

자연정화공법을 이용한 소형 축산폐수처리장치의 최적여재 선정

김아름^{1†} · 김홍출^{2†} · 서동철³ · 박종환¹ · 김성현¹ · 이성태⁴ · 정태욱⁵ · 최정호⁶ · 김현욱⁷
조주식^{3*} · 허종수^{1,8*}

¹경상대학교 응용생명과학부 (Bk21 농생명산업 글로벌 인재 육성 사업단), ²경남과학기술대학교 미생물공학과,
³순천대학교 생명환경과학부, ⁴경상남도 농업기술원, ⁵부산광역시 보건환경연구원, ⁶한국관리공단 연구개발본부,
⁷서울시립대학교 환경공학부, ⁸경상대학교 농업생명과학원

Selection of Optimum Filter Media in Small-Scale Livestock Wastewater Treatment Apparatus by Natural Purification Method

Ah-Reum Kim^{1†}, Hong-Chul Kim^{2†}, Dong-Cheol Seo³, Jong-Hwan Park¹, Sung-Hun Kim¹, Seong-Tae Lee⁴,
Tae-Uk Jeong⁵, Jeong-Ho Choi⁶, Hyunook Kim⁷, Ju-Sik Cho^{3*}, and Jong-Soo Heo^{1,8*}

¹Division of Applied Life Science(BK21 Program), Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea, ²Department of Microbiological Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 660-758, Korea, ³Division of Applied Life and Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon, 540-742, Korea, ⁴Gyeongsangnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea, ⁵Busan Metropolitan City institute of Health and Environment Research, Busan, 611-813, ⁶Division of Research and Development, Korea Environment Corporation, Incheon, 404-708, Korea, ⁷Division of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul, South Korea, ⁸Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea

In order to develop livestock wastewater treatment technology by natural purification method, the optimum filter media in small-scale livestock wastewater treatment apparatus for treating livestock wastewater were studied. Removal rates of pollutants under different filter media were in the order of coarse sand > broken stone > zeolite > calcite for COD, zeolite >> broken stone > coarse sand > calcite for T-N, and calcite > coarse sand > broken stone > zeolite for T-P. Based on the above results, the optimum filter media was coarse sand in small-scale livestock wastewater treatment apparatus. To meet acceptable effluent quality standard for livestock wastewater and to improve T-N and T-P removal efficiencies, removal efficiencies of pollutants in small-scale livestock wastewater treatment apparatus with mixed filter media were studied. The removal rates of COD, SS, T-N and T-P in effluent were 84, 94, 65 and 98% in small-scale livestock wastewater treatment apparatus with mixed filter media, respectively. For increasing the T-N and T-P removals in small-scale livestock wastewater treatment apparatus, the mixed filter media are recommended.

Key words: Natural purification method, Livestock wastewater, Filter media, Coarse sand, Broken stone

서 언

근래 축산업의 집약화, 대규모화에 따라 가축분뇨의 발생량은 급격히 증가한 반면에 분뇨를 자원화 시킬 수 있는 초지나 경지면적의 증가율은 제자리 또는 감소하는 추세이기 때문에 가축분뇨의 처리 및 그의 환경에 미치는 영향에 대해서는 국내에는 물론 세계적으로 첩예의 관심사

가 되고 있다.

2006년말 기준으로 우리나라에서 발생하는 오·폐수는 하루 25,646 천톤으로 이중에서 축산폐수는 하루 131 천톤으로 하·폐수 발생량의 0.51%를 차지하고 있으며, 2007년말 소·돼지의 가축분뇨 발생량은 135,402 m³ day⁻¹이며, 이 중 돼지 82,610 m³ day⁻¹, 젓소 20,657 m³ day⁻¹, 한우 31,135 m³ day⁻¹로 돼지사육농가에서 발생하는 가축분뇨가 61%로 가장 많은 양을 차지하고 있다. 사육규모별로는 대규모 사육농가인 허가대상이 53%, 중규모 사육농가인 신고대상이 34%로 축산농가가 대규모화하고 있다 (Ministry of Environmental, 2008). 또한 전체 가축분뇨 발생량 중

접수 : 2011. 3. 19 수리 : 2011. 4. 15

*연락처 : Phone: +82557721963, +82617503297

E-mail: jsheo@gnu.ac.kr, chojs@suncheon.ac.kr

†공동 제 1 저자

약 80%는 자체적으로 퇴비·액비화시설을 갖추어 비료로 활용하고 있으며, 일부 농가에서는 정화처리하거나 재활용 업체 및 해양배출, 공공처리시설을 이용하여 가축분뇨를 처리하고 있지만 신고미만 가축분뇨 발생량이 전체 가축분뇨 발생량의 11%인 15,787 m³ day⁻¹로 아직까지 소규모이고, 지역적으로 분산되어 있어 축산폐수의 관리가 쉽지 않은 상황이다 (Ministry of Environmental, 2006). 또한 축산폐수 처리방법에는 생물학적 처리방법, 물리·화학적 처리방법 및 액상부식법 등이 있으며 최근에는 고효율의 처리방법과 정화조 형식의 처리시스템이 개발되고 있다 (Park, 1997). 현장에서 적용되고 있는 처리방법은 주로 생물학적 처리 방법인 활성슬러지 공법이다. 이 공법은 운전시 폭기조 내의 거품 및 sludge bulking 문제가 자주 발생하고 슬러지의 침전성이 불량하고, 유지관리가 높아 대규모의 처리장에서나 운전이 가능하며, 중규모 또는 그 이하 규모에서는 처리장치의 운전이 기술적·경제적 난점이 많은 것으로 알려져 있다 (Kim, 1996). 따라서 유지관리가 쉽고, 건설비 및 유지관리가 저렴하고, 질소 및 인의 처리효율이 높은 소규모 축산농가에도 적합한 축산폐수 처리공법이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 또한 축산농가 지역의 특성과 규모에 따른 효율성을 감안해 볼 때, 소규모 축산농가 지역의 축산폐수처리 공법은 자연 스스로가 가지고 있는 자연정화기능을 최대한 활용하여 지역 특성에 맞고 유지관리가 용이한 축산폐수 처리 방식을 도입하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

그러나 현행 자연친화형 오폐수처리공법으로는 토양처리 방법, 산화지 처리법, 식물을 이용한 처리법, 습지 처리법, 휴경지를 이용한 처리 및 삼림토양침투에 의한 처리 등이 있으나, 이러한 자연정화공법은 오폐수처리에 있어서 악취발생이나 공극폐쇄로 인한 투수속도의 저하, 과도한 부지면적 소요 및 농어촌 지역의 특성상 오수 유입량의 큰 변동으로 처리효율 저하 등의 문제점이 있다 (Yun, 1998; Jeong, 1999). 따라서 최근에 자연정화공법에 의한 인공습지 축산폐수처리장을 개발하려고 하고 있으나, 이들 개발을 위해서는 수생식물, 여재 및 미생물 등 여러 구성인자의 최적조건 구명에 대한 연구가 필요한 실정이다. 특히 인공습지에 주입되는 여재의 선정은 처리장의 수명과 관련하여 가장 중요한 인자로 알려져 있다 (Seo, 2005).

따라서 본 연구는 축산농가에서 소규모로 발생하는 축산폐수를 자연정화공법에 의한 인공습지를 이용하여 효과적으로 처리하기 위한 최적여재를 선정하고자 자연정화공법에 의한 소형 축산폐수처리장치에 왕사, 쇠석, 방해석 및 제올라이트 등 4종의 여재를 단일여재 처리와 혼합여재 처리로 조건을 달리하여 충전한 후 축산폐수 처리효율 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료 본 실험에 사용된 축산폐수는 산청군 축산폐수 공공처리시설에 유입되어 종합협잡물처리기, 조정조 및 원심분리를 거친 축산폐수를 공시 원수로 채취하였으며, 공시 여재는 여재채취장에서 채취한 여재를 사용하였다.

공시 축산폐수의 화학적 특성은 Table 1과 같고, 소형 축산폐수처리장치에 사용한 여재의 이화학적 특성은 Table 2 및 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 소형 축산폐수처리장치에 사용된 여재는 왕사, 쇠석, 방해석 및 제올라이트를 사용하였고, 여재의 입도분포도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 원여재인 왕사, 쇠석, 방해석 및 제올라이트의 유효입경 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 10% 되는 부분의 여재의 입경 ; d₁₀)은 각각 1.2, 1.3, 1.4 및 1.4 mm 이었으며, 균등계수 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 60% 되는 입경과 10% 되는 입경과의 비 ; d₆₀ d₁₀⁻¹)는 각각 2.92, 2.07, 2.14 및 2.86이었다. 또한 혼합여재의 경우 호기성조에는 왕사, 쇠석 및 방해석을 3 : 2 : 1로 혼합하였고, 혐기성조에는 왕사, 쇠석 및 제올라이트를 3 : 2 : 1로 혼합하여 사용하였다. 그리고 소형 축산폐수처리장치에 이식한 수생식물은 다년생 수생식물인 갈대 및 노랑꽃창포 등 2종이었으며, 모든 수생식물은 야외노지에서 성장한 수초를 분주하여 이식하였다.

소형 축산폐수처리장치 설계 및 시공 호기-혐기 조합형 소형 축산폐수처리장치는 Fig. 2와 같이 호기성조와 혐기성조를 연결하여 1개 시스템으로 하여 운전이 가능하게 제작하였다. 호기성조 및 혐기성조의 크기는 직경 0.60 m x 높이 0.72 m인 플라스틱 원통을 사용하여 용량

Table 1. Chemical characteristics of the livestock wastewater used in the study.

	pH	COD _{Mn}	SS	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -N
	mg L ⁻¹								
Average	6.5	2,485	3,658	2,520	125.9	2,110	118	33.6	89.7
SD [†]	0.2	350	280	460	32.2	380	21	5.4	10.2

[†]Standard deviation (n=3).

Table 2. Chemical characteristics of the filter media used in the study.

Filter media	pH	EC	O.M	T-N	T-P		
	1:5H ₂ O	dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹			
Coarse sand	7.9 ± 0.2	0.05 ± 0.01	0.54 ± 0.12	15.9 ± 1.23	23.0 ± 1.15		
Broken stone	7.8 ± 0.1	0.04 ± 0.01	0.85 ± 0.09	3.9 ± 0.79	20.6 ± 0.94		
Calcite	8.9 ± 0.1	0.12 ± 0.02	0.20 ± 0.07	11.0 ± 0.04	72.8 ± 3.28		
Zeolite	5.7 ± 0.5	0.09 ± 0.02	0.80 ± 0.11	77.5 ± 4.64	198.0 ± 11.6		

Filter media	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹						
Coarse sand	1,638 ± 214	2,212 ± 48	489 ± 95	2,428 ± 421	0.2 ± 0.04	51.0 ± 1.2	15 ± 3.1
Broken stone	1,394 ± 158	1,031 ± 121	1,942 ± 114	4,955 ± 1021	2.4 ± 0.61	264.0 ± 21.4	18 ± 2.4
Calcite	32 ± 1.6	407,540 ± 43,214	9,555 ± 306	5,251 ± 512	2.7 ± .0.4	214.0 ± 42.1	150 ± 13.4
Zeolite	2,153 ± 95	7.1 ± 0.9	700 ± 51	640 ± 42.1	63.0 ± 2.2	6.4 ± 1.1	13 ± 1.2

Data represent mean ± SD (n=3).

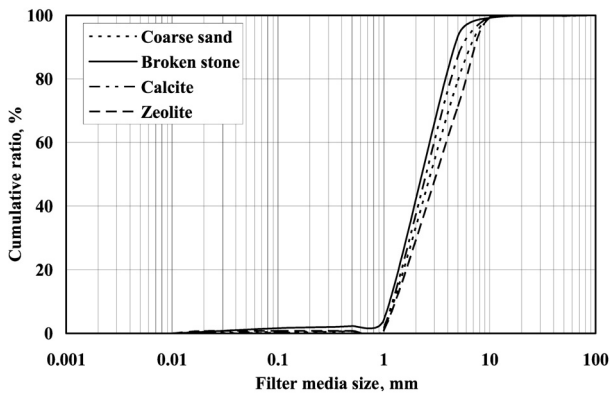


Fig. 1. Particle distributions of the filter media used.

이 0.20 m³ 되게 제작하였다. 소형 축산폐수처리장치의 호기성조 및 혐기성조에 각각 왕사, 쇠석, 방해석 및 제올라이트를 충전하였고, 여재 종류별 주입위치는 각 여재를 하부에서 높이 0.7 m까지 충전하였다. 호기성조에는 통기관을 각 조의 밑바닥 하부로부터 0.35 m 위치에 각각 설치하여 자연통풍이 되게 하였고, 혐기성조에는 체류시간을 최대화하기 위해 혐기성조를 3등분으로 구획하였다. 호기-혐기 조합형 소형 축산폐수처리장치에서 축산폐수의 흐름은 호기성조에 축산폐수를 상부로부터 유입시켜 아래로 수직여과방식으로 처리하여 유출된 호기성조 처리수는 자연유하식으로 혐기성조로 유입되게 하였고, 혐기성조에 유입된 축산폐수는 3등분된 혐기성조에서 수평의 지그재그 방향으로 흐르게 하였다.

운전조건 및 조사시기 소형 축산폐수처리장에서 단일여재별 수처리 효율은 호기-혐기 조합형 소형 축산폐수 처리장치에서 여재를 왕사, 쇠석, 방해석 및 제올라이트로

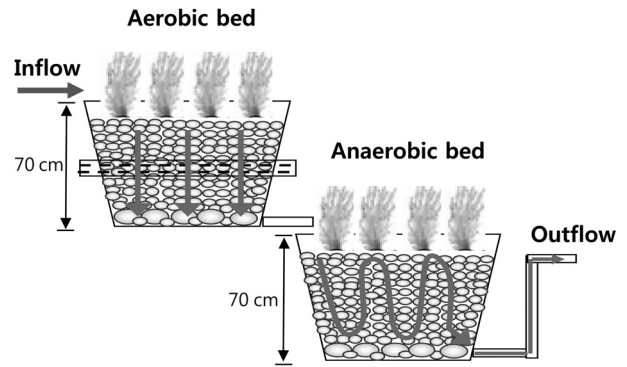


Fig. 2. Schematic diagrams of small-scale livestock wastewater treatment apparatus.

각각 구분하여 조립한 후 축산폐수 부하량을 100 L m⁻² day⁻¹로 한 조건하에서 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율을 각각 조사하였다.

질소와 인 처리효율이 처리를 극대화 하기 위한 소형 축산폐수처리장에서 혼합여재별 수처리 효율은 여재를 호기성조의 경우 왕사, 쇠석 및 방해석을 3 : 2 : 1로 혼합한 것을 사용하였고, 혐기성조에는 왕사, 쇠석 및 제올라이트를 3 : 2 : 1로 혼합한 것을 각각 충전한 후 축산폐수 부하량을 100 L m⁻² day⁻¹로 한 조건하에서 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율을 각각 조사하였다.

소형 축산폐수처리장치에서의 수처리 효율조사는 2009년 6월부터 2010년 1월 31일까지 매달 실시하였으며, 시료의 채취는 운전조기부터 매주 1회씩 분석하여 총 32회 분석한 결과를 평균하여 각 조건에서의 수처리 효율을 조사하였다.

분석방법 수질 분석은 수질오염공정시험법과 APHA

(APHA, 2005)의 standard method (Kim et al., 2001)에 준하여 다음과 같이 하였다. COD는 산성 KMnO_4 법, 부유물질은 유리섬유여지법, 총 질소는 자외선 흡광광도법, 총 인은 아스코르빈산 환원법으로 분석하였으며, 여재 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법 (토양, 식물체, 토양미생물)에 준하여 다음과 같이 하였다 (NIAST, 1988). pH는 초자전극법 및 EC는 EC meter (Orion, Model 160, Germany)로 각각 분석하였으며, 유기물은 Tyurin법, T-N은 Kjeldahl법 및 T-P는 Vanado molybdate법으로 각각 분석하였다. 그리고 K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu 및 Zn의 분석은 시료를 습식분해액으로 분해시킨 여액을 적당히 희석하여 atomic absorption spectrophotometer (Shimadzu AA-680, Japan)로 각각 분석하였다.

결과 및 고찰

소형 축산폐수처리장치에서 단일여재별 수처리 효율

소형 축산폐수처리장치에서 여재 종류별 방류수 중 COD 변화는 Fig. 3-A와 같고, 그에 따른 COD처리효율은 Fig. 3-B에서 보는 바와 같다. 소형 축산폐수처리장치에서 유입된 축산폐수 원수의 COD는 $2,100 \sim 2,610 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 $2,603 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 비교적 일정한 농도가 유지되었으며, 하수의 평균 COD 농도인 43.7 mg L^{-1} 에 비해 매우 높은 농도로 유입되었다 (Seo, 2005).

왕사를 단독처리한 경우 1차 호기성조 처리수 중의 COD는 $890 \sim 1,105 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 981 mg L^{-1} 으로서 1차 호기성조에서 62.1%의 COD가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 COD는 $260 \sim 430 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 305 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서 88.2%의 COD가 처리되었다. 소형 축산폐수처리장치에 쇄석을 주입한 경우, 1차 호기성조 처리수 중의 COD는 $900 \sim 1,120 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 $1,017 \text{ mg L}^{-1}$ 으로서 1차 호기성조에서 60.7%의 COD가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 COD는 $295 \sim 410 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 346 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서 86.6%의 COD가 처리되었다. 방해석을 단독처리한 경우 1차 호기성조 처리수 중의 COD는 $980 \sim 1,200 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 $1,048 \text{ mg L}^{-1}$ 으로서 1차 호기성조에서 59.4%의 COD가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 COD는 $415 \sim 540 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 489 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서 81.2%의 COD가 처리되었다. 제올라이트를 단독으로 처리한 경우, 1차 호기성조 처리수 중의 COD는 $1,120 \sim 1,420 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 $1,317 \text{ mg L}^{-1}$ 으로서 1차 호기성조에서 49.1%의 COD가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 COD는 $410 \sim 530 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 464 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서 82.1%의 COD가 처리되었다.

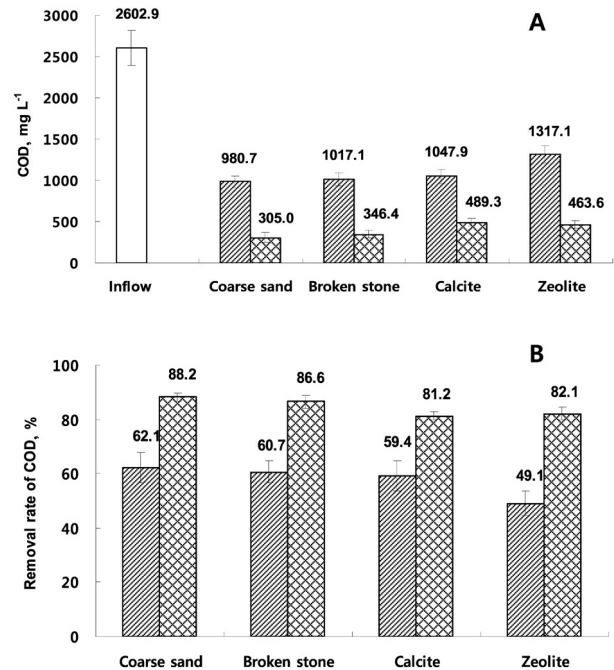


Fig. 3. Concentration of COD (A) and removal rate of COD (B) in the water under different filter media in small-scale livestock wastewater treatment apparatus. (□ : Inflow ; ▨ : 1st treatment ; ▩ : 2nd treatment).

이상의 결과를 미루어 볼 때, 여재 종류별 COD 처리효율은 왕사 > 쇄석 > 제올라이트 > 방해석 순이었다. 이와 같이 왕사와 쇄석의 COD 처리효율이 높은 것은 이들 여재의 표면이 여러 무기성분들로 구성되어 있어 미생물 생육에 필요한 영양분의 공급이 용이하고, 여재표면이 거칠기 때문에 미생물의 활착이 용이하기 때문으로 사료되며, 이들 결과는 Seo (2005)의 인공습지 하수처리장에서도 유사한 결과가 보고된 바 있다. Seo (2005)와 Seo et al. (2008)에 의하면 자연정화공법을 이용한 인공습지에서 COD와 같은 유기물의 제거는 수생식물 뿌리부의 미생물에 의해 여재 표면으로부터 1.5 cm 깊이 사이에서 주로 분해된다고 보고한 바 있으며, 이와 같은 결과는 반응기질과 산소가 풍부하여 박테리아의 성장과 활력이 가장 좋기 때문인 것으로 알려져 있다.

반면에 방해석의 COD 처리효율이 다른 여재에 비해 낮았는데, 이는 방해석의 주성분이 CaCO_3 로 구성되어 있어서 pH가 약 9정도로 약간 높고, 여재표면에 Ca를 제외한 다른 무기원소가 거의 없어 미생물 생육이 용이하지 않기 때문으로 판단된다. Heo (2007)는 인공습지 하수처리장에 사용된 방해석 표면을 EDS (Energy Dispersive Spectrometry)로 분석하여 방해석 표면에서 다량의 Ca성분이 검출된 것으로 보고한 바 있으며, 본 연구에서도 여재분석 결과 Ca함량이 $407,540 \text{ mg L}^{-1}$ 로 매우 높게 검출되었다. 특히 Seo (2005)는 인공습지에서 방해석을 이용하여 Ca-P로 흡착 및 침전시켜 인을 효율적으로 처리한 결과를 보고한 바

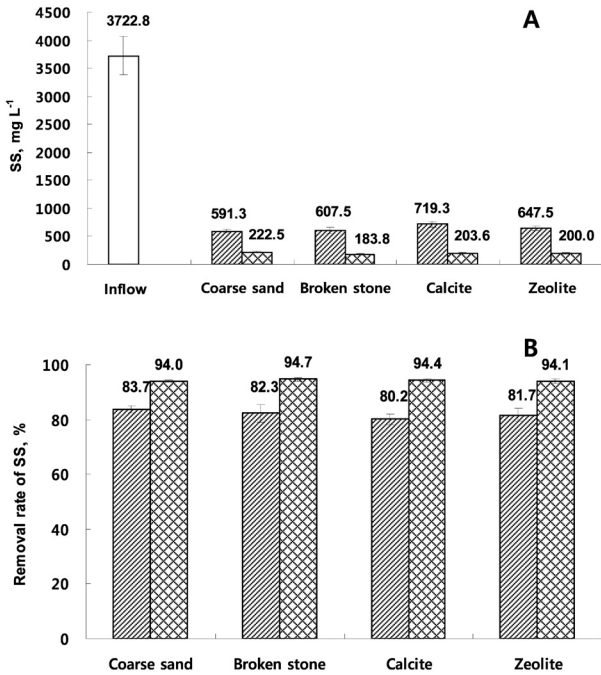


Fig. 4. Concentration of SS (A) and removal rate of SS (B) in the water under different filter media in small-scale livestock wastewater treatment apparatus. (□ : Inflow ; ▨ : 1st treatment ; ▩ : 2nd treatment).

있다. 따라서 방해석은 유기물처리에는 효과적이지 못하지만 인 처리효율이 높아 인공습지에서 주여재로 사용되는 것보다 인 처리를 위한 기능성여재로 사용되어야 할 것으로 판단된다.

소형 축산폐수처리장치에서 여재 종류별 SS의 함량과 처리효율은 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 유입된 축산폐수 원수의 SS 함량은 3,150~4,020 mg L⁻¹ 범위로 평균 3,723 mg L⁻¹이었으며, 하수의 평균 SS 농도인 39.2 mg L⁻¹에 비해 매우 높은 농도를 보였다 (Seo, 2005). 소형 축산폐수처리장치에 왕사를 주입한 경우, 1차 호기성조 처리수 중의 SS 함량은 550~625 mg L⁻¹ 범위로 평균 591 mg L⁻¹으로서 1차 호기성조에서 83.7%의 SS가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 SS 함량은 195~245 mg L⁻¹ 범위로 평균 223 mg L⁻¹으로서 2차 혐기성조에서 94%의 SS가 처리되었다. 쇄석의 경우 1차 호기성조 처리수 중의 SS 함량은 525~710 mg L⁻¹ 범위로 평균 608 mg L⁻¹으로서 1차 호기성조에서 82.3%의 SS가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 SS 함량은 180~210 mg L⁻¹ 범위로 평균 184 mg L⁻¹으로서 2차 혐기성조에서 94.7%의 SS가 처리되었다. 방해석의 경우 1차 호기성조 처리수 중의 SS 함량은 670~810 mg L⁻¹ 범위로 평균 719 mg L⁻¹으로서 1차 호기성조에서 80.2%의 SS가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 SS 함량은 180~225 mg L⁻¹ 범위로 평균 204 mg L⁻¹으로서 2차 혐기성조에서 94.4%의 SS가 처리되었다. 제올라이트의 경우 1차 호기성조 처리수 중의 SS 함량은 615~

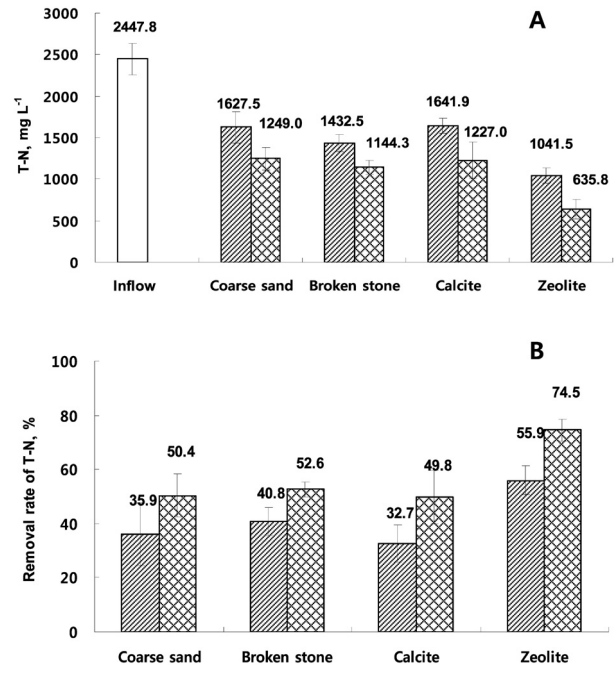


Fig. 5. Concentration of T-N (A) and removal rate of T-N (B) in the water under different filter media in small-scale livestock wastewater treatment apparatus. (□ : Inflow ; ▨ : 1st treatment ; ▩ : 2nd treatment).

730 mg L⁻¹ 범위로 평균 648 mg L⁻¹으로서 1차 호기성조에서 81.7%의 SS가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 SS 함량은 90~240 mg L⁻¹ 범위로 평균 200 mg L⁻¹으로서 2차 혐기성조에서 94.1%의 SS가 처리되었다.

여재 종류별 축산폐수 처리효율은 모든 여재에서 별 차이 없이 높은 처리효율을 보였는데, 이는 본 축산폐수처리장치에서 SS는 주로 여재에 의한 여과가 주된 처리이기 때문으로 판단되며, 이는 Heo (2007)와 Seo (2005)의 인공습지 하수처리장에서의와 동일한 경향이었다. 하지만 인공습지에서 이러한 여과는 궁극적인 처리가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 SS를 일으키는 현탁물질은 입자상태로 처리조 내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 현탁입자들은 대개가 무해하지만 오염성분들은 미생물에 의한 생물학적 분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수 및 기타 화학반응을 거치면서 궁극적으로 처리되는 것으로 알려져 있다 (Jo, 2003).

소형 축산폐수처리장치에서 여재 종류별 T-N의 함량변화와 처리효율은 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 소형 축산폐수처리장치에서 유입된 축산폐수 원수의 T-N 함량은 2,240~2,710 mg L⁻¹ 범위로 평균 2,448 mg L⁻¹이었다. 소형 축산폐수처리장치에 왕사를 단독으로 주입한 경우, 1차 호기성조 처리수 중의 T-N 함량은 평균 1,628 mg L⁻¹으로서 1차 호기성조에서 35.9%의 T-N이 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 T-N 함량은 평균 1,249 mg L⁻¹으로서 2차 혐기성조에서 50.4%의 T-N이 처리되었다. Park (2005)

은 농촌 전원 독립가구 인공습지 하수처리장에서 왕사를 사용했을 경우 T-N 처리효율이 54%라고 하였는데, 본 소형 축산폐수처리장에서는 T-N 처리효율이 50%로 유사한 경향이였다. 하지만 두 공법이 호기성조와 혐기성조로 유사한 구성으로 시공되었지만 원수의 성상, 용량, 환경조건 등이 달라 처리효율을 직접적으로 비교하는 것은 큰 의미가 없는 것으로 판단된다. 쇠석의 경우 1차 호기성조 처리수 중의 T-N 함량은 평균 $1,433 \text{ mg L}^{-1}$ 으로서 1차 호기성조에서 40.8%의 T-N이 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 T-N 함량은 평균 $1,144 \text{ mg L}^{-1}$ 으로서 2차 혐기성조에서 52.6%의 T-N이 처리되었다. 소형 축산폐수처리장치에서 방해석을 단독으로 주입한 경우 1차 호기성조 처리수 중의 T-N 함량은 평균 $1,642 \text{ mg L}^{-1}$ 으로서 1차 호기성조에서 32.7%의 T-N이 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 T-N 함량은 평균 $1,227 \text{ mg L}^{-1}$ 으로서 2차 혐기성조에서 49.8%의 T-N이 처리되었다. 제올라이트의 경우 1차 호기성조 처리수 중의 T-N 함량은 $954 \sim 1,210 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 $1,042 \text{ mg L}^{-1}$ 으로서 1차 호기성조에서 55.9%의 T-N이 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 T-N 함량은 평균 636 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서 74.5%의 T-N이 처리되었다.

이상의 결과를 미루어 볼 때, 여재 종류별 T-N 처리효율은 제올라이트 >> 쇠석 ≒ 왕사 ≒ 방해석 순이었다. 이와 같이 제올라이트에서 T-N 처리효율이 높은 것은 제올라이트의 이온교환용량이 다른 여재에 비해 매우 높기 때문으로 판단된다. 제올라이트에 의한 암모니아 처리공법은 다른 공법에 비하여 암모니아의 처리속도가 빠르고 수온의 변화에 대한 영향이 적으며, 저농도뿐만 아니라 고농도의 암모니아에 대하여도 안정적인 처리효율을 보이는 것으로 알려져 있다 (Seo, 2005; Heo, 2007).

소형 축산폐수처리장치에서 여재 종류별 T-P의 함량변화와 처리효율을 조사한 결과 (Fig. 6) 유입된 축산폐수 원수의 T-P 함량은 $112.3 \sim 132.7 \text{ mg L}^{-1}$ 범위로 평균 126.2 mg L^{-1} 이었다. 소형 축산폐수처리장치에서 왕사를 단독으로 주입한 경우, 1차 호기성조 처리수 중의 T-P 함량은 평균 24.6 mg L^{-1} 으로서 1차 호기성조에서 80.3%의 T-P가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 T-P 함량은 평균 12.0 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서 90.8%의 T-P가 처리되었다. 쇠석의 경우 1차 호기성조 처리수 중의 T-P 함량은 평균 23.0 mg L^{-1} 으로서 1차 호기성조에서 80.9%의 T-P가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 T-P 함량은 평균 10.6 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서 90.9%의 T-P가 처리되었다. 방해석의 경우 1차 호기성조 처리수 중의 T-P 함량은 평균 18.1 mg L^{-1} 으로서 1차 호기성조에서 85.4%의 T-P가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 T-P 함량은 평균 5.1 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서

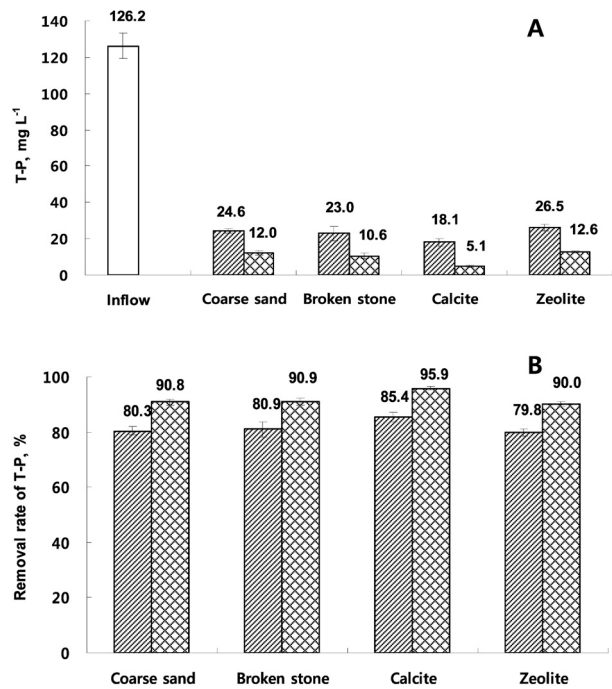


Fig. 6. Concentration of T-P (A) and removal rate of T-P (B) in the water under different filter media in small-scale livestock wastewater treatment apparatus. (□ : Inflow ; ▨ : 1st treatment ; ▩ : 2nd treatment).

95.9%의 T-P가 처리되었다. 제올라이트의 경우 1차 호기성조 처리수 중의 T-P 함량은 평균 26.5 mg L^{-1} 으로서 1차 호기성조에서 79.8%의 T-P가 처리되었고, 2차 혐기성조 처리수 중의 T-P 함량은 평균 12.6 mg L^{-1} 으로서 2차 혐기성조에서 90.0%의 T-P가 처리되었다.

이상의 결과를 미루어 볼 때, 여재 종류별 T-P 처리효율은 방해석 > 왕사 ≒ 쇠석 ≒ 제올라이트 순이었다. 이와 같이 방해석에서의 인 흡착능이 높은 것은 방해석의 주성분이 대부분 CaCO_3 형태로 이루어져 있으므로 정석탈인법에 의해 인이 Ca-P로 흡착되어 처리되기 때문으로 사료된다 (Seo, 2005). 정석탈인법을 이용한 인 처리는 인을 함유하는 물에 인산칼슘으로 되는 동중동계종의 화합물과 접촉시키면 탈인제인 방해석 위에 인산칼슘이 생성, 정석하는 현상을 이용한 정석 탈인법으로 수중의 인은 Ca이온과 반응하여 난용성인 hydroxyapatite [$\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$]로 처리되는 것으로 알려져 있다 (Heyman, 1988; Lahmann, 1989). 이상의 결과에서 소형 축산폐수처리장치에서 최적여재는 COD, SS, T-N 및 T-P 모두를 안정적으로 처리할 수 있는 왕사이었다. 하지만 향후 모든 인자를 고려한 최적공법 선정시 현행 공공처리시설 및 가축분뇨정화시설의 폐수 배출허용기준인 T-N 60 mg L^{-1} 및 T-P 8 mg L^{-1} 을 만족하기 위해서는 질소 및 인의 처리효율이 더욱 향상되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 소형 축산폐수처리장치에서 보다 안정적인 처리를 위해서는 최적 여재선정 이외에도 최적부

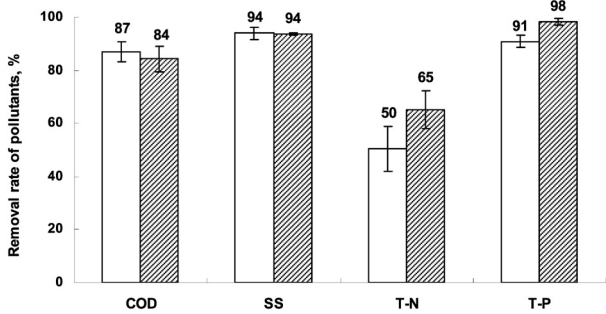


Fig. 7. Removal rate of COD, SS, T-N and T-P in the water under mixed filter media method in small-scale livestock wastewater treatment apparatus. (□ : Control; ▨ : Mixed filter media.)

하량 및 조합방법 등의 여러인자를 고려하여 최적공법을 확립해야 할 것으로 판단된다.

소형 축산폐수처리장치에서 혼합여재별 수처리 효율
 소형 축산폐수처리장치에서 질소와 인 처리효율을 극대화 하기 위하여 호기성조에는 왕사, 쇠석 및 방해석을 3 : 2 : 1로 혼합하였고, 혐기성조에는 왕사, 쇠석 및 제올라이트를 3 : 2 : 1로 혼합하여 충전한 후 축산폐수 처리효율을 조사하였으며, 대조구로는 단독여재별 처리효율 결과 COD, SS, T-N 및 T-P 모두 안정적으로 처리할 수 있었던 왕사와 비교하였다 (Fig. 7).

혼합여재 주입에 따른 오염물질의 처리효율을 조사한 결과 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 혼합여재를 주입하지 않는 경우(대조구)가 각각 87, 94, 50 및 91%로 이었고, 혼합여재를 주입한 경우가 각각 84, 94, 65 및 98%로 혼합여재를 주입한 경우 질소 및 인 처리효율이 각각 15% 및 7% 향상되었다. 이와 같이 질소 및 인 처리효율이 향상된 것은 호기성조에 인 흡착능이 우수한 방해석을 사용하였고, 혐기성조에 암모니아성 질소 흡착능이 우수한 제올라이트를 사용하였기 때문으로 판단되며, 이 결과는 Seo (2005)의 여재별 흡착능 연구결과와도 일치되었다.

따라서 자연정화공법에 의한 축산폐수처리장치에서 질소와 인의 처리효율 향상을 위해서는 호기성조에는 왕사에 방해석을 첨가하고, 혐기성조에는 왕사에 제올라이트를 첨가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

요 약

소규모 축산농가로부터 발생하는 축산폐수를 효과적으로 처리하기 위한 인공습지를 개발하기 위하여 인공습지에서 가장 중요한 인자 중 하나인 최적 여재의 선정에 관하여 연구하였다. 최적여재를 선정하기 위하여 여재를 왕사, 쇠석, 제올라이트 및 방해석으로 달리하여 충전한 후 각 여

재별 축산폐수 처리효율 조사한 결과 COD 처리효율은 왕사가 다른 여재에 비하여 높았고, SS 처리효율은 모든 여재에서 94~95%로 큰 차이 없었다. 또한 T-N 처리효율은 제올라이트가 다른여재에 비해 높았고, T-P 처리효율은 방해석이 다른여재에 비해 높았다. 이상의 결과에서 COD, SS, T-N 및 T-P 모두를 안정적으로 처리할 수 있는 최적 여재는 왕사였다. 소형 축산폐수처리장치에서 질소와 인 처리효율을 극대화 하기 위해 호기성조 (왕사:쇠석:방해석=3:2:1)와 혐기성조 (왕사:쇠석:제올라이트=3:2:1)에 혼합여재를 주입한 결과 최적 여재인 왕사에 비해 질소 및 인 처리효율이 각각 15% 및 7% 향상되었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업 (과제번호: 20090423) 및 경남과학기술대학교 기성희 연구비 지원에 의해 이루어진 것임. 또한 본 논문은 2010년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 [NRF-2010-359-F00003, NRF-2010-0025548]이며, 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [10037331, 지능형 BT-NT-IT 융합 플랫폼 기반 수처리 핵심기술 개발].

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.
- Jeong, D.Y. 1999. Development of an Environmentally Friendly Sewage Disposal Model for Agricultural and Fishing Village Areas. The Korean Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology 2(1):10-20.
- Jo, I.S. 2003. Treatment of Pollutants in Environmentally Friendly Constructed Wetland for Sewage Treatment in Long-term. Master Thesis. Gyeongsang National University, Korea.
- 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, 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.
- Ministry of Environmental. 2006. Environmental white paper. Korea
- Ministry of Environmental. 2008. Environmental white paper. Korea
- NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Park, M.R. 2005. Development of Sewage Treatment Apparatus for Detached House in Agricultural Village by Natural Purification Method. Master Thesis. Gyeongsang National University, Korea.
- 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.
- Seo, D.C., Park, W.Y., Lim, J.S., Park, C.H., Lee, H.J., Kim, H.C., Lee, S.W., Lee, D.J., Cho, J.S. and Heo, J.S. 2008. A Study on the improvement of treatment efficiency for nitrogen and phosphorus by improved sewage treatment process in constructed wetland by natural purification method. *Kor. J. Environ. Agric.* 27(1), 27-34.
- Yun, S.M. 1998. The analysis of self-cleansingpower through the sewage disposal model of water plants and aggregate. Master Thesis, Korea National University of Education, Korea.