

인공습지 축산폐수처리시스템에서 질소 및 인 처리효율 향상 방안

서동철[†] · 박종환^{1†} · 김아름¹ · 김성헌¹ · 이성태² · 정태욱³ · 최정호⁴
이상원⁵ · 김현욱⁶ · 조주식^{**} · 허종수^{1*}

순천대학교 생물환경학과, ¹경상대학교 응용생명과학부, ²경상남도 농업기술원, ³부산광역시 보건환경연구원,
⁴한국관리공단 연구개발본부, ⁵경남과학기술대학교 제약공학과, ⁶서울시립대학교 환경공학부

A Study on the Improvement of Treatment Efficiency for Nitrogen and Phosphorus in Livestock Treatment System Using Constructed Wetlands

Dong-Cheol Seo[†], Jong-Hwan Park^{1†}, Ah-Reum Kim¹, Sung-Hun Kim¹, Seong-Tea Lee², Tae-Uk Jeong³,
Jeong-Ho Choi⁴, Sang-Won Lee⁵, Hyunook Kim⁶, Ju-Sik Cho^{**}, and Jong-Soo Heo^{1*}

Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea, ¹Division of Applied Life Science, GyeongSang National University, Jinju, 660-701, Korea, ²Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea, ³Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment Research, Busan, 611-813, ⁴Division of Research and Development, Korea Environment Corporation, Incheon, 404-708, Korea, ⁵Department of Pharmaceutical Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 660-758, Korea, ⁶Division of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea

To improve T-N and T-P removal efficiencies, removal efficiencies of pollutants in full-scale livestock wastewater treatment plant by natural purification method with water plant filtration and activated sludge beds were investigated under different re-injection rates and injection methods of livestock wastewater. The removal rates of COD, SS, T-N, and T-P in effluent in full-scale livestock wastewater treatment plant were in the order of 30% < 70% ≤ 100 % at different re-injection rates. The removal rates of pollutants in effluent in full-scale livestock wastewater treatment plant were higher as re-injection rate of livestock wastewater increased. Removal rates of COD, SS, T-N, and T-P by continuous injection were slightly higher than those by intermittent injection method in full-scale livestock wastewater treatment plant. Removal rates of COD, SS, T-N, and T-P by continuous injection method in full-scale livestock wastewater treatment plant with water plant filtration and activated sludge beds were 99.5, 99.8, 99.0 and 99.8%, respectively.

Key words: Constructed wetland, Natural purification method, Livestock wastewater, Water plant filtration, Activated sludge, T-N, T-P

서 언

최근 들어 국민들의 소득수준 향상으로 축산물 소비량이 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 이러한 축산업의 고도성장으로 인한 집약화와 대규모화에 따라 국내 연간 가축분뇨 발생량은 2007년 약 4,142만톤, 2008년 약 4,174만

톤, 2010년 약 4,370만톤으로 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 하지만 가축분뇨를 환원시킬 수 있는 초지나 경지면적의 증가율은 점점 감소하는 추세이기 때문에 가축분뇨가 환경오염을 가중시키는 한 요인으로 이들의 관리가 시급한 실정이다 (Park, 2011).

일반적인 축산폐수처리시설 적용되고 있는 처리방법은 주로 생물학적 처리방법인 활성슬러지 공법이다. 이 공법은 운전시 폭기조 내의 거품 및 sludge bulking 문제가 자주 발생하고 슬러지의 침전성이 불량하고, 유지관리비가 높아 대규모의 처리장에서나 운전이 가능하며, 중규모 또는 그 이하 규모에서는 처리장치의 운전이 기술적·경제적 난점이 많은 것으로 알려져 있다 (Kim, 1996; Kim et al., 2011).

접수 : 2011. 5. 30 수리 : 2011. 6. 20

*연락처 : Phone: +82557515470

E-mail: jsheo@gsnu.ac.kr

**공동연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

[†]공동 제1저자

또한, 물리·화학적 처리방법은 저류조와 스크린 및 침사지를 거쳐 적정 pH 및 접촉시간하에서 응집조를 거친 다음 형성된 floc을 분리하는 방법으로서 약품처리에 의한 비경제성과 응집으로 생성된 다량의 슬러지 처리문제 및 약품투입 등으로 인한 2차 오염 등의 문제점이 있으며, 액상부식법의 경우 호기성 소화법의 단점을 보완한 생물학적 처리와 화학적 처리방법을 병행한 처리방법으로써 단시간에 처리가 가능하며, 처리공정이 단순하여 운전관리가 용이하고, 24시간 연속운전이 가능하다는 장점이 있지만 화학적 처리로 인한 2차오염, 과도한 슬러지 발생량으로 인한 슬러지 처리비용 증가, 부식으로 인한 기기 수명의 단축 및 pH 조정조 설치 등의 문제점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다 (Park, 1997). 또한, 이들 축산폐수의 정화처리시설은 생활하수 또는 공장폐수 처리시설과는 달리 농가 자체적으로 유지관리를 하는 경우가 많고 처리에 드는 모든 비용이 축산경영에 직접 영향을 끼치기 때문에 유지관리가 쉽고, 건설비 및 유지관리비가 저렴하고, 질소 및 인의 처리효율이 높은 축산폐수 처리장이 필요할 것으로 판단된다. 이에 본 연구진은 선행연구 (Park et al., 2011)를 통해 인공습지 축산폐수처리시스템의 최적조합방법을 구명하였다. 하지만 인공습지 축산폐수처리 최적조합방법

만으로는 안정적으로 질소 및 인을 처리 하기에 역부족이며, 특히 축산폐수처리시설의 폐수배출허용기준 만족하기 위해서는 질소 및 인 처리효율 향상 방안이 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 인공습지 축산폐수처리시스템에서 고농도로 유입되는 질소 및 인의 처리효율을 향상시키기 위해 선행연구 (Park et al., 2011)에서 최적공법으로 선정된 수생식물여과조-활성슬러지조-인공습지 공법하에서 축산폐수 재주입비율별 및 축산폐수 주입방법별 수처리 효율을 각각 조사하였다.

재료 및 방법

시험재료 본 실험에 사용된 시험 축산폐수는 경남 진주시 이반성면 장안리에 위치한 실제 축산농가에서 채취하여 시험 원수로 사용하였으며, 시험 여재는 여재채취장에서 채취한 여재를 사용하였다.

시험 축산폐수의 화학적 특성은 Table 1과 같고, 현장 인공습지 축산폐수처리장에 사용한 여재의 이화학적 특성은 Table 2 및 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 현장 인공습지 축산폐수처리장에 사용된 여재는 호기성조의 경우 왕사,

Table 1. Characteristics of the livestock wastewater used.

pH	EC	COD	SS	T-N	T-P
	dS m ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----			
6.8 ± 0.7	2.64 ± 0.28	10,639 ± 2,451	9,400 ± 2,514	5,024 ± 1,127	725 ± 102

Table 2. Characteristics of the filter media used in the study.

Filter media	pH	EC	O.M	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na
	1:5H ₂ O	dS m ⁻¹	----- % -----	-----	-----	----- mg kg ⁻¹ -----			
A [†]	8.0	0.06	0.59	11.1	3.50	15,688	69,373	2,484	308.8
B	7.5	0.05	0.69	16.2	51.4	1,643	1,451	1,009	324.1

[†]A, Mixed filter media A (Coarse sand : Broken stone : Calcite = 3 : 2 : 1);

B, Mixed filter media B (Coarse sand : Broken stone : Zeolite = 3 : 2 : 1).

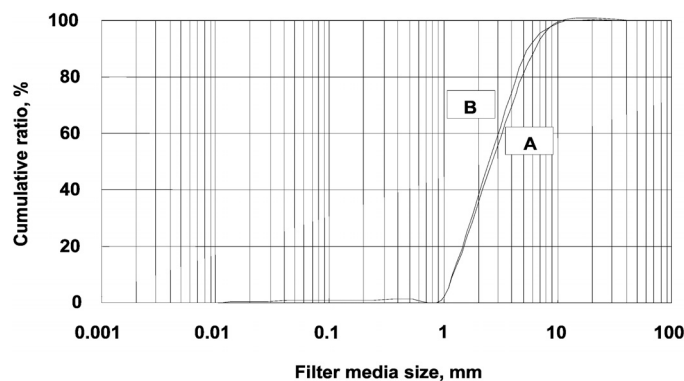


Fig. 1. Particle distribution of the filter media used.

A, Mixed filter media A (Coarse sand : Broken stone : Calcite = 3 : 2 : 1);

B, Mixed filter media B (Coarse sand : Broken stone : Zeolite = 3 : 2 : 1).

쇄석 및 방해석을 3:2:1로 혼합한 여재를 사용하였고, 혐기성조의 경우 왕사, 쇄석 및 제올라이트를 3:2:1로 혼합한 여재를 사용하였다. 호기성조 및 혐기성조 여재의 유효 입경 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 10%되는 부분의 여재의 입경 ; d_{10})은 각각 2.6 mm 이었으며, 균등계수 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 60%되는 입경과 10%되는 입경과의 비 ; $d_{60} d_{10}^{-1}$)는 각각 2.53 및 2.62이었다. 그리고 현장 인공습지 축산폐수처리장에 이식한 수생식물은 다년생 수생식물인 갈대 및 노랑꽃창포 등 2종이었으며, 모든 수생식물은 야외노지에서 성장한 수초를 분주하여 처리장내에 이식하였다.

현장 인공습지 축산폐수처리장 설계 및 시공

현장 인공습지 축산폐수처리장은 본 연구진의 선행연구 (Park et al., 2011)를 토대로 하여 수생식물여과조-활성슬러지조-인공습지를 하나의 시스템으로 연계하여 설계 및 시공하였다 (Fig. 2). 현장 인공습지 축산폐수처리장에서 각 조의 크기는 수생식물여과조의 경우 직경 0.9 m × 높이 1.0 m 인 플라스틱 원통을 사용하여 용량이 0.63 m³ 되게 제작하였으며, 활성슬러지조는 세로 3.0 m × 가로 3.0 m × 높이 1.0 m로 용량이 9.0 m³이 되게 제작하였다. 그리고 인공습지에서 호기성조의 경우 세로 4.0 m × 가로 4.0 m × 높이 1.0 m로 용량이 16.0 m³이 되게 제작하였고, 1차 혐기성조의 경우는 세로 4.0 m × 가로 5.0 m × 높이 1.0 m로 용량이 20.0 m³이 되게 제작하였으며, 2차 혐기성조의 경우 세로 4.0 m × 가로 5.0 m × 높이 0.5 m로 용량이 10 m³이 되게 제작하였다. 수생식물여과조는 자갈을 하부에서부터 0.30 m까지 충전한 후 인공습지에서 생육한 수생식물을 건조하여 3~5 cm 크기로 분쇄하여 하부 0.30 m에서부터 0.90 m까지 충전하여 구성하였고, 활성슬러지조는 산청군 축산폐수 공공처리시설로부터 확보한 활성슬러지를 0.90 m 까지 채운 후 공기로 폭기시켰다. 그리고 인공습지의 호기성조의 경우는 왕사, 쇄석 및 방해석 3:2:1의 비율로 혼합

하여 여재를 충전하였고, 혐기성조에는 경우는 왕사, 쇄석 및 제올라이트를 3:2:1의 비율로 혼합하여 충전하였다. 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수의 흐름은 1차 수생식물여과조에 축산폐수를 유입시켜 수직여과방식으로 처리하여 유출된 1차 처리수는 자연유하식으로 2차 활성슬러지조로 유입되게 하였고, 폭기중인 활성슬러지조에 유입된 축산폐수는 호기성 미생물에 의해 2차 처리되게 하였으며, 2차 처리수는 인공습지로 자연유하되게 하였다. 또한 인공습지에서 축산폐수의 흐름은 호기성조에서 수직여과방식으로 처리한 후 호기성조 처리수를 자연유하식으로 1차 및 2차 혐기성조를 거쳐서 처리되게 하였고, 각 혐기성조에 유입된 축산폐수는 수평의 지그재그 방향으로 흐르게 하였다.

실험방법 및 조사시기

인공습지 축산폐수처리장에서의 축산폐수 재주입비율별 및 주입방법별 수처리 효율은 2010년 8월부터 2010년 10월까지 운전 2개월 동안 조사하였으며, 각 처리단계별로 COD, SS, T-N 및 T-P 처리 효율을 각각 조사하였다. 축산폐수 재주입 비율에 따른 수처리 효율조사는 현장 축산폐수처리장에서 선행연구 (Park et al., 2011)의 최적 부하량인 600 L day⁻¹ 조건하에서 최종 배출되는 방류수를 호기성조에 방류수 총량의 30%인 180 L day⁻¹, 70%인 420 L day⁻¹ 및 100%인 600 L day⁻¹로 달리하여 재주입한 후 수처리 효율을 각각 조사하였다. 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수의 주입방법에 따른 수처리 효율 조사는 축산폐수 유입량 변화에 대한 대응성을 조사하기 위해 선행연구 (Park et al., 2011)의 최적 부하량인 600 L day⁻¹ 조건하에서 축산폐수의 주입방법을 연속주입 및 간헐주입으로 나누어 수처리 효율을 조사하였다. 축산폐수의 간헐주입은 축산폐수 총 주입량을 연속주입과 동일하게 하되 주입방법을 하루 3시간 간격으로 번갈아가며 주입하였고, 한번 주입시 축산폐수를 3시간동안 150 L day⁻¹ 되게 주입하여 수처리 효율을 조사하였다. 시료의 채취는 처음 3주간은 1주 1회 3반복, 마지막 주에는

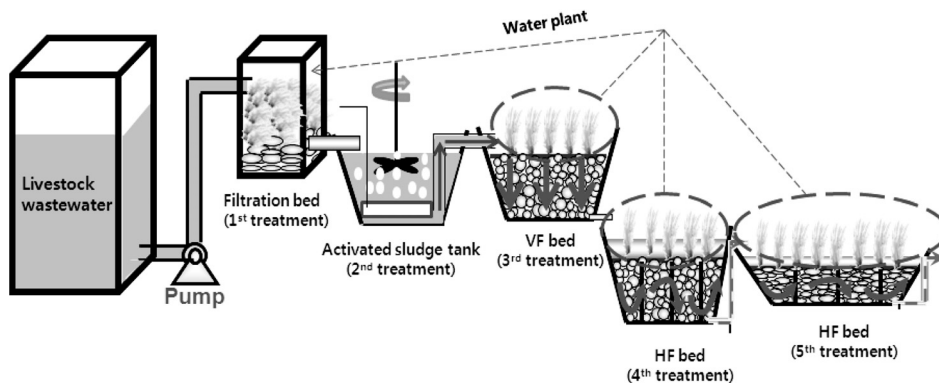


Fig. 2. Diagrams of constructed wetlands with water plant filtration and activated sludge beds for treating livestock wastewater.

격일로 4회 3반복으로 분석하여 총 21회 분석한 결과를 통계처리하여 각 조건에서의 수처리 효율을 조사하였다.

분석방법 수질분석은 수질오염공정시험법과 APHA의 standard method에 준하여 다음과 같이 하였다 (APPH, 2005; Kim et al., 2001). COD는 산성 KMnO₄법, 부유물질은 유리섬유여지법, 총 질소는 자외선 흡광광도법 및 총 인은 아스코르빈산 환원법으로 분석하였다.

결과 및 고찰

축산폐수 재주입 비율별 수처리 효율 축산폐수 재주입 비율에 따른 수처리 효율은 Fig. 3 및 Table 3에서 보는 바와 같다. 현장 인공습지 축산폐수처리장에서 축산폐수를 재주입하지 않은 경우 최종방류수 중 COD는 50.25 mg L⁻¹이었고, 최종 방류수를 3차 처리조인 호기성조에 30%, 70% 및 100% 재주입하였을 때 방류수 중 COD는 각

각 46.25, 38.43 및 34.45 mg L⁻¹로서 방류수의 재주입 비율이 증가함에 따라 방류수 중 COD는 점점 감소하였다. Heo (2007)와 Park (2011)은 하수 처리를 위한 인공습지에서 하수의 재주입방법을 통해 유기물 처리효율이 약간 향상된 것으로 보고하였고, 본 축산폐수처리장도 유사한 경향이였다. 그러나 현재 본 인공습지 축산폐수처리시스템과 유사한 연구 사례가 없어서 유기물처리 효율을 직접적으로 비교하기는 힘들것으로 판단된다.

현장 인공습지 축산폐수처리장에서 축산폐수를 재주입하지 않은 경우 최종방류수 중 SS 함량은 38.25 mg L⁻¹이었고, 방류수를 호기성조에 30%, 70% 및 100% 재주입하였을 때 방류수 중 SS 함량은 각각 32.98, 26.83 및 23.91 mg L⁻¹로서 방류수의 재주입 비율이 증가함에 따라 방류수의 농도는 점점 감소하는 경향이였으나 큰 차이는 없었다. 인공습지 축산폐수처리장에서 부유물질의 처리효율이 큰 차이가 없는 것은 인공습지에서 부유물질의 주된 처리가 여재에 의한 여과이기 때문으로 판단되며, Seo (2005)

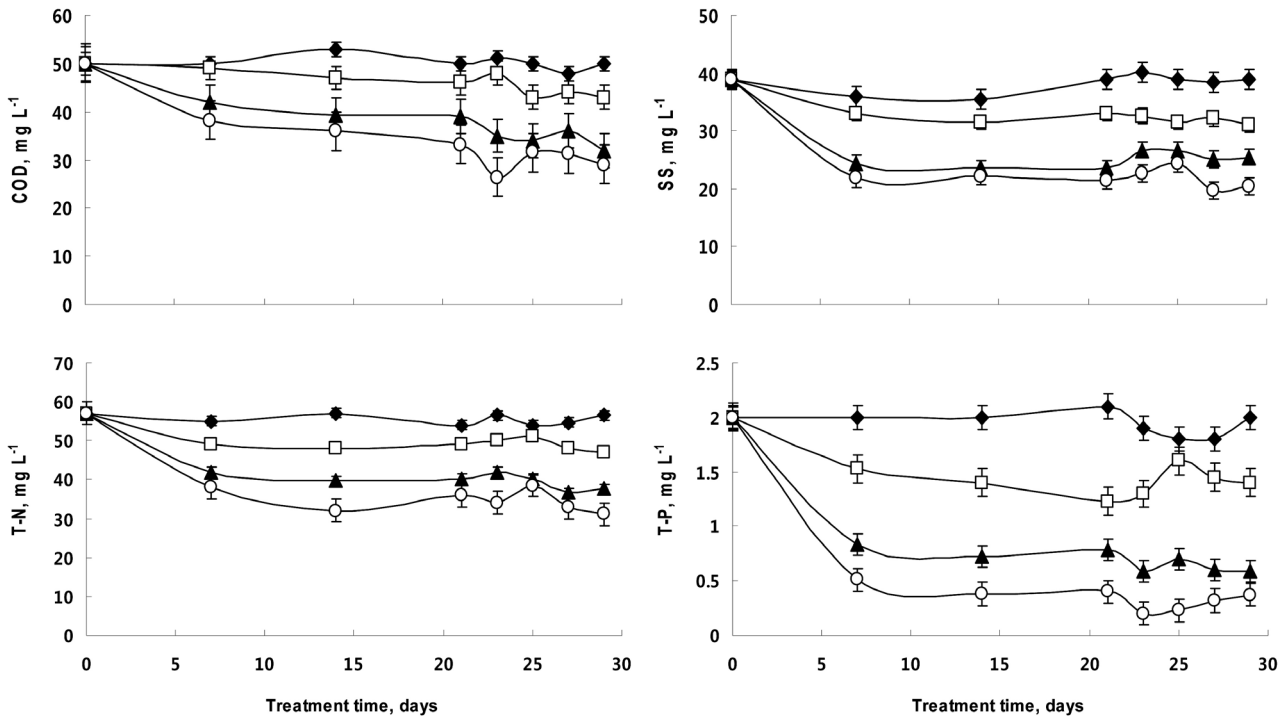


Fig. 3. Concentrations of COD, SS, T-N, and T-P in the water under different re-injection rates in constructed wetlands (◆, control; □, re-injection rate 30%; ▲, re-injection rate 70%; ○, re-injection rate 100%).

Table 3. Removal rates of COD, SS, T-N, and T-P in the water under different re-injection rates in constructed wetlands.

Treatment		COD	SS	T-N	T-P
		%			
Control		99.5 ± 0.58	99.7 ± 0.61	99.0 ± 0.09	99.7 ± 0.09
Re-injection rate	30%	99.6 ± 0.84	99.8 ± 0.55	99.1 ± 0.11	99.8 ± 0.09
	70%	99.7 ± 0.17	99.8 ± 0.58	99.2 ± 0.10	99.9 ± 0.10
	100%	99.7 ± 0.45	99.8 ± 0.64	99.4 ± 0.21	100 ± 0.02

와 Heo (2007)도 유사한 결과를 보고한 바 있다. 하지만 인공습지시스템에서 이러한 여과는 궁극적인 처리가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 SS를 일으키는 현탁물질은 입자상태로 처리조내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 현탁입자들은 대개가 무해하지만 오염성분들은 미생물에 의한 생물학적 분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수 및 기타 화학반응을 거치면서 최종적으로 처리된다 (Heo, 2007).

현장 축산폐수처리장에서 축산폐수를 재주입하지 않은 최종방류수 중 T-N 함량은 55.60 mg L^{-1} 이었고, 방류수를 호기성조에 30%, 70% 및 100% 재주입하였을 때 방류수 중 T-N의 함량은 COD 및 SS와 유사한 경향으로 각각 49.88, 41.93 및 37.45 mg L^{-1} 로서 방류수의 재주입 비율이 증가함에 따라 방류수의 농도는 약간 감소하였다. Seo (2005)와 Heo (2007)에 의하면, 인공습지 하수처리시스템에서는 최종방류수 재주입시 처리조내에 미처 처리되지 않은 유기물을 재순환하여 탈질시 필요한 유기물을 충분히 공급할 수 있어 질소처리효율이 향상되었다고 보고한 바 있으며, 본 인공습지 축산폐수처리장에서도 유사한 경향으로 판단된다.

현장 축산폐수처리장에서 축산폐수를 재주입하지 않은 경우 최종방류수 중 T-P 함량은 1.95 mg L^{-1} 이었고, 재주입 비율을 30%, 70% 및 100%로 하였을 때 방류수 중 T-P의 함량은 각각 1.49, 0.85 및 0.55 mg L^{-1} 로서 방류수의 재주입 비율이 증가함에 따라 방류수의 농도는 미미하게 감소하였다. 이들 결과는 Park (2011)의 축산폐수처리를 위한 소형 pilot 실험과 유사한 경향이었다. Seo (2005)와 Heo (2007)에 의하면, 인공습지에서 T-P의 처리작업은 인산염의 침전, 기질에의 흡착, 수생식물에 의한 흡수 및 조류와 세균에 의한 흡수 등으로 예상할 수 있으며, 이 중 인의 흡착과 침전에 의해 주로 처리되며, 식물흡수에 의한 흡수나 미생물에 의한 처리량은 전반적으로 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 따라서 현장 인공습지 축산폐수처리장에서 최종방류수를 호기성조에 재주입하는 방법은 질소 및 인 처리효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

축산폐수 주입방법에 따른 수처리 효율 조사 현장 인공습지 축산폐수처리장에서 축산폐수 주입방법에 따른 COD는 Fig. 4와 같다. 축산폐수 주입방법에 따른 COD는 1차와 2차 처리수까지는 연속주입방법이 간헐주입방법에 비해 낮았으나 이후에는 주입방법에 따라 별 차이 없이 비슷한 농도를 보였다. 축산폐수 주입방법에 따른 COD 처리효율은 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 축산폐수 주입방법에 따른 COD 처리효율은 1차 처리시 연속주입방법이 41.4%로 간헐주입방법의 25.7%에 비해 15.7%정도 높았고, 2차 처리시도 1차 처리와 유사한 경향으로 연속주입방법이 89.9%

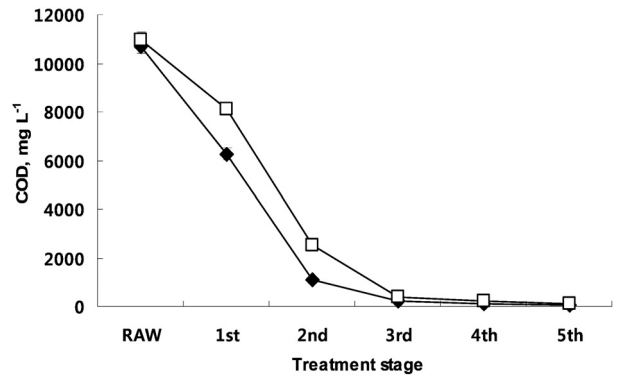


Fig. 4. Concentration of COD in the water under different injection methods in constructed wetlands (◆, continuous injection; □, intermittent injection).

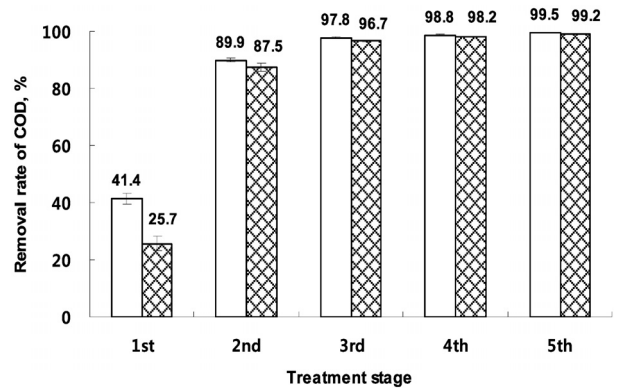


Fig. 5. Removal rate of COD in the water under different injection methods in constructed wetlands (□, continuous injection; ▨, intermittent injection).

로 간헐주입방법에 비해 약간 높았다. Kim (2008)과 Heo (2007)는 자연정화공법을 이용한 하수처리장에서 연속적 주입의 경우가 COD 처리효율이 높은 것은 오염물질 부하량과 여과내 미생물의 활성과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고한 바 있는데, 본 축산폐수처리장도 유사한 경향으로 판단된다. 하지만 2차 처리 이후의 COD 처리효율은 축산폐수 주입방법에 따라 별 차이 없이 유사한 경향이었다. 이는 본 인공습지 축산폐수처리장의 경우 여러 단계를 거치면서 오염부하를 분산시켜 처리하기 때문으로 판단되며, Seo (2005)도 인공습지 하수처리시스템에서 유사한 결과를 보고한 바 있다.

현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 주입방법에 따른 SS 함량은 Fig. 6과 같다. 축산폐수 주입방법에 따른 SS 함량은 1차와 2차 처리수까지는 연속주입방법이 간헐주입방법에 비해 낮았으나 이후에는 주입방법에 따라 별 차이 없이 비슷한 농도를 보였다. 축산폐수 주입방법에 따른 SS 처리효율은 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 축산폐수 주입방법에 따른 SS 처리효율은 1차 처리시 연속주입방법이 65.4%로 간헐주입방법의 49.6%에 비해 5.8%정도 높았고, 2차 처리

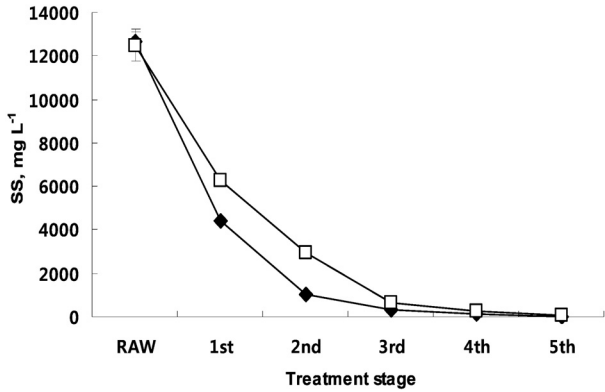


Fig. 6. Concentration of SS in the water under different injection methods in constructed wetlands (◆, continuous injection; □, intermittent injection).

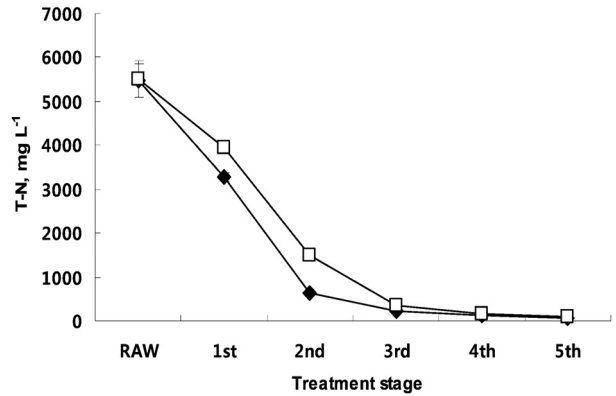


Fig. 8. Concentration of T-N in the water under different injection methods in constructed wetlands (◆, continuous injection; □, intermittent injection).

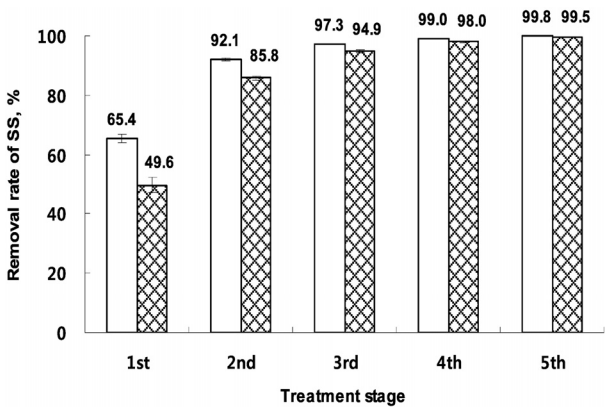


Fig. 7. Removal rate of SS in the water under different injection methods in constructed wetlands (□, continuous injection; ▨, intermittent injection).

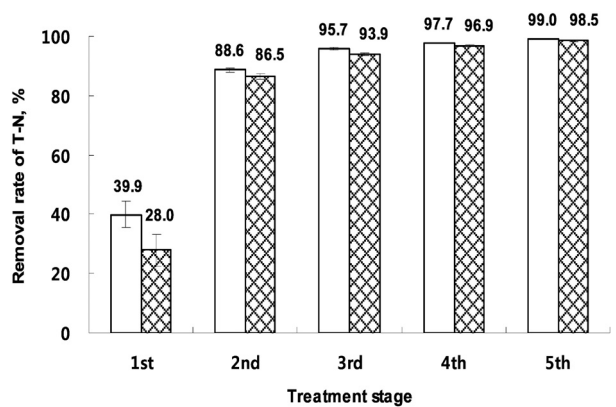


Fig. 9. Removal rate of T-N in the water under different injection methods in constructed wetlands (□, continuous injection; ▨, intermittent injection).

시도 1차 처리와 유사한 경향으로 연속주입방법이 92.1%로 간헐주입방법에 비해 약간 높았다. 이는 간헐적 주입의 경우 순간 축산폐수 부하량이 높아서 호기성조에 미처 처리되지 못하고 유출되기 때문으로 판단된다 (Heo, 2007; Seo, 2005). 하지만 2차 처리 이후의 SS 처리효율은 축산폐수 주입방법에 따라 별 차이 없이 유사한 경향이었다.

현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 주입방법에 따른 T-N 함량은 Fig. 8과 같다. 축산폐수 주입방법에 따른 T-N 함량은 1차와 2차 처리수까지는 연속주입방법이 간헐주입방법에 비해 낮았으나 이후에는 주입방법에 따라 별 차이 없이 비슷한 농도를 보였다. 축산폐수 주입방법에 따른 T-N 처리효율은 Fig. 9에서 보는 바와 같다. 축산폐수 주입방법에 따른 T-N 처리효율은 1차 처리시 연속주입방법이 39.9%로 간헐주입방법의 28.0%에 비해 11.9%정도 높았다. 축산폐수 주입방법에 따른 T-N 처리효율은 2차 처리시도 1차 처리와 유사한 경향으로 연속주입방법이 88.6%로 간헐주입방법에 비해 약간 높았다. 하지만 2차 처리 이후의 T-N 처리효율은 축산폐수 주입방법에 따라 별 차이 없이 유사

한 경향이었다. 이는 자연정화공법을 이용한 인공습지 하수처리장치에서 하수 주입방법에 따른 결과 (Kim, 2008)와도 유사한 경향이었으나 유입원수 성상이 달라 직접적인 비교는 불가능할 것으로 판단된다.

현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 주입방법에 따른 T-P 함량은 Fig. 10과 같다. 축산폐수 주입방법에 따른 T-P 함량은 1차와 2차 처리수까지는 연속주입방법이 간헐주입방법에 비해 낮았으나 이후에는 주입방법에 따라 별 차이 없이 비슷한 농도를 보였다. 축산폐수 주입방법에 따른 T-P 처리효율은 Fig. 11에서 보는 바와 같다. 축산폐수 주입방법에 따른 T-P 처리효율은 1차 처리시 연속주입방법이 간헐주입방법에 비해 12.4%정도 높았고, 2차 처리시도 1차 처리와 유사한 경향으로 연속주입방법이 89.8%로 간헐주입방법에 비해 약간 높았다. 그러나 2차 처리 이후의 T-P 처리효율은 축산폐수 주입방법에 따라 별 차이 없이 유사한 경향이었다. 이와 같은 결과는 본 축산폐수처리장의 경우 여러 단계를 거치면서 오염부하를 분산시켜 처리하는 것과 호기성조의 방해석에 의한 영향으로 판단되어진다.

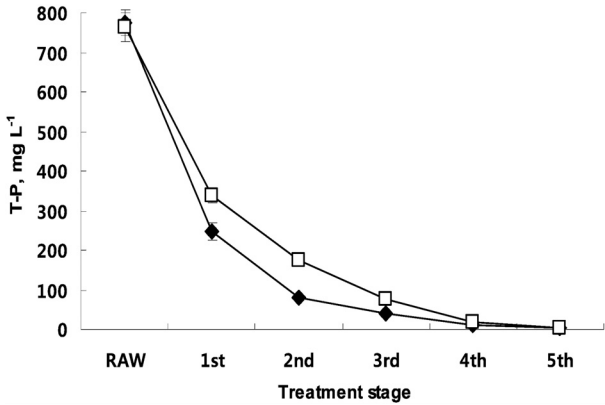


Fig. 10. Concentration of T-P in the water under different injection methods in constructed wetlands (◆, continuous injection; □, intermittent injection).

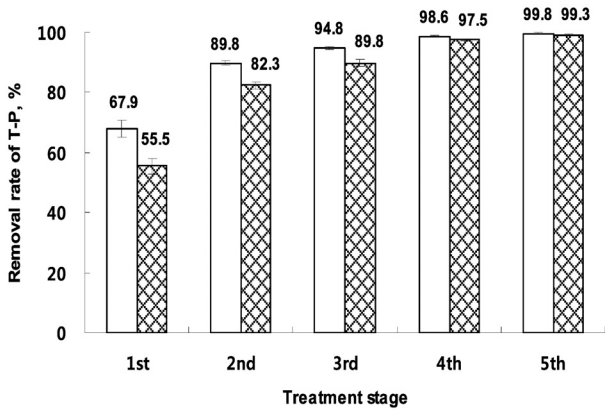


Fig. 11. Removal rate of T-P in the water under different injection methods in in constructed wetlands (□, continuous injection; ▨, intermittent injection).

Seo (2005)에 의하면, 방해석은 대부분 CaCO₃ 형태로 이루어져 있으므로 정석탈인법에 의해 인이 Ca-P로 흡착되어 인공습지에서 높은 처리효율로 인이 처리될 수 있는 것으로 보고한 바 있다. 일반적으로 정석탈인법을 이용한 인 처리는 인을 함유하는 물에 인산칼슘으로 되는 동중동계종의 화합물과 접촉시키면 탈인제인 방해석 위에 인산칼슘이 생성, 정석하는 현상을 이용한 정석탈인법으로 수중의 인은 Ca이온과 반응하여 난용성인 hydroxyapatite [Ca₅(OH)(PO₄)₃]로 처리되는 것으로 알려져 있다 (Heyman, 1988; Lahmann, 1989).

이상의 결과를 미루어 볼 때 축산폐수 주입방법에 따른 처리단계별 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 처리초기단계에는 연속주입방법이 간헐주입방법에 비해 약간 높은 처리효율을 보였으나, 최종방류수 중 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 연속주입방법이 각각 99.5, 99.8, 99.0 및 99.8%로 간헐주입에 비해 약간 높았다. 인공습지 축산폐수처리장의 처리초기단계에서 연속주입방법과 간헐주입

방법의 오염물질 처리효율 차이는 순간 부하량 때문으로 판단된다. 특히, 간헐주입방법의 경우 축산폐수의 일일 총 주입량은 연속주입방법과 동일하지만 유입시 순간부하량이 많아지고 이로 인해 축산폐수의 순간 체류시간이 감소하는 것이 주요한 처리효율의 차이인 것으로 판단되며, Heo (2007)도 유사한 경향을 보고한 바 있다. 그러나 축산폐수처리장의 최종방류수에서 오염물질 처리효율은 두 주입방법에서 큰 차이가 나지 않았는데, 이는 본 현장 인공습지 축산폐수처리장은 안정적인 처리를 위해 5단계 처리과정으로 구성되어 있어 초기단계의 고부하도 여러단계를 거쳐서 오염부하를 분산시키기 때문으로 판단된다. 따라서 축산폐수처리장의 최종단계에서는 축산폐수의 주입방법에 따라 별 차이 없이 항상 안정적인 처리가 가능하였다.

요 약

축산농가에서 소규모로 발생하는 고농도의 질소와 인을 함유한 축산폐수의 처리효율을 극대화시키기 위해 수생식물여과조-활성슬러지조-인공습지로 구성된 축산폐수처리시스템에서 축산폐수 재주입 비율별 및 주입방법별 수처리 효율을 조사하였다. 축산폐수의 재주입 비율별에 따른 처리효율을 조사한 결과 COD, SS, T-N 및 T-P 처리효율은 30% < 70% ≤ 100%의 순으로 재주입 비율이 증가함에 따라 오염물질의 처리효율이 점점 증가하는 경향이 있었다. 또한, 주입방법에 따른 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율을 조사한 결과 1차 및 2차 처리조까지는 연속적 주입이 간헐적 주입에 비해 약간 높은 처리효율을 보였으나, 3차 처리조 부터는 비슷한 처리효율을 보였으며, 방류수 중 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 연속주입방법이 각각 99.5, 99.8, 99.0 및 99.8%로 간헐주입에 비해 약간 높았다. 이들 결과를 미루어 볼 때, 본 현장 인공습지 축산폐수처리장에서 은 적합한 축산폐수의 재주입 비율과 주입방법을 선정한다면 질소 및 인 처리효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업 (과제번호: 20090423)에 의해 이루어진 것임. 또한, 이 논문은 2010년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 [NRF-2010-0025548, NRF-2010-359-F00003]과 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업 [10037331, 지능형 BT-NT-IT 융합 플랫폼 기반 수처리 핵심기술 개발]의 일환으로 수행하였음.

인 용 문 헌

- APHA, AWWA, WCF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 17th Edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- Heo, J.S. 2007. Development of sewage treatment plant for a detached house in an agricultural village by natural purification method for water quality management of Nakdong River basin. Final report. Ministry of Agriculture and Forestry.
- Heyman, A.M. 1988. Self-Financed resource, a direct approach to maintaining marine biological diversity. Paper presented at workshop on economics. IUCN General assembly. Costa Rica. 234-235.
- Kim, A.R., H.C. Kim, D.C. Seo, J.H. Park, S.H. Kim, S.T. Lee, T.U. Jeong, J.H. Choi, H. Kim, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2011. Selection of optimum filter media in small-scale livestock wastewater treatment apparatus by natural purification method. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:285-292.
- Kim, B.H. 1996. A study on the nitrogen and phosphorus removal by electrosynthesis with iron electrode in biological process. Doctoral Thesis, KyungHee University, Seoul, Korea.
- Kim, H.J. 2008. Development of a natural purification technology for sewage treatment of a detached house in agricultural village. Master Thesis. Gyeongsang National University, Korea.
- Kim, J.T., Moon, K.H., and Kim, J.W. 2001. The standard method of water analysis. Shinkwang a publishing company. Korea.
- Lahmann, E. 1989. Formulacion de un proyecto de conservacion de los recursos naturales Para la Zonade manglaves de Estero Real, Nicaragua. Mineographeol report, IUCN, San Joes, Costa Rich, 25.
- Park, J.H. 2011. Treatment of livestock wastewater by natural purification mehod. Master Thesis. Gyeongsang National University, Korea.
- Park, J.H, D.C. Seo, A.R. Kim, S.H. Kim, S.T. Lee, T.U. Jeong, J.H. Choi, H. Kim, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2011. Optimum configuration method and livestock wastewater loading for treating livestock wastewater in constructed wetlands by natural purification method. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:278-284.
- Park, W.C. 1997. An effective means for livestock wastewater treatment. In 10th anniversary seminar of EMC foundation. Environmental Management Corporation.
- Seo, D.C. 2005. Development of treatment process of biological nitrogen and phosphorus in sewage treatment plant by natural purification system. Doctor Thesis. Gyeongsang National University of Education, Korea.