

ORIGINAL ARTICLE

석유화학폐수슬러지와 유기성 폐기물 혼합에 의한 연소특성 및 고형연료 폐기물화 재활용에 관한 연구

한영립 · 최영익*

동아대학교 환경공학과

A Study on Combustion Characteristics and Evaluating of RDFs(Refused Derived Fuels) from Mixture of Petrochemical Wastewater Sludge and Organic Matters

Young-Rip Han, Young-Ik Choi*

Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea,

Abstract

This objectives of research are to figure out combustion characteristics with increasing temperature with petrochemical sludge by adding wasted organic matters which are waste electric wire, anthracite coal and sawdust, and to exam heating value and ignition temperature for using refused derived fuels(RDFs). After analyzing TGA/DTG, petrochemical sludge shows a rapid weight reduction by vaporing of inner moisture after 170°C. Gross weight reduction rate, ignition temperature and combustion rates represent 68.6%, 221.9°C and 54.1%, respectively. In order to assess the validity of the RDFs, the petrochemical sludge by adding wasted organic matters which are waste electric wire, anthracite coal and waste sawdust. The materials are mixed with 7:3(petrochemical sludge : organic matters)(wt%), and it analyzes after below 10% of moisture content. The ignition temperatures and combustion rates of the waste electric wire, anthracite coal and waste sawdust are 410.6°C, 596.1°C and 284.1°C, and 85.6%, 30.7% and 88.8% respectively. In heating values, petrochemical sludge is 3,600 kcal/kg. And the heating values of mixed sludge (adding 30% of the waste electric wire, anthracite coal and waste sawdust) each increase up to 4,600 kcal/kg, 4,100 kcal/kg and 4,300 kcal/kg. It improves the ignition temperatures and combustion rates by mixing petrochemical sludge and organic matters. It is considered that the production of RDFs is sufficiently possible by using of petrochemical sludge by mixing wasted organic matters.

Key words : Petrochemical wastewater sludge, RDFs(refused derived fuels), Organic matters, Combustion rate, Heating value

1. 서론

최근 신재생에너지 중 폐기물의 열적 에너지를 이용하는 방법이 에너지원의 잠재적 가치를 비교하였을 때 가장 유망한 에너지원으로 인정되고 있다. 폐기물을 에

너지원으로 이용하는 방법에는 직접 소각에 의한 열회수 기술, 폐기물 고형연료 (Refuse Derived Fuel ; RDF)로 가공 후 이용하는 기술, 열분해 (Pyrolysis)에 의한 액체 연료 또는 가스 연료화 기술 등이 있다(Chen 등, 2014). 이 세 가지 방법 중에서 경제성과 효율성을 고려할 때 가

Received 3 January, 2015; Revised 3 February, 2015;

Accepted 13 February, 2015

*Corresponding author: Young-Ik Choi, Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

Phone: +82-51-200-7675

E-mail: youngik@dau.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. 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.

연성의 폐기물을 고체 연료로 가공하는 폐기물 고형연료화 기술이 현실적이고 가장 경제적인 방법으로 인정받고 있다(Park, 2004). 하지만 국내 폐기물 중 유기성폐기물의 특성상 상대적으로 높은 수분함량은 발열량을 떨어뜨리며, 원료가 되는 폐기물의 종류에 따른 연소 시 발생되는 유해가스(HCl, Dioxin 및 유해가스의 전구물질) 및 중금속 오염 등의 문제를 발생시킬 수 있다(Park, 2005).

과거 슬러지의 상당부분이 해양투기 처리방식에 의존하고 있으나, 런던협약이 발효됨에 따라 폐수처리슬러지를 포함한 유기성 폐기물의 해양배출이 전면 금지되었으며, 이에 따라 슬러지 육상처리기술 및 신재생에너지 분야로 활로 가치가 증대되었다(Ministry of Environmental, 2011). 유기성 슬러지는 신재생 에너지 중 재생에너지 부분의 바이오매스 에너지로 분류되고 있으며, 슬러지 연료, 바이오가스, 연료전지의 부분에 이용될 수 있다. 국외에서는 일찍부터 유기성 슬러지를 연료화 함으로써 국가의 환경 친화적 이미지 상승과 더불어 이익 창출을 하고 있다(Kang 등, 2007). 우리나라의 대체에너지 비율은 최근 1차 에너지 대비 약 3.5%이며 그 중에서 67.77%를 폐기물 에너지가 공급하고 있다(Korea Energy Management Corporation, 2013). 그리고 2030년 국가신재생에너지 목표는 1차 에너지 대비 9.7%로 설정되어 있으며 이를 달성하기 위해서는 폐기물 에너지가 2020년 5.0% 보급 목표로 설정되어 있어 신재생에너지 분야 중 유기성 폐기물 활용 방안이 확대되어야 한다(Ministry of Trade, 2014).

히나 슬러지의 경우 일반적인 정수 및 하수처리공정에서 발생하는 슬러지에 집중 되어 있으며, 축산, 산업폐수 및 석유화학폐수 등의 특정 슬러지에 관한 처리는 성상 및 성분 등의 차이가 있기 때문에 적용되지 않는 실정이다(Jun 등, 2009).

유기성 폐기물을 활용하기 위해서는 무엇보다 수분 제거공정이 적절히 수행되어야 한다. 특히 수분이 많은 슬러지의 고형연료화를 위해서는 우선적으로 건조공정이 필연적으로 수반된다. 일반적인 건조기들은 피가열물 내의 수분을 열복사에 의한 열전도나 대류에 의해 피가열물의 표면으로부터 내부 속으로 전달하여 데워지므로 건조기간이 비교적 많이 소요되고 장치의 규모가 큰 단점이 있다. 따라서 유기성 폐기물 활용을 위해선 그 재료

의 건조 및 연소특성을 파악하는 것이 매우 중요하다(Chabinsky, 1988).

특히, 건조공정에 따라 유기성 폐기물 내부수분은 건조되지 않거나, 열처리 시 표면 연소 또는 품질기준 미달 등의 문제를 개선하기 위해 기타 유기성 폐기물의 혼합으로 성상을 변화시켜 품질을 향상시키는 경우가 활성화되고 있다(Park 등, 2012).

따라서, 본 연구는 석유화학폐수 처리공정에서 발생하는 슬러지(Cs, Petrochemical Sludge)를 바탕으로 기타 고형폐기물인 폐전선 피복(Ww, Waste Electric Wire), 폐무연탄(Ac, Anthracite Coal) 및 톱밥(Sd, Sawdust)을 첨가하여 온도증가에 따른 연소특성을 파악하고, 고형연료로서 활용을 위해 발열량 및 착화온도 등을 검토하여 유기성 폐기물의 고형연료화의 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 연구에 사용된 석유화학폐수 슬러지는 U시 석유화학산업단지 내 위치한 S화학의 폐수처리공정에서 최종 발생하는 탈수케익을 채취하여 사용하였으며, 채취된 슬러지는 시료의 변질을 막기 위해 실험기간동안 4℃에서 냉장보관 하면서 분석 및 건조실험을 실시하였다. 폐전선 피복 및 톱밥의 경우 K시 S사에서 수거한 폐전선 및 폐목재를 각각 파쇄기로 분쇄한 분말을 2 mm 이하의 Mesh로 거른 후 사용하였다. 또한, 무연탄의 경우 시중에 판매되는 저급 연탄을 Ball Mill로 분쇄한 후 원활한 고형연료 제작을 위하여 2 mm 이하의 체(Mesh)로 거른 후 사용하였다.

2.2. 실험방법

삼성분 분석은 시료에 대한 수분, 휘발성 가연분, 회분을 측정하는 방법으로, 고형연료제품 품질 시험·분석방법(Ministry of Environmental, 2008)에 준하여 중량법으로 시험·분석하였다.

원소 분석은 시료를 건조기를 이용하여 건조시켜 수분을 제거한 후 시료를 분쇄기에 넣고 분쇄하여 약 2 mg을 취하여 섭씨 1,150℃ 정도의 고온에서 연소하여 각종 원소를 함유한 가스로 분해하고 이들 가스의 열전도도를

측정하고 자동원소분석기 (model Vario micro, Elementar Analysensysteme GmbH, Germany)를 이용하여 탄소 (C), 수소 (H), 질소 (N), 황 (S), 산소 (O)의 종류와 함량을 분석하였다.

발열량의 경우 시료의 수분을 완전히 제거하고 정밀하게 분쇄한 후 약 1 g을 취해 발열량 분석기 (Model IKA Calorimeter C 200, Cole-Parmer, USA)로 측정하여 아래의 식과 같이 고위발열량을 산출하였으며, 수분량과 원소분석치를 환산하여 저위발열량을 산출하였다 (Vriezinger 등, 2002)(Hill 등, 1996). 고위발열량 (총 발열량)은 2회 시험치의 차가 평균값의 5% 이하일 때에는 평균치로 나타내고 5% 이상일 경우에는 총 3회 시험하여 중간치로 나타내었다.

$$H_h \text{ (kcal/kg)} = H_d \times (100 - W)/100 \quad (1)$$

$$H_l \text{ (kcal/kg)} = H_h - 600(9H + W)/100 \quad (2)$$

여기서, H_h : 고위발열량 (kcal/kg)

H_d : 열량계로 측정한 시료의 발열량 (kcal/kg)

H_l : 저위발열량 (kcal/kg)

H: 원소분석에 의한 수소의 조성비 (%)

W: 수분함량 (%)

실험재료에 대한 삼성분 (수분, 가연분, 회분), 고위발열량 및 원소분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 화학폐수슬러지의 삼성분 분석결과 함수율은 86.1%, 가연분은

6.15%, 회분은 7.75%로 각각 나타났으며, 고위발열량은 3,302.1 kcal/kg을 나타내었다. 화학폐수슬러지의 경우 하수슬러지의 성상과 유사한 특성을 지닌 유기성 폐기물로 건조효율 향상 및 발열량 증가를 위하여 기타 폐기물을 혼합· 건조할 경우 고형연료로의 재활용이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

시료 내 수분을 정량화하기 위하여 수분분포가 입자 표면과 결합에너지의 차이에 의해 발생되고 수분형태에 따라 건조속도에 차이가 발생한다는 가정에 기초하여 열중량 분석기 (model SDT Q600 V20.9 Build 20, Universal V4.5A TA Instruments)를 사용하였으며, Table 2에 TGA 장치의 운전인자를 나타내었다.

Table 2. Operating parameters of TGA

Parameters	Units	Types and values
Temperature range	℃	25~1,000
Heating rate	℃/min	10
Air	ml/min	100
Cell	-	Alumina
Weight	mg	3.0910~10.4960

실험의 경우 석유화학폐수 슬러지 및 기타 유기성 폐기물 단독으로 열중량 분석을 실시하여 연소특성을 평가하였으며, 이후 기타 유기성 폐기물인 폐전선, 무연탄 및 톱밥과 혼합하여 열중량, 발열량, 삼성분 및 원소분석을

Table 1. Characteristics of experimental materials

Experimental materials	Petrochemical wastewater sludge (Cs)	Waste electric wire (Ww)	Anthracite coal (Ac)	Sawdust (Sd)	
Moisture content (% , wet basis)	86.1	2.5	3.3	2.7	
Combustible content (% , dry basis)	6.2	90.6	95.1	89.2	
Ash content (% , dry basis)	7.7	6.9	1.6	8.1	
Higher heating value (kcal/kg)	3,302.1	4,683.4	3,982.9	4,336.0	
Ultimate analysis	C (%)	29.67	39.81	64.78	46.67
	H (%)	5.16	4.91	1.76	6.17
	O (%)	28.24	10.02	0.16	43.39
	N (%)	3.89	N.D	0.16	N.D
	S (%)	0.31	N.D	0.14	N.D
Lower heating value (kcal/kg)	2,775.0	4,657.4	3,932.4	4,311.1	

Note) N.D : Not detected.

실시하였다. 분석을 실시한 시료의 증량비 및 명칭을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Weight ratio of each samples on Organic mixture

Parameters	Weight percent(%)			
	Cs100	Cs70Ww30	Cs70Ac30	Cs70Sd30
Cs	100	70	70	70
Ww	-	30	-	-
Ac	-	-	30	-
Sd	-	-	-	30

3. 결과 및 고찰

3.1. 연소특성

본 연구에 사용된 실험재료 (화학폐수슬러지, 폐전선 피복, 무연탄, 톱밥)에 대한 TGA/DSC 분석결과를 Fig. 1에 나타내었다.

열중량분석 (TGA)은 고분자화합물의 성분분석에 많이 쓰이는 방법이며, 일정량의 시료를 전자저울 같은 Fan 위에 올려놓은 후 일정한 시간동안 온도를 서서히 가열하여 물질이 열분해되어 기체가 되면 기체가 되는 양 만큼의 무게차를 이용하여 고분자화합물 중에 함유된 성분을 분석하는 방법이다. 특히 모든 물질은 열분해 되는 온도가 각 물질에 따라 다르기 때문에 물질의 정성과 정량을 알 수 있다.

TGA(Thermogravimetric Analysis) 분석결과를 토대로 실험재료 (화학폐수슬러지, 폐전선 피복, 무연탄, 톱밥)에 대한 착화온도 및 연소율을 계산하여 Table 4에 나타내었다.

착화온도는 TGA 곡선에서 곡선의 기울기 변화가 일어나는 지점을 착화점으로 보며, 온도와 질량감량율의 그래프에서 기울기가 급격히 증가한 부근에서 접선을 그어 기울기 0인 선과 만나는 점의 온도를 착화온도로 한

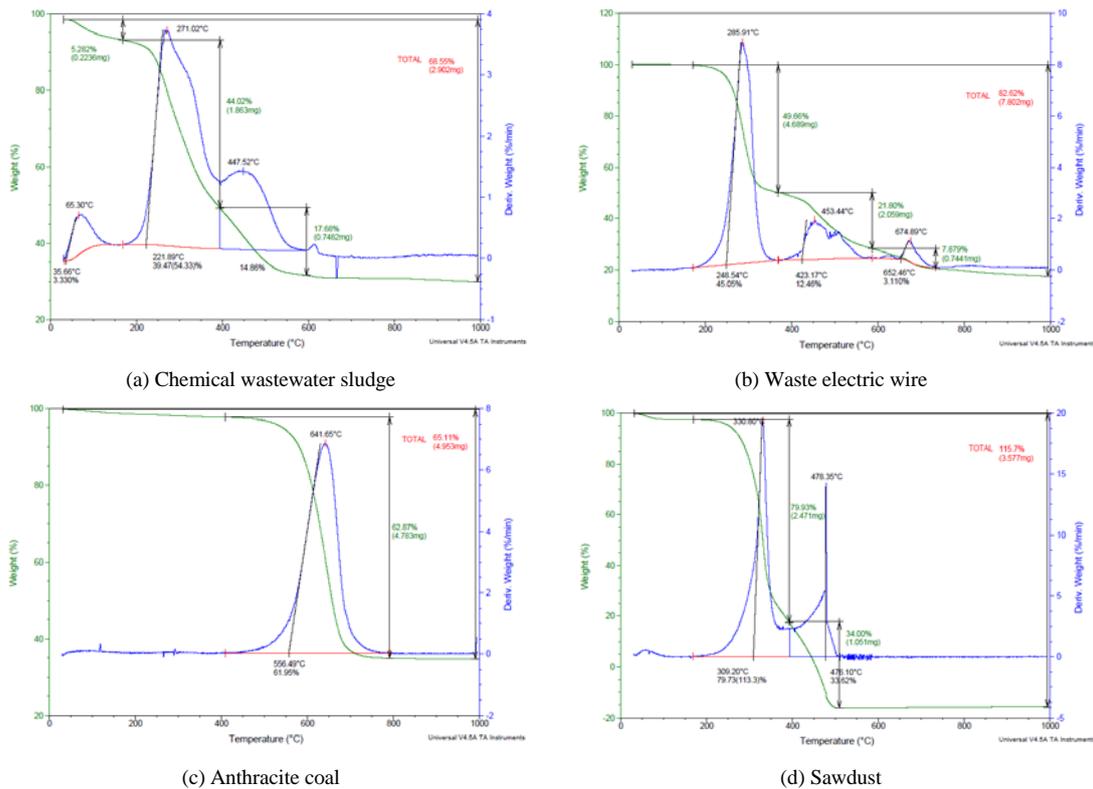


Fig. 1. TGA/DSC curves of experimental each materials.

다. 단, 3회 이상의 각기 다른 위치에서 시료를 취하여 측정 후 평균값을 취했다(Korean Industrial Standards, 2011).

연소율은 TGA 분석장비를 이용하여 시료 중 가연분의 량을 측정하고, 시료를 TGA에서 800℃로 30분간 가열한 후 미연분의 량을 측정한다. 단, 3회 이상의 각기 다른 위치에서 시료를 취하여 측정 후 평균값을 취한다(Korean Industrial Standards, 2011). 연소율은 아래 식에 따라 산출하였다.

$$A = (1 - b/a) \times 100 \quad (3)$$

여기서, A : 연소율 (%)

a : 가연분의 무게 (g)

b : 미연분의 무게 (g)

Fig. 1 (a)에서 화학폐수슬러지의 경우 170℃ 정도까지는 중량감량은 5.282% 이었으나, 이후 화학폐수슬러지 내 함유된 유리수분 증발에 의한 급격한 무게 감소(감량율 44.02%)가 나타났으며, 400~600℃에서의 감량율은 17.68%로 휘발성 유기조성물 및 저분자들이 분해하는 점차적인 감소가 이루어 졌다. 조성 성분 중 고분자 유기물들의 분자결합이 파괴되면서 거의 탄소성분이 존재하지 않는 상태로 열분해 되며 600℃ 이후에는 회분만이 남는 무게 감소곡선을 보이고 있다. 화학폐수슬러지의 총 감량율은 68.55%, 착화온도는 221.1℃, 연소율은 54.1%로 나타났다.

Fig. 1 (b)에서 보듯이 폐전선 피복의 경우 200℃ 정도까지는 중량감량이 거의 없었으나, 이후 285.91℃에서 1차 변곡점, 453.44℃에서 2차 변곡점, 674.89℃에서 3차 변곡점을 나타내었으며, 750℃ 이후에는 회분만이 남는 무게 감소곡선을 보이고 있다. 폐전선 피복의 총 감량율은 82.62%, 착화온도는 248.5℃, 연소율은 79%로 나타났다. 김 등(Kim 등, 2011)은 열중량 분석에서 페플라스틱이 짧은 온도 구간에서 휘발분이 일시에 휘발되는 이유를 고정탄소 함량이 매우 낮기 때문에 가능한 것이라고 하였다.

Fig. 1 (c)와 같이 무연탄의 열중량 결과를 보면, 초기 무연탄 내 수분 증발에 의한 무게 감소량이 서서히 일어났으며, 500℃ 이후부터 극열한 열분해로 무연탄의 조성분이 기화되면서 급격히 무게가 감소하여 641.65℃에서

최고 정점에 달하는 변곡점을 나타내었다. 무연탄의 총 감량율은 65.11%, 착화온도는 556.5℃, 연소율은 46.4%로 나타났다.

Fig. 1 (d)에서 톱밥의 열중량 분석 결과, 200℃ 이후 극열한 열분해로 톱밥의 조성분이 기화되면서 급격히 무게가 감소하여 330.8℃에서 최고 정점에 달하는 1차 변곡점, 478.35℃에서 2차 변곡점을 나타내었다. 톱밥의 총 감량율은 115.7%, 착화온도는 309.2℃, 연소율은 89.5%로 나타났다.

Table 4. Results of ignition temperature and combustion rate for experimental materials

Parameters	Ignition temperature (°C)	Combustion rate (%)
Cs	221.9	54.1
Ww	248.5	79.0
Ac	556.5	46.4
Sd	309.2	89.5

유기성 폐기물을 활용하는 경우 건조(Drying), 열분해(Pyrolysis) 및 가스화(Gasification) 등이 있으나 모든 공정의 중요한 점은 유기성 폐기물 자체에서 연소가 일어나선 안된다는 점이다(Beneroso 등, 2014). 본 연구에 사용된 석유화학폐수 슬러지의 경우 착화온도가 221.9℃로 나타났는데, 이의 경우 건조 또는 저온 열분해 공정 등에 있어 고정탄소(char)가 쉽게 자체 연소가 될 수 있는 가능성을 가지고 있어(Sarc 등, 2013), 고형연료 등의 활용을 위해 입자가 큰 상태에서 건조 또는 표면에 집중된 건조방식의 적용 시 쉽게 발화될 것으로 사료된다. 조 등(Cho 등, 2013)은 유기성 폐기물을 마이크로로파 또는 열풍 등의 건조방법을 적용 시 내부수분 25% 정도 또는 10분 이상일 때 표면발화가 일어날 수 있다고 보고하고 있으며, 유기성 폐기물을 고형연료로 활용하기 위해서는 타 유기성 폐기물과 혼합하여 건조 또는 열분해 하는 것이 효과적이라 보고하고 있다.

3.2. 유기성 폐기물 혼합에 의한 연소특성

화학폐수슬러지를 중심으로 한 유기성 폐기물 (폐전선 피복, 무연탄 및 톱밥)을 혼합비율 7:3으로 각각 혼합하여 함수율 10% 이하로 건조기로 건조한 시료를 TGA/DSC로 분석하였으며, Fig. 2 및 Table 5에 나타내

었다.

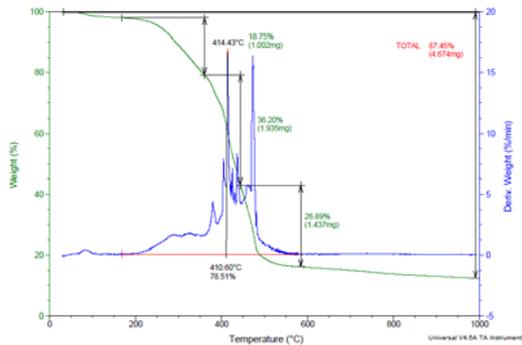
Fig. 2 (a)에서 석유화학폐수 슬러지 70%와 폐전선 피복 30% 혼합건조물 (Cs70Ww30)의 열중량 분석 결과, 160°C 이후 590°C 까지 급격한 무게 감소 (감량을 81.84%)가 나타났으며, 이후에는 회분만이 남는 무게 감소곡선을 보이고 있다. 석유화학폐수 슬러지 70%와 폐전선 피복 30% 혼합건조물 (Cs70Ww30)의 총 감량은 87.45%, 착화온도는 410.6°C, 연소율은 75.6%로 나타났다.

Fig. 2 (b)에서 석유화학폐수 슬러지 70%와 무연탄 30% 혼합건조물 (Cs70Ac30)의 열중량 분석 결과, 화학폐수슬러지 70%와 폐전선 피복 30%의 열중량 분석과는 달리 상대적으로 느린 중량 감소가 나타났으며, 662.08°C에서 최고 정점에 달하는 변곡점을 나타내었다. 화학폐수슬러지 70%와 무연탄 30% 혼합건조물 (Cs70Ac30)의 총 감량은 59.08%, 착화온도는 596.

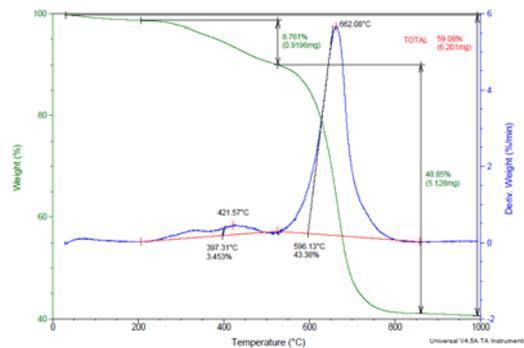
1°C, 연소율은 59.7%로 나타났다. 석유화학폐수슬러지와 무연탄의 혼합물의 연소에 있어 중량감소율의 변화는 혼합시료가 단일 석탄보다 높아졌으며, 일반적으로 석탄과 유기성 폐기물을 혼합연소할 경우 개별적인 가연분 연소특성을 보인다는 결과와 다르게 단일 중량감소를 나타내었다(Pan, 1991)(Artos, 1993).

Fig. 2 (c)에서 석유화학폐수 슬러지 70%와 톱밥 30% 혼합건조물 (Cs70Sd30)의 열중량 분석 결과, 322.02°C에서 최고 정점에 달하는 1차 변곡점을 나타내었으며, 444.72°C에서 2차 변곡점을 나타내었다. 화학폐수슬러지 70%와 톱밥 30% 혼합건조물 (Cs70Sd30)의 총 감량은 89.93%, 착화온도는 284.1°C, 연소율은 88.8%로 나타났다.

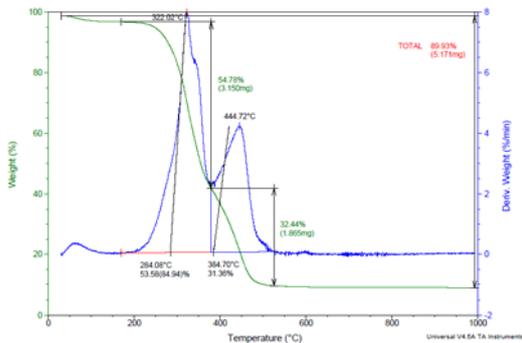
석유화학폐수 슬러지와 유기성 폐기물의 혼합에 의한 연소 특성을 비교하면, 기존 석유화학폐수 슬러지 단독으로 했을 때 보다 착화온도의 상승이 일어났다.



(a) Cs70Ww30



(b) Cs70Ac30



(c) Cs70Sd30

Fig. 2. TGA/DSC curves of petrochemical wastewater sludge mixture with organic matters.

Table 5. Results of ignition temperature and combustion rate for RDFs produced in microwave-hot air (250 °C) hybrid drying process

Parameters	Ignition temperature (°C)	Combustion rate (%)
Cs100	221.9	54.1
Cs70Ww30	410.6	75.6
Cs70Ac30	596.1	59.7
Cs70Sd30	284.1	88.8

3.3. 유기성 폐기물 혼합에 의한 고형연료 품질특성

화학폐수슬러지를 중심으로 한 가연물질 (폐전선 피복, 무연탄, 톱밥)의 혼합비율에 따른 각 성분함량을 Table 6에 나타내었다. 모든 시료는 수분 10%이하로 건조 후 분석을 실시하였으며, 국내 고형연료 품질기준과 비교하여 제시하였다. 분석결과 Cs100과 같이 단독으로 건조하여 고형연료로 활용하기 위해서는 저위발열량이 품질기준에 미달되지만 유기성 폐자원과 혼합한 Cs70Ww30, Cs70Ac39 및 Cs70Sd30에서는 저위발열량이 각각 4,861.3 kcal/kg, 3,801.2 kcal/kg 및 3,938.5 kcal/kg으로 향상되었으며, 회분함량 및 황분함량 등도 고형연료 품질기준에 적합한 것으로 나타났다. 향후 적절한 건조공정 또는 열분해 등의 공정적용과 중금속 함량 등을 고려하여 품질기준을 평가하면 자원으로 적극 활용되지 않는 석유화학폐수 슬러지의 적정 이용방법으로 타당할 것으로 사료된다.

Table 6. Characteristics of each organic mixture

Experimental materials	Cs100	Cs70Ww30	Cs70Ac30	Cs70Sd30	Korea standard	
Moisture content (% , wet basis)	9.0	6.8	9.4	6.5	Below 10	
Combustible content (% , dry basis)	84.3	90	89	92.2	-	
Ash content (% , dry basis)	6.7	3.2	1.6	1.3	Below 20	
Higher heating value (kcal/kg)	3,216.3	4,909.3	3,904.6	3,986.2	-	
Ultimate analysis	C (%)	32.34	52.83	56.34	51.37	-
	H (%)	4.56	7.53	1.15	6.18	-
	O (%)	20.97	6.09	2.71	32.5	-
	N (%)	3.94	0.91	0.49	0.47	-
	S (%)	0.26	0.21	0.17	0.07	Below 0.6
Lower heating value (kcal/kg)	3,150.5	4,861.3	3,801.2	3,938.5	Above 3,500	

4. 결론

본 연구는 유기성 폐기물의 활용을 위해 석유화학폐수 처리공정에서 발생하는 슬러지를 바탕으로 유기성 폐자원인 폐전선, 무연탄 및 톱밥을 첨가하여 연소특성을 파악하고, 고형연료 품질기준과 비교하여 유기성 자원활용 타당성을 평가하였으며, 결론은 다음과 같다.

1. 화학폐수슬러지, 폐전선 피복, 무연탄, 톱밥)에 대한 TGA/DSC 분석결과 화학폐수슬러지의 170 °C 정도까지는 중량감량은 5.282% 이었으나, 이후 화학폐수슬러지 내 함유된 유리수분 증발에 의한 급격한 무게 감소 (감량율 44.02%)가 나타났으며, 400~600 °C에서의 감량율은 17.68%로 휘발성 유기조성물 및 저분자들이 분해하는 점차적인 감소가 이루어 졌다. 600 °C 이후 총 감량율은 68.55%, 착화온도는 221.89 °C, 연소율은 54.1%로 나타났다.

2. 화학폐수슬러지를 중심으로 한 유기성 폐기물 (폐전선 피복, 무연탄 및 톱밥)을 혼합비율 중량비 7:3으로 각각 혼합하고, 함수율 10% 이하로 건조한 시료를 TGA/DSC로 분석한 결과 폐전선 피복, 무연탄 및 톱밥 혼합물인 Cs70Ww30, Cs70Ac39 및 Cs70Sd30에서 착화온도 410.60 °C, 596.13 °C 및 284.08 °C로 나타났다.

3. Cs100과 같이 석유화학폐수 슬러지 단독으로 건조하여 고형연료로 활용하기 위해서는 저위발열량이 품질기준에 미달되지만 유기성 폐자원과 혼합한 Cs70Ww30,

Cs70Ac39 및 Cs70Sd30에서는 저위발열량이 각각 4,861.33 kcal/kg, 3,801.24 kcal/kg 및 3,938.46 kcal/kg으로 향상되었으며, 회분함량 및 황분함량 등도 고품질 기준에 적합한 것으로 나타났다. 향후 적절한 건조공정 또는 열분해 등의 공정적용과 고품질 기준을 고려하면 유기성 폐자원으로 적극 활용되지 않는 석유화학 폐수 슬러지의 적정 이용방법으로 타당하다.

감사의 글

본 연구는 동아대학교 연구비에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCE

- Artos, V., Scaroni, A. W., 1993, T.g.a. and drop-tube reactor studies of the combustion of coal blends, *Fuel*, 72(7), 927-933.
- Beneroso, D., Bermúdez, J. M., Arenillas, A., Menéndez J. A., 2014, Integrated microwave drying, pyrolysis and gasification for valorisation of organic wastes to syngas, *Fuel*, 132(15), 20 - 26.
- Chabinsky, I. J., 1988, Applications of microwave energy past, present and future brave new world, *MRS Symp. Proc.*, 124, 17-29.
- Chen, Z., Afzal, M. T., Salema, A. A., 2014. Microwave Drying of Wastewater Sewage Sludge, *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(3), 282-286.
- Cho, Y. J., Jung, B. G., 2013, Microwave Drying Characteristics and Energy Cost Analysis with Mixing Ratios of Food Waste, Waste Plastic and Anthracite Coal, *J. of Korean Society of Environmental Technology*, 14(3), 153-159.
- Hill, J. M., Marchant, T. R., 1996, Modeling microwave heating, *Applied Mathematical Modeling*, 20(1), 3-15.
- Jun, K. S., Hwang, E. J., Kim, H. J., 2009, A Study on Drying and Carbonization of Organic Sludge from Sewage Plant and Petrochemical Industries for Energy and Resources Recovery, *Clean Technology*, 15(3), 154-164.
- Kang, S. K., Lee, S. J., Ryu, I. S., Lee, K. C., 2008, Refined Fuel Production Using Municipal Sewage Sludge (I)-Preparation of Refined Solid Fuels from Organic Sludge-, *Journal of Korean Society of Combustion*, 16(1) 20-22.
- Kim, J. D., Kim, D. K., Nam, S. C., 2011, Emission Characteristics of Air Pollutants from Cement Kilns Feeding Waste Plastics, *Korea Solid Wastes Engineering Society*, 28(8), 825-830.
- Korea Energy Management Corporation, 2013, New & renewable energy statistics 2012 (2013 Edition), 3-9.
- Korean industrial standards, 2011, KS M ISO 11358, Plastics - Thermogravimetry(TG) of polymers - General principles.
- Ministry of Environmental, 2008, Quality testing and analysis methods of solid fuel products.
- Ministry of Environmental, 2011, Research for the core excavation of medium-long term future environmental policy of the green economy, pp. 16-17.
- Ministry of Trade, 2014, Fourth Master plan of New & Renewable Energy, pp. 5.
- Park, S. W., 2005, Carbonization Technology for Recycling Wastes as Fuel, *J. Korea Soc*, 22(3), 226-235.
- Park, S. W., Jang, C. H., Kim, N. J., 2004, Recycling Technology of Sewage Sludge by Carbonization, *J. of the Environ. Sci.*, 13(2), 161-165.
- Park, S. W., Jang, C. H., 2012, Combustion Characteristics and Kinetics Parameters of Thermal-treated Sewage Sludge/coal Blends, *Journal of Material Cycles Waste Management*, 29(2), 161-168.
- Pan, W. P., Gan, Y., Serageldin, M. A., 1991, A Study of Thermal Analytical Values for Coal Blends Burned in an Air Atmosphere, *Thermochimica acta*, 180, 203-217.
- Sarc, R., Lorber, K. E., 2013, Production, quality and quality assurance of Refuse Derived Fuels (RDFs), *Waste Management*, 33(9), 1825-1834.
- Vriezanga, C. A., Sanchez, P. S., Grasman, J., 2002, Thermal runaway in microwave heating a mathematical analysis, *Applied Mathematical Modeling*, 26, 1029-1038.