

## 황입자를 이용한 독립영양탈질에서의 아질산성질소 탈질 조건 탐색

강우창 · 오상은\*

강원대학교 바이오자원환경학과  
(2010년 6월 11일 접수, 2010년 9월 20일 수리)

### Nitrite Removal by Autotrophic Denitrification Using Sulfur Particles

Woo-Chang Kang and Sang-Eun Oh (Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

Swine wastewater contains high amounts of organic matter and nutrients (nitrogen and phosphorus). The biological nitrogen removal can be achieved by nitrification and denitrification processes. Nitrification-denitrification can be performed via nitrite which is called as the short-cut process. This Short-cut process saves up to 25% of oxygen and 40% of external carbon during nitrification and denitrification. In this study, the batch tests were conducted to assess the different parameters for the nitrite sulfur utilizing denitrification, such as alkalinity, temperature, initial nitrite concentration, and dissolved oxygen. The experimental results showed that the nitrite removal efficiency of the reactor was found to be over 95% under the optimum condition (30°C and sufficient alkalinity). Autotrophic nitrate denitrification was inhibited at low alkalinity condition showing only 10% removal efficiency, while nitrite denitrification was achieved over 95%. The nitrite removal rates were found similar at both 20°C and 30°C. In addition, nitrite removal efficiencies were inhibited by increasing oxygen concentration, but sulfate concentration increased due to sulfur oxidation under an aerobic condition. Sulfate production and alkalinity consumption were decreased with nitrite compared those with nitrate.

**Key Words:** Autotrophic denitrification, Nitrite shortcut process, Sulfur particles, Sulfur utilizing bacteria

### 서론

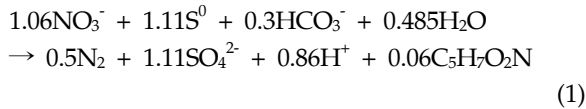
현재 우리나라에서 사육되는 가축은 농가 1,000호당 약 640만 마리로 2008년 대비 3.2% 증가하였으며 매년 비슷한 추세로 증가하고 있다(농림수산식품통계연보, 2009). 이에 따라 발생하는 축산폐수의 양 또한 증가하고 있으며 특히 돈분 폐수는 전체 축산폐수 중 약 64%로 가장 많은 발생량을 차지하고 있다. 2004년 돈분폐수의 발생량은 95,015 m<sup>3</sup>/일로 전년대비 5.6%의 증가율을 보였다(오수·분뇨 및 축산폐수처리통계, 2003; 오수·분뇨 및 축산폐수처리통계, 2004). 돈분 폐수의 암모니아성질소의 농도는 2,000~4,200 mg/L로 상당히 고농도이기 때문에 적절히 처리되지 않고 수계에 방류 시 부영양화 등의 환경문제를 일으킬 수 있다(Daumer, et

al., 2007, Juteau, et al., 2004, Ye, et al., 2010). 수중의 질소를 처리하기 위해 흡착, 암모니아 탈기, 여과 등의 물리학적 방법과 sequencing batch reactor, anammox 등의 생물학적 방법 등이 있다 (Cho, et al., 2010, Quan, et al., 2009, Thiruvengkatachari, et al., 2006, Zhang, et al., 2006). 생물학적 방법 중 종속영양 탈질은 처리효율이 높아 현재까지 많이 이용되어 왔으나 축산폐수 내의 질소를 제거하기 위해 질산화 후 탄소원이 C/N 비 5~20:1로 존재해야 한다(Joo, et al., 2006, Jung, et al., 2004, Sim, et al., 2004). 따라서 C/N가 낮은 폐수의 처리를 위해서 일정량의 메탄올 등의 외부탄소원을 주입해야 되는 단점이 있으며 이 공업용 메탄올의 가격이 1kg 당 0.7~0.92\$(2009년 기준)로 비싼 편이다(Joo, et al., 2006, Moon, et al., 2006, Park and Yoo, 2009, Sim, et al., 2004). 또한 유입 질산성질소 농도에 따라 주입되는 메탄올의 농도와 양이 달라져야 하며 과량 주입시 후단에 메탄올 제거 후속공정을 두어야 한다. 황을 이용한 독립영양 탈질은 메탄올에 비해 경제적이며 추가

\*연락처:

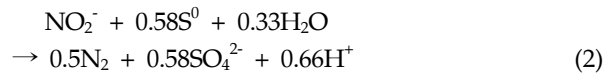
Tel: +82-33-250-6449 Fax: +82-33-241-6640  
E-mail: ohsangeun@kangwon.ac.kr

적으로 외부 탄소원을 주입할 필요가 없으며 처리 시 발생하는 슬러지의 양도 적다. 그러나 독립영양 탈질 처리는 황산염 농도의 증가와 pH가 감소하는 단점이 있으며, 황을 이용한 질산성질소 독립영양 탈질의 반응식은 다음과 같다(Park and Yoo, 2009, Sim, *et al.*, 2004).



식 (1)에 의하면 1.06 몰의  $\text{NO}_3^-$ 가 질소가스로 탈질이 될 때 0.86 몰의  $\text{H}^+$ 가 생성되고 1 g의  $\text{NO}_3^-$ -N 탈질 시 2.9 g의 알칼리도를 소모한다. 따라서 알칼리도를 충분치 공급하지 않으면 pH가 감소하고 이에 따른 저해로 인해 탈질 효율이 감소한다(Sim, *et al.*, 2004). 또한 1 몰의  $\text{NO}_3^-$ -N 탈질 시 1.11 몰의 황산염이온이 생성이 된다.

기존의 일반적인 질소 제거는 암모니아 이온이 아질산성 질소를 거쳐 질산염으로 완전히 질산화된 이후 아질산성 질소로의 환원을 거쳐 최종적으로 질소가스로 환원되어 제거되는 과정이다. 하지만 질소 제거 단축공정은 암모니아 이온에서 아질산성 질소로 부분 산화시키고 아질산성 질소를 질소로 탈질이 진행되는 과정으로 기존 과정에 비해 25%의 산소와 40%의 탄소원을 절감할 수 있다. 아질산성 질소로의 부분 산화는 암모니아를 산화시킬 수 있는 미생물의 활성도를 낮추거나 산소의 농도를 감소시켜 유도할 수 있다(Daniel, *et al.*, 2009). 질소 제거 단축공정은 유기 탄소원의 양을 절감시키며, 알칼리도의 파괴를 줄일 수 있고 공정에 소요되는 시간을 단축시킬 뿐만 아니라 슬러지 발생량도 적다는 장점이 있다(Gao, *et al.*, 2009). 이러한 질소 제거 단축공정에서 아질산성 질소에서 질소가스로의 탈질을 중속영양탈질 대신 위에서 언급된 많은 장점을 가진 황탈질 미생물을 이용하여 탈질 유도하고자 하였다. 황을 이용한 아질산성 질소 탈질의 반응식은 다음과 같다.



식 (1)과 (2)에서 보는 바와 같이 아질산성 질소 탈질은 질산성 질소 탈질 보다 황산염의 생성이 적고, 알칼리도의 파괴가 적음을 알 수 있다. 이번 연구는 다양한 조건에 따른 아질산성 질소 황탈질 미생물의 특성을 알아보고 질소 제거 단축공정에서 아질산성 황이용 탈질을 위한 최적 조건을 찾고자 실시하였다. 더 구체적으로는 초기 알칼리도, 온도, 초기 아질산성 질소 농도, 용존산소의 영향을 파악하였다.

## 재료 및 방법

### Master Culture Reactor (MCR)

아질산성 질소 탈질을 할 수 있는 황산화 미생물의 안정적인 공급을 위하여  $\text{NO}_2^-$ -N MCR을 운전하였다. 황 담체는 Miwon 회사에서 공급된 황입자를 체를 이용해 입경 4-4.75 mm로 거른 입상황 500 mL를 사용하였고 황탈질 미생물의 배양액은 Table 1의 조성을 따랐으며 500 mL를 제조하였다. 초기 아질산성 질소 농도는  $\text{NaNO}_2$ 를 이용하여 100 mg  $\text{NO}_2^-$ -N/L가 되도록 하였고 MCR 내부를 질소가스로 약 5 분간 폭기하여 무산소 조건을 만들어 주었다. 초기 미생물은 C시에 위치한 하수종말처리장의 혐기성 슬러지를 채취한 후 20 mL를 접종하였다. MCR 내의 아질산성 질소 농도의 변화를 알아보려고 약 6시간 간격으로 샘플을 채취하였으며 매 4 일 간격으로 용액부피교환율 50%로 상등액을 버린 후 다시 아질산성 질소 농도가  $\text{NO}_2^-$ -N/L이 되도록 황탈질 미생물 배양액을 채우는 반연속 방식으로 미생물을 배양하였다. 배양 온도는 30°C를 유지하였다.

### 회분식 실험

500 mL 미디어병에 입경 4-4.75mm의 미생물 부착이 없는 입상황 100 g을 담고 황탈질 미생물 배양액에 stock

Table 1. Composition of the SDB medium

SDB Media		Mineral solution	
Chemical	Gram	Chemical	Gram
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	2 g/L	Disodium EDTA	2.5 g/L
$\text{NaHCO}_3$	2 g/L	NaOH	550 mg/L
$\text{NH}_4\text{Cl}$	0.1 g/L	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	367 mg/L
$\text{MgSO}_4$	0.05 g/L	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	250 mg/L
Minerals	5 mL/L	$\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	125 mg/L
		$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	110 mg/L
		$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	25 mg/L
		$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	25 mg/L
		$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10 mg/L

(10,000 mg/L of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N) 용액을 일정량 넣어 원하는 아질산성질소 농도를 만들었으며 총 액상 용량은 250 mL이다. 미생물 접종은 미생물의 활성화가 확인된 MCR을 혼든 후 용액 20 mL를 채취하여 주입하였다. 실험 기간 동안 온도는 30°C를 유지하였으며 교반기를 이용하여 120 rpm으로 교반하였다. 회분식 실험 반응조 내부는 질소가스를 폭기하여 무산소 조건을 만들었다. 여러 개의 동일한 회분식 반응조를 5일 정도 배양하였다. 탈질은 질산성질소가 아질산성질소로 환원되고 다시 질소가스로 환원되는 과정으로 아질산성질소의 농도가 감소하였다는 것은 탈질이 진행되어 질소가스로 환원됨을 의미한다. 이를 근거로 하여 아질산성질소가 모두 제거가 되고 질소가스의 생성을 확인 한 후 즉 황입자에 활성이 있는 미생물이 붙어있는 조건에서 초기 알칼리도, 온도, 초기 아질산성질소 농도, 용존산소 영향을 조건을 만들어 배양시키면서 약 6시간 간격으로 시료를 채취하여 분석하였다. 온도 조건의 경우 실험온도를 20°C와 30°C로 나누어 진행하였으며 알칼리도 조건은 황탈질 미생물 배양액 제조 시 시약의 주입량을 달리하여 초기 높은 알칼리도 농도(약 1,000 mg/L as CaCO<sub>3</sub>)와 초기 낮은 알칼리도 농도(약 200 mg/L as CaCO<sub>3</sub>)로 제조하였다. 초기 아질산성질소 농도는 stock (10,000 mg/L of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N) 용액의 희석배율을 달리하여 100 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L, 300 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L, 500 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L, 1,000 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L의 조건을 만들었다. 무산소 조건을 만들어 주기 위해 미생물 배양액과 Head space에 질소가스를 폭기하였고, 호기성 조건을 만들어 주기 위해 고무마개를 닫지 않고 공기가 자연적으로 유입되도록 하였다.

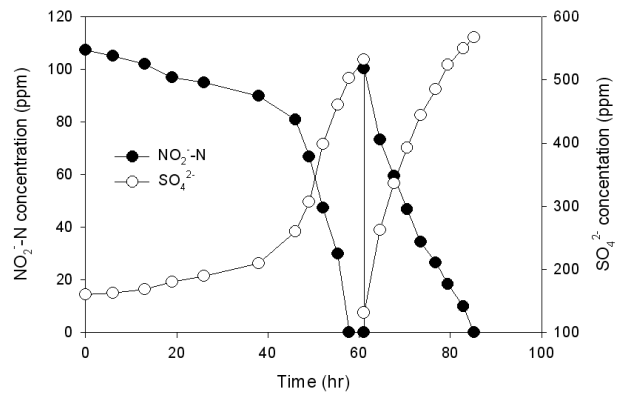
**분석방법**

분석항목은 pH, 알칼리도, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이며 pH와 알칼리도는 실험 초기와 종료 시 분석을 하였고 알칼리도는 Standard method에 따라 분석하였다(APHA, 1995). Ion Chromatography(ICS-900, Dionex. USA)를 이용하여 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>를 측정하였다.

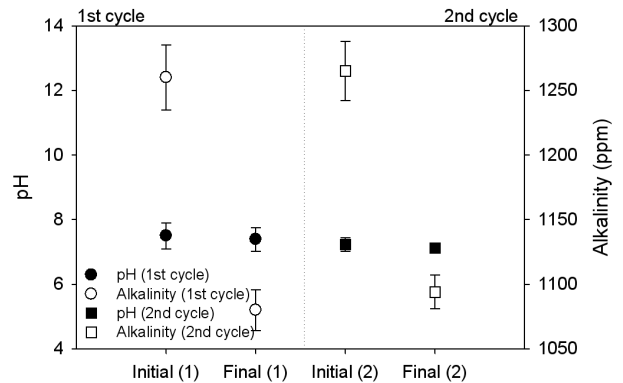
**결과 및 고찰**

**Master Culture Reactor**

황산화 미생물이 붙어있지 않은 황 입자와 혐기성슬러지로 접종한 MCR의 경우 약 2일의 Lag phase를 보이다가 탈질이 진행되었다. 그 이후 반연속 운전 시에는 Lag phase 없이 바로 아질산성질소 탈질이 진행되었다. 두 번의 측정 모두 배양 후 20시간 내에 95% 이상의 아질산성질소 탈질이 완료되었다(Fig. 1). 황산염이온과 제거된 아질산성질소의 질량비(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)는 각각 3.29, 2.22로 이론적 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N인 3.9보다 낮지만 큰 차이는 없었다. 알칼리도의 변화를 살펴보면 소비된 알칼리도와 제거된 아질산성질소의 질량비(CaCO<sub>3</sub>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)는 평균 1.7로 이론적 질량비인 2.4 보다



**Fig 1. Variation of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N concentration and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> concentration in the MCR.**



**Fig 2. Variation of pH and alkalinity in the MCR.**

낮게 측정되었다(Fig. 2). 탈질과 미생물 성장에 CO<sub>2</sub>를 소비되므로 CaCO<sub>3</sub>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N비가 낮게 측정 되었다고 사료된다.

**알칼리도 영향**

아질산성질소 황탈질 시 초기 배지의 알칼리도가 이론적인 아질산 탈질시 필요한 알칼리도 정도만 함유하는 경우 탈질 속도는 현저히 감소하였다. 본 실험의 초기 높은 알칼리도 농도(약 1,000 mg/L as CaCO<sub>3</sub>)의 경우 배양 후 25시간 내에 95% 이상의 아질산성질소 탈질이 완료되었으며 이 때의 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N은 4.3으로 이론적 값인 3.9보다 다소 높았다. 초기 낮은 알칼리도 농도(약 200 mg/L as CaCO<sub>3</sub>)는 알칼리도의 부족으로 인해 미생물의 성장에 저해를 주어 탈질능이 감소하였으며 이에 따라 배양 후 50시간 후에도 탈질이 점차 진행되는 경향을 보였다(Fig. 3). 알칼리도도의 소모는 CaCO<sub>3</sub>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N은 1.94로 이론적 질량비인 2.36보다 조금 낮게 소모 되었다(Fig. 4). Moon *et al.*(2006)에 의하면 초기 알칼리도의 농도가 1,800 mg/L 인 경우 300 mg/L 인 경우보다 탈질이 완료되는데 소요되는 시간이 약 11배 빠르므로 조사되었다. 이는 황입자에 활성이 있는 황산화 탈질 미생물이 붙어 있어 Lag phase를 보이지 않은 것으로 판단된다.

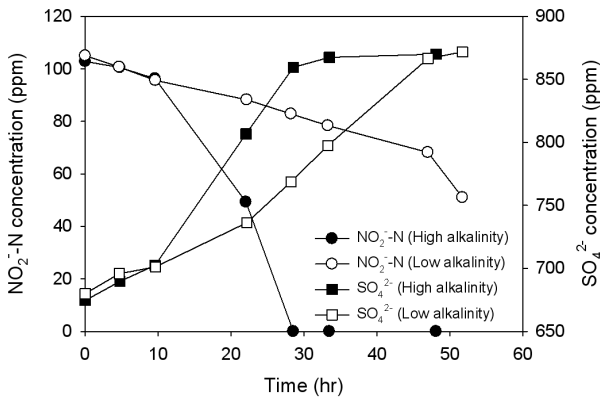


Fig 3. Profiles of  $\text{NO}_2^-$ -N concentrations and  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations at low and high initial alkalinity concentration.

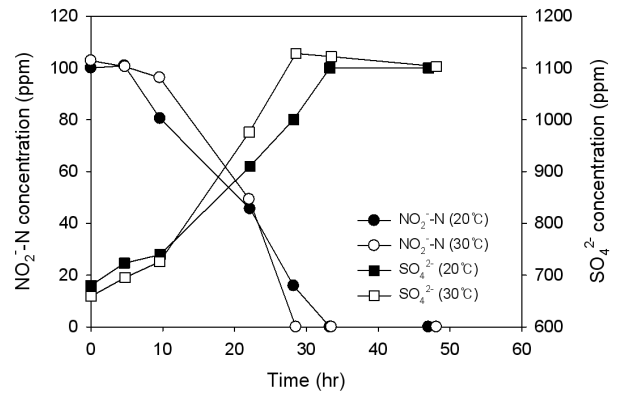


Fig 5. Variation of  $\text{NO}_2^-$ -N concentration and  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations at 20 and 30°C.

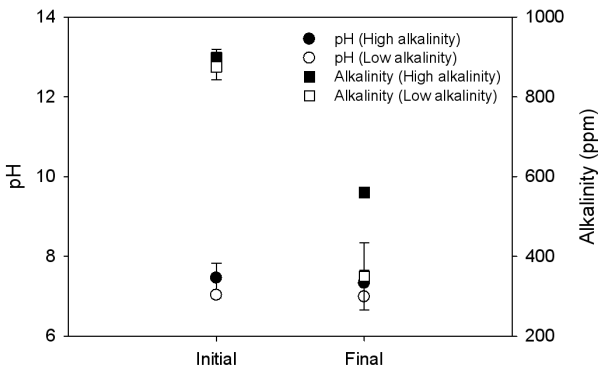


Fig 4. Variation of pHs and alkalinities at low and high initial alkalinity concentration.

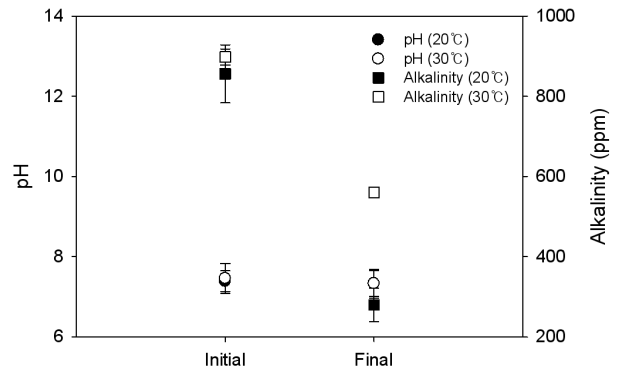


Fig 6. Variation of pHs and alkalinities at 20 and 30°C.

온도 영향

본 실험에서는 아질산성 탈질 미생물의 온도 영향을 파악하기 위하여 20°C와 최적온도로 연구된 30°C의 탈질율을 비교하였다. 온도 조건 30°C일 때 탈질은 24시간 내에 95% 이상의 탈질이 완료되었으며, 온도 조건 20°C인 경우는 95% 탈질이 완료되는데 이보다 약 6시간 정도 더 소요되었다(Fig. 5). 20°C 실험의  $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_2^-$ -N은 4.25로 30°C의 값인 4.3과 유사하였으며  $\text{CaCO}_3/\text{NO}_2^-$ -N 또한 3.69로 이론값과 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 6). Claus and Kutzner(1985)에 의하면 탈질의 최적 온도는 30°C이고 이때의 탈질율을 100%로 가정했을 때 25°C, 35°C인 경우 탈질율은 85~90%로 감소하였다. 20°C인 경우 탈질율은 70%였으며 15°C, 40°C인 경우는 20% 이하로 거의 탈질이 진행되지 않았다고 보고하고 있다. 황 입자를 사용한 탈질의 경우 20°C의 온도에서도 30°C의 탈질효과와 큰 차이를 보이지 않으므로 실제 공정 운전 시 온도 조절에 소모되는 비용을 절감시킬 수 있으므로 효율적인 것으로 판단된다.

초기 아질산성질소 농도 영향

초기 아질산성질소의 농도의 황산화 탈질 미생물의 저해

정도를 알아보하고자 초기 농도를 100 mg/L, 300 mg/L, 500 mg/L, 1,000 mg/L로 달리하여 실험을 진행하였다. 초기 아질산성질소의 농도가 100 mg/L인 경우 약 30시간 후 99%이상의 탈질 효율을 보였으나 농도가 300 mg/L, 500 mg/L, 1,000mg/L으로 높아지면서 약 30시간 후 탈질 효율은 각각 33%, 18%, 3%로 점차 낮아졌다. 초기 아질산성질소 농도 300 mg/L와 500 mg/L의 탈질 효율이 90%가 되는 시점은 배양 후 2~3일 후로 100 mg/L의 조건에 비해 약 15시간정도 시간이 더 소모되었다(Fig. 7). Meinhold *et al.*(1999)의 실험결과에 의하면 초기 아질산성질소의 농도가 4 mg/L인 경우 완전히 탈질이 이루어지는데 20분이 소요되었으며 8 mg/L인 경우 70분이 소요되었다. pH 중성영역에서 초기 아질산성질소의 농도가 고농도일수록 처리효율이 감소하였는데 이는 알칼리도 파괴에 의한 것보다 아질산성질소 농도에 의한 기질저해 때문이다.

산소 영향

일반적으로 탈질 시 수중에 용존산소가 있으면 탈질이 일어나지 않고 호기성 탈질 통기성 미생물이 산소를 먼저 소모하게 된다. 질소를 폭기하여 무산소 조건을 만든 경우 배양 후 20시간 내에 탈질이 완료되었으나 반응조에 마개를 덮지

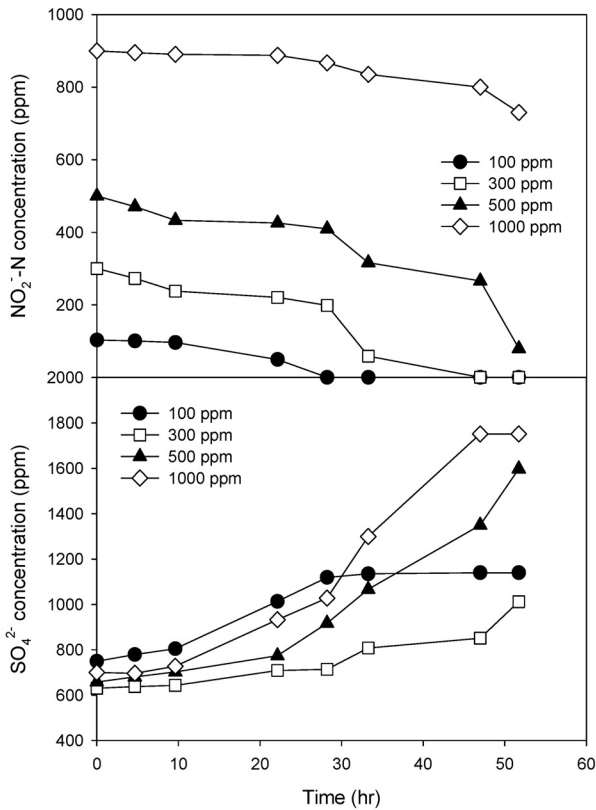


Fig 7. The effect of initial nitrite concentrations on  $\text{NO}_2\text{-N}$  denitrification.

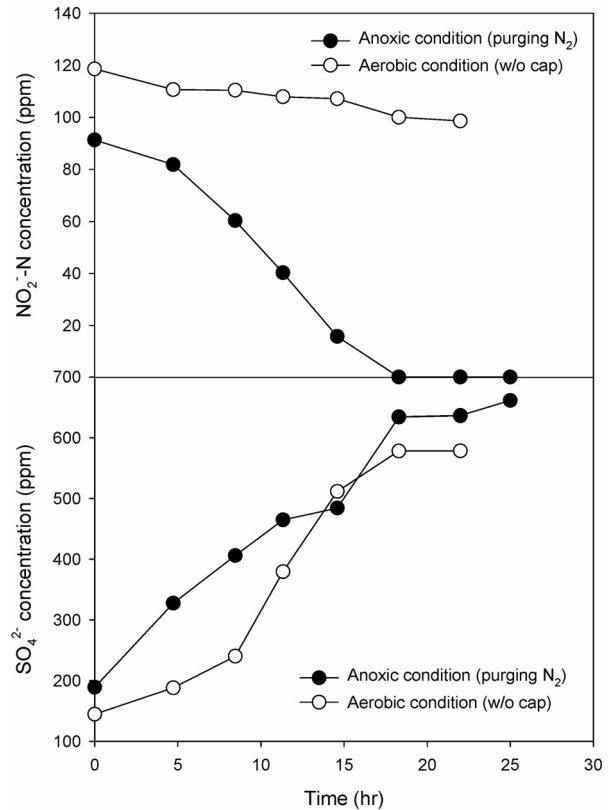


Fig 8. The effect of oxygen concentration on  $\text{NO}_2\text{-N}$  denitrification.

않고 120 rpm으로 교반한 경우는 호기성 조건이 유지되어 탈질이 거의 이루어지지 않았으며 배양 25시간 후 탈질 효율은 16%에 불과하였다(Fig. 8). 중요한 점은 마개를 덮지 않은 반응조의 경우 탈질이 이루어지지 않았음에도 불구하고 황산염 이온이 생성되는 것으로 이는 황산화 미생물이 통기성(facultative) 미생물이며 산소가 있을 시 산소를 이용하여 황을 황산으로 산화시킨다는 것을 보여준다. 따라서 황산화 탈질을 시킬 경우 산소에 오래 노출 시키는 것은 황이 소모되어 황산이 생성되고 알칼리도가 소모되어 좋지 않다는 것을 의미한다. 황산염이온은 탈질 시 황이 산화하여 황산으로 변환되어 증가하기도 하지만 산소에 의해 산화되어 증가하기도 한다. 탈질은 무산소 조건에서 이루어지나 Kishida *et al.*(2003)은 DO 1 mg/L 이하에서도 탈질이 이루어진다고 보고하였다. SBR을 이용한 단축공정에서 DO 농도가 높아짐에 따라 탈질효율은 감소하였고 DO가 약 4 mg/L인 경우 산소로 인한 저해로 탈질이 거의 이루어 지지 않은 것으로 보고되었다(Peng, *et al.*, 2003).

요 약

축산폐수는 고농도의 유기물 및 질소를 함유하고 있으므로 적절한 처리 방법이 요구된다. 본 연구는 황을 이용한 독

립영양 탈질 방법으로 질산성 질소에서 질소가스로의 탈질이 아닌 아질산성질소에서의 황산화 탈질을 연구하였으며 탈질 미생물의 최적 성장 조건을 찾도록 하였다. 초기 알칼리도가 충분한 조건에서는 아질산성질소 탈질 저해가 관찰되지 않았으며 실험온도가 20℃인 경우에도 30℃와 비교할 때 큰 저해 없이 탈질이 진행되었다. 하지만 초기 아질산성질소의 농도 300 mg/L 이상에서 lag phase가 늘어나 기질저해가 나타났다. 알칼리도가 충분하지 않은 조건에서 질산성질소의 탈질효율은 10%인 반면 아질산성질소의 탈질의 95% 이상이었다. 산소가 존재할 경우 산소를 이용하여 탈질이 이루어지지 않았음에도 불구하고 황산화 미생물이 산소를 이용하여 황산염의 농도가 증가하였다. 아질산성질소 탈질 시 알칼리도의 소모가 관찰되었으나 질산염 탈질시 보다 알칼리도의 소모가 적었으며 황산염 생성 또한 적었다. 황이용 아질산성질소 탈질은 외부탄소원의 추가적인 주입 없이 저렴한 황입자를 이용하여 질산성질소 황산화 탈질의 단점인 알칼리도 파괴, 황산염이온 생성의 단점을 보완할 수 있는 효과적인 탈질 방법이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

American Public Health Association, 1995. Standard

- Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed. APHA, Washington, DC. USA.
- Cho, S., Takahashi, Y., Fujii, N., Yamada, Y., Satoh, H., Okabe, S., 2010. Nitrogen removal performance and microbial community analysis of an anaerobic up-flow granular bed anammox reactor, *Chemosphere*. 78, 1129-1135.
- Daniel, L. M. C., Pozzi, E., Foresti, E., Chinalia, F. A., 2009. Removal of ammonium via simultaneous nitrification-denitrification nitrite-shortcut in a single packed-bed batch reactor, *Bioresource Technol.* 100, 1100-1107.
- Daumer, M. L., Beline, F., Guiziou, F., Sperandio, M., 2007. Effect of nitrification on phosphorus dissolving in a piggery effluent treated by a sequencing batch reactor, *Biosystems Eng.* 96, 551-557.
- Gao, D., Peng, Y., Li, B., Liang, H., 2009. Shortcut nitrification-denitrification by real-time control strategies, *Bioresource Technol.* 100, 2298-2300.
- Joo, H. S., Hirai, M., Shoda, M., 2006. Piggery wastewater treatment using *Alcaligenes faecalis* strain No. 4 with heterotrophic nitrification and aerobic denitrification, *Wat. Res.* 40, 3029-3036.
- Jung, J. Y., Chung, Y. C., Shin, H. S., Son, D. H., 2004. Enhanced ammonia nitrogen removal using consistent biological regeneration and ammonium exchange of zeolite in modified SBR process, *Wat. Res.* 38, 347-354.
- Juteau, P., Tremblay, D., Ould-Moulaye, C.-B., Bisailon, J.-G., Beaudet, R. e., 2004. Swine waste treatment by self-heating aerobic thermophilic bioreactors, *Wat. Res.* 38, 539-546.
- Moon, H. S., Nam, K. P., Kim, J. Y., 2006. Initial alkalinity requirement and effect of alkalinity sources in sulfur-based autotrophic denitrification barrier system, *J. Environ. Eng.* 132, 971-975.
- Park, J. Y., Yoo, Y. J., 2009. Biological nitrate removal in industrial wastewater treatment: Which electron donor we can choose, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 82, 415-429.
- Peng, Y. Z., Gao, J. F., Wang, S. Y., Sui, M. H., 2003. Use of pH as fuzzy control parameter for nitrification under different alkalinity in SBR process, *Wat. Sci. Technol.* 47, 77-84.
- Quan, X., Wang, F., Zhao, Q., Zhao, T., Xiang, J., 2009. Air stripping of ammonia in a water-sparged aerocyclone reactor, *J. Hazard. Mat.* 170, 983-988.
- Sim, D. M., Chon, S. S., Gwon, E. M., Lim, I. G., Chung, W. J., Park, D. W., Jin, C. S., 2004. Performance evaluation of sulfur-based autotrophic denitrification precess for the removal of nitrates and phosphates using sulfur complex media contained calcium carbonate and iron, magnesium oxide, *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 26, 1158-1165.
- Thiruvenkatachari, R., Shim, W. G., Lee, J. W., Aim, R. B., Moon, H., 2006. A novel method of powdered activated carbon (PAC) pre-coated microfiltration (MF) hollow fiber hybrid membrane for domestic wastewater treatment, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 274, 24-33.
- Ye, Z. L., Chen, S. H., Wang, S. M., Lin, L. F., Yan, Y. J., Zhang, Z. J., Chen, J. S., 2010. Phosphorus recovery from synthetic swine wastewater by chemical precipitation using response surface methodology, *J. Hazard. Mat.* 176, 1083-1088.
- Zhang, Z., Zhu, J., King, J., Li, W., 2006. A two-step fed SBR for treating swine manure, *Process Biochem.* 41, 892-900.