

농업지역 내 FWS 인공습지의 수질정화효율 분석

강 창 국* / Marla C. Maniquiz** / 손 영 규*** / 김 이 형****+

Analysis of water purification in the FWS wetland for Agreculture Area

Changguk Kang* / Marla C. Maniquiz** / Younggyu Son*** / Leehyung Kim****+

요약 : 최근 우리나라 농경지 면적은 해마다 감소하고 있는 추세이나 이러한 농업지역으로부터 발생하는 오염부하량은 오히려 증가하고 있는 실정이다. 농업지역으로부터 발생하는 오염물질 중 대부분은 비점오염원에 의해 배출되며 이는 주로 저농도이면서 넓은 지역에서 대량으로 배출되는 특성을 보인다. 본 연구의 목적은 농업지역 내 비점오염원을 관리하기 위한 방안으로 인공습지를 적용하여 수질정화효율을 분석함으로써 인공습지 적용가능성과 오염물질 제거기작, 설계인자 등을 제공함에 있다. 모니터링 결과를 토대로 수질분석을 실시하였으며 분석 결과, 유입수의 평균 농도 제거율은 TSS가 26 %, BOD가 28 %, TN이 16 %, TP가 39 %로 나타났다. 또한 국내 하천수질기준에 준하여 인공습지 유입수와 유출수의 수질을 비교해 본 결과 대부분의 항목에서 수질등급이 향상되었다.

핵심용어 : 농업지역, 비점오염원, 자유수면형 인공습지, 농도 제거율

Abstract : Annually, the scale of agricultural areas in Korea were being reduced as the lands were converted to other land uses. While the rate of productivity were either being maintained or increased, the pollution load from these areas were still greater in magnitude. Although the levels of pollutant concentration released in the agricultural watersheds were minimal, the combined quantities mostly from diffuse sources were high. As a consequence, the Ministry of Environment (MOE) in Korea adopted the use of free water surface (FWS) flow constructed wetlands to reduce the pollutant loadings emitted from agricultural watersheds for the improvement of water quality and protection of aquatic ecosystems. In this study, a constructed wetland treating stream water in an agricultural watershed was monitored since April 2009 subsequent to its completion in December 2008. Satisfactory performance was achieved for TSS, BOD and TP with 26%, 28% and 39% pollutant removal rates, respectively. In addition, the effluent water quality was improved and achieved compliance the national water quality criteria. Results of this study can be useful to establish design parameters and employ proper removal techniques of similar natural treatment systems for future implementation in the country.

Keywords : Agricultural area, Non-point source, Free Water Surface, Removal efficiency

1. 서 론

농업이란 인간이 필요한 물질과 에너지를 얻기 위해 토지를 이용하여 인간에게 유용한 동·식물을 생산하는 활동이다. 이러한 농업활동은 인류의 발

달과 직·간접적으로 밀접하게 연계되어 있으며, 인류에게 필요한 자원을 제공하는 동시에 불필요한 오염물질을 발생시킨다. 과거 농업지역에서 발생되는 오염부하량은 단순히 농경지 면적에 비례하여 추산되었으며, 점오염원 중심으로 관리가 이루어져

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr
* 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 석사과정
** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 박사과정
*** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · BK21 계약교수
**** 정희원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학부 교수

왔다. 정부는 점오염원에 대한 지속적인 관리를 통하여 4대강을 비롯한 크고 작은 수계에 대한 수질 개선은 어느 정도 이루어졌으나 만족할 만한 성과를 얻어내진 못하였다. 우리나라의 농경지 면적은 1970년 229만 8000 ha였으나, 도시화 및 농업기술의 발달, 생활수준 향상 등의 이유로 2009년 173만 7000 ha로 해마다 감소하고 있는 추세이다. 이러한 농경지의 감소에도 불구하고 농업지역의 오염부하량은 크게 증가하고 있으며, 농업용수를 포함한 농촌용수의 수질오염이 가속되고 있다(농업기반공사, 2004).

농업지역으로부터 발생하는 오염물질 대부분은 비점오염원으로 배출되며, 이는 비교적 저농도이면서 넓은 면적에서 대량으로 유출되는 특성을 보인다(최선화 등, 2006). 우리나라의 경우 대부분의 농가가 제한된 부지에서 높은 생산력을 얻어내기 위해 단기간에 많은 노동력과 자본 등을 요구하는 집약적 영농 방식을 추구하고 있다. 이러한 집약적 농업은 종종 하천과 지하수원 오염의 원인이 되며 토양 및 수질의 악화를 야기시키고 있다(Patoine and Simoneau, 2002). 일반적으로 논에 대한 질소와 인의 국내 표준시비량은 각각 0.9 kg/are, 0.45 kg/are 정도이나 고정적인 농사로 인한 토양 내 영양소 고갈, 부정확한 토양검정으로 인한 시비량의 오차 등과 같은 이유로 대부분의 농가에서 과도하게 비료를 사용하고 있다. 질소 비료의 경우, 일반적으로 시비량의 절반은 작물에 의해 흡수되거나 나머지 절반은 농업지역에 발생하는 강우유출수를 통해 질산염의 형태로 인근 하천·호소 등과 같은 지표수나 지하수로 유입된다(Howarth et al., 1996; Poe et al., 2003). 또한 논외의 경우 건기 시에 부족한 물의 공급 및 저류를 위해 대부분이 하천 주위에 밀집하고 있으며, 강우 시에 논외 침수를 막기 위해 물꼬를 틔으로써 하천으로 농약성분 및 질소, 인과 같은 오염물질이 하천으로 직유입되어 수질오염을 야기시킨다.

농업지역의 비점오염물질을 저감하기 위한 일반적인 방안으로 상류지역의 비료사용을 제한하거나 인공습지, 생태저류지, 식생수로 등과 같은 생태학

적 자연정화시설을 적용하는 방법을 들 수 있다(David Moreno-Mateos et al., 2010). 최근 정부는 농업지역의 비점오염 관리방안으로 화학비료 대신 축산분뇨 자원화를 통한 질소·인 등의 영양물질 공급, 오리농법을 통해 무농약·무화학비료 벼농사를 확대하여 천적 공급을 통한 농약 사용을 감축, 농경배수로와 하천이 접하는 지역에 인공습지를 설치하여 자연정화방법에 의한 질소·인 제거하는 방법을 도모하였다(한국농촌공사, 2007). 인공습지는 유량 및 수질 변화에 대한 적응력이 높아 폭 넓은 범위의 수리부하에서도 운영이 가능하며, 입상장 물질, 유기물질, 영양물질 등과 같은 오염물질 제거에 효과적이기 때문에 농촌지역의 비점오염원 관리에 유용하다(함중화 등, 2004). 인공습지로 유입된 오염물질 대부분은 습지 내 식생에 의한 여과 및 흡착, 습지 바닥으로의 침전 등과 같은 물리적 과정과 식물 및 미생물 등에 의한 흡수, 분해와 같은 생물학적 과정에 의해 제거된다. 이러한 제거 기작에 의한 처리효과는 도입된 식물 종, 미생물의 종류와 활성도, 계절, 강우특성, 체류시간 등에 의존한다. 따라서 체류시간을 조정하거나 흡착성이 강한 식생을 도입함으로써, 습지 내 오염물질의 잔류시간을 늘리고, 미생물 등과의 접촉을 증가시켜, 오염물질의 제거율을 향상시킬 수 있다(Gregoire et al., 2009). 인공습지는 오염물질 저감기능 외에, 야생 동식물의 서식처 제공, 가뭄철 부족한 농업용수의 제공 및 홍수 조절기능, 주변 경관 개선, 생태적 교육 장소로서의 활용이 가능하다. 이러한 자연형 저감시설의 경우 다른 시설에 비해 설치 및 유지관리 비용이 상대적으로 저렴하여 농업지역의 비점오염 저감시설로 적용이 유용하다. 또한 장치형 시설의 경우 비점오염물질을 처리함에 있어서 강우시에만 국한 될 수밖에 없으나 인공습지와 같은 자연형 시설의 경우 비강우시에도 연속적으로 오염물질이 유입되고 있으며 이러한 상황에서 발생될 수 있는 비점오염물질을 처리할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

본 연구의 목적은 농업지역 내 인공습지를 적용함으로써 농업적 토지이용으로부터 비강우시에 발

생되는 비점오염물질을 저감하고 인공습지 내 수질 정화효율을 평가함에 있다. 이로써 농업지역에 대한 인공습지 적용가능성을 살펴보고 기존에 발생된 문제점을 수정·보안하여 향후 실시될 비점오염관리 방안 및 시설설계에 필요한 기초자료 구축에 기여할 수 있겠다.

2. 연구방법

2.1 FWS 인공습지의 개황

연구지점은 농경지 및 인근 축산단지로부터 발생하는 비점오염물질을 처리하기 위한 자유수면형 (Free Water Surface) 인공습지이며 충청남도 공주시 탄천면에 위치하고 있다. 자유수면형 인공습지는 외관상 자연습지와 흡사하며 유입수가 토양 표층 위로 흐르는 형태로서 식생 및 미생물 등에 의한 물리·화학적 및 생물학적 반응이 복합적으로 작용하여 오염물질을 저감시키는 시설이다. 연구대상 지점인 인공습지는 2008년 12월에 시공이 완료되었으며, 모니터링은 2009년 4월부터 시행되었다. Table 1은 저감시설의 처리대상 유역 이용현황을 나타내고 있으며, 전체 유역 면적(465 ha)중에 임야(338 ha)가 73 %, 농경지가 논(82 ha)과 밭(37 ha)을 포함하여 26 %를 차지한다. Fig. 1은 인공습지 내 유입수의 흐름 경로 및 수질 분석을 위한 샘플링 지점을 보여주고 있다. 인공습지는 크게 침강지(Sedimentation zone), 얇은 습지 1(Shallow marsh 1), 깊은 습지(Deep marsh), 얇은 습지 2(Shallow marsh 2), 침전지(Settling pond)로 구성되며, 하천수는 유입부(Inlet)를 통해 인공습지를 거치면서 오염물질이 저감된 후에 유출관을 통해 다시 하천으로 방류된다.

Table 1. Landuses of watershed areas in FWS wetland

Land use	Area(ha)				
	Forest	Wet paddy	Dry paddy	Urban	Total
Constructed wetland	338 (72.7%)	82 (17.6%)	37 (8.0%)	8 (1.6%)	465 (100%)

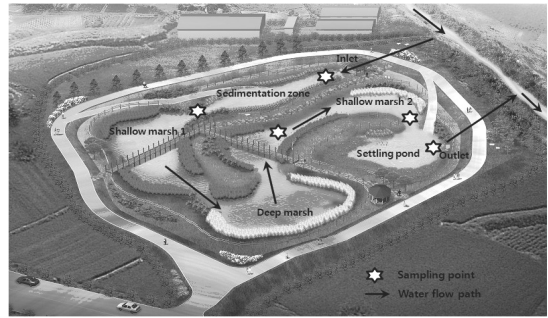


Fig. 1. Flow path and sampling points in the FWS wetland

인공습지는 강우시 주변의 농경지 및 축산단지로부터 발생하는 강우유출수를 처리할 목적으로 설계되었으며 비강우시에도 인근 하천으로부터 하천수가 연속적으로 유입된다. 하천수는 직경 45 cm의 파이프관을 통해 자연유하식으로 유입되며, 유입부 스크린을 거치면서 쓰레기 및 협잡물 등이 제거된 후에 습지로 유입된다. 인공습지는 용량이 2,957 m³이며 평균깊이가 0.9 m, 수리학적체류시간은 0.7 일로 설계되었다. 또한 본 연구지점의 인근 관측소인 대전관측소의 자료를 토대로 표준강우사상의 강우특성(강우량, 강우지속시간의 평균값)으로부터 설계강우량 18.4 mm를 설정하였으며, 이는 확률빈도 74.4 %에 해당하는 값이다. Table 2에 인공습지의 주요 설계인자를 나타내었다. Fig. 2는 각 공정별 주요도입식물을 나타낸 것으로 식생은 2008년 12월에 식재되었다. 얇은 습지와 깊은 습지에 달뿌리풀 (*Phragmites japonica*), 갈대 (*Phragmites communis*), 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*), 애기부들 (*Typha angustata*), 침전지에 미나리(*Oenanthe japonica*) 등을 식재하여 식생에 의한 수질개선 및 야생동물의 서식처 제공 등을 도모하였다.

Table 2. Specification of the FWS wetland

Facility	Surface area (m ²)	Capacity (m ³)	Design flow (m ³ /s)	Average depth (m)	HRT (day)
Constructed Wetland	3,282	2,957	0.05	0.9	0.7

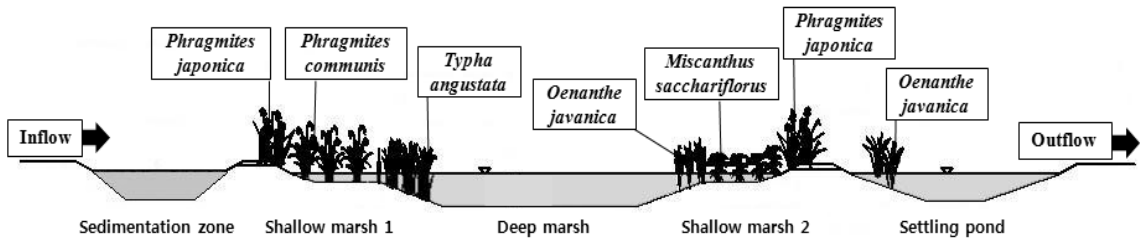


Fig. 2. A side view of the FWS wetland with wetland vegetation

2.2 모니터링 및 분석 방법

비강우시 모니터링은 2009년 4월부터 2009년 12월까지 총 10회가 수행되었다. 수질시료는 유입부(Inlet), 얇은 습지 1의 유입부(Shallow marsh 1 and Deep marsh, 이하 SD), 얇은 습지 2의 유입부(Shallow Marsh 2, 이하 SM), 침전지의 유입부(Settling Pond, 이하 SP), 그리고 유출부(Outlet)에서 채취하였다. 온도, pH, 전기전도도(EC), 용존산소(DO)의 경우 Calibrated multi-probe를 이용하여 현장측정을 실시하였으며, 입자성 물질(TSS, Turbidity), 유기물질(BOD, COD_{Mn}), 영양염류(TN, TP 등)에 대한 분석은 샘플링 후 신속하게 실험실로 옮겨와 수질오염공정시험기준(2008)에 준하여 실시하였다. 인공습지내 오염물질별 저감 효율은 식(1)을 적용하여 산정하였으며 여기서 C_{in}과 C_{out}은 각각 유입부 및 유출부의 수질 농도를 의미한다.

$$RE(\%) = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (\text{식 } 1)$$

3. 연구결과

3.1 수질 분석 결과

3.1.1 온도, pH, 용존산소, 전기전도도

Table 3에 현장 실측한 온도, pH, 용존산소, 전기전도도에 대한 분석 결과를 나타내었다. 전체적으로 용존산소 이외에는 유입부, 내부 시설, 유출부에서의 변화가 거의 없는 것으로 확인되었다. 용존산소의 경우 유입수 6.5 mg/L에서 유출수 8.2 mg/L로 서서히 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 오염물질 분해 등에 의한 산소 소모보다 대기 중으로부터의 산소 유입 및 수중식물의 광합성 작용 등으로 인한 산소 생성 등이 활발하게 일어나기 때문인 것으로 판단되었다.

Table 3. Variation of temperature, pH, DO, and EC in the FWS wetland

Constituent (Avg.±SD)	Inlet	SD	SM	SP	Outlet
Temperature (°C)	17.8±7.26	18.9±6.83	19.2±6.30	19.0±7.00	19.1±7.43
pH (pH unit)	6.7±0.36	7.0±0.68	6.9±0.30	7.0±0.38	7.2±0.58
DO (mg/L)	6.5±1.15	7.7±1.87	7.9±1.10	8.0±1.36	8.2±1.25
EC (µs/cm)	241.4±57.15	240.6±13.03	246.9±13.66	239.6±21.61	247.6±14.83

3.1.2 입자성 물질(TSS, Turbidity)

수질에 있어 물의 혼탁정도를 나타내는 대표적인 지표로 TSS와 Turbidity를 들 수 있다. 일반적으로 자연상태에서 질소, 인 등은 입자상으로 존재하거나 미세한 토립자에 부착되어 있다. 특히 농경지의 경우 가축분뇨와 함께 나무껍질과 톱밥과 같은 난분해성 유기물질을 섞어 만든 가축분 퇴비의 사용량이 많아 인근하천으로 유입된 토양으로부터 인과 유기물이 함께 유실되는 경우가 빈번하다(신영규,

2004). 따라서 입자성 물질의 제어가 수질 개선 부분에 크게 기여할 수 있는 인자임에 분명하다. Fig. 3은 입자성 물질의 분석결과를 보여주고 있으며 TSS의 경우 유입 평균 농도가 7.3 mg/L, 유출 평균 농도가 5.4 mg/L로 침강지를 거쳐 약간 증가한 이후 서서히 감소하는 경향을 보였다. Turbidity의 유입 평균 농도는 7.5 mg/L, 유출 평균 농도가 5.8 mg/L로서 침강지, 깊은 습지를 거치면서 감소하여 얕은습지를 지나면서 안정화되는 것으로 나타났다.

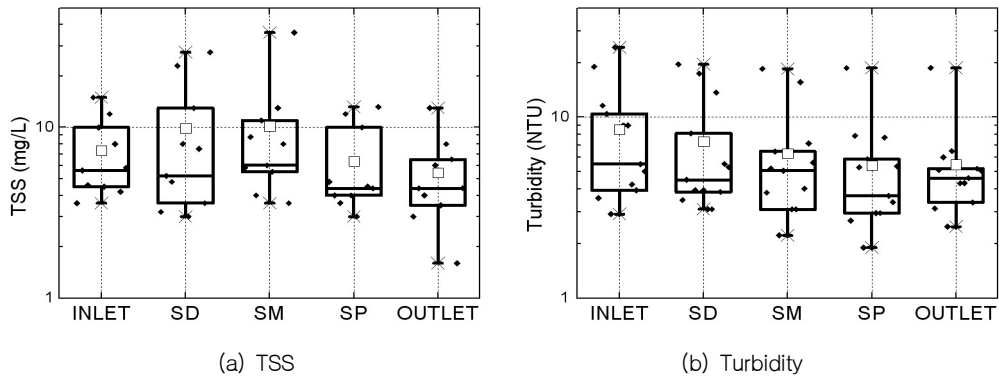


Fig. 3. Variation of TSS and turbidity in the FWS wetland

3.1.3 유기 물질 (BOD, COD)

인공습지에서 유기물은 주로 입자형태의 유기물질의 습지 내 침강, 식물체와 media 등에 의한 부착, 미생물에 의한 분해와 같은 물리적, 생물학적 제거 기작이 복합적으로 작용하여 제거된다. Fig. 4는 COD와 BOD 분석결과이며 COD의 경우 유입

평균 농도가 6.5 mg/L, SD 지점에서의 평균 농도가 6.8 mg/L, 유출 평균 농도가 5.2 mg/L로 나타났다. BOD의 경우, 유입수 농도가 1.3~4.8 mg/L, 최종 유출수의 농도가 1.1~3.5 mg/L의 범위를 보였으며 후속 공정으로 갈수록 농도가 서서히 감소하는 것으로 분석되었다.

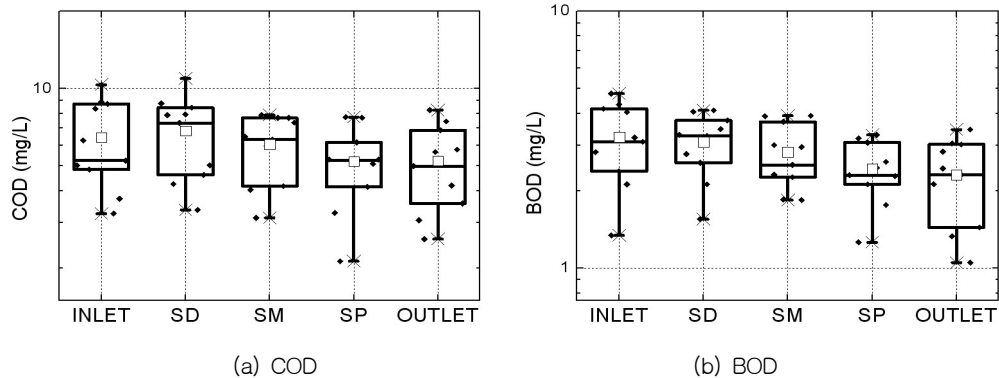


Fig. 4. Variation of COD and BOD in the FWS wetland

3.1.4 영양 염류 (TN, TP)

습지 내에서 질소는 주로 질산화와 탈질화 작용으로 제거되며, 그 밖에 제거기작으로 식물에 의한 흡수, 유기질소의 침전 등을 들 수 있다. 이와 같은 제거기작은 대부분 습지 내에 존재하는 수생식물 주변에서 이루어진다. 정수식물의 잎으로부터 대기 중의 산소가 뿌리로 전달되어 뿌리주변에 호기성 상태가 유지되면 토양 내 존재하는 미생물 (*Nitrosomonas*, *Nitrobactor*)에 의해 질산화 작용이 일어난다. 근권의 질산화 작용에 의해 생성된 질산염($\text{NO}_3\text{-N}$)은 근권을 둘러싸고 있는 혐기상태의 토양 내에 존재하는 탈질미생물(*Pseudomonas*, *Bacillus*)에 의해 질소가스(N_2)로 전환되어 식물의 통기조직을 통해 대기 중으로 이동되어 제거된다(서동철 외 9인, 2009). 또한 인공습지 내에서 인의 처리는 인산염의 침전 작용, 식물 및 기타 기질에 의한 흡착, 수생식물 및 습지 내 미생물에 의한 분해 및 흡수과정에 의해 이루어진다. Fig. 5는 영

양염류의 습지내 거동을 분석한 결과이다. TN의 유입 평균 농도는 6.5 mg/L이며 4.7~8.6 mg/L의 농도범위를 보였으며, 최종 유출 평균 농도는 5.5 mg/L이며 4.1~7.2 mg/L의 농도범위를 보이는 것으로 나타났으며 저감량은 미비한 것으로 나타났다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 유입 평균 농도는 각각 0.6, 1.1 mg/L로 나타났으며, 유출 평균 농도가 각각 0.3, 0.8 mg/L로서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 에 비하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도 저감량이 저조한 것으로 분석되었다. TP의 유입수와 유출수의 농도는 각각 0.3~1.8 mg/L, 0.2~0.9 mg/L의 범위를 보이며 후속공정으로 갈수록 순차적으로 저감되는 것으로 나타났다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 경우 유입 평균 농도는 0.13 mg/L, 유출 평균 농도가 0.06 mg/L로 나타났으며 습지로 유입된 인산염 중에 대부분이 초기 침강지에서 제거가 된 후에 깊은 습지, 얕은 습지를 거쳐 유출되는 경향을 보였다.

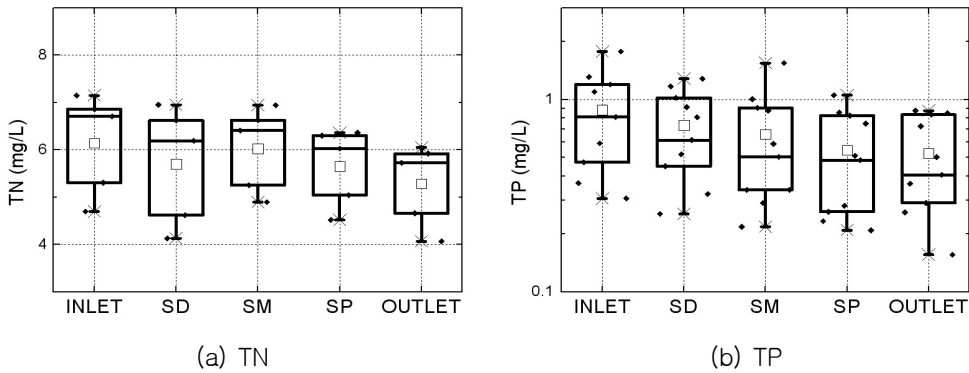


Fig. 5. Variation of TN and TP in the FWS wetland

3.2 오염물질 제거효율 분석

인공습지의 수질정화 효율을 분석하기 위하여 유입수의 농도 제거율을 산정하여 Table 4에 나타내었다. 유입수의 평균 농도 제거율은 TSS가 26%, BOD가 28%, TN이 16%, TP가 39%로 나타났으며, 전체 오염물질 중 $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 50%로써 가장 높은 농도 제거율을 보였다. 양홍모(2001)의 연구결과에서는 TSS, BOD, TN, TP가 각각 33

%, 43%, 31%, 51%의 평균 제거율을 보였으며, 본 연구 결과에 비해 제거율이 높게 나타났다. 양홍모(2001)의 연구 대상 지점은 자유수면형 인공습지라는 점과 습지 조성 후 초기단계라는 점이 비슷하나 HRT가 1.5~2.0 day로써 본 연구에 비해 2배 이상 긴 체류시간을 가지고 있다. 또한 유입수가 본 연구에 비해 농도가 비교적 큰 하수처리장 방류수라는 점이 큰 차이점이다. 짧은 체류시간, 습지 내 미흡한 식생군락, 질산화 및 탈질화 작용

공간 부족, 유입수의 성상 등에 의해 제거율이 저조하게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 보다 높은 식생밀도를 조성하여 습지내 유속을 감소시키고, 체류시간을 늘리는 동시에 질산화 및 탈질화 작용 공간을 제공해 주는 방안을 모색할 필요가 있다. 또한 TN의 경우 겨울철 농도 제거율이 비교적 낮게 나타났다. 습지에서 질소의 주된 제거기작이 질산화 및 탈질화 작용이며, 이러한 과정에 관여하는 미생물 대부분이 온도의 영향을 크게 받기 때문에 겨울철 농도 제거율이 비교적 낮게 나타난 것으로 판단된다. 이에 대한 해결방안을 모색하기 위하여 계절별 오염물질의 거동 및 저감효율을 산정해 볼

필요성이 있으며 향후 이에 대한 연구를 수행할 예정이다. TP의 평균 농도 제거율은 39 %로 다른 오염물질에 비해 상대적으로 높고, 계절적 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 습지에서 인은 다양한 인산염의 형태로 존재하며 이러한 인산염은 대부분이 습지 바닥층으로 침전되거나 식생의 뿌리나 줄기 등에 흡착되어 제거된다(양홍모, 2003). 2009년 4월 24일의 경우 10 % 미만의 낮은 농도 제거율을 보였는데 이는 샘플링 직전 발생한 강우로 인하여 습지 바닥층에 쌓여 있던 침전 및 잔재물이 교란되어 유실된 결과로 보여진다.

Table 4. Removal efficiency of constituents in the constrained wetland

Monitoring date	TSS (%)	BOD (%)	COD (%)	TN (%)	TP (%)
2009/04/24	22.2	30.0	22.4	2.1	8.8
2009/05/20	40.0	51.7	32.1	16.7	51.1
2009/06/20	33.3	24.4	14.5	31.0	58.1
2009/07/02	13.3	17.0	20.4	18.2	33.9
2009/08/11	18.8	44.1	13.3	20.7	50.0
2009/08/25	13.0	21.6	20.4	13.7	33.2
2009/09/16	61.9	11.8	7.8	15.4	52.2
2009/09/27	21.4	13.7	17.5	12.2	22.7
2009/10/28	24.1	32.1	29.0	13.4	49.0
2009/12/11	16.7	31.6	4.8	14.7	29.6
Mean±SD	26±15.07	28±12.89	18±8.58	16±7.26	39±15.75

3.3 국내 하천수질기준과의 비교

인공습지의 수질정화 효과를 평가하기 위하여 하천수질환경기준에 준하여 인공습지의 유입 및 유출수의 수질을 비교하였다. 하천의 수질환경기준은 공공수역의 오염도가 증가함에 따라 이전 제도의 운영상 나타난 미비점을 개선 및 보완할 목적으로 2010년 1월부터 개정되어 시행되고 있다. 개정 후 수질환경기준 항목은 기존 항목인 pH, BOD, SS, DO에서 TP와 COD 항목이 추가되었으며 향후 TN 항목도 추가될 것으로 보여진다. 인공습지 처

리수에 있어 DO와 BOD의 경우 수질등급이 향상되었으며 그 밖에 항목의 경우는 기존의 수질등급을 유지하였다. TP와 COD의 경우, 다른 항목에 비해 수질등급이 저조한 것으로 보여지며 이는 유입수 농도가 상대적으로 그리 높지 않기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 TP의 경우 유입수와 유출수의 농도를 비교할 경우 최대 58 %의 농도 저감을 보이는 것으로 나타나 본 인공습지가 인 제거에서도 비교적 우수한 처리 능력을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

Table 5. Comparison of the average water quality to Korean stream standards.

Parameter	Influent water quality	GLI (standard)	Treated water quality	GLI (standard)
pH (pH unit)	6.7±0.4	Ia (6.5 to 8.5)	7.2±0.6	Ia (6.5 to 8.5)
BOD (mg/L)	3.2±1.1	III (5 or less)	2.3±0.8	II (3 or less)
COD (mg/L)	6.5±2.4	III (7 or higher)	5.2±1.9	III (7 or less)
SS (mg/L)	7.3±3.8	Ia (25 or less)	5.4±3.2	Ia (25 or less)
DO (mg/L)	6.5±1.2	III (5 or higher)	8.1±1.3	Ia(7.5 or higher)
TP (mg/L)	1.60±2.3	VI (0.5 or higher)	0.57±0.6	VI (0.5 or higher)

* Grade Level Index (GLI) : Ia-Very Good, Ib-Good, II-Fairly Good, III-Fair, IV-Fairly Poor, V-Poor, VI-Very Poor

5. 결 론

최근 농경지의 감소에도 불구하고 농업지역의 오염부하량은 증가하고 있으며, 대부분이 비점오염원으로부터 발생되고 있다. 이러한 농업지역의 비점오염원은 주로 저농도이면서 넓은 지역에 걸쳐 발생된다. 본 연구는 비점오염원을 관리하기 위한 방안으로 인공습지를 적용하여 습지 내 수질정화효율을 분석함으로써 자유수면형 인공습지의 적용성을 평가하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 인공습지로 유입 된 오염물질들은 습지 내 각각의 공정을 거쳐 순차적으로 저감되는 경향을 보였다. 또한 오염물질들 중 대부분이 초기 침강지에서 안정화를 거친 후 깊은 습지 및 얕은 습지를 거치면서 서서히 감소하는 경향을 보였다.
2. 유입수의 평균 농도 제거율은 TSS가 26 %, BOD가 28 %, TN이 16 %, TP가 39 %로 나타났으며, PO₄-P의 경우 50 %로서 가장 높은 농도 제거율을 보였다. 본 연구지점의 경우 습지 조성 후 정상가동 기간이 약 2년이 채 안된 초기단계로써 식물의 활착 및 체류시간 등과 같은 운전조건을 조정한다면 보다 높은 농도 제거율을 나타낼 수 있을 것으로 보여진다.

3. 인공습지의 수질정화 효과를 평가하기 위하여 하천수질환경기준에 준하여 인공습지의 유입 및 유출수의 수질을 비교하였다. 인공습지 처리수에 있어 BOD의 경우 1단계, DO의 경우 2단계 이상 수질등급이 향상되었다. 그 밖에 항목의 경우 수질등급은 기존의 등급을 유지하면서 농도가 감소한 것으로 나타났다. 강우시 발생한 고농도의 강우유출수에 비해 저조한 농도 제거율을 보였으나 비강우시의 저농도를 대상으로 수행된 연구라는 점에서 본 연구결과는 향후 자연형 시설 설계 및 유지 관리 방안에 대한 기초자료로서 충분한 의미가 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 농업기반공사, 2004, 농촌지역 오수의 자원순환형 영양염류 저감시스템 개발 (II), 농림부
- 신영규, 2004, 대관령 지역의 산림 소유역과 농경지 소유역의 수질 비교, 대한지리학회지, 39(4), 544-561
- 양홍모, 2001, 고수부지활용 수질정화 자유수면 인공습지의 초기처리수준, 한국환경농공학회지, 20(4), 277-283
- 양홍모, 2003, 하천고수부지 수질정화 자유수면인공습지의 초기운영단계 인 제거, 한국환경농공학회지, 22(4), 251-254

- 서동철, 조인성, 임석천, 이병주, 박성규, 천영석, 박중환, 이홍재, 조주식, 허종수, 2009, 장기 모니터링을 통한 환경친화형 인공습지 하수처리장의 수질정화효율 평가, 한국환경농공학회지, 28(2), 97-105
- 최선화, 안열, 김호일, 2006, 인공습지의 수질정화효율 평가, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, 349-356
- 한국농촌공사, 2007, 농촌지역 비점오염관리 가이드북, 농림부
- 함종화, 윤춘경, 구원석, 김형철, 이광식, 2004, 비점오염원 제어를 위한 인공습지의 계절별 처리효율비교, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, 93-96
- 환경부, 2008, 수질오염공정시험기준
- David Moreno-Mateos, César Pedrocchi, Francisco A. Comín, 2010, Effects of wetland construction on water quality in a semi-arid catchment degraded by intensive agricultural use, Ecological Engineering, 36(5), 631-639
- Gregoire, C., S. Payraudeau, G. Tapia-Padilla, D. Elsaesser, R. Schulz, J. Lange, T. Schu"tz, D. Huguenot, T. Lebeau, A. Merli, M. Trevisan, R. Mose, A. Wanko, E. Passeport, J. Tournebize, 2009, Mitigation of agricultural nonpoint-source pesticide pollution in artificial wetland ecosystems, Environ Chem Lett, 7, pp. 205-231
- Howarth, R., Billen, G., Swamy, D., Townsend, A., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing, J., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, F., Freney, J., Kudeyarov, V., Murdoch, P., Zhao-Liang, Z., 1996, Regional nitrogen budgets and riverine N and P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: natural and human influences, Biogeochemistry 35, 75-139
- Patoine, M., Simoneau, M., 2002. Impacts de l'agriculture intensive sur la qualite´ del'eau des rivie`res du Que´bec. Vecteur Environnement, 35, 61-6
- Poe, A.C., Piehler, M.F., Thompson S.P., Paerl, H.W, 2003, Denitrification in a constructed wetland receiving agricultural runoff, Wetlands 23, 817-826

○논문접수일 : 10년 09월 06일
 ○심사의뢰일 : 10년 09월 08일
 ○심사완료일 : 10년 10월 19일