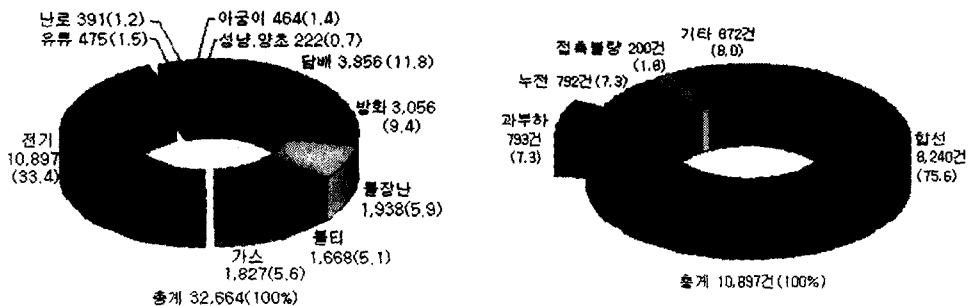


# 전선 접촉 단면적 변화에 따른 열분포 해석

양승윤\*, 안형일\*, 김응식\*  
 호서대학교 안전공학부\*

## 1. 서론

최근들어 건축물의 대형화, 초 고층화 및 산업시설의 대규모화가 두드러지게 나타나고 있는 가운데 화재발생으로 인한 인명 및 재산상의 피해 규모가 비례적으로 증가하고 있다. 그러한 화재의 원인별 발생건수 중 가장 높은 점유율을 보인 것은 전기화재였고 98년(10,897건)에는 97년(10,075건)에 비해 8.2% 증가하였으며 이러한 추세는 꾸준한 증가율을 보이고 있다.<sup>1)</sup>



a) 원인별 화재발생 건수

b) 전기화재 원인별 건수

그림 1. 98년도 화재 건수

이러한 과부하 등으로 인한 전기화재는 상온에서 전압 220V, 전류 20A 이상을 사용하는 곳에서 과전류로 인한 발열에 의해 발생된다.

이번 연구는 과전류에 의한 전선의 발열조건으로 전압을 220V, 전류를 15~20A로 변화시키면서 단면적의 변화에 따라 발생하는 열분포를 알아보고 전선 발열에 대한 열전달을 해석함으로써 전선으로 접촉된 곳에서 전기화재 발생 메커니즘을 연구하였다.

## 2. 전선의 단면적 변화 모델

본 실험은 일반 가정용 전력을 중심으로 실험하기 위해 상용전압 220[V]로 고정시켰고 그림 2과 같이 전류가변을 위해 부하저항을 달아 10~20[A]로 변화시켰다.

전선 시료는 일반 가정용 전선의 단면적을 변화시키기 위해 그림 3와 같이 전선의 중간 부위에서 30mm만큼 피복을 벗겨 공기 중에 노출을 시켰으며 연선의 가닥수로 단면적을 변화시켰다.

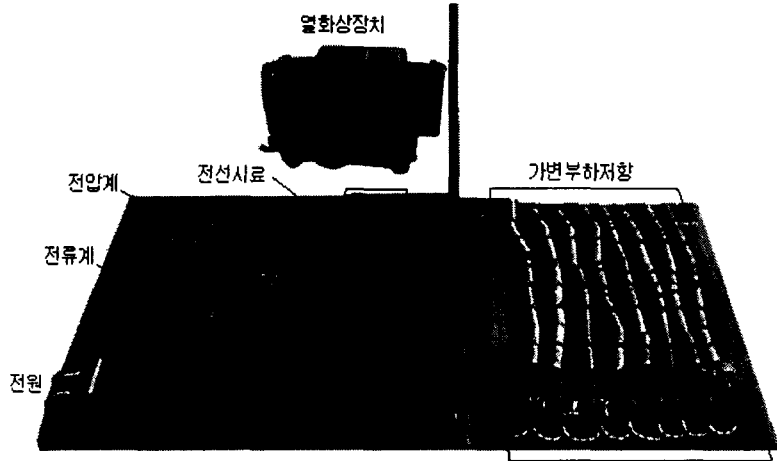


그림 2. 실험장치 및 열화상장치

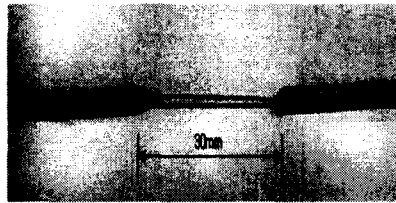


그림 3. 전선 시료

### 3. 전선의 단면적 변화에 따른 열분포 해석

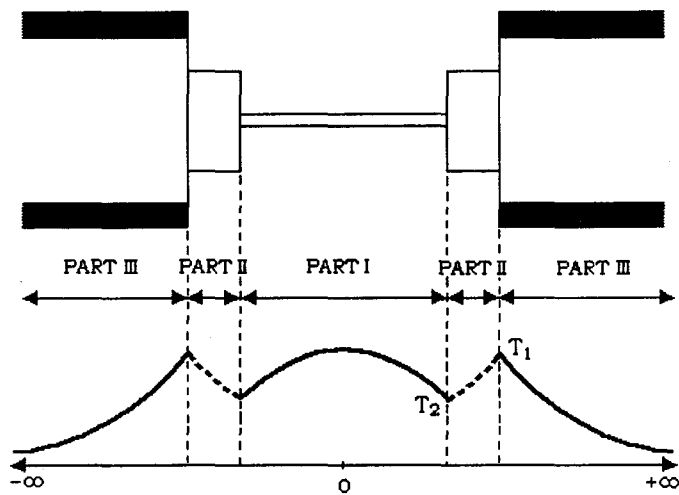


그림 4. 부분별(PART I,Ⅲ) 온도 분포 곡선

검사체적에서 에너지보존의 일반적인 형식은 다음과 같이 비율기준으로 표시할 수 있다.

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{st}}{dt} \equiv \dot{E}_{st} \quad (1)$$

그림의 PART I에서 식(1)을 미소요소에 적용하여 다음 식을 얻는다.

$$q_x + dq_i = q_{x+dx} + dq_{conv} \quad (2)$$

식(2)를 정리하면 2계 비제차 선형 미분방정식으로 나타난다.

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - m_1^2 (T - T_\infty) + m_2 = 0 \quad (3)$$

그 해는 정상해와 특이해의 합으로 나타내고  $\theta(x)$ 는  $x$ 에 대한 온도분포이다.

$$\theta(x) = C_1 (e^{m_1 x} + e^{-m_1 x}) + \frac{m_2}{m_1^2} \quad (4)$$

PART I의 끝단  $T_2$ 에서 한쪽 방향에 대한 열전달률은 다음과 같다.

$$\frac{q_i - q_{conv}}{2} = q_f(T_2) \quad (5)$$

PART II는  $T_1$ 과  $T_2$ 에 의해 결정되고  $T_1$ 은 PART III에서 구한다.

PART III에서 에너지 보존요구식 (1)을 적용하여 나타내면 선형제차 미분방정식의 형태로 나타난다.

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - m_3^2 \theta = 0 \quad (6)$$

식(6)을 정리하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\frac{\theta}{\theta_b} = e^{-mx} \quad (7)$$

$$q_f = \sqrt{hPk_2 A_c} \theta_b \quad (8)$$

$T_1$ 과  $T_2$ 가 결정 됐으므로 PART II에서 에너지 보존 요구식을 이용하여 정리하면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - m_4^2 \theta = 0 \quad (9)$$

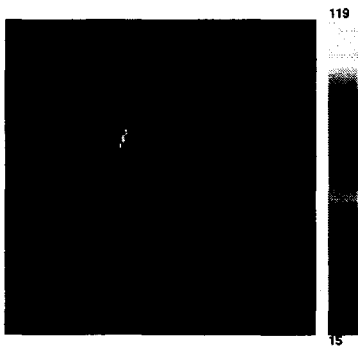
식(9)를 정리하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{(\theta_L/\theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL} \quad (10)$$

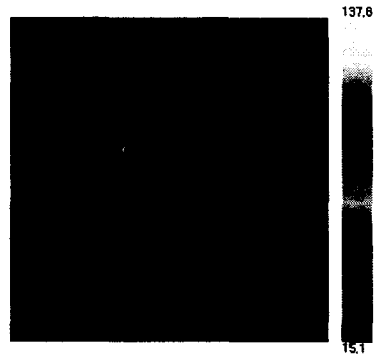
$$q_f = \sqrt{hPk A_c} \theta_b \frac{\cosh mL - \theta_L/\theta_b}{\sinh mL} \quad (11)$$

#### 4. 실험 결과 및 분석

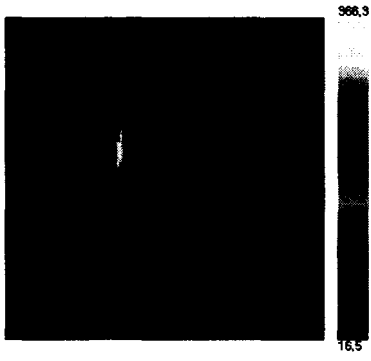
그림은 대기 중에 노출된 전선 단면적이  $0.1\text{mm}^2$ 이며 전류의 크기를 변화시키면서 흘려 보냈을 때, 전선의 발열 분포를 나타낸 것이다.



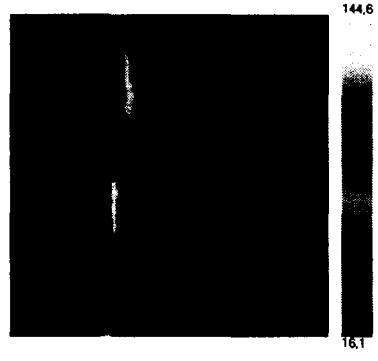
a) 5[A]를 흘려 보냈을 경우



b) 10[A]를 흘려 보냈을 경우



c) 17.5[A]를 흘려 보냈을 경우



d) 용융 후 온도분포

그림 5. 전류의 크기에 따른 온도분포

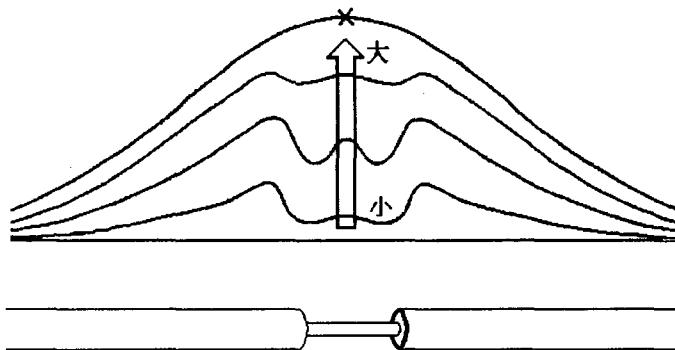


그림 6. 전류의 크기에 따른 전선의 온도 분포곡선

단면적이 적은 노출 부위에서 주울열이 발생하면 대류와 피복이된 부위로의 전도로의 열손실이 일어난다. 대류나 전도로의 열손실보다 자체 발생열이 많게 되면 단면적이 적은 노출부위에서 온도 상승률이 다른 부분보다 월등히 높아지고 전선의 녹는점 이상이 되면 용융이 되어 버린다. 그림 6은 전류에 따른 온도분포의 개념도이다.

## 5. 결론

1. 과전류로 인한 전선 접촉부에서의 열발생은 초기에 대류와 전도로 피복으로 덮여진 부분보다 오히려 낮은 온도 분포를 나타내고 더 큰 전류가 흐르면 발생열이 방출열보다 크게 되어 결국, 접촉부에서 전선의 용융이 일어난다.
2. 대기에 노출된 전선의 열분포를 해석함으로써 열발생 프로세서를 밝힐 수 있었다. 이 열발생 프로세서의 중요성은 대기 중에 노출된 전선, 전선과 단자대간의 연결 그리고 전선과 전선의 연결에서 접촉에 관한 전선저항의 증가로 인한 발생 열과 관련성을 가지고 있다.

### ■ 참고문헌

1. 행정자치부 소방국, '98 화재 통계연보. 1999. pp.57-60
2. 이탁식, 이재현, 이준식, "열전달", 1995.
3. J.P.HOLMAN, "Heat Transfer", 1986.
4. JOHN D.DEHAAN, "KIRK'S FIRE INVESTIGATION", 1997. pp.248-250.
5. 한국전기안전공사, "배선기구 탄화 및 발열에 의한 전기화재 위험성 연구",1996. pp.137-143