

질소 및 인 함유 폐양액 처리를 위한 최적 인공습지 시스템 선정

박중환[†] · 서동철[†] · 김성현 · 이충현 · 최정호² · 김홍출³ · 이상원³ · 하영래 · 조주식^{1**} · 허중수^{*}

경상대학교 응용생명과학부 (Bk21 농생명산업 글로벌 인재 육성 사업단)& 농업생명과학원,

¹순천대학교 생물환경학과, ²한국환경공단 환경분석처, ³경남과학기술대학교 제약공학과

Selection of Optimum System in Constructed Wetlands for Treating the Hydroponic Waste Solution Containing Nitrogen and Phosphorus

Jong-Hwan Park[†], Dong-Cheol Seo[†], Seong-Heon Kim, Choong-Heon Lee, Jeong-Ho Choi²,
Hong-Chul Kim³, Sang-Won Lee³, 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

²Division of Environmental Analysis, Korea Environment corporation, Incheon, 404-708, Korea

³Department of Pharmaceutical Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 660-758, Korea

In order to develop constructed wetlands for treating hydroponic wastewater in greenhouse, actual constructed wetlands were used the obtained optimum condition in previous study, and the removal rate of pollutant in the water according to 4 kinds connection method of piping such as system A (UP-UP stream), system B (UP-DOWN system), system C (DOWN-UP stream) and system D (DOWN-DOWN stream) were investigated. Removal rate of biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), suspended solids (SS), total nitrogen (T-N) and total phosphorus (T-P) by system A (UP-UP stream) connection method in actual constructed wetlands were slightly higher than other systems. At the system A, the removal rate of BOD, COD, SS, T-N and T-P were 88, 77, 94, 54 and 94%, respectively. Under different hydroponic wastewater loading, the removal rates of pollutants were higher in the order of $75 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1} \approx 150 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1} \geq 300 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. Therefore, optimum connection method was system A for treating hydroponic wastewater in greenhouse.

Key words: Constructed wetlands, Hydroponic wastewater, Nitrogen, Phosphorus

서 언

양액재배는 토양이 없는 상태에서 작물생육에 필요한 양분을 수용액 상태로 공급해 줄 수 있어 최근 원예 및 화훼 생산 분야에서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 그 재배면적 또한 꾸준히 증가하는 추세이다 (Göhler and Molitor, 2002; Nelson, 1998). 현행 양액을 사용하는 방식은 비순환 방식이 89%를 차지하고 있으며 (MAF, 2004), 비순환방식에서 배출하는 폐양액량은 공급량의 약 20%정도이다. 시설하우스에서 배출되는 폐양액은 BOD와 같은 유기물함량은 낮

은 반면에 질소 함량이 약 $100 \sim 250 \text{ mg L}^{-1}$, 인 함량이 약 $15 \sim 30 \text{ mg L}^{-1}$ 정도로 높게 배출되는 특성이 있으며 (Lee et al., 2007), 이 중 질소는 작물에 흡수되고 약 33~43% 정도가 질산성질소로 배출되고 있어 인근 수계 부영양화의 주요인이 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 때 비료로써 재활용 가치가 높아 그 동안 폐양액의 재활용에 관한 연구가 다양하게 진행되어 왔다 (Choi et al., 2011; Zhang et al., 2006).

폐양액을 양액으로 재활용하기 위해서는 기존의 비순환식 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

접수 : 2012. 8. 30 수리 : 2012. 9. 21

[†]공동 제1저자

*연락처 : Phone: +82557515470

E-mail: jsheo@gnu.ac.kr

**공동연락처 : +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

있어 이를 방지하기 위해서는 소독 시스템을 추가로 도입해야 하는 등의 문제점이 발생되었다 (Park et al., 2008). 또한 이들 순환시스템들은 고가의 장비가 필요하고, 순환되는 배양액속에 들어있는 미립자 상태의 불순물들을 제거하기 위하여 부가적으로 모래여과장치와 같은 기능의 부가장치를 사용해야하기 때문에 실제 농민이 사용하기에 많은 어려움이 있는 실정이다.

시설하우스에서 배출되는 폐양액은 유기물함량이 매우 낮고 질산성질소와 인의 함량이 높아 일반적인 생물학적인 처리법에 의해 처리가 불가능하여 직접처리하는 연구는 거의 없으며, 일부 연구자들에 의해 부레옥잠과 같은 담수 수생식물을 이용한 연구가 진행되어진 바 있으나, 처리효율이 매우 낮아 배출기준을 만족하기 어려운 것으로 보고되었다 (Park et al., 2008).

현재 시설하우스의 폐양액은 수질환경보전법상 산업체 폐수로 분류되어 배출 기준으로 규제되고 있으며, 특히 T-N 60 mg L⁻¹ 및 T-P 8 mg L⁻¹이하로 규제하고 있어 폐양액을 효과적으로 처리하여 재활용 할 수 있는 환경친화형 폐양액 처리기술 개발이 절실히 요구된다 (Ministry of Environmental, 2005; Park et al., 2008; Seo, 1999). 이에 본 연구진은 선행연구 (Park et al., 2008; Seo et al., 2010)를 통해 인공습지를 이용하여 폐양액을 효과적으로 처리하기 위한 조합방법, 여재 등 다양한 인자별 최적조건을 구명하였으나, 실제 현장에 적용되어 소형 인공습지에서 수행한 기초실험을 기반으로 폐양액 처리를 위한 인공습지의 기능

성에 대한 연구만 진행되었으며, 실제 시설하우스 현장에 적용되지 않았다. 이에 본 연구는 선행연구의 최적조건을 이용하여 실제 시설하우스 양액재배지에 인공습지 폐양액 처리장을 설계 및 시공하였으며, 보다 효율적인 폐양액 처리 최적시스템을 개발하기 위해 수평흐름조 연결방식에 따라 system A, B, C 및 D로 구분하여 정화효율을 평가하였으며, 선정된 시스템의 현장 적용성을 평가하기 위해 폐양액 부하량별 수처리 효율을 조사하였다.

재료 및 방법

시험재료 현장 인공습지 폐양액 처리장치에 사용된 폐양액은 경남 농업기술원 내 딸기 시설하우스에서 배출되는 폐양액을 사용하였다. 공시 폐양액의 화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 총 질소 함량은 105 mg L⁻¹이었고, 총 인 함량은 13.18 mg L⁻¹이었다.

공시 여재는 여재채취장에서 채취한 여재를 사용하였으며, 화학적 특성은 Table 2에서 보는 것과 같다. 현장 폐양액처리장에는 왕사와 인의 흡착능이 우수한 방해석을 1:1로 혼합한 여재를 사용하였다. 각 사용된 여재의 유효입경 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 10%되는 부분의 여재의 입경; d₁₀)은 1.2 mm이었으며, 균등계수 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 60%에 해당되는 입경과 10%에 해당되는 입경과의 비; d₆₀ d₁₀⁻¹)는 2.46이었다 (Table 3).

Table 1. Chemical characteristics of the hydroponic wastewater used.

Items	pH	EC	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P
		dS m ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----					
Average	7.0	1.32	6.7	5.37	20.17	26.85	105.0	13.18
Standard deviation	±0.31	±0.21	±0.3	±1.2	±2.6	±2.2	±12.5	±2.3

Table 2. Chemical characteristics of filter media used.

Items	pH	EC	O.M	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn
	1:5	dS m ⁻¹	%	----- mg kg ⁻¹ -----							
Average	8.4	0.07	0.37	27.0	37.2	1,030	201,418	1,957	132	2,153	63.6
Standard deviation	±0.6	±0.02	±0.08	±2.6	±4.2	±213	±4,524	±265	±42	±165	±6.5

Table 3. Physical characteristics of filter media used.

Porosity	Bulk density	d ₁₀	d ₆₀	Uniformity coefficient
%	g cm ⁻³	mm	mm	d ₆₀ d ₁₀ ⁻¹
32	1.48	1.3	3.2	2.46

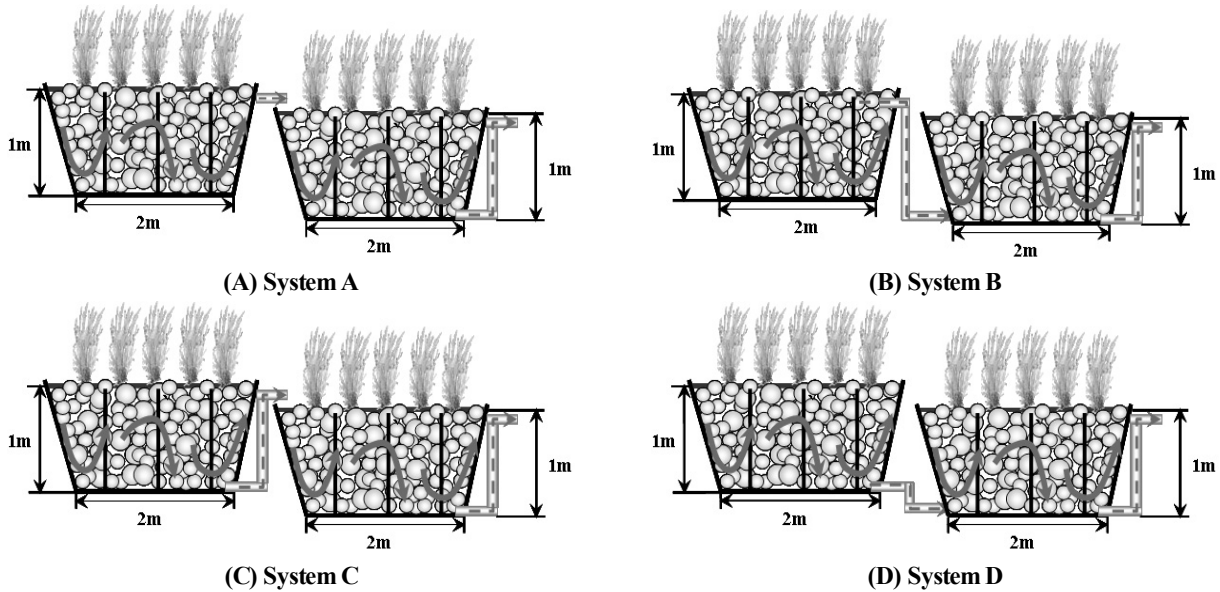


Fig. 1. Diagrams of hydroponic wastewater treatment plant.

실험장치 현장 인공습지 폐양액처리장은 최적조합이었던 HF (수평흐름조)와 HF (수평흐름조)를 연결하여 1개 시스템으로 하였으며, 수평흐름조 연결방식을 Fig. 1과 같이 system A, B, C 및 D로 달리하여 시공하였다. 두 수평흐름조의 크기는 각각 가로 2.0 m × 세로 2.0 m × 높이 1.0 m로서 용량이 4.0 m³되게 시공하였다.

사용된 여재는 1차년도 연구결과를 토대로 하여 선행연구 (Seo et al., 2010)에서 최적여재였던 왕사:방해석=1:1로 혼합한 여재를 사용하였고, 여재 주입위치는 하부에서 높이 0.9 m까지 충전하였다. 각 HF조는 체류시간을 증가시키기 위해 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.

실험방법 및 조사시기 현장 인공습지 폐양액처리장에서 system별 정화효율 평가는 HF (Horizontal flow)-HF 조합형 인공습지에서 HF조의 연결방식에 따라 system A, B, C 및 D로 구분한 후 폐양액 유입량을 150 L m⁻² day⁻¹되게 유입하여 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율을 각각 조사하였다.

폐양액의 부하량에 따른 수처리 효율 조사는 최적 system 하에서 폐양액 부하량에 대한 대응성을 조사하기 위해 시설 하우스에서 배출되는 폐양액을 75, 150 및 300 L m⁻² day⁻¹되게 달리 유입하여 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율을 각각 조사하였다.

각 조건별 실험은 2개월간 조사되었으며, 시료의 채취는

매달 처음 1주간은 1주 3회 3반복, 2주부터는 주 2회 3반복으로 분석한 결과를 통계처리 (SPSS 19 version)하여 각 조건에서의 수처리 효율을 조사하였다.

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

결과 및 고찰

폐양액 처리를 위한 system별 수처리 효율 현장 폐양액처리장에서의 system별 BOD 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 폐양액 원수의 BOD 함량은 평균 5.37 mg L⁻¹정도로 폐양액 자체의 유기물 농도는 일반적인 생활하수에 비해 매우 낮았다. 1차 처리수 중의 system별 BOD 처리효율은 system A 및 B가 각각 46 및 47%이었고, system C 및 D는 각각 62 및 63%로 system C 및 D가 system A 및 B에 비해 약간 더 높은 경향이였다. 이와 같은 결과는 system C 및 D의 1차 처리조의 경우 폐양액이 처리조의 상부에서 하부방향으로 수직여과됨으로 인해 폐양액과 여재의 접촉시간이 길기 때문이며, 반면에 system A와 B의 1차 처리조의 경우 폐양액이 상부로 유입되어 수평방향으로 흘러 상부에서 유출됨으로 인해 폐양액과 여재의 접촉 시간이 짧기 때문이다.

1차 처리된 후 2차 처리수 중의 시스템별 BOD 처리효율

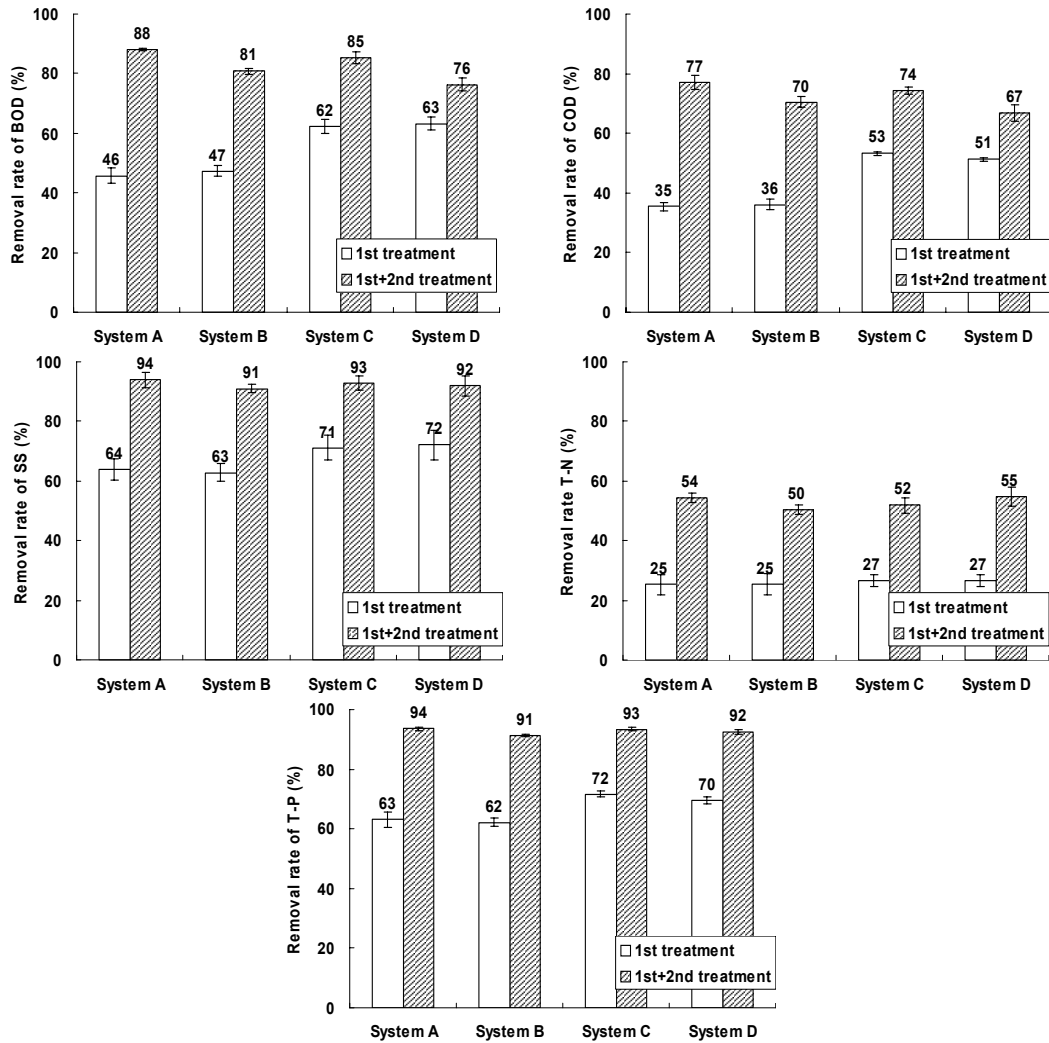


Fig. 2. Removal rate of pollutants in the water under different connection method in hydroponic wastewater treatment plant.

은 system A, B, C 및 D는 각각 88, 81, 85 및 76%로 system A가 다른 system에 비해 약간 높은 처리효율을 보였다. 따라서 HF-HF 조합형 폐양액처리장에서 효과적으로 BOD를 처리하기 위한 최적조건은 system A이었다.

현장 폐양액처리장에서의 system별 COD 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 폐양액 원수의 COD 함량은 평균 20.17 mg L⁻¹이었고, 1차 처리수 중의 system별 COD 처리효율은 system A 및 B는 각각 35 및 36%이었고, system C 및 D는 각각 53 및 51%로 system C 및 D가 system A 및 B에 비해 약간 더 높은 경향이였다. 이와 같은 결과는 BOD와 유사한 경향으로 system C 및 D의 1차 처리조의 경우 폐양액이 처리조의 상부에서 하부방향으로 수직여과됨으로 인해 폐양액과 여재의 접촉시간이 길기 때문이며, 반면에 system A와 B의 1차 처리조의 경우 폐양액이 상부로 유입되어 수평방향으로 흘러 상부에서 유출됨으로 인해 폐양액과 여재의 접촉 시간이 상대적으로 짧기 때문이다.

1차 처리된 후 2차 처리수 중의 처리조 연결방법별 COD

처리효율은 system A, B, C 및 D는 각각 77, 70, 74 및 67%로 system A가 다른 system에 비해 약간 높은 처리효율을 보였다. 따라서 HF-HF 조합형 폐양액처리장에서 효과적으로 COD를 처리하기 위한 최적조건은 system A이었다.

현장 폐양액처리장에서의 처리조 system별 SS 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 폐양액 원수의 SS 함량은 평균 26.85 mg L⁻¹정도로 폐양액 자체의 SS 농도는 일반적인 생활하수에 비해 매우 낮았다. 이는 양액 조제시 SS 함량이 거의 없는 지하수나 수도물을 이용하여 조제하기 때문이며, 폐양액 중 SS 함량의 대부분은 유입된 양액이 상토를 거치면서 상토내 부유물질이 유출되기 때문으로 판단된다.

1차 처리수 중의 system별 SS 처리효율은 system A 및 B는 각각 64 및 63%이었고, system C 및 D는 71 와 72%로 system C 및 D가 system A 및 B에 비해 약간 더 높은 경향이였다.

1차 처리된 후 2차 처리수 중의 system별 SS 처리효율은 system A, B, C 및 D는 각각 94, 91, 93 및 92%로 system

A가 다른 system에 비해 약간 높은 처리효율을 보였다. SS의 처리는 인공습지 폐양액처리장에서 여재에 의한 여과 작용이 주된 처리이기 때문에 1차 처리수와 2차 처리수의 SS 처리효율이 다른 항목에 비해서 큰 차이가 없었다. 이러한 SS성분의 여과는 궁극적인 처리가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 SS를 일으키는 현탁물질은 입자상태로 처리조내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 현탁입자들은 대부분 무해하지만 오염성분들은 미생물에 의한 생물학적 분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수 및 기타 화학반응을 거치면서 궁극적으로 처리된다 (Jo, 2003).

현장 폐양액처리장에서의 처리조 system별 T-N 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 폐양액 원수의 T-N 함량은 평균 105 mg L^{-1} 정도이었다. 이는 양액 제조시 식물생장에 필요한 주성분인 질소를 다량 주입하기 때문으로 판단되며, 이때 주입된 질소는 대부분 $\text{NO}_3\text{-N}$ 형태이었다.

1차 처리수 중의 system별 T-N 처리효율은 system A 및 B는 각각 25 및 25%이었고, system C 및 D는 각각 27 및 27%로 system C 및 D가 system A 및 B에 비해 미미하게 높았다. 1차 처리된 후 2차 처리수 중의 연결방법별 T-N 처리효율은 system A, B, C 및 D는 각각 54, 50, 52 및 55%로 system A 및 D가 다른 system에 비해 약간 높은 처리효율을 보였으나 그 차이는 미미하였다. 이와 같이 인공습지 축산폐수처리장에서 질소 처리를 위한 탈질반응에서 BOD와 COD 등의 유기물이 탈질의 제한인자로 작용하게 되는데 양액 조제 특성상 유기물 함량이 매우 낮아 연결방법에 따라 별 차이 없는 것으로 판단된다 (Kim et al., 2011).

이상의 결과를 미루어 볼 때 T-N을 효과적으로 처리하기 위한 system은 A와 D이었다.

현장 폐양액처리장에서의 처리조 system별 T-P 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 폐양액 원수의 T-P 함량은 평균 13.18 mg L^{-1} 정도로 일반적인 생활하수 중의 T-P 함량에 비해 2-3배 정도 높은 결과를 보였다. 이는 양액 제조시 식물생장에 필요한 주성분인 인을 다량 주입하기 때문으로 판단되며, 이때 주입된 인은 대부분 $\text{PO}_4\text{-P}$ 형태이었다.

1차 처리수 중의 system별 T-P 처리효율은 system A 및 B는 각각 63 및 62%이었고, system C 및 D는 각각 72 및 70%로 system C 및 D가 system A 및 B에 비해 약간 더 높은 경향이었다. 1차 처리된 후 2차 처리수 중의 system별 T-P 처리효율은 system A, B, C 및 D는 각각 94, 91, 93 및 92%로 전반적으로 system에 따라 별 차이 없이 높은 처리효율을 보였다. 일반적인 습지에서의 T-P의 처리기작은 인산염의 침전, 기질에의 흡착, 수생식물에 의한 흡수 및 조류와 세균에 의한 흡수 등으로 예상할 수 있다. 일반적으로 인공습지에서 인 처리는 대부분 흡착과 침전에 의해 주로 처

리되며, 식물흡수에 의한 흡수나 미생물에 의한 처리량은 전반적으로 매우 낮은 것으로 알려져 있다 (Seo et al., 2006). 이로 인해 인공습지 오폐수처리장의 설계 시공시 인의 흡착능이 우수한 여재 선정과 관련하여 많은 연구결과가 보고되었고 (Seo et al., 2003; Kim et al., 2011), 본 연구진의 폐양액처리장 관련 선행연구 (Seo et al., 2010)에서도 인의 흡착능을 향상시키기 위해 방해석을 혼합하여 충전하였다. 이는 방해석 주성분이 대부분 CaCO_3 형태로 이루어져 있어 정석탈인법에 의해 인이 높은 제거효율로 처리되기 때문이다. 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, 1998). 이상의 결과를 미루어 볼 때 폐양액을 효과적으로 처리할 수 있는 최적 조건은 system A이었다. System A에서 폐수배출기준 만족 여부를 조사하기 위해 유입수와 처리수 중의 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P 함량은 조사한 결과 (Fig. 3) BOD, COD, SS 및 T-P는 폐수배출기준을 만족하면서 안정적인 처리가 가능하였으며, T-N의 경우는 운전초기에는 방류수 수질기준을 만족하지 못하였으나 시간이 경과함에 따라 점점 안정화되고 탈질효율이 높아지면서 폐수배출기준을 만족하였다.

인공습지 폐양액 처리 시스템에서 부하량별 수처리 효율 폐양액의 부하량에 따른 수처리 효율 조사는 system A에서 폐양액 부하량에 대한 적응성을 평가하기 위해 폐양액 부하량을 75, 150 및 $300 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 달리하여 조사하였다.

방류수에서 부하량별 BOD 처리효율은 폐양액 부하량에 따라 별 차이 없이 87% 이상의 높은 처리효율을 보였다 (Fig. 3). 부하량에 따른 COD의 처리효율은 1차 처리수의 경우 폐양액 부하량에 따라 별 차이 없이 약 34-36% 정도이었으며, 2차 처리수의 경우도 부하량에 따라 별 차이가 없이 76% 이상의 높은 처리효율을 보였다. 폐양액 부하량에 따른 SS 처리효율은 1차 처리수의 경우 폐양액 부하량에 따라 별 차이 없이 모든 부하량에서 64-65% 범위이었고, 2차 처리수의 경우도 폐양액 부하량에 따라 별 차이 없이 약 93% 이상 높은 처리효율을 보였다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 본 폐양액처리장에서 BOD, COD 및 SS 처리효율은 부하량에 따라 별 차이 없이 안정적인 처리효율을 보였다. 특히, 본 인공습지 시스템은 SS 함량이 일반 생활하수에 비해 낮아 부하량과 관계 없이 안정적으로 처리가 되었다. 하지만 고농도로 유입되는 인공습지 하수처리장 (Seo et al., 2006)과 인공습지 축산폐수처리장 (Park et al., 2011a)의 연구에서는 부하량이 증가함에 따라

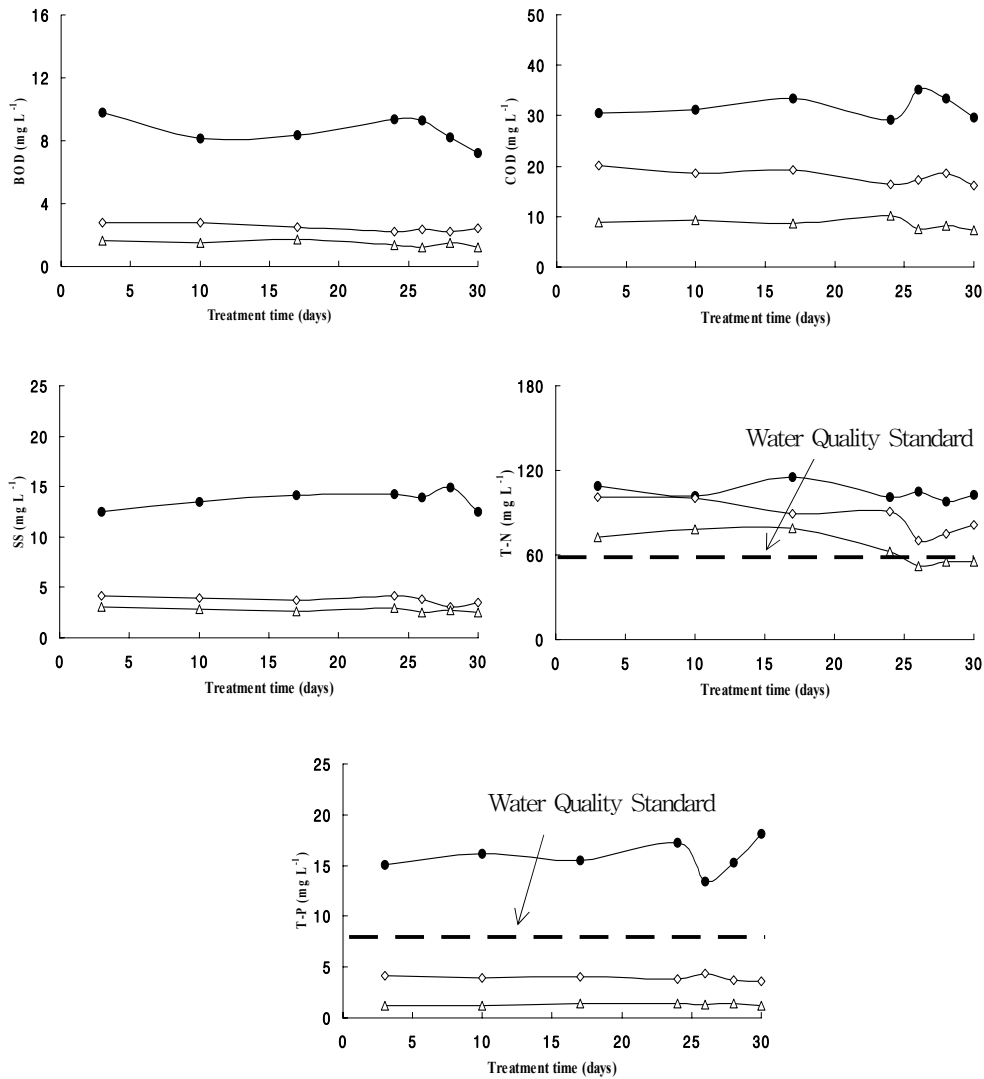


Fig. 3. Variation of pollutants in the water in hydroponic wastewater treatment plant (●, Raw water; ◇, HF (1st) in HF-HF system; △, HF (2nd) in HF-HF system).

BOD, COD 및 SS 처리효율은 부하량이 증가하면서 감소하는 것으로 보고하였다.

폐양액 부하량에 따른 T-N의 처리효율을 조사한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 부하량에 따른 T-N 처리효율은 1차 처리수의 경우 폐양액 부하량이 증가함에 따라 점점 감소되는 경향으로 폐양액 부하량 $75 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 에서 28% 정도로 가장 높았다. 1차 처리된 후 2차 처리수의 경우 부하량 별 T-N 처리효율은 폐양액 부하량이 증가함에 따라 점점 감소되는 경향이었고, 폐양액 부하량에 따른 T-N 처리효율은 부하량 $75 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 가 55% 정도로 부하량 $300 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 이상에서의 52%에 비해 약간 높은 경향이었으나, 그 차이는 미미하였다.

일반적으로 폐양액 중 질소는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로서 구분할 수 있지만 대부분이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 존재한다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 달리 음전하이기 때문에 (-)하전인 토양입자에

부동화 되지 않으므로 훨씬 더 유동성이 크며, 침투수와 함께 잘 이동하는 특징이 있다 (Park et al., 2003). 따라서 현장 폐양액처리장에서 효과적인 T-N 처리를 위해서는 여재의 흡착에 의한 처리보다는 생물학적 탈질에 의해 처리해야 할 것으로 사료된다. 하지만 현재 배출되는 폐양액은 유기물함량이 낮아 일반적인 생물학적 탈질기작으로 질산성질소를 처리하는데도 한계가 있을 것으로 판단된다.

현장 폐양액처리장에서 폐양액 부하량에 따른 T-P 처리효율은 1차 처리수의 경우 폐양액 부하량에 따라 별 차이가 약 63-65%정도이었다. 1차 처리된 후 2차 처리수 중의 부하량별 T-P 처리효율은 폐양액 부하량에 따라 별 차이가 없이 91% 이상의 높은 처리효율을 보였다. 이는 본 처리장에 사용된 여재 중 방해석은 CaO 함량이 약 56%정도로 매우 높아 대부분의 인이 Ca-P로 침전되었기 때문으로 사료된다 (Kim et al., 2011).

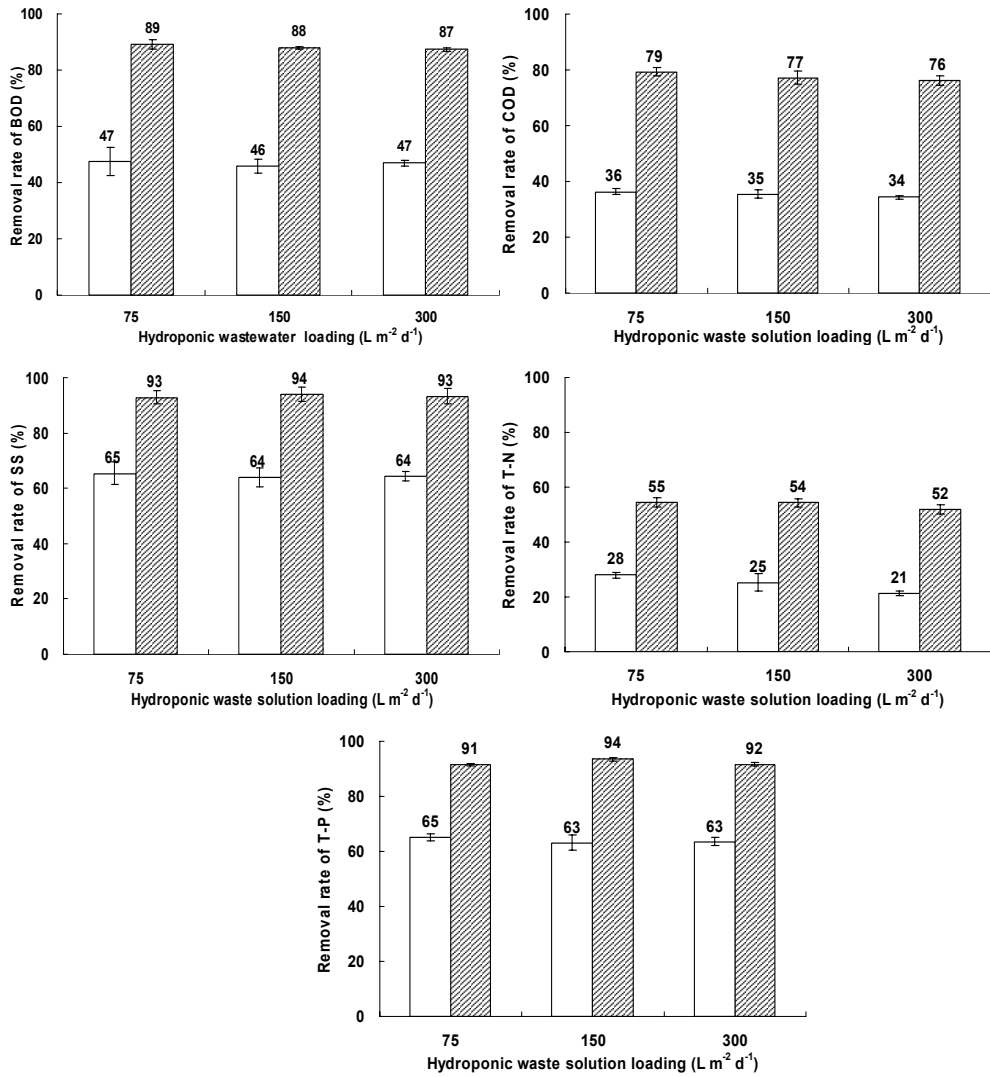


Fig. 4. Removal rate of pollutants in the water under different hydroponic wastewater loading in hydroponic wastewater treatment plant (□, 1st treatment; ▨, 1st + 2nd treatment)

이상의 결과를 종합해 볼 때 현장 폐양액처리장에서 폐양액 부하량에 따른 수처리 효율을 조사한 결과 system A의 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P 처리효율은 각각 87-89, 76-79, 93-94, 52-55 및 91-94%로 부하변동에 대한 대응성이 높고 전반적으로 안정적으로 처리되었다.

한 결과 system A의 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 폐양액 부하량에 따라 별 차이 없이 각각 87-89, 76-79, 93-94, 52-55 및 91-94%로 전반적으로 높고 안정적으로 처리되었다. 하지만 T-N의 처리효율은 55% 정도 수준으로 폐수배출기준을 안정적으로 만족하기 위해서는 질소 처리효율을 좀 더 향상시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

요 약

질소 및 인 함유 폐양액 처리를 위한 최적 인공습지 시스템을 선정하기 위해 처리조의 연결방식을 달리하여 최적 system을 선정하였고, 선정된 최적조건하에서 폐양액 부하량에 대한 적응성을 평가하였다. 현장 폐양액처리장에서 시스템별 정화효율을 평가한 결과 system A의 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 처리효율은 각각 88, 77, 94, 54 및 94%로서 다른 시스템에 비해 가장 높은 정화효율을 보였다. 현장 폐양액처리장에서 폐양액 부하량별 수처리 효율을 조사

사 사

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원 생명산업기술개발사업 (과제번호: 112014-3), 2007년도 농촌진흥청 농업특정연구개발사업 (과제번호: 20070101033037) 및 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의해 이루어진 것임. 또한 이 논문은 2012년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 [NRF-2010-359-F00003].

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.
- Choi, B.S., J.E. Lim, Y.K. Shin, J.E. Yang, S.S. Lee, and Y.S. Ok. 2011. Effect of waste nutrient solution and reclaimed wastewater on chinese cabbage growth and soil properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:394-399.
- Göhler, F. and H.D. Molitor. 2002. *Erdlose Kulturverfahren im Gartenbau*. Verlag Eugen Ulmer, p. 267.
- 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.
- Jo, I.S. 2003. Treatment of pollutants in environmentally friendly constructed wetland for sewage treatment in longterm. 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, J.T., K.H. Moon, and J.W. Kim, 2001. The standard method of water analysis. Shinkwang a publishing company. Korea.
- Kim, D.J., H.K. Kim, and Y.R. Kim. 2011. Effect of nitrogen compounds and organic carbon concentration on N₂O emission during denitrification. *Clean Technology* 17:134-141.
- 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.
- Ministry of Environmental. 2005. Environmental white paper. Korea.
- Nelson, P.V. 1998. Greenhouse operation and management. 5th edition. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, U.S.A. pp. 355-374.
- 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. 2011a. 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, 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. 2011b. Optimum pre-treatment method in constructed wetlands by natural purification method for treating livestock wastewater. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:278-284.
- Park, K.L., J.S. Choi, H.J. Baek, W.I. Kim, G.B. Jung, S.G. Yun, and J.K. Cho. 2003. Concentrations and natural ¹⁵N abundances of NO₃-N in groundwater and percolation water from intensive vegetable cultivation area in Japan. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 3:119-126.
- 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.* 27:217-224.
- Seo, B.S. 1999. Future prospects and countermeasures for hydroponics in 21C. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 17:796-802.
- Seo, D.C. 2002. Development of sewage treatment apparatus by natural purification method. Master Thesis. Gyeongsang National University of Education. Korea.
- Seo, D.C., H.J. Lee, J.S. Cho, H.G. Park, H.K. Kim, and J.S. Heo. 2003. Selection of optimum pebbles size in sewage treatment plant by natural purification method. *Kor. K. Environ. Agric.* 22:26-35.
- 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.
- Seo, D.C., J.H. Park, A.R. Kim, S.H. Kim, S.T. Lee, T.U. Jeong, J.H. Choi, S.W. Lee, J.S. Cho, H.O. Kim and J.S. Heo. 2011. A study on the improvement of treatment efficiency for nitrogen and phosphorus in livestock treatment system using constructed wetlands. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:434-441.
- Zhang, C.H., H.M. Kang and I.S. Kim. 2006. Effect of using waste nutrient solution fertigation on the musk melon and cucumber growth. *J. Bio-Environ. Cont.* 15:400-405.