

## 대용량 보일러의 냉간기동용 액체 연료에 대한 연소 반응성 평가

이장호 · 박호영<sup>†</sup>

한전 전력연구원

## Combustion Reactivity Assessments of Oils Used for the Cold Start-Up Operation of Large Scale Boiler

JANG HO LEE, HO YOUNG PARK<sup>†</sup>

KEPRI, 105 Munji-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34056, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author :

hypark22@kepco.co.kr

Received 25 January, 2022

Revised 16 February, 2022

Accepted 18 February, 2022

**Abstract >>** The experimental work has been carried out for the study of pyrolysis of oil samples used in industrial and utility boilers in Korea. For five oil samples, the characteristics of pyrolysis have been investigated with a thermogravimetric analyzer (TGA), and their kinetic parameters were obtained and compared each other. The rate order of pyrolysis rate for five oils were as follows: by-product fuel oil, pyrolysis oil, diesel, a heavy oil and refined oil. The pyrolysis of refined oil has been successfully described by the three step, first order reaction model while the single step reaction model has been used for other oils. For the reaction temperature over 550 K, the reactivity of refined oil was very poor compared with other oils.

**Key words :** Pyrolysis(열분해), Volatile(휘발분), TGA(열중량 분석기), Diesel(경유), Refined oil (정제유), By-product fuel oil(부생유), Pyrolysis oil(열분해 재생유)

### Nomenclature

C : Heating rate, ( $K \cdot s^{-1}$ )  
E : Activation energy, ( $J \cdot mol^{-1}$ )  
k : Reaction rate constant, ( $s^{-1}$ )  
 $k_0$  : Frequency factor, ( $s^{-1}$ )  
R : Gas constant, ( $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ )  
t : Time, (s)  
T : Reaction temperature, (K)  
 $T_0$  : Initial temperature, (K)

V : Volatile yield (-)  
 $V^*$  : Ultimate volatile yield (-)  
x : Conversion (-)

### 1. 서론

산업용 혹은 가정용 보일러 및 디젤 엔진에 사용되는 액체 연료로는 경유(diesel)와 A 중유(A heavy oil)가 많이 사용되고 있다<sup>1-5)</sup>. 발전용 석탄 화력 보일러의 경우 발전소 기동 시에 초기 점화용으로 경유를

사용한다<sup>6-8)</sup>. 이들 보일러 및 엔진에서는 경유를 대체하여 가격이 저렴하고 환경적 장점이 있는 부생유의 사용 빈도가 증가하고 있다<sup>9-11)</sup>. 부생유(by-product fuel oil)는 석유화학제품 제조과정에서 얻은 부산물 연료유로서 상대적으로 가격이 저렴하고 연소·배출 성능이 뛰어나 산업용 보일러뿐만 아니라 발전용 디젤엔진 연료로도 활용되어 왔다. 부생유는 경유·등유와 연료특성이 비슷해 관련 장비를 개조하지 않고 경유·등유를 사용하는 보일러 및 엔진에서 사용할 수 있다. 유황 함량이 낮은 친환경 경유제품으로 결빙 우려가 없어 계절에 상관없이 사용할 수 있다<sup>9)</sup>. 부생유는 석유 및 석유대체연료 사업법에 의하여 승인된 연료이며 품질기준은 관련 법에 따라 규정되어 있다<sup>10)</sup>.

한편 폐기물 처리 및 재활용, 신재생에너지 활용을 위하여 폐윤활유로부터 다수의 정제공정을 거쳐 얻어진 감압정제유가 산업용 보일러에서 사용되고 있다<sup>12)</sup>. 발전용 석탄화력 보일러에서는 냉간기동시 초기 점화용으로 사용되던 경유를 대체하여 부생유를 사용한 바 있으며, 일부 발전소에서 감압정제유를 사용하기도 한다<sup>10,12)</sup>. 국내에서는 2016년 약 264,945 kL의 폐윤활유가 발생하였으며, 74.2%인 174,240 kL를 주로 감압정제유로 재활용하였다<sup>13)</sup>. 감압정제유는 박막 증발기(thin-film evaporator)를 이용한 진공 증류법을 사용한다. 폐윤활유는 먼저 190-210°C의 온도에서 건조 후 330-350°C의 온도에서 박막 증발기를 통해 0.5-5.5 T의 진공 압력으로 증류하고 활성점으로 여과하여 남은 불순물을 제거하여 최종적으로 감압정제유(refined oil)를 제조한다<sup>12)</sup>. 감압정제유의 구체적인 제조 방법과 품질기준은 폐기물관리법 및 시행규칙에 규정되어있다<sup>14)</sup>.

신재생에너지 공급 의무화 제도의 시행에 따라 생활 폐기물인 페플라ستيك 및 페비닐의 열분해를 통한 열분해 재생유의 생산과 연료화가 주목을 받고 있는데, 이는 폐기물의 안정적인 처리와 신재생에너지원 확보 측면에서 산업, 환경, 경제적으로 중요한 분야이다<sup>15-18)</sup>. 페플라ستيك(페비닐 포함) 열분해 기술은 폐기물을 처리하고 2차 오염물질의 발생을 최소화하

는 에너지 회수기술의 일종이다. 열분해공정은 페플라ستيك을 무산소 또는 저산소 조건하에서 약 500°C 까지 열을 가하고, 이때 환원성 분위기에서 분해되어 기체, 액체로 분해되어 증발하고 분해되지 않은 물질은 고체(잔사)로 남게 된다. 열분해 재생유(이하 재생유, pyrolysis oil)의 수율은 원료의 화학구조, 열분해 온도와 속도에 의존한다. 재생유의 품질기준은 감압정제유와 마찬가지로 폐기물 관리법과 시행규칙에 규정되어 있다<sup>10)</sup>.

국내 화력발전소의 보일러에서는 기동 시에 보조 연료(경유, 보일러 등유 등)를 사용하는 기동용 버너에 의해 초기 점화하고 보일러를 가열하여 미분탄(혹은 중유) 연소에 필요한 열원을 공급하고 보일러 내 화염을 안정화한다. 발전기의 병입 및 초기 부하 증발에 필요한 증기를 생성, 공급하게 되며 안정적인 연소와 보일러 운전이 이루어지면 기동용 버너는 순차적으로 정지하게 된다<sup>6,7)</sup>. 국내 화력발전소 보일러에서는 기동용 액체 연료로 경유나 보일러 등유를 대체한 부생유와 감압정제유(이하 정제유로 표기)가 사용되어 왔으며, 최근 페플라ستيك 및 페비닐을 재활용한 열분해 재생유의 발전소 적용을 검토하고 있다<sup>19)</sup>.

본 연구에서는 대용량 보일러의 냉간기동 시에 사용 중인 A 중유, 경유, 정제유, 재생유 그리고 부생유의 연소 반응성을 thermogravimetric analyzer (TGA) 실험으로 분석하였다. 열분해 시 연료의 반응속도 상수(rate constant)의 활성화에너지(E) 및 빈도계수( $k_0$ )를 구하여 반응성(reactivity)을 비교, 평가하였다. 본 연구의 반응성 비교 결과는 보일러의 초기 냉간 기동시 연소 효율과 미연분 및 검댕(soot) 발생 가능성을 예측할 수 있는 간접적인 자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 2. 실험

### 2.1 연료 분석

Fig. 1은 본 분석에서 사용한 A 중유, 경유, 정제유, 재생유, 부생유 샘플 사진을 순서대로 보여준다.

재생유는 폐플라스틱 열분해유로서 국내 폐기물 재활용기업으로부터 입수하였고, A 중유는 국내 산업

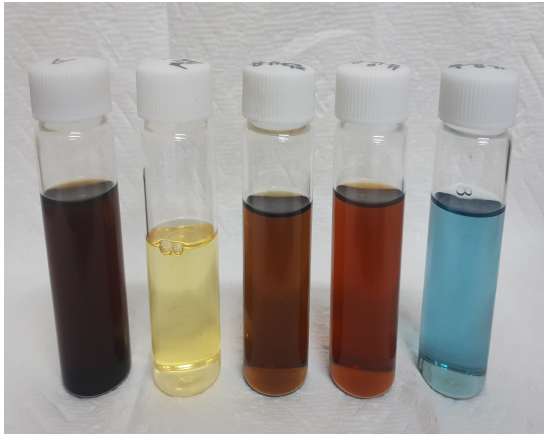


Fig. 1. Photo of oil samples

Table 1. Oil properties

Properties	A heavy oil	Diesel	Refined oil	Pyrolysis oil	By-product fuel oil
C (wt.%)	87.99	85.24	86.57	84.16	85.53
H (wt.%)	11.28	13.81	11.57	12.47	13.24
O (wt.%)	0.47	<0.1	0.87	2.41	1.09
N (wt.%)	0.10	<0.01	0.006	0.48	0.00008
S (wt.%)	0.16	<0.03	0.048	0.04	0.02
Diff. <sup>a)</sup> (wt.%)	-	-	0.936	0.44	0.11992
Sum	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
High heating value (kcal/kg)	10,830	10,979	10,597	10,471	10,960
Density @15°C (kg/m <sup>3</sup> )	-	825.8	882.0	824.8	818.1
Water /sediment (wt.%)	-	<0.005	<0.005	0.05	0.0
Residual carbon (wt.%)	0.06	0.01	0.05	0.04	0.01
Ash (wt.%)	-	0.008	0.008	0.008	0.001

<sup>a)</sup>Diff. : Difference between sum and 100%.

용 보일러 운용 기업으로부터 확보하였다. 경유, 정제유, 부생유는 국내 석탄화력 발전소로부터 입수한 샘플이다. 상기 5종 오일 샘플의 기본적인 연료성상 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. A 중유, 경유, 정제유와 부생유는 품질기준을 만족한 상용 연료이며, 재생유의 경우는 시험용으로 생산된 것으로 품질기준 만족 여부는 평가하지 않았으며 향후 연료 특성에 대한 좀 더 자세한 분석이 필요하다.

## 2.2 열중량 분석

본 연구의 오일 샘플 5종에 반응성 분석 TGA 실험은 프랑스 SETARAM 사의 LABSYS. Evo를 사용하였다. 오일 샘플의 시료량은 약 10-11 mg, 100 mL/min의 N<sub>2</sub> 분위기하에서 700°C까지 10°C/min로 승온하였을 때의 무게 변화(thermogravimetric, TG)와 변화율(differential TG, DTG)을 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 연료 특성

Table 1에서 보는 바와 같이 5종의 오일은 C, H, O, N, S, 발열량 분석 결과에 있어 서로 비슷한 값을 보여주고 있다. 재생유의 N 성분, A 중유의 S 성분 함량이 상대적으로 큰 값을 보여준다. 정제유의 원소 분석 시 백분율과의 차이(difference)가 상대적으로 약간 큰 것으로 나타났다. 모든 오일의 잔류탄소는 0.06 wt.% 이하였으며, 회분은 0.008 wt.% 이하였다. 5종의 연료분석 결과, 전반적으로 비슷한 연료 성상을 보여주고 있음을 알 수 있다. 보일러 내 전열관군 부식과 기동 시의 다이옥신 배출과 관련이 있는 염소(Cl) 성분에 대한 분석은 본 연구에서 이루어지지 않았으나 보일러 현장 적용 시 이에 대한 분석이 절대적으로 필요하다.

### 3.2 열분해 특성

보일러 내 연료가 분무되었을 때 분무 입자는 가열됨에 따라 휘발분이 방출되고 뒤이은 휘발분의 연소, 그리고 잔류 탄소분(고체 성분)의 반응이 일어난다. Table 1에서 보는 바와 같이 5종의 오일은 잔류 탄소분(residual carbon)이 거의 없으며 연소로 내에 분무 입자는 증발과 동시에 휘발분의 연소가 일어나게 된다. 휘발분의 연소 속도는 방출 속도에 비해 매우 빠르기 때문에 연료의 연소 속도는 휘발분의 방출 속도가 큰 영향을 미친다<sup>20)</sup>. 따라서 본 5종 오일의 연소성은 휘발분의 방출속도로 비교할 수 있으며, 이는 TGA 열분해 실험으로부터 구할 수 있다.

Fig. 2는 5종 오일 샘플의 무게 변화(TG curve)를 서로 비교한 것으로 오일 별 열분해 특성을 살펴볼 수 있다. 5종의 오일 샘플은 약 320-330 K에서 무게 감소가 시작된다. A 중유, 경유, 재생유의 경우 약 550 K에서 반응이 종료되지만 정제유의 반응은 약 650 K까지 지속되는 것을 볼 수 있다. 반면, 부생유의 반응은 약 500 K에서 완료됨을 볼 수 있다. 정제유의 경우 약 450 K까지 1차 무게 감소가 일어나고 약 580 K까지 상대적으로 낮은 무게 감소 후에 다시 빠르게 무게가 감소함을 볼 수 있다. 반응속도는 부생유, 재생유, 경유, A 중유, 정제유의 순이고 정제유의 경우 약 500 K 이후의 반응속도는 다른 오일 샘플에 비해 현저히 느린 것을 알 수 있다.

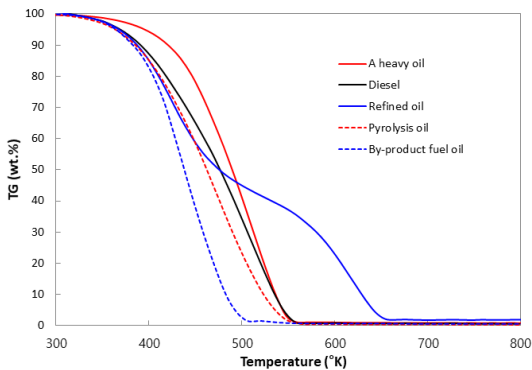


Fig. 2. TG curves of oil samples

Fig. 3의 무게 감소율(DTG curve)을 살펴보면 A 중유를 제외한 4종 오일의 초기 반응속도는 거의 같은 값을 보여준다. 최대 무게 감소율, 즉 최대 반응속도는 부생유가 가장 큰 것을 알 수 있다. 정제유는 2개의 피크(peak)를 보여주고 있는데, 이는 본 정제유의 폐윤활유 감압중류 성분, 그리고 정제유 제조 시 혼합된 다른 유종에 의한 영향으로 추정된다<sup>21)</sup>.

정제유의 경우 다단계반응(multi-step reaction)이지만 나머지 4종의 오일은 단일 반응(single step reaction)인 것을 알 수 있다. 전반적으로 정제유의 반응속도가 다른 오일 샘플에 비해 가장 느린 것으로 나타났다.

### 3.3 열분해 모델

액체 연료 분무 입자의 휘발분의 방출과정은 단순한 1차 반응으로 표현한다.

$V$ 를 휘발분 방출량,  $V^*$ 를 최대 방출량이라 할 때 휘발분 방출속 도는 다음과 같은 1차 반응으로 나타낼 수 있다<sup>22)</sup>.

$$\frac{dV}{dt} = k(V^* - V) \tag{1}$$

식 (1)을 적분하면 시간에 따른 휘발분 방출량을 나타내며 다음과 같이 주어진다.

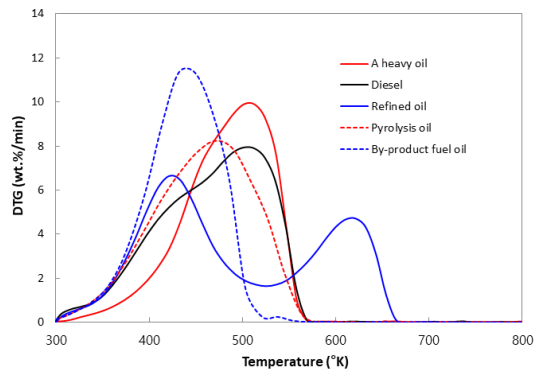


Fig. 3. DTG curves of oil samples

$$V = V^* [1 - \exp(-\int_0^t k dt)] \quad (2)$$

속도 상수  $k$ 는 아레니우스(arrhenius) 식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (3)$$

열분해(탈휘발화) 식 (1)은 속도 상수를 넣어서 표시하면 아래와 같다.

$$\frac{dV}{dt} = k_0 \exp^{-E/RT} (V^* - V) \quad (4)$$

TGA 실험 시 승온 속도  $C$  (°C/min)는 식 (5)와 같이 아래와 같이 쓸 수 있으며 열분해 식은 다시 식 (6)으로 쓸 수 있다.

$$T = Ct + T_0 \quad (5)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{k_0}{C} \exp^{-E/RT} (V^* - V) \quad (6)$$

위의 식을 적분하면 다음과 같이 된다.

$$-\ln\left(\frac{V^* - V}{V^*}\right) = \frac{k_0}{C} \left[ T \exp^{-E/RT} + \frac{E}{R} E_e \left(-\frac{E}{RT}\right) \right] \quad (7)$$

$$E_e \left(-\frac{E}{RT}\right) = -\frac{\exp^{-E/RT}}{E/RT} \left( 1 - \frac{1!}{E/RT} + \frac{2!}{(E/RT)^2} - \dots \right) \quad (8)$$

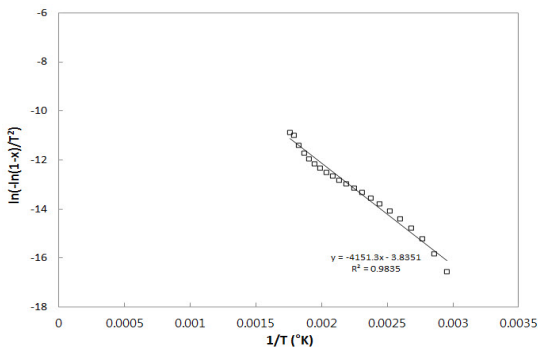


Fig. 4. Arrhenius plot for diesel

여기서  $E_e(-E/RT)$ 의 값을 3차항 까지만 취하면 적분 값은 식 (9)로 주어진다.

$$\ln\left(\frac{-C \ln\left(1 - \frac{V}{V^*}\right)}{RT^2}\right) - \ln\left(1 - \frac{2RT}{E}\right) \approx \ln \frac{k_0}{E} - \frac{E}{RT} \quad (9)$$

$E$ 와  $k_0$ 의 값을 위 식의 아레니우스 선형 플롯으로부터 구할 수 있다. 한편 휘발분은 아래의 식 (10)으로 주어진다.

$$V = V^* \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{k_0 RT^2}{CE} \exp^{-E/RT} \left(1 - \frac{2RT}{E}\right)\right] \right\} \quad (10)$$

### 3.4 열분해 반응성 지수

식 (9)를  $1/T$ 의 함수로 그린 아레니우스 플롯으로

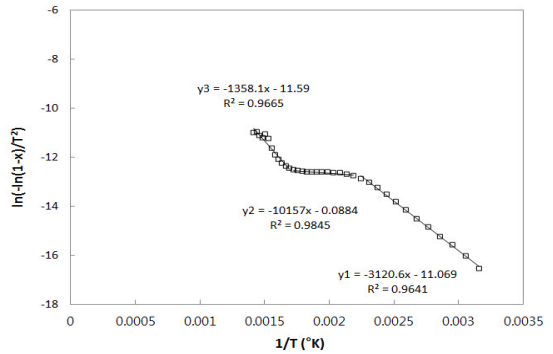


Fig. 5. Arrhenius plot for refined oil

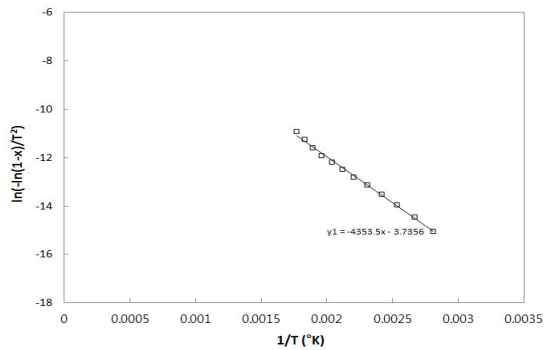


Fig. 6. Arrhenius plot for pyrolysis oil

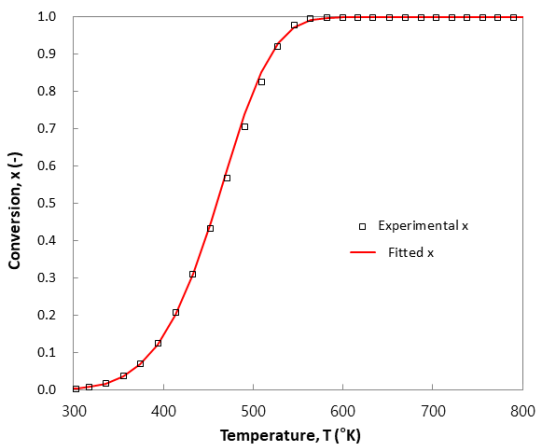
부터 기울기와 y축의 교차점으로부터 활성화에너지 (E)와 빈도계수( $k_0$ )를 구할 수 있으며 이는 *coats-redfern*식을 이용한 것이다<sup>23)</sup>. 열분해 반응성 지수가 1차인 경우 선도는 직선의 형태를 보이게 되지만 직선이 아닌 경우는 *multi-step* 반응임을 보여준다.

Figs. 4-6은 각각 경유, 정제유, 그리고 재생유 (열분해유)에 대한 아레니우스 플롯을 보여준다. Figs. 4, 6으로부터 경유와 재생유는 1 step 열분해과정을 보여주며, A 중유와 부생유의 경우도 마찬가지이다. 정제유의 경우 Fig. 5에서 보는 바와 같이 3단계 반응임을 보여준다. 5종 오일 샘플의 아레니우스 플롯으로부터 구한 활성화 에너지와 빈도계수를 Table 2에 나타내었다.

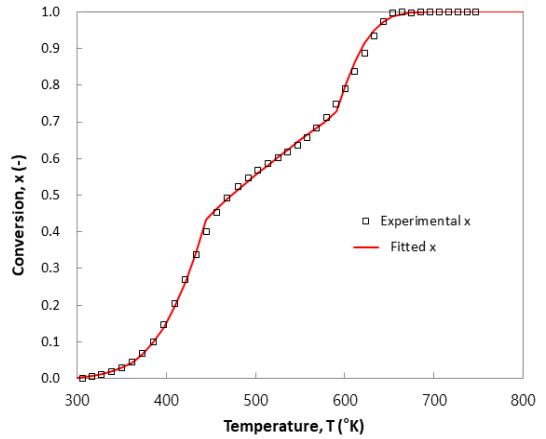
아레니우스 플롯으로부터 얻어진 빈도계수와 활

**Table 2.** Values of  $k_0$  and E

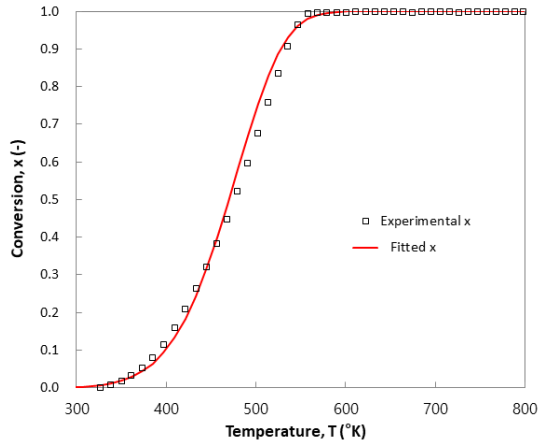
Sample	$k_0$ (1/s)	E (J/mol)	
A heavy oil	17.31	36,196	
Diesel	14.94	34,515	
Refined oil	Stage I	17.41	33,700
	Stage II	0.00048	3,311
	Stage III	112.29	50,534
Pyrolysis oil	7.97	31,504	
By-product fuel oil	161.17	39,891	



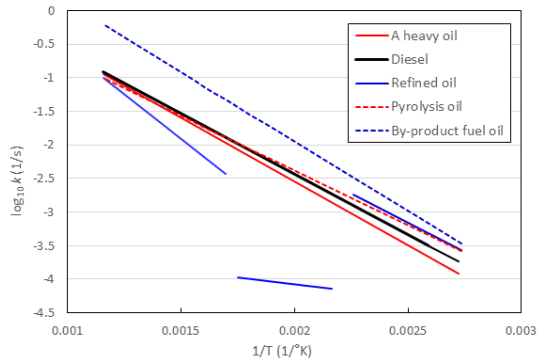
**Fig. 7.** Comparison of experimental and fitted conversion for diesel



**Fig. 8.** Comparison of experimental and fitted conversion for refined oil



**Fig. 9.** Comparison of experimental and fitted conversion for pyrolysis oil



**Fig. 10.** Logarithmic expression of rate constant for five oils

성화에너지를 가지고 구해진 전환율  $x$  ( $V/V^*$ , fitted conversion)를 실험데이터(experimental conversion)와 비교하면 반응 속도 상수의 값이 신뢰성 있는지를 확인할 수 있다. Figs. 7-9는 경유, 정제유, 재생유에 대한 전환율을 보여준다. 반응속도 상수로부터 계산된(fitted) 전환율과 실험으로부터 구한 전환율이 매우 잘 일치하고 있음을 보여준다. 정제유의 경우 3 step 모델, 경유와 재생유는 1 step 모델로 열분해 거동을 잘 묘사하고 있음을 보여준다.

5종 오일의 반응성지수( $k_0$ , E)로부터 반응 속도 ( $\log_{10}k$ )를 온도의 함수로 나타내면 반응 온도 구간에서의 반응 속도를 비교하는 것이 편리하며 이를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 A 종류의 반응 속도는 경유의 반응 속도에 비해 작은 것을 알 수 있다. 정제유의 1단계 반응이 일어나는 약 450 K 이하의 온도에서는 경유의 반응 속도보다 약간 더 높으나 그 이상의 온도에서는 반응이 매우 느린 것을 알 수 있다. 폐플라스틱 열분해유인 재생유의 반응 속도는 경유보다 약간 빠르며, 부생유의 반응 속도는 경유에 비해 매우 빠른 것을 알 수 있다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 재생유는 경유와 비슷하거나 약간 더 높은 반응 속도를 가지나 정제유의 경우 전반적인 온도 구간에서 반응성이 매우 나쁜 것을 알 수 있다. 보일러 기동 시 초기에 보일러가 충분히 가열되기 이전에는 정제유의 낮은 반응성으로 인한 연소 효율 저감과 미연분이나 검댕(soot)의 발생이 다른 오일보다 더 많을 것으로 보인다.

## 4. 결론

국내 발전용 및 산업용 보일러에서 사용 중인 5종의 오일에 대한 열중량 분석(TGA)으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

-5종 오일의 반응 속도는 부생유가 가장 높았으며, 재생유, 경유, A 종류의 순이었고 정제유의 반응 속도가 가장 낮았다.

-정제유의 열분해(탈휘발화) 거동은 독립적인 1차, 3단계 반응 모델이 적합하였고 나머지 4종의 오일은

1차, 1단계 열분해 모델로 열분해 거동을 잘 묘사할 수 있었다.

-5종 오일의 열분해 거동에 대한 아레니우스 플롯으로부터 반응속도 상수( $k_0$  & E) 값들을 구하였다. 반응성 비교 결과 부생유의 반응성이 가장 우수하였다.

-정제유의 경우 약 450-650 K 구간에서의 반응성은 다른 오일에 비해 반응성이 낮은 것으로 나타났다. 정제유 사용 시 보일러 기동 시의 낮은 온도 분위기에서는 낮은 연소 효율과 미연분이나 검댕(soot)의 발생 가능성이 다른 오일보다 높아질 수 있다.

## 후 기

본 연구는 (주) 한국중부발전의 지원을 받아 수행한 기술지원(2021-M-16-1)의 일환으로 수행되었다.

## References

1. K. B. Lee, M. C. Kim, and H. K. Park, "A study on the application of marine emulsion fuel for tier 3 regulation", KSEE, Vol. 34, No. 10, 2012, pp. 671-667, doi: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2012.34.10.671>.
2. J. K. Cho, S. J. Park, and S. H. Song, "A effects of natural gas-diesel/hy-sene dual fuel operation on performance of a heavy-duty diesel engine for power generation", Journal of Energy Engineering, Vol. 25, No.1, 2016, pp. 122-130, doi: <https://doi.org/10.5855/ENERGY.2015.25.1.122>.
3. K. R. Kwon and K. H. Jeong, "A study on the usefulness of energy-added light oil and blend oil in domestic oil boiler", KSPSE, 2002, pp. 188-196, Retrieved from <http://oak.jejunu.ac.kr/bitstream/2020.oak/2975/2/%EA%B0%80%EC%A0%95%EC%9A%A9%EB%B3%B4%EC%9D%BC%EB%9F%AC%EC%97%90%EC%84%9C%20%EC%B4%88%EC%9D%8C%ED%8C%8C%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EB%A5%BC%20%EB%B6%80%EA%B0%80%ED%95%9C%20%EA%B2%BD%EC%9C%A0%20%EB%B0%8F%20%ED%98%BC%ED%95%A9%EC%97%B0%EB%A3%8C%EC%9D%98%20%EC%9C%A0%EC%9A%A9%EC%84%B1%EC%97%90%20%EA%B4%80%ED%95%9C%20%EC%97%B0%EA%B5%AC.pdf>.
4. J. J. Seo, W. K. Wang, and S. A. Kim, "An experimental study on characteristics of exhaust emissions with fuel

- properties changes in a diesel engine for small-sized fishing vessel”, KSFOT, Vol. 46, No. 4, 2010, pp. 487–494, doi: <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.487>.
5. Sung Kwang Industrial Co., “Heavy oil combustion technology”, 2010, pp. 13.
  6. H. K. Song and J. G. Kim, “Estimation of the economic coal feeding temperature at the time of fuel change to russian bituminous coal during starting up for CFB power plant”, Plant Journal, Vol. 11, No.3, 2015, pp. 46–52.
  7. Taean thermal power complex division, “Practical business affairs for #1–4 thermal power plant”, Korea Western Power Company, 2012, pp. 3–8.
  8. I. P. Fernandez, J. C. L. Garcia, and D. P. Gutierrez, “Improvements in light oil combustion by adding small quantities of alcohol. Possible application in cold starts up, in thermal power stations”, Fuel Process Technology, Vol. 60, No. 1, 1999, pp. 15–27, doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(99)00020-X).
  9. Hanwha Total, “Fuel oil”, Retrieved from [https://www.hanwha-total.com/product/product\\_energy?depth2Cd=CCAA](https://www.hanwha-total.com/product/product_energy?depth2Cd=CCAA).
  10. H. H. Kim, Y. H. Park, K. Han, J. H. Jang, H. Y. Park, H. Y. Han, K. Kim, H. H. Park, S. B. Jang, and J. Y. Seo, “Combustion and emission characteristic of a reprocessed used lubricating oil as a renewable fuel for boiler cold start-up operation”, Energy, Vol. 222, 2021, pp. 119784, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119784>.
  11. I. H. Choe, “High heating and clean energy(Hi-sene) ‘Samsung total’”, KOREAN POULTRY JOURNAL, Vol. 46, No. 9, 2014, pp. 120–123, Retrieved from <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201443358900733.pdf>.
  12. Korea Association of Refined Oil Industries, “Refined oil”, Retrieved from <http://karoi.or.kr>.
  13. Korea Lubricating Oil Industries Association, “State of recovery and refining of waste lubricating oils”, KLOIA, Retrieved from [http://www.kloia.or.kr/trend/trend\\_sub04\\_1.php](http://www.kloia.or.kr/trend/trend_sub04_1.php).
  14. J. Doe, T. Lim, J. Lee and H. Kang, “Study on characteristics of change of physical/chemical property of refined fuel oil (reduced-pressure) by mixing with by-product fuel oil(No. 2)”, Journal of Oil & Applied Science, Vol. 35, No. 4, 2018, pp. 1349–1358, doi: <https://doi.org/10.12925/jkocs.2018.35.4.1349>.
  15. D. S. Lee, G. S. Lee, S. O. Kim, S. C. Oh, S. R. Kim and U. T. Kwon, “The study for manufacturing technology of industrial fuel from mixed waste plastics”, KSNRE, 2005, pp. 403–413.
  16. C. Phae, Y. Kim, and C. Jo, “Assessment of practical use of recycling oil from the pyrolysis of mixed waste plastics”, Journal of energy engineering, Vol. 14, No.2, 2005, pp. 159–166.
  17. T. Eom, “Improvement of process and efficiency of waste-plastic emulsion process”, Korean society for environmental technology, Vol. 13, No. 4, 2012, pp. 371–378. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE10837619>.
  18. P. Jeeban, D. W. Lim, J. S. Kim, and C. Oh, “A study on the fuel feasibility of pyrolytic oil from waste plastics”, The Korean society for new and renewable energy, 2014, pp. 140. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE06204857>.
  19. K. T. Lee, “Power companies who accelerate the recycling industry”, Ajudaily, 2021, Retrieved from <https://www.aju-news.com/view/20210218134006965#PL2>.
  20. J. K. Park, S. Park, M. Kim, C. Ryu, S. H. Baek, Y. J. Kim, H. H. Kim, and H. Y. Park, “CFD analysis of combustion characteristics for fuel switching to bioliquid in a oil-fired power plant”, Fuel, Vol. 159, 2015, pp. 324–333, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.079>.
  21. S. K. Kim, “Controversy over defective refined oil ②”, New daily bussiness, 2014, Retrieved from [https://biz.newdaily.co.kr/svc/article\\_print.html?no=2014051110003](https://biz.newdaily.co.kr/svc/article_print.html?no=2014051110003).
  22. S. Badzioch and P. G. W. Hawksley, “Kinetics of thermal decomposition of pulverised coal particles”, Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev., Vol. 9, No. 4, 1970, pp. 521–530, doi: <https://doi.org/10.1021/i260036a005>.
  23. H. Y. Park, K. Han, H. H. Kim, S. B. Park, J. H. Jang, G. S. Yu, and J. H. Ko, “Comparisons of combustion characteristics between bioliquid and heavy fuel oil combustion in a 0.7 MWth pilot furnace and a 75 MWe utility boiler”, Energy, Vol. 192, 2020, pp. 116557, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116557>.