

# 열중량 분석기를 이용한 SRF 및 산업폐기물 반응속도 연구

이건주<sup>1)</sup>

## The Reaction Kinetic Study of SRF and Industrial Waste Using TGA (Thermo Gravimetric Analysis)

Keon Joo Lee

Received 11 February 2015 Revised 6 March 2015 Accepted 6 March 2015

**ABSTRACT** In this study, physico-chemical analysis and thermal weight loss were studied to analysis the kinetic study of industrial waste and SRF for increasing the efficiency of waste to energy. In the three component of the wastes the combustible content was 74.12% and the moisture content was 5.55%. And the results of the elemental analysis of the chemical characteristic of all five samples, the carbon component of waste wood, wood pellets, SRF was 50.2% followed by the oxygen component followed by about 31.7% and waste plastic has showed much higher levels than the other components in the carbon content of about 79.2%.

When the weight loss of wastes were studied the weight decreased steadily as increase the temperature and the weight loss rapidly decrease in the range of 300°C ~ 500°C.

The High Heating value of the waste wood was 5,214.4 kcal / kg, and the low heating value was 4,878.9 kcal / kg. The High Heating value of SRF was 3,121 kcal / kg, and the low heating value was 2,435 kcal / kg. It can be thought that the SRF and waste wood can be used to energy.

Analysis of the activation energy of the wastes showed that the activation energy of the waste plastic is the highest in 39.42 kcal / gmol, the activation energy of the SRF showed the lowest value in 14.12768 kcal / gmol.

**Key words** TGA(열중량분석), Kinetic(반응속도), Activation energy(활성화에너지), Heating value(발열량), Combustion(연소)

### Nomenclature

R : ideal gas constant

E : activation energy, Kcal/gmol

A : frequency factor

### 1. 서론

국가경제가 발전에 기본적 요소가 되는 에너지자원의 확

보는 어느 국가를 막론하고 가장 중대한 관심사의 하나가 되고 있다. 또한 에너지문제는 환경문제와도 밀접한 관계를 가지고 있으며 전세계가 공동으로 해결해야하는 큰 문제이기도 하다.

우리나라의 경우 신재생에너지는 '신재생에너지개발 및 이용보급촉진법'에서 '태양에너지, 바이오에너지, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄을 액화 가스화한 에너지, 해양에너지, 폐기물에너지, 기타 대통령령으로 정하는 에너지'로 정의하고 있다. 전 세계적으로 인구 25위인 우리나라가 쓰는 에너지 소비량은 세계 10위 수준(2003년 기준)이며 우리나라의 경우 대부분(96.9%)의 에너지를 수입하여 충당하고

1) 상지대학교 환경공학과 E-mail: kjoolee@sangji.ac.kr  
Tel: +82-33-730-0447 Fax: +82-33-730-0403

있으며 석탄이나 수력과 같은 에너지가 국내에서 생산되기는 하나, 이는 전체 에너지 공급량의 3.1%정도에 지나지 않을 정도로 극히 미미한 정도이다. 전체 에너지 수입량 중에서 석유가 47.3%로 절반을 차지하며, 석탄 24.1%, 원자력 15.3%, 천연가스 13.3% 순으로 석유에 대한 의존도는 줄어들고 있으나 여전히 석유에 대한 에너지 의존도가 매우 높으며, 중동지역 석유 수입에 절대적으로 의존하고 있는 상황이다. 연일 고유가 행진이 이루어지고 있는 현재 '에너지 안보'란 차원에서 석유에 대한 의존도를 줄이고 새로운 대체에너지 개발이 필수적이다.

기존 신재생에너지들 중 폐기물 에너지는 국내에서 많은 부분을 차지하고 있으며 신재생에너지 공급에 절대적인 기여를 하고 있는 것으로 나타났다. 아직도 70% 이상의 폐기물에너지가 잠재된 것으로 추정되므로 폐기물에너지의 적극적인 활용을 위해서는 철저한 가연성 폐기물에너지의 회수가 필요한데 아직까지도 70% 이상이 단순 소각이나 매립되고 있고, 특히 중소도시에서 발생하는 가연성폐기물은 소량이므로 안정적 공급과 수요처 확보가 어렵고 따라서 많은 중소지자체가 단순 소각이나 매립처리로 폐기물에너지를 낭비하고 있다. 그러나 주변의 중소도시에서 자체의 가연성폐기물을 수송과 저장이 용이하며 석탄과 비슷한 열량을 지닌 폐기물 고형연료(Solid Refuse Fuel, 이하 SRF)로 만들어서 대형의 에너지 수요처로 이송하여 연료로 사용하면 폐기물에너지 회수를 극대화 할 수 있다. 한편, 폐기물은 처리 측면에서 보면 환경문제와도 관계가 있으므로 반드시 '환경 친화적인 폐기물에너지 회수'가 가능한 기술을 개발하여 보급하는 것이 필요하다. 선진국에서는 이미 SRF기술을 이용하여 환경보전 효과를 기대하면서 대체에너지를 확보하는 이중의 효과를 얻고 있다.<sup>1-7)</sup>

고분자 폐기물을 석탄과 유사한 발열량을 보이는 RPF(Refuse Plastic Fuel)로 만들어 보조연료로 사용하면 경제적, 환경적 및 에너지 차원에서 많은 이득을 볼 수 있다. 그러나 폐플라스틱은 소각할 때 불완전 연소와 국부적 연소에 따른 매연과 유독성 가스의 발생이 심하고 높은 발열량과 부식성 가스의 발생에 의해 소각로의 수명이 크게 단축되는 등 소각처리에 있어서 많은 어려움과 제약이 따르고 있다. 그러므로 아직 해결되어야 할 문제들이 많이 남아 있는 실정이며 폐플라스틱의 연소에 관한 속도론적 연구는

보다 상세한 열적흐름기동뿐만 아니라 정확한 연소로의 성능 평가에 반드시 필요한 부분이다. 특히 RPF가 보조 연료로서 사용되는 연소로를 제작하고 유지하기 위해서는 이들에 대한 열적 특성 연구가 반드시 선행되어야 한다. 그러나 현재까지 고분자 물질의 속도론적 연구는 대부분 산소를 배제한 질소분위기에서의 열분해에 대하여 수행되어 왔으며 산소분위기에서의 연구는 매우 미비한 상황이다.<sup>8-10)</sup>

따라서, 본 연구는 여러 종류의 고형폐기물연료와 산업폐기물을 가지고 연소실험을 하여 각 반응 특성과 속도를 비등온 실험 및 등온 조건으로 좌 연소 실험을 수행하여 열중량 분석법으로 해석하여 연소 반응 속도를 계산할 수 있는 활성화에너지 등을 구한다. 또한 고체상의 반응 특성을 고찰하여 고형폐기물연료의 반응 메커니즘을 판단함으로써 연료 투입량 및 전환율에 대한 데이터를 바탕으로 비교 연구하여 폐기물 고형화 연료 연구에 대한 기초 연구 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험 및 분석방법

### 2.1 조사 항목

각 연료별 준비한 시료는 성분별, 삼성분(수분, 가연분, 회분), 원소조성, 발열량, 연소속도 등을 조사 항목으로 선정하였다. 그러므로 시료별 폐기물특성 조사를 위해서 조사 대상을 가연성 생활폐기물을 사용해 제조한 고형연료제품(SRF), 폐목재를 사용해 제조한 고형연료제품 목재 펠릿, 폐고무, 폐목재, 폐비닐 등 5가지로 분류하고 선정하고 실험하였다. 삼성분 분석, 원소분석 및 발열량 분석과정은 Fig. 1에 설명하였다.<sup>11)</sup>

### 2.2 화학적 조성 분석

폐기물의 화학적 조성, 즉, 원소조성은 폐기물의 성분을 추정할 뿐만 아니라, 연소용 공기의 물질수지를 계산하는데 중요한 자료가 된다. 이들 값으로 연소 공기량 및 연소 가스 생성량과 시료의 조성 성분을 추산할 수 있으며 산출고위 발열량 계산에도 이용된다. 폐기물은 건조기(Dry oven)에서 105°C, 2시간 이상 건조시켜 파쇄기를 이용하여 화학적 조성 분석에 이용한다. 이 연구에서 원소분석기 EA-1110

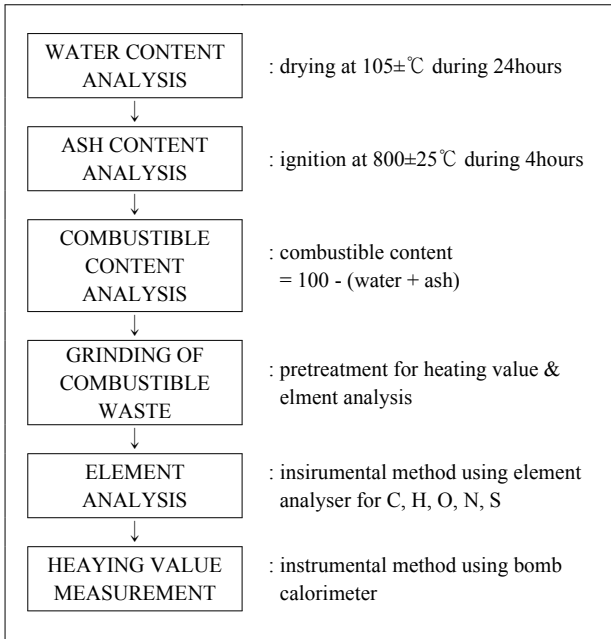


Fig. 1. The experimental procedure of physical chemical characteristic

(제작사-CE Instruments)을 사용하여 C, H, O, N, S를 분석하였다.

### 2.3 발열량

발열량이란 상온·상압의 연료와 그 연료와 같은 온도의 공기와의 혼합물이 완전 연소하여 그 때의 연소 생성물이 최초의 온도 까지 냉각되면서 외부에 방출하는 열량을 말한다. 폐기물의 소각을 통한 열 회수 시설의 설계를 위하여 가장 중요한 폐기물의 성질이 발열량이다. 각 시료의 파쇄한 각 성분의 시료를 일정량 채취하여 LECO AC-300을 이용하여 측정하였다. 산출과위발열량은 원소분석기의 결과를 바탕으로 식 (1)을 이용하고, 습식 저위 발열량은 식 (2), 건식 저위 발열량은 식 (3)으로 계산하였다.

$$\begin{aligned} & \text{산출고위발열량(Kcal/kg)} \\ & = 8100C + 34000(H - O/8) + 2500S \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{습식 저위 발열량(Kcal/kg)} \\ & = \text{고위 발열량} * \text{가연분} - 600(9H + \text{수분}\%/100) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \text{건식 저위 발열량(kcal/kg)} \\ & = \text{고위 발열량} - 600(9H + \text{수분}\%/100) \end{aligned} \quad (3)$$

### 2.4 열중량 감량

열중량감량분석(Thermogravimetric analysis, TGA)에 의한 온도-무게 변화량의 곡선으로부터 시료의 열 변화 상태를 알고 정성 및 정량 분석을 가능하게 한다. 또한 이 온도-무게 변화량의 곡선은 사용한 시료의 열안정성(thermal stability) 및 물질의 구성비 등을 나타내고 가열 중에 생긴 중간체의 열적 성질도 나타내주며 가열이 끝났을 때 나온 찌꺼기의 양도 알 수 있게 해준다. 열중량 감량 실험 과정은 Fig. 2에 설명하였다.

일반적으로 고체 가연성 물질의 TGA에서의 연소 반응(건조, 탈휘발 및 착연소) 단계는  $A_{solid} \rightarrow B_{solid} + G_{CO2}$ (연소)로 나타낼 수 있다. 여기서  $A_{solid}$ 은 초기 시료이고,  $A_{solid}$ 가 소멸되면서 발생한 결과물이  $C_{moisture}$ ,  $E_{volatile}$ ,  $F_{ash}$  및  $G_{CO2}$ 이다. 이때 열중량 분석기에서 전환율은 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$X = \frac{W_0 - W_t}{W_0 - W_\infty} \quad (4)$$

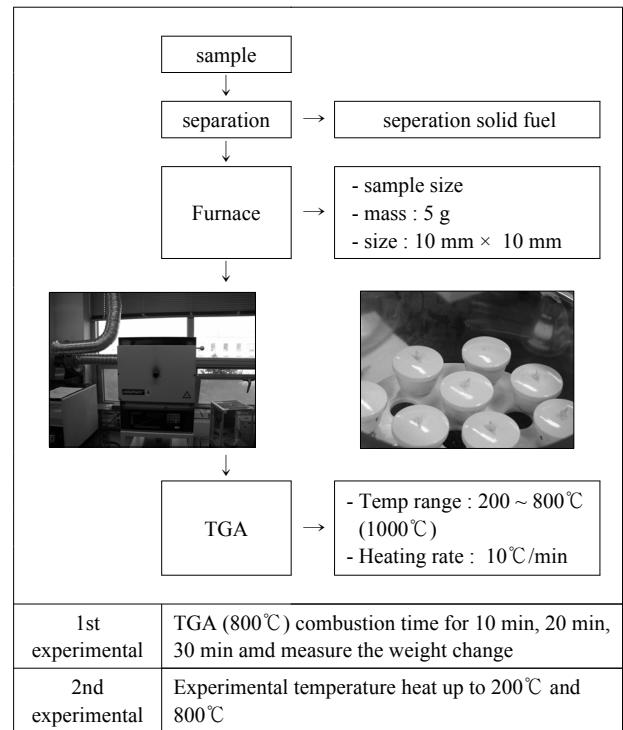


Fig. 2. The Experimental procedure of Thermo gravimetric analysis

여기서 X는 종합반응의 전환율을 나타내며,  $W_0$ ,  $W_t$ ,  $W_\infty$ 는 초기시료 무게, 반응 중 시료 무게, 반응 후 시료 무게를 나타낸다.

연소 동역학 기본 모델은 식 (5)로 나타낼 수 있다. 일반적으로 시간에 따른 전환율 변화( $dX/dt$ )는 열분해 반응 기작에 의존하는 X의 함수인  $f(X)$ 와 속도상수(k)에 관계한다.<sup>14)</sup>

$$\frac{dX}{dt} = kf(X) \tag{5}$$

이때 속도상수 k의 온도의존성은 Arrhenius 표현으로 다음과 같이 표현된다.

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \tag{6}$$

여기서 A는 반응속도 상수의 빈도인자, E는 활성화 에너지, R은 기체상수와 T는 절대온도이다. 식 (6)과 식 (5)를 결합하면 다음의 식 (7)을 얻을 수 있으며, 이 식을 기본으

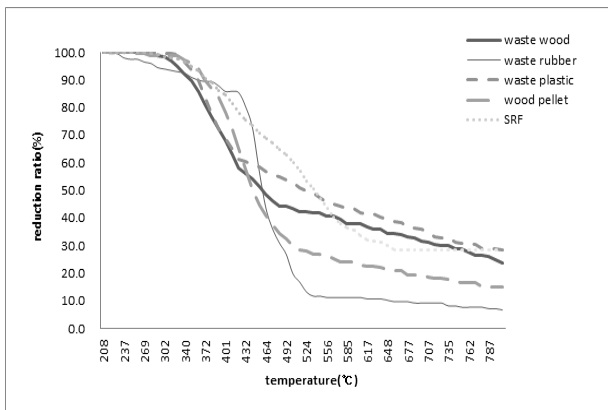


Fig. 3. Thermo gravimetric analysis of waste and SRF

Table 3. The Heating Value unit (Kcal/Kg)

sample	Heating value (Kcal/Kg)	
	High heating value (Hh)	Low heating value (Hl)
waste wood	5214,4	4878,9
waste rubber	9065	8108
waste plastic	7839	6491,5
wood pellet	3310	2631
SRF	3121	2435

로 TGA 실험결과를 이용하여 반응속도 분석을 하게 된다.

$$\frac{dX}{dt} = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) f(X) \tag{7}$$

본 연구에서는 식 (7)을 기반으로 하여 활성화 에너지와 반응빈도인자 및 반응 차수 등을 구할 수 있으며 산업폐기물 및 SRF 시료의 열중량 반응 분석을 수행하였다.<sup>12-15)</sup>

### 3. 실험 결과

#### 3.1 산업폐기물 및 SRF 의 삼성분

산업폐기물 및 SRF의 삼성분 값을 Table 1에 나타 내었다.

Table 1을 보면 폐목재의 경우는 수분이 10.84%로 타시료보다 월등히 수분이 높게 나타났고 그 반대로 가연분은 65.61%로 대체로 낮은 수치를 보였다. 폐고무는 5가지의 시료중 가연분이 가장 높기 때문에 가연성 또한 높다는 것을 알 수 있다. 폐플라스틱 수분이 0.75%로 가장 낮은 수치를 보인데 반해 회분의 수치가 28.05%로 높게 나타났다. 우드펠릿은 폐목재와 수분의 수치가 비슷하게 나왔으며 SRF는 모든 시료중 회분은 가장 높고 가연분은 가장 낮은 수치를 보였다.

Table 1. Three component of Industrial waste and SRF (unit %)

	moisture	Ash	Combustion	total
waste wood	10,84	23,55	65,61	100
waste rubber	1,15	6,62	92,23	100
waste plastic	0,75	28,05	71,20	100
wood pellet	8,18	14,82	77,00	100
SRF	6,84	28,60	64,56	100

Table 2. The chemical Analysis (unit %)

sample	Chemical Analysis (%)				
	C	H	O	N	S
waste wood	51,46	6,54	23,10	0,48	0,00
waste rubber	81,1	8,17	6,92	2,38	1,43
waste plastic	77,35	13,54	3,61	0,25	0,00
wood pellet	50,87	5,87	40,48	0,28	0,09
SRF	51,26	6,72	29,50	0,75	0,02

### 3.2 산업폐기물 및 SRF의 화학적 조성 및 발열량

화학적 조성 가운데 원소 분석치는 소각시에 공급공기량과 연소 가스량을 계산할 수 있으며, 연소가스중의 오염물질의 농도를 추정하여 팬, 덕트, 대기 오염 방지시설 등의 설계를 위한 기본 자료를 제공하는 중요한 요소이다. 또한, 발열량을 구할 때 원소 조성을 대입함으로써 더욱 정확한 데이터를 구할 수 있다. 원소 조성은 폐기물의 질을 추측할 수 있게 해준다. 일반적으로 화학적 원소 중 탄소와 수소의 함량이 높을수록 폐기물의 성상이 고질이라고 말할 수 있다.

각 시료의 화학적 조성 중 원소분석을 한 결과를 Table 2에 나타내었다. 폐목재, 우드펠릿, SDF는 평균적으로 탄소성분이 50.2%로 가장 많은 비중을 차지하고 산소성분이 약 31.7%로 그 뒤를 이은 데에 반해 폐고무와 폐플라스틱류는 탄소성분이 약 79.2%로 타 성분보다 월등히 높은 수치를 보였다.

각 시료의 원소분석 결과를 토대로 고위발열량과 저위발열량을 측정해본 결과를 Table 3에 나타내었다. 그 결과, 폐고무 및 폐플라스틱이 발열량이 높게 나타났고 SRF가 가장 낮은 수치를 보였다. 실험결과 대부분의 산업폐기물과 SRF는 충분한 발열량을 갖고 있어서 폐기물 에너지로서의 충분한 가치를 가지고 있는 것으로 사료된다.

Fig. 3에서는 폐기물 고형연료와 산업폐기물을 열중량감량 분석 방법을 이용하여 최저온도 200°C를 시작으로 최대온도 800°C까지 60분 동안 1분 간격으로 온도가 상승할 때 생기는 감소량을 분석하여 그래프로 나타내었다. 폐목재의 경우 200°C~800°C 열중량감량을 분석한 결과 350°C~454°C의 온도 구간에서 무게가 감소되었고 최대변화 온도는 401°C로 나타났다. 또한, 500°C~800°C의 구간에서는 중량감소폭이 미미했다. 폐비닐 경우에는 200°C~800°C 열중량감량을 분석한 결과 337°C~433°C의 온도 구간에서 무게가 감소되었고 최대변화 온도는 390°C로 나타났다. 또한, 430°C~800°C의 구간에서는 중량감소폭이 미미하였다. 목재 펠릿 경우에는 351°C~454°C의 온도 구간에서 무게가 감소되었고 최대변화 온도는 443°C로 나타났다. 또한, 520°C~800°C의 구간에서는 중량감소가 거의 없었다.

### 3.4 산업폐기물 및 SRF의 활성화 에너지

폐목재, 폐플라스틱, 우드펠릿 SRF 등의 활성화 에너지

를 구하기 위하여 Arrhenius Plot을 작성하였으며 Fig. 4에서 Fig. 7에서 보여주고 있다. Fig. 4에서 폐목재의 활성화 에너지 기울기 10°C/min에서 각각 5가지의 포인트를 지정하여 나타내었다. 여기서 각각의 포인트는 269°C, 302°C, 340°C, 361°C, 401°C이고 -7.1176, -7.26788, -7.74331, -8.57622, -9.78019의 값을 가진다. 그리고 이 포인트들의 추세선의 기울기를 통해 15.091kcal/mol이라는 활성화 에너지 값을 계산하였다. 같은 조건으로 폐플라스틱의 활성화 에너지 기울기 10°C/min에서 각각 5가지의 포인트를 지정하여 나타내었다. 여기서 각각의 포인트는 326°C, 337°C, 359°C, 370°C, 380°C이고 -6.93765, -7.12689, -7.44274, -8.29004, -9.89948의 값을 가진다. 그리고 이 포인트들의 추세선의 기울기를 통해 39.42388kcal/mol이라는 활성화 에너지 값을 알 수 있다. 우드펠릿의 활성화 에너지 기울기 10°C/min에서 각각 5가지의 포인트를 지정하여 나타내었다. 여기서 각각의 포인트는 340°C, 361°C, 400°C, 411°C, 443°C이고 -6.82655, -6.7465, -6.91356, -7.42438,

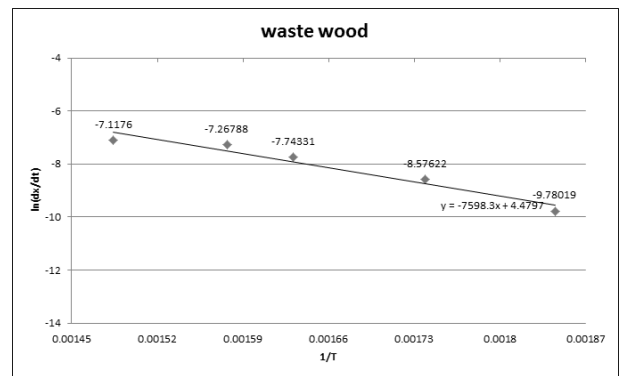


Fig. 4. Arrhenius Plot of waste wood

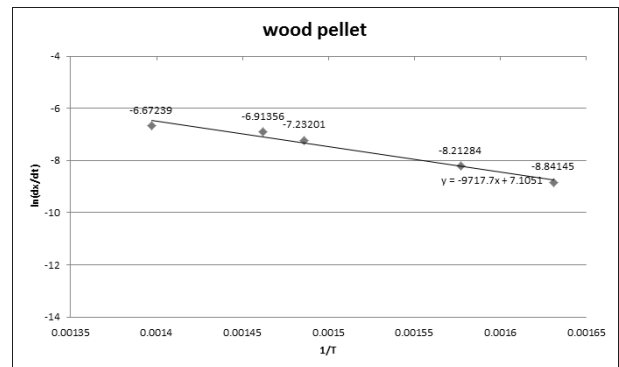


Fig. 5. Arrhenius Plot of Wood Pellet

-8.43598의 값을 가진다. 그리고 이 포인트들의 추세선의 기울기를 통해 19.30026kcal/gmol의 활성화 에너지 값을 알 수 있다.

SRF의 활성화 에너지 기울기 10°C/min에서 각각 5가지의 포인트를 지정하여 나타내었다. 여기서 각각의 포인트는 315°C, 337°C, 360°C, 380°C, 422°C이고 -7.53262, -7.84278, -7.71495, -7.79833, -8.44891의 값을 가진다. 그리고 이 포인트들의 추세선의 기울기를 통해 14.12768

kcal/gmol이라는 활성화 에너지 값을 알 수 있다.

Fig. 8은 폐목재의 승온속도에 따른 기울기를 나타낸 것으로 10°C/min은 400°C에 0.8의 반응이 나타났고 20°C/min은 460°C에서 0.9의 반응이 나타났고 30°C/min에서는 440°C에서 1.1의 반응이 나타났다. 폐목재 경우 승온온도를 30°C/min 경우 440°C에서 460°C 온도범위에서 연소반응이 활발히 일어나는 것을 알 수 있었다.

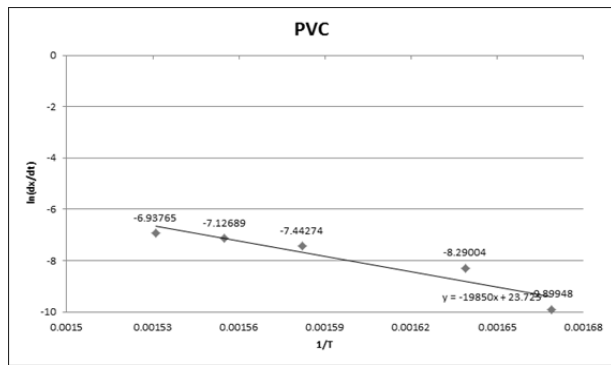


Fig. 6. Arrhenius Plot of waste plastic

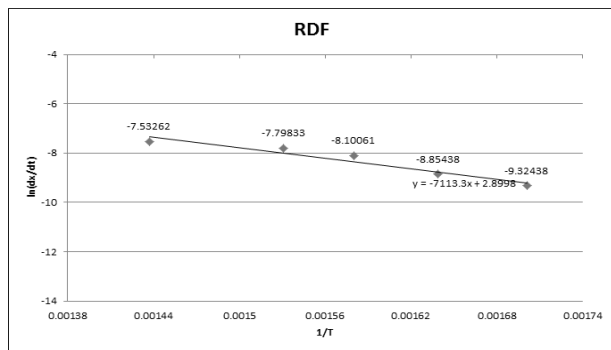


Fig. 7. Arrhenius Plot of SRF

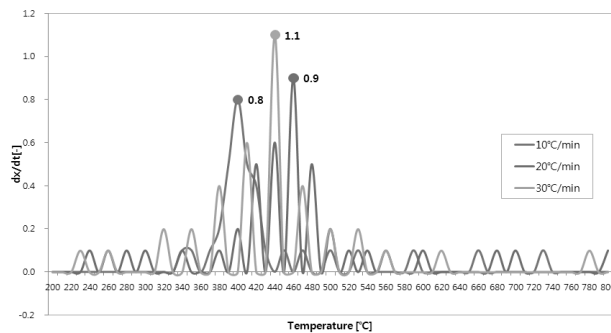


Fig. 8. The kinetic of waste wood for different heating rate

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 SDF와 우드펠릿, 그리고 폐목재, 폐고무, 폐플라스틱 각각 폐기물로 반응속도를 분석하기 위해 열중량 감량 분석, 삼성분, 화학적 조성 분석, 발열량, 활성화 에너지를 실험하고 값을 구하였다. 본 실험 결과를 통해 얻은 결론으로 산업폐기물의 연소특성과 폐기물 자원화 시설의 효율적인 운영에 있어서 기본 자료로 사용하고자 한다.

- Furnace를 이용한 열중량감량 분석을 한 결과, 물리적 특성으로 산업폐기물의 삼성분 중 가연분이 약 74.12%로 다른 수분(약5.55%)과 회분(20.33%)보다 함유량이 많이 나타났다.
- TGA를 이용하여 산업폐기물의 열적 특성을 분석한 결과는 온도가 증가함에 따라 시료 중에 함유된 휘발분이 지속적으로 무게 감량이 일어났으며 특히 300°C ~ 500°C 사이에서 열중량 감량이 활발히 진행되고 있음을 알 수 있었다.
- 결과값을 통해서 그래프의 기울기에 따라 시료의 연소 반응속도를 비교분석 할 수 있었고 실험결과 폐고무의 연소속도가 가장 빠른 것으로 나타났다.
- 활성화에너지 같은 경우는 동일조건하에서 값이 낮을수록 효율이 좋다는 것을 의미하며 여기서 SRF와 우드펠릿을 비교해보면 회분의 차이는 우드펠릿이 좋다는 것을 알 수 있지만 활성화에너지로 비교하게 되면 SRF의 효율이 다소 좋다고 사료되어진다.
- 폐기물의 각각의 원소 성분을 분석 비교 해 보았을 때 폐목재, 우드펠릿, SRF 3개의 시료에서는 성분에 차

이가 비슷한 수치를 보였지만 폐고무와 폐플라스틱 같은 경우 타 시료 보다 탄소와 수소의 수치는 월등히 높게 나타났고 산소 성분이 매우 적게 나타났다.

- 열중량 감량 분석 결과로는 각각의 시료를 최저온도와 최대온도로 구분하여 열분해반응에 대해 알아보았다. 여기서 평균적으로 200°C~700°C 사이에서 반응이 나타났다.
- 폐목재의 열중량 감량 분석 결과로는 350°C~500°C 사이에서 반응이 일어나는 것을 확인 할 수 있고 최대 변화구간의 온도는 401°C로 나타났다. 폐고무의 결과는 450°C~550°C 사이에서 반응이 일어났고 최대 변화구간의 온도는 453°C로, 폐플라스틱의 결과는 350°C~430°C의 온도구간에서 반응이 일어났으며 최대 변화구간의 온도는 390°C로 나타났다. 우드펠릿의 경우 350°C~450°C의 온도구간에서 반응이 일어났고 최대 변화구간의 온도는 443°C로 나타났다. 마지막으로 SRF의 결과로는 350°C~580°C 사이에서 반응이 일어나는 것을 확인 할 수 있었고 최대 변화구간의 온도는 432°C로 나타났다. 폐기물 중 폐고무를 제외한 시료들은 반응의 차이가 비교적 적었으나 폐고무의 경우는 가장 늦게 반응을 보이고 가장 빠르게 반응이 끝났으며 SRF는 연소 반응이 가장 오래 지속된 것을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 2012년도 상지대학교 연구년 연구비 지원으로 수행 되었습니다.

## References

- [1] 김동원 외, 2009, “열중량 분석기를 이용한 목재펠릿과 국내 무연탄의 연소 특성 조사”, 한전전력연구원 녹색성장연구소, 화학공학 제48권 제1호.
- [2] 김동원 외, 2009, “열중량 기법을 통한 RDF의 열분해 특성 조사”, 한전전력연구원 녹색성장연구소, 화학공학 제47권 제6호.
- [3] 최연석 외, 1998, “폐기물 고형연료(RDF)의 특성 및 전망”, 한국폐기물학회지, 15(4), pp. 287-299.
- [4] 최진환 외, 2001, “고체 폐기물 연료의 유동층 시험 연소로 특성 및 실험 인자 설정”.
- [5] 이송우, 최연석, 2002, “도시고형폐기물(MSW)로 제조한 RDF의 열분해 특성”, 대한환경공학회 논문집, pp. 197-199.
- [6] 엄태인, 류창국, 2003, “유동해석과 연소실험을 이용한 이동 화격자식 RDF 연소로 설계”, 대한환경공학회 논문집, pp. 480-485.
- [7] 신병철, 이조영, 최형욱, 2002, “폐기물 고형연료(RDF)의 활용방안 및 전망”, 고분자과학과 기술, 13(3), pp. 307-314.
- [8] 김희열 외, 2007, “PE, PP, PVC, RPF의 열중량 분석을 이용한 열분해 반응에 관한 연구”, 한국·신재생에너지학회 추계학술논문집 pp. 637-641.
- [9] 김우현 외, 2002, “폐기물 고형연료의 유동층 연소기술 개발”, 한국기계연구원 최종보고서.
- [10] 박상우, 장철현, 2010, “비등온 열중량분석에 의한 탄화슬러지의 연소특성 평가”.
- [11] 강호, 이진홍 외 3인, 1994, “도시 고형폐기물의 배출원에 따른 물리 화학적 특성연구, 한국폐기물 학회.
- [12] Tsuji, H., Hashimoto, N., Shirai, H. and Makino, H., 2009, “A study o combustion characteristics of dried sludge pellets by use of a plverized coal combustion test furnace, Journal of the Japan Institute of Energy”, Vol. 88, No. 5, pp. 422-429.
- [13] Vyazovkin, S. and Wight, C. A., 1999, “Model free and model-fitting approaches o kinetic analysis of isothermal and nonisothermal data”, Thermochemica Acta, Vol. 340-341, pp. 53-68.
- [14] Baxter, L. L., 1993, “Ash deposition during biomass and coal combustion: a mechanistic approach”, Biomass and Bioenergy, Vol. 4, pp. 85-102.
- [15] 김태석, 오세천 외 3인, 1998, “TGA를 이용한 SBR 열분해의 속도론적 해석”, 한국폐기물자원순환학회.