

## 자연정화공법에 의한 하수처리장에서 최적 여재 선정

서동철 · 이홍재\* · 조주식<sup>1)</sup> · 박현건<sup>2)</sup> · 김형갑<sup>2)</sup> · 허종수

경상대학교 응용생명과학부, <sup>1)</sup>순천대학교 환경농업과학부, <sup>2)</sup>진주산업대학교 환경공학과  
(2002년 12월 5일 접수, 2003년 1월 21일 수리)

### Selection of Optimum Pebbles Size in Sewage Treatment Plant by Natural Purification Method

Dong-Cheol Seo, Hong-Jae Lee\*, Ju-Sik Cho<sup>1)</sup>, Hyun-Geoun Park<sup>2)</sup>, Hyoung-Kab Kim and Jong-Soo Heo (Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea, <sup>1)</sup>School of Environment and Agricultural Science, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea, <sup>2)</sup>Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea)

**ABSTRACT** : An investigation was carried out to evaluate the effects of pebble size on the small-scale sewage treatment apparatus by natural purification method that consisted of aerobic and anaerobic plot. pH and EC in both plots varied minimally regardless of pebble size. DO in aerobic plot increased as the pebble size decreased. That in the anaerobic plot was slightly less in comparison with that of the aerobic plot, but varied minimally, 2.4~5.1 mg/L regardless of pebble size. Under all experimental conditions, removals of BOD, COD and turbidity in anaerobic plot were more than 98, 91 and 98%, respectively. Removals of T-N and T-P increased as pebble size decreased. Under all experimental conditions, removals of T-N and T-P in anaerobic plot were about 45~59 and 80~96%, respectively. Judging from the above results, it should be considered that the optimum pebble size and pebble permeability in both plot was 2~4 mm and 0.1~4 mm, respectively.

**Key words**: natural purification method, sewage treatment, pebble size, permeability.

## 서 론

도시 지역에서 발생하는 하수는 주로 활성슬러지법을 이용한 기계식 공법으로 하수종말처리장에서 처리되어 하천으로 방류되고 있으나, 농어촌 등에서는 하수관거가 설치되어 있지 않거나 하수처리시설이 설치되어 있지 않아 대부분의 하수가 처리되지 않고 하천이나 바다로 방류되고 있는 실정이다. 농어촌의 소규모로 발생하는 하수는 하수 총발생량의 약 10%정도이며, 하수 발생량이 1일 50톤 이하인 마을이 약 89%를 차지하고 있다<sup>1,2)</sup>.

현행 농어촌에서 소규모로 발생하는 하수처리를 위한 공법은 도시생활하수의 처리공법인 활성슬러지법, 장기폭기법, 산화구법, 고도합병정화시스템, 토양피복형접촉산화공법, 고효율오수정화법 및 혐기호기접촉순환법 등 20여 종류의 기계식 처리공법들이 보급되고 있으나, 이들 기계식 공법들을 유지관

리하기 위해서는 전문기술인력이 필요하고, 시설비 및 전력소비가 과다할 뿐만 아니라 기계고장시 악취가 발생하는 등 여러 가지로 많은 문제점을 안고 있다.

농어촌 환경의 특성을 감안하여 농어촌에서 소규모로 발생하는 하수를 처리하기 위하여 시설비 및 유지관리비용이 저렴하고 지역의 환경에 잘 적응하며, 공정이 간단하고, 계획된 방류수질을 충족시킬 수 있는 하수처리공법의 개발 보급이 절실히 요구되고 있다<sup>2,3)</sup>.

현재까지 알려져 있는 환경친화형 자연정화공법으로는 토양처리방법, 산화지법, 식물을 이용한 처리법, 습지처리법, 휴경지를 이용한 처리 및 삼림토양침투에 의한 처리 등이 있으나<sup>4,10)</sup>, 이러한 자연정화공법은 하수처리 과정 중 악취가 발생되거나 여재 공극이 폐쇄되어 투수속도가 저하되며 과도한 부지면적이 소요되고, 또한 농어촌 지역의 특성상 오수 유입량의 큰 변동으로 처리효율이 저하되는 등 여러 가지 문제점이 있는 것으로 알려져 있다<sup>2,6,7)</sup>.

농어촌 지역과 같은 소규모 하수처리시설은 지역 특성에 맞게 하수의 발생지점인 각 가정이나 마을단위로 하수를 처리하는 발생원 처리개념을 도입하고, 하수처리공법을 선정하

\*연락처:

Tel: +82-55-751-5470 Fax: +82-55-757-0178  
E-mail: jsheo@nongae.jnsu.ac.kr

Table 1. Chemical characteristics of the sewage used

	pH	DO	BOD	COD	Turbidity	T-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P
		(mg/L)			(NTU)	(mg/L)				
Average	7.0	0.14	278	133	227	56.9	38.2	0.06	0.15	8.70
Range	6.7~	0.07~	218~	114~	86.4~	42.8~	33.1~	0.06~	0.07~	7.19~
	8.5	0.23	381	169	1352	72.3	41.9	0.07	0.30	15.08

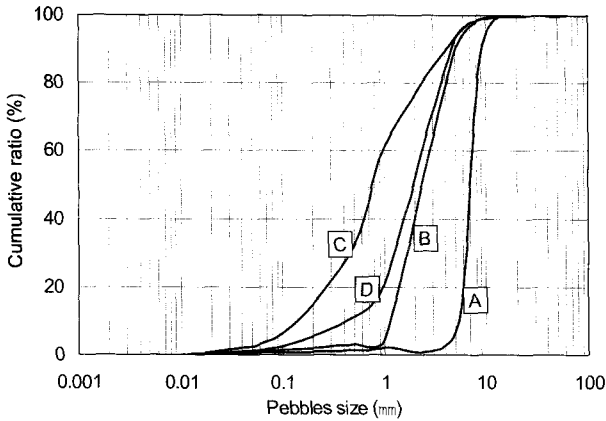


Fig. 1. Particle size distributions of the pebble used. A, Pebble A; B, Pebble B; C, Pebble C; D, Pebble D.

기 위해서는 하수처리시설비, 부지면적, 유지관리비 등 경제성과 유지관리의 용이성, 슬러지 처리 및 처분의 간편성, 유입하수량 및 수질변화에 대한 대응성, 고도처리의 가능성 및 증축의 용이성, 동절기 처리효율의 안정성, 처리 기술의 보급 및 발전성 등과 같은 기준을 토대로 선정하도록 해야 할 것이다<sup>5,8,9)</sup>.

본 연구는 농어촌 등에서 소규모로 발생하는 하수를 환경친화적이고 높은 하수처리효율을 유지하면서 하수처리장의 장기간 사용을 위한 최적의 여재를 선정하기 위하여, 자연정화공법을 이용한 소형하수처리장치를 호기성조 및 혐기성조로 구분하여 시공한 다음, 하수처리량 및 여재 입경별 수처리효율을 조사하였고, 호기성조와 혐기성조에서 여재 입경별 하수의 투수속도를 조사하였다.

### 재료 및 방법

#### 공시재료

하수처리장치에 사용된 공시 하수는 일반 가정에서 배출되는 생활하수였으며, 공시 여재는 경남 사천시 국도골재에서 채취한 여재를 사용하였다. 공시 하수 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 BOD가 약 278 mg/L 및 T-N이 약 56.9 mg/L로 일반적인 생활하수의 성상을 나타내었다. 그리고 하수 처리장치에 사용한 여재는 자갈, 여재 대(A), 중(B), 소(C) 및 여재 중(B)과 소(C)를 5 : 3의 비율로 혼합한 여재(D) 등 총 5종류이었으며, 여재의 입도분포도는 Fig. 1에서 보는

바와 같이 자갈은 입경 10~20mm범위, 여재 대(A)는 입경 4~10 mm가 약 70% 이상, 여재 중(B)은 입경 2~4 mm가 약 74% 이상, 여재 소(C)는 입경 0.1~2 mm가 약 85% 이상 및 여재 (D)는 입경 0.1~4 mm가 약 87% 이상이었다.

그리고 하수처리장에 이식한 공시 수초는 갈대, 달뿌리풀, 물억새, 샷갓사초, 노랑꽃창포 및 골풀 등을 (주)한림녹화건설에서 구입하여 이식하였다. 하수처리장에 이식된 수초는 호기성조에는 갈대 및 달뿌리풀을 재식거리 20 cm × 20 cm되게 이식하였으며, 혐기성조에는 물억새, 샷갓사초, 노랑꽃창포 및 골풀을 호기성조와 동일한 재식거리로 이식하였다.

#### 하수처리장치 설계 및 시공

하수를 처리하기 위하여 설계 및 시공한 소형 하수처리장치는 Fig. 2와 같이 호기성조와 혐기성조를 연결하여 1개조로 하여 총 3개조로 제작하였으며, 호기성조와 혐기성조의 크기는 각각 가로 100 cm × 세로 100 cm × 높이 100 cm로서 두께 8 mm의 플라스틱판을 사용하여 용량이 1 m<sup>3</sup>되게 제작하였다.

하수처리장 호기성조의 여재 종류별 투입위치는 여재 표면에서 10 cm까지는 여재 대(A)를 그 하층의 60 cm는 여재의 입경 크기에 따라 여재 대(A), 중(B) 및 소(C)를 각각 투입하였고 맨 하부 20 cm는 자갈을 깔았다. 호기성조에는 통기관을 각조의 바닥과 하부에서 50 cm위치에 설치하여 자연통풍이 되게 하였다. 그리고 3개 하수처리장 모두 혐기성조에서는 여재 표면에서 80 cm까지 여재 중(B)과 소(C)를 5 : 3의 비율로 혼합한 여재 (D)를 사용하였고, 맨 하부 10 cm는 자갈을 깔았다. 또한 본 하수처리장치는 겨울철의 하수처리효율이 감소하는 것을 방지하기 위해 호기성조와 혐기성조 모두 지온을 이용할 수 있도록 지표면 밑으로 묻어 보온할 수 있게 설계하였다.

하수처리장에서의 하수의 흐름은 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 4등분하였으며, 4등분된 각 조에서의 하수 흐름은 대각의 지그재그 방향으로 흐르게 하였다.

#### 하수처리장치 운전조건 및 조사시기

공시 하수를 호기성조 전체 표면에 일정량씩 골고루 자연

Table 2. pH, EC and DO change in the water according to pebble size and amount of sewage treatment in a sewage treatment plant

Pebbles size in aerobic plots	Raw water	Amount of sewage treatment (L/days)								
		75		150		300		600		
		Treated water in aerobic plot	Effluent	Treated water in aerobic plot	Effluent	Treated water in aerobic plot	Effluent	Treated water in aerobic plot	Effluent	
<b>pH</b>										
A	7.0	7.5	7.5	7.1	7.5	7.4	7.6	7.1	7.4	
B		7.3	7.6	7.1	7.6	7.1	7.7	7.0	7.2	
C		6.1	7.7	5.7	7.7	6.7	7.8	6.1	7.0	
<b>EC (dS/m)</b>										
A	0.77	0.77	0.74	0.70	0.71	0.65	0.76	0.77	0.70	
B		0.77	0.80	0.71	0.74	0.65	0.71	0.70	0.86	
C		0.71	0.75	0.67	0.68	0.57	0.66	0.73	0.82	
<b>DO (mg/L)</b>										
A	0.16	7.31	4.88	4.78	3.38	4.30	2.43	5.30	3.00	
B		8.11	4.99	4.98	3.39	5.44	2.51	6.40	3.20	
C		9.45	5.15	7.47	3.44	7.82	2.92	7.70	2.40	

Pebble A, size 4~10 mm; Pebble B, size 2~4 mm; Pebble C, size 0.1~2 mm.

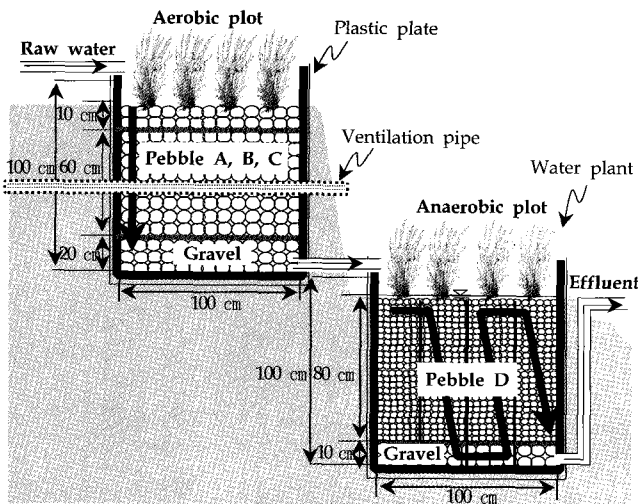


Fig. 2. Schematic diagram of the sewage treatment plant for treatment of sewage. Pebble A, size 4~10 mm; Pebble B, size 2~4 mm; Pebble C, size 0.1~2 mm; Pebble D, size 0.1~4 mm; Gravel, size 10~20 mm.

유하식으로 유입시켰으며, 호기성조를 2등분하여 1주일씩 교대로 하수처리 하였으며, 여재입경별 하수처리 효율조사에서 하수원수 유입량은 1일 75, 150, 300 및 600 L씩 하였다.

하수처리장치의 운전기간 중의 계절별 평균기온은 봄이 12.9°C, 여름이 25.1°C, 가을이 16.1°C 및 겨울이 1.07°C이었고, 연평균기온은 13.8°C이었다. 그리고 계절별 상대습도는 봄이 57.3%, 여름이 75%, 가을이 73% 및 겨울이 57.7%이었고, 연평균 상대습도는 66.3%이었다.

소형 하수처리장치에서 하수처리효율 조사시기는 2000년 9월부터 2001년 9월까지 매달 실시하였으며, 초기 한달 동안은

하수처리장치를 시운전하였다. 시료의 채취지점은 하수원수, 호기성조 처리수 및 방류수로 하여 한 조건에서 4주간씩 운전하였으며, 시료의 채취는 처음 3주는 1주 1회, 마지막주에는 격일로 4회 분석하여, 총 7회 분석한 결과를 평균하여 각 조건에서의 하수처리 효율을 구하였다.

**분석방법**

수질분석은 수질오염공정시험법과 APHA의 Standard methods (1989)에 준하여 다음과 같이 하였다<sup>10,11)</sup>.

pH는 초자전극법, EC는 EC meter (Orion, Model 160, Germany), 용존산소 및 BOD는 윙클러 이지드하나트륨 변법, COD는 산성 KMnO<sub>4</sub>법, 탁도는 Portable turbidimeter (HACH, Model 2100P, USA), 총 질소는 자외선 흡광광도법, 총 인은 아스코르빈산 환원법으로 분석하였다. 하수의 투수속도는 하수가 호기성조 및 혐기성조에서 수직으로 여과되는 속도를 시간단위로 측정하였다<sup>12)</sup>.

**결과 및 고찰**

**여재입경별 하수처리효율**

**pH, EC 및 DO변화**

호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 pH를 조사한 결과는 Table 2와 같이 하수원수의 pH는 약 7.0으로 중성이었으며, 하수처리장치의 호기성조를 통과한 호기성조 처리수의 pH는 여재 대(A) 및 중(B)에서는 약간 증가하였으나 여재소(C)에서는 하수원수에 비해 약간 감소하였는데 이는 여재입경이 작을수록 많이 여과가 되고 원수 중에 있는 대부분의 유기물이 호기성조의 미생물에 의해 분해되거나 흡착되면서

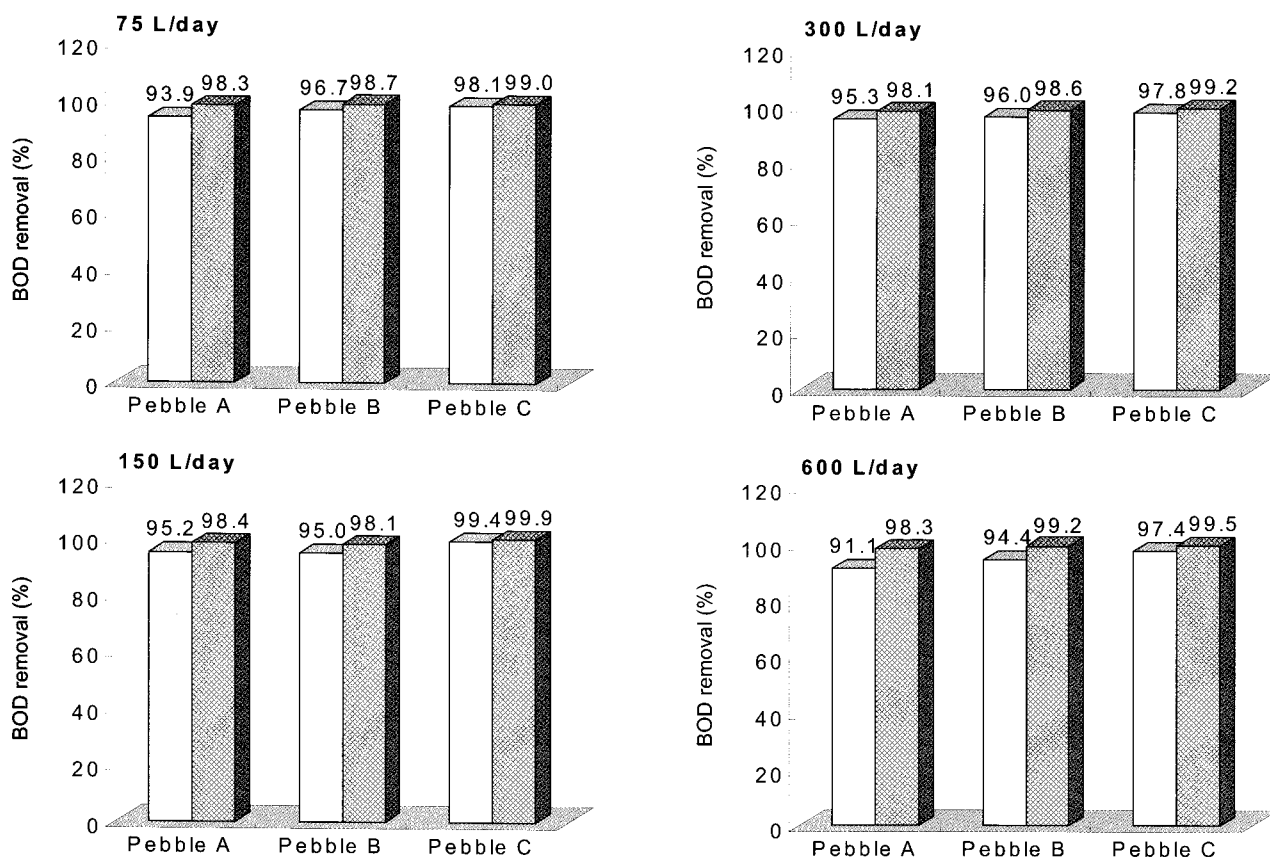


Fig. 3. BOD removal (%) in the water according to pebble size and amount of sewage treatment in a sewage treatment plant. □ Treated water in aerobic plot; ▨ Effluent. Pebble A, size 4~10 mm; Pebble B, size 2~4 mm; Pebble C, size 0.1~2 mm.

CO<sub>2</sub>와 유기산이 증가되었기 때문인 것으로 사료된다<sup>3,13-15</sup>. 호기성조에서 처리된 후 혐기성조를 통과한 방류수의 pH는 여재입경에 따라서는 별 차이가 없이 pH는 약 7.0~7.8범위이었으며, 이와 같이 혐기성조에서 pH에 별 차이가 없는 것은 유입수 중의 암모니아가 휘산되고 NH<sub>4</sub>-N가 호기성조에서 미생물에 의해 질산화되어 NO<sub>2</sub>-N 및 NO<sub>3</sub>-N로 바뀌는 등 처리조의 완충작용 때문이라 사료된다<sup>16-19</sup>.

호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 EC를 조사한 결과는 Table 2와 같이 하수원수의 EC는 약 0.77 dS/m이었으며, 하수처리장치의 호기성조를 통과한 호기성조 처리수의 EC는 여재 대(A) 및 중(B)에서는 별 차이가 없었으나, 여재 소(C)에서는 하수원수에 비해 약간 감소하였다. 호기성조에서 처리된 후 혐기성조를 통과한 방류수의 EC는 여재입경에 따라서는 별 차이가 없이 약 0.66~0.86 dS/m범위이었으며 하수처리량에 따라서도 처리수중의 EC는 별 차이가 없었다.

호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 용존산소를 조사한 결과는 Table 2와 같이 하수원수의 용존산소는 평균 약 0.16 mg/L로 매우 낮았고, 호기성조 처리수의 용존산소는 하수원수에 비해 큰 폭으로 증가하였으며, 방류수중에는 호기성조 처리수중의 용존산소에 비하여 감소하였다. 여재입경에 따른 호기성조 처리수의 용존산소는 입경이 작을수록 높아지

는 경향이있으며 하수처리량에 따른 용존산소는 별 차이가 없었다. 그리고 방류수중의 용존산소는 여재입경 및 하수처리량에 따라서 별 차이가 없이 약 2.4~5.1 mg/L정도이었다. 일반적으로 집수조에 있는 하수는 재폭기가 없이 고여 있는 혐기성상태가 유지되므로 집수조로부터 하수처리장에 유입되는 유입수의 용존산소는 매우 낮다<sup>20</sup>.

호기성조에서 호기성미생물에 의한 생물학적 분해가 일어나면서 다량의 산소가 소모되며<sup>20</sup>, 이러한 호기성미생물의 산소 소모에도 호기성조 통과시 용존산소가 증가하는 것은 이중통기관을 각조의 바닥과 하부에서 50 cm위치에 설치하여 자연통풍이 되게 하므로 여재층에 원활한 산소의 공급과 수초에 의한 뿌리주위의 산소공급이 왕성하기 때문으로 사료되었다. 호기성조 처리수가 혐기성조로 유입되어 용존산소가 감소하였는데 이는 혐기성조 여재표면까지 하수가 채워져 있어 호기성조에 비해 산소공급이 원활하지 못하기 때문인 것으로 사료되었다.

#### BOD 처리효율

호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 BOD 처리율을 조사한 결과는 Fig. 3과 같이 하수원수의 BOD는 평균 약 278 mg/L이었으며, 여재입경에 따른 호기성조 처리수의 BOD 처

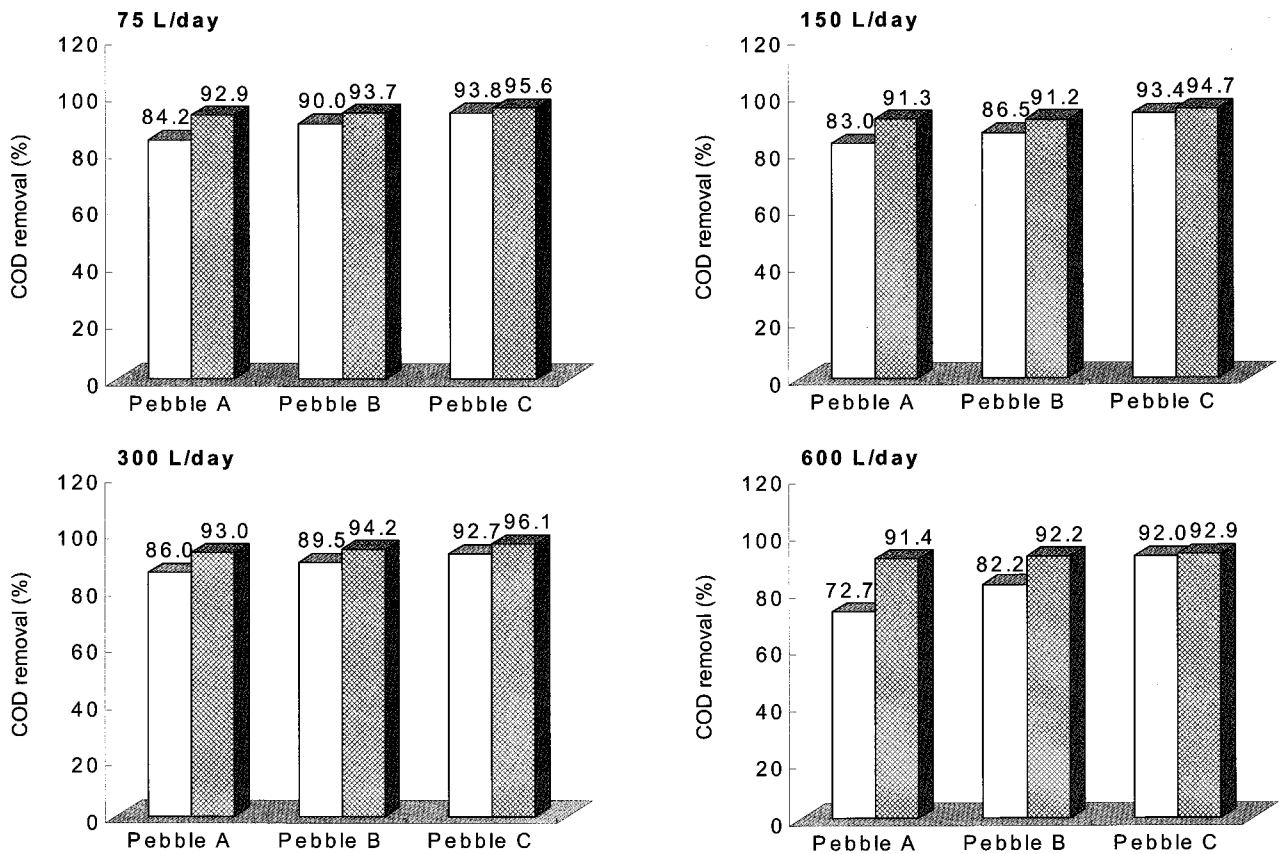


Fig. 4. COD removal (%) in the water according to pebble size and amount of sewage treatment in a sewage treatment plant. □, Treated water in aerobic plot; ▨, Effluent. Pebble A, size 4~10 mm; Pebble B, size 2~4 mm; Pebble C, size 0.1~2 mm.

리올은 모든 조건에서 약 91%이상이었으며, 전반적으로 여재의 입경이 작을수록 BOD 처리율이 약간 높아지는 경향이었으나 수처리량에 따라서는 별 차이가 없었다. 호기성조에서 처리된 후 혐기성조를 통과한 방류수의 BOD 처리율은 호기성조 처리수에 비해 더욱 더 높아졌으며, 모든 조건에서 98% 이상 BOD가 처리되어 방류수중의 BOD는 약 1.4~5.1 mg/L 정도로서 현행 방류수 수질기준<sup>21,22)</sup>인 20 mg/L에 비하여 매우 낮은 수준에 불과하므로 앞으로 방류수 수질기준<sup>21,22)</sup>이 10 mg/L으로 강화된다고 하더라도 별 문제가 없을 정도로 매우 잘 처리되었다.

일반적으로 자연정화공법을 이용한 하수처리장에 있어서 BOD의 감소는 수초 뿌리부의 미생물에 의해 유기물이 표면에서 1.5 cm 깊이 사이에서 주로 분해되는데 그 이유는 이 층에 반응기질과 산소가 풍부하여 박테리아의 성장과 활력이 가장 좋기 때문이다<sup>23)</sup>. 본 소형 하수처리장치는 이중통기관의 자연통풍과 수초에 의한 뿌리주위의 산소공급으로 인해 호기성조 전체에서 미생물에 충분한 산소를 공급함으로써 타 공법에 비해 처리효율이 높은 것으로 사료되었다.

#### COD 처리효율

호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 COD 처리율을

조사한 결과는 Fig. 4와 같이 하수원수의 COD는 평균 약 133 mg/L이었으며, 여재입경에 따른 호기성조 처리수의 COD 처리율은 모든 조건에서 약 73%이상이었으며, 전반적으로 여재의 입경이 작을수록 COD 처리율이 약간 높아지는 경향이었고, 하수처리량을 1일 600 L처리했을 경우가 75, 150 및 300 L처리했을 경우보다 호기성조 처리수의 처리율이 약간 감소하였다. 따라서 COD의 경우 1일 300 L가 최적 유량임을 알 수 있었다.

호기성조에서 처리된 후 혐기성조를 통과한 방류수의 COD 처리율은 호기성조 처리수에 비해 더욱 더 높아졌으며, 모든 조건에서 91%이상 COD가 처리되어 방류수중의 COD는 약 5.1~11.7 mg/L정도로서 현행 방류수 수질기준<sup>21,22)</sup>인 40 mg/L에 비하여 매우 낮은 수준에 불과하므로 별 문제가 없을 정도로 매우 잘 처리되었다.

일반적으로 자연정화공법을 이용한 하수처리장에 있어서 COD의 감소는 수초 뿌리부의 미생물에 의해 유기물이 표면에서 1.5 cm 깊이 사이에서 주로 분해되는데 그 이유는 이 층에 반응기질과 산소가 풍부하여 박테리아의 성장과 활력이 가장 좋기 때문이다<sup>23)</sup>. 그리고 방류수중의 COD 처리율이 91%이상으로 BOD 처리율 98%에 비해 약간 낮았지만 유사한 처리경향과 처리효율을 나타내었다. 이와 같은 결과는 유입된

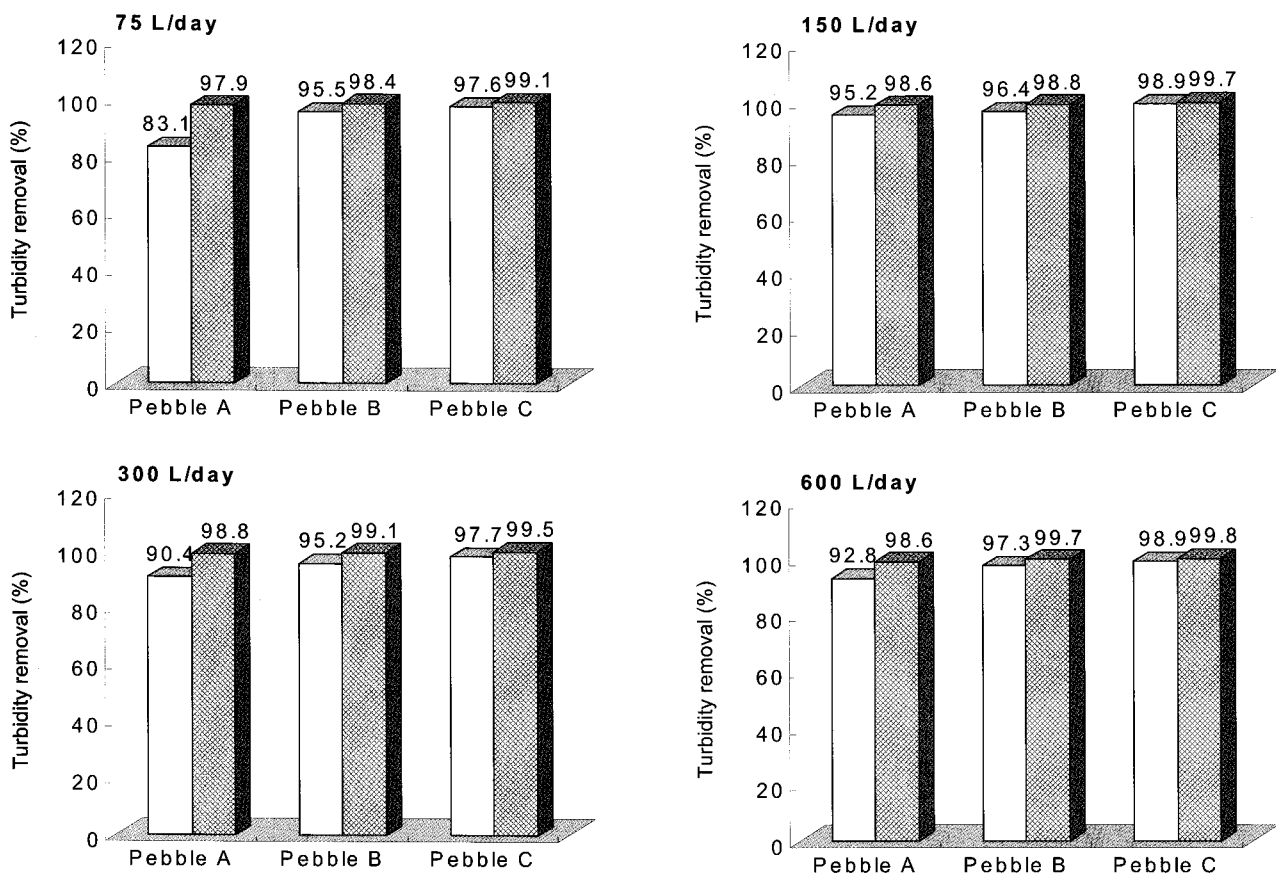


Fig. 5. Turbidity removal (%) in the water according to pebble size and amount of sewage treatment in a sewage treatment plant. □, Treated water in aerobic plot; ▨, Effluent. Pebble A, size 4~10 mm; Pebble B, size 2~4 mm; Pebble C, size 0.1~2 mm.

하수가 대부분 생활하수로 미생물에 의해 분해가 용이한 유기물을 많이 포함되어 있기 때문인 것으로 사료되었다<sup>19)</sup>.

**탁도 처리효율**

호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 탁도 처리율을 조사한 결과는 Fig 5와 같이 하수원수의 탁도는 평균 약 227 mg/L이었으며, 여재입경에 따른 호기성조 처리수의 탁도 처리율은 모든 조건에서 약 83%이상이었다. 전반적으로 여재의 입경이 작을수록 탁도 처리율이 약간 높아지는 경향이었고, 여재 대(A)를 사용했을 경우 여재 중(B) 및 소(C)를 사용했을 경우에 비해 약 10%정도 처리율이 낮았으며 하수처리량에 따라서는 별 차이가 없었다. 호기성조에서 처리된 후 혐기성조를 통과한 방류수의 탁도 처리율은 호기성조 처리수에 비해 더욱 더 높아졌으며, 모든 조건에서 98%이상 처리되어 방류수중의 탁도는 약 0.4~4.9 mg/L정도로서 매우 잘 처리되었다.

일반적으로 자연정화공법에 의한 탁도의 처리는 주로 여과기능에 의해 이루어지는데 이러한 여과는 궁극적인 처리가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 탁도를 일으키는 현탁물질은 입자상태로 처리조내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하

는 현탁입자들은 대개 무해하지만 오염성분들은 미생물에 의한 생물학적분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수, 기타 화학반응을 거치면서 궁극적으로 처리된다. 그러나 유입되어 잔류하는 현탁입자들의 부하량이 처리조내의 처리율을 초과하게 되면 처리조에 현탁물질이 누적되어 처리조의 전반적인 효율을 감소시킬 수 있다.

**총 질소 처리효율**

호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 총 질소 처리율을 조사한 결과는 Fig 6과 같이 하수원수중의 총 질소 함량은 약 57 mg/L정도이었으며, 여재입경 및 하수처리량에 따라서는 별 차이가 없었고, 호기성조에 의한 총 질소 처리율은 약 27~42%정도이었으며, 호기성조에서 처리된 후 혐기성조를 통과한 방류수중의 총 질소 처리율은 호기성조 처리수에 비해 약간 증가되었으며, 그 처리율은 약 45~59%정도로서, 방류수중의 총 질소 농도는 약 23~31 mg/L정도로서 현행 방류수 수질기준<sup>21,22)</sup>인 60 mg/L의 약 절반수준으로 별 문제가 없었다. 그러나 앞으로 방류수 수질기준<sup>21,22)</sup>이 60 mg/L에서 20 mg/L로 강화되고, 깨끗한 자연환경을 보존 유지하기 위하여 보다 안정적인 처리를 위해서 총 질소 처리효율을 향

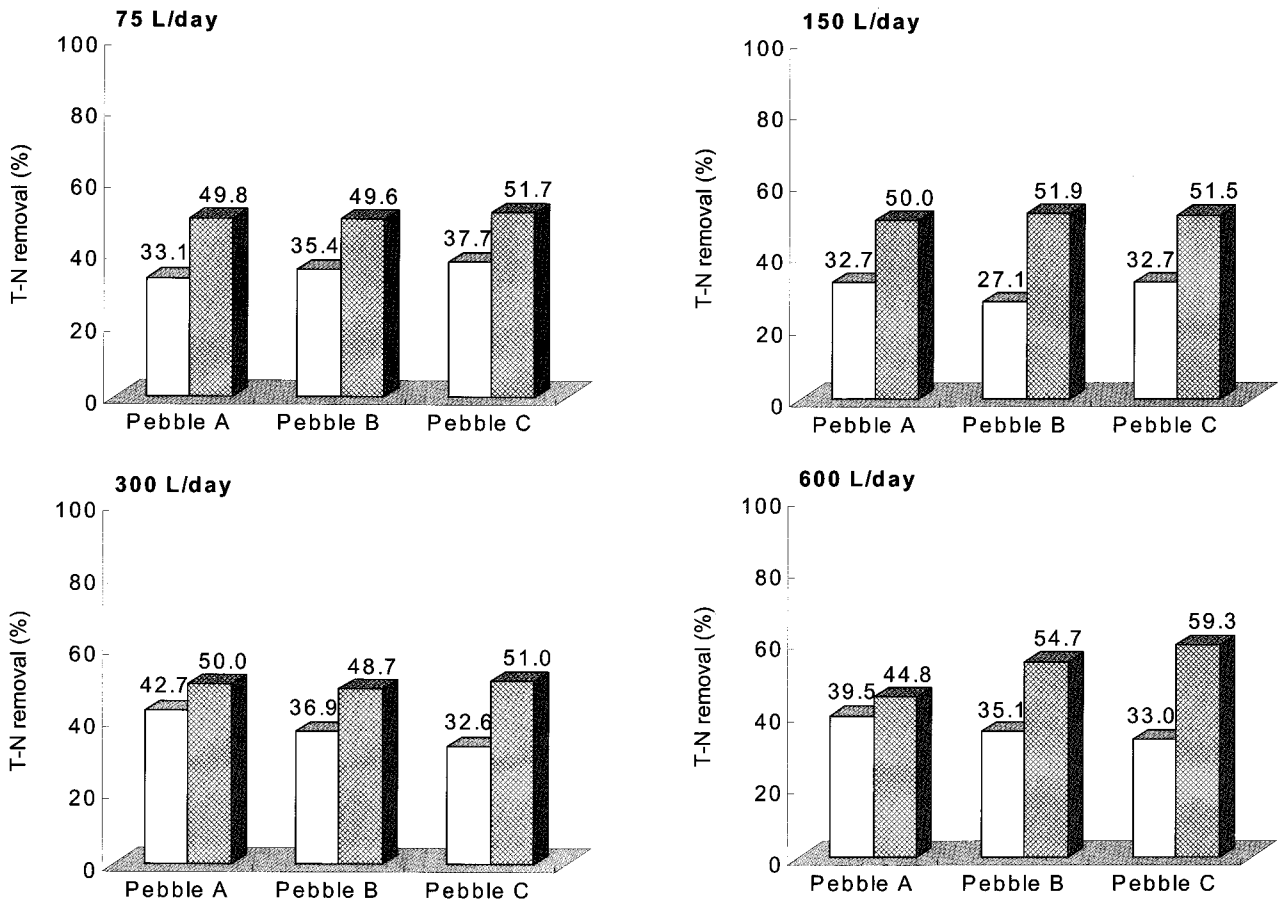


Fig. 6. T-N removal (%) in the water according to pebble size and amount of sewage treatment in a sewage treatment plant. □, Treated water in aerobic plot; ▨, Effluent. Pebble A, size 4~10 mm; Pebble B, size 2~4 mm; Pebble C, size 0.1~2 mm.

상할 수 있는 방법의 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

현행 타 하수처리공법에 비하여는 질소 처리효율이 다소 높았으며 Huang 등<sup>24)</sup>이 인공습지에서 생활하수처리에 관한 실험에서 질소의 처리효율이 33~45%범위라고 하였고, Lee 등<sup>25)</sup>은 식물을 이용한 오수의 고도처리를 위한 실험에서 총 질소 처리효율이 40%라고 하였다. 총 질소의 처리효율이 BOD, COD 및 탁도에 비해 낮은 이유는 혐기성조에서 생물학적 탈질화 조건중의 하나인 용존산소가 비교적 높아 완전한 혐기성 조건이 유지되지 못하기 때문일 것이다.

자연정화공법에 의한 질소의 처리는 호기성 미생물에 의해 유기태 질소 및  $\text{NH}_4\text{-N}$ 가  $\text{NO}_3\text{-N}$ 로 전환되며, 질산화작용으로 생성된  $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 혐기성상태인 심토로 확산되어 혐기성 미생물에 의하여 탈질화가 일어나면서  $\text{N}_2$ 와  $\text{N}_2\text{O}$ 로 전환되어 이들이 대기 중으로 이동하여 질소가 처리되는 것으로 알려져 있다<sup>26)</sup>.

#### 총 인 처리효율

호기성조 및 혐기성조를 통과한 처리수중의 총 인 처리율을 조사한 결과는 Fig. 7과 같이 하수원수의 총 인은 평균 약

8.70 mg/L이었으며, 여재입경에 따른 호기성조 처리수의 총 인 처리율은 모든 조건에서 약 57%이상이었으며, 전반적으로 여재입경이 작을수록 총 인 처리율이 약간 높아지는 경향이었고, 호기성조에서 처리된 후 혐기성조를 통과한 방류수의 총 인 처리율은 호기성조 처리수에 비해 더욱 더 높아졌으며, 하수처리량을 1일 600 L처리했을 경우가 75, 150 및 300 L처리했을 경우보다 방류수의 처리율이 조금 감소하였다. 따라서 총 인의 경우 1일 300 L가 최적 유량임을 알 수 있었다. 모든 조건에서 80%이상 총 인이 처리되어 방류수중의 총 인은 약 0.3~1.7 mg/L정도로서 현행 방류수 수질기준<sup>21,22)</sup>인 8 mg/L에 비하여 매우 낮은 수준에 불과하므로 별 문제가 없을 정도로 매우 잘 처리되었다. 그러나 앞으로 방류수 수질기준<sup>21,22)</sup>이 8 mg/L에서 2 mg/L로 강화되고, 깨끗한 자연환경을 보존 유지하기 위하여 보다 안정적인 처리를 위해 총 인 처리효율을 향상할 수 있는 방법의 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

Lee 등<sup>25)</sup>은 실험실적 오수처리 실험에서 총 인 처리율이 25~30%라고 하였고, Yoon 등<sup>20)</sup>은 인공습지 하수처리장의 총 인 처리율은 약 63%이었는데, 이에 비하여 본 실험에서의 총 인 처리율은 80%이상으로 매우 높게 처리되었다.

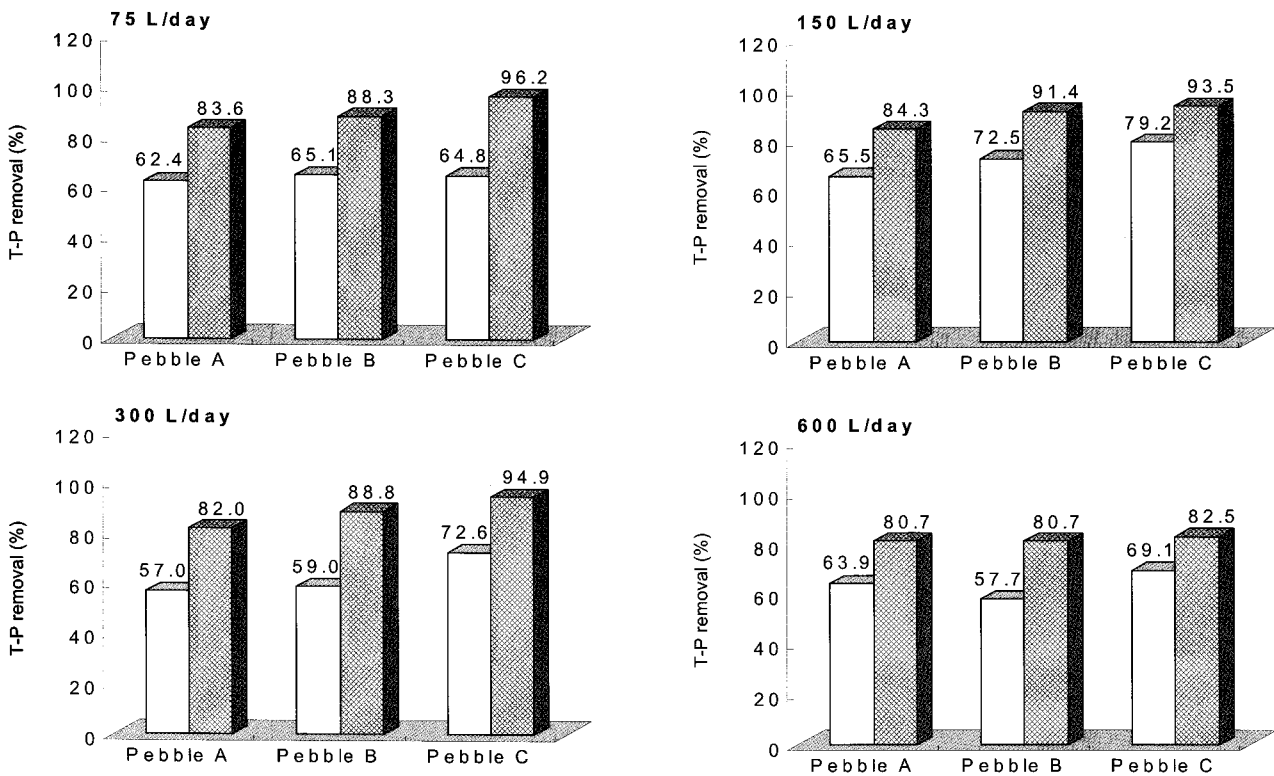


Fig. 7. T-P removal (%) in the water according to pebble size and amount of sewage treatment in a sewage treatment plant. □, Treated water in aerobic plot; ▨, Effluent. Pebble A, size 4~10 mm; Pebble B, size 2~4 mm; Pebble C, size 0.1~2 mm.

자연정화공법을 이용한 하수처리장에서 인 처리의 주요기 능은 미생물의 분해, 침전, 여과 및 흡착인데 부하량이 처리 조의 용량을 초과할 경우에 누적되었던 인 성분이 세척에 의 해서 또는 용출되어 오히려 유출수의 농도가 높게 나타날 수 있다<sup>20)</sup>.

**여재입경별 하수의 투수속도**

하수처리장치의 호기성조는 여재입경 4~10 mm인 여재 대(A), 2~4 mm인 여재 중(B) 및 0.1~2 mm인 여재 소(C), 그리고 혐기성조는 여재입경 0.1~4 mm인 여재(D)를 사용하여 시공하였으며, 하수처리장 운전 250일 후의 하수처리량을 1일 600 L로 하였을 때의 호기성조 및 혐기성조 각각의 투수 속도를 조사한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다.

먼저 호기성조의 투수속도는 여재 대(A) 및 중(B)을 사용 했을 경우에는 호기성조 상층에 하수의 막힘 현상이 없어 투 수속도를 측정할 수 없었으며, 여재 소(C)를 사용했을 경우에는 약  $1.3 \times 10^{-4}$  m/sec이었다. 일반적으로 하수처리장 호기성조 에 투수속도 저하로 인한 공극폐쇄 현상이 발생하면 하수처 리도 되지 않을 뿐만 아니라 냄새나 해충이 발생할 수 있기 때문에 좋지 않다. 본 실험에서 여재 대(A) 및 중(B)을 사용했 을 경우 최대 유입량인 1일 600 L를 처리하였을 경우에도 전 혀 막힘 현상이 없었다. 따라서 하수처리 효율과 투수속도를 고려해볼 때 하수처리장 호기성조의 여재입경은 약 2~4 mm

Table 3. Permeability of the water according to pebble size at 250 days after sewage treatments (Unit :  $10^{-4}$  m/sec)

	Pebbles sizes		
	Pebble A (Size 4~10 mm)	Pebble B (Size 2~4 mm)	Pebble C (Size 0.1~2 mm)
Aerobic area	-	-	1.3±0.7
Anaerobic area	0.45±0.2	0.83±0.3	2.5±0.9

Amount of sewage treatment a day was 600 L.

인 여재 중(B)정도가 적절한 것으로 판단되었다.

혐기성조의 투수속도는 호기성조에서 처리된 하수가 혐기 성조로 유입되어 처리되기 때문에 호기성조의 오염물질 처리 능력이 혐기성조의 투수속도나 오염물질 처리능력에 많은 영 향을 미치게 된다. 따라서 호기성조에 여재입경 4~10 mm인 여재 대(A), 2~4 mm인 여재 중(B) 및 0.1~2 mm인 여재 소 (C)를 사용했을 경우 혐기성조에서의 투수속도를 조사한 결과 호기성조에서 사용한 여재 대(A), 중(B) 및 소(C)에서 각각 약  $0.45 \times 10^{-4}$ ,  $0.83 \times 10^{-4}$  및  $2.5 \times 10^{-4}$  m/sec로서 호기성조의 여재입 경이 작을수록 혐기성조의 투수속도가 빨라지는 경향이었으 나, 하수처리 효율은 호기성조의 여재입경이 작을수록 호기성 조에서의 높은 처리효율로 인해 혐기성조에는 영양염류 부족 현상이 일어나 하수처리 효율 감소와 하수처리장에서의 영양 염류의 불균형이 일어날 것으로 판단되었다. 특히 혐기성조에



서의 영양염류는 탈질에 의한 질소처리에서 중요한 탄소원으로 사용될 수 있어 질소처리효율과 밀접한 관계가 있다. 따라서 혐기성조의 최적 여재입경은 하수처리 효율과 투수속도를 고려해볼 때 호기성조에 여재 중(B)을 사용하였을 경우 혐기성조에 주입한 여재입경이 0.1~4 mm 정도 되는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

이상의 결과에 의해 자연정화공법을 이용한 소형하수처리 장치에서 호기성조의 여재입경은 2~4 mm와 혐기성조의 여재입경은 0.1~4 mm가 적절한 것으로 판단되었다.

소형 하수처리장치는 모관침윤트랜치공법이 여재의 공극 폐쇄현상으로 인해 실패하였기 때문에 이런 문제점을 해결하면서 처리효율을 높여야 할 것이다. 호기성조 표면에 지속적인 원하수가 유입되면 일반적으로 부유물질 등이 수직 여과되고, 여과된 부유물질 등이 공극을 막게되어 결국 공극폐쇄현상이 일어나게 되며, 더불어 유기물에 의해 표층에 미생물막이 생겨서 투수속도의 저하는 더욱 증가하게 된다. 그러나 호기성조 표면에는 통기조직이 발달한 갈대와 같은 수초들의 뿌리가 표면을 뚫고 있기 때문에 투수속도의 저하를 일부분 막아주는 역할을 하는 것으로 알려져 있다<sup>2)</sup>. 따라서 호기성조에 공극폐쇄현상을 막기 위해서는 수초의 선정도 중요한 것이다.

## 요 약

농어촌 등에서 소규모로 발생하는 하수를 환경친화적이고 높은 하수처리효율을 유지하면서 하수처리장의 장기간 사용을 위한 최적의 여재를 선정하기 위하여 자연정화공법을 이용한 소형하수처리장치를 호기성조 및 혐기성조로 구분하여 시공한 다음, 하수처리량 및 여재 입경별 수처리 효율을 조사하였고, 호기성조와 혐기성조에서 여재 입경별 하수의 투수속도를 조사한 결과는 다음과 같다.

호기성조 처리수 및 방류수중의 pH 및 EC는 여재입경에 따라서 별 차이가 없었고, 용존산소는 호기성조를 통과한 호기성조 처리수의 용존산소는 큰 폭으로 증가하였으나 혐기성조를 통과한 방류수의 용존산소는 호기성조 처리수에 비해 약간 감소하여 여재입경 및 하수처리량에 따라서 별 차이가 없이 약 2.4~5.1 mg/L 정도이었다. BOD, COD 및 탁도 처리율은 여재 대(4~10 mm)를 사용했을 경우에도 호기성조 처리수에서 BOD 처리율은 약 91% 이상, COD 처리율은 73% 이상, 탁도 처리율은 83% 이상이었으며, 이들 처리율은 여재입경이 작을수록 증가하였고, 모든 조건에서 방류수중의 BOD 처리율은 98% 이상, COD 처리율은 91% 이상, 탁도 처리율은 98% 이상이었다. 여재입경별 총 질소 및 총 인 처리율은 여재입경이 작을수록 약간 증가하였고, 모든 조건에서 방류수중의 총 질소 처리율은 약 45~59%, 총 인 처리율은 약 80~96% 정도이었다. 하수 처리율 및 투수속도를 고려해 볼 때 하수처리장 호기성조의 최적입경은 2~4 mm 정도, 혐기성조의 최적입경은 0.1~4 mm 정도가 적절한 것으로 사료되었다. 따라서 이러

한 조건을 자연정화공법을 이용한 하수처리장에 적용하면 높은 하수처리효율을 유지하면서 하수처리장의 공극폐쇄현상이 일어나지 않아 장기간 운전할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 환경부 (2000) 환경백서, 환경부, p.357-486.
2. Jung, D. Y. (1999) Development of an Environmental Friendly Sewage Disposal Model for Agricultural and Fishing Village Areas, *Journal of the Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology*, 2(1), 10-20.
3. Kwun, S. K. and Yoon, C. K. (1999) Performance for a small on-site wastewater treatment system using the absorbent biofilter in rural areas, *Korean J. Environ. Agri.* 18(4), 310-315.
4. Jang, B. I. (2001) Physico-chemical characteristics of sand and water plants in constructed wetland for treatment of domestic sewage, Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University.
5. Choi, J. S. (2001) Comparison of Performance of Wastewater Treatment Systems for Rural Area, Department of Agricultural Engineers Graduate School of Gyeongsang National University.
6. 이도원, 송동하, 임경수, 박은진, 강호정 (1999) 식생을 이용한 수질 관리 - 생태구, 경관, 유역 규모에서 생태학적 접근, *한국수자원학회지*, 32(5), 134-147.
7. Yun, S. M. (1998) The Analysis of Self-cleansing Power through the Sewage Disposal Model of Water Plants and Aggregate, Major in Technology Education Graduate School of Korea National University.
8. 한국수도협회 (1998) 한국부제정 상수도시설기준, p.9-12.
9. 환경부 (1996) 마을 하수도 시설기준 및 효율적 관리방안 연구, p.2-10.
10. 김종택, 문경환, 김진우 (2001) 수질오염공정시험방법해설 (하·폐수, 하천수, 호소), 신광출판사.
11. APHW, AWWA, WPCF (1989) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th ed., Port City Press, New York.
12. Kim, S. A. (2002) Change of infiltration rate according to affecting factors at vertical flow beds of the constructed wetlands, Major in Technology Education Graduate School of Korea National University.
13. Martin, T., Kaushik, N. K., Trevors, J. T. and Whieley, H. R. (1999) Review : Denitrification in temperate riparian zones, *Water, Air and Soil Pollution*, 109, 171-186.
14. Richardson, C. J. and Marshall, P. E. (1986) Processes controlling movement, storage, and export of phos-

- phorus in a fen peatland, *Ecological Monographs*, 56, 279-302.
15. Kang, H., Freeman, C., Lee, D. and Mitsch, W. J. (1998) Enzyme activities on constructed wetland : Implication for water quality amelioration, *Hydrobiologia*, 368, 231-235.
  16. Geller, G. (1997) Juengere Erfahrungen mit Pflanzenklaeranlagen, *Wasser Abwasser Praxis*, 5, 27-32.
  17. Jeon, H. G. (1994) The Survey of the Water Quality and Heavy Metal Contents of the water and plant in Mihochun, Department of Chemistry Graduate School of Kongju National University.
  18. Richardson, C. J. and Marshall, P. E. (1986) Processes controlling movement, storage, and export of phosphorus in a fen peatland, *Ecological Monographs*, 56, 279-302.
  19. Yoon, C. K., Kwun, S. K., Woo, S. H. and Kwon, T. Y. (1999) Review of 3 - year Experimental Data from Treatment Wetland for Water Quality Improvement in Rural Area, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 15(4), 581-589.
  20. 윤춘경, 권순국, 권태영 (1998) 인공습지의 농촌지역 오수 정화시설에 적용가능성 연구, *한국농공학회지*, 40(3), 83-93.
  21. 손금두, 손기수 (1999) 수질환경관계법규, 성안당.
  22. 홍문관법연구 (2001) 환경관계법규(II) 수질편, 홍문관.
  23. Lee, D. B., Kim, J. G., Kang, J. G., Kim, S. B., So, J. D. and Lee, K. J. (1994) Purification of Animal Wastewater Using a Reed-Sand-Filter System, *Korean J. Environ. Agri.* 13(2), 231-239.
  24. Huang, J., Reneau, Jr. R. B. and Hagedorn, C. (2000) Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater, *Wat. Res.*, 34(9), 2582-2588.
  25. Lee, Y. D. and Kim, H. H. (1999) A Study on the Advanced Treatment of Wastewater by Plants, *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 8(1), 75-81.
  26. 양홍모 (1999) 수자원보전을 위한 점원 및 비점원 오염물의 자연생태적 친환경적 처리 인공습지 및 연못-습지 시스템, *한국수자원학회지*, 32(5), 111-123.