

인공습지시스템을 이용한 폐양액처리장에서 오염물질의 정화효율 및 오염물질 분해속도

박종환[†] · 서동철^{1†} · 김아름 · 김성현 · 이충헌 · 이성태² · 정태욱³ · 이상원⁴ · 하영래 · 조주식^{1**} · 허종수^{*}

경상대학교 응용생명과학부 (Bk21 농생명산업 글로벌 인재 육성 사업단) & 농업생명과학원, ¹순천대학교 생물환경학과,
²경상남도농업기술원, ³부산광역시 보건환경연구원, ⁴진주산업대학교 미생물공학과

Treatment Efficiencies and Decomposition Velocities of Pollutants in Constructed Wetlands for Treating Hydroponic Wastewater

Jong-Hwan Park[†], Dong-Cheol Seo^{1†}, Ah-Reum Kim, Sung-Hun Kim, Choong-Heon Lee, Seong-Tea Lee²,
Tae-Uk Jeong³, Sang-Won Lee⁴, Yeong Rae Ha, Ju-Sik Cho^{1**}, and Jong-Soo Heo^{*}

Divison of Applied Life Science (BK21 Program) & Institute of Agriculture and Life Science,
GyeongSang National University, Jinju, 660-701, Korea

¹Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

²Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea

³Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment Research, Busan, 611-813, Korea

⁴Department of Microbiological Engineering, Junju National University, Jinju, 660-758, Korea

In order to develop constructed wetlands for treating hydroponic wastewater in greenhouses, removal efficiencies and decomposition velocities of pollutants in constructed wetland were investigated for treating hydroponic wastewater. Removal rates of BOD, COD, SS, T-N and T-P in effluent in constructed wetlands were 88%, 79%, 92%, 64% and 92%, respectively. The decomposition velocities (K; day⁻¹) of pollutants in 1st HF bed of constructed wetlands were higher in the order of SS (0.54 day⁻¹) > BOD (0.39 day⁻¹) > COD (0.27 day⁻¹) > T-P (0.26 day⁻¹) > T-N (0.06 day⁻¹). In 1st HF bed of constructed wetlands, the decomposition velocity of SS was rapid than that for BOD, COD, T-N and T-P in constructed wetland for treating hydroponic wastewater. The decomposition velocity (K; day⁻¹) of pollutants in 2nd HF bed of constructed wetland were higher in the order of T-P (0.52 day⁻¹) > BOD (0.28 day⁻¹) > COD (0.15 day⁻¹) > T-N (0.06 day⁻¹) > SS (0.10 day⁻¹). In 2nd HF bed of constructed wetlands, the decomposition velocity of T-P was rapid than that for BOD, COD, SS and T-N in constructed wetland for treating hydroponic wastewater.

Key words: Hydroponic wastewater, Greenhouses, Constructed wetlands, Horizontal flow, Decomposition velocity

서 언

현재 우리나라의 양액재배 시설은 1993년 23 ha에서 2010년 1,107 ha로 급격히 증가하고 있는 추세이다. 현행 양액을 사용하는 방식은 비순환방식이 89%를 차지하고 있으며 (MAF, 2004), 특히 비순환방식에서 배출하는 폐양액은 공급액의 약 20%정도이었다. 시설하우스에서 배출되는 폐양액은 질소가 400 mg L⁻¹ 및 인이 20 mg L⁻¹ 정도를 함유

하고 있으며 (Lee et al., 2007; MAF, 2004), 특히 질소는 작물에 흡수되고 약 33~43% 정도가 폐양액으로 배출되고 있어 인근 수계 부영양화의 주요원인이 되고 있다 (Lee et al., 1996; Lee et al., 1999).

폐양액 내의 질소와 인은 수질 오염을 유발시키는 오염원이지만 대부분이 작물 흡수가 용이한 형태이므로 농업적 측면에서 볼 때는 비료로서 재활용 가치가 높을 것으로 판단된다. 이에 따라 폐양액의 재활용에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있으나, 대부분의 연구는 폐양액을 재처리 한 후 양액으로 재활용하는 것이며 토양에 관주하여 활용하는 방법에 관한 연구는 극히 제한적이다 (Park et al., 2008).

폐양액을 양액으로 재활용하기 위해서는 기존의 비순환

접수 : 2011. 9. 14 수리 : 2011. 10. 17

[†]공동 제1저자

*연락처자 : Phone: +82557721963

E-mail: jsheo@gnu.ac.kr

**공동 연락저자

식 시스템을 순환 시스템으로 전환시켜야 한다. 그러나 순환식 양액재배를 도입하는 경우 양액을 순환시키는 시스템이 추가되어 비순환식 양액재배 보다 시설비가 많이 드는 단점이 있으며, 폐양액 중 함유된 무기성분의 불균형으로 인해 작물의 생육 불량과 근권 병원균을 확산시킬 우려가 있어 이를 방지하기 위해서는 소독 시스템을 추가로 도입해야 하는 등의 문제점이 있다 (Park et al., 2008).

순환방식 시스템의 양액을 사용시 배양액 내의 병원과 불순물을 걸러내기 위한 여러가지 소독장치나 여과 장치를 이용한 배양액 소독 방법으로는 주로 열처리, 자외선 처리, 오존처리, 박막여과, 요오드 처리, 과산화수소 처리, 염소처리 및 브롬처리 등이 개발되어 사용되고 있다.

이들 대부분의 처리 방법들은 고가의 장비가 필요하고, 순환되는 배양액속에 들어있는 미립자 상태의 불순물들을 제거하기 위하여 모래여과장치와 같은 부가장치를 사용함으로써 실제 농민들이 사용하기에 부적합 실정이다.

현재 시설하우스의 폐양액은 수질환경보전법상 산업체 폐수로 분류되어 배출 기준으로 규제되고 있으며, 특히 T-N 60 mg L⁻¹ 및 T-P 8 mg L⁻¹ 이하로 규제하고 있어 (Park et al., 2008; Seo, 1999), 앞으로 우리나라에서도 폐양액 배출에 대한 강화된 규제가 시행될 것으로 예상됨에 따라 환경친화적인 폐양액 처리기술 개발이 절실히 요구된다 (Ministry of Environmental, 2005). 이에 본 연구진은 선행연구 (Park et al., 2008, Seo, et al., 2010)를 통해 인공습지에 의한 폐양액 처리의 최적조건을 구명하였다. 하지만 선행연구는 Pilot 규모와 단기간 동안 최적조건을 조사한 결과로서 실제 폐양액처리장에서 처리효율의 장기간 모니터링과 오염물질의 경향을 파악하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 자연정화공법을 이용한 인공습지 폐양액 처리시스템에서 오염물질의 정화효율 및 오염물질의 분해속도를 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료 본 실험에 사용된 공시 폐양액은 경남 진

주시 초전동 농업기술원내 딸기 재배를 위한 시설하우스에서 배출되는 폐양액을 공시 원수로 사용하였으며, 공시 여재는 여재채취장에서 채취한 여재를 사용하였다. 공시 폐양액의 이화학적 특성은 Table 1과 같고, 현장 인공습지 폐양액처리장에 사용한 여재의 화학적 특성은 Table 2에서 보는 바와 같다.

현장 폐양액처리장에 사용된 여재는 선행연구 (Park et al., 2008)결과를 토대로 하여 혼합여재 (왕사:방해석:황 = 1:1:0.3)를 사용하였고, 입경 분포도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 혼합여재의 유효입경 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 10%되는 부분의 여재의 입경; d₁₀)은 1.4 mm이었으며, 균등계수 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 60%되는 입경과 10%되는 입경과의 비; d₆₀ d₁₀⁻¹)는 2.28이었다. 그리고 소형 축산폐수처리장치에 이식한 수생식물은 다년생 수생식물인 갈대 및 노랑꽃창포 등 2종이었으며, 모든 수생식물은 야외노지에서 성장한 수초를 분주하여 이식하였다.

폐양액처리장 설계 및 시공 현장 폐양액처리장은 선행연구 결과 최적 공법이었던 HF (Horizontal Flow; 수평흐름조; 혐기성조)-HF 조합형 폐양액처리장으로 Fig. 2에서 보는것과 같이 HF (수평흐름조)와 HF (수평흐름조)를 연결하여 1개 시스템으로 하였으며, 두 수평흐름조의

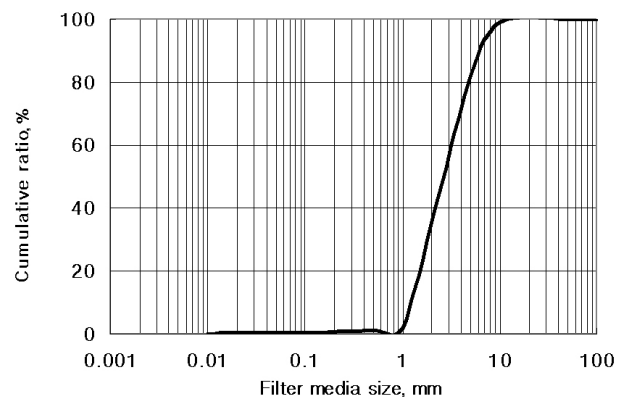


Fig. 1. Particle distributions of the filter media used.

Table 1. Chemical characteristics of the hydroponic wastewater used.

pH	EC	DO	BOD	COD _{Mn}	SS	T-N	T-P	
(1:5), H ₂ O	dS m ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----						
7.3 ± 0.4	1.38 ± 0.2	6.5 ± 0.7	7.1 ± 1.1	26.5 ± 3.15	25.4 ± 1.21	86.8 ± 4.2	16.7 ± 1.21	

Table 2. Chemical characteristics of filter media used.

pH	EC	O.M.	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
(1:5), H ₂ O	dS m ⁻¹	%	----- mg kg ⁻¹ -----									
8.1	0.15	0.53	39.5	49.8	1,207	226,374	2,583	172	2,395	72.8	2.84	19.1

크기는 각각 가로 2.0 m × 세로 2.0 m × 높이 1.0 m로 서 용량이 4.0 m³되도록 설계 및 시공하였다. 사용된 여재는 왕사:방해석:황 = 1:1:0.3의 혼합여재를 사용하였으며, 여재 주입위치는 혼합여재를 하부에서 높이 0.9 m까지 충진하였고, 각 HF조는 체류시간을 증가시키기 위해 각 조를 4등분하였다. 현장 폐양액처리장의 폐양액 흐름은 HF조에 폐양액을 표면에 유입시켜 수평여과방식으로 처리한 후 상부에서 유출되게 하였고, 유출된 1차 처리수는 자연유하식으로 2차 HF조의 상부로 유입하게 되게 하였다. 2차 HF조에 유입된 폐양액은 수평여과방식으로 처리하여 최종 유출되게 하였다.

폐양액처리장 운전조건 및 조사시기 현장 폐양액처리장에서 오염물질의 수처리 효율 조사는 최적 공법인 HF-HF 조합형 폐양액처리장에서 2009년 3월부터 2009년 10월 까지 양액재배 시설하우스에서 유출되는 폐양액의 시기별 수처리 효율의 장기간 변화를 조사하기 위해 폐양액처리장 운전 8개월 동안 유입원수, 1차 처리수 및 2차 처리수를 각각 채취하여 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 함량을 조사하였다. 또한 폐양액처리장에서 오염물질의 처리경향을 파악하고, 이를 토대로 폐양액처리장의 설계 및 시공시 부지면적 감소와 오염물질의 처리효율 극대화를 위한 기초자료로 활용하기 위해 현장 폐양액처리장에서 오염물질의 반응비 조사결과를 이용하여 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 분해속도를 각각 조사하였으며, 각 오염물질의 분해속도는 $\ln(C/C_0) = -Kt$ 의 1차 반응속도식을 이용하였다.

오염물질의 분해속도는 1차 반응으로 가정하여 $V = KC$ 로 정의할 수 있으며, 반응속도 V 는 하나의 오염물질 농도에 관계될 때 순간적인 시간 dt 에서 농도 C 가 dc 만큼 변하는 순간으로 $-dc/dt$ 로 정의된다.

그러므로 $V = KC$ 에서 V 대신에 $-dc/dt$ 를 대입하여 정리하면 $dc/c = -Kdt$ 식을 유도할 수 있으며, 이 식은 $t=0$ 일 때, $C=C_0$ 의 조건을 주어 적분하면 식 (1)과 같고 이를 정리하여 식으로 나타낼 수 있다 (Seo, 2005).

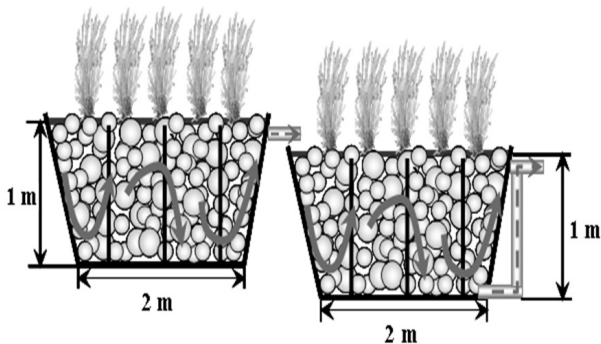


Fig. 2. Diagrams of hydroponic wastewater treatment plant.

$$\int_{C_0}^C \frac{1}{C} dC = -K \int_0^t dt \tag{1}$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = -Kt$$

- C_0 : 초기 ($t=0$) 농도,
- C : 나중 (t 시간 후) 농도,
- K : 분해속도상수 (time^{-1}),
- t : 반응시간 (time).

따라서 상기 식에서 오염물질의 분해속도 상수 K 는 초기 농도에서 체류시간에 따른 오염물질의 감소된 농도로부터 Y 축에는 $\ln [C/C_0]$, X 축에는 시간 (t)로 직선식을 그어서 나온 기울기를 이용하여 구할 수 있다.

분석방법 수질분석은 수질오염공정시험법과 APHA의 standard method에 준하여 다음과 같이 하였다 (Kim et al., 2001; APHA, 2005). BOD는 윙클러 아지드화나트륨 변법, COD는 산성 과망간산칼륨법, SS는 유리섬유여과지법, T-N은 자외선 흡광광도법, T-P는 아스코르빈산 환원법으로 각각 분석하였다.

결과 및 고찰

현장 시설하우스의 폐양액처리장에서 시기별 수처리 효율조사 폐양액처리장에서 BOD의 시기별 수처리 효율은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 폐양액 원수의 BOD는 5.53-6.77 mg L⁻¹의 범위로 일반하수나 비점오염원에 비해 비교적 변화폭이 적었다. 이와 같은 결과는 폐양액 자체가 양액재배 후 배출되는 용액으로 식물별로 거의 흡수 이용률이 일정하게 배출되기 때문에 동일 폐양액의 경우 연중 일정한 농도로 배출되는 것으로 판단된다.

폐양액처리장에서 1차 처리수 중의 BOD는 0.79-1.84 mg L⁻¹로 연중 BOD 처리효율이 약 79%정도였다. 특히 시기가 경과함에 따라 1차 및 2차 처리수 중의 BOD가 점점 낮아지는 경향으로 폐양액처리장이 3개월 이후부터 서서히 안정화 되는 것으로 판단된다.

2차 처리수 중의 BOD는 0.31-1.14 mg L⁻¹로 연중 BOD 처리효율이 약 88%정도였으며, 1차 처리수에 비해 더욱 증가하는 경향이었다. Heo (2007)와 Park et al (2011)은 하수 및 축산폐수처리 위한 인공습지에서 처리효율을 보고 하였는데, 폐양액처리장도 유사한 경향이었다. 하지만 현재 본 인공습지 폐양액처리시스템과 유사한 연구는 국내에서 거의 진행된 적이 없어서 수처리 효율을 직접적으로 비교하기는 힘들것으로 판단된다.

폐양액처리장에서 COD의 시기별 수처리 효율은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 폐양액 원수의 COD는 19.8-22.8 mg

L⁻¹의 범위로 일반하수나 비점오염원에 비해 비교적 변화폭이 적었다. 폐양액처리장에서 공법개선 후 1차 처리수 중의 COD는 5.8-9.6 mg L⁻¹로 연중 COD 처리효율이 약 64%정도였으며, 특히 시기가 경과함에 따라 1차 및 2차 처리수 중의 COD가 점점 낮아지는 경향으로 미생물과 수생식물의 활착으로 인해 서서히 안정화 되는 것으로 판단된다 (Lee et al., 1994). 2차 처리수 중의 COD는 3.5-5.4 mg L⁻¹로 연중 COD 처리효율이 약 79%정도였으며, 1차 처리수에 비해서도 15%정도 증가하는 경향이였다.

폐양액처리장에서 SS의 시기별 수처리 효율은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 폐양액 원수의 SS는 27.1-33.8 mg L⁻¹의 범위로 일반하수나 비점오염원에 비해 비교적 변화폭

이 적었다.

폐양액처리장에서 공법개선 후 1차 처리수 중의 SS는 2-5 mg L⁻¹로 연중 SS 처리효율이 약 89%정도였으며, 특히 시기가 경과함에 따라 1차 및 2차 처리수 중의 SS가 점점 낮아지는 경향으로 서서히 안정화 되는 것으로 판단된다.

2차 처리수 중의 SS는 2-3 mg L⁻¹로 연중 SS 처리효율이 약 92%정도였으며, 1차 처리수에 비해서도 더욱 낮아지는 경향이였다. 폐양액처리장에서 안정적인 SS의 처리가 가능한 것은 SS의 처리의 경우 미생물이나 수생식물의 영향보다는 여재에 의한 여과가 주된 처리이기 때문이다 (Jo, 2003).

폐양액처리장에서 T-N의 시기별 수처리 효율은 Fig. 3

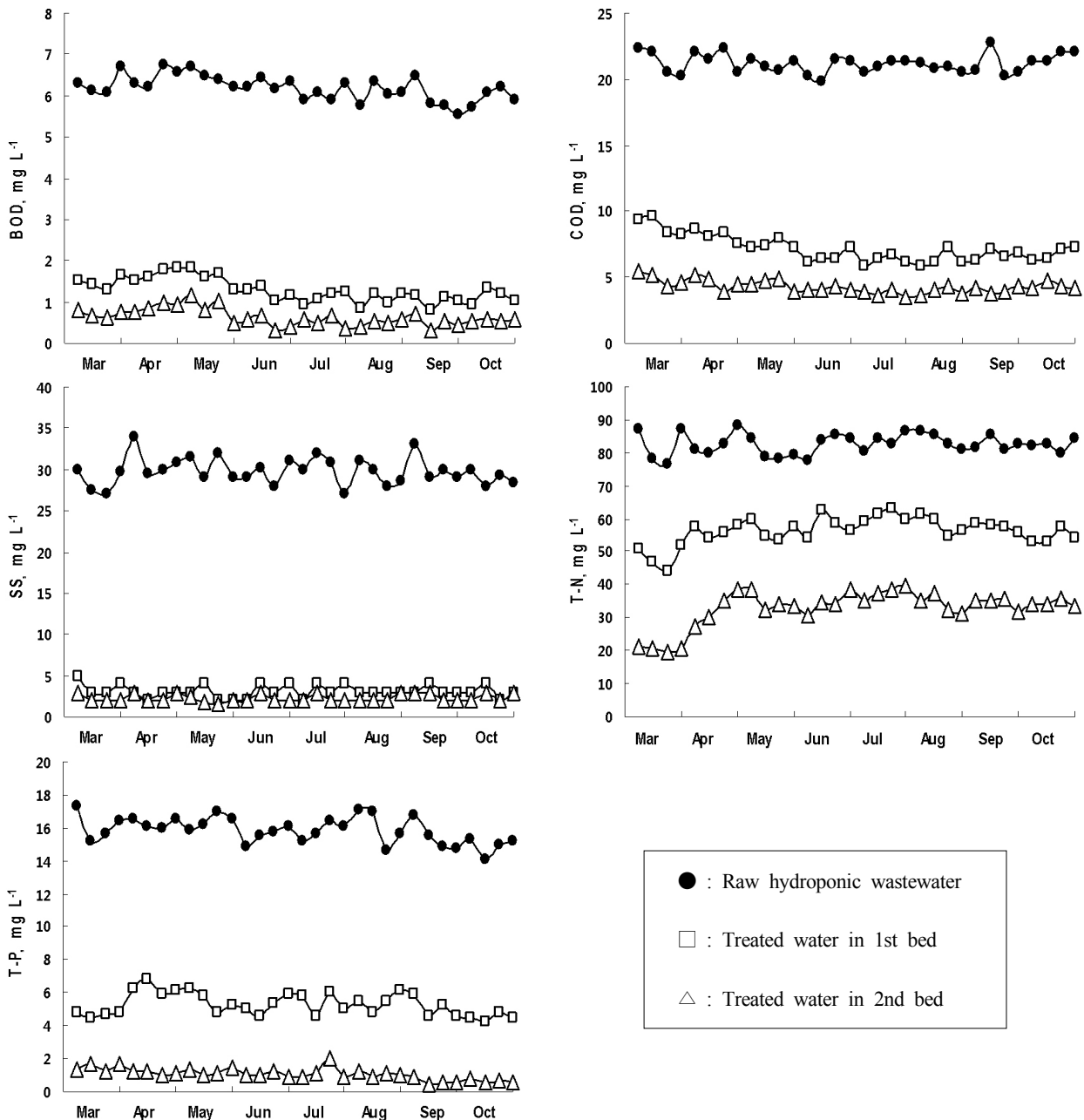


Fig. 3. Variation of BOD, COD, SS, T-N and T-P in the water according to treatment time in constructed wetlands.

에서 보는 바와 같이 폐양액 원수의 T-N는 76.8-88.4 mg L⁻¹의 범위로 일반하수나 비점오염원에 비해 비교적 변화폭이 적었다.

폐양액처리장에서 공법개선 후 1차 처리수 중의 T-N은 44.4-63.1 mg L⁻¹로 연중 T-N 처리효율이 약 35%정도였으며, 특히, 시기가 경과함에 따라 1차 및 2차 처리수 중의 T-N이 점점 낮아지는 경향으로 서서히 안정화 되는 것으로 판단된다. 2차 처리수 중의 T-N는 19.3-39.6 mg L⁻¹로 연중 T-N 처리효율이 약 64%정도였으며, 1차 처리수에 비해서도 더욱 낮아지는 경향이였다. 폐양액처리장에서 안정적인 T-N 처리가 가능한 것은 시설하우스 폐양액 중 대부분의 질소화합물이 NO₃-N의 형태로 존재하기 때문에 수평흐름조에서는 질산화과정이 필요 없이 유입되는 NO₃-N을 생물학적인 탈질에 의해 처리가 가능하기 때문에 사료된다 (Seo et al., 2006).

폐양액처리장에서 T-P의 시기별 수처리 효율은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 폐양액 원수의 T-P는 14.1-17.3 mg L⁻¹의 범위였다. Heo (2007)는 가정하수의 T-P는 2.6-12.7 mg L⁻¹보고하였는데, 폐양액의 경우 가정하수에 비해 비교적 변화폭이 적었다.

폐양액처리장에서 공법개선 후 1차 처리수 중의 T-P는 4.23-6.78 mg L⁻¹로 연중 T-P 처리효율이 약 65%정도였으며, 특히, 시기가 경과함에 따라 1차 및 2차 처리수 중의 T-P가 점점 낮아지는 경향으로 서서히 안정화 되는 것으로 판단된다. 2차 처리수 중의 T-P는 0.42-2.05 mg L⁻¹로 연중 T-P 처리효율이 약 92%정도로 1차 처리수에 비해서도 더욱 증가하는 경향이였다.

폐양액처리장에서 안정적인 T-P 처리가 가능한 것은 방해석이 대부분 CaCO₃형태로 이루어져 있으므로 정석탈인법에 의해 인이 Ca-P로 방해석 표면에 흡착되어 인공습지에서 높은 효율로 인이 처리될 수 있는 것으로 보고한 바 있다 (Heo, 2007; Park 2011). 일반적으로 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 [Ca₅(OH)(PO₄)₃]로 처리되는 것으로 알려져 있다 (Heyman, 1988; Lahmann, 1989).

이상의 결과를 미루어 볼 때 인공습지 폐양액처리장은 폐양액을 효과적으로 처리할 수 있는 것으로 판단되며, 향후 인공습지 폐양액처리장에서 폐수배출기준을 만족하면서 안정적으로 배출이 가능한 폐양액처리장을 개발하기 위해서는 장기간 모니터링이 추가로 필요할 것으로 판단된다.

폐양액처리장에서 오염물질의 분해속도 조사 폐양액처리장에서 BOD의 분해속도는 Fig. 4에서 보는 바와

같다. 폐양액처리장에서 분해속도 방정식은 1차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.394 \text{ HRT} + 0.0235$ ($r=0.999^{**}$)이었고, 2차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.2794 \text{ HRT} - 0.4507$ ($r=0.997^{**}$)으로 두 방정식 모두 고도의 부의 상관을 보였다. 폐양액처리장의 1차 처리인 수평흐름조에서 BOD의 분해속도 상수는 0.40 day⁻¹이었고, 2차 처리인 수평흐름조에서 BOD의 분해속도 상수는 0.28 day⁻¹이었다.

따라서 분해속도는 1차 처리인 수평흐름조가 2차 처리인 수평흐름조에 비해 전반적으로 매우 빠른 경향으로 이는 1차 처리인 수평흐름조에서 대부분의 유기물이 여과에 의해 집적되어 미생물의 활성이 좋기 때문으로 판단된다.

폐양액처리장에서 COD의 분해속도는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 폐양액처리장에서 분해속도 방정식은 1차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.2681 \text{ HRT} + 0.0489$ ($r=0.987^{**}$)이었고, 2차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.1525 \text{ HRT} - 0.5046$ ($r=0.997^{**}$)으로 두 방정식 모두 고도의 부의 상관을 보였다. 폐양액처리장의 1차 처리인 수평흐름조에서 COD의 분해속도 상수는 0.27 day⁻¹이었고, 2차 처리인 수평흐름조에서 COD의 분해속도 상수는 0.15 day⁻¹이었다.

폐양액처리장에서 SS의 분해속도는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 폐양액처리장에서 분해속도 방정식은 1차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.5443 \text{ HRT} + 0.0535$ ($r=0.997^{**}$)이었고, 2차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.0968 \text{ HRT} - 1.8673$ ($r=0.994^{**}$)으로 두 방정식 모두 고도의 부의 상관을 보였다. 폐양액처리장의 1차 처리인 수평흐름조에서 SS의 분해속도 상수는 0.54 day⁻¹이었고, 2차 처리인 수평흐름조에서 SS의 분해속도 상수는 0.10 day⁻¹이었다.

따라서 분해속도는 1차 처리인 수평흐름조가 2차 처리인 수평흐름조에 비해 전반적으로 매우 빠른 경향이였다. 이는 폐양액처리장의 SS처리는 주로 여과에 의한 여과기능에 의해 이루어지기 때문으로 판단된다. 그러나 이러한 여과는 궁극적인 처리가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 SS는 입자상태로 처리조 내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 고형물질 중에서 오염성분들은 미생물에 의한 생물학적 분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수 그리고 기타 화학반응 등을 거치면서 궁극적으로 처리된다 (Lee, 1997).

폐양액처리장에서 T-N의 분해속도는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 폐양액처리장에서 분해속도 방정식은 1차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.058 \text{ HRT} - 0.0155$ ($r=0.975^{**}$)이었고, 2차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.149 \text{ HRT} + 0.3927$ ($r=0.999^{**}$)으로 두 방정식 모두 고도의 부의 상관을 보였다. 폐양액처리장의 1차 처리인 수평흐름조에서 T-N의 분해속도 상수는 0.06 day⁻¹이었고, 2차 처리인 수평흐름조에서 T-N의 분해속도 상수는 0.15 day⁻¹이었다.

따라서 분해속도는 2차 처리인 수평흐름조가 1차 처리

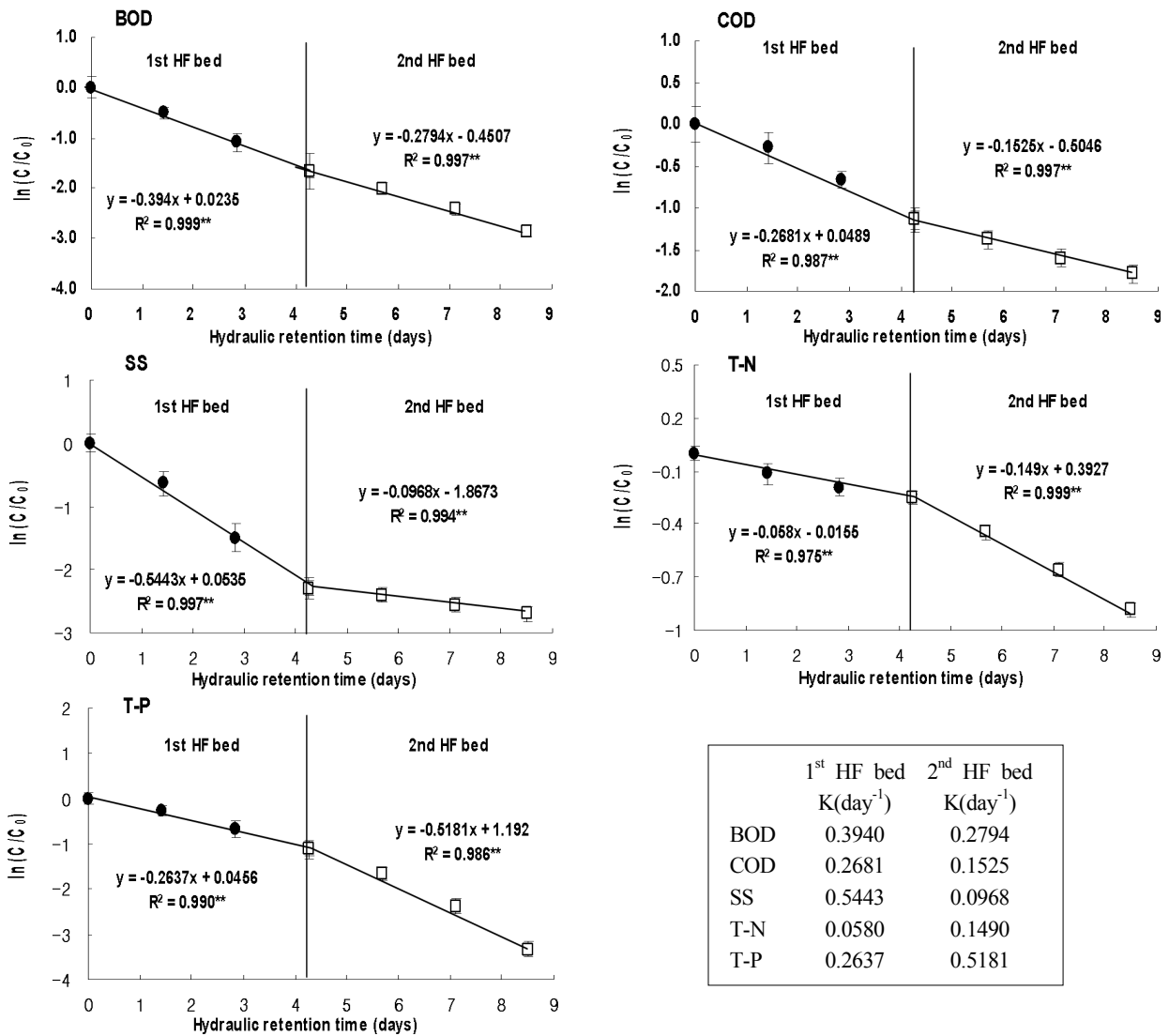


Fig. 4. Decomposition velocity of BOD, COD, SS, T-N and T-P in the water according to the hydraulic retention time in constructed wetlands.

인 수평흐름조에 비해 약간 빨랐다. 이는 1차 처리조에 비해 2차 처리소에서 탈질을 위한 혐기성조건이 양호하기 때문으로 판단된다.

폐양액처리장에서 T-P의 분해속도는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 폐양액처리장에서 분해속도 방정식은 1차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.2637 \text{ HRT} + 0.0456$ ($r = 0.990^{**}$) 이었고, 2차 수평흐름조의 경우 $\ln(C/C_0) = -0.5181 \text{ HRT} + 1.192$ ($r = 0.986^{**}$)으로 두 방정식 모두 고도의 부의 상관관을 보였다. 폐양액처리장의 1차 처리인 수평흐름조에서 T-P의 분해속도 상수는 0.26 day^{-1} 이었고, 2차 처리인 수평흐름조에서 T-P의 분해속도 상수는 0.52 day^{-1} 이었다. 따라서 분해속도는 2차 처리인 수평흐름조가 1차 처리인 수평흐름조에 비해 약간 빨랐다.

요 약

자연정화공법을 이용한 인공습지 폐양액처리장에서 처리효율의 장기간 모니터링을 위해 선행연구를 통해 개발된 폐양액처리 시스템에 최적공법을 적용하여 시기별 수처리효율을 조사하였다. 또한 폐양액 처리장에서 오염물질의 처리경향을 파악하고, 이를 토대로 설계 및 시공시 부지면적 감소와 오염물질의 처리효율 극대화를 위한 기초자료를 제시하기 위하여 오염물질의 분해속도를 조사하였다. 폐양액 처리장에서 시기별 수처리효율 결과 최종 2차 방류수에서 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 각각 88%, 79%, 92%, 64% 및 92%로서 처리시일이 경과할수록 점점 안정화 되는 경향으로 특히, 3개월 이후부터는 안정적인 처리가 가능하였다. 폐양액처리장에서 오염물질의 분해속도 K (day^{-1})는 1차 수평흐름조의 경우 SS (0.54)

> BOD (0.39) > COD (0.27) > T-P (0.26) > T-N (0.06) 순으로 SS가 가장 빨리 분해되었고, 2차 수평흐름조의 경우 T-P (0.52) > BOD (0.28) > COD (0.15) > T-N (0.06) > SS (0.10) 순으로 전반적으로 T-P가 가장 빨리 분해되었다. 이들 결과를 미루어 볼 때, 본 현장 인공습지 폐양액 처리장은 장기간 안정적으로 폐양액을 처리할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 농촌진흥청 농업특정연구개발사업 (과제번호: 20070101033037)의 지원에 의해 이루어진 것임.

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. Costarica. 234-235.
- 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, J.T., K.H. Moon, and J.W. Kim, 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, D.B., K.B. Lee, and K.S. Rhee, 1996. Changes of chemical contents in groundwater at controlled horticulture in honam area. Kor. K. Environ. Agric. 15: 348-354.
- Lee, G.J., B.G. Kang, K.Y. Lee, T. Yun, S.G. Park, and C.H. Lee. 2007. Chemical characteristics of ground water for hydroponics and waste nutrient solution after hydroponics in chungbuk area. Kor. J. Environ. Agric. 26:42-48.
- Lee, S.Y., S.J. Lee, M.W. Seo, S.W. Lee, and S.Y. Sim. 1999. Reusing techniques of nutrient solution for recycling hydroponic culture of lettuce. J. Bio. Env. Con. 8:172-182.
- 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.
- MAF, 2004. Agricultural and forestry statistical year-book. Ministry of Agriculture and Agriculture and Forestry, Gyeonggi-do, Korea, p.1-316
- Ministry of Environmental. 2005. Environmental white paper. 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 loding for treating livestock wastewater in constructed wetlands by natural purification method. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:278-284.
- Park, W.Y., D.C. Seo, J.S. Lim, S.K. Park, H.S. Yoon, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2008. Optimum configuration, filter media depth and wastewater load of small-scale constructed wetlands treating the hydroponic waste solution in greenhouses. Kor. K. Environ. Agric. 27(3), 217-224.
- Seo, B.S., 1999. Future prospects and countermeasures for hydroponics in 21C. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 17:796-802.
- Seo, D.C, J.S. Cho, H.J. Lee, J.S. Heo, 2005, Phosphorus retention capacity of filter media for estimating the longevity of constructed wetland, Water Research, 39:2445-2457.
- Seo, D.C., B.J. Lee, S.H. Hwang, H.J. Lee, J.S. Cho, S.W. Lee, and H.C. Kim. 2006. Treatment efficiency of existing forms of pollutants in sewage treatment plant by natural purification method. Kor. J. Environ. Agric. 25:129-137.
- Seo, D.C., J.H. Park, Y.S. Cheon, S.K. Park, A.R. Kim, W.G. Lee, S.W. Lee, S.T. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2010. Treatment efficiency of pollutants in constructed wetlands under different hydroponic wastewater injection methods and characteristic of filter media. Kor. J. Environ. Agric. 29: 146-151