

황 충전상 단일 생물막여과 공정을 이용한 생물학적 질소제거

Biological Nitrogen Removal Using a Single Biofilter Packed with Granular Sulfur

문진영 · 황용우* · 김대영 · 가미선

Jin-young Moon · Yong-woo Hwang* · Dae-young Kim · Mi-sun Ga

인하대학교 환경공학과

(2005년 7월 15일 논문 접수; 2005년 12월 1일 최종 수정논문 채택)

Abstract

This study was performed to advance nitrogen removal efficiency by employing an single biofilter packed with granular sulfur, which consists of nitrification occurring at upper part and denitrification at lower part of the reactor.

Continuous nitrification/denitrification was carried out with different alkalinity sources, which were NaHCO_3 and CaCO_3 (limestone). In the downflow nitrification/denitrification biofilter packed with granular sulfur, first, terms for nitrogen removal was decided. As results, nitrification and denitrification rate with NaHCO_3 at $0.85\text{kg NH}_4^+\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ were accomplished $0.80\text{kg N/m}_3 \cdot \text{d}$, $0.43\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$, respectively. In the sulfur/limestone packed downflow nitrification/denitrification biofilter, sulfur and limestone were mixed packed, preliminary test showed sulfur/limestone mixing ratio was 3:1 and that was ideal. In the result, nitrification and denitrification rate at $0.7\text{kg NH}_4^+\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ were accomplished $0.65\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$, $0.34\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$, respectively. In general, employing granular sulfur can be implemented for only denitrification, but this system can accomplish nitrification as well as denitrification in a single reactor even though low carbon concentration was present in influent limiting to nutrient removal process. This biofilter system of limestone and granular sulfur packed together can successfully apply for nutrient removal effectively.

Key words: nitrification, denitrification, granular sulfur, limestone, biofilter

주제어: 질산화, 탈질, 입상황, 석회석, 생물막

1. 서 론

최근 빈번한 수질오염사고 및 부영양화로 인해 날

로 악화되어가는 상수원의 수질개선을 위해 영양염류에 대한 환경규제기준이 점차 강화되고 있으며, 이에 따라 환경기초시설에서의 영양염류 저감대책이 더욱 대두되고 있다. 그동안 생물학적 질산화 및 탈질 공

*Corresponding author Tel: +82-32-860-7501, Fax: +82-32-863-4267, E-mail: hwangyw@inha.ac.kr (Hwang, Y.W.)

법은 물리/화학적 처리공법에 비해 하·폐수처리를 위한 친환경적이고 경제성을 갖춘 공법으로서 다양한 분야에 적용되어 많은 성과가 도출되었다. 일반적으로 하수처리시, 활성슬러지를 이용한 생물학적 공정의 주된 기능은 유기물 제거이며 질소 제거율은 20~40%에 불과하다(류, 1999). 또한, 질소제거에 생물학적영양염류제거법(Biological Nutrient Removal: BNR)을 사용할 경우 총질소 제거율은 하수자체특성인 C/N비에 따라 좌우된다. 그러나 우리나라와 같이 하수 내 유기물비가 부족한 경우는 탈질시 별도의 외부탄소원을 필요로 하며, 유기물이 충분한 경우에도 질소제거효율을 증가시키기 위하여 반송비 변화 또는 후탈질 등을 고려할 수 있다. 최근 고가의 외부탄소원 도입으로 인한 경제성 저하에 대한 대안으로 전자공여체로서 탄소원대신 황을 이용함으로써 유기물 투입이 불필요한 독립영양탈질공법(Batchelor와 Lawrence, 1978) 및 생물막여과 공정이 제시되고 있다.

생물막여과 공정은 생물막에 의한 유기물제거와 여과에 의한 부유물질제거의 특성을 혼합한 공법으로서 최종침전지를 생략할 수 있는 경제적인 공법으로 알려져 있다. 생물막여과법에서는 생물막 두께에 따라 생물막 내의 기질 농도와 처리 효율이 변화하게 되는데 두께 형성에 있어서 COD 농도 300mg/L 이하에서는 기질이 제한 인자가 되고, 500mg/L에서는 산소가 제한 인자가 된다고 하였다(Harris와 Hansford, 1976). 통상 생물막이 두꺼워질 경우 생물막 내로의 물질전달이 제한되므로(한국건설기술연구원 등, 1997) 생물막의 일부가 내생 호흡상태에 있게 되고 생물막 건조 밀도도 감소하게 된다. 생물막 두께형성에 관한 여러 이론이 있지만 Horn과 Hempel(1998)은 생물막 두께로 50~100m 정도가 사용된다고 보고하고 있다.

일반적으로 황이용 탈질은 독립영양균에 의하여 환원상태의 황 화합물을 산화시키며 이때 전자수용체로 이용된 질산성 질소(NO_3^-)가 질소 가스(N_2)로 탈질되는 것이다. 또한 탈질에 이용되는 황을 질산화용역제로 사용하여 이를 단일 반응조에 설치하고, 상부에 공기를 주입하면 상부의 질산화조에서는 황입자에 부착된 질산화 미생물에 의하여 질산화 반응이 일어나고 하부의 무산소조에서는 황이용 독립영양 탈질

반응이 일어날 수 있다.

본 연구에서는 중·저농도 하수 및 폐수를 대상으로 단일 반응조 내에서 하부를 무산소상태로 유지하고 상부를 호기상태로 하여 동시에 질산화 및 탈질공정이 수행가능한 생물막 반응조를 고안하였으며, 충전여재로는 외부탄소원 첨가 없이 독립영양균에 의한 탈질에 사용되는 입상황을 사용하여 수리학적부하에 따른 질소제거특성을 살펴보았다. 또한 알칼리도의 공급원으로서 황과 석회석을 혼합하여 충전한 생물막 반응기의 질산화 및 탈질 효율과 경제성을 검토하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험 장치

본 연구에 사용된 황 충전상 생물막여과 반응기를 Fig. 1에 나타내었다. 반응기는 높이 110cm, 직경 4cm의 아크릴로 제작된 원통형 반응기로 상부의 질산화부와 하부의 탈질부로 구성되어 있다.

하향류로 운전된 반응기 여재층의 높이는 70cm이며, 하단으로부터 40cm 지점에 산기관을 설치하여

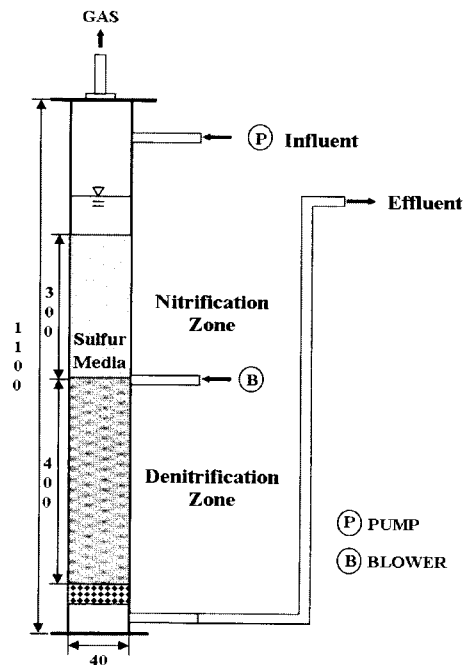


Fig. 1. Experimental apparatus of biofilter packed with granular sulfur.

Table 1. Characteristics of the granular sulfur used in the experiment

| Effective size(mm) | Uniformity coefficient | Porosity (%) | Packing density (kg · media/L) |
|--------------------|------------------------|--------------|--------------------------------|
| 3.36 | 1.25 | 35.0 | 1.1 |

상부는 질산화조로, 하부는 탈질을 위한 무산소조로 유지하였다. 이에 따라 질산화조의 부피는 0.38L이고 탈질조의 부피는 0.5L였으며, 전 실험은 20°C를 유지하는 항온실에서 실시하였다.

황이용 탈질 미생물의 부착성장을 위한 황입자의 적정 크기에 관련된 기존의 연구(Koenig와 Liu, 1997; Koenig와 Liu, 2001)에서는 2.8~5.6mm로 하였을 때 탈질율이 가장 높았다고 보고하였다. 본 연구에서는 기존연구에 비해 균등계수가 낮은 3.0~5.0 mm 입径의 입상황을 충전하였으며 그 물리적 특성을 **Table 1**에 나타내었다.

2.2. 유입수

연속질산화탈질실험에 사용된 유입수의 성상을 **Table 2**에 나타내었다. 실제하수의 성상을 반영하면서도, 질산화와 탈질에 초점을 맞추어 실험을 실시하기 위하여 생활하수를 희석하여 유입시킴으로써 유기물에 의한 부하를 최소화하고자 하였다. 유입하수로서 인천 S하수처리장의 최종침전지 월류수를 5배 희석한 후, 염화암모늄으로 질소농도를 약 45mg/L로 조절하여 사용하였다.

연속질산화탈질실험은 알칼리도 공급방안에 따라 크게 두 가지로 나누어서 각각 수리학적 부하에 따라 실시하였다. 그 첫 번째로 반응기에 NaHCO₃으로 알칼리도를 공급하면서 실험을 실시하였고, 두 번째 실험에서는 알칼리도의 공급원으로 석회석을 충전하여 실시하였다. 석회석은 주성분이 CaCO₃인 자연광물이며, pKsp가 8.06로서 난용해성의 물질이다(MERCK & CO. Inc, 1996). 따라서 폐수에 직접 용해시켜 주입하는 것은 불가능하나, 충전상으로 이용하면 폐수 내 pH 등의 요인에 따라 지속적인 알칼리도 공급이 가능한 장점이 있다.

2.3. 분석

본 연구에서는 반응조의 유입수, 유출수에 대하여

Table 2. Characteristics of wastewater as influent

| Item | Influent wastewater | |
|--|---------------------|--------------------------|
| | sulfur packed. | sulfur/limestone packed. |
| Temperature (°C) | 20 ± 0.5 | 20 ± 0.5 |
| pH | 7 ± 1 | 6.5 ± 1 |
| SS (mg/L) | 2.5 ± 1 | 2.5 ± 1 |
| Alkalinity (mg/L) | 550 ± 50 | 15 ± 5 |
| BOD ₅ (mg/L) | 4 ± 0.5 | 4 ± 0.5 |
| CODcr (mg/L) | 5 ± 0.5 | 5 ± 0.5 |
| TKN (mg/L) | 50 ± 5 | 50 ± 5 |
| NH ₄ ⁺ -N (mg/L) | 50 ± 5 | 50 ± 5 |
| NO ₃ ⁻ -N (mg/L) | 1 ± 0.5 | 1 ± 0.5 |
| NO ₂ ⁻ -N (mg/L) | < 0.1 | < 0.1 |

Table 3. Analytical Methods

| Item | Analytical Methods |
|---|---|
| TKN NH ₄ ⁺ -N | Macro Kjeldahl Method of Standard Methods |
| CODCr | Dichromate Reflux Method of Standard Methods |
| BOD | 5-day BOD Test of Standard Methods |
| Alkalinity | Titration Method of Standard Methods |
| DO | DO meter (YSI Model 58) |
| pH | pH meter (ORION 720A) |
| NO ₂ ⁻ -N NO ₃ ⁻ -N SO ₄ ²⁻ | Ion Chromatography (Young Lin Instrument, Water 432 Conductivity Detector) |

Standard Methods(APHA 등, 1998)와 수질오염 공정 시험법(환경부, 2004)에 준하여 분석하였으며, 각 항목별 분석 방법을 **Table 3**에 나타내었다.

3. 결 과

3.1. 황 충전상 단일 생물막여과

3.1.1. 알칼리도 공급

독립영양탈질의 여재로 사용되는 입상황의 탈질효율성 및 질산화를 위한 여재로서도 이용가능성을 확인하기 위하여 우선, 단일 생물막여과상에 용해도가 높아서 사용하기 용이한 알칼리제인 NaHCO₃를 공급하면서 수리학적 부하에 따라 연속질산화탈질실험을 실시하였다.

황이용 탈질은 질산화 반응과 마찬가지로 H⁺를 생

성하고 알칼리도를 소모하여 pH가 낮아지는 반응이므로, 알칼리도의 보충을 위하여 입상황을 충전한 반응기에 NaHCO_3 를 주입하였다. 알칼리도의 공급량은 화학 양론식을 통해 질산화에 소요되는 알칼리도를 $7.14\text{g CaCO}_3/\text{g NH}_4^+\text{-N}$ (Villaverds 등, 1997)와 황이용 탈질에 필요한 알칼리도를 $4.57\text{g CaCO}_3/\text{g NO}_3^-\text{-N}$ (Driscoll과 Bisogni, 1978)을 동시에 고려하여 산정하였으며(Park 등, 2002), 유입수 암모니아농도 45mg/L 에 대해 약 $600\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ 이상의 충분한 알칼리도가 형성되도록 추가 공급하였다. 이로부터 전 실험기간내 알칼리도 부족으로 인한 pH 저하 및 질산화, 탈질속도 저하 등은 나타나지 않았다.

3.1.2. 질산화 반응

유입유량 변화에 따른 암모니아성 질소의 제거효율을 Fig. 2에 제시하였다. 여기서, 암모니아성 질소의 제거효율은 유입수와 유출수의 농도로부터 계산하였으며, 미생물의 세포합성 이용량은 고려하지 않았다. 유입 암모니아성 질소의 농도는 유량에 관계없이 45mg/L 로 일정하였으며, 유출 암모니아성 질소의 농도는 최대 3mg/L 정도로 약 95% 이상의 질산화율을 보였다. 하지만, 유량이 증가할수록 질산화율이 감소하는 것으로 나타났다. 질산화부 내의 EBCT(Empty Bed Contact Time)는 유량의 증가에 따라 2.2, 1.8, 1.6, 1.4, 1.3시간으로 질산화 반응시간이 감소하였으나, EBCT가 최대 1.3시간일 경우에도 93% 정도의 고속의 질산화율을 보여주었다.

다른 질산화반응실험 결과로서 암모니아 부하에 따른 질산화속도를 Fig. 3에 나타내었다. 실시된 암모니아성 질소의 부하는 최소 $0.5\text{kg NH}_4^+\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 에서부터 $0.85\text{kg NH}_4^+\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 까지였다. 그 결과 암모니아성 질소의 제거속도는 $0.8\text{kg NH}_4^+\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 에서 더 이상 선형적으로 증가하지 않고 수렴하였다. 이로부터 본 실험에서의 최고 질산화속도는 $0.8\text{kg NH}_4^+\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 임을 알 수 있었다. 또한 상기의 실험 결과를 통하여 독립영양탈질의 여재로 사용되는 입상 황을 질산화균을 위한 여재로서도 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 황 탈질 미생물뿐만 아니라 호기성 상태에서 DO를 이용하는 황 산화 미생물의 존재로 인하여 유출수의 황산염 농도가 증가할 수 있는 가능성을 배제할 수는 없다. 본 연구는 질산화 여

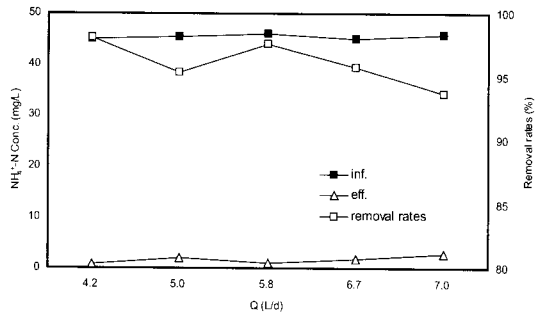


Fig. 2. Variations in the influent and effluent $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentrations and removal rate of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ by sulfur packed biofilter.

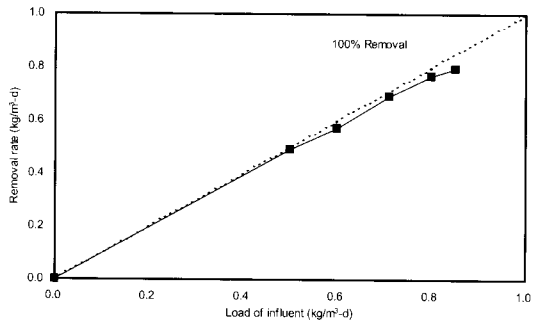


Fig. 3. Variations $\text{NH}_4^+\text{-N}$ loading rate and removal rate by sulfur packed biofilter.

재로서 입상 황의 사용 가능성을 검토하는 것에 국한된 실험이었으므로 황 산화 미생물에 의한 황산염 생성에 관한 검토는 없었다.

3.1.3. 황탈질 반응

실험기간 중 질산성질소의 유입부하에 따른 탈질속도를 Fig. 4에 나타내었다. 질산성질소의 유입부하는 유량이 증가함에 따라 $0.37\text{kg NO}_3^-\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 로부터 $0.60\text{kg NO}_3^-\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 로 증가하였으며, 이에 따른 탈질속도는 $0.26\text{kg NO}_3^-\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 로부터 $0.43\text{kg NO}_3^-\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 로 나타났으며, 탈질조에서의 탈질효율은 평균 72%로 나타났다. 황이용 독립영양 탈질은 호기 상태에서 가능한 것으로 보고되어(김, 1999) 질산화조와 연계된 형태의 황 탈질조는 중속영양 탈질보다 DO 농도에 의한 저해영향이 낮을 것으로 판단된다. 본 실험에서도 탈질조에서의 유출수의 DO를 분석한 결과 평균 2.5mg/L 를 유지하는 것으로 나타났다. 이로부터 호기 상태에서의 황 탈질의 가능

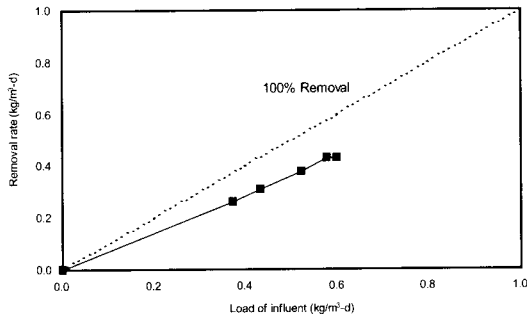


Fig. 4. Variations $\text{NO}_3\text{-N}$ loading rate and removal rate by sulfur packed biofilter.

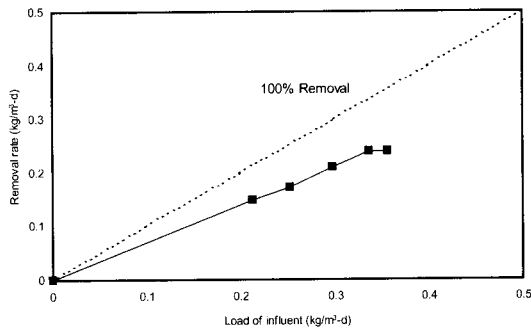


Fig. 5. Variations T-N loading rate and removal rate by sulfur packed biofilter.

성을 확인할 수 있었다.

황 충전상 단일 생물막여과 반응기에서 T-N의 유입부하에 따른 제거속도를 Fig. 5에 나타내었다. T-N의 유입부하는 질산화부와 탈질부의 전체용량으로 계산되었다. T-N의 유입부하도 마찬가지로 유량이 증가함에 따라 $0.21\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로부터 $0.36\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 증가하였고, 이에 따른 제거속도는 $0.15\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로부터 점차적으로 향상되었으며, 제거속도 $0.24\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서는 더 이상 향상되지 않는 것으로 보아 최대 질소 제거속도가 $0.24\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 인 것으로 판단하였다.

3.2. 황/석회석 충전상 생물막여과

3.2.1. 황/석회석 충전비

상대적으로 고가 알칼리제인 NaHCO_3 의 대안으로서 주성분이 CaCO_3 인 석회석을 사용하여 앞의 연속 질산화탈질실험과 비교분석 하였다.

먼저 황과 석회석의 충전비를 결정하기 위하여 회

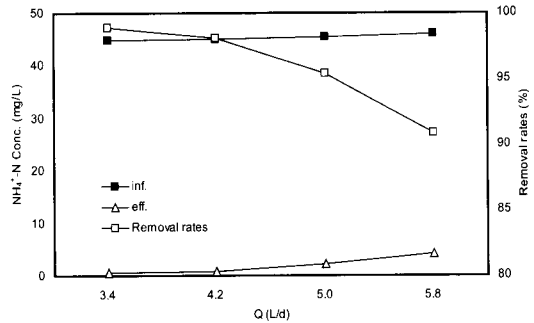


Fig. 6. Variations in the influent and effluent $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentrations and removal rate of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ by sulfur and limestone packed biofilter.

분식 실험장치에 황:석회석의 충전비를 각각 2:1, 3:1, 4:1로 한 후 암모니아성 질소농도를 45mg/L , 알칼리도는 완전 질산화·탈질을 위해 충분한 520mg/L 를 주입하여 포기를 실시하였다. 각 회분식 반응조 유입전의 초기 pH는 약 8.0였으며, 충전상과 혼합후 $0.2\text{N H}_2\text{SO}_4$ 를 주입하면서 pH의 변화를 측정하였다. $0.2\text{N H}_2\text{SO}_4$ 를 주입함에 따라 실험개시 후 5분 경과 시 pH는 황:석회석의 충전비가 2:1, 3:1, 4:1인 경우 각각 7.0, 6.8, 6.7 이상으로 완충되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 석회석의 비가 높을수록 pH의 완충효과가 높은 것을 확인할 수 있었다. 그러나 석회석의 비가 높으면 그만큼 탈질을 위한 입상상의 반응면적이 감소하기 때문에 탈질성능이 저하되고 과량의 석회석 사용 시 스케일이 발생하는 점(Lampe와 Zhang, 1998)을 감안하여 황과 석회석의 충전비를 3:1로 결정하였다.

3.2.2. 질산화 반응

황과 석회석을 3:1로 충전한 생물막여과 반응기에서 수리학적부하에 따른 연속 질산화 황탈질 실험을 실시하였으며, 암모니아성 질소의 제거효율을 Fig. 6에 나타내었다. 유입 암모니아성 질소의 농도는 유량에 관계없이 약 45mg/L 로 일정하였으며, 유출 암모니아성 질소의 농도는 최대 4.2mg/L 정도로 약 98% 이상의 높은 질산화율을 보였다. 하지만 황과 석회석을 충전한 반응기에서도 단일 황 충전상 반응조와 마찬가지로 수리학적 부하가 증가함에 따라 질산화조의 EBCT가 감소하면서 동시에 질산화율이 소폭 낮아지는 것으로 나타났다.

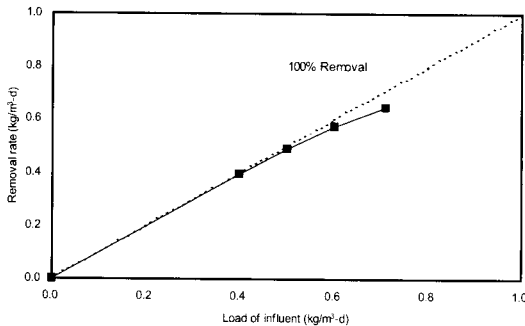


Fig. 7. Variations $\text{NH}_4^+\text{-N}$ loading rate and removal rate by sulfur and limestone packed biofilter.

Fig. 7에 암모니아성 질소 유입부하에 따른 제거속도, 즉 질산화 속도를 나타내었다. 유입유량이 증가함에 따라 유입부하는 $0.4\text{kg NH}_4^+\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서 $0.7\text{kg NH}_4^+\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 증가하였으며, 그에 따른 제거속도는 $0.4\text{kg NH}_4^+\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로부터 $0.65\text{kg NH}_4^+\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 까지 상승하여 황과 석회석을 혼합한 반응조에서의 질산화균의 성장 및 질산화 효율을 검증할 수 있었다.

3.2.3. 황탈질 반응

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 유입부하에 따른 탈질속도와 T-N의 유입부하에 따른 T-N제거속도를 각각 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 유입부하는 $0.3\text{kg NO}_3^-\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로부터 $0.49\text{kg NO}_3^-\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 까지 증가하였으며, 그에 따른 탈질속도는 $0.23\text{kg NO}_3^-\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서 $0.34\text{kg NO}_3^-\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 약 69%의 탈질효율을 확인할 수 있었다. 유입유량의 변화에 따라 탈질조의 EBCT는 3.5, 2.9, 2.4, 2.1시간으로 감소하였으며, EBCT 감소에 따라 탈질속도가 저하되는 것으로 나타났다. 또한, 실험기간의 경과에 따라 일평균 0.78 mm 정도의 여층의 감소를 관찰할 수 있었으며, 60일이 경과한 후 전체 여층이 4.7cm 감소하였다. 이는 황이용 탈질에서는 최소 HRT가 중요하다고 보고한 Driscoll과 Bisogni(1978)의 연구와 일치하는 것이다. 이론적으로 1g의 질산성 질소를 탈질시킬 때 2.5g의 황이 소모된다고 볼 때, 실험 기간 중 제거된 질산성 질소는 42.6g이었으며, 이에 따른 황 소모량은 106g이었다. 이를 여층 높이로 환산하면 3.84cm에 해당한다. 이론적인 여층의 감소보다 실제 여층이 더 감소

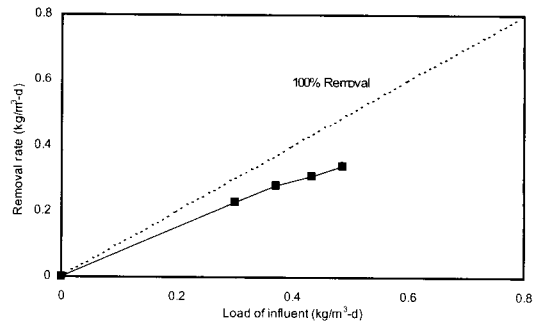


Fig. 8. Variations $\text{NO}_3^-\text{-N}$ loading rate and removal rate by sulfur and limestone packed biofilter.

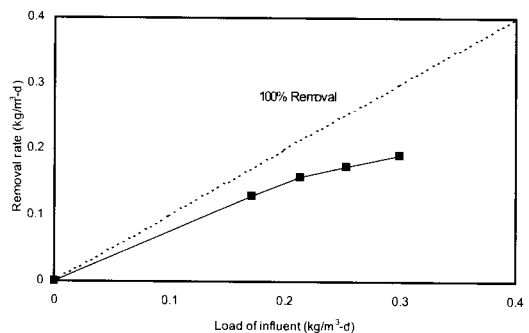


Fig. 9. Variations T-N loading rate and removal rate by sulfur and limestone packed biofilter.

한 이유는 탈질조에서 탈질에 관여하는 미생물 이외에도 다른 미생물들도 황을 산화할 수 있으며, 또한 입경이 작아진 황입자들이 큰 입자들 사이의 공극에 들어갔기 때문으로 사료된다.

T-N의 유입부하는 $0.17\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로부터 유량이 증가함에 따라 $0.3\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 까지 증가하였으며, 그에 따른 질소제거 속도는 $0.13\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서부터 점차 증가하여 $0.19\text{kg N/m}^3 \cdot \text{d}$ 의 제거속도를 보였다.

황과 석회석을 충전한 생물막여과 반응기에서의 전체적인 질소제거효율은 평균 70% 정도의 효율을 보였다. 본 실험결과는 알칼리도를 NaHCO_3 형태로 공급한 앞의 연속질산화탈질실험에 비하여 질산화 및 탈질속도가 약 10% 정도 감소하였는데, 이는 황과 석회석의 3:1 혼합으로 인하여 탈질의 전자공여체로 사용되는 입상황의 충전율이 상대적으로 낮기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 황 충전 비율이 25% 감소

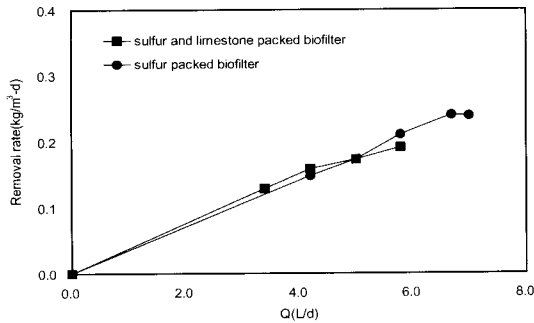


Fig. 10. Comparison T-N loading rate by sulfur packed biofilter and sulfur/limestone packed biofilter.

된 것에 비하여 질산화 및 탈질 속도는 약 10% 감소하였으므로 황의 표면적과 탈질 비율이 정비례하여 감소하지는 않는 것으로 나타났다. 본 연구와 유사한 결과로서, Lampe와 Zhang(1998)은 황의 표면적과 석회석의 용해속도가 황 탈질 공정의 제한요인이라고 제시하기도 하였다.

3.3. 황 충전상 단일 생물막여과와 황/석회석 충전상 생물막여과의 효율비교

황 충전상 단일 생물막여과와 황/석회석 충전상 생물막여과의 질소제거속도를 비교하여 Fig. 10에 나타내었다. 황 충전상 단일 생물막여과에서는 유량을 4.2~7.0L/d로 변화 시키며 실험을 진행하였고, 황/석회석 충전상 생물막여과에서는 유량을 3.4~5.8L/d까지 변화시키며 실험을 진행하였다. 같은 유량의 범위인 4.2~5.8L/d에서의 질소제거 속도를 비교해 보면, 5.0L/d까지는 두 반응기 모두에서 거의 같은 수준의 질소제거속도를 보였다. 그러나 유량이 그 보다 증가하기 시작하면서 황 충전상 단일 생물막여과에서 질소제거 속도가 높아짐을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과로부터 탈질에 필요한 입상 황의 충전 비율이 높을수록 탈질효율이 증가함을 확인할 수 있었다. 황 충전상 단일 생물막여과에서는 유량이 6.7L/d에서 질소제거 속도가 최고 0.24kg N/m³·d로 나타났으며, 7.0L/d의 유량에서도 그 속도를 유지하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

상부는 질산화조, 하부는 황탈질조로 구성된 단일 생물막 반응기를 이용하여 연속질소제거 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 화학양론식을 통해 질산화와 황이용 탈질반응에 필요한 알칼리도를 공급함과 동시에, 암모니아성 질소의 유입부하를 최소 0.5kg N/m³·d에서부터 0.85kg N/m³·d 이상으로 증가시키며 연속질소제거 실험을 수행한 결과, 질산화속도는 최고 0.8kg NH₄⁺-N/m³·d까지 얻을 수 있었으며, 탈질속도는 0.43kg NO₃⁻-N/m³·d까지 나타났다.
- 2) 입상황을 충전한 생물막 반응기를 운전에서, 단일 반응기내에서 질산화와 탈질반응이 동시에 진행가능하였으며, 입상황이 질산화 여재로서 충분히 사용 가능함을 확인하였다.
- 3) 황/석회석의 혼합비를 결정하기 위해 pH 완충 실험을 한 결과, 3:1이 가장 이상적인 혼합비로 나타났다.
- 4) 황/석회석 충전후 암모니아성 질소의 유입부하를 최소 0.4kg N/m³·d에서부터 0.7kg N/m³·d 이상으로 증가시키며 실험을 진행한 결과, 질산화속도는 최고 0.65kg NH₄⁺-N/m³·d까지 얻을 수 있었으며, 탈질속도는 0.34kg NO₃⁻-N/m³·d까지 나타났다.
- 5) 황과 석회석을 충전한 경우 질소제거속도는 알칼리도로서 NaHCO₃를 공급한 실험에 비하여 약 10% 정도 감소하였는데 이는 황과 석회석의 3:1 혼합으로 인하여 탈질전자공여체로 사용되는 입상황의 충전율이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 인하대학교 서해연안환경연구센터의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 서해연안환경연구센터에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 류희정, 신향식, 신진환, 신형우, 이원호, 강성환 (1999) 기

- 초 상하수도, p. 404. 신광문화사
- 한국건설기술연구원, 합자회사 동림소재, 한국수질보전학회, 환경부 (1997) Wastewater Treatment Workshop, pp. 59-72.
- 환경부 (2004). 수질환경오염공정시험법, 환경부 고시 제 2004-188호.
- 김은용 (1999). 황이용 탈질 시 알칼리도 요구량과 종속영양탈질의 동시 수행 가능성, 인하대학교 석사학위논문.
- MERCK & CO. Inc. (1996) The Merck Index, 20th Ed., New Jersey, USA.
- APHA AWWA, and WEF (1998), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed.
- Liu, C.Y. and Chang, R.C. (1999) Hydrogen Production during the Anaerobic Acidogenic Conversion of Glucose, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **74**(6), pp. 498-500.
- Bill Batchelor and A. W. Lawrence (1978) A Kinetic Model for Autotrophic Denitrification using Elemental Sulfur, *Wat. Res.*, **12**, pp. 1075-1084.
- Harris, N.P. and Hansford, G.S. (1976) A Study of Substrate Removal in Microbial Film Reactor, *Wat. Res.* **10**(4), p. 935.
- Harald Horn and Hempel, Dietmar C. (1998) Modeling Mass Transfer and Substrate Utilization in the Boundary Layer of Biofilm Systems, *Wat. Sci. Tech.*, **37**(4-5), pp. 139-147.
- Koenig, A. and Liu, L.H. (1997) Autotrophic Denitrification of Nitrified Landfill Leachate by *Thiobacillus Denitrificans*, *Proceedings of the 8th International Conference of Anaerobic Digestion*, 1, Sendai Japan, May 25-29, pp. 299-306.
- Koenig, A. and Liu, L.H. (2001) Kinetic Model of Autotrophic Denitrification in Sulfur Packed-Bed Reactor, *Wat. Res.*, **35**(8), pp. 1969-1978.
- Villaverds S, Encina PAG, Polanco F.F. (1997) Influence of pH over Nitrifying Biofilm Activity in Submerged Biofilters, *Wat. Res.*, **31**, pp. 1180-1186.
- Driscoll, T.C. and Bisogni, J.J. (1978) The Use of Sulfur and Sulfide in Packed Bed Reactors for Autotrophic Denitrification, *J. WPCF.*, March, pp. 569-577.
- Park, J.H., Shin, H.S., Lee, I.S., Bae, J.H. (2002) Denitrification of High NO₃⁻-N Containing Wastewater using Elemental Sulfur; Nitrogen Loading Rate and N₂O Production, *Environmental Technology, accepted for publication*, **23**, pp. 53-66.
- Lampe, D.G. and Zhang, T.C. (1998) Sulfur Limestone Autotrophic Denitrification Processes for Treatment of Nitrate-Contaminated Water: Batch Experiments, *Wat. Res.*, pp. 599-608.