

온도와 FA 농도가 암모늄 이온의 아질산 전환에 미치는 영향

Effect of Temperature and FA Concentration on the Conversion of Ammonium to Nitrite

김정훈* · 송영채** · 박홍석***

Kim, Jung Hoon · Song, Young Chae · Park, Hung Suck

Abstract

The effects of free ammonia (FA) concentration and temperature on nitrite accumulation were studied. To estimate the most effective ammonium oxidation and nitrite build-up condition, nitrification tests were conducted in batch conditions at various FA concentrations, and at different ammonium concentration and temperature. The activation energies of ammonium oxidizer were 81.7 KJ/mol below 20°C, and 32.5 KJ/mol over 20°C, while that of nitrite oxidizer was 35.5 KJ/mol irrespective of temperature variations. The results of nitrification tests conducted at different FA concentrations and temperatures showed that temperature strongly affects nitrite accumulation, while effects due to FA concentrations were found negligible.

Keywords : nitrification, nitrite accumulation, free ammonia, temperature

요 지

생물학적 질산화 과정에서 비이온성 용존 암모니아(FA) 농도와 온도가 아질산 이온(NO_2^-) 축적에 미치는 영향을 연구하였다. 암모늄 산화와 아질산 축적조건을 파악하기 위하여 암모늄 이온(NH_4^+) 농도와 온도를 달리한 다양한 FA 농도 조건에서 질산화 실험을 실시하였다. 암모늄산화균과 아질산산화균의 활성화에너지를 산정한 결과, 암모늄산화균의 활성화에너지는 20°C 이하에서 81.7 KJ/mol, 20°C 이상에서는 32.5 KJ/mol로 차이가 있었으나, 아질산산화균의 활성화에너지는 온도에 관계없이 35.5 KJ/mol로 나타났다. 특히, FA 농도와 온도에 따른 질산화 실험결과, FA 농도에 의한 질산화 저해 및 아질산 이온 축적 효과는 극히 미미하였으며, 온도조건이 아질산 이온 축적에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 질산화, 아질산 축적, 비이온성 용존 암모니아, 온도

1. 서 론

하수 내 암모늄 이온(NH_4^+)은 호기조건에서 암모늄산화균(ammonium oxidizer)과 아질산산화균(nitrite oxidizer)에 의해 아질산 이온(NO_2^-)과 질산 이온(NO_3^-)으로의 단계적인 산화과정을 거치게 되며, 이러한 산화과정을 생물학적 질산화 과정이라 일컫는다. 생물학적 질산화 과정은 많은 연구자들에 의해 관련 미생물과 반응기작들에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 국내에서는 활성슬러지 공정에 의한 질산화 처리가 대부분이던 1990년대 중반까지 완전 질산화와 완전 질산화 저해 요인에 대한 연구가 생물학적 질소 처리 연구의 주류를 이루었다.

이러한 완전 질산화 연구는 질소제거를 용존산소 제거 측면에서만 고려하여 NBOD(nitrogen biochemical oxygen demand) 유발물질인 암모늄 이온과 수중 생물에 독성을 유발하는 0.5 mgN/L 이상의 아질산 이온을 완전 질산화를 통

해 처리하고자 하였다(Henze M., 1991). 당시 연구자들은 생물학적 완전 질산화의 저해 또는 아질산 이온 축적 요인으로 아질산산화균의 활성저해가 주요한 원인을 언급하였으며, 이러한 아질산산화균의 활성저해 인자들은 Free ammonia(FA), Free nitrous acid(FNA), Dissolved oxygen (DO), Free hydroxylamine(FH), 온도, 폭기시간 등이라고 하였다(Wong-Chang 등, 1978; Anthonisen A.C. 등, 1976; Hanaki K. 등, 1990; Yang L. 등, 1992; Balmelle B. 등, 1992; Turk O. 등, 1986; Turk O. 등, 1987).

FA에 의한 아질산산화균의 활성 저해에 관한 연구들을 살펴보면, Anthonisen A.C. 등(1976)은 회분식 실험을 통해 0.1~1.0 mgFA/L에서 질산화 저해작용이 있음을 확인하였고, Balmelle B. 등(1992)은 1.0 mgFA/L의 농도에서, Mauret M. 등(1996)은 6.6~8.9 mgFA/L의 농도에서 아질산산화균의 신진대사를 방해하는 것으로 보고하여 연구자마다 저해농도가 상이하게 제시되고 있다. 특히 Wong-Chang G.M. 등

*정회원 · 울산대학교 청정자원순환연구센터 연구교수(E-mail : kingtoe@ulsan.ac.kr)

**정회원 · 한국해양대학교 토목환경시스템공학부 교수(E-mail : soyoc@mail.hhu.ac.kr)

***정회원 · 교신저자 · 울산대학교 건설환경공학부 교수(E-mail : parkhs@ulsan.ac.kr)

(1978)은 FA에 적용한 아질산산화균은 40 mgFA/L의 농도에 서도 저해를 받지 않고, FA에 적용하지 않은 경우에는 3.5 mgFA/L의 농도에도 저해를 받는 것을 밝혔으며, Ford D.L. 등(1980)도 FA 적용에 대한 유사한 결과를 실험적으로 확인 하였다.

생물학적 질산화 공정에서 FA 농도에 따른 질산화의 저해 와는 별도로, 몇몇 연구자 들은 온도 조건에 의한 질산화의 저해로 아질산 이온 축적이 가능하다고 하였다(Skinner F.A. 등, 1961; Quinlan A.V., 1980). 최지형 등(2001)은 동일 부하조건에서 25°C에 비해 35°C에서 아질산 이온 축적률이 20% 정도 증가한다고 하였으며, Balmelle B. 등(1992)은 2~5 mgFA/L의 농도에서 수온이 10~20°C의 범위일 경우 완 전 질산화가 일어났으나 20~25°C의 범위에서는 질산화에 저 해를 받아 아질산 이온이 축적된다고 하였다. 원성연(1999) 은 암모늄산화균과 아질산산화균에 대한 온도별 비산화율을 통해 활성화에너지를 확인하였으며, 온도에 따른 활성화에너 지 차이가 아질산 이온 축적을 가능케 한다고 하였다.

그러나 FA 농도는 초기 암모늄 이온 농도와 온도 및 pH 의 함수로서, 동일한 암모늄 이온 농도에서도 온도 및 pH 조건에 따라 FA 농도가 상이하다(Anthonisen A.C. 등, 1976). 그럼에도 불구하고 질산화의 저해로 나타나는 아질산 이온의 축적에 미치는 FA와 온도의 영향을 비교하여 체계적 으로 검토한 연구는 시도된 바 없었다.

본 연구는 질산화의 저해로 나타나는 아질산 이온 축적현 상을 생물학적 질소처리 공정에 활용하기 위한 기초연구로, 설정된 운전조건에서 인공폐수를 이용해 유입수 내의 FA와 온도가 아질산 축적에 미치는 영향을 실험적으로 확인하 였다.

2. 실험방법

2.1 식종슬러지 및 반응기

실험에 이용된 질산화균은 하수처리장 폭기조 슬러지를 폭 기조 용적이 4 L인 활성슬러지 반응기에 식중환 후, 유기물 이 배제된 배지로 20°C, 1.5 kgNH₄⁺-N/m³/day의 고부하 조 건에서 5개월 이상 배양하여 사용하였다. 질산화균 배양에 이용된 합성폐수는 적절한 질소원과 그에 따른 알칼리도 (alkalinity) 물질 그리고 미량의 금속물질을 증류수에 주입하 여 조절하였다. 질소원인 염화암모늄(NH₄Cl)의 농도는 실험 조건에 맞추어 조절하였고 질소원을 제외한 나머지 성분은 표 1과 같다.

FA 및 온도별 질산화 실험은 원형이크릴로 제작된 유효용 적 2L의 회분식반응기(Batch reactor) 4기를 이용하여 실시

표 1. 질산화균 배양을 위한 합성폐수 성상

Components	Concentration
CaCl ₂	7 mg/L
FeCl ₃	1 mg/L
KCl	7 mg/L
KH ₂ PO ₄	11 mg/L
MgSO ₄	5 mg/L
NaH ₂ PO ₄	29 mg/L
NaHCO ₃	7.2 g/g NH ₄ ⁺ -N
NH ₄ Cl	-

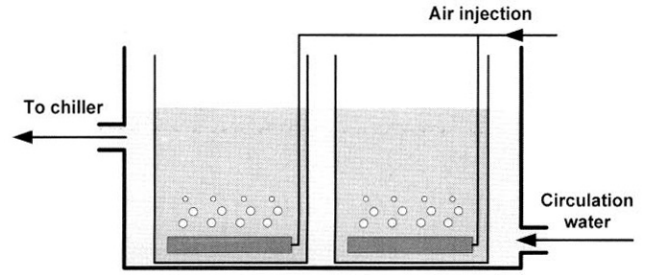


그림 1. FA 및 온도별 질산화 실험용 회분식 반응기

하였으며, 반응기 내 온도는 수냉온식 온도조절기(Chiller)를 이용하여 10~30°C 범위에서 목적으로 하는 조건으로 조절하 였다. 회분식 반응기는 공기 공급과 교반을 위해 블로워와 산기장치를 설치하였으며, 공기 공급량은 반응기 내 용존산 소 농도가 3 mgO₂/L 이상을 유지하도록 하였다. 실험에 이 용된 반응기의 개략도는 그림 1과 같다.

2.2 실험조건

2.2.1 온도가 질산화에 미치는 영향

온도가 질산화에 미치는 영향을 확인하고자, 두 개의 반응 기에 배양된 질산화균의 일부를 분취하여 초기 미생물 농도 를 2,000 mgVSS/L로 고정하고 암모늄 이온과 아질산 이온 을 각각 100 mg/L로 주입한 뒤 10°C에서 5°C 간격으로 30°C까지 다섯개의 온도조건에서 질산화 추이를 각각 확인 하였다. 유입수의 암모늄 이온, 아질산 이온 및 알칼리도의 농도는 NH₄Cl, NaNO₂, NaHCO₃를 이용하여 조절하였으 며, 그 외 미생물 성장에 필요한 영양물질의 성상은 표 1 과 같다.

암모늄산화균과 아질산산화균에 의한 온도별 질산화 추이 는 폭기 시간별로 일정량의 시료를 분취하여 암모니아성 질 소(NH₄⁺-N), 아질산성 질소(NO₂⁻-N) 및 질산성 질소(NO₃⁻-N)의 농도 변화를 측정하여 확인하였다.

2.2.2 FA(free ammonia)와 온도에 의한 아질산 이온 거동

FA 농도와 온도에 따른 질산화 추이를 확인하기 위해 10°C에서 5°C 간격으로 30°C까지 다섯개의 온도조건에서 초기 암모늄 이온 농도를 달리하여 동일한 FA 농도로 유지 하였다. Anthonisen A.C. 등(1976)은 아질산산화균에 저해 를 미치는 FA 농도범위를 0.1~1.0 mgFA/L라고 하였으며, 암모늄산화균에 저해를 미치는 농도범위를 10~150 mgFA/L 라고 보고하였다. 따라서 실험에 이용된 FA 농도는 이러한 암모늄산화균과 아질산산화균에 저해를 미치는 농도 조건을 포함시키도록 아래 표 2와 같이 계획하였다.

초기 미생물 농도는 배양된 질산화균을 이용하여 2,000 mgVSS/L로 고정하였고, 암모늄 이온과 알칼리도(Alkalinity)의 초기 농도를 맞추기 위해 NH₄Cl, NaHCO₃를 이용하였으며, 그 외 미생물의 성장에 필요한 영양물질의 성상은 표 1에 나 타내었다. 질소의 거동은 폭기 시간별로 일정량의 시료를 분취 하여 암모니아성 질소(NH₄⁺-N), 아질산성 질소(NO₂⁻-N) 및 질 산성 질소(NO₃⁻-N) 농도를 측정하여 확인하였다.

2.3 분석방법

수질 성상 분석은 시료의 일정량을 분취하여 암모늄 이온

표 2. 온도별 동일 FA 농도를 위한 초기 암모늄 이온 농도

	unit	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
5.6 mgFA/L	mgNH ₄ ⁺ -N/L	130	90	63	45	33
10.1 mgFA/L	mgNH ₄ ⁺ -N/L	235	162	114	82	60
45.0 mgFA/L	mgNH ₄ ⁺ -N/L	1,048	722	507	364	267
90.1 mgFA/L	mgNH ₄ ⁺ -N/L	2,100	1,445	1,015	728	535

은 Spectrophotometer(HACH, DR-2000), 아질산 및 질산 이온은 Ion chromatograph(DIONEX, DX-80)로 분석하였으며, 알칼리도와 미생물 농도 분석은 Standard methods (1998)를 따랐다. 반응기 내 pH는 pH meter(ORION, 420A), 온도 및 DO는 DO meter(ISTEK, 815PDC)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도가 질산화에 미치는 영향

암모늄산화균의 온도별 질산화율을 이용하여 활성화에너지를 확인하고자 초기 암모늄 이온 농도는 동일하나 반응 온도가 상이한 조건에서 질산화 실험을 실시하였으며, 그 결과는 그림 2와 같다.

그림에서와 같이 암모늄 이온 농도는 온도별로 직선적으로 감소하였으며, 암모늄 이온의 제거속도는 온도가 높은 조건일수록 빨라지는 것으로 나타났다.

상기결과를 이용하여 온도별 암모늄 이온 제거속도를 미생물 농도가 고려된 비암모늄산화율(specific ammonium oxidation rate, gN/gVSS/day)로 정리하고, 이를 질산화 저해 인자로 알려진 FA(free ammonia) 농도와 비교하여 저해 여부를 검토하였다.

동일 암모늄 이온 농도 조건에서 온도 증가에 따라 식 (1)로 산정된 FA 농도는 4.3~16.9 mgFA/L로 Anthonisen A.C. 등(1976)이 보고한 아질산 이온으로의 질산화를 저해하는 농도 수준인 0.1~1.0 mgFA/L를 초과하는 것으로 나타났다. 하지만 5개월간 고 부하 암모늄 유입조건에서 배양된 질산화균에 의한 질산화는, 온도가 높아짐에 따라 FA 농도가 증가하는 조건에서도 비암모늄산화율이 점차 증가하여 10°C 0.26 gN/gVSS/day에서 30°C 1.32 gN/gVSS/day까지 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 온도 증가에 따라 FA 농도도 증가되나 비

암모늄산화율 역시 증가하여 본 연구에서 실험한 FA 농도범위에서 암모늄 산화의 저해를 확인할 수 없었다.

$$FA(mg/L) = \frac{NH_4^+ \cdot 10^{pH} \cdot \frac{17}{14}}{e^{\frac{6344}{273+T}} + 10^{pH}} \quad (1)$$

NH₄⁺ : 암모늄 이온 농도 (mgN/L)

pH : 수소이온 농도

T : 온도 (°C)

아질산산화균의 활성화에너지를 확인하고자 아질산산화균의 온도별 질산화율을 확인하였는데, 그 결과는 그림 3과 같다.

그림에서와 같이, 아질산 이온 농도는 직선적으로 감소하였으며, 암모늄 이온의 경우와 마찬가지로 제거속도는 온도가 높은 조건일수록 빨라지는 것으로 확인되었다.

온도별 아질산 이온 제거속도는 미생물 농도를 고려한 비아질산산화율(specific nitrite oxidation rate, gN/gVSS/day)로 구하고, 이때의 FNA(free nitrous acid) 농도를 계산하여 FNA에 의한 아질산 산화의 저해 여부를 검토하였다.

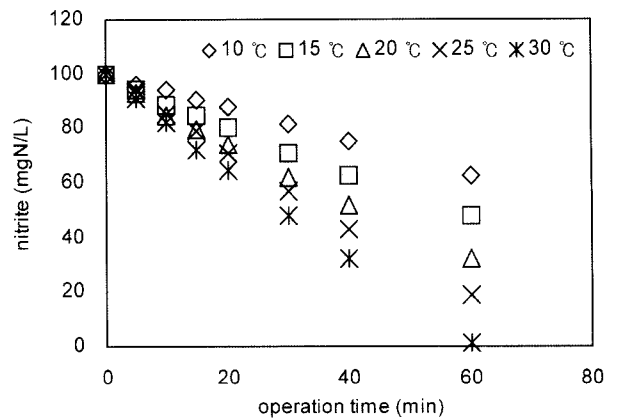


그림 3. 아질산산화균의 온도별 질산화 속도

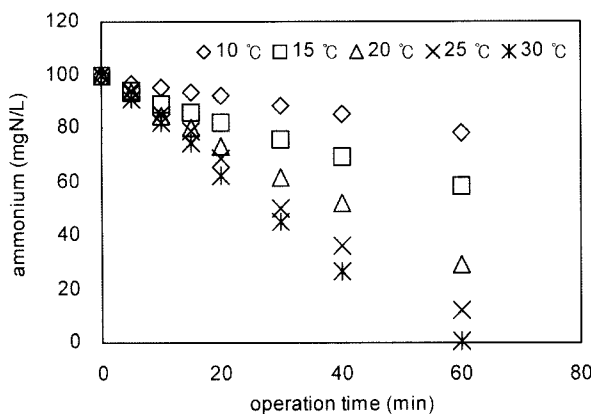


그림 2. 암모늄산화균의 온도별 질산화 속도

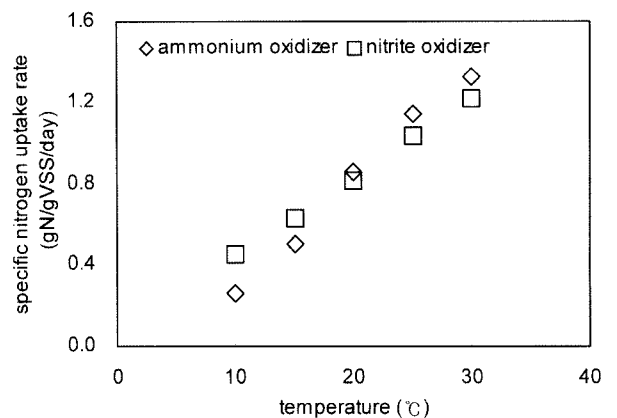


그림 4. 온도별 암모늄산화균과 아질산산화균의 비기질이용률 추이

$$FNA(mg/L) = \frac{(NO_2^-) \cdot \frac{46}{14}}{e^{-2300/(273+T)} + 10^{pH}} \quad (2)$$

NO₂⁻ : 아질산 이온 농도 (mgN/L)

pH : 수소이온 농도

T : 온도 (°C)

실험결과를 살펴보면, 비아질산산화율은 10°C에서 0.45 gN/gVSS/day였으나 30°C에서는 1.22 gN/gVSS/day로 증가하였다. 식 (2)를 통해 산정된 FNA 농도는 온도가 10°C에서 30°C로 증가할 때 0.006 mgFNA/L에서 0.003 mgFNA/L로 감소하였으나 이러한 FNA 농도 수준은 Anthonisen A.C. 등(1976)이 보고한 질산 이온으로의 완전 질산화를 저해하는 농도 수준인 0.2~2.8 mgFNA/L 농도 범위에 크게 미치지 못하였다.

이상의 암모늄산화균과 아질산산화균의 온도별 비기질이용률 추이를 정리하면 그림 4와 같다. 그림에서와 같이 조건별 비기질이용률 차이는 20°C를 기준으로 차이가 있는 것으로 나타나, Hellinga C. 등(1998)의 일정 온도를 기준으로 암모늄산화균과 아질산산화균 간의 성장률이 역전된다는 보고와 유사한 것으로 나타났다.

온도조건에 따라 암모늄 이온의 산화(nitritation) 속도와 아질산 이온의 산화(nitratation) 속도가 역전되는 원인을 파악하고자 Arrhenius 식(식 3)을 이용하여 활성화에너지를 비교하였다.

$$\ln K = -E_a \cdot \frac{1}{RT} + \ln A \quad (3)$$

K : 비 반응속도(1/hr)

A : 빈도 인자

E_a : 활성화에너지(KJ/mol)

R : 이상기체 상수(KJ/mol/K)

T : 절대온도(K)

암모늄산화균과 아질산산화균에 의한 온도별 비질산화 속도는 그림 5와 같이 나타났다.

그림에서와 같이 암모늄산화균의 비질산화 속도는 온도에 따라 기울기가 다른 두 개의 직선으로 나타났으며, 아질산산화균은 하나의 기울기를 가지는 것으로 나타났다. 이 그림에서 직선의 기울기 값을 이용하여 암모늄 산화와 아질산 산화를 위한 각각의 활성화에너지를 추정하였다.

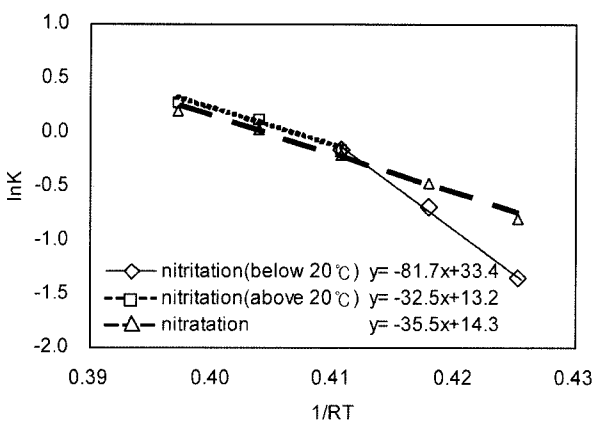


그림 5. 온도에 따른 질산화균의 비질산화 속도

암모늄 산화의 경우 활성화에너지는 20°C이하에서 81.7 kJ/mol, 20°C이상에서는 32.5 kJ/mol로 산정되었으며, 아질산 산화의 활성화 에너지는 온도에 관계없이 35.5 kJ/mol로 산정되었다.

본 연구 결과는 활성화에너지가 달라지는 온도와 각 조건에서의 활성화에너지 값에 다소 차이는 있지만, 원성연 (1999)과 박종호 등(2004)이 각각 보고한 11°C 그리고 15°C를 기준으로 암모늄산화균의 활성화에너지가 달라진다는 연구결과와 일치하였으며, 이러한 결과를 통해 온도 조건을 잘 설정함으로써 아질산 이온의 축적이 가능함을 확인할 수 있었다.

3.2 FA(free ammonia)가 질산화에 미치는 영향

FA가 질산화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 암모늄 이온 농도, pH 및 온도의 함수인 FA 농도와 온도를 다양한 조합으로 구성하여 암모늄 이온 제거 추이와 아질산 농도 추이를 확인하였다.

FA 농도와 온도를 달리한 질산화 실험은 10~30°C의 범위에서 5°C 간격으로 온도를 고정하고, 각 온도 조건별로 초기 암모늄 이온 농도를 달리하여 FA 농도를 5.6 mgFA/L, 10.1 mgFA/L, 45.0 mgFA/L, 90.1 mgFA/L로 한 조건에서 질산화 실험을 실시하였다. 폭기시간에 따른 암모늄 이온의 질산화 결과 중 15°C와 30°C 조건에서의 결과는 그림 6과 같다.

온도 조건별 질산화 추이를 살펴보면, 초기 FA 농도에 상관없이 각 온도 조건에 대해 단위시간별로 제거되는 암모늄

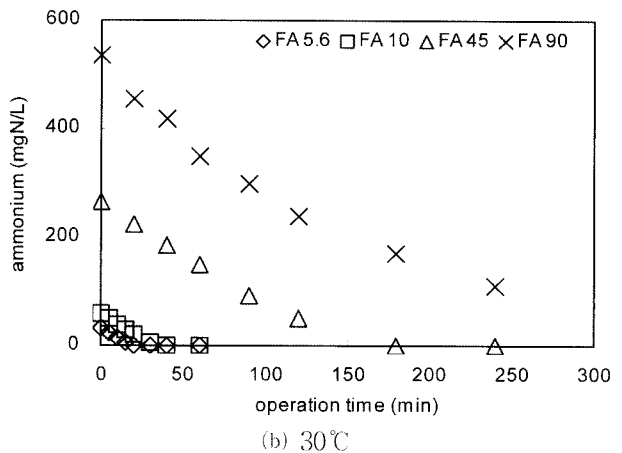
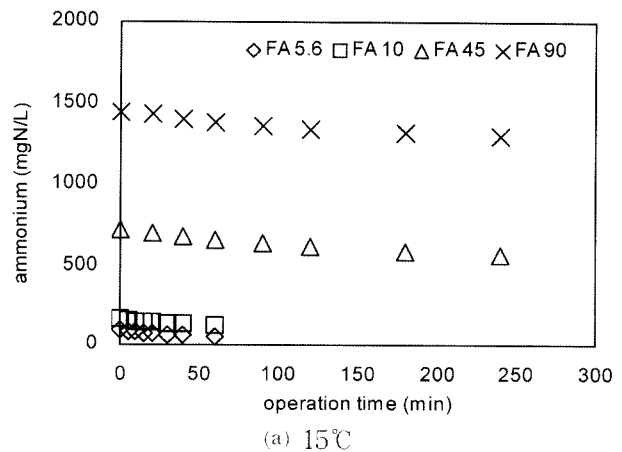


그림 6. 온도와 초기 FA 농도별 질산화 속도 ((a) 15°C, (b) 30°C)

이온 농도가 유사한 것으로 확인되었다. 따라서 이들 결과에서 확인된 조건별 암모늄 이온 제거량을 비기질이용률로 산정해본 결과, 10°C 조건에서는 모든 FA 농도에서 0.22~0.25 gN/gVSS/day의 비기질이용률을 보였고, 15°C 조건에서 0.45~0.51 gN/gVSS/day, 20°C 조건에서 0.80~0.86 gN/gVSS/day, 25°C 조건에서 1.09~1.12 gN/gVSS/day, 30°C 조건에서 1.28~1.37 gN/gVSS/day의 값을 보였다.

상기 실험에서 FA 농도 10.1 mgFA/L, 45.0 mgFA/L 그리고 90.1 mgFA/L의 조건은 Anthonisen A.C. 등(1976)이 보고한 아질산 이온으로의 질산화가 억제되는 한계농도 범위인 10~150 mg FA/L에 속한다. 하지만 실험결과에서 보여 주듯이 FA 농도가 큰 차이를 보임에도 불구하고 동일 온도 조건에서는 암모늄 이온 제거속도가 유사한 것으로 나타났다.

3.3 온도 및 FA 농도가 아질산 이온 축적에 미치는 영향

FA 농도 및 온도가 아질산 이온에 미치는 영향은 질산화 실험 경과시간에 따른 암모늄 이온, 아질산 이온, 질산 이온의 농도를 측정하여 파악하였다. 각 온도 및 FA 농도별 실험결과 중 FA농도 45 mgFA/L에서 온도 조건이 15°C와 30°C인 경우의 실험결과를 정리하면 그림 7(a) 및 (b)과 같다.

그림에서와 같이, 15°C에서는 폭기시간 동안 아질산 이온 농도가 미미한 수준으로 검출되어 암모늄산화균에 의한 아질산 이온 생성 속도보다 아질산산화균에 의한 아질산 이온 소모 속도가 더 빠름을 알 수 있었다. 하지만 20°C에서 2.3 mgN/L, 25°C에서 25.4 mgN/L, 30°C에서 33.5 mgN/L의 최대 아질산 농도를 보여, 20°C 이상의 조건에서는 온도 증가에 따라 아질산 이온 축적 정도가 점차 증가되는 것으로

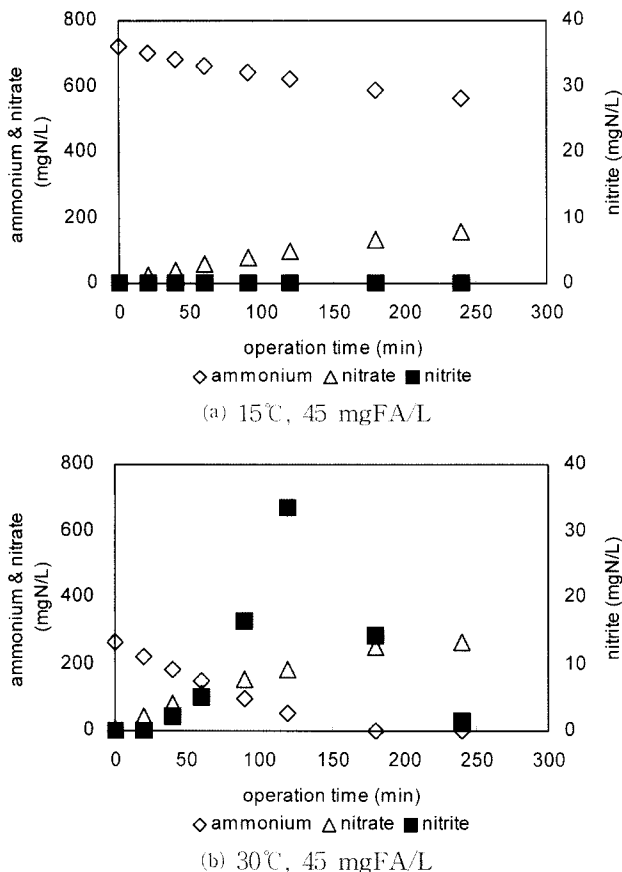


그림 7. 45 mgFA/L 조건에서 온도별 질소 성분의 변화 (a) 15°C, (b) 30°C

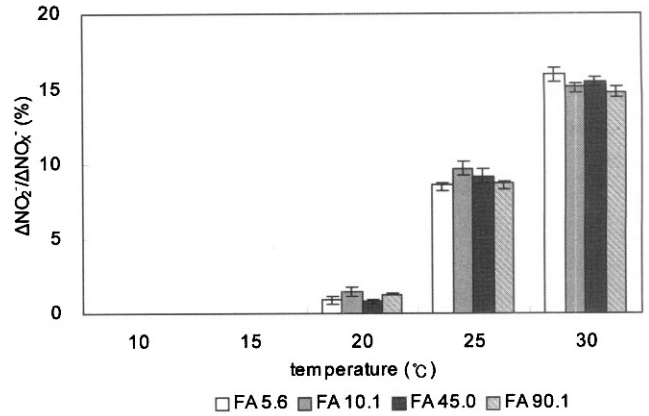


그림 8. 온도 및 FA 농도별 아질산 이온 축적률

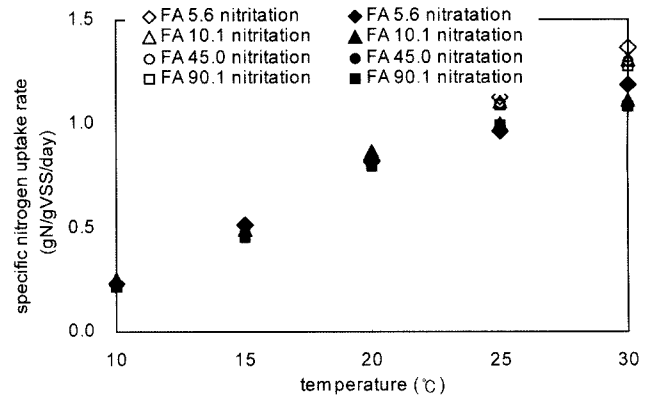


그림 9. 온도 및 FA 농도별 질산화균의 비기질이용률

확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 20°C 이상인 조건에서 암모늄산화균에 의한 아질산 이온 생성 속도가 아질산산화균에 의한 아질산 이온 소모 속도보다 빠름을 실험적으로 확인할 수 있었다.

상기 결과들을 이용해 각 FA 농도와 온도별 최대 아질산 이온 축적률을 평가 하고자, 아질산 이온과 질산 이온의 합에 대한 아질산 이온 농도의 분포율인 식 4를 이용하여 각 조건별로 최대 아질산 이온 농도를 보이는 시점에서의 아질산 이온 축적율을 조사하였다. 식 4에 의해 산정된 온도 조건별 최대 아질산 농도에서의 아질산 이온 축적률은 그림 8과 같다.

$$\text{Nitrite accumulation rate(\%)} = \frac{\Delta \text{NO}_2^- - \text{N}}{\Delta \text{NO}_x^- - \text{N}} \times 100 \quad (4)$$

그림에서와 같이, 각 온도 조건에서 FA 농도간 아질산 이온 축적률 차이는 극히 미미하였으나, 온도별 평균 아질산 이온 축적률은 20°C 1.1%, 25°C 9.1%, 30°C 15.4%로 온도에 비례하여 증가하는 것으로 나타나 아질산 축적율이 온도에 크게 영향을 받고 있음을 실험적으로 보여주었다.

이상의 자료를 이용하여 온도 및 FA 농도별 암모늄산화균과 아질산산화균의 비기질이용률을 정리하면 그림 9와 같다. 그림에서와 같이 온도가 증가할수록 암모늄 및 아질산산화균의 비기질이용률이 증가하고 있으며, 같은 온도에서 FA의 차이에 따른 암모늄 및 아질산산화균의 비기질이용률은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 20°C 이상의 조건에서는 FA 농도에 관계없이 암모늄산화균과 아질산산화균의 비기질이용률이 역전되는 것으로 확인되었다.

따라서 고농도 질소 부하조건에서 일정 농도 이상의 FA에 장기간 순응된 질산화균의 경우, 온도 조건에 따른 암모늄산화균과 아질산산화균의 활성도 차이가 아질산 이온 축적의 주요한 원인이며, 온도와 pH의 함수인 FA는 아질산 이온 축적에 실질적으로 기여하지 못함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 아질산 이온 축적 공정을 생물학적 질소처리 공정에 효과적으로 활용하기 위한 기초연구로, 유입수의 FA와 온도가 아질산 축적에 미치는 영향을 실험적으로 규명하고자 하였다. 따라서 암모늄 이온 농도와 온도를 달리한 다양한 FA 농도 조건에서의 질산화 실험을 실시하여 암모늄산화균과 아질산산화균의 활성화에너지를 산정하고, 효과적인 아질산 축적인자를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 온도 증가가 질산화에 미치는 영향을 조사한 결과, 온도 증가에 따라 FA 농도가 4.3 mgFA/L에서 16.9 mgFA/L로 증가하였으나 비암모늄산화율 역시 증가하였으며, FNA 농도는 점차 감소하여 질산화의 저해 농도 범위인 0.2~2.8 mgFNA/L에 크게 미치지 못하였다.
2. 암모늄산화균과 아질산산화균의 활성화에너지를 산정한 결과, 암모늄산화균은 20°C 이하에서 81.7 KJ/mol, 20°C 이상에서는 32.5 KJ/mol이었으며 아질산산화균은 온도에 무관하게 35.5 KJ/mol로 확인되었다.
3. FA가 질산화에 미치는 영향은 초기 FA 농도 5.6~90.1 mgFA/l 범위에서 온도별로 실험하였는데 FA 농도보다는 온도별로 유사한 비기질 이용율을 보여주어, 10°C 0.22~0.25 gN/gVSS/day, 15°C 0.45~0.51 gN/gVSS/day, 20°C 0.80~0.86 gN/gVSS/day, 25°C 1.09~1.12 gN/gVSS/day, 30°C 1.28~1.37 gN/gVSS/day로 나타났다.
4. 온도가 20°C 이하인 조건에서는 고농도 FA에 의해 아질산산화균의 활성화에 저해를 받음에도 불구하고 아질산 이온 축적이 미미하였으나, 20°C 이상의 온도 조건에서는 상대적으로 낮은 FA 농도에서도 아질산 이온 축적 현상이 쉽게 확인되었다. 따라서 질산화 공정에 참여하는 암모늄산화균과 아질산산화균의 온도별 활성도 차가 아질산 이온 축적의 주요 원인인 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 2002년 목적기초연구사업(과제번호 : R01-2002-000-00401-0)의 연구비 지원에 의해 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

박종호, 이원호, 연익준, 조규석(2004) 순환여과시스템에서 온도가

- 질산화 반응에 미치는 영향, **한국수산화학회지**, 한국수산화학회, 제37권 제1호, pp. 13-17.
- 원성연(1999) **질산화반응에 미치는 환경인자의 영향**, 박사학위논문, 충북대학교.
- 최지형, 이용우, 윤주환(2001) 생물학적 아질산-아탈질을 이용한 슬러지 처리공정 반류수 내 고농도 질소 제거, **대한환경공학회지**, 대한환경공학회, 제24권 제3호, pp. 371-381.
- Abeling, U. and Seyfried, C.F. (1992) Anaerobic-aerobic treatment of high strength ammonium wastewater nitrogen removal via nitrite, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 26(5-6), pp. 1007-1015.
- Anthonisen, A.C., Loehr, R.C., Prakasam, T.B.S., and Srinath, E.G. (1976) Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid, *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, Vol. 48, pp. 835-852.
- Balmelle, B., Nguyen, M., Capdeville, B., Cornier, J.C., and Deguin, A. (1992) Study of factors controlling nitrite build-up in biological processes for water nitrification, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 26(5-6), pp. 1017-1025.
- Cecen, F. and Gonene, I.E. (1994) Nitrogen removal characteristics of nitrification and denitrification filter, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 29(10-11), pp. 409-416.
- Ford, D.L., Churchwell, R.L., and Kachtick, J.W. (1980) Comprehensive analysis of nitrification of chemical processing wastewater, *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, Vol. 52(11), pp. 2726-2746.
- Hanaki, K., Wantawin, C., and Ohgaki, S. (1990) Nitrification at low levels of dissolved oxygen with and without organic loading in a suspended-growth reactor, *Wat. Res.*, Vol. 24, pp. 297-302.
- Hellinga, C., Schellen, A.A.J.C., Mulder, J.W., Van Loosdrecht M.C.M., and Heijnen, J.J. (1998) The SHARON process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 37, pp. 135-142.
- Henze, M., Grady, C.P.L., Gujer, W., Marais, G.v.R., and Matsuo, T. (2000) *Activated sludge model No. 1, IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment*, pp. 5-25.
- Mauret, M., Paul, E., Puech-Costes, E., Maurette, M.R., and Baptiste, P. (1996) Application of experimental research methodology to the study of nitrification in mixed culture, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 34(1-2), pp. 245-252.
- Quinlan, A.V. (1980) The thermal sensitivity of nitrification as a function of the concentration of nitrogen substrate, *Wat. Res.*, Vol. 14, pp. 1501-1507.
- Skinner, F.A. and Walker, N. (1961) Growth of *nitrosomonas europaea* in batch and continuous culture, *Arch. Microbiol.*, Vol. 38, pp. 330-339.
- Turk, O. and Mavnic, D.S. (1986) Preliminary assessment of a shortcut in nitrogen removal from wastewater, *Can. J. Civ. Eng.*, Vol. 13, pp. 600-605.
- Turk, O. and Mavnic, D.S. (1987) Selective inhibition: a novel concept for removing nitrogen from highly nitrogenous wastes, *Envir. Tech. Lett.*, Vol. 8, pp. 419-426.
- Wong-Chong, G.M. and Loehr, R.C. (1978) Kinetics of microbial nitrification: Nitrite nitrogen oxidation, *Wat. Res.*, Vol. 12, pp. 605-609.
- Yang, L. and Alleman, J.E. (1992) Investigation of batch wise nitrite build-up by an enriched nitrification culture, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 26(5-6), pp. 997-1005.

(접수일: 2006.3.29/심사일: 2006.4.24/심사완료일: 2006.4.24)