

## 복사열에 노출된 소방용 방수복의 열적 특성에 관한 연구 Study on the Thermal Characteristics of the Fire Fighter's Waterproof Clothing Exposed to the Radiation Heat

방 창 훈<sup>†</sup>

Chang-Hoon Bang<sup>†</sup>

경북전문대학 소방안전관리과  
(2002. 12. 4. 접수/2003. 2. 14. 채택)

### 요 약

본 연구에서는 복사열에 노출된 소방용 방수복의 열적 특성에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과 소방용 방수복의 노출시간에 따른 표면의 온도상승은 노출거리가 가까울수록 급격히 일어났다. 또한 복사열유속이 클수록 표면의 온도가 높으며, 정상상태 도달시간은 짧게 나타났다. 소방용 방수복의 노출거리가 멀어질수록 표면의 온도는 급격히 감소하며, 전면과 후면의 온도차도 감소하였다. 복사열유속이 증가할수록 안전노출거리가 증가하였다. 따라서 소방대원의 안전을 위해서는 복사열원으로부터 일정거리이상 떨어져 작업하여야 할 것으로 사료된다.

### ABSTRACT

This experimental study shows the thermal characteristics of the fire fighter's waterproof clothing exposed to the radiation heat. From the test results, the surface temperature of the fire fighter's waterproof clothing exposed to the radiation with the passage of time sharply increased as the exposed-distance became closer. Also as the radiant heat flux increased, the surface temperature is higher and the time reaching steady state is sharply shorter. As the exposed-distance become more distant, the surface temperature of the fire fighter's waterproof clothing decreased and the difference of temperature between the front side and the back side of the clothing decreased as well. Besides, the radiant heat flux increased, the safety exposed-distance increased. Therefore it is necessary that fire fighter have to work keeping a fixed safe distance from the radiant heat source.

**Keywords** : Fire fighter's waterproof clothing, Radiant heat

## 1. 서 론

소방용 방화복은 화재현장에서 소방공무원이 진화작업시에 신속하고 간편하게 착용하도록 만들어진 피복으로서 열방호성 및 방수성능을 구비하여 소방공무원의 신체를 보호함을 목적으로 한다.<sup>1)</sup>

소방관 복제는 1949년 대통령령 제 180호로 제정되었으며, 1992년 내무부령 제 575호에 의하여 소방용 방화복이 방수복과 방열복으로 구분되어졌다. 이후 2001년 소방용 방화복에 대한 새로운 복제규격이

개정되었다.

미국의 경우 화재를 진압하는 상황에 따라 기능성이 다르게 요구되므로 구조물용, 접근용, 임야용 소방보호복 등으로 방화복이 다양하게 분류되고 있으나<sup>2)</sup> 국내에서는 아직 미비한 실정이다. 따라서 화재진압 및 구조상황에 따라 소방대원의 인체보호 및 진화작업의 효율성을 높이기 위하여 다양한 상황에 부합하는 소방용 방화복에 대한 연구 개발이 필수적이라 하겠다.

Lawson<sup>3)</sup>은 소방대원들이 화재 진압시 발생하는 열적특성 및 열, 화염, 습기 등에 의하여 화상을 입는 과정을 분석하였다. 연구결과 방화복과 훈련방법의 개선점을 제시하였다. Mell 등<sup>4)</sup>은 소방대원의 방화복에 대

<sup>†</sup> E-mail: bch@mail.kbc.ac.kr

한 열전달 현상을 수치적 연구와 실험적 연구를 통해 방화복의 열적특성을 분석하였다. Yoo 등<sup>5)</sup>은 노출시간과 열강도에 따른 복사열 노출후의 소방보호복의 물리적 특성과 마모강도, 인장강도, 연신도를 실험적으로 조사하였다. 그 결과 소방복의 보호성능의 종합적인 평가를 위해서는 방열성 수치뿐만 아니라 열에 노출 후 제거가능성 유지측면까지 고려해야 함을 밝혔다.

위와 같이 지금까지 연구들은 대부분 화염에 노출된 방화복에 대한 열적인 특성과 직물의 물리적인 특성변화를 조사하였다.

반면 현재 일선 소방대원들이 착용하는 방수복이 복사열에 노출되는 경우에 관한 연구는 미흡하였다.

실제 화재현장에서 소방대원에게 전달되는 열은 복사열전달이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 특히 복사열에 노출된 작업복의 노출표면온도와 후면온도와와의 상관관계, 물에 충분히 젖은 상태의 표면 온도변화 그리고 열원에서의 노출거리 변화에 따른 작업복의 열적인 특성변화에 대한 실험적 연구는 그동안 거의 없었다.

따라서 본 연구에서는 복사열에 노출된 소방용 방수복의 열적 특성을 규명하여 소방대원의 안전을 예측할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 복사열에 노출된 소방용 방수복의 열적 특성을 측정하기 위해 제작한 실험장치의 개략도이다.

실험장치는 복사히터(Osram, 500 W), 슬라이닥스, 시료를 고정할 수 있는 시료고정대, 열전대, 데이터처리장치(Fluke, Hydra)로 구분할 수 있다. 그리고 시료의 앞면과 뒷면의 표면온도를 측정할 수 있는 열전대(K-

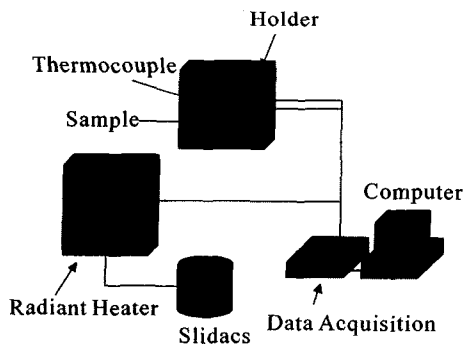


Fig. 1. Experimental setup.

한국화재·소방학회, 제17권 제1호, 2003년

Table 1. Physical characteristics of sample

구분	재질	중량(g/m <sup>2</sup> )	합량	조직
겉감	내열원단	200±10%	비닐론 70% 폴리노직 30%	평직
안감	고무포	140 이상		

type)를 시료(100 mm×100 mm) 중앙의 표면에 설치하였다.

또한 복사히터의 표면온도를 측정하기 위하여 열전대를 설치하였다.

### 2.2 실험방법 및 조건

시료는 현재 소방대원들이 사용하고 있는 소방용 방수복을 사용하였으며 국내 A사에서 생산된 제품이다. 재질은 겉감이 내열원단, 안감이 고무포로 이루어져 있으며 Table 1에 자세한 사양을 나타내었다.<sup>6)</sup>

모든 시료는 AATCC Test Method 135 procedure B<sup>7)</sup>에 준하여 세탁한 후, 온도가 22±1°C에서 상대습도 65±5% 조건에서 24시간 이상 방치한 후 사용하였다.

준비된 시료는 시료 고정대에 고정시킨 후 버니어 캘리퍼스를 사용하여 히터에서 시료까지의 거리를 각각 5 cm~30 cm까지 5 cm 간격으로 변화시키면서 측정하였다. 복사히터에서 나오는 열유속량은 슬라이닥스를 이용하여 전압으로 조절하였으며, 실험 전 측정된 결과가 전력계로 측정된 전원공급량과 5% 이내로 일치함을 확인하였다.

본 실험의 실험조건은 Table 2와 같다. 일반적으로 소방대원들이 작업시 받게 되는 복사열유속은 1.26 W/cm<sup>2</sup>~2.93 W/cm<sup>2</sup>로 알려져 있다.<sup>8)</sup> 따라서 본 실험에서는 복사히터에서 방사되는 열유속량을 1 W/cm<sup>2</sup>~4 W/cm<sup>2</sup>로 하였다. 또한 노출거리에 따른 열적특성을 분석하기 위하여 거리를 5 cm에서 30 cm까지 5 cm 간격으로 변화시켜 실험하였다. 한편 열유속의 측정오차는 10%이내이며, 열전대의 측정오차범위는 ±0.3°C이다.

Table 2. Experimental condition

Sample	Fire fighter's waterproof clothing
Heat flux of Radiation Heater [W/cm <sup>2</sup> ]	1, 2, 3, 4
Exposed Distance[cm]	5, 10, 15, 20, 25, 30
Relative Temperature/Humidity	22±1°C/65±5% RH

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 노출시간에 따른 소방용 방수복의 열적 특성

Fig. 2는 소방용 방수복 노출전면에서의 온도변화( $T_1$ )를 노출시간( $t$ )에 따라 나타낸 그림이다. 이때 복사히터 표면에서 시료까지의 노출거리가 5 cm이고, 복사열 유속은  $1 \text{ W/cm}^2 \sim 4 \text{ W/cm}^2$ 이다.

복사열에 노출된 소방용 방수복의 표면온도는 초기에 급격히 상승하다가 일정시간이 경과한 후에는 거의 변화가 없이 최고온도를 유지하는 정상상태(steady state)에 도달한다. 또한 복사열유속이 증가할수록 소방용 방수복 표면에서의 온도상승이 크게 나타나며, 정상상태에 이르는 시간이 짧게 나타났다. 복사열유속이  $4 \text{ W/cm}^2$ 인 경우에는 표면의 온도가 약  $177^\circ\text{C}$ 에 도달하였으며 소방용 방수복의 표면에서 연기가 약간 발생하였다. 이는 직물이 복사열에 노출되면서 수분과 휘발성물질이 증발되며, 직물에서 산화되면서 분해가 발생하면서 나타나는 현상으로 사료된다.

Fig. 3은 Fig. 2와 동일한 조건하에서 소방용 방수복의 노출후면에서의 표면온도( $T_0$ ) 변화를 나타낸 그림이다.

전반적인 경향은 Fig. 2와 유사하며, 후면에서의 온도는 전면에서보다 낮게 나타났다. 이는 소방용 방수복의 후면온도는 복사열에 직접 노출된 소방용 방수복의 전면으로부터 소방용 방수복을 통한 전도열전달에 영향을 받으며, 소방용 방수복 상하향으로의 열손실로 인하여 전면온도보다 온도가 낮게 나타난다.

Fig. 4는 물에 충분히 젖은 상태의 소방용 방수복 노

출전면에서의 온도변화( $T_1$ )를 노출시간( $t$ )에 따라 나타낸 그림이다. 이때 복사히터 표면에서 시료까지의 노출거리가 5 cm이고, 복사열유속은  $1 \text{ W/cm}^2 \sim 4 \text{ W/cm}^2$ 이다.

물에 충분히 젖은 소방용 방수복의 노출전면에서의 표면온도는 전체적으로 복사열유속에 노출즉시 온도가 급격히 상승하다가 일정기간 온도의 변화가 없는 구간이 나타나며, 그후 다시 상승하여 정상상태에 도달한다. 이는 방수복 표면에 스며든 물의 증발에 의하여 나타나는 현상이다. 즉 방수복이 흡수하는 열량의 대부

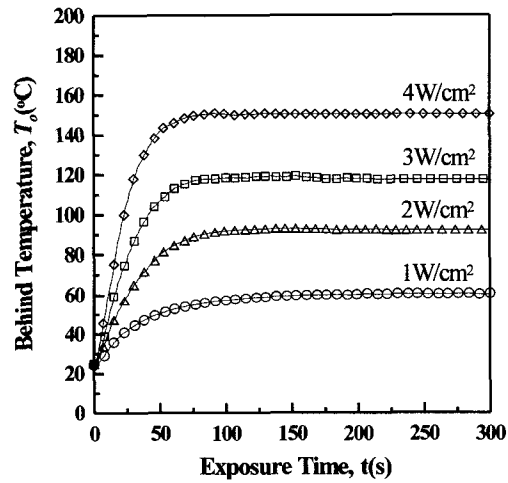


Fig. 3. Behind temperature  $T_0$  variation with time,  $q = 1 \sim 4 \text{ W/cm}^2$ ,  $X = 5 \text{ cm}$ .

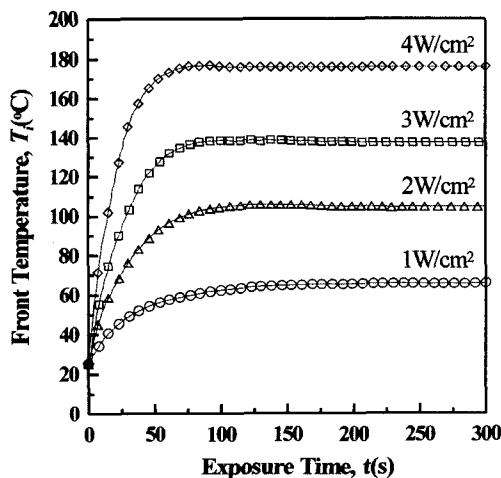


Fig. 2. Front temperature  $T_1$  variation with time,  $q = 1 \sim 4 \text{ W/cm}^2$ ,  $X = 5 \text{ cm}$ .

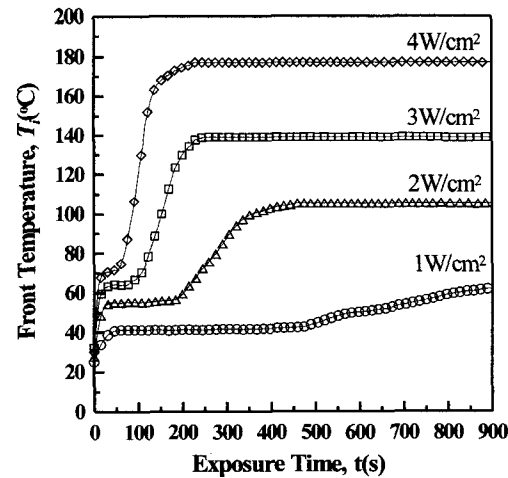


Fig. 4. Front temperature  $T_1$  of wet clothing variation with time,  $q = 1 \sim 4 \text{ W/cm}^2$ ,  $X = 5 \text{ cm}$ .

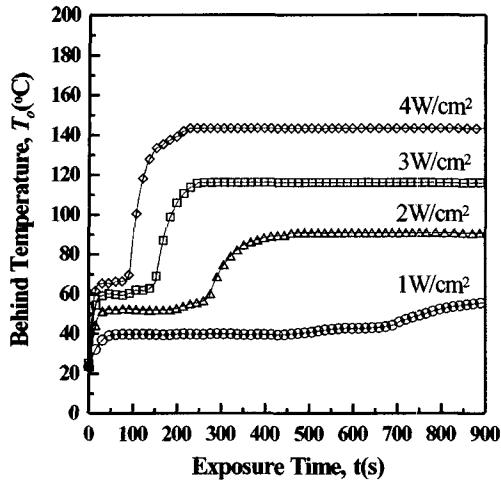


Fig. 5. Behind temperature  $T_b$  of wet clothing variation with time,  $q = 1\sim 4 \text{ W/cm}^2$ ,  $X = 5 \text{ cm}$ .

분이 물의 증발잠열에 이용되어 온도의 변화가 없다. 그후 증발이 마무리 되면 다시 온도가 상승하게 된다.

Fig. 5는 Fig. 4와 동일한 조건하에서 소방용 방수복의 노출후면에서의 표면온도( $T_b$ ) 변화를 나타낸 그림이다.

전반적인 경향은 Fig. 4와 유사하며 물의 증발로 인한 온도가 일정한 구간이 좀더 길게 나타난다. 이는 전면과 후면 사이의 물이 증발하면서 나타나는 현상으로 사료된다.

즉 화재 진압시 소방대원의 방수복에 물을 뿌려주는 것은 표면온도 하강에 도움이 될 것으로 사료된다. 그러나 방수복에 스며든 물의 무게로 인하여 방수복의 무게가 증가함에 따라 소방대원의 육체적 피로가 증가할 것이며, 물의 증발로 인한 수증기의 영향도 소방대원에게 미칠 것으로 사료되어 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3.2 노출거리에 따른 소방용 방수복의 열적특성

Fig. 6는 소방용 방수복 전면에서의 정상상태 온도( $T_f$ )를 복사히터로부터 소방용 방수복의 전면까지의 노출거리( $X$ )에 따라 나타낸 그림이다. 이때 복사히터 표면의 열유속은  $1 \text{ W/cm}^2\sim 4 \text{ W/cm}^2$ 이다.

복사히터로부터의 노출거리가 멀어질수록 소방용 방수복의 전면온도는 소방용 방수복의 종류와 관계없이 급격히 낮아진다. 이는 노출거리가 멀어짐에 따라 복사강도가 작아지기 때문이다.

Fig. 7는 Fig. 6와 동일한 조건하에서 소방용 방수복

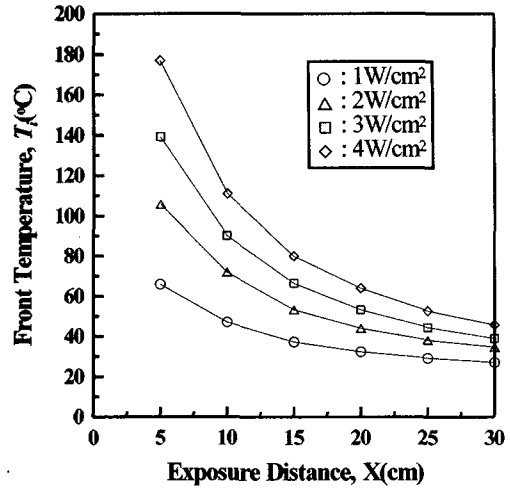


Fig. 6. Front temperature  $T_f$  variation with exposure distance,  $q = 1\sim 4 \text{ W/cm}^2$ ,  $X = 5\sim 30 \text{ cm}$ .

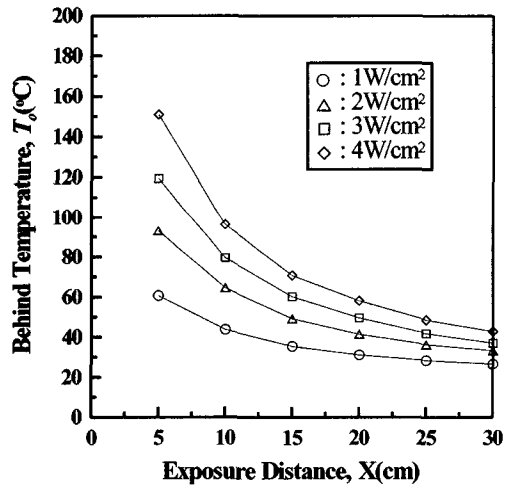


Fig. 7. Behind temperature  $T_b$  variation with exposure distance,  $q = 1\sim 4 \text{ W/cm}^2$ ,  $X = 5\sim 30 \text{ cm}$ .

후면에서의 표면온도( $T_b$ )의 변화를 나타낸 그림이다.

전반적인 경향은 Fig. 6와 비슷하며, 후면의 온도는 전면보다 조금 작게 나타난다.

소방용 방수복 후면은 소방대원의 피부와 접촉 또는 아주 근접하여 위치하게 된다. 따라서 이 부분의 온도는 소방대원의 안전에 매우 중요하다.

일반적으로 화재 진압시 소방대원의 피부온도가  $38\text{ }^\circ\text{C}\sim 45\text{ }^\circ\text{C}$ 로 되면 열통증을 느끼며,  $54\text{ }^\circ\text{C}$ 에 이르면 화상이 발생한다.<sup>3)</sup> 따라서 후면의 온도가  $45\text{ }^\circ\text{C}$ 를 초과하면 소방대원들은 열고통을 느끼기 시작하며, 실제 화재 진

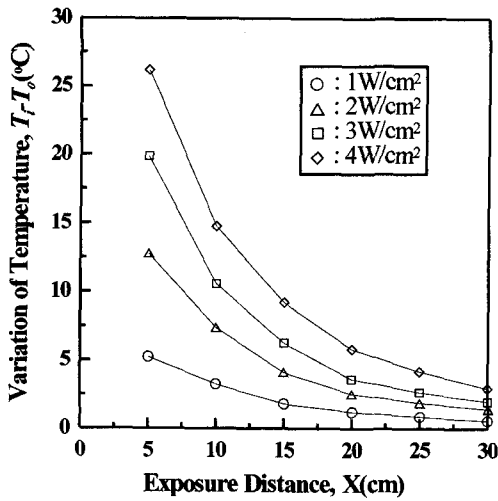


Fig. 8. Variation of temperature with exposure distance,  $q = 1\sim 4 \text{ W/cm}^2$ ,  $X = 5\sim 30 \text{ cm}$ .

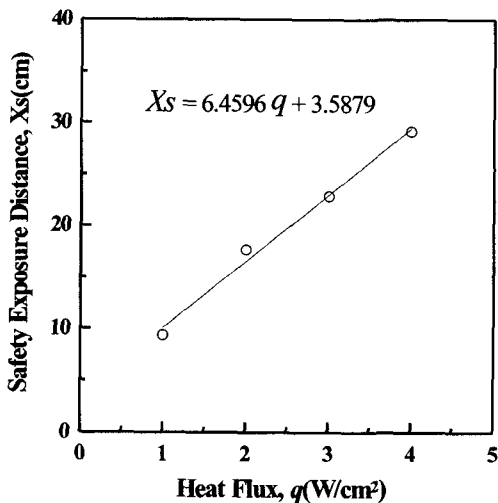


Fig. 9. Safety exposed distance with heat flux at steady state.

압시에는 수증기, 땀 등의 수분의 영향으로 소방대원들이 느끼는 체감온도는 더욱 높을 것으로 사료된다. 즉 화재 진압시에 열원으로부터 충분한 안전거리를 두어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 8은 노출거리에 따른 소방용 방수복의 전면과 후면사이의 온도차( $T_1 - T_0$ )를 나타낸 그림이다.

소방용 방수복의 전면과 후면의 온도차는 노출거리가 멀어질수록 감소한다. 복사열원의 복사열유속이 증가할수록 온도차는 증가한다.

Fig. 9은 정상상태에서 복사열유속에 따른 안전노출

거리를 나타낸 그림이다. 이때 안전노출거리는 시료후면의 온도가 45°C에 도달할 때까지의 거리를 나타낸 것이다.

복사열유속이 증가할수록 안전노출거리가 증가한다. 이는 복사열유속이 증가할수록 소방대원에 대한 열적 위험성이 증가함을 의미하며 따라서 소방대원의 안전을 위해서는 화재 진압시 최소한의 안전거리를 두어야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

복사열에 노출된 소방용 방수복의 열적 특성을 실험적으로 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 소방용 방수복의 노출시간에 따른 표면의 온도상승은 노출거리가 가까울수록 급격히 일어난다. 또한 복사열유속이 클수록 표면의 온도가 높게 나타난다.
- 2) 복사열원에서 소방용 방수복의 노출거리가 멀어질수록 표면의 온도는 급격히 감소하며, 전면과 후면의 온도차도 감소한다.
- 3) 복사열유속이 증가할수록 안전노출거리가 증가한다. 따라서 소방대원의 안전을 위해서는 복사열원으로부터 일정거리이상 떨어져 작업하여야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. “소방용 방화복 규격서”, 행정자치부(2002).
2. NFPA 1971, 1976, 1977, NFPA(2001).
3. Lawson, J., “Fire fighter's protective clothing and thermal environments of structural fire fighting”, NISTIR 5804, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD, August(1996).
4. Mell, W.E. and Lawson, J., “A heat transfer model for fighter's protective clothing”, NISTIR 6299, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, January(1999).
5. Yoo Hwa Sook, Ning Pan, Gang Sun., “Change of physical and mechanical properties of firefighter protective clothing after radiant heat exposure”, J. of the Korean society of Clothing and Textiles Vol. 23. No. 6, pp.853-863(1999).
6. 내무부령 제575호, 법제처.
7. <http://www.aatcc.org>.
8. Behnke, W.P. and Seaman, R.E., “Laboratory tests which predict End-Use performance under high temperature conditions”, Journal Applied Polymer Science : Applied Polymer Symposia, 9, pp.49-62(1969).