

모기약 훈증기에서의 발화연구

The outbreak of a fire from a mosquito repellent mat

서울지방경찰청 최승복 · 서대문경찰서 이승훈

1. 서론

인간이 불을 사용하기 시작하면서 인류 문명은 열을 이용한 전자 기기나 자동차 또는 대형 시스템이 고성능, 고기능화가 이루어지고 있다고 해도 과언은 아닐 것이다. 이러한 열의 특성을 이용한 각 종 센서 중 반도체의 특성을 이용한 것이 서미스터 센서이다. 이러한 서미스터는 대부분 줄열(J)을 이용한 반도체의 소자의 온도변화와 전류 증감의 특성을 적절히 이용하여 발열체 및 각종 전자, 전기 제품의 센서로 많이 이용하고 있지만 우리나라의 경우 아직 이러한 서미스터의 생산 경쟁능력은 미국의 40%, 일본의 30% 수준으로 이 분야의 기초 및 기술 확보가 시급하다. 이러한 예로 PTC서미스터를 발열체로 이용한 전자 모기향에서 화재가 발생하여 한 순간에 단란한 가정을 잿더미로 만들어 버린 사례가 있어 PTC 서미스터를 이용한 전자 모기약 훈증기에 대하여 연구하여 화재감식의 기초 자료로 삼고자 한다.

2. 사고사례

〈사례1〉

2005. 05. 00. 16:00경 서울 양천구 00동 00 번지 다세대 2층에서 피해자 김00가 전자모기향을 켜두고, 잠을 자던 중 훈증기에서 화재가 발생하여 내부 30평이 전소된 사건임



〈그림 1〉 화재현장



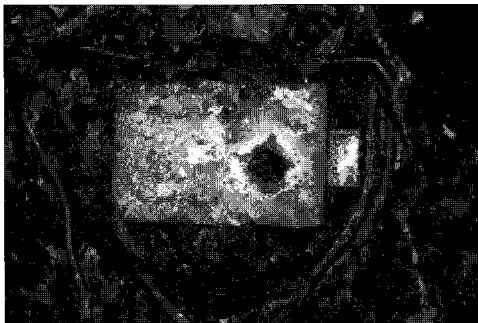
〈그림 2〉 모기약 훈증기

〈사례2〉

2005. 09. 00. 20:00경 서울 마포구 아현동 00번지 00아파트 00동 00호에서 피해자 김00가 작은방 바닥에 모기약 훈증기를 켜두고, 잠시 자리를 비운 사이 화재가 발생하여 25평 내부 전소



〈그림 3〉 화재현장-2



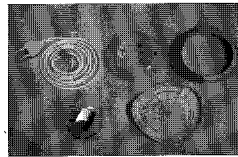
〈그림 4〉 모기약 훈증기

3. 모기약 훈증기관?

일반적으로 전자모기향이라고 부르기도 하는 매트형 훈증기와 액체 훈증기가 대표적이며, 훈증기는 열을 나게 해서 살충기능이 내포된 매트나, 액상의 살충제를 데워 증발시키는 기능을 한다. 훈증기의 발열 기능은 열선을 이용하는 제품과, PTC 서미스터를 이용한 제품이 있으나, 열선을 이용한 경우는 별도의 안전장치 등을 설치해야 하므로, 최근에는 안전장치와 발열체의 기능을 동시에 수행할 수 있는 PTC 서미스터를 이용한 훈증기를 주로 생산판매 하고 있다.

4. 모기약 훈증기 구조 및 PTC 서미스터의 특성

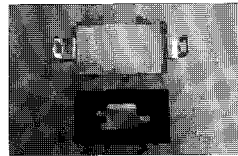
4.1 훈증기의 구조



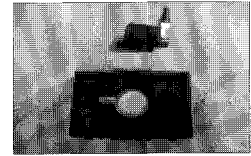
〈그림 5〉 외 함



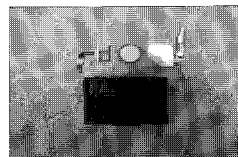
〈그림 6〉 모듈



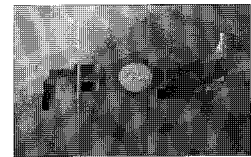
〈그림 7〉 발열판



〈그림 8〉 PTC

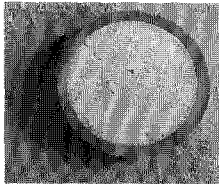


〈그림 9〉 분해



〈그림 10〉 단자

혼증기는 플라스틱 외함, 모듈, 비닐코드로 구분되며 간단한 구조로 되어있다. 외 함에는 LED 램프가 저항에 연결되어 있고, 모듈에는 PTC 서미스터와 전원단자, 기름종이, 발열 판이 있다.



PTC 서미스터
 발열온도 : 163°C
 규 격 : 지름-10mm,
 높이-2.07mm
 상온저항 : 3.27kΩ

4.2 PTC 서미스터(Thermistor)의 특성

서미스터는 Thermally sensitive resistor의 약자로 온도에 따라서 저항이 변화되는 특성을 가진다. 여기에 이용되는 세라믹스는 티탄산바륨($BaTiO_3$) 계인데 이 티탄산바륨에 미량(0.1~1.5%)의 란탄(La), 이트륨(Y), 비스무트(Bi) 및 투륨(Th) 등의 산화물을 혼합하여 소성하는데 이렇게 하여 만든 티탄산바륨계 세라믹스는 상당히 색다른 온도 저항특성을 나타낸다. 즉 낮은 온도에서는 비교적 작은 저항치를 갖지만 어떤 온도에 도달하면, 갑자기 저항이 증가하며 그 증가폭도 대단히 크다. 이 온도 이상에서는 전류가 흐르기 어렵게 된다. 이 세라믹스 등의 성질이 급변하는 온도를 큐리(Curie)온도 또는 큐리점이라 하며 온도가 이를 넘어서면 정특성의 저항 급증 영역에 들어가게 된다. 이 큐리점은 세라믹스의 성분을 약간 변화시키면, 고온 쪽 혹은 저온 쪽으로 이동시킬 수 있어서 여러 가지 특성의 서미스터를 만들 수 있다. PTC 서미스터가 큐리온도까지 상승하면 PTC 서미스터의 저항이 급증한다. 그 이유는 아직 명확히 해명되지 않고 있다. 실험적으로 여러 가지 새로운 데이터를 이용하여 연구가 진행

되고 있는데 이것은 세라믹스만이 가지는 특이한 성질의 하나라고 볼 수 있다.

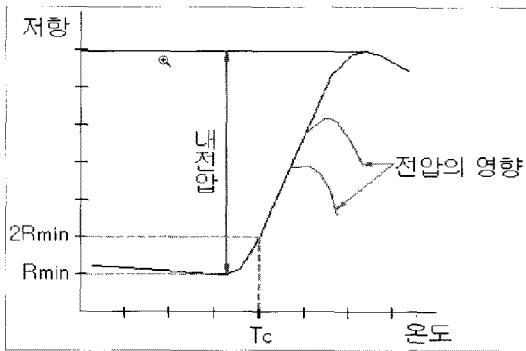
이렇게 해서 목적에 맞는 큐리점의 티탄산바륨계 세라믹스 원판이 만들어지면 그 양면에 전류를 통과시키기 위한 전극을 밀착시켜야 한다. 상용되는 전극으로는 은(Ag)에 아연(Zn), 인듐(In)등을 첨가한 PTC용 전극, 니켈(Ni), 알루미늄(Al)등이 사용된다. PTC 서미스터는 온도의 변화에 민감하게 저항이 증가하는 소자라는 점에서 온도센서, 온도로 전류를 제한하는 소자 또는 스스로가 저항체이므로 과도한 전류가 흐르면 발열하여 이 온도 상승으로 저항이 급증, 전류를 억제하는 과전류보호소자 등 여러 가지 목적으로 사용되며 많은 특성이 제품들이 있다.

정온도히터 : PTC 서미스터는 이와 같이 전류가 흘러서 온도가 올라가면 어떤 일정한 온도에서 갑자기 저항이 증가하여 전류를 억제하는 특성이 있다. 또한 전류가 흐르면 온도가 상승하는 히터에도 이용할 수 있는데 일정한 온도까지 올라가면 전류가 억제되는 자동제어용의 정온발열체로 사용할 수 있다. 지금까지 일정온도의 발열체는 열팽창을 이용한 바이메탈을 사용하여 전열선의 전류를 단속시키는 방법을 써 왔다. 그러나 이 방법은 온도도 맥동하기 쉽고 전류가 바이메탈 접점에서 단속할 때 잡음신호를 내기도 하고 접점에서의 문제도 많다. 그런데 PTC 서미스터 응용의 정온발열체인 경우는 그 온도에 맞는 것만 쓰면 되기 때문에 전자모기향, 방향제, 헤어드라이어, 전기밥솥, 커피포트, 온풍히터 등에 광범위하게 사용되고 있다.

4-2-1 저항-온도(R-T) 특성

서미스터의 가장 기본적인 특성으로 1.5V DC 이하에서 PTC 서미스터의 주위온도 변화에 따른 전기적 저항률을 측정하면 <표1>과 같이 저항-

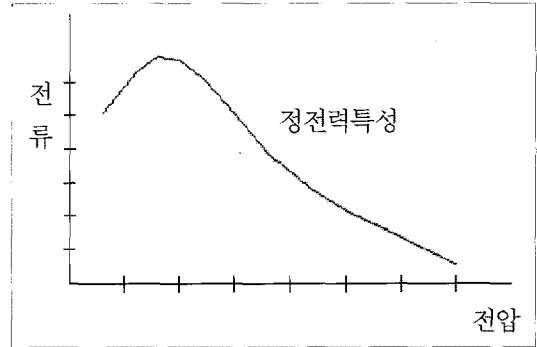
온도 특성이 나타난다. 이 특성에서 저항이 급격히 증가한 온도를 스위칭(Switching)온도 또는 큐리(Curie)온도라고 하는데 일반적으로 최소저항치 기준 온도의 2배에 대응하는 온도로 정의하면 재료 특성의 중요한 파라미터(parameter)가 된다. 이 특성을 이용하면 온도의 감지가 가능하므로 온도를 제어 또는 보상하며 과열을 막는 등의 용도로 사용할 수 있다.



〈표 1〉 저항-온도 특성

4-2-2 전류-전압(I-V) 특성

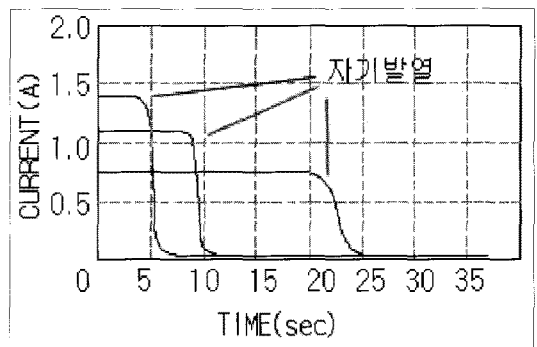
PTC 서미스터에 전압을 인가하여 서서히 증가시키면 <표2>와 같이 줄열(joule)에 의해 소자의 온도가 상승하게 된다. 상승한 온도가 큐리온도 이상이 되면 R-T특성에 의한 저항 증가의 결과로 전류가 감소하는 특성을 나타내게 된다. 이 특성을 이용하면 정온발열기능 소자와 과전류 보호용 소자로 이용할 수 있다



〈표 2〉 전류-전압 특성

4-2-3 전류-시간(I-t) 특성

PTC 서미스터에 일정 이상의 전류를 인가하면 줄열에 상당하는 자기 발열로 소정의 시간이 경과한 후 큐리온도에 도달하여 <표3>과 같이 저항이 급격히 증가함에 따라 전류를 제한하는 작용이 일어나게 된다. 이 특성을 이용하면 전류감쇄(제한)기능 소자나 delay 회로와 degaussing 회로 소자로 사용할 수 있다. 또한 전류의 양이 클수록 PTC 자체의 줄열이 크게 발생하므로 동작시간도 그만큼 빠르게 동작한다.



〈표 3〉 전류-시간 특성

5. 실험

5.1 실험 방법

- 1) 외 함 소훼실험
- 2) PTC 파괴 후 전원인가
- 3) PTC 서미스터 접촉 표면의 은박을 긁어 접촉 불량 상태로 전원인가
- 4) 발열판 절연지 제거 후 전원인가
- 5) 접속단자 표면을 잘라낸 후 전원인가
- 6) PTC 서미스터의 접속단자 강제 합선
- 7) 불량 PTC 서미스터에 직접 전원인가
- 8) 불량 PTC 서미스터를 결합한 훈증기 실험
- 9) 식염수를 이용한 절연파괴 실험
- 10) 발화된 훈증기 비교 분석

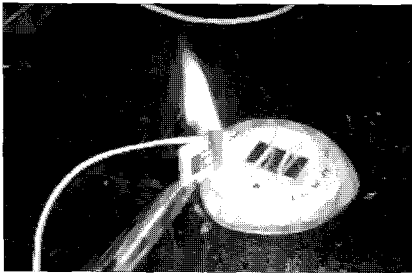


〈그림 13〉



〈그림 14〉

5.2 훈증기 외함 소훼실험



〈그림 11〉



〈그림 12〉

5-2-1 실험결과 및 고찰

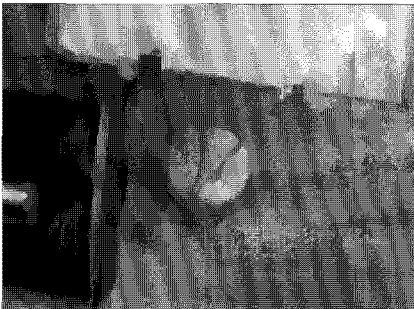
필프에 불을 붙인 후 전원을 인가하지 않은 훈증기에 넣어 소훼 시킨 후 PTC의 상태를 관찰하였다.

실험결과 화재현장에서 외부 화염에 의해 전원이 인가되지 않은 훈증기가 이와 같이 소훼될 경우에는 내부 모듈에 들어 있는 PTC는 깨지지 않은 온전한 상태로 식별될 것이므로 화재현장에서 수거한 시료의 PTC가 방사형 형태로 깨어져 있었던 것으로 미루어 볼 때 PTC를 통해 흐르는 전류의 영향이 있었다.

5.3 PTC 변형 실험



〈그림 15〉 PTC 깨뜨림



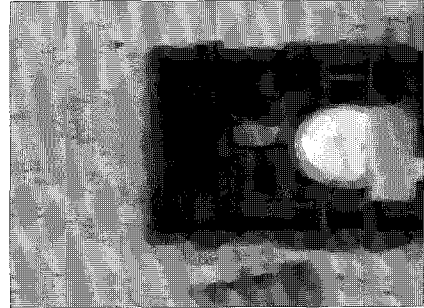
〈그림 16〉 표면 긁음

5-3-1 실험결과 및 고찰

〈그림15〉와 같이 PTC 서미스터를 깨뜨린 후 조립하여 전원을 인가한 상태에서 발열판의 온도 및 코드의 저항을 측정하니 깨지지 않은 PTC에 비해 약500배인 저항600k Ω 이었으며 온도는 40% 감소한 약90 $^{\circ}$ C로 안정화 되었으며 PTC폭발이나 접속단자의 용융은 나타나지 않았다.

〈그림16〉과 같이 PTC 서미스터의 표면의 은 박은 긁어내고 조립하여 전원을 인가한 상태에서 온도 및 코드의 저항을 측정하니 정상인 PTC와 비슷한 1~3k Ω 의 저항과 140~160 $^{\circ}$ C의 온도를 유지하였으며 폭발이나 접속단자의 용융은 나타나지 않았다.

5.4 절연지 제거 및 접촉 단자 절단 실험



〈그림 17〉 단자 절단

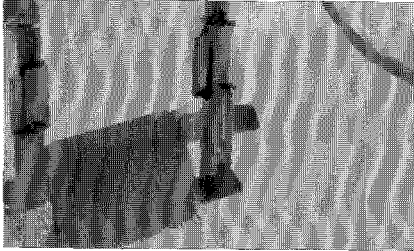


〈그림 18 절연지 제거〉

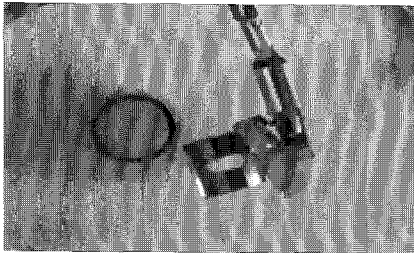
5-4-1 실험결과 및 고찰

〈그림17〉 〈그림18〉의 실험에서는 정상 제품에서와 같이 일정한 온도와 저항을 유지하며 절연파괴 및 불완전 접촉 등의 특이 현상은 나타나지 않았다.

5.5 PTC 서미스터의 접속단자 강제 합선 실험



〈그림 19〉 강제 합선

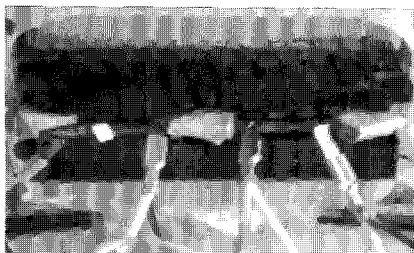


〈그림 20〉 합선 후

5-5-1 실험결과 및 고찰

PTC 서미스터를 단자에 직접 접촉하고 단자 간 합선을 유발하여 PTC를 통해 과전류를 흘렸으나 PTC는 깨지지 않은 온전한 상태로 관찰되었다.

5.6 불량 PTC 서미스터에 직접 전원 인가 실험



〈그림 21〉 불량 PTC

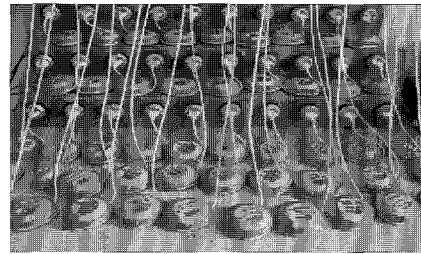


〈그림 22〉 PTC파열

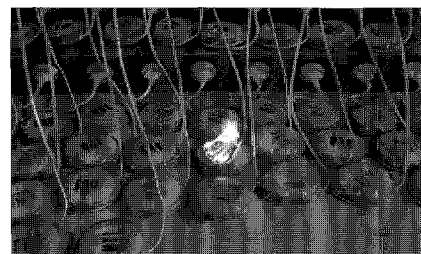
5-6-1 실험결과 및 고찰

불량 PTC 서미스터 단자에 직접 전원을 공급하니 4시간 경과 후 급격히 온도가 상승하며 PTC가 파열되고 접속 단자가 용융 단락되었다.

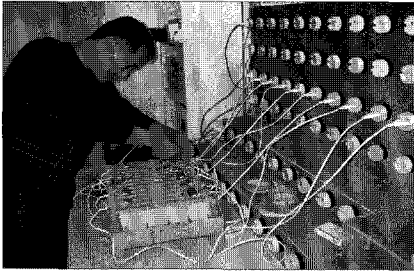
5.7 사고 제품과 동일 PTC를 이용한 훈증기 전원인가 실험



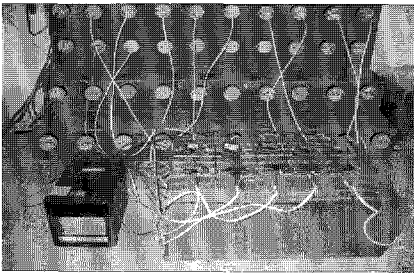
〈그림 23〉 전원인가



〈그림 24〉 발화



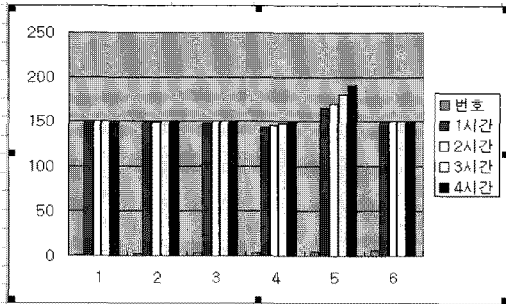
<그림 25> 온도 측정작업



<그림 26> 완성된 모습

5-7-1 실험결과 및 고찰3

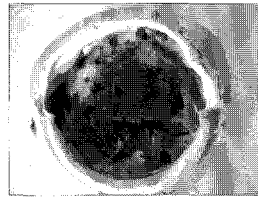
<그림26>과 같이 사고의 훈증기에 사용되었던 동일회사 제품의 PTC모듈을 훈증기에 조립하여 전원을 연결하고 발화에 이르기까지 온도 변화를 측정하였다.



<표 4> 온도변화

<표4>와 같이 6개의 훈증기 모듈에 온도 센서를 부착하고 4시간 동안 발열온도를 측정하니

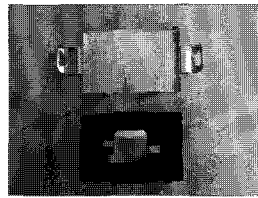
정상적인 PTC의 모듈에서는 150℃ 정도에서 비교적 일정한 온도 분포를 보였지만 이중 불량 PTC로 추정되는 모듈의 온도는 처음부터 160℃ 이상에서 발열하여 온도 측정 상한인 200℃이상 까지 천천히 온도가 증가하다가 폭음과 함께 불꽃이 일기 시작하여 결국 훈증기 외 함이 소훼되기 시작하였다.



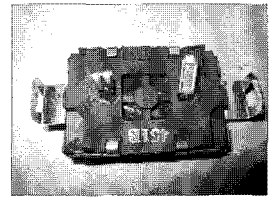
<그림 27> 소훼된 훈증기



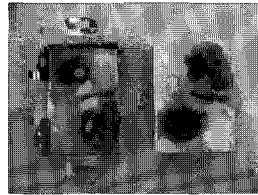
<그림 28> 내부



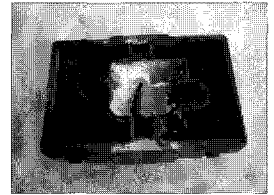
<그림 29> 발열판



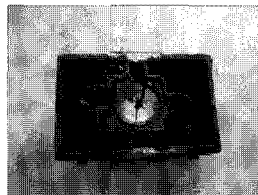
<그림 30> 모듈 뒷면



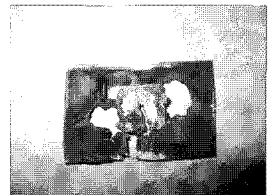
<그림 31> 열판 분리



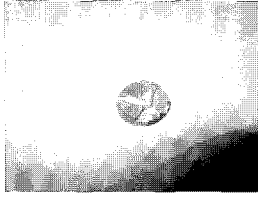
<그림 32> PTC접촉 단자



<그림 33> PTC 파손



<그림 34> PTC접촉단자



〈그림 35〉 PTC

소취된 훈증기는 PTC 접속단자 양 끝 상단과 일치하는 발열판 2개소가 <그림31>과 같이 용융되어 구멍이 뚫렸고 이곳을 통해 스파크 불꽃이 2분간 분출되다가 단자 양단이 단락되면서 전원이 차단되었으며 모듈의 뒷면 양 단자부위 <그림30>이 열 변형되고 PTC 소자<그림33>가 파열되면서 PTC를 중심으로 앞뒷면의 접촉단자 <그림34>가 용융되었다.

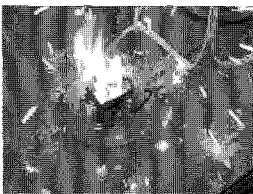
5.8 식염수 이용 절연파괴 실험



〈그림 36〉 폭발1



〈그림 37〉 폭발2



〈그림 38〉 폭발3

5-8-1 실험결과 및 고찰

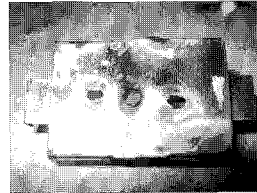
조립된 훈증기의 발열판에 구멍을 뚫은 후 식

염수를 넣어 전원 단자와 PTC간 절연을 파괴하고 이때 발생하는 PTC의 파괴 형상과 접촉 단자, 발열판의 용융형태를 관찰하였다.

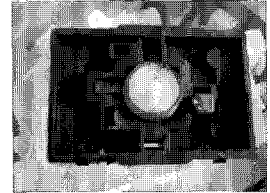
훈증기에 식염수를 넣고 전원을 인가하니 약 20초 후 위 그림과 같이 모듈내부에서 연기가 발생하면서 3-4회 계속하여 폭발과 함께 불꽃이 발생하였고 접촉 단자가 있는 발열판 2곳이 용융 후 구멍이 뚫리고 차단기가 OFF 되면서 전원이 차단되었다.

소취된 훈증기를 분해하니 아래 그림과 같이 PTC가 깨어지고 접촉 단자 꺾임 부위가 용융 단락되어 있고 모듈 접속구 플라스틱이 열변형되었다.

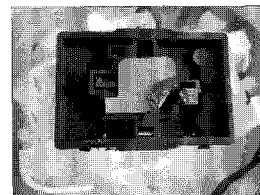
PTC는 표면일부가 깨어지고 이와 접촉되어 있던 상 단자 일부가 용융 되었다.



〈그림 39〉 발열판



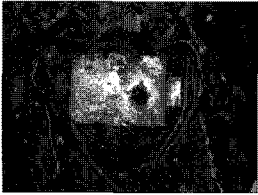
〈그림 40〉 PTC



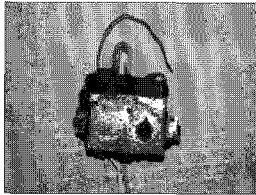
〈그림 41〉 접촉판

6. 비교분석

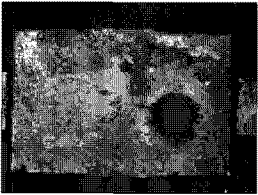
6.1 화재현장에서 수거한 훈증기



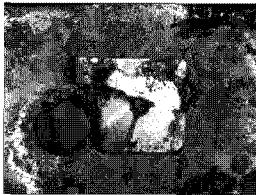
〈그림 42〉 훈증기 잔해



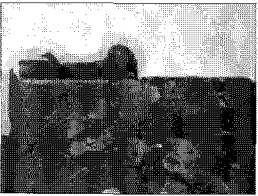
〈그림 43〉 모듈



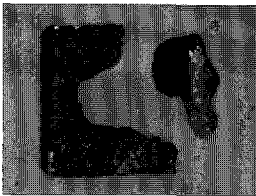
〈그림 44〉 발열판



〈그림 45〉 상 접촉판



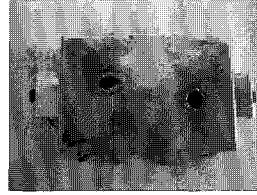
〈그림 46〉 발열판 용융



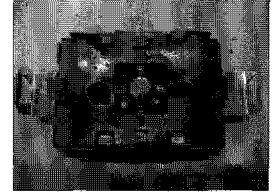
〈그림 47〉 하 접촉판

위 그림과 같이 화재현장에서 수거한 훈증기의 발열판 접속 단자 부위 한곳이 용융 구멍이 뚫려 있고 PTC 상단 접촉판이 PTC 중앙부를 기점으로 일정한 선을 형성하면서 용융되어 있고 하단 접촉판은 PTC 중앙부와 맞닿는 부위가 심하게 용융되어 2개의 방향으로 분리되어 있으며 모듈과 PTC는 심하게 부서지고 소훼 소실되었다.

6.2 실험 훈증기



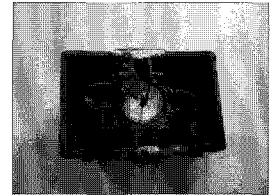
〈그림 48〉 발열판



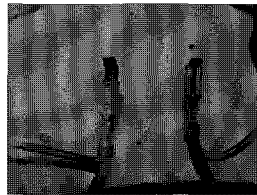
〈그림 49〉 모듈 후면



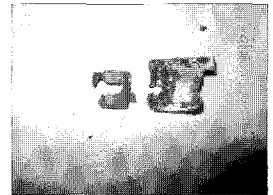
〈그림 50〉 상 접촉판



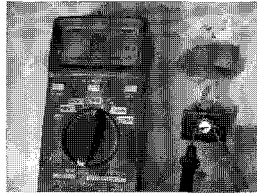
〈그림 51〉 모듈내부, PTC



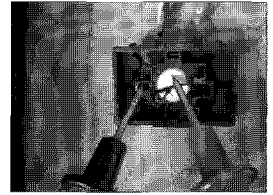
〈그림 52〉 입력 전극



〈그림 53〉 상, 하 접촉판



〈그림 54〉 저항측정1



〈그림 55〉 저항측정2

실험9의 훈증기 시료의 모듈은 사고현장의 모듈과 비교하여 볼 때 그 용융부위 및 PTC의 깨진 형태가 유사하게 관찰되었으며, 모듈 단자부위 상호간 및 PTC간 저항은 측정되지 않았다.

6.3 검토

- 1) 실험1 훈증기의 소핵 실험에서는 PTC는 외열에 의해 파손되지 않고 원형 그대로 유지되었다.
- 2) 실험2 인위적으로 파손 및 흠집을 가공하여 전원인가 한 실험에서 파손된 PTC는 저항이 증가하여 오히려 안정된 전류의 흐름이 관찰되었으며 특이점 관찰되지 않았다.
- 3) 실험3 PTC 접촉부위의 은박에 흠집을 가공한 PTC는 정상적인 PTC와 다른 점을 발견치 못하였다.
- 4) 절연지를 제거 후 조립한 모듈의 전원인가 실험에서는 감전 등의 위험은 있을 것으로 추정되나, 실험 상 특이점이 식별되지 않았다.
- 5) 접촉단자의 절반을 제거 후 조립한 모듈에 전원을 인가한 실험으로 특이점 식별되지 않았다.
- 6) 접촉단자를 합선 후 전원을 인가한 실험에서 단자 간 접촉부위가 용융되어 상호 융착되었으며, PTC에는 특이할 만한 손상이나 흔적이 발견되지 않았다.
- 7) 모듈로부터 PTC와 접촉판을 연결하여 전원을 인가한 실험에서 3개의 시료 중 1개가 강한 폭발음과 같이 PTC 용융된 단자의 파편이 비산되었다.
- 8) 훈증기 완제품을 연결 후 관찰한 실험에서는 100개의 시료 중 전원인가 후 약 3시간이 경과되면서 1개가 모듈부위에서 파편과 함께 연소되는 현상을 보였으며, 약 3일 동안 30개의 시료가 동일한 형상으로 연소되었다.
- 9) 모듈 내부 PTC 부위에 식염수를 넣은 후

전원인가 한 실험에서는 전원인가 직후 실험8과 같은 형상으로 파편과 함께 모듈부에서 화염이 발생하였으나 PTC의 깨어진 형태는 전원 단자 부위 일부와 상 접촉단자가 일부가 파손되었으나 사고 훈증기에서 보는 것과 같이 PTC 중앙부위는 깨어지지 않은 상태로 식별되었다.

7. 결론

화재현장에서 수거한 훈증기는 PTC가 중앙을 기점으로 방사형태로 깨어지거나 파괴된 강한 전류의 흔적이 보이고, 단자의 꺾인 부위가 용융된 공통점을 보였다. 이러한 원인으로는 1)훈증기 내부의 전기배선이 조립과정에서 눌림이나 꺾임 등의 원인, 2)PTC 서미스터의 저온 발열이 축열되어 단자 간 모듈이 트래킹 등의 현상으로 절연이 파괴, 3)PTC 서미스터의 불량으로 인한 적정온도 이상에서 전원 차단기능이 저하되어 폭발되었을 가능성을 가정해 볼 수 있었으나, 지금까지의 실험 결과 PTC가 파괴되고 발열판 및 단자 등이 합선 용융된 시료에서 PTC와 단자간의 모듈에서는 트래킹으로 볼 수 있는 절연 파괴를 확인할 수 없었고, 또한 PTC를 직접 단자에 접촉하고 전원 인가 실험에서 PTC 스스로가 깨어지면서 상,하의 접촉단자가 용융되는 현상이 나타나고 그 외 연소 실험이나 PTC 파괴, 표면 굽음이나 접촉단자 절단, 식염수 이용 절연파괴 실험 공히 PTC 중앙부가 방사형태로 깨어지는 현상과 주변 단자 및 발열판 용융의 현상은 없었으므로 결국 PTC가 적정한 온도와 전류역제 역할 기능을 하지 못하고 순간적으로 PTC를 통해 많은 전류가 흘러 폭발하면서 전원 단자간

합선이 유발되어 이때 생성되는 스파크 불꽃에 모기약 훈증기의 외함에 착화되는 것으로 볼 수 있었다.

참고문헌

(주)호산 실험일지 (정용재)

NTC, PTC THERMISTOR (정기문, 김재홍 포항공
과대학 논문)

http://www.hiel.co.kr/down/03_ptc-thermistor.pdf

서울지방경찰청 화재감식결과철