

인공습지와 연못시스템을 이용한 오수처리

Waste Water Treatment Using Constructed Wetland and Pond System

김민희* · 윤춘경 · 함종화 (건국대)

Kim, Min Hee* · Yoon, Chun Gyeong · Ham, Jong Hwa

Abstract

A pilot study was performed at the experimental field of Konkuk University in Seoul, to examine the waste water treatment using constructed wetland and pond system. The effluent of the wetland system in winter often exceeded effluent water quality standards for sewage treatment plant, therefore, pond system could be applied to additional system. As a result, removal rate of BOD₅, SS was 84.4%, 81.5% and effluent concentration was 4.6mg/L and 5.0mg/L respectively, when surface water of pond system was discharged in March. So we concluded that pond system stored wetland effluent in winter and discharged surface water of pond system in March, so met water quality standard.

I. 서론

하수의 자연정화처리는 토양, 식물 또는 미생물과 같은 자연요소들의 자정능력을 이용하여 하수를 처리하는 방법으로, 농촌지역의 소규모마을이나 사용 가능한 공간이 상대적으로 넓은 지역에 유리하다. 옛날부터 사용해오던 방법으로는 침전지, 안정지, 토양처리 등이 있으며, 근래에 개발되고 있는 방법으로는 수생식물을 이용한 수중처리와 추수(抽水)식물을 이용한 습지처리 등이 있다. 인공습지는 간단한 구조와 큰 완충능력, 적은 슬러지 발생과 시설비용, 저렴한 유지 관리비를 갖는 장점 때문에 여러 나라에서 주로 농촌지역의 하수처리를 위해 많이 이용되고 있다. 특히 유럽에서는 약 20여년전 까지만 해도 하수처리장의 대규모 및 집중화가 선호되었지만 최근 10-15년 동안은 기존 시스템보다는 연못 또는 인공습지의 이용이 증가하고 있는 추세이다¹⁾. 연못시스템은 자연상태에서 태양에너지와 생태계의 작용에 의해 각종 오·폐수를 처리하는 기법으로 1)침전, 2)유기산 생성, 3)메탄발효, 4)호기성산화, 5)광합성산소배출(조류성장), 6)질소 및 황의 변형, 7)영양염류(N,P) 및 중금속 제거, 8)기생충알 및 병원균 제거^{2,3)} 등 수많은 물리, 화학 및 생물학적 반응을 거쳐 처리된다.

본 연구는 동절기 높은 농도의 인공습지 유출수를 연못시스템을 이용하여 추가 처리하는 인공습지와 연못시스템의 연계적용 가능성을 검토하고자 한다.

II. 재료 및 방법

실험에 사용된 인공습지와 연못시스템은 건국대학교 내에 설치하였으며, 개요도는 Fig. 1과 같다. 인공습지는 폭2m × 길이9m × 높이1m의 콘크리트 박스에 모래를 0.6m 채우고, 갈대를 식재하였으며, 유입수는 농업생명과학대학 별관에 설치된 정화조의 오수를 사용하였고, 오수 유입량은 1m³/day이고, 처리조내 체류기간은 3.5일이다. 유입수와 유출수의 시료 채취는 처리조의 이론적 체류기간 만큼의 간격을 두고 하였고, 이들 사이의 농도차이로 처리효과를 검토하였다. 연못시스템은 3개의 처리구로 나뉘져 있고, 크기는 폭2m × 길이2m × 높이2m이며, 바닥에 모래를 0.5m 채우고 유입수는 오수, 오수+습지유출수 및 습지유출수를 채워 수심 1.4m를 유지하였다. 시료는 표층수와 심층수로 나뉘어서, 표층수는 표면부분에서 심층수는 중간 부분에서 채취하였다. 얼음층이 생성된 동절기에는 얼음층을 제거한 후 위와 동일하게 시료를 채취하였다. 침전에 의한 sediment의 변화를 알아보기 위해 실험 전과 후에 토양을 표토층과 심토층으로 나누어 채취하였다. 표토층은 표층에서 약 5cm 깊이까지의 토양을, 심토층은 그 이하의 층을 채취하여 분석을 실시하였다. 인공습지와 연못시스템의 수질은 Standard Methods⁴¹에 의해 분석을 하였다. 토양은 pH, EC, OM, TN, TP, Available P₂O₅ 항목에 대해 분석을 실시하였다.

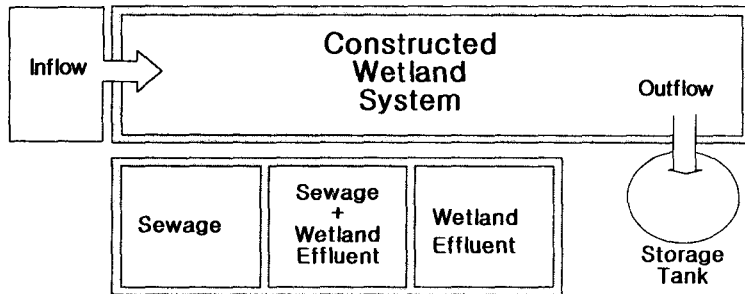


Fig. 1 Schematic diagram of the constructed wetland system and pond system

III. 결과 및 고찰

1. 인공습지에 의한 오수처리

인공습지를 이용한 오수처리실험은 1997년부터 시작하여 2001년 현재까지 5년간 수행하였는데, 여기에서는 실험조건이 동일한 1998년 7월 이후의 자료를 이용하여 성장기와 동절기로 나누어 분석하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. 성장기는 3월부터 11월까지이고, 동절기는 12월부터 이듬해 2월까지를 의미한다. 동절기에 갈대의 고사와 유입수의 농도 상승으로 인해 제거된 양은 비슷하지만, 습지 유출수의 농도는 높은 상태를 유지한다. 그러므로, 습지 유출수를 수계로 직접 방류하기에는 여러 문제점이 발생할 수 있으므로, 동절기의 유출수를 연못으로 유입시켜 추가 처리를 실시한 후 목표 수질에 도달하면 방류하는 것이 좋을 것이다.

Table 1. Summary of the wetland performances in growing season and winter

Constituents		Growing Season			Winter		
		Average Concentration (mg/L)	Average Removal Rate (%)	Average Amount Removed (kg/ha/day)	Average Concentration (mg/L)	Average Removal Rate (%)	Average Amount Removed (kg/ha/day)
DO	Influent	0.3	-	-	1.2	-	-
	Effluent	2.4			2.3		
BOD	Influent	116.2	80.8	59.3	150.9	61.8	51.5
	Effluent	21.4			62.2		
SS	Influent	62.2	71.6	30.0	102.7	64.8	41.7
	Effluent	14.0			32.8		
TN	Influent	141.0	21.0	22.5	120.3	10.2	10.4
	Effluent	104.7			103.4		
TP	Influent	13.4	44.0	3.9	13.0	26.8	2.8
	Effluent	7.1			8.5		

2. 연못시스템에서의 수질 변화

본 연구에서 실시한 연못시스템 실험은 시간에 따른 각 항목별 농도의 변화를 알아보기 위해 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다. BOD의 경우 오수와 오수+습지유출수의 pond에서 2월 중순까지 급격하게 낮아진 후 비슷한 농도의 범위를 나타내었다. 하지만, 오수 pond의 표층수는 3월중순에서 5월중순까지 높은 농도를 나타내다가 다시 다른 처리구와 비슷한 농도를 나타내었다. 이것은 3월에 얼음이 녹으면서 얼음속에 있던 유기물질은 침전하고, 침전되었던 유기물이 재부유하여 심층수가 일시적으로 높은 농도를 나타낸 것으로 생각되며, 5월 이후의 낮은 농도는 수체(水體)가 안정되어 다시 유기물질이 바닥으로 침전되었기 때문이라 생각된다. 모든 수체에서 다시 6월 이후 소폭 상승하였는데, 이는 조류에 의한 영향으로 생각된다. TP의 농도는 2월까지 모든 처리구의 모든 수층에서 약 14mg/L 정도의 비슷한 농도 범위를 나타내다가, 3월달에 얼음이 녹은 후 모든 처리구의 표층수에서 매우 큰 폭으로 농도가 감소하였다. TP는

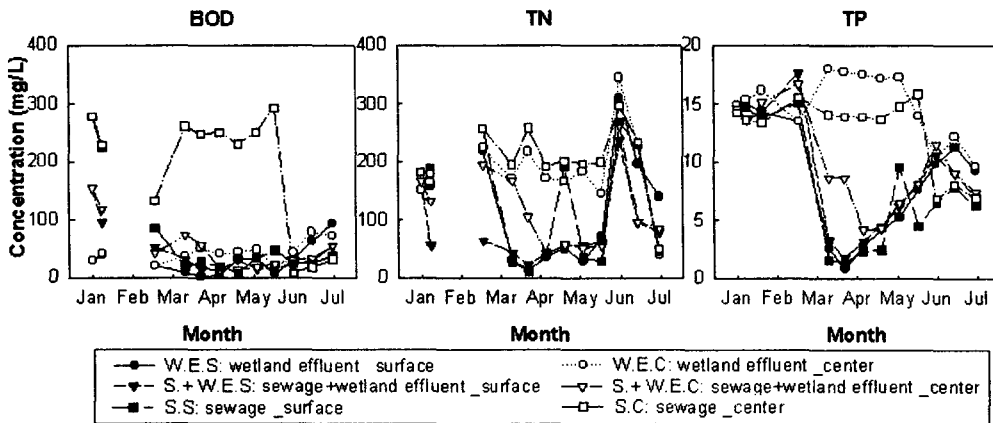


Fig. 2 Change of water quality concentration in pond system

주로 침강과 식물 또는 조류에 의한 흡수에 의해 제거되는데, 호기성 상태에서 인이온은 알루미늄 및 철 이온과 결합하여 불용성화합물로 변해서 침전하게 되고, 혐기성상태에서는 이 결합이 깨져서 인이온이 다시 활성을 띠게 된다. TN의 농도를 보면 초기의 농도보다도 2월에 더 높은 농도를 나타냈는데, 이는 얼음층이 TN의 약 80%로 대부분을 차지하는 암모니아성 질소의 휘발 작용을 방해하여, 표면층으로 암모니아 가스가 모이면서 표층수에서 전체적인 TN의 농도가 높게 나타났다. 반면에, 동파로 인해 수심의 반까지 물이 빠져 초기에 생성되었던 얼음층이 보온작용을 하여 하단의 수표면에는 얼음층이 생기지 않아 자유로운 휘발 작용이 일어난 오수+습지유출수 pond는 상대적으로 매우 낮은 암모니아성 질소의 농도를 나타내어, 그 결과 TN의 농도 역시 다른 처리구보다 낮은 농도를 나타내었다. 연못시스템에서 방류수 수질기준치까지의 수질농도에 이르는 시점은, 습지 유출수가 유입된 연못의 표면의 얼음층이 녹고, 재폭기가 활발히 일어난 3월초가 적절하다. 연못 전체를 다 방류하기 보다는 표층수만 먼저 방류한 후, 농도가 높은 심층수는 추가적인 처리가 되도록 연못에 남겨 놓은 후 수질이 개선되는 시기에 방류시키는 것이 좋을 것이다. 3월초에 표층수를 방류할 경우의 수질 농도 및 처리율은 DO의 농도는 1.4mg/L였던 것이 9.9mg/L로 높게 상승하였고, BOD와 SS의 농도는 29.5mg/L와 27.0mg/L였던 것이 각각 84.4%와 81.5%가 처리되어 4.6mg/L와 5.0mg/L의 농도를 나타내어 “오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률”⁵⁾에서 정하는 방류수 수질기준 20mg/L를 만족하였다.

3. 연못시스템에서의 토양특성변화

연못 바닥에 있는 모래에 대한 연못시스템 실험 전과 후의 토양실험 결과는 Table 2와 같다. pH의 경우, 실험 전에는 대부분 pH 7이상의 범위의 값을 나타낸 반면, 실험 후에는 표토층에서 7이하의 값을 나타내었다. 이는 OM이 심토층보다 표토층에 많이 존재하여 상대적으로 유기산이 많이 존재하였기 때문이라 생각된다. EC는 실험전에 표토층과 심토층이 큰 차이를 보이지 않은 반면, 실험 후에는 표토층에서 더 높은 EC값을 나타내었다. 이는 많은 염류가 침전에 의해 표토층에 쌓여서 상대적으로 심토층보다 높은 값을 나타낸 것이라 생각된다. 유기물질의 양을 나타내는 OM은 실험 전에 습지유출수 pond와 오수+습지유출수 pond의 표토층이 다소 높고 나머지는 거의 비슷한 농도의 범위를 나타내었다. 그러나, 실험 후에는 심토층은 비슷한 농도를 나타낸 반면, 표토층은 큰 농도차이를 보였다. 이는 유기물질이 더 많이 함유되어 있는 오수를 채운 연못에서 더 많은 유기물질이 침전되었기 때문이다. TN을 살펴보면, 심토층의 경우 매우 적은 농도의 변화를 나타낸 반면, 표토층의 경우는 OM에서와 같이 오수 연못과 습지유출수 연못에서 큰 농도의 변화를 나타내었다. 오수+습지유출수 pond에서 농도변화가 적었던 이유는 겨울철에 동파되었기 때문이다. 실험전보다 실험후에 TN의 농도가 높게 나온 이유는 오수 및 습지유출수에 포함되어 있는 유기질소의 침전과 조류의 사멸에 의한 침전때문이라 생각된다. TP의 농도는 실험 후 모든 처리구에서 감소하였는데, 이는 부착미생물이 유기인을 분해하여 조류가 흡수할 수 있도록 만들어 주고, 조류가 이를 흡수하여 TP의 농도가 낮아졌다고 생각한다. 실제로 유기인이 분해된 형태인 유효인산을 보면, 모든 처리구에서 농도가 증가하였고, 심층수보다 미생물과의 접촉이 많은 표층부에서 더 높은 농도를 나타내었다.

Table2. Characteristics of bottom soil

Treatment		pH (1:5)	EC (μ S/cm)	OM (%)	TN (%)	TP (mg/kg)	AV.P ₂ O ₅ (mg/kg)
Initial Concentration							
Wetland Effluent	S.L.*	7.08	83.60	0.15	0.007	127.10	3.47
	B.L.**	7.08	112.40	0.08	0.008	117.17	4.49
Sewage + Wetland Effluent	S.L.	7.06	89.55	0.16	0.013	140.58	3.50
	B.L.	7.22	94.70	0.05	0.007	126.74	3.36
Sewage	S.L.	7.13	125.40	0.05	0.010	150.33	3.94
	B.L.	7.13	125.40	0.05	0.010	150.33	3.94
Last Concentration							
Wetland Effluent	S.L.	6.63	161.60	0.23	0.016	20.38	9.10
	B.L.	7.85	93.10	0.07	0.006	5.96	6.38
Sewage + Wetland Effluent	S.L.	6.63	97.30	0.20	0.011	23.27	19.25
	B.L.	7.17	49.90	0.13	0.007	32.35	13.09
Sewage	S.L.	6.31	164.90	0.59	0.024	54.43	17.79
	B.L.	7.18	38.60	0.06	0.005	36.20	10.58

* S.L.: Surface Layer **B.L.: Bottom Layer

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 동절기 고농도의 습지 처리수를 추가처리하기 위하여 연못시스템을 적용하였으며, 농도변화 및 토양특성변화에 대해 분석하였으며 요약하면 다음과 같다.

1. 인공습지를 이용해 오수를 처리한 결과, 동절기에도 성장기와 비슷한 처리율을 얻었지만, 습지유출수를 하천으로 직접방류하기에는 다소 높은 농도를 띠고 있어서 추가적인 처리시설이 요구된다.
2. 인공습지와 연못시스템을 연계 적용하여 겨울철 고농도의 습지 유출수를 추가처리할 경우, 3월초에 상층부를 방류하면 방류수 수질기준을 만족시킨다.
3. 연못시스템의 토양을 분석한 결과, TP을 제외한 OM, TN, AV.P₂O₅ 항목에서 실험 후에 농도가 높아졌는데, 이는 유기물질, 영양물질 및 조류의 침전에 의한 영향이다.
4. 본 연구에서 적용한 연못시스템은 침전과 조류에 의한 작용이 주 메카니즘이었다. 앞으로 연구에서는 수표면을 식생(물옥잠 또는 연꽃)으로 덮인 연못시스템을 적용하고자 한다.

V. 참고문헌

1. Haberl, R., R. Perfler and H. Mayer, 1995, Constructed Wetlands in Europe, Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No. 3, pp. 305-315.
2. Oswald, W.J, (1998), A Syllabus on Waste Pond Fundamentals, University of California, Berkeley, Spring 1988, BEHS 259, pp. 66~68.
3. EPA, (1983), Design Manual: Municipal Wastewater Stabilization Ponds, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-625/1-83-012, Washington, D.C. pp. 2~7.
4. APHA, 1995, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Edition, American Public Health Association.
5. 홍문관, 1998. 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률. 별표-1, 방류수수질 기준.