# CFC와 대체 화합물의 실태
## -미국을 중심으로-
# Current Status of CFC and Its Alternatives
## -Concerning about U.S.A-

김 병 철
B. C. Kim
조선대학교 공과대학 기계공학과

• 1948년생
• 열공학을 전공하였으며 물질의 동결 에너지저장 대체냉매 등에 관심을 가지고 있다.

## 1. 머 리 말

몬트리올 의정서는 가장 일반적인 CFC(Chlorofluorocarbon), 소위 R-11, R-12, R-113, R-114 그리고 R-115는 없어져야 하고 오존을 덜 파괴시키는 화합물로 대체되어야 한다고 결론지었는데 여기에는 R-12와 R-115를 함유하는 R-500과 R-502도 포함시키고 있다. 이러한 도전에 직면한 CFC 생산자들은 CFC의 좋은 성질을 보유하면서 주위환경에 손상을 주지 않거나 해가 없는 다른 대체냉매를 개발하지 않을 수 없게 되었다.

염소를 함유하는 CFC 냉매가 지구의 표면에서 방사된 다음 성층권(stratosphere)에 도달하여 대류권에 존재하면서 오존층을 파괴하게 되는데 이때, 염소는 그 주성분이 된다. 낮은 대류권에서 이들 CFC는 쉽게 파괴되어 비에 의해 씻겨지고, 따라서 냉매의 오존파괴 잠재력(ozone-depletion potential)은 염소의 함량과 관계될뿐 아니라 대기중의 수소함량과도 관계가 된다. CFC 때문에 생기는 온실효과(green house effect)는 대기층(atomospheric window)에서 CFC중의 C-Cl, C-F 결합에 의한 적외선 복사의 강한 흡수 때문에 발생하는데, 이것은 이들 분자가 파괴되지 않는 한 계속될 것이다.[1,2] 따라서, CFC와 관련된 온실효과와 오존파괴에 대한 문제는 분자구조에 문제가 있으며 이에 대한 해결책도 분자의 구조를 개선하는데서 찾을 수 있을 것이다.[3]

## 2. 대체화합물의 대상

대체화합물이 CFC계열 화합물(CFC family)로부터 나와야 한다는 확증은 없다. 이 부류의 화합물은 완전히 할로겐화 된 CFC의 안정성으로 인한 환경적인 문제 때문에 취급하지 않을 수 없으며 이러한 문제에 직면한 CFC 제조업자와 관련 산업체들은 그것이 가능한 환경적으로 해가 적고, 현재 주로 사용되는 CFC 류로부터 나오기를 바란다.

분자구조의 견해로부터 이 문제에 접근하기 위해 그림1의 blank구역이 나타내는 CFC 화합물의 범위에서 가장 적당한 대체화합물에 대하여 생각해 보자. 가장 중요한 점은 주요성분이 이 구역에 있는 화합물이나 이 구역으로부터 나온 CFC 부류이어야 한다는 것이다.[4,5]

고려되어야 할 대상은 HFC(hydrofluorocarbon)로, 염소를 함유하지 않고 오존을 파괴시키지 않는 화합물이거나 또는 HCFC(hydrochlorofluorocarbon)로, 후자는 적어도 약

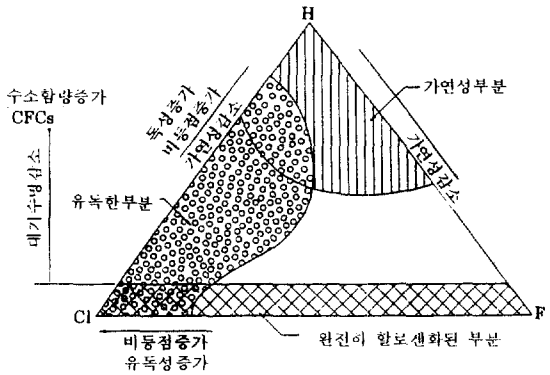



그림 1. 문제시 되는 CFC의 성질 영역

간의 염소를 포함해야 유용한 범위에 적용되는 화합물을 만들 수 있기 때문에 불가능하다. 이러한 것들 중에 HFS(hydrofluoroalkanes)로 취급되는 것을 CFC와 비교하여 표1에 수록하였다.

HCFC는 오존파괴 잠재력이 있다. 따라서 오존파괴 잠재력이 없는 HFC쪽으로 개발하려고 한다. 그러나 적용면에서는 HCFC가 보다 더 유용한 냉매이며 오존층 피해를 줄이기 위해 HCFC 대신에 HFC를 사용할 경우 $CO_2$ 존재량을 증가시켜 온실효과를 악화시키게 된다. 따라서 HFC를 사용함에 의해서 발생되는 온실효과와 HCFC를 사용함에 따른 오존파괴 잠재력에 대해 균형을 맞출 필요가 있다.[6]

## 3. R-22, R-142b와 R-152a의 제조실태

표1에 수록된 화합물중 대체할 수 있는것 가운데 단지 R-22, R-142b 그리고 R-152a만이 상업적으로 유용하며, R-142b와 R-152a는 고분자 제조를 위하여 원료로써 소량생산하고 불에 잘 탄다. 또한, 가연성인 R-152는 난연성인 R-500과 공비 혼합물을 형성하는 상태로 생산된다. 상업적으로 유용한 나머지 CFC는 유럽, 극동 그리고 미국의 CFC 제조업자들에 의하여 국제적으로 공인된 PAFT (programme for alternative fluorocarbon toxicology-Testing)와 AFEAS(alternative fluorocarbon envirnmental-acceptability studies)의 유독성과 환경허용 시험에 따라 달라진다.[7,8]

## 4. CFC 유독성시험 프로그램

CFC 유독성시험 프로그램은 R-123과 R-134a에 대해 1988년 1월에 시작했고 9월에는 R-141b, 이어 1989년 7월에는 R-124와 R-125가 시행되었다.[8]

유독성시험은 5~7년 정도 걸리며건강에 미치는 영향을 충분히 고려하도록 되어 있다. R-123, R-134a 그리고 R-141b에 대한 최종결과는 보통 계획보다 2년 앞당겨 1992년이나 1993년경에 유용하게 될 것이며 R-124와 R-125는 1994년이나 1995년경에 유용하게 될 것이다. 그러나 R-123, R-134a, 그리고 R-141b의 유독성에 대한 예비시험 결과는 심한 유독성이 없음을 나타내고 있다. 아직 이러한 화학물질은 발암물질 시험에 대해 다른 언급이 없으며 이는 1992년이나 1993년경에 완전히 알 수 있다. 또한, 이들 화합물에 노출시켰을때 임신에 영향을 미치지 않으며 피부나 눈에 자극이 없음을 나타냈다.[8]

이러한 사항은 생산자와 사용자, 그리고 연구 개발하려고 노력하는 사람들에게 고무적이다. 그럼에도 불구하고 R-123에 대해서는 그의 무감각한 성질 때문에 반론이 제기되고 있다.

## 5. R-22와 R-12의 비교

R-22는 주거와 상업용 공기조화와 대용량(7,350kW)의 저온액체 원심분리기에 수십년 동안 사용되어 왔고, 현재 25년은 제조할 수 있도록 공인되었으며 제조기간의 제한을 받지 않을 수도 있다. Du Pont사는 세계 CFC의 1/4을 제조하는데 서독이 제안한 대로 몬트리올 의정서에 의하여 초기에 조절된다면 R-22 생산을 동결하겠다고 위협하고 있다. 그 회사는 R-22가 2000년까지 생산금지 된다면 개발도상국가들은 HFC가 준비되지 않고

표 1. CFC와 예상되는 대체 화합물

| CFCs | | | 대체 화합물 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 물질 | 화학성분 | 비점 (℃) | 물질 | 화학성분 | 비점 (℃) | 대기수명 | ODP (R-11=1) | GWP ($CO_2$=1) | GWP (R-11=1) | 가연성 (공기체적당 가연한계(%)) | 유독성 |
| R-113 | $CCl_2FCClF_2$ | 47.6<br>47.57 | | | | | | | | | |
| | | | R-141b | $CH_3CCl_2F$ | 32.0 | 5.8-9.4<br>8 | 0.065-0.14<br>0.08 | 130-300<br>300 | 0.087-0.097 | 약가연성 | 1992/93까지 시험 완료 |
| | | | R-123 | $CHCl_2 \cdot CF_3$ | 27.8 | 1.2-2.4<br>1.6 | 0.013-0.019<br>0.02 | 25-270<br>50 | 0.017-0.020 | 불연성 | 1994/95까지 시험 완료<br>(100)<br>약한 마취성 |
| R-11 | $CCl_3F$ | 23.8<br>23.82 | | | | | | | | | |
| R-114 | $CClF_2-CClF_2$ | 3.8 | | | | | | | | | |
| | | | R-142b | $CH_3 \cdot CClF_2$ | -9.2<br>-9.8 | 15.1-28<br>19 | 0.035-0.077<br>0.06 | 470-3,300<br>1,200 | 0.34-0.39 | 약가연성<br>(3.7-18.0) | |
| | | | R-124 | $CHClF \cdot CF_3$ | -12.0 | 5.3-10<br>6.6 | 0.013-0.030<br>0.02 | 130-1,300<br>300 | 0.092-0.10 | 불연성 | 1994/95까지 시험 완료<br>(500) |
| | | | R-152a | $CH_3CHF_2$ | -24.5<br>-24.7<br>-25.0 | 1.3-2.7<br>1.7 | 0 | 42-450<br>100 | 0.026-0.33 | 가연성<br>(3.7-18.0)<br>(5.1-17.1) | (1,000) |
| | | | R-134a | $CH_2F \cdot CF_3$ | -26.5<br>-26.2<br>-26.16 | 12.5-24<br>16 | 0 | 370-2,800<br>900 | 0.25-0.29 | 불연성 | 1992/93까지 시험 완료<br>(1,000) |
| R-12 | $CCl_2F_2$ | -29.8<br>-29.79 | | | | | | | | | |
| R-500 | (R-12/R-152a) | -33.5 | | | | | | | | | |
| R-115 | $CClF_2-CF_3$ | -38.7<br>-38.1 | | | | | | | | | |
| | | | R-22 | $CHClF_2$ | -40.8<br>-40.76 | 12.7-24<br>15 | 0.032-0.071<br>0.05 | 460-3,600<br>1,100 | 0.34-0.37 | 불연성 | (1,000) |
| R-502 | (R-22/R-115) | -45.4 | | | | | | | | | |
| | | | R-123 | $CHF_2 \cdot CF_3$ | -49.0<br>-48.5 | 19-43<br>28 | 0 | 750-4,200<br>1,900 | 0.51-0.65 | 불연성 | 1994/95까지 시험 완료 |

( )는 ppm으로 표시된 노출한계

더 값싼 것이 없기 때문에 CFC를 사용함으로써 오존을 크게 해친다고 주장하고 있다.

R-22와 일반적으로 가장 많이 쓰이는 R-12 사이에는 제조가격 뿐만아니라 화학적, 물리적 성질에 있어서도 몇가지 상당한 차이가 있다.[10~12]

i) R-22는 R-12보다 윤활유에 용해가 덜 되며 혼합되기 어렵다. 이것은 냉동실과 같은 저온운전에 상당한 영향을 미치며 저온증발기에 있어서 기름을 응축냉매에 용해된 기름으로부터 분리시킨다. 압축기를 통하여 기름이송을 최소화하거나 압축기 출구에서 기름분리기를 사용하면 문제점이 줄어든다. 그렇지만 윤활유는 마찰효과를 줄일 수 있어야 할 뿐만아니라 상대적으로 움직이는 부분에 대하여 시일(seal)로서 작용하여야 한다.

ii) R-22는 R-12에 비하여 자기선에나멜, 와니스, 접착제, 탄성가스켓, 호스, 0-링과 같은 유기 고분자에 대하여 우수한 용매이다. R-12시스템에서 사용된 물질들은 R-22의 대체물질로 바꿔져야 한다.

iii) R-12와 R-22의 화학반응은 약간 다르다. 후자는 분자에 수소가 존재하므로 기본 특성을 가진 물질과 반응하게 되지만 필요한 경우, R-22와 대체할 만한 물질을 쉽게 만들 수 있다. 그러나 긍정적인 면에서 윤활유와는 화학적으로 반응성이 훨씬 약하다는 점이다.

iv) R-22는 상대적으로 비등점이 낮지만 R-12보다 증기압이 높다. 이것은 고압측 구성 요소가 R-12에서 필요한 것보다 더 고압에 견딜 수 있어야 한다. 이러한 R-22의 성질은 냉장시스템의 부품가격을 더 높게 만들며 필요한 대량생산 시설을 확장하여 재정비할 필요가 있게 하고 상당한 시간이 소비된다.

v) R-22의 열역학적 성질은 일반적으로 만족하다. R-22를 사용하는 시스템 성능계수를 R-12를 사용하는 유니트와 비교할 때 R-22 증기는 1.180이고 R-12는 1.139인데, 이는 본래 R-22의 비열이 높기 때문이다. 압축기의 방열온도는 R-12보다 R-22가 더 높다.

그러나, 방열온도는 냉매와 윤활유가 열적으로 분해되는 것을 최소화하기 위해 필요한 것이다. 따라서 R-22가 최적의 성능이 되기 위해서는 흡입온도나 압축운전 온도가 감소되어야 한다. 내부냉각을 하고 다단압축기가 사용될 수 있으며 압축된 증기의 외부냉각이 필요할 수도 있다. 흡입온도를 낮추려면, 흡입라인의 단열, 팽창밸브의 과열도 조정, 흡입증기를 냉각시키기 위한 분사법 등이 요구된다. 압축기의 운전온도를 줄이기 위해 냉각팬(fan)을 달 수도 있다. 압축증기를 냉각시키면 큰 응축기가 필요하거나 자연적인 공기대류에 의한 냉각상태에서는 R-12에 만족할 수도 있다. 시스템성능을 설계하고 균형을 맞추려면 적절한 기간이 필요하고 재정비가 필요하며 생산가가 올라갈 것이다.

vi) 사용되는 냉매의 증기밀도와 음향속도 그리고 분자무게는 냉동 압축기의 설계에 영향을 미치는 성질이다. R-12 대신 R-22를 사용하려면 압축기(특히, 원심압축의 경우)를 다시 설계하여야 한다.

vii) R-22의 생산가는 1kg당 R-12의 1.5배 정도 된다.

## 6. R-22의 생산실태와 제조동향

나사압축기(screw compressor)는 R-22를 사용하는 시스템에서 사용될 수 있는데 최소한 미국에서 4개의 제조회사가 시장에 내놓고 있다. Copeland제품은 R-22를 광범위하게 사용할 수 있다.[13,14]

그림2는 1985년에 새로운 시스템에 사용하기 위하여 ARI(Air-conditioning and Refrigeration, Institute)의 회원회사들에 의해 미국에서 구입한 CFC량을 나타낸다. 구입한 냉매의 77% 이상이 R-22였다. ISC회사는 1990년에 R-22의 생산능력을 35% 증가시켰다.[15]

R-22는 R-11의 대체물질로 사용될 수 있지만 열적성능이 나쁘다. 즉, 열전도율이 높아서 단열이 요구되며 온실가스 방사율(rates of greenhouse-gas emissions)이 크다.

R-22의 혼합물에 대하여 연구하여 R-142b와 R-22를 섞은 혼합물을 R-11이나 R-12 대신 공기조화와 가정용 설비에 사용했는데 최종용도 설비의 개선이 요구되었다. 또한, 똑같은 혼합물이 액체분체 추진제(aerosol prope-

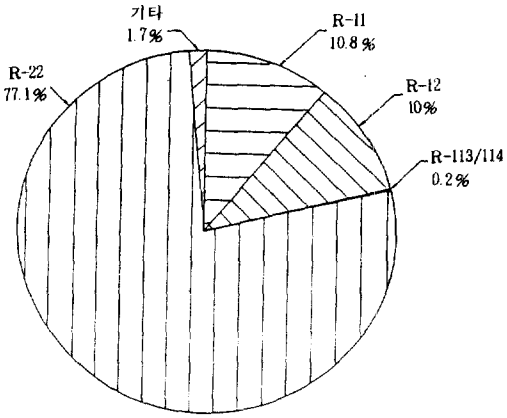



그림 2. 1985년 ARI 회원회사에 의해 구입한 CFC 구입비율

llant)로써 CFC 대신 사용될 수 있다. R-22와 R-152a의 어떠한 불연 혼합물도 가정용 설비의 냉매로써 사용할 수 있다. R-22와 R-290(프로판)의 공비 혼합물(azeotrope)은가연성이지만 프로판의 양이 너무 작아 불의 위험이나 폭발위험은 가연물질을 함유한 가정용 설비보다 훨씬 적다. Pearson은 R-22와 R-218(octofluoropropane)의 불연 공비화합물 사용을 제한하였지만 R-22/R-290보다 성능계수가 낮았다.[16]

## 7. R-134a의 성질과 생산실태

R-134a는 장래 R-12의 대체물질이 될 수 있다. 단기간의 시험을 통해서 이 냉매는 무독성이라고 말할 수 있지만 이 영향에 대한유용한 최종 결론은 국제적으로 공인된 장기간의 연구 프로그램이 완료된 뒤에야 알 수 있다. R-134a는 R-12와 비슷한 성질이 많지만 윤활유로 사용할 때 R-12와는 다르다. 새로운 윤활유를 ICI 회사에서 개발하고 있다. R-134a는 R-12보다 3~5배 정도 비싸다. 1991년 초부터 ICI는 R-134a(Klea 134a)를 상업용으로 생산하며 영국에 공장을 지었다. 이어 1992년과 1993년에 미국에 세우려고 하며, 각 공장은 3천만 파운드정도 예산을 들이려고 한다. ISC회사는 공급설비 제조자에게 요구되는 화학시험이 기름이나 다른 기본 물질과 비교될 수 있고 장기간 성능특성에 합당하도록 R-134a에 대한 생산설비를 연구하여 세계 규모의 생산설비로서 가동하려고 한다.[17]

## 8. R-123의 성질과 생산계획

R-123은 R-11을 대신할 수 있는 화합물로 그들의 열역학적 성질은 거의 비슷하다. Du Pont사는 새로운 냉매를 제조하기 위해 2천만 달러짜리 공장을 지어 이미 소량은 유용하게 만들고 있다. York International은 1년 이상 Codepak Chiller에 새로운 냉매를 시험하고 있으며 영국에 있는 RSD 회사에 기술을 제공하고 있다. 단기간 시험에서 R-123은 안전하고 무독성이며 고농도에서 적당한 무감각 마취재로써 작용한다. 100 ppm을 받아들일 수 있는 노출한계는 1992~1993년 사이에 완료되는 장기간 시험결과를 기다리고 있다. York International은 Codepak에 장치를 설치해 정비했을 때 최대 냉매수량이 단지 8 ppm 만이 국부적 대기 환경에서 검출되었다고 보고하였다. R-123에 대한 다른 문제들은 용매강도와 관계되는데 실제로 시험된 압축기의 모터를 감는 시일(seal) 재료로써 사용된 전기절연체와는 비교될 수 없다. 만약, R-123이 R-11 대신 사용된다면 같은 냉각율을 올리는데 동력이 더 필요하다.[18]

## 9. R-124의 생산계획

Du Pont사는 R-12와 R-500에 대체할 만한 R-124를 개발할 냉동공장을 지으려고 한다. 이 공장은 1990년 중반까지 년 $10^5$ kg의 용량으로 생산량을 증가시키려고 한다. 또한 Du Pont는 R-22와 R-152a와 R-124의 혼합물을 건조기와 냉각기와 다른 중간온도 냉장에 사용되는 냉매로서 R-500을 대신하려고 한다. 이 새로운 혼합물은 R-500보다 오존파괴 능력이 96%가 더 낮고 91%의 지구 온실효과를 줄이며 비슷한 냉동성능 특성을 가진다.[19]

## 10. CFC의 성질과 대체냉매

그림3은 현재 사용되는 CFC 냉매의 운전압력을 보여준다. 냉매로 사용되었을 때 이상적 냉매시스템의 예상된 성능특성을 그림4에 보여주고 있다. 요구되는 열역학적 성질은 ASHRAE 테이블과 도표를 사용하여 계산되었다. 냉매 R-134a에 대체하기 위해 ICI 도표가 사용되었다.

CFC를 제한적으로 사용하면 필요한 에너지 수요율에 반대 영향을 미친다. 그렇지만 에너지 효율의 표준을 세우는 것은 현명한 환경정책이다. 에너지 효율의 감소는 에너지 소비를 증가시키며 따라서 화석연료의 사용이 늘고 $NO_2$, $SO_2$, $CO_2$의 배출량이 증가된다. Creswick 등은 미국에서 공기조화와 냉동에 사용하는 CFC의 사용제한에 따른 에너지 사용량을 계산하기 위해 현재 사용되고 적용되는 곳을 고려하여 다음과 같은 4가지 대체물질을 추천하였다.

i) 각광받는 대체물질 R-123과 R-134가 R-11과 R-12 대신 사용되며 냉동부하를 줄이기 위해 몇가지 선택하여 폴리우레탄발포제 단열재를 사용하였는데 R-11 대신 R-123에 의해 생긴 대체발포제(alternative foam)을 사용할 수 있다고 하였다.

ii) 협정에 맞는 냉매 : 만약에 갑자기 만들어져 나타난 냉매가 잠재력이 있어서 성공하지 못한다면 아직 작동유체로 사용되지는 않지만 R-22가 일반적이고 가장 공통되는 대체냉매가 될 것이다. 담요와 유리섬유도 적당한 단열효과를 얻는 대체수단으로 고려되었다.

iii) 협정에 맞지 않는 냉매 : 염소를 포함하는 모든 화합물로서 완전히 할로겐화되지 않은 CFC는 장래에 금지될 가능성이 있다. R-

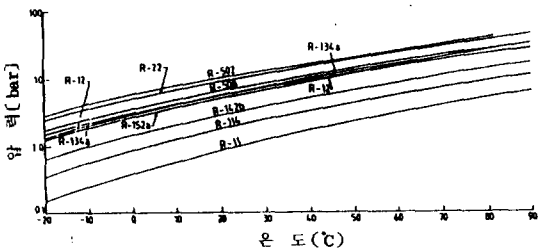



그림3. 여러가지 냉매의 포화압력과 온도의 관계

표2. 대체냉매와 단열재

| 적 용 | 사용하는 냉 매 | 개 발 된 냉 매 | 협정에 맞는 냉 매 | 협정에 맞지 않는 냉매 | 새 로 운 사 이 클 |
|---|---|---|---|---|---|
| 냉동기 제빙기 | R-12와 R-11 발포단열재 | R-134a와 R-123 발포단열재 | R-22와 유리섬유단열재 | R-717와 유리섬유단열재 | Stirling cycle 진공판넬 단열재를 가진 Stirling cycle |
| 자동차 에어콘 | R-12 | R-134a | R-22 | R-717 | |
| 청량음료밴딩기 | R-12와 R-11 발포단열재 | R-134a와 R-123 발포단열재 | R-22와 유리섬유단열재 | R-717와 유리섬유 단열재 | Stirling cycle 진공판넬 단열재를 가진 Stirling cycle |
| 소형냉장고 | R-502 | R-502 | R-502 | R-717 or R-290 | |
| 원심식 냉각기 | R-11, R-12, R-114, R-22와 R-500 | R-134a, R-123와 R-22 | R-22와 흡수제 | R-717와 흡수제 | 진전된 흡수제 |
| 냉동수송차 | R-12와 R-11 발포단열재 | R-134a와 R-123 발포단열재 | R-22와 유리섬유단열재 | R-717 | 고려되지 않음 |

22의 경우 대체물질로서 사용할 수 없고 R-717(암모니아)나 R-290(프로판)과 같은 유체의 사용이 고려되어야 한다.

이들은 가연성, 유독성, 부식성과 같은 문제들이 있지만 R-717과 R-290은 열역학적 성질이 좋으며 냉매로써 사용될 수 있다. R-717은 이미 편리하게 사용되는 곳도 있지만 실제적으로 고려되어야 할 점들이 있다. 원심 냉각기(centrifugal chillers)의 경우 흡수식 냉각기(absorption chillers)에는 협정에 맞는 냉매가 되어야 하지만 표2에서처럼 협정에 맞지 않는 냉매이다.

iv) 새로운 사이클(진전된 기술을 이용하는 방법) 에너지 보존을 위한 기회는 새롭고 진전된 기술을 수행한 결과이다. 진공으로 단열된 판넬(panel)과 진전된 Stirling과 흡수 냉동 사이클은 가능성이 있는 사이클이다.

## 11. R-141b, R-717과 R-290의 성질 및 용도

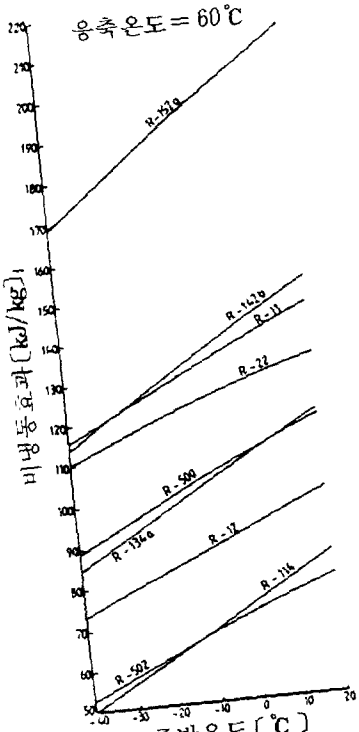
년간 에너지 소요량을 각 경우에 대하여 계산하였다. 여기서 가능한 사이클 계산은 표준 운전조건이나 시험조건에서 압축기와 전동기의 값을 가정하였으며 대체물질과 현기술 사이에서 생기는 에너지 사용에 대한 차는 미국에서 매년 사용되는 양을 결정하기 위해 국가 전역에 걸쳐 사용되는 1988년의 설비수를 합하여 계산하였다.

계산된 결과를 표3에 수록하였는데 전기를 사용하는 시스템은 화석연료를 사용하는 설비를 기준으로 하여 계산하였다. Fisher와 Creswick은 건물과 열탕시스템과 단열문제를 함께 연구하였는데 이러한 곳에 사용되는 R-11이나 R-12를 함유한 고체플라스틱 발포제(rigid plastic foam)는 대체물질인 R-141b는 발포제를 만들기 위한 조건에 잘 부합되어 발포 폴리스티렌 재료는 협정에 맞는 냉매인 R-22를 쓰는 냉장고 단열재의 대체물질로 쓸 수 있다고 제안하였다. 이들 분석결과를 표4에 수록하였는데 가연성 물질을 가정용 기구에 넣어 사용한다는 것은 위험하지는 않지만 목적을 달성하기는 어렵다. 갑자기 만들어진 대체물질과 거의 R-22를 적당히 사용할 수만 있다면 아무도 화학제품으로 간주하지 않을 것이다. 반면 물질은 효율이 높은데 이러한 점을 고려하여 **바르게 쓸 수 있을 때가 언제일런지?** R-717은 증기압축 시스템과 흡수 시스템에 100년이상 냉매로써 사용하여 왔다. 오늘날 그것은 주로 중공업 공장에서 사용된다. R-717(암모니아)은 특히 고온 열펌프에서 사용할 때 적당하다. 암모니아는 공기체적 가운데 15.5~27%의 범위에 있을 때 폭발위험이 있다. 그러한 농도는 통기가 잘되는 실내에서는 발생하지 않는다. 안전에 관한 문제는 R-717의 유독성에 대하여 언급하고 있지만 이 가스는 구별이 되며 체적의 50 ppm만 되더라도 유별난 냄새가 난다. 따라서 조금만 누설 즉시 냄새로 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 자동경보 센서가 있으면 좋다.

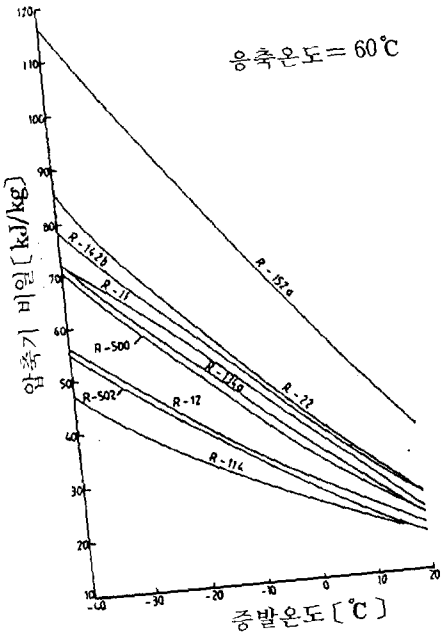
Wong 등은 실험적 연구에서 R-290(프로

표3. 미국의 예상된 CFC 대체물질의 사용량

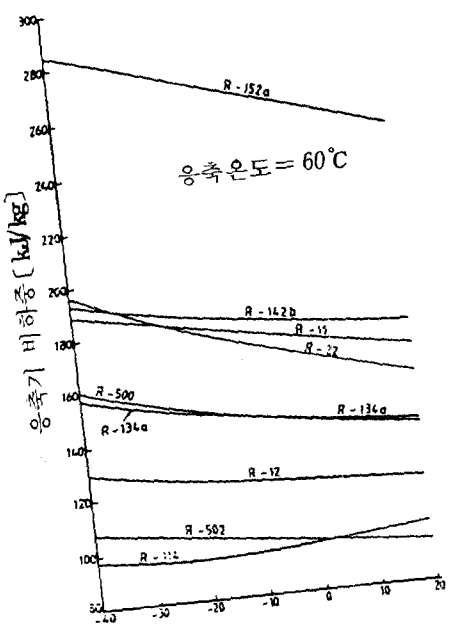
| 적 용 | 미국내 에너지 사용량($10^{18}$ J/year) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 개발된 냉매 | 협정에 맞는 냉매 | 협정에 맞지 않는 냉매 | 새로운 사이클 |
| 냉동기 제빙기 | 0.12 | 0.59 | 0.94 | −0.54 |
| 자동차 에어콘 | 0.00 | 0.06 | 0.08 | 0.01 |
| 청량음료밴딩기 | 0.01 | 0.03 | 0.06 | −0.03 |
| 소형냉장고 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | −0.03 |
| 원심식 냉각기 | 0.01 | 0.03 | 0.38 | —[a] |
| 냉동수송차 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | —[a] |
| 합 계 | 0.15 | 0.73 | 1.50 | <− 0.59 |



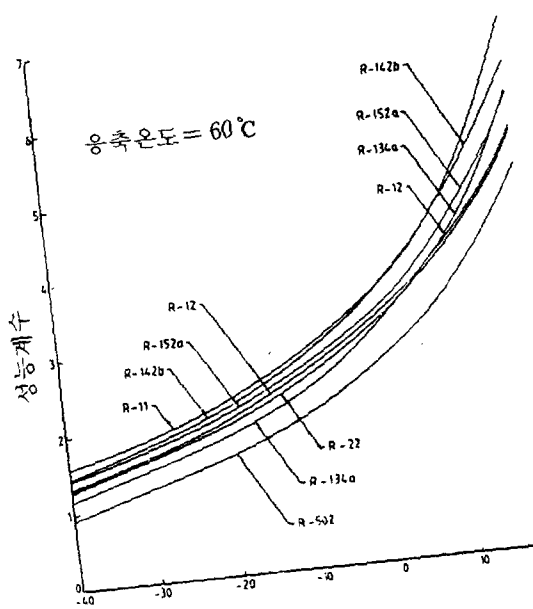

(a) 냉동 효과




(b) 압축기의 일량




(c) 응축기의 부하




(d) 성능 계수

그림 4. 단순 이상 냉동 시스템의 성능특성

**표4. 미국의 CFC 대체화합물 소비량**

| 적 용 | 미국내 에너지 사용량($10^{18}$ J/year) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 개발된 냉매 | 협정에 맞는 냉매 | 협정에 맞지 않는 냉 매 | 새로운 사이클 |
| 건 물 설 비 | | | | |
| 냉동기 제빙기 | 0.11 | 0.55 | 0.97 | −0.61 |
| 가 열 기 | 0.01 | 0.04 | 0.09 | −0.06 |
| 청량음료밴딩기 | 0.01 | 0.03 | 0.06 | −0.03 |
| 소형냉장고 | −0.01 | −0.01 | 0 | −0.05 |
| 원심식 냉각기 | 0.01 | 0.03 | 0.38 | − |
| 소 계 | 0.12 | 0.65 | 1.50 | −0.75 |
| 건 물 외 벽 | | | | |
| 주 택 용 벽 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | −0.04 |
| 주택용기초 | 0 | 0.18 | 0.34 | − |
| 매 장 용 벽 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | −0.08 |
| 낮은 경사지붕 | 0.03 | 0.12 | 0.21 | − |
| 소 계 | 0.06 | 0.36 | 0.68 | −0.12 |
| 수 송 | | | | |
| 냉동수송차 | 0 | 0.01 | 0.02 | −0.01 |
| 자동차 에어콘 | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 0.02 |
| 소 계 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | 0.01 |
| 합 계 | 0.21 | 1.06 | 2.28 | −0.86 |

**표5. 1930년대에 사용된 일반냉매의 성질**

| 냉 매 | 유 독 성 | 가 연 성 | | | | 예상되는 위 험 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 인 화 점 (℃) | 발 화 점 (℃) | 공기중 폭발비율 (공기체적당 %) | | |
| | | | | 하 한 | 상 한 | |
| R-717 | 2 | − | − | 15.5 | 27.0 | − |
| R-160 | 4-5 | −50.0 | 519 | 4.0 | 14.8 | 4 |
| R-600a | 5b | <− 6.6 | 543.3 | 1.8 | 8.44 | 4 |
| R-40 | 4 | 333.3 | 632.2 | 10.7 | 11.4 | 4 |
| R-30 | 4a | | | 불 연 성 | | |
| R-764 | 1 | | | 불 연 성 | | |

판)을 R-12 대신 사용하면 비슷한 성능특성을 나타낸다고 보고하였다. 더욱 프로판을 사용하면 이론적으로 8%의 에너지를 절약할 수 있고 설계를 조금만 변경하여도 된다. 가정용 냉장시스템에 대하여 필요한 R-290 냉매의 양이 적고 이것은 부엌같은 곳 이외에서는 폭발되지 않는다. 이외에 ethyl chloride(R-160), ethyl bromide와 propyl chloride와 같은 가연성 화학물질이 압축 열펌프의 매체로서 일반적으로 CFC의 대체물질로서 사용할 수 있으리라고 생각된다.

## 참 고 문 헌


1. Ember, L.R., Layman, F.L., Lepkowski, W. & Zurer, P., Tending the global commons: nations struggle for ways to check global warming and depletion of stratospheric ozone. *Chem. & Eng. News,* 64(47) (November 1986) 14-64.
2. Anon., *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (1989). ASHRAE, Atlanta, USA, 1989, Chaps 16, 17.
3. Glynn, P., An EEC view: environmentally-friendly chemical substitutes. Paper presented at the DTI Seminar on Replacements of CFCs: The Way Ahead for Refrigeration Insulation, NEL, Glasgow, UK, 10 November 1989.
4. McLinden, M.O. & Didion, D.A., CFs. Is the sky falling? Quest for alternatives. *ASHRAE J.* (December 1987) 32-42.
5. Kruse, H. & Hesse, U., Possible substitutes for fully halogenated chlorofluorocarbons using fluids already marketed, *Int. J. Refrig.,* 11(4)(July 1988) 276-83.
6. Butler, D.J.G., Grigg, P.F. & John, R.W., The global environmental impact of non-domestic buildings–possibilities for the future. Paper presented at the IMechE Seminar on CFCs–The Engineering Solution, The Polytechnic of the South Bank, London, 3 April 1990.
7. Joyner, B.D., Technical, environmental and economic criteria in the development of CFC substitutes. Paper presented at the DTI Seminar on Replacements of CFCs: The Way Ahead for Refrigeration and Insulation, NEL, Glasgow, 10 November, 1989.
8. Anon., CFC alternatives show no signs of toxicity. *ACR News* (October 1989) 5.
9. Anon., CFC alternatives show promise. *Building Services & environmental Engineer* (October 1989) 7.
10. Wang, A.K.H. & Eftekhari, M., Application of mathematical models to aid the replacement of CFCs in existing refrigeration systems. Paper presented at the IMechE Seminar on CFCs–The Engineering Solution. The Polytechnic of the South Bank, London, 3 April 1990.
11. Badr, O., O'Callaghan, P.W. & Probert, S.D., Vapour-compression refrigeration systems. *Applied Energy,* 37(4) (1990) 303-31.
12. Likes, P.W., Impact of CFC regulations on commercial refrigeration equipment manufacturers. *Int. J. Refrig.,* 11(4) (July 1988) 222-3.
13. Anon., CFC restrictions: the effect on compressor and condensing unit selection, application and installation. Copeland Corporation, Reading, UK, Issuel, September 1988.
14. McLaren, A.S., Barry, R.G. & Bourke, R.H., Could Arctic ice be thinning? *Nature,* 345 (28 June 1990) 762.
15. Anon., CFCs–the industry response. *ACR News* (July 1989) 6-7, 10.
16. Pearson, S.F., Alternative industrial refrigerants. Paper presented at the IMechE, Seminar on CFCs–The Engineering Solution Seminar, The Polytechnic of the South Bank, London, 3 April 1990.
17. Spauschus, H.O., HFC 134a as a substitute refrigerant for CFC 12 *Int. J. Refri.,* 11 (November 1988) 389-92.
18. Anon., CFC alternative becomes reality. *Building Services & Environmental Engineer* (March 1990) 18.
19. Anon., Alternative refrigerants, *HAC,* May 1990, p. 4.
20. Creswick, F.A., Fisher, S.K. & Sand, J.R., Potential impacts of CFC restrictions on refrigeration and space-conditioning equipment. *Int. J. Refrig.,* 11(4) (July 1988) 217-21.