

## 자연정화공법에 의한 소형 하수처리장치 개발을 위한 최적 깊이 및 호기·혐기 비율

서동철 · 박미령 · 곽내운 · 황하나 · 이홍재<sup>1)</sup> · 조주식<sup>2)</sup> · 허종수\*

경상대학교 응용생명과학부, <sup>1)</sup>진주산업대학교 환경공학과, <sup>2)</sup>순천대학교 생명환경과학부  
(2006년 3월 17일 접수, 2006년 3월 24일 수리)

### Optimum Depth and Volume Ratio of Aerobic to Anaerobic Bed for Development of Small-Scale Sewage Treatment Apparatus by Natural Purification Method

Dong-Cheol Seo, Mi-Ryoung Park, Nae-Woon Kwak, Ha-Na Hwang, Hong-Jae Lee<sup>1)</sup>, Ju-Sik Cho<sup>2)</sup>, and Jong-Soo Heo (Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea, <sup>1)</sup>Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju, 660-758, Korea, <sup>2)</sup>Division of Applied Life and Environmental Sciences, Sunchon National University, Sunchon, 540-742, Korea)

**ABSTRACT:** To develop small-scale sewage treatment apparatus for detached house of agricultural village, a small-scale sewage treatment apparatus by natural purification method that consisted of aerobic and anaerobic bed was constructed. To reduce the area of a sewage treatment apparatus, four different filter media were used and each filter medium was coarse sand, broken stone, steel slag, and mixed filter media (coarse sand : broken stone : steel slag = 1:1:1). The efficiency of sewage treatment according to the depth of aerobic and anaerobic bed and the volume ratio of aerobic to anaerobic bed were investigated in small-scale sewage treatment apparatus. The removal rate of pollutants according to the depth of aerobic and anaerobic bed in small-scale sewage treatment apparatus was high in the order of 50 cm < 70 cm < 90 cm. The removal rate of pollutants according to the ratio of aerobic to anaerobic bed in small-scale sewage treatment apparatus was high in the order of 1:1 < 1:2  $\approx$  1:3. Under the optimum conditions, removal rate of BOD, COD, SS, T-N and T-P were 98~99, 95~97, 99, 65~66 and 96~99%, respectively, in small-scale sewage treatment apparatus.

**Key Words:** natural purification method, sewage treatment apparatus, depth, volume ratio, aerobic bed, anaerobic bed, coarse sand, broken stone, steel slag, mixed filter media

### 서 론

최근 급격한 산업발전과 생활양식의 다양화로 생활오수 발생량이 급격히 증가하고 있고, 생활수준의 향상과 더불어 위생에 대한 관심이 높아져 세탁이나 세척용 생활용수의 증가로 도시에서는 막대한 양의 생활오수가 발생하게 되고, 가정으로부터 배출되는 생활오수가 산업폐수와 함께 주요한 수질오염원이 되고 있어 이에 대한 하천수질 보전대책이 절실히 요구되는 실정이다<sup>1-3)</sup>.

생활오수는 수질오염의 주된 오염원이며, 우리나라 현재

인구 약 46,878천명이 배출하는 생활하수 발생량은 1일 약 16,273천톤에 이르고 있다<sup>4)</sup>. 특히 농촌지역의 전원 독립가구들은 대규모 하수처리시설이 잘 갖추어진 대도시에 비해 분류식 하수관거가 잘 보급되지 않고, 대부분이 분뇨용 단독정화조의 설치로 인해 생활하수가 아무런 처리과정 없이 인근의 수계로 그대로 유입되고 있는 실정이다. 이로 인해 인근 소하천의 수질오염을 초래하고 상수원 및 농업용수를 오염시킬 뿐만 아니라 악취 및 해충 피해 등을 유발하여 쾌적한 생활환경을 위협하는 요인이 되고 있다<sup>5)</sup>.

단독정화조가 개발된 이후 오수와 생활 잡배수를 동시에 처리할 수 있는 합병정화조가 개발·보급되었으나, 합병정화조는 대부분 시설을 위탁관리 하기 때문에 관리비용이 과다하게 소요되고, 전문인력을 필요로 하며, 악취 발생과 슬러지 처리 등의 여러 가지 문제점이 있어 농촌 전원 독립가구에

\*연락처:

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

적용하기에는 많은 어려움이 있다.

그래서, 현행 단독정화조 및 합병정화조에 비해 처리효율이 높고, 유지관리비와 에너지 소비가 낮으며, 운전이 용이한 자연정화공법인 인공습지를 적용할 경우, 농촌 전원 독립가구에 적합한 크기, 간편한 설치, 주변경관과의 조화, 특히 2008년부터 전 수역에서 강화될 방류수 수질기준<sup>8)</sup>을 만족하기 위해 총 질소 및 총 인의 처리효율이 높은 농촌 전원 독립가구 하수처리장치의 개발이 절실히 필요할 것이다<sup>6,7)</sup>.

따라서 본 연구는 자연정화공법에 의한 농촌 전원 독립가구 하수처리공법 개발을 위하여 소형 하수처리장치를 호기성조와 혐기성조로 분리하여 설계 및 시공하여 왕사, 쇄석, 제강슬래그 및 혼합여재 등 4종류의 여재종류별 호기성조 및 혐기성조에서 최적 깊이를 구명하고, 호기성조와 혐기성조의 최적 깊이하에서 최적 호기·혐기 부피비율을 구명하고자 수행되었다.

### 재료 및 방법

#### 공시재료

본 소형 하수처리장치에 사용된 공시하수는 경상대학교에서 배출되는 생활하수를 사용하였으며, 공시하수 및 여재의 이화학적 특성은 각각 Table 1에서 보는 바와 같다.

하수처리장치에 사용한 공시여재는 Table 2와 같이 골패각이 20% 함유된 왕사, 쇄석, 제강슬래그 및 혼합여재(왕사 : 쇄석 : 제강슬래그 = 1 : 1 : 1)의 총 4종류였으며, 여재의 입경 분포도는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 모든 여재는 입경 1~4 mm가 70~80% 이상이었다. 본 소형 하수처리장치에 이식한 공시 수생식물은 모두 식물원에서 구입하였으며, 호기성조에는 갈대, 혐기성조에는 노랑꽃창포, 물억새 및 큰고랭이를 이식하였다.

#### 하수처리장치 설계 및 시공

호기성조 및 혐기성조 깊이에 따른 수처리 효율 조사를 위하여 설계 및 시공한 소형 하수처리장치는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 호기성조(수직흐름조)와 혐기성조(수평흐름조)를 연결하여 1개조로 하여 총 4개조 제작하였다. 호기성조와 혐기성조의 명명은 각조의 특성을 고려하여 임의로 하였으며, 호기성조의 크기는 각각 가로 0.5 m × 세로 0.5 m × 높이 1 m로서 용량이 0.25 m<sup>3</sup>되게 하고, 혐기성조의 크기는 각각 가로 0.7 m × 세로 1.07 m × 높이 1 m로서 용량이 0.75 m<sup>3</sup>되게 제작하였다. 하수처리장치 제작은 두께 8 mm의 PVC판을 사용하였으며, 호기성조에는 통기관을 각조의 바닥과 하부에서 50 cm위치에 설치하여 이중통형으로 자연통풍이 원활하게 하였다. 하수처리장치에 사용한 여재는 골패각이 20% 함유된 왕사, 쇄석, 제강슬래그 및 혼합여재의 총 4종류였으며, 하수처리장치에서 여재종류별 호기성조 및 혐기성조 여재 깊이에 따른 하수처리 효율을 조사하기 위하여, 호기성조에서는 왕사, 쇄석, 제강슬래그 및 혼합여재를 각각 여재 표면에서 깊

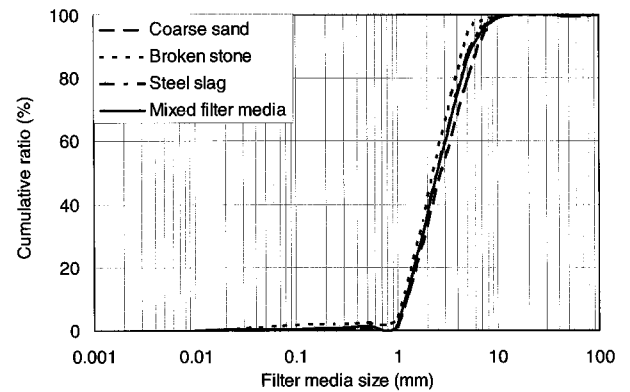


Fig. 1. Particle distributions of the filter media used.

Table 1. Chemical characteristics of the sewage used

|         | pH   | EC                    | DO    | BOD   | COD   | SS    | T-N   | NH <sub>4</sub> -N    | NO <sub>2</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | T-P   | PO <sub>4</sub> -P |
|---------|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|
|         |      | (dS m <sup>-1</sup> ) |       |       |       |       |       | (mg L <sup>-1</sup> ) |                    |                    |       |                    |
| Average | 7.3  | 0.49                  | 0.16  | 122   | 76.2  | 91.4  | 45.5  | 18.7                  | 0.03               | 0.11               | 4.19  | 2.68               |
| Range   | 7.0~ | 0.35~                 | 0.06~ | 71.0~ | 31.5~ | 34.5~ | 19.2~ | 19.2~                 | 0.01~              | 0.01~              | 2.01~ | 0.70~              |
|         | 7.5  | 0.57                  | 0.28  | 177   | 231   | 328   | 90.7  | 24.3                  | 0.09               | 0.27               | 12.7  | 6.98               |

Table 2. Chemical characteristics of filter media used

|                     | pH                    | EC                    | O.M. | T-N                    | T-P   | K     | Na  | Ca    | Mg    |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|------|------------------------|-------|-------|-----|-------|-------|
|                     | (1:5H <sub>2</sub> O) | (dS m <sup>-1</sup> ) | (%)  | (mg kg <sup>-1</sup> ) |       |       |     |       |       |
| Coarse sand         | 7.9                   | 0.05                  | 0.6  | 74                     | 118   | 1,638 | 464 | 2,212 | 489   |
| Broken stone        | 7.8                   | 0.04                  | 1.1  | 3.9                    | 184   | 1,394 | 154 | 1,031 | 1,942 |
| Steel slag          | 11.9                  | 5.65                  | 0.2  | 11                     | 1,071 | 32    | 153 | 762   | 9,555 |
| Mixed filter media* | 9.5                   | 0.09                  | 1.2  | 29                     | 658   | 1,202 | 227 | 1,135 | 4,195 |

\* Coarse sand : Broken stone : Steel slag = 1 : 1 : 1.

이 50, 70 및 90 cm까지 채웠으며, 혐기성조에서는 호기성조와 동일한 여재를 각각 여재 표면에서 깊이 50, 70 및 90 cm까지 채웠다. 하수처리장치에서의 하수의 흐름은 호기성조에서 공시하수를 유입시켜 수직여과방식으로 하수를 처리하고, 유출된 호기성조처리수는 자연유하식으로 혐기성조로 유입되게 하였다. 혐기성조에 유입된 호기성조처리수는 수평여과방식으로 처리되도록 하였고, 혐기성조에서 여재와 처리수의 체류시간을 늘리기 위해 하수의 흐름을 지그재그방식으로 흐르

게 하였다. 호기성조를 통과한 하수를 호기성조처리수로 하고, 호기성조를 거쳐 혐기성조를 통과한 하수를 방류수로 하여 수처리 효율을 조사하였다. 그리고 하수처리장치에서 호기성조에는 갈대를 재식거리 가로 20 cm × 세로 20 cm로 되게 하여 이식하였으며, 혐기성조에는 노랑꽃창포, 물억새 및 큰고랭이를 호기성조와 동일 재식거리로 이식하였다.

호기·혐기 비율에 따른 수처리 효율 조사를 위하여 설계 및 시공한 소형 하수처리장치는 Fig. 3에서 보는 바와 같이

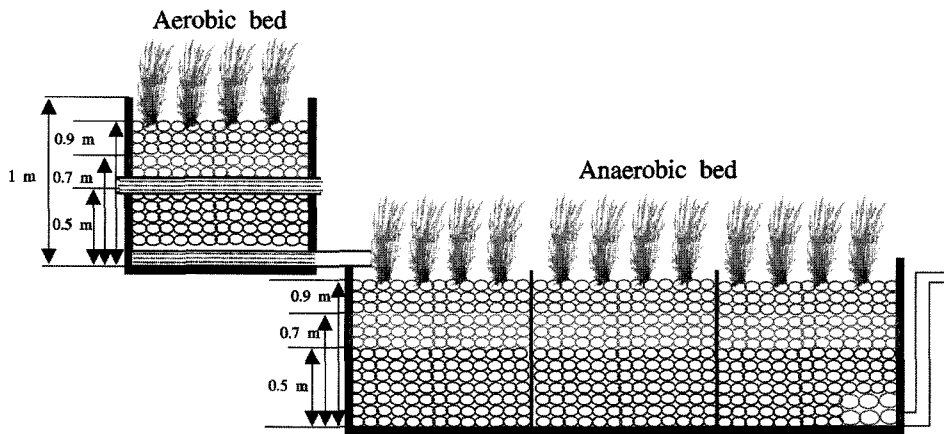


Fig. 2. Diagram of small-scale sewage treatment apparatus according to the depth of aerobic and anaerobic bed.

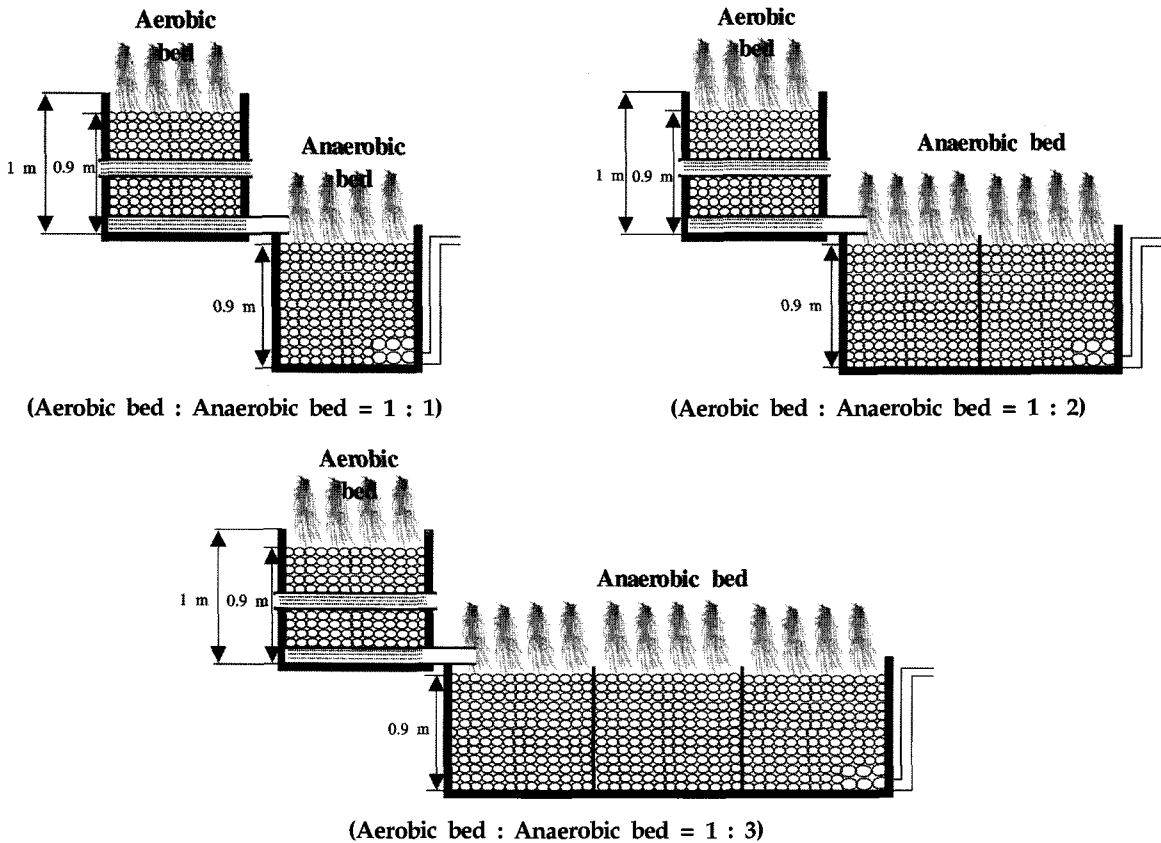


Fig. 3. Diagrams of small-scale sewage treatment apparatus according to the volume ratio of aerobic to anaerobic bed.

호기성조와 혐기성조를 연결하여 1개조로 하여 여재종류별로 각각 3개조씩 제작하였으며, 호기성조의 크기는 가로 0.5 m × 세로 0.5 m × 높이 1 m로서 용량이 0.25 m<sup>3</sup>되게 동일하게 제작하였다. 혐기성조에서는 호기성조 대 혐기성조의 비가 1 : 1인 혐기성조의 크기는 가로 0.7 m × 세로 0.35 m × 높이 1 m로서 용량이 0.25 m<sup>3</sup>되게 하였고, 호기성조 대 혐기성조의 비가 1 : 2인 혐기성조의 크기는 가로 0.7 m × 세로 0.7 m × 높이 1 m로서 용량이 0.5 m<sup>3</sup>되게 하였고, 호기성조 대 혐기성조의 비가 1 : 3인 혐기성조의 크기는 가로 0.7 m × 세로 1.07 m × 높이 1 m로서 용량이 0.75 m<sup>3</sup>되게 제작하였고, 사용된 여재의 종류 및 여재의 주입위치는 상기 호기성조 및 혐기성조 깊이에 따른 수처리 효율 조사를 위하여 설계 및 시공한 소형 하수처리장치의 설계 및 시공과 동일하게 하였다.

**하수처리장치 운전조건 및 조사시기**

소형 하수처리장치에서 공시하수를 호기성조 전체 표면에 일정량씩 끌고루 자연유하식으로 유입시켰다. 소형 하수처리장치에서 여재 깊이에 따른 수처리 효율, 호기·혐기 비율에 따른 수처리 효율은 공시하수 유입량을 600 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>로 하여 조사하였다.

자연정화공법에 의한 소형 하수처리장치에서 수처리 효율 조사는 2004년 6월부터 2005년 6월까지 매달 실시하였으며,

공시하수, 호기성조처리수 및 방류수를 각 조건별로 4주간 운전하였으며, 시료의 채취는 처음 3주는 1주 1회, 마지막 주에는 격일로 4회 분석하여 총 7회 분석한 결과를 평균하여 각 조건에서의 수처리 효율을 구하였다.

**분석방법**

수질분석은 수질오염공정시험방법과 APHA의 Standard method에 준하여 실시하였다<sup>8,9)</sup>. pH는 초자전극법, EC는 EC meter(Orion, Model 160, Germany)로 분석하였으며, DO 및 BOD는 윙클러라이드화나트륨 변법, COD는 산성 KMnO<sub>4</sub> 법, SS는 유리섬유여과법, T-N은 자외선 흡광광도법, NH<sub>4</sub>-N는 인도페놀법, NO<sub>2</sub>-N는 디아조화법, NO<sub>3</sub>-N는 부루신법, T-P와 PO<sub>4</sub>-P는 아스코르빈산 환원법으로 분석하였다.

**결과 및 고찰**

**여재 깊이에 따른 수처리효율**

여재종류별 호기성조 및 혐기성조의 여재 깊이에 따른 pH, EC 및 DO농도는 Table 3에서 보는 바와 같이 공시하수의 pH는 7.3이었으며, 하수처리장치의 호기성조를 통과한 호기성조처리수의 pH는 왕사 및 쇠석의 경우 8.3~8.6으로서 공시하수에 비해 약간 증가하였으며, 제강슬래그 및 혼합여재는 각각 12.6~12.7 및 11.5~11.8로 공시하수에 비해

**Table 3. pH, EC and DO of the water according to the depth of aerobic and anaerobic bed in small-scale sewage treatment apparatus**

| Filter media             | Raw water | Depth of small-scale sewage treatment apparatus (cm) |          |                              |          |                              |          |
|--------------------------|-----------|--|----------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|
|                          |           | 50   |          | 70                           |          | 90                           |          |
|                          |           | Treated water in aerobic bed                         | Effluent | Treated water in aerobic bed | Effluent | Treated water in aerobic bed | Effluent |
| pH                       |           |  |          |                              |          |                              |          |
| Coarse sand              | 7.3       | 8.3  | 8.5      | 8.4                          | 8.5      | 8.6                          | 8.3      |
| Broken stone             |           | 8.4  | 8.4      | 8.3                          | 8.1      | 8.4                          | 8.1      |
| Steel slag               |           | 12.6   | 13.0     | 12.6                         | 12.9     | 12.7                         | 13.1     |
| Mixed filter media*      |           | 11.5   | 11.6     | 11.6                         | 11.7     | 11.8                         | 11.8     |
| EC (dS m <sup>-1</sup> ) |           |  |          |                              |          |                              |          |
| Coarse sand              | 0.5       | 0.4  | 0.5      | 0.5                          | 0.6      | 0.5                          | 1.6      |
| Broken stone             |           | 0.4  | 0.4      | 0.4                          | 0.4      | 0.5                          | 1.7      |
| Steel slag               |           | 1.3  | 2.6      | 1.5                          | 2.6      | 1.5                          | 2.4      |
| Mixed filter media*      |           | 0.4  | 1.4      | 0.5                          | 1.5      | 0.6                          | 1.5      |
| DO (mg L <sup>-1</sup> ) |           |  |          |                              |          |                              |          |
| Coarse sand              | 0.2       | 7.2  | 7.1      | 7.5                          | 6.4      | 7.4                          | 5.8      |
| Broken stone             |           | 7.4  | 7.0      | 7.7                          | 6.3      | 7.8                          | 5.6      |
| Steel slag               |           | 4.5  | 7.2      | 5.4                          | 5.7      | 6.5                          | 4.4      |
| Mixed filter media*      |           | 4.7  | 7.0      | 5.9                          | 5.8      | 6.7                          | 4.5      |

\*Coarse sand : Broken stone : Steel slag = 1 : 1 : 1.

급격히 증가하였으며, 모든 여재에서 깊이별로는 별 차이가 없었다.

호기성조를 통과한 다음 혐기성조를 통과한 방류수의 pH는 왕사 및 쇄석의 경우 호기성조와 별 차이 없이 8.1~8.5이었는데 이와 같이 호기성조와 혐기성조 모두에서 pH에 별 차이가 없는 것은 주로 탄산염의 완충작용 때문으로 사료된다<sup>10-12)</sup>. 하지만 제강슬래그 및 혼합여재의 경우 호기성조에 비해 약간 증가하는 경향으로 pH가 각각 12.9~13.1 및 11.6~11.8 이었다. 이와 같이 제강슬래그와 혼합여재의 pH가 급격히 증가한 것은 제강슬래그에 함유된 유리칼슘에 의한 것으로 사료된다.

EC는 왕사 및 쇄석의 경우 호기성조 및 혐기성조의 여재 깊이에 따라 호기성조처리수 및 방류수 모두에서 공시하수와 별 차이가 없었으며, 제강슬래그의 경우 공시하수에 비해 호기성조처리수와 방류수로 진행됨에 따라 급격히 증가하는 경향이었고, 여재 깊이에 따라서는 미미하게 증가하는 경향이 있었다.

DO농도는 공시하수에서 0.2 mg L<sup>-1</sup>로 매우 낮았으며, 모든 여재에서 호기성조를 통과한 호기성조처리수의 DO농도는 공시하수에 비해 큰 폭으로 증가하였으며, 전반적으로 왕사 및 쇄석이 제강슬래그와 혼합여재에 비해 약간 높았다. 혐기성조 통과수인 방류수의 DO농도는 전반적으로 호기성조처리수에 비해 약간 감소하는 경향이었으나, 제강슬래그와 혼합여재의 경우 별 차이가 없었다. 하수처리장치의 여재 깊이에 따른 DO농도는 깊이가 깊어질수록 호기성조에서는 원활한 산소공급으로 인해 약간 증가하는 경향이었고, 혐기성조에서는 혐기화 조건의 촉진으로 오히려 약간 감소하는 경향이 있었다.

일반적으로 집수조에 있는 하수는 재폭기가 없이 고여 있는 혐기성상태가 유지되므로 집수조로부터 하수처리장에 유입되는 유입수의 용존산소는 매우 낮으며, 호기성조에서 호기성미생물에 의한 생물학적 분해가 일어나면서 다량의 산소가 소모된다. 이러한 호기성미생물의 산소 소모에도 호기성

조를 통과하면서 용존산소가 증가하는 것은 자연통풍이 되게 이중통기관을 설치하여 여재층에 원활한 산소의 공급과 수생식물에 의한 뿌리주위의 산소공급이 왕성하기 때문으로 사료된다<sup>13)</sup>.

소형 하수처리장치에서의 여재종류별 호기성조 및 혐기성조의 여재 깊이에 따른 BOD의 처리효율은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 공시하수의 BOD는 평균 122 mg L<sup>-1</sup>이었고, 여재종류별 호기성조처리수의 BOD 처리효율은 모든 조건에서 79%이상이었으며, 전반적으로 왕사와 쇄석이 제강슬래그와 혼합여재에 비해 BOD 처리효율이 높았고, 여재 깊이에 따른 BOD 처리효율은 깊이가 깊어질수록 전반적으로 높아지는 경향이 있었다. 이는 제강슬래그와 혼합여재 자체의 높은 pH로 인해 왕사와 쇄석에 비해 미생물 생육이 낮아 BOD 처리효율이 낮은 것으로 사료된다. 호기성조를 통과한 다음 혐기성조를 통과한 방류수의 BOD 처리효율은 호기성조처리수에 비해 더욱더 높아졌으며, 깊이에 따른 BOD 처리효율은 별 차이 없이 모든 조건에서 96%이상 처리되어 매우 안정적으로 처리되었다.

일반적으로 자연정화공법을 이용한 하수처리장에 있어서 BOD의 감소는 수생식물 근권역의 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>14)</sup>.

여재 깊이에 따른 COD의 처리효율은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 공시하수의 COD는 평균 76.2 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 여재종류별 호기성조처리수의 COD 처리효율은 전반적으로 왕사와 쇄석이 79%이상으로 제강슬래그와 혼합여재의 59% 이상에 비해 높았고, 여재 깊이에 따른 COD 처리효율은 깊이가 깊어질수록 높아지는 경향이 있었다.

호기성조를 통과한 다음 혐기성조를 통과한 방류수의 COD 처리효율은 호기성조처리수에 비해 더욱 높아졌으며, 전반적으로 왕사와 쇄석이 86%이상으로 제강슬래그와 혼합여재의 61%이상에 비해 높았고, 여재 깊이에 따른 COD 처리효율

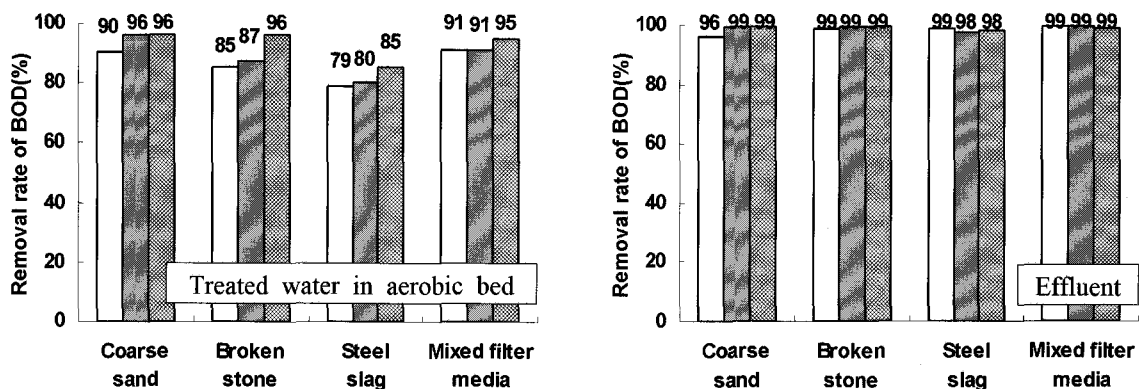


Fig. 4. Removal rate of BOD according to the depth of aerobic and anaerobic plot in small-scale sewage treatment apparatus (□ : Depth of 50 cm, ▨ : Depth of 70 cm, ▩ : Depth of 90 cm).

은 호기성조처리수와 비슷한 경향으로 깊이가 깊어질수록 높아지는 경향이였다.

그리고 COD는 BOD와 유사한 처리경향을 나타내었는데, 이는 유입된 하수가 대부분 생활하수로 미생물에 의해 분해가 용이한 유기물이 대부분이었기 때문으로 사료된다<sup>12)</sup>.

여재 깊이에 따른 SS의 처리효율은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 공시하수의 SS는 평균 91.4 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 여재종류별 호기성조처리수의 SS 처리효율은 전반적으로 왕사와 쇄석이 93%이상으로 제강슬래그와 혼합여재의 77%이상에 비해 약간 높았으며, 여재 깊이에 따른 SS 처리효율은 왕사, 쇄석 및 제강슬래그의 경우는 별 차이 없었으나, 혼합여재의 경우는 깊이가 깊어질수록 약간 높아지는 경향이였다. 호기성조를 통과한 다음 혐기성조를 통과한 방류수의 SS 처리효율은 호기성조처리수에 비해 더욱더 높아졌으며, 전반적으로 호기성조처리수와 비슷한 경향으로 왕사와 쇄석이 제강슬래그와 혼합여재에 비해 높았고, 여재 깊이에 따른 SS 처리효율은 호기성조처리수와 비슷한 경향으로 왕사와 쇄석의 경우는 별 차이 없었으나, 제강슬래그와 혼합여재의 경우는 깊이가 깊어질수록 약간 높아지는 경향이였다.

일반적으로 인공습지에 의한 부유물질의 처리는 주로 여

과기능에 의해 이루어지며, 이러한 여과는 궁극적인 처리가 아닌 물리적인 분리과정이므로 여과된 부유물질은 입자 상태로 처리조 내에서 잔류하게 된다. 그리고 이렇게 잔류하는 고형물질 중에서 오염성분들은 미생물에 의한 분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수 및 기타 화학반응 등을 거치면서 궁극적으로 처리된다. 하지만 잔류하는 부유물질들이 처리조 내의 처리능력을 초과하게 되면 처리조에 부유물질이 누적되어 처리조의 효율을 감소시킬 수 있다<sup>6,13)</sup>.

여재 깊이에 따른 T-N의 처리효율은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 공시하수의 T-N은 평균 45.5 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 여재종류별 호기성조처리수의 T-N 처리효율은 전반적으로 제강슬래그와 혼합여재가 37~50%로 왕사와 쇄석의 27~36%에 비해 약간 높았고, 여재 깊이에 따른 T-N 처리효율은 모든 여재에서 깊이가 깊어질수록 약간 높아지는 경향이였다. 이와 같이 제강슬래그와 혼합여재의 질소처리 효율이 왕사와 쇄석에 비해 약간 높은 것은 제강슬래그와 혼합여재의 높은 pH로 인해 NH<sub>4</sub>-N가 NH<sub>3</sub>로 휘산되었기 때문으로 사료된다<sup>6)</sup>.

호기성조를 통과한 다음 혐기성조를 통과한 방류수의 T-N 처리효율은 모든 여재에서 호기성조처리수에 비해 더욱더 높아졌으며, 호기성조와는 달리 왕사와 쇄석이 44~66%로 제

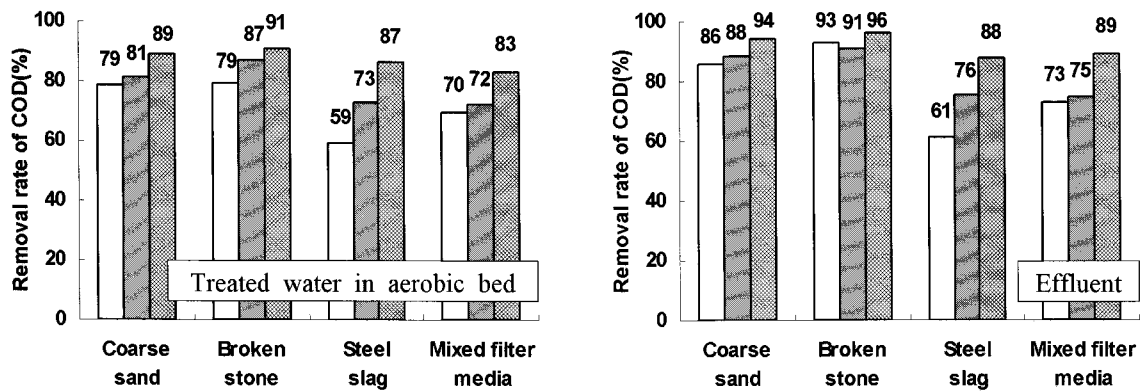


Fig. 5. Removal rate of COD according to the depth of aerobic and anaerobic plot in small-scale sewage treatment apparatus (□ : Depth of 50 cm, ▨ : Depth of 70 cm, ▩ : Depth of 90 cm).

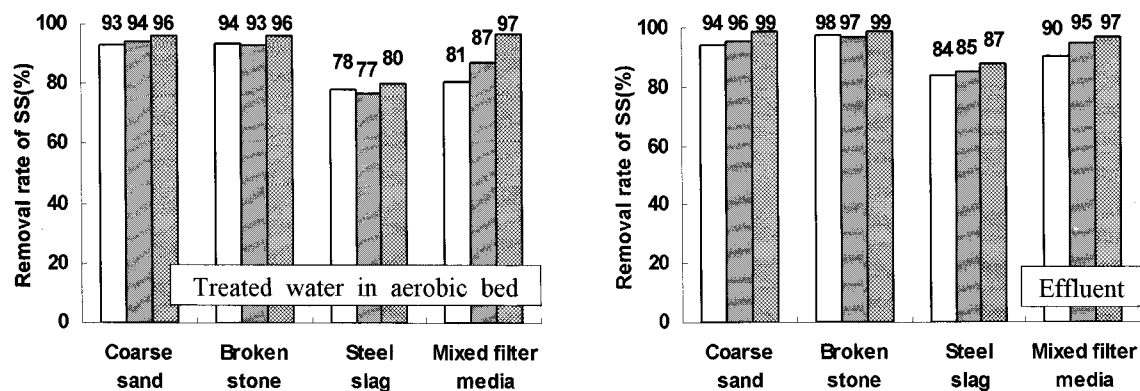


Fig. 6. Removal rate of SS according to the depth of aerobic and anaerobic plot in small-scale sewage treatment apparatus (□ : Depth of 50 cm, ▨ : Depth of 70 cm, ▩ : Depth of 90 cm).

강슬래그와 혼합여재의 40~54%에 비해 약간 높았다. 여재 깊이에 따른 T-N 처리효율은 호기성조처리수와 비슷한 경향으로 깊이가 깊어질수록 약간 높아지는 경향이였다.

이와 같이 호기성조에서는 제강슬래그와 혼합여재의 T-N 처리효율이 왕사와 쇄석에 비해 높았으나 방류수 중에는 오히려 왕사와 쇄석이 제강슬래그와 혼합여재에 비해 처리효율이 높은 이유는 왕사와 쇄석의 경우 생물학적인 질소처리과정인 질산화와 탈질에 의해 처리가 되고, 제강슬래그와 혼합여재의 경우 높은 pH로 인해 NH<sub>4</sub>-N가 NH<sub>3</sub>로 즉시 휘산되었기 때문으로 사료된다<sup>6)</sup>.

여재 깊이에 따른 T-P의 처리효율은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 공시하수의 T-P는 평균 4.19 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 여재종류별 호기성조처리수의 T-P 처리효율은 전반적으로 제강슬래그와 혼합여재가 88~96% 정도로 매우 높았으며, 왕사가 63~70% 정도로 가장 낮았다. 또한 여재 깊이에 따른 T-P 처리효율은 전반적으로 여재의 깊이가 깊어질수록 약간씩 증가하는 경향이였다. 이와 같이 제강슬래그와 혼합여재에서의 T-P 처리효율이 높은 것은 제강슬래그 중 CaO가 46% 정도이고, Fe가 32% 정도이므로 대부분의 인이 Ca-P와 Fe-P로 침전 또는 흡착되었기 때문인 것으로 사료된다<sup>15)</sup>. 호기성조를

통과한 다음 혐기성조를 통과한 방류수의 T-P 처리효율은 왕사를 제외한 모든 여재에서는 99% 이상으로 매우 높았고, 그에 비해 왕사는 처리효율이 약간 떨어져 91~96% 정도였으며, 여재 깊이에 따른 T-P 처리효율은 별 차이 없었다.

Ferguson and King<sup>16)</sup>의 연구에 의하면 Hydroxyapatite의 결정화는 pH, Mg 농도, 알카리도 및 불소에 의해 크게 영향을 받으며, pH가 높으면 결정생성속도가 증가하지만 Mg와 탄산은 결정생성을 방해한다고 보고하였다. pH 및 Ca 이온농도는 정성반응에 단독으로 영향을 주지만, 인 농도와 깊은 연관성이 있으므로 이를 고려하여 설정해야 한다<sup>17)</sup>.

여재 깊이에 따른 NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P의 함량은 Table 4에서 보는 바와 같다. 공시하수의 NH<sub>4</sub>-N 함량은 평균 12.2 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 여재종류별 호기성조처리수의 NH<sub>4</sub>-N 함량은 왕사와 쇄석의 경우 0.1~0.8 mg L<sup>-1</sup>로 공시하수에 비해 급격히 감소하였다. 이와 같이 NH<sub>4</sub>-N 함량이 급격히 감소한 것은 왕사와 쇄석에 부착된 호기성미생물에 의해 NH<sub>4</sub>-N가 쉽게 NO<sub>3</sub>-N으로 질산화되었기 때문으로 사료된다. 또한 제강슬래그와 혼합여재의 NH<sub>4</sub>-N 함량은 1.9~9.4 mg L<sup>-1</sup>로 공시하수에 비해 감소하였는데 이는 제강슬래그와 혼합여재의 높은 pH로 인해 미생물의 생육이 저

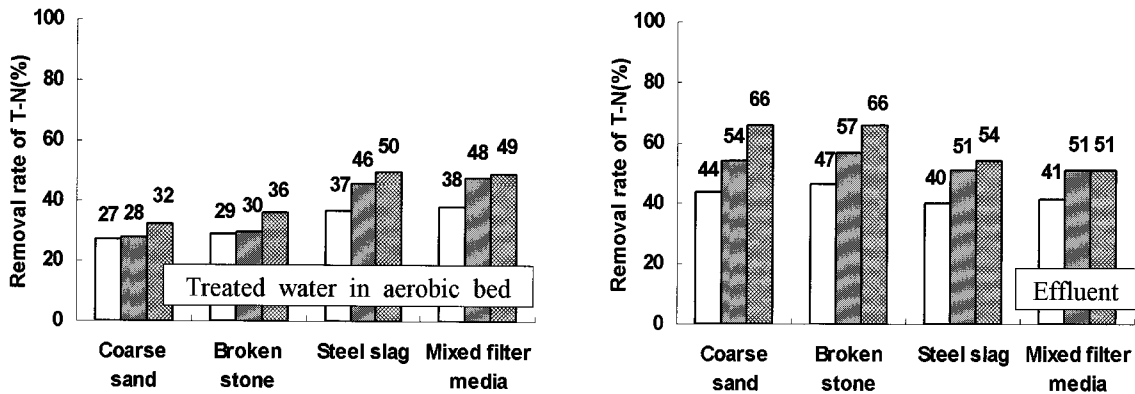


Fig. 7. Removal rate of T-N according to the depth of aerobic and anaerobic plot in small-scale sewage treatment apparatus (□ : Depth of 50 cm, ▨ : Depth of 70 cm, ▩ : Depth of 90 cm).

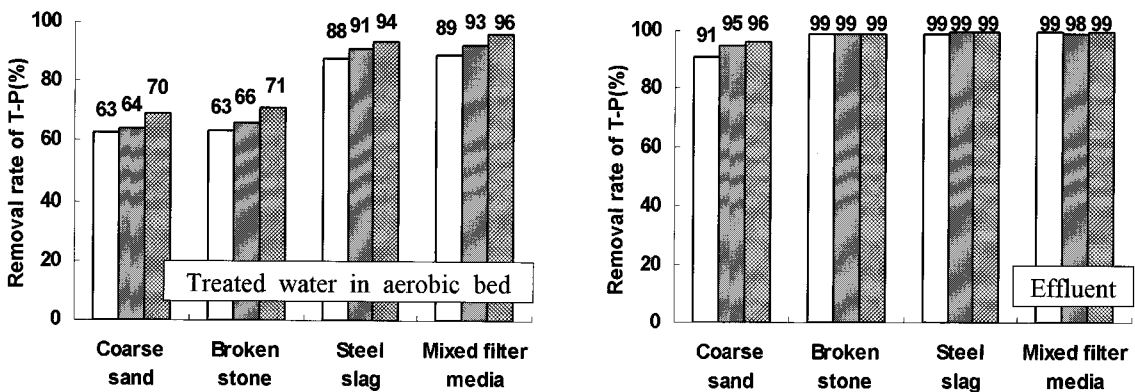


Fig. 8. Removal rate of T-P according to the depth of aerobic and anaerobic plot in small-scale sewage treatment apparatus (□ : Depth of 50 cm, ▨ : Depth of 70 cm, ▩ : Depth of 90 cm).

**Table 4.** NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P of the water according to the depth of aerobic and anaerobic plot in small-scale sewage treatment apparatus

| Filter media                             | Raw water | Depth of small-scale sewage treatment apparatus (cm) |          |                              |          |                              |          |
|--|-----------|--|----------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|
|  |           | 50   |          | 70                           |          | 90                           |          |
|  |           | Treated water in aerobic bed                         | Effluent | Treated water in aerobic bed | Effluent | Treated water in aerobic bed | Effluent |
| NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> ) |           |  |          |                              |          |                              |          |
| Coarse sand                              | 12.2      | 0.5  | 0.5      | 0.2                          | 0.3      | 0.5                          | 0.3      |
| Broken stone                             |           | 0.2  | 0.1      | 0.6                          | 0.2      | 0.8                          | 0.6      |
| Steel slag                               |           | 9.4  | 3.6      | 9.2                          | 3.6      | 7.0                          | 6.2      |
| Mixed filter media*                      |           | 9.4  | 6.1      | 7.2                          | 1.9      | 6.3                          | 7.3      |
| NO <sub>2</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> ) |           |  |          |                              |          |                              |          |
| Coarse sand                              | 0.03      | 3.6  | 0.1      | 1.7                          | 0.7      | 1.4                          | 0.4      |
| Broken stone                             |           | 2.9  | 0.1      | 0.5                          | 0.8      | 0.1                          | 0.3      |
| Steel slag                               |           | 0.1  | 0.1      | 0.1                          | 0.3      | 0.1                          | 0.3      |
| Mixed filter media*                      |           | 0.2  | 0.3      | 1.1                          | 1.1      | 6.4                          | 1.6      |
| NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> ) |           |  |          |                              |          |                              |          |
| Coarse sand                              | 0.11      | 8.6  | 1.3      | 14.9                         | 4.4      | 14                           | 7.8      |
| Broken stone                             |           | 10.8   | 5.0      | 10.2                         | 5.0      | 9.7                          | 4.5      |
| Steel slag                               |           | 1.6  | 0.1      | 0.1                          | 0.1      | 0.1                          | 0.3      |
| Mixed filter media*                      |           | 0.1  | 0.2      | 0.2                          | 0.1      | 0.5                          | 0.8      |
| PO <sub>4</sub> -P (mg L <sup>-1</sup> ) |           |  |          |                              |          |                              |          |
| Coarse sand                              | 1.55      | 0.51   | 0.19     | 1.33                         | 0.17     | 1.17                         | 0.17     |
| Broken stone                             |           | 0.16   | 0.01     | 0.46                         | 0.01     | 0.61                         | 0.01     |
| Steel slag                               |           | 0.12   | 0.01     | 0.22                         | 0.01     | 0.04                         | 0.01     |
| Mixed filter media*                      |           | 0.07   | 0.01     | 0.11                         | 0.02     | 0.01                         | 0.01     |

\*Coarse sand : Broken stone : Steel slag = 1 : 1 : 1.

조하여 질산화과정이 일어나지 못하기 때문으로 사료되며, 질산화과정은 일어나지 않지만 NH<sub>4</sub>-N 함량이 감소되는 것은 높은 pH에 의해 NH<sub>4</sub>-N가 NH<sub>3</sub>로 휘산되었기 때문으로 사료된다<sup>6)</sup>. 호기성조를 통과한 다음 혐기성조를 통과한 방류수의 NH<sub>4</sub>-N 함량은 왕사와 쇄석의 경우 0.1~0.6 mg L<sup>-1</sup>로 호기성조와 별 차이 없었고, 제강슬래그와 혼합여재의 경우 호기성조처리수에 비해 약간 감소되는 경향이였다.

공시하수의 NO<sub>2</sub>-N 함량은 평균 0.03 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 여재종류별 호기성조처리수 및 방류수의 여재 깊이에 따른 NO<sub>2</sub>-N 함량은 전반적으로 별 차이 없었다.

공시하수의 NO<sub>3</sub>-N 함량은 평균 0.11 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 여재종류별 호기성조처리수의 NO<sub>3</sub>-N 함량은 왕사와 쇄석의 경우 1.3~14.9 mg L<sup>-1</sup>로 공시하수에 비해 급격히 증가하였다. 이와 같이 NO<sub>3</sub>-N 함량이 급격히 증가하는 것은 왕사와 쇄석에 부착된 호기성미생물에 의해 NH<sub>4</sub>-N를 질산화과정에 의해 쉽게 NO<sub>3</sub>-N으로 전산화시켰기 때문으로 사료된다<sup>18)</sup>. 또한 제강슬래그와 혼합여재의 NO<sub>3</sub>-N 함량은 0.1~1.6 mg L<sup>-1</sup>로

왕사와 쇄석에 비해 낮았는데, 이는 제강슬래그와 혼합여재의 높은 pH에 의해 미생물의 생육이 저조하여 질산화과정이 일어나지 못하기 때문으로 사료된다. 호기성조를 통과한 다음 혐기성조를 통과한 방류수의 NO<sub>3</sub>-N 함량은 왕사와 쇄석의 경우 호기성조처리수에 비해 약간 감소하였고, 제강슬래그와 혼합여재의 경우 호기성조처리수와 별 차이 없었다.

공시하수의 PO<sub>4</sub>-P 함량은 평균 1.55 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 여재종류별 호기성조처리수 및 방류수의 여재 깊이에 따른 PO<sub>4</sub>-P 함량은 왕사의 70 cm와 90 cm 깊이를 제외하고 전반적으로 공시하수에 비해 급격히 감소하였으며, 여재 중 제강슬래그와 혼합여재의 함량이 다른 여재에 비해 낮았다.

따라서 여재종류별 호기성조 및 혐기성조에서 여재 깊이에 따른 수처리 효율을 조사한 결과 호기성조와 혐기성조 모두 여재의 깊이가 깊어질수록 수처리 효율이 증가함으로 여재의 깊이를 90 cm 이상으로 하는 것이 좋을 것으로 판단되며, 여재의 경우 왕사와 쇄석의 처리효율이 제강슬래그와 혼합여재에 비해 좋은 결과를 보였다. 그러나 인의 처리 능력면



에서는 제강슬래그의 처리능력이 아주 우수함으로 여재의 보충 재료로서의 사용이 가능할 것으로 판단된다.

**호기·혐기 비율에 따른 수처리 효율**

여재종류별 호기·혐기비율에 따른 오염물질의 처리효율은 Fig. 9~11에서 보는 바와 같다. 먼저, 여재종류별 방류수 중의 BOD 처리효율은 호기성조 대 혐기성조 비율에 관계없이 97%이상의 높은 처리효율을 보였다. 여재종류별 방류수 중의 COD 처리효율은 왕사와 쇄석이 제강슬래그와 혼합여재에 비해 높은 경향이였으며, 호기·혐기 비율별 COD 처리효율은 왕사, 쇄석 및 혼합여재의 경우는 1 : 2 및 1 : 3의 비율에서는 처리효율이 비슷하였으나, 1 : 1의 비율에서는 처리효율이 약간 낮았다.

여재종류별 방류수 중의 SS 처리효율은 왕사와 쇄석은 호기·혐기 비율과 상관없이 비슷한 처리효율을 나타내었으며, 제강슬래그와 혼합여재의 경우에는 호기·혐기 비율이 높을수록 처리효율이 증가하였다.

여재종류별 방류수 중의 T-N 처리효율은 왕사와 쇄석이

제강슬래그와 혼합여재에 비해 약간 높은 경향이였으며, 호기·혐기 비율별 T-N 처리효율은 모든 여재에서 1 : 2 및 1 : 3의 비율이 1 : 1의 비율에 비해 약간 높았다.

하지만 현행 타 하수처리공법에 비하여는 질소 처리효율이 다소 높았으며 Huang 등<sup>19)</sup>이 인공습지에서 생활하수처리에 관한 실험에서 총질소의 처리효율이 33~45%라고 하였고, 이 등<sup>14)</sup>은 식물을 이용한 오수의 고도처리를 위한 실험에서 총 질소 처리효율이 40%라고 하였는데, 본 공법 중 왕사를 사용한 호기·혐기 비율 1 : 2에서 총질소 처리효율은 68%로 타 연구자에 비해 매우 높은 처리효율을 나타내었다.

방류수 중의 T-P 처리효율을 조사한 결과 여재종류별 T-P 처리효율은 제강슬래그와 혼합여재가 왕사와 쇄석에 비해 약간 높은 경향이였다. 호기·혐기 비율별 T-P 처리효율은 왕사와 쇄석의 경우는 1 : 2 및 1 : 3의 비율에서는 처리효율이 비슷하였으나, 1 : 1의 비율에서는 처리효율이 약간 낮았다. 제강슬래그와 혼합여재의 경우에는 호기·혐기 비율에 관계없이 비슷한 경향이였다. 소형 하수처리장치에서 인 처리의 주요기능은 미생물의 분해, 침전, 여과 및 흡착이며, 인 성분이 처리

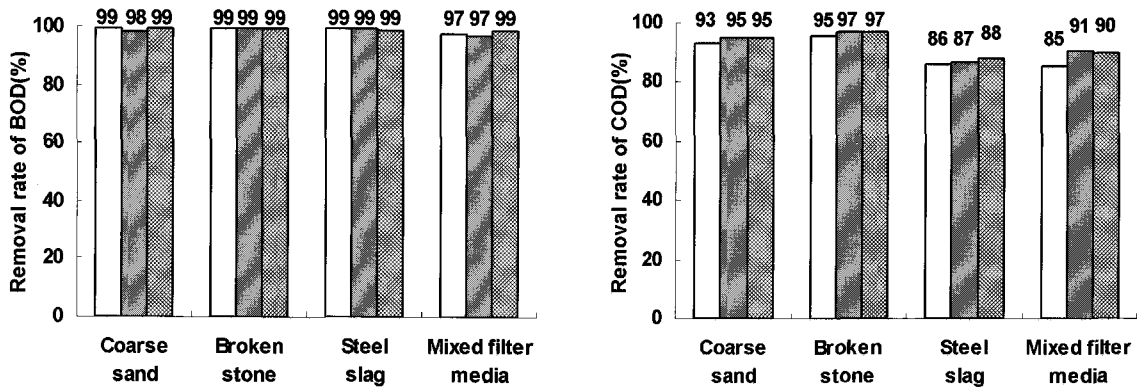


Fig. 9. Removal rate of BOD and COD according to the volume ratio of aerobic to anaerobic bed in small-scale sewage treatment apparatus (□ : Aerobic plot : Anaerobic bed = 1 : 1, ▨ : Aerobic bed : Anaerobic bed = 1 : 2, ▩ : Aerobic bed : Anaerobic bed = 1 : 3).

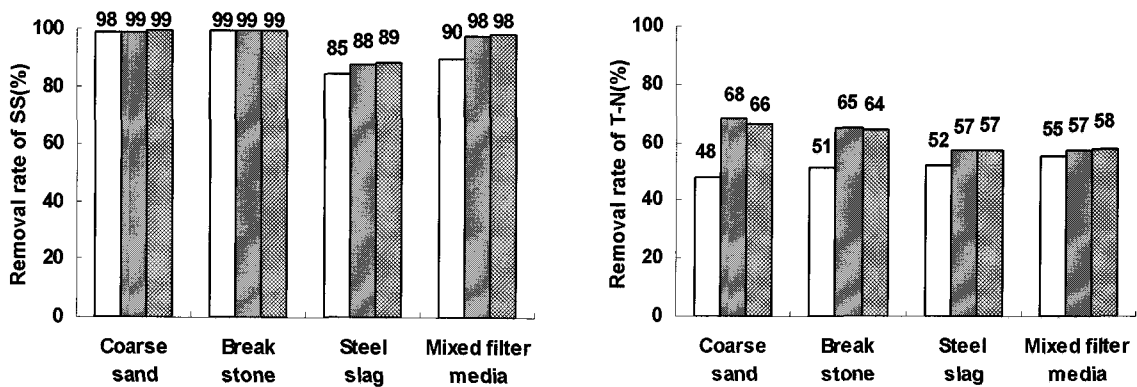


Fig. 10. Removal rate of SS and T-N according to the volume ratio of aerobic to anaerobic bed in small-scale sewage treatment apparatus (□ : Aerobic plot : Anaerobic bed = 1 : 1, ▨ : Aerobic bed : Anaerobic bed = 1 : 2, ▩ : Aerobic bed : Anaerobic bed = 1 : 3).

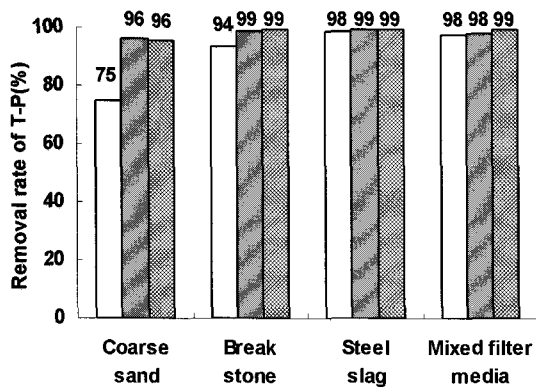


Fig. 11. Removal rate of T-P according to the volume ratio of aerobic to anaerobic bed in small-scale sewage treatment apparatus (□ : Aerobic plot : Anaerobic bed = 1 : 1, ▨ : Aerobic bed : Anaerobic bed = 1 : 2, ▩ : Aerobic bed : Anaerobic bed = 1 : 3).

조 용량을 초과할 경우 누적되었던 인 성분이 세척 또는 용출에 의해 오히려 유출수의 농도가 높게 나타날 수도 있다<sup>13)</sup>.

이상의 결과를 미루어 볼 때 모든 여재에서 호기·혐기 비율이 1 : 2 및 1 : 3의 수처리 효율이 1 : 1에 비해 약간 높은 경향이였다. 그러나 자연정화공법에 의한 하수처리장치는 부지면적이 많이 소요된다는 단점이 있으므로 호기·혐기 비율을 1 : 2로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## 요 약

자연정화공법에 의한 농촌 전원 독립가구 하수처리장치의 적정 설치방법을 결정하기 위하여 호기성조와 혐기성조로 구성된 소형 하수처리장치를 설계 및 시공하였다.

소형 하수처리장치에서 여재 깊이에 따른 수처리 효율을 조사한 결과 호기성조와 혐기성조 모두 여재의 깊이가 깊어질수록 수처리 효율이 증가하므로 여재의 깊이를 90 cm 이상으로 하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 소형 하수처리장치의 최적 깊이인 90 cm하에서 호기성조 대 혐기성조 비율에 따른 수처리 효율을 조사한 결과 모든 여재에서 1 : 2 및 1 : 3의 호기·혐기 비율이 1 : 1에 비해 약간 높은 경향이였다.

따라서 소형 하수처리장치에서의 최적조건은 여재의 깊이는 90 cm이었고, 호기·혐기 비율은 1 : 2의 비율이었으며, 최적 여재는 왕사와 쇄석이였으며, 최적조건하에서 수처리효율은 BOD가 97~99%, COD가 87~97%, SS가 88~99%, T-N이 57~68% 및 T-P가 96~99%이였다. 따라서 이러한 조건을 자연정화공법을 이용한 하수처리장치에 적용하면 하수처리장치의 부지면적을 최대한 줄이면서 높은 하수처리효율을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2004년도 농촌진흥청 농업특정연구과제 “낙동강수계 수질관리를 위한 자연정화공법에 의한 농촌 전원독립가구 하수처리공법 개발”의 연구결과중 일부임.

## 참고문헌

- 안원식 (1996) 하천계획의 현황과 문제점. Magazine of Korea Water Resources Association 29(2), 17-20.
- Kwun, S. K. and Yoon, C. G. (1999) Performance for a small on - site wastewater treatment system using the absorbent biofilter in rural areas. *Kor. J. Environ. Agric.* 18(4), 310-315.
- Jun, M. S. and Kim, B. C. (1994) The effect of nutrients concentration upon the growth of water hyacinth. *J. KSWQ* 10(2), 128-135.
- Ministry of Environment (2000) White paper on the environment. Ministry of Environment 357-486.
- 임봉수, 김재식, 이창균, 정금희 (2004) 단독정화조 오수처리 실태에 관한 연구. 대한환경공학회 2004춘계 학술 발표초록집 1305-1306.
- Seo, D. C. (2002) Development of sewage treatment apparatus by natural purification method. Master Thesis. Gyeongsang National University of Education, Korea.
- Lim, S. C. (2003) Efficiency of sewage treatment by improvement of water treatment system in environmentally friendly constructed wetland. Master Thesis, Gyeongsang National University of Education, Korea.
- APHA, AWWA, WCF (1995) Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, 4-112.
- 김종택 (1996) 수질오염공정시험방법해설. 신광출판사.
- Geisler, G. (1965) The morphogenetic effect of oxygen on root. *Plant Physiol* 40, 85-88.
- 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.
- Yoon, C. G., 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. *J. KSWQ* 15(4), 581-589.
- Yoon, C. G., Kwun, S. K., and Kwun, T. Y. (1998)

- Feasibility Study of Constructed Wetland for the Wastewater Treatment in Rural Area. *The Korean Society of Agricultural Engineers* 40(3), 83-93.
14. Lee, D. B., Kim, J. G., Kang, J. G., Kim, S. K., So, J. D., and Rhee, K. S. (1994) Purification of animal wastewater using a reed-sand-filter system - I. retention period and seasonal variation-. *Kor. J. Environ. Agric.* 13(2), 231-239.
  15. 침단환경기술 (1996) 정석법에 의한 하·폐수중의 인 제거. 침단환경기술.
  16. Ferguson, J. F. and King, T. (1977) A model for aluminum phosphate precipitation. *J. Water control Pollt. Fed.* 49(4), 646-658.
  17. Choi, K. J. and Wang, C. K. (1999) Development of process for phosphorus removal from water using clamshell. *Res. Rep. Env. Sci. Tech, Chungnam Nat'l Univ., Korea* 17, 37-49.
  18. 양홍모 (1999) 수자원보전을 위한 점원 및 비점원 오염물의 자연생태적 친환경적 처리 인공습지 및 연못-습지 시스템 *Magazine of Korea Water Resources Association* 32(5), 111-123.
  19. 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.
-