

Original article

대청호 유역 소옥천 인공습지에서 부유물질 침강속도 및 퇴적물의 물질함량

박제철* · 김동섭¹ · 최광순¹

금오공과대학교 환경공학과, ¹한국수자원공사

Sediment Material Contents and Settling Velocity of Particle Material in the Constructed Wetland in Sookcheon in the Cachment of Daecheong Reservoir. Je-Chul Park* (0000-0002-5162-7175), Dong-Sup Kim¹ (0000-0003-1936-7737) and Kwang-Soon Choi¹ (0000-0002-9358-0627) (Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology Gyeongbuk 39177, Republic of Korea; ¹K-water, Daejeon 34045, Republic of Korea)

Abstract The changes in COD, TOC, T-P, and T-N concentrations were investigated for 2 years in the constructed wetland of Sookcheon, which was installed to improve the water quality of Daecheong reservoir in South Korea. In order to evaluate the pollution level of sediments in the wetland, settling velocity of particulate material (4 times) and sediment material contents (6 times) were measured. COD and TOC concentrations increased slightly as they passed through wetlands, and T-N and T-P concentration tended to decrease. The material content (COD, T-P, T-N) of aquatic plants was higher in floating-leaved and free-floating macrophytes than emergent macrophytes. As a result of measuring the sedimentation rate of suspended materials, most of the suspended materials introduced into constructed wetlands were sedimented at a rapid rate in the first sedimentation site. In addition, sediment pollution of T-P and T-N in constructed wetland was in severe pollution. The sediments containing a large amount of T-P and T-N were eluted by physical and chemical environmental changes, which is likely to act as internal pollution sources in wetlands.

Key words: constructed wetland, sediment, matter contents, settling velocity

서 론

습지는 육상생태계와 수생태계의 중간에 위치하는 생태 통로로서 영양염류가 풍부하고 다양한 생물이 서식하는 생산성이 높은 생태계 구조와 기능을 가지고 있다. 습지환경은 생물다양성이 높을 뿐만 아니라 호기와 혐기조건에서 물질순환 및 물리화학적 기작이 동시에 진행되며, 생

물과 비생물의 상호작용에 의해 오염물질을 제거할 수 있는 자연정화시스템으로 알려져 있다(Kadlec and Wallace, 2008).

인공습지는 자연습지의 기능을 자연에 가깝게 복원하여 훼손된 생태계의 복원뿐 아니라, 공원이나 생태교육장으로의 기능, 수질정화 기능, 생물다양성의 보존 등 여러 가지의 목적으로 이루어진다(Mitsch and Gosselink, 2000). 최근 들어 인공습지는 자연습지가 가지고 있는 다양한 기능 중 수질정화 기능을 생활하수, 축산폐수, 농업 및 광산폐수를 처리하는 목적으로 1960년대부터 미국과 유럽에서 이용되어 왔다(EPA, 2000). 국내에서는 1990년대부터 도입

Manuscript received 14 March 2022, revised 5 September 2022,
revision accepted 15 September 2022

* Corresponding author: Tel: +82-54-478-7633, Fax: +82-54-478-7710
E-mail: pjc1963@kumoh.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

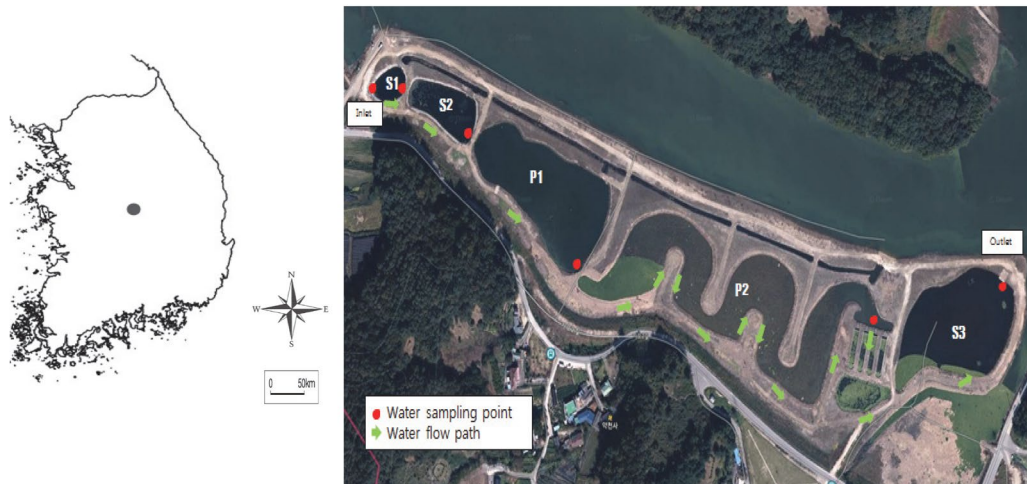


Fig. 1. Location of study site, constructed wetland in Sookcheon in the catchment of Daecheong reservoir in South Korea.

되어 현재는 하천주변에 비점오염저감 시설, 상수원의 수질개선을 위한 댐저수지 상류 인공습지로 확대 이용되고 있다(Choi *et al.*, 2014). 자연생태계의 일부를 이용하는 인공습지는 야생동물과 다양한 식물이 서식할 수 있는 서식지로 이용되며, 건설비용, 운용비용 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 재 용출, 고사한 식물체의 분해에 의한 영양물질 용출 등에 의해 처리 효율이 낮아질 수 있다(Kadlec and Wallace, 2008). 하지만 대부분의 연구가 인공습지를 이용한 오염물질 제거(Kang *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2013; Hsueh *et al.*, 2014; Lee and Park, 2017), 인공습지 식생조성에 관한 연구(Zhang *et al.*, 2010), 물질순환에 관한 연구(Park, 2020) 등의 많은 연구가 이루어져 왔지만 인공습지의 내부생성 오염물질인 퇴적물에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서는 대청호 수질개선을 위해 설치된 소옥천 인공습지에서 인, 질소, 유기물이 인공습지를 통과하면서 어떤 변화를 하는지 모니터링 하였으며, 특히 인공습지 내부에서 침전하는 퇴적물의 침강속도와 퇴적물내 물질함량을 조사하여 인공습지에 의한 수질정화 효율을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하고자 하였다.

연구 방법

1. 조사대상지의 개요

본 연구의 조사대상지는 충청북도 옥천군 군북면 지

오리에 위치한 소옥천 생태습지로 옥천하수처리장 방류수 및 대청댐의 서화천 지역의 비점오염원을 관리하기 위하여 2011년에 준공되었다. 설계 유입 유량은 $18,000 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$, 설계 수리학적 체류시간은 48 h, 시설면적은 $34,500 \text{ m}^2$ 로 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. 침강지(S1, S2, S3)는 평균수심 1.3~1.6m, 저수용량은 $1,300 \sim 6,000 \text{ m}^3$, 체류시간은 2~10시간, 깊은습지(P1)는 평균수심 1.4 m, 저수용량 $13,762 \text{ m}^3$, 체류시간 29시간, 얇은습지(P2)는 평균수심 0.6m, 저수용량 $8,330 \text{ m}^3$, 체류시간 17시간으로 조성하였다. 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. 조사방법

현장 수질조사는 2013년 4월에서 2014년 12월까지(월 1회) 인공습지의 유입부~방류부까지 6곳에서 수행하였으며, 각 지점에서 채수한 시료는 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 여과, 산처리 등을 거친 후 수질오염공정시험기준(MOE, 2011)에 준하여 COD, 총유기탄소(TOC), 총인(T-P), 총질소(T-N)를 분석하였다. 총유기탄소(TOC; Total organic carbon) 분석은 550°C 에서 미리 태운 10mL 유리병에 담은 후 2N HCl을 첨가하여(pH 2 이하로 맞추) Air-zero 가스로 포기시켜 CO_2 를 미리 제거한 후, 고온(680°C)에서 백금촉매가 내장된 TOC 분석기(Shimadzu TOC-

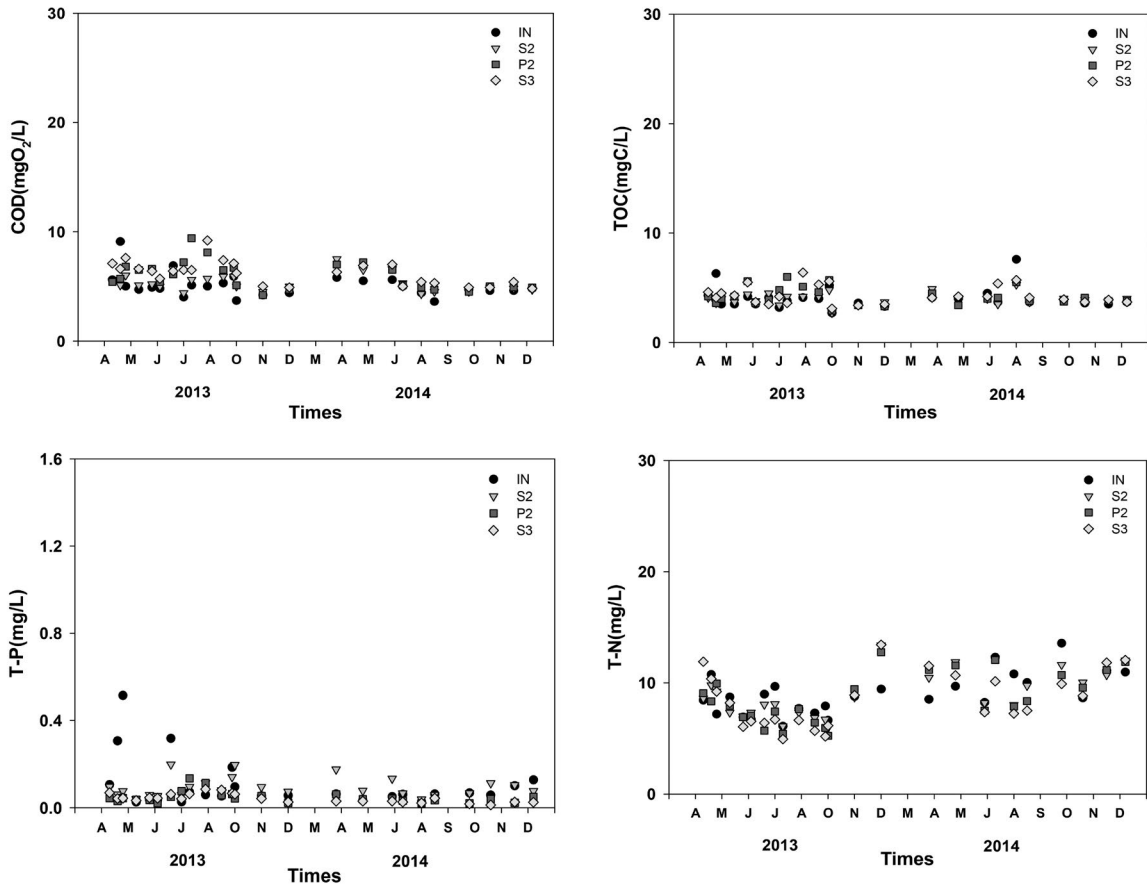


Fig. 2. Change of COD, TOC, T-P, T-N concentrations in the study sites.

VCPH, Japan)로 측정하였다.

부유물질 침강속도 측정을 위해 포집용기 (sediment trap)를 구경 약 5 cm, 길이는 30 cm로 제작하였다. 2013년 4~10월까지 격월로 설치시간은 5일로 설정하였으며, 기상 조건과 용기 내 물리·화학·생물학적 변화가 빠르기 때문에 가능한 1일 간격으로 5회 분석을 실시하여 평균값을 사용하였다. 본 조사 대상지역은 수심이 얕기 때문에 수심별 포집은 수행하지 않았으며 하상바닥에 포집용기가 위치하도록 설치하였다. 조사항목은 입자성 인 (PP: Particulate Phosphorus), 입자성 질소 (PN: Particulate Nitrogen), 총부유물질 (Seston), 입자성 유기물 (POC)을 측정하였고, 분석 결과로부터 Trap에 포집된 부유물질의 침강속도를 산정하였다 (Joe *et al.*, 2011).

퇴적물의 물질함량을 분석하기 위하여 Grab sampler와 직접 제작한 퇴적물 채취기를 이용하여 S1, S2, P1, P2 및 S3에서 퇴적물 채취를 2년간 총 6회 (2013년 4월, 6월, 8월, 10월, 2014년 7월, 10월) 실시하였고, 수생식물의 물질함량은 P1, P2, S3 지점에서 갈대 (Reed), 물상추 (Water lettuce),

부레옥잠 (Water hyacinth), 수련 (Water lily), 순채 (Water shield)의 잎, 줄기, 뿌리를 2년간 4회 (매년 6월, 10월) 채취하여 건조하였다. 강열감량 (Ignition loss)은 실험실로 운반하여 폐기물공정시험기준에 따라 분석하였고, 퇴적물과 수생식물의 COD, T-N, T-P 함량은 건시료 일정량을 분해병에 넣고 증류수 20 mL와 과산화칼륨 약 3 g을 넣은 후 밀폐하여 고압멸균기에서 3시간 (121°C) 분해하고, 그 상등액을 수질오염공정시험기준에 준하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 인공습지에서 유기물, T-P, T-N 농도의 변화

COD 농도는 유입수가 평균 5.3 mg L⁻¹, 방류수가 평균 6.2 mg L⁻¹로 습지를 통과하면서 약간 증가하는 경향을 보였으며, TOC 농도는 유입수 (IN)가 2.7~7.6 mg L⁻¹ (평균 4.1 mg L⁻¹), 침강지2 (S2)가 2.7~5.3 mg L⁻¹ (평균 4.0 mg L⁻¹), 얇은 습지 (P2)가 3.3~6.0 mg L⁻¹ (평균 4.6 mg L⁻¹),

방류수(OUT)가 3.1~6.4 mg L⁻¹ (평균 4.3 mg L⁻¹)로 습지를 통과하면서 약간 증가하는 경향을 보였으며, 이와 같이 유기물은 습지를 통과하면 제거되기보다는 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 원인은 유입수량이 많지 않아 P1, P2, S3를 통과하면서 체류시간이 길어져 조류가 성장하는 원인이 되었고, 성장한 조류는 습지내부에서 생성된 COD 유기물로 약 20% 정도 차지하는 것으로 나타났다. 인공습지에서 체류시간 증가에 의한 내부생성 유기물에 대한 문제는 이전 연구에서도 지적된 바 있지만(Barber *et al.*, 2001) 아직 널리 알려진 저감 기술은 없고, 수생식물을 식재하여 조류성장을 억제시키려는 기초연구가 수행되고 있는 초기단계라 할 수 있다(Brix, 1997). TOC 농도는 유입수가 평균 4.1 mg L⁻¹, 방류수가 평균 4.3 mg L⁻¹로 습지를 통과하면서 약간 증가하는 경향을 보였으며, COD 유기물과 같이 습지내부에서 생성된 TOC 유기물의 영향으로 습지를 통과하면 제거되기 보다는 약간 증가하는 경향을 보이고 있었다. 비강우시 습지에서의 TOC 유기물 분포 특성을 보면 입자성보다는 용존성 형태(POC/DOC비 1.5 : 8.5)로 주로 존재하는 것으로 나타났으며(Lee and Park, 2017), 또한 총 유기물(TOC) 중 비교적 분해가 쉬운 유기물(COD 유기물)의 함량이 약 54%를 차지하고 있었다. 본 조사대상지의 습지에서 유기물의 양이 방류수에서 높은 경향을 보인 것은 유입수가 하수처리장 방류수의 특성상 입자성보다 용존성의 함량이 높기 때문으로 판단된다.

각 단계별 T-P 농도는 유입수가 0.026~0.515 mg L⁻¹ (평균 0.098 mg L⁻¹), S2가 0.040~0.176 mg L⁻¹ (평균 0.062 mg L⁻¹), P2가 0.021~0.135 mg L⁻¹ (평균 0.050 mg L⁻¹), 방류수가 0.013~0.085 mg L⁻¹ (평균 0.044 mg L⁻¹)로 습지를 통과하면서 입자성 인의 형태의 침강으로 인해 T-P 농도는 감소하는 것으로 나타났다.

T-N 농도는 유입수가 6.6~13.6 mg L⁻¹ (평균 9.0 mg L⁻¹), S2가 6.0~13.4 mg L⁻¹ (평균 9.0 mg L⁻¹), P2가 5.2~12.7 mg L⁻¹ (평균 9.9 mg L⁻¹), 방류수가 4.9~13.4 mg L⁻¹ (평균 8.6 mg L⁻¹)로 습지를 통과하면서 약간 감소하는 경향을 보였으며, 기존연구에 의하면 온도가 높은 여름철보다 온도가 낮은 겨울철에 질소의 제거효율은 낮게 나와 계절적인 변동이 큰 것으로 나타났다(Poach *et al.*, 2004; Hsueh *et al.*, 2014).

2. 인공습지에 식재된 수생식물의 물질함량

인공습지 조성 후 수생식물을 이용한 수질정화를 위하여 2013년에는 깊은 습지에 부레옥잠(Water-hyacinth), 물상추(Water-lettuce), 얇은 습지에 갈대(Reed)를 식재하였으며, 2014년에는 깊은 습지에 수련(Water-lily), 얇은 습지

Table 1. Matter contents of macrophyte in the study sites.

Year	Macrophyte	Moisture content (%)	COD (mg g ⁻¹)	T-N (mg g ⁻¹)	T-P (mg g ⁻¹)
2013	Reed	58.9	162	8.0	1.1
	Water-hyacinth	61.6	115	11.3	2.4
	Water-lettuce	79.7	133	12.6	1.7
2014	Reed	49.5	133	17.3	1.4
	Water-lily	58.0	129	21.2	2.0
	Water-shield	56.3	133	20.4	2.2

에 갈대, 생태침강지에 순채(Water-shield)를 식재하였다.

인공습지에 식재된 수생식물의 물질함량 조사결과(Table 1), 정수식물인 갈대는 함수율이 50~59%, 부엽식물인 부레옥잠과 물상추는 62~80%, 부유식물인 수련과 순채는 56~58%로 물속에서 뿌리와 줄기의 부피가 큰 부엽식물이 함수율이 가장 높게 나타났다. 유기물 함량은 COD를 측정하여 알아보았으며, 그 결과 정수식물인 갈대는 133~162 mg g⁻¹, 부엽식물인 부레옥잠과 물상추는 115~133 mg g⁻¹, 부유식물인 수련과 순채는 129~133 mg g⁻¹로 지상부인 잎와 줄기의 부피가 큰 정수식물이 가장 높게 나타났다. 질소의 물질함량은 정수식물인 갈대는 8~17 mg g⁻¹, 부엽식물인 부레옥잠과 물상추는 11~13 mg g⁻¹, 부유식물인 수련과 순채는 평균 20 mg g⁻¹로 퇴적물에 뿌리를 뻗고 있는 부유식물이 가장 높게 나타났다. 인의 물질함량은 정수식물인 갈대는 1.1~1.4 mg g⁻¹, 부엽식물인 부레옥잠과 물상추는 1.7~2.4 mg g⁻¹, 부유식물인 수련과 순채는 2.0~2.2 mg g⁻¹로 수중에 뿌리, 줄기, 잎을 뻗고 있는 부엽 및 부유식물에서 인 함량이 높게 나타났다.

본 연구대상의 인공습지는 개방수역(침전지)이 전체면적의 약 50% 이상으로 과도하게 조성되어 부유물질 제거를 위해서는 효율적이라 할 수 있겠지만 유기물, 질소와 같이 오염물질 형태가 용존형태로 대량 유입되는 인공습지를 설계할 때는 개방수역을 전체면적의 20% 이내로 조절하고, 수심이 0.1~0.3 m의 얇은 습지의 면적을 50% 이상으로 구성하여 물가에는 정수식물을 식재하고 유수의 흐름이 있는 곳에는 부유·부엽식물을 식재하여 식물플랑크톤의 증식을 억제하고 용존형태의 오염물질을 저감시킬 수 있도록 권장하고 있다(Lee and Park, 2017).

3. 인공습지내 각 지점별 부유물질 침강속도

조사대상지 인공습지에서 각 단계별 침강속도를 측정하고 결과(Table 2), Seston(총부유물질)은 1.7~50.2 m d⁻¹ (평

Table 2. Settling Velocity in the study sites.

Date	Site	Settling velocity (m d ⁻¹)			
		Seston	POC	PN	PP
2013.04	S1	11.5	0.3	3.2	6.8
	S2	6.5	0.2	2.3	5.4
	P2	2.5	0.2	2.9	1.8
	S3	3.1	0.2	1.0	1.2
2013.06	S1	18.1	0.7	18.5	4.9
	S2	14.4	0.6	3.1	3.3
	P2	7.7	0.5	1.9	0.8
	S3	3.0	0.3	0.4	2.0
2013.08	S1	29.3	1.5	10.2	10.3
	S2	17.9	1.1	2.0	7.6
	P2	1.7	0.2	2.2	2.5
	S3	3.1	0.3	2.1	3.6
2013.10	S1	50.2	0.3	11.2	7.8
	S2	36.9	0.2	6.3	2.9
	P2	16.6	0.2	2.0	7.9
	S3	8.1	0.3	0.8	2.5
Mean (SD)	S1	27.3 (±17.0)	0.7 (±0.6)	10.8 (±6.3)	7.5 (±2.2)
	S2	18.9 (±12.9)	0.5 (±0.4)	3.4 (±2.0)	4.8 (±2.2)
	P2	7.1 (±6.9)	0.3 (±0.2)	2.3 (±0.5)	3.4 (±3.2)
	S3	4.3 (±2.4)	0.3 (±0.1)	1.1 (±0.7)	2.4 (±1.0)

*SD: standard deviation

균 14.4 m d⁻¹), POC는 0.2~1.5 m d⁻¹ (평균 0.5 m d⁻¹), PN은 0.8~18.5 m d⁻¹ (평균 4.4 m d⁻¹), PP는 0.8~10.3 m d⁻¹ (평균 4.5 m d⁻¹)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). 특히 부유물질중 인과질소의 침강량이 많고, 유기물의 침강량은 비교적 적은 것으로 나타났다(Park, 2020).

인공습지를 이용하여 부유물질을 제거하여 수질개선을 하기 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·호소에서의 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, 호소보다는 비교적 높은 침강속도를 나타내었다(Joe *et al.*, 2011).

4. 인공습지내 각 지점별 퇴적물의 C, N, P 물질함량

인공습지내 퇴적토에 함유된 오염물질은 저층의 환경변화에 따라 수중으로 용출될 가능성이 높아 습지환경의 물질순환에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 각 지점별 조사 결과를 보면(Table 3), 퇴적물에서의 강열감량은 유입수의 영향을 많이 받고 있는 침전지 S1, S2에서 평균 11.0%, 다음 단계인 P1에서 평균 6.0%, P2에서 평균 4.8%, 방류지역인 S3에서는 평균 5.1%로 조사되었으며, 무기물함량으로 보면 침강량이 비교적 많은 침전지에서 약 89%, 유속에 의해 침강량이 감소하는 P1, P2에서는 약 95% 정도로

Table 3. Matter contents of sediment in the study sites.

Year	Site	Ignition loss (%)	COD (mg g ⁻¹)	T-N (mg g ⁻¹)	T-P (mg g ⁻¹)
2013	S1	10.2	1.1	8.9	5.4
	S2	13.3	0.9	9.6	6.2
	P1	6.6	0.4	7.9	1.4
	P2	5.2	0.3	7.3	0.5
	S3	5.7	0.5	7.3	0.4
2014	S1	6.9	1.9	6.0	2.6
	S2	13.6	3.5	8.8	3.8
	P1	5.3	0.6	7.3	1.4
	P2	4.4	0.2	4.8	0.4
	S3	4.5	0.4	6.6	0.4

침강지에서 수로를 통과하면서 무기물 함량은 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 강열감량은 EPA 퇴적물 오염도 기준(EPA, 1986)에 의하면 S1, S2는 심한오염(EPA 기준 8% 이상) 정도였고, P1, P2, S3는 중간오염(EPA 기준 5~8%)을 나타내고 있었다. 국내 퇴적물 오염도 기준을 적용한 결과(IV등급 >13%), 강열감량 오염도는 비교적 낮은 등급으로 평가되었다(EPA, 1986; Persaud *et al.*, 1993; NIER, 2015).

퇴적물중 COD, 총질소(T-N), 총인(T-P) 함량은 강열감량과 유사하게 S1, S2에서 높고, P1, P2, S3에서 낮은 함량을 보였다. COD는 S1, S2에서 평균 1.9 mg g⁻¹, P1, P2에서 0.5 mg g⁻¹, S3에서 0.4 mg g⁻¹으로 EPA 퇴적물 오염도 기준에 의하면 S1, S2, P1, P2, S3 모두 비오염(EPA 기준 40 mg g⁻¹ 이하) 상태인 것으로 나타났다. 총질소는 S1, S2에서 평균 8.3 mg g⁻¹, P1, P2에서 6.8 mg g⁻¹, S3에서 7.0 mg g⁻¹으로 EPA 퇴적물 오염도 기준에 의하면 S1, S2, P1, P2, S3 모두 심한오염(EPA 기준 2 mg g⁻¹ 이상) 상태인 것으로 나타났다. 총질소의 국내 퇴적물 오염도 기준을 적용한 결과(IV등급 >5.6 mg g⁻¹), 외국 기준과 같이 오염도가 높은 등급으로 평가되었다. 총인은 S1, S2에서 평균 4.5 mg g⁻¹, P1, P2에서 0.9 mg g⁻¹, S3에서 0.4 mg g⁻¹으로 EPA 퇴적물 오염도 기준에 의하면 S1, S2, P1, P2는 심한오염(EPA 기준 0.65 mg g⁻¹ 이상), S3는 비오염(EPA 기준 0.42 mg g⁻¹ 이하) 상태인 것으로 나타났다. 총인의 국내 퇴적물 오염도 기준을 적용한 결과(IV등급 >1.6 mg g⁻¹), S1, S2는 오염도가 높고, P1, P2, S3는 비교적 오염도가 낮은 것으로 평가되었다.

전술한 바와 같이 총인과 총질소의 퇴적물 오염도는 심한 오염도 상태를 나타내고 있었으며, 이렇게 총인과 총질

소를 다량 함유하고 있는 퇴적물은 물리·화학적 환경변화에 의해 용출되어 습지내에서 내부오염원으로 작용할 가능성이 높다고 할 수 있다. 이전 연구에 의하면 습지로 유입되는 오염원 중 퇴적물로부터 용출 가능한 총인의 비율이 약 1.1%, 총질소가 약 2.3%로 산정되었다(Park, 2020). 전체 오염원 중에서 퇴적물로부터 용출되는 인·질소의 양은 비교적 적은 비율로 산정되었지만 습지가 장기적으로 운영되어 외부로부터 유입된 오염물질이 습지내부에 지속적으로 퇴적된다면 습지의 수질정화 기능을 저감시키는 원인이 될 수 있으므로 퇴적물의 침강량 및 오염도를 정기적으로 관리할 필요가 있다.

적 요

대청호의 수질개선을 목적으로 설치된 소옥천 인공습지에서 2년간 COD, TOC, T-P, T-N 농도의 변화를 조사하였고, 습지내 퇴적물의 오염도를 평가하기 위하여 퇴적물의 침강속도(4회) 및 물질함량(6회)을 측정하였다. 유입수를 통해 유입된 COD와 TOC는 습지를 통과하면서 약간 증가하였고, T-N과 T-P는 감소하는 경향을 나타냈다. 습지에 식재된 수생식물은 수중에 뿌리, 줄기, 잎을 뺀고 있는 부엽 및 부유식물에서 유기물, 인, 질소의 함량이 높게 나타났다. 인공습지로 유입되는 부유물질의 대부분은 1차 침강지에서 빠른 속도로 침강되어 많은 양이 제거되는 결과를 나타내고 있었다. 총인과 총질소의 퇴적물 오염도는 심한 오염도 상태를 나타내고 있었으며, 이렇게 총인과 총질소를 다량 함유하고 있는 퇴적물은 물리·화학적 환경변화에 의해 용출되어 습지내에서 내부오염원으로 작용할 가능성이 높다고 할 수 있다.

저자정보 박제철(금오공과대학교 교수), 김동섭(한국수자원공사 수석연구원), 최광순(한국수자원공사 수석연구원)

저자기여도 개념설정 및 원고작성: 박제철, 자료분석 및 고찰: 김동섭, 최광순

이해관계 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

연구비 본 연구는 금오공과대학교 학술지원비에 의하여 연구된 논문임(2019-104-063).

REFERENCES

Bachand, P.A.M. and A.J. Horne. 1999. Denitrification in con-

- structed free-water surface wetlands: II. Effects of vegetation and temperature. *Ecological Engineering* **14**: 17-32.
- Barber, L.B., J.A. Leenheer, T.I. Noyes and E.A. Stiles. 2001. Nature and transformation of dissolved organic matter in treatment wetlands. *Environmental Science & Technology* **35**: 4805-4816.
- Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science Technology* **35**(5): 11-17.
- Choi, K.S., S.W. Kim, D.S. Kim and Y.S. Lee. 2014. Operating status and improvement plants of ten wetlands constructed in Dam reservoirs in Korea. *Journal of Wetlands Research* **16**(3): 431-440. (in Korean with english abstract)
- EPA. 1986. Recommended protocols for measuring conventional sediment variable in Puget Sound. Seattle, Washington, USA.
- EPA. 2000. Design Manual: Constructed wetlands treatment of municipal wastewater, EPA 625/R-99/010, Cincinnati, Ohio, pp. 12-20.
- Hsu, C.B., H.L. Hsieh, L. Yang, S.H. Wu, J.S. Chang, S.C. Hsiao, H.C. Su, C.H. Yeh, Y.S. Ho and H.J. Lin. 2011. Biodiversity of constructed wetlands for wastewater treatment. *Ecological Engineering* **37**: 1533-1545.
- Hsueh, M.L., L. Yang, L.Y. Hsieh and H.J. Lin. 2014. Nitrogen removal along the treatment cells of a free-water surface constructed wetland in subtropical Taiwan. *Ecological Engineering* **73**: 579-587.
- Joe, K.S., J.W. Seong and J.C. Park. 2011. Settling velocity of suspended material in Nakdong river. *Journal of Environmental Science International* **20**(12): 1533-1540. (in Korean with english abstract)
- Jou, C.J., C.L. Lee, Y.T.V. Fu and C.M. Kao. 2012. Simulation of a long narrow type constructed wetland using the stream model QUAL2K. *Sustainable Environment Research* **22**(4): 255-260.
- Kadlec, R.H. and S.D. Wallace. 2008. Treatment Wetlands, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 20-185.
- Kang, C.G., C.M. Marla, Y.G. Son and L.H. Kim. 2010. Analysis of water purification in the FWS wetland for agriculture area. *Journal of Wetlands Research* **12**(3): 39-47. (in Korean with english abstract)
- Lee, S.P. and J.C. Park. 2017. Management of organic matters by constructed treatment wetlands during rainfall events. *Journal of Environmental Science International* **26**(2): 147-157. (in Korean with english abstract)
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1993. "Wetland: wetlands-their history, science and management," Van Nostrand Reinhold, pp. 3-20.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 2000. Wetlands, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 15-125.
- Mitsch, W.J. and S.E. Jørgensen. 2003. Ecological engineering and ecosystem restoration, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, pp. 256-285.
- Ministry of Environment (MOE). 2011. <http://www.me.go.kr> (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2016. Design and Maintenance Guidelines of the Stormwater BMPs. (in Korean)
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2006. Research of water quality model parameters in Gum river aquatic ecosystem. National Institute of Environmental Research, Incheon, Republic of Korea. (in Korean)
- National Institute of Environment Research (NIER). 2015. Sediment pollution evaluation standard of river and lake, Published rulings 687, National Institute of Environmental Research, Incheon, Republic of Korea. (in Korean)
- Park, J. 2020. Cycling of matters in the constructed wetland. *Journal of Environmental Science International* **29**(3): 299-306. (in Korean with english abstract)
- Park, K.S., S.P. Niu and Y.C. Kim. 2013. Reduction efficiency of the stormwater wetland from animal Feeding-Lot. *Journal of Wetlands Research* **15**(1): 79-90. (in Korean with english abstract)
- Persaud, D., R. Jaagumagi and A. Hayton. 1993. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario, Ontario Ministry of Environment and Energy.
- Poacha, M.E., P.G. Hunta, G.B. Reedyb, K.C. Stonea, M.H. Johnsona and A. Grubbab. 2004. Swine wastewater treatment by marsh-pond-marsh constructed wetland under varying nitrogen loads. *Ecological Engineering* **23**: 165-175.
- Zhang, C.B., J. Wang, W.L. Liu, S.X. Zhu, H.L. Ge, S.X. Chang, J. Chang and Y. Ge. 2010. Effects of plant diversity on microbial biomass and community metabolic profiles in a full-scale constructed wetland. *Ecological Engineering* **36**: 62-68.