, 항속저리 제어, 수질장치 제어, 크루즈 컨트롤, 수동제어모드
서버 관제시스템 (스마트폰 APP, 인터넷 웹)	비트맵지도에 이동경로/작업시작시간/작업종료시간 설정, 출항이동을 시작, 종료시간 복귀 설정, 수질정화장치 작동 및 정지 설정, 현재의 위치/진행 시간/진행 거리/평균속도 등 모니터링, 지나온 항로/현재 항해속도 표시, 모의주행 시물레이션 모니터링, 각종장비 작동상태 전송 및 모니터링, 수질지도/수심지도/일별/월별/년별/전년대비 통계표, 수동 강제입항 지시, 각종 관제상황 문자알람(알림), 기타 기능설정
UHF 통신	2~5W, 400MHz
지도 MAP	디지털 배열기반 도트매트릭스 비트맵
스틸카메라	가변셔터, 가변마이크 헤드, 디지털 데이터
밧데리	DC24V, 1,200A
충전기	급속충전기, DC12V~24V, 120A병렬중전
엔진, 스크류	24~48V DC 1,500W * 2대(감속포함 총 9마력)
DGPS	3D Dynamic Sensor, beacon DGPS Receive, three-antenna system, accuracy of 0.5° rms, 0.25° rms heading, 0.5° rms. tracking, compensated for with 20cm rms accuracy
레이더	적외선 (905nm) 광원 1등급, 360° 개구각, 5Hz~10Hz 스캔 주파수, 0.5m~250m 작업구역, 10%에서의 스캔범위 80m반사율, 거의 모든 형태 물체감지 가능, ≥ 100ms 반응속도
다목적 수질측정기	Digital Portable Multi Meter(키트 형)
풍향, 풍속계	바람속도, 공기, 온도, 공기량 측정
우량계	디지털 우량계
태양광 발전	DC태양광발전 및 충전설비
접안시설	보트접안설비, 전자석 고박장치, 선박 충전 Kit OMR 접안 유도장치

라. 운영 및 유지관리를 위한 설계 반영 사항

저수지 호내를 무인으로 이동하면서 수질과 수심을 자동으로 측정하고, 오염원 유입을 감시하며, 산소를 포기시켜주고, 녹조가 발생된 수역에서는 녹조를 효과적으로 제거, 수거하는 일련의 다기능 복합 시스템으로서 최소 1일 8시간 기준으로 운행이 가능한 엔진과 동력이 확보되어야 한다.

- 제거성능 : 80,000㎡/일 이상(8시간기준)
- 엔진 : 9HP 이상

본 장치의 수질정화장치는 고정식이 아닌 필요에 따라 필요한 정화장치를 장착하는 키트식으로 구성되며, 장착할 수 있는 장치는 미생물 살포기(황토, 녹조제거제 등), 고속 고액분리장치, 산소 포기장치 등 적용하는 지역의 수질상태, 관리하고자 하는 목표수질 등에 따라 수질정화장치를 선정하여야 한다. 특히 녹조가 대량 발생하였거나 수질오염도가 심해 호내 오염물질을 제거하고자 하는 저수지에서는 고속 고액분리장치를 통해 신속하게 호내 녹조 및 오염물질을 제거할 수 있다.

본체 및 부력재는 통신장비, 수질정화 설비 등을 안전하게 부양하고, 다음의 조건을 만족해야 한다.

- 부력재의 구조적인 안전성 및 강도, 수상 이동성(저수지 수변 수심이 얕은 곳)
- 장치 운용시 바람 및 너울 등에 대한 충분한 안전성

오염물질 제거장치로 응집부상 또는 가압부상장치, 고액분리 장치 등을 이용하여 수면에서 응집제 살포 및 스컴 등을 수거하여 선박위에서 슬러지를 여과 및 탈수하여 처리수는 수체로 보내고 슬러지는 육상으로 이송하여 처리하고 하는 경우에는 다음과 같은 공정과 조건을 만족해야 한다.

- 약품을 저장·살포하여 물속의 녹조를 응집· 부상시킬 수 있는 약품 살포장치(약품탱크, 공급펌프 및 배관)를 장착한다.
- 장치가 전진하면서 수표면에 집적 또는 응집·부상한 녹조체를 호퍼 내로 농축시키고, 후속 공정인 스크린으로 이송한다.
- 호퍼 내에서 1차 농축된 녹조체는 스트레인레스 재질의 스크린-컨베이어에 연속적으로 이동하면서 탈수와 2차 농축과정이 진행된다.
- 여과 및 탈수를 거친 녹조체는 브러쉬에 의해 스크린으로부터 탈리되고, 브러쉬 청소를 위해 스크래퍼 보조기구를 장착한다.

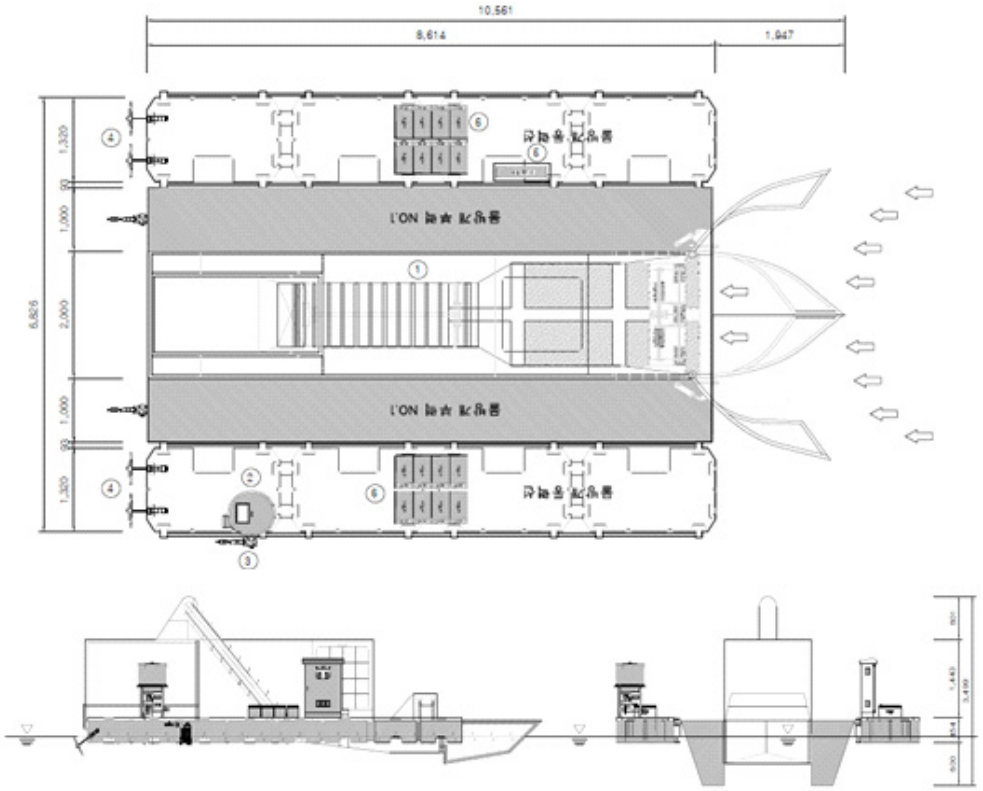
- 녹조체와 이물질을 분리하여 수거하기 위한 별도의 수집함을 설치한다.
- 육상으로 이송된 슬러지 등은 법에 근거하여 안전하게 처리한다.

선박 등을 포함한 모든 장치의 유지보수 및 사후관리 등이 용이하고, 주요 설비(모듈)의 내구성이 보장되어야 한다. 제조된 선박을 다른 지역으로의 도로운반 시 법적요건을 충족할 수 있어야 한다.

본 부인항법 이동식 수질정화선은 농업용수 공급을 목적으로 하는 농업용 저수지에서 운영될 장치이므로 수질정화선에 탑재된 일체의 장치 및 설비는 수생태계에 미치는 유해한 영향이 없어야 하며, 유류 유출 등으로 인한 2차 환경오염이 발생되지 않도록 설계 및 제작되어야 한다.

마. 설계예시 및 시방서

(1) 설계예시



<그림 4.32> 무인항법장치 설계예시

(2) 시방서

○ 본 장치는 무인 이동 수상 선박으로서 탑재되는 모든 설비 등에 대해 부력재의 구조적인 안전성이 보장되어야 하며, 특히 비상 상황시에도 안전이 최우선적으로 고려되어야 한다.

○ 장치의 유지관리, 보수, 사후관리 등이 용이하고 경제적인 운용이 가능하며, 소규모 선박으로 다른 지역으로 이동을 고려시에는 장치 이동을 위한 도로운반 등에 따른 법적요건이 충족되어야 한다.

○ 본 장치 및 장치에 탑재되는 모든 설비는 「선박법」, 「선박안전법」, 「소형선박의 구조 및 설비 등에 관한 기준」등 관계법규와 선박 검사기관에서 요구하는 모든 기준을 만족하여야 한다.

○ 장치의 유지관리, 보수, 사후관리 등이 용이하고, 주요 설비(엔진, 부력체, GPS 수신기이송호퍼, 스크린컨베이어 등)의 내구성이 보장되어야 함

○ 본 장치의 사용으로 인한 수생태계에 미치는 영향이 없고, 2차 환경오염이 발생되지 않아야 하며, 화학응집제를 이용하는 경우에는 잔류성분검사가 필요하다.

○ 무인항법 이동식 수질정화선 설계 및 제작에는 고도의 전문기술이 요구되므로 개발 전문업체에 의뢰하여 제작하는 것이 바람직하다.

제5장
최신기술을 반영한 수질개선 설계매뉴얼 정립

제1절 최신기술이 반영된 설계매뉴얼 작성 방향

제2절 설계 매뉴얼의 주요내용 및 개선사항

제3절 최신 설계매뉴얼의 최종작성 및 활용방안

제5장 최신기술을 반영한 수질개선 설계매뉴얼 정립

제1절 최신기술이 반영된 설계매뉴얼 작성 방향

1. 설계매뉴얼의 개요 및 특성

가. 매뉴얼의 목적

농업용저수지 수질개선사업에 필요한 조사·설계의 기본 방향 및 제반 절차에 대한 해설을 제공하고, 수질개선사업 추진시 오염원, 수질특성 등 현장여건을 충분히 감안하여 각 전문분야별 조사·계획 및 설계를 적절하게 수립할 수 있도록 함으로서 수질개선사업이 효과적, 안정적으로 이루어지도록 하는 것에 목적이 있다.

나. 매뉴얼의 구성

본 매뉴얼은 제 1장 총론, 제 2장 현황 분석 조사, 제 3장 기본계획 수립, 제 4장 수질개선 세부설계요령, 제 5장 유지관리방안 편으로 구성하였다.

(1) 총론의 구성

○ 총론은 매뉴얼의 개요, 용어의 정의, 농업용수 수질개선사업 개요로 구성되어 있다.

○ 제1절에서는 매뉴얼의 작성목적, 구성, 활용범위 및 주의사항에 대하여 기술 하였다.

○ 제2절에서는 본 매뉴얼에 사용된 용어 중에서 중요한 용어에 대한 정의를 수록하였다.

○ 제3절에서는 사업의 법적근거, 기본원칙, 시행절차, 사업단계별 주요내용에 대하여 기술하였다.

(2) 현황 분석 및 조사의 구성

○ 현황 분석 및 조사의 내용은 농업용수 수질개선사업의 계획수립에 필요한 전문분야별 조사항목으로써 총 12개의 절로 구성되어 있으며 각 절의 내용은 다음과 같다.

○ 제 1절은 조사의 목적과 기본원칙에 대해 기술하였다.
○ 제 2절은 조사 전반에 대한 개요로 조사계획, 조사항목 및 조사방법, 그리고 사업단계와 사업규모에 따른 조사분야 및 요구수준에 대하여 기술하였다.
○ 제 3절은 사업대상 지구의 전반적인 일반현황 조사로서 저수지를 포함한 유역의 지형·지세, 기상·수문조건, 자연환경, 저수지 제원, 유역상황, 홍수터 현황, 저수지 기능, 문화재지표조사, 관련 상위계획 조사 등에 대하여 기술하였다.
○ 제 4절은 오염원 조사 및 부하량 산정으로 생활계, 축산계, 산업계, 토지계 및 양식계 등 각 오염원의 조사 요령 및 오염부하량 산정방법을 기술하였다.
○ 제 5절은 수질조사에 대해 조사의 범위와 항목, 지점, 빈도, 조사 및 분석 방법에 대하여 기술하였다.
○ 제 6절은 생태조사에 대해 생태분야별 조사항목과 조사빈도에 관하여 기술하였으며 조사·설계자가 사업성격에 따라 선택하여 반영할 수 있도록 제시하였다.
○ 제 7절 수리·수문조사에서는 기상, 지형 및 지질, 용·배수계통 등 수리(水利) 상황, 유역 및 하천조사, 토지이용상황, 토양수문군 분류방법 등에 관하여 기술 하였다.
○ 제 8절 퇴적물 조사에서는 조사범위, 조사지점, 조사항목 및 조사빈도, 조사 및 분석 방법에 대하여 기술하였다.
○ 제 9절 토양조사에서는 토양 조사의 목적과 범위, 지점 및 항목을 포함하였다.
○ 제 10절 수질예측모형 종류 및 선정에서는 농업용 호소 수질개선 사업에 적용가능한 유역과 수체의 수질예측모형의 종류를 기술하고, 각 수질예측모형별 장·단점을 기술하여 사용자에게 적합한 모형을 선택하도록 제시하였다.
○ 제 11절 토목조사에서는 유역 및 하천조사, 지형 및 수심측량, 기초지반조사 등에 관하여 기술하였다.
○ 제 12절 지역주민 의견수렴 조사에서는 지역주민 의견수렴 대상 및 방법과 의의에 대하여 기술하였다.

(3) 기본 계획 수립의 구성

○ 수질개선사업 기본 계획의 구상에서는 기본구상, 수질오염 특성 분석, 유입부하량, 삭감부하량 산정방법, 적용가능 대책 수질개선공법 선정, 공법의 설계 방향 및 검토사항, 수질개선대안 설정 및 수질예측의 6개 절로 구성되었으며, 각 절의 내용은 다음과 같다.

○ 제 1절 기본구상에서는 계획수립의 절차, 사업목표와 목표수질 설정요령에 대하여 기술하였다.

○ 제 2절 수질오염 특성분석에서는 수질오염의 유형 분류와 그에 따른 대책, 오염원 분포특성을 제시하였다.

○ 제 3절에서는 2.4절에서 조사한 오염원자료로부터 유역의 유입부하량 및 삭감부하량을 산정하는 것에 대해 기술하였다

○ 제 4절 적용가능 대책 수질개선공법 선정에서는 수질개선공법 중에서 자연처리시스템에 대한 기본적인 수처리 효율과 적용조건을 제시하였으며 농촌지역에 적합한 수질개선계획수립 방향에 대하여 기술하였다.

○ 제 5절 공법의 설계 방향 및 검토사항에서는 공법선정을 위한 검토사항, 수질개선공법분류 및 선정요령, 설계강우량 산정 방법 등을 기술하였다.

○ 제 6절 수질개선대안 설정 및 수질예측에서는 수질개선대안 설정 방법과 그에 따른 수질예측 방법, 유역모델과 저수지모델의 연계 방안 등의 내용을 포함하여 기술하였다.

(4) 수질개선 세부설계요령의 구성

○ 제 4장은 농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 수질개선공법에 대한 기본 설계 자료를 정리하여 수질개선대책 수립을 효과적이고 효율적으로 수행할 수 있도록 구성하였다.

○ 제 1절에서는 수질개선대책시설의 종류 및 적용방안 개요에 대하여 기술하였다.

○ 제 2절 유역대책 세부설계요령에서는 소규모하수도 공법과 우회수로의 정화원리 및 특징과 설계요령, 적용사례로 구성하여 기술하였다.

○ 제 3절 유입수대책 세부설계요령에서는 총 8개의 수질개선대책시설의 정화원리 및 특징과 설계요령, 적용사례로 구성하여 기술하였다.

○ 제 4절 호내대책 세부설계요령에서는 총 4개의 수질개선공법과 기타 최신기술에 대한 정화원리 및 특징과 설계요령, 적용사례로 구성하여 기술하였다.

(5) 유지관리방안의 구성

○ 제 5장은 수질개선시설 유지관리방안에서는 유지관리의 기본방향 및 목표를 제시하였으며, 각 시설별 유지관리방안을 포함하였다.
○ 제 1절에서는 유지관리방안에 대한 기본방향 및 목표를 제시하였다.
○ 제 2절은 유지관리에 대한 일반적인 사항으로 모니터링과 관리체제 및 유지관리 방법에 대해 나타내었다.
○ 제 3절은 수질개선 시설별 유지관리방안에 대해 제시하였다.

2. 설계매뉴얼의 작성방향

최신기술이 반영된 설계 매뉴얼의 작성방향은 농업용수 수질개선 사업이 진행된 1998년 이후 2004년「농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리요령」, 2007년 「농업용수 수질개선 공법매뉴얼」, 「농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼」, 2009년 「농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람」에 이르는 농업용수 수질개선 설계매뉴얼의 기본 취지를 따르면서, 사업시행단계의 이해부족, 제도적 미비사항, 시행착오 등을 개선하여 최적의 사업이 진행될 수 있도록 작성하였다.

이를 위해 수질개선 사업시행 절차를 종합적으로 개선하고, 전문가 참여 및 검토위원회 기능을 강화하였으며, 사업실시설계 단계의 체크리스트를 제시하여 사업 시행시 오류를 최소화 시키도록 유도하였다.

또한, 환경, 토목간 이해격차를 해소하기 위해 용어 정의와 해설을 보강하였으며, 잘된 사례와 못된 사례를 비교 제시하여 설계시 이해를 도울 수 있도록 하였다.

제2절 설계 매뉴얼의 개선사항

1. 공통계획 및 시설(신설항목)

유입수 대책에 공통적으로 적용되는 설계부분을 신설하여 계획 및 설계단계에서 가장 중요한 사항인 취입방식의 결정 및 취입지점과 취입보 형식의 결정을 우선적으로 고려하도록 하였다.

(표 5.1) 공통계획 및 시설(신설항목)

공통계획 및 시설 (신설 내용)	
취입지점의 선정	사례연구
	취입지점 선정시 고려사항
취입보 형식의 선정	취입보의 종류
	설계요령
양수취입방식	기존취입 방식의 문제점
	양수취입방식
	설계요령
인입수로	인입수로의 형식
	인입수로의 길이
	설계요령
유량측정 구조물	현황
	설계요령

2. 지표흐름습지

기존 사업지구에 대한 현장조사 자료를 바탕으로 기존에는 없었거나 모호했던 습지를 구성하는 수리 및 토목요소의 설계요령을 구체화하여 제시하였다.

또한 그 동안 습지설계에서 현실적이지 못한 설계기준은 정리하였다.

(표 5.2) 지표흐름습지에서 새롭게 신설, 보완 및 수정된 내용

지표흐름습지에서 새롭게 신설, 보완 및 수정된 내용	
지표흐름 인공습지 설계요령	침사지
	습지의 기하학적 형상
	습지를 구성하는 셀 수
	포켓습지
	습지의 유하길이
	습지의 셀 수 결정
	복수계열 습지설계
	습지 셀과 셀의 연결
	습지 셀 간의 연결수로
	개방수역의 조성방법
	배출연못의 설계
	습지 수위구조물
	최종 배출구 및 배수구의 형태
	비상 배수구의 형태
	제방 및 호안 조성
	장비 접근시설

3. 지하흐름습지 및 조합형 습지

지하흐름습지의 설계요령을 완전히 수정 보완하여 설계자가 여재형태에 따라 독창적인 설계가 가능하도록 최소한의 설계방안을 제시하였으며 기존 습지의 적용사례를 통하여 학습할 수 있도록 현장자료를 수록하였다. 그리고 지하흐름습지의 적용한계를 명확히 제시하였다.

(표 5.3) 지하흐름형 습지(수정보완 및 신설내용)

지하흐름형 습지(수정보완 및 신설내용)	
지하흐름 인공습지 설계	개요
	설계요령
	적용 사업지구 사례 분석
지표-지하 조합형 인공습지 설계	개요
	설계요령
	적용 사업지구 사례 분석

4. 침강지

기존의 사업지구의 침강지 규모산정 및 내용적 현황을 제시하였으며 기존의 매뉴얼에 누락된 호안조성방법에 대한 요령을 제시하였고 침강지와 습지의 연계운영 방안을 제시하였다.

기존 사업지구 설치사례를 대폭 보강하였으며 대표적인 실패와 성공사례를 제시하였으며 어도 등 침강지 구성요소에서 누락된 부분을 추가하였다.

(표 5.4) 침강지(신설 및 수정보완 내용)

침강지(신설 및 수정보완 내용)	
설계요령	침강지 규모산정
	침강지 내용적의 산정
	부댐의 규모 및 형식
	호안의 조성
	조류증식 억제를 위한 유입부 식생 식재
	침강지-습지의 연계운영
	침강지 설치지점
	식물섬의 설치

5. 호내 대책 신기술

호내 대책 신기술로 최근에 4대강 사업수질개선 사업 및 기타 다목적 댐 수질개선사업 등에 적용되기 시작한 다층형 부유습지기술과 끈상접촉산화공법, 및 다단 가압부상기술을 추가로 수록하여 농업용수 수질개선사업지구 현장여건에 따라 적용될 수 있도록 하였다.

(표 5.5) 호내 대책 신기술

다층형 부유습지(신설)
시설개요
정화원리 및 효율
설치기준 및 설계인자
운영 및 유지관리를 위한 반영사항
설계예시 및 시방서
끈상접촉산화공법(ASCO)(신설)
시설개요
정화원리 및 효율
설치기준 및 설계인자
운영 및 유지관리를 위한 반영사항
설계예시 및 시방서
다단 가압부상 장치 기술(신설)
시설개요
정화원리 및 효율
설치기준 및 설계인자
운영 및 유지관리를 위한 반영사항
설계예시 및 시방서

6. 호안조성 기술

기존의 설계요령에서는 누락된 호안조성 부분을 추가하여 수질개선목적의 저수지 호안조성이나 침강지 및 습지의 호안 및 제방조성에 활용될 수 있도록 하였다.

호안조성 기술은 토목적 설계 및 시공방법 뿐만 아니라 수질정화 원리 및 효과 등도 제시하였다.

(표 5.6) 호안조성 기술

호안조성공법(신설)
시설개요
정화원리 및 효율
설치기준 및 설계인자
운영 및 유지관리를 위한 반영사항

7. 사업수행체계

과거 수질개선사업에서 나타난 반복적인 실수를 막고 효율적으로 과업을 추진할 수 있도록 사업계획의 기본구상 및 설계, 상세설계 단계에서 필수 설계요소를 검토 확인할 수 있는 방향으로 사업수행체계를 수정 보완하였다.

(표 5.7) 사업수행체계

수질개선 사업계획의 기본구상(수정보완)
계획수립의 절차
수질개선 목표설정
적용가능 대책 수질개선 공법 선정(수정보완)
수질개선 공법의 분류
수질개선공법 선정의 기본원칙
공법의 설계 방향 및 검토사항(수정보완)
공법선정 검토사항

제3절 최신 설계매뉴얼의 적용범위 및 활용방안

1. 설계매뉴얼의 적용범위

본 연구에서 제시된 농업용수 수질개선사업 설계매뉴얼은 농림축산식품부와 한국농어촌공사가 시행하는 농업용수 수질개선사업의 기본구상, 계획수립, 실시설계, 시공. 운영 및 유지관리 분야에서 유용하게 활용할 수 있다.

또한, 환경부와 한국환경공단에서 시행하는 비점오염 저감사업과 한국수자원공사에서 주관하는 대형 댐호의 수질개선사업, 4대강 보구간의 정체하천을 대상으로 하는 조류저감 사업 등에도 활용할 수 있는 등 적용범위에 제한은 없는 것으로 판단된다.

단지 적용에 있어 신중하게 판단하고, 본 매뉴얼에서 제시하는 검토사항과 체크리스트를 숙지하여 적용하여야 한다.

2. 설계매뉴얼의 활용방안

본 매뉴얼은 농업용저수지 수질개선사업 계획수립, 설계, 시공에 활용할 수 있다. 농업용저수지 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 있다. 사업대상 지구의 오염특성과 여건 등에 따라 특수한 수질개선 방법이 필요할 경우에는 새로운 기술이나 기법의 적용도 가능하며 이러한 경우에는 전문가의 자문 등을 거쳐 도입을 검토하여야 한다. 본 매뉴얼 내용 중에서 참고문헌이 제시되면 필히 참고문헌을 찾아 구체적인 이론과 계수 등을 확인하여 적용한다.

제6장
결 론

제1절 기존 수질개선 설계매뉴얼의 재정립

제2절 농업용수 수질개선 사업 적용가능 최신공법 및 기술

제3절 최신기술을 반영한 수질개선 설계매뉴얼 정립

제6장 결론

제1절 기존 수질개선 설계매뉴얼의 재정립

2016년까지 농업용수 수질개선사업은 87개 지구 중 23개 지구가 준공되었으며, 잔여 65개 지구 중 2017년에는 기본조사 4지구, 세부설계 및 착공 3지구, 공사 진행 13개소, 이중 봉재, 덕림, 문천지구는 금년도 준공 예정이다. 현재 운영중인 수질개선 사업지구 23개소 중 저수지의 특성, 지역적 분포 및 설치된 공정의 대표성, 접근성과 운영연수 등을 고려하여 12개 사업지구를 선정, 환경적 토목학적 조사 분석을 실시하였다.

수질개선사업지구에 적용된 공법을 분석한 결과 조사대상 사업지구에 가동 중인 습지는 23개소의 지표흐름습지와 4개소의 고효율습지(지하흐름습지)이며, 침강지는 총 17개소로 on-line 사석 부댐 형식의 침강지였다. 12개 사업지구 중 집중사업지구 4개소를 선정하여 하천유황에 따라 매월 주기적인 현장실태조사를 수행하여 기존 매뉴얼의 문제점과 개선방안을 제시하였다.

먼저 수질개선 사업 시행절차의 문제점 분석을 통해 개선방안을 제안하고 매뉴얼에 수록하였다. 기존에 수행된 기본계획 및 실시설계 보고서와 현장조사 결과를 토대로 평가한 결과 전 과정에 대한 전문가 참여와 검토가 미흡하여 시공 후 운영시 다양한 문제를 나타내고 있었다. 그동안 시행된 수질개선 사업절차를 바탕으로 각 단계별 문제점을 분석하고, 이를 해결할 수 있는 개선방안을 포함한 종합 시행절차와 실시설계 과정상 설계요소 체크리스트를 제안하였다.

수질개선사업의 주요 공법으로 12개 지구 중 11개소에서 설치, 운영 중인 지표흐름 인공습지의 시공, 운영현황의 문제점과 개선방안을 제시하였다.

취입보는 하천수를 습지내로 취수하는 시설로 습지 수리시설 중 가장 중요한 요소로서 취수량을 조절 할 수 있어야 하며 취수보 내부에 퇴적되는 유사를 배출시킬 수 있는 구조로 설계되어야 한다. 취입보 형식과 가동현황을 분석한 결과 총 6개 형식(콘크리트보, 고무 가동보, 기계식 권상형 가동보, 기계식 회전형 가동보, 기계식 유압형 가동보, 게이트 수문보)으로 구분되며, 전체 21개소 시설 중 4개소 정도가 비정상 작동하였고, 그 원인으로 지속적인 가뭄으로 인한 수위센서 미작동, 취입보 내부의 유사퇴적 및 기계식

수문틀에 이물질 걸림 문제 등 이었다.

취입구는 유사퇴적에 대비해 하상보다 높게 시공되어 취입보에 누수가 생길 경우 습지내 취수가 안되는 문제가 발생하므로 유사퇴적에 대비하고 취수 기회를 높일 수 있도록 취수구 위치 조정 또는 박스형 설계 방안을 제시하였다.

인입수로는 취수보와 습지선단 유입구 사이의 이격거리 면에서 중요하며, 인입수로의 길이가 암거형태이고 그 길이가 길어질수록 수두손실이 증가하고 관거 점검이 어려우며 막힘 등으로 유지관리 어려움이 가중되는데, 조사결과 인입수로 길이 50m 이하가 14개소(64 %), 100m 이상이 6개소(27 %)로 나타났다. 따라서 우선, 수두확보에 적합한 형식의 취입보를 선정하여 인입수로의 길이를 최대한 단축하고 U자형 개수로 형태 또는 부분적 개수로로 설치하거나 중간에 점검구를 설치하여 유지보수 및 수문관측이 용이하도록 설계 제안하였다.

침사지는 토사 등 입자상 오염물질의 제거를 위한 전처리 목적으로 설치되며 침사지의 형태는 방사형 구조의 침사지와 역방사형 구조, 그리고 장방형 침사지 구조로 설치되는데, 수질개선을 목적으로 할 경우 유지관리가 용이한 입구 쪽에서 침전을 극대화하고, 준설작업까지 가능하도록 하는 역방사형 형태가 유리하였다.

사업지구별 침사지 형태를 보면, 대부분 방사형과 장방형 형태로 조성되어 있으며, 역방사형 형태는 나타나지 않았고, 일부 지구에서는 수평류보다 혼합류를 주로 발생하여 침전을 방해하는 기형적 형태도 관찰되었다.

침사지 규모는 조사지구에서 습지면적 대비 0.9~12.6 %(평균 5.6 %)로 일부지역에서는 과소, 과대현상이 나타나고 있으나 설계기준에 명확히 제시되고 있지 않아 본 매뉴얼에서는 습지면적 대비 5~15 % 범위를 제안하였다. 또한, 침사지내 유사 퇴적량을 산출하여 준설 시점을 결정해야 하므로, 퇴적량을 산출할 수 있도록 최소 3곳 이상의 퇴적물 쿠폰, 또는 측정자 설치를 매뉴얼에 제시하였다.

인공습지의 면적은 현재 유역대비법에 의한 습지면적 산출법을 권장하고, 국내여건을 고려하여 유역면적의 1 % 이내 습지면적을 산출하도록 제안하고 있으며, 11개 사업지구 평균 습지면적 비율은 0.28 % (0.11 %~0.43 %)로 모든 사업지구에서 설계규정인 1 %이내를 만족하고 있었다. 습지면적비율을 구체화하기 위해 매뉴얼에 0.4 ~ 1 %로 이내로 한정하여 제시하였다.

습지의 형상과 배치는 취입지점부터 유인수로, 침사지, 습지, 배출연못, 배출구까지 물의 흐름이 원활해야 하는데, 이에 대한 설계기준이 없어 설계상 혼란이 가중되므로, 세부설계과정에서 용수계통도나 CFD 분석을 통해 유체흐름을 사전 평가할 수 있도록 제시하였다.

현재 편람에는 습지의 장폭비가 1:1~4:1을 기준으로 설정되어 있지만, 기능적 개선 효과를 위해서는 2:1~4:1을 권장하고 있다. 각 지구 분석결과에서는 1:1 이하 13개(24.5 %), 1:1~2:1 이하 17개(32.1 %)로 전체습지의 56 % 이상이 적절하지 않은 장폭비로 설계 시공되어 2:1~4:1로 설계할 것을 제시하였다.

습지의 규모가 증가할수록 셀 크기가 증가하고 있으며 습지규모가 작을수록 셀 수가 지나치게 많게 조성되는 등 설계기준이 없는 실정이다. 본 연구에서는 습지 규모 대비 필요한 셀 면적과 셀수를 습지면적이 1 ha ~ 2 ha 범위에서는 단일 셀 면적이 가급적 0.5 ha를 초과하지 않도록 설계하며 셀 수는 침사지를 포함하여 5개 이하로 설계하고, 2 ha 이상의 습지에서도 가능하다면 2 계열 이상의 복수계열로 습지를 조성하도록 제안하였다.

습지 셀 간 연결수로의 형태는 습지내 물의 이동과 분배 등 수량관리에 주요 요소로서, 운영, 유지관리와 물의 분배 상태를 분석한 결과 개수로 형태의 월류구조가 적합한 것으로 제안하였다. 습지수위 조절 구조물은 홍수기 비상배제, 식생관리, 식물절취, 퇴적물준설 등 유지관리업무에 필요한 시설로서, 비상수문 및 배출구 수문의 구비 여부를 파악한 결과 전체 사업지구 중 비상수문은 5개 사업지구, 습지수위조절용 수문 역시 5개소에 불과하여 반드시 구비하도록 설계매뉴얼에 명시하였다.

습지는 얕은 습지(0~0.3m), 깊은 습지(0.5~1.0m), 깊은 못(1.0~2.0m) 등으로 구분되고, 수질정화 효율 향상을 위해 50:30:20의 비율을 제안하지만 전체지구 분석결과 따르고 있지 않았으며, 특히 개방수역을 확인하기 곤란한 습지가 많다. 개방수역이 산소 공급, 질산화 등 주요 기능이 있으므로 본 매뉴얼에 개방수역의 유지 방안에 대해 추가적으로 권고 제안하였다.

습지의 식생 및 식물관리는 수질정화효과와 경관적 측면에서 중요하며, 습지 식생은 갈대, 줄, 부들 등 정수 식물을 기본으로 하고, 고랭이, 골풀 등 현지식생, 습생식물로 노랑꽃창포 등 4~6종의 식생을 도입하고, 수위관리를 통해 식물 밀도를 조절할 수 있는 방안을 제시하였다.

배출연못은 전체적으로 개방수역으로 조성되며, 최종적으로 조류나 식

물체로부터 발생된 입자상 물질의 침전제거와 광살균효과, 온도조절 등을 기대할 수 있는데, 대부분의 배출연못에서 조류발생이 심각하고 수질이 오히려 나빠지고 있어 이를 해결할 수 있는 배출연못의 구조, 기능 개선 방안을 제시하였다.

사업지구의 호안을 구성하는 제방 및 둑은 토공이나 콘크리트공, 그리고 석공으로 시공되어 있는데, 단순 토공으로 이루어진 제방과 둑은 침식되거나 유실된 부분이 발생하고 있어 내구성이 가장 좋은 시공을 제안하였다.

사업지구의 수리학적 흐름을 평가하기 위해 취입보고장, 인입수로 막힘, 가뭄 및 용수부족, 습지 수리 설계 문제, 정상운영 등 5가지 사례로 구분한 결과, 감돈, 도고, 궁산, 동방, 성암지구의 각 1호 습지에서만 정상 가동되는 등 습지내 수리학적 흐름문제를 해결하기 위해 설계당시 해당 처리구역의 시기별 용수공급 및 수요량을 분석하고, 설계 단계에서 간략한 수리모형 또는 CFD분석을 선행할 것 제안하였다.

습지의 유량측정은 오염물질 유입부하량 및 삭감부하량 산출이나 설계요소의 검토 및 습지 물수지에서 중요한 증발산량 및 침투량 산출에 반드시 필요하다. 습지에서 정기적인 수질측정 역시 습지의 기능적 평가 및 수질개선 효과분석에 매우 중요한 자료를 제공하므로 특정지점에서 수질 및 유량 모니터링이 가능한 구조물은 반드시 필요하지만, 전체 사업지구에서 도입되고 않고 있어 본 매뉴얼에 수질, 유량 모니터링 시설 설치를 제안하였다.

모든 사업지구에 유지관리목적의 접근로가 설치되어 있으나 노폭이 좁고 대부분 토공으로 시공되어 있어 중장비의 진입이 어려울 뿐 만 아니라, 휀스가 설치되어 유지관리 작업을 위한 접근 자체가 어려운 경우도 있다. 중장비가 접근할 수 있는 노폭을 제안하고, 작업 용이성이 높은 도로계획을 제안하였다.

습지내 고사식물의 제거를 위한 현장여건의 어려움이 크지만 매뉴얼에 제안된 사항이 없어 본 매뉴얼에서 적정 식물절취기간과 방법 등 습지식물 유지관리 방안을 제시하였다.

퇴적물 관리가 필요한 침사지, 습지내부, 배출연못 등에서 퇴적물 관리 방안과 관리시기, 주기 등을 매뉴얼에 제시하여 퇴적물 관리가 용이하도록 하였다. 아울러 인공습지 연간, 월간, 주간, 일간 운영, 유지관리 체크리스트를 제시하고, 유지관리계획 수립과 시행에 활용할 수 있도록 하였다.

지하흐름습지는 지표흐름습지에 비해 여과, 분해, 탈질 기능이 우수하

여 유기물 및 질소 정화효과가 증가하는 장점이 있는 반면, 여과속도의 제한, 폐색 등의 문제로 현장 관리자로서는 어려운 공법이다. 사업지구 습지 중 지하흐름습지는 3개 지구 3개소에서 운영되고 있으며, 성공적인 사례는 지표흐름 습지 말단에 후처리 습지로서 활용한 것으로 배출연못으로 바로 방류되는 시스템을 권장하고, 매뉴얼에 제안하였다.

침강지의 구성요소는 사석부댐, 저수지 배출수문, 우회배출수로, 호안보강을 위한 석축, 그리고 유입부에 설치되는 협잡물 제거 통 스크린 및 침강지 내부에 경관 및 영양소 흡수제거목적의 식물섬과 부댐 내부에 설치되는 물순환 장치 등이 있다.

설계편람의 침강지 수표면적은 유역면적의 0.6~0.8% (SAR 지수)나 저수지 수면적(만수)의 10%에 해당되는 값 중 작은 값을 취하여 침강지 규모를 산출하도록 규정되어 있으나, 저수지 수면적과 침강지 면적 비율은 2.5~12.9 % (평균 5.7 %), 저수지 유역면적 대비 침강지 면적비율은 평균 0.24 % (0.08~0.43 %)로 조사되어 설계조건을 만족하지 못하고 있어 수면적 비율만으로 수정 제안하였다.

침강지 문제점은 침강지내 조류발생, 부댐위 식물 활착, 어류이동차단, 저수위시 인공식물섬 활착으로 부상기능 상실, 물순환장치 유실 등이 있으며, 이를 해결하기 위해 적정 수심, 길이, 중층방류 방안(어류이동 통로확보), 식물섬 구조개선, 물순환장치 적용방안 등을 제시하여 설계시 활용할 수 있도록 하였다.

또한, 침강지에 적용가능한 최신기술과 대안설정, 호안 및 제방안전성 확보 방안 등을 제안하였다. 갈수기 또는 용수부족 시기에 인공습지내 유입수량의 감소로 습지 기능이 심각하게 저하되는 경우 습지의 처리기능을 향상시키고, 저수지의 수질을 개선하기 위해 침강지의 정체수를 습지로 순환하는 습지-침강지 연계 운영 방안이 시도 되고 있으며, 그에 대한 적절한 운영방안을 매뉴얼에 보완하여 제시하였다.

기존 인공습지, 침강지 등의 적용 한계를 극복하고, 효율을 향상시키기 위해 적용가능한 최신기술로서 하이브리드습지, 건식 식생수로 등과 양수방법, 인입수로 개선안 등을 제시하였다.

제2절 최신공법 분석 및 적용방안

농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 최신공법을 선별하기 위해 국내외 특허기술과 환경부에 등록된 환경신기술, 한국농어촌공사 단기 수질개선 대책사업, 한국농어촌공사 주관 환경 신기술 전시회, 한국수자원공사 테스트 배드 적용기술, 한국수자원공사 주관 환경기술대전, 환경부 주관 환경기술 발표회, 한국환경산업기술원과 국립환경과학원 등의 R&D 분야 환경기술 등을 종합 분석하였다. 농업용수 수질개선사업에 적용 가능한 기술은 유역대책으로 유입수의 인, 질소처리 기술, 호내대책으로 내부생산저감, 녹조예방, 억제, 제거 기술 등이 있다. 기존의 최신 공법을 물리적, 화학적, 생물학적 공정으로 구분하고, 유역 대책과 호내 대책으로 구분하여 제시하였다.

기존의 공법으로 폭기, 물순환, 부댐, 조류제거선 등이 있으나 최신공법으로 하이브리드 인공습지, 식생여과대, 미세조류 수처리기술, 바이오스톤 접촉산화수로, 천적생물 적용기술 등을 신규로 제안하고, 설계인자를 제시하였다.

20여 개의 최신공법에 대한 기술검토를 통하여 물리적 실현가능성이 우수하고 현장 적용실적이 있는 기술을 중심으로 저수지 환경에 적합한 다층형 부유습지기술과 끈상접촉 산화공법 및 녹조문제가 심각한 저수지 현장에서 녹조를 수거 처리할 수 있는 다단 가압부상 기술을 선정하여 필요한 사업지구에 검토될 수 있도록 설계 매뉴얼에 반영하였다.

또한 기존의 설계매뉴얼에서는 다루지 않았던 호안조성 부분을 추가하여 수질개선목적이나 공원화 사업 등이 시행되는 저수지의 호안조성이나 침강지 및 습지의 호안 및 제방조성에 활용될 수 있도록 대폭 신설하였다.

호안조성 기술은 토목적 설계 및 시공방법 뿐만 아니라 수질정화 원리 및 효과 등도 제시하여 사업관리자나 설계자가 참고할 수 있도록 하였다.

제3절 최신기술을 반영한 수질개선 설계매뉴얼 정립

최신기술이 반영된 설계 매뉴얼의 작성방향은 농업용수 수질개선 사업이 진행된 1998년 이후 2004년「농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리요령」, 2007년 「농업용수 수질개선 공법매뉴얼」, 「농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼」, 2009년 「농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람」에 이르는 농업용수 수질개선 설계매뉴얼의 기본 취지를 따르면서, 사업시행단계의 이해부족, 제도적 미비사항, 시행착오 등을 개선하여 최적의 사업이 진행될 수 있도록 작성하였다.

이를 위해 수질개선 사업시행 절차를 종합적으로 개선하고, 전문가 참여 및 검토위원회 기능을 강화하였으며, 사업실시설계 단계의 체크리스트를 제시하여 사업 시행시 오류를 최소화할 수 있도록 하였다.

또한, 환경, 토목간 이해격차를 해소하기 위해 용어 정의와 해설을 보강하였으며, 적정 사례를 비교 제시하여 설계 이해를 도울 수 있도록 하였다.

인공습지, 침강지 등 기존 수질개선사업지구를 분석하여 설계, 시공, 운영, 관리상 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 추가 설계 인자를 매뉴얼에 반영하였으며, 기준이 명확하지 않아 적용이 어려웠던 부분에 대해서는 설계인자를 신설 규정하였다.

유입수 대책에 공통적으로 적용되는 설계부분을 신설하여 계획 및 설계단계에서 가장 중요한 사항인 취입방식의 결정 및 취입지점과 취입보 형식의 결정을 우선적으로 고려하도록 하였다.

지표흐름 인공습지에 대해서는 기존 사업지구의 조사자료를 바탕으로 기존에는 없었거나 모호했던 습지를 구성하는 수리 및 토목 요소의 설계요령을 구체화하여 제시하였고, 그 동안 습지설계에서 현실적이지 못한 설계기준은 과감히 정리하였다.

지하흐름습지의 설계요령을 완전히 수정 보완하여 설계자가 여재형태에 따라 독창적인 설계가 가능하도록 최소한의 설계방안을 제시하였으며 기존 습지의 적용사례를 통하여 학습할 수 있도록 현장자료를 수록하고, 지하흐름습지의 적용한계를 명확히 하였다.

기존의 사업지구의 침강지 규모산정 및 내용적 현황을 제시하여 규모산정 방안을 최적화 하였으며, 기존 매뉴얼에 누락된 호안조성방법에 대한

요령과 침강지와 습지의 연계운영 방안을 제시하고, 어도 확보방안 등 침강지 구성요소에서 누락된 부분을 추가하였다.

본 매뉴얼의 주요 특징으로 최신 기술을 다수 반영하여 사업 실효성을 높이고, 공법의 다양화와 소형화를 위해 다양한 공법에 대한 설계기준을 제시하고 적용할 수 있도록 하였다. 최신공법에 대한 기술검토를 통하여 물리적 실현가능성이 우수하고 현장 적용실적이 있는 기술을 중심으로 저수지 환경에 적합한 다층형 부유습지기술과 끈상접촉 산화공법 및 녹조문제가 심각한 저수지 현장에서 녹조를 수거 처리할 수 있는 다단 가압부상 기술을 선정하여 필요한 사업지구에 검토될 수 있도록 설계 매뉴얼에 반영하였다.

마지막으로 최신기술이 반영된 본 설계매뉴얼의 작성 방향과 개선사항, 적용범위 및 활용방안을 제시하였다.

매뉴얼의 작성방향으로 매뉴얼의 작성 목적, 구성, 작성방향 등을 제시하였다.

본 설계매뉴얼의 개선사항으로 개선사업 시행 체계의 개선, 인공습지와 침강지의 설계 개선, 최신공법의 설계 인자 제공 등 개선사항을 제시하였다.

최신 설계매뉴얼의 효율적 사용을 위해 적용범위와 활용방안을 제시하였다.

참고문헌

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 수질정화 효율 분석, 한국습지학회지, 12(3), pp.39-47

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2004. 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계 관리 요령

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2006. 농업용수 수질개선공법 매뉴얼

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2007. 농촌지역 비점오염관리 가이드북

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2009. 농업용저수지 수질개선사업 조사·설계 편람

농림축산식품부. 2014. 농어촌 용수 이용합리화 계획

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2014. 농업용저수지 녹조방지를 위한 천적생물 적용기술 실규모 실용화연구 보고서

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2015. 농업기반정비사업 계획설계기준 개편 연구

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2016. 농업용수 수질개선 사후모니터링 보고서

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2016. 농업용수 수질측정망 보고서

농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2016. 양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리기술 개발 및 적용 보고서

박기수, 우사평, 김영철, 2013. 강우유출수 처리목적 인공습지의 강우시 오염물질 저감특성에 관한 연구, 한국습지학회지, 15(1), pp.79-90

오민호, 2013. 하천 재해예방 및 복구를 위한 섬유혼합 다공성 소일 블록 적용 기술, 한화건설 기술지, 6: pp. 154-157

차호영, 2007. 하천 수질개선을 위한 오염하천정화 및 비점오염물질 동시 처리기술, 물과 미래, 40(7): pp. 17-23

한국농어촌공사, 2006. 농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼

한국농어촌공사, 2016. 미세조류를 이용한 고농도 오염하천 수처리기술 개발 보고서

한국수자원공사, 2006. 시화호 인공습지 수질정화기능 향상 연구 보고서

한라건설(주), 2011. 식생방틀을 활용한 하안선형 유도와 하천수생태 복원기술, 지반환경, 12(1): pp. 46-50

홍문기, 허영진, 김재근, 2014. 대형정수식물을 활용한 높은 생산성의 인공습지 조성 및 관리, 한국습지학회지, 16(1), pp.61-72

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, 2016. 비점오염 저감시설의 설치 및 관리 · 운영 매뉴얼

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

Robert L. France. 2003. Wetland Design, W.W. Norton & Company

Robert H. Kadlec and Scott D. Wallace, 2009. Treatment Wetland, Taylor and Francis

Sherwood C. Reed et al., 1995. Natural Systems for Waste Management and Treatment, McGraw Hill

참 여 연 구 원

목 차		소 속	참여자
1장 서론		농어촌연구원	남귀숙
2장	연구내용 및 방법	농어촌연구원	남귀숙
		(사)한국물환경학회	김영철
3장	기존 수질개선 설계 매뉴얼의 재정립		
	수질개선사업 적용지구 주요공법 분석 및 문제점 도출	농어촌연구원	김민규
		(사)한국물환경학회	김영철
	기존 매뉴얼의 개선방안 및 추가 도입요소	농어촌연구원	남귀숙
		(사)한국물환경학회	김영철
	최신기술을 반영한 기존 매뉴얼의 재정립	농어촌연구원	남귀숙
		(사)한국물환경학회	박기수
4장	최신공법 분석 및 적용방안		
	수질개선 사업 적용가능 최신 공법 및 기술	(사)한국물환경학회	김이형 박기수
	적정공법 선발 및 효과분석	농어촌연구원	남귀숙
	최신공법 설계에 필요한 공학적 요소 및 설계인자 도출	(사)한국물환경학회	김이형 홍정선
5장	최신기술을 반영한 수질개선 설계매뉴얼 정립		
	최신기술이 반영된 설계매뉴얼 작성 방향	농어촌연구원	남귀숙
	설계 매뉴얼의 개선사항	농어촌연구원	함종화
	최신 설계매뉴얼의 적용범위 및 활용방안	농어촌연구원	남귀숙
6장	결론	농어촌연구원	남귀숙
기술지도		농어촌연구원	장규상
		농어촌연구원	이승헌
기술자문		농어촌연구원	김호일
		농어촌연구원	홍대벽
		농어촌연구원	김병기

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

■ 발 행 처

연구과제명 : 최신기술을 반영한 수질개선 사업 설계매뉴얼 재설정 연구	
발 행 일	2017. 12
발 행 인	장 중 석
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 해안로 870
	전 화 031 - 400 - 1700
	FAX 031 - 409 - 6055

■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.
단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.

농림축산식품부 한국농어촌공사
http://rri.ekr.or.kr