

## 혐기성소화에서 가축분뇨와 음식물쓰레기의 혼용에 따른 바이오가스 생산 및 소화액의 액비 특성 연구

박우균\* · 박노백 · 신중두 · 홍승길 · 권순익 · 강기경

농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과

### Study on Characteristics of Biogas Production and Liquid Fertilizer with Anaerobic Co digestion of Livestock Manure and Food Waste

Woo-Kyun Park\*, Noh-Back Park, Joung-Du Shin, Seung-Gil Hong, Soon-Ik Kwon, and Kee-Kyung Kang

Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

**Objective of this research was to investigate the characteristics of biogas production in anaerobic digestion reactor with different mixing ratio of food waste and swine manure. It was observed that the highest removal efficiency of organic material was 80% at 60 : 40 of mixing ratio (livestock manure : food waste). And also biogas yield was varied due to different mixing ratio of them. The cumulative biogas yield was highest at 60 : 40 of mixing rate (livestock manure : food waste). For use of the liquefied fertilizer as effluent from anaerobic digester, it was the limited ratio for 30% of co-digested food waste based on its salt content.**

**Key words:** Anaerobic digestion, Livestock manure, Food waste, Biogas, Liquid fertilizer

## 서 언

우리나라의 가축사육 두수는 2009년 말 기준으로 한우 263만 두, 젓소 44만 두, 돼지 958만 두 및 닭 1억3천8백만 수가 사육되고 있다 (Statistics Korea, 2009). 이와 함께 가축분뇨 발생량은 연간 4,370만 톤에 이르고 있다. 이를 축종별로 비교해 보면 돼지가 전체 분뇨의 38.2%를 차지하고 한우·육우는 29.4%, 닭이 14.9%, 젓소가 13.9% 순으로 나타났다 (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009a). 축산분뇨는 수집대상에 따라 고상, 액상 및 혼합 상태로 구분되어지며 가축분뇨의 자원화율은 2006년 82.7%에서 2009년 85.6%로 높아졌다. 이는 2006년 9월27일 “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률”을 제정하여 2007년 9월 28일 시행되면서 가축분뇨의 정화 위주의 처리에서 퇴비, 액비 등 자원화 개념으로 전환되는 계기가 마련되었고, 저탄소 녹색성장 기반조성을 위해 가축분뇨 에너지화 및 공동자원화시설 확충계획을 추진하고 있다. 가축분뇨를 이용한 에너지화는 수입에 의존하는 화석에너지 대체공급과 온실가스를 감소시켜 지구 온난화 예방에도 기여할 뿐 아니라 에너지 생산 후 남은

소화액은 액비로 이용하여 화학비료를 대체할 수 있는 자원으로 재인식하는 계기가 되었다 (Park et al., 2009).

그러나 가축분뇨의 자원화는 2009년 기준으로 가축분뇨 발생량 중 85.6% (3,740만톤)가 퇴액비로 자원화되고, 정화처리 9.7% (417만톤), 해양투기 2.7% (117만톤), 기타 약 96만톤이 자연증발 등으로 처리되고 있다 (Ha, 2010). 이와 같이 가축분뇨의 자원화는 퇴비화와 액비화에 한정되어 있고, 2009년 말 현재 운영 중인 축산폐수 공공처리시설의 경우도 대부분 호기성 소화의 일종인 액상부식법으로 주로 운영되고 있으며, 극히 일부만이 적극적 자원화 방법의 하나인 혐기성 소화에 의해 처리되고 있는 실정이다 (Ha, 2010). 혐기성 소화기술은 고농도의 유기물을 처리함과 동시에 발생하는 반응 부산물인 메탄을 에너지원으로 이용할 수 있는데 (Park et al., 2011), 축산분뇨를 혐기성 소화로 자원화 하는 경우 약 36만 TOE (tonnage of oil equivalent, 석유환산톤)의 에너지 회수가 가능하다고 제시하고 있다 (Ministry of Knowledge Economy, 2006).

한편, 2005년부터 음식물 쓰레기의 직매립이 금지되면서 대부분의 자원화 시설에서 고형물을 회수하기 위해 파쇄, 탈수 등의 전처리를 하면서 고농도 폐수가 발생하고 있다 (Yoon et al., 2010). 이러한 과정에서 발생하는 음식물 쓰레기의 탈리액에 대한 대책마련을 위해 음식물 쓰레기 처리방법으로 사료화 및 퇴비화에 집중되어 왔을 뿐

접수 : 2011. 9. 2 수리 : 2011. 10. 14

\*연락처 : Phone: +82312900239

E-mail: sunrise7000@korea.kr

만 아니라 최종생산물의 수요처 확보에 한계가 나타나면서 새로운 처리기술의 도입이 요구되고 있다 (Phae, 2003). 이러한 요구에 따라 최근에 음식물 쓰레기의 혐기성 소화에 의한 자원화에 관심이 증가하여 (Kim et al., 2002) 가능성을 타진하고 있는데, 처리의 한계성을 직면하고 있는 음식물 쓰레기를 포함한 유기성 폐기물을 혐기성 소화에 의한 유기질 비료생산 및 대체 에너지원인 메탄가스를 생산하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Shin et al., 2002). 음식물 쓰레기의 혐기성소화는 유기물 부하 및 TS 함량 등이 높아 영양 불균형으로 인해 적정처리에 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 일부 연구자들은 음식물 쓰레기에 축분 및 하수슬러지를 혼합하여 처리하는 방안 (Hur et al., 2002; Shin et al., 2002), 염분 (Park et al., 2006), 체류시간 등에 대한 연구를 수행하였다. 지금까지 민간 기업에서 가축분뇨를 이용한 에너지화 시설은 국내에 13개소 (공동형 2개소, 농가형 6개소, pilot형 5개소)가 설치되어 있는데, 이 중 현재 정상 가동 중인 곳은 7개소로 공동형 2개소, 농가형 3개소, Pilot형 2개소이다 (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009 b). 또한 음식물 쓰레기에 대한 혐기성소화는 국내 8개소에 설치되어 시운전된 사례가 있으며, 현재는 3개소에서 실제 운전되고 있다. 그러나 축산분뇨의 경우 높은 함수율과 질소로 인해 메탄수율이 낮으며, 혐기 소화과정에서 높은 암모니아에 의해 메탄발생을 저해시키게 된다 (Kim, 2004). 이러한 원인으로 가축분뇨 전용으로 운영되고 있는 혐기성소화 에너지화 시설의 수익성 확보 등을 위해서 음식물 쓰레기와 같은 원료의 통합처리를 선호하는 추세이다. 그러나 음식물 쓰레기의 경우 pH가 낮고 염분농도가 높아 혼합원료 종류, 혼합비율에 따른 염분함량 및 바이오가스 발생에 영향을 미칠 수 있으며, 원료의 혼합비율이 높을 때에는 통합 소화액 중 염분과다로 인하여 액비로 활용하는데 제약을 받을 수 있다.

본 연구에서는 가축분뇨와 음식물 쓰레기 등의 유기성 자원을 이용한 혐기소화 후 소화액의 농업적 활용기준을 설정하기 위하여 가축분뇨와 음식물 쓰레기 혼합비율에 따른 바이오가스 생산성과 혐기성소화액의 성분 평가를 통한 한

계 혼합비율 설정을 목적으로 연구를 수행 하였다.

## 재료 및 방법

**실험재료** 실험에 사용된 시료는 슬러리 형태의 돼지 사육시설에 설치되어 있는 가축분뇨 저장조에서 채취하여 이용하였고, 음식물 쓰레기는 통합바이오가스 시스템에 투입되는 전처리된 음식물 쓰레기를 이용하였다. 음식물 쓰레기와 가축분뇨의 혼합비에 따른 바이오가스 발생특성 및 소화액 특성 평가를 실시하기 위하여 P시에 위치한 유기성폐기물 공공처리시설의 소화조에서 식중 슬러지를 채취하여 이용하였다. 실험기간 동안 실제로 사용된 원료 및 식중 슬러지의 성상은 Table 1과 같다. 음식물 쓰레기는 채취 당시 유기산 생성으로 인하여 pH가 약 3.9정도의 산성을 나타내고 있으며, 가축분뇨의 경우에는 pH 8.1 정도의 약알칼리성을 보이고 있다. 총고형물농도 (TS)는 가축분뇨가 1.3%로 낮게 나타났고, VS/TS는 약 70%이었다. 음식물 쓰레기의 경우 TS 함량이 12%로 높았고, VS/TS도 약 80% 정도로 대부분이 유기물임을 보여주고 있다. 또한 음식물 쓰레기와 가축분뇨의 원소분석 결과 Table 1에서와 같은 성분을 함유하고 있고 음식물 쓰레기의 C/N비는 8.3, 가축분뇨의 C/N비는 11.3으로 나타났다.

음식물 쓰레기와 가축분뇨의 혼합비에 따른 바이오가스 발생특성을 측정하기 위하여 0:10, 2:8, 4:6, 5:5, 6:4, 8:2, 10:0 비율로 혼합하였고, 혼합비에 따른 초기 유기물 함량 및 기타 원소 성상은 Table 2와 같다.

**실험방법** 본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같고, 식중슬러지는 증류수를 이용하여 3~4회 이상 세척하여 슬러지에 부착되어 있는 유기물을 제거한 후 250 mL 시료병 (serum bottle)에 식중하였다. 질소 (nitrogen)가스를 이용하여 잔류 용존산소를 제거한 후 음식물 쓰레기와 가축분뇨를 각각 혼합비에 맞추어 주입하였다. 음식물 쓰레기와 가축분뇨를 주입한 혼합액을 교반기 (shaker)에 고정된 후  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 80 rpm으로 교반하여 완전히 혼합되도록 하였다. 실험은 3반복으로 수행하였고, 1 set의 시료

Table 1. Physicochemical characteristics of livestock manure, food waste, and seeding sludge used in the study.

	pH	TS	VS	VS/TS	NaCl	Carbon (C)	Hydrogen (H)	Oxygen (O)	Nitrogen (N)	C/N
		----- % -----					----- %, dry matter -----			
Food waste <sup>†</sup>	3.9	12.0	9.9	82.5	0.6	47.1	6.6	36.6	5.7	8.3
Livestock manure	8.1	1.3	0.9	69.2	0.1	37.3	5.7	49.7	3.3	11.3
Seeding sludge	8.2	2.2	1.2	54.5	0.3					

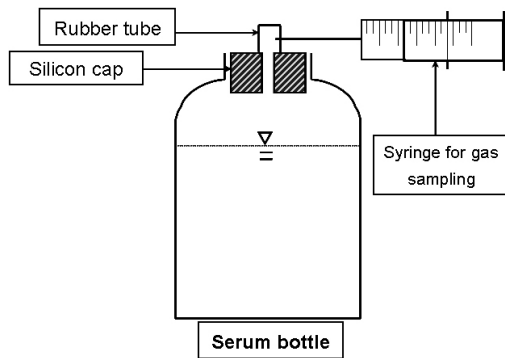
<sup>†</sup>Including food waste and wastewater

<sup>‡</sup>TS, Total solids; VS, Volatile solids.

**Table 2. Physicochemical characteristics with different mixing ratio of food waste (F) and livestock manure (L) before digesting.**

	Volume			TS	VS	VS/TS	VS		Organic loading rate
	Seeding	L	F				Total	Material	
	ml			g L <sup>-1</sup>		%	g Bottle <sup>-1</sup>		gVS L <sup>-1</sup>
R 1	80	0	120	92.7	72.0	77.7	14.4	13.46	67.3
R 2	80	24	96	75.0	57.0	76.0	11.4	10.46	52.3
R 3	80	48	72	58.3	43.3	74.2	8.7	7.76	38.8
R 4	80	72	48	46.3	34.0	73.4	6.8	5.86	29.3
R 5	80	96	24	26.7	17.7	66.3	3.5	2.56	12.8
R 6	80	120	0	17.3	11.7	67.3	2.3	1.36	6.8

<sup>†</sup>Total volume of batch reactor, 250 mL (Working Volume 200 mL); Seeding rate, 40%



**Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for anaerobic digestion.**

**Table 3. Changes of total solids and volatile solid with different mixing ratio of food waste and livestock manure.**

Reactors	TS		VS	
	Initial	Final	Initial	Final
	mg L <sup>-1</sup>			
R 1 (100F)	92,667 ± 6599	25,010	72,000 ± 4546	18,270
R 2 (2L8F)	75,000 ± 2160	20,970 ± 1197	57,000 ± 2160	15,400 ± 1168
R 3 (4L6F)	58,333 ± 471	17,563 ± 1091	43,333 ± 942	11,593 ± 2339
R 4 (6L4F)	46,333 ± 4109	10,287 ± 463	34,000 ± 4082	6,230 ± 416
R 5 (8L2F)	26,667 ± 942	7,883 ± 287	17,667 ± 2494	4,617 ± 294
R 6 (100L)	17,333 ± 1247	6,420 ± 224	11,667 ± 1247	3,790 ± 163

<sup>†</sup>100F, Food waste (F) 100%; 2L8F, 20% L + 80% F; 100L, livestock manure (L) 100%; 8L2F, 80% L + 20% F.

병은 반응초기 pH를 7.0~7.5 범위로 조절하여 대조구로 사용하였다. 가스의 포집은 1000 mL 테프론 bag을 이용하여 포집하였으며, 반응시간은 50일 동안 실시하였다. 주 입된 시료의 분석은 일정한 반응시간 간격으로 바이오가스량을 분석하였다.

### 결과 및 고찰

**가축분뇨와 음식물 쓰레기의 혼합비에 따른 고형물 및 pH 변화** 본 실험에 사용된 가축분뇨와 음식물 쓰레기 시료의 혼합비에 따른 고형물 함량 변화는 Table

3과 같다.

음식물 쓰레기와 가축분뇨의 함량비에 따라 차이를 보였으며, 가축분뇨의 함량이 높아질수록 고형물 함량은 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이는 음식물 쓰레기 중의 고형물 농도가 높기 때문에 가축분뇨 함량이 증가할수록 혼합액의 고형물 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 혐기성 소화에 따른 TS 및 VS 제거율은 Fig. 2와 같이 전체적으로 70% 정도로 높은 경향을 확인할 수 있었지만, 가축분뇨 100L의 경우 VS 제거율은 약 67% 정도로 가장 낮은 수준이었는데, 다른 혼합비에 비해 가축분뇨 내 난분해성 고형물 수준이 높기 때문에 메탄으로 전환되는 유기물 제거율이 낮은 것으로 판단된다. VS의 제거율은 60:40의 혼합비

에서 80% 이상의 높은 제거율을 나타내었다. 이러한 결과는 Sung et al. (2001)의 연구에서도 축산분뇨를 단독 처리한 경우에 비하여 음식물 쓰레기 혼합 처리에서 총고형물 (TS) 분해율이 0.5% 증가하는 경향을 보였다고 보고되었다. 이는 투입되는 원료에 따른 반응조 내의 pH 영향이나 양분비율이 다른 혼합비에 비하여 적정수준에 가까운 결과에 따른 영향으로 판단된다.

Figure 3은 가축분뇨와 음식물 쓰레기 시료의 혼합비에 따른 pH 변화를 관찰하기 위해 운전초기 pH와 반응 종료

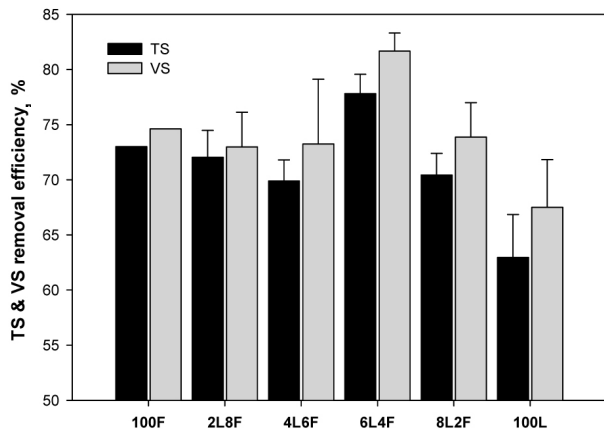


Fig. 2. Removal efficiency of total solid and volatile solid with different mixing ratio of food waste and livestock manure.

후 pH를 나타내었다.

본 연구에서 음식물 쓰레기의 투입비율이 높을수록 소화액의 pH는 낮게 나타났지만 가축분뇨의 투입비율이 높은 조건에서는 pH가 약간 높은 경향을 보였다.

가축분뇨 단독소화인 100L (가축분뇨 100%)의 경우 초기 pH가 약 7.5정도를 나타내고 있으며, 가축분뇨와 음식물 쓰레기를 혼합한 6L4F (가축분뇨 60%+음식물 쓰레기 40%)와 8L2F (가축분뇨 80%+음식물 쓰레기 20%)의 경우는 음식물 쓰레기의 낮은 pH에도 불구하고 가축분뇨에 의한 중화로 운전기간동안 높은 알칼리도를 유지할 수 있었다. 반면에 음식물 쓰레기의 함량이 높았던 100F (음식물 쓰레기 100%), 2L8F (가축분뇨 20%+음식물 쓰레기 80%), 4L6F (가축분뇨 40%+음식물 쓰레기 60%)의 경우는 pH 5.8~6.3 정도로 메탄박테리아의 적정 조건인 6.6~7.8 (Shin et al., 1993) 보다 낮은 pH를 나타내었다.

**총질소 (T-N) 함량 변화** 본 실험에 사용된 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 혼합비율에 따른 질소성분의 변화는 Table 4와 같다.

가축분뇨와 음식물 쓰레기의 혼합비율에 따른 차이를 보였다. 특히 가축분뇨의 혼합비율이 높아질수록 초기 TN 함량은 0.31에서 0.14로 낮아지는 경향이었는데, 이는 본

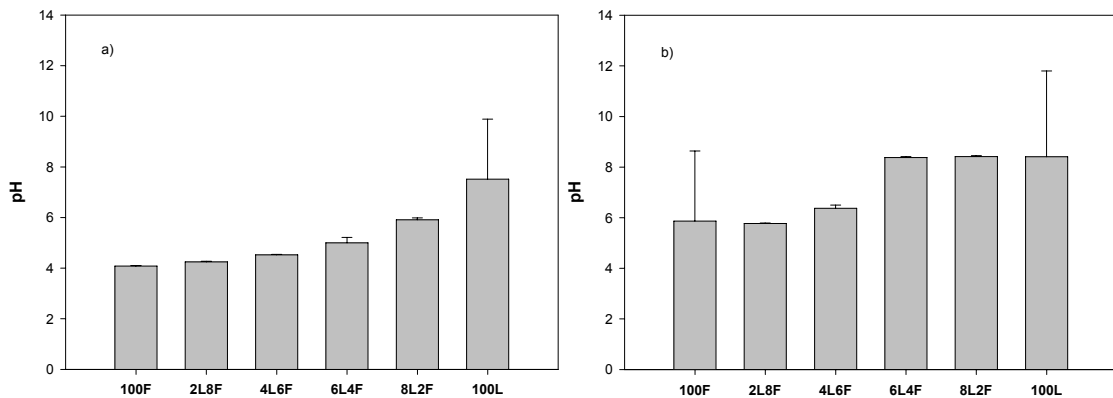


Fig. 3. Changes of pH with different mixing ratio of food waste and livestock manure. a) Initial experiments, b) Final experiments.

Table 4. Changes of total nitrogen with different mixing ratio of food waste and livestock manure.

Reactors	TN		Variation	
	Initial	Final	Amount of Increase	Ratio
	----- % -----		----- % -----	
R 1 (100F)	0.31 ± 0.038	0.46 ± 0.217	0.15	48
R 2 (2L8F)	0.30 ± 0.0098	0.43 ± 0.015	0.13	43
R 3 (4L6F)	0.26 ± 0.0011	0.43 ± 0.009	0.17	65
R 4 (6L4F)	0.24 ± 0.01	0.41 ± 0.003	0.17	71
R 5 (8L2F)	0.18 ± 0.008	0.36 ± 0.007	0.18	100
R 6 (100A)	0.14 ± 0.017	0.31 ± 0.004	0.17	121

시험에 사용된 가축분뇨의 질소함량이 음식물 쓰레기 보다 낮은 시료를 사용하는데 기인하는 것으로 판단된다. 그러나 시험 후 TN 함량 증가율은 가축분뇨의 혼합비율이 높아질수록 48%에서 121%로 크게 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 Jeong et al. (2009)의 연구에서도 음식물 폐수와 가축분뇨가 혼합된 시료의 TN 함량을 보면 가축분뇨의 혼합비율이 증가할수록 높아지는 경향을 보였다. 또한 고온 회분식 혐기소화 실험에서 40일간의 반응기간 내 모든 혼합조에서는 질소함량은 시험 전에 비해 다소 높은 값을 보였고, 가축분뇨의 혼합비율이 높을수록 더욱 높아지는 경향을 보였다 (Jeong et al., 2009). 가축분뇨의 경우 축산폐수 내 암모니아 농도는 3,430 mg L<sup>-1</sup> 정도 이나 암모니아는 반응기간에 비례하여 농도가 높아진다고 보고 (Jeong et al., 2009) 하였는데, 가축분뇨의 경우 대부분 높은 암모니아에 의한 영향으로 생각되어진다.

**중온 혐기소화에서 혼합비율에 따른 소화액 중 염분함량 변화** 가축분뇨의 혐기소화에서 바이오가스의 발생량을 증대하기 위해 최근에는 탄소함량이 많은 음식물 쓰레기와 통합소화를 시도하려는 경향을 보이고 있다. 음식물 쓰레기의 경우 pH가 낮고 염분농도가 높으며 유기물의 함량이 높은 반면, 가축분뇨는 높은 암모니아에 의해 pH의 농도가 높다. 따라서 이들을 혼합하여 원료로 사용하면 가축분뇨는 미생물 성장에 필요한 질소원을 제공하고, pH 저하를 방지 할 수 있으며, 음식물 쓰레기는 메탄수율을 향상시킬 수 있게 된다 (Adams et al., 1981; Kim et al., 2004).

본 실험에서 사용된 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 혼합비율에 따른 염분농도 및 40일간의 반응기간 후 염분함량 변화는 Fig. 4와 같다. 염분 함량은 가축분뇨보다 음식물 쓰레기의 함량이 높을수록 높았지만 소화율에 크게 영향을 주지 않았다.

그러나 국내에서 발생되고 있는 음식물 쓰레기 중 염분

함량 (NaCl)은 0.78~4.84% (Jung, 1999; Song et al., 1999)로 다양하기 때문에 염분함량이 높은 음식물 쓰레기를 감안하여 혼합비율을 결정하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. 혐기성 소화 시에는 여러 가지 유기물질로부터 분해과정 또는 기질에 포함되어 있는 염의 농도가 높으면 산생성과 메탄생성 과정에서 저해작용이 나타날 수 있다. 나트륨은 음식물의 혐기소화시 축적이 되어 영향을 미칠 수 있는데, 일반적으로 3,500~5,500 mg L<sup>-1</sup>에서는 일반적 저해를 나타내고 8,000 mg L<sup>-1</sup> 이상에서는 심각한 영향을 미치게 된다 (McCarty, 1964).

또한 통합소화 후 소화액을 액비로 사용하기 위해서는 비료관리법의 “비료공정규격 설정 및 지정 (2009. 10. 01)”에 따라 “가축분뇨 발효액”으로 사용하기 위해서는 염분 (NaCl) 함량을 0.3%이하로 규정하고 있어, 이를 만족하여야 액비로 사용이 가능하다. 따라서 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 통합 소화에서 혼합비율은 바이오가스 최대 발생량을 기준으로 결정할 수 있을 것으로 생각된다. 혐기소화액을 액비로 사용할 경우에는 혐기소화에 투입되는 음식물 쓰레기는 염분함량 범위가 넓게 분포하고 있어 사용량 설정에 어려움이 따른다. Fig. 5는 간이적인 방법 (식 1)을 이용하여 적정 혼합비율을 설정할 수 있다. 통합 소화액의 염분 함량을 0.3% 이하로 유지하기 위해서는 염분이 1.2%인 음식물쓰레기의 경우에는 0.2%인 가축분뇨와 음식물쓰레기의 비율을 90:10 이내가 적정하고 염분이 0.4%인 음식물쓰레기의 경우에는 0.2%인 가축분뇨와 음식물쓰레기의 비율을 50:50 이내로 사용이 가능하다고 판단된다.

혼합액의 염분함량 (NaCl, %)  
 = [가축분뇨 염분함량 (%) × 혼합비율 (%) / 100] + [음식물쓰레기 염분함량 (%) × 혼합비율 (%) / 100] (1)

그러나 혐기성소화에 미치는 영향이나 통합소화 후 소화액의 염분함량을 기준으로 할 때 60:40 (가축분뇨: 음식

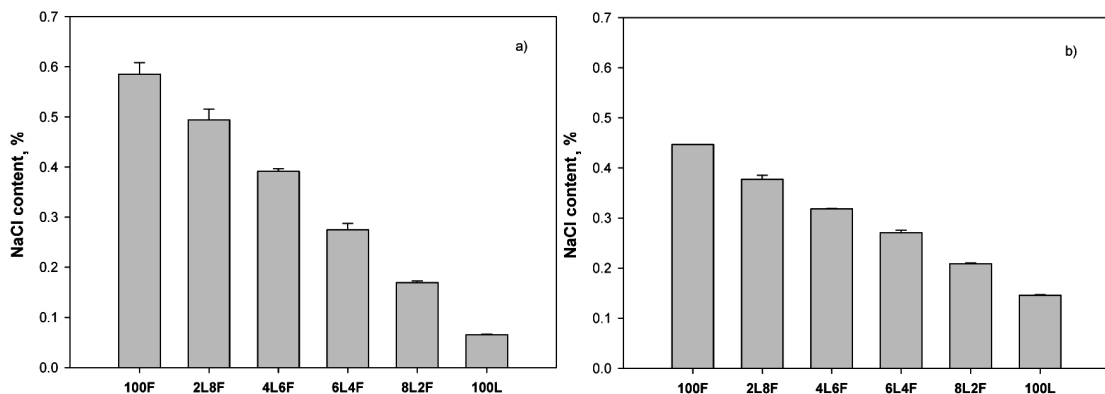
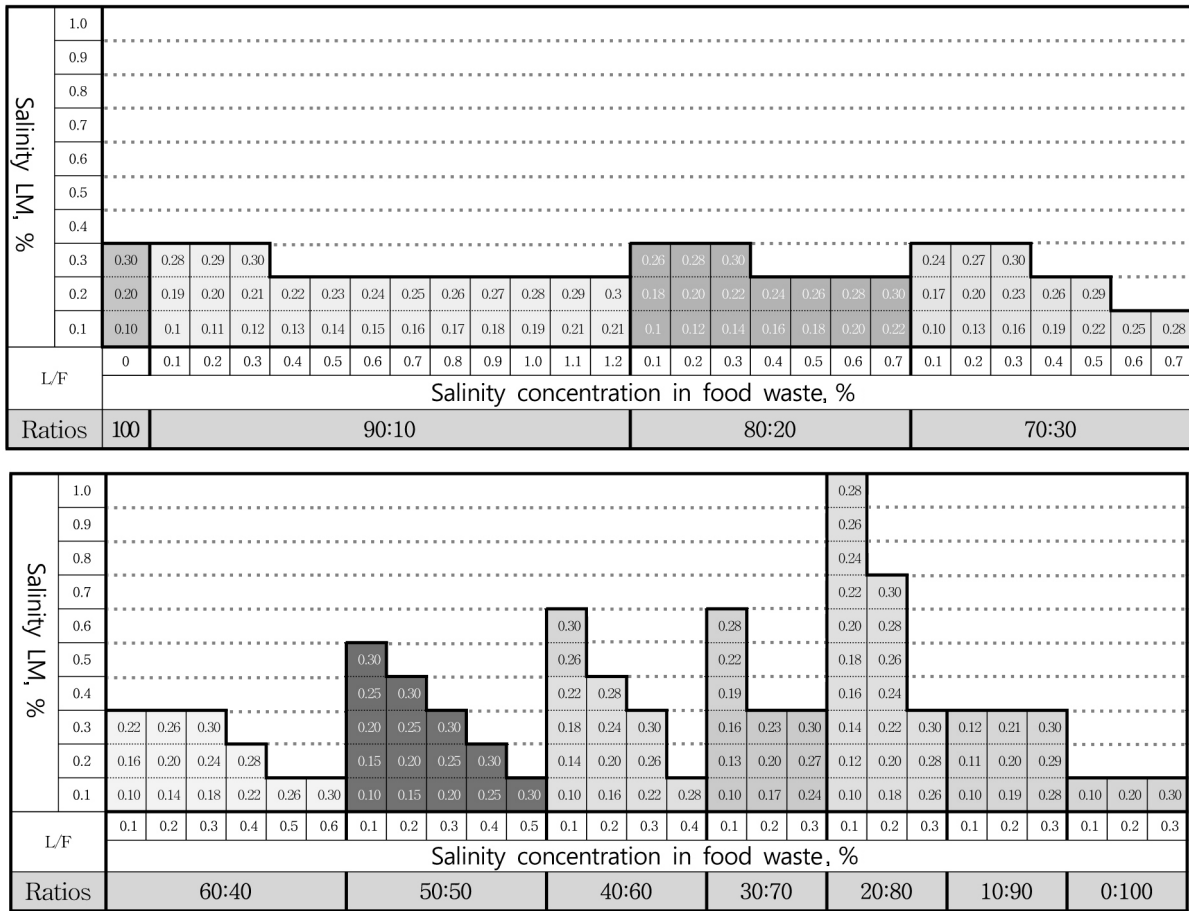


Fig. 4. Changes of salinity content before and after digestion with different mixing ratio of food waste and livestock manure. a) Initial experiments, b) Final experiments



† L; livestock manure, F; food waste  
 ‡ mixture ratios ⇒ L : F

Fig. 5. Changes of salinity content with different mixing ratio of food waste and livestock manure.

물 쓰레기) 범위까지 가능할 것으로 판단되나, 음식물 쓰레기 중의 염분함량 분포가 다양한 점을 고려할 때 적정 혼합비율은 70:30 이하가 적합할 것으로 판단되어 진다. 이는 가축분뇨와 음식물 쓰레기 통합소화에서 음식물 쓰레기의 투입 한계비율은 30%이하가 타당성을 가짐을 의미한다.

**혼합비에 따른 바이오가스 발생량** 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 통합 혐기성소화에 의한 누적 바이오가스 발생량은 Fig. 6과 같이 소화기간이 늘어남에 따라 점차 증가하였고 일정기간이 지난 후 발생량에 변화가 없음을 확인할 수 있었다. 특히 혐기성소화에 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 혼합비율이 60:40일 때 가장 많이 발생하였으며, 그 외 혼합비에서는 낮은 발생량을 보였다.

이와 달리 가축분뇨의 혼합비율이 클수록 혐기성소화 실험기간 동안 단위 부하량당 누적가스 발생량이 높게 나타났다. Sung et al. (2001)의 보고에서도 가축분뇨와 음식물 쓰레기를 혼합하여 35°C에서 40일 동안 운전한 결과 메탄가스 발생량은 가축분뇨 단독 처리에 비해 가축분뇨

와 음식물 쓰레기를 혼합했을 경우가 높은 것으로 나타났다. 혼합비율은 가축분뇨와 음식물 쓰레기를 1:1로 하였을 경우에 18 mL (CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup>·VS<sub>removed</sub>) 증가한 반면, 1:2의 경우에는 8 mL 정도 증가하여 1:1의 경우에 비하여 상대적으로 감소하였음이 보고된바 있다. 이는 통합소화의 경우에 혼합비율이 바이오가스 발생에 영향을 미치는 것으로 판단되어 진다. 운전기간 동안 누적 바이오가스 발생량은 30 일차에 최고점에 도달하였다. 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 혼합비는 가축분뇨가 많이 혼합되는 조건에서 CH<sub>4</sub>와 CO<sub>2</sub>의 발생량도 높게 나타났다.

pH 조정에 따른 누적 바이오가스 발생량은 Fig. 7에서와 같이 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 비가 40:60 (4L6F) 일 때 가장 많았으며, 60:40 (6L4F), 20:80 (2L8F) 순으로 낮았다. 또한 pH 조정에 따른 누적 바이오가스 발생량은 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 비율이 60:40 (6L4F)일 때 높았으며, 단위 부하량당 누적가스 발생량은 가축분뇨의 함량이 많을수록 높게 발생하였으나 1회 실험조건으로 재현성에 차이를 보일 수 있을 것으로 생각된다.

또한 CH<sub>4</sub> 등 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 혼합 혐기성

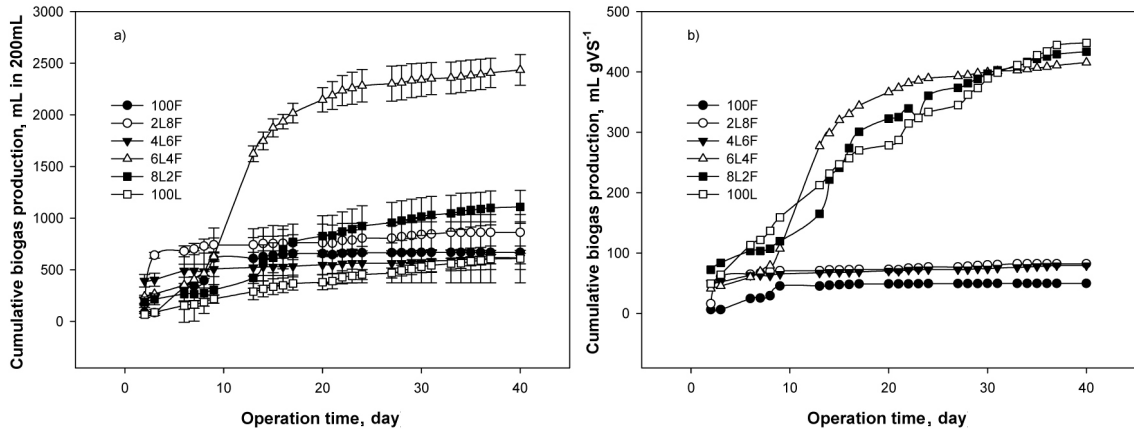


Fig. 6. Cumulative biogas yield with different mixing ratio of food waste and livestock manure during the digestion periods. a) Cumulative biogas production in reactor, b) Cumulative biogas production in loading rate

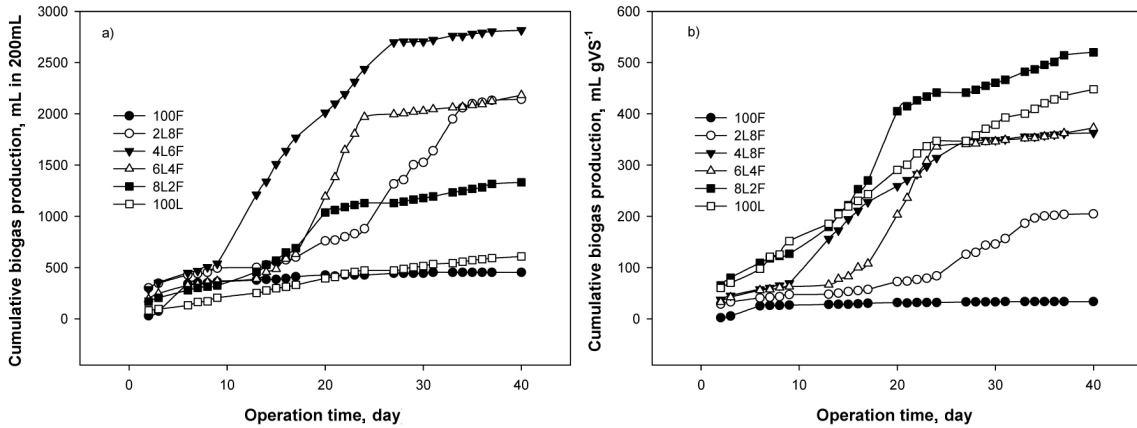


Fig. 7. Effects of cumulative biogas yield with pH controlled mixtures of food waste and livestock manure. a) Cumulative biogas production in reactor, b) Cumulative biogas production in loading rate

Table 5. Composition of biogas with different mixing ratio of food waste and livestock manure.

Reactors	CH <sub>4</sub>		CO <sub>2</sub>	
	%			
R 1 (100F)	6~36		14~45	
R 2 (2L8F)	23~40		9~30	
R 3 (4L6F)	33~53		16~41	
R 4 (6L4F)	40~83		17~50	
R 5 (8L2F)	40~64		21~47	
R 6 (100L)	44~69		13~55	

소화에 따른 가스성분 비율은 Table 5와 같이 가축분뇨의 혼합비율이 높을 때 메탄 함량도 높게 나타났으며, 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 비가 60:40 (6L4F)일 때 메탄함량은 최고 83%까지 도달하였다.

**요 약**

혐기성소화에서 원료로 가축분뇨와 음식물 쓰레기의 혼합비에 따른 유기물 제거율은 60:40에서 총고형물 (TS) 및

휘발성고형물 (VS)이 각각 약 80%로 가장 높은 제거효율을 보였다. 통합소화에 의한 누적가스발생량을 비교하였을 때에도 가축분뇨 60%와 음식물 쓰레기 40%를 투입한 처리 (60:40)에서 가장 많은 가스 발생량을 나타내었다. 그러나 통합소화액의 염분함량을 고려할 때 가축분뇨 0.1%, 음식물 쓰레기 0.6%의 염분을 함유한 원료를 대상으로 혼합비율을 달리하여 투입하였을 때 음식물 쓰레기 100% 투입의 경우에 소화액의 염분함량은 0.45%, 음식물 쓰레기 60%와 가축분뇨 40% 투입에서 0.32, 음식물쓰레기 40%와

가축분뇨 60% 투입에서 0.27%, 음식물 쓰레기 20%와 가축분뇨 80% 투입에서 0.21로 나타났다. 따라서 본 연구 결과를 토대로 하여 가축분뇨와 음식물 쓰레기를 통합소화하고 소화액을 액비로 농경지에 안정적으로 사용하기 위해서는 음식물 쓰레기의 투입 한계비율은 30%이하가 적정하다고 판단할 수 있었다. 하지만 통합 소화액을 액비로서 농경지에 지속적으로 사용 가능하게 하기 위해서는 원료별, 발생원별로 너무 다양한 음식물 쓰레기의 염분함량에 대한 조사와 더불어 통합소화를 위한 적정 혼합비율 설정 및 토양 및 작물 재배를 통한 검증이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ 006800200907)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

- Adams, C.E., D.L. Ford, and W.W. Eckenfelder. 1981. Development of Design and operational Criteria for wastewater treatment. Enviro. Press, Inc., Boston, MA. p. 255-277 and 371-382.
- Ha, W.W. 2010. An Analysis on generation and treatment situation of livestock manure. MS Thesis, KonKuk University, Seoul, Korea.
- Hur, B.D., S.H. Kim, J.T. Yoo, Y.K. Ko, and S.M. Yang. 2002. Practical use of biogas technology by integrated anaerobic digestion of food waste and livestock manure. Korea J. Org. Res. Recycling Associ. 10(1):46-51.
- Jeong, D.Y., M.H. Chung, and Y.J. Kim. 2009. Optimal mixing ratio of wastewater from food waste and cattle manure and hygienic aspect in batch type anaerobic digestion. Korea J. Org. Res. Recycling Associ. 17(2): 93-100.
- Jung, K.Y. 1999. Composting of Food Wastes, Research Report; The second year Completed Report. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Kim, H.G., D.S. Lee, H.N. Jang, and T.H. Chung. 2010. Anaerobic digestion technology for biogas production using organic waste. Korea J. Org. Res. Recycling Associ. 18:50-59.
- Kim, N.C., K.Y. Yoo, J.W. Ahn, Y.J. Kim, K. Hu, Y.G. Jung, and C.G. Phae. 2002. Principles and application of bio-gasification technology by anaerobic digestion process., Korea J. Org. Res. Recycling Associ. 10(1):7-23.
- Kim, S.H., S.K. Han, and H.S. Shin. 2004. Feasibility of biohydrogen production by anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge. Int. J. Hydrogen Energy, 29:1607-1616.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals. Public Works 95(9):107-112.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic of Korea. 2009 a. Internal Resources; Performance of livestock manure generation and Recycling.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic of Korea. 2009 b. Briefing materials-energy business investment in livestock manure.
- Ministry of Knowledge Economy, Republic of Korea. 2006. Ministry of Commerce, Industry and Energy Press release; Headaches with livestock manure is utilized as a source of energy.
- Park, S.J., J.S. Kim, H.S. Woo, and H.S. Kim. 2006. Effects of salinity concentration on treatment of food waste. Korea J. Org. Res. Recycling Associ. 23(4):272-277.
- Park, W.K., H.B. Jun, N.B. Park, S.I. Kwon, J.D. Shin, and S.G. Hong. 2011. Performance evaluation and characteristic study of the single anaerobic digestion from piggery slurry. Korea J. Environ. Agric. 30(1):31-36.
- Park, N.B., S.M., Park, W.Y. Choi, and H.B. Jun. 2009. Methane production and nitrogen removal from piggery wastewater in the TPAD coupled with BNR process. J. Korean Soc. Wat. Qual. 25(1):18-25.
- Phae, C.G. 2003. Food Recycling Facility Design Status Assessment and Improvement Measures. Korea J. Org. Res. Recycling Associ. 14(1):13-18.
- Shin, H.S., H.W. Kim, S.K. Han, and S.T. Kang. 2002. Degradation characteristics in anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste. Korea J. Org. Res. Recycling Associ. 10(1):96-101.
- Shin, H.S., Y.C. Song, and M.J. Mun. 1993. A Study on the feasibility of anaerobic digestion of food wastes by biodegradability test. J. Korea Solid Wastes Eng. Society, 10(1):35-42.
- Song, O.Y., K.Y. Jung, and J.Y. Jeong. 1999. Process development for food waste composting. Korean J. Environ. Agric. 18(4):321-326.
- Statistics Korea. 2009. Livestock survey Report.
- Sung, N.C., K.C. Park, and S.M. Choi. 2001. The Anaerobic Digestion Efficiency and Methane Recovery Characteristics of livestock Wastewater with Food Waste. J. of KSWES, 18(3):271-277.
- Yoon, A.H., N.B. Park, J.H. Bae, H.B. Jun., and Y.B. Kwon. 2010. Treatment of food waste leachate using pure-oxygen jet loop reactor (JLR). J. Korean Soc. Water Wastewater, 24(6):763-773.