

전기매트 화재사고 및 예방대책

글 최기욱 KFPA 부설 방재시험연구원 화재조사센터 대리

1. 머리말

가. 일반 개요

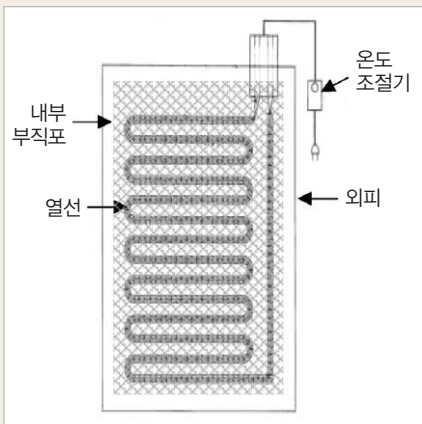
전기매트는 겨울철 난방을 위하여 가정에서 흔히 사용하고 있고, 각 가정마다 하나 이상씩 보유하고 있는 일반화된 제품으로서, 장시간 지속적으로 사용하는 제품 중 하나이다. 일반적으로 가정에서는 전기매트를 이불, 라텍스 또는 메모리폼 매트 등을 사이에 놓고 사용하는 경우가 많으며, 이러한 경우 열의 축적조건이 양호하여 화재가 발생하는 사례가 종종 있다. 이에 전기매트에 의한 화재위험성과 발화원인으로 작용할 수 있는 조건 등에 대해 분석하고 예방대책을 수립하고자 한다.

나. 전기매트 구조

전기매트는 발열을 위한 열선(열선 주위를 감싸고 있는 온도감지선 포함), 온도조절기(컨트롤러), 열선을 고정시키면서 온도를 유지시키는 용도인 부직포 및 외피 등으로 구성되어 있다. 외피는 종류에 따라 전기매트, 전기장판, 전기요 등으로 구분된다. 전기매트는 부직포에 열선(온도감지선 포함)을 삽입하고 다시 부직포 등을 첨부하여 천 종류의 외피로 감싸고 있는 구조이다.

열선의 종류는 일반적으로 전기매트 등에 가장 많이 사용되는 일반 열선, 실리콘 피복 열선, 카본 피복 열선 등으로 구분된다. 현재 가장 많이 쓰이는 전기매트의 열선은 발열선과 온도감지선의 이중구조로 되어 있는 것이다. 이는 발열선(Cu, 0.4mm²)을 압연하여 나이론사에 나선형으로 감은 다음 절연시키고 그 위에 다시 온도감지선(Cu, 0.3mm²)을 감아 사용하는 구조로, 나이론사의 온도변화에 따른 정전용량 변화를 온도조절회로에 보내 SCR로 하여금 위상제어를 하고 적정 전압이 인가되도록 하여 온도조절기가 적정한 온도를 유지하도록 하고 있다.

온도조절기는 온도를 조절하는 가변저항과 열선의 온도감지선으로부터 발생하는 신호에 따라 적절하게 온도를 조절하는 SCR과 이것의 온



[그림] 전기매트 구조

도상승을 방지하기 위한 방열판, 기타 지시용 LED 등으로 구성되어 있다.

상한치의 온도이상이면 전원을 차단할 수 있도록 온도퓨즈가 구성되어 있는 제품도 있다. [그림]은 일반적인 전기매트의 구조이다.

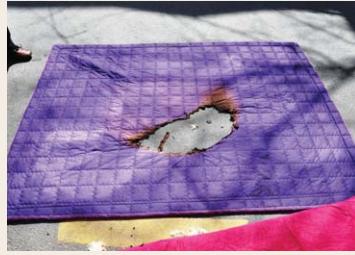
다. 화재 개요

동 화재사고는 서초구 양재동 소재 화재주택의 거주자가 2011년 3월 20일 전기매트를 켜놓고 오후 3시경 외출한 후 오후 6시경 동일 주택 주민에 의해 소방서에 신고되어 진압된 화재사고이다.

3월 22일 화재현장 입장 시, 주택 주차장 인근에 매트리스, 침대커버, 전기매트 등의 연소 잔류물이 적치되어 있었으며, 현장 거주자의 설명에 의해 재현한 결과, 가장 바닥부분에서부터 침대 매트리스, 침대커버 2매, 전기매트, 라텍스 매트 및 거위털 이불, 그리고 베개의 순서대로 놓여있었다.(사진 1~6 참조)



[사진 4] 침대 매트리스, 전기매트, 라텍스 매트의 재현상황



[사진 5] 전기매트 상부의 연소상황



[사진 6] 전기매트 하부의 연소상황 (중앙부분만 국소적으로 연소된 상태이며, 기타 부분에는 열선에 의한 과열현상이 보이지 않음)



[사진 1] 화재당시 침대 상부 전기매트 등의 연소 상황(3월 20일)
(하부에서부터 순서 : 침대커버, 전기매트, 라텍스 매트, 거위털 이불)



[사진 2] 화재당시 전기매트의 연소상황(3월 20일)



[사진 3] 현장입장 시 전기매트, 이불 등의 상황 (3월 22일)

2. 발화원인 분석

가. 축열에 의한 발화 가능성

(1) 발화 메커니즘

일반적으로 전기매트 상부 및 하부에 열전도성이 좋지 않은 이불 등이 놓여있어 축열 조건이 좋은 상태라면, 전기매트에서 발생하는 열을 외부로 방사하지 못하고 국소적으로 축적되는 상황이 발생한다. 이러한 상황이 장시간 지속될 경우 전기매트의 전열선 주위의 온도는 최고 100℃ 이상까지 상승할 수 있고, 전기매트 상하부에 놓인 물품이 발화점이 낮은 물질인 경우 축적된 열에 의해 물질의 훈소과정을 거쳐 발화될 수 있다.

(2) 발화 가능성

동 화재사고의 경우 전기매트 하부에 침대 매트리스, 침대 커버 등이 있었으며, 전기매트 상부에는 라텍스 소

재 매트 및 거위털 이불이 덮여져 있었다. 특히 거위털 이불의 경우 평평하게 펼쳐져 있지 않았고, 중앙부분에 뭉쳐져 있던 상태(거주자 설명)로서, 기타부분에 비해 중앙부분에 열 축적이 심할 것으로 판단된다.

이러한 상황에서 수 시간동안 전기매트의 열선이 가열 되는 경우, 매트의 중앙부분에서 국소적으로 가열 및 축열될 가능성이 매우 크다. 특히 라텍스 소재의 매트는 열전도율이 매우 작고 발화점이 낮은 물질로서, 발화되기에 충분한 조건이 되는 것으로 보인다.

(3) 검토 의견

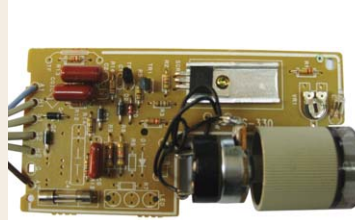
동 화재사고의 경우, ①전기매트의 중앙부분만 국소적으로 연소된 상태이며(사진 1~4 참조), ②연소된 중앙부분 이외의 부분에는 전열선에 의해 탄화된 흔적이 보이지 않는 점(사진 5~7 참조), ③온도조절기 내부에 탄화되거나 용융된 흔적이 보이지 않는 점(사진 8~10 참조), ④전기매트 이외에 발화원인으로 작용할 만한 점화원이 없는 점 등을 볼 때, 전기매트가 켜져 있던 상태에서 상부에 라텍스 소재 매트 및 거위털 이불이 놓인 부분에 국소적으로 축열 정도가 심하여 축적된 열에 의해 라텍스 소재가 용융 및 훈소과정이 진행되고, 수 시간 훈소 과정을 거쳐 라텍스 매트 및 거위털 이불이 착화되어 동 화재가 발생된 것으로 보인다.



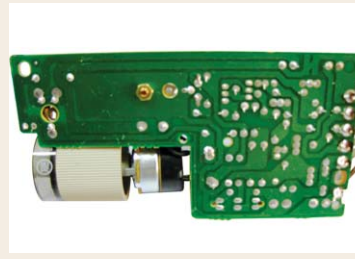
[사진 7] 전기매트 중앙부분의 연소상황



[사진 8] 온도조절기의 상황 (과열흔적 또는 탄화흔적이 없음)



[사진 9] 온도조절기 내부 기판 전면의 상황



[사진 10] 온도조절기 내부 기판 후면의 상황(과열흔적 또는 탄화흔적이 없음)



[사진 11] 과전류에 의해 전기매트가 탄화된 상황



[사진 12] 과전류에 의해 국소적으로 탄화된 상황

나. 온도조절기 불량에 의한 발화 가능성

(1) 발화 메커니즘

온도조절기는 볼륨으로 설정온도를 조절하면 내부 가변저항의 저항치가 변화되어 전류값이 변하는데, 온도 센서를 이용한 위상제어방식을 주로 사용하고 있다. SCR이나 TRIAC 등의 위상제어 소자를 사용하여 전원의 안정적인 조절을 유지하며, 설정된 온도값과 온도감지선에서 읽어 들인 값을 비교하여 안정적인 전원을 공급하도록 되어있다.

위상제어 소자가 제 기능을 하지 못하여(Short 상태) 과전류를 차단하지 못하는 경우, 열선에 과전류가 지속

적으로 흐르며, 과전류에서 발생하는 줄열에 의해 열선의 피복(PVC소재)을 탄화시켜 이불 등을 착화시킬 수 있다.(사진 11~12 참조)

(2) 발화가능성 및 검토사항

동 화재현장의 전기매트는 중앙부분만 열축적에 의해 국소적으로 연소된 상태이며, 가장자리 부분은 열선을 따라 탄화된 흔적이 발견되지 않았다. 즉, 전열선을 따라 부직포 등에 탄화된 흔적, 온도조절기 내부에 과전류에 의한 과열현상 등의 특이사항이 보이지 않는 점 등을 볼 때, 온도조절기 작동 불량으로 인한 과전류에 의해 발화된 현상으로 보기는 힘들다.

다. 접촉 불량에 의한 발화 가능성

(1) 발화 메커니즘

전기제품을 오랜 기간 사용하는 경우, 전선 및 코드 등의 접속 부분의 열화, 탄성저하 등의 이유로 체결 부분의 접하는 면적이 감소하는 경우가 있다. 두 금속간 접하는 면적이 감소하는 경우, 접하는 부분의 접촉 불량은 국소적인 저항의 증가에 의한 과열현상을 발생시킬 수 있으며 주위 가연물이 충분한 경우 가연물을 탄화시켜 화재로 이어질 수 있다.

접촉 불량인 경우 접촉 불량이 발생하는 부분(spot)만 국소적으로 과열되는 현상으로, 전체적으로 온도가 상승하지 않으며 열선에 과전류가 흐르는 현상과 상이하여 화재의 감지가 어려운 특징이 있다.

(2) 발화가능성 및 검토사항

접촉 불량은 금속과 금속이 접속하는 부분에서 발생되며, 전기매트의 경우 코드 체결부분, 열선 체결부분, 온도조절기와 전기매트 접속부분에서 발생 가능성이 크다. 동 전기매트의 경우 중앙부분의 열선은 접속이 없는 단일 열선으로서, 전기매트의 연소흔적으로 보아 접촉 불량에 의해 발화된 형태로 보기 힘든 상태이다.

3. 화재원인 종합검토

다음과 같은 사실과 분석을 종합하여 근거할 때, 화재 원인은 전기매트 상부에 열전도가 낮은 라텍스 매트, 거위털 이불이 놓인 상태에서 수 시간동안의 국소적인 열축적에 의해 라텍스 매트의 훈소과정을 거쳐 착화되었을 가능성이 크다.

- 전기매트의 중앙부분만 국소적으로 연소된 상태인 점
- 연소된 중앙부분 이외의 부분에서 열선 등에 의해 부직포 및 전기매트 외피가 탄화된 흔적이 보이지 않으며, 온도조절기 내부에 탄화되거나 용융된 흔적이 보이지 않는 점으로 볼 때, 과전류에 의한 발화현상은 배제되는 점
- 전선 및 접속단자 등의 체결부분에서 접촉 불량에 의한 전기적인 과열현상이 보이지 않는 것으로 보아, 접촉 불량에 의한 발화현상은 배제되는 점
- 전기매트 이외에 발화원인으로 작용할 만한 점화원이 없는 점

4. 예방대책

전기매트는 라텍스폼 등과 같이 발화점이 비교적 낮고 축열이 잘 되는 보온재 등과는 함께 사용하지 않도록 한다. 전기매트 등과 같이 열선(전열선, 온도감지선 포함)을 이용하여 보온효과를 발생시키는 전열제품은 열선의 주위를 감싸고 있는 온도감지선이 끊어지는 경우 적절한 온도제어를 하지 못해 열선의 온도가 정상치 이상으로 상승하여 화재를 발생시킬 수 있으므로, 전기매트 등은 사용하지 않아 접어 둘 때에는 결대로 접어 두도록 한다. 또한 접은 상태로 사용하지 않도록 한다. 전기매트 상부에 의자 등 무거운 물체를 올려놓으면 그 부분에 열이 집중되고 축열되어 화재가 발생할 수 있으므로, 전기매트 상부에는 불필요한 물건을 올려놓지 않도록 하며 각종 안전마크를 확인한 제품을 사용하도록 한다. (㉞)