

## 전력용 케이블의 열 방출량 측정

김운형, 김태수\*, 김상욱\*

경민대학 소방안전관리과, \*화재공학연구원

### Heat Release Rate Measurement of Electric Power Cable

Woon Hyung Kim, Tae Su Kim\*, and Sang Wook Kim\*

*Kyung Min College, \*Fire Research Station*

#### 1. 필요성

전력용 케이블의 예상되는 열 방출량 (열 방출 비율, Heat release rate)은 연소되는 부분의 면적에 따라 좌우된다. (Gandhi, Przybyla & Grayson) 일반적으로 열 방출량은 연소 시 소비되는 산소량(Oxygen calorimetry)을 기준한 방법으로 결정할 수 있으며 본 연구에서는 플럼 식을 이용하여 케이블의 열 방출량을 추정하였다. 이를 통하여 공동구 등 전력용 케이블의 사용시설과 용도에 대한 공학적인 화재 설계 기초 자료를 확보하는데 연구 목적이 있다.

#### 2. 이론적 배경

##### 2.1 Heskestad Plume

###### (1) 화염의 높이

본 실험에 사용한 Heskestad 플럼 식은 Point source 대신에 가상의 화원(Virtual origin)을 제안하여 높이를 보정하였다. 또한 열 방출 비율에서 부력에 따른 대류열량을 적용하였다.

$$Z_0 = 0.083 Q^{2/5} - 1.02 D \quad (1)$$

여기서,  $Z_0$  = 가상의 화원 높이 (m)

$Q$  = 열 방출비율 (KW)

$D$  = 화원의 직경 (m)

한편, 화염의 평균 높이는 아래와 같다.

$$Z_L = Z_0 + 0.166 Q_c^{2/5} \quad (2)$$

(2) 화염의 유속, 온도

플럼에서의 반경, 중심축 상의 온도 및 유속 계산식은 다음과 같다.

(단 평균높이 이상의 경우)

$$b=0.12(T_0/T_\infty)^{1/2} (Z - Z_0) \tag{3}$$

$$\Delta T_0=9.1 [T_\infty / g C_p^2 \rho_\infty^2]^{1/3} Q_c^{2/3} (Z - Z_0)^{5/3} \tag{4}$$

$$U_0 = 3.4 [g/ C_p T_\infty \rho_\infty]^{1/3} Q^{1/3} (Z-Z_0)^{-1/3} \tag{5}$$

위 식에서  $T_\infty=293K$ ,  $g=9.8m/s^2$   $C_p =1.0KJ/kg K$ ,  $\rho_\infty=1.2kg/m^3$ 을 대입하면

$$\Delta T_0=25 [ Q_c^{2/3} / (Z - Z_0)]^{5/3} \tag{6}$$

$$U_0 =1.0[ Q_c / (Z-Z_0)]^{1/3} \tag{7}$$

**2.2 열 방출량**

케이블 화재 시 발생하는 총 열 방출량은 다음과 같다

$$Q = m \Delta H_{c,eff} \quad \text{또는} \quad Q = m'' A_f \Delta H_{c,eff} \tag{8}$$

여기서,  $Q$  = 열 방출열량 (KW)

$m$  = 연소비율 (g/s)

$m''$  = 단위면적당 연소비율

$A_f$  = 연소 표면적 ( $m^2$ )

$\Delta H_{c,eff}$  = 연소열 (KJ/g)

**3. 케이블 실험**

**3.1 개요**

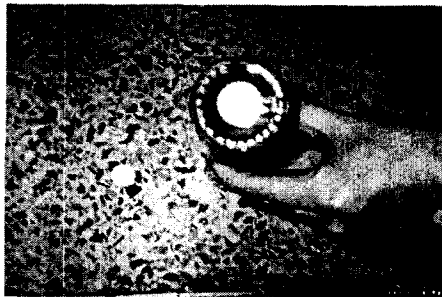
22.9kv CNCV 전력용 케이블을 대상으로 열 방출량을 실험하였다. 실험은 ISO 9705 규격의 공간을 기준으로 천정은 철근콘크리트, 벽은 내화벽돌, 바닥은 철재로 된 구조물이다. 개구부는 2.0m(H) × 0.8m(W)이며 실내에 0.25m(W) x 0.25m(D) x 0.08m(H) 크기의 팬을 설치하였다. 연료는 n-Heptane을 사용하였다. 열전대의 설치위치는 화원 직상부에 바닥에서 1.2m, 1.5m, 1.8m, 2.1m에 각각 설치되었다.

**3.2 실험 내용**

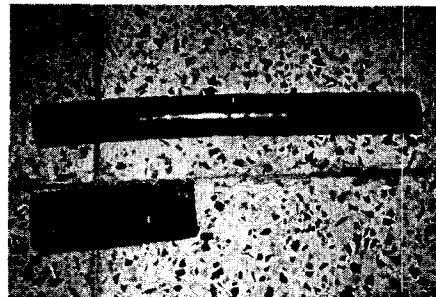
실험은 3회를 진행하였다. 팬의 크기는 250 x 250 x 80이며 헵탄은 1.0리터, 2.0리터 그리고 2.5리터를 사용하였다. 케이블 화재에 의한 상승 온도는 바닥에서 1.2m, 1.5m,

1.8m, 그리고 2.1m 지점에서 측정하였다. 문의 외부 측에는 가스측정을 위한 가스측정기가 바닥 위 1.8m에 설치하였다. 공간의 규격은 2.4 m x 3.6m x 2.4m (높이)이다. 5 초간격의 온도를 측정하였으며 연소시간은 각각 10분에서 18분을 기록하였다. 헵탄의 연소 비율은 평균 약 1.5 g/s로 나타났다.

그림 2는 각 측정높이에서의 공간의 온도분포를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 1. 실험용 케이블의 단면과 길이

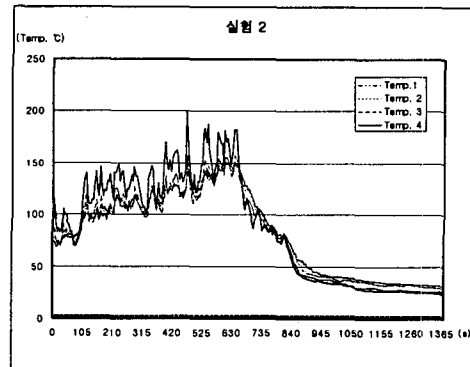
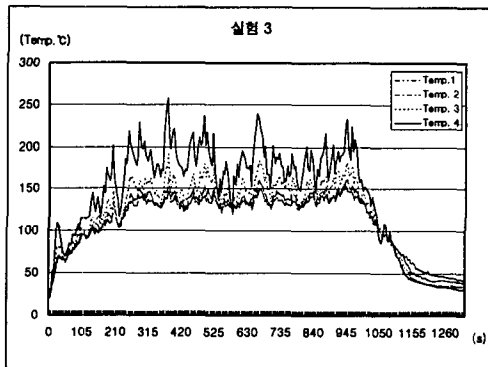
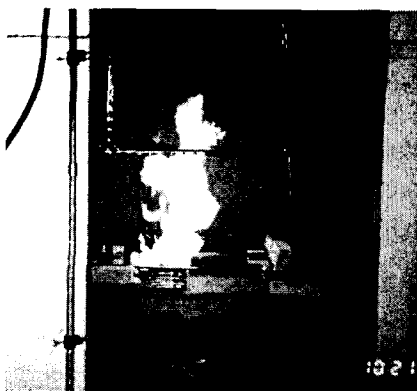
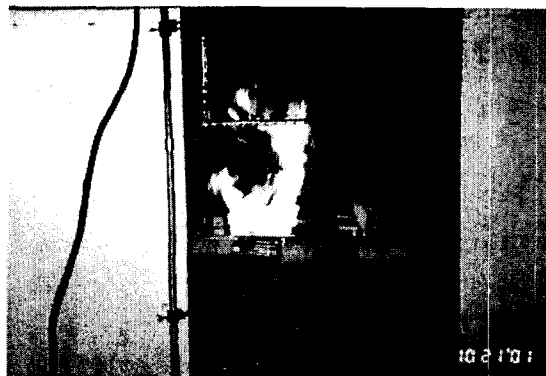


그림 2. 온도 및 가스분포와 계산된 화원의 열량 변화



(a)



(b)

그림 3. 열방출량 실험

#### 4. 분석

발화 후 케이블의 화염 확산은 장시간 지속되지 못하였으며 이에 따라 열 방출량도 비교적 낮게 계산되었다.

향후 Cone Calorimeter 또는 케이블 종류에 따른 관련 시험기준 (NFPA 262, UL910, UL 1666, UL 1581 등)을 통하여 보다 정확한 열 방출량 및 연기 유독성 측정이 필요하다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. V. Babrauskas, "Heat Release in Fires", Elsevier Applied Science, (1992)
2. National Electrical Code, NFPA, MA 02269.
3. Gunnar Heskestad, "Fire Plumes", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Section 2 Chapter 2, 2nd Edition, (1995)