

원적외선 히터에서 출화된 화재의 원인분석 Cause Analysis Ignited at a Far Infrared Radiation Heater

김동욱 · 최충석*†

Dong-Ook Kim · Chung-Seog Choi*†

전기안전연구원(한국전기안전공사 부설), *전주대학교 소방안전학과
(2007. 8. 20. 접수/2007. 12. 10. 채택)

요 약

본 연구에서는 화재사례를 기반으로 원적외선 히터에서 출화된 화재의 원인 분석에 관하여 연구하였다. 전기히터의 화재는 열선에 용융 흔적으로 판단하여 과열 사고로 취급하는 오류를 범하기 쉽다. 이에 대해 히터의 화재 원인 규명에 있어서 객관적인 자료를 확보하기 위한 방법으로 정상 제품과 비교하여 다양한 재현 실험 및 분석기기를 이용하여 화재 원인을 분석하였다. 열선에 부착된 용융 흔적은 다른 금속 물질에 의한 층간 단락의 형태를 보이나 SEM/EDX로 성분분포를 분석한 결과 철-크롬-알루미늄이 혼합된 열선의 성분 이외에 다른 금속 물질은 발견되지 않았다. 또한 층간단락 및 과전압에 의한 과열 실험을 수행한 결과 정상보다 높은 발열 상태를 보이나 화재 가능성은 없었다. 본 논문에서는 원적외선 히터에서 발생한 화재의 원인 분석을 토대로 하여 소손된 전열기의 화염 특성 및 물리·화학적 특성을 입체 분석하여 전기재해 원인 분석의 과학화에 기여하고자 한다.

ABSTRACT

This research studied about the cause analysis of fire that was occurred in far infrared rays heater to base on the fire examples. Fire of electric heater was apt to commit error that handled an overheating accident by judged molten mark in heat ray. Molten mark which was attached in heat ray was appeared to the form of layer short circuit by other metal material, but other metal material was not found beside the ingredient of heat wire which was mixed to an alloy of Fe-Cr-Al according to result of ingredient distribution by SEM/EDX. Also, the result of overheating experiment by layer short circuit and overvoltage showed higher febrility than normal, but there was no possibility of fire occurrence. This paper will be contributed to science for cause analysis of electric fire through analyzing physical, chemical and flame features of burnout heater on the basis of diagnosis of fire that was happened in infrared rays heater.

Keywords : Short-circuit, Molten mark, Far infrared radiation heater

1. 서 론

전기히터는 열선에 전기를 공급해 복사열을 일으켜 난방을 하는 제품이다. 전기를 사용하기 때문에 특별한 관리가 필요하지 않고 예열될 시간이 짧기 때문에 난방 시간도 빠르다. 특히 산소를 태우지 않아 겨울철 밀폐된 실내 공간에서 공기 오염이 덜하고 이동성이 용이한 장점 덕에 전기히터는 대부분의 가정이나 사무실 기타 다중 이용시설에 한두 대 정도는 보유하고 있

는 필수 보조난방기기로 자리매김했다.

전기히터는 구조가 복잡하지 않아 초기 구입비용이나 기본 연료비가 다른 난방기기보다 저렴한 편이다. 하지만 전기히터를 사용할 때 가장 주의해야 할 점은 안전, 열이 직접적으로 노출되는 탓에 자칫 주의를 기울이지 않으면 화재로 이어져 큰 피해를 볼 수 있다. 이를 위해 제조사마다 몇 가지 안전장치를 제품에 적용하고 있다. 전기히터가 넘어지면 저절로 전원을 차단하는 전도안전장치를 비롯해 열이 과도하게 발생할 경우 혹은 합선이나 이상 전류가 발생하면 자동으로 전원을 차단하는 과열 방지 장치와 자동전원차단 기능

† E-mail: enetek@naver.com/choi365@jj.ac.kr

은 안전한 전열기 사용의 필수다. 그러나 요즘은 외국산 저가형 전열기구가 안전인증이나 화재보험에 가입되지 않고 대량 유통되고 있어 전열기의 선정이나 유지관리에 각별히 주의해야 한다.¹⁾

일반적으로 화재의 위험 요소로 인식되어온 전열기는 화재조사 시에 조사자들이 발화원으로 오류를 범하기 쉽다. 그 이유는 열선에 용융 흔적이 있으면 과열에 따른 화재발생으로 추정하기 쉽기 때문이다.²⁾

본 논문에서는 일반음식점의 출입구 벽면에 설치된 원적외선 히터에서 발생한 화재의 원인분석을 토대로 하여 소손된 전열기의 화염특성을 해석하였다. 또한, 소손된 전열기의 물리·화학적 특성을 입체 분석하여 전기재해 원인 분석의 과학화에 기여하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전기히터의 사고원인

일반적으로 전기히터에 관한 출화 사례를 보면 가연물이 히터에 가까이 접근해 있다던지 혹은 접촉하여 화재가 발생하며 전도 스위치와 같은 보호 장치를 인위로 고정시키는 등 구조변경에 의한 화재가 많이 발생한다. 또한 스위치 부분에서 접촉 불량에 의한 출화 또는 접속부 부분의 절연물이 절연 파괴되어 출화되거나 내부 배선의 경년열화 등에 따른 전기합선에 의해 화재가 발생하고 있다.³⁻⁵⁾

2.2 분석방법

원적외선 히터의 화재 원인 규명에 있어서 객관적인 자료를 확보하기 위한 방법으로 다양한 분석기기를 이

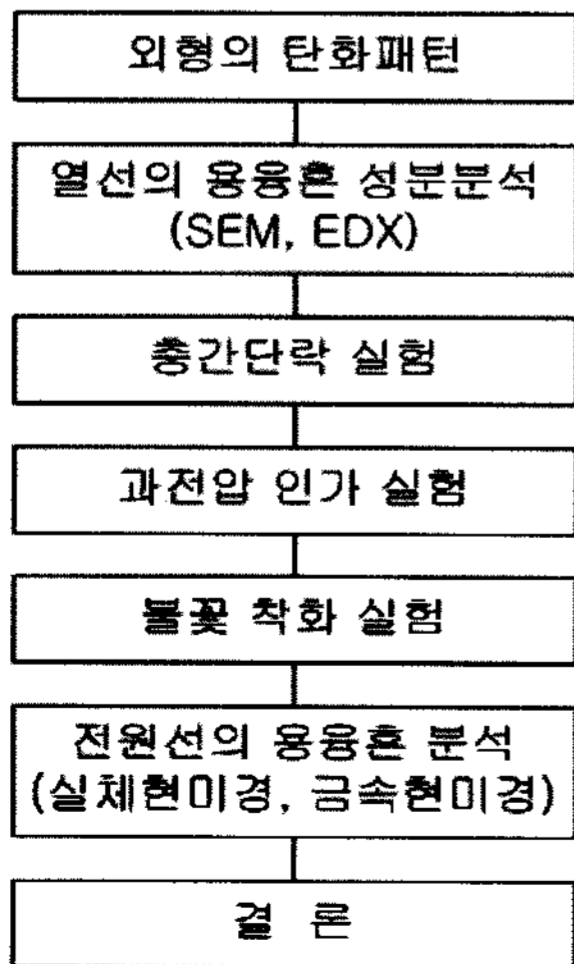


Figure 1. Analysis process.

용하여 정상 제품과 비교하였다. 분석 방법은 Figure 1과 같이 외형 패턴에 대한 분석을 통해 화염의 진행 방향을 예측하고 소손 범위를 파악한 후, 주사전자현미경과 에너지 분산형 X선 분광분석기 등을 이용하여 열선에 생성된 용융 흔적의 성분을 분석하였으며 용융 흔적이 생성될 가능성이 있는 전기실험(충간단락, 과전압 인가 실험)을 수행하였다. 또한 소손품에 대한 난연성 및 착화 화염 강도를 분석하기 위해 불꽃 착화 실험 후 전원선 및 내부 배선에 대한 용융 흔적을 실체현미경과 금속현미경으로 분석하였다.⁶⁾

2.3 탄화패턴 분석

Figure 2는 정면에서 정상 제품과 소손된 제품의 비교로 반사판의 하단이 완전히 소실되었으며 특히 좌측의 연소가 강하게 나타났으며, Figure 3은 제품의 좌측면을 나타낸 것으로 정면과 후면의 소손 상태가 심하며 본체와 후면 덮개가 완전 소회된 상태로 열선의 일

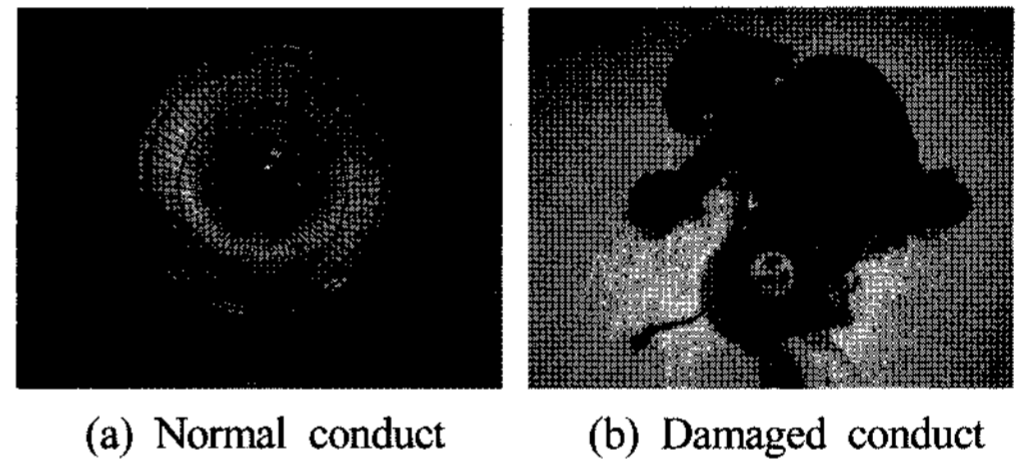


Figure 2. Comparison of normal and damaged conduct at the front side.

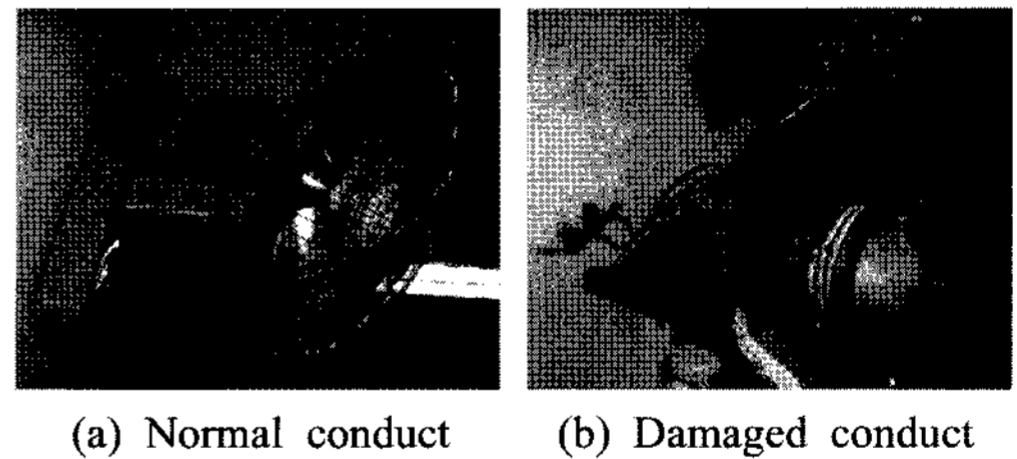


Figure 3. Comparison of normal and damaged conduct on the left side.

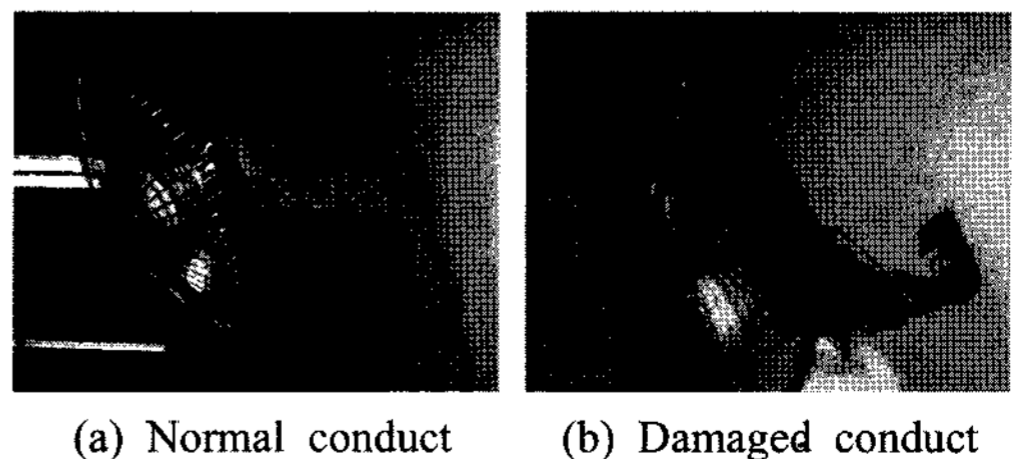


Figure 4. Comparison of normal and damaged conduct on the right side.

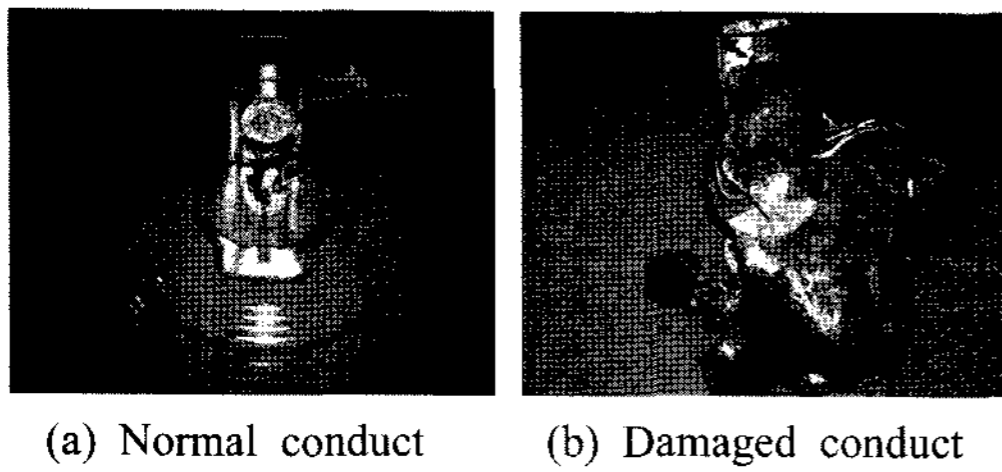


Figure 5. Comparison of normal and damaged conduct on the back side.

부가 용융된 상태로 나타났다.

Figure 4는 제품의 우측면으로 강한 연소 흔적이 나타나며 Figure 5는 제품의 후면으로 반사판 덮개와 후면 덮개가 강하게 손상된 것을 알 수 있다.

2.4 열선에 나타난 용융 흔적 분석

Figure 6은 원적외선 히터의 발열 부분으로 열선을 지지하는 세라믹에 열선이 일부 용융되어 있으며 층간 단락의 형태가 관찰되었다. 열선의 용융된 부분을 주사전자현미경(SEM, JSM-6400, JEOL, Japan)과 에너지 분산형 X선 분석기(EDX, ISIS, Oxford, England)를 이용하여 표면 구조와 조성 변화 등을 분석하였다.

정상 적외선의 히터에 사용되는 열선의 성분은 Table 1과 같이 철(57.6%-크롬(20.7%) 열선이며 일부 알루미늄(7.4%)가 혼합되어 있었다.

Figure 7은 Figure 6의 용융된 열선의 일부로 세라믹과 접촉된 부위를 추출하여 SEM/EDX로 분석한 결과 Table 2와 같이 O(산소; 43.96%), Si(규소; 22.8%), Mg(마그네슘; 6.83%)와 Al(알루미늄; 16.49%)이 검출되었으며 이는 세라믹 재료와 열선의 알루미늄이 고열에 의해 용융된 것으로 판단되었다.



Figure 6. Molten part on the heat ray.

Table 1. Component distribution of normal heat ray

성분	C	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe
정량 (%)	3.18	4.24	7.4	2.32	20.69	0.22	57.58

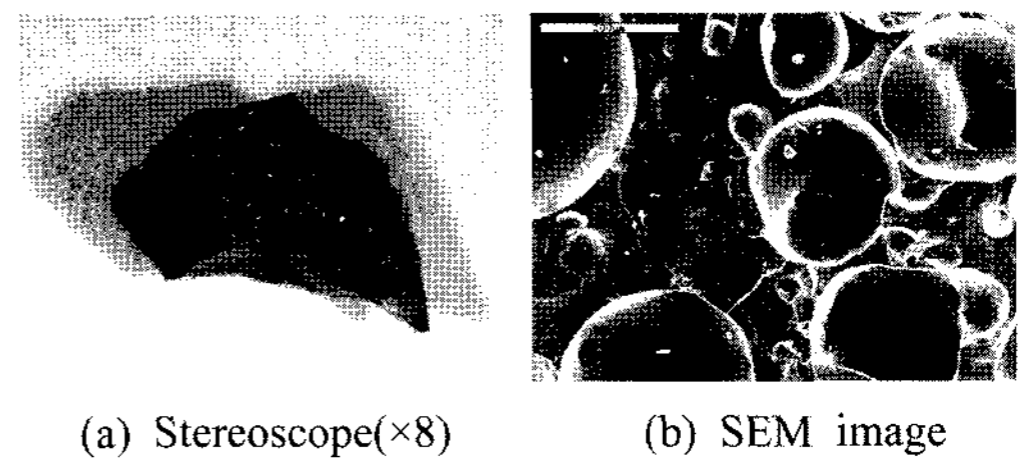


Figure 7. Contact part of between molten mark and ceramic.

Table 2. Component distribution of Figure 6

성분	C	O	Mg	Al	Si	K
정량 (%)	7.13	43.96	6.83	16.49	22.8	0.63
성분	Ca	Ti	Fe			
정량 (%)	0.91	0.52	0.49			

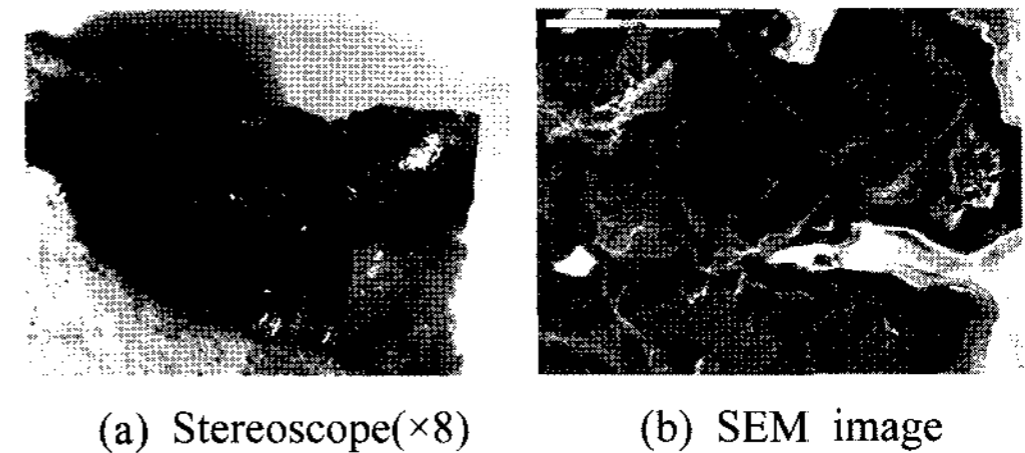


Figure 8. Molten mark of the heat ray.

Table 3. Component distribution of Figure 7

성분	C	O	Na	Al	Si	K
정량 (%)	8.11	3.01	1.29	6.7	2.32	0.09
성분	Ti	Cr	Fe			
정량 (%)	0.2	20.69	57.58			

Figure 8은 세라믹에 부착된 열선의 용융 망울로 SEM/EDX로 분석한 결과 Table 3과 같이 Fe(산소; 57.58%), Cr(크롬; 20.69%), Al(알루미늄; 6.7%)이 검출되었으며 일부 세라믹 재료의 성분이 검출되었으며 다른 금속 물질은 검출되지 않았다. 이와 같이 열선에 생성된 용융 흔적은 고열에 의해 일부의 열선이 용융된 것으로 판단되었다.

2.5 층간단락 실험

Figure 9는 세라믹에 부착된 열선의 용융된 부분으로 2층과 3층의 열선이 층간 단락된 형태를 보임에 따라 층간 단락 실험을 수행하였다.

Figure 10은 정상 원적외선 히터의 발열 상태를 나타낸 것으로 (a)와 같이 1층에서 3층까지 열선이 발열

하거나 또는 (b)와 같이 1층에서 5층까지 발열한다.

Figure 11은 소손된 제품과 유사한 ㉠ 부분에 층간을 단락시켜 전원을 투입한 결과 (b)와 같이 1층에서 3층까지 일부가 높은 발열 상태를 보이거나 화재의 가능성은 적었다.

또한 Figure 12는 알루미늄(Al) 조각으로 ㉠ 부분에 층간 연결하여 놓은 후 전압을 인가하였지만 알루미늄 역시 용융되지 않았으며 열선에서 발화될 가능성은 적었다. 즉, 이와 같은 실험으로 알 수 있는 것은 열선의 층간 단락으로 전기히터의 열선에서 용융 흔적이 생성되어 발화될 가능성은 적다는 것을 알 수 있었다.

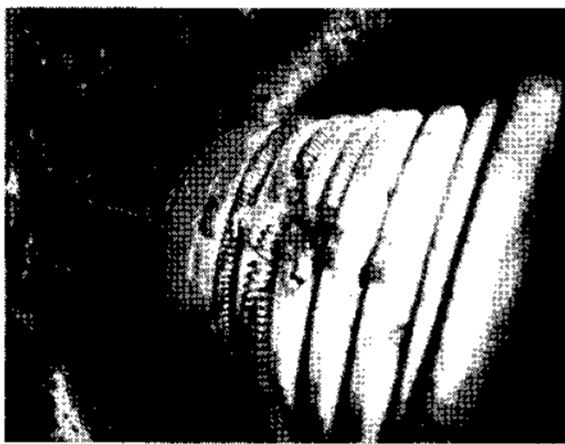
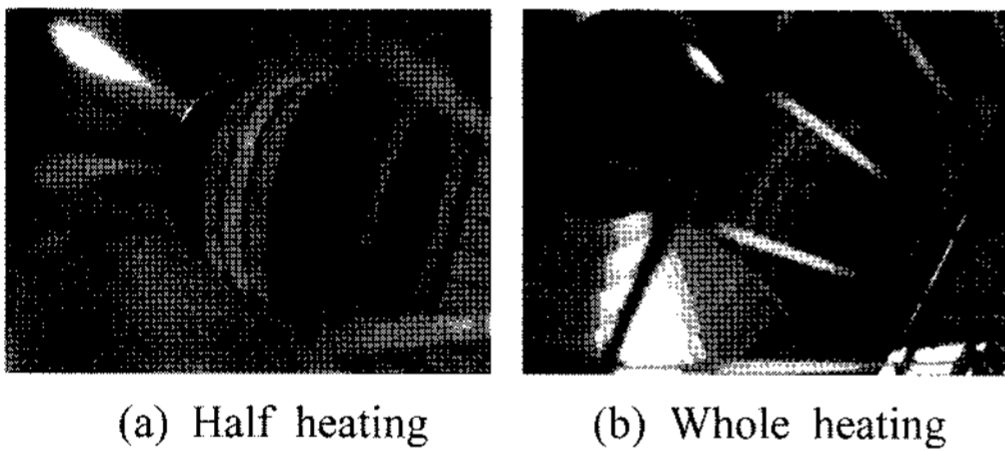
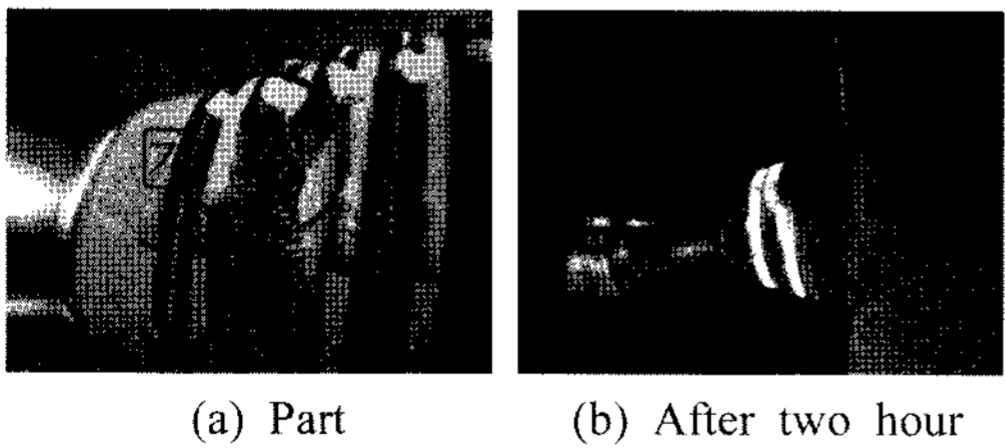


Figure 9. Damaged heat ray.



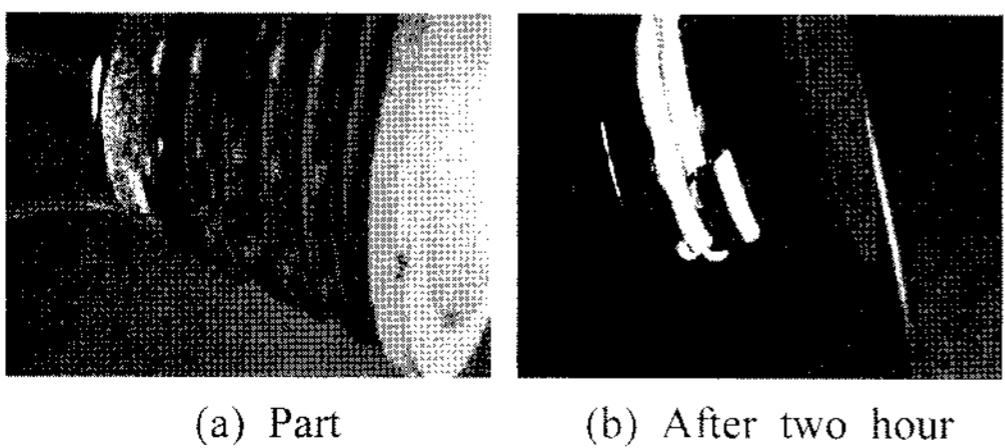
(a) Half heating (b) Whole heating

Figure 10. Operation of normal conduct.



(a) Part (b) After two hour

Figure 11. Layers short-circuit.



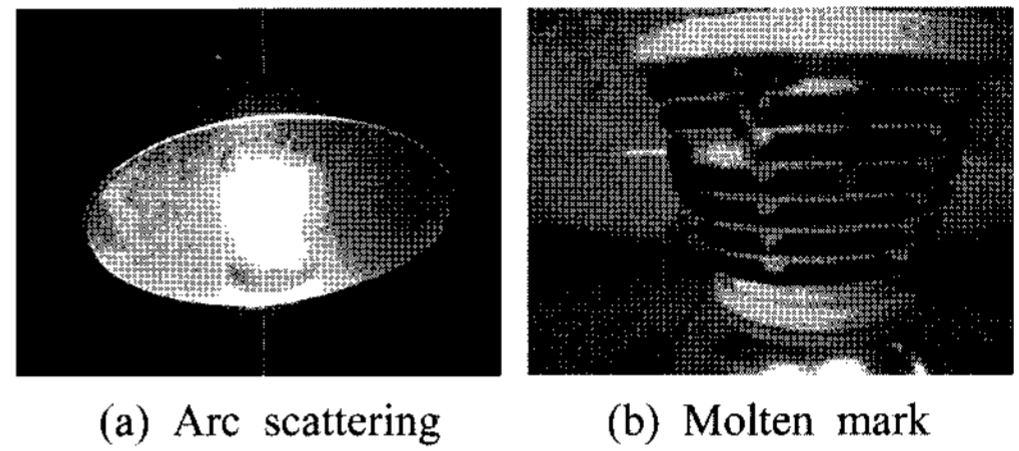
(a) Part (b) After two hour

Figure 12. Layers short-circuit by Aluminum.

2.6 과전압 인가 실험

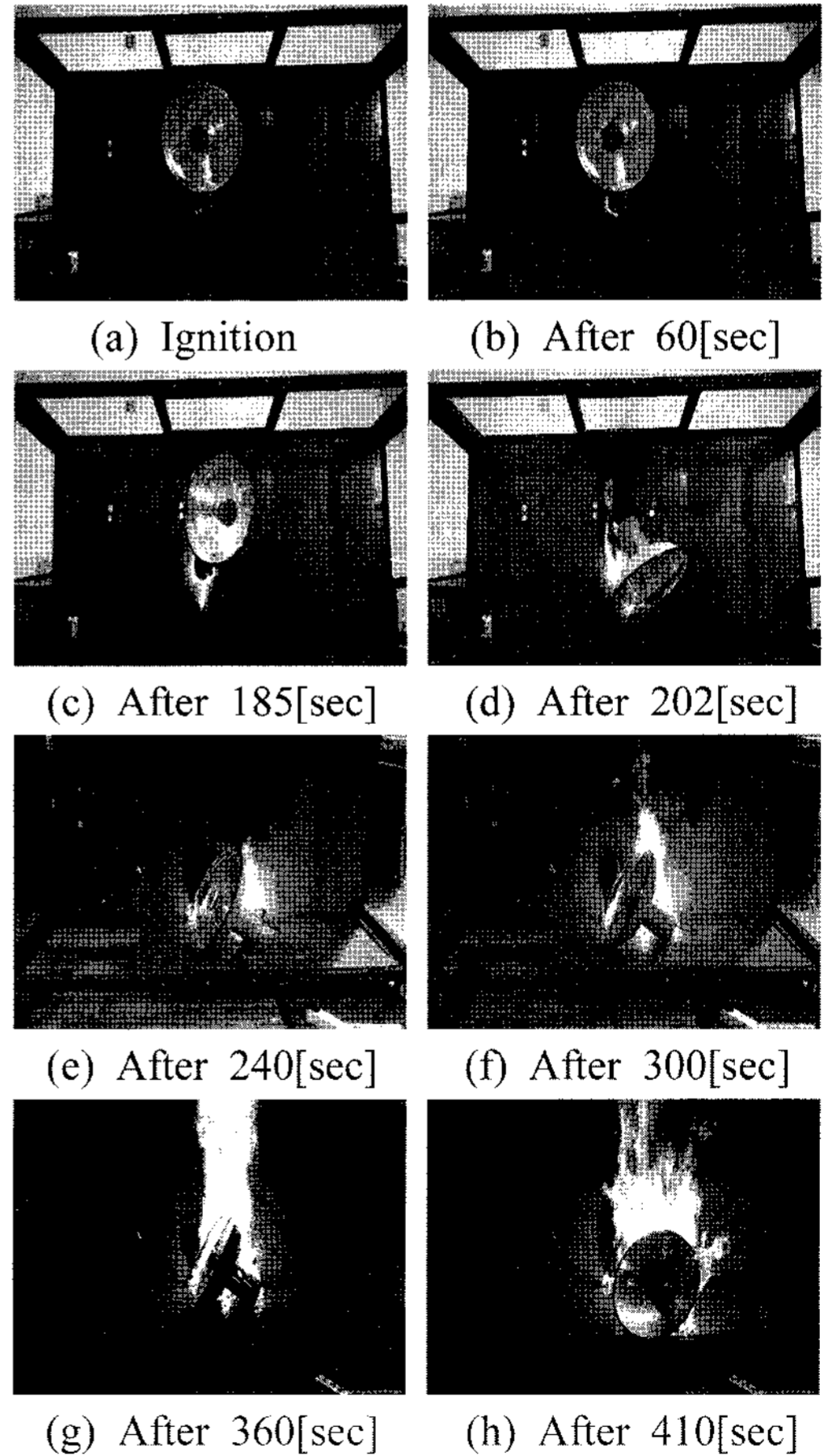
Figure 13은 정상 원적외선 히터에 과전압을 인가한 실험으로 슬라이더를 이용하여 220 V를 시작으로 분당 10 V씩 상승시킨 후 5분간 동작시켰다.

(a)는 380 V에서 이상 과열 후 아크 비산되는 과정을 나타낸 것이며 (b)는 과전압 인가 후 소손된 열선을 나타낸 것이다. 과전압에 의해 소손된 열선의 경우는 화재 현장에서 수거품과 같이 용융 흔적이 세라믹



(a) Arc scattering (b) Molten mark

Figure 13. Over-voltage experiment.



(a) Ignition (b) After 60[sec] (c) After 185[sec] (d) After 202[sec] (e) After 240[sec] (f) After 300[sec] (g) After 360[sec] (h) After 410[sec]

Figure 14. Ignition experiment.

에 흡착된 형태를 나타내지 않고 용융 흔적이 비산된 형태를 나타내었다.

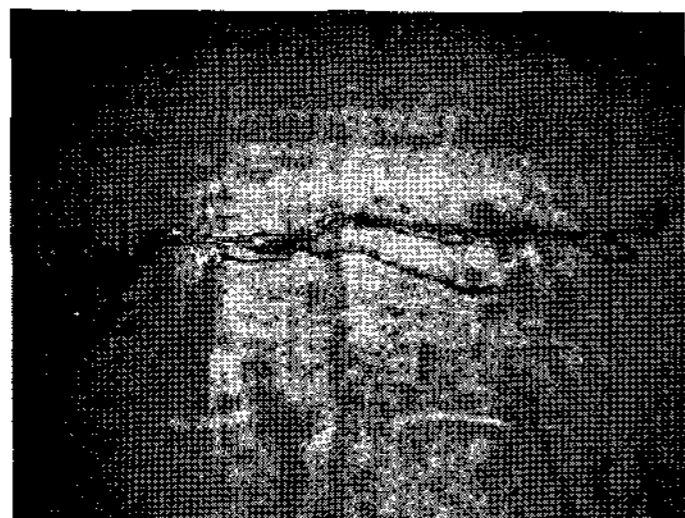
2.7 불꽃착화 실험

Figure 14는 정상 원적외선 히터에 전원을 인가 후 운전모드를 동작시킨 후 점화한 실험으로 본체의 하단 좌측부를 작은 화염으로 착화시켰다. 착화 후 대략 3분 후 (c)와 같이 정지모드에서 회전모드가 되어 히터가 움직였으며 (d)와 같이 소락되었다. 소락 후 (e), (f), (g), (h)와 같은 과정을 거치며 화염의 세기가 점점 커졌다. 제품의 플라스틱 재질은 비난연성으로 특히 연소과정에서 ‘핑’하는 소리가 자주 나타나며 이는 재질이 발포성이 있는 것으로 판단된다.

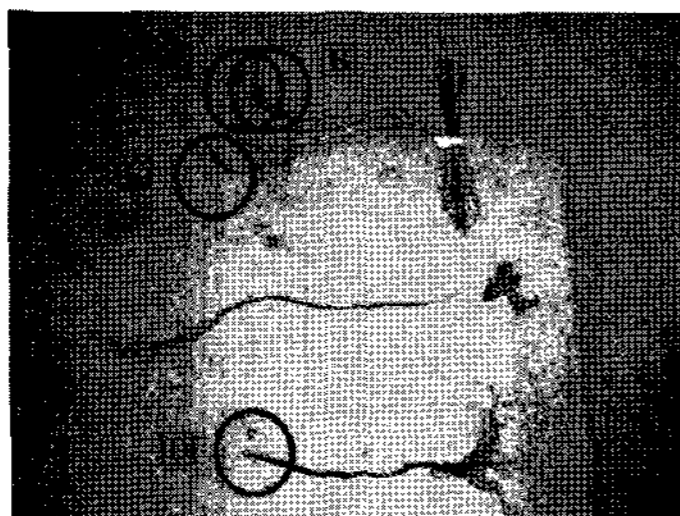
2.8 전원선의 용융 흔적 분석

Figure 15는 소손된 히터의 배선으로 (a)는 열선과 온도 조절기에 연결된 전선으로 용융 흔적이 식별되지 않았으며, (b)는 일체형 코드로 4개소에서 용융 흔적이 식별되었다.

Figure 16은 4개소의 용융 흔적을 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany)과 금속현미경으로 분석한 것으로 (b)와 같이 [A] 부분에서 경계면을 중심으로 전기 합선될 때 생성되는 주상 조직이 나타났다. (d)와 (f)의 [B]와 [C] 부분에서는 외부 화염에 의해 피복이 소실된 후 전기합선으로 이어질 때 생성되는 여러 형태의 구멍(void)과 주상 조직이 나타났다. (h)와 같이 [D] 부분에서는



(a) Wires connected to heat ray



(b) Plug and power cord sets

Figure 15. Wires of damaged heater.

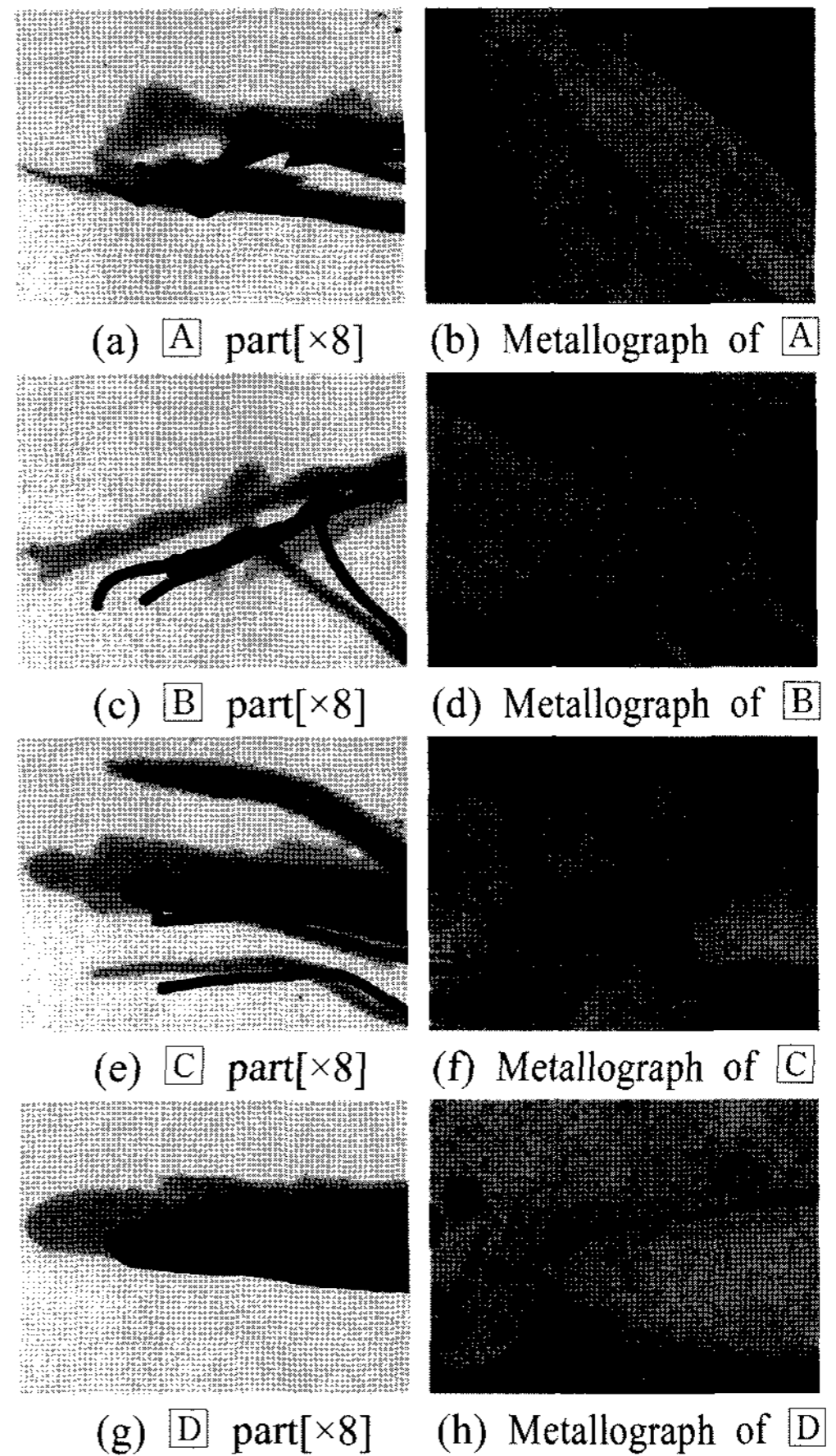


Figure 16. molten mark analysis of Wires.

외부 화염에 의해 구리(Cu)의 결정 입자가 커진 형태를 보임에 따라 화재는 전원코드 부분에서 전기합선에 의해 발생된 것으로 판단되었다.⁷⁻¹⁰⁾

3. 결 론

본 논문에서는 가정이나 사무실 또는 다중이용시설에서 흔히 볼 수 있는 원적외선 히터의 화재사고를 다루었다. 특히 전기화재조사는 현장에서 정확한 발화지점 조사와 의심되는 전기제품의 회로 분석, 제품에 사용되는 재료의 금속 및 절연재의 특성 분석 등 종합적으로 이루어져야 한다. 소손된 원적외선 히터의 원인을 종합적으로 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정상 제품과 소손된 제품의 비교분석 결과 본체와 후면 덮개는 전소되었으며 제품의 하단부와 좌측면의 연소가 강하게 진행되었다.
- 2) 원적외선 히터의 세라믹에 용융된 열선은 다른 금

속물질에 의한 층간 단락 형태를 보이거나 주사전자현미경(SEM)과 에너지분산분석기(EDX)를 이용하여 성분을 분석한 결과 열선의 재질은 철-크롬에 알루미늄이 혼합된 것이며 다른 금속물질은 발견되지 않았다. 따라서 화재 시 고열에 의해 일부의 열선이 용융된 것으로 누전 등 전기적인 원인은 발견되지 않았다.

3) 원적외선 히터의 세라믹에 용융된 열선 부위와 같이 열선 층간단락과 금속물질에 의한 층간단락을 실험한 결과 정상보다 높은 발열 상태를 보이거나 화재의 가능성은 적었다.

4) 원적외선 히터의 정상제품에 불꽃착화 실험을 수행한 결과 제품의 재질은 비난연성이며 대략 3분 30초 후 소락되었으며, 소락 후 강한 화염을 동반하며 연소되었다. 특히 연소과정에서 ‘핑’하는 소리가 나며 이는 재질이 발포성인 것으로 판단된다.

5) 소손된 히터의 배선을 실체현미경과 금속현미경을 이용하여 용융 흔적을 분석한 결과 전원코드로 판단되는 배선에서 전기가 합선될 때 생성되는 경계면을 중심으로 주상조직이 나타남에 따라 합선에 의해 화재 사고가 발생한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박찬호, 이복영, 박상태, “전열기기의 화재안전성 확보를 위한 안전장치에 관한 연구”, 한국화재소방학회

2. 춘계학술대회 pp.294-297(2006).
2. 최충석, “전기화재공학”, 동화기술, pp.195-265(2004).
3. 화재보험협회, “전기화재(발생기기별원인)”, pp.24-128(1979).
4. F.W. Cooper, Electrical Safety Engineering, 3rd ed. Butterworth Heinemann, pp.113-144(1993).
5. I.K. Greenwald, Electrical Hazards and Accidents - Their Cause and Prevention, Van Nostrand Rein Hold, pp.116-134(1991).
6. V. Babrauskas, “Fires due to Electric Arcing: Can ‘Cause’ Beads be Distinguished from ‘Victim’ Beads by Physical or Chemical Testing”, Fire and Materials, pp.189-201(2003).
7. C.-S. Choi, K.-M. Shong, D.-O. Kim, and D.-W. Kim, “The Analysis of Dendrite Structure of Electric Wire Melted by Fusing Current”, 2003 J-K Joint Symp. on ED&HVE, pp.145-148(2003).
8. 최충석, 송길목, 김형래, 김향곤, 김동욱, 김동우, “Standby mode에서 출화된 콘센트의 화염 패턴 및 전기적 특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회, Vol.16, No.1, pp.39-44(2002).
9. 송길목, 최충석, 김향곤, 김영석, “AC 전류에 의해 용융된 나전선의 발열 특성”, KIIEE, Vol.20, No.1, pp.77-84(2006).
10. 최충석, 김향곤, 송길목, “외부화염에 의해 소손된 비닐코드의 단락 특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회, Vol.18, No.4, pp.72-77(2004).