

# 소형 연소장치를 이용한 음식폐기물 연소 특성 연구

채종성<sup>1)</sup> · 양승재<sup>2)\*</sup> · 김석완<sup>3)</sup> · 이재희<sup>4)</sup> · 엄태인<sup>5)</sup>

## A Study on the Combustion Characteristics of Food Waste Using the Experimental Apparatus for Combustibility

JongSeong Chae<sup>1)</sup> · SeungJae Yang<sup>2)\*</sup> · SeokWan Kim<sup>3)</sup> · JaeHee Lee<sup>4)</sup> · TaeIn Ohm<sup>5)</sup>

Received 17 December 2019 Revised 27 March 2020 Accepted 3 May 2020 Published online 26 May 2020

**ABSTRACT** The amount of food waste and its water content depends on both the season and region. In particular, the water content typically varies between 73.8 wt.% and 83.3 wt.%, depending on the proportion of vegetables. Current food waste drying technologies are capable of reducing the water content to less than 10 wt.%, while increasing the heating value. Ongoing studies aim to utilize dried food waste as fuel. Food waste can be used to produce solid refuse fuel (SRF) by mixing it with various solid fuels or other types of waste. The analysis of specimens is very important when considering the direct combustion of food waste or its co-firing with solid fuels. In this study, the weight reduction of specimens after burning them in a small combustor, and compared with the results of thermogravimetric analysis (TGA). The concentration of various chemicals was also measured to define the characteristics of waste generation. Performed proximate analysis, elemental analysis, TGA, combustion experiment, the heating value, and derivative thermogravimetry (DTG).

**Key words** Food waste(음식 폐기물), Small combustor(소형 연소장치), TGA(열중량 분석법), Gas concentration(가스 농도), SRF(폐기물 고형연료)

### 1. 서론

2017년 기준 대한민국의 생활폐기물 발생량은 53,489.5

1) Ph.D., Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

2) Master, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

3) Professor, Department of fire & environmental safety, Daegu Haany University

4) Director, R&D Center, GAIA Corporation

5) Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

\*Corresponding author: [tmdwo8388@naver.com](mailto:tmdwo8388@naver.com)

Tel: +82-42-821-1476 Fax: +82-42-821-1476

ton/day이며 그 중 15,903 ton/day가 음식폐기물로 전체의 30%이다. 배출되는 음식폐기물은 계절뿐만 아니라 배출 장소에 따라서도 배출량과 함수율 변화가 매우 크다. 함수율에 가장 영향을 주는 음식폐기물은 채소류로 채소류 함량에 따라 전체 음식폐기물의 함수율은 73.8~83.3 wt.%이다. 배출된 음식폐기물은 일부 매립과 소각 처리를 하고 있으나 전체의 97% 이상은 재활용을 하고 있다. 재활용은 사료화, 퇴비화가 대부분이며 일부 가스화를 하고 있다. 최근에는 bio-fuels, bio-methane, bio-oil, bio-char등을 생산하는 연구가 진행되고 있다<sup>1~6)</sup>.

화석 에너지 자원이 매우 부족하여 대부분의 에너지를 외국에서 수입하는 우리나라는 안정적인 에너지를 확보하

기 위해서 신재생 에너지를 개발하고 공급을 확대할 필요가 있다. 국내 신재생 에너지 중 약 62%가 폐기물에너지이며 가장 높은 비중을 가지고 있다. 현재 국내의 고형연료제품(SRF)은 2013년 법률 개정을 통하여 이전의 4가지 종류의 고형연료(RPF, RDF, TDF, WCF)형태를 통합하여 크게 SRF와 Bio-SRF 2종류로 구분하였으며 또한 성형제품과 비성형 제품으로 나누어 제조하여 사용하고 있다. 현재 고형연료제품 기준에는 음식폐기물이 포함될 수 없지만, 향후 다양한 연구를 통하여 건조된 음식폐기물도 SRF로 활용할 수 있는 가능성을 규명할 필요가 있다. 음식폐기물 건조는 가열, 교반, 배기 및 응축공정이 복합되어 고형물로부터 수분을 수증기로 변환시켜 제거하는 방법이다. 따라서 공정해석이 상당히 복잡하고 원료의 함수율과 투입량이 일정하지 않아 최종제품의 균일한 품질을 생산하기 어렵다. 그러나 음식폐기물 자원화를 위해서도 함수율을 반드시 낮춰야 한다<sup>[7,8]</sup>.

과거에는 폐기물을 직접 소각하여 에너지를 회수하였다. 최근에는 에너지회수 효율을 높이기 위해 폐기물을 다양한 방법으로 전처리하여 연료로서의 품질을 향상시킨 SRF를 활용한 연소기술이 연구되고 있다<sup>[9~12]</sup>. SRF를 활용한 연소기술은 대량의 화석연료를 사용하는 발전설비에 적용하거나, 직접 연소하는 방법이다. 그러나 기존 고체연료인 석탄과 다른 물성을 가진 SRF를 혼합 연소할 경우 석탄 기준의 저공해 연소장치 설계 범위를 벗어나기 때문에 보일러 운전에 많은 문제를 발생시키고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 연구자들에 의해 보일러 내 슬래깅 및 파울링, 화염 안정성 등의 연소 특성에 대해 많은 연구가 이루어져왔다<sup>[13~16]</sup>. 건조한 음식폐기물을 다른 고체 연료와 혼합 연소하거나 직접 연소하기 위해서는 건조한 음식폐기물의 특성을 분석하는 것은 매우 중요하다. 특히 고온부식을 유발하는 Cl, S 성분을 분석한 결과가 매우 중요하며 TGA 분석을 통한 연소특성 연구도 중요하다<sup>[17~20]</sup>.

본 연구에서는 건조한 음식폐기물 및 폴리에틸렌을 혼합하여 제조한 고형연료를 연소시키기 위한 연소로의 설계자료 및 운전자료 확보를 위하여 공업분석, 원소분석, 발열량 측정, 중금속 분석 및 TGA, DTG 분석 연구를 수행하였다. 또한 소형 연소특성 실험 장치를 제작하여 음식폐기물 고형연료를 연소시키는 연소특성 실험과 CO, NO, O<sub>2</sub> 등의 가스

성분의 농도 측정 실험을 수행하여 음식폐기물 고형연료의 기초적인 연소 특성을 평가 하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 소형 연소특성 실험장치

Fig. 1에 본 연구에서 사용한 소형 연소특성 실험 장치를 나타내었다. 소형 연소특성 실험장치는 시료의 무게를 1~100 g까지 연소 시키면서 무게 감량 및 배기가스 농도를 측정할 수 있는 장치이다. 전기로의 최대 승온 온도는 1,100℃이며, 분당 1~20℃을 승온 할 수 있다. 장치는 크게 가스 분석기를 포함한 컨트롤 박스와 연소장치로 구성되어있다. 연소장치는 열이 차단되는 캡 상부에 건조한 음식폐기물 시료 일정량을 연소시킬 수 있는 공기 공급 유로가 장착되어 있다. 열 차단 캡 하부에는 연소 상태에 따라 감소되는 시료의 무게를 측정하기 위한 저울이 장착되어있다. 공기 공급은 좌측과 우측에 각각 2곳으로 총 4곳으로 균등하게 공급된다. 이때 공기 공급량은 연소 과정에서 산소 농도가 거의 변하지 않을 정도로 충분히 공급하며 가스 분석기로 측정하여 O<sub>2</sub>의 농도를 21%로 항상 일정하게 유지하였다. 온

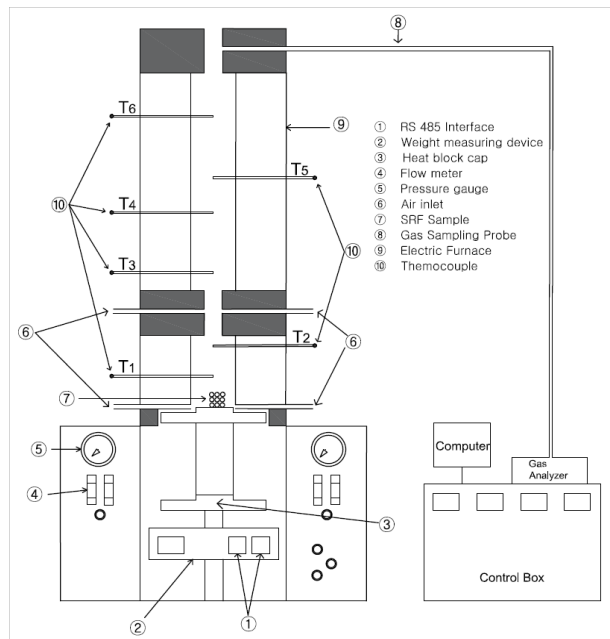


Fig. 1. The experimental apparatus for combustibility of dried food waste

도 측정은 6곳(T1~T6)이다. 전기로의 온도는 T2, T5를 이용하여 제어하며 무게 감소 및 농도 그래프에 사용한 온도계 위치는 T4이다. 온도 측정은 K-type 열전대를 사용하였다. 장치 상부에 sampling probe를 장착하여 배기 가스를 포집하여 분석하였다. 가스분석기는 EUOTRON (Greenline MK2)을 사용하여 O<sub>2</sub>, CO, NO 등을 연속 측정하였다.

### 2.2 음식폐기물 시료 및 측정 장치

음식폐기물 시료는 공동 주택에서 수거하였다. 건조 전 음식폐기물의 함수율은 80 ± 3 wt.%이다. 실험에 사용한 음식폐기물 시료는 2종이다. 음식폐기물의 경우 수거 장소 및 계절에 따라 함수율 및 발열량의 편차가 너무 크기 때문에 편차를 줄이기 위하여 SRF 고행연료에 많이 포함된 폴리에틸렌을 혼합하여 시료를 제조하였다. 첫 번째는 음식폐기물 건조시료 100 wt.%(이하 FW-1), 두 번째는 음식폐기물 건조시료 95 wt.% + 5 wt.%의 폴리에틸렌을 혼합한 비성형 시료(이하 FW-2)이다. 현재까지 국내에서는 음

식폐기물 건조 시료를 고행 연료로 사용하지는 않는다. 현재 연료로 사용하고 있는 일반 SRF의 품질기준은 Table 1에 나타내었다.

본 연구에 사용한 분석기기는 TGA/DSC1/1600 LF(Mettler Toledo)이다. 공업분석은 TGA-701 Proximate Analyzer (LECO. Co., U.S.A), 원소분석은 elemental analyzer 1112(Thermo Fisher Scientific), 중금속 분석은 ICAP 6000(Thermo elemental), 저위발열량 분석은 calorimeter (Parr 1261 EA)을 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 공업·원소 분석결과

건조한 음식폐기물을 이용한 시료 2종의 공업분석 및 원소분석 결과를 Table 2, Table 3에 나타내었다. 비성형 음식폐기물의 함수율은 9.1 wt.%, 폴리에틸렌을 5 wt.% 혼합한 시료의 함수율은 8.2 wt.%로 폴리에틸렌을 혼합한 시료의 수분이 낮다. 고정탄소는 각각 12.1 wt.%, 11.8 wt.%이고 휘발분은 68.9 wt.%, 69.6 wt.%로 나타났다. 저위발열량은 각각 4,030 kcal/kg, 4,210 kcal/kg으로 폴리에틸렌을 혼합한 시료의 발열량이 더 높게 나타났다. Table 2의 연료비(FC/VM)를 보면 0.18, 0.17이고 Table 3의 C/H 비는 각각 7.62, 7.74으로 비슷하다. C/H비가 클수록 연소 시 그을음의 발생량이 많아진다. 일반적으로 무연탄의 연료비가 12이며 갈탄의 연료비는 1이하이며, 석탄의 C/H 비는 10~30, 가스연료의 C/H비는 3정도이다. 음식폐기물 시료는 석탄에 비하여 연료비가 1이하로 매우 낮고 C/H

Table 1. Quality standards for general SRF (solid refuse fuel)

Item	Unit	Densified	Fluff
Water	wt.%	10 below	25 below
Low heating value	kcal/kg	making SRF: 3,500 or more	
Ash	wt.%	20 or less	
Cl	wt.%	2.0 or less	
Heavy metal	Hg	mg/kg	1.0 or less
	Cd		5.0 or less
	Pb		150 or less
	As		13.0 or less

Table 2. Result of proximate analysis of food waste

Components	Water (wt.%)	Ash (wt.%)	Volatile matter (wt.%)	Fixed carbon (wt.%)	Fuel ratio (FC/VM)	Low heating value (kcal/kg-wet)
(Fluff) Food waste	9.1	9.9	68.9	12.1	0.18	4,030
(Fluff) Food waste +5 wt.% PE	8.2	10.4	69.6	11.8	0.17	4,210

Table 3. Result of ultimate analysis of food waste (dry base)

Components	C (wt.%)	H (wt.%)	N (wt.%)	O (wt.%)	S (wt.%)	Cl (wt.%)	C/H
(Fluff) Food waste	51.74	6.79	3.35	36.53	0.64	0.95	7.62
(Fluff) Food waste +5 wt.% PE	54.09	6.99	3.17	34.52	0.18	1.05	7.74

Table 4. Result of heavy metal analysis of food waste

Components	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)
(Fluff) Food waste	ND	0.2	ND	ND
(Fluff) Food waste +5 wt.% PE	0.01	0.3	ND	ND
SRF standards regulation	< 1.0	< 5.0	< 150.0	< 13.0

비 또한 10이하로 낮다. 연료비와 C/H비가 낮은 이유는 2종의 시료 모두 고정탄소 함량이 낮고 휘발분의 함량이 높기 때문이다. 따라서 연소시 초기 착화 및 연소시간이 짧아지는데 고형연료인 SRF와 비슷한 특성이다. Table 2의 염소농도를 보면 각각 0.95 wt.%, 1.05 wt.%이다. 음식폐기물 시료를 채취하는 계절, 장소에 따라 염소농도는 편차가 발생할 수 있다. 고형연료의 경우 염소 기준치가 2 wt.% 이하이며 0.5 wt.% 이하이면 우수한 상태이다. Cl 성분이 높으면 연소시 HCl 가스를 다량 배출하게 되며, 다이옥신을 배출할 수도 있다. 또한 연소시 화염 억제제를 할 수 있기 때문에 연소성에도 영향을 준다. 음식폐기물 시료 2종의 중금속 분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 수은, 카드뮴, 납, 비소 4종 모두 고형연료 기준치를 만족하였다.

### 3.2 TGA 분석결과

TGA(Thermogravimetric Analysis)분석은 가열에 따른 물질의 열적 안정성과 상태변화의 과정을 연구하는데 있어 광범위하게 이용되고 있다. 또한 DTG(Differential Thermogravimetric Analysis) 그래프를 구하여 온도 구간별 연소 속도 변화를 알 수 있다. TGA는 3단계의 기본적인 메커니즘을 가지고 있다. 1단계는 건조, 2단계는 탈휘발화, 3단계는 char 연소과정이다.

Fig. 2에 음식폐기물 시료 2종의 연소특성을 파악하기 위하여 TGA 분석결과를 나타내었다. 운반 가스는 공기를 사용하였으며 온도 상승 속도는 10°C/min이며 800°C까지 온도를 올렸다. 200~500°C 사이에서 초기 휘발분, 탄소 및 잔류 휘발분의 방출, 연소가 이루어진다. 일반적으로 150°C까지는 부착 수분이 감량되며, 200°C 이상부터 탈휘발화 반응이 일어난다. 200~500°C 사이에서 급격하게 무게가 감량되는데 이는 고분자 물질의 depolymerization

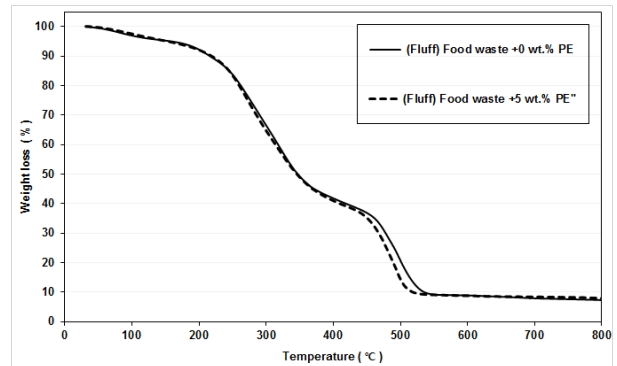


Fig. 2. TGA curves food wastes (heating rate: 10°C/min, carrier gas: air)

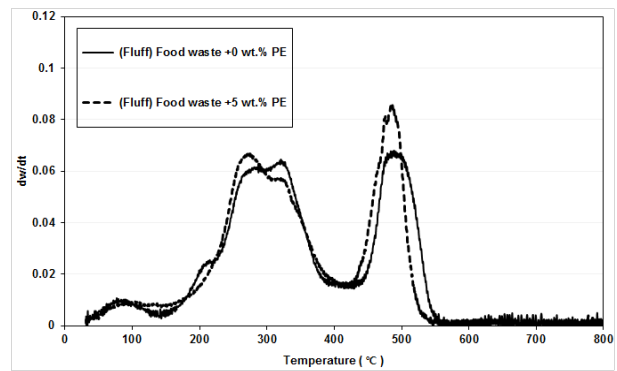


Fig. 3. DTG curves food wastes (heating rate: 10°C/min, carrier gas: air)

반응과 휘발분이 연소되기 때문이다. 본 연구에서 사용한 음식폐기물은 500°C 이후에는 분해가 거의 완료되어 무게 감소가 거의 없다. 또한 2종의 시료 모두 비슷한 감량 곡선을 나타내었다. 따라서 건조한 음식폐기물에 5 wt.%의 폴리에틸렌을 혼합하여도 연소특성은 비슷함을 알 수 있다.

Fig. 3에 DTG(Differential Thermogravimetric Analysis) 곡선을 나타내었다. DTG 곡선은 각각의 시료 샘플들에 대한 무게 감량 변화 속도를 온도에 따라 나타낸 것으로 연소 특성을 좀 더 명확하게 판단할 수 있다. DTG 곡선의 피크가 낮으면 무게 감량 변화가 적고, 피크가 높을수록 해당 온도에서 시간당 무게 감량이 크다. DTG 결과를 보면 2종의 시료 모두 피크가 300°C와 500°C에서 2번 나타나며 폴리에틸렌을 혼합한 시료의 피크가 500°C에서 더 높게 나타났다.

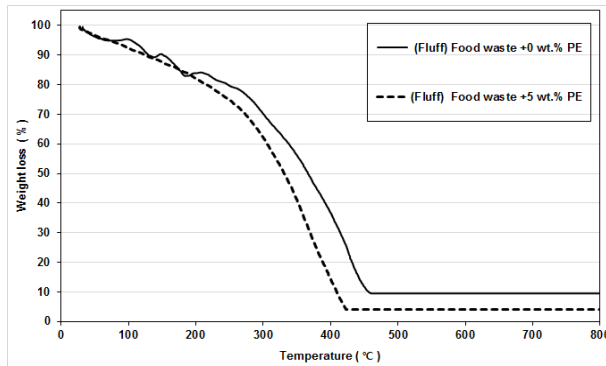


Fig. 4. Combustion curves of food wastes by the experimental apparatus for combustibility (heating rate: 10°C/min, carrier gas: air)

### 3.3 소형 연소특성 실험장치 실험결과

Fig. 4에 소형 연소특성 실험장치로 실험한 무게 감량 결과를 나타내었다. Fig. 2의 TGA 결과와 비교해보면 반응이 급격하게 진행되어 무게 감량이 완료되는 온도가 낮아짐을 알 수 있다. TGA 분석 결과를 보면 반응이 완료되는 온도가 500~520°C인데 소형 연소특성 실험장치의 경우 FW-2는 443°C에서 FW-1은 462°C에서 반응이 완료된다. 폴리에틸렌을 혼합하여 성형한 시료인 FW-2의 반응이 먼저 종결되었다. Fig. 2의 TGA 결과보다 소형 연소특성 실험장치에서 더 낮은 온도에서 연소반응이 종결되는데 이는 TGA의 경우 시료의 양이 매우 작기 때문에 열전달, 물질전달에 의한 지연효과가 없기 때문인 것으로 판단된다. 연소반응의 종결온도가 TGA보다 빠르게 일어나는 것은 초기 연소 과정에서 발생하는 활성 라디칼의 연쇄반응 작용이 일어나 화학반응이 빠르게 일어나는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 2의 TGA 곡선은 시료 2종이 거의 유사하나 Fig. 4의 소형 연소장치 실험의 경우 감량 곡선이 차이가 나는데 이는 상기에서 설명한 바와 같이 시료량이 많은 경우 음식폐기물과 폴리에틸렌의 열전달, 물질전달의 차이가 크기 때문이다. 따라서 TGA에서 얻은 연소속도를 직접 설계에 활용하는 경우 완전연소를 위한 고체 체류시간 등의 산정에 오류가 발생할 우려가 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다.

Fig. 5~6에 소형 연소특성 실험장치로 실험한 음식폐기물의 무게 감량과 동시에 측정된 NO, CO가스 농도 결과를 나타내었다. 이때 산소의 농도는 21%로 일정하게 유지

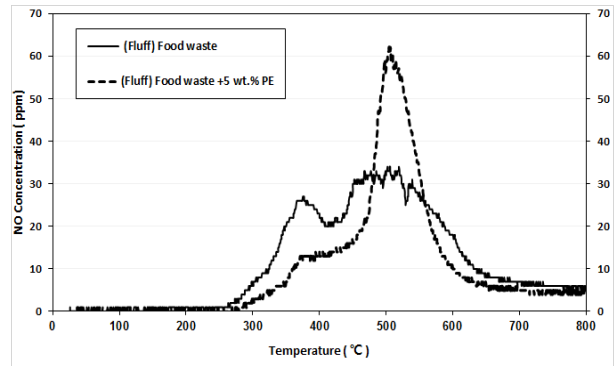


Fig. 5. NO Concentration curves of food wastes by the experimental apparatus for combustibility (heating rate: 10°C/min)

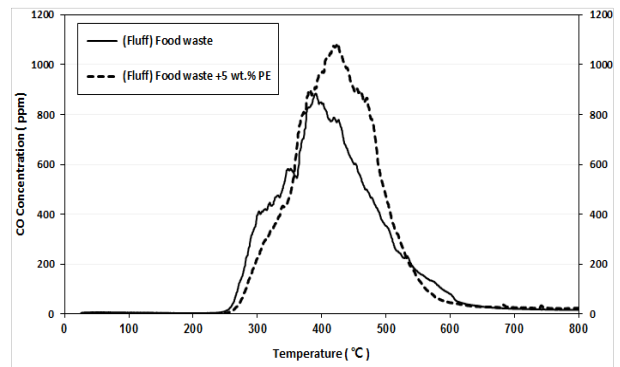


Fig. 6. CO Concentration of food wastes by the experimental apparatus for combustibility (heating rate: 10°C/min)

된다. 2종의 가스 모두 250°C 에서 발생하기 시작하였다. FW-1의 경우 NO는 380~500°C까지 농도가 높고 800°C까지도 계속 배출된다. CO의 경우 400°C에서 가장 농도가 높고 620°C 이후에는 거의 발생하지 않는다. Fig. 2의 TGA 무게 감량 곡선에서는 520°C 이후에는 무게가 감량되지 않는다. 그러나 무게 감량이 완료되는 520°C에서 620°C까지 CO와 NO가 발생하는 반응은 계속됨을 알 수 있다. FW-2 시료의 NO, CO 농도 또한 FW-1과 동일하게 250°C에서 발생하기 시작한다. NO는 550°C에서 농도가 높고 800°C까지도 계속 배출된다.

Fig. 5에서 FW-2 폐기물 연소실험에서 로내 온도가 약 520°C에서 NO 농도가 높게 나타난 것은 이 시료에 포함된 PE 성분 연소로 인하여 화염온도가 국부적으로 상당히 높기 때문으로 판단됩니다. CO의 경우 430°C에서 가장 농도가 높고 600°C 이후에는 거의 발생하지 않으며, 폴리에틸렌을 혼합한 음식폐기물 시료의 농도가 더 높음을 알 수 있다.



## 4. 결론

건조한 음식폐기물의 연소 및 배기가스 특성을 규명하기 위하여 시료 2종을 제조하여, 원소분석, 공업분석, 발열량 분석, TGA분석 및 소형 연소특성 실험장치로 무게 감량 및 배기가스 분석 실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 음식폐기물 시료 2종의 수분은 각각 9.1 wt.%, 8.2 wt.%, 연료비(FC/VM)는 0.17~0.18, C/H비는 7.62~7.74이다. 이 시료의 연소특성은 휘발분이 많아서 착화시간과 연소시간이 짧은 것이다. 연소장치에서 다 이옥신 생성과 장치의 부식을 유발하는 Cl의 농도는 0.95~1.05 wt.%이다. 현재 고형연료로 사용되고 있는 SRF의 Cl함량 기준치인 2.0 wt.% 이하로 분석되었으나, 친환경적인 소각을 위하여 음식폐기물 건조과정에서 Cl 농도를 낮추어야 한다. 저위발열량은 각각 4,030 kcal/kg, 4,210 kcal/kg이다.
- 2) 음식폐기물의 TGA 분석결과는 200~520°C 사이에서 초기 휘발분, 탄소 및 잔류 휘발분의 방출과 고정탄소의 연소가 이루어진다. 소형 연소특성 실험장치의 결과는 TGA 분석 결과보다 낮은 온도에서 무게 감소가 일어났으며 무게 종료되는 온도는 FW-1은 390°C, FW-2는 420°C로 TGA 결과보다 낮은 온도이다.
- 3) 시료 종류에 상관없이 NO, CO 가스 모두 250°C에서 발생하기 시작하였다. NO의 생성 농도는 FW-1은 380~550°C에서 FW-2는 550°C에서 농도가 10 ppm 이하로 800°C까지도 계속 배출된다. CO의 농도는 FW-1은 400°C에서 FW-2는 450°C에서 가장 농도가 높으며, 각 시료의 최고 농도는 FW-1은 884 ppm, FW-2는 1,084 ppm이다. 무게 감량이 완료되는 520°C 이후에도 계속 배출되며 670°C 이후에는 배출이 종료된 것으로 나타났다.

본 연구결과에 의하여 건조한 음식폐기물을 SRF와 같이 고형연료로 사용할 수 있음을 알 수 있었으며, TGA와 소형 연소특성 실험장치의 결과를 이용하여 음식폐기물 소각장치 설계에 반영할 필요가 있다.

## 사 사

본 연구는 환경부의 환경정책기반 공공기술개발사업(2016000710008:다부처공동기획)과 생활폐기물 재활용기술개발사업(RE201906034)에서 지원받았습니다.

## Reference

- [1] Nayak, A. and Bhushan, B., 2019, "An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food waste", *J. Environ. Manage.*, **233**, 352-370.
- [2] Saqib, N.U., Sarmah, A.K., and Baroutian, S., 2019, "Effect of temperature on the fuel properties of food waste and coal blend treated under co-hydrothermal carbonization", *Waste Manage.*, **89**, 236-246.
- [3] Elkhalfi, S., Al-Ansari, T., Mackey, H.R., and Mckay, G., 2019, "Food waste to biochars through pyrolysis: A review", *Resour. Conserv. Recycl.*, **144**, 310-320.
- [4] Kibler, K.M., Reinhart, D., Hawkins, C., Motlagh, A.M., and Wright, J., 2018, "Food waste and the food-energy-water nexus: A review of food waste management alternatives", *Waste Manage.*, **74**, 52-62.
- [5] Ohm, T., Chae, J., Kim, Y., and Moon, S., 2017, "Characteristics of fry-drying and solid refuse fuels for organic wastes with high water content", *J. Renew. Mater.*, **5**, 13-21.
- [6] Lee, J., Park, S., Kang, H., Wang, C., and Hyun, J., 2017, "Economic analysis of food waste biogas plants", *New. Renew. Energy*, **13**(3), 65-72.
- [7] Lee, J., Kang, H., Kim, C., Song, S., and Hyun, J., 2017, "Characteristics of food wastes and its hydrolysis conditions", *New. Renew. Energy*, **13**(1), 36-44.
- [8] Ohm, T. I., Chae, J. S., and Moon, S. H., 2013, "Experimental study of the characteristics of solid fuel from fry-dried swine excreta", *Process Saf. Environ. Prot.*, **91**(3), 227-234.
- [9] Adanez, J., Abad, A., Mendiara, T., Gayan, P., Diego, L.F., and Garcia-Labiano, F., 2018, "Chemical looping combustion of solid fuels", *Prog. Energy and Combust. Sci.*, **65**, 6-66.
- [10] De Sigi, S., Chiarelli, A., Tagliente, L., and Notarmicola,

- M., 2018, "Energy, environmental and operation aspects of a SRF-fired fluidized bed waste-to-energy plant", *Waste Manag.*, **73**, 271-286.
- [11] Białowieca, A., Pulka, J., Stepień, P., Manczarski, P., and Gołaszewski, J., 2017, "The RDF/SRF torrefaction: An effect of temperature on characterization of the product – Carbonized Refuse Derived Fuel", *Waste Manag.*, **70**, 91-100.
- [12] Iacovidou, E., Hahladakis, J., Deans, I., Velis, C., and Purnell, P., 2017, "Technical properties of biomass and solid recovered fuel (SRF) co-fired with coal: Impact on multi-dimensional resource recovery value", *Waste Manag.*, **73**, 535-545.
- [13] Arena, U. and Gregorio, F. D., 2014, "Gasification of a solid recovered fuel in a pilot scale fluidized bed reactor", *Fuel.*, **117**(Pt A), 528-536.
- [14] Bessi, C., Lombardi, L., Meoni, R., Canovai, A., and Corti, A., 2016, "Solid recovered fuel: An experiment on classification and potential applications", *Waste Manag.*, **47**(Pt B), 184-194.
- [15] Edo-Alcón, N., Gallardo, A., and Colomer-Mendoza, F.J., 2016, "Characterization of SRF from MBT plants: Influence of the input waste and of the processing technologies", *Fuel Process. Technol.*, **153**, 19-27.
- [16] Vainio, E., Yrjas, P., Zevenhoven, M., Brink, A., Lauren, T., Hupa, M., Kajolinna, T., and Vesala, H., 2013, "The fate of chlorine, sulfur, and potassium during co-combustion of bank, sludge, and solid recovered fuel in an industrial scale BFB boiler", *Fuel Process. Technol.*, **150**, 59-68.
- [17] Kim, K. H., Kang, J. G., Lee, D. J., Lee, W. S., and Moon, H.S., 2019, "Basic Characteristic Analysis for Incineration of Dry Feed from Food Wastes", *J. Korea Soc. Waste Manag.*, **36**(7), 673-682.
- [18] Wang, Z., Gong, Z., Wang, Z., Fang, P., and Han, D., 2018, "A TG-MS study on the coupled pyrolysis and combustion of oil sludge", *Thermochim. Acta.*, **663**, 137-144.
- [19] Lin, Y., Yu, Z., Fang, S., and Ma, X., 2017, "A study on co-pyrolysis of bagasse and sewage sludge using TG-FTIR and Py-GC/MS", *Energy Convers. Manage.*, **151**, 190-198.
- [20] Medic-Pejic, L., Fernandez-Anez, N., Rubio-Arrieta, L., and Garcia-Torrent, J., 2016, "Thermal behaviour of organic solid recovered fuels (SRF)", *ScienceDirect*, *Int. J. Hydrogen Energy*, **41**(37), 16556-16565.