

## MLE 공정을 이용한 고농도 $\text{NH}_4^+$ -N 함유 침출수의 생물학적 질산화/탈질

원종철 · 남궁완\* · 배영신 · 이경신 · 박기혁 · 송수성 · 윤조희\*\*

환경관리공단 수도권사업본부

\*건국대학교 환경공학과

\*\*경남대학교 정밀화학공학부

(1999년 11월 19일 접수, 2000년 3월 17일 채택)

## Biological Nitrification and Denitrification for Landfill Leachate Containing High Concentration of Ammonium-Nitrogen by using MLE Process

Jong-Choul Won · Wan Namkoong\* · Young-Shin Bae · Kyung-Shin Lee  
Ki-Hyuk Park · Su-Sung Song · Cho-Hee Yoon\*\*

*The Metropolitan Area Landfill Department, Environmental Management Co.*

*\*Department of Environmental Engineering, Kunkuk University*

*\*\* Division of Fine Chemistry and Chemical Engineering, Kyungnam University*

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the treatability of landfill leachate having high concentration of ammonium nitrogen with/without the circulation of media in pilot-scale(48 m<sup>3</sup>basis) process. Total nitrogen removal efficiency was relatively increased in the media added process(influent : 1,230~2,000 mg · l<sup>-1</sup>, effluent : 120~250 mg · l<sup>-1</sup>) compared with the control process. The difference of nitrogen removal efficiency between these processes may be due to that stable growth of nitrifiers attached to the media could be achieved 99.3% of ammonium-nitrogen removal efficiency(without : 98.2%) and 88.5% of total nitrogen removal efficiency(without : 85.8%) were shown in media added process, respectively. Also, optimum BOD/ $\text{NH}_4^+$ -N ratio was relatively decreased in the media process compared with the control process. Sludge settleability, on the other hand, was shown better in media added process than in control process. This outstanding sludge settleability in the media added process indicates the compatibility of media(zeolite) to the micro-organism and the possibility of using media of biofilm process.

---

Key Words : Landfill Leachate, Biological Nitrification/Denitrification, BOD/ $\text{NH}_4^+$ -N Ratio, Media, External Carbon Source

## 요 약 문

본 연구에서는 생활폐기물 매립지에서 발생하는 침출수에 함유된 고농도  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  및 T-N의 적정처리를 위하여 pilot 규모의 MLE 공정을 이용하여 생물학적 질산화/탈질을 실시한 결과  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은 99%이상, T-N은 88%정도의 처리효율을 얻을 수 있었으며, BOD/ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 비율 약 3.5로 유지할 경우 T-N은  $0.09 \text{ kgN} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$  정도 제거되는 것으로 나타났다. 또한, 질산화/탈질과정에서  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  산화량에 따른 알카리도 소비량은 평균  $3.4\sim 3.5 \text{ kgAlk} \cdot \text{kgNH}_4^+\text{-N}^{-1}$  정도로 나타났으며, 외부탄소원으로 투입된 매탄올에 대한 탈질균의 적응 기간은 약 20일 정도가 필요한 것으로 나타났다. 또한, 질산화조에 유동상 매디아를 투입한 결과 투입하지 않았을 때에 비하여  $\text{SV}_{30}$ 가 2배 정도 양호하게 나타났다.

주제어 : 침출수, 생물학적 질산화/탈질, BOD/ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 비, 담체, 외부탄소원

## 1. 서 론

생활폐기물 매립지에서 발생하는 침출수는 매립되는 쓰레기의 종류, 매립량, 매립년한, 매립방법, 강우량, 기후조건, 쓰레기 다짐정도 등 많은 환경변수에 따라 수질과 발생량이 다르게 나타나며, 더욱이 최근에는 생활과 산업기술의 발달로 새로운 합성물질이 함유된 생활폐기물의 매립으로 인해 침출수의 질은 더욱 다양하고 복잡해지는 경향이 있다.<sup>1,2)</sup> 매립된 쓰레기는 쓰레기층과 토양층내 존재하는 미생물에 의해 분해되는 생물학적 분해와 가수분해, 용해, 침전, 흡착 등의 물리, 화학적 작용 등 복합된 분해 과정을 통하여 매립초기에는 고농도의 유기물질을 함유한 침출수가 배출되며, 매립시간이 경과됨에 따라 유기물질은 감소하고 질소성분이 점차 증가하는 경향을 나타내는데,<sup>3~5)</sup> 수도권 매립지도 유사한 경향을 나타내어 침출수에 함유된 총질소(T-N)는 매립 1년차인 92년에는 약  $300\sim 500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  정도이었으나 매립년한이 경과함에 따라 점차 증가하여 매립 5~6년차에는  $1,500\sim 2,200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 까지 상승되어 매립 6년차에 매립 1년차에 비하여 약 4~5배 가량 증가되는 것으로 나타나고 있다.<sup>6)</sup>

그동안에는 매립지 침출수에 질소규제가 실시되지 않았으나, 침출수에 함유된 고농도의 질소로 인한 수계오염도를 저감하기 위하여 '99. 7. 1일부터 생활폐기물 매립지 침출수의 방류수중 암모니아성 질소를  $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  이하로 규제하였으며, 2001.

7. 1일부터 총질소를  $300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  이하로 규제할 계획으로 있다.<sup>7)</sup> 그러나, 기존의 생활폐기물 매립지 침출수처리장이 대부분 활성슬러지법을 이용하여 주로 유기물질(BOD, COD 등)만을 처리하였기 때문에 규제기준 이하의 질소농도를 만족하기 위한 처리방법을 추가로 설치하거나 기존 처리공정의 보완이 필요하다.<sup>8)</sup>

침출수에 함유된 고농도(약  $2,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  이상)의 암모니아성질소를 처리하기 위한 방법으로 ammonia stripping 등과 같은 물리화학적인 처리방법과 생물학적 질산화/탈질 처리방법이 있으나, 물리화학적인 처리방법은 처리공정이 복잡하고 생물학적 처리방법에 비하여 유지관리비용이 과다하게 소요되므로 생물학적 처리방법이 효과적이라 할 수 있다.<sup>9,10)</sup> 그러나, 침출수의 생물학적 질산화/탈질시 고농도 암모니아성질소에서 유발되는 유리암모니아(free-ammonia)에 의한 독성으로 질산화조에 아질산성질소( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ )가 축적되는 불완전 질산화 발생되기도 하며, 유기물 부족으로 인한 탈질율저하, 슬러지 침강성 저하로 인한 반응조의 적정 미생물농도 유지의 어려움, 처리수의 부유물질 증가 등 적정처리에 많은 문제점이 나타나고 있다.<sup>11,12)</sup>

따라서, 본 연구는 생활폐기물 매립장에서 발생하는 고농도 암모니아성질소( $1,500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  이상)를 함유한 침출수의 생물학적 질산화/탈질 처리 가능성을 조사 검토하고, 기존 침출수처리장에 설치된 활성슬러지 시설을 최대한 활용이 가능하며, 질산화

처리수의 반송(내부 및 외부)을 이용하여 생물학적 탈질을 실시할 수 있는 MLE(Modified Ludzack-Ettinger)공정의 침출수에 대한 적용가능성과 MLE 공정 운전시에 필요한 운전인자를 도출하고자 하였으며, 유동상담체의 투입 및 외부탄소원 첨가 등이 질산화/탈질에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험방법 및 내용

### 2.1. 실험장치

실험장치는 MLE공정으로 탈질조와 질산화조 및 침전조로 구성되어 있으며 반송은 내부와 외부 나누어 실시할 수 있도록 하였고 Fig. 1과 같이 2계열로 설치하여 실험하였다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 운전조건

Pilot규모 시설의 운전은 유동상담체를 투입하지 않은 경우(A계열)와 투입한 경우(B계열)로 구분하여 실험을 실시하였으며, 운전조건을 Table 1에 요약하여 나타냈다.

Fig. 1. Schematic diagram of pilot-scale MLE process.

#### 2.2.2. 담 체

유동상담체는 국내산 천연제올라이트를 이용하였으며, Table 2에 물리적 특성을 나타냈다.

#### 2.2.3. 대상 침출수

Table 3에 실험기간중에 침출수의 평균 유입수질을 나타냈다.

#### 2.2.4. 분석방법

유입수, 탈질조 유출수, 질산화조 유출수를 채수하여 주 2회 이상 분석하였으며,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ , Alkalinity는 Standard methods<sup>13)</sup>, BOD,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ , SS, T-N,  $\text{NH}_4^+$ -N는 환경오염공정 시험법<sup>14)</sup>에 준하여 분석하였다. TOC는 TOC-analyzer(DC-180)를 이용하여 분석하였고  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N은 IC (Dionex,

Table 1. Operating conditions in this study

conditions		without media	with media
flow rate		$3 \text{ m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$	
DO	anoxic	$0.05 \sim 0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$0.1 \sim 0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
	aerobic	$2.8 \sim 3.6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$3.0 \sim 3.9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
pH	anoxic	7.7 ~ 8.4	7.9 ~ 8.4
	aerobic	7.5 ~ 8.0	7.4 ~ 7.9
MLSS	anoxic	$7,000 \sim 12,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$8,000 \sim 14,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
	aerobic	$8,000 \sim 13,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$10,000 \sim 15,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
HRT	anoxic	4.0 days	
	aerobic	9.7 days	
zeolite media		-	330 kg
methyl alcohol		$15 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ ( $\text{BOD}_5/\text{NH}_4^+\text{-N} = 2.5\sim 3.8$ )	
return ratio		4(internal : 3, external : 1)	

Table 2. Properties of the domestic powdered zeolite

properties	specification
particle size	less than 0.2 mm
apparent density	0.954 g · mL <sup>-1</sup>
true density	1.7258 g · mL <sup>-1</sup>
specific surface area	31.36 m <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> (average pore size = 75.99 μm)
porosity	31.2%

Table 3. Characteristics of raw leachate

component	conc.(mg · l <sup>-1</sup> )	component	average ratio[ - ]
BOD	1,869~4,140(2,841)*	BOD/COD <sub>Cr</sub>	0.6
COD <sub>Cr</sub>	3,150~6,650(4,769)	COD <sub>Mn</sub> /COD <sub>Cr</sub>	0.24
T-N	1,230~1,910(1,633)	TOC/BOD	0.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	1,220~1,820(1,512)	COD <sub>Cr</sub> /T-N	2.92
Alkalinity	5,510~9,160(6,936)	BOD/NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	1.88
TSS	110~280(184)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/T-N	0.93
pH	7.6~7.8(7.7)		

\* Numbers in parentheses indicate average values

DX-300)를 이용하였으며, pH는 pH meter(Orion-720A), DO는 DO meter(YSI-58)를 이용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 순응기간

침출수중에 함유된 T-N중에 약 90%가 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N로 구성되어 있어 free-ammonia에 의한 질산화균의 저해영향으로 정상적인 질산화의 유도가 곤란하다.<sup>9-12)</sup> 따라서 침출수에 대한 질산화균의 적응을 위하여 A, B계열 탈질조와 질산화조에 각각 현장 포기식라군조 반응수(MLSS 13,000 mg · l<sup>-1</sup>)를 각 계열의 질산화/탈질조에 조용량(48 m<sup>3</sup>) 대비 50% 정도 채우고 하천수를 약 50% 보충하여 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도를 초기농도의 약 1/2인 750 mg · l<sup>-1</sup> 정도로 희석한 후 포기를 실시하였다. 이때, 탈질조 및 질산화조의 운전상태는 수온 약 15~20°C, pH가 8.0~8.4, MLSS 농도는 A, B계열 모두 6,500~7,500 mg · l<sup>-1</sup>, 질산화조의 DO는 3~4 mg · l<sup>-1</sup> 정도를 유

지하였다. 질산화조내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N산화는 포기후 약 5일정도부터 시작되어 약 20일 정도 경과되었을 때 A, B계열 모두 99% 정도의 질산화율을 나타냈으며, 이때 질산화조의 pH는 7.5~7.7 정도였다. 원수투입은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N이 90% 이상 산화되기 시작한 약 15일 정도의 포기기간 이후부터 투입하였으며, 원수투입과 동시에 완전탈질을 위한 C/N비를 고려하여 A, B계열 모두 BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비가 2.5~3.8 범위 유지될 수 있도록 메탄올을 투입하였고<sup>15)</sup> B계열에는 유동상담체(zeolite)를 투입하였다.

#### 3.2. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 T-N 처리효율

Fig. 2(a), (b)에 각각 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 유입 및 유출수의 농도와 처리효율을 나타내었다. 유입수의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N농도는 1,200~1,650 mg · l<sup>-1</sup>이었다. 침출수를 유입하여 질산화/탈질처리를 시작한 초기에는 처리수중의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도가 A, B계열이 각각 178, 40 mg · l<sup>-1</sup>까지 상승하였으나, 약 20일 이후에는 두 계열 모두 11~27 mg · l<sup>-1</sup> 범위의 매우 낮은 처리수질을 나타냈다. 그러나, A계열의 경우 45일후 일시적인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 증가현상을 보였는데 그 이유는 침출원수 분배 투입시 A계열로 계획처리량(3

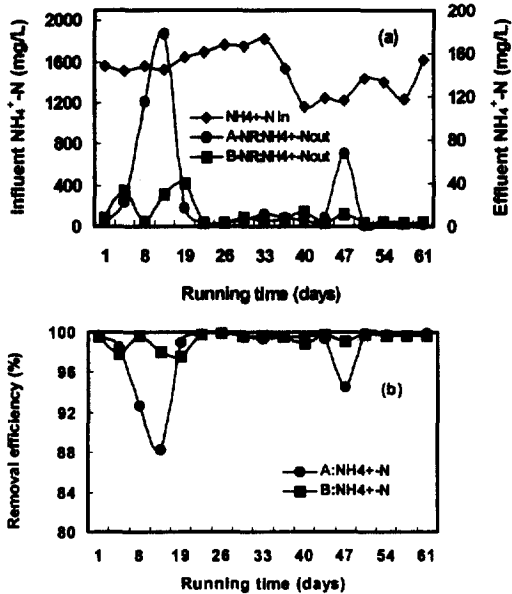


Fig. 2. Variation of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration and removal efficiency, (a)  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration, (b)  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  removal efficiency.

$\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ 에 비하여 다소 증가된 침출수가 유입되었기 때문인 것으로 사료된다.

운전초기  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  처리효율은 A계열(control 실험)이 88~99%로 변동폭이 약 11%까지 나타났으나, 유동상담체를 투입한 B계열의 처리효율은 98~99%로 A계열에 비하여 초기부터 안정적인 처리효율 범위를 나타냈다. B계열과 달리 A계열의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  처리효율이 운전초기에 변동이 심하게 나타나는 것은 외부탄소원으로 탈질조에 투입된 메탄올에 대한 탈질균의 적응기간 부족으로 탈질과정에서 소비되지 않은 메탄올이 질산화조로 유입되게 되고 질산화조내에서 종속영양세균(heterotrophs)의 성장으로 인한 질산화균의 활성이 저하되기 때문인 것으로 판단되었다. 그러나, 유동상담체가 투입된 B계열의 경우는 담체에 의한  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 이온교환과 함께 미생물의 부착 등으로 인하여 질산화/탈질조내 미생물 농도가 A계열에 비하여 약  $2,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  정도 높게 유지되므로서 운전초기부터 안정적인 질산화율을 나타내는 것으로 판단되었다. 한편, 메탄올에 대한 충분한 적응기간이라고 판단되는 약 20일이 경과된 이후에는 A, B계열 모두 거의 유사한 약

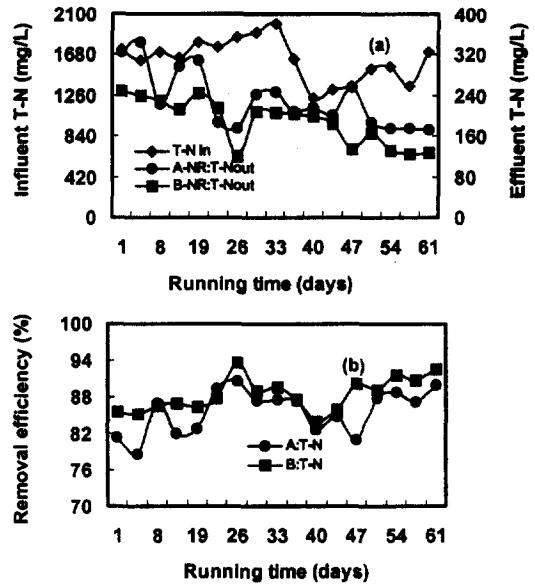


Fig. 3. Variation of T-N concentration and removal efficiency, (a) T-N concentration, (b) T-N removal efficiency.

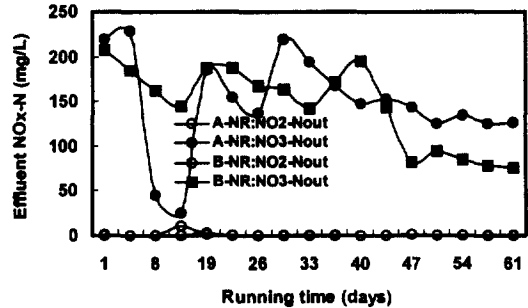


Fig. 4. Variation of  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  concentrations.

99%의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  산화율을 나타냈다.

처리수의 T-N농도는 Fig. 3(a), (b)에 나타난 바와 같이 A계열은  $170 \sim 350 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (평균:  $232 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )인 반면, B계열은  $120 \sim 250 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (평균:  $188 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )로 B계열이 A계열보다 평균 약  $44 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  정도 낮게 나타났으며, 처리효율도 A계열이 평균 85.8%, B계열이 평균 88.5%로 A계열에 비해 2.7% 정도 높게 나타났다. 또한, 질산화/탈질 처리수에 잔류되어 있는 질소형태는 Fig. 4에 나타난 바와 같이, A와 B계열 모두 대부분이  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 으로 나타났으며, 질산화과정에서 free-ammonia에

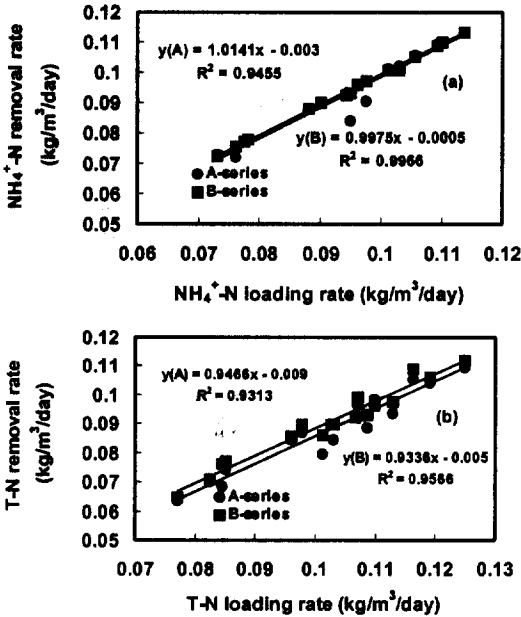


Fig. 5. Relationship between volumetric nitrogen loading rate and removal rate, (a)  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , (b) T-N.

의한 질산화균의 저해영향으로 인한  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  축적 현상은 나타나지 않았다.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$  및 T-N 유입 용적부하에 대한 제거량은 Fig. 5(a), (b)에 나타난 바와 같이 본 실험 범위 하에서는 직선적인 비례관계를 나타내었다. 담체를 투입한 B계열이 A계열에 비하여  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은  $1.0 \times 10^{-3} \text{ kgN} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ , T-N은 약  $3.0 \times 10^{-3} \text{ kgN} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$  정도 높게 나타났다.

한편,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  및 T-N 미생물부하에 대한 제거량 비도 Fig. 6(a), (b)에 나타난 바와 같이 용적부하의 증가에 대하여 직선적인 비례관계를 나타내었으며, 담체를 투입한 B계열이  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은 0.99, T-N은 0.88로 A계열에 비하여  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , T-N 모두 약 0.03 정도 크게 나타났는데, 이는 유동상담체 투입으로 조내 미생물농도가 높게(약  $2,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) 유지되므로서 단위 미생물당 제거되는 질소량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.3. 유기물질 처리효율

매립경과기간이 약 5년 이상된 생활폐기물매립지

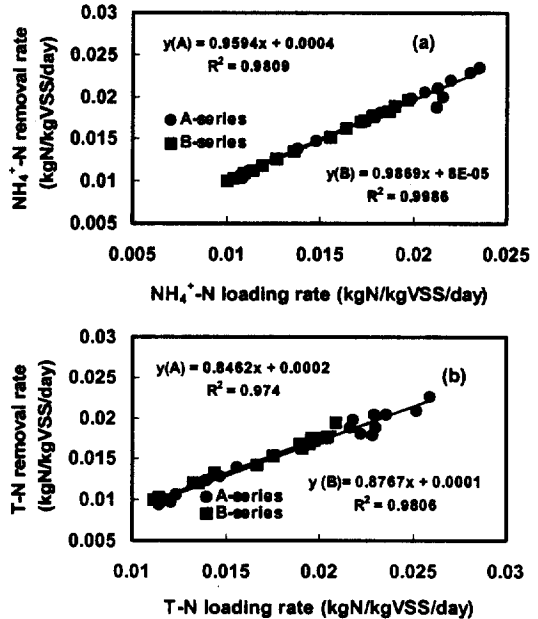


Fig. 6. Relationship between nitrogen loading rate and removal rate, (a)  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , (b) T-N.

에서 발생하는 침출수에 함유된  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 의 약 40% 이상이 난분해성 유기물로 되어 있어 생물학적 처리 이후에도 고농도의  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 이 잔류되게 된다.<sup>1~3)</sup> 수도권매립지 침출수 처리시설의 경우에도  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 의 처리효율은 약 68%로 생물학적 처리수의 평균  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 농도가 약  $1,670 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 을 나타냈다.<sup>6)</sup> 그러나, 본 생물학적 질산화/탈질공정을 이용하여 침출수를 처리한 결과, Fig. 7(a), (b)에 나타난 바와 같이 유출수  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  평균농도는 A, B계열에서 각각  $731 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $695 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 평균 처리효율이 각각 84.7%와 85.4%이었으며, 이는 기존의 표면포기방법인 생물공정보다는 약 17% 정도 처리효율이 상승된 값이다.<sup>6)</sup> 또한, B계열이 A계열에 비하여 처리효율이 약 0.7% 정도 높아  $36 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  정도 더 제거되었고, 제거된  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 의 약 89%는 무산소 탈질공정에서 제거되는 것으로 나타났다.

BOD의 경우는 질산화/탈질 처리수의 평균농도가 A계열은  $19 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , B계열은  $14 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 두 계열 모두에서 대부분 제거되었다. 또한,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ , BOD 모두 약 20일 정도 가동시간이 경과된 이후부터 안정적인 처리수질을 나타내는 것으로 보아 메탄

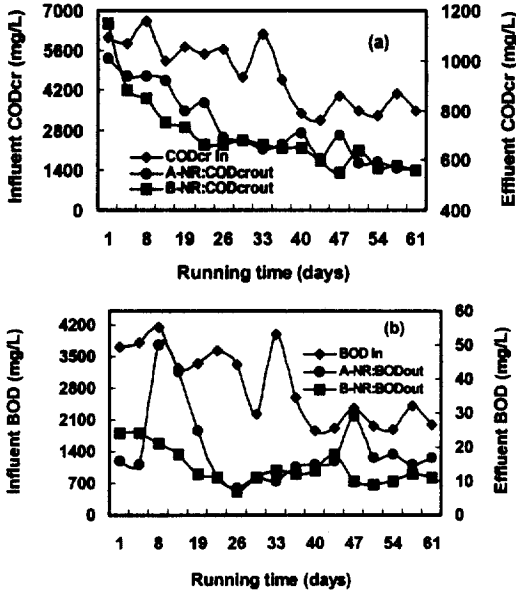


Fig. 7. Variation of influent and effluent concentrations, (a) COD<sub>Cr</sub> concentration, (b) BOD concentration.

올에 대한 탈질균의 적응기간이 약 20일 정도 필요한 것으로 판단되었다.

생물학적 질산화/탈질 처리수의 COD<sub>Cr</sub> 농도가 현재의 방류기준인  $800 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  보다 낮은 수질을 나타내지만 향후, 침출원수내 난분해성유기물 함유율이 증가할 경우 질산화/탈질 처리수의 COD<sub>Cr</sub> 농도가 방류기준을 초과할 가능성이 있으며, 또한, 색도도 방류기준(300 unit, 2001.7.1일 시행)을 초과하여 약 600~700 unit를 나타내므로 잔류 COD<sub>Cr</sub> 및 색도처리를 위한 물리화학적인 후처리가 필요하다.<sup>2~4,16~18)</sup>

### 3. 4. BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 비 및 Alkalinity/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 비

본 실험에 사용한 침출수의 COD<sub>Cr</sub>/T-N비는 2.92로 생물학적 탈질에 필요한 적정 COD<sub>Cr</sub>/NO<sub>3</sub>-N 비로 제시된 2.86<sup>7)</sup>보다 다소 높은 값을 나타내지만, BOD/COD<sub>Cr</sub>의 비가 약 0.6으로 낮기 때문에 COD<sub>Cr</sub> 중에 생물분해에 이용가능한 부분만 고려할 경우 생물학적 탈질에 필요한 탄소원으로 COD<sub>Cr</sub>을 적용하는 것보다는 BOD를 탄소원으로 적

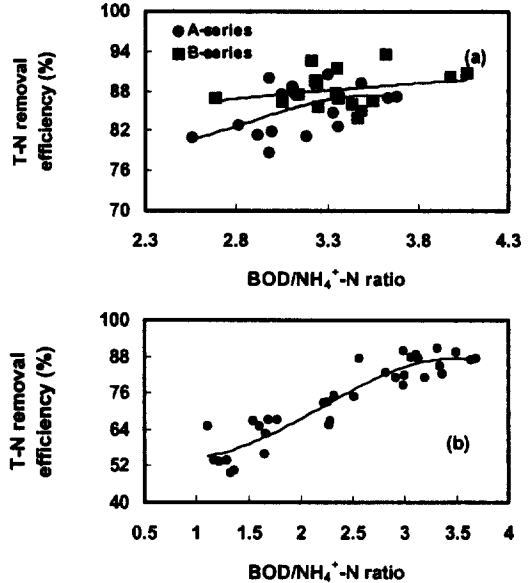


Fig. 8. Variation of T-N removal efficiency to BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratio, (a) BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N range : 2.5~3.8, (b) BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N range : 1.2~3.8.

용하는 것이 바람직할 것으로 판단되어 C/N비의 탄소원 기준을 BOD로 하였다.

유입 침출원수의 BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비는 1.88로 낮아 실험기간중 A계열과 B계열 모두 외부탄소원으로 메탄올을 투입하여 BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N를 2.5~3.8 정도까지 상승시켜 운전한 결과, T-N의 처리효율은 Fig. 8(a)에 나타낸 바와 같이 BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비 약 2.5일 경우 A, B계열 각각 약 82%와 88%를 나타내 B계열이 A계열에 비하여 약 6% 정도 높은 T-N 처리효율을 나타냈으며, 이후 BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비를 약 3.5 이상으로 증가시켰을 때는 A, B계열의 T-N 처리효율이 거의 같은 약 88% 정도를 나타냈다.

또한, Fig. 8(b)에 나타낸 바와 같이 A계열(control)의 운전초기에 외부탄소원 투입없이 침출원수만 투입하여 BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비를 1.2~1.9 정도 유지하였을 때 T-N 처리효율은 55~65%를 나타냈으나, 외부탄소원을 투입하여 BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비를 3.3~3.8 정도까지 증가시켰을 때 T-N 처리효율은 85~90%로 메탄올 투입전에 비하여 20~35% 정도 상승된 것으로 나타났다. 따라서, 침출수의 생물학적 질산화/탈질을 위한 유입 침출수의 BOD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 비는 유동상담체를 투입할 경우는 약 2.5,

유동상담체의 투입이 없는 경우는 약 3.5 정도를 유지하는 것이 적당한 것으로 판단된다.

$\text{NH}_4^+ \text{-N}$  산화량당 알칼리도 소비량( $\Delta\text{Alkalinity}/\Delta\text{NH}_4^+ \text{-N}$ )의 비는 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 A, B계열 평균 3.4~3.5  $\text{kgAlk} \cdot \text{kgNH}_4^+ \text{-N}^{-1}$  정도인 것으로 나타나 이론적인 소비량 3.57  $\text{kgAlk} \cdot \text{kgNH}_4^+ \text{-N}^{-1}$ 과 거의 일치하였다.<sup>9-12)</sup>

### 3.5. 슬러지 침강성

담체 투입여부에 따른 슬러지의 침강성을 조사한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. B계열의 MLSS 침강성이 A계열의 MLSS 침강성에 비하여 초기 8분 동안 상당히 좋고  $\text{SV}_{30}$ 도 약 2배 정도 양호하게 나타났는데, 이러한 이유는 약 0.2 mm 크기로 잘게 부순 zeolite를 질산화조에 투입하므로서 zeolite 자체가 미생물이 부착성장할 수 있는 담체로 작용하여 단위용적당 미생물량의 증가로 인한 침강성의 향상으로 판단된다.

한편, 침출수에 함유된  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 가 zeolite에 흡착 가능한 최대량은 약 5.6  $\text{mgNH}_4^+ \text{-N} \cdot \text{gZeolite}^{-1}$  정도<sup>19)</sup>로 투입된 zeolite량 330 kg에 의한  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  최대흡착량은 약 1.85 kg 정도인데 반응조로 일일 유입되는  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 량이 4.54  $\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ 으로 실험기간 전체에 유입된 총  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 량 약 277 kg을 고려할 경우 zeolite 흡착에 의한 암모니아 제거효율은 약 0.7% 정도로 매우 미미하였다. 따라서, 담체투입에 의한 처리공정 개선효과는 직접적인  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  흡착제거보다는 담체역할로 미생물(MLSS)의 부착으로 인한 질산화균의 고정상승효과와 슬러지 침강성의 개선으로 인한 전반적인 처리수질의 향상인 것으로 판단되었다.

## 4. 결 론

Pilot 규모의 MLE 공정을 이용하여 고농도  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 를 함유하고 있는 침출수의 적정 처리성 실험을 실시한 바, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 침출원수에 함유된 고농도  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ (약 1,200 ~ 1,650  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )은 MLE 공법으로 약 99%

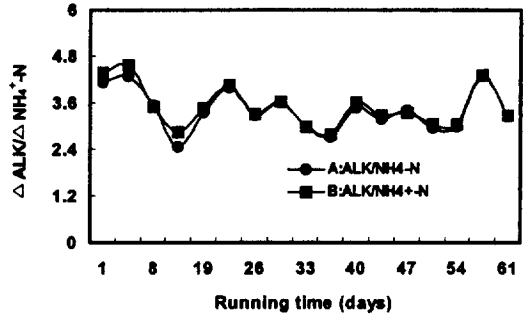


Fig. 9. Variation of  $\Delta\text{alkalinity}/\Delta\text{NH}_4^+ \text{-N}$  ratios.

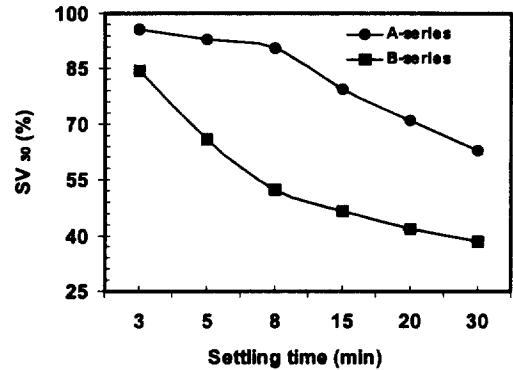


Fig. 10. Comparison of sludge settleability in this study.

이상 처리되는 것으로 나타났으며, 운전초기부터 약 90% 이상까지 질산화가 진행되는 기간은 약 20일 정도 소요되는 것으로 나타났다. 또한, 유동상담체가 투입된 B계열이 A계열에 비하여 16  $\text{mgNH}_4^+ \text{-N} \cdot \text{l}^{-1}$  정도 낮은 안정적인 처리수질을 나타냈다.

- 2) 처리수의 T-N 농도는 B계열이 평균 188  $\text{mgT-N} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 A계열에 비하여 약 44  $\text{mgT-N} \cdot \text{l}^{-1}$  정도 낮게 나타났다. 또한 T-N 유입 용적부하에 대한 제거량은 B계열이 약 0.09  $\text{kgN} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 A계열에 비하여 약  $3.0 \times 10^{-3} \text{ kgN} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$  정도 크게 나타났다.
- 3) 88% 정도의 T-N 처리효율을 얻기 위한 침출수의 BOD/ $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 비는 유동상담체 투입시 약 2.5, 유동상담체의 투입이 없는 경우는 약 3.5 정도가 적당한 것으로 나타났다.
- 4) 침출수의 생물학적 질산화/탈질과정에서



$\text{NH}_4^+\text{-N}$  산화량에 따른 알카리도 소비량비는 평균 3.4~3.5  $\text{kgAlk} \cdot \text{kgNH}_4^+\text{-N}^{-1}$  정도를 나타냈다.

- 5) 생물학적 탈질공정을 도입하므로서  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 의 처리효율이 기존공정보다 평균 17% 이상 향상되었고, 생분해성 유기물은 탈질공정에서 대부분 소비되었으며, A, B계열 BOD와  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 의 처리효율은 각각 99.3%, 84.7%와 99.5%, 85.4%로 유동상담체가 투입된 B계열이 다소 높았다. 또한, 메탄올에 대한 탈질균의 적응기간은 약 20일 정도 필요한 것으로 나타났다.
- 6) 질산화조내 슬러지 침강성을 측정한 결과, 유동상담체를 투여한 B계열의 슬러지가 A계열의 슬러지에 비하여  $\text{SV}_{30}$ 가 약 2배 정도 양호하게 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. Robinson, H. D., "Generation and Treatment of Leachate from Domestic Wastes in Landfills," *Wat. Pollut. Control*, 465~478 (1982).
2. Robinson, H. D., Maris, P. J., "The Treatment of Leachate from Domestic Waste in Landfill Sites," *JWPCF.*, **57**(1), 30~38 (1985).
3. Krug, M. N., Ham, R. K., "Analysis of Long-term Leachate Characteristics," *SARDINIA 97, Sixth International Landfill Symposium*, pp. 117~131(1997).
4. Anderson, P. R., "Characteristics and Environmental Significance of Colloids in Landfill Leachate," *Environ. Sci. Tech.*, **27**(7), 1381~1387(1993).
5. Christensen T. H., *Sanitary Landfilling Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Press, pp. 186~187 (1989).
6. 환경관리공단, 수도권 매립지 침출수 처리장 운영현황 및 적정처리 방안 연구보고서(1997).
7. 환경부, 폐기물관리법(1997).
8. 환경부, 사용중인 생활폐기물 매립시설 개선대책(1997).
9. U. S. EPA, *Manual : Nitrogen Control*, EPA/625/R-93/010(1993).
10. Siegrist, H., "Nitrogen Removal from Digester Supernatant-Comparison of Chemical and Biological Methods," *Wat. Sci. Tech.*, **34**(1-2), 399~406(1996).
11. Sharma, B., Ahlert, R. C., "Nitrification and Nitrogen Removal," *Water Research*, **11**, 897~925(1977).
12. Anthonissen, A. C., Loehr, R. C., "Inhibition of Nitrification by Ammonia and Nitrous Acid," *JWPCF.*, **48**(5), 835~852 (1976).
13. APHA-AWWA-WPCF, *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 18th ed.(1993).
14. 환경부, 환경오염 공정시험 방법(수질분야), (1992).
15. Soransen, B. H., Jorgensen, S. E., *The Removal of Nitrogen Compounds from waste water*, ELSEVIER Science Publishers (1993).
16. Keenan, J. D., Steiner, R. L., "Landfill Leachate Treatment," *JWPCF.*, **56**(1), 27~33(1984).
17. Iwami, N., "Treatment of a Landfill Leachate Containing Refractory Organics and Ammonium Nitrogen by the Microorganism-Attached Activated Carbon Fluidized Bed Process," *Wat. Sci. Tech.*, **26**(9-11), 1999~2002(1992).
18. Boyle, W. C., Ham, R. K., "Biological Treatment of Landfill Leachate," *JWPCF.*, **46**(5), 860~872(1974).
19. 환경부, Zeolite를 이용한 질소, 인 동시제거 공정 개발, 제1단계, 1차년도 보고서(1995).