

인공습지를 이용한 축산폐수의 처리

박재홍^{†*} · 최익소^{**} · 조일형^{***}

^{*}고려대학교 환경기술·정책연구소

^{**}고려대학교 사회환경시스템공학과

^{***}서울대학교 환경보건학과

Livestock Wastewater Treatment by a Constructed Wetland

Jae-hong Park^{†*} · Eui-so Choi^{**} · Il-hyoung Cho^{***}

^{*}Research Institute for Environmental Technology & Sustainable Development, Korea University

^{**}Dept. of Civil & Environmental Engineering, Korea university

^{***}Department of Environmental Health Science, Graduate School of Public Health, Seoul National University

Abstract : Constructed wetlands are considered as an important tool for wastewater treatment, wastewater management and flooding control. In addition, one of the most promising technologies for application in many countries seems to be constructed wetlands, due to their properties such as utilization of natural processes, simple construction, operation and maintenance, process stability, cost effectiveness, etc.

This study considered possibility of treatment of livestock wastewater using a constructed wetland. The removal efficiencies of COD_{Cr}, TOC, TN, TP, SS, and color were 97.6%, 96.6%, 97.0%, 96.7%, 99.0%, and 85.6%, respectively. In particular, SS was completely removed. However, Cl⁻ concentration of the constructed wetland effluent was higher than that in influent. In conclusion, constructed wetlands could be applied to livestock wastewater treatment if Cl⁻ would be properly treated. Further, it needs time for stabilization to reduce the pollutants which were accumulated in soil.

keywords : Constructed Wetland, Livestock Wastewater, Nutrient Removal

1. 서 론

축산폐수는 발생량에 비해 수질오염 부하량이 매우 크고 국내축산농가의 경우 법적인 규제가 어려운 곳이 대부분이므로 오염의 주원인으로 대두되고 있다.¹⁾ 이러한 축산폐수는 하수처리장, 분뇨처리장 및 축산폐수처리장 등에서 방류수 수질이하로 처리하도록 규제하고 있으나 현재 우리나라의 경우 대부분의 처리시설 용량이 발생량에 비해 크게 부족한 실정으로 일부는 처리시설을 거치지 않고 방류되거나 액비등으로 토양에 주입되고 있는 실정이다.¹⁾ 이렇듯 불완전 내지 미처리된 축산폐수는 하천이나 호소등의 수질에 악영향을 미칠 뿐 아니라 토양에 주입된 경우에는 토양 및 지하수환경에 영향을 미칠 가능성도 배제할 수 없다.

인공적으로 조성된 습지를 이용한 수처리 system은 지난 20년에 걸쳐 지속적으로 개발 및 발전되어 현재는 전세계의 많은 곳에서 도시하수, 합류식 하수 율류수, 낙농폐수, 매립지 침출수, 병원폐수등의 산업폐수, stormwater, runoff 등 비점오염원으로부터 발생한 오염물질의 처리, 농업폐수 등 다양한 분야에서 적용되고 있어 폐수의 관리(wastewater management) 및 수질오염제어(water pollution control)에 있

어서 중요한 역할을 수행하고 있다.^{2,3)}

또한 인공습지의 적용분야도 도시하수에서부터 염료, 중금속, 방사성오염물질, 광산폐수, 폭발성폐기물 등에 이르기까지 이용범위가 광범위하며 거의 전분야에 걸쳐 다양화되고 있다.

무엇보다도 인공습지를 이용한 수처리의 장점중 하나는 재래식 수처리 system에 비해 에너지소비가 매우 낮고 비용이 적게 소요된다는 점이며 환경친화적 수처리방법의 하나로 그 이용이 앞으로 보다 확대될 것으로 기대된다.^{4,5)} 반면 다량의 폐수를 처리하기 위해서는 넓은 부지가 필요하며, 악취, 해충발생, 폐수처리에 장시간소요, 처리효율의 조정이 용이하지 않고, 기후(계절)적인 영향을 받기 쉬운 점은 단점으로 지적된다.

이러한 특징으로 말미암아 전세계적으로 인공습지를 이용한 다양한 연구와 실제 폐수처리에 대한 적용이 이루어지고 있지만 국내의 경우는 인공습지에 대한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 축산폐수 발생량의 상당부분이 환경기초시설을 거치지 않고 미처리 상태로 토양 등에 투기되거나 액비등의 형태로 농경지에 주입되고 있는 국내실정을 고려하여 축산폐수의 습지(또는 토양)처리시 처리능(효율), 오염물질의 토양축적등 토양에 미치는 영향등을 파악하여 습지를 이용한 축산폐수의 처리가능성과 운전시의 고려사항, 문

[†] To whom correspondence should be addressed.
jhong@korea.ac.kr

제점 등을 살펴보고자 하였다.

2. 실험 및 방법

2.1. 폐수성상

본 연구에 사용된 축산폐수는 Y시 축산폐수 공동처리장의 생물학적처리수로서 인공습지에 주입된 축산폐수의 성상을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Quality of water used in this study

Items (mg/L)	Expt.no.			
	1(summer) (8/17/2001- 9/7/2001)	2(fall) (9/27/2001- 11/23/2001)	3(winter) (12/3/2001- 2/2/2002)	4(spring) (2/15/2002- 4.10/2002)
CODcr	13,086 ± 20	9,967 ± 28	8,320 ± 15	9,560 ± 32
TOC	2,516 ± 34	1,987 ± 28	1,942 ± 25	2325 ± 34
SS	6600 ± 320	6250 ± 258	6120 ± 270	6315 ± 340
IN	915 ± 15	876 ± 24	854 ± 20	885 ± 16
TP	224 ± 20	220 ± 11	218 ± 16	227 ± 12
CI	35 ± 9	38 ± 4	34 ± 8	36 ± 7

2.2. 인공습지의 설계 및 운전

실험을 위해 제작된 인공습지(Fig. 1)는 높이 0.7m, 길이 2m, 폭 1m의 아크릴로 제작된 반응조로써 약 2톤의 발토양(경기도 양평의 농경지에서 채취, 유기물(5.1%), 무기물(75.4%), 수분(19.5%))이 0.5m 높이로 충전되었다. 충전된 발토양의 토성은 삼각도표법을 이용할 경우 점토 15%, 미사 20%, 모래 65%의 사양토의 특성을 지니고 있다. 발토양이 이곳습지의 트얀매질로 사용된 이유는 국내에서 축산폐수를 농경지에 액비의 형태로 주입하고 있기 때문에 축산폐수의 주입이 농경지 토양에 미치는 영향과 유출수의 특성을 조사함으로써 축산폐수의 농경지 주입이 작물의 성장촉진 뿐만아니라 농경지가 일종의 인공습지로서 축산폐수의 처리를 위한 하나의 처리 system으로 적용가능한지의

여부를 파악하고자 한 것이다.

반응조의 양측면에 위치한 유입부와 유출부는 저류조의 역할을 병행하기 위해 길이방향으로 20cm를 직경 1-1.5cm의 자갈로 채웠다. 반응조의 바닥은 폐수의 흐름을 용이하게 하기 위해서 약 2%의 경사를 두었다.

또한 인공습지에 수변구역등에 일반적으로 서식하는 성장이 상당부분 완료된갈대(*Phragmites australis*) 24수를 6월 중순경에 뿌리채로 채취하여 인공습지의 토양 10cm 하부에 식재하여 축산폐수를 인공습지에 주입하는 동안 갈대의 외관상 성장을 파악하였다.

축산폐수의 주입으로 토양에 축적된 유기물이 무기화되어 토양으로부터 제거되는지 여부를 파악하기 위하여 실험이 완전 종료된 후(2002년 4월 11일)반응조의 상부를 비닐로 완전 밀봉하여 하루 3회(오전 9시, 오후 3시, 저녁 9시), 35일동안 대기와 인공습지내의 gas(CO₂, CH₄)를 비교 분석하였다. 인공습지는 실외에 설치되었으며 운전기간동안 강우 및 눈에 의한 영향을 배제하기 위해서 햇빛이 투과되는 비닐재질의 차단시설을 인공습지 상부에 설치하였다.

인공습지는 batch type으로 운전되었으며 토양의 단위 중량당 폐수 주입량은 3~4×10⁻²m³/ton, 폐수의 체류시간은 평균 16일, 운전기간은 계절별로 약2개월씩 운전하였다. 유입부에 주입된 축산폐수는 인공습지를 수평방향으로 유하한 후 방류되었다.

2.3. 분석방법

채취된 시료는 Standard Methods와 수질오염공정시험법에 제시된 분석법에 따라 분석하였다.^{6,7)} 시료내의 유기물질 함량을 나타내는 COD는 크롬법을 이용하여 측정하였다. 총질소는 시료를 분해병에 넣고 알카리성 과황산칼륨 용액을 가하여 고압 증기 멸균기안에서 분해한 후 발색후자외선 흡광도를 측정하여 분석하였으며, 총인은 Stannous Chloride 법에 의해 분석하였다. TOC는 TOC analyzer (5000A, Shimadzu)를 사용하여 분석하였으며 CI는 IC(ion

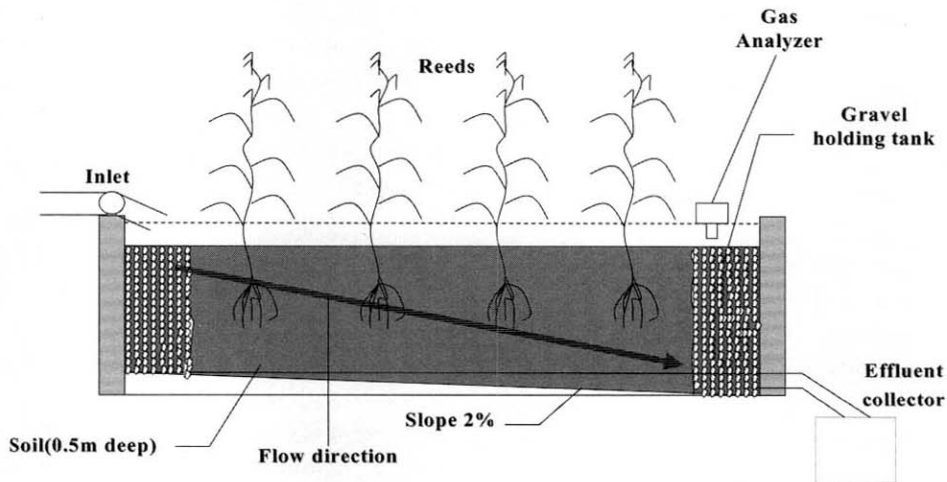


Fig. 1. Schematic of the constructed wetland.

chromatography, Dionex, DX-500)를 사용하여 측정하였다. 색도는 시료를 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 UV-vis spectrophotometer(UV1601 PC, Shimadzu)를 이용하여 355nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다. 인공습지 토양으로부터의 유기물이 무기화되어 발생하는 CO₂, CH₄ 농도는 Gas Analyzer(Geotechnical Instrument, GA94)를 이용하여 분석하였다.

축산폐수내의 오염물질이 습지토양에 주입되어 축적된 후 시간에 따라 감소되는 정도를 파악하기 위해서 모든 실험이 종료된 후 6개월동안 인공습지를 방치시키면서 2개월 간격으로 습지내의 토양을 채취하여 오염물질(CODcr, TP, TN, Cl)을 분석하였다. 토양시료의 채취는 인공습지의 토양내에서의 오염물질의 감소정도를 보다 정확하게 파악하기 위해서 인공습지 상부(토양표면에서 15cm하부)와 하부(토양표면에서 30cm하부)에서 각각 길이방향으로 40cm간격, 폭방향으로 35cm간격으로 8개소씩 모두 16개소에서 토양시료를 채취하였다. 토양시료에 대한 오염물질 측정은 적당량의 토양시료를 환경오염공정시험법의 용출시험법에 따라 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. CODcr, TOC removals

2001년 8월부터 2002년 4월 동안 인공습지에서 처리된 축산폐수의 CODcr 과 TOC의 제거율을 Table 2에 나타내었다.

Table 2에 나타난 바와 같이 실험기간동안 CODcr과 TOC의 제거율은 매우 높은 것으로 나타났는데 CODcr은

96.9-98.4%, TOC는 95.2-95.2%의 제거율을 각각 나타내었다. 실험의 수행횟수가 증가하면서 CODcr 과 TOC의 제거율은 모두 약간씩 감소하는 경향을 나타내고 있는데 이는 계절적인 영향에 의한 것이 아니라 토양에 축산폐수의 주입이 지속됨에 따라 토양내에서 유기물(CODcr, TOC)의 완전한 제거가 이루어질 수 있는 충분한 시간적인 여유가 없이 축산폐수가 토양에 계속해서 주입되는 관계로 미 제거된 유기물이 토양에 축적되고 점차 토양의 유기물 완충능 내지는 제거능이 감소됨에 따라 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

유기물제거의 계절적 영향을 살펴볼 때 계절변화에 따른 유기물의 제거효율에는 큰 차이는 없는 것으로 판단되었다. 즉 유기물의 제거가 온도에 따른 토양미생물의 활성등에 영향을 받기 보다는 토양매체의 여과 및 흡착에 따른 영향에 좌우되는 것으로 판단되었다. 이는 인공습지에 주입된 축산폐수가 축산폐수처리장에서 이미 생물학적인 처리가 완료된 상태의 처리수이기 때문에 생물학적으로 분해 가능한 유기물은 어느정도 제거되었다고 볼 수 있기 때문이다.

3.2. Suspended solids(SS), TP removals

Table 3에 나타난 결과에서 볼 수 있듯이 SS의 제거율은 약 99%로 나타나 주입된 고형물은 인공습지내 토양을 거치면서 거의 완전하게 제거되는 것으로 나타났다. 특히 폐수의 흐름방향이 수평흐름 형태로 유하되기 때문에 수직방향의 흐름에 비해 토양매질을 여과하는 시간이 매우 길며, 여과 거리도 훨씬 길기 때문에 고형물을 여과 시키는데 유리한 것도 SS의 제거효율을 높이는데 효과적이다.

한편 Table 3에서 보는바와 같이 실험횟수가 증가되더라

Table 2. CODcr and TOC removal efficiencies

Expt.no. (Period)	CODcr(mg/L)			TOC(mg/L)		
	Infl.	Effl.(avg.)	Removal(%)	Infl.	Effl.(avg.)	Removal(%)
1(summer) (8/17/2001-9/7/2001)	13,086	183-226 (211)	98.4	2,516	25-54 (46)	98.2
2(fall) (9/27/2001-11/23/2001)	9,967	194-265 (214)	97.9	1,987	42-80 (61)	96.9
3(winter) (12/3/2001-2/2/2002)	8,320	208-265 (245)	97	1,942	57-93 (75)	96.1
4(spring) (2/15/2002-4/10/2002)	9,560	235-345 (290)	96.9	2,325	84-140 (112)	95.2

Table 3. SS and TP removal efficiencies

Expt.no. (Period)	SS(mg/L)			TP(mg/L)		
	Infl.	Effl.(avg.)	Removal(%)	Infl.	Effl.(avg.)	Removal(%)
1(summer) (8/17/2001-9/7/2001)	6,600	23-75 (57.8)	99.1	224	2.2-9.4 (6.3)	97.2
2(fall) (9/27/2001-11/23/2001)	6,250	25-92 (62)	99.0	220	3.2-10.0 (6.6)	97
3(winter) (12/3/2001-2/2/2002)	6,120	20-72 (43.2)	99.3	218	3.5-10.9 (7.2)	96.7
4(spring) (2/15/2002-4/10/2002)	6,315	37.5-98.5 (69.5)	98.9	227	4.5-14.1 (9.3)	95.9

도 고형물의 제거효율은 유기물(CODcr, TOC)의 경우에서 처럼 지속적으로 감소되지 않고 폐수의 주입횟수와는 무관하게 유사한 제거효율을 나타내고 있어 인공습지에 축산폐수의 주입이 어느 정도 지속되더라도 고형물의 제거효율에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 관측되었다.

TP의 제거율은 95.9-97.2%로 평균 96.7%의 제거율을 나타내었다. TP의 제거도 유기물(CODcr, TOC)의 제거경향과 유사하게 축산폐수의 주입횟수가 늘어날수록 제거효율은 감소되는 경향을 나타내었는데 이러한 경향은 인의 제거도 유기물의 경우와 마찬가지로 주로 토양입자의 흡착 기작에 기인하며 축산폐수의 주입횟수가 증가하면서 토양입자의 인흡착능이 포화상태에 도달하여 점차 제거율의 감소로 나타나고 있다.

3.3. TN, Cl⁻ removals

TN과 Cl⁻의 제거율을 Table 4에 나타내었는데 TN의 제거율은 95.6-98.0%로 평균 97.0%의 효율을 나타내었다.

인공습지를 거친 축산폐수 유출수내의 질소형태는 NO₂⁻가 불검출-0.5mg/L, NO₃⁻가 0.5-0.9mg/L, NH₃가 평균 10.2mg/L로 유출수 TN농도의 약 65%정도가 NH₃로 구성되어 있어 인공습지 내에서 충분한 질산화가 이루어지지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 총질소의 제거율과 축산폐수처리장의 TN 방류수기준을 고려할 때 처리효율은 비교적 양호한편이지만 유출되는 질소의 대부분이 NH₃ 형태를 띠고 있어 환경계로 유출될 경우 수계의 용존산소 고갈의 원인이 될 가능성을 배제할 수 없기 때문에 2차적인 오염의 사전예방을 위해서는 NH₃에 대한 후속처리가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

Cl⁻의 경우는 Table 4에서 볼 수 있듯이 유입수의 농도보다 유출수에서 오히려 농도가 더 높아지고 있는데 평균 3배이상 증가하였다. 이는 동일한 토양을 대상으로 증류수를 주입하여 바탕실험한 결과에서 Cl⁻(가) 상당한 농도로 검출되었는데 이결과로부터 인공습지의 토양내에 존재하는 Cl⁻의 유출이 Cl⁻ 농도의 증가를 초래한 것으로 판단된다. 이렇듯 증가된 유출수내의 Cl⁻에 대한 적절한 제어가 이루어지지 않은채로 자연수로 유입되는 경우에는 수중의 Cl⁻ 농도 증가에 따른 수환경에 부정적인 영향을 초래할 가능성이 있기 때문에 이에 대한 적절한 후속처리가 필요할 것으로 판단된다.

3.4. Color removal

축산폐수의 color 제거정도를 파악하기 위해 인공습지에 주입되는 유입수에 대하여 spectrophotometer를 이용하여 200 - 1,100nm에서의 흡광도를 측정하였다. 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었는데 355nm에서 흡광도가 최대치를 나타내었다.

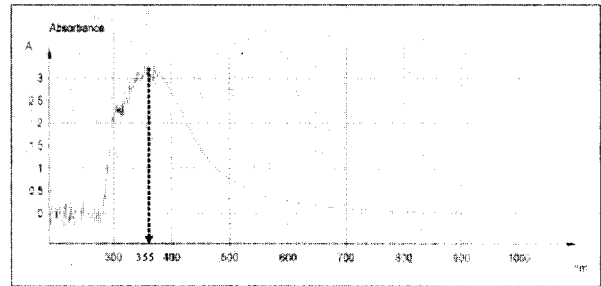


Fig. 2. Variation in adsorption spectra of influent.

355nm에서 측정된 유입수와 유출수의 흡광도를 바탕으로 color의 제거율 평균값을 Fig. 3에 나타내었다.

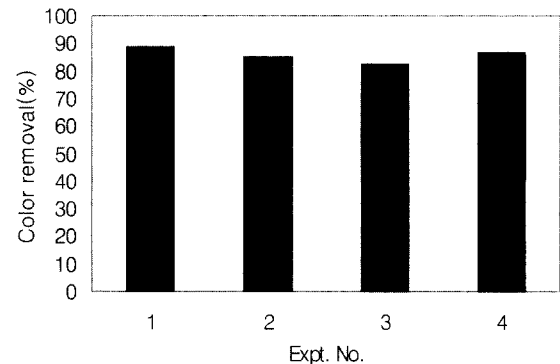


Fig. 3. Color removal efficiency.

Color의 제거율은 82.4-88.4%로 평균 85.6%의 효율을 나타내었다. 실험횟수가 증가함에 따라 제거율이 약간 감소하는 경향을 나타내었으나 큰 차이는 없는 것으로 관측되었다.

3.5. 습지토양에 축적된 오염물질의 감소 및 식물의 외형적 성장

Table 4. TN and Cl⁻ removal efficiencies

Expt.no. (Period)	TN(mg/L)			Cl ⁻ (mg/L)		
	Infl.	Effl.(avg.)	Removal(%)	Infl.	Effl.(avg.)	Removal(%)
1(summer) (8/17/2001-9/7/2001)	915	10.9-20.3 (15.6)	98.3	35	58.8-141.5	(-)286
2(fall) (9/27/2001-11/23/2001)	876	8.7-29.9 (19.3)	97.8	38	65.9-164.2	(-)303
3(winter) (12/3/2001-2/2/2002)	850	12.5-62.3 (37.4)	95.6	34	60.4-156.9	(-)319
4(spring) (2/15/2002-4/10/2002)	892	15.2-49.0 (32.1)	96.4	36	72.1-171.3	(-)338

모든 실험이 종료된 후 습지내의 토양을 채취하여 오염 물질을 분석한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

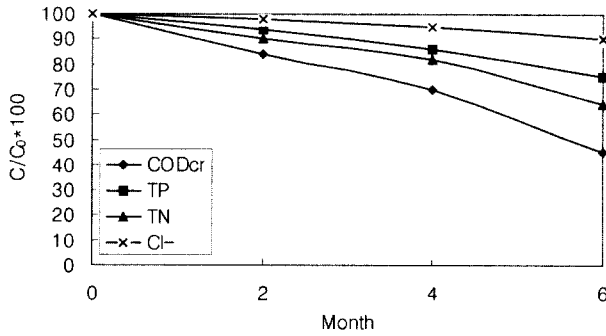


Fig. 4. Reduction of accumulated contaminant in constructed wetland soil.

Fig. 4에서 살펴보면 CODcr은 인공습지에 축산폐수주입을 중단한 후 방치시간이 길어지면서 급격히 감소되고 있다. 이는 주입된 축산폐수의 유출이 종료되고 인공습지를 방치시키면서 35일동안 토양상층부에 설치된 gas 포집장치에서 포집한 gas를 대기중의 gas 조성비와 비교 측정한 Fig. 5의 결과에서 알 수 있듯이 인공습지 상부의 토양에서는 유기물이 호기성상태에서 산화되어 CO₂의 형태로, 인공습지 하부의 토양에서는 유기물이 혐기성상태에서 CO₂ 또는 CH₄의 형태로 무기화되어 지속적으로 토양의부로 방출되는 결과에 기인하는 것으로 관측되었다.

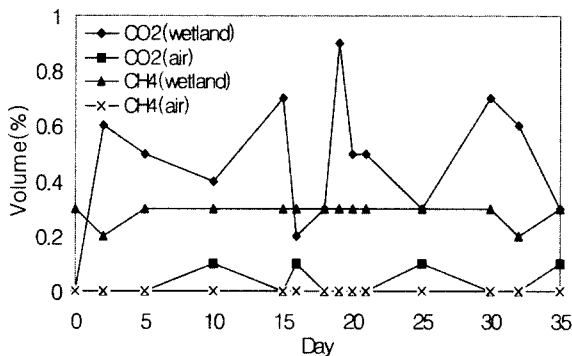


Fig. 5. Gas productivity from the constructed wetland soil.

토양에 주입된 Cl(는)은 유기물의 경우처럼 토양미생물의 기질로 이용되거나 분해가 용이하지 않고, TN, TP의 경우처럼 미생물 또는 식물에 영양소로 이용되지 않기 때문에 인공습지의 방치 후 6개월이 경과한 후에도 감소정도가 미미한 것으로 측정되어 단기동안 자연적인 경로를 통한 충분한 감소를 기대하기는 어려운 것으로 관측되었다.

TP와 TN의 경우 인공습지에서 주입된 축산폐수의 유출이 종료된 후 휴지기간이 길어짐에 따라 토양에서 지속적으로 감소되고 있으나 유기물에 비하여 감소율은 크지않은 것으로 관측되었다.

대부분의 토양내 질소는 토양 유기물질에 함유된 형태로 존재하며 암모니아 이온인 경우에는 토사 입자에 흡착된

형태로 존재한다.⁸⁾ 그러나 이러한 고정된 질소도 이동성이 큰 이온상태의 질산성 질소로 전환될 수 있으며, 암모니아 질소도 토양 간극수에서 이동상태로 존재할 수 있다. 이동성 질소는 식물에 이용 가능할 뿐만 아니라 토양수와 함께 이동하여 인공습지로부터 유출된다.⁸⁾

질소와는 달리 인은 토양에서 이동성 성분, 즉 이온성 인의 용출은 쉽지 않는데, 그 이유는 토사와 유기물질과 복잡한 결합요인에 의해 단단히 고정되어 있기 때문이다.

따라서 인공습지에 축적되어 있는 TP와 TN은 충분한 휴지기를 통해 토양환경의 변화등에 의해 식물에 직접 이용 가능한 형태로 변형되어 생육에 필수적인 영양소성분으로 작용함으로써 식물체내에 흡수되어 토양으로부터 제거되거나 토양수를 통해 습지토양으로부터 유출됨으로써 토양으로부터의 축적을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 축산폐수 주입에 따른 식물의 외형적 성장을 관찰하기 위하여 갈대를 이식하여 살펴본 결과 완전히 성숙된 갈대를 이식한 관계로 어린싹에서부터의 성장상태를 관찰할 수는 없었으나 이식된 갈대 총24수중 17수는 외형적인 성장상태가 양호하였으며, 4수는 잎의 고사가 부분적으로 진행되었으며, 3수는 고사하였다. 그러나 고사한 갈대의 본뿌리로부터 새싹이 돌아나는 등 실험기간동안 성장에는 큰 장애가 없는 것으로 관측되었다.

3.6. 축산폐수의 습지처리시의 고려사항

인공습지의 처리실험을 바탕으로 실제 축산폐수를 습지를 이용하여 처리하고자 할 때 고려되어야 할 사항을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 축산폐수를 토양에 주입하여 처리가 완료된 후에는 토양에 축적된 오염물질이 일정수준까지 감소되기 위한 충분한 휴지기가 필요시된다. 휴지기의 기간은 토양의 성상, 폐수 주입부하량, 기후등 다양한 조건에 따라 상이할 것으로 판단된다.

둘째, 강우시 특히 여름의 장마기간에는 주입된 폐수가 강우에 의해 쓸려 내려와 하류 수계의 수질을 더욱 악화시킬 가능성이 있기 때문에 주입시기에 대한 적절한 고려가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

셋째, 실제로 축산폐수를 습지를 이용하여 처리할 경우 처리수의 수질이 인공습지의 처리수 결과와 유사하다고 가정할 때 축산폐수처리장 방류수 기준과 비교할 때 기준을 초과하고, 또한 토양을 거친 처리수가 지하수나 하류의 수계로 직접 유입될 경우 수질오염을 야기할 수 있기 때문에 습지를 거친 처리수를 포집하여 추가적인 처리를 하여야 할 것으로 판단된다.

넷째, 겨울철의 경우 기온이 영하로 하강할 경우는 습지의 토양이 얼어 축산폐수의 주입과 처리가 원활하지 않고 처리에도 장시간이 소요되기 때문에 기온이 하강할 경우는 폐수주입을 중단하는 등 이에 대한 적절한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

축산폐수 처리장의 생물학적 처리수를 인공으로 조성된 습지에 적용하여 처리수질 측면과 축산폐수의 주입 후 습지의 토양에 미치는 영향의 측면에서 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

처리수의 수질은 상당히 양호한 편이었으며 특히 SS의 경우 평균 99%이상의 높은 제거효율을 나타내었다. 반면 축산폐수처리장의 방류수 기준을 고려할 때 처리수에 대한 추가적인 후속처리가 필요한 것으로 판단된다.

계절적으로는 여름철의 경우가 처리수의 수질이 가장 양호하였으며 주입된 축산폐수의 유출이 종료된 시점을 기준으로 살펴본 처리기간도 여름철의 경우가 타 계절에 비해 짧게(약 35%)소요되었으며 봄, 가을철은 처리기간이 비슷하였으며 겨울철의 경우는 기온하강으로 인한 토양의 결빙으로 인해 처리기간에 가장 길게 소요되었다.

인공습지의 면적당 오염물질의 제거율은 계절에 따라 CODcr의 경우 64.6-103g/m²/d, TOC는 14.9-19.8g/m²/d, SS는 48.6-52.3g/m²/d, TP는 1.6-1.7g/m²/d, TN은 6.5-7.2g/m²/d를 나타내어 유기물과 SS의 제거율이 영양소의 제거율보다 높게 나타났다.

축산폐수의 인공습지 주입시 습지의 토양에 축적된 오염물질의 경우 오염물질에 따라 감소되는 정도는 다르지만 축산폐수 주입 후 습지를 일정기간 방치해 둬으로써 축적된 오염물이 지속적으로 감소되고 있어 인공습지에 축산폐수를 주입하여 처리할 경우 일정시간의 휴지기는 반드시 필요할 것으로 판단된다. 습지토양에 축적된 오염물질중 유기물의 경우는 비교적 원활히 토양으로부터 제거되는 것으로 관측되었으며, TN, TP 등 식물의 성장에 필수적인 영양소 성분들은 인공습지에 식물군집을 형성시키거나 정화식물의 이식을 통해 습지토양으로부터의 제거를 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

CI의 경우 인공습지 토양으로부터의 자연적감소가 비교적 어려운 것으로 판단되고, 감소되더라도 만족할 만한 수

준까지 감소되는 데는 상당기간이 소요될 것으로 예상되기 때문에 주기적으로 soil washing을 하는 등 인위적인 강제 이탈 수단들을 통해 습지토양으로부터 CI이(가) 축적되는 것을 예방해야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국과학기술연구원(KIST)의 “금수장산21”의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 포함합니다.

참고문헌

1. 한국환경기술단체연합회, 국내축산폐수의 효율적 관리를 위한 연구 (2002).
2. Cooper, P., A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems, *Wat. Sci. Tech.*, **40**, pp. 1-9 (1999).
3. Haberl, R., Constructed wetlands: A chance to solve wastewater problems in developing countries, *Wat. Sci. Tech.*, **40**, pp. 11-17 (1999).
4. Brix, H., How 'green' are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems?, *Wat. Sci. Tech.*, **40**, pp. 45-50 (1999).
5. Hamilton, H., Nix, P. G. and Sobolewski, A. An overview of constructed wetlands as alternatives to conventional waste treatment system, *Water Pollut Res. J. Canada*, **28**, pp. 529-548.
6. APHA, AWWA and WEF., *Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater*, 20th edition, Washington D.C., USA (1998).
7. 환경부, 수질오염 공정시험법 (1999).
8. 농어촌 연구원, 농업기반공사, 저수지와 담수호의 수질 개선방안 (2002).
9. Means, J. L. and Hincsee, R. E., *Wetland & Remediation: An International Conference*, Eds., Battelle Press, Columbus, Ohio, USA (1999).