

비점오염원 처리를 위한 동북천 인공습지의 시기별 및 부하량별 수처리 효율 평가

이상규[†] · 서동철[†] · 강세원 · 최익원 · 임병진¹ · 박종환¹ · 김갑순¹ · 이준배¹ · 허종수² · 조주식^{*}

순천대학교 생물환경학과, ¹국립환경과학원 영산강 물환경연구소, ²경상대학교 응용생명과학부

Evaluation of Wastewater Treatment Efficiency in Dongbokcheon Constructed Wetlands for Treating Non-point Source Pollution at Different Treatment Time and Wastewater Loading

Sang-Gyu Lee[†], Dong-Cheol Seo[†], Se-Won Kang, Ik-Won Choi, Byung-Jin Lim¹,
Jong-Hwan Park¹, Kap-Soon Kim¹, Jun-Bae Lee¹, Jong-Soo Heo², and Ju-Sik Cho^{*}

Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University

¹Yeongsan River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment

²Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University

To treat non-point source pollution in Dongbok lake, removal efficiencies of pollutants were investigated in Dongbokcheon constructed wetlands (CWs) at different treatment time and wastewater loading. The wetlands consisted of forebay, wetlands (1st, 2nd, 3rd, 4th, 5th, 6th, 7th, and 8th wetlands) and sedimentation pond. The concentrations of BOD, SS, T-N, and T-P in inflow ranged 0.85~3.14 mg L⁻¹, 3.33~9.70 mg L⁻¹, 0.64~5.33 mg L⁻¹, and 0.03~0.10 mg L⁻¹ from April to October in 2008, respectively. The removal rates of BOD, SS, T-N, and T-P in Dongbokcheon CWs were 34%, 5%, 31%, and 13%, respectively. The removal rates of BOD and T-N were higher than those for SS and T-P. The amounts of pollutant removal in Dongbokcheon CWs were higher in the order of forebay > wetlands > sedimentation pond for BOD, sedimentation pond > forebay > wetlands for SS, sedimentation pond > forebay > wetlands for T-N. The amount of T-P removal in wetlands was higher than forebay and sedimentation pond.

Key words: Non-point source pollution, Dongbok lake, Dongbokcheon constructed wetlands, Removal rates, The amount of pollutant removal

서 언

수질 오염을 유발하는 오염원은 크게 점오염원 (Point source pollution)과 비점오염원 (Non-point source pollution)으로 구분하고 있다 (Lee and Bae, 2002). 비점오염원은 농경지에 살포된 농약과 비료, 축사에서 유출물, 도로상 오염물질, 도시지역의 먼지와 쓰레기 및 지표상 퇴적 오염물질 등이 강우 시 빗물과 함께 유출되면서 발생하며 (Ministry of Environment, 2005; Seo et al., 2006), 이러한 오염물질과 화학물질이 결합된 입자 상태로 빗물에 의해 운반되어 하천으로 유입되면 심각한 수질문제를 일으킬 수 있다.

비점오염원은 배출지점이 유역전체에 걸쳐있어 제어가 어렵고, 제어를 한다고 해도 일정한 처리효과를 얻기 위해서는 장시간이 소요되며, 강우량에 따라 유입량이 크게 변동되어 일정한 처리효율을 얻기가 힘든 문제점이 있으며 관리대책에도 많은 어려움이 있다 (Kwun, 1998; Lee and Bae, 2002).

동북호는 만수면적이 6.61 km²이며 유역 면적이 189 km²인 대형 수원지로서 수계는 섬진강 상류 지천으로 동북천에 속하고 하류에는 주암호가 위치해 있으며, 상류지역에는 이서천, 남천, 길성천, 내북천 그리고 동북천 등의 5개의 유입하천이 위치해 있다. 동북호는 광주시민 141만명 중 60%인 약 85만명이 이용하고 있는 상수원으로서 1일 평균 27만톤을 취수하여 수돗물을 생산하고 공급하는 광주를 비롯한 전남지역에 비중 높은 상수원이다 (Cho, 2006).

하지만 이러한 동북호의 높은 이용성에 반해 동북호 내

접수 : 2011. 9. 14 수리 : 2011. 10. 14

[†]공동 제1저자

*연락저자 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

의 수질적인 측면에서는 담수시기가 장기화 되어감에 따라 부영양화 초기 증상들이 나타나고 여름철 집중강우 시기에 수질환경기준 중 화학적산소요구량 (COD)이 일시적으로 2급수를 초과하는 등의 현상이 일어남에 따라 동북호의 수질 유지 및 개선이 필요한 실정이다.

이에 동북호 등 섬진강 수계 물관리 종합대책을 수립하여 하수처리장 방류수를 재처리하고 비점오염원을 처리하기 위한 방안으로 다양한 수계 지역에 인공습지를 조성하였다. 이러한 인공습지는 오염물질처리에 대한 비용이 적게 든다는 경제적인 장점과 방법 자체가 자연생태계의 일부분을 이용하고, 오염물질의 제거가 효과적이기 때문에 습지의 자연정화기능을 수질개선에 적용하는 연구가 국내·외에서 많이 진행되고 있는 현실이다 (Kim, 2010). 하지만 현재까지 동북호의 비점오염원 유입을 저감하기 위해 조성된 인공습지들은 관리 소홀과 미숙한 운영 등으로 인해 효율적으로 습지로서 기능을 수행하지 못하고 있어 이에 대한 관리가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 동북호 상수원 상류지역에 비점오염원 처리를 위해 조성한 동북천 인공습지의 시기별 영양염류 함량변화와 수처리효율 및 오염물질 부하량에 따른 오염물질 처리량을 조사함으로써 수처리 효율을 평가하여, 향후 동북호의 수질개선을 위한 기초자료로서 제공하고자 한다.

재료 및 방법

공시원수 동북천 인공습지는 습지로 유입되는 동북천 하천수의 오염물질을 처리하기 위해 설치되었으며,

공시원수의 주요 영양염류 평균함량은 Table 1에서 보는 바와 같이, BOD는 평균 1.67 mg L⁻¹, T-N 함량은 평균 2.39 mg L⁻¹으로 일반적인 농업 비점오염의 특성 보다 약간 낮은 경향을 보였다.

동북천 인공습지 특성 동북천 인공습지의 위치와 구성도는 Fig. 1에서 보는 바와 같으며 동북천 인공습지는 동북천 하천수를 처리하기 위해 2006년 6월에 전남 화순군 북면 임곡리에 설치되었다. 동북천 인공습지의 총 부지면적은 50,000 m² (습지 18,756 m², 기타 31,244 m²)이었고 자유수면형 (FWS) 인공습지를 적용하였다. 처리용량은 10,000 m³ day⁻¹ (강우 시 30,000 m³ day⁻¹)이었고 체류시간은 2~5일 정도로 설계되어 운영되고 있다. 본 인공습지는 침강지, 전습지, 1차 얇은습지와 깊은습지, 2차 얇은습지와 깊은습지, 3차 얇은습지와 깊은습지, 4차 얇은습지 그리고 침전지로 구성되어 있다. 침강지는 규모가 1,411 m²로서 유입수의 고형물 침전을 위해 설치하였으며, 습지말단부에 산소공급 및 재부유방지를 위해 침전지를 설치하였다 (Cho, 2008).

실험방법 및 조사 시기 동북천 인공습지의 수리·수문현황을 조사하기 위해 2008년 4월 5일부터 2008년 10월 30일까지 매월 1회 습지단계처리별 강우량, 유입량 및 유출량 등을 각 조별로 유입부와 유출부를 구분하여 유입수와 유출수 중의 오염물질 함량 변화를 3반복으로 분석하여 평균과 표준편차를 구하였다. 또한, 인공습지 내에서 비점오염원은 시기와 처리단계별로 오염물질의 변동이 심하기 때문에 부하변동이 인공습지에 어떻게 영향을 미치는지

Table 1. Chemical characteristics of raw water used.

Water	BOD	SS	T-N	T-P
----- mg L ⁻¹ -----				
Average	1.67	7.05	2.39	0.07
SD	0.67	2.02	1.47	0.03

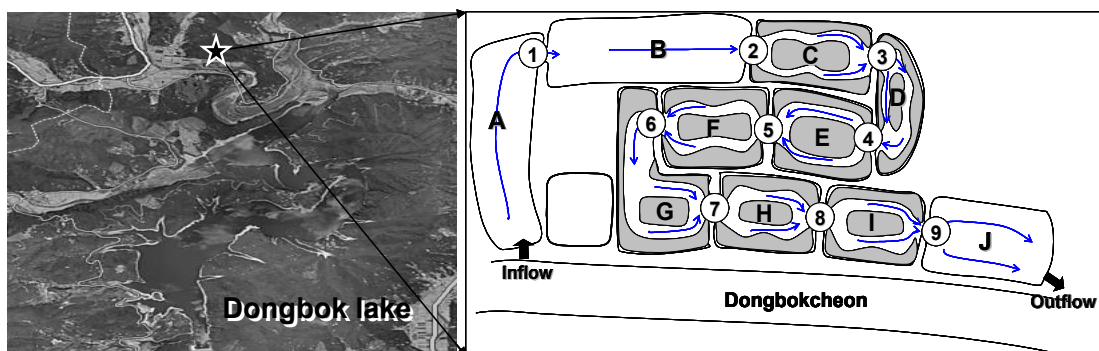


Fig. 1. Location and schematic of Dongbokcheon constructed wetlands (★, Dongbokcheon constructed wetlands; A, Forbay; B~I, 1st~8th wetlands; J, sedimentation pond; ①~⑨, Sampling sites for water).

에 대해 판단하기 위하여 오염물질의 부하량에 따른 처리량을 회귀분석법으로 통계처리 하였다.

분석방법 수질 분석은 수질오염공정시험법 (Choi et al., 2004) 및 APHA의 standard method (APHA, 1995)에 준하여 다음과 같이 하였다. 채취된 수질시료중 BOD의 분석은 잉클리아자이드화나트륨변법을 사용하였고, SS의 분석은 유리섬유여과법을 사용하였다. T-N의 분석은 자외선 흡광도법 (UV2550PC, Perkin-Elmer)을 사용하였고, T-P의 분석은 아스코르빈산 환원법 (UV2550PC, Perkin-Elmer)을 사용하였다.

결과 및 고찰

수질중 영양염류 처리효율 동복천 인공습지의 시기별 및 습지 구성단계별 유입수 및 유출수의 BOD, SS, T-N 및 T-P 함량변화를 조사하여 수처리 효율을 평가한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 유입수의 BOD는 0.85~3.14 mg L⁻¹ 범위로 평균 1.67 mg L⁻¹이었고 4월 및 6월을 제외하고 시기별 편차가 적은 편이었으며, 유출수 중의 평균 BOD는 1.10 mg L⁻¹으로 구성 단계를 거침에 따라 BOD가 감소되는 경향이었다. 동복천 인공습지에서 평균 BOD 처리효율은 약 34%이었고, 4월 및 6월에는 각각 -69% 및 -7%로 평균 BOD 처리효율보다 낮았다 (Fig. 3). 이와 같이 4월

에서 나타난 낮은 처리효율은 동절기인 12월부터 습지 내 수생식물이 대부분 고사하고 수온이 낮아 미생물의 활성이 저하되어 (Seo et al., 2011a) 나타난 것으로 판단되며 6월의 경우에는 우리나라의 하계 집중적인 강우 특성 때문에 비점오염원의 유입이 증가하였고 또한, 수생식물이 초여름을 지나 7월부터 9월까지 왕성하게 생육함으로써 50% 이상의 처리효율을 나타낸 것으로 판단된다. 계절별 방류수 중 BOD 처리효율은 봄, 여름 및 가을에 각각 -10%, 33% 및 45%로 봄에 처리효율이 가장 낮았으며, 이와 같은 결과는 동복천 인공습지의 경우 10~11월에 수생식물을 제거하여 표면을 덮어 미생물활성을 위한 보온효과를 낼 수 있는 식물체가 없었기 때문으로 생각된다. Seo (2002)는 겨울철에 고사된 수생식물이 인공습지 내 표면을 덮어서 미생물 활성이 저해되지 않게 보온효과를 낼 수 있어, 이로 인해 겨울철 수처리 효율의 감소폭이 다른 인공습지에 비해 적은 것으로 보고하였다.

유입수의 SS 함량은 3.33~9.70 mg L⁻¹ 범위이었으며 평균은 7.05 mg L⁻¹로 시기별 편차가 심했다 (Fig. 2). 처리단계별 SS 함량은 유입수에서 평균 7.05 mg L⁻¹이었으며, 이후에 SS 농도는 증가와 감소가 반복되다가 최종 방류수에 대한 SS 평균 함량은 6.73 mg L⁻¹이었다. 유입수가 습지조 구간 내 4차 앞의 습지를 통과한 후에는 오히려 SS 함량이 더 증가하게 되었는데, 4차 앞의 습지 처리조의 경우 처리조 내에 육상식물들이 침투하여 강우 시 이들이 침

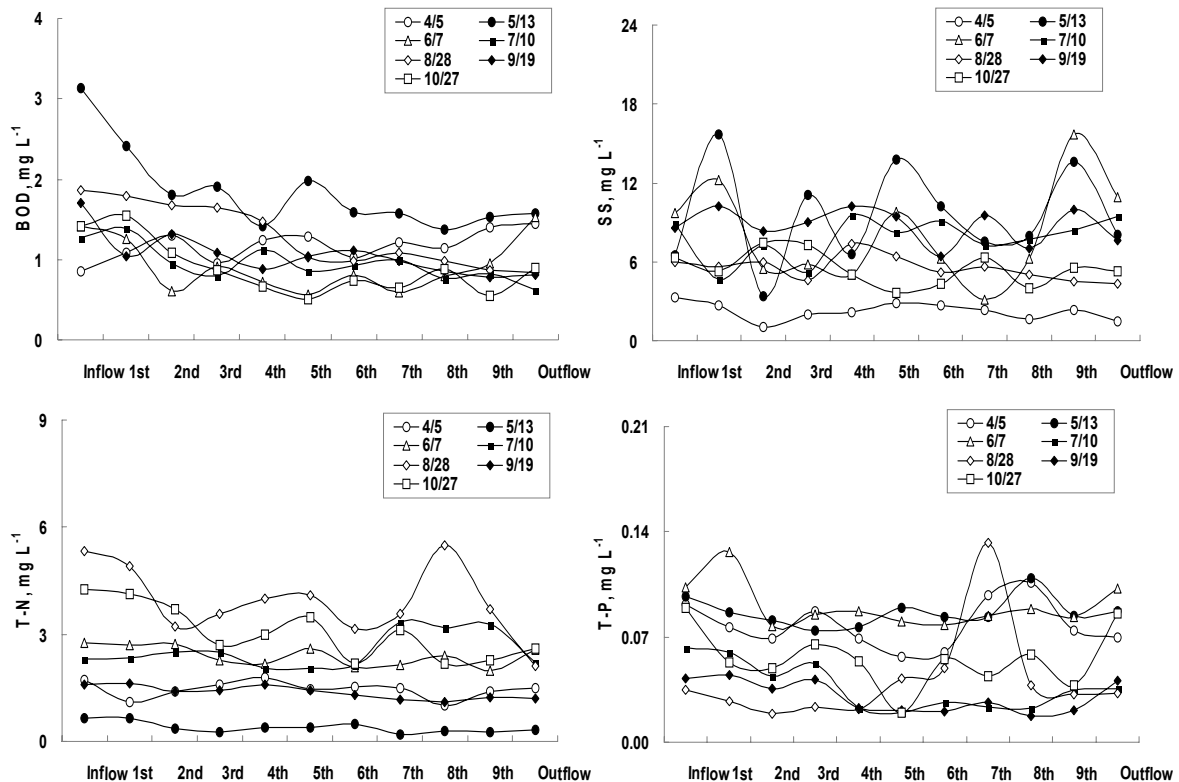


Fig. 2. Changes of BOD, SS, T-N, and T-P concentrations in the water with time in Dongbokcheon constructed wetlands.

수되는 현상이 생기는데 이에 따라 침수된 육상식물로부터 영양염류가 습지로 용출되었을 것이라 판단된다. 또한, 다른 처리조들에 비해 비교적 낮은 수생식물의 개체밀도로 인해 4차 앞은 습지조에서 유출수의 함량이 유입수의 함량 보다 더 증가한 것으로 생각되며 Seo et al. (2008a)도 인공습지에서 SS 함량변화는 습지 내 수생식물의 개체 밀도에 영향을 받는다고 보고한 바 있다. 동북천 인공습지의 월별 SS 처리효율은 평균 5%로 조사되었으며, 5월부터 7월까지 -6%~-23%로 SS 처리효율이 가장 낮은 경향이었으나, 8월부터 10월까지 12%~28% 범위로 안정적인 처리효율을 보였으며 4월에서 55%로 가장 높은 처리효율을 가졌다 (Fig. 3). 월별 처리효율 평균 보다 무려 50%가 높은 4월에서의 처리효율은 유입수의 SS 함량 (3.33 mg L^{-1})과 유출수의 SS 함량 (1.50 mg L^{-1})을 처리량적인 측면에서 볼 때 부유물질에 대한 제거량이 큰 효과를 보이지 않았으나 처리효율적인 측면만 고려했을 때 뛰어난 처리효율을 나타냈다. 5월, 6월 및 7월에는 유입수가 인공습지를 통과함에 따라 부유물질의 제거효율이 오히려 감소하였는데, 이러한 현상은 여름철 게릴라성 집중 호우에 의하여 습지 내에 잔재하던 부유물질들이 표면으로 상승함 (Choi, 2010)

에 따라 처리효율이 마이너스였지만 5월을 기점으로 처리효율이 차츰 회복되어 8월부터는 비교적 안정적인 처리효율을 나타내기 시작하였다.

유입수의 T-N 함량은 $0.64 \sim 5.33 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 시기별로 편차가 큰 편이었으며, 조사기간 내 평균 유입농도는 약 2.66 mg L^{-1} 이었다 (Fig. 2). 처리단계별 T-N 함량은 유입수에서 평균 2.66 mg L^{-1} 이었고, 처리단계가 증가하면서 점점 감소하여 5차 처리조에서 평균 2.22 mg L^{-1} 로 16.75%가 처리되었으며, 이후에도 점점 감소하여 최종 방류수에서 평균 1.78 mg L^{-1} 의 T-N 부하량이 검출되었다.

T-N의 평균 처리효율은 약 31%로서 4월, 6월 및 7월을 제외한 모든 시기에서 26%~61% 이상의 안정적인 처리효율을 보였다 (Fig. 3). 이와 같이 4월에 나타난 낮은 처리효율은 동절기인 12월부터 겨울철에 낮은 수온과 습지 내 수생식물 대부분이 고사함에 따라 낮은 미생물 활성에 의해 나타난 것으로 판단되며 6월과 7월에는 장마철기간으로 강우에 의해 일시적인 비점오염원 부하량이 급격하게 증가하였기 때문에 처리효율이 다른 시기에 비해 낮았던 것으로 보인다. Seo et al. (2008b) 및 Vymazal (2007)에 의하면, 비점오염원의 발생특성은 강우 시 일시적으로 부하량

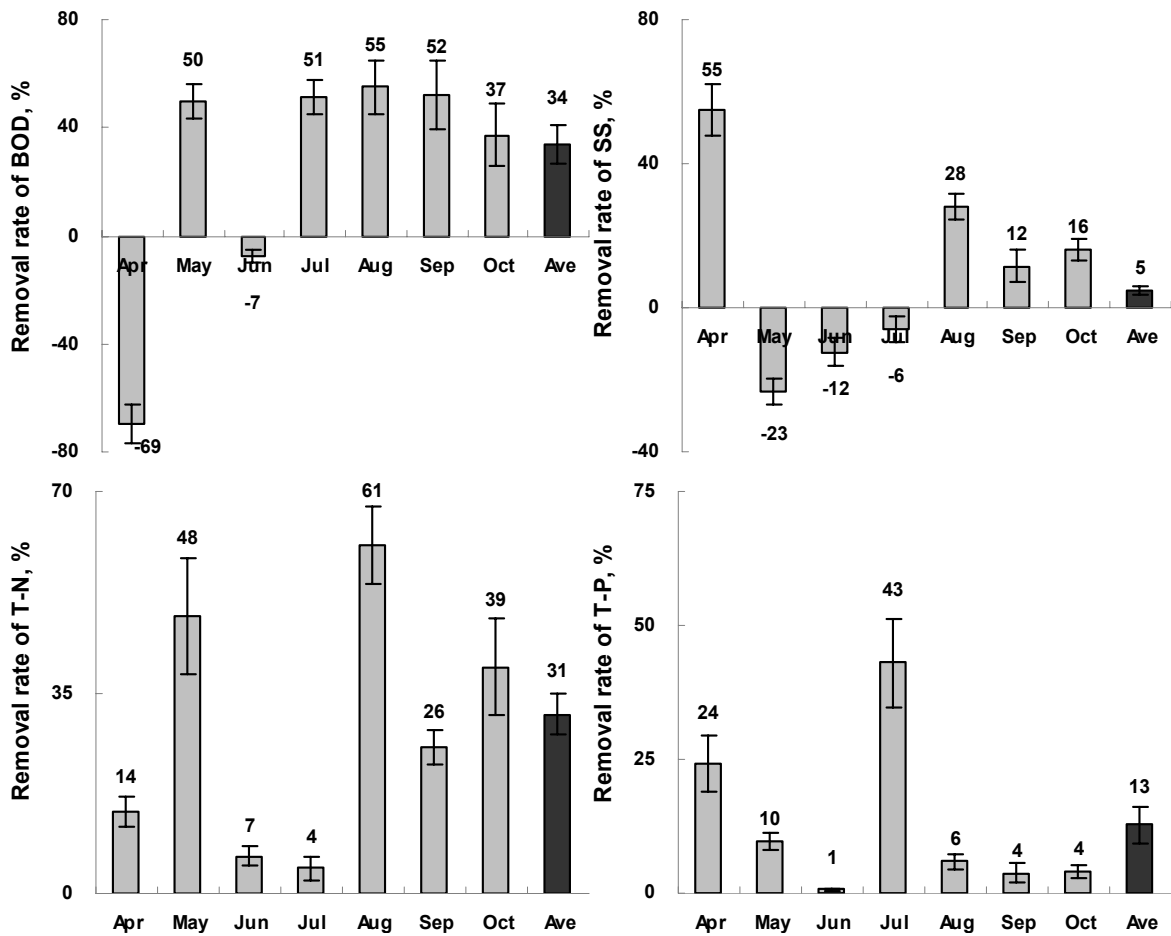


Fig. 3. Monthly removal rates of BOD, SS, T-N, and T-P in effluent in Dongbokcheon constructed wetlands for treating non-point source pollution.

이 급격하게 증가하여 상대적으로 질소 농도는 감소되는 경향으로서 실제 오염물질의 처리효율은 감소되나, 처리량적인 측면으로 보면 T-N 처리량은 오히려 약간 증가하게 된다고 보고하였다.

동북천 인공습지의 시기별 T-P 함량의 변화를 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같으며 처리 단계별 유입수의 T-P 함량은 0.03~0.10 mg L⁻¹의 범위로 농도가 매우 낮았고 시기별 T-P 함량은 처리시일에 따라 감소되는 경우도 있었다 (Fig. 2). 하지만 이와 같은 결과는 유입량에 포함된 T-P 함량이 매우 적은 것과 변화량의 격차가 매우 적은 것을 고려할 때 시기별로 큰 차이를 보이지 않았다.

T-P의 연 평균 방류수 중 처리효율은 13%로 비교적 낮은 처리효율을 보였다 (Fig. 3). 4월과 7월에 각각 24% 및 43%로 처리효율이 비교적 높았으나 8월 이후 월별 T-P 처리효율은 6% 이하로 매우 낮았다. 이와 같은 결과는 Seo et al. (2011b)의 신평천 인공습지에서 T-P 처리효율을 조사한 결과와 유사한 경향이었는데, 이는 장마시기가 끝나고 비점오염원의 유입량이 줄어들면서 퇴적물과 토양에 대부분의 인이 흡착하지 못하고 처리되었기 때문으로 생각된다.

동북천 인공습지의 오염물질 부하량에 따른 오염물질 처리량 인공습지에서 BOD 부하량에 따른 BOD 처리량을 습지 시스템별로 조사한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 침강지로 유입되는 유입수의 BOD 부하량은 8,723~32,171 g day⁻¹범위였고, 습지조로 유입되는 부하량은 11,079~24,609 g day⁻¹범위였으며, 침전지로 유입되는 부하량은 5,299~14,693 g day⁻¹범위였다. 비점오염원 유입 후부터 처리단계가 증가하면서 BOD 부하량은 점점 감소하는 경향이었고, BOD 부하량에 따른 BOD 처리량은 침전지를 제

위한 다른 시스템에서 유의성이 있는 정의 상관관계를 나타내었다. 유입수 중 BOD 최고 부하량인 3,2170 g day⁻¹일 때 침강지의 처리량은 7,561 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 9,915 g day⁻¹ 및 침전지의 처리량은 -394 g day⁻¹로 습지조의 처리량이 가장 높았다. 침강지, 습지조 및 침전지에서 동일한 BOD 부하량에 대해 침전지에서의 BOD 처리량이 가장 낮았는데, 이는 침강지와 습지조에서 BOD의 대부분이 처리되어 침전지로 유입되는 부하량이 상대적으로 낮았기 때문으로 생각된다. Park et al. (2008)의 농업비점오염원 처리용 인공습지 연구에서도 본 실험과 유사한 결과로 침전지에서 BOD 처리량이 낮았다고 보고하였다.

동북천 인공습지에서 SS 부하량에 따른 SS 처리량을 습지 시스템별로 조사한 결과에서 침강지로 유입되는 유입수의 SS 부하량은 34,206~99,540 g day⁻¹, 습지조로 유입되는 부하량은 27,230~160,319 g day⁻¹, 침전지로 유입되는 부하량은 22,482~151,272 g day⁻¹의 범위이었다 (Fig. 5). 유입수 중 SS 최고 부하량인 99,540 g day⁻¹일 때 침강지의 처리량은 -25,038 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 -26,693 g day⁻¹, 침전지의 처리량은 46,855 g day⁻¹로 침전지에서 전체의 47.1%가 처리되었다. 하지만 주암호 상수원 상류지역에 위치한 복내 바이오파크 인공습지에서는 (Seo et al., 2011a), 유입수 중 SS 최고 부하량인 6,869 g day⁻¹에서 침강지의 처리량은 2,082 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 3,002 g day⁻¹, 침전지의 처리량은 1,431 g day⁻¹로 습지조에서 전체의 43.7%가 처리되었다. 이와 같이 습지조에서 부유물질의 처리량이 다른 시스템에 비해 많은 것은 수생식물에 의한 긴 체류시간으로 인해 SS의 침전율이 높아지고 식물체 표면에 부유물질이 흡착되었기 때문이라고 보고하였다 (Seo et al., 2003). 동북천 인공습지의 경우에는 습지조에 식재된 수생식물이 도태되고 육상식물의 침투으로 인해 식

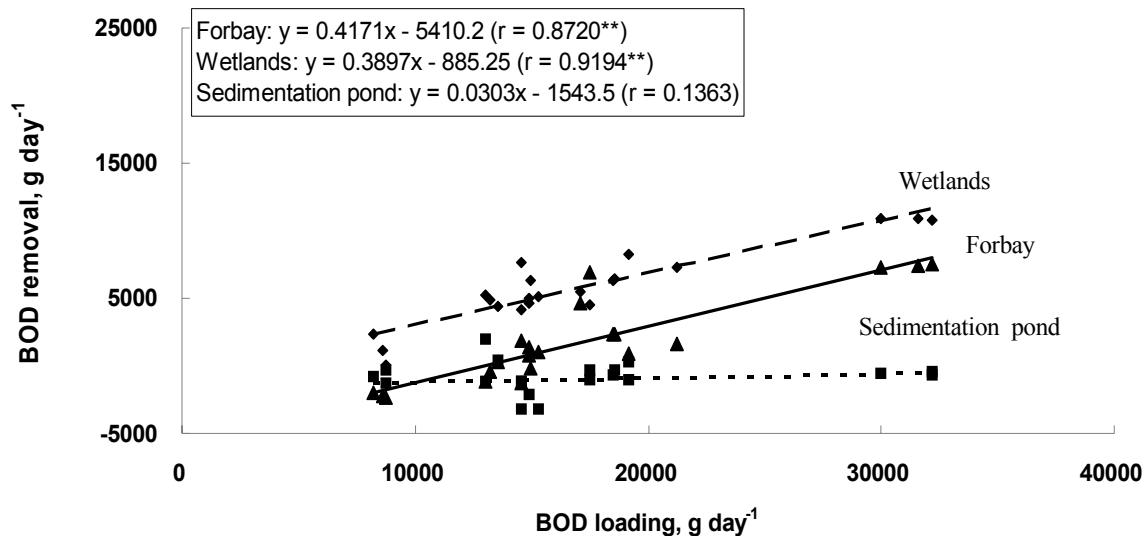


Fig. 4. Relationships between BOD removal and BOD loading in the water in Dongbokcheon constructed wetlands.

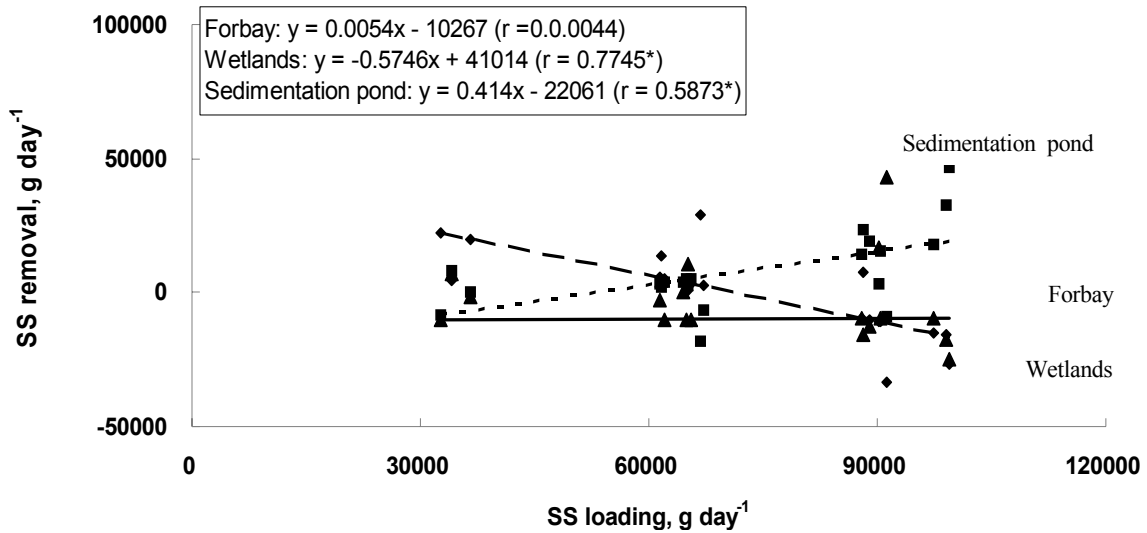


Fig. 5. Relationships between SS removal and SS loading in the water in Dongbokcheon constructed wetlands.

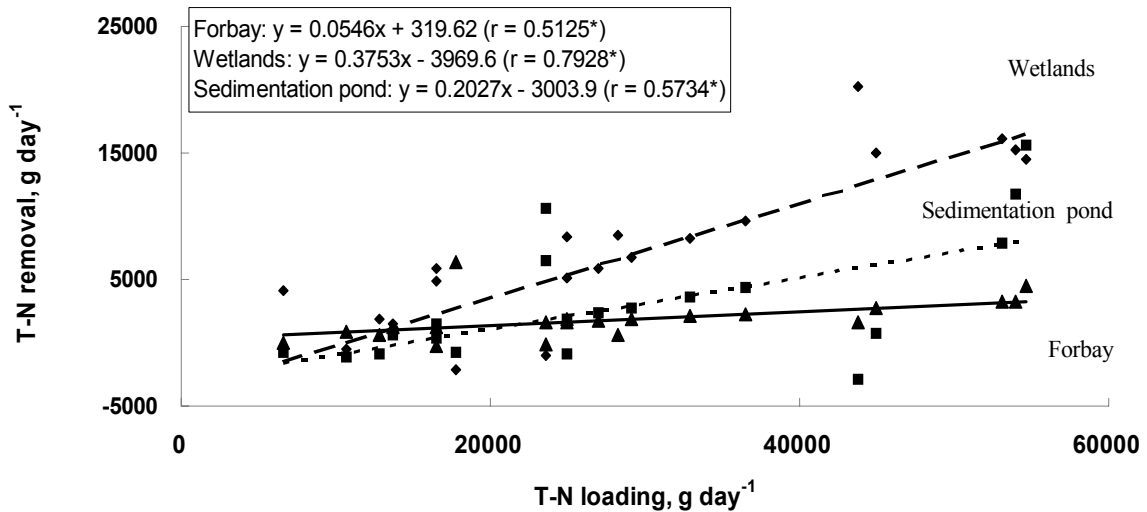


Fig. 6. Relationships between T-N removal and T-N loading in the water in Dongbokcheon constructed wetlands.

물체를 이용한 부유물질 흡착효율이 감소한 것으로 생각되며, 강우 시 육상식물의 침수로 인해 SS 부하량이 오히려 침강지와 습지조에서는 증가하였으나, 이에 반해 침전지에서는 수생식물인 수련이 95%의 우점도를 가지고 있기 때문에 SS 처리에 대해 뛰어난 효과가 있었을 거라고 판단된다. 또한, 총 SS 부하량이 침강지와 습지조를 거쳐 감에 따라 오히려 더 증가했기 때문에 상대적으로 많은 부하량이 유입된 침전지에서 SS 부하량의 처리효율이 더 높은 경향을 나타낸 것으로 판단된다.

인공습지에서 T-N 부하량에 따른 T-N 처리량은 Fig. 6과 같으며 침강지로 유입되는 유입수의 T-N 부하량은 6,609~54,708 g day⁻¹, 습지조로 유입되는 부하량은 6,579~50,256 g day⁻¹, 침전지로 유입되는 부하량은 2,478~35,750 g day⁻¹의 범위이었으며 T-N 부하량에 따른 T-N 처리량은 습지 내 모든 시스템에서 유의성이 있는 정의 상관관계를 나타내었다. 유입수 중 T-N 최고 부하량인 54,708 g day⁻¹일

때 침강지의 처리량은 4,451 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 14,505 g day⁻¹, 침전지의 처리량은 15,648 g day⁻¹로 침전지의 처리량이 전체의 28.6%로 가장 높았다. T-N 처리량이 가장 높았던 침전지의 경우에는 습지 내 질소 처리효율이 뛰어난 수련 (Choi, 2010)이 침전지 전체 식생분포 중 95%의 우점도를 가졌기 때문이라고 생각되며, 다양하고 많은 식물군 개체를 가진 습지조 내 질소 처리의 경우는 수생식물과 토양에 부착한 미생물에 의한 흡수, 암모니아 휘산 그리고 질산화 및 탈질에 의해 (Brix, 1993) 두 번째로 높은 질소 처리효율을 나타낸 것으로 생각된다. 그리고 처리량이 가장 낮았던 침강지는 습지조나 침전지에 비해 수생식물의 분포가 적었기 때문에 낮은 효율을 나타내었다고 생각된다.

인공습지에서 T-P 부하량에 따른 T-P 처리량은 Fig. 7과 같다. 침강지로 유입되는 유입수의 T-P 부하량은 357~1,056 g day⁻¹의 범위이었으며, 습지조로 유입되는 부하량

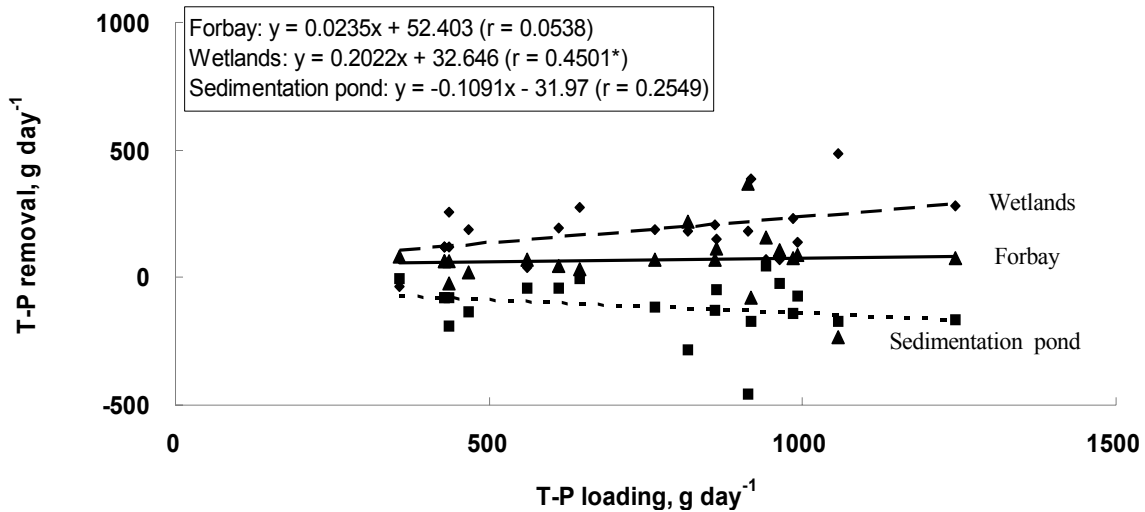


Fig. 7. Relationships between T-P removal and T-P loading in the water in Dongbokcheon constructed wetlands.

은 275~1,292 g day⁻¹의 범위였고, 최종방류조인 침전지로 유입되는 부하량은 202~813 g day⁻¹ 범위로 T-P 부하량은 처리단계가 증가함에 따라 처리조별로 차이를 보였다. 유입수 중 T-P 최고 부하량인 1,056 g day⁻¹일 때 침강지의 처리량은 -236 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 486 g day⁻¹, 침전지의 처리량은 -175 g day⁻¹이었으며, 습지조가 46%로 가장 효율이 높았다. T-P 부하량을 오히려 증가시킨 침강지와 침전지에서는 총 유량에 비해 유입수에 포함된 T-P 부하량이 부족함에 따라 습지가 효과적으로 T-P 부하량을 제거하기 시작하는 최소한의 양을 충족시키지 못한 것으로 판단된다. 따라서 처리되는 과정에서 오히려 인의 부하량을 증가시킨 걸로 생각되며, 습지조의 경우에는 유입량은 부족했으나 다른 처리조들에 비해 더 넓은 면적과 이에 따른 다양하게 분포된 수생식물의 인 흡착과 토양의 인 흡착 및 침전을 통해 다소 높은 경향의 처리량을 보인 것으로 판단된다.

요 약

비점오염원 저감을 위해 설치된 동북천 인공습지의 효율적인 관리 방안을 제시하기 위하여, 동북천 인공습지의 시기별 및 부하량별 수처리 효율평가를 실시하였다. 유입수의 BOD, SS, T-N 및 T-P 함량은 각각 0.85~3.14 mg L⁻¹, 3.33~9.70 mg L⁻¹, 0.64~5.33 mg L⁻¹ 및 0.03~0.10 mg L⁻¹ 범위이었으며, 연평균 처리효율은 BOD, SS, T-N 및 T-P가 각각 34%, 5%, 31% 및 13%로서 BOD와 T-N의 처리효율이 SS와 T-P 처리효율 보다 높았다. 인공습지 구성시스템별 오염물질 부하량에 따른 오염물질 처리량은 BOD에서 침강지 > 습지조 > 침전지, SS에서 침전지 > 습지조 > 침강지, T-N에서 침전지 > 침강지 > 습지조 순이었으며, T-P의 경우에는 침전지와 침강지에서는

큰 차이가 없었으나 습지조에서는 다른 시스템에 비해 높은 효율을 보였다.

감사의 글

이 논문은 영산강 섬강장 수계관리기금의 지원을 받아 수행한 연구결과의 일부임. 또한 본 논문은 2010년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 [NRF-2010-0025548, NRF2010-359-F00003]의 일환으로 수행하였음.

인 용 문 헌

APHA, AWWA, WCF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, p. 4-112.
 Brix., H. 1993. Wastewater treatment in constructed wetlands, system design, removal processes, and treatment performance, 9~22 In, Moshiri. G. A. (ed.), Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Lewis publishers, Boca Raton, FL.
 Cho, Y.G. 2006. Water Quality management and plan for Dongbok lake. Gwangju Metropolitan Waterworks, Korea.
 Cho, J.S. 2008. Alternative of optimum management and analysis of removal efficiency for treating the wastewater in constructed wetland to upper region of Juam lake, Gwangju, Korea.
 Choi, K.C., O.U. Kwun, Y.D. Kim, Y.H. Kim, W.S. Lee, J.Y. Lee, S.J. Jun, and S.K. Jung. 2004. Annotation for standard methods of water quality. Printed in Dong Hwa Technology Publishing Co. Korea.
 Choi, I.W. 2010. A study on the improvement of water quality in closed systems using bioremediation. Ph.D. Thesis, Osaka Prefecture University, Japan.

- Kwun, S.K. 1998. Management improvement and perspective on nonpoint sources of water pollution in Korea. *KSAE*. 20:1497-1510.
- Kim, H.C. 2010. Assessment of non-point source pollution reduction using constructed wetland. Ph.D. Thesis, Konkuk University, Seoul, Korea.
- Lee, H.D., and C.H. Bae. 2002. Runoff characteristics and strategies for non-point source reduction. *KSWQ*. 18:569-576.
- Ministry of Environment. 2005. White paper of environment, p. 462-464.
- Park, W.Y., D.C. Seo, J.S. Im, J.K. Park, J.S. Cho, J.S. Heo, and H.S. Yoon. 2008. Optimum configuration filter media depth and wastewater load of small-scale constructed wetlands for treating the hydroponic waste solution in greenhouse. *Korean J. Environ. Agric.* 27:217-224.
- Seo, D.C. 2002. Development of sewage treatment apparatus by natural purification method. Master Thesis. Gyeongsang National University of Education, Korea.
- Seo, D.C., B.J. Lee, J.S. Cho, H.G. Park, H.K. Kim, and J.S. Heo. 2003. Selection of optimum pebbles size in sewage treatment plant by natural purification method. *Korean J. Environ. Agric.* 22:26-35.
- Seo, D.C., B.I. Jang, I.S. Jo, S.C. Lim, H.J. Lee, J.S. Cho, H.C. Kim, and J.S. Cho. 2006. Selection of optimum water plant in constructed wetland by natural purification method for municipal sewage treatment. *Korean J. Environ. Agric.* 25:25-33.
- Seo, D.C., H.J. Kim, W.Y. Park, J.S. Im, S.H. Hwang, C.H. Park, J.H. Choi, H.J. Lee, D.J. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2008a. Behavior and decomposition velocity of pollutants on various forms from domestic sewage in small-scale sewage treatment plant by natural purification method. *Korean J. Environ. Agric.* 27:18-26.
- Seo, D.C., W.Y. Park, J.S. Im, C.H. Park, H.J. Lee, H.C. Kim, S.W. Lee, D.J. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2008b. A study on the improvement of treatment efficiency for nitrogen phosphorus by improved sewage treatment process in constructed wetland by natural purification method. *Korean J. Environ. Agric.* 27:27-34.
- Seo, D.C., S.W. Kang, H. Kim, M.J. Han, B.J. Lim, J.H. Park, K.S. Kim, Y.J. Lee, I.W. Choi, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2011a. Evaluation of treatment efficiencies of pollutants in Boknae bio-park constructed wetlands. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:263-270.
- Seo, D.C., S.W. Kang, B.J. Lim, J.H. Park, K.S. Kim, J.B. Lee, H. Kim, J.S. Heo, N.I. Chang, H.H. Seong, and J.S. Cho. 2011b. Evaluation of aquatic ecological characteristics in Sinpongcheon constructed wetlands for treating non-point Source pollution. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:400-407.
- Vymazal, J. 2007. Removal of nutrient in various types of constructed wetland. *Sci. Total Environ.* 380:48-65.