



유기성폐기물의 혐기성 소화에 의한 바이오가스 생산 기술

김형건[†], 이대성, 장해남, 정태학*
금호건설 기술연구소, 서울대학교 건설환경공학부*
(2010년 8월 6일 접수, 2010년 9월 20일 수정, 2010년 9월 22일 채택)

Anaerobic digestion technology for biogas production using organic waste

Hyoung-Gun Kim[†], Dae-Sung Lee, Hae-Nam Jang, Tai-Hak Chung *
Institute of Construction Technology, Kumho Engineering & Construction
Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University*

ABSTRACT

A pilot-scale test for production of biogas was conducted in an specially designed anaerobic digester (KH-ABC) in which the highly concentrated organic waste (food-waste and piggery-manure) was treated. The effect of inhibitive material to the reaction on anaerobic digestion and the feasibility of digested fluid for the liquefied fertilizer were investigated.

The production rate of biogas, the concentration of methane(CH₄) in biogas, and the digesting rate of volatile solid(VS) were analyzed in the variance of the operating conditions ; the influent rate, the mixture ratio of food waste and piggery manure, and the hydraulic retention time(HRT), etc.

The production rate of biogas increased from 1.2 to 2.0 kg-VS/m³ · d with the organic loading rate(OLR). The most suitable operating conditions were recorded at 6m³/day of an influent rate, 2:3 of the raw material mixture ratio(food waste : piggery manure) and 25 days of HRT, respectively. Under those conditions, the production rate of biogas, the concentration of methane(CH₄) in biogas and the digesting rate of volatile solid(VS) were 220m³/day, 64%, and 70%, respectively.

The concentration of inhibitive materials was below toxic standard and the anaerobic digested fluid(raw material mixture ratio of 3:7) could meet the condition of the liquefied fertilizer.

Keywords : Anaerobic digestion, Biogas, Organic waste, KH-ABC

[†]Corresponding author : hkkim1@kumhoenc.com

초 록

본 연구에서는 고농도 유기성 폐기물인 음폐수와 돈분뇨를 혐기성 소화조(KH-ABC)에서 병합처리하여 대체 에너지원인 바이오가스를 생산하는 바이오가스 Pilot Plant의 성능을 검증하고 평가하였다. 그리고, 혐기성 소화 공정의 독성물질에 대한 저해 여부 가능성 및 소화액의 액비 활용 가능성에 대하여 살펴보았다.

원료 투입량, 수리학적 체류시간, 원료 배합비율(음폐수와 돈분뇨의 혼합비율) 등 운전조건의 변화에 따른 유기물(VS) 분해율, 바이오가스 생산량 및 메탄농도 등을 분석한 결과 원료의 유기물부하가 증가(1.2~2.0 kg-VS/m³·d)함에 따라 투입 유기물 당 바이오가스 생산량은 0.60~0.69 m³/kg-VS_{in}로 증가하는 경향을 보였다. 특히 원료투입량 6m³/일, 원료배합비율 음폐수:돈분뇨=4:6, 수리학적 체류시간(HRT) 25일의 조건에서 유기물 분해율 70%, 바이오가스 생산량 220m³/일, 메탄농도 64%로 비교적 높은 성능을 나타냈다.

그리고, 소화액을 분석한 결과 혐기성 소화공정에 저해 작용을 유발하는 양이온 및 중금속 등의 독성물질은 기준농도 이하로 존재하였으며, 소화액(원료배합비율 음폐수:돈분뇨=3:7)은 액비 활용기준인 비료공정규격을 만족하였다.

핵심용어 : 혐기성 소화, 바이오가스, 유기성 폐기물, KH-ABC

1. 서론

2002년도에 유기성폐기물 82,206천톤이 발생하였으며, 이중 축산분뇨가 56,648천톤/년으로 68.9%를 차지해 가장 많은 비율을 보였고, 기타 유기성폐기물의 비율이 14,280천톤/년으로 17.4%를 차지하였다. 그 다음으로 폐수처리 슬러지, 음식물류 폐기물, 하수슬러지, 동·식물성 잔재물, 분뇨슬러지의 순으로 발생하였다. 유기성폐기물은 최종처리과정에서 높은 수분함량으로 인해 유기물이 급격히 분해되어 악취발생의 요인이 되기도 한다. 이러한 문제점에 의하여 90년대에 들어와 매립을 규제하는 움직임이 발생했으며, 현재에도 최대한 수분을 억제한 상태에서 반입을 유도하고 있으나, 아직까지 많은 문제점을 야기 시키고 있는 실정이다. 따라서 이러한 유기성폐기물의 처리에 있어서 매립과 소각처리를 대신할 수 있는 효율적인 처리방법이 요구되고 있다^①.

한편 지난 세기동안, 인류의 산업발달과 성장을 위한 에너지소비의 양은 지속적으로 증가하였다. 이러한 결과로서 현재 사용되는 주된 화석연료인 석유의 가체년수는 49년 정도 밖에 남지 않았으며, 향후 40~60년 내에 획기적인 대체 에너지가 나오지 않는 한 심각한

에너지문제에 직면할 전망이다. 또한 화석연료 사용의 증가는 대기 중으로 CO₂ 방출을 가속화시킴에 따라 지구온난화와 기후변화를 일으키는 원인이 되고 있다.

'06년도 우리나라 총 온실가스 배출량(CO₂)은 588백만톤으로 현재와 같은 배출추세에서 우리나라가 온실가스 의무감축 국가 분류된다면 상당한 사회적·경제적 타격이 예상된다^②. '07년 인도네시아 발리에서 개최된 제13차 UN 기후변화협약 당사국 총회에서 채택된 '발리 로드맵'은 '12년 이후 우리나라도 온실가스 감축 의무국가에서 분류될 것임을 강하게 시사한다.

우리나라의 온실가스 감축의 주요 수단은 재생에너지이고 폐기물분야의 기여가 크다. '05년 기준 폐기물부분이 국가 전체 재생에너지의 75% 이상을 차지함으로써 '11년까지 국가 전체 에너지 소비의 5% 이상을 재생에너지화 하겠다는 정부의 정책에 크게 일조하고 있다. 단순 처리되거나 해양으로 배출되고 있는 유기성 폐기물까지 에너지화 하는 경우 그 효과도 제고될 수 있으므로 유기성폐기물의 에너지화를 위한 기술개발이 시급한 실정이다. 이러한 기술개발을 통하여 폐기물의 에너지화를 실현할 경우 폐기물 자체에서 발생하는 온실가스를 저감할 수 있다는 본연의 목적 외에도 이를 에너지화함으로써 화석연료의 소비를 대체하는 등

일거양득의 온실가스 감축효과가 있을 것으로 판단된다. 이를 위한 기술 개발은 가까운 미래에 다가오는 온실가스 의무감축에 대비한다는 국가정책 측면에서도 매우 큰 의미가 있다고 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 유기성 폐기물의 효과적인 처리 및 에너지화 방안의 일환으로서, 고농도 유기성 폐기물인 음폐수와 돈분뇨를 특수 제작된 혐기성 소화조에서 병합처리하여 대체 에너지원인 Bio-gas를 생산하는 바이오가스 Pilot Plant의 성능과 안정성을 평가하고 소화액의 액비 활용 가능성을 평가함으로써 그 우수성을 입증하였다.

2. 실험 재료 및 방법

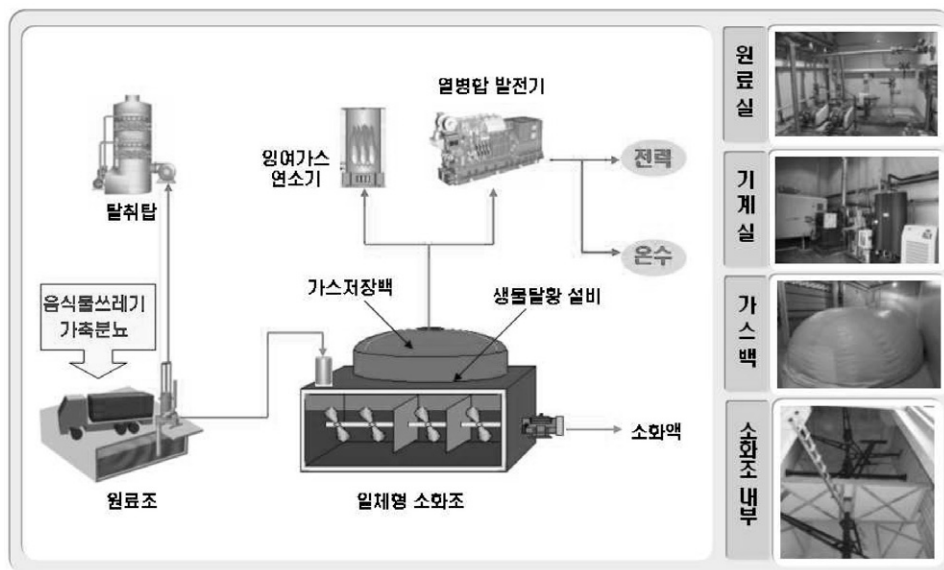
2.1 실험 재료

본 연구에서는 5 m³/일 처리 규모의 파일럿 플랜트 설비를 이용하였다. 본 시설은 2008년 1월 가동을 시작하였고, 3개월 가량의 시운전을 거쳐 안정화에 도달한 후, 겨울철을 포함하여 장기간 운전 및 처리 효율 테스트를 수행하였다.

본 설비의 단위 공정은 원료를 혼합하고 저장하는

원료조, 원료조 내 협잡물을 수집 및 수거하기 위한 썸핏(sump-pit)조, 가스저장설비 및 생물탈황설비와 일체형으로 구성된 혐기성 소화조, 바이오가스의 잔여 황화수소와 수분을 제거하기 위한 제습탈황설비, 바이오가스를 활용하여 전기 및 열을 생산하기 위한 열병합발전기, 원료조와 혐기성소화조를 가운시키기 위한 가온수단, 원료 및 소화액의 이송 수단, 비상용 보일러 및 플레어스택, 계측기 등으로 구성되어 있으며, 각 공정들은 MMI (Man Machine Interface)시스템에 의하여 원격 자동 제어되고 있다. 특히 소화조는 그 내부에 분할 막, 미생물 부착 여재, 교반 및 슬러지 이송을 위한 특수 설계된 교반기 등을 갖추었으며, 고액분리없이 고형물을 다량 함유한 유기성 폐기물의 처리가 가능하도록 설계되었다. 소화조는 소화조내부에 설치된 온수배관을 통해 38℃로 유지되었으며, pH 조절을 위해 별도로 약품을 투입하지는 않았다.

발생한 바이오가스는 소화조 상단에 설치된 생물탈황 설비를 통과하면서 상당량의 황화수소 가스가 제거되도록 하였다. 생물탈황 설비를 포함하는 소화조 상단에 설치된 바이오가스 저장탱크는 약 80m³ 부피를 가지며 승압송풍기를 통해 열병합발전기로 공급되어 전기



[Fig. 1] Schematic process of Pilot Plant.

및 온수를 생산하거나 필요시 잉여가스 연소기로 공급되어 연소되도록 하였다.

한편, 대상 원료는 경기도 안성시 소재 OO축산영농조합의 돈사에서 발생한 슬러리 상태의 돈분뇨와 안성시 소재 음식물쓰레기 사료화시설에서 발생하는 음폐수를 사용하였다. 돈분뇨와 음폐수의 성상은 계절이나 수거 당시 해당시설의 저장조 상태 등에 따라 상당한 차이를 보였다.

돈분뇨는 발생 후 돈사 지하 저장조에 평균 약 1개월 동안 저장한 후 펌프를 통해 본 시설의 원료조로 이송하였다. 돈사 저장조에 설치된 이송펌프 주위에는 스크린을 설치하여 협잡물이 이송되는 것을 방지하였다. 음폐수는 음식물쓰레기 습식사료화 시설(200톤/일 처리)에서 협잡물 제거, 파쇄, 기계식 압축에 의한 선별 및 분쇄 후 사료화 등의 과정에서 발생한 탈리액과 세척수 등을 포함한 것으로서 차량으로 이송 후 원료조에 투입하였다.

2.2 실험 방법

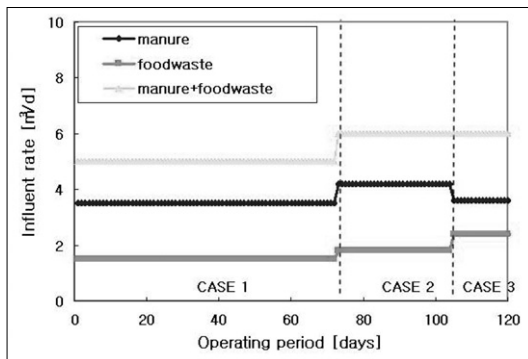
본 실험은 중온(38℃) 혐기성 소화조의 안정화가 유지된 상태에서 [Fig. 2] 및 [Fig. 3]과 같이 원료 투입량 및 수리학적 체류시간(HRT), 원료 내 돈분뇨와 음폐수의 비율 등의 운전 조건을 변화시키면서 CASE1~CASE3의 3단계로 진행하였다. 돈분뇨와 음폐수의 비율은 일본과 연구협력을 통하여 구축분뇨와 음폐수의 비율이 7:3인 경우 가장 안정적인 양상을 나타내어 이러한 결과를 기준으로 본 연구의 여건에 맞

게 조건을 변화시켜 CASE를 분류하였다.

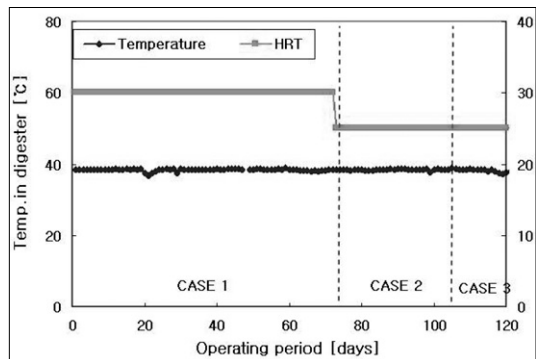
먼저 CASE1은 돈분뇨:음폐수=7:3의 원료를 5m³/일 투입(HRT=30일)하였으며, CASE2에서는 Case1의 상태에서 조성비율은 유지하고 투입량을 20% 증가 시킴으로써 체류시간을 30일에서 25일로 단축시켰다. Case3에서는 원료 투입량은 6m³/일로 유지하여 체류시간을 25일로 고정하면서 원료 조성을 돈분뇨:음폐수=6:4로 변화시켜 실험을 진행하였다.

이 과정에서 소화조의 pH, 온도, 알칼리도와 휘발성 고형물(VS)의 농도 및 제거율, 바이오가스 생산량, 메탄가스 농도 등을 측정하여 운전조건별 혐기성 소화 공정의 성능과 안정성을 평가하였다. 소화조의 pH와 온도는 소화조에 장착된 pH 미터와 온도계를 사용하여 실시간 측정 및 기록된 자료를 이용하였다. 바이오가스 생산량과 메탄농도는 현장에 설치된 유량계와 가스분석장치를 이용하여 측정하였다. 그리고, 총 고형물과 휘발성 고형물의 분석에 있어서는 원료조에서 소화조로 투입되는 유입관에서 원료조 시료를, 소화조에서 배출되는 배출관에서 소화조 시료를 각각 1L씩 채취하여 분석시까지 4℃에서 보관하였으며, 보관일은 하루 이상 되지 않도록 하였다. 분석방법은 앞 절에서 설명한 유입수의 정상분석 방법과 동일하게 측정하였다.

한편, 혐기성소화 공정의 저해물질에 대한 영향 여부를 파악하기 위하여 소화액에 대한 염분, 양이온류, 중금속류의 농도를 측정하였다. 측정 방법은 Standard Method(2005)와 수질오염공정시험법(2007)을 이용하였다. 그리고, 혐기성 소화액의 액비 활용 가능성을



[Fig. 2] Operating conditions (Influent rate).



[Fig. 3] Operating conditions (Temperature & HRT).

살펴보기 위하여 비료공정규격 성상에 대한 소화액의 성상을 분석하였다.

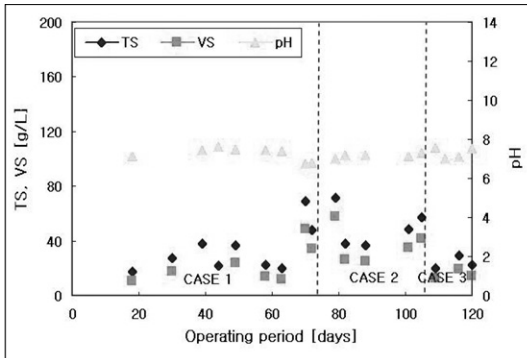
3. 결과 및 고찰

3.1 운전조건 변화에 따른 혐기소화 성능 평가

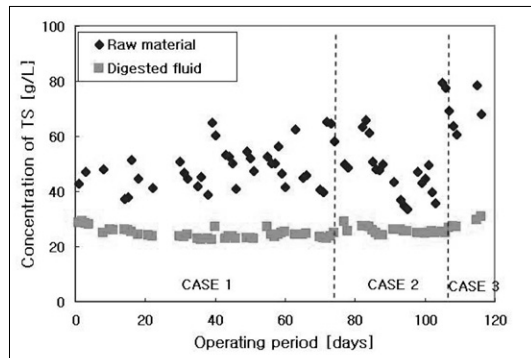
실험기간(4~7월) 동안 원료로 사용된 돈분뇨와 음폐수의 성상은 [Fig. 4] 및 [Fig. 5]와 같다. 돈분뇨의 경우 TS의 농도는 1.8~7.1%(평균 3.7%)로 편차가 컸고, 하절기 중 세척수 사용량과 노성분의 증가로 상대적으로 낮았다. TS 중 VS의 비율은 60~72%(평균 65%), Alkalinity는 1,000~16,700mg/L(평균 13,000mg/L), pH는 6.7~7.6(평균 7.2) 정도로 큰 편차는 없었다. 반면 음폐수의 경우는 TS의 농도가 비교적 균일하였다. TS의 농도는 11~15%(평균 13%), TS 중 VS의 비율은 80~88%(평균 85%), pH는 3.5~4.3(평균 4.0)로 측정되었다.

돈분뇨와 음폐수가 혼합된 원료와 이를 혐기성 소화를 거친 소화액의 TS농도, VS농도, pH, Alkalinity는 [Fig. 6]~[Fig. 9]과 같다. 혼합 원료의 TS농도는 3.3~7.9%(평균 5.1%), VS농도는 2.3~6.0(평균 3.8%)로 실험기간 동안 차이가 컸고, 소화액의 TS농도는 2.2~3.0%(평균 2.5%), VS농도는 1.2~1.8%(평균 1.4%)로 혼합원료의 경향에 맞추어 작은 폭으로 변화하였다.

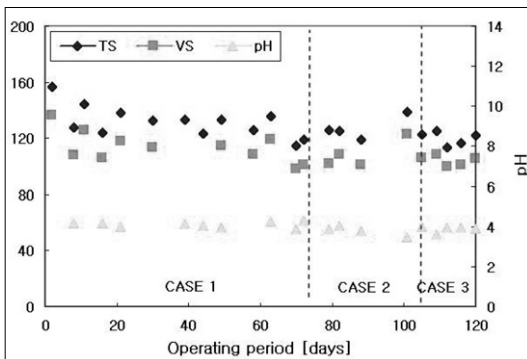
각 단계별로 살펴보면 CASE 1 조건에서는 소화조에 공급된 원료액의 VS농도가 평균 3.6%이었고 전체적으로 큰 편차를 보였다. 투입량을 6m³/일로 증가시킨 CASE 2에서는 원료액의 유기물 농도가 평균 3.3%로 감소하였으나, CASE 3에서 원료의 돈분뇨와 음폐수 비율을 7 대 3에서 6 대 4로 변화시켰을 때는 유기물 농도가 5.3%로 50% 이상 증가하였다. 이와 같은 유기물 농도와 원료 투입량을 동시에 고려한 유기물 부하에 있어서는 CASE 1 과 2의 유기물 부하율은 각



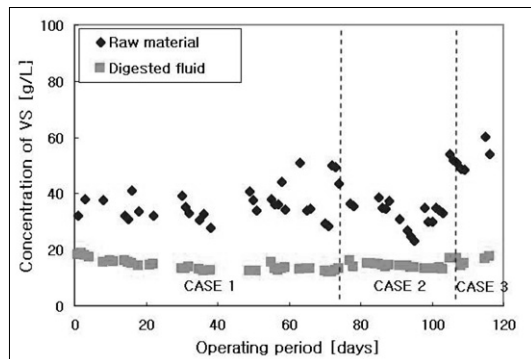
[Fig. 4] Properties of piggery manure.



[Fig. 6] Change in Total Solid concentration.



[Fig. 5] Properties of foodwaste.



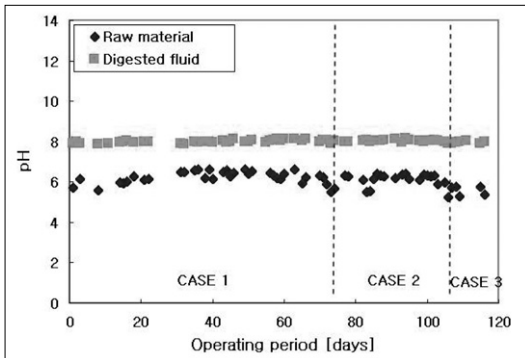
[Fig. 7] Change in Volatile Solid concentration.

각 1.2와 1.3 kg-VS/m³ · 일로 거의 차이가 없으나 Case 3에서는 2.1 kg-VS/m³ · 일으로 크게 증가하였다. 즉 CASE 1에서 2로 전환되었을 때는 동일한 유기물 부하율에서 체류시간만 단축되었지만, CASE 2에서 3으로 전환되었을 때는 체류시간은 25일로 동일하나 유기물 부하율은 60% 이상 증가하게 된다. 또한 CASE 2에서는 체류시간이 25일로 더 짧지만 돈분뇨의 VS 농도가 낮기 때문에 유기물 부하율은 CASE 1에서의 유기물 부하율과 유사한 값을 나타내었다.

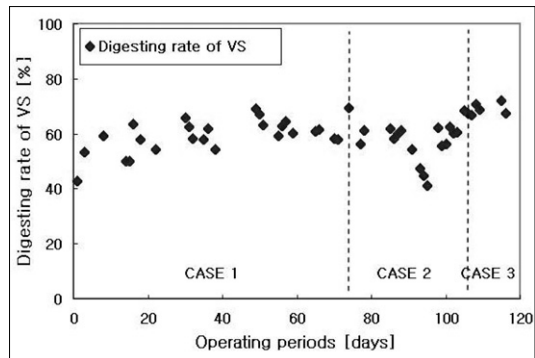
한편, 혼합원료의 pH는 5.3~6.6(평균 6.1)이었으나, 소화액의 pH는 약품 투입이 전혀 없이 7.8~8.0(7.9)로 안정적으로 유지되었다. Alkalinity의 경우에는 혼합원료는 7,200~14,800mg/L(평균 10,200mg/L), 소화액은 15,000~19,000mg/L(평균

17,000mg/L)로 혼합원료 보다 증가하는 경향을 보였다.

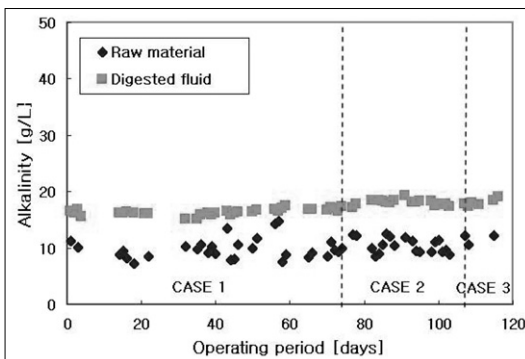
혐기소화조의 유기물의 분해율은 [Fig. 10]와 같은 양상을 보였다. CASE 1과 2에서 유기물 분해율의 편차는 상당하나 평균적으로 61% 정도의 값을 나타내었다. 특히 운영일수 90~100일 사이의 유기물 분해율의 감소는 [Fig. 7]를 참고해 볼 때 유입 원료 중 유기물 농도의 감소에 기인한다. 이 기간 동안 돈사의 세척수 사용량이 급증하여 원료 중 유기물 농도가 크게 감소하였으나, 소화조의 체류시간은 25일이므로 소화액의 유기물 농도는 상대적으로 적게 감소하였다. 따라서 유기물 분해율이 이 기간 동안 크게 감소한 것으로 나타났으나 돈사의 돈분뇨 원료가 평균적인 성상을 회복하면서 유기물 분해율도 60% 내외로 안정화 되었다. CASE 1과 2에서 61% 정도의 유기물 분해율과는 달



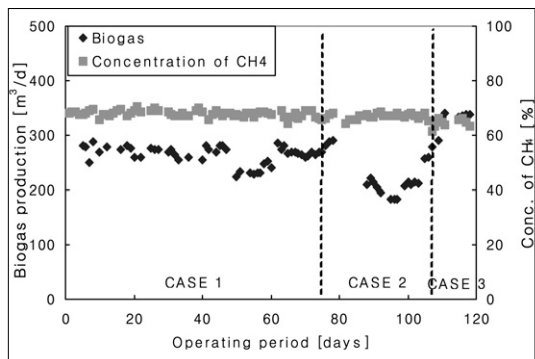
[Fig. 8] Change of pH in raw material and digested fluid.



[Fig. 10] Change in digesting rate of volatile solid.



[Fig. 9] Change of alkalinity in raw material and digested fluid.



[Fig. 11] Changes in biogas production rate and methane concentration.

리 CASE 3에서는 70% 정도의 유기물 분해율을 보였다. 따라서 CASE 1과 2에서는 본 연구시설이 소화할 수 있는 유기물 부하보다 적게 원료가 투입되고 있었고, CASE 3에서 유기물 부하를 증대시킴으로써 더 높은 유기물 분해율을 달성할 수 있었음을 알 수 있다. 또 다른 원인으로서는 원료액 중 유기물 분해율이 더 높은 음폐수의 비율이 높아짐으로써 전체적인 원료의 유기물 분해율이 상승하는 효과를 가져왔다고 할 수 있다.

유기물의 분해에 의해 발생한 바이오가스량 및 바이오가스 중의 메탄가스 함량은 [Fig. 11]에서 보는 바와 같다. 바이오가스 생산량은 VS분해율 및 원료의 VS농도와 비슷한 양상 보였다. CASE1에서는 평균 110m³/일 정도의 바이오가스가 발생되었으며, CASE2 중 VS농도 및 VS분해율이 낮은 기간 동안에는 바이오가스 발생량이 상대적으로 감소하였다. CASE3에서는 평균 220m³/일 정도의 바이오가스가 발생하였다. 바이오가스 중의 메탄 가스는 CASE1과 CASE2에서는 67~68%, CASE3에서는 64% 정도로 전체적으로 큰 변화를 보이지 않았으나, 원료 중 음폐수의 농도가 증가함에 따라 바이오가스 중의 메탄함량은 감소하는 경향을 보였다.

위 결과를 토대로 각 운전 단계에 따른 혐기성 소화 특성 및 성능을 [Table 1]에 정리하였다.

3.2 독성물질에 대한 저해 여부 분석

일부 양이온 및 중금속은 일정 농도 이상에서 혐기성 소화공정에 독성으로 작용하여 저해작용을 일으킨다. 따라서, 이러한 독성 유발물질에 대한 저해여부를 파악하기 위하여 원료 및 소화액에 대한 해당 성분의 농도를 분석하였으며, 그 결과는 [Table 2]에서 보는 바와 같다.

각 분석 물질에 대한 원료액과 소화액의 농도 차는 크지 않았으며, 소화액에 있어서 양이온 물질의 농도는 Na⁺ = 1,270mg/L, Mg²⁺ = 145mg/L, K⁺ = 2,390mg/L, Ca²⁺ = 1,080mg/L이었고, 그리고, 중금속 물질의 농도는 Cr = 1.4mg/L, Cu = 6.9mg/L, Ni = 1.7mg/L, Cd은 검출되지 않았다.

[Table 2]에는 저해농도도 표기하였다. 결국 원료액과 소화액 모두에서 양이온 및 중금속이 혐기성 소화반응에 저해를 미치는 농도 이하로 존재함으로써, 본 공정에서는 이들 독성물질에 의한 저해가 없음을 알 수 있었다.

3.3 소화액의 액비 활용 가능성

혐기성 소화 후 배출되는 소화액은 높은 비료성분을 함유하고 있기 때문에 퇴비와 대체 가능한 액비로 사용될 수 있는 유용한 자원이다. 소화액의 COD_{Cr} 농도는 일반적으로 약 10,000~30,000 mg/L 내외로 알려

[Table 1] The Characteristics and Performance of Anaerobic Digestion

Items	CASE 1	CASE 2	CASE 3
VS of raw material	3.6 %	3.3 %	5.3 %
VS of digested fluid	1.4 %	1.3 %	1.6 %
Organic loading rate	1.2 kg-VS/m ³ ·d	1.3 kg-VS/m ³ ·d	2.0 kg-VS/m ³ ·d
Digesting rate of organics	61 %	61 %	70 %
Biogas production	110 m ³	118 m ³	220 m ³
Concentration of CH ₄	68 %	68 %	64 %
CH ₄ production	75 m ³	80 m ³	150 m ³
Biogas production / kg-VS	0.61 m ³ /kg-VS _{input}	0.60 m ³ /kg-VS _{input}	0.69 m ³ /kg-VS _{input}
CH ₄ production / kg-VS	0.41 m ³ /kg-VS _{input}	0.40 m ³ /kg-VS _{input}	0.44 m ³ /kg-VS _{input}

[Table 2] Concentration of Toxic Materials in the Anaerobic Digestion

Inhibitive material		Inhibitive concentration [mg/L]	Concentration of Raw-material	Concentration of digested fluid
Cation	Na ⁺	3,500~5,500	1,220	1,270
	Mg ²⁺	1,000~1,500	251	145
	K ⁺	2,500~4,500	2,140	2,390
	Ca ²⁺	2,500~4,500	1,320	1,080
Heavy Metal	Cr	90~150	1.3	1.4
	Cu	200~400	6.0	6.9
	Cd	0.02	None	None
	Ni	60~120	1.7	1.7

[Table 3] Concentration of Digested Fluid and Standards of Liquefied Fertilizer

Items	Standards	Concentrations
N (%)	more than 0.3	0.59
As (mg/kg)	less than 5	None
Cd (mg/kg)	less than 0.5	None
Hg (mg/kg)	less than 0.2	None
Pb (mg/kg)	less than 15	0.17
Cr (mg/kg)	less than 30	0.87
Cu (mg/kg)	less than 50	15.57
Ni (mg/kg)	less than 5	0.57
Zn (mg/kg)	less than 130	82.13
Water (%)	more than 95	98.04
NaCl (%)	less than 0.3	0.29

저 있으므로 이처럼 고농도 폐수의 처리에 드는 비용 문제를 고려한다면 혐기성 소화액을 액비로 자원화 하는 방안은 혐기성소화에 있어서 반드시 고려되어야 할 문제이다. 바이오가스 생산공정에서 유기물은 메탄가스로 배출되고, 나머지 영양성분들(질소, 인산, 칼륨

등)은 모두 소화액에 남아있으므로 이들은 친환경농업에 필요한 액비의 주요 성분으로 경제적 가치를 지닌다고 평가할 수 있다. 또한 혐기 소화액은 25-30일 정도의 혐기성 소화과정을 거치면서 대부분의 악취가 제거되므로 일반적인 가축분뇨 처리과정에서 발생하는

악취문제도 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구시설에서 발생하는 소화액의 액비 사용 가능 여부를 판단하기 위해 [Table 3]에서와 같이 비료공정규격에 따른 액비 규격에 적합한지를 분석하였다. 규격 항목 중 가장 중요한 항목은 질소와 염분 농도로서, 가장 중요한 비료 성분인 질소 농도는 0.3% 이상이어야 하며 작물에 대한 염해를 방지하기 위해 염분 농도는 0.3% 이하이어야 한다. 본 연구시설에서 발생한 소화액은 질소 농도 0.59%, 염분 농도 0.29%로서 비료공정규격을 만족하였으며, 다른 항목에 대해서도 모두 충족시키는 결과를 얻음으로써 소화액을 액비로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 돈분뇨의 염분 농도는 매우 낮는데 비해 음폐수의 염분 농도는 평균적으로 0.8~1.0%에 달하며, 염분은 혐기소화 과정에서 미생물에 의해 이용되거나 분해되지도 않으므로 원료 중의 염분농도는 거의 그대로 소화액으로 배출되게 된다. 따라서 원료 중 음폐수의 비중이 증가 할수록 소화액의 염분농도는 증가하게 된다. 이 당시에 사용된 원료의 조성은 돈분뇨:음폐수 = 7:3이었는데 염분 농도가 0.29%로 기준농도에 매우 근접하게 만족하고 있으므로, 음폐수의 비율이 30%를 초과하게 되면 소화액 중 염분의 농도는 0.3%를 초과하여 액비 기준을 충족시키지 못할 가능성이 매우 높게 될 것으로 판단된다. 따라서 소화액을 폐수 처리하지 않고 액비로 사용하는 것을 고려한다면 소화액의 염분 농도를 추정하여 원료의 조성을 결정해야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 고농도 유기성폐기물(음폐수, 가축분뇨)을 병합처리하는 혐기소화 시설의 성능 및 안정성을 검증함으로써 대체에너지원인 바이오가스 생산을 극대화하고 소화액을 액비로 자원화할 수 있는 방안에 대하여 살펴보았다. 주요 결과는 다음과 같다.

1. 소화조의 pH는 약품 주입이 없었음에도 불구하고 적정 pH 범위인 7.0~7.5에 근접한 7.8~8.1을 유

지할 수 있었다.

2. 돈분뇨:음폐수가 = 6:4, 6 m³/일의 투입량, 원료의 VS 5.3%, 유기물 부하율 2.0 kg-VS/m³·일, 체류시간 25일로 가동되는 운전조건에서 유기물 분해율 70%, 바이오가스 생산량 220 m³/일, 바이오가스 중 메탄가스 농도 64%, 투입 유기물 당 바이오가스 생산량 0.69 m³/kg-VS_{unit}의 비교적 높은 성능을 나타내었다.
3. 체류시간을 동일하게 유지하고 원료의 조성을 변화시켜 유기물 부하율을 증가시킨 경우 유기물 분해율, 바이오가스 생산량, 투입 유기물 당 바이오가스 생산량 등이 크게 증가하였다. 바이오가스 처리시설의 경제성과 환경성을 높이기 위해서는 음폐수와 같이 유기물 농도가 높은 유기성 폐기물을 첨가하는 것이 유리할 것으로 판단된다.
4. 소화액의 양이온류와 중금속류의 농도를 분석한 결과, 저해 유발 범위 이하의 농도로 존재하였다.
5. 본 연구시설에서 발생한 소화액은 실험 조건(돈분뇨:음폐수=7:3)으로 운전될 경우 비료공정규격에 따른 액비기준을 모두 충족하는 것으로 분석되었다. 따라서 원료 중 음폐수의 비율이 30%를 초과하지 않는 범위 내에서는 소화액을 액비로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 고팡백, 김영관 외 11인 공역, 폐수처리공학, 4판, 동화기술 (2004).
2. 국립환경과학원, 온실가스 및 대기오염물질 통합 관리시스템(GHG-CAPSS) (2009).
3. 배재근, 바이오매스&바이오가스화 기술, 도서출판 아진, pp. 191~239 (2008).
4. 유기영 외, 음식물쓰레기 감량 및 자원화 방안, 서울시정개발연구원 (1997).
5. 한국유기성 폐자원학회 편집위원회, 혐기성소화 공정에 의한 바이오가스화의 기술 원리 및 응용 (음식물쓰레기 및 하수슬러지의 혐기성소화기술) pp. 9~12 (2002).

6. 환경부, 유기성폐기물 종합관리기술 구축(I) (2004).
7. 환경부, 2008 음식물쓰레기 감량 및 자원화업무 추진계획 (2009). 