

SeCAH를 이용한 음식물쓰레기 용해도 개선 및 혐기성 병합 소화시 저해 가능 인자

김미화 · 김세미* · 전상연** · 남세용†,*

한양대학교 토목공학과 · *한경대학교 환경공학과 · **한경대학교 생물환경정보통신 전문대학원

(2008년 6월 9일 접수, 2008년 9월 29일 채택)

Solubility Improvement of Foodwaste by SeCAH and Potential Inhibitors for Anaerobic Co-Digestion

Mi-Hwa Kim · Se-Mi Kim* · Sang-Youn Jeon** · Se-Yong Nam†,*

Department of Civil Engineering, Hankyung University · *Department of Environmental Engineering, Hanyang National University
**Graduate School of Biology, Environment, Information and Communication

ABSTRACT : Sequential quick crushing and alkali hydrolysis(SeCAH), as a pretreatment for foodwaste, incorporating mechanical crushing and alkali hydrolysis was proposed and investigated in this study. Focuses were placed on the improvement of biodegradability of foodwaste and the estimation of potential inhibitors for anaerobic digestion. The solubility of the pretreated foodwaste by SeCAH was increased 2.5 times rather than mechanical crushing. Considering solubility improvement and energy consumption, 2,000 rpm of crushing strength and 5~10 sec of crushing time are recommended. After SeCAH, the fraction of large organic particles(>2.36 mm) of foodwaste was sharply decreased from 88.0% to 29.0%, otherwise the fraction of small particles(<75 μm) was greatly increased from 10.5% to 40.7%. Ammonium, potassium and sulfate were estimated as potential inhibitors for anaerobic digestion and their concentrations in pig slurry were 3331.3 mg/L, 4256.5 mg/L and 1017.5 mg/L, respectively.

Key Words : Anaerobic Co-digestion, Crushing Strength, Foodwaste, Organic Particle Size, SeCAH(Sequential Quick Crushing and Alkali Hydrolysis)

요약 : 본 연구의 목적은 SeCAH(Sequential quick crushing and alkali hydrolysis)를 이용하여 음식물쓰레기의 용해도를 개선하고 혐기성 소화시 저해 가능 인자를 평가하는 데 있다. 궁극적으로 전처리된 음식물쓰레기를 첨가하여 양돈슬러리의 낮은 COD/N비를 증가시키고 저해인자를 감소시켜 CH₄ 생성율을 증가시키는 것이다. SeCAH를 이용하여 음식물쓰레기를 전처리한 후 용해도는 1.5배 이상 증가되었다. 용해도 증가와 소모된 에너지를 고려할 때 SeCAH는 효과적인 전처리 방법이며 적정 파쇄강도와 파쇄시간은 각각 2,000 rpm과 5~10 sec로 확인되었다. 전처리된 음식물쓰레기의 조대입자(>2.36 mm) 분율은 88.0%에서 29.0%로 크게 감소하였고, 작은 입자(<75 μm) 분율은 10.5%에서 40.7%로 증가되었다. SeCAH로 처리한 후 Na⁺ 농도가 3795.0~6250.0 mg/L로 증가되어 양돈슬러리와 혐기성 병합소화시 Na⁺가 저해 가능인자인 것으로 평가되었고 NH₄⁺-N는 Stripping(pH>10)에 의해 감소되었다. 양돈슬러리 저해 가능인자는 NH₄⁺-N(3331.3 mg/L), K⁺(4256.5 mg/L) 그리고 SO₄²⁻(1017.5 mg/L)이었다. 따라서 음식물쓰레기 용해도 증가에 SeCAH는 매우 효과적인 것으로 SeCAH는 음식물쓰레기의 용해도를 증가시키는 매우 효과적인 전처리 방법이며, 양돈폐수와 전처리된 음식물쓰레기의 혐기성 병합소화로 인하여 저해작용을 감소시키는 것으로 평가되었다.

주제어 : 혐기성 병합 소화, 파쇄강도, 음식물쓰레기, 유기성 입자 크기, SeCAH(Sequential Quick Crushing and Alkali Hydrolysis)

1. 서론

1997년에 도입된 쓰레기 분리수거 시행 이전에는 이물질(이썩시개, 뼈 조각, 물수건 등)이 함유되어 있고 수분 함량이 높아 악취 및 파리 등의 해충 발생 원인이 되었다. 뿐만 아니라 수거된 음식물쓰레기의 높은 함유율은 많은 양의 침출수 발생하였으며 고농도 염분 함유와 입자상 유기물질의 낮은 생분해도, 여름철 산패에 의한 pH 저하로 기존 처리장에서 처리할 때 많은 문제를 유발하였다. 그

러나 쓰레기 분리수거를 통하여 침출수 발생량과 이물질 함량이 크게 감소되었다. 수거된 음식물쓰레기 처리는 퇴비화, 사료화(건식 및 습식), 혐기성 소화, 다른 유기성 폐수 및 폐기물과의 병합 처리 등 다양한 방법을 이용하여 처리하고 있다. 런던협약에 의하여 유기성 폐기물의 직매립이 2005년부터 금지되고 축산폐수 및 분뇨의 해양투기가 2012년부터 전면 금지되므로 음식물쓰레기 뿐만 아니라 축산폐수의 지속적이고 안정적인 처리방안 확립이 시급하다.

음식물쓰레기는 하수슬러지와 병합소화^{1~3)} 또는 축산폐수와 병합소화^{2,3)}를 통하여 바이오가스를 회수하거나 VFAs를 생물학적 영양염 제거 공정의 외부탄소원으로의

† Corresponding author

E-mail: namsy@hknu.ac.kr

Tel: 031-670-5177

Fax: 031-670-5170

활용에 관한 연구⁴⁾ 등 천연자원 고갈과 유기성 폐기물로부터의 자원회수와 바이오에너지와 바이오가스 회수에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다.^{1,4,5)} 그러나 음식물쓰레기 발생량은 계절별, 수거지역별 차이가 커 기존 하수처리장 혐기성 소화조를 이용할 경우 안정적인 음식물쓰레기 공급량이 확보되어야 하는 문제점이 있다. 또한 폐슬러지를 처리하는 기존 소화조에 고농도 유기성 폐기물입과 동시에 음식물쓰레기 첨가량이 증가할수록 CH₄ 발생량은 증가하지만 혐기성 소화시 저해인자로 작용할 수 있는 Na⁺ 함유량과 소화 후 NH₄⁺-N 농도 증가에 의한 기존 하수처리장 폭기조에서의 유기물 및 질소부하율을 평가하여야 한다.

축산폐수는 축사의 종류에 따라 달라지며, 사료가 식물성인 우사와는 달리 잡식성인 돈사의 경우는 발생하는 폐수 및 슬러리 특성이 매우 다르다. 돈사에서 발생하는 폐수에는 고농도의 NH₄⁺-N, 유기성 질소, 황화합물 등을 함유하고 있어 호기성 또는 혐기성 소화 공정의 저해 및 교란인자로 작용하여 처리효율의 저하를 초래한다. 양돈폐수 또는 슬러리의 가장 큰 특성은 C/N비가 10 미만으로 안정적인 혐기성 소화를 수행하기가 어려워 C/N비를 15 이상 개량하여야 원활한 CH₄ 생산율을 얻을 수 있다.⁶⁾ 양돈슬러리를 혐기성 소화를 이용하여 처리하고자 하는 경우 C/N비를 증가시켜야 하는 데 음식물쓰레기를 탄소원으로 공급하여 안정적인 혐기성 소화를 수행할 수 있다.

기존 하수처리장에서 발생하는 폐슬러지의 혐기성 소화시 CH₄ 가스 발생률을 증가시키기 위하여 물리·화학적 다양한 전처리에 의해 가수분해율을 증가시키고자 하였다.^{7,8)} 이러한 물리·화학적 전처리 방법들은 음식물쓰레기와 유기성 입자상 폐기물의 생분해도 및 가수분해율을 증가시키기 위하여 시도되었다.^{9,10)} 혐기성 소화공정에서의 양이온(Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)은 대표적인 저해인자이며, 이중 Na⁺는 7,000 mg/L로 존재할 경우 CH₄ 생성에 저해작용이 심각하게 일어난다.⁹⁾

입자상 유기성 폐기물의 용해도는 혐기성 소화의 가수분해 단계에 직접적으로 영향을 준다.^{6,10,13~15)} 음식물쓰레기와 유기성 입자상 폐기물의 기계적인 파쇄는 가수분해율을 증가시켜 그 결과 CH₄ 생산율을 25% 증가시켰으며,⁸⁾ 셀룰로오스를 많이 함유한 유기성 폐기물의 경우 알칼리 가수분해를 이용하여 용해도를 더 증가시킬 수 있었다.¹⁰⁾ 기계적인 파쇄방법은 주방 폐기물 또는 유기성 폐기물을 퇴비화할 때 가장 생분해도가 높은 입자 크기(5 mm 이하)로 개량함과 동시에 불균질한 폐기물을 파쇄하는 동안 불균질성을 다소 개선시키는 효과도 얻을 수 있다.¹¹⁾

축산폐수 또는 슬러리와 음식물쓰레기를 혐기성 병합 소화를 수행할 하고자 하는 경우에도 음식물쓰레기의 매우 불균질한 입도 분포, 구성성분, 수거되는 양, 생분해도 등을 반드시 개선하여야 한다. 축산폐수 중 양돈 폐수/슬러리는 여러 가지 저해인자[고농도 NH₄⁺-N 및 TN농도, 황화물(protein, HS, SO₄²⁻)]와 다양한 교란인자(양이온, 모래, 벚짖, 털 등)를 함유하고 있어 생물학적 처리가 어려운 폐수

로 잘 알려져 있다.^{6,9,11,15~17)}

본 연구에서는 음식물쓰레기의 기계적인 파쇄와 SeCAH(sequential quick crushing and alkali hydrolysis)를 이용하여 전처리 방법에 따른 SCOD 용출량(ΔSCOD)을 비교하여 용해도 증가를 평가하였고, 양돈슬러리와 혐기성 병합 소화시 CH₄ 생성에 영향을 줄 수 있는 저해 가능 인자를 평가하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

음식물쓰레기는 경기도 소재 H 국립대학교 구내식당에서 수거하여 사용하였다. 양돈슬러리는 경기도 홍성군에 위치한 3,000두 이상의 양돈농가에서 수거하여 사용하였다. 수거한 음식물쓰레기는 파쇄강도와 전압과 전류를 측정할 수 있도록 개조한 파쇄기를 사용하여 Table 1과 같이 전처리를 수행하였다. SeCAH는 파쇄된 음식물쓰레기 100 g당 5 mL의 50% NaOH를 첨가하여 90 rpm으로 교반하면서 10분간 수행하였다.

전처리된 음식물쓰레기(파쇄, SeCAH)의 입자상 물질의 분포는 표준체분석(Standard Testing Sieve, Sae Hwa Testing Co.) Sieve를 사용하여 분석하였다. 체분석을 통한 입자 분포는 2.36 mm(No. 8), 1.18 mm(No. 16), 600 μm(No. 30), 300 μm(No. 50), 150 μm(No. 100), 75 μm(No. 200)의 상부에 걸리진 고형물의 TS와 VS를 측정하여 그 분율을 평가하였고 액상 부분에 함유된 1.2~75 μm의 입자 분율은 GF/C(1.2 μm)를 사용하여 분석하였다. 전처리된 음식물쓰레기의 pH, 알칼리도, TS/VS, 함유율, TSS/VSS, TCOD_{Cr}/SCOD_{Cr}, 양이온(Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), TN, TP, NH₄⁺-N, Cl⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻를 분석하였다. 양이온은 ICP(Integra XL Dual GBC, Australia)를 이용하여 분석하였고, 음이온은 IC(ICS 1000; Column ASRS300, 4 mL(P.N. 064554); Dionex, USA)로 분석하였다. NH₄⁺-N는 전극법으로, 기타 수질분석 항목은 US Standard Method¹⁸⁾에 준하여 분석하였다.

Table 1. Experimental conditions of foodwaste pretreatment by physical crushing and SeCAH(sequential quick crushing and alkali hydrolysis)

Physical crushing		Power		Alkali Hydrolysis
Strength, rpm	Time, sec	Voltage	Ampere	
1,000 rpm	5	166	1.3	Dosage: 5 mL NaOH(50%) per 100 g crushed foodwaste Mixing: 90 rpm Reaction: 10 min
	10	170	1.4	
	15	200	1.8	
	20	200	1.8	
	25	200	1.8	
2,000 rpm	5	210	2.0	Dosage: 5 mL NaOH(50%) per 100 g crushed foodwaste Mixing: 90 rpm Reaction: 10 min
	10	210	2.0	
	15	210	2.0	
	20	210	2.0	
	25	210	2.0	

3. 결과 및 고찰

3.1. 음식물쓰레기 용해도 증가 및 입자 크기 개선

Fig. 1은 기계적 파쇄와 SeCAH로 음식물쓰레기의 전처리한 후의 용해도 $\Delta\text{SCOD}_{\text{Cr}}$ ($\text{SCOD}_{\text{Pretreated foodwaste}} - \text{SCOD}_{\text{Raw Foodwaste}}$)를 나타낸 것이다. 1,000 rpm 및 2,000 rpm에서 기계적인 파쇄만 수행한 음식물쓰레기의 경우, 파쇄시간이 증가함에 따라 $\Delta\text{SCOD}_{\text{Cr}}$ 은 각각 0.52~3.97 g/L와 1.01~17.18 g/L로 증가되었으며, 2,000 rpm, 25 sec에서 가장 높은 용해도 증가를 나타내었다. 기계적인 파쇄만 수행하였을 때와는 달리 SeCAH로 처리한 음식물쓰레기는 파쇄강도 1,000 rpm에서는 파쇄시간이 증가됨에 따라 전체적으로 7.43~11.10 g/L로 크게 향상되었다. 그러나 2,000 rpm에서 파쇄하여 SeCAH로 처리된 음식물쓰레기의 $\Delta\text{SCOD}_{\text{Cr}}$ 은 13.01~16.66 g/L로 용해도가 향상되었으나 20 sec 이상의 파쇄시간에서는 $\Delta\text{SCOD}_{\text{Cr}}$ 가 다소 감소되었다. 가장 높은 용해도($\Delta\text{SCOD}_{\text{Cr}}$) 증가는 2,000 rpm에서 5 sec 동안 파쇄하여 SeCAH를 수행하였을 때 일어났다. Fig. 1의 SeCAH 전처리에서 관찰된 용존성 유기물의 감소는 다른 연구자들의 연구에서도 관찰되었으며,^{7,8)} 이는 알칼리 가수분해를 위해 첨가한 NaOH에 의하여 기계적 파쇄에서 생성된 매우 작은 유기성 입자들이 화학적 산화에 의한 제거 결과이다. 따라서 음식물쓰레기의 SeCAH 처리 전후의 유기성 입자 크기 분포와 그 분율 변화로 확인할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 얻어진 음식물쓰레기의 기계적인 파쇄처리에 의한 150% 이상의 용해율 증가는 하수슬러지 처리에서 얻어진 20~30%에 비해 매우 높은 용해도 개선 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.^{7,8)} 뿐만 아니라 SeCAH를 수행하였을 때의 용해도 개선은 파쇄만 수행하였을 때 보다 2.5배 이상 증가 되었으며, 기계적인 파쇄에 소모된 에너지(Table 1)와 단위시간당 음식물쓰레기 처리량 및 SeCAH

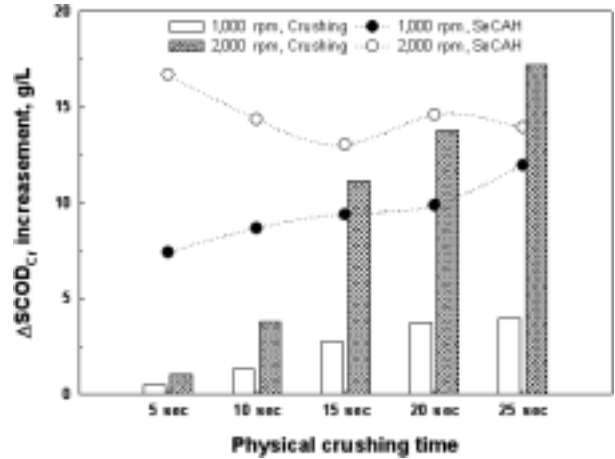


Fig. 1. $\Delta\text{SCOD}_{\text{Cr}}$ increase of foodwaste by physical crushing and SeCAH(sequential quick crushing and alkali hydrolysis). (NaOH purity and dosage: 50% and add 5 mL per 100 g_{crushed}, $\Delta\text{SCOD}_{\text{Cr}} = \text{SCOD}_{\text{Pretreated}} - \text{SCOD}_{\text{Raw}}$).

에 의해 증가된 용해율을 고려할 때 파쇄강도는 2,000 rpm, 파쇄시간은 5~10 sec일 때가 적정한 것으로 도출되었다.

Fig. 2는 음식물쓰레기를 기계적 파쇄와 SeCAH를 이용하여 전처리하였을 때의 입자 크기 분율을 나타낸 것이다. 전처리를 하지 않은 음식물쓰레기의 유기성 입자의 88.0%는 Group I(>2.36 mm)에 분포하였으나, 1,000 rpm 및 2,000 rpm으로 기계적 파쇄로 전처리한 후에는 Group I의 분율이 각각 78.8%와 62.4%로 감소되었다. 1,000 rpm에서 파쇄만 한 경우 파쇄시간 5 sec와 10 sec에서는 조대 입자 크기 개선 효과는 미흡하였으나, 파쇄시간이 증가할수록 입자 크기와 그 분율이 개선되는 것을 알 수 있다. 그러나 파쇄강도 2,000 rpm의 10 sec 동안 전처리하여 얻은 입자 크기 개선 효과는 1,000 rpm에서 25 sec 동안 파쇄한 결과보다 우수하였다. 또한 1,000 rpm으로 기계적 파쇄를 수행하였을 때 조대입자(> 2.36 mm)가 1.18 mm 이하의 미

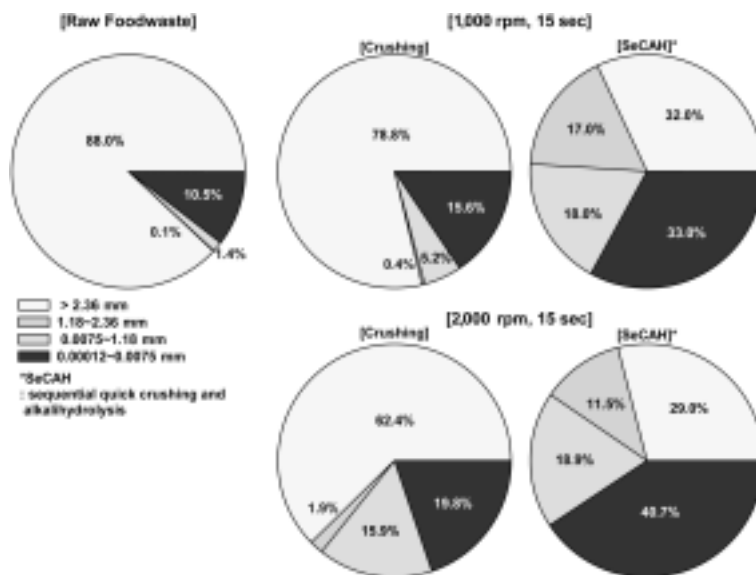


Fig. 2. Comparison of particle size fractions of foodwaste before and after pretreatment.

세 입자로 전환되는 분율은 2,000 rpm에 비해 상대적으로 낮았으나 음식물쓰레기의 용해도 및 가수분해율은 개선시킬 수 있음을 확인시켜 주었다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 음식물쓰레기를 파쇄 처리한 경우보다 SeCAH를 이용하여 전처리하였을 때 75 μm 이하의 입자 분율이 10.5%에서 40.7%로 증가되었으며 음식물쓰레기의 용해도 증가에 직접적으로 반영되었음을 알 수 있었다.

SeCAH를 수행한 뒤의 Group I의 입자 분율은 32.0% (1,000 rpm)와 29.0%(2,000 rpm)로 크게 감소되었으며, 기계적 파쇄만 수행한 경우와는 달리 Group II(1.18~2.36 mm)의 분율이 크게 증가되었다. 또한 SeCAH를 이용한 처리 후에 증가된 Group IV(1.2~75 μm)의 분율은 양돈 슬러리와 음식물쓰레기를 혐기성 병합 소화시 바로 가수분해되어 VFAs로 전환되어 메탄형성 박테리아(MPB, methane producing bacteria)의 기질로 바로 이용되어 CH_4 로 전환될 수 있을 것으로 사료된다.^{6,9,10,12)}

따라서 여러 연구자들의 연구결과^{6,7,9~11)}와 Fig. 1과 Fig. 2의 결과를 고려할 때 음식물쓰레기를 파쇄와 SeCAH를 이용한 전처리로 $\Delta\text{SCOD}_{\text{Cr}}$ 를 향상시킬 수 있으며 이는 양돈 슬러리와 혐기성 병합 처리시 가수분해를 향상에 의한 CH_4 생산율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

3.2. 음식물쓰레기의 SeCAH 처리 후의 질소 용출율

Fig. 3은 음식물쓰레기를 SeCAH를 수행하였을 때의 TN과 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 용출을 파쇄강도에 따라 나타낸 것이다. 수거된 음식물쓰레기의 TN과 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도는 각각 466.5 mg/L와 18.8 mg/L이었다. 파쇄강도 1,000 rpm에서 파쇄 처리된 음식물쓰레기를 SeCAH를 수행하였을 때 TN은 파쇄시간이 증가할수록 99.7~135.6%로 전체적으로 증가되었으나 2,000 rpm에서 전처리된 음식물쓰레기를 SeCAH를 수행하였을 때 TN은 파쇄처리만 수행한 경우에 비해 7.5~58.1%가 오히려 감소된 것으로 나타났다. 이는 Fig. 2와 Fig. 3에서 본 바와 같이, 1,000 rpm에서 전처리된 음식물쓰레기의 경우

파쇄 처리에 의한 입자 크기 개량에 의한 표면적 증가로 SeCAH를 수행하는 동안 유기질소 용출이 증가된 결과로 된다. 2,000 rpm에서의 TN의 감소는 SeCAH를 수행하는 동안 Fig. 2의 Group IV의 미세 입자상 유기물질의 화학적 산화시 유기성 질소가 함께 제거된 결과로 판단되었다. 1,000 rpm과 2,000 rpm에서 전처리된 음식물쓰레기를 SeCAH를 수행하였을 때, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 또한 67.7~82.8%가 감소되는 것으로 나타났으며 이는 NaOH 첨가에 따른 pH 증가(12~13)로 인한 암모니아 탈기 효과로 제거된 것으로 사료된다.

3.3. 양돈슬러리와 음식물쓰레기의 병합 처리시 혐기성 소화 저해유발 인자

Table 2는 양돈슬러리와 음식물쓰레기의 전처리 전후의 양이온 및 음이온 농도를 나타낸 것이다. 양돈슬러리와 음식물쓰레기에 함유되어 있는 양이온과 음이온은 혐기성 소화시 미생물 활성 저하에 의한 불안정한 혐기성 소화로 CH_4 생성율을 저하시킬 수 있는 대표적인 저해인자로 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} 와 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 있으며 혐기성 소화조 설계시 반드시 고려되어야 하는 것으로 알려져 있다.^{6,9,11,15~17)}

SeCAH로 전처리한 음식물쓰레기 중의 TN과 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도는 매우 낮으나 양돈슬러리에 임계저해농도¹⁷⁾를 초과하는 3331.3 mg/L(임계저해농도 3,000 mg/L)의 고농도로 함유되어 있어 혐기성 병합소화시 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 에 의한 저해작용이 있을 것으로 사료된다. 전처리된 음식물쓰레기와 양돈슬러리의 혐기성 병합 소화시 희석효과와 SeCAH 전처리 후 잔존하는 NaOH에 의한 탈기 효과로 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 에 의한 저해작용은 고려하지 않아도 될 것으로 판단되었다.

일반적으로 혐기성 소화공정에 고려되는 저해인자들의 농도를 평가하였을 때 양돈슬러리에 K^+ (임계저해농도 12,000 mg/L)가 4256.5 mg/L로 혐기성 미생물 활성에 중간정도의 저해작용을 유발하는 농도(2,500~4,500 mg/L)¹⁷⁾로 검출되었다. 이와 달리 음식물쓰레기의 경우, SeCAH를 수행한 뒤 Na^+ (임계저해농도 8,000 mg/L)가 692.5 mg/L에서 3805.0~6250.0 mg/L로 크게 증가되어 음식물쓰레기 단독 혐기성 소화시 이 또한 혐기성 미생물 활성을 크게 저하시킬 수 있는 저해농도¹⁷⁾로 존재하였다. 그러나 Table 2에 나타낸 바와 같이 양돈슬러리와 SeCAH로 처리된 음식물쓰레기를 혼합하여 처리할 경우 혐기성 미생물 활성에 저해작용을 유발하는 K^+ 과 Na^+ 는 저해농도 미만으로 크게 감소되어 그 저해작용이 상쇄될 수 있음을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 양돈슬러리와 SeCAH로 전처리된 음식물쓰레기를 혐기성 병합 소화하는 경우, 슬러리에 고농도로 함유되어 있는 SO_4^{2-} (1017.5 mg/L)가 H_2S 로 환원되며 생성된 H_2S 는 SeCAH에 사용된 잔존 NaOH에 의한 탈기 효과로 일부 제거 가능할 것으로 판단된다.⁶⁾ 양돈슬러리 중의 SO_4^{2-} 는 MPB와 동일한 유기기질을 높은 기질전환도로 이용하는 황환원 박테리아(SRB, sulfate reducing bacteria)에 의하여 H_2S 또는 HS^- 로 환원되며 200 mg/L(저해임계농도)¹⁷⁾ 이상으로 존재할 경우 CH_4 생성율은 정상상태의 50%

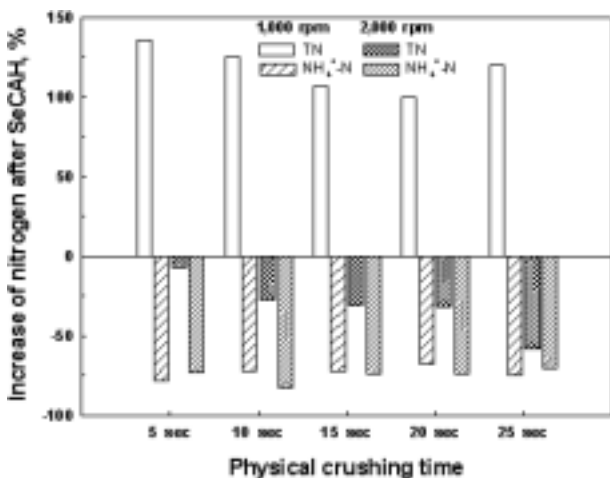


Fig. 3. Comparison of TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ increase after SeCAH.

Table 2. Anion and cation concentrations of pig slurry and foodwaste before and after pretreatment

Condition			Ion	Anion, mg/L					Cation, mg/L					
				Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
Raw Pig Slurry				1458.9	1017.5	N.D.	N.D.	127.7	370.8	34.3	4256.5	557.6		
Raw Foodwaste				1157.3	37.0	N.D.	6.42	10.05	76.7	25.4	471.0	692.5		
Foodwaste	Crushed	1,000 rpm	5 sec	1008.4	29.2	N.D.	5.7	15.3	30.8	19.7	391.9	520.5		
			10 sec	1102.6	35.5	N.D.	5.9	15.9	32.2	21.8	439.0	637.5		
			15 sec	1192.1	38.1	N.D.	6.3	20.1	34.6	22.0	440.6	664.0		
			20 sec	1213.4	38.9	N.D.	7.5	23.5	39.5	24.3	443.8	667.0		
			25 sec	1218.1	46.9	N.D.	7.8	25.3	54.3	27.8	520.5	820.0		
		2,000 rpm	5 sec	971.4	33.7	N.D.	5.1	17.3	40.1	25.4	477.8	707.0		
			10 sec	1160.4	44.6	N.D.	5.5	22.1	42.0	27.6	538.0	790.0		
			15 sec	1360.9	51.3	N.D.	7.3	27.7	46.3	37.1	650.5	997.0		
					5 sec	504.7	22.3	N.D.	5.2	12.8	13.1	10.5	140.0	3845.0
					10 sec	714.6	37.1	N.D.	6.7	19.7	13.3	10.6	194.5	3990.0
	SeCAH	1,000 rpm	15 sec	809.0	39.2	N.D.	8.0	21.9	13.3	11.0	208.5	4460.0		
			20 sec	836.4	45.7	N.D.	8.4	26.8	15.4	11.5	267.0	4545.0		
			25 sec	1067.0	48.6	N.D.	9.7	30.0	22.4	17.8	324.0	6250.0		
			2,000 rpm	5 sec	525.8	27.6	N.D.	4.8	16.8	10.1	13.2	96.5	3795.0	
				10 sec	550.7	27.7	N.D.	5.8	17.7	14.1	14.1	154.5	3805.0	
15 sec		743.8		36.5	N.D.	6.1	21.1	26.1	17.3	225.5	5200.0			

미만으로 감소시키는 결과를 가져 온다.^{16,17)}

4. 결론

본 연구는 SeCAH(sequential quick crushing and alkali hydrolysis)를 이용한 음식물쓰레기의 용해도 개선과 혐기성 병합 소화시의 저해 가능인자를 평가하는 것으로 그 결과는 다음과 같다.

1) SeCAH 전처리 후 음식물쓰레기의 용해도(Δ SCOD_{Cr} = SCOD_{Pretreated foodwaste} - SCOD_{Raw foodwaste})는 파쇄처리만 수행한 경우에 비하여 2.5배 이상으로 증가되었고, 용해도 증가와 소모된 에너지를 고려할 때 SeCAH에 최적 파쇄강도는 2,000 rpm, 파쇄시간은 5~10 sec로 도출되었다.

2) SeCAH로 전처리된 음식물쓰레기 중의 조대입자(>2.36 mm) 분율은 88.0%에서 29.0%로 감소되었으며 작은 입자(<75 μm) 분율은 10.5%에서 40.7%로 크게 증가되었다. SeCAH 전처리 후의 작은 입자 분율 증가와 유기성 입자 크기 재분포는 음식물쓰레기의 용해도 증가에 직접적으로 영향을 주는 인자임을 확인 할 수 있었다.

3) SeCAH로 전처리한 음식물쓰레기의 혐기성 소화시 저해 가능인자는 Na⁺(3795.0~6,250.0 mg/L)이고 양돈슬러리는 NH₄⁺-N(3331.3 mg/L), K⁺(4256.5 mg/L) 그리고 SO₄²⁻(1017.5 mg/L)이었다. 전처리된 음식물쓰레기와 양돈슬러리의 혐기성 병합 소화시 희석효과와 잔존하는 NaOH에 의한 탈기 효과로 인하여 저해작용이 상쇄될 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 경기도의 GRRC 연구과제 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 허남효, 박순철, 이진석, 강호, “음식물쓰레기와 폐활성슬러지의 혐기성 통합소화: 음식물쓰레기 혼합비율이 혼합 폐기물의 용해도와 생분해도에 미치는 영향,” 대한환경공학회지, **25**(8), 1050~1058(2003).
- 변임규, 이철희, 김영규, 김영오, 박태주, “음식폐기물과 하수슬러지의 혐기성 소화에서 혼합비에 따른 고형물 저감 특성과 메탄수를 특성,” 대한환경공학회지, **24**(1), 135~143(2002).
- 김정권, 이영형, 김철희, 정유진, 성낙창, “음식물쓰레기와 하수슬러지의 혼합소화 처리에 관한 연구,” 대한환경공학회지, **21**(5), 951~957(1999).
- 김태호, 조희경, 송영훈, 안승구, “음식물쓰레기 산발효공정에서 우점하는 세균의 동정 및 효율적인 VFA 생산을 유도하는 세균의 선별,” 대한환경공학회지, **27**(9), 1016~1021(2005).
- 이준철, 김재형, 최광근, 박대원, “음식물쓰레기와 전처리한 폐활성슬러지의 혼합비율에 따른 생물학적 수소생산,” 대한환경공학회지, **29**(9), 1044~1050(2007).
- Fabien Monnet, An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes, Final Report, Remade, Scotland, pp. 5~31(2003).

7. Mukherjee, S. R. and Levine, A. D., "Chemical Solubilization of Particulate Organics as a Pretreatment Approach," *Water Sci. Technol.*, **26**(9-11), 2289~2292(1992).
8. Lehne, G., Müller, A., and Schwedes, J., "Mechanical Disintegration of Sewage Sludge," *Water Sci. Technol.*, **43**(1), 19~26(2001).
9. Kim, I. S., Kim, D. H., and Hyun, S. H., "Effect of particle size and sodium ion concentration on anaerobic thermophilic food waste digestion," *Water Sci. Technol.*, **41**(3), 67~73(2000).
10. Hartmann, H., Angelidaki, I., and Ahring, B. K., "Increase of anaerobic degradation of particulate organic matter in full-scale biogas plants by mechanical maceration," *Water Sci. Technol.*, **41**(3), 145~153(2000).
11. Shefali Verma, Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solids Wastes, Master of Science Degree, Henry Krumb School of Mines and Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University, New York, USA, pp. 1~10(2002).
12. Steffen, R., Szolar, O., and Braun, R., Feedstocks for Anaerobic Digestion, 1998-09-30, Institut für Agrobiotechnolog, Tulln University of Agricultural Sciences Vienna, Austria(1998).
13. Paramsothy, A., Wimalaweera, R. M., Basnayake, B. F. A., and Wijesinghe, D. T. N., "Optimizing Hydrolysis/Acidogenesis Anaerobic Reactor with the Application of Microbial Reaction Kinetics," *Tropical Agricul. Res.*, **16**, 327~338(2004).
14. The University of Southampton and Greenfinch Ltd, Biodegradation of kitchen waste, Final Report(www.soton.ac.uk/~sunrise/Biogigestionfinalreport.pdf), pp. 4~17.
15. van Lier, J. B., Tilche, A., Ahring, B. K., Macarie, H., Moletta, R., Dohanyos, M., Hulshoff Pol, L., Lens, P., and Verstraete, W., "New Perspectives in Anaerobic Digestion," *Water Sci. Technol.*, **43**, 1~18(2001).
16. O'Flaherty, V., Lens, P., Leahy, B., and Colleran, E., "Long-Term Competition Between Sulphate-Reducing and Methane-Producing Bacteria During Full-Scale Anaerobic Treatment of Citric Acid Production Wastewater," *Water Res.*, **32**(3), 815~825(1998).
17. Joseph, F., Malina, Jr., and Frederick, G. Pohland, Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes, Water Quality Management Library Volume 7, TECHNOMIC Publishing co. inc., pp. 48~59(1992).
18. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater(2005), 21th Ed., APHA, AWWA and WEF. USA.