

MBT시스템에 의해 選別된 生活廢棄物의 資源化 評價에 關한 研究

李丙先 · 韓相國 · 李南勳 · 姜丁熙* · 魏 準*

(주)포스벨, *安養大學校 環境工學科

Evaluation of Resource Recovery from Sorted Waste by MBT System

Byung-Sun Lee, Sang-Kuk Han, Nam-Hoon Lee, Jeong-Hee Kang* and June Wie*

FORCEBEL Co., Ltd.

*Department of Environmental Engineering Anyang University

요 약

본 연구는 Mechanical Biological Treatment system(이하 MBT system)에서 선별된 생활폐기물의 에너지회수 가능성을 평가하고자 하였다. 투입 생활폐기물의 성분분석 결과 수도권매립지에 반입되는 폐기물과 성상이 유사하였으며, 함수율은 다소 높은 값을 나타내었다. 도시고형유기성폐기물에 대해 BMP(Biochemical Methane Potential) test를 실시한 결과 60~80 mL CH₄/g-VS의 메탄(CH₄)가스가 발생하여 문헌 등에서 보고된 메탄발생량에 비해 낮은 값을 나타내었는데 비닐플라스틱류의 비중이 높았기 때문으로 추측된다. 수도권매립지에 설치된 MBT system에서 선별된 유기성폐기물을 각 성분별로 BMP Test를 실시한 결과 음식폐기물 및 종이류에서는 각각 193, 102 mL CH₄/g-VS 수준의 메탄이 발생하였으나 비닐, 고무에서는 전혀 발생하지 않았고, 선별이 어려운 others에서는 매우 낮은 30 mL CH₄/g-VS 수준의 메탄이 발생하였다. 이로 미루어볼 때 유기성폐기물에서 비닐플라스틱, 고무류의 선별이 필요할 것으로 판단된다.

주제어 : 생활폐기물, 생활폐기물 전처리, 메탄잠재발생량 측정방법, 생분해성유기물질, 선별

Abstract

This study was carried out to evaluate the possibility of resource recovery for municipal solid waste(MSW) that sorted by a MBT system. First, physical property of MSW was similar to wastes carried into Sudokwon landfill site. However, moisture of MSW was little higher than that. As a result of BMP test using organic fraction of MSW(OFMSWs), approximately 60~80 mL CH₄/g-VS of methane was occurred. Compared to the other studies, the value of methane is lower. It seems to be caused that high ratio of vinyl/plastic in OFMSWs. The other BMP test using sample of MBT system located in Sudokwon landfill was conducted each physical properties. According to the result of experiment, food waste makes 193 mL CH₄/g-VS, and paper is 102 mL CH₄/g-VS. However, there was not methane production in vinyl and rubber. Additionally, others that can't sort no more show 30 mL CH₄/g-VS of methane production. From the result of experimental data OFMSWs has high fraction of vinyl, rubber and other substance that difficult for biodegradation. Therefore it is need to sort of them.

Key words : MSWs, MBT, BMP-Test, OFMSWs, Sort

* Received : March 28, 2013 · Revised : June 12, 2013 · Accepted : July 16, 2013

*Corresponding Author : Byung-Sun Lee (E-mail : greencorea@korea.com)

R & D Center, FORCEBEL Co., Ltd., #496 Mado-ro, Hwasung-City, Gyeonggi-do, 445-862, Korea

Tel : +82-31-355-0006 / Fax : +82-31-355-0183

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

경제수준이 성장함에 따라 인간의 소비활동이 증가하고 더불어 생활폐기물의 발생량도 증가해왔다. 발생된 막대한 양의 생활폐기물은 매립, 소각을 통해 처리해 왔으나 침출수에 의한 지표수 및 지하수의 오염, NIMBY (Not In My Backyard) 현상 및 토지부족으로 인한 매립지 건설의 어려움 등의 문제와 자연자원의 고갈로 쓰레기 처리에 엄청난 예산이 투입되는 등 커다란 사회문제로 대두되었다. 특히 수도권매립지 주민대책위원회에서는 음식물쓰레기의 반입을 2000년 7월부터 거부하였으며, 2005년 1월부터 시(市)단위 이상에서 매립지에 음식물쓰레기의 반입 및 직매립이 금지되는 등 유기성폐기물에 대한 사회적 관심이 증대되었다. 따라서 향후 폐기물관리에 대한 새로운 패러다임의 제시가 필요하게 되었다.

이러한 문제는 국내에만 국한되는 것이 아니라 전 세계적으로 대두되는 문제이기에 각국에서는 매립, 소각 위주의 정책에서 탈피하여 자원순환형 폐기물 관리정책을 도입하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 이러한 정책의 일환으로 도입된 방안중의 하나가 기계적생물학적 전처리 설비(Mechanical-Biological Treatment System, MBT System)이다. MBT는 기계적 처리(Mechanical Treatment, MT)와 생물학적 처리(Biological Treatment, BT)로 구성되어 매립지 혹은 소각시설로 투입되기 전에 도시폐기물에 포함되어 있는 가연성폐기물, 도시고형 유기성폐기물, 불연성폐기물 등을 선별하는 장치이다. MT는 재활용 가능한 물질과 재활용이 불가능한 물질로 선별하는 시스템으로서 파쇄, 비중선별, 풍력선별 등을 통해 가연물과 금속류 등으로 선별해 내도록 구성되어 있다. 생활폐기물은 발열량이 높은 비닐류, 종이류 등을 선별해 냄으로써 재활용, 소각이 용이하게 되면 RDF(Refuse Derived Fuel)생산을 통해 자원의 재이용 측면에서도 유리하여 새로운 폐기물 처리방법으로 대두되었다. 또한 환경부에서 조사한 2009년 전국 생활폐기물 조사에 따르면 종량제봉투를 기준으로 하루에 약 21,690 ton의 생활폐기물이 발생한 것으로 나타났는데 이 중 가연물이 17,997.8 ton으로 전체의 약 83%가 가연물로 조사되었다. 특히 이 중에서 고품연료 등으로 재활용이 가능한 가연물이 11,197.9 ton으로 전체 생활폐기물의 51.63%에 달해 가연물의 선별은 곧 매립량의 감소로 이어지며 나아가 전 지구적 관점에서 에너지 절약으로 이어진다고 할 수 있다^{1,2}. BT는 유기물을 미생

물에 의해 무기화하는 시스템으로 혐기소화 혹은 비료화하는 방법이 있다. 현재 유럽을 위시한 MBT 선진 국가에서는 대부분 호기성 안정화를 통해 무기화한 후 매립처리하는 방식을 주로 채택하고 있으며, 이와 관련된 연구를 활발히 진행하고 있다^{3,4}. 국내에서도 주로 호기성 퇴비화 혹은 사료화 위주로 처리하고자 하는 연구가 진행되고 있다^{5,6}. 그러나 퇴비화는 최종산물의 부가가치가 높지 않아 사용처에서 환영받지 못하고 있으며, 대량으로 발생하는 생활폐기물을 처리하는데 체류시간이 길어 부지의 제약이 따르고 있다. 사료화는 퇴비화에 비해 부가가치는 높으나 MBT에 의해 선별된 생활폐기물에 비닐 등의 이물질이 다량 함유되어 있는 점에서 어려움이 따르고 있다.

한편, 혐기처리는 혐기소화과정에서 발생하는 메탄(CH₄)이 60%내외의 고농도로 연료화 혹은 발전 등에 활용가능성이 높다. 또한 유기물의 안정화도가 높아 소화 후 폐기물처리가 용이하다는 장점이 있다. 그러나 혐기처리는 장점에도 불구하고 아직 국내에서 현장 적용된 사례가 없다. 특히, 작은 비닐이나 플라스틱류와 같은 이물질이 다량 섞인 도시고형유기성폐기물에 대한 적용사례는 보고된 바 없으며, 혐기소화에 대한 연구는 아직 초기단계에 있다. 이에 본 연구에서는 생활 폐기물 중 가연성폐기물과 도시고형유기성폐기물(Organic fraction of municipal solid wastes, OFMSWs)에 대한 RDF 및 혐기소화 방식을 통해 자원화 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료의 선정 및 채취방법

생활폐기물의 대표성을 위하여 H시의 협조를 받아 당일 오전에 수거된 약 10 ton의 생활폐기물을 대상시료로 하였다. 수거된 시료는 Fig. 1과 같이 구성된 MBT 시스템에 투입하여 파쇄 후 가연성폐기물, 도시고형유기성폐기물 그리고 불연성폐기물로 구분하였다.

암물차량으로 수거된 상태로 사용하여 생활폐기물의 원형 보존율을 최대한 유지하면서 5회로 나누어 MBT 시스템으로 투입하였다. 투입된 생활폐기물의 물리적 성상을 확인하기 위하여 종량제봉투에 담겨져 있는 상태의 생활폐기물 중 일부를 무작위로 추출하여 10성상을 5회 분석하였다.

선별된 생활폐기물 중 가연성 폐기물은 RDF로의 활용 가능성을 평가하고자 하였으며, 도시고형유기성폐기

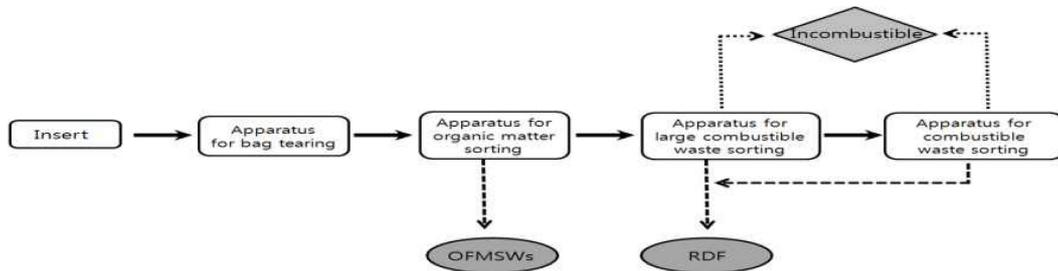


Fig. 1. Schematic diagram of MBT system in this study.

물에 대해서는 에너지회수 가능성을 평가하고자 BMP test를 실시하였다. 한편, 도시고형유기성폐기물의 성상별 메탄발생량을 평가하기 위하여 S 매립지 가연성폐기물 자원화 설비(이하 S 매립지 MBT)에서 채취한 도시고형유기성폐기물에 대해서도 성상별로 BMP test를 실시하였다.

2.2. 폐기물의 물리화학적 특성 분석

시료를 가연분 6종(음식물류, 종이류, 비닐/플라스틱류, 목초류, 섬유류, 고무/피혁류), 불연분 3종(금속류, 유리/자기류, 토사류)으로 수선별(Hand sorting)한 후 수분이 발산되지 않도록 즉시 습윤기준 중량을 측정하였다. 총 무게에 대한 각 성분의 중량비(측정된 중량/전체 폐기물의 총 중량)를 바탕으로 각 조성별 함량으로 산정하였다.

원소분석은 C, H, N, S에 대하여 원소분석기(Vario EL, Elementar)를 이용하여 분석하였다. 삼성분은 시료를 90°C에서 약 24시간 건조시켜 수분량을 측정하였으며, 건조된 시료를 약 550°C 회화로에서 회화시켜 가연분 및 회분량을 측정하였다. 발열량은 발열량계(IKA, C2000basic)를 이용하여 측정하였다.

2.3. 도시고형유기성폐기물의 생분해도 실험

선별된 도시고형유기성폐기물의 생분해도를 평가하기 위한 BMP 실험은 반응조 내부에 미생물의 성장에 필요한 유기물, 영양물질과 함께 혐기성 미생물을 주입한 후 pH, 온도 등의 조건을 최적상태로 유지하여 가스발생량과 조성을 평가하는 실험이다. BMP 실험에 사용된 영양배지는 다음 Table 1의 조성으로 제조하여 사용하였다. 이 때 인산염 완충용액 및 무기영양물질은 10배, 미량원소는 1000배 농축된 상태이며 이를 희석하여 사용하였다.

BMP 실험방법은 250 mL serum bottle에 영양배지

Table 1. Composition of mineral salts medium for BMP test

Compound		Concentration(g/L)
Phosphate buffer	KH ₂ PO ₄	0.27
	K ₂ HPO ₄	0.35
Mineral salts	NH ₄ Cl	0.53
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.075
	MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.1
	FeCl ₂ ·4H ₂ O	0.02
Trace metals	MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.0005
	H ₃ BO ₃	0.00005
	ZnCl ₂	0.00005
	CuCl ₂	0.00003
	NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0.00001
	CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.0005
	NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.00005
	Na ₂ SeO ₃	0.00005

140 mL를 넣고 가압멸균기에 10분간 멸균함과 동시에 배지에 용존되어 있는 산소를 배출시켰다. 식중 슬러지는 A시 하수처리장에서 채취한 혐기소화슬러지를 200번 체(체눈금 0.075 mm)로 걸러낸 후 사용하였다. 상온으로 냉각시킨 배지에 식중슬러지를 영양배지 부피의 10%인 14 mL를 주입하였다. 도시고형유기성폐기물 시료는 삼성분 분석을 실시한 후 2 g-VS/L의 농도로 주입하였으며, 0.1 N NaOH 와 0.1 N HCl을 이용하여 혐기성 미생물의 성장 최적조건인 pH 7.0으로 조절하였다.

유기물의 혐기분해 시 초기 유기산 축적에 의한 pH 저하를 억제하기 위하여 중탄산나트륨(NaHCO₃)를 1.2 g/L 첨가한 후 밀봉하였다. 밀봉 후 질소가스로 충분히 퍼징(Purging)하여 혐기상태가 되도록 하였고, 밀

Table 2. Physicochemical Characteristic of variable MSWs

Composition			Wet Weight (%)					
			H city	H city (sorted)	SLC ¹⁾	G city ²⁾	C city ³⁾	
Waste Component	Combustible	Food	7.43	1.24	6.45	14.50	36.12	
		Paper	34.62	20.32	42.54	36.70	35.52	
		Wood	2.85	0.92	0.73	1.40	1.14	
		Rubber/Leather	3.71	2.37	1.46	2.40	0.92	
		Vinyl/Plastic	24.95	45.66	23.86	29.00	16.07	
		Textile	7.38	15.82	5.00	5.30	4.92	
		Others	13.43	12.45	14.84	0.00	0.06	
		Sub-total	94.38	98.78	94.88	89.30	94.75	
	Non-Combustible	Metal	0.96	1.22	1.70	1.90	2.30	
		Glass	3.43	0.00	2.72	4.80	2.06	
		Soil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Others	1.23	0.00	0.70	3.90	0.89	
		Sub-total	5.62	1.22	5.12	10.60	5.25	
	Total			100.00	100.00	100.00	100.00	100.0
	Proximate analysis (%)	Moisture		30.99	-	-	31.6	-
Combustible		59.16	-	-	59.5	-		
Ash		9.86	-	-	8.9	-		
Total		100.00	-	-	100.00	-		
Element analysis (%)	Ash		13.72	-	-	8.9	-	
	C		45.73	-	-	50.85	-	
	H		4.92	-	-	6.56	-	
	O		33.59	-	-	29.86	-	
	N		0.42	-	-	0.79	-	
	S		0.88	-	-	0.12	-	
	Cl		0.73	-	-	0.08	-	
Heating Value (kcal/kg)	High Heating Value(dry)		5,291	-	-	-	5,080	
	High Heating Value(wet)		4,239	-	-	-	-	
	Low Heating Value(wet)		3,850	-	-	2,632	2,550	

1) "Size distribution and physical characteristic of MSWs in Sudokwon landfill", Journal of Korea Society of Waste Management, 2010

2) "Study on applicability of RDF in municipal waste landfill site", Journal of the Environmental Sciences, 2009

3) "The generation characteristic of MSW according to the type of region and residence in Changwon", Journal of Korea Society of Waste Management, 2012

봉된 serum bottle은 35°C(중온소화)의 BOD incubator에서 혐기분해가 일어나도록 하였다. serum bottle 내부 온도가 35°C가 되는 시간을 측정하여 그 시간을 실험 개시 시간으로 하였고, 그 이전에 발생된 가스는 주사기를 이용하여 배출시켰다. 또한 식중 슬러지 자체가 분해 될 때 발생하는 메탄량을 보정하기 위하여 식중 슬러지와 영양배지만을 넣어준 공시체를 시험시료와 동일한 조건에서 배양하였다.

혐기분해 과정에서 발생하는 가스의 발생량은 측정하기 전에 serum bottle을 흔들어 주어 액체에 녹아있는 가스가 모두 상부공간으로 배출될 수 있도록 하였다. 실리콘 마개에 3-way stopcock를 부착한 Glass syringe를 꽂아 가스량을 측정한 후, GC용 syringe를 이용하여 0.5 ml를 채취하고 TCD(Thermal Conductivity Detector)가 장착된 GC를 이용하여 CH₄, CO₂, O₂, N₂의 농도를 분석하였다.

Table 3. Characteristic of Combustible wastes

Composition	Item	Standard Value	Combustible wastes	RDF ¹⁾	RDF ²⁾
Proximate analysis (%)	Moisture	25.00	33.74	2.26	3.20
	Combustible	-	60.36	83.39	79.40
	Ash	20.00	5.90	14.35	17.40
	Total	-	100.00	100.00	100.00
Element analysis (%)	S	0.60	0.37	0.732	0.14
	Cl	2.00	0.33	0.045	0.90
Heating Value (kcal/kg)	Low Heating Value(wet)	3,500	4,055	-	4,901

1) "Comparative study of RDF combustion characteristic produced by different RDF production processes using MSW", Journal of Korea Society of Waste Management, 2012.

2) "A study on energy effect and economic benefit in the wonju MSW RDF manufacturing plant", Journal of Korea Society of Waste Management, 2012.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대상 생활폐기물의 물리화학적 특성

Table 2는 본 연구 및 다른 문헌에서 조사된 생활폐기물의 물리화학적 특성을 정리한 것이다. 생활폐기물의 물리적 성상은 평균데이터를 기준으로 종이류가 34.62%로 가장 높은 백분율을 나타내었으며, 비닐/플라스틱류가 24.95%로 나타나 두 종류의 생활폐기물이 전체 생활폐기물의 59.57%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 불연물의 대부분은 유리류로 3.43%로 나타났으며 금속류도 0.96% 포함되어 있었다. 수분은 30.99%, 가연분은 59.16%, 회분은 9.86%로 나타났으며, 저위발열량은 3,850 kcal/kg으로 나타났다. 수분 함량이 30% 수준으로 높게 나타났는데 이는 생활폐기물 회수 당시 여름철로 전날 강수가 있었으며, 음식폐기물에 의해서도 영향을 받은 것으로 보인다.

다른 연구 결과들과 비교하여 불 때 수도권매립지(SLC)에 반입되는 생활폐기물의 성상과 유사하며, 채취된 도시에 따라 성상의 차이가 다소 발생하는 것을 확인하였다. 원소분석에서는 Ash 및 염소의 함량이 G city에서 채취된 생활폐기물에 비해 함량이 높았다. 저위발열량은 3,850 kcal/kg으로 G city의 2,632 kcal/kg, C city의 2,550 kcal/kg 보다 1,000~1,200 kcal/kg 가량 높게 나타났다. C city에서 채취된 생활폐기물은 음식물류의 비율이 매우 높아 수분의 함량이 높았기 때문에 추측되며, G city에서 채취된 생활폐기물은 불연물의 함량이 높았기 때문으로 보인다.^{7,9)}

3.2. 가연성폐기물의 고품연료 활용성

Table 3은 선별 후 가연성폐기물에 대해서 RDF 기준치에 대한 측정값을 나타낸 것이다. 기준치와 비교해 볼 때 RDF 기준치를 대부분 만족하는 것으로 나타났으며, 다만 함수율의 경우 33.7%로 기준치인 25.0%를 초과하여 추가 건조가 필요할 것으로 나타났다. 가연성폐기물의 황 및 염소의 함량이 감소하였는데 이는 선별을 통하여 도시고형유기성폐기물인 음식물류와 종이류의 비율이 감소하였기 때문으로 판단된다. 타 연구결과와 고품연료(RDF) 품질평가 내용을 살펴보면 이¹⁰⁾ 등은 생활폐기물 고품연료 제품이 발열량 및 회분 함량 등은 국내 고품연료 품질기준을 만족하였으나, 염소의 함량이 다소 높게 나타나 음식물류 및 PVC의 선별이 필요할 것으로 보고하였다. 최¹¹⁾ 등은 저위발열량이 4,4724,901 kcal/kg 정도로 우수한 발열량 값을 나타내었고, 함수율도 2.54.3%로 낮은 값을 나타내어 고품연료의 품질이 양호한 것으로 보고하였다.

다이옥신(Dioxine)은 연소과정에서 산소와 결합해 생성되는데 이 과정에서 염소는 다이옥신 생성의 전구물질로 작용하는 것으로 알려져 있다. 특히 쓰레기 소각로에서 가장 많이 발생하는 것으로 알려져 있으며, 종이, PVC(Polyvinyl chloride) 등에서 염소 함유량이 많아 이들의 연소과정에서 다이옥신이 발생할 가능성이 높다^{12),13)}. 특히, 소각로의 온도가 충분히 높지 않은 상태에서 불완전 연소가 일어나면 다이옥신의 발생량이 증가할 수 있다¹⁴⁾. 이에 국내에서는 RDF에서의 염소 함량을 2.0% 이내로 규정하고 있으나, 본 연구에서는

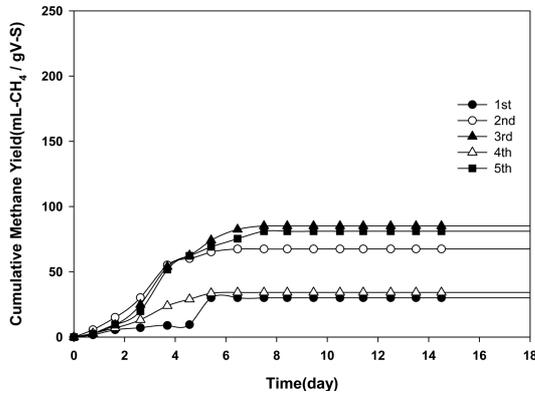


Fig. 2. Cumulative methane yields of OFMSWs in H city.

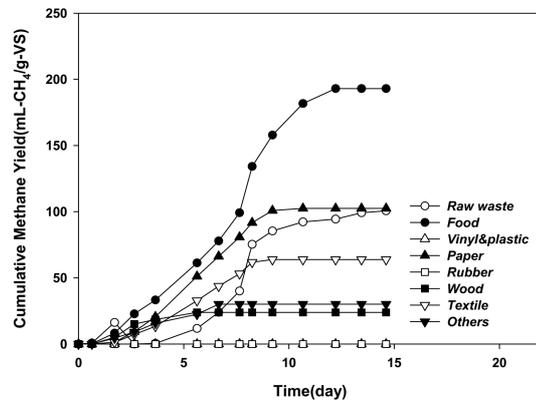


Fig. 3. Cumulative methane yields of each OFMSWs in S Landfill.

0.33%로 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.

3.3. 도시고형유기성폐기물의 바이오가스 활용성

Fig. 2는 도시고형유기성폐기물에 대한 BMP test 결과를 나타내고 있다. 실험결과 약 6080 mL CH₄/g-VS의 메탄(CH₄)가스가 발생하였다. 이는 매우 낮은 수준의 메탄 발생량으로, 김 등¹⁵⁾은 BMP test 결과 음식물에서 424.99 mL CH₄/g-VS, 목초류에서 109.3 mL CH₄/g-VS, 글루코스(Glucose)에서 233.32 mL CH₄/g-VS 수준의 메탄이 발생하였다고 보고하였다. Davidsson et al¹⁶⁾은 MBT 시스템에서 선별된 도시고형유기성폐기물에 대해 BMP test를 실행한 결과 시료 종류에 따라 298~573 mL 수준의 메탄이 발생한다고 보고하였다.

그러나 본 연구에서 선별된 도시고형유기성폐기물은 주로 음식물이나 종이류를 선별해내는 것을 목적으로 하지만 실제로는 부스러기 상태의 비닐, 고무 등이 다량 섞여 있었다. 이는 박 등¹⁷⁾의 연구에서도 30 mm 이하의 생활폐기물 입도분포에 비닐, 고무, 섬유 등이 존재하고 있는 것으로 보고하고 있다. 비닐, 고무의 경우 가연분 함량은 높지만 생분해도가 매우 낮아 메탄은 거의 발생하지 않는 것으로 알려져 있어 도시고형유기성폐기물의 메탄발생량을 증가시키기 위해서는 이들 물질에 대한 추가적인 선별시설이 필요할 것으로 판단된다²¹⁾.

Fig. 3은 S 매립지 MBT시설에서 채취한 도시고형유기성폐기물을 수선별 후 각 항목별 누적메탄수율을 나타낸 것이다. 실험결과 비닐/플라스틱류 및 고무류에서는 메탄이 거의 발생하지 않아 생분해성 유기물은 매우 미미한 것으로 조사되었다. 음식물에서는 193 mL CH₄/g-VS, 선

별하지 않은 상태의 도시고형유기성폐기물에서는 100 mL CH₄/g-VS 정도의 메탄이 발생하였다. 음식물에서 문헌에서 나타낸 것 보다 낮은 메탄수율이 발생한 것은 음식물의 성분에 기인하는 것으로 판단된다. 도시고형유기성폐기물중 음식물에는 주로 견과류 같이 음식물 중에서 비교적 분해가 어렵거나, 리그닌과 같은 성분이 다량 존재하는 채소가 다량 존재하여 그에 따라 메탄 발생량이 감소한 것으로 보인다. 식물체 속에는 lignocellulose complex 세포를 구성하고 있어 메탄발효에 저해요인으로 작용한다고 보고되고 있다¹⁸⁾.

두 곳에서 (H시, S 매립지)에서 채취한 도시고형유기성폐기물에 대해 BMP test를 실시한 결과 도시고형유기성폐기물에는 비교적 많은 양의 비닐, 고무, 목초 등의 생분해도가 낮은 성분이 함유되어 있어 메탄발생량이 감소하는 것으로 보인다. 특히, 기타 가연성 (others) 시료는 수선별이 어려운 가루 상태의 낙엽, 채소찌꺼기 등이 포함되어 있어 도시고형유기성폐기물에서 음식물, 종이류 등 메탄발생량이 높은 시료가 주로 분리된 상태라고 할 수 있었다. 따라서 기타 가연성 시료는 도시고형유기성폐기물보다 생분해도가 비교적 낮은 성분의 비율이 높다고 할 수 있다. 그런데 기타 가연성 폐기물의 메탄 발생량을 평가한 결과에서도 매우 낮은 값을 나타내어 예측한 결과를 나타내었다. 따라서, 도시고형유기성폐기물을 혐기소화에 활용하기 위해서는 이들 시료에 대한 추가적인 선별장치가 필요할 것으로 보인다.

한편, 음식물 및 수선별을 하지 않은 도시고형유기성폐기물의 누적메탄발생 그래프에서 중간의 정체기가 확인되었는데 이는 시료 내 유기물 중 생분해도의 차이에

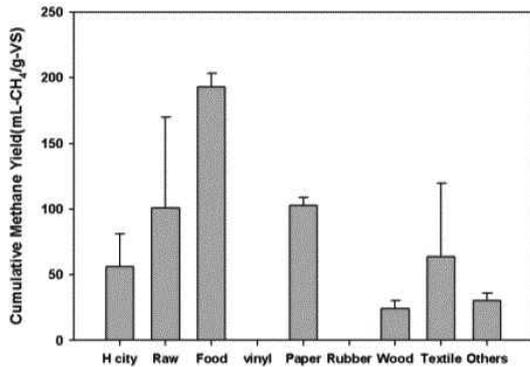


Fig. 4. Methane yield and standard deviation of BMP test Results.

따라 발생하는 것으로 알려져 있다. Misi et al.¹⁹⁾과 Shin²⁰⁾ 등에 의하면 많은 상황에서 메탄생성 과정에 pseudo-plateau 현상이 발생하는데 이러한 현상을 diauxic growth로 설명하고 있다. 김 등¹⁵⁾도 음식물, 종이 등의 생활폐기물과 글루코스(Glucose)에 대해 BMP test를 실시한 결과 diauxic growth의 경향을 나타내었다고 보고하였다. 본 실험에서도 음식물 및 도시고형유기성폐기물에서 그러한 현상이 발견되었으며 도시고형유기성폐기물에는 다양한 성분의 유기물이 포함되어 있어 그러한 형태가 더 확연히 나타난 것으로 추측된다.

Fig. 4는 BMP 실험결과 값의 평균 및 표준편차를 정리한 것이다. 그래프를 살펴보면 도시고형유기성폐기물의 편차가 매우 큰 것으로 나타났으며, 이는 도시고형유기성폐기물 내에 메탄수율이 낮은 비닐, 고무 등의 혼합비율에 따라 차이가 발생한 것으로 판단된다. 따라서 도시고형유기성폐기물의 메탄발생량을 증가시키기 위해서는 메탄수율이 낮은 비닐, 고무 및 기타 가연성폐기물에 대한 추가적인 선별이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 생활폐기물을 대상으로 에너지회수 가능성을 평가하고자 가연성폐기물에 대해서는 RDF로서의 활용성, 도시고형유기성폐기물에 대해서는 혐기소화 후 발생하는 메탄가스에 대한 에너지회수 가능성을 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

H시에서 회수한 생활폐기물은 종이류가 34.62%, 비닐/플라스틱류가 24.95%로 조사되었으며, 이는 수도권

매립지에 반입되는 생활폐기물의 성상과 유사한 것으로 나타났다. 수분은 30.99%로 다소 높은 수분함량을 보였는데, 이는 여름철 강수 및 음식폐기물의 함량에 영향을 받은 것으로 추측된다.

선별된 가연성폐기물은 함수율을 제외한 발열량 및 염소, 황 등 항목이 RDF 규정을 만족하고 있어 활용성이 충분할 것으로 판단되며, 함수율을 RDF 기준에 충족시키기 위해서는 추가적인 건조시설이 필요할 것으로 사료된다.

도시고형유기성폐기물에 대해 BMP test를 실시한 결과 6080 mL CH₄/g-VS의 메탄(CH₄)가스가 발생하여 문헌 등에서 보고된 메탄발생량에 비해 낮은 값을 나타내었다, 이는 도시고형유기성폐기물 중 비닐, 고무 등 생분해도가 낮은 성분이 함유되어 있었기 때문으로 판단된다.

S 매립지 MBT에서 채취한 도시고형유기성폐기물에 대해 각 성분별로 실험한 결과 음식물 및 종이류에서는 각각 193, 102 mL CH₄/g-VS의 메탄이 발생하였다. 그러나 비닐과 고무류에서는 전혀 발생하지 않았고, 선별이 어려운 기타물질에서는 매우 낮은 30 mL CH₄/g-VS의 메탄이 발생하여 이들이 도시고형유기성폐기물 내에 함유되어 있어 메탄수율이 낮은 것으로 사료된다. 따라서 이들의 추가적인 선별이 이루어져야 혐기소화시 충분한 메탄수율을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대에코이노베이션기술개발사업인 “이동식 매립지 정비 및 선별 가연물 연료화 기술 실증” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Komilis, D. P., Ham, R. K., Stegmann, R. 1999: “The effect of landfill design and operation practices on waste degradation behavior : A review”, Waste Management & Research, 17, pp. 20-26.
2. Leikam, K., Stegmann, R., 1999: “Influence of mechanical-biological pretreatment of municipal solid waste on landfill behavior”, Wastemanagement & Research, 17, pp. 424-429.
3. Lomage, R., Redon, E., Lagier, T., Hebe, I. and Carre, J., 2007: “Study on the treatment of size reduced MSW without mechanical sorting”, Waste Manage. 27, pp. 1755-1764.

4. van praagh, M., Heerenklage, H., Smidt, E., Modin, H., Stegmann, R., and Persson, K. M., 2009: "Potential emissions from two mechanically-biologically pretreated (MBT) wastes", *Waste Manage.* 29, pp. 859-868.
5. Bong-Hyun Park, Suk-Joon Park, Seok-Kyu kwon, Dong-Cheon Seo, Jung-An kwon, Sung-Han Yoon, Dong-Hoon Lee, Dong-Hyuk Choi, 2003: "The variation of MSW degradation and landfill behavior by mechanical-biological pretreatment", *Journal of Korea Society of Waste Management*, 20(6), pp. 632-643.
6. Sang-Hagk, Jong-Sub Ban, Su-jin Km, Chae-Gun Phae, 2011: "Effect of biodegradable waste particle size on aerobic stabilization reactions in MBT system", *Journal of Korea Society of Environmental Engineers*, 33(7), pp. 523-529.
7. Kyoon-Duk Yoon, Eun-Hee Jeong, Yeon-Ho Kwak, 2010: "Size distribution and physical charateristic of MSWs in Sudokwon landfill", *Journal of Korea Society of Waste Management*, 27(5), pp. 450-455.
8. Jung-Kwon Kim, 2009: "Study on applicability of RDF in municipal waste landfill site", *Journal of the Environmental Sciences*, 18(10), pp. 1181-1187.
9. Gi-Sun Kim, Sung-Keun Bae, 2012: "The generation characteristic of MSW according to the type of region and residence in Changwon", *Journal of Korea Society of Waste Management*, 29(4), pp. 404-413.
10. Weon-Joon Lee, Oh-Sub Yoon, 2012: "Comparative study of RDF combustion characteristic produced by different RDF production processes using MSW", *Journal of Korea Society of Waste Management*, 29(3), pp. 310-316.
11. Yeon Seok Choi, Du Su Jeong, Sang Hoon Lee, 2012: "A study on energy effect and economic benefit in the wonju MSW RDF manufacturing plant", *Journal of Korea Society of Waste Management*, (29)4, pp.372-378
12. Yasuhara, A., Katami, T., Ohno, N. and Shibamoto, T., 2001: "Formation of dioxins during the combustion of newspapers in the presense of sodium chloride and polyvinyl chloride", *Environmental Science and Technology*, 35(7), pp. 1373-1378.
13. Yasuhara, A., Tatnaka, Y., Katami, T., and Shibamoto, T., 2005: "The role of metals in dioxin formation from combustion of newspapers in and incinerator", *Chemosphere*, 57(7), pp. 891-896.
14. Yong-Jin Kim, 2008: "Discharge of dioxins by open-air burning of domestic and agricultural wastes", *Journal of Korea Society of Waste Management*, 25(1), pp. 66-72.
15. Hye-Jin Kim, Sae-Rom Jung, Jin-Kyu Park, Nam-Hoon Lee, 2008: "Evaluation of anaerobic biodegradability of organic waste considering diauxic growth", *Journal of Korea Society of Waste Management*, 25(7), pp. 652-658.
16. Davidsson A., Gruvberger C., and Christensen T. H., 2007: "Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste", *Waste Management*, 27(3), pp. 406-414.
17. Jin-Kyu Park, Sang-Hoon Song, Sae-Rom Jung, Min-Soo Jung, Nam-Hoon Lee, Byoung-Chul Lee, 2008: "Size distribution and physicochemical characteristics of MSW for design of its mechanical biological treatment process", *Journal of Korea Organic Recycling Association*, 16(1), pp. 62-69.
18. Tong X., Smith L. H., and McCarthy, P. L., 1990: "Methane fermentation of selected lignocellulosic materials", *Biomass*, 21, pp. 239-235.
19. Misi S. N. and Forester C. F., 2001: "Batch co-digestion of multi-component agro-wastes", *Bioresource Technology*, 80(1), pp. 19-28.
20. Hang-Sik Shin, Hyun-Woo Kim, Sang-Hyoun Kim, Sun-Kee Han, 2001: "Research on optimal mixing ration in anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste", *Seminar and Oralpresentation, Autumn, 2001, Korea Organic Recycling Association*, pp. 103-107.
21. Sung-Jin Bae, Eun-Jeong Jeon, Dong-Hoon Lee, Dong-Cheon Seo, Rae Park, Seung-Kyu Chun, Nam-Hoon Lee, Sun-Ho Song, Jae-Young Kim, Han-Sang Cho, Yong-Jin Kim, 2004: "Evaluation of biodegradability according to component of waste by BMP test", *Korea Society of Waste Management, Proceeding of Autumn Conference*, pp. 398-401.



李 丙 先

- 건국대학교 환경공학과 공학박사
- 현재 (주)포스벨 기업부설연구소 연구소장



韓 相 國

- 수원대학교 환경공학과 공학석사
- 현재 (주)포스벨 기업부설연구소 선임연구원



李南勳

• 현재 안양대학교 환경에너지공학과 교수



姜丁熙

• 현재 안양대학교 박사과정



魏準

• 현재 안양대학교 석사과정

《광 고》 본學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- * EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(The 2th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- * 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
- * 학회지 합본집 I~VIII 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I: 통권 제1호~제10호, II: 통권 제11호~제20호, III: 통권 제21호~제30호, IV: 통권 제31~제40호,
V: 통권 제41호~제50호, VI: 통권 제51호~제62호, VII: 통권 제63호~제74호, VIII: 통권 제75호~제86호)
- * 한·일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
- * 한·미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
- * 자원리사이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
- * '97 미주 자원재활용기술실태조사(1997년) 107쪽, 價格 : 15,000원
- * 日本의 리사이클링 産業(1998년 1월) 395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
- * EARTH 2001 Proceeding (2001) 788쪽, 價格 : 100,000원
(The 6th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- * 오재현의 자동차 리사이클링기행(2003년 2월) 312쪽, 價格 : 20,000원, 발행처-MJ미디어
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 1999년) 440쪽, 價格 : 15,000원, 발행처-文知社
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2004년) 578쪽, 價格 : 27,000원, 발행처-淸文閣
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2009년) 592쪽, 價格 : 30,000원, 발행처-淸文閣
- * EARTH 2009 Proceeding (2009) 911쪽, 價格 : 100,000원
(The 10th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)