

# 콘칼로리미터 열복사강도에 따른 액체 연료의 연소특성 분석

## Combustion Characteristics of the liquid fuel to the heat flux intensity of the cone calorimeter

이동엽\*, 장유리\*, 박원희\*, 이덕희\*†

Dong-Yob Lee\*, Yu-Ri Jang\*, Won-Hee Park\*, Duck-Hee Lee\*†

현대는 실내장식물의 고급화와 다양화를 추구하여서 많은 종류의 소재 개발이 이루어지고 있다. 이러한 재료들의 대부분은 화재 발생 시 높은 온도의 화염과 유독가스를 발생시키게 된다. 그러므로 각 재료에서 발생하는 열량과 연소가스의 특성을 파악하는 것이 화재공학의 중요한 이슈가 되어왔다. 그런데 기존 연구는 콘칼로리미터를 이용하여 다양한 고체재료의 열방출률을 파악하는 데에 주목하는 반면 차량이나 시설물에 사용되는 변압기 오일과 같은 액체재료의 경우에는 연소특성 분석이 부족하다. 본 연구에서는 콘칼로리미터를 이용하여 열복사강도를 변화하면서 액체연료의 연소특성을 분석함에 따라 착화성, 연소속도 및 열방출량을 파악하였다. 본 연구는 액체연료에 알려져 있는 열방출률 값을 연소조건에 따라 차별적으로 구체화하였다는 점에 그 의미가 있다고 하겠다.

**주요어** : 열복사강도, 콘칼로리미터, 열방출률, 액체연료

### 1. 서론

현대는 실내장식물의 고급화와 다양화를 추구하여서 많은 종류의 소재 개발이 이루어지고 있다. 이러한 재료들의 대부분은 화재 발생시 높은 온도의 화염과 유독가스를 발생시키게 된다. 그러므로 각 재료에서 발생하는 열량과 연소가스의 특성을 파악하는 것이 화재공학의 중요한 이슈가 되어왔다. 그러나 기존 연구들은 콘칼로리미터를 이용하여 고체 재료들을 대상으로 다양한 연구를 하여왔지만 액체연료에 대한 열 방출률에 대한 연구는 미비한 실정이다. 기존 콘칼로리미터 장비를 이용하여 액체 연료에 대한 열 방출률에 대해 연구를 하였다. 그러므로 본 연구에서는 차량이나 시설물에 사용되는 변압기 오일과 같은 액체재료의 경우에 연소특성 분석을 하였다.

열 복사강도를 달리하여 연소조건에 따른 차별화를 돕에 따라 화재원에 크기에 따른 복사열이 액체재료에 어떠한 영향을 끼치는 지 알아보고 그 의미에 대해 알아보도록 한다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원(dhlee27@krri.re.kr)

\* 한국철도기술연구원

## 2. 본 론

### 2.1 콘칼로리미터

#### 2.1.1 발열량 계산

콘칼로리미터에서는 이동중인 연소 생성물의 산소 농도와 산소 소비량을 측정하여 결정하는 방식으로 열 방출률을 계산한다. 장치의 정밀도를 위해 미세한 보정작업이 필요하며 교정상수 C를 다음 식에 의하여 계산한다.

$$C = \frac{\dot{q}_b}{(12.54 \times 10^3)(1.10)} \sqrt{\frac{T_e}{\Delta p} \frac{1.105 - 1.5X_{O_2}}{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}} \quad (1)$$

$\dot{q}_b$ : 공급된 메탄의 열 방출률  
 $12.54 \times 10^3$ : 메탄에 대한  $\Delta h_c/r_o$   
1.10: 공기와 산소분자량 비율  
 $T_e$ : 오리피스미터에서 가스의 절대온도, K  
 $\Delta p$ : 오리피스미터에서 압력차, pa  
 $X_{O_2}^0$ : 산소 분석기 눈금의 초기값  
 $X_{O_2}$ : 산소 분석기 눈금값

그리고 다음 식을 이용하여 산소 분석기의 시간지연  $t_d$ 를 계산한다.

$$X_{O_2}(t) = X_{O_2}^1(t + t_d) \quad (2)$$

위의 식들을 구한 다음 열 방출률을 다음 식에 의해 계산한다.

$$\dot{q}(t) = (\Delta h_{c/r_o})(1.10)C \sqrt{\frac{\Delta p}{T_e} \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}}} \quad (3)$$

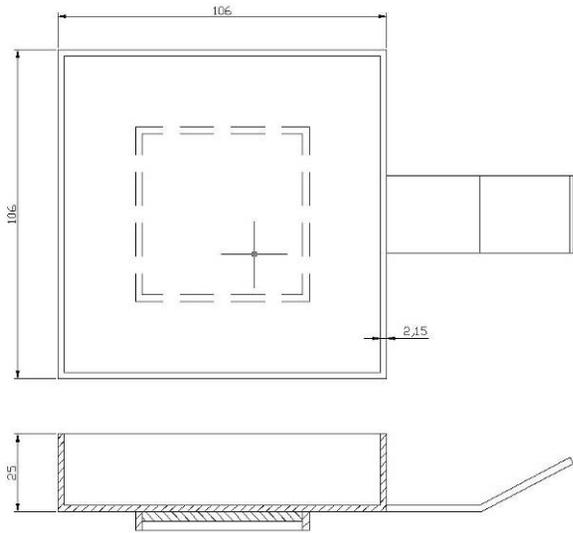
$\Delta h_c$ : 순연소열,  $\text{kJg}^{-1}$   
 $r_o$ : 양론적 산소/연료 질량비

제시된 계산에 의해서 열 방출률을 구하게 된다.

#### 2.1.2 시편준비 및 실험

시편을 준비를 위해서 홀더를 준비하게 된다. Fig.1의 (a)와 같이 면적  $106 \times 106\text{mm}$ 인 정사각형의 팬 모양으로서 두께  $2.15\text{mm}$ 의 스테인리스 스틸로 제작되어야 한다. 콘 히터의 바닥면과 시편 최상부의 거리는  $25\text{mm}$ 로 조정되어야 한다.

시료의 양은  $20\text{g}$  이고, 히터의 복사량은  $35\text{kW/m}^2$ ,  $50\text{kW/m}^2$ ,  $75\text{kW/m}^2$  으로 기준을 선정하



(a) Specimen holder



(b) Bun of Specimen

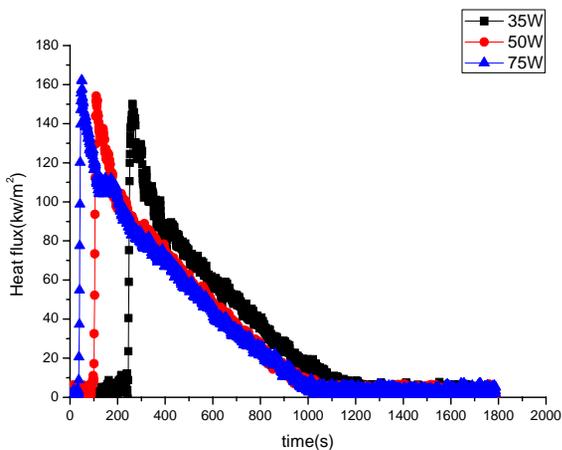
**Fig. 1** Experimental view of cone calorimeter

였다. 그리고 실험은 180초 동안 발열량을 계산하도록 한다.

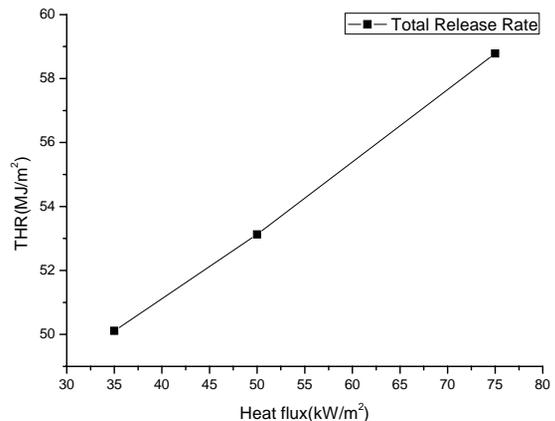
Fig.1의 (b)와 같이 ignition을 이용하여 점화시킨 다음 점화된 시간과 연소가 끝나는 시간을 기록해 두었다.

### 2.1.3 발열량 비교

실험 후 나온 데이터를 정리해 본 결과 Fig.2 (a)와 같이 열 방출률에서 최고 peak는  $35\text{kW/m}^2$ 에서는  $150.044\text{ kW/m}^2$ ,  $50\text{kW/m}^2$ 에서는  $154.1192\text{ kW/m}^2$ ,  $75\text{kW/m}^2$ 에서는  $162.2995\text{ kW/m}^2$ 로 나타났으며, 전체 열 방출량(Total heat release)는  $35\text{kW/m}^2$ 에서는  $50.1\text{MJ/m}^2$ ,  $50\text{kW/m}^2$ 에서는  $53.12\text{ MJ/m}^2$ ,  $75\text{kW/m}^2$ 에서는  $58.8\text{ MJ/m}^2$ 로 나타났다.



(a) Heat release rate



(b) Total heat release

**Fig. 2** Result of Experiment



(a) 35kW/m<sup>2</sup>

(b) 50kW/m<sup>2</sup>

(c) 75kW/m<sup>2</sup>

**Fig. 3 Residue**

#### 2.1.4 잔여물 비교

Fig.3 에서와 같이 연료 시료를 연소시키고 나서 고체 잔여물이 생겼다. 잔여물에 대한 무게는 똑같았지만 생성된 높이가 다른 성향을 나타내었다.

35kW/m<sup>2</sup>에서는 3mm, 50kW/m<sup>2</sup>에서는 7mm, 75kW/m<sup>2</sup>에서는 12mm로 복사열에 따라 생성물 높이가 높아졌다.

### 3. 결론

결론은 다음과 같이 정의할 수 있다.

- (1) 액체시료에 열복사가 커짐에 따라 점화시간이 빨라지고 최대 HRR(Heat release rate)의 peak가 커진다.
- (2) 액체시료에 열복사가 커짐에 따라 전체 열 방출률(Total Heat release)가 비례하며 커진다.
- (3) 생성되는 잔여물의 높이 또한 열복사량이 커짐에 따라 높이가 커졌다.

### 참고문헌

- [1] V.Babraushas (1992) Heat Release in Fires, *An Imprint of Chapman & Hall*, pp. 61-92
- [2] ISO 5660-1 (2002) Heat release rate(Cone calorimeter method), *International standard*, pp. 1-44
- [3] J.G.Quintiere (1998) Principles of fire behavior, Delmar Publishers, pp. 101-128