

# 가스화로의 확장을 위한 나무와 RDF의 열중량 분석

김태현\* · 최상민\*\*

## Thermogravimetric Analysis of Wood and RDF for application to Gasification

Tae-Hyun Kim\*, Sangmin Choi\*\*

### ABSTRACT

Gasification and melting method is one of the most potential means for waste treatment process with low emission of fly ash or heavy metal, dioxin and high possibility of using slags as resources. Moisture contents influences directly a gasification characteristics of waste. So it is necessary to investigate the effect of moisture contents in gasification. But it is hard to consider the effect of moisture contents, using samples of powder form of Milligram's order in existing thermogravimetric analyser. Therefore, we made a thermogravimetric analysis device to applicate samples of Gram's order. Gasification characteristics are typically reported with result from thermogravimetric analysis date for wood and RDF samples along with changing moisture contents. It is discussed the way to apply these analysis results to gasification and melting furnace.

**Key Words** : Wood, RDF, Moisture content, TGA, Pyrolysis, Gasification

### 기 호 설 명

MSW Municipal solid waste  
RDF Refuse derived fuel

DTG Derivative Thermogravimetry  
TGA Thermogravimetric Analysis

### 1. 서 론

2004년 환경부 통계에 따르면 국내 폐기물 처리 방법 중 매립의 경우 지난 5년간 52%에서 36%로 감소하였다. 이는 국내의 폐기물 처리 방법 중에서 열적 처리 방법이 점점 더 중요해져야 함을 알 수 있다. 하지만 국내 폐기물 처리 관련 소각 시설 통계에 따르면 99년 8월 이후로 소형

소각로의 신규설치 금지와 2006년 1월 1일부터 강화된 다이옥신 배출 기준 적용 예정에 따라 전년도 시설 수 4,937에서 3,711개로 급격한 감소를 보였다. 기존 소각의 문제점인 다이옥신 발생과 중금속 배출 등의 문제로 소각 시설은 줄어들고 있지만, 이러한 기존의 소각 시설을 대체할 만한 신기술 개념으로 알려지고 있는 열분해(가스화) 용융방식에 관한 관심이 증대되고 있다. 가스화로 설계에 있어서 온도 변화에 따른 연료 성상은 친환경적인 측면에서나 경제적인 측면에서 매우 중요한 설계 인자이다. 기본적으로 연료의 가스화 특성은 온도, 폐기물과 산소량의 비 등과 같은 운전 인자들과 수분함량, 입자크기, 기계적 강

\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\* 한국과학기술원 기계공학과

† 연락처, smchoi@kaist.ac.kr

도와 같은 연료 성상의 영향을 받게 된다. 운전 조건에 관련한 많은 연구가 이루어져있으며 또한 다양한 고체 폐기물에 대해서 열중량 분석을 이용한 많은 연구가 이루어져왔다. 하지만 수분함량의 변화에 따른 연료의 가스화 특성에 관한 연구는 아직 미미한 상황이다. 국내의 생활폐기물 발생량은 하루 35,142톤이며 이중 음식물, 채소류의 구성비가 32.6%로 가장 높은 수치를 차지하고 있다. 이러한 생활폐기물의 특성상 수분함량에 따른 열분해 특성을 알아보는 것은 가스화로 설계에 매우 중요할 것으로 생각된다.

기존의 열중량 분석에서는 수 mg단위의 분말형태의 시료를 사용함으로써 수분함량을 고려하기가 힘든 장치였다. 그래서 본 연구에서는 수 g 단위의 시료를 대상으로 열중량 분석 장치를 제작하여 사용하였다. 나무와 RDF에 대해 연료의 수분함량을 조절하여 열중량 분석과 시차 열중량 분석을 통하여 수분함량에 따른 시간지연 및 열분해 속도에 미치는 영향을 알아보고, 이를 가스화로에 어떻게 적용 시킬지에 대한 방안을 모색하고자 한다.

## 2. 실험 재료 및 방법

### 2.1 대상 시료

실험에 사용한 대상 시료로는 나무와 RDF를 사용하였다. 나무는 각 변의 길이가 2cm의 정육면체의 모양으로 수분함량에 따른 변화를 주어 사용하였다. RDF는 지름이 2cm이고 높이가 2cm인 원통형 모양의 샘플을 사용하였다.

수분을 제외한 건 기준으로 분석 결과를 표시하였다. 실험에 사용한 나무와 RDF의 원소 분석 및 공업 분석 결과를 Table 1. 에 나타내었다.

Table 1. 나무와 RDF의 원소분석 및 공업분석

		나무	RDF
공업분석	휘발분	87.1	77.4
	고정탄소	12.9	11.4
	회분	>.01	11.2
원소분석	C	47.7	51.8
	H	6.5	8.2
	O	45.7	28.1
	N	>.01	0.7
	S	>.01	>.01

### 2.2 실험장치

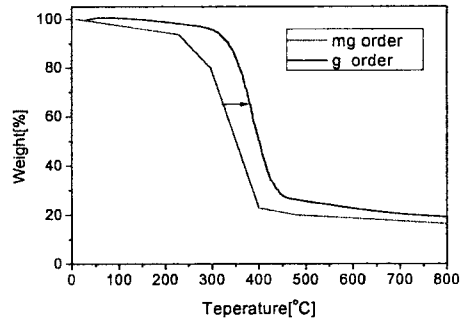


Figure 1. 기존 수 mg 단위의 열중량 분석(from reference[2]) 수 g 단위의 열중량 분석 비교

기존의 열중량 분석기는 열전달을 원활히 하기 위하여 1mm 이하로 조제하고 완전 건조된 시료를 대상으로 중량 변화를 측정하게 된다. 이렇게 작은 시료의 경우 수분의 영향을 알아내기에는 너무나 짧은 시간이 걸리므로 확인하기가 어려워진다. Figure 1.에서 이 수 mg 단위의 열중량 분석과 수 g 단위의 열중량 분석 결과를 비교해보았다. 시료는 건조 상태였으며 수행한 결과 커진 입자의 크기로 기존 열중량 분석의 자료보다 더 높은 온도 영역에서 열분해가 이루어진 모습을 볼 수 있다. 입자의 크기가 커져도 경향을 유지 하는 것으로 보아 특성 평가에는 무리가 없다고 판단된다.

Figure 2. 에서는 열중량 분석기의 개략도를 나타내었다. furnace, 온도 조절 장치, mass flow controller가 있고 측정부분에는 가스 분석기, 저울, K-type 열전대가 있다. 그리고 측정부분에는 저울과 data acquisition system이 있다. furnace의 중앙에는 연료를 올려놓는 stainless steel대 위에 알루미늄 재질의 시료 용기가 위치한다.

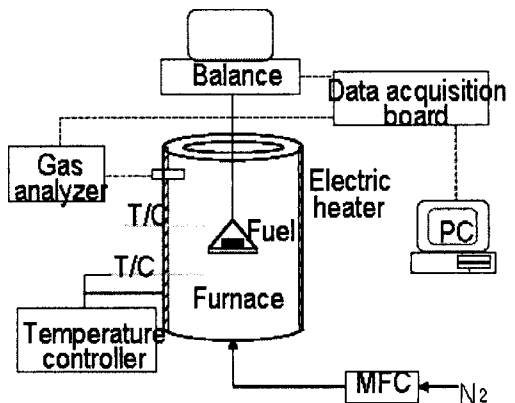


Figure 2. 열중량 분석 실험장치 구성

### 2.3 실험방법

본 실험에서는 나무 입자와 RDF 대해서 수분 함량을 변화시켜 가면서 열중량 분석을 수행하였다. 분위기 가스로는 질소가스를 사용하여 순수 열분해 특성 볼 수 있도록 했으며, 샘플은 수분 영향을 확인하기 위해 기존의 열전달을 최소화하기 위해 분말 형태의 완전 건조된 시료가 아닌 각 변의 길이가 2cm 인 정육면체 모양의 나무 입자와 지름이 2cm 이고 높이가 2cm인 원통형 모양의 RDF를 사용하였다. 0%의 대상 시료는 먼저 107℃에서 5시간 건조 후 사용하였고, 수분은 107℃에서 1시간 가열하였을 때 감소된 양을 측정하여 결정하였다. 실험 조건은 Table 2. 에 나타내었다.

Table 2. Experimental condition for TGA

항목	Condition
온도 범위	실온~800℃
승온 조건	25℃/min
수분변화(나무)	0% ~ 38%
수분변화(RDF)	0% ~ 30%
분위기 가스	N <sub>2</sub>
가스 주입량	4L/min
Sample 무게	나무:4g , RDF : 9g

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 나무 입자 실험

Figure 3. 에는 무산소 분위기에서 나무의 수분함량에 따른 온도 상승에 따른 질량 변화를 보여주는 TGA 선도와 Figure 4. 에서는 질량의 시간에 따른 변화율을 DTG 선도로 나타내었다. 먼저 TGA 선도의 경우 수분함량이 0%인 경우 약 300℃에서 430℃ 까지 약 70%의 중량 감소가 일어난다. 하지만 수분이 증가할 경우에 100℃부근부터 수분의 증발이 일어나게 되어 초기의 중량 감소를 보임을 알 수 있었다. 탈휘발이 끝나고 전이 되는 구간이 0%일 때는 430℃였던 것이 24%일 경우에 약 460℃, 38%인 경우에는 약 530℃ 인 것을 확인 할 수 있었다. 최대 약 100℃의 차이를 볼 수 있었다.수분함량 0%가 아닌 시료에서 DTG 피크가 0%일 때의 피크와 비교할 때 저온 영역에 위치하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 수분함량의 영향으로 더 빠르게 중량감소가 일어나는 것을 의미한다. 하지만 열분해가

최고조로 이뤄지는 순간에서의 피크는 점점 높은 온도 영역에서 이뤄지고 있음을 알 수 있었다. 또한 탈휘발이 종료되는 되는 시점이 수분함량이 증가함에 따라 점점 더 높은 온도 영역에서 나타나고 있음을 볼 수 있었다. 이는 나무 입자 내의 온도 상승률 둔화로 인해 탈휘발이 끝나고 전이 되는 영역과 탈휘발 종료되는 영역이 수분함량이 증가함에 따라 지연되어 더 높은 온도영역에서 이루어짐을 확인 할 수 있었다.

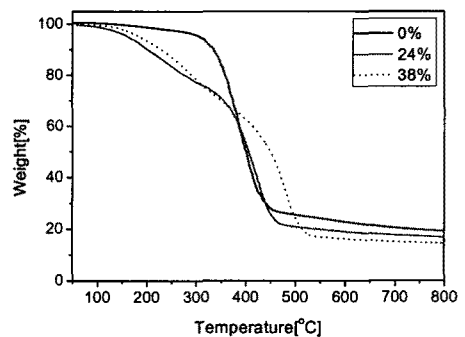


Figure 3. TGA of Wood

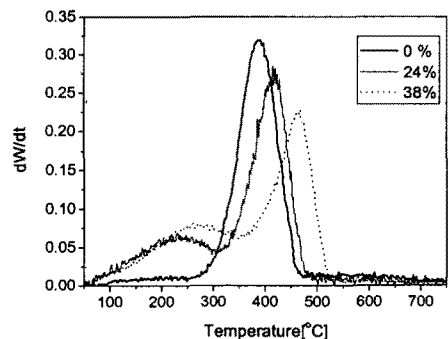


Figure 4. DTG of Wood

### 3.2 RDF 실험

앞서 나무 입자 실험과 마찬가지로 Figure 5. 에는 무산소 분위기에서 RDF의 수분함량에 따른 온도 상승에 따른 질량 변화를 보여주는 TGA 선도와 Figure 6. 에서는 질량의 시간에 따른 변화율을 나타내는 DTG 선도로 나타내었다. 먼저 TG 선도의 경우 수분함량이 0%인 경우 약 300℃에서 600℃에서 60%의 중량 감소가 일어난다. 나무와는 달리 RDF의 경우 잔류물이 더 많이 남는 것을 확인 할 수 있다. 수분함량이 중

가할 경우에 100°C 부근부터 수분의 증발이 일어나게 되어 초기의 중량감소를 확인할 수 있었다. 탈휘발이 끝나고 화의 영역으로 전이 되는 구간이 0%일 때는 600°C이었던 것이 15%일 경우에 약 650°C, 30%인 경우에는 약 650°C 인 것을 확인할 수 있었다. 특이할 만한 것은 수분함량이 따른 더 이상의 지연 효과를 볼 수 없었던 것이다. 이는 수분함량을 높이는 과정에서 RDF의 기계적 강도가 약해서 온도가 올라가던 도중에 분해 되었을 것이라고 추정하고 있다.

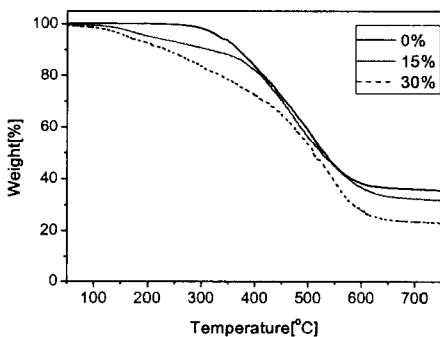


Figure 5. TGA of RDF

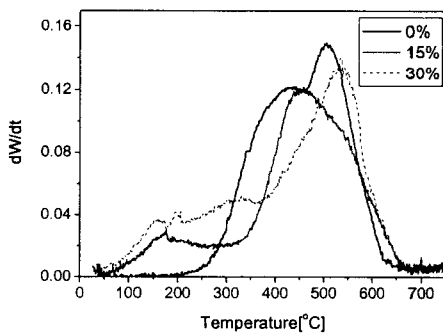


Figure 6. DTG of RDF

#### 4. 결론

수 g 단위의 열중량 분석기를 이용하여 나무와 RDF를 이용하여 가스화로의 확장을 위한 열중량 분석을 수행하였다. 수분함량의 영향으로 입자의 온도 증가율이 둔화되어 탈휘발 종료까지 걸리는 시간을 지연시키고, 열분해의 탈휘발이

가장 활발하게 일어나는 영역 즉, 피크점이 고온 영역으로 이동하는 확인하였다. 또한 수분증발로 인한 초기 중량 감소를 보인다. 열분해 완료 시점의 경우 나무는 수분함량 증가에 따라 고온 영역으로 옮겨가지만 RDF는 수분량이 증가해도 입자의 크기나 강도의 영향으로 이동 정도가 크지 않았다.

일반적인 고체 폐기물의 경우 500°C 이하에서 열분해가 완료되지만 수분함량 증가에 따라 완료 온도가 그 이상이 됨을 확인할 수 있었다. RDF의 경우 약 700°C 이상에서 가스화로 작동 온도 조건을 설정해야 충분한 합성 가스를 얻을 것으로 예상된다. 하지만 이러한 기초 정보를 직접적으로 가스화소에 적용하기에는 정략적인 파악은 힘들었다. 이를 위해 덩어리 연료의 가스화 특성 파악을 위한 실험실 규모의 가스화에서의 실험 분석이 추가로 이루어져야 할 것으로 보인다.

#### 후 기

본 연구는 연소기술 연구센터(CERC)와 Brain Korea21의 지원으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부, 2005.
- [2] Gi Bang Lee, Won yan, Tae-U Yu, Keum Ha Jeon " Pyrolysis Characteristic and pollutant behaviors of various wastes at constant temperatures", proceeding of the 4th i-CIPEC, pp.141-144,2006.
- [3] 김현자, 임성택, 동종인, 강경희, 서성석, 이숙희 "혼합폐기물의 열적 분해 특성에 미치는 공정 변수 영향 연구," 2001년도 추계학술연구발표회 논문집, 단일호, pp.23-27,2001.
- [4] 양원, 최진환, 최상민, "하수 슬러지의 연료특성 파악을 위한 기초분석", 대한환경공학회지, vol.23, No.1, pp.51-59, 2001
- [5] 진홍중, 고체 연료의 고온 공기 연소 특성에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, 2003.
- [6] 이상득, 유동층 연소로에서 고체연료의 혼합 연소 특성에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, 2002.