하수처리장 혐기 소화 상징액과 돈사폐수를 이용한 장기간에 걸친 실험실 규모 아질산화 반응 연구

Long Term Operation of Laboratory Nitrification Reactor Using Anaerobic Digester Supernatant of Municipal Wastewater Treatment Plant and Piggery Wastewater

길경익* · 임지열**

Gil, Kyungik · Im, Jiyeol

Abstract

In this study, the laboratory scale reactor was operated for high strength ammonium nitrogen in anaerobic digestion supernatant and piggery wastewater through nitrification that is an innovative process of nitrogen removal. From the laboratory scale reactor for about 970 days, a stable nitrification was induced, and the operation factor of induced was analysed nitrification. As a result, a stable nitrification could be successfully induced from anaerobic digestion supernatant and piggery wastewaters. It appeared that nitrification wasn't affected seriously within the range of pH, Alkalinity and COD in influent. In case of SRT, it found that nitrite conversion rate was changed according to SRT condition change, so it showed that SRT had effected on nitrification. In addition, compared to ammonium nitrogen removal, it clearly revealed that nitrite conversion rates more sensitive to SRT. The conclusion in this study, it could be used as an important data when applying nitrification to municipal wastewater treatment plants(MWTPs).

Key words : Nitrification, Recycle water, Anaerobic digester supernatant, Piggery wastewater, BNR(Biological Nutrient removal), Nitrogen, ammonia

요 지

본 연구에서는 혁신적인 질소 제거 방법인 아질산화 반응을 통해 혐기 소화 상징액 및 돈사폐수에 함유된 고농도의 질소를 제거하기 위한 실험실 규모 아질산화 반응조를 운전하였다. 약 970일의 장기간에 걸친 반응조 운전을 통하여 안정적인 아질산화 반응을 유도하고, 아질산화 반응의 유도 인자를 연구하였다. 연구 결과 혐기 소화 상징액 및 돈사폐수 모두 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있었다. 유입수의 pH, Alkalinity, COD 범위 내에서 아질산화 반응은 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 반면 SRT의 경우 그 변화에 따라 아질산화율이 크게 변화하는 것으로 나타나 SRT는 아질산화 반응에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 아질산화 반응은 암모니아성 질소 제거 반응에 비해 SRT에 더 민감하게 반응하는 것으로 판단 된다. 본 논문의 연구 결과는 하수처리장에 아질산화 반응을 적용 시킬 시 중요한 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 아질산화, 반류수, 혐기 소화 상징액, 돈사폐수, 생물학적 영양소 제거, 질소, 암모니아성 질소

1. 서 론

지속적인 생활 수준의 향상과 경제 발전을 통해 삶의 질이 향상되면서, 수질 환경에 대한 시민들의 관심이 커지고 있다. 이에 따라 한국 정부는 처리수의 배출허용기준을 2012년부터 강화하는 법률을 공포하였다. 일반적인 유기물 및 부유물질만의 제거는 방류수역의 부영양화(Eutrophication)에 대한 대비 방법이 될 수 없는 실정이다. 부영양화는 수중생태계에 영양 물질이 증가하여 조류가 급속히 증식하여 수중의 용존산소(DO, Dissolved Oxygen)를 고갈시키는 현상으로 그 주요

원인은 질소(N, Nitrogen)와 인(P, Phosphorus)으로 알려져 있다. 신설되는 하수처리장 및 기존의 하수처리장에서는 질소에 의한 부영양화를 방지하기 위해 질소를 제거하는 공정을 도입하고 있다(길경익, 2006; 길경익 등, 2008; 서인석 등, 2006; 최지형 등, 2001; 최영균 등, 2003).

하수처리장의 질소 제거를 위한 방안으로 다양한 방법이 제시되고 있으나, 면적을 고려한 효율적인 방법으로 하수처리장에서 발생하는 반류수 및 하수처리장으로 연계하여 처리하는 돈사폐수에 함유된 질소를 처리하는 방안이 제시 되고 있다(길경익, 2006; 정현철, 2008; 정은호, 2006). 반류수(Recycle

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

**서울과학기술대학교 토목공학과 석사과정

water)는 하수처리장의 슬러지 처리 공정에서 발생하며, 소화 상징액, 농축조 상징액, 탈리액등을 의미한다. 기존 하수처리장에서는 발생된 반류수에 대해 하수처리장 수처리 계통으로 반송시켜 유입하수와 혼합하여 처리하는 방식을 사용하고 있다. 하지만 반류수에 함유된 고농도의 질소의 영향으로 인해 하수처리장 수처리 계통의 질소 부하를 증가시키고, 하수처리장 운영 효율에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 돈사폐수 역시 소규모의 돈사폐수 처리장을 이용하거나 인근 하수처리장으로 연계하여 처리 하고 있는 실정이다. 돈사폐수 역시 반류수와 마찬가지로 일반 하수에 비해 고농도의 질소를 함유한 것으로 보고되고 있다. 고농도의 질소를 함유한 반류수 및 돈사폐수에 질소를 제거하는 것만으로 질소에 의한 부영양화에 대해 효과적으로 대처 할 수 있을 것이다(김재호, 2008; 한동준 등, 1998).

일반적인 질소 제거 방법으로 완전 질산화에 이은 탈질 공정을 통해 질소를 제거하고 있다. 하지만 국립연구기관들을 통해 완전 질산화-탈질 반응보다 경제적인 아질산화-아탈질 공정이 연구되며 실용적인 측면에 대한 연구 결과가 발표되고 있다. 아질산화-아탈질 반응은 완전 질산화-탈질 반응에 비해 질산화 시 산소원의 25%, 탈질 시 탄소원의 40%의 절감효과를 기대 할 수 있다. 이는 다음의 식 (1)을 통해 확인 할 수 있다. 아질산화-아탈질 반응은 수중의 암모니아성 질소(NH₄-N, Ammonium nitrogen)를 질산성 질소(NO₃-N, Nitrate)로 전환되기 이전 단계인 아질산성 질소(NO₂-N, Nitrite)의 형태로 전환시킨 후 탈질을 시키는 반응이다. 아질산화 반응은 완전 질산화 반응에 비해 유도하기 어려운 것으로 알려져 있으나, 인위적인 운전 조건의 영향을 받아 유도 가능하다는 연구 결과가 발표되기도 하였다(길경익, 2006; 최지형 등, 2001; 황인수와 민경식, 2006; Dircks et al., 1999; Gali et al., 2008; Hellinga et al., 1998; Siegrist, 1996).

본 연구에서는 반류수 중 혐기 소화 상징액, 돈사폐수 그

리고 혐기 소화를 거친 돈사폐수를 대상으로 하여 장기간에 걸친 실험실 규모의 아질산화 반응조 운전을 실시하였다. 각각 시료에 대해 안정적인 아질산화 반응을 유도하여 인위적인 조작을 통해 아질산화 반응을 유도 하려 하였다. 또한 운전 기간결과를 토대로 하여 아질산화 반응 영향을 주는 인자를 분석하고 아질산화 반응을 유도할 수 있는 조건에 대한 연구를 진행하였다.

2. 연구 방법 및 장치

2.1 실험 대상 시료

실험에 사용된 혐기 소화 상징액은 서울 A, B하수처리장의 혐기 소화조에서 채취하여 사용하였다. 또한 돈사폐수는 C돈사폐수 처리장의 유입 원수와 D돈사폐수 처리장의 혐기 소화를 거친 돈사폐수를 이용하여 반응조 운전을 실시하였다. 질산화에 필요한 알칼리도가 부족함이 없도록 하기 위해 알칼리도/암모니아성 질소 비가 이론 적인 값인 7.14이상인 되도록 NaHCO₃를 유입수 내 첨가하였다. 유입되는 암모니아의 경우 돈사폐수 원수가 가장 높은 값을 보였으며 A하수처리장의 혐기 소화 상징액이 가장 낮은 값을 나타냈다. 유입수의 COD 역시 암모니아성 질소와 비슷한 경향을 나타냈다. 이는 표 1을 통해서 확인 할 수 있으며 모든 분석은 standard method에 의거하여 실시하였다(APHA, 1998).

2.2 반응조 설계

그림 1에서는 본 연구를 위해 제작된 아질산화 반응조의 모식도를 나타내었다. 반응조의 용적은 8 L로 원통형 아크릴로 제작하였다. 반응조 운전 시 온도에 의한 영향을 막기 위해 반응조 외부에 항온수조를 설치하였다. 항온수조는 히터와 냉각기를 설치하여 35°C의 일정한 온도로 유지시켜 반응조 운전기간 동안 온도변화가 없도록 하였다. 또한 질산화에 필요한 산소가 부족함이 없도록 전기 기포 발생장치를 이용하여 반응조 내부에 연속적으로 산소를 공급하였다. 또한 반응조 내부에 원활한 교반과 산소공급을 위해 교반기를 설치하여 이를 통해 반응조 유출수의 농도가 반응조 내부의 농도를 대표 할수 있도록 완전 혼합 상태가 이루어지도록 하였다. 반응조의 유입 · 유출은 동일한 시간에 실시하였으며, 시료 채취 후 분석을 실시하여 시료의 변질이 없도록 하였다.

표 1. 아질산화 반응조 유입수 성상

Parameter	Anaerobic digester supernatant		Piggery wastewater	
	A MWTP	B MWTP	Influent	Effluent of anaerobic digester from piggery wastewater
Reactor volume	8 L			
type	Batch type			
pH	7.2 ~ 7.9	7.3 ~ 7.7	7.3 ~ 8.3	7.6 ~ 8.4
Alkalinity (mg/L)	3860 ~ 7320	1690 ~ 2120	13270 ~ 14080	11860 ~ 13800
NH ₄ -N (mg/L)	610 ~ 940	220 ~ 295	1680 ~ 3940	1650 ~ 1920
TCOD (mg/L)	8820 ~ 13530	2950 ~ 5080	16840 ~ 221800	12650 ~ 14400

그림 1. 아질산화 반응조 모식도

3. 반응조 운전 결과

3.1 혐기 소화 상징액과 돈사폐수를 이용한 반응조 운전 결과

그림 2에서는 아질산화 반응조 운전 구간 1일 ~ 450일 A 하수처리장 혐기 소화 상징액의 (a) 알칼리도와 암모니아성 질소, (b) 아질산성 질소와 질산성 질소의 운전 결과를 나타내었다. 이 구간에서 부터는 운전 기간 중

질소, (b) 아질산성 질소와 질산성 질소의 운전 결과를 나타내었다. 아질산화 반응 유도 및 장기간 안정적인 아질산화 반응 유도를 위해 SRT에 변화를 최소한으로 하여 운전을 실시하였다. 운전 초기 98일 구간에서는 아질산화 반응조 안정화 구간으로 유출수의 아질산성 질소와 질산성 질소의 농도가 일정하지 않게 검출되었다. 이후 J2구간에서 부터는 안정적인 아질산화 반응이 유도되었으며, 이를 통해 약 120일 정도의 초기 운전을 통해 안정적인 반응조 상태를 유도 할 수 있었다. 반응조 안정화 이후 J1 구간에서는 제거된 암모니아성 질소가 대부분 질산성 질소로의 전환이 이루어졌으며, 이후 SRT를 감소하여 운전한 J2구간에서는 제거된 암모니아성 질소가 아질산성 질소로의 전환이 이루어 지는 것을 확인 할 수 있다. 또한 인위적으로 안정적인 아질산화 반응을 250일 이상 유도 할 수 있었으며, 이를 통해 아질산화 반응은 인위적으로 유도 가능한 반응이라 사료된다. 이는 아질산화 반응을 하수처리장에 적용 시 중요한 자료로 사용될 수 있을 것이라 판단된다. 그림 3에서는 아질산화 반응조 운전 구간 451일 ~ 748일인 B하수처리장 혐기 소화 상징액의 (a) 알칼리도와 암모니아성 질소, (b) 아질산성 질소와 질산성 질소의 운전 결과를 나타내었다. 이 구간에서 부터는 운전 기간 중

그림 2. 혐기 소화 상징액을 이용한 반응조 운전 결과(A 하수처리장 혐기 소화 상징액, 운전 기간 0~450일 구간)

그림 3. 혐기 소화 상징액을 이용한 반응조 운전 결과(B 하수처리장 혐기 소화 상징액, 운전 기간 451 ~ 748일 구간)

SRT를 다양하게 변화하면서 아질산화 반응조 운전을 실시하였다. 운전 초기 S1구간에서는 유출수의 암모니아성 질소 (Ammonium removal rate, 제거된 암모니아성 질소 농도/유입 암모니아성 질소 농도) 제거율이 84%의 높은 결과를 나타내었는데, 제거된 암모니아성 질소는 아질산성 질소의 전환이 일어나지 않고 대부분 질산성 질소로의 전환이 일어난 것

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

Period	Operation days	SRT (day)	Ammonium nitrogen removal rate (%)	Nitrite conversion rate (%)
J1	0 ~ 450	4	86	22
J2		2	82	75
S1	451 ~ 748	2	84	20
S2		1	83	80
S3		0.5	78	59
S4		0.375	21	8
S5		4	85	5

을 확인 할 수 있다. 이 후 S2 ~ S5 구간으로 SRT를 단계적으로 변화시키며 운전을 실시하였는데, S2 구간에서 암모니아성 질소 제거율은 83%를 보였으며 유출수 내 아질산성 질소의 농도도 S1구간에 비해 급증하여 80%정도의 아질산화율(Nitrite conversion rate, 유출수 아질산성 질소 농도/제거된 암모니아성 질소 농도)을 보였다. S3구간에서는 유출수의 암모니아성 질소 농도는 다소 증가하고, 아질산성 질소의 농도는 다소 감소하기 시작하였다. 하지만 암모니아 제거율 78%, 아질산화율 60%의 높은 효율을 나타내었다. S4구간에 아질산화 반응조 운전 기간 중 가장 짧은 SRT로 운전하였으며 R1~R4구간에서 보인 안정적인 암모니아성 질소 제거율도 급감하였고, 이에 따라 유출수의 아질산성 질소와 질산성 질소의 농도도 감소하였다. 이 후 운전 기간 중 가장 높은 아질산화율을 보인 S2구간으로 운전하여 인위적으로 안정적인 고효율의 아질산화 반응을 유도하였다. 100일 이상 안정적인 아질산화 반응이 유도한 후 SRT조건을 변화하여 운전하였다. S5구간에서는 S1구간 보다 긴 SRT로 운전되었는데, 안정적인 암모니아성 질소 제거를 유도 할 수 있었으나 제거된 암모니아성 질소는 질산성 질소로의 완전질산화가 이루어 졌다.

그림 4. 돈사 폐수를 이용한 반응조 운전 결과(C 돈사폐수처리장 유입 원수, D 돈사폐수처리장 혐기 소화를 거친 돈사폐수 운전 기간 749 ~ 970일 구간)

이 후 SRT를 S1 ~ S2를 조건으로 변화시키며, 인위적으로 아질산화 반응과 완전 질산화 반응을 유도해 가며 운전을 실시하였다. 아질산화 반응과 완전질산화 반응은 SRT를 조절하여 인위적으로 유도 할 수 있었으며, 긴 SRT 조건 하에서는 완전질산화가 이루어짐을 확인 할 수 있었다. 따라서 SRT의 조절을 통해 아질산화 반응을 유도 할 수 있을 것으로 판단되며, SRT는 아질산화 반응에 있어 중요한 유도 인자로 판단된다. 표 2에서는 본 연구에서 혐기 소화 상징액을 이용한 각 구간별 운전 조건 및 아질산화 반응조 운전 결과를 정리하였다.

그림 4는 반응조 운전 기간 750일 ~ 940일 구간으로 돈사폐수를 이용하여 반응조 운전 결과를 나타낸 것이다. 반응조로 유입된 돈사폐수의 경우 혐기 소화 상징액 보다 높은 농도의 암모니아성 질소를 함유하고 있어 초기 SRT를 16일로 길게하여 운전을 실시하였다. R구간은 C돈사폐수 처리장 유입 원수를 이용한 구간이며, D구간은 D돈사폐수 처리장 혐기 소화를 거친 돈사폐수를 이용하여 반응조를 운전한 구간이다. R과 D구간 역시 반응조 SRT조건에 따라 구간을 나

누어 분류하였다. 표 3에서는 돈사폐수를 이용한 반응조의 각 구간별 운전 조건과 운전 결과를 나타내었다. 운전 결과는 3.1의 혐기 소화 상징액을 이용한 아질산화 반응조의 운전

표 3. 돈사폐수를 이용한 아질산화 반응조 운전 조건 및 구간 별 Ammonium nitrogen removal rate와 Nitrite conversion rate

Period	Operation days	SRT (day)	Ammonium nitrogen removal rate (%)	Nitrite conversion rate (%)
R1	749 ~ 970	16	80	0.4
R2		8	76	48
R3		6	78	60
R4		4	44	50
R5		2	9	8
D1		8	85	5
D2		6	86	30
D3		4	87	79
D4		2	27	16

결과와 유사하게 나타났다. 혐기 소화 상징액을 대상으로 한 반응조의 유입 암모니아성 질소 농도보다 높은 농도의 암모니아성 질소가 유입되었지만, R1구간에서는 상대적으로 긴 SRT의 영향으로 인하여 안정적인 암모니아성 질소 제거가 이루어졌으며, 제거된 암모니아는 주로 질산성 질소로의 전환이 이루어졌다. 하지만 SRT를 줄인 R2구간에서는 운전 조건에 변화를 준 초기 유출수의 아질산성 질소와 질산성 질소가 혼합되어 검출되었지만, 유입수의 암모니아성 질소 농도가 감소한 이후 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있었다. 이후 점차 SRT를 줄이며 아질산화 반응조를 운전하였는데, R3구간에서는 R구간 중 가장 높은 아질산화율을 보였고 R3 이후 R4구간에서 부터는 점차 암모니아성 질소 제거율이 감소하여 R5구간에서는 그 효율이 10%이하로 감소하는 것을 확인할 수 있다. D구간 역시 R구간과 유사한 경향을 보였는데, SRT의 영향에 따라 아질산화율이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 특히 R구간에 비해서 SRT에 따른 영향이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히 R구간에 비해 높은 아질산화율을 보이는데, 이는 혐기 소화를 거쳐 유입수 내 생물학적 분해 가능한 유기물들이 제거된 것에 의한 것으로 판단된다(임수빈과 이재근, 2008; 성기달 등, 2001).

4. 운전 결과 분석

4.1 pH

그림 5에서는 운전기간 중 유입수의 pH에 따른 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율의 변화를 나타내었다. 혐기 소화 상징액과 돈사폐수의 경우 유입수의 pH는 질산화에 필요한 알칼리도 보충을 위해 인위적으로 NaHCO_3 를 첨부하였기 때문에 일정한 범위인 7.3 ~ 8.7사이로 유입되었다. 유입수의 pH 범위에서는 전반적으로 다양한 효율을 나타내었다. 기존 연구에 의하면, pH 범위 7.5 ~ 8.5가 질산화 미생물의 최적 성장 온도로 알려져 있는데, 본 논문의 결과에서는 최적 범위를 넘어선 pH에서도 고효율의 아질산화 반응이 나타났다. 이는 질산화 미생물이 안정화를 이루게되면 최적 pH 범위가

그림 5. 유입수 pH에 따른 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율의 변화

그림 6. 유입수 Alkalinity/Ammonium nitrogen ratio에 따른 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율의 변화

넓어진다는 결과로 설명될 수 있다(Painter, 1977). 본 연구에서 안정화가 이루어진 아질산화 반응조에서는 유입 pH 범위인 7.3 ~ 8.7에서는 유입수의 pH와 아질산화율과의 관계에 특별한 상관관계가 나타나지 않는 것으로 판단된다.

4.2 Alkalinity

그림 6에서는 안정화가 이루어진 아질산화 반응조의 유입수의 알칼리도/암모니아성 질소 비에 따른 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율의 변화를 분석하였다. 유입수의 알칼리도는 유입 암모니아성 질소 농도에 따라 조절하였기 때문에 알칼리도/암모니아성 질소 비가 6.8 ~ 8.5의 사이로 유입되었다. 전반적으로 유입 알칼리도/암모니아성 질소 비 내에서는 다양한 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율을 보이는 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용된 안정화가 이루어진 아질산화 반응조에서 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율은 유입 알칼리도/암모니아성 질소 비인 6.8 ~ 8.5사이에서는 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

4.3 FA and FNA

그림 7은 pH, 암모니아성 질소, 아질산성 질소의 농도를 통해 아질산화 축적의 원인을 설명할 수 있는 FA(Free Ammonia)와 FNA(Free Nitrous Acid) 그래프에 본 연구의 (a) 혐기 소화 상징액, (b) 돈사폐수의 운전 결과를 적용하였다(Anthonisen et al., 1976). 이 그래프는 각 FA와 FNA의 영향을 받는 4개의 구역으로 분류할 수 있는데 이는 다음과 같다. Zone 1(FA inhibition to *Nitrobacter* & *Nitrosomonas*): FA가 모든 질산화 미생물을 억제하는 구간, Zone 2(FA inhibition to *Nitrobacter*): FA가 *Nitrobacter*의 활성을 억제하지만 *Nitrosomonas*의 활성에 영향을 주지 않는 구간, Zone 3(Complete nitrification): 완전 질산화가 유도되는 구간, Zone 4(FNA inhibition to *Nitrobacter*): FNA가 *Nitrobacter*의 활성을 억제하는 구간으로 설명 될 수 있다. 또한 FA와 FNA는 다음의 식 (2), 식 (3)을 통해 확인 할 수 있다(길경익, 2006; Anthonisen et al., 1976).

(a) Anaerobic digester supernatant

(b) Piggery wastewater

그림 7. 아질산화와 완전질산화의 FA의 영향

$$FA \text{ as } NH_3(mg/L) = \frac{totalammonia \text{ as } N(mg/L) \cdot 10^{pH} \cdot \frac{17}{14}}{e^{\frac{6344}{273+T}} + 10^{pH}} \quad (2)$$

$$FNA \text{ as } HNO_2(mg/L) = \frac{46}{14} \times \frac{NO_2^- - N(mg/L)}{e^{\frac{-2300}{(273+^{\circ}C)}} \times 10^{pH}} \quad (3)$$

그림 7의 (a), (b)에 나타난 결과에 따르면 본 반응조의 운전 결과 Zone 1, Zone 4에 위치하는 점들이 없는 것으로 나타났다. 반면 주로 안정적인 아질산화 반응이 유도된 구간에서는 Zone 2에 위치하고, 완전 질산화가 이루어진 구간에서는 Zone 3에 위치하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 안정적인 아질산화 반응은 FA에 의해 Nitrobacter가 영향을 받아 일어난 것으로 판단된다.

4.4 COD

그림 8에서는 운전기간 중 유입수 COD에 따른 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율의 영향을 분석하였다. 운전 기간 동안 유입수의 COD는 3000~23000 mg/L의 범위로 유입

그림 8. 유입수 COD에 따른 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율의 변화

되었으며, 실 폐수를 대상으로 아질산화 반응조 운전을 실시하였기 때문에, 인위적인 COD조절은 실시하지 않았다. 돈사 폐수의 경우 혐기 소화 상징액보다 높은 COD가 유입되었다. 암모니아 제거율의 경우 전체적으로 50%이상의 값을 보였는데 이는 유입수의 COD에 의한 영향 보다는 SRT에 대한 영향이 큰 것으로 판단된다. 반면 아질산화율의 경우 전체적으로 유입수의 COD와 큰 영향을 보이지 않는 것으로 나타났다. 본 아질산화 반응조의 유입 COD 범위인 3000~23000 mg/L의 범위에서는 암모니아 제거율과 아질산화율은 COD의 영향을 크게 받지 않는 것으로 판단된다.

4.5 SRT

그림 9는 SRT에 따른 암모니아성 질소 제거율과 아질산화

(a) Anaerobic digester supernatant

(b) Piggery wastewater

그림 9. SRT에 따른 암모니아성 질소 제거율과 아질산화율의 변화

을 간의 관계를 나타내었다. 각 각의 유입수 마다 다른 SRT의 범위를 가지지만, 모두 유사한 특징을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 암모니아성 질소 제거율의 경우 일정 SRT이상으로 운전되며 안정적인 암모니아성 질소 제거율을 보이는 것을 확인할 수 있다. 반면 아질산화율의 경우에는 아질산화 반응을 유도시킬 수 있는 SRT를 유지시켜야만 그 효율을 기대 할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 돈사폐수의 경우 혐기 소화 상징액에 비해 상대적으로 긴 SRT를 욕구하는 것으로 분석되었는데, 이는 돈사폐수 내 암모니아성 질소 및 COD의 농도가 혐기 소화 상징액에 비해 높은 농도로 유입된 것에 의한 것으로 판단된다. 이를 통해 아질산화 반응은 암모니아 제거에 비해 SRT에 민감하게 반응하는 것으로 판단되며, SRT는 아질산화 반응을 유도하는데 있어서 중요한 인자로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 장기간에 걸친 실험실 규모 아질산화 반응조 운전을 통하여 다음과 같은 연구 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 인위적으로 250일 이상 연속적인 아질산화 반응을 유도할 수 있었다. 이를 통해 아질산화 반응은 인위적인 조작을 통해 안정적으로 유도 할 수 있는 반응으로 나타났다.
- 2) SRT조절을 통해 아질산화 반응과 완전 질산화 반응을 유도 할 수 있었다. 이는 SRT는 아질산화 반응에 관련된 중요한 유도 인자로 판단된다. 반면 반응조 운전기간 동안 유입수의 pH, 알칼리도, COD는 아질산화 반응과 큰 관계가 없는 것으로 나타났다.
- 3) FA가 Nitrobacter에 영향을 주어 아질산화성 질소의 축적이 일어나는 것으로 나타났다. FA는 아질산화 반응에 있어서 중요한 요인으로 판단된다.
- 4) 암모니아성 질소 제거 반응은 일정 SRT이상을 유지시켜 주면 안정적으로 유도 될 수 있었다. 반면 아질산화 반응은 일정 SRT를 유지시켜야 유도되는 것으로 판단된다. 이를 통해 아질산화 반응은 암모니아성 질소 제거 반응에 비해 SRT에 더 민감하게 반응하는 것으로 판단된다.

본 연구에서 나타난 결과는 아질산화 반응을 하수처리장 및 돈사폐수 처리장에 적용시킬 때, 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 길경익 (2006) 하수처리장 혐기성 소화조 상징액의 아질산화 반응 연구, **한국물환경학회지**, 제22권, 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.
- 김재호 (2008) **가축 분뇨 자원화에 관한 연구**, 석사학위 논문, 경북대학교.
- 서인석, 김홍석, 김연권, 김지연 (2006) 교대연속유입식 SBR 공정을 이용한 하수중의 질소 및 인 제거, **한국물환경학회지**, 제22권, 제2호, pp. 203-208.
- 정현철 (2008) **액상부식법에서 가축분뇨 처리시설의 유지관리에 관한 연구**, 석사학위 논문, 경상대학교.
- 정은호 (2006) **SMBR System에서 SRT 변화에 따른 유기물 제거 특성 및 질소 반응속도에 관한 연구**, 석사학위 논문, 동아대학교.
- 최지형, 이용우, 윤주환 (2001) 생물학적 아질산화-아탈질을 이용한 슬러지 처리공정 반류수 내 고농도 질소 제거, **대한환경공학회지**, 제23권, 제3호, pp. 371-381.
- 최영균, 김규동, 김희준, 김윤중, 정태학 (2003) 미생물 호흡률 분석에 의한 하수의 유기물 분포, **대한상하수도학회지**, 제17권, 4호, pp. 503-509.
- 한동준, 류재근, 임연택, 임재명 (1998) 생물학적 영양염류 제거를 위한 돈사폐수의 반응특성, **대한환경공학회지**, 제20권, 제3호, pp. 371-385.
- 황인수, 민경식 (2006) 돈사폐수의 혐기성 질소제거에 있어서 온도의 영향 : 낮은 현장 온도범위에서의 활성, **한국물환경학회지**, 제22권, 제2호, pp. 258-263.
- Antonisen, 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 examination 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.
- 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.
- 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