

# 상온 조건에서 혐기 소화 상징액을 이용한 아질산화 반응과 운전 인자의 상관성 분석

임지열·길경익\*\*

고려대학교 건축사회환경공학과  
\*서울과학기술대학교 건설시스템공학과

## Correlation between operation factors and nitrification using anaerobic digester supernatant at ordinary temperature

Jiyeol Im·Kyungik Gil\*\*

School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University  
\*Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology  
(Received : 30 June 2016, Revised: 01 August 2016, Accepted: 01 August 2016)

### 요약

혐기 소화 상징액은 고농도 질소를 함유하고 있으며 수처리 계통으로 반송되어 하수처리장 유입 부하를 증가시킨다. 혐기 소화 상징액 내 고농도 질소를 아질산화 반응을 통해 처리하게 된다면, 경제적인 하수처리장 개조 효과를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 혐기 소화 상징액을 이용한 장기 실험실 규모 반응조 운영을 실시하였다. 운전 결과 암모니아성 질소 제거율 90% 이상과 아질산화율 70% 이상 효율을 보이는 운전 조건을 도출할 수 있었다. 또한 이를 바탕으로 운전 인자와 암모니아성 질소 제거 효율 및 아질산화율의 상관성을 분석하였다. 운전 결과 암모니아성 질소 제거 효율과 아질산화율은 미생물 체류시간 (SRT), 암모니아성 질소 부하 및 단위 미생물 농도 (MLSS) 당 암모니아성 질소 부하와 관계가 큰 것을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과는 향후 혐기 소화 상징액의 아질산화 반응 유도에 중요 자료로 활용될 수 있으며, 아질산화 반응의 활용성을 증가시킬 것을 기대한다.

핵심용어 : 혐기 소화 상징액, 질소, 부영양화, 수계, 친환경

### Abstract

Anaerobic digester supernatant including high concentrations of nitrogen is recycled to water treatment line and make pollutant load increase in municipal wastewater treatment plant(MWTP). To treat nitrogen in anaerobic digester supernatant is suggested the method of MWTP retrofit. In this study, the lab scale reactor was operated about 200 days using supernatant of anaerobic digester. The results could draw operation condition that ammonium nitrogen removal efficiency more than 90% and nitrite conversion efficiency over 70%. Correlation between operation efficiency and operation factors was analyzed based on the operation results. Ammonium nitrogen remove efficiency and nitrite conversion efficiency were related to solid retention time (SRT), ammonium nitrogen load and ammonium nitrogen loading per unit mixed liquor suspended solid (MLSS). Results of this study can be used effective data on nitrification of supernatant of anaerobic digester, and be expected to increase availability of nitrification.

Key words : Anaerobic digester supernatant, Nitrogen, Eutrophication, water system, Eco-friendly

## 1. 서론

경제·기술 등 다양한 분야가 급격한 발전을 이룸에 따라 시민들의 삶의 질이 향상되면서 환경에 대한 관심이 급속도로 증가하고 있다. 그 중 시민들의 삶에 밀접한 관계를 보이는 수질에 대한 관심이 커져가고 있으며, 이에 안정적

인 수계 수질 확보를 위한 많은 노력을 기울이고 있다 (Kang et al., 2012; Kim et al., 2005). 그 대표적인 것이 하수처리장, 마을하수도 및 가축분뇨 처리장 등과 같은 공공하수처리시설이며, 이와 같은 시설 등을 통해 생활하수, 공장폐수, 산업폐수 등 내 함유된 오염물질을 처리하고 있다. 하지만 한강, 낙동강, 금강 등 주요 하천 및 습지에서 녹조 현상이 지속적으로 발생하고 있다. 녹조현상은 부영양화에서 시작되는데 부영양화는 수계의 질소가 증가하는 것을 의미한다. 부영양화가 발생되면, 수계 내 조류가 과도하게 증식하게 되는데 이를 녹조 현상이라 한다. 이러한 녹조

\* To whom correspondence should be addressed.  
Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology  
E-mail: kgil@seoultech.ac.kr

의 원인이 되는 부영양화를 방지하기 위해서 국내·외적으로 하수 내 함유된 질소를 처리하여 안정적인 수질을 확보하고자 하는 많은 노력을 기울이고 있다(Li et al., 2010, Yang et al., 2009).

수중의 질소 처리를 위해서는 화학적인 방법과 생물학적인 방법이 있는데, 현재 하수처리장에서는 처리 효율 및 경제성 등의 이유로 주로 생물학적인 방법을 이용하여 질소를 제거하고 있다. 대표적인 생물학적인 질소 제거의 원리는 Fig. 1 (a)의 질산화-탈질과 (b)의 아질산화-아탈질로 설명할 수 있다. Fig. 1 (a) 질산화-탈질 반응은 암모니아성 질소가 질산성 질소로 산화된 후 탈질 반응을 통해 질소가스로 환원되는데, 질산성 질소로 산화되기 전 아질산성 질소의 단계를 거치게 된다. 질산화 반응은 일반적으로 2단계로 알려져 있으며, 1단계는 암모니아성 질소가 아질산성 질소로 산화되는 단계, 2단계는 아질산성 질소가 질산성 질소로 산화되는 단계이다(Im and Gil, 2011; van Dongen., 2001; van Loosdrecht and Jetten, 1998). 여기서 1단계와 2단계 반응에는 서로 다른 미생물종이 관여한다. 1단계 반응에 관여하는 미생물 종을 암모니아성 질소 산화균 (Ammonium nitrogen oxidizing bacteria, AOB)이라 하며, 2단계 반응에는 아질산성 질소 산화균 (Nitrite oxidizing bacteria, NOB)이 관여한다. 이 점에 주목한 여러 연구진들은 AOB와 NOB의 저해 물질, 운전 조건에 따른 제어 및 물리적 특성 차를 고려하여 NOB를 인위적으로 저해하여 아질산화 반응을 유도하는 연구가 이루어지고 있다(Im et al., 2014; van de Graaf et al., 1991; van Kempen et al., 2001).

「하수도법 제 6조 1항」에 의거하여 2013년부터 수계 수질 보호를 위해 하수종말처리장 방류수 수질 기준이 강화되었다. 이는 국가적 차원에서 수계 수질 보호에 큰 관심을 가지고 있다는 것을 시사한다. 이에 다수의 하수처리장에서 하수처리장 방류수 수질 기준 만족를 위해 하수처리장 공법 사업을 실시하고 있다. 하수처리장에서 발생하는 혐기 소화 상징액은 슬러지 처리 공정 중 혐기 소화 공정에서 발생하는 폐수로 저유량과 고농도의 오염물질을 함유하고 있다. 또한 수처리계통으로 반송되기 때문에 하수처리장 오염부하 증가의 원인이 된다. 따라서 고농도 질소 함유 폐수인 혐기 소화 상징액 내 질소를 처리하여 수처리계통으로 반송하게 되면, 하수처리장 오염부하를 감소시킬 수 있으며, 이는 하수처리장 개조효과를 기대할 수 있다(Gil et al., 2002; Gil and Choi, 2004). 특히, 혐기 소화 상징액 내 고농도 질소 처리를 위해 아질산화 반응을 적용하게 되면 경제적인 이점까지 확보할 수 있다.

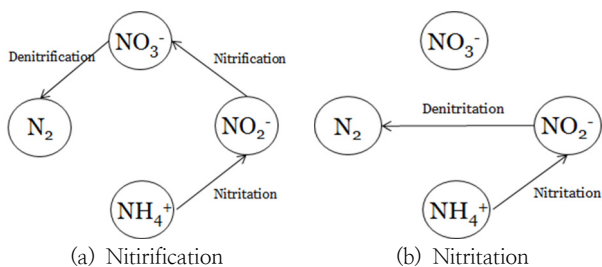


Fig. 1. Biological nitrogen removal

본 연구에서는 하수처리장 개조 효과를 기대할 수 있는 혐기 소화 상징액 내 고농도 질소를 아질산화 반응을 통해 처리하고자 하였다. 이를 위해 실험실 규모 반응조를 운전하여 장기간에 걸친 운전 결과를 확보하였다. 또한 운전 자료를 바탕으로 다양한 운전인자와 암모니아성 질소 제거 (Ammonium nitrogen removal efficiency, ARE)와 아질산화율 (Nitrite conversion efficiency, NCE)의 관계를 분석하였다. 이를 통해 안정적인 아질산화 반응 유도를 위해 관리가 필요한 운전 인자를 도출할 수 있으며, 상대적으로 영향이 큰 인자들을 파악하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 대상 시료

Table 1은 혐기 소화 상징액의 농도 특성을 보여주고 있다. 운전기간 중 암모니아성 질소의 농도는 840 mg/L ~ 890 mg/L로 유입되었으며, COD와 BOD는 각각 12,100 mg/L ~ 19,400 mg/L와 1,060 mg/L ~ 2,740 mg/L의 범위를 보였다. BOD/COD는 0.11으로 상대적으로 생물학적으로 분해 가능한 유기물의 비율이 낮은 것으로 조사되었다. 이는 혐기 소화 공정을 거치면서 생물학적 분해 가능한 유기물의 제거가 이루어져 이와 같은 특성을 보이는 것으로 판단된다. 유입수의 알칼리도 / 암모니아성 질소의 비는 5.3 정도를 보이고 있어 Na(H)CO<sub>3</sub>를 이용하여 알칼리도 추가 보충하여 7.1 ~ 7.3 정도로 조정하였다. 본 연구에 사용된 모든 수질 분석은 standard method에 의거하여 실시하였다(APHA, 1998)

Table 1. Characteristics of anaerobic digester supernatant

Parameter	Anaerobic digester supernatant	
	Range	Median
COD	12,100 ~ 19,400	15,100
BOD	1,060 ~ 2,740	1,690
TN	1,048 ~ 1,460	1,220
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	840 ~ 890	865
Alkalinity	4,460 ~ 4,860	4,720
Alkalinity (Add)	6,030 ~ 6,440	6,228

### 2.2 실험실 규모 반응조

Fig. 2는 본 연구에 사용된 실험실 규모 아질산화 반응조를 나타내고 있다. 아질산화 반응조는 원통형 아크릴로 제작한 반응조로 일정한 온도 조건(20±0.5°C)을 유지시켜주기 위해서 반응조 외부에 항온수조를 설치하였다. 반응조 내 질산화에 필요한 산소를 충분히 공급해주기 산소 공급기와 완전 혼합 상태를 유지해주기 위한 교반기를 설치하였다. 반응조는 batch type으로 운전하였으며, 매일 일정한 시간에 유입·유출을 실시하였다. 또한 원수의 알칼리도를 분석하여 질산화에 필요한 알칼리도만큼 Na(H)CO<sub>3</sub>를 이용하여

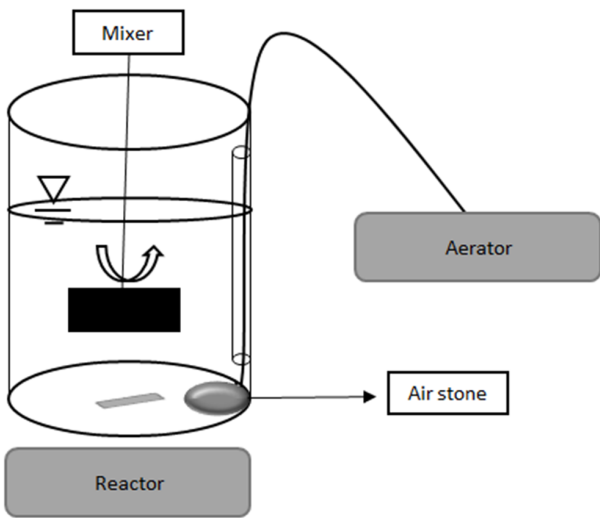


Fig. 2. Schematic diagram of laboratory scale reactor

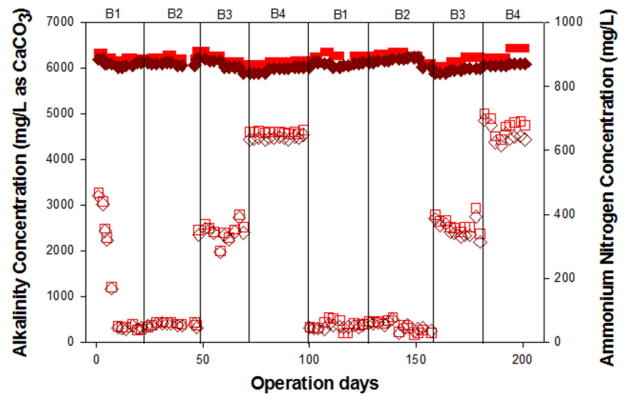
보충하였다. 실험실 반응조의 운전 조건은 SRT를 기준으로 B1 (8일), B2 (4일), B3 (2일), B4 (1일)로 구분하여 운전을 실시하였다. 초기에는 긴 SRT인 B1 조건으로 질산화를 유도한 후 점차 SRT를 줄여가며 운전을 실시하였다. 또한 알칼리도 영향을 파악하기 위해 알칼리도의 추가보충을 실시하지 않은 조건과 알칼리도의 추가 보충을 실시한 유입수를 이용하여 반응조 운전을 실시하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

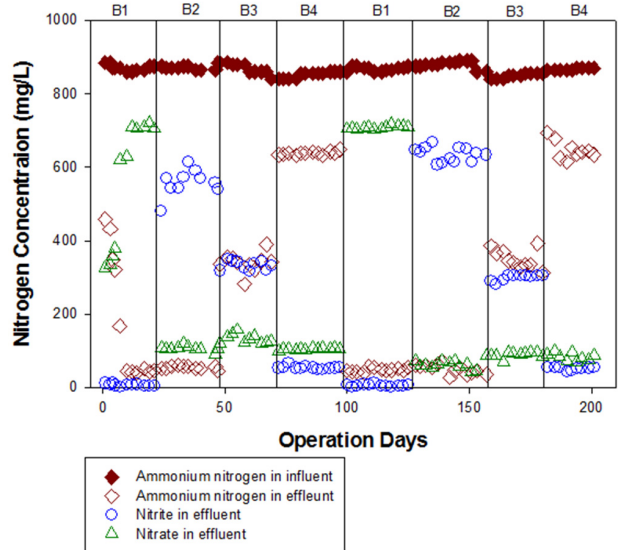
#### 3.1 실험실 규모 아질산화 반응조 운전 결과

Fig. 3는 20°C 조건에서 실험실 규모 아질산화 반응조 운전 결과를 보여주고 있다. B1 ~ B4 구간은 운전 인자 중 SRT에 따라 구분한 것이며, 초기 운전은 긴 SRT로 운전하여 질산화를 유도한 후 SRT를 감소해가며 아질산화 반응을 유도하고자 하는 연구 전략을 선택하여 실험실 반응조 운전을 실시하였다. 전체적인 암모니아성 질소의 농도는 840 mg/L ~ 890 mg/L의 범위를 보였다. Fig. 3 (a)는 유입·유출수의 암모니아성 질소 및 알칼리도의 변화를 보여주고 있으며 안정적인 암모니아성 질소 제거가 이루어진 구간에서는 알칼리도의 제거가 함께 이루어진 것을 확인할 수 있다. Fig. 3 (b)는 유입·유출수의 암모니아성 질소, 유출수의 아질산성 질소와 질산성 질소 농도를 보여주고 있다. B1 구간에서는 운전 기간 중 가장 긴 8일로 운전하였다. SRT 8일은 기존의 문헌에서 고농도 암모니아성 질소를 함유한 혐기 소화 상징액의 질산화 유도가 가능한 SRT를 참고하여 초기 운전 조건을 선정하였다(Im and Gil, 2011). 운전 초기 유출수 내에서 높은 농도의 암모니아성 질소 농도가 검출되었으나, 운전 기간이 지속됨에 따라 점차 유출수 내 암모니아성 질소 농도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 운전 초기 암모니아성 질소 제거가 원활하게 이루어지지 않았음을 보여주는 것이며, 시간이 지남에 따라 안정화가 이루어져 안정적인 암모니아성 질소의 제거가 이

루어지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 이 구간에서 유출수 내 암모니아성 질소 농도가 높은 것은 미생물의 안정화가 이루어지지 않음이며, 본 연구에서 운전한 실험실 규모 아질산화 반응조에서는 약 20일 정도의 안정화 기간이 필요한 것으로 판단할 수 있다. 안정화가 이루어진 이후 제거된 암모니아성 질소는 유출수 내 대부분 질산성 질소의 형태로 검출되었다. 이로 미루어보아 SRT 8일 조건에서는 안정적인 암모니아성 질소의 제거는 가능하지만, 아질산화 반응을 유도하기에는 적합하지 않은 조건으로 판단된다. B2 구간에서는 SRT 4일로 운전하였으며, 감소한 암모니아성 질소는 유출수 내에서 대부분 아질산성 질소의 형태로 검출되었다. 이 구간에서는 유출수 내 아질산성 질소의 농도가 가장 높은 것으로 나타나 아질산화 반응을 위해 가장 적합한 운전 조건으로 판단되었다. 이로 미루어 보아 B2 조건은 B1 조건과는 다르게 아질산화 반응을 안정적으로 유도할 수 있는 조건으로 나타났다. B3 구간에서는 SRT 2일로



(a) Alkalinity and ammonium nitrogen



(b) Ammonium nitrogen, nitrite and nitrate

Fig. 3. Operation result of laboratory scale reactor at 20°C

운전하였으며, 앞선 B1과 B2 구간과 다르게 유출수 내 암모니아성 질소 농도가 다소 증가한 반면, 감소한 암모니아성 질소는 유출수 내에서 아질산성 질소의 형태로 존재하였다. 이 후 SRT 1일로 운전한 구간에서는 유입수 내 대부분의 암모니아성 질소가 제거되지 않음을 확인하였다. 운전 100일 이 후 다시 동일한 조건으로 운전하였을 때도 운전 결과의 검증에 위한 운전에서도 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 운전 구간 별 ARE, NCE 그리고 pH의 변화를 보여주고 있다. 유입수의 pH는 질산화에 필요한 알칼리도 공급을 위해 Na(H)CO<sub>3</sub>를 유입수에 첨가함에 따라 운전기간 중 일정하게 유지된 것을 확인 할 수 있다. 또한 유출수 내 pH는 운전 기간 중 암모니아성 질소가 안정적으로 제거된 구간(B1과 B2) 제거된 알칼리도의 소비에 따라 다소 감소하는 경향을 보였다. 반면, ARE가 다소 감소한 구간(B3와 B4)에서는 유출수의 pH 변화는 크게 나타나지 않았다. 이는 짧은 SRT 조건에서 암모니아성 질소 제거가 원활하게 이루어지지 않음에 따라 알칼리도의 소비가 감소하였기 때문에 pH의 변화가 크게 나타나지 않았다. B1 구간에서는 운전 초기 낮은 ARE를 보이다가 시간이 지남에 따라 90% 이상의 안정적인 ARE를 보이는 것으로 나타났으며, NCE 역시 1% 이하의 낮은 값을 보였다. B2 구간에서는 B1 구간과 동일한 유사한 ARE값을 보인 반면 NCE는 70% 이상의 높은 값을 보였다. B3 구간에서는 앞선 구간과

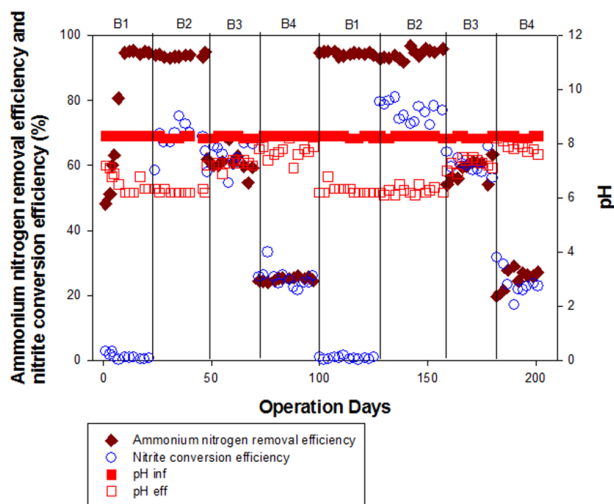


Fig. 4. Change of ammonium nitrogen removal efficiency, nitrite conversion efficiency and pH in laboratory scale reactor.

Table 2. Summary of operation result in 20°C reactor

	SRT (day)	Ammonium nitrogen removal efficiency (%)		nitrite conversion efficiency (%)	
		Range	Median	Range	Median
B1	8	48.2 ~ 95.3	94.5	0.2 ~ 2.8	0.9
B2	4	91.9 ~ 96.8	93.9	58.5 ~ 81.0	73.4
B3	2	54.0 ~ 67.9	59.9	54.7 ~ 68.1	61.5
B4	1	19.8 ~ 28.9	25.3	17.2 ~ 33.3	23.9

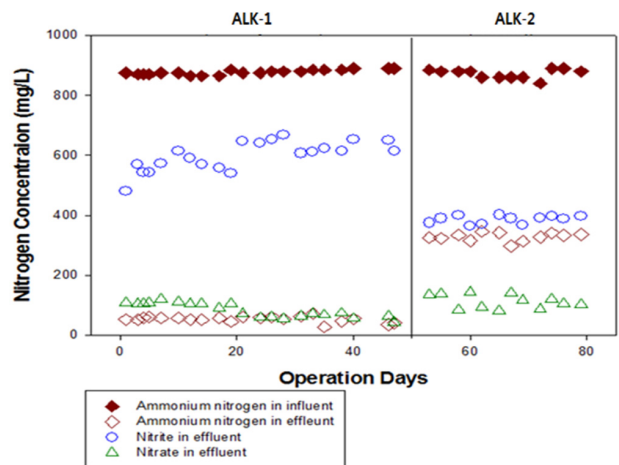


Fig. 5. Effect of alkalinity in laboratory scale reactor

다르게 ARE가 약 30% 이상 감소하여 60% 정도를 보였으며, NCE 역시 다소 감소하여 60%를 보였다. 이 후 B4 구간에서는 ARE가 30% 이하를 보이는 것으로 나타나 암모니아성 질소 제거 및 아질산화가 유도되지 않음을 확인할 수 있다. 각 구간별 운전 SRT, ARE 및 NCE는 Table 2에 요약하여 정리하였다.

Fig. 5는 아질산화 반응조에서 알칼리도의 영향을 분석하기 위해 알칼리도를 보충한 구간 (ALK-1)과 알칼리도 보충을 실시하지 않은 구간 (ALK-2)로 구분하여 아질산화 반응조 운전을 실시하였다. ALK-1 구간은 질산화에 필요한 이론적인 알칼리도를 보충하여 알칼리도 / 암모니아성 질소 비를 7.14 정도로 조절한 구간이며, ALK-2 구간은 별도의 알칼리도를 보충하지 않은 구간으로 혐기 소화 상징액 원수의 알칼리도 / 암모니아성 질소 비인 5.3으로 운전한 구간이다. 다른 운전 조건은 고효율의 아질산화 반응이 유도된 B2 구간과 동일하게 운전하였다. 알칼리도 보충에 운전 결과를 살펴보면 ALK-1과 ALK-2 모두에서 알칼리도가 소모되면서 암모니아성 질소가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 ALK-1 구간과 비교하여 ALK-2 구간에서는 유출수 내 고농도의 암모니아성 질소가 검출되었는데 이는 알칼리도의 부족으로 인해 암모니아성 질소가 산화되지 못한 것으로 판단된다. 하지만 산화된 안정적인 암모니아성 질소 제거를 보인 ALK-1에서는 제거된 암모니아성 질소의 약 70% 정도가 유출수 내 아질산성 질소로 존재하는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 암모니아성 질소 부하의 영향

Fig. 6는 암모니아성 질소 부하에 따른 ARE와 NCE를 보여주고 있다. 여기서 암모니아성 질소 부하는 유입수의 암모니아성 질소 농도와 SRT를 이용하여 계산되는데, 이는 유입수의 암모니아성 질소 농도와 SRT를 동시에 고려할 수 있는 운전 인자라고 할 수 있다. 본 연구에서는 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / d로 나타냈다. ARE의 경우 암모니아성 부하가 증가함에 따라 그 효율이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 고농도의 암모니아성 질소 농도 혹은 짧은 체류시간의 영



향으로 ARE가 감소한 것으로 해석 할 수 있다. NCE의 경우 암모니아성 질소 제거 효율에 비해 암모니아성 질소 부하에 따른 효율의 변화 형태가 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다. 낮은 암모니아성 질소 부하 (0.001 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / d) 조건에서는 낮은 NCE를 보였으며, 암모니아성 질소 부하 0.003 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / d 이 후부터 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율이 감소하는 것으로 나타났다. 특히 높은 NCE를 보이는 조건은 약 0.002 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / d 부근으로 이는 고농도 질소를 함유한 혐기 소화 상정액을 이용할 경우 아질산화 반응에 적절한 조건이라 해석할 수 있다.

Fig. 7은 암모니아성 질소 부하에 MLSS 농도를 고려한 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하에 따른 ARE와 NCE의 변화를 분석하였다. 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하는 F/M 비의 개념으로 이해할 수 있으며, kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / kg MLSS / d로 나타났다. 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하의 경우 암모니아성 질소 다소 유사한 경향을 보였다.

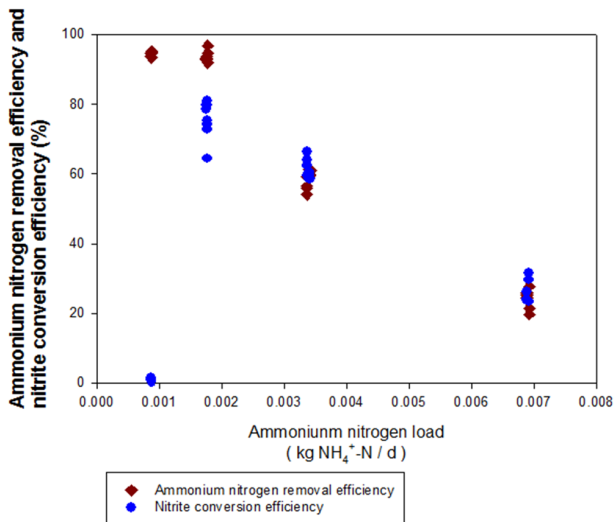


Fig. 6. Effect of influent ammonium nitrogen load in laboratory scale reactor.

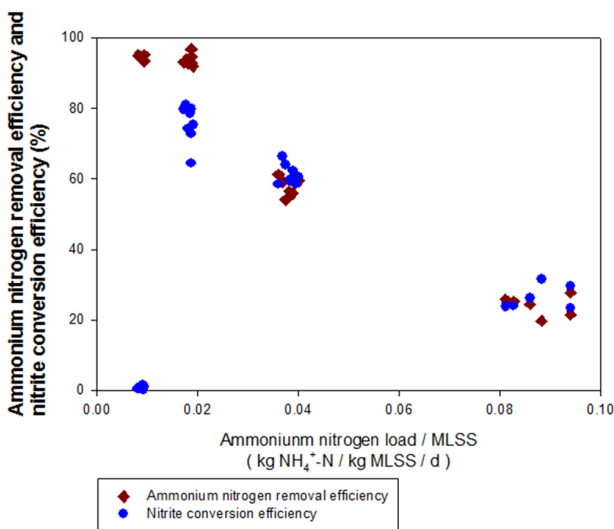


Fig. 7. Effect of influent ammonium nitrogen per unit MLSS in laboratory scale reactor.

ARE의 경우 단위 미생물 당 ammonium nitrogen load가 약 0.02 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / kg MLSS / d 이상으로 증가하면 효율이 감소하는 것으로 나타났다. 반면 아질산화율의 경우 0.02 ~ 0.04 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / kg MLSS / d 내외에서 아질산화 질소가 축적되는 것을 확인 할 수 있다. 앞서 분석을 실시한 암모니아성 질소 부하보다 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하가 실제 하수처리장 생물반응조 운전 시 보다 구체적인 자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 암모니아성 질소 부하 관리를 통해 아질산화 반응을 유도할 수 있을 것으로 판단되며, 그 중 암모니아성 질소 농도와 체류시간의 영향이 중요할 것으로 판단된다.

### 3.3 영향인자 상관성 분석

Fig. 8은 본 실험실 규모 아질산화 반응조에서 ARE, NCE와 상관성이 큰 인자를 분석하기 위한 피어슨 상관성 분석을 실시한 결과를 보여주고 있다. 분석에 사용한 인자는 앞서 세부적으로 각각 ARE와 NCE에 대해 분석을 실시한 SRT, MLSS, 암모니아성 질소 부하 (N load), 단위 미생물당 암모니아성 질소 부하 (N load per MLSS), 알칼리도와 암모니아성 질소 비 (ALK), 유입수 특성인 COD와 BOD 그리고 운전 조건인 MLSS를 이용하였다. ARE의 경우 SRT, MLSS, 암모니아성 질소 부하 및 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하와 높은 상관성을 보였다. 운전 결과를 통해 나타난 ARE의 경우 일정 체류시간과 암모니아성 질소 부하 이상을 유지할 경우 고효율의 ARE값을 보인 것으로 나타났기에 뚜렷한 상관성이 나타났다고 판단된다. 반면 NCE의 경우 앞선 영양인자 분석 결과 일정 조건을 만족시켜야 고효율의 NCE값이 나타남을 확인할 수 있다. 즉, NCE의 경우 특정 범위에서 고효율을 유도할 수 있기 때문 이기에 일차적인 피어슨 상관분석을 통해 뚜렷한 수치가 나타나지 않았던 것으로 판단된다. 하지만, 앞선 영향인자

ARE	1.000								
NCE	0.028	1.000							
SRT	0.809	-0.556	1.000						
COD	0.123	-0.210	0.199	1.000					
BOD	0.034	-0.403	0.264	0.469	1.000				
MLSS	0.764	-0.004	0.622	0.099	0.171	1.000			
NLOAD	-0.976	0.031	-0.832	-0.189	-0.059	-0.703	1.000		
NLOAD MLSS	-0.969	-0.012	-0.800	-0.201	-0.050	-0.697	0.995	1.000	
ALK	-0.710	0.093	-0.626	-0.146	-0.044	-0.553	0.741	0.774	1.000
	ARE	NCE	SRT	COD	BOD	MLSS	NLOAD	NLOAD MLSS	ALK

Fig. 8. Analysis of Pearson correlation of 20°C reactor.

분석 결과 SRT, 암모니아성 질소 부하 및 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하 변화에 NCE가 급격한 변화를 보인 것으로 나타났다. 즉, ARE와 NCE의 주요 영향 인자는 SRT, 암모니아성 질소 부하 및 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하로 해석할 수 있으며, 이는 아질산화 반응을 위한 생물반응조 운전에서 주요 영향인자로 판단된다.

#### 4. 결 론

혐기 소화 상징액을 이용한 아질산화 반응조 운전 결과 SRT 4d 이상으로 운전할 경우 고효율의 암모니아성 질소 제거율을 보였으며, SRT 4d와 2d를 제외한 다른 구간에서는 아질산화 질소의 축적이 발생하지 않았다. 영향인자 분석 결과 알칼리도의 경우 동일한 운전조건에서 알칼리도 보충을 실시하지 않은 시료가 암모니아성 질소 제거율이 낮은 것으로 나타났는데, 이는 알칼리도의 부족으로 인해 암모니아성 질소가 제거되지 않았던 것으로 판단된다. 반면, 알칼리도 부족으로 인해 암모니아성 질소 제거율이 감소한 구간에서도 아질산화 반응 유도가 가능하다는 것을 확인하였다. 암모니아성 질소 부하 0.002 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / d 그리고 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하 0.02 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / kg MLSS / d의 조건에서 아질산화 반응의 효율이 높게 나타나는 것을 확인하였으며, 이는 암모니아성 질소 농도 및 체류시간을 조절을 통해 고효율의 아질산화 반응을 유도할 수 있다는 것을 보여준다. 암모니아성 질소 제거 및 아질산화율과 각 영향인자의 상관성 분석 결과 암모니아성 질소 제거율의 경우 SRT, MLSS, 암모니아성 질소 부하 및 단위 MLSS 당 암모니아성 질소 부하가 높은 상관성을 보였다. 하지만 아질산화율의 경우 가장 높은 상관성을 보인 항목은 MLSS였지만, 암모니아성 질소 제거율과 비교하여 항목간의 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다. 이는 아질산화율의 경우 특정 범위에서 효율이 발생하는 것으로 나타났기 때문에 피어슨 상관계수를 통해 뚜렷한 상관성이 나타나지 않은 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 향후 아질산화 반응의 하수처리장 적용에 있어 효과적인 활용이 될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 사 사

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2013R1A2A2A01068579).

#### References

APHA, AWWA and WEF (1998). *Standard method for examination of water and wastewater. 20th edition*, Washington DC, US.  
 Gali, A, Dosta, J, Lopez-palau, S and Mata-alvarez, J (2008)

SBR technology for high ammonium loading rates. *Wat. Sci. & Tech.*, 58(2), pp. 467-472.  
 Gil, K, Choi, E, Yun, Z, Lee, J, Ha, J and Park, J (2002) The nomographic design approach to recycled water treatment by the nitrification process, *Wat. Sci. & Tech.*, 46(11-12), pp. 85-92.  
 Gil, K and Choi, E (2004) Nitrogen removal by recycle water nitrification as an attractive alternative for retrofit technologies in MWWTPs, *Wat. Sci. & Tech.*, 49(5-6), pp. 39-46.  
 Im, J and Gil, K (2011a) Evaluation of Nitrification of High Strength Ammonia with Variation of SRT and Temperature using Piggery Wastewater, *J. of Korean society on water environment*, 27(5), pp. 563-571. [Korean Literature]  
 Im, J, Jung, J, Bae, H, Kim, D and Gil K (2014). Correlation between Nitrite Accumulation and Concentration of AOB in a Nitrification reactor. *Environ Earth Sci*, 72, pp. 289-297.  
 Kang, S, K, Jong, S, P, Hyeon, S, H, Kyoung, H, R (2012) Characteristics of Non-point Source Runoff in Housing and Industrial Area during Rainfall. *Korean Wetlands Society*, 14(4), pp. 581-589. [Korean Literature]  
 Kim, LH, Lee, S (2005). Characteristics of Metal Pollutants and Dynamic EMCs in a Parking Lot and a Bridge during Storms. *J. of Korean society on water environment*, 21(3), pp. 248-255. [Korean Literature]  
 Lee, EJ, Son, H, Kang, HM, Kim, LH (2007). Characteristics of Non-point Pollutant from Highway Toll Gate Landuse. *J. of Korean Society of Road Engineers*, pp. 185-192. [Korean Literature]  
 Li, H B, Cao, H B, Li, Y P, Zhang, Y and Liu, H R (2010). Effect of Organic Compounds on Nitrite Accumulation during the Nitrification Process for Coking Wastewater. *Wat Sci Tech*, 62(9), pp. 2096-2105.  
 van de Graaf, A A, de Bruijn, P, Robertson, L A, Kuenen, J G and Mulder, A (1991). Biological oxidation of ammonium under anoxic conditions : ANAMMOX process. Intern. *Symp. Environ. Biotechnol.* 2. pp. 667-669.  
 van Kempen, R, ten Have, C C R, Meijer, S C F, Mulder, J W and Duijn, J O J (2001). SHARON process evaluated for improved wastewater treatment plant nitrogen effluent quality. *Wat Sci Tech*, 52(4), pp. 55-62.  
 van Dongen, U, Jetten, M C M and van Loosdrecht, M C M (2001). The SHARON-ANAMMOX process for the treatment of ammonium rich wastewater. *Wat Sci Tech*, 44(1), 153-160.  
 van Loosdrecht, M C M. and Jetten, M C M. (1998). Microbiological conversions in nitrogen removal. *Wat Sci Tech*, 38, pp. 1-7.  
 Yang, Q, Liu, X H, Peng, Y Z, Wang, S Y, Sun, H W and Gu, S B (2009). Advanced Nitrogen Removal via Nitrite from Municipal Wastewater in a Pilot-plant Sequencing Batch Reactor. *Wat Sci Tech*, 59(12), pp. 2371-2377.