P407

단일 생물막 반응기에서 역세척과 다공성 생물막 담체가 질소제거에 미치는 영향

이수철, [1]유익근, 김동진
한림대학교 환경학과 환경공정연구실, 울산대학교 화학공학과
전화 (033) 240-1533, FAX (033) 256-3420

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effects of hydraulic backwash load and porous ceramic media on the biological nitrogen removal efficiencies of a biological aerated filter. An upflow anoxic-oxic biological aerated filter(AO-BAF) with porous ceramic media can remove nitrogen by nitrification and denitrification in single unit. After the AO-BAF backwash, nitrogen removal efficiency was lowest and gradually increased to the steady state. Nitrification efficiency, however, showed the opposite result. It is likely that the biofilms are exposed to aerobic condition as the excess biofilms were sloughed off by backwashing

서론

일반적으로 생물학적 질소제거는 호기성 상태에서 질산화미생물에 의한 암모니아성 질소에서 질산성 질소로의 산화과정과 무산소상태에서 종속영양미생물에 의한 질산성질소에서 질소가스로의 환원과정으로 대변되었다. 하지만 최근 'Anammox'로 불리는 혐기성 상태에서의 암모니아와 (아)질산성 질소의 동시 산화/환원 반응에 의한 탈질[1], 산소 결핍조건에서의 독립영양 미생물에 의한 질산화 및 탈질[2], 호기성 현탁배양 및 생물막 상태에서의 동시 질산화 탈질[3] 등의 여러 가지 다른 경향의 질소제거 가능성에 대하여 발표되었다.

생물막공정은 여재에 부착된 고농도의 미생물에 의한 생물학적인 산화반응과 반응기내에 충진된 생물여재에 의한 여과가 동시에 일어나는 처리공정이다. 특히 미생물이 여재에 부착성장하기 때문에 성장속도가 느린 질산화미생물을 이용하는 질소제거공정에 효율적이다.

특히 생물학적 질산화 및 탈질을 수행하는 생물막 공정에서 표면이 거칠고 다공성의 여재를 사용할 경우 여재 표면에는 두꺼운 biofilm이 형성되고 이때 질산화 미생물은 산소전달 저항 때문에 여재 표면에 주로 증식하면서 내부를 무산소 상태로 만들게 된다. 탈질 미생물은 산소가 없는 여재 내부에서 질산화 미생물이 산화시킨 (아)질산 이온을 적절한 유기탄소원을 이용하여 탈질하게 된다. 즉 첫 번째 미생물의 생산물이 두 번째 미생물의 기질이 되어 두 단계의 생물 전환공정이 한 단계 공정인 것처럼 진행된다.

본 연구에서는 세라믹 여재를 이용한 생물막공정에서 역세척 후 시간에 따른 질소제거의 변화를 관찰하여 경제적이고 효율적인 역세척 주기를 결정하는 data를 도출하고 호기성 영역의 biofilm 내부에서의 동시 질산화 탈질 가능성을 확인하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용된 BAF 반응기는 내경 3 cm, 높이 75 cm의 아크릴 소재의 원형관으로 제작되었다. 반응기 내부에는 직경이 4~6 mm인 다공성의 세라믹 여재를 충진, 고정층을 형성하였으며 반응기의 하단에는 무산소구역을 유효부피의 약 40%, 상단에는 호기성 구역을 형성하였다. 폐수는 상향류식으로 공급하였고 유출수는 반송비 2로 유입부에 반송되었다. 폐수의 조성은 미량원소로 $MgSO_4 \cdot H_2O$ 5 mg/l, KCl 7 mg/l, $NaHPO_4 \cdot 12H_2O$ 29 mg/l, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 7 mg/l, KH_2PO_4 11 mg/l, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 1 mg/l, $NaHCO_3$ ($CaCO_3$ 기준) 7.1 g/g NH_4^+-N을 주입하였다. 암모니아성 질소원으로 $(NH_4)_2SO_4$를 50 mg N/l, 유기탄소원으로는 sodium acetate(CH_3COONa)를 주입하였다.

역세척은 공기와 처리수를 동시에 반응기 하부로부터 상향류식으로 공급하도록 하였으며 역세수의 수리학적 부하를 42 $m^3/m^2/hr$로 일정하게 유지한 상태에서 역세공기의 수리학적 부하를 85, 170, 420, 850 $m^3/m^2/hr$로 달리하여 실행하였다.

또한 호기성 영역의 biofilm 내부에서 무산소조건이 형성될 경우 일어날 수 있는 동시 질산화 탈질실험을 위해 호기성영역 및 무산소영역의 담체에 부착된 미생물을 이용 회분식 실험을 하였다. 회분실험에 사용된 영양배지의 조성은 폐수의 조성과 같으며 shaking incubator에서 200 rpm으로 교반하여 공기는 충분히 공급하였다. 사용된 미생물은 약 300 mgVSS/L이다. 분석방법은 Standard Method의 방법에 의해 수행하였다

결과 및 고찰

역세척부하에 따른 질소제거

Fig. 1에 본 생물막 반응기의 역세척에 따른 질소제거 모습을 나타냈다. 역세척은 역세공기의 수리학적 부하를 달리하여 실행되었으며 역세척수는 일정한 수리학적 부하로 공급되었다. 역세공기의 수리학적 부하를 증가시킬수록 많은 양의 미생물이 여재로부터 탈리되었으며 역세척 직후 암모니아성 질소의 농도가 급격히 떨어졌다가 다시 급격히 증가하는데 역세공기의 수리학적 부하가 커짐에 따라 유출수의 암모니아성 질소의 최고점 농도도 높게 나타났다. 하지만 이는 역세척 후 약 4시간 지점에서 오히려 높은 수리학적 부하로 역세척을 해준 유출수의 암모니아성 질소의 농도가 더 낮아지기 시작하였는데 이는 반응기 하부에 존재하던 종속영양 미생물이 폐수가 상향류로 공급되므로써 호기성 영역으로 올라와서 서서히 성장하는데 역세척과 동시에 느슨하게 부착돼있던 호기성 종속영양 미생물들이 떨어져나감으로써 상대적으로 기질경쟁에서 불리하던 질산화 미생물이 많은 양의 산소를 이용할 수 있기 때문이다.

또한 역세척 공기의 수리학적 부하가 증가함에 따라 총질소의 농도는 증가하였는데 이는 biofilm이 얇아짐에 따라 산소의 물질전달이 biofilm 안쪽에 있던 탈질미생물들에게도 쉽게 이루어지기 때문이다.

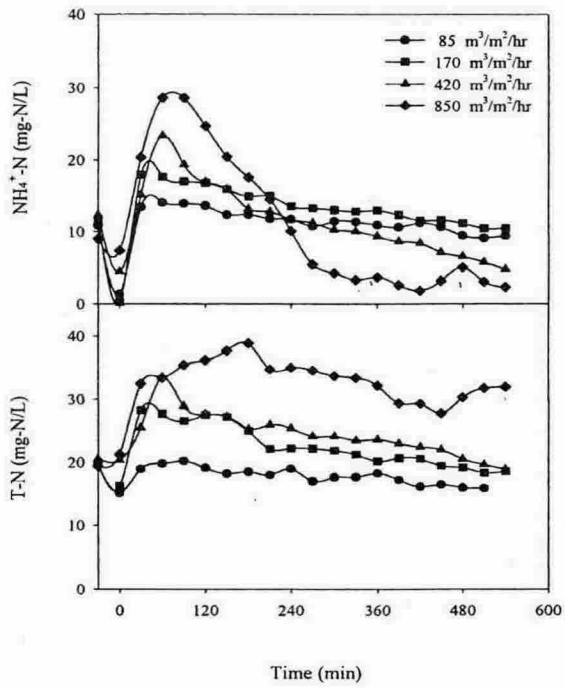

Figure 1. Effluent concentration of NH4+-N and T-N after backwashes at various hydraulic loads

호기성 영역에서의 동시 질산화 및 탈질

다공성의 세라믹 여재의 특성에 따라 호기성영역의 미생물 내부에서의 탈질 가능성을 관찰하기 위해 회분식 실험을 실시한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 그림에서 (A)는 유기탄소원이 전혀 없는 가운데 암모니아성 질소 50 mg-N/L를 넣어주었을 때의 결과로 약 42%의 총질소 제거율을 보였다. (B)와 같이 암모니아성 질소 50 mg-N/L, acetate 50 mg-C/L를 넣어주었을 때는 약 52%의 총 질소 제거율을 보였다. 또한 암모니아성 질소 25 mg-N/L, 아질산성 질소 25 mg-N/L, acetate 50 mg-C/L를 넣어준 (C)는 약 47%의 총질소 제거율을 보였다. 반면 (D)는 무산소구역의 미생물을 질산성 질소 50 mg-N/L, acetate 50 mg-C/L에 넣어주었을 때의 결과로 약 20%의 총질소 제거율을 보였다. 이처럼 호기성 영역의 미생물이 탈질을 수행하던 (D)의 미생물보다 탈질율을 높게 나타내고 특히 유기탄소원이 공급되지 않은 (A)에서 약 42%의 총질소 제거율을 보인 것은 여재 내부에 산소의 전달저항에 의해 무산소 구역이 형성 되 호기성 상태의 동시 질산화 및 탈질과 Anammox로 불리는 혐기성 상태에서의 암모니아와 (아)질산성 질소의 동시 산화/환원 반응에 의한 탈질 가능성을 시사해 준다. Table 1에 이러한 기작이 일어날 수 있는 화학양론식을 표시하였다[1].

Table 1. Five hypothetical reactions for the oxidation of ammonium to N_2 and the Gibbs free energy changes

Reaction	$\triangle G^{\circ}$ (kJ/mol of NH_4^+)
$5NH_4^+ + 3NO_3^- \rightarrow 4N_2 + 9H_2O + 2H^+$	-297
$NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2H_2O$	-358
$5NH_4^+ + NO_3^- + 2.5O_2 \rightarrow 3N_2 + 4H^+$	-310
$2NH_4^+ + 2O_2 + H_2 \rightarrow N_2 + 4H_2O + 2H^+$	-435
$8NH_4^+ + 6O_2 \rightarrow 4N_2 + 12H_2O + 8H^+$	-316

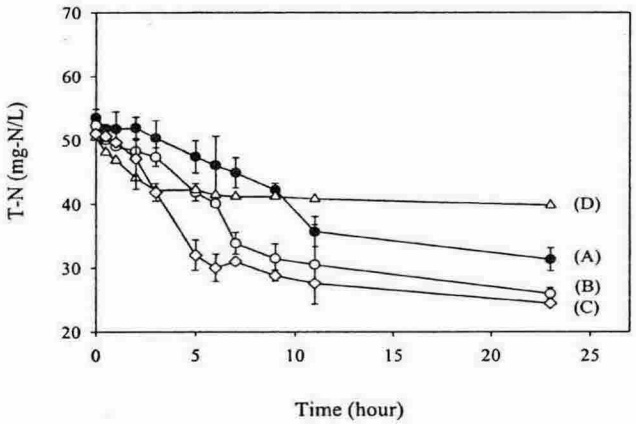

Figure 2. Batch kinetic analysis of nitrification and denitrification at the aerobic condition (A: ● NH_4^+-N 50 mg-N/L, biofilm of aerobic condition; B: ○ NH_4^+-N 50 mg-N/L, CH_3COONa 50 mg-C/L, biofilm of aerobic condition; C: ◇ NH_4^+-N 50 mg-N/L, NO_2^--N 50 mg-N/L, CH_3COONa 50 mg-C/L, biofilm of aerobic condition; D: △ NO_3^--N 50 mg-N/L, CH_3COONa 50 mg-C/L, biofilm of aerobic condition)

참고문헌

1. Astrid, A. and D. G. Van, "Anaerobic Oxidation of Ammonium is Biological Mediated Process" (1995), *Appl. Environ. Microbiol.* **61**, 1246-1251.

2. Kuai, L. and W. Verstraete, "Ammonium Removal by the Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification System" (1998), *Appl. Environ. Microbiol.* **64**, 4500-4506.

3. Helmer, C. and S. Kunst, "Simultaneous Nitrification/Denitrification in an Aerobic Biofilm System" (1998), *Wat. Sci. Tech.* **37**, 183-187.