

자연정화공법에 의한 인공습지 축산폐수처리 시스템의 최적 조합방법 및 부하량

박종환^{1†} · 서동철^{2†} · 김아름¹ · 김성현¹ · 이성태³ · 정태욱⁴
최정호⁵ · 김현욱⁶ · 조주식^{2**} · 허종수^{1,7*}

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

Optimum Configuration Method and Livestock Wastewater Loading for Treating Livestock Wastewater in Constructed Wetlands by Natural Purification Method

Jong-Hwan Park^{1†}, Dong-Cheol Seo^{2†}, Ah-Reum Kim¹, Sung-Hun Kim¹, Seong-Tae Lee³, Tae-Uk Jeong⁴,
Jeong-Ho Choi⁵, Hyunook Kim⁶, Ju-Sik Cho^{2**}, and Jong-Soo Heo^{1,7*}

¹Division of Applied Life Science (BK21 Program), Gyeongsang National University, Korea, ²Division of Applied Life and Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon540-742, Korea, ³Gyeongsangnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea, ⁴Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan, 611-813, ⁵Division of Research and Development, Korea Environment Corporation, Incheon, 404-708, Korea, ⁶Division of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul, South Korea, ⁷Institute of Agriculture and Life Sciences, GyeongSang National University, Jinju, 660-701

To obtain optimum configuration method and livestock wastewater loading in small-scale livestock wastewater apparatus by natural purification method for treating livestock wastewater, the small-scale livestock wastewater apparatuses were constructed with 9 kinds of combined systems such as aerobic bed (ae)-anaerobic bed (an), ae-ae, ae-anoxic bed (ox), an-an, an-ae, an-ox, ox-ae, ox-an and ox-ox livestock wastewater treatment apparatuses. Under different configuration methods, the removal rate of COD in Ae-Ae and Ae-An livestock wastewater treatment apparatus was higher than that in other configuration methods. The removal rate of T-N in Ae-An livestock wastewater treatment apparatus was higher than that in other configuration methods. Removal rates of SS and T-P were not different regardless of configuration methods in small-scale livestock wastewater treatment apparatus. Under different livestock wastewater loading, the removal rates of pollutants were higher in the order of $50 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1} \approx 100 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1} > 200 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. Therefore, optimum configuration method was Ae-An livestock wastewater treatment apparatus, and optimum livestock wastewater loading was $100 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ in small-scale livestock wastewater treatment apparatus.

Key words: Natural purification method, Aerobic bed, Anaerobic bed, Anoxic bed, Livestock wastewater, Configuration method

서 언

2006년말 기준으로 우리나라에서 발생하는 오·폐수는 하루 25,646천톤으로 이중에서 축산폐수는 하루 131천톤

접수 : 2011. 3. 19 수리 : 2011. 4. 14

*연락처 : Phone: +82557721963, +82617503297

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

†공동 제 1 저자

으로 하·폐수 발생량의 0.51%를 차지하고 있다. 전체 가축분뇨 발생량 중 약 80%는 자체적으로 퇴비·액비화시설을 갖추어 비료로 활용하고 있으며, 일부 농가에서는 정화처리하거나 재활용업체 및 해양배출, 공공처리시설을 이용하여 가축분뇨를 처리하고 있지만 신고미만 가축분뇨 발생량이 전체 가축분뇨 발생량의 11%인 $15,787 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ 로 아직까지 소규모이고, 지역적으로 분산되어 있어 축산폐수의 관리가 쉽지 않은 상황이다 (Ministry of Environmental, 2006).

일반적인 축산폐수처리시설에 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).

물리·화학적 처리방법은 저류조와 스크린 및 침사지를 거쳐 적정 pH와 적정 접촉시간을 조절한 응집조를 거친 다음 형성된 floc을 분리하는 방법으로써 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 처리방법으로서 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 농가자신이 유지관리를 행하는 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.

Seo (2002)와 Park (2005)은 인공습지 하수처리장에서 최적 조합방법 및 부하량을 보고한 바있고, Park (2009)은 인공습지 폐양액처리장에서 최적 조합방법 및 부하량을 보고한 바 있으나, 국내에서 축산폐수처리를 위한 인공습지에서 최적 조합이나 부하량은 아직까지 보고된 적 없다. 따라서 소규모 축산농가에서 발생하는 축산폐수를 효과적으로 처리하기 위한 자연정화공법을 이용한 인공습지 축산폐수처리공법에서 최적 조합방법 및 부하량을 조사하기 위

해 소형 축산폐수처리장치를 호기/혐기/무산소 조건에 따라 여러가지 조합방법으로 설계 및 시공한 후 조합방법별 및 축산폐수 부하량별에 따른 수처리 효율을 조사하였다.

재료 및 방법

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

공시 축산폐수의 이화학적 특성은 Table 1과 같고, 소형 축산폐수처리장치에 사용한 여재의 이화학적 특성은 Table 2에서 보는 바와 같다. 소형 축산폐수처리장치에 사용된 여재는 왕사를 사용하였고, 여재의 입도분포도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 원 여재인 왕사의 유효입경 (여재를 입경순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 10% 되는 부분의 여재의 입경 ; d_{10})은 각각 1.2 이었으며, 균등계수 (여재를 입경순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 60% 되는 입경과 10% 되는 입경과의 비 ; $d_{60} d_{10}^{-1}$)는 2.92 이었다. 그리고 소형 축산폐수처리장치에 이식한 수생

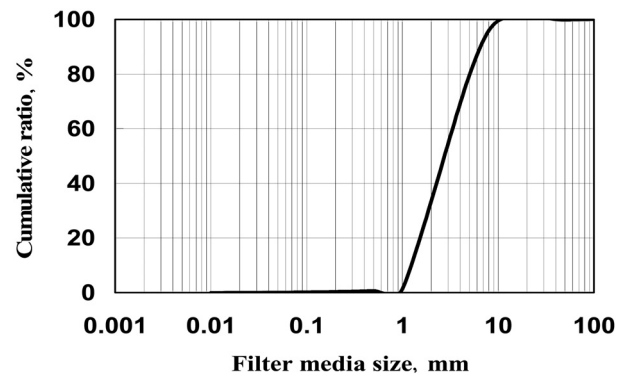


Fig. 1. Particle distributions of the filter medium used.

Table 1. Characteristics of the livestock wastewater used.

	pH	COD	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.

Table 2. Chemical characteristics of the filter medium used.

pH	EC	OM	T-N	T-P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			----- mg kg ⁻¹ -----									
1:5H ₂ O	dS m ⁻¹	%										
7.9	0.05	0.54	15.9	23.0	1,638	464	2,212	489	2,428	51	0.2	15

식물은 다년생 수생식물인 갈대 및 노랑꽃창포 등 2종이었으며, 모든 수생식물은 야외노지에서 성장한 수초를 분주하여 재식거리 20 cm되게 9주씩 이식하였다.

인공습지 축산폐수처리장치의 설계 및 시공 소형 인공습지 축산폐수처리장치는 호기성조, 혐기성조 및 무산소조를 조합방법별로 구분하여 호기-혐기 조합형 (ae-an), 호기-호기 조합형 (ae-ae), 호기-무산소 조합형 (ae-ox), 혐기-혐기 조합형 (an-an), 혐기-호기 조합형 (an-ae), 혐기-무산소 조합형 (an-ox), 무산소-혐기 조합형 (ox-an), 무산소-호기 조합형 (ox-ae) 및 무산소-무산소 조합형 (ox-ox)으로 하여 총 9개의 조합으로 각 조의 크기는 공회 직경 0.60 m x 높이 0.72 m인 플라스틱 원통을 사용하여 용량이 0.20 m³ 되게 제작하였다 (Fig. 2). 소형 축산폐수처리장치의 호기성조 및 혐기성조에 각각 왕사를 충전하였고, 여재 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. 각 조합형의 소형 축산폐수처리장치에서 축산폐수의 흐름은 호기성조에 축산폐수를 위로부터 유입시켜 아래로 수직여과방식으로 처리하여 유출된 호기성조 처리수는 자연유하식으로 혐기성조로 유입되게 하였고, 혐기성조에 유입된 축산폐수는 3등분된 혐기성조에서 수평의 지그재그 방향으로 흐르게 하였다.

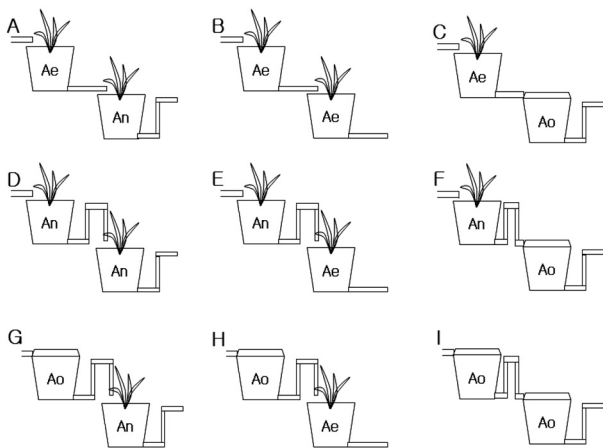


Fig. 2. Schematic diagrams of small-scale for treating the livestock wastewater apparatus. (A: Aerobic(Ae)-Anaerobic(An) beds system; B: Aerobic(Ae)-Aerobic(Ae) beds system; C: Aerobic(Ae)-Anoxic(Ao) beds system; D: Anaerobic(An)-Anaerobic(An) beds system; E: Anaerobic(An)-Aerobic(Ae) beds system; F: Anaerobic(An)-Anoxic(Ao) beds system; G: Anoxic(Ao)-Anaerobic(An) beds system; H: Anoxic(Ao)-Aerobic(Ae) beds system; I: Anoxic(Ao)-Anoxic(Ao) beds system).

인공습지 축산폐수처리장치의 운전조건 및 조사시기 처리공법의 조합방법에 따른 수처리 효율 조사는 자연정화 공법에 의한 소형 축산폐수처리장치를 호기-혐기 조합형, 호기-호기 조합형, 호기-무산소 조합형, 혐기-혐기 조합형, 혐기-호기 조합형, 혐기-무산소 조합형, 무산소-혐기 조합형, 무산소-호기 조합형 및 무산소-무산소 조합형의 총 9개 조합으로 구분하여 설계 및 시공하여 축산폐수 부하량을 100 L m⁻² day⁻¹로 한 조건하에서 COD, SS, T-N 및 T-P 처리효율을 각각 조사하였고, 축산폐수 부하량에 따른 수처리 효율은 최적 조합방법 하에서 축산폐수 부하량에 대한 대응성을 조사하기 위해 축산폐수 부하량을 50, 100 및 200 L m⁻² day⁻¹로 달리하여 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율을 각각 조사하였다.

소형 인공습지 축산폐수처리장치에서의 수처리 효율조사는 2009년 6월부터 2010년 1월 31일까지 매달 실시하였으며, 시료의 채취는 처음 3주간은 1주 1회, 마지막 주에는 격일로 4회 분석하여, 총 7회 분석한 결과를 평균하여 각 조건에서의 수처리 효율을 구하였다.

분석방법 수질 분석은 수질오염공정시험법과 APHA (APHA, 2005)의 standard method (Kim et al., 2001)에 준하여 다음과 같이 하였다. COD는 산성 KMnO₄법, 부유물질은 유리섬유여지법, 총 질소는 자외선 흡광광도법, 총 인은 아스코르빈산 환원법으로 분석하였으며, 여재 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법 (토양, 식물체, 토양미생물)에 준하여 다음과 같이 하였다 (NIAS, 1988). pH는 초차 전극법 및 EC는 EC meter (Orion, Model 160, Germany)로 각각 분석하였으며, 유기물은 Tyurin법, T-N은 Kjeldahl 법 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

인공습지 축산폐수처리장치에서 조합방법에 따른 수처리 효율 소형 축산폐수처리장치에서 조합방법에 따른 COD 처리효율은 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 1차 처리수 중의 조합방법별 COD 처리효율은 호기성조가 55.3~58.3% 정도로 혐기성조의 47.1~48.2%와 무산소조의 43.9~46.7%에 비해 약간 높았다. 이와 같이 호기성조가 혐기성조 및 무산소조에 비해 COD 처리효율이 약간 높은 것은 호기성상태에서 대부분의 유기물이 쉽게 분해되기 때문으로 판단되며, 이 결과는 Heo (2007)와 Seo (2005)의 인공습지 하수처리

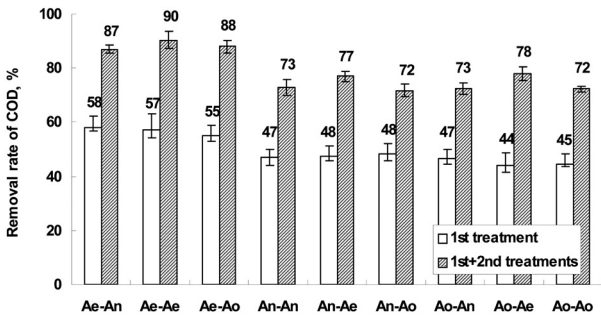


Fig. 3. Removal rate of COD in the water under different configuration method in livestock wastewater treatment apparatus (Ae : Aerobic ; An : Anaerobic ; Ao : Anoxic).

장과 유사한 경향이였다. 1차 처리된 후 2차 처리수 중의 조합방법별 COD 처리효율은 Ae-Ae > Ae-An ≒ Ae-Ao > An-Ae ≒ Ao-Ae > Ao-An ≒ An-Ao ≒ An-An ≒ Ao-Ao의 순으로 호기성조 (Ae)-호기성조 (Ae) 조합형이 90.5%로 다른 조합방법에 비해 약간 높은 반면에 무산소조 (Ao)-무산소조 (Ao)와 혐기성조 (An)-혐기성조 (An) 조합형은 각각 72.3% 및 72.6%로 가장 낮은 처리효율을 보였다. Seo et al. (2006)과 Park (2009)는 하수 및 폐양액 처리를 위한 인공습지에서 유기물 처리효율이 가장 높은 조합방법은 호기성조-호기성조 조합형으로 보고하였는데, 본 인공습지에 의한 축산폐수처리장치도 동일한 경향이였다. 하지만 호기성조-호기성조 조합형의 경우 질소처리를 위한 탈질과정이 없어 축산폐수처리에 적합하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 축산폐수를 효율적으로 처리하기 위해서는 유기물 처리효율이 높으면서 탈질이 가능한 호기성조-혐기성조 조합형이 바람직할 것으로 판단된다.

소형 축산폐수처리장치에서 1차 처리수 중의 조합방법별 SS 처리효율은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 처리공법에 따라 별 차이 없이 82.7~88.1% 정도로 전반적으로 높은 처리효율을 보였다. 이와 같은 결과는 부유물질의 주된 처리가 여재에 의한 여과이기 때문으로 판단되며, Seo (2005)도 유사한 결과를 보고한 바 있다. 그러나 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 궁극적으로 처리된다 (Heo, 2007; Jo, 2003).

1차 처리된 후 2차 처리수 중의 조합방법별 SS 처리효율은 Ae-Ae 및 Ao-Ae 조합형을 제외한 모든 조합방법에서 큰 차이 없이 약 90~94%로 매우 높았으나, 이에 반해 무산소조 (Ao)-호기성조 (Ae)와 호기성조 (Ae)-호기성조 (Ae) 조합형은 각각 89.3% 및 88.4%로 가장 낮은 처리효율을 보였다. Seo et al. (2006)은 하수처리를 위한 인공습지에

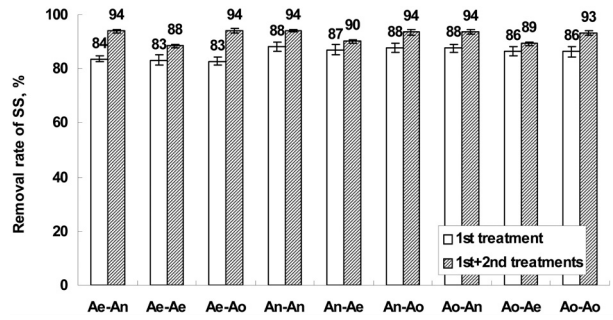


Fig. 4. Removal rate of SS in the water under different configuration method in livestock wastewater treatment apparatus (Ae : Aerobic ; An : Anaerobic ; Ao : Anoxic).

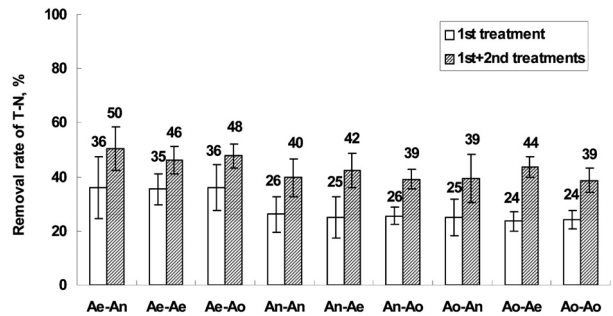


Fig. 5. Removal rate of T-N in the water under different configuration method in livestock wastewater treatment apparatus (Ae : Aerobic ; An : Anaerobic ; Ao : Anoxic).

서 SS 처리효율은 조합방법에 상관없이 모든 조건에서 높은 처리효율을 보인다고 보고하였는데, 본 처리장치에서도 유사한 경향이였다.

소형 축산폐수처리장치에서 조합방법에 따른 T-N 처리효율은 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 1차 처리수 중의 조합방법별 T-N 처리효율은 호기성조가 35.5~36.1% 정도로 혐기성조의 25.1~26.1%와 무산소조의 23.6~25.0%에 비해 약간 높았다. 이와 같이 호기성조가 혐기성조 및 무산소조에 비해 T-N 처리효율이 약간 높았다. 1차 처리된 후 2차 처리수 중의 조합방법별 T-N 처리효율은 Ae-An > Ae-Ao > Ae-Ae > Ao-Ae > An-Ae ≒ An-An ≒ Ao-An > An-Ao > Ao-Ao의 순으로 호기성조 (Ae)-혐기성조 (An) 조합형이 50.4%로 다른 조합방법에 비해 약간 높은 반면에 혐기성조 (An)-무산소조 (Ao)와 무산소조 (Ao)-무산소조 (Ao) 조합형은 각각 39.2% 및 38.7%로 가장 낮은 처리효율을 보였다. 인공습지에서 호기성조 만으로는 총 질소의 처리효율이 그 다지 높지 않는 것은 전환된 NO₃-N이 혐기성조건에서 의해 탈질이 되어야 하나 호기성조만으로는 탈질이 거의 일어나지 못하기 때문에 Seo (2005)와 Heo (2007)가 인공습지 하수처리장에서 유사한 결과를 보고한 바 있다.

소형 축산폐수처리장치에서 조합방법에 따른 T-P 처리효율을 조사한 결과 Fig. 6과 같이 1차 처리수 중의 조합방법별 T-P 처리효율은 무산소가 83.9~85.6% 정도로 호

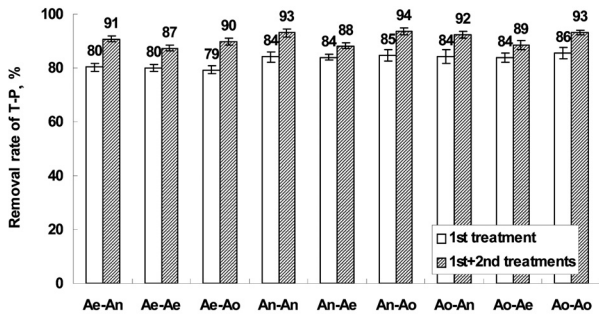


Fig. 6. Removal rate of T-P in the water under different configuration method in livestock wastewater treatment apparatus (Ae : Aerobic ; An : Anaerobic ; Ao : Anoxic).

기성조의 79.2~80.3%와 혐기성조의 84.0~84.1%에 비해 미미하게 높았다.

1차 처리된 후 2차 처리수 중의 조합방법별 T-P 처리효율은 An-Ao ≒ Ao-Ao ≒ An-An > Ao-An > Ae-An > Ae-Ao > Ao-Ae ≒ An-Ae > Ae-Ae의 순으로 혐기성조 (An)-무산소조 (Ao) 조합형이 93.6%로 다른 조합방법에 비해 약간 높은 반면에 혐기성조 (An)-호기성조 (Ae)와 호기성조 (Ae)-호기성조 (Ae) 조합형은 각각 88.2 및 87.3%로 가장 낮은 처리효율을 보였다. 이와 같이 혐기성조 및 무산소조가 호기성조에 비해 T-P의 처리효율이 약간 높은 것은 수평 흐름인 혐기성조 및 무산소조가 수직흐름조인 호기성조에 비해 축산폐수의 체류시간이 상대적으로 길게 설계되었기 때문으로 판단된다.

T-P의 처리기작은 인산염의 침전, 기질에의 흡착, 수생 식물에 의한 흡수 및 조류와 세균에 의한 흡수 등으로 예상할 수 있다. 일반적으로 인공습지에서 인 처리는 대부분 흡착과 침전에 의해 주로 처리되며, 식물흡수에 의한 흡수나 미생물에 의한 처리량은 전반적으로 매우 낮은 것으로 알려져 있다 (Seo, 2005).

축산폐수 부하량에 따른 수처리 효율

축산폐수 부하량에 따른 수처리 효율 조사는 최적 조합방법인 호기-혐기 조합방법하에서 축산폐수 부하량에 대한 적응성을 조사하기 위해 축산폐수 부하량을 50, 100 및 200 L m⁻² day⁻¹로 달리하여 수처리 처리효율을 각각 조사하였고, 그 결과는 다음과 같다. 축산폐수처리장치에서 축산폐수 부하량에 따른 축산폐수 중 COD의 처리효율은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 축산폐수 원수의 COD는 2,355 mg L⁻¹이었으며, 1차 처리인 호기성조를 통과하면서 899.3~1,172.6 mg L⁻¹ 정도로 처리되어 COD 처리효율이 49.9~61.8% 정도이었고, 전반적으로 1차 처리수의 경우 축산폐수 부하량이 증가함에 따라 COD 처리효율이 점점 감소되는 경향이 있었다. 특히, 축산폐수 부하량 50~100 L m⁻² day⁻¹의 경우 COD 처리효율은 58.3~61.8% 정도이었으나, 축산폐수 부

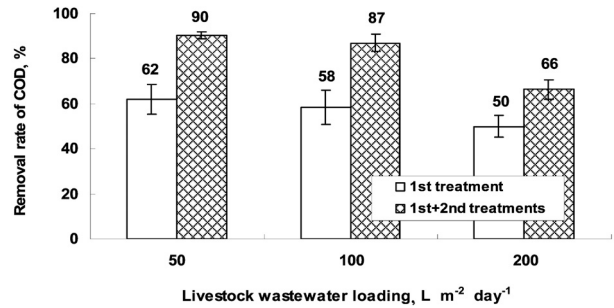


Fig. 7. Removal rate of COD in the water under different livestock wastewater loading in small-scale livestock wastewater treatment apparatus.

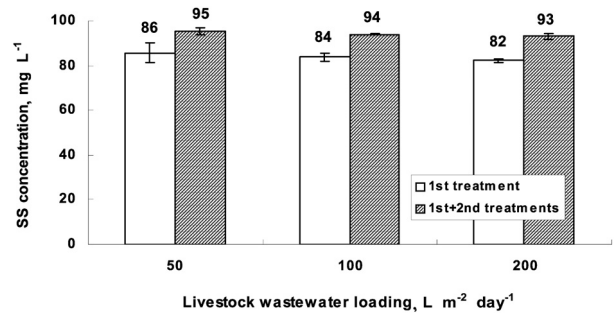


Fig. 8. Removal rate of SS in the water under different livestock wastewater loading in small-scale livestock wastewater treatment apparatus.

하량 200 L m⁻² day⁻¹의 경우 COD 처리효율이 약 49.9% 정도로 축산폐수 부하량 100 L m⁻² day⁻¹ 이상부터 처리효율이 감소하는 것으로 판단된다. 2차 처리수 중의 축산폐수 부하량별 COD 처리효율은 축산폐수 부하량 100 L m⁻² day⁻¹까지는 별 차이 없이 유사하거나 미미하게 감소하였으나, 축산폐수 부하량 200 L m⁻² day⁻¹ 이상에서는 100 L m⁻² day⁻¹에 비해 큰 폭으로 감소하였다. 따라서 축산폐수 부하량별 COD 처리효율은 50 L m⁻² day⁻¹ ≒ 100 L m⁻² day⁻¹ > 200 L m⁻² day⁻¹ 순이었다. Kim (2008)은 인공습지를 이용한 전원독립가구 하수처리장에서 부하량 900 L m⁻² day⁻¹ 이상 주입시 COD 처리효율이 감소한다고 하였는데, 본 처리장치에서는 유입되는 축산폐수의 COD 농도가 일반 하수에 비해 매우 높아 상대적으로 처리가능한 부하량이 적은것으로 판단된다. 이상의 결과를 미루어 볼 때, 소형 축산폐수처리장치에서 효과적인 COD 처리를 위한 최적 축산폐수 부하량은 100 L m⁻² day⁻¹이었다.

소형 축산폐수처리장치에서 축산폐수 부하량에 따른 축산폐수 중 SS의 처리효율을 조사한 결과 (Fig. 8) 축산폐수 원수의 SS 함량은 3,684 mg L⁻¹이었으며, 1차 처리인 호기성조를 통과하면서 518.6~638.6 mg L⁻¹ 정도로 유출되어 SS 처리효율이 82.3~85.7% 정도로 SS 처리효율은 COD 처리효율과 달리 축산폐수 부하량에 따라 별 차이 없었다. 이와 같이 축산폐수 부하량에 따라 SS 처리효율이

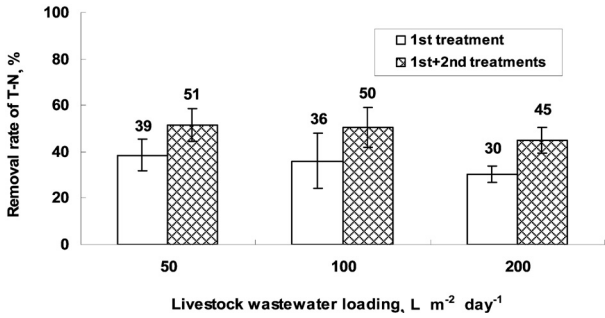


Fig. 9. Removal rate of T-N in the water under different livestock wastewater loading small-scale in livestock wastewater treatment apparatus.

별 차이 없는 것은 본 소형 축산폐수처리장치는 여재에 의해 대부분의 SS가 여과되는 시스템이기 때문이다. 1차 처리된 후 2차 처리수 중의 축산폐수 부하량별 SS 처리효율은 93.1~95.4% 정도로 축산폐수 부하량에 따라 별 차이 없이 유사한 경향이였다. 따라서 축산폐수 부하량별 SS 처리효율은 50 L m⁻² day⁻¹ ≒ 100 L m⁻² day⁻¹ ≒ 200 L m⁻² day⁻¹ 순으로 나타났다. 따라서 소형 축산폐수처리장치에서 효과적인 SS 처리를 위한 최적 축산폐수 부하량은 200 L m⁻² day⁻¹ 정도로 SS 처리만을 위해서는 그 이상의 부하량도 가능할 것으로 판단된다. 하지만 상기 축산폐수 부하량별 COD 처리효율에서 부하량 100 L m⁻² day⁻¹ 이상 처리시 처리효율이 감소되어 100 L m⁻² day⁻¹ 이상으로 처리가 어려울 것으로 판단된다.

소형 축산폐수처리장치에서 축산폐수 부하량에 따른 축산폐수 중 T-N의 처리효율은 Fig. 9에서 보는 바와 같이 축산폐수 원수의 T-N 함량은 2,455 mg L⁻¹이었으며, 1차 처리인 호기성조를 통과하면서 1,497.3~1,707.4 mg L⁻¹ 정도로 유출되어 T-N 처리효율이 30.3~38.6% 정도이었고, 전반적으로 1차 처리수의 경우 축산폐수 부하량이 증가함에 따라 T-N 처리효율이 점점 감소되는 경향이였다. 특히, 축산폐수 부하량 50~100 L m⁻² day⁻¹의 경우 T-N 처리효율은 35.9~38.6% 정도이였으나, 축산폐수 부하량 200 L m⁻² day⁻¹의 경우 T-N 처리효율이 30.3% 정도로 축산폐수 부하량 200 L m⁻² day⁻¹ 이상부터 처리효율이 감소하는 것으로 판단된다.

소형 축산폐수처리장치에서 2차 처리수 중의 부하량별 T-N 처리효율은 축산폐수 부하량 100 L m⁻² day⁻¹까지는 별 차이 없이 비슷하거나 미미하게 감소하였으나, 축산폐수 부하량 200 L m⁻² day⁻¹ 이상에서는 100 L m⁻² day⁻¹에 비해 약간 감소하였다. 따라서 축산폐수 부하량별 T-N 처리효율은 50 L m⁻² day⁻¹ ≒ 100 L m⁻² day⁻¹ > 200 L m⁻² day⁻¹ 순으로 나타났다. 따라서 소형 축산폐수처리장치에서 효과적인 T-N 처리를 위한 최적 축산폐수 부하량은 100 L m⁻² day⁻¹이었다.

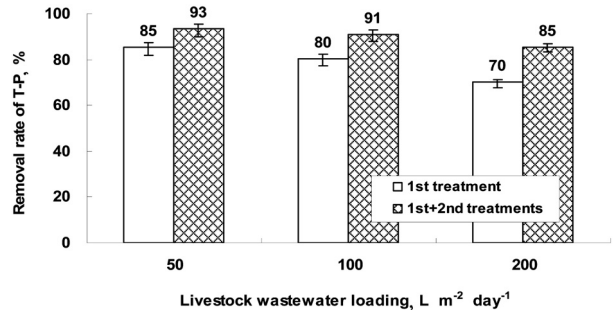


Fig. 10. Removal rate of T-P in the water under different livestock wastewater loading small-scale in livestock wastewater treatment apparatus.

소형 축산폐수처리장치에서 축산폐수 부하량에 따른 축산폐수 중 T-P의 처리효율은 Fig. 10에서 보는 바와 같다. 축산폐수 원수의 T-P는 124.6 mg L⁻¹이었으며, 1차 처리인 호기성조를 통과하면서 20.0~34.6 mg L⁻¹ 정도로 처리되어 T-P 처리효율이 72.1~83.9% 정도이었고, 전반적으로 1차 처리수의 경우 축산폐수 부하량이 증가함에 따라 T-P 처리효율이 점점 감소되는 경향이였다. 특히, 축산폐수 부하량 50~100 L m⁻² day⁻¹의 경우 T-P 처리효율은 80.3~83.9% 정도이였으나, 축산폐수 부하량 200 L m⁻² day⁻¹의 경우 T-P 처리효율이 72.1% 정도로 축산폐수 부하량 200 L m⁻² day⁻¹ 이상부터 처리효율이 감소하는 것으로 판단된다. 1차 처리된 후 2차 처리수 중의 부하량별 T-P 처리효율은 축산폐수 부하량 100 L m⁻² day⁻¹까지는 별 차이 없이 비슷하거나 미미하게 감소하였으나, 축산폐수 부하량 200 L m⁻² day⁻¹ 이상에서는 100 L m⁻² day⁻¹에 비해 감소하였다. 따라서 축산폐수 부하량별 T-P 처리효율은 50 L m⁻² day⁻¹ ≒ 100 L m⁻² day⁻¹ > 200 L m⁻² day⁻¹ 순으로 나타났다. 이상의 결과를 미루어 볼 때, 소형 축산폐수처리장치에서 효과적인 T-P 처리를 위한 최적 축산폐수 부하량은 100 L m⁻² day⁻¹이었다.

요 약

축산농가에서 소규모로 발생하는 축산폐수를 인공습지에서 효율적으로 처리하기 위한 최적 조합방법 및 부하량을 조사하기 위해 호기성조, 혐기성조 및 무산소조를 구분하여 9개 시스템의 소형 축산폐수처리장치를 설계 및 제작한 다음 조합방법별 및 부하량별에 따른 수처리 효율을 조사하였다. 축산폐수처리장치의 조합방법에 따른 처리효율을 조사한 결과 COD 처리효율은 호기-호기 조합형과 호기-혐기 조합형이 다른 조합방법에 비해 높았으며, T-N 처리효율은 호기성조-혐기성조 조합형이 다른 조합방법에 비해 높은 처리효율을 보였다. 또한 조합방법에 따른 SS 및 T-P 처리효율은 큰 차이가 없었다. 소형 축산폐수 처리장

치에서 부하량에 따른 처리효율을 조사한 결과 SS를 제외한 COD, T-N 및 T-P 처리효율은 축산폐수 부하량 $100 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 까지 안정적이었으나, $100 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 이상의 부하량에서는 처리효율이 약간 감소하였다. 소형 축산폐수처리장치에서 SS처리의 경우 부하량 $200 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 까지 안정적인 처리효율을 보였으며, 그 이상의 부하량도 처리가 가능할 것으로 판단된다. 이상의 결과 미루어 볼 때, 축산폐수를 처리하기 위한 소형 축산폐수처리장치의 최적 조합방법은 호기-혐기 조합이었으며, 부하량은 $100 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 이었다.

감사의 글

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

인용 문헌

- 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.
- 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.
- 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.
- Ministry of Environmental. 2006. 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.
- Park, W.Y. 2009. Development of Constructed Wetlands by Sulfur Oxidizing Denitrifying Bacteria for Treating the Hydroponic Waste Solution Containing High Nitrate. Master Thesis. Gyeongsang National University, Korea.
- Seo, D.C., Jang, B.I., Jo, I.S., Lim, S.C., Lee, H.J., Cho, J.S., Kim, H.C., and Heo, J.S. 2006. Selection of Optimum Water Plant in Constructed Wetland by Natural Purification Method for Municipal Sewage Treatment. Kor. J. Environ. Agric. 25(1):25-33.
- Seo, D.C., Lee, B.J., Hwang, S.H., Lee, H.J., Cho, J.S., Lee, S.W., Kim, H.C. 2006. Treatment Efficiency of Existing Forms of Pollutants in Sewage Treatment Plant by natural purification method. Kor. J. Environ. Agric. 25(2):129-137.
- 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. 2002. Development of Sewage Treatment Apparatus by Natural Purification Method. Master Thesis. Gyeongsang National University, Korea.
- Yun, S.M. 1998. The analysis of self-cleansing power through the sewage disposal model of water plants and aggregate. Master Thesis, Korea National University of Education, Korea.