

# 냉동공조 산업관련 에너지 기술과 환경문제



정 동 수

CFC대체시스템공학연구소

●1959년생.  
●열전달, 열역학을 전공하였으며, 현재는 CFC 대체 응용기술, 이상열전달, 냉동사이클 해석 등에 관심이 있다.

## 1. 머리말

1987년 오존층을 붕괴시키는 염화불화 탄소 물질들(CFCs)의 생산, 무역, 사용을 규제하기 위해 몬트리얼 의정서가 미국, 구주공동체를 포함한 23개국에 의해서 조인된 이후 전 세계적으로 냉동·공조업계는 큰 영향을 받아 왔다.<sup>(1)</sup> CFC들은 그들이 지닌 우수한 열역학적, 화학적 성질들과 높은 안정성 때문에 지난 반세기 동안 냉동공조 분야를 비롯해서 전자제품 세정, 단열재 합성, 각종 에어로솔의 분사기체 용 등 우리의 일상생활과 밀접한 관계를 맺고 있는 여러 분야에서 널리 사용되어져 왔다. 1970년대 중반에 이 CFC들이 대기권에서 분해되지 않은 채 오랜 기간 체류하여 지구의 오존층을 붕괴한다는 사실이 알려지면서부터 지난 10여 년 간 미국을 비롯한 여러 선진국에서 이 CFC를 대체하기 위한 새로운 물질들이 개발되어져 왔다.<sup>(2)</sup> 그러나 대체 물질의 개발과 이들을 사용하는 이용기술의 개발은 내용면에서 완전히 다른 문제이다.

CFC의 대체가 한참 거론되면서 지구 온난화 문제 역시 급속도로 부상되기 시작했다. 이 지구 온난화는 화석연료를 사용하므로 발생하는 이산화탄소가 주원인으로 1992년 6월 브라질의 리오데자네이로에서 사상 최대의 국제 환경회의가 열려서 지구 온난화를 완화시킬 수

있는 방도들이 심의되어 졌다. 한국은 이미 1992년 2월에 몬트리얼 의정서에 조인했고 따라서 현재 CFC 사용의 수출 의존도가 높은 점을 감안해볼 때 이런 환경 규제에 묶여 수출량과 품목이 줄어든다는 것은 한국 경제에 악영향을 끼치게 될 것이다. 따라서 정부, 관련업체들, 대학 그리고 연구소들로 구성된 효과적인 환경문제 전담기관의 설립과 정책의 수립이 절실히 요구되어진다. 긍정적인 면에서 이런 환경규제를 고려해 보면 이런 기회를 통해서 우리 나름대로의 독자적인 이용기술을 개발하여 다른 선진국들과 동등하게 시장경쟁을 할 수 있다는 것이다.

이 보고서는 환경보존과 이에 따르는 이용기술 개발이라는 차원에서 현재 전세계적으로 진행되고 있는 냉동공조산업 관련 대체기술의 개발동향 및 전망에 대해서 기술하려 한다. 새로 개발되거나 사용이 고려되고 있는 CFC 대체 물질들과 가정용 냉장고, 에어컨, 건물용 chiller 등에 적용되는 신기술들을 요약하려 하며 특히 에너지절감 대책들을 소개하려 한다.

## 2. 냉동공조기기들

### 2.1 가정용 냉장고

1930년대에 R12가 개발된 이래 R12는 가정용 냉장고에 압도적으로 사용되어져 왔다. CFC 대체가 거론되면서 일본과 구주공동체는

이미 R134a로써 R12를 대체하려 하고 있다. 그러나 미국은 아직도 어느 냉매로 R12를 대체할 것인가를 확실히 결정하지 못한 상태에 있다. 미국 가전업체들은 일본이나 구주공동체처럼 R134a를 사용하려고 추진중이다. 그러나 R134a의 열효율이 R12에 비해 약 5% 정도 떨어지므로 결국 전력소비량이 증가하게 되고 따라서 발전소에서 발생하는 이산화탄소 양이 증가하므로 지구온난화를 가속시키는 원인이 되므로 미국정부와 환경보존 단체들은 R134a를 적합한 대체물질로 보고 있지 않다.

이런 문제와 더불어 미국 냉장공업계는 에너지성에서 세운 1993년과 1999년의 에너지 표준치를 능가하는 제품을 생산해야만 한다. 다시 말해 냉장고의 전력소비량을 1993년 말까지는 1990년 수준의 75%로 그리고 1999년 말까지는 1990년 수준의 45%로 줄여야만 제품을 판매할 수 있게 된다. 이런 시각에서 보면 비록 R134a는 HFC로써 오존층 붕괴를 일으키지는 않으나 소비전력의 증가를 초래하기 때문에 단기적으로 사용될 수 있을런지 모르나 장기적으로는 부적합한 냉매이다.

R134a와는 대조적으로 R152a는 HFC이고 R12에 비해 열효율이 2~3% 정도 향상되지만 가연성물질이므로 지금까지 대체냉매 고려대상에서 제외되어 왔다. 그러나 R134a가 지닌 근본적인 문제들 때문에 최근들어 미국환경청(EPA)과 각종 환경단체들이 R152a를 가정용 냉장고에 사용해야 한다고 주장하고 있다. 가정용 냉장고는 다른 냉동기기들과는 달리 냉동시스템이 완전히 밀폐되어 있으므로 냉매가 새어나와서 안전에 문제를 끼칠 확률이 거의 없다. 최근의 미국의 Underwriters Lab.과 중공의 한 냉장공업계의 실험결과들 역시 R152a가 냉장고에 사용되었을 때 안전도에 전혀 문제가 없음을 증명해 주고 있다.<sup>(3)</sup> 이런 추세를 감안해서 최근에는 미국의 General Electric 회사에서 처음으로 R152a 사용을 적극 검토하기로 하고 미국환경청의 도움을 받아 R152a와 R134a를 비교하는 성능실험에 착수했다. 이

실험결과는 '92년 10월 경이면 알려질 것이다.<sup>(4)</sup>

향후 약 8년 내에 냉장고 소비전력을 1990년 수준에서 약 50% 정도 감소시켜야 한다는 것은 미국 가전업체에 큰 도전임에 틀림없다. 이 문제를 해결하기 위해 관련업체들과 정부는 다음 세 가지 대책을 갖고 있다.

- ① 새로운 냉동 사이클 개발(20~25% 소비전력 감소)
- ② 새로운 냉장고 캐비넷 개발(30% 소비전력 감소)
- ③ 새로운 냉장고 개스킷 개발(10% 소비전력 감소)

현재 전 세계적으로 생산되는 냉장고들의 냉동사이클에는 단지 하나의 증발기만 사용되고 있다. 그림 1은 기존의 냉장고에 사용되는 냉동사이클을 나타내주고 있다. 대부분의 냉장고들이 냉동실(freezer)과 냉장실(food compart-

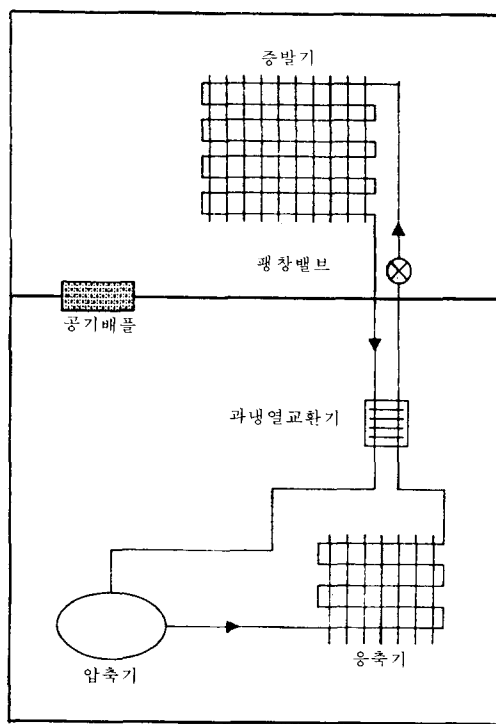


그림 1 표준형 냉장고

ment)로 구성되어 있으며 증발기는 냉동실에 위치해 있다. 냉장실에서 필요한 냉각부하는 냉동실에서 얻어지는 찬공기에 의해서 만족되어지며, 따라서 냉장실의 경우 필연적으로 열역학적인 성적계수(열효율)의 감소가 생기게 된다. 그러므로 열효율 증대를 위해서는 반드시 냉동실과 냉장실의 냉각부하가 두 개의 다른 증발기에 의해서 만족되어야만 한다. 새롭게 부각되는 냉동 사이클들은 모두 두 개의 증발기들을 사용하고 있다.

가장 좋은 사이클은 그림 2에 있는 것처럼 냉동실과 냉장실의 냉동 사이클들이 독립되어 있는 DLC(dual loop cycle)이다. DLC의 경우 이론적으로 약 20~25% 정도의 열효율 증대가 예상된다.<sup>(6)</sup> 이 DLC는 모든 냉동기 부품들이 보통 냉장고와 달리 두 개씩 필요하므로 생산가격이 증가하게 된다. 이 DLC와 비슷한 사이클은 TSCC(two stage compression cycle)로서 여러 형태의 TSCC가 가능하며 그림 3은 그중 한 형태의 TSCC를 보여주고 있다. TSCC 역시 이론적으로 약 20~25% 정도의 효율증대가 예상되어 진다.<sup>(6)</sup>

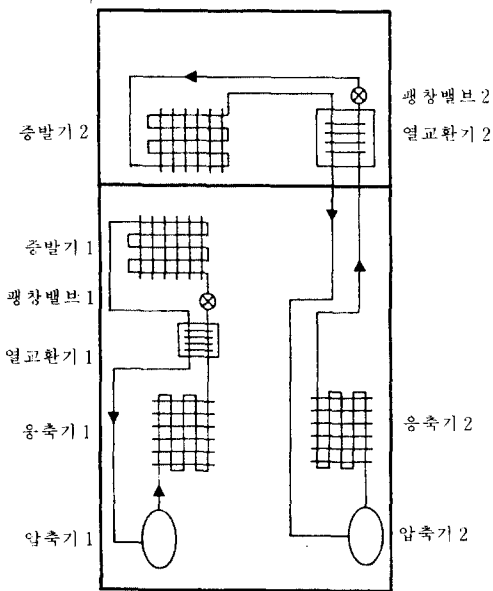
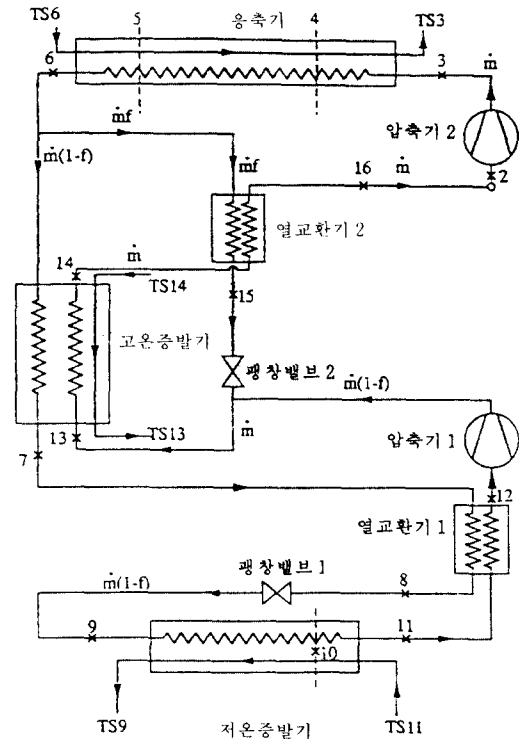


그림 2 Dual loop 냉장고

최근들어 혼합냉매의 사용이 학계 및 업계에서 자주 거론되어지고 있다. 혼합냉매의 가장 큰 장점은 혼합냉매만의 특징인 온도구배를 잘 사용하면 획기적인 열효율의 증대를 이룰 수 있다는 것이다. 냉장고의 경우 온도구배가 큰 혼합냉매를 사용하는 사이클을 LMC(lorenzmeutznner cycle)이라고 하며 그림 4는 LMC를 보여주고 있다. LMC의 경우도 DLC처럼 약 20~25%의 열효율 증대가 예상되어 진다. 그러나 LMC는 DLC나 TSCC와는 달리 증발기만 두 개이지 압축기를 포함한 다른 모든 부품들은 보통 냉장고들처럼 한 개씩이다. 따라서 DLC나 TSCC보다 생산원가가 훨씬 낮을 것으로 보여진다. 미국환경청과 매리랜드 주립대학에서는 지난 3년 동안 LMC 연구를 해왔고 이 LMC를 사용해서 실험적으로 약 17% 정도의



TS: Heat Transfer Fluid Temp.

그림 3 Two stage compression 냉장고 cycle

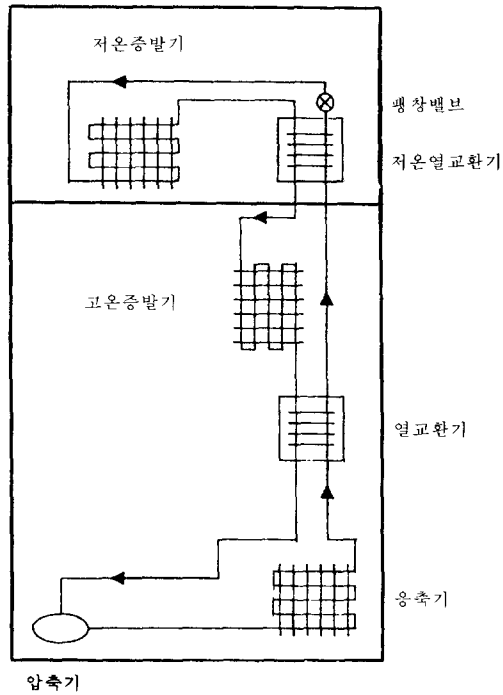


그림 4 Lorentz-Meutzner 냉장고 cycle

효율개선을 이루고 있다. (7,8)

새로운 냉장고 캐비넷 개발은 주로 진공 단열재를 사용하거나 현재 사용하는 단열재의 두께를 증가시키는 방법 모두가 고려되고 있다. 용량이 큰 냉장고는 이미 외형치수가 크므로 진공단열재를 사용해서 외형치수의 변동 없이 소비전력을 줄이려 하고 있고 중소형에 가장 많이 사용되는 냉장고는 단열재 두께를 1.5~2 배 정도 늘여서 생산가격이 크게 오르지 않으면서 소비전력을 줄일 수 있는 방도가 연구되어지고 있다. 진공 단열재의 가장 큰 문제점은 신뢰성과 내구성이다. 냉장고의 경우 최소한 10년 정도는 진공상태가 유지되어야 하는데 이런 고도의 진공기술이 개발되고 실험적으로 인정이 되려면 아직도 많은 시간이 요구되어진다. 그러나 단열재의 두께를 늘이는 것은 지금 우리 기술로 얼마든지 가능하며 따라서 정부와 업체가 이 방안을 모색해서 곧 소비전력의 감소를 이루어야 할 것이다. (3)

## 2.2 가정용 에어컨 및 열펌프

현재 가정용 에어컨 및 열펌프에 사용되는 냉매는 R22로서 염소분자를 포함하고 있는 HCFC이다. 지금의 CFC 대체 추세로 보아서 향후 10~15년 내에 R22의 사용이 금지될 것으로 보여진다. (4,9) 1992년 6월에 미국공조협회 (Air Conditioning and Refrigeration Institute) 와 미국전력공사 (Electric Power Research Institute) 의 주관으로 R22를 대체하기 위한 계획들이 입안되어졌다. (9) 표 1과 표 2는 R22의 대체냉매들과 이 계획에 참가하는 미국, 유럽, 일본의 회사들 명단이다. 표 1에서 주시해야 할 점은 R22의 대체물질로서 순수냉매로는 프로판과 암모니아뿐이며 (R134a는 압축기 크기가 많이 달라지므로 사실상 거의 고려되고 있지 않음), 나머지는 모두 R32를 포함하는 혼합냉매들이다. R12의 대체가 예상했던 것보다 약 5~6년 정도 앞당겨진 것을 감안해볼 때 한국도 R22를 대체하기 위해 R32를 포함한 혼합냉매들의 사용을 지금부터 적극 검토하고 연구를 시작해야 할 것이다.

가정용 에어컨의 연간 판매대수는 약 50만 대 정도이지만 향후 2~3년 내로 연간 100만 대 이상의 수요가 있을 것으로 기대되어진다. 이같이 급작스럽게 늘어나는 에어컨 수요 때문에 최근들어 여름철 전력소모가 증가하여 전력수급에 차질이 일어나고 있다. 따라서 가정용 에어컨의 경우도 에너지 절약이 절실히 요구되

표 1 R22 대체냉매

No.	R22 대체냉매명	조성비
1	R-32/R-125	60/40
2	R-32/R-134a	30/70
3	R-32/R-125/R-134a	10/70/20
4	R-290 (propane)	—
5	R-134a	—
6	R-717 (Ammonia)	—
7	R-32/R-125/R-134a/R-290	20/55/20/5
8	R-32/R-125/R-134a	30/10/60

고 있다. 에너지 절약의 한 방책으로 외국에서 꾸준히 개발해온 것이 속도변환 에어컨(variable speed air conditioner)이다. 주파수를 변화시킬 수 있는 인버터(inverter)를 사용해서 압축기의 회전속도를 변화시킴으로써 냉동용량 조절이 원활하게 된다. 따라서 건물이 요구하는 냉동부하를 한 개의 압축기를 사용해서 모두 만족시킬 수 있게 된다. 이런 속도변환 에어컨은 다음과 같은 이유로 열효율이 향상된다.<sup>(10)</sup>

- ① 냉동사이클이 시작될 때 동력손실이 적음.
- ② 압축기의 회전속도가 계속 조절되므로 on/off가 거의 없이 계속해서 압축기가 작동된다. 따라서 cycling loss가 적음.
- ③ 압축기의 회전속도가 낮은 상태에서 작동하면 압축비가 작아지고 열교환기 부하가 줄어들므로 자연히 냉동기의 성적계수가 향상됨.
- ④ 공기유량 역시 조절될 수 있으므로 Fan Power 역시 감소하게 됨.

최근의 한 연구보고서는 인버터를 사용한 에어컨의 경우 약 20~25% 정도의 소비전력의 감소가 있음을 보여주고 있다.<sup>(11)</sup>

표 2 R22 대체냉매 개발 참여기업

국가 기업	미 국	유럽	일 본
개 발 참 여 기 업	Standard Refrigeration company	Aerzener	Dalkin Industries
	Inter-City Products Corp.	Aspera	Hitachi, Ltd.
	Tecumseh Products Corp.	Bitzer	Kobe Steel, Ltd.
	Carrier Corp.	Bock	Matsushita Electric Industrial Company, Ltd.
	The Tranec Corp.	Grasso	Mayekawa Manufacturing Company, Ltd.
	Lennox International, Inc.	Necchi	Mitsubishi Electric Corporation
	Copeland Corp.	Unidad Hermetica	Mitsubishi Heavy
	York International Corp.	Sabrce	Sanden Corporation
	Snyder General Corp.	Sulzer Bros	Sanyo Electric Company, Ltd.
	Rheem Manufacturing Co.	Zanussi	Toshiba Corporation
Hussmann Corp.			
Dunham-Buch, Inc.			

### 2.3 건물용 Chillers

건물용 Chiller에서는 지금까지 R11이 사용되어져 있고 이를 대체하기 위해 R123과 R141b 등의 새로운 대체냉매들이 개발되어졌다. 그러나 R141b는 가연성 때문에 Chiller에 사용될 가능성은 적고 R123이 환경적 측면과 안전도 면에서 우수하여 R11의 대체 냉매로서 Chiller에 적용되어질 전망이다.<sup>(4,9)</sup> 1991년 6월에 발표된 R123의 예비독성 실험결과가 기대보다 좋지 못해 R123 사용에 부정적인 영향을 미친 것은 사실이나 미국환경청이나 업계, 연구소 등의 의견을 살펴보면 R123은 R22보다 더 독성이 약한 것으로 평가되어지고 있고 제3세대의 대체물질이 개발되기 전까지는 건물용 Chiller의 냉매로 사용될 전망이다.

건물용 Chiller의 경우에도 R123이 R11보다 열효율이 낮기 때문에 R123의 사용과 함께 열효율 개선방안이 강구되어야만 한다. 이 방안들 중 하나가 열교환기의 성능 향상을 위해서 인위적으로 전기장을 도입하는 것으로서 EHD(electrohydrodynamic) 열전달 향상 방법이라 불리워진다. 일본에서는 EHD 열전달 향상방법을 통해서 이미 건물용 Chiller의 증발기, 응축기 등의 열교환효율을 높이고 있고 미국에서도 이 방법이 심각하게 모색되어지고

있다. <sup>(12,13)</sup>

## 2.4 자동차 에어컨

자동차 에어컨에는 통상적으로 R12가 쓰여져 왔고 R12를 대체하기 위해 전 세계의 자동차 생산업체들이 R134a를 사용하려 하고 있다. R134a는 R12에 비해 응축압력이 높고 또 동력사용량이 증가되므로 자동차의 전체적인 열효율 감소를 초래하는 문제점이 있다. 이런 연유로 R134a가 영구적인 해결책이 못 되므로 여러 종류의 냉매들이 다각적으로 검토되고 있다. <sup>(14)</sup> 자동차 에어컨의 경우 어느 냉매를 사용하든지 응축기 압력을 내리는 것이 전체적인 동력소모를 줄이기 위해 필요하므로 고효율 응축기 개발이 시급하리라 보여진다.

또한 금세기 안으로 전기자동차가 등장할 것으로 보여지며 전기자동차의 경우 에어컨을 작동하는데 필요한 전력이 상당히 큰 비중을 차지하게 되므로 속도가변 고효율 밀폐형 압축기의 개발 역시 중요하리라 생각된다. 또한 전기자동차의 경우 자동차 에어컨이 겨울에는 열펌프의 역할을 해야하므로 지금 사용되는 냉방중심의 에어컨형에서 열펌프로 바뀌는 점에 유의하여 기본적인 냉난방 설계를 위한 투자가 조속히 이루어져야 할 것이다.

## 2.5 흡수식 냉·난방기 및 가스엔진구동 열펌프

미국의 경우 상업용 건물의 공기조화를 위해 사용되는 냉방기의 95% 이상이 증기압축식이다. 최근 들어 전기수요가 급증함에 따라 천연가스를 주동력원으로 사용하는 흡수식 냉난방기가 학계나 업계에서 많이 거론되고 있다. 흡수식 냉난방기는 증기압축식과 달리 CFC나 HCFC들을 전혀 사용하지 않고 대신 물이나 암모니아를 사용하므로 오존층 붕괴의 염려가 없다. 그러나 흡수식 냉난방기의 가장 큰 문제는 증기압축식에 비해 열효율이 상당히 낮으므로 결국 지구온난화를 가속시키는 점이다. <sup>(15)</sup> 따라서 미국의 업계나 정부는 흡수식 냉난방이

근본적으로 에너지 환경문제를 해결해 줄 것으로 보지 않으며 현재 가장 많이 사용하는 증기압축식 냉난방기의 효율을 올리는 방도를 강구하는 것이 현명한 것으로 생각하고 있다. 물론 폐열이 있는 곳에서는 흡수식 냉난방이 에너지 회복을 위해 두말할 필요 없이 좋은 방법이다.

한국과 일본은 미국과는 조금 다른 상황에 놓여 있다. 미국은 전기사용료가 한국이나 일본에 비해 훨씬 저렴하기 때문에 전기를 주동력원으로 사용하는 증기압축식이 여전히 선호되지만 한국은 전기에 비해 천연가스의 가격이 상대적으로 저렴하므로 정부에서도 여름의 전력수급을 원활히 하고 에너지수요를 감당하기 위해 흡수식 냉난방기를 권장하고 있다. 그러나 한 가지 확실한 것은 다가오는 세대에서는 에너지 문제가 환경문제에 의해서 제재를 받게 된다는 것이다. 따라서 이런 차원에서 단기적인 방안이 아닌 장기적인 환경에너지 대책이 강구되어야만 한다. 그러므로 흡수식 냉난방기는 증기압축식보다 지구온난화를 더욱 가속화시키므로 조심스럽게 이 부문에 투자해야 할 것이다.

가스엔진구동 열펌프의 가장 큰 특징은 전기구동 열펌프에 비해 약 25~30% 정도 열효율이 높다는 것이다. 냉방시에는 엔진구동 속도를 조절함으로써 인버터형 에어컨과 비슷한 효과를 얻을 수 있고 난방시에는 엔진에서 나오는 폐열을 사용하므로 열교환기의 서리 제거가 필요없고 열효율이 증대되며 추운지방에서도 난방능력이 크므로 전기구동 열펌프보다 훨씬 효율적이다. <sup>(16)</sup> 이런 장점들을 살리면 엔진구동 열펌프는 가정용이나 중소형 건물의 냉난방에 큰 역할을 할 수 있을 것이다.

## 3. 맺음말

전 세계적 환경문제로 말미암아 에너지 사용기술에 대한 관심도가 점점 높아지고 있다. 한국도 다른 선진국들과 마찬가지로 거의 같은 시각에 경쟁하고 있으므로 이번 기회를 잘 살

리면 냉동공조업계에 큰 기술혁신과 자력기술 개발이 이루어지며 궁극적으로 한국경제가 다시 한번 도약할 수 있는 계기가 될 것이다. 정부의 장기적, 체계적인 환경에너지 정책의 바탕 아래 기업체의 과감한 투자, 연구소, 대학들의 창의적인 연구를 통해서 환경을 보전하는 에너지 사용기술이 이 땅에도 정착될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- (1) UNEP, 1987, Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer.
- (2) Molina, M.J. and Rowland, F.S., 1974, "Stratospheric Sink for Chlorofluor-methanes: Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone," Nature, Vol. 249, pp. 810~812.
- (3) Hoffman, J., 1991, Private Communication, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- (4) Kopko, W., 1992, Private Communication, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- (5) Bare, J.C., Gage, C.L., Radermacher, R. and Jung, D., 1991, "Simulation of Non-azeotropic Refrigerant Mixtures for Use in a Dual Circuit Refrigerator Freezer with Countercurrent Heat Exchangers," ASHRAE Trans. Vol. 97.
- (6) Jung, D. and Radermacher, R., 1991, "Two Stage Compression Cycles for Refrigerators," Report to Whirlpool Corp.
- (7) Jung D. and Radermacher, R., 1991, "Performance Simulation of a Two-Evaporator Refrigerator-Freezer Charged with Pure and Mixed Refrigerants," Int. J. Refrigeration, Vol. 14, pp. 254~263.
- (8) Rose, R., Jung, D. and Radermacher, R., 1992, "Testing of Domestic Two-Evaporator Refrigerators with Zeotropic Refrigerant Mixtures," ASHRAE Trans.
- (9) Didion, D.A., 1992, Private Communication, US National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- (10) Ida, K., Yamamoto, T., Kuroda, T. and Hibi, H., 1982, "Development of an Energy Saving Oriented Variable Capacity System Heat Pump," ASHARE Trans., Vol. 88, pp. 441~450.
- (11) Bahel, V. and Zubair, S.M., 1987, "An Assesment of Inverter Driven Variable Speed Air Conditioners: Sample Performance Comparison with a Conventional System," ASHRAE Trans., Vol. 95.
- (12) Ohadi, M.M., 1991, "Electrohydrodynamic Enhancement of Heat Transfer in Heat Exchangers," ASHRAE J.
- (13) Yabe, A. and Maki, H., 1988, "Augmentation of Convective and Boiling Heattransfer by Appying an Electro-Hydrodynamical Liquid Jet," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 31, pp. 407~417.
- (14) Varone, A., 1991, "Evaluation of Alternative Working Fluids for Automotive Air Conditioning," 2nd CFC and Halon Conference, Baltimore, MD.
- (15) Minor, B.H., Bivens, D.B., Shelton, S.V. and Ivester, D., "Space Conditioning Comparison: Vapor Compression Versus Lithium Bromide Absorption," XVIIIth Int. Congress of Refrigeration, Paper No. 64, Montreal, Canada.
- (16) Wurm, J. and Kinast, K.A., 1987, "History and Status of Engine-Driven Heat Pump Developments in the US," ASHRAE Trans., Vol. 93, pp. 997~1005. 