

대기환경의 문제와 대책(2) 특정 프레온대책

池 本 幸 伸
번 역 / 국 민 대 학 교
명 현 국

지난호(제8권 제1호, 1995)에 '대기환경의 문제와 대책'이란 제목의 연속강좌중 첫회로 일본(株)大林組地球環境部に 근무하는 酒井 寛二씨가 쓴 '대기환경의 제문제'에 대해서 소개하였다. 이번호에는 2번째로 일본 공기조화·위생공학회지 1994년 7월호에 게재된 일본 三菱工業(株) 冷熱業務部に 근무하는 池本 幸信씨가 쓴 '특정 프레온대책'에 대해 번역소개한다. 특정 프레온대책은 현재 대기환경에 관한 주요한 문제로 인식되고 있기 때문에 회원들에게도 상당히 유익하리라고 생각된다.

1. 머리말

전세계가 향후 지속적으로 발전을 하기 위해서는 지구 규모의 환경보존을 도모하는 것이 필요 불가결하다. 환경 문제 중에서 오존층 보호에 관하여 세계 백수십 나라와 한개 기관이 '빈 조약'과 '몬트리올 의정서'를 체결하여 특정 프레온 삭감에 노력하고 있는 것은 앞으로의 지구 환경보존에 대한 선례로서의 의의가 매우 크다고 할 수 있다. 따라서, 일본에서는 프레온 규제에 따른 많은 과제에 대해서 정부, 학계, 산업계가 협력하여 기술 개발에 몰두하고 있다.

또한 냉매분야에서는 일본, 미국, 캐나다, EC의 냉동공조공업회가 '국제협의회'를 창설하고, 년 1회 회합을 열어 프레온 규제 스케줄의 책정 및 대체냉매의 평가를 공동으로 추진하는 등 프레온 문제 해결에 상호 긴밀하게 협력하고 있다.

여기서는 프레온 규제 동향과 국제적으로 협력하여 추진되고 있는 대체냉매의 개발 동향 및 냉동기에서의 프레온대책에 대하여 용도별로, 이미 개발완료되어 상품화되어 있는 현상과 개발중인 중장기 대책에 대해 설명한다.

표 1. 프레온 종류

특정 프레온	프레온 종류	ODP 파괴계수	GWP 지구온난화 계수	용도 공조기 및 냉동기 관계	조성
CFC	R11	1.0	1.0	원심냉동기	Chloro Fluoro Carbon (염소) (불소) (탄소) 염소를 함유하고 있어 오존파괴 가능성이 높은 화합물
	R12	1.0	3.05	업무용 냉동기	
	R113	0.8	1.30		
	R114	0.8	4.15		
	R115	0.6	9.60		
혼합냉매	R502	0.3	5.10	업무용 냉동기	R 115(51.2%)와 R 22(48.8%)의 혼합냉매 염소대신에 취소를 함유한 화합물
	R13 B1	10.0		2원 냉동기	
지정 프레온	R 22	0.055	0.36	공조기, 냉동기	Hydro Chloro Fluoro Carbon (수소) (염소) (불소) (탄소) 염소를 함유하고 있으나 수소가 있기 때문에 오존 파괴 가능성이 낮은 화합물
	R 123	0.02	0.02	원심냉동기	
	R 124 등	0.022	0.1		
대체 프레온	R 32	0	0.13	카 에어콘 냉동기	Hydro Fluoro Carbon 염소를 함유하고 있지 않아 오존파괴 위험성이 없는 화합물
	R 134a	0	0.25	원심냉동기	
	R 125	0	0.84		
	R 143a	0	0.47		
	R 152a	0	0.03		

주) 1) 오존파괴계수 : R11을 1.0으로 해서 구한 오존파괴의 추정값

2) 지구온난화계수 : R11을 1.0으로 해서 구한 지구 온난화의 추정값

2. 프레온의 종류

프레온은 메탄(CH₄) 및 에탄(C₂H₆)이 가지고 있는 수소원자(H)의 일부 또는 전부를 불소(F)나 염소(Cl) 등의 할로젠 원소로 치환한 것으로, 탄소원자가 1개인 메탄계 프레온과 탄소원자가 2개인 에탄계 프레온이 대부분을 차지한다. 현재 생산되고 있는 프레온의 종류는 20종 이상이며, 냉매로서 사용되고 있는 것은 혼합냉매를 포함하여 13종류 이상 있다.

프레온의 호칭번호는 세계 공통으로 다음과 같다.

100단위 : C의 수 - 1

10단위 : H의 수 + 1

1단위 : F의 수

따라서 탄소원자가 1개인 메탄계는 CFC 11(CCl₃F)과 같이 두자리수로 되고, 탄소원자가 2개인 에탄계는 HCFC 123(C₂HCl₂F₃)과 같이 3자리수로 된다.

특정 프레온은 수소원자가 전부 할로젠 원소로 치환된 프레온으로 chlorofluoro carbon (CFC)으로 불리우며, 염소를 포함하고 있어 오존파괴의 정도가 높은 화합물로 오존파괴 계수(ODP)는 0.1~1.0이다.

또한 수소원자가 일부 염소원자와 불소원자로 치환된 프레온은 과도적 물질로 hydrochlorofluoro carbon(HCFC)으로 불리우며, 염소를 포함하고 있으나 수소가 있기 때문에 오존파괴의 정도가 작은 화합물이며 오존파괴 계수는 CFC의 약 1/20~1/60이다.

대체 프레온은 수소원자가 일부 불소로 치환된 프레온으로 hydrochloro carbon(HFC)으로 불리우며 염소를 포함하지 않고 수소를

포함한 물질로 오존파괴의 염려가 없는 화합물로 오존파괴 계수는 제로이다.

3. 규제의 내용과 스케줄

1974년 캘리포니아 대학의 로랜드 교수와 모리나 박사가 CFC에 의한 오존층 감소와 인류 및 생태계에의 영향 가능성을 지적한 이래, 이것이 남극에서의 오존홀의 경년변화 등에 의해 과학적으로 입증됨에 따라 국제연합환경계획(UNEP)이 사무국으로 되어 국제조약을 만들기 시작해 1985년에 '빈 조약', 1987년에 '몬트리올 의정서'가 각각 체결되었다.

1990년 6월의 제2회 몬트리올 의정서 체결국 회의에서 특정 프레온 CFC를 2000년에 전폐하는 삭감스케줄을 결정하였으나, 오존층 파괴가 예상 이상으로 진행되고 있는 그 후의 과학적 사실과 어세스먼트 과학 판넬(Assessment Science Panel)의 대기중 염소농도에 대한 시뮬레이션 결과 등의 보고에 기초해서 1992년 11월 코펜하겐에서의 제 4회 몬트리올 의정서 체결국 회합에서는 CFC 등의 삭감 스케줄을 앞당기고 또한 HCFC를 규제 스케줄에 책정하는 것이 채택되었다.

CFC와 HCFC의 삭감 스케줄은 다음과 같다.

(1) CFC

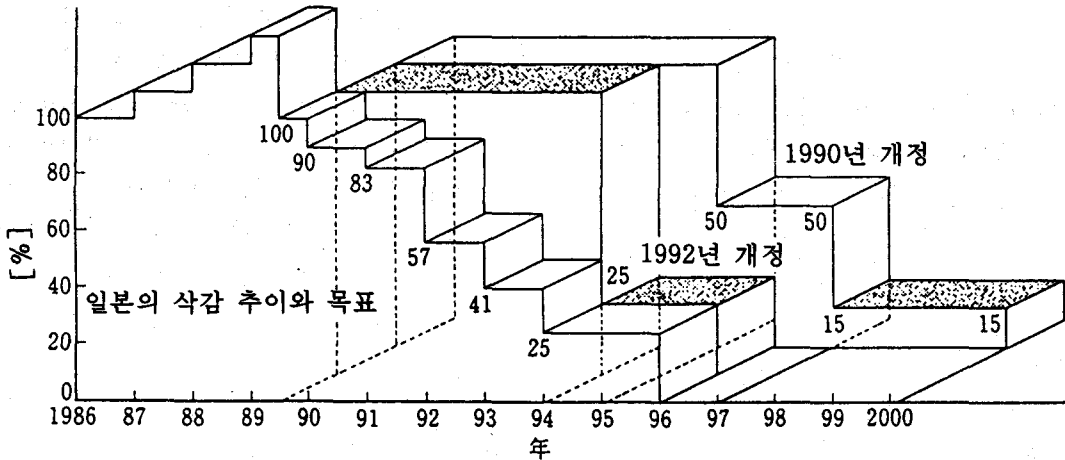
a) 1996년 1월 1일 : 전폐

b) 1994년 : 생산량을 기준년(1986년)의 25%

참고로, 그림 1에 현행법과의 관계를 나타낸다.

1990년 개정된 규제	
1986년	실적을 기준으로 해서
1989년 7월 1일 이후	100% 이하
1995년 1월 1일 이후	50% 이하
1997년 1월 1일 이후	15% 이하
2000년 1월 1일 이후	0%

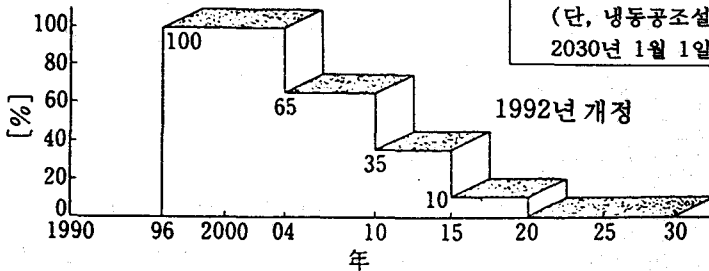
1992년 개정된 규제	
1986년	실적을 기준으로 해서
1989년 7월 1일 이후	100% 이하
1994년 1월 1일 이후	25% 이하
1996년 1월 1일 이후	0%



주 : 필요불가결한 분야에 사용(essential use)하기 위한 생산은 제외.
출전 : 일본 냉동공조공업회

그림 1 특정 프레온(CFC) 규제 스케줄

1992년 개정된 규제	
1999년	실적을 기준으로 해서
1996년 1월 1일 이후	100% 이하
2004년 1월 1일 이후	65% 이하
2010년 1월 1일 이후	35% 이하
2015년 1월 1일 이후	10% 이하
2020년 1월 1일 이후	0.5% 이하
(단, 냉동공조설비의 보충용등에만)	
2030년 1월 1일 이후	0%



주 : 1996년 초부터 각국이 매년 소비량을 1989년을 기준으로 해서 HCFC의 기준년 소비량+특정 프레온의 기준년 소비량×3.1%이하로 규제한다.(단 소비량은 ODP분)

그림 2 특정 프레온(HCFC) 규제 스케줄

(2) HCFC

- a) 최대소비량(ODP 환산량) : 1996년 이후는 1989년 기준 HCFC의 ODP 환산량에 CFC의 ODP 환산량의 3.1%를 더한 양
- b) 삭감 스케줄 (그림 2 참조)
 - 2004년 : 65% 이하
 - 2010년 : 35% 이하
 - 2015년 : 10% 이하
 - 2020년 : 0.5% 이하(단, 냉동공조설비의 보충용 등에만)
 - 2030년 : 0%

HCFC의 삭감 스케줄에 대하여 1993년 11월에 타이의 방콕에서 개최된 제 5회 몬트리올 의정서 체약국 회의에서, 덴마크, EC 등 16개국이 공동제안을 하여 전폐시기를 2015년 이전으로 하는 삭감계획을 앞당기도록 요구한 선언이 의사록 부속문서로 채택되었다.

또, 1994년 가을 케냐의 나이로비에서 개최된 제 6회 몬트리올 의정서 체약국 회의에서는 ① HCFC 규제를 앞당긴다는 결의와, ② CFC 회수 의무를 부여할 것이 예상된다.

4. 대체 프레온의 개발동향

개발된 프레온계 대체품의 환경에 미치는 영향과 안전성 확인을 위해 두가지 연구가 전세계의 프레온 제조업체에 의해 진행되고 있다. 또 HCFC 22 대체냉매의 평가를 위한 조사 연구를 전세계의 냉동공조기 업체가 협동하여 추진하고 있다.

4.1. 대체 프레온이 환경에 미치는 영향에 관한 공동조사연구(Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study : AFEAS)

표 2에 나타난 것과 같이 현재 개발중인 대체 프레온(HCFC, HFC)에 대해서 환경에 미치는 영향을 시급하게 평가·검토하기 위한 조사 연구이다.

대체 프레온의 오존층이나 지구 온난화에 대한 영향, 대기중에서의 분해물의 환경에 대한 영향 등의 조사연구에 대해서 모든 과학적 정보의 수집과 분석 평가를 수행하고 있

표 2. 대체 프레온의 환경에 미치는 영향에 관한 공동조사연구

항 목	내 용
대 상	HCFC 22, HCFC 123, HCFC 124, HCFC 125, HCFC 134a, HCFC 141b, HCFC 142b, HFC 143a, HFC 152a, HCFC 225ca, HCFC 225cb, HFC 32
연 구 목 적	1) 대체 프레온의 대기중에서의 분해기구 2) 대체 프레온 및 분해 생성물의 환경에 미치는 영향
연 구 기 간	1988년 12월 개시 1992년 종료 예정 1992년 말 개시(HFC 32)
구 성	세계 주요 프레온 제조업체 12사

다.

또한 냉동공조 시스템의 종합적인 지구 온난화에 미치는 영향을 종합평가하기 위한 평가 기준으로, TEWI(Total Equivalent Warming Impact)의 개념이 도입되고 있다. 이 TEWI는 시스템에서 방출되는 냉매에 의한 온난화 영향의 CO₂ 환산값과 시스템 수명중 소비되는 에너지에 의해 발생하는 CO₂량과의 합으로 다음 식과 같이 산출된다.

$$TEWI = GWP \times M + (A) \times (B)$$

여기서

GWP : CO₂를 1로 한 경우 냉매의 GWP

M : 방출되는 냉매의 총질량 (kg)

A : 전력 발생시 방출되는 CO₂의 양 (kg CO₂/kW·h)

발전소의 사용연료 구성에 따라 이 값은 달라진다.

약 0.581kg CO₂/kW·h(일본)

약 0.672kg CO₂/kW·h(미국)

B : 이 시스템의 수명 중 소비된 전체 에너지 소비량(kW·h)

참고로, 일본에서 사용되고 있는 3,516,000W(1,000 USRt)의 원심냉동기를 예로들면 아래와 같은 TEWI로 되는 것이 AFEAS로부터 보고되어 있다.

1) HCFC 123의 경우 : 23.7(tCO₂/USRt)

1) HFC 134a의 경우 : 25.2(tCO₂/USRt)

4.2. 국제공동 안정성 확인시험(Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing : PAFT)

전세계의 프레온 제조업체가 대체 프레온

의 기업화에 필요한 안정성을 확인하기 위한 시험을 실시하기 위해 설립한 것으로, 표 3에 나타난 그룹으로 나뉘어져 대체 프레온에 관한 급성흡입독성, 만성흡입독성, 발암성 등의 항목에 대해 시험연구 중이다.

표 3. 국제공동 안정성 확인시험

group	대체 프레온	기 간
PAFT I	HCFC 123 HFC 134a	1988~1993
PAFT II	HCFC 141b	1988~1993
PAFT III	HCFC 124 HFC 125	1989~1994
PAFT IV	HCFC 225ca HCFC 225cb	1990~1994
PAFT V	HFC32	1992~1998 (1992~1995)

주 : 문제가 없는 경우

4.3 대체냉매 평가 프로그램(Alternative Refrigerants Evaluation Program : AREP)

현재 미국, EC, 일본의 냉동공조기 업체 수십회사가 국제적으로 협력하여 HCFC 22, R 502의 대체냉매로 표 4와 같은 대체냉매에 대해 이용면에서 평가를 추진중이며, 1994년 6월에는 평가결과를 세계에 공표할 예정으로 되어 있다.

현재 입수가 가능한 냉매특성을 기초로 한 단열압축에서의 대체냉매 후보의 성능을 HCFC 22와 비교하면 표 5, 표 6과 같다.

현재 HCFC 22보다 뛰어난 성능을 나타내

는 대체냉매는 암모니아밖에 없으나, 이 냉매는 가연성으로 독성이 있고 자극적인 냄새가 있기 때문에 유력한 후보는 되지 못한다.

암모니아 이외의 오존 파괴계수 제로인 대체냉매로 교체할 때의 기술적인 대응으로서 냉매특성을 커버하는 에너지 절약화, 시스템기술, 압축기의 신뢰성 향상, 윤활유·재료

표 4. HCFC 22, R 502 대체냉매 후보

(a) HCFC 22의 대체 냉매

냉 매	[wt%]	
HFC 32, 125'	60, 40	공 비
HFC 32, 134a	30, 70	비공비
HFC 32, 134a	25, 75	비공비
HFC 32, 125, 134a"	30, 10, 60	비공비
HFC 32, 125, 134a	10, 70, 20	비공비
R 290(프로판)	—	
HFC 134a	—	
R 717(암모니아)	—	
HFC 32, 125, 290, 134a	20, 55, 5, 20	비공비
HFC 32, 227ea	35, 65	비공비

주)' : 예를 들어, A사 제품이 있다.

" : 예를 들어, D사 제품이 있다.

(b) R 502의 대체 냉매

냉 매	[wt%]	
HFC 125, 143a'	45, 55	공 비
HFC 125, 143a, 134a"	44, 52, 4	의사공비
HFC 32, 125, 134a	10, 45, 45	의사공비

주)' : 예를 들어, A사 제품이 있다.

" : 예를 들어, D사 제품이 있다.

의 적합성 등의 과제를 해결해야 할 필요가 있다.

현 시점에서는 공조기에 사용되는 HCFC 22 대체냉매의 유력한 후보로는 그림 3과 같이 예상된다.

대체냉매를 전망해 보면 단기적으로는 HFC 134a, 중기적으로는 HCFC 22와 같은 정도의 압력에서 비공비혼합냉매인 HFC 32, 125, 134a, (30, 10, 60 wt%), 장기적으로는 HCFC 22의 1.5배 압력에서 공비혼합냉

표 5. 공조용 대체냉매의 성능평가(현재 입수 가능한 냉매특성 기준)

냉 매	능 력	COP	의축압력
HCFC 22	100	100	100
HFC 134a	61	98	68
D 사제 냉매	97	96	106
A 사제 냉매	140	87	159
프 로 판	82	88	90
암 모 니 아	117	111	100

주) 조건 : 증발온도 0°C, 의축온도 50°C, 단열압축

표 6. 냉동용 대체냉매의 성능평가(현재 입수 가능한 냉매 특성 기준)

냉 매	능 력	COP	의축압력
HCFC 22	100	100	100
HFC 134a	52	96	66
R 502	94	88	109
D사제 냉매	89	80	119
A사제 냉매	90	79	121

주) 조건 : 증발온도 -30°C, 의축온도 40°C, 단열압축

대인 HFC 32, 125(60, 40 wt%)가 유력할 것이다. 단, 혼합냉매의 혼합비율은 가연성을 회피하기 위해 다소 변경될 수도 있다.

HCFC 22를 장기적인 대체냉매로 교체하는 마스터 플랜은 그림 4와 같이 예상된다.

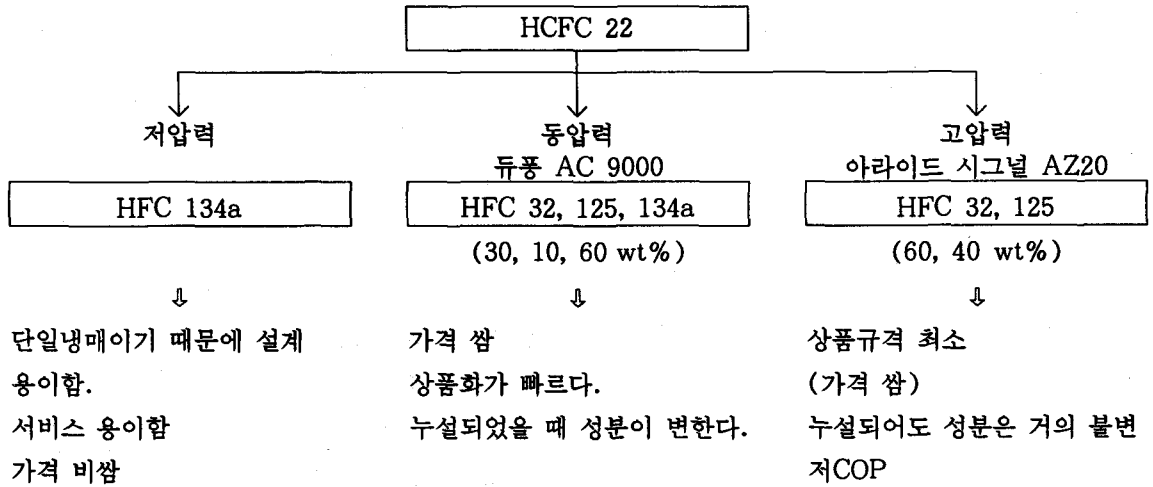


그림 3 HCFC 22의 공조용 대체냉매 후보

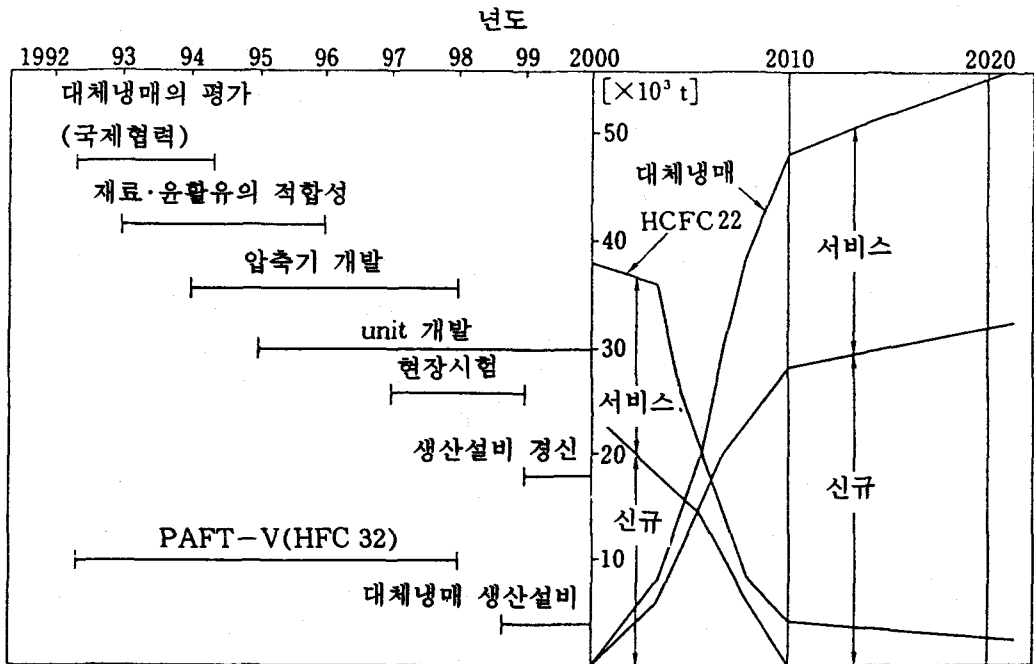


그림 4 HCFC 22를 대체냉매로 교체하는 마스터 플랜

참고로 주요한 대체 프레온 후보와 개발상황을 표 7에 나타낸다.

표 7. 주요 대체 프레온 후보와 개발상황

항 목	HCFC (수소를 함유한 CFC)						
명 칭	22	123	124	141b	142b	225 ca	225cb
화 학 식	CHClF ₃	CHCl ₂ CF ₃	CHClF ₂ CF ₃	CH ₃ CCl ₂ F	CH ₃ CCIF ₂	CHCl ₂ CF ₂ ·CF ₃	CHClF ₂ CF ₃ ·CCIF ₃
비점[°C]	-40.8	27.7	-12.4	32.0	-9.7	51.1	56.1
ODP'	0.055	0.02	0.022	0.11	0.065	0.025	0.033
HGWP*	0.36	0.02	0.1	0.12	0.42	0.04	0.15
대기중 수명[a]	15	1.6	6.6	8	19	2.6	7.7
PAFT group	-	I	III	II	-	IV	IV
기존 화학품 등 록 번호	2-93	2-97	화심법 심사완료	화심법 심사완료	2-100	2-3586	2-3587
허용농도[ppm]	1000	30	500	500	1000	-	-
공기중연소범위 [vol.%]"	불연	불연	불연	9.0~15.4	6.8~18.2	불연	불연
용 도	냉 매	○	○	○		○	
	발 포 재	○	○	○	○	○	
	분 사 재	○		○		○	
	용 제				○		○
대체 대상 프레온	12	11,113	14	11,113	12	113	
개발상황	상시(上市)	상시	상시	상시	상시	상시	

항 목	HFC (수소를 함유한 염화탄소)					
	23	32	134a	125	143a	152a
명 칭	CHF ₃	CH ₂ F ₂	CH ₂ FCF ₃	CHF ₃ CF ₃	CH ₂ CF ₃	CH ₂ CHF ₃
화 학 식	CHF ₃	CH ₂ F ₂	CH ₂ FCF ₃	CHF ₃ CF ₃	CH ₂ CF ₃	CH ₂ CHF ₃
비점[°C]	-82.1	-51.7	-26.3	-48.5	-47.4	-25.0
ODP'	0	0	0	0	0	0
HGWP*	-	0.13	0.25	0.84	0.76	0.03
대기중수명[a]	310	6	16	28	41	1.7
PAFT group	-	V	I	III	-	-
기존화학품 등록번호	2-47	화심법 심사완료	2-3585	화심법 심사완료	2-3584	2-86
허용농도[ppm]	1000	-	1000	1000	-	1000
대기중연소범위 [vol.%]	불연	13.3~29.3	불연	불연	7.0~19.0	4.0~19.6
용 도	냉 매	○	○	○	○	○
	발 포 재			○		
	분 사 재			○		
	용 제					
대체 대상 프 레 온	13	22	12	115, 22	22, 502	12
개발상황	상시	개발중	상시	개발중	시판중	상시

주) ' : ODP 값은 UNEP Synthesis Report(1991) 값을 채용하였다.

* : HGWP 값은 AFEAS의 수치를 채용하였다(CFC 11=1).

’ : HCHC 22 값의 수치는 ACGIH의 것으로, 그 외는 모두 한정된 독성 데이터에 기초한 추장 값이다.

’ : 대기중의 연소범위 수치는 “대체 프레온류의 폭발한계”에서 인용

출전 : 일본 프레온가스 협회.

4.4 대체냉매 이용에 따른 과제

(1) 오존층 보호

현재 프레온 제조업체, 사용업체 및 관련업체는 협력하여 프레온 전폐에 따르는 많은 과제를 극복하는데 필요한 기술개발에 적극적으로 참여해서, 오존층 보호에 공헌하려고 하고 있다.

특정 프레온이 1995년 말에 전폐되는 것에 대하여는 거의 대체기술이 개발되어 현재는 사용업체에 막대한 부담을 주지 않고 개발된 대체기술을 단계적으로 시장도입시켜 가고 있는 시기에 와 있다. 따라서, 이제부터는 과도적 물질인 HCFC 전폐에 대한 기술개발에 힘쓸 필요가 있다.

현재 시장에는 다수의 특정 프레온(CFC)과 과도적 물질(HCFC)을 이용하고 있는 히트펌프 및 냉동기가 가동되고 있으며, 그것들에 채워져 있는 프레온은 약 15만톤이다. 이 프레온이 대기로 방출되면 오존층 파괴는 더욱 진행되게 된다. 따라서 이것을 방지하기 위해 프레온 회수를 해야 할 필요가 있다.

일본은 국제사회의 일원으로서 부끄럽지 않도록 오존층 보호를 위한 시스템을 구축함

과 동시에 선진국으로서 개발도상국으로 기술 이전을 적극적으로 진행하여 지구환경 보호에 공헌해야 하는 것이 중요하며 또한 의무이기도 하다.

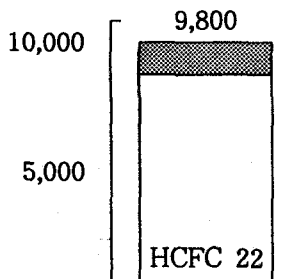
(2) 지구온난화 방지

일본에서의 CO₂ 발생량은 CO₂ 환산으로 약 12억톤 정도이고, 일본냉동공조공업회가 소관하고 있는 기기의 CO₂ 발생량은 일본전체의 약 4%에 달하는 것으로 추정되고 있다.

일본정부는 '온난화 방지 행동계획'을 내외에 제시하고 있다. 미국도 지구온난화 대책으로서 The Climate Change Action Plan을 1993년 10월에 발표하고 1994년 2월에는 이 법안을 통과시킬 예정이다. 이 법안에는 지구온난화 가스로 프레온 냉매가 포함되어 있다. 대체냉매를 선택할 때에 주의해야 할 것은 냉매에 의한 오존파괴를 없애는 것과 함께 지구온난화에 미치는 영향이 작도록 하는 것이다.

그림 5에 나타낸 것처럼 냉매를 대기로 방출시킴으로서 생기는 직접적인 온난화보다도 냉동공조기를 가동시켜 전력을 소비함에 따

CO₂ 발생량 [kg/a]



전제조건 : 전력소비량 12,500kW·h/a
(미국의 예) 냉매방출량 0.45kg/a,
CO₂ 방출량 0.73kg/kW·h

■ 방출냉매의 CO₂ 상당량
□ 히트 펌프 운전에 따른 CO₂ 발생량

그림 5 10,548W(3USRt) 히트 펌프의 CO₂ 발생량

른 발전소로부터의 CO₂ 발생에 의한 간접적인 온난화 쪽이 더욱 크다. 따라서 그림 6에 나타낸 것처럼 냉매를 선택할 때에는 불연성이며 독성이 없고 윤활유를 열화시키지 않으며 상용성(相溶性)이 있어야 하는 등의 필요한 특성외에 오존 파괴계수, 지구온난화 계수(GWP), 에너지 효율(EER)과의 균형을 함께 고려하여야만 한다.

(3) 기술적 과제

표 8에 나타낸 것과 같이 대체냉매를 이용한 제품이 시장에 도입될 때까지 여러 종류의 과제를 해결할 필요가 있다. 예를 들어 HFC 134a를 이용하는 경우 종래의 광물성 기름인 냉동기유는 상용성이 없기 때문에 사용할 수 없다. 최근 개발된 에스테르유는 상용성은 있으나 저온 영역과 고온 영역에서 두 개의 층으로 분리되므로 주의할 필요가 있다. 또 HFC는 염소를 포함하고 있지 않아 윤활 특성을 향상시키는 염화피막이 생성되지 않기 때문에 섭동부의 내구성 향상에 대한 대책이 필요하다.

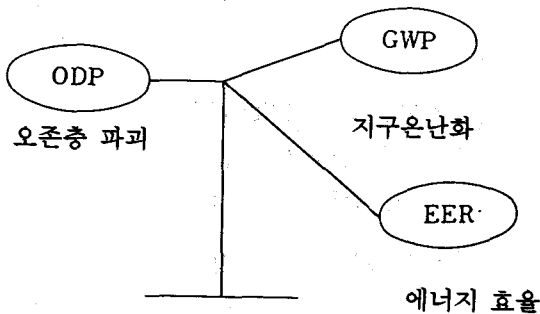


그림 6 냉동공조와 환경보전

표 8. 대체냉매 이용에 따른 과제

- 1) 대체냉매의 특성
 - a) 무독성, 불연성, 낮은 CDP와 낮은 GWP 등
 - b) 증발압력, 의축압력, 압축비
 - c) 냉매 순환량, 능력, COP, 토출 가스 온도
- 2) 냉동기유, 재료의 적합성(냉동기유 및 재료의 개발)
 - a) 냉동기유(열안정성, 상용성, 윤활유, 흡습성)
 - b) 금속재료, 전기 절연재, 건조재, 고무, 수지재
- 3) 성능의 최적화(압축기, 열교환기, 팽창 밸브)
 - a) 구성요소(압축기, 열교환기, 팽창 밸브)
 - b) 시스템 성능
- 4) 현장 테스트(field test)에 의한 신뢰성 확립
- 5) 생산라인의 개조 및 신설

5. 프레온 대응기술의 장래전망

5.1 총론

히트펌프 및 냉동기가 앞으로도 인류의 주거환경 향상과 식생활유지 향상에 도움이 되도록 지속적인 발전을 하기 위해서는 현재 직면하고 있는 2가지 과제인 오존층 보호와 지구온난화 방지에 대한 효율적인 대응이 필요하다.

오존층 보호에 관해서는 ODP가 제로인 대

체 프레온 HFC의 개발과 특정화 및 그것들의 이용기술을 서둘러 확립할 필요가 있다.

지구온난화 방지에 대해서는 GWP가 아주 작고 EER이 큰 냉매 즉 다시 말하면 TEWI가 작은 냉매를 선정하는 것이 중요하다. 더구나 이용된 냉매를 대기에 방출하지 않고 회수, 재생, 재이용 또는 회수, 파괴하는 것이 중요하다. 이것은 오존층 보호를 위해서도 효과적이다. 또 에너지 소비에 의한 CO₂ 발생을 억제하기 위해서 대폭적인 에너지 절약이 추진되어야만 한다.

에너지 절약을 추진하기 위해서는 냉동 사이클을 구성하는 주요 부품인 압축기나 열교환기의 고효율화가 필요하다. 그림 7에 나타난 것처럼 밀폐형 압축기는 제 1차 오일쇼크 이래 현재까지 약 30%의 고효율화가 달성되었으나 2000년까지 ① 모터 효율의 향상, ② 신재료 및 저점도유에 의한 기계적 손실의 저감, ③ 압축기의 개선 등에 의해 현재보다 20%의 고효율화가 기대되고 있다.

다음으로 HFC 비공비혼합냉매를 이용할 때에는 냉동사이클을 로렌츠사이클화하는 등 국가프로젝트로 개발된 SHP(Super Heat Pump)기술의 범용화를 추진하는 것이다. 또

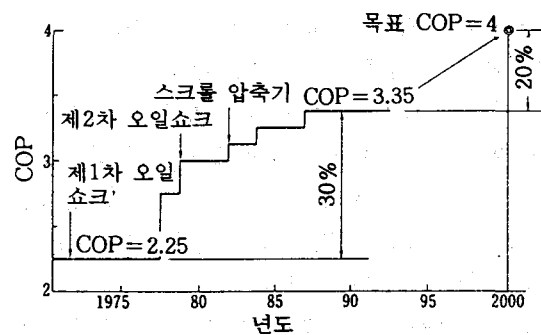


그림 7 밀폐식 압축기의 성적계수(COP) 경향

미이용 에너지를 유효하게 활용함에 따른 에너지 절약도 기대된다.

5.2 특정 프레온 대책

(1) 자동차 에어컨

카 에어컨, 트럭 에어컨 및 버스 에어컨에 사용되고 있는 냉매는 CFC 12이다. 카 에어컨은 사용량이 많으며, 또한 고무 호스로부터 누출이 있는 등 대기로의 방출이 많기 때문에, 일찍부터 대기방출량을 감소시키기 위한 다음과 같은 대책이 행해졌다.

- 1) 누설에 의한 로스의 삭감 : 기밀성 및 내구성의 향상
고무 호스(3층)→하이브리드 호스(4층)
- 2) 충전 냉매량의 20% 삭감 : 열교환기의 효율향상 등
- 3) 냉매 보충시에 전량교환을 피한다. : 회수·재생기의 보급, 서비스부의 소량화 (400→250g)
- 4) 건조·누설 검사용으로 사용금지 : 질소, 헬륨 등을 사용

이어서 CFC 12로부터 오존 파괴계수가 제로인 HFC 134a를 이용하기 위한 개발이 진행되었다. 표 9와 같은 여러 종류의 과제를 극복하여 1992년 모델차부터 상품화되어 시장에 도입되고 있으며, 1994년 말에는 대부분 신상품이 HFC 134a화될 전망이다.

현재 일본내에서 가동되고 있는 4500만 대의 자동차 에어컨에 대해서는 삭감된 프레온 양 중에서 보충용을 공급하던가, 폐차로부터 회수하여 재생시켜 보충용을 확보하는 것을 진행시키고 있다. 이것은 특정 프레온의 대기

방출을 억제하며 또한 자원의 유효한 이용이 되기 때문에 의의있는 일이다.

임시교환 및 재충전(drop in) 냉매로서는 HCFC 22의 혼합냉매가 권장되고 있다. 이것은 압축기유를 알킬벤젠으로 교환하므로써 대응할 수 있으므로 하나의 대책이 된다고 생각되어진다. 그러나 HFC 134a를 사용하는 새 에어컨으로 완전히 대체시키는 것은 비용이 늘어나므로 실제로는 곤란할 것으로 예상된다.

(2) 전기냉장고

소형에서는 주로 CFC 12가, 대형에서는 주로 R 502가 이용되어 왔다. One life one charge 때문에 서비스시의 보충용 냉매는 아주 적다. 냉매충전량을 줄이기 위해 열교환기의 효율향상은 조기에 실시되었으나, 대체냉매 이용을 위한 고신뢰성 확보에 시간이 걸렸다.

CFC 12 대체냉매는 중장기적으로 HFC 134a로, R 502의 대체냉매는 중기적으로는 HCFC 22이다. 표 10과 같은 많은 과제에 대하여 대책이 마련되어 1993년 가을부터 상품화되고 있다.

HCFC 22의 장기적 대체냉매로서는 예를 들어 HFC 125, 143a, 134a(44, 52, 4wt%) 등의 HFC 혼합냉매가 유력한 후보로 평가되고 있다. 그러나, 이 혼합냉매의 이용기술이 확립될 때까지 당분간은 시간이 걸릴 것이다.

(3) 업무용 냉동기

쇼케이스나 조립식(prefab)냉장고 등의 냉장과 냉동을 목적으로, 냉장냉동 유니트와 콘덴싱 유니트가 이용되고 있으며, 이들 유니트에는 밀폐 왕복동, 밀폐 로터리, 밀폐 스크롤

및 반밀폐 왕복동의 각종 압축기가 이용되고 있다.

이들 기종에 CFC 12, HCFC 22 및 R 502가 사용되어 왔다. 특수한 예로서 2차 냉동의 저단측에 R 13 B 1, R 13 및 R 503이 사용되어 왔다.

일본에서는 업무용 냉동기가 연간 100만대가 신규로 생산되며 시장에서 1300만대가 가동되고 있다. 1986년에는 CFC 12가 신규 생산용으로 3000t/a, 서비스용으로 3000t/a 사용되고, R 502는 800t/a, HCFC 22는 6000t/a 사용되었다.

대기로의 방출 억제를 위해서 다음과 같은 대책이 행하여 졌다.

- 1) 냉매 충전시의 로스량 감소 : 기밀 테스트의 확실한 실시, 충분한 진공하에서 빨아들이게 하므로써 퍼지용 프레온의 감소
- 2) 충전 냉매량의 감소 : 열교환기의 효율향상, 부속기기의 내용적 감소, 정확한 양의 주입에 의한 냉매의 과충전 방지
- 3) 서비스시의 회수·재생 : 회수, 재생 및 재생기의 보급

a. 중기대책

CFC 12, R 502를 HCFC 22로 대체시킨 상품화가 거의 완료단계에 와 있다. 이를 위한 과제와 대책은 표 11과 같다.

HCFC 134a는 오존 파괴계수가 제로이며 토출 온도가 낮은 장점이 있으나 증발온도가 낮아지면 능력저하가 커지기 때문에 냉동용도로의 사용은 곤란하며, 냉장용도로 일부 시장도입이 진행되고 있다.

2원 냉동의 저단측에 사용된 R 13 B 1, R 13 및 R 503은 HFC 23으로 대체되고 있다.

b. 장기대책

냉장용으로 HFC 134a가 단일냉매이기 때문에 또는 취급이 용이하여서 일부에서 이용될 것이다. 냉장용의 대부분과 냉동용도로는 R 502와 특성이 아주 흡사한, 예를 들어 HFC 125, 143a, 134a의 의사 공비혼합냉매 또는 HFC 125, 143a의 공비혼합냉매 등의 HFC 혼합냉매가 이용될 것이다. 이 때문에 폴리올 에스테르와 같은 적절한 냉동기유의 선정과 적합한 재료의 선정 및 시스템의 최적화에 대한 개발이 진행되어야만 한다.

c. 시장에서 가동중인 기기의 대책

폐기되는 업무용 냉동기에서 회수·재생해서 CFC 12, R 502를 확보하여 보충용으로 이용하는 것은 특정 프레온의 대기방출을 억제하기 위해서도 또한 귀중한 자원의 유효한 활용을 위해서도 의미있는 일이다.

현재 CFC 12를 사용하고 있는 기기에 대해서는 냉매를 예를 들어 D사 제품의 것으로 하고, R 502를 사용하고 있는 기기에 대해서도 냉매를 D사의 제품으로 변경하고 냉동기유를 알킬벤젠으로 변경하는 것으로 소급개수(retroactive refit)하는 방법도 있다.

(4) 수송용 냉동기

트럭용은 일본에서 2만대/a 신규로 생산되고 시장에서는 8만대 가동되고 있다. 1986년에는 CFC 12가 200t 소비되었다. 이외에 R 500이나 R 502도 사용되고 있다.

해상 컨테이너용은 세계에서 3만대/a 신규 생산되고 시장에서는 30만대 가동되고 있다. 1986년에는 CFC 12가 250t 소비되었다.

a. 트럭용

- 1) 중기대책 : 냉장용으로는 HFC 134a를 대체냉매로서 이용하고 있다. 냉동용으로는 HCFC 22를 대체냉매로 하고, 토

출가스 온도 상승은 액 바이패스에 의해 대체시키고 있다.

- 2) 장기대책 : 냉장용으로 HFC 134a가 이용될 것이다. 냉동용으로는 업무용 냉동기와 마찬가지로 유니트의 소형화를 피하기 쉬운 HFC 125, 143a, 134a와 같은 의사 공비혼합냉매가 이용될 것이다.
- 3) 시장 가동의 대책 : CFC 12, R 502를 회수·재생하여 입수할 수 있는 동안은 이것에 의해 보충을 행한다. 입수할 수 없게 되면 CFC 12나 R 500 이용기에 대해서는 D사 제품(HCFC 22, HFC 152a, HCFC 124)이, R 502 이용기에 대해서도 D사 제품(HCFC 22, HFC 125, 프로판)과 같은 혼합 냉매가 임시 교환 및 재충전 냉매로 이용될 수 있다. 이 경우에는 냉동기유를 알킬벤젠으로 변경해야 한다.

b. 해상 컨테이너

- 1) 중기대책 : HCFC 22를 이용하고 액 인젝션과 액 바이패스에 의해 운전범위를 넓히는 방식과 HFC 134a를 이용하고 압축기가 밀어내는 양을 크게 하여 저온에서의 능력저하를 보충하는 방식이 도입되어 있다.
- 2) 장기대책 : 일부 HFC 134a가 사용될 것이나 트럭용과 마찬가지로 유니트의 소형화를 피하기 쉬운 HFC 125, 143a, 134a와 같은 HFC 혼합냉매가 이용되고 있다.
- 3) 시장 가동기의 대책 : CFC 12의 회수·재생에 의해 냉매를 확보할 수 있는 동안은 이것 등에 의한 보충이 가능하나 입수할 수 없게 되면 D사 제품과 같은

드름 인 혼합냉매가 이용될 수 있다. 이 경우에는 냉동기유를 알킬벤젠으로 변경해야 한다.

(5) 원심냉동기

1991년에는 약 500만대 생산되었으나 최근에는 흡수냉동기가 늘어나고 원심냉동기는 점차 감소되고 있다. 현재 일본 시장에서 약 1.7만대가 가동되고 있으며 약 1.6만대가 CFC 11를 사용하고 있다. 일부는 CFC 12와 지역 냉난방용 등에서 HCFC 22가 사용되고 있다. 1986년에는 CFC 11이 신규용으로 600t, 서비스용으로 1400t 소비되었다.

여름철 냉방기 종료후 안에 충전된 CFC 11을 빼내는 off공사를 행하고 냉방 시즌직전에 냉매를 충전하는 in 공사를 실시하고 있었으나 기밀성의 향상, 공사의 격년화, 냉매를 완전하게 빼내는 것으로 대기방출의 삭감을 행하여 왔다. 또 열교환기의 효율향상에 의한 충전 냉매량의 삭감도 실시해 왔다.

CFC 11의 대체냉매는 HCFC 123이다. PAFT의 결과로부터 허용환경농도는 30ppm이다. 표 12와 같은 과제에 대한 대책에 의해 이미 상품화되어 1992년 10월부터 발매되고 있다.

이 용도에 적합한 HCFC 123은 2030년에 전폐되기 때문에 원심냉동기의 수명을 고려하더라도 이 대체냉매가 개발될 때까지 과도적으로 이용될 것이다. 또 시장가동기의 보충용으로 CFC 11이 입수되지 않을 수도 있기 때문에 HCFC 123에 의한 소급개수로 대응해야 한다.

CFC 12의 대체냉매는 HFC 134a이다. PAFT는 완료되어 있고 허용환경농도는 1000ppm 이하이다. HCFC 134a 원심냉동기

는 표 4와 같은 과제에 대한 대책에 의해 이미 상품화 되어 1993년 4월부터 발매되고 있다. 일본에서는 지정설비 인정제도의 시행에 따른 고압가스 취체법의 완화로 192kW이상이라도 작업주임자를 필요로 하지 않으면 시장도입이 진행될 것으로 생각되어진다.

- 1) 장기대책 : HFC 134a는 장기적으로도 이용되고, HCFC 123은 HFC 245ca와 같은 저압냉매로 대체될 것이다. 또 HCFC 22의 대체냉매로는 HFC 32, 125, 134a와 같은 HFC 혼합냉매가 이용될 것이다.
- 2) 시장 가동기의 대책 : CFC 11과 CFC 12의 회수·재생으로 보충용 냉매를 확보하는 것 외에 CFC 11의 HCFC 123에 의한 소급개수 및 CFC 12를 HCFC 134a로 소급개수가 행해질 것이다.

5.3 HCF 22의 대체냉매

(1) 룸 에어컨디셔너(RAC)

일본의 총수요는 1990년 593만대, 1991년 709만대로 호경기와 고객의 어매니티(쾌적성) 지향으로 대폭적인 신장을 나타내고 있으나 1992년은 경기후퇴와 서늘한 여름 등의 영향으로 635만대로 10년만에 전년보다 떨어졌다.

이들에 사용되고 있는 냉매는 열안정성, 화학안정성, 안정성, 열특성이 뛰어난 HCFC 22이다.

전술한 바와 같이 현재 AREP로 대체냉매를 평가하고 있는 중이나 현재 상태로는 HCFC 22와 대부분 같은 압력으로 고효율의 가능성이 있는 HFC 32, 125, 134a의 비공비 혼합냉매 또는 HCFC 22보다 1.5배의 압력

이 되기는 하나 소형화 가능성이 있는 HFC 32, 125의 공비혼합냉매로 되리라고 예상된다. 특정화되는 것은 더욱 시간이 필요하고 상품화되는 것은 2000년 정도라고 생각된다.

(2) 패키지 에어컨디셔너(PAC)

1991년은 내수확대의 영향으로 일본 총수요는 106만대였다. 1992년은 경기후퇴와 서늘한 여름으로 인해 95만대로 전년 수요보다 떨어졌다. 이들에 사용되고 있는 냉매는 HCFC 22이다.

HCFC 22의 대체냉매는 장기적으로는 RAC와 같을 것이다. 중기적으로 단일 냉매로 HCFC 22보다도 압력이 낮고 비용이 높아지게 되기 때문에 용도가 한정되지만 사용자 필요에 의해 HFC 134a에 의한 PAC가 시장에 도입될 수도 있다.

(3) 용적식 칠러

일본의 국내 수요는 수년간 140,640W 이상의 스크류 칠러를 포함하여 연간 약 14000대로 추정된다. 이 중 약 30%가 공기열원 히트펌프이다. 이 히트펌프는 난방공조용만이 아니라 급탕용이나 한랭지의 노면용설 등 여러 용도로 사용되고 있다. 이것들에 사용되고 있는 냉매는 거의가 HCFC 22이다.

대체냉매는 단기적으로는 HFC 134a가 오존층을 파괴하지 않고 고효율이라는 장점이 값이 비싸다는 결점을 보완하여 관공서나 공공시설 등에 사용될 것이다. 장기적으로는 RAC 및 PAC와 같다.

5.4 비프레온화

종래까지는 오존층 보호가 목적으로 ODP 제로의 냉매 개발이 지향되어 왔으나 이제부터는 지구온난화 방지가 주요한 주제가 될 것이다. 현 상태로는 ODP도 GWP도 제로인 대체 프레온은 개발되어 있지 않다. 비프레온의 암모니아, 프로판 및 탄산가스 등이 오존층 보호와 지구온난화면에서 바람직한 냉매 후보이다. 암모니아는 약 120년전부터 이용되어 왔으나 종래 이용되어 온 기술에서 발전하여 냉매충전량이 적고 자동운전이 가능하며 누설시 제외장치를 내장하고 누설탐지기나 감지기 등의 안전장치를 부착시키는 유니트화 된 차세대 암모니아 냉매기가 개발되어 있다.

또 독일에서는 냉매로 이소부탄을, 단열재로 펜탄을 사용한 전기냉장고가 개발되어 상품화 되고 있다. 따라서 히트펌프 및 냉동기의 분야에서도 비프레온 냉매의 평가를 진행시킬 필요가 있다.

6. 결 론

용도별 대체냉매 이용의 전망을 정리하면 표 13~표 16으로 된다.

오존층 보호와 지구온난화 방지에 효과적으로 대응하기 위해서는 ① ODP·GWP·EER의 최적 밸런스를 기하여 냉매를 선정할 것, ② 이용한 냉매는 대기로 방출시키지 않고 회수하여 재생, 재이용하던지 파괴할 것, ③ SHP의 범용화를 추진하여 현상의 2배이상 성적계수(COP)를 내는 히트펌프를 상품화하는 등으로 대폭적인 에너지 절약을 추진하는 것이 필요하다.