

전기히터의 화재위험성에 관한 실험연구

홍성호[†] · 이복영 · 박상태 · 유현종

방재시험연구원

(2006. 11. 20. 접수 / 2007. 4. 12. 채택)

An Experimental Study on the Fire Hazards in Electric Heater

Sungho Hong[†] · Bockyoung Lee · Sangtae Park · Hyunjong Yu

Fire Insurers Laboratories of Korea

(Received November 20, 2006 / Accepted April 12, 2007)

Abstract : This study presents on the analysis fire hazards of electric heater. In order to analyze fire hazards fire experiment is conducted. The fire experiment is conducted to simulate normal condition and abnormal condition. The abnormal condition experiment is simulated in which combustibles are placed near by electric heater. Vertical burning test(UL 94) is conducted for the fire retardant experiment. The results show that fire hazard is high in case of abnormal condition. And Material of electric heater has not fire retardant performance. In this paper, we suggest to add temperature fuse in electric heater for reducing fire hazard.

Key Words : electric fire, electric heater, fire hazard

1. 서 론

현대사회에서 전기에너지는 없어서는 안 될 중요한 에너지원이며, 해마다 전기에너지의 사용이 생활수준의 향상과 전기기술의 발전에 힘입어 날로 증가함에 따라 전기로 인한 재해발생 가능성도 높아지고 있다. 전기로 인한 재해 중 전기화재가 근원이 되어 연소확대로 이어지는 경우 수많은 인명 및 재산상의 피해를 가져다주는 심각한 재해이다^{1,2)}.

특히, 일반 가정이나 사무실 등에서 겨울철에 많이 사용되는 전기히터는 항상 고온으로 사용되는 제품이므로 사용자의 순간적인 방심이나 부주의에도 화재가 발생할 수 있는 화재위험성이 높은 제품이다.

전기히터는 니크롬선 등에 의한 발열체를 가진 구조로, 전기히터에서 발생하는 화재는 주로 발열체가 가연물이 접촉 또는 근접한 상태에서 연소되어 화재가 발생한다^{3,4)}.

본 연구는 현재 국내에서 사용되고 있는 전기히터가 가지고 있는 화재위험성을 화재실험과 난연성 실험을 통하여 분석하였다. 화재실험은 전기히터에

서 자주 발생하는 화재사례를 모델링하기 위하여 전기히터가 정상 작동하는 상태에서 가연물을 근접시킨 상태 및 접촉시킨 상태 등으로 구분하여 수행되었고, 난연성실험은 UL 94의 시험방법⁵⁾을 이용하였다.

2. 화재실험

2.1. 정상 작동실험

국내에서 생산·판매되고 있는 3개 제조업체의 전기히터를 가지고 제조사 사양에 따라 정상상태로 전원을 인가하여 전기히터 자체의 발열온도 측정 및 전기히터 전면부로부터 10cm 간격으로 이격된 거리에서의 온도를 측정하였다. 온도측정을 위한 센서는 K-type 열전대이고, 온도측정부위는 전기히터 전면부로부터 10cm 이격된 거리에 따라 온도를 측정하고 전기히터 자체의 발열에 의한 전기히터 각 부위의 온도를 측정하였다. Fig. 1은 온도 및 소비전류 측정에 대한 개략도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 K-type 열전대로부터 입력되는 신호를 A/D 컨버터에 받아들여 온도를 측정하고, 변류기를 이용하여 소비전류를 측정하였다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
hsho@kfpa.or.kr

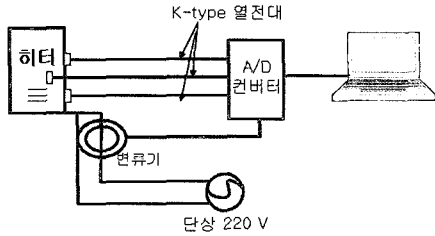


Fig. 1. Schematic of temperature and current measurement.

2.2. 가연물 접촉실험

본 연구에서는 전기히터에 가연물이 접촉되었을 때 화재발생가능성을 평가하기 위하여 가연물을 전기히터에서 약 10cm 이격시킨 경우와 전기히터에 접촉시킨 경우, 전기히터를 완전히 덮은 경우로 구분하여 전기히터 각 부위의 온도 측정 및 화재발생 여부를 분석하였다. Fig. 2는 가연물을 10cm 이격시킨 상태이고, Fig. 3은 가연물을 접촉시킨 상태이며, Fig. 4는 가연물을 이용하여 전기히터 전체를 완전히 덮어 축열조건을 더 양호하게 한 상태를 나타낸 것이다. 실험에 사용된 가연물은 폴리에스테르 60%, 면 40%의 와이셔츠와 모 90%, 나일론 10%의 동절기 점퍼를 사용하였다.

2.3. 안전장치 부착실험

본 연구에서는 이와 같은 전기히터의 가연물 접촉시 화재위험성을 감소시키기 위한 예방대책으로서 모스텍과 온도퓨즈를 전기히터 상부에 부착하여 가연물이 접촉된 상태에서 전원이 차단되는 구조를 갖도록 전원부를 제작한 후 가연물로 전기히터를 완전히 덮는 화재실험을 재차 수행하였다. 바이메탈에 먼저 전원부를 연결하고, 다음에 온도퓨즈에 전원부를 연결하여 실험을 수행하였다.



Fig. 2. 10cm distance.



Fig. 3. contact condition.



Fig. 4. covered condition.

2.4. 난연성 실험

전기장판 재질의 난연성능을 평가하기 위하여 UL 94의 난연성시험(20mm 수직연소시험)방법에 따라 실험을 수행하였다.

UL 94는 내경 $9.5\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$, 길이 $100\text{mm} \pm 10\text{mm}$ 의 버너를 사용하고, 시험체는 Sheet형태로 길이 $125\text{mm} \pm 5\text{mm}$, 폭 $13\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$, 두께는 최소두께로 재료를 잘라서 시험하도록 규정하고 있다. Fig. 5는 UL 94 난연성 시험장치에 대한 개략도를 나타낸 것이고, Fig. 6은 난연성실험장면을 나타낸 것이다.

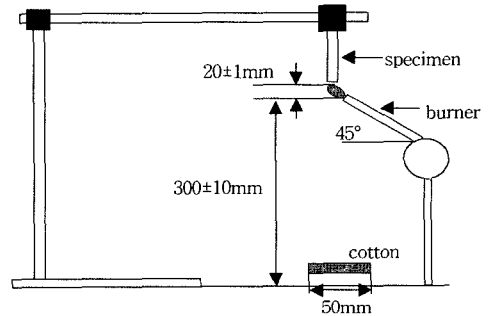


Fig. 5. Experimental setup for vertical burning test(UL 94).

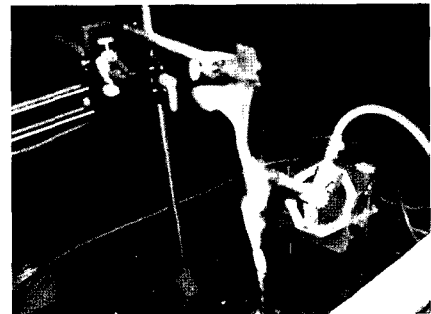


Fig. 6. Vertical burning test.

3. 결과 및 분석

Fig. 7은 전기히터 제조사중 대표적인 3개사의 전기히터를 정상 작동시켰을 때 발생하는 발열체의 온도를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 다소간의 차이가 있지만 전기히터를 정상 작동시켰을 때 발열체의 온도는 3개사 모두 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8은 각 제조사별 소비전류를 나타낸 것으로 제조사별로 소비전류가 상당히 다른 것으로 나타났지만, Fig. 7에서 보듯이 전체적인 온도 분포는 유사하게 나타났다. 본 연구에서는 이와 같은 석영온도와 소비전류를 고려하여 발열온도가 높으면서 소비전류가 높은 제품을 선정하여 화재위험성을 분석하였다.

Fig. 9는 전기히터에 정격전압이 인가된 경우 전기히터 각 부위 발열온도를 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 전기히터의 발열체는 300°C가 넘는 온도 분포를 나타내고 있어, 가연물이 접촉하게 되면 화재발생가능성이 높은 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 가연물인 와이셔츠를 전기히터 전면부로부터 10cm 이격된 상태에서 전기히터에 발생하는 시간에 따른 온도분포를 나타낸 것이다. Fig. 9와 Fig. 10을 비교할 때 유사한 온도분포를 나타내고 있

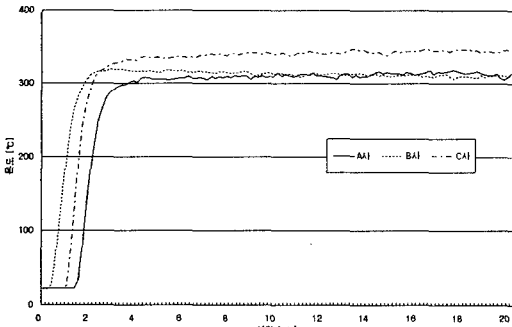


Fig. 7. Comparison of heating unit.

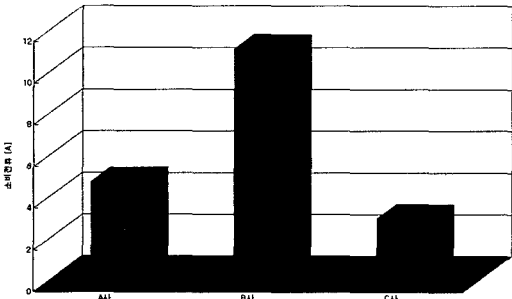


Fig. 8. Comparison of current.

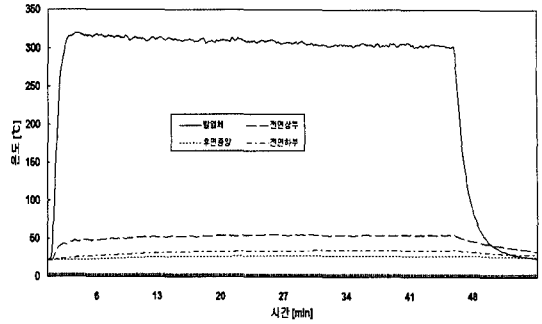


Fig. 9. Temperature distribution for normal condition.

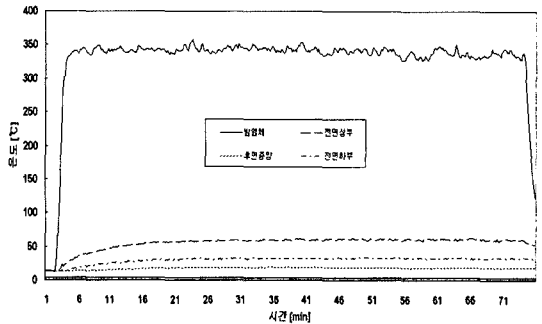


Fig. 10. Temperature distribution for combustible is 10cm distance from electric heater.

어 전기히터 전면부 10cm 이격된 상태처럼 가까운 위치에 가연물이 있어도 전기히터 자체의 온도분포는 정상 작동시의 경우와 특별히 다른 온도분포를 나타내지 않았다.

Fig. 11은 와이셔츠를 전기히터에 완전히 밀착시켜 접촉시킨 상태에서 전기히터 각 부위의 온도분포를 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 전기히터 전면부에 가연물이 밀착되어 있어 축열조건이 정상상태보다 양호한 상태이기 때문에 전체적인 온도분포가 정상상태의 실험결과인 Fig. 9와 비교할 때 약 50°C 정도 더높게 형성되는 것을 알 수 있다. 이러한 온도분포로 인해 가연물을 접촉시킨 상태에서는 전원 인가 후 약 30분이 경과하자 가연물에서 연기가 발생하면서 전기히터에 늘어붙는 형태가 되었다. Fig. 12는 이와 같은 경우 가연물의 탄화상태를 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 가연물이 열에 의해 일부분 탄화된 것을 확인할 수 있다. 시간이 계속 경과함에 따라 연기가 소량 발생하면서 가연물은 열에 의해 훈소되는 형태로 나타났다.

Fig. 13은 Fig. 4와 같은 형태로 전면 발열부를 포함하여 전기히터를 가연물로 완전히 덮어 가연물이 발열체 전면에만 접촉된 경우보다 축열조건을 더 양

호하게 한 후 전원을 투입하였을 때 발생하는 전기히터 각 부위의 온도분포를 나타낸 것으로 전원 인가 후 약 50분이 경과했을 때 화염으로 인하여 고온이 형성되는 것을 볼 수 있다. Fig. 14는 이러한 경우 가연물이 연소되는 진행상태를 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 전기히터를 덮고 있는 가연물에 화염이 발생하는 상태를 확인할 수 있다. 이와 같은 실험결과를 고려할 때 일반 가정에서 사용자의 부주의 등으로 인하여 전기히터에 가연물을 접촉시키게 되면 화재위험성이 높다는 것을 알 수 있다.

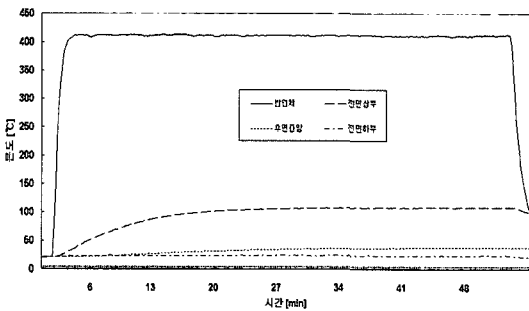


Fig. 11. Temperature distribution for combustible is contact condition.

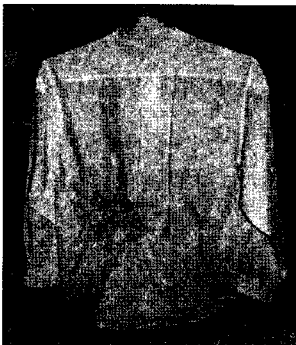


Fig. 12. Carbonation state.

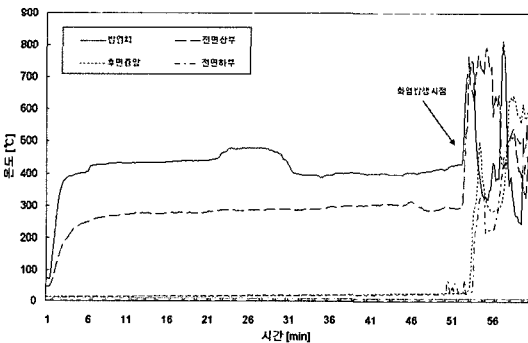


Fig. 13. Temperature distribution for covered condition.



Fig. 14. Combustion process.

Fig. 15~17은 서모스탯 및 온도퓨즈를 전원부에 장착한 후에 Fig. 4의 조건인 전기히터를 가연물로 완전히 덮은 상태에서 전원을 인가하는 실험결과를 나타낸 것이다. Fig. 15는 전기히터 상부에 서모스탯을 장착한 후 가연물을 덮은 상태에서 전원을 투입하였을 때 나타나는 온도분포이다. 그림에서 보듯이 약 170~180°C의 온도에서 서모스탯이 동작하고 다시 전원이 투입되는 동작이 반복되는 것을 알 수 있다. Fig. 16은 이와 같은 전원투입·차단을 알 수 있는 전류를 나타낸 것이다. 이러한 경우에는 계속 반복적으로 전원이 투입될 수 있으므로 가연물이 접촉되는 상황인 것을 고려할 때 비교적 화재위험성이 낮지만 화재위험을 완전히 제거하기 위해서는 전원이 차단되는 구조로 해야 할 것으로 판단된다.

Fig. 17은 같은 조건인 Fig. 4와 같이 전기히터를 가연물로 완전히 덮은 상태에서 전기히터 상부에 온도퓨즈를 부착한 경우에 대한 온도분포로써 온도가 약 420°C, 약 3분이 경과된 시점에서 전원이 차단되어 온도가 감소되는 것을 알 수 있다. 이는 일반 가정에서 전기히터 전면에 사용자 부주의로 옷 등과 같은 가연물이 접촉되는 등의 상황이 발생한 경우에 화재위험성을 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

따라서 가연물이 접촉되는 경우 화재가 발생할 가능성이 높은 점을 고려할 때 전기히터에는 사용자의 부주의 등으로 인한 가연물 접촉상황에도 화재

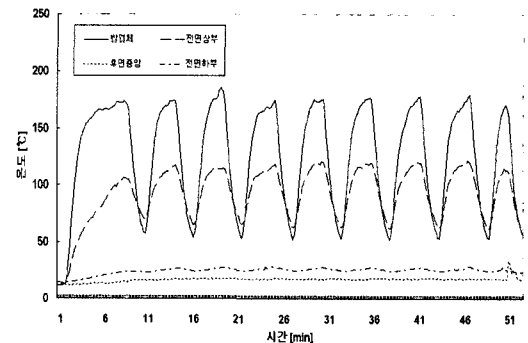


Fig. 15. Temperature distribution in case of installed thermostat.

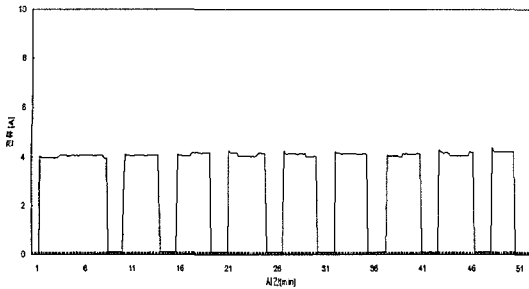


Fig. 16. Current in case of installed thermostat.

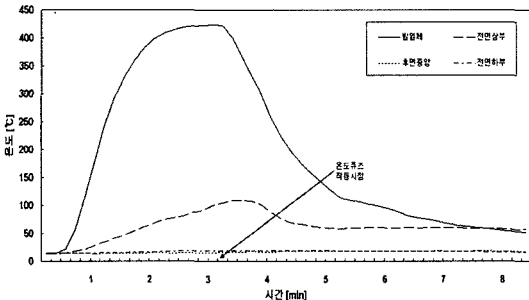


Fig. 17. Temperature distribution in case of installed temperature fuse.

가 발생하지 않도록 하기 위해서는 본 연구의 실험 결과에서 알 수 있듯이 전기히터의 반사판 상부 또는 이와 유사한 부위에 온도퓨즈를 부착하여 전원을 차단시켜 화재위험성을 감소시켜야 할 것으로 판단된다.

Table 1은 난연성실험 결과를 나타낸 것으로 모든 시험체가 Clamp 지지부분까지 연소하였으며, 잔염시간은 모든 시험체가 화염에 의하여 전소하였기 때문에 기준에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 이와 같이 전기히터 외함이 난연성능이 없는 것은 전기히터 외함자체가 가연물로 작용하여 화염을 확산시킬 수 있는 것을 의미한다. 따라서 전기히터에 의한 화재위험성을 감소시키기 위해서는 외함을 난연성능이 있는 재질로 제조하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

Table 1. Results of vertical burning test

No. of Specimen	Afterflame or afterglow of any specimen up to the holding clamp	After flame time(s)
1	Yes	85
2	Yes	93
3	Yes	86
4	Yes	79
5	Yes	95

4. 결론

본 논문은 실험을 통하여 전기히터에서의 화재위험성에 대한 분석과 예방대책을 제시한 연구이다. 실험은 전기히터의 정상상태 작동시와 가연물이 접촉된 상태로 구분하여 수행되었고, 전기히터 외함의 난연성능을 평가하기 위한 난연성실험을 수행하였다. 그 결과 본 연구의 실험조건하에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전기히터에 가연물이 완전 접촉된 경우에는 정상작동시보다 50°C 더 높은 온도분포를 나타내었고, 가연물이 발열부를 완전히 덮을 경우에는 화재가 발생하여 전기히터 발열부 전면에 가연물이 접촉되는 상황에 대한 화재예방대책이 필요한 것으로 나타났다.
- 2) 가연물이 접촉되는 경우 화재위험성을 감소시키기 위한 대책으로 전기히터 전면부에 온도퓨즈 부착을 제시하였다.
- 3) 전기히터 외함의 난연성능을 평가한 결과 난연성능이 없어 전기히터 외함이 가연물로 작용하여 화염을 확산시킬 수 있는 것으로 나타났다.

감사의 글 : 본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 최충석, 김향곤, “전기화재 예방 및 메커니즘 기술개발 동향”, 한국전기전자재료학회지, 제19권, 제4호, pp. 12~20, 2006.
- 2) 김두현, 홍성호, 권동명, “전기화재 원인진단을 위한 지능형 프로그램 개발”, 한국안전학회지, 제18권, 제1호, pp. 50~55, 2003.
- 3) 김윤희, “발화원의 감정”, 방재와 보험, 제106권, pp. 51~58, 2005.
- 4) 행정자치부, 화재조사 실무자료집, 2002.
- 5) UL 94, Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances, 2000.