Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 22, No. 1, pp.134-139 (2006)

ADEPT공정을 거친 돈사폐수의 아질산화-아탈질 공정을 이용한 질소제거

이화선 · 민경석*,†

(주)부강테크
*경북대학교 환경공학과

Nitrogen Removal from ADEPT Effluent of Piggery Wastewater using Nitritation/Denitiritation System

Hwa-Sun, Lee · Kyung-Sok, Min*,†

Boo Kang Tech. co., Ltd
**Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University*
(Received 7 October 2005, Accepted 23 November 2005)

Abstract

Partial nitirification and denitrification process has been reported to be technically feasible and economically favorable, especially for wastewater treatment with high ammonium concentration or low Carbon/Nitrogen ratio. This research was performed to survey nitrite accumulation by nitritation in treating ADEPT effluent of piggery wastewater, which contains highly concentrated ammonia. To estimate the possibility of nitrite accumulation, DO concentration and SRT were investigated as key operational parameters. This result proved that nitritation to nitrite was steadily obtained under short sludge retention time. Oxygen limitation was proved to be just a subsidiary parameter. Energy efficiency of nitritation-denitritation process was higher than complete nitrification-denitrification because external carbon requirement for denitritation could be saved. Though the influent contained significant nonbiodegradable organic substrate, total nitrogen removal efficiency was more than 51% in nitritation-denitritation system.

keywords : Denitritation, Nitritation, Piggery wastewater, Sludge retention time

1. 서 론

축산폐수의 처리는 크게 물리적, 화학적 및 생물학적 처리법이 있으며, 전처리 시설과 1차, 2차 생물학적 처리시설 및 슬러지 처리시설로 구성되어 있는 것이 일반적이다. 국내의 축산폐수 처리시설에서 사용하고 있는 2차 처리시설은 주로 활성슬러지법인데, 최근 규제대상 물질인 질소와 인의 경우 활성슬러지공법으로는 처리효율의 한계점을 안고 있다. 이는 1차 처리시설인 혐기성 및 호기성 소화과정에서 유기물 제거가 주로 이루어지기 때문에, 2차 처리시 탄소/질소(Carbon/Nitrogen)의 비가 감소되어 질산화는 충분히 이루어지더라도 탈질반응에 필요한 유기물의 부족으로 탈질효율이 떨어져 질소의 방류수 기준을 달성하기 어렵고, 외부탄소원을 추가 주입해야 하는 문제점을 안고 있다. 그러므로 영양염류를 처리하기 위한 공정이 요구되고 있으나, 기존에 개발된 생물학적 질소, 인 제거공법은 주로 하수를 대상으로 개발이 되어 축산폐수와 같이 고농도의 질소와 인을 함유한 폐수에 적용할 경우 막대한 운전비용이 필요하게 된다.

최근 1차 생물학적 처리 후 미제거된 고농도 질소처리에 대한 연구가 진행 중이며, SHARON공법을 비롯한 수많은 연구 결과를 통해 완전질산화가 아닌 부분질산화(partial nitrification)가 연구된 바 있다. 아질산화(nitritation, ammonia oxidation)는 완전질산화에 비하여 이론적으로 25%의 산소절감을 유도하여 약 60%의 에너지 절약이 가능한 것으로 보고 되고 있으며, nitrite의 탈질율은 nitrate의 탈질율에 비해 1.5~2.0배 더 높고, 탈질시 소요되는 electron donor의 요구량이 적어 외부 탄소원의 약 40% 정도를 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다(Picioreanu et al., 1997).

본 연구에서는 돈사폐수의 유기성분을 ADEPT(Anaerobic Digestion Elutriated Phased Treatment)로 처리하여 C/N비가 낮은 고농도 질소 폐수의 질소를 처리하기위하여 아질산화-아탈질 공정을 적용하였다. 본 공정의 운전가능성과 안정적인 아질산성 질소의 축적을 유도할 수 있는 운전인자를 도출하는 것을 주목적으로 하였는데, 처리시간 및 외부탄소원의 소요량을 줄일 수 있는 경제적 공정의 개발을 목표로 하였다. 또한 생물학적 처리만으로 축산폐수 공공처리장의 질소농도의 방류수 수질기준을 맞출 수 있는 공정을 개발하고자 하였다.

† To whom correspondence should be addressed.
ksmin@knu.ac.kr

2. 재료 및 방법

본 연구에 적용된 생물학적 질소제거 공정은 Fig. 1과 같다. 반응조는 유입된 돈사폐수의 아질산화-아탈질반응을 살펴보기 위해 무산소조1과 호기조1로 이루어졌으며, 축산폐수 공공처리장의 질소 방류수 수질 기준인 60 mg/L을 맞추기 위한 후탈질 및 완전질산화를 위해 무산소조2와 호기조2 및 침전지로 구성하였다. 유입수는 돈사폐수의 유기성분을 UASB로 처리한 상등수를 사용하였다. 무산소조는 교반장치를 두어 기질이 완전히 탈질에 이용된 후 호기조로 유입될 수 있도록 상향 형태로 제작하였다. 호기조는 aerator를 반응조 하부에 설치하였고, 별도의 혼합장치 없이 공기유입만으로 미생물의 유동을 가능하게 하였다. 전체 공정의 운전온도는 질산화 및 탈질 미생물의 최적성장온도의 범위인 35°C로 유지하였다. 본 실험에 사용된 식종슬러지는 S시 축산폐수처리장의 침전슬러지를 사용하였다.

호기조의 수리학적 체류시간은 2.7일, 무산소조는 1일로 운전하였으며, 내부반송량은 유입대비 100%로 하였다. 운전기간동안 SRT는 3~8일로 변화시켜 운전하였고, 이후 SRT 3일을 유지하면서 aerator의 공기유량을 조절하여 DO 농도를 각각 0.5±0.2, 5.0±0.2, 2.5±0.2 mg/L로 변화시켜 이에 따른 아질산성 질소의 축적을 관찰하였다. Table 1에 실험조건을 나타내었다.

외부탄소원의 주입실험은 호기조 후단에 무산소조2와 호기조2를 설치하여 각각 HRT 1일로 운전하였고, 호기조 유출수에 외부탄소원으로 acetic acid를 주입하여 무산소조에서 탈질소화를 유도하였다.

실험대상 원수는 슬러리형 돈사폐수의 유기물 처리를 위해 실험실 규모의 세정 산발효 슬러리 반응조와 고율 메탄형성조인 UASB가 연계된 ADEPT(Anaerobic Digestion Elutriated Phased Treatment) 공정의 처리수를 채취하여 사용하였으며, 그 성상은 Table 2에 나타내었다.

Alk./NH_4^+-N 비는 평균 3.7로 이론치인 7.14보다 낮게 나타나 질산화를 위하여 반응조 운전시 추가 alkalinity을 보충해주었다.

원수 성상을 살펴보면, SCOD/NH_4^+-N 비가 평균 1.9로서 매우 낮음을 알 수 있는데, 유기물중 생물학적으로 분해가능한 성분이 전 단계 혐기공정에서 대부분 분해되어 고농도의 질소를 탈질시 탄소원 부족이 예상되었다. 따라서 본 연구에서는 생물학적 질소처리시 최대한 제거 가능한 유기물량을 파악하고자 최 등(2003)이 연구한 미생물 호흡률 실험법으로 돈사폐수의 유기물을 세부적으로 분류하였다. Table 3은 호흡률 실험시 운전조건이다.

Table 1. Summary of operating conditions

SRT (day)	MLSS (mg/L)	DO (mg/L)	Influent	
			NH_4-N ($kg/m^3/d$)	OLR (kgTCOD/ kgMLSS · d)
8	3,160	5.0	0.4	0.20
		0.4	1.0	
5	3,730	0.4	1.0	0.20
3	4,250	0.4	1.0	0.22
		5.0	1.0	
		2.5	1.0	

Table 2. Characteristics of influent

Items	Range	Average ± S.D.
pH	7.9 ~ 8.8	8.3 ± 0.2
TSS (mg/L)	360 ~ 2,940	660 ± 1,010
VSS (mg/L)	177 ~ 2,420	767 ± 548
TCOD (mg/L)	2,230 ~ 4,870	3,330 ± 717
SCOD (mg/L)	1,290 ~ 2,840	1,960 ± 375
TKN (mg/L)	900 ~ 1,780	1,230 ± 227
NH_4-N (mg/L)	890 ~ 1,397	1,100 ± 127
NO_2-N (mg/L)	-	-
NO_3-N (mg/L)	-	-
T-P (mg/L)	80 ~ 330	170 ± 66
S-P (mg/L)	44 ~ 169	90 ± 24
Alkalinity(as $CaCO_3$)	3,000 ~ 5,200	3,990 ± 480
SCOD/NH_4-N	1.3 ~ 2.7	1.9 ± 0.4
TCOD/TKN	2.0 ~ 4.1	2.9 ± 0.5
Alkalinity/NH_4-N	2.4 ~ 4.6	3.7 ± 0.5

Note) Number of data points, n = 100 ; S.D. standard deviation

Table 3. Initial conditions of OUR batch experiment

Seed	Source	Activated sludge
	VSS(mg/L)	15,220
	Volume(L)	0.025
Feed	Source	Influent
	TCOD(mg/L)	3,046
	SCOD(mg/L)	1,713
	Volume(L)	4.975
Seed/Feed	TCOD/Mv	39.82
	SCOD/Mv	22.39

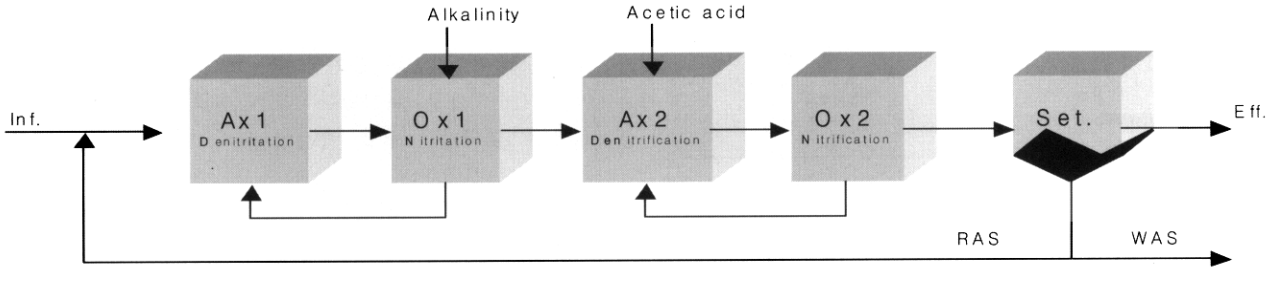

Fig. 1. Schematic diagram of reactor.

본 연구에서는 질산화 및 탈질 반응에 있어 유입기질과 유출수에 대하여 pH, alkalinity, COD, TKN, NH_4-N, NO_3-N, NO_2-N, T-P, PO_4-P, TSS, VSS 등을 Standard methods(APHA, 1998)에 준하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 질소 거동

Fig. 2는 반응조 운전기간 중 유입 · 유출수의 암모니아성 질소(NH_4^+-N) 농도와 제거효율을 나타내고 있으며, Fig. 3은 산화된 nitrate 및 nitrite의 거동을 아질산화율로 나타내었다.

운전초기에는 안정된 질산화를 유도하기 위해 유입 암모니아성 질소의 농도는 300~500 mg/L로 유지하고, 호기조1 내 DO 농도를 5 mg/L, SRT를 8일로 운전하여 nitrate로의 완전 질산화를 유도하였다. 운전 30일 이후에는 유입수에 $NaHCO_3$로 알칼리도를 보충해줌으로서 암모니아성 질소는 99%의 제거율을 나타내었다. 운전기간 39~80일 동안은 SRT를 8일로 유지하면서 호기조1의 DO 농도를 0.4 mg/L로 낮춰 운전하였다.

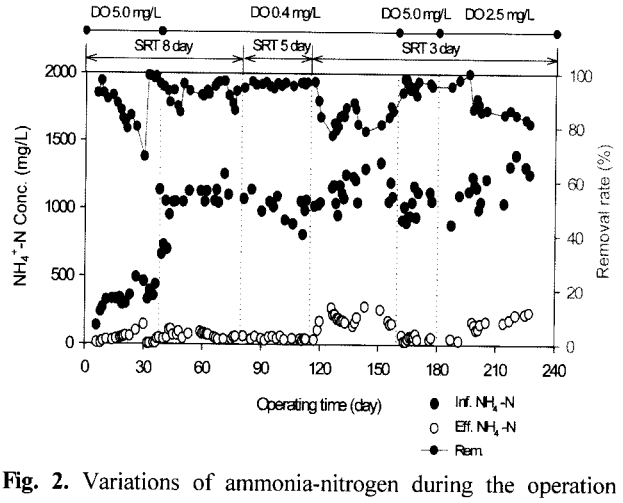

Fig. 2. Variations of ammonia-nitrogen during the operation period.

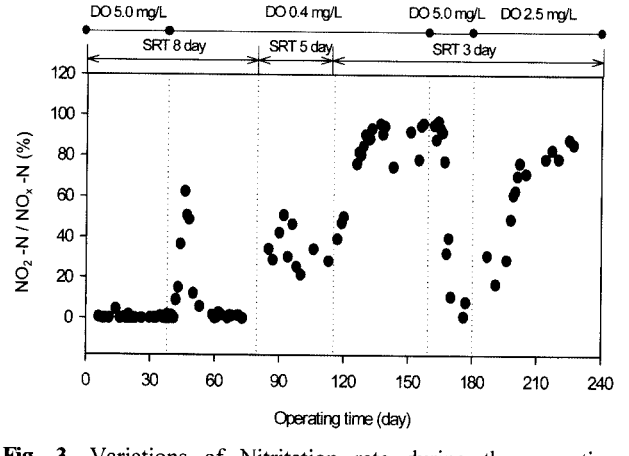

Fig. 3. Variations of Nitritation rate during the operation period.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 짧은 기간 동안 호기조에서 아질산성 질소가 관측되었으나, 바로 순응하여 완전 질산화되는 경향을 보였다. nitrite가 축적되는 동안, 유출수 중 암모니아성 질소의 농도가 증가하여 제거효율이 떨어지는 것이 관찰되었고, 이후 Nitrate로의 완전 질산화가 일어남에 따라 암모니아 제거율이 96%까지 상승하였다. 운전기간 81~112일부터는 SRT의 변화에 따른 Nitrobacter의 FA(Free Ammonia)에 순응정도를 관찰하기 위해 SRT를 5일로 줄여서 운전하였으며, 이때 평균 34%의 아질산화가 발생하였다. 이후 슬러지 반송을 줄이고 SRT를 3일로 운전한 결과, 92%의 아질산성 질소가 축적이 되는 것이 관찰되었다. 아질산성질소가 축적되는 동안, 유출수 중 암모니아성 질소의 농도가 233~275 mg/L로 증가하여 제거효율이 다소 떨어지는 것이 관찰되었으나, 호기조내 AUR(Ammonia Uptake Rate)값은 13.4 mgNH_4^+-N/L/hr를 유지하였다.

운전기간 151~240일부터는 SRT를 3일로 유지한 상태에서, 아질산성 질소의 축적을 유도하기 위한 용존산소의 영향을 관찰하기 위하여 DO 농도를 각각 0.4, 5.0 및 2.5 mg/L로 변화시켜 운전하였다. DO농도가 0.4 mg/L로 유지될 때에는 아질산화율이 92%를 유지하였으나, DO 농도를 5.0 mg/L로 높이자 Nitrate로의 완전 질산화가 일어났으며, DO 농도를 2.5 mg/L로 낮추자 다시 아질산성 질소로의 전환율이 88%가 됨으로써 아질산성 질소의 축적이 관찰되었다.

3.2. 유기물질의 거동

운전기간 동안의 SCOD의 유입 및 유출수의 농도는 SRT 8일과 5일의 경우 각각 850~1,872 mg/L, 575~577 mg/L로 평균 67%의 제거효율을 보이고 있다. 그러나 SRT 3일인 경우 유출수의 SCOD 농도는 1,061~1,100 mg/L로 44%의 제거효율을 나타내었다. SRT 3일인 구간에서 DO 농도를 높여 완전 질산화되었을 때에는 다시 유출수의 SCOD 농도가 감소하는 경향을 보였으나, DO 농도를 2.5 mg/L로 운전하였을 때, 아질산화가 일어나 유출수 농도가 다시 증가함을 알 수 있었다. 이러한 현상이 일어나는 이유는, 질산성 질소의 탈질에 비해 아질산성 질소의 탈질시 소요되는 탄소량에 차이가 있기 때문인 것으로 보인다.

유기물 제거는 대부분 무산소조에서 이루어지고 있으며, SRT를 5일과 3일로 운전한 경우 호기조에서도 일부 유기물질이 제거됨을 알 수 있다.

Table 4는 미생물 호흡률 측정 및 동력학적 해석에 의한 유입수의 RBCOD 농도를 정량한 결과로, 유입수 TCOD 3,046 mg/L에 대하여 RBCOD의 농도는 366 mg/L로 분석되어, 생분해 가능한 유기물 중 BDCOD가 차지하는 비율이 낮은 것으로 나타났다. 또한 SCOD의 농도는 1,713 mg/L로 나타나 호흡률 측정에 의해 분석된 RBCOD와는 큰 차이를 보였다.

본 실험 결과 돈사폐수내 NBDCOD는 색도 유발물질과 미생물의 생성과 사멸에 따른 대사과정의 부산물인 SMP (soluble microbial product)인 것으로 판단된다.

Table 4. COD fractionation of piggery wastewater

Items	Unit	
	mgCOD/L	% of TCOD
$TCOD_{observed}$(t=0 h)	3,046	100
$SCOD_{observed}$(t=0 h)	1,713	56.2
$SCOD_{observed}$(t=22 h)	1,443	47.3
$RBCOD_{graphical}$	366	12.0
$TCOD_{feed+seed}$(t=0 h)	3,500	-
$TCOD_{feed+seed}$(t=22 h)	2,253	-

3.3. 질산화-탈질률 비교

SRT를 변화시킨 실험에서 질산성 질소는 탈질율이 3~7%로 나타났으며, 아질산성질소의 경우 탈질율이 43~68%까지 일어남을 관찰할 수 있었다. 운전기간 동안 무산소조의 탈질률은 저조하였는데, 탈질효율이 낮은 이유는 돈사폐수의 생물학적으로 분해 불가능한 COD가 유기물의 대부분을 차지하고 있기 때문에, 자체 탄소원만으로는 탈질시 요구되는 탄소원이 부족한 결과로 판단된다.

Table 5에는 SRT 변화에 따른 동역학 상수를 요약하였다. 질산화는 큰 차이를 보이지 않으나, 무산소조의 탈질속도를 비교하여 본 결과 NUR은 SRT 8일, 5일 및 3일에 대하여 각각 1.2, 5.4 및 8.4 $mgNO_X$-N/L/hr이었고, SDNR은 0.5, 3.0 및 7.0 $mgNO_X$-N/gMv/hr로 나타나 아질산성 질소가 질산성 질소보다 탈질속도가 빠름을 알 수 있었다.

Table 5. Kinetic parameters in various SRT condition

Parameters	SRT 8d	SRT 5d	SRT 3d
AUR ($mgNH_4$-N/L/hr)	13.4	11.0	13.4
SNR (mgNOx-N/gMv/hr)	4.0 (2.6)	5.3 (1.6)	8.1 (1.2)
$Alk._{rem}/NH_4\text{-}N_{rem}$	6.5	6.9	6.7
NUR (mgNOx-N/L/hr)	1.2	5.4	8.4
SDNR (mgNOx-N/gMv/hr)	0.5 (2.6)	3.0 (1.8)	7.0 (1.2)
$Alk._{rec}/NOx\text{-}N_{rem}$	2.1	2.1	2.1
$SCOD_{rem}/NOx\text{-}N_{rem}$	7.8	3.1	1.5

( ) : g/L MLVSS Conc.

3.4. 아질산성 질소의 축적요인 분석

3.4.1. FA, FNA, pH의 영향

Free ammonia(NH_3)와 free nitrous acid(HNO_2)는 일정 농도 이상에서 미생물에게 inhibition을 일으키는 것으로 알려져 있다(Anthonisen, 1976).

아질산성 질소의 축적에 대한 대부분의 연구에 의하면, 높은 pH에서의 고농도 FA에 의해 Nitrobacter가 inhibition을 받게 되어 NO_2^--N이 축적된다고 보고하고 있다. 또한 Sharma 등(1977)은 Nitrobacter의 최적 pH가 7.2~7.6로 Nitrosomonas의 경우 최적 pH는 7.9~8.2에 비해 다소 낮게 나타난다고 밝혔다. 따라서 본 공정의 유입수로 사용되는 돈사폐수 혐기성 소화조 유출수의 경우, pH가 8.3로 높고, TKN 3,300 mg/L의 고농도 질소를 함유하고 있기 때문에 FA에 의한 질산화 저해로 아질산성 질소의 축적 가능성을 예상할 수 있다.

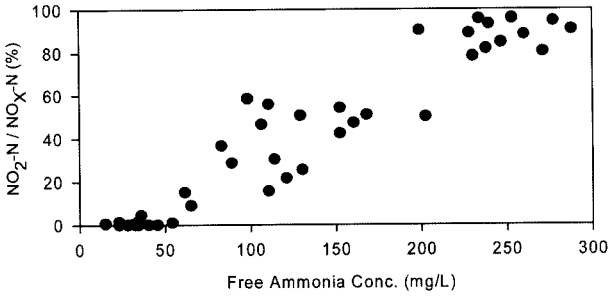

Fig. 4. Free Ammonia vs. nitritation ratio.

Fig. 4는 실험기간 동안 호기조1로 유입되는 FA의 농도에 따른 아질산화율을 나타내고 있다. FA 농도는 유입 암모니아 농도에 비례하여 증가하는데, 이때 NO_2/NOx를 살펴보면 FA 농도가 30 mg/L이상에서부터 아질산성 질소가 관찰이 되었으며, FA 농도가 증가함에 따라 아질산화율이 증가함을 확인할 수 있었다.

따라서 FA는 Nitrobacter에 inhibition을 일으켜 아질산화를 유도하는 인자로 판단된다. 그러나 경우에 따라 nitrifier가 FA에 대하여 적응하게 되면 이들 저해 농도는 달라질 수 있다. SRT를 8일로 유지한 상태에서 유입 암모니아 농도를 증가시켜 FA에 의한 아질산화율을 관찰한 결과, FA 농도가 증가함에 따라 아질산성 질소의 축적이 일시적으로 관찰이 되었으나 바로 순응하여 완전 질산화 되는 경향을 보였기 때문이다. Turk(1986)의 연구결과에 의하면 Nitrobacter의 경우 어느 정도 운전기간이 지나게 되면 높은 FA 농도에 순응하게 되어 더 이상 아질산의 축적이 일어나지 않게 된다고 하였는데, 이러한 적응의 요인은 아직 명확히 발견되지는 않은 상태이다. 실제 nitrifier들에 대한 저해 농도의 영역은 미생물의 적응정도에 따라 다른 것으로 볼 수 있어 보다 많은 연구가 필요하다. 본 실험에서는 현재 가동 중인 축산폐수처리장 활성슬러지를 식종슬러지로 사용하였기 때문에, 미생물이 고농도 축산폐수의 FA 농도에 이미 순응된 상태인 것으로 예상됨에 따라 Nitrobacter가 저해작용을 받지 않고 짧은 기간 동안 FA에 순응하여 완전 질산화가 일어나는 것으로 판단된다.

아질산성 질소의 농도에 따른 유출수내 암모니아 농도를 살펴보면, FA 농도와 아질산성 질소의 농도가 200 mg/L을 전후하여 유출 암모니아의 농도가 증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 현상은 탈질공정이 호기조1에서 일어나 비교적 높은 pH 8.0~8.9를 유지하기 때문에, FA의 inhibition에 의해 축적된 고농도의 nitrite가 저해를 일으켜 상대적으로 질산화가 안된 암모니아 농도가 증가된 결과라 할 수 있다. 문헌에 의하면 NH_4^+-N과 NO_2^--N은 nitrifier에게 기질로 사용되지만, 농도가 높으면 오히려 성장 저해작용을 하는 것으로 알려져 있다(Randall, 1992).

본 연구에서는 유입기질의 암모니아성 질소에 의한 독성 저해는 발견되지 않았으며, 유출수중 NO_2-N이 증가할수록 암모니아성 질소의 효율이 떨어지는 것으로 보아 NO_2-N의 미생물 저해 가능성이 있을 것으로 판단된다.

3.4.2. SRT에 의한 영향

운전기간 동안 SRT 변화에 따른 아질산성 질소 농도의 변화를 살펴보면, 반응조내 미생물의 체류시간을 줄임으로써 MLVSS농도가 감소하였고, 아질산성 질소가 축적이 되었는데, Hellinga 등(1998)의 연구에 의하면, 일반적으로 Nitrosomonas의 성장률은 Nitrobacter의 성장률보다 크므로 반응조 운전시 SRT를 짧게하여 Nitrobacter를 wash-out 시킴으로써 NO_2-N 축적을 유도할 수가 있다고 한다.

Fig. 5는 SRT에 따른 질소제거 항목을 유입 암모니아성 질소에 대한 백분율로 표시한 것이며, 아질산성 질소의 축적율을 도시화한 그래프이다. SRT가 감소할수록 아질산화율(NO_2/NOx)이 증가하고 있으며, SRT 8d, 5d 및 3일에서 각각 5%, 34% 및 89%로 나타났다.

3.4.3. DO에 의한 영향

용존산소가 질산화에 미치는 영향에 관한 대부분의 연구에 의하면 Nitrosomonas가 1.5~2.0 mg/L, Nitrobacter는 3.0~ 4.0 mg/L에서 질산화가 일어난다고 보고하고 있다 (U.S. EPA, 1993). Fig. 6은 DO 농도와 SRT에 따른 아질산화율을 나타낸 것이다. 아질산화율은 DO 농도보다는 SRT에 따라 두드러진 차이를 보이고 있는데, SRT가 3일로 짧게 유지되는 경우 DO 농도의 변화에 따라 전 구간에서 아질산성 질소의 축적을 관찰할 수 있었고, 아질산화율은 최고 95%까지 나타났다. 그러나 SRT가 8일로 비교적 길게 운전이 되는 경우 DO 0.4 mg/L 이하에서만 최고 67% 정도 아질산성 질소가 관찰되었다. 이는 0.5 mg/L 정도의 낮은 DO 농도로 운전시 nitrite가 축적이 된다는 연구결과 (Hanaki et al., 1990)와 일치하고 있다.

최 등(2001)의 실험결과에 의하면, DO 농도에 따른 아질산화율의 변화는 관찰할 수 없다고 판단하였으며, 아질산화 반응은 DO 농도에 의한 영향이라기보다는 높은 free ammonia 농도에 의한 Nitrobacter의 저해에 의한 영향으로 보고 있다. 그러나 Fig. 7의 운전결과를 살펴보면 SRT가 3

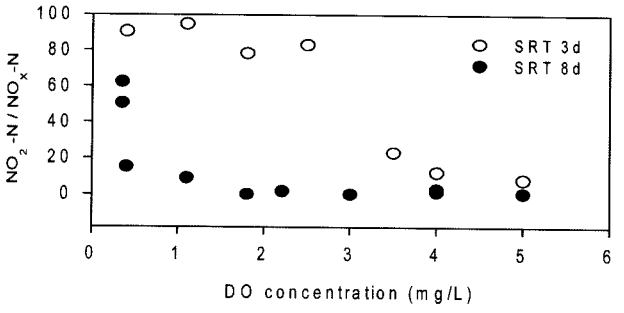

Fig. 6. Nitritation rate for dissolved oxidation (from 0.4 to 5 mg/L).

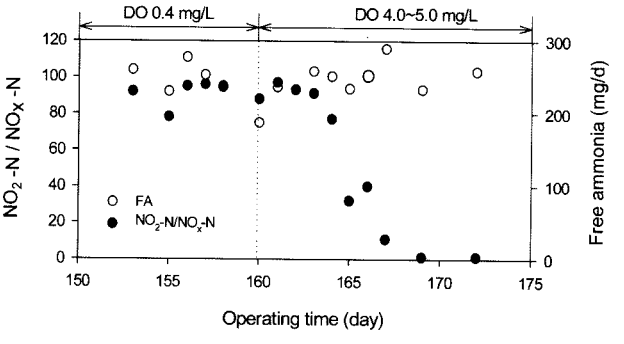

Fig. 7. Nitritation rate for change of DO conc. at SRT 3 day.

일로 운전되는 경우, DO 농도가 비교적 높은 4.0~5.0 mg/L에서 완전 질산화되는 것을 알 수 있었다. 이는 SRT를 짧게 하여 운전하더라도 충분한 포기를 제공한다면 FA에 의한 저해를 감소시켜 완전 질산화되는 것으로 사료된다. 따라서 DO 농도가 미생물의 FA 및 FNA 순응과 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 실험결과를 종합해 볼 때, 용존산소 농도는 아질산성 질소의 축적에 있어 필수적인 조건이 될 수는 없지만, 보다 안정적인 아질산화를 유도하기 위해서는 용존산소 농도를 낮게 유지해 주는 것이 바람직하다.

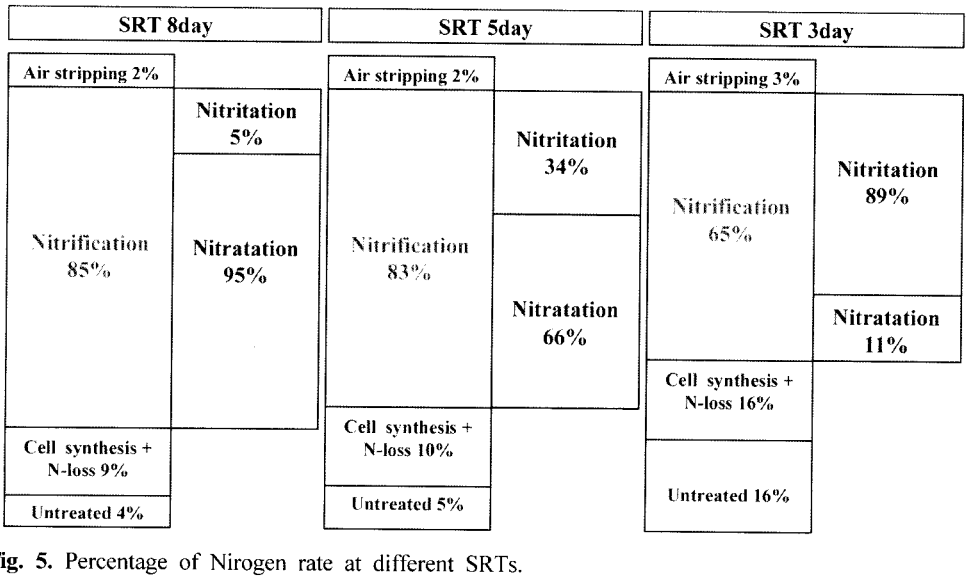

Fig. 5. Percentage of Nirogen rate at different SRTs.

4. 결 론

고농도 암모니아를 함유한 돈사폐수의 처리시 아질산화의 축적율은 FA의 저해 및 적응정도와 밀접한 관련이 있었으며, 호기조내 용존산소의 제어만으로는 안정적인 아질산화의 축적에 큰 영향을 주지 못했다. SRT를 3일로 짧게 유지하였을 때 아질산화율은 92%까지 상승하였지만, DO가 증가함에 따라 NO_3-N으로의 완전 질산화율도 증가하였다. 따라서 안정적인 아질산화를 유도하기 위해서는 호기조내 용존산소의 농도를 2 mg/L 이하로 낮추어 운전하고, Nitrobacter가 FA에 순응하지 못하게 하기 위해 반응조내 SRT를 짧게 유지하여 운전하는 것이 바람직하다.

혐기성 소화공정을 거친 돈사폐수는 유입수의 특성상 전체 유기물 중 생물학적으로 분해 가능한 유기물의 분율이 작아 생물학적 질소 제거시 탄소원이 부족하였다. 이와 같은 조건에서 아질산화-아탈질공정은 완전 질산화-탈질에 비해 탈질속도가 빠르고 제거효율이 우수하였으며, 추가 외부 탄소원의 소요량을 줄일 수 있어 경제적인 공정으로 평가되었다. 한편, 아질산화-아탈질 공정의 유출수 중 제거되지 않는 유기물은 NBDCOD 성분으로 판단된다.

참고문헌

이영행, 아질산화-탈질반응을 이용한 혐기성 소화조 상징액의 질소제거, 고려대학교 석사학위논문 (1998).

정윤진, 축산폐수 처리시설 설치 운영 개선방안수립을 위한 연구보고서 (2001).

최영균, 김규동, 김희준, 김윤중, 정태학, Respiromentry for COD Fractionation of Wastewater, *상하수도학회지*, **17**(4), pp. 503-509 (2003).

최의소, 호재호, NO_2-N 질산화를 통한 돈사폐수의 질소제거, *한국물환경학회지*, **17**(2), pp. 273-281 (2001).

하준수, 계절적 변화가 영양소 제거공정에 미치는 영향, 고려대학교 박사학위논문 (2002).

Anthoniesen, A., Loehr, R., Prakasam, T. and Srinath, E., Inhibition of Nitrification by Ammonia and Nitrous Acid, *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, **48**(5). pp. 836-852 (1976).

APHA, AWWA, WEP, *Standard method for the examination of water and wastewater*, 20th. ed. (1998).

Hanaki, K., Wantawin, C. and Ohgaki, S., Nitrification at Low Levels of Dissolved Oxygen with and without Organic loading in Suspended Growth reactor, *Wat. Res.*, **24**, pp. 297-302 (1990).

Hellinga, C., Schellen, A. A. J. C., Mulder, J. W., van Loosdrecht, M. C. M. and Heijnen, J. J., The SHARON process An Inovative Method for Nitrogen Removal from Ammonia-rich Wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, **37**, pp. 135-142 (1998).

Picioreanu, C., van Loosdrecht, M. C. M. and Heijnen, J. J., Modelling the Effect of Oxygen Concentration on Nitrite Accumulation in a Biofilm Airlift Suspension Reactor, *Wat. Sci. Tech.*, **36**, pp. 147-156 (1997).

Quinlan, A., Optimum Temperature Shift for Nitrobacter Winogradski: Effect of Dissolved Oxygen and Nitrite Concentrations, *Wat. Res.*, **20**(5), pp. 611-617 (1986).

Randall, C. W., Nitrification Kinetics in Single-Sludge Biological Nutrient Removal Activated Sludge Systems, *Wat. Sci. Tech.*, **25**, p. 195 (1992).

Sharma, Bhavender and Ahlert, R. C., Nitrification and Nitrogen Removal, *Wat. Res.*, **11**(10), pp. 897-925 (1997).

Turk, O. and Mavinic, D., Preliminary Assessment of a Shortcut in Nitrogen Removal from Wastewater, *Can. J. Civil Eng.*, **13**, p. 600 (1986).

U. S. EPA. Manual nitrogen control. EPA 625/R-93/010, Cincinnati, Ohio (1993).