

양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리기술 개발 및 적용(Ⅲ)

Convergence technologies development and
application for agricultural water treatment(Ⅲ)



농림축산식품부



한국농어촌공사

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리 기술 개발 및 적용”과제의 3차년도 보고서로 제출합니다.

2016년 12월 31일

주관연구기관명 : 한국농어촌공사
농어촌연구원

연구책임자 : 최 선 화

연구 원 : 이 승 헌

김 해 도

김 민 규

유 선 아

공동연구기관명 : 충북대학교

연구책임자 : 정 세 웅

연구 원 : 전 향 배

박 형 석

박 준 규

이 범

김 동 민

협동연구기관명 : 수생태복원(주)

연구책임자 : 김 홍 섭

연구 원 : 서 성 일

요 약 문

1. 연구과제명 : 양질의 농업용수 확보를 위한 융복합
수처리기술 개발 및 적용(3차년도)

2. 연구기간 : 2016.01 ~ 2016.12. (5년 중 3년차)

3. 연구개요

3.1 연구배경 및 필요성

- 전국에는 약 17,500여개의 농업용 저수지가 있으며, 전체 물이용량의 약 61%를 농업용수로 사용하고 있으나 최근 농어촌지역의 도농복합 형태 개발 및 농업용 저수지의 레저 관광지화 등 오염원의 지속적인 증가와 함께 농업용수 수질오염도가 높아지고 있으며, 향후에도 지속적인 수질 악화가 우려되는 상황에 있음
- 국민들의 먹거리에 대한 관심증가로 친환경 안전농산물 생산을 위한 양질의 농업용수에 대한 수요 증가, 농업·농촌의 어메니티 중시, 관광 산업화 등으로 농업용 저수지에 대한 역할 증대 및 농업용수에 대한 다목적 활용에 대한 요구도 지속적으로 증가하고 있는 추세임
- 저수지의 수질오염은 유입수의 특별한 처리 없이 호 내로 유입되고 있어 부유물질, 유기물, 영양물질 등 오염물질의 종류가 다양하게 존재하며, 설치된 지 오래된 저수지 퇴적층에서 수중으로 용출되는 영양염류 등은 호소 부영양화를 촉진시키는 중요한 요인이 되고 있음
- 특히, 오염물질이 많고 수심이 낮은 저수지는 늦봄~초가을에 외기온도 상승 및 저수율 저하와 함께 부영양화 증가, 녹조 대량발생 등으로 수질오염도가 급상승하고 있으며, 이로 인해 물고기 폐사, 악취발생 등으로 민원이 발생되고 있음
- 농업용수 수질개선 기술은 그동안 주로 유입수의 질소, 인 등을 저감하기 위한 인공습지와 같은 자연정화공법이 대부분이었고, 최근에는 다양한 물리적, 화학적, 생물학적 기술들이 개발되고 있으나 대부분 처리규모의 한계, 유지관리의 어려움, 경제성, 생태·환경적 영향 등의 문제로 인하여 실용화에 어려움이 있음

- 농업용수는 농어촌지역의 농업용수 공급이 목적이므로 설치비가 저렴하고 유지관리가 용이하여야 하며, 농업용 호소의 특성상 대규모의 많은 수량을 처리해야 하므로 저비용, 고효율의 융복합 수처리 기술 개발이 필요한 실정임

3.2 연구목적

- 농업용 저수지의 물리적 특성 및 수질오염 특성에 적합한 저비용 고효율의 융복합 수처리 기술을 개발하여 농업용 저수지의 부영양화 및 수질오염을 사전에 방지하고 양질의 농업용수를 확보하고자 함

3.3 연구범위 및 내용

1) 매화지 수환경 동적변화 분석 및 퇴적물에 의한 내부부하 평가

- 저수지/유입하천 수질조사 및 수환경 동적변화 분석
 - 매화저수지에 대한 정기적인 수질조사
 - 매화저수지의 기상 및 수질에 대한 연속 자동모니터링
 - 유입하천에 대한 정기적 수질조사 및 유속 측정
- 매화저수지 퇴적물 오염도 평가 및 내부 부하 산정
 - 퇴적물 조사 및 오염도 평가
 - 퇴적오염물질의 용출량 현장 실측
 - 퇴적오염물질 용출량에 의한 내부부하 평가

2) 유입수 대책 융복합 수처리기술 현장적용실험 및 성능평가

- 고속복합응집장치의 성능평가 및 정화효율 평가
 - 고속복합응집장치의 성능 및 수질정화효율 평가
 - 슬러지 발생량 산출
- 생태융합형 접촉산화수로 성능평가
 - 수질정화효율 평가
 - 순산소 발생장치 조합 성능평가
 - 끈상매디아의 미생물 부착량 산정
 - 처리효과를 고려한 끈상매디아 처리조의 최적용량 산정
 - 실규모 적용시 저수지 수질개선 효과 분석
 - 생태융합형 접촉산화수로 공정 추가 및 기술 보완
 - 식생 보완 기술 개발(바이오스톤 접촉산화공법)

- 바이오스톤 접촉산화시스템 성능평가
 - 바이오스톤 접촉산화시스템 공정 구성 및 기술 개발
 - 바이오스톤 접촉산화시스템 현장적용 플랜트 제작 및 설치
 - 바이오스톤 불/바이오스톤 접촉산화시스템 수질정화효율 평가
 - 바이오스톤 불의 미생물 부착량 산정
 - 처리효과를 고려한 바이오스톤 접촉산화조의 최적용량 산정
 - 실규모 적용시 저수지 수질개선 효과 분석

3) 호내 대책 융복합 수처리기술의 현장적용실험 및 성능평가

- 무인항법 이동식 수질정화시스템 시험모형 제작
 - 시험모형 설계 및 제작, 시운전
 - 문제점 도출 및 개선방안 마련
- 무인항법 이동식 수질정화 시험모형 성능평가
 - GPS 기반 무인운전 프로그램에 대한 현장적용 검증
 - 수처리 장치(고액분리장치, 산소포기장치, 미생물 살포기 등) 검증
 - 저수지 수생태계에 미치는 영향 분석
- 호소 수질정화시스템 현장적용방안 도출

4) 융복합 수처리 기술의 타 저수지 확대적용을 위한 최적규모 산정

- 타 저수지 확대 적용을 위한 물질수지 해석모델 개발
- 물질수지 모델을 통한 수처리 시스템별 저수지 수질개선효과 분석
- 수처리시스템별 시설규모에 따른 수처리 용량 산정
- 수처리시스템별 시설규모에 따른 호내 수질변화 분석

5) 융복합 수처리 시스템의 기술성 및 경제성 분석

- 타 기술비교 기술적 우위성 분석
 - 유입수 대책기술의 인공습지 등 기존 유사 정화기술과 비교분석
 - 초기 강우 유출수의 오염물질 저감시설 비교분석
 - 무인항법 이동식 수질정화선의 기존 호내 대책과의 비교 분석
- 타 기술비교 경제성 우위성 분석
 - 유입수 대책기술의 인공습지 등 기존 유사 정화기술과 비교분석
 - 무인항법 이동식 수질정화선의 기존 호내 대책과의 비교 분석

4. 주요 연구결과

4.1 연구대상지구 수환경 동적변화 및 매화저수지 내부 부하 평가

1) 연구대상지구 모니터링 및 수환경 동적변화

- 본 연구에서는 농업용 저수지 물리적, 수질오염 특성에 적합한 유입수 대책 및 호소 오염물질 제거를 위한 호내 수처리 기술을 개발하였고, 개발된 기술에 대한 현장적용실험을 위해 경기도 시흥시에 위치한 매화저수지를 연구 대상으로 선정하여 호소 및 유입하천에 대한 정기적 수질조사 및 기상, 수온, DO 등에 대해 연속모니터링을 실시하였음
- 매화저수지 수심은 1.5~3.0m이고, 표층수의 COD는 10.0~20.1 mg/L (평균 15.2 mg/L), 심층수는 8.2~19.6 mg/L(평균 13.4mg/L)로 나타났고, 표층수의 TN과 TP는 각각 0.895~3.201 mg/L(평균 1.541 mg/L), 0.050~0.211 mg/L(평균 0.119 mg/L)이고, 심층수의 TN과 TP는 각각 0.956~3.626 mg/L(평균 1.754 mg/L), 0.074~0.212 mg/L(평균 0.141 mg/L)으로 조사 시기에 상관없이 오염도가 높았으며, 표층수에 비해 심수층에서 TN, TP 오염도가 더 높은 것으로 나타남
- 매화저수지 주 유입하천은 2개소가 있으며, 평상시 평균유량은 유입-1(S1)은 472.2m³/일이고, 유입-2(S2)는 982.3m³/일로 유입-2가 유입-1에 비해 유량이 약 2배정도 풍부함. 유입-1과 유입-2의 평균 COD, TN, TP는 각각 10.0 mg/L, 6.516 mg/L, 0.704 mg/L와 7.0 mg/L, 6.362 mg/L, 0.360 mg/L로 유입수의 N, P 오염도가 모두 높은 것으로 나타났음
- 저수지 수체 DO 농도의 동적변화는 계절에 따라 크게 나타났으며, 6월 22일부터 9월 14일까지 약 84일간 호소 바닥층의 DO가 1.0mg/L 이하의 상태가 지속되었으며, 그 이후 기온 강하와 강수의 영향으로 DO가 회복되는 경향을 보임. 저층 DO 농도 고갈현상은 대기에 의한 산소 공급량보다 퇴적층의 SOD가 크기 때문으로 판단됨

2) 매화저수지 퇴적물 용출량 산정 및 내부부하 평가

- 연구대상지구인 매화저수지의 퇴적물 오염도 현황 및 오염물질 용출 특성 규명을 위해 퇴적물 시료채취 및 현장에서 직접 용출실험을 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 호소 내부 부하에 대해서 평가하였음
- 매화저수지 퇴적물의 강열감량은 평균 9.2%로 USEPA 기준의 “오염도 심

함”에 속하고 있으며, TN 함량은 962~4 149 mg/kg(평균 2,463.1 mg/kg), TP 함량은 1,010~1,533 mg/kg(평균 1,326.5 mg/kg)으로 한강 및 팔당호 준설기준을 초과하고 있어 퇴적층 오염도가 심함을 알 수 있음

- 현장 용출특성을 파악하기 위해 저수지 유입부와 유출부의 2지점을 선정하여 자유수면(대조구), 자유수면+공기공급(호기상태), 폐쇄수면(혐기상태)의 3가지 실험조건을 조성하여 각각의 용출량을 산정한 결과, COD, TOC는 모든 조건에서 감소하였고, 공기공급조건에서 감소폭이 가장 높았음. T-N과 T-P는 폐쇄수면 조건에서 용출이 발생하였으며, NH_4^+ -N과 NO_3^- -N의 분석결과에서 공기 공급 조건에서 질산화가 활발하게 일어나고 있음을 확인하였음
- 퇴적물 오염도 현황 및 용출실험 결과, 저수지 퇴적층의 오염도가 매우 높음을 알 수 있으며, 이로 인해 저층이 혐기상태가 되면 언제든지 오염물질의 용출이 일어날 수 있고, 이로 인해 내부부하에 의한 수질오염도가 높음을 알 수 있음. 매화저수지의 수질개선을 위해서는 유역에서 유입되는 오염물질 제어 및 내부 부하에 대한 관리가 함께 요구됨

4.2 융복합 수처리시스템 현장적용 및 성능평가

1) 생태융합형 접촉산화시스템 공정추가 및 기술보완

- 농업용저수지 유입수 대책인 생태융합형 접촉산화시스템의 현장적용 실험을 위하여 매화저수지에 Test Bed를 구축하여 각 요소기술에 대해 단계적으로 성능평가를 실시하고 있으며, 3차년도에는 핵심 수처리공정(끈상 매디아)에 전처리 공정(유동상 여재)과 후처리 공정(세라믹 여재)을 추가하여 정화효율을 평가하였음
- 3차년도에는 1~2차년도 자문위원들의 식생 대체 및 N, P 제거효율 향상을 위한 기술 보완 요청에 따라 끈상 미생물접착재 대신에 바이오스톤 볼을 이용한 접촉산화시스템을 개발하였고, 현장적용실험을 위해 매화저수지에 데모 플랜트를 설치해 생태융합형 접촉산화시스템과 동일한 조건에서 성능평가를 수행하고 있음
- 접촉산화시스템을 DO 4.0~5.0mg/L 이상의 호기상태로 유지하기 위한 목적의 산소공급 설비인 마이크로버블 제너레이터와 순산소 용해기를 대상으로 수처리조 및 유출수의 DO 농도와 수질정화효율을 평가한 결과, 마이크로버블과 순산소가 각각 수처리조/유출수에서 3.4~7.1mg/L(평균 4.5mg/L)/(평균 4.1mg/L), 9.8~17.0mg/L(평균 13.5mg/L)/평균

9.0mg/L)으로 순산소에서 최소 5mg/L 이상 높게 나타났고, 정화효율도 마이크로버블보다 순산소 공급시 수질항목별로 13~21.6% 증가하는 것으로 나타나 순산소 공급시 효율이 훨씬 우수한 것으로 나타났음

- 복합응집장치와 생태융합형 집축산화수로에 대한 슬러지 발생량을 실측한 결과, 복합응집장치에서는 1시간 가동 후(수처리 용량 12m³) 부유성 슬러지와 침강성 슬러지를 합해서 총 60L(0.06m³/일)의 슬러지가 실측되었고, 생태융합형 집축산화수로는 유량 300m³/day으로 50일간 운영하였을 때 발생하는 총 슬러지 양은 0.3 m³으로, 이론적 산출량에 비해 1/100 수준으로 감소하였음

2) 융복합 수처리시스템 수질정화효율 평가

- 유입수 대책인 복합응집장치, 생태융합형 집축산화수로, 바이오스톤 집축산화시스템에 대한 수질정화효율을 분석한 결과, 복합응집장치의 평균 정화효율은 Chl-a 71.2%, BOD 76.1%, COD 36.5%, TP 46.1%, TN 26.3%, 생태융합형 집축산화수로는 Chl-a 77.8%, SS 71.8%, BOD 74.7%, COD 46.0%, TP 46.6%, 바이오스톤 집축산화 정화효율은 BOD 84%, COD 45.3%, SS 83.8%, Chl-a 80.7%, TP 45.2%로 나타났음
- 생태융합형 집축산화시스템과 바이오스톤 집축산화공법의 처리효율은 매우 유사하게 나타났으며, BOD, Chl-a, SS 처리효율은 70~80% 이상으로 높게 나타났고, TP 정화효율은 45~47%로 3개의 시설에서 거의 유사하였음. TN 제거율은 응집장치에서 26%을 보였고, 집축산화시스템에서는 10% 이하로 나타났음
- 생태융합형 집축산화시스템과 바이오스톤 집축산화시스템에서 BOD, SS, Chl-a에서는 70% 이상의 높은 정화효율을 보인 반면에 TN의 제거효율은 매우 낮았는데, 이는 상부 식생의 미부착, 미생물 부착율의 저조(MLVSS/MLSS=20~45%) 등 시설 운전상의 원인으로 인해 수질정화효율이 정상 평가되지 못했다고 판단되며, 8~9월 저수지 수심 저하로 시설 가동 중단 및 10월 이후 정상 가동으로 충분한 운전기간 미확보에서 기인된 것으로 판단됨
- 집축산화수로와 바이오스톤조의 미생물 부착량에 대한 분석결과 미디어에 부착된 미생물은 VSS/SS의 비가 25.0~44.9% 범위에 있어 조사 당시 아직 안정화단계에 이르지 못했으며, 반응속도상수를 활용한 집축산화수로 최적용량을 도출한 결과, 생태융합형 집축산화수로는 약 3.0 hr의 체류시간이 필요하고, 바이오스톤조는 1.4 hr으로 도출되었음

- 개발된 융복합 수처리시설을 시설별로 4가지 시나리오를 구성하여 실 규모 수처리 용량 및 처리효율을 적용하여 2차년도에 구축한 3차원 수리-수질모델(ELCOM-CAEDYM)을 이용하여 저수지 수질개선효과를 분석한 결과, 매화저수지가 완전혼합인 정상상태에 도달하기 위한 시간은 1.58년(580일)로 산출되었음
- 복합응집장치(case1)만 적용시 저수지의 연간 수질개선 효율은 TOC, COD는 15.9%, TN 13.0%, TP 24.7%, Chl-a 19.2%로 나타났고, 생태융합형 접촉산화조(case2) 및 바이오스톤 접촉산화조(case3)의 연간 수질개선 효율은 각각 TOC 14.9%, 14.5%/ TP 25.8%, 25.1%로 매우 유사한 결과를 나타냄. 복합응집장치+생태융합형 접촉산화(case4)의 연간 수질개선효율은 TOC 17.8%, TN 8.4%, TP 28.6%, Chl-a 16.5%으로 분석되었음

4.3 융복합 수처리시스템 확대 적용을 위한 최적 규모 산정

- 본 연구를 통해 개발된 융복합 수처리시스템을 다른 저수지에 확대 적용하기 위하여 완전혼합반응조 시스템을 가정한 물질수지모델을 개발하였으며, 개발된 모델은 저수지 체적 및 유입유량, 유입수질 등 유역 변수 입력에 따라 간략하게 수처리 시설용량을 산정할 수 있음
- 매화저수지는 2013년 수문사상으로 연간 약 40만^m의 물이 유입되고 있으며, 평시에 유입되는 수량은 전체의 약 21%, 강우기인 7~9월에 전체의 약 60%가 유입되고, 유입하천 2에서 전체의 약 70%가 유입되고 있는 것으로 분석됨
- 고속복합응집장치, 생태융합형 접촉산화시스템, 바이오스톤 접촉산화시스템을 각각 매화저수지에 실규모로 설치시의 저수지 수질개선효과를 물질수지모델을 이용하여 산출한 결과, 고속복합응집장치는 COD 27.2%, TN 12.3%, TP 22.2%, 생태융합형 접촉산화시스템은 COD 39.8%, TP 17.3%, 바이오스톤 접촉산화시스템은 COD 17.7%, T-P 20.0%로 수질모델링 결과와 매우 유사하게 나타남
- 매화저수지는 평상시 유입량이 총 유출량의 약 20% 정도이므로 저수지의 수질이 강우시에 크게 영향을 받고 있음. 저수지 수질개선을 위해서는 유입수 대책뿐만 아니라 강우시 대책도 함께 마련되어야 할 것임. 수처리 장치로 강우를 전부 처리하는 것은 비경제적이므로 접촉산화시스템을 침강지 시설과 조합하여 운영하면 효과가 클 것으로 판단됨

4.4 무인항법 이동식 수질정화선 시험모형 제작 및 성능평가

- 저수지 수질개선을 위한 목적으로 2차년도에 개발된 무인항법 이동식 수질정화선에 대한 현장적용실험을 위하여 부력체 규모 6.0m(L)×3.4m(W)×0.8m(H), 총 부력무게 10톤에 해당하는 시험모형을 제작하였음
- 무인항법 이동식 수질정화선에는 GPS 통신기, 경광등 싸이렌, 밧테리 보관함, 수질정화장치, 미생물 살포기, 마이크로버블 제너레이터, 풍력 발전기 등을 탑재하였고, 주요 요소기술에 대해 단계적으로 성능평가를 진행하고 있으며, 무인항법 프로그램의 검증은 약 90% 진행되었음
- 무인항법 수질정화선의 오염물질 처리기술인 초고속 고액분리시스템은 SS, TP, COD를 ZT(제타전위 제너레이터) 이용하여 급속 응집 및 부상시켜 슬러지를 제거하는 방식으로 1일 평균 녹조 제거량은 300kg/일 이고, 수처리 용량은 6,000m³/hr로 추정되었음
- 무인항법 이동식 수질정화선의 주요 요소기술인 DO을 공급하기 위한 마이크로버블, 고액 응집부상을 위한 천연응집제를 대상으로 수생태계에 미치는 영향을 분석하기 위하여 현장 DO 및 pH에 대해 모니터링을 한 결과, 마이크로 버블에 의한 수중 DO 농도는 10mg/L 이하로 자연 현상에 인한 과포화 수준 이하이며, Al에 의한 독성 평가에서도 pH 6.4~8.8의 값을 나타내어 Al에 대한 독성은 발생하지 않을 것으로 판단됨

4.5 융복합 수처리시스템에 대한 기술성 및 경제성 평가

- 농업용 저수지 유입수 처리공법으로 가장 많이 사용되고 있는 인공습지는 동일 유량 처리시 넓은 부지면적이 필요하며, 주기적인 식생관리 및 퇴적토 준설이 필요한 반면에 끈상접촉생태수로 및 바이오스톤 접촉산화시스템은 타 접촉산화 기술에 비해 작은 부지면적이 소요되며, 시설비 및 유지관리비가 타 기술 평균치의 87.4%, 73.2%로 충분히 경제성이 있는 것으로 판단됨
- 무인항법 이동식 수질정화선은 기존 녹조 제거선들이 사후 관리기술인 반면에 무인 이동식 수질정화선은 수질오염 사전예방적 관리기술로서 수질오염을 사전에 방지하고 실시간 수질측정 자료 송수신이 가능하여 수질조사 및 수질개선 비용 절감 및 무인 운영으로 인건비가 절감되어 타 기술대비 운영 및 관리비용을 절감할 수 있음. 단점으로는 기계이상 등 비상상황 발생 시 대처능력이 부족한 한계점을 가지고 있으므로 이에 대한 추가연구가 필요함

5. 기대효과 및 실용화방안

5.1 기술적 측면

- 농업용수 대상 수처리기술 개발로 공사 관리 저수지의 수질개선효과
 - ▣ 2014년 농업용수 수질기준 초과시설 : 759개소(3,362개소의 22.6%)
- 농업용수 수질개선사업 유입부 대책인 인공습지 대체 또는 후처리 시설로 활용하여 수질개선사업 효과 제고
- 개발된 수처리 기술의 특허등록 및 환경 신기술 인증 취득으로 공사의 수처리 기술력에 대한 대외적인 신뢰도 제고

5.2 경제·산업적 측면

- 세계 물 산업은 향후 10년간 2배 이상으로 확대(2015년 1,598조원)되어 세계 경제의 한 축을 이룰 것으로 전망되고 있으며, 국내에서도 농업용수의 사용량은 약 61%로 수요량이 가장 많은 분야이며, 최근에는 농업용수의 다목적화로 용수의 사용량은 지속적으로 증가할 전망이다
- 본 연구개발 성과는 오염된 농업용수 저수지 및 최근 사회적 문제가 되고 있는 4대강 녹조문제 해결에도 적용될 수 있을 것으로 기대됨
- 양질의 농업용수 공급으로 친환경 농작물 재배시스템 구축이 가능해지고, 이로 인해 농촌지역의 소득 창출 및 지역 발전에 기여할 것임
- 깨끗한 농업용수를 사용해 생산된 농산물에 대한 대국민 안전의식 제고 및 우리 농산물의 국제시장에서의 경쟁력 확보도 기대됨
- 농어촌지역 어메니티 증가로 농업농촌 관광 등 6차산업 활성화에 따라 농어촌지역에 미치는 직·간접적인 효과는 상당할 것으로 기대됨

Summary

1. Title : Convergence technologies development and application for agricultural water treatment(III)

2. Period : 2016. 1. ~ 2016. 12.(3rd Year)

3. Necessity and Objectives

3.1 Necessity

- There are about 17,500 agricultural reservoirs distributed across the country. Most of the agricultural reservoirs are showing a serious eutrophic state and high level of organic contamination, and some of them have frequent algal bloom and offensive odor problems preventing from sustainable water use, recreation activities, and supply of irrigation water.
- In particular, 44.7% of the old agricultural reservoirs that was constructed before 1945 and has exceeded the water quality criteria (COD 8.0 mg/L) for irrigational water.
- There has been an increase in demand for high quality agricultural water for the production of environmentally safe agricultural products with increased interest in food for the public. In addition, the role of agricultural reservoirs is increasing due to the importance of amenity and tourism industrialization in agriculture and rural areas. The demand for multi-purpose utilization of agricultural water is also steadily increasing.
- Recently, coping with the algal bloom events, various physical, chemical, and biological techniques have been developed, but there are still a great deal of limitations between the techniques and the real worlds because of limited spatial scales of treatment, operations and maintenance issues, capital costs, and sometimes ecological impact and so on.

- Agricultural water is intended to supply water in rural areas, therefore costs and methods for installation and maintenance should be low and easy. In addition, it is necessary to develop water treatment technology having low cost and high efficiency.

3.2 Objectives

- This study is to develop a cost-effective convergence water treatment technologies suitable for physical and water pollution characteristics of agricultural reservoir in order to preventing eutrophication and water pollution of the agricultural reservoirs, and securing and supplying of high quality of irrigation water.

3.3 Scopes and Contents

- 1) Monitoring of water quality in the study reservoirs and inflow river
 - Regular water quality survey and analysis for reservoir and inflow river
 - Continuous monitoring of water temperatures in vertical direction and bottom DO
 - Assessing temporal variations of temperature structure and bottom DO environment
- 2) Estimation of nutrient release and internal loading from the sediments in the study reservoirs
 - In-suit experiments for estimating nutrient release rates from the sediments
 - Evaluation of internal loading from reservoir's sediments
- 3) Assessing the performance and optimal HRT (Hydraulic residence time) of the media reactors of the contact oxidation systems with string type media and bio-stone
 - Estimating the amount of micro-organisms attached on the media in the media reactors
 - Assessing the water treatment efficiency and optimal HRT of the media reactors

- 4) Modeling the effect of the CWTS(Convergence water treatment systems) on the improvement of the Maehwa reservoir
 - Simulation of the reservoir water quality as a result of the implementation of the water treatment processes using the 3D water quality model(ELCOM-CAEDYM)
 - Analysis of the effect of each process of the CWTSs on the improvement of the reservoir water quality
- 5) Estimation of optimal capacity of the CWTSs for applying to other reservoirs
 - Application of a mass balance model for assessing the effect of each process of the CWTSs on the improvement of the reservoir water quality
 - Development of a simple mass balance model for applying to other reservoir systems
 - Estimation of optimal capacity of the CWTSs required for achieving the target water quality (COD 8.0mg/L) according to reservoir volume, inflow rate, and inflow water quality.
- 6) Evaluation of the economic and technical advantages of the CWTSs
 - Evaluation of the technical advantages of the CWTSs
 - Evaluation of the economic advantages of the CWTSs

4. Research Results

4.1 Monitoring of weather and water environment in the study reservoir

- The water depth of the Maehwa reservoir is 1.5~3.0m. The COD, TN, and TP concentration range of surface water are appeared as 10.0~20.1mg/L(average 15.2mg/L), 0.895~3.201mg/L(average 1.541mg/L), and 0.050~0.211mg/L(average 0.119mg/L) and also he those of deep water as 8.2~19.6mg/L(average 13.4mg/L), 0.956~3.626mg/L(average 1.745mg/L) and 0.074~0.221mg/L(average 0.141mg/L), respectively. The water pollution level is high regardless of the monitoring period, and it is higher in the deep water.

- Main inflow rivers of the Maehwa reservoir are the two rivers. The average flow rate of the inflow-1 and inflow-2 472.2m³/d and 982.3m³/d. COD, TN and TP of the Inflow-1 and Inflow-2 respectively showed 10.0mg/L, 6.516mg/L, 0.704mg/L and 7.0mg/L, 6.362mg/L, 0.360mg/L. Therefore, TN and TP concentration of the inflow appear to be more higher than the reservoir.
- In 2016, although the water depth of lake is about 2.0~3.0m, a weak thermal stratification and a strong DO stratification were observed in Meawha reservoir.
- A significant DO variation was observed in the reservoir, and a 84-day long persistent DO depletion (under 1.0mg/L) was observed from June 22 to September 14. The DO concentration of lake was recovered by air temperature drop and precipitation events.
- It is considered that the low level DO concentration exhaustion phenomenon is due to the large amount of SOD in the sediment than the amount of oxygen supplied by the atmosphere.
- As a summary of the field monitoring and laboratory experiments, the high organic contamination of Maehwa reservoir is caused by high nutrient loading from the upstream watershed and followed internal loading. Therefore a countermeasure for both the reduction of external nutrient loading and control of the internal productivity should be made to improve the reservoir water quality.

4.2 Contamination investigation of sediments, Evaluation of release quantity and internal load in the study reservoir sediments

- Sediment samples were collected from the Maehwa reservoir and analyzed to evaluate the sediment pollution and release quantity and characteristics of the Maehwa reservoir.
- The weight loss of the reservoir sediment was 9.2%. The TN and TP content respectively were 962~4,149 mg/kg(average 2,463.1 mg/kg) and 1,010~1,533 mg/kg(average 1,326.5 mg/kg), and they are exceeding the dredging standards of Han river and Paldang lake.

- Creating 3 different experimental conditions of free surface, free surface air supply, closed surface and assessing each condition's release amount in order to understand the characteristics of the on-site release.
- COD and TOC showed a declining tendency in all conditions and the highest degree of decline was confirmed in the air supply condition.
- T-N and T-P confirmed that release occurs in the closed surface condition, and based on the results of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ smooth nitrification takes place in the air supply condition.
- The results of the evaluation of internal load based on velocity of release show that when air is supplied, both TN, TP show decrease in load factor which confirm the possibility of improving the ecological water environment in the long term.
- The release rates of nutrients from sediments were much greater under anaerobic condition than under aerobic condition, which implies that it is important to maintain aerobic conditions in the bottom water near the sediment to reduce internal nutrient loading.

4.3 Performance evaluation and optimal capacity of water treatment reactor

- Collecting media samples, deducing the value of k, the reaction velocity constant, based on microorganism coating weight and processing efficiency, and then assessing optimal capacity for the performance evaluation of the water quality improvement devices, contact oxidation water channel and bio-stone.
- Based on the analysis report of micro-organism of media, as the ratio of VSS/SS was in the range of 25.0~44.9%, we can conclude that a stabilization stage was not yet reached.
- Based on the removal efficiency analysis report for the contact oxidation channel, BOD and Chl-a showed high removal efficiency, and as the value of outflow water during the measuring period was overall higher than that of inflow water in T-N, we can conclude that either the reactor is not stabilized or the nitrogen removal mechanism is insufficient.

- Based on the bio-stone reactor analysis report, a high removal efficiency above 80% was observed in BOD, SS, Chl-a, and the value of inflow and outflow water during the measuring period was overall high in T-N, identical to the contact oxidation water channel.
- When considering the safety factor based on the result of optimal capacity of contact oxidation channel using reaction velocity constant, it must be operated at a retention time of 3.0 hr, and when microorganism coating weight increases and removal efficiency is enhanced, bio-stone should be operated at the retention time of the current reactor, 1.4 hr, and thus we can conclude that treated water can meet the water quality standard of class IV.

4.4 Modeling the effect of the CWTSs on the improvement of Maehwa Reservoir

- The 3D water quality model constructed in second year was applied to simulate the effect of the CWTS on the improvement of Maehwa reservoir. The simulation scenario were applications of a rapid hybrid coagulation device(case1), contact oxidation reactor (case2), bio-stone ball reactor (case3), and combination of case1 and case2 (case4).
- The simulation results showed that the water quality improvement rates(%) for case1 were COD 15.9%, TOC 15.9%, T-N 13.0%, T-P 24.7% and Chl-a 19.2%. The rates for TOC of case2 and case3 were 14.9% and 14.5%, and T-P were 25.8% and 25.1%, respectively.
- The water quality improvement rates for case4 were TOC 17.8%, Chl-a 16.5%, T-N 8.4%, and T-P 28.6%, which are much greater than the rates of the individual process, especially for TOC and T-P.
- Although the removal rates of inflow Chl-a concentration by the CWTSs were high in the range of 50~80%, the Chl-a reduction rates in the reservoir were found to be low. This is because the nutrient concentrations are still high enough to allow algae growth when the other environments such as temperature and light are met.

4.5 Estimation of optimal capacity of the CWTSs for applying to other reservoirs

- A mass balance model was developed to assess the effectiveness of individual water treatment process of the CWTSs in the study reservoir. The model was applied to the reservoir for assessing the reduction rate of inflow loading and in-reservoir contamination level considering the treatment capacity of the system during rainfall events and non-rainfall period.
- When the hydrological map of the Maehwa reservoir is applied in 2013, approximately 400,000m³ of water is flowed annually. It is analyzed that about 60% of the total is flown in july-september of the rainy season and about 21% of the total is flown in normal days. About 70% of the total is flown in inflow-2.
- The model results showed that the water quality improvement rates(%) for case1 were COD 27.2%, TN 12.3%, and TP 22.2%. The rates for TOC and TP of case2 were 39.8% and 17.3%, and TOC and TP of case3 were 17.7% and 20.0%, respectively.
- A simple mass balance model taking annual inputs was developed for applying to other reservoir systems. The simple model was applied to estimate optimal capacity of the CWTSs required for achieving the target water quality(COD 8.0mg/L) according to reservoir volume, inflow rate, and inflow water quality.

4.6 Evaluation of the economic and technical advantages of the CWTSs

- The artificial wetland technique, which is most widely used method for the treatment of contaminated inflow for agricultural reservoirs, needs much larger land area for the same design flow comparing to the proposed CWTSs, and requires regular management of vegetation and sediment dredging.
- The proposed string-type contacted oxidation reactor and bio-stone ball contacted oxidation reactor are evaluated as a cost-effective method because they need less land areas comparing to the other contact oxidation techniques, and the total costs of initial cost and

operating cost for 20 years are 87.4% and 73.2% of the other techniques on average.

5. Expectation and utilization of the results

5.1 Expectation

- The results can be used to develop policy by government for the water quality restoration projects of agricultural reservoirs, and to provide an effective alternative to make maximize the benefit of the investment.
- This research will provide a useful guidance to make decision on the possibility in the increase of water quality criteria of the agricultural reservoirs to be used for other purposes.
- The suggested convergence water treatment system, through optimized design, can overcome the limitations of individual physical, chemical, and biological water treatment techniques that developed for the implement of reservoir water quality.

5.2 Utilization plan

- The convergence water treatment system will be applied to the agricultural reservoirs that require urgent restoration treatment to confirm the benefits of the new technique; low cost, high efficiency, easy operation and less maintenance.
- The system can be used as a core component of the best management practice for the water quality improvement in the agricultural reservoirs.
- The convergence system is transformative and can be applied to many other agricultural reservoirs and four rivers to deal with recent algal bloom issues.

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 목적	3
1. 연구배경 및 필요성	3
2. 연구목적	5
제2절 연구내용 및 추진체계	6
1. 연도별 연구개발 목표	6
2. 연구개발 공정 및 연도별 연구범위	7
3. 연구 추진체계	11
제3절 기대효과 및 활용방안	13
1. 기술적 측면	13
2. 경제·산업적 측면	13
제2장 연구대상지구 수환경 동적변화 조사 및 퇴적물 내부 부하 평가·15	
제1절 연구대상지구 개요	17
1. 연구 대상지구 선정	17
2. 연구 대상지구 현황	19
제2절 매화저수지 및 유입하천 수질특성	22
1. 매화저수지 수질추이 및 수질현황	22
2. 유입하천 수질현황	48
3. 호내 연속 모니터링에 의한 수질동적 변화	58
제3절 저수지 퇴적물 오염도 및 용출량 산정	64
1. 퇴적물 정의 및 수질 영향	64
2. 퇴적물 물리화학적 오염도 조사	66
3. 퇴적물의 오염물질 용출량 현장 실측	84
4. 매화저수지의 내부 부하 평가	99

제3장 융복합 수처리시스템 현장적용 및 성능평가	101
제1절 생태융합형 접촉산화시스템 성능평가	103
1. 생태융합형 접촉산화시스템 시설 개요	103
2. 산소공급 장치에 따른 성능평가	111
3. 접촉산화시스템 수질정화효율 평가	115
4. 접촉산화시스템의 끈상 매디아조 미생물 부착능 평가	122
5. 매디아 접촉산화조 성능평가 및 최적용량 산정	127
6. 슬러지 인발실험 및 슬러지 발생량 산출	131
7. 저수지 수질개선효과 분석	133
제2절 바이오스톤 접촉산화시스템의 성능평가	136
1. 바이오스톤 접촉산화시스템 기술 개요	136
2. 바이오스톤 접촉산화시스템 플랜트 설치	138
3. 수질정화효율 평가	142
4. 바이오스톤조의 미생물 부착량 평가	144
5. 바이오스톤 접촉산화조의 최적용량 산정	146
6. 저수지 수질개선효과 분석	149
제3절 복합응집장치의 성능평가	152
1. 복합응집장치의 기술개요 및 시설제원	152
2. 수질정화효율 평가	154
3. 슬러지 인발실험 및 슬러지 발생량 산출	156
4. 저수지 수질개선효과 분석	158
제4장 융복합 수처리시스템 확대 적용을 위한 최적규모 산정	165
제1절 물질수지 해석모델 개발	167
1. 물질수지 해석	167
2. 매화저수지 월별 유입·유출량 산정	168
3. 매화저수지 유입 오염부하량 산정	169
제2절 융복합 수처리시스템 적용에 따른 수질개선효과 분석	172
1. 고속복합응집장치	172

2. 생태융합형 접촉산화시스템	176
3. 바이오스톤 접촉산화시스템	179
제3절 융복합 수처리시스템 시설규모에 따른 수처리 용량 및 호내 수질변화 ..	182
1. 수처리시스템 시설규모에 따른 수처리 용량	182
2. 수처리시스템별 처리용량에 따른 호내 수질변화	183
제4절 융복합 수처리 시스템 확대적용을 위한 물질수지 해석 모델 적용 ..	189
제5장 호소 수질정화선 시제품 제작 및 성능평가	193
제1절 무인항법 이동식 수질정화선 시험모형 제작	195
1. 호소 수질정화선 기술 개요	195
2. 호소 수질정화선 설계 및 시험모형 제작	197
제2절 수질정화선 현장적용실험 및 성능평가	199
1. 현장적용지구 대상지 선정	199
2. 무인항법 이동식 수질정화선 성능평가	200
제3절 수생태계에 미치는 영향 분석	201
제6장 융복합 수처리시스템의 기술성·경제성 평가	205
제1절 융복합 수처리시스템의 기술성 평가	207
1. 유입수 오염저감 정화시설	207
2. 호소 수질정화선	210
3. 초기 강우 유출수의 오염물질 저감시설	214
제2절 융복합 수처리 시스템의 경제적 우위성 평가	217
1. 저수지 유입수 수질개선 장치	217
2. 호소 수질정화선	219
제7장 요약 및 결론	221
참고문헌	229
부 록	235

표 차례

(표 1-1) 연구수행기관별 연구내용	12
(표 2-1) 현장적용실험 대상지구의 시설제원	19
(표 2-2) 매화저수지 위치별 수질조사 일자(농어촌연구원)	23
(표 2-3) 매화저수지의 연도별 수질현황	24
(표 2-4) 매화저수지 위치별 수질조사 일자(충북대학교)	25
(표 2-5) 매화저수지 조사지점별 표층과 심층의 수질현황	43
(표 2-6) 매화저수지의 중금속 등 오염현황	47
(표 2-7) 매화저수지 및 유입하천 수질현황	50
(표 2-8) 유입하천의 중금속 등 오염현황	57
(표 2-9) 저수지 연속모니터링 개요	58
(표 2-10) 퇴적물 분석방법 및 분석기기	68
(표 2-11) 퇴적물의 입경크기에 대한 분류	69
(표 2-12) 입경크기 분류에 대한 토성	69
(표 2-13) 조사지점별 입도분포 및 토성	71
(표 2-14) 매화저수지 퇴적물의 유기물, 강열감량, 총질소, 총인	73
(표 2-15) USEPA 퇴적물 평가기준(강열감량)	74
(표 2-16) 국내외 퇴적물 오염도 평가기준 비교	76
(표 2-17) 매화저수지 위치별 퇴적물의 중금속 등 농도	79
(표 2-18) 호소 퇴적물 항목별 오염평가 기준	79
(표 2-19) 국내외 퇴적물 오염도 평가기준 비교(중금속)	80
(표 2-20) 매화저수지 위치별 퇴적물의 입도분포 및 토성	81
(표 2-21) 매화저수지 위치별 퇴적물의 유기물, 강열감량, 총질소, 총인	83
(표 2-22) 현장용출 실험위치 및 실험조 구성	85
(표 2-23) 실험지점별 조건 및 실험장치 개요	86
(표 2-24) 퇴적물 분석항목 및 항목별 방법	88
(표 2-25) 구간별 평균 DO 농도	89

(표 2-26) 실내 용출실험과 현장 용출실험 비교	100
(표 2-27) 매화저수지 용출부하 비교	100
(표 3-1) 생태융합형 접촉산화수로 규격 및 사양	106
(표 3-2) 생태융합형 접촉산화수로 시설별 세부 내역	107
(표 3-3) 생태융합형 접촉산화부도 시설제원	108
(표 3-4) 생태융합형 접촉산화부도 시설별 세부 내역	109
(표 3-5) 산소공급장치에 따른 수처리조 DO농도	113
(표 3-6) 노랑꽃창포의 특성	118
(표 3-7) 생태융합형 접촉산화시스템의 평균 오염물질 저감효율	121
(표 3-8) 반응조의 제원	122
(표 3-9) 미디어조 샘플링 시기 및 지점	122
(표 3-10) 미생물접촉조의 VSS/SS 비율	125
(표 3-11) 유동상여재 및 미생물접촉재 미디어의 SS, VSS 분석(2차)	126
(표 3-12) 미디어 미생물 부착량 분석 결과 요약	126
(표 3-13) 생태융합형 접촉산화수로 항목별 측정결과	127
(표 3-14) 생태융합형 접촉산화수로 효율평가	127
(표 3-15) 접촉산화수로 반응조별 측정값	129
(표 3-16) 접촉산화수로 반응속도상수 $k_{\text{값}}$ 도출	129
(표 3-17) 접촉산화수로 최적용량 도출	130
(표 3-18) 생태융합형 접촉산화시스템의 오염물질 저감효율	133
(표 3-19) 바이오스톤 접촉산화시스템 시설 제원	139
(표 3-20) 바이오스톤 접촉산화시스템의 평균 오염물질 저감효율	143
(표 3-21) 반응조의 제원	144
(표 3-22) 바이오스톤 볼 조사시기 및 채취위치	144
(표 3-23) 바이오스톤조의 VSS/SS 비율(1차)	145
(표 3-24) 바이오스톤조의 SS, VSS 분석(2차)	145
(표 3-25) 바이오스톤조 반응조별 측정값	147
(표 3-26) 접촉산화수로 반응속도상수 $k_{\text{값}}$ 도출	147
(표 3-27) 접촉산화수로 최적용량 도출	148

(표 3-28) 바이오스톤 접촉산화시스템의 오염물질 저감효율	149
(표 3-29) 고속복합응집장치의 시설 사양	153
(표 3-30) 수질개선효과 평가를 위한 시나리오 구성	158
(표 3-31) 복합응집장치 및 접촉산화수로 오염물질 저감효율	159
(표 4-1) 연도별 유입 유량 분석(2006~2015)	168
(표 4-2) 2013년도 매화저수지 월별 유입 유출량	169
(표 4-3) 매화지의 평시 및 강우시의 평균 유입수질	170
(표 4-4) 매화지 월별 COD 유입부하	170
(표 4-5) 매화지 월별 TN 유입부하	171
(표 4-6) 매화지 월별 TP 유입부하	171
(표 4-7) 고속복합응집장치의 수질항목별 연간 오염부하 저감량	174
(표 4-8) 접촉산화조의 수질항목별 연간 오염부하 저감량	178
(표 4-9) 바이오스톤조의 수질항목별 연간 오염부하 저감량	181
(표 4-10) 복합응집장치의 유입하천별 시설용량에 따른 처리율	182
(표 4-11) 접촉산화시스템의 유입하천별 시설용량에 따른 유입량 처리 비율 ·	183
(표 4-12) 고속복합응집장치 수처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 36.5%) ·	184
(표 4-13) 고속복합응집장치 수처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 50%) ·	184
(표 4-14) 고속복합응집장치 수처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 70%) ·	184
(표 4-15) 생태융합 접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 46.0%) ·	185
(표 4-16) 생태융합 접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 60%) ·	185
(표 4-17) 생태융합 접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 80%) ·	186
(표 4-18) 생태융합 접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 T-P농도(처리효율 46.1%) ·	186
(표 4-19) 생태융합 접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 T-P농도(처리효율 70%) ·	186
(표 4-20) 생태융합 접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 TP농도(처리효율 90%) ·	187
(표 4-21) 바이오스톤 접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 45.3%) ·	187
(표 4-22) 바이오스톤 접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 T-P농도(처리효율 45.2%) ·	188
(표 4-23) 고속복합응집장치의 적정규모 산정결과(1차반응 미고려) ····	190
(표 4-24) 고속복합응집장치의 적정규모 산정결과(1차반응 고려) ·····	190
(표 4-25) 접촉산화조의 적정규모 산정결과(1차반응 미고려) ·········	191

(표 4-26) 접촉산화조의 적정규모 산정결과(1차반응 고려)	191
(표 4-27) 바이오스톤조의 적정규모 산정결과(1차반응 미고려)	192
(표 4-28) 바이오스톤조의 적정규모 산정결과(1차반응 고려)	192
(표 5-1) 현장적용실험 대상 후보지구의 시설제원	199
(표 5-2) Alum 영향 관련 문헌 검토	203
(표 6-1) 유입수 정화시설의 기술성 평가(기술 특징)	209
(표 6-2) 유입수 정화시설의 기술성 평가(유지관리 용이성, 정화효과) ...	209
(표 6-3) 무인항법 수질정화선과 기존 호내 정화시설과 비교분석	210
(표 6-4) 무인항법 수질정화선과 기존 녹조제거선과 기술성 비교	213
(표 6-5) 유입수 오염저감 시설별 사업비 분석	218
(표 6-6) 공법별 경제성 평가	218
(표 6-7) 무인항법 수질정화선과 기존 녹조제거선의 경제성 비교	219

그 립 차 례

<그림 1-1> 농업용 저수지의 수질오염 사례	3
<그림 1-2> 하천 및 정체수역 대상 수처리기술 현황	4
<그림 1-3> 연구목표 및 연차별 연구목표	6
<그림 1-4> 효율적 연구수행을 위한 추진전략	12
<그림 2-1> 현장적용실험 대상 후보지구 저수지의 위성사진	18
<그림 2-2> 매화저수지의 월별 전경	19
<그림 2-3> 매화저수지 유역의 행정구역 위치도	20
<그림 2-4> 매화저수지 유입하천 전경	21
<그림 2-5> 2016년 매화저수지 수질조사 위치도	22
<그림 2-6> 2016년 저수지 수질조사 전경	23
<그림 2-7> 매화저수지 연도별 수질추이(COD, SS, TN, TP)	24
<그림 2-8> 매화저수지 호내 위치별 수질조사 지점	25
<그림 2-9> 매화저수지 호내 위치에 따른 수온	26
<그림 2-10> 매화저수지 호내 위치에 따른 EC	27
<그림 2-11> 매화저수지 호내 위치에 따른 DO	28
<그림 2-12> 매화저수지 호내 위치에 따른 pH	29
<그림 2-13> 매화저수지 호내 위치에 따른 수질(TOC, COD, T-N, T-P)	31
<그림 2-14> 매화저수지 수층별 수질특성 조사지점	32
<그림 2-15> 매화저수지 수층별 수질특성 조사전경	32
<그림 2-16> 매화저수지 수층에 따른 수질현황(수온, pH)	34
<그림 2-17> 매화저수지 수층에 따른 수질현황(EC, DO)	35
<그림 2-18> 매화저수지 수층에 따른 수질현황(SS, Chl-a)	37
<그림 2-19> 매화저수지 수층에 따른 수질현황(COD, TOC)	38
<그림 2-20> 매화저수지 수층에 따른 수질현황(TN, NO ₂ -N)	39
<그림 2-21> 매화저수지 수층에 따른 수질현황(NO ₃ -N, NH ₄ -N)	41
<그림 2-22> 매화저수지 수층에 따른 수질현황(TP, PO ₄ -P)	42

<그림 2-23> 매화저수지 수심에 따른 EC, DO, 수온, pH	45
<그림 2-24> 유입하천 수질조사 전경	48
<그림 2-25> 유입하천 수질현황(수온, pH, EC)	51
<그림 2-26> 유입하천 수질현황(DO, SS, Chl-a)	52
<그림 2-27> 유입하천 수질현황(COD, TOC, TN)	53
<그림 2-28> 유입하천 수질현황(NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N)	54
<그림 2-29> 유입하천 수질현황(TP, PO ₄ -P)	55
<그림 2-30> 매화저수지 유입하천 유속측정	56
<그림 2-31> 매화저수지 유입하천별 유속변화	56
<그림 2-32> 기상 및 수질환경 연속 모니터링 장치	59
<그림 2-33> 매화저수지 기상 연속 모니터링 결과	60
<그림 2-34> 대기기온 및 수심별 수온 시계열 변화	62
<그림 2-35> 매화저수지 수심별 DO 연속 모니터링 결과	62
<그림 2-36> 매화저수지 대기기온, DO, 수온 연속모니터링 결과	63
<그림 2-37> 퇴적물 형성 과정 및 수체 내에서의 변화 과정	65
<그림 2-38> DO 변화에 따른 수체-퇴적물 물질교환	65
<그림 2-39> 매화저수지 퇴적물 오염도 조사지점	66
<그림 2-40> 퇴적물 시료채취 장비 및 채취 장면	67
<그림 2-41> 퇴적물 입경크기 분류에 따른 토성	69
<그림 2-42> 조사지점별 입도분포 비율	72
<그림 2-43> 조사지점별 유기물, 강열감량, 총질소, 총인	74
<그림 2-44> 조사지점별 퇴적물내의 비소, 카드뮴 농도	78
<그림 2-45> 조사지점별 퇴적물내의 구리, 니켈, 납, 아연 농도	78
<그림 2-46> 매화저수지 위치별 퇴적물의 입도분포	81
<그림 2-47> 매화저수지 위치별 유기물 및 강열감량	82
<그림 2-48> 매화저수지 위치별 총질소 및 총인	83
<그림 2-49> 매화지 내 현장 용출실험 장치 설치지점	84
<그림 2-50> 현장용출 실험장치 개요도	86

<그림 2-51> 현장용출 실험장치 설치전경	87
<그림 2-52> 구간별 DO농도 변화	89
<그림 2-53> 운전기간 pH 변화	90
<그림 2-54> 운전기간 TCOD 변화	91
<그림 2-55> 운전기간 SCOD 변화	92
<그림 2-56> 운전기간 TOC 변화	93
<그림 2-57> 운전기간 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 변화	94
<그림 2-58> 운전기간 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 변화	95
<그림 2-59> 운전기간 T-N 변화	96
<그림 2-60> 운전기간 T-P 변화	97
<그림 2-61> 운전기간 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 변화	98
<그림 3-1> 접촉산화수로 및 접촉산화부도 설치 위치	103
<그림 3-2> 생태융합형 접촉산화수로 모식도	104
<그림 3-3> 생태융합형 접촉산화수로 설계도	105
<그림 3-4> 생태융합형 접촉산화수로 설치 전경	105
<그림 3-5> 접촉산화부도 입체도 및 설치 전경	108
<그림 3-6> 생태융합형 접촉산화부도 평면도	109
<그림 3-7> 생태융합형 접촉산화부도 설계도	110
<그림 3-8> 생태융합형 접촉산화부도 설치 전경	110
<그림 3-9> 마이크로 버블 제너레이터(Air-mist 21 시스템)	111
<그림 3-10> 산소 공급장치(산소발생기 및 산소용해기)	112
<그림 3-11> 산소공급장치에 따른 수처리조 내 DO 농도 변화	113
<그림 3-12> 산소공급장치에 따른 메디아조의 COD 처리효율	114
<그림 3-13> 접촉산화시스템 단계별 효율평가를 위한 추가 보완공사 ..	115
<그림 3-14> 전처리 공정 및 후처리 공정 보완공사 사진대지	116
<그림 3-15> 식생을 이식한 식생매트 및 노랑꽃창포	117
<그림 3-16> 식생매트 부착 후 접촉산화시스템 전경	117
<그림 3-17> 식생매트에 식재한 노랑꽃창포 전경	118

<그림 3-18> 생태융합형 접촉산화시스템 정상 가동 후 채수	119
<그림 3-19> 생태융합형 접촉산화시스템의 수질정화효율	120
<그림 3-20> 반응조별 분석대상 메디아	123
<그림 3-21> 유동상 여재 분석 시료	124
<그림 3-22> 미생물접촉조 여재 분석(세척 건조 후)	125
<그림 3-23> 접촉산화수로 반응조별 COD 농도 변화	130
<그림 3-24> 슬러지 인발을 위한 배관라인 평면도	131
<그림 3-25> 생태융합형 접촉산화시스템의 슬러지 인발 실험	131
<그림 3-26> 생태융합형 접촉산화시스템의 인발된 슬러지	132
<그림 3-27> 접촉산화수로 월평균 수질 변화(TOC, COD)	134
<그림 3-28> 접촉산화수로 월평균 수질 변화(Chl-a, T-P)	135
<그림 3-29> 바이오스톤 접촉산화공법 개요도	136
<그림 3-30> 바이오스톤 볼 및 유리에 의한 고액분리	137
<그림 3-31> 바이오스톤 처리조 내의 오염물질 거동	137
<그림 3-32> 바이오스톤 접촉산화시스템의 단면도 및 평면도	138
<그림 3-33> 바이오스톤 접촉산화시스템 플랜트 설치 지구	140
<그림 3-34> 바이오스톤 접촉산화시스템 플랜트 설치 전경	140
<그림 3-35> 바이오스톤 접촉산화시스템 제작 과정	141
<그림 3-36> 바이오스톤 접촉산화시스템 시료채수 및 방류조	142
<그림 3-37> 바이오스톤 접촉산화시스템의 수질정화효율	143
<그림 3-38> 반응조별 분석대상 메디아(바이오스톤 볼)	144
<그림 3-39> 미생물접촉조 여재 분석(세척 건조 후)	145
<그림 3-40> 바이오스톤 접촉산화시스템 반응조별 COD 변화	148
<그림 3-41> 바이오스톤 접촉산화시스템 설치에 따른 저수지 월평균 수질 변화(TOC, COD)	150
<그림 3-42> 바이오스톤 접촉산화시스템 설치에 따른 저수지 월평균 수질 변화(Chl-a, TP)	151
<그림 3-43> 고속복합응집장치 모식도 및 내부 볼텍스 스크린	152

<그림 3-44> 고속복합응집장치의 내통 전경	153
<그림 3-45> 고속복합응집장치의 성능평가	154
<그림 3-46> 고속복합응집장치 수질항목별 처리효율	155
<그림 3-47> 고속복합응집장치의 평면도 및 측면도	156
<그림 3-48> 고속복합응집장치의 슬러지 인발 실험	157
<그림 3-49> 고속복합응집장치 월평균 수질변화(TOC, COD, Chl-a) ...	160
<그림 3-50> 고속복합응집장치 월평균 수질변화(TN, TP)	161
<그림 3-51> 고속복합응집장치 및 접촉산화수로 연계 처리시 저수지의 월평균 수질 변화(TOC, COD)	162
<그림 3-52> 고속복합응집장치 및 접촉산화수로 연계 처리시 저수지의 월평균 수질 변화(Chl-a, TN, TP)	163
<그림 4-1> 고속복합응집장치의 유입하천별 월간 처리유량 비교	173
<그림 4-2> 고속복합응집장치의 호내 월평균 수질 농도 및 수질개선효율 ...	175
<그림 4-3> 접촉산화조의 유입지류별 월간 처리유량 비교	177
<그림 4-4> 접촉산화조의 호내 월평균 수질 농도 및 수질개선효율 ...	178
<그림 4-5> 바이오스톤조의 유입지류별 월간 처리유량 비교	180
<그림 4-6> 바이오스톤조의 호내 월평균 수질농도 및 수질개선효율 ...	181
<그림 4-7> 간소화된 저수지 물질수지 해석모델	189
<그림 5-1> 무인항법 이동식 수질정화시스템 모식도	196
<그림 5-2> 무인항법 이동식 수질정화선 구성요소	196
<그림 5-3> 무인항법 이동식 수질정화선 시험모형 제작과정	197
<그림 5-4> 무인항법 이동식 수질정화선 구성 장치	198
<그림 5-5> 무인항법 이동식 수질정화선 현장적용실험지구	199
<그림 5-6> 무인항법 이동식 수질정화선의 시운전 모습	200
<그림 5-7> pH의 상관관계에 따른 알루미늄 형태의 분포	202
<그림 5-8> 초기 알칼리도와 pH에 따라 pH6 유지를 위한 황산알루미늄 주입량(mgAl/L)	203
<그림 5-9> 현장 pH 모니터링 결과	204

<그림 6-1> 환경부 가압부상식 조류제거선(환경공단, 2012)	212
<그림 6-2> 조류 제거선(한국수자원공사, 2014)	213
<그림 6-3> 필터형 초기우수처리 시설 개요도	214
<그림 6-4> 수동력적침전식 초기우수처리시설 개요도	215
<그림 6-5> 스크린/중력침전 혼합식 초기우수처리시설 개요도	216

제1장

서론

제1절 연구배경 및 목적

제2절 연구내용 및 추진체계

제3절 기대효과 및 활용방안

제1장 서론

제1절 연구배경 및 목적

1. 연구배경 및 필요성

국내에는 17,478개소(하구 담수호 11개소 포함)의 농업용 저수지가 전국에 분포하고 있으며, 전체 물이용량의 약 61%를 농업용수로 사용하고 있다(2013농업생산기반통계연보). 최근 농어촌지역의 도농복합형태 개발 및 관광지, 유원지화로 농업용수의 오염원이 증가하는 추세로 농업용수의 수질이 지속적으로 악화되고 있다. 농업용수 수질측정망 조사결과(2013년)에 의하면 조사대상 825개소 중 17.8%에 해당하는 147개소가 농업용수 수질기준(COD 8mg/L이하)을 초과하고 있다. 특히, 늦봄에서 초가을까지 외기 온도 상승 및 저수율 저하와 함께 부영양화 증가, 녹조 대량 발생 등으로 수질오염도가 급상승하고 있으며, 이로 인해 호내 물고기 폐사, 악취발생 등으로 민원이 종종 발생되고 있다. 2013년도 조사결과 여름철(7~9월) 수질기준 초과율(COD 기준)은 26.8%로 연평균 17.8% 보다 9% 이상 증가하고 있는 것으로 나타났다.

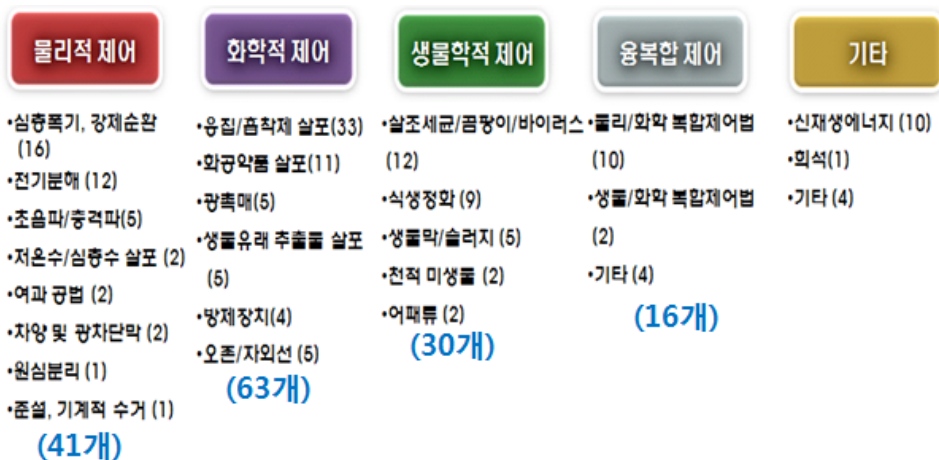
농업용 저수지의 수질오염은 유역 내 미처리 생활오수 및 축산폐수 등 점오염원뿐만 아니라 야적된 축분, 농경지 등에서 유출되는 비점오염원이 처리 없이 호 내로 유입되고 있어 부유물질, 유기물, 영양물질 등 오염물질의 종류가 다양하게 존재하고 있다. 또한, 설치된 저수지는 퇴적층에서 인 등의 오염물질이 재 용출되고 있으며, 이러한 오염물질의 재 용출은 호소 부영양화를 촉진하는 중요한 원인으로 작용하고 있다.



<그림 1-1> 농업용 저수지의 수질오염 사례

최근 국민들의 웰빙과 먹거리에 대한 관심증가로 안전농산물, 친환경농산물 생산을 위한 양질의 농업용수를 요구하고 있으며, 농업·농촌의 어메니티 중시, 관광산업화 등의 정책으로 농어촌 지역에 위치하고 있는 농업용 저수지에 대한 역할 증대 및 농업용수에 대한 수요도 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 수질오염도가 높은 물을 관개용수로 사용하는 경우에는 생산물의 수확량과 품질에 영향을 줄 뿐만 아니라 논외 생태계 및 농민들의 농작업 환경에도 영향을 미치고 있다. 또한, 오염된 물의 사용은 친환경농산물 인증자격 취득에 제한 요인이 되고 있어 농민들의 불만과 민원이 제기되고 있다. 최근에 와서는 농업용 저수지를 대상으로 수상태양광 발전, 주민들의 휴식공간을 위한 공원화, 수상 레저 공간, 임대 낚시터 등 다목적 활용이 증가하고 있으며, 이에 따라 농업용 저수지도 3등급의 수질관리가 요구되고 있다.

농업용수를 대상으로 한 수질개선기술 개발은 그동안 주로 유입수의 부유물질, 질소, 인 등을 저감하기 위한 인공습지 및 침강지와 같은 자연정화공법이 대부분 주를 이었다. 그러나 이러한 공법은 유입수를 대상으로 하기 때문에 호소의 가시적인 수질개선 효과가 나타나기까지는 장기간이 소요되며, 녹조 등 기상과 수리·수문상황에 따라 발생하는 수질오염 사고(녹조 대량발생, 어류 집단폐사 등)에 신속하게 대처하기가 어렵다.



<그림 1-2> 하천 및 정체수역 대상 수처리기술 현황

자료) 한국건설기술연구원, 2012

최근에 와서는 호 내의 용존산소 농도를 증가시켜 유기물을 분해, 제거하는 수중 포기장치와 물순환 장치 및 녹조 제거를 주 대상으로 하는 가압부상공법과 수초제거선 등 다양한 물리화학적 공법 등이 개발되어 적용되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 처리규모의 한계, 유지관리의 어려움, 낮은 경제성, 생태적, 환경적 영향 등의 문제점 때문에 하천 정체수역이나 소규모 호소에 일부 부분적으로 적용되어 왔으며, 범용적인 실용화를 위해서는 아직까지 많은 어려움을 가지고 있다.

농업용수는 농어촌 지역의 농업용수 공급이 주요 목적이므로 설치비가 저렴하고 유지관리 비용이 적게 소요되어야 하며, 농업용 호소의 특성상 대규모의 많은 수량을 처리해야 한다. 농업용 저수지의 수질개선을 위한 공법(기술)으로는 수 생태적으로 안전한 저비용, 고효율의 수처리 기술 개발이 필요한 실정이다.

2. 연구목적

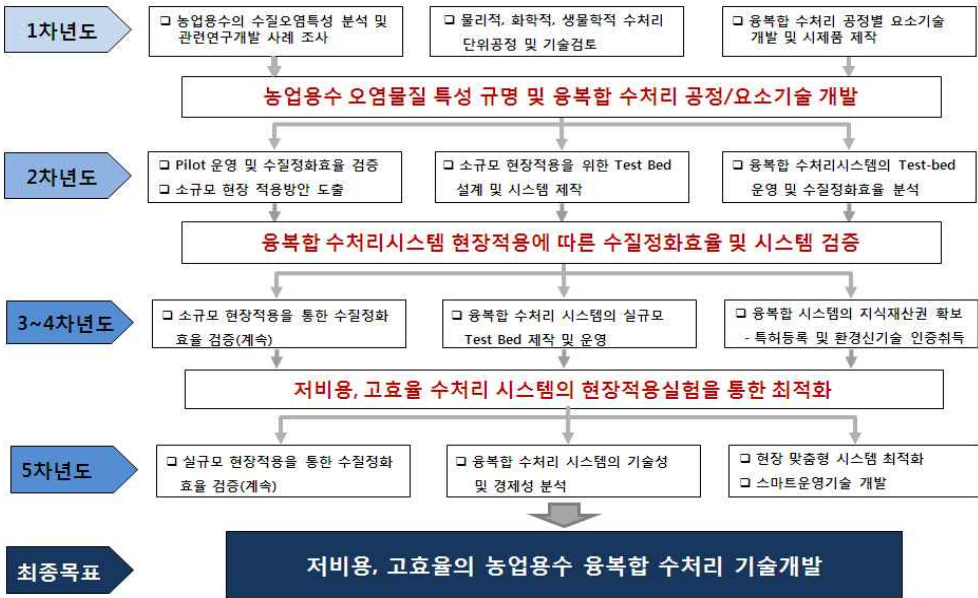
본 연구에서는 농업용 저수지 특성에 적합한 저비용 고효율의 융복합 수처리 기술을 개발하여 농업용 저수지의 부영양화 및 수질오염을 사전에 방지하고 양질의 농업용수를 확보하여 공급하고자 한다.

본 연구에서 개발하고자 하는 수처리 기술의 목표는 다음과 같다.

- 농업용수 수질기준 이상의 목표달성이 가능한 수처리 기술
- 인공습지의 단점을 개선하여 인공습지 대체 또는 인공습지 후처리 시설로 활용할 기술
- 저수지의 수질오염 및 녹조발생을 사전에 예방할 수 있는 수처리 기술

제2절 연구내용 및 추진체계

1. 연도별 연구개발 목표

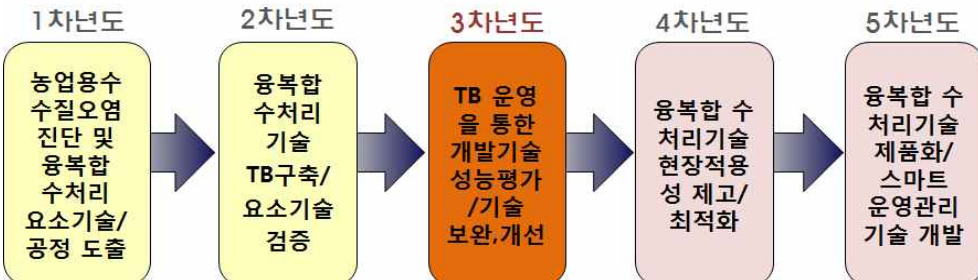


최종 목표

“농업용수 수질개선” 을 위한 융복합 수처리 기술 개발

- 농업용 저수지 수환경 개선으로 부영양화 및 녹조발생 사전 방지
- 깨끗한 양질의 농업용수 확보 및 공급

연차별 연구목표



<그림 1-3> 연구목표 및 연차별 연구목표

2. 연구개발 공정 및 연도별 연구범위

가. 연구개발 공정



나. 연도별 연구목표에 따른 세부 추진실적



다. 연도별 연구내용

구분	연구목표	연구내용 및 범위
2014년 (1차년도)	농업용 저수지의 물리적/수질오염특성 분석 및 관련연구개발 사례분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수 주요 오염원 및 수질현황 파악 - 기존 농업용수 측정망 DB 구축자료 활용 ○ 농업용수 수질오염 특성분석 - 지표수 및 저층수, 퇴적물 수질오염도 분석 - 계절별, 시기별 수질오염변화 분석 ○ 관련 연구개발 현황 및 사례분석 ○ 농업용수 수처리 시스템 개발 방향 정립
	기존 수처리 단위공정 /기술 검토	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수처리 기술의 농업용수 적용 실효성 분석 - 물리적 제어기술의 적용 실효성 검토 - 화학적 제어기술의 적용 실효성 검토 - 생물학적 제어기술의 적용 실효성 검토
	융복합 수처리기술 공정별 요소기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수에 적용 가능한 공정/요소기술 개발 - 농업용수 수처리에 적합한 단위공정 추출 - 단위공정별 요소기술 개발
	융복합 수처리 시설의 Pilot용 시제품 제작 및 실험검증	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수 융복합 수처리시설 시제품 제작 - 개발된 융복합 수처리 공정 및 시스템 설계 - 실험실 규모의 기초 실험 - 공정/요소기술의 문제점 도출
2015년 (2차년도)	현장 적용실험을 위한 지구 선정 및 조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장적용실험을 위한 연구대상지구 선정 - 복합응집장치 현장적용실험 - 생태융합형 미디어 현장적용실험 - 마이크로버블장치 현장적용실험 ○ 대상지구 환경조건 연속모니터링 ○ 대상지구 수질 및 퇴적물 오염도 변화 조사
	융복합 수처리 시스템의 현장 Test Bed 설치 및 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융복합 수처리시설의 현장적용 성능평가 - 현장적용실험을 위한 Test Bed 구축 - Test Bed를 통한 수처리효율 평가 - 저수지 수질개선에 미치는 효과 분석(모델링) - 수처리시스템이 수생태계에 미치는 영향 분석
	호소대상 수질개선시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 호소 수질정화기술개발 및 성능평가 - 부체 및 동력장치 등 제반기술 검토 - 단위공정별 시제품 제작 및 성능평가
	융복합 수처리 기술의 지적재산권 확보	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지적재산권 확보 - 융복합 수처리공정 및 시스템 특허 등록

구 분	연구목표	연구내용 및 범위
2016년 (3차년도)	융복합 수처리기술의 현장적용실험 및 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고속복합응집장치 현장적용실험 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> - 설계인자별 수질정화효율 평가 - 발생 슬러지 양 산정 - 슬러지 처리방안 및 현장적용방안 마련 ○ 유입부 대책 생태융합형 집축산화시스템 현장적용실험 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> - 설계인자별 수처리효율 평가 - 저수지 수질 및 퇴적물 오염도 개선에 미치는 영향(효과) 분석 - 수생태계에 미치는 영향 분석 - 순산소 발생장치 조합 및 수처리조 DO 농도 평가 - 융복합 수처리장치의 대규모에 적용방안 검토
	호소수 대상 융복합 수처리시스템 시제품 제작 및 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 호소수 대상 수처리시스템의 시험모형 제작 및 현장적용실험 <ul style="list-style-type: none"> - 호소수 대상 융복합 수처리시스템 시험모형 제작 - 시스템의 수질정화효율 평가 등 성능평가 - 저수지 수질 및 수생태계에 미치는 영향 분석
	융복합 수처리기술의 기술성/경제성 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융복합 수처리 기술의 기술성/경제성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 융복합 수처리기술의 타 기술과 기술성 분석 - 융복합 수처리기술의 타 기술과 경제성 분석
	융복합 수처리기술의 지적재산권 확보	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지적재산권 확보(2건) <ul style="list-style-type: none"> - 생태융합형 집축산화시스템(수로식, 부도)
2017년 (4차년도)	융복합 수처리기술의 현장적용실험 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유입부 대책 융복합 수처리 시스템의 실규모 현장적용 검증실험(계속) <ul style="list-style-type: none"> - 성능평가 및 수처리효율 평가 - 저수지 수질개선에 미치는 영향(효과) 분석 - 융복합 수처리장치의 대규모에 적용방안 검토 ○ 호소수 대책 융복합 수처리 시스템의 실규모 현장적용 검증실험(계속) <ul style="list-style-type: none"> - Test Bed를 통한 수처리효율 평가 - 저수지 수질개선에 미치는 영향(효과) 분석 - 융복합 수처리장치의 4대강 등 적용성 검토
	융복합 수처리시스템의 부산물처리방안 정립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융복합 수처리 시스템의 부산물 대책 강구 <ul style="list-style-type: none"> - 부산물 정량화 및 오염성분 분석 - 부산물 처리방안 정립
	융복합 수처리기술의 지적재산권 확보	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경 신기술인증 자격 취득 <ul style="list-style-type: none"> - 신기술인증을 위한 보고서 작성 - 신기술인증을 위한 신청서 접수 등

구분	연구목표	연구내용 및 범위
2018년 (5차년도)	융복합 수처리기술의 최적모델 개발 및 스마트 운영관리 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융복합 수처리 시스템의 최적모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용 저수지 물리적/수질오염 특성에 맞는 최적의 시스템 표준화 <ul style="list-style-type: none"> • 생태융합형 집축산화시스템 • 무인항법 이동식 수질정화시스템 - 수처리 시스템의 설치 및 운영관리방안 정립 ○ 수처리 시스템의 스마트 운영관리기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - ICT를 융합한 스마트 운영관리기술 적용 - 융복합 수처리시설의 운영관리 지침서 작성
	융복합 수처리시설의 실용화/사업화방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융복합 수처리 시스템의 사업화방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용수 수질개선사업과 연계방안 - 수처리시스템의 실용화/사업화 방안 제시 - 수처리기술의 해외 수출방안 마련

라. 2016년도 연구내용

2016년도 연구기관별 세부 연구내용은 다음과 같다.



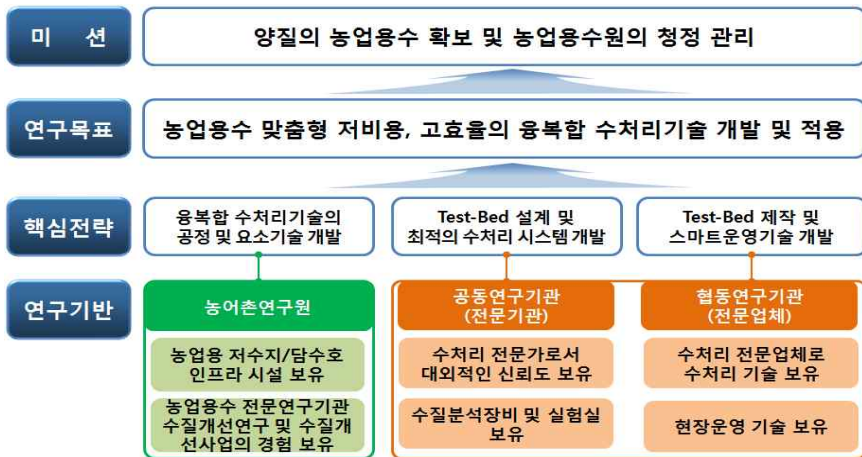
마. 연구 추진절차



3. 연구 추진체계

가. 추진전략 및 방법

- 산·학·연 협동 및 공동연구로 연구의 효율성 제고 및 연구 성과물의 극대화, 대외적인 신뢰도 제고
 - 수처리 전문업체와 협동연구로 연구 사업비의 효율적 비용집행
 - 수처리 전문기관과의 공동연구로 연구결과 대외적인 신뢰도 제고 및 정부기관의 신기술인증 자격취득 기반마련
- 수처리 장치의 실규모 현장적용 실험을 통한 최적모델 개발
 - 현장적용실험을 통한 최적시스템 개발로 현장 적용성 제고
- 대외 수처리 전문가들의 자문회의 등을 통해 개발된 수처리 기술의 지속적 검증
 - 수처리 전문가들의 자문회의 등을 통한 지속적인 기술 검증
 - 수처리 대내외 전문가 초청 세미나 등을 통한 대외 기술력 흡수



<그림 1-4> 효율적 연구수행을 위한 추진전략

(표 1-1) 연구수행기관별 연구내용

구분	세부내용
농어촌연구원	<ul style="list-style-type: none"> 농업용수의 물리적/수질오염 특성 조사 및 분석 국내 농업용수 수질개선사례 및 관련연구 조사 융복합 수처리장치의 단위공정별 설계인자 도출 농업용수 융복합 수처리기술 개발 현장적용실험을 위한 연구대상지 조사/선정 융복합 수처리 시스템의 현장검증 Test-Bed 구축 수처리시스템의 설계인자별 수질정화효율 분석 수처리 시스템의 사업화 방안 제시 지적재산권 취득관련 제반 업무
공동연구	<ul style="list-style-type: none"> 해외 수처리장치 개발 및 사업화 사례 수집 미디어 미생물부착력 등 평가 수처리 시스템의 유효 영향반경조사 저수지 수질개선에 미치는 영향 분석(모델링) 수처리 시스템이 수생태계에 미치는 영향 분석 개발된 수처리기술의 기술적 우위성 분석
협동연구	<ul style="list-style-type: none"> 융복합 수처리 장치 세부설계 수처리장치 제작, 현장설치 및 운영관리 수처리 장치의 최적 설계인자 및 설계모델 개발 수처리 시스템의 스마트 운영기술 개발 개발된 수처리기술의 경제적 우위성 분석 융복합 수처리 장치의 해외진출 가능성 분석

제3절 기대효과 및 활용방안

1. 기술적 측면

- 농업용수 적용 수처리기술 개발로 공사 관리 저수지의 수질개선효과
 - ▣ 2014년 농업용수 수질기준 초과시설 759개소(3,362개소의 22.6%)
- 개발된 수처리 기술의 실규모 현장적용실험으로 연구결과에 대한 신뢰도 제고 및 사업효과 분석으로 수질개선사업의 적용 타당성 확보
- 개발된 수처리 기술의 지적재산권 취득으로 공사의 수처리 기술력에 대한 대외적인 신뢰도 확보로 국내 및 해외 사업화 진출 기반 마련

2. 경제·산업적 측면

- 세계 물 산업은 향후 10년간 2배 이상으로 확대(2015년 1,598조원)되어 세계 경제의 한 축을 이룰 것으로 전망되고 있으며, 국내에서도 농업용수의 사용량은 약 61%로 수요량이 가장 많은 분야이며, 최근에는 농업용수에서 농어촌용수로 다목적화 되고 있으며, 그 사용량은 지속적으로 증가할 전망이다
- 본 연구개발 성과는 오염된 농업용수 저수지의 수질개선을 위해 적용될 수 있으며, 또한 최근 사회적 문제가 되고 있는 4대강 녹조문제 해결에도 적용될 수 있을 것으로 기대됨
- 양질의 농업용수 공급이 가능함에 따라 고품질 수익형 농작물 재배 및 생산으로 농촌지역의 고소득 창출 및 지역 발전에 기여할 것임
- 깨끗한 농업용수를 사용해 생산된 농산물에 대한 대국민 신뢰도 제고 및 국내 생산된 농산물의 국제시장에서 경쟁력 확보도 기대됨
- 농업용 저수지의 수질개선효과는 안전 및 친환경 농산물 생산뿐만 아니라 농어촌지역의 어메니티 증가 등으로 농업농촌 관광산업 활성화 등 농어촌지역에 미치는 직·간접적인 효과는 매우 높을 것으로 기대됨

제2장

연구대상지구 수환경 동적변화 조사 및 퇴적물 내부 부하 평가

제1절 연구대상지구 개요

제2절 매화저수지 및 유입하천 수질특성

제3절 저수지 퇴적물 오염도 및 용출량 산정

제2장 연구대상지구 수환경 동적변화 조사 및 퇴적물 내부 부하 평가

제1절 연구대상지구 개요

1. 연구 대상지구 선정

본 연구에서 개발된 융복합 수처리 시스템은 오염된 농업용 저수지의 수질개선을 최종 목표로 하고 있기 때문에 현장적용실험을 위한 대상지구는 오염된 농업용 저수지의 특성이 가장 잘 반영된 지구를 선정하는 것이 가장 중요하다. 따라서 2014년(1차년도)에 농업용 저수지의 물리적 특성 및 수질오염 특성에 대해서 분석하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

국내 농업용 저수지의 물리적 특성으로는 유효저수량이 50천 m^3 이하의 저수지가 전체의 82.4%를 차지하고 있으며, 1960년 이전에 설치되어 준공 경과년수가 50년 이상된 저수지가 전체의 약 69%를 차지하고 있다. 또한, 유효수심 3m 이하인 저수지가 77.1%이고, 유역배율(유역면적/만수면적) 5 이상이 전체의 97.4%를 차지하고 있다. 이러한 물리적 인자들은 저수지의 수질에 통계적으로 유의한 수준으로 영향을 주고 있는 것으로 나타났다.

저수지의 수질오염 특성으로는 유역 내 축산폐수 및 생활오수에 의한 점오염원과 농지, 도로 등의 비점오염원 영향으로 유입수 뿐만 아니라 호소수에서도 유기물 및 질소, 인 등의 오염도가 높다. 특히 하절기 기온상승 및 강수 부족, 녹조 대발생 등으로 저수지 수질오염은 더욱 심각해지고, 이로 인해 호 내 DO 부족 등으로 어류 폐사 등 수생태계까지 악영향을 미치고 있다. 한국농어촌공사 농어촌연구원(2002)의 농업용 저수지 수질오염 유형분류 연구에 의하면 수질이 오염된 저수지는 대부분 물리적 인자(유효평균수심)에 의한 내부적 원인과 유역 내 오염원 유입에 의한 외부적 원인에 의해 수질오염이 발생하는 복합원인형에 해당하고 있는 것으로 나타났다. 농업용수 수질기준(COD 기준으로 IV등급)이 초과된 저수지의 주요오염원은 유역 내 축산폐수 및 생활하수 등 점오염원에 의한 영향이 가장 큰 것으로 분석되었다(농림축산식품부 등, 2013).

따라서 본 연구를 통해 개발된 융복합 수처리 기술의 현장적용실험을 위해서 다음과 같은 조건에 부합되는 매화저수지(경기 시흥 위치)를 대상지구

로 선정하였다. 첫째, 호소 수질오염도가 COD 기준 5등급 이상인 저수지, 둘째, 수질오염유형이 복합원인형(호소 COD가 8mg/L 이상이고 수심이 5m 이하)에 해당하는 저수지, 셋째, 유기물농도 및 N, P 농도가 높은 저수지, 넷째, 1960년 이전에 설치된 저수지, 다섯째, 유효저수량 50만톤 이하이며, 유효수심이 3m 이하인 저수지, 여섯째, 지리적으로 접근이 용이하고 토목구조물 설치가 가능한 저수지, 일곱째, 농업용수 수질개선사업의 시행지구가 아니고 사업 계획에 반영되어 있지 않은 저수지를 대상지구 선정의 우선 조건으로 하였다.

연구대상지구 선정조건에 부합하면서 지리적으로 가까운 경기도 관내 농업용 저수지를 대상으로 검토한 결과, 과림저수지(경기 시흥시 과림동), 매화저수지(경기 시흥시 도창동), 버들저수지(경기 화성시 장안면 석포리)의 3개소가 대상지구 조건에 가장 부합하였다. 이들 저수지는 모두 준공된 지 50년 이상 된 호소이며, 수심이 3m 이하로 매우 낮아 퇴적물로부터의 오염물질 용출 영향을 쉽게 받을 수 있는 저수지들로서 수질오염도가 매우 높은 저수지이다. 또한 유효저수량이 모두 30만톤 이하로 한국농어촌공사에서 관리하는 저수지 중 소규모 저수지에 해당하며, 유역내에 농경지, 임야 등 비점오염원과 생활계, 축산계 등 점오염원이 함께 존재하는 국내 농업용 저수지의 일반적인 특성을 가지면서 오염된 저수지의 대표성을 가지는 지구로 판단되었다(농림축산식품부 등, 2015).

연구 1차년도인 2014년에 후보지구인 버들지, 과림지, 매화지 3개 저수지를 대상으로 유역환경조사, 호소 수질조사, 퇴적물 조사, 유입하천 수질조사, 유입 오염부하량 조사 등 정밀조사를 실시하였다. 정밀조사 결과 및 유역상황을 종합적으로 고려하여 경기도 시흥시 도창동에 위치하고 있는 매화저수지를 현장적용실험을 위한 대상지구로 최종 선정하였다.



<그림 2-1> 현장적용실험 대상 후보지구 저수지의 위성사진

2. 연구 대상지구 현황

가. 저수지 시설제원

용복합 수처리 시스템의 현장적용실험 대상지구로 선정된 매화저수지는 1941년도에 설치된 농업용 저수지로 경기도 시흥시 도창동에 위치하고 있는 소규모 인공 호소이다. 저수지의 유역면적은 260 ha에 해당하며, 만수면적은 15.5 ha, 수혜면적은 52.4 ha, 유효저수량은 227 천 m^3 이며, 평균 수심은 2~3m로 호소 전체적으로 수심이 낮은 접시형태의 저수지이다. 현재 수면 목적외 사용으로 낚시터로 이용되고 있다.

(표 2-1) 현장적용실험 대상지구의 시설제원

저수지명	유역면적 (ha)	만수면적 (ha)	수혜면적 (ha)	유효저수량 (천 m^3)	총저수량 (천 m^3)	준공년도
매화지	260	15.5	52.4	227.0	248.0	1941

자료) 한국농어촌공사 농업기반시설관리시스템(RIMS)



<그림 2-2> 매화저수지 월별 전경

나. 매화저수지 유역개황 및 오염원 현황

융복합 수처리 시스템의 현장적용실험 대상 저수지로 선정된 매화저수지의 유역 개황 및 오염원에 대한 조사는 본 연구의 1차 년도에 실시하였다. 매화저수지의 유역은 행정구역상 경기도 시흥시 도창동과 금이동에 해당하며, 금이동 지역 면적의 42.7%와 도창동 지역 면적의 23.4%를 차지하고 있다. <그림 2-3>은 매화저수지 유역의 경계선을 위성사진 위에 그린 것으로, 노란색 실선은 도창동과 금이동 행정구역을 구분하는 경계선이고, 녹색 실선은 매화저수지 유역을 그린 경계선이다.

매화저수지는 시흥시 북동쪽에 위치하고 있으며, 유역의 대부분 지역이 산림과 구릉지역으로 이루어져 있고, 인근에는 주민 약 40만명이 살고 있는 시흥시 중심지와 인접하고 있다. 지리적으로 시흥 시가지와 접해있으며, 유역 내에는 주택가, 음식점, 소규모 산업시설, 농경지, 축산농가 등이 다양하게 위치해 있는 도시와 농촌의 복합형태를 보이고 있는 지역이다. 저수지 상류 유역에는 42번 국도와 100번 서울외곽순환고속도로가 지나가고 있으며, 인근 물왕저수지 유역과 경계를 이루고 있다. 특히 매화저수지는 서울 인근에 위치한 낚시터로 지리적 여건으로 인해 주말에 많은 낚시객들이 찾고 있다.



<그림 2-3> 매화저수지 유역의 행정구역 위치도

다. 매화저수지 유입하천 현황

매화저수지의 주요 유입하천은 2개소이며, 유입하천-1(S1) 지점은 금이동 유역에서 유입되는 소하천이고, 유입하천-2(S2) 지점은 도창동 일부와 금이동 유역에서 유입되는 소하천이다. 유입하천-1은 해발 205m 운흥산에서 발원하여 금이동을 걸쳐 저수지 상류 우안 쪽에서 유입되는 소하천으로 하폭과 유량이 아주 작은 지방 소하천이다. 도창동 방향에서 들어오는 유입하천-2는 상류유역 봉재산 계곡에서 발원하여 유하하는 소하천으로 유입-1과 마찬가지로 하폭과 유량이 아주 작은 소하천이다. 유입하천-1의 평균 하폭은 1.8m(0.98~2.17m), 평균 수심은 12.1cm(7.0~16.0cm)으로 조사되었고, 유입하천-2는 평균 하폭이 1.93m(1.23~2.19m)이고, 평균 수심은 15.2cm(13.0~19.0cm)으로 조사되었다. <그림 2-4>에는 매화저수지로 유입되는 유입하천-1과 유입하천-2의 전경을 나타내었다.



<그림 2-4> 매화저수지 유입하천 전경

제2절 매화저수지 및 유입하천 수질특성

1. 매화저수지 수질추이 및 수질현황

가. 매화저수지 연도별 수질추이

1) 수질조사 및 분석방법

융복합 수처리시스템의 현장적용실험 대상지구로 선정된 매화저수지의 연도별 수질오염 추이를 분석하기 위하여 한국농어촌공사에서 매년 시행하고 있는 전수조사 결과와 본 연구에서 2014년도부터 2016년도까지 조사한 자료를 이용하였다. 전수조사는 pH, COD, T-N, T-P, SS의 5개 항목을 대상으로 하며, 호소 수질을 대표할 수 있는 1개의 지점을 선정하여 채수 및 현장조사를 하고 있다. 본 연구의 2016년도에는 저수지 주요지점에 대해 4월부터 12월까지 매월 1~2회 수질조사를 실시하였고, 저수지 표층과 심층의 대표지점을 선정하여 물 시료를 채수하였다. 채수된 수질 시료는 폴리에틸렌 1L 시료통 3개에 가득 채워 분석실로 운반하였으며, 수질오염공정시험기준(환경부, 2016)에 준하여 분석을 실시하였다.

수질추이 분석을 위하여 전수조사 자료는 분기별로 조사한 연 4회 자료를 평균하였고, 본 연구에서 매월 조사한 자료는 표층수에 대한 수질자료를 연도별로 평균하였다.



<그림 2-5> 2016년도 매화저수지 수질조사 위치도

(표 2-2) 매화저수지 위치별 수질조사 일자

조사수역	조사 일자	조사기관
호소	4/8, 4/27, 5/24, 6/3, 6/16, 7/7, 8/5, 9/7, 10/11, 11/4, 12/1	농어촌연구원



<그림 2-6> 저수지 수질조사 전경(2016년)

2) 연도별 수질추이 분석결과

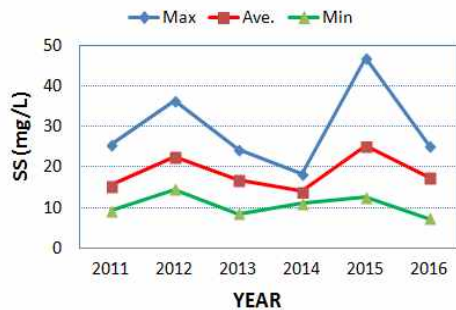
매화저수지의 연도별로 pH, COD, SS, TN, TP 항목에 대한 수질추이를 분석한 결과는 (표 2-3) 및 <그림 2-7>과 같다. pH는 2011년 평균 8.7(7.9~9.2)을 제외하고는 평균 7.6~8.1로 중성 범위에 있는 것으로 나타났다, COD의 경우에는 2013년 9.1 mg/L과 2014년 7.8 mg/L을 제외하고는 최대 20 mg/L(평균 10.0~15.0mg/L)의 매우 높은 오염도를 보이고 있다. TN은 2011년, 2012년에 비해 2014년 이후에 다소 감소하는 추이를 보이고 있으나 농업용수 수질기준인 1.0 mg/L을 초과하고 있는 것으로 나타났다. TP 농도는 TN과 같은 경향으로 2014년 이후에 다소 감소하는 추이를 보이고 있으나 2014년 평균치 0.064 mg/L을 제외하고는 모두 농업용수 수질기준인 0.1 mg/L을 초과하고 있는 것으로 나타났다. SS는 COD 농도 추이와 유사한 경향을 보이고 있으며, 다른 항목들과 마찬가지로 2014년도에 최저 농도를 보였고, 2015년도에 들어서는 증가하는 경향을 보였으나 2016년도에는 다시 다소 감소하는 추이를 나타내고 있다. 위와 같이 모든 항목에서 2014년도에 수질농도가 감소하였다가 2015년도에 다시 증가하는 유사한 경향을 보였는데, 이러한 원인은 2015년도에는 다른 연도에 비해 가뭄이 심해 강우량이 절대적으로 부족했고, 이상기온으로 인해 외기 온도가 높았던 기간이 길어서 수질오염도 장기간 지속되었던 것으로 판단된다.

(표 2-3) 매화저수지의 연도별 수질현황

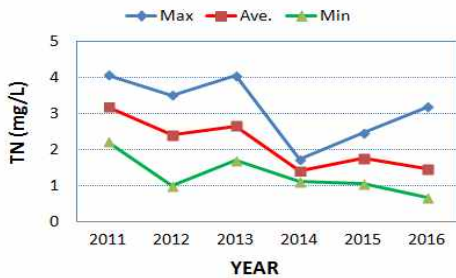
구 분		pH	COD	TN	TP	SS	
매화지	2011	Max	9.2	20.0	4.071	0.274	25.6
		Min	7.9	6.8	2.222	0.083	9.2
		Ave.	8.7	10.5	3.190	0.162	15.5
	2012	Max	8.3	19.5	3.516	0.317	36.5
		Min	7.3	6.3	1.008	0.101	14.5
		Ave.	7.8	10.5	2.424	0.185	22.6
	2013	Max	7.9	9.4	4.068	0.169	24.5
		Min	7.3	8.4	1.708	0.109	8.5
		Ave.	7.6	9.1	2.666	0.148	16.8
	2014	Max	8.3	9.6	1.736	0.097	18.3
		Min	7.4	6.8	1.127	0.038	11.0
		Ave.	7.8	7.8	1.411	0.064	14.0
	2015	Max	9.0	19.2	2.467	0.183	47.0
		Min	7.1	10.6	1.064	0.070	12.5
		Ave.	7.8	16.5	1.764	0.137	25.2
2016	Max	9.3	20.1	3.201	0.211	168.7	
	Min	7.0	9.0	0.673	0.049	6.3	
	Ave.	8.1	14.5	1.464	0.114	28.7	



(a) COD



(b) SS



(c) TN



(d) TP

<그림 2-7> 매화저수지 연도별 수질추이(COD, SS, TN, TP)

나. 매화저수지 호 내 위치별 수질특성

1) 조사지점 및 분석방법

매화저수지는 만수면적이 약 15 ha이며, 두 개의 주요 유입하천이 각각 저수지의 양쪽 끝으로 유입되며, 저수지 모양이 다소 V자 모양을 하고 있기 때문에 호 내 위치에 따른 수질 차이를 나타낼 수 있어 4개 지점(제방 R1, 저수지 우안 유입부 R2, 저수지 중앙 R3, 저수지 좌안 유입부 R4)을 선정하여 각 지점별로 상층, 중층, 하층으로 구분하여 수질조사를 실시하였다. 또한 호내 위치별 수질특성에 대한 해석을 위해 유입하천의 호소 유입부 지점(S1, S2)에 대한 수질조사도 동일한 일자에 실시하였다.

수질조사는 5월 중순부터 10월까지 총 9회 실시하였으며, 수질조사를 실시한 일자는 (표 2-4)와 같다. 수질분석을 위하여 현장에서는 다항목 수질측정장비(YSI)를 이용하여 각 지점별로 수온, EC, DO, pH, ORP, 수심, 투명도 등을 측정하였고, COD, SS, TN, TP, Chl-a 항목에 대한 실내분석을 위하여 물을 폴리에틸렌 병에 채수하여 분석실로 운반하였으며, 수질오염공정시험기준(환경부, 2016)에 준하여 분석을 실시하였다.

(표 2-4) 매화저수지 위치별 수질조사 일자

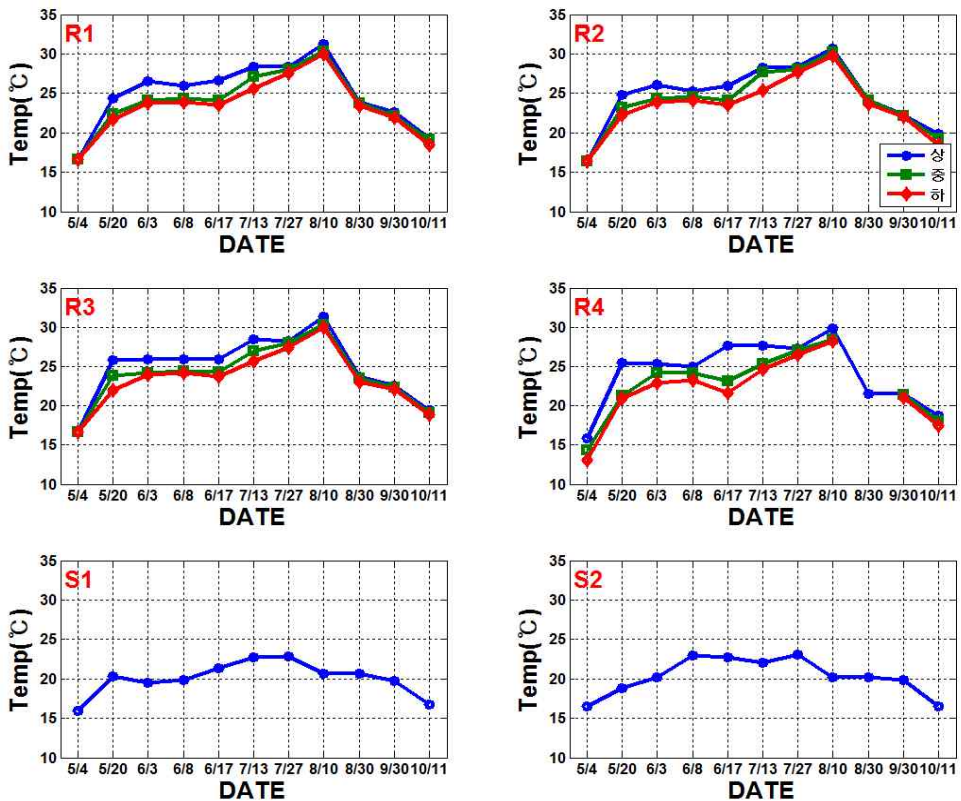
조사수역	조사 일자	조사기관
저수지, 유입하천	5/4, 5/20, 6/3, 6/8, 6/17, 7/13, 7/27, 8/10, 8/30, 9/30, 10/11	충북대학교



<그림 2-8> 매화저수지 호내 위치별 수질조사 지점

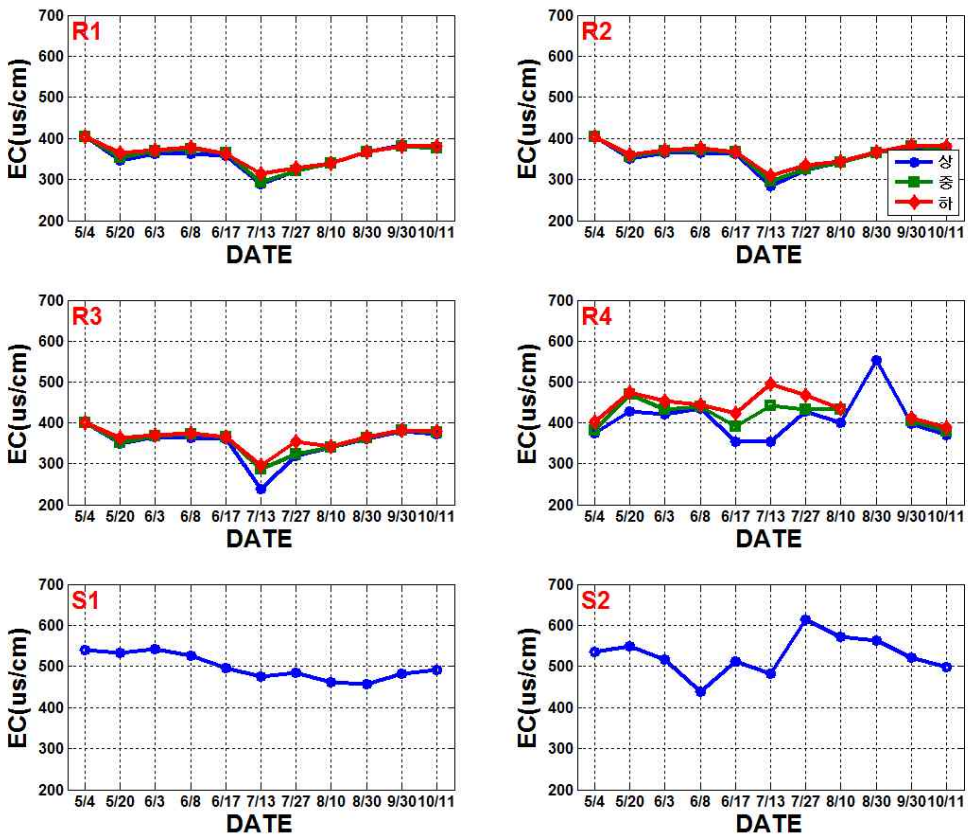
2) 호내 위치별 수질현황

매화저수지의 호 내 위치별로 수질현황을 분석한 결과는 <그림 2-9>~<그림 2-12>에 나타내었다. 호 내 위치별 수온에 대한 조사결과는 <그림 2-9>에 나타내었다. 호 내 지점인 R1~R3 지점의 상하층간의 수온 차이는 평균 1.25℃, 최대 3.2℃의 차이를 보였다. 특히, 수표면에서 수생식물인 마름이 대량 발생하는 시기인 초여름(6월~7월초)에 상하층간에 가장 큰 수온차이를 보였으며, 대기 기온이 떨어지는 10월 말에는 가을 전도현상으로 인해 상하층간의 수온차이가 거의 없었다. R4 지점은 평균 2.4℃, 최대 5.9℃의 수온차를 보였으며, 이는 유입하천인 S2의 영향으로 판단된다. 유입하천은 호내 표층 수온보다 평균 4~5℃ 정도 낮은 값을 보였으며, R4 지점의 바닥층 수온은 유입지류의 수온과 유사한 것으로 나타났다. 따라서, 유입하천수가 호 내 유입시 밀도류를 형성하여 저수지 바닥층을 따라 유동하는 것으로 판단된다.



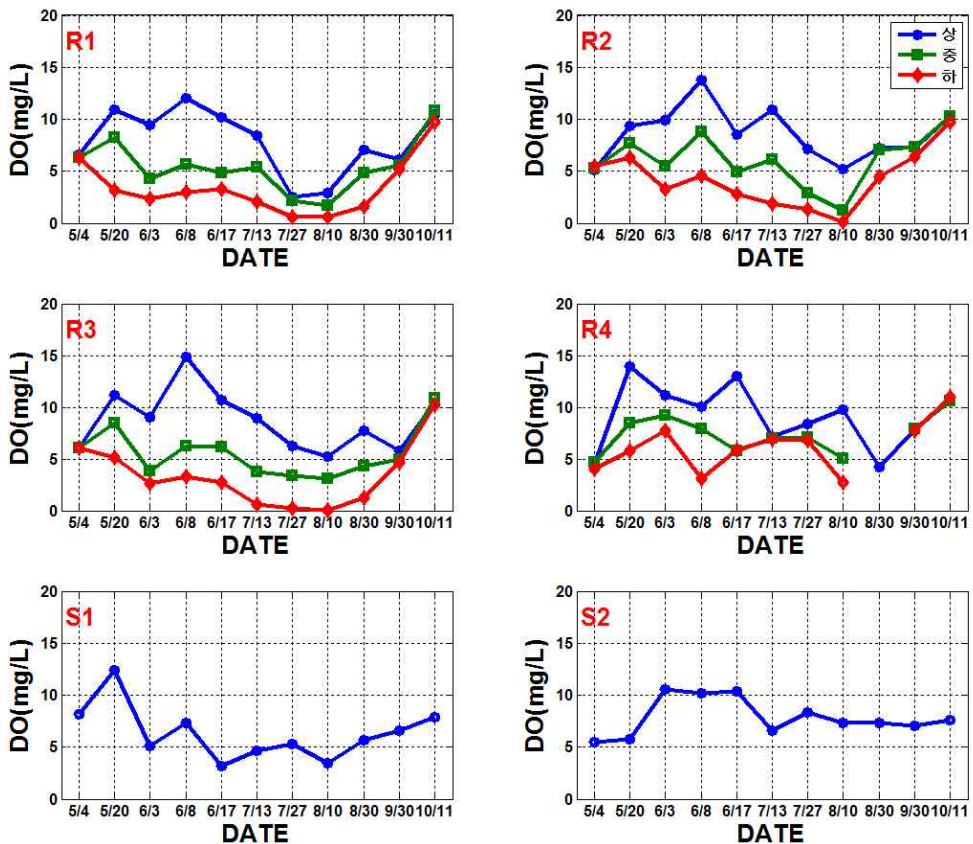
<그림 2-9> 매화저수지 호내 위치에 따른 수온

매화저수지 호내 위치별 전기전도도($\mu\text{s}/\text{cm}$)에 대한 조사결과는 <그림 2-10>와 같다. 호내 지점별의 전기전도도 평균(범위) 값은 R1 358.0(293.0~404.0) $\mu\text{s}/\text{cm}$, R2 359.3(296.0~405.0) $\mu\text{s}/\text{cm}$, R3 357.2(286.0~401.0) $\mu\text{s}/\text{cm}$, R4 420.2(379.0~470.0) $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 나타났으며, 유입하천의 평균 전기전도도는 S1 499.0(456.0~542.0) $\mu\text{s}/\text{cm}$, S2 527.5(438.0~613.0) $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 호 내에 비해 높은 값을 나타냈고, 특히 S2 하천의 전기전도도가 높게 측정되었다. R1~R4 지점별로 상하층간 전기전도도 차이를 분석한 결과, 지점별 각각 평균 7.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 11.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 13.0 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 30.0 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 차이를 보였으며, 특히 호 소 바닥층에서 높은 값이 측정되었다. 이는 바닥 퇴적층의 환원상태에 의한 오염물질의 용출에 의한 영향으로 판단된다.



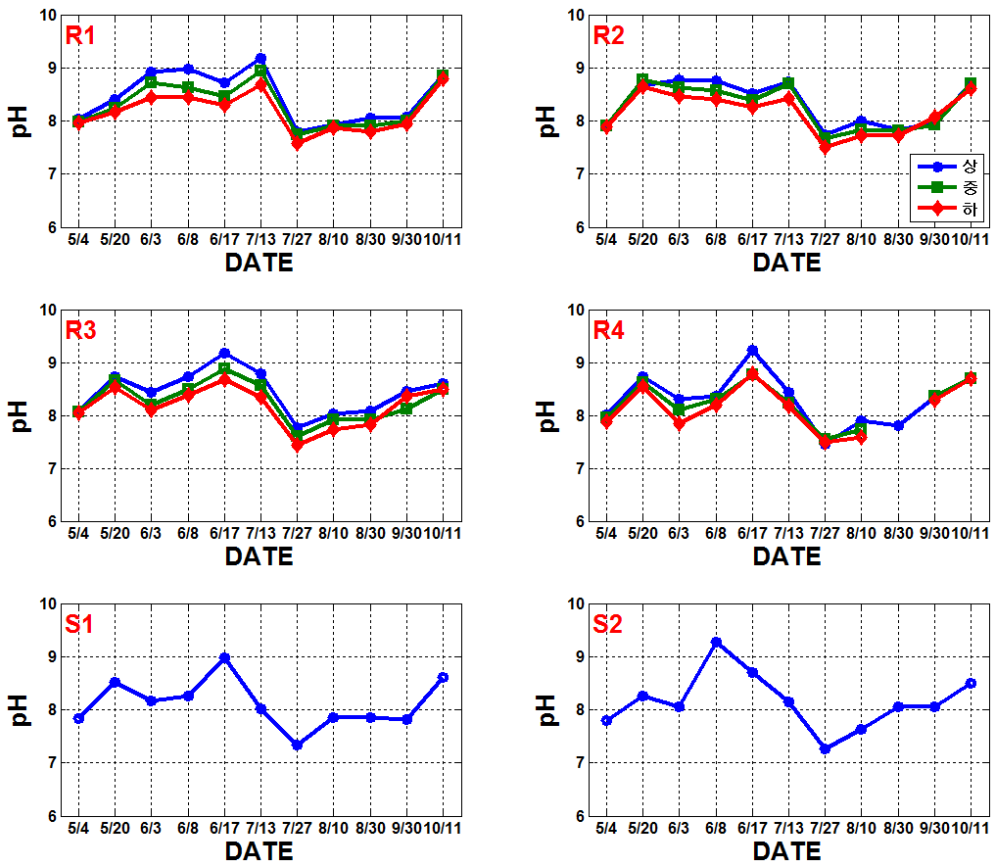
<그림 2-10> 매화저수지 호내 위치에 따른 EC

매화저수지 호내 위치별 상층, 중층, 하층에 대한 DO(mg/L)의 조사결과는 <그림 2-11>와 같다. 호내 위치별 상층의 DO 평균(범위)농도는 R1 7.9(2.5~12.1)mg/L, R2 8.6(5.1~12.8)mg/L, R3 8.7(5.2~14.8)mg/L, R4 9.2(4.2~13.9)mg/L로 나타났으며, 하층의 평균농도는 R1 3.5(0.6~9.7)mg/L, R2 4.2(0.1~10.2)mg/L, R3 3.4(0.1~10.2)mg/L, R4 6.2(2.8~11.0)mg/L로 나타났다. 상층과 하층간에 평균 4.3mg/L의 농도 차이를 보였으며, 외기 온도가 높이 올라가기 시작하는 6월에서 7월 중순 사이에 특히 큰 차이를 나타냈다. 또한 6월 초순부터 바닥층의 DO가 감소하기 시작하였으며, 7월초부터 8월 하순까지 바닥층 DO는 2mg/L 이내의 값을 보였다. 유입하천의 DO 평균농도는 S1 6.3(3.2~12.4)mg/L, S2 7.9(5.5~10.6)mg/L로 호내 중층의 DO농도와 유사한 값을 보였으며, 바닥층의 낮은 DO는 조류사멸, 유기물 분해, 퇴적물 SOD 등 내부요인에 의한 영향으로 판단된다.



<그림 2-11> 매화저수지 호내 위치에 따른 DO

매화저수지 호내 위치별 상층, 중층, 하층에 대한 pH의 조사결과는 <그림 2-12>와 같다. 호내 평균 pH는 지점별로 R1 8.3 (7.7~8.9), R2 8.3 (7.7~8.8), R3 8.3(7.6~8.9), R4 8.2(7.6~8.8)의 매우 유사한 값을 보여 위치에 따른 차이가 없는 것으로 나타났다. 유입하천은 S1 8.1(7.3~9.0), S2 8.16 (7.3~9.3)의 값을 나타내어 호내 pH와 거의 유사한 경향을 나타내었다.



<그림 2-12> 매화저수지 호내 위치에 따른 pH

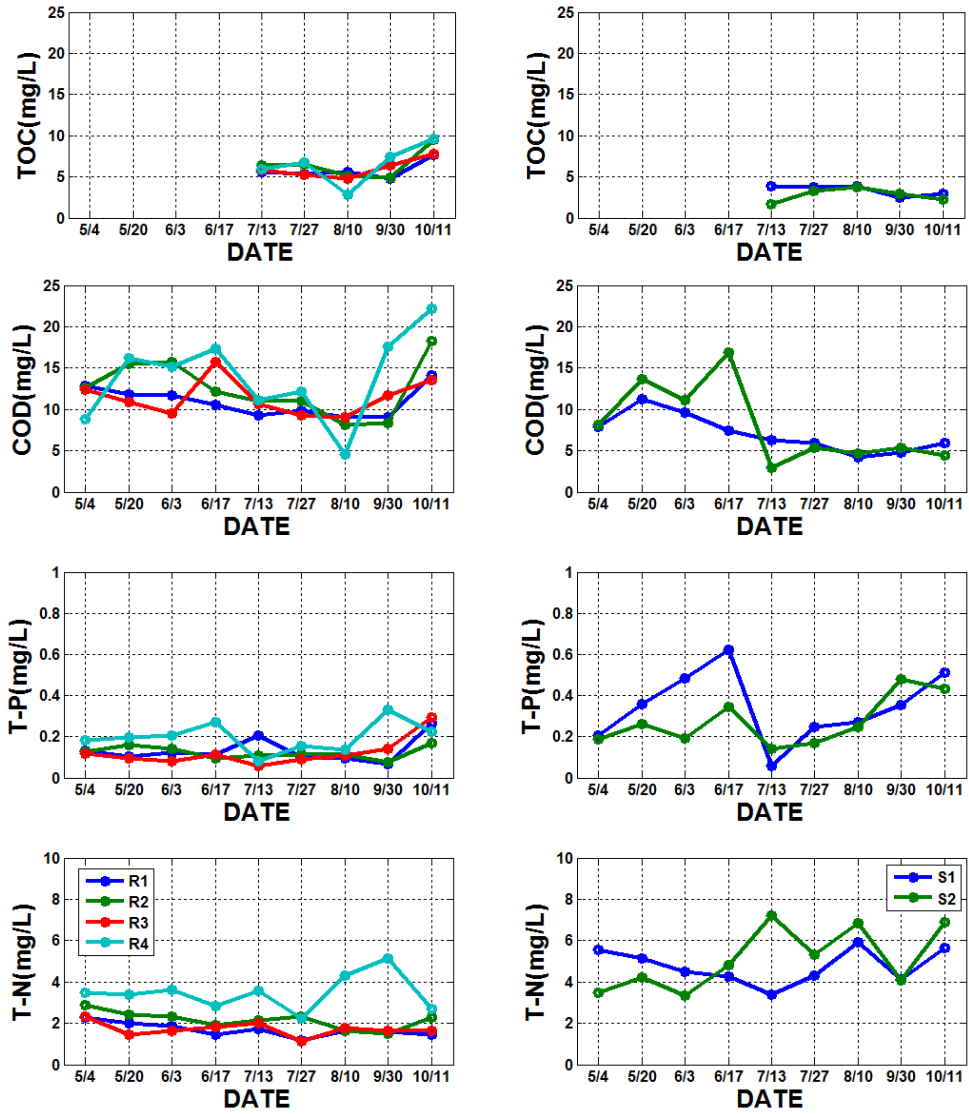
매화저수지 위치별 TOC, COD, T-N, T-P에 대한 분석결과를 <그림 2-13>에 나타내었다. 저수지 내 위치별 평균 TOC 농도는 R1 5.8 mg/L, R2 6.5 mg/L, R3 6.0 mg/L, R4 6.5 mg/L로 R2과 R4 지점에서 다소 높게 나타났으며, 유입하천의 평균 TOC 농도는 S1 3.4 mg/L, S2 2.8 mg/L로 호소 내 TOC 농도에 비해 약 50% 낮은 값을 나타내었다. 이러한 결과로부터 유입하천을 통해 저수지에 유입되는 유기물 농도보다 저수지 내부에서 자체적으로 생산되는 유기물 농도가 더 높다는 것을 알 수 있다.

저수지내 각 모니터링 지점별 평균 COD 농도는 R1 10.9 mg/L, R2 12.5 mg/L, R3 11.4 mg/L, R4 13.9 mg/L로 나타났으며, 유입지류의 평균 COD 농도는 S1 7.0 mg/L, S2 8.1 mg/L로 호내 COD 농도에 비해 낮은 값을 나타냈다. 유입지류와 인접한 R4 지점에서 타 지점에 비해 높은 COD 농도를 나타냈으며, 이는 홍수기에 유입되어 퇴적된 유기물로부터 기인한 외부부하의 원인으로 판단된다. 또한, 호내 COD 농도는 유입지류 농도에 비해 평균 2.8~6.9 mg/L 높은 것으로 나타나 외부 유입부하 이외에 호내에서 발생하는 내부발생 유기물부하의 영향이 상당히 큰 것으로 판단된다.

저수지 위치별 평균 T-N 농도는 R1 1.7 mg/L, R2 2.2 mg/L, R3 1.7 mg/L, R4 3.5 mg/L으로 유입지류의 영향을 받는 R4 지점을 제외한 호내 모니터링 지점에서 유사한 값을 보였다. 유입지류의 평균 T-N 농도는 S1 4.7 mg/L, S2 5.13 mg/L로 호내에 비해 2배 이상 상회하는 값을 나타냈다.

평균 T-P 농도는 지점별로 R1 0.134 mg/L, R2 0.123 mg/L, R3 0.122 mg/L, R4 0.198 mg/L로 나타났으며, 유입지류의 영향을 받는 R4 지점이 호내 다른 모니터링 지점에 비해 높은 농도를 보였다. 유입지류의 평균 T-P 농도는 S1 0.345 mg/L, S2 0.273 mg/L로 호내에 비해 오염도가 높은 것으로 나타났다. 9월 30일 이후 호내 COD, TOC, T-P 농도가 증가하는 추세를 보였으며, 이는 외기 기온이 낮아짐으로서 생기는 가을전도 현상으로 수체가 혼합되면서 바닥층 유기물 및 영양염류가 재부상된 것으로 판단된다.

호소 내 평균 COD 농도는 12.2 mg/L로 호소 COD 수질기준 8.0 mg/L을 초과한 수준을 보였다. 또한 평균 T-N 농도와 T-P농도는 각각 2.26 mg/L과 0.144 mg/L로 호소 수질기준인 1.0 mg/L과 0.1 mg/L를 초과하는 부영양화 상태이며, 수온과 광량 조건이 충족될 경우 조류가 대량 발생할 수 있는 상태이므로 수질개선을 위한 대책이 필요한 실정이다.



<그림 2-13> 매화저수지 호내 위치에 따른 수질(TOC, COD, TN, TP)

다. 매화저수지 수층에 따른 수질특성

매화저수지의 표층수와 심층수의 수질특성을 분석하기 위하여 저수지 대표지점을 선정하여 수온, pH, EC, DO에 대한 현장조사와 함께 실험실 분석을 실시하였다. 조사 위치는 <그림 2-14>와 같이 생태융합형 접촉산화시스템(수로식, 부도식)의 현장적용실험을 위해 시설을 설치한 위치에서 인접한 지점(M-1)과 S1 유입하천이 유입되는 지역과 인접해 유입수에 의해 영향을 받는 수역에 해당하는 지점(M-2) 및 저수지의 중앙에 해당하는 지점(M-3)을 선정하였다. 각 위치별로 표층수(수면~0.5m)와 심층수(퇴적층 상부 0.5m)에서 수온, pH, EC, DO 등에 대한 현장측정과 함께 COD, SS, TOC, TN, TP 등 실내분석을 위한 물 시료를 채수하였다. 수질 시료는 채수기를 이용하여 채수하였고, 폴리에틸렌 1L 시료통 3개에 가득 채워 분석실로 가져와 수질오염공정시험기준(환경부, 2016)에 준하여 실내분석을 실시하였다.



<그림 2-14> 매화저수지 수층별 수질특성 조사지점

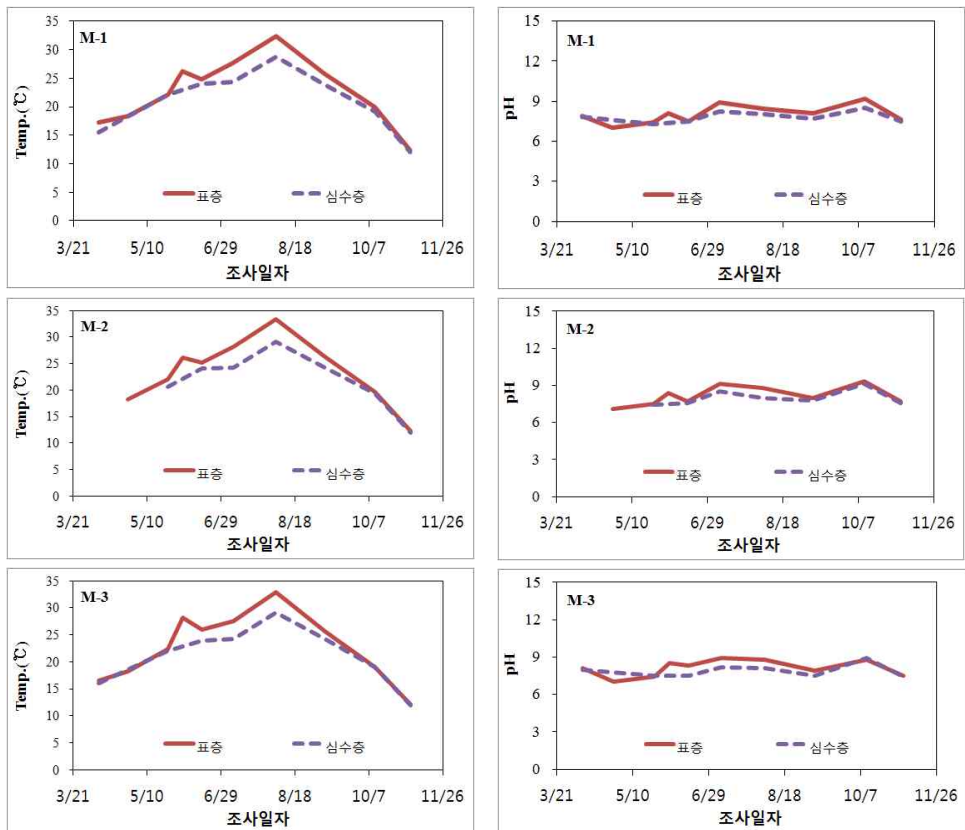


<그림 2-15> 매화저수지 수층별 수질조사 전경

<그림 2-16>는 매화저수지의 위치별 표층수와 심층수의 수온과 pH에 대한 결과를 나타낸 그래프이다. 수온은 M-1, M-2, M-3의 모든 위치에서 매우 유사한 경향으로 나타났다. 조사기간 동안의 M-1 지점의 표층수(평균 22.7°C, 12.3~32.4°C)와 심층수(평균 21.2°C, 12.1~28.8°C)의 평균 수온 차이는 1.5°C, 최대 3.9°C로 나타났다. 이러한 결과는 2015년도의 동일한 지점에서 조사했던 결과인 평균 1.5°C, 최대 3.4°C의 온도 차이 및 2016년도 충북대학교에서 조사한 결과인 평균 1.3°C, 최대 3.2°C와 거의 유사한 결과를 보여주었다. 또한, 이러한 결과는 2015년도에 충북대학교에서 유사한 지점에서 현장 연속모니터링 장치를 이용해 연속 측정했던 수온 측정결과(평균 1.4°C, 최대 5.0°C) 및 정밀조사 결과(평균 1.3°C, 최대 3.6°C)와도 거의 유사하였다.

M-2 지점에서의 표층수(평균 23.5°C, 12.3~33.4°C)와 심층수(평균 21.9°C, 11.9~29.1°C)의 평균 수온 차이는 1.6°C, 최대온도는 4.3°C의 차이를 보였으며, M-3 지점에서는 표층수(평균 22.8°C, 12.1~32.9°C), 심층수(평균 21.3°C, 12.0~29.1°C)의 평균 수온 차이가 1.5°C, 최대 3.8°C로 M-1 지점과 매우 유사한 결과를 보였다. M-2 지점에서 평균 수온 차이는 1.6°C, 최대온도는 4.3°C의 차이로 다른 지점에 비해 다소 차이가 크게 나타난 원인은 M-2지점은 유입수에 영향을 받는 지점으로 호소수보다 수온이 더 낮은 유입수가 호소수 하층으로 유입되기 때문으로 판단된다.

매화저수지 위치별 pH는 조사지점에 상관없이 표층수와 심층수에서 모두 유사한 경향으로 나타났다. M-1 지점의 표층수 평균 pH는 8.0(7.0~9.2)으로 나타났고, 심층수의 평균 pH는 7.8(7.3~8.5)으로 나타났으며, M-2에서는 표층수에서 평균 8.2(7.1~9.3), 심층수는 평균 8.0(7.4~9.1)이었고, M-3 지점에서는 표층수 평균 pH 8.1(7.0~8.9), 심층수 pH는 평균 7.9(7.4~8.9)로 나타났다. 표층수와 심층수의 평균 pH 차이는 조사 위치별로 M-1, M-2, M-3의 모든 지점에서 0.2로 나타났고, 표층수에 비해 심층수에서 0.2 정도 낮은 것으로 나타났다.



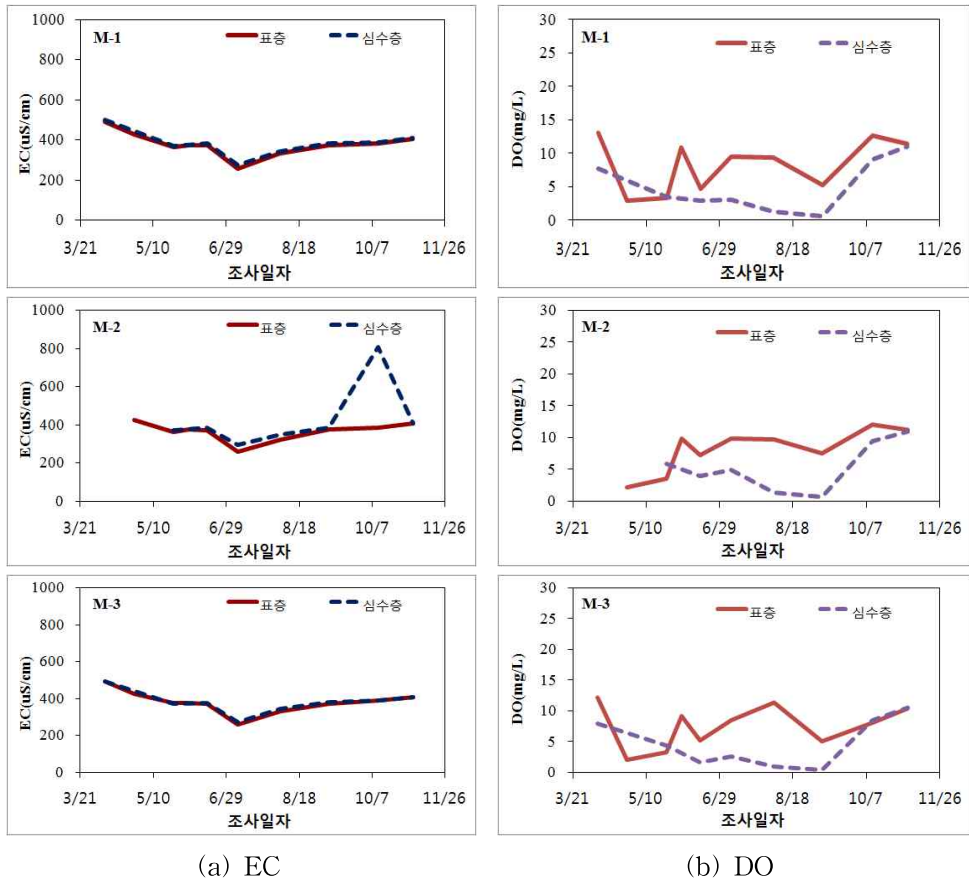
(a) 수온

(b) pH

<그림 2-16> 매화저수지 위치별 수층에 따른 수질현황(수온, pH)

매화저수지의 위치별 표층수와 심층수의 전기전도도(EC)와 용존산소(DO)에 대한 조사결과를 나타낸 그래프는 <그림 2-17>와 같다. 조사기간 동안의 전기전도도는 M-1 지점과 M-3 지점에서 표층수와 심층수 모두 동일한 경향으로 나타났고, M-1 지점의 표층수 EC는 평균 $378.2 \mu\text{s}/\text{cm}$ ($258.0 \sim 489.0 \mu\text{s}/\text{cm}$) 이었고, 심층수는 평균 $381.4 \mu\text{s}/\text{cm}$ ($276.0 \sim 499.0 \mu\text{s}/\text{cm}$)으로 표층수와 심층수에 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 동일한 지점에서의 2015년도 조사결과와 비교해보면 2015년도의 표층수 $357.0 \sim 932.0 \mu\text{s}/\text{cm}$ (평균 $511.0 \mu\text{s}/\text{cm}$)에 비해서는 평균값과 최대값이 각각 $132.8 \mu\text{s}/\text{cm}$, $443.0 \mu\text{s}/\text{cm}$ 정도 감소한 것으로 나타났고, 심층수 $308.0 \sim 437.0 \mu\text{s}/\text{cm}$ (평균 $394.3 \mu\text{s}/\text{cm}$)과 비교해서는 거의 유사한 결과로 나타났다. M-3 지점의 표층수에서 평균 EC는 $380.0 \mu\text{s}/\text{cm}$ ($259.0 \sim 493.0 \mu\text{s}/\text{cm}$)로 나타났고, 심

층수의 평균 EC는 $378.8 \mu\text{S/cm}$ ($272.0 \sim 492.0 \mu\text{S/cm}$)으로 나타나 다른 지점들과 마찬가지로 표층수와 심층수간에 차이가 거의 없었다.



<그림 2-17> 매화저수지 위치별 수층에 따른 수질현황(EC, DO)

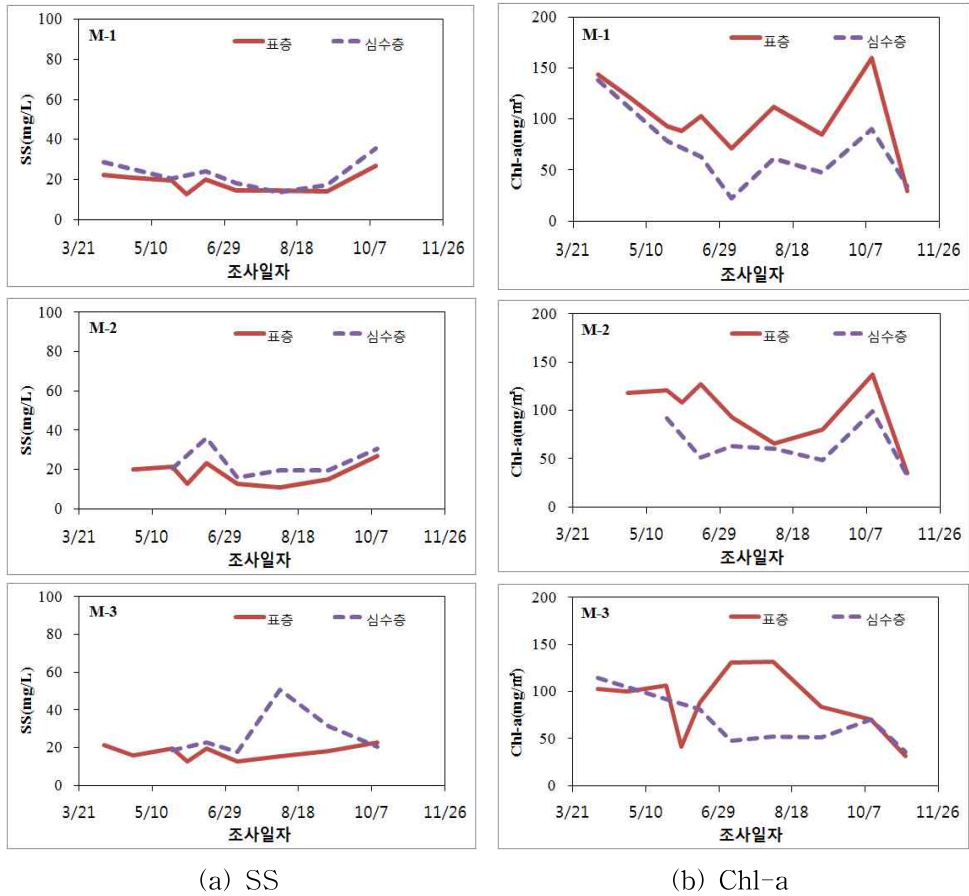
조사 위치별 DO 농도는 모든 위치에서 비슷한 경향을 보였으며, M-1 지점에서는 표층수 DO가 평균 8.3 mg/L ($3.0 \sim 13.1 \text{ mg/L}$), 심층수 평균 DO는 4.9 mg/L ($0.6 \sim 11.1 \text{ mg/L}$)으로 표층수와 심층수간 평균 3.4 mg/L , 최대 8.0 mg/L 의 차이를 나타냈고, 심층수의 DO는 5월부터 감소하기 시작하여 8~9월 초에 가장 낮은 DO 농도를 나타내었다. M-2 지점에서의 DO는 표층수에서 평균 8.1 mg/L ($2.2 \sim 12.0 \text{ mg/L}$), 심층수에서 평균 5.3 mg/L ($0.6 \sim 10.9 \text{ mg/L}$)으로 평균 2.8 mg/L , 최대 8.3 mg/L 의 차이를 보였고, 8~9월 초에는 심층수의 DO 농도가 $0.6 \sim 1.4 \text{ mg/L}$ 까지 감소하는 것으로 나타났다.

2015년도 M-1과 동일한 지점에서의 조사결과는 표층수에서 2.4~12.4 mg/L(평균 6.8 mg/L), 심층수에서 0.1~9.6 mg/L(평균 4.2 mg/L)으로 나타나 표층수와 심층수의 차이가 평균 2.6 mg/L, 최대 8.0 mg/L을 나타내었다. 이러한 DO 농도 차이는 10월 초순부터 전도현상에 의해 표층수와 심층수의 수질 차이가 점점 없어지는 것으로 나타났다.

매화저수지의 위치별 표층수와 심층수의 부유물질(SS) 및 클로로필(Chl-a)에 대한 조사결과를 나타낸 그래프는 <그림 2-18>과 같다. 조사 기간 동안의 SS 농도는 M-1, M-2, M-3 모든 지점에서 표층수에 비해 심층수에서 더 높은 농도로 나타났고, 특히 M-3 지점의 8월 5일 조사에서 심층수의 SS 농도가 50.5 mg/L으로 표층수의 15.6 mg/L에 비해 매우 높은 농도를 나타내었다. 이러한 원인은 8월 초 중간낙수 이후 농경지에 물을 관개하기 위해 저수지의 물을 일시에 대량으로 배출시켜 수심이 매우 낮아진 상태에서 강우가 있었으며, 또한 이 시기는 심층의 DO가 거의 1.0 mg/L 이하로 감소하여 퇴적층에 무산소 상태를 가져왔고, 이로 인해 퇴적층 오염물질 용출이 활발하게 일어났던 영향으로 판단된다.

지점별 평균 SS 농도는 M-1의 표층수는 18.3 mg/L, 심층수는 22.5 mg/L, M-2 지점의 표층수는 17.8 mg/L, 심층수 23.6 mg/L, M-3 지점의 표층수는 17.5 mg/L, 심층수 37.9 mg/L으로 나타나 M-1 지점과 M-2 지점에서는 유사하였고, M-3 지점에서 표층수와 심층수의 차이가 가장 크게 나타났다.

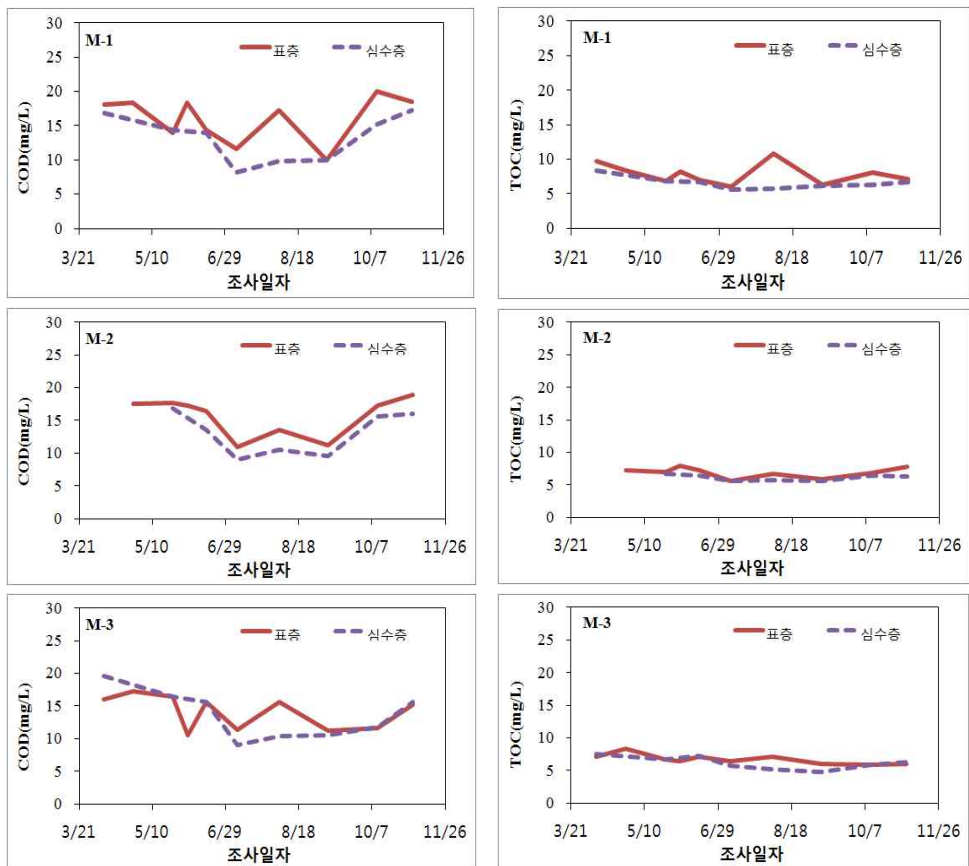
식물성플랑크톤의 지표인 Chl-a는 M-1 지점의 표층수에서 29.3~160.1 mg/m³(평균 100.8 mg/m³), 심층수에서 22.4~137.7 mg/m³(평균 66.9 mg/m³)으로 나타났고, M-2 지점에서는 표층수 34.7~137.3 mg/m³(평균 98.4 mg/m³), 심층수 32.0~99.4 mg/m³(평균 63.8 mg/m³), M-3 지점에서는 표층수 31.0~131.8 mg/m³(평균 88.6 mg/m³), 심층수 36.0~114.5 mg/m³(평균 68.1 mg/m³)으로 표층수에서는 M-2, M-3 지점에 비해 M-1에서 다소 낮은 농도를 보였고, 심층수에서는 지점별로 차이가 없는 것으로 나타났다.



<그림 2-18> 매화저수지 위치별 수층에 따른 수질현황(SS, Chl-a)

매화저수지의 위치별 표층수와 심층수의 유기물 오염지표인 COD와 TOC에 대한 조사결과를 나타낸 그래프는 <그림 2-19>과 같다. 조사기간 동안의 지점별 COD 농도는 M-1 지점의 표층수에서 10.0~20.1 mg/L (평균 16.1 mg/L), 심층수에서 8.2~17.3 mg/L(평균 13.2 mg/L)으로 표층수는 2015년도 조사결과인 10.6~19.2 mg/L(평균 16.5 mg/L)와 유사한 결과를 보였고, 심층수는 10.8~19.3 mg/L(평균 16.4 mg/L)에 비해 농도가 다소 감소한 것으로 나타났다. M-2 지점의 표층수는 11.0~18.9 mg/L(평균 15.6 mg/L), 심층수에서 9.0~16.8 mg/L(평균 13.0 mg/L)으로 나타났고, M-3 지점에서는 표층수 10.6~17.2 mg/L(평균 14.1 mg/L), 심층수에서 9.0~19.6 mg/L(평균 13.6 mg/L)으로 나타나 위치에 따른 차이는 거의 없었다.

조사기간 동안의 지점별 TOC 농도는 위치에 따른 차이는 거의 없었으며, 모든 지점에서 표층수가 심층수에 비해 약간 높은 농도를 보였다. M-1 지점의 표층수에서 6.0~10.8 mg/L(평균 7.8 mg/L), 심층수에서 5.6~8.3 mg/L(평균 6.5 mg/L)으로 표층수와 심층수의 차이가 평균 1.3 mg/L를 나타냈다. M-2 지점의 표층수는 5.6~7.9 mg/L(평균 6.9 mg/L)이고, 심층수에서는 5.6~6.7 mg/L(평균 6.1 mg/L)으로 나타났고, M-3 지점에서는 표층수에서 5.9~8.4 mg/L(평균 6.7 mg/L), 심층수에서 4.7~7.5 mg/L(평균 6.1 mg/L)으로 나타나 표층수와 심층수에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

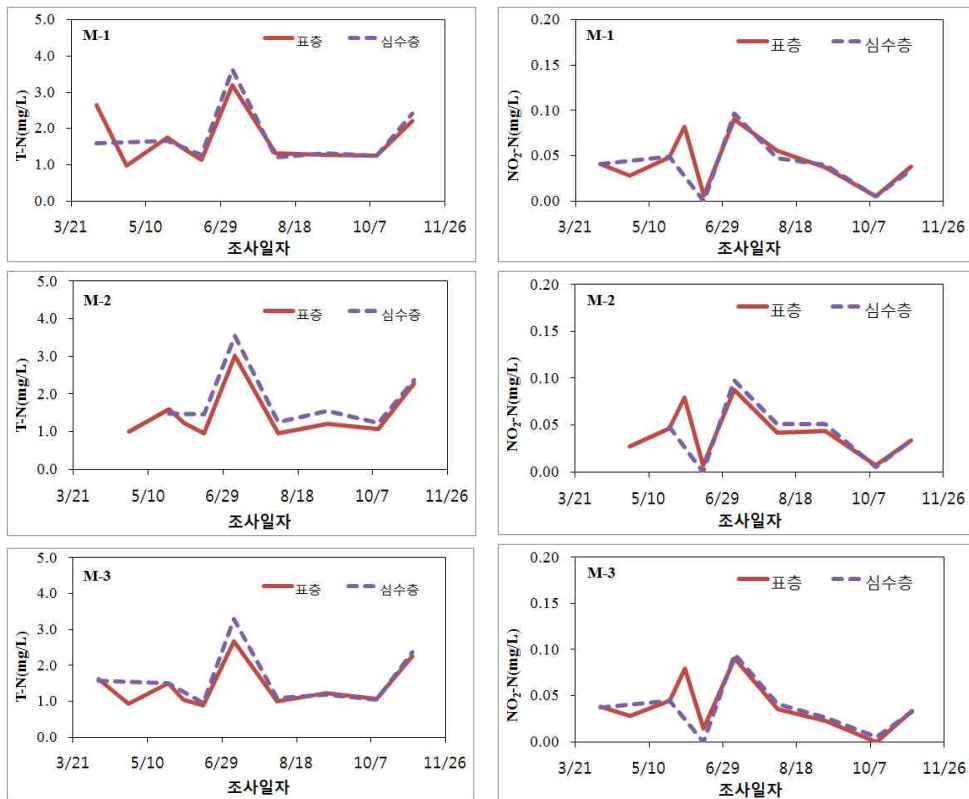


(a) COD

(b) TOC

<그림 2-19> 매화저수지 위치별 수층에 따른 수질현황(COD, TOC)

매화저수지의 위치별 표층수와 심층수의 TN 및 NO₂-N에 대한 조사 결과를 나타낸 그래프는 <그림 2-20>과 같다. 조사기간 동안의 TN 농도는 M-1, M-2, M-3 위치에 상관없이 모두 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 각 조사 위치별 TN 농도는 M-1 지점의 표층수에서 0.978~3.201 mg/L(평균 1.724 mg/L), 심층수에서 1.199~3.626 mg/L(평균 1.791 mg/L)으로 나타났고, M-2 지점의 표층수는 0.949~3.025 mg/L(평균 1.480 mg/L), 심층수에서 1.229~3.545 mg/L(평균 1.845 mg/L)으로 나타났다. M-3 지점에서는 표층수 0.895~2.676 mg/L(평균 1.420 mg/L), 심층수에서 0.956~3.291 mg/L(평균 1.627 mg/L)으로 모든 기간 동안 심층수에서 표층수보다 높게 나타났다.



(a) TN

(b) NO₂-N

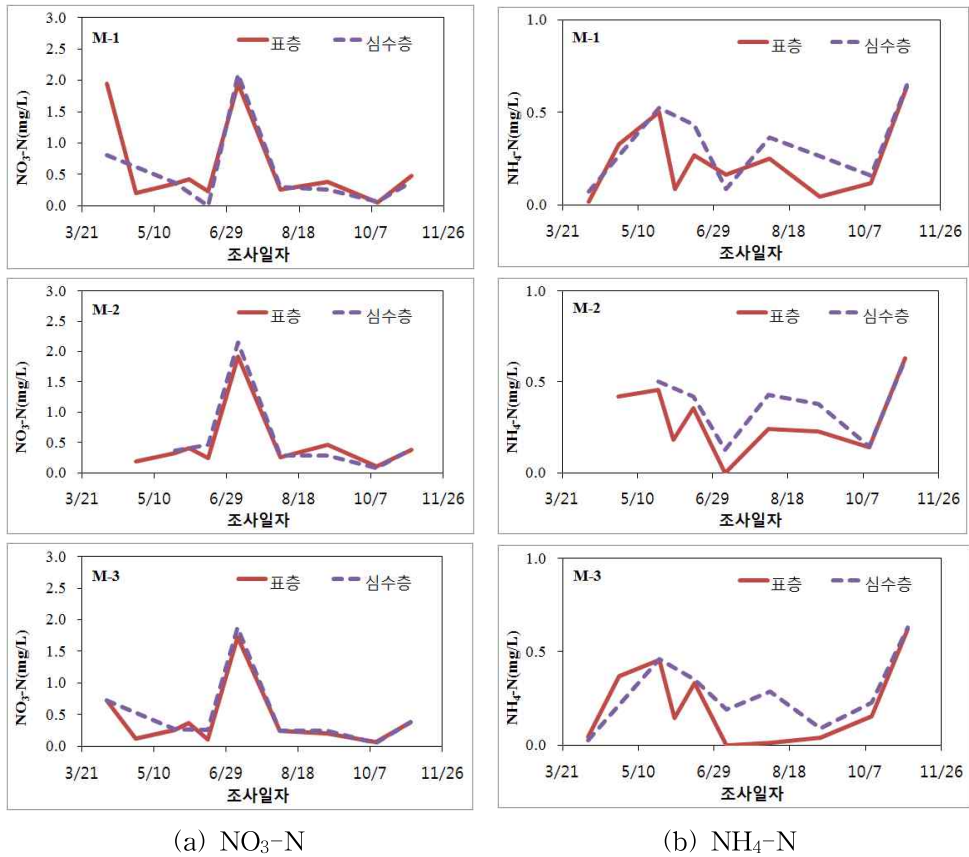
<그림 2-20> 매화저수지 위치별 수층에 따른 수질현황(TN, NO₂-N)

매화저수지의 $\text{NO}_2\text{-N}$ 농도는 M-1, M-2, M-3 위치에 상관없이 모두 유사한 경향을 나타내었다. 각 조사 위치별 $\text{NO}_2\text{-N}$ 농도는 M-1 지점의 표층수에서 0.005~0.090 mg/L(평균 0.043 mg/L), 심층수에서 0.005~0.097 mg/L(평균 0.045 mg/L)로 나타났고, M-2 지점에서는 표층수에서 0.007~0.088 mg/L(평균 0.042 mg/L), 심층수에서 0.005~0.098 mg/L(평균 0.048 mg/L), M-3 지점에서는 표층수에서 0.014~0.090 mg/L(평균 0.043 mg/L), 심층수에서 0.005~0.095 mg/L(평균 0.040 mg/L)으로 모든 조사 위치에서 비슷한 농도를 보였으며, 수층에 따른 차이도 거의 없는 것으로 나타났다.

매화저수지의 위치별 표층수와 심층수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 에 대한 조사결과를 나타낸 그래프는 <그림 2-21>과 같다.

매화저수지의 위치별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 M-1, M-2, M-3 위치에 상관없이 모두 유사한 경향을 나타내고 있다. 각 조사 위치별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 M-1 지점의 표층수에서 0.051~1.954 mg/L(평균 0.629 mg/L), 심층수에서 0.064~2.104 mg/L(평균 0.611 mg/L)로 나타났고, M-2 지점에서는 표층수에서 0.107~1.913 mg/L(평균 0.477 mg/L), 심층수에서 0.073~2.159 mg/L(평균 0.573 mg/L), M-3 지점에서는 표층수에서 0.053~1.723 mg/L(평균 0.419 mg/L), 심층수에서 0.053~1.880 mg/L(평균 0.507 mg/L)으로 수층에 따른 차이도 거의 없는 것으로 나타났다.

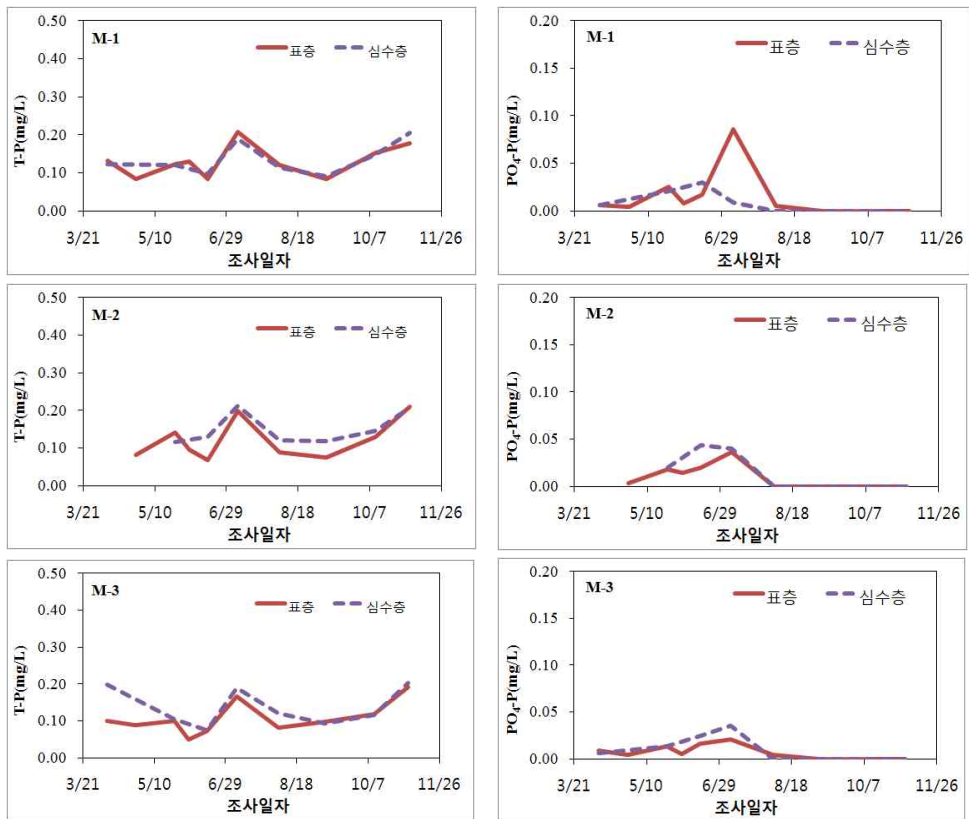
매화저수지의 위치별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 M-1, M-2, M-3 위치에 따라 각각 다른 특성을 나타내고 있다. M-1 지점에서는 5~6월과 8~9월에 심층수에서 표층수보다 농도가 높게 나타나고 있으며, 표층수에서는 0.016~0.639 mg/L(평균 0.241 mg/L), 심층수에서 0.070~0.648 mg/L(평균 0.318 mg/L)로 심층수에서 표층수보다 평균 0.077 mg/L 더 높은 농도로 나타났다. M-2 지점에서는 표층수에서 0.142~0.629 mg/L(평균 0.332 mg/L), 심층수에서 0.129~0.619 mg/L(평균 0.374 mg/L)으로 심층수에서 표층수보다 평균 0.042 mg/L, 최대 0.188 mg/L까지 더 높은 농도로 나타났다. M-3 지점에서는 표층수에서 0.011~0.619 mg/L(평균 0.241 mg/L), 심층수에서 0.024~0.630 mg/L(평균 0.283 mg/L)으로 심층수에서 표층수보다 평균 0.042 mg/L 높았고, 8월에는 최대 0.275 mg/L까지 더 높게 나타났다. 이러한 원인은 수질오염도가 높은 시기인 6~8월에 저수지 바닥층의 DO 결핍으로 인한 혐기성상태에서의 오염물질 환원반응으로 질산성 이온이 암모니아성 이온으로 환원되었기 때문으로 판단된다.



<그림 2-21> 매화저수지 위치별 수층에 따른 수질현황(NO₃-N, NH₄-N)

매화저수지의 위치별 표층수와 심층수의 TP 및 PO₄-P에 대한 조사결과를 나타낸 그래프는 <그림 2-22>와 같다. 매화저수지의 위치별 TP 농도는 M-1, M-2, M-3 위치에 상관없이 조사 시기에 따라 유사한 경향을 나타내고 있으며, M-1 지점에서는 표층수와 심층수의 농도가 거의 유사했으며, M-2와 M-3 지점에서는 심층수가 표층수에 비해 다소 높게 나타나고 있다. M-1 지점에서의 평균 TP 농도는 표층수에서 0.130 mg/L, 심층수에서 0.136 mg/L로 거의 유사한 농도였으며, M-2 지점에서의 표층수는 0.121 mg/L, 심층수 0.150 mg/L로 나타났고, M-3 지점에서는 표층수 0.107 mg/L, 심층수 0.138 mg/L으로 나타나 M-2 지점과 M-3 지점의 심층수는 표층수보다 각각 0.029 mg/L, 0.031 mg/L 더 높게 나타났다.

매화저수지의 위치별 $PO_4\text{-P}$ 농도는 8월 5일 조사부터 계속 불검출로 나타났고, 농도가 측정된 시기에서는 표층수에 비해 심층수의 농도가 더 높은 것으로 나타났다. M-1 지점의 표층수에서는 불검출~0.086 mg/L, 심층수에서는 불검출~0.030 mg/L로 나타났고, M-2 지점의 표층수는 불검출~0.036 mg/L, 심층수는 불검출~0.044 mg/L로, M-3 지점의 표층수에서는 불검출~0.021 mg/L, 심층수에서는 불검출~0.035 mg/L로 나타났다.



(a) TP

(b) $PO_4\text{-P}$

<그림 2-22> 매화저수지 위치별 수층에 따른 수질현황(TP, $PO_4\text{-P}$)

매화저수지 수층(표층, 심층)에 따른 수질조사 결과, SS, TN, $NO_2\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$, TP, $PO_4\text{-P}$ 농도는 모두 표층보다 심층에서 오염도가 더 높게 나타났으며, 이러한 결과로부터 호저 퇴적층에서 오염물질의 용출이 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있다. 매화저수지는 1941년도에 설치된 저수지

로 준공된 지 70년 이상 된 아주 노후화된 저수지이다. 오염물질의 오랜 퇴적으로 인해 퇴적층의 두께가 상당할 것으로 예측되며, 퇴적물에 대한 관리 없이는 저수지의 수질개선이 어려울 것으로 판단된다. 또한, 매화저수지는 전체적으로 수심이 약 2m 내외인 저류지 형태의 저수지로서 저수지 만수면적 2/3 이상을 수생식물인 마름이 덮고 있는 저수지이다. 매화저수지의 전체적인 수질은 연중 유기물, TN, TP 등 수질오염도가 높고, 수질기준으로 등급 외에 해당되는 저수지이다. 특히, 하절기 강우기를 지나면서 SS 농도가 높게 증가하는 경향을 보이고, 겨울철이 되면서 저수지를 덮고 있는 마름이 고사되면서 유기물을 분해하고, 또한 유기물을 분해하면서 산소를 소모하여 일시적으로 COD, TP, Chl-a 농도가 높이 올라가는 현상이 발생하며, 다음 해 봄철이 되면서 전도현상과 함께 바닥에 있던 오염물질이 표층으로 올라오면서 전체적으로 수질을 악화시키는 수질특성을 보이는 것으로 나타났다.

(표 2-5) 매화저수지 조사지점별 표층과 심층의 수질현황

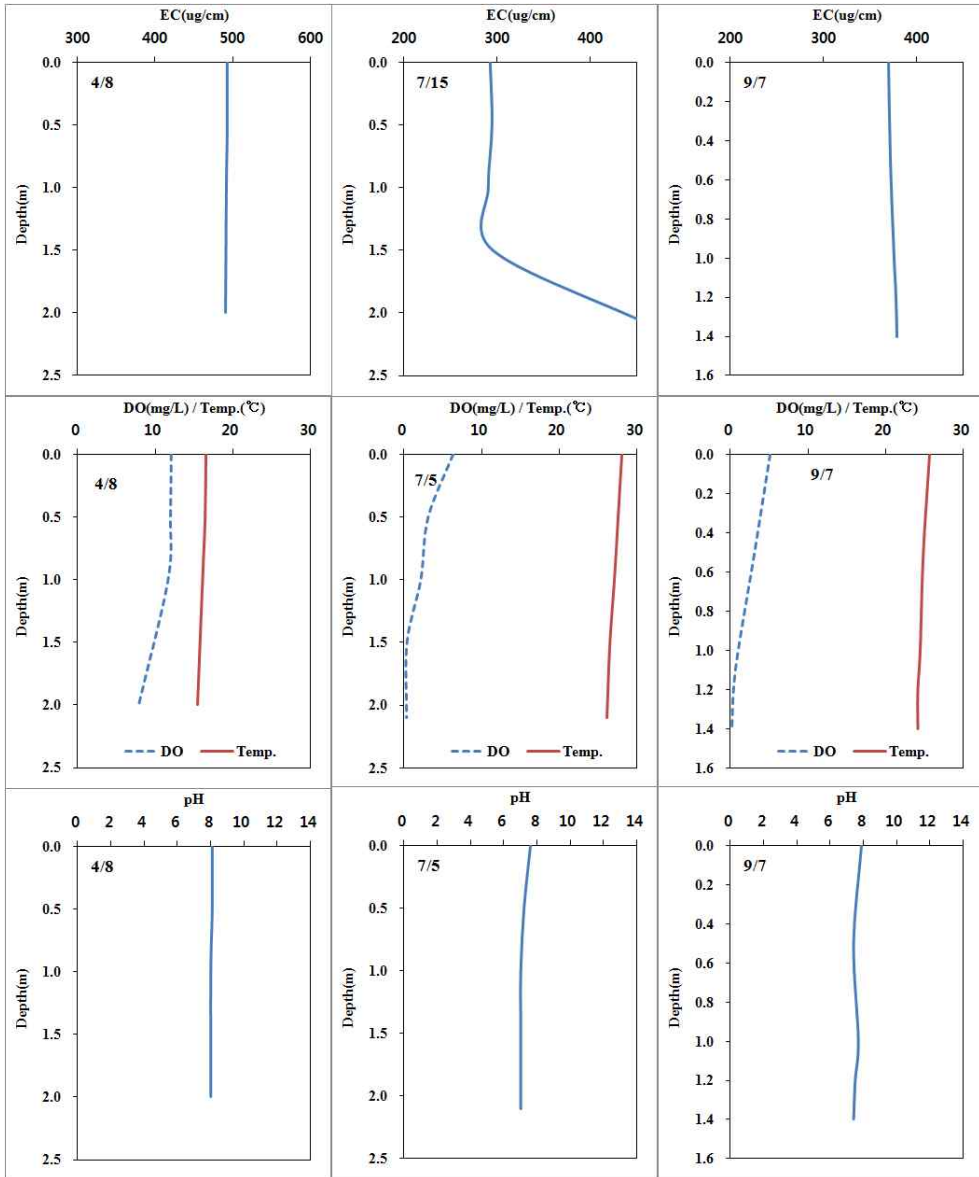
구 분		수온	pH	EC	DO	COD	chl-a	SS	TOC	TN	TP
M-1 (표층)	Avg.	22.7	8.0	378.2	8.3	16.1	100.8	18.3	7.8	1.724	0.130
	Max	32.4	9.2	489.0	13.1	20.1	160.1	26.7	10.8	3.201	0.207
	Min	12.3	7.0	258.0	3.0	10.0	29.3	12.7	6.0	0.978	0.085
	S.D	5.9	0.7	59.9	3.9	3.4	37.2	4.6	1.5	0.732	0.041
M-1 (심층)	Avg.	21.2	7.8	381.4	4.9	13.2	66.9	22.5	6.5	1.791	0.136
	Max	28.8	8.5	499.0	11.1	17.3	137.7	35.3	8.3	3.626	0.206
	Min	12.1	7.3	276.0	0.6	8.2	22.4	13.3	5.6	1.199	0.090
	S.D	5.4	0.4	62.4	3.9	3.4	36.3	7.5	0.8	0.840	0.042
M-2 (표층)	Avg.	23.5	8.2	365.3	8.1	15.6	98.4	17.8	6.9	1.480	0.121
	Max	33.4	9.3	426.0	12.0	18.9	137.3	26.7	7.9	3.025	0.211
	Min	12.3	7.1	260.0	2.2	11.0	34.7	10.7	5.6	0.949	0.068
	S.D	6.2	0.8	48.5	3.4	2.9	33.3	5.8	0.8	0.719	0.054
M-2 (심층)	Avg.	21.9	8.0	428.4	5.3	13.0	63.8	23.6	6.1	1.845	0.150
	Max	29.1	9.1	806.0	10.9	16.8	99.4	36.0	6.7	3.545	0.212
	Min	11.9	7.4	294.0	0.6	9.0	32.0	16.0	5.6	1.229	0.115
	S.D	5.4	0.6	170.4	3.8	3.3	24.2	7.8	0.4	0.843	0.042
M-3 (표층)	Avg.	22.8	8.1	380.0	7.5	14.1	88.6	17.5	6.7	1.420	0.107
	Max	32.9	8.9	493.0	12.1	17.2	131.8	22.7	8.4	2.676	0.192
	Min	12.1	7.0	259.0	2.1	10.6	31.0	12.7	5.9	0.895	0.050
	S.D	6.3	0.7	60.8	3.5	2.5	33.7	3.6	0.7	0.607	0.043
M-3 (심층)	Avg.	21.3	7.9	378.8	4.6	13.6	68.1	37.9	6.1	1.627	0.138
	Max	29.1	8.9	492.0	10.6	19.6	114.5	104.0	7.6	3.291	0.204
	Min	12.0	7.4	272.0	0.4	9.0	36.0	17.7	4.7	0.956	0.074
	S.D	5.4	0.5	61.5	3.9	3.7	26.4	31.3	0.9	0.811	0.051

라. 저수지 수심에 따른 DO, 수온, pH, EC

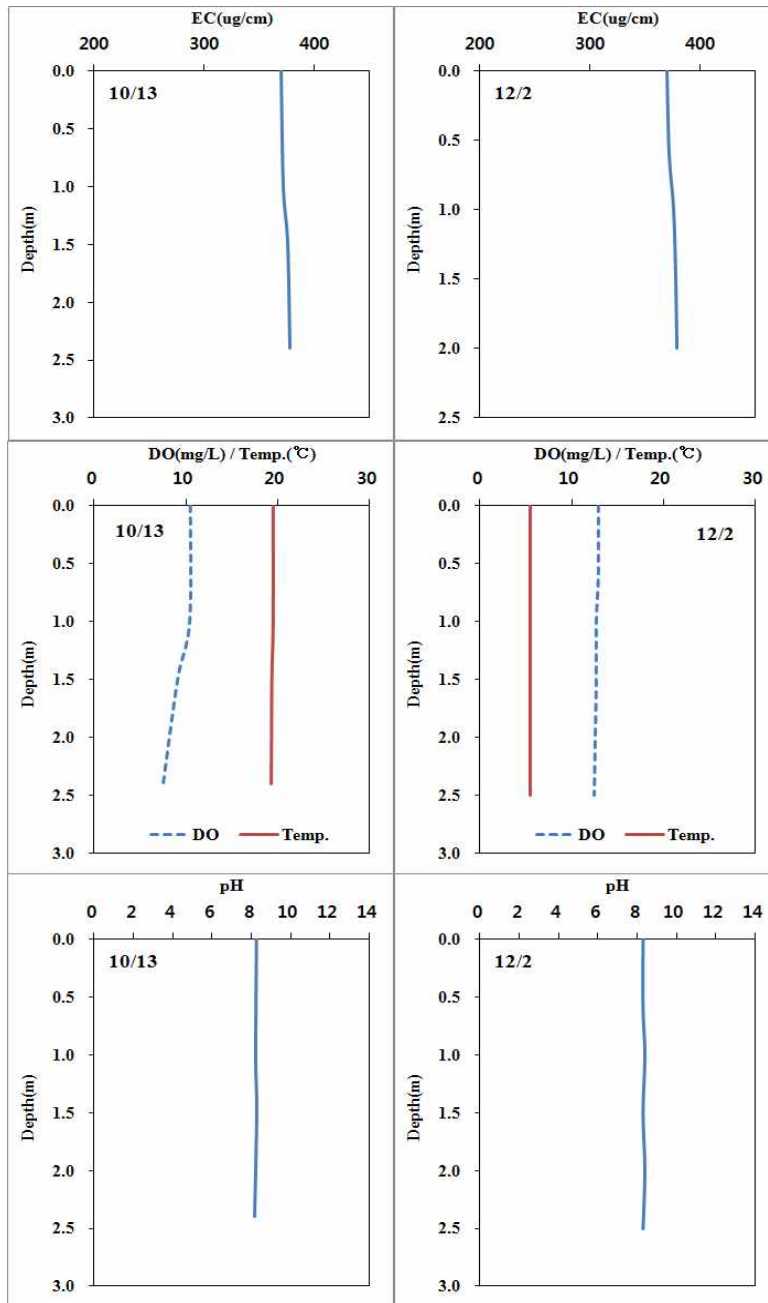
매화저수지의 시기별 수질 동적변화를 보기 위하여 M-3 지점에서 표층에서부터 호소 바닥으로 수심 0.5m 간격으로 수온, pH, EC, DO를 측정하였고, 그 결과를 <그림 2-23>에 나타내었다.

4월 8일자 조사에서는 전 수심에 걸쳐 수온, pH, EC가 거의 동일한 측정값을 보였고, DO 농도도 수심 1.0m까지는 거의 변화가 없다가 저수지 바닥에 거의 가까운 수심 2.0m에서 약 8.0 mg/L로 감소하였다. 이 시기는 봄철 전도현상이 일어나서 바닥층 물이 표층으로 올라오고 표층 물이 바닥 층으로 내려가 물이 혼합되어지는 시기이며, 퇴적층 오염물질이 많은 매화저수지는 이 시기에 수질이 가장 악화되기도 한다. 7월 15일자 조사에서는 여름철 성층이 일어나는 시기로 수심 1.5m 이상에서 EC가 296 $\mu\text{s/cm}$ 에서 466 $\mu\text{s/cm}$ 으로 급격하게 증가하고 있으며, DO 또한 수심에 따라 감소하기 시작하여 표층에서 6.3 mg/L을 보이다가 1.0m 지점에서 2.1 mg/L로 큰 폭으로 감소하였고, 1.5m 지점부터는 0.3 mg/L 이하로 거의 무산소 상태를 보여주고 있다. 9월 7일자 조사에서는 가을전도가 시작되는 시점으로 수심에 따라 EC는 조금씩 증가, 수온은 조금씩 감소하였고, DO는 수심에 따라 단계적으로 감소하는 경향으로 수심 1.0m에서는 1.0 mg/L을 보였고, 수심 1.5m 이상에서는 거의 무산소에 가까운 혐기성 상태를 나타내고 있다. 10월 13일자 조사에서는 가을철 전도현상으로 인해 수심에 따른 수질이 거의 일정하였고, DO는 수심 1.5m 이상부터 조금 감소하는 모습을 보여 4월 8일자 조사결과와 매우 유사한 경향을 보였다.

12월 2일자 조사에서는 전 수심에 걸쳐 수온은 5.5°C, pH는 8.3~8.4, EC는 421.0~423.0 $\mu\text{s/cm}$, DO 12.5~12.9 mg/L를 나타냈다. 2014년부터 2016년까지 3개년의 조사결과를 종합해보면 매화저수지는 수심이 2m 이하인 아주 작은 수체로서 여름철 성층현상은 뚜렷하게 나타나고 있는 반면에 겨울철 성층현상은 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 봄철 및 가을철 전도현상이 발생하여 수심에 따른 수질차이가 거의 발생하지 않았으나 특히, 이른 봄철에 바닥에 고사되었던 마름 등이 분해되어 쌓여 있던 유기물질 등이 수체순환과 함께 표층으로 올라와 수색이 갈색으로 바뀌고 COD, SS 등 수질오염도가 매우 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 수생식물이 호소를 덮고 있는 저수지는 전국에 많이 분포하고 있으며, 이러한 저수지는 가을철 식생관리가 특별히 요구되어진다.



<그림 2-23> 매화저수지 수심에 따른 EC, DO, 수온, pH



<그림 2-23> 매화저수지 수심에 따른 EC, DO, 수온, pH(계속)

마. 매화저수지의 중금속 등

매화저수지의 표층수와 심층수에 대한 중금속 등 미량금속물질의 오염도를 조사하기 위하여 4월 8일과 5월 24일에 지점별로 조사하여 분석한 결과는 (표 2-6)과 같다. Cl⁻ 농도는 표층수에서 67.1~67.6 mg/L, 심층수에서 66.4~67.5 mg/L로 지점과 수층에 거의 상관없이 유사한 농도를 보이고 있고, Cu는 4월 8일 조사에서는 불검출로 나타났고, 5월 24일자 조사에서는 모든 지점에서 0.002~0.003 mg/L로 아주 소량이 검출되었으며, 지점 및 수층에 따른 차이가 없는 것으로 나타났다.

그 밖의 Pb, Cd, As, Hg, Cr⁶⁺는 2회 조사하였던 모든 지점에서 모두 불검출로 나타나 현행 환경법의 호소 수질환경기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다. As는 미국 환경청(US EPA)에서 발암물질 A 등급으로, Cd 및 Pb는 발암물질 B등급으로 분류되어 있는 물질이다(US EPA, 1999).

매화저수지에 대해서 2014년부터 2016년까지 조사한 결과 매화저수지는 중금속 등의 독성물질에 의한 오염은 없는 것으로 나타났다.

(표 2-6) 매화저수지의 중금속 등 오염현황

구분	조사일자	지점	Cl ⁻ (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)
표층수	4/8	M-1	67.1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
		M-3	67.6	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	5/24	M-1	-	0.002	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
		M-2	-	0.002	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
		M-3	-	0.002	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
심층수	4/8	M-1	67.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
		M-3	66.4	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	5/24	M-1	-	0.003	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
		M-2	-	0.003	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
		M-3	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
수질환경기준					0.05 이하	0.005 이하	0.05 이하	불검출	불검출

비고) N.D : Not Detected

2. 유입하천 수질현황

가. 유입하천 수질조사 방법

매화저수지의 주요 유입하천은 2개소인데, 유입하천-1(S1) 지점은 시흥시 금이동 유역에서 들어오는 하천이고, 유입하천-2(S2) 지점은 시흥시 도창동 유역 일부와 금이동 유역에서 들어오는 소하천이다. 유입하천에 대한 수질현황을 파악하기 위하여 유입하천 2개소에 대해 2016년 4월부터 12월까지 저수지 수질조사와 동일한 일자에 월 1~2회 수질조사를 실시하였다. 수온, pH, EC, DO 등은 현장에서 YSI 수질측정 장비를 이용하여 측정하였고, COD, SS, TOC, TN, TP 등 기타항목은 물 시료를 폴리에틸렌 1L 시료통에 채수하여 분석실로 가져와 수질오염공정시험기준(환경부, 2016)에 준하여 실내분석을 실시하였다.



<그림 2-24> 유입하천 수질조사 전경

나. 유입하천 수질조사 결과

유입하천에 대한 수질조사 결과 수질항목별 최대치, 최소치, 평균치, 표준편차에 대해 (표 2-7)에 정리하였고, 수질항목별 조사일자에 따른 수질현황은 <그림 2-25>~<그림 2-29>에 나타내었다.

현장 측정항목인 수온, pH, EC, DO에 대한 조사결과, 조사기간 동안의 수온은 유입하천-1에서는 13.9~25.1℃(평균 19.1℃), 유입하천-2에서는 13.5~26.3℃(평균 19.3℃)로 나타나 두 하천 간에 수온의 차이는 거의 없었고, 저수지의 표층 수온(평균 23℃) 및 심층 수온(평균 21.5℃)에 비해서는 다소 낮게 나타났다. pH는 유입하천-1에서는 6.4~8.0(평균 7.5)으로 나타났고, 유입하천-2는 6.3~8.4(평균 7.6)으로 나타나 거의 유사하였다. EC는 유입하천-1에서는 283~595.0 μ s/cm(평균 477.3 μ s/cm)으로 나타났고,

유입하천-2에서는 240.0~634.0 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (평균 480.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$)로 측정되어 두 하천 간에 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. DO는 유입하천-1에서는 3.0~8.2 mg/L(평균 4.5 mg/L)으로 나타났고, 유입하천-2 지점에서는 3.8~11.7 mg/L(평균 6.0 mg/L)을 나타나 유입하천-1 보다 유입하천-2 지점에서 DO가 다소 높게 나타났다. 유입하천-2는 유입하천-1에 비해 유량이 2배 정도 풍부하며, 하천 바닥 경사가 유입하천-1에 비해 급한 형상이다.

유입하천-1의 COD는 3.6~32.0 mg/L의 범위로 평균 10.0 mg/L를 나타냈고, 유입하천-2의 COD는 4.4~10.8 mg/L의 범위로 평균 7.0 mg/L로 나타났다. 유입하천-1이 유입하천-2에 비해 대부분의 시기에 더 높은 농도로 나타났고, 저수지 표층수의 평균 COD 16.5mg/L 및 심층수 평균 COD 16.4 mg/L에 비해서는 매우 낮은 농도를 보였다. 저수지 내의 높은 COD 농도는 강우 시에 유입되거나 저수지 내부에서 생성된 유기물에 의한 영향으로 판단되는데, 매화지 전체 수면의 2/3에 걸쳐 넓게 분포하고 있는 수생 식물인 마름으로부터 배출되는 유기물에 의한 영향을 더 크게 받는 것으로 판단된다.

유입하천의 SS는 유입하천-1, 2에서 각각 평균 9.6 mg/L(1.1~49.3 mg/L)과 12.6 mg/L(1.1~79.3 mg/L)로 나타났는데, 대부분의 시기에는 유입하천-1, 유입하천-2 지점에서 거의 비슷한 SS 농도를 보였으나 8월 31일 조사에서 유입하천-1에서는 15.2 mg/L를 보인 반면에 유입하천-2 지점에서 79.3 mg/L으로 매우 높은 농도를 보였다. 8월 31일은 강우가 있었던 날이었으며, 이로 인해 유입하천-2 지점의 인근 상류유역에서 도로공사가 진행되어 여기에서 발생된 토사 등의 유출에 의한 영향으로 판단된다. 유입하천 두 지점 모두 저수지 표층수의 평균치 29.8 mg/L 및 심층수 평균치 38.4 mg/L와 비교해서는 매우 낮은 농도를 보였다. 저수지의 SS는 연중 높은 값을 나타내고 있어 강우에 유입된 토사에 영향을 받기보다는 내부적인 원인에 의해 오염도가 증가하는 것을 알 수 있다. 매화저수지는 유류납시터로 이용되는 저수지이므로 이로 인한 영향도 있다고 판단되며, 또한 수심이 2m 이하인 호소로 심한 바람 및 강우 등 기상에 의한 심층과 표층의 교란에 의한 영향도 크다고 판단된다.

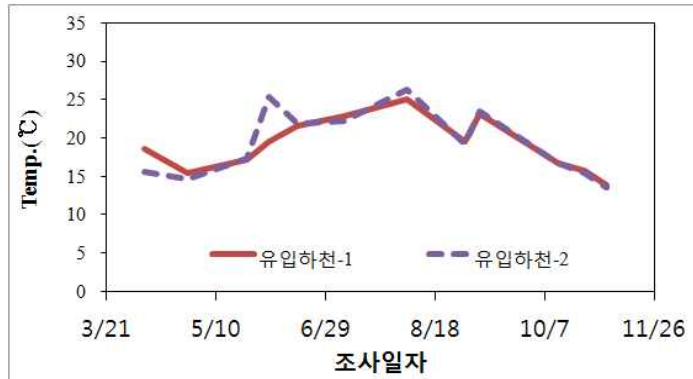
유입하천의 Chl-a 농도는 유입하천-1에서 평균 7.4 mg/m³, 유입하천-2에서 평균 11.2 mg/m³로 대부분의 시기에 거의 비슷한 농도를 보였으나 6월 3일 조사에서 유입하천-1 5.0 mg/m³에 비해 유입하천-2에서 38.0 mg/m³로

유입하천-1에 비해 7배 이상의 높은 농도로 나타났다. 이러한 결과는 2015년도 조사결과와 매우 유사하였다. 유입하천의 TP 농도는 유입-1은 0.323~1.242 mg/L(평균 0.704 mg/L)이고, 유입-2는 0.214~0.568 mg/L(평균 0.360 mg/L)로 10월 조사를 제외하고는 유입-1이 유입-2보다 훨씬 높은 농도를 보였다. 인산염(PO_4^{3-} -P)은 유입-1에서 0.238~0.686 mg/L(평균 0.441 mg/L)으로 나타났고, 유입-2 지점에서는 0.112~0.424 mg/L(평균 0.238 mg/L)로 모든 시기에 유입하천-1에서 유입하천-2보다 높게 나타났으며, 이러한 결과는 TP 농도와 유사하였다. 영양염류인 TN 농도는 유입하천-1에서 4.038~8,914 mg/L의 범위로 평균농도는 6.516 mg/L, 유입하천-2 지점에서는 2.485~9.311 mg/L로 평균농도는 6.362 mg/L로 나타났고, 하절기 강우기에는 유입하천-2에서 유입하천-1에 비해 다소 높은 농도를 나타내었다. 유입하천의 NO_2 -N, NO_3 -N, NH_4 -N의 농도는 유입-1에서 각각 0.033~0.338 mg/L(평균 0.152 mg/L), 0.453~5.128 mg/L(평균 2.263 mg/L), 0.583~6.890mg/L(평균 3.319mg/L)으로 나타났고, 유입-2 지점에서는 0.023~0.615 mg/L(평균 0.201 mg/L), 1.357~6.876 mg/L(평균 5.132 mg/L), 0.158~1.487 mg/L(평균 0.633 mg/L)으로 나타나 NO_2 -N와 NO_3 -N는 유입하천-1에 비해 유입하천-2에서 더 높은 농도를 보였고, NH_4 -N는 유입하천-1에서 더 높게 나타났다. 이러한 결과로부터 상류 유역에서 유입된 질산계 유기물이 하천을 따라 흐르면서 호기성 미생물에 의한 질산화가 완료되고 있음을 알 수 있다.

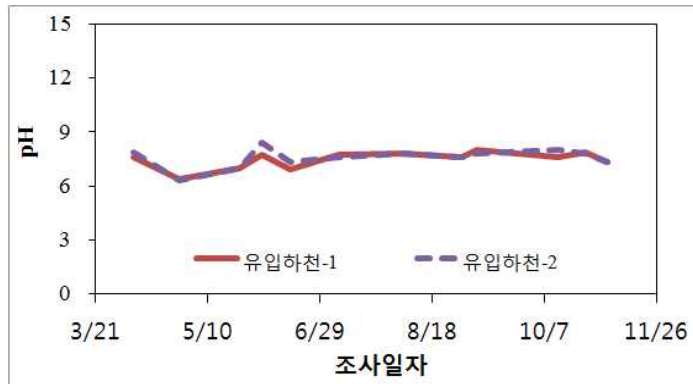
(표 2-7) 매화저수지 및 유입하천 수질현황

구분	수온 (°C)	EC (μ s/cm)	DO (mg/L)	pH	COD (mg/L)	SS (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	
유입 1	최대	25.1	595.0	8.2	8.0	32.0	49.3	30.6	8.914	1.242
	최소	13.9	283.0	3.0	6.4	3.6	1.1	2.8	4.038	0.323
	평균	19.1	477.3	4.5	7.5	10.0	9.6	7.4	6.516	0.704
	S.D	3.5	96.0	1.4	0.5	7.3	13.1	7.5	1.520	0.343
유입 2	최대	26.3	634.0	11.7	8.4	10.8	79.3	38.0	9.311	0.568
	최소	13.5	240.0	3.8	6.3	4.4	1.1	0.6	2.485	0.214
	평균	19.3	480.9	6.0	7.6	7.0	12.6	11.2	6.362	0.360
	S.D	4.4	143.7	2.4	0.5	2.8	21.8	12.5	2.177	0.095

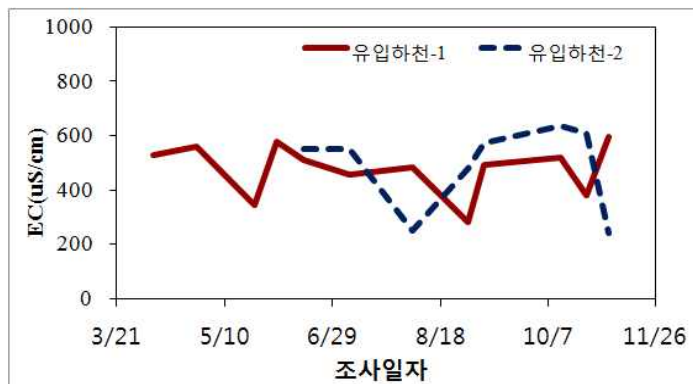
주) S.D : Standard Deviation



(a) 수온

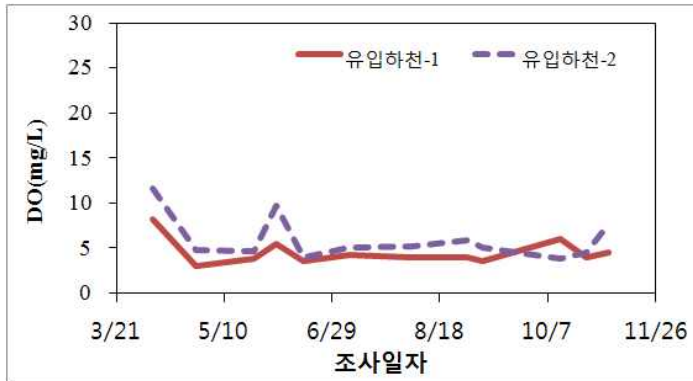


(b) pH

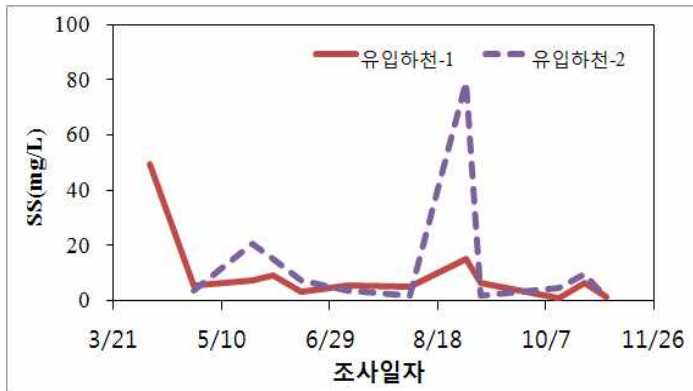


(c) 전기전도도(EC)

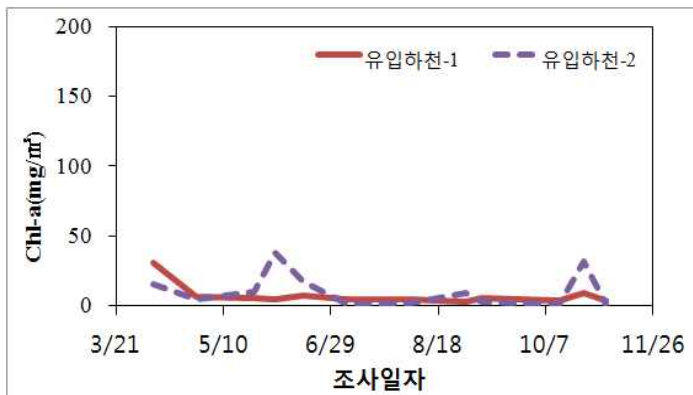
<그림 2-25> 유입하천 수질현황(수온, pH, EC)



(a) DO

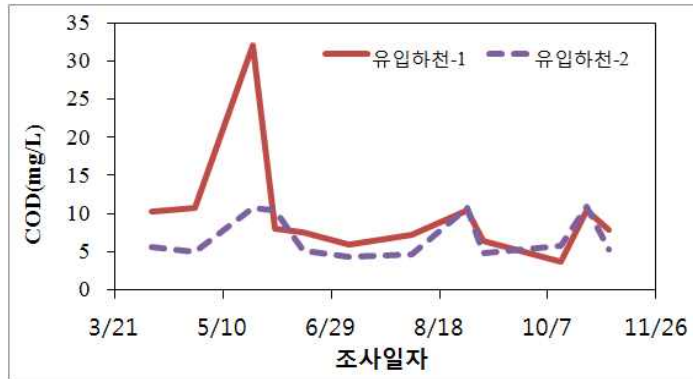


(b) SS

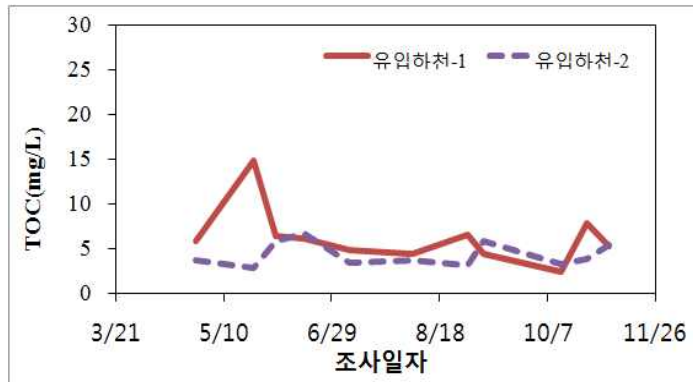


(c) Chl-a

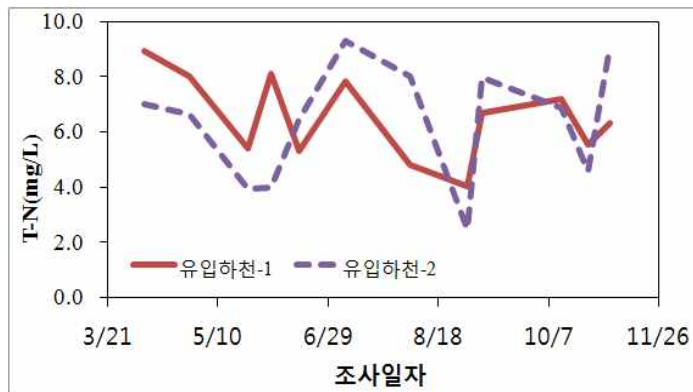
<그림 2-26> 유입하천 수질현황(DO, SS, Chl-a)



(a) COD

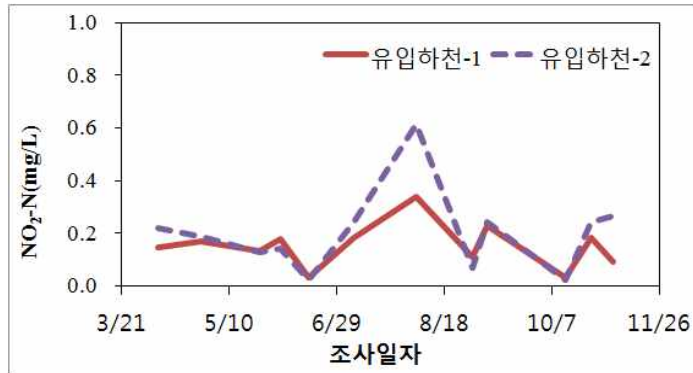


(b) TOC

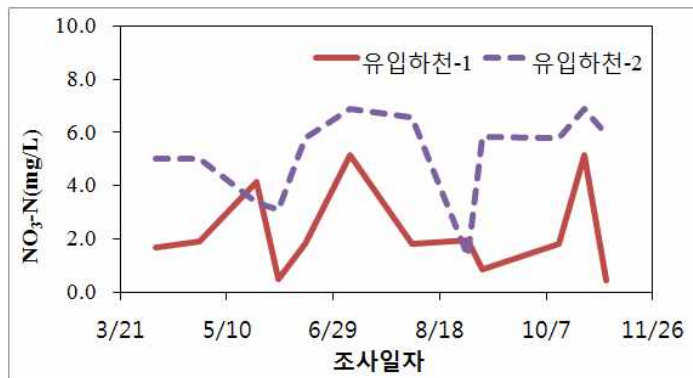


(c) TN

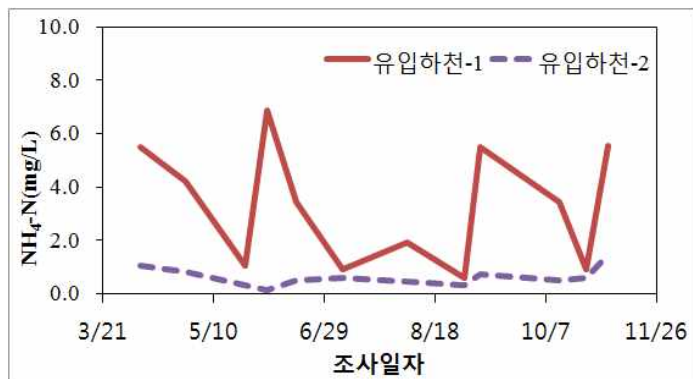
<그림 2-27> 유입하천 수질현황(COD, TOC, TN)



(a) NO₂-N

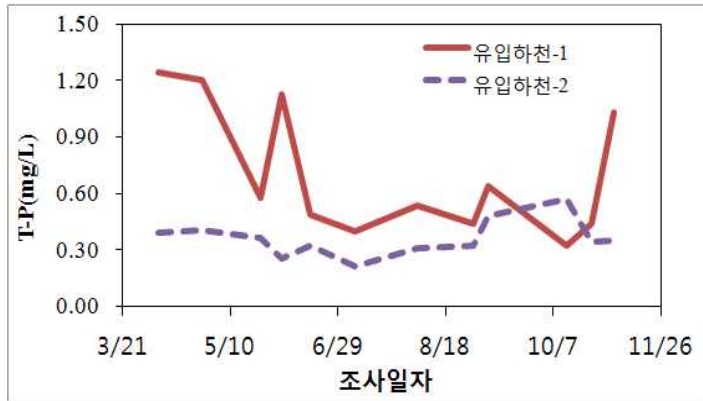


(b) NO₃-N

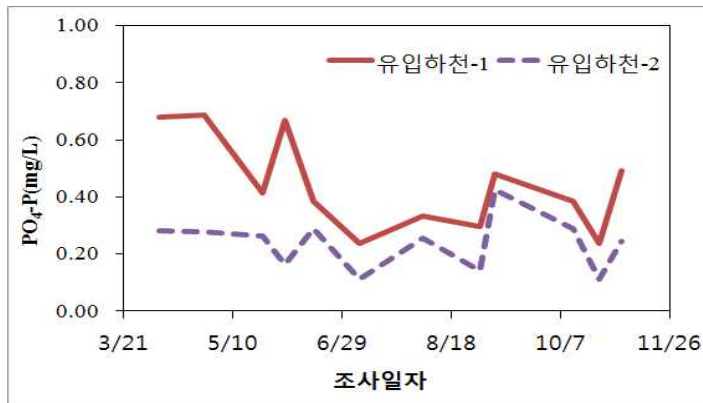


(c) NH₄-N

<그림 2-28> 유입하천 수질현황(NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N)



(a) TP

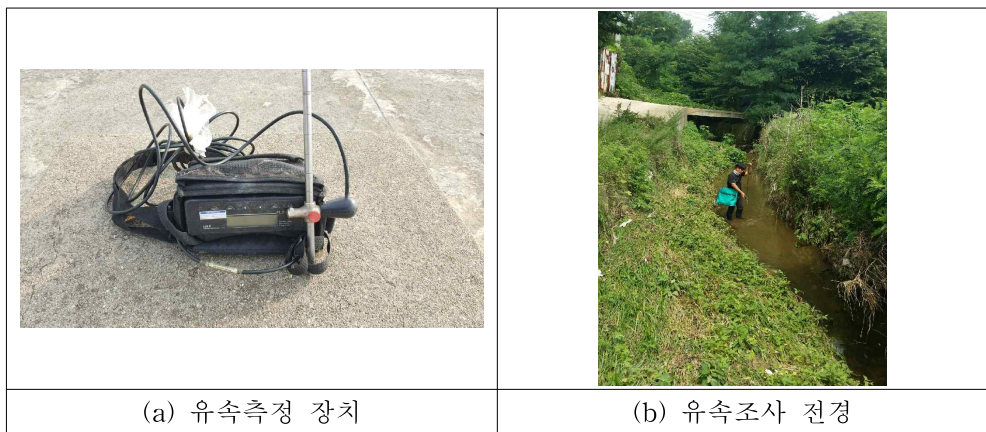


(b) PO₄-P

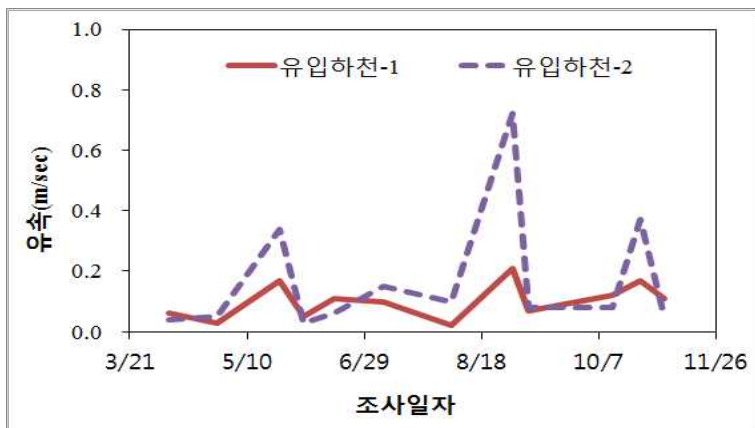
<그림 2-29> 유입하천 수질현황(TP, PO₄-P)

나. 유입하천 유량

매화저수지 유입하천 2개소에 대한 유속조사를 수질조사와 동일한 시간에 유속계(FLO-MATE Model 2000)를 이용하여 측정하였고, 그 결과를 <그림 2-31>에 나타내었다. 조사기간의 유입하천-1의 유출 유속은 0.020~0.210 m/s(평균 0.102m/s)으로 나타났고, 유입하천-2의 유출 유속은 0.030~0.720 m/s(평균 0.173m/s)으로 조사되었다. 유입하천-1에 비해 유입하천-2의 유출속도가 평균으로 보면 1.7배 이상으로 높게 나타났다. 강우시의 유출속도는 <그림 2-31>에서 나타난 바와 같이 유입하천-1 보다 유입하천-2가 4배 이상까지 증가하는 것을 알 수 있다.



<그림 2-30> 매화저수지 유입하천 유속측정



<그림 2-31> 매화저수지 유입하천별 유속 변화

다. 유입하천 중금속 등의 오염도

매화저수지 유입하천의 중금속 등 미량금속물질의 오염도를 조사한 결과는 (표 2-8)과 같다. Cu는 유입하천-1에서는 불검출~0.013 mg/L로 나타났고, 유입하천-2에서는 불검출~0.027 mg/L로 나타났다.

미국 환경청(USEPA)에 의해 발암물질 A등급으로 분류된 As는 유입하천-1, 유입하천-2 모두 모든 조사 시기에 불검출로 나타났고, 발암물질 B등급으로 분류된 Pb은 불검출~0.006 mg/L로 검출되어 현행 수질환경기준치인 0.05 mg/L 이하를 만족하였다. 발암물질 B등급으로 분류된 Cd와 Hg 및 Cr⁶⁺ 모두 불검출로 분석되어 매화저수지에 유입되는 유입하천에서는 중금속 등에 의한 오염은 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 상류 유역에 소규모로 산재하고 있는 산업체에 의한 중금속 등의 영향은 없는 것으로 판단된다.

(표 2-8) 유입하천의 중금속 등 오염현황

조사 지점	조사 일자	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)
하천1	4/7	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	4/27	0.013	0.003	N.D	N.D	N.D	N.D
	5/24	0.010	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
하천2	4/7	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	4/27	0.027	0.006	N.D	N.D	N.D	N.D
	5/24	0.025	0.005	N.D	N.D	N.D	N.D
수질환경기준		-	0.05 이하	0.005 이하	0.05 이하	불검출	불검출

3. 호내 연속 모니터링에 의한 수질동적 변화

가. 연속 모니터링 개요

대부분의 저수지는 강우 시 호소 내로 유입하는 비점오염원과 오랜 기간 동안 침전되어 누적된 퇴적물의 내부 부하가 주요 수질오염원으로 작용하고 있기 때문에 수질모니터링 횟수가 제한적인 정기적인 수질조사는 저수지의 내부부하 측정을 위한 환경조건 변화 파악에 한계가 있다. 특히, 노후화된 저수지에서는 내부 부하의 수질오염 기여도가 상당히 큰 것으로 조사되고 있어, 저수지의 수질특성을 제대로 파악하기 위해서는 지속적으로 연속적인 현장 모니터링 자료가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 저수지 호저 퇴적물의 오염물질 용출량에 의한 내부부하 해석과 저수지 수환경의 동적변화 규명을 위해 연구 대상지구인 매화저수지의 기상, 수온, 수질 등을 연속적으로 측정하기 위해 기상 및 수질 등의 연속 측정 장비를 설치하였다.

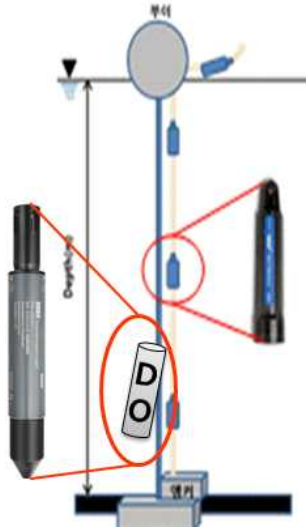
연속 모니터링 장치는 2016년 5월 4일부터 10월 11일까지 총 158일간 기상과 수온, DO 등에 대해 실시간으로 연속 자동 측정하였으며, 기상은 Davis WS-Pro2_plus를 활용하여 기온, 습도, 대기압, 풍향, 풍속 등의 항목을 10분 간격으로 측정하였다. 수온은 HOBO Water Temp Pro onset(USA)을 바닥으로부터 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m 상부에 각각 설치하여 1시간 간격으로 연속 측정하였고, DO는 HOBO Dissolved Oxygen Data logger를 이용하여 저수지 바닥으로부터 0.5m, 1.5m 상부에 설치하여 1시간 간격으로 연속적으로 측정하였다. 저수지 연속 모니터링 개요에 대한 설명은 (표 2-9)와 같고, 기상 및 수질환경 연속 측정 장비 설치전경은 <그림 2-32>에 나타내었다.

(표 2-9) 저수지 연속모니터링 개요

구분	모델명	측정항목	측정간격
기상장치	Davis WS-Pro2_Plus	기온, 습도, 대기압, 풍향, 풍속	10분
수온계	HOBO Water Temp Pro onset (USA)	수온	1시간
DO 측정기	HOBO Dissolved Oxygen Data logger	DO, 수온	1시간



(a) 기상측정장치



(b) 수온계 및 DO meter 체인

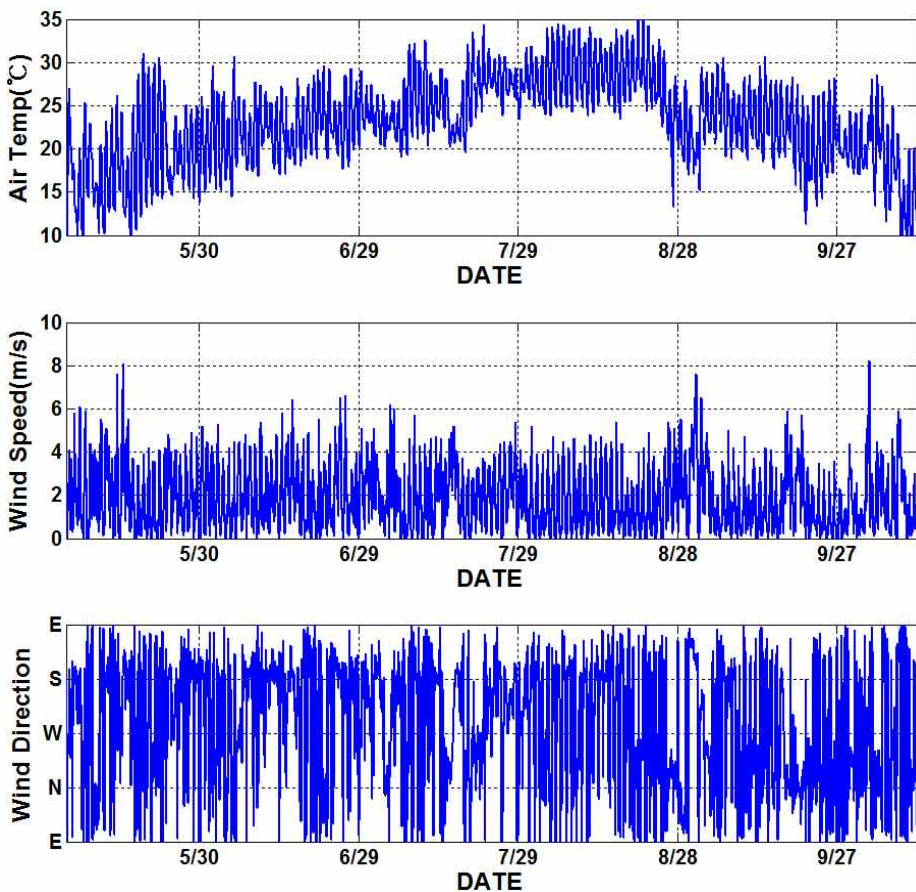


<그림 2-32> 기상 및 수질환경 연속 모니터링 장치

나. 연속 모니터링 결과

1) 기상

매화저수지 기상 연속모니터링 결과를 <그림 2-33>에 나타내었다. 기상 자료는 2016년 5월 4일부터 10월 11일까지 총 158일간 저수지 수면으로부터 상부 2m 지점에서 측정하였으며, 저수지 수환경의 동적변화 규명을 위해 조사하였다. 실측기간 동안 평균 풍속은 1.8 m/s를 나타내었다. 풍향은 주로 북서풍이 불었으며, 이는 매화저수지가 시흥에 위치하고 있어 서해 바다 인근에 위치한 지리적 영향으로 판단된다.



<그림 2-33> 매화저수지 기상 연속 모니터링 결과

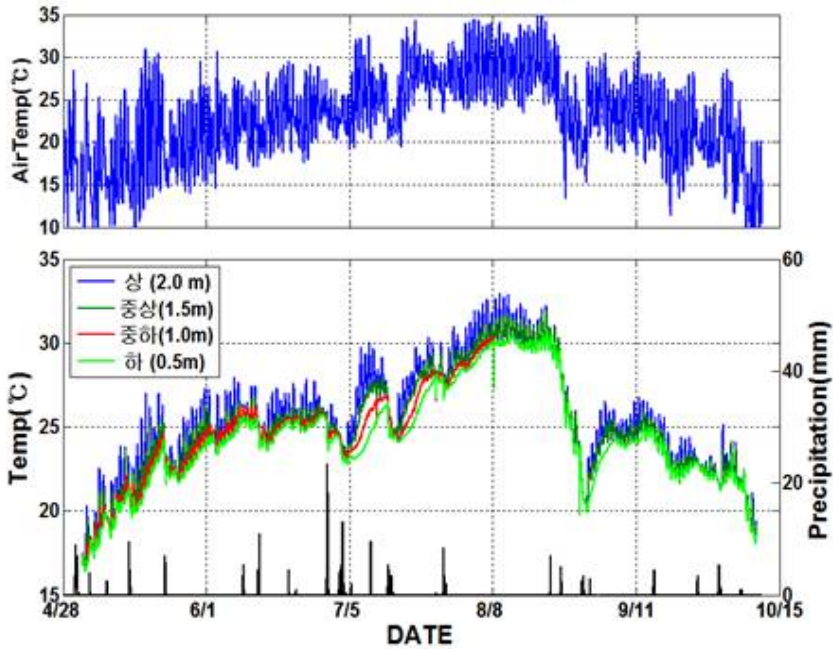
2) 수온 및 수질

2016년 5월 4일부터 10월 11일까지 총 158일간 매화저수지에서 측정된 대기기온 및 수심별 수온의 시계열 변화를 <그림 2-34>에 나타내었으며, 수심별 DO(mg/L) 농도의 연속 모니터링 결과 및 시흥 AWS 강우사상에 대한 변화를 <그림 2-35>에 나타내었다.

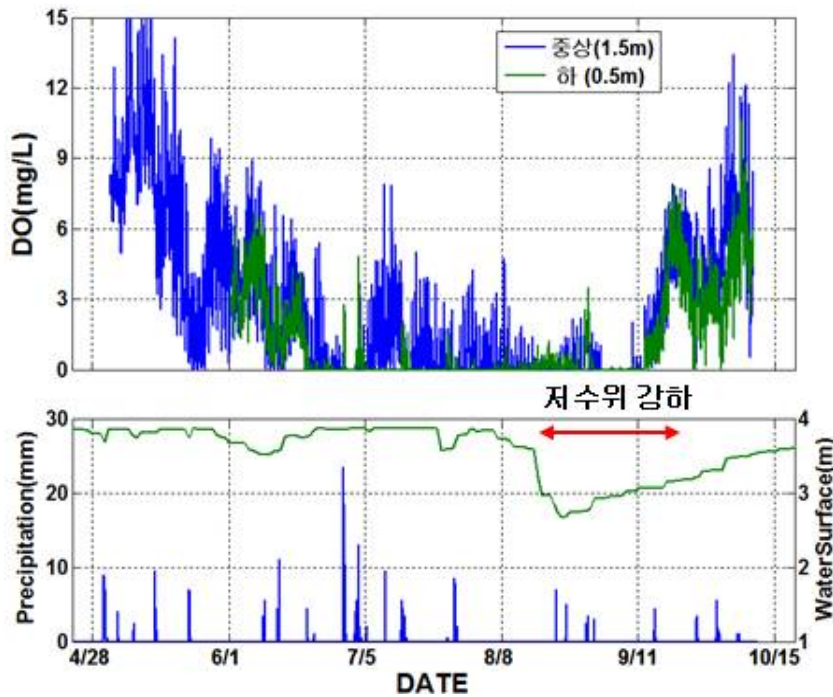
저수지 수심에 따른 구분을 상(바닥층에서 1.5m 상부 지점), 중(바닥층에서 1.0m 상부 지점), 하(바닥층에서 0.5m 상부지점)로 구분하여 각 표층별로 수온을 연속모니터링 결과, 일주기로 수온성층 형성과 대류혼합이 반복되었으며, 상층과 하층 간에 평균 1.0℃, 최대 6.3℃의 수온차이를 보였다. 또한 강우가 발생한 이후에는 일시적으로 저수지 상하층간 수온차이가 거의 발생하지 않았으며, 대기기온이 떨어지면서 상하층간 수온차가 감소하는 경향을 보였다. 강우 및 대기기온 등의 요인이 저수지에서의 상하층 간의 혼합을 일으키는 주요 물질 순환기작으로 판단된다.

DO 연속측정결과 저수지 내 DO 농도의 동적변화는 크게 나타났으며, 6월 22일부터 9월 14일까지 약 84일간 바닥층에 DO가 고갈되는 것으로 나타났다. 이 기간의 바닥층 평균 DO는 0.57mg/L로 측정되었으며, 강우시 일시적으로 회복되었다가 1~2일 이내에 다시 DO가 고갈되는 현상을 보였다. 이후 기온강하 및 강우의 영향으로 DO농도가 회복되는 경향을 보였다. 또한 낮 동안 바닥층에서 DO가 고갈 되었다가 상하층간 수온차이가 감소하는 일몰 이후에 DO가 일부 회복되는 것으로 나타났다. 이는 낮에 수온성층 형성과 함께 바닥층에서 표층으로부터의 DO 공급이 제한되며, 일몰 이후 대류혼합에 의해 표층 DO가 저수지 저층으로 일시 공급된 것으로 판단된다. 위의 결과를 종합해보면 일주기로 상, 하층간의 혼합이 발생하며, 하층의 DO가 고갈되는 동안 용출된 영양염류는 혼합이 발생하는 시점에 상층부로 전달될 수 있음을 의미한다<그림 2-36>.

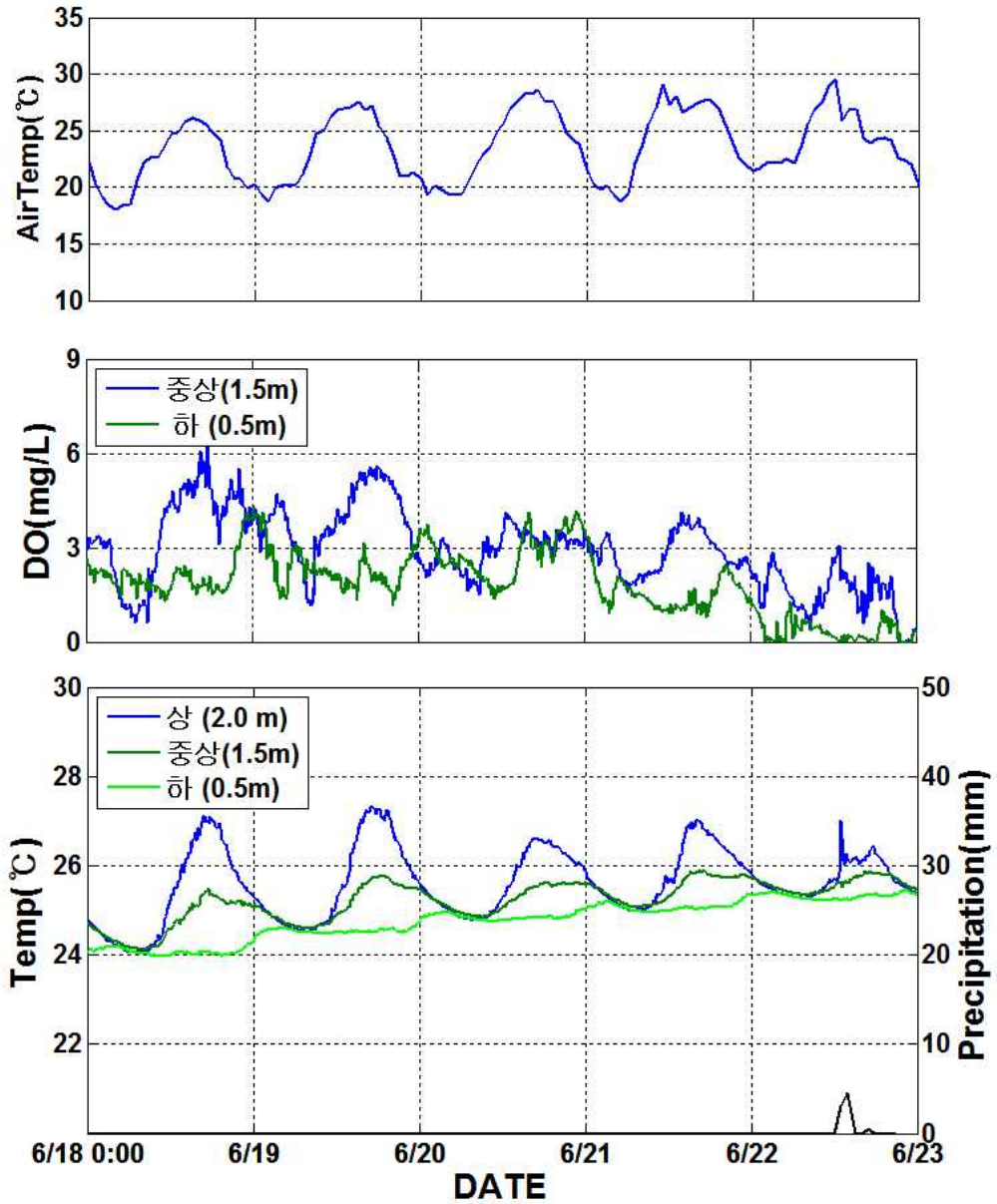
상류부로 전달된 TP 등은 식물성 플랑크톤의 영양원으로 작용해 플랑크톤의 과다 증식을 초래해 결국 내부 생산성을 높이고, 호소 수질 오염도를 높이는 결과를 가져올 것으로 판단된다. 이러한 결과로부터 수체 저층과 퇴적물 표층의 호기성 상태를 유지하는 것이 매우 중요하며, 저수지의 수질개선을 위해서는 유입수의 오염물질 저감뿐만 아니라 퇴적 오염물질의 용출 억제 등 퇴적층 관리가 매우 중요한 인자로 판단된다.



<그림 2-34> 대기기온 및 수심별 수온 시계열 변화



<그림 2-35> 매화저수지 수심별 DO 연속 모니터링 결과



<그림 2-36> 매화저수지 대기 기온, DO, 수온 연속모니터링 결과(6/18~6/23)

제3절 저수지 퇴적물 오염도 및 용출량 산정

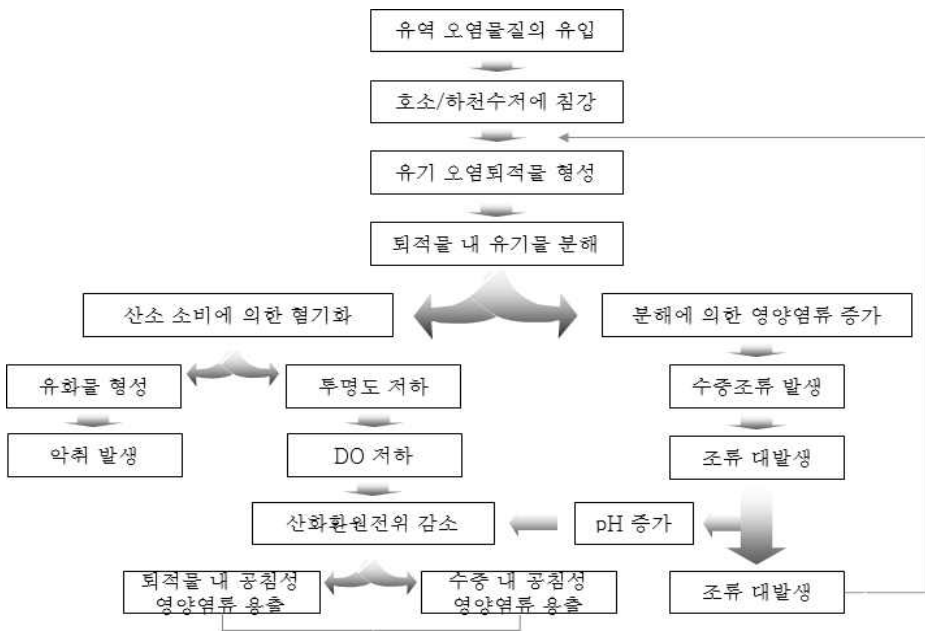
1. 퇴적물 정의 및 수질 영향

퇴적물(堆積物)은 사전적 의미로 많이 쌓인 물건 또는 지리학·지학·지명에서 쓰이는 뜻으로 암석의 파편이나 생물의 유해가 강물·빙하·바람·강우등의 작용으로 운반되어 지표에 쌓인 물건을 뜻한다(국립국어연구원, 1990). 유승훈(2010)에 의하면 수질이 시간적으로 짧은 조사 시점의 수역 환경을 시사하고 있는 반면에 수저 퇴적물은 수역의 오랜 기간의 특성과 내역을 말해준다고 하여 수저 퇴적물은 장기간에 걸친 수질의 이력서라고도 하였다. 즉, 퇴적물내의 오염물질의 깊이, 방향의 축적은 어느 기간 동안의 수역의 오염상황을 반영하기 때문에 그 분석 기법에 따라서는 수환경의 오염의 역사를 추적할 수 있다.

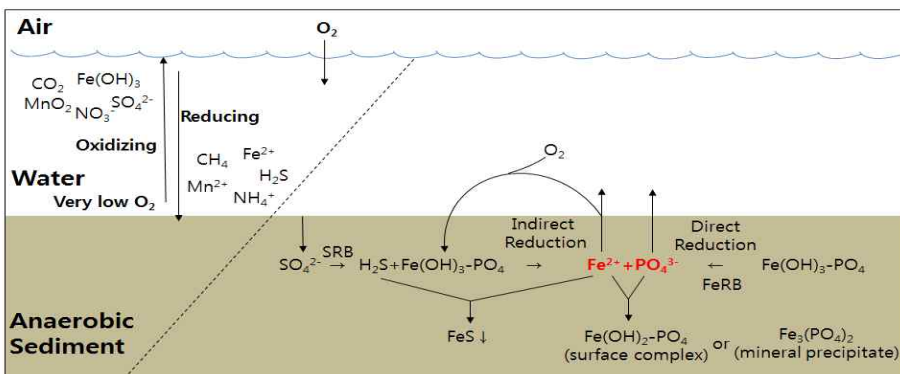
수질을 오염시키는 많은 물질은 입자상태의 물질에 흡착되어 수체의 바닥에 퇴적되었다가 수층의 환경변화나 퇴적물 내의 물리·화학적 변화에 따라 다시 수층으로 이동하기 때문에 유입된 오염물질을 개선한 후에도 수질개선이 쉽게 나타나지 않는다(신유나, 2006). 점오염원과 비점오염원을 통해 유입되는 외부 오염물질과 내부 생성 유기물(조류나 식물의 사체)은 유속이 완만한 하천이나 호소 저층에 퇴적하며, 저층에 토착 생활하는 고등 유기체의 호흡과 박테리아에 의해 이루어지는 2가 이온 철이나 망간, 황화물과 같은 기질의 산화환원 반응, 지화학적 반응을 통해 수층의 산소가 소비된다고 보고되어 있다(김도희, 2002).

생산된 유기물은 광합성에 반대되는 호흡과 분해과정을 통하여 박테리아나 동물과 같은 종속영양 생물(Heterotrophic Organism)의 에너지원으로 사용된다. 이 과정에서 산소는 소모되고 이산화탄소는 방출된다. 즉, 이산화탄소와 물은 정방향의 광합성반응에서 유기물을 합성하고 산소를 생성하는데 사용되고, 반대로 역방향의 호흡과 분해반응에서 유기물은 분해되고 산소는 소모된다(유승훈, 2010). 퇴적물에 포함된 유기물은 미생물에 의해 산소를 소모하면서 분해되며 만일 이 과정에서 수층(水層)의 혼합이 이루어지지 않아 지속적인 산소 공급이 중단된다면 유기물이 다량 포함된 퇴적물 주위의 산소는 고갈되고 따라서 퇴적물 내의 저서는 메탄, 황화수소 등의 유독성 가스를 생성하는데 이는 저서생물의 생존에 치명적

인 악영향을 미치게 된다. 또한 침전된 유기물이 분해되어 무산소 환경이 되면 질소, 인 등에 의해 표층으로 재공급되어 식물성플랑크톤의 성장을 촉진시키고 결국 새로운 유기물을 형성한다. 이러한 수중 유기물의 증가는 곧 수질의 저하를 의미한다(이창희 등, 1998; 이창희 등, 2000). 그리고 하천의 퇴적물은 물 흐름과 하천의 지형적인 형상 등에 따라 부상하여 하천표층수의 BOD 증가의 원인으로 작용하기도 한다. <그림 2-37>에 퇴적물 형성과정 및 수체 내에서의 변화 과정을 도식화했다.



<그림 2-37> 퇴적물 형성 과정 및 수체 내에서의 변화 과정



<그림 2-38> DO 변화에 따른 수체-퇴적물 물질교환

2. 퇴적물 물리화학적 오염도 조사

가. 퇴적물 조사 및 분석방법

1) 조사지점

연구대상지구인 매화저수지는 수체모양이 접시모양을 띤 저류지형 호소로 평균수심이 2~3m 정도로 매우 낮아 퇴적물로부터 용출되는 오염물질에 의해 저수지 수질이 크게 영향을 받을 수 있는 환경조건의 저수지이다. 매화저수지 퇴적물의 이화학적 특성 및 중금속 오염도를 조사하기 위하여 <그림 2-39>과 같이 저수지 7개 지점을 선정하여 퇴적물의 시료를 채취하였다. 매화지 퇴적물의 시기별 특성변화를 알아보기 위하여 매화지 1, 2, 3지점에 대해서는 4월 8일, 8월 12일, 10월 14일, 11월 9일, 12월 8일에 조사를 실시하였고, 매화지의 위치에 따른 퇴적물의 특성을 분석하기 위하여 7월 15일에 매화 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7지점에 대해 1회 정밀 조사를 실시하였다.

2) 분석항목 및 실험방법

퇴적물의 이화학적 특성 및 오염도를 알아보기 위하여 퇴적물 채취기인 포나 그래프를 이용하여 시료를 채취하였고, 즉시 분석실로 운반하여 퇴적물의 입도분석, pH, 강열감량, TN, TP, 중금속, 수은 등은 수질오염공정시험기준(환경부, 2016)에 준하여 분석하였다.



<그림 2-39> 매화저수지 퇴적물 오염도 조사지점

(가) pH, EC, TN, TP

pH 측정은 직접측정법을 이용하였으며, 퇴적물과 물의 비율을 1:5로 하여 현탁액을 만들어 pH meter(Thermo Orion model 420A+)로 측정하였다. 전기전도도(Electric Conductivity, EC)도 직접측정법을 이용하였으며, 퇴적물과 물의 비율을 1:5로 희석하여 현탁액을 만들어 EC meter를 이용하여 측정하였다. 퇴적물 내의 총질소(Total Nitrogen, TN) 측정은 퇴적물 내 존재하는 질소화합물은 유기질소(아미노산, 단백질, 핵산)와 무기질소(암모니아성질소, 아질산성질소, 질산성질소)로 존재하므로 총질소를 정량하기 위해서 고열 또는 산화제를 이용하여 다양한 형태의 질소화합물을 단일 화합물로 변화시킨 후 정량한다. 총질소에 대한 분석은 킬달증류법을 이용하였으며, 이는 분해 장치에서 황산을 이용하여 토양을 분해시키며 증류장치를 이용하여 $\text{NH}_4\text{-N}$ 형태로 전환하여 정량하는 방법이다.

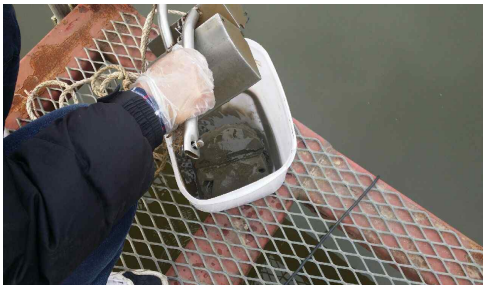
퇴적물의 TP는 토양 중의 유기물의 분해를 위하여 질산으로 낮은 온도에서 분해한 후, 과염소산을 가하여 높은 온도에서 광물입자만이 남도록 분해하여 이 분해액 중의 인산함량을 측정하는 방법이다.



(a) 퇴적물 채취기(포나 그랩)



(b) 퇴적물 채취 장면



(c) 퇴적물 시료 채취 장면



(d) 채취된 퇴적물 시료

<그림 2-40> 퇴적물 시료채취 장비 및 채취 장면

(표 2-10) 퇴적물 분석 방법 및 분석기기

분석항목	분석방법	분석기기
pH	직접측정법	pH meter
강열감량 (Ignition Loss, IL))	무게차감법	Thermogravimetric analyzer, TGA
총질소(Total Nitrogen, TN)	Kjeldahl법	질소정량장치 (Gerhardt Vapodest 50 & Vapodest 50 Carusel)
총인(Total Phosphorus, TP)	바나도몰리브덴산법	UV
인산염(Phosphate, PO ₄ ³⁻ -P)	아스코르빈산법	UV
중금속 (As, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn)	유도결합플라스마-원자발광분광법	JY Ultima 2
전기전도도 (Electric Conductivity, EC)	직접측정법	EC meter
입도분포 (Particle Size Distribution, PSD)	비중계법	PSA(Cilas-1064)

(나) 입도분석

퇴적물 입도분석은 토양 시료에 존재하는 무기 입자(<2mm)의 크기 분포를 측정하는 실험으로 토성(Soil Texture)을 알아보는데 목적이 있다. 입도분석의 특징은 토양입단을 화학적, 물리적인 방법에 의해 파괴, 분산시켜 체 거름(sieving) 및 침강(sedimentation)시켜 크기에 따라 입자를 분리시킨다. 토양 입자는 바위(0.25m)에서 submicron clay(<1 μ m)까지 광범위하게 존재하는데, 일반적으로 토양 입자는 2,000 μ m이하의 주요한 세 가지 군(sand, silt, clay)으로 나누어진다. (표 2-11)은 퇴적물의 입경 크기에 따른 분류를 나타낸 것으로, 보통 자갈, 굵은 모래, 가는 모래, 실트, 점토로 분류되며, 퇴적물은 일반적으로 모래, 실트, 점토로 구성되어 있다.

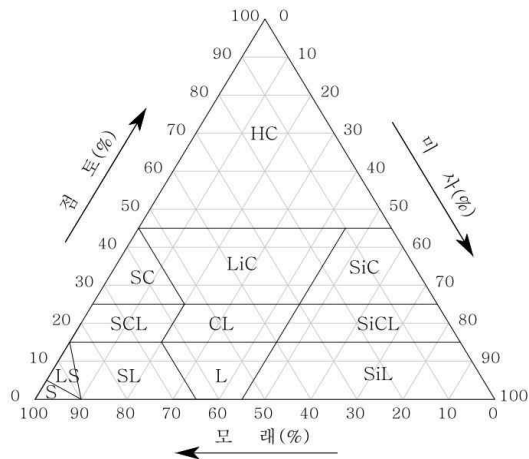
퇴적물 및 토양의 입도분석은 풍건시료를 과산화수소에 의해 유기물을 분해시킨 후, 분산제인 5% HMP를 가한 뒤 시료 중 sand를 wet sieving으로 fractionation 한다. 남은 시료를 1L 실린더로 옮기고 1분간 end-over-end로 흔든 후 방치한 뒤, 일정 시간 후 25ml 피펫으로 10cm 깊이에서 clay를 채취하고 무게를 잰다. 본 연구에서는 퇴적물 입경크기 분류에 따른 토성(soil texture)은 (표 2-12) 및 <그림 2-41>에 나타난 분류법을 이용하였다.

(표 2-11) 퇴적물의 입경크기에 대한 분류

구 분	입 경	비 고
자갈(Gravel)	> 2 mm	토성에 관여하지 않음
굵은 모래(Coarse sand)	2~0.2mm	토성에 기여도가 낮고, 공극율, 통기성, 배수 작용에 관여
가는 모래(Fine sand)	0.2~0.02mm	
실트(Silt)	0.02~0.002mm	모래와 점토의 중간적 성질
점토(Clay)	<0.002mm	토성에 가장 크게 기여함

(표 2-12) 입경크기 분류에 따른 토성

점토함량	토성	기호	점토(%)	실트(%)	모래(%)
15% 이하	사토	S	0~15	0~15	85~100
	양질사토	LS	0~15	0~15	85~95
	사양토	SL	0~15	0~35	65~85
	양토	L	0~15	20~45	40~65
	실트질양토	SiL	0~15	45~100	0~55
15~25%	사질식양토	SCL	15~25	0~20	55~85
	식양토	CL	15~25	20~45	30~65
	실트질식양토	SiCL	15~25	45~85	0~40
25~45%	사질식토	SC	25~45	0~20	55~75
	경식토	LiC	25~45	0~45	10~55
	실트질식토	SiC	25~45	45~75	0~30
45% 이상	중식토	HC	45~100	0~55	0~55



<그림 2-41> 퇴적물 입경크기 분류에 따른 토성

(다) 강열감량

강열감량은 퇴적물을 고온으로 가열한 후 그 무게 차이를 통해 퇴적물 중 유기물량을 측정하는 방법으로 유기물질 중 가장 많은 양을 차지하며 비교적 그 측정이 쉬운 탄소를 이용하는 것이 간편하면서도 정밀한 값을 얻을 수 있다. 강열감량 측정은 무게차감법을 활용하였으며, 시료 일정량을 550℃ 정도에서 90분간 가열하여 시료 속의 휘발성 성분과 열분해 될 수 있는 성분이 제거되어 감량된 양을 시료에 대한 백분율로 나타낸 양으로 분석하는 방법이다. 시험방법은 먼저, 도가니 무게를 재고 조제된 시료를 10g 정도 넣어 다시 무게를 잰다(전자저울사용). 무게를 잰 시료는 전기로에 넣어 약 550℃ 정도에서 60~90분간 가열한 후 전기로에서 꺼내 데시케이터에서 약 1시간동안 식힌 후 평량하여 그 감량을 구한다.

강열감량 = (시료와 도가니무게 - 가열 후 시료와 도가니의 무게)/(시료와 도가니의 무게 - 도가니의 무게) × 100

(라) 중금속, 수은

퇴적물 중의 As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn 함량은 수질오염공정시험기준(환경부, 2016)에 준하여 중금속전처리법 및 유도결합플라스마 원자발광분광법에 의하여 분석하였다. 전처리 방법은 0.15 mm(100메쉬)로 체 거름한 건조된 토양시료 3g을 0.001g까지 정확하게 취하여 반응용기에 시료를 넣고 1ml의 정제수로 시료를 적신 후 염산 21 ml를 넣고 질산 7 ml를 가한다. 그 후 2시간동안 상온에서 정치시켜 유기물을 산화시키고, 정치 시간이 끝나면 온도를 올려 환류 조건에 도달하도록 하고 2시간 동안 그 상태를 유지시킨다. 분해가 끝나면 냉각시키고 흡수용기에 질산으로 환류 glass cup을 세척한다. 반응용기를 정치시켜 대부분의 불용성 잔류물이 현탁액에 침전되도록 한다. 상층을 조심스럽게 여과지로 100 ml 부피플라스크에 여과하고 0.5M 질산으로 표선까지 채워서 여액을 ICP-AES(JY Ultima 2)로 측정하였다.

$$\text{토양 중 금속의 농도(mg/kg)} = \frac{(C_1 - C_0)}{W_d} \times f \times V$$

여기서, C_1 : 검정곡선에서 얻어진 분석시료의 금속 농도(mg/L)

C_0 : 검정곡선에서 얻어진 시약바탕시료의 금속 농도(mg/L)

V : 시험용액의 부피(여기서는 0.05 L)

W_d : 토양시료의 건조중량(여기서는 0.001kg), f : 희석배수

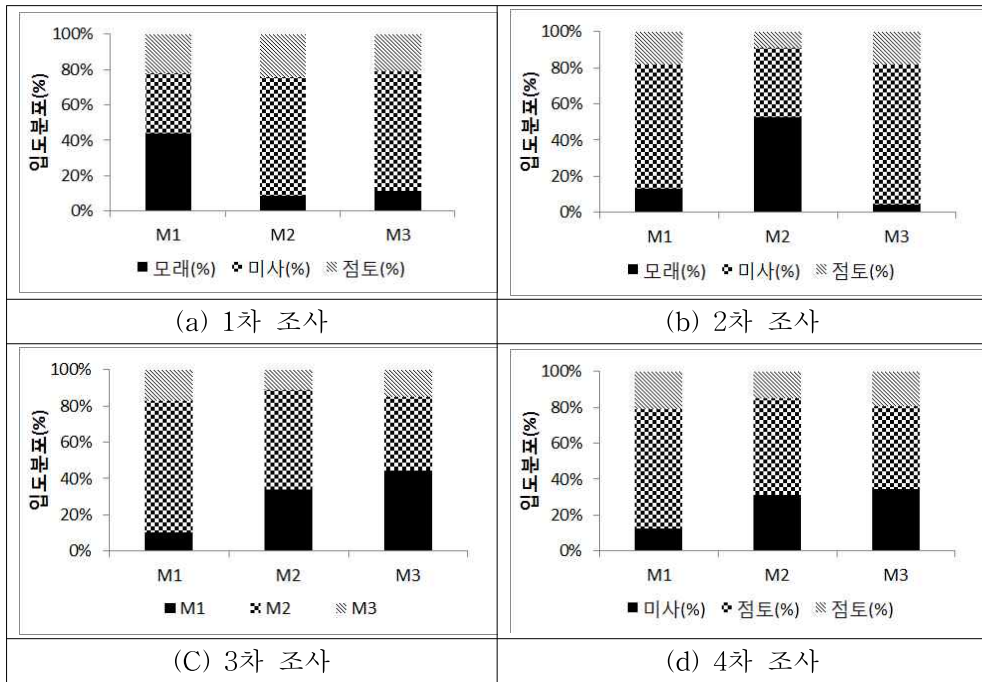
나. 퇴적물의 이화학적 특성 변화

1) 입도분석 결과

매화저수지의 조사지점별 퇴적물을 입경크기에 따라 분류하여 모래, 미사, 점토로 분류하여 입경크기 분류법에 따른 토성을 지점별로 정리하여 (표 2-13)에 나타내었고, 지점별 입경에 따른 입도분포 비율은 <그림 2-42>에 나타내었다. M1 지점은 생태융합형 집축산화시스템 설치와 인접한 지역으로 4월 조사에서는 모래, 미사, 점토가 고른 분포를 보이고 있는 반면에 시간이 지남에 따라 모래와 점토 비율은 줄어들고 미사 분포비율이 증가하는 것으로 나타났다. M2 지점은 유입하천-1이 유입되는 유입부의 인근지역으로 M1 지점과는 다른 경향으로 4월 조사에서는 모래 분포 비율은 매우 적고 미사가 67% 정도를 차지하고 있었는데 7월 조사시에는 미사와 점토의 비율이 줄어들고 모래의 비율이 높게 증가하는 경향을 보였다. M3 지점은 제방과 정 반대편에 위치하고 있는 지역으로 4월과 7월에는 모래보다는 미사와 점토가 대부분을 차지하다가 8월 이후부터는 모래와 미사가 많은 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 하절기 폭우와 함께 상류지역의 토사가 많이 유입되었기 때문으로 판단되며, 강우기 토사유입은 농업용 저수지 수질오염의 가장 큰 원인이 되고 있으며, 비점오염물질 처리를 위한 유입수 대책은 반드시 필요하다고 판단된다.

(표 2-13) 조사지점별 입도분포 및 토성

조사지점	조사일자	모래(%)	미사(%)	점토(%)	토성
M1	4/8	44.0	34.0	22.0	L
	7/15	13.1	68.9	18.0	SiL
	8/12	10.6	72.4	17.0	SiL
	10/14	12.7	66.3	21.0	SiL
M2	4/8	8.5	67.5	24.0	SiL
	7/15	52.6	38.4	9.0	SL
	8/12	34.0	55.0	11.0	SiL
	10/14	31.4	53.6	15.0	SiL
M3	4/8	11.3	67.7	21.0	SiL
	7/15	4.1	77.9	18.0	SiL
	8/12	44.2	40.8	15.0	L
	10/14	34.4	46.6	19.0	L



<그림 2-42> 조사 지점별 입도분포 비율

2) 유기물, 강열감량, 총질소, 총인 조사결과

매화저수지 퇴적물의 유기물, 강열감량, 총질소, 총인에 대한 분석 결과를 (표 2-14) 및 <그림 2-43>에 정리하였다. 유기물농도는 M1 지점에서는 5.2~6.2%로 나타났고, M2 지점도 M1 지점과 매우 유사하게 8월 이후에 감소하는 경향으로 4.2~5.9%로 나타났다. M3 지점은 3.4~8.0%로 4월과 7월에 비해 8월 이후부터 큰 폭으로 감소하는 경향을 보였다.

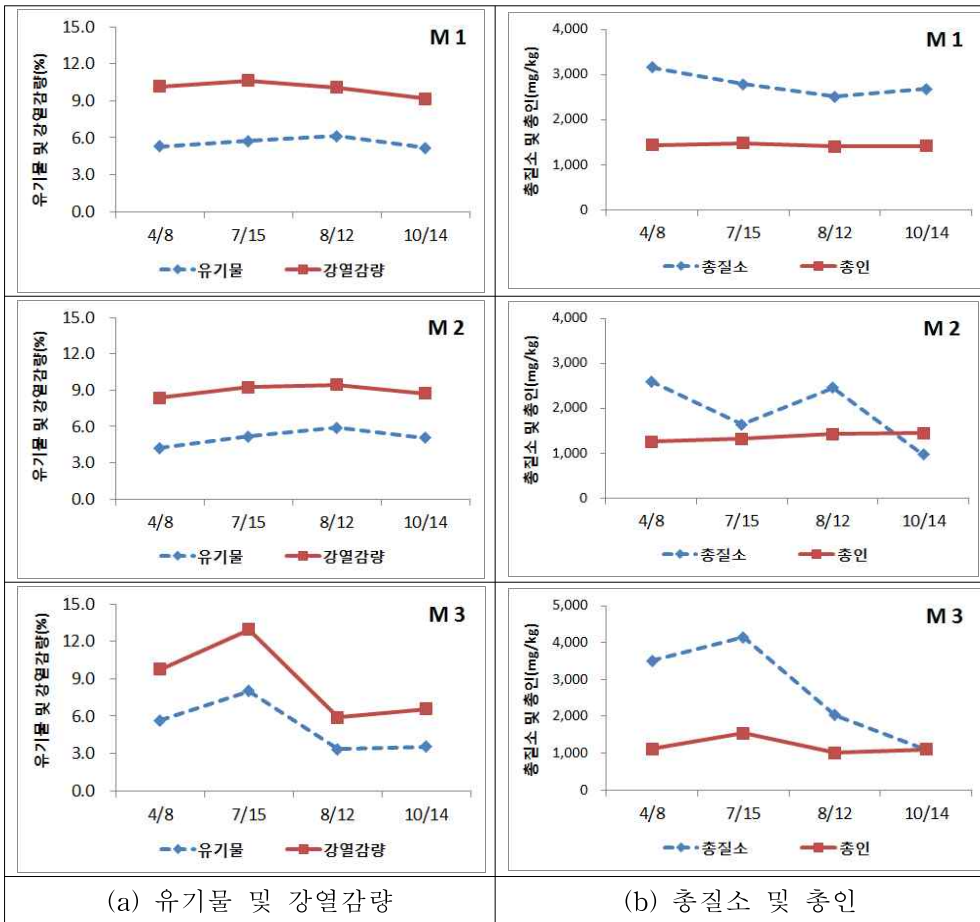
퇴적물 내 강열감량은 M1 지점에서 9.1~10.6%로 나타났고, M2 지점은 8.4~9.5%, M3 지점은 5.9~12.9%로 나타났다. 이러한 결과를 (표 2-15) 및 (표 2-16)의 퇴적물 오염도 평가기준과 비교해보면, 미국 환경보호청 (USEPA) 및 Great호 퇴적물 오염정도 분류기준과 비교했을 때, 강열감량 기준 오염도는 M1, M2 지점에서는 모든 조사 시기에 “심한 오염(heavily polluted)”로 나타났고, M3 지점에서는 4월과 7월 조사결과는 “심한 오염”, 8월과 10월 조사에서는 “중간 오염(moderately polluted)” 상태로 나타났다. 또한, 국내 팔당호, 한강, 대청호의 퇴적물 제거기준과 비교했을 때도 대부분의 조사 시기에 기준치인 7~10%를 초과하고 있는 것으로 나

타났다. 환경부(2015년)의 호소 퇴적물 오염평가기준과 비교해보면 “심각하게 명백한 오염” 상태라고 말할 수 있는 IV등급에 해당하는 13%는 초과하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 대부분의 지역에서 9.0~12.9%로 나타나 기준치인 13%에 근접하고 있어 매화저수지는 전체적으로 퇴적물의 유기물질 오염도가 높다는 것을 알 수 있다.

용복합 수처리장치 설치 전·후의 오염도 저감 효과를 검토하기 위해 수처리장치 인접지역에서 조사한 강열감량 결과치 비교해 볼 때, 2015년에는 9.0~19.0%로 나타났지만 2016년 조사에서는 8.4~9.5%로 나타나 최대 10%까지 감소되는 걸로 나타났다. 이러한 결과는 조사위치가 용복합 수처리 장치(수로식과 부유식)를 설치한 위치와 인접한 지역으로 용복합 수처리시스템의 배출수에 의해 수리학적으로 영향을 받을 수 있는 수역에 해당하고 있어 수처리 장치에 의한 영향으로 퇴적물의 유기물 오염도가 개선된 것으로 판단된다.

(표 2-14) 매화저수지 퇴적물의 유기물, 강열감량, 총질소, 총인

조사지점	조사일자	유기물 (%)	강열감량 (%)	총질소 (mg/kg)	총인 (mg/kg)
M1	4/8	5.3	10.2	3,161	1,436
	7/15	5.7	10.6	2,781	1,476
	8/12	6.2	10.1	2,510	1,405
	10/14	5.2	9.1	2,672	1,411
M2	4/8	4.2	8.4	2,594	1,253
	7/15	5.2	9.2	1,631	1,311
	8/12	5.9	9.5	2,455	1,424
	10/14	5.0	8.7	962	1,442
M3	4/8	5.6	9.8	3,512	1,113
	7/15	8.0	12.9	4,149	1,533
	8/12	3.4	5.9	2,025	1,010
	10/14	3.5	6.6	1,104	1,104
평균		5.3	9.2	2,463.1	1,326.5



<그림 2-43> 조사 지점별 유기물, 강열감량, 총질소, 총인

(표 2-15) USEPA 퇴적물 평가기준(강열감량)

구분	Sediment quality standards		
강열감량 (%)	non polluted	moderately polluted	heavily polluted
	< 5	5~8	> 8

매화저수지 퇴적물 내 TN 농도는 지점별로 각각 M1 지점에서 2,510~3,161 mg/kg, M2 지점에서 962~2,594 mg/kg, M3 지점에서 1,104~4,149 mg/kg으로 나타났다. M1 지점은 연중 변화가 거의 없었고, M2 지점은 7월에 감소했다가 8월에 다시 조금 증가하다 후 다시 감소하는 경향을 나타냈으며, M3 지점은 7월 중순 조사이후 부터 큰 폭으로 감소하는 경향을 보여 위치별로 각각 다른 경향을 나타내고 있다.

(표 2-16)의 국내외 퇴적물 오염도 평가기준과 비교해보면 국내 호소 퇴적물 오염평가기준인 “심각하게 명백한 오염”된 상태인 5,600 mg/kg에는 도달하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 대부분의 지점에서 미국 Great호 퇴적물 오염정도 분류기준인 “심각한 오염((heavily polluted)” 기준인 2,000 mg/kg 이상에 해당되고 있다. 또한 국내 팔당호 및 한강의 퇴적물 제거 기준인 1,100 mg/kg 및 2,000 mg/kg 이상과 비교했을 때도 모든 지점에서 대부분의 조사 시기에 제거기준 이내에 포함되어 매화저수지의 총질소에 의한 오염도가 상당한 것으로 판단된다.

퇴적물 내 TP 농도는 각 지점별로 M1 지점은 1,411~1,476 mg/kg, M2 지점은 1,253~1,442 mg/kg, M3 지점은 1,010~1,533 mg/kg으로 조사되었으며, 모든 지점에서 유사한 수준의 농도로 검출되었다. 퇴적물 내 TP 농도는 국립환경연구원의 “호소 퇴적물 오염평가 기준”의 IV등급(1,600 mg/kg 초과, 심각하고 명백한 오염상태)에 비해서는 모든 지점에서 다소 낮았으나, 팔당호, 한강 하류, 대청호 퇴적물 제거 기준인 800 mg/kg 이상, 1,000 mg/kg 이상, 1,500 mg/kg 이상과 비교했을 때, 모든 지점에서 한강, 팔당호 퇴적물 제거기준 내에 해당되는 것으로 조사되었다.

TN, TP 농도가 높은 M1 지점은 유입수의 수리학적 영향을 받지 않고 낚시터의 좌대가 설치되어 낚시 객들에 의해 낚시가 성행되는 수역이다. 이러한 이유로 저수지에 유입된 오염물질이 하류로 유출되지 못하고 장기간 퇴적된 결과로 인한 영향으로 판단된다.

(표 2-16) 국내외 퇴적물 오염도 평가기준 비교

구분	항목	COD (mg/kg)	강열감량 (%)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	황화물 (mg/kg)
*호소 퇴적물 오염평가기준 (국립환경연구원 예규)		-	13	5,600	1,600	-
하천공사표준시방서		20,000~ 40,000	10~20	1,600~ 3000	700~ 1,000	1,000
팔당호		20,000	7	1,100	800	-
한강		20,000	10	2,000	1,000	1,000
대청호		20,000	7	3,000	1,500	-
Great호 퇴적물 오염정도 분류기준	비오염	<40,000	<5	<1000	<420	-
	중간오염	40,000~ 80,000	5~8	1000~ 2,000	420~ 650	-
	심한오염	>80,000	>8	>2,000	>650	-
미혜양 대기청 환경권고조치	ERL	-	-	-	-	-
	ERM	-	-	-	-	-
캐나다 온타리오 환경부 퇴적물 환경기준	NEL	-	-	-	-	-
	LEL	-	-	545	600	-
	LTL	-	-	4,800	2,050	-
**일본 나고야항 퇴적물 제거기준		20,000	10	-	-	<1
**동경만 및 요코하마만 퇴적물 제거기준		13,000 20,000 30,000 40,000	5,000 15,000	-	-	600 1,000 5,000 10,000

* 국립환경과학원 예규 제2015-687호(2015.11.16)

** 일본의 나고야 항, 동경만, 요코하마만의 퇴적물 제거기준 설정은 각 범위에 대한 점수를 평가한 후, 평가점수에 따라 퇴적물을 제거기준 적용함

자료) 농업용저수지의 오염퇴적물 관리기술 연구보고서(농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2015)

3) 중금속 등

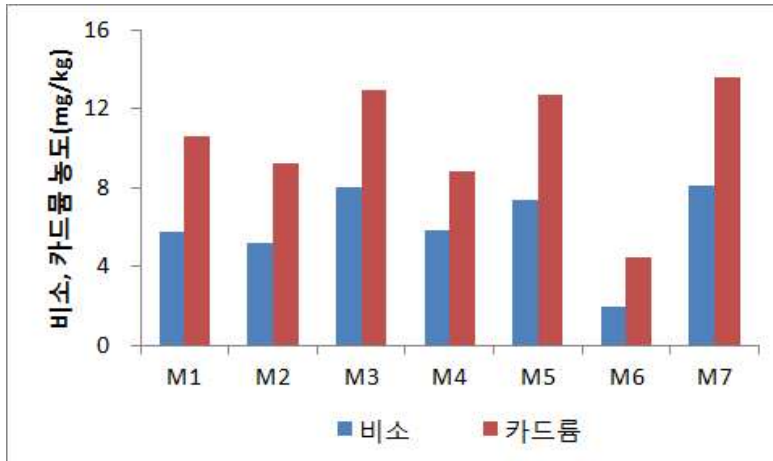
매화저수지 퇴적물 내 중금속 및 Hg, CN 등에 대해 분석한 결과를 (표 2-17)에 정리하였다. 퇴적물 내 비소는 M1, M2, M3 지점별로 각각 6.7~8.2 mg/kg, 5.5~7.4 mg/kg, 7.8~10.7 mg/kg로 검출되었고, 환경부의 호소 퇴적물 오염평가 기준인 II등급(저서생물에 독성이 나타날 가능성이 있음) 44.7 mg/kg의 이하에 해당되고 있으나 미국 Great호 퇴적물 오염정도 분류기준 “중간 오염(moderately polluted)”에 해당하는 3~8 mg/kg에는 모든 지점에서 해당되는 것으로 나타났다.

카드뮴은 M1, M2, M3 지점별로 각각 1.17~1.70 mg/kg, 1.13~1.40 mg/kg, 0.73~1.57 mg/kg로 검출되었고, 환경부의 호소 퇴적물 오염평가 기준인 II등급(저서생물에 독성이 나타날 가능성이 있음) 1.87 mg/kg 이하에 해당되는 것으로 나타났다. 퇴적물 내 구리농도는 M2 지점을 제외하고는 호소 퇴적물 오염평가기준인 I등급(저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없음)에 해당하는 60.0 mg/kg 이하를 만족하고 있으며, M2 지점에서 61.9~73.2 mg/kg로 다소 높은 농도를 나타냈다. 니켈도 모든 지점에서 22.1~37.6 mg/kg로 호소 퇴적물 오염평가기준인 I등급(저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없음)에 해당하는 53 mg/kg 이하를 만족하고 있지만 미국 Great호 퇴적물 오염정도 분류기준 “중간 오염(moderately polluted)”에 해당하는 25~50 mg/kg에는 해당하는 것으로 나타났다.

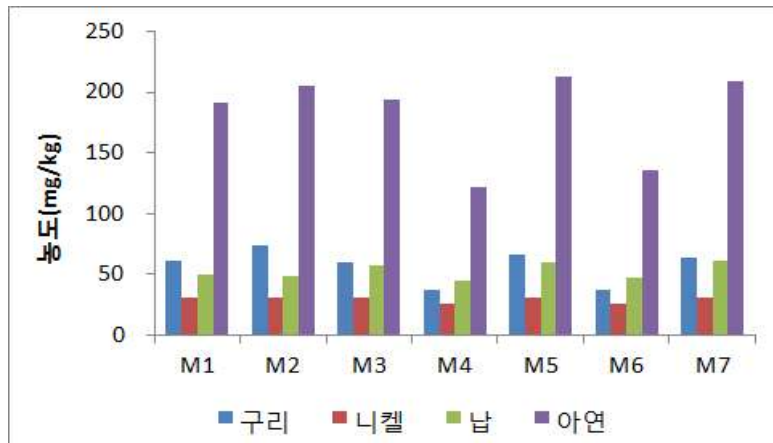
퇴적물 내 납 농도는 38.8~57.6 mg/kg으로 모든 지점에서 거의 비슷한 농도로 검출되었고, M3 지점의 8월 조사이후에서 다소 낮게 검출되었다. 모든 조사지점에서 호소 퇴적물 오염평가기준인 I등급(저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없음)에 해당하는 65 mg/kg 이하를 만족하였지만, 미국 Great호 퇴적물 오염정도 분류기준 “중간 오염(moderately polluted)”에 해당하는 40~60 mg/kg에는 해당하는 것으로 나타났다.

퇴적물 내 아연은 96.5~204.6 mg/kg으로 조사 시기에 따라 농도변화가 심했으며, 다른 항목들과 마찬가지로 M3 지점의 8월 조사 이후에 큰 폭으로 감소하였다. 아연농도는 모든 지점에서 호소 퇴적물 오염평가기준인 I등급(저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없음)인 363 mg/kg 이하에 만족하고 있는 것으로 나타났지만 미국 Great호 퇴적물 오염정도 분류기준 “중간 오염(moderately polluted)”에 해당하는 90~200 mg/kg의 범위에 해당하는 것으로 나타났다.

수은은 M1, M2, M3 지점별로 각각 불검출~0.05 mg/kg, 불검출~0.04 mg/kg, 불검출~0.05 mg/kg로 검출되었고, 모두 호소 퇴적물 오염평가기준인 I 등급(저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없음)인 0.1 mg/kg 이하에 만족하고 있는 것으로 나타났다. 기타 6가크롬과 시안은 모든 지점에서 조사 시기에 관계없이 불검출로 나타났다.



<그림 2-44> 조사 지점별 퇴적물 내의 비소, 카드뮴 농도



<그림 2-45> 조사 지점별 퇴적물 내의 구리, 니켈, 납, 아연 농도

(표 2-17) 매화저수지 위치별 퇴적물의 중금속 등 농도

(단위 : mg/kg)

조사지점	조사일자	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Cr ⁺⁶	CN
M1	4/8	8.2	1.57	62.4	31.5	49.6	190.1	0.05	N.D	N.D
	7/15	6.7	1.37	60.4	30.9	49.0	191.0	N.D	N.D	N.D
	8/12	6.9	1.70	59.6	32.9	52.2	195.7	0.04	-	-
	10/14	7.1	1.17	60.0	37.6	51.2	183.1	N.D	-	-
M2	4/8	7.4	1.23	61.9	30.6	47.3	180.4	0.04	N.D	N.D
	7/15	6.1	1.27	73.2	30.6	48.2	204.6	0.04	N.D	N.D
	8/12	5.5	1.40	65.4	29.5	50.3	191.9	N.D	-	-
	10/14	5.9	1.13	69.0	29.8	50.2	189.2	N.D	-	-
M3	4/8	10.7	1.23	45.9	25.8	49.4	148.7	0.05	N.D	N.D
	7/15	7.8	1.57	60.3	30.5	57.6	193.6	0.04	N.D	N.D
	8/12	8.5	0.97	29.8	23.1	39.8	96.5	N.D	-	-
	10/14	8.1	0.73	31.6	22.1	38.8	101.7	N.D	-	-

(표 2-18) 호소 퇴적물 항목별 오염평가기준

항 목		I	II	III	IV
금속류**	구리(mg/kg)	60 이하	228 이하	1,890 이하	1,890 초과
	납(mg/kg)	65 이하	154 이하	459 이하	459 초과
	니켈(mg/kg)	53 이하	87.5 이하	330 이하	330 초과
	비소(mg/kg)	29 이하	44.7 이하	92.1 이하	92.1 초과
	수은(mg/kg)	0.1 이하	0.67 이하	2.14 이하	2.14 초과
	아연(mg/kg)	363 이하	1,170 이하	13,000 이하	13,000 초과
	카드뮴(mg/kg)	0.6 이하	1.87 이하	6.09 이하	6.09 초과
	크롬(mg/kg)	112 이하	224 이하	991 이하	991 초과

비고) 등급별 퇴적물의 오염상태

*유기물 및 영양염류(IV등급) : 심각하고 명백한 오염

**금속류 (I 등급) : 저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없음

(II 등급) : 저서생물에 독성이 나타날 가능성이 있음

(III 등급) : 저서생물에 독성이 나타날 가능성이 비교적 높음

(IV 등급) : 저서생물에 독성이 나타날 가능성이 매우 높음

자료) 국립환경과학원 누리집(www.nier.go.kr)

(표 2-19) 국내의 퇴적물 오염도평가기준 비교(중금속)

(단위 : mg/kg)

구분		항목	As	Hg	Cu	Cd	Pb	Cr	Zn	Ni
			하천공사표준시방서	-	-	-	-	-	-	-
		팔당호	-	-	-	-	-	-	-	-
		한강	-	-	-	-	-	-	-	-
		대청호	-	-	-	-	-	-	-	-
위승턴주 퇴적물 관리기준	관리 기준	SQS	57	0.41	390	5.1	450	260	410	-
		SIZ _{max}	93	0.59	390	6.7	530	270	960	-
	투기 기준	SL	57	0.21	81	0.96	66	-	160	140
		ML	700	2.1	810	9.6	660	-	1,600	-
Great호 퇴적물 오염정도 분류기준		비오염	<3	-	<25	-	<40	< 25	<90	<20
		중간 오염	3~8	-	25~ 50	-	40~ 60	25~ 75	90~ 200	20~ 50
		심한 오염	>8	≥1.0	>50	>6	>60	> 75	>200	>50
미해양 대기청 환경권고조치		ERL	8.2	0.15	34	1.2	47	81	-	21
		ERM	70	0.71	270	9.6	220	370	-	52
캐나다 온타리오 환경부 퇴적물 환경기준		NEL	4.0	0.1	15.0	0.6	23.0	22.0	65.0	15.0
		LEL	5.5	0.12	25.0	1	31.0	31.0	11.0	31.0
		LTL	33.0	2.0	114.0	10	250.0	111.0	800	90.0
		투기기준	8	0.3	25	1	50	25	100	25
일본 오염퇴적물의 유해폐기물기준			≤0.5	≤0.0 05	-	≤0.1	≤1	≤0.5 (C ⁶⁺)	-	-

비고) SQS : Sediment Quality Standards

SIZ_{max} : Sediment Impact Zone maximum allowable contamination level

SL : Screening Level

ML : Maximum Level

ERL : 악영향을 끼칠 수 있는 범위의 최소 농도(Effects Range Low)

ERM : 악영향을 끼칠 수 있는 범위의 중간 농도(Effects Range Median)

NEL : No Effect Level

LEL : Lowest Effect Level

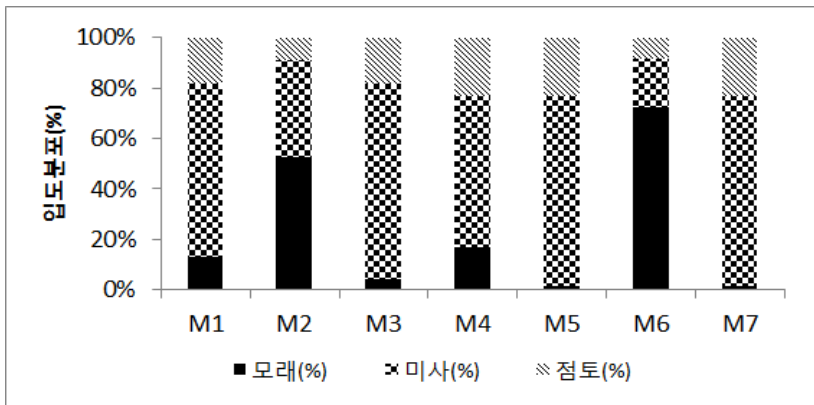
LTL : Limit of Tolerance Level

자료) 농업용저수지의 오염퇴적물 관리기술 연구보고서(농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2015)

다. 호소의 위치별 퇴적물의 특성

1) 입도분포 및 토성

매화저수지의 위치에 따른 퇴적물 특성을 분석한 결과는 <그림 2-46> 및 (표 2-20)와 같다. 유입하천-1이 유입되는 지점인 M2와 만곡부 수역인 M6 지점에서는 다른 지점과 다르게 모래의 비율이 각각 52.6%, 72.6%로 높게 나타났고, M3, M5, M7 지점에서는 미사의 비율이 70% 이상으로 높게 나타났다. 유입하천 유입부와 인접한 지역에서는 모래 비율이 높았고, 유입부와 거리가 멀고 물의 흐름에 영향을 많이 받지 못하는 지역에서는 미사의 비율이 높게 나타났다. 반면에 점토의 비율은 전체적으로 8.0~23.0%로 비교적 낮은 함량을 보이고 있다. 위치에 따른 토성은 모든 지점에서 식양토(SiL)로 나타나 저수지의 위치에 따른 토성의 차이는 없는 것으로 나타났다.



<그림 2-46> 매화저수지 위치별 퇴적물의 입도분포

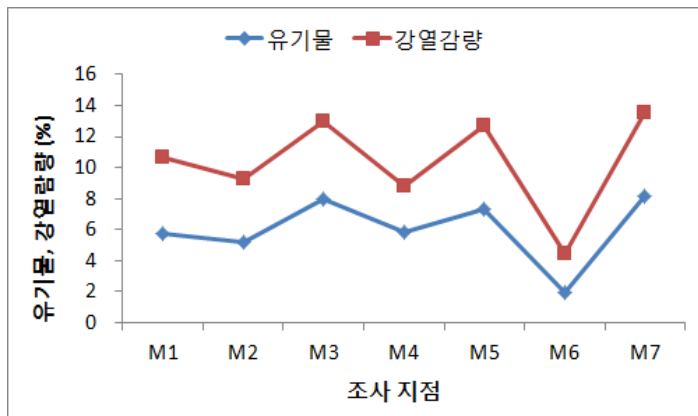
(표 2-20) 매화저수지 위치별 퇴적물의 입도분포 및 토성

구분	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
모래 (%)	13.1	52.6	4.1	16.9	1.4	72.4	1.6
미사 (%)	68.9	38.4	77.9	60.1	75.6	19.6	75.4
점토 (%)	18.0	9.0	18.0	23.0	23.0	8.0	23.0
토성	SiL	SiL	SiL	SiL	SiL	SiL	SiL

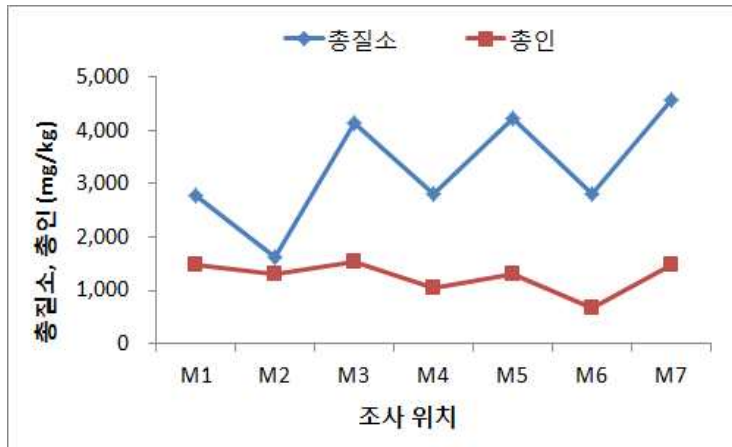
2) 유기물, 강열감량, 총질소, 총인

매화저수지의 위치에 따른 퇴적물 내 유기물, 강열감량에 대한 분석 결과는 <그림 2-47> 및 (표 2-21)과 같다. 저수지 위치별 유기물 함량은 M6 지점이 1.93%로 다른 지점에 비해 매우 낮은 농도를 보였고, M1, M2, M4 지점은 5.19~5.81%로 거의 비슷한 결과치를 보이고 있으며, M3와 M7 지점은 유기물이 8.0% 이상으로 다른 지점에 비해 높게 나타났다. 위치별 강열감량은 유기물과 유사한 결과를 보였으며, M6에서 4.5%로 가장 낮은 농도를 보였고, 기타 지역은 8.8~12.9%로 나타났고, 특히 M7 지점이 13.6%로 환경부 “하천·호소 퇴적물 항목별 오염평가 기준”의 IV등급에 해당하는 13%를 초과하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 유입된 오염물질이 물의 흐름과 같은 방향으로 흘러가면서 호소 바닥에 침전되었기 때문으로 판단된다.

저수지 위치별 총질소, 총인에 대한 분석결과는 <그림 2-48> 및 (표 2-21)과 같다. 총질소는 M2, M4, M6 지점에서 1,631~2,816 mg/kg으로 다소 낮은 농도를 보였고, M3, M5, M7 지점에서는 각각 4,149 mg/kg, 4,220 mg/kg, 4,580 mg/kg으로 다소 높게 나타났다. 환경부 “하천·호소 퇴적물 항목별 오염평가 기준”의 IV등급에 해당하는 5,600 mg/kg을 초과하는 지점은 없는 것으로 나타났다. 총인 농도는 M6 지점이 679 mg/kg로 가장 낮게 나타났고, 기타 지역은 1,043~1,533 mg/kg으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 총인 농도도 환경부 “하천·호소 퇴적물 항목별 오염평가 기준”의 IV등급에 해당하는 1,600 mg/kg을 초과하는 지점은 없는 것으로 나타났다.



<그림 2-47> 매화저수지 위치별 유기물 및 강열감량



<그림 2-48> 매화저수지 위치별 총질소 및 총인

(표 2-21) 매화저수지 위치별 유기물, 강열감량, 총질소, 총인

구분	유기물 (%)	강열감량 (%)	총질소 (mg/kg)	총인 (mg/kg)
M1	5.74	10.6	2,781	1,476
M2	5.19	9.2	1,631	1,311
M3	8.02	12.9	4,149	1,533
M4	5.81	8.8	2,816	1,043
M5	7.37	12.7	4,220	1,297
M6	1.93	4.5	2,798	679
M7	8.12	13.6	4,580	1,467

3. 퇴적물의 오염물질 용출량 현장 실측

가. 조사지점 선정 및 조사방법

1) 퇴적물 조사 지점

퇴적물로부터의 영양염류 용출률을 분석해서 퇴적층으로부터 유래하는 내부오염의 가능성을 평가하기 위하여 호내 퇴적물을 대상으로 현장에서 직접 용출시험을 실시하였다. 국내의 현장 용출 실험의 경우 해수에서 진행한 실험은 있지만, 담수를 대상으로 용출실험을 진행한 연구사례는 거의 없다. 본 연구에서 1~2차년도에는 실내실험을 통한 대상 저수지의 퇴적물 용출 특성을 파악하였고, 3차년도에는 실제 현장에서 일어나는 용출량 산정 및 변화를 관찰하고, 그 결과를 실내 용출실험 결과와 비교분석하기 위해 현장에서 직접 용출 실험을 진행하였다.

매화저수지에서 현장 퇴적물 용출 실측을 위한 지점은 <그림 2-49>와 같이 저수지 유입부와 유출부의 2개 지점을 선정하여 실험을 실시하였다. 매화저수지의 퇴적물 특성과악을 위하여 외부부하로 인한 오염도가 높게 평가되는 유입부에 1지점, 침전물이 비교적 적게 쌓여 오염도가 적게 평가되는 유출부 1지점을 각각 선정하여 각 지점당 3개씩 실험 장치를 설치하여 현장용출 실험을 하였다. 매화저수지는 수체모양이 접시모양으로 평균수심이 2~3m정도로 매우 낮아 퇴적물로부터 용출되는 오염물이 저수지 수질에 영향을 크게 미칠 수 있는 저수지라고 판단되었다.



<그림 2-49> 매화지 내 현장 용출 실험장치 설치 지점

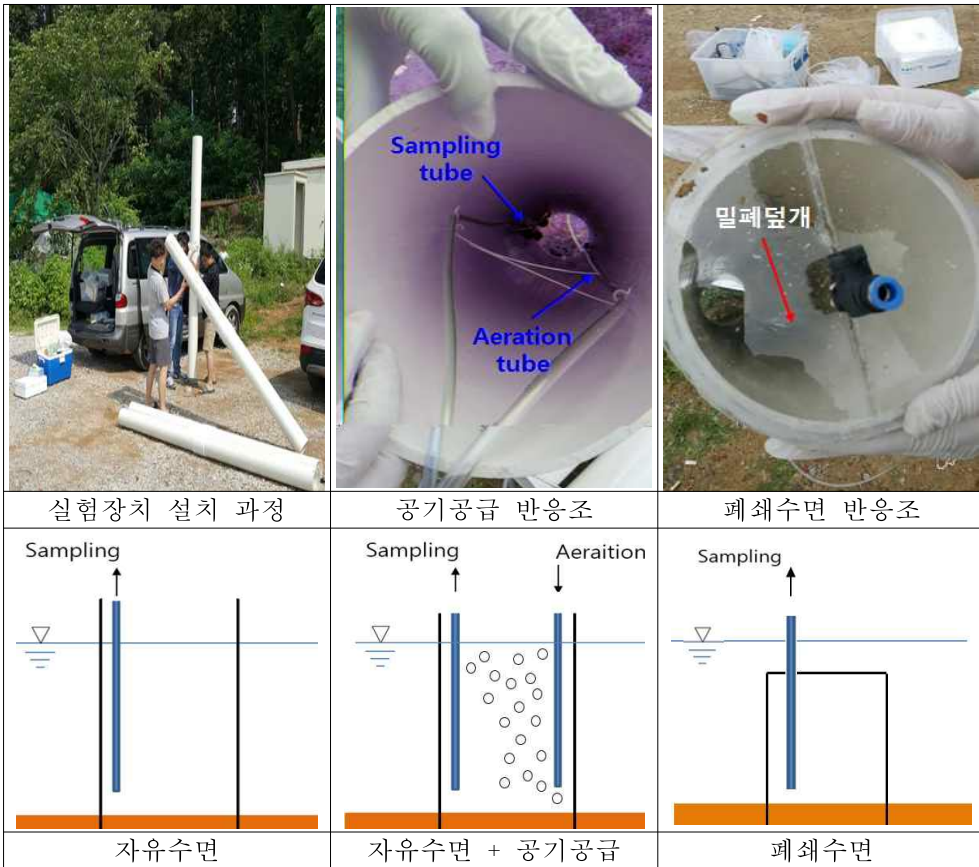
(표 2-22) 현장용출 실험위치 및 실험조 구성

위치	유입부			유출부		
실험조	자유수면 1	자유수면 + 공기공급 1	폐쇄수면 1	자유수면 2	자유수면 + 공기공급 2	폐쇄수면 2

2) 실험방법

유입과 유출 지점에 각각 용출실험을 위해 직경 15cm인 PVC 재질의 파이프를 수직으로 퇴적층 심층부까지 설치하였다(표 2-23). 실험조건은 각각 자유수면, 자유수면+공기공급, 폐쇄수면의 3가지 조건의 환경을 조성하였다<그림 2-50>.

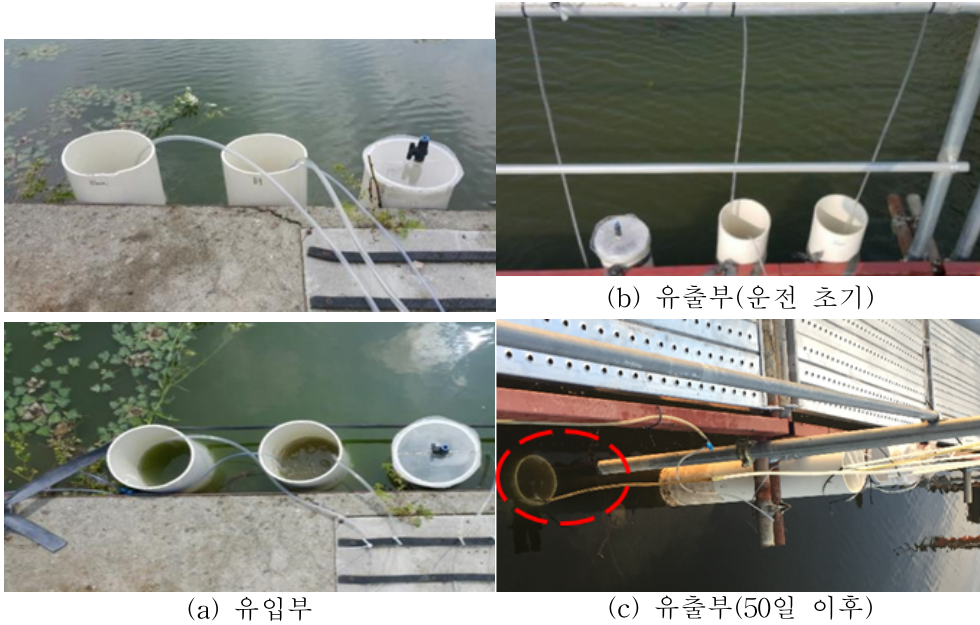
자유수면 실험은 수층의 교란으로 인한 간섭을 최소화하기 위해 수면보다 pipe의 길이를 높게 세팅하여 일반적인 환경에서 일어나는 변화를 관찰하기 위한 장치를 구성하였고, 자유수면 조건의 하단에 산기관을 설치하여 인위적으로 DO 농도를 높인 후 용출특성을 관찰하는 자유수면+공기공급 조건을 구성하였으며 수표면과 수위를 유지하기 위해 반응조 중간부와 상부에 직경 10mm의 구멍을 뚫어주었다. 마지막으로 장치내부와 외부를 완전히 단절시킨 폐쇄수면 조건의 3가지 방식으로 운전하였다. 폐쇄수면 조건은 실험초기 자유수면과 자유수면+공기공급 조건과 마찬가지로 수면보다 pipe의 길이를 높게 세팅하여 진행하였으나 반응조에 설치한 hole로 유입되는 물에 포함된 DO로 인해 완전한 폐쇄수면을 조성하는데 한계점이 있어 실험경과 후 약 50일이 지난 시점에서 반응조 전체를 수표면 아래로 세팅하여 용출특성을 관찰하였다. 현장용출 실험의 실험기간은 6월 중반부터 10월 초까지 약 4개월에 걸쳐 진행하였지만 8월 말부터 9월 말까지는 매화저수지의 농업용수 공급으로 인해 1m 이상 수위저하 현상이 발생되어 제대로 된 실험이 진행되지 않아 8월 중반까지 약 2개월에 걸친 데이터를 분석하였다. 초기 용출특성을 관찰하기 위해 설치 후 2일 동안은 4시간 간격으로 시료를 채취하였고, 그 후 주 2~3회씩 채취하여 분석하였으며, Sampling은 튜브를 반응조 내의 퇴적물 층 상부 10 cm 지점에 설치하여 채취하였다.



<그림 2-50> 현장용출 실험장치 개요도

(표 2-23) 실험지점별 조건 및 실험장치 개요

구분	유입부	유출부	
재질	PVC		
직경	150 mm		
높이	1.4m (수심 1.2m, 퇴적층 깊이 0.3m)	(운전초기)	(50일 이후)
		2.8m (수심 1.7m, 퇴적층 깊이 0.5m)	2.0m (수심 1.7m, 퇴적층 깊이 0.5m)



<그림 2-51> 현장용출 실험장치 설치전경

3) 시료 분석방법

매화저수지 내 용출특성을 관찰하기 위해 DO, pH, TCOD, SCOD, TOC, NO₃-N, NH₄⁺-N, T-N, T-P, PO₄⁻P를 분석하였으며, 채취된 시료는 아이스박스에 보관하고 측정 오차를 최소화하기 위해 시료채취 24시간 이내 분석을 실시하였다. 항목별 분석방법은 (표 2-24)에 제시한 각각의 실험방법에 준하여 실시하였다.

4) 용출속도 산정방법

퇴적물로부터 영양염류의 용출속도는 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$\text{용출속도}(mg/m^2 \cdot d) = \frac{(C_t - C_0) \times V}{T \times A} \quad (\text{식-1})$$

여기서, C_t : t시간 경과 후 농도(mg/L)
 C₀ : 초기 농도(mg/L)
 V : 반응조 액상 부피(L)
 T : 용출시간(day)

(표 2-24) 퇴적물 분석항목 및 항목별 분석방법

항목	분석방법	비고
DO	YSI 550A (USA)	
pH	Thermo Orion medel 420A ⁺ (USA)	
TCOD _{Cr}	Standard Method, 수질오염공정시험법	
SCOD _{Cr}		
TOC	TOC-V CPH (Japan)	
NO ₃ ⁻ -N	Ion chromatography (Metrohm modular, Switzerland)	
NH ₄ ⁺ -N	Nessler Method (U.S.EPA)	
T-N	Standard Method, 수질오염공정시험기준	
PO ₄ ⁻ -P	Ion chromatography (Metrohm modular, Switzerland)	
T-P	Standard Method, 수질오염공정시험기준	

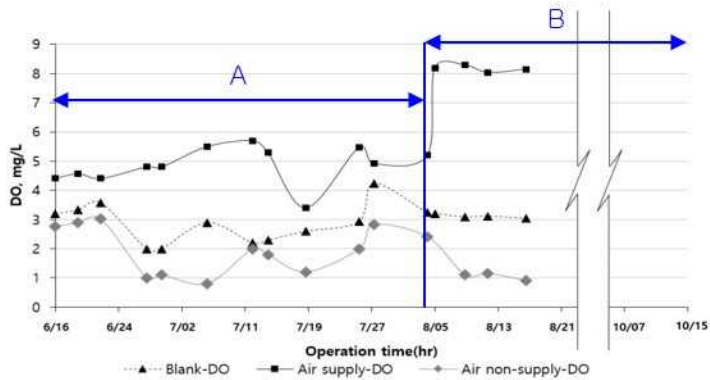
나. 용출량 실측 결과

매화저수지의 퇴적물로부터 오염물질 용출특성을 현장에서 직접 파악하였다. 호소의 바닥층에 퇴적된 퇴적물에 포함된 영양염류는 용출을 통하여 수체로 재 부유되어 내부부하를 가중시킬 우려가 있다. 퇴적물 내에 존재한 영양염류의 용출은 수온, pH, 용존산소, 유속 등과 같은 물리화학적 환경요인과 저서 미생물 등의 생물학적 요인에 의해 영향을 받는다 (Kairesalo, T. et al., 1995). 즉, 퇴적물은 저서의 환경여건 변화에 따라 호수의 수질을 악화시킬 수 있고, 호소 부영양화의 진행은 질소와 인의 농도에 크게 영향을 받고 있기 때문에 퇴적물에서 용출되는 영양염의 양과 농도를 분석하는 것은 호소의 수질관리 측면에서 매우 중요하다. 본 퇴적물 용출실험은 이와 같이 내재적 오염물질이 수질에 미칠 수 있는 영향을 예측하기 위하여 실시되었다.

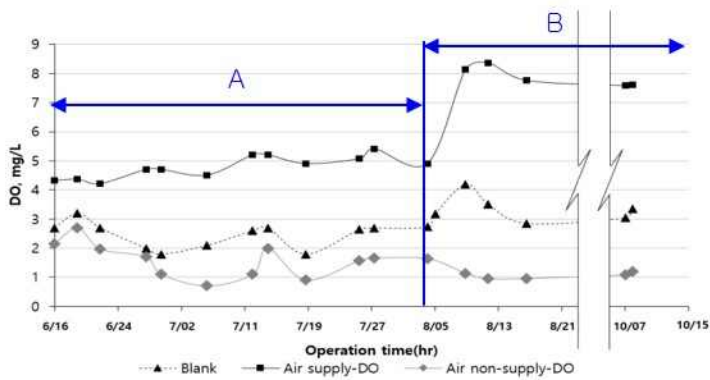
1) DO 농도 및 pH 변화

실험은 반응조 내 DO 농도 세팅 값을 기준으로 실험 시작 후 약 50일 간을 A구간, 이 후 종료까지 기간을 B 구간을 나누었다. 실험시작 후 A 구간동안 유기물 등의 농도가 안정적으로 유지되는 것을 확인한 이후, 보다 환경조건에 따른 변화를 명확하게 관찰하기 위해 B구간에서는 공기공급량을 높게 유지하였다. 폐쇄수면 조건의 경우 수면위로 돌출된 실험 장

치를 수면 아래로 완전히 잠기게 하고 반응조 내·외부의 수표면 유지를 위해 뚫어놓은 구멍을 모두 막아 확실한 폐쇄조건이 되도록 하였다. <그림 2-52> 및 (표 2-25)와 같이 DO농도는 A와 B 구간에서 명확한 차이를 보이고 있다. 또한, 실험기간동안 pH 변화는 <그림 2-53>과 같이 7.0~8.0 사이의 범위를 지속적으로 유지하고 있는 것으로 나타났다.



<유입부>

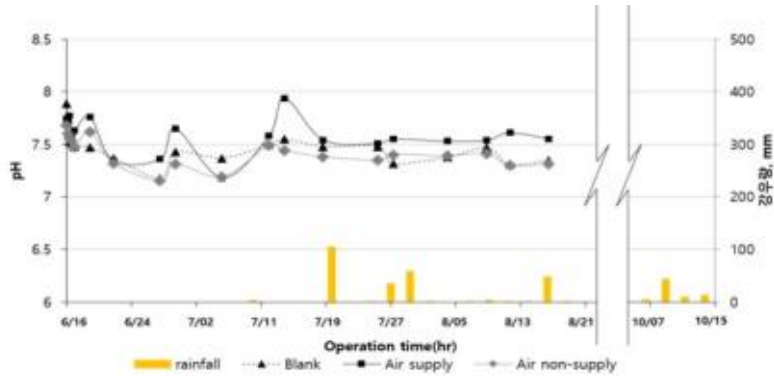


<유출부>

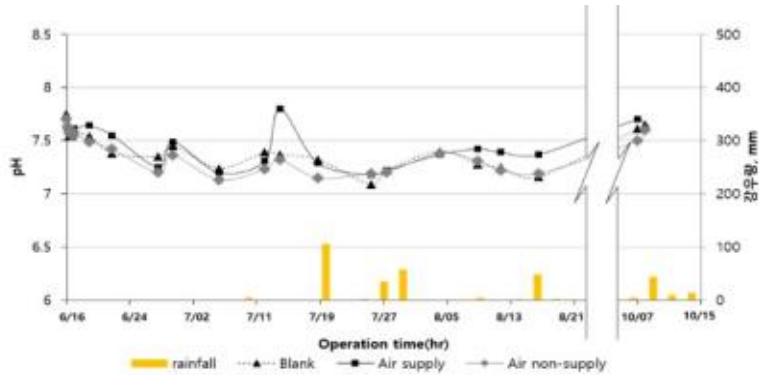
<그림 2-52> 구간별 DO농도 변화

(표 2-25) 구간별 평균 DO 농도

DO (mg/L)	자유수면		자유수면+공기공급		폐쇄수면	
	유입부	유출부	유입부	유출부	유입부	유출부
A	2.9	2.5	4.9	4.8	2.0	1.6
B	3.1	3.4	8.2	7.9	1.1	1.1



<유입부>



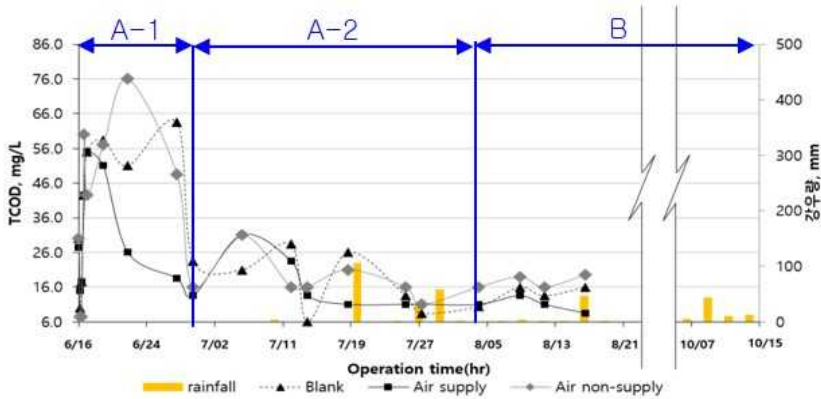
<유출부>

<그림 2-53> 운전기간 pH 변화

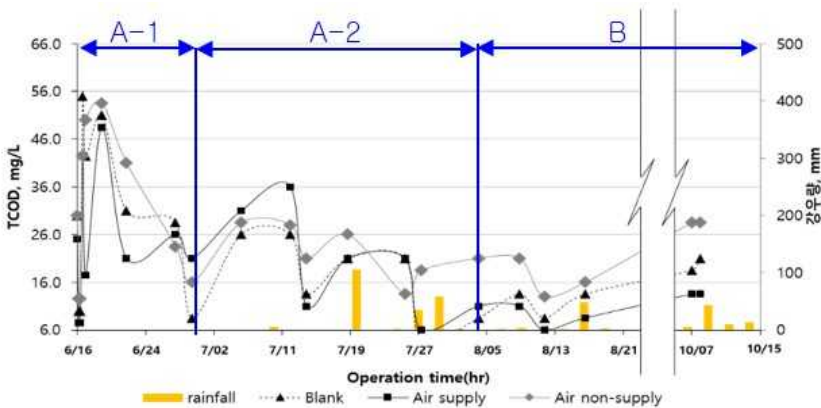
2) COD 및 SOD 변화

다음 그림에 나타낸 A-1구간은 실험초기 변동이 큰 구간, A-2구간은 장치내부가 안정화되어 일정한 변화를 보이는 구간, B구간은 DO 변화조건을 바꾼 구간으로 구분하여 정리하였다. 먼저 <그림 2-54>, <그림 2-55>에 나타낸 COD의 결과를 분석해 보면 전체적으로 폐쇄조건보다 공기공급 조건에서 농도가 낮은 것을 확인할 수 있다. 실험초기 모든 반응조에서 COD양이 증가한 현상은 반응조를 세팅하는 과정에서 퇴적층이 교란되어 유기물질이 재부상 하였기 때문으로 사료된다. 또한, 안정화 후 COD 농도가 일시적으로 증가하는 현상이 관찰되었다. 일부 부영양호의 경우 수체로부터 침전된 유기물이 물리적 교란에 의해 재부유하는 것은 보고되고 있지만, 퇴적물에 전재하는 유기물이 교란되지 않고 안정적인 환경에서 퇴적물

로부터 수체로 용출된다는 것은 보고된 바가 없다(조영철 등, 2007). 따라서 일시적으로 증가한 COD 농도는 퇴적물로부터 용출된 유기물이 측정된 것이 아니라 Sampling 과정에서 퇴적물층의 입자성 물질이 채취되었거나 수체 중에 있는 미생물의 성장과정에서 외부로 배출된 용존유기물(DOC : dissolved organic carbon), 또는 미생물 Biomass에 의한 입자성 유기물(POC : particulated organic carbon)이 측정된 것으로 판단된다. TOC의 경우도 COD와 동일하게 폐쇄수면 조건보다 공기공급 조건에서 더 낮은 농도를 보이고 있으며, 농도차가 발생하는 시점 역시 COD와 동일한 시점에서 일어나고 있는 것이 확인되었다<그림 2-56>.

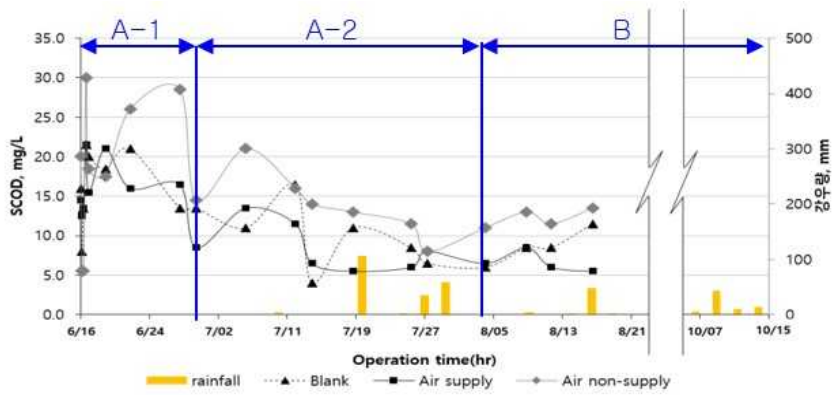


<유입부>

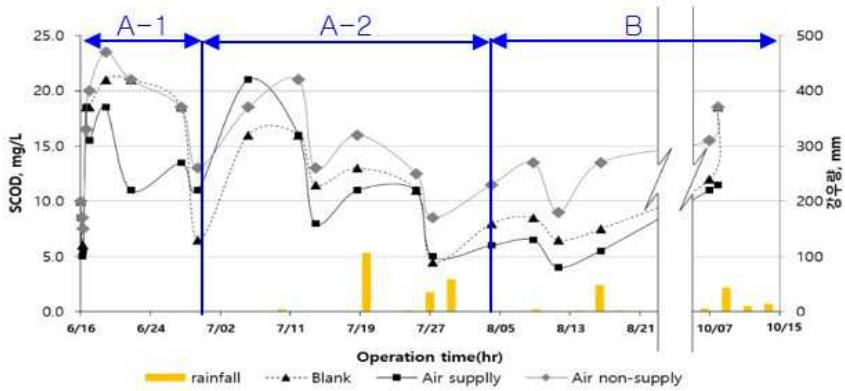


<유출부>

<그림 2-54> 운전기간 TCOD 변화

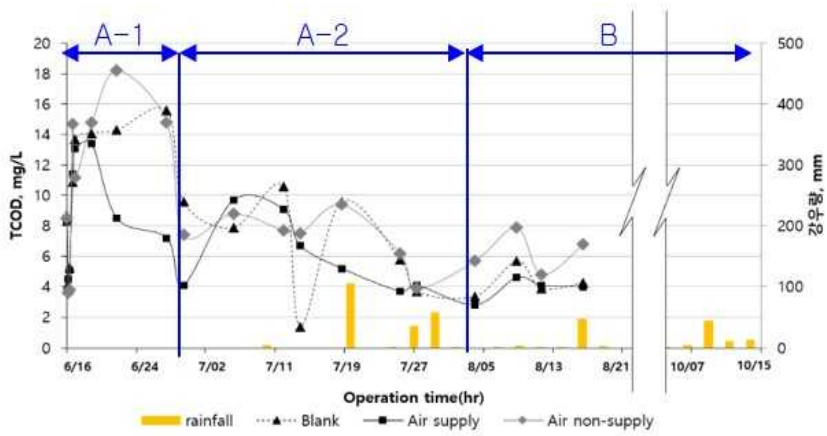


<유입부>

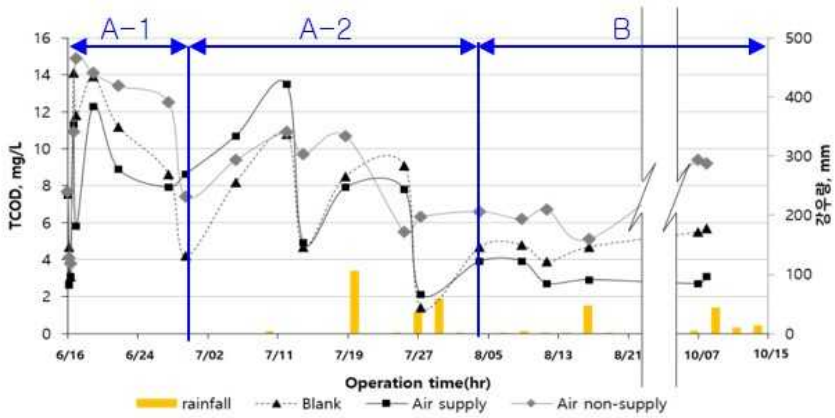


<유출부>

<그림 2-55> 운전기간 SCOD 변화



<유입부>

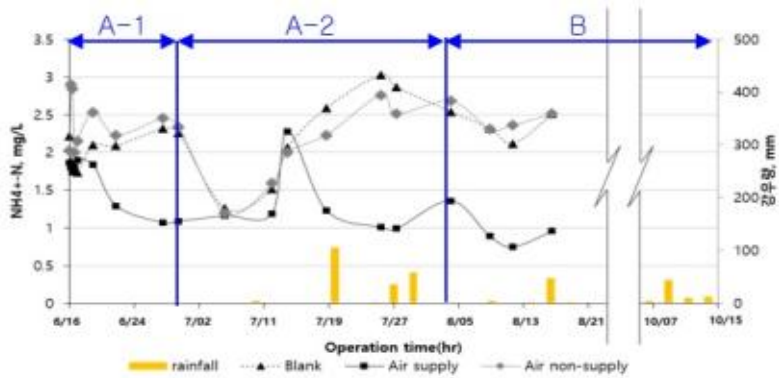


<유출부>

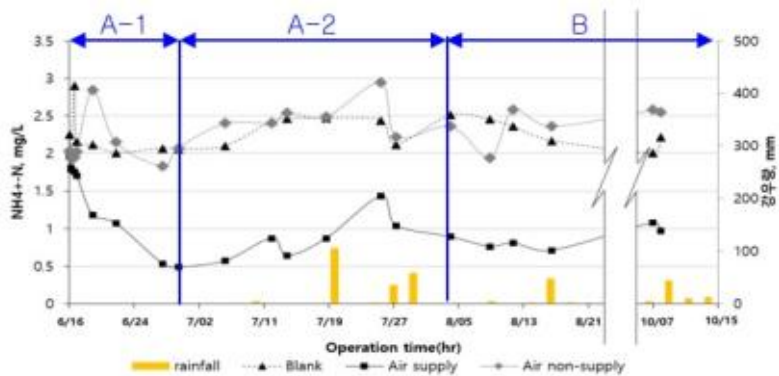
<그림 2-56> 운전기간 TOC 변화

3) 질소계열 변화

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 폐쇄조건에서 공기공급 조건보다 높은 농도로 나타났다. 운전초기 퇴적물의 교란 때문에 변화폭이 큰 것으로 관찰되었으며 안정화 후 폐쇄조건은 미생물에 의한 퇴적층의 유기물이 분해되어 암모늄 이온형태로 용출되어 증가하는 경향이 나타났고, 공기공급조건에서는 암모늄 산화세균에 의해 일어나는 질산화(nitrification)과정으로 인해 암모니아성 질소가 산화되며 질소농도가 감소하였다<그림 2-57>. 또한, 질산성 질소의 경우 폐쇄조건보다 공기공급조건에서 높은 수치를 보이고 있는데 이는 질산성/아질산성 질소가 폐쇄조건에서 탈질미생물의 대사로 일부 제거되었고 공기공급 조건에서는 암모니아성 질소의 산화로 질산성 질소의 농도가 증가하였지만, 탈질 미생물이 성장할 수 있는 환경이 조성되지 않아 나타난 결과로 사료된다<그림 2-58>.

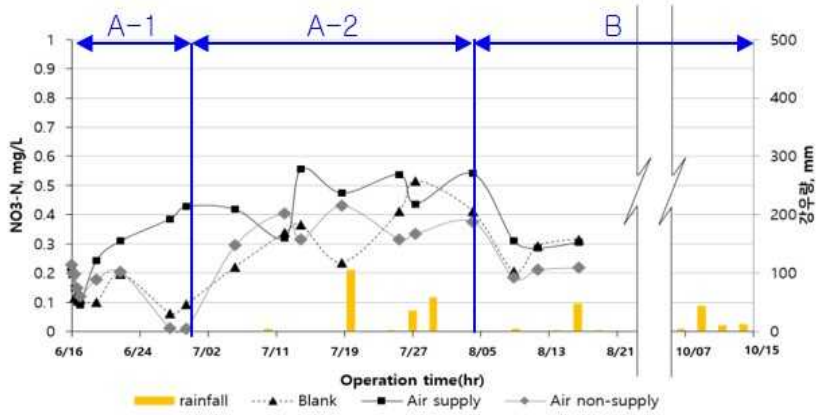


<유입부>

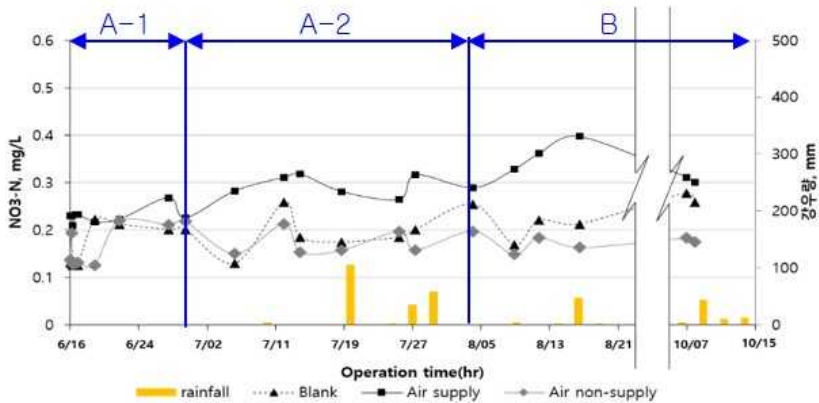


<유출부>

<그림 2-57> 운전기간 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 변화



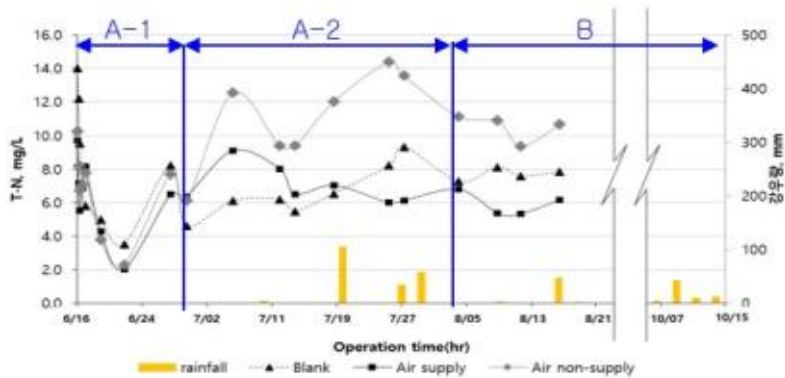
<유입부>



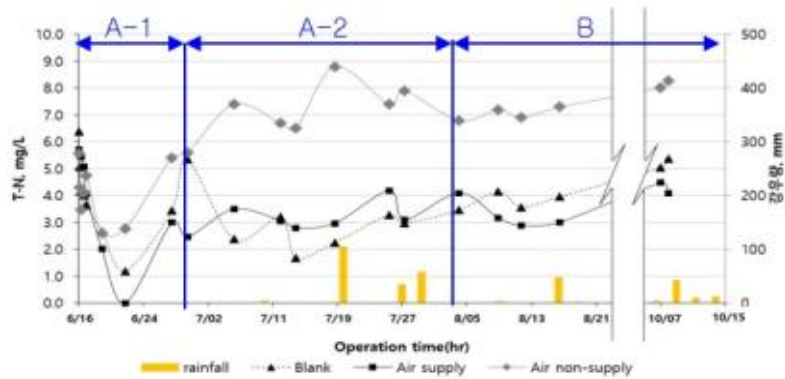
<유출부>

<그림 2-58> 운전기간 NO₃⁻-N 변화

질소계열의 결과를 종합하면 폐쇄조건에서는 실험종료시점 초기농도보다 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이는 공기공급 조건에서는 미생물의 대사 작용에 의해 소비되거나 퇴적물에 흡착되어 낮은 농도가 나타났고, 폐쇄수면조건에서는 유기물이 산화되는 과정에서 유기질소가 생성되어 이와 같은 결과가 나타났다고 판단된다<그림 2-59>. 다만, 본 연구에서는 7월 중 많은 양의 일시적 강우와 7, 8월 동안 꾸준히 유지되는 많은 일사량으로 실내실험 결과와 다소 차이가 발생하였다.



<유입부>



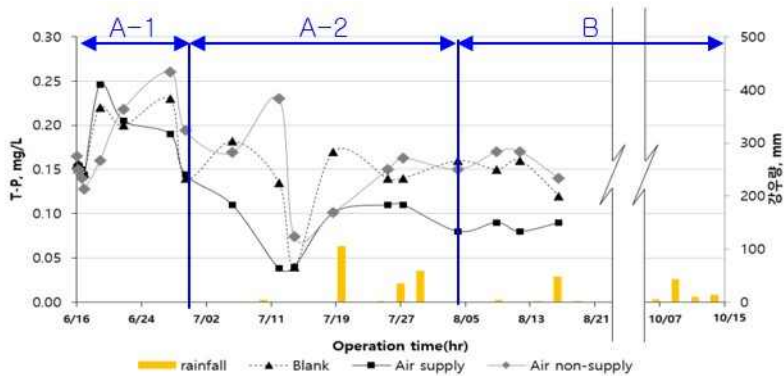
<유출부>

<그림 2-59> 운전기간 T-N 변화

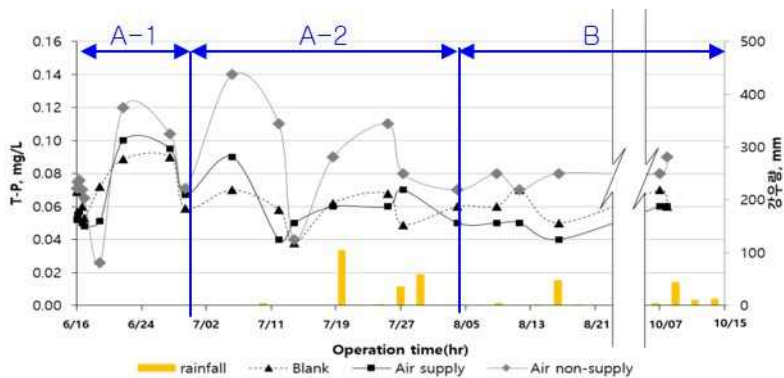
4) TP, PO₄³-P 변화

T-P와 PO₄³-P의 용출속도를 분석한 결과, T-P와 PO₄³-P 모두 대체로 호기조건에서 다른 조건보다 더 낮은 용출속도를 보였다. 김혜연(2013)에 따르면, 인은 높은 pH와 낮은 DO에서 용출이 잘 일어난다고 하였는데, 비록 측정된 pH 값은 큰 변동이 없으나 퇴적물의 용출기작은 이승일(2014)에 따르면 상등수와 퇴적물 내의 공극수의 농도차이로 인해 용출이 발생하는 것으로, 수층 전체가 아니라 퇴적물사이의 공극수 밑 퇴적물에 매우 근접한 수층에서 일어나는 것이기 때문에, 측정된 pH 값은 용출이 일어나는 지점과는 다른 것으로 그에 관계없이 DO의 변화에 따라 용출이 일어난 것으로 간주할 수 있다. 실험이 진행되면서 인의 농도가 모두 감

소하는 경향을 보이고 있는데 이는 퇴적층 내 미생물 등의 수중 생물에 의해 소모되기 때문으로 간주할 수 있으며, 실험초기 발생한 퇴적층 교란으로 발생한 수중 인의 조성에서 $PO_4^{3-}P$ 의 경우 초기 농도 상승 이후 급격히 안정되나 T-P는 그렇지 못한 원인은 위에서 참고한 연구를 참고하면 초기 퇴적층의 교란으로 인해 발생한 용존성 인($PO_4^{3-}P$)은 거의 용출되지 않고 미생물이 이용하면서 농도가 낮아지는 반면, 총 인(T-P)의 경우 TCOD의 농도 변화에서도 확인 할 수 있는 유기물의 분해로 인해, 유기인의 지속적인 유입이 미생물 등의 수중생물의 활동과 맞물려 T-P의 일정 농도 범위에서 유지되는 것을 확인할 수 있다. 더불어 총인(T-P) 중의 용존성 인($PO_4^{3-}P$)의 비율은 시간이 지날수록 줄어드는데 이 또한 참고한 연구의 사례와 유사하며, 이는 퇴적물에서 유기인 용출에 의한 수체 내 내부 오염의 가능성이 있다는 것으로 볼 수 있다.

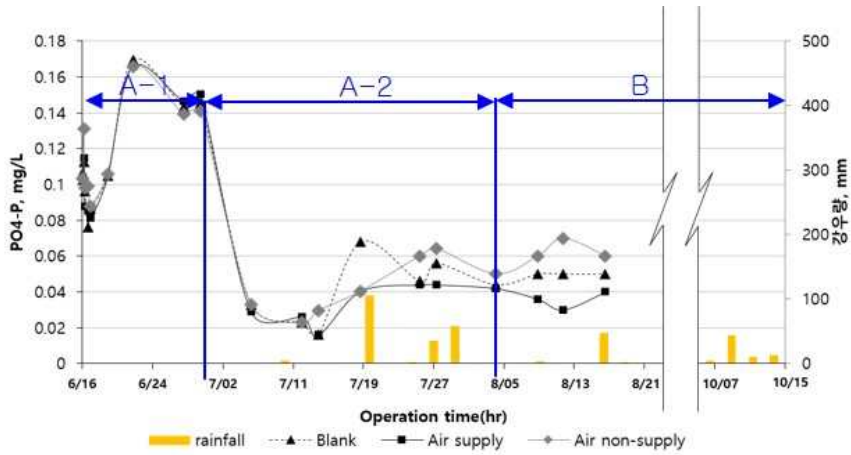


<유입부>

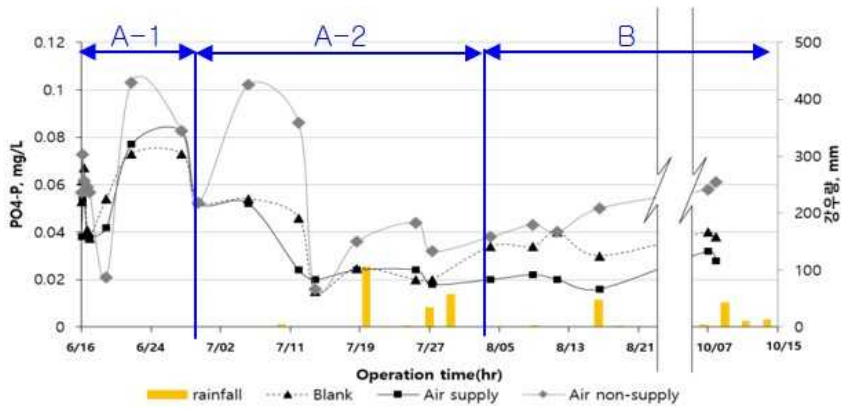


<유출부>

<그림 2-60> 운전기간 T-P 변화



<유입부>



<유출부>

<그림 2-61> 운전기간 PO_4^{3-} -P 변화

4. 매화저수지의 내부 부하 평가

가. 용출량 실측 결과

매화저수지 현장에서 직접 용출량을 실측한 결과를 2차년도에 수행한 실내 용출실험과 비교하여 (표 2-26)에 정리하였다. 저수지의 유입부 지점의 용출속도는 모든 분석항목에 대해 용출속도가 감소하였고, 공기공급 조건에서 폐쇄수면 조건보다 더 높은 용출속도 감소 폭이 확인되었다. 그러나 유출부 지점에서의 용출속도는 실내실험 결과와 비슷하게 공기공급 조건(실내 : 호기조건)에서 용출속도 감소현상이 관찰되었으며, 폐쇄수면 조건(실내 : 혐기조건)에서 용출속도가 증가하는 현상이 나타났다. 이는 외부로부터 오염물질이 유입되어 상대적으로 유출부보다 퇴적물 내 오염물질 농도가 높아 더 높은 용출 속도가 나올 것으로 예상한 것과 상반된 결과가 나타났는데, 현장실험의 특성상 유입부의 낚시좌대 부근에 설치한 실험장치를 유동하는 사람들로 부터 제대로 된 통제를 하지 못했기 때문에 일어난 결과로 판단된다. 하지만 유출부에 설치한 실험 장치는 상대적으로 유동하는 사람들로 부터 통제가 수월한 좌대와 육지의 연결다리 하부에 설치하여 보다 정확한 실험결과가 나왔고, 유출부의 실험결과를 바탕으로 실내용출 실험과 비교해 보았다. 그 결과, 공기공급 조건에서 모든 측정항목에 대해 용출속도 감소 폭이 실내실험 보다 높았는데, 이는 공기를 공급함으로서 현장에 있는 다양한 미생물들의 생장이 빨라졌기 때문에 나타난 결과로 해석할 수 있고, 폐쇄수면 조건에서 T-N을 제외한 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 및 T-P의 경우도 실내실험보다 용출속도가 감소한 원인이 위와 같은 결과에 의한 것이라 판단된다. T-N은 보다 다양한 미생물들의 대사과정에 의해 제거되는 기작이기 때문에 증가한 원인에 대해서 정확한 해석은 어려우나, 실내실험보다 상대적으로 긴 시간동안 유기물이 산화되는 과정에서 생성된 유기성 질소로 인해 이와 같은 용출속도가 나온 것이라 사료된다.

위 결과를 토대로 매화저수지 유출부의 실내 용출속도와 현장 용출속도를 토대로 매화지 수면적($95,400\text{m}^2$) 용출부하량을 산정한 결과 (표 2-27)과 같이 도출되었다. 실험결과를 정리하면, 실내와 현장모두 공기를 공급할 때 T-N, T-P 모두 부하량이 감소되는 결과를 보이고 있어 장기적으로 수생태환경의 개선이 가능할 것으로 판단된다.

(표 2-26) 실내 용출실험과 현장 용출실험 비교

구분	실내실험 (mg/m ² ·d)		현장실험 (mg/m ² ·d)		
			실험조건	유입부	유출부
NH ₄ ⁺ -N	호기조건	-4.5	공기공급	-11.6	-28.2
	혐기조건	12.0	폐쇄수면	-10.5	0.0
T-N	호기조건	-31.7	공기공급	-45.7	-61.2
	혐기조건	6.9	폐쇄수면	-27.1	53.8
T-P	호기조건	0.0	공기공급	-0.8	-0.3
	혐기조건	2.8	폐쇄수면	-0.6	1.1

※ 실내실험 용출속도는 본 과제의 2차년도 실내실험 데이터의 평균치 사용
(채수위치 : 매화지 유출부)

※ 현장실험 용출속도는 저수지내 수위저하 직전 데이터를 최종 농도로 사용

(표 2-27) 매화저수지의 용출부하 비교

구분		용출부하량 (kg/day)	
		실내	현장
T-N	공기공급 (실내 : 호기조건)	-3.02	-5.84
	폐쇄수면조건 (실내 : 혐기조건)	0.06	5.13
T-P	공기공급 (실내 : 호기조건)	0.00	-0.03
	폐쇄수면조건 (실내 : 혐기조건)	0.27	0.10

제3장

융복합 수처리시스템 현장적용 및 성능평가

제1절 생태융합형 접촉산화시스템 성능평가

제2절 바이오스톤 접촉산화시스템의 성능평가

제3절 복합응집장치의 성능평가

제3장 융복합 수처리시스템 현장적용 및 성능평가

제1절 생태융합형 접촉산화시스템 성능평가

1. 생태융합형 접촉산화시스템 시설 개요

가. 현장적용실험 대상 지구

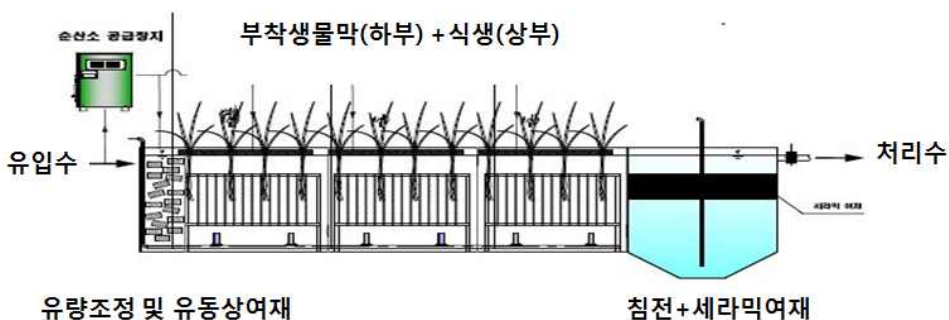
농업용 저수지 유입수의 유기물, SS, TN, TP 등의 처리를 목적으로 개발된 생태융합형 접촉산화시스템 수로식(이하 생태융합형 접촉산화수로)의 실규모 현장적용실험을 하기 위해 Test Bed를 경기도 시흥시 도창동에 위치하고 있는 매화저수지 수변에 2015년 8월에 설치하였다. 생태융합형 접촉산화수로는 토지 활용성, 전기시설 이용편리성, 대형차량 접근의 용이성 등 현장 여건을 고려하여 설치 위치를 선정하였다(세부 내용은 2차년도 보고서 참고). 매화저수지는 현재 유료낚시터로 운영되고 있어 임대 사업자 및 관리 지사(경기지역본부 수원화성지사)와 협의하여 설치 위치 등을 선정하였다. 접촉산화수로의 설치 위치는 <그림 3-1>와 같다.



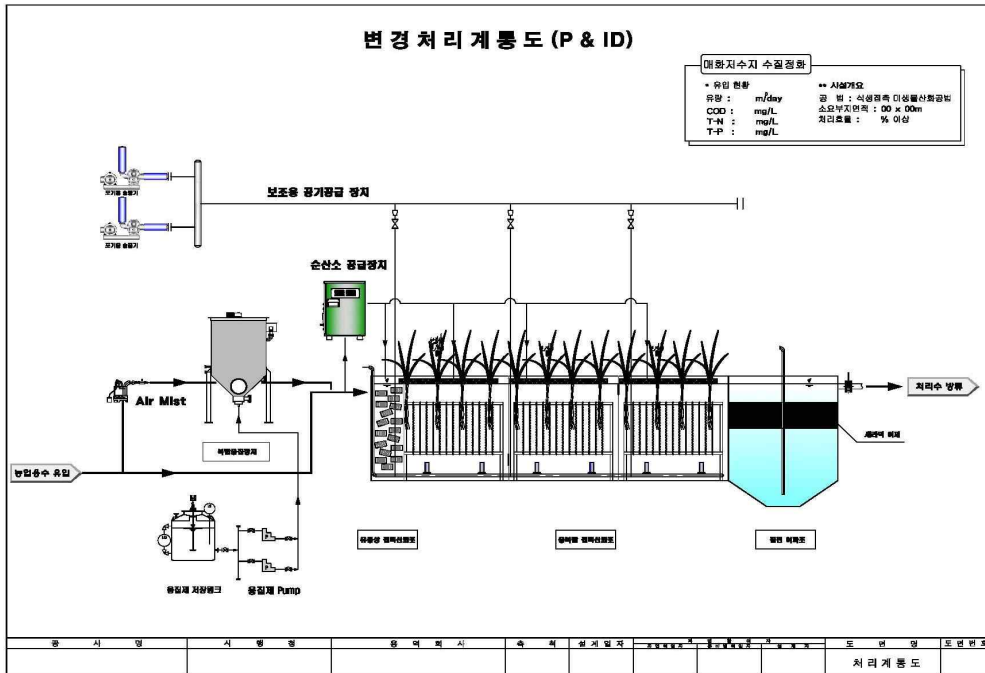
<그림 3-1> 접촉산화수로 및 접촉산화부도 설치 위치

나. 공정구성 및 기능

농업용 저수지 유입수 대책인 생태융합형 접촉산화수로의 수처리 공정은 유입수 → 에어미스트(산소공급 장치) → 유량조정 및 전처리 → 융복합 산화조(3조) → 여과침전조 → 방류로 매우 단순하게 구성되었다. 고속 복합응집장치는 유입되는 오염물질의 TN, TP가 고농도이거나 초기 강우 시의 수 처리를 위해 유입수 성상과 현장 여건에 따라 선택적으로 조합하여 운영할 수 있도록 구성하였다. 에어미스트는 입자크기가 30 μ m 이하 크기의 마이크로 버블 발생장치 또는 순산소 발생 장치(용해장치 포함)를 수처리조 앞단에 설치하였고, 에어미스트는 수처리조에 산소를 넣어 주어 DO 농도를 최소 4.0mg/L 이상의 호기성 상태로 유지시켜 주는 역할을 한다. 유량조정조는 유입되는 유량을 조정하고 SS 제거효율을 높이기 위한 목적이며, 전처리는 유량조정조에 유동상 매디아(CBC 매디아, D 100mm×H 100mm)를 충전하였다. 유동상 여재의 기능은 처리수 유입시 함유되는 조대 SS의 크기를 최소화시켜 유기물 분해를 촉진시키는 기능과 미생물 보유량을 증가시켜 후단 접촉산화조의 처리효율을 향상시키기 위한 목적이다. 식생 뿌리와 끈상매디아로 이루어진 접촉산화조는 3조로 구성하였으며, 끈상 매디아에 부착된 미생물에 의해서 유기물질을 산화·분해하고, 상부 식생 뿌리에 의해 영양염류를 흡수하여 제거하는 역할을 한다. 마지막 공정에 설치된 침전여과조는 상단과 하단을 분리하여 상단에는 세라믹 여재를 충전하였고, 하단은 침전조로 활용하였다. 상단에 여과재로 사용된 세라믹 여재는 접촉산화조로부터 탈리되어 유출된 미생물을 제거하고, 침전조는 이송된 슬러지를 침강시켜 농축하는 역할 및 최종 방류수의 유량 조정 기능을 담당한다. 전체적인 공정도는 <그림 3-2>와 같다.



<그림 3-2> 생태융합형 접촉산화수로 모식도



<그림 3-3> 생태융합형 집축산화수로 설계도



<그림 3-4> 생태융합형 집축산화수로 설치 전경

다. 생태융합형 접촉산화수로 제원

생태융합형 접촉산화수로는 기본적으로 유량조정조, 미생물접촉산화조(3조), 여과침전조, 제어반으로 구성된다. 유량 조정조는 유입수에 포함된 조대 SS(Suspended Solid)을 작게 파쇄하여 후단 공정의 유기물 부하를 줄이는 공정이다. 구성은 유입부 펌프, 순산소 공급장치, 유동상 여재로 구성된다. 생태융합형 접촉산화수로의 규격 및 사양은 (표 3-1)과 같고, 각 시설별 세부 내역은 (표 3-2)과 같다. 순산소 공급장치는 DO를 공급하는 장치로서, 순산소 발생기와 산소 용해기로 구분되며, 정상적인 운전 시 유량조정조의 DO는 약 11~15 mg/L로 유지된다. 유동상 여재는 CBC 미디어(D100 mm×H100 mm) 70개를 충전 하였고, 미생물접촉조는 2,000 mm(W)×2,000 mm(L)×2,000 mm(H)의 3조로 구성되어 있다. 미생물 접촉재 상부에 있는 식생 기반재는 2,000 mm(W)×2,000 mm(L)×50 mm(H)의 3조로 구성되어 있고, 식생은 1조당 노랑꽃창포 49주가 식재되어 있다. 세라믹 여과조는 침전조의 상단에 위치하며, 내부 규격이 2,000 mm(W)×2,000 mm(L)×600 mm(H)으로 세라믹여재(GR 2.9E)가 2 m³ 규모로 충전되어 있다.

(표 3-1) 생태융합형 접촉산화수로 규격 및 사양

구분	규격 및 사양	비고
1. 형 식	철재프레임	상부 : 식생 하부 : 미생물 여재
2. 규 격	2.0mW × 8.6mL × 2.0mH	유량조정조 × 1조 미생물접촉조 × 3조 여과침전조 × 1조
3. 처리용량	360m ³ ~ 1200m ³ /day	체류시간 30Min ~ 90Min
4. 처리효율	BOD 70%, SS 80% 이상 처리효율 예측	유입BOD 20ppm이하 유입 SS 100ppm이하
5. 용 적(m ³)	2.0mW × 6.0mL × 2.0mH (24m ³)	침전조 8m ³ 제외
6. 구성	1) 식생면적 : 12m ² (노랑꽃 창포) 2) 미생물모듈: 여재 1,200m × 3SET 3) 산기관 : 400ℓ/min × 6EA 4) Air Mist : 950W × 25LPM × 1SET 5) 링브로워 : 2.2kw × 1.8m ³ /min × 1set 6) 순산소공급장치 : 7lpm@90% × 1SET:	순산소 공급장치 가동 중

(표 3-2) 생태융합형 접촉산화수로 시설별 세부내역

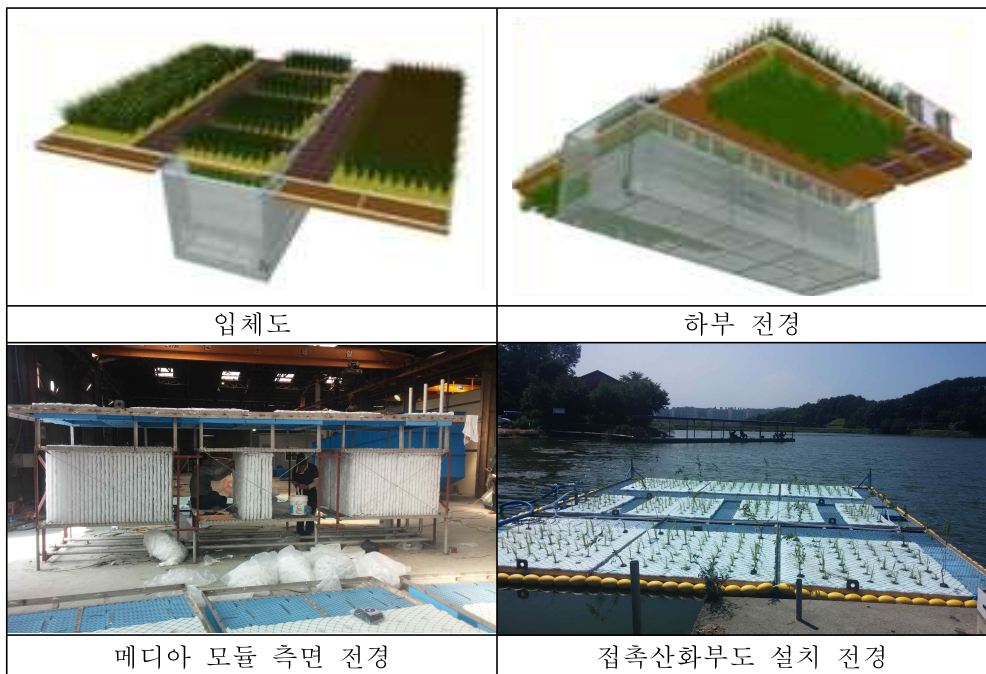
시설구분	내부 규격	비고
유입펌프	250L/min×220V×950W×1EA	
순산소공급장치	7lpm@90%/O2MOS-7LC × 480W × 1EA	
유량조정조	2,000Wmm × 0.5Lmm × 2,000Hmm	
유동상여재	D100mm× H100mm× 70EA	
미생물 접촉산화조 (#1~#3)	2,000Wmm×2,000Lmm×2,000mm	
미생물 모듈	1,800mm×1,800mm×1,500mm× 3EA 미생물접촉재 1,200m× 3EA	
여과침전조	2,000Wmm×2,000Lmm×2,500Hmm	
세라믹여과조	2,000Wmm×2,000Lmm×600Hmm 세라믹여과재 2~6mm× 2m³	
식생 기반재	2,000Wmm×2,000Lmm×50Hmm×3SET 식재 : 노랑꽃창포 49주×3SET	

라. 생태융합형 집축산화부도 시설제원

호소 정체수역인 만곡부의 정화시설인 생태융합형 집축산화부도의 기본적인 구성은 미생물 집축산화조, 에어미스트, 수초재배섬, 제어반으로 구성된다. 현장적용실험을 위해 Test Bed로 구축한 생태융합형 집축산화부도의 시설제원은 (표 3-3)와 같고, 설치전경은 <그림 3-8>과 같다.

(표 3-3) 생태융합형 집축산화부도 시설제원

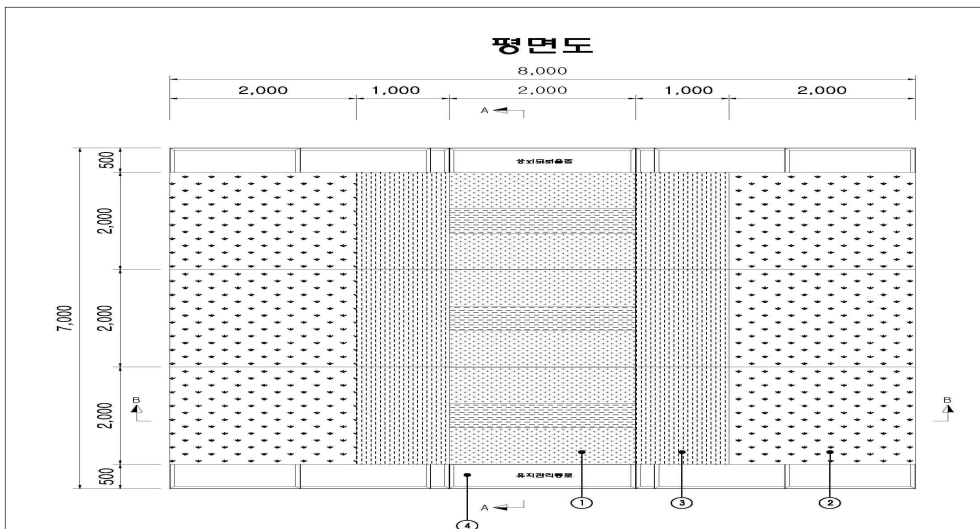
구분	규격 및 사양	비고
형식	철재프레임	상부 : 식생 하부 : 미생물 여재
규격	8.0m(W)x7.0m(L)x2.0m(H)	
처리용량	450m ³ ~ 1,300m ³ /day	유입농도, 체류시간고려 30min ~ 90min
처리효율	BOD 70%, SS 80%, TP 60% 이상	유입BOD 20mg/L이하 유입 SS 100mg/L이하
용적(m ³)	2.0m(W)x7.0m(L)x2.0m(H)(28m ³)	장막형(융합산화조)
구성	1) 식생면적 : 36m ² 2) 미생물모듈: 여재 1,200m x 3Set 3) 산기관 : 400ℓ/min x 6EA 4) Air Mist : 950Wx 25LPM x 1SET 5) 링브로워 : 2.2kWx1.8m ³ /minx1set	



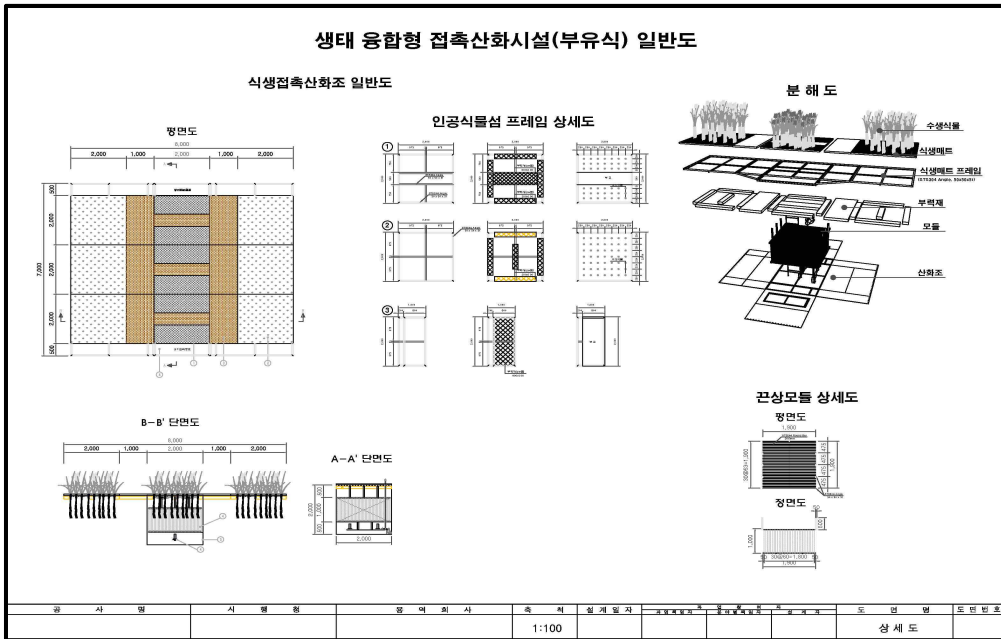
<그림 3-5> 집축산화부도 입체도 및 설치 전경

(표 3-4) 생태융합형 집축산화부도 시설별 세부 내역

시설구분	내부 규격	비고
에어미스트	950W × 25LPM × 1SET	
미생물 모듈	1,800mm×1,800mm×1,500mm × 3EA 미생물접촉재 1,200m × 3EA	
미생물접촉산화조 (#1 ~ #3)	2,000Wmm×7,000Lmm×2,000Hmm	
수초재배섬 #1 ~ #2	2,000Wmm×7,000Lmm×100Hmm 꽃창포 98주 × 2SET	
방류펌프	250L/min × 220V × 950W × 3EA	



<그림 3-6> 생태융합형 집축산화부도 평면도



<그림 3-7> 생태융합형 집축산화부도 설계도



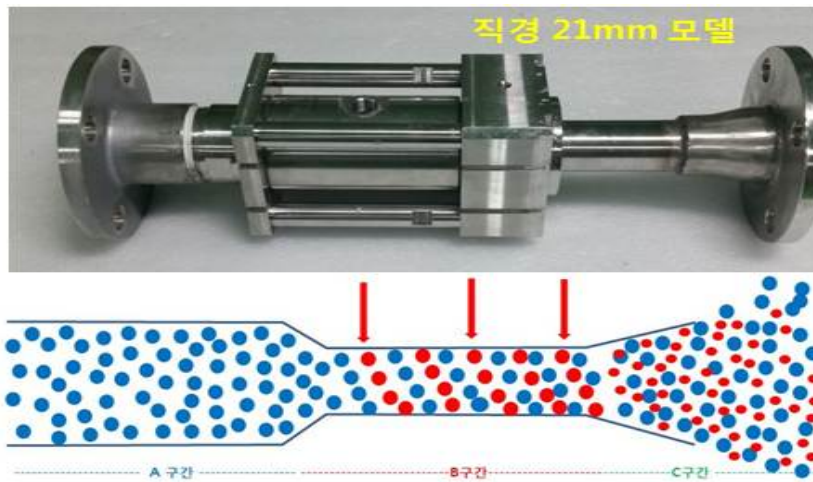
<그림 3-8> 생태융합형 집축산화부도 설치 전경

2. 산소공급 장치에 따른 성능평가

가. 산소공급 장치 제원

산소공급 장치는 끈상미생물 접촉산화조 전단에 설치하여 접촉산화조에 산소를 포기시켜 주어 DO 농도를 4.0mg/L 이상의 호기성 상태로 유지시켜 주는 역할을 한다. 접촉산화조의 호기성 미생물 활성화도 및 수질정화효율 등을 고려하여 경제성 있는 시설을 도입하고자 마이크로버블 발생장치와 순산소 발생장치를 각각 접촉산화시스템 전단에 설치하여 접촉산화조 및 유출수의 DO 농도와 미생물 부착조의 수질정화효율 등을 검토하였다.

마이크로버블 발생장치는 입자크기가 $30\mu\text{m}$ 이하 크기의 미세 기포를 만들어 산소에 포기하는 방법으로 <그림 3-9>과 같이 모델명 Air-mist 21 시스템(950W, 25LPM)의 1 SET을 설치하여 2015년 9월부터 11월 5일까지 가동하였다. 순산소 발생장치는 크게 산소 발생기와 산소 용해기로 구분되며, 산소 발생기는 공기를 흡입시켜 질소는 흡착시키고 산소는 산소 용해기로 내보내는 장치이고, 산소용해기는 순산소를 처리조에 유입되는 물에 용해시키는 장치이다. 순산소 발생기는 <그림 3-10>과 같이 모델명 (7lpm@90%/O₂MOS-7LC)을 이용하였고, 순산소 용해기는 모델명(50mm 입출구경/TD-50)을 이용하여 2016년 4월부터 2016년 12월까지 시험운전 및 정상 가동하였다.



<그림 3-9> 마이크로 버블 제너레이터(Air-mist 21 시스템)



<그림 3-10> 산소 공급장치(산소발생기 및 산소용해기)

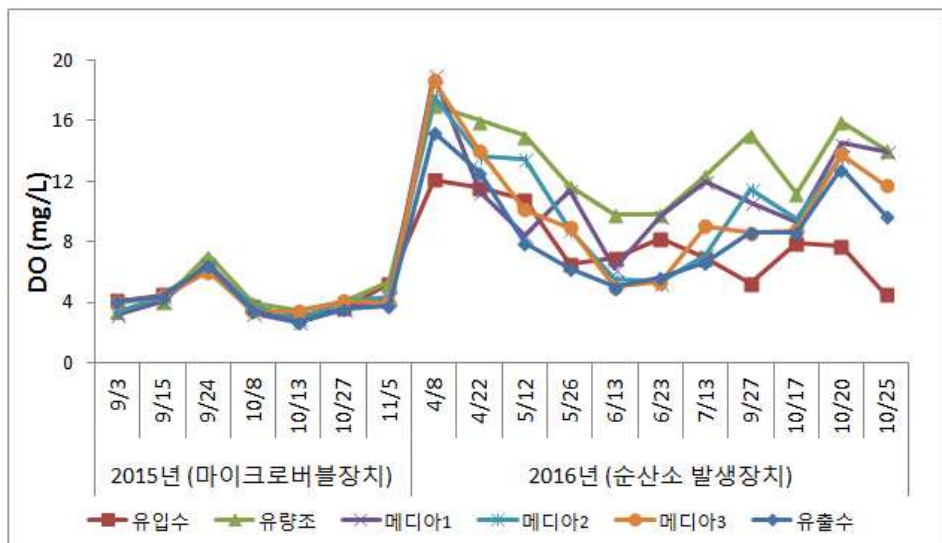
나. 접촉산화시스템의 DO 농도 변화

산소 공급장치인 마이크로버블 발생장치와 순산소 발생장치를 각각 접촉산화시스템 전단에 설치하여 유입수 DO 농도 대비 접촉산화조 및 유출수의 DO 농도를 비교 분석하여 (표 3-5)과 <그림 3-11>에 나타내었다. 마이크로버블 제너레이터를 설치하여 실험한 경우 유입수의 DO 농도는 3.1~6.5 mg/L(평균 4.4mg/L)를 나타냈고, 포기되는 산소가 제일 먼저 유입되는 유량조정조는 3.4~7.1mg/L(평균 4.5mg/L)를 나타내 유입수 대비 2.6% 정도 증가하는 것으로 나타났고, 끈상 메디아조에서는 1단~3단의 모든 처리조에서 유입수 대비 감소하였고, 유출수에서는 평균 4.1mg/L로 유입수와 거의 비슷한 농도를 나타내었다. 이러한 원인은 접촉산화시스템 내부의 단위 조가 단락류 방지를 위해 모두 정류벽 구조로 되어 있어서 유량조정조에 포기되었던 DO가 다음 수처리조인 접촉메디아조에 쉽게 이동 및 확산되기가 어려웠던 것으로 판단된다.

순산소 용해기는 수처리조 내로 유입되는 유입수에 산소를 용해시켜 주입하는 방법으로 실험하는 동안 유입수 DO 농도는 4.5~12.1 mg/L(평균 8.0 mg/L)를 나타냈고, 유량조정조에서는 9.8~17.0 mg/L(평균 13.5 mg/L)로 유입수 대비 약 68% 정도 증가하는 것으로 분석되었다. 메디아 부착조에서도 1단~3단까지 각각 유입수 대비 평균 43.1%, 32.2%, 28.8%까지 증가하였고, 최종 처리수에서도 유입수 대비 11.9% 증가하는 결과를 보였다.

(표 3-5) 산소공급장치에 따른 수처리조 DO농도

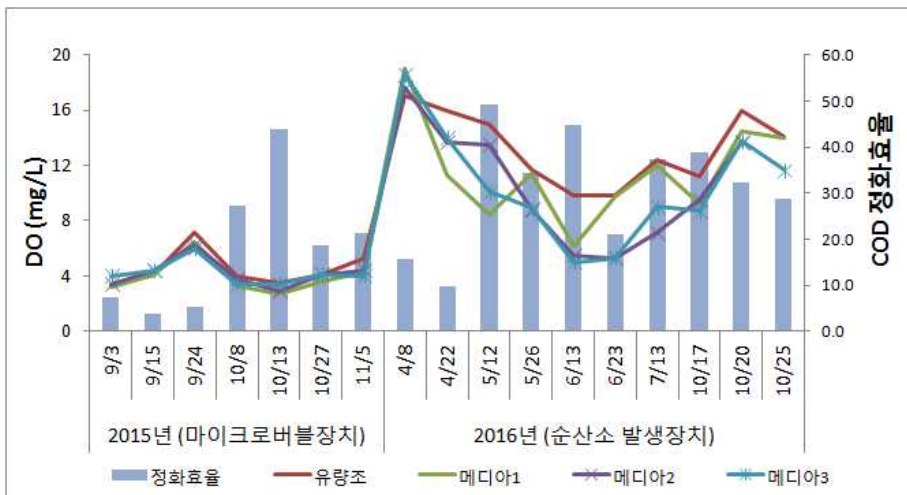
구 분		유입수	유량조	메디아1	메디아2	메디아3	유출수
마이 크로 버블	최대	6.5	7.1	6.5	6.3	6.0	6.4
	최소	3.1	3.4	2.7	2.9	3.4	2.7
	평균	4.4	4.5	4.0	4.2	4.2	4.1
순 산 소	최대	12.1	17.0	19.0	17.6	18.6	15.2
	최소	4.5	9.8	6.2	5.3	5.0	5.0
	평균	8.0	13.5	11.5	10.6	10.3	9.0



<그림 3-11> 산소공급장치에 따른 수처리조 내 DO 농도 변화

다. 끈상매디아 접촉산화조의 수처리 효율 평가

산소 공급장치인 마이크로버블 발생장치와 순산소 발생장치를 각각 접촉산화시스템 전단에 설치하여 끈상 매디아 접촉산화조의 수질정화효율을 평가하여 <그림 3-12>에 나타내었다. 마이크로버블 제너레이터를 설치하여 운전한 2015년의 매디아조의 평균 COD 처리효율은 18.2%를 나타냈고, 순산소 용해기를 이용한 2016년 운전에서는 매디아조의 COD 평균 처리효율이 31.2%를 나타내 마이크로버블 제너레이터 운전시보다 처리효율이 13% 증가하는 것으로 나타났다. SS 처리효율은 마이크로버블 제너레이터의 경우 평균 30.7%로 나타났고, 순산소 용해기의 경우 평균 44.2%로 나타나 순산소 공급시에 약 13.5% 정도 더 높게 나타났다. Chl-a의 경우에도 마이크로버블 제너레이터에서는 평균 42.4%의 처리율을 나타냈고, 순산소 공급시에는 평균 64%를 나타내 처리효율이 21.6% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 마이크로버블 제너레이터와 순산소 용해기의 설비 가격 및 동력 사용량에 큰 차이가 없다면 수질정화 효율면에서 상대적으로 우수한 성능을 나타낸 순산소 용해기를 도입하여 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 따라서 생태융합형 접촉산화시스템의 산소 공급 장치는 순산소 발생기(용해기)를 융합하는 것으로 결정하였다.

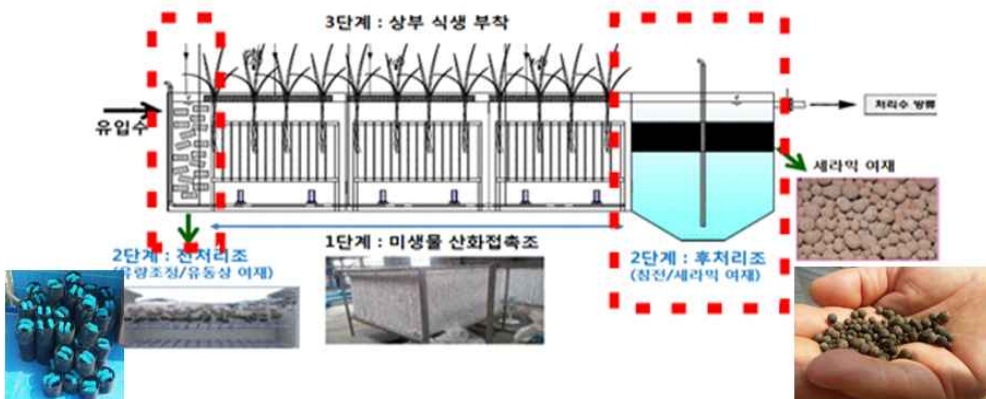


<그림 3-12> 산소공급 장치에 따른 매디아조의 COD 처리효율

3. 접촉산화시스템 수질정화효율 평가

가. 생태융합형 접촉산화수로 추가 보완공사

생태융합형 접촉산화시스템의 단위 구성별 수질정화효율을 평가하기 위하여 단계별로 시스템을 구성하여 정화효율을 평가하고 있다. 1단계로 2015년도에는 마이크로버블 제너레이터와 끈상 접촉산화조를 조합하여 수질정화효율을 평가하였고, 2016년도 상반기에는 순산소 발생기와 끈상 접촉산화조를 조합하여 수질정화효율을 평가하였다. 2016년도에는 2단계로 끈상 접촉산화조에 전처리 공정과 후처리 공정을 조합하여 수질정화효율을 평가하고자 전처리 공정 및 후처리 공정에 대한 보완공사를 <그림 3-14>과 같이 2016년 8월중에 시행하였다. 전처리 공정은 유량조정조에 유동상 매디아(CBC 매디아, D100mm×H100mm)를 충전하였고, 후처리 공정은 침전조를 상단과 하단을 분리하여 상단에 세라믹 여재(GR 2.9E)을 2 m³ 정도 충전하였다. 3단계는 상부의 식생을 부착하여 정화효율을 평가하는 단계로 2016년 11월 2일에 상부 식생매트를 부착하였다. 상부 식생매트는 2016년 9월에 식생매트에 수생식물인 노랑꽃창포를 매디아 1조당 49 주씩 이식시켜 저수지 수면위에 부유시켜 활착 및 생육 중이었던 식생매트를 옮겨와 부착하였다. 노랑꽃창포가 40cm가 되었을 때 접촉산화시스템에 부착하였다. 노랑꽃창포가 정식된 식생매트와 식생매트 하부로 내려온 노랑꽃창포 뿌리 등을 <그림 3-15>에 나타내었고, <그림 3-16>는 식생매트를 접촉산화시스템에 부착한 후의 시설 전경을 나타낸 사진이다.



<그림 3-13> 접촉산화시스템 단계별 효율평가를 위한 추가 보완공사



<그림 3-14> 전처리 공정 및 후처리 공정 보완공사 사진대지

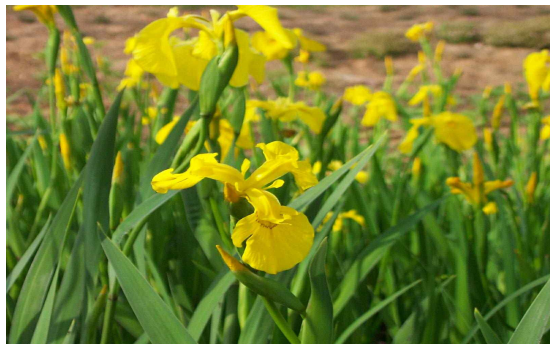


<그림 3-15> 식생을 이식한 식생매트 및 노랑꽃창포



<그림 3-16> 식생매트 부착 후 접촉산화시스템 전경

영양염류인 질소와 인의 처리효율을 증가시키기 위해서 접촉산화시스템 상부에 식재한 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus L*)는 수질정화효율이 높은 다년생 정수식물로서 우리나라 전국 호소, 연못, 도랑 등지에서 쉽게 볼 수 있는 식물이다. 노랑꽃창포는 종자를 통해 번식하며, 근경이 땅속으로 뻗어 소 균락을 형성하며 초장은 40~60 cm, 잎은 길이 50~100cm의 칼 모양으로 되어 있으며, 뿌리에서 모여서 나는 형태로 되어 있다. 노랑꽃창포는 수질개선효과 극대화를 위해서 년 1회 정도 절취가 필요하며, 동절기에 별도의 관리가 필요하지 않는 식물로서 주요 특성은 (표 3-6)과 같다.



<그림 3-17> 식생매트에 식재한 노랑꽃창포 전경

(표 3-6) 노랑꽃창포의 특성

구분	식물 특성
형태	키 : 40~60 cm 줄기 : 땅속줄기는 굵고 옆으로 뻗음. 꽃줄기는 잎 모양 가는 삼각기둥 모양 잎 : 길이 50~100cm, 칼 모양으로 뿌리에서 모여 남 꽃 : 황록색, 육수화서로 꽃대 옆에 달림 화기 6~7월, 결실기 7~8월
생태	생활형 : 다년생 정수성 식물 번식법 : 종자, 지하경 생육상 : 근경이 땅속으로 뻗어 소균락 형성
분포	분포 지역 : 우리나라 전국 분포 생태계 : 호소, 도랑, 연못 분포지 환경 : 오염에 비교적 약함, 수심 0~10cm
이용	땅속줄기는 약용 및 향료, 향기가 좋음 경관형성 및 하안 보호용으로 이용

나. 생태융합형 접촉산화수로 수질정화효율

생태융합형 접촉산화수로의 전처리 공정과 후처리 공정에 대한 추가 공사는 8월 초에 완료되었는데, 가뭄과 8월 저수지 하류지역 눈에 물을 관개하기 위하여 저수지의 물을 대량으로 배수하여 8월 중순부터 9월 하순까지 수위가 1m 이상 저하되어 수처리 시스템이 설치되어 있는 저수지 수변에는 물이 차지 않아서 시설 가동을 잠시 중단하였다. 생태융합형 접촉산화수로의 수질정화효율은 시설의 정상 운영이 가능했던 9월 27일 이후부터 10월 20일까지 조사한 수질자료에 대해서 분석하였다<그림3-19>.

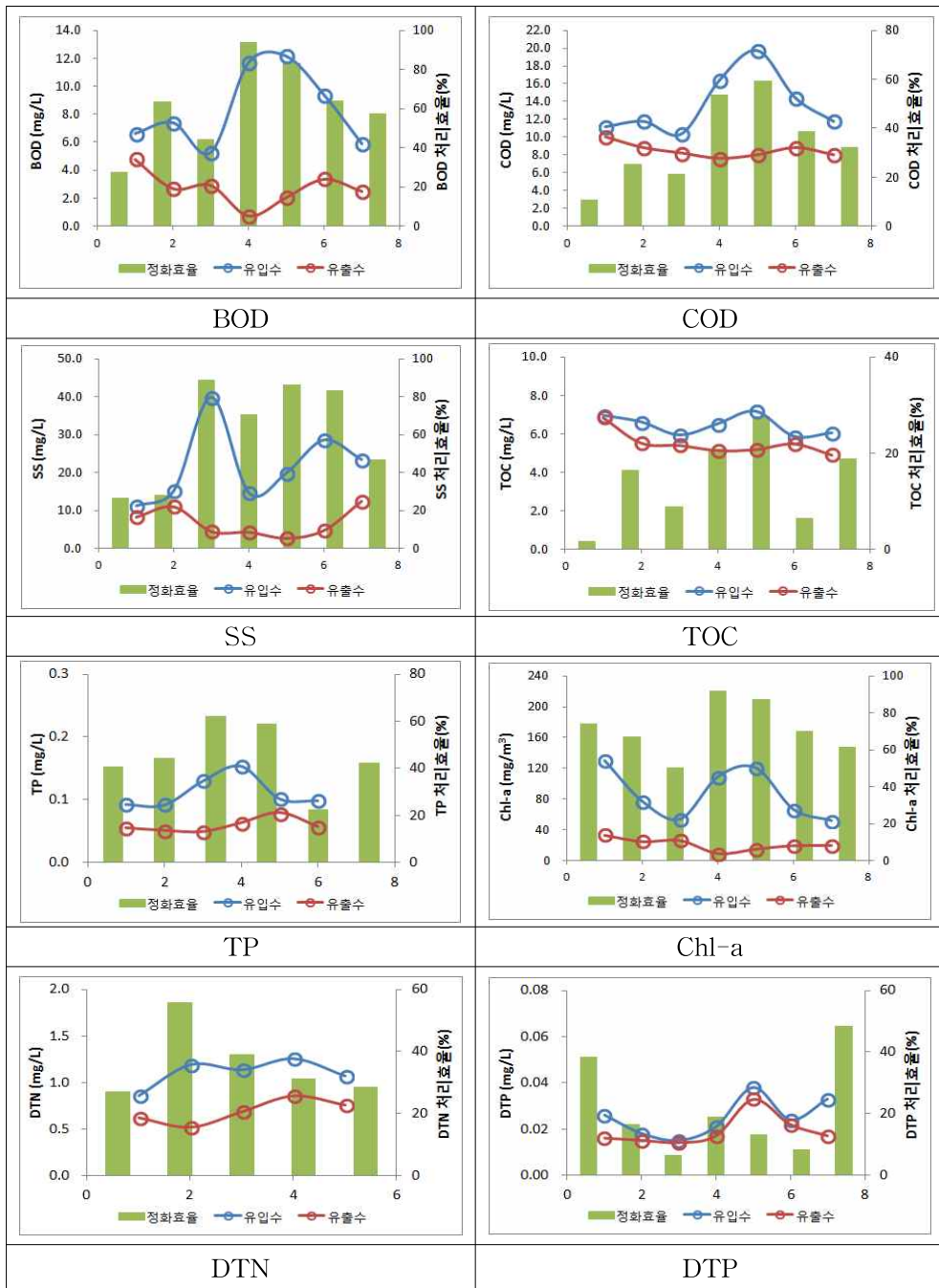
시설의 운전조건은 처리유량은 300 m³/일, 체류시간은 1.5hr, 유입수의 수온은 19~21℃, pH 8.3, BOD 5.2~12.2 mg/L, COD 10.4~19.7 mg/L, SS 11.3~40.0 mg/L, TP 0.090~0.154 mg/L, Chl-a 55.1~120.5 mg/m³으로 나타났다. 생태융합형 접촉산화수로의 BOD 평균 처리효율은 운전 전기간 동안은 62.1%로 나타났고, 미생물 활성화도가 50% 이상 이후(운전 14일 후)부터의 평균 처리효율은 74.7%로 증가하였다. COD의 처리효율은 운영 전 기간 동안은 평균 34.5%로 나타났고, 14일 이후에는 46%로 증가하였다. SS의 처리효율은 61.5%, 71.8%로 BOD 처리효율과 거의 유사하였다. Chl-a는 전체 기간 동안은 71.6%, 운전 14일 이후부터는 77.8%의 높은 정화효율을 나타냈다. TP 처리효율은 40.4%에서 46.6%로 소폭 증가하였는데, 이러한 이유는 부착된 미생물에 의한 TP 제거율이 크지 않기 때문으로 판단된다. DTN과 DTP의 전 기간 동안의 처리효율은 각각 21.9%, 21.6%로 나타났고, 14일 이후의 처리효율은 각각 38.8%, 21.6%로 나타났다. 식생매트가 부착되기 이전의 조사결과이므로 식생매트 부착 이후에는 N, P의 처리효율이 증가될 것으로 예측된다.



(a) 운전 10일 후 채수

(b) 운전 30일 후 채수

<그림 3-18> 생태융합형 접촉산화시스템 정상 가동 후 채수



<그림 3-19> 생태융합형 접촉산화시스템의 수질정화효율

생태융합형 접촉산화수로의 농도기준으로 산출한 평균 수질정화효율과 오염부하량 기준으로 산출한 평균 오염물질 저감효율을 정리하여 (표 3-7)에 나타내었다. 생태융합형 접촉산화수로의 하루 처리수량 300 kg/일을 기준하여 평균 수질농도와 유입수량을 곱하여 오염부하량을 산출하였다. 농도기준으로 산출한 수질정화효율과 오염부하량 기준으로 산출한 오염물질 저감효율은 거의 유사하였으나 오염부하량 기준으로 산출된 정화효율이 조금 더 높게 산출되었다. BOD 기준으로 수처리시설에 들어오는 유입부하량은 2.94 kg/일인데, 그 중 2.31 kg/일의 유기물이 수처리에서 제거되고 제거되지 않은 0.63 kg/일의 유기물이 저수지로 유입되는 것으로 나타났다. 오염물질 부하량을 기준으로 산출한 오염물질 제거효율은 항목별 각각 BOD 78.6%, COD 48.1%, SS 71.9%, Chl-a 82%로 산출되었다.

본 현장적용실험용 수처리 시설은 원활한 실험과 연구비의 한계로 인해 지상에 노출되게 설치한 시설로서 10월 이후부터 외기 기온이 내려가면서 미생물 활성도 저하와 함께 수처리 효율도 감소되었다. 본 연구에서 개발된 수처리 시설은 지하구조물을 목표로 하여 개발된 시설이므로 사업화가 되어 사업지구에 정식으로 설치할 때에는 지하구조물로 들어가기 때문에 외기온도에 영향을 덜 받을 것으로 예측되며, 따라서 수질정화효율도 (표 3-7)에서 나타난 정화효율보다 훨씬 더 높은 정화효율을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

(표 3-7) 생태융합형 접촉산화시스템의 평균 오염물질 저감효율

구 분	수질정화효율			오염물질 저감효율		
	유입수 (mg/L)	유출수 (mg/L)	처리효율 (%)	유입량 (kg/d)	유출량 (kg/d)	저감효율 (%)
BOD	9.8	2.1	74.7	2.94	0.63	78.6
COD	15.6	8.1	46.0	4.68	2.43	48.1
TOC	6.4	5.2	18.5	1.92	1.56	18.8
SS	21.7	6.1	71.8	6.51	1.83	71.9
Chl-a	86.7*	15.6	77.8	0.026	0.005	82.0
T-P	0.121	0.062	46.6	0.036	0.019	48.8

비고) Chl-a 단위 : mg/m³

4. 접촉산화시스템의 끈상 매디아조 미생물 부착능 평가

가. 시료채취 및 실험방법

매화저수지에 설치된 접촉산화시스템 끈상매디아 부착조의 미생물 부착량을 평가하기 위해 전처리조의 유동상 여재와 끈상매디아 접촉재에서 미생물을 채취하여 MLSS와 MLVSS를 분석하였다. 유동상 여재는 총 70개의 여재에 길이 20cm의 섬유상 매디아가 각각 충전되어 있으며, 끈상 매디아 접촉재에는 1.5m 길이의 섬유상 매디아가 800set 충전되어 있다. 각 반응조의 제원은 (표 3-8)과 같다.

각 반응조 매디아의 미생물 부착량에 대한 조사는 총 2회(10월 11일, 11월 14일) 분석하였으며, 유동상 여재는 부유식 여재에 담겨있는 20cm 길이의 섬유상 매디아 1set를 대상으로 분석하였고, 미생물 접촉재 매디아는 각 반응조의 중심부근에 위치한 매디아 1set를 채취하여 상부, 중간부, 하부를 각각 10cm씩 절취하여 분석한 후 평균값을 도출하였으며, 구체적인 채취 시기 및 위치는 (표 3-9)과 같다.

(표 3-8) 반응조의 제원

구 분	반응조 규격	비고
유동상 여재	2.0mW × 2.5mL × 1.8mHe	1조
미생물 접촉재	2.0 mW × 2.0 mL × 1.8 mHe	3조

(표 3-9) 반응조의 미생물 샘플링 시기 및 지점

채취시기	반응조	채취위치	비고
10월 11일	유동상여재	부유식 매디아	
	미생물접촉재	각 반응조 중심부	
11월 14일	유동상여재	부유식 매디아	
	미생물접촉재	각 반응조 중심부	



(a) 유동상 여재

(b) 운영 후 끈상 여재

(C) 끈상 여재 채취

<그림 3-20> 반응조별 분석대상 미디어

나. 유동상 여재 및 미생물접촉재 미디어 분석(1차)

1) 유동상 여재의 미생물 부착량

유동상 여재 및 끈상 미생물접촉재 미디어는 채취 후 각각 10L의 세척용기에 넣은 후 부착되어 있는 입자성 물질이 완전히 떨어질 때까지 세척을 실시하였다. 그 후 SS는 세척용기에 있는 세척수 전량을 취하여 여과한 후 105±5℃의 항온건조기에서 2시간 건조 후 수분을 증발시켜 건중량을 측정하여 SS를 계산하였으며, 550℃에서 30분 동안 연소 후 VSS를 측정하였다.

유동상 여재 내 미디어에 부착되어 있는 SS는 85.3 mg/cm, VSS의 농도는 16.9 mg/cm으로 산출되었다. 따라서 유동상 여재 내 미디어의 총 수량은 70개이고, 1개당 길이가 20cm 이므로 총 길이는 1.4m로 측정되었다.

SS 및 VSS 측정 결과는 다음과 같다.

SS	VSS
85.3 mg/cm	16.9 mg/cm

반응조에 충전된 미디어 수량 및 1개당 길이, 총길이는 다음과 같다.

미디어 수량	1개당 길이	총 길이
70개	20cm	1.4m

유동상 여재 반응조의 유효 부피는 다음과 같다.

가로(m)	세로(m)	높이(m)	부피(m ³)
2.0	2.5	1.8	9.0

유동상 여재 반응조 내의 총 MLSS 및 MLVSS는 다음과 같다.

SS(mg/m ³)	VSS(mg/m ³)	VSS/SS
13.3	2.6	19.5



(a) 세척 전 시료



(b) 세척 건조 후

<그림 3-21> 유동상 여재 분석 시료

2) 끈상 접촉여재의 미생물 부착량

끈상 접촉산화조의 미생물 부착량을 평가하기 위하여 1조~3조까지 각각의 조별로 미생물 접촉재에 부착되어 있는 SS 및 VSS의 농도를 유동상 여재와 같은 방법으로 도출하였다. 산출된 SS 및 VSS 측정 결과는 다음과 같다.

구분	SS(mg/cm)	VSS(mg/cm)
1조	84.8	17.0
2조	85.1	17.4
3조	84.5	17.7

미생물 접촉재 반응조 내 미디어 총 길이는 다음과 같다,

메디아 수량	1개당 길이	총 길이
800개	1.5m	1,200m

미생물 접촉재 반응조의 유효 부피는 다음과 같다.

구분	가로(m)	세로(m)	높이(m)	부피(m ³)
1조	2.0	2.0	1.8	7.2
2조	2.0	2.0	1.8	7.2
3조	2.0	2.0	1.8	7.2

미생물 접촉재 반응조 내 총 SS 및 VSS는 다음과 같이 산출되었다.

구분	SS(mg/L)	VSS(mg/L)
1조	1,413	283
2조	1,418	290
3조	1,408	295

각 반응조의 VSS/SS의 비는 (표 3-10)과 같이 측정되었으며, 수처리시설이 정상 가동되어 반응시간이 진행될수록 보다 많은 미생물이 메디아에 부착되어 있음을 알 수 있다.

(표 3-10) 미생물접촉조의 VSS/SS 비율

구분	1조	2조	3조
VSS/SS(%)	19.9	20.5	21.0



(a) 메디아 1조

(b) 메디아 2조

(c) 메디아 3조

<그림 3-22> 미생물접촉조 여재 분석(세척 건조 후)

다. 유동상 여재 및 끈상접촉재의 미생물 부착량 분석(2차)

유동상 여재 및 끈상 미디어의 미생물 부착량에 대한 1차 분석 후 약 한달이 지난 시점에 2차로 유동상 여재 및 끈상 접촉재의 미생물 부착량을 평가하였다. 분석방법은 1차 조사와 동일한 방법으로 실시하였고, 각 반응조별로 산출된 SS 및 VSS는 (표 3-11)에 나타내었다. 2차에 걸친 분석 결과로부터 미생물 접촉재가 1단에서 3단으로 후단으로 갈수록 VSS/SS의 비가 높아져 처리조 후단으로 진행될수록 미생물 부착량이 증가하는 것을 알 수 있다. 기존 문헌에 의하면 안정화된 미디어의 VSS/SS의 비는 70~80%에 이르는 것으로 보고되고 있다(허명노, 2010).

(표 3-11) 유동상여재 및 미생물접촉재 미디어의 SS, VSS 분석(2차)

구분		SS(mg/L)	VSS(mg/L)	VSS/SS(%)
유동상여재		58.7	15.2	25.9
미생물 접촉재	1조	1,251.7	313.3	25.0
	2조	1,813.3	560.0	30.9
	3조	1385.1	621.7	44.9

(표 3-12) 미디어 미생물 부착량 분석 결과 요약

구분	SS(mg/L)		VSS(mg/L)		VSS/SS(%)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
유동상 여재	13.3	58.7	2.6	15.2	23.1	25.9	
미생물 접촉조	1조	1,422.2	1,251.7	283.4	313.3	19.9	25.0
	2조	1,418.3	1,813.3	290.1	560.0	20.5	30.9
	3조	1,408.1	1385.1	295.2	621.7	21.0	44.9

5. 미디어 접촉산화조 성능평가 및 최적용량 산정

가. 미디어 접촉산화조 성능평가

생태융합형 접촉산화시스템의 미디어 접촉산화조의 성능평가를 실시하였다. 미생물이 미디어에 부착하는 시간을 고려하여 시설 운전일로부터 약 10일이 지난 후의 조사 자료를 이용하였으며, 각각의 반응조에서 수온, pH, EC, DO, BOD, COD, Chl-a, SS, T-N, T-P, TOC, DTN, DTP 항목을 분석하였다. 성능평가는 측정항목별 유입수와 유출수의 분석 자료를 바탕으로 아래의 식을 사용하여 제거율을 도출하였다.

$$\text{Removal}(\%) = (C_i - C_e)/C_i \times 100 \quad (\text{식-1})$$

여기서, C_i = 유입수 농도
 C_e = 유출수 농도

(표 3-13) 생태융합형 접촉산화수로 항목별 측정결과

조사일자		BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	T-P (mg/L)
10/11	유입	11.7	16.4	6.5	14.7	108.9	0.130
	유출	0.7	7.6	5.2	4.3	9.0	0.049
10/13	유입	12.2	19.7	7.2	20.0	120.5	0.154
	유출	2.1	8.0	5.2	2.7	14.9	0.063
10/17	유입	9.4	14.4	5.9	28.7	66.2	0.102
	유출	3.4	8.8	5.5	4.8	19.6	0.079
10/20	유입	5.9	11.8	6.1	23.5	51.8	0.099
	유출	2.5	8.0	4.9	12.5	19.9	0.057

(표 3-14) 생태융합형 접촉산화수로 효율평가

조사일자	측정항목별 제거율(%)					
	BOD	COD	TOC	SS	Chl-a	T-P
10/11	93.8	53.7	21.0	70.7	91.7	62.3
10/13	83.1	59.4	27.7	86.5	87.6	59.1
10/17	64.2	38.9	6.5	83.3	70.4	22.5
10/20	57.7	32.2	18.8	46.8	61.6	42.4
운전기간 평균	74.7	46.0	19.0	71.8	77.8	46.6

나. 접촉메디아조의 최적 용량 산정

1) 산정방법

접촉산화조의 수처리 효율을 바탕으로 각 반응조별 최적용량을 산정하였다. 산정방식은 반응을 수반하는 직렬연결 완전혼합 반응조의 물질수지 방정식에 준하여 산정하였으며, 반응식 유도 과정은 2개의 반응조로 이루어진 시스템에서의 정상상태 물질수지를 유도한 후 n개의 반응조에 대응하는 표현식을 도출하였다. 먼저 2개의 반응조로 이루어진 시스템에서 두 번째 반응조에 대한 정상상태 질량수지 형태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dC_2}{dt} \frac{V}{2} = 0 = QC_1 - QC_2 + r_c \frac{V}{2} \quad (\text{식-2})$$

여기서, 1차 반응 속도식($r_c = -kC_2$)으로 가정하면, (식-2)는 재구성되어 C_2 에 대하여 풀릴 수 있게 된다.

$$C_2 = \frac{C_1}{[1 + (kV/2Q)]} \quad (\text{식-3})$$

C_1 은 완전혼합 반응조가 정상상태 조건(즉, 축적속도 항이 0)이라고 보고 해석하면, C_1 값은 다음 (식-3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_1 = \frac{C_0}{[1 + (kV/2Q)]} \quad (\text{식-4})$$

(식-3)과 (식-4)를 결합하면 (식-5)와 같이 표현되고,

$$C_2 = \frac{C_0}{[1 + (kV/2Q)]^2} \quad (\text{식-5})$$

이를 직렬 연결된 n개의 반응조에 대하여 대응하는 표현식으로 정리하면 (식-6)과 같이 정리할 수 있다.

$$C_n = \frac{C_0}{[1 + (kV/nQ)]^n} = \frac{C_0}{[1 + (\tau k/n)]^n} \quad (\text{식-6})$$

위 식을 이용하여 각 반응조별 반응속도 상수 k값을 도출한 후 수처리 시스템의 최적용량을 산정하였다.

2) 최적용량 산정

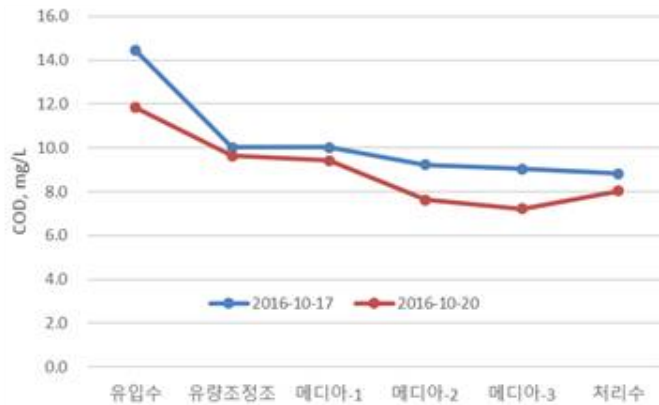
접촉산화수로의 최적용량을 산정하기 위하여 (표 3-15)에 반응조별 측정값을 정리하였다. 측정값을 (식-6)에 대입하여 COD 기준으로 반응조별 반응속도 상수 k값과 전체 반응속도 상수 k값을 계산하였다. 2016년도부터 수질기준에 적용되는 TOC는 유입수 수질이 수질기준인 6.0mg/L 이하의 농도로 유입되고 있기 때문에 본 연구에서는 2015년까지 수질기준항목이었던 COD를 대상으로 산출하였다. (표 3-16)에서 도출된 전체 반응속도 상수 k값을 기준으로 호소 수질환경기준(4등급)인 COD 8.0 mg/L으로 맞추기 위해 필요한 반응조의 용량을 도출하였다.

(표 3-15) 접촉산화수로 반응조별 측정값

조사일	채수위치	측정 항목(mg/L)					
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC
10/17	유입수	9.37	14.4	20.7	1.227	0.102	5.9
	유량조정조	4.95	10.0	24.7	1.391	0.103	5.7
	메디아조1	4.24	10.0	26.7	1.123	0.048	5.1
	메디아조2	4.23	9.2	14.7	1.379	0.083	5.4
	메디아조3	4.27	9.0	18.0	1.380	0.087	5.3
	유출수	3.35	8.8	10.3	1.447	0.079	5.5
10/20	유입수	5.86	11.8	23.5	1.129	0.099	6.1
	유량조정조	2.89	9.6	45.0	1.125	0.076	4.9
	메디아조1	1.13	9.4	70.0	1.178	0.083	4.9
	메디아조2	1.45	7.6	17.3	1.192	0.060	4.6
	메디아조3	1.45	7.2	15.6	1.141	0.052	4.3
	유출수	2.48	8.0	12.5	1.216	0.057	4.9

(표 3-16) 접촉산화수로 반응속도상수 k값 도출

조사일	구분	반응속도 상수 k(/hr)
10/17	메디아조 1	0.76
	메디아조 2	0.44
	메디아조 3	0.29
	전체 공정	0.21
10/20	메디아조 1	0.40
	메디아조 2	0.43
	메디아조 3	0.31
	전체 공정	0.17



<그림 3-23> 접촉산화수로 반응조별 COD 농도 변화

위에서 계산한 반응속도 상수 k 값과 집수일자별 유입수 농도, 기준 유출수 농도를 (식-7)에 대입하여 체류시간을 도출하였다.

$$\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) \times \frac{1}{k} = \theta(HRT) \quad (\text{식-7})$$

기존 접촉산화수로의 체류시간은 2.45 hr으로 운전되고 있지만, 수질기준을 만족시키기 위해서는 일자별로 각각 3.8 hr, 2.9 hr의 체류시간이 필요하다. 반응조의 MLVSS/MLSS의 결과 값을 바탕으로 추후 미생물 부착량이 증가하면 수질정화효율이 더 증가할 것으로 판단되고 이번 체류시간의 결과 값을 토대로 안전율을 고려해 약 3.0 hr의 체류시간으로 운전하여야 안정적인 처리효율을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

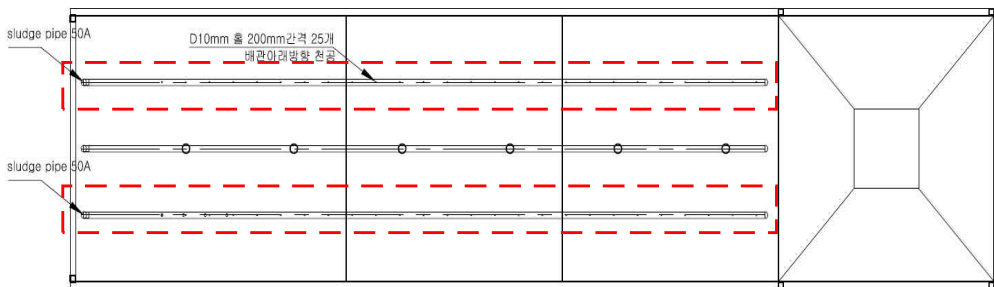
(표 3-17) 접촉산화수로 최적용량 도출

집수일	구분	적용	HRT
10/17	C_0 (mg/L)	14.4	3.8 hr
	C_e (mg/L)	8.0	
	k (/hr)	0.21	
10/20	C_0 (mg/L)	11.8	2.9 hr
	C_e (mg/L)	8.0	
	k (/hr)	0.17	

6. 슬러지 인발실험 및 슬러지 발생량 산출

가. 슬러지 인발실험

생태융합형 접촉산화시스템의 슬러지 발생량을 실측하기 위하여 슬러지 인발 펌프를 가동하여 슬러지 인발실험을 진행하였다. 슬러지 인발 펌프(사양 0.3 m³/min×11.5m×2.2kW)는 슬러지 인발을 위해 1 set가 설치되어 있으며, 슬러지의 인발과정은 슬러지 인발 펌프를 가동하여 생태융합형 접촉산화시설의 하부에 위치한 배관을 통하여 외부로 반출하게 된다. 생태융합형 접촉산화시설 하부에는 <그림 3-24>과 같이 50A 배관 2계열 4m로 구성되어 있고, 각 배관에는 직경 10mm 홀이 200mm 간격으로 배관 아래 바닥방향으로 천공되어 있다. 슬러지 인발실험은 접촉산화시설이 정상적으로 재 가동을 시작한 9월 27일부터 11월 15일까지 약 50일이 경과한 직후인 2016년 11월 16일에 진행하였다.



<그림 3-24> 슬러지 인발을 위한 배관라인 평면도



슬러지 인발펌프 설치

슬러지 인발 작업

<그림 3-25> 생태융합형 접촉산화시스템의 슬러지 인발 실험

나. 슬러지 발생량 산정

생태융합형 접촉산화시설에서 인발된 슬러지의 형상은 <그림 3-26>와 같으며, 슬러지의 양은 총 0.3m³으로 실측되었다. 미생물 접촉재 1m³당 40g 상당의 미생물이 부착되는 것을 고려한다면, 미생물 접촉산화조의 1조당 1,200m²이 설치되어 있으므로 접촉산화조에는 총 3,600m³의 미생물 접촉재가 설치되어 있어, 이를 미생물 양으로 환산하면 144 kg의 미생물이 부착되어 있다. 이론적인 슬러지 발생량을 계산하기 위해 유입수 일처리 유량(Q)을 300m³/day, 유입수 BOD 10 mg/L, SS 30 mg/L, 처리수(유출수) BOD 2.5 mg/L, SS 5.0 mg/L로 가정하였을 때, BOD에 의해 발생하는 슬러지 양은 0.02m³/일이고, SS에 의해 발생하는 슬러지 양은 0.74m³/일로 산출되었다. 따라서 이론상 접촉산화조에서 발생하는 총 슬러지 양은 0.76 m³/일로서, 미디어 1조당 각 0.25 m³/day로 산출되었다.

생태융합형 접촉산화수로를 50일 가동 후 슬러지 인발실험을 통해 실측된 슬러지 양은 0.3m³이므로 이를 하루 발생량으로 계산하면 6L/일로서 계산된 발생량의 약 1/100 정도 밖에 되지 않는다. 이렇게 슬러지 발생량을 최소화시킨 것은 본 연구에서 개발한 생태융합형 접촉산화시스템의 가장 큰 장점인 핵심기술로서, 반응조 내에 순산소 포기로 반응조 내의 DO 농도를 7~8.0 mg/L 이상으로 유지 및 유기물의 산화를 극대화시켜 슬러지 발생량을 최소화하고자 하였다.



<그림 3-26> 생태융합형 접촉산화시스템의 인발된 슬러지

7. 저수지 수질개선효과 분석

가. 시나리오 구성 및 기본 가정

매화저수지 수질개선을 위해 실규모로 생태융합형 집축산화시스템을 설치하였다고 가정하여 매화저수지의 수질개선효과를 분석하였다. 매화저수지의 유입 및 유출 등에 관한 물질수지는 2차년도 과업에서 구축한 3차원 수리-수질 모형인 ELCOM-CADYM 모델을 사용하였다.

ELCOM(Estuary, Lake and Coastal Ocean Model)은 범용 3차원 수리동력학 모델로서, 수질-생태계 해석 모델인 CAEDYM(Computational Aquatic Ecosystem Dynamic Model)과 연결되어 수리-수질-생태계의 동적 모의가 가능하며, 남조류의 부력조절 기능을 모의할 수 있는 장점이 있다. 특히 조류 종을 3가지로 구분하여 시간적 천이 특성을 해석할 수 있는 장점도 있다.

시나리오에서 base는 무대책이며 저수지 유입수량은 2013년도 강우사상에 기초해 산출하였고, 유입수 수질은 2015~2016년 평균수질을 이용하였다. 매화저수지에는 유입하천이 2개소가 있는데, 평균 유입수량을 설계유량으로 하여 강우, 평시에 상관없이 유입-1(S1)에는 일 처리용량 1,800 m³/d 규모의 시설을 설치하며, 유입-2(S2)에는 3,500m³/d 규모의 시설을 설치한다고 가정하고, 수질항목별 수처리 효율은 (표 3-18)에 나타내었다. 수질모델링을 통해 분석한 수질항목은 COD, TOC, T-N, T-P, Chl-a이며, 생태융합형 집축산화수로는 유입수 수질대비 처리수에서 COD 46%, Chl-a 77.8%, T-P 46.6%가 저감되는 것으로 입력 자료를 구성해 수질모델에 적용하였다.

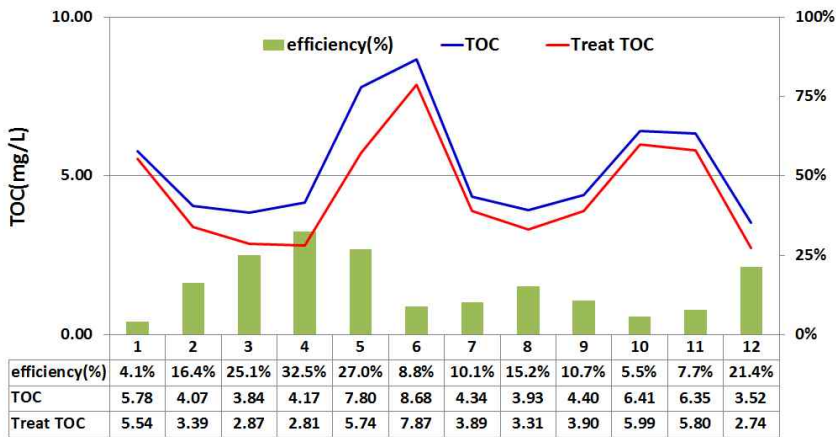
(표 3-18) 생태융합형 집축산화시스템의 오염물질 저감효율

구 분	유입	유출	저감율 (%)
COD(mg/L)	15.6	8.1	46.0
TOC(mg/L)	6.42	5.2	18.5
Chl-a(mg/m ³)	86.8	15.6	77.8
T-N(mg/L)	1.170	1.290	-
T-P(mg/L)	0.121	0.062	46.6

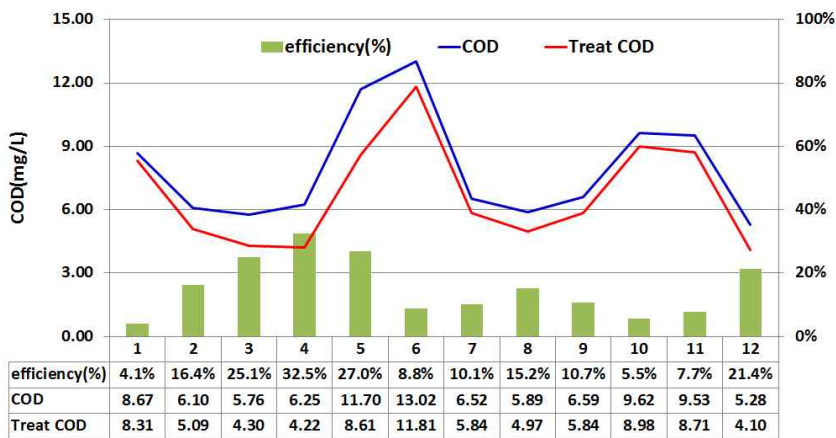
나. 저수지 연간 수질개선효과 분석

매화저수지에 생태융합형 접촉산화시스템을 수질개선시설로 설치하였을 경우 저수지의 수질개선에 미치는 효과에 대해서 분석하였다. 무대책(base) 대비 생태융합형 접촉산화시스템(수로식)을 유입수 대책으로 단독 운영 할 경우 수질항목별 월간 수질개선효율을 <그림 3-27>~<그림 3-28>에 나타내었다. 수질항목별 연간 수질개선 효과는 TOC 5.3 → 4.5 mg/L로 연평균 14.9%의 개선효과가 있었고, COD는 7.9 → 6.7 mg/L로 평균 14.9%의 개선효과, Chl-a 42.3 → 37.0 mg/m³로 12.5%의 개선, TP 0.201 → 0.149 mg/L로 25.8%의 개선효과가 있는 것으로 나타났다.

(a) TOC

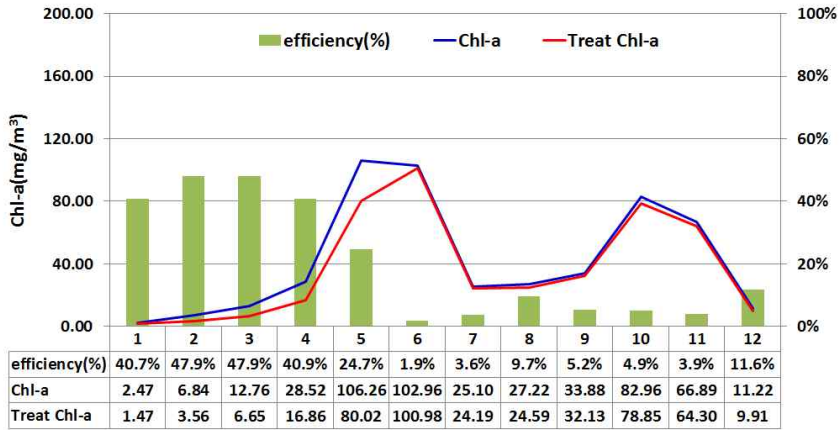


(b) COD

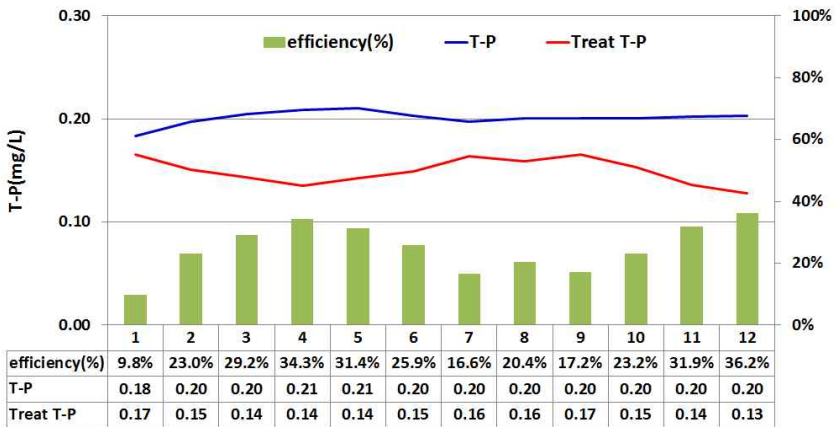


<그림 3-27> 접촉산화수로 월평균 수질 변화(TOC, COD)

(a) Chl-a



(b) TP



<그림 3-28> 접촉산화수로 월평균 수질 변화(Chl-a, TP)

제2절 바이오스톤 접촉산화시스템의 성능평가

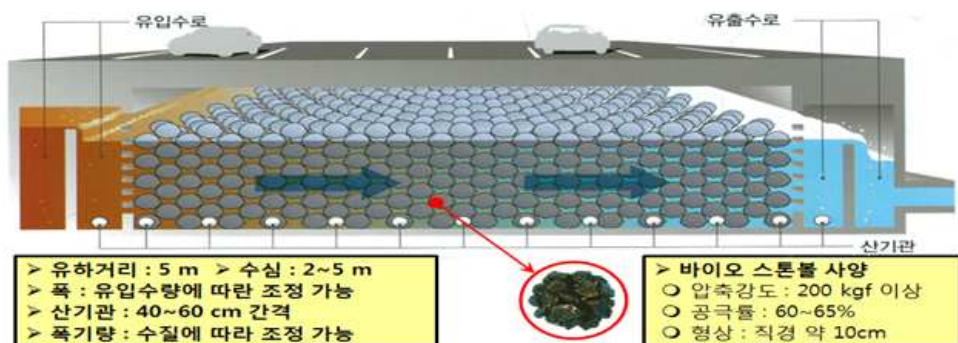
1. 바이오스톤 접촉산화시스템 기술 개요

가. 기술개발 배경

바이오스톤 접촉산화공법은 생태융합형 접촉산화시스템에 적용되어 있는 식생을 대신하여 N, P의 제거와 유기물 제거효율을 증가시키기 위해서 개발된 기술이다. 1~2차 년도에 자문위원들의 의견과 일선에서 수질 개선업무를 담당하고 있는 담당자들의 식생 대체기술 개발 요구에 따라 생태융합형 접촉산화시스템의 식생을 없애고, 대신 식생의 주요 기작이었던 N, P의 처리효율을 개선하고 끈상 매디아의 장점이었던 유기물 제거 기능을 대체 할 수 있는 바이오스톤 접촉산화공법을 개발하였다.

나. 기술원리 및 특징

바이오스톤 접촉산화공법은 자연계에 존재하는 쇄석과 미생물을 이용한 매우 친환경적인 기술이다. 바이오스톤이란 자연계에 존재하는 2~3cm의 쇄석을 수질로 접착하여 직경 10cm의 구상체로 만들 것이다. 1m³당 1,000개(중량 : 1ton)가 충전될 수 있는 규모이다. 오염물질 정화원리는 스톤에 자연계 미생물을 부착하여 부착된 미생물에 의해서 유기성 오염물질이 산화, 분해하는 원리이며, 유리(流離)에 의한 고액분리로 고형물은 바이오스톤 내부에 흡수되어 액상화되어 일단위로 유출되고, 용해성 유기물은 물과 함께 시간단위로 유출되는 원리이다.

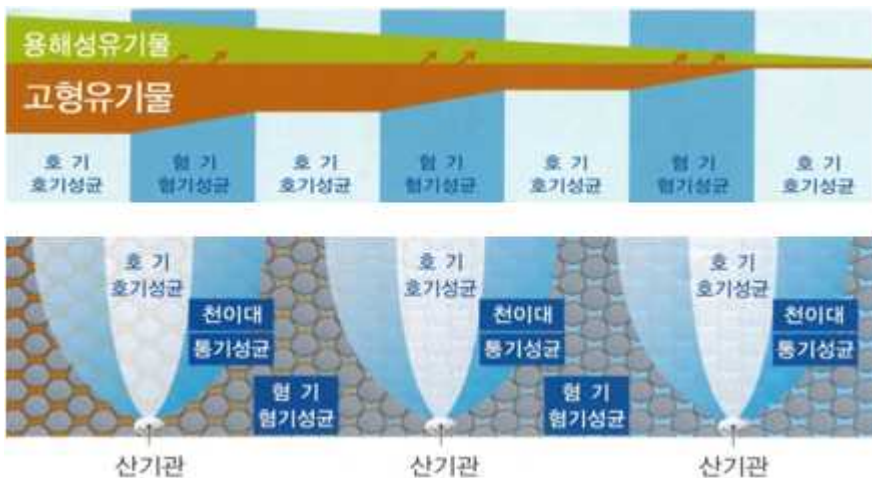


<그림 3-29> 바이오스톤 접촉산화공법 개요도

유리(流離) 유동장에서 비중 1.05 되는 입자성 물질이 속도가 빠른 장에서 속도가 느린 장으로 이동하여 입자가 작게 파쇄되어 다음 유동장으로 이동하는 현상이다<그림 3-30>. 질소의 제거 기작은 바이오스톤 조의 바닥에서 산소를 포기시켜 주어 호기성 지역과 혐기성 지역의 반복으로 호기지역에서는 질산화가, 혐기지역에서는 질소가 탈기되어 제거되는 것이다. 인의 제거기작은 호기지역에서는 미생물에 의해 인이 섭취되고 혐기지역에서는 미생물에 의해 섭취된 인이 방출되는 다음 호기지역에서 분해되고 흡수되는 기작으로 인이 제거된다. <그림 3-31>은 바이오스톤 접촉산화조 내에서의 오염물질의 거동과 오염물질이 제거되는 기작을 도식화한 개요도이다.



<그림 3-30> 바이오스톤 불 및 유리에 의한 고액분리



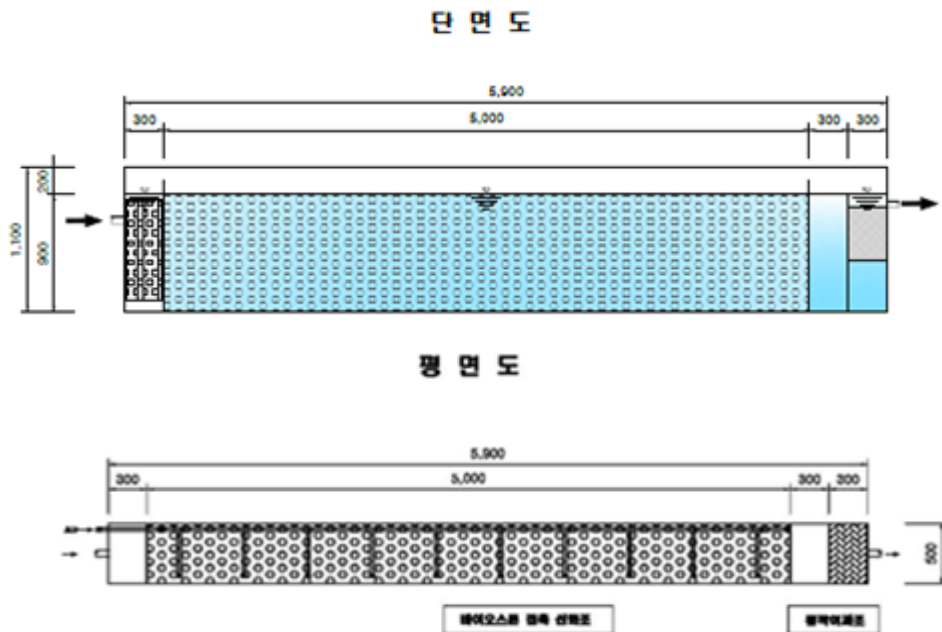
<그림 3-31> 바이오스톤 처리조 내의 오염물질 거동

바이오스톤 접촉산화공법의 가장 큰 특징은 자연계에 존재하는 쇄석과 미생물을 이용한 공법으로 매우 자연친화적이며, 쇄석을 여재로 활용함으로써 여재 사용이 반영구적이며, 접촉산화조 내의 바닥에서 산소를 공급시켜 줌으로서 역세척이 필요 없고, 슬러지의 발생량이 거의 없다는 장점이 있다. 또한 별도의 유지관리가 필요 없어 설치비 및 유지관리비가 매우 저렴한 장점도 가지고 있다.

2. 바이오스톤 접촉산화시스템 플랜트 설치

가. 시설 제원

바이오스톤 접촉산화시스템의 공정 구성은 <그림 3-32>과 같이 미생물 접촉조, 바이오스톤 접촉산화조, 흡착여과조로 매우 단순하게 구성되어 있다. 미생물 접촉재는 끈상으로 이루어진 유동상 여재로 생태융합형 접촉산화시스템의 전처리조에 사용된 유동상 여재와 동일한 제품이고, 유입되는 SS를 제거하고 바이오스톤 조의 미생물 증식을 도와주기 위한 목적의 전처리 공정이다.



<그림 3-32> 바이오스톤 접촉산화시스템의 단면도 및 평면도

바이오스톤 접촉산화조는 본 공법의 핵심 수처리조로서 바이오스톤에 부착된 미생물에 의해 유기물 산화 및 분해가 일어나고, 반응조의 호기지역과 혐기지역의 반복으로 인해 질소와 인이 제거되는 원리이다. 후처리 공정인 흡착여과조는 바이오스톤 접촉산화조에서 탈리된 미생물을 여과하고 방류수에 산소를 포기시키기 위한 목적이다.

바이오스톤 접촉산화시스템의 플랜트의 시설제원은 (표 3-19)과 같다. 전처리조인 미생물 접촉조의 시설제원은 규모 1,500mm×500mm×1,100mm의 1개 조로 구성되며 매디아 소요량은 약 150m를 사용하였다. 바이오스톤 접촉산화조의 규격은 500mmW×5,900mmL×1,100mmH으로 바이오스톤 볼 약 2,500개를 충전하였고, STS 304을 사용하여 프레임을 제작하였다. 제어반은 24시간 타이머를 이용하여 자동으로 간헐 운전되며, 수동 설정으로 각 해당 설비를 간단한 밸브조작을 통해 조작이 가능하도록 제작하였다.

(표 3-19) 바이오스톤 접촉산화시스템 시설 제원

구 분	사 양	비 고
미생물 접촉조	<ul style="list-style-type: none"> • 1,500mm×500mm×1,100mm • 매디아 소요량 : 부유식 여재(0.075m³, 약 150m) 	
바이오스톤 접촉산화조 및 흡착여과조	<ul style="list-style-type: none"> • 규격: 500mmW×5,900mmL×1,100mmH • 재질: STS 304 • 구성: 바이오스톤 볼(2,500ea) 유입펌프 100L/min×0.29kW 링브로워 (1.4m³/min×1,200mmAq×0.3kW) 	 

나. 데모 플랜트 설치 및 운영









바이오스톤 접촉산화시스템의 현장적용실험을 하기 위하여 생태융합형 접촉산화시스템이 설치되어 있는 경기도 시흥시 도창동에 위치한 매화저수지 수변에 데모 플랜트를 설치하여 운영하였다<그림 3-33~35>. 생태융합형 접촉산화시스템 바로 인근에 설치하여 2개의 수처리 시스템을 동시에 운영하여 수질정화효율, 운전의 용이성, 유지관리 등을 비교, 분석하고자 하였다. 바이오스톤 접촉산화시스템은 2016년 상반기에는 바이오스톤 볼에 대해서 정화효율 등을 검증하였고, 9월부터는 전처리조와 후처리조를 추가 보완하여 전 공정에 대한 수질정화효율을 검증하였다.



<그림 3-33> 바이오스톤 접촉산화시스템 플랜트 설치 지구



<그림 3-34> 바이오스톤 접촉산화시스템 플랜트 설치 전경

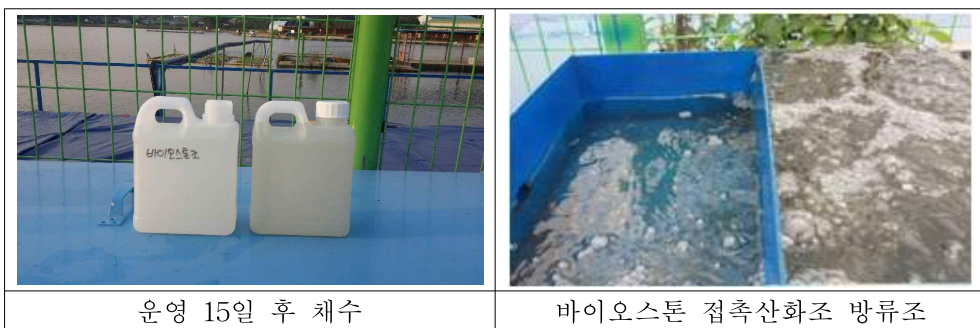
	
<p>바이오스톤 처리조 바닥판 제작</p>	<p>바이오스톤 처리조 프레임 용접</p>
	
<p>바이오스톤 접촉조 프레임 조립</p>	<p>프레임 도장</p>
	
<p>메디아 모듈 제작</p>	<p>메디아 모듈 처리조 내 설치</p>
	
<p>바이오스톤볼 코팅 작업</p>	<p>산기배관 테스트 공정</p>

<그림 3-35> 바이오스톤 접촉산화시스템 제작 과정

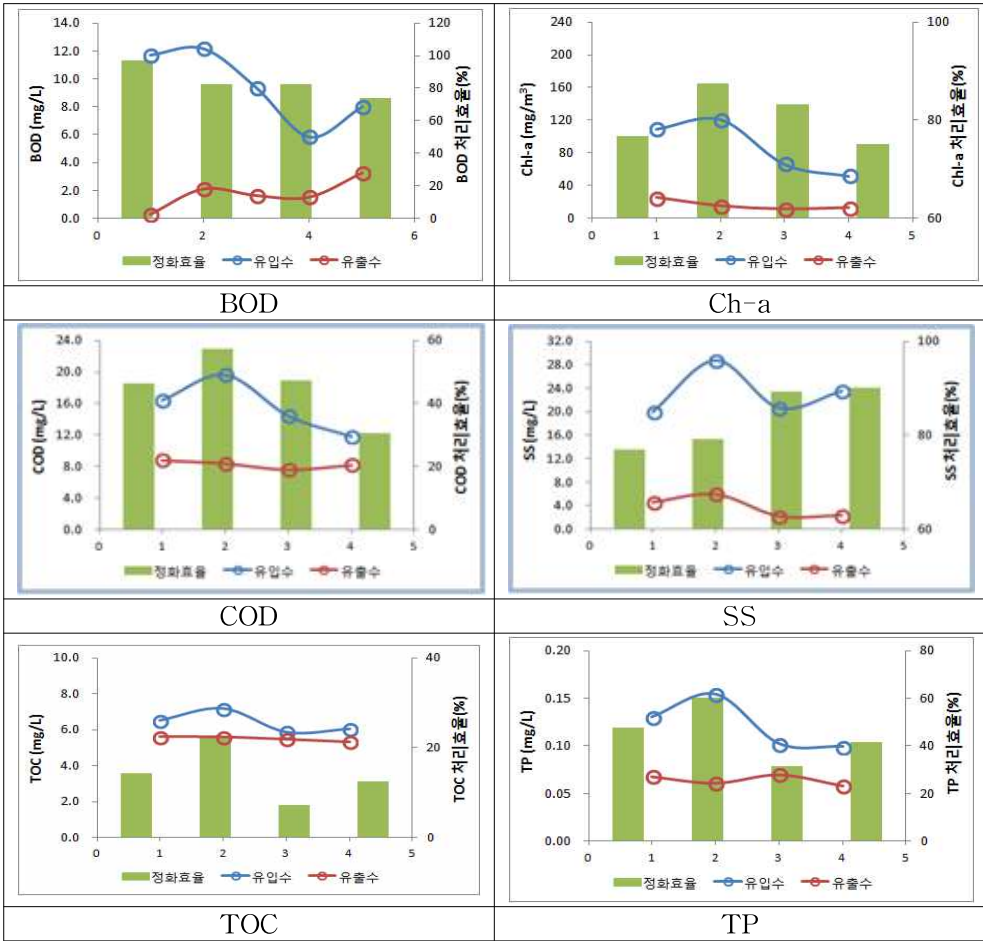
3. 수질정화효율 평가

바이오스톤 접촉산화시스템의 수질정화효율을 평가하기 위하여 2016년 8월에 전처리 공정과 후처리공정을 보완하여 전체 처리공정을 구축한 후 9월 27일에 다시 운영을 시작하였다. 수질정화효율 평가에서는 바이오스톤에 부착한 미생물이 50% 이상 활성화된 이후인 10월 11일부터 10월 20일까지 4회 조사한 자료를 분석하였다. 10월 20일 이후에는 외기 온도가 갑자기 17℃ 이하로 내려가서 미생물 활성도가 저하되어 본 수질정화효율 평가에서는 제외하였다. 수질항목별로 유입수 대비 유출수 농도 및 오염 부하량 기준으로 수질정화효율을 분석하여 (표 3-20)에 나타내었다.

바이오스톤 접촉산화시스템의 운전조건은 일 처리용량 50m³/일으로 체류시간은 45분으로 설정하였고, 수질항목별 유입수 농도는 COD 11.8~19.7mg/L(평균 15.6mg/L), BOD 5.9~12.2mg/L(평균 9.8mg/L), SS 20.0~28.7mg/L(평균 23.2mg/L), TP 0.099~0.154mg/L(평균 0.121mg/L), Chl-a 51.8~120.5mg/m³(평균 86.9mg/m³)으로 나타났다. 처리수의 수질농도는 COD 7.6~8.8mg/L(평균 8.3mg/L), BOD 0.3~2.1mg/L(평균 1.4mg/L), SS 2.2~6.0mg/L(평균 3.8mg/L), Chl-a 11.1~25.3mg/m³(평균 16.1mg/m³), TP 0.058~0.70mg/L(평균 0.064mg/L)으로 나타났다. 바이오스톤 접촉산화시스템의 수질항목별 수질정화효율은 BOD 73.7~97.2%(평균 84%), COD 30.5~57.1%(평균 45.3%), SS 77.0~90.1%(평균 83.9%), Chl-a 75.2~87.5%(평균 80.7%), TP 31.4~60.4%(평균 45.2%)으로 나타났다. 농업용수 수질개선사업으로 조성한 지구의 준공 5년 이상된 4개 지구의 인공습지 평균 수질정화효율인 COD 25%, TP 40%과 비교했을 때, 바이오스톤 접촉산화시스템의 COD 처리효율은 20% 이상 증가하였고, TP는 거의 유사하게 나타났다.



<그림 3-36> 바이오스톤 접촉산화시스템 시료채수 및 방류조



<그림 3-37> 바이오스톤 접촉산화시스템의 수질항목별 수질정화효율

(표 3-20) 바이오스톤 접촉산화시스템의 평균 오염물질 저감효율

구 분	수질정화효율			오염물질 저감효율		
	유입수 (mg/L)	유출수 (mg/L)	처리효율 (%)	유입량 (kg/d)	유출량 (kg/d)	저감효율 (%)
BOD	9.8	1.4	84.0	0.49	0.07	85.7
COD	15.6	8.3	45.3	0.78	0.41	46.8
TOC	6.4	5.5	14.1	0.32	0.27	14.1
Chl-a	86.7*	16.1	80.7	0.004	0.0008	81.4
T-P	0.121	0.064	45.2	0.006	0.003	47.1

비고) Chl-a 단위 : mg/m³

4. 바이오스톤조의 미생물 부착량 평가

가. 시료채취 및 실험방법

매화저수지에 설치된 바이오스톤 접촉산화시스템의 미생물 부착량을 평가하기 위해 바이오스톤에서 미생물을 채취하여 MLSS와 MLVSS를 분석하였다. 바이오스톤조는 직경 약 10cm의 바이오스톤 볼이 수로식 반응조에 약 1,000개 정도 충전되어 있다. 바이오스톤조는 하층의 미디어를 채취시 운전을 정지하고 상층에 있는 미디어를 들어낸 후 채취하여야 하는 어려움 때문에 1차 시기에는 상층의 미디어만 채취하여 분석하였고, 2차 조사에서는 반응조 중층과 하층의 미디어를 추가적으로 채취하여 분석하였다. 구체적인 채취 시기 및 위치는 (표 3-22)와 같다.

(표 3-21) 바이오스톤 반응조의 제원

여재 종류	반응조 규격	비 고
바이오스톤 볼	0.5m(W) × 5.9m(L) × 1.0m(H)	1조

(표 3-22) 바이오스톤 볼 조사시기 및 채취위치

조사일자	채취 위치	비고
10월 11일	상층에서만 채취	1차 조사
11월 14일	상층, 중층, 하층에서 채취	2차 조사



<그림 3-38> 반응조별 분석대상 미디어(바이오스톤 볼)

나. 바이오스톤 볼의 미생물 부착량 산정

바이오스톤 볼은 채취 후 각각 10L의 세척용기에 넣은 후 부착되어 있는 입자성 물질이 완전히 떨어질 때까지 세척을 실시하였다. 그 후 SS는 세척용기에 있는 세척수 전량을 취하여 여과한 후 105±5℃의 항온건조기에서 2시간 건조 후 수분을 증발시켜 건중량을 측정하여 SS를 계산하였으며, 550℃에서 30분 동안 연소 후 VSS를 측정하였다. 바이오스폰 볼에 부착되어 있는 SS 및 VSS의 농도를 산출한 1차 결과는 (표 3-23)와 같다. 상층, 중층, 하층에서 샘플링을 하여 각각 분석한 2차 조사결과는 (표 3-24)과 같으며, 하층으로 갈수록 미생물 부착 효율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 상향류 운전방식에 의해 하층에 보다 많은 유기물질이 부착되어 나타난 결과로 사료되며, 장기 운전시 여재 폐색을 방지하기 위해 반응조 하부에 설치되어 있는 산기장치의 공급량을 높여야 할 것으로 판단된다.

(표 3-23) 바이오스톤조의 VSS/SS 비율(1차)

구분	SS(mg/L)	VSS(mg/L)	VSS/SS(%)
바이오 스톤	4,400	1,100	25.0

(표 3-24) 바이오스톤조의 SS, VSS 분석(2차)

구분	SS(mg/L)	VSS(mg/L)	VSS/SS(%)
상층	3,800	1,200	31.6
중층	6,800	2,450	36.0
하층	10,260	3,960	38.6



(a) 분석 시료



(b) 세척 건조 후

<그림 3-39> 미생물접촉조 여재 분석(세척 건조 후)

5. 바이오스톤 접촉산화조의 최적용량 산정

가. 산정방법

접촉산화조의 수처리 효율을 바탕으로 각 반응조별 최적용량을 산정하였다. 산정방식은 반응을 수반하는 직렬연결 완전혼합 반응조의 물질수지 방정식에 준하여 산정하였으며, 반응식 유도 과정은 2개의 반응조로 이루어진 시스템에서의 정상상태 물질수지를 유도한 후 n개의 반응조에 대응하는 표현식을 도출하였다. 먼저 2개의 반응조로 이루어진 시스템에서 두 번째 반응조에 대한 정상상태 질량수지 형태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dC_2}{dt} \frac{V}{2} = 0 = QC_1 - QC_2 + r_c \frac{V}{2} \quad (\text{식-2})$$

여기서, 1차 반응 속도식($r_c = -kC_2$)으로 가정하면, (식-2)는 재구성되어 C_2 에 대하여 풀릴 수 있게 된다.

$$C_2 = \frac{C_1}{[1 + (kV/2Q)]} \quad (\text{식-3})$$

C_1 은 완전혼합 반응조가 정상상태 조건(즉, 축적속도 항이 0)이라고 보고 해석하면, C_1 값은 다음 (식-3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_1 = \frac{C_0}{[1 + (kV/2Q)]} \quad (\text{식-4})$$

(식-3)과 (식-4)를 결합하면 (식-5)와 같이 표현되고,

$$C_2 = \frac{C_0}{[1 + (kV/2Q)]^2} \quad (\text{식-5})$$

이를 직렬 연결된 n개의 반응조에 대하여 대응하는 표현식으로 정리하면 (식-6)과 같이 정리할 수 있다.

$$C_n = \frac{C_0}{[1 + (kV/nQ)]^n} = \frac{C_0}{[1 + (\tau k/n)]^n} \quad (\text{식-6})$$

위 식을 이용하여 각 반응조별 반응속도 상수k값을 도출한 후 수처리 시스템의 최적용량을 산정하였다.

나. 최적용량 산정

바이오스톤 접촉산화조의 최적용량을 산정하기 위하여 (표 3-25)에 반응조별 조사결과 값을 정리하였다.

(표 3-25) 바이오스톤조 반응조별 측정값

조사일	채수 위치	측정항목(mg/L)					
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC
10/17	유입수	9.37	14.4	20.7	1.227	0.102	5.9
	전처리조	7.02	11.6	20.7	1.294	0.100	5.6
	스톤조	1.91	8.2	2.4	1.514	0.070	5.5
	처리수	1.65	7.6	2.2	1.518	0.070	5.4
10/20	유입수	5.86	11.8	23.5	1.129	0.099	6.1
	전처리조	7.84	14.4	33.0	1.139	0.085	5.7
	스톤조	1.90	7.8	2.2	1.439	0.055	5.6
	처리수	1.54	8.2	2.3	1.452	0.058	5.3

위 값을 (식-7)에 대입하여 COD 기준으로 반응조별 반응속도 상수 k 값과 전체 반응속도 상수 k 값을 계산하였다(표 3-26). 2016년부터 적용대상인 TOC의 농도가 6.0mg/L로 농업용수 수질기준 이하로 유입되고 있으므로 여기서는 COD를 기준으로 도출하였다. (표 3-26)에서 도출된 집수일자별 전체 반응속도상수 k 값을 기준으로 “환경정책기본법 시행령[별표1]”의 호소의 수질환경 기준을 4등급으로 맞추기 위해 필요한 반응조의 용량을 도출하였다. 계산한 반응속도상수 k 값과 조사 일자별 유입수 농도 및 유출수 농도를 (식-7)에 대입하여 체류시간을 도출하였다.

$$\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) \times \frac{1}{k} = \theta(HRT) \quad (\text{식-7})$$

(표 3-26) 접촉산화수로 반응속도상수 k 값 도출

조사일	구분	반응속도 상수 k (/hr)
10/17	바이오 스톤조	0.63
10/20	바이오 스톤조	0.31



<그림 3-40> 바이오스톤 접촉산화시스템 반응조별 COD 농도 변화

바이오스톤 접촉산화시스템의 현재 체류시간은 1.4 hr으로 운전되고 있으며, 저수지의 4등급 수질목표 달성을 위한 반응조의 체류시간은 17일 조사에서는 1.3시간, 20일 조사에서는 1.5시간으로 도출되었다. 현재 운전되고 있는 1.4 hr의 체류시간은 MLVSS/MLSS의 값이 상승하여 추후 미생물 부착량이 증가하면 현재의 반응조 체류시간으로도 충분히 수질기준을 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

(표 3-27) 접촉산화수로 최적용량 도출

집수일	구분	적용	HRT
10/17	C_0 (mg/L)	14.4	1.3 hr
	C_e (mg/L)	8.0	
	k (/hr)	0.63	
10/20	C_0 (mg/L)	11.8	1.5 hr
	C_e (mg/L)	8.0	
	k (/hr)	0.31	

6. 저수지 수질개선효과 분석

가. 시나리오 구성 및 기본 가정

매화저수지 수질개선을 위해 실규모로 바이오스톤 접촉산화시스템을 설치하였다고 가정하였을 때의 매화저수지 수질개선효과를 분석하였다. 매화저수지의 유입수량 산출 및 유입수 수질농도 등 수질개선효과 분석방법은 생태융합형 접촉산화시스템과 동일한 방법으로 분석하였다.

바이오스톤 접촉산화시스템 설치시 저수지 수질개선 효과를 정량화하기 위한 시나리오의 구성은 평균 유입수량을 설계유량으로 하여 경우, 평시에 상관없이 유입-1(S1)에는 일 처리용량 1,800 m³/d 규모의 시설을 설치하고, 유입-2(S2)에는 3,500m³/d 규모의 시설을 설치한다고 가정하였다. 수질모델링을 통해 분석한 수질항목은 COD, TOC, T-N, T-P, Chl-a이며, 바이오스톤 접촉산화수로의 수질정화효율은 유입수질 대비 COD 45.3%, TOC 14.1%, Chl-a 80.7%, T-P 45.2%가 저감되는 것으로 입력 자료를 구성해 수질모델에 적용하였다.

(표 3-28) 바이오스톤 접촉산화시스템의 오염물질 저감효율

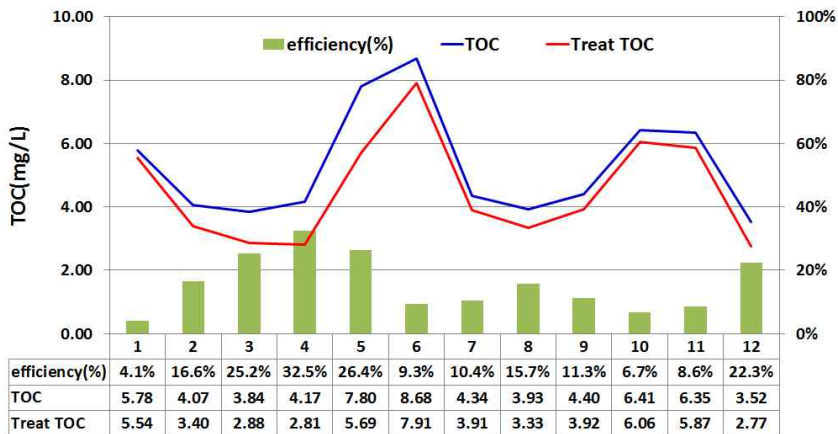
구 분	유입	유출	저감율(%)
COD(mg/L)	15.6	8.3	45.3
TOC(mg/L)	6.4	5.5	14.1
Chl-a(mg/m ³)	86.7	16.1	80.7
T-N(mg/L)	1.169	1.307	-
T-P(mg/L)	0.121	0.064	45.2

나. 저수지 연간 수질개선효과 분석

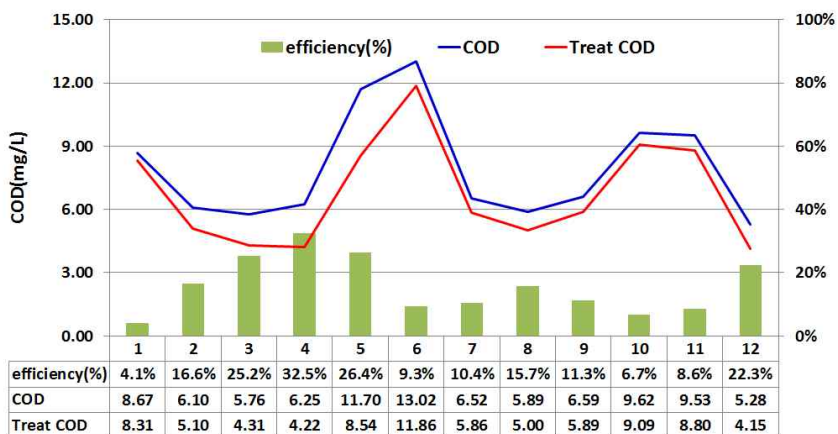
매화저수지에 바이오스톤 접촉산화시스템을 유입수 대책 수질정화시설로 설치하였을 경우 저수지의 수질개선에 미치는 효과에 대해서 분석하였다. 무대책(base) 대비 바이오스톤 접촉산화시스템을 운영할 경우 수질항목별 월간 수질개선효율을 <그림 3-41>~<그림 3-42>에 나타내었다. 수질항목별 연간 수질개선효과는 TOC 5.3 → 4.5mg/L로 14.5%, COD 7.9 → 6.8mg/L로 14.5%, Chl-a 42.3 → 37.0mg/m³로 12.5%, T-P 0.201 → 0.150 mg/L로 25.1%가 평균 개선되는 것으로 나타났다.

바이오스톤 접촉산화시스템의 저수지 수질개선효과는 생태융합형 접촉산화시스템의 수질개선효과(TOC 14.9%, COD 14.9%, Chl-a 12.5%, T-P 25.8%)와 매우 유사하게 나타났다. 매화저수지는 완전혼합인 정상상태에 도달하기 위한 시간이 1.58년(580일)로 산출되었고, 평상시 유입되는 수량이 저수지 총 유출량의 약 20%에 지나지 않는다. 이러한 저수지 유역의 수문학적 특성으로 인해 평시 유량을 대상으로 수처리시설을 설치한다면 저수지의 수질개선효과가 단기간에 나타나기는 어렵다. 이러한 저수지의 수질은 강우시에 유입되는 수질에 의해 크게 영향을 받으므로 접촉산화시스템을 침강지와 조합, 운영하면 수질개선효과가 클 것으로 판단된다.

(a) TOC

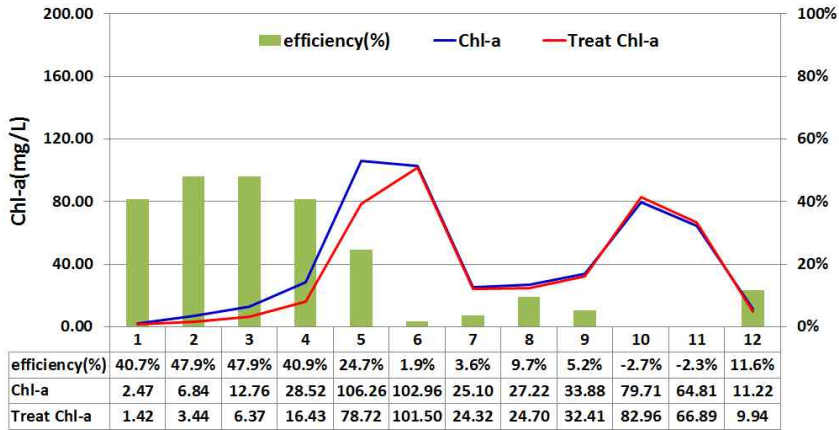


(b) COD

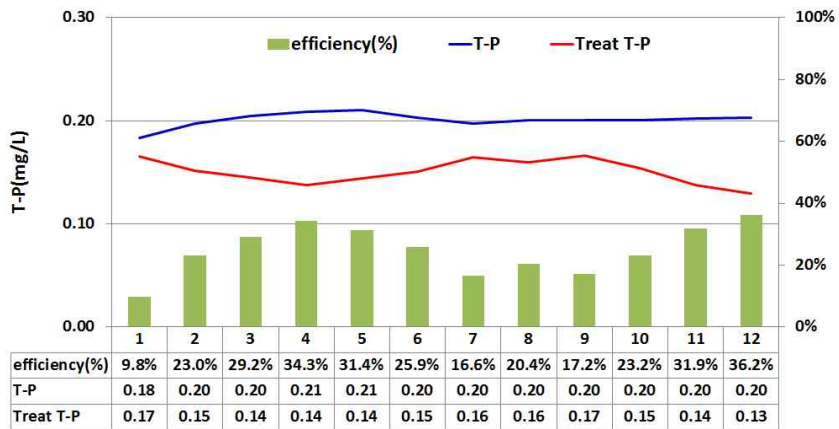


<그림 3-41> 바이오스톤 접촉산화시스템 설치에 따른 저수지 월평균 수질 변화(TOC, COD)

(a) Chl-a



(b) TP



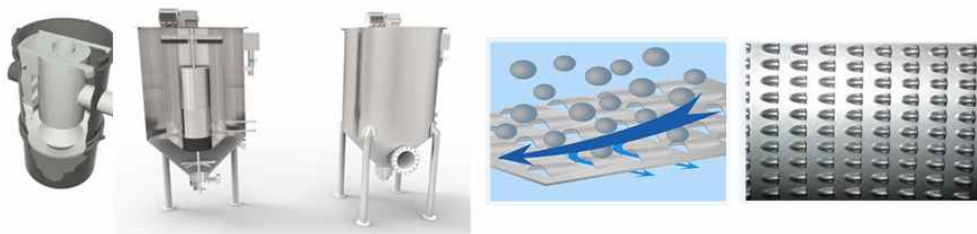
<그림 3-42> 바이오스톤 접촉산화시스템 설치에 따른 저수지 월평균 수질 변화(Chl-a, TP)

제3절 복합응집장치의 성능평가

1. 복합응집장치의 기술개요 및 시설제원

가. 기술 개요

1차년도에 개발된 고속복합응집장치는 유역 내 다수의 축산농가 및 비점오염원으로 인해 초기 강우시 수질오염도가 높은 지구 또는 유입수의 N, P 농도가 매우 높은 지구 등 지구특성에 맞게 점축산화시스템과 선택적으로 조합하여 운영될 수 있도록 만든 시설이다. 고속복합장치의 요소 기술은 마이크로 버블, 급속교반장치(인라인믹서), 전기축매를 이용한 부상축진장치, 볼텍스 흐름 등으로 구성되며, 기술원리는 응집체에 의해 오염물질을 응결, 응집, 부상시켜 스크임을 제거하는 일반 응집원리와 동일하다. 본 기술의 특징은 교반, 혼화조, 응집체를 한조에 콤팩트하게 구성하여 체류시간을 10분 이내로 단축하고, <그림 3-43>과 같이 Voltex 흐름을 이용한 선회류와 루버홀 형태의 스크린을 적용하여 응집효과를 극대화하고, Floc에 의한 막힘이 없이 스크리닝이 이루어질 수 있도록 고안하였다. 또한, 부상축진장치(전기유도)를 이용해 응집 플럭의 부상효과를 상승시키고, 감속기와 일체화된 내통스크린이 선회류와 반대 방향으로 회전하면서 Voltex 흐름의 가속효과에 의한 스크린 폐색 방지와 응집부상 효율을 향상시킬 수 있도록 하였다. 부상슬러지는 별도의 플럭 제거 설비 없이 스크린 내통 회전에 이용되는 감속기에 부착된 스크임 제거 BAR에 의해 동시 제거가 가능하며, 응집부상 처리수는 장치 가장 바깥 외곽에 충전된 필터층에서 최종 여과되어 방류되도록 구성함으로써 모든 처리공정이 단일 장치 내에서 이루어지도록 설계하였다.



<그림 3-43> 고속복합응집장치의 모식도 및 내부 볼텍스 스크린

나. 시설 제원

고속복합응집장치는 크게 마이크로버블, 급속교반장치, 부상축진장치, 볼텍스 흐름, Washing Type 스크린, 회전식 플럭 제거장치+필터부, 제어반으로 구성되어 있다. 고속복합응집장치의 각 시설에 대한 세부적인 사양은 (표 3-29)과 같으며, 본체인 응집처리조는 높이 1,500mm, 직경 1,000mm로 이루어진 원통이며, 원통 안에는 <그림 3-44>과 같이 내통, 여과재, 감속기, 슬러지 스크래퍼 등으로 구성되어 있다. 본체와 내통은 STS 재질로 되어 있으며, 슬러지 스크래퍼는 STS와 EPDM로 제작되었다. 제어반은 24시간 타이머를 이용하여 자동으로 간헐 운전되며, 수동 설정으로 각 해당 설비를 간단한 밸브조작을 통해 조작이 가능하도록 제작되었다.

(표 3-29) 고속복합응집장치의 시설 사양

구분	사양	비고
복합응집장치	<ul style="list-style-type: none"> • 규격 : $\varnothing 1,000\text{mm} \times 1,500\text{mmH}$ • 재질 : 본체 및 내통 STS, 부유식 여과재, 스크래퍼 STS+EPDM • 감속기 : 0.5HP \times 10~60rpm • 유입펌프 : 0.5HP \times 100L/min \times 6M • 필터부 : 150mmH \times 유동상 여재$\varnothing 45$ 	
부대시설	<ul style="list-style-type: none"> • 폴리머 공급장치 (펌프 : 25cc/min, 탱크: 50L) • PAC 공급장치 (펌프:25cc/min, 탱크: 50L) 	
제어반	<ul style="list-style-type: none"> • 자동/수동 운전 • 유입펌프 : 1 EA • 교반기 : 1 EA • 약품펌프 : 2 EA 	

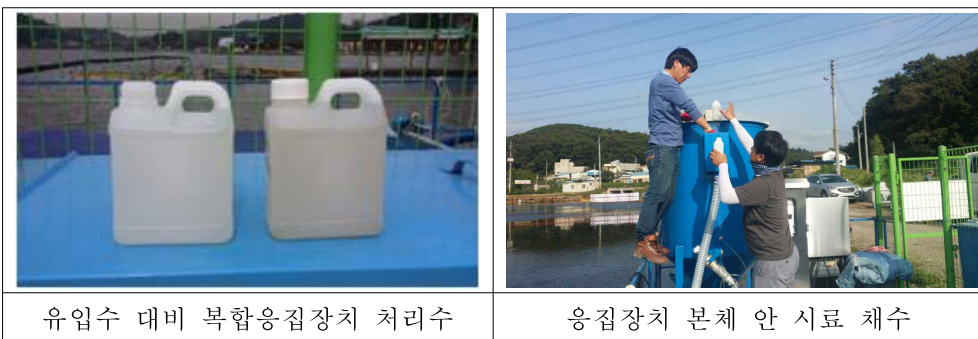


<그림 3-44> 고속복합응집장치의 내통 전경

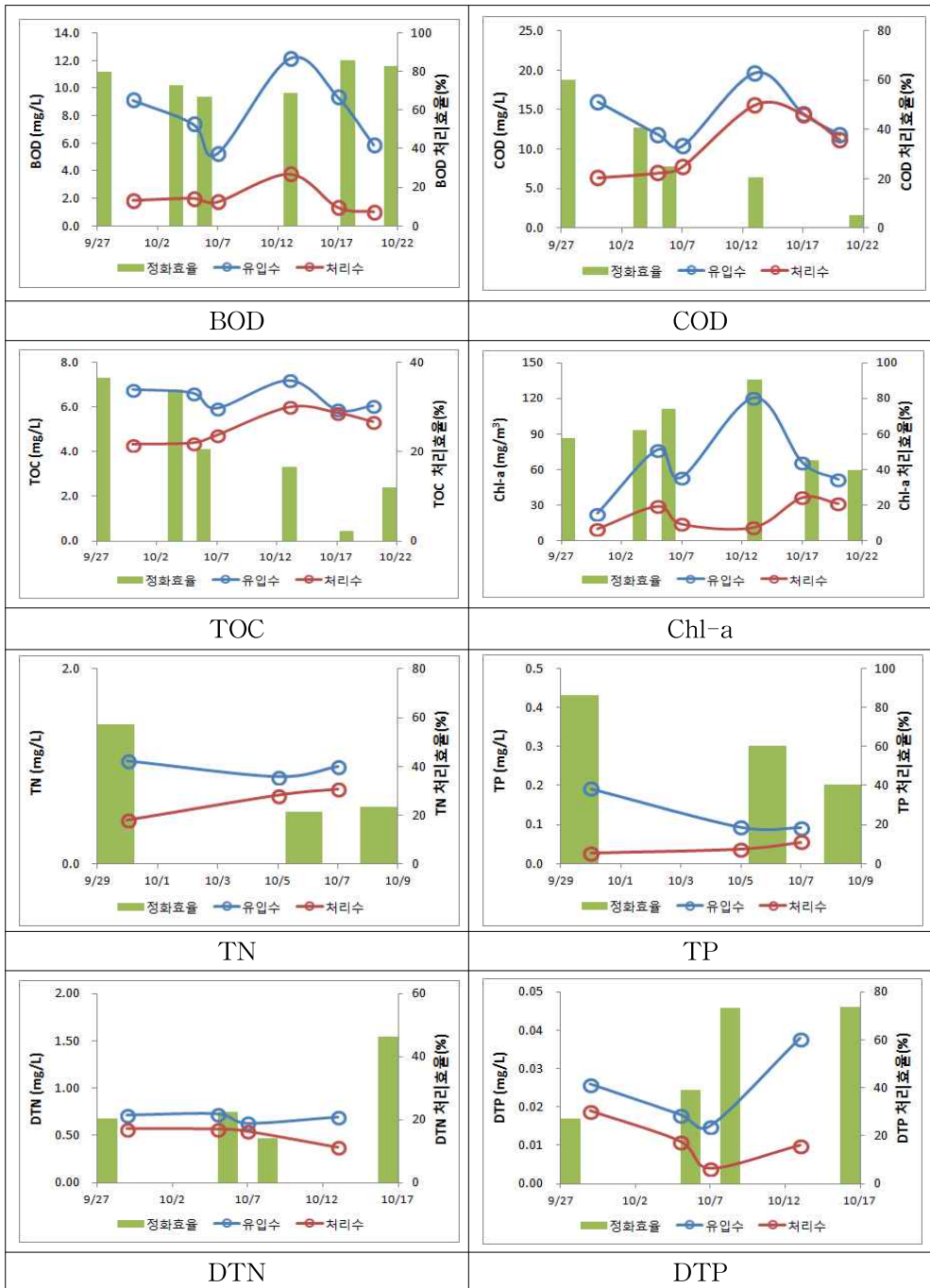
2. 수질정화효율 평가

초기 강우 및 유입수 N, P 오염도가 높은 지구의 유입수 대책시설인 고속복합응집장치의 수질정화효율을 평가하기 위하여 2016년 9월 30일부터 2016년 10월 20일까지 6회 수질시료를 채취하여 분석하였다. 분석자료 중 통계적으로 오차 범위에 벗어나는 자료는 분석 대상에서 제외하였다. 고속복합응집장치의 운전조건은 일 처리용량 300m³/일으로 체류시간 5분에 처리용량 1m³으로 설정하였다. 유입수는 매화저수지의 물을 펌프를 이용하여 유입시켰고, 유입수의 수질은 항목별로 수온 21~24℃, pH 8.1~8.5, EC 387~445 μ s/cm(평균 402 μ s/cm), DO 5.7~8.8mg/L(평균 7.2mg/L), BOD 5.2~12.2mg/L(평균 8.2mg/L), COD 10.4~19.7mg/L(평균 14.0mg/L), SS 14.7~40.0mg/L(평균 25.5mg/L), TN 0.0898~1.321mg/L(평균 1.071mg/L), TP 0.092~0.154mg/L(평균 0.133mg/L), Chl-a 23.3~120.5mg/m³(평균 68.6mg/m³)으로 나타났다. 처리수의 수질농도는 COD 6.4~15.6mg/L(평균 9.2mg/L), BOD 1.0~3.4mg/L(평균 1.9mg/L), Chl-a 9.9~28.9mg/m³(평균 15.9mg/m³), TP 0.026~0.158mg/L(평균 0.069mg/L)으로 나타났다.

따라서 고속복합응집장치의 수질항목별 수질정화효율은 BOD 66.9~85.7%(평균 76.2%), COD 20.4~60.0%(평균 36.5%), Chl-a 57.6~90.8%(평균 71.2%), TP 40.2~86.5%(평균 46.1%)으로 나타났다. 본 실험결과 기타 다른 응집 침전, 응집 부상, 또는 응집 여과와 비교하여 TN, TP 처리효율이 다소 낮았는데, 이는 투여된 응집제의 적정 양 산출에 문제가 있었던 것으로 사료되며, 최적의 응집제 산출량과 수질정화효율 검증을 위해 지속적으로 실험을 할 계획에 있다.



<그림 3-45> 고속복합응집장치의 성능평가



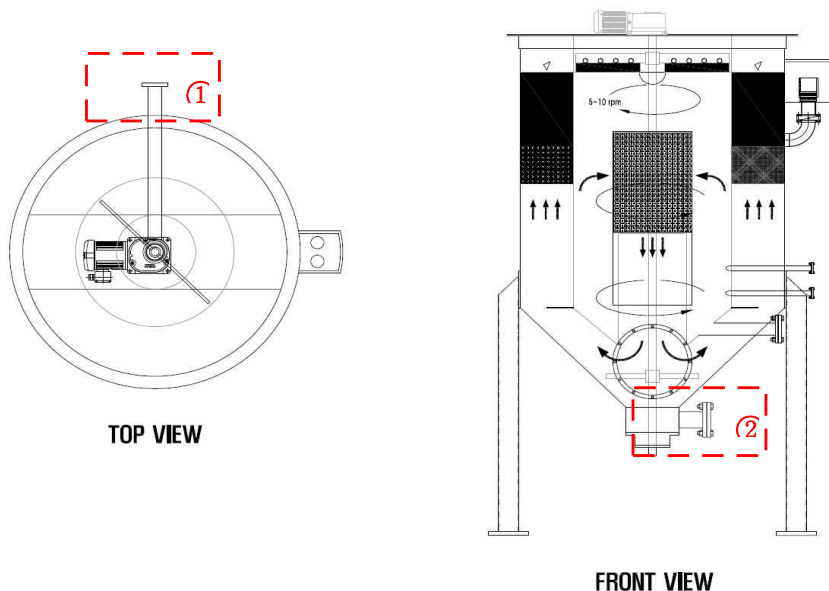
<그림 3-46> 고속복합응집장치 수질항목별 처리효율

3. 슬러지 인발실험 및 슬러지 발생량 산출

가. 슬러지 인발실험

고속복합응집장치의 슬러지 인발시스템은 부유성 슬러지와 침강성 슬러지 두가지로 구분되며, 부유성 슬러지는 복합응집장치가 가동됨에 따라 복합응집장치의 상부 배출구를 통하여 연속적으로 인발되는 부상 슬러지를 말하며, 침강성 슬러지는 응집하여 본체 아래로 침강하는 슬러지로 복합응집장치의 가동이 끝난 후 복합응집장치의 하부 밸브를 개방하여 인발해야 한다. 부유성 슬러지는 <그림 3-47>의 1번 배출구로 배출되며, 침강성 슬러지는 <그림 3-47>의 2번 배출구를 통해 배출되는 구조이다.

고속복합장치의 슬러지 인발실험을 하기 위하여 2016년 11월 16일에 복합응집장치를 1시간 가동한 후에 슬러지를 인발하였다. 인발된 슬러지 양은 총 60 L로 상부슬러지는 15 L, 하부슬러지는 45 L가 인발되었다. 상부 슬러지는 $AlPO_4$, $Al(OH)_3$ 에서 기인된 슬러지이며, 하부슬러지는 SS로부터 기인된 슬러지로 여겨진다. 이론적으로 복합응집장치를 1시간 가동시 발생하는 슬러지 양은 50 L인데, 인발 테스트 당시 실제 유입수의 SS농도가 설계기준보다 높은 수치로 예상되어 더 많은 양의 슬러지가 발생된 것으로 추정된다.



<그림 3-47> 고속복합응집장치의 평면도 및 측면도

고속응집복합장치를 접촉산화시스템과 조합하여 운영시에는 슬러지의 발생 등을 최소화하고, 고속복합응집장치의 수질정화효율 향상 및 수처리 장치의 내구성 연한 증대를 위해 복합응집장치 전단에 전처리 시설로서 저류지(침강지 등)을 설치할 것을 적극 권장한다. 저류지에서 조대 SS 등을 1차적으로 처리한 후 고속복합응집장치를 2차 수처리 장치로 활용할 경우 슬러지 발생량이 많이 감소해 슬러지 처리 용이 및 슬러지 처리비용 절감 등의 효과를 가져 올 것으로 판단된다.



<그림 3-48> 고속복합응집장치의 슬러지 인발 실험

4. 저수지 수질개선효과 분석

가. 시나리오 구성 및 기본 가정

매화저수지에 유입되는 초기 강우의 오염물질을 저감하기 위하여 고속 복합응집장치를 실규모로 설치하였다고 가정했을 때 매화저수지의 수질 개선에 얼마나 효과가 있는지를 분석하였다. 매화저수지의 유입 및 유출 등 수문학적 물질수지는 2차년도에 구축한 3차원 수리-수질 모형인 ELCOM-CADYDYM을 이용하여 분석하였다.

고속복합장치 설치시 저수지 수질 개선에 미치는 효과를 정량화하기 위한 시나리오는 2가지로 구분해서 구성하였다. 시나리오 1은 고속복합응집장치만 단독으로 설치하여 운영하는 경우이고, 시나리오 2는 고속복합장치와 접촉산화시스템을 조합하여 운영하였을 경우로 나누어서 평가하였다. 시나리오별로 시설 수처리 용량은 (표 3-30)에서와 같이 복합응집장치는 평시에는 1Q만 처리하고 강우시에는 2Q를 처리하는 것으로 가정하였고, 시나리오 2에서는 평시에는 응집장치는 가동하지 않고 접촉산화수로만 가동하고, 강우시에는 2Q를 응집장치에서 처리하여 1Q는 접촉산화수로 보내고 나머지 1Q는 저수지로 월류하는 방식으로 가정하였다. 수질모델링을 통해 분석한 수질항목은 COD, TOC, T-N, T-P, Chl-a이며, 고속복합응집장치의 수처리 효율은 COD 36.5%, Chl-a 71.2%, T-N 26.3%, T-P 46.1%를 적용하였고, 접촉산화시스템의 수질정화효율은 COD 46.0%, Chl-a 77.8%, T-P 46.6%를 적용하여 저수지 수질개선효과를 분석하였다.

(표 3-30) 수질개선효과 평가를 위한 시나리오 구성

구 분		(시나리오1) 복합응집장치 (m ³ /d)	(시나리오2) 고속복합응집+접촉산화 (m ³ /d)	
			복합응집	접촉산화
유입-1 (S1)	평시	1,800	0	1,800
	강우시	3,600	3,600	1,800
유입-2 (S2)	평시	3,500	0	3,500
	강우시	7,000	3,600	3,500

(표 3-31) 복합응집장치 및 접촉산화수로 오염물질 저감효율

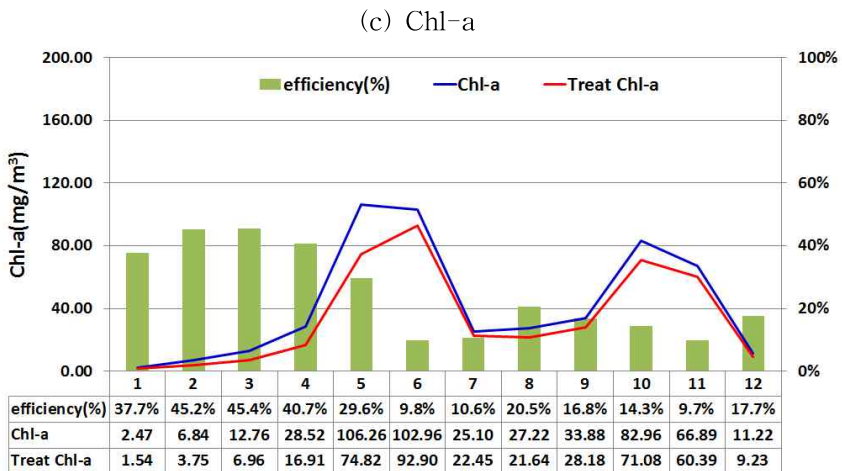
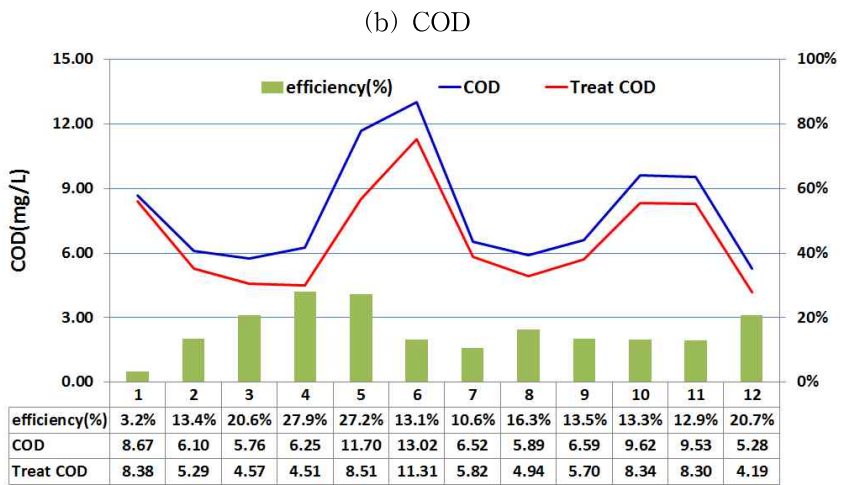
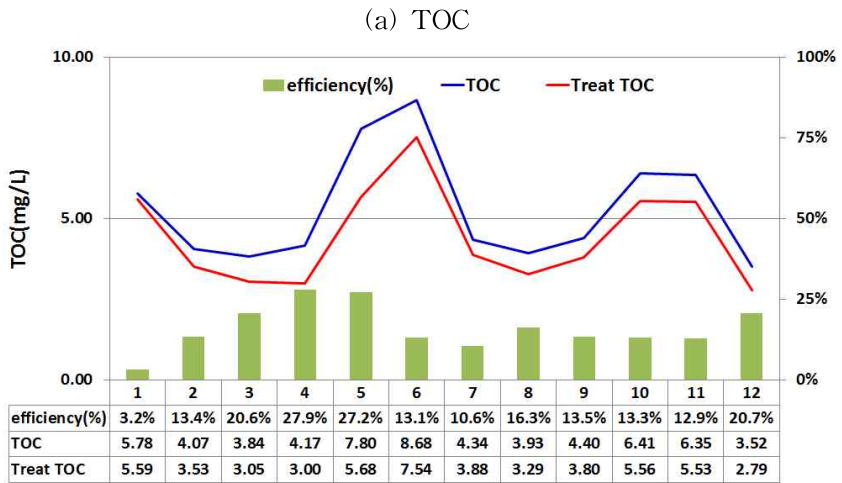
구 분	고속복합응집장치			접촉산화수로		
	유입	유출	저감율 (%)	유입	유출	저감율 (%)
COD(mg/L)	14.5	9.2	36.5	15.6	8.1	46.0
TOC(mg/L)	6.6	4.9	26.8	6.4	5.2	18.5
Chl-a(mg/m ³)	68.6	15.9	71.2	86.9	15.9	77.8
T-N(mg/L)	1.071	0.802	26.3	1.170	1.290	-
T-P(mg/L)	0.133	0.069	46.1	0.121	0.062	46.6

나. 저수지 연간 수질개선효과 분석

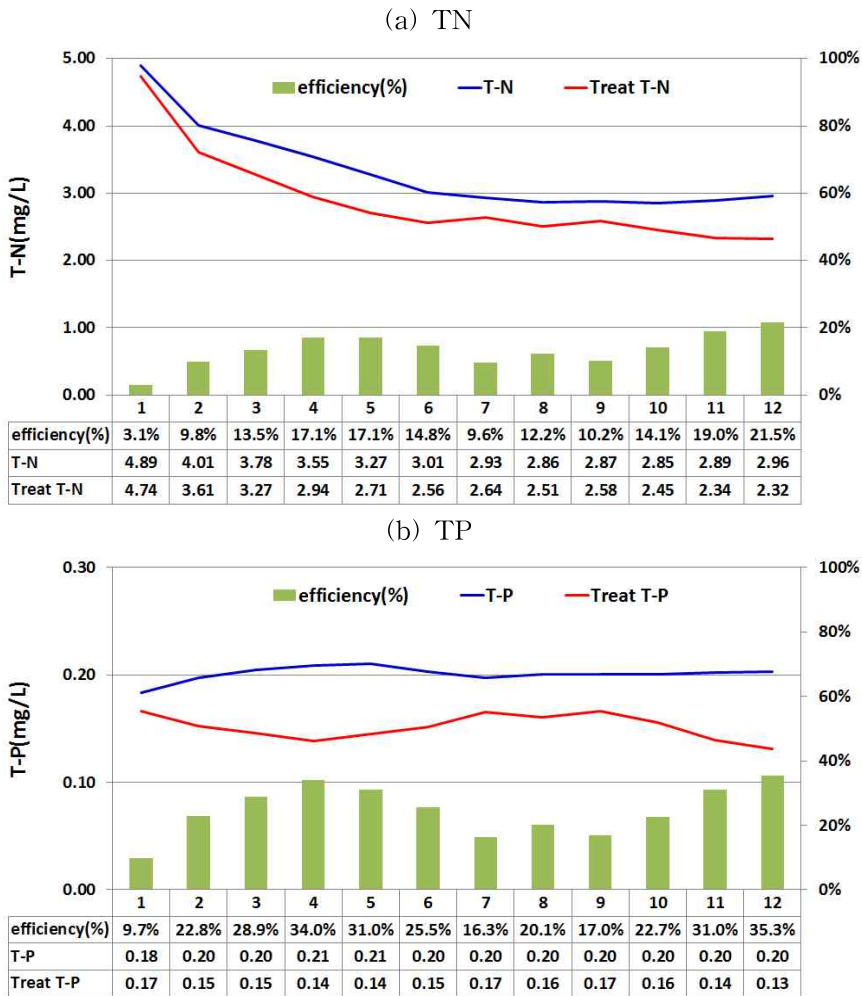
(1) 고속복합응집장치만 운영하였을 경우(시나리오 1)

매화저수지에 복합응집장치를 유입수 대책 수질정화시설로 설치하여 운영하였을 경우, 무대책(base) 대비 수질항목별 월간 수질개선효율을 <그림 3-49>~<그림 3-50>에 나타내었다. 수질항목별 연간 수질개선효과는 TOC 5.3 → 4.4mg/L로 15.9% 개선, COD 7.9 → 6.7mg/L로 15.9% 개선, TN 3.32 → 2.89mg/L로 13.0% 개선, Chl-a 42.3 → 34.2mg/m³로 19.2% 개선, TP 0.201 → 0.151mg/L로 24.7% 개선되는 것으로 나타났다.

고속복합응집장치의 Chl-a 저감효율은 71.2%로 높았으나, 실제 저수지의 Chl-a 농도 저감효과는 19.2%로 크지 않은 값을 나타냈다. 이는 조류의 성장이 수온, 광량, 영양염류 등의 복합적인 인자에 의해 결정되며, 수처리 장치 운영을 가정하 이후에도 호소 내 인 농도는 조류가 성장하기에 충분히 높은 농도로 존재하기 때문으로 판단된다. 호소 내 인 농도가 높은 이유는 강우시 다량으로 유입되거나 또는 호소 바닥 퇴적층에서 혐기화와 함께 재용출에 의한 영향으로 판단된다. 이러한 호소 내 인 농도를 줄이기 위해서는 유입수 수처리장치의 인 처리효율을 높이거나 강우시에 수처리 용량을 확대하거나 또는 호소수 수질정화를 위한 별도의 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.



<그림 3-49> 고속복합응집장치 월평균 수질 변화(TOC, COD, Chl-a)

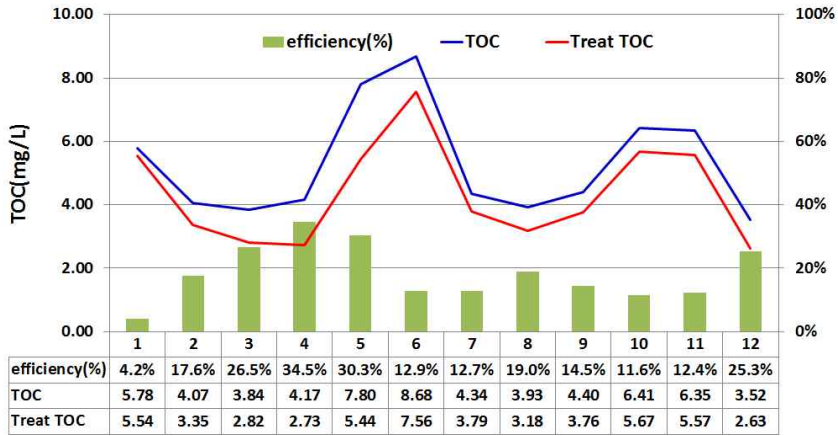


<그림 3-50> 고속복합응집장치 월평균 수질 변화(TN, TP)

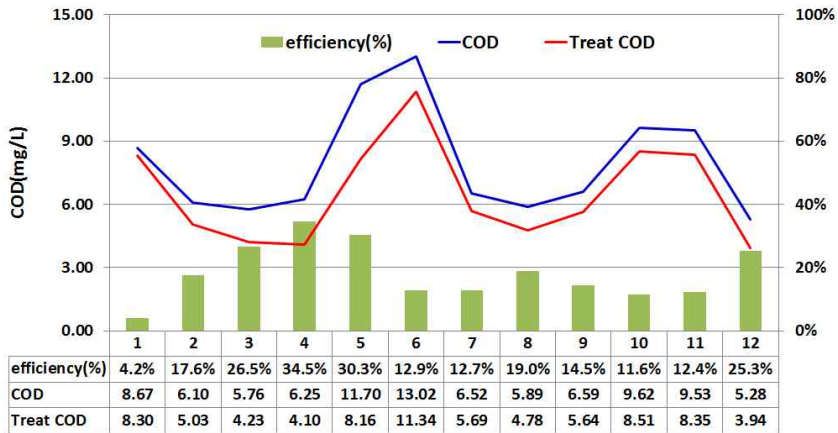
(2) 고속복합응집장치+접촉산화시스템 조합 운영(시나리오 2)

저수지 유입부에 고속 복합응집장치와 접촉산화수로를 연계하여 운영할 경우 저수지의 수질항목별 월간 수질개선효율을 <그림 3-51>~<그림 3-52>에 나타내었다. 수질항목별 연간 평균 수질개선 효과는 TOC 5.3 → 4.3 mg/L로 17.8% 개선, COD 7.9 → 6.5mg/L로 17.8% 개선, TN 3.3 → 3.0 mg/L로 8.4% 개선, Chl-a 42.3 → 35.3mg/m³로 16.5% 개선, TP 0.201 → 0.144mg/L로 28.6% 개선되는 것으로 나타났다.

(a) TOC

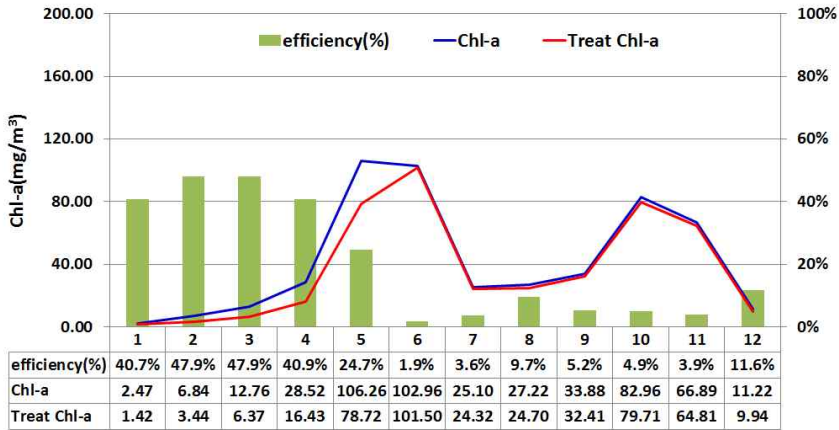


(b) COD

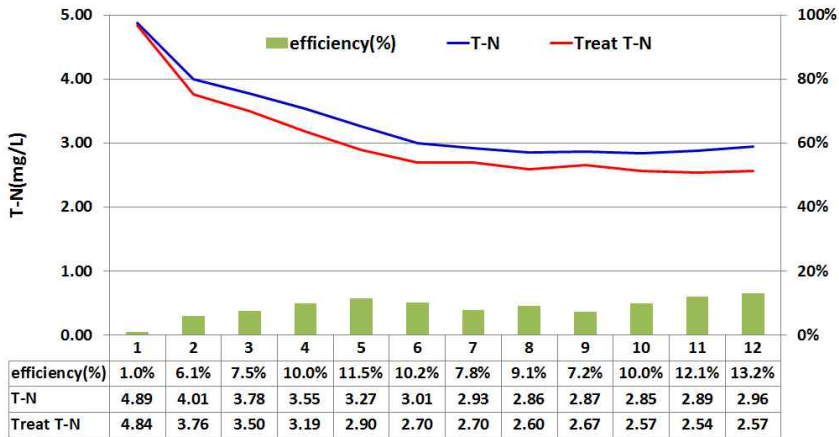


<그림 3-51> 고속복합응집장치 및 접촉산화수로 연계 처리시 저수지의 월평균 수질 변화(TOC, COD)

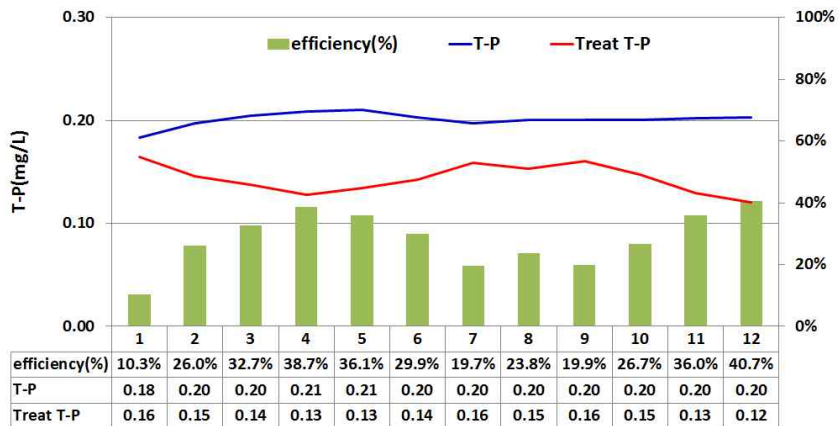
(a) Chl-a



(b) T-N



(c) T-P



<그림 3-52> 고속복합응집장치 및 접촉산화수로 연계 처리시 저수지의 월평균 수질 변화(Chl-a, TN, TP)

제4장

융복합 수처리시스템 확대 적용을 위한 최적규모 산정

제1절 물질수지 해석모델 개발

제2절 융복합 수처리시스템 적용에 따른 수질개선효과 분석

제3절 융복합 수처리시스템 시설규모에 따른 수처리 용량
및 호내 수질변화

제4절 융복합 수처리 시스템 확대적용을 위한 물질수지
해석 모델 적용

제4장 융복합 수처리시스템 확대 적용을 위한 최적 규모 산정

제1절 물질수지 해석모델 개발

1. 물질수지 해석

본 연구에서 개발된 융복합 수처리시스템을 다른 저수지에 확대 적용하기 위하여 물질수지를 이용한 규모산정 모델을 개발하였다. 즉, 저수지 지구 특성 요인(수질상태, 저수지 용량, 유입수 수질, 유역면적, 강우 일수 등)을 입력하면 저수지 수질목표 달성을 위해서 처리해야 할 적정 규모(수량)가 산정될 수 있도록 엑셀을 이용하여 개발하였다.

매화저수지를 대상으로 하여 각 융복합 수처리시스템의 수질개선효과 평가를 위해 (식 1)과 같은 물질수지식을 개발하여 물수지 및 COD, T-N, T-P 항목에 대한 해석을 수행하였다. 입력 자료는 3차원 수리-수질모델을 이용하여 각 융복합 수처리시스템 설치에 따른 저수지 수질개선 효과분석을 위해 적용하였던 수처리 시스템별 수질정화효율 자료와 동일하게 적용하였다. 2013년도 수문사상의 일별 유입·유출량 및 저수위 변화를 동일하게 재현하였으며, 수위변화에 따른 저수지 수면적 변화를 고려하여 내부부하를 계산하였다. 내부부하는 4월~8월까지 총 5개월간 발생이 있다고 가정하여 2015년도에 수행한 실내 용출실험 결과를 적용하였으며, 수질항목별 용출 부하량은 COD 200 mg/m², T-N 30.4 mg/m², T-P 3.1 mg/m² 으로 산출되었다.

$$\frac{\Delta \bar{c} \Delta V_r}{\Delta t} = Q_{In} \cdot C_{In} + S_r - \kappa V_r C_r - Q_{out} \cdot C_r \quad (\text{식 1})$$

여기서, V_r = 저수지 체적, Q_{In} = 유입유량, C_{In} = 유입수 수질,
 S_r = 내부 부하, C_r = 호내 수질, Q_{out} = 유출량

2. 매화저수지 월별 유입·유출량 산정

매화저수지 월별 유입 및 유출량을 산정하기 위하여 2006년도부터 2015년도까지 최근 10년간의 강우량 및 매화저수지 유입량을 비교하여 (표 4-1)에 나타내었다. 최근 10년 연평균 강우량은 1,188mm, 연평균 유입량은 4,074,961 m³/year로 나타났다. 매화저수지 월별 유입·유출량은 2차년도에 구축하였던 수리-수문모델 HEC-HMS를 이용하여 해석한 2013년도 유출모의 결과를 활용하였다. 월별 유입 및 유출 유량에 대한 분석을 수행하였으며, 그 결과를 (표 4-2)에 나타내었다.

융복합 수처리 시스템의 요소기술 중 고속복합응집장치는 초기 강우 유출수 처리를 주목적으로 개발되었다. 이 시설의 해석을 위해서 2013년도 유출 모의결과를 유입-2 기준으로 5,000m³/d를 초과한 경우에는 강우 유입으로 가정하고, 유입 하천별로 평시와 강우시로 나누어 월별 총유입량을 산출하여 (표 4-1)에 나타내었다. 강우기인 7~9월의 유입량이 연간 전체 유입량의 60%를 차지하였으며, 평시의 유입량은 연간 전체유입량의 약 21% 정도로 산정되었다. 또한 호내 유입량의 약 70%는 유입-2(S2)를 통해 유입하는 것으로 나타났다.

(표 4-1) 연도별 유입유량분석(2006~2015)

연도	연강우량 (mm)	강우유입 (m ³ /year)	평시유입 (m ³ /year)	총유입량 (m ³ /year)	평시/총유입 (%)
2006	1093.0	2,871,331.2	895,363.2	3,766,694.4	24
2007	1017.5	2,785,708.8	876,960.0	3,662,668.8	24
2008	822.5	2,271,801.6	886,723.2	3,158,524.8	28
2009	1298.0	3,474,921.6	915,321.6	4,390,243.2	21
2010	1292.5	3,571,430.4	806,976.0	4,378,406.4	18
2011	1953.5	5,243,011.2	852,422.4	6,095,433.6	14
2012	1721.0	4,659,724.8	835,056.0	5,494,780.8	15
2013	1259.0	3,205,470.0	863,364.0	4,068,838.0	21
2014	740.5	2,013,120.0	928,627.2	2,941,747.2	32
2015	682.5	1,854,835.2	937,440.0	2,792,275.2	34
평균	1,188.00	3,195,135.48	879,825.36	4,074,961.24	23.1

(표 4-2) 2013년도 매화저수지 월별 유입 유출량

구 분	유입량(m ³ /d)				유출량 (m ³ /d)
	유입-1(S1)		유입-2(S2)		
	평시	강우시	평시	강우시	
1	36,196	6,763	67,386	15,922	47,082
2	20,909	46,051	46,310	113,789	232,935
3	23,933	25,229	53,050	59,789	163,165
4	18,230	47,088	40,781	110,074	216,173
5	21,299	108,407	44,973	247,684	438,314
6	26,310	31,450	54,390	72,835	170,195
7	11,750	368,770	26,525	845,698	1,250,417
8	24,526	101,434	53,989	235,267	415,216
9	16,416	167,357	36,115	389,491	607,039
10	25,229	7,258	55,642	16,848	106,148
11	21,341	39,744	47,347	91,757	203,684
12	28,080	17,107	62,640	39,658	147,485
합계	274,218	966,658	589,146	2,238,812	3,997,853

3. 매화저수지 유입 오염부하량 산정

매화저수지의 오염물질에 대한 물질수지 해석을 위해 매화저수지 유입 오염부하량을 산정하였다. 유입하천의 수질은 2015~2016년도의 조사 자료를 바탕으로 평시 및 강우시의 평균 유입수질을 가정하여 (표 4-3)과 같이 입력하였다. 수질항목별 월별 오염부하량은 월별 유입수량에 유입 오염부하량을 곱하여 산정하였고, 오염부하량은 유입수질에 유량을 곱하여 산출하였다. COD, T-N, T-P 항목에 대해 월별 유입·유출 및 내부 부하량을 산정하여 (표 4-4)~(표 4-6)에 나타내었다. COD의 총 유입부하는 34,852.7 kg/year, 총 유출부하는 35,623.4 kg/year로 산정되었으며, 내부부하는 4,040 kg/year로 총부하량의 약 11.6%로 평가되었다. TN의 총 유입부하는 25,975 kg/year, 내부부하는 1,979 kg/year로 총부하량의 약 7.1%로 평가되었다. TP의 총 유입부하는 1,768.7 kg/year로 산정되었으며, 용출부하는 842.4 kg/year로 총 부하량의 약 32.2%로 평가되었다.

(표 4-3) 매화저수지의 평시 및 강우시의 평균 유입수질

구 분		유입수질(mg/L)		
		COD	TN	TP
유입-1	평시	9.6	7.12	0.68
	강우시	11.5	5.41	0.43
유입-2	평시	7.7	7.35	0.46
	강우시	7.4	6.46	0.40

(표 4-4) 매화저수지의 월별 COD 유입부하

월	외부부하(kg/month)					유출부하 (kg/month)	내부부하 (kg/month)
	유입-1		유입-2		합계		
	평시	강우시	평시	강우시			
1	347.5	518.9	77.8	117.8	1,062.0	560.5	-
2	200.7	356.6	529.6	842.0	1,928.9	2,640.6	-
3	229.8	408.5	290.1	442.4	1,370.8	1,523.8	-
4	175.0	314.0	541.5	814.5	1,845.1	1,896.8	818
5	204.5	346.3	1,246.7	1,832.9	3,630.3	3,821.4	792
6	252.6	418.8	361.7	539.0	1,572.0	1,433.5	764.2
7	112.8	204.2	4,240.9	6,258.2	10,816.1	11,048.5	831.7
8	235.5	415.7	1,166.5	1,741.0	3,558.6	3,494.5	834.1
9	157.6	278.1	1,924.6	2,882.2	5,242.5	5,351.2	-
10	242.2	428.4	83.5	124.7	878.8	898.7	-
11	204.9	364.6	457.1	679.0	1,705.5	1,715.2	-
12	269.6	482.3	196.7	293.5	1,242.1	1,238.7	-
합계	2,631.7	4,536.4	11,114.7	16,567.2	34,852.7	35,623.4	4,040

(표 4-5) 매화저수지의 월별 TN 유입부하

월	외부부하(kg/month)					유출부하 (kg/month)	내부부하 (kg/month)
	유입-1		유입-2		합계		
	평시	강우시	평시	강우시			
1	257.7	495.3	36.6	102.9	892.4	204.4	-
2	148.9	340.4	249.1	735.1	1,473.5	903.2	-
3	170.4	389.9	136.5	386.2	1,083.0	431.6	-
4	129.8	299.7	254.7	711.1	1,395.4	582.7	818
5	151.7	330.6	586.5	1,600.0	2,668.7	1,680.5	792
6	187.3	399.8	170.1	470.5	1,227.7	608.2	116
7	83.7	195.0	1,995.0	5,463.2	7,736.9	6,388.3	126
8	174.6	396.8	548.8	1,519.8	2,640.0	1,652.5	127
9	116.9	265.4	905.4	2,516.1	3,803.8	2,802.5	-
10	179.6	409.0	39.3	108.8	736.7	330.9	-
11	151.9	348.0	215.0	592.7	1,307.7	533.6	-
12	199.9	460.4	92.5	256.2	1,009.1	409.0	-
합계	1,951.4	4,330.3	5,227.5	14,462.6	25,974.9	16,527.4	1,979

(표 4-6) 매화저수지의 월별 TP 유입부하

월	외부부하(kg/month)					유출부하 (kg/month)	내부부하 (kg/month)
	유입-1		유입-2		합계		
	평시	강우시	평시	강우시			
1	24.6	31.0	2.9	6.4	64.9	11.4	-
2	14.2	21.3	19.8	45.5	100.8	50.9	-
3	16.3	24.4	10.8	23.9	75.4	23.8	-
4	12.4	18.8	20.2	44.0	95.4	32.7	818
5	14.5	20.7	46.6	99.1	180.9	100.2	792
6	17.9	25.0	13.5	29.1	85.6	35.1	11.8
7	8.0	12.2	158.6	338.3	517.0	401.2	12.9
8	16.7	24.8	43.6	94.1	179.2	97.1	12.9
9	11.2	16.6	72.0	155.8	255.5	171.5	-
10	17.2	25.6	3.1	6.7	52.6	18.2	-
11	14.5	21.8	17.1	36.7	90.1	29.8	-
12	19.1	28.8	7.4	15.9	71.1	23.1	-
합계	185.6	271	413.6	895.5	1,768.5	995	1,647.6

제2절 융복합 수처리시스템 적용에 따른 수질개선효과 분석

융복합 수처리시스템별 수질개선효과 분석은 제3장의 융복합 수처리 시스템별 실규모 적용시 저수지 수질개선 효과분석을 위한 모의 시나리오인 고속복합응집장치, 생태융합형 접촉산화수로, 바이오스톤 접촉산화시스템 각각에 대해 수행하였다. 각 수처리 시스템별로 월별 수처리 용량 평가, 연간 유입되는 오염부하의 저감량 평가, 호내 연간 수질변화를 분석하여 제시하였다.

1. 고속복합응집장치

가. 월별 수처리 용량 평가

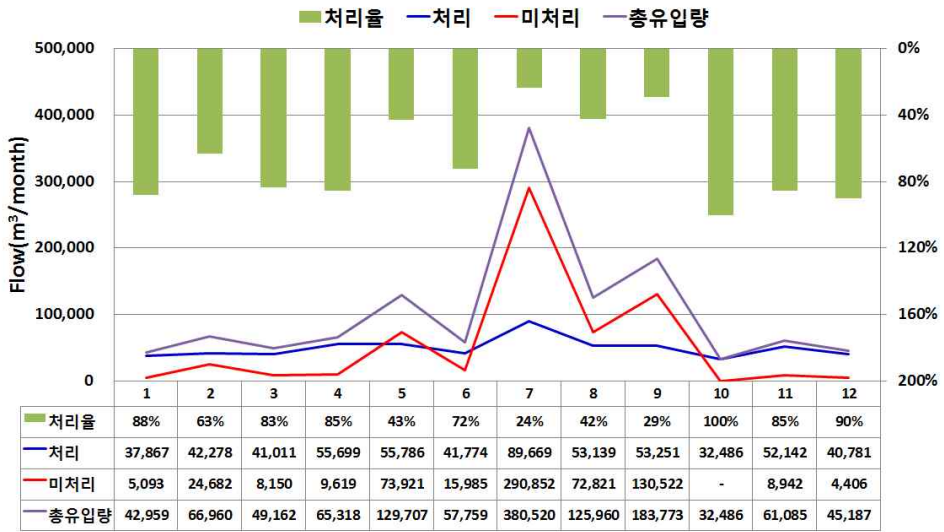
고속복합응집장치에 의해 유입-1은 평시에는 1,800m³/d, 강우시에는 3,600m³/d을 처리하고, 유입-2는 평시에는 3,500m³/d, 강우시에는 7,000 m³/d의 유량을 처리하는 것으로 가정하였다. 연간 약 40만m³의 수량이 저수지로 유입되고 있으며, 고속복합응집장치를 설치한 경우 약 18만m³이 처리되어 전체 수량의 약 45.1%가 처리되는 것으로 나타났다. 그러나 강우기(7~9월) 동안의 처리 유량은 전체 유입량의 약 28%로 연평균에 비해 매우 낮은 처리 유량을 보였다. 농업용 저수지의 수질오염의 주 원인이 강우기에 일시에 대량으로 유입되는 오염물질에 기인한 경우가 대부분이다. 강우기에 대량으로 유입되는 오염물질을 모두 처리할 수 있는 처리시설을 설치하는 경우는 매우 비경제적이므로 저수지 유입부에 보조댐 등을 축조하여 침강지 같은 시설로 활용하면 매우 유용할 것으로 판단된다.

나. 연간 오염부하량 저감효과 평가

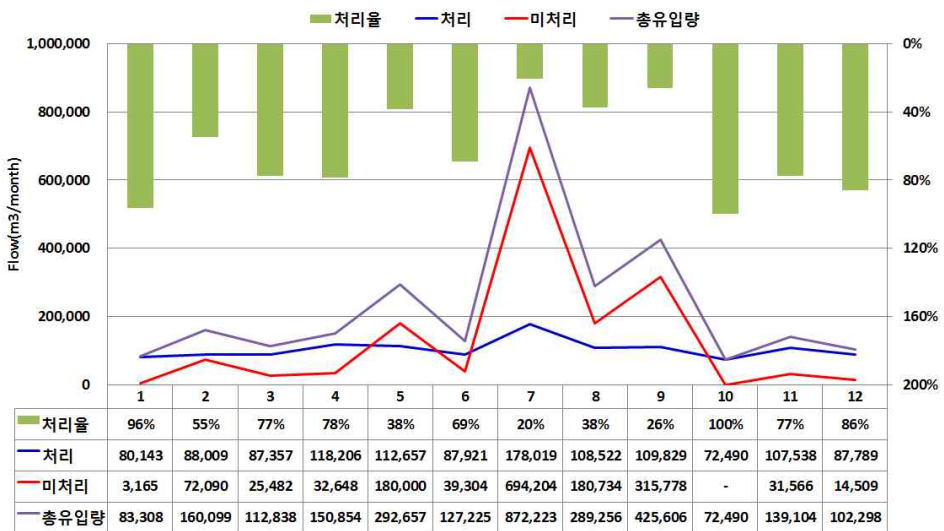
고속복합응집장치의 처리효율을 항목별로 COD 36.5%, T-N 26.3%, T-P 46.1%로 적용하여 수처리시설 설치에 의해 연간 유입되는 오염부하의 저감량을 평가하였다. 수질항목별 오염부하 저감량은 (표 4-7)에 나타내었으며, COD의 경우 유입-1에서 강우시 24.0%, 평시 35.4%의 부하량이 저감되고, 유입-2에서는 강우시에 25.7%, 평시에 35.7%의 부하량이 저감되는 것으로 나타났다. TN은 유입-1에서 강우시 9.0%, 평시 25.5%, 유입-2에서 강우시 7.8%, 평시 25.7%가 저감되고, TP는 유입-1에서 강우시

15.7%, 평시에 44.7%, 유입-2에서 강우시에 13.6%, 평시에 45.1% 저감되는 것으로 나타났다. 고속복합응집장치에 의해 연간 유입 부하량의 COD 27.2%, T-N 12.3%, T-P 22.2%를 저감시키는 것으로 평가되었다.

(a) 유입-1



(a) 유입-2



<그림 4-1> 고속복합응집장치의 유입하천별 월간 처리유량 비교

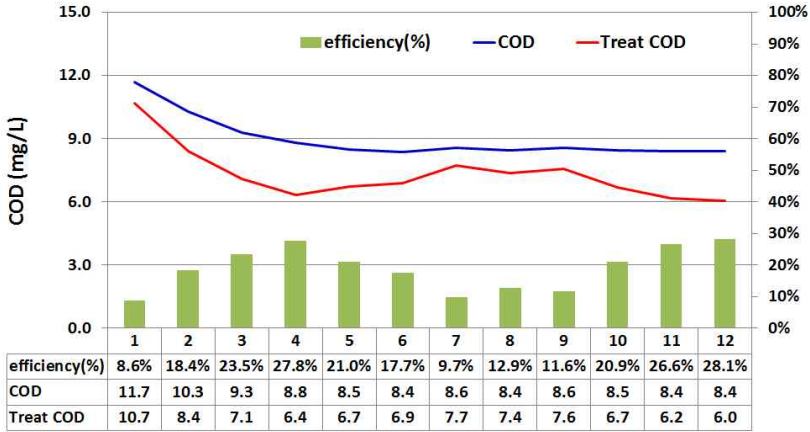
(표 4-7) 고속복합응집장치의 수질 항목별 연간 오염부하 저감량

수질항목	구분	강우시		평시		합 계
		유입-1 (S1)	유입-2 (S2)	유입-1 (S1)	유입-2 (S2)	
COD (kg/year)	처리전	11,117	16,567	2,633	4,536	34,853
	처리후	8,445	12,309	1,702	2,917	25,374
	저감율 (%)	24.0	25.7	35.4	35.7	27.2
T-N (kg/year)	처리전	5,230	14,463	1,952	4,330	25,975
	처리후	4,760	13,337	1,455	3,217	22,769
	저감율 (%)	9.0	7.8	25.5	25.7	12.3
T-P (kg/year)	처리전	416	896	186	271	1,769
	처리후	350	773	103	149	1,376
	저감율 (%)	15.7	13.6	44.7	45.1	22.2

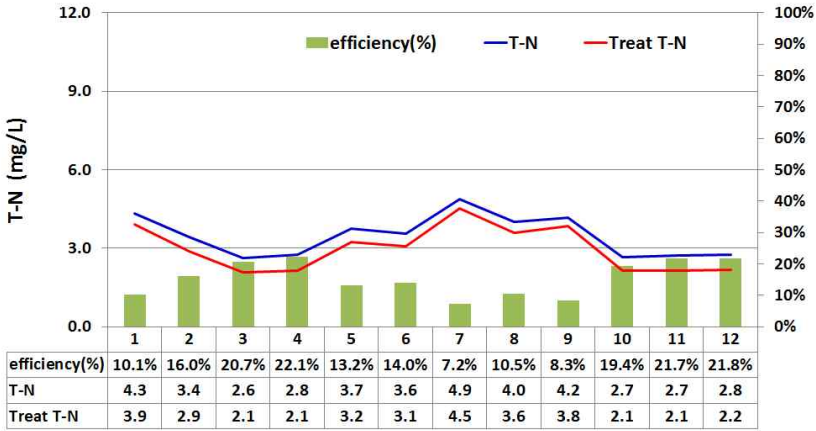
다. 저수지의 연간 수질변화

고속복합응집장치 적용시 매화지 호내 수질변화를 월별로 비교하여 (그림 4-2)에 제시하였다. 매화저수지의 호내 평균 수질농도 반영을 위해 1차 반응계수 k값을 조절하여 물질수지 해석을 수행하였다. TN, TP 각각 0.041/day, 0.058/day의 k값을 입력하였다. 수질항목별 연평균 수질개선 효과는 COD 18.6%, T-N 14.3%, T-P 25.7%로 산정되었으며, 수질모델링을 통해 해석한 결과와 유사한 수준으로 나타났다.

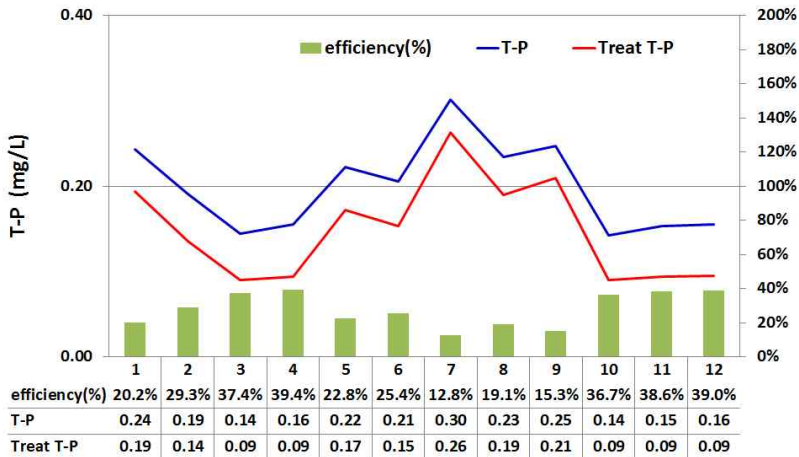
(a) COD



(b) T-N



(c) T-P



<그림 4-2> 고속복합응집장치의 호내 월평균 수질 농도 및 수질개선효율

2. 생태융합형 접촉산화시스템

가. 월별 수처리 용량 평가

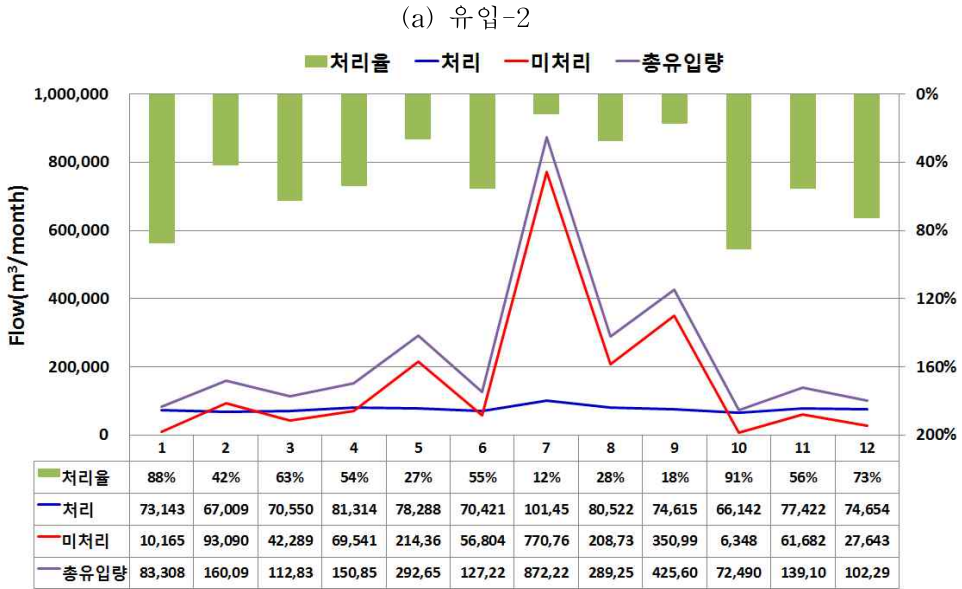
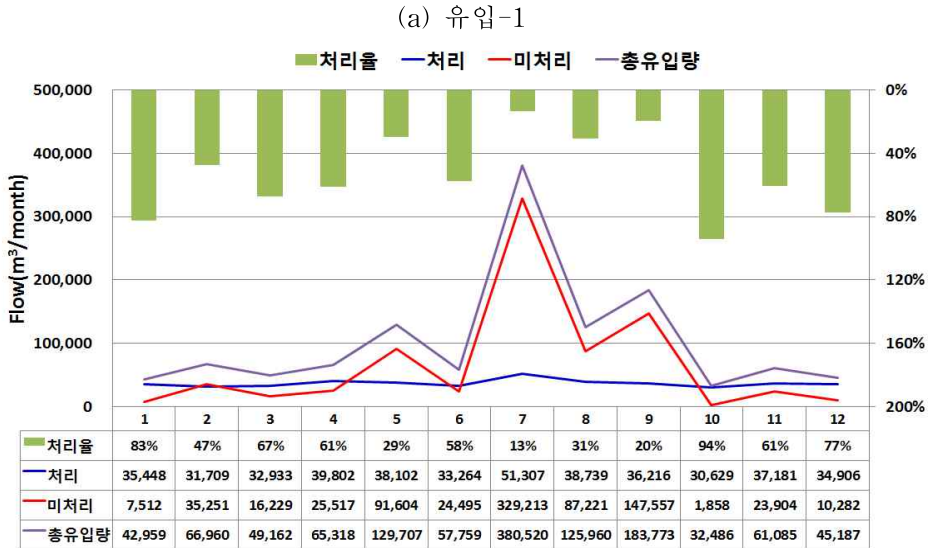
생태융합형 접촉산화시스템은 유입-1은 평시, 강우시 모두 1,800 m³/d의 유입량을 처리하고, 유입-2에서는 평시, 강우시 모두 3,500 m³/d의 유입량을 처리하는 것으로 가정하였다. 유입 하천별 처리용량을 월별로 비교하여 <그림 4-3>에 나타내었다. 연간 약 40만m³의 수량이 저수지로 유입되고 있으며, 접촉산화시스템을 통해 연간 14만m³(전체 유입량의 약 33.3%)의 수량이 처리되는 것으로 나타났다. 강우기(7~9월)동안의 처리수량은 전체 유입량의 약 17% 정도 처리되는 것으로 나타났다.

나. 연간 오염부하 저감량 평가

생태융합형 접촉산화조의 적용 효율은 COD 46%, TP 46.6%로 적용하여 연간 오염부하 저감량을 평가하였다. 수질항목별 오염부하 저감량은 (표 4-8)에 나타내었으며, COD는 유입-1에서 강우시 37.7%, 평시 44.6%의 부하량 저감효과가 있으며, 유입-2에서 강우시 39.0%, 평시 45.0%의 부하량이 저감되는 것으로 나타났다. TP는 유입-1에서 강우시 8.4%, 평시 45.1%, 유입-2에서 강우시 7.1%, 평시 45.6%가 저감되는 것으로 나타났다. 생태융합형 접촉산화수로를 유입부에 설치하면 연간 유입부하량의 COD 39.8%, TP 17.3%를 저감시키는 것으로 평가되었다.

다. 연간 호내 수질변화

생태융합형 접촉산화시스템을 유입수 대책으로 적용시 매화지 호내 수질변화를 월별로 분석하여 <그림 4-4>에 제시하였다. 매화저수지의 호내 평균 수질농도를 반영하기 위해 1차 반응계수 k값을 조절하여 물질수지 해석을 수행하였다. TN, TP 각각 0.041/day, 0.058/day의 k값을 입력하였다. 저수지의 수질항목별 연평균 수질개선 효과는 COD 18.0%, T-P 20.6%로 나타났다.

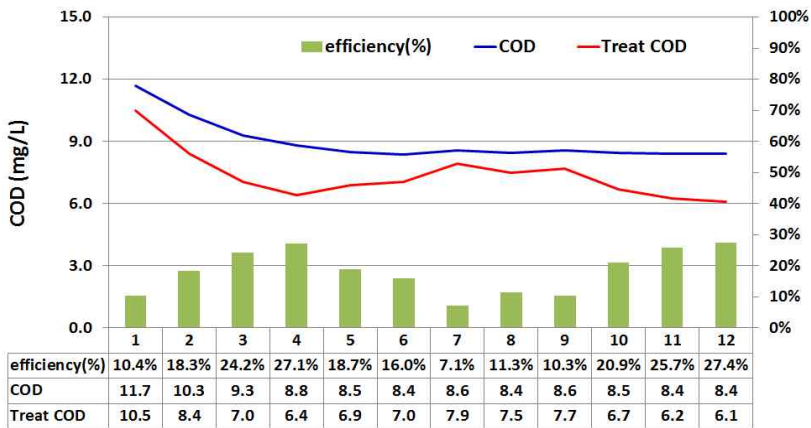


<그림 4-3> 생태융합형 집축산화조의 유입지류별 월간 처리유량 비교

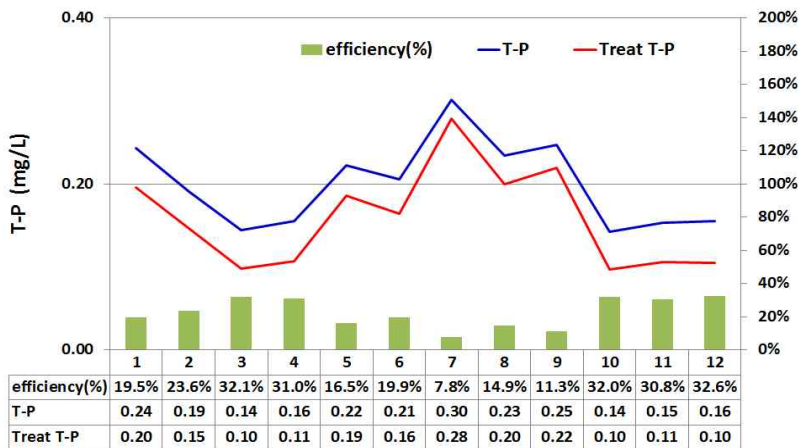
(표 4-8) 생태융합형 접촉산화조의 수질 항목별 연간 오염부하 저감량

수질항목	구분	강우시		평시		합 계
		유입-1 (S1)	유입-2 (S2)	유입-1 (S1)	유입-2 (S2)	
COD (kg/year)	처리전	11,117	16,567	2,633	4,536	34,853
	처리후	6,927	10,102	1,459	2,496	20,984
	저감율(%)	37.7%	39.0%	44.6%	45.0%	39.8%
T-P (kg/year)	처리전	416	896	186	271	1,769
	처리후	381	832	102	148	1,463
	저감율(%)	8.4%	7.1%	45.1%	45.6%	17.3%

(a) COD



(b) TP



<그림 4-4> 생태융합형 접촉산화조의 호내 월평균 수질농도 및 수질개선효율

3. 바이오스톤 접촉산화시스템

가. 월별 수처리 용량 평가

바이오스톤 접촉산화시스템은 유입-1은 평시, 강우시 모두 1,800 m³/d의 유입량을 처리하고, 유입-2에서는 평시, 강우시 모두 3,500 m³/d의 유입량을 처리하는 것으로 가정하였다. 유입 하천별 처리용량을 월별로 비교하여 <그림 4-5>에 나타내었다. 연간 약 40만m³의 수량이 저수지로 유입되고 있으며, 접촉산화시스템을 통해 연간 14만m³(전체 유입량의 약 33.3%)의 수량이 처리되는 것으로 나타났다. 강우기(7~9월)동안의 처리수량은 전체 유입량의 약 17% 정도 처리되는 것으로 나타났다.

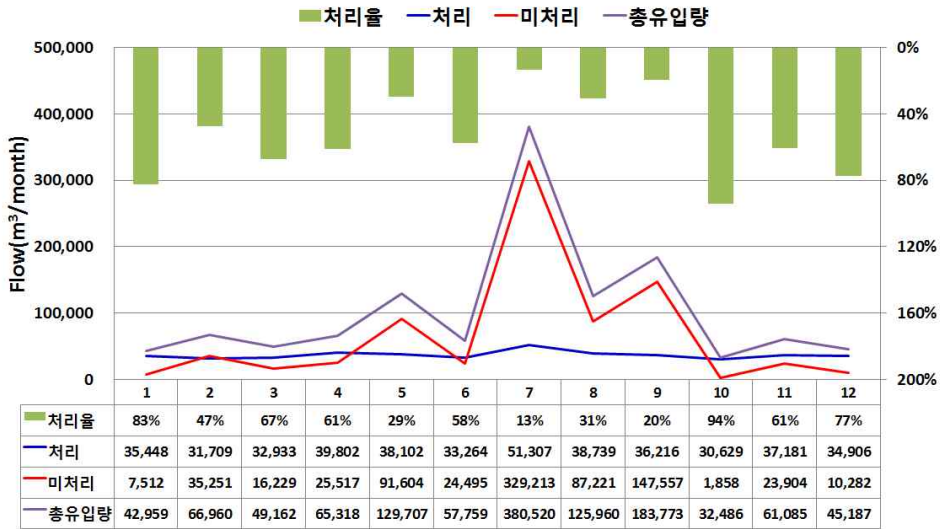
나. 연간 오염부하 저감량 평가

바이오스톤 접촉산화조에 적용한 수질정화효율은 COD 46.3%, TP 45.2%로 적용하여 연간 오염부하 저감량을 평가하였다. 수질항목별 오염부하 저감량은 (표 4-9)에 나타내었으며, COD는 유입-1에서 강우시 37.1%, 평시 43.9%의 부하량 저감효과가 있으며, 유입-2에서 강우시 38.4%, 평시 44.3%의 부하량이 저감되는 것으로 나타났다. TP는 유입-1에서 강우시 8.2%, 평시 43.8%, 유입-2에서 강우시 6.9%, 평시 44.2%가 저감되는 것으로 나타났다. 바이오스톤 접촉산화수로를 유입부에 설치하면 연간 유입부하량의 COD 39.2%, TP 16.8%를 저감시키는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 생태융합형 접촉산화수로를 설치하였을 경우와 매우 유사한 결과이다.

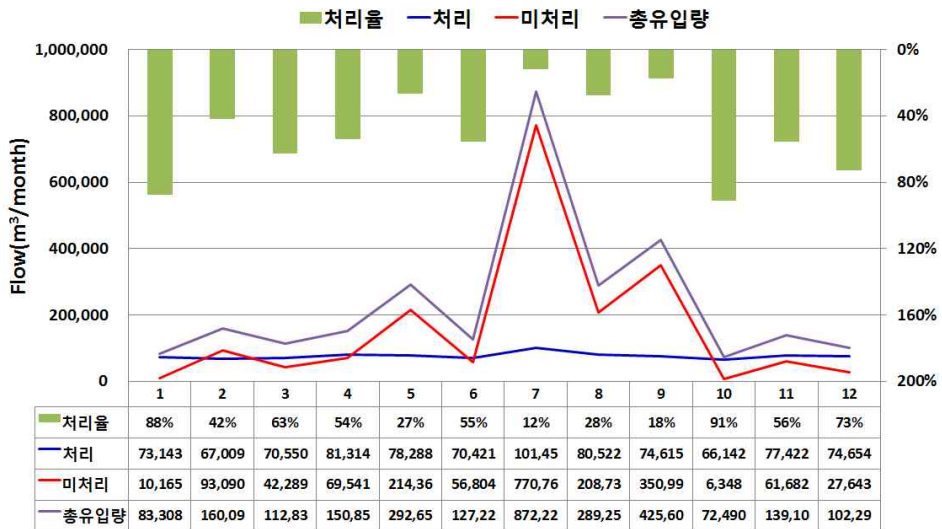
다. 연간 호내 수질변화

바이오스톤 접촉산화시스템을 유입수 대책으로 적용시 매화지 호내 수질변화를 월별로 분석하여 <그림 4-6>에 제시하였다. 매화저수지의 호내 평균 수질농도를 반영하기 위해 1차 반응계수 k값을 조절하여 물질수지 해석을 수행하였다. T-N, T-P 각각 0.041/day, 0.058/day의 k값을 입력하였다. 저수지의 수질항목별 연평균 수질개선 효과는 COD 17.7%, T-P 20.0%로 나타났다.

(a) 유입-1



(a) 유입-2

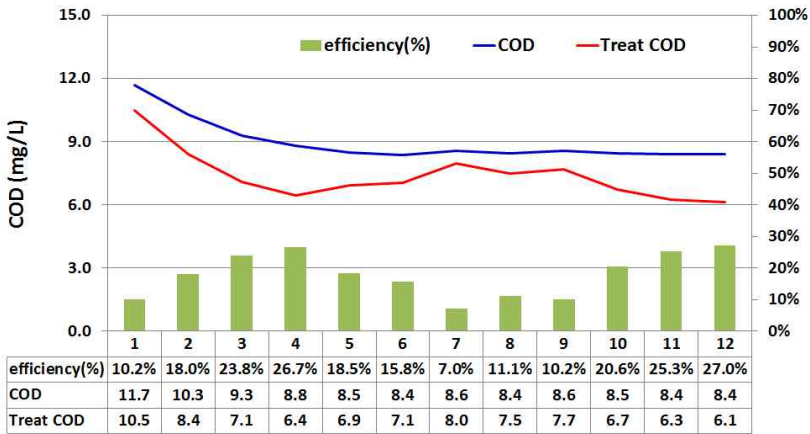


<그림 4-5> 바이오스톤조의 유입지류별 월간 처리유량 비교

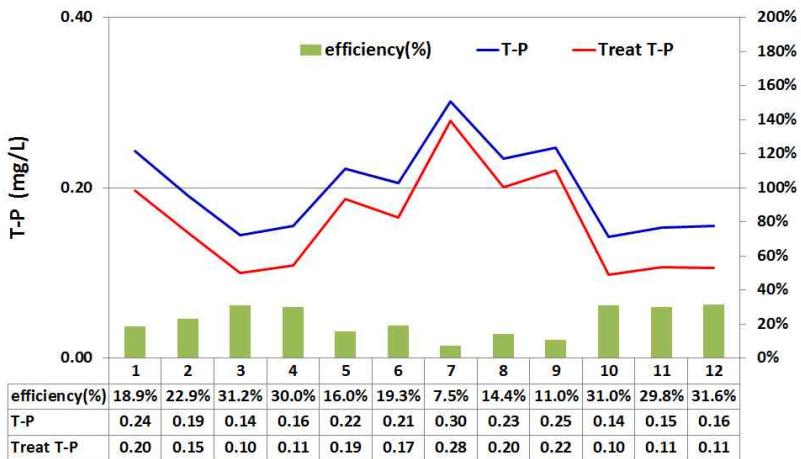
(표 4-9) 바이오스톤조의 수질 항목별 연간 오염부하 저감량

수질항목	구분	강우시		평시		합 계
		유입-1 (S1)	유입-2 (S2)	유입-1 (S1)	유입-2 (S2)	
COD (kg/year)	처리전	11,117	16,567	2,633	4,536	34,853
	처리후	6,990	10,200	1,477	2,527	21,195
	저감율(%)	37.1%	38.4%	43.9%	44.3%	39.2%
T-P (kg/year)	처리전	416	896	186	271	1,769
	처리후	382	834	105	151	1,472
	저감율(%)	8.2%	6.9%	43.8%	44.2%	16.8%

(a) COD



(b) T-P



<그림 4-6> 바이오스톤조의 호내 월평균 수질농도 및 수질개선효율

제3절 융복합 수처리시스템 시설규모에 따른 수처리 용량 및 호내 수질변화

1. 수처리시스템 시설규모에 따른 수처리 용량

유입수 대책으로 수처리시설을 설치하였을 때 시설용량에 따라 처리되는 수량이 달라지고 이에 따라 저수지의 수질에도 영향을 줄 수 있다. 고속복합응집장치의 각 유입하천별 시설용량 변화에 따른 유입량 처리 비율을 (표 4-10)에 나타내었다. 시설용량 범위는 유입지류1(S1) 400~2,000m³/day, 유입지류2(S2) 500~5,000m³/day를 적용하여 검토하였다. S1에는 2,000m³/day, S2에는 5,000m³/day 처리용량의 시설을 적용하면 전체유입수량의 51.4%까지 처리가 가능한 것으로 나타났다.

생태융합형 접촉산화 및 바이오스톤 접촉산화시스템의 각 유입 하천별 시설용량 변화에 따른 유입량 처리 비율을 (표 4-11)에 나타내었다. 시설용량 범위는 유입지류1(S1)는 400~2,000m³/day, 유입지류2(S2)는 500~5,000m³/day로 적용하여 검토하였다. S1에는 2,000m³/day, S2 5,000m³/day 처리용량의 시설을 적용하면 전체 유입수량의 37.8%까지 처리가 가능한 것으로 나타났다.

(표 4-10) 복합응집장치의 유입하천별 시설용량에 따른 처리율 비율

구분		S1(m ³ /d)				
		400	800	1,200	1,600	2,000
S2 (m ³ /d)	500	12.2%	16.8%	19.6%	21.5%	23.1%
	1,000	15.9%	20.5%	23.3%	25.2%	26.8%
	1,500	21.6%	26.2%	29.0%	30.9%	32.5%
	2,000	26.8%	31.4%	34.2%	36.1%	37.7%
	2,500	29.9%	34.5%	37.3%	39.2%	40.8%
	3,000	32.6%	37.2%	40.0%	41.9%	43.5%
	3,500	35.0%	39.6%	42.4%	44.3%	45.9%
	4,000	37.1%	41.7%	44.5%	46.4%	48.0%
	4,500	38.9%	43.5%	46.3%	48.2%	49.8%
	5,000	40.5%	45.1%	47.9%	49.8%	51.4%

(표 4-11) 생태융합형/바이오스톤 접촉산화시스템의 유입하천별 시설용량에 따른 유입량 처리 비율

구분		S1(m ³ /d)				
		400	800	1,200	1,600	2,000
S2 (m ³ /d)	500	8.1%	11.7%	13.5%	14.7%	15.8%
	1,000	12.6%	16.1%	18.0%	19.2%	20.3%
	1,500	17.0%	20.6%	22.5%	23.7%	24.8%
	2,000	21.1%	24.6%	26.5%	27.7%	28.8%
	2,500	22.9%	26.5%	28.4%	29.6%	30.7%
	3,000	24.6%	28.2%	30.0%	31.3%	32.4%
	3,500	26.1%	29.7%	31.5%	32.8%	33.9%
	4,000	27.5%	31.1%	32.9%	34.1%	35.2%
	4,500	28.8%	32.4%	34.2%	35.4%	36.5%
	5,000	30.0%	33.6%	35.4%	36.7%	37.8%

2. 수처리시스템별 처리용량에 따른 호내 수질변화

가. 고속복합응집장치

고속복합응집장치의 수처리용량 및 COD 처리효율에 따른 매화저수지 연평균 COD 농도변화를 (표 4-12)~(표4-14)에 나타내었다. 수처리 용량은 유입하천별로 S1 400~1,600m³/d, S2 500~3,500m³/d의 용량에 대해 검토하였다. COD 처리효율은 36.5%, 50%, 70%로 가정하여 물질수지 해석을 통해 산정하였다. 고속복합응집장치 적용 전의 호내 연평균 COD농도는 8.8mg/L이다. 농업용 저수지 관리기준인 호소수질환경기준 IV등급의 COD는 8mg/L 이하이다. 고속복합응집장치 COD 처리효율이 36.5%인 경우에는 S1 800m³/d, S2 1,500m³/d 이상의 큰 시설용량을 적용시에 목표수질에 만족한다. COD 처리효율이 50%인 경우에는 S1 800m³/d, S2 1,000m³/d 이상의 시설용량 적용시에 목표수질을 만족하고, 처리 효율이 70%인 경우에는 S1 400m³/d, S2 500m³/d 이상의 시설용량을 적용해야 호내 수질이 목표수질을 만족하는 것으로 나타났다.

(표 4-12) 고속복합응집장치 수처리용량에 따른 호내 평균
COD농도(처리효율 36.5%)

구 분		S1(m ³ /d)			
		400	800	1,200	1,600
S2 (m ³ /d)	500	8.38	8.17	8.06	8
	1,000	8.15	7.95	7.84	7.78
	1,500	7.93	7.72	7.62	7.55
	2,000	7.73	7.52	7.41	7.35
	2,500	7.63	7.42	7.32	7.25
	3,000	7.55	7.34	7.23	7.17
	3,500	7.48	7.27	7.16	7.1

(표 4-13) 고속복합응집장치 수처리용량에 따른 호내 평균
COD농도(처리효율 50%)

구 분		S1(m ³ /d)			
		400	800	1,200	1,600
S2 (m ³ /d)	500	8.22	7.93	7.78	7.7
	1,000	7.91	7.63	7.48	7.39
	1,500	7.61	7.32	7.17	7.09
	2,000	7.33	7.05	6.9	6.82
	2,500	7.2	6.91	6.77	6.68
	3,000	7.08	6.8	6.65	6.56
	3,500	6.99	6.7	6.55	6.47

(표 4-14) 고속복합응집장치 수처리용량에 따른 호내 평균
COD농도(처리효율 70%)

구 분		S1(m ³ /d)			
		400	800	1,200	1,600
S2 (m ³ /d)	500	7.98	7.58	7.38	7.26
	1,000	7.55	7.16	6.95	6.83
	1,500	7.13	6.73	6.52	6.4
	2,000	6.74	6.34	6.14	6.02
	2,500	6.55	6.16	5.95	5.83
	3,000	6.39	5.99	5.78	5.67
	3,500	6.26	5.86	5.65	5.53

나. 생태융합형 접촉산화시스템

생태융합접촉산화조의 수처리 용량 및 COD 처리효율에 따른 매화저수지 연평균 수질변화를 (표 4-15)~(표 4-17)에 나타내었다. 수처리 용량은 유입하천별로 S1 400~1,600m³/d, S2 500~3,500m³/d의 용량에 대해 검토하였고, COD 처리효율은 46.0%, 60%, 80% 경우에 대해 물질수지 해석을 통해 산정하였다. 생태융합형 접촉산화조 적용 전 호내 연평균 COD 농도는 8.82mg/L이며, 목표수질인 IV등급의 COD는 8mg/L 이하이다. 현재 COD 저감 효율인 46%에서는 S1 800m³/d, S2 1,000m³/d 이상의 시설용량 적용시에 목표수질을 만족하는 것으로 나타났다.

(표 4-15) 생태융합접촉산화조의 처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 46.0%)

구분		S1(m ³ /d)			
		400	800	1,200	1,600
S2 (m ³ /d)	500	8.34	8.12	8.02	7.96
	1,000	8.11	7.88	7.78	7.73
	1,500	7.87	7.64	7.54	7.49
	2,000	7.66	7.43	7.34	7.28
	2,500	7.58	7.35	7.25	7.2
	3,000	7.51	7.28	7.18	7.13
	3,500	7.45	7.22	7.13	7.07

(표 4-16) 생태융합접촉산화조의 처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 60%)

구분		S1(m ³ /d)			
		400	800	1,200	1,600
S2 (m ³ /d)	500	8.2	7.91	7.78	7.71
	1,000	7.89	7.6	7.47	7.4
	1,500	7.58	7.29	7.16	7.09
	2,000	7.31	7.02	6.89	6.82
	2,500	7.21	6.91	6.78	6.71
	3,000	7.11	6.82	6.69	6.62
	3,500	7.04	6.74	6.61	6.54

(표 4-17) 생태융합접촉산화조의 수처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 80%)

구 분		S1(m ³ /d)			
		400	800	1,200	1,600
S2 (m ³ /d)	500	8	7.61	7.44	7.34
	1,000	7.59	7.2	7.02	6.93
	1,500	7.18	6.78	6.61	6.52
	2,000	6.81	6.42	6.25	6.15
	2,500	6.67	6.28	6.11	6.01
	3,000	6.55	6.16	5.99	5.89
	3,500	6.45	6.06	5.88	5.79

생태융합접촉산화조의 수처리 용량 및 T-P 처리효율에 따른 매화저수지 연평균 T-P 농도변화를 (표 4-18)~(표 4-20)에 나타내었다. 수처리 용량은 유입하천별로 S1 500~2,000m³/d, S2 1,000~4,000m³/d의 용량에 대해 검토하였다. T-P 저감효율은 46.1%, 70%, 90% 저감되는 경우에 대해 물질수지 해석을 통해 산정하였다. 생태융합형 접촉산화조 적용 전 호내 연평균 T-P농도는 0.20mg/L이며, 농업용수 사용이 가능한 호소수질기준 IV등급의 T-P 농도는 0.1mg/L 이하이다.

(표 4-18) 생태융합접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 T-P농도(처리효율 46.1%)

구분		S1(m ³ /d)			
		500	1,000	1,500	2000
S2 (m ³ /d)	1,000	0.179	0.172	0.169	0.167
	2,000	0.167	0.160	0.157	0.155
	3,000	0.162	0.155	0.152	0.150
	4,000	0.158	0.151	0.148	0.146

(표 4-19) 생태융합접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 T-P농도(처리효율 70%)

구분		S1(m ³ /d)			
		500	1,000	1,500	2000
S2 (m ³ /d)	1,000	0.173	0.165	0.161	0.159
	2,000	0.159	0.150	0.147	0.145
	3,000	0.154	0.145	0.142	0.139
	4,000	0.149	0.140	0.137	0.135

(표 4-20) 생태융합접촉산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 T-P농도(처리효율 90%)

구분		S1(m ³ /d)			
		500	1,000	1,500	2000
S2 (m ³ /d)	1,000	0.166	0.154	0.152	0.148
	2,000	0.147	0.136	0.132	0.129
	3,000	0.140	0.129	0.125	0.125
	4,000	0.135	0.123	0.120	0.117

다. 바이오스톤 접촉산화시스템

바이오스톤 접촉산화조의 수처리 용량 및 COD 처리효율에 따른 매화저수지 연평균 수질변화를 (표 4-21)에 나타내었다. 수처리 용량은 유입하천별로 S1 400~1,600m³/d, S2 500~3,500m³/d의 용량에 대해 검토하였으며, COD의 처리효율은 45.3%가 저감되는 경우에 대해 물질수지 해석을 통해 산정하였다. 바이오스톤 접촉산화조를 적용하기 전의 호내 연평균 COD농도는 8.82mg/L이며, 목표수질인 호소 수질환경기준 IV등급의 COD는 8mg/L 이하이다. 현재 COD 정화효율인 46%을 적용하면 S1 800 m³/d, S2 1,000m³/d 이상의 시설용량을 적용하면 목표수질을 만족하는 것으로 나타났다.

바이오스톤 접촉산화조의 수처리 용량 및 T-P 처리효율에 따른 매화저수지 연평균 수질변화를 (표 4-22)에 나타내었다. T-P 정화효율은 45.2%을 적용하여 물질수지 해석을 통해 호내 평균 T-P 농도를 산정하였다.

(표 4-21) 바이오스톤접촉산화조의 처리용량에 따른 호내 평균 COD농도(처리효율 45.3%)

구분		S1(m ³ /d)			
		400	800	1,200	1,600
S2 (m ³ /d)	500	8.35	8.13	8.03	7.98
	1,000	8.12	7.89	7.8	7.74
	1,500	7.88	7.66	7.56	7.51
	2,000	7.68	7.46	7.36	7.3
	2,500	7.6	7.38	7.28	7.22
	3,000	7.53	7.31	7.21	7.15
	3,500	7.47	7.25	7.15	7.1

(표 4-22) 바이오스톤 집축산화조 수처리용량에 따른 호내 평균 T-P농도(처리효율 45.2%)

구 분		S1(m ³ /d)			
		500	1,000	1,500	2000
S2 (m ³ /d)	1,000	0.183	0.177	0.175	0.174
	2,000	0.173	0.168	0.166	0.164
	3,000	0.170	0.164	0.162	0.161
	4,000	0.167	0.161	0.159	0.158

제4절 융복합 수처리 시스템 확대 적용을 위한 물질수지 해석 모델 적용

개발된 물질수지식(식1)을 사용자가 쉽게 이용할 수 있도록 간소화하여 개발된 융복합 수처리기술을 다른 저수지에 확대 적용할 수 있도록 모델을 개발하였다<그림 4-7>. 개발된 모델은 저수지 체적 및 유입유량, 유입수질에 따라 간략하게 수처리 시설용량을 산정할 수 있으며, 입력 변수로는 수체 저수용량(m³), 평균저수율(%), 유역면적(ha), 강우시/평시 유입수질(mg/L), 강우 일수, 수처리 시설의 수질항목별 수질정화효율 등이다.

간소화시킨 물질수지 해석 모델을 활용하여 유입수질, 수량, 저수지 규모에 따라 COD 4등급 목표수질인 8mg/L 이하를 만족할 수 있는 시설별 적정 규모를 산정하였다. 각 시설별로 1차 반응을 고려할 경우와 고려하지 않는 경우로 나누어 산정하였으며, 그 결과를 (표 4-23)~(표 4-28)에 나타내었다. 1차 반응을 고려한 경우에는 매화저수지와 같이 조류성장 등 호내 생산에 의해 내부유기물이 생성되는 경우를 가정하였다. 1차 반응을 고려하지 않은 경우는 유기물의 내부부하가 적은 저수지에 해당한다.

저수지 제원	단위	값	강우시	평상시
저수용량	m ³	50,000		
평균저수율	%	100		
연평균 저수량 (V)	m ³	50,000		
유역면적 (A)	ha	52		
연간 유입량 (Q)	m ³ /yr	813,800	610,350	203,450
연간 유출량 (Q)	m ³ /yr	813,800		

저수지 수질	단위	연평균	강우시	평상시
COD	mg/L	9.0		

유입수 수질	단위	연평균	강우시	평상시
COD	mg/L	9.0	9.00	9.00

처리 유량	단위	강우시	평상시
유입하천 1	m ³ /d	760	760
강우시 처리일수	일	95	270

수처리시설 효율	단위	강우시	평상시
COD	%	47	47

정상상태 모델	반응속도 (k, /yr)	농도(mg/L)
삭감전	-0.9	9.53
삭감후(목표수질)		8.00
효율		16.02

모듈	개수	시설용량(m ³)
1000	0.7600	760.0000

<그림 4-7> 간소화된 저수지 물질수지 해석모델

(표 4-23) 고속복합응집장치의 적정규모 산정결과(1차반응 미고려)

저수지 체적 (천 m ³)	유역 면적 (ha)	유입 유량 (천 m ³)	유입수질(mg/L)						
			8.5	9	10	11	12	15	18
50	52	814	336	634	1,141	1,649	2,156	2,156	3,170
	65	1,017	420	793	1,427	2,061	2,695	2,695	3,963
	78	1,221	504	951	1,712	2,473	3,234	3,234	4,756
200	208	3,255	1,343	2,536	4,565	6,595	8,624	8,624	12,682
	260	4,069	1,678	3,170	5,707	8,243	10,780	10,780	15,852
	312	4,883	2,014	3,805	6,848	9,892	12,936	12,936	19,023
500	520	8,138	3,357	6,341	11,414	16,487	21,559	21,559	31,705
	650	10,173	4,196	7,926	14,267	20,608	26,949	26,949	39,631
	780	12,207	5,035	9,511	17,121	24,730	32,339	32,339	47,557
1,000	1,040	16,276	6,714	12,682	22,827	32,973	43,119	43,119	63,410
	1,300	20,345	8,392	15,852	28,534	41,216	53,898	53,898	79,262
	1,560	24,414	10,071	19,023	34,241	49,460	64,678	64,678	95,115

(표 4-24) 고속복합응집장치의 적정규모 산정결과(1차반응 고려)

저수지 체적 (천 m ³)	유역 면적 (ha)	유입 유량 (천 m ³)	유입수질(mg/L)						
			8.5	9	10	11	12	15	18
50	52	814	634	916	1,395	1,787	2,114	2,832	3,311
	65	1,017	793	1,145	1,744	2,234	2,642	3,541	4,139
	78	1,221	952	1,374	2,093	2,681	3,170	4,250	4,967
200	208	3,255	2,536	3,664	5,580	7,148	8,456	11,328	13,244
	260	4,069	3,172	4,580	6,976	8,936	10,568	14,164	16,556
	312	4,883	3,808	5,496	8,372	10,724	12,680	17,000	19,868
500	520	8,138	6,340	9,160	13,950	17,870	21,140	28,320	33,110
	650	10,173	7,930	11,450	17,440	22,340	26,420	35,410	41,390
	780	12,207	9,520	13,740	20,930	26,810	31,700	42,500	49,670
1,000	1,040	16,276	12,680	18,320	27,900	35,740	42,280	56,640	66,220
	1,300	20,345	15,860	22,900	34,880	44,680	52,840	70,820	82,780
	1,560	24,414	19,040	27,480	41,860	53,620	63,400	85,000	99,340
호내 평형 COD농도 (mg/L)			9.0	9.53	10.59	11.65	12.71	15.88	19.06

(표 4-25) 접촉산화조의 적정규모 산정결과(1차반응 미고려)

저수지 체적 (천 m ³)	유역 면적 (ha)	유입 유량 (천 m ³)	유입수질(mg/L)						
			8.5	9	10	11	12	15	18
50	52	814	273	516	929	1,342	1,755	2,168	2,581
	65	1,017	342	645	1,161	1,677	2,193	2,710	3,226
	78	1,221	410	774	1,393	2,013	2,632	3,251	3,871
200	208	3,255	1,093	2,064	3,716	5,368	7,019	8,671	10,322
	260	4,069	1,366	2,581	4,645	6,709	8,774	10,838	12,903
	312	4,883	1,639	3,097	5,574	8,051	10,529	13,006	15,483
500	520	8,138	2,732	5,161	9,290	13,419	17,548	21,677	25,805
	650	10,173	3,415	6,451	11,612	16,774	21,935	27,096	32,257
	780	12,207	4,099	7,742	13,935	20,128	26,322	32,515	38,708
1,000	1,040	16,276	5,465	10,322	18,580	26,838	35,095	43,353	51,611
	1,300	20,345	6,831	12,903	23,225	33,547	43,869	54,191	64,514
	1,560	24,414	8,197	15,483	27,870	40,256	52,643	65,030	77,416

(표 4-26) 접촉산화조의 적정규모 산정결과(1차반응 고려)

저수지 체적 (천 m ³)	유역 면적 (ha)	유입 유량 (천 m ³)	유입수질(mg/L)						
			8.5	9	10	11	12	15	18
50	52	814	516	746	1,136	1,455	1,721	2,305	2,695
	65	1,017	646	932	1,420	1,818	2,151	2,882	3,369
	78	1,221	775	1,118	1,703	2,182	2,580	3,459	4,043
200	208	3,255	2,064	2,984	4,544	5,820	6,884	9,220	10,780
	260	4,069	2,582	3,729	5,678	7,274	8,603	11,527	13,477
	312	4,883	3,100	4,474	6,813	8,727	10,322	13,835	16,174
500	520	8,138	5,160	7,460	11,360	14,550	17,210	23,050	26,950
	650	10,173	6,455	9,322	14,196	18,184	21,507	28,818	33,692
	780	12,207	7,750	11,184	17,032	21,818	25,804	34,586	40,434
1,000	1,040	16,276	10,320	14,920	22,720	29,100	34,420	46,100	53,900
	1,300	20,345	12,910	18,644	28,392	36,368	43,014	57,636	67,384
	1,560	24,414	15,501	22,369	34,065	43,636	51,609	69,173	80,869
호내 평형 COD농도 (mg/L)			9.0	9.53	10.59	11.65	12.71	15.88	19.06

(표 4-27) 바이오스톤조의 적정규모 산정결과(1차반응 미고려)

저수지 체적 (천 m ³)	유역 면적 (ha)	유입 유량 (천 m ³)	유입수질(mg/L)						
			8.5	9	10	11	12	15	18
50	52	814	279	527	949	1,370	1,792	2,214	2,635
	65	1,017	349	659	1,186	1,713	2,240	2,767	3,294
	78	1,221	419	791	1,423	2,056	2,688	3,321	3,953
200	208	3,255	1,116	2,108	3,795	5,482	7,168	8,855	10,542
	260	4,069	1,395	2,635	4,744	6,852	8,961	11,069	13,177
	312	4,883	1,674	3,163	5,693	8,223	10,753	13,283	15,813
500	520	8,138	2,790	5,271	9,488	13,704	17,921	22,138	26,354
	650	10,173	3,488	6,589	11,860	17,130	22,401	27,672	32,943
	780	12,207	4,186	7,906	14,231	20,556	26,882	33,207	39,532
1,000	1,040	16,276	5,581	10,542	18,975	27,409	35,842	44,276	52,709
	1,300	20,345	6,976	13,177	23,719	34,261	44,803	55,344	65,886
	1,560	24,414	8,371	15,813	28,463	41,113	53,763	66,413	79,063

(표 4-28) 바이오스톤조의 적정규모 산정결과(1차반응 고려)

저수지 체적 (천 m ³)	유역 면적 (ha)	유입 유량 (천 m ³)	유입수질(mg/L)						
			8.5	9	10	11	12	15	18
50	52	814	527	762	1,160	1,486	1,757	2,355	2,753
	65	1,017	659	952	1,450	1,857	2,196	2,943	3,441
	78	1,221	791	1,142	1,740	2,228	2,636	3,532	4,129
200	208	3,255	2,110	3,047	4,640	5,943	7,029	9,418	11,011
	260	4,069	2,637	3,808	5,799	7,428	8,786	11,773	13,764
	312	4,883	3,164	4,570	6,959	8,914	10,543	14,127	16,516
500	520	8,138	5,275	7,617	11,599	14,857	17,572	23,546	27,528
	650	10,173	6,593	9,521	14,498	18,571	21,965	29,431	34,409
	780	12,207	7,910	11,424	17,397	22,284	26,357	35,317	41,290
1,000	1,040	16,276	10,550	15,235	23,199	29,715	35,145	47,091	55,055
	1,300	20,345	13,185	19,041	28,997	37,142	43,930	58,863	68,818
	1,560	24,414	15,820	22,848	34,794	44,569	52,714	70,634	82,581
호내 평형 COD농도 (mg/L)			9.0	9.53	10.59	11.65	12.71	15.88	19.06

제5장

호소 수질정화선 시제품 제작 및 성능평가

제1절 무인항법 이동식 수질정화선 시험모형 제작

제2절 수질정화선 현장적용실험 및 성능평가

제3절 수생태계에 미치는 영향 분석

제5장 호소 수질정화선 시제품 제작 및 성능평가

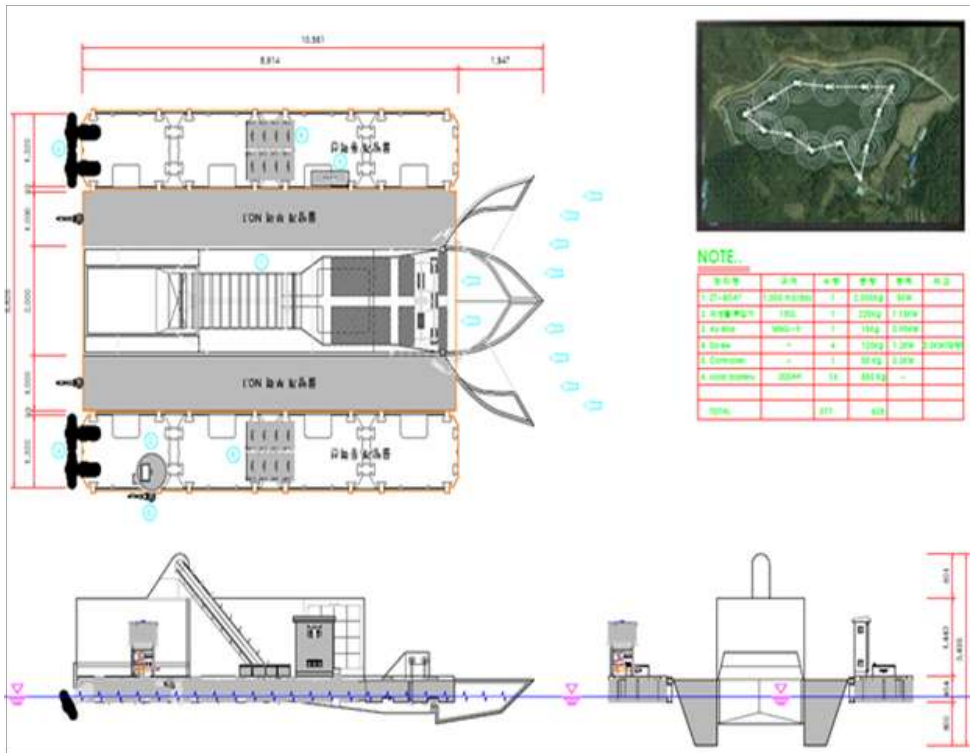
제1절 무인항법 이동식 수질정화선 시험모형 제작

1. 호소 수질정화선 기술 개요

무인항법 이동식 수질정화선은 호 내 수질개선을 도모하고 수중 환경을 개선하여 조류 증식을 억제하기 위한 목적으로 개발된 수처리 장치이다. 무인항법 이동식 수질정화선은 기존의 유인 운전에 의한 녹조제거선에서 탈피하여 수처리 시스템의 기본 개념을 원하는 위치에서, 원하는 시간 동안 무인 체류하며 수질을 정화하고, 접안 도크에서 충전/유지관리 및 악천후 대피 등이 가능하도록 ICT를 융복합한 최첨단 이동식 수질정화선이다. 즉, 수처리 장치를 탑재하고 지정된 경로에 따라 지정된 시간에 맞추어 이동하면서 오염물질 등을 제거하는 저수지 수질개선 시스템이다.

본 기술의 구성요소는 GPS를 이용한 무인항법 프로그램, 오염물질 처리를 위한 초고속 고액분리시스템, 호소에 DO를 공급하기 위한 마이크로버블 장치, 자동 수질측정장치, SS농도 자동 센서, 수심측정센서, 장애물 감시 센서, 풍속계 등 기상측정센서 등을 주요 장치로 하고 있으며, 이동이 용이한 선박일체형 형태로 되어 있다. 무인항법 이동식 수질정화시스템 세부적인 구성요소는 <그림 5-2>와 같다.

무인항법 이동식 수질정화선의 무인 운전은 GPS를 이용한 무인항법 프로그램을 이용한 방법으로 GPS(Global Positioning System)란 인공위성을 이용하여 지구 전역에 대한 위치를 정확히 측정하여 전송해주는 시스템으로 사전에 입력된 위치정보에 따라 수질정화선이 이동하는 원리이다. 무인항법 수질정화선의 오염물질 처리기술인 초고속 고액분리시스템은 SS, TP, COD를 ZT(제타전위 제너레이터) 이용하여 급속 응집 및 부상시켜 슬러지를 제거하는 방식이다. 무인항법 이동식 수질정화시스템의 사용동력은 태양광 및 풍력 등 자연력을 이용한 방식과 도크 내 충전(전기 또는 태양광) 등을 이용할 방안을 검토하고 있으며, 수질정화시스템의 운영방식은 주간에는 호소 내를 이동하면서 수질정화를 하고, 야간에는 시스템 보호 및 동력 충전을 위해 수변 도크에 접안하여 배터리 충전 및 피항 등을 하는 주·야간 별도의 운영방식을 계획하고 있다.



<그림 5-1> 무인항법 이동식 수질정화시스템 모식도



<그림 5-2> 무인항법 이동식 수질정화선 구성요소

2. 호소 수질정화선 설계 및 시험모형 제작

저수지 수질개선을 위한 목적으로 개발된 무인항법 이동식 수질정화선에 대한 현장적용실험을 위하여 2016년 5월부터 6월까지 시험모형을 <그림 5-3>와 같이 자체 제작하였다. 부력체의 총무게는 약 1톤이며, 부력체 크기는 6.0m(L)×3.4m(W)×0.8m(H), 총 부력무게는 약 10톤에 해당한다. 부력체는 스티로폼과 STS, 방부목을 이용하여 제작하였다.



<그림 5-3> 무인항법 이동식 수질정화선 시험모형 제작과정

무인항법 이동식 수질정화선에 탑재된 시설들은 <그림 5-4>에서 같이 GPS 통신기, 경광등 싸이렌, 밧데리 보관함, 수질정화장치, 미생물 살포기, 마이크로버블 제너레이터, 풍력발전기 등을 탑재하였다.



<그림 5-4> 무인항법 이동식 수질정화선 구성 장치

제2절 수질정화선 현장적용실험 및 성능평가

1. 현장적용지구 대상지 선정

무인항법 이동식 수질정화선 시험모형의 현장적용실험을 실시하기 위한 대상 지구로 경기도 시흥시 도창동에 위치하고 있는 매화저수지를 선정하였다. 무인항법 이동식 수질정화선의 원활한 시험운전 및 현장적용실험을 하기 위해서는 수심이 최소 1m 이상 확보되어야 하고 마름 등 수생식물이 없는 수체가 가장 최적의 조건이나 경기도 또는 충남에 위치하고 있는 농업용저수지의 대부분은 유료 낚시터로 이용되고 있어 낚시터 임대 사업자에게 사용 협의를 받기가 어려웠다. 매화저수지는 저수지의 대부분의 수심이 2m 이하로 매우 낮고 수면의 2/3가 마름으로 덮여있어 무인항법 이동식 수질정화 시험모형을 시운전하고 현장적용실험하기에는 적당한 장소가 아니었지만, 당초 수질정화선 시험모형을 매화저수지 홍수터 부지를 활용하여 제작했고, 인근에 적합한 저수지가 없어서 매화저수지에서 현장적용실험을 수행하였다.

(표 5-1) 현장적용실험 대상지구의 시설제원

저수지명	유역면적 (ha)	만수면적 (ha)	수혜면적 (ha)	유효저수량 (천m ³)	유효수심 (m)	준공년도
매화지	260	15.5	52.4	227.0	1.46	1941



<그림 5-5> 무인항법 이동식 수질정화선 현장적용실험지구

2. 무인항법 이동식 수질정화선 성능평가

호소 수질정화시설인 무인항법 이동식 수질정화선에 대한 성능평가는 단계적으로 시행하고 있다. 먼저 1단계로 GPS 프로그램을 이용한 무인항법 프로그램의 오차범위 확인 및 검증, 2단계는 고액분리장치, 미생물 살포기 등 오염물질 정화장치를 탑재 후 오염물질 정화장치의 가동여부 및 수질개선효과 등에 대한 성능평가, 3단계에서는 무인항법 이동식 수질정화선의 지속적인 운영을 통한 저수지 수질개선효과 및 퇴적 오염도 개선효과 분석, 4단계에서는 수질자동측정 장비 탑재 및 인터넷과 연결해 수질자료의 실시간 송수신 가능여부 확인 및 수질자료의 정확성 검증, 5단계에서는 장애물 감시센서 및 수심 자동 센서 등에 의한 비상상황 발생시 대처능력 검증 등 총 5단계로 나누어 성능평가를 진행하고 있다. 2016년에는 2015년도에 개발된 무인항법 프로그램 검증을 위한 현장적용실험과 고액분리장치 및 미생물 살포기, 마이크로버블 제너레이터 등을 장착하여 각 설비의 성능이상 여부, 무인항법 이동식 수질정화선에의 적용성 등을 시험하였다. 2016년 현 시점에서 무인항법 프로그램의 검증은 약 90% 진행되어 무인선을 유도장치에 의해 목표지점으로 유인할 때 큰 오차 없이 가능하게 되었다. 고액분리장치는 선박과 일체형으로 선박이 서서히 이동하면서 수중의 오염물질을 급속하게 응집, 부상시켜 배 진행방향 후단으로 슬러지를 이동시켜 스키머에 의해 수거하는 장치이다.



<그림 5-6> 무인항법 이동식 수질정화선의 시운전 모습

제3절 수생태계에 미치는 영향 분석

호소수 수질정화선인 무인항법 이동식 수질정화선에는 오염물질 처리를 위한 고액분리 정화장치, 수중에 산포를 공급하기 위한 마이크로 버블 제너레이터, 녹조대량 발생 등 수질오염 비상 사고시 긴급 대응을 위한 미생물 살포기, 수질 자동측정장비 등이 탑재되어 있으므로 수생태계에 영향을 미칠 수 있는 마이크로 버블, 고액분리장치에 사용되는 응집제 등을 대상으로 수생태계에 미치는 영향에 대해서 고찰하였다.

1. 마이크로 버블

무인항법 이동식 수질정화선에는 마이크로 버블이 2곳에서 사용되고 있다. 하나는 선박 자체에 마이크로 버블 제너레이터를 설치하여 수체에 산소를 공급하는 역할을 하고, 또 하나는 고액분리장치에서 마이크로버블이 응집제와 함께 나오면서 응집과 부상을 촉진하는 역할을 하고 있다. 최근 마이크로버블 기술은 다양한 물리적 장치와 결합하여 하천과 호소 수질을 정화하는 기술 개발에 이용되고 있다. 일반적으로 $2.0\sim 3.5 \text{ kgf/cm}^2$ (또는 약 $200\sim 350\text{kPa}$) 압력조건(일반적 DAF 공정에서는 4.0 kgf/cm^2 이상 적용)에서 마이크로버블 발생 장치를 통해 직경 $10\sim 30\mu\text{m}$ 크기의 고농도의 마이크로버블이 생성된다. 수중에 공급된 마이크로버블은 내부 기체가 주변 물에 의해 용해되면서 점차 크기가 작아지며 결국 사라지게 된다 (Takahashi et al., 2003).

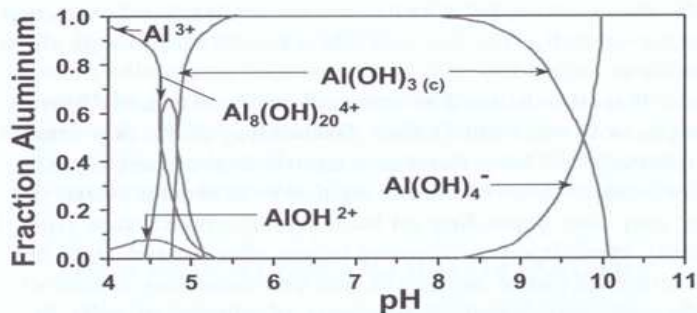
마이크로버블의 장점은 넓은 비표면적, 늦은 상승 속도, 그리고 라디칼 생성에 의한 산화작용이 있으며, 이는 수처리 공정 측면에서 오염물질의 흡착 및 부상, 산화에 유용하게 활용될 수 있는 특성이다. 마이크로버블은 수중에서 DO를 최대 15mg/L 까지 상승시키는 작용을 하며, 수생태계에 영향은 거의 없는 것으로 보고되고 있다. 일반적으로 공기 또는 순산소를 이용한 저수지 저층 산소공급 장치는 가스 과포화시 어류에 가스기포 질병(Gas Bubble Disease)을 유발할 가능성(Fast et al., 1975)이 있지만, 저층의 가스 과포화는 매우 드문 현상이며 저수지의 최고 수심구간에 국한하여 발생(Kortmann et al. 1994)하는 것으로 보고되고 있다.

2015년도에 기흥저수지와 죽산저수지에서 마이크로버블 장치를 장기간 운영한 상태에서 수중의 DO 농도를 측정하였고, 그 결과 DO 농도는 15

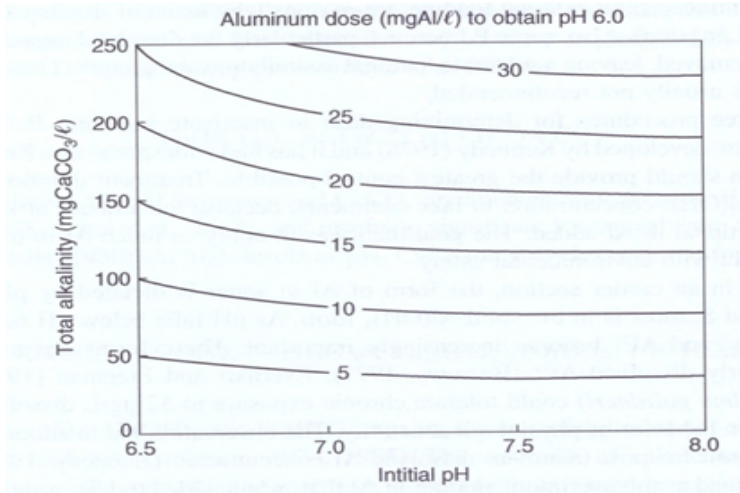
mg/L 이하로 자연현상에 인한 과포화 수준 이하였으며, DO 과포화에 의한 GBD 발생 우려는 없는 것으로 판단된다.

2. 응집제

호소에서 응집제의 사용은 크게 2가지로 분류되며, 하나는 응집제를 투여하여 오염물질의 흡착, 응결, 응집의 효과를 확대하기 위해서 응집제를 사용하고, 또 하나는 Alum, iron hydroxide, calcium hydroxide 등을 호소 내에 첨가하여 조류의 증식에 성장 제한 인자인 인 성분을 제거함으로써 조류의 증식을 억제하는 방법으로, 호소 바닥이 인 성분의 주요 공급원일 때 효과가 있다. 무인항법 이동식 수질정화선에서의 응집제 사용은 고액분리장치에 의한 응집부상으로 슬러지를 수거하는 과정에서 소량의 응집제가 사용되며, 녹조 대량발생 시 긴급으로 응집제를 투여하여 화학적 응집·침전 작용으로 수질개선 효과를 극대화할 예정이다. 응집제 성분인 알루미늄은 과다 사용 시 잔류하는 알루미늄에 의해 인체의 뇌신경 장애를 유발할 수 있다. 또한 수중의 pH 범위가 4.5~5.5이고 알칼리도가 35 mg-CaCO₃ 이하에서는 독성을 유발하여 생태계에 악영향을 미칠 가능성이 있어, 운영시 pH 및 알칼리도 항목에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. <그림 5-7>은 pH의 상관관계에 따른 알루미늄 형태의 분포를 나타낸 그래프이고, <그림 5-8>은 초기 알칼리도와 pH에 따라 pH 6 유지를 위한 황산알루미늄 주입량(mg Al/L)을 나타낸 그래프이다.



<그림 5-7> pH의 상관관계에 따른 알루미늄 형태의 분포



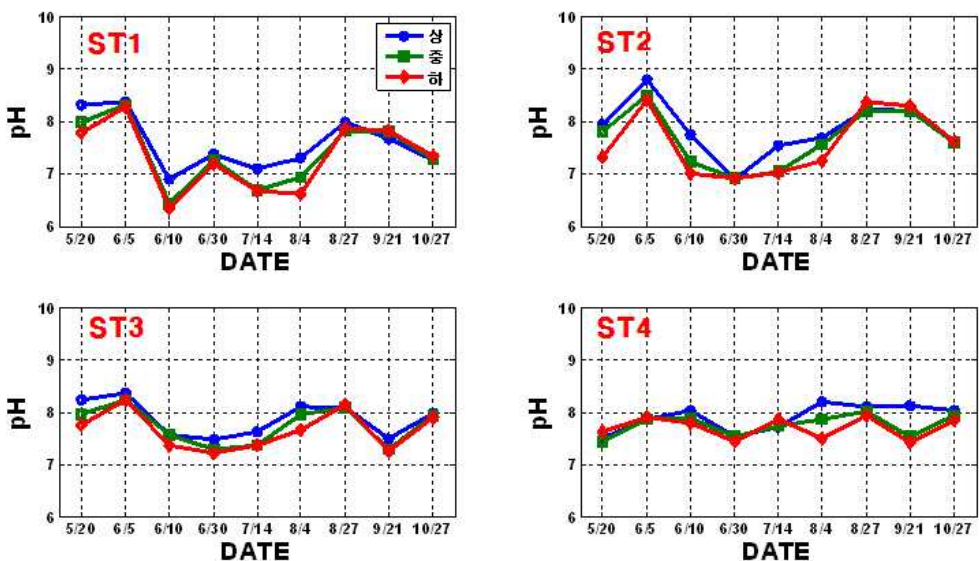
<그림 5-8> 초기 알칼리도와 pH에 따라 pH 6 유지를 위한 황산알루미늄 주입량(mgAl/L)

(표 5-2) Alum 영향 관련 문헌 검토

참고문헌	저자	연도
Restoration and Mangement of Lakes and Reservoirs (Third Edition)	Cooke et al	2004
Combating Eutrophication: An Ecosystem Scale Analysis of Aluminum Sulfate (Alum) Effectiveness among lakes, with comparison to Alum and Biomanipulation Dual Treatment	Chista M. Webber	2014
Effects of Aluminum Toxicity and Low pH on the Early Development of Isoetes Echinospora	Martina et al	2009
Lake pH and aluminum concentration consequences for developmental stability of the water strider Rheumatobates rileyi	Drover et al	1999
Control of Lake Phosphorus with Aluminum Sulfate	Kennedy and Cooke	1982
Aquatic aluminum chemistry, Toxicology, and environmental Prevalence	Burrows	1977

3. pH 모니터링에 의한 수생태계 영향 평가

무인항법 이동식 수질정화선의 현장적용실험 대상지구인 매화저수지에 대한 현장 pH 모니터링을 실시하여 AI 독성에 대한 평가를 실시하였다. <그림 5-9>은 매화저수지의 pH에 대한 모니터링 결과이며, 모니터링 기간 동안 pH 6.4~8.8의 값을 나타내어, AI에 대한 독성은 없을 것으로 판단된다. 무 강우기간(6/10~7/15) 동안 하층의 pH가 대체적으로 상층보다 낮은 것으로 나타났으며, 이는 표층이 조류의 광합성으로 인한 영향으로 판단된다. 수질정화장치에 의한 수생태계에 미치는 영향을 제대로 파악하기 위해서는 수질정화장치의 운영과 함께 어류, 무척추동물, 수생식물 등에 대한 장기간의 현장 정밀조사가 이루어져야 할 것이다.



<그림 5-9> 현장 pH 모니터링 결과

제6장

융복합 수처리시스템의 기술성 · 경제성 평가

제1절 융복합 수처리시스템의 기술성 평가

제2절 융복합 수처리 시스템의 경제적 우위성 평가

제6장 융복합 수처리시스템의 기술성·경제성 평가

제1절 융복합 수처리 시스템의 기술성 평가

1. 유입수 오염저감 정화시설

본 연구에서 유입수 오염물질 저감시설로 개발한 생태융합형 접촉산화시스템과 바이오스톤 접촉산화시스템을 대상으로 기존 유입수 대책인 인공습지, 끈상접촉산화공법, 혼합여재 접촉산화공법과 기술성 및 유지관리 용이성, 수질정화효율 등을 비교 검토하여 (표 6-1~2)에 제시하였다. 인공습지는 식물 군락과 이들과 결합되어 있는 미생물을 인공적으로 조성한 습지로서, 환경을 회복하기 위해 또는 물이 수중 식물 군락을 통과하는 동안 세균, 유기 물질, 화학 물질을 제거해 물을 정화하는 기술이다. 인공습지는 식물을 이용한 친자연적 정화방법이며, 적절한 식생을 선택할 경우 경관성이 우수한 장점을 가지고 있다. 체험형 생태환경 공간으로 조성 가능하고, 초기강우 유출수의 저류 및 정화 기능을 수행하며, 영양염류인 N, P의 제거효율이 높은 편이다. 반면에 인공습지는 유기물의 처리효율이 낮으며, 주기적으로 식생관리 및 퇴적오니의 준설이 필요하다. 넓은 부지면적이 소요되며, 토사 퇴적 등에 대한 대책으로 제외지를 설치해야 한다. 또한 처리시간(HRT)이 오래 소요되는 단점을 가지고 있다.

끈상 접촉산화공법은 미생물 접촉재가 충전된 정화시설에 오염된 하천수를 유입시켜 끈상 접촉여재에 부착된 미생물을 이용하여 유입수를 정화하는 기술로서 1990년대 오염하천 정화사업에 널리 이용되었다. 끈상 접촉산화공법의 특징은 오염도가 높은 하천수의 처리가 가능하고, 여재를 반영구적으로 사용할 수 있으며, 여재의 폐색이 거의 발생하지 않는 장점을 가지고 있다. 공법에서 Draft tube를 이용한 선회류 방식으로 공기를 공급하여 미생물막의 탈리 발생이 없고, 역세 장치가 필요 없는 특성을 가지고 있다. 단점으로는 미생물을 활용한 생물학적 공법으로 독성물질 유입에 취약한 특성을 가지며, 강우 발생 등의 요인으로 반응조를 멈추었다가 재 가동시 처리효율이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 또한 송풍기 운영에 따른 소음, 유지관리 및 슬러지 처리를 위한 비용 등이 발생한다.

혼합여재 접촉산화 공법은 일정크기의 표면적과 공극율을 갖는 자갈 쇠

석과 소정의 형상으로 가공된 인공의 접촉재(Bio-Media)를 이용하여 오염된 하천수를 정화하고, 슬러지는 하루로 저류시키는 개량 접촉산화 공법이다. 유입수의 수질에 따라 다양한 여재(다공성 바이오모듈 여재, 바이오 여재, 자갈여재)의 선택이 가능하고, 초기 유기물의 제거효율이 높은 특성을 가지고 있다. 단점으로는 미생물을 활용한 생물학적 공법으로 독성물질 유입에 취약한 특성을 가지며, 여재선택에 따라 공극의 폐색 발생 주기가 변동되며, 주기적인 여재 교체 및 역세장치가 필요하다. 또한 포기 시설이 필요하며, 수온 및 계절적 변동에 따른 제거효율 변동이 발생한다.

본 연구를 통해 개발한 생태융합형 접촉산화수로는 유동상 접촉재(전처리), 끈상 접촉여재(주처리), 세라믹 여재(후처리)의 3단계 공정이 유기적으로 구성되어 있다. 저수지 유입수의 유기물질을 물리적, 생물학적으로 처리하고, 상부에는 정수식물을 식재하여 경관향상 및 영양염류를 추가로 제거하는 생태융합형 공법이다. 본 시설의 장점은 접촉산화 수로와 수생식물을 결합한 형태로 인공습지와 동일한 유량을 처리할 경우 상대적으로 작은 부지면적 및 적은 사업비가 소요된다. 유기물, 부유물질, 영양염류 등을 동시에 처리가 가능하며, 여재를 반영구적으로 활용할 수 있는 특징을 가지고 있다. 여재의 폐색이 발생하지 않아 역세장치가 필요 없으며, 상부 식생으로 경관성을 향상시키는 장점을 가지고 있다. 반면에 미생물을 활용한 생물학적 공법으로 독성물질 유입에 취약한 특성을 가지며, 초기 강우유출수의 처리가 어렵다.

바이오스톤 접촉산화시스템은 2~3cm의 쇄석을 수지로 적합한 직경 10cm의 구상담체(Bio-Stone Ball)를 반응조에 병렬로 충전 후 유리작용에 의한 고액분리와 호기부, 천이대 및 혐기부 등 다양한 환경조건을 반복하고, 고농도의 순산소를 공급하여 오염된 저수지 유입수를 물리적, 생물학적으로 처리하는 공법이다. 본 기술의 특징으로는 소요부지 및 사업비가 타 공법대비 낮은 수준이며, 유기물과 부유물질 처리에 매우 좋은 효율을 보인다. 여재는 반영구적 사용이 가능하고, 폐색이 발생하지 않아 역세설비를 설치할 필요가 없다. 또한 별도의 슬러지를 처리할 필요가 없으며, 순산소를 활용하여 기존 시설대비 폭기 효율 증가 등으로 운영비를 절감할 수 있는 장점도 있다. 단점으로는 토사 유입시 폐색 가능성이 크고, 제거가 곤란하여 초기강우 유출수 유입을 대비한 전처리 시설이 필요하다.

(표 6-1) 유입수 정화시설 기술성 평가(기술 특징)

구분	인공습지	곤상 접촉산화	혼합여재 접촉산화	생태융합 접촉산화	바이오스톤 접촉산화
개요	식물근락에 물을 통과시켜 유기물질, N, P 등 제거	곤상 접촉재에 부착된 미생물을 이용한 수처리 공법	다양한 여재를 혼합 적용한 수처리 공법	곤상미생물접촉여재와, 식생을 조합한 생태융합형 수처리 공법	직경 10cm의 구상담체 (Bio-Stone Ball)를 이용한 수처리 공법
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 친환경 정화 방법 • 식생에 의한 영양염류 제거 • 초기강우 유출수 저류 및 정화 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 오염도 높은 원수 처리가능 • 반영구적 여재사용 • 역세장치 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 유입수질에 따른 다양한 여재 선택가능 • 초기 유기물질 제거효율이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> • 소요부지 절감 • 유기물, 영양염류, SS 동시처리 가능 • 역세장치 불필요 • 수질개선효과 단기간 	<ul style="list-style-type: none"> • 소요부지 절감 • 유기물 및 SS 제거 효율이 높음 • 수질개선효과 단기간 • 슬러지 발생이 없음
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 넓은 부지면적 필요 • 유기물 처리효율 저조 • 저수지 수질개선효과 장시간 소요 • 주기적 식생관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 독성물질에 취약 • 슬러지 처리계획필요 • 송풍기 운영에 따른 소음발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 여재 패색현상 발생 • 슬러지 처리 계획 필요 • 주기적 여재 교체 및 역세척 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 독성 물질 취약 • 슬러지 처리계획 필요 • 초기 강우 처리 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> • 초기강우 유입방지 필요(침사시설 필요) • 최소한의 공기 공급 시설 필요
적용지구	• 농업용 저수지 등	• 경안천, 안양천 등 오염하천에 다수 적용	• 안산천, 탄울천 등	• 매화저수지 Pilot 실험 중	• 매화저수지 Pilot 실험 중
개요도					

(표 6-2) 유입수 정화시설 기술성 평가(유지관리 용이성, 정화효과)

구분	인공습지	곤상 접촉산화	혼합여재 접촉산화	생태융합 접촉산화	바이오스톤 접촉산화	
유지관리	여재	• 정수식물 (갈대,애기부들,장포 등)	• 나이론 곤상여재	• 다공성 바이오 모듈 • 바이오여재, 자갈여재	• 나이론 곤상여재 • 유동상 여재 • 세라믹 여재	• 쇠석 구상담체 • 나이론 곤상여재 • 세라믹 여재
	동력사용	• 펌프 전력	• 송풍기 전력	• 송풍기 전력	• 공기공급시설 전력	• 공기공급시설 전력 (순산소 등)
	식생관리	• 동절기 식생관리 • 주기적 예초 필요	• 필요없음	• 필요없음	• 가을철 식생 탈부착	• 필요 없음
용이성	운영	• 유입시설(취수보, 펌프) 관리	• 폭기시설 • 진동별브(유입/방류) 펌프관리	• 폭기시설 • 진동별브(유입/방류) 펌프관리	• 유입시설(취수보, 펌프 등) 관리	• 유입시설(취수보, 펌프 등) 관리
	슬러지 처리	• 주기적 퇴적오니 준설	• 주기적 슬러지 인발 (Air Lift)(1회/월)	• 주기적 슬러지 인발 (1회/월)	• 주기적 슬러지 인발 (1회/1년)	• 필요 없음
수질정화효과	BOD	10~40%	70%이상	60%이상	70~90%	70~90%
	SS	40~60%	70%이상	60%이상	70~90%	70~90%
	COD	10~40%	-	-	40~50%	40~50%
	T-N	20~50%	15~20%	15~20%	20% 이상	20%이상
	T-P	40~60%	5~10%이상	5~10%	40~60%	40~60%

2. 호소 수질정화선

가. 무인항법 수질정화선과 기존 호내 정화시설과 비교분석

본 연구에서 개발하고 있는 무인항법 이동식 수질정화선과 현재 농업용수 수질개선사업으로 호내에 설치하고 있는 인공식물섬 및 물순환장치와 비교 분석한 결과는 (표 6-3)과 같다. 무인항법 수질정화선은 이동이 가능한 선박형태이며, 물순환장치나 인공식물섬은 지정된 위치에 고정식으로 설치되어 있는 시설이다. 인공식물섬은 식물을 이용한 친환경적 경관 창출, 어류 산란장소 제공 등의 장점이 있으며, 물순환장치는 유지관리가 용이하며 녹조발생을 억제하는 장점 등이 있다. 반면에 인공식물섬은 저수지 수질개선효과가 낮으며, 식생관리의 유지관리가 필요하고, 물순환장치는 수질개선효과가 미비하고, 동력이 소요되며, 수질오염사고 발생시 긴급 대처가 곤란한 단점을 가지고 있다.

무인항법 수질정화선은 상시운전으로 수질오염을 사전에 예방하고, 수질자료를 실시간으로 측정 및 수집할 수 있는 장점 등을 가지고 있다. 단점으로는, 태풍 등 기상 악화시 운영이 곤란하며, 기계고장 등 비상사항 발생시에 신속한 대처능력이 떨어지는 한계점을 가지고 있다.

(표 6-3) 무인항법 수질정화선과 기존 호내 정화시설과 비교분석

구분		무인항법 수질정화선(연구개발 중)	인공식물섬+물순환장치(동방저수지)
형식		이동식(무인 운전)	고정식
체류시간		8시간/일 운영	평균 40hr (19~70hr)
요소기술		전기유압+산소포기+무인운전+수질자동측정	식생+산소포기
수질정화효율		수환경개선, 오염물질 제거	수환경개선, 영양염류 제거
크기(규모)		3m(W)×6m(L)	인공식물섬 8㎡, 물순환장치 2기
내구연한		20~30년	30년
비용	설치비	400백만원	514백만원
	유지관리	10백만원/년	7백만원/년
기술성	장점	<ul style="list-style-type: none"> · 상시 운영으로 수질오염 사전예방 · 무인운전으로 운영편리, 인건비절감 · 태양광 등 이용으로 동력비 절감 · 수질자료 실시간 측정 및 송수신 · 도크 설치로 안전한 유지관리 	<ul style="list-style-type: none"> · 녹조발생 억제 · 수생식물에 의한 오염물질의 여과기능 · 반영구적 사용 및 유지관리 용이 · 식물 이용한 친환경적 경관창출 · 어류 산란장소 제공
	단점	<ul style="list-style-type: none"> · 태풍 등 기상악화시 운영 곤란 · 기계고장 등 비상상황시 긴급 대처 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> · 저수지 수질개선효과 낮음 · 수질오염사고 발생시 긴급 대처 곤란

나. 무인항법 이동식 수질정화선과 기존 녹조제거선과 비교분석

국내에서 제작된 호소 수질정화선은 환경부에서 제작한 녹조제거선(2012년), 우리 공사 충남본부에서 제작한 녹조 제거선(2012년), 한국수자원공사에서 제작한 녹조 수거선(2015년), 한국건설기술연구원에서 제작한 녹조 제거선(2015년) 등 소수가 있는데 모두 유인 운전에 의한 이동식으로 이루어져 있다. 반면에 본 연구에서 개발 중인 무인항법 이동식 수질정화선은 GPS를 이용한 프로그램에 의해 무인으로 운전되는 이동식 방식이다. 본 연구개발 중인 무인항법 이동식 수질정화선을 위해서 언급한 환경부, 충남본부, 수자원공사 녹조 제거 및 수거선에 대비해 기술성을 검토하였다.

무인항법 수질정화선은 현재 개발이 진행 중에 있으며, 오염물질 처리를 위한 주요 기술은 초고속 고액분리에 의한 응집부상 분리이다. 초고속 고액분리시스템은 SS, TP, COD를 ZT(제타전위 제너레이터) 이용하여 급속 응집 및 부상시켜 제거하는 방법이다. 기술원리는 크게 3단계로 구분되며, 1단계는 마이크로버블을 이용한 거대 입자성 물질을 형성하는 단계이고, 2단계는 제타전위 제너레이터를 이용하여 극미세버블에 의해 이온 흡착된 콜로이드입자가 응집제와 결합하여 극미세기포 응집복합체로 결합하는 단계이고, 3단계는 초고속으로 부상 분리시켜 제거하는 기술이다. 이 기술은 수초~2분 이내에 응집 부상분리가 이루어지며, 수질개선 효율이 높은 장점을 가지고 있다. 천연응집제를 사용하여 일정 전류 이하로 운영시 온도 및 pH에 변화가 없어, 수생태계에 대한 영향이 극히 적은 것으로 알려져 있다.

무인항법 수질정화선은 운영인력이 필요하지 않아 인건비를 절감할 수 있으며, 상시운전이 가능하고 수질자료를 실시간으로 측정 및 수집할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만, 태풍 등 기상 악화시 운영이 곤란하며, 비상사항 발생시 대처능력이 떨어지는 한계점을 가지고 있다.

환경부에서 제작한 조류 제거선은 마이크로 버블 발생장치, 오토 팬스, 선박 본체 등의 시설물로 구성되어 있다(환경공단, 2012). 가압부상원리를 응용하여 호소 및 하천, 항만 등의 조류와 영양염류를 동시에 제거하는 기술로서 시스템은 미세기포 발생장치와 저니층 교란장치로 구성된다. 미세기포 발생장치는 10~30 μ m의 초미세기포를 생성하는데, 응집제 미세기포 복합체를 형성하여 기능성을 부여한다. 이러한 기능성 미세기포를 포

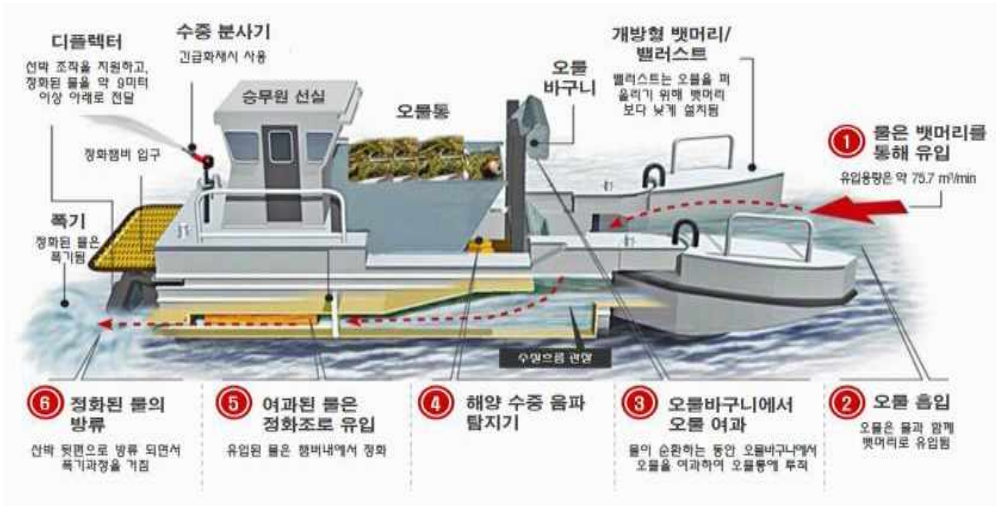
함한 가압수를 수체내 분사시켜 오염물질들이 플록을 형성하도록 응집반응을 유도하고, 동시에 기포에 의해 수면위로 부상시켜 제거한다. 모든 과정은 수중에서 이루어지며, 수중오염물질 뿐만 아니라 퇴적오염물질을 동시에 제거할 수 있으며, 부상된 슬러지는 부유물 자동 수집장치를 통해 수거가 이루어진다. 하지만, 바닥 저니층을 교란해 퇴적오염물질을 재부상 처리하는 과정에서 완벽한 처리는 어려우며, 재 부상된 오염물질이 오히려 수생태계에 악영향을 미칠 우려가 있다. 또한 부상 슬러지에 대한 처리방안 마련이 필요하다.



<그림 6-1> 환경부 가압부상식 조류제거선(환경공단, 2012)

한국수자원공사의 조류제거선은 조류를 물리적으로 농축 수거하는 시설이다. 조류의 수중확산에 즉각적인 대응을 위해 개발된 수상 이동형 조류 제어 기술로 조류 대량 발생시 신속하게 수거·처리하는 것을 목적으로 한다. 수심이 낮은 정체수역으로 집중되어 형성된 스컴을 효율적으로 제거할 수 있으며, 발생 조류를 고농축 수집 및 분리가 가능하다. 물과 함께 유입한 조류를 선박 본체 내에서 수집관과 스크린을 통해서 농축하고, 컨베이어 벨트에 연결된 조류수거 바구니로 농축된 조류를 저장탱크로 이동시킨다. 조류와 함께 유입한 물은 정화조로 유입시키며 선박 하단으로 이송되어 방류시키며 폭기 과정을 거치게 된다.

수자원공사 녹조 수거선의 단점은 농축 스크린의 폐색이 자주 발생하며, 미세조류의 수거를 위해 응집제의 주입이 필요하다. 응집제(PAC)를 사용할 경우 잔류하는 알루미늄 농도가 높을 경우 인체의 뇌신경 장애를 유발할 수 있다. 또한 수중의 pH 범위가 4.5~5.5이고 알칼리도가 35 mg-CaCO₃ 이하에서는 독성을 유발하여 생태계에 악영향을 미칠 가능성도 있다. 또한 수거한 농축조류의 탈수율이 떨어지며, 처리를 위한 2차 비용이 발생하는 문제점을 가지고 있다.



<그림 6-2> 조류 제거선(한국수자원공사, 2014)

(표 6-4) 무인항법 수질정화선과 기존 녹조제거선과 기술성 비교분석

구분	무인항법 수질정화선 (연구개발 중)	녹조제거선 (중남부 2012년 제작)	조류제거선 (환경공단 2012년 제작)	조류 수거선 (수자원공사 2015년 제작)
	이동식(무인 운전)	수상 이동형(유인 운전)	수상 이동형(유인 운전)	수상 이동형(유인)
크기(규모)	길이 6m × 폭 3m × 높이 2m	길이 12m × 폭 3m × 높이 24m	길이 35m × 폭 10m	길이 8m × 폭 3.4m
총톤수	10톤	13톤	-	-
요소기술	전기응집+산소포기+무인운전+수질 자동측정(전기응집에 응집부상분리)	마이크로버블 발생+응집+부상분리(응집부상 분리)	마이크로버블 발생+저니즘 교란장치+응집+부상분리(가압부상 분리)	수질관, 스크린, 조류수거 바구니, 저장탱크(조류 농축수거)
수질정화 효율	수처리용량 : 6,000 m ³ /hr 1일 평균 녹조처리량 : 300kg/일	수처리용량 : 1,200 m ³ /hr 1일 평균 녹조처리량 : 1.5kg/일	수처리용량 : 50-400 m ³ /hr 30,000 m ³ /일	-
내구연한	20-30년	30년	30년	30년
비용	제작비	400 백만원	300 백만원	400 백만원
	유지관리	10백만원/년	70-100백만원/년	20백만원/년
기술성	<ul style="list-style-type: none"> 상시 운영으로 수질오염 사전예방 무인운전으로 운영편리, 인건비절감 태양광 등 이용으로 동력비 절감 수질자료 실시간 측정 및 송수신 도크 설치로 안전한 유지관리 	비상시 녹조제거(사후 관리)	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적오염물질 제거 모든 파장이 수체에서 이루어짐 비상시 녹조 제거(사후 관리) 	<ul style="list-style-type: none"> 조류 발생시 녹조제거(사후관리) 수심이 낮은 정체수역의 스크린을 효율적으로 제거
	단점	<ul style="list-style-type: none"> 태풍 등 기상 악화시 운영 곤란 비상 상황시 긴급 대처 곤란 수거편 슬러지 처리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 무인운전으로 선문인건비 발생 수질개선효과 일시적 유지관리운영비 고가 수거 슬러지 처리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 호소 바닥층 교란으로 수질 악영향 및 생태계 교란 장비일체형으로 이동 어려움 부상 슬러지 처리 필요

3. 초기 강우 유출수의 오염물질 저감시설

본 연구에서 개발 중인 고속복합응집장치는 초기강우유출수를 처리하는 응집부상 시설이다. 장치형 시설은 물리, 화학, 생물학적 원리를 이용한 비점오염물질 처리시설로 협잡물, 총부유물질(TSS), 박테리아, 용존 유기물질 등을 제거하는 효과가 있다(김성수, 2008).

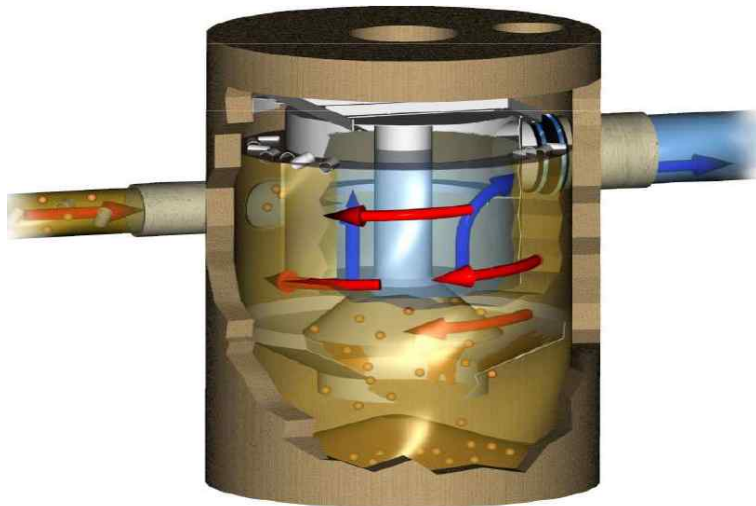
고속복합응집장치는 고농도 유입수 처리 외에도 호소수 순환처리, 재이용수 처리 등에 적용이 가능하다. 교반, 혼화 및 응집, 여과조를 1개 반응조로 콤팩트하게 장치를 구성함에 따라, 소요 부지면적이 적고, 운영비용(동력비 등)이 적게 소요되는 것이 장치의 특징점이다. 고속복합응집장치는 초기 응집시간이 빠르며, 슬러지 회수율이 높다. 또한 간단한 구조로 유지관리가 용이하며, 볼텍스 흐름을 이용하여 floc에 의한 막힘 현상을 방지한다. 단, 장치의 정기적인 유지보수가 필요하며, 약품사용에 따른 유지관리비용이 발생할 수 있다. 또한, 응집제 선택에 따라 생태계에 영향을 미칠 소지가 있다. 응집제(PAC)를 사용할 경우 잔류하는 알루미늄 농도가 높을 경우 인체의 뇌신경 장애를 유발할 수 있으며, 수중의 pH 범위가 4.5~5.5이고 알칼리도가 35mg-CaCO₃ 이하에서는 독성을 유발하여 생태계에 악영향을 미칠 가능성도 있다. 따라서, 생태계에 영향을 주지 않는 범위 내에서 약품을 주입해야 한다.

필터형 초기우수처리시설은 우수받이형 초기우수분리장치로써 간단한 도시형 여과장치이다. 우수의 관거유입 전 쓰레기 및 각종 고형물질은 상부스크린을 통해 걸러지며, 기름 및 용존성 오염물질은 필터 미디어에서 흡수된다. 설계용량을 초과하는 우수는 우회하여 배출되는 시스템으로 부유물질 및 기름 등의 제거가 용이하고 유지보수가 간단한 장점을 가지고 있다(김성수, 2008).



<그림 6-3> 필터형 초기우수처리 시설 개요도(Catch filter)

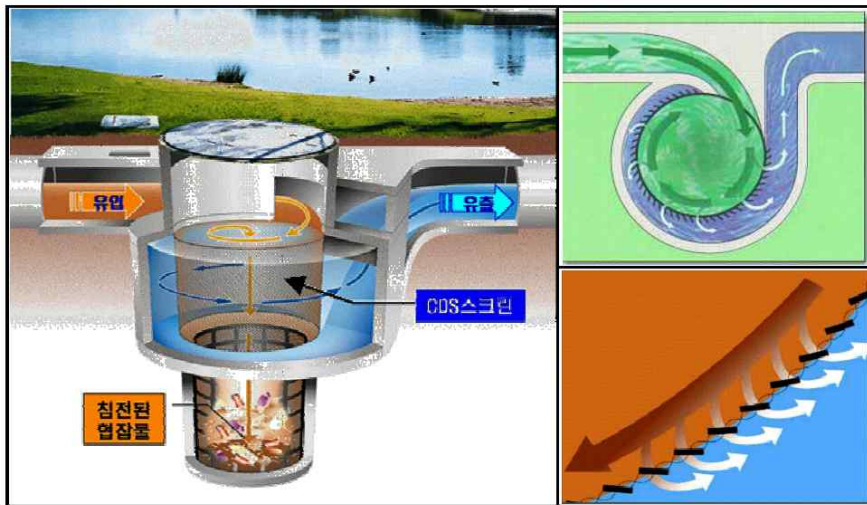
수동력적침전식 초기우수 처리시설(DD; Downstream Defender)은 볼텍스 현상을 이용한 기술로 주로 분류식 우수관거 초기우수 처리 장치로, 유입조와 초기우수처리장치인 DD로 구성되어 있다. 대규모의 유량처리가 가능하며, 분리부분과 침전부분이 분리되어 있어 유출수에 침전물이 섞여서 나가지 않는 장점이 있다. 또한, 빠른 시공이 가능함에 따라 설치가 용이하고 유지관리가 간편하며, 침전분리를 통한 고형분 제거효율이 높은 장점을 가지고 있다. 하지만, 용존성 오염물질 제거가 곤란하며, 유량변동에 대처능력이 미흡한 단점을 가지고 있다. 처리효율은 BOD 30%, SS 60%, TN, TP 10~20%, 150 μm 이상의 직경을 가진 입자는 90%이상 제거가 가능하다(김성수, 2008).



<그림 6-4> 수동력적침전식 초기우수처리 시설 개요도(DD)

스크린/중력침전혼합식 초기우수처리시설(CDS ; Continuous Deflective Separation)은 호주 CDS사에서 개발한 스크린형과 중력침전식의 혼합식 처리시설이다. CDS는 처리수조와 차집웨어, 스크린, 오물수거망, 흡착폭 등으로 구성되어 있다. 고형물을 포함한 유체가 스크린에 연속 편향분리되어 고체와 액체가 분리되는 시스템으로 볼텍스 중력침강 및 Non-Blocking CDS 스크린을 이용한 여과처리방식이다. 입자 제거율은 1 mm이상 조대고형물 95%, 200 μm 이상 침전성 물질 95%제거 가능하며, 처리 유량범위가 탄력적이고 현장시공성이 우수하다. 또한, 고형물이나 협잡

물로 인한 스크린 폐색이 없고, 부유물질(SS), 유류물질(Oil&Grease) 등에 대해 안정적인 처리가 가능하다. CDS는 소요부지가 적고, 지하 매설이 가능하며, 소규모에서 대규모까지 시설이 규격화되어있어 상황에 맞게 적용이 가능하다. 하지만 과도한 유입유속을 제어할 수 없어 처리효율이 유동적이며, 침전 협잡물의 재부상 가능성이 있다. 또한 주기적인 흡착포 교체 및 스크린 세정이 필요하다. 설계 강우강도는 5 mm/hr이며, 수질개선 효율은 BOD 30%, SS 60%, T-N, T-P는 10~20%, 150 μm 이상의 직경을 가진 입자는 90% 이상 제거가 가능하다(김성수, 2008).



<그림 6-5> 스크린/중력침전 혼합식 초기우수처리 시설 개요도(CDS)

제2절 융복합 수처리 시스템의 경제적 우위성 평가

1. 저수지 유입수 수질개선 장치

인공습지 및 침강지 대비 저수지 유입수 수질개선 기술들의 대략적인 사업비 산정 결과를 (표 6-5)에 나타내었다. 농업용수 수질개선사업 기본조사 결과 홍양지구 인공습지 조성의 시설비용은 대상 저수지의 단위 저수량당 40,942원/m³/day, 소요부지면적은 1.66 m²/(m³/day)로 산정되었으며, 습지 공사를 위한 토지구입에 소모되는 비용이 상당히 크다. 본 과업에서 검토중인 바이오스톤볼 접촉산화공법의 대략적인 시설 비용은 단위 유입수량 당 200,000원/m³/day, 소요부지면적은 0.05~0.07m²/(m³/day)이며 인공습지 대비 시설 설치비용이 크지만, 소요부지면적이 약 30배 적게 소요된다. 따라서, 토지구입 비용이 비싼 도시구역의 수체에 유입수 개선대책으로 인공습지를 조성할 경우 일반 접촉산화 공법 적용에 비해 많은 비용이 소모될 것으로 예상된다.

본 연구에서 직접 운영 및 비교 분석중인 끈상 접촉생태수로와 바이오스톤볼 접촉산화조와 유사 끈상접촉 산화수로, 혼합여재 접촉산화 공법의 경제성에 대해 대략적인 분석을 수행하였으며, 그 결과를 (표 6-6)에 나타내었다. 분석결과 본 연구에 적용한 바이오스톤 접촉산화조는 기존공법과 비교하여 시설비 및 유지관리비가 기존 처리공법들의 평균치의 78.4%, 27.5%로 충분한 경제성이 있는 것으로 나타났으며, 20년 운전시의 최종 운영비용도 기존 공법의 73.2%로 나타났다.

또한, 끈상접촉 생태수로는 유지관리비 측면에서 A사의 끈상접촉 산화수로보다 약 1.4% 많은 비용이 소모되지만, 시설비가 조사대상 공법 평균치의 86.3%로 나타났고, 20년 기준으로 운영했을 때는 87.4%로 두 공정 모두 유사공정대비 경제적인 것으로 평가된다.

(표 6-5) 유입수 오염저감 시설별 사업비 분석

구분	인공습지 (예시 : 동방지구)	끈상 집축산화	혼합여재 집축산화	생태융합 집축산화	바이오스톤 집축산화	
공사비	토목	130,000원/m ² /day	155,000원/m ² /day	75,000원/m ² /day	30,000원/m ² /day	
	건축	20,000원/m ² /day	20,000원/m ² /day	20,000원/m ² /day	15,000원/m ² /day	
	기계/배관	42,000원/m ² /day	30,000원/m ² /day	32,000원/m ² /day	40,000원/m ² /day	
	여재	78,000원/m ² /day	65,000원/m ² /day	68,000원/m ² /day	100,000원/m ² /day	
	전기/제어	30,000원/m ² /day	30,000원/m ² /day	25,000원/m ² /day	15,000원/m ² /day	
	합계	156,000원/m ² /day	300,000원/m ² /day	300,000원/m ² /day	220,000원/m ² /day	200,000원/m ² /day
연간유지관리	<ul style="list-style-type: none"> 식생 : 20원/m²/day 연간 150만원/지구 	<ul style="list-style-type: none"> 동력 : 900원/m²/day 운전 : 500원/m²/day 슬러지처리 : 월 1회 	<ul style="list-style-type: none"> 여재 : 1,200원/m²/day 동력 : 900원/m²/day 운전 : 500원/m²/day 슬러지처리 : 월 1회 	<ul style="list-style-type: none"> 동력 : 900원/m²/day 운전 : 500원/m²/day 식생 : 20원/m²/day 슬러지처리 : 년 1회 	<ul style="list-style-type: none"> 동력 : 300원/m²/day 운전 : 100원/m²/day 	
소요부지	면적 (m ²)	인공습지 : 1.66 m ² /(m ² /day)	0.06~0.08m ² /(m ² /day)	0.1~0.13m ² /(m ² /day)	0.05~0.07m ² /(m ² /day)	0.05~0.07m ² /(m ² /day)
	높이H (m)	침강지 : 0.19 m ² /(m ² /day)	7.4mH(유효수심 4.5mH)	8.0mH(유효수심 4.0mH)	2.5mH(유효수심 1.9mH)	2.0mH(유효수심 1.8mH)
적용현황	공법사	-	<ul style="list-style-type: none"> 신강하이텍㈜ 	<ul style="list-style-type: none"> 경남환경㈜ 이피에스솔루션㈜ 	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발 중 	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발 중
	적용현황	농업용저수지 등	<ul style="list-style-type: none"> 안양천, 신천(연곡천), 탄전 등 다수적용 	<ul style="list-style-type: none"> 안산천, 안양천, 토월천 등 	<ul style="list-style-type: none"> 매화지 pilot 	<ul style="list-style-type: none"> 매화지 pilot

(표 6-6) 공법별 경제성 평가

(단위 : 원/m³/day)

구분	끈상집축산화수로	혼합여재 집축산화	끈상집축생태수로	바이오스톤볼 집축산화조	비고
시설비	300,000	300,000	220,000	200,000	평균 : 255,000
시설비비율(%)	117.6	117.6	86.3	78.4	
유지관리비(연간)	1,400	2,600	1,420	400	평균 : 1,455
유지관리비비율(%)	96.2	178.7	97.6	27.5	
20년 운전시유지관리비	28,000	52,000	28,400	8,000	
20년 운전시합계	328,000	352,000	248,400	208,000	평균 : 284,100
20년 운전시비율(%)	115.5	123.9	87.4	73.2	

※20년 운전시 유지관리비는 할인율 및 수선비를 고려하지 않음

2. 호소 수질정화선

호내 수질정화선에는 한국농어촌공사가 연구개발 중인 무인 항법 수질정화선과 유사 기술인 환경부 가압부상식 조류제거선, 한국수자원공사 조류 제거선에 대한 사업비 분석 결과를 (표 6-7)에 나타내었다. 각 기술별로 운영하는 목적이 달라 상세하게 경제성 지표에 대해 평가하기 어렵다.

본 연구에서 연구개발 중인 무인 항법 수질정화선은 무인 운전에 따라 타 기술대비 운영비용이 적게 소요되는 장점을 가지고 있다. 하지만 다른 녹조제거선에 비해 많은 수처리장치 등을 탑재하고 있어 이에 대한 유지관리는 요구된다.

(표 6-7) 무인항법 수질정화선과 기존 녹조제거선과 경제성 비교분석

구분	무인항법 수질정화선 (연구개발 중)	녹조제거선 (중남부본 2012년 제작)	조류제거선 (환경공단 2012년 제작)	조류 수거선 (수자원공사 2015년 제작)	
	이동식(무인 운전)	수상 이동형(무인 운전)	수상 이동형(무인 운전)	수상 이동형(무인)	
크기(규모)	길이 6m × 폭 3m × 높이 2m	길이 12m × 폭 3m × 높이 24m	길이 35m × 폭 10m	길이 8m × 폭 3.4m	
총톤수	10톤	13톤	-	-	
요소기술	전기용집+산소포기+무인운전+수질 자동측정 (전기측에 용집부상분리)	마이크로버블 발생+용집+부상분리 (용집부상 분리)	마이크로버블 발생+저니즘 교란장치 + 용집+부상분리 (가압부상 분리)	수집관, 스크린, 조류수거 바구니, 저장탱크 (조류 농축수거)	
수질정화 효율	수처리용량 : 6,000 m ³ /hr 1일 평균 녹조처리량 : 300kg/일	수처리용량 : 1,200 m ³ /hr 1일 평균 녹조처리량 : 125kg/일	수처리용량 : 50-400 m ³ /hr 30,000 m ³ /일	-	
내구연한	20-30년	30년	30년	30년	
비용	제작비	400 백만원	300 백만원	400 백만원	
	유지관리	10백만원/년	70-100백만원/년	20백만원/년	
기술성	장점	· 상시 운영으로 수질오염 사전예방 · 무인운전으로 운영관리, 인건비절감 · 태양광 등 이용으로 동력비 절감 · 수질자료 실시간 측정 및 송수신 · 도크 설치로 안전한 유지관리	· 비상시 녹조제거(사후 관리)	· 퇴적오염물질 제거 · 모든 과정이 수체에서 이루어짐 · 비상시 녹조 제거(사후 관리)	· 조류 발생시 녹조제거(사후관리) · 수심이 낮은 정체수역의 스크림 효율적으로 제거
	단점	· 태풍 등 기상 악화시 운영 곤란 · 비상 상황시 긴급 대처 곤란 · 수거된 슬러지 처리 필요	· 무인운전으로 선문인건비 발생 · 수질개선효과 일시적 · 유지관리운영비 고가 · 수거 슬러지 처리 필요	· 호소 바닥층 교란으로 수질 악영향 및 생태계 교란 · 장비일체형으로 이동 어려움 · 부상 슬러지 처리 필요	· 농축 스크린의 폐색 발생 · 장비일체형으로 이동 어려움 · 농축슬러지 처리 필요

제7장

요약 및 결론



제7장 요약 및 결론

7.1 연구대상지구 수환경 동적변화 및 매화저수지 내부 부하 평가

1) 연구대상지구 모니터링 및 수환경 동적변화

- 본 연구에서는 농업용 저수지 물리적, 수질오염 특성에 적합한 유입수 대책 및 호소 오염물질 제거를 위한 호내 수처리 기술을 개발하였고, 개발된 기술에 대한 현장적용실험을 위해 경기도 시흥시에 위치한 매화저수지를 연구 대상으로 선정하여 호소 및 유입하천에 대한 정기적 수질조사 및 기상, 수온, DO 등에 대해 연속모니터링을 실시하였음
- 매화저수지 수심은 1.5~3.0m이고, 표층수의 COD는 10.0~20.1 mg/L (평균 15.2 mg/L), 심층수는 8.2~19.6 mg/L(평균 13.4mg/L)로 나타났고, 표층수의 TN과 TP는 각각 0.895~3.201 mg/L(평균 1.541 mg/L), 0.050~0.211 mg/L(평균 0.119 mg/L)이고, 심층수의 TN과 TP는 각각 0.956~3.626 mg/L(평균 1.754 mg/L), 0.074~0.212 mg/L(평균 0.141 mg/L)으로 조사 시기에 상관없이 오염도가 높았으며, 표층수에 비해 심수층에서 TN, TP 오염도가 더 높은 것으로 나타남
- 매화저수지 주 유입하천은 2개소가 있으며, 평상시 평균유량은 유입-1(S1)은 472.2m³/일이고, 유입-2(S2)는 982.3m³/일로 유입-2가 유입-1에 비해 유량이 약 2배정도 풍부함. 유입-1과 유입-2의 평균 COD, TN, TP는 각각 10.0 mg/L, 6.516 mg/L, 0.704 mg/L와 7.0 mg/L, 6.362 mg/L, 0.360 mg/L로 유입수의 N, P 오염도가 모두 높은 것으로 나타났음
- 저수지 수체 DO 농도의 동적변화는 계절에 따라 크게 나타났으며, 6월 22일부터 9월 14일까지 약 84일간 호소 바닥층의 DO가 1.0mg/L 이하의 상태가 지속되었으며, 그 이후 기온 강하와 강수의 영향으로 DO가 회복되는 경향을 보임. 저층 DO 농도 고갈현상은 대기에 의한 산소 공급량보다 퇴적층의 SOD가 크기 때문으로 판단됨

2) 매화저수지 퇴적물 용출량 산정 및 내부부하 평가

- 연구대상지구인 매화저수지의 퇴적물 오염도 현황 및 오염물질 용출 특성 규명을 위해 퇴적물 시료채취 및 현장에서 직접 용출실험을 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 호소 내부 부하에 대해서 평가하였음
- 매화저수지 퇴적물의 강열감량은 평균 9.2%로 USEPA 기준의 “오염도 심

함”에 속하고 있으며, TN 함량은 962~4 149 mg/kg(평균 2,463.1 mg/kg), TP 함량은 1,010~1,533 mg/kg(평균 1,326.5 mg/kg)으로 한강 및 팔당호 준설기준을 초과하고 있어 퇴적층 오염도가 심함을 알 수 있음

- 현장 용출특성을 파악하기 위해 저수지 유입부와 유출부의 2지점을 선정하여 자유수면(대조구), 자유수면+공기공급(호기상태), 폐쇄수면(혐기상태)의 3가지 실험조건을 조성하여 각각의 용출량을 산정한 결과, COD, TOC는 모든 조건에서 감소하였고, 공기공급조건에서 감소폭이 가장 높았음. T-N과 T-P는 폐쇄수면 조건에서 용출이 발생하였으며, NH_4^+ -N과 NO_3^- -N의 분석결과에서 공기 공급 조건에서 질산화가 활발하게 일어나고 있음을 확인하였음
- 퇴적물 오염도 현황 및 용출실험 결과, 저수지 퇴적층의 오염도가 매우 높음을 알 수 있으며, 이로 인해 저층이 혐기상태가 되면 언제든지 오염물질의 용출이 일어날 수 있고, 이로 인해 내부부하에 의한 수질오염도가 높음을 알 수 있음. 매화저수지의 수질개선을 위해서는 유역에서 유입되는 오염물질 제어 및 내부 부하에 대한 관리가 함께 요구됨

7.2 융복합 수처리시스템 현장적용 및 성능평가

1) 생태융합형 접촉산화시스템 공정추가 및 기술보완

- 농업용저수지 유입수 대책인 생태융합형 접촉산화시스템의 현장적용 실험을 위하여 매화저수지에 Test Bed를 구축하여 각 요소기술에 대해 단계적으로 성능평가를 실시하고 있으며, 3차년도에는 핵심 수처리공정(끈상 매디아)에 전처리 공정(유동상 여재)과 후처리 공정(세라믹 여재)을 추가하여 정화효율을 평가하였음
- 3차년도에는 1~2차년도 자문위원들의 식생 대체 및 N, P 제거효율 향상을 위한 기술 보완 요청에 따라 끈상 미생물접착재 대신에 바이오스톤 볼을 이용한 접촉산화시스템을 개발하였고, 현장적용실험을 위해 매화저수지에 데모 플랜트를 설치해 생태융합형 접촉산화시스템과 동일한 조건에서 성능평가를 수행하고 있음
- 접촉산화시스템을 DO 4.0~5.0mg/L 이상의 호기상태로 유지하기 위한 목적의 산소공급 설비인 마이크로버블 제너레이터와 순산소 용해기를 대상으로 수처리조 및 유출수의 DO 농도와 수질정화효율을 평가한 결과, 마이크로버블과 순산소가 각각 수처리조/유출수에서 3.4~7.1mg/L(평균 4.5mg/L)/(평균 4.1mg/L), 9.8~17.0mg/L(평균 13.5mg/L)/평균

9.0mg/L)으로 순산소에서 최소 5mg/L 이상 높게 나타났고, 정화효율도 마이크로버블보다 순산소 공급시 수질항목별로 13~21.6% 증가하는 것으로 나타나 순산소 공급시 효율이 훨씬 우수한 것으로 나타났음

- 복합응집장치와 생태융합형 집축산화수로에 대한 슬러지 발생량을 실측한 결과, 복합응집장치에서는 1시간 가동 후(수처리 용량 12m³) 부유성 슬러지와 침강성 슬러지를 합해서 총 60L(0.06m³/일)의 슬러지가 실측되었고, 생태융합형 집축산화수로는 유량 300m³/day으로 50일간 운영하였을 때 발생하는 총 슬러지 양은 0.3 m³으로, 이론적 산출량에 비해 1/100 수준으로 감소하였음

2) 융복합 수처리시스템 수질정화효율 평가

- 유입수 대책인 복합응집장치, 생태융합형 집축산화수로, 바이오스톤 집축산화시스템에 대한 수질정화효율을 분석한 결과, 복합응집장치의 평균 정화효율은 Chl-a 71.2%, BOD 76.1%, COD 36.5%, TP 46.1%, TN 26.3%, 생태융합형 집축산화수로는 Chl-a 77.8%, SS 71.8%, BOD 74.7%, COD 46.0%, TP 46.6%, 바이오스톤 집축산화 정화효율은 BOD 84%, COD 45.3%, SS 83.8%, Chl-a 80.7%, TP 45.2%로 나타났음
- 생태융합형 집축산화시스템과 바이오스톤 집축산화공법의 처리효율은 매우 유사하게 나타났으며, BOD, Chl-a, SS 처리효율은 70~80% 이상으로 높게 나타났고, TP 정화효율은 45~47%로 3개의 시설에서 거의 유사하였음. TN 제거율은 응집장치에서 26%을 보였고, 집축산화시스템에서는 10% 이하로 나타났음
- 생태융합형 집축산화시스템과 바이오스톤 집축산화시스템에서 BOD, SS, Chl-a에서는 70% 이상의 높은 정화효율을 보인 반면에 TN의 제거효율은 매우 낮았는데, 이는 상부 식생의 미부착, 미생물 부착율의 저조(MLVSS/MLSS=20~45%) 등 시설 운전상의 원인으로 인해 수질정화효율이 정상 평가되지 못했다고 판단되며, 8~9월 저수지 수심 저하로 시설 가동 중단 및 10월 이후 정상 가동으로 충분한 운전기간 미확보에서 기인된 것으로 판단됨
- 집축산화수로와 바이오스톤조의 미생물 부착량에 대한 분석결과 메디아에 부착된 미생물은 VSS/SS의 비가 25.0~44.9% 범위에 있어 조사 당시 아직 안정화단계에 이르지 못했으며, 반응속도상수를 활용한 집축산화수로 최적용량을 도출한 결과, 생태융합형 집축산화수로는 약 3.0 hr의 체류시간이 필요하고, 바이오스톤조는 1.4 hr으로 도출되었음

- 개발된 융복합 수처리시설을 시설별로 4가지 시나리오를 구성하여 실 규모 수처리 용량 및 처리효율을 적용하여 2차년도에 구축한 3차원 수리-수질모델(ELCOM-CAEDYM)을 이용하여 저수지 수질개선효과를 분석한 결과, 매화저수지가 완전혼합인 정상상태에 도달하기 위한 시간은 1.58년(580일)로 산출되었음
- 복합응집장치(case1)만 적용시 저수지의 연간 수질개선 효율은 TOC, COD는 15.9%, TN 13.0%, TP 24.7%, Chl-a 19.2%로 나타났고, 생태융합형 접촉산화조(case2) 및 바이오스톤 접촉산화조(case3)의 연간 수질개선 효율은 각각 TOC 14.9%, 14.5%/ TP 25.8%, 25.1%로 매우 유사한 결과를 나타냄. 복합응집장치+생태융합형 접촉산화(case4)의 연간 수질개선효율은 TOC 17.8%, TN 8.4%, TP 28.6%, Chl-a 16.5%으로 분석되었음

7.3 융복합 수처리시스템 확대 적용을 위한 최적 규모 산정

- 본 연구를 통해 개발된 융복합 수처리시스템을 다른 저수지에 확대 적용하기 위하여 완전혼합반응조 시스템을 가정한 물질수지모델을 개발하였으며, 개발된 모델은 저수지 체적 및 유입유량, 유입수질 등 유역 변수 입력에 따라 간략하게 수처리 시설용량을 산정할 수 있음
- 매화저수지는 2013년 수문사상으로 연간 약 40만^m의 물이 유입되고 있으며, 평시에 유입되는 수량은 전체의 약 21%, 강우기인 7~9월에 전체의 약 60%가 유입되고, 유입하천 2에서 전체의 약 70%가 유입되고 있는 것으로 분석됨
- 고속복합응집장치, 생태융합형 접촉산화시스템, 바이오스톤 접촉산화시스템을 각각 매화저수지에 실규모로 설치시의 저수지 수질개선효과를 물질수지모델을 이용하여 산출한 결과, 고속복합응집장치는 COD 27.2%, TN 12.3%, TP 22.2%, 생태융합형 접촉산화시스템은 COD 39.8%, TP 17.3%, 바이오스톤 접촉산화시스템은 COD 17.7%, T-P 20.0%로 수질모델링 결과와 매우 유사하게 나타남
- 매화저수지는 평상시 유입량이 총 유출량의 약 20% 정도이므로 저수지의 수질이 강우시에 크게 영향을 받고 있음. 저수지 수질개선을 위해서는 유입수 대책뿐만 아니라 강우시 대책도 함께 마련되어야 할 것임. 수처리 장치로 강우를 전부 처리하는 것은 비경제적이므로 접촉산화시스템을 침강지 시설과 조합하여 운영하면 효과가 클 것으로 판단됨

7.4 무인항법 이동식 수질정화선 시험모형 제작 및 성능평가

- 저수지 수질개선을 위한 목적으로 2차년도에 개발된 무인항법 이동식 수질정화선에 대한 현장적용실험을 위하여 부력체 규모 6.0m(L)×3.4m(W)×0.8m(H), 총 부력무게 10톤에 해당하는 시험모형을 제작하였음
- 무인항법 이동식 수질정화선에는 GPS 통신기, 경광등 싸이렌, 밧테리 보관함, 수질정화장치, 미생물 살포기, 마이크로버블 제너레이터, 풍력 발전기 등을 탑재하였고, 주요 요소기술에 대해 단계적으로 성능평가를 진행하고 있으며, 무인항법 프로그램의 검증은 약 90% 진행되었음
- 무인항법 수질정화선의 오염물질 처리기술인 초고속 고액분리시스템은 SS, TP, COD를 ZT(제타전위 제너레이터) 이용하여 급속 응집 및 부상시켜 슬러지를 제거하는 방식으로 1일 평균 녹조 제거량은 300kg/일 이고, 수처리 용량은 6,000m³/hr로 추정되었음
- 무인항법 이동식 수질정화선의 주요 요소기술인 DO를 공급하기 위한 마이크로버블, 고액 응집부상을 위한 천연응집제를 대상으로 수생태계에 미치는 영향을 분석하기 위하여 현장 DO 및 pH에 대해 모니터링을 한 결과, 마이크로 버블에 의한 수중 DO 농도는 10mg/L 이하로 자연 현상에 인한 과포화 수준 이하이며, Al에 의한 독성 평가에서도 pH 6.4~8.8의 값을 나타내어 Al에 대한 독성은 발생하지 않을 것으로 판단됨

7.5 융복합 수처리시스템에 대한 기술성 및 경제성 평가

- 농업용 저수지 유입수 처리공법으로 가장 많이 사용되고 있는 인공습지는 동일 유량 처리시 넓은 부지면적이 필요하며, 주기적인 식생관리 및 퇴적토 준설이 필요한 반면에 끈상접촉생태수로 및 바이오스톤 접촉산화시스템은 타 접촉산화 기술에 비해 작은 부지면적이 소요되며, 시설비 및 유지관리비가 타 기술 평균치의 87.4%, 73.2%로 충분히 경제성이 있는 것으로 판단됨
- 무인항법 이동식 수질정화선은 기존 녹조 제거선들이 사후 관리기술인 반면에 무인 이동식 수질정화선은 수질오염 사전예방적 관리기술로서 수질오염을 사전에 방지하고 실시간 수질측정 자료 송수신이 가능하여 수질조사 및 수질개선 비용 절감 및 무인 운영으로 인건비가 절감되어 타 기술대비 운영 및 관리비용을 절감할 수 있음. 단점으로는 기계이상 등 비상상황 발생 시 대처능력이 부족한 한계점을 가지고 있으므로 이에 대한 추가연구가 필요함

참고문헌



참고문헌

- 강양미, 송홍규, 2000, 팔당호 수변부 퇴적물이 수층의 산소소모에 미치는 영향, 한국육수학회지, 33(1), p.23-30
- 강원도, 2014, 강원도 저수지의 수환경 특성과 지역자원화 방안
- 건설기술연구원, 1995, 하천수질 정화기술 개발연구, 건설기술연구원
- 경기개발연구원, 2012, 경기도 농업용수 수질현황 및 관리방안
- 김호일, 2011, 농업용 호소 수질현황과 개선계획. 전원과 자원, 52(2), p. 10-22
- 구분우, 2010, 담수호의 수질개선을 위한 물순환시스템 가동시 미생물 접촉 여재 적용에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문
- 국립환경연구원, 2003, 낙동강수계 수중생태계 수질모델인자 조사 최종 보고서, 국립환경연구원
- 국립환경과학원, 2015, 하천·호소 퇴적물 오염평가기준, 국립환경과학원 예규 제2015-687호
- 금강수계관리위원회, 2012, 대청호 및 보령호 수질관리를 위한 조류발생 억제 방안 연구(III), 금강수계관리위원회
- 김도희, 2002, 영양염 용출 측정에 관한 고찰, 한국환경과학회지, 11(12), p.1333-1337
- 김동석, 박영식, 2009, 전기응집 공정을 이용한 Rhodamine B의 제거, 대한환경공학회지, 31(12), p.1081~1088
- 김성수, 2008, 국내에 소개된 장치형 초기 우수처리시설의 검토, 석사학위 청구논문, 전남대학교 산업대학원
- 김일환, 2011, 농업용 호소 수질관리 제도. 전원과 자원. 52(2), p.2-9
- 김태철, 1998, 접촉산화수로 공법에 의한 수질개선연구, 환경연구 16 ('98.12), p.1-10
- 김관수, 손한형, 이상호, 박성순, 2006, 나선형 끈상 미디어의 시간에 따른 바실러스 미생물 부착량 변화에 관한 연구, 한국환경과학회 가을학술 발표회, 15(2), p.357-361
- 김학용, 2000, 끈상 접촉여재를 이용한 하천정화 방안, 아주대학교 산업대학원 환경공학과 석사학위논문
- 김현열, 1991, 생물접촉산화법에 의한 오타원수의 처리특성에 관한 연구,

- 일본 동북대학 박사학위논문
- 김혜연, 2013, 남한강 보 구간 퇴적물의 영양염류 용출에 관한 연구, 대한 환경공학회지, 35(8), p.554-563.
- 금강수계관리위원회, 2012, 대청호 및 보령호 수질관리를 위한 조류발생 억제 방안 연구(III) 연구보고서
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2013, 2013 농업생산기반통계연보
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2013, 2013 농업용수 수질측정망 조사보고서
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2014, 양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리 기술개발 및 적용(I) 연구보고서
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2015, 양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리 기술개발 및 적용(II) 연구보고서
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2015, 농업용 저수지 오염퇴적물의 관리 기술 개발 -농업용저수지 퇴적물의 오염유형별 관리방안 연구-보고서
- 류희구, 2015, 가압부상장치와 생물막 복합공정을 이용한 장치형 하천정화 시스템에 관한 연구, 경기대학교 일반대학원 환경에너지시스템공학과 석사학위논문
- 박재로, 임현만, 우효섭, 2001, 하천정화를 위한 상향류식 집축산화공법의 운전특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 17(5), p.557-564
- 박종웅, 1988, 호기성 침지형 생물막공법의 처리효율에 미치는 영향인자, 서울 시립대학교 대학원 박사학위논문
- 배준삼, 이상호, 2006, 하수의 최종 유출수 수질개선을 위한 침전조 모형실험에 적용한 끈상 미생물집축재와 미나리의 고도처리효율에 관한 연구, 한국 산학기술학회논문지, 7(3), p.440-447
- (사)일본하수도협회, 1990, 일본의 하수도, (사)일본하수도협회
- 신유나, 2006, 팔당호와 충주호의 SOD변화, 국립환경과학원 한강물환경 연구소
- 안광호, 고평백, 김이태, 김광수, 2012, 호기성 생물막을 이용한 HRT 변화에 따른 오염물질 제거, 한국환경과학회지, 21(12), p.1495-1501
- 안영희, 2002, 끈상집축산화공법의 처리효율에 관한 연구, 서울시립대학교 도시과학대학원 환경공학 석사학위논문
- 오종민, 2007, 소규모 저수지에서 퇴적물로부터 영양염류의 용출이 수질에 미치는 영향, 대한환경공학회지, 29(11), p.1217-1222

- 유승훈, 2010, 경안천 서하보 퇴적물이 수질에 미치는 영향분석, 명지대학교 대학원 석사학위논문
- 이육주, 2003, 자생 수생식물에 의한 수질정화효과, 상명대학교 대학원 환경자원학과 석사학위논문
- 이상호, 2000, Bio-contactor를 이용한 하천수 정화에 관한 연구, 상명대학교 산업과학연구소
- 이승일, 2014, 간척담수호 저층퇴적물의 영양염류 용출에 관한 연구, 건국대학교 대학원
- 이창근, 1997, 고정 생물막공법에서 부착미생물의 역세에 관한 연구, 한국환경과학회지, 6(3), p.219-224
- 이창희, 김은정, 1998, 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안, 한국환경정책평가연구원
- 이창희, 유혜진, 2000, 수저퇴적물 환경기준 개발에 관한 연구, 한국환경정책평가연구원
- 장정렬, 2011, 농업용수 수질개선대책 및 추진현황. 전원과 자원. 52(2): 23-31
- 조영철, 정세웅, 2007, 남양호 퇴적물에서 영양염류 용출 특성 분석, 대한환경공학회지, 29(12), p.1345-1352
- 중소기업청, 2005, 인공근이 부착된 수초섬에 의한 하수종말처리장 중첩하수의 고도처리방법, 중소기업청
- 최승희, 1987, 미생물막을 이용한 반응조내의 기질제거와 부착 미생물량에 관한 수학적 모델, 한국과학기술원 석사학위논문
- 타카하시 타다시호, 2011, 일본 산업기술연구원
- 한국농어촌공사, 2002, 농업용 저수지 수질오염 유형분류 연구보고서
- 한국농어촌공사, 2012, 2012농업용수 수질개선 특별대책 조사지구별 단기 수질개선대책 보고서
- 한국농어촌공사, 2015, 한국농어촌공사 농업기반시설관리 웹사이트 <http://rims.ekr.or.kr/>
- 한국수자원공사, 2014, 하천 대상 녹조 개화 후 고효율 제거 및 활용기술 개발 연구보고서
- 한국환경공단, 2012, 수생태 안전성 향상을 위한 조류 저감기술 연구보고서
- 허명노, 2010, 슬러지 가용화 공정이 결합된 A₂O-MBR공정에서 슬러지 발생량과 생물학적 인 제거특성에 관한 연구, 성균관대학교 대학원

- 홍원석, 신완호, 송동근, 오종민, 2010, 미세기포를 이용한 수질개선대책, 한국방재학회지, 10(1), p.92-99
- 환경부, 2011, 부유메디아 생물막 공법을 이용한 난분해성 산업폐수의 고도처리 기술개발 연구보고서
- 환경부, 2016, 수질오염공정시험기준
- Atlas copco, 1980, Communications Dept., Wilrijk, Belgium
- Fast, A.W., V.A. Dorr and R.J. Rosen, 1975, A submerged hypolimnion aerator. Water Resour. Res.(11) p.287-293
- Gotzinger, M., Weigl, B., Peukert, W. and Sommer, K., 2007, Effect of roughness on particle adhesion in aqueous solutions : A study of *Saccharomyces cerevisiae* and a silica particle, Colloids and Surface B: Biointerfaces, 55, p.44-50
- Kortmann, R.W., G.W. Knoecklein and C.H. Bonnell, 1994, Aeration of stratified lakes(Theory and practice), Lake and Reservoir Manage. 8, p.99-120
- Kairesalo, T., 1995, Fractional composition, adsorption and release of sediment phosphorus in the Kis-Balaton Reservoir, water Res., 28(3), p.717-726
- Rittmann, B. E. and Brunner, C.W., 1984, The nonsteady state biofilm process for advanced organics removal, WPCF, 56(7), p.874-880
- Shimp, R.J. and Pfaender, F.K., 1982, Effects of surface area and flow rate on marine bacterial growth in activated carbon columns, Applied and Environmental Microbiology, Aug, p. 471-477
- Steinberg, C. and K. Arzet., 1984, Impact of hypolimnetic aeration on abiotic and biotic conditions in a small kettle lake, Environ. Tech. Lett. 5, p.151-162
- Truax, D.D., A. Shindala and H. Sartain., 1995, Comparison of two sediment oxygen demand measurement techniques, J. Environ. Eng., 121, p.619-624
- US EPA, 1999, Integrated risk information system(IRIS), National Center for Environmental Assessment

부 록

1. 수질정화기능을 갖는 생태수로
(특허등록증 및 기술명세서)
2. 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태융합형 수상
정화장치 (특허등록증 및 기술명세서)
3. 스크린, 와류, 여과 및 응집기능 복합형 종합 수처리
장치 (특허증)

부록 1. 수질정화기능을 갖는 생태수로(특허증, 기술명세서)



발명의 명칭 Title of the Invention
수질정화 기능을 갖는 생태수로

특허권자 Patentee
등록사항란에 기재

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention
has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2016년 06월 28일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

최 동 규

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

수질정화 기능을 갖는 생태수로(River with clean water for ecological function)

【기술분야】

본 발명은 수질정화 기능을 갖는 생태수로에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 하천에 설치되어 있는 보를 기준으로 우회된 수로를 통해 물고기 이동을 위한 어도, 어류서식 및 산란처 제공 등의 생태적 기능과 식물에 의한 수질정화 기능 및 천변 친수공간 기능을 갖도록 하는 수질정화 기능을 갖는 생태수로에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

일반적으로 오염물질은 생활하수, 산업폐수 및 축산폐수 등과 같이 배출 지점이 뚜렷하고 한정된 점오염원(點汚染源)으로 부터 배출되는 점오염물질과, 농경지, 목초지, 산림지, 건축현장, 광산, 벌채지, 폐기물처리장, 쓰레기매립장, 도심지, 도로 및 산업현장 등과 같이 배출지역이 광범위한 비점오염원(非點汚染源)으로부터 배출되는 비점오염물질로 나눌 수 있다. 상기와 같은 오염원으로부터 배출되는 오염물질로는 중금속, 병원성 미생물, 유기화합물, 방사성물질, 유독물질 및 기타 염류 등 매우 다양한 형태로 분포되어 있다. 이러한 오염물질들은 통상 강우시에 빗물에 쓸려 빗물과 함께 하천, 내만, 호소 등의 공공수역이나 지하수로 흘러 들어가게 되어 수질오염을 야기 시키는 물론, 이로 인한 생태계의 파괴와 함께 최종적으로는 인간에게까지 매우 큰 피해를 주게 된다.

한편, 상기 오염물질 가운데 배출지점이 뚜렷하고 한정된 점오염물질의 경우에는 가정이나 공장, 축산농가 등에 별도의 정화장치나 폐수처리시설이 설치되어 오염물질의 정화가 어느 정도 이루어지고 있으나, 비점오염물질의 경우에는 배출지역이 광범위한 뿐만 아니라 대부분 지표면에 잔존해 있다가 강우시 빗물과 함께 하천, 내만, 호소 등의 공공수역이나 지하수로 유입되어 수질오염을 야기 시키는 주원인이 되고 있다. 상기의 오염물질과 비점오염물질은 하천, 내만, 호수 바닥에 침전되어 슬러지화되면서 오염도를 더욱 가속시키는 문제점이 있었다. 이를 보완하고자, 기존에는 하천 바닥에 미생물 접촉재를 포설하거나, 하천둔치 지하에 대규모 콘크리트 구조물의 어도를 설치하여 하천수를 유입 처리하였으나, 하천에 포설하는 방식은 홍수시 토사 퇴적, 쓰레기 혼입 등으로 유지관리가 불가능하고, 둔치 지하에 대형 구조물을 설치하는 방법은 부지확보가 어렵고, 시공비용이 과다하게 필요하여 경제적이지 못한 문제점이 있다. 또한, 기존의 어도는 콘크리트 타설 또는 콘크리트 블록을 설치시 콘크리트 구조물에 의한 친수경관적인 단점과, 친자연성 환경을 확보하기 곤란한 단점 및 콘크리트의 시멘트

성분에 의한 하천 오염 더욱 유발시키는 문제점이 있었다. 또한, 종래에는 일부 정화시설을 하천변에 설치하여 수처리할 수 있도록 하천변의 표면을 걷어내고 그 곳에 정화기능을 하도록 자갈층, 모래층 등을 적층시켜 여과 기능을 수행토록 하나, 다양한 오염원에 대하여 이용될 수 없는 제한성을 지니고 있을 뿐만 아니라, 홍수시 처리시설이 침수되거나 접촉여재(자갈층, 모래층) 등이 토사에 의해 폐쇄되는 문제점이 있다. 또한, 상부에 복토 후 대부분 잔디 등의 단일 식생으로 단일 생태계를 조성하기 때문에 하천 생태계와 조화를 이루지 못하고, 육상 생태계와의 단절을 초래하고 있다. 이렇게 단일 생태계로 조성된 지역은 홍수시 과도한 침식이 발생하고 토양 침식물에 의한 퇴적, 세굴 등이 발생하여 구간별 보수가 필요한 실정이다. 즉, 종래의 어도는 하천의 한가운데 콘크리트 구조물로 건설되어 하천의 미관을 저해함은 물론, 어류 보호용 생태하천의 취지에도 맞지 않고, 하류부 세굴로 인한 기능저하 등의 문제점이 있었다. 그래서 종래에는 강우 유출수에 포함된 오염물질을 정화처리하기 위해 장치형 설비나 단순 저류형 시설을 이용하고 있으나, 그 처리비용에 비해 처리효율이 떨어지고, 정기적인 시스템의 교체를 필요로 하는 등 추가적인 비용이 소모되는 단점이 있었다. 또한, 종래의 설비는 그 시설에 비하여 처리의 안정성과 효율성에 한계를 대부분 가지고 있어, 주로 대형건축물, 도로, 주차장 등의 매우 한정된 장소에서 시범적으로 운영되어 아직까지 그 효율성이 미미하고, 하천으로 유입되는 다양한 오염원을 지닌 강우유출수를 처리하기에는 한계를 지니고 있다.

【선행기술문헌】

【특허문헌】

(특허문헌 1) 등록특허 제10-1060739호(2011.08.24)

(특허문헌 2) 공개특허 제10-2009-0037092호(2009.04.15.)

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

상기와 같은 문제점을 해소하기 위한 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로는 하천에 설치된 보를 기준으로 우회시키는 생태수로를 설치하여 상기 생태수로를 통해 친수공간, 학습공간, 어류 보호공간 기능을 갖도록 하는 데 있다. 또한, 본 발명의 목적은 생태수로를 통해 침전, 여과, 흡착, 산화 등 화학적 방법을 통해 오염물질을 정화시키도록 하는 데 있다. 또한, 본 발명의 목적은 생태수로에서 흐름되는 오염물질이 미생물 접촉재를 통해 흡착, 분해, 산화 등의 생물학적 방법으로 오염물질을 정화시키도록 하는 데 있다. 또한, 본 발명의 목적은 미생물 접촉재와 식생시킨 식물뿌리를 통해 생물학적 정화 기능을 더욱 상승시키도록 하는 데 있다.

【과제의 해결 수단】

상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로는 보가 설치된 하천에서 분기되어 우회되는 둔치에 설치되는 생태수로를 마련하되, 상기 생태수로는 내부에 수로공간을 갖는 수로블럭을 복수개 연이어 이음되게 형성하여 하천에 설치된 보의 상류와 하류를 우회시켜 흐름되도록 하고, 상기 수로블럭의 상부에는 식생매트를 설치하여 식물을 식생시킬 수 있도록 포함한다. 본 발명에 따르면, 상기 생태수로는 하나 이상의 수로블럭 중 어느 하나 이상의 개소에 토사배출수단을 설치하되, 상기 토사배출수단은 수로블럭의 수로공간과 연통되어 하천에 섞여 흐름되는 토사가 토사블럭 내부로 유입되도록 하며, 상기 토사블럭에는 배출파이프를 수직으로 설치하여 펌프를 통해 토사블럭에 유입된 침전물을 외부로 배출시키도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 생태수로는 복수개의 수로블럭 중 어느 하나 이상의 수로블럭에 연접되게 토사배출수단을 설치하되, 상기 토사배출수단은 수로블럭의 측면에 연접되게 토사블럭을 설치하고, 상기 토사블럭과 수로블럭은 측면에 각각 형성된 이음공을 통해 상호 연통시켜 수로블럭에서 하천에 섞여 흐름되는 토사가 토사블럭 내부로 유입되도록 하며, 상기 토사블럭에는 배출파이프를 수직으로 설치하여 펌프를 통해 토사블럭에 유입된 침전물을 외부로 배출시키도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 생태수로는 복수개의 수로블럭 중 어느 하나 이상의 수로블럭에 연접되게 토사배출수단을 설치하되, 상기 토사배출수단은 수로블럭의 측면에 연접되게 토사블럭을 설치하고, 상기 수로블럭의 수로공간 수로바닥과 토사블럭의 내부공간 바닥이 경사진 상태가 연이어 이음되고 상기 수로블럭과 토사블럭은 이음공을 통해 연통되도록 한 다음 상기 토사블럭에는 배출파이프를 수직으로 설치하여 펌프를 통해 토사블럭에 유입된 침전물을 외부로 배출시키도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 생태수로에는 지하습지를 조성하여 수생식물을 관찰할 수 있도록 하되, 상기 지하습지는 상기 생태수로에서 어느 한 공간에 지면을 터파기한 지하공간을 형성하여 상기 지하습지가 생태수로와 이음되어 하천의 물이 보 상류에서 하류로 흐름되도록 하고, 상기 지하공간에 유입된 하천에는 수생식물을 식생시키며, 상기 지하공간 상부의 입구측에 투명한 덮개를 설치하되, 상기 덮개의 하부면에는 조명수단을 장착하도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 생태수로에는 둑병을 조성하여 수생식물을 관찰할 수 있도록 하되, 상기 둑병은 지면에 터파기한 웅덩이를 형성하되, 상기 웅덩이는 생태수로와 다른 공간에 형성되고, 상기 웅덩이와 생태수로가 이음수로를 통해 상기 생태수로의 하천 물이 웅덩이로 유입되어 생태수로로 흐름되도록 하고, 상기 웅덩이에는 식물을 식생시키도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 보가 설치된 하천 상류와 연결되는 생태수로 입구 공간에는 하천 및 생태수로의 수위를 감지하는 수위조절수단이 설치되고,

하천과 생태수로가 연결되는 공간과 상기 연결공간 후방의 생태수로에 제1수문과 제2수문을 각각 설치하여 갈수기 또는 홍수기에 의해 하천 수위의 변화에 맞추어 제1수문과 제2수문을 개폐시켜 생태수로의 수위를 조절할 수 있도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 수로블럭은 상부와 양측이 개구된 수로공간을 내부에 갖는 본체와, 상기 수로공간 양측 벽면에 이음부재를 통해 이격되게 수직으로 설치되어 상기 본체 양측에 어도공간을 형성하는 어도부재와, 상기 수로공간의 바닥에는 흠을 형성시켜 고압의 유체를 분출하는 호스를 장착하도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 식생매트는 상부가 개구된 망체와, 상기 망체에 수납되어 식물이 식모되도록 자갈 및 식생토가 혼합되어 이루어진 식생기반재와, 상기 망체의 상부를 밀폐시키는 덮개로 구성한다.

본 발명에 따르면, 상기 하천에 연결된 생태수로 입구측에 전처리수단을 설치하되, 상기 전처리수단은 복수의 스크린이 중첩되게 설치되어 하천의 유입수에 함유된 미세입자를 응집시키도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 하천에 연결된 생태수로 출구측에 여과조를 설치하되, 상기 여과조는 상기 생태수로의 수로공간과 연통되는 결합수단과, 상기 결합수단에 결합되고 틀 형태의 프레임에 복수의 미생물 접촉재를 가로질러 설치한 여과수단으로 구성되어, 상기 여과수단을 복수로 마련되어 결합수단에 순차적으로 설치된다. 본 발명에 따르면, 상기 하천에 연결된 생태수로 출구측에 여과조를 설치하되, 상기 여과조는 상기 생태수로의 수로공간과 연통되는 원형 형태의 결합수단과, 상기 결합수단에 결합되고 원형 틀 형태의 프레임에 복수의 미생물 접촉재를 길이방향으로 설치한 여과수단으로 구성되어, 상기 여과수단을 복수로 마련되어 결합수단에 순차적으로 설치된다. 본 발명에 따르면, 상기 토사배출수단은 생태수로에서 일정 구간마다 간격을 두고 설치된다. 본 발명에 따르면, 상기 수위조절수단은 제1수문과 제2수문 사이공간의 집수정에 수중펌프를 장착하고, 상기 생태수로에 설치된 수위센서가 수위를 감지하여 수중펌프를 통해 집수정내에 집수된 물을 수로블럭의 보조수로로 공급하도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 어도부재는 복수개의 통공을 형성한다. 본 발명에 따르면, 상기 어도부재는 이음부재와 연결된 부위가 상부로 길이를 연장한 단턱을 형성시켜 본체의 수로공간 양측 벽면과 단턱 사이에 보조수로가 형성되고, 상기 단턱은 본체의 상단부 높이 보다 낮은 높이의 단차를 갖는 단턱을 형성한다. 본 발명에 따르면, 상기 호스는 압축 공기가 제공되어 외부로 분사될 수 있도록 구성한다. 본 발명에 따르면, 상기 호스에는 수직으로 분기관을 더 설치한다. 본 발명에 따르면, 상기 전처리수단에는 공기방울을 분사시킬 수 있도록 한다.

【발명의 효과】

상술한 바와 같은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로는 보가 설

치된 하천에서 분기되어 우회되는 둔치에 설치되는 생태수로를 마련하되, 상기 생태수로는 내부에 수로공간을 갖는 수로 블럭을 복수개 연이어 이음되게 설치하여 하천에 설치된 보의 상류와 하류를 우회시켜 흐름 되도록 하고, 상기 수로 블럭의 상부에는 식생매트를 설치하여 식물을 식생시킬 수 있도록 구성하여 하천의 둔치에 친수공간을 마련한다. 이를 통해 생태수로를 통해 친수공간, 학습공간, 어류 보호 공간 기능을 갖도록 하는 효과가 있다. 또한, 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로는 생태수로를 거친 유수의 토구 오염물질을 정화하고, 어류의 서식 및 은신처를 마련하여 어류 보호를 꾀할 수 있는 효과가 있다. 또한, 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로는 식물 식생을 기반으로 하는 생태수로를 조성함으로써, 홍수 시에도 수로 내부로 토사가 유입되지 않고, 만약의 경우에는 탈착하여 내부 청소 등 유지관리를 할 수 있는 효과가 있다. 또한, 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로는 생태수로를 통해 침전, 여과, 흡착, 산화 등 화학적 방법을 통해 오염물질을 정화시키도록 하는 효과가 있다. 또한, 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로는 생태수로에서 흐름 되는 오염물질이 미생물 접촉재를 통해 흡착, 분해, 산화 등의 생물학적 방법으로 오염물질을 정화시키도록 하는 효과가 있다. 또한, 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로는 미생물 접촉재와 식생 시킨 식물뿌리를 통해 생물학적 정화 기능을 더욱 상승시키도록 하는 효과가 있다. 이를 통해 하천의 토구, 하수처리장, 분뇨처리장, 폐수처리장, 마을 하수처리장 등의 방류구에 연결하여 자연친화적으로 수질을 정화하는 정화수단 기능을 갖도록 하는 효과가 있다.

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로를 나타낸 개념도.

도 2는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로에 수위조절수단이 적용된 상태를 나타낸 개념도.

도 3은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로에 전처리수단을 적용한 상태를 나타낸 개념도.

도 4는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 수로블럭을 나타낸 분해사시도.

도 5는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 수로블럭을 나타낸 결합사시도.

도 6은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 수로블럭을 나타낸 정단면도.

도 7a,b는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 적용되는 제1 및 제2 실시예의 토출배출수단을 나타낸 정단면도.

도 8은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 지하습지를 나타낸

단면도.

도 9는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 여과조에 대한 제1 실시예를 나타낸 사시도.

도 10은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 여과조에 대한 제2 실시예를 나타낸 사시도.

도 11은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 전처리수단에 대한 다른 실시예를 나타낸 단면도.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

이하, 본 발명에 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 일 실시 예를 상세히 설명하기로 한다. 우선, 도면들 중, 동일한 구성요소 또는 부품들은 가능한 한 동일한 참조부호를 나타내고 있음에 유의하여야 한다. 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 모호하지 않게 하기 위하여 생략한다. 도 1은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로를 나타낸 개념도이고, 도 2는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로에 수위조절수단이 적용된 상태를 나타낸 개념도이며, 도 3은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로에 전처리수단을 적용한 상태를 나타낸 개념도이고, 도 4는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 수로블럭을 나타낸 분해사시도이며, 도 5는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 수로블럭을 나타낸 결합사시도이고, 도 6은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 수로블럭을 나타낸 정단면도이며, 도 7a,b는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 적용되는 제1 및 제2 실시예의 토출배출수단을 나타낸 정단면도이고, 도 8은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 지하습지를 나타낸 단면도이며, 도 9는 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 여과조에 대한 제1 실시예를 나타낸 사시도이고, 도 10은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 여과조에 대한 제2 실시예를 나타낸 사시도이며, 도 11은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로의 전처리수단에 대한 다른 실시 예를 나타낸 단면도이다.

먼저, 도 1 내지 도 11에서 도시한 바와 같은 본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수로 100는 보 11가 설치된 하천 10에서 분기되어 우회되는 둔치에 설치되는 생태수로 100를 마련한다. 즉, 상기 생태수로 100는 일측이 하천 10에 설치된 보 11를 기준으로 하천 10 상류에 연결되고, 타측은 하류에 연결되어 보 11가 설치된 하천 10 상류측의 생태수로 100로 하천 10의 유수가 유입되어 보 11가 설치된 하천 10의 하류측으로 하천 10의 유수를 흐르게 한다. 또는, 상기 생태수로 100는 하천의 보를 우회하는 둔치에 설치, 저수지, 호수 등의 유입부에 설치, 하천의 토구에 설치 및 습지, 침강지, 하수처리장 등의 방류구 등에 설치될 수 있다.

상기 생태수로 100는 복수개의 수로블럭 110이 연이어 이음되어 완성된다. 상기 수로블럭 110은 상부와 양측이 개구된 수로공간 111을 내부에 갖는 본체 110a와, 상기 수로공간 111 양측 벽면에 이음부재 115a를 통해 이격되게 수직으로 설치되어 상기 본체 110a 양측에 어도공간 116을 형성하는 어도부재 115와, 상기 수로공간 111의 바닥에는 흙 113을 형성시켜 고압의 유체를 분출하는 호스 114를 장착하도록 구성한다. 상기 수로블럭 110은 "U"자 형상으로 형성되어 복수개의 수로블럭 110이 연이어 설치될 경우 보 11의 상부에서 하부로 연결되고 굴곡을 갖는 자유로운 형상으로 설치된다. 상기 어도부재 115에는 복수개의 연통공 117을 형성하여 어도공간 116으로 유수의 원활한 순환을 돕고, 상기 어도공간 116을 통해 어류의 은신을 가능하도록 한다. 그리고, 상기 어도공간 116 내부 표면에는 미생물접촉재(Media)를 장착시켜 미생물을 부착 및 성장시킴으로서 오염물질을 분해 산화시키고 여과작용을 통해 수질정화 효율을 향상시키도록 하여 물고기 은신처 기능 이외에도 수처리시설의 기능을 병행하도록 한다. 또는, 미생물접촉재는 상기 수로공간 하부에 설치될 수 있도록 하여 식생매트에 식모된 식물의 뿌리가 수로공간에서 미생물접촉재와의 밀생을 가능하도록 하여 생태수로의 여과 및 생물학적 접촉산화 기능을 동시에 갖도록 한다.

또한, 상기 어도부재 115는 이음부재 115a와 연결된 부위가 상부로 길이를 연장한 단턱 112를 형성시켜 본체의 수로공간 111 양측 벽면과 단턱 112 사이에 보조수로 118가 형성되고, 상기 단턱 112은 본체 110a의 상단부 높이 보다 낮은 높이의 단차를 갖도록 하여 상기 식생매트 120을 안착시킨다. 상기 보조수로 118는 갈수기시 수로공간 11 내부로 물이 유입되지 않을 경우, 상부 식물의 고사되는 것을 방지하기 위하여, 보조수로 118로 물을 공급하는 수로이다.

즉, 식생매트 120의 삼투압 등의 흡착기능을 이용해 상기 식물이 이용할 수 있는 축축한 상태를 유지하도록 하기 위한 것이다. 상기 보조수로 118에 물을 공급하는 방법은 수위조절수단 160과 연동하는 펌프를 통해 하천의 우수를 보조수로 118 공급한다. 상기 식생매트 120은 상부가 개구된 망체 121와, 상기 망체 121에 수납되어 식물이 식모되도록 자갈 및 식생토가 혼합되어 이루어진 식생기반재 122와, 상기 망체 121의 상부를 밀폐시키는 덮개 123로 구성한다.

결국, 수로블럭 110을 연이어 설치함으로써 복수의 수로공간 111이 이음되어 유수의 흐름을 유도하고, 상기 어도공간 116을 통해 어류의 은신처로 제공한다. 또한, 상기 식생매트 120의 식생기반재 122에 갈대, 부채꽃, 달뿌리풀 등의 식생식물을 식모시키되, 상기 덮개 123에 형성된 복수의 구멍을 통해 지상으로 식물을 식생시킨다. 그리고, 상기 수로공간 111의 바닥 중앙에는 길이방향으로 흙 113을 형성시켜 고압으로 공기 또는 유체를 분출시키는 호스 114를 설치한다.

상기 호스 114를 통해 분출되는 고압의 공기 또는 유체를 통해 토사에 의해 수로공간 111 내부 벽면에 부착된 침전물을 제거할 수도 있고, 상기 수로공

간 111 바닥에 침전된 토사의 침전물을 흐름되는 유수로 띄워 후술 될 토사배출수단 130으로 토사를 유입시킬 수 있도록 한다. 또한, 상기 호스 114에는 수직으로 분기관 114a을 더 설치하여 수로공간 111의 양측면 전체에 압력을 갖는 유체 또는 공기를 분사시켜 보다 효과적으로 침전물을 부유시키거나 떼어낼 수 있도록 한다. 또한, 상기 호스 114를 통해 수중에 산소 공급으로 오염물질을 산화분해시켜 수질을 정화하는 기능을 갖는다. 결국, 하천 10에 설치된 보 11를 기준으로 우회시키는 생태수로 100를 통해 상기 생태수로 100를 친수 공간 기능을 갖도록 하는 효과가 있다. 또한, 상기 식생매트 120에 식모된 식물의 뿌리는 식생기반재 122를 기반으로 식생되어 수로공간 111 내부까지 위치됨으로써, 어류 은신, 수질개선을 꾀할 수 있다. 또한, 상기 식생매트 120에 식모된 식물의 뿌리를 통해 토구 오염물질 및 하천 10수를 정화하는 기능을 갖는다. 여기서, 상기 생태수로 100의 양측 지면에는 산책로 또는 자전거로 등이 설치될 수 있다. 이와 같이, 상기 생태수로 100는 내부에 수로공간 111을 갖는 수로블럭 110을 복수개 연이어 이음되게 설치하여 하천 10에 설치된 보 11의 상류와 하류를 우회시켜 흐름되도록 하고, 상기 수로블럭 110의 상부에는 식생매트를 설치하여 식물을 식생시킬 수 있도록 하여 생태수로 100를 거친 유수의 토구 오염물질을 정화하고, 어류의 서식 및 은신처를 마련하여 어류 보호를 꾀할 수 있다. 그리고, 식물 식생을 기반으로 하는 생태수로 100를 조성함으로써, 홍수시에도 수로 내부로 토사가 유입되지 않고, 만약의 경우에는 탈착하여 내부 청소 등 유지관리를 할 수 있다.

결국, 하천의 토구, 하수처리장, 분료처리장, 폐수 처리장, 마을 하수처리장 등의 방류구에 연결하여 자연친화적으로 수질을 정화하는 정화수단 기능을 갖는다. 여기서, 생태수로 100에는 토사배출수단 130, 지하습지 140 및 둠병 150이 설치된다. 상기 토사배출수단 130, 지하습지 140 및 둠병 150은 생태수로 100에서 하나 또는 하나 이상으로 설치될 수 있으며, 그 설치 개수는 국한하지 않는다. 도 7a 및 도 7b에서 도시한 바와 같이, 상기 토사배출수단 130은 상기 복수개의 수로블럭 110 중 어느 하나 이상의 수로블럭 110에 연결되게 토사배출수단 130을 설치하되, 상기 토사배출수단 130은 수로블럭 110의 측면에 연결되게 토사블럭 131을 설치한다. 또는, 상기 토사배출수단 130은 생태수로 100에 연이어 설치되거나, 일정 간격을 두고 순차되게 설치되어 생태수로 100 유수와 함께 유입된 토사를 토사배출수단 130으로 배출시킨다.

즉, 상기 토사배출수단은 수로블럭의 수로공간과 연통되어 하천에 섞여 흐름되는 토사가 토사블럭 내부로 유입되도록 하며, 상기 토사블럭에는 배출파이프를 수직으로 설치하여 펌프를 통해 토사블럭에 유입된 침전물을 외부로 배출시키도록한다. 여기서, 상기 토사블럭 131과 수로블럭 110은 측면에 각각 형성된 이음공 134을 통해 상호 연통시켜 수로블럭 110에서 하천 10에 섞여 흐름되는 토사가 토사블럭 131 내부로 유입되도록 한다.

아울러, 상기 토사블럭 131에는 배출파이프 132를 수직으로 설치하여 펌프 133를 통해 토사블럭 131에 유입된 침전물을 외부로 배출시킨다. 또는, 상기 수로블럭 110의 수로공간 111 수로바닥 119과 토사블럭 131의 내부공간 바닥이 경사진 상태가 연이어 이음되고 상기 수로블럭 110과 토사블럭 131은 이음공 134을 통해 연통되도록 한 다음 상기 토사블럭 131에는 배출파이프 132를 수직으로 설치하여 펌프 133를 통해 토사블럭 131에 유입된 침전물을 외부로 배출시키도록 한다. 상기와 같이 구성된 상기 토사배출수단 130은 상기 생태수로 100로 유입된 토사는 유수의 흐름 유속에 의해 이음공 134으로 토사가 토사블럭 131 내부로 유입된다. 이때, 토사블럭 131 내부로 토사의 유입을 더욱 가속시킬 수 있도록 생태수로 100 의 내부에 설치된 호스 114에 의해 공기를 토출시켜 토사가 생태수로 100 바닥으로 침전되는 것을 방지하여 유수의 유속으로 이음공 134 측을 통해 토사블럭 131측에 배출시킨다. 또는, 상기 수로블럭 110의 수로공간 111 수로바닥 119과 토사블럭 131의 내부공간 바닥이 경사진 상태가 연이어 이음되고 상기 수로블럭 110과 토사블럭 131은 이음공 134을 통해 연통되도록 한 다음 상기 토사블럭 131에는 배출파이프 132를 수직으로 설치하여 펌프 133를 통해 토사블럭 131에 유입된 침전물을 외부로 배출시키도록 한다.

상기와 같이 구성된 상기 토사배출수단 130은 상기 생태수로 100로 유입된 토사는 유수의 흐름 유속 및 경사진 수로블럭과 토사블럭의 경사저 상호 연통된 바닥에 형성된 이음공 134을 통해 토사가 토사블럭 131 내부로 유입된다. 이때, 토사블럭 131 내부로 토사의 유입을 더욱 가속시킬 수 있도록 생태수로 100 의 내부에 설치된 호스 114에 의해 공기를 토출시켜 토사가 생태수로 100 바닥으로 침전되는 것을 방지하여 유수의 유속으로 이음공 134측을 통해 토사블럭 131측에 배출시킨다. 그리고, 상기 지하습지 140는 상기 생태수로 100에 설치되어 상기 지하습지 140에 식생된 수생식물을 관찰할 수 있도록 한다. 이를 가능하도록, 상기 지하습지 140는 상기 생태수로 100에서 어느 한 공간에 지면을 터파기 한 지하공간 141을 형성하여 상기 지하습지 140가 생태수로 100로와 이음되어 하천 10의 물이 보 11 상류에서 하류로 흐름되도록 하고, 상기 지하공간 141에 유입된 하천 10에는 수생식물을 식생시킨다. 아울러, 상기 지하공간 141 상부의 입구측에 투명한 덮개 142를 설치하되, 상기 덮개 142의 하부면에는 조명수단 143을 장착한다. 이와 같이, 상기 지하습지 140는 어도수도 중 어느 한 공간에 설치되되, 상기 수로블럭 110과 이음되도록 하여 하천 10의 유수가 생태수로 100를 거쳐 지하습지 140의 지하공간 141으로 유입되어 유수가 임시저장되고, 상기 지하공간 141을 통해 생태수로 100로 유수가 흐름되는 구조이다.

여기서, 지하공간 141에 유입된 유수에는 수생식물인 부레옥잠을 식생시킨다. 이를 통해, 투명재질의 덮개 142 및 조명수단 143을 통해 수생식물의 관찰을 가능하게 한다. 또한, 상기 둑병 150은 상기 생태수로 100에는 둑병 150을 조

성하여 지면 위로 식생시킨 수생식물을 관찰할 수 있다. 즉, 상기 둌병 150은 지면에 터파기 한 웅덩이 151를 형성하되, 상기 웅덩이 151는 생태수로 100와 다른 공간에 형성되고, 상기 웅덩이 151와 생태수로 100가 이음수로 152를 통해 상기 생태수로 100의 하천 10 물이 웅덩이 151로 유입되어 생태수로 100로 흐름되도록 하며, 상기 웅덩이 151에는 식물을 식생시키도록 한다.

상기 둌병 150은 생태수로 100와 별도의 공간에 구획되게 설치되되, 상기 이음수로 152를 통해 하천 10의 유수가 웅덩이 151로 유입되어 다시 생태수로 100로 흐름될 수 있도록 한다. 상기 둌병 150은 갈수기에도 하천을 담수하여 어류의 생존 가능성 향상 및 산란 기능을 갖는다. 여기서, 상기 웅덩이 151는 지하구조물 형태로 이루어지고, 상기 웅덩이 151 내부에는 물고기 서식, 산란처 조성, 유지관리를 위한 진입로 등 부대시설이 설치된다. 또한, 상기 웅덩이 151에는 토사배출수단 130이 설치될 수 있다. 아울러, 상기 웅덩이 151의 내부 구조를 육안으로 확인할 수 있도록 카메라, 잠망경 등이 설치되어 생태학습에 활용될 수 있다. 또한, 상기와 같이 구성되는 생태수로 100의 입구측에는 수위조절수단 160과 제1수문 161 및 제2수문 162이 설치되어 생태수로 100의 수위를 조절할 수 있도록 한다. 즉, 상기 보 11가 설치된 하천 10 상류와 연결되는 생태수로 100 입구 공간에는 하천 10 및 생태수로 100의 수위를 감지하는 수위조절수단 160이 설치된다. 그리고, 하천 10과 생태수로 100가 연결되는 공간과 상기 연결공간 후방의 생태수로 100에 제1수문 161과 제2수문 162을 각각 설치하여 갈수기 또는 홍수기에 의해 하천 10 수위의 변화에 맞추어 제1수문 161과 제2수문 162을 개폐시켜 생태수로 100의 수위를 조절할 수 있도록 한다. 이를 통해 갈수기 또는 홍수기에 맞추어 변화하는 하천 10의 수위에 따라 생태수로 100의 수위를 조절할 수 있다. 여기서, 제1수문 161과 제2수문 162 사이공간은 집수정 163를 갖고, 수중펌프 164를 장착하여 생태수로 100에 설치된 수위센서 165에 의해 일정 수위 이하를 감지하는 경우 집수정 163에 집수된 물을 수로공간 111의 보조수로 118로 흘려 보내도록 함으로서, 갈수기시 수로내로 하천수가 유입되지 않아 식물이 고사되는 것을 방지한다. 또한, 상기 생태수로 100에는 전처리수단 170과 여과조 180가 설치된다. 즉, 상기 전처리 수단 170은 상기 하천에 연결된 생태수로 100 입구측에 설치된다. 상기 전처리수단 170은 복수의 스크린(미도시)이 중첩되게 설치되어 하천의 유입수에 함유된 미세입자를 응집시키도록 한다. 이는, 하천에서 유입되는 우수에 미립자 또는 부피를 갖는 불순물을 1차로 걸러 주는 기능을 갖는다. 즉, 상기 전처리수단 170으로 유입된 초기우수에 포함되어 있는 협잡물을 제거하는 유수분리 기능을 갖는다. 결국, 전처리 수단 170은 유입되는 하천수의 용존산소 농도를 증가시켜, 오염된 물속 유기물의 산화촉진 및 부패방지를 위해 공기방울을 분사시킬 수 있도록 한다. 여기서, 공기방울은 마이크로버블 또는 나노버블 형태의 에어미스트 형태로 분사되어 주입된 공기가 상승하면서 물

속의 용존 산소량을 극대화시켜 미생물 생존률을 높여 정화 기능을 더욱 향상시킬 수 있도록 한다. 도 11에서 도시한 바와 같이, 상기 전처리수단 170의 다른 실시예는 상기 하천에 연결된 생태수로 100 입구측에 전처리수단 170을 더 포함하되, 하천이 유입되는 제1공간 173과, 상기 제1공간 173 하부에 형성되어 하천의 침전물이 쌓이도록 하는 호퍼 172와, 상기 제1공간 173 상부에 형성시킨 제2공간 174에 충전되어 하천의 유입 흐름에 의해 유동되는 복수의 여과재 175와, 상기 제2공간 174 상부에 형성시킨 제3공간 176에 절곡된 판 형상을 갖는 복수의 굴곡판 177으로 구성하여 상기 여과재 175를 통과한 입자성 물질이 생태수로 100로 곧바로 유입되지 않고 굴곡판 177 사이에서 지체하도록 한다. 즉, 생태수로 100 입구측에 전처리수단 170을 설치하여 하천이 생태수로 100 전에 최초로 전처리수단 170으로 유입된다. 상기 전처리수단 170에 유입되는 하천은 제1공간 173으로 유입된다. 여기서, 하천에 함유된 침전물을 제1공간 173 하부에 형성된 호퍼 172로 침전되어 쌓이면 외부로 추출할 수 있도록 한다. 그리고, 제1공간 173으로 유입된 하천은 제1공간 173과 매쉬로 공간이 구획된 제2공간 174으로 흐름된다. 상기 제2공간 174 내부에는 복수개의 여과재 175가 충전된다. 상기 여과재 175는 유동성을 갖는 것으로 하천의 흐름에 의해 불규칙적으로 이동하면서 큰 입자의 부유물 또는 슬러지를 잘게 부수어주며 흡착 여과하는 기능을 갖는다.

그리고, 상기 제2공간 174과 매쉬로 공간이 구획된 제3공간 176에는 복수의 굴곡판 177이 수평으로 중첩되게 설치된다. 상기 굴곡판 177은 제2공간 174을 거친 하천이 유입되면서 입자성 물질이 절곡된 형상을 갖는 굴곡판 177을 거치면서 하천 흐름을 지체 또는 정체시켜 입자성 물질이 생태수로 100측에 곧바로 유입되는 것을 방지한다. 그리고, 여과조 180는 상기 하천에 연결된 생태수로 100 입구 또는 출구 또는 생태수로 100 전체 또는 생태수로에 등간격으로 설치될 수 있다. 상기 여과조 180는 크게 형상에 따라 두 가지로 구분된다.

제1실시예의 여과조 180는 도 9에서 도시한 바와 같이, 상기 생태수로 100의 수로공간 111과 연통되는 결합수단 181과, 상기 결합수단 181에 결합되고 틀 형태의 프레임 183에 복수의 미생물 접촉재 184를 가로질러 설치한 여과수단 182으로 구성되어 상기 여과수단 182을 복수로 마련되어 결합수단 181에 순차적으로 설치된다. 제2실시예의 상기 여과조 180는 도 10에서 도시한 바와 같이, 상기 생태수로 100의 수로공간 111과 연통되는 원형 형태의 결합수단 181과, 상기 결합수단 181에 결합되고 원형 틀 형태의 프레임 183에 복수의 미생물 접촉재를 길이방향으로 설치한 여과수단 182으로 구성되어 상기 여과수단 182을 복수로 마련되어 결합수단 181에 순차적으로 설치된다. 상기와 같이, 상기 여과조 180는 형상에 따라 구분되며, 제1실시예의 여과조180는 사각형 형태의 판 형상으로 형성되어 여과수단 182을 결합수단 181의 상부에서 분리 결합되도록 하는 구조이다. 또한, 제2실시예의 여과조 180는 원통형 형태로 형성되어 여과수단 182을 결

합수단 181의 측면에서 분리 결합되도록 하는 구조이다. 이와 같이, 상기 여과조 180는 흐름되는 우수를 생물학적으로 반응시켜 유기물, 질소 및 인을 효율적으로 제거할 수 있다. 이는 물리화학적으로 안전하며 하천 우수중에 부유하는 입자를 신속하게 부착시키는 동시에 탈락 현상을 방지한다. 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 명백할 것이다.

【부호의 설명】

10 : 하천	11 : 보
100 : 생태수로	110 : 수로블럭
110a : 본체	111 : 수로공간
112 : 단턱	113 : 홈
114 : 호스	114a : 분기관
115 : 어도부재	115a : 이음부재
116 : 어도공간	117 : 연통공
118 : 보조수로	119 : 수로바닥
120 : 식생매트	121 : 망체
122 : 식생기반재	123 : 덮개
130 : 토사배출수단	131 : 토사블럭
132 : 배출파이프	133 : 펌프
134 : 이음공	140 : 지하습지
141 : 지하공간	142 : 덮개
143 : 조명수단	150 : 둠병
151 : 웅덩이	152 : 이음수로
160 : 수위조절수단	161 : 제1수문
162 : 제2수문	163 : 집수정
164 : 수중펌프	165 : 수위센서
170 : 전처리수단	172 : 호퍼
173 : 제1공간	174 : 제2공간
175 : 여과재	176 : 제3공간
177 : 굴곡판	180 : 여과조
181 : 결합수단	182 : 여과수단
183 : 프레임	184 : 미생물 접촉재

【청구범위】

【청구항 1】

하천에 설치된 보의 상류와 하류를 우회시켜 흐르도록 하여 둔치에 설치되는 수질정화 기능을 갖는 생태수로에 있어서,

상기 생태수는 내부에 수로공간을 갖는 수로블럭을 복수개 연이어 이음되게 형성하되, 상기 수로블럭은, 상부와 양측이 개구된 수로공간을 내부에 갖는 본체와,

상기 수로공간 양측 벽면에 이격되게 수직으로 형성시킨 이음부재 상부에 식생매트를 설치하고 상기 본체 양측에 어도공간을 형성하며

상기 이음부재와 연결된 부위에 상부로 길이를 연장한 단턱을 형성시켜 본체의 수로공간 양측 벽면과 단턱 사이에 보조수로를 형성하면서

상기 단턱은 본체의 상단부 높이 보다 낮은 높이의 단차를 갖도록 하는 어도부재와,

상기 수로공간의 바닥에는 흠을 형성시켜 분기관을 수직으로 설치하여 고압의 유체 또는 공기를 분출하는 호스를 장착한 것으로 이루어지고,

상기 보가 설치된 하천 상류와 연결되는 생태수로 입구 공간에 제1수문과 제2수문을 설치하고 하천 및 생태수로의 수위를 감지하는 수위센서를 통해 상기 제1수문과 제2수문 사이 공간의 집수정에 설치된 수중펌프를 작동시켜 집수정내에 집수된 물을 수로블럭의 보조수로에 공급하여 갈수기 또는 홍수기의 수위의 변화에 맞추어 생태수로의 수위를 조절할 수 있도록 구성한 것을 특징으로 하는 수질정화 기능을 갖는 생태수로.

【요약서】

【요약】

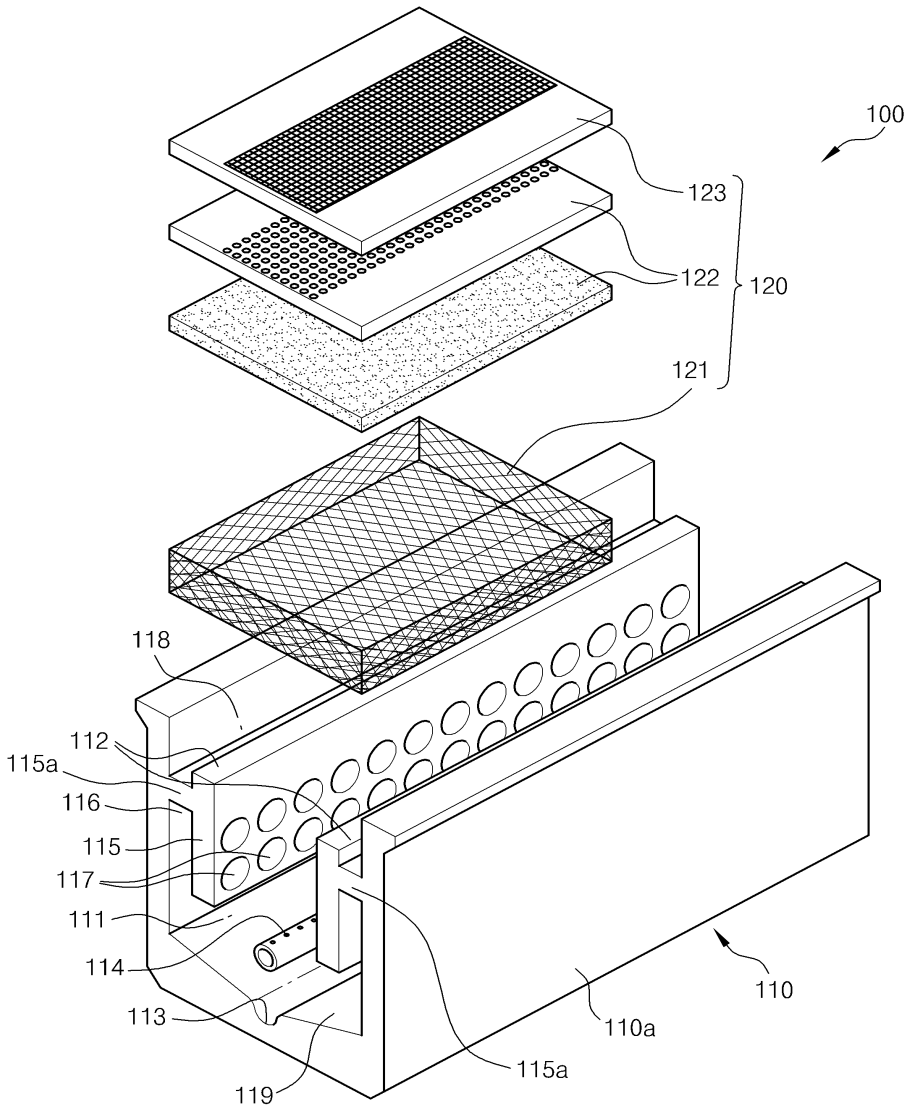
본 발명의 수질정화 기능을 갖는 생태수는 보가 설치된 하천에서 분기되어 우회되는 둔치에 설치되는 생태수를 마련하되, 상기 생태수는 내부에 수로공간을 갖는 수로블럭을 복수개 연이어 이음되게 형성하여 하천에 설치된 보의 상류와 하류를 우회시켜 흐르도록 하고, 상기 수로블럭의 상부에는 식생매트를 설치하여 식물을 식생시킬 수 있도록 포함한다.

【대표도】

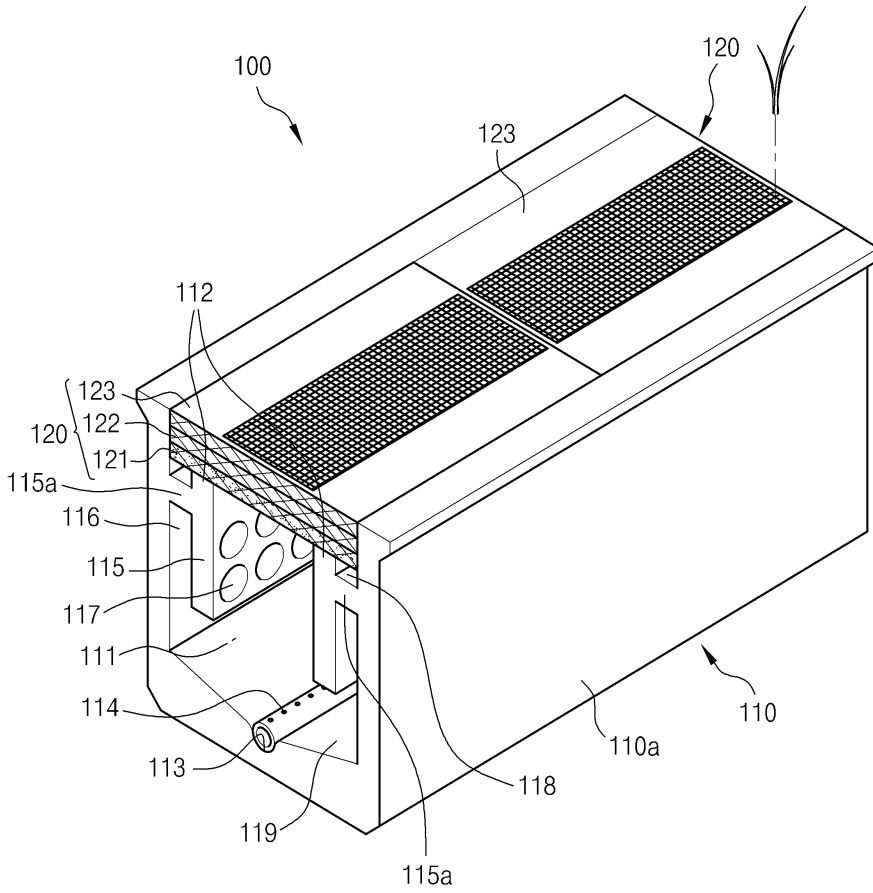
도 1

【도면】

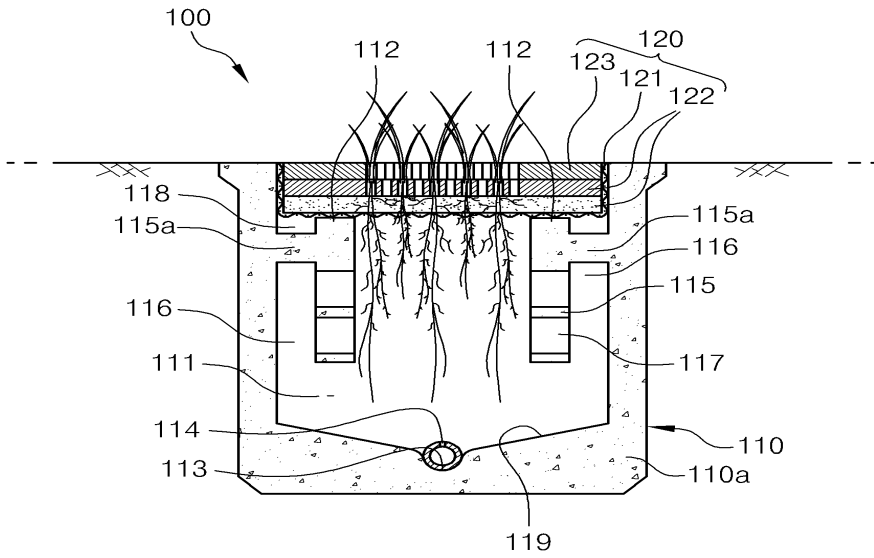
【도 1】



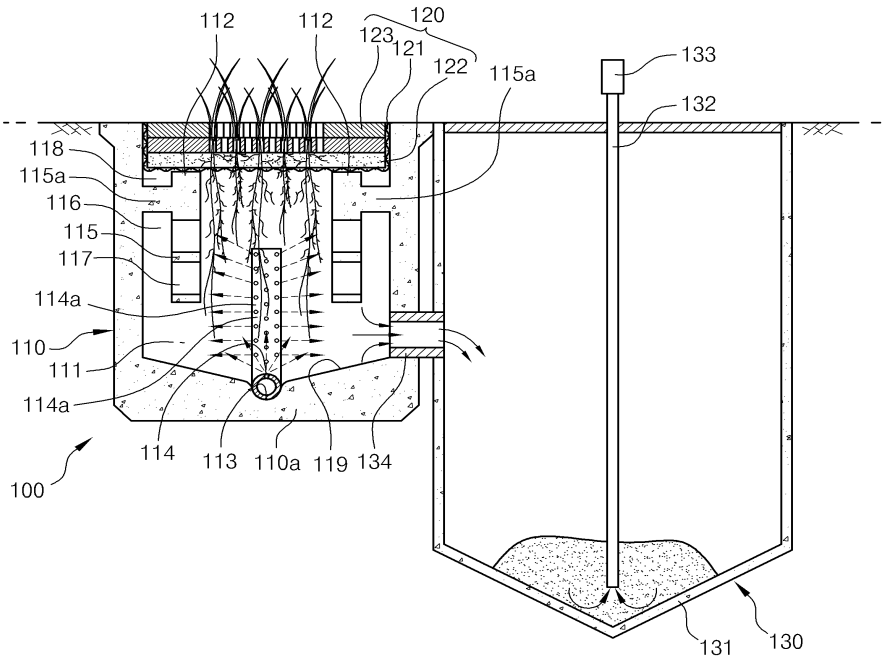
【도 2】



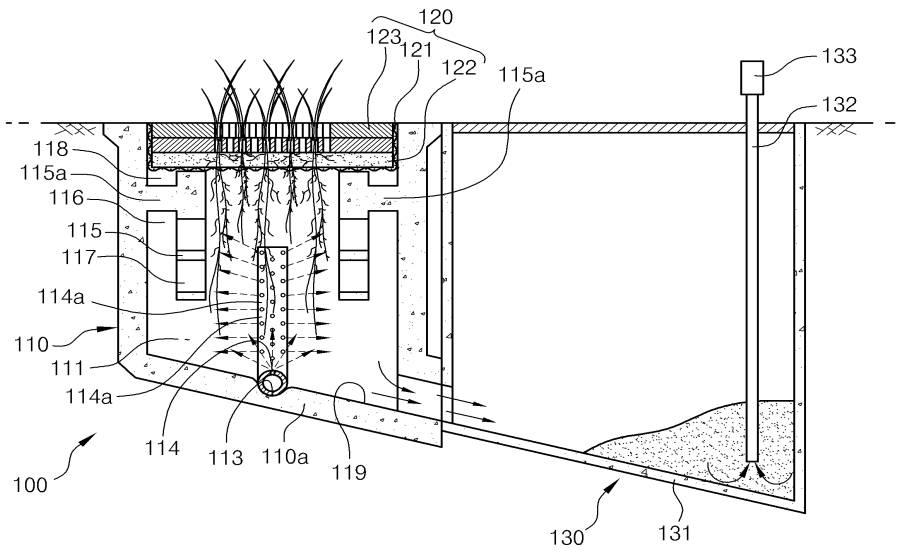
【도 3】



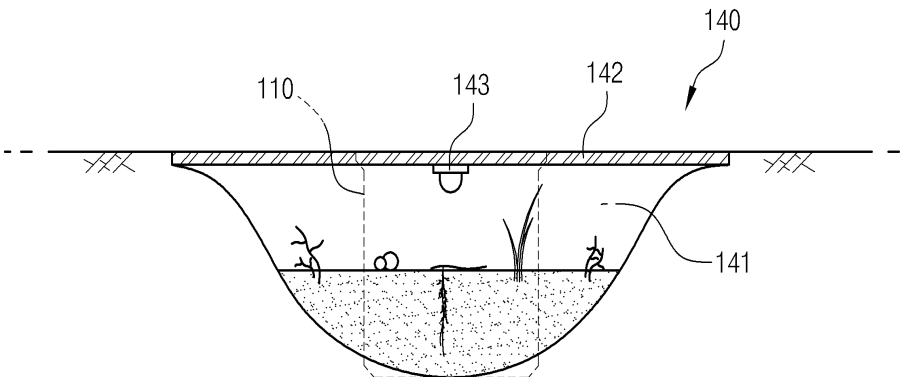
【도 4a】



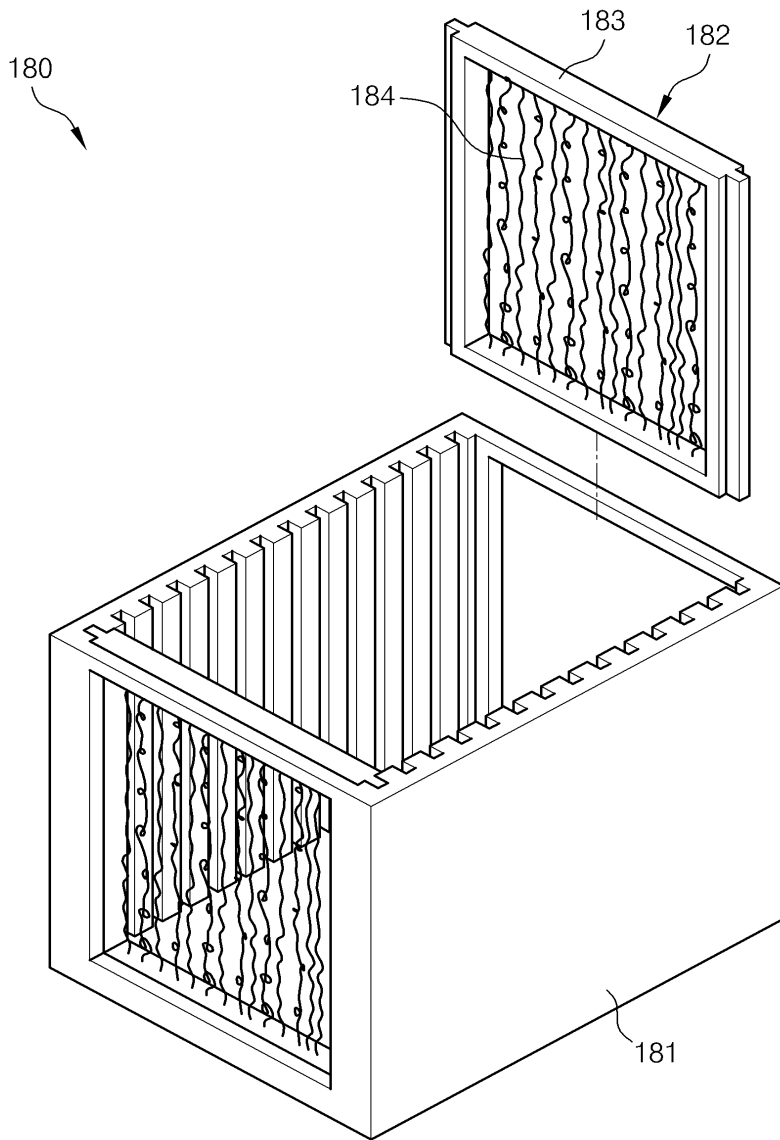
【도 4b】



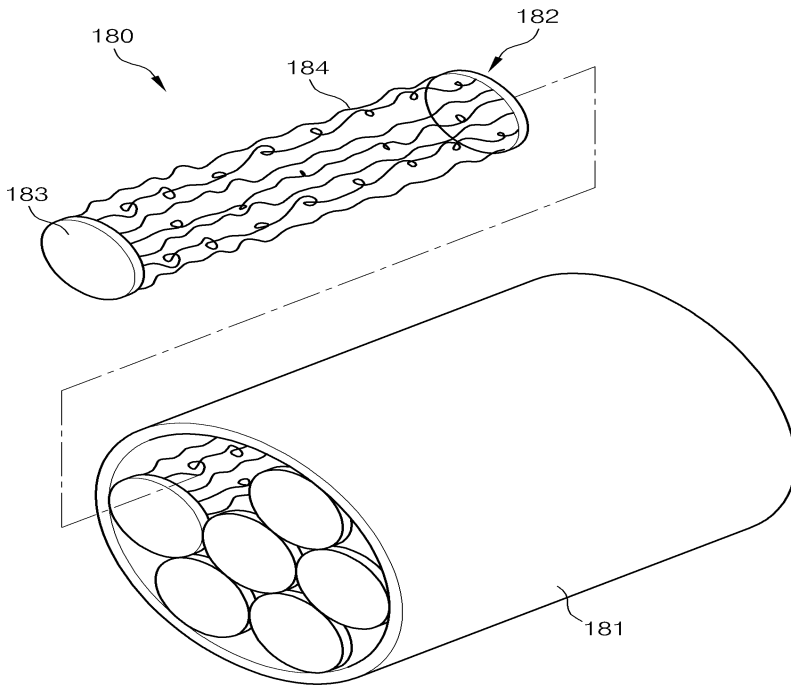
【도 5】



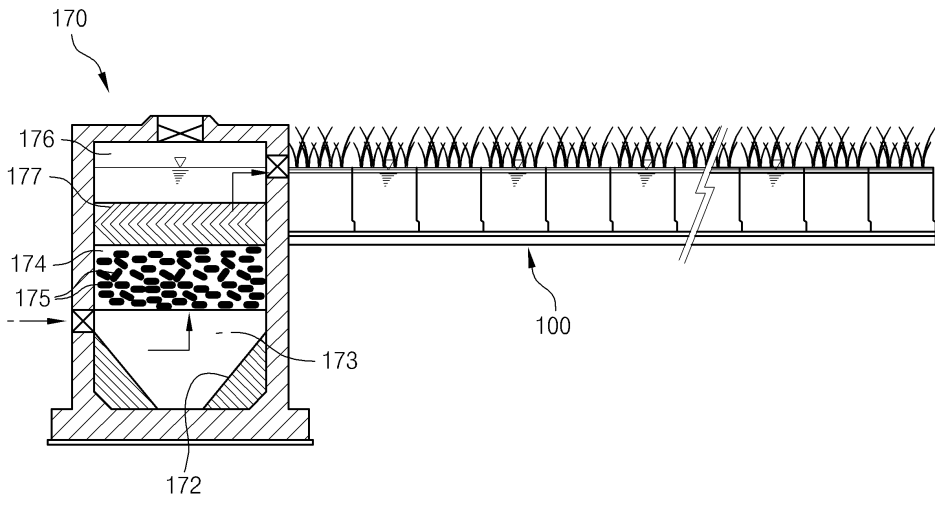
【도 6】



【도 7】



【도 8】



부록 2. 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태융합형 수상정화장치
(특허증, 기술명세서)



2016년 05월 10일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

최 동 규

【명세서】

【발명의 명칭】

수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치{}

【기술분야】

본 발명은 하천이나 호수 등의 물 위에 설치하여 수질을 개선하기 위한 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

산업이 고도로 발전하면서 환경오염이나 기후변화 또는 자원고갈 등이 화두가 되고 있는데, 그 중에서도 환경오염은 생활 터전에 직접적으로 영향을 주고 있어서 시급한 대처가 필요하다. 특히, 수질의 오염은 직접적으로 식수를 고갈시킬 뿐만 아니라, 수중 생태계의 파괴로 인한 식량자원의 고갈과 나아가 농업용수나 산업용수와 같은 이차 자원의 고갈을 야기하기 때문에 매우 중대한 사안이라 할 수 있다.

이런 이유로 종래에는 하천이나 호수로 유입되기 전에 수처리장을 설치하여 운용하였는데, 그럼에도 워낙 광범위한 지역에서 하천이나 호수로 오염원이 유입되기 때문에 하천이나 호수의 오염은 개선되지 못하는 실정이다.

따라서 최근에는 하천이나 호수에서 직접 오염원을 정화하기 위한 기술이 개발되고 있는데, 그 중에서도 하천이나 호수에 정화능력이 뛰어나 수생식물을 재배하면서 이를 통해 자연정화가 이루어지도록 하는 기술의 개발이 활발하게 진행중이다.

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

본 발명은 하천이나 호수 등의 물 위에 설치하면서 수생식물과 접촉여재에 의한 자연정화가 이루어지도록 한 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치를 제공하려는 것이다.

본 발명은 하천이나 호수 등의 수위 증감에 따라 높이가 가변적으로 조절되도록 한 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치를 제공하려는 것이다.

본 발명은 수류에 의한 저항을 줄여 보다 안정적인 설치가 이루어지도록 한 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치를 제공하려는 것이다.

【과제의 해결 수단】

본 발명의 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치는 수생식물을 심도록 하되, 뿌리를 수중으로 내리도록 하는 다수개의 식재 패널; 상기 다수개의 식재 패널을 고정 설치하기 위한 메인 프레임; 상기 메인 프레임의 하부에 고정 설치하여 상기 식재 패널이 수면 위에 떠 있도록 하는 부구; 상기 메인 프레임으로부터 하부에 설치되면서 수중에 상면이 개방된 정화 공간을 형성하되, 전방 하부에는 외부의 물이 유입되도록 유입구가 형성된 장막; 상기 장막의 바닥에 설치되어 장막의 형태를 유지하도록 형성된 웨이트 프레임; 상기 메인 프레임의 하부로부터 상기 장막 내부에 설치하되, 미생물의 배양을 통해 수중의 오염원을 정화하기 위한 다수개의 접촉여재를 상하 일정길이로 절단한 상태에서 이를 전후 또는 좌우 일정간격으로 배열 설치한 접촉 큐브; 상기 웨이트 프레임에 설치되고, 상기 메인 프레임으로부터 연결되는 공기 유입관을 이용하여 공기를 흡입하고, 흡입된 공기는 산기 펌프와 산기관을 이용하여 상기 웨이트 프레임을 통해 상기 접촉 큐브의 하부로 공기 방울을 공급하는 산기 수단; 및 상기 메인 프레임의 후방에 설치하되, 상기 장막 내부의 물을 외부로 배출하기 위한 배수 펌프 또는 스크루 형태의 배수 수단;을 포함하여 구성된다.

상기 접촉 큐브는 상기 메인 프레임에 고정 설치되면서 상기 접촉여재의 상단을 걸어 고정하기 위한 탑 프레임과 상기 접촉여재의 하단을 걸어 고정하면서 무게추의 역할을 하는 보텀 프레임에 의해 형성된다.

상기 메인 프레임과 웨이트 프레임 사이에 설치되면서 상기 장막의 전후좌우 네 모서리를 지지하는 지주를 형성하되, 상기 지주는 상하로 분리되어 상호 끼움 결합되면서 상하 길이가 가변되도록 한다.

상기 장막은 수류에 의한 저항을 줄이도록 전면 중앙이 뱃머리 형태로 돌출 형성된다.

상기 메인 프레임 상에 설치되면서 풍력 또는 태양광을 이용하는 발전 수단을 포함하여 구성된다.

상기 웨이트 프레임에 설치되는 유공관을 이용하고, 흡입 펌프를 이용하여 상기 장막의 바닥에 침전된 슬러지를 흡입 배출하기 위한 슬러지 배출 수단을 포함하여 구성된다.

상기 슬러지 배출 수단을 통해 배출되는 슬러지를 저장하도록 하되, 상기 메인 프레임의 일측에 연결 또는 분리할 수 있도록 형성된 슬러지 자장조;를 포함하여 구성된다.

【발명의 효과】

본 발명의 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치에 의하면 하천이나 호수 등의 물 위에 설치하면서 수생식물과 접촉여재에 의한

자연정화가 이루어짐에 따라 수질의 개선이 더욱 효율적으로 이루어지는 효과가 있다. 본 발명의 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치에 의하면 하천이나 호수 등의 수위 증감에 따라 높이가 가변적으로 조절되도록 함으로써, 수량 감소에 의해 수생식물이 물 위로 드러나 고사하는 것을 방지함은 물론이고, 수상 정화장치의 하부가 하천의 바닥에 접촉하여 파손되는 것을 방지하는 효과가 있다. 본 발명의 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치에 의하면 수류에 의한 저항을 줄여 보다 안정적인 설치가 이루어지도록 함으로써, 빠른 수류에 의한 망실이나 파손을 방지할 수 있는 효과가 있다.

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명이 적용된 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치를 도시한 사용상태도.

도 2는 본 발명이 적용된 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치를 도시한 사시도.

도 3은 본 발명이 적용된 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치를 도시한 분해 사시도.

도 4는 본 발명이 적용된 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치를 도시한 측단면도.

도 5는 본 발명이 적용된 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치의 장막을 도시한 사시도.

도 6은 본 발명이 적용된 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치의 실시 예를 도시한 단면도.

도 7 및 도 8은 본 발명이 적용된 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치의 다른 실시 예를 도시한 단면도.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부한 도면에 의거하여 구체적으로 살펴본다. 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정 해석되지 아니하며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

본 발명의 수생식물 및 접착여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치는 도 1 내지 도 8에 도시된 바와 같이 수생식물을 심기 위한 식재 패널(100), 상기 식재 패널을 설치하기 위한 메인 프레임(200), 상기 메인 프레임의 하부에 설치되는 부구(300), 상기 메인 프레임 하부에 정화 공간을 형성하는 장막(400), 상기 장막의 바닥에 설치되는 웨이트 프레임(500), 상기 메인 프레임의 하부로부터 상기 장막 내부에 설치되는 접착 큐브(600), 상기 웨이트 프레임에 설치되는 산기 수단(700) 및 상기 메인 프레임의 후방에 설치되는 배수 수단(800)을 포함하여 구성된다.

상기 식재 패널(100)은 수생식물을 심기 위한 것으로서, 심은 수생식물이 뿌리를 수중으로 내려 성장하도록 형성한다. 이와 같은 식재 패널(100)은 필요에 따라 설치 및 분리가 가능하도록 다수 개의 모듈로 구성하는 것이 바람직하다.

상기 식재 패널(100)은 도면에 도시된 바와 같이 수중에서 접착여재에 의한 생물학적 정화가 이루어지는 부분의 양측에 설치하는 것이 바람직하지만, 필요에 따라 생물학적 정화가 이루어지는 상부에도 설치할 수 있다. 이때, 상기 생물학적 정화가 이루어지는 부분의 양측에 설치되는 식재 패널 하부에서는 수생식물의 뿌리에 의해 동물성 플랑크톤이 증식하기 좋은 환경을 제공하고, 물고기의 은신처나 산란처를 제공하게 된다.

한편, 상기 식재 패널(100)에 의한 수생식물의 생장은 하천이나 호수 등의 수면을 은폐하기 때문에 햇빛을 차단하여 수 중 녹조발생을 억제할 수 있다.

상기 메인 프레임(200)은 상기 다수개의 식재 패널(100)을 고정 설치하기 위한 것으로서, 필요에 따라 도면에 도시된 바와 같이 중앙과 좌우를 구분하여 통로를 형성할 수 있다.

상기 부구(300)는 상기 메인 프레임(200)을 따라 하부에 고정 설치하여 상기 식재 패널(100)이 수면 위에 떠 있도록 하는 것으로서, 물에 잘 뜨는 스티로폼이나 플라스틱 통 또는 튜브가 될 수 있다.

상기 장막(400)은 상기 메인 프레임(200)으로부터 하부에 설치되면서 수중에 상면이 개방된 정화 공간을 형성하되, 전방 하부에는 외부의 물이 유입되도록 유입구(410)가 형성된다. 상기 장막(400)은 비닐이나 고무 또는 직물 재질로 형성함으로써, 후술하는 바와 같이 수위에 따라 접히거나 펼쳐짐이 용이하도록 한다.

상기 장막(400)은 실시 예로서 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이 상기 메인 프레임(200)과 후술하는 웨이트 프레임(500) 사이에 설치되면서 상기 장막(400)의 전후좌우 네 모서리를 지지하는 지주(420)를 형성하되, 상기 지주(420)는 상하로 분리되어 상호 끼움 결합되면서 상하 길이가 가변되도록 형성한다. 즉, 상기 지주(420)는 낚싯대와 같이 길이를 줄이거나 늘릴 수 있도록 하는 것인데,

수위가 높은 상태에서는 웨이트 프레임(500)의 무게에 의해 길이가 늘어났다가 수위가 줄어들면 장막과 함께 웨이트 프레임이 하천의 바닥에 닿으면서 길이가 줄어들어 드는 것이다.

상기 장막(400)은 실시 예로서 도 5에 도시된 바와 같이 수류에 의한 저항을 줄이도록 전면 중앙이 뱃머리 형태로 돌출 형성된다. 이때, 장막(400)의 돌출된 부분은 상기 메인 프레임(200)과 후술하는 웨이트 프레임(500)에 의해 지지되도록 한다.

상기 웨이트 프레임(500)은 상기 장막(400)의 바닥에 설치되어 장막(400)의 형태를 유지하기 위한 것으로서, 상기 메인 프레임(200)과 별도로 구성하되, 별도의 체인이나 와이어를 이용하여 연결할 수 있다.

상기 접촉 큐브(600)는 상기 메인 프레임(200)의 하부로부터 상기 장막(400) 내부에 설치하되, 미생물의 배양을 통해 수중의 오염원을 정화하기 위한 다수개의 접촉여재(610)를 상하 일정길이로 절단한 상태에서 이를 전후 또는 좌우 일정간격으로 배열 설치한다. 상기 접촉여재(610)는 미생물이 배양 서식할 수 있도록 나이론 또는 PE 등의 직물재로 형성된다. 이와 같은 접촉여재(610)는 오피수 정화장치에서 통상적으로 사용되는 것으로 한다.

상기 접촉 큐브(600)는 실시 예로서 상기 메인 프레임(200)에 고정 설치되면서 상기 접촉여재(610)의 상단을 걸어 고정하기 위한 탑 프레임(620)과 상기 접촉여재의 하단을 걸어 고정하면서 무게추의 역할을 하는 보텀 프레임(630)에 의해 형성된다. 따라서 앞서 설명한 바와 같이 상기 장막(400)이 수위가 낮아짐에 따라 접할 때 상기 접촉여재도 접히면서 높이 가변의 폭이 크게 이루어지도록 한다. 이때, 상기 탑 프레임(620)은 도면에 도시된 바와 같이 메인 프레임으로부터 일정거리 이격되도록 하여 그 사이에서 수생식물이 뿌리를 내려 채우도록 하면서 수생식물의 뿌리가 접촉여재(610)와 영키지 않도록 한다. 이를 통해 상기 수생식물의 뿌리가 천연의 접촉여재 역할을 수행함으로써, 미생물에 의한 생물학적 정화의 효과를 높일 수 있다.

상기 산기 수단(700)은 상기 웨이트 프레임(500)에 설치되고, 상기 메인 프레임(200)으로부터 연결되는 공기 유입관(710)을 이용하여 공기를 흡입하고, 흡입된 공기는 산기 펌프(720)와 산기관(730)을 이용하여 상기 웨이트 프레임을 통해 상기 접촉 큐브(600)의 하부로 공기 방울을 공급한다. 따라서 상기 산기를 통해 접촉여재(610)에서 배양되는 미생물에게 산소를 공급함과 아울러, 접촉여재(610)에 달라붙은 침전물을 떨어내고 바닥의 침전물을 부양시키면서 원활한 정화가 이루어지도록 한다. 이때, 상기 산기 수단(700)을 통해 주입되는 공기는 수중 용해율을 향상시키기 위하여 블로워나 콤프레서를 이용하여 압축하면서 마이크로 버블이나 나노 버블 형태의 미세기포로 단독 또는 병합하여 적용할 수 있다.

상기 배수 수단(800)은 상기 메인 프레임의 후방에 설치하되, 상기 장막 내부의 물을 외부로 배출하기 위한 배수 펌프 또는 스크루 형태로 형성된다. 이때, 상기 장막(400)의 후면을 관통하여 상기 배수 수단에 의한 물 배출이 원활하게 이루어지도록 할 수 있다.

본 발명은 일 실시 예로서 도 7에 도시된 바와 같이 상기 메인 프레임 상에 설치되면서 풍력 또는 태양광을 이용하는 발전 수단(900)을 포함한다. 상기 발전 수단(900)은 생성된 전기를 충전하였다가 상기 상기 수단의 상기 펌프 또는 배수 수단의 배수펌프나 후술하는 슬러지 배출수단의 흡입 펌프를 작동시키는 전원으로 사용한다.

본 발명은 다른 실시 예로서 도 8에 도시된 바와 같이 상기 웨이트 프레임에 설치되는 유공관(1010)을 이용하고, 흡입 펌프(1020)를 이용하여 상기 장막의 바닥에 침전된 슬러지를 흡입 배출하기 위한 슬러지 배출 수단(1000)을 포함하여 구성된다. 이와 같이 슬러지 배출 수단(1000)을 통해 장막의 바닥으로부터 흡입 배출되는 슬러지는 예를 들어 공기와 함께 빨아당겨 상류 측으로 뿜어 내도록 한다.

또한, 상기 슬러지 배출 수단(1000)은 실시 예로서 배출되는 슬러지를 상류 측으로 뿜어내지 않고 바로 옆에 일정량을 저장할 수 있는 슬러지 저장조(1030)를 포함하여 구성할 수 있는데, 상기 슬러지 저장조(1030)는 상기 메인 프레임(200)의 일측에 간편하게 연결 또는 분리할 수 있도록 하여 주기적으로 보관 및 분리하면서 육지로 쉽게 이송 처리할 수 있도록 한다.

이와 같은 구성의 본 발명에 의하면 하천이나 호수 등의 물 위에 설치하면서 수생식물과 접촉여재에 의한 자연정화가 이루어짐에 따라 수질의 개선이 더욱 효율적으로 이루어지게 된다.

또한, 본 발명은 하천이나 호수 등의 수위 증감에 따라 높이가 가변적으로 조절되도록 함으로써, 수량 감소에 의해 수생식물이 물 위로 드러나 고사하는 것을 방지함은 물론이고, 수상 정화장치의 하부가 하천의 바닥에 접촉하여 파손되는 것을 방지할 수 있게 된다.

또한, 장막의 전면이 뱃머리 형태로 돌출됨에 따라 수류에 의한 저항을 줄여 보다 안정적인 설치가 이루어지도록 함으로써, 빠른 수류에 의한 망실이나 파손을 방지할 수 있게 된다.

【부호의 설명】

100: 식재 패널

200: 메인 프레임

300: 부구

400: 장막

410: 유입구

500: 웨이트 프레임	
600: 접촉 큐브	610: 접촉여재
620: 탑 프레임	630: 보텀 프레임
700: 산기 수단	710: 공기 유입관
720: 산기 펌프	730: 산기관
800: 배수 수단	
900: 발전 수단	
1000: 슬러지 배출 수단	1010: 유공관
1020: 흡입 펌프	1030: 슬러지 저장조

【특허청구범위】

【청구항 1】

수생식물을 심도록 하되, 뿌리를 수중으로 내리도록 하는 다수개의 식재 패널;

상기 다수개의 식재 패널을 고정 설치하기 위한 메인 프레임;

상기 메인 프레임의 하부에 고정 설치하여 상기 식재 패널이 수면 위에 떠 있도록 하는 부구;

상기 메인 프레임으로부터 하부에 설치되면서 수중에 상면이 개방된 정화 공간을 형성하되, 전방 하부에는 외부의 물이 유입되도록 유입구가 형성된 장막;

상기 장막의 바닥에 설치되어 장막의 형태를 유지하도록 형성된 웨이트 프레임;

상기 메인 프레임의 하부로부터 상기 장막 내부에 설치하되, 미생물의 배양을 통해 수중의 오염원을 정화하기 위한 다수개의 접촉여재를 상하 일정길이로 절단한 상태에서 이를 전후 또는 좌우 일정간격으로 배열 설치한 접촉 큐브;

상기 웨이트 프레임에 설치되고, 상기 메인 프레임으로부터 연결되는 공기 유입관을 이용하여 공기를 흡입하고, 흡입된 공기는 산기 펌프와 산기관을 이용하여 상기 웨이트 프레임을 통해 상기 접촉 큐브의 하부로 공기 방울을 공급하는 산기 수단; 및 상기 메인 프레임의 후방에 설치하되, 상기 장막 내부의 물을 외부로 배출하기 위한 배수 펌프 또는 스크루 형태의 배수 수단;을 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치.

【청구항 2】

청구항 1에 있어서, 상기 접촉 큐브는,

상기 메인 프레임에 고정 설치되면서 상기 접촉여재의 상단을 걸어 고정하기 위한 탑 프레임과 상기 접촉여재의 하단을 걸어 고정하면서 무게추의 역할을 하는 보텀 프레임에 의해 형성된 것을 특징으로 하는 수생식물 및 접촉여

재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치.

【청구항 3】

청구항 1에 있어서, 상기 메인 프레임과 웨이트 프레임 사이에 설치되면서 상기 장막의 전후좌우 네 모서리를 지지하는 지주를 형성하되, 상기 지주는 상하로 분리되어 상호 끼움 결합되면서 상하 길이가 가변되도록 한 것을 특징으로 하는 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치.

【청구항 4】

청구항 3에 있어서, 상기 장막은 수류에 의한 저항을 줄이도록 전면 중앙이 뺏머리 형태로 돌출 형성된 것을 특징으로 하는 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치.

【청구항 5】

청구항 1에 있어서, 상기 메인 프레임 상에 설치되면서 풍력 또는 태양광을 이용하는 발전 수단을 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치.

【청구항 6】

청구항 1에 있어서, 상기 웨이트 프레임에 설치되는 유공관을 이용하고, 흡입 펌프를 이용하여 상기 장막의 바닥에 침전된 슬러지를 흡입 배출하기 위한 슬러지 배출 수단을 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치.

【청구항 7】

청구항 6에 있어서, 상기 슬러지 배출 수단을 통해 배출되는 슬러지를 저장하도록 하되, 상기 메인 프레임의 일측에 연결 또는 분리할 수 있도록 형성된 슬러지 저장조를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치.

【요약서】

【요약】

본 발명은 하천이나 호수 등의 물 위에 설치하여 수질을 개선하기 위한 수생식물 및 접촉여재를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치에 관한 것으로서, 구체적으로는 수생식물을 심기 위한 식재 패널; 상기 식재 패널을 설치하기 위한 메인 프레임; 상기 메인 프레임의 하부에 설치되는 부구; 상기 메인 프레임 하부에 정화 공간을 형성하는 장막; 상기 장막의 바닥에 설치되는 웨이트 프레임; 상기 메인 프레임의 하부로부터 상기 장막 내부에 설치되는 접촉 큐브; 상기 웨이트 프레임에 설치되는 상기 수단; 및 상기 메인 프레임의 후방에 설치되는 배수 수단을 포함하여 구성됨에 따라, 하천이나 호수 등의 물 위에 설치하면서 수생

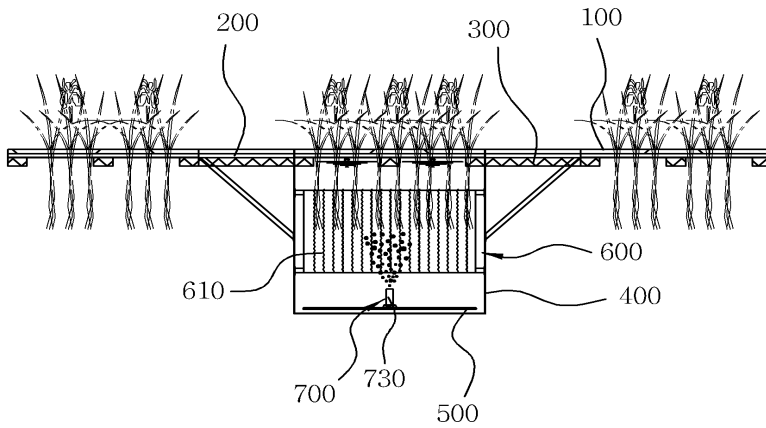
식물과 접촉여체에 의한 자연정화를 통해 수질의 개선이 더욱 효율적으로 이루어지도록 하는 수생식물 및 접촉여체를 이용한 생태 융합형 수상 정화장치를 제공하게 된다.

【대표도】

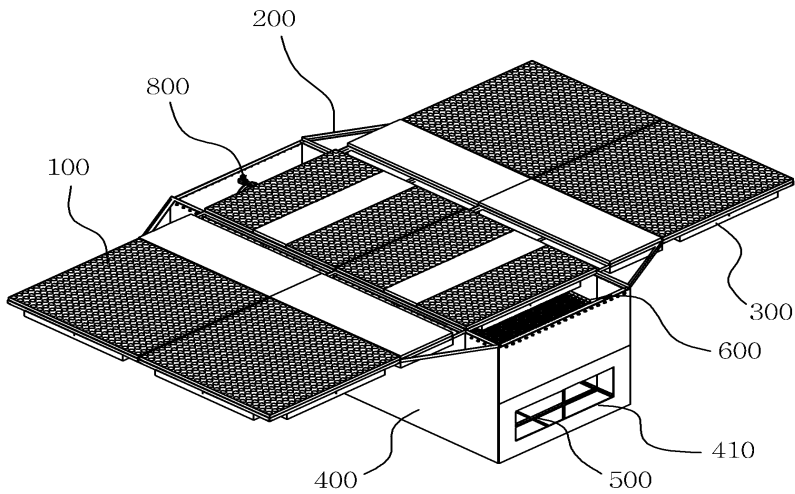
도 4

【도면】

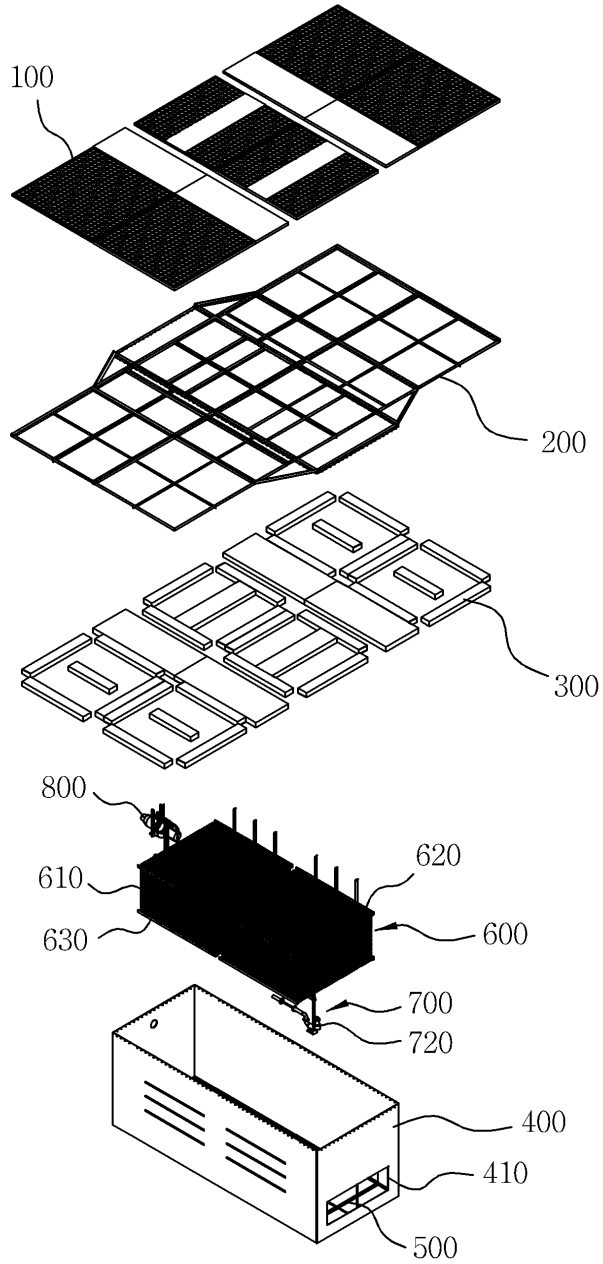
【도 1】



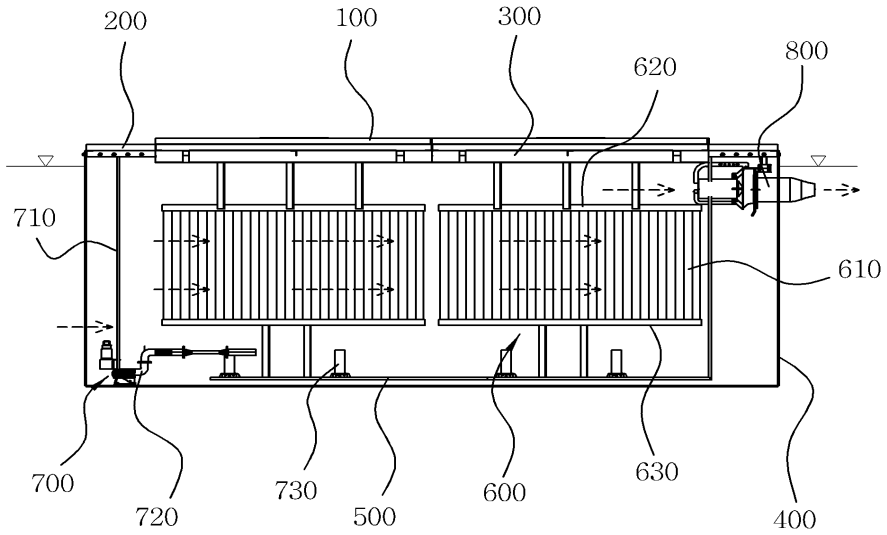
【도 2】



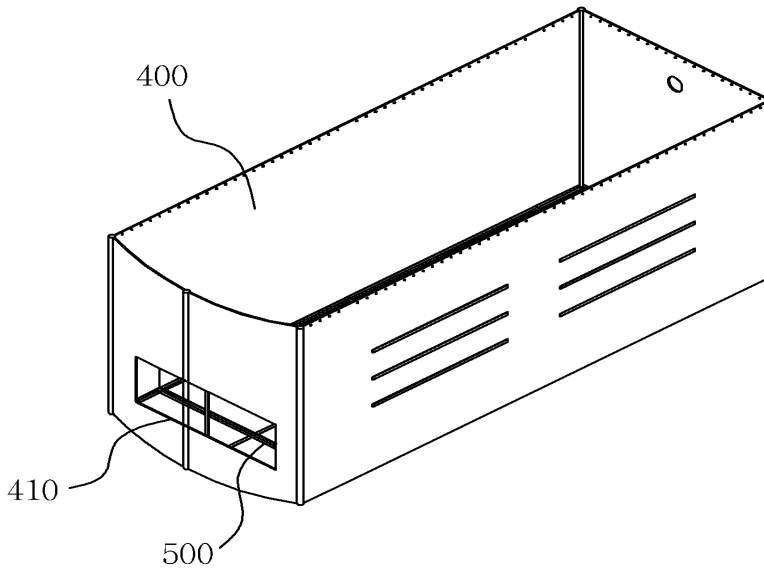
【도 3】



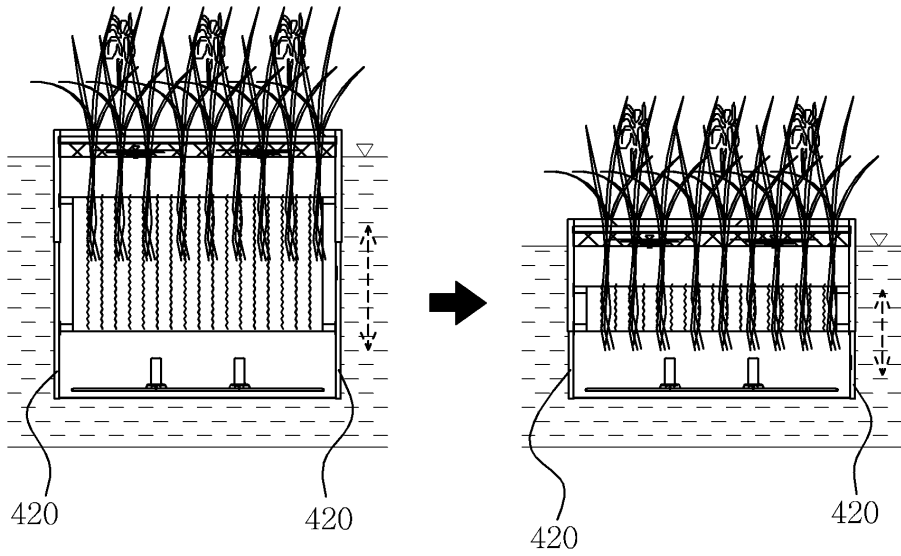
【도 4】



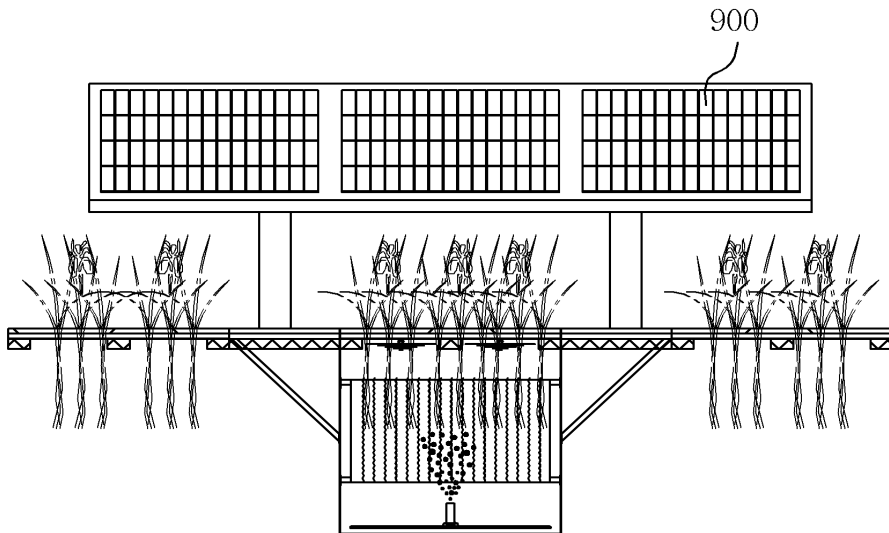
【도 5】



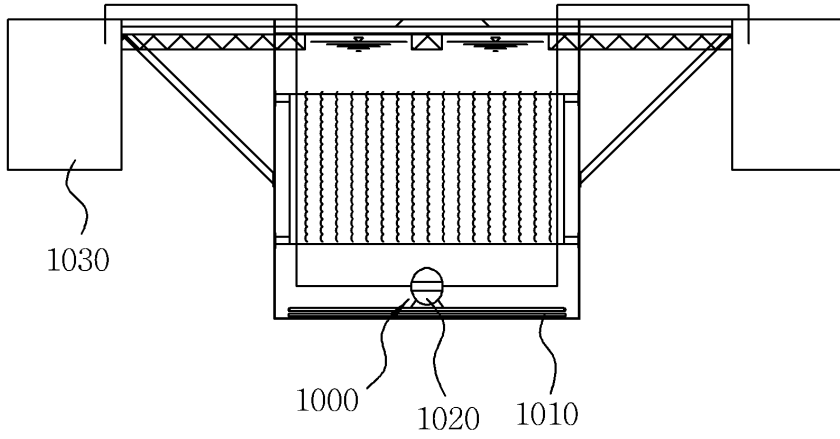
【도 6】



【도 7】



【도 8】



부록 3. 스크린, 와류, 여과 및 응집기능 복합형 종합 수처리장치
(특허증)



발명의 명칭 Title of the Invention
스크린, 와류, 여과 및 응집기능 복합형 종합 수처리장치

특허권자 Patentee
등록사항란에 기재

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention
has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2015년 12월 08일



특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

최 동 규

참 여 연 구 원

목 차		소 속	참여자
1장	서론	농어촌연구원	최선화
2장	연구대상지구 현황 호소, 유입하천 수질분석 퇴적물 오염도 조사 및 평가	농어촌연구원	최선화 김민규 유선아
	정기조사/연속모니터링	충북대학교	정세웅
	퇴적물 용출실측/내부부하 평가	충북대학교	전항배
3장	수처리시스템 수질정화효율평가 산소 공급장치 성능 평가 바이오스톤 접촉산화시스템 기술개발 및 플랜트 설치 슬러지 인발실험/슬러지 양 산출	농어촌연구원	최선화
	저수지 수질개선효과(모델링)	충북대학교	정세웅
	미생물 부착능력 평가	충북대학교	전항배
4장	물질수지 해석 및 최적규모 산정	충북대학교	정세웅
5장	호소 수질정화선 시제품 제작 및 성능 평가 수생태계에 미치는 영향 평가	농어촌연구원	최선화 김해도
6장	유입수 대책 경제성/기술성 평가	충북대학교	정세웅
	호소수 대책 경제성/기술성 평가	농어촌연구원	최선화
	초기강우시설 경제성/기술성 평가	충북대학교	정세웅
7장	결론 및 제언	농어촌연구원	최선화 이승헌

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 : 양질의 농업용수 확보를 위한 융복합 수처리 기술 개발 및 적용(Ⅲ)	
발 행 일	2016. 12
발 행 인	이 용 직
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 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.	