

냉동기 냉매의 선택 대안 選擇代案과 전망(1)

Options and Outlook for Chiller Refrigerants*



James M. Calm, Engineering Consultant,

10887 Woodleaf Lane Great Fall, VA 22066-3003 USA,

jmc@JamesMCalm.com

李宰成(譯)

● 翻譯：2002年 6月, 汎洋冷房工業(株) 空調技術研究所 前任研究員 李宰成(Jae Seong Lee)

☞ 譯者 注：本 翻譯文은 無斷 複製 또는 轉載할 수 없습니다.

1. 이 資料는 James M. Calm 氏가 'Earth Technologies Forum(Washington DC USA, 2000.10.30-11.01)'에서 發表한 'Options and Outlook for Chiller Refrigerants' 이라는 題號의 論文(▶資料出處-1)을 翻譯한 것으로, 日本의 山田耕治(Koji YAMADA) 氏 * * 가 翻譯하여 (社)日本冷凍空調學會의 月刊『冷凍(▶資料出處-2, 原稿受理日：2001.8.20)』誌에 掲載한 內容을 參照하여 翻譯하였으며, 편의상 2회에 걸쳐 連載하오니 이 점 諒解해 주시기 바랍니다. 同 內容은 美國 Trane社의 홈페이지(▶資料出處-3)에도 掲載되어 있으므로 參照하시기 바랍니다.
2. 本 論文의 翻譯에 따른 著作權과 關聯하여 (社)日本冷凍空調學會와 日語本 翻譯權者(山田耕治) 및 原著者이신 James M. Calm 氏의 同意(Consent Letter)를 받아 翻譯하였음을 여기에 밝혀 둡니다.
3. James M. Calm 씨의 말씀에 따르면, 本 논문(原著)은 국제사회의 주목을 받아 'International Journal of Refrigeration(IJR)' 의 最近호에 게재될 예정이라고 합니다.
4. 本 논문은 목하 전개되고 있는 지구온난화 문제 등에 깊이 관심을 갖고 있는 필자의 대체냉매에 대한 사용과 안전성 등에 대한 지론을 바탕으로 R-123 냉매의 허용성을 강조하면서, 냉동기의 제조와 사용에 관계하고 있는 모든 사람들에게 과학적 결정을 바탕으로 이 냉매의 허용성을 주장하고 나서야 한다고 제창하고 있습니다. 이에 정부의 관계자를 비롯하여 우리 업계의 제조자와 사용자는 지구환경 문제, 특히 지구온난화 문제 등의 국제적인 대응 동향과 추세에 대해 예의주시하면서 이 논문이 주창하는 바의 논제에 대한 깊은 관심과 적극적인 대처가 필요하다고 사려합니다.

● 資料出處-1 : J. M. Calm, "Options and Outlook for Chiller Refrigerants," *Proceedings of the Earth Technologies Forum* (Washington, DC, USA, 30 October-1 November 2000), International Climate Change Partnership and the Alliance for Responsible Atmospheric Policy, Arlington, VA, USA, 239-248, October 2000【著者 홈페이지 : 'http://www.jamesmcalm.com'】

☞ 本 논문 관련 홈페이지 : 'http://members.cox.net/jamesmcalm/Calm-Options_and_Outlook_for_Chiller_Refrigerants-ETF-2000.pdf'

● 資料出處-2 : (社)日本冷凍空調學會, 月刊『冷凍』, 2001年 11月號(Vol.79/No.889), pp.63~74.

● 資料出處-3 : Trane社 홈페이지('http://www.trane.com/' 의 Industry Issues, Environmental)

☞ 관련 홈페이지 참고 : 'http://www.trane.com/commercial/issues/environmental/options/'

* *Earth Technologies Forum*(Washington D.C.)
2000년 10월 30일~11월 1일 사용 논문

* * 日本 아메리칸 스탠다드 트레인(株)
American Standard Trane Japan Ltd., GCDL, Environmental
Affair & Marketing

(譯者 注)

Calm 씨는 난방, 공조, 냉동 시스템을 전문분야로 하는 엔지니어링 컨설턴트이다. Calm 씨 업적의 대부분은 대체냉매의 사용과 안전성에 관한 것이다. Calm 씨는 ASHRAE 위원으로서 다수의 ASHRAE committees 위원회에 참가 또는 의장으로서 활동중이며, 그 중에는 ASHRAE standards 15, "기계식 냉동의 안전성 규격" (Safety Code for Mechanical Refrigeration), ASHRAE standards 34 "냉매의 지정과 안전 구분" (Designations and Safety Classifications for Refrigerants), "세계 기후변동에 대한 전문 위원회" (the task group on Global Climate Change), "전자(前者)의 기술개발 위원회" (the former Research and Technical committee) 등이 있다.

냉매의 선택은 간단했다. 적어도 1989년도까지는 지금보다 간단했다. 터보냉동기에 대한 냉매는 R-11, R-12, R-22 및 R-500 중에서 선택되었던 것이다. 소용량(low capacity) 또는 열회수(heat recovery)용의 높은 응축온도에서 운전하는 등 특수한 용도에 사용하기 위해서는 각각 R-113과 R-114를 필요로 했다. 대부분의 설계 기술자(engineer)는 요구 냉매를 지정하지 않았거나 또는 입찰 검토(bid review) 시의 대체냉매 신청을 다소곳이 받아들였다. 이들 설계 기술자는 단지 그 능력과 운전 시방, 그리고 필요한 배관 방향과 동력 및 제어방식을 시방(spec) 조건으로 규정하였을 뿐이다.

이전의 선택 대안(Prior Options)

클로로플루오로카본(CFC : Chlorofluorocarbon) 계열 프레온 냉매 중의 하나인 R-11은 주로 효율이 우수하고 저압냉동기의 원가(cost)적 우위성 때문에 선두자리를 지켜왔다. 원심식 터보냉동기에는 대략 3대중 2대의 비율로 R-11 냉매가 사용되어 왔다. 선진국에서는 이미 1994년에 생산을 종료했는데, 기타 모든 냉매를 합한 숫자보다도 많은 냉동기가 현재 사용되고 있다. 이와 같은 모순된 실상은 이미 설치된 대부분의 기기에 대해 좀처럼 대체냉매기로 교체하거나 전환하지 않은데서 비롯된 결과이다.

R-11 다음으로 주로 사용된 냉매는 R-12였는데, 그 까닭은 높은 효율이 요구되지 않는 경우에 터보냉동기의 경쟁 가능 범위를 소용량 영역까지 더욱 확대할 수 있었기 때문이다. R-500은, R-12를 사용하여 60Hz에서 얻은 능력을, 동일 설계조건인 50Hz 모터 회전수에서도 같은 능력을 얻을 수 있기 때문에 터보냉동기에 사용되었다. R-500 냉매는 나중에 능력범위를 넓히기 위해 60Hz의 기기에도 사용하게 되었다. 50Hz의 전력(電力)은 유럽과 일본의 특정 지역 및 아시아의 일부 국가의 표준 주파수이며, 60Hz 전력은 대부분의 북아메리카와 일본의 특정 지역 외의 전 지역

에서 표준으로 사용한다.

스크롤, 피스톤, 스크류(all positive displacement) 등의 압축기를 사용하는 냉동기는 대부분 고압 하이드로클로로플루오로카본(HCFC : hydrochlorofluorocarbon) 계열의 R-22를 사용해 왔다. 그 어떤 압축기에도 이용할 수 있는 R-22 냉매는 5MW(1,400 냉동 톤)를 초과하는 대용량 터보냉동기에도 압도적으로 많이 사용되었다. 전체의 10%에 못 미치는 비교적 적은 양의 시스템으로서 R-717(암모니아) 또는 흡수식 냉동기가 사용되었다. 대부분의 흡수식 냉동기에는 물과 리튬브로마이드가 각각 냉매와 흡수제로서 사용되었다.

현재의 선택 대안(Current Options)

오늘날 터보냉동기에 대한 냉매의 선택은 소용량이나 초(超) 대용량의 것에는 R-22를 사용하고, 그 밖의 것에는 R-123 또는 R-134a 중에서 선택하고 있다. R-123과 R-134a의 사용 비율은 R-11과 R-12의 비율과 거의 동일하다. 신규로 납입되는 터보냉동기 중 거의 3/5는 R-123(저압 HCFC)을 사용하고 있다.

나머지는 R-134a(중압 하이드로플루오로카본, HFC)를 사용하고 있다. R-134a는 그 중에서도 터보냉동기 이외의 용도에 많이 사용되는 만큼 가장 널리 사용하는 종합 냉매로서 R-22를 대체하고 있는 듯하다.

해군함선용, 특히 잠수함용의 낡은 R-114 냉동기의 대체용으로는 R-236fa(중압 HFC)를 사용하고 있는데, 어떤 메이커도 정지용(定置用, stationary application) 냉동기로서는 판매하고 있지 않다.

용적형 압축기를 사용하는 터보냉동기에는 아직까지 R-22를 다량 사용하고 있지만, 이 상황은 계속 변하고 있다. R-407C, R-410A(이들 모두 HFCs의 혼합냉매)와 더불어 R-134a를 사용하는 설계가 R-22를 사용한 설계에 대체하여 속속 도입되고 있다. 소수의 소형 냉동기에는, 그 중에

서도 유럽에서는 R-404A(이것도 HFC의 혼합냉매)를 사용하고 있다. R-407C의 압력-온도 특성은 R-22와 같지만 R-407C의 사용에 대해서는 혼합비율의 성분변화를 피하기 위해 설계변경(예를 들면 만액형 증발기의 배제)을 고려할 필요가 있다. R-407C를 사용하여 새롭게 설계하는 것에는 효율을 상승시키기 위해 로렌즈 사이클(Lorenz Cycle)을 적용하여 그 온도 기울기(temperature glide)를 이용하는 것도 있다.

증가하고 있다고는 하나, 아직 소수의 소형 냉동기에는 R-717(암모니아) 또는 더욱 사용빈도가 낮은 R-290(프로판; propane), R-600(n-부탄; n-butane), R-600a(이소부탄; isobutane), R-1270(프로필렌; propylene) 및 이들의 혼합냉매를 사용하고 있다. 이들 냉매는 다른 국가보다도 유럽에서 더 폭넓게 수용하고 있다.

흡수식 냉동기는 대부분의 경우 물/리튬브로마이드를 사용하는데, 북 아메리카에서는 전체 냉동기 출하량의 2% 이하에 지나지 않는다. 이 2%라는 숫자에는 유니타리식 냉동기와 경쟁하는 소형 암모니아/물 냉동기(small ammonia/water chillers)는 포함되어 있지 않지만, 이 소형 암모니아/물 냉동기의 시장점유율도 기껏해야 유니타리식 공조기의 0.2%밖에 안 된다.

일본에서는 지금 터보 냉동기에 대한 관심이 부활할 조짐이 보이고 있으나, 터보냉동기보다도 훨씬 많은 양(量)의 흡수식 냉동기가 사용되고 있다. 이와 같이 일본 특유의 냉동기 선택 경향을 보이는 것은 에너지 자원과 그 결과에서 비롯되는 운전 코스트 및 건축규제의 차이가 있기 때문이다.

무엇이 변경되었는가? (What Changed?)

냉매의 선택에 대해서는 시스템 설계 기술자나 빌딩의 소유자보다도 냉동기 메이커가 역사적으로 깊이 관여해 왔다. 오너(owner)나 설계기술자(engineer)는 이 냉매 선

택에 대해 내부에서 사용하는 다른 기기에 주력하는 만큼의 주의를 기울이지 않았다. 대부분의 사람은 코스트, 성능, 해당 지역에 대한 메이커의 대행사 유무, 서비스의 선택 대안(service option), 운전에 대한 선호도, 신뢰성에 대한 인지도 등에 따라 냉동기를 선택해 왔다. 어떤 특정 냉매나 기기에 대해 특별 인허가 또는 운전 책임자를 필요로 하는 지역의 요구가 있는 경우에는 해당 냉매를 대상에서 제외시켰다.

이러한 조치는 성층권의 오존층을 보호하기 위한 획기적인 협정, 즉 몬트리올 의정서¹⁾의 국제 합의에 의해 1987년에 변경되었고, 그 후 조약의 지속적인 개정²⁾, 특히 1990년과 1992년의 개정, 그리고 기후변동에 관한 도쿄의정서³⁾에 의해 또 다시 변경되었다. 이 두 가지의 환경 조약은 향후 전개되는 과학의 발전과 정치적인 영향을 받아 틀림없이 다시 개정될 것이고, 이러한 개정은 또 다시 관리 법령에 자극을 주게 될 것으로 생각한다.

환경 문제(Environmental Issues)

성층권의 오존층 파괴와 기후변동이라는 오늘날의 2가지 쟁점은 모두 국제적인 문제이다.

성층권의 오존층 파괴 문제(Stratospheric ozone depletion)

산소 형태의 일종인 오존은 태양에서 발생하는 자외선-B(UV-B : ultraviolet-B) 방사선을 흡수한다. 이 흡수가 없으면 인류(人類)와 동식물(動植物)에게 위해(危害)를 끼치게 된다. M.J.Molina와 F.S.Rowland가 1974년에 발표한 논문에서 자연의 오존층 형성과 파괴의 균형을 깨뜨리는 염소의 발생원으로 CFC를 특정(特定)하였다. 이 논문과 뒤이은 조사(調査) 결과, 인공 화합물에서 생성된 염소와 브롬으로 인해 성층권의 오존층이 얇어지고 있다고 밝혀

저 이에 대한 우려가 고조되고 있다. 이러한 연구 결과는 이들 화학품의 사용이 증대한 것이라는 예상을 토대로 더욱 심각한 오존층 파괴가 일어날 가능성을 제시하였다.

몬트리올 의정서는 예정표에 편성한 관리 대상 물질의 단계적인 삭감을 요구하고 있다. 관리 대상 물질로서 냉매, 용제, 발포제, 에어로졸 분무제, 소화제 및 기타 용도로 사용하는 염소나 브롬을 포함한 화학품이 포함되어 있다.

기후변동(Climate change)

지구온난화를 예상하기까지는 오랜 역사(歷史)가 걸렸다. 수학자인 J.B.Fourier는 1827년 대기와 지표면 온도를 지배하는 대기가스의 역할을 식별하였다. J.B.Fourier는 '온실' 과 같이 작용하는 그 상사성(相似性)을 지적했다. 1896년에 S.Arrhenius가 발표한 논문은 화석연료의 사용 증대에 따른 이산화탄소의 배출이 자연의 온실 효과를 증대시킨다고 경고했다.

기후변동은 그로 인한 자연의 상쇄효과, 그리고 기후변동과 자연의 상쇄효과 쌍방에 대한 감수성이 불확실하다는 문제를 수반하기 때문에 오존층파괴라는 문제보다 더욱 복잡하다. 그럼에도 불구하고 다수의 과학자는 현재 온난화는 진행중인 만큼 그 결과가 매우 심각하기 때문에 더는 허용할 수 없게 되었다고 인식을 같이하고 있다.

오존층 파괴와는 달리 어떤 지역에서는 기후변동의 은혜를 받는 경우도 있다. 그러나 유감스럽게도 온난화는 질병 확산을 촉진하고, 해면을 상승시켜 해수면 가까이 살고 있는 수많은 사람을 침수 위협에 빠지게 한다. 또한 급속한 변화는 대부분의 곡물과 다른 식물의 생명에 해를 끼치게 될 것이다.

미국해양대기관리처(NOAA)의 J.D.Mahlman과 같은 핵심 과학자들은, 인류는 대기(大氣)에 대한 이산화탄소의 배출을 이미 2배까지 끌어 올렸으며, 2100년까지는 4배로 증대시키게 될 것이라고 주장하고 있다. 이 이산화탄소가

말로 가장 우려되는 온실효과 가스인 것이다.

또한 NOAA 과학자로서 오존문제의 최전선에서 관계해 온 D.L.Albritton은 "후세의 역사가는 성층권의 오존층 파괴에 대한 인류의 대응은 기후변동이라는 더욱 어려운 문제에 대한 준비를 하기 위해 필요한 견습기간이었다고 생각할 것이다"고 시사하며, 독특한 관점을 제시하고 있다.

환경문제의 논쟁은 기후변동에 대한 이점(benefit)의 부정 또는 긍정에서부터 인류 멸망에 대한 경고에 이르기까지 폭넓게 다뤄지고 있다. 기후변동에 관한 정부간 패널(IPCC)의 최근 평가는 기후변동이 시작되었음을 나타내는 분명한 증거가 있다고 결론지었다.

현재로서 HFCs가 온실효과가스 배출 총량에 미치는 기여율은 낮다. 즉 지구온난화계수(GWP)의 차이를 감안하여 이산화탄소 증가값으로 표시하더라도 2% 미만에 지나지 않는다. 냉매에서 비롯되는 비율은 이것보다도 훨씬 낮다. 그럼에도 불구하고 HFCs의 종합적인 영향은 교토의정서에 규정된 다른 가스보다도 총체적 규모에서 더욱 급속도로 증가하고 있다.

기타(Others)

오존층 파괴와 기후변동에서 얻은 한 가지 교훈은 문제를 인지하거나 증명하기도 전에 화학품이 배출되어 축적되어버린다는 점이다. 화학오염물질(PCPs : Persistent Chemical Pollutants)의 지속적인 축적과 그 생태계에 미치는 위협에 대한 우려가 확대되고 있다. 그 문제 중의 하나는 음용수(飲用水)의 공급이 제한된다고 하는 위협이다.

또 다른 우려는 농업 측면의 강한 비옥화, 연료전지, 콩과(legumes) 식물 농업의 확대 등에서 비롯되는 질소의 축적을 들 수 있다. 그 해결책의 하나로서 냉동기의 운전을 포함, 모든 에너지 사용의 효율을 개선할 필요가 있다.

냉동시스템을 가동하는 등 화석연료의 사용에서 비롯

되는 대기오염, 그리고 천연자원의 이용 방법은 지속적인 관심사항이 될 것으로 보인다. 대기오염은 현재 60억을 넘는 세계인구의 증가와 경제 및 산업의 발전과 더불어 더욱 가속될 것이다.

미래의 문제를 정확하게 예측할 수는 없지만, 무엇인가 문제가 일어날 것임을 미리 염두에 두어야 한다. 따라서 우리들은 화학품, 또는 그 분해물이 시간과 더불어 축적된다는 것을 인식하여 자연의 훼손을 피하고, 수명이 긴 화학품의 방출을 방지하기 위한 현명한 정책을 마련하지 않으면 안 된다.

냉매(Refrigerants)

냉매는 환경문제에 관계되어 있긴 하지만 그 역할은 비교적 적은 편이다. 냉매는 그 기능을 수행하기 위해 배출될 필요가 없다는 점이 다른 용도로 사용하는 동일 화학품과 다른 점이다. 사실 그와 같은 배출을 방지함에 따라 시스템의 성능이 개선되고 코스트가 낮아진다. 문제는 그 시스템에 충전되어 있는 냉매에 있는 것이 아니라, 냉매의 배출 자체에 있는 것이다.

냉매는 없어서는 안 될 사회적 이익(societal benefit)을 제공한다. 어떤 경우는 매우 가혹한 지역을 사람이 살 수 있는 곳으로 바꿔주기도 하고, 식품의 저장이나 수송을 가능하게 하며, 의료와 의약품의 제조 및 저장을 가능케도 할 뿐만 아니라 질병이 만연되는 것을 예방하기도 한다. 냉동은 또한 많은 주요 생산 프로세스를 가능하게 하고, 작업자의 생산성도 증대시키며, 쾌적한 환경을 제공해 준다.

냉매는 냉동 시스템 중에서도 가장 중요한 구성요소이다. 냉매를 증발시키기 위해 제거되는 열이 냉각 작용을 해 준다.* 냉매를 공기 또는 냉각되는 다른 물질로부터 격리시키기 위해 열교환기라는 형태의 증발기가 필요한데, 이 증발기가 냉매를 격리한다. 냉동 회로의 나머지 구

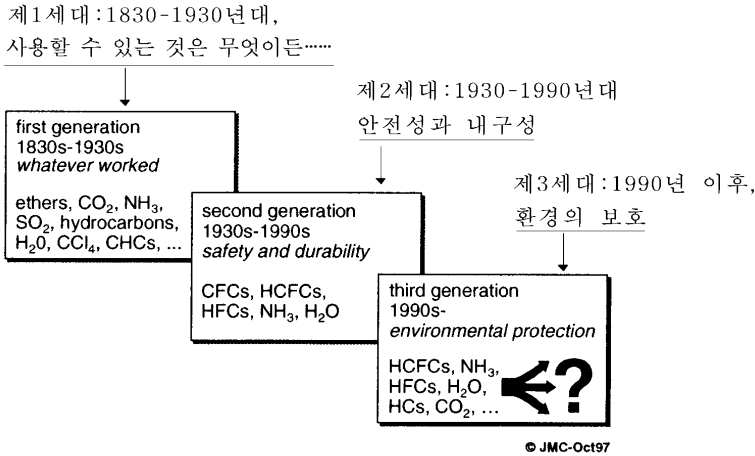
성 요소는 단순히 냉매를 순환시키기 위해 존재한다. 압축기(또는 흡수·재생 회로와 용액 펌프의 조합)는 더 높은 온도로 열을 배출할 수 있도록 하기 위해 냉매 압력을 높인다. 응축기는 다시 비등 또는 증발할 수 있도록 냉매를 액화시킨다. 팽창밸브나 오리피스 등의 교축장치는 순환 냉매의 유량을 조정하여 회로를 고압과 저압 측으로 분리시킨다.

그 밖의 냉동 시스템을 구성하는 요소들은 모두 부하(load)가 변동되었을 때 운전을 제어하거나, 부하로부터 얻은 열을 증발기로 이송하거나, 응축기의 열을 배열 장치로 이송하거나, 시스템을 작동시키기 위한 에너지를 공급하거나 하며, 또는 시스템의 안전성과 내구성 및 신뢰도 등을 높이기 위해 작용한다.

일반적으로 상변화(相變化)하는 대부분의 유체는 냉매로서 사용할 수 있지만, 현실적으로는 냉매로서 갖춰야 할 안정도와 안전성 및 성능, 그리고 그 적합성(compatibility)에 따라 사용 여부가 구별된다.

* 냉동을 하는데 있어서는 단열소자법(斷熱消磁法), 열 음향적(熱音響的)인 프로세스의 사용이나 제백 효과(seebeck effect)(thermoelectric effect)의 이용 등 다른 방법도 있다. 이러한 방법들에 대해 접근하기 위해서는 더 연구할 필요가 있으며, 절대온도 0에 가까운 온도에서의 단열소자법(斷熱消磁法) 시스템(magnetocaloric system) 등의 전문 용도를 제외하고는 현재 실용적이지는 않다. 여기서의 의논은 그 성능과 다기능성(多技能性)이 우수하여 사용되는 있으나 줄-톰슨 효과(Joule-Thomson effect)에 제한되고 있다.

냉매의 역사(Refrigerant history)



〈그림-1〉 냉매의 발달

최초의 냉매 세대는 어떤 물질이든 기능만 갖추면 된다는 생각으로, 잘 알려진 유체를 원시적인 기계에서 혁신적인 노력을 하면서 사용하는 것이 주류를 이루었다. 당시의 목표는 냉동을 얻는 것이었으며, 나중에는 내구성은 그다음 목표가 되었다. 초기의 냉매는 대부분이 가연성과 독성을 각각 또는 둘 다 지니고 있었고, 어떤 냉매는 높은 방사성을 지니고 있기도 하였다. 따라서 사고는 지극히 일상적으로 일어났으며, 한 때는 프로판 가스가 '무취의 안전냉매'로 시판되기도 하였다.

제2세대 냉매는 1928년도에 가정용 냉장고용으로까지 폭넓게 사용할 수 있도록 하기 위해 더욱 안전한 냉매의 탐구가 시작되었다. T.Midgley Jr.이나 그의 동료인 A.L.Henne, R.R.McNary 등은 독성이나 가연성도 없고 필요로 하는 비등점(boiling point)을 갖고 있다고 보이는 안정된 냉매를 찾아 족보의 특성 테이블을 만들어 평가하였다.

그 결과 이전에는 사용하지 않았던 유기물인 플루오르

화물(불화물 ; fluorides)에 주목하였는데, 데이터가 부족했기 때문에 다른 접근 방법을 찾아 나서게 되었다.

Midgley는 원소의 주기표에 눈을 돌렸다. 그는 휘발성이 불충분한 것은 즉시 배제시켰고, 다시 불활성 가스와 비등점이 낮아 불안정하고 독성이 있는 화합물도 배제시켰다. 결국 그 곁에는 탄소, 질소, 산소, 유황, 수소, 플루오르(弗素 ; fluorine), 염소(鹽素 ; chlorine)와 브롬(臭素 ; bromine)이라는 8가지 원소만 남게 되었다. 이들 원소는 플루오르를 중심으로 원소 주기표의 있는 열(row)과 단(column)이 교차하는 지점에 모여 있다. 다

른 연구자가 새로운 기술과 데이터를 사용하여 반복 실시한 선별심사(screening)에서도 Midgley가 발견한 원소의 적합성과 동일한 발견으로 귀결되었다. 흥미로운 것은 1928년 이전에 사용된 냉매의 대부분은 8가지 원소 중에서 플루오르를 제외한 나머지 모두, 즉 7가지 원소로 구성되어 있었다. 참고문헌 4)~7)에는 이들 냉매에 관한 역사를 상세히 서술하고 있다.

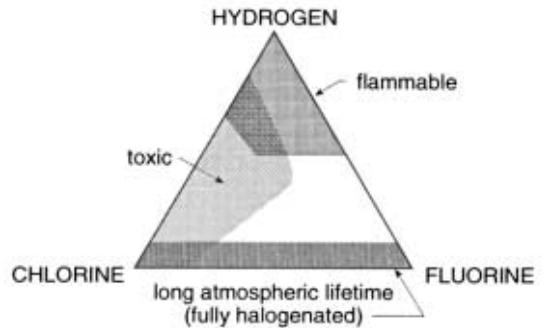
이상적인 냉매(Ideal refrigerants)

이상적인 냉매는 요구되는 열역학적 특성을 갖추어야 할 뿐만 아니라 독성이 없고(nontoxic), 불연성(nonflammable)이며, 시스템 속에서 완전하게 안정되어 있어야 한다. 또 그 분해물까지도 환경 친화적이고, 구입이 용이하며 또 쉽게 제조할 수 있지 않으면 안 된다. 더욱이 자기 윤활성(self-lubricating)을 지니면서 동시에 냉동 시스템의 구성 재료나 냉매 시스템에 사용되는 다른 재료

와 양립할 수 있는 것이어야 한다. 또한 취급과 검지가 용이해야 하고, 압력이 극단적으로 높거나 낮지 않아야 한다는 점도 중요 포인트일 것이다.

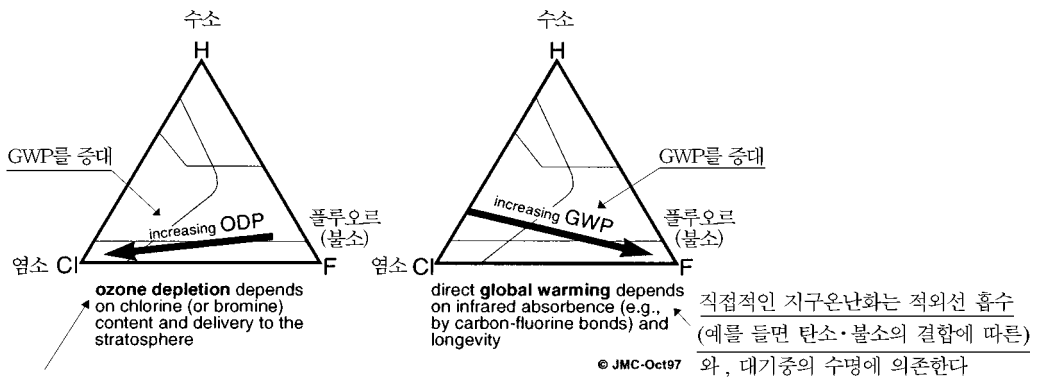
그 외에도 추가되어야 할 기준이 있겠지만, 현재의 냉매는 그 중 일부를 기준으로 관정해 보아도 이상적이라고는 할 수 없다. 화학적 및 물리화학적 해석에 따라 필요한 분자 구성과 그 특성이 서로 대립되기 때문에 사실상 이상적인 냉매가 존재할 가능성, 또는 합성될 가능성이 없다는 것4)이 밝혀졌다.

〈그림-2〉는 탄소에 추가하는, 특히 염소와 플루오르 및 수소화합물 간의 할로젠 유기물 고유의 특성관계를 나타내고 있다. 수소성분이 증가함에 따라 대기 중의 수명은 감소하지만 가연성은 증대한다. 플루오르화한 상태(완전히 플루오르화한)까지 가면 냉매는 보통 오일을 회수하기 위한 합성 윤활제를 필요로 한다. 염소 성분이 증가하면 일반적으로 독성은 증가한다. 그러나 독성에는 치사성, 심장에 미치는 영향, 발암성, 돌연변이, 감각 마비, 생식(生殖)과 호흡(呼吸)에 미치는 영향 등의 많은 형태가 있다. 독성은, 본래 어떤 것은 물리적인 것이고 나머지는 화학적인 것인데, 염소 성분은 독성을 결정하는 수많은 인자 중의 하나에 지나지 않는다.



〈그림-2〉 염소, 플루오르, 수소를 함유하는 유기 냉매의 가연성, 독성, 대기 중 수명 특성 관계 (M.O.McLinden과 D.A.Didion, 1987년⁹⁾부터)

플루오르 또는 염소는 그 함량이 증가함에 따라 대기 중에서 안정성이 증대하므로 대기 중의 수명을 연장시키게 된다. 〈그림-3〉에 해설한 내용과 같이 냉매 분자 중의 염소 성분을 증대시키면 일반적으로 오존층파괴계수(ODP : Ozone Depletion Potential)가 증대한다. 브롬이나 염소를 포함하지 않은 화합물의 ODP는 거의 0(zero)이다. 마찬가지로 플루오르 수를 증대시키면 일반적으로 지구온난화계수(GWP : Global Warming Potential)가 상승한다. 수소의




오존층 파괴는 염소 (또는 불소) 성분과, 성층권까지 도달도 (到達度) 에 의존한다

〈그림-3〉 오존층 파괴와 지구온난화에 미치는 염소와 플루오르 함유도의 영향

숫자가 늘어나면 대기 중의 수명이 줄어드는 경향이 있다. 수명이 매우 짧은 화합물은 성층권에 도달하기 전에 대부분의 대기 방출분이 분해되어 버리므로 낮은 ODP값을 갖고 있다고 해도 좋다. 마찬가지로 수명이 매우 짧은 화합물은 대기 중에서 존재하는 시간이 비교적 짧으므로 낮은 GWP값을 갖게 된다.

J. M. Calm, "Options and Outlook for Chiller Refrigerants," *Proceedings of the Earth Technologies Forum* (Washington, DC, USA, 30 October-1 November 2000), International Climate Change Partnership and the Alliance for Responsible Atmospheric Policy, Arlington, VA, USA, 239-248, October 2000; translation to Japanese by Koji Yamata published in *Reito*, 76(889):993-1004(63-74), November 2001.

©2000 James M. Calm, Engineering Consultant - reproduced with permission

〈다음호에 계속〉 

냉동기 냉매의 선택 대안 選擇代案과 전망(2)

Options and Outlook for Chiller Refrigerants*



James M. Calm, Engineering Consultant,

10887 Woodleaf Lane Great Fall, VA 22066-3003 USA,

jmc@JamesMCalm.com

李宰成(譯)

● 翻譯：2002年 6月, 汎洋冷房工業(株) 空調技術研究所 前任研究員 李宰成(Jae Seong Lee)

☞ 譯者 注：本 翻譯文은 無斷 複製 또는 轉載할 수 없습니다.

1. 이 資料는 James M. Calm 氏가 'Earth Technologies Forum(Washington DC USA, 2000.10.30-11.01)'에서 發表한 'Options and Outlook for Chiller Refrigerants' 이라는 題號의 論文(▶資料出處-1)을 翻譯한 것으로, 日本의 山田耕治(Koji YAMADA) 氏 * * 가 翻譯하여 (社)日本冷凍空調學會의 月刊『冷凍(▶資料出處-2, 原稿受理日：2001.8.20)』誌에 掲載한 內容을 參照하여 翻譯하였으며, 편의상 2회에 걸쳐 連載하오니 이 점 諒解해 주시기 바랍니다. 同 內容은 美國 Trane社의 홈페이지(▶資料出處-3)에도 掲載되어 있으므로 參照하시기 바랍니다.
2. 本 論文의 翻譯에 따른 著作權과 關聯하여 (社)日本冷凍空調學會와 日語本 翻譯權者(山田耕治) 및 原著者이신 James M. Calm 氏의 同意(Consent Letter)를 받아 翻譯하였음을 여기에 밝혀 둡니다.
3. James M. Calm 씨의 말씀에 따르면, 本 논문(原著)은 국제사회의 주목을 받아 'International Journal of Refrigeration(IJR)' 의 最近호에 게재될 예정이라고 합니다.
4. 本 논문은 목하 전개되고 있는 지구온난화 문제 등에 깊이 관심을 갖고 있는 필자의 대체냉매에 대한 사용과 안전성 등에 대한 지론을 바탕으로 R-123 냉매의 허용성을 강조하면서, 냉동기의 제조와 사용에 관계하고 있는 모든 사람들에게 과학적 결정을 바탕으로 이 냉매의 허용성을 주장하고 나서야 한다고 제창하고 있습니다. 이에 정부의 관계자를 비롯하여 우리 업계의 제조자와 사용자는 지구환경 문제, 특히 지구온난화 문제 등의 국제적인 대응 동향과 추세에 대해 예의주시하면서 이 논문이 주창하는 바의 논제에 대한 깊은 관심과 적극적인 대처가 필요하다고 사려합니다.

● 資料出處-1 : J. M. Calm, "Options and Outlook for Chiller Refrigerants," *Proceedings of the Earth Technologies Forum* (Washington, DC, USA, 30 October-1 November 2000), International Climate Change Partnership and the Alliance for Responsible Atmospheric Policy, Arlington, VA, USA, 239-248, October 2000【著者 홈페이지 : 'http://www.jamesmcalm.com'】

☞ 本 논문 관련 홈페이지 : 'http://members.cox.net/jamesmcalm/Calm-Options_and_Outlook_for_Chiller_Refrigerants-ETF-2000.pdf'

● 資料出處-2 : (社)日本冷凍空調學會, 月刊『冷凍』, 2001年 11月號(Vol.79/No.889), pp.63~74.

● 資料出處-3 : Trane社 홈페이지('http://www.trane.com/' 의 Industry Issues, Environmental)

☞ 관련 홈페이지 참고 : 'http://www.trane.com/commercial/issues/environmental/options/'

* *Earth Technologies Forum*(Washington D.C.)
2000년 10월 30일~11월 1일 사용 논문

* * 日本 아메리칸 스탠다드 트레인(株)
American Standard Trane Japan Ltd., GCDL, Environmental
Affair & Marketing

(譯者 注)

Calm 씨는 난방, 공조, 냉동 시스템을 전문분야로 하는 엔지니어링 컨설턴트이다. Calm 씨 업적의 대부분은 대체냉매의 사용과 안전성에 관한 것이다. Calm 씨는 ASHRAE 위원으로서 다수의 ASHRAE committees 위원회에 참가 또는 의장으로서 활동중이며, 그 중에는 ASHRAE standards 15, "기계식 냉동의 안전성 규격" (Safety Code for Mechanical Refrigeration), ASHRAE standards 34 "냉매의 지정과 안전 구분" (Designations and Safety Classifications for Refrigerants), "세계 기후변동에 대한 전문 위원회" (the task group on Global Climate Change), "전자(前者)의 기술개발 위원회" (the former Research and Technical committee) 등이 있다.

선택 기준(Selection Criteria)

이상적인 냉매는 없고 또 발견될 것 같지도 않다는 것을 인식한 이상, 사용자는 현재 이용 가능한 후보 냉매를 효율적으로 사용해 나가야만 한다. 이들 후보 중에서 선택한 냉매는 향후에도 수용 가능할 지의 여부가 분명하지 않은 만큼 만족스럽지 못한 것들이다. 더구나 지금까지 알려진 냉매의 선택에 대해서는 다양한 요구의 검증을 필요로 하고 있다. 그 검증 요소는 환경과 안전성을 고려하는 문제를 비롯하여 적합성 문제에 이르기까지 광범위하게 미치고 있다.

냉매를 제품에 이용하는 기기 제조업자는 자신들이 선택한 냉매의 선택이 유일의 합리적인 선택이라고 설명한다. 화학약품 제조자나 독립한 서비스 회사도 판매촉진에 종사하고 있지만, 별로 냉매 선택의 이해관계를 갖고 있지 않다. 놀랄 일은 아니나 논쟁의 대립, 잘못된 유도, 때로는 부정확한 정보가 시장에 넘친다. 그 결과 불안(Fear), 불확실성(Uncertainty), 의혹(Doubt) 등 이른바 FUD의 결과를 낳았다는 것이 풍설(뜬소문)이다. 다음 사항이 FUD의 요소들이다.

환경보호상의 규제를 기준으로 한 미래의 이용 가능성 (또는 폐지 문제)

- 효율
- 독성
- 가연성, 그리고
- 상승하는 미래의 가격

미래의 이용성(Future availability)

R-22와 R-123은 모두 몬트리올 의정서와 이행국가의 국내법규에 의해 폐지 스케줄이 규정되어 있다. 선진국에서는 2030년, 개발도상국에서는 2040년까지 제조를 중지한

다고 이 의정서는 규정하고 있다. 또한 이 의정서는 모든 HCFCs를 통틀어 ODP-중량 총량(ODP-weighted sum)에 의한 삭감단계의 규제까지도 명기하고 있다. 국가단위의 규제로서는 새로운 기기에 대한 사용, 생산 또는 수입, 극단적인 경우에는 그 모든 사용에 대해서도 의정서와 같은 시기, 또는 그것보다 빠른 최종 기한을 규정하고 있다. 그 기한은, R-22에 대해서는 ODP값이 높기 때문에 일반적으로 의정서보다 조기에, 또는 더욱 단축시키는 것으로 되어 있다.

HCFC의 주된 관심사는, 실제로는 발포제로서 사용되는 R-141b와 R-142b의 배출에 있다. 이 냉매의 용도는 본질적으로 대기 중에 배출되는 것으로, 각각 0.086과 0.043의 ODP값을 지니고 있어 HCFC 냉매 중에서도 가장 높은 편이다. 이에 대해 냉동기에서 사용하는 냉매의 경우 매우 적은 양(量)을 방출하게 되므로⁹⁾, R-22와 R-123의 ODP는 각각 0.034, 0.012로서 훨씬 적다.

치밀한 과학적 분석에 따르면, 냉매 용도로서 사용하는 R-123이 오존층 파괴에 미치는 영향은 ODP 피크값에 대해 0.001%이하로 무시할 수 있다고 발표하였다.¹⁰⁾ 계속되는 연구 발표에 따르면 R-123이 환경에 기여하는 이득(benefit)은 오존층에 미치는 영향보다 훨씬 중요하므로 폐지에 대한 재검토의 정당성을 제기하고 있다.^{4,9,13)}

R-123의 폐지를 유예해야 할 과학적인 근거는 분명하나 정치적인 국면을 예상하기란 매우 어려운 일이다. 만일 R-123의 폐지에 대한 재검토가 이루어지지 않는다고 해도 R-123의 생산은 앞으로도 다시 30년 동안 허용된다(개발도상국에 대해서는 40년 동안). 이미 설치되어 있거나 신규로 제조하는 R-123 냉동기 전체의 서비스에 필요로 하는 냉매량은 생산 종료 후에도, 적어도 수십 년 동안은 이용할 수 있을 것이다.

R-11의 생산이 선진국에서는 1994년 또는 그보다도 조기에 중지하였는데, 아직도 그 서비스용 재고품은 상당량이 남아있음을 주목하기 바란다. 폐기되는 냉동기와 대체

되는 냉동기로부터 발생하는 냉매의 리사이클은 몬트리올 의정서에서도 인정하고 있기 때문에, 적절한 금액과 충족 할만한 양(量) 이상으로 공급할 수 있을 것이다. 결국, 서비스에 필요로 하는 양을 줄이기 위해 적정하게 기밀을 유지하고 적절한 메인テナンス를 실시하는 것이 관건이다.

HFC는 ODP값이 거의 0(zero)이기 때문에 몬트리올 의정서에서는 규제하고 있지 않다. HFC의 배출은 교토의정서(京都議定書)에 의해 규제하고 있지만, 이 조약은 실행 단계에 와 있는 것은 아니므로 개발도상국에서 방책(measures)을 다루도록 수정하지 않는 한 규제되지는 않을 지도 모른다.

교토의정서의 현재의 형태는 HFC를 포함하는 6가지의 규정된 가스 또는 그 그룹의 GWP 중량 바스켓(GWP-weighted basket)에 기초한 배출감소 목표치를 규정하고 있다. HFC는, 현재로서는 전체의 작은 부분을 차지하고 있지만 가장 빠르게 증가하고 있는 성분이다.

앞으로 어떤 특정 냉매를 생산 규제하게 될 지 그 여부를 예측할 방법은 없다. 특히 유럽의 몇몇 국가에서는 일반적으로 일부 HFC 사용제한 혹은 금지조치까지 취하려는 움직임을 보이고 있다. 기기 제조메이커는 9,400이라는 대단히 높은 GWP값을 지닌 R-236fa(각각 120과 1,600의 GWP값을 지니고 있는 R-123과 R-134a보다도 높다)를 새로운 기기에 사용하는 것을 금지하였다.

〈그림-4〉는 주요 단일성분 냉매의 ODP와 GWP를 대비한 것이다. 이 그림은 몇 가지 주의해야 할 포인트를 시사하고 있다.

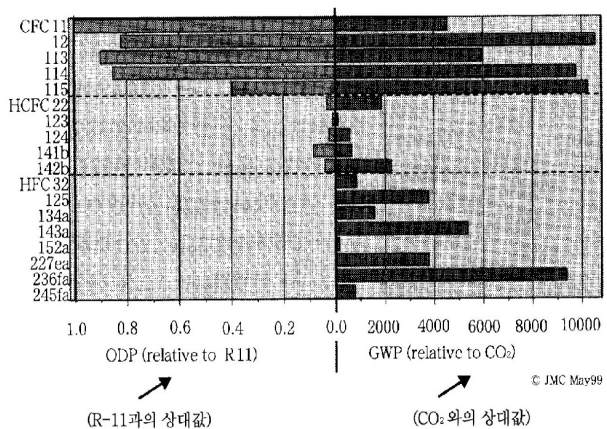
첫째, CFCs는 오존층의 파괴와 온실효과 가 스라는 두 측면에서 관리되는 정당한 이유가 있었다는 점이다.

둘째, 제시된 냉매 중의 2가지지만, 즉 R-123과 R-152a(HFC의 하나)만이 매우 낮은(또는 거의 0인) ODP값과 GWP값을 보이고 있다는

점이다.

셋째, 만일 오존층 파괴에 대한 대책이 실시되기 전에 지구온난화에 대한 대책이 먼저 실행되었다면, 지금으로서는 매우 다른 양상이 생겼을 것이라는 점이다. 몬트리올 의정서의 조약 결정자가 왜 최초로 CFCs에 초점을 맞추고 HCFCs를 과도한 물질로 인정하며, HFCs를 장기적인 해결책으로 고려했는지를 보여주고 있다. 도표의 오른쪽 GWP측에 나타낸 선이 시사하는 점은 지구온난화를 최초로 취급하였다면 상이한 결과를 가져왔을 것이라는 점이다. 화합물은 HCFC과 HFC 등의 열등성분 그룹별(coarse composition groups)로 구분한 것이 아니라 오히려 개별적으로 신중히 고려했을 것이다. 그 당시에는 R-123은 여분의 선택 대안이 없다고 하는 환경상의 이점(benefit)이 인식되었으므로, ODP의 관점에서 제2의 폐지 대상에서 벗어나 사용이 연장될 것임이 거의 확실하다. 이러한 점에 대해서는 이하에 거듭 서술하고자 한다.

R-123에 대해 믿을 수밖에 없는 이론적인 근거와 그 생산 중지의 집행 유예에 대한 가능성이 제시되었고, 또 벌써부터 몇몇 단체가 HFCs에 대해 더욱 엄격한 규제를 모



〈그림-4〉 주요 단일성분 냉매의 지구온난화계수(GWP)와 오존층파괴계수(ODP)의 대비 (참고문헌 14)에서 : 일반적으로 CFCs는 높은 ODP와 GWP를 지니며, HCFCs는 매우 낮은 ODP와 GWP를, HFCs는 거의 0(zero)인 ODP를 지니고 있지만, 그 중 몇 종류는 비교적 높은 GWP를 지니고 있다.

색하고 있다는 점을 인식한 연후에, 이 과학적인 결정을 위해 분명한 입장(clear case)을 정리할 필요가 있다. 그러기 위해서는 냉동·공조 업계는 긍정적인 영향과 부정적인 영향의 두 측면을 고려하여 모든 환경문제의 통합된 평가를 실시할 필요가 있다.

효율(Efficiency)

휘발성 물질이면 무엇이든 대부분 냉매로서 사용할 수 있다. 또한 상이한 용액도 각각의 용액 특성에 따른 사이클 수정을 적용하면 이론 사이클상의 동일 성능계수(COP)를 제공할 수 있다^{4,15-16}. 그러나 단순 사이클이 달성할 수 있는 성능은 각각의 유체(냉매)마다 서로 다르다⁹. 그 차이는 실용적인 기기에서 더욱 크게 나타난다^{4,9,10}.

새로운 원심냉동기에 사용되는 냉매 중 R-123은 그 대체품보다 3~5배 높은 이론적 효율의 이점을 제공한다. 1996년 11월에 미국냉동공조협회(ARI)가 조사한 결과에 따르면, R-123 냉동기가 다른 것보다 9~12%나 높은 효율을 지니고 있음을 확인하였다¹⁷. 그 이후에도 다른 냉매 냉동기보다 R-123냉동기에서 더 많은 성능개량이 이뤄졌기 때문에 그 차이는 더욱 벌어졌다. 이용 가능한 고효율 범위가 중첩되기 때문에 항상 R-123 냉동기가 다른 냉동기보다 성능이 우수하다는 것은 아니며, 최고의 효율기가 추구하는 것에 대해 R-123 냉동기가 분명한 우월성(advantage)을 지니고 있다는 것을 의미한다.

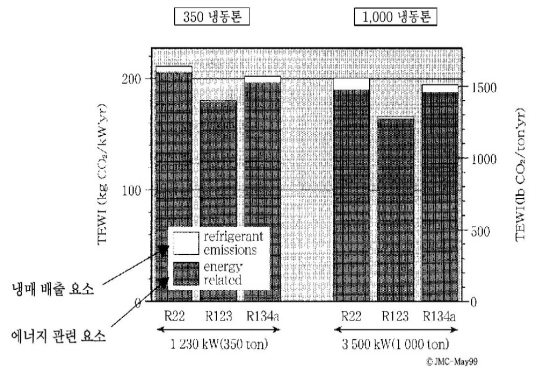
이 성능상의 이점(performance benefit)은 전체등가온난화지수(TEWI : Total Equivalent Warming Impact) 또는 수명주기온난화지수(LCWI : Life-Cycle-Warming Impact)에서 중요한 우위성이 있다고 바꿔 말할 수 있다. 이러한 영향지수는 냉매배출과 시스템 에너지의 사용에 수반하는 온난화 복합효과를 등가이산화탄소배출량으로 나타낸 것이다.

〈그림-5〉에 냉매별 현존하는 최고효율 냉동기의 TEWI

를 비교하여 제시하였다. 여기에는 냉각탑과 대표적인 냉각수 펌프의 동력에서 기인하는 배출분도 포함되어 있다. 이것은 참고문헌 4) 및 동문헌 내에 기술되어 있는 바의, 그 이전에 연구에서 사용된 계산방법과 데이터를 바탕으로 작성한 것이다. GWP값은 최근의 국제적 평가에서 채용된 것을 사용하였다. 이 그림에 나타난 것처럼 R-123의 폐지는 베스트 냉동기에 비해 14%에서 20%나 지구온난화 영향을 증가시켜버리는 결과가 된다.

독성(Toxicity)

R-22, R-123, R-134a나 대부분의 일반적인 냉매는 낮거나 또는 매우 낮은 급성(계획된 방출이 아닌 상태에서 단기간에 발생하는 단일냉매의 피폭에 대해)의 피부 및 호흡에 대한 독성을 지니고 있다. 이들은 어느 냉매도 발암물질은 아니며, 생식기 또는 발육에 대한 유해물도 아니고, 유전자 유해물 또는 호흡 자극물도 아니다. 예외적인 것은 R-717(암모니아)인데, 이것은 눈(eyes)과 피부(skin)를 침식시킨다. 암모니아는 호흡 자극물도 아니지만, 누설되었을 때 경고성의 독특한 냄새를 방출한다.



〈그림-5〉 2가지 대표적인 용량에서 존재하는 최적 냉동기의 온실효과가스 배출 TEWI의 비교 (냉방 kW당 1년 동안의 등가이산화탄소 방출량)

R-717(암모니아)과 R-718(물)을 제외하고 인용된 모든 냉매는 심장을 예민하게 만들고, 또 질식제(asphyxiants)로서 작용한다.

이상에서 서술한 모든 냉매는 냉매를 다루거나 냉매 부근에서 일하는 기술자 또는 작업자에게 보통 '만성(장기간 반복되는 노출)'이라고 특징짓는 상당히 낮은 직업상의 리스크를 초래한다. R-123은 허용노출한계(PELs : Permissible Exposure Limits)나 ASHRAE 표준 34(냉매의 정의와 안전성 분류)의 안전성 분류에 반영되어 있는 것처럼 R-22와 R-134a보다는 독성이 강하다¹⁸⁾. R-717(암모니아)은 더욱 강한 독성이 있으나, 어느 누구도 미국연방법규 또는 대부분 지역의 건축규범(건물, 화재, 기계에 대한 규범) 상에 '매우 강한 유독성 물질' 또는 '유독성 물질'로서 간주하고 있지는 않다¹⁹⁾.

이상의 모든 냉매는 적절한 설비와 시스템 설계 및 권장하는 서비스 방법을 준수하면 안전하게 사용할 수 있다. ASHRAE 표준 15(기계적 냉동에 대한 안전 코드)²⁰⁾, 그리고 건물과 화재 및 기계에 대한 규범 등은 안전에 대한 최소한의 요구사항을 제시하고 있다.

독성지수(毒性指數)만이 관련된 위험성을 나타내는 것은 아니다. 이와 같은 독성지수와 노출한계의 대부분은 무차원 형태의 농도, 즉 ppm v/v(parts per million by volume) 또는 단위를 갖는 동등값(mass per unit volume)으로 표현된다. 실온에서의 휘발성과 과열성의 차이, 또는 동일 충전량일지라도 저압과 고압 냉매에서 방출하는 양이 다르기 때문에 공기전달농도가 서로 다른 결과를 발생한다. 보통 그 비등점은 27.8°C (82.0°F)이므로 R-123의 경우는 대부분이 지면에서 액체로 농축하기 때문에 공기전달농도는 낮아진다. 반대로 R-22나 R-134a는 더욱 높은 초기 농도를 지니고 있지만, 이것은 더욱 신속하게 확산되어 간다. 누설을 발생하는 원동력은 압력에 있기 때문에, 동일 사이즈의 누설부위에서 방출되는 냉매의 양은 저압 유체 쪽보다 고압 냉매 쪽이 훨씬 높아진다.

R-123은 대부분의 평가기준을 총체적으로 볼 때, 대체 이전의 R-11 냉매보다도 더욱 안전하거나 또는 훨씬 안전하다고 할 수 있다. R-134a는 상용화된 냉매 중에서 독성이 가장 적은 것 중의 하나이다. 모든 냉매는 부적절하게 사용하면 위험을 초래하나, 일상생활 속에서 냉동 시스템을 직업으로 하는 작업자에게 가장 위험한 부분이란 오히려 '직장에 가는 도중, 또는 직장에서 귀가할 때'라고 해도 좋을 것이다. 냉매의 피폭을 받아 사망하는 위험도는 의도적인 오용의 경우를 제외하면 번개에 맞아 사망하는 확률보다 20배나 적다. 이 안전에 대한 성적기록(record)은 현재 자주 사용하게 된 냉매누설 검출기(refrigerant leak detector)의 사용 또는 최신의 안전 표준과 규범을 준수함으로써 더욱 개선될 것이다.

'FUD' 논쟁에서 '독성 테스트 도중에 R-22는 쥐에게 약성 종양을 일으켰다'고 언급한 부분이 있다. 'R-123과 R-134a(단, R-134a는 매우 높은 농도일 때만) 모두 만성적인 피폭 후, 쥐의 수명 후반에 양성 종양(비악성非惡性)의 발생을 증가시켰다'고 하는 것도 'FUD' 논쟁 중의 하나이다. 이러한 논쟁에 대해서는 거듭되는 메카니즘적 연구를 바탕으로 실시한 독성 평가와 여타 테스트 결과에서 전혀 관련이 없는 것으로 확인되었고, 사람을 이상한 위험에 노출시키는 것은 아니라고 결론을 맺었다. '사람을 대상으로 R-134a와 R-227ea를 테스트한 결과, 지원 사망(志願死亡)과 그 소생(蘇生)'이라는 주장은 실제로 일어났던 일을 심하게 왜곡시키고 있다. 나중에 조사한 결과에 따르면 이 반응(reaction)은 테스트의 수행 방법이 원인이 되어 발생한 것이며, 화학 작용에 의한 것은 아니라는 것이 판명되었다. 동물과 사람에 대해 더 높은 농도에서 실시한 복수 테스트(고의가 아닌 피폭)에서도 이 조사 결과가 맞다는 점을 증명하고 있다.

참고문헌 19, 21) 및 22)는 냉매 독성에 대한 더욱 자세한 정보를 제공하고 있다.

가연성(Flammability)

인용된 냉동기용 냉매 중에서 암모니아와 탄화수소를 제외하고는 그 어떤 냉매도 가연성이 없다는 것이 냉매의 안정성을 분류하기 위해 일반적으로 사용하는 테스트를 통해 증명되었다. 암모니아의 가연성은 중간 정도이므로 쉽게 발화(發火)하지 않는다. R-123과 R-236fa는 화재 억제제로서 상업적으로 사용되고 있다.

물을 제외한, 인용된 모든 냉매는 가압된 냉매 중에 압축기의 윤활제인 에어로졸을 포함하고 있으므로 불시의 화재에 대해 주의할 필요가 있다. 이 지적은 특히 가연성이 높거나 또는 화재 억제능력이 낮은 냉매에 해당한다.

미래의 코스트(Future costs)

미래의 냉매 코스트는 한마디로 말해 가격이 높을 필요가 없다는 것이다. 전체의 시스템 코스트 또는 기기 코스트 중에서 냉매 코스트가 차지하는 비중은 적은 편이다. 서비스용 냉매 코스트를 줄이기 위한 전략적인 접근방법은 보충의 필요성을 최소화하는데 있다. 그 해결책으로서 새로운 기기에 대해 공장과 현지에서 누설시험 실시, 예방보전과 서비스 방법 및 기술자의 훈련에 관한 기기 제조사 측의 추천사항을 준수, 누설 지시기(leak indicator)에 대한 신속 대응 등의 방법이 있다. 여기에는 냉매 추가의 필요성과 누설 검출기(leak detector) 사용의 필요성 및 추기 운전시간의 증가를 감시하는 일도 포함된다.

냉동기 전쟁(Chiller Wars)

‘냉동기 전쟁(chiller wars)’이라는 용어는 마케팅 캠페인 또는 ‘FUD’ 캠페인을 일컫는 말로, 1990년대에 냉매와 기기의 선택에서 유래하였다.

모든 냉동기의 적합성(warrant)은 고유의 요소(unique

factors)로 평가되지만, 대부분의 경우에 걸맞은 몇 가지 보편적인 사실이 있다. 다음에 시장에서 신봉하고 있는 몇 가지 ‘FUD’의 반응에 대해 제시해 본다.

(1) 저압 기기는, 그 중에서도 고효율 냉동기용은 낮은(운전) 코스트를 제공한다. 저압 기기는 침입한 공기를 제거하기 위해 추가장치를 필요로 하지만 대기압 이하에서 작동하는 운전(operation)은 냉매의 손실을 줄인다(냉매가 방출되기보다는 공기가 기기로 침입한다). ‘추기(제거된 공기의 배출) 때문에 냉매도 방출된다’고 하는 주장은 다분히 과거에 있었던 회상에 지나지 않는다. 이 논쟁은 현재와 같이 응축 추기 손실이 거의 0(zero)가 되기 이전의 논점, 특히 활성탄 또는 그 밖의 회수장치(recovery canister)를 통해 배출되기 이전의 논점인 것이다.

(2) 고압 냉동기는 꾸준한 개발로 컴팩트화함으로써 설치공간(space)이나 기기반입(access)이 제한된 경우에도 용이하게 대체할 수 있다. 이들 고압 냉동기는 일반적으로 효율이 떨어지므로 운전 코스트는 높아지고 제조 코스트는 낮아진다.

(3) R-22와 R-123 및 R-134a는 모두 수용 가능한 선택이다. R-22 기기는 차기에 은퇴될 기기이지만, 재고의 공급이나 재생 사용 분의 R-22는 금후 수년동안 현재 가동중이거나 새로운 냉동기의 서비스 수요를 충족할 것이다. 사용자가 냉매 부족에 직면하거나 점차로 급등하는 냉매 코스트에 압박을 받는다는 주장은 지나친 과장이다. R-11과 R-12 및 기타 CFCs, 또는 (R-500이나 R-502 등의) CFC를 포함한 혼합품의 경우와 마찬가지로, 관건은 누설을 최소화하도록 시스템의 기밀을 유지하고 서비스 방법을 개선하며, 사용되고 있는 냉매를 포함한 현재의 재고를 어떻게 관리하느냐에 달려있다.

이러한 방법은 모두 냉매에 필수적인 사항인 만큼 초기에 단계적 생산 폐지에 직면하고 있는 냉매만의 문제는 아니다.

(4) R-717(암모니아)도 또한 충분한 고려를 필요로 한다.

이것은 특수 용도로 사용하기에는 훌륭한 냉매이다. 예컨대, 식품이나 식료의 프로세스 등의 공업 프로세스나 냉동 저장, 아이스 스케이트장의 냉동 등이 좋은 예이다. 암모니아는 우발적인 사고로 인한 배출로 공공의 안전성을 위협할 우려가 있는 장소에서 사용하기에는 적합하지 않다.

(5) 흡수 사이클 냉동기는 일반적으로 더욱 대형화·고가화하고 있지만 배기열(排氣熱; wasted heat)이나 저가(低價)의 열(熱) 및 연료를 이용하여 구동할 때는 더욱 낮은 운전 코스트를 제공한다. 흡수 사이클 냉동기는 또한 만일의 중요한 시기에는 전력수요의 피크값을 줄이기 위한 방책이 되기도 한다. 흡수 냉동기의 효율은 이에 해당하는 증기 압축기형 전동 냉동기에 비해 낮으며, 대부분의 장소와 용도에서 더 높거나 훨씬 더 높은 TEWI(전체등가 온난화지수) 또는 LCWI(수명주기온난화지수)를 생성하는 결과를 초래한다.

‘부분적으로 차 있는 컵(a partially filled glass)’을 놓고서도 예전부터 전해오는 곤혹스런 표현이 있다. 철학자는 그것을 ‘반이 차 있다(half full)’ 또는 ‘반이 비어 있다(half empty)’며 논쟁하고, 기술자는 ‘니즈에 비해 컵이 너무 크다(the glass is too big for the need)’고 생각한다. 이러한 반쪽 짜리 진리(half-truths)는 냉매에 대해서도 유사한 반응을 불러일으킬 것이다. 그에 대한 대답은 반은 옳고 반은 그르다는 것이 아니라, 통상적으로 적합한 질문을 하고 있지 않다는 것이다.

미래의 냉동기용 냉매 (Future Chiller Refrigerants)

R-134a, R-407, R-410이나 다른 혼합냉매 또는 R-717(암모니아)을 사용하여 새롭게 설계한 제품은 수 년 내 R-22를 대체해 나가게 될 것이다. R-134a는 계속 사용되면서 15 MW (4,300 톤)을 초과하는 초대용량의 냉동기가 제한된 시장에서 우위를 차지할 것이다.

과도기적 난제는 R-123을 대체하느냐에 있다. 왜냐하면 확인된 모든 R-123의 대체품은 오히려 성능과 안전성을 악화시키기 때문이다^(9,10). 분명한 해결 방법은 R-123을 몬트리올 의정서와 국가 법규로 명시된 단계적 폐지 대상에서 면제하는 것이다. 이와 같은 면제는 냉동기 냉매로서 사용하기 위한 생산에 한정할 수 있을 것이다. 전폐 면제를 위한 과학적인 정당성의 근거는 매우 명확하다. 왜냐하면, 지구온난화를 줄이는 이점(benefit)이 지극히 중요한 이상, R-123이 성층권의 오존층에 미치는 영향은 적어서 식별할 수 없을 정도로 냉매 중에서도 가장 적은 것 중의 하나이기 때문이다.

R-245fa는 다단 압축기를 사용하여 3~15 MW(850~4,300 톤)의 대용량을 만들 수 있을 만큼, R-123 기기의 효율에 근접하는 잠재능력을 지니고 있다. 그러나 냉매로서 상업화는 아직 불확실하다. 예(例)의 사용은 발포제로서 폭넓게 시장에 수용되어 입수 가능한 생산수준에까지 도달할지 여부에 달려있다. 그렇다고 해도 R-245fa는 필연적으로 수반하는 제조 프로세스 때문에 다른 냉매보다 많은 비용이 들 것 같다. 기기 메이커에 대한 결정적인 요소는 장기적으로 그 이용 가능성이 보증되는가의 여부에 달려있다.

계획되어 있는 R-601(n-펜탄; n-pentane)과 R-601a(이소펜탄; isopentane) 또는 그 혼합품의 사용은 매우 위험하다. 이들 탄화수소는 가연성은 높으나 원심식 터보 냉동기에 필요한 충전량으로는 폭발을 일으키기는 어렵다. 그러나 대기압 이하에서 운전하면 공기가 침입할 위험성을 갖게 되므로 압축되었을 폭발을 일으킬 가능성도 있다. 참고문헌 4)와 9)에 예시한 것처럼 안전성 문제 이상으로 탄화수소도 R-717(암모니아)도 모두 냉동기 운전상태에서 R-123의 효율에 호적수가 되지는 못한다.

결론(Conclusions)

냉매 선택에 대해 안고 작금의 불안은 대부분이 부당한 것들이다. 시스템 설계 기술자와 빌딩 소유자 및 냉동기 결정에 관여하는 사람들은 코스트, 성능, 소속 지역 제조자의 지원, 서비스의 옵션, 신뢰성 등에 대해 본래의 전통적인 냉동기 시방으로 복귀해 나가야 한다. 더 나아가서는 더욱 엄격한 환경 규제를 예견하여 냉매 방출을 감소시키면서 효율을 높이는 등의 실용적인 조치를 취해야 한다.

FUD 캠페인은 예전부터 효율이 낮고 또 냉매 누설이 많아 고장이 잦은 기기의 갱신을 지연시켰다. 그 결과 환경을 해치고 코스트를 높이며 냉동기 시장을 경직시키고야 말았다.

이상적(理想的)인 냉매는 없으며 발견될 것 같지도 않다는 점을 거듭 인식한 연후에, 냉동기에 관계하고 있는 모든 사람은 시장 조작에 현혹되기보다는 오히려 과학적인 결정(scientific determination)을 바탕으로 냉매의 허용성(acceptability)을 주장하고 나서야 한다. 이를 그르쳐 업계 내에서 다투기라도 하면 기후변동 문제를 더욱 악화시켜 더 위험한 선택으로 빠져들 것이다. 이와 같은 잘못된 선택은 효율이 저하되고, 그 결과로서 발생하는 높은 에너지 사용을 요구하게 됨으로써 질소퇴적과 같이 급박히 밀려드는 또 다른 문제까지도 더욱 악화시켜버리는 결과를 초래한다.

참고문헌(References)

1) Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer, United Nations (UN), New York, NY, USA, 1987
 2) United Nations Environment Programme (UNEP), *Handbook for the International Treaties for the*

Protection of the Ozone Layer (fifth edition), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 2000

3) *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, United Nations (UN), New York, NY, USA, 1997
 4) J. M. Calm and D. A. Didion, "Trade-Offs in Refrigerant Selections: Past, Present, and Future," *Refrigerants for the 21st Century*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 6-19, 1997; in Japanese (translation by S. Sakaida) in Reito, 73(847):433-444, May 1998; *International Journal of Refrigeration*, 21(4):308-321, June 1998
 5) R. C. Downing, *Fluorocarbon Refrigerants Handbook*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1988
 6) B. A. Nagengast, "A History of Refrigerants," *CFCs: Time of Transition*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 1989
 7) R. Thevenot, *A History of Refrigeration Throughout the World*, International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, 1979
 8) M. O. McLinden and D. A. Didion, "Quest for Alternatives," *ASHRAE Journal*, 29(12):32-36, 38, 40, and 42, December 1987
 9) J. M. Calm, "Emissions and Environmental Impacts from Air-Conditioning and Refrigeration Systems," *Joint IPCC-TEAP Expert Meeting on Limiting the Emissions of HFCs and PFCs* (Petten, The Netherlands, 26-28 May 1999), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, and Technical and Economic Assessment Panel

- (TEAP) of the United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 1999
- 10) J. M. Calm, D. J. Wuebbles, and A. K. Jain, "Impacts on Global Ozone and Climate from Use and Emission of 2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane (HCFC-123)," *Journal of Climatic Change*, 42:439-474, June 1999
 - 11) C. Kroeze and L. Reijnders, "Halocarbons and Global Warming," *Science of the Total Environment*, Part I - 111(1):1-24, Part II - 112(2-3):269- 290, and Part III - 112(2-3):291-314, 1992
 - 12) S. O. Anderson and E. T. Morehouse, "The Ozone Challenge," *ASHRAE Journal*, 39(9):33-36, September 1997
 - 13) D. J. Wuebbles and J. M. Calm, "An Environmental Rationale for Retention of Endangered Chemicals," *Science*, 278(5340):1090-1091, 7 November 1997
 - 14) World Meteorological Organization (WMO), *Scientific Assessment of Ozone Depletion*: 1998, chaired by D. L. Albritton, P. J. Aucamp, G. Megie, and R. T. Watson, report 44, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Geneva, Switzerland; United Nations Environment Program (UNEP), Nairobi, Kenya; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, USA; National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington, DC, USA; and the European Commission, Directorate General XII ?Science, Research and Development, Brussels, Belgium; February 1999
 - 15) P. A. Domanski, D. A. Didion, and J. P. Doyle, "Evaluation of Suction Line - Liquid Line Heat Exchange in the Refrigeration Cycle," *International Journal of Refrigeration*, 17(7):487-493, September 1994
 - 16) P. A. Domanski, "Minimizing Throttling Losses in the Refrigeration Cycle," *Proceedings of the 19th International Congress of Refrigeration*, International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, IVb:766-773, 1995
 - 17) *Inputs for AFEAS/DOE Phase 3 Study of Energy and Global Warming Impacts*, Arlington, VA: Air-Conditioning and Refrigeration Institute (ARI), November 1996
 - 18) Designation and Safety Classification of Refrigerants, ANSI/ASHRAE Standard 34-1997, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, 1997
 - Addenda to Number Designation and Safety Classification of Refrigerants*, Addenda 34a, 34b, 34c, 34d, and 34f, ASHRAE, 1999
 - Addenda to Number Designation and Safety Classification of Refrigerants, Addenda 34h, 34j, and 34k, ASHRAE, 2000
 - 19) J. M. Calm, "Refrigerant, Safety," *ASHRAE Journal*, 36(7):17-26, July 1994
 - 20) *Safety Code for Mechanical Refrigeration*, ANSI/ASHRAE Standard 15-1994, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, August 1994
 - Emergency Interim Standards Action for ANSI/ASHRAE Standard 15-1994*, ASHRAE, May 1998
 - Addendum to Safety Code for Mechanical Refrigeration, ASHRAE, Addendum 15c, 2000
 - 21) J. M. Calm, "The Toxicity of Refrigerants," *Proceedings of the 1996 International Refrigeration*

Conference at Purdue, Purdue University, West Lafayette, IN, 157-162, July 1996

- 22) J. M. Calm, "Toxicity Data to Determine Refrigerant Concentration Limits," report DOE/CE/-23810-110, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI), Arlington, VA, USA, September 2000

J. M. Calm, "Options and Outlook for Chiller Refrigerants," *Proceedings of the Earth Technologies Forum* (Washington, DC, USA, 30 October.-1 November 2000), International Climate Change Partnership and the Alliance for Responsible Atmospheric Policy, Arlington, VA, USA, 239-248, October 2000; translation to Japanese by Koji Yamata published in *Reito*, 76(889):993-1004(63-74), November 2001.

©2000 James M. Calm, Engineering Consultant - reproduced with permission 