

# 수산물 가공폐수내 염분농도가 고율 혐기성 소화에 미치는 영향 Effect of the Salt Concentration in Seafood Wastewater on the High-Rate Anaerobic Digestion

최용범 · 한동준\* · 이해승\* · 권재혁<sup>†</sup>

Yong-Bum Choi · Dong-Joon Han\* · Hae-Seung Lee\* · Jae-Hyoun Kwon<sup>†</sup>

강원대학교 환경공학과 · \*강원도립대학 소방환경방재과

Department of Environmental Engineering, Kangwon National University

\*Department of Fire·Environmental Disaster, Gangwon Provincial College

(2013년 9월 12일 접수, 2013년 10월 18일 채택)

**Abstract :** This study was conducted to examine the effects of the salt concentration in seafood wastewater on the high-rate anaerobic digestion process. In the general high-rate anaerobic process test, the TCODcr removal efficiency at 6 hr or more HRT was 81.1~90.7%, and the optimal HRT for seafood wastewater process was found to be 6 hr or more. The methane content in the biogas was 70.1~76.8% during the operation, and was hardly affected by the change in the influent load. The results of the anaerobic digestion efficiency according to the salt concentration showed that the removal efficiency of TCODcr was 83.4~89.2% below a 4,000 mgCl<sup>-</sup>/L salt concentration, and mid-70% at a 5,000 mgCl<sup>-</sup>/L salt concentration. Therefore, the salt concentration had to be kept below 4,000 mgCl<sup>-</sup>/L to ensure stable treatment efficiency. Below a 3,000 mgCl<sup>-</sup>/L salt concentration, the methane generation was 0.2999~0.346 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCODrem., which was similar to the theoretical methane gas generation in STP condition (0.35 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/gTCODrem.). The methane content in the biogas was 64.7~73.3% below a 3,000 mgCl<sup>-</sup>/L salt concentration, but decreased with an increase in the salt concentration, to 50.1~56.9% at a 4,000 mgCl<sup>-</sup>/L concentration.

**Key Words :** Sea Food Wastewater, High-Rate Anaerobic Digestion, Salt Conc

**요약 :** 본 논문은 수산물가공 폐수내 염분농도가 고율 혐기성 소화공정에 미치는 영향을 파악하고자 수행되었다. HRT 6 hr 이상에서 TCODcr의 제거효율은 81.1~90.7%로 조사되어, 수산물 가공폐수 처리를 위한 최적 HRT는 6 hr 이상으로 조사되었다. 유기물 부하 7.83~17.37 kgTCODcr/m<sup>3</sup>/day에서 TCODcr 제거당 메탄 발생량은 0.23~0.38 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCODrem.으로 STP 상태의 이론적 메탄가스 발생량 0.35 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgTCODrem.과 유사하게 조사되었다. 운전기간 동안 biogas내 메탄 함량은 70.1~76.8%로 유입부하 변동에 거의 영향을 받지 않았다. 염분농도에 따른 혐기성 소화효율 검토결과, 4,000 mgCl<sup>-</sup>/L 이하에서 TCODcr의 제거효율은 83.4~89.2%로, 5,000 mgCl<sup>-</sup>/L에서는 70% 중반의 제거효율을 나타내, 안정적인 처리효율을 위해서는 4,000 mgCl<sup>-</sup>/L 이하로 유지하여야 한다. biogas내 메탄함량은 3,000 mgCl<sup>-</sup>/L 이하에서는 64.7~73.3%로 조사되었으나 4,000 mgCl<sup>-</sup>/L 이상에서는 50.1~56.9%로 염분농도가 증가할수록 감소하였다.

**주제어 :** 수산물가공폐수, 고율 혐기성 소화, 염분농도

## 1. 서론

수산물 가공공정에서 발생하는 폐수에는 고농도의 부유물질과 수용성 단백질, 유지 등을 함유하고 있어 쉽게 부패되는 특징이 있으며,<sup>1,2)</sup> 발생 즉시 처리하지 않으면 악취가 발생하고 고형물 속에 함유된 일부 물질이 용해되어 유기물 농도가 상승한다. 따라서 가능한 집수조 체류시간을 짧게 하여 주 처리 공정으로 유입시켜야 한다. 현재 대부분 수산물 가공업체에서는 화학적 처리를 전처리 공정으로 하여 재래식 활성슬러지 공법을 적용하고 있다.<sup>3,4)</sup> 그러나 재래식 처리공정의 경우 낮은 유기물 부하로 고농도 유기물을 함유한 수산물 가공폐수처리에 부적합하며, 탈염 및 염장 공정에서 유출되는 염화나트륨(NaCl)은 폐수내 염분(Salt) 농도를 증가시켜 생물학적 처리를 저해시킨다.<sup>5)</sup> 또한 계절적 요인으로 발생하는 비수기에는 폐수 발생량이 현저하게

줄어 재래식처리시설로는 연중 안정적인 미생물을 유지하기 어렵고,<sup>6)</sup> 포기조내 삼투압 현상으로 미생물 세포벽을 파괴하여 용존성 유기물(SCODcr)의 농도를 증가시킨다고 보고되고 있다.<sup>7,8)</sup> 따라서 일반적으로 적용되고 있는 재래식 처리공법을 대체할 공법이 필요하며, 현재 지역적으로 산재해 있는 업체들을 농공단지나 산업단지에 입주시켜 종합처리하는 방식으로 전환되고 있다.

본 연구는 현재 적용되고 있는 재래식 처리공법을 대체하기 위하여 부지면적이 적게 소요되는 loop 형태의 고부하 운전이 가능한 고율 혐기성 공정을 적용하여 수산물 가공폐수를 처리하고자 한다. 현재 고농도 유기성 폐수처리에 적용되고 있는 공정을 살펴보면 UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), FA (Fluid Bed) 및 AAFEB (Anaerobic Attached Film Expanded Bed) 공정과 같이 고농도 미생물을 장기간 보유할 수 있고 고부하 운전이 가능한 처리공정으로

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: environ4@kangwon.ac.kr Tel: 033-570-6577 Fax: 033-574-7262

개발되고 있다.<sup>9,10)</sup> 고율 혐기성 공정 중 UASB 공정은 일반적인 혐기성 소화조의 유기물 부하보다 훨씬 높은 유기물 부하의 적용이 가능하다고 보고되고 있으나 반응조 하부에 부유물질이 축적되어 기질 제거에 어려움이 발생하기도 한다. 따라서 이러한 단점을 해결할 수 있는 방안으로 혐기성 공정에 유동상 개념을 도입한 공정에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 현재 개발된 유동상 개념의 혐기성 반응조는 UASB 반응조에서 안정적인 상향유속 범위라고 보고되는 0.5~1.5 m/hr 보다 높은 상향유속을 유도하여 EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) 형태를 취할 수 있다. 이러한 EGSB 공정은 sludge bed의 확장을 유도하여 미생물과 유기물간의 접촉을 원활히 하여 높은 유기물 제거효율을 나타낸다고 보고되고 있다.<sup>10)</sup>

본 연구에 적용된 미생물은 입상슬러지(*granular sludge*)를 사용하였는데, 이는 형태학적 및 생화학적 특성으로 기질을 공급하지 않는 상태에서도 장기간 변하지 않는다고 보고되어<sup>11,12)</sup> 수산물 가공폐수 배출특성에 적합한 미생물이라 할 수 있다. 최 등은 재래식 소화슬러지와 입상슬러지를 대상으로 S/I ratio (Substrate/Inoculum)에 따른 혐기성 최종생분해도 평가결과, 재래식 소화슬러지 보다 입상슬러지가 유기물 제거에 있어 더 효율적이라고 보고하고 있다.<sup>1)</sup>

본 연구는 폐수처리에 어려움을 겪고 있는 수산물 가공폐수를 고율 혐기성 공정에 적용하여 혐기성 소화효율을 검토하였으며, 폐수내 포함된 염분농도가 혐기성 소화효율에 미치는 영향을 파악함으로써 고율 혐기성 공정을 적용하기 위한 운전방안을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험장치 및 재료

실험에 적용된 반응조는 loop 형태로 유효용적 5.0 L의 투명한 재질의 pyrex로 제작하였으며, 내관과 외관으로 구성된다. 내관은 입상슬러지와 유입수가 반응하고 외관은 내관의 온도를 유지시켜주는 항온수조 역할을 한다. 반응조 상부에는 가스와 슬러지를 분리하기 위하여 GSS (Gas-solid separator)를 설치하였으며, 하부는 십자형 분배장치(Distributor)를 설치하여 유입수가 균일하게 유입될 수 있도록 제작하였다.

혐기성 소화과정에서 생성되는 biogas는 반응조 상부로 배출되며, 포화 식염수(10% NaCl과 1N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)로 채워진 유효용적 20 L의 원형 아크릴 통에 포집되며, 포집된 양 만큼의 포화 식염수는 밖으로 유출되는 부력식으로 운영하였다. 입상슬러지는 형성에 많은 시간을 필요하기 때문에 start-up 기간을 단축하기 위하여 맥주 공장의 혐기성 소화조에서 채취한 입상슬러지를 적용하였다.

연구에 사용된 시료는 강릉시 주문진읍 농공단지에 위치한 오징어를 주원료로 사용하는 수산물 가공업체에서 배출

되는 폐수를 사용하였다. 시료는 주 1회 20 L 용기를 이용하여 채취하였으며, 채취한 시료는 온도에 따른 폐수의 부패를 방지하기 위하여 냉장 보관 하였다. Table 1에는 본 연구에 사용된 실험장치의 제원을, Fig. 1에는 실험실에 설치한 고율 혐기성 공정의 사진을 제시하였다. Table 2는 본 연구에 사용된 수산물 가공폐수의 물리, 화학적 성상에 대하여 제시하였는데, 유입 폐수의 pH가 4.2~6.5로 약산성으로 조사되어 혐기성 공정의 영향을 최소화하기 위하여 7.0~7.6으로 조정하여 주입하였다.

Table 1. Dimensions of the high-rate anaerobic process unit

Items	Dimension
Reactor height	1.5 m
Reactor inner diameter	0.07 m
Reactor liquid volume	5.8 L
Reactor thickness	0.5 cm
Settling tank volume	5.0 L



Fig. 1. Photograph of laboratory unit.

Table 2. Chemical properties of seafood wastewater (unit : mg/L, except pH)

Parameters	Range	Average
pH	7.0~7.6	7.3
TS	650~990	806
VS	603~871	722
TCODcr	3,856~4,685	4,201
SCODcr	3,224~4,192	3,662
T-N	441~539	505
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	376~493	431
Alkalinity (as CaCO <sub>3</sub> )	1,200~1,825	1,450

Table 3. Operational conditions of high-rate anaerobic system

Items	Operational range	
	Start-up	Steady state
Reactor volume (L)	5.0	5.0
Influent flow rate (L/day)	5~8	10~28
Hydraulic retention time (hr)	15~24	4~12
TCOD loading rate (kgCOD/m <sup>3</sup> /d)	4,346~6,942	7,830~26,237
Operating temperature (°C)	35±1	35±1
Operating period (days)	20	300

## 2.2. 실험방법

운전기간 동안 고율 혐기성 반응조 외관은 항온수조와 연결하여 내관의 온도를 35.0 ± 1.0°C로 유지하였으며, 미생물 식종은 반응조 유효용적의 20.0%를 주입하였다. 또한 고율 혐기성 반응조 하부의 고형물 축적을 방지하고, sludge bed의 확장을 유도하여 미생물과 유기물간의 접촉을 원활하게 유지하기 위하여 상향유속을 10 m/hr로 유지하였다.

입상슬러지의 순유기간은 HRT 15~24 hr에서 유입부하는 4.346~6.942 kgCOD/m<sup>3</sup>/d 범위에서 이루어졌다. 유입수 유량은 5.0 L/day에서 8.0 L/day로 증가시킴으로서 이루어졌으며, 메탄 함량이 70% 이상, 유기물(TCODcr) 제거효율이 70% 이상에 도달하였을 때를 입상슬러지가 수산물 가공폐수에 완전히 순응된 정상상태(Steady-state)로 판단하여, 그 이후 체류시간과 염분농도에 따른 실험을 수행하였다. Table 3에는 운전기간 동안 실험조건을 제시하였는데, 유입유량은 10~28 L/day, HRT는 4~12 hr, TCOdcr loading rate은 7.830~26.237 kgCOD/m<sup>3</sup>/d 범위에서 이루어졌다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 운전일수에 따른 처리 특성

고율 혐기성 공정의 운전은 20일 간의 시운전 기간을 거친 후 약 10개월 동안 운전되었다. 운전기간 동안 HRT는 4~12 hr 범위에서 수행되었으며, 유기물 부하는 유입유량 증가를 통하여 이루어졌다.

운전기간 동안 TCOdcr과 SCODcr의 유입·유출 농도와 제거효율은 Fig. 2와 3에 제시하였다. 운전기간 동안의 유입 TCOdcr 농도는 3,855~4,685 mg/L로 유입농도 변화는 크지 않은 것으로 조사되었으며, 유출수 농도는 373~1,247 mg/L로 조사되었다. 운전기간 동안의 유기물 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 감소할수록 유기물 제거효율이 감소하였다. 운전기간 동안의 SCODcr 농도는 3,224~4,193 mg/L로 조사되었으며, 유기물 제거효율을 검토한 결과 HRT 12 hr에서 90.4~91.9%로 가장 높았으며, HRT가 감소됨에 따라 제거효율도 감소하는 것으로 조사되었다. 운전기간 동안 유기물 제거효율을 검토결과 80% 이상의 제거효율을 얻기 위해서

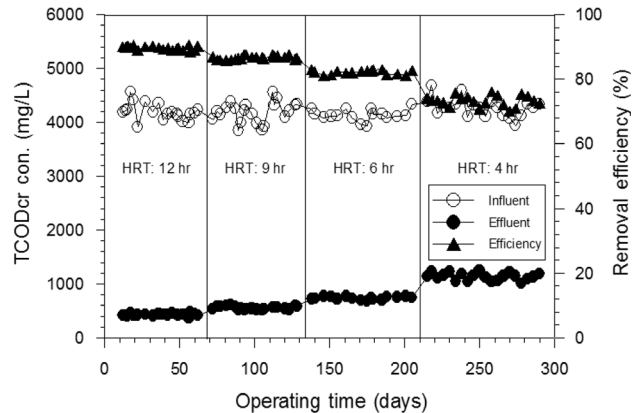


Fig. 2. Concentration of TCOdcr in the effluent from the high-rate anaerobic system.

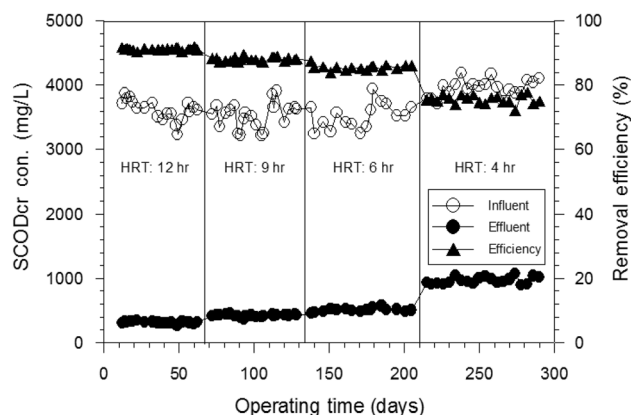


Fig. 3. Concentration of SCODcr in the effluent from the high-rate anaerobic system.

는 HRT 6 hr 이상으로 운전하여야 할 것으로 사료되며, 후단 공정으로 질소(N)와 인(P)을 제거하기 위한 고도처리 공정을 적용할 경우, 고율 혐기성 공정의 체류시간에 변화가 필요할 것으로 판단된다.

운전기간 동안의 유입부하는 유입유량을 증가시킴으로 변화되었는데 Fig. 4에서 제시한 바와 같이, 유기물 부하는 HRT

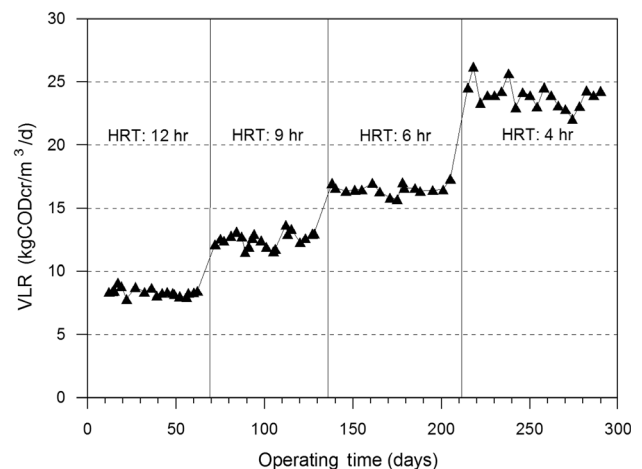


Fig. 4. Changes of VLR (TCODcr) with various HRT.

12 hr에서 7.830~9.128 kgCOD/m<sup>3</sup>/day, HRT 9 hr에서는 11.567~13.687 kgCOD/m<sup>3</sup>/day 범위에서 운전되어졌으며, HRT 6 hr 이하에서는 15.725~26.237 kgCOD/m<sup>3</sup>/day 범위에서 운전되었다.

Complete-mix process로 대표되는 재래식 혐기성 소화공정의 일반적인 유기물 부하는 1~5 kgCOD/m<sup>3</sup>/day로 보고되고 있는데,<sup>6)</sup> 본 연구에서 적용된 고율 혐기성 공정의 경우 유기물 부하를 26.2 kgCODcr/m<sup>3</sup>/day까지 고농도의 운전이 가능한 것으로 조사되었다. 또한 유기물 제거효율에 있어 유입부하 17.3 kgCODcr/m<sup>3</sup>/day 이하에서 TCODcr의 제거효율이 81.1% 이상의 높은 제거효율을 나타냈다. 이는 고율 혐기성 공정에 적용된 활성이 높은 입상슬러지와 일반 재래식 혐기성 공정보다 큰 상향유속(10 m/hr)으로 인해 반응조 내부의 유출수 재순환율이 증가하여 미생물과 유기물의 접촉시간이 증가되었기 때문으로 판단된다.

### 3.2. Biogas 발생량

혐기성 소화과정에서 발생하는 biogas는 대상폐수, 체류시간, 반응온도 등이 주요 영향인자이다. 운전기간 동안 반응조 온도는 35 ± 1℃를 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 영향인자를 체류시간으로 판단하여, 유입부하에 따른 biogas의 발생량을 산정하였다.

Biogas 산정과정에서 온도와 수증기의 영향을 보정하기 위하여 Jewell<sup>13)</sup> 등이 제시한 35℃의 가스량을 0℃로 환산하는 dry biogas factor (0.8371 at 35℃)를 이용하여 STP (Standard Temperature and Pressure, 0℃, 1 atm)의 상태로 산정하였다. 또한 biogas 발생량 및 메탄 생성을 산정에서, 운전기간 동안 발생하는 biogas는 고율 혐기성 반응조와 거의 동일한 온도에서 포집되어 측정되었으며, biogas는 수증기로 포화되고 수증기압 하에서 용질환원은 일어나지 않는다고 가정하였다.

운전기간 동안 유기물(TCODcr) 제거에 따른 메탄가스 발생량은 Fig. 5와 Table 4에 제시하였다. 유입부하 7.83~9.13

Table 4. Gas production rate with various HRT

Item	HRT			
	4 hr	6 hr	9 hr	12 hr
Biogas (L/d)	15.8~18.5	16.1~17.6	12.9~15.2	11.1~14.0
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgCODrem.	0.17~0.22	0.23~0.26	0.23~0.30	0.30~0.38
CH <sub>4</sub> (%)	70.8~74.3	70.1~73.2	71.1~76.8	72.3~74.6

kgTCOD/m<sup>3</sup>/day에서 메탄 발생량은 0.30~0.38 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg-CODrem.으로 STP 상태의 이론적 발생량(0.35 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg-CODrem.)과 유사하게 조사되었다. 유입부하 11.567~17.336 kgTCOD/m<sup>3</sup>/day에서의 발생량은 0.23~0.30 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCODrem.이었으며, 22.10~26.24 kgTCOD/m<sup>3</sup>/day에서는 0.17~0.22 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCODrem.로 유입부하가 증가할수록 발생량은 감소하였다. 운전기간 동안 biogas내 메탄 함량은 70.1~76.8%로 높게 조사되었으며, 유입부하 변동에 거의 영향을 받지 않아 본 연구에 적용된 입상슬러지의 활성이 대단히 우수함을 알 수 있다.

### 3.3. 염분농도에 따른 소화효율

수산물 가공폐수는 가공공정에 따라 고농도의 염분을 함유하게 되는데, 본 연구에서는 염분농도가 고율 혐기성 공정에 미치는 영향을 파악하고자 수행하였다. 유입폐수의 염분농도는 NaCl를 이용하여 변화시켰으며(raw~5,000 mgCl/L), 고율 혐기성 공정의 체류시간은 3.1절의 유기물 제거 결과에 의해 처리효율이 가장 좋은 HRT 12 hr에서 수행하였다.

운전기간 동안 염분농도에 따른 반응조내 유기물 거동은 Fig. 6과 7에 제시하였다. 운전기간 동안 유입 TCODcr 농도는 3,915~4,564 mg/L로 농도의 변화는 적게 조사되었으며, 유입폐수의 염분농도가 3,000 mgCl/L 이하에서의 유출수 농도는 373~525 mg/L로 유기물 제거효율은 88.5~89.2%로 높게 조사되었다. 그러나 염분농도가 4,000 mgCl/L에서는 유기물 제거효율이 81.1~83.4%로, 5,000 mgCl/L에서는 73.7~79.37%로 조사되어 유입폐수 염분농도가 증가할수록 유기물 제거효율이 점차 감소하는 것으로 조사되었다. 운전기간 동안 SCODcr의 유입농도는 3,117~4,171 mg/L로 조사되었

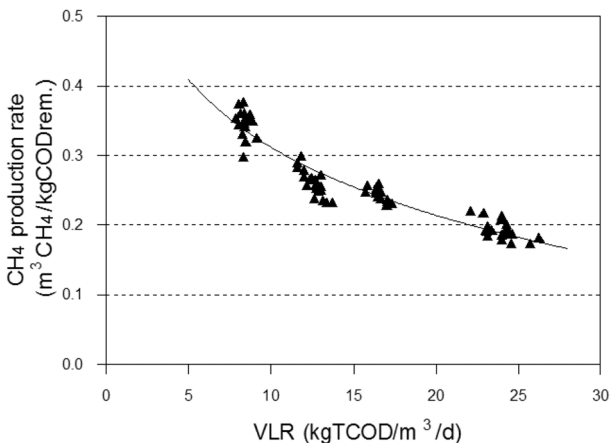


Fig. 5. CH<sub>4</sub> production rate according to VLR (TCODcr).

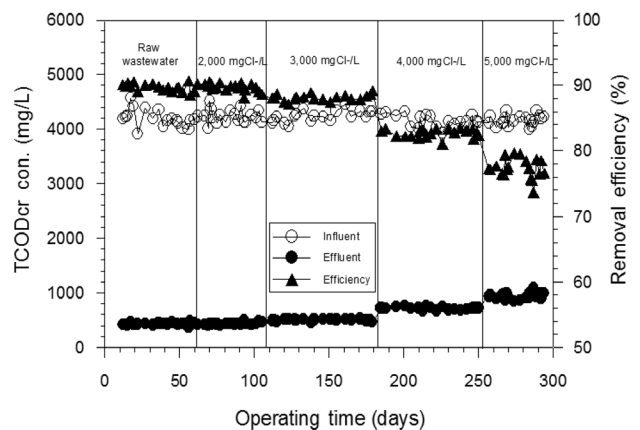


Fig. 6. Removal of TCODcr according to salt concentrations.

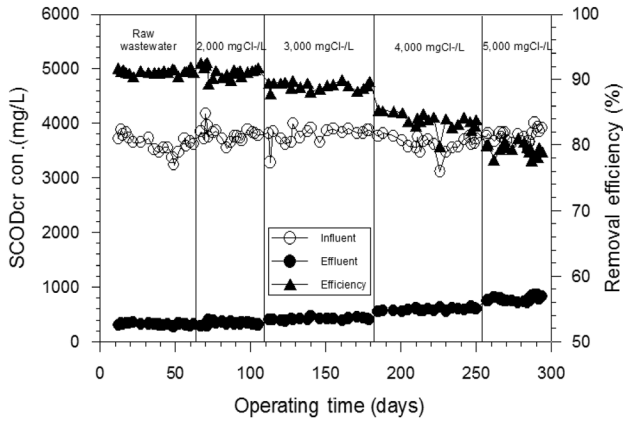


Fig. 7. Removal of SCODcr according to salt concentrations.

Table 5. Characteristics of influent and effluent seafood wastewater according to salt concentrations (unit : mg/L, except pH)

Items	Influent	Effluent				
		Raw wastewater	2,000 mgCl/L	3,000 mgCl/L	4,000 mgCl/L	5,000 mgCl/L
TCODcr	3,915~4,564	373~476	407~492	460~525	662~769	844~1,085
		88.5~90.7%	88.1~90.6%	87.1~89.2%	81.1~83.4%	73.7~79.7%
SCODcr	3,117~4,171	275~351	288~402	378~465	554~643	718~864
		90.4~91.95	89.3~92.6%	87.8~89.9%	79.8~85.3%	77.6~81.8%

는데, 유입 염분농도가 3,000 mg Cl/L 이하에서의 유기물 제거효율은 87.8~90.4%로 높게 조사되었으나, 유입농도 4,000 mgCl/L에서는 79.8~85.3%로, 5,000 mgCl/L에서는 77.6~81.8%로 조사되어 TCODcr의 결과와 마찬가지로 염분농도가 증가할수록 유기물 제거효율도 감소하는 것으로 조사되었다.

최 등<sup>1)</sup>은 수산물 가공폐수의 혐기성 처리에 있어 염분농도에 따른 NBDF (Non-Biodegradable)를 산정한 결과, 염분농도 3,000 mgCl/L 이하에서는 85.0% 이상의 유기물 제거효율을 나타냈으나, 6,000 mgCl/L와 9,000 mgCl/L에서는 각 78.0%와 55.0%로 감소된다고 하였는데, 이러한 원인은 폐수내 포함된 염분이 유기물 제거효율과 유기물 제거 반응속도에 영향을 미치기 때문이라 보고하고 있다. 또한 문<sup>14)</sup>은 폐수내 NaCl 농도가 8,000 mg/L 미만에서는 미생물에 영향을 주지 않으나 8,000 mgCl/L 이상에서는 유기물 제거에 영향을 미친다고 보고하고 있는데 본 연구에서도 유입폐수의 염분농도가 증가할수록 NBDF가 증가하여 유기물 제거효율이 감소되는 경향을 나타냈다. Table 5는 염분농도에 따른 유기물의 유입·유출 농도변화와 제거효율을 제시하였다.

### 3.4. 염분농도에 따른 Biogas 발생량

본 절에서는 염분농도가 혐기성 소화과정에서 발생하는 biogas에 미치는 영향을 파악하였다. Biogas 산정과정에서

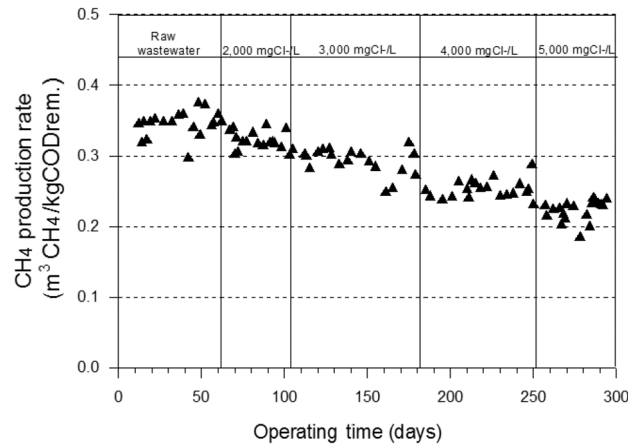


Fig. 8. CH<sub>4</sub> production rate according to salt concentrations.

온도와 수증기의 영향을 보정하는 방법은 3.2절에서 제시한 Jewell<sup>13)</sup> 등이 연구한 방법을 적용하였다.

Fig. 8은 운전기간 동안 유입폐수 염분농도에 따른 유기물 제거에 따른 메탄 발생량 변화를 제시하였다. 유입폐수의 염분농도가 3,000 mgCl/L 이하에서 메탄가스 발생량은 0.299~0.346 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCODrem.로 STP 상태의 이론적 메탄 발생량(0.35 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg TCODrem.)과 유사하게 조사되었다. 유입 염분농도 3,000 mgCl/L에서는 0.250~0.321 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCODrem.로, 4,000 mgCl/L 이상에서는 0.187~0.289 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCODrem.로 조사되어, 유입 염분농도가 증가함에 따라 메탄 발생량이 감소되는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 3.3절 염분농도에 따른 소화효율 결과와 함께 설명할 수 있는데 결국 유입폐수내 염분농도 증가가 유기물 제거효율 및 메탄 발생량 감소에 주원인으로 판단된다.

운전기간 동안 biogas 발생량과 메탄 농도는 Fig. 9와 10에 제시하였는데, 유입 염분농도 증가에 따른 biogas 발생량은 4,000 mgCl/L 이하에서는 14.5~18.5 L/day로 조사되었으나, 유입 염분농도 5,000 mgCl/L에서는 12.1~15.2 L/day로 biogas 발생량이 점차 감소하는 것으로 조사되었다. biogas 내 메탄 함량 또한 2,000 mgCl/L 이하에서는 70.4~74.6%

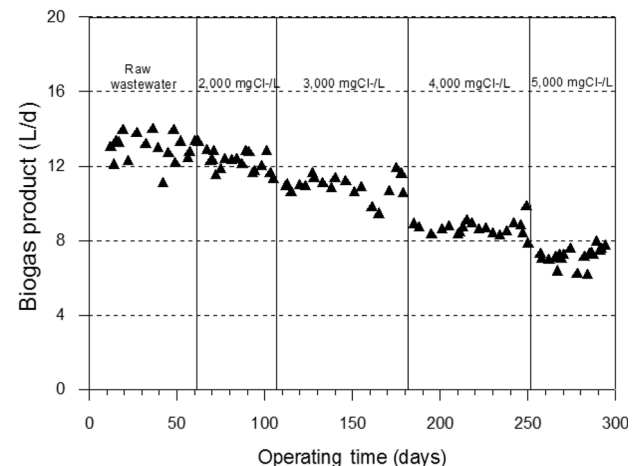


Fig. 9. Biogas production according to salt concentrations.

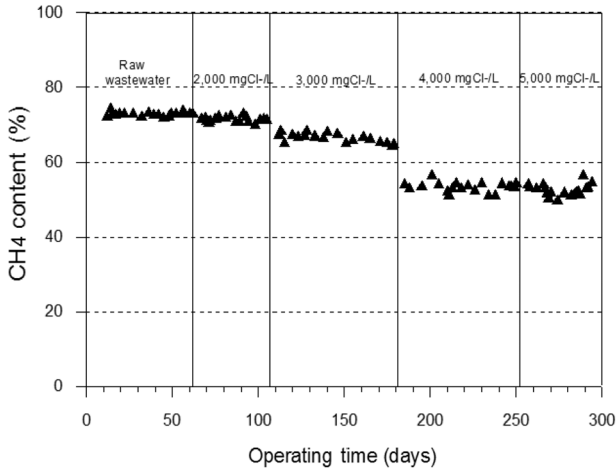


Fig. 10. Change of CH<sub>4</sub> content from produced biogas with various salt concentrations.

Table 6. Gas production rate with various salt concentration

Items	Salt concentrations (mgCl-/L)				
	Raw wastewater	2,000	3,000	4,000	5,000
Biogas (L/d)	15.3~19.3	15.9~18.2	14.3~18.3	14.5~18.5	12.1~15.2
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgCODrem.	0.299~0.377	0.303~0.346	0.250~0.321	0.232~0.289	0.187~0.243
CH <sub>4</sub> (%)	72.3~74.6	70.4~73.3	64.7~68.8	51.4~56.9	50.1~56.7

로 높게 조사되었으나, 3,000 mgCl-/L에서는 64.7~68.8%, 4,000 mgCl-/L 이상에서는 51.4~56.9%로 감소되었는데, 이러한 결과를 Table 6에 제시하였다.

#### 4. 결론

수산물 가공폐수내 포함된 염분농도가 고율 혐기성 소화 효율에 미치는 영향에 대한 연구 수행결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) HRT에 따른 유기물 제거 실험결과, HRT 6 hr 이상에서 TCOD<sub>cr</sub>의 제거효율은 81.1~90.7%, SCOD<sub>cr</sub>은 84.0~91.9%의 제거효율을 나타내 수산물 가공폐수의 안정적인 처리를 위한 최적 HRT는 6 hr 이상인 것으로 조사되었다.

2) 운전기간의 유기물 부하는 7.830~26.237 kgCOD/m<sup>3</sup>/day로 고농도의 운전이 가능하였으며, 유기물 제거효율에 있어 유입부하 17.34 kgCOD/m<sup>3</sup>/day 이하에서 유기물(TCOD<sub>cr</sub>) 제거효율이 81.1% 이상의 높은 제거효율을 얻을 수 있었다.

3) 유입부하 7.83~17.37 kgTCOD/m<sup>3</sup>/day에서 메탄 발생량은 0.23~0.38 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg CODrem.으로 STP 상태의 이론적 메탄 발생량(0.35 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg TCODrem.)과 유사하게 조사되었으며, 운전기간 동안 biogas의 메탄 함량은 70.1~76.8%로 유입부하 변동에 거의 영향을 받지 않았다.

4) 염분농도에 따른 혐기성 소화효율 검토결과, TCOD<sub>cr</sub>과 SCOD<sub>cr</sub>의 제거효율은 염분농도 4,000 mgCl-/L 이하에서는 83.4~89.2%와 79.8~90.4%로 높게 조사되었으나, 염분농도 5,000 mgCl-/L에서는 70% 중반의 제거효율을 나타내, 안정적인 처리효율을 위해서는 유입폐수의 염분농도를 4,000 mgCl-/L 이하로 유지하여야 한다.

5) 염분농도 3,000 mgCl-/L 이하에서 메탄 발생량은 0.2999~0.346 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCODrem.로 STP 상태의 이론적 메탄가스 발생량과 유사하였으며, 메탄 함량은 3,000 mgCl-/L 이하에서는 64.7~73.3%로 높게 조사되었으나, 4,000 mgCl-/L 이상에서는 50.1~56.9%로 염분농도가 증가할수록 감소하였다.

KSEE

#### 참고문헌

- Choi, Y. B., Kwon, J. H. and Rim, J. M., "Effect of the Concentration in Seafood Processing Wastewater on the Anaerobic Ultimate Biodegradability and Multiple Decay Rate of Organic Matter," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **32**(11), 1038~1045(2010).
- Kim, S. J., Lee, D. H. and Park, H. S., "Removal of Organic and Nutrients in Fish Market Wastewater using Sequencing Batch Reactor (SBR)," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **23**(1), 46~51(2007).
- Paik, B. C. and Shin, H. S., "Treatment of Fish Processing Wastewater Using Sequencing Batch Reactor (SBR)," *J. Kor. Soc. Water Wastewater*, **1**, 18~26(1994).
- Jeong, B. C., Park, K. S. and Jeong, B. G., "Simultaneous Removal of Organic and Nitrogen in the Treatment of Fish Processing Wastewater using Entrapped Mixed Microbial Cell (EMMC) Process," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **22**(3), 492~497(2006).
- Choi, Y. B., Kwon, J. H. and Rim, J. M., "Effect of Salt Concentration on the Aerobic Biodegradability of Sea Food Wastewater," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **32**(3), 256~263(2010).
- Choi, Y. B., Kang, D. G., Park, S. S., Eum, K. H., Rim, J. M. and Kwon, J. H., "Removal of Nitrogen in Seafood Processing Wastewater Using High-rate Anaerobic Process and Nitrification-denitrification," *J. Environ. Health Sci.*, **37**(4), 315~322(2011).
- Olivier, L. and Rene, M., "Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review," *Water Res.*, **40**, 3671~3682(2006).
- Kincannon, D. F. and Gaudy, A. F., "Response of biological waste treatment systems to changes in salt concentrations," *Biop-technol. Bioeng.*, **10**, 483~496(1968).
- Shin, H. S., Bae, B. U., Oh, S. E. and Kim, H. R., "Preservative Characteristics of Anaerobic Granular Sludges," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **15**(3), 549~557(1993).
- Lee, H. M. and Yang, B. S., "The Effect of Upflow Velocity

- on Operating Characteristics in EGSB System,” *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **19**(10), 1245~1258(1997).
11. Wu, W. M., Hu, J. C. and Gu, X. S., “Properties of Granular Sludge in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors and Its Formation,” *Anaerobic Digestion 1985*(ed. China State Biogas Association), Guangzhou, China., pp. 339~354 (1985).
  12. Shin, H. S., Bae, B. U., Paik, B. C. and Lee, J. J., “Anaerobic Digestion of Distillery Wastewater in a Two-phase UASB System,” *Water Res.*, **25**, 361~371(1992).
  13. Jewell, W. J., Richards, B. K., Cummings, R. J. and White, T. E., “Methods for Kinetic Analysis of Methane Fermentation in High Solids Biomass Digesters,” *Biomass Bioenergy*, **1**(2), 65~73(1991).
  14. Moon, B. H., Yoon, C. H., Seo, G. T. and Kim, S. S., “Effects of C/N Ratio and Salt Concentration on Pollutant Removal in SBR,” *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **24**(2), 251~260 (2002).