



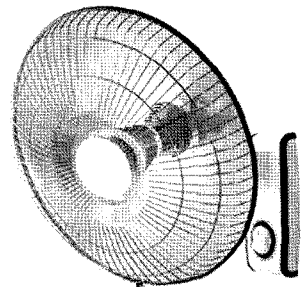
전기 가열의 종류 및 원적외선 히터의 화재 원인 판정



최 중 석
전주대학교 소방안전공학과 교수

1. 서론

전기가열은 다른 열원에 비하여 우수한 특성이 있기 때문에 기계, 화학, 야금 공업, 농업 등에 이르기 까지 활용되고 있다. 일반적으로 이용되고 있는 전기가열 방식을 분류하면 저항가열, 아크가열, 고주파가열, 유도가열, 초고주파가열, 적외선가열 및 전자빔가열 등이 사용되고 있다. 난방의 목적으로 사용하는 가열을 대표하는 것이 저항가열과 적외선가열이다. 저항가열은 간단하다는 장점이 있으나 공간 난방



을 하는 경우 발열부와 피조물 사이의 온도차가 크다는 단점을 갖고 있다. 그런 단점을 보완한 것이 원적외선 히터가열방식이다. 적외선(infrared ray)은 가시광선(380~770nm)의 적색 영역보다 파장이 길어 열작용이 큰 전자파의 일종으로 파장이 짧은 것은 근적외선이라 하며 눈에 보이지 않고 물질에 잘 흡수되며 유기(탄소)화합물 분자에 대한 공진(共振) 및 공명(共鳴) 작용이 우수하여 의료 분야에 다양하게 응용되고 있다.

빛은 일반적으로 파장이 짧으면 반사가 잘 되고, 파장이 길면 물체에 도달했을 때 잘 흡수되는 성질이 있으므로 침투력이 강해서 사람의 몸도 이 적외선을 쬐면 따뜻해진다. 즉 이러한 열작용은 각종 질병의 원인이 되는 세균을 없애는 데 도움이 되고, 모세혈관을 확장시켜 혈액 순환과 세포 조직 생성에 도움을 준다. 즉 전기 에너지를 응용한 다양한 형태의 가열이 이용되는 이유는 열효율이 매우 좋고, 매우 높은 온도를 얻을 수 있으며, 내부가열이 가능하다. 또한, 전기로와 같은 설비의 제어가 용이하고, 온도 제어 및 조작이 가능

하다. 그리고 방사열의 이용이 용이하므로 제품의 품질이 균일하게 생산된다는 특징을 갖고 있다.

따라서 본 논고에서는 전기 가열의 분류 및 특징에 대해서 소개하고, 음식점 및 사무실 등의 벽면에 설치하여 난방의 목적으로 사용되고 있는 원적외선 히터에서 발생한 화재의 원인을 분석하여 제시함으로써 유사사고 예방에 기여하고자 한다.

2. 기존 누전차단기의 회로 구성

(1) 저항가열

도체에 전류가 흐르면 필연적으로 발생하는 열의 성질을 이용한 방법으로 직접 가열 또는 간접 가열방법이 있다. 직접 가열은 도전성 피열물에 전류를 직접 흘리는 방법이며, 간접 가열은 피가열물에 접근해서 금속저항선 또는 탄화규소와 같은 비금속 발열체에 전류를 흘릴 때 생기는 열을 방사, 전도, 대류 등에 의해 가열하는 방법이다. 직접 가열에서는 피가열물이 금속류와 같이 저항률이 낮은 것에 적용된다. 간접 가열은 발열 온도에 따라 발열체를 구분하여 사용하고 있다. 1,000°C 이하의 온도에서는 발열체로 니크롬선, 철크로뮴선 등이 이용되고, 고온에서는 탄화규소를 주로 이용하고, 1,400°C 이상에서는 규화몰리브덴을 사용한다.

(2) 아크가열

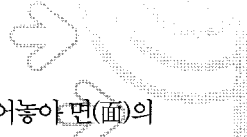
공기 중에서 방전하는 아크열을 가열에 이용하는 방식이며, 직접식과 간접식이 있다. 아크방전 상태에서는 음극에서 충분한 열전자가 공급되고, 음양 두 극간의 전위차가 낮아 큰 전류가 흐른다. 고온 아크가열의 대표적인 것이 고온 플라즈마(plasma)이며, 온도는 수천도 이상을 얻을 수 있어서 강판의 절단 및 폐기물의 소각 등에 이용된다.

(3) 고주파 가열

고주파 가열은 유전 가열과 유도 가열로 나누어진다. 유전 가열은 교류 전계(電界) 중에서 절연성의 피열물에서 발생하는 유전체손에 의해 가열하는 방식이다. 유도 가열은 교류 자계(磁界) 중에서 도전성인 피열물 자체 내에 생기는 와전류손(eddy current) 또는 히스테리시스손(hysteresis loss)에 의해 가열하는 직접식과 피열물이 절연성인 경우에 피열물을 도전성의 용기 속에 넣고 용기 중에서 발생하는 와전류손 또는 히스테리시스손에 의해 발생한 열을 전도에 의해서 피열물에 전달하는 간접식이 있다.

(4) 적외선 가열

주로 적외선 전구를 사용하여 방사된 적외선으로 피열물의 표면을 가열시키는 방식이다. 일반적으로 전자기파(電磁氣波)를 적외선이라 하며, 파장의 길이에 따라 분류하면 파장 0.75~3 μm의 적외선을 근적외선, 3~25 μm를 적외선, 25 μm 이상의 것을 원적외선이라 한다. 전열에 이용되는 대부분의 적외선은 원적외선이다. 즉 원적외선은 가시광선이나 자외선에 비해 강한 열작용이 있는 것이 특징이며, 이 때문에 열선(熱線)이라고도 한다. 태양이나 발열체로부터 공간으로 전달되는 복사열은 주로 적외선에 의한 것이다. 적외선 전구

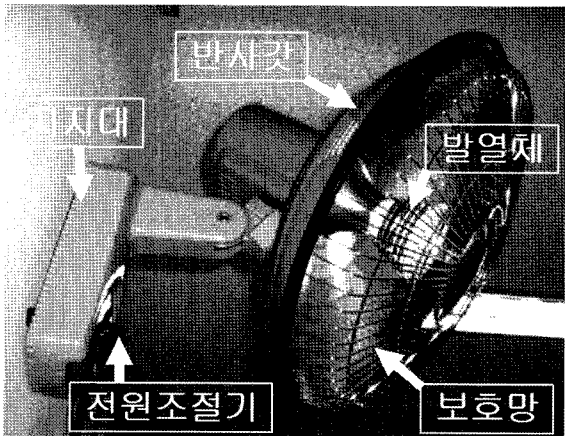


기기의 용량은 보통 100~500W인데, 이것 몇 개를 1열로 늘어놓은 블록을 만들고 블록을 늘어놓아 면(面)의 열원으로 한 것을 뱅크라고 한다. 이 뱅크를 노(爐)의 내면에 장치하여 적외선로를 만들어 사용한다.

3. 원적외선 히터의 분석

(1) 탄화패턴 분석

〈그림 1〉사고 현장 현장에서 수거한 물품과 동일한 정상 제품과 소손 제품을 나타낸 것이다. 〈그림 1〉(a)는 정상 제품으로 지지대, 전원조절기, 반사갓, 발열체, 보호망 등으로 구성되어 있다. 지지대 덮개 및 전원조절기는 플라스틱으로 구성되어 있고, 보호망 및 반사갓은 금속이다. 〈그림 1〉(b)는 사고 현장에서 수거한 것으로 심하게 변형 및 탄화가 진행되었음을 알 수 있다. 플라스틱은 소라되어 흔적을 확인할 수 없으며, 발열체의 일부가 용융된 흔적이 발견된다. 또한, 내장된 전원선이 일부 탄화된 것을 알 수 있고, 반사갓도 심하게 변형이 있었음을 알 수 있다.



(a) 정상제품

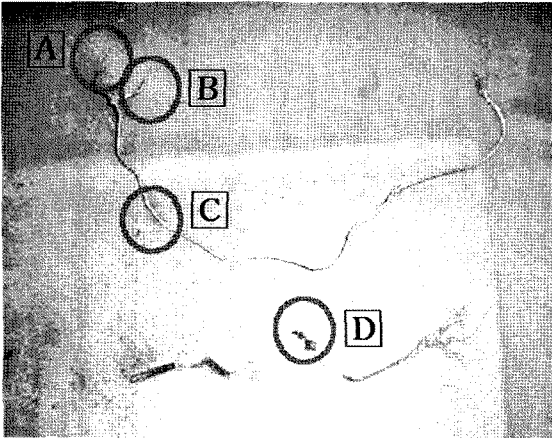


(b) 소손제품

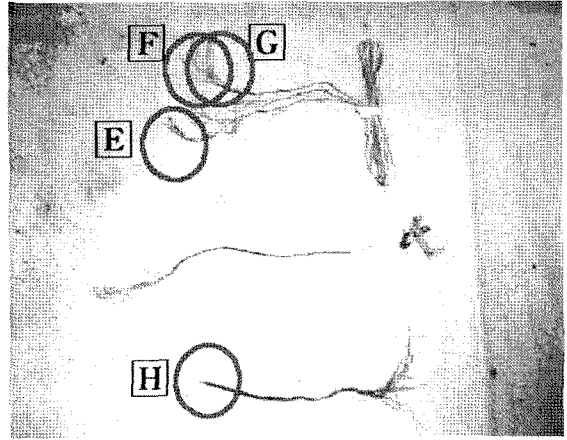
〈그림 1〉 제품의 실제 사진 비교

(2) 금속단면 분석

〈그림 2〉는 소손된 히터에 부착된 전원선 및 온도 제어용 배선으로 절연물은 심하게 탄화되어 박리되었으며, 도체인 구리도 산화에 의해 심하게 변색되어 있음을 알 수 있다. 용융 흔적은 A, B, C, D, E, F, G, H 등 8개소에서 확인되었다. 그러나 화재 현장의 조명 배선으로 판단되는 전선 1점과 히터의 열선 1점에서는 용융 흔적이 확인되지 않았다.



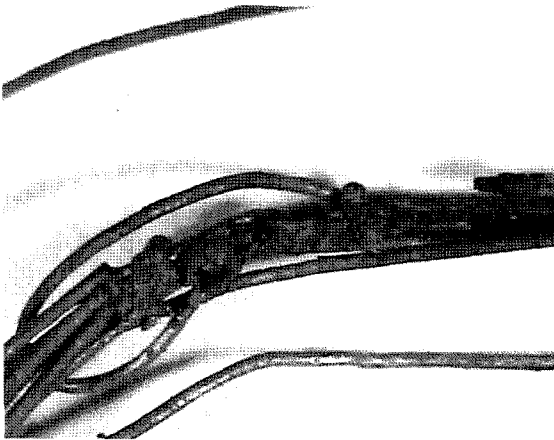
(a) 전원선 플러그 배선



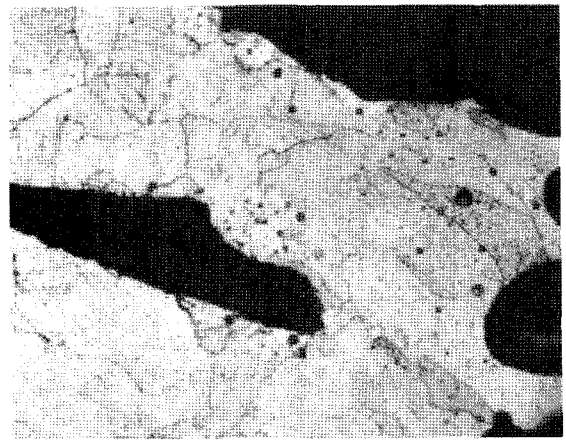
(b) 온도 제어용 배선

〈그림 2〉 소손된 히터의 전원선 및 온도 제어용 배선

〈그림 3〉은 〈그림 2〉의 부분을 실체 현미경에 의해 8배 확대한 것이며, 〈그림 4〉는 100배 확대한 금속 단면 조직으로 외부 화염에 의해 피복이 소실된 후 합선될 때 생성되는 여러 형태의 구멍(void)과 주상조직이 확인되었다.

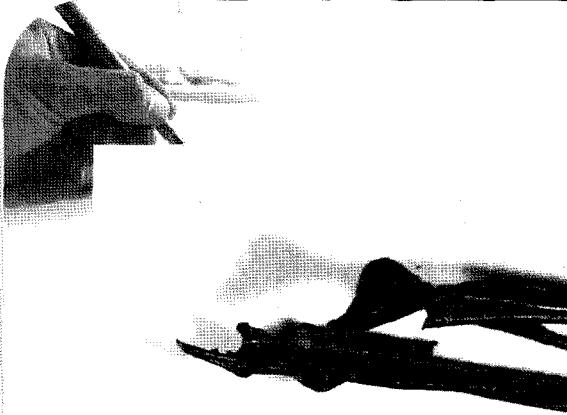


〈그림 3〉 A 부분 8배 확대 사진

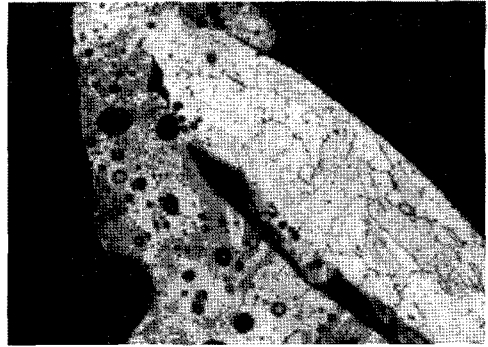


〈그림 4〉 A 부분 금속 단면 조직

〈그림 5〉는 〈그림 2〉의 부분을 실체 현미경에 의해 8배 확대한 것이며, 〈그림 6〉은 100배 확대한 금속 단면 조직으로 경계면을 중심으로 합선될 때 생성되는 주상 조직이 나타났다.



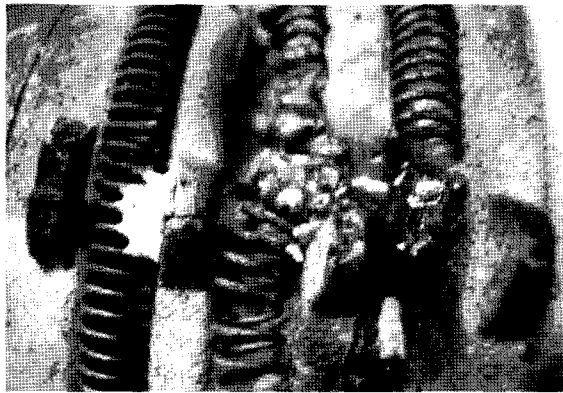
〈그림 5〉 F 부분 8배 확대 사진



〈그림 6〉 F 부분 금속 단면 조직

(3) 표면 구조 및 성분 분석

〈그림 7〉은 원적외선 히터의 발열부분으로 열선을 지지하는 세라믹 지지대가 변형되고 열선이 일부 용융되어 있으며, 층간 단락의 형태를 보이고 있다. 〈표 1〉은 정상 히터의 열선을 에너지분산분석기(EDX)로 성분을 분석한 결과 열선은 철(Fe); 57.58%, 크롬(Cr); 20.69%, 알루미늄(Al); 7.4% 등의 합금으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

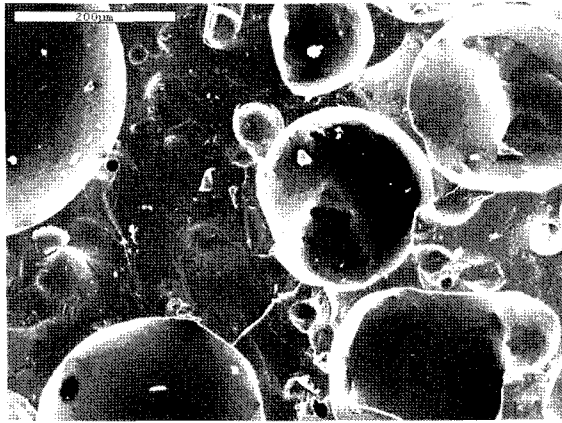


〈그림 7〉 열선의 용융 부분 사진

〈표 1〉 정상 열선의 성분 분포

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

〈그림 8〉은 〈그림 7〉의 용융된 열선의 일부로 세라믹과 접촉된 부위를 추출하여 주사전자현미경(SEM)과 에너지분산분석기(EDX)로 분석한 결과 〈표 2〉와 같이 산소(O); 43.96%, 규소(Si); 22.8%, 마그네슘(Mg); 6.83%, 알루미늄(Al); 16.49% 등이 검출되었으며 이는 세라믹 재료와 열선의 알루미늄이 고열에 의해 용융된 것으로 판단된다.



〈그림 8〉용융된 열선의 SEM 사진

〈표 2〉 용융 부분의 성분 분포

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

4. 결론

전기 가열의 분류 및 특징을 분류하고 음식점 및 사무실 등의 벽면에 설치하여 난방의 목적으로 사용되고 있는 원적외선 히터에서 발생한 화재의 원인을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 전기 가열은 열효율이 매우 좋고, 매우 높은 온도를 얻을 수 있으며, 내부 가열이 가능하다. 또한, 노기 제어가 용이하고, 온도 제어 및 조작이 가능하다. 그리고 방사열의 이용이 용이하므로 제품의 품질이 균일하게 할 수 있다는 특징을 갖고 있다.
- (2) 정상 제품과 의뢰된 제품의 탄화 패턴 분석에서 지지대와 반사갓은 심하게 소손되었고, 발열체의 일부에 용융 흔적이 확인되었다. 또한, 제품의 하단부와 좌측면의 연소가 강하게 진행된 것으로 해석되었다.
- (3) 원적외선 히터에 전원을 공급하는 배선을 실체 및 금속 현미경으로 분석한 결과 전원 코드로 판단되는 배선에서 합선될 때 생성되는 주상 조직이 확인됨에 따라 어떤 이유인지는 정확히 알 수 없으나 합선이 발생한 것은 명확하게 되었다.
- (4) 원적외선 히터의 용융된 열선은 다른 금속 물질에 의한 층간 단락 형태를 보이나 주사 전자 현미경과 에너지 분산 분석기를 이용하여 성분을 분석한 결과 열선의 재질은 철-크롬에 알루미늄이 혼합된 것으로 확인되었다. 또한, 다른 금속 물질이 발견되지 않은 것으로 보아 화재 발생 시 고열에 의해 일부의 열선이 용융된 것으로 판단되며, 전기적인 원인은 발견되지 않았다.