

서모스탯의 트래킹 화재위험성에 관한 연구

(냉온수기 서모스탯 트래킹 발생 메커니즘 및 감식·감정 기법에 관한 연구)

김수영

중앙소방학교 소방과학연구소

A study on the Fire Hazard for the Tracking of Thermostat

Kim, Soo-Young

National Fire Service Academy

요 약

본 연구는 냉온수기에 사용되는 서모스탯을 예를 들어 전기기기에 온도컨트롤로 많이 사용되고 있는 서모스탯의 트래킹 화재 위험성 및 원인 분석을 위한 감정 기법에 관한 연구로서 트래킹을 발생시킬 수 있는 환경적 요인 및 오염액의 전도도 측정과 화재 후 트래킹에 의한 화재 원인 규명을 위한 감식·감정 기법에 관한 연구를 수행하여 화재 예방대책의 기초자료를 제시 하고자 한다.

1. 서 론

일반적으로 전기적 원인이 국내 화재 원인 중 가장 높은 비중을 차지하고 있으며 화재 발생 장소에 따른 분류 중 발생 빈도가 높은 주방에서의 전기기기 화재 중 냉온수기 높은 비율을 차지하고 있다. 따라서 냉온수기 화재 원인에 관한 많은 연구들이 수행되었으며 서모스탯의 트래킹을 원인으로 발생원인과 감식기법들이 제시되고 있는 실정이다.

본 연구는 냉온수기 서모스탯 화재 재현 실험시 트래킹 발생 가능성에 대한 분석을 위하여 오염액의 전도도 측정을 통한 트래킹 발생 가능성과 환경적 요인들에 관한 분석 및 화재 발생 후 원인 규명 방법으로서 기존의 저항 측정방법과 트래킹 발생 후 절연부분이 화재로 전부 소실되었을 때의 원인 규명 방법으로서 SEM/EDX 무기물 분석을 통한 트래킹 발생원인 규명 가능성에 관한 연구를 수행하였다.

냉온수기 뿐만 아니라 전기기기에 온도조절용으로서 사용되는 서모스탯은 그림 1과 같이 가열되어지는 용기 외벽에 장착되어 서모스탯내부로 전해지는 열전도에 따라 열판의 팽창으로서 히터에 공급되어지는 전원의 On/Off를 컨트롤 하고 있는 구조이다. 따라서 외벽에 장착된 서모스탯에 생수 교체 및 온도차에 의한 결로 발생 등의 정상상태이거나 누수에 의한 비정상상태에서 발생되어지는 오염원이 서모스탯에 흘러 외부 및 내부에 장착된 전원충전부에 접촉되어 트래킹이 발생되어진다는 많은 연구들이 수행되었으나 실제 화

제를 재현하기 위한 실험시 이러한 상태에서의 트래킹 발생이 일어나기가 매우 어려웠다. 또한 일반적으로 트래킹 발생 실험은 전도도를 높이기 위하여 소금을 섞어 실험이 수행되나 얼마의 전도도를 만들어 트래킹 발생 실험을 해야 한다는 근거는 거의 없는 실정이다. 따라서 냉온수기가 사용되어 지는 환경에서의 오염원 특성을 분석과 직접적 화재 발생 원인으로서는 트래킹이 발생되어 절연저항이 파괴된 서모스탯과 정상상태 및 진행 중인 서모스탯의 화재 발생 후 원인에 관한 분석을 수행하였다.

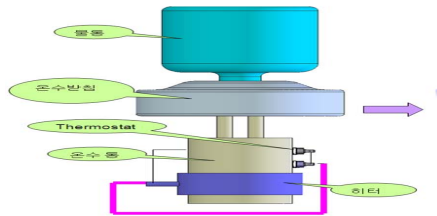


그림 1 냉온수기 구조도

2. 실험 및 분석

2.1 트래킹 실험

(1) 전도도 측정

본 연구는 먼저 냉온수기가 사용되는 환경에서 서모스탯을 오염시킬 수 있는 예상될 수 있는 오염원들을 선정하여 그림 2와 같이 전도도를 측정하였다.

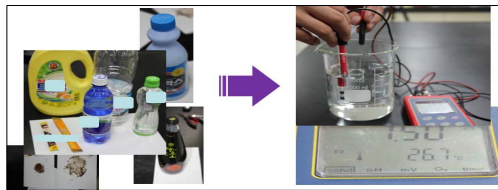


그림 2. 전도도 측정 모습

전도도 셀(센서) 방식의 계측기를 통하여 전도도를 측정하였으며 표 1과 같은 20℃로 보정된 오염원의 전도도 측정 결과치를 얻었다.

표 1. 오염액의 전도도 측정 결과 값(20℃보정 값)

측정 대상(150 g)	전도도(/cm)	온도(℃)	측정 대상(150 g)	전도도(/cm)	온도(℃)
증류수	1.1 μS	26.7	소금물(0.2g)	918.0 μS	24.5
지하수	171.0 μS	26.1	소금물(1.0g)	6.25 mS	24.5
생수병(P사)	114.6 μS	20.5	커피(블랙) (2g)	257.0 μS	24.0
생수통(P사)	38.2 μS	29.6	커피(프림) (2g)	235.0 μS	24.0
탄산생수	18 μS - 1.2mS	26.7	수박물(2g)	46.7 μS	24.7
면지싹음(2g)	5.21 μS	23.8	주방세제 (2g)	361.0 μS	25.0
녹면지(2g)	7.0 μS	22.7	세탁세제 (2g)	8.99 mS	25.1
이온음료	278.0 μS	27.0	낙스 (2g)	3.57 mS	25.4
감식초	148.0 μS	25.3			

(2) 트래킹 실험

본 트래킹 실험은 그림 3과 같이 IEC 60112 기준에 맞게 설치된 습식 트래킹 시험장치

에서 냉온수기의 사용 전압인 220V를 인가하여 그림 4와 같이 실험을 수행하였다.

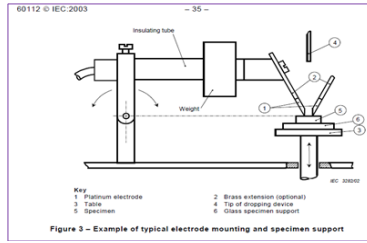


그림 3. IEC 60112에 의한 트래킹 시험장치의 구조도

트래킹 실험 시 증류수 및 생수는 트래킹이 발생되지 않았으며 전도도가 약 $600\mu\text{S}$ 이상인 경우 투입된 오염원 첫 번째 방울부터 장시간에 걸쳐 트래킹 발생이 시작되었다. 그림 4는 락스에 의한 1ms 전도도 실험 모습으로서 트래킹에 의한 절연과괴 진행 모습을 보여 주고 있다.



(a) 5방울째 (b) 46방울째 (c) 트래킹으로 인한 절연과괴 모습
그림 4. 트래킹 발생 실험 모습(락스 : 염소계표백제에 의한 1ms/cm 전도도 실험 모습)

2.3 화재원인 분석

(1) 절연저항 측정

그림 5는 트래킹 발생 후 절연저항 측정(인가전압 250V)에 의한 절연저항 값을 표기하였다. 그림에서 지름 2cm이내의 절연부분이라고 각각의 측정 위치에 따라 다른 절연저항 값을 보였으며 이는 화재현장에서 트래킹발생으로 화재가 발생이 의심되는 절연표면의 저항 측정시 신중하게 많은 부분을 측정하여 볼 필요성이 있음을 알 수 있다.

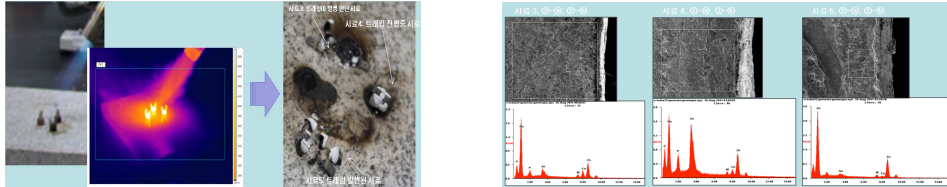


그림 5. 트래킹에 의한 절연 과괴된 발생된 서모스탯 절연저항 측정 모습 및 측정 값

(a) SEM/EDX 분석을 통한 트래킹 화재 원인 가능성 분석

화재 현장 감식시 트래킹에 의한 화재로 의심되는 서모스탯을 감식하려 할 때 그림 6과 같이 이미 탄화 절연저항을 측정하기 어려운 결과를 산정하여 실험실에서 화염에 의한

서모스택의 절연부분을 정상상태 서모스택, 트래킹이 발생되어 절연파괴가 진행 중인 시료, 트래킹으로 인한 절연파괴되어진 시료 3종류로 분류하여 열원에 의하여 탄화 파손되게 하였다. 본 시료들은 절연저항을 측정할 수 없으므로 서모스택 충전부에 절연파괴로 인한 통전 발생시 통전 에너지로인한 통전부분의 변형 및 이물질 투입을 조사하기 위하여 SEM/EDX를 통하여 그림 6과 같은 분석 결과를 도출하였다.



(a)탄화로 인한 절연부분 파괴 모습

(b)SEM/EDX 분석 결과

그림 6. 탄화로 절연부분이 파괴된 서모스택의 SEM/EDX를 이용한 성분 분석

3. 결론

본 연구는 냉온수기 서모스택 트래킹 화재 원인 분석을 통하여 기존 서모스택을 온도컨트롤로서 사용하는 전기기기들의 화재위험성에 관한 실험적 연구로서 기존 연구와 달리 서모스택의 트래킹 발생 메커니즘에 보다는 주위 환경 및 오염원의 진도도 측정과 트래킹 화재의 감식·감정 기법에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구 결과로서 화재 원인 분석시 서모스택의 트래킹 발생은 오염원에 관한 조사가 필요하며 절연부분이 탄화되어 소실된 서모스택은 SEM/EDX를 통하여 트래킹에 의한 화재 원인 판정 가능성을 수행하였다.

- 1) 냉온수기의 서모스택의 트래킹발생 원인 추정
 - 서모스택 트래킹 화재는 오염원의 진도도와 매우 높은 관련성이 있음
 - 따라서 화재현장의 사용 환경 및 다른 기기의 상태 분석 필요
- 2) 화재 트래킹 발생된 절연체 표면 및 절연저항 측정을 통한 트래킹으로 인한 화재발생 추정 기법 모색
 - 트래킹이 발생된 절연체 표면의 절연저항 측정시 위치마다 틀림
 - 서모스택의 절연파괴 경로 특성 분석을 통한 트래킹 발생으로 추정되는 현장 증거물의 절연저항 위치에 관한 고찰
- 3) Post-Flashover 이후 트래킹 화재 원인으로 추정되는 써모스택 절연체의 열화로 인한 파손시 SEM/EDX를 통한 무기물 분석을 통한 트래킹 발생 화재원인 추정 방법 모색
 - 트래킹 발생시 발생된 에너지를 통한 집점의 성분 혼합 분석 유무(Zn)

참고문헌

1. "트래킹에 의하여 변화되는 유기절연물의 표면 및 전기적 특성", 성균관대학교, 박남규, 2007.
2. IEC 60112(2003), "Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials - Part 0 : General requirements"
3. "오염된 누전차단기 절연재료의 트래킹 특성에 관한 연구", 이춘하, 옥경재, 김시국. 지승욱, 호서대학교, 2008. 한국화재소방학회 논문지 제22권.