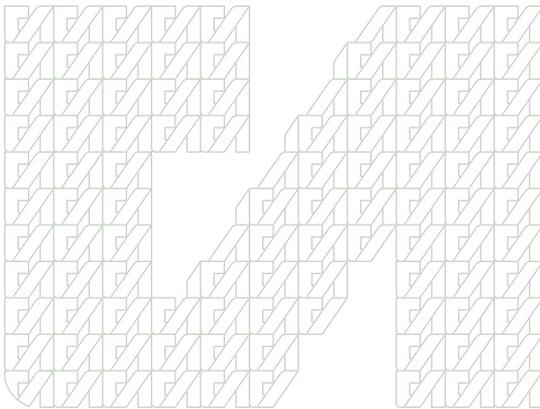


대전시 인공습지 특성파악 및 관리방안 수립

이재근 · 정환도 · 이은재 · 문충만



기본연구 2018-19

대전시 인공습지 특성파악 및 관리방안 수립

이 재 근 · 정 환 도 · 이 은 재 · 문 총 만

연구책임

- 이재근 / 도시기반연구실 책임연구위원

공동연구

- 정환도 / 도시기반연구실 책임연구위원
- 이은재 / 도시기반연구실 책임연구위원
- 문충만 / 도시기반연구실 연구위원

기본연구 2018-19

**대전시 인공습지 특성파악 및
관리방안 수립**

발행인 박재욱

발행일 2018년 11월

발행처 대전세종연구원

34863 대전광역시 중구 중앙로 85(선화동)

전화: 042-530-3500 팩스: 042-530-3528

홈페이지 : <http://www.dsi.re.kr>

인쇄: 중부인쇄기획 TEL 042-253-7537 FAX 042-253-7538

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시와 세종특별자치시의 정책적
입장과는 다를 수 있습니다.

출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

요약 및 정책건의

■ 연구 배경 및 필요성

- 대청호 인공습지의 설치 배경
 - 대청호를 비롯하여 전국적으로 깨끗이 보존해야 할 공공수역에 유입되는 비점오염원 저감을 위한 목적의 인공습지가 다수 있음
 - 자연형 비점오염원 저감시설에 해당하는 인공습지는 대청호 유역에서 발생한 비점오염원을 처리하여 보다 적은 오염부하량을 배출하기 위한 목적으로 설치함
- 대청호 인공습지 기능의 문제점 발생
 - 대청호 유역에 존재하는 인공습지는 대부분 지방자치단체에서 관리하고 있으며, 인력의 한계가 있어 제초작업과 같은 간단한 관리만 진행하는 수준에 머물러 있음
 - 비점오염원의 저감을 위해 인공습지가 설치되었지만 실제 운영결과, 비점오염원 저감 목적을 충실히 달성하는 경우가 많지 않음
- 인공습지 고유의 기능 수행의 어려움
 - 인공습지는 오수, 폐수, 축산폐수, 광산폐수 등 확실한 오염원을 대상으로 설계를 하지만, 국내 조성사례는 비점오염 배출이 의심되는 유역을 대상으로 조성하여 인공습지의 기능을 확보하기 어려움
 - 실제 운영 중인 인공습지들을 방문한 결과, 매우 적은 유입수와 넓은 면적으로 건기시에는 유출농도가 더 높아 보이고 저류되어 있는 물의 탁도가 높은 것으로 관측됨
- 연구의 필요성
 - 대전시에 입지한 인공습지의 현황 파악, 인공습지 저감효율의 확인, 인공습지 기능의 재검토, 신규 인공습지 설계인자 및 관리방안을 제안할 필요가 있음

■ 연구목적 및 내용

- 대전시 대청호 유역 인공습지 현황의 정밀 검토
 - 대전시 내 인공습지가 7개소 존재하지만 운영자료는 거의 존재하지 않음. 비점오염원 저감여부가 불확실한 가운데, 이를 판단할 수 있는 데이터를 축적하고자 함
- 인공습지 관리방안의 마련 및 후속 인공습지의 설계인자 제시
 - 인공습지의 실질적인 수질 개선효과 및 습지의 다양한 기능을 활용할 수 있는 방안을 모색하며, 향후 설치하는 인공습지의 조건 및 설계인자를 제시하여 바람직한 인공습지의 모습을 제시하고자 함
- 인공습지의 기능 재부여
 - 수질모니터링, 입지 및 오염원과의 관계를 통하여 현재의 인공습지를 운영하는 새로운 기능을 부여하고자 함

■ 대전시 인공습지 운영현황

[표] 대전시 비점저감형 인공습지 조사결과

순번	습지명	주 소	유형	목적
1	대청호 수변공원 인공습지 (추동)	동구 추동 328번지 일원	자연형 시설	수생식물 식재를 통한 자연학습장 조성
2	비룡마을 비점오염저감시설	동구 신상동 674번지 일원	자연형 시설	친환경 녹색공간 조성
3	삼정 생태공원 (강촌)	대덕구 삼정동 83번지 일원	자연형 시설	비점오염원 수질개선
4	삼정 생태공원 (이촌)	대덕구 삼정동 36번지 일원	자연형 시설	비점오염원 수질개선
5	삼정동 비점오염저감시설	대덕구 삼정동 165번지 일원	자연형 시설	수질보전, 지역주민의 삶의 질 향상
6	이현동 생태습지	대덕구 이현동 1번지 일원	자연형 시설	생태보전 및 주민의 소득증대, 비점저감형
7	대청호 인공습지	동구 세천동 105-5번지 일원	자연형 시설	오수/조류발생 저감, 환경친화 생태공원

■ 대전시 인공습지의 특성 검토

○ 비점오염물질 저감의 미흡

- 비점오염물질 저감 사업으로 예산이 지원되었지만 관리가 잘 이루어지지 않아 자연형 습지와 같이 변화한 습지가 존재함
- 비점오염물질 저감이 잘 이루어지지 않지만 생태계의 보호, 교육활동의 장으로 의미를 갖는 습지가 존재함
- 강수시 빗물과 함께 유입되는 오염물질을 인공습지에 저장하여 오염부하의 급격한 유출을 방지하기도 하지만, 건기 시 유입농도보다 유출농도가 더 높은 상황이 발생하기도 함

○ 인공습지 장소의 부적절성

- 일부 인공습지는 유입수가 부족하여 인근 하천수로 유지용수를 충당하는 경우가 있음
- 전체적으로 인공습지 유입수가 설계기준보다 깨끗해 오염물질 저감을 기대하기 어려운 경우가 있음

○ 인공습지 인근의 환경

- 인공습지 주변에 불법경작지가 있지만, 정작 경작지의 유출수는 인공습지에 유입되지 않고 공공수역으로 유출됨
- 인공습지 내에 파손된 시설물이 있어 안전을 위한 점검이 필요한 습지가 발견됨

○ 인공습지 이용의 정체성

- 인공습지가 다양한 원인으로 원래 목적에 부합하지 않은 상황이 있음
- 생태교육의 목적으로 활발히 이용되기도 하지만, 접근성이 좋지 않은 인공습지의 경우 교육적 활용이 매우 낮음
- 일부 인공습지는 일반인의 진입을 통제하여 목적이 한정되는 곳도 있음

■ 대전시 인공습지의 모니터링

○ 모니터링 시기

- 인공습지에서 수생식물의 성장이 있는 건기1차, 비점오염물질이 추가로 유입되는 우기, 그리고 수생식물이 사멸하는 건기2차로 구분하여 모니터링 실시함

○ 모니터링 인공습지의 선정

- 유입 및 유출의 확인이 가능하며 모니터링이 용이한 곳, 중규모 이상인 곳, 복합 목적을 가지고 있는 곳을 조건으로 유입/유출 수질의 모니터링을 수행함. 이에 비룡마을 및 삼정동 비점오염 저감시설을 선정

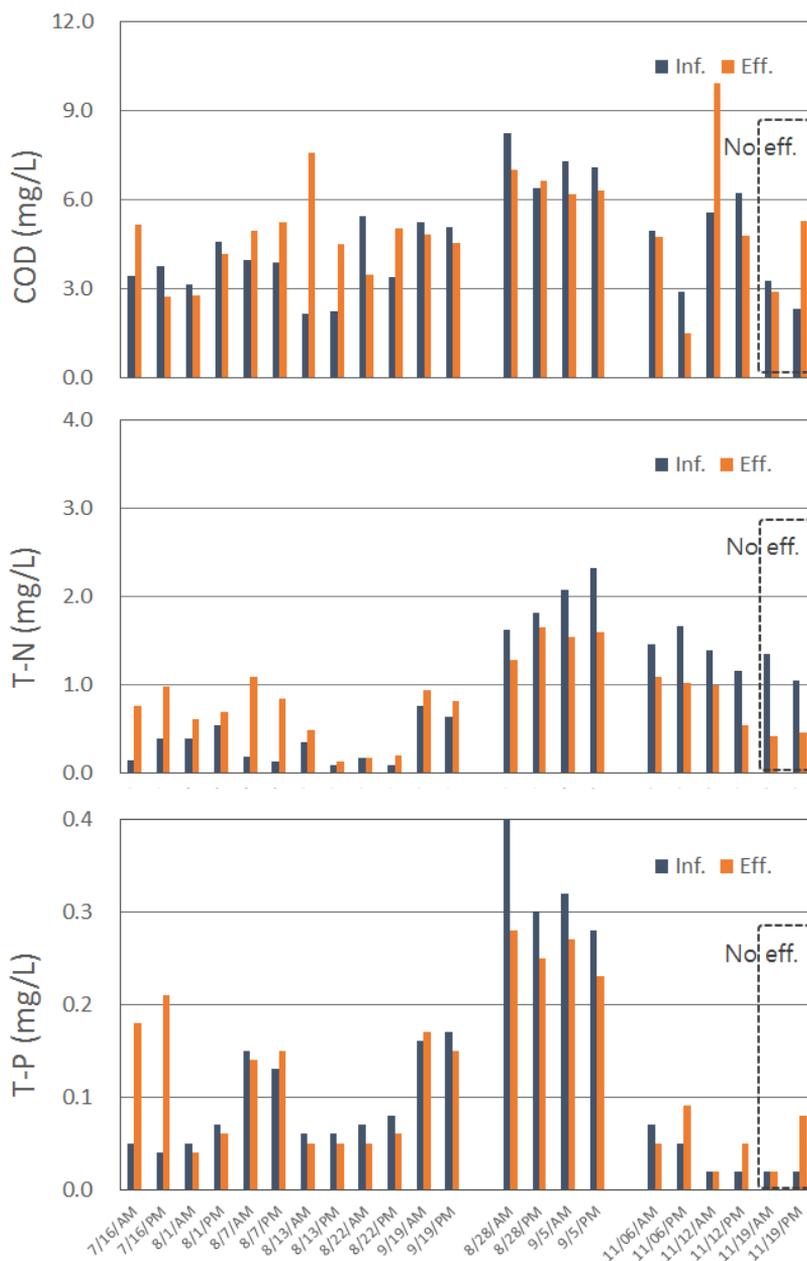


[그림] 비룡마을 비점오염 저감시설 모니터링 준비



[그림] 삼정동 비점오염 저감시설 모니터링 준비

○ 비룡마을 비점오염 저감시설의 수질 항목별 모니터링 결과

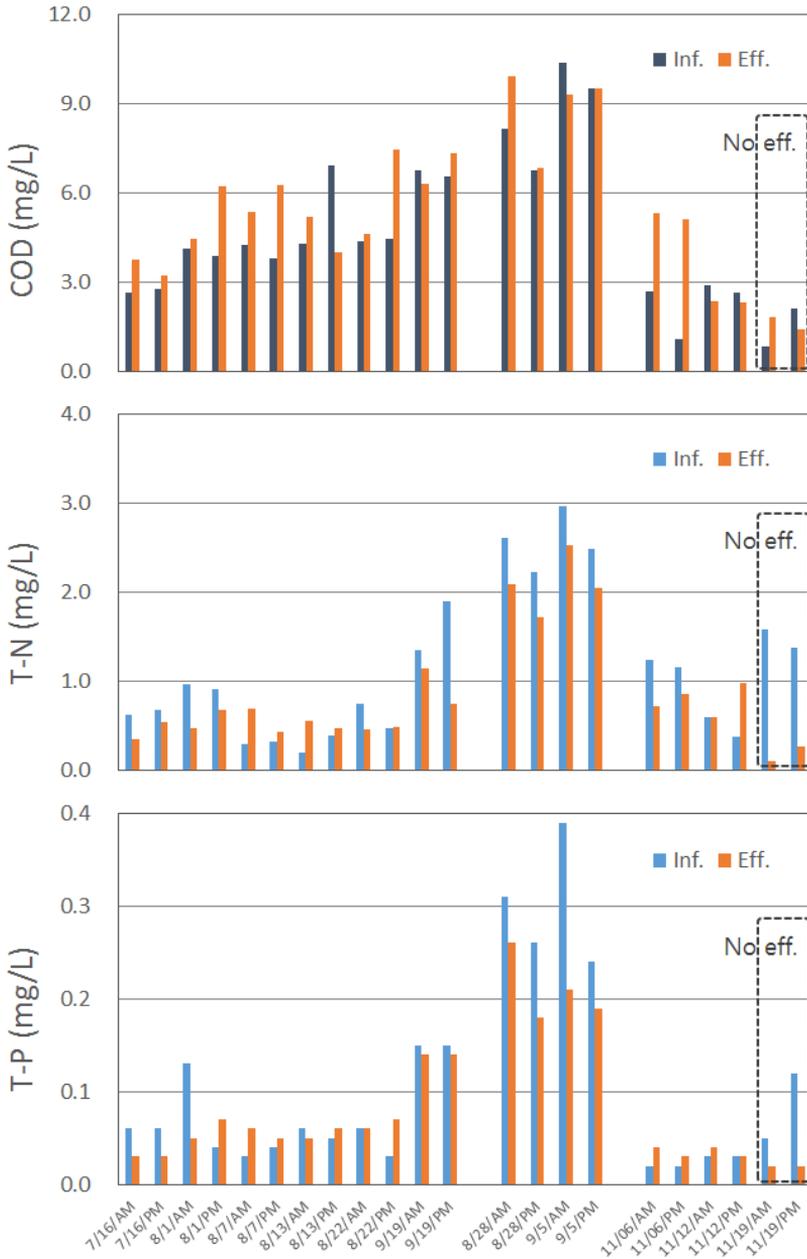


[그림] 비룡마을 비점오염 저감시설의 COD, T-N, T-P 모니터링 결과

○ 비룡마을 모니터링 결과의 분석

- 일반현황 : 유입수 투명도는 양호하였고, 유출수의 투명도 또한 양호하였음. 반면에 습지는 바닥이 잘 보이지 않을 정도로 투과성이 낮았으며 침전된 슬러지 및 사멸된 수생식물을 발견할 수 있었음. 습지의 바닥 높이가 수시로 변화하여 체류되지 않고 통과하는 dead space 또 발견되었음. 건기시에는 유입수 대부분을 계곡수를 유입시켜 인공습지를 운영함
- COD : 건기에는 유입수와 유출수의 상관성을 찾아보기 어려웠으며, 유출수의 수질이 나빴음(제거효율 -25.55%). 우기에는 유출수질의 상승폭에 비하여 유입수질의 상승이 커 9.98%의 제거효율을 보였음
- T-N : 건기의 유입수와 유출수의 상관성은 매우 낮았으며, 유출수의 수질이 대부분 나빴음(제거효율 -116.38%). 다만, 우기에는 유출수질에 비하여 유입수질이 많이 상승하여 22.51%의 제거효율을 나타냄
- T-P : 건기에 유입수와 유출수의 상관성은 높지 않았으며, 유출수의 수질이 대부분 나빴음(제거효율 -48.03%). 우기에는 유입수질이 많이 상승하였으나 유출수질의 상승폭은 크지 않아 20.77%의 제거효율을 보였음
- 결과 : 건기에는 시기별로 차이는 있었지만 유입수보다 유출수의 수질이 전반적으로 나쁜 결과를 나타냄. 반면 우기에는 유입수질의 높게 상승하였지만 유출수질은 인공습지의 침전/완충효과로 인하여 상승폭이 크지 않아 수질이 낮아지는 효과를 보임. 이는 몇 년 이상 운영한 인공습지에서 우기에는 유입된 오염물질이 침전되어 오염물의 유출이 적어진 반면, 건기에는 인공습지 내에 침전되어 있던 슬러지 및 수생식물의 사멸체에서 배출되는 성분이 오염물질의 원인이 되어 유출되기 때문으로 판단됨

○ 삼정동 비점오염 저감시설의 수질 항목별 모니터링 결과

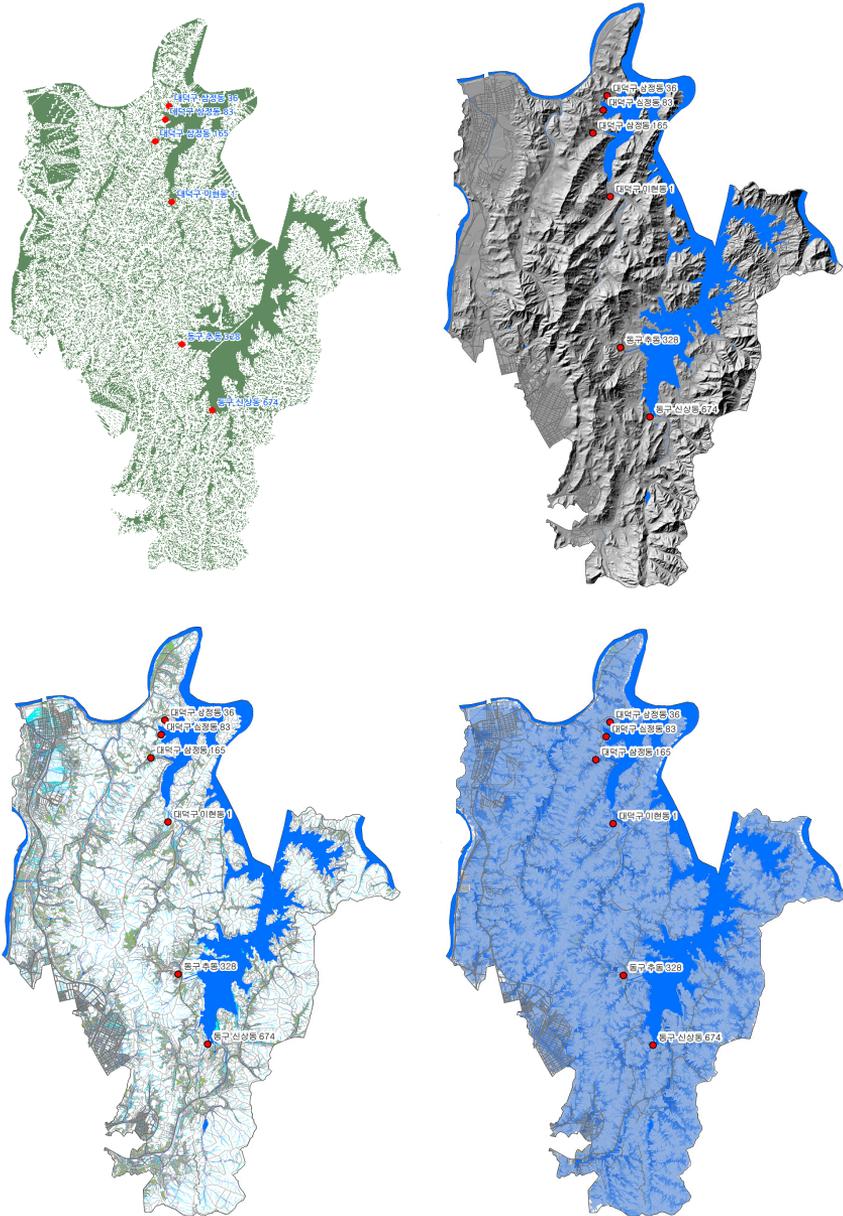


[그림] 삼정동 비점오염 저감시설의 COD, T-N, T-P 모니터링 결과

○ 삼정동 모니터링 결과의 분석

- 일반현황 : 인공습지 유입수와 유출수의 투명도는 모두 양호하였음. 반면에 습지에서는 바닥이 잘 보이지 않을 정도로 투과성이 낮았으며 침전 슬러지 및 사멸 수생식물을 여러 곳에서 확인함. 습지의 바닥 높이가 수시로 변화하여 일부 공간은 물이 거치지 않는 공간도 있었음. 인공습지를 이용하는 수원은 대부분 해당구역의 계곡수를 유입시키고 있으며, 유입을 위한 웨어(weir)의 기준수위 이상은 기존의 도랑으로 방류하고 있음
- COD : 건기에는 유입수와 유출수의 상관성을 찾아보기 어려웠으며, 유출수의 수질이 나빴음(제거효율 -44.95%). 우기에는 유출수질과 유입수질이 동시에 상승하여 -2.33%의 제거효율을 보였음
- T-N : 건기의 유입수와 유출수의 상관성은 높지 않았으며, 유출수의 수질이 일반적으로 양호하였음(제거효율 -13.56%). 또한, 우기에도 유출수질에 비하여 유입수질이 비슷하게 상승하여 18.42%의 제거효율을 나타냄
- T-P : 건기에 유입수와 유출수의 상관성은 높지 않았으며, 유입수 농도변화가 컸으나 유출수의 수질은 일정한 수준을 유지하였음(제거효율 -21.57%). 우기에는 유입수질의 상승에 비하여 유출수질의 상승폭은 크지 않아 30.00%의 제거효율을 보였음
- 결과 : 대체적으로 건기 및 우기에 비룡마을 비점오염 저감시설에 비교하여 유출수질이 악화되는 경우는 크지 않았음. 하지만, 대체적으로 건기보다는 우기에 오염물질의 제거가 안정적이었던 것을 알 수 있었음. 우기 시 유출수질이 개선된 이유는 비룡마을과 마찬가지로 우기에 인공습지에 유입되는 비점오염물질의 침전/완충효과로 유출을 억제하였기 때문으로 판단됨. 비룡마을에 비하여 삼정동의 건기 시 유출수질의 악화가 심하지 않았는데, 이는 삼정동보다 비룡마을에 고속도로 등에서 비점오염물질이 더 많이 유입되어 인공습지에 축적되었기 때문으로 판단됨

■ 자연형 저감시설의 적정입지 분석 결과



[그림] 인공습지의 입지분석 순서 (상좌 ①, 상우 ②, 하좌 ③, 하우 ④)

○ 적정입지 분석방법

- 인공습지의 입지 분석을 위하여 [그림]의 ①~④와 같은 절차를 거침
- 분석의 순서 : 대상구역의 결정(금본F 단위구역) → ①등고선자료 확인 → 물의 흐름 기초 이미지 작성 → ②지표면의 3차원 분석 → 물의 흐름 도식화
- 물의 흐름을 도식화하기 위하여 ③본류(대청호)에 유입되는 하천의 차수를 고려한 물길 분석을 하였으며 지류의 차수를 분류하기 위하여 색깔별로 나타내었음
- 추가적으로 ④유출지점에 대한 유량을 연계하기 위한 유역을 분석함

○ 인공습지별 세부 분석

- 비룡마을 및 삼정동 비점오염저감시설은 비교적 넓은 곳에서 비점오염물질을 유입시키는 유역적 특성을 가짐
- 비룡마을 비점오염저감시설 외에는 특별히 유입시켜야 할 오염원이 없어, 비점오염물질 저감이라는 특별한 기능을 수행하지 못함
- 향후에는 빗물의 수집, 상류구역의 오염원, 전국오염원조사에서 나타나지 않는 특별한 유출 등을 고려한 인공습지의 입지분석이 필요함



[그림] 비룡마을 비점오염저감시설(좌) 및 삼정 생태공원(우)

■ 정책제언

○ 대상 오염물질을 고려한 설계기준 마련

- 제거 대상이 되는 오염물질에 따라 다음과 같은 설계인자들을 고려하여야 할 것임
- 유입수의 생물화학적 성상(각종 오염항목의 농도), 강수에 따른 유입 유량의 변화, 강수에 따른 유입부하량 변화 등 오염의 특성을 객관화해야 할 것임
- 특히, 지리정보시스템 및 전국오염원조사 자료에 따라 계획하는 인공 습지에 유입되는 오염부하량을 산정해야 함
- 위의 인자를 고려하여 인공습지 설치 적정성 여부를 검토할 수 있도록 해야 할 것임

○ 인공습지 신설시 고려사항

- 저류조 : 입자성 오염물질이 침강지 및 습지에 유입되어 바닥에 침전되는 문제점이 있음. 강수에 의한 유출 비점오염물질이 포함된 유량을 일시적으로 저류하여야 하며, 이를 위한 강수량 및 표면유출율이 고려되어야 함
- 침강지 : 저류조가 없을 경우 침강지가 저류조의 역할을 수행해야 함. 저류조보다 안정적인 유량으로 유입되어 부유물질을 침전시키는 기능을 하여야 함. 되도록 자연유하로 후속단계 습지로 연결되어야 함
- 깊은습지 : 수생식물의 오염물질 흡수를 기대할 수 있음. 또한 매우 긴 체류시간으로 인하여 하부의 낮은 용존산소로 인한 탈질화 및 인의 과잉배출과 같은 생물학적 작용이 일어날 수 있음
- 얇은습지(지표흐름습지) : 수생식물의 오염물질 흡수 및 습지미생물 및 토양미생물의 호기성 오염물질 분해를 기대할 수 있음
- 생태침강지(생태여과지) : 입자상태가 아닌 이온상태의 오염물질을 수생식물 등에 의하여 제거시키는 역할을 기대할 수 있음

- 방류조 : 유출 전 공공수역의 생태계 등을 위하여 일정 이상의 용존산소를 유지하여야 함
- 원활한 수리학적 흐름 : 유입과 유출의 고저차가 크지 않은 경우 비점오염물질의 흐름이 원활하지 않을 수 있으며, 그러한 현상이 곳곳에서 확인됨. 인공습지의 저에너지 활용이라는 의미에 부합할 수 있도록 자연유하 방식을 확실히 적용할 수 있는 설계를 해야 할 것임
- 상황에 따른 산소공급 시스템 구축 : 습지의 반응조에 혐기성 조건이 이루어지지 않도록 일정구역에 대한 산소공급이 필요함. 낮은 체류시간, 낮은 수위, 공기공급장치의 사용이 방안이 될 수 있음. 특히, 인공습지 마지막 반응조의 용존산소 농도를 높일 필요가 있음
- 적절한 수위 유지 : 수생식물의 생육조건, 오염물질 처리효율, 야생동물의 서식의 조건 등을 고려하여 수위를 조절하여야 할 것임

○ 설치된 인공습지의 운영개선을 위한 제안

- 시기별 관리방안 마련 : 비가 오지 않는 시기에 비하여 갈수기, 홍수기에는 유입유량이 크게 증가함. 이러한 충격부하에 대비하여 저류조를 설치하고 일시 저류하여야 하지만, 그렇지 않을 경우에는 유입부에 과다한 유입을 배제하는 수문 등의 장치가 필요함
- 체류시간 관리 : 수생식물, 토양미생물, 수생미생물의 오염물질 제거를 위해 적절한 체류시간을 준수해야 함. 인공습지 반응조 안에서의 최적 체류시간을 위하여 유입유량을 조절할 수 있는 월류웨어 및 수문 등의 설치가 필요함
- 준설 등의 관리 : 인공습지의 대표적인 오염물질 기작은 침전 및 흡착임. 운영기간이 길어짐에 따라 퇴적층이 두꺼워져 저류용량의 감소 및 슬러지로 인한 오염유출 가능성이 커지므로, 이를 방지하기 위하여 퇴적층을 준설할 필요가 있음
- 식생관리 : 인공습지에 적용된 수생식물의 흡수는 인공습지의 대표적인 오염물질을 제거 기작임. 수생식물이 사멸되기 전에 효율적 제거방

안(자르기, 태우기 등)의 방법으로 식생을 제거하는 방법을 선택하여야 함. 갈대 고사체 제거는 수확법이 바람직하지만 갈대 뿌리에 존재하는 많은 미생물은 동절기에 오염물질 제거 기작에 적용되므로 훼손되지 않도록 관리할 필요가 있음

○ 인공습지 목표 달성을 위한 기타사항

- 습지의 생태적 가치를 확인하고 이를 법적으로 인정받기 위한 절차를 수립하여야 함
- 엄격히 보호되는 습지(인공습지, 자연습지)와 농업습지의 분포 및 경계의 구분
- 수확작물이 있는 농업습지의 환경적 능력을 다시 정의하고 명확히 하여야 함
- 농업습지의 경우, 전통적인 친환경 농업 아이디어와 현대 농업기술(물 절약 농업, 홍수저항 번식, 유기비료, 제로 비료 및 살충제)을 정리하여야 할 것임
- 교통, 시설, 체험 활동 및 서비스 등의 개선으로 습지로의 접근성 및 매력의 향상시켜야 함
- 다양한 미디어, 농민 참여 및 자원봉사 활동 등을 통하여 사회적 의견을 반영하여야 함

차 례

1장 서론	3
1절. 연구배경 및 필요성	3
1. 연구배경	3
2. 연구의 필요성	6
2절. 연구의 목적 및 방법	7
1. 연구의 목적	7
2. 연구방법	7
2장 인공습지 개요 및 현황 검토	11
1절. 인공습지의 개요	11
1. 인공습지의 기능	11
2. 인공습지의 종류	15
2절. 대전시 인공습지 조성 현황	18
1. 대전시 인공습지 관리현황 및 특성	18
2. 대전시 인공습지 답사	21
3절. 인공습지 사례 조사 및 검토	28
1. 국내 인공습지	28
2. 국외 인공습지	35
3. 언론의 인공습지	46
3장 대전시 인공습지의 운영현황 검토	51
1절. 인공습지 현황 검토	51

1. 대상 인공습지의 일반 특성	51
2. 인공습지의 입지적 특성	52
2절. 인공습지 모니터링 계획	68
1. 모니터링 인공습지의 선정	68
2. 모니터링 항목 및 방법	70
3절. 모니터링 결과	74
1. 비룡마을 비점오염저감시설 (동구 신상동 674번지 일원)	74
2. 삼정동 비점오염저감시설 (대덕구 삼정동 165번지 일원)	78
4절. 모니터링에 의한 수질변화의 검토	82
1. 비룡마을 비점오염 저감시설	82
2. 삼정동 비점오염 저감시설	88
4장 인공습지 관리방안	97
1절. 인공습지의 수질개선 효과 증진	97
2절. 부수적 목적을 위한 개선방안	100
1. 인공습지의 생물종 다양성 개선방안	100
2. 친수공간 활용 및 연구 활용방안 제시	101
3절. 인공습지 관리운영의 개선	103
5장 결론 및 정책제언	107
1절. 결론	107
2절. 정책제언	111
참고문헌	117

표 차례

[표 2-1] 대전시 비점저감형 인공습지 조사결과	18
[표 3-1] 대전시 내 인공습지 요약	51
[표 3-2] 대전시 단위유역별 인구 (인)	61
[표 3-3] 대전시 단위유역별 하수처리 방식별 인구 (인)	61
[표 3-4] 대전시 단위유역별 사용유량 현황 (m ³ /일)	62
[표 3-5] 대전시 단위유역별 폐수배출업소수 현황 (개소수)	62
[표 3-6] 대전시 단위유역별 축산 현황 (두)	63
[표 3-7] 대전시 단위유역별 토지지목 현황 (면적, m ²)	64
[표 3-8] 대전시 단위유역별 양식장 면적 (m ²)	65
[표 3-9] 대전시 매립시설 현황 (m ²)	65
[표 3-10] 대전시 단위유역/오염원별 발생부하량 (T-P kg/일, (%))	66
[표 3-11] 대전시 단위유역/오염원별 점배출부하량 (T-P kg/일 (%))	67
[표 3-12] 대전시 단위유역/오염원별 비점배출부하량 (T-P kg/일 (%))	67
[표 3-13] 2018년도 일별 강우량 (mm)	71
[표 3-14] 인공습지(비점오염저감시설) 모니터링 일정	72
[표 3-15] 1차 건기 모니터링 수질분석 결과 (비룡마을)	75
[표 3-16] 우기 모니터링 수질분석 결과 (비룡마을)	76
[표 3-17] 2차 건기 모니터링 수질분석 결과 (비룡마을)	77
[표 3-18] 1차 건기 모니터링 수질분석 결과 (삼정동)	79
[표 3-19] 우기 모니터링 수질분석 결과 (삼정동)	80
[표 3-20] 2차 건기 모니터링 수질분석 결과 (삼정동)	81

그림 차례

[그림 1-1] 긴 체류시간으로 혐기성 상태의 인공습지	5
[그림 2-1] 지표흐름형 습지	15
[그림 2-2] 지하흐름형 습지	16
[그림 2-3] 대청호 수변공원 유입 및 방류 현황	21
[그림 2-4] 대청호 수변공원 전경 및 주변환경	21
[그림 2-5] 비룡마을 비점오염원 저감시설 유입 및 방류 현황	22
[그림 2-6] 비룡마을 비점오염원 저감시설 전경 및 주변환경	22
[그림 2-7] 유입 및 방류 현황	23
[그림 2-8] 전경 및 주변환경	23
[그림 2-9] 유입 및 방류 현황	24
[그림 2-10] 전경 및 주변환경	24
[그림 2-11] 유입 및 방류 현황	25
[그림 2-12] 전경 및 주변환경	25
[그림 2-13] 유입 및 방류 현황	26
[그림 2-14] 전경 및 주변환경	26
[그림 2-15] 유입 및 방류 현황	27
[그림 2-16] 전경 및 주변환경	27
[그림 2-17] 대상 인공습지의 전경	29
[그림 2-18] 인공습지의 다양한 형태 (부안, 남해)	34
[그림 2-19] 인공습지 갈대의 순환	35
[그림 2-20] 인공습지 내 부유식물의 적용 구조	39
[그림 2-21] 습지를 이용한 오수의 재사용 및 재활용	40
[그림 2-22] 공중위생 증대를 위한 HF시스템	41
[그림 2-23] 인공습지, 산림의 살충제 저감효과	44

[그림 2-24] 습지식물 앞의 미세물질 흡착	45
[그림 3-1] 대전시의 토지이용제한 현황	52
[그림 3-2] 대전시 내 인공습지 위치	53
[그림 3-3] 대전시 내 인공습지 물 흐름 기초 이미지	54
[그림 3-4] 금분F 단위유역의 고저차를 통한 3차원 분석	55
[그림 3-5] 금분F 단위유역의 물의 흐름 분석	56
[그림 3-6] 금분F 단위유역의 물의 흐름에 대한 유역 구분	57
[그림 3-7] 삼정동 비점오염저감시설의 입지 분석	58
[그림 3-8] 비룡마을 비점오염저감시설의 입지 분석	59
[그림 3-9] 삼정 생태공원의 입지 분석	60
[그림 3-10] 비룡마을 비점오염 저감시설 모니터링 준비	69
[그림 3-11] 삼정동 비점오염 저감시설 모니터링 준비	69
[그림 3-12] 수질분석에 이용된 흡광도분석기	73
[그림 3-13] 비룡동 저감오염 저감시설 모니터링	74
[그림 3-14] 삼정동 저감오염 저감시설 모니터링	78
[그림 3-15] COD 수질 변화 (비룡마을)	82
[그림 3-16] 시기별 COD 유출입 상관관계 변화 (비룡마을)	83
[그림 3-17] T-N 수질 변화 (비룡마을)	84
[그림 3-18] 시기별 T-N 유출입 상관관계 변화 (비룡마을)	85
[그림 3-19] T-P 수질 변화 (비룡마을)	86
[그림 3-20] 시기별 T-P 유출입 상관관계 변화 (비룡마을)	87
[그림 3-21] COD 수질 변화 (삼정동)	88
[그림 3-22] 시기별 COD 유출입 상관관계 변화 (삼정동)	89
[그림 3-23] T-N 수질 변화 (삼정동)	90
[그림 3-24] 시기별 T-N 유출입 상관관계 변화 (삼정동)	91
[그림 3-25] T-P 수질 변화 (삼정동)	92
[그림 3-26] 시기별 T-P 유출입 상관관계 변화 (삼정동)	93

[그림 4-1] 상수원보호구역의 불법오염원 (불법경작, 불법소각)	99
[그림 4-2] 국립생태원의 인공습지 조성사례	100
[그림 4-3] 인공습지의 수생식물 방치로 인한 수질악화	104

서론

1절. 연구배경 및 필요성

2절. 연구의 목적 및 방법

1장

1장 서론

1절. 연구배경 및 필요성

1. 연구배경

1) 대청호 인공습지 기능의 문제점 발생

(1) 대청호의 관리의 중요성

- 대청호는 금강권역의 상수원으로 많은 사람들에게 상수원수를 공급
 - 상수원보호구역, 특별대책지역, 수변구역 등 대청호와 관련된 규제지역이 단독/복합적으로 존재함
 - 이러한 규제와 더불어 수질개선을 위한 인공습지, 매수토지 등의 여러 가지 방안이 적용되고 있음
- 대청호는 인근에 대전, 청주, 보은, 옥천, 논산 등이 접해있으며 그린벨트 및 상수원관리지역으로 개발이 제한

(2) 수질개선을 위한 인공습지 도입의 현황

- 인공습지의 기본적인 운영 목적
 - 전국적으로 깨끗이 보존해야 할 공공수역(상수원보호구역 등)에 유입되는 비점오염원 저감을 위한 목적의 인공습지가 다수 있음
 - 비점오염원은 도시, 농지, 산지 등의 불특정 장소에서 점이 아닌 선 혹은 구역의 형태로 배출되는 오염물질을 말함
- 이러한 비점오염원을 저감하기 위해 자연형 시설과 장치형 시설 두 가지로 구분¹⁾

- 자연형시설은 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형시설 등이 해당함
- 자연형 비점오염원 저감시설에 해당하는 인공습지는 대청호 유역에서 발생한 비점오염원을 처리하여 보다 적은 오염부하량을 배출하기 위한 목적으로 설치
- 대전시 동구에서도 깨끗한 수질을 유지하기 위한 인공습지의 설치, 운영이 진행 중임²⁾³⁾

(3) 인공습지의 기능의 상실

- 인공습지 운영사례의 수집
 - 비점오염원의 저감을 위해 인공습지가 설치되었지만 실제 운영결과 비점오염원 저감 목적을 충실히 달성하는 경우가 많지 않음
 - 대청호 유역에 존재하는 인공습지는 대부분 지방자치단체에서 관리하고 있으며, 인력의 한계가 있어 제초작업과 같은 간단한 관리만 진행하는 수준에 머물러 있음

2) 인공습지 관리의 어려움

(1) 인공습지 고유기능 수행의 어려움

- 목적에 부합하지 않게 조성된 인공습지
 - 인공습지는 오수, 폐수, 축산폐수, 광산폐수 등 확실한 오염원을 대상으로 적용을 하게 됨
 - 반면, 국내 조성사례는 비점오염 배출이 의심되는 유역을 대상으로 조성하여 인공습지의 기능을 확보하기 어려움

1) 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, 2014
 2) 대청호 오염원, 인공습지로 해결(--일보, 2013.03.05.) 대전시 동구 신상동 674번지 일원에 국시비 및 금강수계기금 20억원을 들여 7000 m² 규모의 인공습지를 조성, 깨끗한 대청호 수질을 유지하고 친환경 녹색수계 공간을 조성한다는 계획이다
 3) (--일보, 2015.08.11.) 더 나아가 경관조성사업을 빈틈없이 추진해 대청호를 대표하는 랜드마크로 자리매김할 수 있도록 노력하겠다

○ 대전시 인공습지의 수질개선 미흡

- 실제 운영 중인 인공습지를 방문한 결과(신상동 인공습지) 매우 적은 유입수와 넓은 면적으로 건기시에는 유출농도가 더 높아 보이고 저류되어 있는 물의 탁도가 높은 것으로 관측됨

○ 인공습지의 친수공간 이용 미흡

- 대전시 유역의 수질개선 효과보다 더불어 친수공간 확보를 위해 다양한 편익시설 도입에 예산이 소요되고 있지만 시민들의 이용률이 저조



[그림 1-1] 긴 체류시간으로 혐기성 상태의 인공습지

(2) 인공습지 조성 및 관리시스템의 부재

○ 인공습지 조성 설계인자 및 관리매뉴얼의 부재

- 국내의 유역의 특성이 잘 고려되지 않고 일반적인 설계에 의하여 인공습지가 조성이 됨
- 또한, 저부하 인공습지를 위한 관리시스템이 존재하지 않음

○ 인공습지 관리주체의 의지

- 인공습지의 체계적인 관리를 진행하는 곳은 한정되어 있음
- 이는 지속적 관리가 있어야 하는 인공습지 특성상 문제점으로 작용함

2. 연구의 필요성

- 대전시 내 인공습지의 현황 파악
 - 국내에 조성된 인공습지가 원 목적을 충실히 수행하고 있는지에 의문이 제기되고 있음
 - 대전시 인공습지의 기능을 잘 발휘하고 있는지 관리 및 운영현황을 파악할 필요가 있음
- 인공습지 저감효율의 확인
 - 인공습지의 비점오염원 저감여부를 확인하기 위하여 적정 인공습지를 선정
 - 선정된 인공습지를 시기별로 유입 및 유입수의 농도를 파악하여 저감효율을 판단할 필요가 있음
- 인공습지 기능의 재검토
 - 인공습지가 자연형시설로써 비점오염원 저감을 주목적으로 하고 있지만, 복합적 목적을 가지므로 타 목적을 수행하기 적합한지의 여부를 검토할 필요가 있음
- 인공습지 조성 및 관리방안의 제안
 - 현재까지 진행되었던 인공습지의 조성목적 및 설계방안을 재인식할 필요가 있음
 - 특히 인공습지의 문제점을 부각되고 있는 적정 관리방안을 제시할 필요가 있음

2절. 연구의 목적 및 방법

1. 연구의 목적

- 대전시 대청호 유역의 인공습지 현황의 정밀 검토
 - 대전시 내 인공습지가 7개소 존재하지만, 이의 운영자료는 거의 존재하지 않음
 - 비점오염원 저감여부가 불확실한 가운데, 이를 판단할 수 있는 데이터를 축적하고자 함
- 인공습지 관리방안의 마련 및 후속 인공습지의 설계인자 제시
 - 인공습지에 대한 실질적인 수질 개선효과 및 습지의 다양한 기능을 활용할 수 있는 방안을 모색하고자 함
 - 또한, 향후 설치할 수 있는 인공습지의 조건 및 설계인자를 제시하여 바람직한 인공습지의 모습을 제시하고자 함
- 인공습지의 기능 재부여
 - 수질모니터링, 입지 및 오염원과의 관계를 통하여 현재의 인공습지를 운영하는 새로운 기능을 부여하고자 함

2. 연구방법

1) 일반현황 조사

- 대청호유역 일반현황
 - 수자원의 활용, 제한구역, 취수원, 토지이용 등

○ 인공습지의 입지

- 인공습지의 개념/원리 및 사례, 대전시에 입지한 인공습지 현황 등

2) 해당구역의 전국오염원조사

○ 금본F 단위구역의 전국오염원조사

- 수질오염총량제에 있어서 금본F 단위구역의 생활계, 산업계, 토지계, 축산계, 양식계, 매립계 오염원 및 발생, 배출부하량 검토

3) 현황의 시각화 및 오염원과의 연계성 검토

○ 지리정보시스템을 이용한 인공습지 대상 구역

- 인공습지에 유입되는 대상구역의 조사 및 시각화

4) 인공습지 영향인자 검토 및 매뉴얼 구축

○ 인공습지에 영향을 미치는 구역의 오염원 검토

- 금본F 단위구역 중 인공습지에 영향을 미치는 세부구역의 검토, 오염원과의 연관성 제시

○ 인공습지의 수질정화 효과 조사

- 수질저감여부를 확인하기 위한 인공습지의 수질 모니터링 수행

○ 인공습지 기능을 유지하기 위한 매뉴얼의 사례 조사

- 다양한 인공습지 특성에 따른 설계방법과 관리매뉴얼의 존재여부 조사

인공습지의 개요 및 현황 검토

- 1절. 인공습지의 개요
- 2절. 대전시 인공습지 조성 현황
- 3절. 인공습지 사례 조사 및 검토

2장

2장 인공습지 개요 및 현황 검토

1절. 인공습지의 개요

1. 인공습지의 기능

1) 인공습지의 정의 및 특성

(1) 정의

- 인공습지(Artificial wetland, Constructed wetland)
 - 자연의 습지가 가지고 있는 물의 정화능력을 인공적 시스템으로 향상시켜 수질을 정화시키는 목적을 가지고 있음
 - 선진국에서는 지역 특성을 고려하여 생활하수, 축산폐수, 농경지 배출수 등을 대상으로 수백 곳에 인공습지가 조성되었음

(2) 특성

- 수질정화 기작
 - 인공습지는 설계인자로 바닥의 기질과 경사를 조정하고 수리학적 현상을 제어하게 됨
 - 수생식물 및 다른 제어요소들을 관리할 수 있어 동일 면적의 자연습지에 비교하여 높은 정화능력을 가짐
 - 다양한 오염원 및 오염부하에 대한 적응력이 높고, 운영에 에너지가 필요 없거나 매우 적게 사용됨
 - 수질개선 외에도 생태계 보전, 친수공간 및 교육공간 조성 등의 다양한 부수효과가 있어 자연친화적 시설의 의미가 있음

2) 기능⁴⁾

○ 수질정화 기능

- 물리/생물/화학적 복합작용으로 비점오염원 및 특정 점오염원에 대하여 물을 정화할 수 있음
- 일반적인 점오염원 처리시설에서 적용이 어려운 축산폐수/농경배수/광산폐수/매립지침출수 등 다양한 비점오염원 처리 분야에 적용이 됨

○ 생태계보존 기능

- 양서류, 파충류, 포유류, 조류, 어류, 곤충류 등 야생동물들에게 안전한 은신처 및 서식지로 활용이 가능함

○ 기후변화 대응의 기능

- 도시와 같이 인위적인 공간의 불투수층은 기후변화에 따른 대응에 있어 매우 취약한 구조임
- 인공습지와 같이 투수율을 높일 수 있고 증발산이 잘 일어나는 시설은 도시의 열섬화 현상을 줄여 쾌적한 환경을 제공할 수 있음

○ 홍수저감 기능

- 빗물을 저류하여 홍수를 방지하거나 그 정도를 경감시킬 수 있음
- 인공습지 하류의 유속을 저감시켜 토사유출을 방지하며 인공습지에 저류된 물은 지하수를 함양하여 물순환을 이롭게 하게 됨

○ 교육/연구의 기능

- 인간과 친숙한 물고기, 새, 곤충과 같은 서식처를 제공하여 자연체험 학습 프로그램 등을 통한 교육 및 연구시설의 역할을 수행하기도 함

○ 문화적 기능

- 인공습지의 다양한 기능은 지속가능한 발전을 위한 다양한 목적을 함양하고 있으며, 관리에 있어서 지역주민의 참여를 필요로 하는 등 여러 문화를 어울리게 함

4) 농업기반공사, 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리 요령

3) 인공습지의 수질개선 작용

○ 물리적 작용

- 인공습지의 긴 체류시간은 유속을 감소시켜 오염물질을 침전시키며, 토양은 이러한 오염물질을 흡착시키게 됨

○ 생화학적 작용

- 습지의 수표면에서는 용존산소의 축적 및 광합성으로 유기물 및 금속 이온은 산화/분해시킴
- 미생물이 유기물을 분해하는 과정인 생물학적 분해는 최종적으로 부산물을 무기물로 변화시켜 오염을 저감시키게 됨

○ 유기물의 제거

- 미생물에 의해 분해가 가능한 유기탄소화합물을 대표하는 BOD는 오염의 정도를 표현하는 대표적인 지표임
- 물리적, 생화학적 작용으로 모두 제거가 가능하며 인공습지의 용존산소 농도를 충분하게 유지해야 처리효율이 높아짐

○ 영양염류의 제거

- 질소는 완전한 제거를 위하여 질산화/탈질(탈질)의 생물학적 과정을 거쳐야 하며, 이는 습지 상부의 호기성 조건 및 하부의 혐기성 조건이 모두 필요함
- 인은 물리적 침전 및 흡착으로 일차적으로 제거가 되지만 인공습지 내 유속이 증가할 경우 유출될 가능성이 있음. 수생식물의 성장에 사용된 인을 수확하여 배제함으로써 인의 제거효율을 높일 수 있음

○ 중금속 등의 제거

- 식물에 의한 흡수/흡착/합성 및 침전으로 중금속을 제거할 수 있음
- 병원균은 포착/여과/살균 및 미소동물에 의한 포식으로 제거가 될 수 있으며, 체류시간 및 침전이 제거를 위한 주요 인자가 됨

4) 인공습지의 장단점

○ 장점

- 대상 유입수는 오염농도가 낮은 하천수, 2차처리수, 강우유출수를 대상으로 함
- 특별한 장치 없이 질소, 인 등의 처리가 가능
- 적절한 완충기능이 있어 강우유출수와 같은 유량/수질 변화가 큰 경우에도 적용할 수 있음
- 시설이 간단하여 조성비가 저렴함
- 유지관리는 수위, 도로사면 관리(제초작업 등), 모니터링(수질, 식물상태 등)으로 기존 하수처리장의 화학약품 투입, 슬러지 제거 등의 유지관리비용이 없음
- 생태계의 유지, 친수, 자연학습 등의 부가적인 효과를 제공함
- NIMBY 시설과 달리 도심 및 근교에도 설치하여 녹지공간을 제공할 수 있음

○ 단점

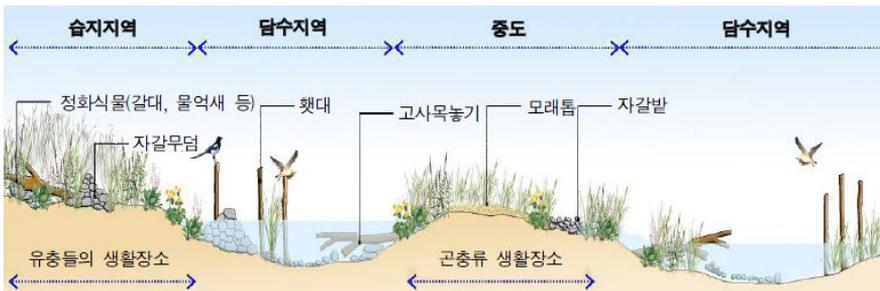
- 처리를 위해 비교적 넓은 면적을 필요로 함
- 대상 유입수는 오염농도가 너무 높으면 처리효율이 떨어지고, 너무 낮으면 유입수보다 유출수의 수질이 나쁜 경우가 있음
- 식물과 토양과 같은 자연 정화기능을 이용하므로 인공습지의 안정화를 위해서 2~3년의 기간이 필요함
- 인공습지를 장기간 운영할 경우 바닥에 오염물질이 축적되고 영양염류가 재용출되어 처리효율이 나빠지는 문제가 발생할 수 있음
- 관리가 잘 되지 않을 경우에는 모기와 같은 해충 또는 설치류가 서식하여 인근주민들에게 악영향을 줄 수 있음

2. 인공습지의 종류⁵⁾

(1) 지표흐름형 (Free water surface flow system)

○ 설계 원리

- 유입수 대부분을 토층 위로 흐르게 하여 물리/생물/화학적 처리를 유도함
- 대상 오수는 농업배수/도시강우유출수/산업폐수/오염하천/광산배수 등 다양한 오염원에 적용되고 있음



[그림 2-1] 지표흐름형 습지

○ 운영 구조 및 특성

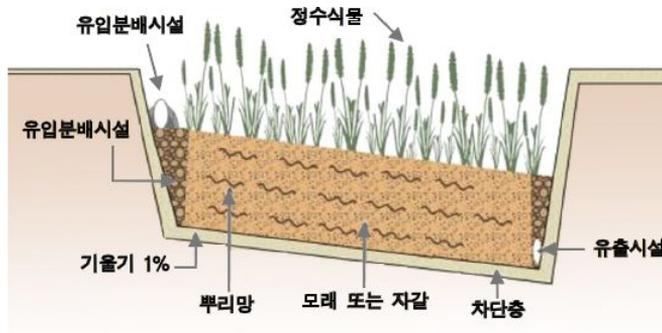
- 처리목적에 따라 수 cm ~ 1 m 이상의 수심을 가지며, 일반적인 수심으로 30 cm 정도가 적용됨
- 설계유량은 지점의 특성에 따라 4~75,000 m³/일로 다양함
- 저수조, 흙(또는 식물의 뿌리를 지탱해 줄 수 있는 매체)을 기본으로 얇은 수위를 유지할 수 있는 시스템을 가짐
- 수면은 호기상태, 하부는 혐기상태로 유기물질과 영양염류를 처리함
- 외형은 자연습지와 비슷한 형태를 나타내어 생태계를 위한 천연서식지 제공, 미관향상을 가져올 수 있음

5) 환경부 (2011), 생태하천 복원 기술 지침서

(2) 지하흐름형 (Subsurface flow system)

○ 설계 원리

- 지반을 굴착하고 입자가 큰 토양 또는 자갈과 같은 여재를 채운 습지
- 수위는 여재층의 상단보다 낮게 유지하게 되며, 식물은 여재 사이로 뿌리를 뻗어 자라게 됨
- 유입수는 모두 하부층으로 흘러 표면에서는 물의 흐름을 볼 수 없음



[그림 2-2] 지하흐름형 습지

○ 운영 구조 및 특성

- 여재의 두께는 보통 0.3~0.6 m로 하부층은 여러 가지 크기의 쇄석, 자갈 및 입자가 큰 흙으로 이루어지고, 상부의 식물식재층에는 약 15 cm의 모래를 적용함
- 지표흐름형보다 습지 소요면적이 적지만, 여재를 조달해야 하는 비용은 커지게 됨
- 지표흐름형과 달리 지하로 물이 흘러 사람의 접근이 가능하고 모기 등의 병해충 피해가 적음
- 지하흐름형은 폐쇄현상이 일어날 수 있으므로 개별하수처리와 같은 소규모 유출수처리 외에는 대부분 지표흐름형이 설치되는 경향임

(3) 지하침투형 (Vertical subsurface flow system)

○ 설계 원리

- 지표흐름과 지하흐름 형태를 혼합한 형태
- 유입된 물의 일부는 지하로 침투하여 지하흐름형으로 처리되고, 다른 일부는 지표흐름형으로 처리가 되는 동시에 지하로 침투가 됨
- 습지 바닥층의 차집관을 통해 최종 방류되어 바닥층의 차집관이 매설 되어야 함

(4) 인공습지의 구성요소

○ 식물

- 수생식물 : 생육기 일정기간에 전체 혹은 일부분이 물에 잠김
- 습생식물 : 습한 토양에서 생육하는 식물

○ 토양

- 식물을 지지하며, 오염물질을 흡착하며, 미생물이 부착·서식할 수 있는 표면을 제공하는 동시에 식물의 생장에 필요한 영양분을 제공함
- 인공습지 운영 초기에는 토양의 흡착 및 식물의 생육으로 인 제거효율이 높을 수 있지만 시간이 경과되면 평형상태에 도달하게 됨

○ 물

- 식물과 미생물의 생화학적 반응할 수 있는 매질 역할을 함

○ 미생물

- 원생동물부터 고등한 미생물들은 생명유지를 위해 오염물질을 분해하여 최종적으로 물과 이산화탄소를 발생시킴

○ 동물

- 다양한 식물이 도입된 습지는 곤충, 조류, 포유류 등의 서식공간을 마련함. 생태계 순환은 습지시스템의 건전함을 알아보는 지표로 작용함

2절. 대전시 인공습지 조성 현황

1. 대전시 인공습지 관리현황 및 특성

1) 인공습지 위치 및 관리현황

- 인공습지는 [표 2-1]과 같이 도심이 아닌 대청호 인근에 위치함
 - 인공습지 인근에서 발생/배출되는 비점오염원을 저감하기 위하여 수생식물 등을 위한 설계를 적용하였음
 - 하천과는 50 m 이내로 배출에 의한 상수원에의 영향이 크며, 3개소에 서만 현장인력을 통한 관리가 이루어지고 있음

[표 2-1] 대전시 비점저감형 인공습지 조사결과

순번	습지명	주 소	유형	목적
1	대청호 수변공원 인공습지 (추동)	동구 추동 328번지 일원	자연형 시설	수생식물 식재를 통한 자연학습장 조성
2	비룡마을 비점오염저감시설	동구 신상동 674번지 일원	자연형 시설	친환경 녹색공간 조성
3	삼정 생태공원 (강촌)	대덕구 삼정동 83번지 일원	자연형 시설	비점오염원 수질개선
4	삼정 생태공원 (이촌)	대덕구 삼정동 36번지 일원	자연형 시설	비점오염원 수질개선
5	삼정동 비점오염저감시설	대덕구 삼정동 165번지 일원	자연형 시설	수질보전, 지역주민의 삶의 질 향상
6	이현동 생태습지	대덕구 이현동 1번지 일원	자연형 시설	생태보전 및 주민의 소득증대, 비점저감형
7	대청호 인공습지	동구 세천동 105-5번지 일원	자연형 시설	오수/조류발생 저감, 환경친화 생태공원

순번	관리기관	하천과 거리	주거지와 거리	수계	관리방식
1	동구	50 m 이내	100~500 m	도랑→ 대청호	-
2	동구	50 m 이내	500 m 이상	도랑→ 대청호	현장인력 3인
3	대덕구	50 m 이내	500 m 이상	도랑→ 대청호	-
4	대덕구	50 m 이내	100~500 m	도랑→ 대청호	-
5	대덕구	50 m 이내		도랑→ 대청호	현장인력 16인
6	대덕구	50 m 이내	500 m 이상	도랑→ 대청호	-
7	대전시 상수도 사업본부	50~100 m	500 m 이상	세천저수지 →주원천 →대청호	현장인력 4인

순번	조성기간	면적	처리용량	체류시간	사업비
1					- 백만원
2	2013.02.01.~ 2013.10.28.	7,002 ㎡	2,760 ㎥/일	청천시 : 20 hr 우천시 : 7 hr	2,000 백만원
3	2012.	7,697			1,000 백만원
4	2011.	13,076			1,000 백만원
5	2014.	9,994			2,070 백만원
6	2012.	26,186			1,000 백만원
7	2006.11.~ 2007.06.	10,229	10,000 ㎥/일	9 hr	150 백만원

2) 대전시 인공습지 특성검토

○ 비점오염 저감의 미흡

- 비점저감 사업으로 예산이 지원되었지만 관리가 잘 이루어지지 않아 자연형습지와 같이 변화한 습지가 존재
- 비점저감이 잘 이루어지지 않지만 생태계의 보호, 교육활동의 장으로 의미를 갖는 습지가 존재
- 강수시 빗물과 함께 유입되는 오염물질을 인공습지에 저장하여 오염부하의 급격한 유출을 방지하기도 하지만, 건기시 유입농도보다 유출농도가 더 높은 상황이 발생하기도 함

○ 인공습지 장소의 부적절성

- 일부 인공습지는 유입수가 부족하여 인근 하천수로 유지용수를 충당하는 경우가 있음
- 인공습지에 유입되는 유입수가 깨끗해 오염저감을 기대하기 어려운 경우가 있음

○ 인공습지 인근의 환경

- 인공습지 주변에 불법경작지가 있지만, 정작 경작지의 오염 유출수는 인공습지에 유입되지 않고 공공수역으로 유출됨
- 인공습지 내에 파손된 시설물이 있어 안전을 위한 점검이 필요한 습지가 발견됨

○ 인공습지의 정체성

- 인공습지가 다양한 원인으로 원래 목적에 부합하지 않은 상황이 있음
- 생태교육의 목적으로 활발히 이용되기도 하지만, 접근성이 좋지 않은 인공습지의 경우 교육적 활용이 매우 낮음
- 일부 인공습지는 일반인의 진입을 통제하는 곳도 있음

2. 대전시 인공습지 답사

(1) 대청호 수변공원 인공습지 (추동)

○ 유입 및 방류

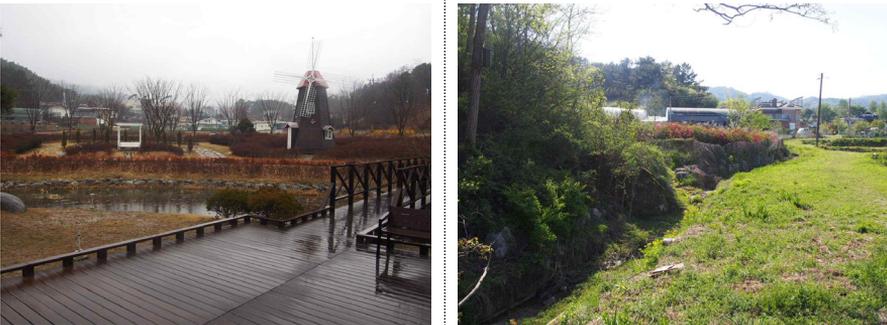
- 유입수는 거의 없으며 인근 용수를 펌핑하여 사용
- 유출은 추동취수탑 인근으로 소량이 방류됨



[그림 2-3] 대청호 수변공원 유입 및 방류 현황

○ 주변환경 및 이용현황

- 인공습지는 수질개선이 아닌 친수공간으로 주로 사용됨
- 자연생태관을 중심으로 자연환경체험학습공간의 의미가 높음



[그림 2-4] 대청호 수변공원 전경 및 주변환경

(2) 비룡마을 비점오염원 저감시설

○ 유입 및 방류

- 계곡수 및 고속도로 비점유출 및 사고유출수의 유입
- 방류수는 대청호로 직접 유출



[그림 2-5] 비룡마을 비점오염원 저감시설 유입 및 방류 현황

○ 주변환경 및 이용현황

- 주거지와는 멀지만 인근에 과수원 등 경작지가 존재
- 인근 경작지 배출수가 저감시설을 거치지 않고 유출되는 곳이 많음



[그림 2-6] 비룡마을 비점오염원 저감시설 전경 및 주변환경

(3) 삼정 생태공원 (강촌)

○ 유입 및 방류

- 계곡수 및 우수가 주로 유입되나 유입수 수질은 양호한 편임
- 방류수는 대청호로 직접 유출



[그림 2-7] 유입 및 방류 현황

○ 주변환경 및 이용현황

- 인근에 주거지가 존재하지만 많지 않음
- 습지내 경작이 있어 일부 습지에서의 적용이 있음



[그림 2-8] 전경 및 주변환경

(4) 삼정 생태공원 (이촌)

○ 유입 및 방류

- 주변 산지에서로부터의 유입은 크지 않음
- 방류수는 대청호로 직접 유출



[그림 2-9] 유입 및 방류 현황

○ 주변환경 및 이용현황

- 습지 인근에 경작으로 인해 비점오염원이 발생됨
- 깨끗한 물이 유입되지만 습지를 거쳐 오염도가 높아지는 경향이 있음



[그림 2-10] 전경 및 주변환경

(5) 삼정동 비점오염 저감시설

○ 유입 및 방류

- 계곡수가 유입되며 강수에 의한 유량이 증가되는 경향이 있음
- 방류수는 하천 및 자연습지를 거쳐 대청호로 직접 유출



[그림 2-11] 유입 및 방류 현황

○ 주변환경 및 이용현황

- 인공적으로 조성된 수생식물의 사멸 및 오염물질 퇴적이 있음
- 유입에 비하여 유출수질의 개선이 보이지 않음



[그림 2-12] 전경 및 주변환경

(6) 이현동 생태습지

○ 유입 및 방류

- 인근의 하천수가 유입되어 생태습지를 유지
- 유출수는 짧은 도랑 및 인근 자연습지를 거쳐 대청호로 유출



[그림 2-13] 유입 및 방류 현황

○ 전경 및 주변환경

- 비점오염원 저감시설로 적용되었으나 비점오염 저감효과 미흡
- 인근에 경작지 및 주거지가 있지만 직접적인 습지와 연결은 없음



[그림 2-14] 전경 및 주변환경

(7) 대청호 인공습지

○ 유입 및 방류

- 인근 주원천 하천수를 유입시켜 습지를 유지
- 주원천에 비해 유출수질의 개선이 없는 경우도 있음



[그림 2-15] 유입 및 방류 현황

○ 전경 및 주변환경

- 수질개선을 위한 오염원유입이 거의 없으나 전체적으로 잘 관리가 됨
- 깨끗하고 다양한 자연형습지의 모습을 보이고 있음



[그림 2-16] 전경 및 주변환경

3절. 인공습지 사례 조사 및 검토

1. 국내 인공습지

1) 비점저감형 인공습지 운영현황⁶⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 인공습지의 수질개선 효과보다 친수공간 확보를 통한 편익시설 도입의 의미가 있지만 실질적인 이용이 적고 유지관리의 어려움이 있음
- 실제 운영현황 분석으로 습지의 다양한 기능 활용을 모색하고자 함

(2) 연구 주요내용

- 대청호 상류 비점오염원 저가형 인공습지 운영사례 전수조사, 비점오염원 저감형 인공습지의 공간분포도 작성, 비점오염원 저감형 인공습지 운영 및 관리현황 분석, 관리지자체 및 마을주민 의견수렴

(3) 결과 및 결론

- 건기 시에 유입수보다 유출수의 수질이 악화되어 배출됨
- 인공습지 근처에 불법경작지가 존재하며, 대부분 우기 시 경작지에서 흘러나온 비점오염원은 인공습지를 거치지 않고 배출됨
- 마을주민 및 전문가들은 하천생태계, 주변 환경시설, 위치에 대한 긍정적인 의견이 있었지만 수질개선 효과가 작다는 의견이 많았음

(4) 검토

- 비점오염원 저감형 인공습지는 수질개선에 맞는 설치 및 운영을 확보해야 하며, 과도한 시설을 배제하고 고효율의 습지로 조성해야 할 것임

6) 최충식(2016), 비점저감형 인공습지 운영현황 조사 및 관리방안 연구, 금강수계관리위원회

2) 강우시 인공습지를 이용한 유기물 관리)

(1) 연구의 근거 및 목적

- 대청호 수질개선을 위해 옥천읍 인공습지
 - 비강우시 유입되는 하수처리장 방류수의 점오염원과 강우시 유입되는 비점오염원의 유기물질의 변화를 모니터링

(2) 연구 주요내용

- 인공습지의 구조 「유입부→침강지1→침강지2→깊은습지→얕은습지→생태침강지→방류부」로 구성
- 부레옥잠, 물상추, 갈대, 수련 등의 식생을 적용



[그림 2-17] 대상 인공습지의 전경

(3) 결과 및 결론

- 강우초기 대량 발생 입자성 유기물은 침강지와 깊은습지에서 감소
 - 강우시 TOC와 COD의 제거율은 각각 43, 47% 정도

7) 이상팔 등(2017), 강우시 인공습지를 이용한 유기물 관리, Journal of Environmental Science International, 26(3), pp.401-410

(4) 검토

- 강우시에는 초기강우만을 처리할 수 있는 비점오염물질 저감시설이 필요하며, 평시에는 규모가 작은 일반 침강지를 통과하는 차별화된 관리가 필요함

3) 낙동강 수질개선을 위한 생태복원지 모니터링⁸⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 수변지역 오염원 제거를 위한 토지매수지역 식생복원지의 효율적 관리 방안 수립을 위한 모니터링 방안 제시
- 매수토지별로 관리하는 유형을 구분하여야 함

(2) 연구 주요내용

- 모니터링 항목 및 방향
 - 수질개선 : 수질개선 정도, 오염원 제거정도 파악
 - 생물다양성 증진 : 식물상 및 동물상 변화, 목표종 서식여부 파악
 - 적정복원 : 식재수목 생육상태, 지형변화 적정성, 전이진행여부 파악

(3) 결과 및 결론

- 낙동강수계 매수토지에서 복원지역 중 습지조성지역
 - 오염물질저감습지, 소규모생물서식습지, 천이유도습지로 구분

(4) 검토

- 대상지의 특성에 따라 현재의 습지의 목적을 달리 변환할 필요가 있음

8) 이경재, 기경석, 박태훈, 김지석(2008), 낙동강 수질개선을 위한 생태복원지 모니터링 및 매수토지 관리방안 수립 연구, 한국환경생태학회

4) 비점오염 저감을 위한 인공습지⁹⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 국내 저수지 상류 비점오염 처리기능을 위해 설치한 사례의 조사
- 주요 습지식물의 수질정화능력 비교

(2) 연구 주요내용

- 인공습지의 전반적인 효율 평가, 문제점 제시 및 저감효율 강화를 위한 개선방안의 제안

(3) 결과 및 결론

- 인공습지 문제점의 검토
 - 유입수량, 수질변화 등 외부적인 요인과 습지의 내부시스템과의 관계로 수질변화의 폭은 매우 큼
 - 거의 무인으로 운영되고 자동 유량 조절장치가 없어 과도한 유량유입은 습지 저부의 퇴적층 세척효과로 인해 습지 시스템이 정상적으로 작동하지 않음
 - 퇴적층 및 기질층이 유출될 경우 오염부하로 작용하게 됨
- 인공습지 제거효율이 낮은 이유
 - 습지의 짧은 조성기간으로 인한 불안정한 생태계
 - 수리, 수문학적 사전검토의 부족과 같은 예상치 못한 상황 발생
 - 대상 처리대상 유입수의 양호한 수질
- 저감효율 강화를 위한 인공습지 개선방안
 - 제거대상 오염물질을 고려한 설계 : 생물화학적 성상, 유입유량의 변

9) 최지용(2008), 비점오염 저감을 위한 인공습지의 효율제고 방안, 경기논단, 10(2), 경기연구원

화를 염두. 인공습지와 비점오염처리시설의 연계설치 고려

- 적정 산소공급 시스템 구축 : 습지의 혐기성화가가 이루어지지 않도록 일정구역에 대하여 open water로 광합성에 의한 산소공급도 필요. 낮은 체류시간, 낮은 수위, 공기공급장치의 사용도 방안이 됨
- 적정 수위유지 시설 : 수위관리는 식생의 생육, 처리효율, 야생동물의 서식의 순으로 설계에 반영
- 다용도 습지기능 유도 : 인공습지 계획 시에 생태의 기능도 고려하여 설계하고 관리방안을 마련하여야 함

○ 운영관리

- 시기별 관리 : 갈수기, 홍수기 등 유입유량이 큼. 유입부에 과도한 유입을 배제하는 수문 등의 장치가 필요
- 체류시간 관리 : 짧으면 1차생산이 저조하여 증식이 적고, 길면 생감이 큼. 인 제거효율 향상을 위한 최적의 체류시간도 존재함
- 준설관리 : 운영기간이 지남에 따라 퇴적층의 두께로 저류용량의 감소 및 저니로 인한 재오염 가능성이 커지므로, 이를 감안하여 준설 및 과도하게 성장한 식생의 제거가 필요함
- 식생관리 : 습지식물을 효율적 제거방안(자르기, 태우기 등)의 적정성을 판단해야 함. 갈대 고사체의 제거는 수확법이 보다 바람직함. 반면 갈대 뿌리에 존재하는 많은 미생물은 동절기 오염기작에 적용되므로 훼손되지 않도록 관리할 필요가 있음

(4) 검토

- 아직 습지 내 메커니즘을 분석하고 습지 내 환경변화를 고려한 설계인자 도출 연구는 미약한 상황임
- 무엇보다 반응기작을 고려한 인공습지의 설계 및 인공습지를 관리하기 위한 매뉴얼 및 대응체계가 현 상황에서는 미흡한 상황으로 판단됨

5) 생활오폐수에 대한 정화력이 높은 수생식물¹⁰⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 낙동강 하류의 수생식물, 외래수생식물 및 습생작물의 T-N, T-P 등의 무기성분에 대한 체내축적 및 제거능력을 검증
- 인공습지 등의 수질정화시설 조성을 위한 수생식물 선발을 위한

(2) 연구 주요내용

- 갈대, 고마리, 나도겨풀, 마름, 물억새, 여뀌, 자라풀, 줄, 창포, 물상추, 미국가막사리, 부레옥잠, 비자루국화, 털물참새피, 벼, 미나리, 울무
- 수질, 식물체 및 토양분석으로 정화력을 검토

(3) 결과 및 결론

- 질소와 인의 체내흡수량, 실제 정화능력 및 수확 후 토양을 각각 분석
 - 벼, 비자루국화, 부들, 울무, 털물참새피, 줄 등이 부영양화 성분에 대한 우수 정화식물로 나타남



(4) 검토

- 본 연구와 같이 정화효율이 우수한 수생식물이 나타나 있음
- 이러한 식물들이 장기간 동안의 정화, 사멸 등의 순환에 의한 계절별 변화를 모니터링 하여 관리방법을 구축할 필요가 있음

10) 김춘송, 고지연, 이재생, 식성태, 구연충, 강항원(2007), 생활오수에 대한 정화력이 높은 수생식물 선발, 26(1), pp.25-35, 한국환경농학회지

6) 수질개선을 위한 인공습지 활용¹¹⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 낙동강변에 인공습지를 조성하여 청정 상수원으로 이용하고자 함
- 인공습지의 수질개선 효과를 알아보고, 하천의 수질개선대책으로 적절한 한지의 여부를 검토

(2) 연구 주요내용

- 인공습지의 정의, 인공습지의 종류, 인공습지의 장단점, 인공습지의 구성요소, 인공습지의 수질개선 과정, 인공습지의 적용사례 등을 제시

(3) 결과 및 결론

- 인공습지의 과도한 소요면적의 단점이 있지만 낮은 설치비용 및 관리비용, 단순한 운영, 수질개선과 생태계복원의 효과, 경관의 개선과 같은 복합효과가 있음
- 충분한 체류시간과 유지관리는 높은 처리효율을 얻을 수 있음



[그림 2-18] 인공습지의 다양한 형태 (부안, 남해)

(4) 검토

- 습지는 확실한 기능을 가지기 어렵지만, 다양하고 복합적인 기능을 가지고 있기에 유지관리에 따라 매우 친환경적인 시설이 될 수 있음

11) 이용곤(2012), 수질개선을 위한 인공습지 활용 가능성, 경남발전, 122, 경남발전연구원

2. 국외 인공습지

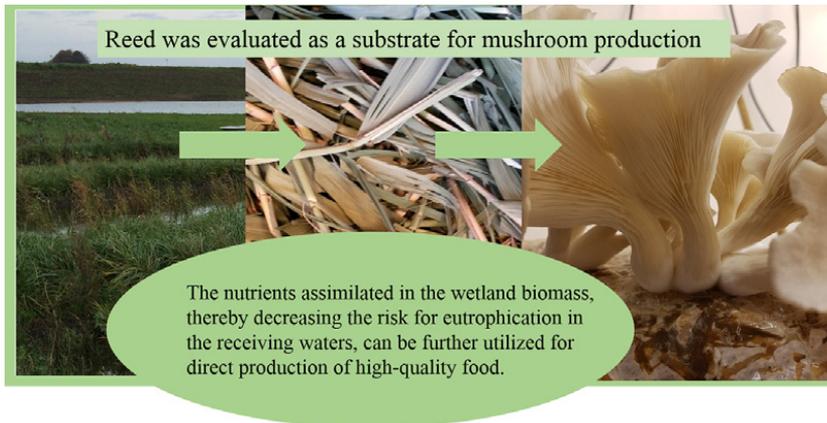
1) 습지의 활용 혜택 증가 - 버섯의 생산 확대를 통해¹²⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 습지는 식물 영양물을 제거하기 위한 정수 시스템으로 이행됨
- 수확된 바이오매스의 사용에 따라 영양분 재활용에 중요한 역할을 함

(2) 연구 주요내용

- 갈대는 스웨덴 남부의 습지에서 수확됨
- 갈대 바이오매스는 굴버섯 생산의 기질로 사용되었으며, 이러한 바이오매스는 고품질 자실체의 높은 생산을 지원함
- 바이오매스에서 동화된 영양분은 식품 직접생산에 사용될 수 있었음



[그림 2-19] 인공습지 갈대의 순환

12) Malin Hultberg, Thomas Prade, Hristina Bodinb, Aleksandar Vidakovic, Hakan Asp(2018), Adding benefit to wetlands - Valorization of harvested common reed through mushroom production, Science of the Total Environment 637-638, pp. 1395-1399

(3) 결과 및 결론

- 습지의 바이오매스는 부영양화 위험을 감소시킬 수 있으며 고품질의 음식을 생산할 수 있는 매개체가 될 수 있음
- 버섯 수확 후에 잔류하는 바이오매스는 부분적으로 분해되고 반추동물 사료에 사용하기에 적합한 영양소 조성을 유지함

(4) 검토

- 습지에서의 갈대 등의 수확은 운영 및 관리에 따라 부영양화 감소, 양식식물의 영양분, 반추동물의 사료로 순환될 수 있을 것으로 보임

2) 개구리 개체 수 감소 해결책으로의 인공습지¹³⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 튀니지 북쪽의 사하라개구리는 기후변화에 따른 간섭으로 자연적 습지가 줄어들면서 위협을 받음
- 살아있는 개구리의 개체수를 유지하는데 있어서 새로운 서식처의 적합성을 평가할 필요가 있음

(2) 주요 연구내용

- 올챙이-개구리 사이의 관계 규명을 위해 2년간 24차례의 MBR (mark release-recapture)를 수행
- 올챙이-개구리 개체수 크기는 Petersen의 MRR 방법으로 추정함

13) Meher Bellakhal, Andre Neveub, Lotfi Aleya(2014), Artificial wetlands as a solution to the decline in the frog population: Estimation of their suitability through the study of population dynamics of Sahara Frogs in hill lakes, Ecological Engineering, 63, pp.114-121

(3) 결과 및 결론

- 인공습지는 연못 산란 종(개구리, 두꺼비)에 적합한 서식처의 수를 늘리고 자연 습지 감소에 대한 좋은 환경을 제공함
- 언덕 호수에 대한 새로운 기능(종 보전)으로서 생태계를 관리하는 방법으로 채택 될 수 있음

(4) 검토

- 개구리와 같이 특정 종의 번식 및 활동의 공간으로서 인공습지가 이용될 수 있음
- 수질의 개선 외에도 생태계의 다양성 증대를 위한 인공습지의 관리특성을 고려할 수 있음

3) 인공습지 및 연못에서의 폐수처리 비교 연구¹⁴⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 다양한 유형의 습지 시스템은 물리적 및 화학적 과정 이외에 자연적 생체논리적 과정으로 오염물질을 제거하게 됨
- 폐수처리를 위한 다양한 생물학적, 화학적 반응으로 습지는 성공적으로 적용되어오고 있음
- 이 연구는 인공연못 시스템 및 습지시스템의 폐수정화 성능을 비교함

(2) 주요내용

- 세 가지 유형의 연못을 비료 : 폐수가 있는 연못, 폐수 및 갈대가 있는 연못, 갈대와 통풍구가 있는 연못

14) Rawaa Al-Isawi, Sanak Ray, Miklas Scholz(2017), Comparative study of domestic wastewater treatment by maturevertical-flow constructed wetlands and artificial ponds, Ecological Engineering, 100, pp.8-18

(3) 결과 및 결론

- 잘 조성된 습지에서 시간경과에 따라 성능이 약간 떨어지는 PO^4-P 를 제외하고는 수질이 개선됨
- 연못과 습지 모두에서 BOD의 제거는 중간~높음 수준이었음. 잘 조성된 습지는 그렇지 않은 연못보다 NH_4-N 및 PO^4-P 의 제거에 유리함
- 연못에 비해 습지에서 COD 및 SS의 제거율이 높았음

(4) 검토

- 인공연못 및 습지의 오염물질 제거를 위한 적정 접촉시간, 체류시간 및 유입농도가 있으며, 이를 준수할 경우 높은 제거효율을 얻을 수 있음
- 폐수를 적용한 것으로 낮은 농도의 유입수를 적용할 때에는 다른 결과가 도출될 수 있음

4) 하수처리를 위한 습지¹⁵⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 인공습지의 설치는 적은 운영비용과 낮은 에너지소모, 그리고 환경에의 유익한 영향으로 적용이 증가하고 있음

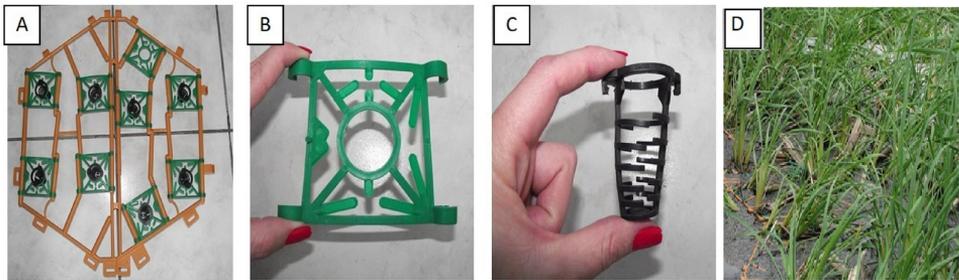
(2) 주요내용

- 브라질 남부의 도시 하수처리장에서 *Typha domingensis Pers.*를 사용한 떠있는 습지를 적용함
- 하수처리의 방법으로써 인공습지의 효율을 평가

15) Tatiane Benvenuti, Fernando Hamerski, Alexandre Giacobbo, Andrea M. Bernardes, Jane Zoppas-Ferreira, Marco A.S. Rodrigues(2018), Constructed floating wetland for the treatment of domestic sewage: A realscale study, Journal of Environmental Chemical Engineering, 6, pp.5706-5711

(3) 결과 및 결론

- 12개월간 유기물질의 평균 제거율
 - COD, BOD₅ 및 TSS 분석에 의해 평가되었으며 각각 55, 56 및 78%의 제거효율을 나타냄. TKN은 41%, T-P는 37%가 감소함
- 이러한 시스템은 브라질 하수처리시스템의 효과적인 대안일 수 있음



[그림 2-20] 인공습지 내 부유식물의 적용 구조

(4) 검토

- 본 습지는 하수처리를 위한 관리 시스템이 있으며 대전시에 있는 인공습지의 유입수와 일치하지는 않음
- 반면, 하수처리구역에 포함시킬 수 없는 지역의 하수처리에 적용할 수 있는 방법 중 하나로 검토할 수 있음

5) 오수 재사용 및 재활용을 위한 습지 건설¹⁶⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 기존의 도시는 환경파괴 및 도시지역의 물 공급량 과다 시스템임
- 보다 탄력 있고 지속가능한 물 공급전략을 위한 연구가 필요함

16) S. Arden, X.Ma, Constructed wetlands for greywater recycle and reuse, Science of the Total Environment, 630, pp.587-599, 2018

(2) 주요내용

- 가정오수의 재사용으로 기존의 환경 및 인프라에 대한 부담을 줄이고 습수방법을 다양화하는 방안으로 제안
- 습지는 재사용을 목적으로 오수를 처리하는 경제적이며 에너지효율적인 공정으로 제안하는 동시에 화학적, 미생물학적 기준을 파악



[그림 2-21] 습지를 이용한 오수의 재사용 및 재활용

(3) 결과 및 결론

- 지금까지의 연구에서 유출수질 및 소독공정 등에 따라 적절한 단위공정을 함께 사용하여 재사용 및 재활용을 위한 품질을 만족할 수 있음
- 자외선소독 및 염소소독은 재활용하는데 있어 최상의 의 조합임

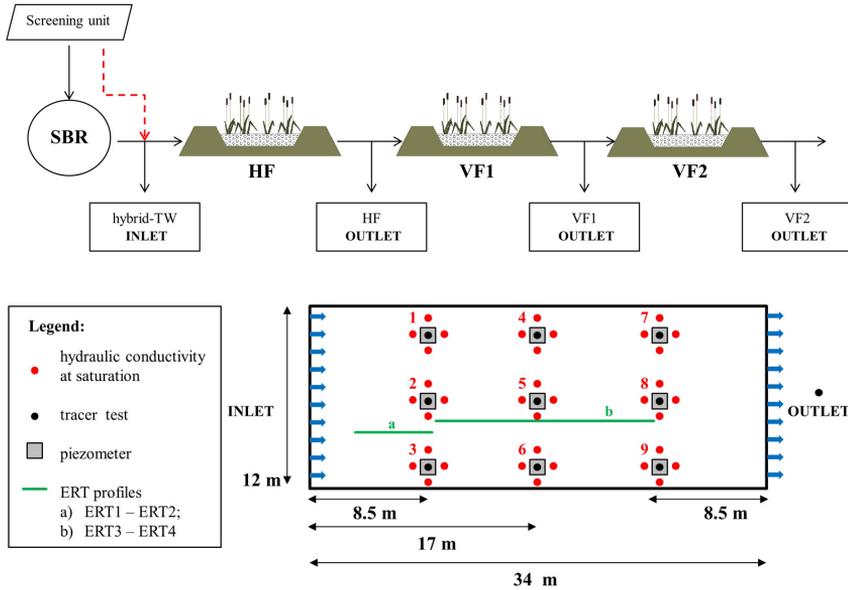
(4) 검토

- 가정오수를 조합된 인공습지, 그리고 소독을 거쳐 중수도로 적용 가능
- 하수처리구역 외 지역에서 습지를 이용한 물순환을 적용할 수 있을 것으로 판단됨

6) 폐수처리를 위한 수평 습지의 수리학적 신뢰성¹⁷⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 농업에서 재래식 물의 재이용을 줄이기 위해서 공중위생(WW)의 관리가 필요하며, 최근 WW를 위한 습지에서의 처리가 증가하고 있음



[그림 2-22] 공중위생 증대를 위한 HF시스템

(2) 주요내용

- 이탈리아 IKEA 하이브리드 습지의 수리학적 거동이 전체 폐수처리에 미치는 영향을 평가
- HF장치는 상점 방문객 수가 다양하여 빈번한 과부하 피크가 있었으며, 작동 2년 후에 입구에서 부분적으로 막히게 됨

17) A. Marzo, D. Ventura, G.L. Cirelli, R. Aiello, D. Vanella, R. Rapisarda, S. Barbagallo, S. Consoli, Hydraulic reliability of a horizontal wetland for wastewater treatment in Sicily, Science of the Total Environment, 636, pp.94-106, 2018

(3) 결과 및 결론

- HF장치는 모니터링 기간 동안 지속적으로 오염물질을 감소시킴
- HF장치 입구에서 약 2년 후에 막혔으며, 이는 유입 과부하 때문임

(4) 검토

- 인공습지는 건설 특성에 따라 처리효율의 한계에 도달하게 됨
- 수리적인 모니터링 및 그에 따른 유지보수와 같은 관리체계가 있어야 인공습지의 지속성이 있을 것임

7) 습지보전과 농업개발의 균형¹⁸⁾

(1) 연구의 근거 및 목적

- 자연습지를 희생하면서 농업이 역사적으로, 세계적으로 진행됨
- 생태계 상호작용이 경쟁에서 공존으로 이동함에 따라 습지보전과 농업의 균형을 유지하기 위한 개발방식이 요구됨

(2) 주요내용

- 습지 레크레이션 농업은 전통적인 친환경 농업 아이디어를 통해 현대 농업기술을 습득하여 습지농업의 수익성을 향상시킴
- 더불어 공공 및 민간 이해관계의 균형을 여러 생태계 서비스¹⁹⁾를 제공

(3) 결과 및 결론

- 습지 레크레이션 농업의 실질적 가이드라인이 제시되고 지역주민, 기

18) Xiaofei Yu, Mingju E, Mingyang Suna, Zhenshan Xue, Xianguo Lu, Ming Jianga, Yuanchun Zou. Wetland recreational agriculture: Balancing wetland conservation and agrodevelopment, Environmental Science and Policy, 87, pp.11-17, 2018

업, 과학자, 정부, NGO 및 자원봉사자들의 공동 행동이 특정 습지 레크레이션 농업의 실행을 촉진하게 됨

○ 목표달성을 위한 일반사항

- 이해관계자에 의한 습지의 생태적 가치에 대한 법적 확인 및 승인의 촉진
- 엄격히 보호되는 자연습지와 농업습지의 분포와 경계의 구분
- 농업습지의 환경적 능력을 명확히 함
- 전통적인 친환경 농업 아이디어와 현대 농업기술 (물절약 농업, 홍수 저항 번식, 유기비료, 제로 비료 및 살충제)
- 교통상황, 시설, 창조적 활동 및 서비스 등의 개선으로 습지 접근성 및 매력의 향상
- 뉴미디어, 농민 참여 및 자원봉사 활동 등을 통한 사회적 의견 반영

(4) 검토

- 습지에 다양한 형태의 농업을 적용할 수 있지만, 이는 환경 및 생태계와 같은 전형적인 습지와는 구분될 수 있음
- 우리나라의 경우 논과 같은 농업습지와 자연형습지, 인공습지를 관리하는 방법을 구분하여야 할 것임

8) 산림완충 및 인공습지의 살충제 오염 차단 전략

(1) 연구의 근거 및 목적

- 살충제 오염은 생태계를 위협할 수 있는 주요 원인임
- 건강한 생태계를 유지하기 위한 자연형 저감시설의 방안을 마련할 필요가 있음

(2) 주요내용

- 건설된 습지의 효율성을 평가하고 16가지 농약의 제거를 위한 흡수력과 이동성 분자의 사용
- 오염된 유역의 유출수가 많은 유역을 관리하기 위한 새로운 전략 마련

(3) 결과 및 결론

- 3년간의 현장조사는 저유량 또는 무유량 기간 이후의 살충제 배출인 많은 유역의 살충제 이동을 회복한다는 데에 의미가 있음
 - 인공습지 : 44~93% (평균 73%)의 제거율
 - 산림버퍼 : -32~100% (평균 61%)의 제거율
- 오염 유출을 흡수하고 처리하기 위해 버퍼존(Buffer Zone)을 가능한 한 오염원에 접근해 설치할 필요가 있음

	Artificial wetland				Forest buffer				Watershed			
	Inlet		Outlet	η^a	Inlet		Outlet	η^b	Outlet		η^c	
	Load m ³ or g ^b	AWin/WSout %			Load m ³ or g ^b	FBin/WSout %			Load m ³ or g ^b	%		Load m ³ or g ^b
Water volumes	116749 ± 140	50	63915 ± 198	45	20742 ± 119	9	14611 ± 232	30	234447 ± 159	25		
Isoproturon	210.3 ± 4.0	17	115.6 ± 3.4	45	60 ± 2.0	5	34.1 ± 1.8	43	1218 ± 30	10		
Chlorotoluron	431 ± 37	71	70.7 ± 4.3	84	29.4 ± 3.2	5	8.33 ± 0.96	72	609 ± 47	63		
Atrazine	1.39 ± 0.39	30	0.67 ± 0.33	64	0.11 ± 0.07	2	0.055 ± 0.052	53	3.33 ± 0.57	20		
Chlorothalonil	11.8 ± 4.4	48	2.6 ± 1.6	79	1.40 ± 0.87	6	0.66 ± 0.59	53	24.4 ± 8.0	41		
Prosulfocarb	5.28 ± 0.50	39	0.79 ± 0.38	93	2.08 ± 0.18	18	0.000 ± 0.016	100	12.59 ± 0.82	54		
Fenpropidine	2.09 ± 0.55	63	1.16 ± 0.43	50	0.21 ± 0.12	6	0.148 ± 0.093	16	3.47 ± 0.86	32		
Ethofumesate	5.33 ± 0.68	42	0.46 ± 0.40	96	0.43 ± 0.27	2	0.11 ± 0.14	80	12.8 ± 1.5	42		
S-metolachlor	1.01 ± 0.28	60	0.2 ± 6.6	80	0.193 ± 0.092	10	0.045 ± 0.038	77	1.81 ± 0.51	55		
Metazachlor	111.5 ± 1.6	40	34.12 ± 0.95	70	28.67 ± 0.72	10	19.09 ± 0.59	33	277.7 ± 3.3	32		
Napropamide	3.72 ± 0.52	66	1.39 ± 0.36	65	0.62 ± 0.20	9	0.30 ± 0.16	67	6.08 ± 0.87	49		
Cyproconazole	14.4 ± 4.9	63	8.0 ± 3.4	44	0.55 ± 0.25	2	0.67 ± 0.73	-32	23.1 ± 7.3	27		
Aclonifen	2.54 ± 0.48	85	0.59 ± 0.33	80	0.07 ± 0.15	1	0.04 ± 0.10	34	3.40 ± 0.97	69		
Diffufenican	6.10 ± 0.58	68	1.95 ± 0.43	75	0.78 ± 0.21	7	0.40 ± 0.16	56	9.9 ± 1.0	55		
Tebuconazole	7.4 ± 1.0	36	1.39 ± 0.65	86	2.53 ± 0.44	14	0.82 ± 0.26	70	19.7 ± 2.3	41		
Mefenpyr-dietyl	4.61 ± 0.55	21	1.15 ± 0.32	80	0.23 ± 0.11	1	0.075 ± 0.050	70	18.7 ± 1.3	17		
Epoxiconazole	26.3 ± 1.5	28	8.11 ± 1.0	71	2.20 ± 0.34	2	0.65 ± 0.25	76	90.1 ± 3.8	21		
Mean		49		73		6		54		39		
Median		45		77		5		61		41		
Standard deviation				16				31		17		

[그림 2-23] 인공습지, 산림의 살충제 저감효과

(4) 검토

- 이러한 시스템이 장기간 체류할 경우 저감의 저하가 발생할 수 있음
- 버퍼영역 내부 기능을 모델링하면 살충제 이동 및 감소의 특성을 높이는 최적의 설계가 가능할 것으로 보임

9) 도시공원에서 바이오필터로서의 습지식물

(1) 연구의 근거 및 목적

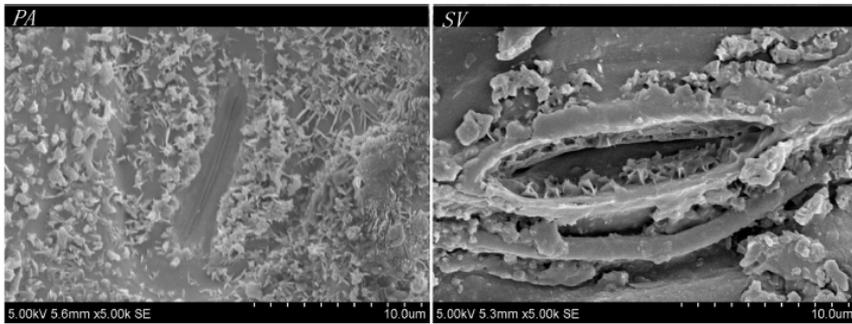
- 숲과 초목의 대기 오염물질 포획과 더불어, 습지식물의 역할의 파악하여 습지의 중요성을 확인

(2) 주요내용

- 중국 북경 습지에 있는 6종의 습지식물 중에 입자의 축적을 파악
- 입자와 독특한 축적능력과 관련성을 종간의 차이점이 있는지 논의

(3) 결과 및 결론

- 습지는 중요한 미생물 축적과 같은 생태계 서비스를 제공할 수 있음
- *P. australis*는 도시의 인공습지 적용에 좋은 생물여과장치가 될 잠재력이 있음. 또한 종을 선택할 때 잎 표면에 더 많은 털이 있거나 털이 많은 종을 선택하는 것이 유리함



[그림 2-24] 습지식물 잎의 미세물질 흡착

(4) 검토

- 수질정화, 유해물질 축적, 다양한 생태계 외에도 도심에서의 대기오염 저감을 위한 대안으로 적용할 필요가 있음

3. 언론의 인공습지

1) 대전시, 인공습지 만든다고 맹꽁이 서식지 파괴

(1) 주요내용 (2011.07.07., 오마이뉴스)

- 금강살리기 ○공구, 맹꽁이 서식 확인하고도 공사 강행
 - 금강살리기 ○공구 사업으로 멸종위기종 2급인 맹꽁이의 서식지 파괴됨
 - 맹꽁이 서식지는 앞으로 정비사업을 벌여 생태습지로 조성할 계획인 곳
 - 인공생태습지 조성 기반공사로 인해 자연생태습지가 훼손되고 있음

(2) 검토

- 맹꽁이 등을 비롯한 서식지 보호조치와 추진되는 공사에 대한 체계적인 현장관리감독이 이루어져야 함
- 인공습지 조성보다 중요한 것은 자연습지 보전과 자연생태계를 보호하는 것임

2) 대전시 서구 불필요한 생태습지 복원공사로 예산 낭비

(1) 주요내용 (2017.08.02., 뉴스원)

- 충분한 사전검토 없이 생태하천 복원사업
 - 갑천 상류 매노천 유역에 생태하천 Fish-way 복원공사에 불필요한 수질조사로 인공습지를 조성
 - 매노천 유역의 초기우수, 생활하수, 농경지발생 비점오염물질 유입에 따른 수질오염을 최소화하기 위한 목적
 - 매노천 고수부지 내 생태적수질정화비오름 기술을 적용하여 1,800 m²의 습지를 조성함

(2) 검토

- 습지 해당구역의 유입수질이 양호하고 공장이나 축산단지 등 오염물 발생 대형 오염원이 없음에도 한차례의 수질검사 결과만으로 생태습지 복원공사를 실시함
- 오염원의 규모 및 해당 공공수역과의 관계가 우선 고려하여 적정 입지성을 검토하여야 할 것임

3) 런던의 오아시스, 그곳에 답이 있더라

(1) 생태계 보전, 환경 정화, 교육의 삼박자 (2018.09.11., 오마이뉴스)

- 서남부 호수가 닳아야 할 사례, 런던 습지센터
 - 저수지로 용도가 사라지자 습지공원의 조성을 제안
 - 225억 원의 사업비용은 주택개발이익과 시민모금으로 마련하여 30만 그루의 식물과 3만 그루 이상의 식재로 습지를 조성함
 - 150종 이상의 조류가 서식 중이며 멸종위기종 복원프로그램이 진행 중임
 - 런던의 오아시스 : 도시의 온도조절기능, 생태계 보전기능, 수질정화기능, 도시먼지 흡수기능 등을 수행

(2) 검토

- 런던의 한가운데에 개발의 유혹을 떨치고 습지센터를 조성했다는 데에 큰 의미가 있음
- 반면 세종이나 일산의 호수공원처럼 대규모 호수조성에 의미를 둔다면 도심의 습지로 바람직하지 않을 수 있음

4) 대청호 오염원, 인공습지로 해결

(1) 동구, 신상동 일원에 7,000m² 규모 조성

- 대청호로 흘러드는 농약 등 비점오염원을 차단하는 인공습지
 - 신상동에서 대청호 수질보호를 위한 비룡마을 비점오염 저감시설 설치 사업 기공식을 개최함

(2) 검토

- 비점오염원의 저감을 위해 인공습지의 선택은 좋은 결정일 수 있으나, 유입 오염부하량과 인공습지 설계와의 관계가 수립되지 않을 경우 관리 및 운영효율에 어려움이 나타나므로 정확한 현장조사가 필요함

5) 삼정동 생태습지공원 조성 완료

(1) 대덕구 삼정동에 2개소(강촌, 이촌마을 주변에)

- 대청호 수질개선과 녹조방지, 수생태계 복원을 위해
 - 마을 주변에서 발생하는 비점오염원인 우수를 생태습지 내로 집수해 수생식물을 통한 수질정화를 통해 대청호 수질개선에 기여
 - 다양한 지피식물과 관목류를 산책로 주변에 식재해 주민휴식과 생태학습을 위한 공간으로 제공

(2) 검토

- 비점오염원의 저감을 위해 적절한 인공습지가 될 수 있음
- 반면, 인공습지와 연결되는 오염원의 종류 및 양, 그리고 유입수와 유출수와의 관계가 확실치 않아 적절한 설계와 관리가 이루어지기에는 한계가 있음

대전시 인공습지의 운영현황 검토

- 1절. 인공습지 현황 검토
- 2절. 인공습지 모니터링 계획
- 3절. 모니터링 결과
- 4절. 모니터링에 의한 수질변화의 검토

3장

3장 대전시 인공습지의 운영현황 검토

1절. 인공습지 현황 검토

1. 대상 인공습지의 일반 특성

- 대전시에 입지한 7개의 인공습지는 모두 자연형시설로서 [표 3-1]과 같이 비점저감형 및 수질개선형으로 조성됨

[표 3-1] 대전시 내 인공습지 요약

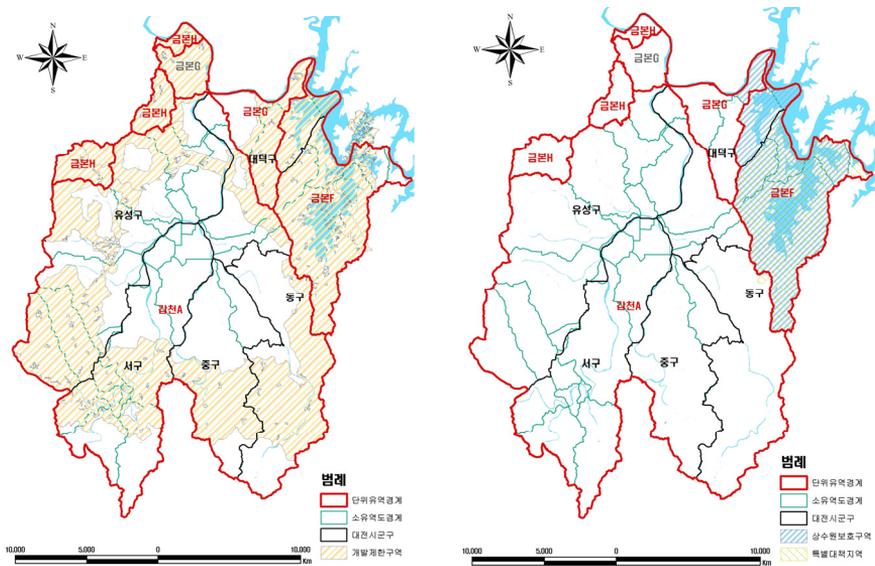
연번	지역	습지명	목적	특성
1	동구 추동	대청호수변공원 인공습지 (추동)	비점오염 저감	- 유입수 유입이 거의 없음 - 친수활동의 기능 많음
2	동구 신상동	비룡마을 비점오염 저감시설	비점오염 저감	- 고속도로 비점유출을 처리 - 계곡수로 인공습지 운영 - 생태교육의 기능 있음
3	대덕구 삼정동	삼정생태공원 (강촌)	비점오염 저감	- 유입수질 양호, 유량 적음 - 주위 경작지와 연결 미약
4	대덕구 삼정동	삼정생태공원 (이촌)	비점오염 저감	- 유입수질 양호, 유량 적음 - 주위 경작지와 연결 미약
5	대덕구 삼정동	삼정동 비점오염 저감시설	비점오염 저감	- 해당 구역이 비교적 넓은 - 시기별로 저감효율 변화 - 교육을 위한 기반 조성
6	대덕구 이현동	이현동 생태습지	비점오염 저감	- 인근 하천수를 인공습지에 유입하여 적용 - 설계와 다른 식생 조성
7	동구 세천동	대청호 인공습지	자연형	- 인근 하천수를 인공습지에 유입하여 적용 - 깨끗한 자연형 습지 모습

2. 인공습지의 입지적 특성

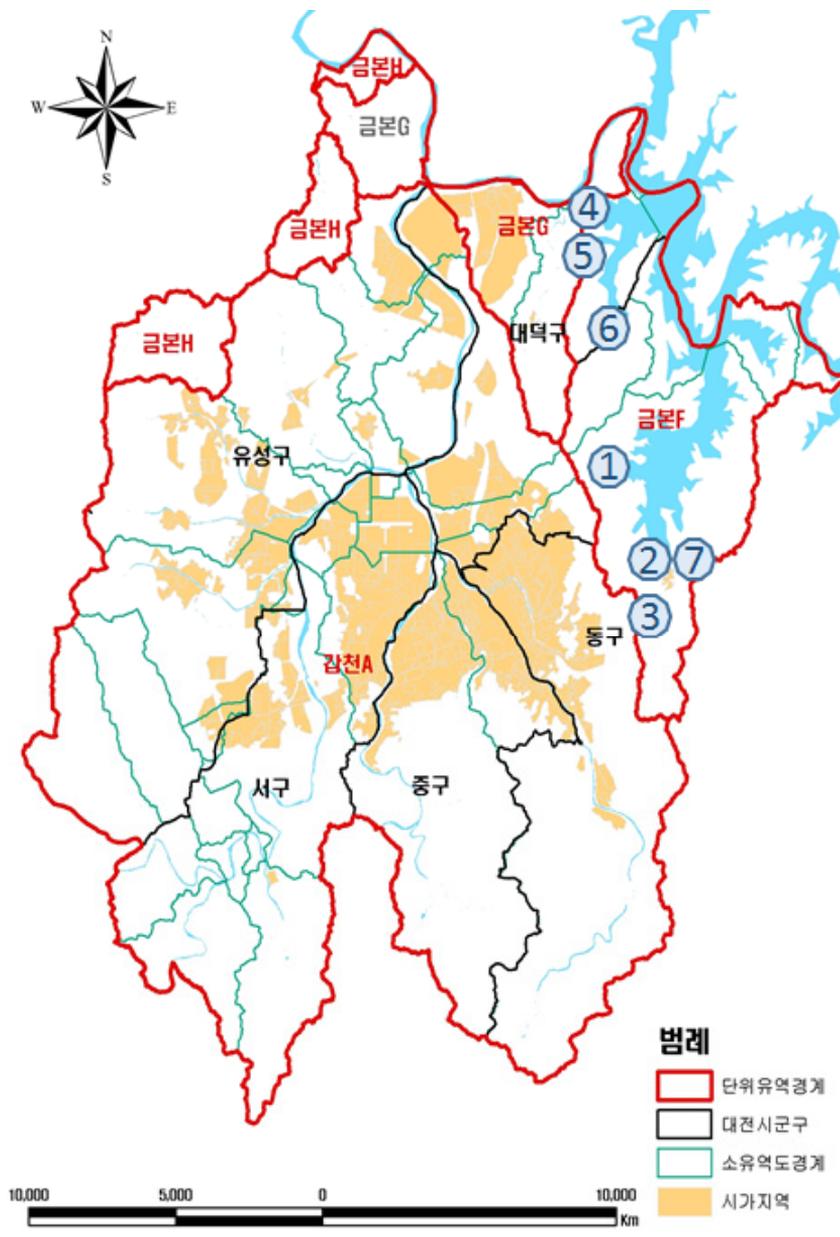
1) 입지 분석

(1) 지리정보시스템을 이용한 위치

- [그림 3-2]에는 [표 3-1]의 내 7개의 인공습지 위치를 나타내었음
 - 7개 인공습지 모두 개발제한구역 및 상수원보호구역에 해당하는 지역에 입지하였음. 특별대책지역은 동구에만 해당함
 - 상수원보호구역인 대청호의 수질을 보호하기 위하여 비점오염저감시설을 보호하기 위하여 설치되었음
 - 해당 인공습지에 빗물이 유입되는 유역은 모두 보전녹지지역에 해당함. 지목으로는 대부분 임야이며, 유역으로는 볼 수 없지만 비룡마을 비점오염저감시설은 고속도로의 유출수가 유입되는 구조를 가짐
 - 대부분 인공습지로서 오염저감을 위한 유입부하량이 충분히 확보되지 않은 곳에 위치한 경향이 있음



[그림 3-1] 대전시의 토지이용제한 현황

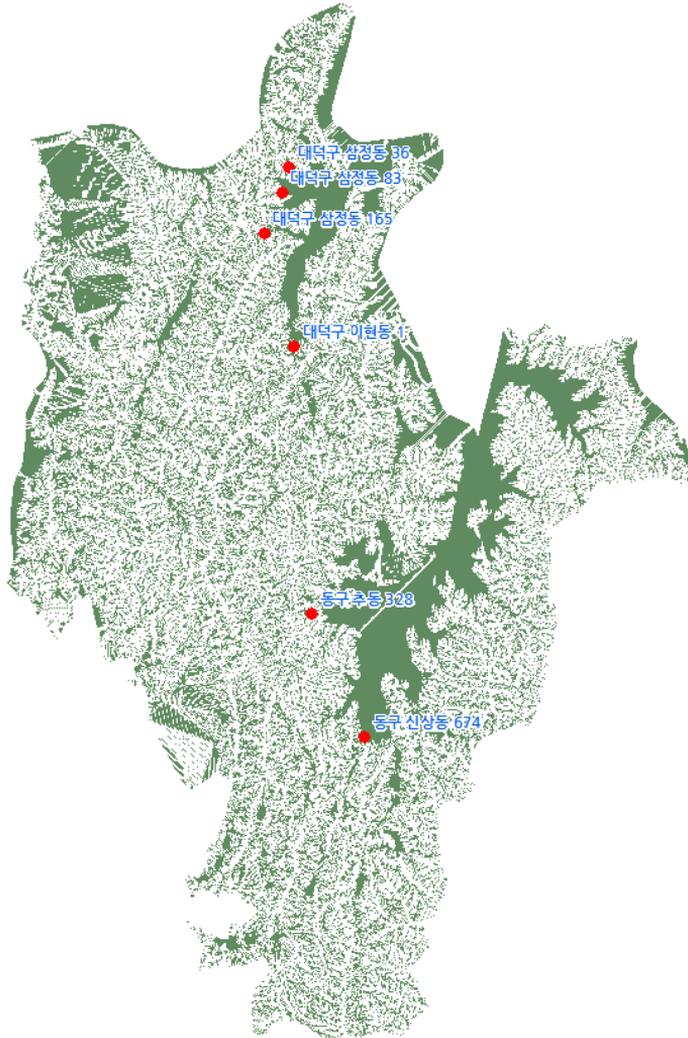


[그림 3-2] 대전시 내 인공습지 위치

(2) 물의 흐름 분석을 위한 유역의 선정

○ 금분F 단위유역의 선정

- 인공습지가 위치한 유역은 수질오염총량제에서 정의한 금분F 단위유역에 속하며, 이 유역을 기준으로 물의 흐름을 분석함

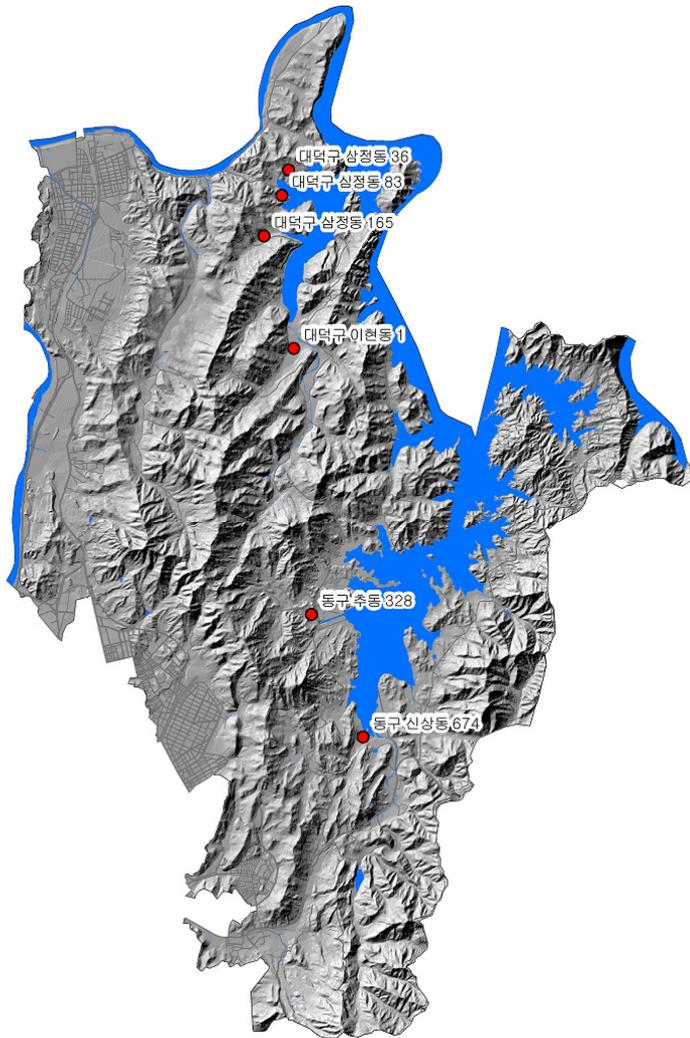


[그림 3-3] 대전시 내 인공습지 물 흐름 기초 이미지

(3) GIS를 통한 금본F 단위유역의 물 흐름 분석

○ 3차원 분석

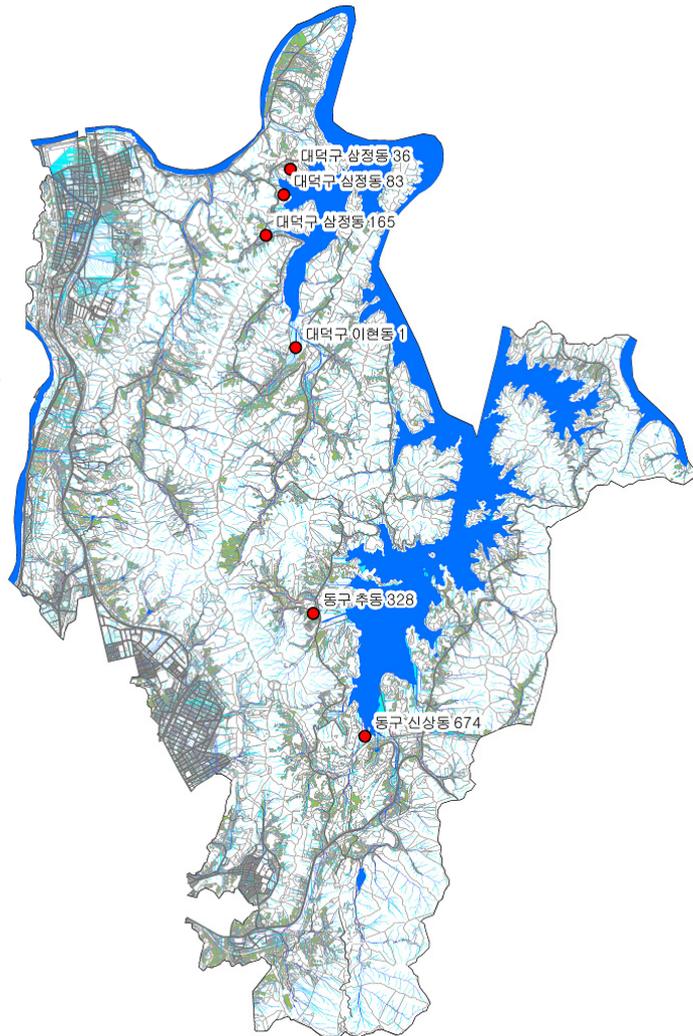
- 대전시 금본F 단위유역에서 인공습지에 유입되는 비점오염물질의 이동을 검토하기 위하여 3차원 분석을 [그림 3-4]와 같이 실시함



[그림 3-4] 금본F 단위유역의 고저차를 통한 3차원 분석

○ 합류되는 지류의 횡수를 고려한 물의 흐름 분석

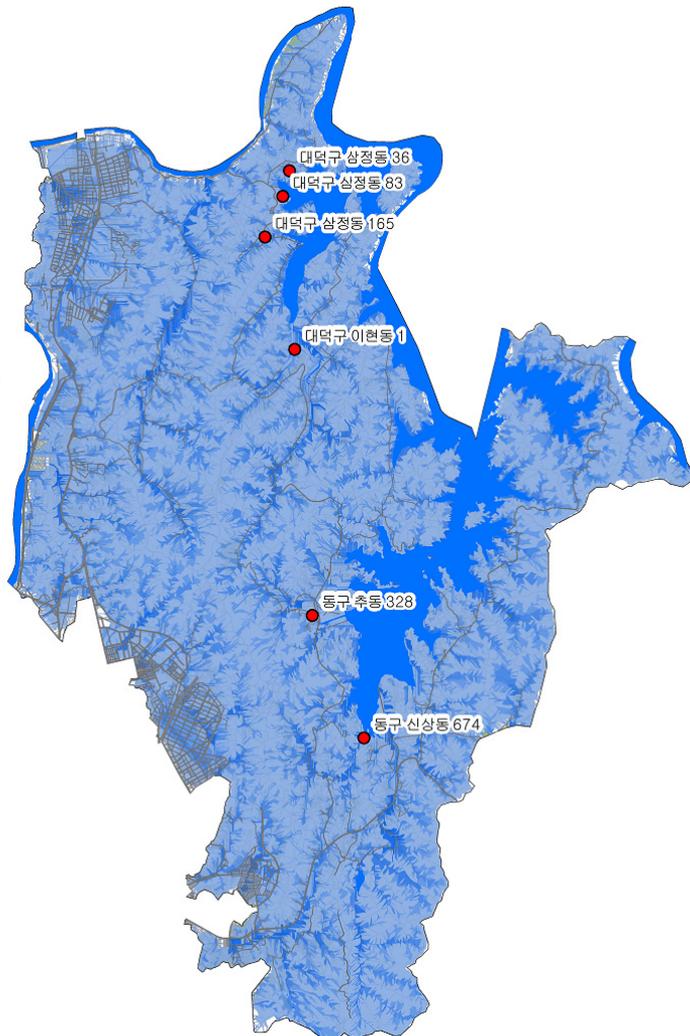
- 고저차에 의한 3차원 분석 등을 거쳐 [그림 3-5]와 같은 물질을 선으로 제시함. 하천의 지류가 계속해서 합쳐 바다로 합류되는 것과 마찬가지로 색깔이 짙어질수록 물이 모여드는 차수가 많아지게 표현함



[그림 3-5] 금본F 단위유역의 물의 흐름 분석

○ 합류되는 면적을 고려한 물의 흐름 분석

- [그림 3-4]를 기준으로 [그림 3-5]과 같은 물길을 파악함과 동시에, [그림 3-6]과 같이 물의 이동경로에 해당하는 유역을 구분하여 색의 명도를 통하여 표현할 수 있었음

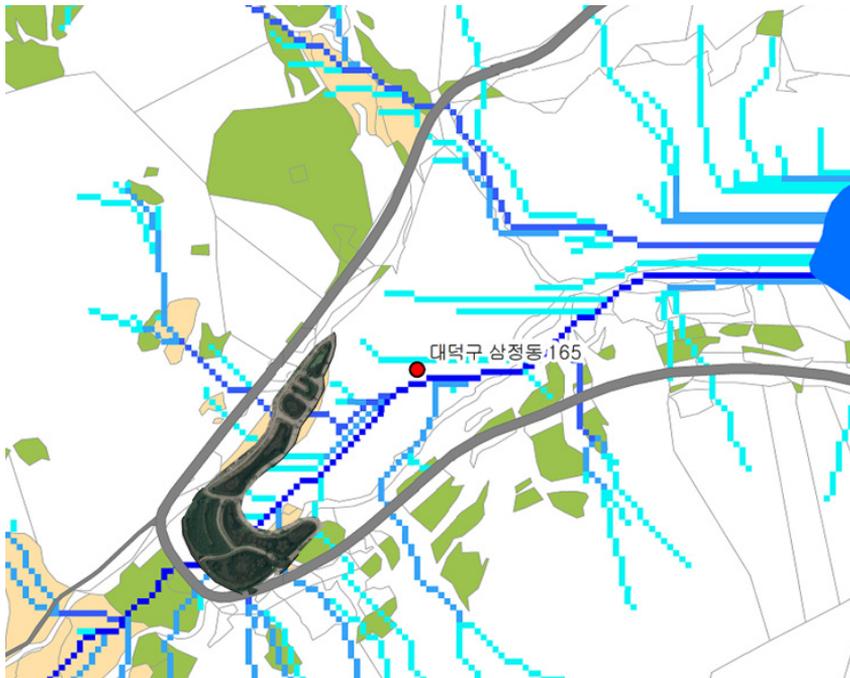


[그림 3-6] 금분F 단위유역의 물의 흐름에 대한 유역 구분

(4) 인공습지별 세부 분석

○ 삼정동 비점오염저감시설

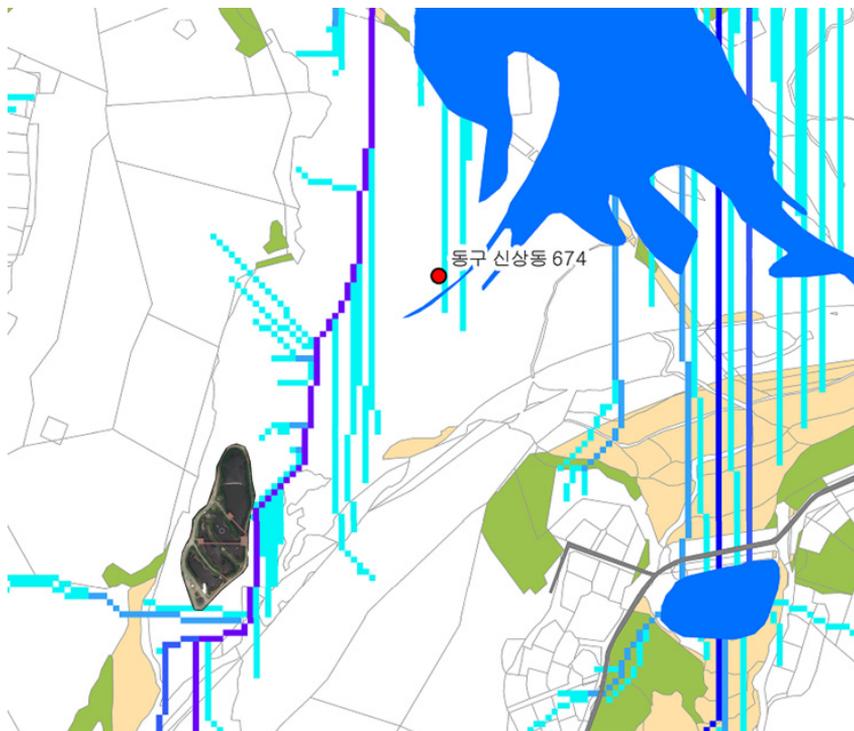
- 대덕구 삼정동 165번지 일원
- 습지 조성면적 : 5,000 m² (전체 9,994 m²)
- 물길이 3번 이상 합류된 비교적 물의 유입이 많은 지점에 위치하여 있으며, 인근에 계곡수가 흐르는 도랑의 흔적이 있음
- 많은 강우로 비점오염저감시설의 처리용량을 넘어서면 옆의 도랑으로 물이 월류가 되게 설계함
- 비점오염저감시설 상류로 농지가 일부 있지만, 그 외에 유입될 수 있는 비점오염원은 확인되지 않았음
- 타 인공습지에 비교하여 약간 입지성이 높은 것으로 판단됨



[그림 3-7] 삼정동 비점오염저감시설의 입지 분석

○ 비룡마을 비점오염저감시설

- 동구 신상동 674번지 일원
- 습지 조성면적 : 6,190 m² (전체 7,002 m²)
- 물길이 4번 이상 합류되어 물의 유입이 많은 지점에 위치하여 있으며, 비점오염저감시설 설치 이전에 소하천이 형성된 흔적이 있음
- 많은 강우에 의하여 비점오염저감시설의 처리용량을 넘어서면 옆의 소하천으로 물이 월류가 되게 설계함
- 비점오염저감시설 상류로 농지가 있지만 많은 편은 아님을 확인할 수 있으며, 고속도로 유출수가 유입될 수 있게 설계됨
- 타 인공습지에 비교하여 비교적 입지성이 높은 것으로 판단됨



[그림 3-8] 비룡마을 비점오염저감시설의 입지 분석

○ 삼정 생태공원 (강촌/이촌)

- 대덕구 삼정동 83번지 일원 / 대덕구 삼정동 36번지 일원
- 습지 조성면적 : 2,140 / 3,720 m² (전체 7,697 / 13,076 m²)
- 습지면적에 비하여 생태공원의 면적이 큰 것으로 나타남
- 생태공원 상류로 물길 및 유역이 좁아 유입유량 확보가 어려울 것으로 분석됨
- 상류에 약간의 농지가 있으며, 주택이 있지만 하수관거로의 생활오수 처리로 유입되는 비점오염물질은 거의 없을 것으로 분석됨
- 타 인공습지에 비교하여 오염물질 저감의 기능은 떨어져, 생태적 기능을 우선시하는 것이 적합할 것으로 분석됨



[그림 3-9] 삼정 생태공원의 입지 분석

2) 오염원

(1) 수질오염총량제에서의 오염원 (2016년 기준)

○ 생활계

- 공공의 수역에 배출되는 오염물 중에서 사람들의 활동에 의하여 배출되는 오염원을 말함
- 대부분 인구와 처리방식으로 발생부하량의 크기에 차이가 나타남
- 인공습지 대상인 갑천F는 대전시 전체 인구의 0.2%로 타 단위유역에 비교하여 인구가 낮고, 2017년 기준으로 100% 하수처리구역으로 편입되어 비점유출 가능성이 매우 낮음

[표 3-2] 대전시 단위유역별 인구 (인)

단위 유역	2014년	2015년	2016년			현황
			전망			
			합계	오염원	개발	
갑천A	1,492,559	1,481,191	1,618,906	1,470,350	148,556	1,478,819
금분F	3,318	3,201	3,215	3,215	0	3,086
금분G	49,915	49,088	50,595	47,882	2,713	48,089
금분H	1,675	1,711	1,595	1,595	0	1,412

[표 3-3] 대전시 단위유역별 하수처리 방식별 인구 (인)

단위 유역	합계	하수처리구역 인구		하수미처리구역 인구		
		분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식
갑천A	1,478,819	750,106	707,764	8,524	10,691	1,734
금분F	3,086	15	2,569	53	447	2
금분G	48,089	14,929	25,402	3,744	4,005	9
금분H	1,412	52	1,172	99	89	0

[표 3-4] 대전시 단위유역별 사용유량 현황 (m³/일)

단위 유역	2014년	2015년	2016년			현황
			전망			
			합계	오염원	개발	
갑천A	435,394	440,749	436,495	391,109	45,386	454,799
금본F	955	936	943	936	7	859
금본G	17,101	16,369	14,043	13,362	681	18,938
금본H	438	1,177	468	353	115	594

○ 산업계

- 산업계 오염원은 사람들의 활동의 편의성을 도와주는 제조, 세척 등의 활동에서 배출되는 오염원을 말함
- 산업계 배출시설은 금본F 단위유역에 1개소에 불과하며, 업종도 5종으로 인공습지에 미치는 영향은 미약함

[표 3-5] 대전시 단위유역별 폐수배출업소수 현황 (개소수)

단위 유역	2014년	2015년	2016년			비고
			현황	전망	현황-전망	
갑천A	934	957	951	934	17	
금본F	1	1	1	1	0	
금본G	94	95	96	94	2	
금본H	5	4	7	5	2	

○ 축산계

- 축산계 오염원은 야생동물이 아닌 사람들을 위해 사육이 되는 동물의 활동 및 배설물에 의하여 배출되는 오염원을 말함
- 금본F 단위유역은 타 단위유역과 비교하면 축산영향이 큰 것으로 보

이지만, 타 단위유역과의 배출부하량을 비교하면 큰 영향을 준다고는 할 수 없는 것으로 판단됨

[표 3-6] 대전시 단위유역별 축산 현황 (두)

단위 유역	축종	2014년	2015년	2016년		
				현황	전망	현황-전망
갑천A	소계	92,780	84,368	91,567	92,362	-795
	젖소	0	0	0	0	0
	한우	4,295	4,065	4,107	4,112	-5
	말	14	25	61	14	47
	돼지	1,153	1,035	140	1,056	-916
	양사슴	101	94	94	124	-30
	개	3,745	3,931	4,076	3,618	458
	가금	83,472	75,218	83,089	83,438	-349
금본F	소계	91,582	81,880	88,633	91,281	-2,648
	젖소	0	0	0	0	0
	한우	3,718	3,570	3,607	3,658	-51
	말	14	25	61	14	47
	돼지	1,137	1,001	139	1,036	-897
	양사슴	8	11	12	8	4
	개	3,610	3,618	3,592	3,483	109
	가금	83,095	73,655	81,222	83,082	-1,860
금본G	소계	101	103	70	105	-35
	젖소	0	0	0	0	0
	한우	36	32	21	35	-14
	말	0	0	0	0	0
	돼지	0	0	0	0	0
	양사슴	27	28	18	29	-11
	개	0	0	0	0	0
	가금	38	43	31	41	-10
금본H	소계	881	1,654	2,633	781	1,852
	젖소	0	0	0	0	0
	한우	325	232	248	224	24
	말	0	0	0	0	0
	돼지	16	34	1	20	-19
	양사슴	66	55	64	87	-23
	개	135	313	484	135	349
	가금	339	1,020	1,836	315	1,521

○ 토지계

- 토지계 오염원은 사람들의 활동으로 야기되는 전, 답, 대지, 기타와 자연의 현황과 비슷한 임야로 구분할 수 있음
- 금본F 단위유역은 일부 지역에 전, 답, 대지가 있지만 대부분이 임야로 오염배출의 가능성이 크지 않은 것으로 나타남

[표 3-7] 대전시 단위유역별 토지지목 현황 (면적, m²)

단위유역	지목	2014년	2015년	2016년		
				현황	전망	현황-전망
갑천A	소계	404,815,116	404,859,327	404,815,116	404,854,726	39,611
	전	23,418,964	23,062,456	21,449,040	22,798,609	1,349,569
	답	23,986,751	23,354,599	19,925,308	22,881,282	2,955,974
	임야	202,306,141	201,954,303	198,061,250	201,514,646	3,453,396
	대지	116,527,365	117,771,567	121,381,054	118,722,981	-2,658,073
	기타	38,575,895	38,716,402	43,998,464	38,937,209	-5,061,255
금본F	소계	75,816,042	75,817,035	75,816,042	75,815,100	-942
	전	3,510,030	3,509,771	3,499,686	3,478,412	-21,273
	답	2,724,849	2,720,446	2,693,345	2,674,091	-19,254
	임야	44,097,017	44,095,453	44,015,224	44,042,280	27,056
	대지	3,084,643	3,094,135	3,091,399	3,101,981	10,583
	기타	22,399,502	22,397,230	22,516,388	22,518,336	1,948
금본G	소계	36,857,198	36,863,198	36,857,198	36,868,163	10,966
	전	2,215,528	2,212,294	2,017,430	2,122,551	105,121
	답	3,724,596	3,718,023	3,528,835	3,594,535	65,700
	임야	18,837,761	18,800,149	18,434,461	18,685,789	251,327
	대지	6,938,336	6,990,334	7,183,705	7,136,206	-47,498
	기타	5,140,977	5,142,398	5,692,767	5,329,082	-363,685
금본H	소계	21,794,779	21,809,413	21,794,779	21,809,574	14,795
	전	1,423,590	1,428,406	1,429,209	1,364,613	-64,596
	답	2,338,318	2,329,825	2,321,971	2,239,220	-82,752
	임야	14,707,098	14,704,002	14,496,450	14,471,563	-24,887
	대지	1,329,913	1,340,723	1,437,089	1,730,864	293,775
	기타	1,995,859	2,006,457	2,110,059	2,003,314	-106,745

○ 양식계

- 양식계 오염원은 사람들을 위해 인공적으로 양식하는 물고기 등의 사육에서 배출되는 오염원을 말함
- 금본F 단위유역에서는 양식에 의한 오염이 전혀 없는 것으로 나타남

[표 3-8] 대전시 단위유역별 양식장 면적 (m²)

단위유역	2014년	2015년	2016년			비고
			현황	전망	현황-전망	
갑천A	1,597	0	0	1,597	-1,597	
금본F	0	0	0	0	0	
금본G	0	0	0	0	0	
금본H	0	0	0	0	0	

○ 매립계

- 매립계 오염원은 사람들을 위해 발생된 폐기물을 수집/처리함으로써 배출되는 오염원을 말함
- 금본F 단위유역에서는 매립에 의한 오염이 전혀 없는 것으로 나타남

[표 3-9] 대전시 매립시설 현황

매립장명	면적 (m ²)	침출수량 (m ³ /일)		수질 (T-P mg/L)		방류소유역
		발생유량	방류유량	발생농도	전처리농도	
금고동 위생매립장	602,429	315	335	12.275	11.937	0.232
신대동 매립장	234,710	32	32	18.585	18.585	0.232
상서동 매립장	45,000	48	48	2.975	2.975	0.232

(2) 수질오염총량제에서의 발생 및 배출부하량 (2016년 기준)

○ 총발생부하량

- 대전시 총 T-P 발생부하량은 3,704.42 kg/일로 대부분은 갑천A 단
위유역의 생활계에서 나타남
- 금분F 단위유역은 22.472 kg/일로 전체의 0.61%에 해당하고, 그 중
에서 토지계 발생부하량이 가장 많게 나타남

[표 3-10] 대전시 단위유역/오염원별 발생부하량 (T-P kg/일, (%))

단위 유역	생활계	축산계	산업계	토지계	양식계	매립계
갑천A	2,775.542 (74.93)	171.613 (4.63)	252.689 (6.82)	296.336 (8.00)	0.143 (0.00)	12.173 (0.33)
금분F	5.972 (0.16)	0.787 (0.02)	0.009 (0.00)	15.665 (0.42)	0.000 (0.00)	0.039 (0.00)
금분G	103.698 (2.80)	10.542 (0.28)	16.797 (0.45)	20.333 (0.55)	0.452 (0.01)	0.741 (0.02)
금분H	4.454 (0.12)	8.335 (0.23)	0.104 (0.00)	7.367 (0.20)	0.000 (0.00)	0.625 (0.02)

○ 점배출부하량

- 대전시 총 T-P 점배출부하량은 294.15 kg/일로 대부분은 갑천A 단
위유역의 생활계에서 나타남
- 점배출부하량이 있다는 것은 오염원을 모아서 처리하는 하수종말처리
장과 같은 환경기초시설이 있다는 것을 의미함
- 금분F 단위유역은 0.967 kg/일로 전체의 0.33%에 해당하고, 그 중에
서 생활계 점배출부하량이 가장 많게 나타남
- 반면 생활계 점배출이었던 정화조 배출인구가 2017년도부터 갑천A의
하수처리장으로 이송됨에 따라 금분F 점배출부하량은 더욱 적어질 것
으로 예상됨

[표 3-11] 대전시 단위유역/오염원별 점배출부하량 (T-P kg/일 (%))

단위유역	생활계	축산계	산업계	토지계	양식계	매립계
갑천A	266.972 (90.76)	0.024 (0.01)	6.710 (2.28)	4.504 (1.53)	0.000 (0.00)	0.095 (0.00)
금본F	0.967 (0.33)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)
금본G	13.928 (4.74)	0.000 (0.00)	0.064 (0.02)	0.229 (0.08)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)
금본H	0.567 (0.19)	0.000 (0.00)	0.089 (0.03)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)

○ 비점배출부하량

- 대전시 총 T-P 비점배출부하량은 427.64 kg/일이며 대부분은 갑천A 단위유역의 생활계에서 나타남
- 비점배출부하량이 있다는 것은 강수에 의해 지표유출 등을 통하여 처리되지 않은 오염물질이 공공수역으로 배출된다는 것을 의미함
- 금본F 단위유역은 14.475 kg/일로 전체의 3.38%에 해당하고, 그 중에서 토지계 비점배출부하량이 가장 많이 나타남

[표 3-12] 대전시 단위유역/오염원별 비점배출부하량 (T-P kg/일 (%))

단위유역	생활계	축산계	산업계	토지계	양식계	매립계
갑천A	95.293 (22.28)	12.173 (2.85)	2.084 (0.49)	275.888 (64.51)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)
금본F	0.164 (0.04)	0.039 (0.01)	0.000 (0.00)	14.272 (3.34)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)
금본G	0.036 (0.01)	0.741 (0.17)	0.044 (0.01)	19.537 (4.57)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)
금본H	0.107 (0.03)	0.625 (0.15)	0.000 (0.00)	6.633 (1.55)	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)

2절. 인공습지 모니터링 계획

1. 모니터링 인공습지의 선정

1) 모니터링 선정을 위한 고려조건 및 선정

(1) 고려사항

- 유입 및 유출의 확인이 가능하며 모니터링이 용이한 곳
 - 자연형습지와 같이 변화하여 유입 및 유출을 확인할 수 없는 곳 제외
 - 유입 및 유출 경로가 너무 다양한 곳 제외
- 중규모 이상인 곳
 - 소규모 인공습지의 경우 유입수의 충격부하를 인공습지가 받아들이기 어려우므로 중규모 이상의 인공습지를 대상으로 함
- 복합 목적을 가지고 있는 곳
 - 단일 목적의 인공습지가 줄어드는 추세에 맞게 복합 목적을 수행할 수 있는 인공습지를 대상으로 함

(2) 선정결과

- 비룡마을 비점오염저감시설
 - 구)경부고속도로에 인접하여 있어 접근이 용이하며 유입부와 유출부가 1개소씩으로 명확하게 구분이 되어 있음
 - 편의시설이 갖추어져 있어 환경교육이 가능하고, 고속도로 비점유입이 있어 강우시 특성을 알아볼 필요가 있음
- 삼정동 비점오염저감시설
 - 대청호 들레길에 인접하여 접근이 좋고 유입/유출이 구분되어 있음
 - 특별한 오염유입이 없어 비점오염의 저감 특성을 확인할 필요가 있음

2) 선정된 인공습지의 모니터링 시뮬레이션

○ 모니터링의 적합여부 확인

- 유입/유출수의 위치, 샘플링 가능여부 및 분산여부 확인

○ 인공습지의 기능 검토

- 교육적 활용, 생태적 기능, 강우시 비점유출의 일시저류 가능성 등



[그림 3-10] 비룡동 비점오염 저감시설 모니터링 준비



[그림 3-11] 삼정동 비점오염 저감시설 모니터링 준비

2. 모니터링 항목 및 방법

1) 모니터링 항목 및 샘플링

(1) 수질분석 항목의 범위

- 수질분석 중 본 과업의 범위 내에서 가능한 항목을 대상으로 분석
 - COD : BOD 및 TOC와 더불어 유기물질을 측정하는 대표 항목임. 유기물질은 물속에서 용존산소를 소비하여 건전한 수생태계를 형성하는데 어려움을 주게 됨. 특히 하천 등의 바닥에 혐기성 상태를 만들어 독성물질을 생성하기도 함
 - T-N : T-P와 더불어 영양염류로서 식물의 성장에 필수적인 요소임. 또한, 호소 등에서 부영양화를 일으키는 지표 중의 하나로 작용하고 있음
 - T-P : T-N와 더불어 영양염류로서 식물의 성장에 필수적인 요소임. 부영양화를 일으키는 지표 중에 T-N보다 기여도가 더 높게 인식되고 있어, 반드시 저감시켜야 하는 항목으로 여겨짐

(2) 시료채취 방법

- 수질오염공정시험기준을 고려한 시료의 채취
 - 수질을 정확히 대표할 수 있도록 시료의 성상, 유량, 유속 등의 시간의 변화를 고려함
 - 인공습지 유입수는 시간에 따른 수질의 변화가 거의 없으므로 1일에 2회 채취
 - 인공습지 유입수 흐름의 위치별로 다른 수질을 보일 염려는 없으므로 판단되어 1곳에서 채취하여 수질분석을 함

(3) 모니터링 일정

○ 선행무강우일수 및 강우량

- 건기 및 우기의 특성을 구분하고자 선행무강우일수 및 강우량을 고려하여 모니터링을 실시함

[표 3-13] 2018년도 일별 강우량 (mm)

순번	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1				119.9			1.7	
2			7		43.9				
3					0	0	89.8		
4	11.5	21.1		0			18.9		
5	18.6	18.6		0.1	19.4			36.5	
6		18.8	20.5		6.8		0	55.5	
7	4		4				0.9		2.0
8	12.5								64.0
9				0.7	35.5	0			1.0
10		0.3		0				7.0	
11		14.6		0	0.2				
12			23.4	0.1		0.1			
13		0	2.3			0	0.1		
14		36.7		0		0	6.4		
15	16.6		0				0.2		
16	0.1		0						
17			0.2						
18	8		9.9						
19	22			2.3					
20							0.2		
21	13.5						32.9		
22	0.6	2.7	6.2						
23		38.9	22.4			1.1		5.0	
24		3.6				20.3			
25						0			
26				30.3		78.2		11.0	
27				50.4		53			
28				0.3	1.2	140	0	5.5	
29				9.2					
30			0	22.4		73.3			
31						42.6			
합계	49.5	130.3	222.0	171.5	185.6	202.6	68.5	120.5	67.0

○ 모니터링 조건의 구분

- 수생식물은 생태계 조성의 일부로 발아-성장-사멸의 과정을 겪으며, 이로 인해 외부 생태계와의 물질교환이 일어남. 다음의 조건을 고려하여 [표 3-14]와 같이 모니터링 일정을 계획함
- 성장시기 : 식물체가 성장하면서 외부로부터 유기물질, 영양염류(T-N, T-P) 등을 섭취하게 됨. 공공수역의 기준으로는 식물체가 뿌리를 통하여 오염물질을 흡수하여 정화시키는 것을 의미함
- 사멸시기 : 성장시기와 반대로 사멸시기에는 공공수역의 오염물질을 흡수시키는 능력이 없어지게 됨. 더불어 식물체가 사멸하여 분해가 되면 오히려 공공수역에 오염물질로 작용하게 됨
- 우기 : 인공습지의 기준으로 침강지 및 각종 수생식물이 있는 공간은 긴 체류시간으로 인하여 침전 등의 정화역할을 함
- 인공습지 : 여러 개의 공간을 가지고 있는 생물학적, 물리적 정화시설이 될 수 있음과 동시에, 사멸된 수생식물의 축적장소가 될 수 있음

[표 3-14] 인공습지(비점오염저감시설) 모니터링 일정

순번	구분	대상	시기	조건	횟수
1	건기 1차	비룡동 삼정동	수생식물 성장시기	- 선행 무강우 일수 7일 이상 - 유입, 유출수 및 경우에 따라 습지 내	4일(8회) 이상
2	우기	비룡동 삼정동	우기	- 강우 후 2일 이내 - 유입, 유출 및 습지 내 - 강수량 20 mm 이상	3일(6회) 이상
3	건기 건기2 차	비룡동 삼정동	수생식물 사멸시기.	- 선행 무강우 일수 7일 이상 - 유입, 유출수 및 경우에 따라 습지 내	4일(8회) 이상

2) 수질분석

(1) 자외선/가시선 분광법에 의한 분석

- HS-3300 UV/Visible Spectrophotometer (HUMAS)
 - 수질오염공정시험기준에서와 같이 총질소-자외선/가시선 분광법-산화법을 기준으로 한 수질분석기로 측정함
- 적용 유입/유출수질에 맞는 방법의 선택
 - COD : 0.6~20.0 mg/L 범위, Reactor Digestion 방법
 - T-N : 0.2~5.0 mg/L 범위, Cadmium Reduction 방법
 - T-P : 0.01~3.0 mg/L 범위, Ascorbic acid 방법



[그림 3-12] 수질분석에 이용된 흡광도분석기

(2) 분석 시기

- 인공습지의 유입, 유출수 시료를 냉장 보관
 - 조성이 변화하지 않도록 다음날 곧바로 수질분석을 실시

3절. 모니터링 결과

1. 비룡마을 비점오염저감시설 (동구 신상동 674번지 일원)



[그림 3-13] 비룡동 저감오염 저감시설 모니터링

1) 1차 건기 모니터링 (성장시기)

(1) 모니터링 시기

- 수생식물 성장이 활발하고 선행무강우일수가 긴 시기를 선택하여 결정
 - 7월 16일, 8월 1일, 8월 7일, 8월 13일, 8월 22일, 9월 19일
 - 비점오염저감시설의 운영효율을 분석하기 위해 유입수, 유출수를 채취

(2) 수질분석 결과

- 수질분석 결과 (최소~최대(평균))
 - COD : 유입 2.14~5.45(3.86) mg/L, 유출 2.72~7.57(4.57) mg/L
 - T-N : 유입 0.09~0.76(0.32) mg/L, 유출 0.02~0.67(0.36) mg/L
 - T-P : 유입 0.04~0.17(0.09) mg/L, 유출 0.04~0.21(0.11) mg/L

[표 3-15] 1차 건기 모니터링 수질분석 결과 (비룡마을)

		유입수			유출수		
		COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
7월 16일	오전	3.43	0.14	0.05	5.13	0.75	0.18
	오후	3.74	0.39	0.04	2.72	0.98	0.21
8월 1일	오전	3.13	0.38	0.05	2.75	0.61	0.04
	오후	4.57	0.54	0.07	4.16	0.69	0.06
8월 7일	오전	3.97	0.18	0.15	4.95	1.08	0.14
	오후	3.89	0.12	0.13	5.24	0.84	0.15
8월 13일	오전	2.14	0.35	0.06	7.57	0.48	0.05
	오후	2.23	0.09	0.06	4.50	0.12	0.05
8월 22일	오전	5.45	0.17	0.07	3.45	0.17	0.05
	오후	3.39	0.09	0.08	5.01	0.19	0.06
9월 19일	오전	5.24	0.76	0.16	4.81	0.94	0.17
	오후	5.08	0.63	0.17	4.51	0.81	0.15

2) 우기 모니터링

(1) 모니터링 시기

- 일정 이상의 강우가 진행된 다음날을 선택하여 결정
 - 8월 28일, 9월 5일
 - 강수시 지표면 축적 오염물질의 저감효율을 확인하기 위해 유입, 유출 수를 채취

(2) 수질분석 결과

- 수질분석 결과 (최소~최대(평균))

- COD : 유입 6.40~8.22(7.24) mg/L, 유출 6.16~7.01(6.52) mg/L
- T-N : 유입 1.62~2.32(1.96) mg/L, 유출 1.28~1.65(1.52) mg/L
- T-P : 유입 0.28~0.40(0.33) mg/L, 유출 0.23~0.28(0.26) mg/L

[표 3-16] 우기 모니터링 수질분석 결과 (비룡마을)

		유입수			유출수		
		COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
8월 28일	오전	8.22	1.62	0.40	7.01	1.28	0.28
	오후	6.40	1.81	0.30	6.61	1.65	0.25
9월 5일	오전	7.27	2.07	0.32	6.16	1.54	0.27
	오후	7.06	2.32	0.28	6.28	1.59	0.23

3) 2차 건기 모니터링 (사멸시기)

(1) 모니터링 시기

- 수생식물이 사멸되고 선행무강우일수가 긴 시기를 선택하여 결정
 - 11월 6일, 11월 12일, 11월 19일
 - 비점오염저감시설의 운영효율을 분석하기 위해 유입수, 유출수를 채취

(2) 수질분석 결과

- 수질분석 결과 (최소~최대(평균))
 - COD : 유입 2.32~6.21(4.20) mg/L, 유출 1.47~9.91(4.85) mg/L
 - T-N : 유입 1.05~1.66(1.34) mg/L, 유출 0.41~1.09(0.75) mg/L
 - T-P : 유입 0.02~0.07(0.30) mg/L, 유출 0.02~0.09(0.05) mg/L

[표 3-17] 2차 건기 모니터링 수질분석 결과 (삼정동)

		유입수			유출수		
		COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
11월 6일	오전	4.96	1.46	0.07	4.72	1.09	0.05
	오후	2.90	1.66	0.05	1.47	1.01	0.09
11월 12일	오전	5.56	1.38	0.02	9.91	0.99	0.02
	오후	6.21	1.16	0.02	4.78	0.53	0.05
11월 19일	오전	3.27	1.35	0.02	2.90	0.41	0.02
	오후	2.32	1.05	0.02	5.29	0.46	0.08

2. 삼정동 비점오염저감시설 (대덕구 삼정동 165번지 일원)



[그림 3-14] 삼정동 저감오염 저감시설 모니터링

1) 1차 건기 모니터링 (성장시기)

(1) 모니터링 시기

- 수생식물 성장이 활발하고 선행무강우일수가 긴 시기를 선택하여 결정
 - 7월 16일, 8월 1일, 8월 7일, 8월 13일, 8월 22일, 9월 19일
 - 비점오염저감시설의 운영효율을 분석하기 위해 유입수, 유출수를 채취

(2) 수질분석 결과

- 수질분석 결과 (최소~최대(평균))
 - COD : 유입 2.64~6.92(4.56) mg/L, 유출 3.21~7.47(5.34) mg/L
 - T-N : 유입 0.19~1.89(0.73) mg/L, 유출 0.34~1.14(0.58) mg/L
 - T-P : 유입 0.03~0.15(0.07) mg/L, 유출 0.03~0.14(0.07) mg/L

[표 3-18] 1차 건기 모니터링 수질분석 결과 (삼정동)

		유입수			유출수		
		COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
7월 16일	오전	2.64	0.62	0.06	3.73	0.34	0.03
	오후	2.75	0.68	0.06	3.21	0.53	0.03
8월 1일	오전	4.13	0.96	0.13	4.46	0.47	0.05
	오후	3.87	0.90	0.04	6.20	0.67	0.07
8월 7일	오전	4.23	0.29	0.03	5.34	0.69	0.06
	오후	3.79	0.32	0.04	6.26	0.42	0.05
8월 13일	오전	4.27	0.19	0.06	5.18	0.55	0.05
	오후	6.92	0.39	0.05	3.98	0.47	0.06
8월 22일	오전	4.36	0.74	0.06	4.63	0.46	0.06
	오후	4.46	0.47	0.03	7.47	0.48	0.07
9월 19일	오전	6.77	1.34	0.15	6.31	1.14	0.14
	오후	6.54	1.89	0.15	7.33	0.74	0.14

2) 우기 모니터링

(1) 모니터링 시기

- 일정 이상의 강우가 진행된 다음날을 선택하여 결정
 - 8월 28일, 9월 5일
 - 강수시 지표면 축적 오염물질의 저감효율을 확인하기 위해 유입, 유출 수를 채취

(2) 수질분석 결과

- 수질분석 결과 (최소~최대(평균))

- COD : 유입 6.74~10.37(8.70) mg/L, 유출 6.85~9.93(8.90) mg/L
- T-N : 유입 2.22~2.96(2.57) mg/L, 유출 1.72~2.52(2.09) mg/L
- T-P : 유입 0.24~0.39(0.30) mg/L, 유출 0.18~0.26(0.21) mg/L

[표 3-19] 우기 모니터링 수질분석 결과 (삼정동)

		유입수			유출수		
		COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
8월 28일	오전	8.15	2.60	0.31	9.93	2.09	0.26
	오후	6.74	2.22	0.26	6.85	1.72	0.18
9월 5일	오전	10.37	2.96	0.39	9.31	2.52	0.21
	오후	9.52	2.48	0.24	9.50	2.04	0.19

3) 2차 건기 모니터링 (사멸시기)

(1) 모니터링 시기

- 수생식물이 사멸되고 선행무강우일수가 긴 시기를 선택하여 결정
 - 11월 6일, 11월 12일, 11월 19일
 - 비점오염저감시설의 운영효율을 분석하기 위해 유입수, 유출수를 채취

(2) 수질분석 결과

- 수질분석 결과 (최소~최대(평균))
 - COD : 유입 0.81~2.87(2.03) mg/L, 유출 1.41~5.32(3.05) mg/L
 - T-N : 유입 0.37~1.58(1.05) mg/L, 유출 0.10~0.97(0.58) mg/L
 - T-P : 유입 0.02~0.12(0.05) mg/L, 유출 0.02~0.04(0.03) mg/L

[표 3-20] 2차 건기 모니터링 수질분석 결과 (삼정동)

		유입수			유출수		
		COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
11월 6일	오전	2.66	1.23	0.02	5.32	0.71	0.04
	오후	1.08	1.16	0.02	5.12	0.85	0.03
11월 12일	오전	2.87	0.59	0.03	2.37	0.59	0.04
	오후	2.63	0.37	0.03	2.29	0.97	0.03
11월 19일	오전	0.81	1.58	0.05	1.81	0.10	0.02
	오후	2.11	1.37	0.12	1.41	0.26	0.02

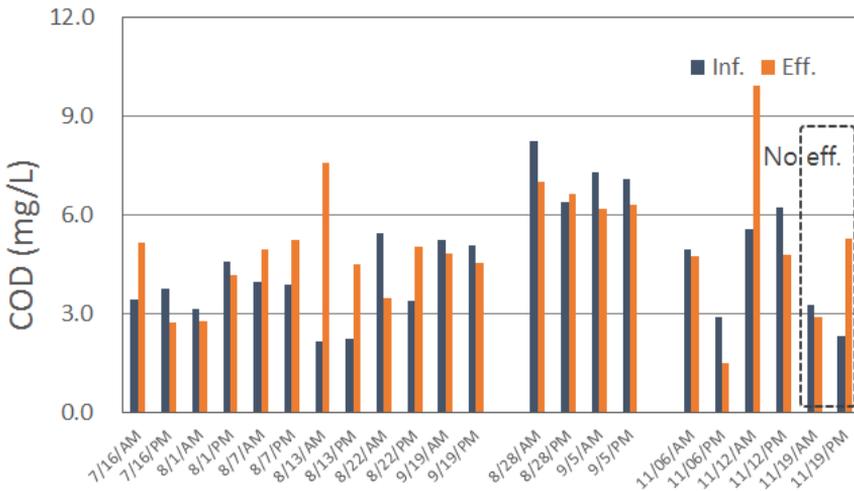
4절. 모니터링에 의한 수질변화의 검토

1. 비룡마을 비점오염 저감시설

1) COD

○ 시기별 제거율 변화

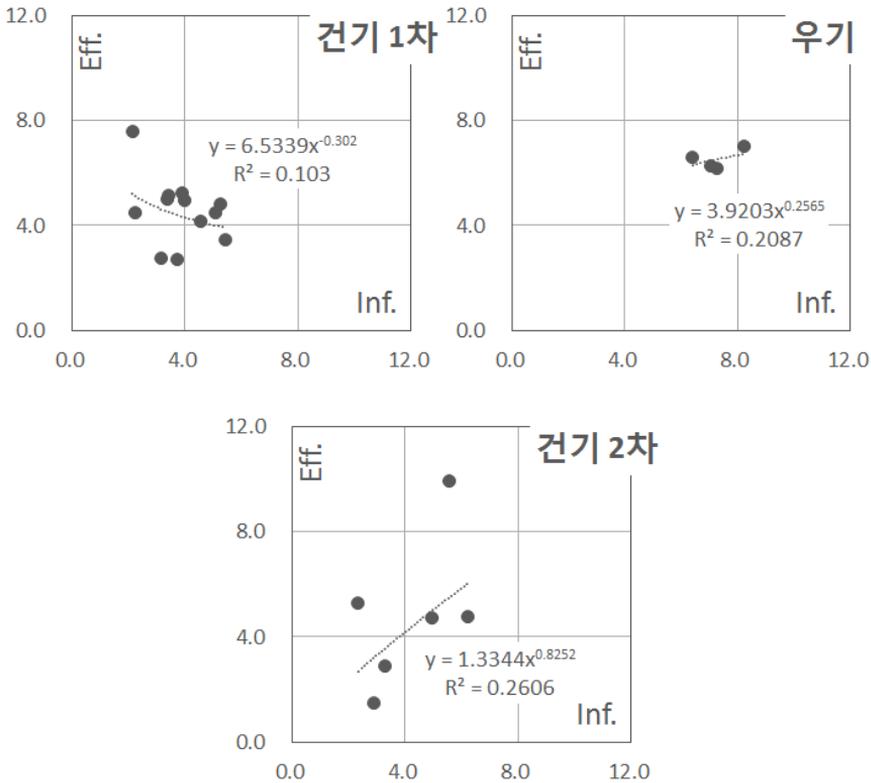
- 건기1차 : -53.74~36.70(평균 -19.46)%의 제거율을 나타냄. 유입수보다 유출수질이 높은 (-) 제거율이 6회, 유출수질이 개선되는 (+) 제거율이 6회였지만, 8월 13일의 유출수질이 나빴음
- 우기 : -3.28~15.27(평균 9.98)%의 제거율을 나타냄. (-) 제거율이 1회, (+) 제거율이 3회로 건기시보다 제거효율이 높았음. 이는 유입농도는 높지만 유출농도가 그에 비교하여 증가하지 않았기 때문임
- 건기2차 : -78.24~49.31(평균 17.21)%의 제거율을 나타냄. 마지막 모니터링의 유출이 되지 않아 총 4회 중 (+) 제거율이 3회였음



[그림 3-15] COD 수질 변화 (비룡마을)

○ 시기별 오염의 유출입 특성 검토

- [그림 3-16]과 같이 COD의 유입과 유출농도의 관계를 나타냄
- 건기1차 : 8월 13일 오후와 같이 유입보다 유출의 농도가 매우 높아 인공습지 효율을 정의할 수 없는 상관관계가 도출됨
- 우기 : 건기1차보다는 상관관계가 높아졌지만, 유입수보다 유출수의 농도가 약간 감소했다는 정도의 의미를 가짐
- 건기2차 : 건기1차 및 우기보다 상관관계가 높으며 유출수질의 변동 폭이 큼

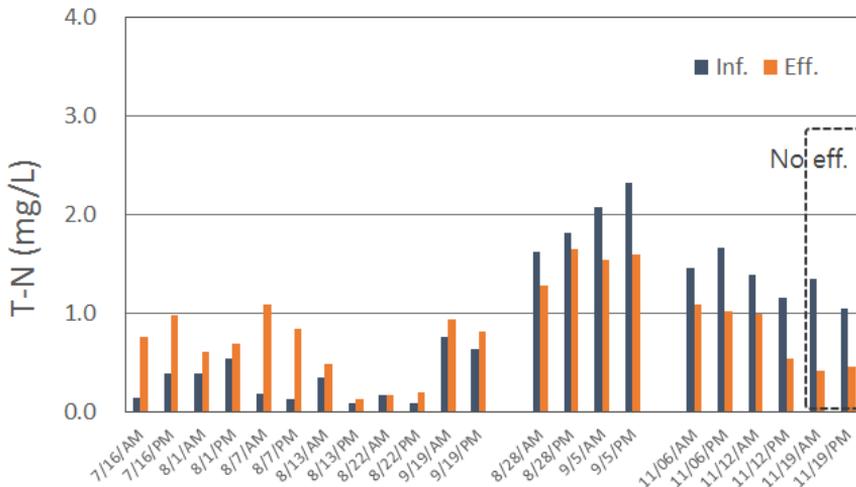


[그림 3-16] 시기별 COD 유출입 상관관계 변화 (비룡마을)

2) T-N

○ 시기별 제거율 변화

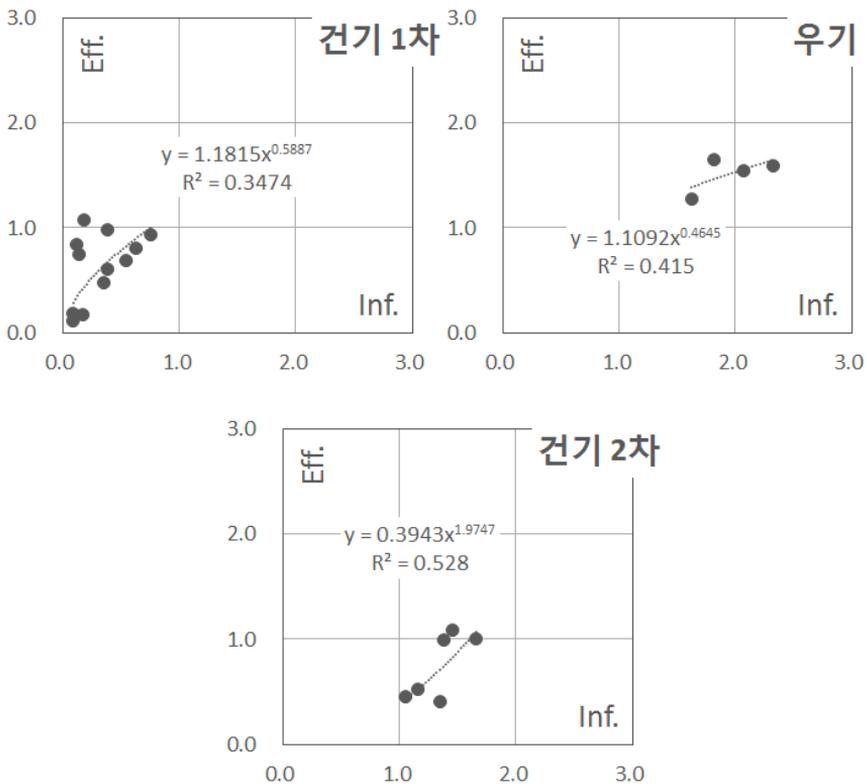
- 건기1차 : -600.00~0.70(평균 -99.48)%의 제거율을 나타냄. 유입수보다 유출수질이 높은 (-) 제거율이 11회, 유출수질이 같은 상황이 1회로 대부분 유출수질이 악화되어 배출되었음
- 우기 : 8.84~31.47(평균 29.04)%의 제거율을 나타냄. 건기1차와는 달리 우기에는 4회의 제거율이 (+)로 나타남. 이는 유입농도가 높게 증가한 것과는 달리 유출농도의 증가는 크지 않았기 때문임
- 건기2차 : 25.34~54.31(평균 55.09)%의 제거율을 나타냄. 건기2차의 마지막 모니터링의 유출이 되지 않아 총 4회 중 (+) 제거율이 4회였음. 건기1차보다 유입수의 수질이 악화되었지만 유출수질은 비슷하였으며, 제거효율로는 수생식물의 사멸로 인한 T-N의 제거효율 저하의 우려는 없는 것으로 나타남



[그림 3-17] T-N 수질 변화 (비룡마을)

○ 시기별 오염의 유출입 특성 검토

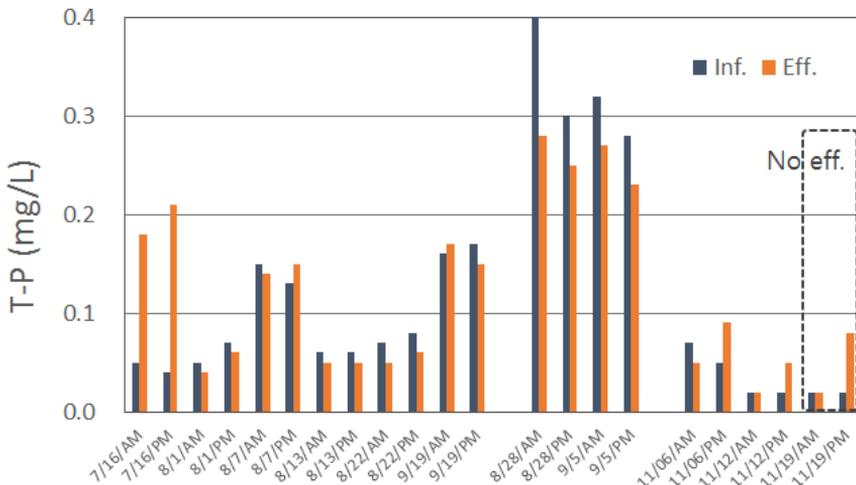
- [그림 3-18]과 같이 T-N의 유입과 유출농도 관계를 나타냄
- 건기1차 : COD와 비교하여 유입수와 유출수의 상관관계가 높음. 하지만 7월 16일 및 8월 7일에는 유입수에 비해 유출수의 농도가 매우 높은 관계를 나타냄
- 우기 : COD 및 건기1차보다 상관관계가 높음. 하지만 모니터링 횟수가 부족하여 인공습지 시스템의 상관관계를 제시하기에는 어려움
- 건기2차 : 건기1차 및 우기보다 상관관계가 높음. 건기1차에 비하여 유입수질이 높아졌지만 유출수질의 분포는 비슷함



[그림 3-18] 시기별 T-N 유출입 상관관계 변화 (비룡마을)

3) T-P

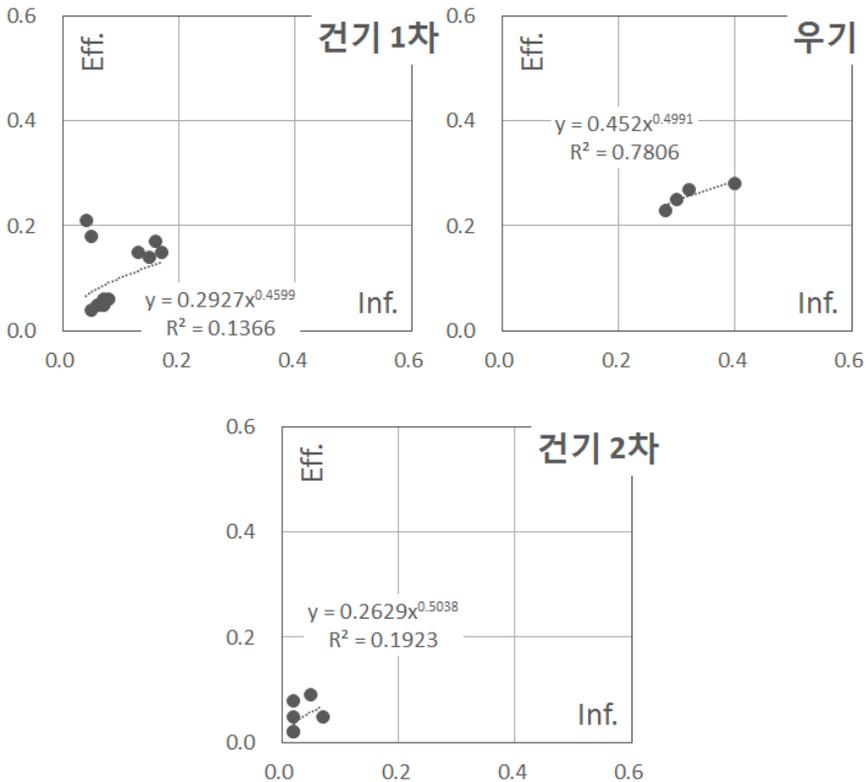
- 건기1차 : -425.00~28.57(평균 -20.18)%의 제거율을 나타냄. 유입수보다 유출수질이 높은 (-) 제거율이 4회, 유출수질이 개선되는 (+) 제거율이 8회였지만, 7월 16일의 처리효율이 나빠 전체적으로는 (-)의 제거효과가 나타남
- 우기 : 15.63~30.00(평균 26.21)%의 제거율을 나타냄. (+) 제거율만 4회로 T-N과 같이 건기시보다 제거효율이 높았음. 이는 높아진 유입농도에 비하여 인공습지가 T-P의 유출을 완충시켰기 때문임
- 건기2차 : -150.00~28.57(평균 -5.00)%의 제거율을 나타냄. 건기2차의 마지막 모니터링의 유출이 되지 않아 총 4회 중 (+) 제거율이 2회였음. 건기1차보다 유입수의 수질이 개선이 낮았으며 유출수질도 개선이 되었으나 전체적으로는 건기의 저감 효과는 얻기 어려웠음. 모니터링 시기가 늦가을로 한정되어 있고 횟수가 적어 대표성을 가지기에는 어려움이 있음



[그림 3-19] T-P 수질 변화 (비룡마을)

○ 시기별 오염의 유출입 특성 검토

- [그림 3-20]과 같이 T-P의 유입과 유출농도 관계를 나타냄
- 건기1차 : 전체적으로 인공습지 효율을 정의하기에 어려웠지만, 이를 제외하고 11% 정도의 (-) 제거효율을 나타냄
- 우기 : 유입농도에 상관없이 비슷한 유출농도를 나타내어 인공습지가 제거능력보다는 완충의 능력을 가지고 있음을 예측하게 함
- 건기2차 : 건기1차 및 우기에 비하여 유입수질이 많이 낮아졌음. 유출수질은 유입수질의 영향을 받지 않아 유출수질을 좌우하는 데에 다른 설계인자를 고려하여야 할 것으로 판단됨

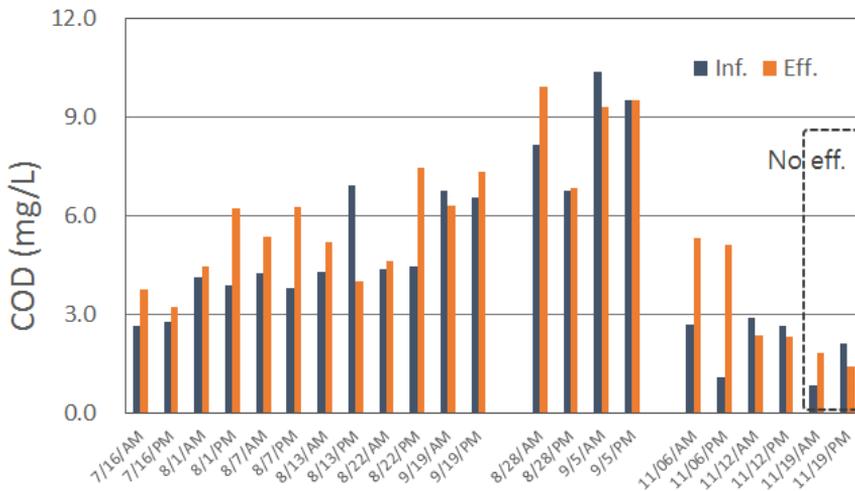


[그림 3-20] 시기별 T-P 유출입 상관관계 변화 (비룡마을)

2. 삼정동 비점오염 저감시설

1) COD

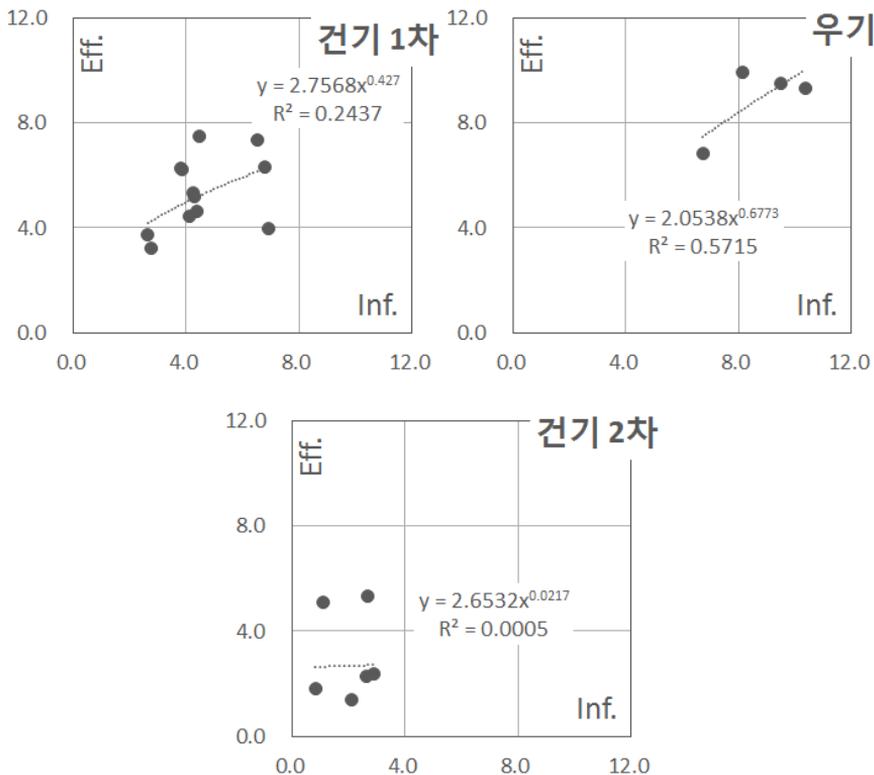
- 건기1차 : -67.49~42.49(평균 -17.12)%의 제거율을 나타냄. 유입수보다 유출수질이 높은 (-) 제거율이 10회, 유출수질이 개선되는 (+) 제거율이 2회로 전체적으로 유기물질 제거가 되지 않았음
- 우기 : -21.84~10.22(평균 -2.33)%의 제거율을 나타냄. (-) 제거율이 2회, (+) 제거율이 2회로 건기보다는 제거효율이 나쁘지 않았음. 모니터링 횟수가 많지 않아 강수시 제거효율을 정확히 제시하기 어렵지만, 강우 시에는 (+) 제거효과가 있을 것으로 판단됨
- 건기2차 : -374.07~10.22(평균 -63.42)%의 제거율을 나타냄. 마지막 모니터링의 유출이 되지 않아 총 4회 중 (+) 제거율이 2회였음



[그림 3-21] COD 수질 변화 (삼정동)

○ 시기별 오염의 유출입 특성 검토

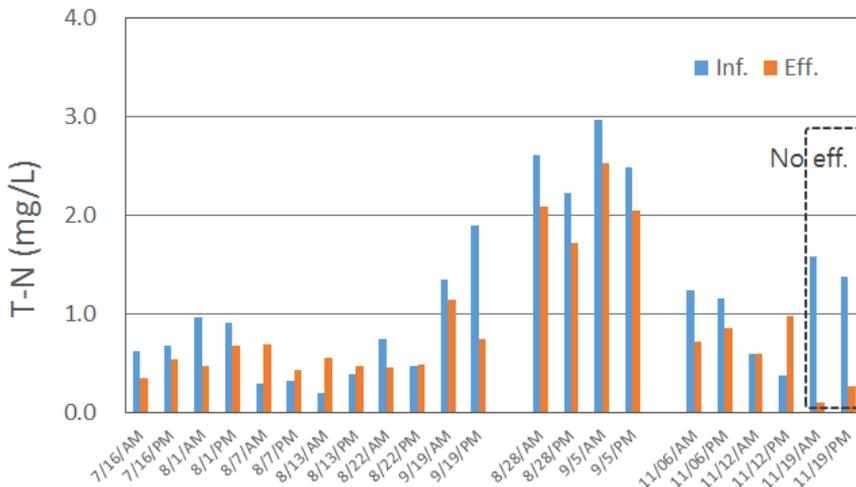
- [그림 3-22]과 같이 COD의 유입과 유출농도 관계를 나타냄
- 건기1차 : 8월 1일, 7일, 22일 오후는 (-) 저감이 높아 인공습지가 수질저감을 위한 시설임을 증명하기가 어려움. 이에 인공습지의 비점 오염저감 관련 유입과 유출의 상관관계를 제시하기 어려움
- 우기 : 건기1차보다는 상관관계가 높아졌지만, 유입수보다 유출수의 농도가 비슷한 관계를 나타냄
- 건기2차 : 건기1차 및 우기보다 상관관계가 낮아졌으며, 유입/유출수 질 모두 낮게 분포함



[그림 3-22] 시기별 COD 유출입 상관관계 변화 (삼정동)

2) T-N

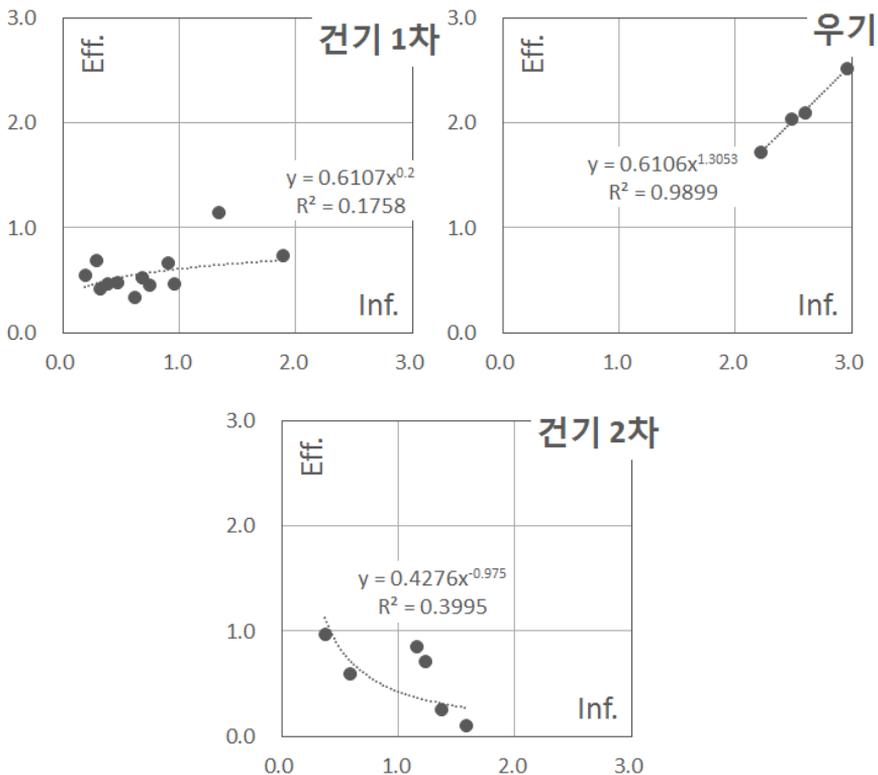
- 건기1차 : -89.47~60.85(평균 20.82)%의 제거율을 나타냄. 유입수보다 유출수질이 높은 (-) 제거율이 5회, 유출수질이 개선되는 (+) 제거율이 5회였으며, 8월 7일의 제거효율이 특히 나빴음
- 우기 : 14.86~22.52(평균 18.42)%의 제거율을 나타냄. (-) 제거율이 없고, 모두 (+) 제거율을 보임. 이는 높아진 유입농도에 대하여 인공습지가 완충의 역할을 하였다고 볼 수 있음
- 건기2차 : -162.16~42.28(평균 6.87)%의 제거율을 나타냄. 건기2차의 마지막 모니터링의 유출이 되지 않아 총 4회 중 (+) 제거율이 2회였음. 인공습지 바닥에 퇴적된 오염물질 등을 관리함에 따라 11월 9일 모니터링의 유입수질 및 유출수질이 일반적인 경향을 따르지 않은 것으로 판단됨



[그림 3-23] T-N 수질 변화 (삼정동)

○ 시기별 오염의 유출입 특성 검토

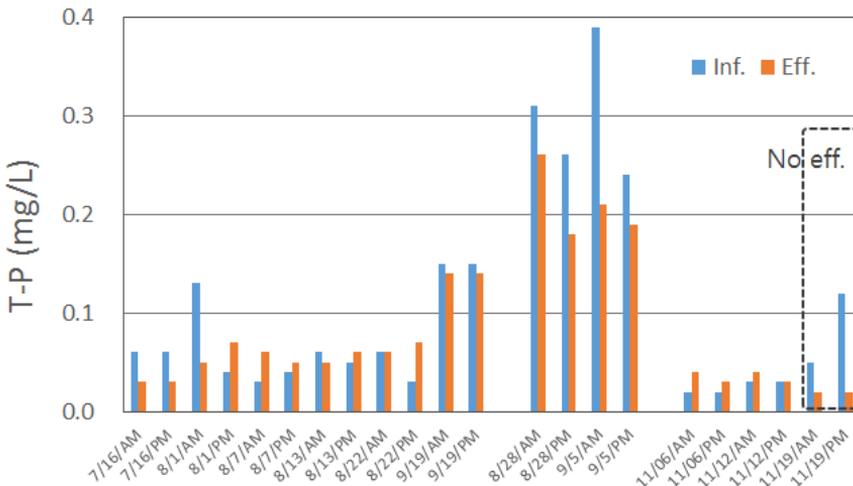
- [그림 3-24]과 같이 T-N의 유입과 유출농도 관계를 나타냄
- 건기1차 : 전체적으로 유입수의 농도 변화에 비하여 유출수의 농도는 크게 변화하지 않았음. 이에 유입부하에 대한 인공습지의 제거효율을 나타낼 수 있는 상관관계를 도출하기 어려움
- 우기 : 높은 상관관계를 보여 인공습지의 오염물질 제거 가능성을 보였지만, 모니터링 횟수가 적어 이를 객관화 하기에는 어려움이 있음
- 건기2차 : 유입수와 유출수와 상관관계가 성립되지 않으며 이는 인공 습지 관리에 따른 유입수질이 정상패턴을 벗어났기 때문으로 판단됨



[그림 3-24] 시기별 T-N 유출입 상관관계 변화 (삼정동)

3) T-P

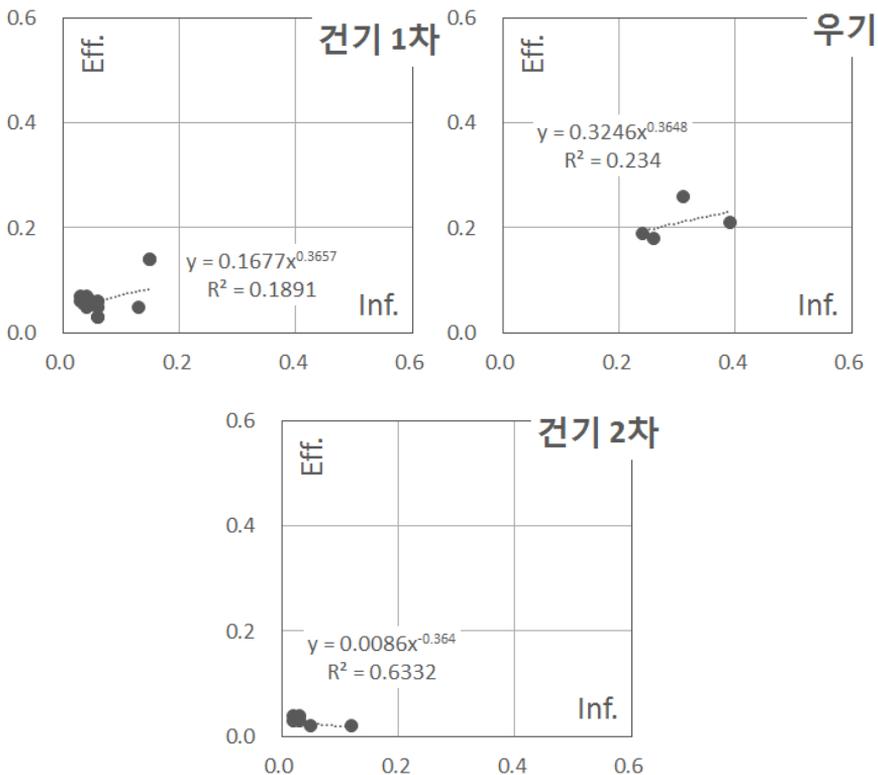
- 건기1차 : -133.33~61.54(평균 5.81)%의 제거율을 나타냄. 유입수보다 유출수질이 높은 (-) 제거율이 5회, 유출수질이 개선되는 (+) 제거율이 6회였으며, 8월 22일 오후의 제거효율이 특히 나빴음
- 우기 : 16.13~46.15(평균 30.00)%의 제거율을 나타냄. (-) 제거율이 0회로 모두 (+) 제거율을 나타내어 강수시 높아진 유입수의 오염물질을 인공습지에서 일부 제거하여 유출시켰음을 알 수 있음
- 건기2차 : -100.00~0.00(평균 -40.00)%의 제거율을 나타냄. 건기2차의 마지막 모니터링의 유출이 되지 않아 총 4회 중 (-) 제거율이 3회로 나타남. 건기1차보다 유입수 및 유출수의 수질이 낮아졌음. 모니터링 시기가 늦가을로 한정되어 있고 횟수가 적어 대표성을 가지기에는 어려움이 있으나, 인공습지가 T-P를 제거하는데에는 한계가 있는 것으로 나타남



[그림 3-25] T-P 수질 변화 (삼정동)

○ 시기별 오염의 유출입 특성 검토

- [그림 3-26]과 같이 T-P의 유입과 유출농도 관계를 나타냄
- 건기1차 : 전체적으로 낮은 유입수 및 유출수 농도에서 인공습지가 유지되며, 인공습지 효율을 정의할 수 없는 상관관계가 도출됨
- 우기 : 건기1차에 비하여 유입수가 유출수 농도가 감소하는 상관관계를 보이지만, 상관관계는 낮은 편임
- 건기2차 : 건기1차 및 우기에 비하여 유입수질이 많이 낮아짐. 유출수질은 유입수질과 상관없이 거의 일정하여 수생식물이 T-P를 제거하는데에 주요인자는 아닌 것으로 판단됨



[그림 3-26] 시기별 T-P 유출입 상관관계 변화 (삼정동)

인공습지 관리방안

- 1절. 인공습지의 수질개선 효과 증진
- 2절. 부수적 목적을 위한 개선방안
- 3절. 인공습지 관리운영의 개선

4장

4장 인공습지 관리방안

1절. 인공습지의 수질개선 효과 증진

1) 인공습지 유입수의 체류시간, 습지생물, 습지의 운영형태 개선 등

- 유입부하량을 고려한 설계인자의 마련 (새로운 인공습지)
 - 비점오염원 배출원의 파악 : 인공습지 해당 구역의 토지계, 축산계, 생활계 등의 배출오염원 파악으로 설계인자에 연결해야 함
 - 계곡수의 수질 모니터링, 유입부하량에 따른 체류시간 및 저류조(침강조) 등의 구성, 수리학적 이송방법 등의 설계인자를 현지 특성에 맞게 적용하여야 함
- 항상 물을 잠기지 않는 습지의 적용 (새로운 인공습지, 현 인공습지의 구조 개선)
 - 습지는 항상 물이 잠겨있어야 하는 것이 아니며 시기에 따라 습한 조건이 나타나는 지역임
 - 우기 조건으로 인공습지를 설계시 과도하게 큰 규모로 설계를 할 수 있으며, 건기시에는 지나치게 긴 체류시간으로 인공습지 유지의 적정 조건을 유지할 수 없음
 - 건기시에는 마르거나 축축한 상태로 유지하다가 강수시 강우유출수를 저류하여 분배할 수 있는 저류조를 도입하여야 함
- 수질개선 효과를 위한 인공습지 수생식물의 재조정 (새로운 인공습지, 현 인공습지의 구조 개선)
 - 인공습지는 조경을 목적으로 한 것이 아니며, 비점오염물질을 저감하는 것이 본연의 목적임을 염두에 두어야 함

- 일부 인공습지에서 거대역새가 조성된 바 있으나 현지에서 적응하여 자생하기에 어려워 실패한 사례가 있음.
- 인공습지 방문객을 위한 목적으로 연꽃과 같은 수생식물을 조성하기도 하였지만, 이를 위한 관리인 및 관리비용이 많이 소요되어 지속성을 갖기에 어려운 사례가 있음
- 위와 같은 사항 및 기타 목적을 고려하여 수생식물을 선택하여 적용하여야 할 것임

2) 인공습지 주변의 각종 불법오염원 관리

- 인공습지 인근의 불법 오염원 관리 (새로운 인공습지, 현 인공습지의 구조 개선)
 - 비시가화지역인 농지 인근에는 비료포대, 농약병, 쓰레기 등 빗물에 의하여 쓸려갈 수 있는 불법 오염원이 존재하고 있음
 - 통계에서 조사되는 전국오염원조사 등에 수집이 되지 않는 오염원들은 거버넌스를 통한 현지 주민들의 인식개선 및 정화활동을 통하여 인공습지 유입 전에 제거를 하여야 함
- 적정처리되지 않는 오염원의 관리 (새로운 인공습지, 현 인공습지의 구조 개선)
 - 축산분뇨 : 한우 등을 기르는 축산분뇨는 비가림막 등을 설치하여 적절히 유출되지 않게 관리되어야 하지만 방치됨으로써 강수시 처리되지 않고 인근 토지 혹은 공공수역에 직접 유출되는 문제를 야기함
 - 불법경작 : 홍수만수위 근처에 불법적으로 경작되는 농작물은 만수위까지 물이 올라오면 그대로 불법오염원이 되고, 그렇지 않아도 사용되는 비료 및 농약의 오염이 공공수역에 그대로 유출되는 문제가 있음
 - 농작물에의 과도한 비료 사용 : 일반 농지에 농작물을 기르지만 비료 및 농약이 많이 투입되는 작물 혹은 과다 투입하는 현상이 발생할 수

있음. 저비용 사용 작물을 적용한다거나, 이러한 농지 하류에 인공습지를 설치함으로써 오염물질의 유출을 감소시킬 수 있어야 함



[그림 4-1] 상수원보호구역의 불법오염원 (불법경작, 불법소각)

3) 인공습지 조성위치의 적정성 평가 및 향후의 방안 제시 (새로운 인공습지)

○ 대전시 인공습지의 입지

- 대전시 인공습지의 경우 비룡마을 비점오염저감시설은 경부고속도로의 사고오염배출을 저장하기 위한 입지를 가지고 있지만, 타 인공습지들은 특별한 오염원을 가지지 못함
- 모든 인공습지에 대하여 종합평가를 거쳐 새로운 관리방안을 마련하여야 할 것임

○ 인공습지 후보 구역의 평가

- 인공습지를 설치하고자 하는 후보 구역이 비점오염을 주로 배출하는 축산농가 및 농지가 포함되어 있는지를 조사하여야 함
- 이러한 축산농가 및 농지에서의 오염원 규모를 바탕으로 배출부하량을 산정하여 대상 인공습지의 역할 및 공공수역에의 영향정도를 파악하여야 할 것임

2절. 부수적 목적을 위한 개선방안

1. 인공습지의 생물종 다양성 개선방안

1) 생태계에서의 습지

- 담수, 염수 등이 일시적으로 습윤상태를 유지하면 이에 적응하면서 만들어지는 생태계
- 어류나 포유류, 양서류, 조류 등 야생동물에게 서식처 및 은식처가 됨. 이러한 곳은 여러 습생식물이 있어 먹이를 구하거나 몸을 숨기기에 적당함

2) 인공습지의 생태계 다양성

○ 생태계 보전과 복원

- 용화실못 : 논병아리나 겨울철 큰고니 등 여러 철새들이 찾아와 쉬고 가는 형태
- 나저어못 : 기존 둠병의 크기를 키워 만들. 주변 산으로부터 내려오는 물이 자연스럽게 못으로 모이는 구조. 습생식물과 부오, 부엽식물 뿐 아니라 새들이 찾아와 번식을 하고 몸을 피하는 장소



[그림 4-2] 국립생태원의 인공습지 조성사례

2. 친수공간 활용 및 연구 활용방안 제시

1) 교육적 활용

○ 교육적 활용의 미흡

- 많은 인공습지들이 생태교육의 현장으로 활용을 적용하고 있지만, 실제 이용되는 경우는 많지 않으며 활용빈도도 집계되지 않는 상황임. 약 20여회 현장을 방문하였지만 교육이 진행되는 현장을 목격한 경우도 없음
- 대전시 습지가 교육을 위한 보행 동선은 대부분 잘 갖추어져 있으나 휴식 및 활동공간이 부족하며, 인공습지를 설명하는 게시판과 달리 운영되는 사례도 있음

○ 교육적 활용 인공습지의 선택 및 집중

- 소규모 인공습지, 수질개선 효과가 미흡한 인공습지, 접근이 어려운 습지, 관리가 잘 안 되는 습지, 교육을 위한 동선이 원활치 않은 습지 등은 교육을 위한 장소로써 적합지 않을 수 있음
- 이러한 곳은 인공습지의 목적을 단순화하여 다른 기능을 강화하거나 관리를 단순화시킬 필요가 있음
- 비룡마을 및 삼정동 비점오염 저감시설은 모두 생태교육을 위한 기본적인 조건은 유지하는 것으로 판단됨
- 단, 건기시 수질개선효과의 미흡, 시간이 경과함에 따른 수생식물의 사멸 및 오염물질 퇴적에 따른 미관 저하, 이러한 문제점을 해결하기 위한 관리체계의 개선이 차후에 이루어져야 할 것임

2) 시민들의 친수공간 활용

○ 시민들의 뷰포인트 이용

- 이현동, 삼정동, 비룡마을 등의 대부분 인공습지는 방문하는 시민들에

계 볼거리를 제공하려는 목적을 가지고 수생식물을 식재함

- 볼거리는 한밭수목원과 같은 도심 내 습지와 차별성이 거의 없고 관리도 미흡한 편으로 볼거리의 목적에 부합하기 어려움

○ 친수공간을 위한 개선방안

- 대전시 현 인공습지만으로 친수공간을 제시하기에는 접근성, 편의성, 볼거리 등에서 어려움이 있음
- 대청호오백리길, 대청호둘레길, 생태체험마을, 마을축제 등과 같이 인공습지 인근의 볼거리 및 즐길거리와 연계할 필요가 있음
- 인공습지 자체적으로도 접근의 용이성 구축, 그늘과 같은 휴식공간 마련, 다양한 생태계 구축을 위한 노력 등과 같은 관리로 방문하고 싶은 매력을 증가시켜야 할 것임

3) 연구대상지로 활용

○ 생태계의 복원

- 수질개선, 교육에 적합지 않거나 관리에 어려움이 있는 습지를 대상으로 생태계를 다양화할 수 있는 방안을 마련할 수 있음

○ 다양한 인공습지 운영의 실험

- 인공습지 설계는 고농도의 유입수를 대상으로 한 것임에도 도입은 저농도 및 간헐적 비점오염원 유입에 대한 상황이 대부분임
- 다양한 조건에 대한 시범적용을 실시하여 저부하, 충격부하에 적용하는 설계지침을 마련하여야 함

3절. 인공습지 관리운영의 개선

1) 인공습지의 인식개선 및 재평가

○ 현재 인공습지의 역할 평가

- 인공습지의 정밀평가 : 시설이 아닌 자연형인 인공습지는 운영인자를 고정하기가 매우 어려움. 수생식물의 종류, 밀도, 계절별 오염물 제거 기작의 변화, 유입유량의 변화, 습지의 담수량 등의 인자에 대한 정밀 평가가 수행되어야 할 것임
- SWOT 분석 등에 의한 관리방안 마련 : 인공습지의 강점 및 약점 등을 기준으로 각 습지마다 인공습지를 평가하여야 함. ①현재 인공습지의 운영/관리가 적정한지, ②인공습지 운영/관리의 수정이 필요한지, ③인공습지를 다른 성격으로 전환이 필요한지, ④자연습지로의 전환이 필요한지, ⑤인공습지의 폐쇄 및 목적변환이 필요한지 등의 후속방안이 마련되어야 할 것임

○ 인공습지의 운영/관리 수정

- 현재의 인공습지의 운영이 미흡하지만 필요성이 있다면 지속투자 및 시설개선 등을 통하여 현재의 효과를 개선하여 운영/관리할 필요가 있음

○ 인공습지의 성격 전환

- 수질오염 저감 효과가 없거나 오히려 악화시킬 경우가 있는 경우에는 생태계의 다양화, 친수공간의 확대 등으로 그 목적 및 운영/관리를 전환한 필요가 있음

○ 인공습지의 재자연화

- 관리가 거의 필요하지 않은 자연습지로의 전환, 습지가 아닌 일반 초목 및 임야로의 전환할 필요가 있음

2) 운영방안

- 운영효율 개선을 위한 관리방법의 다양화
 - 인공습지의 관리방법은 행정기관의 직접 운영, 위탁업체 선정을 통한 전문기관 운영, 지역주민의 구성을 통한 관리 등이 있을 수 있음
- 수계기금을 이용한 관리방안 마련
 - 대청호 상수원보호구역에는 수질보전을 위하여 수계기금을 사용할 수 있으나 주민지원사업 지원의 한계에 도달하여 있음
 - 행정기관의 직접 운영 및 전문기관의 운영에 있어 현장의 관리가 단점인 만큼 거버넌스 및 현지주민들이 수질개선사업 참여하는 방법을 적용할 필요가 있음
- 지속적인 모니터링
 - 인공습지는 강수의 유무, 계절별로 다양한 모습을 보이므로 이러한 현황을 모니터링 하여야 함
- 인공습지 조성/관리를 위한 매뉴얼의 수립
 - 인공습지 운영은 적절한 위치, 적합한 목적, 최적의 관리, 다양한 관리주체를 선정하는 것이 무엇보다 중요함
 - 위의 사항을 인공습지별로 유형화하는 매뉴얼을 구축하여야 함



[그림 4-3] 인공습지의 수생식물 방치로 인한 수질악화

결론 및 정책제언

1절. 결 론

2절. 정책제언

5장 결론 및 정책제언

1절. 결론

1) 인공습지의 일반적인 운영

○ 인공습지 조성의 목적

- 대부분 제1의 목적으로 비점오염물질의 저감을 둠. 복합적으로 생물 다양성 확보, 환경교육, 방문객들에게의 친수성 개선 등을 두고 있음
- 국내에는 도심 외에 대부분 조성이 되어 있지만, 도시에 오수의 처리, 물순환, 열섬현상의 저감, 미세먼지의 흡수 등의 목적으로 조성한 경우도 상당 수 있음
- 유기물, 영양염류 외에 살충제 및 중금속의 오염 차단 효과가 있음
- 습지농업(벼)도 인공습지의 하나로 관리되어야 함

○ 수질저감을 위한 인공습지

- 항시 유입되는 오폐수처리장 방류수의 점오염원, 강우시 유입되는 비점오염원을 대상으로 함
- 비점오염원으로는 축산, 광산, 농경지, 미처리 오수
- 수질저감을 높이는 수생식물로써 벼, 비자루국화, 부들, 울무, 털물참새피, 줄 등을 우선적으로 적용할 수 있음

○ 인공습지의 구조

- 저류조, 침강지, 깊은습지, 얕은습지, 생태침강지, 방류조 등을 상황에 맞게 다양한 방법으로 배치해야 함
- 대부분이 바닥에 고정되는 수생식물 형태의 구조를 가지고 있지만, 상황에 따라 부유습지를 적용하기도 함

- 구조의 다양화로 적정한 체류시간을 유지하여야 함

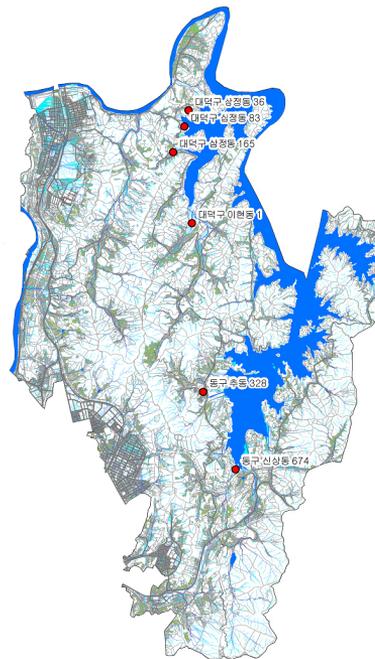
○ 인공습지의 활용 다양화

- 수생식물에 의한 오염물질 제거 → 수거한 수생식물을 사용한 농작물 (버섯) 생산 → 버섯 수확 후 잔류 바이오매스의 반추동물에의 사료 사용과 같은 다목적 활용 및 관리방안이 있음
- 양서류, 파충류, 조류, 곤충류, 포유류 등의 다양한 은신처 및 서식처의 기능을 수행함

2) 대전시 인공습지의 입지 적정성 분석방법 수립

○ 대청호 유역의 물길 정리

- 철저한 오염물질 관리가 요구되는 대청호 상수원관리지역을 대상으로 기존의 인공습지의 입지 적정성을 검토
- 상수원관리지역의 등고선을 이용한 물길을 도식화 함
- 비룡마을 비점오염저감시설 및 삼정동 비점오염저감시설은 빗물이 모여 유입되는 유역이 큰 것으로 분석됨
- 비룡마을의 고속도로 비점오염물질의 유출 외에는 약간의 농지유출 외에 특별한 오염원은 발견되지 않았음
- 비룡마을 및 삼정동 비점오염저감시설 외에는 비점오염을 주 기능으로 하기에는 입지적으로 적합하지 않는 것으로 나타남



3) 대전시 인공습지의 오염개선 효과

○ 2개 인공습지에 대한 모니터링 실시

- 샘플채취 및 COD, T-N, T-P의 분석

○ 비룡마을 비점오염저감시설

- 일반현황 : 유입수 투명도는 양호하였고, 유출수의 투명도 또한 양호하였음. 반면에 습지는 바닥이 잘 보이지 않을 정도로 투과성이 낮았으며 침전된 슬러지 및 사멸된 수생식물을 발견할 수 있었음. 건기시에는 유입수 대부분을 계곡수를 유입시켜 인공습지를 운영함
- COD : 건기에는 유입수와 유출수의 상관성을 찾아보기 어려웠으며, 유출수의 수질이 나빴음(제거효율 -25.55%). 우기에는 유출수질의 상승폭에 비하여 유입수질의 상승이 커 9.98%의 제거효율을 보였음
- T-N : 건기의 유입수와 유출수의 상관성은 매우 낮았으며, 유출수의 수질이 대부분 나빴음(제거효율 -116.38%). 다만, 우기에는 유출수질에 비하여 유입수질이 많이 상승하여 22.51%의 제거효율을 나타냄
- T-P : 건기에 유입수와 유출수의 상관성은 높지 않았으며, 유출수의 수질이 대부분 나빴음(제거효율 -48.03%). 우기에는 유입수질이 많이 상승하였으나 유출수질의 상승폭은 크지 않아 20.77%의 제거효율을 보였음
- 결과 : 건기에는 시기별로 차이는 있었지만 유입수보다 유출수의 수질이 전반적으로 나쁜 결과를 나타냄. 반면 우기에는 유입수질의 높게 상승하였지만 유출수질은 인공습지의 완충효과로 인하여 상승폭이 크지 않아 수질저감의 효과를 보임. 이는 몇 년 이상 운영한 인공습지에서 우기에는 유입된 오염물질이 침전되어 오염물의 유출이 적어진 반면, 건기에는 인공습지 내에 침전되어 있던 슬러지 및 수생식물의 사멸체에서 배출되는 성분이 오염물질의 원인이 되어 유출되기 때문으로 판단됨

○ 삼정동 비점오염저감시설

- 일반현황 : 인공습지 유입수와 유출수의 투명도는 모두 양호하였음. 반면에 습지에서는 바닥이 잘 보이지 않을 정도로 투과성이 낮았으며 침전 슬러지 및 사멸 수생식물을 여러 곳에서 확인함. 인공습지를 이용하는 수원은 대부분 해당구역의 계곡수를 유입시키고 있으며, 유입을 위한 보의 수위 이상은 기존의 하천으로 방류하고 있음
- COD : 건기에는 유입수와 유출수의 상관성을 찾아보기 어려웠으며, 유출수의 수질이 나빴음(제거효율 -44.95%). 우기에는 유출수질과 유입수질이 동시에 상승하여 -2.33%의 제거효율을 보였음
- T-N : 건기의 유입수와 유출수의 상관성은 높지 않았으며, 유출수의 수질이 일반적으로 양호하였음(제거효율 -13.56%). 또한, 우기에도 유출수질에 비하여 유입수질이 비슷하게 상승하여 18.42%의 제거효율을 나타냄
- T-P : 건기에 유입수와 유출수의 상관성은 높지 않았으며, 유입수 농도변화가 컸으나 유출수의 수질은 일정한 수준을 유지하였음(제거효율 -21.57%). 우기에는 유입수질의 상승에 비하여 유출수질의 상승폭은 크지 않아 30.00%의 제거효율을 보였음
- 결과 : 대체적으로 건기 및 우기에 비룡마을 비점오염저감시설에 비교하여 유출수의 수질이 나빠지는 경우는 크지 않았음. 하지만, 대체적으로 건기보다는 우기에 오염물질의 제거효율이 양호하였음을 알 수 있었음. 우기시 유출수질이 개선된 이유는 비룡마을과 마찬가지로 우기에 인공습지에 유입되는 비점오염물질의 완충효과로 유출을 억제하였기 때문으로 판단됨. 비룡마을에 비하여 삼정동의 건기시 유출수질의 악화가 심하지 않았는데, 이는 삼정동보다 비룡마을에 고속도로 등에서 비점오염물질이 더 많이 유입되어 인공습지에 축적되었기 때문으로 판단됨

2절. 정책제언

1) 신설 인공습지의 적용방안 관련 마련

(1) 대상 오염물질을 고려한 설계기준 마련

- 제거 대상이 되는 오염물질에 따라 다음과 같은 설계인자들을 고려하여야 함
- 유입수의 생물화학적 성상(각종 오염항목의 농도), 강수에 따른 유입 유량 변화, 강수에 따른 유입부하량 변화 등 오염의 특성을 객관화해야 할 것임
- 특히, 지리정보시스템 및 전국오염원조사 자료에 따라 계획 인공습지에 유입되는 오염부하량을 산정해야 함
- 위의 인자를 고려하여 인공습지 설치 적정성 여부를 검토할 수 있도록 해야 할 것임

(2) 신설 인공습지 시스템의 구축

○ 저류조

- 국내 일반적인 인공습지에는 일시적으로 머무르는 저류지가 거의 존재하지 않아 입자성 오염물질이 침강지 및 습지에 유입되어 바닥에 침전되는 문제점이 있음
- 강수에 의한 유출 비점오염물질이 포함된 유량을 일시적으로 저류하여야 하며, 이를 위한 강수량 및 표면유출율이 고려되어야 함
- 유역의 규모에 따라 면적이나 수위가 깊어질 수 있으며, 저류조 깊은 수심의 물을 후속단계에 유입시키기 위한 펌프장치가 사용될 수 있음

○ 침강지

- 인공습지에 저류조가 없을 경우 침강지가 저류조의 역할을 일부 수행할 수 있음

- 저류조보다 안정적인 유량으로 유입되어 부유물질을 침전시키는 기능을 하여야 함. 되도록 자연유하로 후속단계인 습지로 연결되어야 함

○ 깊은습지

- 깊은습지에서는 수생식물의 오염물질 흡수를 기대할 수 있음
- 또한 매우 긴 체류시간으로 인하여 하부의 낮은 용존산소로 인한 탈질화 및 인의 과잉배출과 같은 생물학적 작용이 일어날 수 있음
- 후속 단계인 얇은습지의 용존산소가 풍부한 상황이 유지된다면 질소 및 인의 미생물학적 저감을 증가시킬 수 있는 이론적 배경이 될 수 있지만, 그 효과를 바라보기에는 실험적 데이터가 부족한 상황임

○ 얇은습지(지표흐름습지)

- 수생식물의 오염물질 흡수 및 습지미생물 및 토양미생물의 호기성 오염물질 분해를 기대할 수 있음
- 앞 단계인 깊은습지의 혐기성 조건의 인 제거 조건이 얇은습지 전반에서 연결될 수 있을지에 대한 실험적인 데이터는 부족함

○ 생태침강지(생태여과지)

- 입자상태가 아닌 이온상태의 오염물질을 수생식물 등에 의하여 제거시키는 역할을 기대할 수 있음
- 생태침강지 및 생태여과지는 일반적인 설계인자 및 용어에 포함되지 않는 것으로 보임

○ 방류조

- 인공습지 밖으로 처리수를 유출시키기 위해 일시 저류하는 반응조임
- 유출 전 공공수역의 생태계 등을 위하여 일정 이상의 용존산소를 유지하여야 함
- 앞 단계의 반응조 기능과 목적이 유사하면 설치할 의미가 떨어짐

○ 원활한 수리학적 흐름

- 유입과 유출의 고저차가 크지 않은 경우 비점오염물질의 흐름이 원활

- 치 않을 수 있으며, 그러한 현상이 곳곳에서 확인됨
- 인공습지의 저에너지 활용이라는 의미에 부합할 수 있도록 자연유하 방식을 확실히 적용할 수 있는 설계를 해야 할 것임
- 반응조를 인공습지 목적에 적절한 방법으로 배치
- 하수처리장과 같이 정밀한 수리학적 체류시간, 슬러지 체류시간, 높은 미생물농도 등을 조절할 수 없는 상황에서 인공습지의 복잡한 시스템 부여는 적합지 않은 것으로 판단됨
 - 인공습지의 오염물질을 제거시키는 주요 기작은 침전, 흡착, 수생식물 흡수, 토양미생물 분해, 수생미생물 분해로 파악이 됨
 - 유입수의 조건, 인공습지의 규모 및 에너지의 사용가능 여부에 따라 반응조의 배열을 고려하여야 함
- 산소공급 시스템 구축
- 습지의 반응조에 혐기성 조건이 이루어지지 않도록 일정구역에 대한 산소공급이 필요함
 - 낮은 체류시간, 낮은 수위, 공기공급장치의 사용이 방안이 될 수 있으며, 최종적으로 처리수가 배출되는 인공습지의 마지막 반응조의 용존 산소 농도를 높일 필요가 있음
- 적정한 수위 유지
- 수생식물의 생육조건, 오염물질 처리효율, 야생동물 서식의 조건 등을 고려하여 인공습지의 수위를 조절하여야 할 것임

2) 설치 완료된 인공습지의 운영 개선을 위한 제안

- 시기별 관리방안 마련
- 비가 오지 않는 시기에 비하여 갈수기, 홍수기에는 유입유량이 크게 증가함

- 이러한 충격부하에 대비하여 저류조를 설치하고 일시 저류하여야 하지만, 그렇지 않을 경우에는 유입부에 과도한 유입을 배제하는 수문 등의 장치가 필요함

○ 체류시간 관리

- 수생식물, 토양미생물, 수생미생물의 오염물질 제거를 위해 적절한 체류시간을 준수해야 함
- 짧은 체류시간은 이러한 반응시간이 적어 제거효율이 떨어지지만, 대부분의 인공습지에서는 넓은 면적 및 깊은 수심으로 인하여 긴 체류시간을 가지는 것으로 판단됨
- 인공습지 반응조 안에서의 최적 체류시간을 위하여 유입유량을 조절할 수 있는 월류웨어 및 수문 등의 설치가 필요함

○ 준설관리

- 인공습지의 대표적인 오염물질 기작은 침전 및 흡착임
- 운영기간이 길어짐에 따라 퇴적층이 두꺼워져 저류용량의 감소 및 슬러지로 인한 오염유출 가능성이 커지므로, 이를 방지하기 위하여 퇴적층을 준설할 필요가 있음

○ 식생관리

- 인공습지에 적용된 수생식물의 흡수는 인공습지의 대표적인 오염물질을 제거 기작임
- 반면에 수년 동안 수생식물을 방치하면 사멸에 의하여 인공습지 바닥에 퇴적층으로 쌓여 오염유출 가능성이 커지게 됨
- 수생식물이 사멸하기 전에 효율적 제거방안(자르기, 태우기 등)의 방법으로 식생을 제거하는 방법을 선택하여야 함
- 갈대 고사체 제거는 수확법이 바람직하지만 갈대 뿌리에 존재하는 많은 미생물은 동절기에 오염물질 제거 기작에 적용되므로 훼손되지 않도록 관리할 필요가 있음

○ 인공습지 목표 달성을 위한 기타사항

- 습지의 생태적 가치를 확인하고 이를 법적으로 인정받기 위한 절차를 수립하여야 함
- 엄격히 보호되는 습지(인공습지, 자연습지)와 농업습지의 분포 및 경계의 구분
- 수확작물이 있는 농업습지의 환경적 능력을 다시 정의하고 명확히 하여야 함
- 농업습지의 경우, 전통적인 친환경 농업 아이디어와 현대 농업기술(물 절약 농업, 홍수저항 번식, 유기비료, 제로 비료 및 살충제)을 정리하여야 할 것임
- 교통, 시설, 체험 활동 및 서비스 등의 개선으로 습지로의 접근성 및 매력의 향상시켜야 함
- 다양한 미디어, 농민 참여 및 자원봉사 활동 등을 통하여 사회적 의견을 반영하여야 함

참고문헌

- 환경부(2014), 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, 2014
농업기반공사, 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계관리 요령
- 환경부 (2011), 생태하천 복원 기술 지침서
- 최충식(2016), 비점저감형 인공습지 운영현황 조사 및 관리방안 연구, 금강
수계관리위원회
- 이상팔 등(2017), 강우시 인공습지를 이용한 유기물 간리, *Journal of
Environmental Science International*, 26(3), pp.401-410
- 이경재, 기경석, 박태훈, 김지석(2008), 낙동강 수질개선을 위한 생태복원지
모니터링 및 매수토지 관리방안 수립 연구, 한국환경생태학회
- 최지용(2008), 비점오염 저감을 위한 인공습지의 효율제고 방안, *경기논단*,
10(2), 경기연구원
- 김춘송, 고지연, 이재생, 식성태, 구연충, 강항원(2007), 생활오수에 대한 정
화력이 높은 수생식물 선발, 26(1), pp.25-35, 한국환경농학회지
- 이용곤(2012), 수질개선을 위한 인공습지 활용 가능성, *경남발전*, 122, 경남
발전연구원
- Malin Hultberg, Thomas Prade, Hristina Bodinb, Aleksandar
Vidakovic, Hakan Asp(2018), Adding benefit to wetlands -
Valorization of harvested common reed through mushroom
production, *Science of the Total Environment* 637-638, pp.
1395-1399
- Meher Bellakhal, Andre Neveub, Lotfi Aleya(2014), Artificial
wetlands as a solution to the decline in the frog
population: Estimation of their suitability through the study of
population dynamics of Sahara Frogs in hill lakes, *Ecological
Engineering*, 63, pp.114-121
- Rawaa Al-Isawi, Sanak Ray, Miklas Scholz(2017), Comparative
study of domestic wastewater treatment by mature vertical-flow
constructed wetlands and artificial ponds, *Ecological
Engineering*, 100, pp.8-18
- Tatiane Benvenuti, Fernando Hamerski, Alexandre Giacobbo,
Andrea M. Bernardes, Jane Zoppas-Ferreira, Marco A.S.
Rodrigues(2018), Constructed floating wetland for the

- treatment of domestic sewage: A realscale study, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, pp.5706-5711
- S. Arden, X.Ma, Constructed wetlands for greywater recycle and reuse, *Science of the Total Environment*, 630, pp.587-599, 2018
- A. Marzo, D. Ventura, G.L. Cirelli, R. Aiello, D. Vanella, R. Rapisarda, S. Barbagallo, S. Consoli, Hydraulic reliability of a horizontal wetland for wastewater treatment in Sicily, *Science of the Total Environment*, 636, pp.94-106, 2018
- Xiaofei Yu, Mingju E, Mingyang Suna, Zhenshan Xue, Xianguo Lu, Ming Jianga, Yuanchun Zou. Wetland recreational agriculture: Balancing wetland conservation and agrodevelopment, *Environmental Science and Policy*, 87, pp.11-17, 2018