

# CFC 대체용 가정용 냉장고 개발동향

## Trends in Development of Domestic Refrigerator for CFC Alternatives

윤 재 호  
J. H. Yun

생산기술연구원 기계기술 실용화센터



- 1955 년 생
- 대체냉매 냉장고 설계 및 제작기술
- 압축식사이클 이용기기 설계기술

### 1. 서 론

1930년 Midgley에 의해 프레온(Freon : 미국 Dupont사 Brand명)이 발명된 이래 여러 종류의 CFC(Chloro Fluoro Carbon : 염화불화탄소)가 개발되어 산업 전반에 걸쳐 사용되어 왔다.

이 CFC는 한마디로 완전한 화합물이라 할 수 있어, 독성이 없고 가연성·폭발성도 없다. 또한, 열의 흡수 및 방출에도 뛰어난 성능을 갖고 있다. 그러나 화학적으로 너무 안정된 나머지 대기중에 방출된 CFC는 대류권에서는 거의 분해되지 않고 그대로 성층권(지상 20-40km)에 도달하며, 그곳에서 단파장의 자외선에 의해 분해되어 염소를 방출한다. 이 염소가 성층권중의 오존을 연쇄적으로 파괴하므로 결과적으로는 지표에 도달하는 유해한 자외선의 양이 증가하여 피부암의 발생률이 증가하며, 생태계에서도 중대한 영향을 끼칠 우려가 있다.

이상과 같은 지구 규모적 환경문제의 특징은 국제적 사회 시스템과 깊은 관계를 갖고 발생하고 있으며, 또한 인류 전체의 생활, 산업 그리고 이들을 떠받들고 있는 지구환경을 뿌리채 흔들어 놓을 수 있는 가능성을 갖고 있다는 데에 그 심각성이 있으며, 이와 관련하여 지금까지 많은

연구가 진행되어 왔다.<sup>(1~7)</sup> 이같은 심각성을 인식하고 세계 여러나라들은 오존층 보호를 위해 1985년 3월 비엔나조약을 체결하였으며, 또한 1987년 9월에 오존층 파괴물질에 관한 몬트리올 의정서를 채택하였다. 뒤이어 1989년 7월부터 몬트리올 의정서를 근거로 CFC 물질의 생산 및 소비에 대한 규제가 시작되었으며, 1990년 6월에 열린 런던회의에서는 규제 품목의 추가 및 규제강화가 합의된 바 있다. 이러한 상황에서 우리나라도 1992년 2월말 몬트리올 의정서에 가입서를 기탁하였으며, 국내 냉장고 생산액이 7,500억원 규모(1990년도)인 점을 감안해 볼 때 관련산업 및 국민경제에 미치는 영향을 극소화하기 위한 대책마련이 시급한 실정이다.

본 고에서는 CFC 사용의문제점 및 규제에 따른 영향, 대체물질의 선정, 대체물질 이용 냉장고 개발 관련기술 및 CFC 대체 냉장고 개발 방향에 대해 기술해 보고자 한다.

### 2. CFC 사용의문제점 및 규제에 따른 영향

#### 2.1 CFC에 의한 오존층 파괴

지구 성층권에서의 오존층파괴 문제는 1974년

6월 미국 캘리포니아대학의 F.S.Rowland 교수와 M.J.Molina 교수에 의해 CFC 및 Halon 가스가 성층권의 오존층을 파괴한다는 논문을 Nature 지에 발표하면서 UNEP(UN환경계획)을 중심으로 전세계적인 대응이 실행되어 왔다.<sup>(8)</sup> 우선, CFC의 사용이 문제가 되는 이유를 알아보기 위해서 오존층 파괴 메카니즘을 간단히 살펴보면,

- ① 지상에서 방출된 CFC의 대부분은 대류권에서 분해되지 않고 성층권에 도달하게 되며,
- ② 성층권에 도달된 CFC는 태양으로부터의 강한 자외선에 의해 광분해되어 염소를 방출하고,
- ③ 이 염소는 오존(O<sub>3</sub>)과 반응하여 오존이 파괴된다.
- ④ 또한, 촉매반응에 의해 염소가 다시 분리되어 또 다른 오존과 반응하게 되며, 따라서 하나의 염소원자는 수천개의 오존분자를 파괴할 수 있게 된다.

이상의 메카니즘은 Rowland 교수등이 제창한 반응모델이며, 이것을 증명하는 항공관측이 이루어져 1985년 영국의 학자들은 남극대륙 위에서 오존 농도가 매우 감소했다는 측정결과를 발표하기에 이르렀다. 남극대륙의 오존 Hole은 매년 봄마다 남극에서 나타났으며 점점 더 커지고 깊어졌다. 특히, 최근의 관측에 의하면 오존층 파괴는 당초의 예상을 훨씬 상회하고 있음이 밝혀졌다. 이러한 메카니즘에 의해 성층권에서의 오존층이 파괴되면 지금까지 오존층에서 흡수되었던 유해한 자외선이 지표면에 보다 많이 도달되게 된다. 그 결과

- ① 건강면에서는 피부암, 피부노화, 백내장 등을 유발하고,
- ② 식물의 광합성 과정에서 성장에 좋지 않은 영향을 끼쳐 농산물의 수확량을 감소시키며,
- ③ 해양 동식물 플랑크톤의 생식기간 감소로 이들을 먹이의 기본으로 하는 어류와 패류의 생산이 격감하게 되고,
- ④ 직접 지표에 도달된 자외선은 건축물의 페인트, 포장재 및 중합체의 품질을 저하시키는 등의 악영향을 발생하게 된다.

## 2.2 CFC에 의한 지구 온난화

CFC문제라고 하면, 지금까지는 오존층 파괴 문제가 주로 부각되어 왔으나 또하나의 문제는 온실 효과에 의한 지구 온난화 현상이다. 여기서 온실효과라는 것은 우주공간에 향해 나가는 열(적외선)을 대기중의 물질이 흡수한 후 다시 그 열을 지표에 향하여 발산하여 지구를 따뜻하게 하는 효과를 말한다. 적절한 온실효과는 지표의 보온에 매우 중요하나 이 효과가 너무 작으면 지구는 과냉 상태로 되며, 역으로 너무 많으면 과온 상태로 되어 생태계에서 나쁜 영향을 주게 된다. 현재 지구는 서서히 온난화되어 가고 있다.

이러한 지구 온난화의 최대 요인은 석탄, 석유, 천연가스등의 연소에 의해 방출되는 이산화탄소이다. 산업활동의 고도화와 인류문명의 발전에 기인한 이들 화석연료의 소비는 매년 증가하고 있으며, 이산화탄소 발생량은 2030년에는 산업혁명 이전의 2배가 될 것으로 예상된다. 온실효과를 일으키는 요인으로서 이산화탄소 이외의 미량가스, 즉 메탄, 산화질소(아산화질소), 프레온등의 영향도 무시할 수 없는 것이 최근 지적되고 있다. 특히, 프레온은 이산화탄소와 비교해서 수천~만배 적외선 흡수 능력을 갖는다고 알려져 있다.<sup>(9)</sup>

지구 온난화에 의한 피해를 보면 2030년에는 지구의 기온은 1.5~4.5°C 상승하고, 해면은 20~140cm 상승하는 것으로 예측된다. 이러한 기온의 상승은 여러가지 지구 물리화적인 변화를 동반한다. 세계보건기구(WHO)와 기후변동에 관한 정부간 Panel(IPCC)의 제2부(환경, 사회, 경제적 영향)에서는 온난화에 의한 남극 및 북극의 해빙과 해수의 팽창에 의한 해면의 상승과 홍수, 침수피해, 강력한 폭풍우의 다발, 습지대와 건조지대의 교체, 말라리아 및 콜레라등의 전염병 유행 그리고 이와 관련된 농약오염, 열파에 의한 죽음의 증가 및 에너지 산업에의 악영향등의 피해가 예상된다고 지적하고, 그 피해는 전 세계로 미치게 되어 환경난민이 수천만인이 발생할 것으로 보고 있다.

현재 이들 가스의 연간 증가율은 이산화탄소 0.5%, 산화질소 0.25%, 메탄 1%이나, 프레온은

3%이다. 이러한 점에서도 프레온의 규제는 필수 불가결하다고 하겠다. 또한 대체냉매를 사용하는 냉동 시스템에서 기존설비보다 성능저하가 있는 경우 에너지 소비를 증가시키게 되어, 결과적으로는 이산화탄소 배출이 증가한다. 따라서, 지구온난화 효과를 평가할 때 낮은 GWP를 갖는 대체냉매에 의한 효과와 성능저하에 따른 이산화탄소 배출량 증가로 인한 효과를 동시에 고려해야 할 것이다. 표 2.1은 프레온 가스에 대한 오존파괴지수 및 지구 온난화지수를 나타낸다.

### 2.3 사용규제에 따른 국내 산업에의 영향

이미 발표된 바와 같이 1987년 몬트리올 의정서가 채택한 규제물질로는 CFC-11, 12, 113, 114, 115의 5종(Group)과 Halon-1211, 1301, 2402의 3종(Group II)이고 1990년 6월 런던회의에서는 그 규제내용이 강화됨과 아울러 Group III, IV, V 도 추가 규제물질로 결정되었다.

따라서, 1992년도에 우리나라가 몬트리올의정서에 가입함에 따라 1인당 사용량도량이 연간 0.5kg 이하로 제한되므로 우리나라 국내 산업에 있어서 규제물질 수급에 큰 차질이 예상된다.

표 2.1 프레온 가스에 대한 ODP 및 GWP<sup>(9)</sup>

Chemical	Ozone* Depletion Potential	Global** Warming Potential	Estimated Atmospheric Life (years)
Chlorofluorocarbons			
CFC-11	1.00	1.0	59
CFC-12	0.93	2.9	122
CFC-113	0.83	1.5	98
CFC-114	0.71	5.0	244
CFC-115	0.38	10.6	539
Hydrochlorofluorocarbons			
HCFC-22	0.05	0.4	18
HCFC-123	0.02	0.02	2
Hydrofluorocarbons			
HFC-134a	0	0.3	18
HFC-152a	0	0.04	2
Combustion Product			
Carbon dioxide	0	0.0008	230

\* ODP : Ozone Depletion Potential - CFC-11의 값을 1.0으로 한 상대치

\*\* GWO : Global Warming Potential - CFC-11의 값을 1.0으로 한 상대치

표 2.2 의정서 가입시 규제물질 수급전망

항 목	1992 년	1995 년	1997 년	2000 년
국 내 수 요	38,653	66,392	96,654	144,981
사 용 한 도 량	20,600	10,300	6,000	0
부 족 량	18,053	56,092	90,654	144,981
(%)	(47)	(84)	(94)	(100)

표 2.3 규제물질 사용업체 현황

품 명	용 도	사 용 업 체 수	비 고
CFC-11	발포제, 냉동기	390 개사	소화제로 쓰이는
CFC-12	냉장고, 에어컨	750 개사	Halon-121, 1301, 2402는
CFC-113	세척용	200 개사	200여개사에서 사용
CFC-114	분사제, 발포제	30 개사	
CFC-115	냉매		

표 2.2는 우리나라가 몬트리올의정서에 가입할 경우의 규제물질 수급 전망을 나타내며, 표 2.3은 국내에서의 사용업체 현황을 보여준다.

표에서 보듯이 현재 가정용 냉장고용 냉매로 사용되고 있는 것은 CFC-12로서 국내에서 이를 사용하여 생산되고 있는 냉장고는 7,500억원에 달한다. 따라서, CFC-12가 규제물질로 규정된 이상 이에대한 대응책으로서 대체할 수 있는 적정냉매의 선정과 더불어 이를 사용하는 대체 냉매용 냉장고 개발이 시급한 문제로 대두된다.

### 3. 가정용 냉장고 관련 CFC 대체냉매 선정

#### 3.1 프레온의 일반적 특징

일반적으로 사용되고 있는 프레온은 메탄계와 에탄계의 프레온족이다. 이들은 탄소원자 이외에 수소, 염소, 불소원자로 구성되어 있다. 프레온을 구성하고 있는 원자들은 고유의 물성을 갖고 있어 각 원자의 수에 따라 어느정도 프레온 가스의 특성이 결정된다. 즉, 수소원자가 많을수록 가연성이 강하게 되고, 염소원자는 독성이 강해지며, 불소원자는 화학적 안정성이 증대되는 등의 성질을 갖는다. 그림 3.1과 3.2는 각각 프레온족과 에탄계 프레온족의 특성 경향도를 나타낸다.<sup>(10)</sup>

#### 3.2 대체냉매 선정기준 및 방법

보통 프레온의 대체품이라고 하면 프레온이 아닌것으로 프레온과 같은 역할을 하는 물질로 받아들일지 모르나, 실제로 프레온이 갖고 있는 특별한 성질을 프레온 이외의 물질로 대체시키

는 것은 매우 곤란하다. 따라서, 현재의 대체물질 개발은 프레온중에서 성층권의 오존층 파괴 우려가 적은 것을 찾아내고 이를 대량 생산하여 실용화하는 것이 목표로 되고 있으며, 이들은 단일냉매와 혼합냉매를 포함한다.

우선 냉매를 선정할 때 갖추어야 할 열역학적, 물리화학적 성질들을 살펴보면 표 3.1과 같다. 특히, 최근의 지구 규모적 환경문제와 관련된 ODP와 GWP의 값은 대체냉매를 선정하는 중요한 지표가 된다. 그림 3.3은 각종 프레온의 ODP 및 GWP의 값들을 나타내고 있으며, 어느것이나 CFC-11에 대한 상대치로 되어 있다.

이상을 종합해 볼 때 공조·냉동용 대체냉매 물질로는 HCFC-123, HFC-134a가 주요 후보이며 가정용 냉장고용 냉매인 CFC-12의 대체물질로 유력시 된 HFC-134a는 미국의 Dupont사, Allied Signal사, 영국의 ICI사, 프랑스의 Atochem사 및 일본의 Daikin, Asahi Glass사 등이 오래전부터 연구개발에 착수하여 현재는 양산체제를 갖추기 위한 노력을 계속하고 있다. 그 밖에 기존의 프레온으로 HCFC-22, HCFC-142b, HFC-152a와 신규 프레온인 HCFC-124, HFC-125가 이용 가능한 대체냉매로 볼 수가 있다. 여기서 HCFC-142b와 HFC-152a는 가연성 물질로 판단되나, 안전한 취급관리 및 다른 비가연성 화합물과 혼합하여 사용하는 등의 방법으로 가연성의 문제는 해결할 수가 있다.

#### 3.3 대체냉매로서 혼합냉매의 이용

보통 냉동기에서는 순수 단일 냉매나 공비혼합 냉매(Azeotropic refrigerant mixture : 순수냉매처럼 거동 (예) R500, R502등)를 사용한다.

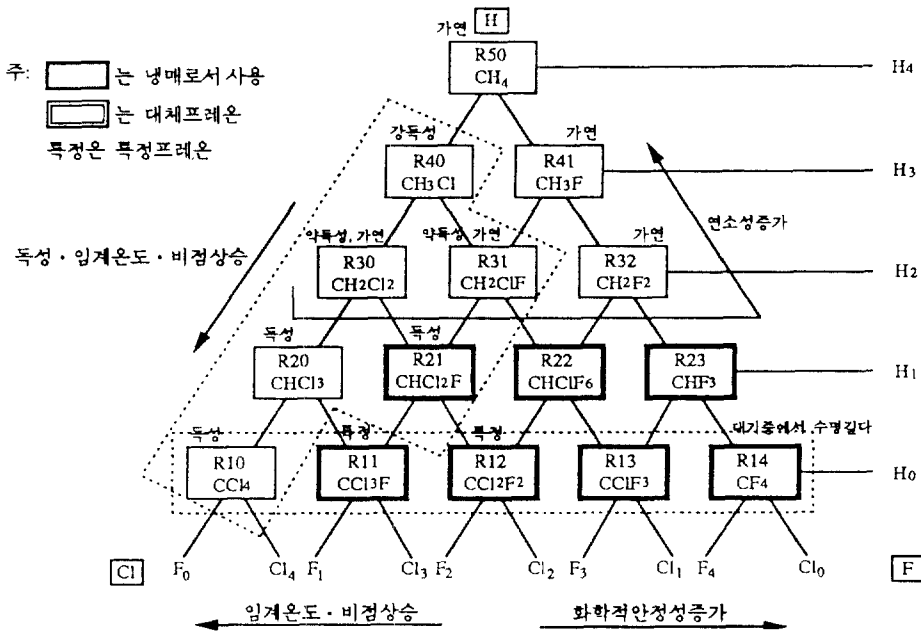


그림3.1 메탄계 프레온족의 특성경향도

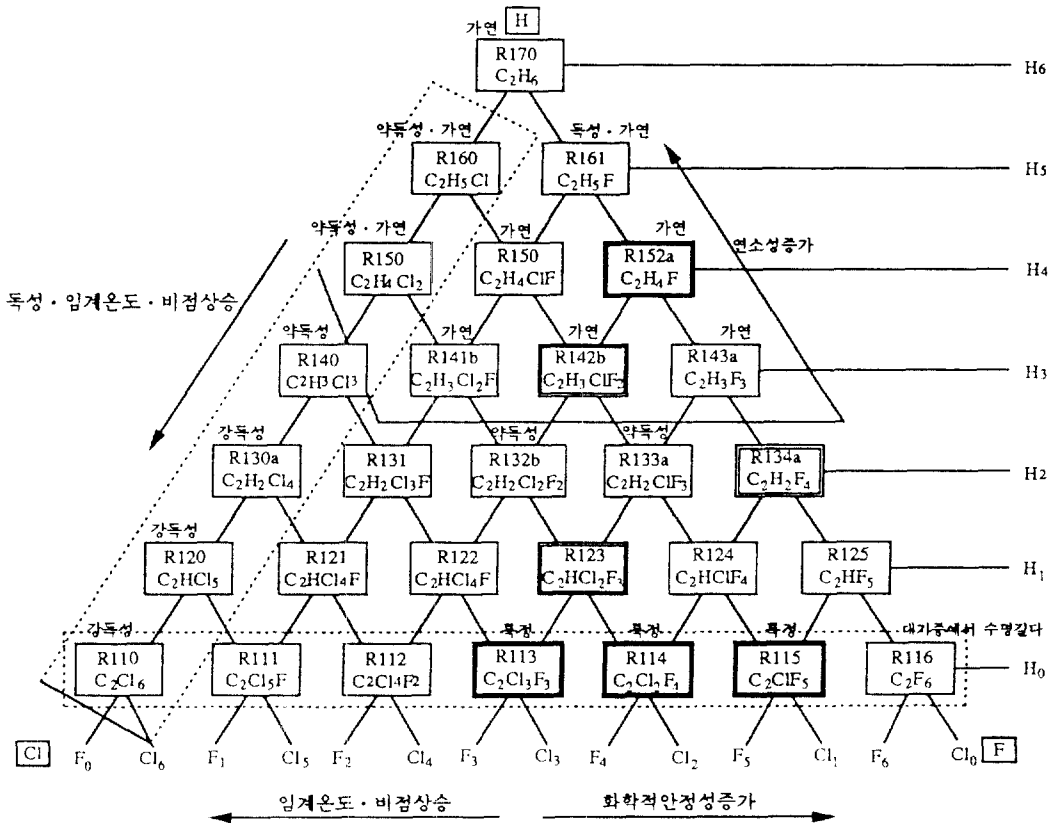


그림3.2 에탄계 프레온족의 특성경향도

표 3.1 냉매의 기본적 조건<sup>(11)</sup>

Item	Contents
Chemical	Stable and inert
Health, Safety and Environmental	Nontoxic Nonflammable Does not degrade the atmosphere
Thermal (Thermodynamic and Transport)	Critical point and boiling point temperatures appropriate for the application Low vapor heat capacity Low viscosity High thermal conductivity
Miscellaneous	Satisfactory oil solubility High dielectric strength of vapor Low freezing point Reasonable containment materials Easy leak detection Low cost

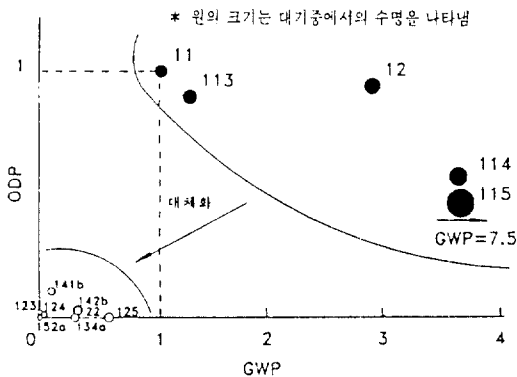


그림 3.3 각종 프레온의 ODP와 GWP

이와같이 공비혼합 냉매를 사용하는 이유는

- 1) 응축압력을 감소시키거나
- 2) 압축비를 줄이기 위해서
- 3) 냉매의 오일 용해성을 높이거나
- 4) 체적당 열용량을 증가시키기 위함이다.

또한, 냉매로서 비공비혼합냉매(Non-azeotropic refrigerant mixtures : NARMs)를 사용할 수 있으며, 다음의 2가지 큰 잇점이 있다.<sup>(12)</sup> 첫째, 단일냉매를 사용하면, 응축과 증발과정 모두 등온하에서 일어나, 비공비혼합냉매를 사용

하면 응축과정에서는 온도가 감소하고, 증발과정에서는 온도가 증가하게 된다. 따라서 증발부에서는 증발을 시작하는 점보다 증발을 마치는 점에서의 온도가 높아지며, 응축부에서는 응축을 시작하는 점보다 응축을 마치는 점에서 온도가 낮아지게 된다. 이러한 특성은 열교환기에서 열원유체와 열흡수 유체와의 평균온도차를 줄임으로서 열교환기에서의 비가역성을 줄여 전체 시스템의 성능개선을 가능하게 한다. 둘째, 외기 온도변화에 따른 부하 변동에 맞도록 순환하는 냉매조성을 변경시켜 시스템의 용량을 변환시킬 수 있다. 즉, 체적용량이 다른 냉매를 혼합하였기 때문에 성분비의 변화를 주면, 다양한 체적 용량을 지닌 혼합냉매의 성질을 얻을 수 있으므로 이러한 특성을 이용하여, 적절한 용량조절을 하여 운전할 수 있게 된다. 위에 적은 잇점 외에도 대부분의 혼합냉매는 현재 사용되고 있는 냉동시스템에 대한 큰 변경없이 성능을 만족시킬 수 있다는 장점이 있다. 혼합냉매에는 2성분계 혼합물(Binary Blend) 이외에서 3성분계 혼합물(Ternary Blend)의 사용이 검토되고 있다.

현재 가정용 냉장고에 사용되고 있는 냉매인 R12를 대체할 수 있는 혼합 냉매로는 2성분계 혼합물인 HCFC-22/HCFC-142b와 HCFC-22/HFC-152a 및 3성분계 혼합물인 HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124가 있다.

이러한 혼합물을 선정할 때 가장먼저 고려해야 할 점은 기존의 압축기를 사용하여도 CFC12를 사용할 때와 같은 정도의 냉동부하를 견딜 수 있어야 하며, 대등한 성적계수(COP : Coefficient of Performance)를 가져야 하는 것이다. 따라서, 위에서 열거한 냉매의 선정 및 각각의 분율은 냉매 단위체적당의 열량(VCR : Volumetric Capacity for Refrigeration)이 같도록 정하고, 또한 주어진 조건하에서 그들 각각의 냉매 조합들에 대한 사이클 시뮬레이션(Cycle Simulation)을 수행하여 성능비교를 한 후 결정하게 된다. 그림3.4~3.7은 각각 R22/R142b, R22/R152a 그리고 Ternary Blend(R22/R152a/R124)가 R12와 같은 VCR을 갖도록 하는 성분비를 얻기 위하여 각 냉매의 성분비(wt. %) 변화에 따른 VCR과 COP의 변화를 계산한 결과를 나타낸다. R22/R142b의 경우 그림3.4에서 보듯이 R22의 성분비가 0.54정도일 때 R12의 체적 용량과 같은 값을 가지며 그 때의 COP는 R12 사용시보다 약 6.3% 증가하였다. 그리고 R22/R152a의 경우 R22의 성분비가 0.164일 때 R12의 체적 용량과 같게 되고 그 때의 COP가 R12를 사용할 때보다 7% 증가함을 그림3.5로부터 알 수 있다.

Ternary Blend(R22/R152a/R124)에서도 마찬가지로 VCR을 R12의 값과 유사하도록 성분비를 결정해야 하지만, Ternary Blend의 경우 성분비의 변화 폭이 매우 넓기 때문에 R12와 같은 VCR값을 갖는 경우가 많을 수 있다. 따라서 부가적인 선택기준이 필요하며 그 기준은 가연성 냉매인 R152a의 함량 제한과 적정 COP값의 측면에서 정할 수 있다.

Ternary Blend의 구성 성분중 R152a는 가연성이 있으므로 그림3.7에서 보듯이 R152a의 성분비 증가에는 한계가 있으며, 결정된 성분비에서의 COP가 R12의 COP보다 작아서는 안된다는 원칙을 두게되면 성분비 선택의 폭은 좁아진다. 그림3.6과 3.7에는 성분비 변화에 따른

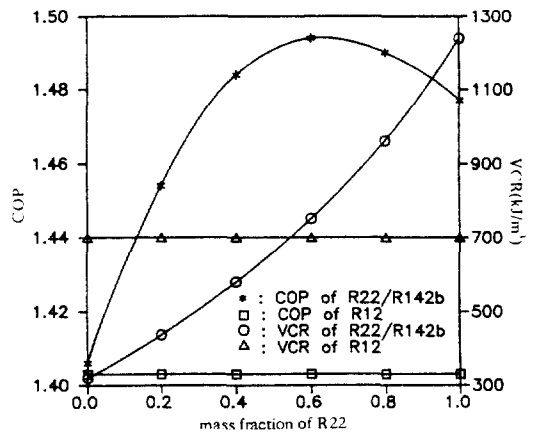


그림3.4 R22질량분율에 따른 VCR 및 COP의 변화 (R22/R142b사용시)

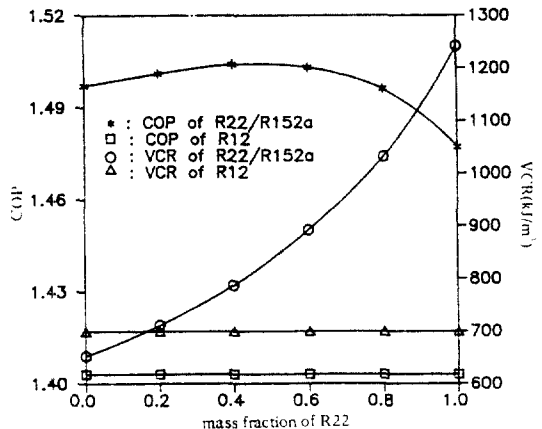


그림3.5 R22질량분율에 따른 VCR 및 COP의 변화 (R22/R152a사용시)

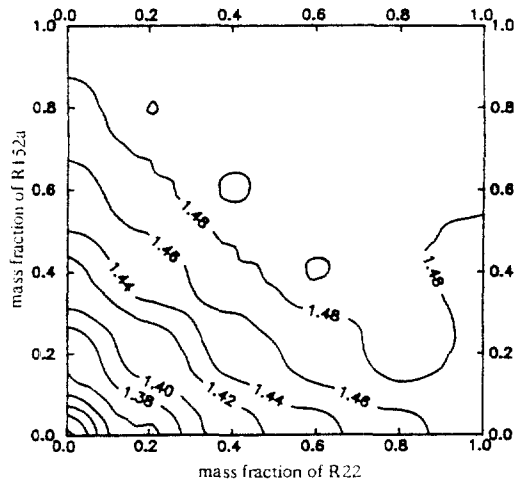


그림3.6 R22 및 R152a의 질량분율에 따른 COP변화

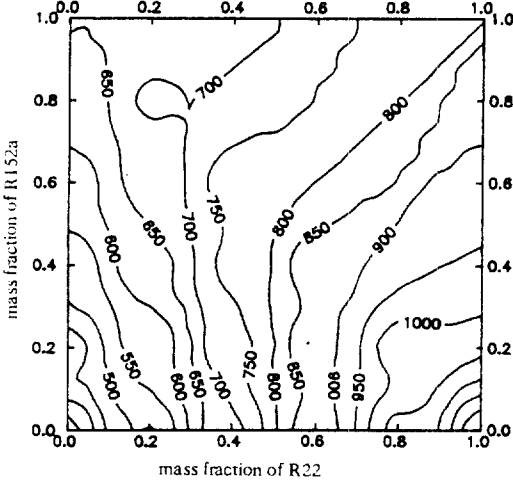


그림 3.7 R22 및 R152a의 질량분율에 따른 VCR변화

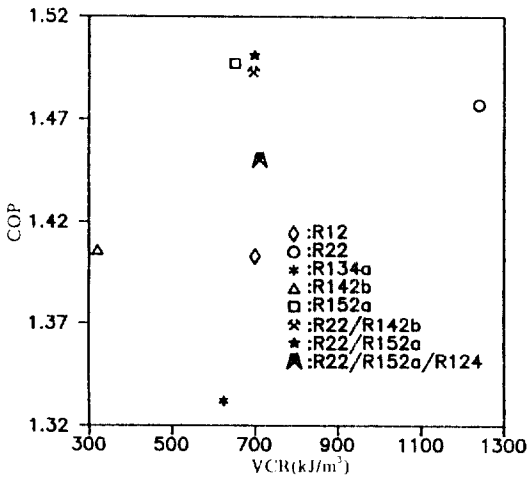


그림 3.8 각종 냉매에 대한 성능계산 예

COP와 VCR의 변화를 나타내었고, 위에서 정한 기준에 맞춰 VCR이 699.8KJ/m<sup>3</sup>이고, COP가 1.403인 R12와 비교한 결과, R22/R152a/R124의 성분비(wt. %)가 36%/24%/40%일 때 VCR, COP를 만족함을 알 수 있다. 그림 3.8에는 각종 냉매들에 대한 성능계산 예를 종합적으로 보인다.

그림 3.8에서 보듯이 R134a의 경우 COP가 R12의 경우보다 약 6% 정도 작게 나타났으며, 이는 R134a를 사용할 경우 주요부품의 성능향상이 필요하다는 것을 알 수가 있다. 또한 R22/R142

b와 R22/R152a의 경우는 R12의 경우보다 약 7-8% 정도의 COP 증가를 보이고 있으며, Dupont의 Ternary Blend이 경우는 약 5% 정도의 COP 증가를 나타내 기존의 압축기의 변경없이 사용할 수 있는 대체 냉매로서 적절함을 알 수 있다.

여기서 R134a를 사용할 경우 R12에 비해 용해성이 다르므로 Packing 및 Seal재의 개발이 필요하며, 더우기 새로운 윤활유의 개발 적용이 큰 과제이나 현재는 PAG(Poly Alkylene Glycol) 계를 중심으로 문제해결 방안이 검토되고 있다. 단, PAG계는 흡습성이 있으므로 밀폐전동기에 대한 전기 절연성이 문제가 되므로 이에 대한 연구도 병행되고 있다.<sup>(13)</sup>

#### 4. CFC 대체용 냉장고개발 관련기술

CFC를 대체할 수 있는 냉장고를 개발하는데 관련된 기술은 여러가지가 있으며, 이들 관련 기술들이 유기적인 관계를 갖고 다각적으로 연구가 수행되어야 할 것이다. 이들 기술을 크게 분류해 보면 설계기술, 발포기술, 윤활기술 및 제조·시스템 평가기술로 나뉘어 진다.

##### 4.1 설계기술

###### (1) 대체냉매 물성연구

대체냉매 사용시 냉동 시스템의 정확한 성능해석을 위한 정확한 열역학적 물성치의 계산식 도출 및 진산화를 행하며 특히 혼합냉매에 대한 성분비별 열역학적 물성치를 예측할 필요가 있다.

###### (2) 성능해석 및 기본설계를 위한 Cycle Simulation

대체냉매를 사용하는 냉동 시스템에서의 여러가지 조건변화에 따른 영향들을 정확히 규명하고, 최적 설계를 위한 설계 데이터를 도출하며, 각종 냉매에 대한 사이클 시뮬레이션 결과로부터 성능비교 및 개선방향을 모색해야 한다. 특히 대미 수출용 냉장고의 경우 기존냉장고 대비 20~30% (400ℓ급)부터 50~60% (150ℓ이하)의 성능향상이 요구되고 있어 정확하



고 신빙성있는 성능해석 Simulation은 매우 중요하다. 이와 관련된 연구개발 내용으로는 R134a 및 혼합냉매용 냉동사이클 해석 및 시스템의 기본설계, 냉장고 주요 부품의 모델링 및 해석, 시스템 성능향상 연구등이 있다.

(3) 열교환기 효율향상

냉장고의 종합 시스템 효율향상을 위하여 증발기 및 응축기에 대한 고효율화 및 Compact화가 요구되며, 응축기 출구 냉매의 불완전한 Subcooling으로 인한 냉각효율의 저하를 방지해야 한다. 이와 관련된 연구 개발 내용으로는 냉매와 오일 혼합물에 대한 열교환기내에서의 열전달 특성연구, 증발기의 동특성 연구(착상, 제상), 증발기에서의 공기층 유동현상 가시화 연구 및 Dead Zone 억제방안 연구, 열교환기 해석용 Program 개발 및 혼합 냉매의 이용을 위한 증발기의 최적 Path 설계등이 있다.

(4) 압축기 효율향상

대체냉매 사용시 시스템 성능향상을 위한 압축기 기본설계 기술 구축은 매우 중요하며 특히, 지구 온난화 문제 해결을 위한 압축기의 고효율화(EER : 15% 이상 증대)가 요구된다. 이와 관련하여 냉매 압축기의 이론 및 실험적 연구(손실분석, 진동/소음분석, EER분석), 성능향상 방안연구(성능해석 기법 및 S/W 개발), 윤택특성 연구(마모/마찰 Simulation, 대체 냉매용 윤택유 선정), Prototype 압축기의 성능시험(각종효율 및 소음특성, Calorimetric Analysis) 및 평가기술 연구 등이 있다.

(5) 재료와의 상용성

대체 냉매와 대체 윤택유를 사용함에 따라 냉동시스템에서 사용되고 있는 재료와의 상용성을 다각적으로 검토할 필요가 있다. 이와 관련하여 새로운 대체물질의 내 흡습성, 내 침기성, 내열성, 전기 절연성등의 물성측정과 Dryer의 Molecular Sieve 및 Desiccant의 특성연구, Gasket

및 Elastomer등과의 안정성과 내구성 향상연구 개발이 요구된다.

4.2 발포기술

표4.1에서 보듯이 냉장고에서의 냉각부하중 약 70% 정도가 냉장고 벽면을 통한 열의 유입임을 알 수가 있다. 따라서, 현재 주로 사용되고 있는 CFC-11을 대체할 수 있으며, 단일 성능도 우수한 발포기술 개발은 매우 중요하다.

표 4.1 냉장고에서의 전형적인 Total Heat Load (14)

항 목	비 율
Wall Insulation	70 %
Door Gasket Region	20 %
Fan & Motor	6 %
External Heaters	4 %

(1) 발포제의 조건 및 대체 발포제

냉장고 단열재에 사용되는 경질 Poly Urethane 발포제로는 주로 CFC-11이 사용된다. 목적은 거의 물리적 발포로 공존하고 있는 프레온이 중합 반응열로 증발할 때 치밀한 세포 구조의 기포를 만드는 것이나, 경질재의 경우 기포는 독립적으로 기포내의 가스가 단열에 기여하도록 기상의 열전도율이 적은 편이 바람직하다.

발포제는 성분물질에 대하여 안정하며 반응하지 않고 적당한 증기압으로 발포하고, 발포후 고분자 부분에 용진하는 것이 없도록 적당한 비점의 범위와 용해도의 범위에 있을 것이 요구된다. 비점이 너무 높거나, 용해력이 너무 크면 발포제가 Polymer 중에 용존하여 제품의 취성이 있게 되어 발포효율이 나쁘게 된다. 또한 비점이 너무 낮으면 기포화한 Polymer가 굳기 전에 증발하여 기포 cell이 응집하여 버린다. 대체물질로는 ODP, GWP가 작음과 동시에 발포제는 30℃ 내외의 온도에서 용액으로부터 비등분리하여 60~70℃ 정도에서 분리 완료할 필요가 있다. 또한 발포시 단위질량당의 가스발생 체적의 대소가 중요인자가 되므로 발포제의 분자량이 깊

이 관계한다.

현재 CFC-11의 대체후보는 HCFC-123(분자량 153)과 HCFC-141b(분자량117)이 있다. HCFC-123의 경우 발포 공정은 CFC-11과 꽤 비슷하며 증기압-온도 관계도 극히 가깝다. Urethane 수지에 대한 용해성은 CFC-11보다 크기 때문에 발포후의 수지의 수축이 있고, 기상이 열전도도는 CFC-11보다(분자량 137.4) 약 20% 높다. 또한 필요 혼합비가 전량 Base로 3%정도 많아진다. 한편 수지중의 확산계수는 작기 때문에

제품의 단열성의 열화속도는 작다.

HCFC-141b의 경우는, 비점 32℃로 CFC-11에 비해 다소 높으나, 발포조건은 허용범위내에 있다. 그러나 CFC-11에 비해 수지에 대한 용해성이 다소 큰 점과 가연성이 있으며, 기체 상태의 열전도율이 CFC-11에 비해 약 18% 큰 결점이 있다. 표4.2에는 경질 Poly Urethane 발포용 대체 발포제의 평가특성을 보인다.

(2) CFC-11 사용량 삭감 방안

표4.3은 현재 사용되고 있는 발포제인 CFC-11

표 4.2 Poly Urethane 발포용 대체발포제의 평가특성<sup>(15)</sup>

항목 \ 종류	HCFC-123	HCFC-141b
비 점 (℃)	28	32
분 자 량	152.9	117.0
열전도율[Btu/hr · ft · °F]	0.0054	0.0053
ODP	.02	0.1
기존의 제조설비사용	가능	가능
독 성	PAFT I 으로 평가중	PAFT II 로 평가중
가연성여부	불연성	가연성
상 용 성(相容性)	CFC-11보다 높다	CFC-11보다 높다
발포제량	CFC-11보다 많다	CFC-11보다 작다
수지와와의 용해성	ABS,PS를 용해	CFC-11보다 크다

표 4.3 CFC-11 삭감방안<sup>(15)</sup>

방 법	특 징	내 용
물(CO <sub>2</sub> )발포	- 원가상승은 작음 - 특정물질규제에 대응가능 - Polyol 변경필요	- 물과 주원료인 Isocyanate가 반응하여 발생하는 CO <sub>2</sub> 를 이용하여 발포함 - 연질 Slab, Mold, 경질 UF의 일부에서 이미 실용화 됨
신규혼합프레온	- 종래배합처방변경불필요 - 원가상승은 작음 - 특정물질규제에 대응가능	- 원료계의 변경없이 사용 가능 - 액화가스 첨가 - CFC-11의 사용량을 80%로 억제 가능
대체프레온 HCFC-123, HCFC-141b	- Foam성능유지가 비교적 용이 - CFC-11의 대량삭감가능 - Polyol변경 필요	- 장기적인 삭감대책임 - 열전도율 상승 - 여러제품에 적용가능하나 적용범위에 제약이 있음

의 사용량 삭감 방안의 특징과 내용을 나타낸다. 실제로 이러한 삭감 방안을 실제로 적용하기 위해서는 제조설비에 맞는 배합처방의 조정, 원료의 개량, 얻어진 제품의 성능평가등을 Pilot 및 실제 Plant 단계에서 이행해나가지 않으면 안되며, 또한 많은 노력을 요한다.

4.3 대체 냉매용 윤활기술

(1) 윤활유의 요구 특성

회전기계인 압축기의 운동부에서의 윤활은 기계의 운전안정을 위해 불가결한 것이다. 냉동

사이클에서는 압축기로부터 토출된 냉매가 다시 압축기에 흡입하는 사이클을 구성하여, 이 사이에 열교환기를 지나게 되나, 상용성이 있기 때문에 냉매와 함께 토출된 윤활유가 다시 압축기에 돌아오게 된다. 따라서 냉매를 사용하는 냉동 사이클에서는 다른 기계의 윤활작용과 기본적으로 상이하며, 냉매의 물성과 깊은 관계를 갖는다. 윤활유는 갖추어야 할 필요한 특성을 표 4.4에 보인다.

(2) 대체 냉매용 윤활유

앞서 언급한 바와 같이 윤활유는 압축기내에

표 4.4 윤활유의 요구특성<sup>(16)</sup>

요 구 특 성	작 용
적당한 점도	윤활작용 및 밀봉 작용
분리온도가 낮을 것	Waxd에 의한 밀폐, 증발기로부터 Oil return
열, 산화 안정성 좋을 것	고온부에서의 Carbon퇴적 방지
냉매에 대한 안정성이 좋을 것	화학변화, Sludge생성 방지
수분을 포함하지 않을 것	부식, 빙결에 의한 통로폐쇄방지
절연내력이 클 것	밀폐형압축기에서의 절연성능
절연재료등에 영향이 없는 성분일 것	전기절연성 파괴 방질 및 사용재료의 열화방지
저온 유동성이 좋을 것	유동성이 양호

표 4.5 대체냉매에 대한 적정 윤활유<sup>(13)</sup>

냉 매	적정 윤활유 (candidates)
R12	Paraffin계 Mineral Oil
R134a	PAG 또는 Polyol Ester계 Oil
R22/R142b	Alkyl Benzen계 Oil
R22/R152a	
R22/R152a/R124	

서의 기름과 냉매의 층분리에 의한 윤활불량 및 냉동시스템내의 Oil Return의 면에서 냉매와의 상용성(相容性)이 기본조건이 된다. 표 4.5에는 냉장고용 대체 냉매에 대한 적정 윤활유를 보이며, 표 4.6은 R-134a과 각종 윤활유와의 상용성을 나타낸다.

표에서 보듯이 R134a와 상용(相容)한 윤활유는 합성유인 PAG이며 혼합 냉매에 대한 윤활유로는 Alkyl Benzene계 오일임을 알 수 있다.

표 4.6 R134a의 각종 윤활유와의 상용성<sup>(16)</sup>

항 목		임계용해온도(Oil/R134a 중량비)				
		1/9	2/8	4/6	6/4	8/2
Oil 종류						
Paraffin계 광유		불용	불용	불용	불용	불용
Naphthene계 광유		〃	〃	〃	〃	〃
Alkyl Benzene계 광유		〃	〃	〃	〃	〃
PAG	고 온	+75	+67	+71	>+80	>+80
	저 온	<-50	<-50	<-50	<-50	<-50

그러나 PAG는 R134a와의 상용성이 특히 고온 부에서 불완전하고 또한 흡습성이 높아 유탄성이 현행 시스템보다 떨어지게 된다. 또한 전기 절연성이 낮은 등의 문제점이 있다.

4.4 제조 및 시스템 평가기술

(1) 제조 기술

새로운 대체물질을 이용한 냉장고를 개발하여 제작함에 있어서 가공, 조립 공정등을 위한 현장 생산 Line의 Lay-out을 재설계하고, 생산원가 절감을 위한 공정을 개발하며, 내구성을 향상 시키며 불량율을 절감시킬 수 있는 방안을 확립하여야 한다. 이를 위하여 압축기 가공 및 내구성 평가기술의 개발, 단열재 제조공정 기술

개발 및 냉장고 조립기술 개발등의 연구가 필요하다.

(2) 시스템 성능평가 기술

냉장고 개발을 위해서는 기본설계 및 제작을 통하여 개발된 기기에 대한 종합적인 성능평가 방법 및 시스템 확립과 성능시험 결과의 분석을 통한 기본설계 및 성능향상 방안 구축등이 필요하다. 이를 위해서는 시스템 성능시험을 위한 장치의 설계 및 제작, 계측용 Instrumentation 및 Data 처리기법 개발 및 냉매유량 및 Oil Concentration 측정기술 개발등의 연구가 필요하다.

5. CFC 대체냉매용 냉장고 개발 방향

이상에서 언급한 CFC대체 냉매용 냉장고 개

표 5.1 CFC대체 냉매용 냉장고 개발방향

구 분	사 용 냉 매	단 열 재	성 능	윤 활 유	개발 방향
기존냉장고	R-12	CFC-11발포	기존성능	Mineral Oil	성능향상
단기적 : 혼합냉매용 냉 장 고	Binary & Ternary Blends : R22/R142b, R22/R152a, R22/R152a/R124	CFC를 감소시 킨 발포재 (예 : 물발포, 신규혼합 프레 온)	기존 대비 20%	Alkyl Ben- zene 계 Oil	HFC 및 HCFC 계 사용 및 성 능소폭 향상
중장기적 R134a용 냉 장 고	R134a	대체발포재 사 용	기존 대비 30% 이상 향상	Poly Alky- lene Glycol 또는 Polyol Ester계	CFC안전대체 및 성능대폭 향 상

발을 위한 기본적인 방향을 요약하면 다음의 표5.1과 같다.

6. 결 론

이상과 같이 CFC대체 냉장고 개발 전망에 대하여 알아보았다. 현재 여러가지 대체물질 및 이를 이용한 대체기기에 대한 연구개발이 진행되고 있으나, 기본적으로는 앞서 열거한 몇몇 냉매를 사용한 냉장고가 개발되어 실용화될 것으로 보인다. 그러나 아직도 일부 만성독성 시험, 발암성 시험, 적절한 Packing 및 Seal재의 개발과 냉매와 상용하는 새로운 종류의 안전한 윤활유

개발등의 문제가 남아 있는 실정이다. 또한, 최근 에너지 소비에 의한 지구 온난화 문제와 관련하여 냉장고의 경제성을 고려한 고효율화가 시급히 요구되고 있으며 이에 대한 다각적인 연구개발 또한 필요하리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Spauschus, H.O., 1987, "Development in refrigeration", Int. J. Refrig., Vol.10, pp.263~270.
2. Wolf, K., 1989.11/12, "Ozone Depletion and the Use of CFCs", J. of Environmental Sciences, pp.41~47.

3. Epstein, G.J. and Maxwell, S.P., 1992, "Environmental trade offs between CFCs and alternative refrigerants", ASHRAE J., PP.38~44.
4. 日本自動車工業會, 1990, "地球溫暖化問題等に対する 基本的見解", Vol. 24, No.7, pp.36~40.
5. 西村 喜脚, 1991, "環境保護と代替フロンを使用する冷凍空調機器, 設備設計", Vol.27, No.4, pp.2~10.
6. 山口 寛域, フロンと地球環境, 1991, 染色工業, Vol.39, No.1, pp.17~28.
7. 서정윤외 6인, 1991.6, "CFC 및 대체냉매", 공기조화·냉동공학회, Vol.20, No.3, pp.179~223.
8. Molina, M.J. and Rowland, F.S., 1974, "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes ; Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone", Nature, Vol. 249, pp.810~812.
9. Sellers, R.L., 1991. 7/8, "The Evaluation of Alternatives to Ozone Depleting Chlorofluorocarbons", J. of IES, pp.33~38.
10. 特定フロン消費削減対策, 1991, 冷凍, Vol.66, No.765, pp.1~51.
11. McLinden, M. and Didion, D., 1987.11, "Quest for alternatives", ASHRAE J., pp.32~42.
12. D.S.Jung and R. Radermacher, 1989. 9, "Performance Simulation of Domestic Refrigerators with Pure and Mixed Refrigerants", Int. Refrig.
13. Yamamoto, H. and Uemura, S., 1991, "Development of Alternative Fluorocarbon Refrigerant", J. of JSME, Vol.94, No.869, pp59~62.
14. ASHRAE HANDBOOK, 1988, EQUIPMENT, pp.37.1~37.14.
15. 乙竹 直, 代替フロンの探索, 1989. 11, 工業調査會.
16. 日本冷凍空調設備工業聯合會編, 1990.3, 新代替冷媒と冷凍空調設備.