



하수처리수와 하천수를 대상으로 한 생태적 수질정화 비오름 시스템의 오염물질 제거에 대한 수질정화 평가

Evaluation of Pollutants Removal for Treated Wastewater Effluent and River Water by Meandering Constructed Wetland System

이상호*

Sang Ho Lee *

상명대학교 환경공학과

(2012년 1월 16일 접수; 2012년 2월 9일 수정; 2012년 2월 13일 채택)

Abstract

Field experiment was performed from June 2010 to July 2011 to evaluate pollutants removal efficiency in the constructed wetland system for the treated wastewater and the river water. The wetland systems were constructed near Gyungan river. Two different systems with meandering shape were compared for seasonal base and operational period base. Several kinds of aquaculture are planted through the corridor of wetland system. Average removal rate of BOD, T-N and T-P for A system were 15.8%, 14.8% and 26.5%, respectively. Average removal rate of BOD, T-N and T-P for C system were 23.5%, 27.8% and 10.6%, respectively. The effluent from two wetland systems often exceeded effluent water quality standards for wastewater influent, however effluent water quality standards for river water. However, the wetland system can be useful to treat polluted river water and effluent from wastewater plant. Removal rate of pollutants in seasonal variation was the highest in summer for BOD and T-N, however the removal rates of T-P were higher in spring and autumn than in summer.

Key Words : Meandering Wetland system, aquaculture, removal rate of BOD, T-N, and T-P, seasonal variation

주제어 : 습지시스템, 수생식물, BOD, T-N, T-P 제거효율, 계절적 변동

1. 서론

최근 몇 년간 4대강 살리기 사업을 전개하기 위하여 하천 주변의 농경지 및 하천부지 내의 농경지 면적에 수질정화용 생태저습지를 조성한 사례가 다수 있다. 인공습지를 조성함으로써 하천주변에서 유입되는 비점오염원을 처리할 수 있도록 함(최지용, 2008; 천석영 외, 2011)과 동시에 하수처리장 최종 방류수를 직접 하천에 유입되지 않고 습지를 통하여 유입

하도록 시설을 설치 운영하고 있다. 하천수질을 유지하고 하천수질을 개선하기 위하여 인공습지를 설치하여 경관 가치, 야생생물의 서식지로 활용할 수 있도록 하고 있다. 습지 주변 주민에게 다양한 여가 활용 공간으로 활용하고 있다. 다만, 이 공간들이 신규로 조성되었기 때문에 공사부터 시운전, 운전시 수질정화에 어떤 환경적 요소가 수질개선에 미치는 영향을 면밀히 조사할 필요가 있다(변우일, 2008).

* Corresponding author : E-mail: leesh@smu.ac.kr

최근 경안천과 같이 오염된 하천수 일부를 인공 습지를 조성하여 효과를 적용하기 위하여 전국4대 강 주변 또는 소하천 수질개선을 위하여 많은 지역에 인공습지를 조성하고 있다(변찬우, 2010). 인공 습지 조성 기술은 물리, 화학적 그리고 환경공학적 기술이 복합적으로 적용되어 설치되고 있다. 인공 습지는 수생식물을 주로 식재하므로 자연에 노출되어 있어 계절변화에 따라 그 처리효율이 수생식물들의 생육이 계절에 따라 변화하므로 인하여 그 처리효율이 일정하지 않는 특징을 가지고 있다(김창환, 명현, 2009). 그러나 친환경적인 처리효율 달성에 효과적이고 환경공학적으로 처리하기에는 부적합한 저농도의 하천수를 처리하기에는 적합하다는 평가도 있다. 특히 우리나라와 같이 계절변화가 뚜렷한 지역의 경우 동절기에는 식물이 휴면에 들어가므로 처리효율이 감소됨에 따라 오염물질이 축적되기도 한다(Ham et al., 2002)

우리나라에서는 1990년대에 돈사폐수, 군부대 오수, 농업용수의 수처리 효율을 검증하기 위하여 실험실, 실험지 또는 소규모 인공습지와 농업용수를 대상으로 인공습지의 연구결과를 보고하고 있다(노희명, 2002; 이환준, 2004).

본 연구는 경안천 유역에 설치된 인공습지를 중심으로 수질정화 효율을 조사함이 목적이다. 대상지역의 습지는 두 가지로서 하나는 경안천 본류의 하천수를 습지를 통하여 정화할 때 수질정화 효율을 검토하는 것이고, 다른 하나는 광주시 광동하수처리장 처리수를 인공습지로 유입시켜 인공습지 자체와 수생식물에 의한 수질정화 효과를 검토하기 위함이다. 본 연구는 2개 다른 시스템에 대하여 2010년 6월부터 2011년 7월까지 시운전기간, 검증기간 그리고 실제운전기간동안 BOD, T-N 그리고 T-P 수질현황을 분석하였다. 따라서, 본 논문을 통하여 인공습지 조성에 따른 수질정화 효율을 분석하여 중소하천 주변에 인공습지 설치의 타당성을 검토하기 위함이다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구의 대상지역은 Fig. 1에 나타내었다. 하나는 광동하수처리장의 배출수를 처리하는 인공습지(A습지)이며, 다른 하나는 경안천 본류의 하천수를 대상으로 재처리하는 인공습지(C습지)로 구성되어 있다. 각 시스템에 설치된 구간별 공사는 다른 형태를 갖추고 있다. 국내의 다양한 장소, 공간적 특성에 맞게 연구하여 개발 적용된 자연수면형 인공습지로 생태·환경공학적인 접근을 통해 오염되거나 손실된 수생태환경을 복원하는 생태적 수질정화 비오름이다. 생태적 수질정화 비오름은 단단계 습지셀을 도입하여 오염원을 처리하기 위한 인공습지 시스템이며, 유입구, 침강저류지, 1차습지, 개방수면의 연못, 단단계습지, 침전지, 유출구의 과정을 통한 수질정화 시스템이다(변우일, 2008).



Fig. 1. An airplane view of meandering constructed wetland systems(W.S) near Gyungan River.

2.1 대상지 특성

본 연구대상지는 경안천 본류수 수질악화를 방지하기 위해, 경안천 인근 경기도 광주시 퇴촌면 광동리 광동하수처리장 인근 하천부지에 각 습지의 수심은 약 30cm로 좁은 습지 면적을 최대한 활용하기 위하여 곡선 형태로 조성된 인공습지이다. 자연수면형 인공습지방식을 응용한 생태적 수질정화 비오름 시스템으로 구성되어 있다. 습지의 제원, 유입수, 유입유량 등은 Table 1에 나타내었다. 식재되

Table 1. Influent information for two different meandering constructed wetland systems(WS).

MWS	Area (m ²)	Longitudinal length (m)	Water level (cm)	Height level (cm)	HRT (day)	Sources	Influent (m ³ /day)
WS-A	5,623	670	30	70	0.75	Effluent of WWTP	2,250
WS-C	3,281	420	30	70	0.50	River water	2,000

어 있다. 식물종의 선택은 생태환경공학적 특성 대 상지에 따라 생물서식환경을 다르게 조성하기 위하 여 각 구간의 식물종은 갈대, 창포, 꽃창포, 노랑꽃 창포, 노랑어리연, 수련, 부들, 줄, 홍련, 달뿌리풀이 등으로 식재되어 있다.

2.2 연구방법

본 연구 대상지는 경안천 하류 팔당호 인근에 설 치된 인공습지로서 생태적 수질정화습지의 형태를 갖추고 있다. 습지의 장소 및 생태환경적 복원방향 에 따라 설계, 시공되었으며 본 연구에서는 시운전 기간, 검증기간 그리고 실제운전기간으로 나누어 수 질정화 효율을 검토하였다. 계절에 따른 분석회수 등은 Table 2에 나타내었다. 2010년 5월까지 공사 를 완료하고 7월까지의 시운전기간이었다. 2010년 10월에는 검증기간으로 공사 설계 및 시공자가 직 접 인공습지를 관리하였다. 2010년 겨울철에는 수 생식물들이 생육이 중단된 관계로 분석을 중단하였 다. 2011년부터는 정상운전을 실행하였다.

Table 2. Research design; run type, period, season and analysis frequency for two meandering constructed wetland systems.

Run Type	Period	Season	Analysis Frequency
Trial Run	June 2010~July 2010	Summer	2
Verification Run	October 2010	Autumn	2
Normal Run	March 2011~April 2011	Spring	2
	June 2011~July 2011	Summer	2

본 연구의 수질분석을 위한 채수지점은 Fig. 2와 같다. 채수지점은 유입구, 출구를 제외한 나머지 지 점은 유수 흐름이 느린 곡선부분을 선택하였다. 인 공습지 중 A습지의 6개 지점과, C습지의 5개 지점

에 대하여 연구기간 중 총 8회 조사 분석하였다. 계절 구분은 3월, 4월은 봄, 6월, 7월, 8월은 여름 그리고 10월은 가을로 분류하였다. 수질 측정항목 은 BOD, T-N, T-P이며 분석방법은 수질오염공정시 험방법에 따라 분석하였다.

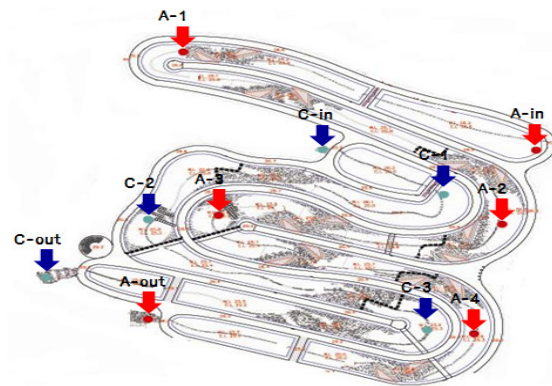


Fig. 2. Check points for the analysis of removal efficiencies of pollutants in WS-A and WS-C.

3. 연구결과 및 고찰

본 연구에서는 인공적으로 조성된 습지에 하수처 리장 배출수를 처리하는 습지(A습지)와 경안천 본 류수를 대상으로 하는 습지(C습지)의 시운전기간, 검증기간, 정상운전기간으로 나누어 계절에 따른 오 염물질 제거효율을 평가하였다. 두 개의 습지에 대 한 유입수가 서로 다르고, 습지길이, 체류시간 등이 다르기 때문에 처리효율을 단순하게 비교 평가하는 것은 무리가 있을 것이다.

3.1 계절별 오염물질의 농도변화

A습지와 C습지에 대한 BOD 계절별 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다. 봄에는 A습지에서는 하수처리 장 배출수가 유입된 이후 BOD 농도가 감소하다가

A-2지점에서 증가한 후 다시 서서히 감소하였으나 하천으로 유입될 때의 BOD 농도는 유입농도와 비슷한 수준이었다. C습지에서는 하천 본류수가 유입되고 난 후 인공습지의 각 지점들을 거치면서 하천으로 다시 배출될 때까지 서서히 감소하는 분석 결과를 얻었다. 여름에는 A습지의 A-2지점에서 BOD 농도가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이후 다시 BOD농도가 감소하였다. C습지에서도 C-1에서 감소하는 경향을 보였지만 C-2지점에서 증가하는 것을 볼 수 있었으나, 이후 하천으로 유출될 때까지 서서히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 가을에는 하수처리장 방류수가 유입되는 A습지와 하천 본류수가 유입되는 C습지 모두 인공습지의 각 지점들을 거치지만 BOD 농도는 거의 변화 없이 유지되는 경향을 보였다. 특히 가을에는 유입수의 BOD 수질이 낮아서 각 지점의 유기물 저감효과는 미미하였다. 여름에는 A습지와 C습지로 유입되는 유입수의 BOD 수질이 가을철보다 상대적으로 높고 습지내 수생미생물의 활발한 활동으로 인하여 유출수의 BOD 수질이 낮아진 결과(최돈혁 외, 2008)와 유사한 것으로 판단된다.

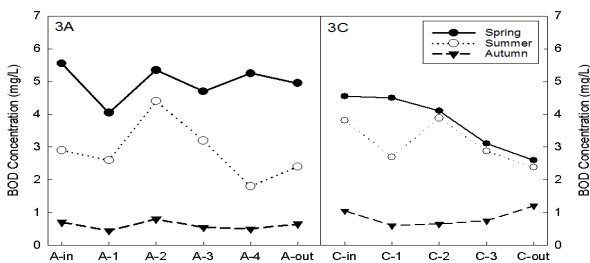


Fig. 3 Seasonal variation of BOD for 6 points in WS-A(3A) and 5 points in WS-C(3C).

A습지와 C습지의 계절별 T-N 분석결과를 Fig. 4에 나타내었다. 봄에는 A습지에서 하수처리장 방류수가 유입된 이후 T-N농도가 증가하다가 A-1지점에서 감소하다가 A-3지점부터 다시 증가하여 경안천으로 유출되었다. C습지에서는 하천 본류수가 유입되고 난 후 인공습지의 각 지점들을 거치면서 조금

씩 감소하는 경향을 보이다가 C-3지점에서 T-N농도가 증가하다가 다시 감소하였다. 여름에는 하수처리장 방류수가 유입된 이후 인공습지의 각 지점들을 거치면서 하천으로 유입될 때까지 T-N의 농도는 감소하는 경향을 보였다. C습지에서는 하천수가 유입된 후 T-N의 농도 감소가 거의 일어나지 않는 경향을 보였다. 가을철에는 하수처리장 처리수가 유입되는 A습지와 하천수가 유입되는 C습지 모두 인공습지의 각 지점들을 거치지만 T-N농도 변화가 거의 없었으며 A-3지점과 C-3지점에서 증가하였다가 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과는 유입수 T-N 농도가 낮은 원인도 있지만 수생식물에 의한 감소효과가 미미했던 것으로 판단된다.

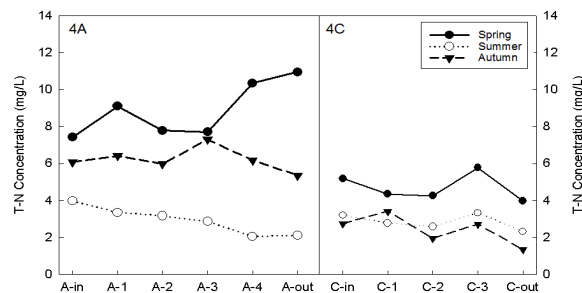


Fig. 4 Seasonal variation of T-N for 6 points in WS-A(4A) and 5 points in WS-C(4C).

A습지와 C습지의 계절별 T-P 분석결과를 Fig. 5에 나타내었다. A습지로 유입되는 하수처리장 배출수의 T-N 농도와 C습지로 유입되는 경안천 본류수의 T-P농도는 큰 차이를 보이고 있다. 유입수의 T-P농도는 봄에는 A습지의 T-P 농도 감소효과는 C습지의 감소보다 큰 것으로 조사되었다. C습지의 유입수 T-P농도는 낮은 농도이었지만 하천으로 유입될 때까지 인공습지의 각 지점들을 흐르면서 감소하는 경향을 보였다. 여름에는 A습지에서는 T-P농도변화가 거의 일어나지 않다가 A-3지점에서 증가하였으나 이후 감소하였다. C습지에서는 하천 본류

수 유입 이후 T-P의 농도가 증가하는 경향을 보였다. 가을에는 A습지와 C습지에서 초기 유입수의 농도는 달랐지만 하천으로 배출될 때까지 감소하는 경향을 보였다. 하수처리장 배출수가 유입되는 A습지에서는 봄, 여름, 가을 모두 인공습지의 각 지점들을 지나는 동안 T-P의 농도가 감소하는 것으로 나타났다. C습지에서는 봄과 가을에 T-P의 농도가 감소하는 것으로 나타났다.

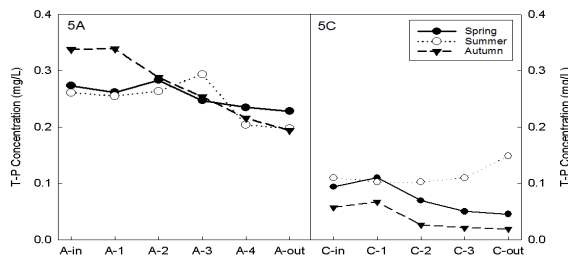


Fig. 5 Seasonal variation of T-P for 6 points in WS-A(5A) and 5 points in WS-C(5C).

3.2 계절별 오염물질 제거효율

계절별 BOD, T-N 그리고 T-P의 제거효율은 Table 3에 나타내었다. BOD 제거효율은 A습지에서 봄에 17.3%로서 다른 계절에 비하여 우수하였으며, C습지에서는 봄에 42.9%로 가장 높았고 다음으로 여름에 37.6%이었다. T-N 제거효율은 A습지에서 여름에 47.0%로서 다른 계절에 비하여 우수한 제거효율을 보였으며, C습지에서는 가을에 50.9%로 가장 높았고 봄과 여름에는 23.6%~27.7%이었다. T-P 제거효율은 A습지에서 가을에 42.7%로서 다른 계절에 비하여 우수하였으며, C습지에서는 봄과 가을에 각각 51.6%, 67.0%이었다. A습지와 C습지의 유입수 성질이 다르지만, BOD 제거효율은 봄철에 C습지에서 41.9%로 조사되었다. T-N 제거효율은 C습지에서 가을에 50.9%로 가장 높았으며, T-P 제거효율은 C습지에서 가을에 67.0%로 가장 높았다. 오염물질 제거효율을 계절적으로 하면 여름과 가을에 효율적이며, 봄에는 수생식물들이 생육을 시작하는

관계로 제거효율이 낮은 것으로 판단된다. 여름에는 과도한 수생식물의 성장을 주기적 절취, 제거를 통한 관리가 필요한 것으로 판단된다.

Table 3. Seasonal removal efficiencies of BOD, T-N and T-P in WS-A and WS-C.

Season	BOD Removal Efficiency(%)		T-N Removal Efficiency(%)		T-P Removal Efficiency(%)	
	WS-A	WS-C	WS-A	WS-C	WS-A	WS-C
Spring	10.8	42.9	-47.6	23.6	16.6	51.6
Summer	17.3	37.6	47.0	27.7	24.4	-35.2
Autumn	7.1	-14.3	11.9	50.9	42.7	67.0

3.3 인공습지 검증기간 중 수질분석

인공습지의 조성이후 시운전기간을 거친 후 검증기간인 2010년 10월의 A습지와 C습지의 BOD, T-N, T-P의 수질분석결과를 Table 4에 나타내었다. 하수처리장 방류수가 유입되는 A습지는 초기에 BOD 농도가 점차 낮아지다가 A-2지점에서 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 이후 다시 감소한 후 A-Out지점에서 다시 증가한 후 하천으로 유입되는 것으로 분석되었다. T-N은 A-1지점에서 증가한 후 감소하였다가 A-3지점에서 다시 증가한 후 인공습지에서 배출될 때까지 감소하는 경향을 보였다. T-N의 농도변화가 A습지에서는 심하였다. A습지에서 T-P의 농도는 하수처리장의 방류수가 유입된 이후 인공습지의 각 공정들을 거친 후 하천으로 유입되는 지점까지 서서히 감소하는 것으로 분석되었다.

Table 4. Water qualities in WS-A and WS-C for the period of Verification Run in mg/L.

WS-A			WS-C				
Point	BOD	T-N	T-P	Point	BOD	T-N	T-P
A-in	0.70	6.07	0.339	C-in	1.05	2.74	0.058
A-1	0.45	6.41	0.339	C-1	0.60	3.41	0.067
A-2	0.80	5.98	0.288	C-2	0.65	1.94	0.027
A-3	0.55	7.30	0.254	C-3	0.75	2.71	0.022
A-4	0.50	6.17	0.216	C-out	1.20	1.34	0.019
A-out	0.65	5.35	0.194	-	-	-	-

하천 본류수가 유입되는 C습지는 초기에 BOD농도가 점차 낮아지다가 C-2지점부터 하천으로 배출될 때까지 서서히 증가하는 경향을 보였다. C습지에서 T-N의 농도는 C-1지점에서 증가한 후 감소하였다가 C-3지점에서 다시 증가한 후 배출될 때까지 T-N의 농도 변화가 심하였다. T-P의 농도는 하수처리장의 방류수가 유입된 이후 C-1지점에서 증가하였다가 인공습지의 각 공정들을 거치면서 하천으로 유입되는 지점까지 서서히 감소하는 것으로 분석되었다.

인공습지의 검증기간의 A습지와 C습지의 BOD, T-N, T-P의 제거효율을 Fig. 6에 나타내었다. BOD의 제거효율은 A습지가 7.1%였고 C습지가 -14.3%로 A습지가 BOD제거효율이 높았지만 검증기간 중에는 BOD의 제거가 잘 일어나지 않는 것으로 분석되었다. T-N의 제거효율은 A습지가 11.9%였고 C습지가 50.9%로 C습지가 T-N의 제거효율이 높았으며, BOD의 비해 T-N의 제거효율이 검증기간에는 높은 것으로 분석되었다. T-P의 제거효율은 A습지가 42.7%였고 C습지가 67.0%로 C습지가 T-P의 제거효율이 높았으며, 검증기간에는 T-P의 제거가 잘 되는 것으로 분석되었다. T-P의 제거효율이 검증기간에는 BOD, T-N의 제거효율에 비해 가장 높은 것으로 분석되었다.

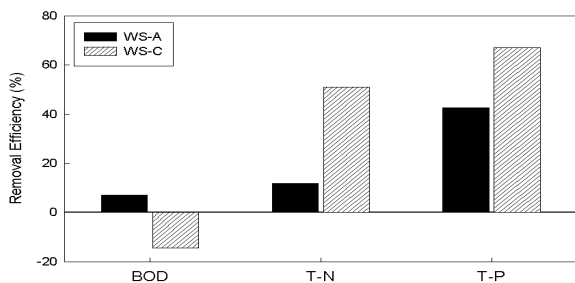


Fig. 6 Removal efficiencies of BOD, T-N and T-P for the period of Verification Run in WS-A and WS-C.

3.4 시운전기간과 정상운전기간 중의 수질비교

시운전기간 2010년 6월과 7월, 운전기간 2011년 6월과 7월 동안의 A습지와 C습지의 평균수질분석 자료를 Table 5와 Table 6에 나타내었다. 또한 시

운전기간과 정상운전기간의 A습지와 C습지의 제거효율을 Fig. 7에 나타내었다. A습지에서 시운전기간에 BOD 농도는 증가, 감소를 반복하는 경향을 보였으며, 정상운전기간에는 A-2지점에서 농도가 증가하는 경향을 보였으나 시운전기간동안의 비해 BOD 농도의 변화가 심하지는 않았다. A습지에서 BOD 제거효율은 시운전기간이 14.8%였고 정상운전기간에는 23.3%로 정상운전기간동안 BOD 제거효율이 더 높은 것으로 분석되었다. T-N농도의 변화는 시운전기간과 정상운전기간 모두 A-in지점부터 하천으로 배출되는 A-out지점까지 인공습지의 각 공정들을 거치면서 서서히 감소하는 경향을 보였다. 시운전기간의 T-N의 제거효율은 35.1%였고 정상운전기간의 T-N의 제거효율은 53.4%로 정상운전기간의 T-N 제거효율이 더 높은 것으로 분석되었다. 시운전기간의 T-P 농도는 하수처리장의 방류수 유입초기에 감소하는 경향을 보이다가 A-1지점부터 A-3지점까지 증가한 후 다시 감소하는 경향을 보였으며, 정상운전기간에는 하수처리장 방류수 유입이후 감소하다가 T-P농도가 A-3지점에서 증가한 후 하천으로 배출될 때까지 감소하는 것으로 나타났다. 시운전기간의 T-P의 농도변화가 정상운전기간의 비해 심하였고 T-P의 제거효율은 정상운전기간 27.1%, 시운전기간 22.1%로 정상운전기간의 T-P 제거효율이 더 높은 것으로 분석되었다. A습지에서의 정상운전기간 중 BOD, T-N, T-P의 제거효율은 시운전기간보다 향상된 것으로 분석되었다.

Table 5. Water quality for the period of Trial Run and Normal Run in WS-A.

Point	BOD (mg/L)		T-N (mg/L)		T-P (mg/L)	
	Trial Run	Normal Run	Trial Run	Normal Run	Trial Run	Normal Run
A-in	4.1	1.7	2.78	5.15	0.283	0.240
A-1	3.6	1.7	2.45	4.25	0.275	0.235
A-2	4.8	4.1	2.33	4.00	0.333	0.195
A-3	3.9	2.5	2.05	3.65	0.338	0.250
A-4	2.2	1.5	2.05	2.05	0.223	0.185
A-out	3.5	1.3	1.80	2.40	0.220	0.175

Table 6. Water quality for the period of Trial Run and Normal Run in WS-C.

Point	BOD (mg/L)		T-N (mg/L)		T-P (mg/L)	
	Trial Run	Normal Run	Trial Run	Normal Run	Trial Run	Normal Run
C-in	5.7	2.0	4.50	1.90	0.110	0.110
C-1	3.7	1.7	2.20	3.35	0.100	0.105
C-2	6.8	1.0	2.03	3.15	0.115	0.090
C-3	4.2	1.6	3.15	3.50	0.075	0.145
C-out	3.5	1.3	2.63	2.00	0.193	0.105

C습지에서 시운전기간에 BOD 농도는 유입초기에 감소하다가 C-2지점에서 증가하였다가 다시 감소하는 경향을 보였으며, 정상운전기간에는 유입이후 감소하다가 C-3지점에서 BOD 농도가 증가하였고 그 이후 다시 하천으로 배출될 때까지 감소하는 경향을 보였다. C습지에서 BOD 제거효율은 시운전기간이 38.9%였고 정상운전기간에는 33.6%로 시운전기간의 BOD 제거효율이 더 높게 분석되었다.

시운전기간에 T-N농도는 유입 이후에 C-3지점에서 증가하였고 그 이후 하천으로 배출될 때까지 감소하는 경향을 보였다. 정상운전기간에는 유입이후 증가하는 경향을 보였으며 T-N 농도변화가 심하였다. 시운전기간의 T-N의 제거효율은 41.7%였고 정상운전기간의 T-N의 제거효율은 -5.3%로 시운전기간의 T-N 제거효율이 더 높은 것으로 분석되었다.

시운전기간의 T-P 농도는 유지하는 경향을 보이다가 하천으로 배출되는 지점인 A-out에서 증가하는 것을 볼 수 있다. 운전기간의 T-P 농도는 감소하다가 C-3지점에서 증가한 후 다시 감소하는 경향을 보였다. T-P의 제거효율은 정상운전기간 4.5%, 시운전기간 -75%로 정상운전기간의 T-P제거효율이 더 높은 것으로 분석되었다. C습지에서의 BOD, T-N의 제거효율은 시운전기간이 정상운전기간보다 높게 나왔으며 T-P의 제거효율은 정상운전기간이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 습지의 조성을 위하여 설계의 중요성을 알 수 있다.

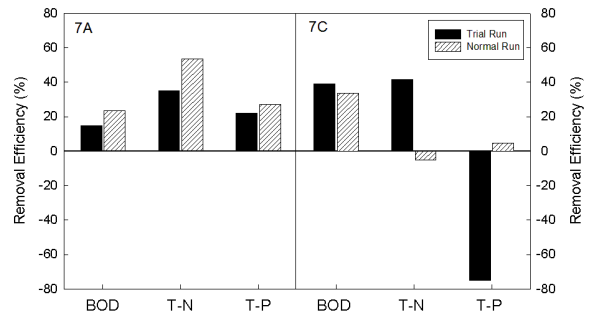


Fig. 7 Removal efficiencies of BOD, T-N and T-P for the period of Trial Run and Normal Run in WS-A(7A) and WS-C(7C).

3.4 BOD, T-N, T-P의 평균 제거효율

A습지의 BOD제거효율은 -3.1%~32.4%로 나타났으며, 2010년 7월이 32.4%로 가장 높았고, 2011년 4월이 -3.1%로 가장 낮았으며, 평균제거효율은 15.8%였다. C습지의 BOD 제거효율은 -15.4%~50.9%로 나타났으며, 2011년 4월이 50.9%로 가장 높았고, 2010년 10월 2차가 -15.4%로 가장 낮았으며, 평균제거효율은 23.5%였다.

A습지의 T-N 제거효율은 -96.6%~76.4%로 나타났으며, 2011년 7월이 76.4%로 가장 높았고, 2011년 3월이 -96.6%로 가장 낮았으며, 월별로 편차가 심하였고 평균제거효율은 14.8%였다. C습지의 T-N 제거효율은 -8.3%~57.4%로 나타났으며, 2010년 10월 2차가 57.4%로 가장 높았고, 2011년 6월이 -8.3%로 가장 낮았으며, 평균제거효율은 27.8%였다.

A습지의 T-P 제거효율은 0.0%~54.2%로 나타났으며, 2011년 7월이 54.2%로 가장 높았고, 2011년 6월이 0.0%로 가장 낮았으며, 평균제거효율은 26.5%였다. C습지의 T-P 제거효율은 -81.8%~75.3%로 나타났으며, 2010년 10월 2차가 32.4%로 가장 높았고, 2010년 6월이 -81.8%로 가장 낮았으며, 월별로 편차가 심하였고 평균제거효율은 10.6%이었다.

A습지는 오염물질 중 T-P의 제거효율이 가장 높았으며, C습지는 T-N의 제거효율이 가장 높았다. A습지에서 BOD, T-N의 제거효율은 C습지에서 제거효율보다 높았다. 계절별 오염물질의 제거효율은 다

소 차이가 있지만 연구기간 중 전체 평균 제거효율은 효과가 있는 것으로 분석되었다.

A습지의 시운전기간동안 BOD, T-N 그리고 T-P 제거효율보다 정상운전기간동안 BOD, T-N 그리고 T-P 제거효율은 향상되었다. 그러나 C습지의 제거효율은 T-P를 제외하고 BOD와 T-N에 대하여 정상운전기간동안 제거효율은 시운전기간동안 제거효율보다 저조하였다.

Table 7. Removal efficiencies of BOD, T-N and T-P for the period of entire research hour.

Date	BOD (%)		T-N (%)		T-P (%)		Season
	WS-A	WS-C	WS-A	WS-C	WS-A	WS-C	
June 2010	2.1	41.3	66.7	46.3	15.2	-81.8	Summer
July 2010	32.4	34.2	21.8	34.7	25.0	-68.2	
October 2010(1st)	0.0	-12.5	0.0	45.0	43.6	50.0	Autumn
October 2010(2nd)	20.0	-15.4	25.6	57.4	41.3	75.3	
March 2011	29.8	30.6	-96.6	25.7	3.8	41.5	Spring
April 2011	-3.1	50.9	-2.5	21.7	28.6	59.4	
June 2011	24.0	39.3	27.1	-8.3	0.0	0.0	Summer
July 2011	21.3	19.5	76.4	0.0	54.2	8.3	
Average	15.8	23.5	14.8	27.8	26.5	10.6	-

4. 결론

본 연구는 경기도 광주시에 위치한 경안천의 생태적 수질정화 비오톱공법으로 조성된 인공습지를 대상으로 2010년 6월부터 2011년 7월까지 수질을 분석한 자료를 종합하면 다음과 같다.

1. 하수처리장 방류수를 처리하는 A습지와 정체된 경안천 본류수를 처리하는 C습지는 봄과 여름에 BOD 농도변화가 심하였으며, 가을에는 안정적이었다. T-N 농도변화는 봄이 여름과 가을에 비해 변화가 심하였다. T-P 농도변화는 봄, 여름, 가을 모두 안정적이었으며, 인공습지의 각 공정들을 지나는 동안 BOD, T-N, T-P는 서서히 감소하였다. 봄과 가을에는 T-P의 제거효율이 가장 높았고 여름에는 T-N의

제거효율이 가장 높은 것으로 분석되었다.

2. 인공습지 검증기간의 A습지와 C습지의 BOD, T-N, T-P의 농도는 안정적으로 유지 및 감소하는 경향을 보였으며 A습지의 BOD 제거효율이 높았으며, C습지의 T-N, T-P에 대한 제거효율이 높은 것으로 분석되었다.

3. A습지에서는 정상운전기간의 BOD, T-N, T-P에 대한 제거효율은 시운전기간의 비해 제거효율이 높았으며, C습지에서의 BOD, T-N의 제거효율은 시운전기간이 정상운전기간보다 높게 나왔으며 T-P의 제거효율은 정상운전기간이 높은 것으로 분석되었다.

4. 오염물질의 평균제거효율은 A습지가 T-P의 제거효율이 가장 높았으며, C습지는 T-N의 제거효율이 가장 높았다. A습지와 C습지는 오염물질들을 제거하는 효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

5. 오염물질의 계절별 제거효율은 다소 차이가 있지만 연구기간 중 전체 평균 제거효율은 하수처리장 배출수를 대상으로 하는 A습지에서 오염물질 평균 제거율은 BOD 15%, T-N 14.8%, T-P 26.5%이었으며, 경안천 본류수를 대상으로 하는 A습지에서 오염물질 평균 제거율은 BOD 23.5%, T-N 27.8%, T-P 10.6%이었다.

감사의 글

본 논문은 상명대학교 2010학년도 교내융·복합 집적화 연구과제 연구비에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- 강창국, Marla C. Maniquiz, 손영규, 김이형 (2010) 농업지역 내 FWS 인공습지의 수질정화효율 분석, 한국습지학회지 12(3), pp.39-47.
- 김창환, 명 현 (2009) 주암호 복내천 인공습지 조성 후 식물의 생활형에 대한 4년간의 변화 연구, 한국환경생태학회지 23(1), pp 30-40.
- 노희명 (2002) 시화지구 인공습지에서 갈대에 의한 질소 및 인 흡수, 한국생태학회지 25(5), pp.359-364.
- 변우일 (2008) Sustainable Structured Biotop-생태적 수질정



화 바이오톱, 리드환경연구원.

변찬우 (2010) 경안천 고수부지에 조성한 금어천 생태적 수질정화바이오톱 시스템의 수질정화 및 생태복원 효과, 한국환경복원녹화기술학회지 13(3), pp.23-35.

이환준 (2004), 하천수 정화 인공습지의 질소제거에 관한 연구, 전남대학교 대학원 조경학과 석사학위논문.

천석영, 안상우, 정우진, 장순용, 이시진 (2011) 비점오염원 유입특성에 따른 인공습지의 비점저감효율 평가, 2011년 한국지반환경공학회 가을학술 발표회 , pp.177-182.

최돈혁, 최광순, 김세원, 최동호, 황인서, 이윤경, 강호(2008) 시화호 인공습지에서 시공간적 수질 평가, 대한환경 공학회지, 30(10), pp.1013-1020.

최지용 (2008) 비점오염 저감을 위한 인공습지의 효율제고 방안, 경기논단 10(2), pp.164-181.

Ham, J.H., C.G. Yoon, J.H. Jeon and M.H. Kim (2002) Pond system for further polishing of constructed wetland effluent during winter season, J. of the Korean Society of Agricultural Engineers 44(4), pp.139-148.