

가축분뇨와 과실착즙박의 혼합 혐기소화에 따른 바이오가스 생산

변지은^a, 류종원^{b†}

Biogas Production by Anaerobic Co-digestion of Livestock Manure Slurry with Fruits Pomace

Jieun Byeon^a, Jongwon Ryoo^{b†}

(Received: May 20, 2019 / Revised: Jul. 2, 2019 / Accepted: Jul. 22, 2019)

ABSTRACT: This study is conducted to investigate the effects of anaerobic treatments of swine manure slurry alone and combination of livestock manure slurry and fruit pomace on biogas production. Anaerobic co-digestion was evaluated in mesophilic tank reactors for 96 day-incubation period. The organic matter loading of anaerobic digestion was 1 kg of volatile solids(VS) per 1 m³ · day. The highest methane production was achieved from the combination of swine manure slurry and mandarin pomace(70:30) treatment, whereas the lowest daily and cumulative methane yields was observed in swine manure slurry alone treatment. More than two-fold increase in bio-gas and methane production was obtained by combination of livestock manure slurry and mandarin pomace treatment, compared to the swine manure slurry alone treatment. The co-digestion of livestock manure and fruits pomace has advantages to enhance the production of methane gas, compared to digestion of swine manure slurry alone.

Keywords: Anaerobic co-digestion, Swine manure, Fruit pomace, Biogas, Methane

초록: 본 연구는 돈분 슬러리 단독 및 돈분과 우분슬러리 혼합, 가축분뇨 슬러리와 과실착즙박(사과착즙박, 감귤착즙박) 혼합 혐기처리가 바이오가스 발생에 미치는 영향을 규명하기 위하여 가동하였다. 6개의 중온소화 반응조를 96일간 가동하였으며, 유기물 부하량은 1.0 kg-VS/m³ · day 으로 하였다. 과실착즙박이 혼합된 처리구인 돈분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(70 : 30)가 가장 높은 메탄 생산량을 나타내었다. 반면, 돈분슬러리 단독 처리구의 메탄 발생량은 가장 적었다. 돈분, 우분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구가 돈분 슬러리 단독 처리구보다 바이오가스와 메탄가스가 2배 이상 많이 발생되었다. 돈분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구가 메탄가스 발생량이 많았던 것은 과일착즙 후 발생하는 과일박이 낮은 pH를 나타내어 가축분뇨 내 높은 알칼리도와 적절히 중화될 수 있으며, VS가 돈분슬러리보다 높았기 때문인 것으로 사료된다. 결론적으로 가축분뇨와 과실착즙박 혼합 투입이 돈분 단독 소화 보다 메탄가스 생산을 높이는 장점이 있다.

주제어: 가축분뇨, 과실착즙박, 혼합혐기소화, 바이오가스, 메탄생성

^a 상지대학교 생명과학대학 박사과정(Ph.D. Student, Department of Life Science, Sangji University)

^b 상지대학교 생명과학대학 교수(Professor, Department of Life Science, Sangji University)

† Corresponding author(e-mail: jwryoo@sangji.ac.kr)

1. 서론

최근 혐기소화처리공정이 주목받기 시작하였는데 이 공정은 가축분뇨 등에서 발생하는 메탄을 회수할 수 있다는 장점이 있다⁸⁾. 혐기소화에는 투입기질을 하나를 단독으로 혐기소화를 하는 단독 혐기소화와 두 가지 이상의 투입기질을 혼합하여 혐기소화를 하는 통합 혐기소화가 있다. 바이오가스 발생량을 높여 전력량을 늘릴 목적으로 분뇨와 함께 농산부산물 혹은 유기성 산업폐기물을 투입하는 혼합소화(co-digestion)가 널리 보급하고 있다. 지금까지는 돈분뇨 슬러리, 혹은 음폐수와 돈분을 혼합하여 에너지화를 주로 수행하고 있으나, 외국은 돈분, 우분과 농산부산물을 혼합하여 바이오가스를 에너지화하고 있다. 혐기소화 시 가축분뇨와 음식물쓰레기의 혼합 비율에 따라 바이오가스발생량을 측정하였을 때 가축분뇨 단독 처리구보다 가축분뇨와 음식물쓰레기의 혼합비율이 60 : 40일 때 가장 많이 발생하였다고 보고하였다.⁸⁾ 또한 가축분뇨를 통합혐기소화를 하였을 때 돈분 단독 처리구보다 돈분과 옥수수사일리지 혼합 처리구에서 가스 발생량이 약 2배 가까이 많이 발생하였다고 보고하였다.³⁾ 현재 바이오가스 생산을 위한 유기성 폐기물 중 가축분뇨는 단독 혐기소화 시 휘발성유기물(VS) 함량이 낮아 바이오가스 시설의 경제성이 낮아지는 단점이 제기되어 혼합혐기소화가 필요한 상황이다.

농산물 중 가공에 이용되는 농산물은 많지만 사과와 감귤의 가공비율이 사과는 생산량 중 약 4.03%, 감귤은 생산량 중 약 10.87%이다.¹⁰⁾ 사과의 경우 가공량이 생산량에 높은 비율을 차지하고 있지만 가공할 때 대부분 사과를 압착하여 과즙을 이용하기 때문에 부산물이 많이 발생하며,⁷⁾ 감귤의 경우 주스 제조공장 등에서 부산물이 많이 발생한다.⁹⁾ 사과 가공부산물과 감귤 가공부산물의 경우 수분함량이 높는데 이로 인해 부패에 의한 악취 문제가 심각하여 폐기물로 처리되는 경우가 많다.

기존 통합혐기소화의 기질로는 액상 형태의 음식물쓰레기나 폐수가 주를 이루고 있다. 이들과 달리 과실착즙박은 고상 형태의 부산물이 주를 이루고 있지만 유기물 함량이 높으므로 혐기소화조에 혼합

투입 시 바이오가스 생산량 증대에 효과가 높을 것으로 보인다. 하지만 혐기소화 시 가축분뇨와 과실착즙박의 혼합 투입에 대한 연구 결과는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 돈분 슬러리 단독 및 돈분과 우분슬러리 혼합, 가축분뇨 슬러리와 과실착즙박(사과착즙박, 감귤착즙박) 혼합 혐기소화가 바이오가스 발생에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다.

2. 실험방법

2.1. 혼합 혐기소화 Lab-test 장치

혐기소화 Lab 시험은 컨테이너에서 실시하였다. 혐기소화조 반응조는 20L 용량의 원형 PE통으로 뚜껑은 가장자리가 잘 밀폐될 수 있도록 고무마개를 사용하였으며, 고무마개 중앙부근에 스테인레스 재질의 원형관을 2개 삽입하여 하나는 원수투입구 또 하나는 바이오가스 포집구로 사용 하였다. 그리고 소화조 바닥 측벽부에 소화액을 배출할 수 있도록 배출구를 설치하였다. 교반은 여러 개의 소화조를 안치시켜 동시에 교반할 수 있도록 교반장치를 제작하여 실시하였다. 가로 120cm 세로 120cm 철판을 Fig. 1에 제시한 것처럼 지지대를 설치하여 그네처럼 매달고, 철판을 1마력 모터와 연결시켜 전후로 왕복하며 교반시킬 수 있도록 하였다. 그리고 모터에 타이머 및 속도조절장치를 연결하여 교반 시간 및 속도를 자유로이 조절할 수 있도록 하였다. 시험은 히터를 설치하여 38°C 항온조건에서 실시하였다. 혐기소화액을 15L씩 충전 후 1시간당 1회 20분간 약 100rpm으로 교반시키면서 안정화시켰다. 원수는 2일 1회 공급하였으며, 먼저 소화액이 완전히 혼합되도록 충분히 교반시키고 Fig. 1에 도시한 배출구 밸브를 열어 소화액을 분취한 후 투입구를 통하여 원수를 주입하였다.

2.2. 투입원료의 특성

시험에 사용한 원료는 돈분 슬러리, 우분 슬러리, 사과착즙박, 감귤착즙박을 이용하였다. 돈분 슬러리

는 경기도 이천에 소재한 축산농가에서 채취하였으며, 우분 슬러리는 경기도 여주에 소재한 젓소농가에서 채취하였다. 사과착즙박은 충청북도 충주에 소재한 식품가공공장에서 채취하였으며, 감귤착즙박은 제주특별자치도 개발공사에서 채취하였다. 감귤착즙박의 경우 투입원료를 믹서기를 이용하여 분쇄한 후 본 시험에 사용하였다.

투입기질의 원료의 성분 함량은 Table 1과 같다. 먼저 pH 를 살펴보면 돈분뇨슬러리는 7.3, 우분슬러리 8.0으로 약알칼리성이었으며, 사과착즙박과 감귤착즙박은 각각 pH 3.4, pH 3.7로 강산성이었다. 총고형물(TS) 농도는 우분 슬러리가 22.5%로 가장 높았으며, 돈분 슬러리가 8.3%로 가장 낮았다. 휘발성고형물(VS) 함량은 우분슬러리가 16.8%로 가장 높았고, 과실착즙박은 11 ~ 13.2%로 돈분슬러리의 6.0%보다 2배 이상 높았다. 강열잔류고형물(FS) 함량은 우분 슬러리가 5.7%로 과실착즙박(사과착즙박, 감귤

착즙박)의 강열잔류고형물(FS) 함량보다 약 6 ~ 7배 높았다.

2.3. 가축분뇨와 과실착즙박 혼합 처리

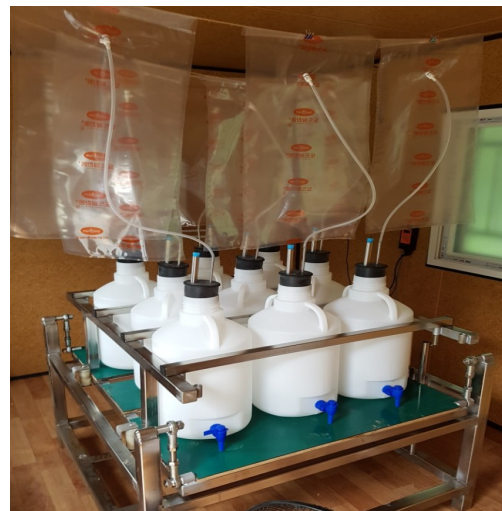
투입기질 원료의 처리는 투입기질 원료의 중량 기준으로 돈분 슬러리 100% 단독(SS 100%)처리, 돈분 슬러리 70%와 우분 슬러리 30% 혼합(SS 70% + CS 30%)처리, 돈분 슬러리 70%와 사과착즙박 30% 혼합(SS 70% + AP 30%)처리, 돈분 슬러리 70%와 감귤착즙박 30% 혼합(SS 70% + MP 30%)처리, 돈분 슬러리 35%와 우분 슬러리 35%와 사과착즙박 30% 혼합(SS 35% + CS 35% + AP 30%)처리, 돈분 슬러리 35%와 우분 슬러리 35%와 감귤착즙박 30% 혼합(SS 35% + CS 35% + MP 30%) 등 6개 처리구를 두었다(Table 2).

2.4. 부하량 및 시험조건

혐기소화반응조 운전 시 유기물의 부하량은 모든



Pilot container for anaerobic digestion



Lab-scale reactors for co-digestion

Fig. 1. Anaerobic co-digestion pilot device.

Table 1. pH and Solid Content of Input Raw Materials

Raw material	pH	TS(%)	VS(%)	FS(%)
Swine manure slurry	7.3	8.3	6.0	2.3
Cow manure slurry	8.0	22.5	16.8	5.7
Apple pomace	3.4	13.2	12.3	0.9
Mandarin pomace	3.7	11.0	10.2	0.8

* TS: Total Solid, VS: Volatile Solid, FS: Fixed Solid

처리구가 동일하게 휘발성고형물(VS) 함량을 기준으로 1.0 kg-VS/ m³ · d 부하조건에서 운전하였다. 처리구별 원료 투입량은 Table 3와 같다. 수리학적 체류시간(HRT)은 투입량이 가장 많았던 돈분 슬러리 단독 처리구(SS, T1)가 약 60일로 가장 짧았으며, 투입량이 가장 적었던 돈분과 우분 슬러리 혼합처리구(T1, SS+CS)가 92일, 돈분과 우분 사과착즙박 혼합처리구(SS+CS+AP, T5)가 약 116일로 가장 길었다.

혐기소화반응조의 운전은 96일차까지 운전하였다. 혐기소화반응조를 운전하기 전에 혐기소화액 식중액을 혐기소화반응조별로 15 L씩 투입하였다. 식중액을 투입한 후 투입기질의 투입 없이 혐기소화액 식중액 내에 잔존해 있는 종균의 영양원이 소진될 때까지 pilot 장치를 가동하였다. 혐기소화조에 가스가 발생하지 않았을 때 잔존해 있는 영양원이 소진된 것으로 보고 혐기소화 시험을 시작하였다. 혐기소화반응조에 2일에 1회 투입기질을 투입하였다. 원료는 투입하기 전 투입량만큼 혐기소화액을 배출시킨 후 투입

하였다. 투입기질을 원활히 투입하기 위하여 사과 및 감귤착즙박은 믹서기로 혼합한 후 투입하였다.

2.5. 시료채취 및 분석

생산된 바이오가스는 밸브가 장착된 10L 및 20L 비닐백에 테프론관으로 연결하여 포집하였다. 혐기소화반응조에서 발생한 가스의 성상을 분석은 가스성상분석기(Optima 7 biogas)를 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과

3.1. 가축분뇨와 과실착즙박의 혼합에 따른 pH 및 고형물 함량 변화

투입기질의 원료를 비율에 맞게 혼합한 처리구별 pH와 고형물함량은 Table 4와 같다. 먼저 pH 를 살펴보면 돈분뇨슬러리는 7.3, 돈분과 우분슬러리 혼합액은 7.8로 약알칼리성이었으며, 돈분슬러리와 사

Table 2. Treatments of Co-digestion

Treatment plots	Feed stock (influent substrates)	Mixing ratio(%)			
		Swine manure slurry	Cow manure slurry	Apple pomace	Mandarin pomace
T1	SS	100	-	-	-
T2	SS + CS	70	30	-	-
T3	SS + AP	70	-	30	-
T4	SS + MP	70	-	-	30
T5	SS + CS + AP	35	35	30	-
T6	SS + CS + MP	35	35	-	30

SS: Swine manure slurry, CS: Cow manure slurry, AP: Apple pomace, MP: Mandarin pomace

Table 3. Organic Loading Rate and Input Materials Amount for Anaerobic Co-digestion

Treatments	Input amount(g/L/day)				Organic loading rate (kg-VS/m ³ /day)	HRT(day)
	Swine manure slurry	Cow manure slurry	Apple pomace	Mandarin pomace		
T1(SS)	16.7	-	-	-	1	60
T2(SS+CS)	7.7	3.3	-	-	1	92
T3(SS+AP)	9.9	-	4.2	-	1	71
T4(SS+MP)	10.1	-	-	4.3	1	69
T5(SS+CS+AP)	3.0	3.0	2.6	-	1	116
T6(SS+CS+MP)	3.2	3.2	-	2.8	1	108

*HRT: Hydraulic Retention Time

과착즙박과 감귤착즙박 혼합액의 pH는 각각 7.1, 7.0으로 중성을 나타내었다. 돈분슬러리, 우분슬러리와 사과착즙박 및 감귤착즙박 혼합액의 pH는 각각 7.1, 7.0로 중화되어 중성을 나타내었다. 돈분과 우분 슬러리가 혼합된 처리구의 총 고형물함량(TS)이 12.1%로 돈분슬러리 단독처리구보다 높아 우분 슬러리와 과실박 혼합 처리가 고형물 함량을 높아짐을 확인할 수 있었다. 돈분, 우분 슬러리와 사과착즙박 혼합(SS+CS+AP)과 돈분, 우분 슬러리와 감귤착즙박 혼합(SS+CS+MP) 처리구의 총 고형물 함량(TS)이 14.2%로 돈분슬러리 단독처리구보다 1.7배 높았다. 휘발성고형물(VS) 함량도 우분 슬러리와 과실착즙박 혼합처리구가 돈분슬러리 단독처리구보다 1.8 ~ 1.9 배 높았다.

3.2. 혐기소화 기간 동안의 pH 변화

혐기소화반응조의 처리구별 pH 변화는 Fig. 2와 같다. 모든 처리구가 혐기소화반응조 운전 초기에 pH가 7.5~ 8.0으로 하락하였는데 이것은 산 생성 단계로 인해 하락한 것으로 사료된다. 하락한 pH는 혐기소화반응조 운전 18일차부터 다시 증가하여 혐기소화반응조 운전 96일차까지 pH 7.8 ~ 8.3을 유지하였다. 혐기소화 기간중 처리구별 pH는 돈분슬러리와 돈분, 우분 슬러리 혼합 처리구는 8.0~8.4의 범위로 다소 높았으나, 돈분과 감귤과 사과박 혼합 처리구는 7.6~7.9를 나타내어 과실박의 첨가가 pH 저하 효과를 나타내었다. 과일착즙 후 발생하는 과일박의 pH가 3.4~3.7로 낮아 가축분뇨 내 높은 알칼리도와 적절히 중화될 수 있으며, 섬유소 및 리그닌 등의

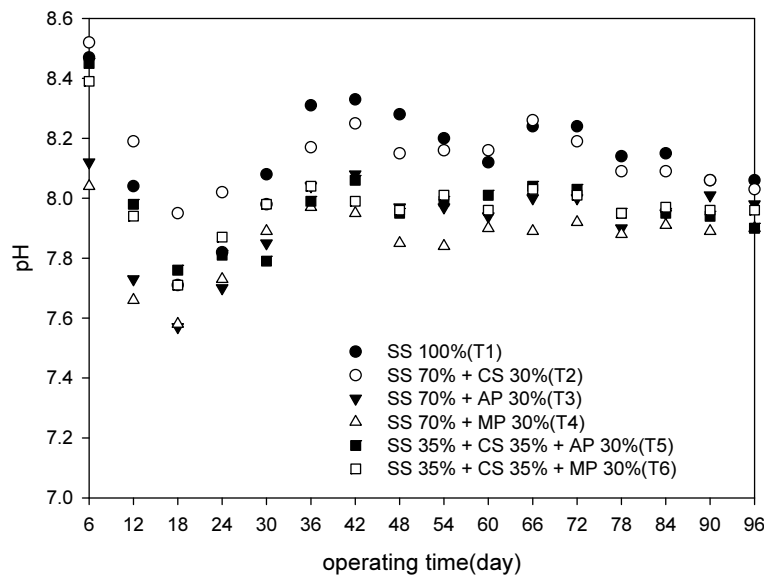


Fig. 2. pH change during anaerobic digestion.

Table 4. pH and Solids Content with Different Mixing of Livestock Manure and Fruits Pomace

Treatments	pH	TS(%)	VS(%)	FS(%)
SS	7.3	8.3	6.0	2.3
SS + CS	7.8	12.1	9.1	3.0
SS + AP	7.1	8.9	7.1	1.8
SS + MP	7.0	8.6	6.9	1.7
SS + CS + AP	6.5	14.2	11.5	2.7
SS + CS + MP	6.7	14.2	10.8	3.4

* SS: Swine manure Slurry, CS: Cow manure Slurry, AP: Apple Pomace, MP: Mandarin Pomace.

탄소원이 많이 포함되어 혼합 혐기소화에 적합한 기질로 이용 될 수 있을 것으로 보인다. Park et al., (2011)⁸⁾연구에 따르면 가축분뇨와 음식물쓰레기를 비율별로 혼합하였을 때 가축분뇨의 비율이 높을수록 pH가 높게 나타났는데 이것은 pH가 낮은 음식물 쓰레기가 pH가 높은 가축분뇨의 중화한 결과를 보고 하였다.

3.3. 메탄 함량의 변화

혐기소화반응조 운전기간 중 처리구별 메탄 함량의 변화는 Fig. 3과 같다. 모든 처리구가 혐기소화반응조 운전을 시작한 후 30일차부터 메탄 함량이 40% 이상 안정적으로 발생하였다. 돈분 슬러리 단독 처리구(SS, T1)가 최대 68.5%로 처리구 중 메탄 함량이 가장 높았다. 반면 돈분과 우분 슬러리와 사과착즙박 혼합 처리구(SS+CS+AP, T5)가 처리구 중 메탄 함량이 가장 낮았다. Kim(2010)⁴⁾의 연구에서 OLR을 1.05 ~ 2.1 kg VS/m³ · d로 설정하여 시험하였을 때 메탄가스의 농도가 돈분 처리구는 약 40%, 돈분과 옥수수 사일리지 혼합 처리구는 52%, 돈분과 음식물 쓰레기 혼합 처리구는 약 40%로 나타나 혼합 처리구의 메탄가스의 농도가 높았다고 보고하였다.

3.4. 메탄가스 발생량

혼합 혐기소화 소화일수 경과에 따른 휘발성고형물(VS) kg당 일일 메탄가스 발생량은 Fig. 4와 같다. 돈분 슬러리 단독 처리구(SS, T1), 돈분과 우분 슬러리 혼합 처리구(SS+CS, T2), 돈분과 우분 슬러리와 사과착즙박 혼합 처리구(SS+CS+AP, T5)는 혐기소화반응조 운전기간 동안 메탄가스가 300 L CH₄/kg-VS 이하로 발생하였다. 돈분과 우분 슬러리 처리구(SS+CS, T2)는 200 L CH₄/kg-VS 이하로 발생하여 처리구 중 메탄가스 발생량이 가장 낮았다. 돈분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(SS+MP, T4)가 VS kg 당 최대 460 L CH₄/kg-VS가 발생하여 처리구 중 메탄가스 발생량이 가장 높았다. Lee(2015)⁶⁾의 연구에 의하면 유기물 부하량을 1.0 kg-VS/m³ · d로 설정하여 혐기소화조를 가동했을 때 음폐수와 폐활성슬러지 혼합 처리구에서 메탄이 VS g당 약 250mL CH₄/g-VS가 발생하였다고 보고하였다.

혼합 혐기소화 처리구별 중량(kg) 기준으로 소화일수 경과에 따른 일일 메탄가스 발생량은 Fig. 5와 같다. 돈분 슬러리 단독 처리구(SS, T1), 돈분과 우분 슬러리 혼합 처리구(SS+CS, T2), 돈분과 우분슬러리와 사과착즙박 혼합 처리구(SS+CS+AP, T5)는 혐기소화반응조 운전기간 동안 메탄가스가 30 L CH₄/kg-weight

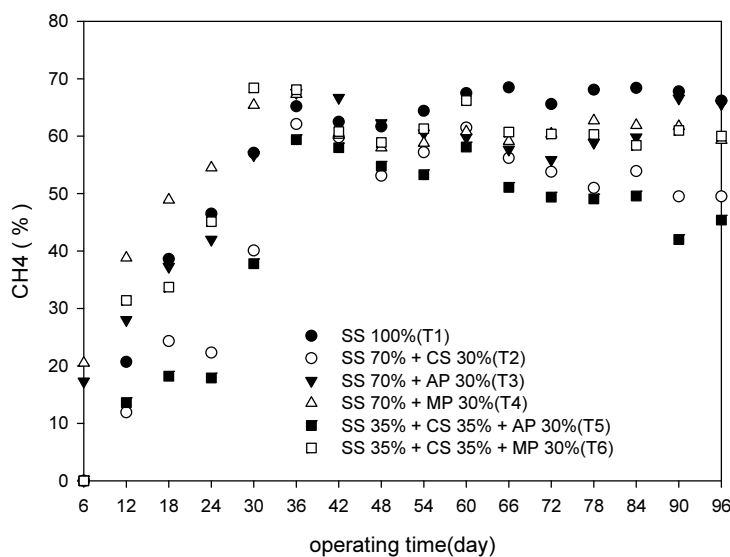


Fig. 3. The CH₄ content in the biogas according to co-digestion of livestock manure slurry with fruits pomace.

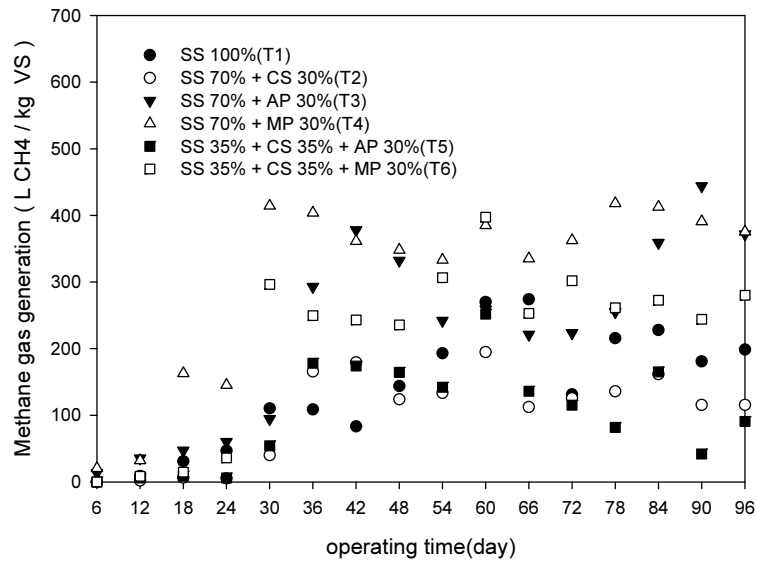


Fig. 4. Daily methane gas generation per kg VS according to co-digestion of livestock manure slurry with fruits pomace.

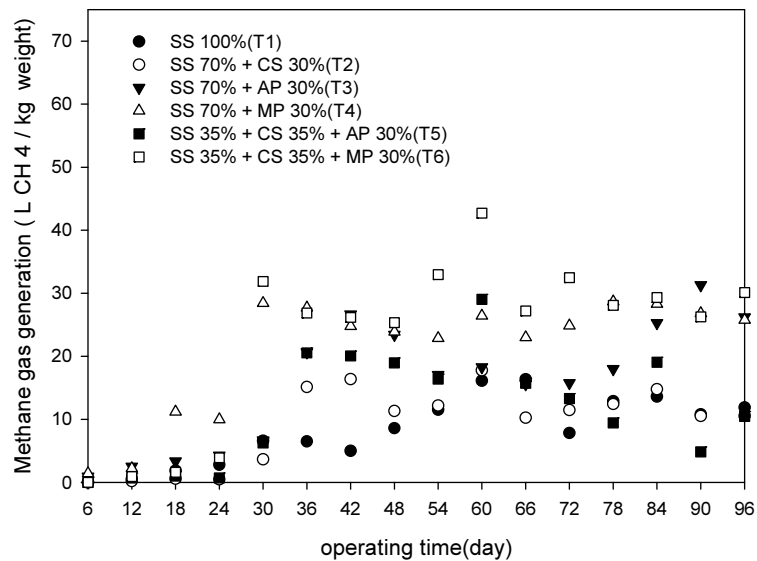


Fig. 5. Daily methane gas generation per input weight(kg) according to co-digestion of livestock manure slurry with fruits pomace.

이하로 적게 발생하였다. 돈분 슬러리 단독 처리구 (SS, T1)는 17.7 L CH₄/kg로 처리구 중 메탄가스 최대 발생량이 가장 낮았다. 돈분과 우분슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(SS+CS+MP, T6)는 25 L CH₄/kg-weight 이상 발생하여 처리구 중 메탄가스 발생량이 가장 높았다. 돈분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(SS+MP, T4)가 바이오가스 발생량이 많았던 것은 감귤착즙박

의 VS가 돈분슬러리보다 높았기 때문인 것으로 사료된다. 혐기소화 시 감귤류 껍질을 단독으로 투입하거나 감귤류 껍질을 바이오 숯(나무, 코코넛 껍질, 쌀 껍질)과 1 : 1 비율로 혼합하여 투입하였을 때 감귤류 껍질 단독 처리구에 비해 높은 메탄 전환 효율을 나타내었다고 보고하였다.²⁾

Table 5. Cumulative Biogas and Methane Gas Generation Amount from the 30th Day of Anaerobic Digestion Operation

Treatment plots	Cumulative biogas generation (L/kg-VS)	Cumulative biogas generation (L/kg input weight)	Cumulative methane gas generation (L CH ₄ /kg -VS)	Cumulative methane gas generation (L CH ₄ /kg input weight)
T1(SS)	19,127(100)	1,142(100)	12,696(100)	758(100)
T2(SS+CS)	16,400(86)	1,497(131)	9,087(71)	830(109)
T3(SS+AP)	32,533(170)	2,293(200)	20,310(160)	1,432(188)
T4(SS+MP)	41,300(216)	2,833(248)	25,231(200)	1,731(228)
T5(SS+CS+AP)	18,010(94)	2,077(182)	9,495(75)	1,095(145)
T6(SS+CS+MP)	28,600(150)	3,075(269)	17,671(139)	1,900(250)

(): Relative production.

3.5. 바이오가스 및 메탄가스 발생량 비교

혐기소화반응조 운전 30일차부터의 휘발성고형물(VS) kg당 바이오가스 및 메탄가스의 누적 발생량은 Table 5와 같다. 휘발성고형물(VS) kg당 누적 바이오가스 및 메탄가스 발생량은 돈분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(SS+MP, T4)가 각각 41,300 L/kg VS, 25,231 L CH₄/kg VS로 처리구 중 가장 많이 발생되었다. 이것은 감귤착즙박의 유기물의 분해속도가 빨라 소화율이 높았고, 발생된 바이오가스에 CH₄ 함량이 일평균 61.3%로 높았기 때문인 것으로 사료된다.

투입기질 중량(kg)당 바이오가스 및 메탄가스의 누적 발생량은 돈분과 우분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(SS+CS+MP, T6)가 각각 3,075 L/kg, 1,900 L CH₄/kg로 처리구 중 가장 많이 발생되었다. Beatriz et al.(2013)¹⁾의 연구에 의하면 돈분 단독 투입 시 바이오가스가 143 mL Biogas g VS 보다 채소가공부산물 75%와 돈분 25%를 혼합 시 바이오가스가 311 mL Biogas g-VS가 높게 발생하였다고 보고하였다.

4. 결론

본 연구는 돈분 슬러리 단독 및 돈분과 우분슬러리 혼합, 가축분뇨 슬러리와 과실착즙박(사과착즙박, 감귤착즙박) 혼합 처리가 바이오가스 발생에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 혐기소화 가동 시 부하량은 1.0 kg-VS/m³·day 부하조건에서 가동하였다.

1. 투입 VS 대비 바이오가스 및 메탄가스 발생량은 돈분과 우분 슬러리 혼합 처리구(SS+CS, T2)에서 각각 16,400 L/kg-VS, 9,087 L CH₄/kg-VS로 가장 적게 발생되었다. 돈분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(SS+MP, T4)는 41,300 L/kg-VS, 25,231 L CH₄/kg-VS가 누적 발생하여 돈분 슬러리 단독 처리구보다 2배 이상 많이 발생되었다.
2. 투입기질 중량(kg) 기준 메탄가스 누적 발생량은 돈분 슬러리 단독 처리구(SS, T1)는 758 L CH₄/kg weight가 발생하여 처리구 중 가장 적었다. 돈분, 우분슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(SS+CS+MP, T6)는 바이오가스는 3,075 L/kg weight, 메탄가스는 1,900 L CH₄/kg weight로 처리구 중 가장 많은 양이 발생되었다.
3. 돈분, 우분 슬러리와 감귤착즙박 혼합 처리구(SS+CS+MP, T6)가 돈분 슬러리 단독 처리구(SS, T1)보다 바이오가스는 2.7배, 메탄가스는 2.5배 많이 발생되었다. 혼합소화에 의한 누적가스 및 메탄발생량을 비교하였을 때 가축분뇨와 과실착즙박 혼합 투입이 돈분 단독 소화 보다 메탄가스 생산량을 높이는 장점이 있었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구과제인 가축분뇨와 농업분야 재활용 자원을 이용한 통합혐기소화 및 혐기소화액 처리기술 개발(PJ012851022019) 과제에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Beatriz, M. S., Xiomar, G., Antoni, M. and Cruz, C. G., "Anaerobic co-digestion of livestock and vegetable processing wastes: Fibre degradation and digestate stability", *Waste Management*, 33(6), pp. 1332~1338. (2013).
2. Fagbohungebe, M. O., Herbert, B. M. J., Hurst, L., Li, H., Usmani, S. Q. and Semple, K. T., "Impact of biochar on the anaerobic digestion of citrus peel waste ", *Bioresource Technology*, 216, pp. 142~149. (2016).
3. Kim, W. G., Oh, I. H., Yang, S. Y., Lee, K. M. and Lee, S. I., "Biogas production from anaerobic co-digestion using the swine manure and organic byproduct", *Journal of livestock housing and environment*, 17(1), pp. 49~54. (2011).
4. Kim, W. G., Development of anaerobic co-fermentation process using the swine manure and organic byproducts, Konkuk University. (2010).
5. Korean Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, "Yield of Livestock Manure in South Korea". (2018).
6. Lee, S. J., Anaerobic co-digestion of food waste leachate and sewage sludge, Konkuk University. (2015).
7. Oh, C. H. and Kang, C. S., "Effects of Apple Pomace on Cookie Quality", *Culinary Science & Hospitality Research*, 22(8), pp. 89~98. (2016).
8. Park, W. K., Park, N. B., Shin, J. D., Hong, S. G., Kwon, S. I. and Kang, K. K., "Study on Characteristics of Biogas Production and Liquid Fertilizer with Anaerobic Co digestion of Livestock Manure and Food Waste", *Korean journal of Soil Science and Fertilize*, 44(5), pp. 895~902. (2011).
9. Ruiz, B., "Citrus essential oils and their influence on the anaerobic digestion process: An overview", *Waste Management*, 34(11), pp. 2063~2079. (2014).
10. Statistics Korea, "Fruits production". (2017).