

제200호

2010. 12

위험관리정보

- 방재정보
 - ✓ 음수식 냉각기 화재 사고 조사(Part I) / 1
 - ✓ New Aerotrains 운송시스템 / 10

- 신착자료 목록 / 16

- 안내
 - ✓ 판매도서 안내 / 24

 **한국화재보험협회**

WWW.KFPA.OR.KR

흡수식 냉각기 화재 사고 조사(Part I)

Orion P Keifer Peter D. Layson Charles A. Wensley

오늘날 대부분의 RV차량에 사용되는 냉각기는 일반적으로 흡수식 냉각 기술을 사용한다. 이 시스템은 전력을 이용할 수 없을 때, 프로판을 포함하여 다양한 동력으로 작동할 수 있기 때문이다. 이런 냉각기들은 흡수식 냉각기의 외관 주위에서 발단이 된 수 많은 화재사례로 인하여 최근 몇 년 동안 주목을 받게 되었다. RV 냉각기 제조사인 Dometic 주식회사와 Norcold, 이 두 회사는 국립 국토 안전관리국(NHTSA)에 의해 화재 시 결함이 확인된 모델에 대하여 리콜을 요구받아 왔다. 요약하면, 세 가지의 리콜된 제품은 냉각장치의 보일러 튜브에서 발단이 된 피로 균열로 인한 것으로 보인다. NHTSA의 리콜 캠페인의 식별번호는 Dometic의 06E076000(해당 기기수 : 926,877)과 Norcold의 02E019000 (해당 기기수 : 28,144) 와 02E045000 (해당 기기수 : 8,419) 이다.

시스템의 구성요소

흡수식 냉각기는 튜브와 냉각핀, 작은 탱크로 이루어진 밀폐시스템이다. 이 시스템의 구조는 간략하게 그림 1에 보여진다. 냉각 장치에는 4 종류의 물질(물, 암모니아, 수소, 그리고 크롬산 나트륨)을 사용하고 있다.

기존 냉각 시스템에서의 프레온과 유사한 역할을 하는 암모니아는 특정 구역에서는 열을 방출하고 다른 구역에서 열을 흡수하며 장치 주위를 이동한다. 이 장치의 저면에 위치한 물은 차가울 때 즉시 암모니아를 흡수하고, 보일러 내에서 여과될 때 이것을 방출한다. 이것이 암모니아의 흐름을 만드는 물의 역할이다. 냉각 코일의 수소는 작동하지 않을 때 약 300-375

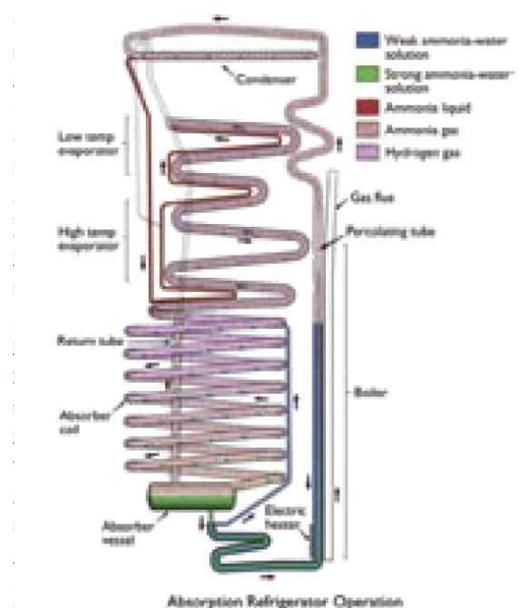


그림 1. 흡수식 냉각기의 흡수사이클

PSI(2.07~2.59MPa)의 양압을 유지한다. 높은 열전도율로 인해 광범위하게 구리를 사용하는 기존의 냉각 시스템과는 달리 흡수 시스템의 튜브는 강철로 만들어진 것을 볼 수 있다. 암모니아와 철은 비교적 안정적인 반면, 암모니아는 구리 및 구리합금을 부식시키는 성질 때문에 철의 열전도적 손실을 감안해야 한다. 크롬산나트륨은 습한 환경으로부터 강철의 부식을 보호하는 데 도움이 되는 부식 방지제이다.

작동

하나 또는 두 개의 전기 가열 부품과 프로판 가스 버너가 있는 보일러 부분은 흡수식 냉각 장치에서 암모니아 순환의 주동력이다. 이곳에서 강 암모니아 수용액이 여과관을 통해 에너지가 가해져 끓여진다. 이 열처리 방식은 여과 활동이 보일러를 통해 액상 용액의 흐름을 돕는 동안에 강한 용액으로부터 암모니아를 기체 상태로 분리시킨다. 이제 암모니아의 대부분은 냉각 장치의 상부로 떠오른 뜨거운 기체 상태이며, 약 암모니아수 용액은 여과관 주변의 원형부를 거쳐 중력에 의해 흐르고 나서 흡수 코일 안에서 암모니아 가스를 재흡수해서 약 암모니아수 회수관으로 올라온다. 냉각 장치의 상단에서, 보일러를 통해 가열된 암모니아 가스는 외부공기의 자연 순환에 열기가 제거되어 응축기를 빠져 나간다. 냉각이 진행되는 동안 암모니아 가스는 액상상태로 응축된다. 여기에서부터 암모니아는 증발기로 흘러들어 오는데, 이 증발기는 부피와 단면적이 크고 수소가스로 채워져 있다. 체적 증가와 수소에 비해 낮은 부분압으로 인하여 액상 암모니아는 가스로 증발되고, 수소농도가 높은 가스 상태로 확산된다. 액체 상태에서 기체 상태로의 변화는 기화 잠열로 알려진 열에너지가 필요하다. 이상 변화는 이 환경에서 냉각 효과를 생산하여 열을 방출한다. 현재 기체 상태로의 암모니아는 반환관을 거쳐 흡수관 아래로 이동한다. 흡수 용기에 흡수되지 않은 암모니아 가스는 약 암모니아수의 흐름과 반대방향으로 흡수기 코일을 지나간다. 암모니아 가스는 되돌아온 약 암모니아수에 의해 흡수된다. 시간의 경과에 따라서 강한 암모니아수가 생산된다. 밀폐시스템이 강 암모니아수로부터 기체 상태의 암



그림 2. Dometic 사의 리콜된 RM 2852의 후면부

모니아를 여과하는데 필요한 열원을 계속 가지는 한 이 순환과정은 계속된다. (흡수 냉장고의 예 그림 2 참조.)

가연성 요소

밀폐된 냉각장치 안에 포함된 암모니아와 수소는 특정 조건 하에서는 가연성이 있다. 수소는 7~75%의 농도에서 560℃ 정도의 자연발화온도를 가진다. 암모니아는 15~28%의 농도에서 651℃의 자연발화온도를 가진다. 흥미롭게도, 암모니아는 316℃ 이상의 온도에서 수소로 해리되기 시작한다. 만약 수소와 암모니아가 포함된 밀폐시스템을 충분한 점화원이 존재하는 발화가능 범위에 노출시킨다면 화재는 발생할 수 있다.

위험 조건(Failure Mode)

이러한 흡수식 냉각기의 대한 리콜을 통해, 화재의 한 원인으로 보일러 부분에서 냉각 장치의 균열을 확인하였다. 보일러 형식(전기 또는 가스), 보일러 온도, 방출 속도, 방출 방향과 공기와 같은 변수들은 화재를 일으킬 수 있는 적절한 범위 안에 있어야 한다. 비록 보일러의 문제가 최초의 화재를 일으키지 않더라도 그 시스템 내 압력의 감소가 방출율의 감소 같은 변수를 변화시킬 수 있다. 점차적으로 압력이 감소하고, 용액이 소실되고, 열팽창과 수축으로 균열이 드러나는 것을 이해하는 것이 중요하다. 따라서 초기의 비 화재적 결함으로 인해 공연비가 바뀌고 이것이 화재를 유발할 수 있다. 그림 2에서처럼, 보일러 부분은 단열재의 유리섬유와 아연 도금 강판금속으로 둘러싸여 있다. 이렇게 밀폐되어 대상 구역의 육안검사가 힘들기도 하다.

조사 및 검사

적용 가능한 기준 및 업계 표준에 따라 화재 관련 손실의 조사를 실시하는 동안 주의를 기울여야 한다.

NFPA 921, Guide for Fire and Explosion Investigations 2004 Edition 는 기준은 아니지만, 화재와 폭발에 관련된 조사에서 법원과 인증기관이 하나의 신뢰성 있는 기준으로 인정하고 있다.

증인진술

가능한 빨리 증인들과 인터뷰하는 것은 중요하다. 만약 흡수식 냉각기가 발화원(Fire Origin)으로 밝혀졌다면, 다른 이해관계를 갖는 단체로부터의 질문들로 공격당할 증인들을 대상으로 우선적으로 자세한 인터뷰가 진행되어야 한다.

화재사고에 대한 RV의 상태와 작동에 관한 사실들을 확립하는 것이 중요하다. 주요 내용은

- 1) 유지 보수 및 수리 내역
- 2) 화재 전 어느 전기 장치들이 'ON' 상태였는가?
- 3) 화재 전 어느 가스 장치들이 'ON' 상태였는가?
- 4) RV에 전기 공급이 되고 있었는지, 그리고 어떻게 공급되었는가?
- 5) 증인은 암모니아 냄새를 맡았는가?
- 6) 냉각기는 제대로 냉각 중이었는가?
- 7) 냉각기는 자동모드였는가? 혹은 가스 모드였는가?

지표

만약 흡입식 냉각기의 냉각 장치가 손상되었다면, 여기에는 그것을 분석하는데 도움이 될 수 있는 몇몇 지표들이 있다. 많은 지표들이 화재 이전 혹은 이후의 결과로 만들어질 수 있고, 그러면 그 모든 장치가 화재의 원인인지 아닌지 혹은 역으로 그렇지 않은지에 대하여, 그 사고가 확실한 화재의 결과인지 결정내리기 전에 특정한 장치들의 관찰된 지표 모두를 조사하는 것은 매우 중요하다.

* 암모니아의 존재

검사한 냉각기의 손상 정도에 따라서, 암모니아의 냄새가 남아 있을 수 있다. 그 냄새는 냉각기나 냉동기 칸막이에 갇혀 있을 수도 있다. 암모니아가 의심되거나 오염된 지역에서 작업을 수행할 때에 적절한 개인 보호 장비를 착용해야 한다.

*** 크롬산 나트륨의 존재**

냉매 누설의 다른 지표는 밀폐된 시스템의 외부에 크롬산나트륨의 존재이다. 크롬산나트륨은 물에 잘 용해되는 노란색 결정 화합물이다. 일반적으로 물과 암모니아는 무색이지만, 크롬산나트륨은 물에 용해되어 옅은 노란색을 나타낸다. 화재사고 전 후의 냉각장치의 보일러 일부분에 있는 노란색 침전물의 증거는 시스템의 부분적 감압뿐만 아니라 냉매의 손실을 의미한다.



그림 3. RV차량의 냉각기에서 접근 판넬을 제거한 후의 후면부. 아연 도금 강판 금속과 프로판 가스 라인 아래에 노란색 찌꺼기가 나타남.

그림 3은 리콜된 Dometic RM 2662에

크롬산나트륨의 존재를 보여준다. 크롬산나트륨은 누출 근원지로부터 바람에 날려지거나 떨어져 나갈 수 있기 때문에 크롬산나트륨을 찾기 위해선 반드시 주의가 필요하다. 냉각기의 뒤면에 노란 찌꺼기들은 소화기 같은 다른 것들로부터 생길 수 있다고 알려졌다. 조사의 어떤 시점에서 크롬산나트륨의 존재여부를 확인키 위해 잔류물을 테스트해야 할 필요가 있을 수 있다. 냉각 장치 외부의 크롬산나트륨은 그 장치에서 액상의 물과 용해된 크롬산나트륨이 방출되었음을 나타낸다. 누설의 근원은 파악되어야 하고, 화재조사에서 이것의 관련성을 결정하는 분석이 이루어져야 한다.

*** 열응력**

보일러의 부분에서 아연도금 강판에서 발생한 특정 부분에만 열응력이 있다면 이것은 비정상적인 열 발생을 나타낸다. 열에 영향을 받은 위치를 자세히 관찰하면 방사상의 열 패턴을 보인다. 그림 4에서 국부적으로 퇴색된 아연의 예를 보자.



그림 4. 아연코팅의 강판 금속에 원형의 열 패턴 및 변색이 나타남

*** 냉각 장치의 파열**

만약 냉각 장치에 알려진 열원을 가지고 있지 않은 위치에서 균열이 존재한다면, 이것은 외부의 화재에 의한 손상으로 나타난다. 중요한 것은, 전체 냉각 장치가 동일한 압력을 받고 있다는 것이다. 그러나 금속은 온도의 증가에 따라 항복 강도가 줄어든다. 알려진 열원 없이 그 위치에서 발생한 균열은 외부화재가 냉각 장치의 한 위치에서의 강철의 온도를 높이고, 냉각장치의 온도가 벽체 강도를 초과해서 압력이 상승할 때까지 강철을 약화시켰다는 것을 말한다. 그림 5는 외부의 화재로 인해 Dometic 냉각 장치의 위쪽 부분에 파열이 발생된 것을 보여준다.



그림 5. RV 냉각 장치의 파열된 부분을 확인할 수 있다.

*** 용융 알루미늄으로 철강의 용해**

높은 온도에서 강철과 접촉된 용융 알루미늄은 철을 녹여버리고, 이것과 함께 녹는 패턴이 되어 나타난다. 흥미롭게도, 알루미늄-철 합금은 평형 상태 다이어그램에서 공융점 때문에 순수한 알루미늄과 철의 용융점 아래에서 용해된 상태로 머문다. 일부 화재 조사관들은 기술적으로 부정확한 전문 용어인 “공융점 반응(eutectic reaction)” 이라고 흔히 부른다. 그것은 용융된 알루미늄 내 철의 용해로 칭하는 것이 더 나을 것이다. 강철 표면위에 용해된 알루미늄이 떨어질 때 철강 부품들의 용해를 보는 것은 일반적이다. 그 강철 표면은 반드시 용해 과정이 발생하기 위해서 용융 알루미늄의 범위 내 온도 상에 있어야 한다. 그림 6에서 보여지는 것과 같이 이것은 응축기(condenser)핀 부분(사진상 가지런히 놓인 핀들)과 냉각 장치의 코일에서 자주 관찰되고 있다.



그림 6. 누출부에서 녹은 알루미늄으로 스틸 튜브 벽이 용해되어 응축기에서 발생한다.

* 과열 릴리프 플러그

흡수식 냉각장치에는 부착식의 주석과 비스무트 합금으로 만들어진 과열방지 플러그가 있다. 이 플러그의 목적은 만약 비정상적으로 높은 온도에 노출되는 경우, 보이지 않는 부분의 심각한 파괴가 일어나는 것을 막기 위해 냉각 장치를 감압시키는 역할을 한다. 이 특별한 합금이 사용되는 이유는 138℃의 낮은 녹는점을 갖기 때문이다. Dometic 사의 제품은 그림 7에서와 같이 플러그는 흡수 용기에 위치하고 보일러의 냉각 장치로부터 떨어져 일정한 방향으로 향해 있다.



그림 7. Dometic사의 RM 3862 냉각기의 흡수 용기에 위치한 릴리프 플러그는 폭발부를 보여준다.

그림 8은 Norcold사의 제품인데, 플러그는 흡수 코일의 상부에 설치되고 또한 보일러의 냉각장치로부터 떨어져 일정한 방향으로 향해 있는 것을 보여준다. 만약 플러그 부분에서 작은 열 / 화재 피해로 인해 '끊어짐'이 발견되었다면 그것은 화재발생에 의해 정상적인 작동 온도보다 높은 열에 노출되어진 것이다. 화재 패턴은 화재의 발생이 어떻게 플러그 폭발로 이어졌는지 판단하기위해 분석되어야 한다.



그림 8. Norcold사, N621S의 냉각기의 릴리프 플러그는 흡수 코일 상단에 위치한 것을 확인할 수 있다.

추가적인 시험 및 분석

해체가 필요한 냉동기의 추가 테스트와 분석은 적절한 시험시설에서 수행할 수 있다. 만약 소송이 예상된다면 다음의 검사를 수행하기 이전에, 적절한 통지를 당사자들에게 잠재적으로 통지해야 한다.

* 현장 압력/누설 시험

누수가 발생하는 것을 확인하기 위해 냉각 장치의 현장 압력시험을 수행할 수 있다. 이 시험은 오직 모든 이해 관계자들이 참석한 가운데 수행되어야 한다. 아마도 몇몇의 경우, 다양한 누수가 냉각 장치의 여러 영역에서 확인할 수 있으므로 각각의 균열부분을 확인하는 검사를 해야 한다. 현장 압력시험에서 몇몇 보일러는 화재 후에 열수축과 내부찌꺼기로 인해 균열이 난 부분에서 누수가 되지 않는 것이 적잖게 관찰된다. 어떤 경우에는 이러한 장치들이 균열 후에 정압을 유지할 것이다. 냉각 장치의 제거와 분리가 필요한 추가적인 압력/누설 테스트가 필요할 수도 있다.

* 프로판 시스템의 테스트와 시험

만약 냉각 장치가 프로판 공급 장치와 연결이 되었다면, RV의 가스배관장치에 주의를 기울여야 한다. 제어 밸브와 버너의 조립품에 있는 냉각기의 불꽃 조사는 현장에서 이루어져야 하고 오리피스, 버너 제트기, 밸브와 같은 버너 부품의 분해가 필요한 가스 시스템은 추가적 조사 또한 필요할 수 있다.

* 재료 시험 (Materials Examination)

많은 경우에 있어서, 단 하나의 오류로 화재 원인을 결론 내리는 것은 충분치 못할 수 있다. 정확한 원인을 판단하기 위해서 야금 분석(metallurgical analysis)이 필요할 수 있다. 이것은 특별히 리콜과 장치의 손상부분이 일치하지 않을 때 필요할 것이다.

요 약

리콜된 RV의 흡수식 냉각기가 너무 많기 때문에, 만일 발화지역이 RV 냉각장치 근처라면 ASTM E860에 관련된 모든 관계자에 의해 적절한 공지가 이루어지기까지 화재현장을 보존하면서 주의를 기울여야 한다. 보일러에서 크롬산나트륨과 분리된 열응력이 있다는 증거는 추후 검사에서 현재 장치의 제조와 설치, 유지보수와 관련된 모든 관계자들과 함께 실시하는 것이 필요함을 말한다. 제품의 결함을 추적하는 것은 경제적인 문제를 수반하기 때문에 사건에 대한 현장보존을 잘하면서 예비조사와 후속검사를 행하는 것이 매우 중요하다.

출처 : FIRE & ARSON INVESTIGATOR 2008년 4월호

번역 : 광주호남지부 사원 이선기