유입수 유기물 성상이 반류수와 가축분뇨 아질산화 반응에 미치는 영향

Effect of Influent COD Fraction on Nitritation from Wastewater and Piggery wastewater

길경익* · 임지열**

Gil, Kyungik · Im, Jiyeol

Abstract

BNR process is an effective method to remove high strength nitrogen included in wastewater and piggery wastewater. There have been many former studies about the induction of nitritation which have many advantages than full nitrification and the impacting factors on nitritation. Especially, it is reported that organic matter has a relation with nitritation. In this study, laboratory scale reactor was operated using effluent of anaerobic digester, piggery wastewater and anaerobic digester effluent of piggery wastewater. After analyzing the operating results, the impact of organic matter on nitritation was analyzed by classified COD fractions. It was showed that nitritation is affected by organic matter especially by Ss. In conclusion, organic matter should be managed not just as a single gross parameter but in a classified form.

Key words : Nitritation, Nitrite, Organic matter, COD fraction

요 지

BNR공정은 반류수와 가축분뇨에 포함된 고농도의 질소를 제거하는데, 효과적인 공정이다. 특히 고농도의 질소제거에 있어서 완전질산화 반응에 비해 이점을 가지는 아질산화 반응을 유도하고 영향을 미치는 인자들에 대해 다양한 연구결과가 보고되었다. 그 중 유기물의 영향에 대해 많은 연구가 이루어졌는데, 유기물은 아질산화 반응에 관련이 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 반류수 중 혐기 소화 상정액, 가축분뇨, 혐기 소화를 거친 가축분뇨를 이용하여 실험실 규모의 아질산화 반응조를 운전하였다. 운전 결과를 분석하여, 아질산화 반응에 유기물이 미치는 영향에 대해, 유기물 성상에 따라 분석하였다. 분석 결과 아질산화 반응은 유기물에 영향을 받으며, 유기물 성분 중 S_s 에 대해 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났다. 따라서 유기물을 하나의 성분으로 보지 않고 그 형태에 따라 세분화하여 관리해야 한다.

핵심용어 : 질소, 아질산염, 유기물, 유기물 성상

1. 서 론

부영양화(Eutrophication)는 수중 생태계에 다량의 영양염류(Nutrient)가 유입되어 조류가 급격하게 증가하는 현상으로, 조류가 증식하게 되면 결과적으로 용존산소(DO, Dissolved Oxygen)가 감소하게 되어 수질악화를 초래하는 것으로 알려져 있다. 특히 질소(N, Nitrogen)는 부영양화를 유발시키는 대표적인 물질로 알려져 있다. 최근 신설되는 하수처리장은 물론 기존 하수처리장에서도 개조를 통해 BNR(Biological Nutrients Removal, 생물학적 영양소 제거)공정을 도입하여 질소관리에 관심을 두고 있다(서인석 등, 2006). 일반적인 생

물학적 질소제거 공정은 산소를 이용하여 암모니아를 nitrite, nitrate로 산화시킨 후 탈질과정을 거쳐 질소가스로 환원시키는 완전질산화-탈질 공정을 사용하고 있다. 고농도의 질소제거를 위한 지속적인 연구와 기술 개발을 통해 암모니아를 nitrite로 산화시킨 뒤 질소가스로 환원시키는 아질산화-아탈질 공정에 대해 많은 결과가 발표되었다(길경익, 2006; Mulder et al., 2001). 아질산화-아탈질 공정의 장점으로는 완전질산화-탈질에 비해 산소원과 탄소원을 적게 소모하고, 탈질과정에서 속도가 빠른 것으로 알려져 있다. 고농도의 질소를 아질산화-아탈질 공정으로 제거 하기위해 반류수와 가축분뇨를 이용한 많은 연구결과가 발표 되었고, 연구가 진행되어왔다

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

**서울과학기술대학교 토목공학과 석사과정

(Strous, 1997; Ruiz et al., 2003; 길경익, 2006; Hellinga et al., 1998). 반류수의 경우 하수처리장 슬러지 처리 공정에서 발생하며, 하수처리장 유입량의 약 1~3%정도 발생하여, 수처리 공정으로 반송되어 하수처리장 유입수와 함께 처리되며 이는 하수처리장의 질소 부하를 최대 70%이상 증가시키는 것으로 알려져 있다. 또한 가축분뇨의 경우에도 그 발생량은 국내 오·폐수 발생량의 0.6%에 불과하지만 하지만 질소 부하는 약 26%정도 증가시키는 것으로 보고되고 있다(오성모 등, 2007; 최지형 등, 2001; 최의소와 황호재, 1993). 발생하는 가축분뇨의 경우 하수처리장으로 보내거나 가축분뇨 처리장 등을 통해 처리하고 있다. 반류수와 가축분뇨는 공통적으로 그 발생 유량은 미비하지만, 고농도의 질소를 함유하고 있어 하수처리장 운전 및 효율에 악영향을 불러 올 수 있다. 그렇다면 제대로 질소를 제거하지 않고 수계로 유입되게 된다면 수중 생태계에 큰 위험을 가져올 수 있다.

2000년 IWA의 발표에 따르면, 유기물을 특징에 따라 세분화 하여 SI(Soluble inert COD), S_s (Readily biodegradable COD), X_s (Slowly biodegradable COD), X_i (Suspended inert COD)로 구분하였다. 유기물은 생물학적 질소제거에 영향을 미친다는 다양한 연구가 진행되고 결과가 보고되고 있다(노해연과 길경익, 2007; 류홍덕과 이상일, 2006; 임수빈과 이재근, 2008; 성기달 등, 2001; 최영균 등, 2003). 하지만 하수 내 유기물을 세분화하여 유기물 형태에 따른 연구는 미비한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 고농도의 질소를 포함한 반류수 중 혐기 소화 상정액, 가축분뇨 원수, 혐기 소화를 거친 가축 분뇨를 대상으로 안정적인 아질산화 반응 유도 조건을 도출하고, 유입원수의 유기물 성상이 아질산화 반응에 미치는 영향에 대해 연구하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 실험장치 및 방법

유입수 내 유기물 성분 분석은 미생물이 유기물을 분해하는데 소모하는 산소소모율(호흡률)을 이용하여 분석하는 OUR(Oxygen Uptake Rate)-Test로 측정하였다. 유기물 성분 분석을 위해 미생물의 산소소모율을 이용하는 것은 기존의

Fig. 1. Schematic diagram of OUR-Test.

연구에서 효과적인 방법으로 보고되고 있다(Dricks et al., 1999). 실험에 사용된 OUR-Test 장치는 Fig. 1에 나타난 것처럼 3 L의 포기조와 500 ml의 DO 측정부로 구성되어 있다. 포기조 내 활성슬러지는 내생호흡 상태에 이르게 하여 사용하였고, 유량조절 펌프를 이용하여 DO측정부로 유입·반송을 시켰다. 초기에는 5분 간격으로 측정을 하였고, 산소소모율 변화가 적어지는 시기부터는 측정 간격을 길게 하여 측정하였다. 외부 공기의 유입 및 접촉을 막기 위해 DO측정부는 외부와 밀폐시켰으며, 질산화 방지제인 ATU(1-Allyl-ethiourea)를 첨가하여 질산화로 인해 DO가 소모되는 것을 방지하였다(노해연, 2007).

Fig. 2는 실험에 사용된 아질산화 반응조의 모식도와 실제 사진이며, Batch type으로 운전되었다. 항온수조를 이용하여 35°C로 일정하게 유지하였으며, 8 L의 원통형 이크릴로 제작하였다. 반응조 내부에 믹서를 장치하여 유출수의 농도가 반응조의 농도를 대표할 수 있는 완전혼합 상태가 이루어지도록 하였다. 반응조 바닥에 설치한 산기기를 이용하여 연속적으로 반응조 내부에 산소를 공급하였으며 매일 일정한 시간에 원수의 유입·유출을 실행하였다.

반응조 유입·유출수에 대한 실험은 암모니아는 Nessler's method를 통해 DR2800(HACH company)으로, nitrite, nitrate는 Ion chromatography(Dionex ICS-1000), pH와 DO는 pH meter(Accumet-AB15), DO meter(YSI-550A)를 이용하여 측정하였다. 또한 알칼리도와 COD는 Standard methods

Fig. 2. Schematic diagram of lab scale nitrification reactor.

(APHA, 1998)의 Titration method (2320 B), closed reflux colorimetry(5220 D)을 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

2.2 실험대상 시료

실험실 규모 반응조는 A 하수처리장의 혐기 소화 상징액, Y 가축분뇨처리장 원수, H 가축분뇨처리장의 혐기 소화를 거친 가축분뇨를 대상으로 운전하였다. 이질산화 반응조 내로 유입되는 소화조 상징액의 성상은 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 나타난 바와 같이 운전기간 동안 암모니아의 평균 유입되는 농도는 225 mg/L로 나타났다. 또한 원수 내 알칼리도가 부족하여 인위적으로 NaHCO_3 를 첨가하여 질산화 필요한 Alkalinity/ NH_4 ratio를 이론적인 값인 7.14 이상으로 보충해 주어 질산화에 부족함이 없도록 하였다.

3.1 유입수의 유기물 성상

Fig. 3에서는 반응조로 유입되는 혐기 소화 상징액, 가축분뇨 원수와 혐기 소화를 거친 가축분뇨의 OUR-Test를 통한 유기물 성상 분석 결과를 나타내었다. 유입수의 유기물 성상 분석을 통해 각 반응조 유입수의 유기물 특성을 파악하였다. 분석 결과 혐기 소화 상징액과 혐기 소화를 거친 가축분뇨는 Fig. 3에 (a), (c)에 나타낸 것처럼 대부분 분해 불가능한 유기물로 구성되어 있으며, 특히 S_1 성분으로 많이 존재하는 것으로 나타났다. Fig. 3의 (b)에서 나타낸 가축분뇨 원수의 경우 생물학적으로 분해 가능한 유기물로 존재하였으며 X_5 성분이 가장 많은 부분을 차지하고 있었다. 각 세부적인 유입수

Table 1. Characteristics of influent nitrification reactor

Parameter	Anaerobic digester		Piggery wastewater		Anaerobic digester from Piggery wastewater	
	Concentration ranges	Average	Concentration ranges	Average	Concentration ranges	Average
pH	7.2~8.3	7.7	7.5 ~ 8.7	8.3	7.6 ~ 8.4	7.9
Alkalinity	1500~1940	1680	12400~18740	13850	11860~13800	12640
Ammonia	186~246	225	1680~3940	2770	1650~1920	1830
COD	2830~4740	3920	11520~16840	14955	12650~14420	13480

*All units in mg/L, except pH and alkalinity in mg/L as CaCO_3

Fig. 3. Characteristic of influent wastewater: (a) anaerobic digester (b) piggery wastewater (c) anaerobic digester from piggery wastewater.

Table 2. Organic matter fractions in influent wastewater

Influent	S _i (%)	S _s (%)	X _s (%)	X _i (%)
Anaerobic digester	71.7	11.7	6.9	9.7
Piggery wastewater	17.9	29.1	45.1	7.8
Anaerobic digester from piggery wastewater	55.1	5.2	9.4	30.3

의 유기물 성상은 Table 2에 나타냈다. 유기물 성상으로 살펴 볼 때, 혐기 소화를 거치며 폐수 내 S_s와 X_s성분은 대부분 제거 되는 것으로 판단된다.

3.2 반응조 운전 결과

Fig. 4, Fig. 5. 및 Fig. 6는 혐기 소화 상등액, 가축분뇨 원수, 혐기 소화를 거친 가축분뇨를 이용한 아질산화 반응조를 운전한 결과로 유입수 암모니아, 유출수의 암모니아,

nitrite 및 nitrate의 농도를 보여주고 있다. 운전 기간 구분은 SRT를 기준으로 하여 구분을 하였다. Table 3에서는 운전기간 동안 각 구간 별 SRT, 암모니아 제거율과 아질산화율을 확인 할 수 있다. Fig. 4에서는 혐기 소화 상등액을 이용한 운전결과로 암모니아 제거는 R3, R4 구간을 제외한 구간에서 안정적인 효율을 나타냈다. R1, R2, R5구간을 비교해 보면, 안정적인 암모니아 제거효율을 보였지만, R2구간에서만 제거된 암모니아가 유출수내 nitrite로 전환이 이루어지며, 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있었다. R1, R5구간에서 R2구간보다 상대적으로 긴 SRT의 영향으로 인해 제거된 암모니아가 유출수 내 nitrate로의 전환이 일어난 것으로 판단된다.

가축분뇨 원수를 이용한 아질산화 반응조 운전은 Fig. 5를 통해 나타냈다. 반류수에 비해 암모니아가 높은 농도로 유입되었으며, 특히 운전 초기 40일 간은 4000 mg/L의 특히 높

Fig. 4. Operation result of Anaerobic digester reactor.

Fig. 5. Operation result of piggery wastewater reactor.

Fig. 6. Operation result of Anaerobic digester from piggery wastewater reactor.

Table 3. SRT, ammonia removal rate, nitrite conversion rate operation period

Influent	Period	SRT (day)	Ammonia removal rate (%)	Nitrite conversion rate (%)
Anaerobic digester	R1	2	91	28
	R2	1	92	75
	R3	0.5	72	56
	R4	0.375	24	18
	R5	4	84	3
Piggery wastewater	P1	16	81	1
	P2	8	78	46
	P3	6	77	58
	P4	4	44	49
	P5	2	12	26
Anaerobic digester from Piggery wastewater	D1	8	85	10
	D2	6	87	35
	D3	4	86	78
	D4	2	23	40

은 유입 농도를 보였다. P2구간으로 운전조건을 변경시키자 점차 유출수의 nitrite농도가 증가하며, nitrate농도가 감소하는 경향을 보였다. P4, P5구간을 제외하곤 안정적인 암모니아 제거를 보인 것으로 나타났다. 아질산화 반응은 P3구간에서만 50% 이상의 효율을 나타냈다.

Fig. 6는 혐기 소화를 거친 가축분뇨에 대해 반응조 운전 결과를 나타낸 것이다. 유입 암모니아의 농도는 가축분뇨 원수보다 다소 낮은 농도가 유입되었으나 혐기 소화 상등액보다 높은 농도로 유입되었다. 암모니아 제거는 D1 ~ D3구간에서 안정적으로 일어났으며, D4구간에서만 제거가 원활하게 이루어지지 않았다. D1에서 D3구간으로 운전 조건에 변화를 주어 운전하자 유출수 내 nitrite의 농도가 점차 증가하는 경향을 보였다. D1, D2구간에서는 긴 SRT의 영향으로 인해 아질산화 반응이 유도되지 않은 것으로 판단된다. D3구간에

서는 운전 기간 중 가장 높은 아질산화율을 보이는 것으로 나타났다. 반응조 운전을 통해 세 종류의 실험 대상 유입수에 대해 안정적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있었으며, 각각 아질산화 반응을 유도 할 수 있는 SRT조건을 찾아 낼 수 있었다.

3.3 유기물 성상에 따른 반응조 운전 결과 분석

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10에서는 각 반응조 운전 기간 중 가장 안정적인 아질산화 반응이 유도된 구간에서 유기물 성상에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율을 비교·분석 하였다. Fig. 7은 유입수의 용존상 유기물(Soluble organic matter)과 입자성 유기물(Suspended organic matter)의 비에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율을 나타내었다. 혐기 소화 상등액 80%이상, 가축분뇨 원수 40~60%, 혐기 소화를 거친 가축분뇨의 경우 60~70% 정도 유기물이 용존 상태로 유입되었다. Fig. 7에 결과에 따르면 용존상으로 존재하는 유기물이 많을수록 암모니아 제거율과 아질산화율이 높게 나타났고, 아질산화율은 암모니아 제거에 비해 그 효율변동이 크게 나타났다.

Fig. 8는 각 유입수 내 유기물 중 BDCOD(생물학적 분해 가능한 유기물, Biodegradable organic matter)와 NBDCOD(생물학적 분해 불가능한 유기물, Nonbiodegradable organic matter)의 비에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율을 보여준다. 혐기 소화 과정을 거친 유입수는 20% 내외, 가축분뇨 원수의 경우에는 유기물의 60%이상이 유입수 내 BDCOD의 형태로 유입되었다. 유입수의 유기물 중 BDCOD의 비에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율은 BDCOD가 적을 경우, 높은 효율을 보였다. 또한 아질산화율의 경우 암모니아 제거율보다 BDCOD에 대해 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 BDCOD, NBDCOD를 구성하고 있는 S_s , S_i 와 의 상대적 분포에 대해 암모니아 제거율과 아질산화율을 분석하였다. 유입수의 S_s /BDCOD 경우 20~80%사이로 유입되었으며, S_i /NBDCOD는 45~90%로 유입되었다. S_s /BDCOD,

(a)

(b)

Fig. 7. Effect of soluble organic matter rate: (a) ammonia removal (b) nitrite conversion.

(a)

(b)

Fig. 8. Effect of biodegradable organic matter rate: (a) ammonia removal (b) nitrite conversion.

(a)

(b)

Fig. 9. Ammonia removal, nitrite conversion of the reactor: (a) $S_s/BDCOD$ (b) $S_i/NBDCOD$.

$S_i/NBDCOD$ 모두 암모니아 제거율 및 아질산화율과 양의 상관관계를 나타냈다. 즉 유입수의 BDCOD 중 S_s 로 존재하는 성분, NBDCOD 중 S_i 로 존재하는 성분이 많을수록 높은 효율의 아질산화 반응을 유도하는데 유리한 것으로 나타났다.

며, 이는 BDCOD 중 X_s 로 존재하는 성분, NBDCOD 중 X_i 로 존재하는 성분이 많을수록 아질산화 반응을 유도하기 유리할 것으로 보인다. 이는 생물학적 분해 가능한 유기물이 적으면 효율적인 아질산화 반응을 유도 할 수 있을 것이라는

Fig. 10. Ammonia removal, nitrite conversion of the reactor: (a) S_i /COD (b) S_s /COD (c) X_s /COD (d) X_i /COD.

기존의 연구결과와 부합하는 결과를 보였으며, 상대적으로 용존상으로 존재하는 유기물질이 많은 경우 고효율의 아질산화 반응을 기대 할 수 있을 것으로 보인다(임수빈과 이재근, 2008; 성기달 등, 2001).

Fig. 10은 유기물을 S_i , S_s , X_s , X_i 로 분류하여 유입수 내 각 성상에 따른 암모니아 제거율과 아질산화율을 나타냈다. 유입수 내 S_i , S_s , X_s , X_i 성분 구성의 변화에 따라 암모니아율과 아질산화율은 변동을 보였다. S_i , X_i 성분으로 유입되는 유기물이 증가할수록 암모니아 제거율과 아질산화율은 증가하는 경향을 나타냈고, S_s , X_s 성분의 경우 유입되는 유기물이 적을수록 암모니아 제거율과 아질산화율이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 추세선(Trend line)의 결정계수(Coefficient of determination, R^2)가 1에 가깝다는 것은 두 요소간에 상관성이 높다는 것, 즉 영향을 많이 미친다는 것으로 정의 할 수 있는데, 본 연구결과 유입수의 S_i , S_s , X_s , X_i 성분 중 S_s 성분의 비와 아질산화 반응과의 결정계수가 가장 1에 가까운 값을 보였다. 이는 유기물 중 S_s 성분이 아질산화 반응에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 결 론

혐기 소화 상징액, 가축분뇨 원수 그리고 혐기 소화를 거친 가축분뇨를 대상으로 유기물 성상 분석 및 아질산화 반응을 운전한 결과 다음 결론을 도출하였다.

- 1) 혐기 소화를 거친 시료에 대해 80%이상의 유기물이 NBDCOD로 존재하고, S_i 성분으로 가장 많은 부분을 차지하고 있었다. 가축분뇨의 원수의 경우 X_s 성분이 가장 많은 부분을 차지하고 있었으며, 70%이상 BDCOD로 존재하고 있었다.
- 2) 아질산화 반응조 운전 결과 고효율의 아질산화 반응을 유도 할 수 있는 SRT는 혐기 소화 상징액 2일, 혐기 소화를 거친 가축분뇨 4일, 가축분뇨 원수 6일로 나타났다. 이를 통해 혐기소화 거친 폐수를 이용하여 아질산화 반응을 유도하는 것이 유리할 것이라 판단되며 이는 폐수 내 함유된 생물학적 분해 가능한 유기물의 영향에 의한 것으로 보인다.
- 3) 유입수의 유기물 성상에 따라 아질산화 반응은 영향을 받는 것으로 나타났다. 용존상 유기물, NBDCOD로 존재하는 유기물이 많을수록 효율이 증가하였고, S_s 성분에 의한 변화가 크게 나타났다. 따라서 효율적인 아질산화 반응 유도를 위해선 유입수 내 존재하는 유기물을 세분화하여 관리해야 할 것이며, 실제 하수처리장 적용 시에 고려되어야 할 사항으로 판단된다.

참고문헌

길경익 (2006) 하수처리장 혐기성 소화조 상징액의 아질산화 반응 연구, 수질 보전 한국물환경학회지, 제22권, 제3호, pp.

- 540-545.
- 노해연, 길경익 (2007) 시뮬레이션 기법을 이용한 기존 BNR공정의 C/N비 변화에 따른 운전조건 최적화, **수질보전 한국물환경학회지**, 제23권 3호, pp. 367-370.
- 노해연 (2007) 시뮬레이션 기법을 이용한 기존 BNR공정의 운전조건 최적화, 서울산업대학교 석사학위 논문.
- 류흥덕, 이상일 (2006) 온도가 MLE 및 M-Dephanox 공정의 유기물, 질소 및 인 제거 효율에 미치는 영향, **수질보전 한국물환경학회지**, 제 22권 1호, pp. 7-16.
- 서인석, 김홍석, 김연권, 김지연 (2006) 교대연속유입식 SBR 공정을 이용한 하수중의 질소 및 인 제거, **수질보전 한국물환경학회지**, 제 22권 2호, pp. 203-208.
- 성기달, 류원률, 김인환, 조문환 (2001) BACC를 이용한 축산폐수의 암모니아성 질소 및 유기물의 제거, COD/N비가 질소 및 유기물 제거에 미치는 영향, **한국생물공학학회지**, 제16권, 2호, pp. 140-145.
- 오성모, 김문호, 배운선, 박철휘 (2007) 이상혐기공정의 축산폐수 공공처리시설 적용 가능성에 관한 실험적 연구, **대한상하수도학회지**, 제 21권, 3호, pp. 331-339.
- 임수빈, 이재근 (2008) 연속회분식 공정에서 COD부하에 따른 질산화/탈질을 및 유출질소 분류, **수질보전 한국물환경학회지**, 제 24권 1호, pp. 30-35.
- 최의소, 황호재 (1993) 하수처리장 반송수로부터의 영양소 제거에 관한 연구, **수질보전 한국물환경학회지**, 제9권, 4호, pp. 201-207.
- 최지형, 이용우, 윤주환 (2001) 생물학적 아질산화-아탈질을 이용한 슬러지 처리공정 반류수 내 고농도 질소 제거, **대한환경공학학회지**, 제23권 3호, pp. 371-381.
- 최영균, 김규동, 김희준, 김윤중, 정태학 (2003) 미생물 호흡률 분석에 의한 하수의 유기물 분류, **대한상하수도학회지**, 제17권 4호, pp. 503-509.
- APHA, AWWA and WEF (1998). Standard Method for Examination of Water and Wastewater. 20th edition, Washington D.C., U.S.A.
- 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.
- 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, *Wat. SA.*, Vol.25. NO.1. pp. 91-114.
- IWA Task Group on mathematical modeling for design and operation of biological wastewater treatment. (200) *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*, IWA publishing
- Mulder, J.W., van Loosdrecht, M.C.M., Hellinga, C. and van Kempen, R. (2001) Full Scale Application of the SHARON Process for Treatment of Rejection Water of Digested Sludge Dewatering, *Wat Sci Tech*, Vol.43. NO.11. pp. 127-134
- Ruiz, G., Jeison, D. and Chamy, R. (2003). Nitrification with high nitrite accumulation for the treatment of wastewater with high ammonia concentration. *Wat. Sci. Tech*, Vol.37. pp. 1371-1377.
- Siegrist, H. (1996) Nitrogen removal from digester supernatant: comparison of chemical and biological methods, *Wat Sci Tech*, Vol.34. 399-406
- Strous, M., van Gerven, E., Zheng, P., Kuenen, J. G. and Jetten, M. S.M. (1997) Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (ANAM-MOX) process in different reactor configurations. *Wat. Res*, Vol.31, No.8. pp. 1962-1988.

◎ 논문접수일 : 10년 12월 09일
 ◎ 심사의뢰일 : 10년 12월 10일
 ◎ 심사완료일 : 10년 12월 16일