

폐수처리에 있어 질산화 공정 인자의 영향

정귀택^{1,2,3} · 박석환^{2,3} · 박재희^{2,3} · 임은태⁷ · 방성훈⁷ · 박돈희^{2,3,4,5,6*}

¹전남대학교 생명과학기술학부, ²바이오에너지 및 바이오소재 협동과정, ³공업기술연구소, ⁴축매연구소, ⁵기능성식품연구센터, ⁶서울대학교 화학생물공학부, ⁷(주)태림인더스트리

Effect of Factors of Nitrification Process in Wastewater Treatment

Gwi-Taek Jeong^{1,2,3}, Seok-Hwan Park^{1,2}, Jae-Hee Park^{1,2}, Eun-Tae Lim⁷,
Sung-Hun Bang⁷, and Don-Hee Park^{1,2,3,4,5,6*}

¹School of Biological Sciences and Technology, ²Interdisciplinary Program of Graduate School for Bioenergy & Biomaterials, ³Engineering Research Institute, ⁴Research Institute for Catalysis, ⁵Functional Food Research Center, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea, ⁶School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea, ⁷Taerim Industry Co., Ltd, Jeonnam 520-340, Korea.

Abstract This paper was investigated the research regarding the effects of several factors such as initial ammonium nitrogen concentration, aeration rate, biomass amount and C/N ratio on nitrification process using synthetic wastewater and activated sludge obtained from wastewater treatment facility. As a result, in high ammonium nitrogen concentration above 100 mg/L, the pH of wastewater was dropped to pH 6.8. The increases of initial ammonium nitrogen concentration, aeration rate and initial biomass amount were linearly enhanced the removal rate of ammonium nitrogen. In the condition of C/N ratio of 0 to 3, high ammonium nitrogen removal rate was obtained.

Keywords: nitrogen removal, nitrification, ammonium nitrogen, industrial wastewater, advanced treatment

서 론

오·폐수 중의 질소성분은 수질오염을 발생하여 용수의 사용제한 및 부가적인 환경오염을 야기하고 있다(1). 현재 적용되고 있는 오·폐수 중의 질소 고도처리 방법은 각각의 발생원의 오·폐수 중의 오염물질의 성상과 농도에 따라 다양한 방법을 선택하여 물리화학적 방법과 생물학적 방법을 단독 또는 병합하여 사용하고 있다(2-4). 물리화학적 방법으로는 breakpoint chlorination, 암모니아 stripping, 이온교환법 등의 방법이 사용되고 있다. 생물학적 방법으로는 미생물을 이용하여 오·폐수 중의 암모늄 이온을 호기성 상태에서 질산화 미생물을 이용하여 생물학적으로 질산화한 후, 다시 무산소 상태에서 탈질 미생물을 이용하여 생물학적 탈질화가 일어나도록 하여 질소화합물을 질소가스로 환원시켜

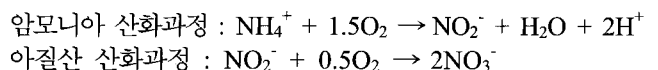
질소성분을 제거하는 방법이 있다. 미생물을 사용한 오·폐수 중의 질소 성분을 제거에는 유출되는 오·폐수의 성상과 농도에 따라 다르지만, 일반적으로 질산화와 탈질화 공정이 모두 수행되어야 한다(2-6).

폐수 중의 질소성분은 크게 유기성 질소와 무기성 질소로 분류하며, 무기성 질소 성분은 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 형태로 존재한다. 유기성 질소는 미생물에 의하여 암모니아화 과정을 거쳐 암모니아성 질소로 전환된다. 일반적으로 암모니아화된 질소와 원폐수에 존재하는 암모니아성 질소는 폐수 중의 주요 질소 형태로 존재한다(7-9).

질산화 반응은 암모니아성 질소가 호기성 상태에서 질산화 미생물에 의하여 아질산성 질소와 질산성 질소로 산화되는 과정으로 암모니아 산화과정과 아질산 산화과정으로 구분된다(3, 4, 7, 8).

*Corresponding author

Tel: +82-62-530-1841, Fax: +82-62-530-1910
e-mail: dhpark@chonnam.ac.kr



일반적으로 질산화 반응은 화학합성 독립영양균에 의해 이루어지는 것으로 알려져 있으며, 암모니아성 질소에서 아질산성 질소의 형태로 산화시키는 질산화 반응에 관여하는 미생물로는 *Nitrosomanas* sp., *Nitrosospira briensis*, *Nitrosococcus nitrous*, *Nitrosolobus multiformis* 등의 아질산화 미생물들이 있다. 또한, 아질산에서 질산으로 산화시키는 미생물로는 *Nitrobacter* sp., *Nitrosospina gracilis*와 *Nitrosococcus mobilis* 등의 질산화 미생물이 있다(3, 4, 7, 8).

질산화 미생물에 의한 암모니아성 질소의 아질산성 및 질산성 질소로의 산화는 에너지 생성반응이며, 이때 생성되는 에너지를 이용하여 이산화탄소, 중탄산, 또는 탄산과 같은 탄소원을 동화한다. 질산화 반응은 일반적으로 호기 조건에서 잘 일어나며, 산화 과정에서 생성되는 수소이온을 중화시키기 위해 충분한 알칼리도를 공급하여야 한다. 질산화 미생물들은 절대 호기성이지만, 호기성 종속영양 미생물보다 산소에 대한 친화력이 낮아 높은 용존산소를 요구한다(3, 4, 8, 9). 또한 환경조건에 대단히 민감하여 영향인자의 변화에 의하여 미생물의 성장과 활성이 좌우된다. 질산화 반응의 영향인자로는 배양온도, pH, 알칼리도, 용존산소, C/N 비, 탄소원의 종류 등이 있다(5-7).

본 연구에서는 폐수처리장의 활성슬러지를 이용하여 합성폐수를 대상으로 질산화 공정에 미치는 인자들에 대한 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

활성슬러지

본 실험에 사용한 활성슬러지는 전남 L화학 폐수처리장에서 채취하여 호기조에서 NH_4Cl 를 질소원으로, 그리고 미량원소를 넣어서 배양하면서 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 활성슬러지의 상태는 미생물들이 균락을 잘 이루고 있는 상태였다.

회분식 실험

합성폐수의 조성은 K_2HPO_4 , KH_2PO_4 와 약간의 미량원소 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, yeast extract)로 구성하였으며, 알칼리도는 KHCO_3 를 사용하여 조절하였다. Table 1에 실험에 사용한 각 합성폐수의 조성을 나타내었다. N- NH_4 질소원으로는 NH_4Cl 을, 그리고 탄소원 (COD)으로는 포도당을 사용하여 실험에 따라 다양한 농도로 실험에 적용하였다.

회분식 실험에 사용한 반응기는 외부로부터 공기의 공급이 가능한 1 L 규모의 생물반응기를 사용하였다. 합성폐수 800 mL와 활성슬러지 200 mL를 혼합하여 조업부피를 1 L

로 맞춘 다음 생물반응기에 합성폐수와 활성슬러지를 넣고 설정된 유속으로 공기를 공급과 동시에 자석교반기를 이용하여 150 rpm으로 혼합하였다. 실험온도는 항온수조를 이용하여 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며, 각 합성폐수의 초기 pH는 HCl과 NaOH를 사용하여 pH 8로 조절하였다.

Table 1. Composition of the synthetic wastewater for nitrification

Compound	Synthetic wastewater
Glucose (as COD)	variable
NH_4Cl (as N)	variable (0-500 mg/L)
K_2HPO_4 (as P)	5.4 mg/L
KH_2PO_4 (as P)	13.6 mg/L
KHCO_3 (as HCO_3^-)	366 mg/L
Nutrient solution*	2 mL

*Nutrient solution contains per 2 liter: 9 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 6 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1.5 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 6.5 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1.7 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.138g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 1.9 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 5.5 g $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.1 g H_3BO_3 , 0.6 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1 g yeast extract.

분석방법

시료의 분석 (MLSS, pH, Temp., COD, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , T-N)은 수질오염공정시험법에 의거하여 분석하였다(2, 10).

질산성 질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$)

시료 중의 질산성 질소의 함량분석은 Cadmium reduction 방법과 자외선 흡광광도법을 사용하였다. Cadmium reduction 방법을 변형한 방법은 분석에는 분광광도계 (DR 4000, Hach, USA)를 사용하였다. 발색시약으로 Hach사의 시약 kit (NITRATE, HR, 0 to 30.0 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$)을 사용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하여 시료 중의 질산성 질소의 함량을 측정하였다. 또한 자외선 흡광광도법을 사용하여 분석하였으며, 표준물질로 KNO_3 를 사용하여 표준검량선을 작성하여 시료의 농도를 계산하였다.

암모니아성 질소 ($\text{NH}_3\text{-N}$)

시료 중의 암모니아성 질소의 함량분석은 Nessler 방법을 변형하여 사용하였다. 발색시약으로 Hach사의 시약 kit (NITROGEN, AMMONIA, 0 to 2.50 mg/L $\text{NH}_3\text{-N}$)을 사용하여 분광광도계 (DR 4000, Hach, USA)를 이용하여 425 nm에서 흡광도를 측정하여 시료 중의 암모니아성 질소의 함량을 측정하였다. 암모니아성 질소는 표준물질로 NH_4Cl 을 사용하여 분석하였다.

아질산성 질소 ($\text{NO}_2\text{-N}$)

시료 중의 아질산성 질소의 함량분석은 Ferrous sulfate 방법을 변형하여 사용하였다. 발색시약은 Hach사의 시약 kit (NITRITE, HR, 0 to 150 mg/L $\text{NO}_2\text{-N}$)을 사용하여

분광광도계 (DR 4000, Hach, USA)를 사용하여 585 nm 에서 흡광도를 측정하여 시료 중의 아질산성 질소의 함량을 측정하였다. 아질산성 질소 측정에 사용한 표준물질은 NaNO₂를 사용하였다.

결과 및 고찰

질산화 공정에 미치는 암모니아성 질소 농도의 영향

질산화공정에 미치는 암모니아성 질소 농도의 영향을 알아보기 위하여 다음과 같이 질산화 반응 실험을 수행하였다. Table 1과 같은 합성폐수를 제조하여 암모니아성 질소의 농도는 NH₄Cl을 사용하여 20, 50, 100, 200, 500 mg/L로 조절하여 실험을 수행하였다. 질산화 반응을 위한 합성 폐수 중의 C/N 비는 포도당을 사용하여 1로 설정하였고, 접종한 활성슬러지 양은 약 1,350 mg/L가 되도록 하여, 500 mL/min의 유속으로 공기를 공급하면서 질산화 반응을 측정하였다.

실험기간 동안 합성폐수 중의 초기 암모니아성 질소의 농도의 변화에 따른 뚜렷한 바이오매스의 농도는 변화는 관찰되지 않았다. 일반적으로 전기전도도는 합성폐수에 함유되어 있는 전체적인 화학성분들의 양과 비례한다. 합성폐수 중의 암모니아성 질소 함량에 따라 비례적으로 전기전도도가 증가하였으며, 합성폐수 중의 초기 암모니아성 질소의 농도의 변화에 따른 뚜렷한 전기전도도의 농도 변화 경향은 관찰되지 않았다(data not shown). 이는 질산화 반응을 통하여 암모니아성 질소가 아질산과 질산성 질소로 변환되었지만, 전체적인 전기전도도로의 변화는 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 1(A)에 질산화 공정에서 합성폐수에 첨가된 암모니아성 질소 농도의 변화에 따른 합성폐수 중의 pH의 변화를 나타내었다. 합성폐수 중의 초기 암모니아성 질소의 농도가 20 mg/L와 50 mg/L의 경우에 있어서는 합성폐수 중의 pH 변화는 미미하였다. 그러나 고농도의 암모니아성 질소 (100 mg/L 이상)를 함유한 경우에 있어서는 합성폐수 중의 pH가 초기 8에서 반응 100시간 후에는 pH 6.8까지 감소하였다. 이는 질산화 과정을 통하여 아질산성 질소와 질산성 질소가 생성되어 합성폐수 중의 pH 변화를 가져온 것으로 판단된다.

Fig. 1(B)는 질산화 공정에서 합성폐수에 첨가된 암모니아성 질소 농도의 변화에 따른 암모니아성 질소 농도의 변화를 나타내었다. 초기 암모니아성 질소 농도를 37 mg/L로 질산화 반응을 수행한 결과 반응 100시간 후에는 약 22.94 mg/L의 암모니아성 질소만이 남아 있었다. 이는 초기 농도의 39.4%가 감소된 값이다. 초기 암모니아성 질소 농도를 67.6 mg/L로 질산화 반응을 수행한 결과 반응 100시간 후에는 약 24.2 mg/L의 암모니아성 질소가 남아 있어 64.2%의 제거율을 나타내었다. 103 mg/L의 암모니아성 질소를 질

산화 반응을 수행한 결과 반응 100시간 후에는 약 34.7 mg/L의 암모니아성 질소가 잔존하여 66.3%의 제거율을 나타내었다. 187 mg/L의 암모니아성 질소를 질산화 반응을 수행한 결과 반응 100시간 후에는 약 110 mg/L의 암모니아성 질소가 잔존하여 40.7%의 제거율을 나타내었다. 초기 암모니아성 질소 농도를 488 mg/L로 질산화 반응을 수행한 결과 반응 54시간 후에는 약 338.5 mg/L의 암모니아성 질소만이 남아 30.7%의 제거율을 나타내었다.

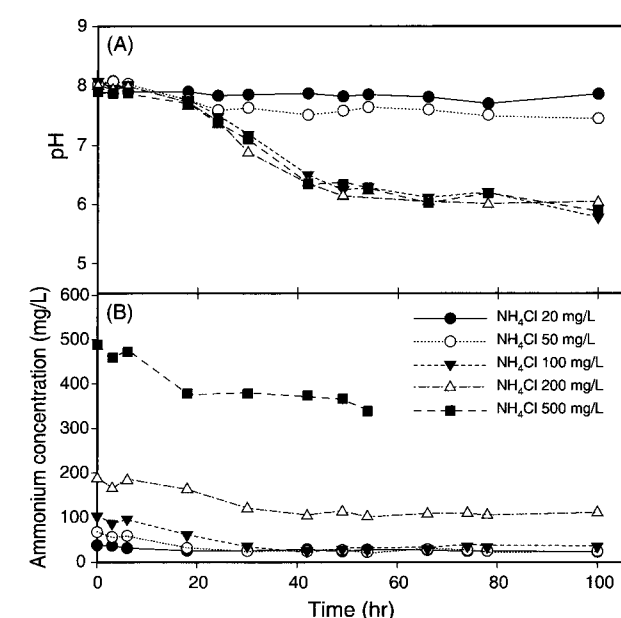


Fig. 1. Effect of initial ammonium concentration on pH change (A) and ammonium nitrogen removal (B) in nitrification process.

합성폐수 중의 초기 암모니아성 질소의 농도에 따라 암모니아성 질소의 제거속도가 다르게 나타났고, 고농도의 암모니아성 질소 농도일수록 제거율이 감소함을 나타내었다. 질산화 공정에서 합성폐수에 첨가된 암모니아성 질소 농도의 변화에 따른 질산성 질소 농도의 변화를 나타낸 결과, 합성폐수 중의 초기 암모니아성 질소의 농도의 변화에 따라 아질산성 질소와 질산성 질소로 전환됨을 확인하였다. 질산화 반응 중 아질산성 질소의 농도는 전체 실험군에서 5-15 mg/L의 농도로 검출되었다(data not shown).

Table 2. Removal rate of ammonium nitrogen with different initial ammonium concentration in nitrification process

Ammonium concentration (mg/L)	Removal rate (mg/L NH ₄ ⁺ /hr)
37.8	0.428 (0-30hr)
67.6	1.441 (0-30hr)
103	2.206 (0-30hr)
187	1.954 (0-30hr)
488	3.930 (0-30hr)

Table 2는 질산화 공정에서 초기 암모니아성 질소의 농도

와 제거속도 관계를 나타내었다. 실험 결과 중 선형적으로 암모니아성 질소가 감소한 구간에 대하여 제거속도를 계산한 결과 초기 암모니아성 질소 농도에 비례해서 일정구간에서는 제거속도가 증가하는 경향을 나타내었다.

질산화 공정에 미치는 공기공급량의 영향

질산화 공정에 미치는 공기공급량의 영향을 알아보기 위하여 다음과 같은 조건으로 질산화 반응 실험을 수행하였다. Table 1과 같은 합성폐수 조성을 기준으로 제조하였고, 암모니아성 질소의 농도는 NH₄Cl을 사용하여 100 mg/L로, 합성합성폐수 중의 C/N 비는 포도당을 사용하여 1로 설정하였고, 접종한 활성슬러지 양은 약 1,350 mg/L가 되도록 하였다. 0, 200, 500, 750, 1,000 mL/min의 유속으로 공기를 공급하면서 공기공급량에 따른 질산화 반응을 실험하였다.

Fig. 2(A)는 공기공급량에 따른 질산화 공정 중에서 합성폐수 중의 pH의 변화를 나타내었다. 공기를 공급하지 않은 경우에 있어서는 합성폐수 중의 pH 변화는 반응 78 시간까지는 미미하였다. 그러나 다른 대부분의 실험조건(200-1,000 mL/min)에서는 합성폐수 중의 pH가 초기 8에서 반응 100시간 후에는 pH 5.7 정도까지 감소하였다. 이는 질산화 과정을 통하여 암모니아성 질소 성분은 감소하고, 아질산성 질소와 질산성 질소 성분이 생성되어 합성폐수의 pH 변화를 가져온 것으로 판단된다.

Fig. 2(B)에 공기공급량에 따른 암모니아성 질소 농도의 변화를 나타내었다. 반응기에 공기를 공급하지 않은 경우에는 42시간 후에 약 72.7 mg/L의 암모니아성 질소가 잔류하여 초기농도의 27.3%가 감소되었다. 일반적으로 질산화 반응은 외부로부터 산소가 공급되어 질산화 미생물들에 의하여 암모니아성 질소를 아질산성 질소와 질산성 질소로 전환시키는 것으로 알려져 있다(3, 4, 7, 8). 본 실험에서는 외부로부터 산소의 직접적인 유입은 없었으나, 실험 초기 잔류하는 용존산소와 반응 중 교반으로 인한 대기 중의 산소의 용해로 인하여 일부 산소가 실험 합성폐수 내로 용존되어 질산화 반응에 이용되어 일부 반응이 일어난 것으로 판단된다. 반응기에 유입되는 공기공급량을 200 mL/min으로 조절하여 질산화 반응을 수행한 결과 42시간 후에는 약 24.8 mg/L의 암모니아성 질소가 잔류하여 초기농도의 75.2%가 처리되었다. 반응기에 유입되는 공기공급량을 500 mL/min으로 조절하여 질산화 반응을 수행한 결과 42시간 후에는 약 4.96 mg/L의 암모니아성 질소가 잔류하였고 94.8%의 암모니아성 질소가 처리되었다. 배양 후반부에서는 일부 암모니아성 질소의 생성이 있었다. 반응기에 유입되는 공기공급량을 750 mL/min으로 조절하여 질산화 반응을 수행한 결과 42시간 후에는 약 9.09 mg/L의 암모니아성 질소가 남아 있었고, 이는 90.9%의 암모니아성 질소 제거율을 나타내었다. 반응 66시간에는 약 93.2%의 제거율을 나타내었다. 1,000 mL/min의 공기공급량으로 조절하여 질산화 반응을 수행한 결과 42시간

후에는 약 12.6 mg/L의 암모니아성 질소가 측정되어 87.4%의 암모니아성 질소가 감소하였다. 반응 66시간에는 약 88.3%의 제거율을 나타내었다.

질산화 반응기에 공급되는 공기량에 따른 암모니아성 질소의 제거속도는 다르지만, 본 실험에서는 500 mL/min의 공기공급량에서 암모니아성 질소의 제거율이 우수하였다(Fig. 3). 이는 750 mL/min과 1,000 mL/min의 경우에 있어서는 질산화 반응 중 폭기되는 공기방울에 의해 활성슬러지가 반응기 상단 표면에 부착되어 실제 질산화 반응에 사용되지 못하는 현상을 보인 것과 관련이 있으리라 판단된다. 질산화 공정에서 공급공기량의 변화에 따른 질산성 질소 농도의 변화를 나타내었다. 공급공기량의 변화에 따라 아질산성 질소와 질산성 질소로 전환됨을 확인하였다. 질산화 반응 중 아질산성 질소의 농도는 전체 실험군에 따라 5-30 mg/L의 농도로 검출되었다(data not shown).

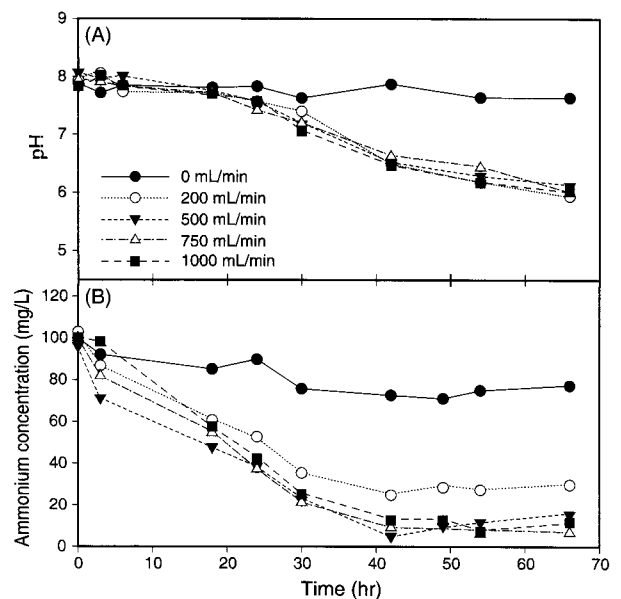


Fig. 2. Effect of aeration rate on pH change (A) and ammonium nitrogen removal (B) in nitrification process.

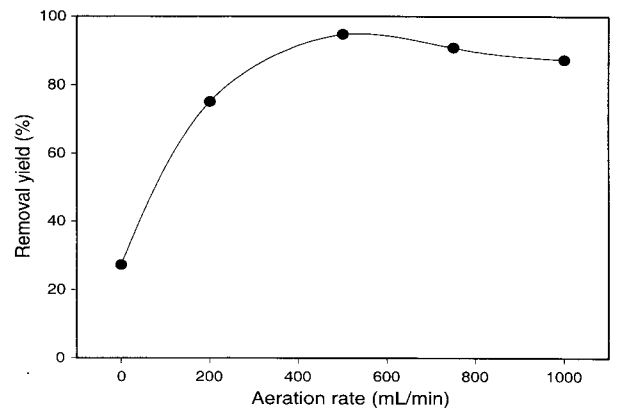


Fig. 3. Comparison of removal yield of ammonium nitrogen with different aeration rate at 42 hr in nitrification process.

Table 3. Removal rate of ammonium with different aeration rate in nitrification process

Aeration rate (mL/min)	Removal rate (mg/L NH ₄ ⁺ /hr)
0	0.521
200	1.644
500	1.633
750	1.907
1,000	2.176

Table 3은 질산화 공정에서 공급공기량과 암모니아성 질소 제거속도의 관계를 나타내었다. 실험 결과 중 선형적으로 암모니아성 질소가 감소한 구간 (반응시간 3-42 hr)에 대하여 암모니아성 질소의 제거속도를 계산한 결과, 공급공기량에 비례해서 일정구간에서는 제거속도가 증가하였다.

질산화공정에 미치는 활성슬러지 첨가량의 영향

초기 활성슬러지양이 질산화 공정에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Table 1과 같은 합성폐수 조성을 기준으로 암모니아성 질소의 농도는 NH₄Cl을 사용하여 100 mg/L로 조절하였고, 합성폐수 중의 C/N 비는 포도당을 사용하여 1로 설정하였다. 질산화 반응에 첨가한 활성슬러지 양은 약 350, 450, 780, 1,120, 1,850 mg/L가 되도록 접종하여 500 mL/min의 유속으로 공기를 공급하면서 질산화 반응 실험을 수행하였다.

Fig. 4(A)는 질산화 공정에서 합성폐수에 첨가된 활성슬러지 농도의 변화에 따른 합성폐수의 pH의 변화를 나타낸 것이다. 활성슬러지의 농도가 350 mg/L의 경우에 있어서는 합성폐수 중의 pH 변화는 미미하였으며, 450 mg/L에서는 약 반응 60시간 후에 pH가 감소하기 시작하였다. 그러나 780 mg/L 이상의 활성슬러지를 접종한 실험에 있어서는 합성폐수의 pH가 초기 8에서 반응 80시간 후에는 pH 6.1까지 감소하였다. 이는 질산화 과정을 통하여 아질산성 질소와 질산성 질소가 생성되면서 합성폐수의 pH 변화를 가져온 것으로 판단된다.

Fig. 4(B)는 접종한 활성슬러지 농도에 따른 암모니아성 질소 농도의 변화를 나타낸 것이다. 활성슬러지를 350 mg/L로 접종한 결과 102시간 후에는 약 14.3 mg/L의 암모니아성 질소만이 잔존하였고, 초기농도의 85.7%가 감소되었다. 450 mg/L의 활성슬러지를 접종한 결과 반응 102시간 이후에 약 2.13 mg/L의 암모니아성 질소가 잔류하였으며, 97.8%의 제거율을 얻었다. 780 mg/L의 활성슬러지를 접종한 결과 반응 80시간 이후에는 약 7.2 mg/L의 암모니아성 질소만이 검출되어 92.8%가 감소되었다. 1,120 mg/L의 활성슬러지를 접종한 결과 반응 85시간 후에는 약 4.8 mg/L의 암모니아성 질소만이 남아 있었고, 초기농도의 95.2%가 감소되었다. 1,850 mg/L의 활성슬러지를 접종한 결과 반응 54시간 이후에는 약 10.5 mg/L의 암모니아성 질소가 잔존하였으며, 89.5%가 제거되었다.

접종한 활성슬러지 양에 따른 암모니아성 질소의 제거

율은 반응 36시간에서 접종한 활성슬러지 양에 비례하여 증가하는 결과를 나타내었다(Fig. 5). 일부 실험에 있어서는 질산화 반응 중 폭기되는 공기방울에 의해 활성슬러지가 반응기 표면에 부착되어 실제 질산화 반응에 사용되지 못하는 현상이 관찰되었다.

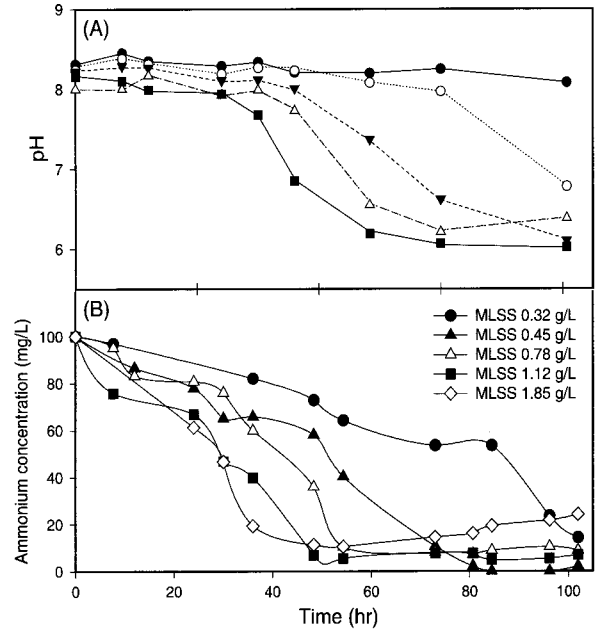


Fig. 4. Effect of biomass concentration on pH change (A) and ammonium nitrogen removal (B) in nitrification process.

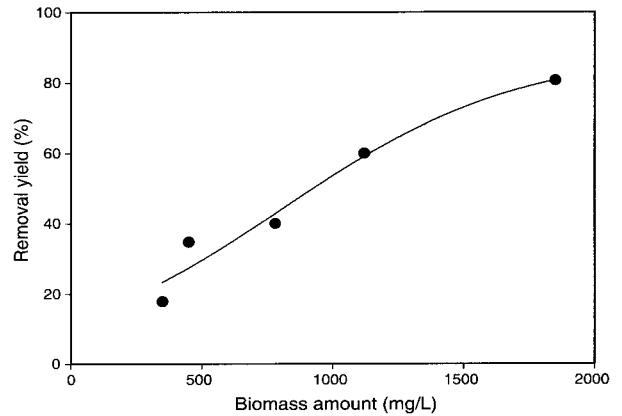


Fig. 5. Removal yield of ammonium nitrogen at 36 hr in nitrification process.

Table 4. Removal rate of ammonium with different biomass amount in nitrification process

Biomass amount (mg/L)	Removal rate (mg/L NH ₄ ⁺ /hr)
320	0.664
450	0.802
780	1.310
1,120	1.689
1,850	2.100

Table 4에 질산화 공정에서 집중한 활성슬러지 농도와 암모니아성 질소 제거속도의 관계를 나타내었다. 실험 결과 중 선형적으로 암모니아성 질소가 감소한 구간에 대하여 암모니아성 질소 제거속도를 계산한 결과 도입된 활성슬러지 양에 비례해서 일정구간에서는 제거속도가 증가하였다.

질산화 공정에서 C/N 비의 영향

일반적으로 생물학적 처리공정을 이용한 질산화 공정에서 탄소원의 양이 많으면 활성슬러지의 미생물군 구성에 따라 질산화 초기에는 비질산화 균주들에 의해 탄소원의 소모가 이루어진 이후에 질산화 균주들에 의한 질산화가 이루어진다고 알려져 있다(3, 4, 7). 질산화 공정에 미치는 탄소원과 질소원 농도의 비 (C/N 비)의 영향을 알아보기 위하여 Table 1과 같은 합성폐수를 제조하여 암모니아성 질소의 농도는 NH₄Cl을 사용하여 100 mg/L로 조절하여 사용하였다. 질산화 반응을 위한 합성폐수 중의 C/N 비는 포도당을 사용하여 0, 1, 3, 5, 10으로 설정하여 조절하였다. 활성슬러지는 약 800 mg/L가 되도록 집중한 후, 500 mL/min의 유속으로 공기를 공급하면서 실험을 수행하였다.

질산화 공정에서 합성폐수 중의 C/N 비의 변화에 따른 뚜렷한 바이오매스의 농도 변화 경향은 관찰되지 않았다. 전기전도도는 합성폐수 중에 함유되어 있는 전체적인 화학성분들의 양과 비례하기 때문에 C/N 비가 증가할수록 초기 전기전도도 값이 높았다. 질산화 반응 중 암모니아성 질소의 농도의 변화에 따른 뚜렷한 전기전도도의 농도 변화 경향은 관찰되지 않았다(data not shown).

Fig. 6(A)는 질산화 공정에서 합성폐수 중의 C/N 비의 변화에 따른 합성폐수의 pH의 변화를 나타낸 것이다. 합성폐수 중의 초기 C/N 비가 0과 1의 경우에 있어서는 합성폐수 중의 pH 변화가 반응 후반부에서 크게 나타났다. 그러나 C/N 비가 3에서 10인 경우에서는 24시간까지 pH가 증가하다 감소하는 경향을 나타내었고, 질산화 반응 후반부에는 큰 변화를 나타내지 않았다. 이러한 현상들은 질산화 과정을 통하여 아질산성 질소와 질산성 질소가 생성되어 합성폐수의 pH 변화를 가져온다고 판단되므로 간접적으로 C/N 비가 낮을수록 질산화가 잘 일어나는 것으로 판단된다.

Fig. 6(B)는 질산화 공정에서 합성폐수에 첨가된 탄소원의 농도 (C/N 비)의 변화에 따른 암모니아성 질소 농도의 변화를 나타내었다. C/N 비를 0으로 조절한 결과 반응 54시간 후에는 약 7.4 mg/L의 암모니아성 질소만이 남아 초기농도의 89.5%가 감소되었다. C/N 비를 1로 조절한 결과 반응 54시간 이후에는 약 8.06 mg/L의 암모니아성 질소가 검출되어 초기농도의 89.6%가 제거되었다. C/N 비를 3으로 조절한 결과 반응 48시간 후에는 약 9.92 mg/L이 잔류하여 86.2%의 제거율을 나타내었다. C/N 비를 5로 조절한 경우에는 반응 48시간 이후에는 약 8.06 mg/L의 암모니아성 질소가 잔존하였고, 약 88.8%의 제거율을 나타내었다. C/N 비를 10으로 조절하여 반응을 수행한 결과 반응 73시간

이후에는 약 90.2%의 암모니아성 질소 제거율을 나타내었다. 일반적으로 암모니아성 질소가 포함된 합성폐수의 처리에 있어서 질산화 공정에서는 낮은 탄소원의 유입이 유용하다고 알려져 있으나(3, 4, 7), 본 연구의 결과로는 일정 C/N 비 범위에서는 탄소원이 존재할수록 초기에 암모니아성 질소의 제거율이 증진되는 것으로 판단된다. 이는 중속 영양 질산화균에 의한 현상으로 판단되나 좀 더 자세한 연구가 진행되어야 할 것이다.

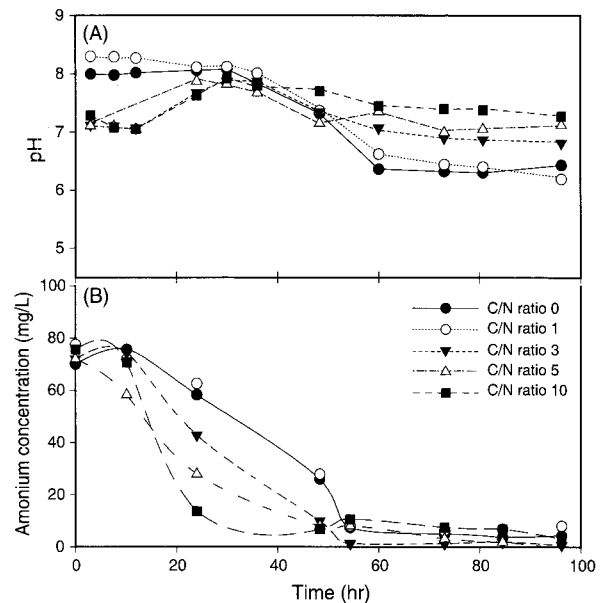


Fig. 6. Effect of initial C/N ratio on pH change (A) and ammonium nitrogen removal in nitrification process.

요약

질산화 미생물은 환경조건에 대단히 민감하여 질산화 영향인자의 변화에 의하여 미생물의 성장과 활동이 좌우되고, 이에 의해 질산화 공정의 성공여부가 좌우된다. 질산화에 영향을 미치는 인자로는 배양온도, pH, 용존산소, 기질량, C/N비, 미생물량 등이 있다. 본 연구에서는 폐수 처리장의 활성슬러지를 이용하여 합성폐수의 질산화 공정에 미치는 인자들에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 고농도의 암모니아성 질소(100 mg/L 이상)를 함유한 경우에 있어서는 합성폐수의 pH가 초기 8에서 pH 6.8까지 감소하였다. 이는 질산화 과정을 통하여 아질산성 질소와 질산성 질소가 생성되어 합성폐수 중의 pH 변화를 가져온 것으로 판단된다. 질산화 공정에서 각각 초기 암모니아성 질소 농도, 공급공기량, 집중한 활성슬러지 양에 비례해서 일정구간에서는 암모니아성 질소의 제거속도가 증가하였다. 질산화 공정에서 C/N 비의 영향은 일정 C/N 비 범위에서는 탄소원이 존재할수록 초기에 암모니아성 질소의 제거율이 증진되는 결과를 얻었다.

감 사

본 연구는 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과이며, 이에 감사드립니다. 또한 지식경제부와 에너지기술자원평가원의 특성화대학원사업의 일부 지원에 감사드립니다.

접수 : 2009년 2월 20일, 게재승인 : 2009년 4월 16일

REFERENCES

1. Ministry of Environment (2006), White paper on Environment, Korea.
2. Bhang, S. H., E. T. Lim, G. T. Jeong, J. H. Park, S. H. Park, S. J. Kim, and D. H. Park (2008), Application of advanced treatment process for nitrogen compounds removal of industrial waste-water, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **23**, 541-545.
3. Samsung Engineering Co. Ltd. (2001), Short-cut nitrogen removal technology using *Nitrosomonas* immobilized media, Research report, Ministry of Environment, Korea.
4. Kim, K. S. *et al.* (2000), Advanced treatment technology of sewage, Donghwa Technology Publishing Co., Korea.
5. Jeong, G. T., S. H. Park, J. H. Park, Bhang, S. H., E. T. Lim, and D. H. Park (2008), Study of Factors Influenced on denitrification in wastewater treatment, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **23**, 535-540.
6. Focht, D. D. and A. C. Chang (1975), Nitrification and denitrification processes related to wastewater treatment, *Adv. App. Microbial* **19**, 153-186.
7. Bhang, S. H. (2007), Nitrogen compounds removal of industrial waste-water using advanced treatment process, M. S. Thesis, Chonnam National University, Gwangju.
8. Bae, W. K. *et al.* (2002), Bio-environmental Engineering-Principle and Application of Biological Treatment, McGraw-Hill Korea, Korea.
9. Painter, H. A. (1977), Microbial transformation of iorganic nitrogen, *Prog. Wat. Res.* **8**, 3-29.
10. Notice of Ministry of Environment (1995), Standard methods for the examination of water and wastewater (1995-91), Korea.

1. Ministry of Environment (2006), White paper on Environment, Korea.
2. Bhang, S. H., E. T. Lim, G. T. Jeong, J. H. Park, S. H. Park, S. J. Kim, and D. H. Park (2008), Application of advanced treatment process for nitrogen compounds removal of industrial waste-water, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **23**, 541-545.
3. Samsung Engineering Co. Ltd. (2001), Short-cut nitrogen removal technology using *Nitrosomonas* immobilized