

인공습지의 설계방안

Costructed wetland design

엄 한 용

(umhy@ekr.or.kr)

한국농어촌공사 수자원관리처 차장

담수호 및 농업용저수지의 유입수는 일반적으로 다유량 저농도의 특성을 갖고 있으며, 특히 강우시에는 유역의 노면에 집적된 비점오염물질이 넓은 면적에서 폭넓게 유출되어 유입되고 있어 기존의 하수처리공법에서와 같이 한곳에 모아 처리한다는 것은 현실적으로 어려움이 따른다.

넓은 유역을 갖는 수체에 적용될 수 있는 공법은 가급적 유지관리가 용이하고, 특히 호소의 주요염 특성인 부영양화 억제를 위한 질소·인 등의 영양염류를 효과적으로 제거 할 수 있는 수질정화용 인공습지가 많이 검토되고 있다. 인공습지는 습지의 기능 중 수질정화 기능을 극대화 한 것으로 초기에는 도시하수유출 수의 처리를 위하여 사용되었으며, 점차 유기물의 부하농도가 높은 농업배수(축산 등)에 이용되기 시작 하였다. 강우 유출수, 도시하수, 농업배수, 광산 폐수 등의 점·비점오염물질을 저감하기 위한 수질개선시설로 적용이 점차 늘어나고

있다. 최근에는 강우유출과 같은 유출수의 수질을 관리하기 위한 기법으로 인공습지의 사용이 늘고 있다.

본고에서는 한국농어촌공사에서 수행한 습지관련 연구와 자료수집결과 등을 종합하여 인공습지의 기본적인 설계방안을 제시하고자 하였다.

인공습지의 정화원리 및 구성

습지는 조건에 따라 다양한 물리·화학·생물학적 작용을 이용한 독립적 또는 복합적인 과정을 통하여 수질을 개선한다. 습지의 식생은 흐름의 유속을 감소시켜 토사·부유물 등의 침전을 유도하며, 미생물에 다양한 서식환경을 제공하여 오염물질을 제거 한다. 주로 습지의 수질정화 기능은 식생, 물(수리), 습지기질(하부층), 미생물 등 4가지 주요 인자에 의하여 발휘 된다.

가. 식생

물속 수생식물은 영양물질의 흡수와 유속을 감소시켜 물리·화학적 작용을 위한 반응시간을 증가시키고 미생물 등에 부착표면을 증가시켜 침전·분해가 용이하도록 하여준다. 수생식물의 흡수는 5%정도인 것으로 알려져 식물의 흡수에 의한 제거량은 크지 않으며, 침전·퇴적·분해 등에 관여하는 역할이 보다 중요한 것으로 알려져 있다.

나. 미생물

미생물은 유기·무기물질을 해가 없거나 불용성의 물질로 변환시키기도 하며, 매질의 산화/환원 환경을 변화시킴으로써 습지의 처리용량에 영향을 주기도 한다.

다. 습지기질(하부층)

습지의 기질(하부층)은 토양, 모래, 자갈 등과 부식과 같은 유기물질 등으로 이루어져 있으며, 습지의 낮은 유속과 많은 생산성 등으로 퇴적물과 식물고사체 등의 저장고 역할을 한다.

라. 물(수리)

습지에서의 수리는 인공습지의 중요설계인자이며, 인공습지의 성패에 영향을 주는 인자로 일반습지와 유사하다.

인공습지의 장단점

인공습지는 콘크리트나 철골이 거의 필요 없어 조성이 저렴하며, 유지관리비용이 낮은 장점이 있는 반면, 많은 면적이 필요하며 위생해충의 발생 우려 등의 단점도 있다. 인공습지의 주요 장단점을 표 1에 나타내었다.

인공습지의 처리효율

인공습지의 정화효율은 습지의 규모와 유량, 유입농도의 영향을 받게 되므로 일률적인 효율을

표 1. 인공습지의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> • 건설비용이 적다 • 유지관리비가 낮다 • 일관성이 있고 신뢰성이 있음 • 운영이 간단 • 에너지가 많이 필요하지 않음 • 고도처리수준의 수질정화가 가능 • 슬러지가 없고, 화학적인 조작이 필요 없음 • 부하변동에 적응성이 높음 • 야생동물의 서식지 제공 • 우수한 경관 형성 	<ul style="list-style-type: none"> • 많은 면적이 소요 • 최적설계자료가 부족 • 기술자, 운영자가 습지기술에 친숙하지 못함 • 설계비용이 많이 소요 • 모기 등의 위생해충 발생 가능성이 있음

나타내기 어렵다. 따라서 정화효율에 영향을 주는 인자를 고려하여 결정하여야 한다. 마산저수지 인공습지를 대상으로 한 다년간('01년~'04년)의 연구결과를 바탕으로 도출한 유출수 농도 추정식은 인공습지의 정화효율을 결정하는데 유용하게 이용될 수 있다. 유출수 농도추정식은 표현 모델식을 이용하여 비선형회귀분석을 실시하여 도출할 수 있으며, 유출수 농도추정식을 이용하여 유출수의 농도를 추정하고 유입수 농도와 비교하여 인공습지의 정화 효율을 결정할 수 있다.

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

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

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

여기에서 A=습지 소요면적(ha), Q=유량(m³/day)

인공습지의 설계

가. 기본원리

인공습지의 설계는 자연습지를 모방하여 최선의 수질개선효과를 얻을 수 있도록 설계되며 다음의 사항을 기본적으로 고려한다. ①설계는 가능한 단순화, ②유지관리를 최소화하도록 설계, ③최악의 기상조건(홍수, 가뭄)을 가정하여 설계, ④자연경관 지형과 조화를 고려하여 계획, ⑤과도한 설계를 피하고 가능한 자연시스템을 모방, ⑥단기간 효과를

위한 과도한 시스템적용 회피, ⑦시스템은 형태보다 기능을 고려하여 설계한다.

나. 습지시스템의 구성

인공습지는 식생피도를 높여 전체구간을 식생으로 유지하는 것보다 연못-습지-연못 배열이 정화효과 및 위생해충문제 해결 등에 보다 유리하다.

다. 습지의 구조와 형태

1) 침사지

침사지는 유입수 중의 부유물 및 고형물을 제거하기 위한 시설로 가능한 경계벽이 있는 독립된 구간으로 하며 수심은 1~2m, 체류시간은 2~5시간이 되도록 계획한다.

2)인공습지

인공습지는 유입수가 습지전체에 균등하게 물이 흐르도록 계획되어야 한다. 습지의 길이·폭 비는 1:1~2:1 정도로 하며 대략 하나의 cell이 1ha 정도로 습지를 조성하는 것이 적당하다. 독의 높이는 수심을 0.3~0.6m로 조정할 수 있도록 약 0.8~1.0m로 설계하며 바닥의 경사는 0.02%를 넘지 않도록 한다. 인공습지 설계시 일정부분 개방수역을 조성할 경우 처리효율을 높일 수 있으므로 습지 중간에 개방수역을 계획하도록 한다.

라. 인공습지의 설계인자

인공습지의 설계인자로는 설계수질, 설계유량, 시스템배영 및 체류시간 등이 있다. 설계수질은 방류수의 수질예측을 위한 가장 기본적인 설계인자이며, 설계유량은 체류시간(HRT)과 함께 인공습지의 규모산정에 있어 필요한 설계인자이다. 체류시간은 인공습지의 오염물질 제거능력을 예측·평가할 수

있도록 하며, 시스템배열은 인공습지에서 오염물질 제거효과를 향상시키고 건설비를 절감 할 수 있는 방안을 강구 할 수 있는 설계인자이다.

1) 설계수질

인공습지에서 오염물질의 저감은 일차반응 플러 그흐름으로 가정하여 파악하며 위에 기술된 “인공 습지의 처리효율”에서 기술한 (식2~5)을 이용하여 검토 할 수 있다.

2) 설계유량

농업용저수지 수질개선대책시설의 용량산출은 설계 강우량에 의해 이루어진다. 시설의 용량은 오염 물질의 총체적인 영향에 대처하거나 또는 구체적으로 특정 오염물질을 정해진 수준으로 제거하고자 할 경우 처리하여야 할 강우유출수의 양(WQv, water quality volume)을 기준으로 결정하며 다음 식에 의하여 산출된다.

$$WQv = P \times Rv \times A \times 10 \quad (\text{식5})$$

WQv는 처리하고자 하는 강우유출량(m³), P는 설계 강수량(mm), Rv는 유출계수, A는 집수면적(ha)을 나타내고 10은 환산계수를 나타낸다.

시설로 유입되는 침투유량은 확률빈도 80%에 해당하는 강우 중 최대강도일 때를 기준으로 하며 침투유량(Qwp)의 산정방법에는 가지야마식, SCS방법, Tank 모형(Dirom) 등이 사용될 수 있다.

3) 시스템배열

습지시스템은 유수지-습지(습지-개방구간-습지)-유수지 형태로 조성하는 것이 유리하다. 개방구간의

조성은 전체 습지면적의 약 25%이상 조성하는 것이 유리하며, 개방구간내에는 침수식물들이 자라게 안배 할 경우 개구리밥 등의 번식을 막아 부엽식물에 의한 수중 광합성량 저하를 막을 수 있다.

4) 체류시간

인공습지의 설계시에는 대상지의 토지수용가능여부 및 목표수질 등을 고려하여 규모를 결정하게 된다.

하천수나 비교적 넓은 유역의 유출수를 대상으로 하는 등 처리해야 할 물량이 많은 경우 체류시간을 짧게하여 높은 수리부하율로 운영하는 것이 유리하며, 체류시간은 6~48시간이 효과적이며, 갈수기에는 유량공급이 제한되어 3~5일 이상으로 연장 될 수 있다.

5) 기타

인공습지의 수심은 인공습지의 처리목적에 따라 결정된다. 얇은 습지는 질산화에 유리하여 0.1~0.3m가 적당하고, 깊은 습지는 탈질에 유리하여 0.3~0.6m 정도로 조성한다. 연못 등의 개방수역은 부유물의 침전이나 산소의 재공급을 위한 구간으로 1m 이상이 일반적으로 적용되고 있다. 처리효율, 수생식물의 성장, 용존산소 등을 고려 할 때 습지의 식생구간은 0.3~0.6m의 수심이 적당하다.

비교적 규모가 큰 인공습지를 조성할 경우에는 인위적으로 식생을 조성하기보다는 자연적으로 식생이 정착할 수 있도록 하는 것이 유리하다. 목적하는 종을 유도하고 잡초제어를 위해서는 수위를 조절하고 다양한 수심조건을 형성하여 주어야 성공적인 식생을 조성·유지 할 수 있다.

습지의 규모 결정

인공습지의 규모 결정방법에는 유역면적비법, 체류시간에 의한 방법, RBS, 반응모형에 의한 방법 등이 있으며, 국내에서는 체류시간에 의한 방법이 가장 많이 채택하고 있으며, 위에 기술된 “인공습지의 처리효율”에서 기술한 반응모형(식2~5)을 이용할 수도 있다. (식6)은 체류시간에 의한 방법을 나타내는 식이다.

$$As = (Q \cdot HRT/d)/n \quad (\text{식6})$$

여기서 As는 인공습지의 면적(m²), Q는 유입유량(m³/h), HRT는 체류시간(h), d는 수심(m)이다.

맺는말

인공습지는 자연의 습지기능을 모방하여 수질오염 물질을 제거하고자하는 시설로 일반적인 환경기초 시설과는 달리 일정한 효율을 지속적으로 달성하기에는 어려움이 있다. 따라서 인공습지의 설치목적 을 달성하기 위해서는 지속적으로 효율에 대한 모니터링을 실시하고, 식생관리, 물관리 등의 시설관리를 지속적으로 실시하여 습지의 기능을 최적으로 유지하도록 계획하여야 한다.

수질오염신고센터

농어촌용수 수질오염 행위 발견시 한국농어촌공사(<http://www.ekr.or.kr>) 수질오염 신고센터에 신고하여 주세요.

- ➔ 홈페이지 접속/ 고객만족/ 수질오염신고센터(※실명확인)
- ➔ 신고내용을 6차 원칙에 의거 구체적으로 작성(증거자료 첨부가능)
- ➔ 신고내용 : 농어촌용수 및 농업기반시설(저수지, 담수호, 양배수장, 관정, 용배수로)에 대해 수질오염 우려가 있는 행위

※ 수질오염 신고대상 행위

- 산업폐수 무단 방류, 불법세차 행위, 수질오염 사고(유류, 폐용제 등)
- 축산폐수 무단방류 및 야적 방치, 물고기 폐사
- 기타 오염물질 불법 투기행위 등

궁금하신 사항은 ☎ 031-420-3787~8로 문의하시기 바랍니다.