

## 질화세균을 고정화한 충전층 생물반응기에서 저농도 암모니아성 질소 제거

이창근, 김병진<sup>†</sup>, 이민수<sup>‡</sup>, 김용하, 서근학\*

부경대학교 응용화학공학부  
608-739 부산광역시 남구 용당동 산 100

<sup>†</sup>부산바이오기업 지원센터  
608-737 부산광역시 남구 대연동 599-1

<sup>‡</sup>부산환경시설공단  
607-830 부산광역시 동래구 안락동 1108

(2006년 12월 19일 접수; 2007년 3월 4일 채택)

### Removal of Low Concentration Ammonia Nitrogen using a Packed Bed Bioreactor Immobilized with Nitrifier Consortium

Chang-Keun Lee, Byong-Jin Kim<sup>†</sup>, Min-su Lee<sup>‡</sup>,  
Yong-Ha Kim, and Kuen-Hack Suh\*

Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong University,  
San 100, Yongdang-dong, Nam-gu, Busan 608-739, Korea

<sup>†</sup>Busan Bio-Industry Support Center(BiSC)  
599-1 Daeyeon-dong, Nam-gu,  
Busan 608-737, Korea

<sup>‡</sup>Busan Metropolitan City Environmental Installations Corp.  
1108 Allak-dong, Dongnae-gu, Busan 607-830, Korea

(Received for review December 19, 2006; Revision accepted March 4, 2007)

#### 요 약

본 실험은 질화세균을 고정화한 충전층 생물반응기에서 저농도 암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN)의 제거 시 수력학적 체류시간(hydraulic residence time, HRT), 유입수 암모니아성 질소 농도 및 온도에 의한 영향을 평가하였다. 수력학적 체류시간이 감소함에 따라 암모니아성 질소의 제거속도는 증가하였고, 암모니아성 질소의 제거 시 최적 수력학적 체류시간은 0.2시간이었다. 수력학적 체류시간이 0.2시간에서 암모니아성 질소의 제거속도는  $226.1 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ , 제거효율은 88.8%을 나타내었다. 유입수 암모니아성 질소 농도가 증가함에 따라 암모니아성 질소의 제거속도는 증가하였다. 온도 20 ~ 35℃에서 암모니아성 질소의 제거속도와 제거효율은 일정하게 유지했다.

주제어 : 질산화, 질화세균, 비폭기 충전층 생물반응기

**Abstract**—This study estimated the effect of hydraulic residence time(HRT), influent total ammonia nitrogen(TAN) concentration, temperature and pH in the packed-bed bioreactor using immobilized nitrifiers. Removal rate of ammonia nitrogen was increased with decreasing HRT and the optimum HRT was 0.2 hour when influent TAN was  $2 \text{ g/m}^3$ . At this point, removal rate was  $226.1 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$  and removal efficiency was

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: khsuh@pknu.ac.kr

88.8%. Removal rate of ammonia nitrogen was increased with increasing TAN concentration. Removal rate and efficiency of ammonia nitrogen were kept constant at 20~35°C and pH 8~9 value.

**Key words** : Nitrification, Nitrifier consortium, Packed-bed bioreactor

## 1. 서 론

총 암모니아성 질소(TAN, total ammonia nitrogen)는 용액내의 비이온성 암모니아성 질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ )와 이온성 암모니아성 질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )의 합으로 나타내며 수중 암모니아성 질소는 비이온성 암모니아( $\text{NH}_3$ )와 이온성 암모니아( $\text{NH}_4^+$ )의 형태로 평형을 이루어 존재하고 pH 및 온도에 영향을 받으며 중성의 pH에서 암모니아성 질소의 99%는 이온성 암모니아로 존재하고, pH 9 이상에서는 비이온성 암모니아의 농도가 급격히 증가한다.

EPA(Environmental Protection Agency)에서는 어류를 사육하는 수계의 비이온성 암모니아 농도를  $0.02 \text{ g/m}^3$  이하로 유지하도록 권장하고 있다[1]. 비이온성 암모니아가 수중에 존재하는 비율은 pH 7 ~ 7.8인 경우 0.6 ~ 2.45%이므로 수중의 비이온성 암모니아를  $0.02 \text{ g/m}^3$  이하로 유지하기 위해서는 총 암모니아성 질소를 2 ~ 5  $\text{g/m}^3$  이하로 유지하여야 한다. 이를 위해 저농도 암모니아의 고도처리 기술이 요구되어 진다.

현재 연구되어지고 있는 고정화 미생물을 이용한 암모니아성 질소 제거 공정은 대부분 암모니아성 질소 산화에 소모되는 산소를 보충하기 위하여 간접 또는 직접 폭기를 하는 혼합 반응기 형태를 하고 있다. 그러나 반응기 내부의 고정화 미생물에 직접 폭기를 할 경우 공기의 전단응력에 의해 고정화 미생물이 쉽게 파손되는 문제가 발생한다. 또한 반응기내 공기 공급 시 질화세균과 암모니아 수의 접촉을 방해하여 제거속도가 낮아지는 문제점이 있다. 간접 폭기의 경우 반응물이 고정화 미생물에 충분히 접촉하지 못해 제거 효율이 낮은 문제점이 있다[2]. 충전층 반응기의 경우는 액이 플러그 흐름과 유사한 형태로 이동하면서 반응하게 되어 농도의 증가에 따라 제거속도가 증가하는 반응인 암모니아 제거반응인 경우 동일한 부피의 혼합흐름반응기에 비해 높은 제거 효율을 얻을 수 있다. 또한 비폭기 충전층 반응기는 충전층 반응기의 특징인 액의 흐름에 있어서 플러그 흐름을 가지며 저농도 암모니아 제거 시 소모되는 산소는 공급되는 암모니아 용액에 포화시켜 공급함으로써 반응기 내부에 폭기를 할 필요가 없는 공정이다. 이러한 이유로 저농도의 암모니아성 질소제거에서 플러그흐름 형태의 충전층 반응기가 폭기를 하는 혼합흐름 반응기 보다 높은 제거속도 얻을 수 있을 것으로 사료 된다[3].

본 연구는 양어장 순환수의 암모니아성 질소를 제거하기 위하여 질화세균이 포괄고정화한 PVA bead를 비폭기 충전층 생물반응기에 충전시키고 용존산소로 포화시킨 저농도 암모니아 용액을 공급하여 수력학적 체류시간(HRT, hydraulic

residence time), 유입수의 암모니아성 질소 농도 변화, 온도가 암모니아성 질소의 제거에 미치는 영향을 조사하고 저농도 암모니아성 질소의 제거속도를 구하였다. 이런 과정을 통하여 양어장 사육수의 처리에 있어서 저농도 암모니아성 질소의 제거를 위한 연속 공정의 개발에 대한 기초 데이터를 얻는 것이 본 실험의 목적이다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험장치

본 실험에서 사용한 질화세균은 외부 환경에 대한 적응성이 높고, 질화세균을 고농도로 유지할 수 있도록 PVA-boric acid 법[4]에 의해 고정화시켰다.

활성슬러지를 순양하여 3000 rpm에서 10 분간 원심분리시켜 얻은 농축 질화세균을 4.5%(D.W./V)로 희석하고, 30%(W/V) PVA-HC (saponification: 100%; degree of polymerization: 2000) 용액과 동량의 부피로 혼합하여 PVA 15%(D.W./V)-질화세균 2.25%(D.W./V)의 혼합용액을 8°C로 냉각한 포화 boric acid 용액에 떨어뜨려 4 mm 구형의 고정화 질화세균을 제조하여 실험에 사용하였다[5].

본 연구에 사용한 장치는 Figure 1과 같으며 합성폐수탱크 속에 air stone을 설치하여 물속의 용존산소가  $10 \pm 0.5 \text{ g/m}^3$ 에 이르게 한 후에 암모니아를 포함한 합성폐수를 정량펌프를 이용하여 반응기의 하부로 공급하였으며, 합성폐수의 온도를 조절하기 위해 항온수조를 거쳐 반응기로 투입되도록 하였다.

충전층 반응기는 내경 4 cm, 높이 30 cm의 아크릴 관으로 제작하였으며 반응기 하부로부터 5 cm 높이에 망을 설치하여 상부의 bead를 받쳐 줄 수 있도록 하였다.

미세망과 유입수 공급관 사이에 공간을 두어 충전층 단면에 대해 암모니아 농도의 구배가 없이 공급될 수 있게 하였으며 바닥에 30°의 경사를 주어 유입된 고형물이 침강할 경우 아래로 잘 내려갈 수 있도록 하고 이를 제거할 수 있는 고형물 배출구를 설치하였다.

반응기 직경(D)에 대한 충전층 높이(H)의 비의 영향을 알아보기 위한 처리수 배출구는 소규모 반응기는 하부 미세망으로부터 8, 12, 16, 20, 23.2 cm 높이에 설치하였으며 충전층 직경에 대한 배출구의 높이 비(H/D)는 각각 2, 3, 4, 5, 5.8이었다.

### 2.2. 실험방법

본 연구에 사용된 암모니아를 포함한 합성 폐수는 Table 1의 폐수 성분 농도비로 원하는 농도의 TAN을 조절하여 연구

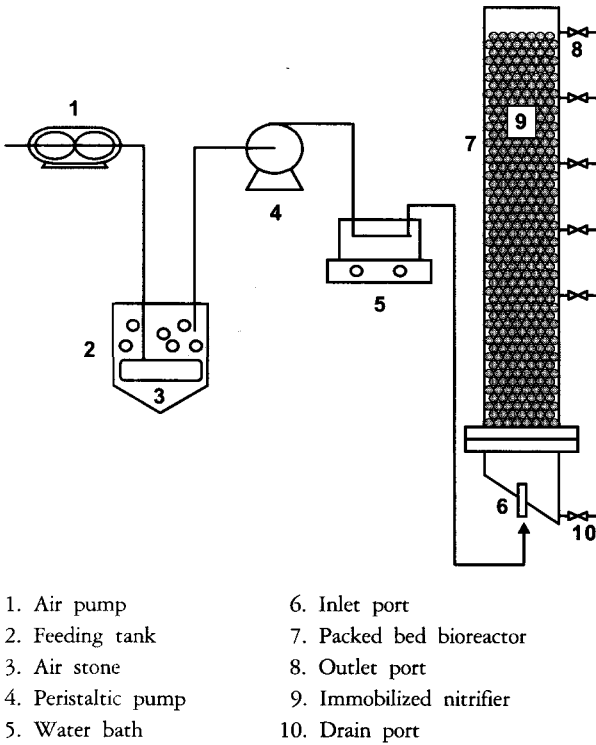


Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus for packed bed bioreactor.

에 사용하였다. 합성 폐수의 성분은 암모니아성 질소원으로 NH<sub>4</sub>Cl, 질산화에 소모되는 알칼리도를 보충하기 위해 NaHCO<sub>3</sub> 그리고 인성분으로 Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>를 공급하였으며 수돗물을 사용하여 용해시켰다.

공급되는 합성폐수의 용존산소를 11±0.5 g/m<sup>3</sup> 이상으로 조정하기 위해 합성폐수탱크에 에어펌프를 설치하여 공기를 공급하고, 합성폐수의 온도를 유지시키기 위하여 합성폐수를 향온수조를 거쳐 반응기 내부로 투입시켜 실험을 행하였다.

유입수의 암모니아성 질소의 농도는 2 g/m<sup>3</sup>, 온도는 25℃, pH는 7.5±0.2에서 수력학적 체류시간이 암모니아 제거에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수력학적 체류시간을 0.5에서 0.1시간까지 점차 변화 시켜 암모니아성 질소의 제거속도 및 제거효율을 구하였다. 또한 각각의 수력학적 체류 시간에서 H/D가 2, 4, 5.8 지점에서 암모니아 제거속도 및 제거 효율을 구하였다.

유입수의 수력학적 체류시간은 0.2 시간, 온도는 25℃, pH는 7.5±0.2에서 유입수의 암모니아성 질소 농도의 변화가 암모니아성 질소 제거에 미치는 영향을 알아보기 위하여 유입수 암모니아성 질소 농도를 1, 2, 3 및 4 g/m<sup>3</sup>으로 변화시켜 암모니아성 질소 제거속도 및 제거효율을 구하였다.

질화세균 고정화된 bead의 온도 변화에 따른 암모니아성 질소의 제거 영향을 알아보기 위하여 온도를 15에서 35℃로 변화시켜 암모니아성 질소 제거에 대한 온도의 영향을 관찰하였다. 온도 실험에서의 다른 조건들은 수력학적 체류시간이 0.2시간, 암모니아성 질소의 농도는 2 g/m<sup>3</sup>이었다.

Table 1. Composition of synthetic wastewater

Component	Concentration(g/m <sup>3</sup> )
NH <sub>4</sub> Cl(NH <sub>3</sub> -N)	7.64(2.0)
NaHCO <sub>3</sub>	54.56
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2.44

2.3. 분석방법 및 자료계산

시료의 채취는 매일 2회 수행하였으며 수력학적 체류시간의 변화에 대해 반응기 출구의 암모니아성 질소 농도가 일정하게 유지되는 정상상태에서 시료를 채취하여 분석한 후 평균값을 자료로 사용하였다.

암모니아성 질소 분석을 위하여 암모니아 선택 전극(Orion Research Inc., 9512BN)이 부착된 Ion meter (Orion Research Inc., 720A)를 이용하여 이온선택성 전극법[6]에 의해 분석하였다. pH는 pH meter (Orion Research Inc., 290A)를 사용하여 시료 채취와 동시에 측정하였다. 온도는 반응기 상단의 유출구 부분에 온도계를 설치하여 측정하였다. 암모니아성 질소의 제거속도는 식(1)에 따라 계산하였다.

$$-r_{TAN} = \frac{C_i - C_o}{V} \times Q = \frac{C_i - C_o}{\tau} \quad (1)$$

- 여기서  $-r_{TAN}$  : TAN removal rate (g/m<sup>3</sup> · day)
- $C_i$  : TAN influent concentration (g/m<sup>3</sup>)
- $C_o$  : TAN effluent concentration (g/m<sup>3</sup>)
- $V$  : Volume of reactor (m<sup>3</sup>)
- $Q$  : Volumetric flowrate (m<sup>3</sup>/day)
- $\tau$  : Hydraulic residence time (day)

3. 결과 및 고찰

3.1. 수력학적 체류시간에 따른 암모니아 제거 특성

유입수의 암모니아성 질소 농도가 2 g/m<sup>3</sup>이고, 질화세균이 고정화된 PVA bead를 충전시킨 비폭기 충전층 생물 반응기에서 운전 일수에 대해서 수력학적 체류시간의 변화에 따른 유입구와 유출구에서의 총 암모니아성 질소의 농도변화를 Figure 2에 나타냈었다. 수력학적 체류시간을 0.5~0.1 시간으로 변화시키면서 유입구와 유출구에서 암모니아성 질소의 농도를 측정하였다. 준 정상상태에 도달하는데 2일정도 소요되었다. 수력학적 체류시간이 0.5~0.2시간까지는 유출구에서의 암모니아성 질소의 농도가 0.2±0.04 g/m<sup>3</sup>로 거의 일정하나 수력학적 체류시간이 0.1시간에는 0.64 g/m<sup>3</sup>로 급격히 증가하는 것을 나타내고 있다.

Figure 3는 유입수의 암모니아성 질소 농도가 2 g/m<sup>3</sup>이고 질화세균이 고정화된 PVA bead를 충전시킨 비폭기 충전층 생물 반응기에서 수력학적 체류시간의 변화에 대한 암모니아 제거속도와 제거율의 변화를 나타낸 그림이다. 수력학적 체류시간이 0.5~0.2시간까지 암모니아성 질소의 제거속도가 꾸

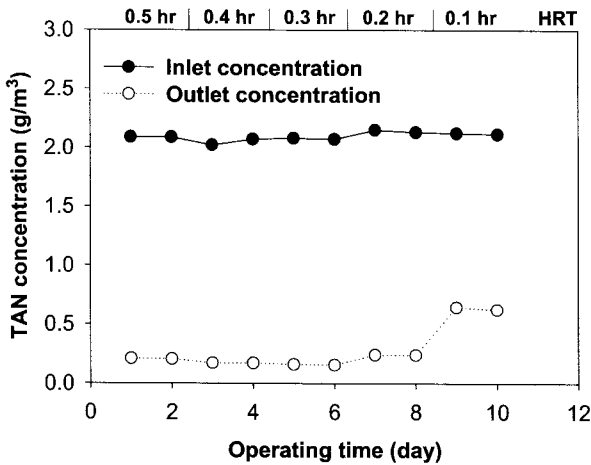


Figure 2. Inlet and outlet TAN concentration for changing HRT.

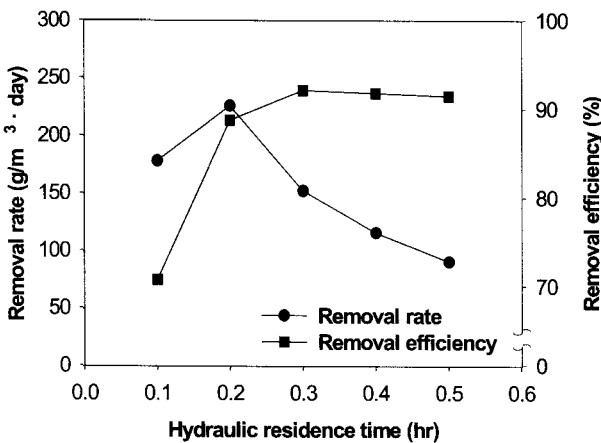


Figure 3. The effect of HRT on total ammonia nitrogen removal rate and removal efficiency at H/D 5.8.

준히 증가하다가 수력학적 체류시간이 0.1 시간에서 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 수력학적 체류시간이 0.2시간까지는 유입되는 합성폐수의 유량에 비례해서 암모니아성 질소의 제거속도가 증가하나 0.1시간에서는 유입되는 유량의 증가로 고정화된 질화세균과 합성폐수와 접촉시간이 짧아져 질산화를 위한 충분한 시간이 확보되지 못했기 때문인 것으로 생각되어진다[5]. 수력학적 체류시간이 0.2시간일 때 암모니아성 질소의 제거속도와 제거효율은 각각  $226.1 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 와 88.8%로 나타나 가장 높은 제거속도를 나타내었다. 서 등 [7-9]의 PVA와 Ca-alginate로 질산화세균을 고정화하여 간접폭기, 직접폭기 및 비폭기에 의한 질산화 실험에 있어서 최대 82, 155 및  $70 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 질산화 속도와 60, 90 및 18%의 제거효율을 가진다고 하였다. 이 때 각각의 초기 암모니아성 질소의 농도는 2, 2.5 및  $2.5 \text{ g/m}^3$ 이었다. 상기 실험결과에서 PVA로 고정화한 충전층 생물반응기를 이용한 본 실험

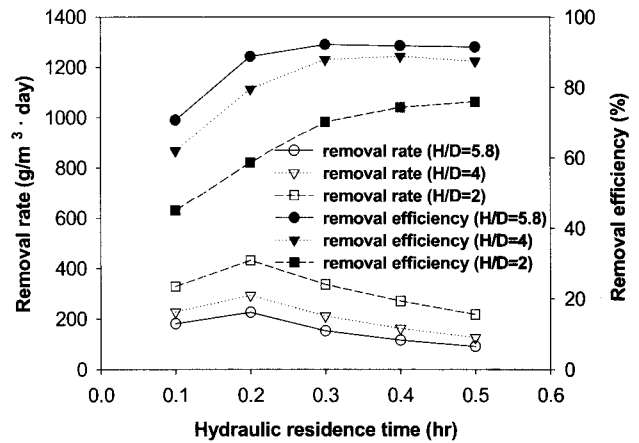


Figure 4. The effect of HRT on total ammonia nitrogen removal rate and removal efficiency at H/D 2, 4, 5.8.

이 다른 여타 질산화 방법보다 저농도의 암모니아성 질소의 제거속도가 매우 높아, 저농도 암모니아의 제거에 매우 효율적임을 알 수 있었다.

Figure 4는 유입수의 암모니아성 질소의 농도가  $2 \text{ g/m}^3$ 이고 질화세균이 고정화된 비폭기 충전층 생물 반응기에서 수력학적 체류시간의 변화와 반응기 직경에 대한 충전 높이 (H/D)가 2, 4, 5.8 높이에서의 암모니아 제거속도 및 제거효율을 나타낸 그림이다.

모든 수력학적 체류시간 조건에서 H/D가 증가할수록 암모니아성 질소의 제거효율은 높아지고, H/D가 감소할수록 암모니아성 질소의 제거속도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 반응기 하부에서의 높은 용존산소 농도와 암모니아의 농도로 인해 더 많은 양의 암모니아를 제거함으로써 반응기 하부로 갈수록 암모니아의 제거속도는 커지는 결과가 나타났다. 이와 반대로 제거효율은 반응기 상부로 갈수록 높아짐을 나타내었다. 이러한 현상은 암모니아 제거 시 이론적으로 1 g의 암모니아성 질소가 질산염으로 산화되기 위해서는 4.75 g의 산소가 필요하여 상부로 갈수록 용존산소농도가 감소하여 나타나는 현상으로 판단된다.

### 3.2. 초기 암모니아 농도의 변화에 따른 암모니아 제거 특성

초기 암모니아성 질소 농도의 변화에 따른 비폭기 충전층 생물반응기에서의 질화세균이 고정화된 PVA bead의 질산화 특성을 알아보았다.

Figure 5은 수력학적 체류시간이 0.2시간이고 질화세균 고정화된 PVA bead를 H/D 기준으로 5.8까지 충전시켜 유입수의 암모니아 농도를 1, 2, 3 및  $4 \text{ g/m}^3$ 로 변화시켰을 때 암모니아 제거속도와 제거효율을 나타낸 것이다.

초기 암모니아성 질소의 농도가 1~2  $\text{g/m}^3$  변화할 때는 암모니아성 질소의 제거속도는  $92.5 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 에서  $200.3 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 으로 두 배 이상 증가하였고 초기 암모니아성 질소

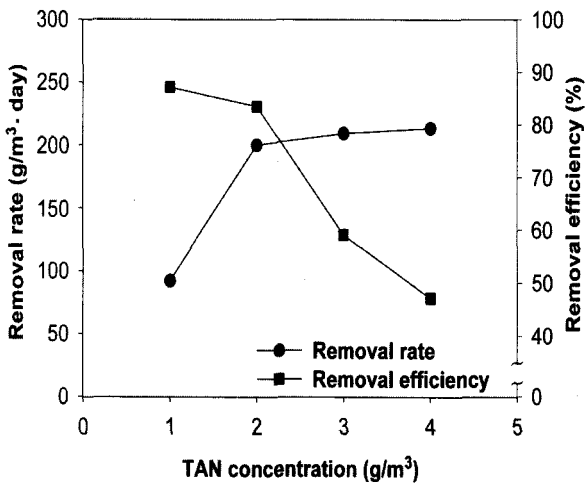


Figure 5. The effect of the initial TAN concentration on total ammonia nitrogen removal rate and efficiency.

의 농도가 2~4 g/m<sup>3</sup> 범위에서는 거의 변화 없이 일정하였다. 초기 암모니아성 질소의 농도가 2 g/m<sup>3</sup> 일 때 200.3 g/m<sup>3</sup>·day, 3 g/m<sup>3</sup>일 때 209.4 g/m<sup>3</sup>·day, 4 g/m<sup>3</sup>일 때 213.6 g/m<sup>3</sup>·day 나타내었다. 이는 질산화에 필요한 산소량이 물속의 용존산소 양으로는 부족하여 나타나는 현상으로 용존산소의 부족한 때 이후부터는 더 이상의 산화가 일어나지 않는 것으로 판단된다. G. ruiz et al.[10]은 용존산소의 농도가 0.7 mg/L 이하에서는 급격한 질산화 속도의 감소가 발생한다고 하였고, 이런 결과가 본 실험의 결과와 비슷한 결과를 나타내고 있다.

그리고 암모니아 제거효율은 초기 암모니아성 질소 농도가 1, 2, 3 및 4 g/m<sup>3</sup>로 점점 증가할수록 87, 83, 59 및 47% 감소하므로 초기 암모니아성 질소의 농도가 2 g/m<sup>3</sup>에서 가장 효율적임을 나타내고 있어 본 실험은 저농도 암모니아성 질소의 제거에 효과적이다.

### 3.3. 온도 변화에 따른 암모니아 제거 영향

암모니아의 생물학적 처리에 있어서 온도는 미생물 증식과 밀접한 관계가 있으며 Strotmann and Windecker[11]는 질화세균의 고정화가 낮은 성장률에 대한 문제를 해결하는 방법으로 이용 가능하다고 하였다. 특히 사계절이 뚜렷한 우리나라의 계절적 특성으로 인해 질화세균 고정화된 PVA bead에 의한 암모니아성 질소 제거에 대한 온도의 영향을 연구하고자 하였다.

Figure 6은 수력학적 체류시간이 0.2시간에서 반응기내 온도를 15, 20, 25, 30 및 35℃로 변화 시켰을 때 암모니아의 제거속도와 제거효율을 나타낸 것이다. 암모니아성 질소의 제거속도 및 제거효율에 있어서 온도 20℃ 이상의 조건에서는 온도 변화의 영향을 거의 받지 않아 저농도 암모니아성 질소의 제거에 효과적이며, 20℃ 조건에서 암모니아성 질소의 제거속도와 제거효율은 각각 189 g/m<sup>3</sup>·day와 76%를 나타내었다. Vogelsang et al.[12]은 PVA-SbQ/alginate gel bead에

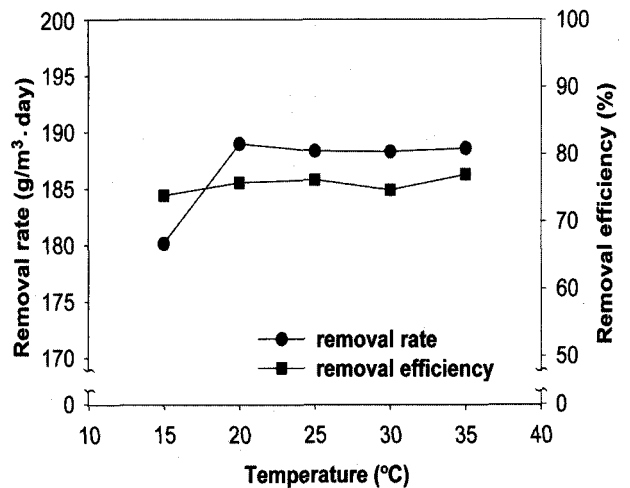


Figure 6. The effect of the temperature on total ammonia nitrogen removal rate and efficiency.

의한 질산화 실험에 있어서 10 ~ 30℃의 온도 변화에 대해 25%의 활성 변화가 나타난다고 하였고, Pérez et al.[14]은 polystyrene bead, carrageenan gel bead, biological filter 및 free cell등에 의한 질산화 실험에 있어서 20 ~ 30℃의 온도변화에 대해 각각 4, 5, 20 및 50%의 활성 변화가 나타난다고 하였다. 서 등[5]의 연구에서는 15℃이하에서부터 암모니아 제거속도와 제거효율이 떨어진다고 하였다. 위의 결과들로 고정화 bead를 사용한 질산화 실험이 다른 여타의 방법을 이용한 질산화 실험보다 비교적 온도 변화에 대해 덜 민감한 것으로 나타났다.

이는 고정화 담체로 사용된 PVA는 고정화된 질화세균이 질산화 과정에서 발생하는 열을 bead 내에 보존할 뿐만 아니라 유입되는 폐수의 온도변화에 대하여 질산화균을 보호해 줌으로써 유입되는 폐수의 온도가 20~35℃에서는 암모니아성 질소의 제거속도 및 제거효율이 거의 일정함을 보여주고 있다. 이러한 특성은 온도 변화에 따른 암모니아 제거 특성이 일정하게 유지되어, 실제 양어장의 저농도 암모니아 처리공정에 매우 유익할 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

활성슬러지로부터 순양된 질화세균을 PVA로 포괄 고정화하여 충전한 비폭기 생물반응기를 이용하여 저농도 암모니아 제거실험을 수행하였다.

수력학적 체류시간이 짧아질수록 암모니아성 질소의 제거속도는 계속 증가하여 0.2시간의 수력학적 체류시간에서 암모니아성 질소의 최대 제거속도와 제거효율은 226.1 g/m<sup>3</sup>·day와 88.8% 을 나타내었다.

유입수의 암모니아성 질소 농도가 1~4 g/m<sup>3</sup>으로 높아질수록 암모니아 제거속도는 계속 증가하나 유입수의 암모니아성 질소 농도가 2 g/m<sup>3</sup> 이상부터는 큰 변화가 없었다. 이는 질산

화에 필요한 산소량의 부족으로 인한 현상으로 사료된다. 유입수의 암모니아성 질소 농도가  $2 \text{ g/m}^3$ 에서 암모니아성 질소의 제거속도와 제거효율은  $200.3 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 와 83%을 나타내었다.

암모니아성 질소의 제거속도는 온도 상승에 따라  $20^\circ\text{C}$ 에서 최대 제거속도를 보여 주었고  $20\sim 35^\circ\text{C}$ 에서는 거의 유사한 암모니아성 질소의 제거속도를 나타냈다. 그러나 온도가  $15^\circ\text{C}$  이하에서는 급격한 암모니아성 질소의 급격한 감소를 나타내었다. 이와 같이 온도가  $20^\circ\text{C}$  이상에서는 온도의 변화에 대하여 암모니아성 질소의 제거속도에 거의 영향을 받지 않아 저농도 암모니아성 질소의 제거에 효과적이다. 온도가  $20^\circ\text{C}$ 일 때 암모니아성 질소의 제거속도와 제거효율은  $189 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 와 76%를 나타내었다.

질화세균이 고정화 된 비폭기 충전층 생물 반응기는 저농도 암모니아성 질소 처리 시 암모니아성 질소의 제거속도가 크고, 온도에 대한 영향이 적어  $2 \text{ g/m}^3$ 이하의 저농도 암모니아를 포함한 양어장 순환수 처리에 매우 효과적인 반응기로 사료되었다.

## 감 사

이 논문은 2006년 부경대학교 기성회 학술연구부에 의하여 연구되었으며, 이에 감사를 표시합니다.

## 참고문헌

1. Roger, G. L., and Klemetson S. L., "Ammonia Removal in Selected Aquaculture Water Reuse Biofilters", *J. Aquaculture*, **4**, 135-154 (1985).
2. Tanaka, K., Nakao, M., Mori, N., Emori, H., Sumino, T., and Nakamura, Y., "Application of Immobilized Nitrifiers Gel to Removal of High Ammonium Nitrogen", *Water Sci. Tech.*, **29**, 241-250 (1994).
3. Octabe L., "Chemical Reaction Engineering", 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 393-394 (1999).
4. Hashimoto S., and Furukawa, K., "Immobilization of Activated Sludge by PVA-boric Acid Method", *Biotech. Bioeng.*, **30**, 52-59 (1987).
5. Suh, K. H., Kim, Y. H., Cho, J. K., Kim, B. J., Sae, J. K., Park, E. J., and Kim, S. K., "Removal of  $\text{NH}_3\text{-N}$  by Using Immobilized Nitrifier Consortium in Polyvinyl Alcohol", *J. Korean Env. Sci. Soc.*, **8**, 479-483 (1999).
6. APHA, AWWA, and WEF, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th ed., EPS Group, 4-106 (1998).
7. Suh, K. H., Kim, B. J., Cho, M. C., Cho, J. K., Kim, Y. H., and Kim, S. K., "Removal of Ammonia-N by Immobilized Nitrifier Consortium", *J. Korean Biotech. Bioeng.*, **13**, 238-243 (1998).
8. Lee, J. H., Kim B. J., Kim, Y. H., Yi, G. B., Lim, J. H., Cheon, J. K., and Suh, K. H., "Advanced Wastewater Treatment of Low Concentration Ammonia Using the Immobilized Nitrifier Consortium", *Hwahak Konghak*, **40**, 763-768 (2002).
9. Suh, K. H., Kim, Y. H., and Kim, B. J., "Nitrifier Consortium Immobilized Bioreactor for  $\text{NH}_3\text{-N}$  Removal in Synthetic Aquaculture Water", *Hwahak Konghak*, **37**, 487-493 (1999).
10. Ruiz, G., Jeison, D., and Chamy R., "Nitrification with High Nitrite Accumulation for the Treatment of Wastewater with High Ammonia Concentration", *Water Res.*, **37**, 1371-1377 (2003).
11. Strotmann, U. J., and Windecker, G., "Kinetics of Ammonium Removal with Suspended and Immobilized Nitrifying Bacteria in Different Reactor Systems", *Chemosphere*, **35**, 2939-2952 (1997).
12. Vogelsang, C., Husby, A., and Østgaard, K., "Functional Stability of Temperature-Compensated Nitrification in Domestic Wastewater Treatment Obtained with PVA-SBQ/Alginate Gel entrapment", *Water Res.*, **31**, 1659-1664 (1997).
13. J Pérez, JL Montesinos, J Albiol and F Gòdia "Nitrification by Immobilized Cells in a Micro-ecological life Support System Using Packed-bed Bioreactors", *J. Chem. Tech. Biotech.*, **79**, 742-754 (2004).