

개선된 고율혐기성 공정을 이용한 수산물 가공폐수처리

최병영¹, 최용범¹, 한동준², 권재혁^{*}
¹강원대학교 환경공학과, ²강원도립대학 소방환경방재과

Treatment of Seafood Wastewater using an Improved High-rate Anaerobic Reactor

Byeong-Yeong Choi^{1*}, Yong-Bum Choi¹, Dong-Jun Han², Jae-Hyeok Kwon^{1*}

¹Division of Environmental Engineering, Kangwon National University

²Dept of Fire Environment & Disaster Prevention, Gangwon provincial College

요약 본 연구는 높은 상향유속을 가지는 고율 혐기성 공정의 단점을 해결하고자 반응조의 구조개선을 통한 고율 혐기성 반응조의 성능평가를 실시하였다. 개선된 반응조는 반응조의 직경을 조절하여 반응조를 세부분으로 구분하여 제작하였다. 구조 변경된 반응조의 성능평가 결과, 반응조 하부의 단회로 및 고형물 축적현상과 미생물 유출을 방지하여 반응조 내 미생물을 안정적으로 유지할 수 있었다. 혐기성 소화 과정에서 반응조내 pH와 알칼리도 상승은 유기물 분해과정 및 biogas의 일부 재용해에 의해 생성된 중탄산염에 기인한 것으로 판단되며, 높은 유기물 제거효율을 이루기 위해서는 HRT 9 hr 이상, 유기물 부하 10.0 kgTCODcr/m³·d 이하 범위로 운전하여야 한다. 혐기성 소화과정에서 발생하는 메탄가스는 유기물 부하 7.7 kgTCOD/m³·d 이상에서 65~83 %의 높은 함량을 나타냈으며, CODcr 제거당 메탄 발생량은 0.10~0.23 m³CH₄/kgCOD_{rem}으로 STP 상태의 이론적 메탄가스 발생량(0.35)보다 낮은 것으로 조사되었으며, 고율 혐기성 공정후단에 질소제거를 위한 고도처리 공정이 필요한 것으로 판단된다.

Abstract To resolve shortcomings of high-rate anaerobic processes, such as high upward flow velocity, this study sought to improve the structure of the high-rate anaerobic reactor and evaluate its performance. The improved reactor was manufactured by adjusting the diameter and dividing the reactor into three parts. The evaluation of the structurally improved reactor revealed that the reactor could stabilize a single circuit, and prevent the accumulation of solid matter and leakage of microbes, thereby stabilize the microbes. In the process of anaerobic digestion, an increase in pH and alkalinity within the reactor was presumably attributed to bicarbonate created in the process of organic matter decomposition and due to the re-dissolution of some biogas. To maintain a high rate of organic matter removal, the reactor should be operated with more than 9 hrs of HRT and an organic matter load of under 10.0 kgTCODcr/m³·d. The methane gas generated in the anaerobic digestion process showed a high content of 65~83 % at the organic matter load of over 7.7 kgTCOD/m³·d. per removal of CODcr. The methane quantity was generated at 0.10~0.23 m³CH₄/kgCOD_{rem}, showing that it was smaller than the theoretical methane generation amount (0.35) in the STP state. In the latter part of high-rate anaerobic process, an advanced treatment process was required to remove nitrogen.

Key Words : High-rate Anaerobic Treatment Process, EGSB Process, Seafood Wastewater

본 논문은 2012년도 산학연 공동기술개발사업, 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음.(관리번호-20140039)

*Corresponding Author : Jae-Hyuk Kwon(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-10-5379-4703 email: environ4@kangwon.ac.kr

Received November 7, 2014

Revised December 10, 2014

Accepted December 11, 2014

1. 서론

최근까지 고농도 유기성 폐수처리에는 재래식 활성슬러지 공정이나 그 변법이 적용되었으나, 에너지 소모율이 높고 슬러지 발생량이 많은 단점들이 도출되었다.

이러한 단점을 해결하고자 현재 슬러지 발생량이 적고 부하변동에 강한 UASB(Upflow anaerobic sludge bed)공정과 같은 고율 혐기성 공정이 적용되고 있다[1]. UASB 공정과 같은 고율 혐기성 공정은 짧은 체류시간에서의 높은 유기물 제거효율, 잠재적 에너지 자원인 메탄가스 생성, 유입부하변동에 강한 장점 등으로 다양한 고농도 폐수처리에 널리 적용되고 있다. 그러나 다양한 폐수에 적용된 연구 사례가 많아짐에 따라 공정의 장·단기적 운영에 따른 문제점 또한 도출되었다[2]. 상향류 흐름을 가지는 UASB 공정에서 발생하는 일반적인 문제점은 반응조 내부의 정체된 흐름에 의한 반응조 내부 일부만이 미생물과 반응하는 단회로 현상이다. 기질과 접촉되지 않은 미생물들은 자산화에 의해 비중이 낮아짐으로써 부상되어 반응조 외부로 유출된다. 또다른 문제점으로 반응조 내부의 고형물 축적현상을 들 수 있다. 이는 단회로 현상과 같은 낮은 유속이 원인이 되어 반응조 하부에 유입된 고형물이 축적됨으로서 공정의 처리효율을 감소시키는 현상을 발생시킨다.

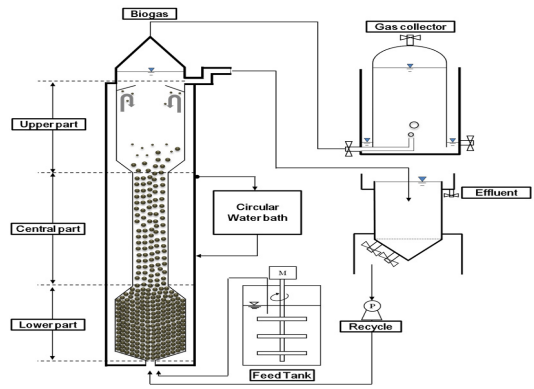
현재 재래식 고율 혐기성 공정의 문제점을 해결하기 위하여 유출수 순환량을 증대시켜 높은 내부 상향유속을 유도한 EGSB(Expanded granular sludge bed)공정이 개발되었다. EGSB 공정의 높은 상향유속은 반응조 내 슬러지밀도를 감소시켜 단회로 현상을 완화하고, 반응조 내 슬러지가 유동상 형태를 취함에 따라 고형물 축적현상도 감소시킨다고 보고되고 있다[3]. 그러나 높은 유속에 의해 발생하는 전단력은 미생물의 표면 파쇄를 발생시켜 비중이 감소하고, 혐기성 소화과정에서 발생하는 biogas의 부력으로 인해 반응조 외부로 슬러지가 유출되는 문제점이 발생하기도 한다.

본 연구는 이러한 EGSB 공정의 문제점을 해결하기 위하여 상향류식 반응조 내부의 구조를 변경하여 이에 대한 성능평가를 실시하였다.

2. 실험장치 및 방법

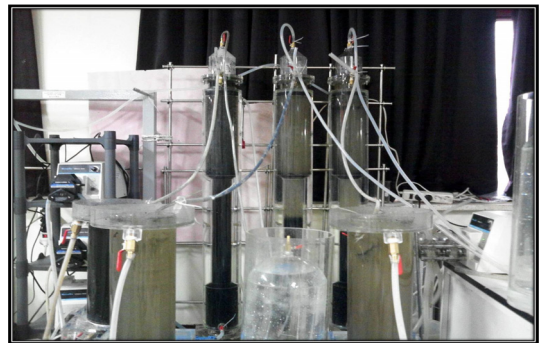
2.1 실험장치

본 연구에 적용된 상향류식 고율 혐기성 반응조는 loop 형태로 Fig 1과 같이 반응조 중앙부의 직경을 축소시켜 빠른 유속을 유도하는 오리피스 형태로 제작되었다.



[Fig. 1] Schematic of improved high-rate anaerobic process.

유효용적은 6.2L이며, 반응조 상부, 병목부, 하부의 부피비와 직경비는 각각 2:1:1과 2:1:2로 제작하였다. 반응조 최하부는 콘(cone)형태로 제작하여 반응조내 채널링(channeling) 현상을 최소화하였다. 또한, 반송라인과 유입라인을 분리하고, 유입수 및 반송수는 콘의 하부에서 혼합되도록 하였다. 반응조에서 생성된 biogas는 돔형 가스 포집조에 포집되고, 가스 포집조 내부에는 포화식염수(10% NaCl 1N-H₂SO₄)를 채우고 유출된 식염수의 양으로 가스량을 산정하였다. 유출구 하단에는 미생물의 유출을 최소화하기 위하여 baffle을 설치하였고, 반응조 외부에는 항온수를 순환시켜 혐기성 공정의 적정 온도(35 ℃)를 유지하였다. Fig 2에는 반응조의 설치사진을, Table 1에는 반응조 제원을 제시하였다.



[Fig. 2] Photo of improved high-rate anaerobic process.

[Table 1] Dimension of improved high-rate anaerobic process.

Items		Dimension
upper part	Height	0.4 m
	Diameter	0.1 m
	Volume	3.0 L
central part	Height	0.5 m
	Diameter	0.06 m
	Volume	1.4 L
lower part	Height	0.2 m
	Diameter	0.1 m
	Volume	1.5 L
Total volume		6.2 L

2.2 실험재료 및 방법

고율 혐기성 반응조 내 미생물 식종은 입상 슬러지 (granular sludge)를 사용하였는데, 직경 1mm 이하의 작은 입자는 체거름으로 분리하고, 비중이 낮은 입상슬러지는 부상시켜 분리하였다. 일반적으로 고율 혐기성공정의 미생물은 반응조 유효용적의 20 % 정도이나, 본 연구에서는 병목부의 입상슬러지 확장 효과를 고려하여 반응기 유효부피의 25 %로 주입하였다.

유입폐수는 G 시의 농공단지에서 발생하는 고농도의 수산물가공 폐수를 적용하였는데, 운전기간동안 비수기 기간이 포함되어 일반적인 수산물 가공폐수의 농도보다 낮게 조사되었대[4]. Table 2에는 분석항목별 측정방법을 나타내었고, Table 3에는 유입폐수 성상을, Table 4에는 연구기간동안의 운전조건에 대하여 제시하였다.

[Table 2] Analysis methods and instrument.

Items	Methods and Instrument
CODcr	Standard methods (Closed reflux, Titrimetric method)
BOD	Standard methods (Azide modification method)
NH ₄ ⁺ -N	Titrimetric method
T-P	Standard methods (Ascorbic acid method)
Alkalinity	Standard method (Titration method to pH 4.5)
Gas composition	'Infra-red Gas Analyzer(GA 94A)

[Table 3] Characteristics of inflow wastewater.
(Unit: mg/L, except pH)

Items	Range	Average
pH	6.2 ~ 6.8	6.6
TCODcr	2,547 ~ 4,246	3,415
SCODcr	1,558 ~ 3,142	2,366
TBOD	1,720 ~ 3,114	2,378
SBOD	1,329 ~ 2,227	1,785
NH ₄ ⁺ -N	172 ~ 268	236
Alkalinity	320 ~ 1,180	710
T-P	44 ~ 63	60

[Table 4] Operational conditions.

Items	Range	
HRT(hr)	6 ~ 15	
VLR(TCODcr) kgTCOD/m ³ · d	5.7 ~ 13.1	
VLR(NH ₄ ⁺ -N) (kgNH ₄ ⁺ -N/m ³ · d)	0.3 ~ 1.1	
Upflow velocity (m/hr)	upper part	3.5
	lower part	3.5
	central part	10

3. 결과 및 고찰

3.1 반응조 개선

Loop 형태를 가지는 고율 혐기성 공정 하부에서 고형물의 축적을 방지하기 위한 적정 상향유속은 3~6 m/hr 이며, 10 m/hr에서는 유기물의 제거가 뛰어나나, 그 이상에서는 전단력에 의해 슬러지가 파쇄되어 반응조 내 미생물이 유출된다고 보고되고 있다[5].

본 연구에서는 이러한 높은 상향유속을 가지는 고율 혐기성 공정의 단점을 해결하기 위하여 반응조 구조 변경에 대한 연구를 수행하였다.

구조변경은 반응조 중앙부의 직경을 변화시켜 반응조 내부 유체의 수리학적 흐름을 구역별로 다르게 유지할 수 있도록 하였다. 구조 변경된 반응조의 하부와 상부는 동일한 상향유속을, 반응조 중앙부에서는 상대적으로 높은 상향유속을 유지할 수 있도록 설계되었다. 반응조 하부의 상향유속은 3.5 m/hr를 유지하여 고형물 축적과 단회로 현상을 방지하였고, 중앙부는 직경을 감소시킴으로써 Lee (1997) 등이 제안한 슬러지유출방지를 위한 적정 상향유속인 10 m/hr를 유지시켰다[5]. 또한 반응조 상부는 상향유속이 3.5m/hr로 다시 감소됨으로서 슬러지 유출을 1차적으로 감소시키고, baffle을 통해 2차적으로 슬러지 유출을 최소화하였다.

반응조의 구조변경을 통한 반응조 내 유체흐름을 관찰한 결과, 유입수와 내부반송수가 유입되는 반응조 하부에서는 고형물의 축적 및 단회로 현상이 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 또한 상향유속이 증가하는 중앙부의 경우 슬러지 유동층이 확대되어 미생물과 유입수의 접촉이 원활하게 발생하였으며, 반응조 상부에서는 상향유속이 다시 감소되었다. 슬러지유출상태 확인을 위해 설치한 침전조에서 운전기간 동안 슬러지의 유출상태를

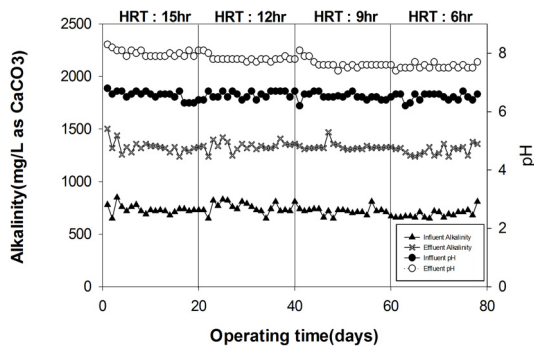
관찰한 결과, 미세 고형물 의 0.5mm 이상의 입상슬러지의 유출은 확인되지 않았다.

3.2 pH, alkalinity 변화

생물학적 처리에서 pH와 알칼리도(alkalinity)는 처리공정의 효율과 관계된 중요한 인자이다. Fig. 3에는 운전기간동안 pH의 변화를 제시하였는데, 유입수의 pH는 6.2~6.8로 약산성 이었으나, 유출수의 경우 pH가 7.4~8.3으로 증가하는 것으로 조사되었다. 또한 유입수의 알칼리도는 500~700 mg/L로 조사되었으나, 유출수의 경우 1,100~1,500 mg/L로 pH와 마찬가지로 상승하는 것으로 조사되었다.

운전기간 동안 유출수의 pH와 알칼리도의 상승에 대하여 Choi(2011) 등은 이상 혐기성 반응조에서는 유입수보다 유출수의 pH가 더 높게 나타난다고 하였으며[4], Rongrong (2011)등은 HABR 반응기를 이용한 PVA 폐수처리 연구에서 유입수의 pH 및 알칼리도보다 유출수의 pH 및 알칼리도가 높다고 보고하고 있는데[6], 본 연구에서도 유사한 결과를 나타냈다.

본 연구에서의 알칼리도 상승은 두 가지로 유추할 수 있다. 첫째, 유입폐수 내의 단백질과 아미노산 분해과정 중 발생한 중탄산염의 생성에 기인한 것으로 판단된다. 둘째, 본 연구의 고율 혐기성 반응조는 바이오가스 포집을 위하여 밀폐형으로 제작하였는데, 반응조 내부압력이 대기압 이상으로 상승함에 따라, 바이오가스 내의 이산화탄소 일부가 용해되어 형성된 중탄산염이 유출수의 알칼리도를 상승시킨 것으로 사료된다.



[Fig. 3] Variations of alkalinity conc. during operating time.

본 연구결과와 같이 유출수의 알칼리도 상승은 고율

혐기성 공정 후단에 설치되는 고도처리 공정에서 질소제거에 유리할 것으로 판단된다. 일반적으로 질소제거 공정에서 질산화 과정에서 알칼리도를 소모하게 되는데, 본 연구의 유출수는 유입수에 비하여 알칼리도가 증가함으로써 후단 공정에서 알칼리도 부족으로 인한 질소제거효율의 감소 또는 알칼리도의 보충은 불필요할 것으로 사료된다.

3.3 유기물 제거

운전기간동안 HRT를 단계적으로 변화시키고 유입·유출수의 유기물 분석을 통해 유기물 제거효율을 평가하였다.

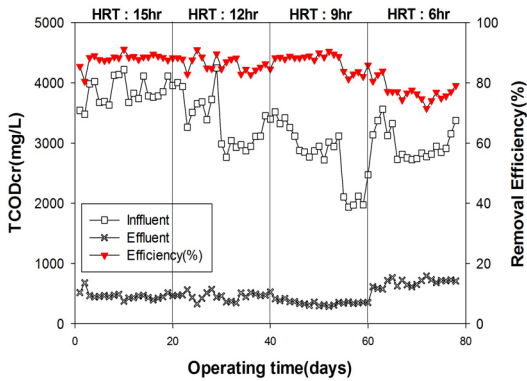
운전기간 동안 유입 TCODcr의 농도는 1,934~4,246 mg/L, SCODcr의 농도는 1,558~3,142 mg/L로 유입농도의 범위가 큰 것으로 조사되었다. 이러한 이유는 수산물 가공폐수는 각 처리공정에서 발생하는 폐수특성이 다양하기 때문으로 판단된다. 운전기간 동안의 HRT는 6~15 hr 범위이며 Table 5에 운전기간동안의 유기물 제거효율을 제시하였다. HRT 9~15 hr에서 TCODcr은 83.8~87.9%, SCODcr는 88.6~89.8%의 높은 제거효율을 나타냈다. 그러나 HRT 6 hr에서의 TCODcr와 SCODcr의 제거효율은 각각 71.5~81.3%와 68.6~79.8%로 감소하는 것으로 조사되었다.

고율혐기성 공정의 유기물 제거효율 실험을 Choi (2011)는 상향유속 10 m/hr의 EGSB 반응조의 TCODcr의 제거효율을 85.9~90.7%로 보고하고 있는데[4], 본 연구결과도 이와 유사하게 조사되었다.

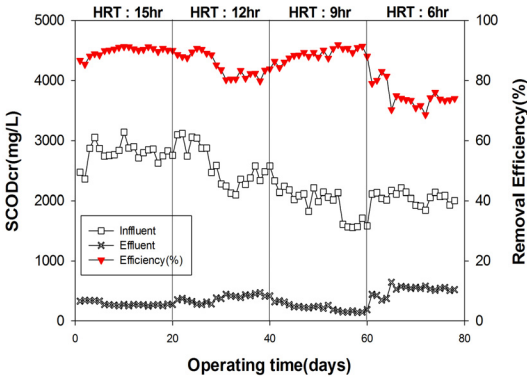
운전기간 동안의 유기물 부하는 5.7~12.5 kgTCOD/m³·d 범위였으며 유기물 부하가 증가할수록 제거효율은 감소하는 것으로 조사되었다. Fig. 6에 제시한 유기물 부하와 HRT에 따른 제거효율 분석결과, 안정적인 처리효율을 얻기 위해서는 HRT 9 hr 이상, 유기물 부하 10.0 kgTCOD/m³·d 이하에서 운전하여야 할 것으로 판단된다.

[Table 5] Variations of CODcr concentrations with HRT.

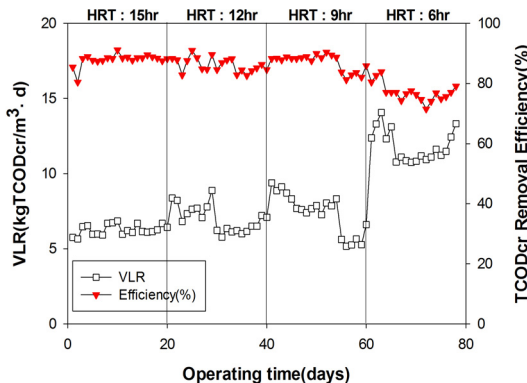
Items	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Rem. (%)	
			HRT(hr)	
			6	9~15
TCODcr	1,934 ~4,246	289 ~790	71.5 ~81.3	83.8 ~87.9
SCODcr	1,558 ~3,142	142 ~644	68.6 ~79.8	88.6 ~89.8



[Fig. 4] Concentrations of TCODe according to various HRT.



[Fig. 5] Concentrations of SCOD according to various HRT.



[Fig. 6] Changes of VLR(TCODe) with various HRT.

3.4 질소 거동

본 연구에 적용된 수산물 가공폐수의 경우 총질소(T-N)의 대부분은 유기질소와 암모니아성 질소(NH₄⁺)

로 구성되어 있었다. 운전기간동안 유입·유출 암모니아성 질소 변화는 Table 6에 제시하였다. 유입 암모니아 농도는 172~268 mg/L 이었으며 유출 암모니아 농도는 222~311 mg/L로, 유입농도보다 유출 암모니아 농도가 더 높은 것으로 조사되었다.

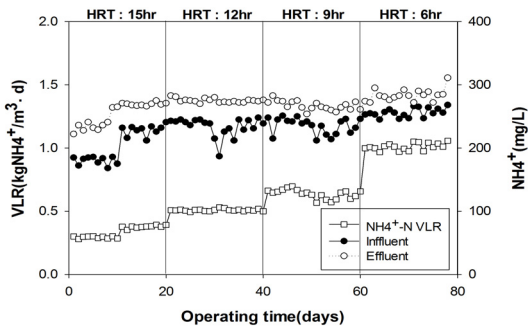
[Table 6] Variations of NH₄⁺-N concentrations with HRT.

Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Eff. conc. (mg/L)			
		HRT(hr)			
		6	9	12	15
172 ~268	222 ~311	272 ~311	254 ~283	270 ~283	222 ~275

이러한 원인은 유기질소의 분해과정에서 발생하는데, 혐기성공정에서 암모니아성 질소의 상승은 3.2절에서 설명한 pH와 알칼리도의 상승에 직접적인 영향을 주는 것으로 보고된 바 있다[6].

J. Liu et al(2010)은 EGSB 반응기를 이용한 침출수처리를 연구한 결과에서 유출수 pH와 알칼리도는 생분해과정 후 증가하였는데, 이러한 현상으로 pH 저하 방지를 위해 설치한 완충조(pH 7.4)의 설치를 무의미하게 하였다고 보고하였다[7]. 유기성질소를 포함한 폐수의 유기물 안정화를 위한 혐기성처리공정계획 시 완충조를 생략할 수 있으므로 보다 경제적인 공정운동을 계획할 수 있다. 그러나 이러한 혐기성 반응조 내부의 암모니아성 질소가 증가하여 2,000 mg/L 내외의 농도에 도달하면 혐기성 생분해를 저해하는 것으로 보고되고 있는데[8], 본 연구에서의 유출 암모니아 농도는 400 mg/L 이하로 암모니아성 질소 축적에 의한 생분해 저해현상은 발생되지 않은 것으로 조사되었다. 그러나 이러한 유기물 분해과정에서 발생하는 폐수 내 질소농도의 상승은 고율 혐기성 공정 후단에 설치되는 고도처리 공정에서 효율적인 질소제거를 방해할 수 있는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 고율 혐기성 공정과 연계된 고도처리 공정의 후단에 황탈 질조 등을 설치하여 안정적인 질소제거 방안을 계획하여야 할 것으로 판단된다.

Fig. 7은 운전기간동안 암모니아 농도 부하 변화와 (0.28~1.06 kgNH₄⁺/m³·d) 유입·유출수 농도변화에 대하여 제시하였다.

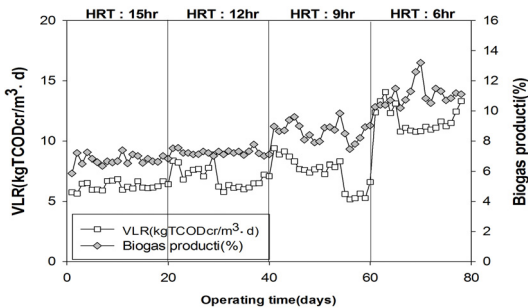


[Fig. 7] NH_4^+ -N loading rate according to HRT.

3.5 바이오가스

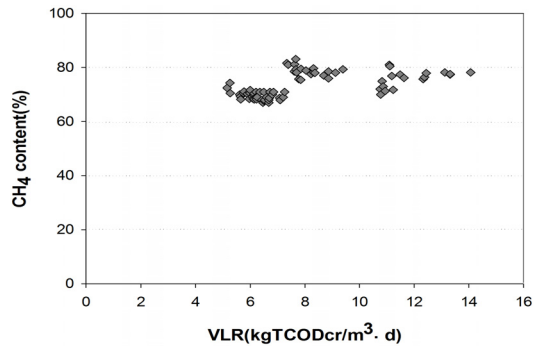
혐기성 소화과정에서 발생하는 biogas는 대상폐수, 체류시간, 반응온도 등이 중요한 영향인자이며, biogas내에는 CH_4 , CO_2 , NH_3 와 기타 trace gas가 포함된다. 또한 biogas내에 포함된 메탄가스는 신재생 에너지로 활용할 수 있어 혐기성 공정에서 메탄가스 발생 및 순도는 에너지 생산 차원에서 매우 중요하다. 연구과정에서 발생한 biogas는 온도와 수증기의 영향을 보정하기 위하여 Jewell 등 (1991)이 제시한 dry biogas factor(0.8371 at 35 $^{\circ}\text{C}$)를 이용하여 표준상태(STP; 0 $^{\circ}\text{C}$, 1 atm)로 산정하였다. 또한 biogas는 혐기성 반응조와 동일한 온도에서 포집되어 측정하였으며, biogas는 수증기로 포화되고 수증기압 하에서 용질환원은 일어나지 않는다고 가정하였다 [9].

Fig. 8은 운전기간 동안 biogas 발생량과 유기물 부하 변화에 대하여 제시하였다. Biogas 발생량은 유기물 부하의 증가와 함께 점차 증가하다고 10 $\text{kgTCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 이상에서는 거의 일정한 수준을 유지하는 것으로 조사되었다.

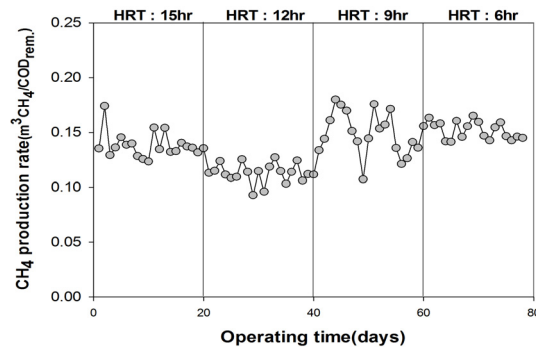


[Fig. 8] Variations of biogas product and TCODcr loading rate during operating time.

Biogas내 포함된 메탄 함량(%)은 Fig. 9에 제시하였는데, 운전기간동안의 메탄 함량은 56~83%로 조사되었으며, 유기물 부하 7.7 $\text{kgTCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 이상에서는 65~83%의 높은 함량을 나타냈다. Fig. 10은 운전기간동안 COD 제거당 메탄 발생량을 나타내었다. 총 운전기간 중의 COD 제거당 메탄 발생량은 0.10~0.23 $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kgCOD}_{\text{rem}}$ 으로 조사되었는데, 동일한 폐수에서 Choi (2010)는 HRT 4~12 hr 조건에서 CODcr 제거당 메탄 발생량은 0.17~0.38 $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kgCOD}_{\text{rem}}$ 로 보고하고 있는데[5], 본 연구에서는 수산물 가공폐수 이외에도 농도가 낮은 폐수가 유입되어 메탄 발생량이 Choi(2010)의 연구에서 보다 낮게 나타난 것으로 판단된다.



[Fig. 9] CH_4 content(%) according to TCODcr loading rate.



[Fig. 10] CH_4 production rate during operating time.

4. 결론

Loop type의 고율 혐기성 공정의 구조개선을 통한 성능평가에 대한 연구결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 구조 변경한 반응조는, 하부에서 단회로 현상 및 고형물 축적현상과 반응조 상부로의 슬러지 유출현상이 발생하지 않아 반응조내 미생물을 안정적으로 유지할 수 있었다.
- 2) 반응조내 pH와 알카리도 상승은 유기물 분해과정 및 biogas의 일부 재용해에 의해 생성된 중탄산염에 기인한 것으로 판단되며, 유출수 알카리도 상승은 후속 공정으로 질소제거에 있어 유리할 것으로 판단된다.
- 3) 유기물 제거효율 검토결과, HRT 9~15 hr에서 TCODcr은 83.8~87.9 %, SCODcr는 88.6~89.8 %의 높은 제거효율을 나타냈으며, 안정적인 처리효율을 얻기 위해서는 HRT 9 hr 이상, 유기물 부하 10.0 kgTCODcr/m³·d 이하에서 운전하여야 할 것으로 판단된다.
- 4) 유출 암모니아 농도의 상승은 반응조 내 pH와 알카리도 상승에도 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 후단에 설치될 고도처리 공정에서 안정적인 질소 제거 방안이 필요하다.
- 5) 혐기성 소화과정에서 발생하는 메탄가스는, 유기물 부하 7.7 kgTCOD/m³·d 이상에서 65~83 %의 함량을 나타냈으며, CODcr 제거당 메탄 발생량은 0.10~0.23 m³CH₄/kgCOD_{rem.}으로 STP 상태의 이론적 메탄가스 발생량(0.35m³CH₄/kgCOD_{rem.})보다 낮은 것으로 조사되었다.

References

[1] Lettinga, G. High-rate anaerobic treatment of wastewater under psychrophilic conditions. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 80(5), 499-506, 1995.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0922-338X\(96\)80926-3](http://dx.doi.org/10.1016/0922-338X(96)80926-3)

[2] De Man, A. W. A., Grin, P. C., Roersma, R. E., GroUe, K. C. F. & Lettinga, G. "Anaerobic treatment of municipal wastewater at low temperatures.", *Anaerobic treatment. A grown-up technology. Conference papers(Aquatech '86)*, Amsterdam, pp. 451-466, 1986.

[3] Van der Last A. R. M. & Lettinga G, "Anaerobic treatment of domestic sewage under moderate climatic(Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocity.", *Water Science and Technology*, 25(7), 167-178, 1992.

[4] Choi. Y. B., "Effects of Salt on the Biological Treatment of Seafood Wastewater.", Department of environmental Engineering, Kangwon National University of Korea, TD 628-11-348, 2011.

[5] Lee, H. M. and Yang, B. S., "The Effect of Upflow Velocity on Operation Characteristics in EGSB System", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 19(10), 1245~1258, 1997.

[6] Rongrong L., Xujie L., Qing T., Bo Y., and Jihua C., "The performance evaluation of hybrid anaerobic baffled reactor for treatment of PVA-containing desizing wastewater.", *Desalination*, 271(1-3), 287-294, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.12.044>

[7] Liu J., Zhong J., Wang Y., Liu Q., Qian G., Zhong L., Guo R., Zhang P., and Xu Z. P., "Effective bio-treatment of fresh leachate from pretreated municipal solid waste in an expanded granular sludge bed bioreactor.", *Bioresour. Technol.*, 101(5), 1447-1452, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.003>

[8] McCarty, P.L., McKinney, R., "Salt toxicity in anaerobic digestion.", *J. Water Pollut. Control Fed.* 33, 399 - 415, 1961.

[9] Jewell, W. J., Richards, B. K., Cummings, R. J., White, T. E., "Methods for kinetic analysis of methane fermentation in high solids biomass digesters", *Biomass and Bioenergy*, 1(2), pp. 65~73, 1991.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534\(91\)90028-B](http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534(91)90028-B)

최 병 영(Byeong-Yeong Choi)

[정회원]

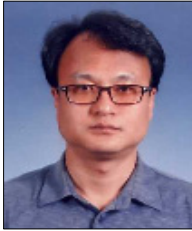


- 2011년 2월 : 강원대학교 환경방재 공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 강원대학교 환경방재 공학과 (공학석사)

<관심분야>
수처리공학, 고도처리

최 용 범(Yong-Bum Choi)

[정회원]



- 1999년 2월 : 강원대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 강원대학교 환경공학과 (공학박사)
- 2013년 7월 ~ 현재 : 강원대학교 삼척캠퍼스 환경공학과 겸임교수

<관심분야>
수처리공학, 고도처리

한 동 준(Dong-Jun Han)

[정회원]



- 1992년 2월 : 강원대학교 토목공학과(공학석사)
- 1996년 8월 : 강원대학교 토목공학과(환경공학 박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 강원도립대학 소방환경방재과 교수

<관심분야>
수처리공학, 고도처리

권 재 혁(Jae-Hyuk Kwon)

[정회원]



- 1988년 2월 : 강원대학교 토목공학과 공학사
- 1990년 8월 : 강원대학교 토목공학과 공학석사
- 1994년 8월 : 강원대학교 토목공학과 공학박사

<관심분야>
수처리공학, 고도처리