

고율 혐기성 공정과 아질산-아탈질을 연계한 수산물가공폐수의 질소제거

최용범 · 강동구 · 박상성 · 엄기현* · 임재명 · 권재혁†
강원대학교 환경공학과, *(주)거화

Removal of Nitrogen in Seafood Processing Wastewater Using High-rate Anaerobic Process and Nitritation-denitritation

Yong-Bum Choi, Dong-Gu Kang, Sang-Sung Park, Ki-Hyun Eum*,
Jay-Myung Rim, and Jae-Hyoun Kwon†

Department of Environmental Engineering Kangwon National University, Samcheok, Korea
*Kuwha Co., Ltd., Gangmung 210-801, Korea

ABSTRACT

Objectives: Organic matter and nitrogen were removed using the EGSB process, a high-rate anaerobic process, in combination with a nitritation-denitritation process, in order to ensure the stable treatment of seafood processing wastewater.

Methods: The upflow velocity of an EGSB reactor was operated at 10 m/hr for maximal organics removal efficiency. For removal of nitrogen from seafood processing wastewater a nitritation-denitritation process was applied

Results: The efficiency of the EGSB process showed that it has an 80% or more organic matter (COD_{cr}) removal efficiency with an HRT of six hours or more at influent loadings of 17.34 kgCOD/m³/day or less. The methane product for TCOD_{cr} removal was 0.23-0.38 m³CH₄/kgCOD_{rem.}, which was similar to the theoretical generation of STP-state methane, 0.35 m³CH₄/kgTCOD_{rem.} In the nitritation-denitritation process, the nitritation conversion rate to NH₄⁺-N concentration was 82% to 87%, 72% to 81% and 64% to 69% when HRT was 24 hr, 21 hr and 18 hr, respectively. In the denitritation process, the ratio of SCOD consumption to NO_x-N removal ranged from 2.347 to 2.587. It was 2.472 on average.

Conclusions: The optimal HRT for stable processing of seafood processing wastewater is six hours or more. The ratio of nitrite to total NO_x-N was 82% to 96%, which indicates that nitrite accounts for the largest portion of the product.

Key words: Denitritation, EGSB, Nitritation, Seafood processing wastewater

I. 서 론

수산물 가공공정에서 배출되는 폐수는 세척, 해동, 청소수가 대부분을 차지하나 자숙, 탈수 과정에서는

고농도의 유기물과 질소가 배출된다. 또한 염장 및 탈염공정에서 발생하는 염분은 생물학적 처리를 어렵게 하는 주요원인으로 작용하고 있다.¹⁻³⁾ 현재 수산물 가공폐수는 대부분 재래식 호기성 처리방법으

†Corresponding author: Department of Environmental Engineering Kangwon National University, Samcheok 245-711, Korea, Tel: +82-33-570-6577, Fax: +82-33-574-7262, E-mail: environ4@kangwon.ac.kr
Received: 27 June 2011, Revised: 14 July 2011, Accepted: 18 July 2011

로 처리되고 있어 폐수 내 포함된 유기물은 제거할 수 있으나 고농도 질소제거에는 부적합하다. 따라서 강화되는 법적규제를 준수하기 위해서는 유기물 제거뿐 아니라 폐수내 포함된 고농도 질소를 제거할 수 있는 경제적인 고도처리 공정이 수반되어야 한다.

현재 혐기성 처리공정은 호기성 처리에 비해 에너지 소모량과 잉여 슬러지량이 적으며, 처리과정에서 에너지를 생산할 수 있어 호기성 공정을 대체하여 폐수처리에 광범위하게 적용되고 있다. 혐기성 공정 중 가장 대표적인 공법으로 UASB(Upflow anaerobic sludge blanket) 공정은 들 수 있으나, 낮은 상향유속(0.5~1.5 m/hr)으로 침전성이 큰 오염물질이 유입되면 반응조 하부 슬러지층에 오염물질이 축적되어 운전효율을 감소시키는 단점이 있다.⁴⁾ 본 연구에서는 UASB 공정에 비하여 높은 상향유속(10 m/hr)을 유도하여 유동상 개념을 도입시킨 ESGB(Expanded granular sludge bed) 공법을 수산물 가공폐수의 유기물 제거에 적용하고자 한다. ESGB 공정은 반응조내의 sludge bed층의 확장을 유도하여 유기물과 미생물간의 접촉시간을 증가시켜 높은 유기물 제거 효율을 기대할 수 있다.

일반적인 생물학적 질소제거는 질산화-탈질(Nitrification-denitrification) 공정으로 이루어지는데, 최근에는 완전질산화-탈질공정에 비해 산소요구량의 25%와 탄소원의 40%가 절약되는 아질산화-아탈질화(Nitritation-denitrification) 공정에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 아질산화 반응은 완전질산화 반응에 비해 경제적이며, 아질산성 질소에서의 탈질이 질산성 질소의 탈질율보다 1.5~2.0배 더 빠르다고 보고되고 있다.^{5,6)} 아질산-아탈질화 공정을 수행하기 위해서는 포기조 내에서 아질산염 축적(nitrite의 build up)이 원활히 이루어져야 하는데 아질산염 축적에 대해서 pH에 따른 free ammonia(FA)와 free nitrous acid(FNA)에 의해 NO_2^- oxidizers의 활성을 억제하는 기작, NH_4^+ oxidizers와 NO_2^- oxidizers가 용존산소농도에 따라 활성도가 다른점을 이용하거나, 농도에 따른 NH_4^+ oxidizers와 NO_2^- oxidizers의 비성장률 차이를 이용하여 35°C 정도에서 chemostat 형태로 반응조를 운전하여 NH_4^+ oxidizers는 축적하고 NO_2^- oxidizers는 시스템 내에서 배제하여 결과적으로 NH_4^+ oxidizers만 축적시켜 아질산 축적을 이루는 방법 등이 보고되고 있다.⁷⁾ 아질산염 축적은 본

연구에서 수행하고자 하는 염분을 함유한 폐수처리에서도 가능한데, 반응조내 염분농도가 증가할수록 *Nitrosomonas* 보다 *Nitrobacter*에 더 큰 저해작용으로 아질산염이 축적되고,⁸⁾ 수산물 가공폐수에서의 아질산염 축적은 Cl^- 농도가 1,400 mg/l에서도 민감하게 반응한다고 보고되고 있으며,⁹⁾ 폐수내 Cl^- 농도가 질산화 과정에서 inhibition이 발생하여 아질산염이 축적되는데 이는 아탈질 공정을 통하여 질소를 제거할 수 있다고 보고하고 있다.⁶⁾ 현재 국내에서도 아질산-아탈질 공정에 대한 연구가 활발히 진행 중인데, 혐기성 소화조 상징액 또는 하수처리장 반류수내의 질소제거 등에 적용한 사례가 보고되고 있으며, 아질산염 축적을 유도하기 위하여 반응조 체류시간, 반응온도, 용존산소 등을 조절하는 방법들을 적용하고 있으나⁴⁻⁷⁾ 이러한 방법들을 현장에 적용하기에는 운전조건 유지가 어려운 단점이 있다.

본 연구는 수산물 가공폐수의 안정적인 처리를 위하여 고율 혐기성 공정과 아질산-아탈질 공정을 연계하여 수산물 가공폐수의 안정적인 처리방안에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에 적용된 처리 공법은 불규칙한 폐수발생으로 연중 안정적인 미생물을 유지하기 어려운 재래식 처리공법을 대체할 수 있는 고율 혐기성 공정을 이용하여 효과적인 유기물 제거를 유도하고, 미처리된 유기물과 질소는 아질산-아탈질 공정을 적용함으로써 소규모 업체가 대부분인 수산물 가공업체의 경제적인 폐수처리방안을 제시하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험장치

본 연구에서 적용된 반응조는 Fig. 1에 제시하였는데 고율 혐기성 반응조와 아질산-아탈질 반응조로 구성되었다. 고율 혐기성 반응조는 loop 형태의 유동상 개념을 도입한 EGSB 반응조로 투명한 pyrex 재질로 이루어져 있다. 반응조 총 용량은 5.8 l이며 유효용적인 5.0 l이다. 반응조는 내관과 외관으로 제조되어 내관에서 혐기성 미생물이 유입수가 반응하게 되고 내관을 둘러싸고 있는 외관은 내관의 온도를 일정하게 유지시켜 주는 항온수조 역할을 하게 된다. 반응조 상부에는 GSS(Gas-solid separator)를 설치하여 가스와 슬러지를 분리하였으며, 반응조 하

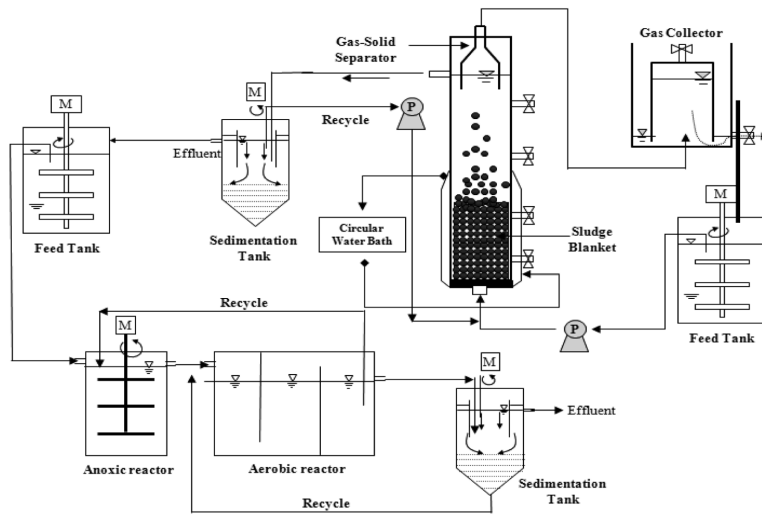


Fig. 1. Schematic diagram of laboratory plant used in this study.

부에는 유입수가 균일하게 유입될 수 있도록 십자형의 분배장치(Distributor)를 설치하였다. 고율혐기성 공정의 미생물은 실험초기 start-up 기간을 단축하기 위하여 맥주 공장의 혐기성 소화조에서 채취한 입상 슬러지(Granule sludge)를 적용하였으며 입상슬러지 주입량은 EGSB 유효용적의 20.0%로 하였다. 아질산-아탈질 반응조는 무산소조와 호기조로 구성되어 있으며, 총 유효용적 17.0 l이며, 탈질조 4.4 l, 호기조 10.0 l, 침전조 2.6 l의 5.0 mm의 투명한 아크릴로 제작되었다.

2. 운전방법

유동상 개념을 도입한 EGSB 공정의 특성상 반응조 하부의 고형물 축적을 방지하고, sludge bed의 확장을 유도하여 미생물과 유기물간의 접촉을 원활하게 유지시키기 위하여 실험기간동안 10 m/hr의 상향유속을 유지하였다. 아질산-아탈질 공정에서 질산화와 탈질반응은 온도의 영향을 받게 되는데, 질산화는 5~45°C 범위에서 가능하고 최적온도는 25~35°C로 제시하고 있다.⁹⁾ 탈질반응은 0~50°C의 광범위한 범위에서 가능하나, 최적 반응온도는 35~50°C로 제안하고 있는데,¹⁰⁾ 본 연구에서는 반응조 내부에 온도 조절기를 설치하여 반응온도를 35.0 ± 1.0°C로 유지하여 온도에 의한 질산화와 탈질에 대한 영향을 최소화 하였다. 또한 탈질을 위한 외부 탄소원으로 본 연구에서는 methanol을 사용하였다. Methanol을

Table 1. Dimensions of the biological reactor

		Items	Dimension
EGSB Reactor		Reactor Height	1.50 m
		Reactor inner Diameter	0.07 m
		Reactor Liquid Volume	5.80 l
		Reactor Thickness	0.50 cm
		Settling Tank Volume	5.00 l
Nitritation-denitritation Process		Height	0.30 m
	Anoxic reactor	Effective height	0.25 m
		Volume	4.40 l
		Inner diameter	0.15 m
	Aerobic reactor	Height	0.25 m
		Effective height	0.20 m
		Volume	10.0 l
		Width	0.27 m
		Inner interval	0.90 m
	Setting tank	Height	0.27 m
Effective height		0.20 m	
Setting tank Volume		2.60 l	
Diameter		0.14 m	
	Inner diameter	0.10 m	

이용한 탈질은 M/N ratio(methanol/initial nitrogen)을 따라 탈질화율을 결정하고 있는데, 완전한 탈질화를 이루기 위한 M/N 비는 2.5~3.0 정도이고, 95% 이상의 탈질화율을 얻기 위해서 Barnes 등¹¹⁾은 M/N ratio 3.0을 제안하고 있다.

III. 결 과

1. EGSB 공정효율

EGSB 공정의 운전은 20일 간의 시운전 기간을 거친 후 약 10개월 동안 운전되었다. 운전기간동안 HRT는 4~12 hr 범위에서, 유기물 부하는 유입유량 증가를 통하여 이루어 졌다. 운전기간동안의 유입 TCODcr 농도는 3,855~4,685 mg/l이었으며 유출수 농도는 373~1,247 mg/l, 제거효율은 HRT 12 hr에서는 88.5~90.7%, HRT 9 hr에서 85.9~87.7%, HRT 6 hr에서 81.1~83.0%, HRT 4 hr에서는 70.2~76.2%로 조사되어 HRT가 감소할 수록 제거효율이 감소되었으며 SCODcr도 유사한 경향을 나타냈다. 운전기간동안 유기물 부하는 7.830~26.237 kgCOD/m³/day의 범위에서 운전되었는데, 일반적인 완전혼합공정(complete-mix process)으로 대표되는 재래식 혐기성 소화공정의 허용 유기물 부하 1~5 kgCOD/m³/day 보다 고부하 운전이 가능한 것으로 조사되었다.

혐기성 소화과정에서 발생하는 biogas는 대상폐수, 체류시간, 반응온도 등이 주요 영향인자이다. 본 연구에서는 운전기간동안 항온수조를 이용하여 35±1°C를 유지하여 반응온도에 의한 영향과 유입폐수 농도(TCODcr 3,856~4,685 mg/l)에 의한 biogas 영향은 미미할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 biogas 발생량의 주요 영향인자는 체류시간으로 판단되는데, 본 연구에서는 유입부하에 따른 biogas의 발생량을 산정하였다. Biogas 산정과정에서 온도와 수증기의 영향을 보정하기 위하여 Jewell 등¹²⁾이 제시한 35°C의 가스량을 0°C로 환산하는 dry biogas factor(0.8371 at 35°C)를 이용하여 STP(Standard Temperature and Pressure, 0°C, 1 atm)의 상태로 산정하였다. 또한 biogas 발생량 및 메탄 생성을 산정에서, 운전기간동안 발생하는 biogas는 EGSB 반응조와 거의 동일한 온도에서 포집되어 측정되었으며, biogas는 수증기로 포화되고 수증기압 하에서 용질환원은 일

어나지 않는다고 가정하였다.

운전기간동안 유기물 제거에 의한 메탄생량은 Fig. 3에 가스 발생현황은 Table 3에 제시하였으며, TCODcr 제거에 따른 메탄 발생량은 Fig. 3에 제시하였다. 유입부하 7.83~9.13 kgTCOD/m³/day에서 TCODcr 제거에 따른 메탄 발생량은 0.30~0.38 m³CH₄/kgCODrem.으로 STP 상태의 이론적 메탄 발생량 0.35 m³CH₄/kgTCODrem.과 유사하게 조사되었다. 유입부하 11.567~17.336 kgTCOD/m³/day에서의 메탄 발생량은 0.23~0.30 m³CH₄/kgCODrem.로 안정적으로 메탄가스가 발생하였으며, 유입부하 22.10~26.24 kgTCOD/m³/day에서는 0.17~0.22 m³ CH₄/kgCODrem.

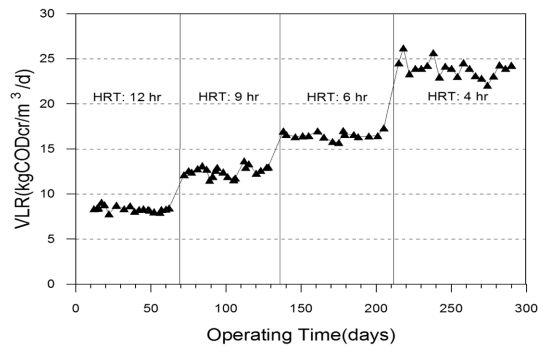


Fig. 2. Changes of VLR (TCODcr) with various HRT.

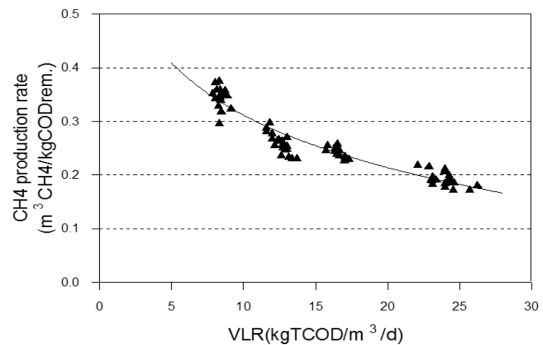


Fig. 3. CH₄ production rate (m³CH₄/kgCODrem.) according to TCODcr loading rate.

Table 2. Variations of CODcr concentrations with operating times

Items	Inf. conc. (mg/l)	Eff. conc. (mg/l)	Rem. (%)			
			HRT (hr)			
			4	6	8	12
TCODcr	3,588~4,685	373~1,247	70.2~76.2	81.1~83.0	85.9~87.7	88.5~90.7
SCODcr	3,224~4,193	274~1,078	72.7~77.7	84.0~87.5	87.0~89.6	90.4~91.9

Table 3. Gas production rate with various hydraulic retention time

Item	HRT			
	4 hr	6 hr	9 hr	12 hr
m ³ biogas/kgVSadd.	1.04~1.44	1.42~1.85	1.48~2.11	2.08~2.62
m ³ CH ₄ /kg VSadd.	0.76~1.04	1.03~1.33	1.05~1.58	1.52~1.92
m ³ CH ₄ /kgCODrem.	0.17~0.22	0.23~0.26	0.23~0.30	0.30~0.38
CH ₄ (%)	70.8~74.3	70.1~73.2	71.1~76.8	72.3~74.6

로 유입부하가 증가할수록 메탄 발생량은 감소하는 것으로 조사되었다.

2. 아질산 공정의 유기물 제거

EGSB 공정의 유출수는 후속공정인 아질산-아탈질 공정으로 유입되는데 본 절에서는 아질산-아탈질 공정에서의 유기물 제거 특성에 대하여 조사하였다. 아질산-아탈질 공정의 운전은 약 30일 간의 순응기간을 거친 후 약 10개월 동안 운전되었으며, 반응조 체류시간은 18~24 hr 범위에서 수행되었다.

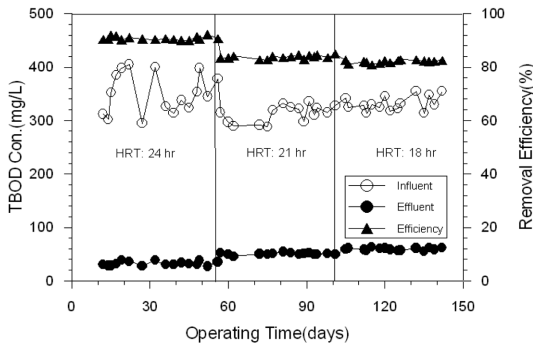


Fig. 4. Removal TBOD from the effluent in the nitrification- denitrification process.

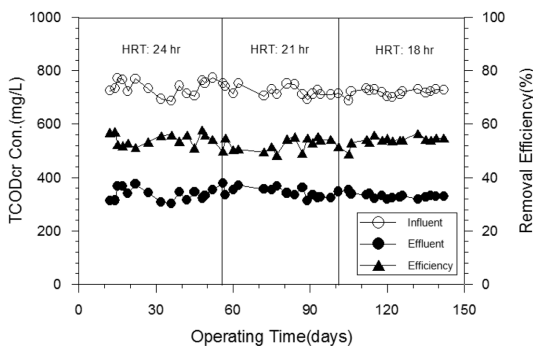


Fig. 5. Removal TCODcr from the effluent in the nitrification- denitrification process.

운전기간동안 TBOD₅와 TCOD_{cr} 농도변화는 Fig 4와 5에 제시하였다. 운전기간동안 유입 TBOD₅ 농도는 288~405 mg/l이었으며 유출수 농도는 27~63 mg/l, 제거효율은 81~92%로 조사되었다. 유입 TCOD_{cr} 농도는 687~774 mg/l이었으며 유출수는 302~387 mg/l, 제거효율은 48.4~57.8%로 조사되었으며, 체류시간 변화(HRT 18~21 hr)에도 불구하고 전체적인 제거효율은 거의 유사하게 나타났다.

3. 아질산-아탈질을 이용한 질소제거

본 연구에서는 수산물가공 폐수내 고농도 질소제거를 위하여 EGSB 공정의 후단에 아질산-아탈질 공정을 적용하여 질소를 제거하고자 하였다. 질소제거 공정의 흐름을 살펴보면, EGSB 공정의 유출수는 아질산-아탈질 공정으로 유입되는데, 호기성조에서 아질산화를 유도하고 아질산화된 유출수를 무산소조로 반송함으로써 아탈질을 유도하였다. 본 연구에서 아질산염 축적 인자는 수산물 가공폐수내에 있는 염분 농도가 아질산염 축적의 주요 인자로 작용하기 때문에 다른 인위적인 운전조작은 하지 않았다.

Fig. 6은 운전기간동안 TKN 거동에 대하여 제시하였다. 운전기간동안 유입 TKN의 농도는 438~518

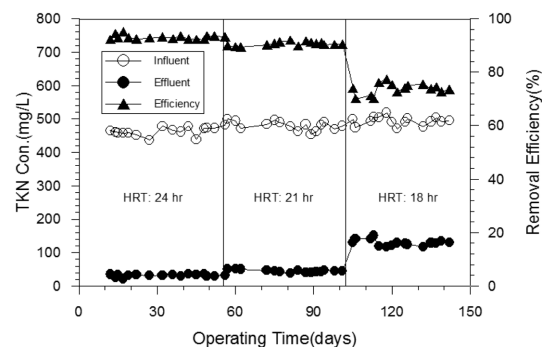


Fig. 6. Removal TKN from the effluent in the nitrification- denitrification process.

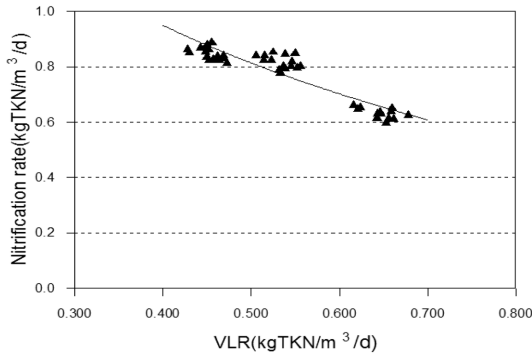


Fig. 7. Nitrification rate according to various nitrogen loading rate.

mg/l이었으며, 유출수 농도는 22~151 mg/l로 HRT에 따라 유출수 농도가 증가하는 것으로 조사되었다. 제거효율을 살펴보면, HRT 21~24 hr에서는 89~95.2%의 높은 효율을 나타냈으나 HRT 18 hr에서는 70~77%로 제거효율이 감소하여, 90% 이상의 제거효율을 유지하기 위해서는 HRT를 18 hr 이상으로 유지해야 한다. 운전기간동안 TKN의 유입부하는 0.428~0.678 kgTKN/m³/d 범위였으며, 0.428~0.556 kgTKN/m³/d에서는 89~95%의 높은 제거효율을 나타냈으나 0.161~0.678 kgTKN/m³/d에서는 70~77%로 제거효율이 감소하였다. Fig. 7은 호기성조에서의 질산화율(Nitrification rate)을 제시하였다. 운전기간 동안 TKN 용적부하는 0.428~0.678 kgTKN/m³/d, 전체 질산화율은 0.602~0.891 kgTKN/m³/d이었으며, 비질산화율(Specific nitrifying rate)은 0.168~0.325 gN/gVSS/d 범위로 조사되었다.

Fig. 8과 9는 운전기간동안 유입·유출수 질소 농도와 유입 NH₄⁺-N 농도에 대한 아질산 전환율과 유출수내 질소산화물중 NO₂-N 분율을 제시하였다. 유출수중 NO₂-N의 비율은 HRT에 따라 상이하게 조사되었는데, HRT 24 hr에서는 82~87%, HRT 21 hr와 18 hr에서는 각각 72~81%, 64~69%가 전환되어 HRT 감소에 따라 아질산화율 또한 감소하였으며, 전체 NO_x-N에 대한 NO₂-N의 비율은 82~96%로 대부분 NO₂-N 형태로 존재하였다. Fig. 10은 운전기간동안 알카리도 변화 경향에 대하여 제시하였다. 본 연구에서는 아질산-아탈질 공정의 유입원수 알카리도가 1,000~1,800 mg/l로 측정되어, 질산화 과정에서 알카리도 부족으로 인해 pH가 급속히 저하되는 것

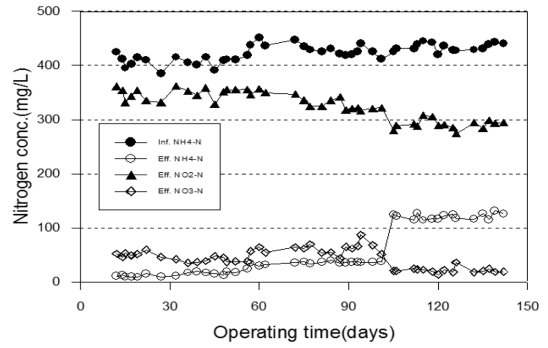


Fig. 8. Change of nitrogen concentration from effluent during the operation of the nitrification-denitrification process.

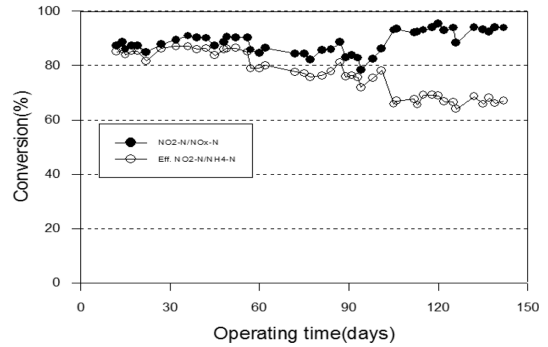


Fig. 9. Conversion of NO₂-N/NO_x-N from effluent during the operation of the nitrification-denitrification process.

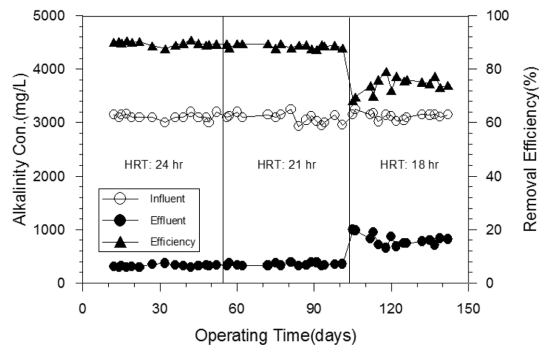


Fig. 10. Removal alkalinity from the effluent in the nitrification-denitrification process.

을 방지하기 위하여 유입 알카리도를 평균 3,100 mg/l 내외로 조절하여 주입하였다. 질산화과정에서 소모되는 알카리도는 평균 7.1 gAlk/gNH₄⁺-Nrem.로 이는 Gil 등¹³⁾이 생물막 반응조와 부유성장 반응조

Table 4. Comparison of kinetic parameters

Items	SDNR	gSCOD/gNOx-Nrem.
This study	25.20	2.35~2.56
Choi (2001)	24.70	2.34~2.44
Gil (2002)	23.25	-
EPA (1993)	25.20	2.35~2.56

에서의 아질산화 반응시 소모되었다고 제시한 7.2 g Alk/g NH₄⁺-Nrem., 6.9 gAlk/gNH₄⁺-Nrem.과 유사하였다.

본 연구에서는 질소의 최종 처리를 위하여 아질산화와 질산화된 처리수의 탈질반응을 수행하였다. 탈질반응을 위해서는 무산소조내의 탄소원이 필요한데, 아질산-아탈질 공정의 유입수는 EGSB 공정의 유출수를 적용하였기에 유입 폐수내 탄소원이 부족하였다. 따라서 탄소원이 공급되지 않을 경우 효율적인 탈질반응을 기대할 수 없어 본 연구에서는 외부탄소원인 methanol을 이용하여 탈질반응을 유도하였다. 무산소조로의 methanol 주입량은 Gil 등¹³⁾이 아탈질 공정에서 제안한 methanol 주입량과 McCarty 등에 의한 경험식을 사용하였는데, 무산소조로 주입된 methanol 농도는 3,500 mg/l였으며 원활한 탈질을 유도하기 위하여 유입유량의 200%를 탈질조로 주입하였다. 외부 탄소원 주입으로 운전기간동안 탈질율은 92% 이상으로 효율적인 질소제거가 이루어지는 것으로 조사되었다. 또한 탈질과정에서 SCOD 소모/NOx-N 제거 비는 2.347~2.587의 범위로 평균 2.472로서 이론적 NO₂-N 제거시 세포 합성을 고려한 SCOD 소모비인 2.295 mgSCOD/mgNO₂-N과 유사한 것으로 조사되었다. 한편 탈질 과정에서 alkalinity 회복비는 2.68~3.62 mgAlk./mgNox-N의 범위로 평균 3.23 mgAlk./mg NOx-N으로 조사되었으며, Table 4는 본 연구에서 산정한 비탈질화 속도(Specific Denitrification Rate; SDNR)와 탄소 소모율을 비교하여 제시하였다.

IV. 고 찰

수산물 가공폐수의 유기물 제거를 위한 고율 혐기성 공법인 EGSB 공정의 효율검토 결과, 운전기간 동안 TCODcr 및 SCODcr의 제거효율 검토결과 80% 이상의 유기물 제거효율을 얻기 위해서는 HRT 6 hr

이상으로 운전하여야 할 것으로 조사되었다. 일반적인 완전혼합공정으로 대표되는 재래식 혐기성 소화공정의 허용 유기물 부하는 1~5 kgCOD/m³/day로 보고되고 있는데,⁹⁾ 본 연구에서 EGSB 공법의 유기물 부하는 26.2 kg COD/m³/day까지 고농도의 운전이 가능하였다. 유기물 제거효율에 있어 유입부하 17.3 kgCOD/m³/day 이하에서 유기물(TCODcr) 제거효율이 81.1% 이상의 높은 제거효율을 나타냈으며, 이러한 이유는 EGSB 공정에 적용된 활성이 높은 입상슬러지와 일반 재래식 혐기성 공정보다 훨씬 큰 상향유속(10 m/hr)으로 인해 미생물과 유기물의 접촉시간이 증가되었기 때문으로 판단된다.⁴⁾ 운전기간 동안 메탄 함량은 70.1~76.8%로 유입부하 변동에 거의 영향을 받지 않은 것으로 조사되었으며, 유기물 제거효율, biogas 발생과 메탄 함량 결과로 판단할 때, 유기물 부하 13.69 kgTCOD/m³/day까지는 EGSB 반응조에서 안정적인 소화가 이루어지는 것으로 판단된다.

수산물 가공폐수의 질소제거를 주목적으로 한 아질산-아탈질 공정 내에서 유기물 제거효율은 체류시간 변화(18-24 hr)에도 불구하고 제거효율이 유사하게 조사되었는데, 이는 전처리 공정인 EGSB 공정에서 분해하기 쉬운 유기물이 거의 제거되어, 아질산-아탈질 공정으로 유입되는 유기물들은 천천히 분해되는 물질(Slowly biodegradable organics)과 난분해성 물질(Non-biodegradable organics)이 대부분이기 때문으로 판단된다. 또한 아질산-아탈질 공정으로 유입되는 미처리된 유기물중 분해 가능한 유기물들은 탈질조와 호기성조에서 거의 제거되어 최종 유출수는 대부분 난분해성 물질일 것으로 판단된다.

운전기간동안 포기조내 아질산염은 전체 NOx-N에 대하여 82~92%로 조사되었으며 이러한 원인은 질산화 미생물인 *Nitrobacter*가 폐수내 포함되어 있는 염분 영향으로inhibitions이 발생한 것으로 판단된다. 외부탄소원인 메탄올을 이용한 탈질결과에서, 92% 이상의 높은 탈질효율을 보였으며 SCOD 소모/NOx-N 제거 비는 2.347~2.587의 범위로 평균 2.472로서 Choi 등⁶⁾이 아탈질 공정으로 슬러지 처리공정 반류수내 질소제거에 사용된 소모량인 SCOD 소모/NOx-N 제거 비 2.34~2.44와 유사하게 조사되었다. 본 연구의 탄소원 소모비는 EPA¹⁰⁾에서 제시

한 일반적인 $\text{NO}_3\text{-N}$ 탈질시 SCOD 소모/ $\text{NO}_3\text{-N}$ 제거비인 3.8~4.5과 비교하여 약 40% 정도의 탄소원 소모량이 적은 것으로 조사되어 $\text{NO}_2\text{-N}$ 으로부터의 탈질이 탄소원 절약측면에서 매우 경제적인 것으로 조사되었다.

V. 결 론

수산물 가공폐수의 안정적인 처리를 위해 고율 혐기성 공정인 EGSB 공정과 아질산-아탈질 공정을 연계한 처리결과는 다음과 같다.

1. EGSB 공정의 효율 검토결과, HRT 6 hr 이상, 유입부하 $17.34 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$ 이하에서 80% 이상의 유기물(CODcr) 제거효율을 나타내 수산물 가공폐수의 안정적인 처리를 위한 최적 HRT는 6 hr 이상인 것으로 조사되었으며, 운전기간동안 유기물 부하는 $7.830\sim 26.237 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$ 로 고농도의 운전이 가능하였다.

2. 유입부하 $7.83\sim 17.37 \text{ kgTCOD/m}^3/\text{day}$ 에서 TCODcr 제거에 따른 메탄 발생량은 $0.23\sim 0.38 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgCODrem.}$ 으로 STP 상태의 이론적 메탄가스 발생량 $0.35 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg TCODrem.}$ 과 유사하였으며, biogas내 메탄 함량은 70.1~76.8%로 유입부하 변동에 거의 영향을 받지 않았다.

3. 아질산-아탈질 공정의 유기물 제거효율은 체류시간 변화(18~21 hr)에도 제거효율에 큰 차이가 없었는데, 이는 EGSB 공정에서 분해하기 쉬운 유기물이 거의 제거되었기 때문으로 판단된다. HRT 21~24 hr에서 TKN은 89~95.2%, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은 91~98%의 제거율을 보였으며, 질산화 과정에서 소모되는 알카리도는 평균 $7.1 \text{ gAlk/g NH}_4^+\text{-Nrem.}$ 로 조사되었다.

4. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도에 대한 아질산 전환율은 HRT 24 hr에서 82~87%, HRT 21 hr와 18 hr에서는 각각 72~81%, 64~69%가 전환되는 것으로 조사되어 HRT 감소에 따라 아질산화율 또한 감소하였으며, 전체 $\text{NO}_x\text{-N}$ 에 대한 아질산염 비율은 82~96%로 대부분 아질산염 형태인 것으로 조사되었다.

5. 탈질과정에서, SCOD 소모/ $\text{NO}_x\text{-N}$ 제거 비는 2.347~2.587의 범위로 평균 2.472로서, 일반적인 $\text{NO}_3\text{-N}$ 탈질시 SCOD 소모/ $\text{NO}_3\text{-N}$ 제거비인 3.8~4.5(EPA, 1993)과 비교하여 약 40% 정도의 탄소원이 감소되는 것으로 조사되었다.

참고문헌

1. Choi YB, Kim GY, Kwon JH. Anaerobic/Aerobic biological reaction characteristics of the marine products industry wastewater. *J Environ Health Sci.* 2008; 34(6): 452-458.
2. Choi YB, Kwon JH, Rim JM. Effect of the salt concentration in seafood processing wastewater on the anaerobic ultimate biodegradability and multiple decay rate of organic matter. *J Kor Soc Environ Eng.* 2010; 32(11): 1038-1045.
3. Choi YB, Kwon JH, Rim JM. Effect of salt concentration on the aerobic biodegradability of sea food wastewater. *J Kor Soc Environ Eng.* 2010; 32(3): 256-263.
4. Lee HM, Yang BS. The effect of upflow velocity on operating characteristics in EGSB system. *J Kor Soc Environ Eng.* 1997; 19(10): 1245-1258.
5. Gil KI. Nitritation of anaerobic digester supernatant from sludge processing MWTP. *J Kor Soc Wat Qual.* 2006; 22(3): 540-545.
6. Choi JH, Lee YW, Yun ZH. Removal of concentrated nitrogen from the recycle water by biological nitritation-denitritation. *J Kor Soc Environ Eng.* 2001; 23(3): 371-381.
7. Han JH, Kwon M, Han JH, Yun HZ, Nam HU, Ko JH. Evaluation of operating parameters of reject water treatment system with pilot-scale biofilm nitritation plant at field condition. *J Kor Soc Wat Qual.* 2007; 23(5): 636-641.
8. Moon BH, Yoon CH, Seo GT, Kim SS. Effects of C/N ratio salt concentration on pollutant removal in SBR. *J Kor Soc Environ Eng.* 2002; 24(2): 251-260.
9. Won CH. Nutrient removal of slurry-type swine wastewater using main processor of UASB reactor, ph D. thesis. Chuncheon: Kangwon National University; 2005. p.125-127.
10. EPA, Manual-Nitrogen Control, EPA/625/R-93/010, Washington, D.C., USA; 1993. p.104-109.
11. Barnes D, Bliss PJ. Biological control of nitrogen in wastewater treatment, New York: E. & F. N. Spon; 1983. p. 312-315.
12. Jewell WJ, Richards BK, Cummings RJ, White TE. Methods for kinetic analysis of methane fermentation in high solids biomass digesters. *J Biomass and Bioenergy.* 1991; 1(2): 65-73.
13. Gil KI, Lee YH, Choi ES, Yun ZH, Ha JS. Nitritation of anaerobic digester supernatant by suspended growth reactor and biofilm reactor. *J Kor Soc Environ Eng.* 2002; 24(8): 1415-1422.