

## 암모니아 부하가 활성탄 유동상에서의 질산화 및 아질산 축적에 미치는 영향

최인철 · 박수영 · 이관용 · 배재호 · 조광명

인하대학교 환경공학과

(1999년 4월 13일 접수, 1999년 9월 27일 채택)

## Effects of Ammonia Loading on Nitrification and Nitrite Build-up in an Activated Carbon Fluidized Bed Biofilm Reactor

In-Cheol Choi · Soo-Young Park · Kwan-Yong Lee · Jae-Ho Bae · Kwang-Myeung Cho

*Dept. of Environmental Engineering, Inha University*

### ABSTRACT

The effects of ammonia loading on nitrification, especially on nitrite build-up, in an activated carbon fluidized bed reactor were investigated by increasing the ammonia loading rate stepwise from 0.1 to 7.5 kg  $\text{NH}_3\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ . Although effluent nitrite concentration and nitrification efficiency fluctuated at the loading rates above 1.8 kg  $\text{NH}_3\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ , an average nitrification efficiency of 90% was achieved. Nitrite build-up began at an ammonia loading rate of 1.8 kg  $\text{NH}_3\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ , at which the free ammonia concentration was estimated to be above 1 mg/L. During the nitrite build-up, the ratio of influent  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentration to the DO concentration of the reactor liquor and the ratio of effluent  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentration to the DO concentration of the reactor liquor was measured to be above 100 and 2, respectively. Considering the advantages of nitritation/denitrification, a fluidized bed reactor could be an effective means for biological nitrification of wastewaters with high ammonia concentration.

---

Key Words : Activated Carbon, Ammonia Loading, Fluidized Bed Reactor, Nitrification, Nitritation, Nitrite Build-up

## 요약문

본 연구는 활성탄 유동상 반응조의 암모니아 부하를  $0.1 \sim 7.5 \text{ kg NH}_3\text{-N/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 범위에서 단계적으로 증가시키면서 암모니아 부하가 질산화 효율 및 아질산성 질소의 축적에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행되었다. 실험 결과,  $1.8 \text{ kg NH}_3\text{-N/m}^3 \cdot \text{day}$  이상의 암모니아 부하에서는 처리수의 아질산성 질소 농도 및 질산화 효율이 변동하였지만 평균 90%의 질산화 효율을 나타내었으며, 유리 암모니아성 질소의 농도가  $1 \text{ mg/L}$  이상으로 측정되었던  $1.8 \text{ kg NH}_3\text{-N/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 암모니아 부하부터 아질산성 질소의 축적이 시작되었다. 아질산성 질소가 축적되었던 기간에는 유입수의 암모니아성 질소 농도와 반응조내의 용존산소 농도 간의 비가 100 이상이거나 처리수  $\text{NH}_3\text{-N}$  농도와 반응조 DO 농도 간의 비가 2 이상이었다. 결론적으로, 활성탄 유동상 반응조는 고농도로 암모니아성 질소를 함유하는 폐수의 생물학적 질산화에 효과적이며, 아질산화-탈질에도 유리할 것으로 판단된다.

주제어 : 활성탄, 암모니아 부하, 유동상 반응조, 질산화, 아질산화, 아질산성 질소의 축적

## 1. 서론

1960년대 말에 생물막 반응조에서의 질산화 반응을 연구하기 위하여 Amnant와 McCarty<sup>1)</sup>에 의하여 최초로 연구된 유동상 생물막 공법은 Beer<sup>2)</sup>, Jeris 등<sup>3)</sup>, Jeris와 Owens<sup>4)</sup> 등에 의하여 탈질연구의 수단으로도 이용되었는데, 유동상 생물막 공법은 높은 유기물 부하에서의 운전 및 유기물의 고속 제거가 가능하며, 공간, 비용 및 처리시간을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 슬러지 팽화의 우려성이 없으며, 운전조작이 매우 용이하다는 점 외에도, 폐수의 유량 및 수질 변동에 대하여 안정성이 높으며, 질산화 및 탈질 성능이 우수하다는 장점들이 있다.<sup>5-7)</sup>

유동상 생물막 공법에서는 모래, 활성탄 등 각종 매질이 사용될 수 있는데, 활성탄은 타 매질에 비하여 비중이 낮으므로 유동을 위한 에너지 소모가 적고, 각종 유해성 유기물의 흡착제거가 가능할 뿐만 아니라, 비표면적이 커서 많은 양의 미생물을 유지할 수 있다는 장점들이 있다.<sup>5,6)</sup>

1980년대에 들어 폐수처리 공법별로 처리가능한 질소 부하에 대한 연구가 활발히 진행되었는데, Kowalski와 Lewandowski<sup>8)</sup>는 매질이 자갈인 고정상 생물막법으로 합성폐수를 pH나 알칼리도의 조정 없이 처리한 결과 최대  $0.042 \text{ kg NH}_3\text{-N/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 암모니아 부하에서도 완전한 질산화를 이룰 수

있었으며, Knox<sup>9)</sup>는 활성슬러지공법 및 살수여상으로 매립지 침출수를 처리하여 최대 질소 제거율을 각각  $131 \text{ g N/kg VSS} \cdot \text{day}$ (at  $13^\circ\text{C}$ ) 및  $309 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{day}$ (at  $16^\circ\text{C}$ )로 보고하였다. 또한 Suwa 등<sup>10)</sup>은 활성슬러지공법으로 합성폐수를 처리한 결과 최대  $0.21 \text{ kg TKN/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 부하까지 완전한 질산화를 이룰 수 있었으며, Gupta와 Sharma<sup>11)</sup>는 요소를 첨가한 제약폐수를 CSTR로 처리한 결과 최대  $0.52 \text{ kg TKN/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 부하에서 96.6%의 질산화 효율이 달성된 것으로 보고하였다. Rogalla와 Bourbigot<sup>12)</sup>는 매질로 혈암(穴岩)을 이용한 Biocarbon 공법을 이용하여 하수를 처리한 결과 암모니아성 질소 제거효율이  $1 \text{ kg N/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 부하까지는 95% 이상을 나타내었으나 그 이상의 부하에서는 감소하는 것으로 보고하였으며, Dillon과 Thomas<sup>13)</sup>는 같은 공법으로 최대  $0.58 \text{ kg N/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 부하까지 90% 이상의 암모니아성 질소 제거 효율을 나타낸 것으로 보고하였다. 그리고 Cooper와 Williams<sup>7)</sup>는 매질이 모래인 유동상을 운전한 결과 약  $1.00 \text{ kg NH}_3\text{-N/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 부하에서는 암모니아성 질소 제거효율이 88.8% 정도이었지만 부하를  $1.12 \text{ kg NH}_3\text{-N/m}^3 \cdot \text{day}$ 로 증가시키에 따라 제거효율이 63.2%로 급격히 감소한 것으로 보고하였으며, Asano<sup>14)</sup>는 PVA 동결 방법에 의한 고착성 미생물을 이용하여 최대  $2.7 \text{ kg N/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 부하

까지 암모니아성 질소의 질산화가 가능하였다.

폐수내의 암모니아를 생물학적으로 제거하기 위하여 일반적으로 질산화-탈질 공정이 이용되는데, 생물학적 질산화는 *Nitrosomonas*종 및 *Nitrobacter* 종의 독립영양균에 의하여 2단계로 수행되며, 이들 중 *Nitrosomonas*종에 의한 아질산화가 전체반응의 율속단계이다. 최근에 아질산-탈질에 관한 연구가 많이 수행되고 있는데, Turk와 Mavinic<sup>15)</sup>은 아질산-탈질이 질산-탈질에 비하여 탈질시의 COD 요구량 40% 감소, 반응속도 63% 증가, 슬러지 생성을 300% 감소, 그리고 질산화시의 산소필요량 25% 감소 등의 장점이 있다고 주장하였으며, Abeling과 Seyfried<sup>16)</sup>도 산업폐수를 이용한 실험에서 이와 유사한 실험결과를 발표하였다. 아질산-탈질을 수행하기 위하여 Yang과 Alleman<sup>17)</sup>은 아질산성 질소의 축적이 잘 일어나는 pH 7.5 및 DO 0.5 mg/L에서, 그리고 Balmelle과 Cornier<sup>18)</sup>은 1 mg/L 이하의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도에서의 운전이 바람직하다고 하였다.

따라서, 본 연구에서는 위에서 언급된 바와 같이 각종 장점이 있는 활성탄 유동상 반응조를 사용하여 질산화가 가능한 암모니아 부하를 파악하고 또한 어떠한 경우에 탈질에 유리한 아질산성 질소의 축적이 일어나는가를 파악하기 위하여 실험을 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험장치

실험장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 질산화조, 포기실, 순환펌프, 주입펌프 등으로 구성되었는데, 반응조는 투명한 아크릴판으로 제작되었다. 질산화조에는 반응조 바닥으로부터 10cm 높이에 다공판을 설치하고 그 위에 차례로 5cm 두께의 유리구슬층(직경 : 7mm 및 20mm)과 10cm 두께의 활성탄층(입경 : 2.00~2.38mm)을 위치시켰다. 내경이 5cm인 포기실은 바닥에서 15cm 상부에 위치하는 산기구에 압축공기를 공급하여 포기를 실시하였으며, 포기실 상단에서 5cm 아래에 유출구를 위치시켰다. 폐수의 재순환을 위해 내경이 2.5cm인 아크

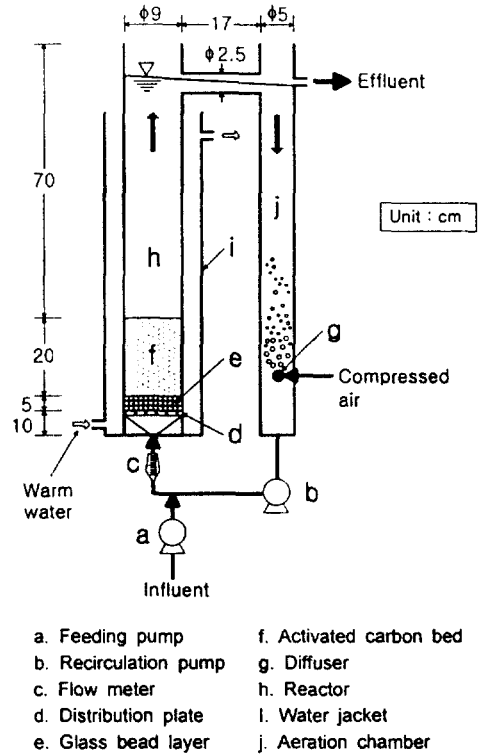


Fig. 1. Schematic diagram of experimental system.

릴관으로 질산화조와 포기실의 상단 5cm 아래를 연결하였으며, 활성탄의 유동을 위한 순환펌프와 함께 유량계를 설치하여 순환유량을 알 수 있도록 하였다.

활성탄 유동상 반응조에서 미생물 성장에 의한 매질층의 폐쇄를 방지할 수 있는 최소 팽창율이 100%라는 조 등<sup>19)</sup>의 연구결과를 토대로 본 연구에서도 폐수를 6~9 L/min의 율로 순환시켜 활성탄층을 100% 팽창시켰으며, 온도 제어장치가 부착된 항온조의 온수를 반응조 외부를 둘러싼 수조에 순환 시킴으로써 반응조내의 온도를 평균 20 ± 2°C로 유지하였다.

인위적인 미생물 식종은 실시하지 않았으며, 처음부터 반응조에 폐수를 주입하여 반응조가 폐수로 채워진 다음 활성탄층을 100% 팽창시켰다. 포기실의 공기 공급율은 500 mL/min이므로 실험기간 동안 질산화조내의 DO 농도는 4~9 mg/L 정도로 유지되었다.

## 2.2. 활성탄

매질로 사용된 활성탄은 야자계의 입상 활성탄으로서, 증류수로 수 회 세척한 후 105°C의 건조로에서 72시간 건조시킨 다음 반응조에 채웠다.

## 2.3. 합성폐수

본 실험에서는 합성폐수를 매일 제조하여 사용하였는데, Table 1에 나타낸 바와 같이 탄소원으로 glucose, bacto-peptone, 그리고 sodium citrate를 사용하였고, 질소원은 bacto-peptone,  $\text{NH}_2\text{CONH}_2$  (urea), 그리고  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 이었으며, 알칼리도 보충을 위하여  $\text{NaHCO}_3$ 를 첨가하였다.

I 및 II단계 실험에서는 유입수의 BOD : N : P의 비율이 100 : 30 : 1이 되도록 BOD 농도는 70 mg/L, 암모니아성 질소 농도는 21 mg/L, 그리고 T-P 농도는 0.7 mg/L로 하고, 질소원의 기여농도가 각각 7 mg/L가 되도록  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 은 26.8 mg/L,

Table 1. Composition of the synthetic wastewater

Compound	Concentration(mg/L)
Glucose	47.0
Bacto-peptone	52.0
$\text{NH}_4\text{Cl}$	26.75~1374.50
$\text{NH}_2\text{CONH}_2$	15.0
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	1.24~31.87
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0.50~53.97
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.56
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	7.0
$\text{CaCl}_2$	7.31
Sodium citrate	4.76
$\text{NaHCO}_3$	70.0~4500.0

Table 2. Conditions for experimental stages

Exp. Stage	Aeration	BOD Load. ( $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ )	$\text{NH}_3$ Load. ( $\text{kg NH}_3\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ )	Exp. Period (day)
I	Yes	0.2	0.1	1~40
II	No	0.2	0.1	41~126
III	No	0.3	0.1	127~189
IV	Yes	0.3	0.1~1.6	190~584
V	Yes	0.0	1.6~7.5	585~791

$\text{NH}_2\text{CONH}_2$ 는 15.0 mg/L, 그리고 bacto-peptone은 52.0 mg/L의 농도로 하였으나, III~V단계 실험에서는 BOD 부하나 질소부하 증가시에는 각각 유입수의 탄소원 화합물이나  $\text{NH}_4\text{Cl}$  농도를 조절하였으며, 이때 T-P 농도도 적절히 증가시켰다. 한편, 암모니아 부하 증가에 따라 처리수의 알칼리도를 측정 후 유입수에  $\text{NaHCO}_3$ 를 첨가하여 알칼리도를 보충하였다.

## 2.4. 실험방법

실험은 Table 2에 제시된 바와 같이 크게 5단계로 나누어 실시하였다. 즉, 포기를 실시하고 BOD 부하를  $0.2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로 유지하면서  $\text{NH}_3\text{-N}$  부하를  $0.1 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로 운전한 1단계, 1단계와 같은 조건에서 포기를 실시하지 않은 2단계, 2단계와 같은 조건에서 BOD 부하를  $0.3 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로 증가시킨 3단계, BOD 부하를  $0.3 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로 유지하면서 암모니아 부하를 0.1에서  $1.6 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 까지 증가시킨 4단계, 그리고 암모니아 부하를  $1.6 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 에서  $7.5 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 까지 증가시키고 유기물을 주입하지 않은 5단계로 실시하면서 암모니아 부하에 따른 질산화 효율 및 아질산성 질소의 축적 등을 조사하였는데, 처리수를 1일간씩 모아 Standard Methods<sup>20)</sup> 또는 수질오염공정시험법에 준하여 필요한 분석을 실시하였다. 그리고 반응조 내의 DO 농도는 DO probe(YSI 52 model)를 반응조(Fig. 1에서 h) 내의 활성탄 층 바로 위에 위치시켜 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 질산화

본 연구에 사용된 합성폐수 유입수는 암모니아 농도가 약 22~1,790 NH<sub>3</sub>-N mg/L였으며, 합성폐수 제조에 사용된 수돗물 때문에 질산성 질소의 농도가 1.06~2.30 mg/L이었으나 아질산성 질소는 없었다. 실험기간 동안의 암모니아 부하에 따른 질산화 효율의 변화를 Fig. 2에 나타내었는데, 질산화 효율은 평균 약 90%이었다. 여기서 질산화 효율은 유출수의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도를 유입수의 NH<sub>3</sub>-N 농도로 나눈 값을 뜻한다. 물론 생물막 내에서의 동시탈질(simultaneous denitrification) 가능성도 있었겠지만 그 정도가 심하지 않을 것으로 가정하여 무시하였다.

Fig. 2에 도시된 바와 같이 실험 전반기 0~200 일 기간의 낮은 질산화 효율은 실험초기의 질산화 미생물의 성장 부족, 포기중단에 의한 DO 부족 등에 주원인이 있는 것으로 판단되며, 432~506 일 간의 0.7~1.1 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day의 부하에서도 질산화 효율이 90% 이하로 저하되었는데, 이는 다음에 설명되겠지만 NH<sub>3</sub>-N 부하증가에 따른 DO 부족, free ammonia 농도의 증가 등에 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 1.6 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day의 부하에서 질산화 효율이 100% 이상으로 나타난 것은 활성탄에서의 NH<sub>3</sub> 흡착과 용출, 미생물막의 분해 등에 그 원인을 둘 수도 있으나 정확한 원인을 알 수 없었다. 1.8 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day 이상의 암모니아 부하에서는 질산화 효율에 변동이 발생하였는데 다음에 언급이 되겠지만 이는 충격부하, 유리 암모니아의 생성, DO 부족, 미생물의 적응 등에 그 원인이 있을 것으로 추정된다.

앞에서 언급된 바와 같이 Cooper와 Williams<sup>7)</sup>는 모래 유동상의 암모니아 부하가 1.12 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day로 증가함에 따라 질산화 효율이 급격히 감소한 것으로 보고하였으며, Asano<sup>14)</sup>는 미생물을 PVA에 고착시킴으로써 2.7 kg N/m<sup>3</sup>·day의 부하에서도 질산화가 가능한 것으로 보고하였는데, 본 연구에서는 아질산화까지 고려한다면 7.5 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day 부하까지 평균 90% 정도의 질산화가 가능

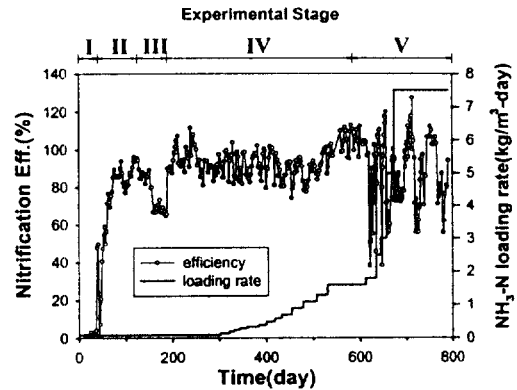
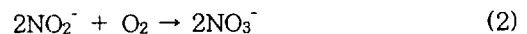
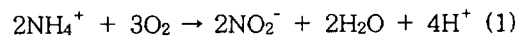


Fig. 2. Effect of NH<sub>3</sub>-N loading on nitrification efficiency.

함으로써 활성탄 유동상의 질산화 효율성이 양호함을 알 수 있다.

#### 3.2. 아질산성 질소의 축적

일반적으로 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N의 축적은 온도, pH, DO, BOD, 암모니아, SRT, 유리 암모니아 등의 함수로서, DO와 암모니아 간의 비가 0.4 이하<sup>21)</sup>, C/N 비가 1.5 이상<sup>22)</sup>, BOD와 DO 간의 비가 5 이상<sup>23)</sup>, 유리 암모니아 농도가 0.1~1.0 mg/L 이상<sup>24)</sup>인 경우에 아질산이 축적되는 것으로 보고되었다. 암모니아의 질산화는 식 (1) 및 식 (2)에 주어진 바와 같이 2단계로 진행되는데 DO가 부족한 경우에는 식 (2)의 질산화(nitrataion)가 진행되지 못하고 식 (1)의 아질산화(nitritation)만이 진행되어 아질산 축적이 발생하게 된다.



본 연구에 사용된 유동상 반응조 내에서의 흐름은 완전혼합형이므로 반응조 내의 수질과 처리수의 수질이 같다고 가정하여 처리수의 온도, pH 및 암모니아성 질소 농도 값들을 식 (3)<sup>24)</sup>에 대입하여 계산한 반응조 내의 유리 암모니아성 질소(FA) 농도와 암모니아 부하 간의 관계를 그림으로 나타낸 것이 Fig. 3으로서, 질산화 효율이 크게 증가하기 시작한 50일경부터 반응조 내의 유리 암모니아성 질소 농

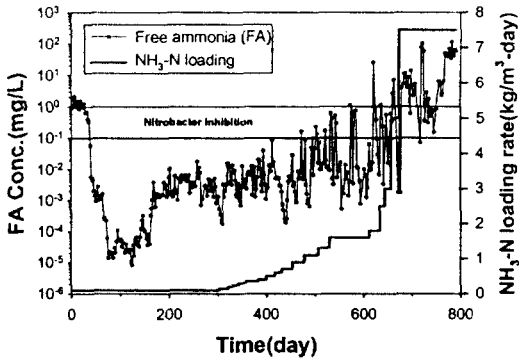


Fig. 3. Effect of ammonia loading rate on free ammonia formation.

도가 매우 낮게 나타났으나, 500일경부터 유리 암모니아성 질소 농도가 대부분의 경우 0.1 mg/L 이상으로 유지되었다. 따라서 실험시작 500일 이후의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 축적은 유리 암모니아성 질소의 농도가 0.1~1.0 mg/L 정도의 범위일 때 *Nitrobacter*가 영향을 받아 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N이 축적된다는 과거의 연구결과<sup>24)</sup>와 일치함을 알 수 있다.

FA as NH<sub>3</sub> (mg/L)

$$= \frac{17}{14} \times \frac{NH_3-N(mg/L) \times 10^{pH}}{K_b/K_w + 10^{pH}}$$

$$[(K_b/K_w) = e^{\frac{6.344}{273 + ^\circ C}}]$$

(3)

암모니아 부하에 따른 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N의 축적을 나타낸 Fig. 4의 자료를 살펴보면 질산화미생물의 성장이 불충분하였던 실험초기를 제외하면 1.8 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day의 암모니아 부하에서 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N가 축적되기 시작하여 3.0 kg/m<sup>3</sup>·day 이상의 부하에서는 처리수내 질산산화물의 대부분이 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N으로 존재함을 알 수 있다. NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N의 축적을 유입수 암모니아 농도와 반응조 DO 농도 간의 비로 나타낸 Fig. 5를 살펴보면 Fig. 4와 마찬가지로 질산화 미생물이 충분히 성장하지 않아 일시적으로 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N이 축적되었던 실험초기를 제외하면 유입수 암모니아 농도와 반응조 DO 농도 간의 비가 약 100 이상일 때 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N이 본격적으로 축적되었음을 알 수 있다. 또한 처리수의 NH<sub>3</sub>-N 농도와 반응조 DO 농도 간의 비와 처리수의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/NO<sub>x</sub>-N비 간의 관계를 나타

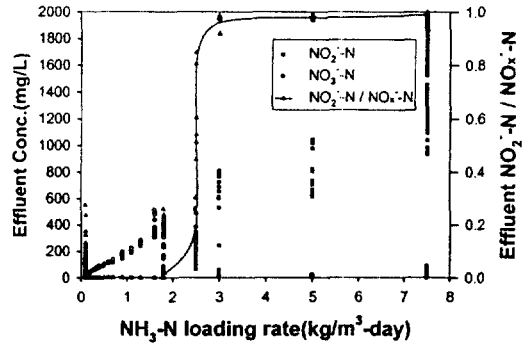


Fig. 4. Effect of ammonia loading rate on nitrite build-up.

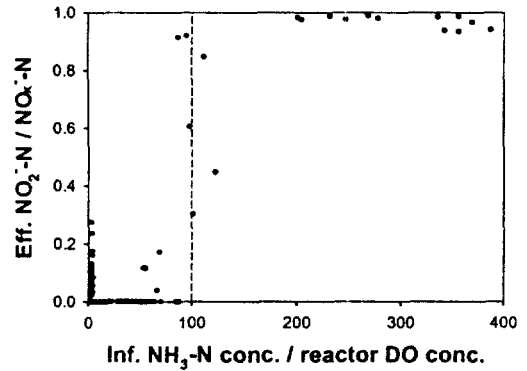


Fig. 5. Effect of influent NH<sub>3</sub>-N concentration/reactor DO concentration ratio on nitrite build-up.

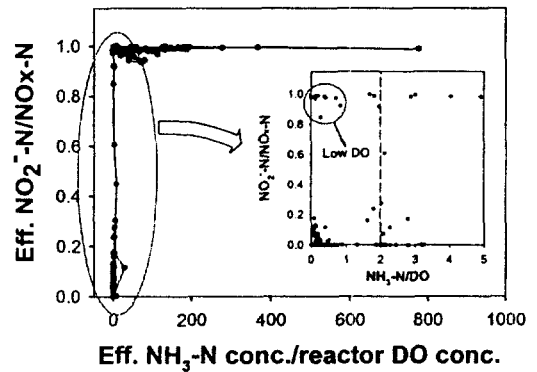


Fig. 6. Effect of effluent NH<sub>3</sub>-N concentration/reactor DO concentration ratio on nitrite build-up.

낸 Fig. 6에 의하면 처리수의 NH<sub>3</sub>-N 농도/반응조 DO 농도 비가 대략 2 이상이었을 때 아질산 축적이

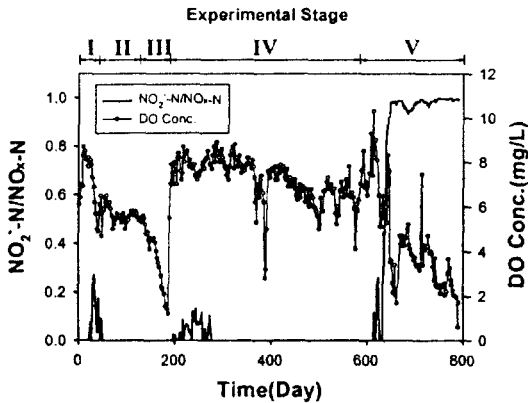


Fig. 7. Nitrite build-up during the experimental period.

크게 발생하였는데 이는 DO와 암모니아 간의 비가 0.4 이하 즉, 암모니아와 DO 간의 비가 2.5 이상일 때 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 축적이 일어난다는 과거의 연구결과<sup>23)</sup>와 비슷한 값이다.

Fig. 7은 전체 실험기간동안의 반응조 내의 DO 농도와 아질산 축적을 나타낸 것으로, 실험기간중 아질산 축적 현상은 크게 세 번 발생하였음을 알 수 있다. 첫 번째는 30~35일경에 발생하였는데, 이는 실험초기에 질산화 미생물이 충분히 성장하지 못하여 Fig. 3에 도시된 바와 같이 free ammonia 농도가 높게 유지된 데 그 원인이 있는 것으로 추정된다. 200~270일 사이에 발생한 두 번째 아질산 축적은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 III단계 실험말기의 낮은 DO 농도에 직접적인 원인이 있는 것으로 판단되며, 612~791일간에 발생한 아질산 축적은 높은 NH<sub>3</sub>-N 부하로 인한 free ammonia의 형성 및 DO 부족에 근본원인이 있는 것으로 추정된다. 따라서, 본 실험에서의 아질산 축적은 DO 부족 또는 높은 암모니아 부하에 의해서 발생한 것으로 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

활성탄 유동상 반응조를 이용하여 암모니아 부하에 따른 질산화 및 아질산 축적을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 0.1~7.5 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day 범위의 암모

니아 부하에서 질산화 효율은 평균 90%이었다.

- 2) 1.8 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day 이상의 암모니아 부하에서 유리 암모니아의 영향으로 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N의 축적이 시작되어 3.0 kg/m<sup>3</sup>·day 이상의 암모니아 부하에서는 처리수 내의 질소성분의 97~98%가 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N이었다.
- 3) 유입수 NH<sub>3</sub>-N 농도와 반응조 DO 농도 간의 비가 약 100 이상일 때 또는 처리수 NH<sub>3</sub>-N 농도와 반응조 DO 농도 간의 비가 2 이상일 때 아질산 축적이 심화되어 처리수의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/NO<sub>x</sub>-N 비가 평균 97.6%로 나타났다.

#### 사 사

이 연구는 1998년도 인하대학교 교내연구비의 지원에 의하여 이루어 졌으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

#### 참 고 문 헌

1. Amnant, P. P. and McCarty, P. L., "Treatment of high nitrate waters," *JAWWA*, **61**(6), 659~662(1969).
2. Beer, C., "Evaluation of anaerobic denitrification process," *JEED*, ASCE, **96**(SA6), 1452~1456(1970).
3. Jeris, J. S., Beer, C. and Muller, J. A., "High rate biological denitrification using a granular fluidized bed," *JWPCF*, **46**(9), 2118~2128(1974).
4. Jeris, J. S. and Owens, R. W., "Pilot-scale, high-rate biological denitrification," *JWPCF*, **47**(8), 2043~2057(1975).
5. Jeris, J. S., Owens, R. W., Hickey, R. and Flood, F., "Secondary treatment and nitrogen removal using biological fluidized bed technology," presented at the Annual Conference of the Water Pollution Control

- Federation*(1975).
6. Stathis, T. C., "Fluidized bed for biological wastewater treatment," *J. of the Environ. Eng. Div., ASCE*, **106**(EE1), 227~241 (1980).
  7. Cooper, P. F. and Williams, S. C., "High-rate nitrification in a biological fluidized bed," *Wat. Sci. Tech.*, **22**(1/2), 431~442 (1990).
  8. Kowalski, E. and Lewandowski, Z., "Nitrification process in a packed bed reactor with a chemically active bed," *Wat. Res.*, **17**, 157~160(1983).
  9. Knox, K., "Leachate treatment with nitrification of ammonia," *Wat. Res.*, **19**(7), 895~904(1985).
  10. Suwa, Y., Suzuki, T., Toyohara, H., Yamagishi, T. and Urushigawa, Y., "Single-stage, single-sludge nitrogen removal by an activated sludge process with cross-flow filtration," *Wat. Res.*, **26**(9), 1149~1157(1992).
  11. Gupta, S. K. and Sharma, R., "Biological oxidation of high strength nitrogenous wastewater," *Wat. Res.*, **30**(3), 593~600 (1996).
  12. Rogalla, F. and Bourbigot, M. M., "New developments in complete nitrogen removal with biological aerated filters," *Wat. Sci. Tech.*, **22**(1/2), 273~280(1990).
  13. Dillon, G. R. and Thomas, V. K., "A pilot-scale evaluation of the 'biocarbon process' for the treatment of settled sewage and for tertiary nitrification of secondary effluent," *Wat. Sci. Tech.*, **22**(1/2), 305~316(1990).
  14. Asano, H., "A study of nitrification utilizing whole microorganisms immobilized by the PVA-freezing method," *Wat. Sci. Tech.*, **26**(5/6), 1037~1046(1992).
  15. Turk, O. and Mavinic, D. S., "Selective inhibition : a novel concept for removing nitrogen from highly nitrogenous wastes," *Env. Technol. Lett.*, **8**, 419(1987).
  16. Abeling, U. and Seyfried, C. F., "Anaerobic-aerobic treatment of high-strength ammonium wastewater-nitrogen removal via nitrite," *Wat. Sci. Tech.*, **26**, 1007~1015 (1992).
  17. Yang, L. and Alleman, J. E., "Investigation of batchwise nitrite build-up by an enriched nitrification culture," *Wat. Sci. Tech.*, **26**, 997~1005(1992).
  18. Balmelle, B. and Cornier, J. C., "Study of factors controlling nitrite build-up in biological processes for water nitrification," *Wat. Sci. Tech.*, **26**, 1017~1025(1992).
  19. 조광명, 배재호, 변종각, 박수영, "유동상 생물학적 황성탄 반응조의 개발에 관한 연구," 한국환경과학연구협의회(1993).
  20. APHA, AWWA and WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., APHA, Washington, D.C.(1996).
  21. Çeçen, F. and Gönenc, E., "Criteria for nitrification and denitrification of high-strength wastes in two upflow submerged filters," *Wat. Env. Res.*, **67**(2), 132~142 (1995).
  22. Okabe, S., Oozawa, Y., Hirata, K. and Watanabe, Y., "Relationship between population dynamics of nitrifiers in biofilms and reactor performance at various C:N ratios," *Wat. Res.*, **30**(7), 1563~1572 (1996).
  23. Gönenc, I. E. and Harremoës, P., "Nitrification in rotating disc systems-I : criteria for transition from oxygen to ammonia rate limitation," *Wat. Res.*, **19**(9), 1119~1127(1985).
  24. Anthonisen, A. C., Loehr, R. C., Prakasam, T. B. S. and Srinath, E. G., "Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid," *JWPCF*, **48**(5), 835~852 (1976).