다양한 온도 조건에서 아질산화 반응 유도 - 혐기 소화 상징액을 대상으로

Nitrification at Various Temperature Conditions - Using Anaerobic Digester Supernatant

길경익* · 임지열**

Gil, Kyungik · Im, Jiyeol

Abstract

As the effluent quality standard of the municipal wastewater treatment plant (MWTP) has been strengthened, the treatment of the recycle water containing high concentration of ammonium nitrogen has been considered as one of retrofit methods for upgrading the existing MWTPs. In this study, nitrification, economic nitrogen removal process, was induced by laboratory-scale reactor at the 35°C, 20°C, and 10°C temperature conditions using anaerobic digester supernatant. The stable nitrification was achieved over 20°C, but nitrification was induced at 10°C. It means that the nitrification was affected by SRT and temperature. SRT, demanded for nitrification, is changed according to the temperature. Therefore, it is considered that SRT and temperature are important factors in nitrification. Also, it is approved that inducing the ammonium nitrogen removal and the nitrification are more beneficial over 20°C. The conclusion of this study can be used for the important basic reference when nitrification process is applied for MWTPs.

Key words : Nitrification, Recycle water, Anaerobic digester supernatant, Temperature, BNR(Biological Nutrient removal)

요 지

강화되는 방류수 수질기준에 맞추어 하수처리장 개조 방안의 하나로 고농도의 암모니아성 질소를 함유한 반류수를 처리하는 방안이 주장되고 있다. 35°C, 20°C와 10°C 조건의 실험실 규모 반응조 운전을 통하여 경제적인 질소 제거 방법인 아질산화 반응 유도하였다. 20°C 이상의 온도에서는 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있었으나, 10°C 저온 조건에서는 완전 질산화 반응이 유도 되었다. 이는 온도의 영향을 받아 SRT가 길어져 완전 질산화 반응이 유도된 것으로 사료된다. 온도에 따라 아질산화 반응에 요구되는 SRT가 변화하는 것으로 볼 때, 온도와 SRT는 아질산화 반응에 중요한 인자로 판단된다. 또한 20°C 이상의 조건에서 암모니아성 질소 제거 반응과 아질산화 반응을 유도하는 것이 유리 한 것으로 나타났다. 본 논문에서 제시한 결과는 아질산화 반응을하수처리장에 적용할 때 중요한 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 아질산화, 반류수, 혐기 소화 상징액, 온도, 생물학적 영양소 제거

1. 서 론

수중 생태계에 악영향을 미치는 부영양화는 조류의 급속한 증식으로 인해 용존산소가 고갈되는 현상을 의미한다. 용존산소가 고갈되면 수중 생태계가 파괴되어 인류에게 악영향을 초래 할 수 있다. 이를 대비하여 인류는 하수 내 포함된 오염물 제거에 지속적인 관심을 두고 있었다. 하지만 일반적인 유기물 및 고형물의 처리로는 그 한계를 느껴 영양염류(Nutrient)의 처리에 초점을 맞추기 시작하였다. 영양염류는 질소(N, Nitrogen)과 인(P, Phosphorus)를 들수 있는데, 이는 부영양화의 주요 원인으로 보고되고 있다(길경익, 2006; 길경익 등, 2008; 최지형 등, 2001).

현재 대부분의 질소처리하는 수중의 암모니아성 질소를 질산성 질소(NO_3 , Nitrate)로 산화 시켜 탈질을 시키는 완전 질산화에 이은 탈질과정을 거쳐 처리되고 있는데, 점차 하수에 포함된 질소를 경제적인 방법으로 제거하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중 아질산화-아탈질을 이용한 방법이 주목을 받고 있는데, 이는 수중의 암모니아성 질소를 아질산성 질소(NO_2 , Nitrite)로 산화시킨 후 아탈질을 거쳐 질소를 제거하는 방법이다. 하지만 아질산화 반응은 완전 질산화 반응에 비해 유도가 어려운 단점이 있는 반면, 완전 질산화-탈질에 소모되는 산소원의 25%, 탄소원의 40%를 절감할 수 있는 효과를 기대 할 수 있다(길경익, 2006; 한동준 등, 1998; Picoreanu et al., 1997; Hellinga et al., 1998; Mulder

*정회원 · 서울과학기술대학교 건설공학부 교수 (E-mail : kgil@seoultech.ac.kr)(교신저자)

**서울과학기술대학교 토목공학과 석사과정

et al., 2001, Gali et al., 2008). 또한 아질산화 반응이 일어나 수중의 아질산성 질소가 확보되게 되면, 후속공정으로 ANAMMOX(Anaerobic Ammonium Oxidizing)반응을 적용시킬 수 있다. ANAMMOX반응은 혐기 상태에서 암모니아성 질소와 아질산성 질소를 약 1 : 1.3의 비율로 산화시키는 반응으로 최근 들어 혁신적인 질소 제거 방법으로 주목받고 있다(황인수와 민경석, 2006). 이러한 장점이 있어 수많은 연구진들이 다양한 조건에서 질소 제거 및 아질산화 반응에 관한 연구를 수행하고 있지만, 아직 더 많은 연구가 필요한 실정이다(길경익, 2006; 류홍덕과 이상일, 2006; Prakasam et al., 1972; Dircks et al., 1999; Gali et al., 2008; Hellinga et al., 1998; Siegrist, 1996). 아질산화 반응, 완전질산화 반응 그리고 ANAMMOX에 대한 식은 다음의 식(1), 식(2), 식(3)을 통해 확인 할 수 있다.

국내 하수처리장의 경우 기존의 하수처리공법으로 방류수 질 기준에 준하는 질소의 제거를 위해 시설을 개·보수하거나 신설을 하고 있다. 효율적인 하수처리장 개·보수 방안으로 다양한 방법들이 제안되고 있는데, 그 중 하수처리장 슬러지 처리 공정에서 발생하는 반류수(Recycle water)를 처리하는 방안이 주목 받고 있다. 반류수는 소화 상징액, 농축조 상징액 그리고 탈리여액을 의미하며, 일반 하수에 비해 고농도의 질소를 함유하고 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 그 발생량은 미비하여 많은 하수처리장에서 반류수만을 처리하지 않고, 수처리계통으로 반송시켜 처리하는 구조를 가지고 있다(길경익, 2006; 서인석 등, 2006).

본 연구에서는 하수처리장의 반류수에 포함되는 혐기 소화 상징액을 대상으로 하여, 아질산화 반응을 적용시키고자 실험실 규모 반응조를 운전하였다. 저온의 조건을 포함하여 다양한 온도 조건에서 안정적인 아질산화 반응을 유도하려 반응조 운전을 실시하였다. 또한 안정적인 아질산화 반응이 유도될 때, 아질산화 반응을 유도하는 인자들에 대한 연구를 실시하였다.

2. 연구 방법 및 장치

2.1 실험 대상 시료

반응조 운전은 S하수처리장의 혐기 소화 상징액을 대상으로 하여 실시하였다. 혐기 소화 상징액 내 알칼리도 / 암모니아성 질소 비는 2.57로 질산화에 필요한 이론적인 알칼리도 / 암모니아성 질소 비인 7.14에 비해 부족한 것으로 분석되었다. 이에 운전기간동안 반응조 유입 전 NaHCO_3 를 첨가하여 알칼리도 / 암모니아성 질소 비가 약 7.2정도로 조절하

표 1. 실험실 규모 아질산화 반응조 특징 및 혐기 소화 상징액 성상

Parameter	Anaerobic digester supernatant	
Reactor volume	8 L	
Reactor type	batch reactor	
	Concentration range (mg/L)	Average (mg/L)
pH	7.3 ~ 7.7	7.4
Alkalinity (mg/L)	570 ~ 940	730
Ammonia (mg/L)	230 ~ 300	265
Influent Alkalinity / Ammonia ratio	7.1 ~ 7.4	7.2
COD (mg/L)	2830 ~ 5740	3875

여 질산화에 필요한 알칼리도가 부족함이 없도록 하였으며, 알칼리도의 영향을 줄이기 위해 운전기간동안 큰 변동이 없도록 유지시켰다. 혐기 소화 상징액의 암모니아성 질소 농도는 230~300 mg/L로 운전기간동안 약 265 mg/L로 유입되었다. 본 연구에 사용된 혐기 소화 상징액의 성상은 표 1를 통해 확인 할 수 있다. 또한 분석방법은 pH는 pH meter (Accumet-AB15), DO는 DO meter(YSI-550A)를 이용하여 분석하였다. 암모니아성 질소는 Nessler's method에 따라 DR2800(HACH company)을 이용하여 측정하였고, 아질산성 질소와 질산성 질소는 Ion chromatography(Dionex ICS-1000)를 이용하여 측정하였다. 또한 알칼리도와 COD는 Standard methods(APHA, 1998)의 Titration method(2320 B), closed reflux colorimetry(5220 D)에 의거하여 분석을 실시하였다.

2.2 반응조 설계

본 연구를 위해 그림 1에 나타난 사진과 같이 아질산화 반응조를 제작하였다. 아질산화 반응조는 원통형 아크릴 제질로 용적 8L로 제작하였다. 또한 본 연구에서 주목한 온도에 따른 아질산화 반응을 연구를 위해 반응조 외부에 항온 수조를 제작하였다. 항온 수조는 아크릴로 제작하였으며, 반응조

그림 1. 실험실 규모 아질산화 반응조 사진

를 내부에 설치한 후 물을 넣어 냉각기와 열풍기를 이용하여 35°C, 20°C 그리고 10°C로 온도를 유지하였다. 반응조 온도 조건은 질산화 미생물의 최적 성장 온도인 35°C, 상온을 대표할 수 있는 20°C 그리고 15°C이하의 저온 조건인 10°C로 조건을 설정하였다 (EPA, 1993). 또한 호기성인 질산화 미생물의 특징을 고려하여 반응조 내부에 공기공급기를 이용하여 연속적으로 산소를 공급하였다. 반응조 운전 기간 동안 반응기 내 DO농도는 2 mg/L 이상으로 유지시켰다. 또한 반응조 유출수의 농도가 반응조 내부의 농도를 대표할 수 있도록, 교반기를 설치하여 반응조내 원활한 교반 및 산소 공급이 이루어지도록 하였다. 반응조 운전기간동안 반응조 유입·유출은 동일한 시간에 실시하였으며, 유출수 샘플 채취 후 분석을 실시하여 샘플의 변질이 없도록 하였다.

3. 반응조 운전 결과

그림 2에서는 10°C에서의 실험실 규모 아질산화 반응조의 운전 결과를 나타내었다. 10°C 반응조에서는 그림 3, 그림 4에 설명할 35°C와 20°C의 반응조 운전과는 다르게 SRT(Solid Retention Time, 고형물 체류시간) 조건을 유지하지 않고, 암모니아성 질소 제거가 80% 이상 이루어진 시점에서 유입수를 유입하였다. 이는 저온에서는 질산화 미생물의 활성이 낮아진다는 연구 결과를 바탕으로 하여 10°C의 저온 조건에서 암모니아 제거 반응과 아질산화 반응을 유도할 수 있는 SRT 조건을 선정하려 하였다 (EPA, 1993). 이는 안정적인 아질산화 반응을 위해서는 우선적으로 암모니아성 질소의 제거가 유도되어야 하기 때문에 암모니아성 질소 제거 목적을 두어 운전하였다. 유입수는 2절에서 소개한 S하수처리장의 혐기 소화 상징액을 유입하였다. 유입 시 반응조 내부의 암모니아성 질소 농도를 고려하여 반응조 내부의 암모니아성 질소 농도가 100~120 mg/L으로 유지하려 하였다. 반응조는 약 320일 정도 동일한 방식으로 운전되었으며, 유입수를 유입한 시점을 기준으로 하여 R1~R5 구간의 총 5구간으로 나눌 수 있다. R1구간에서는 유입수의 초기 암모니아성 질소 농도가 120 mg/L로 하여 반응조 운전을 실시하였다. 반응조 운전은 안정화된 아질산화 반응조의 슬러지와 유출수를 이용하여 반응조 운전을 실시하였다. 그림 2에서 확인 할 수 있듯이 R1~R5구간에서는 암모니아성 질소가 천천히 제거되며 제거된 암모니아성 질소는 주로 질산성 질소로 전환되는 것을 확인 할 수 있다. 반응조 운전 결과 암모니아성 질소가 약 80% 이상 제거되는 요구되는 SRT는 56~77일로 약 64일 정도로 나타났다. 반면 제거된 암모니아성 질소는 아질산성 질소로의 전환이 이루어지지 않고 주로 질산성 질소로의 전환이 이루어졌다. 이는 암모니아성 질소 제거를 위해 약 64일 정도의 긴 SRT에 의한 영향으로 판단된다.

그림 3에서는 20°C에서의 실험실 규모 아질산화 반응조의 운전 결과를 나타내었다. 20°C 반응조는 약 160일 정도 운전되었으며 10°C와는 다르게 H1 ~ H3로 구간을 분류하였으며, 구간 별로 SRT에 변화를 주어 운전을 실시하였다. H1 구간에서 반응조 운전 결과는 안정적인 암모니아성 질소 제

그림 2. 10°C 조건에서 실험실 규모 아질산화 반응조 운전 결과

그림 3. 20°C 조건에서 실험실 규모 아질산화 반응조 운전 결과

거 반응이 이루어졌으며, 제거된 암모니아성 질소는 주로 질산성 질소로의 완전 질산화 반응이 이루어졌다. 이는 20°C 운전 조건 중 가장 긴 SRT의 영향으로 인한 것으로 사료된다. 이 후 H2조건으로 SRT를 줄여 운전을 실시하였다. 운전 조건을 다소 줄여 운전하자 H1구간에서 미비하게 검출되었던 아질산성 질소의 농도가 유출수 내에서 증가하여 검출되었다. 또한 H2구간에서는 그림 3에서 확인 할 수 있듯이 약 90일 정도의 안정적인 아질산화 반응을 연속적으로 유도 할 수 있었다. 이를 통해 20°C의 온도에서도 장기간의 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있음을 확인 할 수 있다. 이 후 H3구간으로 운전을 실시하였는데 암모니아 제거율이 확연히 감소하였고, 이에 따라 유출수 내 아질산성 질소와 질산성 질소의 농도가 미비하게 검출되었다. 20°C 운전 결과 SRT 변화에 따라 유출수 내 아질산성 질소와 질산성 질소의 농도가 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 이를 통해 SRT의 조절을 통해 인위적으로 아질산화 반응과 완전 질산화 반응을 유도 할 수 있을 것이라 판단된다.

그림 4에서는 35°C에서의 실험실 규모 아질산화 반응조의 운전 결과를 나타내었다. 35°C 반응조는 약 170일 정도 운전되었으며 20°C와는 동일하게, SRT 조건에 따라 Q1 ~ Q3 구간으로 운전 구간을 나누어 분류하였다. Q1 구간에서는 안정적인 암모니아성 질소 제거 반응이 이루어졌으며, 제거된 암모니아성 질소 역시 아질산성 질소로의 전환이 이루어졌다. 또한 20°C의 H2구간과 유사하게 약 70일의 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있었다. 이를 통해 35°C 조건에서

그림 4. 35°C 조건에서 실험실 규모 아질산화 반응조 운전 결과

표 2. 혐기 소화 상징액을 이용한 아질산화 반응조 운전 조건 및 구간 별 Ammonia removal rate와 Nitrite conversion rate

Period	Temperature	SRT (day)	Ammonia removal rate (%)	Nitrite conversion rate (%)
R1	10°C	57	85	2
R2		63	89	4
R3		65	93	3
R4		77	80	0
R5		56	84	3
H1	20°C	4	83	8
H2		2	86	76
H3		1	23	28
Q1	35°C	1	90	82
Q2		2	92	32
Q3		0.375	28	5

도 20°C와 마찬가지로 장기간의 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있음을 확인 할 수 있다. 이 후 Q2구간에서는 Q1구간보다 SRT를 길게 하여 운전을 실시하였다. Q2구간에서는 Q1구간과 달리 제거된 암모니아성 질소가 주로 질산성 질소로의 전환이 이루어지며, 이 역시 긴 SRT에 의한 것으로 판단된다. Q3구간에서는 반응조 운전 중 가장 짧은 SRT로 운전하였는데, 이는 H3구간과 유사하게 암모니아성 질소의 제거가 제대로 이루어지지 않았으며, 유출수 내 질산성 질소와 아질산성 질소가 낮게 검출되었다. 35°C 운전 결과 20°C와 유사하게 SRT의 변화에 따라 제거된 암모니아성 질소가 아질산성 질소와 질산성 질소로의 전환이 이루어졌음을 확인 할 수 있다. 35°C와 20°C의 운전 결과를 통해, 35°C와 20°C 조건에서는 인위적인 조작을 통해 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있을 것으로 판단된다. 반응조 운전 기간동안의 운전 조건과 각 구간별 효율은 표 2를 통해 확인 할 수 있다.

4. 운전 결과 분석

4.1 SRT의 영향

그림 5에서는 3차원 상에서 온도와 SRT에 따른 암모니아

그림 5. 온도와 SRT에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율의 변화

그림 6. SRT에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율의 변화

제거율과 아질산화율의 변화를 나타내었으며, 그림 6에서는 SRT에 보다 초점을 맞추어 암모니아 제거율과 아질산화율의 변화를 나타내었다. 그림 5와 그림 6에서 나타난 결과에서 살펴 볼 수 있듯이 암모니아성 질소 제거에 있어, 암모니아성 질소 제거 반응은 35°C에서는 1일 이상, 20°C에서는 2일 이상, 10°C에서는 56일 이상의 SRT로 운전하면 안정적인 암모니아성 질소 제거가 이루어졌다. 아질산화 반응의 경우에는 암모니아성 질소 제거와는 다르게 10°C에서는 확인할 수 없었으나, 35°C와 20°C에서는 일정 SRT에서 확인할 수 있었다. 35°C와 20°C조건에서는 암모니아성 질소 제거 및 아질산화 반응을 유도하는데 요구되는 SRT가 상대적으로 10°C에 비해 짧게 나타났는데, 이는 20°C이상의 온도에서 10°C에 비해 효율적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있을 것으로 판단된다. 온도에 따라 암모니아 제거율과 아질산화율을 유도할 수 있는 SRT가 다르게 나타난 것은 온도에 의한 영향으로 판단되며, 이는 온도의 영향으로 인해 질산화 미생물의 활성이 변화하여 SRT가 변화하는 것으로 판단된다. 또한 아질산화 반응은 암모니아성 질소 제거 반응에 비해 SRT 및 온도에 대한 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 따라서

SRT와 온도는 아질산화 반응에 있어 중요한 인자로 판단되며 실제 하수처리장에서 아질산화 반응을 적용 시, 중요하게 고려되어야 할 인자로 판단된다.

4.2 FA와 FNA의 영향

그림 7은 1976년 Anthonisen 등이 발표한 FA(Free Ammonia)와 FNA(Free Nitrous Acid)에 의해 아질산성 질소의 축적 원인을 설명 할 수 있는 그래프에 본 연구 결과를 적용시켰다. 온도, pH, 암모니아성 질소, 아질산성 질소 농도를 통하여 그 관계를 설명 할 수 있으며, 각 zone에 대한 설명은 아래에 설명하고 있다.

Zone 1: FA inhibition to *Nitrobacter* & *Nitrosomonas*

(FA가 모든 질산화 미생물을 억제)

Zone 2: FA inhibition to *Nitrobacter*

(FA가 *Nitrobacter*의 활성 억제, *Nitrosomonas*의 활성에 영향을 주지 않음)

Zone 3: Complete nitrification

(완전 질산화가 유도)

Zone 4: FNA inhibition to *Nitrobacter*

(FNA가 *Nitrobacter*의 활성을 억제)

또한 그림 7에 사용되는 FA와 FNA는 다음의 식 (4), 식 (5)를 이용하여 구할 수 있다.

FA as $\text{NH}_3(\text{mg/L}) =$

$$\frac{\text{Total ammonia as N (mg/L)} \cdot 10^{\text{pH}} \cdot \frac{17}{14}}{e^{\frac{6344}{273+^{\circ}\text{C}}} + 10^{\text{pH}}} \quad (4)$$

$$\text{FNA as HNO}_2 (\text{mg/L}) = \frac{46}{14} \times \frac{\text{NO}_2^- - \text{N}(\text{mg/L})}{e^{\frac{-2300}{(273+^{\circ}\text{C})}} \times 10^{\text{pH}}} \quad (5)$$

그림 7의 (a), (b), (c)는 각 온도별 운전 결과의 FA와 FNA의 영향을 보여주고 있다. 나타난 바에 따르면 본 연구에 사용된 아질산화 반응조의 35°C, 20°C의 조건에서는 FA가 *Nitrobacter*에 영향을 주어 아질산성 질소의 축적이 이루어진 것으로 나타났다. 그러나 10°C의 경우에는 아질산화가 이루어지지 않고 분석된 샘플 모두 완전 질산화가 이루어졌음을 확인 할 수 있다. 따라서 FA와 FNA에 의한 영향을 살펴 볼 때 본 연구에서 35°C와 20°C에서 안정적인 아질산화 반응이 유도 된 것은 FA에 의한 것으로 사료된다. 10°C

그림 7. 아질산화와 완전질산화의 FA의 영향

그림 8. 유입수 COD에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율의 변화

에서는 암모니아성 질소 제거에 필요한 SRT가 35°C와 20°C에 비해 길게 요구되기 때문에 완전 질산화가 유도된 것으로 판단된다. 따라서 FA는 아질산화 반응을 유도하는데 있어 중요하게 고려되어야 할 인자로 사료된다.

4.3 COD

그림 8에서는 유입수의 COD에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율의 변화를 살펴보았다. 운전기간 중 유입수 COD에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율의 영향을 분석하였다. 운전 기간 동안 유입수의 COD는 2830~5740 mg/L로 유입되었다. S 하수처리장 혐기 소화 상정액에 알칼리도만을 보충하여 반응조로 유입하였기 때문에 COD의 조절은 실시하지 않았다. 그림 8에서도 확인 할 수 있듯이 유입수 COD와 암모니아 제거율 그리고 아질산화율간에 특별한 상관관계는 보이지 않는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험실 규모 아질산화 반응조의 유입 COD범위인 2830~5740 mg/L 내에서는 암모니아 제거율과 아질산화율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 10°C, 20°C 그리고 35°C의 조건에서 반응조 운전을 실시하여 얻은 결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- 1) 10°C 조건에서 암모니아성 질소 제거에 필요한 SRT는 56일 이상으로 나타났다. 반면 아질산화 반응은 나타나지 않았으며, 이는 암모니아성 질소 제거를 위해 SRT가 길어져 완전 질산화 반응이 유도된 것으로 판단된다. 하지만 10°C의 저온에서 고효율의 암모니아성 질소 제거 반응을 유도되었는데, 이는 10°C이하의 저온에서도 SRT를 길게 가져가는 방법을 통해 고효율의 암모니아성 질소 제거 반응을 기대 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 20°C와 35°C조건에서 암모니아성 질소 제거에 필요한 SRT는 각 각 2일 이상과 1일 이상, 안정적인 아질산화 반응을 위해서는 2일과 1일의 SRT를 유지시켜 주어야

하는 것으로 나타났다.

- 3) 암모니아성 질소 제거 및 아질산화 반응을 유도 할 때 요구되는 SRT는 온도에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 안정적인 아질산화 반응 유도를 위해선 반응조 운전 온도에 따라 적절한 SRT를 유지시켜 주어야 하는 것으로 판단된다. 또한 10°C의 저온에서는 아질산화 반응을 유도하는데 있어 불리하게 작용될 것으로 사료되며 온도와 SRT는 아질산화 반응 및 암모니아성 질소 제거에 있어 중요한 조건으로 판단된다.
- 4) 35°C와 20°C 조건에서 안정적인 아질산화 반응이 유도되었을 때, 아질산화 반응은 FA에 의한 영향으로 나타났다. 따라서 FA는 아질산화 반응에 있어 중요한 유도 인자로 판단된다.
- 5) 본 반응조 운전에서 유입된 유입수의 COD농도는 암모니아 제거율과 아질산화율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 하수처리장 혐기 소화 상정액을 대상으로하여 아질산화 반응을 적용시킬 때, COD제거를 위한 전처리 공정을 두지 않아도 안정적인 아질산화 반응을 기대 할 수 있을 것으로 판단된다.

20°C이상의 조건에서 암모니아성 질소 제거 반응과 아질산화 반응을 유도하는 것이 유리 할 것으로 판단된다. 또한 온도에 따라 암모니아성 질소 제거 반응과 아질산화 반응에 요구되는 SRT가 변화하는 것으로 볼 때, 온도와 SRT는 중요하게 고려되어야 할 사항으로 판단된다. 또한 각 계절 온도에 맞게 하수처리장의 운전 조건을 변화시키면 하수처리장 효율을 증가 시킬 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서 제시한 결과는 실제 하수처리장에 아질산화 반응이 중요한 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 길경익 (2006) 하수처리장 혐기성 소화조 상정액의 아질산화 반응 연구, **한국물환경학회지**, 제 22권, 제3호, pp. 540-545.
- 길경익, 이운길, 노해연 (2008) 동절기 하수처리장에서 효율적인 질소제거를 위한 최적 HRT조합 도출에 관한 연구, **한국방재학회 논문집**, 제8권, 제3호, pp. 165-169.
- 류흥덕, 이상일 (2006) 온도가 MLE 및 M-Dephanox 공정의 유기물, 질소 및 인 제거 효율에 미치는 영향, **한국물환경학회지**, 제22권, 제1호, pp. 7-16.
- 서인석, 김홍석, 김연권, 김지연 (2006) 교대연속유입식 SBR 공정을 이용한 하수중의 질소 및 인 제거, **한국물환경학회지**, 제22권, 제2호, pp. 203-208.
- 최지형, 이용우, 윤주환 (2001) 생물학적 아질산화-아탈질을 이용한 슬러지 처리공정 반류수 내 고농도 질소 제거, **대한환경공학학회지**, 제23권, 제3호, pp. 371-381.
- 한동준, 류재근, 임연택, 임재명 (1998) 생물학적 영양염류 제거를 위한 돈사폐수의 반응특성, **대한환경공학학회지**, 제20권, 제3호, pp. 371-385.
- 황인수, 민경식 (2006) SHARON/ANAMMOX 결합공정에서 슬러지의 입상화와 특성, **한국물환경학회지**, 제22권, 제2호, pp. 300-307.
- Anthonisen, A.C., Loehr, R.C., Prakasam, T.B. and Srinath, E.G. (1976). Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid, *J. wat. Pollut. Control Fed*, Vol.48, No.5, pp. 835-852.
- APHA, AWWA and WEF (1998). *Standard method for examina-*

- tion of water and wastewater. 20th edition*, Washington DC, US.
- Dircks, K., Pind, P.F., Mosb, K.H. and Henze, M. (1999) Yield determination by respirometry-the possible influence of storage under aerobic conditions in activated sludge, *Water SA*, Vol.25, No.1, pp. 69-74.
- EPA, U.S. (1993) Manual nitrogen control. EPA 625/R-93/010, Cincinnati, Ohio.
- Gali, A., Dosta, J., Lopez-pelau, S. and Mata-Alvarez, J. (2008) SBR technology for high ammonium loading rates. *Wat. Sci. Tech*, Vol.58, No.2, pp. 467-472.
- Hellinga, C., Schellen, A.A.J.C., Mulder, J.W., van Loosdrecht, M. C.M. and Heijnen, J.J. (1998) The sharon process : An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water. *Wat. Sci. Tech*, Vol.37, No.9, pp. 135-142.
- Mulder, J.W. and Van Kempen, R. (1997). N-removal by SHARON. WQI. March/April. pp. 30-31.
- Picioreanu, C., van Loosdrecht, M.C.M. and Heijnen, J.J. (1997) Modeling the Effect of Oxygen Concentration on Nitrite Accumulation in a Biofilm Airlift Suspension Reactor. *Wat. Sci. Tech*, Vol.43. No.11. pp. 127-134.
- Prakasam, T.B.S. and Loehr, R.C. (1972) Microbial Nitrification and Denitrification in Concentrate Wastes. *Wat. Res.* Vol.6. No.7. pp. 859-869.
- Siegrist, H., (1996) Nitrogen removal from digester supernatant: comparison of chemical and biological methods, *Wat. Sci. Tech*, Vol.34, pp. 399-406.

◎ 논문접수일 : 11년 02월 23일
 ◎ 심사의뢰일 : 11년 03월 02일
 ◎ 심사완료일 : 11년 03월 15일