비점오염물질 저감을 위한 주암호 생태습지의 수생태학적 효율 평가

이상규[†] · 서동철[†] · 최익원 · 강세원 · 서영진 · 임병진¹ · 이준배¹ · 김상돈¹ · 허종수² · 조주식*

순천대학교 생물환경학과, ¹국립환경과학원 영산강 물환경 연구소,

²경상대학교 응용생명과학부 (BK21 농생명산업 글로벌 인재 육성 사업단) & 농업생명과학원

Evaluation of Aquatic Ecological Efficiency in Juam Lake Eco-wetlands for Reducing Non-point Source Pollutants

Sang-Gyu Lee[†], Dong-Cheol Seo[†], Ik-Won Choi, Se-Won Kang, Young-Jin Seo, Byung-Jin Lim¹,
Jun-Bae Lee¹, Sang-Don, Kim¹, Jong-Soo Heo², and Ju-Sik Cho*

Department of Bio-Environmental Sciences, Sunchon National University

¹Yeongsan River Environmental Research Center

²Division of Applied Life Science (BK21 program) & Institute of Agriculture and Life Science,
Gyeongsang National University

To reduce non-point source pollutants in Juam Lake eco-wetlands, purification efficiencies of pollutants were investigated at three different systems. The constructed wetlands (CWs) consisted of A system, B system and C system. A system consisted of 1st free water surface (FWS) CW, 2nd FWS CW, 3rd FWS CW, 4th subsurface flow (SSF) CW and 5th SSF CW. B system consisted of 1st FWS CW, 2nd FWS CW, 3rd FWS CW, 4th FWS CW and 5th SSF CW. C system consisted of 1st FWS CW, 2nd FWS CW, 3rd FWS CW, 4th FWS CW and 5th SSF CW. The concentrations of BOD, COD, SS, T-N and T-P in inflow ranged 0.20 ~ 0.91, 1.24 ~ 8.00, 0.60 ~ 8.60, 0.04 ~ 2.50 and 0.001 ~ 0.685 mg L⁻¹ from March to October in 2011, respectively. Removal rates of BOD, SS, T-N and T-P were high in Autumn, Spring, Spring and Summer, respectively. In A system, 1st FWS CW, 2nd FWS CW and 3rd FWS CW were dominated by *Leersia oryzoides*. In B system, 1st FWS CW, 3rd FWS CW and 4th FWS CW were dominated by *Leersia oryzoides*. In C system, 2nd FWS CW and 3rd FWS CW were dominated by *Nymphaea teragona*.

Key words: Non-point source pollutants, Juam Lake eco-wetlands, Purification efficiencies

서 언

수질오염을 일으키는 오염원은 크게 점오염원 (Point pollutant source)과 비점오염원 (Non-point pollutant source)으로 나누어지는데 (Lee and Bae, 2002), 특히 비점오염원은 농경지에 살포된 농약과 비료, 축사에서 유출물, 도로상 오염물질, 도시지역의 먼지와 쓰레기 및 지표상 퇴적 오염물질 등이 강우 시 빗물과 함께 유출되면서 발생한다 (Seo et al., 2006). 비점오염물질은 화학물질이 결합된 입자들과 함께 빗물에 의해 운반되어 하천으로 유입되면서 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 있기 때문에 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 (Seo et al., 2011b).

1989년 완공된 다목적댐인 주암호는 총 32 km의 유로 연장을 갖는 보성강의 주 수자원이다. 주암호 주변에는 특수한 공장지대와 인구가 밀집한 도시가 없어서 호수의 오염원으로는 농가에서 배출되는 생활하수와 인근 농경지에서 유입되는 배수에 의한 비점오염원이 주를 이루고 있었으나 근래에 호수 주위에 대단위 레저시설과 위락시설이 형성되면

접수 : 2012. 2. 17 수리 : 2012. 3. 30

*연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

[†] 공동 제1저자

Fig. 1. Location and schematic of Juam Lake eco-wetlands.

◆ : The water sampling location

서 발생하는 점오염원 및 비점오염원들로 수질오염이 가중되고 있는 실정이다 (Kang et al., 2011; Park et al., 2008).

특히 주암호 상류지역에 위치한 유정천의 유로연장은 9.84 km, 유역면적은 17.62 km²이며 산지, 농지, 도로 및 유희농지 등에서 발생하는 식물 고사체, 물웅덩이 부유물, 하천 주변 경작지에서 사용되는 농약 및 비료, 하천 주변 도로의 타이어 분진 및 기름 등의 비점오염원이 유입되고 있어 상수원 보호를 위해 이들 비점오염원의 저감이 필요한 실정이다. 이에 유정천으로 유입되는 비점오염원을 제거하기 위하여 2011년에 전남 보성군 복내면 유정리에 주암호 생태습지를 조성하였다.

따라서 본 연구는 신규 조성된 주암호 생태습지의 오염물질 정화효율과 수생태학적 역할을 평가하기 위하여 인공 생태습지 조성 초기부터 시스템 및 시기에 따른 오염물질 함량과 처리효율을 조사하였고, 인공 생태습지 내 식생특성과 수질특성을 고려하여 수생태학적 효율을 평가하였다.

재료 및 방법

주암호 생태습지 특성 주암호 생태습지는 주암호 상수원에 유입되는 비점오염물질을 처리하기 위해 2011년에 전남 보성군 복내면 유정리에 조성되어 현재 운영 중에 있다 (Fig. 1). 주암호 생태습지의 총 부지면적은 210,000 m²이며 자유수면형 인공습지와 지하흐름형 인공습지를 적용하였으며 생태습지에서 유입되는 물의 체류시간은 24~48 시간 정도로 설계되어 운영되고 있다. 본 생태습지는 크게 A 시스템, B 시스템 및 C 시스템으로 나뉘며, A 시스템은 자유수면형 습지인 A-1, A-2 및 A-3와 지하흐름형 습지인 A-4 및 A-5로 이루어져 있고, B 시스템은 자유수면형 습지인 B-1, B-2, B-3 및 B-4와 지하흐름형 습지인 B-5로 구성되어 있으며, C 시스템은 자유수면형 습지인 C-1, C-2, C-3 및 C-4와 지하흐름형 습지인 C-5로 구성되어 있다.

Fig. 2. Hydrological characteristics of Juam Lake eco-wetlands.

습지 전체적으로는 저류지 2개, 자유수면형 습지 11개, 지하흐름형 습지 4개, 자연원형 보전지역 2곳 및 수련식재지 2곳으로 구성되어 있다. 생태습지의 식생은 2010년 말에 식물원으로부터 수생식물을 구입하여 이식되었으며, 세부 식생조성 방법은 Cho (2011)가 보고한 바 있다. 주요 식생은 부들, 수련, 및 연꽃 등이었다. 주암호 생태습지의 평균기온 및 강수특성은 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

주암호 생태습지 유입수 특성 주암호 생태습지에 유입되는 유입량은 Fig. 2와 같으며 3월~10월 사이에 $1,390 \sim 2,320 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ 범위이었다. 주암호 생태습지로 유입되는 공시원수의 주요 영양염류 평균함량은 Table 1에서 보는 바와 같이 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P가 각각 0.54, 2.86, 3.4, 0.94 및 0.12 mg L^{-1} 이었다.

실험방법 및 조사시기 주암호 생태습지로 유입되는 비점오염원의 수질 특성은 습지 내 시스템과 시기에 따라 매우 다르기 때문에 생태습지의 시스템 및 시기에 따른 수질학적 특성을 조사하기 위해 각 구간별 처리수중의 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P 함량을 조사하였다. 계절별 처리효율은 봄 (3, 4 및 5월), 여름 (6, 7 및 8월) 및 가을 (9, 10월)로 구분하여 습지 내 A, B 및 C 시스템의 처리 수중 BOD, SS, T-N 및 T-P의 조사 결과를 각각 비교 검토하였다.

생태습지의 수질학적 특성 및 시스템별 수처리 효율을 평가하기 위해 2011년 3월부터 10월까지 월 1~2회 주기로 조사하였으며, 생태습지로 유입되는 유입수와 인공습지 시스템별 유입 및 유출부로 구분하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 채취지점별로 시료를 채취하여 3반복으로 분석하여 통계처리하였다.

분석방법 수질 분석은 수질오염공정시험법 (Choi et al., 2004) 및 APHA의 standard method (APHA, 1995)에 준하여 실시하였다. BOD의 분석은 잉클리아자이드화나트륨변법을 사용하였고, COD의 분석은 중크롬산칼륨법을 사용하였으며, SS의 분석은 유리섬유여과법을 사용하였다. T-N의 분석은 자외선 흡광광도법 (UV2550PC, Perkinelmer)을 사용하였으며, T-P의 분석은 아스코르빈산 환원법 (UV2550PC, Perkinelmer)을 사용하였다.

결과 및 고찰

주암호 생태습지의 시스템별 수처리효율 주암호 생태습지의 수질학적 특성을 평가하기 위하여 각 시스템별로 방류수 중 오염물질 함량을 월별로 구분하여 Fig. 3부터 Fig. 7까지 나타내었다.

주암호 생태습지의 시스템 및 시기에 따른 최종 방류수 중 BOD 변화량을 조사한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 유입수 중 BOD는 $0.20 \sim 0.91 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 시기에 따라 큰 폭으로 변화하였으며 평균 BOD는 0.54 mg L^{-1} 로 현행 BOD 방류수 수질기준인 8 mg L^{-1} (Korean Ministry of Environment, 2006) 보다 훨씬 낮은 경향이었다. 전반적으로 시스템별 큰 차이는 없었으나 4월, 5월, 9월 및 10월에서 각각 한 시스템에서만 BOD가 높아지는 현상이 나타났다. 특히 A 시스템에서 BOD는 4월과 10월에 각각 1.26 및 0.91 mg L^{-1} 로 평균 유입수 보다 매우 높은 BOD를 나타냈다. 이와 같이 A 시스템의 BOD 처리효율이 다른 시스템에 비해 낮은 것은 조내에 퇴적층과 식생이 미발달되었기 때문으로 판단된다. 일반적으로 인공습지내의 BOD 처리는 부유성 유기물의 토양에 의한 여과 및 흡착, 그리고 인공습지 내의 수

Table 1. Chemical characteristics of raw water used.

Water	BOD	COD	SS	T-N	T-P
	----- mg L^{-1} -----				
Average	0.54	2.86	3.4	0.94	0.12
SD	0.19	1.2	0.7	0.44	0.18

Fig. 3. BOD changes at different systems with time in Juam Lake eco-wetlands.

생식물의 뿌리 주위에 성장하고 있는 미생물의 분해에 의해 이루어지는 것으로 판단된다 (Kang et al., 1998).

주암호 생태습지 시스템 및 시기에 따른 최종 방류수 중 COD 변화량을 조사한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 유입수 중 COD는 $1.24 \sim 8.00 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 시기에 따라 편차가 심하였으며 평균 COD는 2.86 mg L^{-1} 이었다. 특히 9월에 시스템별 방류수 중 COD 평균이 6.00 mg L^{-1} 로 다른 시기에 비해 높았으나 현행 COD 방류수 수질기준인 8.00 mg L^{-1} 보다 낮았다. 시스템별 방류수 중 COD 변화량은 A 시스템, B 시스템 및 C 시스템 순으로 각각 $1.80 \sim 4.89$, $1.78 \sim 6.59$ 및 $1.04 \sim 3.70 \text{ mg L}^{-1}$ 범위이었으며 전반적으로 C 시스템의 방류수에서 가장 안정된 COD 변화율을 보였다. 시스템별 최종 방류수 중 COD가 초기 유입수 중 COD 보다 높아진 시기가 많았는데 이는 습지가 아직 안정화 상태에 도달하지 못한 것으로 판단된다. Seo et al. (2009)은 하수 처리를 위한 인공습지의 운전 1년 후부터 COD의 처리효율이 안정화되었다고 보고한 바 있으며, 본 주암호 생태습지는 유입원의 농도가 낮아 인공습지 하수처리장보다 안정화되기 위한 시간이 더 소요될 것으로 판단된다.

주암호 생태습지 시스템 및 시기에 따른 최종 방류수 중 SS 변화량을 조사한 결과는 Fig. 5와 같으며 시기별 유입수의 SS 함량은 $0.6 \sim 8.6 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 시기에 따라 큰 폭으로 변화하였다. 시스템별 방류수 중 SS 함량에서 전반적으로 C 시스템에서 변화 폭이 작고 안정적인 SS 변화율을 보였지만, 반면 9월에 A 시스템에서 13.5 mg L^{-1} 로 유입수의

함량 보다 매우 증가하였고, B 시스템에서는 8월에 함량이 7.4 mg L^{-1} 로 증가하였다. 일반적으로 습지는 대부분의 부유물질처리가 침전을 통해 처리되는 것으로 알려져 있는데, 효율적인 부유물질 처리를 위해서는 식생의 역할이 매우 중요한 것으로 알려져 있다 (Seo et al., 2011a). 특히, 본 조사 대상 인공습지의 경우 조성 초기로 각 시스템별 식생의 유무에 따라 부유물질의 처리효율에 다소 차이가 있었으며, 비교적 식생이 잘 발달된 C 시스템이 A 및 B 시스템에 비해 부유물질 처리효율이 높은 것으로 판단된다.

주암호 생태습지 시스템 및 시기에 따른 최종 방류수 중 T-N 변화량을 조사한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 시기별 유입수의 T-N 농도는 $0.04 \sim 2.50 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 시기에 따라 큰 폭으로 변화하였으며 평균 농도는 0.94 mg L^{-1} 이었다. 본 생태습지의 시스템별 방류수 중 T-N 함량은 A 시스템 방류수에서 $0.24 \sim 1.14 \text{ mg L}^{-1}$ 범위이었고, B 시스템 방류수에서 $0.19 \sim 1.12 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 나타났으며 C 시스템 방류수의 T-N 함량은 $0.20 \sim 0.93 \text{ mg L}^{-1}$ 범위이었다. 전반적으로 시스템별 함량 차이가 크지 않았으며, 총 질소 방류수 수질기준인 20 mg L^{-1} 보다 매우 낮은 함량이었다. 방류수 중 T-N 농도는 3월과 여름철에 높은 경향이었다. 3월에는 공사 후 습지 내 잔재하는 식물이 토양에 정착하지 못하고 낮은 온도에 의해 고사체가 되어 오히려 수체에 T-N 함량을 증가시킨 것으로 판단된다 (Kadlec, 2005). 3월 이후에 방류수 중 T-N 농도는 시기에 따라 다소 차이는 있었지만 시간이 지남에 따라 안정화되어 농도가 감소하는 경향이

Fig. 4. COD changes at different systems with time in Juam Lake eco-wetlands.

Fig. 5. SS changes at different systems with time in Juam Lake eco-wetlands.

Fig. 6. T-N changes at different systems with time in Juam Lake eco-wetlands.

Fig. 7. T-P changes at different systems with time in Juam Lake eco-wetlands.

었다. 하지만 여름철에 T-N 함량은 평균 0.51 mg L^{-1} 로 다시 높아졌는데 이는 장마철에 강수의 유입에 따라 더 많은 비점오염원이 유입함에 따라 나타난 결과로 판단된다.

주암호 생태습지 시스템 및 시기에 따른 최종 방류수 중 T-P 변화량을 조사한 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같으며 유입수 중 T-P 함량은 $0.001 \sim 0.685 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 시기에 따라 매우 큰 폭으로 차이가 나타났다. 특히 4월에 유입수 중 T-P 함량이 0.685 mg L^{-1} 로 다른 시기에 비해 매우 높았으며 이에 따라 다른 시기에 비해 4월에 A, B 및 C 시스템의 방류수 중 평균 T-P 농도가 매우 높았다. 4월은 농가에서 농약의 사용이 많아지는 모내기철로서 이 시기에 수 중 T-P 함량의 급격한 변화는 인을 다량 함유한 농약의 사용에 의해 급격히 증가한 것으로 판단된다. 시스템별 T-P 함량은 A시스템 방류수에서 $0.005 \sim 0.539 \text{ mg L}^{-1}$ 범위이었고, B 시스템 방류수에서 $0.013 \sim 0.642 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 나타났다. C 시스템 방류수의 T-P 함량은 $0.005 \sim 0.483 \text{ mg L}^{-1}$ 범위이었으며, T-P 함량은 전반적으로 미미한 함량이 검출되었고 시스템에 따라 매우 비슷한 함량을 나타내었다. 인공습지에서 총 인의 처리는 인산염의 침전, 기질에의 흡착, 수생식물에 의한 흡수, 조류와 세균에 의한 흡수 등으로 예상할 수 있으며 (Corbitt and Bowen, 1994), 본 주암호 생태습지에서 T-P 처리효율을 정확히 규명하기 위해서는 퇴적층 및 분포 미생물에 대한 정밀한 실험이 추후에 진행될 필요성이 있다.

주암호 생태습지의 계절별 수처리 효율 주암호 생태습지의 수 중 오염물질에 대한 처리효율을 평가하기 위하여 각 시스템에 유입되는 수 중 오염물질의 처리효율을 계절별로 구분하여 Fig. 8에 나타내었다.

주암호 생태습지의 시스템 및 계절에 따른 BOD 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 계절별 BOD 처리효율은 가을에 가장 처리효율이 좋았으며 봄과 여름에는 대부분 낮은 처리효율을 나타내었다. 습지에서 효과적으로 BOD가 처리되기 위해서는 안정화 단계에 도달하기 위한 시간이 필요한데 본 생태습지에서는 BOD 평균 처리효율이 봄, 여름 및 가을 순서로 -39, -22 및 4%로 시간이 지남에 따라 처리효율이 좋아지는 경향이였다. 시스템별 평균 BOD 처리효율은 A 시스템에서 10%, B 시스템에서 13%, C 시스템에서 31%로 처리효율은 C 시스템 > B 시스템 > A 시스템 순이었다. A 시스템의 평균 BOD 처리효율이 10%로 가장 낮게 나타났는데 이는 교란종인 겨푸의 우점과 A 시스템에 밀집된 수생식물의 개체가 다른 시스템에 비해 부족했기 때문에 가장 낮은 효율이 나타난 것으로 판단된다. 자유수면형 인공습지에서 BOD의 처리가 수생식물의 개체밀도에 영향을 받는다고 보고한 Seo et al. (2008, 2011b)의 연구결과와 유사한 경향이였다.

주암호 생태습지의 시스템 및 계절에 따른 SS 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 봄에 각 시스템별 SS 처리효율의 평균은 59%로 안정적인 처리효율을 나

Fig. 8. Water purification efficiency at different systems with seasons on Juam Lake eco-wetlands.

타냈으나 최초 유입수와 최종 방류수를 비교하여 나타낸 처리효율은 -12%이었다. 이는 합류구간이 있는 최종 방류구간에 관리되지 않은 교란종인 겨풀과 물참새피의 침투와 수생식물의 낮은 개체밀도로 인해 합류구간 자체에서 부유물질을 오히려 증가시킨 것으로 판단된다. 따라서 합류부에 교란종의 제거와 더불어 높은 정화효율을 가진 식물의 보식이 필요한 실정이다. 시스템별 SS 평균 처리효율은 C 시스템 > B 시스템 > A 시스템 순으로 BOD 처리효율과 유사한 경향이였다. 최종 방류수 중 SS 평균 처리효율은 -6%로 저조한 효율을 나타내었으나 B 시스템과 C 시스템 모두 각각 30% 이상의 처리효율을 나타내었다.

주암호 생태습지의 시스템 및 계절에 따른 T-N의 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 계절별

T-N 처리효율은 봄에 가장 안정적인 효율을 나타냈으며 가을에 가장 낮은 처리효율을 나타내었다. 이와 같이 봄에 처리효율이 높게 나타난 것은 봄철 배후농경지 논에 영농활동이 유입수 중 T-N 농도를 매우 높임에 따라 상대적으로 더 많은 양의 T-N을 처리하여 높은 처리효율을 나타낸 것으로 판단된다. 논에 영농활동은 농촌지역 하천의 수질에 중요한 영향을 미치는데, 이는 논 관개에 사용되는 물의 양이 국내 수자원이용량의 약 50% 이상을 차지하고 있기 때문이다 (Yoon et al., 2001). 최종 방류수 중 년 평균 T-N 처리효율은 50%로 모든 습지 시스템에서 30% 이상의 높은 처리효율을 나타내었다. 시스템별 평균 처리효율은 C 시스템 > B 시스템 > A 시스템 순으로 앞서 언급된 BOD 및 SS 처리효율과 마찬가지로 습지 내 수생식물의 피도가 높은 C 시스템에서 가장 높은 처리효율을 나타내었다. 이와 같은 높은 T-N 처리효율은 Seo et al. (2011a)이 2011년에 복내 바이오파크의 T-N 처리 효율을 평가한 연구와 유사한 경향이였다.

주암호 생태습지의 시스템 및 계절에 따른 T-P의 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 방류수 중 계절별 T-P 처리효율은 봄에 평균 -24%로 낮은 처리효율을 보였지만 여름과 가을에 각각 64%와 32%로 안정적인 처리효율을 나타내었다. T-P의 연평균 방류수 중 처리효율은 24%이었으며 A 시스템, B 시스템 및 C 시스템의 처리효율은 각각 18, 15, 및 1%로 다른 조사항목들과 다르게 A 시스템에서 가장 높은 효율을 나타냈다. A 시스템의 경우 교란종인 겨풀이 전반적으로 우점하고 있어 다른 항목에서는 처리효율이 낮았는데, T-P 제거효율의 경우 다른 시스템에 비해 높은 처리효율을 나타내었다. 이는 일반적으로 인공습지 내에서 인은 식물에 의해 제거되는 부분 보다 미생물에 의해 많은 영향을 받기 때문으로 판단되는데 Luderitz and Gerlach (2002)는 습지의 인의 제거에서 습지식물의 흡수에 의한 인의 제거는 상당히 제한적이고 습지 식물은 인의 흡수를 통한 역할보다는 습지내의 미생물을 통한 인의 변환에 더 큰 역할을 수행한다고 보고한 바 있다.

주암호 생태습지의 식생 분포 특성 주암호 생태습지는 조성초기라 식생의 발달이 수질에 미치는 영향이 많은 것으로 판단된다. 이에 본 조사대상 인공생태습지에서 수생식물의 분포특성을 조사하여 인공습지에서 식생과 수질간의 상관관계를 조사하여 인공습지의 수생태학적 역할을 평가하고자 하였으며, 인공 생태습지의 각 시스템별 식생결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 수생식물은 습지생태계의 1차 생산자로서 습지의 토양을 안정화시키고 침식을 방지하며, 수 중 부유물질의 침전촉진과 영양염류와 유해물질을 흡수한다. 또한 수중과 저토에 산소를 공급하여 수생식물의 근계와 저토에 서식하는 미생물의 분해효율을 높이고, 차광에 의한 식물플랑크톤의 발생억제로 수질을 정화한다. 이와

Table 2. Distribution characteristic of water plants in Juam Lake eco-wetlands.

System		Cover degree		Main species
		Open surface water	Cover	
		----- % -----		
A system	A-1	80	20	<i>Leersia oryzoides</i>
	A-2	30	70	<i>Leersia oryzoides</i>
	A-3	85	15	<i>Leersia oryzoides</i>
B system	B-1	75	25	<i>Leersia oryzoides</i>
	B-2	50	50	<i>Nelumbo nucifera</i>
	B-3	10	90	<i>Leersia oryzoides</i>
	B-4	70	30	<i>Leersia oryzoides</i>
C system	C-1	70	30	<i>Leersia oryzoides</i>
	C-2	10	90	<i>Nymphaea teragona</i>
	C-3	75	25	<i>Nymphaea teragona</i>
	C-4	20	80	<i>Genus Typha</i>

같은 수생식물의 여러 기능 중에서 부영양화의 원인물질을 흡수 및 제거하는 수질정화기능은 환경 보전적 측면에서 매우 중요한 역할을 한다 (Kim et al., 2007). 따라서 우점하고 있는 식생의 분포 현황을 확인함으로써 식생에 따른 각 습지별 오염물질에 대한 처리효율을 확인할 수 있을 것이다. 주암호 생태습지에는 다양한 수생식물들이 분포하고 있었으나 각 시스템 조별로 주요 우점하고 있는 식물들만 선별하여 표기하였다.

A 시스템에서 A-1, A-2 및 A-3조에는 겨풀이 우점하여 분포하고 있었으며, A-2조를 제외하고는 개수면의 면적이 매우 넓었다. 일반적으로 부들, 갈대, 연꽃 및 줄과 같은 정수식물들이 습지 내 수질정화효율이 뛰어난 수생식물들로 분류되는 반면 겨풀은 이러한 식물들에 비해 수질정화효율이 뛰어나지 않은 식물 중 하나로 분류된다. 겨풀의 우점 분포와 더불어 습지의 넓은 개수면적에 비해 부족한 식물 분포면적이 A 시스템의 전반적인 낮은 수질 효율에 영향을 미친 것으로 판단되며 Seo et al. (2008) 또한 이러한 식물체의 분포면적과 개체밀도가 수질정화효율에 영향을 미친다고 보고한 바 있다.

B 시스템에서 B-1, B-3 및 B-4조에서는 겨풀이 우점종으로 분포하고 있었고, B-2조에는 연꽃이 우점종으로 분포하고 있었다. B 시스템에서는 A 시스템에 비해 비교적 넓은 면적에 수생식물이 분포하고 있었으며, B-2조에는 정수식물인 연꽃 또한 분포하고 있었다.

C 시스템에서 C-1조에는 겨풀이 우점종으로 분포하고 있었으며, C-2 및 C-3조에는 수련이 우점종으로 분포하고 있었다. C-4조에서는 부들이 대부분 우점하여 넓은 면적에 걸쳐 서식하고 있었다. C 시스템의 수처리 효율은 T-P 처리효율을 제외하고 조사된 모든 항목에서 다른 시스템들 보다 높은 처리효율을 나타내었다. C 시스템은 다른 시스템에 비해서 수생식물의 분포가 비교적 안정적으로 넓은 면적으로 분포하고 있었으며

분포 식물 또한 영양염류의 흡수 등과 같은 수질정화에 높은 효율을 가지고 있는 부들과 수련 등이 분포하고 있었다.

전체적으로 A 시스템의 습지들에는 겨풀이 우점하고 있었고 B 시스템의 습지들에는 겨풀과 연꽃이 우점하였으며 C 시스템의 습지들에는 겨풀, 수련 및 부들이 우점하였다. 주암호 생태습지에는 전반적으로 교란종인 겨풀이 분포하는 곳이 매우 많았고 특히 A 시스템에서 겨풀에 의한 우점도가 매우 심각하였다. 겨풀 등의 교란종이 우점 함에 따라 시스템의 수질정화 효율이 떨어지는 경향이었으며 주암호 생태습지는 안정화 상태에 도달하기 전까지 수질정화 효율이 뛰어난 수생식물들의 이식 등을 통한 수질관리가 필요한 실정이다.

요 약

비점오염원 저감을 위해 설치된 주암호 생태습지의 수질정화효율을 평가하기 위하여 시스템별 및 시기별 오염물질의 함량과 처리효율을 조사하였다. 유입원수의 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 함량은 각각 0.20~0.91, 1.24~8.00, 0.6~8.6, 0.04~2.50 및 0.001~0.685 mg L⁻¹ 범위로 나타났다. 주암호 생태습지 유입수의 대부분이 현행 오염물질 수질기준을 초과하지 않은 상태로 유입되었지만 비점오염원이 많이 유입되는 특정 시기 (장마철)에는 높은 오염물질 함량을 나타내었다. 시기별로는 전반적으로 여름철에 유입원수의 영양염류의 유입이 다른 시기에 비해 높은 경향이였다. 전반적으로 C 시스템이 오염물질의 처리효율이 가장 높은 경향이였다. A 시스템의 습지들은 대부분 겨풀이 우점하고 있었으며 B 시스템의 습지들은 겨풀과 연꽃이 우점하고 있었다. C 시스템의 습지들은 겨풀, 수련 및 부들이 우점하고 있었다. 주암호 생태습지는 오염물질의 처리능이 전반적으로 안정화 상태에

도달하지 못한 것으로 판단되며, 특히 겨울 및 물 참새피 등 식물교란종의 습지 내 침투로 인하여 습지의 수질정화효율이 전반적으로 낮았다. 따라서 본 연구결과로부터 조성초기 인공습지는 식생의 발달 여부가 수질의 안정화와 습지의 수생태학적 역할을 증대시키는데 중요한 역할을 하는 것으로 판단된다.

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]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, pp. 4-112.
- Cho, J.S. 2011. Evaluation and monitoring of Juam Lake eco-wetlands. Report, Bosung-gun.
- 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.
- Corbitt, R. A. and Bowen, P.T. 1994. Constructed wetlands for wastewater treatment, in applied Wetlands science and technology, Kent, D.M. (ed.) Publishers Lewis. 221-241.
- Kang H.C., C. Freeman, D. Lee, and W.J. Mitsch. 1998. Enzyme activities on constructed wetland: Implication for water quality amelioration. *Hydrobiologia*. 368:231-235.
- Kadlec, R.H. 2005. Vegetation effects on ammonia reduction in treatment wetlands. *Natural and constructed wetlands: nutrients, metals and management*, J. Vymazal (ed), Backhuys publishers, Leiden, The Netherlands. 233-260.
- Kang S.W., D.C. Seo, I.W. Choi, J.B. Lee, B.J. Lim, J.H. Park, K.S. Kim, S.D. Kim, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2011. Characteristics of nutrient uptake by water plants in free water surface constructed wetlands for treating non-point source pollution. *Korean J Agric.* 30(3):304-309.
- Kim, C.S., J.Y. Ko, J.S. Lee, S.T. Park, Y.C. Ku, and H.W. Kang. 2007. Selection of aquatic plants having high uptake ability of pollutants in raw sewage treatment. *Korean J. Environ. Agric.* 26(1):25-35.
- Korean Ministry of Environment. 2006. Environmental white book of 2006. Ministry of environment republic. Seoul, Korea.
- Kwun, S.K. 1998. Management improvement and perspective on nonpoint sources of water pollution in Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 20:1497-1510.
- Lee, H.D. and C.H. Bae. 2002. Runoff characteristics and strategies for non-point source reduction. *Korean Society on water quality*. 18:569-576.
- Luderitz, V. and F. Gerlach. 2002. Phosphorus removal in different constructed wetlands. *Acta Biotechnologica*. 22(1-2):91-99.
- 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., 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. 2008. 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., I.C. Jo, S.C. Lim, B.J. Lee, S.K. Park, Y.S. Cheon, J.H. Park, H.J. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2009. Evaluation of pollutant removal efficiency in environmentally friendly full-scale constructed wetlands for treating domestic sewage during long-term monitoring. *Korean J. Environ. Agric.* 28(2):97-105.
- 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 Sinpyeongcheon constructed wetlands for treating non-point Source pollution. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:400-407.
- Yoon, C.G., S.K. Kwun, and J.H. Ham. 2001. Effect of treated sewage irrigation on paddy rice culture and its soil. *irrigation and drainage*. 50(3):227-236.