

무산소-호기공정을 이용한 순환식 생물여과반응기에서 동시 질산화 및 탈질화의 특성 연구

이수철, 김동진

한림대학교 환경학과 환경공정연구실

전화 (0361) 240-1533, FAX (0361) 256-3420

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effects of influent $\text{NH}_4^+\text{-N}$ load, C/N ratio and superficial air velocity on the nitrogen removal efficiencies. Laboratory scale upflow biological aerated filter(BAF) was consisted of an anoxic-aerobic filter packed with porous ceramic media and operated with synthetic wastewater. BAFs requires less energy and space for the system when compared to conventional activated sludge process. The influent C/N ratios were varied from 0 to 1 by adjusting acetate. Various superficial air velocity had been applied to investigate aeration effect on nitrogen removal. The BAF reactor showed more than 90% average $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiencies at $\text{NH}_4^+\text{-N}$ loading in the range of 0.26~1.33 kg $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ and 62% average T-N removal efficiencies at the C/N ratio of 1. Moreover, average T-N removal efficiencies increased as the superficial air velocity increased, because of the increase $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiencies.

keywords : BAF reactor, C/N ratio, Denitrification, Nitrification, superficial air velocity

서론

급속한 경제발전과 산업화현상은 인구증가와 도시의 집중화를 가속화시켰고 이로부터 발생하는 생활하수 및 산업폐수 등의 오염부하량도 지속적으로 증가하고 있다. 특히 질소를 포함한 배출수는 호수와 저수지의 부영양화를 가속화시키고 용존산소의 소비, 수생 생물에 대한 직접적인 독성을 야기하여 선진국에서는 오래전부터 관심을 가지고 이의 배출을 규제하고 있다. 현재 생물학적처리 공정 중 일반적으로 사용되는 활성슬러지법은 대부분 부유물질이나 유기오염물질의 제거를 위한 기능을 가지고 있어 질소의 제거효율은 저조한 실정이며 고도의 유지관리기술과 넓은 부지면적을 필요로하며 잉여슬러지가 많은 단점 등이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위한 생물여과 장치는 여체에 부착된 고농도의 미생물에 의해 생물학적인 산화반응과 반응기내에 충전된 생물여체에 의한 여과가 동시에 일어나는 처리시설로서 2차침전조가 필요없이 시설비가 저렴하고 운전이 쉬우며 처리수질이 우수한 장점이 있다.¹⁾

생물학적 질소제거는 미생물에 의하여 암모니아성 질소를 질산화시키는 반응과 질산이온을 질소로 환원하는 탈질반응으로 구성되어 있다. 이러한 질산화 반응은 *Nitrosomonas*와 *Nitrobacter*에 의한 2단계 반응으로 진행되고 탈질은 비교적 다양한 미생물에 의해 진행되

며 메탄올과 같은 외부 탄소원이 필요하다. 질산화반응에서 *Nitrosomonas*와 *Nitrobacter*의 yield coefficient는 각각 0.05~0.29 g VSS/g NH₃-N과 0.02~0.88 g VSS/g NO₂⁻-N이며 이때 1 g의 암모니아성 질소의 산화에 4.33 g의 산소, 7.13 g의 alkalinity가 소모된다. 이러한 Nitrifier는 온도와 독성물질에 대해 미생물 활성도가 민감하게 작용하고 미생물 yield가 낮아 유기물을 분해하는 heterotrophic 미생물과의 성장 경쟁에서 매우 불리한 조건에 있어 연속처리 반응기에서 이의 wash-out의 방지가 중요하다.²⁾

본 연구에서는 순환식 생물여과장치를 이용하여 증식속도가 낮은 질산균과 탈질균을 반응기에 고정하여 미생물을 고농도로 유지하고 탈질화와 질산화를 연속적으로 수행함에 있어 C/N 비와 superficial air velocity가 질산화와 탈질화에 미치는 영향을 연구, 보다 높은 질소 제거 시스템 조건을 구축하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용된 BAF 반응기는 내경 3 cm, 높이 75 cm의 아크릴 소재의 원형관으로 제작되었다. 반응기의 유효부피는 424 mL이며 이중 반응기 하부의 무산소구역이 유효부피의 약 40 %를 차지하여 170 mL, 상부의 호기성구역이 나머지 254 mL를 차지한다. 반응기 내부에는 직경이 4~6 mm인 다공성의 세라믹 여재를 충전, 고정층을 형성하였으며 폐수는 상향류식으로 공급하였다. 공기는 air flow meter를 이용하여 일정하게 공급하였고 폐수는 정량펌프를 이용하여 정량 주입하였으며 반응기의 반송비는 2로 조절하여 운전하였다. 폐수는 인공하수를 이용하였으며 인공하수의 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Composition of synthetic wastewater

Components	Concentration	Components	Concentration
CaCl ₂ ·2H ₂ O	7 mg/L	NaHPO ₄ ·12H ₂ O	29 mg/L
FeCl ₃ ·6H ₂ O	1 mg/L	NaHCO ₃ (as CaCO ₃)	7.13 g/g NH ₄ ⁺ -N
KCl	7 mg/L	(NH ₄) ₂ SO ₄	50 mg-N/L
KH ₂ PO ₄	11 mg/L	CH ₃ COONa	0, 16, 50 mg-C/L
MgSO ₄ ·H ₂ O	5 mg/L		

분석방법은 standard method의 방법에 의해 수행하였다.

결과 및 고찰

본 실험에서는 암모니아성 질소의 농도를 50 mg-N/L로 일정하게 공급하였고 탈질화에 필요한 외부 탄소원으로 acetate의 농도를 변화시켜 C/N 비를 변화하였으며 C/N비가 일정한 상태에서 공기 공급량을 증가시켜 총 4구획으로 실험하였다. 결과를 Figure 1에 나타냈는데 A구간에서는 탄소원이 없는 상태에서 공기의 유속을 평균 132 m³/m²·d로 공급하였고 초기에 여재에 많은 미생물이 부착하도록 하기 위해 수리학적부하를 낮게 하였다. 이 기간 암모니아성 질소의 부하는 0.26~1.09 kg-N/m³·d로 적용됐고 평균 95.8%의 안정적인 암모니아성 질소의 제거율을 나타냈다. 또한 수리학적부하의 증가에 따라 외부 탄소원이 없는 상태에서도 총 질소의 제거율이 증가하여 평균 27%의 총 질소가 이 구간에서 제거되었다. B구간에서는 공기는 그대로 유지하고 acetate농도를 16 mg-C/L(약 50 mgCOD/L)로 증가시켜 운전하였는데 암모니아성 질소의 부하를 0.77~1.11 kg-N/m³·d로 증가시켰음에도 불

구하고 제거율은 평균 95.6%로 거의 일정하게 유지되었다. 또한 총 질소 제거율은 평균 46%로 약 170%의 증가를 보였다. 하지만 acetate 농도를 50 mg-C/L로 증가하여 운전한 C 구간에서는 총 질소의 제거율은 평균 59%로 증가하였지만 암모니아성 질소의 제거율은 평균 82.2%로 저하하였고 이 구간 암모니아성 질소의 제거율이 공기량의 변화에 민감한 관계를 나타냈다. 그래서 Figure 2에서와 같이 0.58~1.33 kg-N/m³·d의 다양한 범위의 부하에서 암모니아성 질소의 제거율이 저하되었는데 공기의 주입 양을 평균 305 m³/m²·d로 증가시킴으로서 Figure 3에서와 같이 유입수의 암모니아성 질소의 부하는 오히려 증가하였음에도 제거율은 평균 95.2%로 다시 안정화되었다. 또한 반송수에 의해 무산소조의 용존산소 농도가 증가하였음에도 불구하고 많은 양의 암모니아성 질소가 빠르게 질산성 질소로 산화하여 총 질소의 제거율이 증가하는 경향을 보였다. C/N비의 증가는 호기성 조건에서 질산화미생물보다 상대적으로 산소의 친화도가 큰 호기성 종속영양 미생물에게 유리한 조건을 형성하여 질산화 미생물의 활성도를 떨어뜨리는 결과를 가져왔고 공기 공급의 증가로 인해 질산화 미생물의 활성도가 다시 증가하여 전체 시스템에서의 질소제거 효율이 증가한 결과라고 할 수 있다.²⁾ 이는 Figure 4에서도 설명할 수 있는데 C/N비가 1인 상태에서 본 반응기에서의 총 질소의 제거율은 암모니아성 질소의 산화량과 일정한 관계를 나타냈다. 이것은 무산소조의 용존산소 농도의 증가에도 불구하고 여재의 많은 다공성과 이에 부착된 두꺼운 생물막 안쪽에 산소가 제한되어 효과적으로 탈질 반응이 수행되는 것이라 할 수 있는 것이다.

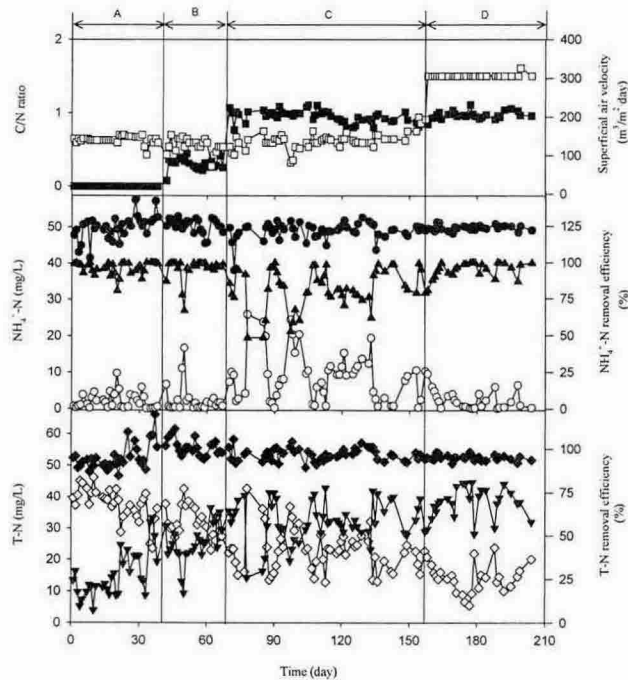


Figure 1. Time courses of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration, T-N concentration, C/N ratio, superficial air velocity, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency and T-N removal efficiency of the BAF. (■ C/N ratio; □ superficial air velocity; ● Influent $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration; ○ Effluent $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration; ▲ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency; ◆ Influent T-N concentration; ◇ Effluent T-N concentration; ▼ T-N removal efficiency)
 A: C/N ratio = 0, superficial air velocity = 132 m³/m²·d. B: C/N ratio = 0.32, superficial air velocity = 132 m³/m²·d.
 C: C/N ratio = 1, superficial air velocity = 132 m³/m²·d. D: C/N ratio = 1, superficial air velocity = 305 m³/m²·d

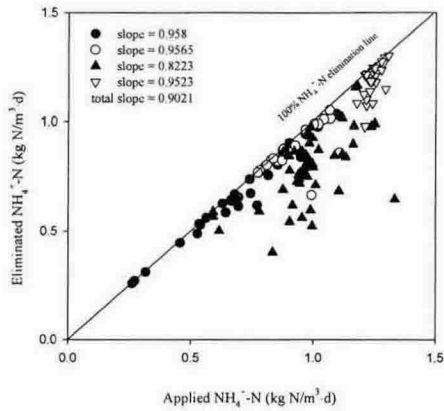


Figure 2. Applied $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and eliminated $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of the BAF
 (● C/N ratio = 0, superficial air velocity = $132 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$;
 ○ C/N ratio = 0.32, superficial air velocity = $132 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$;
 ▼ C/N ratio = 1, superficial air velocity = $132 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$;
 ▽ C/N ratio = 1, superficial air velocity = $305 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$)

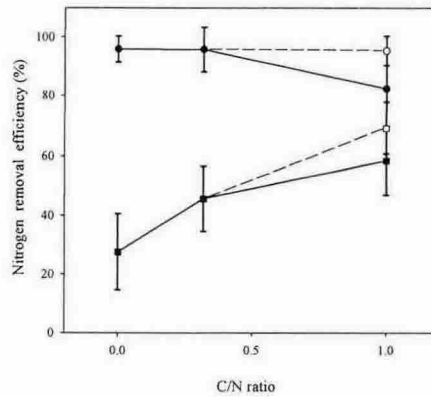


Figure 3. Effect of C/N ratio on nitrogen removal efficiency
 (● $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency, superficial air velocity = $132 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$;
 ○ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency, superficial air velocity = $305 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$;
 ■ T-N removal efficiency, superficial air velocity = $132 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$;
 □ T-N removal efficiency, superficial air velocity = $305 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$)

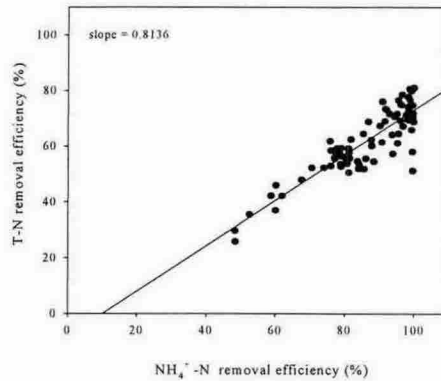


Figure 4. Effect of T-N removal efficiency on $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency at C/N ratio 1

요약

본 BAF 반응기 연구에서의 C/N비의 증가는 산소의 친화도가 큰 호기성 종속영양 미생물에게 유리한 조건을 형성하여 질산화의 효율을 감소시켰으나 공기량의 증가로 인해 질산화 미생물의 활성도는 다시 증가하였다. 총 질소의 제거율은 동일한 C/N비에서 공기량을 증가하여 많은 양의 암모니아성 질소가 질산성 질소로 산화될 때 증가하였으며 이 결과는 무산소조에서 많은 다공성의 여재에 미생물이 두꺼운 생물막을 형성하여 생물막 안쪽으로 용존 산소가 쉽게 전달되지 않아 탈질에 큰 영향을 미치지 않은 결과라고 볼 수 있다.

참고문헌

1. Rogalla, F. and M. M. Bourbigot, "New developments in complete nitrogen removal with biological aerated filter." (1990), *Wat. Sci. Tech.*, 22(1-2), 273
2. S. Okabe, Y. Ozawa, K. Hirata and Watanabe, "Relationship between population dynamics of nitrifiers in biofilms and reactor performance at various C;N ratios" (1996), *Wat. Res.* 30(7), 1563