

모래와 굴패각을 이용한 인공습지 오수처리장치 개발

박현건 · 이춘식 · 이홍재** · 서동철** · 허종수**

진주산업대학교 환경공학과

*진주산업대학교 수질검사센터

**경상대학교 응용생명과학부

Development of Constructed Wetland using Sand and Oyster shell for Sewage Treatment

Hyun-Geoun Park · Chun-Sik Lee · Hong-Jae Lee* · Dong-Cheol Seo** · Jong-Soo Heo**

Department of Environmental Engineering, Jinju National University

*Water Research Center, Jinju National University

**Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University

(Received 25 May 2004, Accepted 9 August 2004)

Abstract : To develop sewage treatment apparatus by natural purification method, the sewage treatment plant that consisted of aerobic and anaerobic plot was constructed. And then, the effects of treatment conditions on the removal of pollutants in the relation to sewage loading, sewage injection method and season according to the pebble kind. Removal rate of BOD and COD according to the sewage loading in effluent were over 95 and 77%, respectively. Removal rate of nitrogen in treated water by aerobic plot and effluent using sand were about 22~40 and 49~75%, respectively. Those of effluent using sand 75% + oyster shell 25% and sand 50% + oyster shell 50% as filter media in comparison with using sand were about 7~25 and 16~23%, respectively. Removal rate of phosphorus in treated water by aerobic plot and effluent using sand as filter media were about 30~36 and 52~56%, respectively. Those of effluent using sand 75% + oyster shell 25% and sand 50% + oyster shell 50% in comparison with using sand as filter media were about 11~40 and 12~45%, respectively.

Removal efficiency of BOD and COD according to the intermittent injection method of sewage were slightly decreased, but those of nitrogen and phosphorus were little varied in comparison with continuous injection method. Removal efficiency of BOD and COD in winter in comparison with the others were little varied, but those of nitrogen and phosphorus slightly decreased.

keywords : Natural purification, Sewage treatment, Nitrogen removal, Phosphorous removal

1. 서론

도시에서 발생하는 하수는 처리되어 하천으로 방류되고 있으나, 인구밀도가 낮은 농어촌 등에서 발생하는 하수는 거의 처리되지 않고 하천이나 바다로 방류되고 있다. 농어촌 등에서 소규모로 발생하는 하수는 전체 하수 발생량의 약 10%정도이며, 하수 발생량이 50톤/일 이하인 마을이 약 89%를 차지하고 있다. 또한 농어촌지역의 물은 식수원이나 농업용수로 사용되기 때문에 깨끗하게 유지해야 하는 것은 분명하다(환경백서, 2000).

현행 소규모로 발생하는 하수처리를 위한 공법은 활성슬러지법, 장기폭기법, 산화구법, 고도합병정화시스템 및 혐기호기접촉순환법 등 20여 종류의 공법들이 보급되고 있으나, 이들 공법들을 유지관리하기 위해서는 전문기술인력이 필요하고, 기계고장시 악취가 발생하는 등 여러 가지로 많

은 문제점을 안고 있다. 소규모로 발생하는 하수를 처리하기 위하여는 시설비 및 유지관리비용이 저렴하고 지역의 환경에 잘 적응하며, 공정이 간단하고, 계획된 방류수질을 충족시킬 수 있는 공법들이 요구되고 있다(권 등, 1999; 최, 2001; 정, 1999).

현재까지 알려져 있는 자연정화공법으로는 토양처리방법, 산화지법, 식물을 이용한 처리법, 습지처리법, 휴경지를 이용한 처리 및 삼림토양침투에 의한 처리 등이 있으나(김, 1999), 이러한 자연정화공법은 하수처리 과정 중 악취가 발생되거나 공극이 폐쇄되어 투수속도가 저하되며 과도한 부지면적이 소요되고, 또한 농어촌 지역의 특성상 하수 유입량의 큰 변동으로 처리효율이 저하되는 등 여러 가지 문제점이 있는 것으로 알려져 있다(정, 1999).

인공습지 등 자연정화공법에 의한 오염물질 처리는 생물학적 처리와 물리화학적처리가 병행되는 방법으로서, BOD 처리는 유입수에 함유되어 있는 유기물질이 여과, 침전과정을 거치면서 여재, 식물의 뿌리 등에 부착한 미생물에 의

* To whom correspondence should be addressed.
hjlee@jinju.ac.kr

해 분해된다(Brix, 1993). 부유물질의 처리는 주로 여과과정인데 이러한 여과는 궁극적인 처리가 아니고 물리적 분리 과정이기 때문에 여과된 부유물질은 입자상태로 처리조내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 부유물질은 생물학적 분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수, 기타 화학반응 등을 거치면서 궁극적으로 처리된다(윤 등, 1998). 질소처리는 미생물의 동화작용에 의한 질소제거방법과 유입하폐수중의 암모니아와 유기질소 등이 일정조건하에서 아질산성질소와 질산성질소로 산화되는 질산화과정을 거친 질산성질소 등이 혐기성 미생물에 의해 환원되어 N₂나 N₂O로 대기중에 배출되는 탈질화과정으로 질소가 제거된다(양, 1999).

인공습지에서 인은 이온과 결합한 Ca-P, Fe-P, Al-P 등의 인산염 인의 상태로 침전되며, 식물에 의해 일부는 흡수된다(Pant et al., 2001). 특히 습지내의 인은 유기물 침전과 죽은 습지식물의 잔재물이 침전되어 형성된 침전-잔재물층에 흡착되어 95%이상 존재한다(Faulker et al., 1989). Nichols(1983)에 의하면 인은 흡착과 침전에 의해 주로 처리, Corbitt 등(1994)은 인의 처리는 인산염인의 침전, 기질에의 흡착, 수생식물에 의한 흡수, 조류와 세균에 의한 흡수 등이며, 이중 식물흡수에 의한 처리가 전체의 5~10% 정도에 불과하다고 하였다.

본 연구는 소규모로 발생하는 하수를 자연친화적으로 효과적인 처리를 위한 인공습지 우수처리장치를 개발하기 위하여 모래와 굴패각을 여재로 이용하여 호기성조 및 혐기성조로 구분하여 우수처리장치를 시공한 다음, 여재 종류별에 따른 하수부하량별, 하수주입방법별 그리고 계절별 수처리 효율을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

인공습지 우수처리장치에 사용된 공시 하수는 일반 가정에서 배출되는 생활하수였으며, 공시 모래는 모래채취장에서 채취한 모래를 사용하였다. 그리고 굴패각은 바닷가 주위에 굴 양식후 버려진 굴패각을 수거한 다음 입경 2~10mm 크기로 분쇄한 다음 사용하였다.

공시 하수의 이화학적 특성 및 여재 및 굴패각의 특성은 각각 Table 1~3에서 보는 바와 같다. 그리고 하수처리장에 이식한 공시 식물은 다년생 수초로서 수질오염에 강할 것으로 판단되는 호기성조에는 갈대 및 달뿌리풀을 이식하였고, 혐기성조에는 물억새, 삿갓사초, 노랑꽃창포 및 풀풀 등을 구입하여 이식하였다.

2.2. 우수처리장치 설계, 시공 및 운전 조건

인공습지 우수처리장치는 호기성조와 혐기성조를 연결하여 한개 시스템으로 하여 총 3개조로 제작하였으며, 호기성조와 혐기성조의 크기는 각각 가로 100cm×세로 100cm×높이 70cm로서 두께 8mm의 플라스틱판을 사용하여 용량이 0.7m³되게 제작하였다.

모래와 굴패각의 혼합비율에 따라 우수처리장치를 3개조 시공하였다. 즉 호기성조와 혐기성조 모두 모래만 사용한 우수처리장치와 호기성조와 혐기성조 모두 모래 100%와 모래와 굴패각을 부피비로 75% : 25%의 비율로 혼합한 우수처리장치, 그리고 호기성조와 혐기성조 모두 모래와 굴패각을 부피비로 50% : 50%의 비율로 혼합한 우수처리장치를 설계 및 시공하였다.

우수처리장치 호기성조의 여재 종류별 주입위치는 여재 표면에서 55cm까지는 모래와 굴패각의 혼합비율별로 조제된 여재를 각각 주입하였고, 그 하층 15cm는 자갈을 깔았다. 호기성조에는 통기관을 각조의 바닥과 하부에서 50cm 위치에 설치하여 자연통풍이 되게 하였다. 그리고 3개 오

Table 1. Chemical characteristics of the sewage used

	pH	DO	BOD	COD	T-N	T-P	SS
	(mg/ℓ)						
Average	7.48	1.28	92.5	87.4	45.5	5.04	87.0
Range	6.65~8.62	0.10~3.75	61.3~135.0	55.8~118.7	30.8~60.0	3.65~6.87	55.6~99.0

Table 2. Characteristics of the sand and oyster shell used

	pH	EC	Organic materials	T-N	T-P
	(1:5H ₂ O)	(dS/m)	(%)	(mg/kg)	
Sand	7.8	0.04	1.28	4.57	1.79
Oyster shell	7.3	0.04	0.14	355	153

Table 3. Particles sizes of the sand and oyster shell used

	Size(mm)				
	<1.0	1.0~2.5	2.5~5.0	5.0~10.0	10.0<
Sand (%)	4.8	33.2	52.0	10.0	-
Oyster shell (%)	0.8	1.6	72.8	16.8	8.0

수처리장치 모두 혐기성조에서는 여재 표면에서 60cm까지 모래와 굴패각의 혼합비율별로 조제한 여재를 각각 주입하였고, 맨 하부 10cm는 자갈을 깔았다.

인공습지 우수처리장치에서의 하수 처리과정은 호기성조에 하수원수를 유입시켜 수직여과방식으로 하수를 처리하여 유출된 호기성조 처리수는 자연유하식으로 혐기성조로 유입되게 하였다. 혐기성조에 유입된 호기성조 처리수는 수평여과방식으로 처리되도록 하였고, 혐기성조에서 여재와 처리수의 체류시간을 최대화하기 위하여 혐기성조를 4등분 하였으며, 4등분된 각 조에서의 하수 흐름은 대각으로 흐르게 하였다. 호기성조를 통과한 처리수를 호기성조 처리수, 혐기성조를 통과한 하수를 방류수로 하여 수처리 효율을 조사하였다.

그리고 호기성조의 하수 투수속도 저하 현상을 방지하기 위하여 호기성조를 2등분하여 1주일씩 교대로 하수처리 하였다.

인공습지 우수처리장치의 운전은 하수주입방법을 연속식과 간헐식으로 수처리 효율을 조사하였다. 연속식 하수주입 방법은 총 하수 유입량을 일일 300, 600 및 900 ℓ 주입하였는데 실험기간 동안 균일하게 일정량씩 호기성조 표면에 골고루 주입하였고, 간헐식 하수주입방법에서는 하수 주입량을 일일 600 ℓ 주입하였는데 주입방법은 하루를 6회로 나누어 매 4시간 마다 100 ℓ씩 10분 동안 하수처리장 호기성조 표면에 골고루 주입하였다. 그리고 계절별 수처리 효율조사는 연속식 하수주입방법으로 조사하였고, 하수 주입량을 일일 600 ℓ로 하였다.

2.3. 분석방법

수질분석은 수질오염공정시험법에 준하여 다음과 같이 하였다(김 등, 2001). 즉, pH는 초자전극법, 용존산소 및

BOD는 윙클러 아지드화나트륨 변법, COD는 산성 KMnO₄ 법, SS는 유리섬유여지법, 총 인은 아스코르빈산 환원법, NH₄-N은 인도페놀법, NO₃-N은 부루신법, NO₂-N은 디아조화법으로 분석하였다. 그리고 총 질소는 자외선 흡광도법으로 분석하였다. 즉 시료를 회석 후 시료 50mL를 분해병에 넣고 알칼리성과황산 칼륨 용액 10mL를 넣어 마개를 닫고 흔들어 섞은 다음 고압증기멸균을 30분 동안 하였다. 그리고 이 시료 상등액을 유리섬유 여지로 여과하고 HCl를 넣어서 pH를 2~3으로 조절한 다음 220nm에서 흡광도를 측정하여 총질소를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 연속식 하수주입방법에서 여재 종류별 수처리 효율

인공습지 우수처리장치의 여재를 모래만 사용한 처리장, 모래와 굴패각 혼합비를 75% : 25% 비율로 혼합하여 사용한 처리장 및 50% : 50% 비율로 혼합하여 사용한 처리장에서의 하수부하량에 따른 호기성조 및 혐기성조를 통과한 방류수의 pH, DO 및 SS농도를 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다.

먼저 pH를 조사한 결과 하수원수의 pH는 약 7.4으로 약 알칼리성이었으며, 우수처리장치의 호기성조를 통과한 호기성조 처리수의 pH는 여재 종류에 따라서는 별 차이가 없었으나, 하수 부하량이 증가할수록 약간 증가하였다. 호기성조 통과후 혐기성조를 통과한 최종방류수의 pH는 호기성조 처리수에 비해 약간 증가하는 경향이었으나, 여재 종류에 따라서는 별 차이가 없었다.

우수처리장치의 호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수 중의 용존산소를 조사한 결과 하수원수의 용존산소는 평균 약 1.2mg/L정도이었고, 호기성조 처리수의 용존산소는 하

Table 4. pH, DO and SS in the water according to pebbles used in sewage treatment plant

Pebbles	Raw water	Amount of sewage treatment (ℓ /day)					
		300		600		900	
		Effluent of aerobic plot	Effluent	Effluent of aerobic plot	Effluent	Effluent of aerobic plot	Effluent
pH							
Sand 100%		7.33	7.50	7.68	8.16	8.00	8.34
Sand 75% + oyster shell 25%	7.48	7.48	7.39	8.08	8.30	8.28	8.47
Sand 50% + oyster shell 50%		7.47	7.55	7.92	8.30	8.24	8.37
DO (mg/ ℓ)							
Sand 100%		5.46	1.94	6.31	1.63	4.74	1.53
Sand 75% + oyster shell 25%	1.28	5.92	1.52	5.30	1.58	4.02	1.41
Sand 50% + oyster shell 50%		6.11	1.88	6.35	1.40	4.38	1.46
SS (mg/ ℓ)							
Sand 100%		8.0	4.0	8.7	2.9	8.7	2.1
Sand 75% + oyster shell 25%	87	6.6	2.7	9.4	2.1	9.2	2.4
Sand 50% + oyster shell 50%		6.9	2.4	8.4	2.2	7.3	2.7

수원수에 비해 큰 폭으로 증가하여 여재 종류 및 유입하수량에 관계없이 약 4~6mg/L이었으며 최종방류수의 용존산소는 모든 조건에서 2mg/L이하로 낮아졌다.

인공습지 오수처리장치의 호기성조는 에너지를 사용하지 않고 자연적으로 공기를 유입시켜 하수중에 용존산소를 높여 하수중의 오염물질을 생물학적으로 처리하는 공법으로서 호기성조에서 호기성미생물에 의한 생물학적 분해가 일어나면서 다량의 산소가 소모되며(윤 등, 1998), 이러한 호기성미생물의 산소소모에도 호기성조 통과시 용존산소가 증가하는 것은 이중통기관을 각조의 바닥과 하부에서 50cm 위치에 설치하여 자연통풍이 되게 하므로 여재중에 원활한 산소의 공급과 수초에 의한 뿌리주위의 산소공급이 왕성하기 때문으로 생각되었다.

SS농도를 조사한 결과 하수원수의 SS농도는 평균 약 87mg/L이었고, 호기성조만 통과한 처리수에서도 SS농도는 모든 조건에서 약 10mg/L 이하로 처리되었고, 방류수중의 SS농도는 혐기성조를 통과하면서 더욱더 낮아져서 모든 조건에서 5mg/L 이하로 처리되었다.

인공습지에 의한 SS의 처리는 주로 여과기능에 의해 이루어지는데 이러한 여과는 궁극적인 처리가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 SS를 일으키는 현탁물질은 입자상태로 처리조내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 입자들은 미생물에 의한 생물학적분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수, 기타 화학반응을 거치면서 궁극적으로 처리된다(윤 등, 1998).

인공습지 오수처리장치의 여재 종류별 하수부하량에 따른 호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 BOD 처리율을 조사한 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 먼저 BOD

처리율을 조사한 결과 하수원수의 BOD는 평균 약 92mg/L이었으며, 호기성조 통과수는 하수부하량을 300 l/일로 하였을 때 호기성조 처리수의 BOD 처리율은 모래에 굴패각을 혼합한 여재에서 약간 높았으나 모래만 사용한 처리장에서도 BOD 처리율은 약 88%이상이었고, 하수유입량을 600 l/일로 하였을 경우에도 300 l/일로 하였을 경우와 별 차이는 없었으나, 하수유입량을 900 l/일로 하였을 경우에는 300 l/일에 비해 약간 감소하였다.

호기성조를 통과한 다음 혐기성조를 통과한 최종 방류수중의 BOD 처리율은 여재종류에 별 차이 없이 95% 이상이었다. 하수 부하량을 600 l/일로 하였을 때 호기성조 처리수 BOD 처리율은 모든 여재에서 89% 이상 처리되었고, 최종방류수중의 BOD 처리율은 98% 이상이었다. 또한 부하량을 900 l/일 하였을 경우에도 600 l/일 하였을 경우와 별 차이가 없었다.

방류수중의 BOD 농도는 모든 조건에서 0.7~11.9mg/L 범위로 BOD처리가 안정적으로 매우 잘되었다. 또한 모든 조건에서 현행 방류수 수질기준(환경관계법규, 2001)인 20 mg/L을 만족하였다.

인공습지 오수처리장치의 여재 종류별 하수부하량에 따른 호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 COD 처리율을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 COD 처리율을 조사한 결과 하수원수의 COD는 평균 약 87mg/L이었고, 호기성조 처리수의 COD 처리율은 여재 종류별로는 모래에 굴패각을 혼합한 여재에서 모래만 사용한 여재에 비해 약간 높았으나 모래만 사용한 여재에서도 COD 처리율은 약 72% 이상이었다. 그리고 하수부하량이 증가할수록 COD 처리율은 약간씩 감소하는 경향이였다.

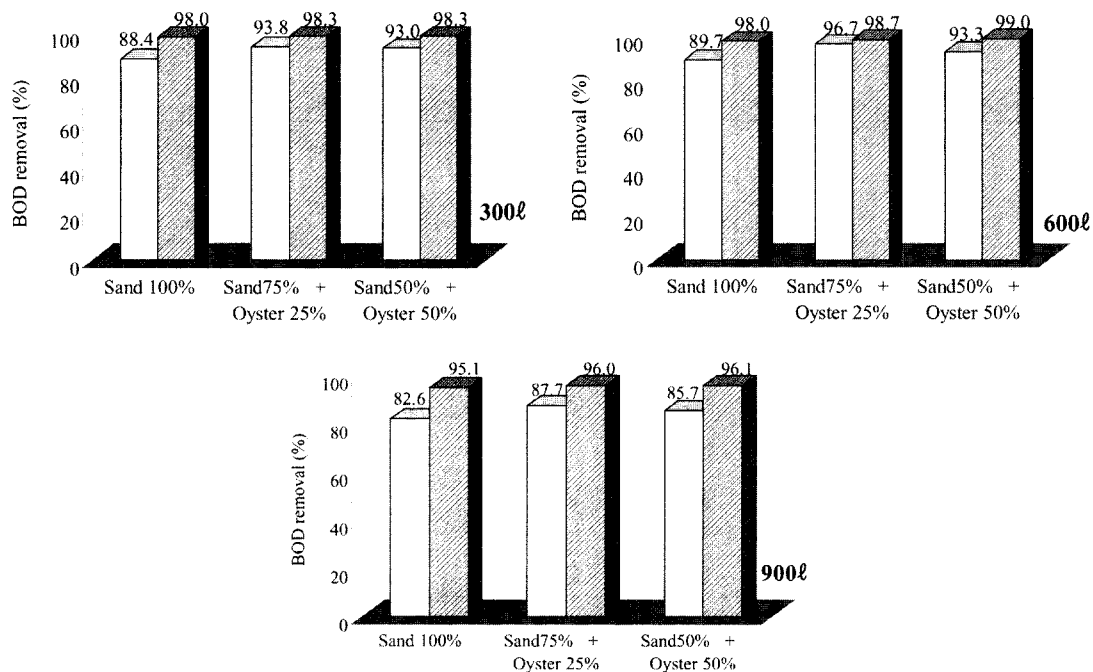


Fig. 1. BOD removal in the water according to pebbles used sewage treatment plant.
 □ : Effluent of aerobic plot ▨ : Effluent

최종 방류수중의 COD처리율은 하수 부하량을 600 l/일 로 하였을 때 호기성조 처리수 COD 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합 하였을 때 각각 약 87, 92 및 93% 정도이었고, 유입부하량을 900 l/일 하였을 경우에는 600 l/일 하였을 경우에 비해 COD 처리율은 감소하였다.

이와 같이 여재에 굴패각을 혼합함으로써 COD 처리율이 다소 높은 것은 굴패각이 하수중의 COD 처리 미생물의 서

식장소로 이용하기에 용이하기 때문인 것으로 사료되었다.

하수부하량에 따른 방류수중 COD 농도는 모든 조건에서 1.4~10mg/L 범위로 COD처리가 안정적으로 매우 잘되었고 방류수 수질기준(환경관계법규, 2001)인 40mg/L에 비해 매우 낮은 수준이었다.

인공습지 오수처리장치의 여재 종류별 하수부하량에 따른 호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 질소 처리율을 조사한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

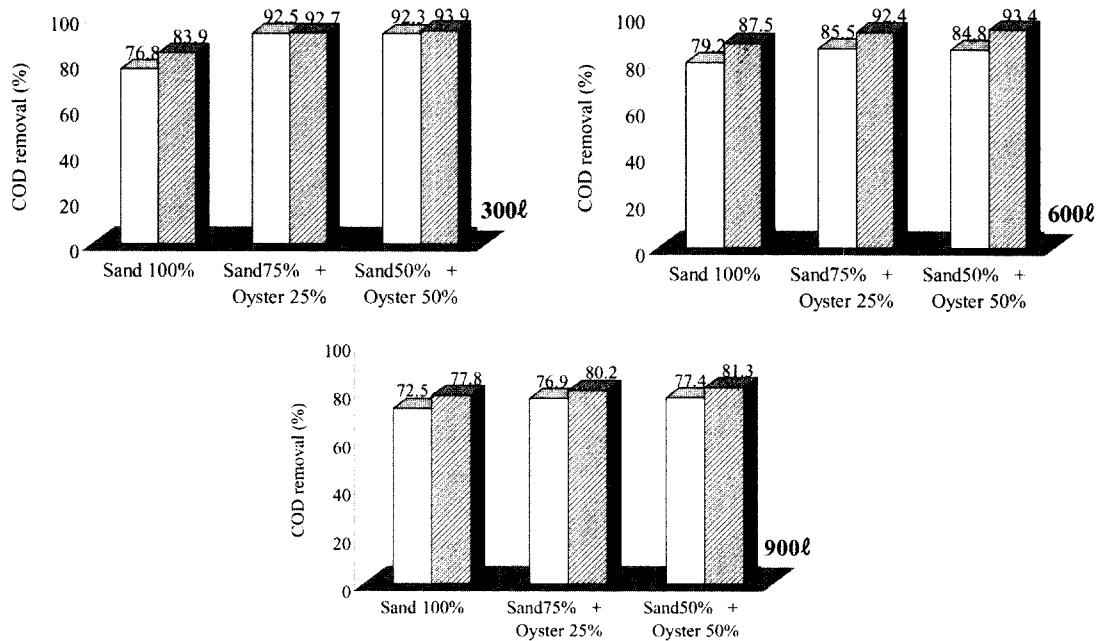


Fig. 2. COD removal in the water according to pebbles used sewage treatment plant.

□ : Effluent of aerobic plot ▨ : Effluent

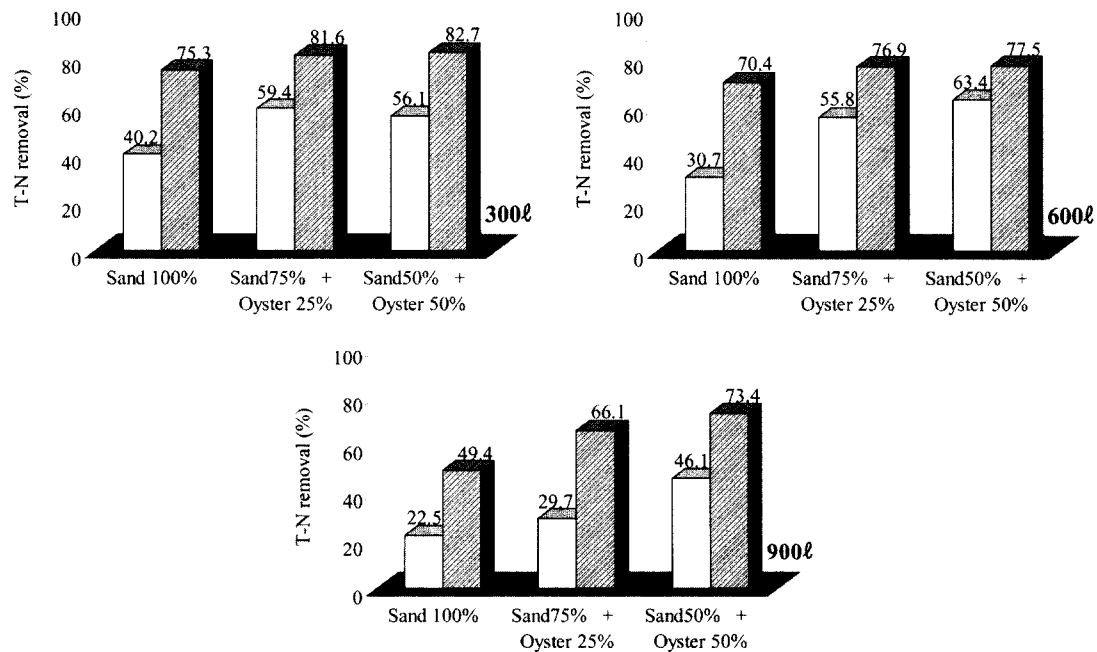


Fig. 3. T-N removal in the water according to pebbles used sewage treatment plant.

□ : Effluent of aerobic plot ▨ : Effluent

질소 처리율을 조사한 결과 하수원수의 질소농도는 평균 약 45mg/L이었으며, 하수유입량을 300 ℓ/일로 하였을 때 호기성조 처리수의 질소 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 각각 약 40, 59 및 56% 정도이었고, 방류수중의 질소처리율은 각각 약 75, 81 및 82% 정도이었다. 하수 유입량을 600 ℓ/일로 하였을 때 호기성조 처리수의 질소 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 각각 약 30, 55 및 63% 정도이었고, 방류수중의 질소처리율은 각각 약 70, 76 및 74% 정도이었다. 그리고 유입부하량을 900 ℓ/일 하였을 때 호기성조 처리수의 질소 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 각각 약 22, 29 및 46% 정도이었고, 방류수중의 질소처리율은 각각 약 49, 66 및 73% 정도이었다.

호기성조 처리수와 방류수 모두에서 하수부하량이 증가할수록 질소 처리율은 감소하는 경향이었고, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 모래만 사용한 여재에 비해 방류수중의 질소 처리율은 각각 약 7~25% 및 16~23% 증가하였다.

이와 같은 결과는 여재에 굴패각을 혼합함으로써 굴패각에 하수중의 질소가 흡착하거나 질소처리 미생물의 서식장소로 이용되는 것으로 사료되었다.

현행 사용중인 타 하수처리공법에 비하여는 질소 처리효율이 다소 높았으며, Huang 등(2000)이 인공습지에서 생활하수처리에 관한 실험에서 질소의 처리율이 33~45% 범위라고 하였고, 이 등(1999)은 식물을 이용한 하수의 고도처리를 위한 실험에서 총 질소 처리효율이 40%라고 하였다.

다른 처리공법에 비해 질소 처리율이 다소 높으나 방류수 수질기준(환경관계법규, 2001)이 20mg/L으로 강화되고, 부영양화의 주요원인 물질인 질소를 보다 안정적으로 처리하기 위해서는 방류수중의 질소 농도를 줄이는 방법의 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

인공습지 오수처리장치에서 NH₄-N, NO₂-N 및 NO₃-N의 호기성조 처리수와 방류수중의 농도를 조사한 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 하수원수중에는 NH₄-N가 약 47mg/L으로 대부분이었다. 호기성조 처리수의 NH₄-N 조건에 따라 약간의 차이는 있으나 모든 조건에서 하수원수에 비해 급격히 감소하였다. 그리고 NO₂-N의 경우는 하수원수에 비해 약간 증가하였으나 조건에 따라 별 차이가 없었다.

NO₃-N의 경우는 호기성조를 통과하면서 매우 큰 폭으로 증가하였으며, 그 증가폭은 여재를 모래만 사용하였을 경우가 가장 심하였다.

최종 방류수중에는 NH₄-N는 호기성조 처리수에 비해 모든 조건에서 약간 감소하여 약 1.2~1.5mg/L정도 유지하였고, NO₃-N는 호기성조 처리수에 비해 매우 큰 폭으로 감소하여 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 각각 약 12.4, 9.5 및 8.3mg/L 정도를 유지하였다.

자연정화공법에 의한 질소의 처리는 호기성 미생물에 의해 유기성 질소 및 NH₄-N가 NO₃-N로 전환되며, 질산화작용으로 생성된 NO₃-N는 혐기성 상태인 심토로 확산되어 혐기성 미생물에 의하여 탈질화가 일어나면서 N₂와 N₂O로 전환되어 이들이 대기 중으로 이동하여 질소가 처리되는 것으로 알려져 있다(양, 1999).

인공습지 오수처리장치의 여재 종류별 하수부하량에 따른 호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 인 처리율을 조사한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같다.

인 처리율을 조사한 결과 하수유입량을 300 ℓ/일로 하였을 때 호기성조 처리수의 인 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 각각 약 34, 58 및 61% 정도이었고, 방류수중의 인 처리율은 각각 약 55, 74 및 79% 정도이었다. 하수 유입량을 600 ℓ/일로 하였을 때 호기성조 처리수의 인 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 각각 약 30, 47 및 47% 정도이었고, 방류수중의 인 처리율은 각각 약 48, 72 및 72% 정도이었다. 그리고 유입부하량을 900 ℓ/일 하였을 때 호기성조 처리수의 인 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 각각 약 36, 50 및 50% 정도이었고, 방류수중의 인 처리율은 각각 약 52, 63 및 64% 정도이었다.

호기성조 처리수와 방류수 모두에서 하수부하량이 증가할수록 인 처리율은 약간 감소하는 경향이었고, 모래 75% : 굴패각 25% 및 모래 50% : 굴패각 50% 혼합하였을 때 모래만 사용한 여재에 비해 방류수중의 인 처리율은 각각 약 11~40% 및 12~45% 증가하였다.

이 등(2003)에 의하면 모래에 비해 굴패각이 인을 약 40~100배정도 흡착할 수 있고 최대흡착능은 굴패각이 약 800mg/kg이고, 유기물이 약 1,000mg/kg이라고 하였다.

Table 5. NH₄⁺, NO₂-N and NO₃-N in the water according to pebbles used sewage treatment plant

	Raw water	Pebbles					
		Sand 100%		Sand 75% + oyster shell 25%		Sand 50% + oyster shell 50%	
		Effluent of aerobic plot	Effluent	Effluent of aerobic plot	Effluent	Effluent of aerobic plot	Effluent
NH ₄ -N	47.2	5.2	1.5	3.4	1.2	3.0	1.2
NO ₂ -N	0.23	0.6	0.5	0.7	0.4	0.6	0.5
NO ₃ -N	3.2	28.7	12.4	17.8	9.5	15.2	8.3

Amount of sewage treatment a day was 600 ℓ .

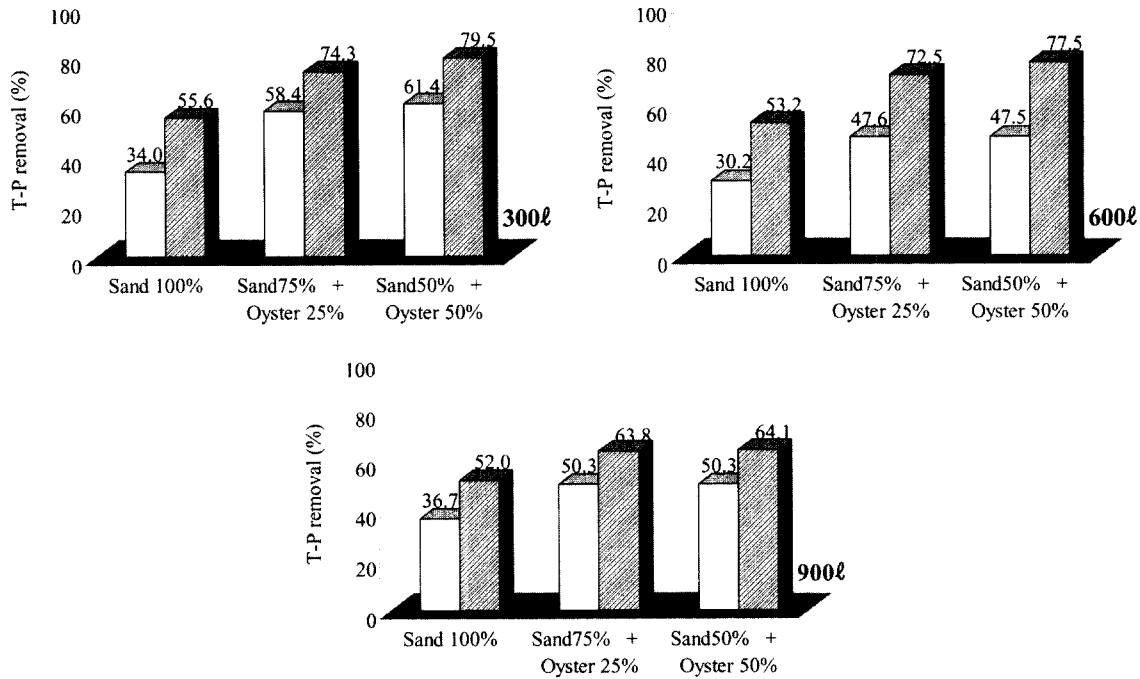


Fig. 4. T-P removal in the water according to pebbles used sewage treatment plant.
 □ : Effluent of aerobic plot ▨ : Effluent

이 등(1999)은 실험실적 하수처리 실험에서 총 인 처리율이 25~30%라고 하였고, 윤 등(1998)은 인공습지 하수처리장의 총 인 처리율은 약 63%이었는데, 이에 비하여 본 실험에서의 총 인 처리율은 약간 높았다.

하폐수처리에 적용 가능한 인 처리 방법은 칼슘, 알루미늄 및 철 등의 금속 염을 투입하고 생성되는 불용성 침전물을 걸러내는 물리화학적 방법, 고형입자에 흡착되어 있는 성분의 여과, 용해상태의 성분은 여재나 기타 다른 입자에의 흡착, 그리고 식물에 의한 흡수, 미생물에 의한 흡수 등을 이용하는 생물학적 처리방법이 있다(Corbitt et al., 1994).

3.2. 간헐식 하수주입방법에서 수처리 효율

자연정화형 오수처리장치를 현장에 적용하기 위하여 하수 부하량이 일정하지 않기 때문에 하수부하량을 600ℓ/일로 하여 간헐적으로 하수를 주입하였을 경우의 오염물질처리 효율을 조사한 결과는 Table 6에서 보는 바와 같다.

먼저 하수가 호기성조에서 처리된 호기성조 처리수의 경

우 BOD 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25%, 모래 50% : 굴패각 50%로 혼합된 여재에서 각각 약 60, 81 및 73%로서 연속주입할 경우에 비해 약간 낮아졌고, COD 처리율도 BOD 처리율과 비슷한 경향으로서 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25%, 모래 50% : 굴패각 50%로 혼합된 여재에서 각각 약 54, 64 및 71%이었다. 그리고 질소 처리율은 연속주입할 경우와 별 차이가 없었고, 인 처리율은 약간 낮아지는 경향이였다.

호기성조를 통과한 후 혐기성조에서 처리된 방류수중의 BOD 처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25%, 모래 50% : 굴패각 50%로 혼합된 여재에서 각각 약 85, 94 및 95%로서 연속주입할 경우에 비해 미미하게 낮아졌고, COD처리율은 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25%, 모래 50% : 굴패각 50%로 혼합된 여재에서 각각 약 80, 83 및 83%로서, 하수를 간헐적으로 주입할 경우가 연속주입할 경우에 비해 7~10%정도 낮아졌다. 그리고 질소 및 인 처리율은 연속주입시와 별 차이가 없었다.

Table 6. Pollutants removal in the water according to intermittent injection methods in the sewage treatment plant

Pollutants	Pebbles					
	Sand 100%		Sand 75% + oyster shell 25%		Sand 50% + oyster shell 50%	
	Effluent of aerobic plot	Effluent	Effluent of aerobic plot	Effluent	Effluent of aerobic plot	Effluent
BOD	60	85	81	94	73	95
COD	58	63	64	83	71	83
T-N	43	63	43	79	52	77
T-P	44	54	44	53	52	54

Amount of sewage treatment a day was 600 ℓ .

3.3. 계절별 수처리 효율

인공습지 오수처리장치를 현장에 적용하기 위하여 봄, 여름, 가을 및 겨울 사계절로 구분하여 하수부하량을 600 ℓ/일로 하였을 경우 방류수중의 오염물질처리 효율을 조사한 결과는 Table 7에서 보는 바와 같다.

먼저 계절이나 여재 종류에 관계없이 BOD 처리율은 96%이상, COD 처리율은 86%이상의 높은 처리율을 나타냈다. 계절별 질소 처리율은 봄에는 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25%, 모래 50% : 굴패각 50%로 혼합된 여재에서 각각 약 67, 74 및 74%이었고, 여름과 가을에는 봄에 비해 비슷하거나 미미하게 증가하였으나 겨울에는 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25%, 모래 50% : 굴패각 50%로 혼합된 여재에서 질소 처리율이 각각 약 58, 64 및 66%로서, 다른 계절에 비해 8~12%정도 감소하였다. 계절별 인 처리율은 봄에는 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25%, 모래 50% : 굴패각 50%로 혼합된 여재에서 각각 약 56, 68 및 74%이었고, 여름과 가을에는 봄에 비해 비슷하거나 미미하게 증가하였으나 겨울에는 모래 100%, 모래 75% : 굴패각 25%, 모래 50% : 굴패각 50%로 혼합된 여재에서 인 처리율이 각각 약 46, 65 및 70%로서, 다른 계절에 비해 4~13%정도 감소하였다.

본 오수처리장치는 완전히 외부에 노출되어 있어 온도, 충격부하 등 외부 조건에 오염물질 처리율이 영향을 받을 것으로 예상하였다. 간헐적인 하수주입으로 연속하수주입에 비해 COD처리율 약간 낮아졌고, BOD, 질소 및 인 처리율은 별 차이가 없었으며, 기온이 낮은 겨울철에는 다른 계절에 비해 BOD 및 COD 처리율은 별 차이가 없으며, 질

소 및 인 처리율은 다소 낮아지는 경향이였다.

3.4. 오수처리장치에 사용한 여재의 이화학적 특성

인공습지 오수처리장치는 호기성조와 혐기성조로 구분하여 여재를 투입하였고, 표면에는 수초를 이식하였다. 그래서 하수처리 경과 1개월 및 10개월 후에 여재의 이화학적 특성을 조사한 결과는 Table 8에서 보는 바와 같다.

먼저 여재의 pH는 하수처리 시일이 경과할수록 호기성조 및 혐기성조에 사용한 여재 모두에서 pH가 약간 감소하였고, 여재의 유기물함량은 여재의 종류에 관계없이 약간씩 증가하였다. 여재의 질소함량은 하수처리 시기가 경과할수록 호기성조에 사용한 여재는 매우 큰 폭으로 증가하였고, 혐기성조에 사용한 여재는 호기성조에 사용한 여재에 비해서는 증가폭이 작았으나 큰 폭으로 증가하였다. 여재의 인함량도 질소함량과 비슷한 경향으로 하수처리 시기가 경과할수록 큰 폭으로 증가하였다.

하수처리장에 사용한 여재인 모래와 굴패각의 미생물 부착 상태를 전자현미경으로 조사한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 하수처리 10개월 후에 하수처리장에 사용한 여재의 모래와 굴패각은 사용전 모래나 굴패각에 비해 모래나 굴패각 표면에 미생물이 잘 부착되어 있는 것을 알 수 있었다. 이 미생물들이 수처리 효율에 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

4. 결론

하수를 자연친화적으로 효과적인 처리를 위한 자연정화

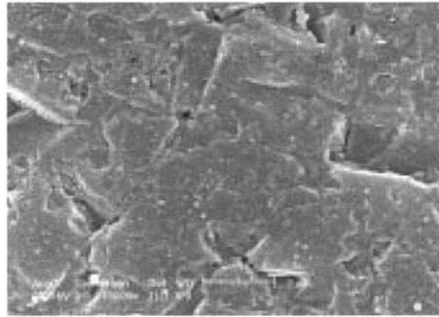
Table 7. Pollutants removal in effluent in sewage treatment plant on seasons

Pebbles	Seasons			
	Spring	Summer	Autumn	Winter
BOD				
Sand 100%	97	98	97	96
Sand 75% + oyster shell 25%	97	99	98	97
Sand 50% + oyster shell 50%	98	99	99	97
COD				
Sand 100%	87	88	88	86
Sand 75% + oyster shell 25%	91	92	93	91
Sand 50% + oyster shell 50%	92	93	93	91
T-N				
Sand 100%	67	70	70	58
Sand 75% + oyster shell 25%	74	77	76	64
Sand 50% + oyster shell 50%	74	78	78	66
T-P				
Sand 100%	56	53	53	46
Sand 75% + oyster shell 25%	68	72	73	65
Sand 50% + oyster shell 50%	74	78	77	70

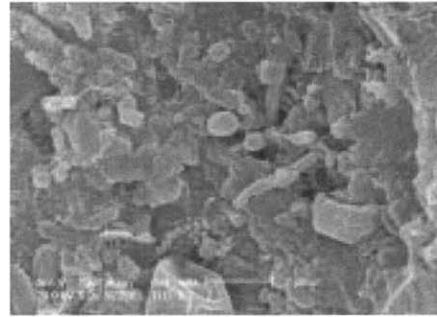
Amount of sewage treatment a day was 600 ℓ.

Table 8. Chemical characteristics of the pebbles at months after sewage treatment.

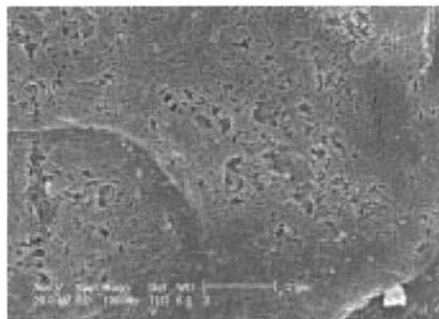
Plot	Months after sewage treatment								
	pH (1:5H ₂ O)		Organic materials (%)		T-N (mg/kg)		T-P (mg/kg)		
	1	10	1	10	1	10	1	10	
Sand 100%	Aerobic plot	7.9	7.4	0.79	1.23	5.57	267.7	7.9	20.1
	Anaerobic plot	7.5	7.4	1.09	1.30	8.71	86.1	6.2	12.8
Sand 75% + oyster shell 25%	Aerobic plot	7.8	7.5	0.95	1.21	55.1	275.1	45.6	69.2
	Anaerobic plot	7.7	7.5	1.12	1.39	75.4	110.2	49.3	85.1
Sand 50% + oyster shell 50%	Aerobic plot	7.9	7.4	1.01	1.26	150.2	300.3	75.1	125.6
	Anaerobic plot	7.6	7.3	1.20	1.48	160.8	214.6	86.5	160.3



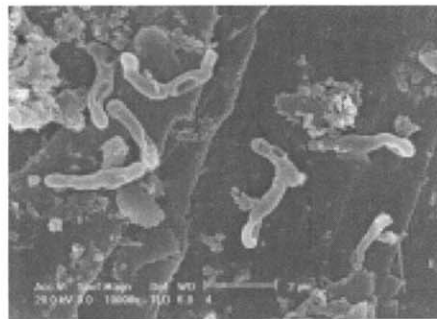
Raw Sand



Sand at 10 months after sewage treatment



Raw oyster shell



Oyster shell at 10 months after sewage treatment

Fig. 5. SEM of microorganism attached to the sand and oyster shell at 10 months after sewage treatment in sewage treatment plant.

형 오수처리장치를 개발하기 위하여 모래와 굴패각을 여재로 이용하여 호기성조 및 혐기성조로 구분하여 오수처리장치를 시공한 다음 여재 종류에 따른 하수부하량별, 하수주입방법별 그리고 계절별 수처리 효율을 조사한 결과는 다음과 같다.

오수처리장치의 호기성조 처리수 및 방류수중의 pH는 여재 종류별 및 하수부하량에 따라서 별 차이가 없었고, DO는 하수가 호기성조를 통과하면서 큰 폭으로 증가하여 모든 처리 조건에서 5mg/L 이상이었으며, 그 후 혐기성조를 통과한 방류수중의 DO는 약 2mg/L 이하로 감소하였다. 방류수의 BOD 및 COD 처리율은 여재를 모래만 사용했을 경우에도 모든 하수부하량에서 BOD 처리율은 약 95% 이상, COD 처리율은 77% 이상이었으며, 전반적으로 모래에 굴패각의 혼합비율이 높은 여재를 처리장치에 사용하였을 때에 BOD 처리율은 별 차이가 없으나 COD 처리율은 약

간 증가하는 경향이였다.

질소 처리율은 여재를 모래만 100% 사용했을 때 호기성조 처리수에서 약 22~40% 정도이었고, 방류수에서는 약 49~75% 정도이었으며, 여재에 모래 75%+굴패각 25%, 모래 50%+굴패각 50% 혼합한 여재를 사용한 처리장치에서 모래 100%일 경우에 비해 방류수중의 질소 처리율은 각각 약 7~25% 및 16~23% 증가하였다.

인 처리율은 여재를 모래만 100% 사용했을 때 호기성조 처리수에서 약 30~36% 정도이었고, 방류수에서는 약 52~56% 정도이었으며, 여재에 모래 75%+굴패각 25%, 모래 50%+굴패각 50% 혼합한 여재를 사용한 처리장치에서 모래 100%일 경우에 비해 방류수중의 인 처리율은 약 11~40% 및 12~45% 증가하였다.

오수처리장치를 실제 현장에 적용하기 위하여 하수유입방법을 간헐식으로 주입하였을 때의 오염물질 효율을 조사

한 결과 연속 주입할 경우에 비해 BOD 및 COD 처리율은 약간 낮아졌으나 질소 및 인 처리율은 별 차이가 없었다. 계절별 수처리 효율을 조사한 결과 겨울이 다른 계절에 비해 BOD 및 COD 처리율은 별 차이가 없으나 질소 및 인 처리율은 다소 낮았다.

사 사

본 연구는 경남지역환경기술개발센터 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 권순국, 윤춘경, 흡수성 Biofilter를 이용한 농촌 소규모 오수처리 시설의 성능, *한국환경농학회지*, **18**(4), pp. 310-315 (1999).
- 김종택, 문경환, 김진우, *수질오염공정시험방법해설*(하·폐수, 하천수, 호소), 신광출판사 (2001).
- 김혜주, 자연형 하천 조성을 통한 하천의 자정능력향상-식물의 수질정화작용을 중심으로, *한국수자원학회지*, **32**(5) pp. 148-152 (1999).
- 양홍모, 수자원보전을 위한 점원 및 비점원 오염물의 자연생태적 친환경적 처리 인공습지 및 연못-습지 시스템, *한국수자원학회지*, **32**(5), pp. 111-123 (1999).
- 윤춘경, 권순국, 권태영, 인공습지의 농촌지역 오수정화시설에 적용가능성 연구, *한국농공학회지*, **40**(3), pp. 83-93 (1998).
- 윤춘경, 임용호, 김형중, 인공습지에 의한 농공단지 폐수처리, *한국환경농학회지*, **16**(2) pp. 170-174 (1997).
- 이용두, 김현희, 식물을 이용한 오수의 고도처리에 관한 연구, *한국환경과학회지*, **8**(1), pp. 75-81 (1999).
- 이홍재, 서동철, 조주식, 허종수, 인의 흡착능 평가를 통한 인공습지 하수처리 시스템의 여재 선발, *한국환경농학회지*, **22**(2), pp. 148-152 (2003).
- 정동양, 자연친화형 농어촌 하수처리장 모델개발, *한국환경복원농학기술학회지*, **2**(1) pp. 10-20 (1999).
- 최진식, 농어촌 하수처리장의 수처리 효율 비교, *경상대학교 석사학위논문* (2001).
- 홍문관법 연구, *환경관계법규*(II) 수질편, p. 130 (2001).
- 환경부, *환경백서*, pp. 357-486 (2000).
- Brix, H., Wastewater treatment in constructed wetlands : system design, removal processes and treatment performance. In : Moshiri, G. A. (Ed.), *Constructed wetlands for water quality improvement*, Lewis publishers, Boca Ra-ton, FL, 9~22 (1993).
- Corbitt. R. A. and Bowen. P. T., Constructed wetlands for wastewater treatment, in *Applied Wetlands science and technology*, Kent, D. M. (ed.), Publishers Lewis, pp. 221-241 (1994).
- Faulker, S. P. and Richardsosn, C. J., Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soils. In : Hammer, D. A. (Ed.), *Constructed wetlands for wastewater treatment : municipal, industrial and agricultural*, Lewis publishers, Inc., Chelsea, Michigan, pp. 41-72 (1989).
- Huang, J., Reneau, R. B. and Hagedorn, C., Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater, *Wat. Res.*, **34**(9), pp. 2582-2588 (2000).
- Nichols, D. S., Capacity of natural wetlands to remove nutrient from wastewater, *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, **55**, pp. 495-505 (1983).
- Pant, H. K., Reedy, K. R. and Lemon, E., Phosphorous retention capacity of root bed media sub surface flow constructed wetlands, *Ecological Engineering*, **17**, pp. 345-355 (2001).