

연구노트

고품질 · 저오염 RDF 생산을 위한 생활폐기물 성분평가

함광준 · 오근찬* · 박영한* · 김민수 · 김준현**

강원도자연환경연구공원, 강원도보건환경연구원*, 강원대학교 환경공학과**

(2009년 07월 13일 접수, 2009년 12월 26일 승인)

Quality Assessment by MSW Type for High-quality and Low-pollution RDF

Kwang-Joon Ham · Geun-Chan Oh* · Young-Han Park* · Min-Su Kim · Joon-Hyun Kim**

Gangwon Nature Environment Research Park, Gangwon Institute of Health & Environment*, Division of Environmental Eng. Kangwon National University**

(Manuscript received 13 July 2009; accepted 26 December 2009)

Abstract

In order to provide fundamental data for developing high-grade(high-quality and low-pollution) Refuse Derived Fuel(RDF), we analyzed caloric value and HCl content by Municipal Solid Waste(MSW) type. The caloric value was analyzed using calorimeter and HCl content was analyzed using mercury(II) thiocyanate method.

In case of paper type the caloric value was 3,060~3,608kcal/kg and the HCl content was 239~6,135ppm. In case of vinyl-plastics the caloric value was 5,946~9,888kcal/kg and the HCl content was 429~455,771ppm. According to the result of quality assessment by MSW type, the caloric value of vinyl-plastics type was showed higher than that of paper type and in case of HCl content the paper type was showed lower than vinyl-plastics type.

So, We mixed paper and plastic wastes. The caloric value of mixed MSW(paper and plastics) was 5,046~9,125kcal/kg and the HCl content was 239~6,135ppm. Also, The caloric value of packaging waste(film-plastics) was 5,982~8,045kcal/kg.

Therefore It is possible to develop high-grade Refuse Derived Fuel through suitable mixing of paper and plastic in municipal solid waste.

Keywords : Refuse Derived Fuel, caloric value, HCl, packaging waste

I. 서론

우리나라는 쓰레기종량제, 폐기물부담금제도, 생산자책임 재활용제도(EPR) 등 생활폐기물 감량과 재활용을 위하여 다양한 정책을 추진하여 왔다(수도권매립지관리공사, 2006). 그러나 폐기물처리에 있어서는 여전히 비용이 가장 저렴한 매립방식에 의존하고 있어 자원으로서의 가치가 있는 가연성 폐기물이 그대로 매립되고 있으며, 소각처리의 경우에는 소각에 의한 에너지회수가 매우 저조한 현실이다.

경제규모에 비해 좁은 국토, 높은 인구밀도, 부족한 부존자원을 보유하고 있는 우리나라는 쓰레기종량제, EPR제도 등 “생활폐기물 감량정책”과 생활폐기물 전처리기술(MBT) 등을 이용한 “폐기물 에너지화 정책”을 통해 발생은 최소화하고 발생된 폐기물은 자원화가 최우선되어야 할 것이다.

또한 신고유가 시대가 도래하고, 기후변화협약에 따른 온실가스감축의무가 가시화될 전망이며, 하수슬러지의 해양배출이 금지되어 육상처리가 불가피하게 되는 등 국제적인 여건이 폐기물을 에너지화 혹은 자원화 할 수 밖에 없는 상황으로 변화하고 있다(박충기 등, 2006).

그러나, 생활폐기물의 자원화기술은 국내의 실정을 고려하지 않고 외국기술을 무분별하게 도입하여 막대한 예산을 손실하는 등 실패사례가 보고되고 있다. 아무리 우수한 환경기술이라도 오염물질 생성, 계절적 영향 등 외부 환경조건에 따라 성능이 다르게 나타나기 때문에 지역 특성에 적합한 자원화 기술의 개발이 절실히 요구된다(박영한 등, 2007).

생활폐기물을 이용하여 생산된 재생연료의 품질을 향상시키기 위해서는 폐기물 자체에 포함된 수분 및 불연성분을 제거하여 발열량을 향상시키는 물론 연소시 배출되는 다이옥신 등 유해화학물의 발생을 억제하기 위하여 RDF 제작과정에서 연소의 제거 공정이 요구된다. 최근 정부에서도 생활폐기물 고형연료의 품질기준을 마련하여 고품질의 대체 에너지 개발에 총력을 기울이고 있다.

아울러 RDF 제작과정의 대부분을 차지하며 많은

비용을 수반하는 분리·선별·성형과정을 생략하고 단순 파쇄만으로 재생연료를 생산할 수 있는 기법의 도입이 필요하며 이를 위해서는 현재 분리·배출되고 있는 생활폐기물을 재생연료로 전환할 수 있는 방안에 대한 연구가 절실하다.

본 연구에서는 생활폐기물의 삼성분, 발열량, 염소농도 등을 분석하여 연료화 가능성을 판단하고, 생활폐기물 선별기술을 통해 생산된 생활폐기물 고형연료(RDF ; Refuse Derived Fuel)의 품질 및 등급을 평가하였으며, 이에 따른 품질 및 등급 향상을 위하여 생활폐기물 종류별 특성에 관한 기초연구가 필요하다고 판단되었다. 따라서 생활폐기물 재생연료의 발열량을 높이고 염소농도로 인한 2차 오염을 최소화하며 선별과정 등의 전처리 단계를 최소화할 수 있는 방안 등의 제시를 위한 연구로 가연성 생활폐기물의 종류별 성분(저위발열량, 염소농도) 분석, 분리배출 포장재의 성분 분석 등을 실시하였으며, 이를 바탕으로 고품질·저오염 대체연료 개발에 필요한 기초자료를 제공하고 생활폐기물 연료화의 방향전환을 모색하고자 하였다.

II. 연구 내용 및 방법

본 연구는 생활폐기물 고형연료(RDF)를 생산하는 선별기술을 이용해서 생산된 RDF의 품질을 평가하였으며, 평가결과에 따른 품질 개선을 위한 기초연구로 가연성 폐기물의 종류별 발열량 및 염소농도 분석과 혼합 폐기물 및 분리배출 포장재의 발열량 및 염소농도 분석을 실시하였다. 또한 본 연구에서 생활폐기물 연료화를 위한 중점 연구대상으로 선정한 가연성 폐기물 및 분리배출 포장재의 보다 효율적인 수거·선별 등의 전처리과정 검토를 위해 현재 우리나라 생활폐기물 발생 및 처리실태를 파악하였다. 세부적인 연구내용 및 방법은 아래와 같다.

1. 가연성폐기물 선별기술

본 연구에서 이용된 RDF 생산기술은 롯데건설(주) 및 (주)지환테크가 환경부 신기술 평가를 수행

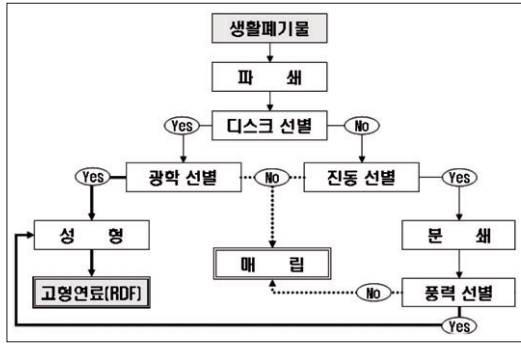


그림 1. RDF 생산 공정도

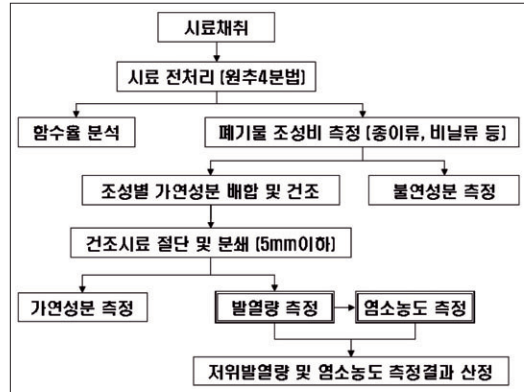


그림 2. 생활폐기물 전처리 및 성분분석 흐름도

하기 위하여 충청북도 음성군에 설치한 「경사형 육각 디스크 선별기를 이용한 가연성 생활폐기물 선별 및 연료화 설비」로서 생활폐기물을 파쇄 및 자력 선별 후 경사형 디스크선별기에서 가연성물질과 비가연성물질로 분리시킨 후 가연성물질은 광학선별 공정을 거쳐 연료생산 공정에서 RDF로 생산되고, 비가연성물질은 진동선별과 풍력선별을 통해 잔류 가연성물질을 재 회수하여 이를 연료생산 공정에서 RDF로 생산하는 선별 및 자원화기술이며 생산 공정은 그림 1과 같다.

2. 생활폐기물 및 고형연료(RDF) 성분 분석

본 연구에서 RDF 생산을 위해 사용된 대상 시료는 충북 음성군 관내에서 발생되어 종량제봉투 단위로 수거된 생활폐기물로 2008년 1월 7일부터 2월 1일까지 총6회 43,610kg 반입하였으며(이하 대상폐기물), 대상폐기물 및 RDF의 삼성분, 저위발열량, 염소농도 분석은 각각 10회 실시하였다. 분석을 위한 시료는 폐기물공정시험방법의 시료축소방법인 원추사분법에 준하여 균질화하고 입경 5mm 미만의 크기로 분쇄하여 조제하였다. 수분, 가연분, 회분을 일컫는 삼성분은 폐기물공정시험방법에 준하여 분석하였으며, 발열량 및 염소농도는 시료를 건조한 후 측정하였다. 따라서 본 연구의 발열량과 염소농도는 수분(W)이 배제된 건조상태 측정값이다.

$$H_l = H_h - \frac{600(9H + W)}{100} \quad (\text{Dulong 식})$$

본 연구에 사용된 저위발열량(H_l)은 Bomb

Calorimeter를 이용하여 총발열량(고위발열량: H_h)을 측정한 후 위의 Dulong 식(윤석표 등, 2002)을 이용하여 산정하였으며 산정에 필요한 수소함량(H)은 동부권 광역자원회수시설 설치사업 환경영향평가서에서 측정된 이천시, 여주군, 하남시, 양평군, 광주시 등 5개 시군의 평균 수소함량(6.25%)을 적용하였다. 염소농도 분석은 환경부고시 제2003-127호 「폐플라스틱고형연료제품의 품질기준·사용처 등에 관한 기준」 [별표2] HCl 시험방법(티오시안산 제2수는 흡광광도법)을 이용하여 분석하였다. 성분분석을 위한 전체적인 전처리 및 분석 순서는 아래 그림 2와 같다.

3. 생활폐기물 유형별 발열량 및 염소농도 분석

가연성 생활폐기물 선별을 통해 생산되는 RDF의 품질 향상을 위해 일반적으로 배출될 수 있는 각종 생활폐기물의 유형별 성분분석을 실시하였으며, 이를 위해 종이류 49종, 플라스틱류 46종, 나무류 2종 등 총 97종의 생활폐기물 종류별 발열량 및 염소농도를 측정하였다. 특히 플라스틱류 중 분리·배출되고 있어 수거가 용이하며 별도의 선별과정이 필요 없는 분리배출 포장재에 대해서는 추가조사를 실시하였다. 저위발열량 측정은 앞에서 살펴본 Bomb Calorimeter를 이용하여 측정한 후 Dulong 식에 의해 재산정하는 방법으로, 염소농도 측정은 티오시안산 제2수는 흡광광도법으로 각각 분석하였다.

4. 가연성 생활폐기물 발생 및 처리실태

생활폐기물 중 일부를 분리·선별하여 연료화 할 경우 고품질·저오염의 연료화 자원으로 재활용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 선별 및 가공 과정에는 고액의 시설비가 요구되므로 현재 생활폐기물 배출과정에 운영되고 있는 분리배출 시스템을 잘 활용한다면 이를 최소화할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 전국폐기물통계조사(국립환경과학원, 2007)를 이용하여 종량제봉투에 의해 배출되는 생활폐기물과 분리배출 플라스틱류의 발생 및 처리실태를 파악하였다.

1) 종량제봉투 내 폐기물 발생현황

종량제 봉투내 폐기물 성상별 조성비는 종이류가 가장 많고, 가연성기타, 플라스틱, 음식물류 순이었으며, 가연성기타는 화장실용 휴지, 기저귀 등 위생용품이 주였다. 종량제 봉투내 폐기물 중 가연성폐기물이 차지하는 비율이 93%로 매우 높은 것으로 조사되었으며, 종이류와 플라스틱류의 점유율이 56%이고, 가연성 기타와 분리배출 포장재까지 포함하면 연료화할 수 있는 가연성 생활폐기물의 점유율이 85%에 달한다(그림 3, 그림 4). 그러므로 가연성

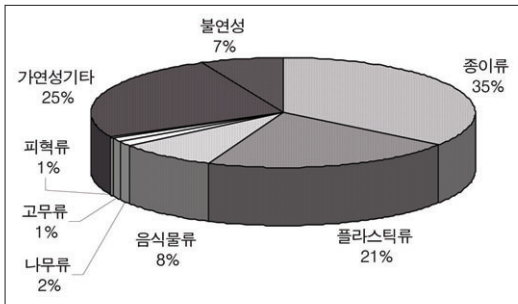


그림 3. 종량제봉투 내 생활폐기물 조성

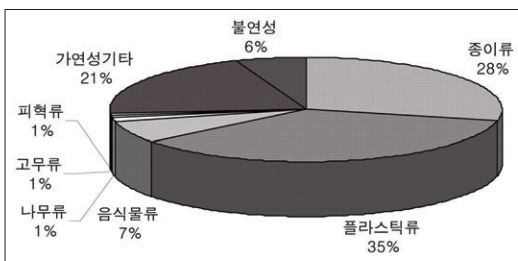


그림 4. 생활폐기물의 조성(종량제봉투 + 분리배출 포장재)

폐기물의 분리배출이 보다 효율적으로 활성화된다면 생활폐기물 연료화 등 폐기물자원화와 생활폐기물 발생량 감소에 크게 기여할 것으로 판단된다.

2) 재활용 플라스틱류의 처리현황

현재 재활용품으로 처리되고 있는 폐기물은 종이류, 철스크랩류, 플라스틱류, 유리류, 금속캔류 등이 있지만 본 연구에서는 연료화 가능성이 높은 생활폐기물로 가정한 분리배출 포장재를 포함하는 플라스틱류에 대한 처리실태에 대하여 집중적으로 검토하였다. 플라스틱류의 경우 총발생량(1,644천톤/년)의 51%인 839천톤/년이 재활용품으로 분리·수거되지만 이중에서 57%인 478천톤/년이 폐기되고 있는 실정이다(그림 5). 폐기되고 있는 플라스틱류는 주로 필름류로서 분리배출 포장재가 대부분인 것으로 조사되었다. 따라서 분리 배출되고 있는 필름류 포장재의 경우 현재 재생원료로 재활용되지 못하고 매립이나 소각되고 있는 현실이다.

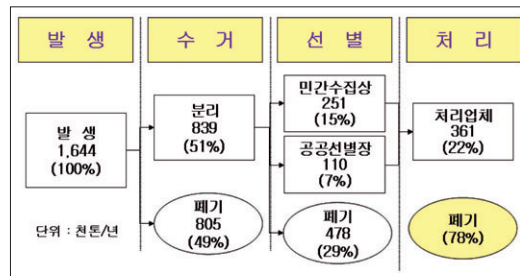


그림 5. 생활폐기물 중 폐플라스틱류의 처리과정

III. 결과 및 고찰

1. 생활폐기물 고품연료(RDF) 품질평가

1) 삼성분 평가

RDF의 연소효율을 판단하기 위해 원료인 대상폐기물과 RDF의 삼성분을 각각 측정하였다(표 1). 함수율의 경우 대상폐기물은 30.5%인데 반해 각 공정을 거친 최종 RDF는 20.4%로 33%의 수분이 감소되어 고품연료 기준(함수율 30%)에 적합하였다. 또한, 가연성분도 62%에서 72%로 증가하였다(그림 6). 따라서 본 연구에 적용한 선별기술은 현행 고품

표 1. 대상폐기물과 RDF의 삼성분 함량 분석결과

구 분	삼성분 함량(%)		
	수 분	가 연분	회 분
대상폐기물	30.5	62.0	7.5
고형연료(RDF)	20.4	71.7	7.9

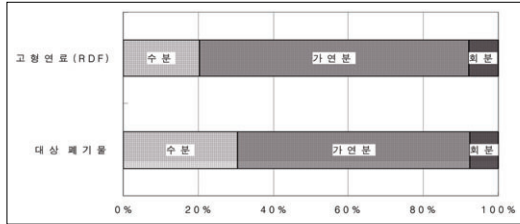


그림 6. 대상폐기물과 RDF의 삼성분 함량 비교

연료의 품질기준을 만족시킬 뿐만 아니라 고형연료의 품질향상을 위하여 적합한 폐기물 전처리기술로 평가된다.

2) 저위발열량 및 염소 함유량 평가

생활폐기물 고형연료의 품질평가를 위해 발열량과 염소농도를 각각 10회 측정하였으며 Bomb Calorimeter에 의해 측정된 발열량은 Dulong 식을 이용하여 저위발열량으로 환산하여 평가하였고 그 결과는 표 2와 같다. 저위발열량 산정결과 대상폐기물은 평균 4,628.9kcal/kg이었으며 고형연료(RDF)는 평균 5,065.0kcal/kg으로 표 3에 제시한 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에서 정한 고형연료제품의 품질 등급 2~4등급에 해당하는 것

표 2. 대상폐기물과 RDF의 저위발열량 및 염소농도 분석결과

회수	저위발열량(kcal/kg)		염소농도(%)	
	대상폐기물	고형연료(RDF)	대상폐기물	고형연료(RDF)
1	4526.8	5385.6	0.44	0.62
2	4819.6	4049.4	0.41	0.33
3	3740.0	5015.1	0.26	1.08
4	4032.3	3938.6	0.43	0.25
5	4070.1	5566.9	1.53	0.63
6	4799.3	4609.4	1.56	0.70
7	4416.1	6293.6	0.22	0.52
8	6029.4	5672.4	0.50	0.91
9	4800.7	5168.8	1.70	1.17
10	5054.7	4950.4	1.52	0.59
평균	4628.9	5065.0	0.86	0.68

표 3. 생활폐기물 고형연료제품 품질 · 등급 기준

등급	저위발열량(kcal/kg)	염소농도(%)
1등급	6,500 Kcal/kg 이상	0.5% 미만
2등급	5,500 이상 6,500Kcal 미만	0.5% 이상 1.0% 미만
3등급	4,500 이상 5,500Kcal 미만	1.0% 이상 1.5% 미만
4등급	3,500 이상 4,500Kcal 미만	1.5% 이상 2.0% 미만

으로 조사되었다. 또한 연료로 사용시 배출될 수 있는 염소농도를 측정된 결과 대상폐기물의 염소농도는 평균 0.86%인데 반해 선별기술을 거쳐 생산된 RDF의 염소농도는 평균 0.68%로 0.18% 감소되어 염소제거 효율이 약 20%이고 고형연료제품의 품질 등급도 1~3등급 수준인 것으로 나타났다.

결과적으로 본 연구에서 생산된 RDF는 고형연료 제품 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났으나, 품질등급은 저위발열량 기준 4등급, 염소농도 기준 3등급 수준인 것으로 조사되어 고품질 · 저오염 연료 제품으로 다소 미약한 것으로 판단된다. 따라서 높은 저위발열량과 낮은 염소농도를 함유하고 있는 RDF 원료 개발을 위한 기초조사로서 생활폐기물 유형별 성분평가인 저위발열량 및 염소농도 전수조사가 선행되어야 할 것으로 판단되어 이를 실시하였으며 그 결과를 다음 장에 기술하였다.

2. 생활폐기물 유형별 품질평가

1) 생활폐기물 종류별 발열량 및 염소농도

총 97종의 생활폐기물에 대한 발열량과 염소농도를 각각 250건 이상 분석하였다. 분석결과 저위발열량과 염소농도 모두 광범위한 범위에 분포하고 있어 종류별 특성을 명확하게 파악하기 위해 Box plot을 이용하여 평가하였으며, 중앙값(50 percentile)과 1사분위수(25 percentile), 3사분위수(75percentile), 최대값, 최소값을 각각 적용하였다.

분석한 모든 생활폐기물의 저위발열량은 2,100~10,696kcal/kg으로 광범위하게 분포하고 있으나 1~3사분위 범위의 유형별 저위발열량을 살펴보면 종이류는 3,060~3,608kcal/kg으로 고형연료 품질등급을 만족하지 못하는 수준인데 반해 플라스틱류는 5,946~9,888kcal/kg으로 고형연료 품질등

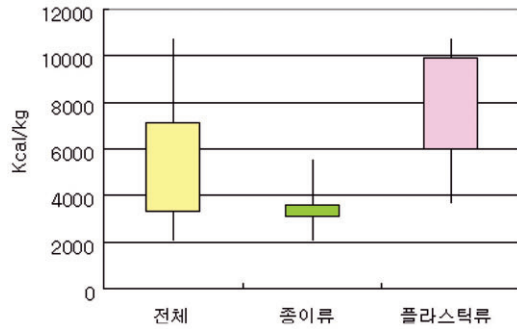


그림 7. 생활폐기물 유형별 저위발열량

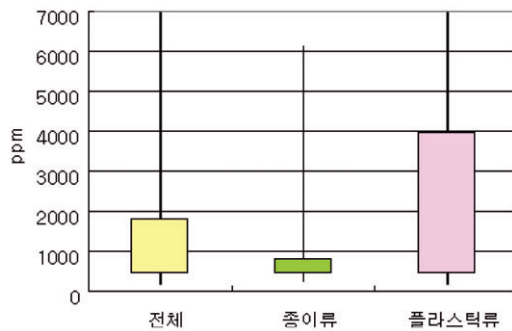


그림 8. 생활폐기물 유형별 염소농도

급 2등급 이상의 높은 발열량을 나타냈다. 각 유형별 중앙값(50 Percentile value)으로 비교하면 종이류 3,242kcal/kg, 플라스틱류 7,304kcal/kg으로 플라스틱류가 약 2.3배 높게 조사되었다(그림 7).

염소농도의 경우에도 429~455,771ppm으로 저위발열량 보다 더욱 광범위하게 분포하고 있으나 종이류의 경우 239~6,135ppm으로 고행연료 품질기준 2등급 이상을 만족하는 수준인 것으로 조사되었다(그림 8). 한편 플라스틱류는 최대치가 45%에 달하는 높은 농도를 나타내 생활폐기물을 연료화하기 위해서는 PVC와 같은 비닐류를 제거할 수 있는 선별과정 및 광학선별과 같은 전처리 기술이 선행되어야 할 것이다.

2) 고품질 RDF 생산을 위한 생활폐기물의 혼합

앞에서 살펴본 바와 같이 플라스틱류는 발열량에서 우수하나 고농도의 염소함유의 위험이 있고 종이류는 발열량은 다소 고행연료 기준에 부족하나 염소함유량이 적어 오염에 안전한 장점을 보여주고

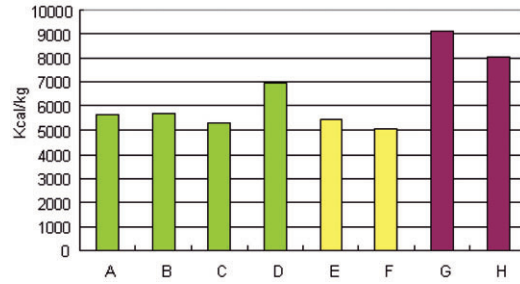


그림 9. 혼합폐기물의 저위발열량

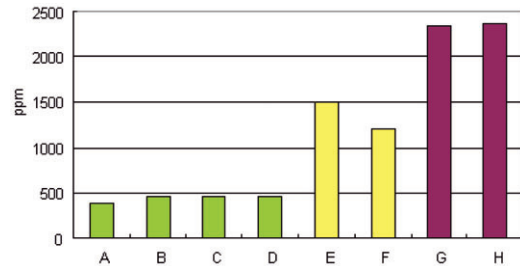


그림 10. 혼합폐기물의 염소농도

있다. 따라서 이 두 종류의 생활폐기물을 잘 선별하고 혼합한다면 고품질, 저오염의 우수한 고행연료를 생산할 수 있을 것으로 판단되어 종이류와 플라스틱류를 다양하게 혼합하여 발열량과 염소농도를 측정하였다. 혼합폐기물 총 8종에 대하여 분석하였으며 그 종류를 살펴보면 A형은 일반적으로 흔히 사용하는 비닐봉지와 휴지를 1:2로 혼합, B형은 비닐봉지와 신문지를 1:2로 혼합, C형은 비닐봉지와 복사지를 1:2로 혼합, D형은 비닐봉지와 기저귀를 1:2로 혼합, E형은 라면봉지와 휴지를 1:2로 혼합, F형은 과자포장재 중 플라스틱포장재와 종이포장재를 1:2로 혼합, G형은 종량제 봉투와 라면봉지를 1:1로 혼합, H형은 비닐봉지와 라면봉지를 1:1로 혼합하였다. 혼합폐기물의 저위발열량과 염소농도 분석 결과는 그림 9와 그림 10에 제시하였으며 저위발열량은 5,046~9,125kcal/kg으로 고행연료 품질기준 3등급 이상이고 염소농도는 385~2,375ppm으로 품질기준 1등급 이상의 우수한 RDF 재료로 평가되었다. 따라서, 생활폐기물을 잘 분리하고 선별한 후 적정하게 혼합한다면 고품질·저오염의 RDF 생산이 가능할 것으로 판단된다.

3) 분리배출 포장재의 발열량 및 염소농도

지금까지의 연구결과를 검토한 결과 현재 일반가정에서 분리배출하고 있는 각종 포장재의 경우 우수한 RDF 원료인 것으로 사료되어 명확하게 확인하고자 분리배출 포장재의 종류별 발열량과 염소농도를 분석하였다. 본 연구에 사용된 분리배출 포장재는 PET, PS, PP, HDPE, PVC 재질의 포장재 및 포장용기로서 우리 주위에서 손쉽게 볼 수 있는 과자봉지, 라면봉지, 식품용기, 우편비닐, 쇼핑비닐 등을 수집하여 분석하였다. 분석결과는 그림 11과 그림 12에 제시하였으며 저위발열량은 5,982~8,045kcal/kg, 염소농도는 214~455,771ppm으로 PVC를 제외한 모든 포장재는 저위발열량 기준 2등급 이상, 염소농도 기준 1등급 이상의 고품질·저오염 RDF 원료인 것으로 조사되었다.

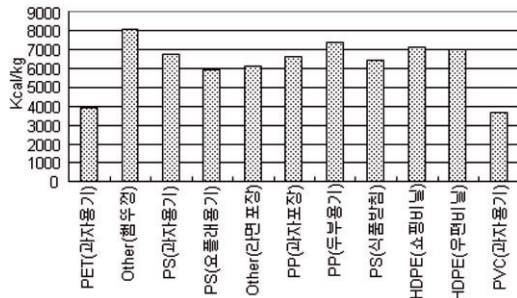


그림 11. 분리배출 포장재의 저위발열량

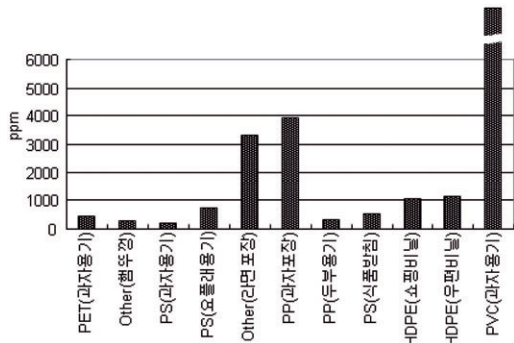


그림 12. 분리배출 포장재의 염소농도

IV. 결론

본 연구에서는 생활폐기물을 이용한 대체연료 개

발을 위해 생활폐기물의 연료화 가능성을 판단하고, 선별기술을 통해 생산한 생활폐기물 고품질연료(RDF; Refuse Derived Fuel)의 품질 및 등급을 평가하였다. 또한 가연성 생활폐기물과 분리배출 포장재에 대한 성분 분석을 통해 보다 고품질·저오염의 RDF 생산 가능성을 확인하였다. 본 연구의 세부적인 결과는 다음과 같다.

1. 가연성 생활폐기물 선별 및 RDF 생산을 위해 경사형 육각디스크 선별기술을 이용하였으며, 생활폐기물 고품질연료(RDF)의 품질 등급을 평가하기 위하여 삼성분, 저위발열량, 염소농도를 분석한 결과 삼성분 중 함수율은 20.4%로 고품질연료 기준(30%)에 적합하였고, 저위발열량은 평균 5,065(3,938.6~6,293.6)kcal/kg으로 고품질연료제품의 품질등급 2~4등급에 해당하며, 염소농도는 평균 0.68(0.25~1.17)%로 품질등급 1~3등급 수준인 것으로 평가되었다.
2. 고품질·저오염 RDF 생산을 위해 총97종의 생활폐기물 종류별 저위발열량 및 염소농도를 측정하고 저위발열량의 경우 플라스틱류가 5,946~9,888kcal/kg으로 품질등급 2등급 이상의 고품질로 나타났고, 염소농도의 경우 종이류가 239~6,135ppm으로 품질등급 2등급 이상의 저오염 원료인 것으로 조사되었다.
3. 고품질·저오염 RDF 생산을 위해 발열량이 우수한 플라스틱류와 염소농도가 낮은 종이류를 임의로 혼합한 8종의 혼합폐기물에 대하여 품질을 평가한 결과 저위발열량은 5,046~9,125kcal/kg으로 3등급 이상, 염소농도는 385~2,375ppm으로 1등급 이상으로 조사되어 플라스틱류와 종이류의 적절한 혼합을 통한 고품질·저오염 RDF의 개발 가능성을 확인하였다.
4. 현재 분리수거하고 있는 PET, PS, PP, PE, PVC, Other 등 분리배출 포장재의 연료화 가능성을 평가한 결과 염소함유량이 높은 PVC를 제외한 모든 포장재는 저위발열량 기준 2등급 이상, 염소농도 기준 1등급 이상의 고품질

연료로 전환이 가능한 것으로 평가되었다.

5. 분리배출 포장재를 포함한 폐플라스틱류의 경우 분리·배출되지만 이중 57%가 폐기되므로 분리배출 포장재의 수거체계의 전환을 통해 전량 연료화 할 경우 생활폐기물 재생연료의 품질향상은 물론이고 폐기물 발생량 저감이라는 환경적 측면에서도 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

국립환경과학원, 2007, 제3차(2006~2007년) 전국 폐기물통계조사, 17-46.
 강원도, 2007, 2007 강원통계연보, 486-490.
 정재춘 외 공저, 2004, 폐기물처리. 도서출판 동화 기술, 126-128.
 윤석표 외 공저, 2002, 폐기물 처리시설 설계를 위한 폐기물 실험방법, 신광문화사, 47-51.
 김계월, 2008, 생활폐기물의 합리적 처리 방안 연

구, 강원도보건환경연구원보, 19, 147-155.
 박영한, 2007, 폐기물을 이용한 시멘트 소성로용 대체연료 개발연구(II), 강원도보건환경연구원보, 18, 130-137.
 박충기, 2006, 폐기물을 이용한 시멘트 소성로용 대체연료 개발연구(I), 강원도보건환경연구원보, 17, 145-150.
 수도권매립지관리공사, 2006, 가연성 폐기물 고품질 연료(RDF)의 경제성 분석 및 제도 도입에 관한 연구, 3-51.
 박영한, 2001, 생활폐기물의 합리적 처리방안 연구: 시멘트 소성로를 이용한 고열 소각처리, 강원도보건환경연구원.
 ISWA, 2005, 13th European Water, Wastewater and Solid Waste Symposium Documentation, 17-41.

최종원고채택 09. 12. 27