

ORIGINAL ARTICLE

인공습지에서의 물질순환에 관한 연구

김동억 · 박제철*

금오공과대학교 환경공학과

Cycling of Matters in the Constructed Wetland

Dong-Oug Kim, Je-Chul Park*

Department of Environment Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 391771, Korea

Abstract

This study analyzed the changes in the concentrations of the pollutants of constructed treatment wetlands which come from the discharge water of a sewage treatment plant. According to the results of budgets in constructed wetlands, the net production of the organic carbon, nitrogen and phosphorus were 368 kgC/month, 306 kgN/month and -49 kgP/month, respectively. The high particle form of pollutants are mostly removed due to settlement and absorption when passing through wetlands, but because a low processing efficiency for pollutants was shown when sewage treatment plant wastewater flows in, there is a need for a water management system that can reduce the organic matter load through monitoring. The low removal efficiency of constructed wetlands were caused by both structural and operational problems. Therefore, to enable to play a role as a reduction facility of pollutants, an appropriate design and operation manuals for constructed wetlands is urgently needed.

Key words : Constructed wetland, Budgets, Settling velocity

1. 서론

인공습지는 자연습지의 기능을 자연에 가깝게 복원하여 훼손된 생태계의 복원뿐 아니라, 공원이나 생태교육장으로의 기능, 수질정화 기능, 생물다양성의 보존 등 여러 가지의 목적으로 조성되어 왔다(Mitsch and Gosselink, 2000). 최근 국내에서는 댐 상류지역의 비점오염물질 및 소형 하수처리장 유출수 처리를 목적으로 인공습지를 조성하여 운영하고 있으며(Choi et al., 2014), 또한 하천 주변에 비점오염저감, 상수원의 수질개선, 야생동물과 다

양한 식물이 서식할 수 있는 서식지로 인공습지를 조성하여 활용하고 있다(Bachand and Horne, 1999; Mitsch and Jørgensen, 2003; Hsu et al., 2011; Jou et al., 2012).

인공습지에서의 수질정화 기작은 크게 미생물의 대사 활동과 식물에 의한 영양염류의 흡수와 같은 생물학적 기작과 물-식물-퇴적토-식물뿌리 사이에서 일어나는 침전, 흡착 그리고 응집과 같은 물리화학적 기작으로 나눌 수 있다. 이러한 기작들은 독립적 또는 복합적인 과정을 통해 일어난다(Reddy and DeBusk, 1987). 생물학적

Received 3 March, 2020; Revised 17 March, 2020;

Accepted 18 March, 2020

*Corresponding author: Je-Chul Park, Department of Environment Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 391771, Korea

Phone : +82-54-478-7633

E-mail : pjc1963@kumoh.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기작의 주요 기능은 미생물에 의한 분해기능으로서 습지 내의 유기물을 무기물로 변환시키고, 변환된 무기물은 식물이 흡수하여 처리하는 것이다. 그리고 습지의 식생은 유속을 감소시켜 부유물질을 침전시키기 때문에, 이들 입자에 흡착된 오염물질이 함께 침전된다. 수표면의 산소교환과 활발한 광합성 작용으로 증가된 산소는 유기물을 산화분해시킬 수 있다(Mitsch and Gosselink, 2000).

최근 들어 인공습지는 자연습지가 가지고 있는 다양한 기능중 수질정화 기능을 생활하수, 축산폐수, 농업 및 광산폐수를 처리하는 목적으로 1960년대부터 미국과 유럽에서 이용되어 왔다(EPA, 2000). 국내에서는 1990년대부터 도입되어 현재는 하천주변에 비점오염저감 시설, 상수원의 수질개선을 위한 담저수지 상류 인공습지로 확대 이용되고 있다. 자연생태계의 일부를 이용하는 인공습지는 야생동물과 다양한 식물이 서식할 수 있는 서식지로 이용되며, 건설비용, 운영비용 등을 절감할 수 있는 경제적인 장점이 있다(Bachand and Horne, 1999; Mitsch and Jørgensen, 2003; Hsu et al., 2011; Jou et al., 2012). 그러나 이러한 인공습지는 계절적 영향, 퇴적물의 재용출, 고사한 식물체의 분해에 의한 영양물질 용출 등에 의해 처리효율이 낮아질 수 있다(Kadlec and Wallace, 2008).

인공습지를 이용하여 오염물질 제거에 관한 연구(Kang et al., 2010; Park et al., 2013; Choi et al., 2014; Hsueh et al., 2014; Lee and Park, 2017), 인공습지 식생조성에 관한 연구(Greenway, 2007; Zhang et al., 2010), 퇴적물의 영향에 관한 연구(Horne and Goldman, 1994) 등의 많은 연구가 이루어져 왔지만 인공습지의 내부에서 변동하는 물질순환에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서는 대청호 수질개선을 위해 설치된 소옥천 인공습지에서 인, 질소, 유기물이 생태인공습지를 통과하면서 어떤 변화를 하는지 모니터링 하였으며, 특히 인공습지 내부에서 침전, 용출 등의 기작에 의해 거동하는 오염물질의 변화량(물질순환)을 산정하여 인공습지에 의한 수질정화 효율을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상지의 개요

본 연구의 조사대상지는 충청북도 옥천군 군북면 지오리에 위치한 소옥천 생태습지로 옥천하수처리장 방류수 및 유역의 비점오염원을 관리하기 위하여 2011년에 준공되었다. 설계 유입 유량은 18,000 m³/day, 설계 수리학적 체류시간은 48 h, 시설면적은 34,500 m²로 설계되었으며 인공습지 구조는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 「유입부(IN) → 침강지1(S1) → 침강지2(S2) → 깊은습지(P1) → 얇은습지(P2) → 생태침강지(S3) → 방류부(OUT)」로 유수흐름이 구성되어 있다. 습지 조성 후 수생식물을 이용한 수질정화를 위하여 2013년에는 깊은 습지(부레옥잠, 물상추), 얇은 습지(갈대)에 식생을 식재하였으며, 2014년에는 깊은 습지(수련), 얇은 습지(갈대), 생태침강지(수련)에 식생을 식재하였다.

2.2. 조사방법

현장 수질조사 기간은 2013년 4월에서 2014년 12월 까지 정기적으로 모니터링을 하였다. 시료는 샘플링 후 4℃ 이하로 보관하여 실험실로 옮겨졌으며, 지점별로 채수한 시료의 T-P, 입자성 인(PP), DIP, T-N, 입자성 질소(PN), DIN의 분석은 수질오염공정시험기준(MOE, 2011)에 준하여 분석하였다. TOC (Total Organic Carbon) 분석은 550℃에서 미리 태운 10 mL 유리병에 담은 후 2N HCl을 첨가하여 (pH 2 이하로 맞추) Air-zero 가스로 포기시켜 CO₂를 미리 제거한 후, 고온(680℃)에서 백금촉매가 내장된 TOC 분석기(Shimadzu TOC-VCPH, Japan)로 측정하였다.

부유물질 침강속도 측정을 위해 포집용기(sediment trap)를 구경 약 5 cm, 길이는 30 cm로 제작하였다. 설치 기간은 기상조건과 용기 내 물리·화학·생물학적 변화가 빠르기 때문에 가능한 1일 간격으로 5일 정도가 적당할 것으로 판단되어 실시하였다. 본 조사 대상지역은 수심이 얇기 때문에 수심별 포집은 수행하지 않았으며 하상 바닥에 포집용기가 위치하도록 설치하였다. 조사항목은 입자성 인(PP), 입자성 질소(PN), 총부유물질(Seston), 입자성 유기물(POC)을 측정하였고, 분석 결과로부터 Trap에 포집된 부유물질의 침강속도를 산정하였다(Joe et al., 2011).



Fig. 1. Constructed wetlands in Okcheon.

2.3. 물질수지 산정

인공습지에서서의 물질수지 산정은 2013년 4월~8월의 현장조사 결과를 이용하여 산정하였다. 유기물의 증가량은 외부유입량, 1차생산량, 퇴적물의 용출량으로 감소량은 분해량과 침강량으로 산정하였고, 질소와 인의 증가량은 외부유입량, 퇴적물의 용출량으로 감소량은 분해량과 침강량으로 산정하였다. 본 연구에서는 유입량, 유출량, 침강량을 실측하였고, 1차생산량, 분해량, 용출량은 국립환경과학원 연구결과를 인용하여 적용하였다(NIER, 2009).

3. 결과 및 고찰

3.1. 인공습지에서 TOC, T-P, T-N 농도의 변화

최근 들어 수계에서의 유기물오염은 BOD 유기물(생분해성)은 감소하고, COD와 TOC 유기물(난분해성)은 증가하는 추세이다. 이렇게 증가추세에 있는 난분해성 유기물을 관리하기 위해 정부에서는 TOC 유기물 측정방법을 수질오염공정시험기준에 도입하였고, 유기물을 체계적으로 관리하기 위해 유기물오염 지표로 TOC 기준을 설정하였다(MOE, 2011). 각 단계별 소옥천 인공

습지에서서의 TOC 유기물 농도변화를 Fig. 2에 나타내었다. TOC 농도는 유입수(IN)가 2.7~7.6 mg/L(평균 4.1 mg/L), 침강지2(S2)가 2.7~5.3 mg/L(평균 4.0 mg/L), 얇은 습지(P2)가 3.3~6.0 mg/L(평균 4.6 mg/L), 방류수(OUT)가 3.1~6.4 mg/L(평균 4.3 mg/L)로 습지를 통과하면서 약간 증가하는 경향을 보였으며, 습지내부에서 생성된 TOC 유기물의 영향으로 습지를 통과하면 제거되기 보다는 약간 증가하는 경향을 보이고 있었다.

각 단계별 소옥천 생태인공습지에서서의 T-P 농도변화를 Fig. 3에 나타내었다. 유입수(IN)가 0.026~0.515 mg/L(평균 0.098 mg/L), 침강지2(S2)가 0.040~0.176 mg/L(평균 0.062 mg/L), 얇은 습지(P2)가 0.021~0.135 mg/L(평균 0.050 mg/L), 방류수(OUT)가 0.013~0.085 mg/L(평균 0.044 mg/L)로 습지를 통과하면서 감소하는 경향을 보였으며, 유입수의 인의 존재형태 비율을 보면, 용존형태가 48%로 입자형태와 비슷하게 분포하는 것으로 나타났다. 이렇게 유입된 인은 생태수를 통과하면서 입자성 인의 형태가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 기존연구에 의하면 습지로 유입된 인은 주로 흡착과 침전에 의해 주로 처리되며, 수생식물과 조류에

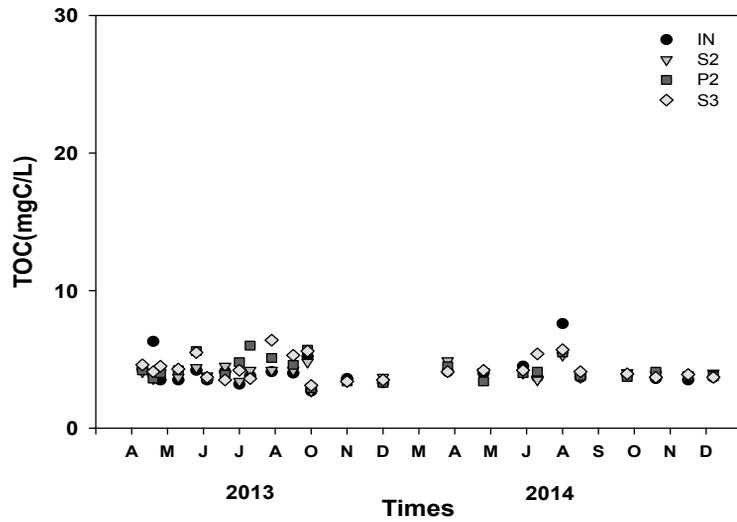


Fig. 2. Change of TOC concentrations in constructed Wetlands.

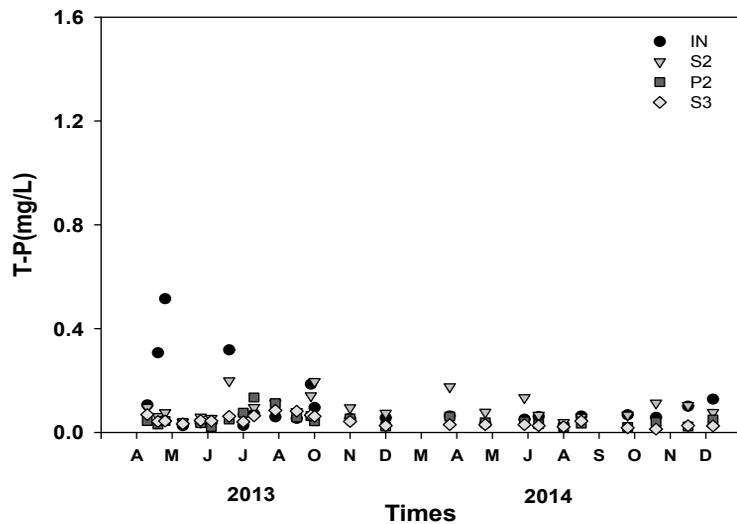


Fig. 3. Change of T-P concentrations in constructed Wetlands.

의한 흡수 등 다양한 기작으로 처리가 된다(Nichols, 1983; Corbitt and Bowen, 1994). 본 연구에서도 인은 침강지 역할을 하는 침강지구간에서 입자형태의 인이 크게 감소한 것으로 나타났으며 용존형태의 인은 수생식물이 존재하며 조류의 성장이 왕성한 생태수로에서 일부 제거가 되는 것으로 나타났다.

각 단계별 인공습지에서의 T-N 농도는 유입수(IN)가

6.6~13.6 mg/L(평균 9.0 mg/L), 침강지2(S2)가 6.0~13.4 mg/L(평균 9.0 mg/L), 얇은 습지(P2)가 5.2~12.7 mg/L(평균 9.9 mg/L), 방류수(OUT)가 4.9~13.4 mg/L(평균 8.6 mg/L)로 습지를 통과하면서 약간 감소하는 경향을 보였으며(Fig. 4), 기존연구에 의하면 온도가 높은 여름철보다 온도가 낮은 겨울철에 질소의 제거 효율은 낮게 나와 계절적인 변동이 큰 것으로 나타났다

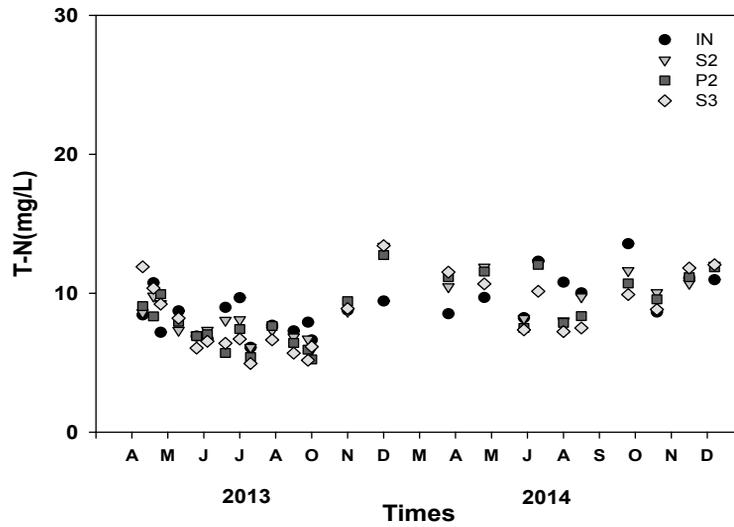


Fig. 4. Change of T-N concentrations in constructed Wetlands.

(Poach et. al., 2004; Hsueh et al., 2014). 본 연구에서 질소는 생태수로(P1, P2)를 통과하면서 감소하는 것으로 나타났으며, 겨울철에 습지로 유입된 질소는 제거능력이 저하되는 경향을 보였다. 습지로 유입되는 질소형태중 용존형태가 93%로 대부분이 용존형태로 존재하는 것으로 조사되었다.

3.2. 인공습지에서 부유물질의 침강속도

조사대상지 인공습지에서 각 단계별 침강속도를 측정 한 결과(Table 1), Seston(총부유물질)은 4.5~26.7 m/d(평균 14.5 m/d), POC는 0.3~0.7 m/d(평균 0.5 m/d), PN은 1.1~10.6 m/d(평균 4.4 m/d), PP는 2.4~7.6 m/d(평균 4.6 m/d)로 인공습지로 유입된 부유물질의 침강속도는 S1에서 가장 높았으며, P1~P2를 통과하면서 점차 감소하다가 체류시간이 길어지는 S3에서 약간 낮게 나타났다. 이러한 결과를 볼 때, 인공습지로 유입되는 부유물질의 대부분은 1차 침강지에서 빠른 속도로 침강되어 많은 양이 제거되는 결과를 나타내고 있었으며, 특히 강우시에 대량으로 유입되는 입자성 비점오염물질이 많이 제거되는 결과를 보였다(Lee and Park, 2017). 따라서 인공습지를 이용하여 부유물질을 제거하기 위해서는 개방수역이 넓고 침강시간이 길어질수록 효율적이라 할 수 있으며, 본 연구대상의 인공습지는 수심 평균 1.2 m, 체류시간 38 h, 면적 13,280 m², 종횡비

1:1~1:2.6으로 비교적 개방수역이 넓어 입자형태로 유입되는 오염물질은 대부분 제거되는 것으로 나타났다(Lee and Park, 2017).

이전에 보고된 하천·호소에서 부유물질 침강속도 연구와 본 연구조사를 비교해 보면(NIER, 2006), 각 오염물질의 특성에 따라 약간의 차이는 있었지만 하천과는 거의 유사한 범위에 있거나 약간 높은 결과를 보였고, 호소와 습지보다는 비교적 높은 침강속도를 나타내었다.

3.3. 인공습지에서의 물질수지 산정

유기물(Carbon)의 물질수지 산정결과(Table 2), 인공습지에서 생성량(Input)의 대부분은 유입부하량(69%)이 차지하고 있었으며, 유기물 증가량에 대한 기여율은 1차 생산량이 30%, 퇴적물로부터 용출량이 1.0%로 산정되었다. 반면에 유기물 감소량(Losses)에 대한 기여율은 방출량, 분해량, 침강량이 각각 69, 3, 28%로 나타나 유기물이 감소되는 기작은 방출량 이외에 침강되어 제거되는 양이 많은 것으로 나타났다. 유기물은 인공습지내에서 제거되는 것이 아니라 오히려 368 kgC/month 증가되는 것으로 산정되었다. 질소(Nitrogen)의 물질수지 산정결과, 생성량(Input)의 대부분은 유입부하량(98%)이 차지하고 있었으며, 질소 증가량에 대한 기여율중 퇴적물로부터 용출량은 2%로 산정되었고, 방출량, 침강량이 각각 73, 27%로 나타나 질소가 감소되는 기작은 유기물과

Table 1. Settling Velocity in constructed Wetlands

Site	Settling Velocity (m/d)				
	Seston	POC	PN	PP	
S1	26.7	0.7	10.6	7.6	This Study
S2	19.0	0.5	3.6	4.8	
P2	7.6	0.3	2.3	3.4	
S3	4.5	0.3	1.1	2.4	
Avg.	14.5	0.5	4.4	4.6	
Nakdong Riv.	17.0	35.5	2.4	8.7	NIER, 2006
Geum Riv.	21.1	4.7	2.7	7.0	
Lake Hapchoeon	2.9	0.9	1.1	1.4	
Upo Wetland	7.3	0.3	0.5	1.5	

Table 2. Carbon, Nitrogen and Phosphorus budget in constructed Wetland

		Carbon (kgC/month)	Nitrogen (kgN/month)	Phosphorus (kgP/month)
Input(+)	Inflow	1,320	2,560	46
	Primary Production	590		
	Sediment release	13	61	0.5
	Total	1,923	2,621	46.5
Losses(-)	Outflow	1,073	1,699	14
	Decomposition	43		
	Settling	439	616	81
	Total	1,555	2,315	95
Net Production		368	306	-49

같은 경향을 보였다. 질소도 유기물과 같이 인공습지내에서 제거되는 것이 아니라 오히려 306 kgN/month 증가되는 것으로 산정되었다. 인(Phosphorus)의 물질수지 산정결과, 생성량(Input)의 대부분은 유입부하량(99%)이 차지하고 있었으며, 인 증가량에 대한 기여율중 퇴적물로부터 용출량은 1%로 산정되었고, 방출량, 침강량이 각각 15, 85%로 나타나 인이 감소되는 기작은 유기물과 질소와는 다르게 방출량보다는 침강에 의해 제거되는 양이 약 5배 이상 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 침강지 등의 개방수역이 넓은 인공습지에서는 비교적 많은 양의 인(-48.5 kgP/month)이 제거되는 것으로 산정되었다.

3.4. 오염물질의 효율적 관리를 위한 인공습지 설계방안

인공습지는 토양, 물, 생물 등 생태계 구성요소를 기본

으로 각각의 구성요소가 유기적인 상호작용을 통해 물질순환, 에너지 흐름 등의 기능을 수반하고 있다. 본 연구대상지의 인공습지는 <침강지1(S1) - 침강지2(S2) - 깊은 습지(P1) - 얕은습지(P2) - 생태침강지(S3)> 구조로 배열되었으며, 저수용량이 33,052 m³, 체류시간은 68 시간으로 나타났다. 본 연구대상 인공습지의 조성목적은 옥천하수처리장 처리수를 대청호로 방류시키기 전에 습지를 이용하여 오염물질을 재처리할 목적으로 설계되었으며, 강우시 발생하는 비점오염물질 저감을 위한 습지 설계 요소들을 고려했다고는 볼 수 없다. 인공습지로 유입되는 오염물질의 이전 조사결과를 보면, 유기물은 약 89%, 질소는 약 93% 이상이 용존형태가 차지하고 있었으며, 인의 경우에는 약 62% 정도가 용존형태로 나타났다(Park, 2015; Lee and Park, 2017). 따라서 유입수의

수질특성과 우선 처리대상 오염물질을 고려하여 인공습지를 설계한다면, 용존성 형태가 많은 유기물과 질소의 경우에는 수심이 깊은 개방수역보다는 수생식물이 식재되어 있는 얇은 습지가 효율적이라 할 수 있고, 입자형태의 많은 인의 경우에는 침강지와 같이 넓은 개방수역이 효율적이라 할 수 있다. 그러나 본 연구대상의 인공습지는 개방수역을 과도하게 넓은 면적으로 설계하여 인을 처리하기에는 비교적 적합하지만 유기물과 질소를 저감시키기 보다는 유수의 흐름을 정체시켜 오히려 체류시간을 증가시키고, 이렇게 유수 흐름이 정체되면서 식물플랑크톤이 크게 증식하여 내부에서 유기물과 질소가 생성되는 원인이 되고 있다고 볼 수 있다(Table 2).

유수의 원활한 흐름을 유도하기 위해 인공습지를 설계할 때 중/횡 비를 최소 2:1로 권장하고 있으나(MOE, 2008), 침강지 S1, 얇은 습지(P2), 생태침강지(S3)는 1:1.1, 1:1.7, 1:1.3으로 권장기준보다 작았으며, 침강지 S2와 깊은 습지(P1)는 1:2.3, 1:2.6으로 조사되었다. 또한 인공습지 설계시 개방수역(수생식물이 식재되어 있지 않고 수심을 1.0 m 이상으로 유지하고 있는 구간)을 습지 전체 면적의 20%로 설계하는 것을 권장하고 있으나, 본 연구대상의 인공습지는 개방수역이 전체면적의 약 50% 이상으로 과도하게 조성되어 용존형태로 유입되는 유기물과 질소를 처리하기에는 효율성이 떨어지는 결과를 보였고, 반면에 입자성 형태가 많이 포함되어 유입되는 인의 경우에는 비교적 제거효율이 높은 것으로 평가되었다. 유기물과 질소와 같이 용존형태에 초점을 맞추어 인공습지를 설계할 때는 개방수역을 전체면적의 20% 이내로 조절하고, 수심이 0~0.3 m의 얇은 습지의 면적을 50% 이상으로 구성하여 물가에는 정수식물(emergent macrophytes)을 식재하고 유수의 흐름이 있는 곳에는 부유식물(free-floating macrophytes)을 식재하여 식물플랑크톤이 증식할 수 없도록 차광하여 저감시킬 수 있도록 한다(Lee and Park, 2017).

4. 결론

본 연구에서는 소옥천 인공습지에서 인, 질소, 유기물이 인공습지를 통과하면서 어떤 변화를 하는지 모니터링 하였으며, 특히 인공습지 내부에서 침전, 용출 등의 기작에 의해 거동하는 오염물질의 변화량을 산정하여 인공습

지에 의한 수질정화 효율을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하고자 하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

인공습지에서 TOC 농도는 습지를 통과하면 제거되기 보다는 약간 증가하는 경향을 보이고 있었으며, 이러한 원인은 개방수역을 통과하면서 체류시간이 길어져 조류의 성장을 초래하였고, 성장한 조류는 습지내부에서 유기물 농도를 증가시키는 것으로 나타났다. T-P 농도는 습지를 통과하면서 입자성 형태의 큰 감소로 전반적으로 감소하는 경향을 보였으며, T-N 농도는 습지내에서 약간 감소하는 경향이었지만 뚜렷한 농도 변화를 볼 수 없었다.

인공습지로 유입되는 부유물질의 대부분은 1차 침강지에서 빠른 속도로 침강되어 많은 양이 제거되는 결과를 나타냈으며, 침강속도는 각 오염물질의 특성에 따라 약간의 차이는 있었지만 하천과는 거의 유사한 범위에 있거나 약간 높은 결과를 보였고, 호소와 습지보다는 비교적 높은 침강속도를 나타내었다.

유기물과 질소와 같이 용존형태에 초점을 맞추어 인공습지를 설계할 때는 개방수역을 전체면적의 20% 이내로 조절하여 수생식물을 이용하여 내부생성 오염물질을 저감시키고, 인과 같이 입자성에 초점을 맞추어 인공습지를 설계할 때는 개방수역(수생식물이 식재되어 있지 않고 수심을 1.0 m 이상으로 유지하고 있는 구간)을 습지 전체 면적의 20% 이상으로 설계하는 것을 권장하고 있다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임(2017-104-073).

REFERENCES

- Bachand, P. A. M., Horne, A. J., 1999, Denitrification in constructed free-water surface wetlands: II. Effects of vegetation and temperature, *Ecol. Eng.*, 14, 17-32.
- Choi, K. S., Kim, S. W., Kim, D. S., Lee, Y. S., 2014, Operating status and improvement plants of ten wetlands constructed in Dam reservoirs in Korea, *J. of Wetlands Res.*, 16(3), 431-440.
- Corbitt, R. A., Bowen, P. T., 1994, Constructed wetlands for wastewater treatment, in *applied wetland science*

- and technology, Publishers Lewis, 221-241.
- EPA, 2000, Design Manual: Constructed wetlands treatment of municipal wastewater, EPA 625/R-99/010, Cincinnati, Ohio, 12-20.
- Greenway, M., 2007, The role of macrophytes in nutrient removal using constructed wetlands, Springer, Berlin, Heidelberg, 331-351.
- Hsu, C. B., Hsieh, H. L., Yang, L., Wu, S. H., Chang, J. S., Hsiao, S. C., Su, H. C., Yeh, C. H., Ho, Y. S., Lin, H. J., 2011, Biodiversity of constructed wetlands for wastewater treatment, *Ecol. Eng.*, 37, 1533-1545.
- Hsueh, M. L., Yang, L., Hsieh, L. Y., Lin, H. J., 2014, Nitrogen removal along the treatment cells of a free-water surface constructed wetland in subtropical Taiwan, *Ecol. Eng.*, 73, 579-587.
- Horne, A. J., Goldman, C. R., 1994, *Limnology*, McGraw-Hill, Inc., New York, 115-132.
- Joe, K. S., Seong, J. W., Park, J. C., 2011, Settling velocity of suspended material in Nakdong river, *J. of Environ. Sci. International*, 20(12), 1533-1540.
- Jou, C. J., Lee, C. L., Fu, Y. T. V., Kao, C. M., 2012, Simulation of a long narrow type constructed wetland using the stream model QUAL2K, *Sustain. Environ. Res.*, 22 (4), 255-260.
- Kadlec, R. H., Wallace, S. D., 2008, *Treatment Wetlands*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL., 20-185.
- Kang, C. G., Marla, C. M., Son, Y. G., Kim, L. H., 2010, Analysis of water purification in the FWS wetland for agriculture area, *J. of Wetlands Res.*, 12(3), 39-47.
- Lee, S. P., Park, J. C., 2017, Management of organic matters by constructed treatment wetlands during rainfall events, *J. of Environ. Sci. International*, 26(2), 147-157.
- Mitsch, W. J., Gosselink, J. G., 2000, *Wetlands*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 15-125.
- Mitsch, W. J., Jørgensen, S. E., 2003, *Ecological engineering and ecosystem restoration*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ., 256-285.
- Ministry of Environment (MOE), 2008, <http://www.me.go.kr>
- Ministry of Environment (MOE), 2011, <http://www.me.go.kr>
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2006, Research of water quality model parameters in Gum river aquatic ecosystem
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2009, Cycling of matter and energy flow in aquatic ecosystem
- Nichols, D. S., 1983, Capacity of natural wetlands to remove nutrient from wastewater, *J. Wat. pollut. Control Fed.*, 55, 495-505.
- Park, K. S., Niu, S. P., Kim, Y. C., 2013, Reduction efficiency of the stormwater wetland from animal Feeding-Lot, *J. of Wetlands Res.*, 15(1), 79-90.
- Park, S. K., 2015, Change of pollutants concentration in purification constructed wetlands during rainfall, MS. D. Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk, Korea.
- Poacha, M. E., Hunta, P. G., Reedyb, G. B., Stonea, K. C., Johnsona, M. H., Grubbab, A., 2004, Swine wastewater treatment by marsh-pond-marsh constructed wetlands under varying nitrogen loads, *Ecol. Eng.*, 23, 165-175.
- Reddy, K. R., DeBusk, T. A., 1987, State-of-the-art utilization of aquatic plants in water pollution control, *Water Sci. Technol.*, 19(10), 61-79.
- Zhang, C. B., Wang, J., Liu, W. L., Zhu, S. X., Ge, H. L., Chang, S. X., Chang, J., Ge, Y., 2010, Effects of plant diversity on microbial biomass and community metabolic profiles in a full-scale constructed wetland, *Ecol. Eng.*, 36, 62-68.

-
- Doctor's course. Dong-Oug Kim
Department of Environmental Engineering, Kumoh national Institute of Technology
yanijani@hanamil.net
 - Professor. Je-Chul Park
Department of Environmental Engineering, Kumoh national Institute of Technology
pjc1963@kumoh.ac.kr