

生活쓰레기 및 有機性廢棄物 混合에 따른 RDF 燃料化에 관한 研究[†]

河相安 · 劉美英 · 金東均 · [‡]王帝弼*

新羅大學校 工科大學 環境工學科, *國立釜慶大學校 工科大學 金屬工學科

A Study on the RDF fuel mixing with household and organic wastes[†]

Sang-An Ha, Mi-Young You, Dong-Kyun Kim and [‡]Jei-Pil Wang*

Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

*Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

요 약

본 연구는 B시 생활폐기물 및 유기성 폐기물의 혼합에 따른 연료화 및 활용방안에 대한 연구를 진행하였다. 반입폐기물, sludge cake와 food waste의 모든 혼합비율의 발열량이 6,000 kcal/kg으로 산출되었고, sludge의 경우 공연비와 온도가 높을수록 발생되는 유해물질 농도가 낮은 것으로 나타났다. 유해물질의 배출기준과 비교하여 보았을 때, 공연비가 2인 경우 800°C일 때 유해물질(CO, NO_x, SO_x)들이 기준이하의 배출 농도를 나타내었으며 혼재 소각 시 소각로 내부 온도 또한 가장 안정되는 것으로 나타났다. 소각 시 완전연소가 이루어진다면, 혼합하여 RDF를 제조 시 발열량이 6000 kcal/kg이상으로 연료화 하기에 적합한 것으로 나타났다.

주제어 : RDF(폐기물고형연료), 생활폐기물, 유기성폐기물, 공연비, 소각로, 발열량

Abstract

This study was conducted to examine the possibilities to utilize the mixture of domestic and organic wastes from B-city as a fuel. All types of mixing ratio for uncarried waste, sludge cake, and food waste were found to generate heating value with 6,000 kcal/kg, and in case of sludge cake the concentration of toxic substance produced was found to be decreased as air-fuel ratio and temperature were increased. It was noted that toxic gases such as CO, NO_x, and SO_x were observed below concentration of emission standard, and temperature inside the incinerator was stabilized at 2 of air-fuel ratio and 800°C. It was observed that a heating value of 6000 kcal/kg generated using RDF(Refuse Derived Fuel) was appropriate to utilize a fuel if a complete combustion was attained.

Key words: RDF(Refuse Derived Fuel), Domestic waste, Organic waste, Air-fuel ratio, Incinerator, Heating value

1. 서 론

교토의정서에 비준함으로써 2013년부터 온실가스감축의 의무가 가시화됨에 따라 가연성 폐기물의 고형연료화(RDF, Refuse Derived Fuel), 유기성 폐기물 감축 기술(MBT, Mechanical Biological Treatment), 바이오가스화 등 폐기물 에너지화가 온실가스 감축의 유력한

수단으로 등장하고 있다¹⁾.

최근 폐기물처리 공정 중 열분해 연소 용융 등의 방식이 개발되면서 다이옥신과 소각재의 발생을 차단하여 환경적으로 Zero Emission에 근접하는 기술에 대한 관심도 높아지고 있다. 소각과정에서 발생하는 다이옥신 등의 유해물질 배출에 대해 리사이클, 자원화 그리고 안전한 감량화 기술 확립이 요구되고 있다. 따라서 폐기물 에너지화 유도를 위해 청정연료 사용지역에서의 고형연료 사용 및 발전시설 설치허용 등을 위해 대기환경 보전법을 정비하고, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한

[†] 2011년 5월 16일 접수, 2011년 9월 5일 1차수정

2011년 10월 12일 수리

*E-mail: jpwang@pknu.ac.kr

법률 중 미성형 RDF(Fluff Type)의 폐기물 고형연료 인정 여부 및 RDF 품질기준을 재설정하여 폐기물 연료의 수요처 확보 및 활성화가 필요한 설정이다.²⁾ 또한, 우리나라 유기성 폐기물 발생량의 상당부분을 차지하는 food waste와 가축분뇨는 매년 증가 추세에 있으며, 유기성 폐기물에서 발생하는 바이오 가스는 60%이상의 고농도 메탄(CH₄)을 함유하고 있어 에너지원으로 이용할 경우 에너지의 효율적 이용에 큰 효과를 기대할 수 있다.³⁾

따라서 본 연구에서는 B시 생활 폐기물 및 유기성 폐기물의 혼합에 따른 연료로의 활용방안에 대해 기초적인 연구를 진행하였다. 시료의 혼합비율, 소각로 내부 온도, 시간 및 공연비에 따라 유해가스 발생량을 측정하여 연료화하기에 적합한 최적의 혼재비율을 산정하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험 장치는 Fig. 1에 나타냈다. 소각장의 반입폐기물, food waste 및 sludge cake의 혼합연료화의 타당성을 분석하기 위하여 중금속 및 배기ガ스 변화를 분석하고자 소형 소각로에서 혼재 소각시 발생할 수 있는 문제점을 파악하고자 한다.

소형 소각로는 내부에 시료를 넣을 수 있도록 제작되었으며, 온도는 최대 1000°C까지 조절이 가능하며, 소각로 하부에 공기를 주입이 가능하여 공연비를 조절할 수 있고, 상부에는 배출가스를 포집할 수 있도록 제작하였다.

본 연구에서 이용한 열량계는 Yoshida에서 제작한 Adiabatic Bomb Calorimeter (모델명, 1013-B)를 사용하여 열량을 측정하였다. RDF 성형은 시료를 파쇄한 후 혼합비율에 따라 혼합하여, 성형 틀에서 최대 10 ton/cm²의 압력을 가하여 실험 시료를 제작했다.

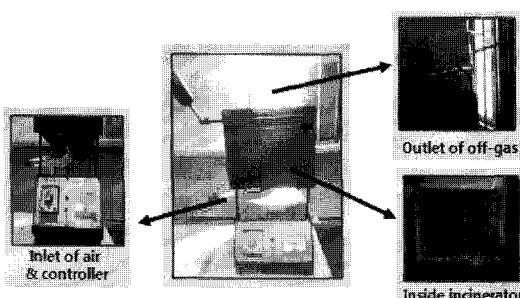


Fig. 1. Experimental apparatus of small-size incinerator used in this study.

2.2. 실험 재료

본 실험에 사용된 생활 폐기물은 B시 소재 H소각처리시설, M소각처리시설, D소각처리시설에 반입되는 생활 폐기물을 이용하였다. 생활 폐기물의 채취 시기는 B시 소각장의 운영시기에 맞춰 H와 M소각장의 경우 7, 10월에 두 번 채취하였으며, D소각장의 경우 10월에 채취한 생활 폐기물을 이용했다. 또한 본 연구에 사용한 sludge cake는 S하수처리장에서 탈수 처리된 sludge cake를 사용 하였으며, food waste의 경우는 S매립장내 생활폐기물 채취시기와 동일하게 채취하여 소각 실험을 진행 하였다.

2.3. 실험방법

1) 생활폐기물 성상 및 유해물질 분석

소각장에 반입되는 생활폐기물, sludge cake 및 food waste의 혼합소각 가능성을 알아보기 위하여 각각 폐기물의 유해물질을 분석했다. 중금속 분석은 폐기물공정시험법에 따라 원자흡광광도계(SHIMADZU AA-6300)로 크롬, 아연, 구리, 카드뮴, 납을 분석하였다.

2) 빌열량 측정

빌열량은 열량계(Adiabatic Bomb Calorimeter, 1013-B) 측정법을 이용하여 밀폐된 용기 내에서 완전연소가 가능하도록 산소를 충분히 주입한 후, 그 용기를 물속에 담근 다음 연소 시켜 연소에 의한 열에 의해 상승한 물의 온도를 측정하였다.

3) 혼합 RDF 제조 및 타당성 연구

B시의 3개 반입소각장 폐기물과 sludge cake 및 food waste의 적정비율 혼합에 따라 빌열량 변화를 조사하여 연료로 사용 가능한 6,000 kcal/kg 이상의 혼재비율을 산정했다. RDF 성형은 시료를 파쇄한 후 혼합비율에 따라 분무기를 이용하여 수분을 가하면서 혼합하였으며, 혼합한 시료를 넣고 10 ton/cm²의 압력을 가하여 성형했다. 성형 후 24시간 상온에서 고화작업을 실시했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 성상 및 유해물질 분석

Food waste, sludge cake 및 소각장 반입폐기물의 성상 및 빌열량을 분석 한 결과는 Table 1에 나타났다. 소각장 반입폐기물의 수분 함량은 41~47%, sludge cake와 food waste의 수분 함량은 75~82%로 나타났으며, 빌열량은 건조 빌열량을 기준으로 2,400 kcal/kg~3,000 kcal/kg로 나타났다.⁴⁾ Table 2는 H, D, M소각장의 food waste

Table 1. Analysis of heating value and constituent

	Moisture (%)	FS*(%)	VS**(%)	Heating value (kcal/kg)
Sludge cake	75.87	12.95	11.18	2,912
Food waste	82.3	14.72	2.98	3,000
D incineration facilities	47.2	46.1	6.7	2,512
H incineration facilities	41.9	50.1	8	2,470
M incineration facilities	46.9	46.7	6.4	2,422
Vinyl plastic	-	-	-	7,500
Wood	-	-	-	4,500
Paper	-	-	-	3,000

*FS: Fixed solid (비휘발성 고용물질)

**VS: Volatile solid (휘발성 고용물질)

TS(total solid)=FS+VS

Table 2. Chemical analysis of hazardous materials from each facility

	Cu	Pb	Cd	Cr	Zn
D incineration facilities	0.2429	ND	0.0491	ND	ND
H incineration facilities	0.4013	ND	0.0606	ND	2.9414
M incineration facilities	0.3415	ND	0.0626	ND	0.7551
S Sewage Treatment Plant	422	278	3.6	153	850

및 반입폐기물과 S하수처리장의 sludge cake의 유해물질 분석 결과를 나타냈다. H소각장의 경우 sludge cake의 혼합소각으로 인해 아연 2.9 mg/kg이 검출되었으며, 납과 크롬은 모든 시료에서 검출되지 않았다. 본 연구에서 혼합소각에 사용한 sludge cake는 납, 구리의 농도가 환경규제치를 초과하는 것으로 나타나 매립이 용이하지 않은 것으로 판단된다.

3.2. 반입폐기물, Sluge Cake 및 Food Waste 혼합 시 발열량

Table 3은 food waste, sludge cake 및 소각장 반입 폐기물과의 혼합율에 따른 발열량을 분석하여 나타내었다. 반입폐기물과 sludge cake, food waste의 발열량은 5,934.22 kcal/kg~7,452.83 kcal/kg로 나타났다. Wood : vinyl-plastic : aper : food waste : sludge를 2:4:2:1:3의 비율로 혼합한 것을 제외한 나머지 혼합비율은 연료화

Table 3. Change of heating value depending on the mixing ratio of each waste

Mixing ratio			Heating value (kcal/kg)
(Wood : Vinyl plastic: Paper)	Food waste	Sludge cake	
2 : 4 : 2	2	2	6,010.12
	3	1	6,120.34
	1	3	5,934.22
5 : 2 : 1	2	2	7,000.02
	3	1	7,314.22
	1	3	7,000.00
1 : 5 : 2	2	2	6,588.41
	3	1	6,955.10
	1	3	6,312.14
5 : 3 : 0	2	2	7,452.83
	3	1	7,211.89
	1	3	7,119.54
0 : 5 : 3	2	2	6,130.44
	3	1	6,724.59
	1	3	6,052.88

로 활용 가능한 6,000 kcal/kg이상의 발열량을 나타냈다.

3.3. 혼합 연료화 타당성 연구

생활폐기물, sludge cake 및 food waste의 혼합 연

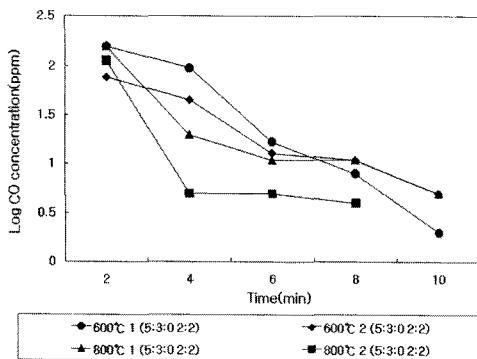


Fig. 2. The change of CO(g) concentration with time at different temperatures with fixed mixing ratio (5:3:0:2:2).

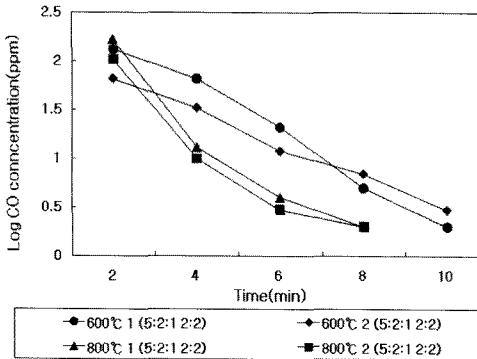


Fig. 3. The change of CO(g) concentration with time at different temperatures with fixed mixing ratio (5:2:1:2:2).

료화의 타당성 분석을 위하여 이들 물질의 혼합비율에 따라 RDF를 제작하여 온도변화에 따른 영향을 분석했다. 혼합시료는 10 ton/cm²의 압력을 가하여 성형 후 24시간 상온에서 고화작업을 실시하였다.

소형 소각로는 각각 600°C, 800°C로 승온 된 상태에서 공연비를 1과 2로 하여 wood : vinyl-plastic : paper : food waste : sludge를 5:3:0:2:2의 혼합비로 소각 시 발생하는 CO(g)의 농도변화는 Fig. 2에 나타났다. CO(g)의 농도는 600°C의 처리온도에서 10 min동안, 800°C에서 처리시 8 min경에 각각 2 ppm, 1 ppm으로 나타났다. 또한 CO(g)의 농도는 800°C에서 6 min 이후 배출기준 이하를 만족하는 것으로 나타났으며, sludge cake와 food waste의 혼합 RDF 연소 시 600°C이상, 공연비 1이상 일 경우 완전연소가 됨을 알 수 있다.

600°C와 800°C로 승온된 상태에서 wood : vinyl-plastic : paper : food waste : sludge를 5:2:1:2:2의 혼합

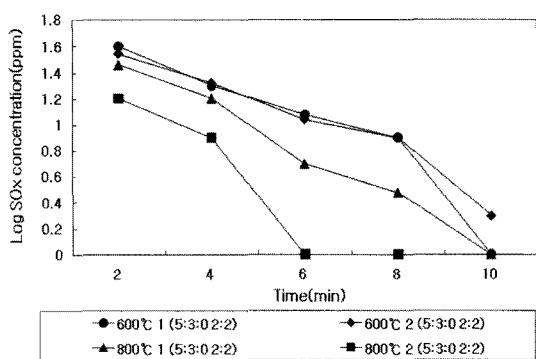


Fig. 4. The change of SO_x(g) concentration with time at different temperatures with fixed mixing ratio (5:3:0:2:2).

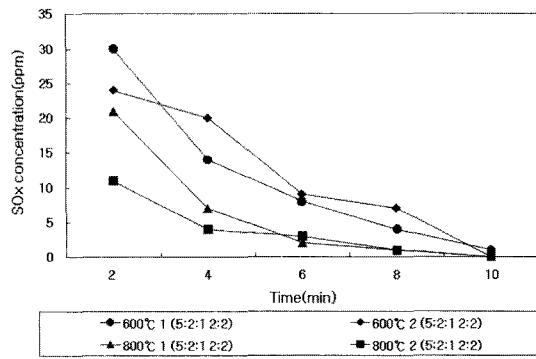


Fig. 5. The change of SO_x(g) concentration with time at different temperatures with fixed mixing ratio (5:2:1:2:2).

비로 소각시 CO(g) 농도를 분석하여 Fig. 3에 나타냈다. 600°C와 800°C에서 처리시간 10 min동안 윤전했을 시 CO(g)의 농도가 각각 1 ppm, 0 ppm으로 나타났다. 공연비가 2인 경우에는 600°C와 800°C의 경우에는 4 min 처리 시 CO(g)의 농도가 급격히 낮아지고 이후 점차적으로 CO(g)의 농도가 감소하는 것으로 나타나 완전연소가 이루어지고 있고, CO가스 배출기준(50 ppm)을 만족하는 것으로 나타났다.

가연성분 중 wood : vinyl plastic : paper의 비율을 5:3:0으로 하고 food waste와 sludge를 혼합하여 RDF를 제작하여 소각 실험을 실시한 경우와 wood : vinyl plastic : Paper의 비율을 5:2:1로 하여 food waste와 sludge를 혼합하여 소각 시 배출되는 SO_x의 성분을 비교 분석한 결과 값을 각각 Fig. 4 와 Fig. 5 에 나타냈다. SO_x의 경우 혼재비율에 따라 발생농도의 차이는 있지만, 처리온도와 공연비에 따라 불완전 연소가 이루

어져 온도가 낮을수록, 공연비가 낮을수록 SO_x의 농도가 높게 발생하는 것으로 나타났다.

Sludge cake와 food waste 및 소각장 반입폐기물의 혼합비율을 wood : vinyl-plastic : paper : food waste : sludge의 5:3:0:2:2와 wood : vinyl-plastic : paper : food waste : sludge의 5:2:1:2:2로 하여 일정온도에서 RDF를 소각 시 배출되는 NO_x의 성분을 분석결과는 Fig. 6 과 Fig. 7에 나타냈다. NO_x의 성분은 SO_x와는 달리 처리시간에 따라 NO_x의 농도는 증가하는 경향을 나타났다⁵⁾. 가연성분 혼합비율에 따른 하수슬러지와 음식물쓰레기의 혼합 RDF 소각 시 600°C와 800°C, 공연비 1과 2 모든 운전조건에서 NO_x의 배출허용기준 농도인 80 ppm을 초과하지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 8은 혼재 RDF 소각 시 시간에 따른 소각로 내부의 온도변화를 그래프로 나타냈다. 600°C와 800°C일 경우를 비교하여 보면, 초기 시료 투입 시 온도가 낮아지지만 800°C일 경우는 600°C보다 온도가 안정되기까지 걸리는 시간이 적은 것을 알 수 있다. 또한, 시료의 혼합비율에 따라 소각로 내부의 온도가 안정화 되는데 소모되는 시간은 비슷하며 성상에 따른 온도의 영향은 적은 것을 알 수 있다. 공연비의 경우 600°C와 800°C 모두 공연비가 2일 때 소각로 내부 온도가 낮아지는 현상이 적은 것으로 나타나 공연비 2일 때 소각로 내부가 안정화 되는 것으로 판단된다. 따라서, 공연비 2와 소각로 내부온도가 800°C인 경우 혼재 소각의 전체비율에 대해 소각 시 소각로 내부 온도가 가장 안정되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

1) 반입폐기물, sludge 및 food waste의 모든 혼합비율에서 발열량이 6000 kcal/kg이상 산출되었고,

sludge의 경우 공연비와 온도가 낮을수록 발생되는 유해물질의 농도가 낮은 것으로 나타났다.

2) 유해물질의 배출기준과 비교하여 보았을 때, 800°C에서 공연비 2로 처리하였을 때 유해물질인 NO_x 가 기준 이하의 농도로 배출되었다. 혼재 소각의 전체비율에 대해 소각 시 소각로 내부 온도 또한 가장 안정화를 보였다.

3) RDF를 제조 시 발열량이 6000 kcal/kg 이상으로 연료화 하기에 적합한 것으로 나타났다.

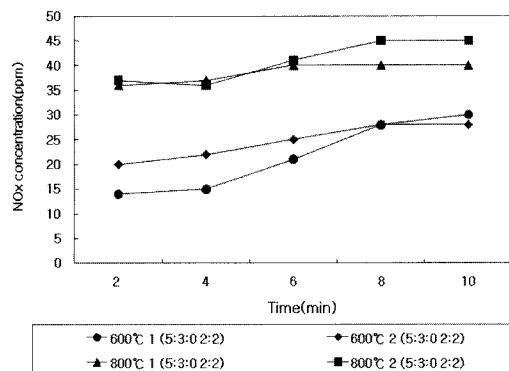


Fig. 6. The change of NO_x(g) concentration with time at different temperatures with fixed mixing ratio (5:3:0:2:2).

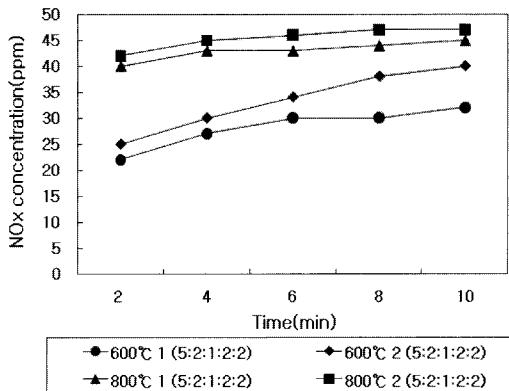


Fig. 7. The change of NO_x(g) concentration with time at different temperatures with fixed mixing ratio (5:3:1:2:2).

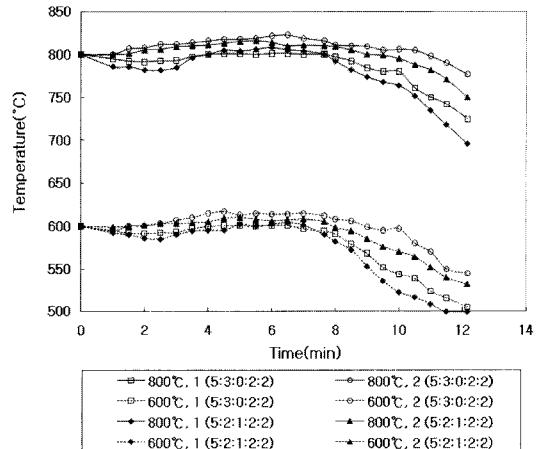


Fig. 8. The change of temperature with time inside the incinerator.

참고문헌

- 윤병조 등, 2005: 폐기물 열분해용-용 소각로에서의 RDF 열분해 특성에 관한 연구, 한국폐기물 자원순환학회 춘계 학술연구회 발표논문집, pp. 378-382.
- 양동집 등, 2009: 로타리킬른 소각로를 이용한 하수슬러지 와 사업장폐기물의 혼합소각 특성, 유기성자원학회, 유기물 자원화(구-폐기물자원화), 17(3), pp 91-99.
- 하상안, 2009: 유기성폐기물 고체연료화를 위한 연소 및 제 조과정의 특성연구, 유기물자원화(구-폐기물자원화), 17(1), pp. 27-38.
- 환경부: 생활폐기물 소각시설 운영현황 (2005, 2007)
- 최준호 등, 2009: 폐기물 소각시설에서의 N₂O 발생 및 배출계수 개발, 한국폐기물자원순환학회, 추계학술연구회 발표논문집, pp. 435-437.

劉 美 英



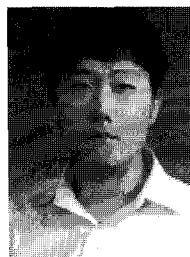
- 신라대학교 환경공학과 학사
- 신라대학교 환경공학과 석사
- 신라대학교 환경공학과 박사수료
- 한국폐기물학회 정회원
- 현재 신라대학교 공학교육혁신센터 연구원

河 相 安



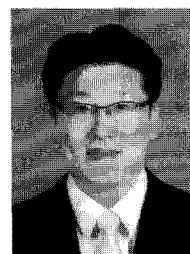
- 공학교육혁신센터장
- 토양분석센터장
- 한국폐기물학회 편집이사
- 대한건설환경학회 부회장
- 독일 Particle학회 정회원
- 현재 신라대학교 교수

金 東 均



- 신라대학교 환경공학과 학사
- 신라대학교 환경공학과 석사
- 현재 신라대학교 환경공학과 박사과정

王 帝 猶



- 동아대학교 금속공학과 학사
- University of Utah 금속공학 석사
- University of Utah 금속공학 박사
- 현재 국립부경대학교 금속공학과 전임강사