

## 비점오염원 저감을 위한 봉산 인공습지의 오염물질 정화효율 평가

최익원<sup>†</sup> · 문성동<sup>1†</sup> · 서동철 · 강세원 · 임병진<sup>2</sup> · 박종환<sup>2</sup> · 김갑순<sup>2</sup> · 이준배<sup>2</sup> · 허종수<sup>3</sup> · 조주식\*

순천대학교 생물환경학과, <sup>1</sup>강원대학교 산업경영공학과,  
<sup>2</sup>국립환경과학원 영산강 물환경연구소, <sup>3</sup>경상대학교 응용생명과학부

## Evaluation of Treatment Efficiencies of Pollutants in Bongsan Constructed Wetlands for Treating Non-point Source Pollution

Ik-Won Choi<sup>†</sup>, Sung-Dong Moon<sup>1†</sup>, Dong-Cheol Seo, Se-Won Kang, Byung-Jin Lim<sup>2</sup>, Jong-Hwan Park<sup>2</sup>, Kap-Soon Kim<sup>2</sup>, Jun-Bae Lee<sup>2</sup>, Jong-Soo Heo<sup>3</sup>, and Ju-Sik Cho\*

Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University,

<sup>1</sup>Department of Industrial & Management Engineering, Kangwon National University,

<sup>2</sup>Yeongsan River Environmental Research Center,

<sup>3</sup>Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University

To treat non-point source pollution in Juam lake, removal efficiencies of pollutants were investigated in Bongsan constructed wetlands (CWs) at different treatment time, stages and wastewater loads. The constructed wetlands consisted of forebay, 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> wetlands. The concentrations of BOD, SS, T-N, and T-P in inflow were 1.87 mg L<sup>-1</sup>, 1.62 mg L<sup>-1</sup>, 11.47 mg L<sup>-1</sup>, and 4.40 mg L<sup>-1</sup>, respectively. The removal rates of BOD, SS, T-N, and T-P in Bongsan CWs were 26, 18, 16 and 9%, respectively. The removal rates of BOD and T-N were higher than those for SS and T-P. The amounts of pollutant removal in Bongsan CWs were higher in the order of forebay > 1<sup>st</sup> wetland > 2<sup>nd</sup> wetland for BOD, forebay > 2<sup>nd</sup> wetland > 1<sup>st</sup> wetland for SS, 1<sup>st</sup> wetland > forebay > 2<sup>nd</sup> wetland for T-N and 2<sup>nd</sup> wetland > forebay > 1<sup>st</sup> wetland for T-P.

**Key words:** Bongsan, Pollutants, Wetlands, Removal efficiency

### 서 언

다목적댐인 주암호는 1989년 완공되었으며, 총 32 km의 유로 연장을 갖고, 보성강을 비롯하여 동북천, 사평천 및 송광천 등 3개 지류가 합류되면서 이루어진다. 전라남도 순천시, 보성군 및 화순군 경계에 위치한 주암호는 그동안 주변에 특수한 공장지대와 인구가 밀집한 도시가 없어서 호수의 오염원으로서 농가에서 배출되는 생활하수와 인근 농경지에서 유입되는 배수에 의한 비점오염원이 주를 이루고 있었으나, 최근에 호수 주위에 레저시설과 위락시설이 형성되면서 발생하는 점오염원 및 비점오염원으로 수질오염이 가중되고 있는 실정이다 (Kang et al., 2011; Park et al., 2008). 이에 주암호 등 섬진강 수계 물관리 종합대책을 수립하여 하수처리장 방류수를 재처리하고 비점오염원을 처리하기 위한 방안으로 다양한 수계 지역에 인공습지를 조성

하였다. 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 있다 (Kim, 2010). Jung (2006)은 인공습지에서 질소 제거효율은 미나리, 부레옥잠, 창포 및 애기부들 순으로 높았고, 인 제거 효율은 부레옥잠, 미나리, 창포, 애기부들 순으로 높았다고 보고하였다. 하지만 현재까지 주암호의 비점오염원 유입을 저감하기 위해서 조성된 인공습지들은 관리 소홀과 미숙한 운영 등으로 인하여 습지로서 기능을 원활히 수행하지 못하고 있어 이에 대한 적절한 운영방안이 마련되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 주암호 상수원 상류지역에 위치한 송광 하수종말처리장의 배출수 및 인근지역 비점오염물질 처리를 위해 조성한 봉산 인공습지의 시기별 오염물질 처리효율, 처리단계별 오염물질 처리효율 및 오염물질 부하량에 따른 오염물질 처리량을 조사함으로써 수처리 효율을 평가하여, 향후 주암호의 수질개선을 위한 기초자료로 제공하고 자 한다.

접수 : 2011. 11. 27 수리 : 2011. 12. 15

<sup>†</sup>공동 제1저자

\*연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

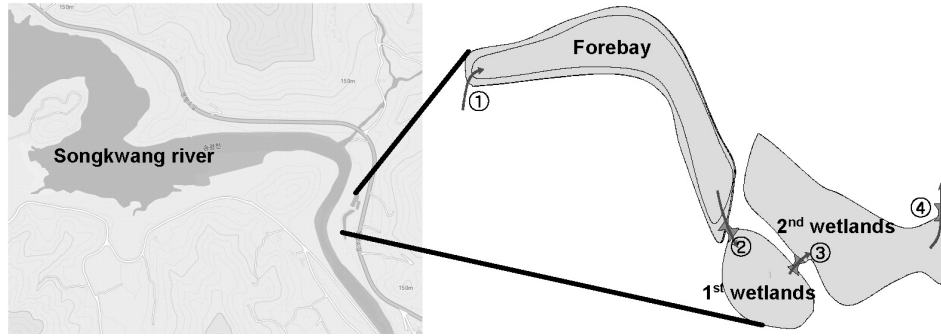


Fig. 1. Location and schematic of Bongsan constructed wetlands (①~④: Sampling sites for water).

Table 1. Chemical characteristics of raw water used.

Water	BOD	SS	T-N	T-P
	----- mg L <sup>-1</sup> -----			
Average	1.87	1.62	11.47	4.40
SD	0.32	0.31	2.40	0.94

### 재료 및 방법

**시험원수** 봉산 인공습지에 사용된 시험원수의 주요 영양염류 평균함량은 Table 1에서 보는 바와 같이 BOD는 평균 1.87 mg L<sup>-1</sup>, SS 함량은 평균 1.62 mg L<sup>-1</sup>, T-N 함량은 평균 11.47 mg L<sup>-1</sup> 및 T-P 함량은 평균 4.40 mg L<sup>-1</sup> 이었다.

**봉산 인공습지 특성** 봉산 인공습지의 위치와 구성도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 봉산 인공습지는 송광 하수종말 처리장 배출수 및 인근지역 비점오염물질을 처리하기 위해서 2007년 1월에 전남 순천시 송광면 봉산리에 설치되었다. 봉산 인공습지의 총 부지면적은 4,241 m<sup>2</sup> (습지 3,650 m<sup>2</sup>, 기타 591 m<sup>2</sup>)이었고 자유수면형 (FWS, 수생식물정화) 인공습지를 적용하였다. 처리용량은 1,000 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup> (강우시 기준)이었고 체류시간은 3일 이상으로 설계되어 운영되고 있다. 본 인공습지는 완충저류지, 식생형 습지 I 및 식생형 습지 II로 구성되어 있다. 완충저류지는 규모가 1200 m<sup>2</sup>로서 유입수의 부유물 침전을 위해 설치되었으며, 수질정화를 위해 유동층 제어막이 설치되어 있다. 습지 I과 습지 II는 규모가 290 및 835 m<sup>2</sup>로서 수생식물을 이용한 오염물질 분해 및 흡수를 하기 위해서 설치되었다 (Cho, 2009).

**실험방법 및 조사 시기** 동북천 인공습지의 수리·수문 현황을 조사하기 위해 2009년 3월부터 2009년 10월까지 매월 1회 습지처리단계별로 유입수와 유출수 중의 오염물질 함량 변화를 3반복으로 조사하여 평균함량과 표준편차를 산출하였다. 또한, 인공습지 내에서 비점오염원은 시기와 처리단계별로 오염물질의 변동이 심하기 때문에 부하변동에 대한 대응성을 조사하기 위하여 오염물질의 부하량에 따른

처리량을 조사한 후 회귀분석법으로 예측하였다.

**분석방법** 수질 분석은 수질오염공정시험법 (Choi et al., 2004) 및 APHA의 Standard method (APHA, 1995)에 준하여 BOD의 분석은 잉클리아자이드화나트륨변법을 사용하였고, SS의 분석은 유리섬유여과법을 사용하였으며, T-N 및 T-P의 분석은 각각 자외선 흡광광도법 (UV2550PC, Perkin-Elmer) 및 아스코르빈산 환원법 (UV2550PC, Perkin-Elmer)으로 분석하였다.

### 결과 및 고찰

**처리단계별 영양염류 처리효율** 봉산 인공습지의 습지 처리단계별 BOD, SS, T-N 및 T-P 변화를 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 유입수 중 BOD는 1.9 mg L<sup>-1</sup> 이었고 부유식생대가 설치된 완충저류지에서 유입 BOD의 15.8%가 제거되어 1.56 mg L<sup>-1</sup>가 되었고, 습지 I 및 II에서 10.5%의 BOD가 제거되어서 최종 방류수는 1.4 mg L<sup>-1</sup>이었다. 유입수 중 SS 농도는 1.6 mg L<sup>-1</sup>로 완충저류지에서 유입 SS의 12.5%가 제거되어 1.4 mg L<sup>-1</sup>이었고 습지 II에서 유입 BOD의 6.25%가 제거되어 최종 방류수 중 SS 함량은 1.3 mg L<sup>-1</sup>이었다. Seo et al. (2008)에 의하면 인공습지에서 SS 함량변화는 습지 내 수생식물의 개체밀도에 영향을 받는다고 보고한 바 있다. 다른 습지구간에 비해서 완충저류지의 SS 처리효율이 높은 것은 완충저류지의 부유식생대에 식재된 수생식물의 높은 개체밀도에 의한 것으로 판단된다. 유입수 중 T-N 농도는 11.5 mg L<sup>-1</sup>로 완충저류지에서 유입 T-N의 8.7%가 제거되어 10.5 mg L<sup>-1</sup>이었고, 습지 I에서 3.5% 제거되었고, 습지 II에서 4.3% 제거되어서 최종방류수 중 T-P 농도는 9.6 mg L<sup>-1</sup>이었다. 유입수 중 T-P 농도는 4.4 mg L<sup>-1</sup>로 완충저류지에서 6.8% 제거되어 4.1 mg L<sup>-1</sup>가 되었고, 습지 I에서 4.5% 제거되었으나 습지 II에서 오히려 2.3% 증가하여 최종방류수는 4.0 mg L<sup>-1</sup>이었다. 전반적으로 완충저류지에서 처리효율이 습지 I과 II에 비해서 약간 높았지만 모든 항목에서 제거효율이 높지는 않았다.

다른 습지 (Cho, 2009)구간에 비해서 완충저류지의 처리효율이 높은 것은 완충저류지의 면적이 다른 습지구간에 비해서 넓고 완충저류지에 부유식생대를 설치한 것이 처리효율을 높인 것으로 판단되어진다.

**시기별 영양염류 처리효율** 봉산 인공습지의 시기별 유입수 및 유출수의 BOD, SS, T-N 및 T-P 함량 변화를 조사하여 수처리 효율을 조사한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 시기별 BOD 처리효율은 10~35% 범위로 평균 26%이었다. 8월은 수생식물이 왕성하게 생육함으로서 35%의 높은 처리효율이 나타났으나 7월, 9월 및 10월은 각각의 처리효율이 16%, 18% 및 10%로 평균이하의 처리효율을 나타내었다. 봉산 인공습지 주변지역의 연중 월평균 강우량이 200

mm 이하인데 반하여 7월은 강우량이 829 mm로 집중적인 강우량에 따른 비점오염원의 유입이 증가하였고, 9월과 10월은 기온저하로 인한 미생물 활성저하 및 식물체 고사에 의해서 BOD 처리효율이 낮아진 것으로 판단된다 (Seo et al., 2011).

시기별 SS 처리효율은 2~28% 범위로 편차가 심하였고 평균 처리효율은 18%이었다. 5월, 7월 및 10월의 처리효율은 각각 2%, 12% 및 13%로 평균이하의 처리효율을 나타내었다. 특히 5월의 경우는 처리효율이 2%로 상당히 낮았다. 이러한 결과는 게릴라성 집중 호우에 의하여 습지 내에 잔재하던 부유물질들이 표면으로 상승함 (Choi, 2010; Lee et al., 2011)에 따라 처리효율이 낮았지만 6월 이후에는 처리효율이 회복되어 일정 편차범위 내에서 증가와 감소가 반복되었다.

시기별 T-N 처리효율은 4~29% 범위로 편차가 심하였고

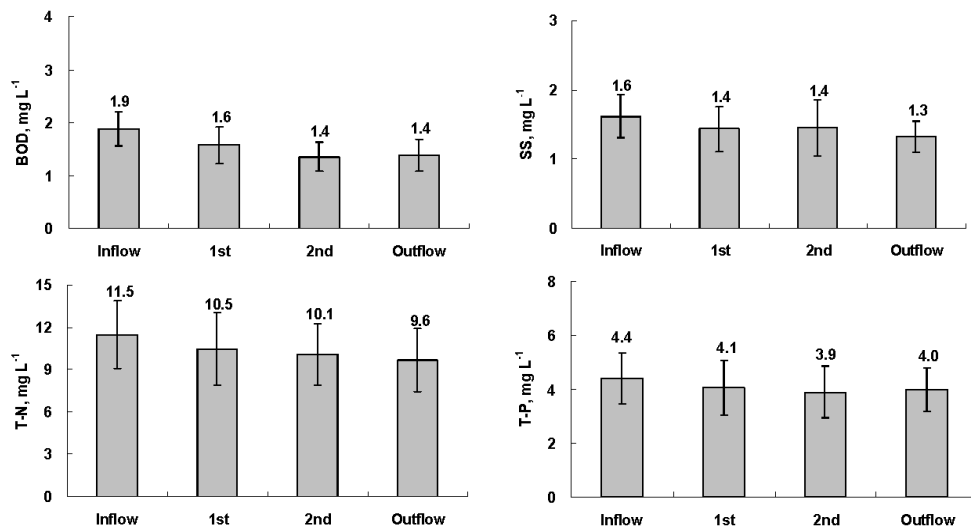


Fig. 2. Change of BOD, SS, T-N and T-P concentrations in the water in Bongsan constructed wetlands under different stages.

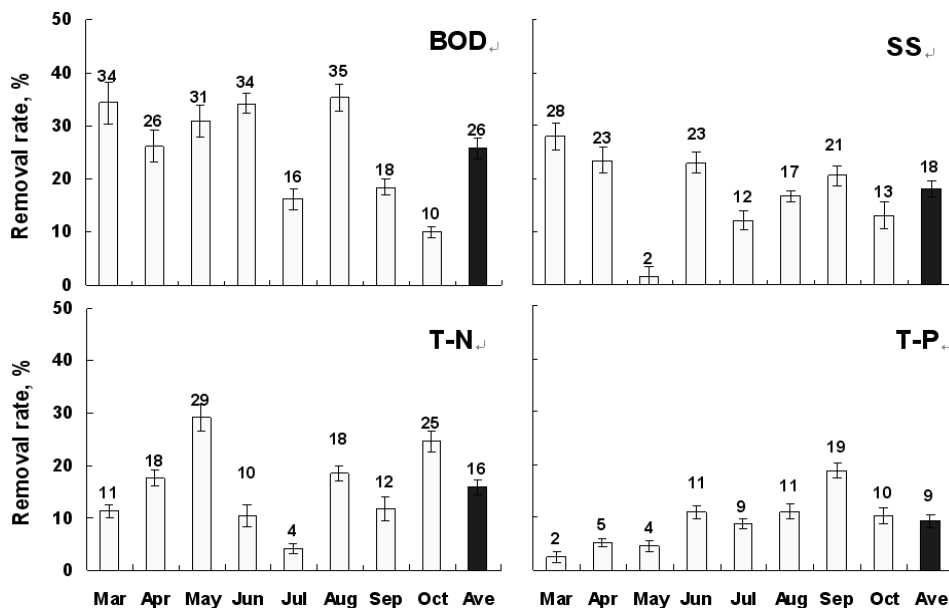


Fig. 3. Monthly removal rates of BOD, SS, T-N, and T-P in effluent in Bongsan constructed wetlands for treating non-point source pollution.

평균 처리효율은 16%이었다. 5월, 8월 및 10월의 처리효율이 높았고, 3월, 6월 및 7월에서 낮은 처리효율을 나타내었다. 이와 같이 3월에 나타난 낮은 처리효율은 동절기에 습지 내 수생식물이 대부분 고사하고 낮은 수온으로 인하여 미생물의 활성이 낮았기 때문으로 판단되며 (Seo et al., 2011) 6월과 7월에는 집중 호우성 강우로 인하여 비점오염원 부하량이 급격하게 증가하였기 때문에 처리효율이 다른 시기에 비해 낮았던 것으로 판단된다.

시기별 T-P 처리효율은 2~19% 범위로 3월부터 9월까지 꾸준히 처리효율이 증가하였고 평균처리효율은 9%이었다. 3~5월은 평균이하의 처리효율을 나타내었는데 이는 기온이 낮아지면서 미생물의 활성이 저하되어서 인 제거의 주요기작인 미생물에 의한 분해가 제대로 이루어지지 못하여 효율이 낮아진 것으로 판단된다 (Seo et al., 2006; Vymazal, 2005).

**오염물질 부하량별 오염물질 처리량** 봉산 인공습지의 BOD 부하량에 따른 BOD 처리량을 습지 시스템별로 조사한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 봉산 인공습지에 유입되는 유입원수의 총 BOD 부하량은 총 BOD 제거량과 고도의 유의성이 있는 정의 상관관계를 보였다. 봉산 인공습지의 총 BOD 부하량은 326~633 g day<sup>-1</sup>로 강우에 따른 비점오염원의 유입으로 부하량의 변동이 심하였고, 총 BOD 처리량은 242~553 g day<sup>-1</sup>으로 총 BOD 부하량의 23~41%가 제거되었다. 습지 시스템별 BOD 부하량과 총 BOD 제거량은 침강지, 습지 I 및 습지 II에서 고도의 유의성 있는 정의 상관관계를 보였다.

침강지로 유입되는 유입원수의 BOD 부하량은 326~633 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 BOD 처리량은 33~251 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 BOD 부하량이 증가함에 따라 BOD 처리량이 증가되는 경향이었다. 습지 I로 유입되는 BOD 부하량은 346~617 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 BOD 처리량은 -40~171 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 BOD 부하량이 증가함에 따라 BOD 처리량도 점점 증가되는 경향이었다. 습지 II로 유입되는 BOD 부하량은 233~515 g day<sup>-1</sup>이었고, 이 중 -7~10%인 -17~51 g day<sup>-1</sup>의 BOD가 처리되었으며, 전반적으로 BOD 부하량이 증가하면서 BOD 처리량이 점점 증가하였다.

따라서 BOD 부하량 증가에 대한 BOD 처리량의 증가율은 침강지 > 습지 I > 습지 II 순으로 침강지의 경우 BOD removal/BOD loading 비율이 0.70으로 가장 높았다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 습지 시스템별 BOD 부하량은 처리단계가 증가함에 따라 부하변동이 적었고, BOD 처리량은 처리단계가 증가함에 따라 처리량이 감소하는 경향이었다.

봉산 인공습지에서 SS 부하량에 따른 SS 처리량을 습지 시스템별로 조사한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 봉산 인공습지에 유입되는 유입원수의 총 SS 부하량은 총 SS 제거량과 고도의 유의성이 있는 정의 상관관계를 보였다. 봉

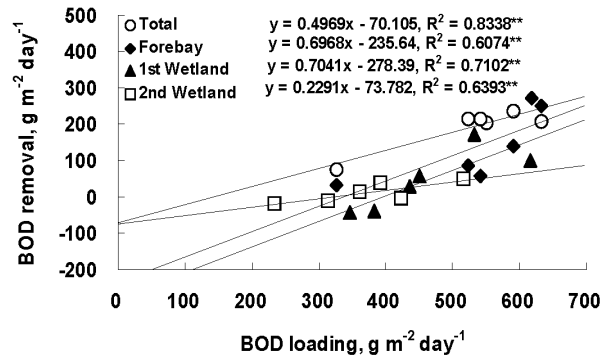


Fig. 4. Relationships between BOD removal and BOD loading in the water in Bongsan constructed wetlands.

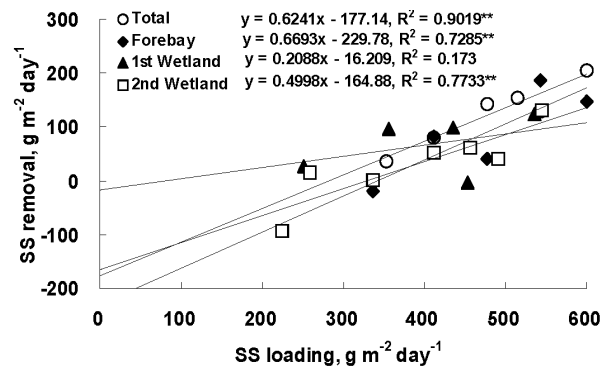


Fig. 5. Relationships between SS removal and SS loading in the water in Bongsan constructed wetlands.

산 인공습지의 총 SS 부하량은 352~599 g day<sup>-1</sup>로 부하량이 일정한 경향이었고, 처리량은 36~204 g day<sup>-1</sup>이었으며, 습지 시스템별 SS 부하량과 총 SS 제거량은 모든 조에서 고도의 유의성 있는 정의 상관관계를 보였다.

침강지로 유입되는 유입원수의 SS 부하량은 337~599 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 SS 처리량은 -19~186 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 SS 부하량이 증가함에 따라 SS 처리량이 증가되는 경향이었다. 습지 I로 유입되는 SS 부하량은 250~453 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 SS 처리량은 -3~123 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 SS 부하량이 증가함에 따라 SS 처리량도 점점 증가되는 경향이었다. 습지 II로 유입되는 SS 부하량은 224~544 g day<sup>-1</sup>이었고, 이 중 -92~62 g day<sup>-1</sup>의 SS가 처리되었으며, 전반적으로 SS 부하량이 증가하면서 SS 처리량이 점점 증가하였다.

따라서 SS 부하량 증가에 대한 SS 처리량의 증가율은 침강지 > 습지 II > 습지 I 순으로 침강지의 경우 SS removal/SS loading 비율이 0.67로 가장 높았다. 이와 같이 침강지에서 부유물질의 처리량이 다른 습지조에 비해 많은 것은 상대적으로 넓은 면적과 수생식물의 밀집분포에 의한 긴 체류시간으로 인해 SS의 침전율이 높아지고 식물체 표면에 부유물질이 흡착되었기 때문으로 판단된다 (Seo et al., 2003).

봉산 인공습지에서 T-N 부하량에 따른 T-N 처리량을 습

지 시스템별로 조사한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 봉산 인공습지에 유입되는 유입원수의 총 T-N 부하량은 총 T-N 제거량과 고도의 유의성이 있는 정의 상관관계를 보였다. 봉산 인공습지의 총 T-N 부하량은 2430~4439 g day<sup>-1</sup>로 총 T-N 처리량은 300~1085 g day<sup>-1</sup>으로 총 T-N 부하량의 12~25%로 매우 높았다. 습지 시스템별 T-N 부하량과 총 T-N 제거량은 모든조에서 고도의 유의성 있는 정의 상관관계를 보였다.

침강지로 유입되는 유입원수의 T-N 부하량은 2427~4383 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 T-N 처리량은 298~605 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 T-N 부하량이 증가함에 따라 T-N 처리량이 증가되는 경향이였다. 1차 습지조로 유입되는 T-N 부하량은 1928~4140 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 T-N 처리량은 -106~470 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 T-N 부하량이 증가함에 따라 T-N 처리량도 점점 증가되는 경향이였다. 2차 습지조의 T-N 부하량은 2017~3772 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 T-N 처리량은 99~475 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 T-N 부하량이 증가함에 따라 T-N 처리량도 점점 증가되는 경향이였다.

따라서 T-N 부하량 증가에 대한 T-N 처리량의 증가율은 습지 I > 침강지 > 습지 II 순으로 습지 I의 경우 T-N removal/T-N loading 비율이 0.31로 가장 높았다.

많은 식물군 개체를 가진 습지 I의 질소 처리의 경우에는 수생식물과 토양에 부착한 미생물에 의한 흡수, 암모니아 휘산 그리고 질산화 및 탈질에 의한 것으로 판단된다 (Brix, 1993).

인공습지에서 T-P 부하량에 따른 T-P 처리량을 습지 시스템별로 조사한 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 봉산 인공습지에 유입되는 유입원수의 총 T-P 부하량은 총 T-P 제거량과 고도의 유의성이 있는 정의 상관관계를 보였다. 봉산 인공습지의 총 T-P 부하량은 977~1841 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 T-P 처리량은 130~344 g day<sup>-1</sup>이었다. 습지 시스템별 T-P 부하량과 총 T-P 제거량은 모든조에서 고도의 유의성 있는 정의 상관관계를 보였다.

침강지로 유입되는 유입원수의 T-P 부하량은 960~1548 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 T-P 처리량은 52~225 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 T-P 부하량이 증가함에 따라 T-P 처리량이 증가되는 경향이였다. 1차 습지조로 유입되는 T-P 부하량은 822~1323 g day<sup>-1</sup>이었고, 총 T-P 처리량은 -5~239 g day<sup>-1</sup>으로 전반적으로 유입수의 T-P 부하량이 증가함에 따라 T-P 처리량도 점점 증가되는 경향이였다. 2차 습지조 유입되는 T-P 부하량은 701~1280 g day<sup>-1</sup>이었고, 이 중 -44~16%인 -312~206 g day<sup>-1</sup>의 T-P가 처리되었으며, 전반적으로 T-P 부하량이 증가하면서 T-P 처리량이 점점 증가하였다.

따라서 T-P 부하량 증가에 대한 T-P 처리량의 증가율

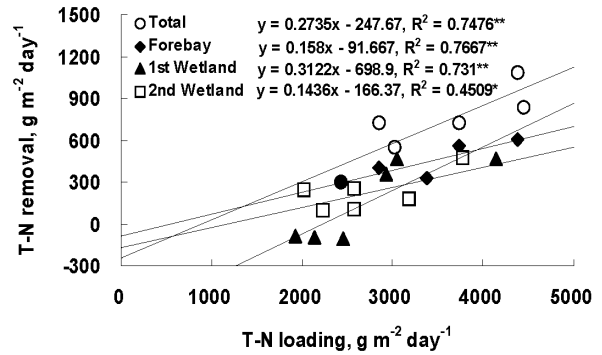


Fig. 6. Relationships between T-N removal and T-N loading in the water in Bongsan constructed wetlands.

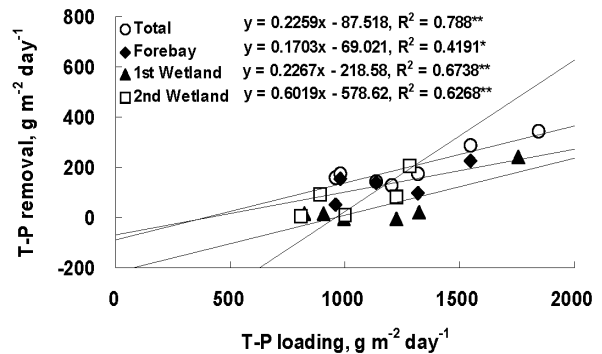


Fig. 7. Relationships between T-P removal and T-P loading in the water in Bongsan constructed wetlands.

은 습지 II > 침강지 > 습지 I 순으로 습지 II의 경우 T-P removal/T-P loading 비율이 0.60으로 가장 높았다. 봉산 인공습지의 경우에는 다른 인공습지 (Cho, 2009)와는 달리 T-P의 부하량이 매우 높지만 T-P의 처리량은 매우 낮았다. 따라서 T-P의 처리량을 높일 수 있는 개선방안이 필요할 것으로 생각된다.

## 요 약

주암호 상수원 상류지역인 송광천에 위치한 봉산 인공습지의 수생태학적 효율 향상을 위한 관리 방안을 제시하기 위하여 시기별, 처리단계별 및 오염물질 부하량별 수처리 효율을 평가하였다. 유입원수의 BOD, SS, T-N 및 T-P의 평균 함량은 1.87 mg L<sup>-1</sup>, 1.62 mg L<sup>-1</sup>, 11.47 mg L<sup>-1</sup> 및 4.40 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 연평균 처리효율은 BOD, SS, T-N 및 T-P가 각각 26%, 18%, 16% 및 9%로서 전반적으로 처리효율이 낮았으나 유입수 농도가 높아서 오염물질의 제거량은 매우 높은 편이었다. 인공습지 처리단계별 BOD, SS, T-N 및 T-P 변화를 조사한 결과는 모든 항목에서 침강지의 처리효율이 가장 높았고 BOD와 T-P는 습지 II > 습지 I, SS와 T-N은 습지 I > 습지 II 순으로 처리효율이 높았다. 인공습지 구성 시스템별 오염물질 부하량에 따른 오염물질 처리량은 BOD

는 침강지 > 습지 I > 습지 II, SS는 침강지 > 습지 II > 습지 I, T-N은 습지 I > 침강지 > 습지 II, T-P는 습지 II > 침강지 > 습지 I 순으로 높았다.

## 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, 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, I.W. 2010. A study on the improvement of water quality in closed systems using bioremediation. Ph.D. Thesis, Osaka Prefecture University, Japan.
- 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.
- Jung, Y.J. 2006. Operation of the Juam constructed wetland for effluent from a sewage treatment plant and diffuse pollution for two years. J. Korean Soc. Wat. Qual. 22, 1031-1037.
- Kim, H.C. 2010. Assessment of non-point source pollution reduction using constructed wetland. Ph.D. Thesis, Konkuk University, Seoul, Korea.
- Lee, S.G., D.C. Seo, S.W. Kang, I.W. Choi, B.J. Lim, J.H. Park, K.S. Kim, J.B. Lee, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2011. Evaluation of wastewater treatment efficiency in Dongbokcheon constructed wetlands for treating non-point source pollution at different treatment time and wastewater loading. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:929-936.
- 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.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. 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., 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. 2011. Evaluation of treatment efficiencies of pollutants in Boknae bio-park constructed wetlands. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:263-270.
- Vymazal, J. 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. Ecol. Eng. 25:478-490.