

# CFC 규제에 대응한 기술 개발 현황



김 석 준

(열공학연구실장)

- '76. 2 서울 대학교 기계공학과 졸업(학사)
- '85. 2 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사)
- '80. 9-현재 한국기계연구소 선임연구원



김 옥 중

(열공학연구실 선임연구원)

- '83. 2 아주대학교 기계공학과 졸업(학사)
- '85. 2 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사)
- '85. 3-현재 한국기계연구소 선임연구원

## 1. 서 론

현대 사회에 있어서 식품의 생산, 저장 및 저온 유통과 같은 인간의 식생활과 쾌적한 주거 환경을 유지하기 위해서, 더우기 모든 산업 분야에 있어서의 작업 및 생산 환경의 개선과 유지에 냉동 공조 기기의 이용은 필수적이며 날로 사용이 증가하고 있다. 통계에 의하면 1988년 한해동안 국내에서 생산된 냉동 공조 기기는 약 1조5천억원 규모로서 생산 대수는 약 7만대에 이르고 있으며 이들 대부분의 냉동공조 기기류들은 CFC계 냉매를 사용하고 있다.

약 60년전 부터 사용되어 온 CFC계 냉매는 화학적으로 안정하고, 무독성, 불연성 등의 특성과 기기의 고효율화와 관련된 열역학적 장점을 지니고 있어 최근까지 그 이용이 증대되어 왔다. 그러나 1974년 두명의 과학자(Molina & Rowland)에 의해 지구의 오존층 파괴와 지구 온난화의 주범으로서 CFC계 화합물이 지목된 이후 현재 전세계적으로 CFC계 화합물의 사용 규제와 생산 금지 활동이 매우 활발하게 전개되어 2000년까지는 CFC계 냉매의 사용이 완전히 중지될 상황이 되었다. 따라서 이로부터 야기되는 각종의 문제 즉 새로운 대체 냉매의 개발과 관련 이용 기기들의 연구, 개발·활동 등이 세계적으로 뜨거운 쟁점이 되고 있다.

이에 본 고에서는 당면 문제의 제시가 앞으로 해결해야 할 과제가 된다는 생각하에 CFC계 냉매의 사용 규제에 의해 현재 세계적으로 냉동 공조 기기 업체들이 풀어야 할 과제와 문제점들을 알아보고 아울러 선진외국들의 대처 방안들을 조사해 보도록 하겠다.

## 2. CFC계 화합물의 사용규제 현황

지구 오존층 보존을 위한 국제적 기구인 UN 환경계획(United Nations Environment Program)은 1985년 3월 오스트리아의 빈에서 “오존층 보호를 위한 세계 협약”을 마련함으로써 오존층 보존을 위한 국제적 움직임을 시작하였으며 1987년 9월에는 캐나다의 몬트리올에서 오존층 파괴의 주범인 CFC계 화합물의 생산량을 줄이기 위한 국제회의를 열고 유명한 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)를 채택하였다.

이미 잘 알려진 바와 같이 이 의정서에는 90년까지 CFC의 생산량을 86년 수준으로 동결하고, 95년까지는 생산량을 86년의 절반 가량으로 줄이며, 2천년까지는 완전히 생산을 금지해야 한다고 규정하고 있다. 그리고 이에 동조하지 않는 국가에 대해선 무역제재 조치를 취한다는 내용을 담고 있다. 이와 같은 내용의 국제 협약은 1990년 6월의 런던회의에서 더욱 강화되어 늦어도 2040년까지는 몬트리올 의정서에는 빠졌던 HCFC계 까지도 지구상에서 완전히 없앤다는 내용으로 바뀌었다. 이와 함께 그동안 의정서에 반발하여온 중국과 인도의 서명을 받아내는 데도 성공하였다.

미국에서는 1990년 한해동안 약 70여개의 CFC관련 법안이 제정되었으며 마침내 1990년 11월 CFC의 생산 및 사용을 규제하는 공기 정화법(Clean Air Act)이 연방 의회에서 통과 되었다. 그내용은 UN환경계획의 것과 유사하며 그림 1에서 보인바와 같이 CFC의 사용 금지를 오히려 조금 앞당기도록 되어 있다. 가까운 일본의 경우에도 이미 몬트리올 의정서가 발표되자마자 일본 냉동협회의회에서 구체적 대응책의 기본적 사항을 표명하였으며 1988년 5월에는 역시 “특정 물질의 규제 등에 의한 오존층의 보호에 관한 법률”이 공포되어 특정 CFC제조와 배출의 억제 및 사용의 합리화를 꾀하고 있다.

이상의 결과를 종합해 볼때 늦어도 2000년까지는 CFC계 냉매 사용은 전면 금지될 것이 확실하며 이와 함께 1992년 말까지 의정서에의 서명 예정인 우리나라를 비롯한 개발도상국들 또한 세계적인 추세에 따를 수 밖에 없는 실정에 있다고 하겠다.

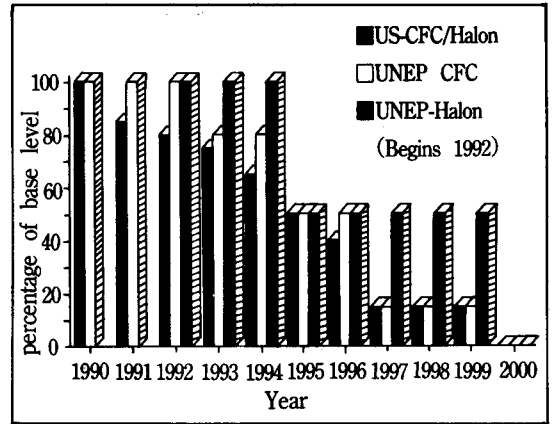


그림 1) UN환경계획과 미국의 CFC 규제 계획 비교

## 3. 대응 방안과 문제점

### 3.1 대체 냉매의 개발 및 이용

규제 대상의 CFC(CFC11, CFC12, CFC113, CFC 114, CFC115)를 대체하기 위한 물질의 개발은 미국, 일본, EC국가들이 주도적으로 수행하여 왔으며 이미 몇가지의 대체품들이 알려져 있다. 즉 CFC11의 대체품으로는 미국의 Dupont, 일본의 Asahi-glass 등이 개발한 HCFC 141b등이 있으며 CFC12의 경우는 HCFC134a와 HCFC152a가 대체품으로 여겨지고 있다. 또한 CFC113은 HCFC132b를 비롯한 몇가지가 대체품으로 거론되고 있다.

이중에서 특히 HCFC134a는 아직 독성 시험이 끝나지 않은 상태이긴 하지만 자동차의 에어컨 등에 사용하고 있는 CFC12의 대체품으로서 세계적으로 각광을 받고 있다. 그러나 HCFC134a는 염소가 포함되지 않았기 때문에 윤활유와 잘 섞이지 않는 문제가 있으며 최근의 실험 결과를 보면 흔히 사용되고 있는 광물성유(mineral oil)가 아닌 에스테르나 글리콜계의 윤활유를 사용해야만 비교할만한 성능을 얻을 수 있으며 아울러 냉동 장치의 개선이 수반되어야 한다.

그리고 비점등의 열물성치가 CFC11과 비슷하여 대체품으로 주목되고 있는 HCFC123은 약간의 독성이 있으며 가격이 매우 비싸 기기의 생산원가를 높이는 문제점이 있다. 그리고 CFC115는 공비

혼합물인 HCFC502에 의한 대체가 거론되고 있으며 오존파괴지수(ODP : Ozone Depletion Potential)가 비교적 낮은 HCFC22 역시 각종의 냉동 공조 기기에 이용하기 위한 노력이 이루어지고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 대체 물질의 개발은 개발 자체도 매우 힘든 작업이며 이를 상용화하기 위해서는 방대한 양의 실험이 병행되어야 한다. 즉 새로운 개발품에 관한 각종의 열물성치들이 규명되어야 하며 열전달 및 유동 등의 특성 또한 알려져야 한다. 나아가서는 팩킹 등 냉동 장치의 부속 기기들과의 상호 관련성이 조사되어야 하므로 새로운 냉매로 인해서 이용 기기들이 전혀 새로운 형태로 개발되어야 할 가능성도 있게 된다.

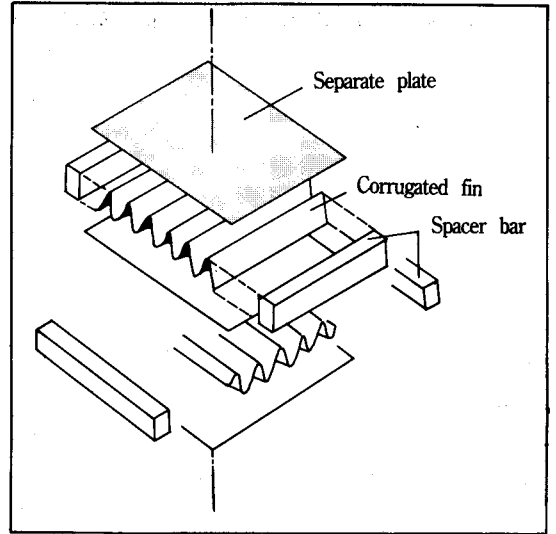


그림 2) 비공비 혼합 냉매용 핀형 열교환기 예

### 3.2 혼합 냉매의 이용

CFC 문제를 해결하기 위한 또하나의 방편으로서 비공비(Non-Azeotropic) 혼합 냉매를 이용하는 기술의 개발이 최근 활발해지고 있다. 앞에서 언급한 HCFC 502와는 달리 작동 유체로서의 비공비 혼합 냉매는 응축하는 동안 온도가 강하하며, 증발하는 동안 온도가 상승하는 특징을 지니고 있어 이때문에 냉동기등의 성능을 향상시킬 수 있으며 부분부하, 단속운전에 의한 손실을 줄여 기기의 신뢰도 및 수명을 늘릴수 있는 장점을 지닌다.

이에 따라 최근 미국에서는 표준국(National Bureau of Standards)을 중심으로 HCFC13b1과 HCFC152a의 혼합냉매를 열펌프 등에 적용하는 연구가 이루어졌으며 혼합 냉매로써 규제 대상인 CFC12를 대체하기 위한 연구 또한 매우 활발하다. 일본의 경우 Moon Light Project하에 슈퍼 열펌프의 개발에는 HCF22와 CFC114의 혼합 냉매를 비롯한 몇가지의 혼합 냉매가 선택되어 이용되고 있다. 그러나 기존의 장치에 작동 유체만을 단순히 혼합 냉매로 바꾸는 것은 대체 냉매의 경우와 같은 몇가지 문제점이 있는 것으로 알려져 있다. 즉 혼합 비율에 따른 열물성치 규명과 각종의 열전달 및 유동 특성에 관한 자료가 요구되며 열교환기 등의 장치의 일부분에 대한 수정과 개선이 필요하다.

예를 들면 그림2에 보인 바와 같이 핀형 열교환기의 경우 반드시 대향류(counter flow)형이어야 하며 단위 체적당 보다 많은 열교환 면적을 가지고 부하에 따른 응답성이 좋은 열교환기의 개발 등이 요구되는 것이다.

### 3.3 비 CFC계의 이용

앞절에서 언급한 바와 같이 즉 기존의 증기 압축식 사이클을 이용한 냉동 공조기기의 형태를 유지하면서 당면한 과제를 해결하려는 노력의에 아예 CFC를 사용하지 않고 같은 효과를 얻으려는 기술의 개발이 또한 거론되고 있다. 그 중에서 특히 흡수식 사이클을 사용하는 방법은 이미 오래전부터 상용화된 것으로서 CFC를 사용하는 압축식에 비해 제작이 용이하고, 운전 비용이 적게 들며 폐열을 직접적으로 이용할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 소형화가 곤란하고 압축식과는 달리 쉽게 저온을 얻을 수 없는 등 사용상의 제한이 많아 CFC문제를 근본적으로 해결하는 데는 한계가 있다. 또하나의 노력으로는 Stirling 및 Brayton 등의 열역학적 사이클을 응용하는 냉동 기술의 개발을 들 수 있다.

현재 선진 외국에서 시제품의 생산 단계에 있는 본 기술은 CFC를 전혀 사용하지 않고, 고효율로

운전되며 구동 열원을 매우 다양화 할 수 있는 장점이 있으나 통상 100기압 이상의 고압이 요구되어 상용화하기에는 좀 더 많은 시일이 필요할 실정에 있다. 이 밖에도 부탄을 CFC 대신 사용하여 냉동에 성공한 예나 Joule-Thomson 효과를 이용한 냉동 기술의 개발 등은 CFC 문제를 해결하기 위한 하나의 방편으로 생각되고 있다.

#### 4. 결 론

이상에서 현재 세계적으로 뜨거운 관심을 모으고 있는 CFC 규제 문제와 이에 따라 지금까지 제시된 각종의 대응 방안들에 대하여 알아 보았다.

이 외에도 CFC의 회수 및 재생 기술, CFC 파괴 기술 등의 부수적인 사항들이 있으나 냉동 공조 기기와 직접적인 관련이 없는 관계로 언급하지 않았다. 글의 서두에서 밝혔듯이 이상에서 언급된 문제 및 방안들이 곧 앞으로 해결해야 하는 과제가 되는 것이다. 국내에서는 약간 늦은 감은 있으나 1990년 8월에 CFC 대체 기술 사업단(KAITECH), 같은 해 10월 CFC 대체 기술 센터(KIST) 등이 조직되어 당면한 과제를 해결하기 위한 노력을 기울이고 있다.

또한 가전 3사를 비롯한 냉동 공조 기기 제작 업체 및 냉매 제조 업체와 협동으로 문제를 세분화하여 해결책을 강구하고 있다. 그러나 대 국민 홍보가 매우 미흡하여 연구의 시급성과 중요성에 대한 범국민적인 공감대가 형성되지 않은 형편에

있다. 이를 타개하기 위하여는 국가적인 차원의 집중적인 지원이 요구되며 이미 조직된 단체를 중심으로 국내외의 관련 연구진과 기술진을 효율적으로 활용 및 참여시킬 수 있는 구체적인 방안들이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] Wilson, O.P. and Basu, R.S., Thermodynamic Properties of a New Stratospherically Safe Working Fluid-Refrigerant 134a. ASHRAE J., Feb. 1990.
- [2] Minoru, U. and Teruhiko, M., Roles of Non-Azeotropic Mixtures in a Project Entitled "Super Heat Pump Energy Accumulation System", Proc. of the 1st KSME-JSME Thermal and Fluids Eng. Conference, Vol.1, 1988.
- [3] Terry G.S., Potential Ozone-Safe Refrigerants for Centrifugal Chillers, ASHRAE J., Sep. 1990
- [4] Charles, R.M. and J.E. Cox, P.E., Actions Continue on CFCs, HCFCs, ASHRAE J., Oct., 1990
- [5] J.E. Cox, P. E. and Charles, R. M., UNEP Formulates CFC Options, ASHRAE J., Feb. 1990.
- [6] Greg, W. S., Malone Refrigeration, ASHRAE J., Nov. 1990.
- [7] Cooper, W. D., The Use of Mixed Refrigerants in Air-to-Air Heat Pumps, ASHRAE Trans., Vol. 88, 1982.
- [8] ASHRAE J., April, May, June, and July 1990.