

MBR 단일 반응조에서 용존산소 농도에 따른 동시 질산화-탈질반응(SND)의 영향

박노백 · 최우영¹⁾ · 윤애화¹⁾ · 전항배^{1)*}

농촌진흥청 국립농업과학원 ¹⁾ 충북대학교 환경공학과
(2009년 10월 14일 접수, 2009년 12월 22일 수리)

Effects of DO concentration on Simultaneous Nitrification and Denitrification(SND) in a Membrane Bioreactor(MBR)

Noh Back Park, Woo Yung Choi¹⁾, Ae Hwa Yoon¹⁾, and Hang-Bae Jun^{1)*}(National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, ¹⁾Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University)

ABSTRACT:In this study, simultaneous nitrification and denitrification (SND) from synthetic wastewater were performed to evaluate dissolved oxygen(DO) effects on chemical oxygen demand(COD) and nitrogen removal in a single membrane bio-reactor(MBR). DO levels in MBR at Run 1, 2, and 3 were 1.9~2.2, 1.3~1.6, and 0.7~1.0 mg/L, respectively. Experimental results indicated that DO had an important factor to affect COD and total nitrogen(TN) removal. SND were able to be accomplished in the continuous-aeration MBR by controlling ambient DO concentration. It is postulated that, because of the oxygen diffusion limitation, an anoxic micro-zone was formed inside the flocs where the denitrification might occur. From the results of this study, 96% of COD could be removed at DO of 0.7mg/L. At run 2 72.92% of nitrogen was removed by the mechanisms of SND (7.75mg-TN/L in effluent). In this study, SND was successfully occurred in a MBR due to high MLSS that could help to form anoxic zone inside microbial floc at bulk DO concentrations of 1.3~1.6mg/L.

Key Words: Biological nitrogen removal(BNR), Dissolved oxygen(DO), Membrane bio-reactor(MBR), Simultaneous nitrification and denitrification(SND)

서 론

수계 내 질소의 유입은 부영양화를 야기하며, 질산화 반응에 의한 수중의 용존산소 소모로 수질의 악영향을 미치고 있다. 국내 가동 중인 대부분의 하수처리장은 표준 활성슬러지 공법이나 그 변법들로 이루어져있고, 이러한 공법들의 유기물 및 부유물질 제거율은 약 90% 정도인 반면, 질소 제거 효율은 미흡한 실정이다¹⁾.

이에 따라 수중에 존재하는 질소를 제거하기 위하여 전통적인 질산화-탈질방법 이외에 특정 미생물이나 반응을 이용하는 방안이 제시되고 있는데, 암모니아성 질소와 아질산

성 질소를 이용해 탈질시키는 SHARON-ANAMMOX 공정, 용존산소(DO)를 0.2 mg/L 이하로 낮게 유지시켜 질산화와 탈질을 동시에 유도하는 SND (simultaneous nitrification and denitrification) 반응을 이용한 SymbioTM 공정 등이 최근 국내외에 설치되고 있다²⁾.

SND 반응은 낮은 용존산소 조건에서 활성슬러지 플록 내부로의 산소전달을 저해 받음으로써 호기 영역과 무산소 영역이 공존하는 이중 구조의 플록(floc)이 형성되어 질산화와 탈질화가 동시에 발현되는 것으로 보고되고 있다³⁾. 즉 단일 호기성 반응조에서 floc 내 용존산소(DO) 농도 구배에 따라 질소가 제거되는 것이나, 호기성 상태에서 탈질화가 이루어지는 기작에 대해서는 아직까지 명확하게 규명되지 않고 있다. 그러나 기계적 교반에 의해 표면 폭기가 이루어지는 질산화 반응조나, 산화구 공정 등에서 질소 손실(nitrogen loss)이 보고되어, 단일 활성슬러지 공정에서 탈질반응에 의

*연락처:

Tel: +82-43-261-2470 Fax: +82-43-271-7976
E-mail: jhbcb@cbnu.ac.kr

한 질소제거 가능성이 제시되었다^{4,6)}.

SND 반응을 유도하기 위해서는 HRT(hydraulic retention time), SRT(sludge retention time) 및 용존산소(DO), 플럭 크기(floc size) 등이 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데, 이 중 용존산소(DO)의 농도가 중요한 인자로 보고되고 있다⁷⁻⁹⁾. 반응조(폭기조) 내 적절한 교반 및 폭기 등을 통하여 낮은 용존산소 농도를 유지하면, 미생물 floc 내 호기 및 무산소 영역이 형성되어 DO 농도가 비교적 높은 floc 외부에서는 질산화가 이루어지고, 생성된 nitrate와 용존 유기물이 floc 내부의 무산소 영역에서 탈질화가 발현될 수 있다. 이에 따라 반응조 내 질산화와 탈질을 동시에 유도하기 위하여 적절한 용존산소 농도 유지가 필수적인데, Pochana와 Killer¹⁰⁾는 SND 발현을 위한 최적 용존산소 농도는 0.5 mg/L라고 하였고, Munch 등¹¹⁾은 활성슬러지 반응조내 용존산소 농도 3.0 mg/L 이상의 호기조건에서 25% 정도의 탈질을 보였으며, Chen 등⁹⁾은 용존산소 농도 1.2 mg/L에서 유기물 및 총질소가 각각 96 및 90% 제거된 것으로 나타났다.

기존 활성슬러지 공정은 floc의 침강성 악화로 인한 슬러지 팽화(Sludge bulking)나 거품 발생으로 인한 침전조에서의 미생물 유실 등으로 처리 효율이 저하되는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 활성슬러지 공정의 침전조를 대신하여 도입된 분리막 생물반응조(Membrane Bio-reactor) 공정은 미생물의 침전 특성에 관계없이 고·액 분리(solid/liquid separation)가 가능하여 부하 변동에 상관없이 안정적인 처리수를 얻을 수 있는 복합공정이다. 분리막 생물공정에서는 미생물을 고농도로 유지할 수 있어 도시하수 또는 저농도 공장폐수의 경우 BOD 3.0 mg/L 이하로 처리 가능하고, 수리학적 체류시간이 기존 공정의 50% 이하로 운전 가능하며¹²⁾, 긴 SRT로 인한 슬러지 자산화가 유도되어 슬러지 발생량이 적은 것으로 알려져 있다.

최근 막(membrane bioreactor) 공정에서 총질소 제거를 위해서 분리된 무산소/호기 공정이나 간헐폭기 공정을 이용하는 문헌들이 보고되고 있고¹³⁾, MBR 공정에 SND 반응을 적용한 연구결과들이 발표되고 있다. 따라서 MBR 공정에 SND 적용시 단일반응조에서 기존의 무산소-호기 시스템에서의 결과와 유사한 처리효율을 보일 수 있고¹⁴⁾, 공정 내에서 손실되는 유기탄소원의 22-40% 정도가 재활용 가능하며, 약 30%의 슬러지 발생량을 감소할 수 있다¹⁵⁾. 또한 생물학적 질산화와 탈질반응으로 인한 알칼리도의 소모 및 생성으로 인하여 반응조내 적절한 pH를 유지할 수 있으며¹⁶⁾, 무산소조의 부지 감소 및 폭기량을 감소시킬 수 있는 등 에너지를 절감할 수 있는 장점을 가지고 있다¹⁷⁾.

따라서 본 연구에서는 MBR 단일 반응조에서 동시 질산화·탈질(SND) 반응을 이용하여, 유기물 및 질소를 제거하기 위한 최적의 용존산소 농도 조건을 도출하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

연속식 실험

본 연구에서 사용된 반응조의 구성은 27 × 43 × 70 cm의 아크릴로 제작하여 유효용적(working volume)을 53L로 운전하였다(Fig. 1). MBR(membrane bio-reactor) 반응조 내 dead space의 형성을 방지하고, 미생물농도를 균일하게 유지시키기 위해 100~150 rpm으로 교반하였다. 공기의 주입은 송풍기를 이용하여 단계적으로 용존산소의 농도를 변화하여 운전하였고, 막 오염(fouling)을 방지하기 위해 막(membrane)모듈 아래에서 주입하였으며, 압력계지를 통해 막의 차압을 확인하여 역세척(back washing) 주기를 산출할 수 있도록 설치하였다.

반응조 내 슬러지는 B군의 하수종말처리장 반응슬러지를 이용하였으며, 용존산소(DO)농도는 1.9-2.2(Run 1), 1.3-1.6(Run 2), 0.7-1.0(Run 3) mg/L로 용존산소 조절기(DO controller)를 이용하여 단계적으로 농도를 변화하여 운전하였다. 초기 MLSS(mixed liquor suspended solid) 농도는 3,000 mg/L 정도였고, 운전기간동안 지속적으로 증가하여 평균 MLSS 농도는 약 5000 ± 300 mg/L 이었다. 수리학적 체류시간(HRT)은 1일, 고형물체류시간(SRT)은 30일이었으며, 기타 운전 조건은 Table 1과 같다.

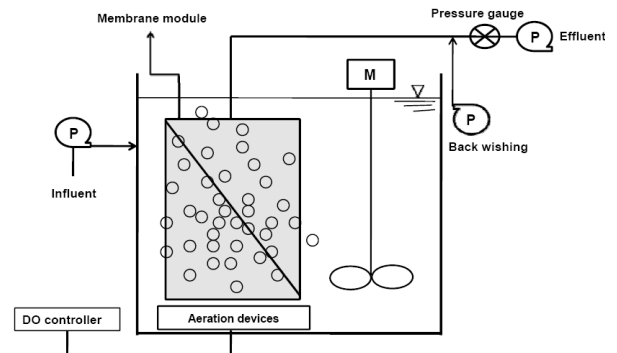


Fig. 1. Schematic diagram of membrane bio-reactor(MBR).

Table 1. Operation conditions of membrane reactor

Item	Membrane bio-reactor		
	Run 1	Run 2	Run 3
Q, L/day		53	
Volume, L		72	
HRT, hr		24	
SRT, day		30	
Temperature, °C		20±5	
MLSS, mg/L		3,500~6,000	
MLVSS, mg/L		2,900~4,000	
DO, mg/L	1.9~2.2	1.3~1.6	0.7~1.0

Table 2. Characteristics of synthesis wastewater

Parameter	Range, mg/L	Average, mg/L
SCOD _{Cr}	290~330	318.2
NH ₄ ⁺ -N	25.5~31.5	27.87
NO ₃ ⁻ -N	0	0
NO ₂ ⁻ -N	0	0
TN	26.7~31	28.62
PO ₄ ³⁻ -P	1.2~11.9	8.01
pH	7.5~8.0	7.81

유입수는 합성원수를 이용하였고 유기물 농도는 약 318 mg/L, 총질소와 암모니아성 질소는 각각 29, 27 mg/L이었다. 유입수의 C/N(TCOD/TN)비는 약 10 이었고, 기타 성상은 Table 2와 같다.

회분식 실험

본 연구의 회분식 실험은 2L 용량의 아크릴로 제작된 동일한 3개의 반응조를 이용하여 용존산소(DO) 농도가 질산화 반응 및 탈질 반응에 미치는 영향을 관찰하였다. 암모니아성 질소의 제거 특성을 관찰하기 위해서 MBR 반응조에서 배양된 슬러지를 식중하였고, pH는 미생물의 활성도에 영향을 미치지 때문에 모든 실험에서 pH 7.5(± 0.5)로 유지하였다. 각각의 반응조 내 배양된 슬러지내의 NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N을 제거하기 위해 4시간 공복기 후 침전시켜 증류수로 3회 이상 세척하여 사용하였다. 초기 암모니아성 질소의 농도는 약 21.5 mg/L, 용존산소 농도 0.5, 1.0, 2.0 mg/L로 달리하여 실험을 수행하였고, 일정시간 간격으로 시료를 분취하여 분석하였다.

탈질실험은 일정 C/N비를 고정한 후 반응조 내 용존산소 농도를 0.5, 1.0, 2.0 mg/L로 달리 하였을 때 탈질 반응 특성을 관찰하였다. 반응조 내 MLSS 농도는 약 3,300 ± 200 mg/L가 되도록 분배한 후 합성폐수를 적용하여 회분식 실험을 수행하였고, Table 3은 회분식 실험에 사용된 합성폐수의 성상을 나타내었다. COD/N 비는 약 10정도로 포도당과 질산성질소를 주입한 후 혼합액을 슬러지가 침전되지 않을 정도로 교반하였으며, 반응 초기 pH는 7.5-8.0으로 조절하였고, 일정한 반응시간 간격으로 시료를 채취하여 질소산화물, 유기물 등을 측정하였다.

분석방법

연속운영 반응조의 유입수와 유출수를 1일 1회 채취하여 시료의 COD_{Cr}은 standard methods의 closed reflux법으로 측정하였고, 암모니아성 질소는 Nessler법 (NH₄⁺-N Distillation method, HACH, USA)을 이용하여 측정하였으며, 아질산성 질소(NO₂⁻-N) 및 질산성 질소(NO₃⁻-N) 등의 음이온 농도는 conductivity detector가 설치된 ion

Table 3. Components of the synthetic wastewater used for batch tests

Substrate as SCOD(mg/L)	Glucose	250
Ammonia as N(mg/L)	NH ₄ Cl	9
Nitrate as N(mg/L)	NaNO ₃	11
Phosphate buffer(mg/L) (adjusted to pH 7.0)	KH ₂ PO ₄	110
	K ₂ HPO ₄	145
	Alkalinity(NaHCO ₃)	80
Mineral salts(mg/L)	CaCl ₂ ·2H ₂ O	30
	MgCl ₂ ·6H ₂ O	40
	FeCl ₃ ·4H ₂ O	10
	MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.2

chromatography(Metrohm modular, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 기타 분석항목은 Standard methods에 준하여 측정하였다¹⁸⁾.

결과 및 고찰

유기물 제거 거동

Fig. 3은 동시 질산화/탈질(Simultaneous Nitrification and Denitrification, SND) 반응을 적용한 MBR(Membrane Bio-reactor) 단일 반응조에서의 용존산소 농도에 따른(Run 1, 2, 3) 반응조 내 유기물 제거 거동에 대해서 나타낸 것이다.

유입 유기물 농도는 약 290-330 mg/L 이었으며, Run 1, 2, 3의 운전 조건에 따른 유출되는 유기물의 평균 농도는 2.39, 2.95, 12.18 mg/L로 나타났으며, 제거율은 각각 99.3, 99.0, 96.0%이었다.

전통적인 활성슬러지 공정 폭기조의 용존산소(DO) 농도를 약 2.0-4.0 mg/L로 유지하여 운전하는 것이 일반적이나, 본 연구에서 운전조건 Run 1, 2, 3으로 운전하였을 때 약 96% 이상의 안정적인 유기물 제거 효율을 나타내었다. 이는 MBR 반응조 내에 높은 미생물 농도 유지가 가능하고, 분리막(membrane)에 의한 고액 분리 효율이 높게 유지되었기 때문으로 판단된다. 선행 연구자들의 결과에서도 유기물을 제거하는데 있어서 MBR 반응조 내 용존산소 농도가 0.5-0.8 mg/L에서 유기물 제거율 약 92% 이상의 안정적이 처리가 가능하다고 하였고¹⁹⁾, 본 연구에서도 용존산소 농도 0.7 mg/L 정도에서 유기물 제거율에 영향은 크게 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 운전 기간 동안 pH와 용존산소(DO) 농도 변화를 나타낸 것이다. Chang 등¹⁶⁾은 동시 질산화/탈질(SND) 조건에서 탈질반응이 일어나는 동안 alkalinity를 생성하기 때문에 질산화 반응에 의한 pH 저하는 관찰되지 않았고, 반응조 내 추가적인 pH조절은 없다고 보고하였다. 폭기조 내에서 질산화와 탈질화가 동시에 발생시 질산화 반응에 의해

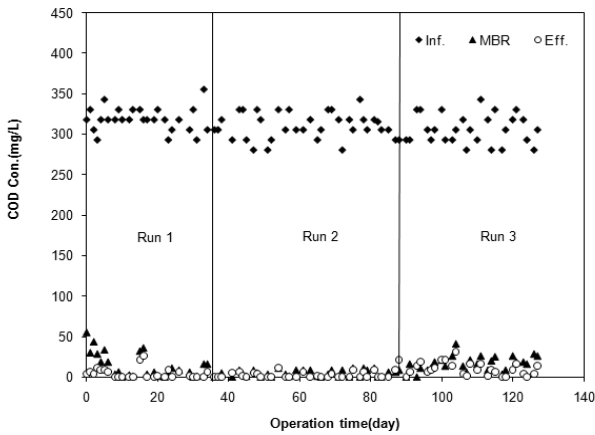


Fig. 3. Variation of influent and effluent COD concentration at different DO concentration.

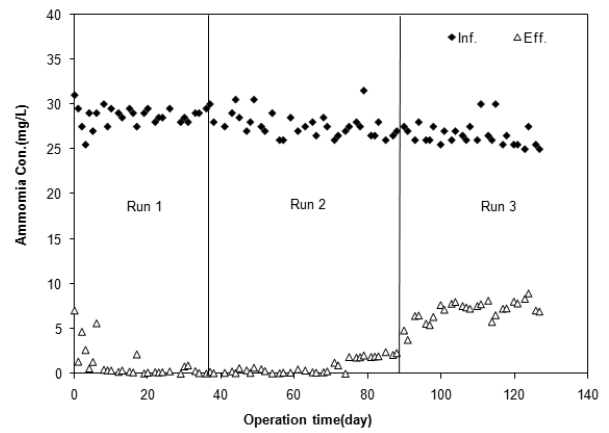


Fig. 5. Variation of influent and effluent $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration at different DO concentration.

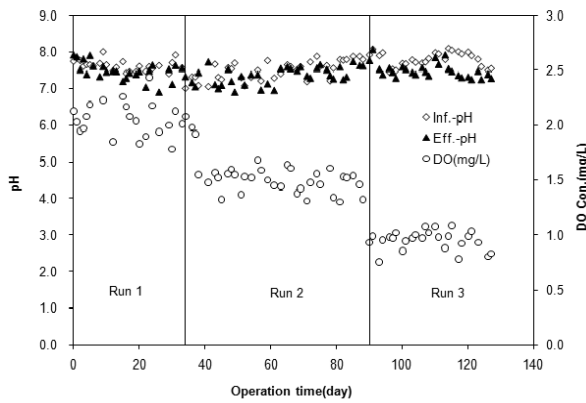


Fig. 4. pH and DO concentration in the MBR reactor during the operation period.

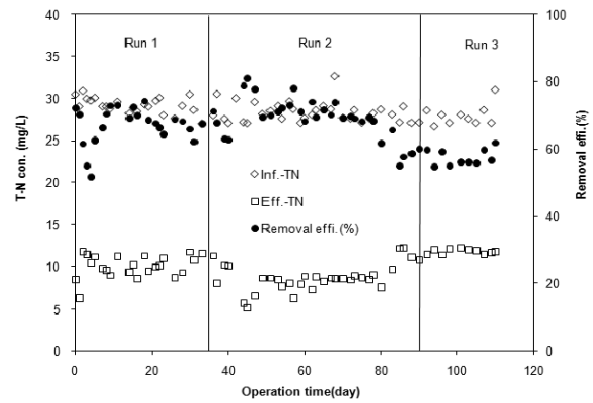


Fig. 6. Variation of influent and effluent TN concentration at different DO concentration.

7.14 g·CaCO₃/g·NH₄⁺-N의 알칼리도가 소모되고, 탈질반응에 의해 3.57 g·CaCO₃/g·NH₄⁺-N의 알칼리도가 생성되어 반응조 내에 보충하게 되어 적절한 pH를 유지하게 된다.

본 연구에서 운전 초기 탈질 반응보다는 질산화 반응의 영향으로 pH가 약간 감소하는 것이 관찰되었으나, 운전기간 Run 2, 3 일 때, 탈질반응에 의해 반응조 내 pH가 다소 증가하였다. 전체적으로 공정이 정상상태에 도달하였을 때에는 문헌과 같이 pH 조절 없이 반응조의 pH가 7.5-8.0을 유지되었다.

질소(N) 제거 거동

Fig. 5와 6은 운전 기간 중 반응조로 유입되는 암모니아성 질소(NH₄⁺-N)와 총질소(TN)의 거동을 나타낸 것이다.

운전 기간 동안 유입수의 COD/NH₄⁺-N 비는 약 10.5-11.3 이었으며, 총질소의 농도는 26.7-31.0 mg/L의 범위로 평균 28.6 mg/L로 나타났다. 운전 초기 약 10일 이후 반응조 내 안정화가 유지되면서 유출수 암모니아성 질소의 평균 농도는 단계별 용존산소 농도에 따라 각각 약 0.35,

0.85, 6.64 mg/L로 제거율은 98.8, 96.9, 75.26%의 암모니아성 질소 제거율을 나타내었다.

Schoberl와 Engel²⁰⁾은 질산화 반응 관련 미생물인 *Nitrosomonas* 및 *Nitrobacter*에게 영향을 주지 않는 용존산소의 농도는 1.0-2.0 mg/L로 보고하였다. 본 연구에서도 운전기간 Run 1, 2에서 암모니아성 질소의 제거율이 각각 98, 96% 이상으로 질산화 반응에 영향은 없었으나, Run 3(DO 0.7-1.0 mg/L)에서 용존산소(DO) 농도가 낮아짐에 따라 암모니아성 질소의 제거율이 75%로 급격히 떨어진 것을 확인할 수 있었다.

반응조의 용존산소 농도별 유출수의 평균 질산성 질소(NO₃⁻-N) 농도는 Run 1, 2, 3에서 각각 6.66, 6.43, 4.38 mg/L로 나타났으며, 용존산소 농도가 1.0 mg/L 이하로 떨어지면서 암모니아성 질소의 질산화 반응에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 유출수의 평균 총질소 농도의 경우 용존산소 농도 구간별에 따라 각각 8.62, 7.75, 11.82 mg/L로 총질소 제거효율은 각각 69.88, 72.92, 58.70%로 나타났다.

반응조 내 높은 용존산소 농도에서 암모니아성 질소의 대부분은 질산성 질소로 산화되고, 반면 탈질 반응은 저해를 받아 유출수의 총질소 농도는 높게 나타나게 된다. 선행 연구에 따르면 동시 질산화·탈질(SND) 반응이 일어나기 위한 반응조 내 용존산소 농도는 0.5-1.0 mg/L라고 보고되고 있다. 그러나 본 연구에서는 운전조건 Run 1, 2의 비교적 높은 용존산소 농도에서 총질소(TN) 제거율이 높게 나타났는데, Lee 등²³⁾은 긴 SRT로 활성슬러지 공정을 운영할 경우 플러이 커짐으로써 플러 내 혐기성 상태가 유지된다고 보고하였고, Li와 Bishop²²⁾은 microelectrode를 이용하여 활성슬러지 플러를 분석한 결과, 호기성상태에서 용존산소 농도를 1.5 mg/L 이하로 유지시키면 플러 내부의 중심부가 무산소조를 거쳐 혐기성 상태를 유지할 수 있다고 증명하였으며, Shengbing 등²¹⁾은 MBR 반응조에서 높은 슬러지 농도가 유지되면서 무산소 영역이 높은 용존산소 농도에서도 형성될 수 있다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 30일의 긴 SRT(sludge retention time)로 운전하면서 플러 내 무산소 영역 및 혐기성 영역이 공존하는 것으로 판단되며, 반응조 내 5,000 mg/L 이상의 미생물 농도가 유지되면서, 다소 높은 용존산소 농도에서도 무산소 영역이 형성된 것으로 판단된다.

운전조건 Run 3에서 총질소 제거율은 약 58.7%로 나타났는데, 이는 반응조 내 용존산소 농도가 1.0 mg/L 이하로 유지되면서 질산화 미생물의 저해로 인해 총질소 제거율이 낮아진 것으로 나타났다.

용존산소에 따른 질산화 및 탈질특성

본 연구에서는 서로 다른 용존산소 농도가 질산화 및 탈질 반응에 미치는 영향을 검토하기 위하여 회분식 실험 수행하였다. Fig. 7은 반응조 내 용존산소 농도를 0.5, 1.0, 2.0 mg/L로 달리하여 시간 변화에 따른 암모니아성 질소(NH₄⁺-N)의 농도 변화를 나타낸 것이다. 반응조 내 용존산소 농도에 따라 암모니아성 질소(NH₄⁺-N)의 제거율은 각각 40.23, 73.26, 82.56%로 용존산소의 농도가 높을수록 질산화 반응은 비례적으로 증가하였다. 용존산소 농도 2.0 mg/L 일 때 질산화율이 가장 빠른 것으로 나타났고, 문헌상의 질산화 반응의 최적 용존산소 농도(1.0-2.0 mg/L)와 유사한 결과를 나타내었다²⁰⁾. Qingjuan 등¹⁹⁾의 연구 결과에서도 암모니아성 질소의 질산화 실험 결과 역시 용존산소 농도 0.5 mg/L에서 낮은 용존산소 농도에 저해를 받아 질산화율이 급격히 감소하여 본 회분식 실험 결과와 유사하였다.

Fig. 8은 용존산소 농도별 반응시간에 따른 질산성 질소의 농도를 나타낸 것이다. 각 반응조(DO 0.5, 1, 2 mg/L)의 C/N비는 10 이상으로 크게 유지하여 기질에 의한 탈질 반응의 저해 영향을 최소화 하였고, 초기 질산성 질소의 농도는 약 20 mg/L 정도로 하였으나 반응조내 희석에 의하여 약 12 mg/L 정도였다. DO 농도 2.0 mg/L에서 반응시

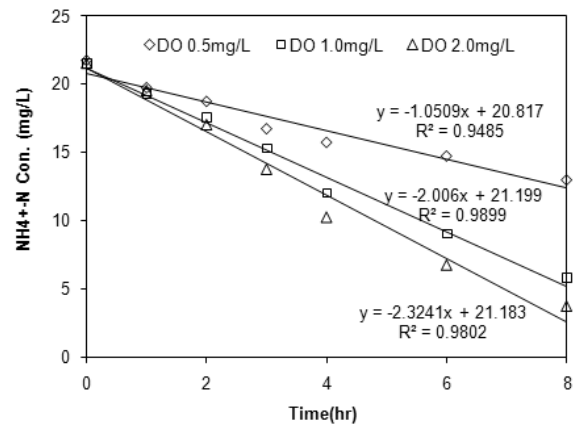


Fig. 7. Variation of NH₄⁺-N concentration at different DO concentration.

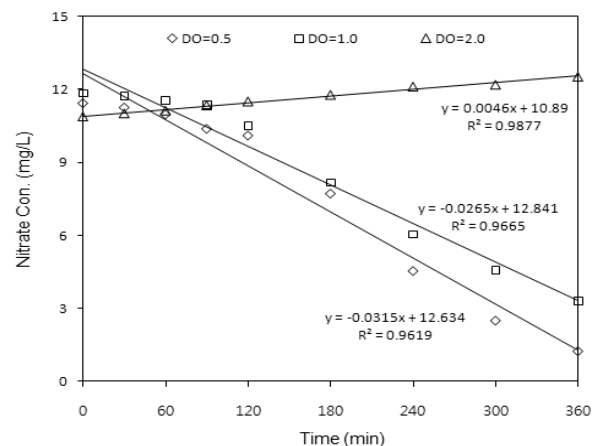


Fig. 8. Variation of SCOD_{cr} and NO₃⁻-N concentration at different DO concentration.

간에 따라 질산성 질소의 농도가 증가하는 것이 관찰되었는데, 이는 슬러지내 존재하는 암모니아성 질소가 높은 용존산소 농도에 의하여 질산화반응에 의한 질산성 질소의 농도가 증가된 것으로 판단된다. 용존산소 농도 0.5, 1 mg/L의 낮은 농도 조건에서 탈질반응은 원활히 이루어져 이는 폭기량이 적을수록 탈질반응이 발생할 수 있는 무산소 조건의 형성이 확대된 것으로 판단된다.

반응조 용존산소 농도가 0.5, 1.0 mg/L에서의 탈질반응 속도는 각각 0.04, 0.02 mg · NO₃⁻-N/mg · MLVSS로 용존산소 농도가 증가함에 따라 탈질반응속도가 감소하였다. Randall²⁴⁾은 수중의 용존산소 농도가 1.0 mg/L 이상이면 탈질율이 낮아지며 원활한 탈질 반응을 유도하기 위해서는 질산성 질소의 결합산소를 탈질 미생물이 이용할 수 있도록 반응조 내 용존산소 농도를 조절하는 것이 중요하다고 보고하였다. Jeill와 Joann 등²⁵⁾에 따르면 용존산소 농도를 0.4 mg/L일 때, 탈질반응속도는 0.0108 mg · NO₃⁻-N/mg · MLVSS로, 본 연구에서 용존산소 1.0 mg/L 일 때의 값과

약 2배정도의 차이를 나타내었다. 이는 MBR 단일반응조에서 환경인자(DO, pH 등) 변화에 따른 미생물의 적응과 회분식 실험에서의 동력학적 특성의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. 결과적으로 본 연구에서 용존산소 농도 0.5-1 mg/L 정도에서 적정 C/N비가 유지된다면 동시 질산화-탈질반응(SND)에 의한 질소제거가 가능한 것으로 나타났다.

요 약

MBR(Membrane Bio-reactor) 반응조 내 동시 질산화-탈질(Simultaneous Nitrification and Denitrification, SND) 반응을 적용하여 폐수의 유기물 및 질소(N) 제거를 위해 적절한 용존산소(DO) 농도를 도출 및 질산화 및 탈질반응에 미치는 영향을 관찰하기 위해 실험을 수행하였다. 연속 운전 실험 결과 반응조 내 pH는 7.5-8.0을 유지하면서 특별한 외부 탄소원의 주입 없이 질소제거가 가능하였다. 용존산소 농도에 따른 유출수의 COD_{Cr} 평균 농도는 각각 2.39, 2.95, 12.18 mg/L로 나타났으며, 제거율은 각각 99.3, 99.0, 96.0%로 안정적인 처리 효율을 나타내었다. 운전 조건별(Run 1, 2, 3) 용존산소(DO) 농도에 따른 유출수의 총질소(TN) 농도는 8.62, 7.75, 11.82 mg/L로, 제거효율은 69.88, 72.92, 58.70% 이었고, 용존산소의 농도가 1.3-1.6 mg/L 범위일 때, SND 반응을 적용한 질소제거가 가능한 것으로 나타났다. 회분식 실험 결과 암모니아성 질소(NH₄⁺-N)의 질산화 반응속도의 경우 용존산소 농도에 증가하였으며, 탈질 반응의 경우 반응조 내 적정 C/N비를 유지하였을 때 용존산소 1.0-1.3 mg/L 범위에서 탈질 반응이 일어나는 것을 확인하였다.

사 사

이 논문은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Park, J. I. and Lee, T. J. (2007) A study of the simultaneous nitrification and denitrification in a single bioreactor, *J. Kor. Soc. Environ. Engin.*, 29(2), 220-228.
2. Lee, S. H., Park, N. B., Park, S. M. and Jun, H. B. (2005) Effect on nitrogen removal in the intermittent aeration system with the anaerobic archaea added, *J. Kor. Soc. Environ. Engin.*, 27(11), 1186-1192.
3. Metcalf & Eddy, Inc. (2004) *Wastewater engineering: Treatment and reuse*, 4th ed., McFrow-Hill, New York, p.759-798.
4. Van Huyssteen, J. A., Barnard, J. L. and Hendriksz J. (1990) The olifantsfontein nutrient removal plant, *Wat. Sci. Tech.*, 22, 1-8.
5. Rittman, B. E. and Langeland, W. E. (1985) Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditches, *J. Wat. Poll. cont. Fed.*, 57, 300.
6. Trivedi, H. and Heinen, N. (2000) Simultaneous nitrification/denitrification by monitoring NADH fluorescense in activated sludge, Proceedings of the Facility Operations II; Innovative Technology forum; 73d Annual Conference, *Wat. Environ. Fed*, Anaheim, CA.
7. Jeff, A. R., Paul, M. S. and Prakash, N. M. (2000) Application of the membrane biological reactor system for combined sanitary and industrial wastewater treatment, *Inter. Biode. & Biodegr.*, 46, 37-42.
8. Sun, D. D., Khor, S. L., Hay, C. T. and Leckie, L. O. (2007) Impact of prolonged sludge retention time on the performance of a submerged membrane bioreactor, *Desalination*, 208(1-3), 101-112.
9. Chen, Z., Hu, D., Ren, N. and Zhang, Z. P. (2008) Simultaneous removal of organic substances and nitrogen in pilot-scale submerged membrane bioreactors treating digested traditional Chinese medicine wastewater, *Inter. Biode. & Biodegr.*, 62, 250-256.
10. Pochana, K. and Keller, J. (1999) Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification(SND), *Wat. Sci. Tech.*, 39(6), 61-68.
11. Munch, E. V., Lant, L. and Keller, J. (1996) Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactors, *Water Res.*, 30(2), 277-285.
12. Yeon, K. M., Park, J. S., Lee, C. H. and Kim, S. M. (2005) Membrane coupled high-performance compact reactor: A new MBR system for advanced wastewater treatment, *Water Res.*, 39, 1954-7961.
13. Kraume, M., Bracklow, U., Vocks, M. and Drews, A. (2005) Nutrients removal in MBRs for municipal wastewater treatment, *Wat. Sci. Tech.*, 51(6-7), 391-402.
14. Guo, H. Y., Zhou, J. T., Su, J. and Zhang, Z. Y. (2005) Integration of nitrification and denitrification in airlift bioreactor, *J. of Biochem. Eng.*, 23, 57-62.
15. Turk, O. and Mavinic, D. S. (1987) Benefits of using selective-inhibition to remove nitrogen from

- highly nitrogenous wastes, *Environ. Technol. Lett.*, 8(9), 419-426.
16. Chang, Y. J. and Tseng, S. K. (1999) A novel double-membrane system for simultaneous nitrification and denitrification in a single tank, *Lett. Appl. Microbiol.*, 28(6), 453-456.
 17. Collivignarelli, C. and Bertanza, G. (1999) Simultaneous nitrification denitrification process in activated sludge plants; performance and applicability, *Wat. Sci. Tech.*, 40(4-5), 187-194.
 18. APHA (1995) Standard methods for the examination of water and wastewater, *America Public Health Association*, Washington, D.C.
 19. Qingjuan, M., Fenglin, Y., Lifan, L. and Fangang, M. (2008) Effect of COD/N ratio and DO concentration on simultaneous nitrification and denitrification in an airlift circulation membrane bioreactor, *J. Env. Sci.*, 20, 933-939.
 20. Schoberl, P. and Engel, H. (1964) Das Verhalten der Nitrifikation gegenüber gelostem, *Archiv. Fur Mikrobiologie.*, 48, 393-400.
 21. Shengbing, H., Gang, X. and Baozhen, W. (2009) Factors affecting simultaneous nitrification and de-nitrification (SND) and its kinetics model in membrane bioreactor, *J. of Hazar. Materi.*, 168(2-3), 704-710.
 22. Li, B. and Bishop, P. L. (2004) Micro-profiles of activated sludge floc determined using micro-electrodes, *Water Res.*, 38, 1248-1258.
 23. Lee, W. T., Kang, S. and Shin, H. S. (2003) Sludge characteristics and their contribution to micro-filtration in submerged membrane bioreactor, *J. of Membrane Sci.*, 216, 217-227.
 24. Randall, C. W. (1992) Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal, *Technomic Publishing Co. Inc.*
 25. Jeill, O. and Joann. S. (1999) Oxygen inhibition of activated sludge denitrification, *Water Res.*, 33(8), 1925-1937.
-