



산업계 유기성폐기물 바이오가스 생산 효율에 관한 연구

Study on bio-gas production efficiency from industrial organic waste

이호령¹ · 진효연^{1*} · 신대윤²

Horyeong-Lee¹ · Hyeon-Jin^{1*} · Daeyewon-Shin²

1 조선대학교 환경생명공학과 · 2 조선대학교 환경공학과

(2012년 6월1일 접수; 2012년 10월8일 수정; 2012년 10월10일 채택)

Abstract

This study focuses on the feasibility of bio-gas production using anaerobic digestion by measuring methane generation and biodegradability through the BMP test of industrial organic wastes.

Organic wastes consist of entrails of pigs and organic residues of rumen generated from slaughter houses, wastewater sludge from slaughter waste water, fish offal and residues of vegetables from public wholesale markets, and wastewater sludge from the process of wastewater treatment in paper mill.

The cumulative methane production by BMP test ranges from 149.3 ml/g-VS to 406.6 ml/g-VS and this is similar to methane generation of the normal wastewater sludge and food waste. As a result of measurement of biodegradability, wastewater sludge (S1 ~ S4) is low, ranging from 27.1% to 58.9 % and organic residues of rumen (G1) is low at 49.6 %. In conclusion, it turned out that raising the hydrolysis by various pre-treatments is necessary in order to produce bio-gas by using industrial organic wastes.

Key words : Organic waste, Biogas, Anaerobic digestion, BMP, Biodegradation

주제어 : 유기성폐기물, 바이오가스, 혐기성소화, 바이오메탄퍼텐셜, 생분해도

1. 서론

21세기에 들어서며 인류는 생존을 위해 치열한 에너지 확보 전쟁을 치루고 있다. 고유가 시대의 지속과 에너지 자원의 고갈, 지구온난화 및 기후 변화협약에 따른 온실가스 감축 문제 등을 해결하기 위해 세계 모든 국가의 정책 방향은 에너지와 환경을 중심에 두고 있다. 특히, 2012년부터는 가축분뇨, 음식물 등 고농도 유기성폐기물의 해

양투기가 전면적으로 금지될 예정이고 하수, 가축분뇨, 음식물 처리 슬러지의 직매립도 제한되고 있어 이러한 유기성폐기물의 적정처리 방안 마련이 시급하다. 이에 유기성폐기물의 혐기성소화는 여러 형태의 고분자 화합물이 혐기적 조건에서 다양한 생물공학적인 방법에 의해 메탄과 이산화탄소로 전환되어 공해감소를 위한 효과적인 방법이며 또한 연료가스로서 화석연료를 절약할 수 있는 경제적인 이익 제공과 더불어 유기성폐기물을 안

*Corresponding author : Tel. : +82-32-590-4570, Fax : +82-32-590-4569, E-mail : jhe0314@hanmail.net(H. E. Jin)

정적으로 처리할 수 있어 유기성폐물의 적정처리 방안으로 인식되고 있다. 메탄발효를 통해 발생하는 바이오가스는 메탄과 이산화탄소의 혼합물로서 메탄 함유량은 50 ~ 80 %, 이산화탄소는 15 ~ 45 %, 수분 5 % 그리고 황화수소(H₂S)를 미량 포함하고 있다(FAO, 2007; Seibert et al., 2008; McInerney et al., 1979; Parkin and Owen, 1986, Bouallagui et al., 2005; Cho, 1995).

국내에서는 음식물쓰레기, 하수슬러지, 가축분뇨 등의 폐기물 처리를 위해 혐기소화 공정의 최적화 및 효율개선에 관한 연구가 1980년대 후반부터 진행되었으며, 산가수분해와 메탄발효의 운전조건 확립에 관한 연구(Lim et al., 2002; Heo et al., 2003; Eom and Han, 2004), 탈질화 및 외부탄소원의 혐기성소화공정 투입 효과에 관한 연구(Park et al., 2001; Lee et al., 2000), 혐기성소화 운전인자 도출 및 유기물 제거효율 개선에 관한 연구(Choi et al., 2005; Park et al., 2002) 등 많은 혐기소화 공정 관련 연구사례가 있다. 그러나 최근에 폐기물 처리와 함께 대체에너지에 대한 관심이 높아지면서 다양한 폐기물 바이오매스에 대한 혐기소화 특성, 메탄생산퍼텐셜 측정 및 평가, 메탄생산 효율 증대에 관한 연구가 요구되고 있다(김승환 등, 2010).

국내 바이오가스화 생산 및 활용시설은 2010년 기준으로 총 50개소이며, 유기성폐기물 처리 용량은 총 40,743톤/일로 하수슬러지 20개소, 병합 15개소, 가축분뇨 7개소, 음폐수 6개소, 음식물쓰레기 2개소가 운전중에 있다. 병합시설은 하수슬러지, 가축분뇨, 음식물쓰레기, 음폐수, 분뇨를 병합 처리하고 있다(환경부, 2011).

환경부에서 추진 중인 「폐자원 및 바이오매스 에너지 대책」 실행 계획 중 유기성폐자원의 에너지화 종류는 바이오가스화와 고형연료화가 포함되어 있으며, 2013년까지 유기성폐자원의 바이오가스화 시설 등 27개소 처리용량 5,938톤/일의 시설 확충을 계획하고 있다. 하지만 현재 계

획에는 산업활동에서 배출되는 사업장 유기성폐기물의 에너지화 계획이나 지원대책이 수립되어 있지 않아 정부의 녹색성장 실현과 신재생에너지 목표 보급률 달성을 위해서는 사업장 유기성폐기물의 에너지화 대책마련이 필수적으로 고려되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 산업활동에서 발생하는 유기성폐기물의 성분특성과 BMP시험을 통하여 산업계 유기성폐기물의 메탄발생량을 측정하여 국내 산업계 유기성폐기물의 바이오가스 생산 효율을 검토하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에서는 산업계에서 배출되는 유기성폐기물별 바이오가스 발생 효율을 평가하기 위해 경기도 지역의 사업장 유기성폐기물인 도축장의 돼지·소 내장과 위속배설물, 폐수처리오니, 농수산물 시장의 패서와 과일류, 식음료산업의 폐수처리오니, 주정·주류공장의 폐수처리오니를 수거하여 공시하였다. 분석에 사용된 시료는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Substrates for this study

Feedstock	Sample No.
Slaughter house	
Entrails of pig	L1
Sludge of slaughter wastewater(1)	S1
Sludge of slaughter wastewater(2)	S2
Organic residues of rumen	G1
Public wholesale market	
Fish offal	L2
Residues of Vegetables	G2
Food industry	
Sludge of industrial wastewater	S3
Paper Industry	
Sludge of industrial wastewater	S4

2.2 성분분석

성분분석은 폐기물공정시험법에 의거하여 분석하였다. 수분 및 고형물 분석은 시료 20 g을 각각 취하여 105 ~ 110 °C의 건조기 안에서 4 시간 건조시켜 측정하였으며, 유기물 및 회분 함량은 600±25 °C에서 30분간 강열하고 황산데시케이터 안에서 방냉한 사기제 도가니에 시료 20 g이상을 취하여 25 % 질산암모늄용액을 넣어 시료를 적시고 천천히 가열하여 탄화시킨 다음 600±25 °C의 전기로 안에서 3시간 강열한 후 측정하였다.

원소분석은 시료를 건조하여 절단하고 축분하여 균질화 한 후 C, H, O, N, S 는 Carlo Erba 사 Element Analyzer-1108로 분석하였으며, Cl은 ASTM D2361 “Standard Test Method for Chlorine in Organic Compounds”에 의거하여 MgO 2 g에 Na₂CO₃ 1 g을 혼합한 Eschka mixture 3 g에 시료 1 g을 넣은 후 675±25 °C에서 Eschka와 시료를 태운 후 질산에 녹인다. 질산에 녹인 분석 용액을 질산은 적정법에 의해 염소함량을 측정하였다. 원소분석은 결과의 정확성을 위해 3회 측정하여 그 평균값을 구하였다.

2.3 BMP 시험

BMP 시험을 위해 대상시료를 85 °C에서 5 일간 건조시킨 후 사용하였으며 식종액은 서울 중량물재생센터의 2차 소화슬러지를 채취하여 사용하였다. 미생물의 영양물질 공급을 위해 Shelton(1984)의 방법을 이용하여 Table 2의 조성으로 영양배지를 제조하였다. 제조된 영양배지에 혐기성 조건을 유지시키기 위해 약 10분 정도 가압멸균기로 멸균하고 산소의 유입을 막기 위해 질소 가스를 약 15분간 주입하였다. 식종슬러지 18 ml(영양배지의 10 %)와 영양배지 180 ml를 질소로 치환한 250 ml 용량의 Serum 병에 주입하고 Owen (1979)의 방법에 따라 시

료를 2 g-VS/L로 주입하였다. 시료를 과다 주입할 경우 가수분해 및 산형성 미생물에 의해 초기에 급격한 유기산 축적현상으로 메탄생성이 저해된다. 초기 반응조의 pH는 7.06 이었으며, 산형성에 따른 pH의 저하를 막기 위해 NaHCO₃ 1.2 g/ℓ 를 주입하였다. 대상시료, 영양배지, 식종액 등을 주입한 Serum병은 Butyl rubber septum과 Aluminum cap을 이용하여 밀봉한 후 35 °C, 160 rpm으로 유지되는 항온조(Incubator)에서 폐기물의 혐기성 분해를 유도하도록 하였다.

가스발생량은 유리제로 만든 주사기를 이용하여 주기적으로 측정하였으며, 가스성분 분석은 가스크로마토그래피/열전도도검출기(GC/TCD-GC8A, Shimadzu)를 이용하여 측정하였다.

측정기간 동안의 메탄 발생량은 V_{CH_4} 는 식1을 이용하여 가스시료의 채취시간 전에 반응조 상단부 공간(headspace)에 존재하였던 메탄의 양으로 보정하였다.

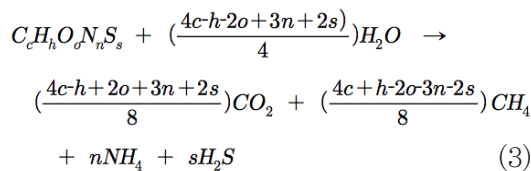
$$V_{CH_4}(35^\circ C) = C_1(V_1 + V_0) - C_0V_0 \quad (1)$$

여기서 C_1 은 시료 채취 시점의 CH₄ 농도(%), C_0 는 시료 채취 이전의 CH₄ 농도(%), V_1 은 Syringe에 의해 측정된 총 가스부피, V_0 는 Serum 병의 headspace의 부피이다. 식5에 의해 계산된 메탄발생량은 식2를 이용하여 0 °C, 1기압의 표준상태로 전환시킨 뒤 누적메탄 발생량을 구하였다.

$$V_{CH_4}(STP) = V_{CH_4}(35^\circ C) \frac{273}{273 + 35} \times \frac{760 - 42.2}{760} \quad (2)$$

여기서, 건조상태의 가스발생량을 구하기 위하여 35 °C에서의 포화수증기량 42.2 mmHg를 빼 주었으며, 시료만의 순수 누적가스 발생량을 측정하기 위해 식종액만을 포함한 바탕시험용 시료의 누적가스 발생량 값을 측정하여 보정하였다.

대상시료의 생분해도 평가를 위해 Buswell's 이론 반응식을 이용하였으며, NH₃를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 구분하여 계산하였다(식3).



3. 실험결과 및 고찰

3.1 물리적 성분특성

산업계 유기성폐기물의 유기물 함량은 건조기준으로 82.5 ~ 94.9 %의 높은 비율을 보이고 있어 축산분뇨나 음식물 등의 바이오매스바이오 가스화를 위한 투입물로 적절한 것으로 나타났으며, 제지 폐수처리오니의 경우 유기물 함량이 42.8 %로 낮게 나타났다(Table 2).

고형물 함량의 경우, 8 ~ 28 %의 값을 나타내고 있어 건식소화 방식을 적용할 수 있으며, 습식소화를 통한 바이오가스화의 경우 적절 TS를 15% 이하로 판단하고 있기 때문에 G2의 식물성 잔재물과 S3의 폐수처리오니를 제외한 유기성 폐자원은 공정수의 투입에 의한 조절이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 C/N비

투입 유기물의 C/N(탄질소비)는 메탄발효공정에서 중요한 운전인자이다. 탄소는 미생물의 에너지공급원으로서, 질소와 인은 미생물의 아미노산, 단백질, 핵산 등의 형성요소로서 가장 중요한 영양원으로 되어 있다. 혐기성 미생물 반응은 C/N비의 영향을 받는데, 탄소 1g 당 가스가 가장 활발하게 발생하는 C/N비의 범위는 12 ~ 16으로 알려져 있다(김남천, 2008). C/N비가 적은 유기물은 질소가 충분히 이용될 수 없기 때

Table 2. Physical characteristics of Organic waste resources.

Sample No.	Water	TS	VS	σTS
L1	78.7	21.3	19.0	88.9
S1	83.7	16.3	13.9	85.4
S2	84.7	15.1	12.8	83.4
G1	83.9	16.1	15.3	94.9
L2	71.2	28.8	25.3	87.6
G2	92.0	8.0	7.1	88.9
S3	86.7	13.3	11.0	82.5
S4	59.0	41.0	17.6	42.8

Table 3. Chemical composition of organic waste resources.

(unit : wt % -DM)

Sample No.	C	H	O	N	S	Cl	C/N
L1	48.26	7.28	19.54	12.68	0.62	0.82	3.81
S1	44.78	7.09	24.82	7.72	0.63	0.24	5.80
S2	42.98	6.60	27.44	5.72	0.66	0.26	7.51
G1	46.02	6.31	40.21	2.27	0.03	0.19	20.27
L2	42.18	5.92	28.66	6.00	1.07	3.71	7.03
G2	41.60	6.18	36.77	2.81	0.34	1.05	14.80
S3	49.66	8.35	13.76	8.95	0.72	0.65	5.55
S4	24.19	3.03	15.36	0	0	0.08	-

Table 4. Content of heavy metals of organic waste resources.

(unit : mg/kg-DM)

Sample No.	As	Cd	Cu	Cr	Pb	Hg
L1	ND	ND	6.7	4.8	6.1	0.027
S1	ND	3.2	193	14	9.1	0.065
S2	ND	0.8	232	114	7.9	0.039
G1	ND	ND	20	4.1	2.3	0.044
L2	ND	ND	18	2.7	3.8	0.027
G2	ND	ND	31	45	6.6	0.023
S3	ND	1.8	165	24	38	0.114
S4	ND	ND	10	3.6	3.3	0.020

문에 과잉의 질소가 암모니아로 변화하고, 메탄 발효 반응을 저해하게 된다. 전체 시료들의 C/N 비는 3.81 ~ 20.27의 범위를 나타냈으며, 도축장에서 배출되는 돼지내장 3.81, 폐수처리오니 5.80 ~ 7.51, 수산시장에서 배출되는 어패류

잔재물 7.03, 식품공장 폐수처리오니 5.55로 혐기성소화의 적정 C/N비 보다 낮았으며, 가락동 농수산물 시장의 채소잔재물은 14.80, 도축장에서 배출된 반추위잔재물은 20.27로 동물성잔재물과 폐수처리오니에 비해 혐기성소화에 적절한 C/N비로 나타났다(Table 3). 또한 제지공장의 폐수처리오니의 경우 질소 성분이 없어 혐기성소화 투입물로 적당하지 않은 것으로 판단된다.

3.3 중금속 함유량

일부 중금속의 경우 혐기성소화에 저해 요인으로 작용한다. Cu 30 mg/L, Cr 3,000 mg/L, Cd 3,500 mg/L, Pb 5,000 mg/L, As 6 mg/L 이상일 경우 혐기성소화에 약 50 % 저해를 일으키는 농도로 알려져 있다. 실험결과 전체적으로 저해농도 이하로 조사되었으나, 폐수처리오니의 경우 Cu의 농도가 저해 작용을 일으키는 농도 이상인 것으로 나타났다(Table 4).

3.4 누적가스발생량

대상시료를 이용하여 바이오가스 누적발생량을 산정하였다. 일반적으로 BMP 실험 시에는 메탄 및 이산화탄소가 발생되지만 이산화탄소는 물에 잘 녹는 특성으로 인해 발생 가스가 전량 배출되는 것이 아니라 물에 상당 부분 녹게 된다. Owen(1979)은 이 비율을 65 % 정도로 보고하고 있다. 본 연구에서도 이산화탄소 발생량 분석 결과 불안정한 양상을 나타내었으며 발생 가스 중 이산화탄소를 제외하고 메탄가스만을 고려하여 26일 동안의 HRT를 기준으로 산출한 누적메탄 생산곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 누적메탄 발생량은 도축장의 돼지내장 L1 시료가 406.6 ml/g-VS로 가장 높게 나타났으며, 같은 사업장에서 배출되는 폐수처리오니 S1이 284.8 ml/g-VS로 다른 도축장 폐수처리오니인 S2 193.4 ml/g-VS 보다 높은 발생량을 나타내었다. 또한 반추위잔재물인 G1은 224.1 ml/g-VS, 채소잔재물 G2는 270.1 ml/g-VS

Table 5. Biogas production of investigated by the literature.

Feed stock	Methane yield (L CH ₄ /g VS)
Livestock manure	0.252 ~ 0.348
Sewage Sludge	0.091 ~ 0.126
Food waste	0.356 ~ 0.540
Food waste Leachate	0.351 ~ 0.354

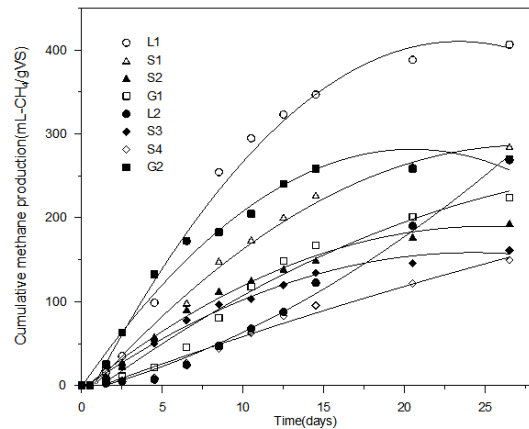


Fig. 1. The cumulative methane production of organic waste.

의 누적메탄 발생량을 나타내었다. 식품공장과 제지공장의 폐수처리오니 S3 161.1 ml/g-VS, S4 149.3 ml/g-VS의 발생량을 나타냈다. 2004년도 수도권매립지관리공사에 의해 조사된 하수슬러지 90~120 ml/g-VS, 음식물탈리액 351~354 ml/g-VS의 BMP 시험 결과와 비슷한 결과를 나타내었다(Table 5). 또한, 음식물쓰레기와 하수슬러지의 혼합비가 2 : 8과 4 : 6의 병합 혐기성소화 시 혼합비 6 : 4와 8 : 2 및 하수슬러지 단독소화 보다 소화가스 발생량은 1.2 ~ 1.7배 높은 것으로 알려 있다(박중웅, 2002). 따라서, 다양한 산업계폐자원을 음식물쓰레기 및 하수슬러지와 적절한 혼합비로 병합하거나 산업계폐자원의 혐기성 처리시 반응조내 pH, Alkalinity 및 휘발성 지방산(VFAs) 등의 지표에 대한 인자 및 혼합비의 최적조건을 도출할 경우 바이오가스 발생량을 증가 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

3.5 생분해도 평가

최종 생분해도는 시료 중 Total Volatile Solid(TVS)로 표시될 수 있는 총 유기물 중에 생분해가 가능한 유기물(Biodegradable Volatile Solid, BVS)의 비율을 살펴보기 위한 것이다.

시료의 TVS 중 BVS만이 Biogas로 분해되기 때문에 이 Parameter를 통해서 유기성 폐기물이 분해될 때 얻을 수 있는 최대의 메탄 생성량을 예측할 수 있으며, 또한 분해과정에서 유기물이 분해되는 속도를 측정할 수 있기 때문에 반응조 설계 시 형태나 크기를 간접적으로 결정할 수 있는 중요한 인자가 되는 것이다. 혐기성소화조의 효율을 분석하고, 모델링에 의한 성능 예측 시 사용되는 Parameter 중 유입·유출 농도는 대개 COD 혹은 VS로 표현되는데 생분해가 가능한 COD나 VS 농도, 즉 Biodegradable COD 혹은 BVS로 표현되어야 가장 정확하게 반응조의 효율을 설명할 수 있으며, 반응조의 유기물부하율(Organic Loading Rate, OLR)도 BOLR(Biodegradable Organic Loading Rate)로 표현되어야 더욱 정확한 표현이 될 것이다 Buswell's 이론 반응식을 이용한 생분해도 결과 L1, L2, G3가 60 %이상의 생분해도를 나타냈으며, S3는 30 % 이하의 낮은 생분해도를 나타냈다. 주로 폐수처리오니가 낮은 생분해도를 나타내

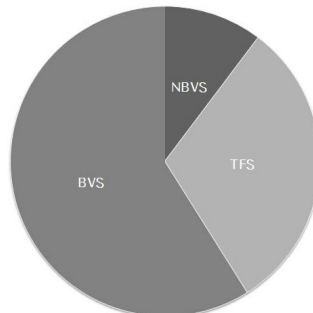


Fig. 2. Separation of Total Solids

탈수슬러지의 두꺼운 cell wall을 영향인 것으로 사료된다. 따라서 파쇄, 분쇄, 산발효, 가수분해 등 다양한 전처리 방법을 적용할 경우 생분해도 증가로 바이오가스 발생량이 증가할 것으로 판단된다(박종웅, 2002). 암모니아성 질소를 고려한 시료의 생분해도 결과를 Table 6에 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 다양한 산업활동에서 배출되는 유기성폐기물의 혐기성소화를 통한 바이오가스 생산 타당성을 살펴보기 위해 각 유기성폐기물의 삼성분 분석, 원소분석, 중금속분석, BMP 시험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 고형물 함량은 8.0 ~ 28.8 %로 식품산업

Table 6. Biodegradation of organic waste considering the concentration of ammonia nitrogen.

Sample No.	Theoretical gas production(ml/gVS)				Methane production by BMP test(ml/gVS)	Biodegradation(%)
	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	NH ₃		
L1	508.6	391.1	580.9	231.2	406.6	70.0
S1	357.8	352.6	483.3	146.3	284.8	58.9
S2	309.3	346.7	455.6	110.6	193.4	42.5
G1	251.5	407.2	451.8	38.3	224.1	49.6
L2	327.2	364.2	423.1	116.0	268.8	63.5
G2	206.8	360.8	415.8	51.5	270.1	65.0
S3	470.5	331.6	595.4	177.4	161.1	27.1
S4	172.5	195.6	255.9	0.0	149.3	58.3

의 폐수처리오니와 채소잔재물은 습식소화 조건에 적합하며, 도축장의 돼지내장, 폐수처리오니, 반추위잔재물과 공영도매시장의 어류잔재물은 건식소화 조건에 적절한 것으로 판단되며, C/N비는 식물성잔재물인 반추위잔재물(G1) 20.3, 채소잔재물(G2) 14.8, 도축장의 동물성잔재물과 폐수처리오니가 3.81 ~ 7.51로 병합하여 적정 C/N 비 범위로 조절해야 할 것으로 판단된다.

- 2) BMP 시험결과 누적메탄발생량은 149.3 ~ 406.6 ml/g-VS 범위로 하수슬러지와 음폐수의 발생량과 유사하였으며 특히, 도축장에서 배출되는 돼지내장은 406.6 ml/g-VS로 음식물폐기물의 바이오가스 발생량 0.356 ~ 0.540 ml/g-VS의 범위에 포함되었으며, 생분해도는 폐수처리오니와 반추위잔재물 27.1 ~ 58.9로 낮게 나타나 바이오가스 생산을 위해서는 다양한 전처리 방법과 각 산업계 유기성폐자원을 병합하여 혐기성 소화하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 따라서, 향후 전처리방법과 혼합비의 최적조건 도출 및 실제 Plant에서의 적용 가능성에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 김남천, 최석순 (2008) 유기성 폐기물을 이용한 고온 메탄 발효의 특성, 한국유기성 폐자원 학회, Vol. 16, no. 2, pp. 29-37
- 김승환, 김현철, 김창현, 윤영만 (2010) 유기성 폐자원별 메탄 생산 패턴설 측정 연구, 한국토양비료 학회, Vol. 43, no.3, pp. 356-362
- 박종웅, 김진복, 라원식 (2002) 음식물쓰레기와 하수슬러지의 혐기성 병합처리시 전처리방법 및 혼합비가 소화효율에 미치는 영향, 한국폐기물학회, Vol. 19, no. 7, pp. 874-882
- 환경부 (2011) 2010 폐자원 에너지 통계자료집, I 권 유기성폐자원 에너지 활용시설
- Choi, C. H., E. S. Lee, P. G. Hwang, Y. S. Ju and S. J. Jin (2005) A study on the fermentation process in the production of organic acids from food waste, Journal of Korea society of waste management, Vol. 22, pp. 79-85.
- Eom, T. K., and D. Y. Han (2004) Effect of loading rate on acidogenic fermentation of domestic waste sludge, Journal of the Korean society of water and wastewater, Vol. 8, pp. 15-21
- FAO (2007) Renewable biological systems for alternative sustainable energy production, Corporate document repository, www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e0_5.htm
- Gene F. Parkin, William F. Owen (1986) Fundamentals of Anaerobic Digestion of Wastewater Sludges, Journal of Environmental Engineering, pp. 867-920
- H. Bouallagui, Y. Touhamia, R. Ben Cheikhb and M. Hamdia (2005) Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes, Process Biochemistry, pp. 989-995
- Heo, N. H., S. C. Park, J. S. Lee, and H. Kang, (2003) Anaerobic co-digestion of food waste and easte activated sludge : Effect of the mixture ratio of food easte on solubilization and biodegradability of mixture, Journal of KSEE, Vol. 25, pp. 1050-1058
- Jae Kyoung Cho, Soon Chul Park and Ho Nam Chang (1995) Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes, Bioresource Technology, pp. 245-253
- Lee, B. H., M. K. Lee, J. S. Lee and H. K. Choi (2000) Municipal wastewater treatment characteristics of AOAS using food wastes fermentation supernatant as an external carbon source, Journal of KTSWT, Vol. 8, pp. 75-83
- Lim, S. I., S. J. Kang, J. R. Kim and B. H. Lee, (2002) A study on the characteristics of acid forming process according to the mixing rate of food waste and primary sludge, Journal of KSEE, Vol. 24, pp. 957-965

- M. J. McInerney, M. P. Bryant and D. A. Stafford (1979) Metabolic stages and energetics of microbial anaerobic digestion, *Anaerobic digestion*
- Owen, W. F., D. C. Stuckey, J. B. Healy, L. Y. Young, and P. L. McCarty (1979) Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity, *Water Research*, Vol. 13, pp. 485-492
- Park, J. W., J. B. Kim and W. S. Ra (2002) Effect of pretreatment method and mixing ratio of food waste and sewage sludge on treatment efficiency in anaerobic digestion, *Journal of Korea society of waste management*, Vol. 19, pp. 874-882
- Shelton and J. M. Tiedje (1984) General method for determining anaerobic biodegradation potential, *Environmental Microbiology*, Vol. 47, pp. 850-857
- Seibert, M., King, P. W., Posewitz, M. C., Melis, A., Ghirardi, M. L. (2008) Photosynthetic water-splitting for hydrogen production, *Bioenergy*, AMS Press, pp. 273-291