

## 자연정화공법에 의한 인공습지에서 효과적인 축산폐수처리를 위한 최적 전처리방법 구명

박종환<sup>†</sup> · 서동철<sup>1†</sup> · 김아름 · 김성현 · 이성태<sup>2</sup> · 정태욱<sup>3</sup> · 최정호<sup>4</sup> · 이상원<sup>5</sup>  
조주식<sup>1\*\*</sup> · 김현욱<sup>6</sup> · 허종수\*

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

## Optimum Pre-treatment Method in Constructed Wetlands by Natural Purification Method for Treating Livestock Wastewater

Jong-Hwan Park<sup>†</sup>, Dong-Cheol Seo<sup>1†</sup>, Ah-Reum Kim, Sung-Hun Kim, Seong-Tea Lee<sup>2</sup>, Tae-Uk Jeong<sup>3</sup>,  
Jeong-Ho Choi<sup>4</sup>, Sang-Won Lee<sup>5</sup>, Ju-Sik Cho<sup>1\*\*</sup>, Hyunook Kim<sup>6</sup>, and Jong-Soo Heo\*

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

In order to obtain optimum pre-treatment methods and improve T-N and T-P removal efficiencies, removal rates of pollutants in small-scale livestock wastewater treatment apparatus with water plant filtration bed or activated sludge tank were investigated. Based on the results from the optimum pre-treatment in small-scale livestock wastewater treatment apparatus, removal efficiencies of pollutants in livestock wastewater treatment plant with water plant filtration and activated sludge beds. The removal rates of COD, SS, T-N, and T-P in effluent were 83, 89, 63 and 87% in small-scale livestock wastewater treatment apparatus with water plant filtration bed, respectively. The removal rates of COD, SS, T-N, and T-P in effluent were 96, 95, 86 and 92% in small-scale livestock wastewater treatment apparatus with activated sludge tank, respectively. For increasing the COD, SS, T-N, and T-P removals in small-scale livestock wastewater treatment apparatus, the water plant filtration and activated sludge beds are recommended. In livestock wastewater treatment plant with water plant filtration (1<sup>st</sup> treatment) and activated sludge (2<sup>nd</sup> treatment) beds, the concentrations of COD, SS, T-N, and T-P in effluent were 39, 15, 42 and 1 mg L<sup>-1</sup>, respectively. It was shown that the concentrations of COD, SS, T-N, and T-P met acceptable effluent quality standard for livestock wastewater. Based on the above results, the removal rates of COD, SS, T-N, and T-P in effluent were over 99.8, 99.9, 99.2, and 99.9% in livestock wastewater treatment plant, respectively.

**Key words:** Livestock wastewater, COD, SS, T-N, T-P, Constructed wetlands, Water plant filtration, Activated sludge

## 서 언

2008년말 현재 소, 돼지의 가축분뇨 발생량은 일일 133,964

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

<sup>†</sup>공동 제1저자

m<sup>3</sup>이며, 이 중 돼지는 78,148 m<sup>3</sup>, 젖소는 20,338 m<sup>3</sup>, 한우는 35,478 m<sup>3</sup>로 돼지 사육농가에서 발생하는 가축분뇨가 58%로 가장 많은 양을 차지하고 있으며, 사육규모 별로는 대규모 사육농가인 허가대상이 52%, 중규모 사육농가인 신고 대상이 35%로 축산농가가 점점 대규모화 되고 있는 실정이다 (Park, 2011).

일반적으로 축산폐수처리시설 적용되고 있는 축산폐수

처리공법은 활성슬러지 공법이지만 이 공법은 운전시 폭 기조 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 문제점이 많은 것으로 알려져 있다 (Kim, 1996; Park et al., 2011). Park (1997)에 의하면, 물리·화학적 처리방법은 약품처리에 의한 비경제성과 응집으로 생성된 다량의 슬러지 처리문제 및 약품투입 등으로 인한 2차 오염 등의 문제점이 있다. 액상 부식법은 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 처리 비용 증가, 부식으로 인한 기기 수명의 단축 등의 문제점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이에 축산폐수의 정화처리 시설은 건설비 및 유지관리비가 저렴하고, 질소 및 인의 처리효율이 높은 축산폐수 처리장이 필요할 것으로 판단되어 본 연구진은 인공습지 축산폐수처리장을 개발을 위한 기초선행연구를 수행하였다 (Heo, 2007). Park (2011)은 자연정화공법을 이용한 축산폐수처리의 경우 축산농가로부터 배출되는 고농도의 오염물질을 함유한 축산폐수를 전처리 과정없이 직접적으로 처리하기에는 많은 부지면적이 소요되는 한계점이 있는 것으로 보고한 바 있다. 축산폐수처리시스템에서 이들 문제점을 보완하기 위해서는 전처리 방법이나 후처리 공정이 필요할 것으로 판단된다.

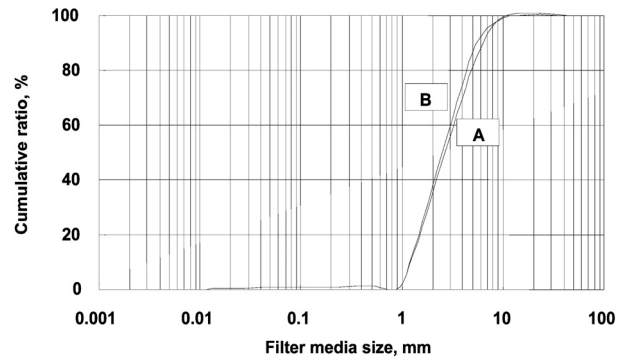
따라서 자연정화공법에 의한 축산폐수처리장에서 효과적인 축산폐수처리를 위한 최적 전처리방법을 구명하기 위해 기존 선행연구 (Park et al., 2011)를 통해 개발된 축산

폐수처리 시스템에 전처리방법으로 수생식물여과법과 활성슬러지법을 적용하여 최적 전처리방법을 조사하였다. 또한, 최적 전처리방법을 실제 현장 축산폐수처리장에 연계하여 시공한 후 전처리방법의 효율성과 안전성을 검토하기 위해 수처리 효율을 6개월동안 모니터링하였다.

### 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, 소형 축산폐수처리장치와 현장 축산폐수처리장에 사용한 여재의 이화학적 특성은 Table 2 및 Fig. 1에서 보는 바와 같다.



**Fig. 1. Particle size 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).

**Table 1. Characteristics of the livestock wastewater used.**

pH	EC	COD	SS	T-N	T-P
	dS m <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>			
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.**

Filter media	pH	EC	OM	T-N	T-P
	1:5H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	
Mixed filter media A <sup>†</sup>	8.0	0.06	0.59	11.1	30.5
Mixed filter media B	7.5	0.05	0.69	16.2	51.4

Filter media	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>							
Mixed filter media A	15,688	69,373	2,484	308	3,741	1.35	149	85.5
Mixed filter media B	1,643	1,451	1,009	324.1	2,972	11.4	114.6	5.2

<sup>†</sup>A, Mixed filter media A (Coarse sand : Broken stone : Calcite = 3 : 2 : 1) for aerobic bed;  
 B, Mixed filter media B (Coarse sand : Broken stone : Zeolite = 3 : 2 : 1) for anaerobic bed.

소형 축산폐수처리장치와 현장 축산폐수처리장에 사용된 여재는 호기성조의 경우 왕사, 쇠석 및 방해석을 3:2:1로 혼합한 여재를 사용하였고, 혐기성조의 경우 왕사, 쇠석 및 제올라이트를 3:2:1로 혼합한 여재를 사용하였다. 호기성조 여재 및 혐기성조 여재의 유효입경 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 10%되는 부분의 여재의 입경 ;  $d_{10}$ )은 각각 2.6 mm이었으며, 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.

**전처리방법 선정을 위한 소형 축산폐수처리장치 설계 및 시공** 수생식물여과조와 인공습지를 연계한 소형 축산폐수처리장치는 Fig. 2와 같이 수생식물여과조와 인공습지를 연결하여 1개 시스템으로 하여 운전이 가능하게 제작하였다. 수생식물여과조에는 자갈을 하부에서부터 0.30 m까지 충전한 후 인공습지에서 생육한 수생식물을 건조하여 3~5 cm 크기로 분쇄하여 하부 0.30 m부터 0.70 m까지 충전하였다. 그리고 인공습지의 호기성조 및 혐기성조의 크기는 모두 직경 0.60 m × 높이 0.72 m인 플라스틱 원통을 사용하여 용량이 0.20 m<sup>3</sup> 되게 제작하였다. 수생식물여과조와 인공습지를 연계한 소형 축산폐수처리장치에서 폐수의 흐름은 폐수를 위로부터 유입하여 아래로 수직여과 방식으로 처리하여

유출된 수생식물여과조의 처리수는 자연유하식으로 아래의 인공습지로 유입되게 하였다.

활성슬러지조와 인공습지를 연계한 소형 축산폐수처리장치는 Fig. 3과 같이 활성슬러지조와 인공습지를 연결하여 1개조로 하여 운전이 가능하게 제작하였다. 활성슬러지조 크기는 세로 0.10 m × 가로 0.45 m × 높이 0.45 m으로 용량이 0.02 m<sup>3</sup> 되게 아크릴판으로 제작하였고, 폭기조 및 교반기를 각각 설치하였으며, 2등분으로 구획하여 침전조를 설치하였다. 인공습지의 호기성조 및 혐기성조의 크기는 세로 0.30 m × 가로 0.30 m × 높이 0.50 m 플라스틱 통을 이용하여 용량이 0.045 m<sup>3</sup> 되게 제작하였다. 활성슬러지조는 산청군 축산폐수 공공처리시설로부터 실제 활성슬러지조내의 축산폐수 환경에 적응된 것을 사용하였다. 소형 축산폐수처리장치의 호기성조는 왕사, 쇠석 및 방해석을 3:2:1로 혼합한 여재를 충전하였고, 혐기성조는 왕사, 쇠석 및 제올라이트를 3:2:1로 혼합하여 충전하였다. 활성슬러지공법과 인공습지를 연계한 소형 축산폐수처리장치에서 축산폐수의 흐름은 활성슬러지조에 축산폐수를 상부에 유입시켜 폭기시킨 후 유출시켰으며, 유출된 처리수는 인공습지로 유입되게 하였다.

**전처리방법이 연계된 현장 축산폐수처리장 설계 및 시공** 현장 축산폐수처리장에 상기 소형 축산폐수처리장

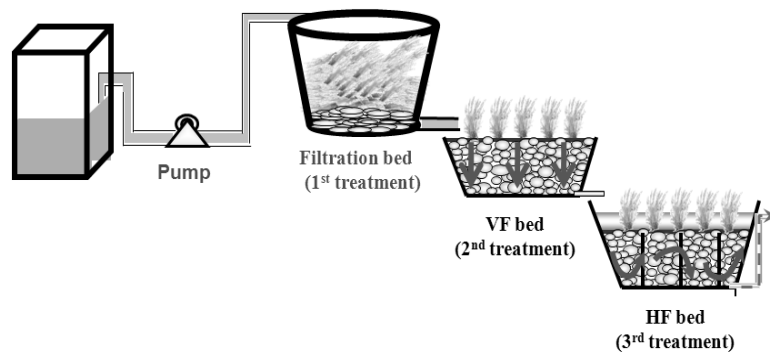


Fig. 2. Diagram of a livestock wastewater treatment apparatus by natural purification method with filtration bed.

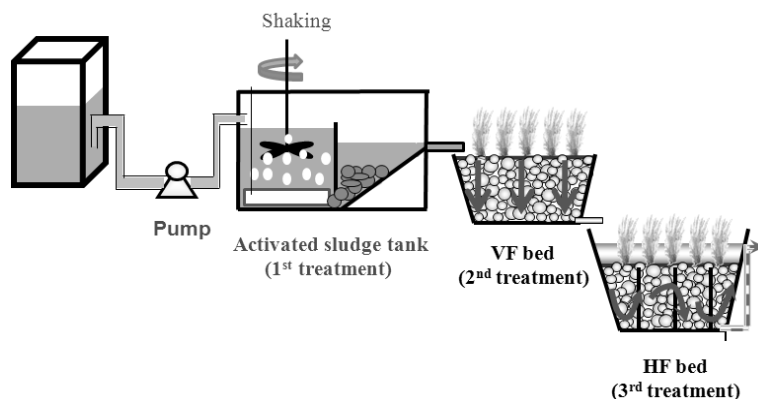


Fig. 3. Diagram of a livestock wastewater treatment apparatus by natural purification method with activated sludge tank.

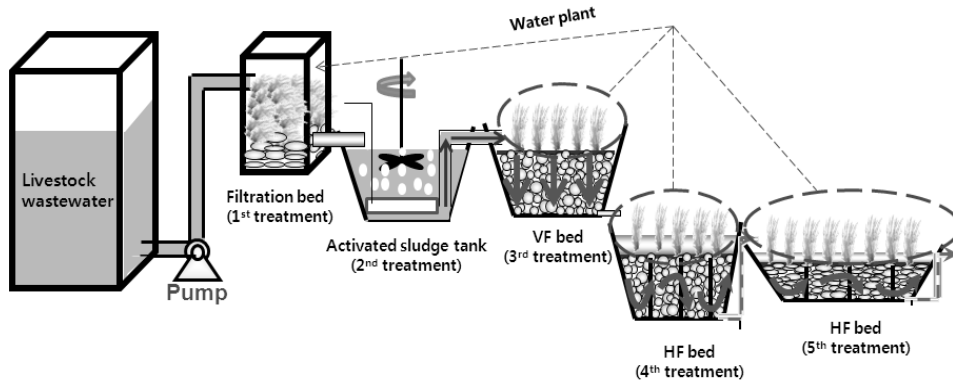


Fig. 4. Diagram of a livestock wastewater treatment system by natural purification method with water plant filtration and activated sludge beds.

치의 최적 전처리방법을 적용하여 수생식물여과조-활성슬러지조-인공습지의 1개 시스템으로 설계 및 시공하였다.

전처리방법이 연계된 현장 축산폐수처리장은 Fig. 4와 같이 수생식물여과조-활성슬러지조-자연정화공법을 연결하여 하나의 시스템으로 운전이 가능하게 제작하였다. 각 조의 크기는 수생식물여과조의 경우 직경 0.90 m × 높이 1.00 m 인 플라스틱 원통을 사용하여 용량이 0.63 m<sup>3</sup> 되게 시공하였으며, 활성슬러지조는 세로 3.0 m × 가로 3.0 m × 높이 1.0 m로 용량이 9.0 m<sup>3</sup>이 되게 시공하였다. 또한 인공습지의 호기성조의 경우 세로 4.0 m × 가로 4.0 m × 높이 1.0 m로 용량이 16.0 m<sup>3</sup>이 되게 제작하였고, 1차 혐기성조의 경우는 세로 4.0 m × 가로 5.0 m × 높이 1.0 m로 용량이 20.0 m<sup>3</sup>이 되게 시공하였으며, 2차 혐기성조의 경우 세로 4.0 m × 가로 5.0 m × 높이 0.5 m로 용량이 10.0 m<sup>3</sup>이 되게 시공하였다. 수생식물여과조에는 자갈을 하부에서부터 0.30 m까지 충전한 후 인공습지에서 생육한 수생식물을 건조하여 3~5 cm 크기로 분쇄하여 하부 0.30 m에서부터 0.90 m까지 충전하였고, 활성슬러지조에는 산청군 축산폐수 공공처리시설에서 채수한 활성슬러지를 하부에서 0.90 m까지 주입하였다. 그리고 인공습지의 호기성조에는 왕사, 쇠석 및 방해석 3:2:1의 비율로 혼합하여 여재를 충전하였고, 혐기성조에는 경우는 왕사, 쇠석 및 제올라이트를 3:2:1의 비율로 혼합하여 충전하였다. 수생식물여과조-활성슬러지조-인공습지를 연계한 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수의 흐름은 1차 수생식물여과조에 축산폐수를 유입시켜 수직여과방식으로 처리하여 유출된 수생식물여과조 처리수는 자연유하식으로 2차 활성슬러지조로 유입되게 하였고, 활성슬러지조에 유입된 축산폐수는 폭기하여 반응조에서 처리가 되게 하였으며, 활성슬러지조에서 처리된 처리수는 인공습지로 유입되게 하였다. 이후 인공습지에서 축산폐수의 흐름은 호기성조에 활성슬러지조에서 처리된 처리수를 위로부터 유입시켜 아래로 수직여과방식으로 처리하여 유출된 호기성조 처리수는 자연유하식으로 1차 및 2차

혐기성조로 순차적으로 유입되게 하였고, 각 혐기성조에 유입된 축산폐수는 수평의 지그재그 방향으로 흐르게 하였다.

**축산폐수처리장 운전조건 및 조사시기** 소형 축산폐수처리장치에서 전처리 방법에 따른 축산폐수 처리효율 조사는 2010년 3월부터 2010년 4월 31일까지 축산폐수 부하량을 100 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>로 한 조건하에서 COD, SS, T-N 및 T-P 처리효율을 각각 조사하였다.

현장 축산폐수처리장에서의 시일별 축산폐수 처리효율은 상기 소형 축산폐수처리장치에서의 조사한 최적 전처리방법의 효율성 및 안정성을 검토하기 2010년 7월 1일부터 2010년 12월 31일까지 수생식물여과조 및 활성슬러지조를 자연정화공법과 연계하여 하나의 시스템으로 설계 및 시공한 후 축산폐수 부하량을 600 L day<sup>-1</sup>로 한 조건에서 COD, SS, T-N, 및 T-P 처리효율을 각각 조사하였다. 시료의 채취는 매달 처음 3주간은 1주 1회, 마지막 주에는 격일로 4회 분석한 결과를 통계처리하여 각 조건에서의 수처리 효율을 조사하였다.

**분석방법** 수질분석은 수질오염공정시험법과 APHA의 standard method에 준하여 다음과 같이 하였다 (APHA, 2005; Kim et al., 2001). COD는 산성 KMnO<sub>4</sub>법, 부유물질은 유리섬유여지법, 총 질소는 자외선 흡광광도법 및 총 인은 아스코르빈산 환원법으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

**수생식물여과조와 연계된 축산폐수처리장치의 수처리 효율** 수생식물여과조와 인공습지를 연계하여 수처리 효율을 조사한 결과 (Fig. 5), 1차 수생식물여과조 처리수 중 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 각각 22, 52, 16 및 45%이었다. 2차 호기성조 처리수에서 COD, SS, T-N 및

T-P의 처리효율은 각각 62, 75, 41 및 77%이었으며, 3차 혐기성조 처리수에서 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 83, 89, 63 및 87%이었다. 수생식물여과조를 전처리로 연계하지 않은 축산폐수처리장에서 최종방류수 중의 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율 (대조구)은 각각 79%, 84%, 45% 및 77%로 전처리조가 없는 축산폐수처리장에서 질소 및 인 처리효율을 각각 18% 및 10% 향상 시킬 수 있었다. Kim et al. (2011)은 산청군 공공처리시설에 유입되는 축산폐수를 호기-혐기 조합형 축산폐수처리장치에서 처리할 경우 COD 84%, SS 94%, T-N 65% 및 T-P 98%의 효율을 보였다고 보고한 바 있으나 본 연구에 사용된 실제 농가에서 배출되는 돈분뇨에 비해 질소 및 인 등의 영양염류의 함량이 낮아 처리효율간의 비교는 하였다. Seo et al. (2006a)은 호기-혐기 조합형 인공습지 하수처리장에서 COD 처리효율이 84%로 높게 처리되었고, 처리된 대부분의 유기물은 호기성조에서 처리되었다고 보고된 바 있으나 본 축산폐수처리장치에서 COD는 모든조에서 점진적으로 감소하는 경향이였다. Lee et al. (1994)의 보고에 의하면 인공습지를 이용한 하수처리에 있어서 COD 감소는 수생식물 뿌리부의 미생물에 의해 유기물이 표면에서 1.5 cm 깊이 사이에서 주로 분해되는데 그 이유는 이 층에 반응기질과 산소가 풍부하여 박테리아의 성장과 활력이 가장 좋기 때문이라고 보고된 바 있다. 또한, Huang et al. (2000)이 인공습지에서 생활하수처리에 관한 실험에서 질소 처리효율은 33~45%범위였고, Lee and Kim (1999)은 식물을 이용한 오수의 고도처리를 위한 실험에서 질소 및 인 처리효율은 각각 40 및 25~30%라고 보고 하였는데, 본 축산폐수처리장치에서 질소 및 인 처리효율은 각각 63 및 87%로 다른 연구자들의 연구결과에 비해 약간 높게 처리되었으나, 유입원수의 농도차이가 많아 처리효율간의 비교는 큰 의미가 없는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 수생식물여과조를 전처리

조로 활용한다면 실제 축산폐수처리장에 축산폐수를 1차 여과한 후 일부분의 질소 및 인 등의 영양성분들이 제거된 1차 처리수를 소형 축산폐수처리장치에 유입시킬 수 있어 질소 및 인 처리효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며, 여과된 축산폐수는 수생식물과 함께 퇴비화에 의해 자원재활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 수생식물에 의해 전처리된 축산폐수는 질소와 인 등의 영양염류의 농도와 유입량이 크게 줄어들어 축산폐수처리장에서 오염물질 부하량을 감소시키는 효과가 있어 축산폐수처리장의 수명 연장에도 도움이 될 것으로 판단되어 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수처리를 위한 전처리 방법으로 적용가능성이 매우 높을 것으로 판단되어진다.

**활성슬러지조와 연계된 축산폐수처리장치의 수처리 효율**

활성슬러지조와 연계된 축산폐수처리장치의 수처리 효율은 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 활성슬러지와 축산폐수처리장치를 연계하여 수처리 효율을 조사한 결과 1차 활성슬러지조 처리수에서 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 각각 63, 72, 53 및 51%이었다. 1차 처리된 후 2차 호기성조 처리수에서 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 각각 89, 88, 68 및 88%이었고, 2차 처리된 후 3차 혐기성조 처리수에서 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 각각 96, 95, 86 및 92%이었다. 활성슬러지조를 전처리로 연계하지 않은 축산폐수처리장에서 최종방류수 중의 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율 (대조구)은 각각 79%, 84%, 45% 및 77%로 전처리조가 없는 축산폐수처리장에서 질소 및 인 처리효율을 41% 및 15% 향상 시킬 수 있었다. Kim et al. (2011)은 산청군 공공처리시설에 유입되는 축산폐수를 호기-혐기 조합형 축산폐수처리장치에서 처리할 경우 COD 84%, SS 94%, T-N 65% 및 T-P 98%의 효율을 보였다고 보고한 바 있으나 유입원수의 질소 및 인 등의 영양염류 함량이 달라 처리효율의 직접적인 비교는 불가능하

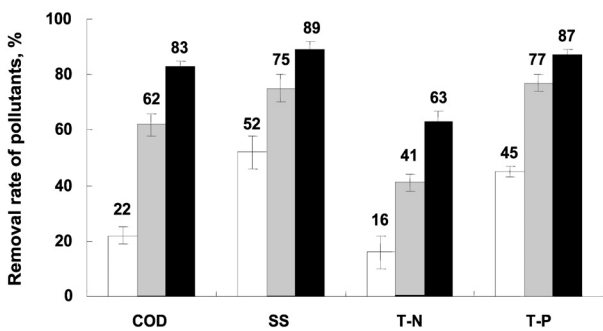


Fig. 5. Removal rates of pollutants in the water in small-scale livestock wastewater treatment apparatus by natural purification method with water plant filtration bed. □, 1<sup>st</sup> treatment -Filtration bed; ▒, 2<sup>nd</sup> treatment -Aerobic bed; ■, 3<sup>rd</sup> treatment -Anaerobic bed.

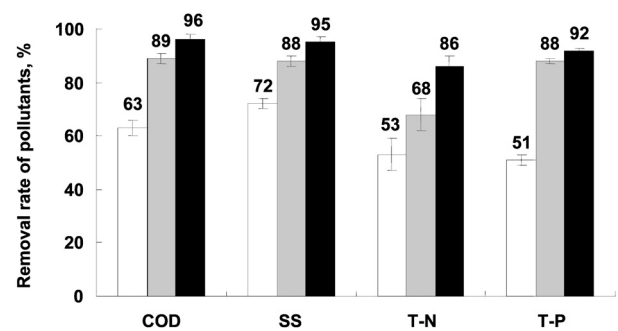


Fig. 6. Removal rates of pollutants in the water in small-scale livestock wastewater treatment apparatus by natural purification method with activated sludge tank. □, 1<sup>st</sup> treatment-Activated sludge bed; ▒, 2<sup>nd</sup> treatment-Aerobic bed; ■, 3<sup>rd</sup> treatment -Anaerobic bed.

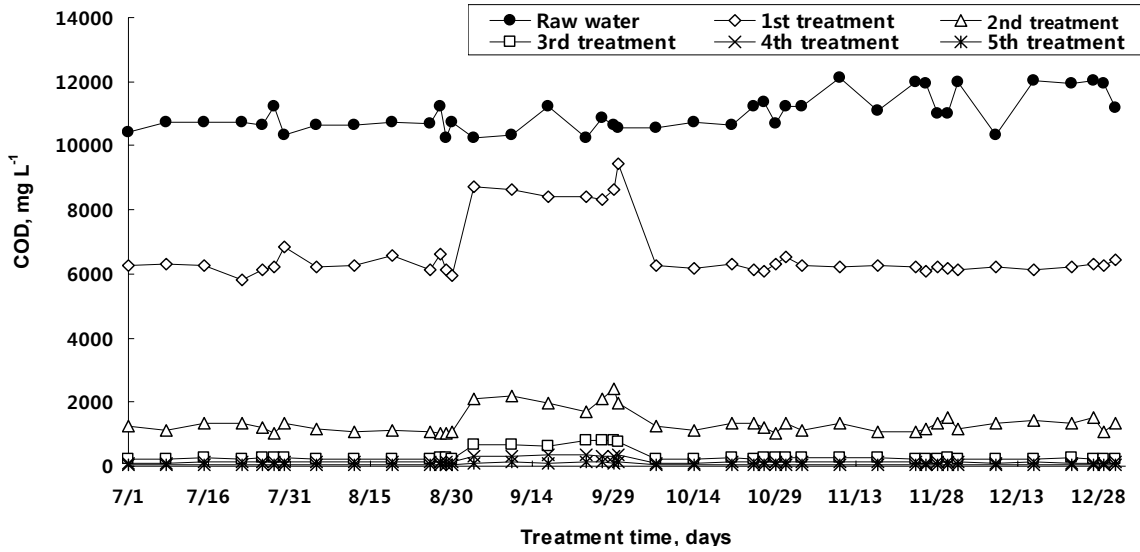


Fig. 7. Variation of COD in the water for 6 months in livestock wastewater treatment plant.

였다. 따라서 활성슬러지조를 전처리조로 활용한다면 실제 축산폐수처리장에 축산폐수를 1차 여과한 후 일부분의 질소 및 인 등의 영양성분들이 제거된 1차 처리수를 소형 축산폐수처리장치에 유입시킬 수 있어 질소 및 인 처리효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며, 또한 활성슬러지조에 의해 전처리된 축산폐수는 질소와 인 등의 영양염류의 농도가 크게 줄어들어 축산폐수처리장에서 오염물질 부하량을 감소시키는 효과가 있을 것으로 판단된다.

**최적 전처리방법이 연계된 현장 축산폐수처리장에서의 처리시일별 처리효율** 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 처리시일에 따른 COD의 변화를 조사한 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 원수의 COD는 10,246~12,101 mg L<sup>-1</sup>로 처리시일에 따라 다소 편차가 있었다. 이러한 편차는 현장 축산폐수처리장의 집수조 내 부유물질 및 침전물 등의 유입에 의한 것으로 판단된다.

본 수생식물여과조-활성슬러지조-인공습지 조합형 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 처리시일에 따른 COD 처리효율은 축산폐수 처리시일이 경과할수록 안정화되는 경향으로서 축산폐수처리장 운전 1~2개월까지는 초기 안정화를 위해 적은 양의 축산폐수를 유입시켰으며, 이로 인해 안정적인 COD 처리가 가능하였으나 운전 3개월 후에 점점 많은 양의 축산폐수를 유입시켰으며, 이로 인하여 1차 및 2차 처리조에서의 COD가 다소 높게 배출되었으나 3차 처리조 이후부터는 다시 안정적으로 처리되었다. 현장 축산폐수처리장 운전 4개월 이후부터는 모든 조건에서 축산폐수처리장내 미생물과 수생식물의 활착으로 인해 안정적인 COD 처리가 가능하였다 (Lee et al., 1994).

현장 축산폐수처리장에서 1차 처리인 수생식물여과조 처

리수의 COD는 5,798~9,451 mg L<sup>-1</sup> 범위로 축산폐수 원수에 비해 약간 감소하는 경향이었고, 1차 처리된 다음 2차 처리인 활성슬러지조 처리수의 COD는 1,012~2,201 mg L<sup>-1</sup> 범위로 수생식물여과조 처리수에 비해 COD가 급격히 감소하였다. 2차 처리된 다음 3차 처리인 호기성조 처리수의 COD는 212~791 mg L<sup>-1</sup> 범위로 COD가 급격히 감소하였고, 3차 처리된 다음 4차 처리인 혐기성조 I 처리수의 COD는 101~346 mg L<sup>-1</sup> 범위로 3차 처리수에 비해 COD가 약간 감소하였으며, 4차 처리된 다음 5차 처리인 혐기성조 II 처리수의 COD는 26.4~346 mg L<sup>-1</sup> 범위로 최종방류수에서 안정적으로 COD가 처리되었다. 특히 COD는 2차 처리인 활성슬러지조와 3차 처리인 호기성조를 통과하면서 급격하게 감소되었다. 이는 활성슬러지조에서 폭기시설과 호기성조의 통기관에 의한 산소공급으로 인해 이들 조 전체에서 호기성 미생물에 충분한 산소를 공급함으로써 대부분의 유기물이 분해되었기 때문으로 사료된다 (Kim, 2003; Seo, 2005).

이상의 결과를 미루어 볼 때 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 처리시일에 따른 COD 처리효율을 조사한 결과 COD가 처리장내에 유입되는 축산폐수가 고농도임에도 불구하고 전반적으로 현장 축산폐수처리장은 COD를 매우 안정적으로 처리하였다.

현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 처리시일에 따른 SS의 함량변화를 조사한 결과는 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 원수의 SS 함량은 10,324~13,240 mg L<sup>-1</sup> 범위로 처리시일에 따라 다소 편차가 있었다. 본 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수의 처리시일에 따른 SS 처리효율은 축산폐수의 처리시일에 따라 별 차이 없이 안정적으로 처리되는 경향이었으며, 이는 Yoon et al. (1997)이 인공습지에서 처리시일별로 농공단지 폐수처리를

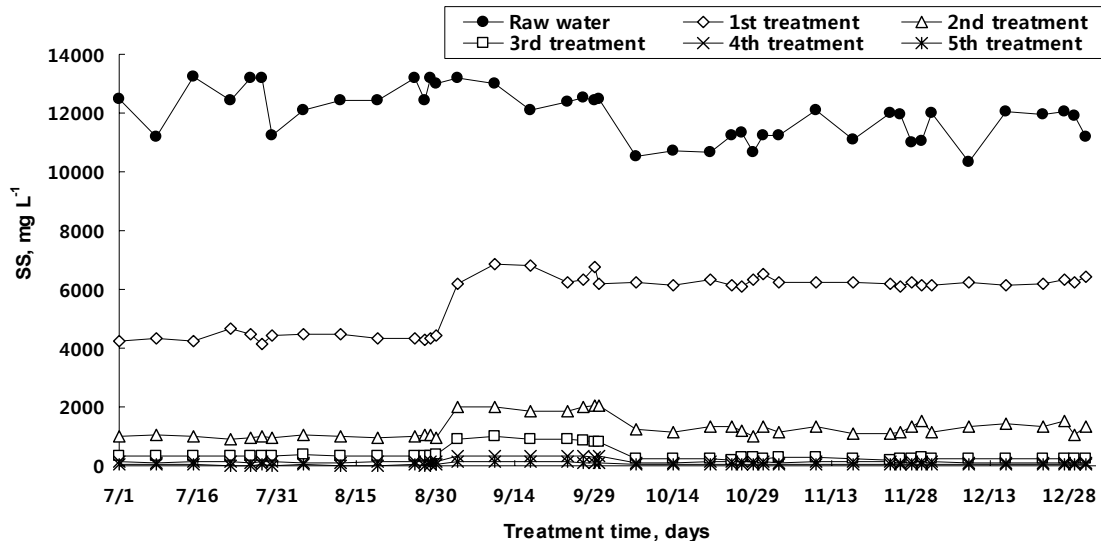


Fig. 8. Variation of SS concentration in the water for 6 months in livestock wastewater treatment plant.

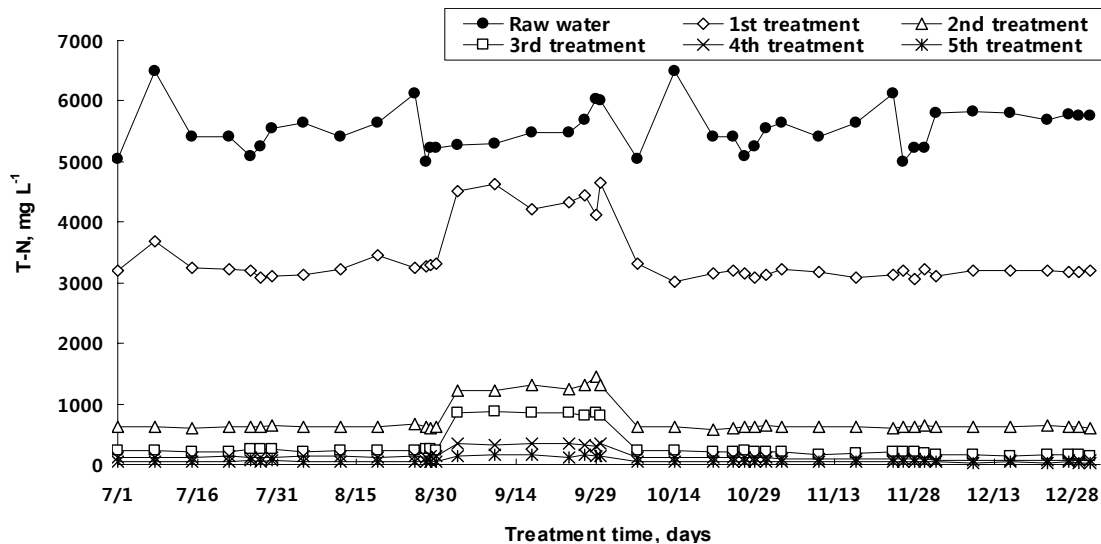


Fig. 9. Variation of T-N concentration in the water for 6 months in livestock wastewater treatment plant.

한 결과와 유사하였으며, 이들은 폐수가 토양이나 여재로 구성된 처리조를 통과할 때 효과적으로 SS가 여과를 통해 제거될 수 있다고 보고한 바 있다.

현장 축산폐수처리장에서 1차 처리인 수생식물여과조 처리수의 SS 함량은 4,153~6,845 mg L<sup>-1</sup> 범위로 축산폐수 원수에 비해 약간 감소하는 경향이었고, 1차 처리된 다음 2차 처리인 활성슬러지조 처리수의 SS 함량은 897~2,301 mg L<sup>-1</sup> 범위로 수생식물여과조 처리수에 비해 SS 함량이 급격히 감소하였다. 2차 처리된 다음 3차 처리인 호기성조 처리수의 SS 함량은 212~987 mg L<sup>-1</sup>으로 2차 처리조인 활성슬러지조 이후 더욱 낮게 처리되었고, 3차 처리된 다음 4차 처리인 혐기성조 I 처리수의 SS 함량은 101~346 mg L<sup>-1</sup> 범위로 3차 처리수에 비해 SS 함량이 약간 감소하였으며, 4차 처리된 다음 5차 처리인 혐기성조 II 처리수의 SS 함량은 21.8~125 mg L<sup>-1</sup> 범위로 안정적인 SS 처리

가 가능하였다. 특히 SS는 모든 조에서 안정적인 처리효율을 보였는데, 이는 현장 축산폐수처리장에서 SS는 인공습지내에서는 주로 수생식물 및 여재에 의한 여과가 주된 처리이기 때문이다. 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 처리되는 것으로 Heo (2007)와 Jo (2003)가 보고한 바 있다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 현장 축산폐수처리장은 고농도의 SS가 처리장내에 유입됨에도 불구하고 전반적으로 매우 안정적으로 처리되었다.

현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 처리시일에 따른 T-N 함량변화를 조사한 결과는 Fig. 9에서 보는 바와 같다. 현

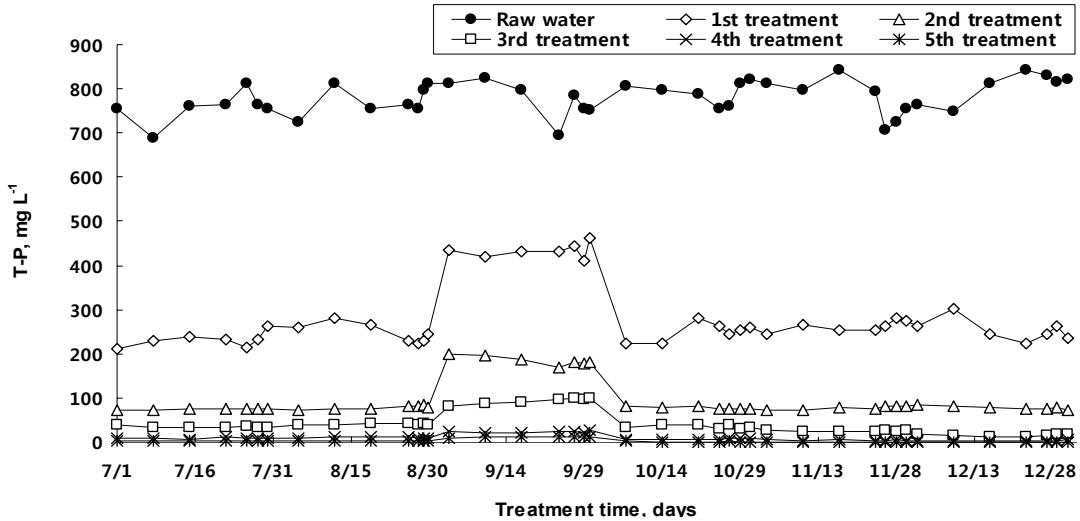


Fig. 10. Variation of T-P concentration in the water for 6 months in livestock wastewater treatment plant.

장 축산폐수처리장에 유입된 축산폐수 원수의 T-N 함량은 4,987~6,500 mg L<sup>-1</sup>로 처리시일에 따라 다소 편차가 있었으며, COD와 SS에 비해 편차가 심하였다.

본 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 처리시일에 따른 T-N 처리효율은 축산폐수 처리시일이 경과할수록 점점 안정화되는 경향으로서 축산폐수처리장 운전 초기 낮은 부하량으로 인해 안정적인 T-N 처리가 가능하였으나, 운전 3개월 후에 높은 부하량으로 인하여 일시적으로 1차 및 2차 처리조에서의 T-N 함량이 다소 높았으나, 3차 처리조 이후부터는 다시 안정적인 T-N 처리가 가능하였다. 현장 축산폐수처리장에서 운전 4개월 이후부터는 축산폐수처리장 내 수생식물의 활착으로 인해 안정적인 T-N 처리가 가능하였으며, 처리장내에서 미생물에 의한 질산화와 탈질에 의해 질소가 안정적으로 처리되었다.

현장 축산폐수처리장에서 1차 처리인 수생식물여과조 처리수의 T-N 함량은 3,015~4,651 mg L<sup>-1</sup> 범위로 축산폐수 원수에 비해 약간 감소하였고, 1차 처리된 다음 2차 처리인 활성슬러지조 처리수의 T-N 함량은 587~1,545 mg L<sup>-1</sup> 범위로 수생식물여과조 처리수에 비해 T-N 함량이 급격히 감소하였다. 2차 처리된 다음 3차 처리인 호기성조 처리수의 T-N 함량은 136~865 mg L<sup>-1</sup> 범위로 이전 처리에 비해 더욱더 낮게 처리되었다. 3차 처리된 다음 4차 처리인 혐기성조 I 처리수의 T-N 함량은 62~342 mg L<sup>-1</sup> 범위로 3차 처리수에 비해 T-N 함량이 더욱더 감소하였으며, 4차 처리된 다음 5차 처리인 혐기성조 II 처리수의 T-N 함량은 31.2~165 mg L<sup>-1</sup> 범위로 최종방류수에서 안정적인 T-N 처리가 가능하였다. 특히 T-N은 3차, 4차 및 5차 처리조를 통과하면서 안정적인 처리가 가능하였다. Seo et al. (2006b)는 인공습지 하수처리장에서 처리시일 별 T-N 처리효율은 운전초기 안정화단계 이후에는 안정적이고 높은 처리효율을 나타냈다고 보고하였으며, 본 축

산폐수처리장에서도 유사한 경향이였다. 일반적으로 축산폐수 중 대부분의 질소는 NH<sub>4</sub>-N의 형태로서 인공습지에서 생물학적 탈질에 의해 질소가 처리되기 위해서는 호기성조에서 암모니아성 질소를 질산화시키는 기작이 필요하고, 이를 다시 혐기성조에서 N<sub>2</sub>O와 N<sub>2</sub>로 탈질시키는 기작이 필요한 것으로 알려져 있다 (Seo et al., 2006b).

현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 처리시일에 따른 T-P 함량변화를 조사한 결과는 Fig. 10에서 보는 바와 같다. 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수 원수의 T-P 함량은 694~843 mg L<sup>-1</sup>로 처리시일에 따라 부유물질이나 협잡물의 유입으로 인해 다소 편차가 있었으나 큰 차이는 없었다. 본 현장 축산폐수처리장에서 축산폐수처리 시일에 따른 T-P 처리효율은 축산폐수 처리시일이 경과할수록 점점 높은 처리효율을 보이면서 안정적인 처리가 가능하였다. 축산폐수처리장은 운전 초기에는 낮은 부하량 유입시 안정적인 T-P 처리가 가능하였으나, 높은 부하량 유입시 1차 및 2차 처리조에서의 T-P 함량이 다소 높았으나, 3차 처리조 이후부터는 다시 안정적인 처리가 가능하였다. 현장 축산폐수처리장에서 운전 4개월 이후부터는 축산폐수처리장내 미생물과 수생식물의 활착으로 인해 안정적인 T-P 처리가 가능하였다.

현장 축산폐수처리장에서 1차 처리인 수생식물여과조 처리수의 T-P 함량은 210~461 mg L<sup>-1</sup> 범위로 축산폐수 원수에 비해 약간 감소하는 경향이였고, 1차 처리된 다음 2차 처리인 활성슬러지조 처리수의 T-P 함량은 71~197 mg L<sup>-1</sup> 범위로 수생식물여과조 처리수에 비해 T-P 함량이 급격히 감소하였다. 2차 처리된 다음 3차 처리인 호기성조 처리수의 T-P 함량은 11~101 mg L<sup>-1</sup> 범위로 유입원수에 비해 큰 폭으로 감소되었고, 3차 처리된 다음 4차 처리인 혐기성조 I 처리수의 T-P 함량은 2~27 mg L<sup>-1</sup> 범위로 3차 처리수에 비해 T-P 함량이 더욱더 낮게 배출되었으며, 4차



처리된 다음 5차 처리인 혐기성조 II 처리수의 T-P 함량은 0.2~13.1 mg L<sup>-1</sup> 범위로 안정적인 T~P 처리가 가능하였다. 특히 본 처리장에서 2차 처리인 활성슬러지조에서 매우 높은 처리효율로 T-P가 처리되었다.

## 요 약

자연정화공법에 의한 축산폐수처리장에서 효과적으로 축산폐수를 처리하기 위해 인공습지 축산폐수처리 시스템에 전처리방법으로 수생식물여과조와 활성슬러지조를 적용하여 최적 전처리방법을 조사하였다. 또한, 최적 전처리방법을 실제 현장 축산폐수처리장에 연계하여 시공한 후 전처리방법의 효율성과 안전성을 검토하였다. 수생식물여과조와 인공습지를 연계한 소형 축산폐수처리장치에서 최종방류수 중 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 각각 83, 89, 63 및 87%이었다. 활성슬러지조와 자연정화공법을 연계한 소형 축산폐수처리장치에서 최종방류수 중 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 각각 96, 95, 86 및 92%이었다. 수생식물여과조 및 활성슬러지조는 인공습지 축산폐수처리장의 전처리공법으로서 질소와 인 처리효율을 향상시킬 수 있어 고농도의 축산폐수를 안정적으로 처리하기 위해 필요할 것으로 판단된다. 최적 전처리방법을 연계한 실제 현장 축산폐수처리장에서 COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 모든 조건에서 각각 99.8, 99.9, 99.2 및 99.9%으로 높은 처리효율을 보였다.

## 감사의 글

본 연구는 농림수산물부 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-NI-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.

Huang, J., Jr.R.B. Reneau, and C. Hagedorn. 2000. Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater. *Wat. Res.* 34:2582-2588.

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, 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, K.S. 2003. Comparison of physical and chemical characteristics between aerobic granular sludge and activated sludge. *Kor. J. Tech. water.* 11:45-52.

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.

Lee, D.B., J.G. Kim, J.G. Kang, S.K. Kim, J.D. So, and K.S. Rhee. 1994. Purification of animal wastewater using a reed-sand-filter system -I. Retention period and seasonal variation-. *Kor. J. Environ. Agric.* 13:231-239.

Lee, Y.D. and H.H. Kim. 1999. A study on the advanced treatment of wastewater by plants. *J. Environ. Sci.* 8:75-81.

Park, J.H. 2011. Treatment of livestock wastewater by natural purification method. 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.

Seo, D.C., B.I. Jang, I.S. Jo, S.C. Lim, H.J. Lee, J.S. Cho, H.C. Kim, and J.S. Heo. 2006a. Selection of optimum water plant in constructed wetland by natural purification method for municipal sewage treatment. *Kor. J. Environ. Agric.* 25:25-33.

Seo, D.C., B.J. Lee, S.H. Hwang, H.J. Lee, J.S. Cho, S.W. Lee, and H.C. Kim. 2006b. Treatment efficiency of existing forms of pollutants in sewage treatment plant by natural purification method. *Kor. J. Environ. Agric.* 25:129-137.

Yoon, C.G., Y.H. Lim, and H.J. Kim. 1997. Natural treatment of wastewater from industrial complex in rural area by subsurface flow wetland system. *Kor. J. Environ. Agric.* 16:170-174.