

복내바이오파크 인공습지의 오염물질 처리효율 평가

서동철[†] · 강세원[†] · 김현욱¹ · 한명자 · 임병진² · 박종환² · 김갑순² · 이영재² · 최익원¹ · 허종수³ · 조주식*

순천대학교 생물환경학과, ¹서울시립대학교 환경공학부, ²국립환경과학원 영산강 물환경 연구소,
³경상대학교 응용생명과학부

Evaluation of Treatment Efficiencies of Pollutants in Boknae Bio-Park Constructed Wetlands

Dong-Cheol Seo[†], Se-Won Kang[†], Hyunook Kim¹, Myung-Ja Han, Byung-Jin Lim², Jong-Hwan Park²,
Kap-Soon Kim², Yeong-Jae Lee², Ik-Won Choi¹, Jong-Soo Heo³, and Ju-Sik Cho*

Department of Bio-Environmental Sciences, Sunchon National University, Sunchon, South Korea,

¹Division of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul, South Korea, ²Yeongsan River Environmental
Research Center, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment, Gwangju, South Korea,

³Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, South Korea

Boknae Bio-park is a free water surface constructed wetlands to remove non-point source pollution. Boknae Bio-park constructed wetlands (CWs) consist of forebay, wetlands (1st, 2nd, and 3rd wetlands), and micropool. The concentrations of BOD, SS, T-N and T-P in inflow were 1.87-4.23, 5.2-24.0, 4.94-15.59 and 0.10-0.75 mg L⁻¹ in Boknae Bio-park CWs from April to December in 2008, respectively. The removal rates of BOD, SS, T-N and T-P in Boknae Bio-park CWs were 26, 43, 62 and 83%, respectively. The removal rates of BOD and SS in the spring and summer were higher than those in other seasons. The removal rates of T-N and T-P on spring were slightly higher than those in other seasons. The amounts of pollutants removal in Boknae Bio-park CWs were higher in the order of forebay > wetlands > micropool for BOD, wetlands > forebay > micropool for SS and wetlands > forebay > micropool for T-N. The amount of T-P removal was not significant different in all areas.

Key words: Boknae Bio-park, Pollutants, Wetlands, Removal efficiency

서 언

수질 오염을 유발하는 오염원은 크게 점오염원 (Point pollutant source)과 비점오염원 (Non-point pollutant source)으로 구분하고 있다 (Lee and Bae, 2002). 비점오염원은 농경지에 살포된 농약과 비료, 축사에서 유출물, 도로상 오염물질, 도시지역의 먼지와 쓰레기, 지표상 퇴적 오염물질 등이 강우시 빗물과 함께 유출되어 발생하며 (Ministry of Environment, 2005; Seo et al., 2006), 이러한 오염물질과 화학물질이 결합된 입자들이 빗물에 의해 운반되어 하천으로 유입되면 심각한 수질문제를 일으킬 수 있다. 비점오염원은 배출지점이 유역전체에 걸쳐 있어 제어가 어렵고, 제어를 한다고 해도 일정한 처리효과를

얻기 위해서는 장시간이 소요되며, 강우량에 따라 유입량이 크게 변동되어 일정한 처리효율을 얻기가 힘든 문제점이 있어 관리대책에도 많은 어려움이 있다 (Kwun, 1998; Lee and Bae, 2002).

우리나라 4대강 유역의 비점오염원이 차지하는 오염부하는 한강 30%, 낙동강 25%, 금강 21% 및 영산강·섬진강 37%로서 수질오염에 미치는 영향이 매우 큰 실정이며, 팔당 상수원의 비점오염원이 차지하는 오염부하는 44%에 달하여 비점오염원의 오염부하가 심각한 실정이다 (Choi et al., 2006; Ministry of Environment, 2004).

1989년 완공된 다목적댐인 주암호는 총 32 km의 유로 연장을 갖는 보성강이 주 수자원이나 여기에는 동복천, 사평천 및 송광천 등 3개 지류가 합류되어 이루어지며, 그동안 주암호 주변에는 특수한 공장지대와 인구가 밀집한 도시가 없어서 호수의 오염원으로서는 농가에서 배출되는 생활하수와 인근 농경지에서 유입되는 배수에 의한 비점오염원이 주를 이루고 있었으나, 최근에 호수 주위에 레저

접수 : 2011. 3. 16 수리 : 2011. 4. 8

*연락처 : Phone: +8261-750-3297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

[†]공동 제 1 저자

시설과 위탁시설이 형성되면서 발생하는 점오염원 및 비점오염원들로 수질오염이 가중되고 있는 실정이다 (Park et al., 2008).

특히 영산강, 섬진강의 비점오염원이 차지하는 오염부하는 37%로 4대강 중 가장 높은 비율을 보여 비점오염원의 효율적인 관리가 시급한 실정이며 (Ministry of Environment, 2004), 이에 주암호 등 영산강수계 물관리 종합대책을 수립하여 하수처리장 방류수를 재처리하고 비점오염원을 처리하기 위한 인공습지를 조성하였으나, 관리 소홀과 습지 운영방안의 미숙 등으로 인해 효율적으로 운영이 되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 주암호 상수원 상류지역에 위치한 복내 바이오파크 인공습지에서 시기별, 계절별 및 유입수 부하량별 수처리 효율을 평가하여 인공습지에서 오염물질의 처리효율 향상을 위한 관리 방안을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

복내 바이오파크 인공습지의 특성 복내 바이오파크 인공습지는 환경관리공단에서 2002년도에 주암호의 수질개선을 위하여 조성한 수질정화용 인공습지이며 (Fig. 1) 주요 처리대상 오염원은 도로 및 시가지지역의 강우시 유출수, 농경지역의 배수, 강우시 유출수 및 하수처리장으로 부터 배출되는 방류수 등의 비점오염원으로 설계되었다 (Cho, 2009; Jung, 2006). 복내 바이오파크 인공습지는 자유수

면형 인공습지 (FWS)로 조성되었다. 습지의 구성은 침강저류지, 습지연못 (1차 습지, 2차 습지 및 3차 습지) 및 마이크로폴 (micropool)로 구성되어 있으며, 침강저류지에는 부들이 가장자리에 성장하고 있고, 1차 습지에는 달뿌리풀, 미나리 및 수련, 2차 습지에는 부들 및 갈대, 3차 습지에는 갈대, 부들 및 줄이 성장하고 있으며, 마이크로폴 (micropool)에는 줄, 수련 및 노랑어리연꽃이 주로 분포하고 있다. 복내 바이오파크의 전체면적은 약 23,000 m²이고, 습지 면적은 약 13,500 m²이다. 인공습지의 총 용량은 7,941 m³이었고, 그 중 침강저류지의 용량은 3,225 m³ (평균수심 1.5 m)이었으며, 습지조의 용량은 3,726 m³ (수심 0.2-0.7 m)이었고, 방류전의 마이크로폴 (micropool)의 용량은 960 m³ (평균수심 1.2 m)이었다. 인공습지의 용량에 따른 체류시간은 평상시의 경우 10일 정도이며, 강우시의 경우 2일 정도로 유지되도록 설계되었다 (Cho, 2009).

복내 바이오파크 유입수질 특성 복내 바이오파크 인공습지에 유입되는 주요 수질은 복내면 하수종말처리장 방류수이며 인근 농경지역 배수 및 강우시 인근지역에서 발생하는 초기 강우 유출수 등이 유입되고 있다. 조사기간인 2008년도 4월부터 12월까지의 유입 수질의 주요 영양염류 평균함량은 Table 1에서 보는 바와 같이, BOD는 평균 2.66 mg L⁻¹, T-N 함량은 평균 9.57 mg L⁻¹으로 일반적인 농업 비점오염원에 비해 약간 높은 함량을 보였다 (Cho, 2009; Seo et al., 2008a).

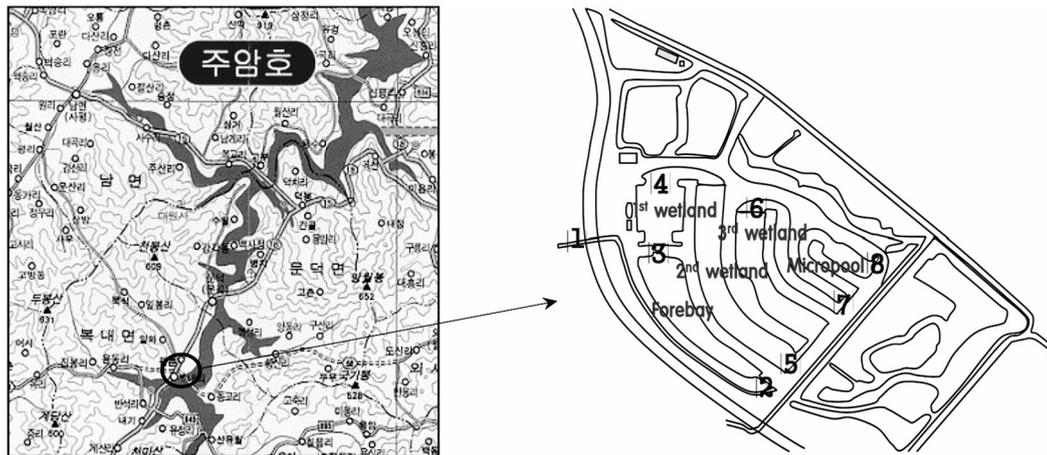


Fig. 1. Location and schematic of Boknae Bio-park constructed wetlands, and Sampling sites (1: inflow, 2: 1st treatment, 3: 2nd treatment, 4: 3rd treatment, 5: 4th treatment, 6: 5th treatment, 7: 6th treatment, and 8: outflow).

Table 1. Chemical characteristics of raw water used.

Parameter	BOD	SS	T-N	T-P
	----- mg L ⁻¹ -----			
Average	2.86	15.35	9.57	0.51
SD	0.94	6.11	3.19	0.19

실험방법 및 조사시기 복내 바이오파크 인공습지의 시기별, 계절별 및 유입 부하량별 수처리효율을 조사하기 위하여 2008년 4월부터 12월까지 월 1회 주기로 인공습지 각 처리단계별 유입수와 유출수 중의 오염물질 함량 변화를 3반복으로 분석하여 평균과 표준편차를 조사하였다. 인공습지의 시기별 수처리 효율은 월별로 구분하여 BOD, SS, T-N 및 T-P의 함량과 처리효율을 조사하였다. 인공습지의 계절별 수처리 효율은 봄 (4, 5월), 여름 (6, 7, 8월), 가을 (9, 10, 11월) 및 겨울 (12월)로 구분하여 BOD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율을 비교 검토하였다.

인공습지에 유입되는 비점오염원은 시기 및 계절에 따라 오염물질의 부하변동이 심하기 때문에 부하 변동에 따른 인공습지의 대응성을 알아보고 시스템에 따른 처리 경향을 파악하기 위해 오염물질 부하량에 따른 오염물질 처리량을 침강지, 습지 및 마이크로폴로 구분하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 채취지점별로 채취하여 3반복으로 분석하였으며, 모든 실험결과는 회귀분석법으로 통계처리 하였다.

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

결과 및 고찰

복내 바이오파크 인공습지의 시기별 수처리효율 복내 바이오파크 인공습지의 시기별 및 습지 구성단계별 유입수 및 유출수의 BOD, SS, T-N 및 T-P 함량변화를 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 유입원수의 BOD는 1.87~4.23 mg L⁻¹ 범위로 평균 약 2.65 mg L⁻¹로 시기별로 편차가 심한 편이었으며, 갈수기인 10월, 12월과 모내기철인 5월경이 다른 시기에 비하여 높았다. 인공습지 구성 단계별 BOD는 4월을 제외한 모든 시기에서 처리 단계가 증가함에 따라 전반적으로 감소하는 경향이었으며, 조사초기인 4월에는 유입수 BOD보다 유출수 중 BOD가 증가되었으며 이는 동절기인 겨울부터 조사시작 시기인 4월까지 습지내 수생식물의 생육이 안정화 되지 않고 낮은 수온으로 인해 미생물의 활성이 왕성하지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

유입원수의 SS 함량은 5.2~24.0 mg L⁻¹ 범위, 평균 약 15.35 mg L⁻¹로서 시기별로 다소 편차가 컸으며, 습지구성 단계별 SS 함량도 BOD와 마찬가지로 4월을 제외한 모든 시기에서 처리 단계가 증가함에 따라 점점 감소하는 경향이였다. 특히, 수생식물 개체밀도가 높은 4차 처리조와 5차 처리조에서 SS 감소량이 높은 것으로 나타나 자유수면형 인공습지에서 SS의 처리는 처리조내 물의 흐름과 수생식물의 밀도에 의존적인 것으로 생각되었으며, Seo et al. (2008a)도 인공습지에서 SS의 처리효율은 습지내 수생식물의 개체밀도에 영향을 받는다고 보고한 바 있다.

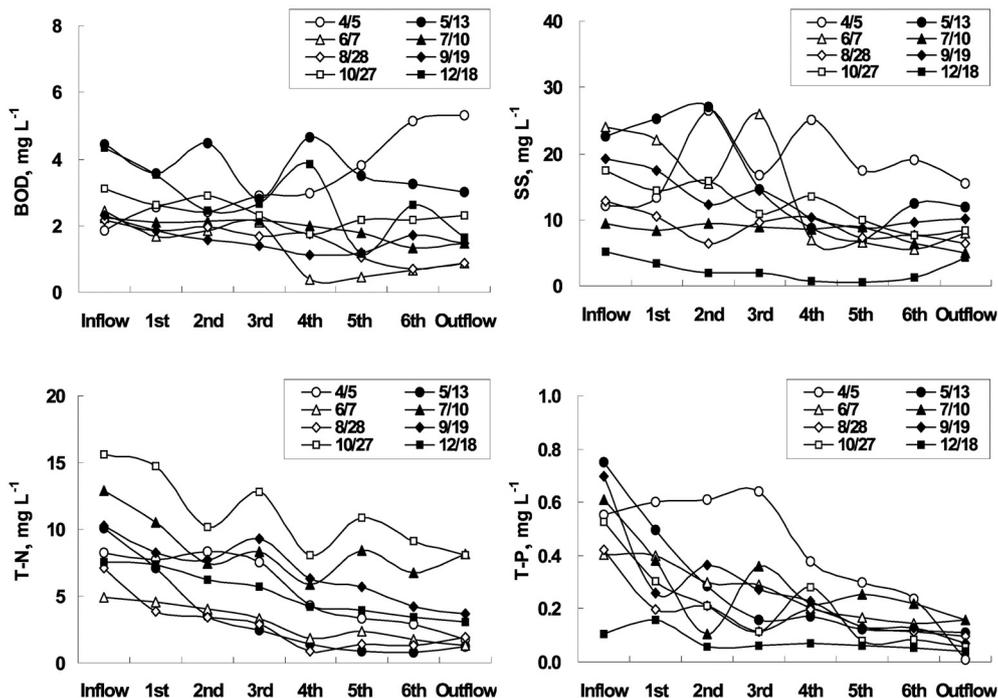


Fig. 2. Changes of BOD, SS, T-N and T-P contents in the water with time in Boknae Bio-park constructed wetlands.

유입원수의 T-N 함량은 4.94–15.59 mg L⁻¹로 시기별로 편차가 매우 컸으며, 조사기간 내 평균 유입농도는 약 9.57 mg L⁻¹이었다. 습지구성 단계별 T-N의 함량변화는 처리단계가 증가할수록 꾸준히 감소하는 경향을 보였으며, 최종 유출수내 T-N 함량은 유입원수의 T-N 함량이 높을수록 유입수의 농도가 유출수 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

유입원수내 T-P 함량은 0.1–0.8 mg L⁻¹ 범위, 평균 약 0.5 mg L⁻¹로서 시기별로 차이가 컸으며, 습지구성단계별 처리효율은 1차와 2차 처리조에서 전체 T-P 처리량의 약 70–80% 이상이 처리되었으며 그 이후에도 꾸준히 감소하는 경향이였다. 최종 유출수내 T-P 함량은 T-N 함량과는 달리 유입원수의 T-P 함량에 따른 큰 차이 없이 일정한 유출농도를 보였으며, 이러한 결과로 볼 때 복내 바이오파크 인공습지의 효율적인 운영인자 결정을 위해서는 T-P 함량보다는 T-N 함량을 기준으로 최적 처리용량이나 체류 시간을 선정해야 할 것으로 판단된다.

복내 바이오파크 인공습지의 월별 수처리 효율을 비교 검토한 결과는 Fig. 3과 같다. 연평균 BOD 처리효율은 약 26%이었고, 5월부터 12월까지는 26–64%의 처리효율을 보였으나 4월의 경우에는 오히려 유출수의 BOD가 유입수의 BOD보다 높았다. 이러한 결과는 동절기인 12월부터 습지내 수생식물이 대부분 고사하고 수온이 낮아 미생물의 활성이 낮아 3–4월경의 BOD 처리효율이 큰 폭으로 감소된 것으로 생각되며, Seo et al. (2008b)의 인공습지 하수처리장에서 겨울철 BOD 처리효율을 조사한 결과와 유사한 경향을 보였다. 그리고 우리나라의 경우에는 하절기에 집

중적인 강우특성이 있고 동절기인 겨울철에는 강우량이 적기 때문에 비점오염원 유입이 급격히 감소하고 유량확보가 어려워 BOD 처리효율이 감소될 수가 있으며, 또한 습지내부에 미생물이 생육할 수 있는 영양물질의 공급이 원활하지 않으면 이로 인해 미생물상이 파괴되거나 생육이 급격히 저해되어 수처리 효율이 큰 폭으로 감소하기도 하는 것으로 알려져 있다 (Cho, 2009; Seo et al., 2006).

월별 SS 처리효율은 수생식물이 생육을 시작하는 4월의 경우에는 -27%였으며, 이후 5월부터 12월까지는 19–67% 정도로 다소 차이는 있었으나 비교적 안정되고 높은 처리효율을 보였다. 수생식물 생육상황과 SS 처리효율의 관계를 볼 때 수생식물의 생육이 왕성한 5월부터 10월까지는 SS의 처리효율이 다른 달에 비해 전반적으로 높고 안정적인 처리가 가능하였지만 수생식물이 고사한 12월부터 SS의 처리효율은 점점 감소되는 경향이었고, 수생식물이 성장하기 시작하는 3–4월의 경우도 수생식물의 밀도가 낮고 동절기 동안 미생물의 생육이 저해되어 SS의 처리효율이 다른 시기에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

일반적으로 자유수면형 인공습지에서 SS 처리효율은 수생식물의 생육 상황과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며 (Brix, 1993; Seo, 2002), 수생식물은 자유수면형 습지에서 수질의 흐름을 지체시켜 체류시간을 연장시키는 역할을 하여 SS의 침전율을 높여주고, 인공습지 내에서 생장하면서 영양물질을 흡수 이용하여 오염물질을 직접적으로 처리할 뿐만 아니라 미생물에 적합한 생육환경을 제공하여 오염물질의 처리효율을 향상시키는 것으로 알려져 있다 (Seo et al., 2006; Vymazal, 2005).

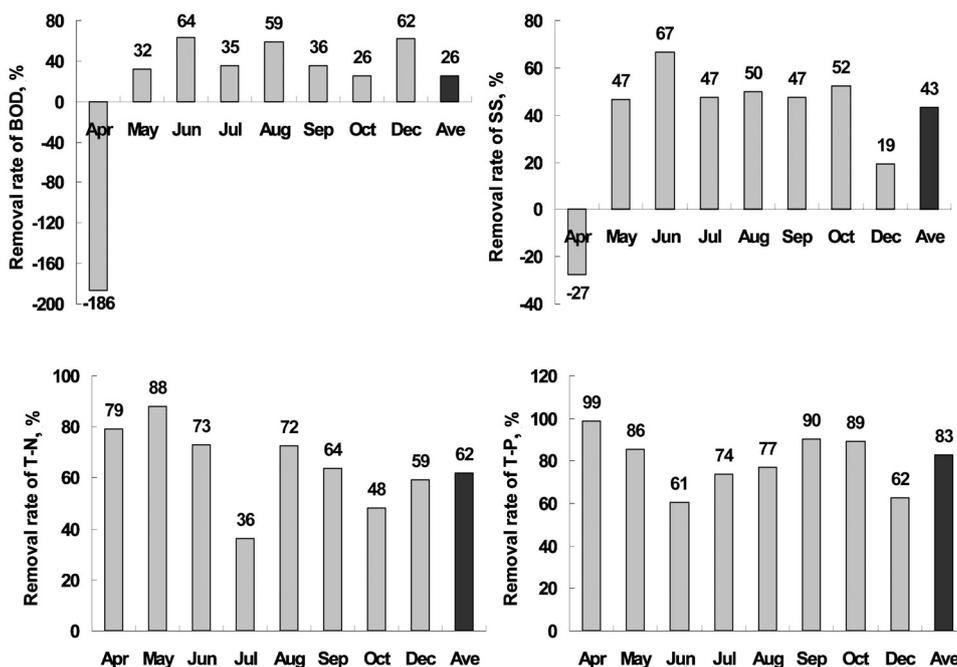


Fig. 3. Monthly removal rates of BOD, SS, T-N and T-P in effluent in Boknae Bio-park constructed wetlands.

최종방류수 중 T-N 처리효율은 연 평균 약 62%로서 매우 높은 효율을 보였다. 월별 T-N 처리효율은 7월, 10월 및 12월을 제외한 모든 달에서 64%이상으로 연평균 T-N 처리효율보다 약간 높았으며, 7월, 10월 및 12월의 T-N 처리효율은 각각 약 36, 48 및 59%로서 연평균 T-N 처리효율에 비해 약간 낮은 경향이였다. 특히, 7월의 T-N 처리효율은 약 36%로서 다른 달에 비해 매우 낮았으며 이 시기에는 장마철기간으로 강우에 의해 일시적인 비점오염원 부하량이 급격하게 증가하였기 때문이었던 것으로 판단된다. 일반적인 비점오염원 발생특성은 강우시 일시적으로 부하량이 급격하게 증가하며 상대적으로 질소 농도는 감소되어 실제 오염물질의 처리효율을 감소시키게 되나 T-N 처리량적 측면에서는 오히려 처리량이 약간 증가하게 되는 것으로 알려져 있다 (Seo et al., 2008b; Vymazal, 2007). 또한 복내 바이오파크 인공습지의 T-N 처리효율은 일반적인 비점오염원 처리용 인공습지에 비해 약간 높았으며 이는 복내 바이오파크 인공습지의 경우 하수종말처리장의 방류수와 비점오염원을 같이 유입되도록 설계되어 다른 습지에 비해 생물학적인 탈질시 충분한 탄소원을 공급할 수 있었기 때문인 것으로 생각된다.

T-P의 연평균 처리효율은 약 83%로서 매우 높았으며, 월별 방류수 중 T-P 처리효율은 6월, 7월, 8월 및 12월을 제외한 모든 달에서 86%이상으로 연평균 T-P 처리효율에 비해 약간 높았으며, 6월, 7월, 8월 및 12월의 T-P 처리효율은 각각 61, 74, 77 및 62%로서 연평균 T-P 처리효율에 비해 약간 낮은 경향이였다. 전반적인 T-P 처리효율은 T-N과 달리 특정 달의 처리효율이 급격하게 감소하

지 않고 연중 61%이상의 안정적인 처리효율을 보였다. 이와 같이 T-P의 처리효율이 월별로 큰 차이 없이 높고 안정적인 처리효율을 보인 것은 퇴적물과 토양에 대부분의 인이 흡착 또는 침전과정에 의해 처리되었기 때문으로 생각된다. Vymazal (2005) 및 Seo et al. (2006)의 연구보고에 의하면 인공습지에서 인 (P) 제거의 주요기능은 미생물의 분해, 여과와 흡착과정으로서 부하량이 처리조의 용량을 초과할 경우에 누적되었던 인 (P) 성분이 세척에 의해서 용출되어 오히려 유출수의 농도가 높게 나타날 수도 있는 것으로 보고하였으며, 현재 복내 바이오파크 인공습지의 경우에는 퇴적층에 흡착 고정된 인 (P)의 재용출 현상은 없는 것으로 나타났다.

복내 바이오파크 인공습지의 계절별 처리효율 복내 바이오파크 인공습지의 계절별 수처리 효율을 평가한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 계절별 방류수 중 BOD 처리효율은 여름, 가을 및 겨울이 각각 약 53, 31 및 62%였으며, 봄에는 유출수의 BOD가 유입수의 BOD보다 높았으며, 이는 일반적인 습지의 경우 겨울철에 고사된 수생식물들에 의한 보온효과가 있는 반면에 복내 바이오파크 인공습지의 경우 매년 10월에 생장한 수생식물을 제거하여 고사된 수생식물이 인공습지내 표면을 덮어서 생성할 수 있는 보온효과가 없어 미생물의 활성이 회복되지 않았기 때문인 것으로 생각된다. Seo (2002)도 겨울철에 고사된 수생식물은 인공습지내 표면을 덮어서 미생물 활성이 저해되지 않는 보온효과를 낼 수 있어 이로 인해 겨울철 수처리 효율의 감소폭이 다른 인공습지에 비해 적었다고 보고

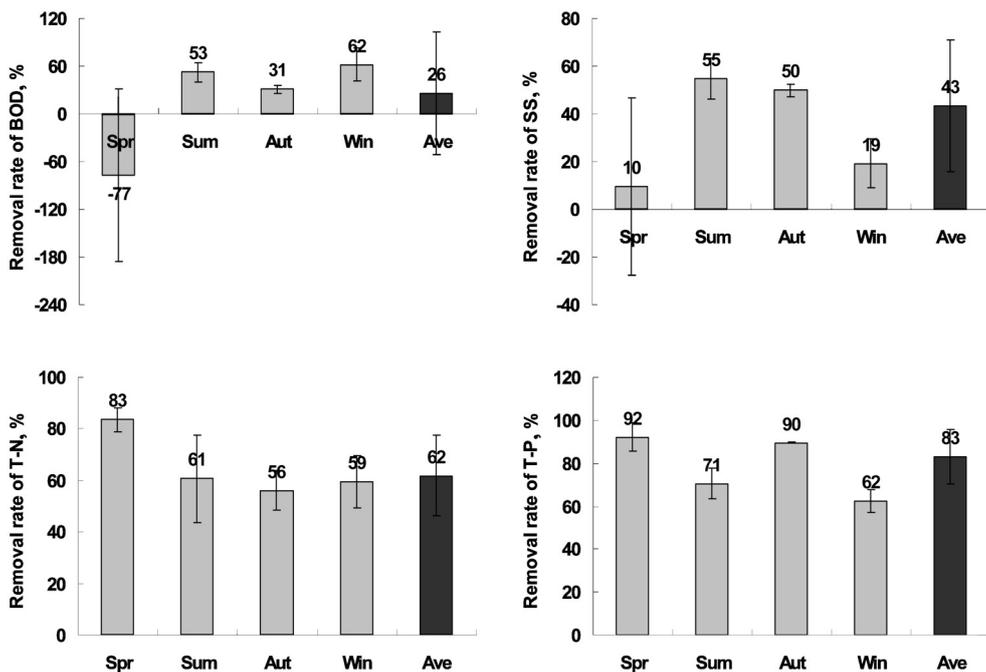


Fig. 4. Removal rates of BOD, SS, T-N and T-P in effluent in Boknae Bio-park constructed wetlands on seasons.

하였다. 따라서 복내 바이오파크 인공습지의 동절기의 안정적인 BOD와 COD 등의 유기물 처리를 위해서는 습지 생태계를 수생태학적인 면에서 유지할 수 있는 수생식물 제거 방안과 동절기 수생식물의 관리를 위한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

계절별 방류수 중 SS의 처리효율은 여름철과 가을철에 각각 약 55 및 50%로 매우 높았으며 겨울과 봄에는 비교적 낮았다. 계절별 방류수 중 T-N의 처리효율은 봄, 여름, 가을 및 겨울에 각각 약 83, 61, 56 및 59%로 모든 계절에서 비교적 안정적인 처리효율을 보였으며, 계절별 방류수 중 T-P의 처리효율도 봄, 여름, 가을 및 겨울에 각각 약 92, 71, 90 및 62%로 계절별 다소 차이는 있었지만 매우 높은 처리효율을 보였다. 이러한 결과는 Jung (2006)이 2002년 12월부터 2004년 12월까지 복내 바이오파크 인공습지의 여름철과 겨울철의 T-N 및 T-P의 처리효율을 조사한 결과 T-N의 처리효율은 여름철과 겨울철의 경우 각각 약 57 및 53%이었고, T-P의 처리효율은 여름철과 겨울철의 경우 각각 80 및 62%였다는 연구결과와 비슷하였다.

복내 바이오파크 인공습지의 오염물질 부하량에 따른 오염물질 처리량 복내 바이오파크 인공습지의 BOD 부하량에 따른 BOD 처리량을 최초 침강조, 습지조 (1차 습지, 2차 습지, 3차 습지) 및 최종 저류습지인 마이크로폴의 습지 구성시스템별로 조사한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 침강지로 유입되는 유입원수의 BOD 부하량은 530-1,265 g day⁻¹ 범위이었고, 습지조로 유입되는 부하량은 449-1,283 g day⁻¹ 범위이었으며, 마이크로폴로 유입되는 부하량은 194-927 g day⁻¹ 범위로 비점오염원 유입 후부터 처리단계가 증가하면서 BOD 부하량은 점점 감소하였고, BOD 부하량에 따른 BOD 처리량은 유의성이 있는 정의 상관관계를 나타내었다.

유입원수 중 BOD 최고 부하량인 1,265 g day⁻¹ 일 때

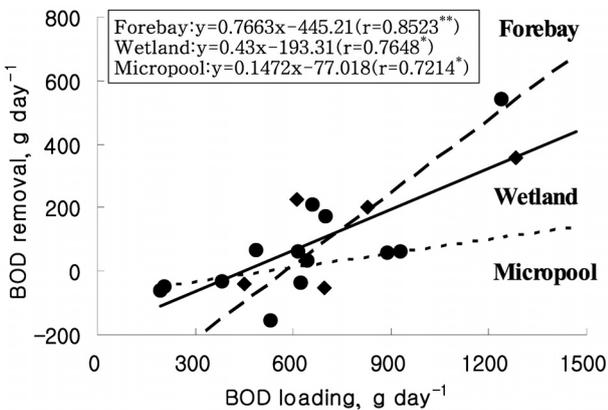


Fig. 5. Relationships between BOD removal and BOD loading in the water in Boknae Bio-park constructed wetlands.

침강지의 처리량은 524 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 351 g day⁻¹ 및 마이크로폴의 처리량은 109 g day⁻¹로 침강지의 처리량이 가장 높았다. 침강지, 습지조 및 마이크로폴에서 동일한 BOD 부하량 중 마이크로폴에서 BOD 처리량이 낮았는데, 이는 침강지와 습지조에서 BOD의 대부분이 처리되어 마이크로폴로 유입되는 부하량이 상대적으로 낮았기 때문으로 생각되며, 이와 같은 결과는 Park et al. (2008)의 농업비점오염원 처리용 인공습지의 연구결과와 유사한 경향이였다.

습지 시스템별 SS 부하량에 따른 SS 처리량을 조사한 결과 (Fig. 6), 침강지로 유입되는 유입원수의 SS 부하량은 1,488-6,869 g day⁻¹, 습지조로 유입되는 부하량은 544-7,728 g day⁻¹, 마이크로폴로 유입되는 부하량은 343-5,438 g day⁻¹로 유입원수가 처리조를 거치면서 부하량은 점점 감소하는 것으로 나타나 습지 시스템별 SS 부하량에 따른 SS 처리량은 유의성이 있는 정의 상관관계를 나타내었다. 유입원수 중 SS 최고 부하량인 6,869 g day⁻¹ 일 때 침강지의 처리량은 2,082 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 3,002 g day⁻¹, 마이크로폴의 처리량은 1,431 g day⁻¹로 습지조에서 전체

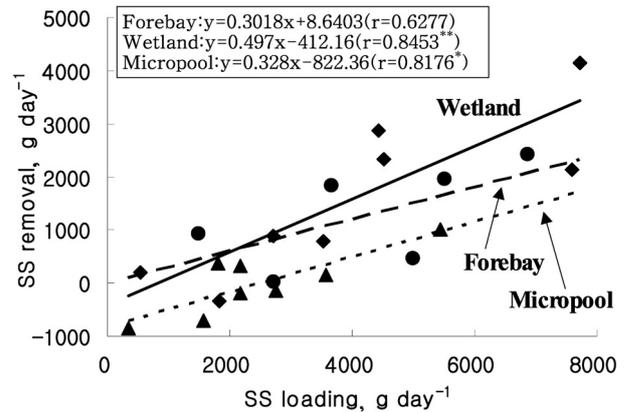


Fig. 6. Relationships between SS removal and SS loading in the water in Boknae Bio-park constructed wetlands.

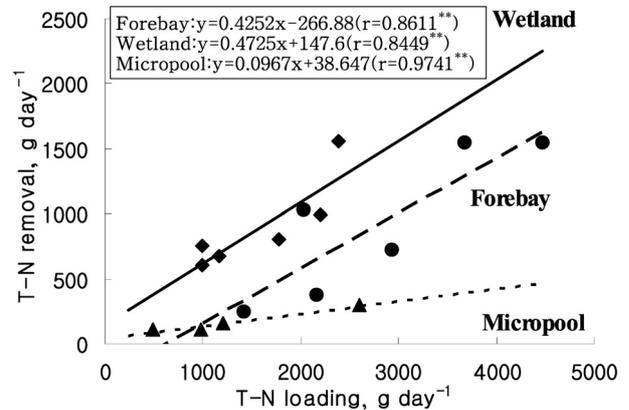


Fig. 7. Relationships between T-N removal and T-N loading in the water in Boknae Bio-park constructed wetlands.

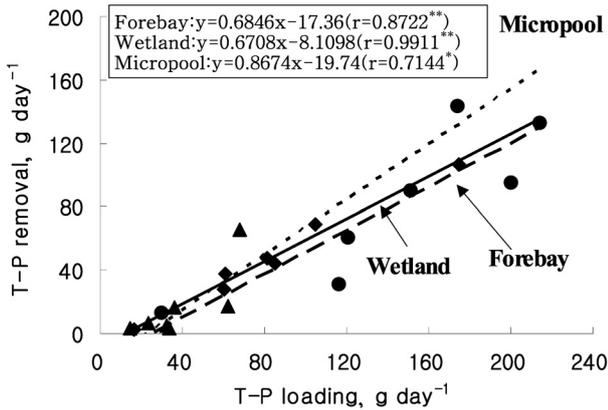


Fig. 8. Relationships between T-P removal and T-P loading in the water in Boknae Bio-park constructed wetlands.

의 43.7%가 처리되었다. 이와 같이 습지조에서 부유물질의 처리량이 다른 처리조에 비해 많은 것은 수생식물에 의한 긴 체류시간으로 인해 SS의 침전율을 높여지고, 또한 식물체 표면에 부유물질이 흡착되었기 때문으로 판단된다 (Seo et al., 2003).

북내 바이오파크 인공습지에서 습지 시스템별 T-N 부하량에 따른 T-N 처리량은 Fig. 7과 같이 침강지로 유입되는 유입원수의 T-N 부하량은 1,413-4,463 g day⁻¹, 습지조로 유입되는 부하량은 989-2,392 g day⁻¹, 마이크로폴로 유입되는 부하량은 490-2,601 g day⁻¹로 처리단계가 증가하면서 부하량은 감소하였다. T-N 부하량에 따른 T-N 처리량은 습지시스템 모두에서 유의성이 있는 정 상관계수를 나타내었으며, 유입원수 중 T-N 최고 부하량인 4,463 g day⁻¹ 일 때 침강지의 처리량은 1,631 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 2,256 g day⁻¹, 마이크로폴의 처리량은 470 g day⁻¹로 수생식물이 많고 미생물의 생육에 적합한 습지조의 처리량이 전체의 50.5%로 가장 높았다. 일반적으로 습지내 질소처리는 수생식물과 토양에 부착한 미생물에 의한 흡수, 암모니아 휘산, 그리고 질산화 및 탈질에 의해 대부분이 제거되는 것으로 알려져 있다 (Brix, 1993). 그리고 마이크로폴의 T-N 처리량은 침강조와 습지조에 비하여 낮았으며, 이는 유입질소의 대부분이 침강지와 습지조에서 처리되어 마이크로폴로 유입되는 T-N 부하량이 상대적으로 적었기 때문으로 생각된다.

습지 시스템별 T-P 부하량에 따른 T-P 처리량은 Fig. 8과 같이 침강지로 유입되는 유입원수의 T-P 부하량은 30-214 g day⁻¹이었으며, 습지조로 유입되는 부하량은 17-174 g day⁻¹이었고, 최종 방류조인 마이크로폴로 유입되는 부하량은 14-68 g day⁻¹로 T-P 부하량은 처리단계가 증가함에 따라 점점 감소하였다. T-P 부하량에 따른 T-P 처리량은 모든 처리시스템에서 유의성이 있는 정 상관계수를 나타내었으며, 유입원수 중 T-P 최고 부하량인 214 g

day⁻¹ 일 때 침강지의 처리량은 129 g day⁻¹, 습지조의 처리량은 135 g day⁻¹, 마이크로폴의 처리량은 165 g day⁻¹로 모든 처리조가 거의 비슷하였고, 이들 결과는 Park et al. (2008)의 결과와 유사한 경향이였다.

요 약

주암호 상수원 상류지역에 위치한 북내 바이오파크 인공습지의 수생태학적 효율 향상을 위한 관리 방안을 제시하기 위하여 시기별, 계절별 및 오염물질 부하량별 수처리 효율을 평가하였다. 유입원수의 BOD, SS, T-N 및 T-P의 함량은 각각 1.87-4.23, 5.2-24.0, 4.94-15.59 및 0.10-0.75 mg L⁻¹ 범위이었으며, 연평균 처리효율은 BOD, SS, T-N 및 T-P가 각각 26, 43, 62 및 83%로서 BOD 처리효율은 낮았으나 T-N과 T-P 처리효율은 매우 높았다. 계절별 수처리 효율은 전반적으로 동절기에 비하여 하절기에 높았으며 T-P의 처리효율은 계절적인 차이 없이 비교적 일정하게 높은 처리효율을 보였다. 인공습지 구성시스템별 오염물질 부하량에 따른 오염물질 처리량은 BOD는 침강지 > 습지조 > 마이크로폴, T-N과 SS는 습지조 > 침강지 > 마이크로폴 순이었으며 T-P의 경우에는 습지 구성 시스템별 큰 차이 없이 비교적 일정한 처리량을 보였다.

감사의 글

이 논문은 영산강·섬진강 수계관리기금의 지원을 받아 수행한 연구결과의 일부임. 또한 본 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 [NRF-2010-0025548, NRF2010-359-F00003]과 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업 [10037331, 지능형 BT-NT-IT 융합 플랫폼 기반 수처리 핵심기술 개발]의 일환으로 수행하였음.

인 용 문 헌

APHA, AWWA, WCF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. 4-112. American Public Health Association, Washington, DC. USA.

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. USA.

Cho, J.S. 2009. Selection of standard model for installing constructed wetlands suitable for watershed characteristics.

- Yeongsan River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment, Gwangju, South 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, S.H., Y. An, and H.I. Kim. 2006. Evaluation of water purification in the constructed wetland. Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water Wastewater Meeting Conference Proceedings, Korea National Open University, Incheon, p. 349-356.
- Jung, Y.J. 2006. Operation of the Juam constructed wetland for effluent from a sewage treatment plant and diffuse pollution for two years. Korean Society on Water Quality 22:1031-1037.
- Kwun, S.K. 1998. Management improvement and perspective on nonpoint sources of water pollution in Korea. J. Kor. Soc. Environ. Eng. 20:1497-1510.
- Lee, H.D. and C.H. Bae. 2002. Runoff characteristics and strategies for non-point source reduction. Korean Soc. Water Quality 18:569-576.
- Ministry of Environment. 2004. Environment a white book. 399-429.
- Ministry of Environment. 2005. Environment a white book. 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., M.R. Park, H.J. Kim, I.J. Cho, H.J. Lee, S.J. Sung, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2006. Development of sewage treatment apparatus for detached house in agricultural village by natural purification method, Korean J. Environ. Agric. 25:202-210.
- 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.
- Vymazal, J. 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. Ecol. Eng. 25:478-490.
- Vymazal, J. 2007. Removal of nutrient in various types of constructed wetland. Sci. Total Environ. 380:48-65.