

# 가연물 접촉에 따른 전기히터의 화재위험성에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on the Fire Risk of Electric Heaters According to Contact of Flammable Materials

이성룡

Sung-Ryong Lee

중앙소방학교 소방과학연구소실  
(2011. 3. 25. 접수/2011. 6. 10. 채택)

## 요 약

본 연구에서는 대표적인 계절용기기인 전기히터에 대하여 발화위험성을 평가하였다. 실험에는 2종류의 전기히터가 사용되었다. 전기히터 가동 시 히터 표면 및 주변의 온도변화를 측정하였으며, 내부 비파괴검사를 통하여 전기히터 내부구조를 파악하였다. 전기히터 화재원인 중 가장 높은 비율을 차지하는 가연물 근접방치에 의한 화재위험성을 평가하였다. 또한 전도 안전스위치 오작동에 의한 발화위험성을 평가하였다. 정상작동 시 전기히터 발열체 주위에서 온도가 80°C 이하로 유지되었다. 전기히터 가동 중 가연물 낙하 등으로 인하여 히터를 덮거나 안전장치(전도안전스위치, 과열방지장치)의 오작동 등에 의해 발화위험성이 상존하고 있다.

## ABSTRACT

In this study, it was evaluated the fire risk of an electric heater as representative seasonal appliances. Two type of electric heaters were used in experiments. When electric heaters were operated, temperature variation was measured around the heater. Internal structure was understood by Nondestructive inspection. It was evaluated the fire risk of electric heaters, when flammable materials were positioned near a heater. It was also estimated the probability of a fire in case of malfunction of a safety tip-over switch. When a heater was operated in a normal condition, temperature was maintained under 80°C around the heater. The possibility of a fire is very high, when a heater is covered with flammable materials or malfunction of safety parts (safety tip-over switch, anti-overheating devices).

**Key words :** Electric heater, Fire risk, Flammable material, Nondestructive inspection

## 1. 서 론

산업기술의 진보로 인하여 하루가 다르게 신기술이 개발되고 있으며, 신제품이 출시되고 있다. 우리가 일상에서 사용하는 가전제품의 성능 개선 및 종류가 다양화되고 있으며, 이로 인하여 생활의 편의성이 향상되고 있다.

‘제조물책임법’ 시행 및 ‘실화책임에관한법률’ 개정으로 인하여 가전제품에 대한 발화여부 판정이나 발화원인 규명이 더욱 중요시되고 있다. 따라서 가전제품에 대한 충분한 이해가 필요하고 구체적인 원인이 규

명되어야 민·형사상 책임소재를 분명히 할 수 있다.

대표적인 계절용기기인 난방기기는 연료에 따라 전기, 가스, 석유 난방기기 등으로 나뉜다. 석유 난방기기는 열효율이 좋지만 연료비가 많이 들고 냄새가 나는 단점이 있다. 가스 난방기기는 냄새가 없고 저렴하나 안전과 관리에 유의하여야 한다. 전기 난방기기는 냄새가 없고 편리하지만 전기 소모량이 많은 것이 단점이다.

전기히터란 발열체에서 발생한 열을 대류나 복사를 이용하여 따뜻하게 하는 난방기구를 말한다. 전기히터를 발열 방식에 따라 원적외선히터, 할로겐히터, 카본히터, 석영관히터, PTC히터, 근적외선히터 등으로 분류할 수 있다.

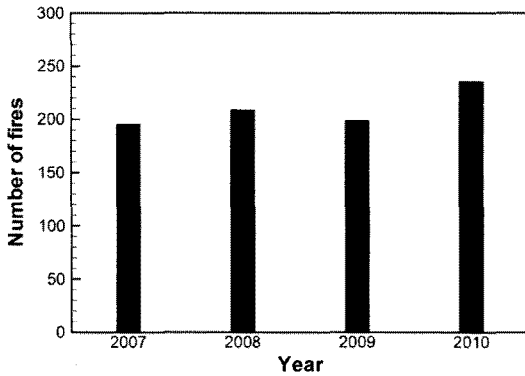


Figure 1. Statistics of electric heaters (2007~2010).

Table 1. Fire Causes for Electric Heaters and Stoves<sup>1)</sup>

실화				방화/ 방화의심	
전기적	기계적	부주의	기타	방화의심	미상
59	44	122	4	2	5

Figure 1에 최근 4년간의 전기히터 화재통계를 나타내었다.<sup>1)</sup> 2010년 236건의 전기히터 화재가 발생하였으며 평균 200건 이상의 화재가 꾸준히 발생하고 있다.

Table 1에 전기히터/스토브에 대한 화재원인을 나타내었다. 부주의에 의한 화재가 122건으로 가장 높은 비율을 차지하고 있다.

전기히터 화재에 대한 전문서적들이 출판되어 현장 조사, 감식·감정 및 출화사례들을 소개하고 있다.<sup>2-4)</sup> 홍성호 등은 전기히터의 화재위험성 및 예방대책을 제시하였다.<sup>5)</sup> 김동욱과 최충석은 원격외선 히터 화재에 대하여 금속 및 절연재의 특성을 분석하였다.<sup>6)</sup>

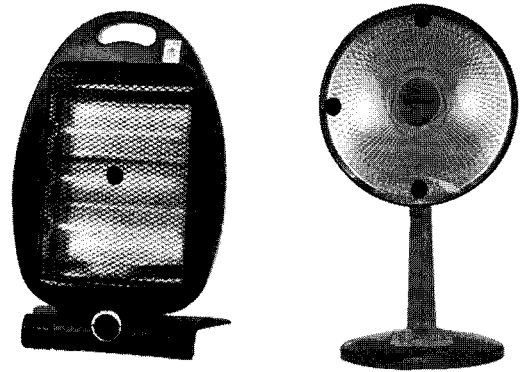
본 연구에서는 전기히터 2종에 대하여 재현실험을 통하여 전기히터의 발화 위험성을 평가하였으며, 이를 바탕으로 보다 정확한 화재원인 판정의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험대상 히터 및 실험방법

### 2.1 실험대상 히터

본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 스토브형 할로겐히터, 선풍기형 세라믹히터에 대하여 실험을 실시하였으며, 이를 Figure 2에 나타내었다.

스토브형 할로겐히터(MF-103B, 마이프랜드, Korea)의 램프 1개의 소비전력은 300 W이며 본 실험에 사용된 히터의 경우 3개의 램프로 구성되어 있으며, 최대 소비전력은 900 W이다. 온도조절스위치를 1단, 2단 그



a) Halogen heater (b) Ceramic heater

Figure 2. Heaters used in experiments (●: Thermocouple).

리고 3단에 위치시킴으로써 각 램프가 작동하도록 조절한다. 상부에 과열방지장치가 내장되어있으며 히터 내부의 온도가 130 °C를 초과하게 되면 과열방지장치의 퓨즈가 녹아서 전원 공급을 차단하는 역할을 한다.

선풍기형 세라믹히터(MFH-1049C, 마이프랜드, Korea)의 열선 1개의 소비전력은 450 W이며 본 실험에 사용된 히터의 경우 2개의 램프로 구성되어 있으며 최대 소비전력은 900 W이다. 온도조절스위치를 약과 강에 위치시킴으로써 각 열선이 작동하도록 조절한다.

### 2.2 실험방법

Table 2와 같은 X선 투과분석장비(TVX-IM 9000, Korea)를 사용하여 전기히터 각 부품의 내부를 촬영하였다.

전기히터 및 주위의 온도 측정을 위하여 소선 지름 0.6mm의 K-타입 열전대를 사용하였다. 열전대의 측정

Table 2. Specifications of X-ray System

Tube Voltage	Max. 90 kV
Focal Spot Size	< 5 μm
Max. Field of View	4"2" I.I
System Magnification	Max. 300X (Adjustable)
Scanning Area	300 × 300 (mm)
Measurements (W × D × H)	850 × 950 × 1500 (mm)
Axis	4 Axis (X, Y, Z, Jig & Rotation)
CCD Camera	1 Mega pixels
Safety	1.0 μSv/h or less

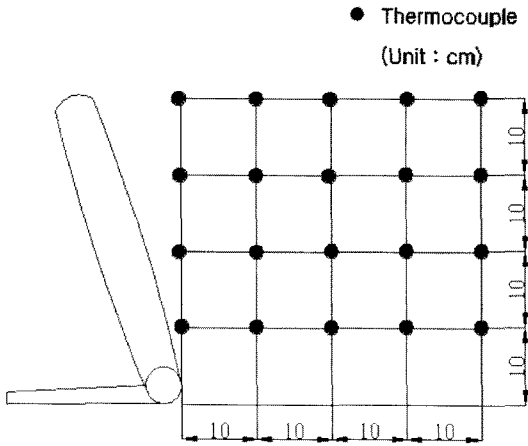


Figure 3. Position of thermocouples.



Figure 4. Photograph of an experiment 1.

범위는  $-200\sim 1,200^{\circ}\text{C}$ 이며  $-20\sim 120^{\circ}\text{C}$  구간에서  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 오차를 가진다. 열전대에 발생된 신호는 Data Acquisition Unit(34970A, Agilent, USA)과 Data Acquisition Module (34901A, Agilent, USA)을 통해 수집되었다. 데이터 수집 장치의 각 채널에서 수집된 데이터는 RS232를 통해 PC로 전송된다. 히터 주위의 온도를 측정하기 위하여 모두 20개의 열전대를 히터 중심선을 따라 설치하였으며, 할로겐히터의 측정 열전대위치를 Figure 3에 나타내었다. 폭 2.7 m, 길이 2.6 m, 높이 2.4 m의 구획실을 구성하였으며 중앙 전면에 폭 80 cm 높이 2 m의 개구부를 설치하여 개구부 개방 유·무에 따른 영향을 평가하였다. 실험모습을 Figure 4에 나타내었다.

히터 표면 안전망에서의 온도를 측정하기 위하여 할로겐히터의 경우 안전망 중앙에 열전대를 설치하여 온도변화를 측정하였으며, 세라믹히터의 경우 안전망 상부, 중앙 측면 그리고 하단부 3곳에 열전대를 설치하

Table 3. Experimental Condition

번호	히터	온도 (°C)	상대 습도 (%)	비고
1	할로겐히터	33.3	59.8	개구부 개방
2	할로겐히터	24.9	76.9	개구부 밀폐
3	세라믹히터	31.3	76.0	개구부 밀폐
4	할로겐히터	28.4	83.5	-
5	세라믹히터	30.5	78.9	-
6	할로겐히터	28.6	74.8	매트, 안전스위치 작동
7	세라믹히터	30.5	80.5	담요, 안전스위치 작동
8	할로겐히터	25.0	64.3	매트, 안전스위치 미작동
9	세라믹히터	33.8	80.5	담요, 안전스위치 미작동
10	할로겐히터	27.7	75.4	점퍼 접촉
11	세라믹히터	35.3	73.1	점퍼 접촉
12	할로겐히터	25.5	75.4	바지 접촉
13	세라믹히터	18.3	78.6	수건 접촉
14	세라믹히터	21.4	78.6	수건 삼입
15	세라믹히터	28.9	83.6	티셔츠 접촉

였으며 위치를 Figure 2에 표시하였다.

전기히터 하단부에 전도스위치가 설치되어 있으며, 히터 가동 중 취급 부주의에 의하여 쓰러지는 경우 전원을 자동으로 차단하도록 하고 있다. 그러나 사용자가 히터가 쓰러질 경우 전원이 차단되는 것을 방지하기 위하여 전도스위치가 작동하지 않도록 테이프 등을 붙여 사용하는 경우가 있다. 따라서 본 연구에서는 매트와 담요에 히터가 쓰러졌을 경우 전도스위치의 작동 유·무에 따른 발화 위험성을 평가하였다.

또한 점퍼, 바지, 수건, 티셔츠를 사용하여 가연물 접촉에 따른 화재위험성을 평가하였다.

각 실험시의 주위 온도 및 습도를 Table 3에 나타내었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 내부 비파괴검사 결과

두 히터 모두 유사한 구조를 가지고 있다. 본 결과에서는 할로겐히터에 대한 결과를 나타내었다. 이를 활용하여 화재 시 히터의 가동 유·무 등의 판단에 활용될 수 있다.

온도조절스위치 및 비파괴검사 결과를 Figure 5에 나타내었다. 온도조절에 따라 3개의 접점이 순차적으로

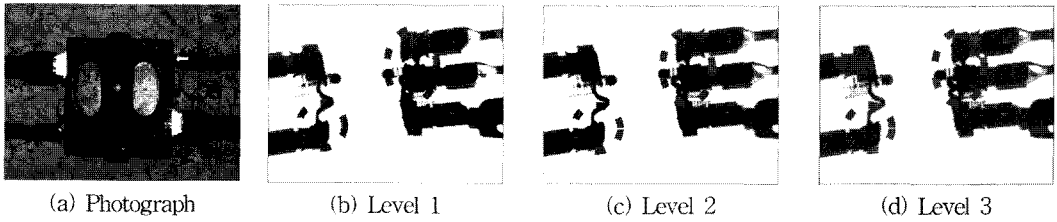


Figure 5. Temperature control switch.

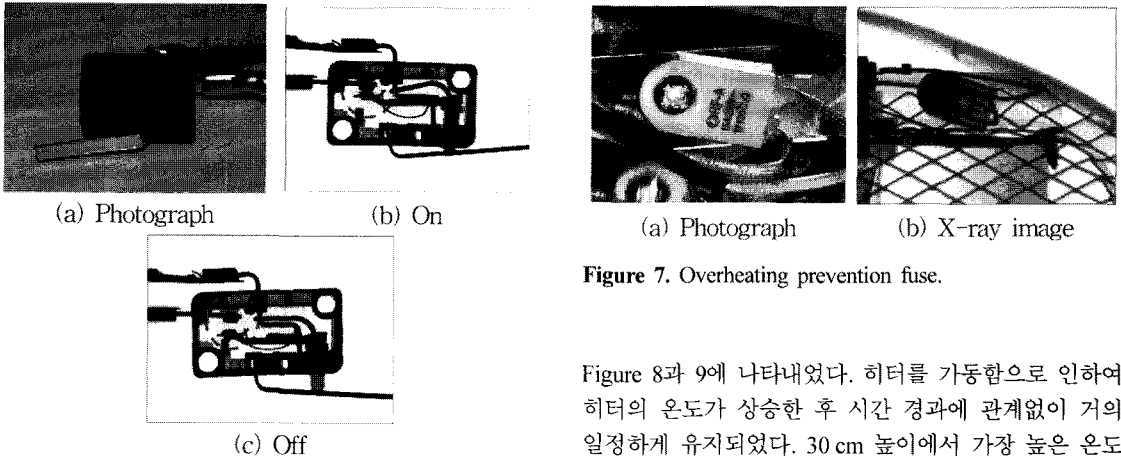


Figure 6. Safety tip-over switch.

접하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 화재 시 히터의 작동 유·무를 판단할 수 있다.

전도스위치 내부 접점의 접촉 유·무에 따라 안전스위치의 작동 여부를 판단할 수 있다. 전도스위치 및 비파괴검사 결과를 Figure 6에 나타내었다. Figure 7에 과열방지장치의 사진과 비파괴검사 결과를 나타내었다.

3.2 주위 온도변화 결과

할로겐히터에 대하여 시간 경과에 따른 온도 변화를

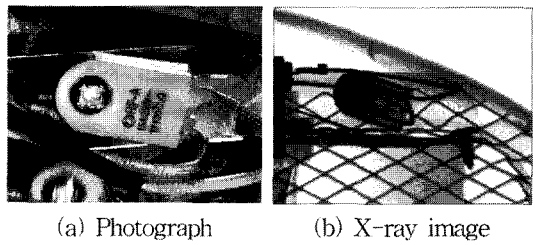


Figure 7. Overheating prevention fuse.

Figure 8과 9에 나타내었다. 히터를 가동함으로 인하여 히터의 온도가 상승한 후 시간 경과에 관계없이 거의 일정하게 유지되었다. 30 cm 높이에서 가장 높은 온도를 나타내었으며, 측정 영역에서 최대 80 °C 이하로 온도가 유지되었다. 히터로부터 20 cm 이상 떨어진 위치에서는 온도가 50 °C 이하로 유지되었다.

개구부를 밀폐한 경우, 개구부를 개방한 경우와 비교하여 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있다.

세라믹히터의 경우에도 히터를 가동함으로 인하여 히터의 온도가 상승한 후 시간 경과에 관계없이 거의 일정하게 유지되었다. 히터 중심부에 설치된 안전판의 영향으로 인하여 히터 중심부 영역에서는 온도가 낮고 상부에서 가장 높은 온도를 보였다. 안전망 상부 영역에서 온도가 최대 80 °C 이하로 유지되었다. 히터로부터 10 cm 이상 떨어진 위치에서는 대부분의 영역

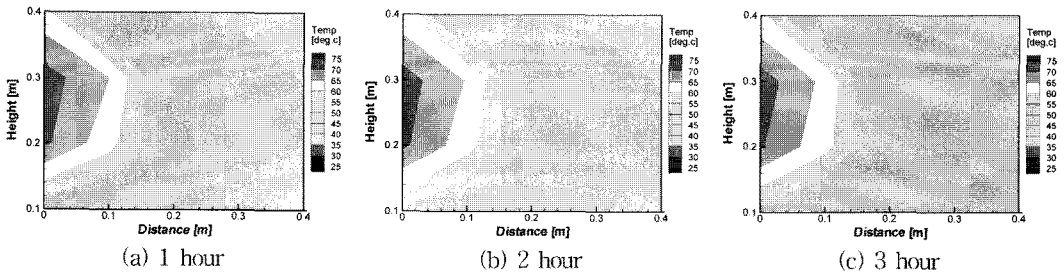


Figure 8. Temperature distribution around the heater (Experiment 1).

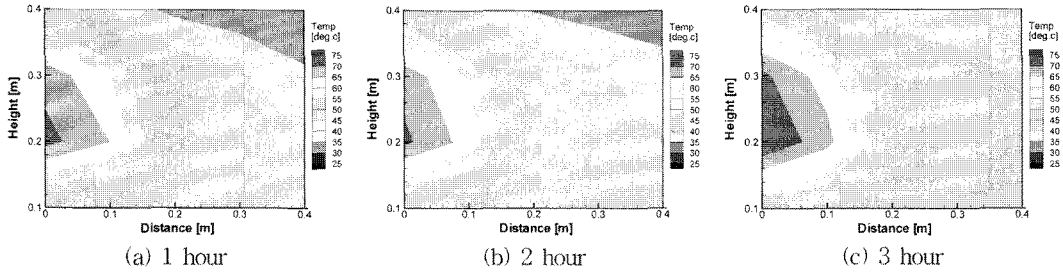


Figure 9. Temperature distribution around the heater (Experiment 2).

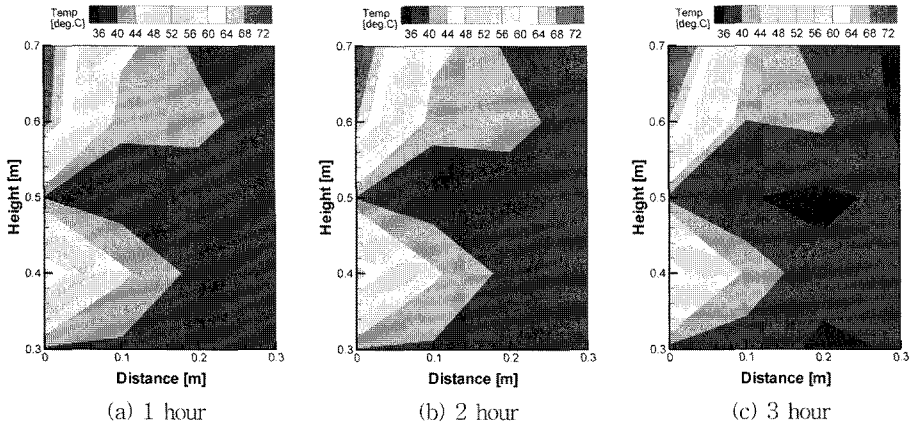


Figure 10. Temperature distribution around the heater (Experiment 3).

에서 온도가 45 °C 이하로 유지되었다. 세라믹히터 주위의 시간경과에 따른 온도분포를 Figure 10에 나타내었다.

3.3 히터 표면 온도변화 결과

세라믹히터 안전망 표면의 상부, 중앙 측면 그리고

하단부에서의 시간 경과에 따른 온도 변화 측정결과를 Figure 11에 나타내었다. 히터 가동 후 약 350초까지 온도가 서서히 상승하였으며 이후 온도가 거의 일정하게 유지되었다. 정상상태에 도달한 후 상부에서는 온도가 약 120 °C 이하로 유지되었다. 측면에서는 약 65 °C , 하단부에서는 약 50 °C 이하로 온도가 일정하게 유지되었다.

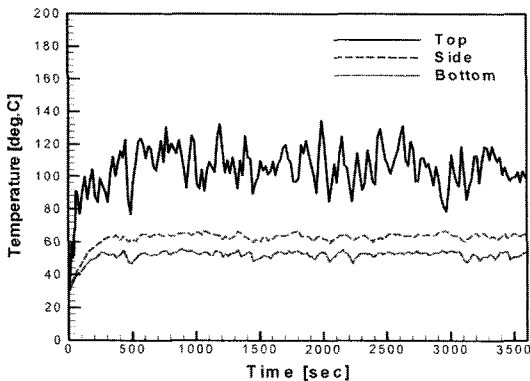


Figure 11. Temperature distribution at the safety net.

3.4 전도스위치 작동 유·무에 따른 발화 위험성 평가 결과

3.4.1 전도스위치 작동

할로겐히터에 대하여 바닥 재질에 따른 영향을 평가하기 위하여 바닥 매트 위에 전기 히터를 위치시킨 후 전원을 공급하였다. 전원 공급 5분 후 전기히터를 끄러트렸다. 히터가 끄러트린 후 히터의 가동이 중지되었으며 매트 표면에 안전망의 자국만이 남았으며 그 외의 변화는 없었다. 전기 히터를 가동함으로 인하여 온도가 서서히 증가하여 약 120 °C까지 증가한 후 일정하게 유지되었다. 히터를 끄러트린 후 약 155 °C까지 온도가 증가하였으나 매트에 착화되지 않고 바닥에 안

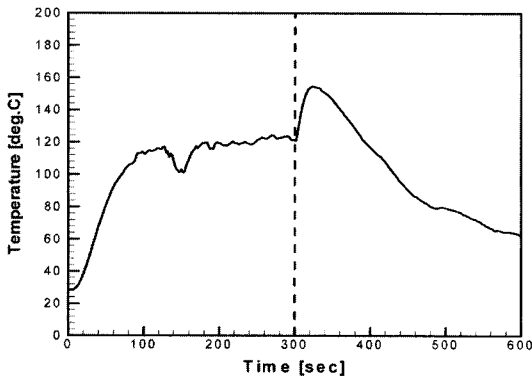
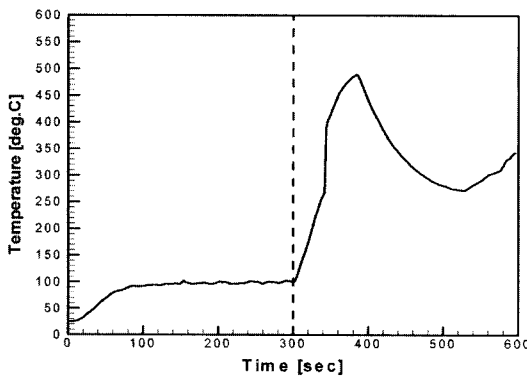
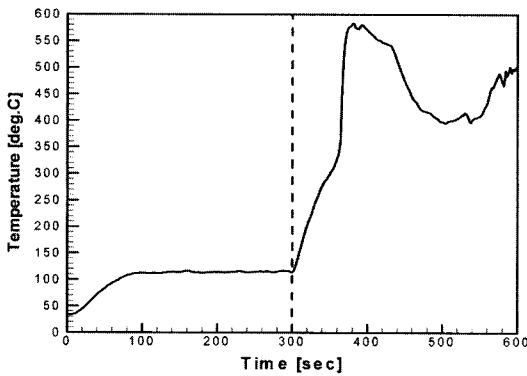


Figure 12. Temperature distribution at the safety net (Experiment 6).



(a) Floor mat



(b) Blanket

Figure 13. Temperature distribution at the safety net.

전망 자국만이 남았다. 이후 다시 온도가 점차적으로 감소하였다. 실험 진행 동안 안전망 중앙에서의 온도 변화를 Figure 12에 나타내었다. 담요의 경우도 착화되지 않았으며 표면에 변화가 없었다.

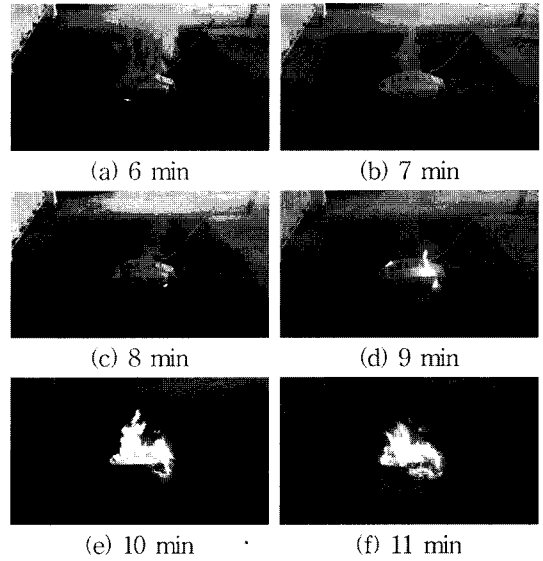


Figure 14. Photographs of the experiment 8.

### 3.4.2 전도스위치 미작동

전도스위치 작동 실험과 동일한 방법으로 히터 작동 5분 후 히터를 끄러트렸다. 바닥 매트와 담요의 경우, 히터 작동으로 인하여 온도가 점차적으로 증가하여 약 100°C 이하로 일정하게 유지되었다. 히터를 끄러트림으로 인하여 온도가 급격하게 증가하기 시작하였으며 최대 약 490°C까지 온도가 증가하였다. 담요의 경우, 히터를 끄러트림으로 인하여 온도가 급격하게 증가하기 시작하였으며 최대 약 580°C까지 온도가 증가하였다. 안전망에서의 온도변화를 Figure 13에 나타내었다.

매트에 대하여 시간 경과에 따른 연소 진행상황을 Figure 14에 나타내었다. 히터를 끄러트리고 약 15초(315초) 경과 후 연기가 발생하기 시작하였다. 약 40초(340초) 후 화재로 인하여 절연저항이 파괴되었다. 약 230초(530초) 후 히터 외부로 화염이 분출되기 시작하였다.

세라믹히터의 경우, 전도스위치 미작동 시에도 히터 중앙부 안전판 및 안전망의 구조상 열축적이 어려워 매트나 담요에 착화되지 않았다.

### 3.5 가연물 근접방치 실험결과

#### 3.5.1 점퍼

할로겐히터에 점퍼(울 80%, 폴리에스터 20%)를 덮어놓은 경우, 전원공급 약 90초 후 290°C까지 온도가 증가하였다. 전원공급 약 120초 후 점퍼에 구멍이 뚫리면서 점퍼 내부에 열이 축적되지 못하고 외부로 열

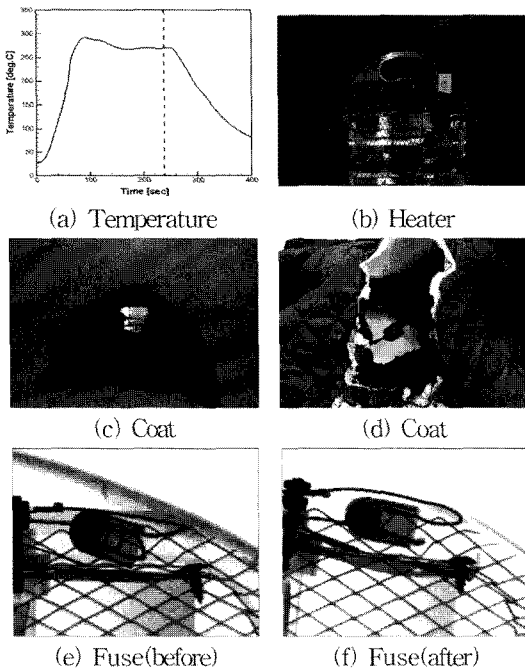


Figure 15. Results of the experiment 10.

이 방출되면서 온도가 점차적으로 감소하여 약 170초 이후로 약 270 °C 이하에서 일정하게 유지되었다. 약 240초 후 과열방지장치의 작동으로 인하여 전원 공급이 중단되면서 전기히터 가동이 중단되었다. 실험결과를 Figure 15에 나타내었다.

세라믹히터에 점퍼(면 26%, 폴리에스터 74%)를 덮어놓은 경우, 전원공급 후 온도가 점차적으로 증가하

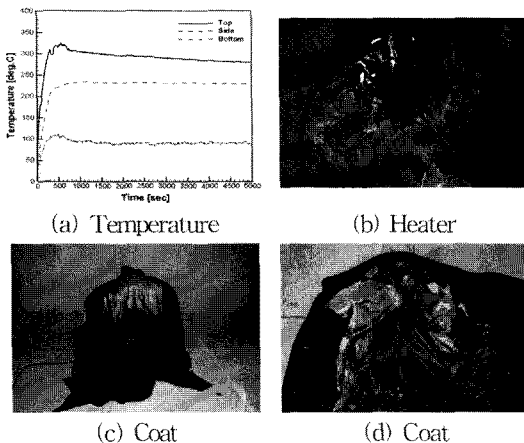


Figure 16. Results of the experiment 11.

였으며, 상부에서는 최대 약 320 °C에 도달한 후 점차적으로 온도가 감소하였다. 측면에서는 정상상태 도달 후 약 230 °C로 온도가 일정하게 유지되었다. 하단부에서는 최대 약 110 °C까지 도달한 후 점차 온도가 감소하였으며 약 90 °C로 온도가 일정하게 유지되었다.

히터 가동으로 인하여 히터를 덮고 있는 점퍼 상부가 히터에서 발생하는 열에 의해 변색되었다. 실험실시 5시간 동안 점퍼에는 착화되지 않았다. 히터 뒤쪽 상부의 플라스틱이 완전히 녹았으며, 안전망 상부에 점퍼의 탄화물이 부착되었다. 점퍼 내부가 심하게 변색되고 수열 흔적을 확인할 수 있다. 실험결과를 Figure 16에 나타내었다.

### 3.5.2 바지

할로겐히터에 대하여 과열방지장치에 열이 전달되는 것을 최대한 억제하기 위하여 바지(면 100%)로 히터의 발열체 부분만 덮은 후 실험을 실시하였다.

전원공급 후 온도가 점차적으로 증가하였으며 최대 650 °C까지 온도가 증가하였다. 이후 약 600 °C 온도를 유지하다가 히터 연소가 종료되면서 온도가 서서히 감소하였다. 전원 공급 약 80초경과 후 연기가 발생하기 시작하였다. 점차 연기 발생량이 증가하였으며 약 140초 후 히터 외부로 화염이 분출되기 시작하였다. 이때 안전망 표면의 온도는 약 440 °C에 도달하였다. 실험결과를 Figure 17에, 연소진행상황을 Figure 18에 나타내었다.

### 3.5.3 수건

세라믹히터에 수건(면 100%)을 덮은 경우, 전원공

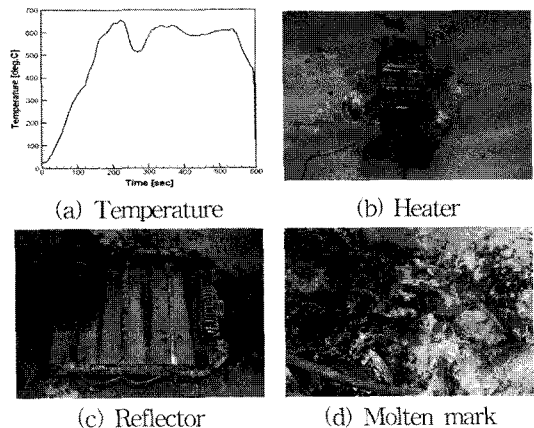


Figure 17. Results of the experiment 12.

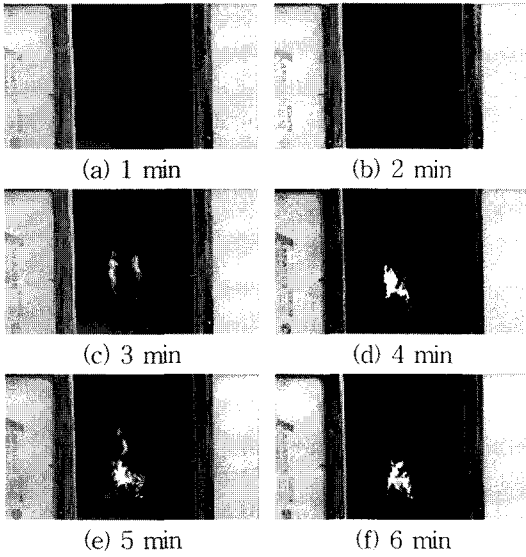


Figure 18. Photographs of the experiment 12.

급 후 온도가 점차적으로 증가하였다. 정상상태 도달 후 상부에서는 최대 약 230℃, 측면에서는 약 70℃로 온도가 일정하게 유지되었다. 하단부에서는 최대 약 65℃로 온도가 일정하게 유지되었다. 히터 가동으로 인하여 히터를 덮고 있는 수건 상부가 히터에서 발생하는 열에 의해 일부 변색되었다. 실험실시 5시간 동안 수건에는 착화되지 않았으며 히터에도 별다른 흔적은 발견할 수 없었다.

발열체에 가연물이 직접 접촉되었을 경우 발화 위험성을 평가하였다. 수건을 발열체에 접촉시킨 후 실험을 실시하였다.

안전망에서의 온도변화 및 실험종료 후 모습을 Figure 19에 나타내었다. 전원 공급 약 25초 경과 후 수건에 착화되었다. 연소가 진행되면서 히터 뒤쪽 플라스틱으로 연소가 확대되었으며, 약 200초 후 수건이 낙하되면서 히터 하단부로 연소가 확대되었으며 약 420초 후 히터가 쓰러졌다. 전원공급 후 온도가 점차적으로 증

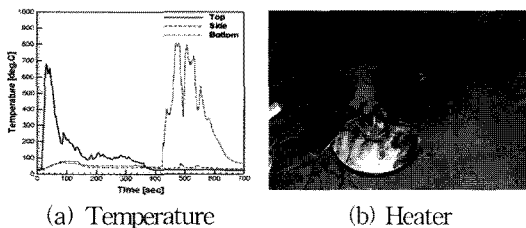


Figure 19. Results of the experiment 14.

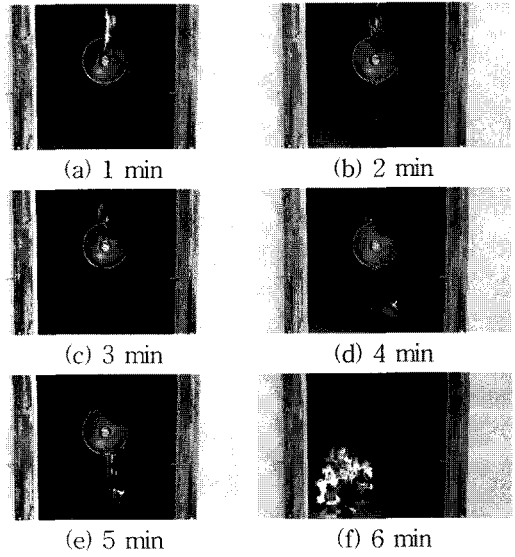


Figure 20. Photographs of the experiment 14.

가하였다. 상부에서는 전원 공급 약 25초 후 440℃에 도달하였으며, 약 30초 경과 후 약 680℃에 도달한 후 점차적으로 온도가 감소하였다. 측면에서는 약 70℃까지 온도가 증가한 후 점차적으로 감소하여 약 45℃ 이하로 유지되었다. 하단부에서는 최대 약 80℃에 도달한 후 점차 온도가 감소하여 약 50℃ 이하로 온도가 일정하게 유지되었다. 히터가 앞으로 쓰러지면서 하단부의 온도가 급격하게 증가하였다. 연소진행상황을 Figure 20에 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 겨울철 난방용으로 사용되는 전기히터에 대하여 다양한 조건 하에서 발화위험성을 평가하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 전기히터 내부부품의 비파괴검사 결과와 비교를 통하여 화재현장 수거 증거물의 작동상태 및 안전장치의 작동 여부를 판단할 수 있다.
- (2) 전기히터 정상작동 시 안전망에서 온도가 최대 120℃ 이하로 유지되며, 히터 주위에서 80℃ 이하의 온도를 유지한다.
- (3) 전기히터의 안전장치가 작동할 경우 사용자의 취급 부주의 등으로 인하여 히터가 쓰러지더라도 주위의 가연물에 착화되어 화재로 발전할 가능성은 낮다.
- (4) 가연물 근접방치 및 낙하에 의하여 히터에 가연



물이 접촉될 경우 화재로 발전할 가능성이 있다. 특히, 발열체에 가연물이 접촉될 경우 즉시 착화될 수 있다.

### 참고문헌

1. “국가화재정보시스템”, [www.nfds.go.kr](http://www.nfds.go.kr), 소방방재청.
2. 김태석, 김유식, 윤충국, 정영진, “화재조사 길잡이”, 기문당(2009).
3. 김만건, 김진표, “전기화재 감식공학”, 성안당(2006).
4. 최충석, 김현우, 이경섭, 이춘하, 임양수, 정재희, “전기화재공학”, 동화기술(2004).
5. 홍성호, 이복영, 박상태, 유현중, “전기히터 화재위험성에 관한 실험연구”, 한국안전학회지, Vol.22, No.2, pp.36-40(2007).
6. 김동욱, 최충석, “원적외선 히터에서 출화된 화재의 원인분석”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.22, No.2, pp.91-96(2008).