

## 토양컬럼을 이용한 합성하수 중의 질소제거

정 경 훈 · 임 병 갑 · 최 형 일\* · 박 상 일 · 문 옥 란  
조선대학교 환경공학과 BK21 바이오가스기반 수소생산사업팀, \*조선대학교 환경공학과  
(2006년 11월 11일 접수; 2007년 5월 8일 채택)

## Nitrogen Removal from Synthetic Domestic Wastewater Using the Soil Column

Kyung-Hoon Cheong, Byung-Gab Lim, Hyung-Il Choi\*, Sang-Il Park\* and Ok-Ran Moon\*

Department of Environmental Engineering and BK21 Team for Biohydrogen Production,  
Chosun University, Gwangju 501-759

\*Department of Environmental Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea  
(Manuscript received 11 November, 2006; accepted 8 May, 2007)

A laboratory experiment was performed to investigate nitrogen removal by the soil column. The addition of 20% waste oyster shell to the soil accelerated nitrification in soil column. The  $\text{NO}_3^-$ -N concentration in the effluent decreased with the decrease of HRT(Hydraulic Retention Time). When methanol and glucose added as carbon sources, the average removal rates of T-N(Total Nitrogen) were 82% and 77.9%, respectively. The  $\text{NO}_3^-$ -N removal by methanol supplementation in soil column can likely be attributed to denitrification.

In continuous removal of nitrogen using the soil column, the COD(Chemical Oxygen Demand) and  $\text{NH}_4^+$ -N removed simultaneously in organic matter decomposing column. The greater part of  $\text{NH}_4^+$ -N was nitrified by the percolated through nitrification column, and the little  $\text{NH}_4^+$ -N was found in the effluent. The T-N of 87.4% removed at HRT of 36 hrs in denitrification column. Because of nitrified effluents from nitrification column are low in carbonaceous matter, an external source of carbon is required.

Key Words : Soil column, Ammonium removal, Nitrification

### 1. 서 론

최근 고도처리의 필요성이 제기되면서 활성슬러지공정의 각종 단점을 개선, 응용하여 운영하고 있으나 활성슬러지공정의 문제점을 대부분 그대로 안고 있어서 증가되는 하수의 고도처리에 대한 기대를 만족시키지 못하고 있다. 소규모로 발생하는 하수층의 질소나 인을 제거하기 위한  $\text{A}_2/\text{O}$ 법, 혐기호기 접촉순환법 등 생물학적 처리 시스템이 개발되고 있으나, 이들 공법들은 유지관리를 위한 전문 인력이 필요할 뿐만 아니라 에너지 소비가 많은 문제점을 안고 있다<sup>1)</sup>. 소규모로 발생하는 하수를 처리하기 위해서는 시설비 및 유지관리비 등이 저렴하고

공정이 간단한 공법들이 요구되고 있다. 마을하수의 처리법으로 토양트렌치가 사용되고 있으나 주로 유기물처리에 국한되고 있어 질소나 인 등에 대한 처리정도는 미흡한 수준으로 알려져 있다<sup>2)</sup>.

현재까지 알려져 있는 자연정화공법으로는 토양처리방법, 산화지법, 식물을 이용한 처리법, 습지처리법 등이 있다<sup>3~6)</sup>. 이러한 자연정화공법을 이용한 수처리 특징 중 하나는 기존의 수처리 시스템에 비해 에너지 소비가 낮고 비용이 적게 소요된다는 점이며 환경친화적 수처리 방법의 하나로 그 이용이 확대될 것으로 기대되지만 처리과정 중 악취가 발생되거나 공극이 폐쇄되어 투수속도가 저하되거나 또는 지하수를 오염시키는 등의 문제점이 있다<sup>2)</sup>. 최근에는 기능성 재료를 이용하여 오수의 고속처리와 오염물질의 제거효율 향상을 목적으로 한 다단 토양층 시스템에 대한 연구도 이루어지고 있다<sup>7~9)</sup>. 한편, 박 등<sup>10)</sup>은 토양컬럼을 이용하여 고농도의 암모

Corresponding Author : Kyung-Hoon Cheong, Department of Environmental Engineering and BK21 Team for Biohydrogen Production, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea  
Phone: +82-62-230-6628  
E-mail: khjung@chosun.ac.kr

니아성질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ; 250 mg/L)를 90% 이상 제거한 바 있으나 아직 토양컬럼을 이용하여 낮은 질소 농도에 대한 제거실험은 진행되지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 하수에 함유되어있는 질소를 제거하는데 있어서 기초 자료를 얻기 위한 목적으로 합성하수를 사용하여 토양컬럼에서 질산화를 촉진시키기 위한 폐굴껍질의 첨가 영향과 탈질시 탄소원 및  $\text{C}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ 비의 영향을 검토함과 동시에 연속처리 토양컬럼에서의 질소 제거 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 공시 토양

본 실험에 사용한 토양은 C 대학교 부근 산림에서 비료를 시비하지 않았던 토양으로 상부 약 5 cm를 제거하고 깊이 20 cm 내에서 취한 것을 그늘지고 통기성이 양호한 곳에서 약 1주일간 통풍 건조시킨 후 직경 5 mm 미만의 토양을 마사토와 1:1로 섞어 사용하였다. 실험에 사용된 토양은 통일분류법에 의하면 실트질(SM) 모래 토양이며, 화학적 특성은 Table 1과 같고 토양의 유기물 함량은 1.5%, 포화수분 함량은 16.3%이고 투수계수는  $2.80 \times 10^{-3}$  cm/sec 이었다.

### 2.2. 토양 첨가제

본 실험에 사용한 폐굴껍질은 남해안 일대에서

수거한 것으로 흙과 불순물을 제거한 후 자연건조시켜 파쇄하여 직경 5 mm의 체로 분리하여 사용하였다.

### 2.3. 실험장치 및 실험방법

실험장치는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 아크릴(두께 0.5 cm)을 사용하여 내경 11 cm와 길이 32 cm의 원통형 반응조 내부에 내경 4 cm의 원통을 설치한 토양컬럼을 제작하였다. 총 용적은 3.0 L이며 컬럼의 중앙 하부에 합성하수의 유입구, 외부 하부에 유출구를 설치하였으며 Table 2와 같은 조성의 합성하수는 정량펌프로 상향류로 일정하게 공급하였다.

컬럼 아래층에는 유입관의 막힘을 방지하기 위해 모관망을 넣은 후 그 위에 직경 3~7 mm의 자갈을 3 cm정도의 두께로 깔고 그 위에 건조토양(3 kg)을 충전 하였으며 컬럼의 외부는 빛의 투과로 인한 조류의 광합성을 막기 위해 차광막을 부착하여 반응

Table 1. Chemical properties of sampled soil

Characteristics	pH	O.M (%)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (ppm)	CEC(me/100g)		
				K	Ca	Mg
Soil	5.35	4.4	59	0.18	11.4	4.06
Sand	7.23	0.2	13	0.06	17.2	4
Soil + Sand	6.23	1.5	11	0.11	12.7	4.03

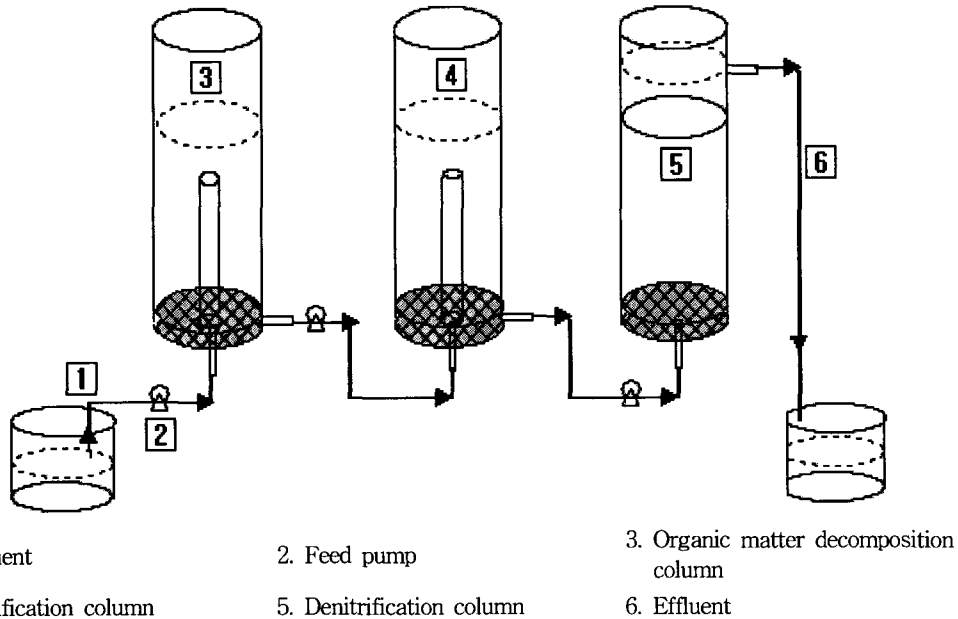


Fig. 1. Schematic diagram of soil column for continuous nitrogen removal system.

## 토양컬럼을 이용한 합성하수 중의 질소제거

Table 2. Composition of synthetic wastewater

Components	Concentration (mg/L)	Remarks
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> Methanol	140.63 0.05~0.2(ml/L)	Carbon Source
NH <sub>4</sub> Cl KNO <sub>3</sub>	191.04 361.1	Nitrogen Source
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	13.16	Phosphorus Source
NaHCO <sub>3</sub> FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O KCl MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O NaCl	468 4 4 5 4 15	Minerals

조 내부를 암실화 하였다. 토양에 폐굴껍질을 혼합하였을 때에도 토양층의 무게가 같도록 토양의 양을 조절하였다. 토양컬럼 장치는 실험실내에 설치하여 실온에서 운전하였다. 유기물 분해와 질산화 토양컬럼은 유입수가 컬럼의 중앙부분의 아래부분에서 유입된 후 토양층을 지나 컬럼의 외측 아래부분에서 배출되도록 되어 있다. 즉 합성하수가 토양에 유입되면 합성하수 중의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 일부는 이온교환에 의해 콜로이드에 부착되고 수위는 일단 상승한 후에 아래쪽 방향으로 유동을 일으켜 사이폰작용에 의해 배출된다. 이 때 토양층 상부의 공기가 토양 공극내에 진입되어 산소를 공급하게 되며 호기성 조건이 된 토양 내에서 질산화가 진행되도록 한 것이다. 탈질 토양컬럼에서는 합성하수를 상향류로 월류시켜 담수상태를 유지하였으며 담수의 높이는 약 5 cm가 되도록 하였다. 이것은 토양컬럼을 무산소 상태로 유지하기 위한 것으로 대기로부터 공기 공급을 차단할 수 있다.

1) 질산화에 따른 폐굴껍질의 영향을 조사하기 위한 실험에서는 토양만을 충전한 것, 폐굴껍질 20%와 40%를 토양에 첨가한 Fig. 1의 질산화 토양컬럼과 같은 컬럼을 따로 사용하였으며

2) 탄소원과 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비에 따른 탈질의 영향을 검토하기 위한 실험에서는 Fig. 1의 탈질 토양컬럼을 사용하였다. 탄소원으로는 메탄올과 글루코스를 사용하였으며, C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비는 합성하수중의 메탄올의 농도를 조절하여 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비 1.1-4.4가 되도록 하였다.

3) 연속적으로 질소를 제거하기 위한 실험에서는 Fig. 1과 같이 토양컬럼(유기물 분해, 질산화 및 탈질)을 연결하여 사용하였으며, 탈질 토양컬럼에는 따로 정량펌프를 사용하여 메탄올을 주입하였다. 실험초기의 HRT(Hydraulic Retention Time)는 48시

간으로 하였다.

### 2.4. 분석방법

토양층의 pH, 유기물함량, 투수계수는 토양화학 분석법<sup>12)</sup>에 따라 분석하였으며 T-N(Total Nitrogen), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 및 COD(Chemical Oxygen Demand)는 수질오염공정시험법<sup>13)</sup>에 따라 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 질산화에 미치는 폐굴껍질의 영향

질산화 토양컬럼에서 합성하수 중의 질산화 촉진 효과를 조사하기 위하여 토양에 첨가제로서 폐굴껍질을 사용한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

질산화 토양컬럼에서 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N는 폐굴껍질을 첨가하지 않은 경우 실험기간이 경과함에 따라 유출수 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도가 증가하는 경향을 나타냈으며 HRT 48시간에서 36시간으로 감소 시켰을때도 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도는 증가하였다. 이 토양컬럼에서의 HRT 48시간과 36시간일때 유출수 평균 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도는 각각 8.1 mg/L와 15.7 mg/L이며 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 제거율은 각각 83.9%와 68.6%이었다.

폐굴껍질을 20%와 40% 첨가한 토양컬럼인 경우에는 폐굴껍질을 첨가하지 않는 토양컬럼보다 유출수 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도가 낮은 상태에서 안정적으로 제거되고 있으며 HRT 감소에 따라 유출수 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도는 증가하는 경향을 보였다. 폐굴껍질 20%를 첨가한 토양컬럼인 경우 HRT 48시간과 36시간에서의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 제거율은 각각 96.5%와 84.9%로써 폐굴껍질 40%를 충전한 토양컬럼의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 제거율 88.2%(HRT 48시간)와 75.4%(HRT 36시간)보다 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 제거율이 높았다.

또한 질산화 과정을 보면 폐굴껍질을 첨가하지 않은 토양컬럼인 경우에도 실험초기에 질산화가 진행되었고 실험 20일 경에는 40 mg/L까지 증가하였으나 실험 102일까지의 HRT 48시간에서의 유출수 평균 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도는 36.2 mg/L로 낮았고 HRT 36시간에서의 유출수 평균 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N은 30.3 mg/L로 HRT 감소에 따라 질산화가 감소하는 경향을 나타내었다. 폐굴껍질 20%를 첨가한 토양컬럼에서도 실험 초기에 질산화가 진행되었으며 HRT 48시간에서의 유출수 평균 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도는 46.3 mg/L이었고 HRT 36시간에서는 40.13 mg/L로 폐굴껍질을 첨가하지 않은 토양컬럼과 폐굴껍질 40%를 첨가한 토양컬럼보다 질산화가 잘 이루어짐을 알 수 있었다.

한편, 폐굴껍질 40%를 충전한 토양컬럼인 경우 HRT 48시간과 36시간에서의 유출수 평균 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도는 각각 40.1 mg/L와 36.8 mg/L로써 오히려 폐

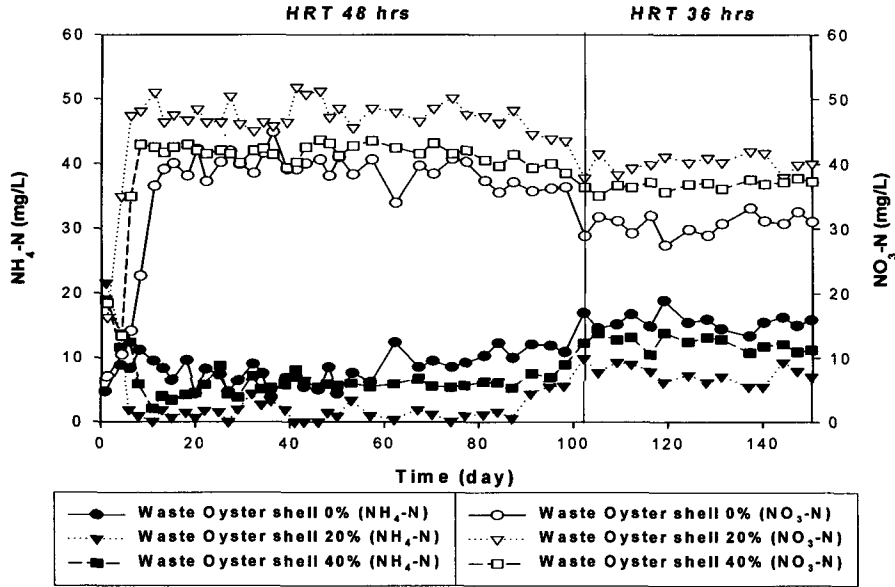


Fig. 2. Effect of waste oyster shell on nitrification in soil column.

굴껍질 20%를 첨가한 토양컬럼보다 질산화가 낮았다. 이것은 토양컬럼에 폐굴껍질을 다량 첨가하면 충전되는 토양이 적고 따라서 토양중의 질산화 박테리아가 상대적으로 폐굴껍질 20%를 첨가한 토양 컬럼보다 적기 때문인 것으로 사료된다.

본 연구에서는 토양컬럼에서 질산화가 진행될 때 pH가 떨어지는 것을 막기 위해 합성하수의 pH를 7로 조절하여 공급하였다. 본문에는 나타내지 않았지만 폐굴껍질 20%와 40%를 첨가한 토양컬럼에서는 유출수 pH가 7.38~8.48 사이에서 변동될 뿐 HRT를 감소 시켜도 pH 7.0이하로 떨어지지 않았지만 폐굴껍질을 첨가하지 않은 토양컬럼에서는 실험기간이 경과함에 따라 pH가 낮아지는 경향을 보일 뿐만 아니라 HRT 36시간에서는 pH 7이하로 급격히 떨어지는 경향을 나타내었다. 高原<sup>13)</sup>에 의하면 *Nitrosomonas*의 증식에 따른 최적 pH는 8.0~8.5이고 *Nitrobacter*의 최적 pH는 7.0~8.0으로 질산화균의 증식은 pH에 따라 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다.  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 을 안정적으로 질산화 시키기 위해서는 pH 7.0이상으로 유지시켜 줄 필요가 있을 것으로 사료된다. 고 등<sup>14)</sup>은 폐굴껍질과 천연 제올라이트를 충전한 2단 컬럼을 사용한 하수 처리장 방류수의 고도처리에서 폐굴껍질이 반응조 내의 pH 상승효과를 올리고 적정 pH를 유지 할 수 있음을 보고한 바 있고, 김 등<sup>15)</sup>과 정 등<sup>16)</sup>은 암모니아성 질소의 질산화에 따른 pH 감소를 위해서는 알칼리도가 필요하며 이론적으로 1 mg/L의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 당 7.14 mg

(as  $\text{CaCO}_3$ )의 알칼리도가 필요하다고 하였다. 이와 같이 폐굴껍질 20%를 첨가한 토양컬럼에서 질산화가 원활히 이루어지는 것은 알칼리도 보충효과로 인해 pH가 떨어지는 것을 방지하기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.2. 탈질에 미치는 탄소원 및 C/N비의 영향

Fig. 3에는 탈질 토양컬럼에서 탈질에 미치는 탄소원의 영향을 알아보기 위하여 탄소원으로 메탄올과 글루코스를 사용하였을 때의  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 과 T-N의 농도 변화를 나타내었다. 유입수의 COD/ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 비는 4.4이며 HRT는 48시간으로 운전하였다. 탄소원으로 메탄올과 글루코스를 사용한 경우 실험 초기에 T-N농도가 높았으나 점차 감소하는 경향을 보였으며 실험 20일 부터는 안정적으로 탈질이 이루어졌다. 메탄올을 탄소원으로 사용한 경우 실험 20일 이후부터 60일까지의 유출수 평균 T-N 농도는 9.01 mg/L로 합성하수 중 T-N 50 mg/L의 약 82% 제거 되었고 유출수  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  농도 역시 10 mg/L이하였으며 평균  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  농도는 7.7 mg/L이었다. 글루코스를 탄소원으로 사용한 경우 유출수 평균 T-N농도는 11.1 mg/L로 약 77.9%의 제거율을 나타내었으며  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  역시 10 mg/L부근에서 안정적인 탈질이 이루어져 메탄올과 비슷한 탈질 효과를 나타내었다. 이와 같이 본 연구의 탈질 토양 컬럼에서는 메탄올과 글루코스를 탄소원으로 사용 가능하나 메탄올을 탄소원으로 사용하는 경우 다소

## 토양컬럼을 이용한 합성하수 중의 질소제거

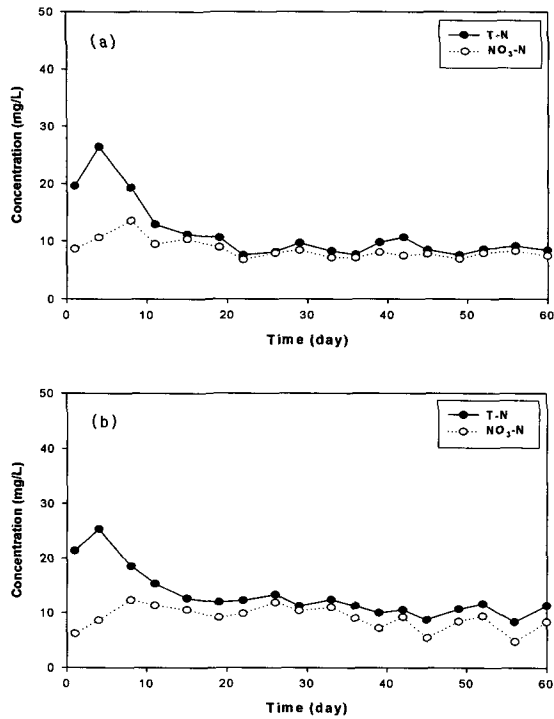


Fig. 3. Variations of T-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentration with carbon sources on denitrification in soil column. (a): methanol, C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ratio 4.4, (b): glucose, C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ratio 4.4.

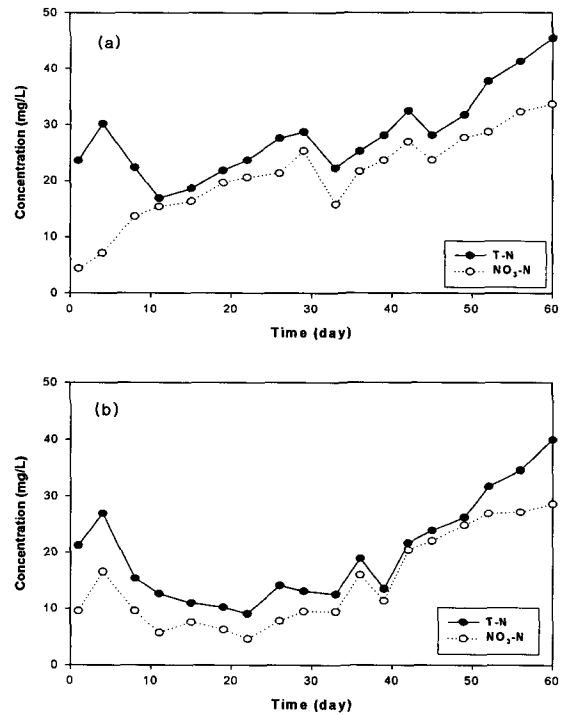


Fig. 4. Variations of T-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentration with C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ratios on denitrification in soil column. (a): C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ratio 1.1, (b): C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ratio 2.2.

글루코스보다 탈질율이 증대되었다.

Fig. 4는 탄소원으로 메탄올을 사용하여 탈질시 C/N비 영향을 나타낸 것이다. 메탄올을 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 비 1.1이 되도록 주입한 경우 (Fig. 4 (a)) 실험 초기에 탈질이 이루어지는 듯이 보였으나 불안정하였고 이후로는 T-N 농도가 증가하여 유입수 농도 50 mg/L 부근까지 높아져 탈질이 이루어지지 않았다. 메탄올을 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비 2.2가 되도록 주입한 경우에는 실험 40일까지는 탈질 가능성을 나타냈으나 운전기간이 지날수록 점차 증가하는 경향을 보였고 실험 60일째에는 T-N 농도 28.7 mg/L까지 증가였다. 한편 Fig. 3(a)에서와 마찬가지로 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비 4.4에서는 안정적으로 탈질이 이루어져 T-N 제거율 약 82%를 얻을 수 있었다. 일반적으로 탄소원으로 메탄올을 첨가한 경우 최적 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비는 4.45 정도로 알려져 있으며<sup>17)</sup> 김 등<sup>18)</sup>은 메탄올을 질소원으로 사용하였을 때 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비가 3.0일 때 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 제거율은 93%임을 보고한 바 있고, 안 등<sup>19)</sup>은 C/N비 10~5 에서는 96%의 총질소 제거효율을 보였으나 C/N비 3과 2.8에서는 각각 83%와 81%를 나타내었다.

이와 같이 본 연구에서도 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비 1.1과 2.2에서 총질소 제거율이 낮은 것은 탄소원이 부족하기 때문인 것으로 사료되며 토양컬럼을 사용한 탈질을 위해서는 적어도 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비 4.4 이상으로 운전하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3.3. 토양컬럼을 이용한 질소의 연속제거

Fig. 5는 토양컬럼을 이용한 시스템에서 첫 번째 반응조인 유기물 분해 컬럼에서의 질소농도 변화를 나타내었다.

실험초기의 HRT는 48시간이며 126일째 부터는 HRT 36시간으로 낮추어 운전하였다. 합성하수 중의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N은 실험초기부터 감소하였으며 유출수 농도는 5.16~0.3 mg/L(평균 2.41mg/L, 제거율 95.2%)이었으나 HRT 36시간일 때는 유출수 농도가 12.3~8 mg/L (평균 9.83 mg/L, 제거율 80.3%)로 제거율이 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N은 실험초기(HRT 48시간)에 토양컬럼에서 점차 질산화가 이루어졌다. HRT 48시간일 때 유출수 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N은 47.67~25.68 mg/L(평균 43.84 mg/L)이며 HRT 36시간일 때는 38.1~35.1 mg/L(평균 36.8 mg/L)로 HRT 감소에 따라 질산화가 감소되었

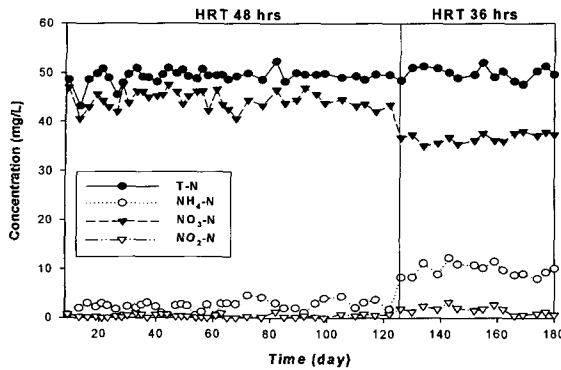


Fig. 5. Time course of nitrogen concentration with HRT in soil column for organic matter decomposition during the continuous experiment.

다. 유기물 분해 컬럼은 원래 합성하수 중의 유기물을 분해하기 위해서 설치하였으나 Fig. 5에서처럼 유기물분해 뿐만 아니라 질산화도 동시에 이루어짐을 알 수 있었다. 한편 HRT 48시간과 36시간 일때 유출수  $\text{NO}_2^-$ -N은 각각 0.823~0.01 mg/L(평균 0.36 mg/L), 2.65~0.61 mg/L(평균 1.63 mg/L)로 매우 낮게 검출되었다.

Fig. 6에는 토양컬럼을 이용한 연속처리 시스템에서 두 번째 반응조인 질산화 컬럼에서의 질소농도 변화를 나타내었다.

질산화 컬럼에는 유기물 분해컬럼의 유출수가 유입되었다. HRT 48시간일 때 유출수  $\text{NO}_3^-$ -N은 49.98~27.61 mg/L(평균 46.88 mg/L)이며 HRT를 36시간으로 낮추어도 유출수  $\text{NO}_3^-$ -N 농도에는 큰 차이 없이 47.61~42.34 mg/L(평균 45.34 mg/L)를 나타내었다. 이것은 유기물 분해 컬럼에서 완전히 제거되지 않는  $\text{NH}_4^+$ -N가 대부분  $\text{NO}_3^-$ -N으로 전환되었으며 유입된  $\text{NO}_3^-$ -N와 함께 질산화 컬럼에서

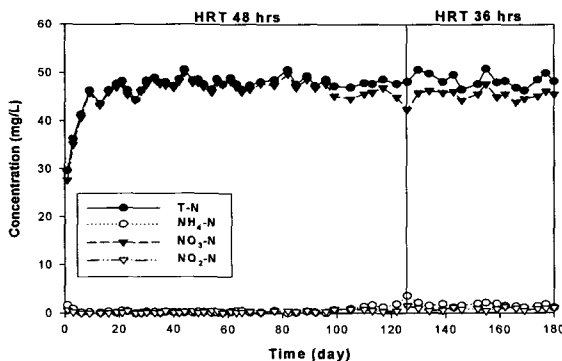


Fig. 6. Time course of nitrogen concentration with HRT in nitrification soil column during the continuous experiment.

토양에 흡착되지 않고 그대로 유출되는 것으로 사료된다. HRT 36시간일 때  $\text{NH}_4^+$ -N의 제거율은 96.5%(합성하수  $\text{NH}_4^+$ -N 농도 50 mg/L 기준)으로 나타났다.

한편 질산화 컬럼에서의 질산화는 유기물 분해컬럼에서의 질산화와 비교해 볼 때 평균 3.04 mg/L정도 (HRT 48시간 기준)밖에 높지 않기 때문에 이후의 연구에 있어서는 유기물 분해 컬럼과 질산화 컬럼을 따로 설치하는 것 보다는 유기물 분해 컬럼 하나만을 설치하여 유기물 분해와 질산화를 동시에 도모하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

Fig. 7은 토양컬럼을 이용한 연속처리 시스템에서 세 번째 반응조인 탈질 컬럼에서의 질소농도 변화를 나타내었다. 질산화 컬럼의 유출수를 유입수로 하였으며, 실험 초기 HRT는 48시간이고 실험126일 경부터 36시간으로 하였다. 별도로 탈질 컬럼에는 탄소원으로써 매탄올 0.2 ml/L를 주입하였다.

$\text{NO}_3^-$ -N은 실험21일 까지 점차 감소하였으며 이후로는 안정하게 처리되었다. 실험21일 때부터 124일까지의 유출수  $\text{NO}_3^-$ -N 농도는 8.69~3.12 mg/L(평균 5.47 mg/L)이었으며 HRT를 36시간으로 낮추어도 유출수  $\text{NO}_3^-$ -N 농도는 7.13~4.61 mg/L(평균 5.5 mg/L)로 HRT 48시간일때 와 비교해도 크게 변하지 않음을 알 수 있었다. 이에 따라 탈질 컬럼에서의 T-N도  $\text{NO}_3^-$ -N 제거 변동과 같이 실험초기에 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 실험 21일째부터의 T-N 농도는 9.12~4.73 mg/L(평균 6.2 mg/L)이고 HRT 36시간일 때의 T-N 농도는 8.24~5.13 mg/L(평균 6.32 mg/L)로 HRT 48시간과 36시간일 때의 T-N 제거율은 각각 87.6%와 87.4%를 나타내었다. 따라서 토양컬럼을 이용한 탈질 컬럼에서는 50 mg/L정도의 T-N이 유입되면 적어도 HRT 36시간에서 T-N 10 mg/L 이하(제거율 87.4%)로 처리

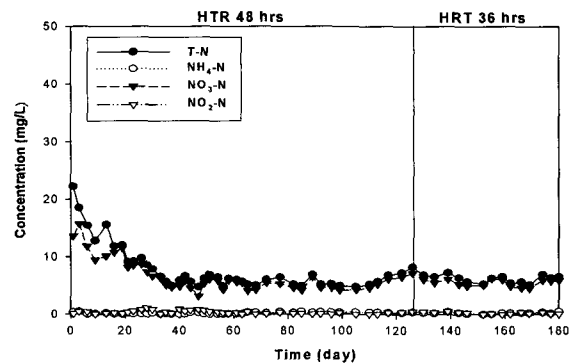


Fig. 7. Time course of nitrogen concentration with HRT in denitrification soil column during the continuous experiment.

할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 토양컬럼을 이용한 연속처리 시스템의 각 반응조의 유출수 COD에 대한 농도 변화를 나타내었다. 합성하수의 COD는 150 mg/L이다. 유기물 분해조의 경우 HRT 48시간에서의 유출수 COD 농도는 10.6~3.4 mg/L(평균 5.68 mg/L)이고 HRT 36시간일 때의 유출수 COD 농도는 7.1~4.4 mg/L(평균 5.62 mg/L)로 제거율은 각각 96.1%와 96.3%이며 HRT 48시간에서 36시간으로 낮추어도 큰 변동없이 안정적으로 10 mg/L이하로 처리되었고 대부분의 COD는 유기물 분해컬럼에서 제거됨을 알 수 있었다. 질산화 컬럼에서는 유기물 분해 컬럼에서 유입된 COD 농도가 거의 제거되지 않고 유출되는 경향을 나타내었다. 유출수의 COD 농도는 HRT 48시간일 때 7.4~4.3 mg/L(평균 6.1 mg/L)이고 HRT 36시간일 때에는 8.4~4.2 mg/L(평균 5.59mg/L)로 제거율은 각각 95.9%와 96.3%이다. 한편 탈질 컬럼에서는 Fig. 8에서와 같이 탈질 컬럼에 유입되는 유기물 농도가 낮기 때문에 탈질을 도모하기 위해 탄소원으로 메탄올을 주입하였다. 탈질 컬럼에 있어서 운전초기에 유기물 분해 컬럼이나 질산화 컬럼보다 유출수 COD 농도가 높은 이유는 주입한 메탄올이 완전히 분해되지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 운전시간이 경과하면서 COD는 안정적으로 제거되었다. 탈질 컬럼에서 유출수 COD농도는 HRT 48시간일 때 14.4~3 mg/L(평균 8.67 mg/L)이고 HRT 36시간일 때 7.4~4.6 mg/L(평균 5.81 mg/L)로 제거율은 각각 96.1%와 97.4%이다.

이와 같이 토양컬럼을 이용하면 COD는 대부분 유기물 분해 컬럼에서 제거되기 때문에 탈질 컬럼에서 질소를 제거하기 위해서는 탄소원을 외부에서 주입해야 할 필요 있는 것으로 판단된다.

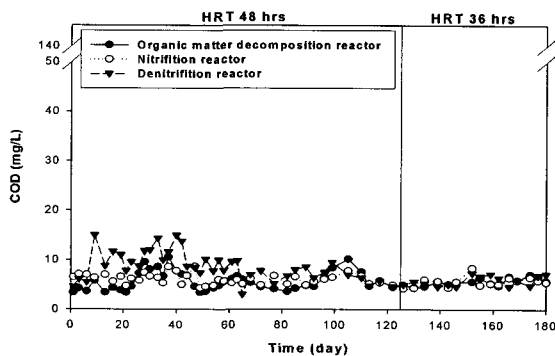


Fig. 8. Time course of COD concentration with HRT in soil column during the continuous experiment.

#### 4. 결 론

토양컬럼을 이용한 합성하수 중의 유기물 및 질소 제거 효과를 검토하기 위하여 질산화 토양컬럼에서의 폐굴겉질의 영향, 탈질 토양컬럼에서의 탄소원과 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비의 영향 및 질소의 연속적 처리 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 토양첨가제의 효과를 알아본 결과 폐굴겉질을 20%로 첨가할 때 안정적으로 질산화가 이루어졌고, 질산화로 인한 pH 저하를 막을 수 있었으며,
- 2) 토양컬럼의 탈질에 따른 탄소원으로는 메탄올과 글루코스 모두 사용 가능하였으며 메탄올의 주입량에 따른 탈질 효과에서는 C/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비가 4.4일 때 T-N의 제거율 86.3%로 가장 높았다.
- 3) 토양컬럼을 이용한 연속 처리에서는 유기물 분해 컬럼에서 유기물 제거 뿐만 아니라 질산화도 동시에 일어났으며, 탈질 컬럼에서는 HRT 36시간일 때 T-N이 약 87.4%가 제거되었다. 유기물 분해 컬럼으로부터의 유출수의 평균 COD 농도는 HRT 48시간일 때 6.1 mg/L이고 HRT 36시간일 때에는 5.59 mg/L로 제거율은 각각 95.9%와 96.3%이다. 탈질 컬럼에 유입되는 유기물 농도가 낮기 때문에 질소를 제거하기 위해서는 탄소원을 외부에서 주입해야 할 필요 있는 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2005년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음. 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 박현진, 이춘식, 이흥재, 서동철, 허종수, 2004, 모래와 굴패각을 이용한 인공습지 오수처리장치 개발, 한국물환경학회, 20(5), 437-446.
- 2) 임재명, 김병욱, 강성환, 1997, 수정된 토양트랜치 공정을 이용한 소규모 오수처리, 한국수처리기술연구회지, 5(4), 13-17.
- 3) 권순국, 윤추경, 1999, 흡수성 Biofilter를 이용한 농촌 소규모 오수처리 시설의 성능, 한국환경농학회지, 18(4), 310-315.
- 4) 김혜주, 1999, 자연형 하천 조성을 통한 하천의 자정능력 향상·식물의 수질정화 작용을 중심으로, 한국수자원학회지, 32(5), 148-152.
- 5) 정동양, 1999, 자연친화형 농어촌 하수처리장 모델개발, 한국환경복원녹화기술학회지, 2(1), 10-20.
- 6) 박영식, 2003, 부패조와 모래트랜치를 이용한 소규모 오수처리, 한국환경위생학회지, 9(1), 28-33.

- 7) Attanandana T., Saitthiti B., Thongpae S., Luanmanee S., Wakatsuki T., 2000, Multi-media-layering system for food service Waster treatment, *Ecological Engineering*, 15, 133-138.
- 8) Luanmanee S., Attanandana T., Masunaga T., Wakatsuki T., 2001, The efficiency of a multi-soil-layering system on domestic wastewater treatment during the ninth and tenth years of operation, *Ecological Engineering*, 18, 185-199.
- 9) 손대희, 정윤철, 신정훈, 정진영, 안대회, 2004, 다단토양을 이용한 하수처리에 관한 연구, *한국물환경학회지*, 20(3), 215-222.
- 10) 박상일, 정경훈, 김해연, 백계진, 2005, 토양컬럼을 이용한 합성폐수중의 암모니아성질소 제거, *한국환경보건학회지*, 31(4), 280-286.
- 11) 신방응, 박홍규, 1998, 토질시험법, 구미서관.
- 12) 김종택, 1999, 수질오염공정시험법, 신광출판사.
- 13) 高原義昌, 1985, 廢水の生物處理. 地球社, 東京, 312-318pp.
- 14) 고현웅, 장성호, 성낙창, 2002, 폐굴껍질과 천연 제올라이트를 충전한 2단 연속식컬럼에 의한 하수처리장 방류수의 고도처리, *한국폐기물학회지*, 19(1), 108-114.
- 15) 김은호, 성낙창, 장성호, 1997, 정석탈인공정의 정석재로써 폐굴껍질의 재활용에 관한 연구, *한국환경위생학회*, 23(4), 133-138.
- 16) 정오진, 최형일, 정경훈, 2000, 폐굴껍질에 의한 합성폐수중의 인 제거, *한국환경위생학회지*, 26(3), 43-49.
- 17) Christensson M., Lie., Welander T., 1994, A comparison between ethanol and methanol as carbon sources for denitrification, *Water Sci. Technol.*, 30(6), 83-90.
- 18) 김형석, 은종국, 박승조, 1995, 각종 수소공여체의 첨가에 의한  $\text{NO}_3^-$ -N 함유 폐수 탈질, *한국환경과학회지*, 4(3), 229-237.
- 19) 안윤찬, 배민수, 이종호, 조윤경, 조광명, 2005, 교대로 간헐 포기되는 부직포 여과막 생물반응조에서 C/N비가 유기물 및 질소 제거효율에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, 27(5), 499-506.