

시설하우스 폐양액 주입방법 및 여재 특성에 따른 인공습지에서 수질오염물질의 처리효율

서동철^{1†} · 박종환^{2†} · 천영석² · 박성규² · 김이름² · 이원규³ · 이상원⁴ · 이성태⁵ · 조주식^{6**} · 허종수^{2,7*}

¹루이지애나주립대 해양연안과학과, ²경상대학교 응용생명과학부, ³경상남도 도청 기업지원과,
⁴진주산업대 미생물공학과, ⁵경상남도 농업기술원, ⁶순천대학교 생명환경과학부, ⁷경상대학교 농업생명과학원
(2010년 4월 1일 접수, 2010년 6월 8일 수리)

Treatment Efficiency of Pollutants in Constructed Wetlands under Different Hydroponic Wastewater Injection Methods and Characteristic of Filter Media

Dong-Cheol Seo^{1†}, Jong-Hwan Park^{2†}, Yeong-Seok Cheon², Seong-Kyu Park², Ah-Reum Kim², Won-Gyu Lee³, Sang-Won Lee⁴, Seong-Tae Lee⁵, Ju-Sik Cho⁶ and Jong-Soo Heo^{2,7*} (Department of oceanography and Coastal Sciences, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70802, USA, ²Division of Applied Life Science, GyeongSang National University, Jinju, 660-701, Korea, ³Department of Business Supprot, GyeongSangnamdo Provincial Government Building, Changwon, 641-702, Korea, ⁴Department of Microbiological Engineering, Jinju National University, Jinju, 660-758, Korea, ⁵Gyeongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-360, Korea, ⁶Division of Applied Life and Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon, 540-742, Korea, ⁷Institute of Agriculture and Life Sciences, GyeongSang National University, Jinju, 660-701, Korea)

In order to improve T-N and T-P removal in HF (horizontal flow)-HF hybrid constructed wetlands by natural purification method for treating the hydroponic wastewater in greenhouses, the efficiency of water treatment as affected by the injection method of hydroponic wastewater, the addition of special filter media, the particle size of filter media, and the injection ratio of hydroponic wastewater in 1st HF and 2nd HF beds were investigated in small-scale HF-HF hydroponic wastewater treatment apparatus. Removal rate of T-P in the water in HF-HF hydroponic wastewater treatment apparatus with calcite as affected by addition method of special filter media was higher than that in HF-HF hydroponic wastewater treatment apparatus with other filter media. Removal rate of BOD, COD, SS, T-N and T-P in the water in mixed filter media with calcite were 86, 84, 87, 50 and 97%, respectively. Removals of pollutants except for T-P in the water were slightly different. Therefore, it should be considered that the removal rate of T-P was good for calcite in HF-HF hydroponic wastewater treatment apparatus. To improve T-N and T-P removal, the optimum particle size of filter media was 1.2 mm, and the optimum injection ratio (1st HF bed : 2nd HF bed) of hydroponic wastewater was 60:40.

Key Words: Hydroponic wastewater, Greenhouses, Constructed wetlands, Horizontal flow, Calcite, Filter media.

서론

*연락처:

Tel: +82-55-751-5470 Fax: +82-55-757-0178

E-mail: jsheo@gsnu.ac.kr

**공동연락처:

Tel: +82-61-750-3297 Fax: +82-61-750-3890

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

†공동 제1저자

현재 우리나라의 양액재배 시설은 1993년 23 ha에서 2008년 1,107 ha로 급격히 증가하고 있는 추세이다. 현행 양액을 사용하는 방식은 비순환방식이 89%를 차지하고 있으며 (MAF, 2009), 특히 비순환방식에서 배출하는 폐양액은 공급액의 약 20%정도이었다. 시설하우스에서 배출되는 폐양액은 대체로 질소가 400 mg L⁻¹ 및 인이 20 mg L⁻¹ 내외를 함유

하고 있으며(Lee et al., 2007; MAF, 2009), 특히 질소는 작물에 흡수되고 약 33~43% 정도가 폐양액으로 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 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 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 있어 이를 방지하기 위해서는 소독 시스템을 추가로 도입해야 하는 등의 문제점이 있다(Park et al., 2008).

국내 시설하우스 농가는 대부분 폐양액을 처리공정 없이 그대로 인근 수계에 방류하고 있어 수질오염을 가중시키고 있으며, 일부 농가에서 부레옥잠 등을 이용하여 단순처리 후 방류하고 있으나, 폐양액이 거의 처리 되지 않고, 특히 겨울철 식물체 고사로 인해 폐양액 정화를 기대하기 힘든 실정이다(Park et al., 2008). 몇몇 연구자에 의해 모래여과, 체올라이트 및 미생물을 이용한 폐양액 정화기술을 이용해 처리하는 공법이 개발되고 있으나, 이들 공법은 대부분 처리효율이 낮고, 시공경비 및 유지관리비가 과다하게 소요되며, 대부분 기계식 공법으로 농촌환경에 부적합한 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(환경부 환경백서, 2005). 이에 시설하우스에서 배출되는 폐양액의 질소와 인 등을 효과적으로 처리할 수 있고, 간단하게 설치 유지할 수 있으며, 유지관리비가 소요되지 않고, 한번 설치로 반영구적으로 사용할 수 있는 우리나라 농촌 시설하우스 특성에 맞는 자연정화공법에 의한 폐양액 처리기술을 개발해야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 자연정화공법에 의한 시설하우스 폐양액 처리장치에서 선행연구인(Park et al., 2008) 최적 깊이와 최적 부하량하에서 질소 및 인 처리 효율 향상방안을 모색하기 위해 폐양액 주입방법별, 특수여재 주입별, 여재입경별 및 폐양액 주입 비율별로 조건을 달리하여 폐양액 중 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P 처리효율을 각각 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 소형 폐양액처리장치에 사용된 공시 폐양액은 경남 농업기술원내 파프리카 재배를 위한 시설하우스에서 배출되는 폐양액을 사용하였으며, 공시 여재는 여재채취장에서 채취한 여재를 사용하였다. 공시 폐양액 및 여재의 이화학적 특성은 각각 Table 1~3에서 보는 바와 같다. 소형 폐양액처리장치에 사용된 여재는 왕사와 쇠석의 비율이 3:1인 혼합여재를 사용하였다. 혼합여재의 유효입경(여재를 입경 순으로 나열

Table 1. Chemical characteristics of the hydroponic wastewater used

pH	EC	DO	BOD	COD	SS	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	T-P	PO ₄ -P
	(dS m ⁻¹)	(mg L ⁻¹)									
6.9	1.87	6.7	11.7	40.3	21.3	122	1.01	109	1.38	18.8	6.4

Table 2. Chemical characteristics of filter media used

pH	EC	O.M	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	(dS m ⁻¹)	(%)	(mg kg ⁻¹)									
7.9	0.04	0.03	32.3	28.2	1,003	1,035	1,144	140	2,028	58.3	2.91	10.6

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)
29	1.58	1.2	3.5	2.92

[¶]d₁₀: grain size that is 10% finer by weight (effective grain size), [§]d₆₀: grain size that is 60% finer by weight.

하였을 때 작은 입경으로부터 중량 10%되는 부분의 여재의 입경 d_{10} 은 1.2 mm이었으며, 균등계수(여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 60%되는 입경과 10%되는 입경과의 비 $d_{60} d_{10}^{-1}$)는 2.92이었다.

본 소형 폐양액처리장치에 이식한 수생식물은 본 연구자들의 선행연구(Park et al., 2008)시 이식하였던 노랑꽃창포였으며, 이들을 1차 및 2차 수평흐름조(헤파기성조)에 가로 20 cm × 세로 20 cm 간격으로 각각 이식하였다.

소형 폐양액 처리장치 설계 및 시공

자연정화공법에 의한 HF-HF 조합형 소형 폐양액처리장치는 Fig. 1과 같이 수평흐름조(Horizontal flow (HF); 헤파기성조)를 이용하여 HF-HF 조합형의 총 1개 조합으로 설계 및 시공하였다. 수평흐름조의 크기는 각각 지름 0.60 m × 높이 0.72 m인 플라스틱 원통을 사용하여 용량이 0.20 m³ 되게 제작하였다. 소형 폐양액처리장치의 수평흐름조에 각각 왕사와 쇠석이 3:1의 비율로 혼합된 혼합여재를 주입하였다. HF-HF 조합형 소형 폐양액처리장치에서 폐양액의 흐름은 1차 수평흐름조에 폐양액을 유입시켜 수평의 지그재그방향으로 수평 여과하여 유출된 수평흐름조 처리수는 자연유하식으로 2차 수평흐름조로 유입되게 하였고, 2차 수평흐름조에 유입된 폐양액은 수평흐름조에서 체류시간을 증가시키기 위해 수평의 지그재그방향으로 흐르게 하여 유출시켰다.

소형 폐양액 처리장치 운전조건 및 조사시기

폐양액 주입방법에 따른 수처리 효율 조사는 소형 폐양액처리장치의 최적조합방법이었던 HF-HF 조합형 폐양액처리장치(Park et al., 2008)에서 여재 깊이에 따른 수처리 효율의 최적 깊이하에서 연속주입방법은 헤파기성조에 오염용수를 1개월 동안 300 L m⁻² day⁻¹로 연속적으로 주입하였고, 간헐주입방법은 헤파기성조에 총 유입량을 300 L m⁻² day⁻¹로 연속주입과 동일하게 하되 2시간 무주입 후 1시간 동안 주입하는 것을 반복하여 1개월 동안의 방류수 중 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 수처리 효율을 각각 조사하였다. 특수여재 주입에 따른 수처리 효율 조사는 소형 폐양액처리장치의 최적

조합방법이었던 HF-HF 조합형 폐양액처리장치(Park et al., 2008)에서 방해석과 활성탄을 각 조의 표층에 10 cm되게 첨가하여 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 수처리 효율을 비교하였다. 여재 입경에 따른 수처리 효율 조사는 최적조합방법이었던 HF-HF 조합형 폐양액처리장치에서 여재 입경을 1.2 및 3.0 mm로 각각 달리하여 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 수처리 효율을 비교하였다. 폐양액의 주입비율에 따른 수처리 효율 조사는 최적 조합방법이었던 HF-HF 조합형 폐양액처리장치에서 1차 처리조인 수평흐름조(HF)대 2차 처리조인 수평흐름조(HF)의 폐양액 원수의 주입비율을 각각 100:0, 80:20 및 60:40으로 각각 달리하여 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 수처리 효율을 비교하였다.

소형 폐양액처리장치에서의 수처리 효율 조사는 2007년 4월부터 2007년 12월 31일까지 매일 실시하였으며, 한 조건에서 한 달간 운전하였다. 시료의 채취는 처음 3주간은 1주 1회, 마지막 주에는 격일로 4회 분석하여, 총 7회 분석한 결과를 평균하여 각 조건에서의 수처리 효율을 구하였다.

분석방법

공시양액과 처리수의 수질 분석은 수질오염공정기준에 준하여 다음과 같이 하였다(Ministry of Environment, 2008). BOD는 윙클러 아지드화나트륨 변법, COD는 산성과망간산칼륨법, SS는 유리섬유여과지법, T-N은 자외선 흡광도법, T-P는 아스코르빈산 환원법으로 각각 분석하였다.

여재 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법(토양, 식물체, 토양미생물)에 준하여 다음과 같이 하였다(Kim et al., 1998). 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 습식분해액으로 분해시킨 여액을 적당히 희석하여 atomic absorption spectrophotometer(Shimadzu AA-680, Japan)로 각각 분석하였다.

결과 및 고찰

폐양액의 주입방법에 따른 수처리 효율

소형 폐양액처리장치에서 폐양액의 주입방법에 따른 수처리 효율을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 유입된 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P의 농도는 11.7±3.1, 40.3±2.4, 21.3±1.9, 122±21.5 및 18.8±3.7 mg L⁻¹이었고, BOD 처리 효율은 연속주입방법이 92%로 간헐주입방법의 84%에 비해 약 8% 정도 높았다. 하지만 BOD와 달리 COD, SS, T-N 및 T-P 처리효율은 주입방법에 따라 큰 차이가 없이 COD가 약 81%, SS가 84~85%, T-N이 51~52% 및 T-P가 약 93% 정도이었다. 이와 같이 두 주입방법 모두 총 유입량은 동일함에도 불구하고 BOD 처리효율에 차이가 있는 것은 간헐 주

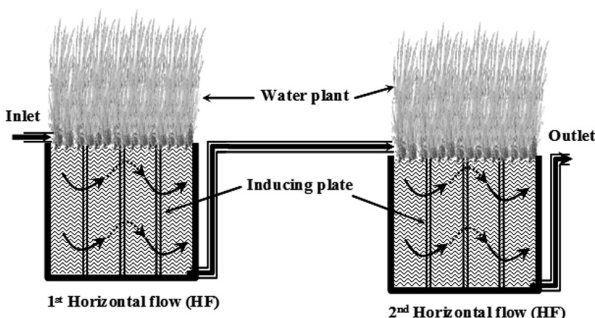


Fig. 1. Diagrams of small-scale HF-HF hydroponic wastewater treatment apparatus.

입방법은 연속주입방법에 비해 순간적인 부하량이 많아 폐양액의 체류시간이 감소하기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 시설하우스에서 배출되는 폐양액의 안정적인 처리를 위해서는 유량조정조나 집수조를 설치하여 연속적으로 폐양액을 주입하는 것이 더 적합할 것으로 판단된다. 이는 Seo et al. (2006, 2008)의 인공습지에서 하수 주입방법에 관한 연구결과와 유사한 경향으로, 이들 결과를 바탕으로 해볼 때 고농도의 오폐수처리에는 간헐적 주입보다는 연속적주입이 적합할 것으로 판단되며, 오염부하량이 적었을 경우에는 주입방법에 따라 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

특수여재 주입에 따른 수처리 효율

시설하우스 소형 폐양액처리장치에서 특수여재 주입에 따른 수처리 효율을 조사한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 활성탄 주입에 따른 BOD, COD 및 SS 처리효율은 활성탄을 주입한 경우가 각각 87, 87 및 88%로 활성탄을 주입하지 않은 경우에 비해 각각 3, 6 및 4% 처리효율이 향상되었다. 하지만 활성탄 주입에 따른 T-N 및 T-P처리효율은 활성탄 주입여부에 따라 별 차이 없이 대조구와 유사한 경향이였다. 이와 같은 결과는 활성탄의 경우 표면적이 넓어 유기물질이나 부유물질의 흡착이 용이하기 때문으로 판단된다. 하지만 질소의 경우 폐양액내 흡착이 거의 일어나지 않는 질산성질소가 대부분이라 처리효율이 향상되지 않았으며, 인의 경우도 별 차이 없어 활성탄의 인 흡착능이 높지 않은 것으로 판단된다. 이는 Seo et al.(2006)의 여재종류별 인의 최대흡착능과 동일한 결과로 여재종류별 인의 흡착능은 방해석 > 굴패각 >> 제올라이트 ≒ 활성탄 ≒ 고로슬래그 > 쇄석 > 모래 > 왕사 > 자갈의 순으로 활성탄은 제강슬래그 및 방해석에 비해 인흡착능이 높지 않은 것으로 보고하였다. 방해석 주입에 따른 COD, SS 및 T-P 처리효율은 방해석을 주입한 경

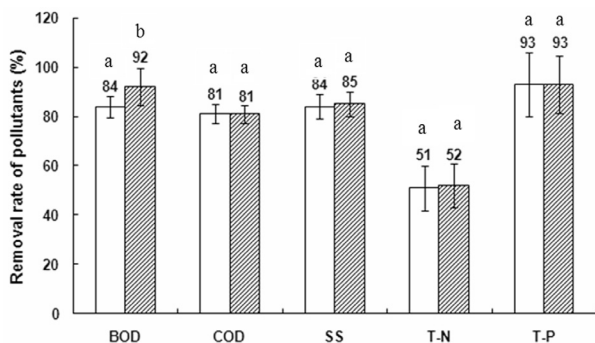


Fig. 2. Removal rate of pollutants in the effluent according to the injection methods of hydroponic wastewater treatment apparatus. (□ : Intermittent injection, ▨ : Continuous injection). Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

우가 각각 87 및 97%로 방해석을 주입하지 않은 경우에 비해 각각 3, 3 및 4% 처리효율이 향상되었다. 하지만 방해석 주입에 따른 BOD 및 T-N처리효율은 방해석 주입여부에 따라 별 차이 없이 대조구와 유사한 결과를 보였다. 이는 Seo et al.(2005)의 여재종류별 인의 흡착능 결과에서 방해석이 1,292 mg kg⁻¹으로 다른 여재에 비해 매우 높은 것으로 보고하였다.

이와 같이 방해석을 주입한 여재에서 T-P 처리효율이 높은 것은 이들 방해석의 주성분이 대부분 CaCO₃형태로 이루어져 있어 정석탈인법에 의해 T-P가 흡착 처리되기 때문으로 사료된다. 정석탈인법은 인을 함유하는 물에 인산칼슘으로 되는 동종동계종의 화합물과 접촉시키면 탈인제인 방해석 위에 인산칼슘이 생성, 정석하는 현상을 이용한 것으로 수중의 인은 Ca이온과 반응하여 난용성인 hydroxyapatite [Ca₅(OH)(PO₄)₃]로 처리되는 것으로 알려져 있다 (Heyman, 1998).

따라서 본 소형 폐양액처리장치에서 방해석 등 인 흡착능력이 좋은 여재의 주입은 T-P의 안정적인 처리를 위해 사용을 고려해야 할 것으로 판단된다. 특히, 향후 시설하우스에서 폐양액 배출기준이 강화되면 인의 안정적인 처리와 폐양액처

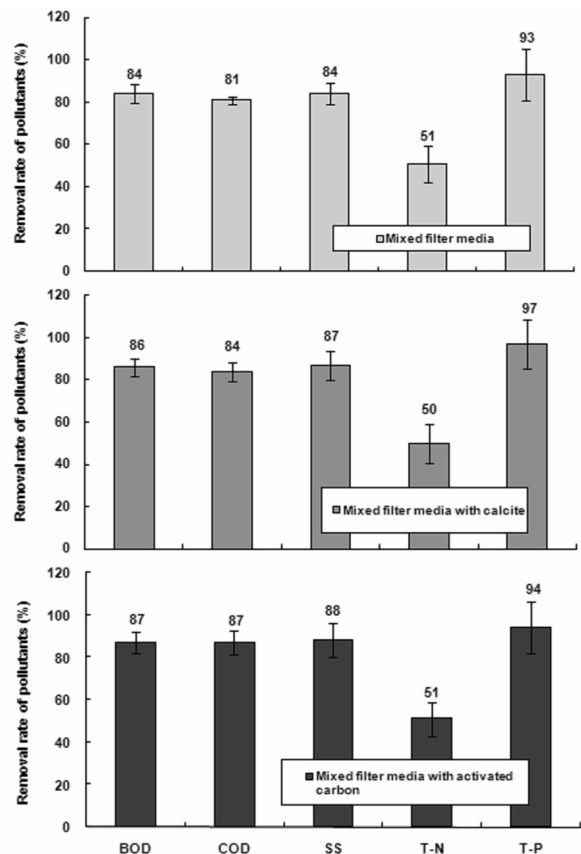


Fig. 3. Removal rate of pollutants in the effluent according to the addition of special filter media in small-scale hydroponic wastewater treatment apparatus.

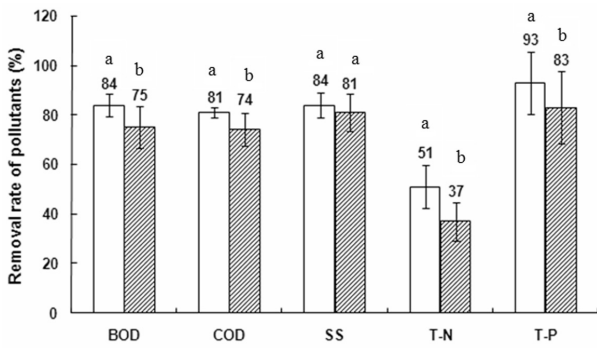


Fig. 4. Removal rate of pollutants in the effluent according to the particle size of filter media in small-scale hydroponic wastewater treatment apparatus. (□ : Effective particle size (d₁₀): 1.2 mm, ▨ : Effective particle size (d₁₀): 3.0 mm). Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

리장의 수명연장을 위해 방해석 등과 같은 높은 흡착능력을 가진 여재를 주입해야 할 것으로 판단된다.

여재 입경에 따른 수처리 효율

소형 폐양액처리장치에서 여재 입경에 따른 수처리 효율을 조사한 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P 처리효율은 여재 입경이 커질수록 감소하는 경향이였다. 특히, T-N 및 T-P의 처리효율은 여재입경 3.0 mm에서 각각 37 및 83%로 여재입경 1.2 mm에 비해 감소폭이 심하였다. 이는 여재의 입경이 커짐에 따라 폐양액이 여재, 수생식물 및 미생물에 의해 물리·화학·생물학적으로 처리되기 전에 방류되어 수질과 여재의 접촉시간이 짧아지기 때문으로 사료된다. 따라서 소형 폐양액처리장치는 폐양액내 오염물질의 안정적인 처리를 위해 여재의 유효입경이 1.2 mm 이하가 되어야 할 것으로 판단된다. 하지만 인공습지에서 여재의 입경이 적을수록 오염물질의 처리효율은 점점 향상되나, 여재의 평균 입경이 1 mm이하에서는 부유물질에 의해 공극폐쇄 현상이 발생하여 인공습지의 운영에 심각한 문제를 발생시키므로 여재의 입경은 처리효율향상과 장기적인 운영을 모두 고려하여 선발하여야 할 것이다(Seo et al., 2005).

폐양액의 주입비율에 따른 수처리 효율

소형 폐양액처리장치에서 폐양액의 주입비율에 따른 수처리 효율을 조사한 결과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 BOD, COD, SS 및 T-P의 처리효율은 전반적으로 폐양액 주입비율에 따라 별 차이 없이 비슷하였으나, T-N 처리효율은 60:40 > 80:20 > 100:0 순으로 1차조대 2차조의 폐양액 주입비율 60:40에서 62%로 가장 높았다. 이는 1차 및 2차 처리조인 각 수평흐름조에 폐양액 원수를 나누어 주입함으로써 탈질

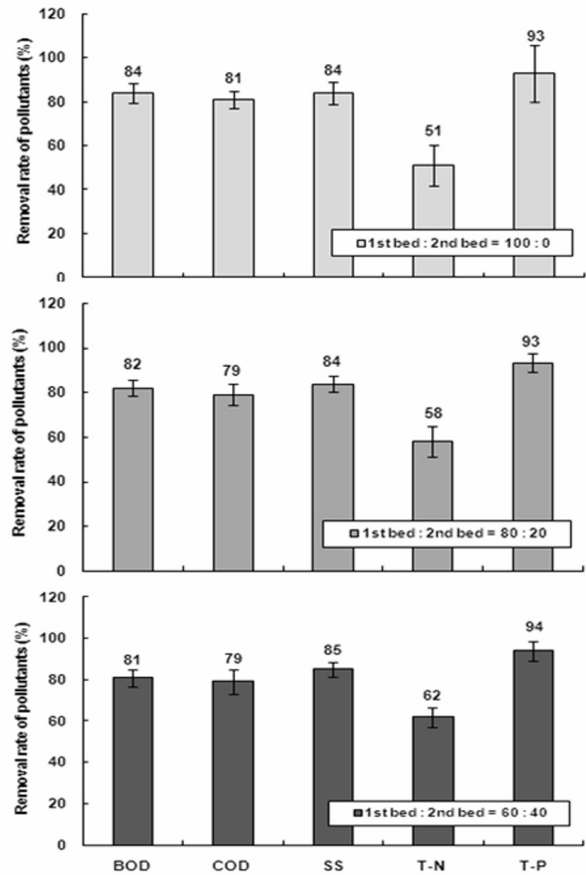


Fig. 5. Removal rate of pollutants in the effluent according to the injection ratio of hydroponic wastewater in 1st HF and 2nd HF beds.

시 필요한 탄소원인 유기물을 1차조 및 2차조에 골고루 주입하였기 때문으로 사료된다. 일반적으로 시설하우스에서 배출되는 폐양액은 양액 조제 특성상 유기물 함량이 매우 낮아 본 자연정화공법에 의한 폐양액처리장치에서 질소 처리를 위한 탈질반응에서 BOD와 COD 등의 유기물이 탈질의 제한 인자로 작용하게 된다(Seo, 2005; Seo et al., 2008). 따라서 본 폐양액처리장치에서 질소 처리효율 향상을 위해서는 폐양액의 1차 처리조대 2차 처리조의 주입비율을 60:40으로 조절하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

APHA, AWWA, WCF, 1995. Standard methods for

- the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- 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.
- Kim, J.T., Moon, K.H., Kim, J.W., 2001. The standard method of water analysis. Shinkwang a publishing company in Korea.
- Korean Ministry of Environment, 2005. Environmental White Book of 2005. Ministry of Environment Republic. Seoul, Korea.
- Lee, D.B., Lee, K.B. and Rhee, K.S., 1996. Changes of chemical contents in groundwater at controlled horticulture in honam area. *Kor. K. Environ. Agric.* 15(3), 348-354.
- Lee, G.J., Kang, B.G., Lee, K.Y., Yun, T., Park, S.G., and Lee, C.H., 2007. Chemical Characteristics of Ground Water for Hydroponics and Waste Nutrient Solution after Hydroponics in Chungbuk Area. *Kor. J. Environ. Agric.* 26(1), 42-48.
- Lee, S.Y., Lee, S.J., Seo, M.W., Lee, S.W. and Sim, S.Y., 1999. Reusing techniques of Nutrient Solution for recycling hydroponic culture of lettuce. *J. Bio. Env. Con.* 8(3), 172-182.
- MAF, 2009. Agricultural and forestry statistical year-book. Ministry of Agriculture and Agriculture and Forestry, Gyeonggi-do, Korea, p.1-316
- Park, W.Y., Seo, D.C., Lim, J.S., Park, S.K., Cho, J.S., Heo, J.S. and Yoon, H.S., 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., 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., 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., Park, W.Y., Lim, J.S., Park, C.H., Lee, H.J., Kim, H.C., Lee, S.W., Lee, D.J., Cho, J.S., 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.