

냉온수기

화재사례연구 및 예방대책

글 최기옥 KFFPA 부설 방재시험연구원 화재조사센터 과장

1. 머리말

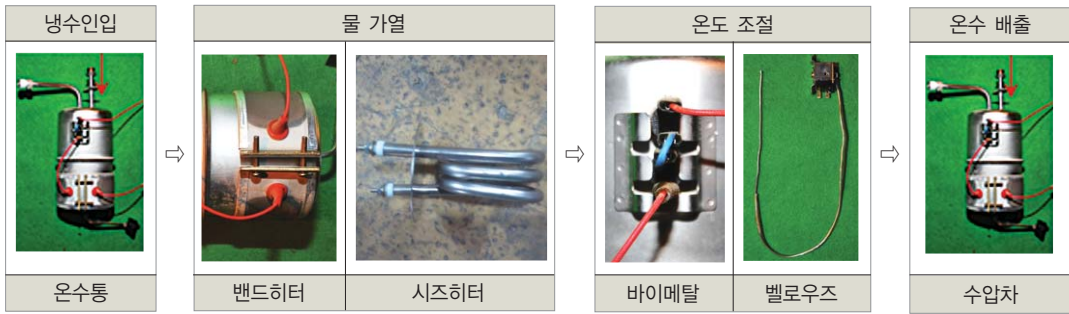
냉온수기는 가열장치와 냉각장치를 이용하여 상온의 물을 온수와 냉수로 만드는 가전제품으로, 정수 필터를 이용하여 정수된 물을 가열하는 정수기와는 구분되지만 전기에너지를 이용하여 온수 및 냉수를 제조한다는 점에서 그 원리는 동일하다고 할 수 있다.

냉온수기는 커피, 컵라면 등에 사용되는 온수와 여름철 갈증 해소를 위해 꼭 필요한 냉수를 만드는 가전제품으로써 일반적으로 1년 365일 작동시켜 놓으며, 특별한 문제가 되지 않는 한 전원을 차단시키는 경우는 거의 없다. 상시 가열과 냉각을 반복하며, 이러한 가열과 냉각을 반복하는 과정에서 자동온도조절장치의 고장 또는 미흡한 설치환경 등에 의해 화재발생 위험이 있다. 이러한 냉온수기 및 그 위험성에 대해 깊이 이해할 수 있도록 냉온수기의 내부구조 분석 및 화재사례 연구를 통하여 발화 메커니즘을 분석하고, 그에 대한 예방대책에 대해 알아보려고 한다.

2. 일반사항

가. 가열의 원리

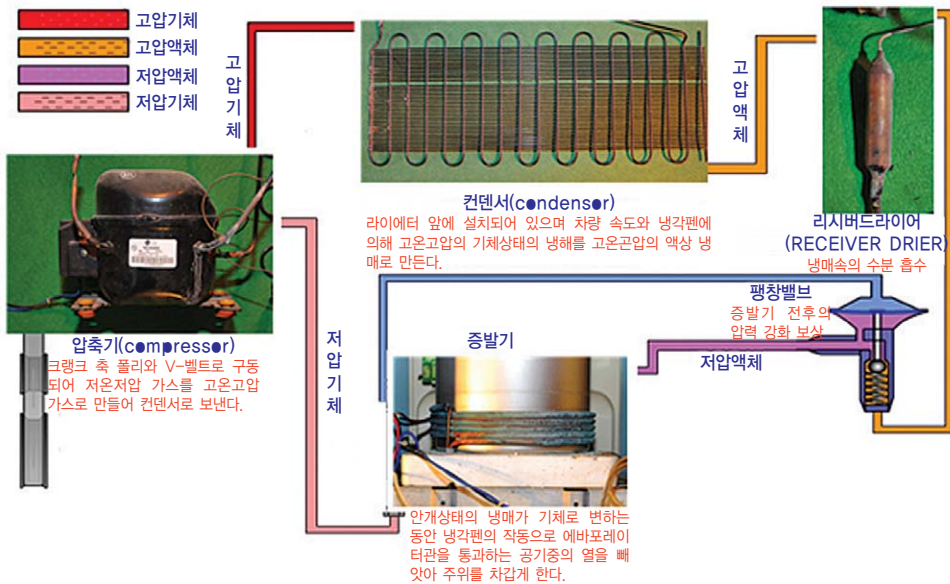
줄의 법칙은 「도체에 일정 전류를 흘리면 일정 시간 내에 발생하는 줄열의 양은 전류의 세기의 제곱과 도체의 저항에 비례한다.」는 것이다. 어떠한 물질을 가열하는 방식에는 저항가열방식, 아크가열방식, 고주파가열방식 및 적외선가열방식 등 여러 가지가 있다. 전기에 의해 가열하는 방법 중에서 피가열물 자체에 전류를 흘리는 방법을 직접 저항가열이라고 하고, 피가열물에 접근해서 금속저항선 또는 탄화규소와 같은 비금속 발열체에 전류를 흘릴 때 생기는 열을 방사·전도 등에 의해 피가열물에 전해서 가열하는 방법을 간접 저항가열이라고 한다. 직접 가열에서는 피가열물이 금속류와 같이 저항률이 낮은 것은 저전압 또는 대전류로 가열하고, 물과 같이 저항률이 높은 것은 고전압으로 가열한다. 간접가열의 경우 1,000℃ 이하의 온도에서는 전열선으로 니크롬선 또는 철크롬선을 사용하며, 보다 고온에서는 전열선에 탄화규소, 몰리브덴 또는 텅스텐 등을 사용하기도 한다. [그림 1]은 냉온수기 온수통의 물이 가열된 후 배출되는 과정을 나타낸 것이다.



[그림 1] 온수통 물의 가열과 배출과정

나. 냉각의 원리

여름철에 물을 뿌리면 주위가 시원해진다. 이는 물이 증발할 때 주위의 열을 빼앗기 때문이다. 유사하게 피부에 알코올을 뿌리면 시원하게 느껴진다. 이 또한 알코올이 증발하면서 피부의 열을 빼앗기 때문이다. 이처럼 낮은 온도에서 증발이 잘되는 액체를 사용하여 필요한 부분의 온도를 낮추는 것이 냉각의 개요이다. 저온·저압의 냉매가스를 인입한 압축기는 고온·고압의 냉매가스로 만들어 응축기로 보내면 고온·고압의 냉매액으로 변환된다. 응축기에서 드라이어로 냉매가 이동되는 동안 냉매에 포함된 수분이 제거되고, 모세관으로 이동된다. 모세관을 통과한 냉매는 저온·저압의 냉매액으로 변하여 냉수통에서 증발하고, 다시 압축기로 들어가 지속적인 순환작용을 한다.¹⁾ 이러한 냉각 사이클(Cycle)은 일반적으로 [그림 2]와 같이 4개의 행정으로 구분된다.



1) "화재통계연감", 소방방재청, p. 372, 2005.

다. 구조

냉온수기는 크게 몸체, 가열장치, 냉각장치, 안전장치로 구성되며, 기타 배관, 밸브 및 보온장치 등의 부속품이 설치되어 있다. 가열장치에는 기본적으로 전기히터라는 발열체가 설치되어 있으며, 냉각장치에는 냉각시스템이 구성되어 압축기, 응축기 및 증발기 등이 설치되어 있다. [그림 3]과 [그림 4]에서 보는 바와 같이 냉온수기의 내부는 크게 가열장치와 냉각장치로 구성되며, 냉각장치 및 관련 부속품은 청색으로, 가열장치 및 관련 부속품은 적색으로 표시하였다.

우선 냉각장치는 냉수통, 압축기, 응축기, 증발기 및 벨로우즈 서모스탯 등으로 구성되며, 냉수통 및 냉매배관의 결로현상을 방지하기 위하여 냉매배관과 냉수통 표면에 보온재가 설치되어 있다. 가열장치는 온수통, 히터, 보온재 및 바이메탈 서모스탯으로 구성되어 있으며, 온수통에 설치되는 보온재는 가연성보온재이며, 냉온수기의 종류에 따라 설치되지 않기도 한다.



[그림 3] 냉온수기의 구조(전면)



[그림 4] 냉온수기의 구조(후면)

라. 자동온도조절장치

냉온수기에는 안전장치와 온도조절장치가 설치되어 있다. 안전장치로는 전원 인입측에 전류퓨즈가 설치되어 있으며, 온도조절장치로는 가열장치에 바이메탈 서모스탯, 냉각장치에 벨로우즈 서모스탯이 설치되어 있다.

(가) 벨로우즈 서모스탯(Bellows-type Thermostat)

벨로우즈 서모스탯은 감열부의 온도가 상승하는 경우 벨로우즈에 들어있는 감열액(에테르 등)이 팽창되어 접점을 개방하고, 온도가 하강하는 경우 감열액이 수축되어 접점이 접촉된다. 이러한 작동에 의해 냉온수기 냉수통의 온도가 일정한 온도로 유지된다. [그림 5]와 [그림 6]은 벨로우즈 서모스탯의 전면과 측면을 나타낸 것이다.



[그림 5] 벨로우즈 서모스탯(전면)



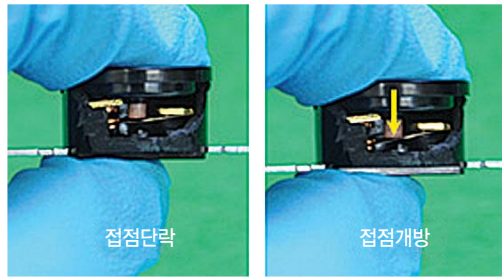
[그림 6] 벨로우즈 서모스탯(측면)

(나) 바이메탈 서모스탯(Bimetal Thermostat)

바이메탈 서모스탯은 전기히터를 사용하는 전기기기의 온도를 바이메탈의 온도특성을 이용하여 자동으로 일정하게 유지시키는 장치이다. 바이메탈 서모스탯은 감열부(바이메탈), 몰딩(절연체), 가동접점과 고정접점, 단자부 등으로 구성되어 있으며, 설정온도 이상으로 온도가 상승하면 감열부의 바이메탈이 굴곡되어 가동접점을 밀어내어 접점을 분리시켜 전기기기의 회로를 차단한다. 감열부 바이메탈이 냉각 되면 바이메탈의 굴곡부가 제 위치로 복귀되고 전체 회로에 전원을 공급하게 된다.²⁾ 이러한 반복과정을 거쳐 전기기기의 온도를 일정하게 유지한다. [그림 7]은 바이메탈 서모스탯의 구조를 나타낸 것이며, [그림 8]은 바이메탈 서모스탯의 접점의 상황을 나타낸 것이다.



[그림 7] 바이메탈 서모스탯의 구조



[그림 8] 바이메탈 서모스탯의 접점의 상황

3. 화재사례분석

냉온수기에 사용되는 바이메탈식 서모스탯은 대부분 페놀수지로 몰딩된 제품을 사용하고 있으며, 바이메탈식 서모스탯에서 고장이나 이상이 발생하게 되면, 전기적인 발열 및 용융 등으로 인하여 바이메탈 서모스탯의 외함인 페놀수지에 착화되어 화재에 이를 수 있다.

가. 화재사례

[그림 9]와 [그림 10]은 화재가 발생된 냉온수기의 연소형태를 나타내며, [그림 11]은 화재발생 냉온수

2) 박영국, 이승훈, "페놀수지로 몰딩된 바이메탈 서모스탯의 발화위험성", 제10회 한국법과학회 추계 학술대회 학술지, p.63-73

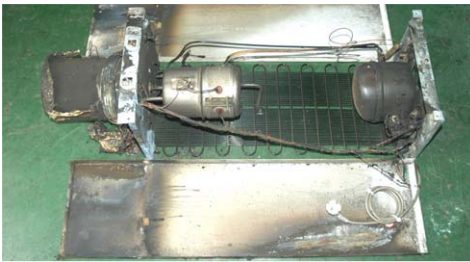
기를 분해한 사진이고, [그림 12]는 냉온수기 온수탱크의 연소형태를 나타낸 사진이다. 냉온수기는 상단 냉수탱크 주위에 단열재인 스티로폼이 설치되어 있으며, 냉수탱크 후면에 플라스틱 외함이 설치되어 있어 일단 화재가 발생되면 동 스티로폼과 플라스틱 외함을 매개체로 하여 연소가 확대되는 것이 일반적이다.



[그림 9] 화재발생 냉온수기(전면)



[그림 10] 화재발생 냉온수기(후면)

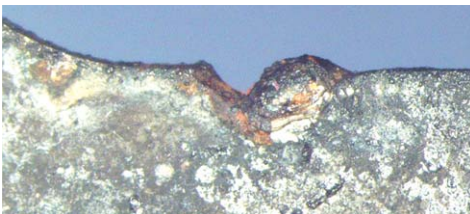


[그림 11] 화재발생 냉온수기 분해한 사진



[그림 12] 냉온수기 온수탱크의 연소상황

[그림 13]은 [그림 12]의 O표지 부분을 나타낸 사진이며, 냉온수기의 철재외함에서 발생한 지락흔이다. 바이메탈 서모스탯 연결전선의 피복이 화염 및 열기에 의해 용융되고, 전류가 철재외함을 통해 대지로 흐르는 과정에서 동 연결전선과 철재외함 사이에서 발생한 현상이다. [그림 14]는 바이메탈 서모스탯 연결전선에서 발생한 전기적 단락흔(합선흔)이다.

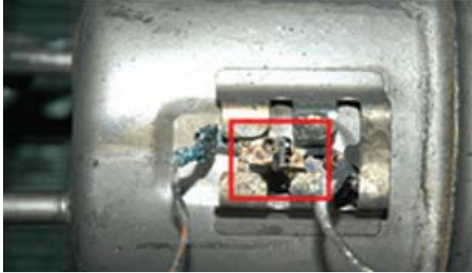


[그림 13] 냉온수기 철재외함에서 보이는 전기적 용융흔(지락흔)



[그림 14] 바이메탈 서모스탯 연결전선에서 보이는 단락흔(합선)

[그림 15]는 온수탱크의 바이메탈 서모스탯이 연소된 상태를 나타낸 사진이다. 2개의 바이메탈 서모스탯이 직렬로 설치되어 있으며, 좌측에 설치된 바이메탈 서모스탯의 연소정도가 심한 상태이다. [그림 16~18]는 바이메탈 서모스탯의 접점(가동접점, 고정접점)의 용융상태를 나타낸 사진이다. 접점은 심하게 수열되고, 일부는 용융된 흔적도 보이고 있다.



[그림 15] 바이메탈 서모스탯의 연소상황



[그림 16] 바이메탈 서모스탯 접점(가동접점, 고정접점)의 연소상황

[그림 17] 바이메탈 서모스탯 접점의 연소상황
(수열되고 용융된 상태)[그림 18] 바이메탈 서모스탯 접점의 연소상황
(수열되고 용융된 상태)

나. 원인분석

화재가 발생된 냉온수기는 온수탱크가 설치된 부분에서 상부로 연소가 확대된 연소형태를 보이고 있다. 냉온수기의 온수탱크는 바이메탈 서모스탯의 내측이 외측에 비해 탄화 및 연소정도가 심한 상태이며, 바이메탈 서모스탯의 가동접점 부분에서 식별되는 국부적인 탄화형태 및 전기적인 용융흔이 식별되는 점, 동 가동접점 부분 주위의 페놀수지 외함이 국부적으로 탄화되고 도전성을 띠는 점 등으로 보아 바이메탈 서모스탯의 내측 가동접점 부분과 고정접점 단자 사이에서 발생된 트래킹에 의한 전기적인 발열 및 용융 등으로 인하여 발화된 것으로 보인다.

4. 화재예방 대책

냉온수기에 설치되는 바이메탈 서모스탯의 외함은 가연성재료인 페놀수지로 제조되고 있다. 이 페놀수지 외함에 도전성 물질 등이 누적되는 경우 도전성 물질을 따라 누설전류가 흐를 수 있으며, 이 누설전류에 의해 발화위험성이 있으므로 바이메탈 서모스탯의 외함은 세라믹 등 불연성재료로 제조될 필요가 있다.

냉온수기 내부의 냉수탱크 및 냉매 배관에 결로현상을 방지하기 위해 설치되는 가연성 보온재는 냉온수기 내부에서 착화되는 경우 연소 확대의 매개체로 작용할 수 있으므로 불에 타지 않는 불연재 등으로 설치할 필요가 있다.

냉온수기는 가급적 습기와 먼지가 적은 장소에 설치하고, 주기적으로 냉온수기 내부를 청소하여 이물질 등이 누적되지 않도록 관리할 필요가 있다. ☞