

유기성고형폐기물의 연속 중온 건식혐기성소화

오세은 · 이모권 · 김동훈^{†,*}

국립한밭대학교 환경공학과 · *한국과학기술원 건설 및 환경공학과

(2009년 4월 13일 접수, 2009년 5월 28일 채택)

Continuous Mesophilic-Dry Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste

Sae-Eun Oh · Mo-Kwon Lee · Dong-Hoon Kim^{†,*}

Department of Environmental Engineering, Hanbat National University

*Department of Civil and Environmental Engineering, KAIST

ABSTRACT : Continuous dry anaerobic digestion of organic solid wastes (30% TS, Total Solids) comprised of food waste and paper was performed under mesophilic condition. During the operation, hydraulic retention time (HRT) was decreased as follows: 150 d, 100 d, 60 d, and 40 d, which corresponded to the solid loading rate of 2.0, 3.0, 5.0, and 7.5 kg TS/m³/d, respectively. Volumetric biogas production rate (m³/m³/d) increased as HRT decreased, and the highest biogas production rate of 3.49±0.31 m³/m³/d was achieved at 40 d of HRT. At this HRT, high volatile solids (VS) reduction of 76% was maintained, and methane production yield of 0.25 m³/kg TS_{added} was achieved, indicating 67.4% conversion of organic solid waste to bioenergy. The highest biogas production yield of 0.52 m³/kg TS_{added} was achieved at 100 d of HRT, but it did not change much with respect to HRT. For the ease feed pumping, some amount of digester sludge was recycled and mixed with fresh feed to decrease the solid content. Recirculation volume of 5Q was found to be the optimal in this experimental condition. Specific methanogenic activity (SMA) of microorganisms at mesophilic-dry condition was 2.66, 1.94, and 1.20 mL CH₄/g VS/d using acetate, butyrate, and propionate as a substrate, respectively.

Key Words : Dry Anaerobic Digestion, Mesophilic, Methane, Organic Solid Waste, Recirculation

요약 : 음식물쓰레기와 종이류로 구성된 유기성고형폐기물(고형물 함량 30% TS)을 대상으로 중온 건식혐기성소화를 시도하였고, 연속 운전 중 수리학적 체류 시간(HRT)을 150일, 100일, 60일, 40일로 감소시켰다. 기질의 고형물 농도를 30% TS (Total Solids)로 고정하였기 때문에 각각의 HRT에 해당하는 고형물 부하는 2.0, 3.0, 5.0, 7.5 kg TS/m³/d였다. HRT를 줄임에 따라 단위용적 당 바이오가스 생산 속도는 증가하였고, HRT 40일에서 3.49±0.31 m³/m³/d로 가장 높은 성능을 보였다. 이 때, 76%의 휘발성 고형물(VS) 분해율이 유지되었고, 0.25 m³/kg TS_{added}의 메탄 생산 전환율을 보였으며, 이는 기질의 67.4%에 해당하는 에너지가 메탄 가스로 전환된 것을 의미한다. HRT 100일에서 0.52 m³/kg TS_{added}로 가장 높은 바이오가스 전환율을 보였지만, 모든 HRT에서 0.45~0.52 m³/kg TS_{added}로 큰 차이가 나지 않았다. 고형물 함량이 높은 기질의 원활한 주입을 위해 소화조 발효액의 일부를 기질 투입구로 반송하여 기질과 혼합 후 주입하였다. 주입하고자 하는 기질의 5배에 해당하는 양의 소화조 발효액을 반송하여 혼합하였을 때, 가장 효과적인 기질 주입이 이루어졌다. 중온 건식 조건에서 서식하는 메탄 소화균의 활성도를 측정된 결과, 아세트산, 뷰틸산, 프로피온산을 이용할 경우 각각 2.66, 1.94, 1.20 mL CH₄/g VS/d였다.

주제어 : 건식 혐기성 소화, 중온, 메탄, 유기성고형폐기물, 반송

1. 서론

유기성폐자원은 인간의 활동으로 인해 폐기·발생되는 모든 유기체를 의미하며, 전통 사회에서는 생태계의 순환 과정에서 인간이 사용한 에너지를 자연으로 되돌리는 중요한 역할을 수행하였다. 그러나 현대의 집적된 산업 사회에서 자정능력을 초과하여 발생하는 막대한 양의 유기성 폐자원은 수질, 토양, 대기 등 총체적인 환경 오염을 유발하는 처리 곤란 물질로 전락하고 말았다.

2007년 기준 우리나라의 생활폐기물 일일 발생량은 50,346

톤으로 지속적으로 증대되고 있는 추세이며(2006년 48,844톤/일), 이 중 대표적 유기성폐기물인 음식물쓰레기는 28.7%로 가장 많은 부분을 차지하고 있다.¹⁾ 음식물쓰레기는 2005년 음식물쓰레기의 직매립이 금지된 이후, 90% 이상이 사료 및 퇴비로 전환되고 있는 상황이지만, 품질이 낮아 그 수요가 매우 낮고, 또한 자원화 공정 중 ‘음식물쓰레기 탈리액(음폐수)’이라는 2차적인 오염 물질을 발생한다는 문제점이 있다.²⁾

폐기물을 재활용하고 남은 잔류물, 소각재, 가정폐기물 등은 최종적으로 매립에 의해 처리된다. 종량제봉투 내 가장 많은 부분을 차지하는 것은 종이류로서 35%를 차지하며, 추가적인 선별을 거치지 않고 대부분이 매립이 된다. 국내의 경우, 2007년 한 해 동안 1,046만톤의 폐기물이 매

[†] Corresponding author
E-mail: sackdong@kaist.ac.kr
Tel: 042-350-3697

Fax: 042-350-3610

립되었고, 현재 잔여 용량은 18,456만톤으로서 산술적으로 향후 20년 후에는 모든 매립지가 포화된다.¹⁾ 매립을 통한 폐기물의 주요 처리 기작은 혐기 조건에서의 생물학적 분해로서 일반적으로 30~100년 정도 소요되며, 이 곳에서 발생된 메탄가스는 지구온난화의 주범으로 인식되고 있다.³⁾ 물론 매립가스 발전시설(LFG)을 통해 발생된 바이오 가스를 에너지원으로 이용하려는 노력이 시도되고 있지만, 쓰레기에 잠재된 총 메탄의 90% 이상은 대기로 방출된다고 한다.⁴⁾ 이에 따라 전세계적으로 매립에 의한 처리량을 최소화하는 노력이 이루어지고 있고, 이를 위한 핵심 기술로서 혐기성 소화가 크게 각광을 받고 있다.⁵⁾

혐기성소화는 다양한 그룹의 미생물이 유기물을 가수분해, 산발효를 거쳐 최종적으로 메탄으로 전환시키는 공정으로 우리나라의 주요 폐터다임인 '저탄소 녹색성장'을 이룩하기 위한 매우 중요한 기술이다. 혐기성 소화 공정은 유입되는 기질의 고형물 함량에 따라 습식 및 건식 공정으로 구분되어진다. 1980년대 중반까지는 고형물 함량 10% 이내의 폐기물을 기질로 이용하는 습식 공정이 주를 이루었지만, 1990년대부터 고형물 함량이 20% 이상의 폐기물을 소화시키는 건식 공정이 EU를 중심으로 급속히 발전되었다.⁶⁾ 건식 공정은 고농도의 기질을 처리하기 때문에 동량의 유기물 부하를 유지함에 있어서, 소화 온도를 유지하기 위해 요구되는 열량이 습식 공정에 비해 훨씬 적고, 또한 회석수 사용량이 적어 폐수의 발생량도 최소화할 수 있는 장점이 있다.⁷⁾

상용화된 건식혐기성소화공정으로는 DRANCO 공정,⁸⁾ VALORGA 공정⁹⁾ 및 KOMPOGAS 공정¹⁰⁾이 있으며, 농업 잔류물, 유기성생활폐기물, 슬러지케이크 등을 기질로 이용하였다. 또한, 최근 유럽에서 폐기물의 매립량의 감소와 바이오에너지 생산을 목적으로 유기성도시고형폐기물을 대상으로 하는 건식소화운전에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{5,11)} 하지만, 기존의 연구는 주로 고온(50~60℃) 조건의 운전 결과이며, 또한 연속 운전 사례가 매우 드물다.

그러므로 본 연구의 목적은 음식물쓰레기와 종이류를 혼합한 유기성 고형폐기물을 대상으로 중온 조건에서 연속 건식혐기성 소화조를 이용하여 반응조의 운전 성능을 조사하였다. 이때 이용된 유입 기질의 TS 함량은 30%로 조절하였고, 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time, HRT)은 150, 100, 60, 40일로 단계적으로 감소시켰다.

2. 재료 및 방법

2.1. 기질의 성상 및 식종균

실험에 사용된 음식물쓰레기는 교내식당에서 발생하는 잔반을 수거하여 이용하였고, 종이류는 화장지, 신문지, 복사용지를 동량의 질량비로 혼합한 것을 이용하였다. 음식물쓰레기와 종이류는 한국기계엔지니어링(주)에서 제작한 Hammer crusher (TOP-03H), Cut crusher (TOP-03-CC)를 이용하여 직경 5 mm 이하로 분쇄하였다. 본 실험에서는

음식물 쓰레기와 화장지를 중량비율이 7:3가 되도록 제조하여 실험의 원료로 사용하였고, 고형물 농도(TS 기준)를 30%로 조절한 후에 주입하였다. 총 10회 이상 채취 후 분석한 기질의 평균 TS (Total Solids) 중 VS (Volatile Solids) 함량은 94.5±0.9%, TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) 값은 0.014±0.004 g/g TS, COD 농도는 1.09±0.1 g COD/g TS였다.

식종균은 지역 하수처리장에서 발생하는 탈수케이크를 이용하였으며, 성상은 TS 20.2%, VS/TS비 0.40, pH 8.5, 알칼리도 16.8 g CaCO₃/L였다.

2.2. 연속 운전

연속 운전에 이용된 건식혐기성소화 시스템은 다음의 Fig. 1과 같이 측면형의 원통형 소화조(직경=350 mm, 높이=800 mm, 전체 부피=60 L)와, 기질투입구, 기질투입 및 슬러지 반송펌프로 구성되어 있다. 소화조 내 교반은 축에 달린 4개의 임펠러로 이루어졌으며, 교반 속도는 25 rpm로 조절하였다.

식종균을 유효부피(40 L)의 3/4에 해당하는 양만큼 주입한 후, 1주일 동안은 추가적인 기질 주입 없이 운전하였다. 이어서 150일의 수리학적 체류 시간(Hydraulic retention time, HRT)에 해당하는 267 mL의 기질을 주입하기 시작하였고, 유효부피에 도달하기 전까지 유출을 하지 않았다. HRT는 향 후, 100일, 60일, 40일로 감소시켰다. 각각의 조건에서 HRT의 2배 이상에 해당하는 기간 동안 운전을 하는게 바람직하나, 너무나 긴 시간의 운전 기간을 요구하게 된다. 이에 따라 가스 발생량이 10% 내외의 변동을 보일 경우 안정화(steady-state)된 것으로 판단하고, 각 조건에서의 대표값을 구하였고, 또한 운전 조건을 변경하였다. 실험실 규모의 연구에서 고형물 함량이 높은 기질을 정량 펌프를 이용해 지속적으로 주입하는 것은 매우 어려우므로, 연속 회분식, 즉 HRT 60일까지는 HRT에 해당하는 양의 기질을 1일 1회 투입하였고, HRT 40일 조건에서는 1일 2회로 나누어 투입하였다. 소화조는 35±1℃로 유지되는 항온실에 설치하였다.

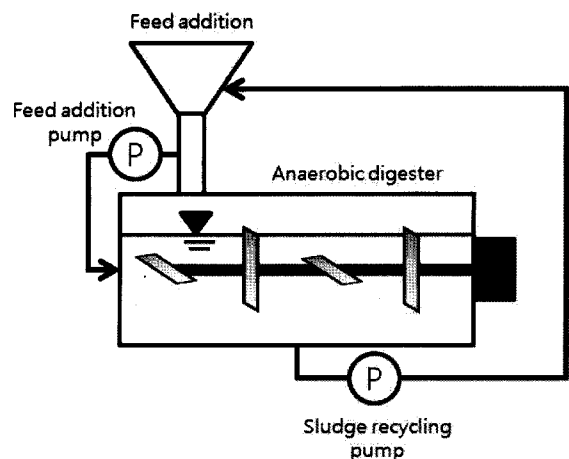


Fig. 1. Schematic of anaerobic-dry digestion system.

Table 1. Details of screw-type pump for feed injection and sludge recycling

Model	Output (W)	Voltage (V)	Frequency (Hz)	Current (A)	Starting torque (N·m)	Rated Torque (N·m)	Max. Speed (rpm)
K9IP200FH	200	220	50	1.3	3.0	1.45	1,350

2.3. 회분식 실험

건식 소화 시 기질의 고형물 함량은 일반적으로 25% 이상으로 함수율을 상향 조정하지 않고 유입하기에는 많은 무리가 있다. 이에 따라 본 시스템에서는 소화조 발효액의 일부를 반송펌프를 이용해 기질 투입조로 반송하여 함수율을 증가시킨 후 반응조내로 유입하였다. 이에 따라 소화조 발효액을 주입하는 기질 부피(Q)의 2~6배에 해당하는 양을 혼합하여 기질 유입을 시도하였고, 각각의 반송량에 따라 걸리는 시간을 측정하였다. 이와 관련한 실험 진행 시에는 유입 기질의 부피는 300 mL로 고정하였고, 각각의 경우에 있어서 3회 이상의 실험을 수행하였다. 반송펌프와 기질을 투입하는 스크류식 펌프는 동일한 것으로 제원은 다음의 Table 1과 같다.

중온 건식 혐기성 미생물의 활성도(SMA, Specific Methanogenic Activity)를 측정하기 위하여, 연속 운전 130일째 슬러지를 채취하였다. 회분식 실험 진행 시 슬러지내에서 발생할 수 있는 여분의 바이오가스 발생량을 줄이기 위하여, 채취한 슬러지는 약 한 달 동안 중온 조건에서 보관시킨 후 실험에 이용되었다. 슬러지는 500 mL의 serum bottle에 300 mL를 주입하였고, 기질로는 아세트산, 프로피온산, 뷰틸산의 3가지 종류로 슬러지와 혼합 후 농도를 2,000 mg COD/L가 되도록 제조하였다. 주요 영양 염류로는 COD:N:P:Fe = 100:5:1:0.33으로 조절하기 위하여 적당량의 NH₄Cl, KH₂PO₄, FeCl₂를 제조하여 주입하였고, Trace metal은 MgCl₂ 100, CaCl₂ 75, Na₂MoO₄ 0.01, H₃BO₃ 0.05, MnCl₂ 0.5, ZnCl₂ 0.05, CuCl₂ 0.03, NiCl₂ 0.05, CoCl₂ 0.5, Na₂SeO₃ 0.05 mg/L로 구성하였다.¹²⁾ 건식 혐기성 미생물의 고농도 조건을 유지해주기 위하여 주입한 영양염류, 기질, Trace metal 등은 고농도로 제조하여 1 mL 이하로 주입하였다. 본 회분식 실험 진행 시 이용한 슬러지의 TS는 15%, TS/VS 비율은 46%였다.

2.4. 분석 방법

기체의 조성은 열전도도 검출기를 장착한 가스크로마토

그래피(Gow Mac series 580, USA)를 이용하여 측정하였다. 칼럼은 6 ft×1/8 inch stainless steel column with porapak Q (80/100 mesh)였고, 운반기체로는 질소를 사용하였다. 발생된 가스는 습식가스미터(SINAGAWA, Japan)를 이용해 측정하였고, 표준상태(0°C, 1기압)로 환산한 값을 명시하였다. COD, TS, VS, TKN, Ammonia 농도는 Standard Methods에 준하여 측정 및 분석하였다.¹³⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 연속 운전

기질(음식물쓰레기+휴지) 농도를 TS 기준 30%로 일정하게 조절하였으므로, HRT를 150일, 100일, 60일, 40일에 감소함에 따라 고형물 부하량은 2, 3, 5, 7.5 kg TS/m³/d로 증가되었고, 이에 따른 일일 바이오가스 발생량은 Fig. 2에 나와 있다. 기질을 1일 1회 투입 시, HRT 60일까지는 지속적으로 바이오가스 발생량이 증대되었지만, HRT 40일로 변경 시 급격히 감소되는 현상이 관찰되었다(171~175일). 이는 HRT에 해당하는 기질을 한 번에 주입함에 따른 충격부하 때문으로 판단하고, 이 후 기질을 2회로 나누어서 주입하였고, 이에 따라 바이오가스 발생량은 일일 평균 143 L로 증대하였다. 일반적으로 5~15 kg COD/m³/d 해당하는 높은 유기물 부하 조건에서는 기질을 주입하는 빈도수가 전체 성능에 영향을 끼칠 수 있다고 보고되고 있으며,¹⁴⁾ 이에 대해서는 현재 초기 안정화가 진행 중인 1톤 규모의 파일럿-플랜트 운전 시 그 영향을 자세히 조사할 계획이다.

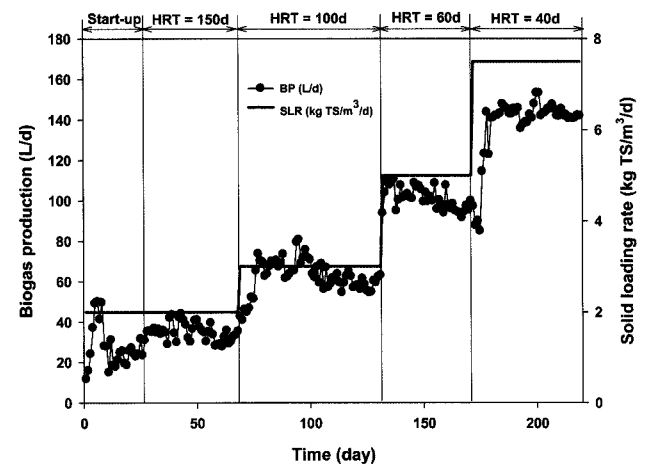


Fig. 2. Daily biogas production of mesophilic dry-anaerobic digestion of organic solid waste at various HRTs.

Table 2. Average biogas production and organics removal performances of mesophilic-dry anaerobic digestion of organic solid waste at various HRTs

HRT (d)	Solid loading rate (kg TS/m ³ /d)	Volumetric biogas production rate (m ³ /m ³ /d)	CH ₄ content (%)	Biogas production yield (m ³ /kg TS _{added})	CH ₄ production yield (m ³ /kg TS _{added})	VS reduction (%)	COD removal (%)
150	2.0	0.88±0.12	52.0±1.4	0.44±0.06	0.23±0.03	72.0±2.7	72.3±2.5
100	3.0	1.56±0.21	52.6±1.5	0.52±0.07	0.27±0.04	73.5±1.6	72.7±4.5
60	5.0	2.51±0.13	53.7±1.5	0.50±0.03	0.27±0.02	76.2±0.7	75.9±1.5
40	7.5	3.49±0.31	52.9±1.5	0.48±0.01	0.25±0.01	76.2±0.5	73.3±4.1

HRT에 따른 평균 바이오가스 생산 및 유기물 분해율을 Table 2에 제시하였다. 평균 바이오가스 발생량은 운전 조건 변경 후 HRT 감소, 즉 고형물 부하량의 증가에 따라 단위 용적 당 바이오가스 생산량은 증대되어 HRT 40일에서 평균 3.49 m³/m³/d로 가장 높은 값을 보였다. 한편 메탄 분압은 50~55%로 일정하게 유지되었다. 바이오가스 및 메탄가스 전환율은 HRT 100일에서 가장 높았지만, 전체적으로 큰 차이가 나지 않았다. 또한, VS 감량 및 COD 제거율은 HRT 40일 조건에서도 각각 75%, 73% 이상으로 높게 유지되었다. HRT 40일 조건에서 얻은 0.25 m³/kg TS_{added}의 메탄 전환율은 유기성폐기물이 함유하고 있는 총 에너지원의 67.4%가 본 공정을 통해 바이오에너지로 회수될 수 있음을 의미한다.

기존의 건식 소화 공정에서는 고형폐기물의 가수분해율의 증진을 위해 주로 고온 조건에서 운전을 시도하였다. 최근의 비슷한 조건(7.5 kg VS/m³/d)에서의 고온 건식 소화 연구결과를 살펴보면, 단위용적 당 바이오가스 발생량과 메탄분압이 각각 1.53 m³/m³/d와 41%였다.¹¹⁾ 이는 본 연구에서의 성능보다 더 낮은 값으로, 중온 조건에서도 충분히 고온 조건과 상응한 소화 성능을 보일 수 있음을 말해준다. 또한 고온 소화 시에는 유입되는 기질을 가온하기 위해 중온 소화에 비해 1.2~2배 가량의 열량을 요구하고, 고가의 소화조 설비 자재를 요구하므로, 중온 소화가 훨씬 경제적이다.¹⁵⁾ 본 연구 결과는 중온 조건에서 음식물 쓰레기와 종이류로 구성된 유기성고형폐기물을 연속으로 건식 소화를 시도한 최초의 사례로서 매우 의미있는 결과로 평가된다.

3.2. 최적 슬러지 반송율

실험실 규모의 소규모 시스템에서 슬러지 반송량은 경제성 평가에 영향을 끼치지 않지만, 실제 대규모 플랜트에서는 최적의 반송량을 산정하는 것은 매우 중요한 인자이다. 투입하고자 하는 기질량(Q)의 두 배, 즉 2Q를 재순환 시에는 기질 투입 자체가 이루어지지 않았고, 3Q에서 6Q로 증가함에 따라 Q에 해당하는 양을 투입하는데 걸리는 시간은 30.5, 16.7, 9.8, 8.9초로 감소하였지만, Fig. 3에 제시되어 있듯이, 기질 투입에 가장 적은 시간을 소비하는 것은 5Q를 재순환한 경우였다. 반송펌프로 소화액 Q를 반송하는데 걸리는 시간은 평균 9.5초가 소요되었다. 총 소요되는 시간은 3Q, 4Q, 5Q 및 6Q에서 각각 150.5, 121.5, 96.5와 110.5초로 5Q를 반송하는 경우 가장 짧은 시간이 소요되었다. 본 시스템에서는 반송 및 기질 투입 펌프 모두 같은 전력을 소모하는 것을 사용하였으므로 전력 소모 면으로도 최적의 경우는 5Q를 반송하는 경우이다. 실험 플랜트에서는 각각의 제원이 틀릴 수 있고, 함수율 또는 고형물의 농도에 따라 각종 설비의 마모에 끼치는 영향이 다르므로 본 연구결과에서 얻은 재순환율 5Q가 최적이라고 결론을 지을 수 없지만, 이와 같은 접근 방법과 연구 결과는 실제 설계에 있어서 매우 유용한 정보라고 사료된다.

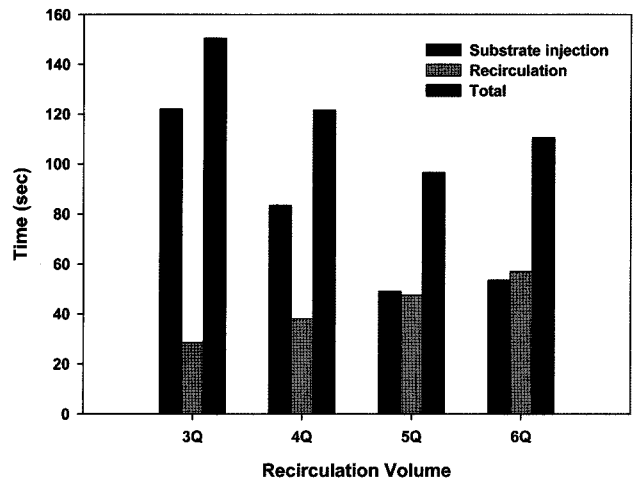


Fig. 3. Required time for the feed injection at various recirculation volumes.

3.3. 중온건식혐기성 미생물의 활성도

미생물 활성도 실험 시 발생한 누적 메탄 가스량은 다음의 Modified Gompertz 식을 이용하여 모사하여, 메탄 발생 속도를 구하였다.¹⁶⁾ 다양한 기질 조건에서의 누적 메탄 발생 그래프는 Fig. 4와 같으며, Modified Gompertz 식으로 모사한 경우, 모든 조건에서 R²값은 0.95 이상으로 통계적으로 유의하였다.

$$M(t) = P \times \exp \left\{ -\exp \left[\frac{R' \times e}{P} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

M(t) = Cumulative methane production (mL) at cultivation time t (d); P = Methane production potential (mL); R' = Methane production rate (mL/d); λ = lag period (d); and e = exp(1) = 2.7828

기존의 다른 대부분의 혐기성 소화에서와 마찬가지로 아세트산, 뷰틸산, 프로피온산 순서대로 높은 기질 친화도를 보였다. 미생물 당(g VS 기준) 메탄 발생 속도는 아세트산,

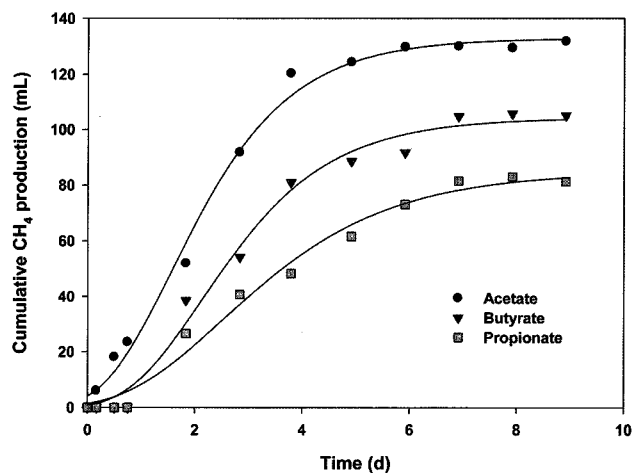


Fig. 4. Cumulative methane production in using acetate, butyrate, and propionate as a substrate.

뷰틸산, 프로피온산에서의 값은 각각 2.66, 1.94, 1.20 mL CH₄/g VS/d였다. 이 값들은 세계 최초로 건식 조건에서 적용된 미생물의 동역학적 계수를 제시한 값으로 그 가치가 매우 높다고 판단되며, 향후에는 기질 농도를 다르게 하여 추가적으로 농도에 대한 다양한 동역학적 상수를 구하여, 실제 설계 시 유용한 정보를 제공할 수 있도록 하겠다.

또한 본 결과와 마찬가지로 실제 연속 운전에서도, 80 mg COD/L, 150 mg COD/L에 해당하는 뷰틸산과 프로피온산이 검출된 반면, 아세트산은 검출되지 않았다. 하지만, 전체적으로 유기산의 농도가 매우 낮아 운전 기간 중 유기산 축적에 따른 저해 작용은 없었던 것으로 판단된다.

4. 결론

음식물쓰레기와 종이류로 구성된 유기성고형폐기물의 건식 혐기성 소화를 증온 조건에서 연속 운전을 시도하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) HRT를 150일, 100일, 60일, 40일로 감소, 즉 고형물 부하량을 2, 3, 5, 7.5 kg TS/m³/d로 증가시킴에 따라 단위 용적 당 바이오가스 생산량은 지속적으로 증대되었고, HRT 40일 때 3.49±0.31 m³/m³/d로 가장 높은 성능을 보였다. 이 때의 VS 감량, COD 제거율, 바이오에너지 회수율은 각각 75%, 73%, 65% 이상으로 매우 높았으며, 이는 기존의 고온 소화에서의 성능과 상응한 값이다.

2) 본 연구 결과는 증온 조건에서 유기성고형폐기물을 연속으로 건식 소화를 시도한 최초의 사례로서, 증온에서도 고온 조건에서와 상응한 소화율을 보인 매우 의미있는 결과로 평가된다.

3) 건식 소화 시 기질의 고형물 함량은 일반적으로 25% 이상으로 함수율을 상향 조정하지 않고 유입하기에는 많은 무리가 있다. 이에 따라 소화조내 슬러지의 일정량을 반송하여 기질과 혼합하여 펌프로 유입을 시도하였고, 반송량을 2~6Q까지 다양하게 해 본 결과, 최적의 반송량은 5Q였다.

4) 증온 건식 조건에서 서식하는 메탄소화균의 활성도를 측정된 결과, 아세트산, 뷰틸산, 프로피온산을 이용할 경우 각각 2.66, 1.94, 1.20 mL CH₄/g VS/d였다. 이 값들은 세계 최초로 증온 건식 조건에서 적용된 메탄소화균의 동역학적 계수를 제시한 사례이다.

사 사

본 연구는 한국환경기술진흥원의 차세대 핵심환경기술개발사업의 연구비를 지원받아 수행한 결과이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, 2007 전국 폐기물 발생 및 처리 현황.

2. 환경부, 제 3차 (2006~2007년) 전국폐기물통계조사.
 3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Report of the Twelfth season of the IPCC, Mexico City, 11~13 Sep.(1996).
 4. Themelis, N. J. and Ulloa, P. A., "Methane generation in landfills," *Renewable Energy*, **32**, 1243~1257(2007).
 5. Forster-Carneiro, N., Perez, M., and Romero, L. I., "Anaerobic digestion of municipal solid wastes: Dry thermophilic performance," *Bioresour. Technol.*, **99**, 8180~8184(2008).
 6. Bolzonella, D., Innocenti, L., Pavan, P., Traverso, P., and Cecchi, F., "Semi-dry thermophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: focusing on the start-up phase," *Bioresour. Technol.*, **86**, 123~129 (2003).
 7. Pavan, P., Battistoni, P., and Mata-Alvarez, J., "Performance of thermophilic semi-dry anaerobic digestion process changing the feed biodegradability," *Water Sci. Technol.*, **41**, 75~81(2000).
 8. Six, W. and De Baere, L., "Dry anaerobic conversion of municipal solid waste by means of the DRANCO process," *Water Sci. Technol.*, **25**, 295~300(1992).
 9. Laclos, H. F., Desbois, S., and Saint-Joly, C., "Anaerobic digestion of municipal solid waste: VALORGA full-scale plant in Tilburg, the Netherlands," *Water Sci. Technol.*, **36**(6-7), 457~462(1997).
 10. Willinger, A., Wyder, K., and Metzler, A. C., "KOMPOGAS-a new system for the anaerobic treatment of source separated waste," *Water Sci. Technol.*, **27**(2), 153~158(1993).
 11. Montero, B., Garcia-Morales, J. L., Sales, D., and Solera, R., "Analysis of methanogenic activity in a thermophilic-dry anaerobic reactor: Use of fluorescent in situ hybridization," *Waste Manage.*, **29**, 1144~1151(2009).
 12. Kim, D. H., Han, S. K., Kim, S. H., and Shin, H. S., "Effect of gas sparging on continuous fermentative hydrogen production," *Int. J. Hydrogen Energy*, **31**, 2158~2169(2006).
 13. APHA, AWWA and WEF, "Standard methods for the examination of water and wastewater," 20th ed. Baltimore, American Public Health Association, **2**, 57~59 (1998).
 14. Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., and Jones, D. L., "Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources," *Bioresour. Technol.*, **99**(17), 7928~7940(2008).
 15. Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering*, 3rd edition, 830~834.
 16. Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F. M., and Van's Riet, K., "Modeling of the bacterial growth curve," *Appl. Environ. Microbiol.*, **56**, 1875~1881(1990).