

대체냉매 이용시스템의 개발동향

Development Trend of Application Systems With Alternative Refrigerant

한서엔지니어링
대표 정재천

1. 서언

1992년 몬트리올 의정서 체결국 회의에서 수소를 포함하지 않은 프레온(CFC)의 경우, 오존층 파괴능력이 높은 특정프레온 5종류(R11, R12, R113, R114, R115)가 우선 1995년에 제조 금지되었고 수소를 포함한 프레온(HCFC)도 순차적으로 규제되어 2020년까지 폐지하는 것이 결정되었다. 그리고 그 전 계획은 HCFC의 연간소비량을 89년의 HCFC소비량에 동년의 CFC소비량의 3.1%를 더한 양을 상한으로 하고 2020년까지 대형 냉동·공조설비용을 소멸하여 간다는 내용이다.

이와같이 프레온에 대한 문제는 극히 중대하고 긴급하며 그것을 사용하고 있는 냉동·공조관련업체 및 관련자들로서는 「지구환경을 지킨다」는 입장에서 차세대 냉동 공조시스템을 이룩해야 한다고 생각된다.

본 원고에서는 이들 규제냉매에 대한 동향과 대체냉매의 현상에 관한 평가 및 개발동향에 대하여 언급하고 증기압축식 냉동·공조기에 관한 동향을 간략히 서술한다.

2. 프레온 문제의 개요

2-1. 프레온 규제 동향의 경위

1974. : 프레온의 오존층 파괴설의 논문 발표

Dr. F. S. Rowland Dr. M. J. Malina

- 1978 : 프레온(R11, R12)의 에어졸 제품의 제조 금지 (미국)
- 1980 : 프레온(R11, R12)의 생산능력 동결 (EC, 일본)
- 1985 : “오존층 보호를 위한 원 조약” 채택
- 1987 : “오존층을 파괴하는 물질에 관한 몬트리올 의정서” 채택
- 1988 : “오존층 보호법” 성립 공포 (특정프레온의 배출억제, 사용합리화지침)
- 1989 : “부원조약, 몬트리올의정서 제1회 체결국회의” (제1회 프레온 연도생산허가 - 프레온규제 개시)
- 1990 : “개정 몬트리올 의정서”
- 1991. 3 : “특정물질의 규제 등에 의한 오존층의 보호에 관한 법률”의 개정 (일본)
 - ① 특정물질의 범위확대
 - ② 과학물질의 원료로서의 사용취급의 특례
 - ③ 특정 물질제조소의 도입
- 1991. 6 : “몬트리올의정서 제3회 체결국회의”
- 1992. 2 : ICARMA 공동선언
- 1992. 11 : “몬트리올 의정서 제4회 체결국회의”

2-2. 프레온 규제 동향

남극에서 오존 홀(ozone hole)변화 등의 과학적 지견을 기초로 하여, 국제연합환경계획(UNEP)이 사무국인 국제 조약이 만들어져, 1985년의 「몬트리올 의정서」가 체결되었으며,

1990년 6월 제 2회 몬트리얼 의정서 체결국 회의가 결정되었다. 특정 프레온 CFC의 생산을 2000년에 전폐하는 삭감 계획은 오존층 파괴가 예상보다 빨리 진행되고 있으며, 대기중 염소 농도의 시뮬레이션 결과 등의 보고에 기초하여, 1992년 11월 코펜하겐에서 개최된 제 4회 몬트리얼 의정서 체결국 회의에서, CFC 등의 삭감과 앞으로의 HCFC 규제 계획이 채택되었다.

CFC와 HCFC의 삭감 계획은 그림 1, 2와 같다. HCFC의 삭감 계획은 1993년 11월 태국의 방콕에서 개최된 제 5회 몬트리얼 의정서 체결국 회의에서, 덴마크, EEC 등 16개국의 공동 제안에 의해 생산 전폐 시기를 2015년 이전으로 하는 계획과 앞으로의 결의 요구 선언이 의사록의 부속 문서로 채택됨으로 HCFC의 규제 결의와 CFC회수 의무가 예상된다.

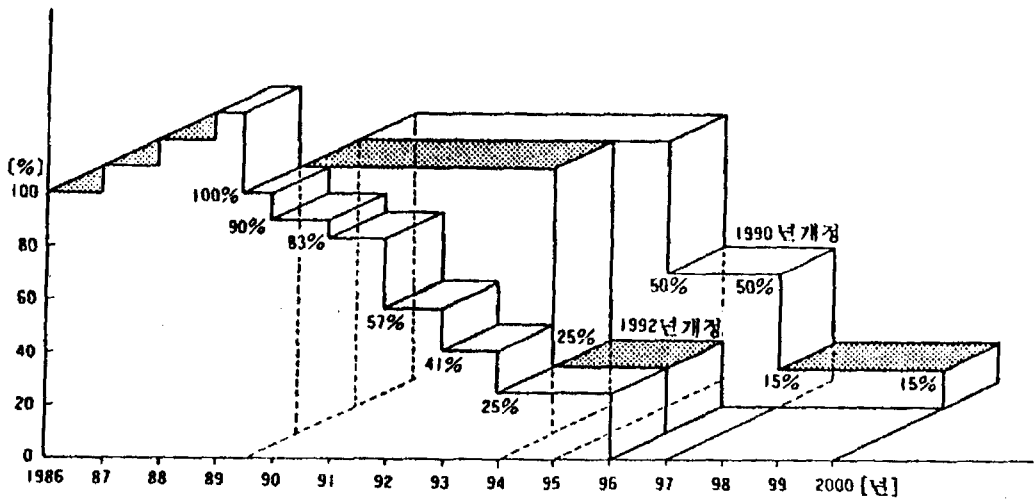


그림 1. CFC의 규제 계획

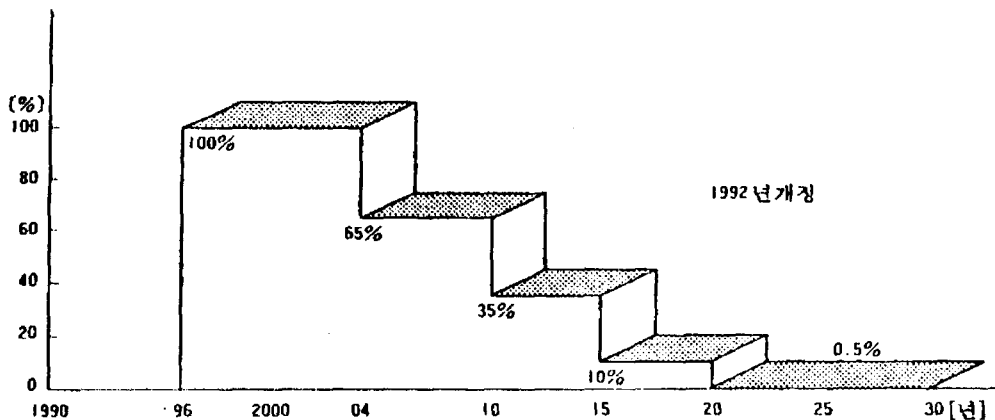


그림 2. HCFC의 규제 계획

2-1. 규제물질과 대체품의 물성 및 개발현황(주요냉매만 기재)

항 목	규 제 물 질					
	특정FREON CFC			특정FREON HCFC		
명 칭	R11	R12	R114	R22	R123	R142b
화 학 식	CCL3F	CCL2F2	CCLF2CCLF2	CHCLF2	CHCL2CF3	CH3CCLF2
분 자 량	137.77	120.91	170.92	86.47	152.93	100.50
비 점(℃)	23.77	-29.79	3.77	-40.8	27.5	-9.7
오존파괴계수(ODP)	1.0	1.0	1.0	0.05	0.02	0.06
지구온난화계수(GWP)	1.0	2.8~3.4	3.7~4.1	0.32~0.37	0.017~0.012	0.34~0.39
연 소 성	불연성	불연성	불연성	불연성	불연성	가연성
안정성(PAFT)					PAFT I	
대체대상 FREON					R11, 113	R12

항 목	대 체 후 보					
	FREON계 (HFC)			비FREON계		
명 칭	R134a	R32	R152a		프로판	
화 학 식	CH2FCF3	CH2F2	CH3CHF2	NH3	C4H4	
분 자 량	102.03		66.05	17.03	44.09	
비 점(℃)	-26.18	-51.7	-25.0	-33.3	-42.07	
오존파괴계수(ODP)	0	0	0	0	0	
지구온난화계수(GWP)	0.24~0.2	0.13	0.026~0.033	0	0	
연 소 성	불연성	가연성	가연성	가연성	가연성	
안정성(PAFT)	PAFT I	PAFT IV				
대체대상 FREON	R12	R22	R12	R22	R22	

대체 FREON의 공동조사, 연구

대체FREON의 안정성 시험(PAFT)					
프로판	PAFT I (14사)	PAFT II (10사)	PAFT III (6사)	PAFT IV (6사)	PAFT V (8사)
대상화합물	HCFC123 HFC 134a	HCFC141b	HCFC225ca HCFC225cb	HCFC225ca HCFC225cb	HFC32
기 간	1938~1992 종료	1988~1993 종료예정	1989~94-95 예정	1990~94-95 예정	1992~95-98 예정

PAFT...국제공동안정성확인시험

AFEAS 대체 프레온의 환경에로의 영향에 관한 공동조사 연구
• HCFC · HFC의 조사 연구
• 참가 12사
• 기간 1990~1992년

2-4. 용어해설

① 후레온 -FREON-

불소화탄화수소의 총칭으로서 일본에서 사용되고 있지만 외국에서는 사용되고 있지 않고 영어의 플루오로카본(Fluorocarbon)에 상당한다.

FREON은 분자구조상 아래와 같이 호칭되고 있다.

CFC -Chlorofluorocarbon-

완전하게 할로겐화 되어 염소와 불소를 함유하는 플루오로 카본.

염소를 포함, 오존파괴의 가능성이 높다.

HCFC -Hydrochlorofluorocarbon-

수소, 염소 및 불소를 함유하는 플루오로 카본.

염소를 함유하고 있지만, 수소가 결합하고 있기 때문에 분해하기 용이하고, 오존파괴의 가능성이 낮다.

HFC -Hydrochlorofluorocarbon-

수소, 불소는 함유하지만 염소를 함유하지 않은 플루오로카본 염소를 함유하지 않으므로 오존을 파괴하지 않는다.

CFC의 5물질이 특정 FREON으로서, 당초의 몬트리올 의정서에 의하여 규제되고 대체품 후보로서 HCFC 및 HFC가 검토되고 있는데, 특정 FREON을 포함한 CFC를 제1세대 FREON, HCFC 및 HFC를 제2세대 FREON이라고도 부른다.

게다가, 오존층을 파괴하지 않고, 지구온난화의 억제에도 도움이 되는 완전히 새로운 분자구조를 가진 대체물질의 개발이 시작되고 있고, 제3세대 FREON이라고도 불리고 있다.

② 하론 -Halon-

취소를 포함한 함불소, 탄화수소의 국제적인 총칭이다.

하론번호는 1항목이 수소의 수, 2항목이 염소의 수, 3항목이 불소의 수, 4항목이 탄소의 수를 나타내고, 메탄계는 1,000대, 에탄계는 2,000대이다.

③ AFEAS 대체 FREON의 환경에의 영향에 관한 공동조사연구

-Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study-

현재개발 중의 대체FREON(HCFC, HFC)에 대해서, 세계의 FREON MAKER 12사가 공동으로 환경에의 영향을 긴급하게 평가 검토하기 위한 공동조사 연구, 대체FREON의 오존층이나 지구의 온난화에 대한 영향, 대기 중에 있어 분해물의 환경에 대한 영향 등의 조사연구에 대하여 모든 과학적 정보의 수집과 분석 평가를 한다.

④ PAFT 국제공동안전성 확인시험

-Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing-

세계의 FREON MAKER가 대체FREON의 기업에 필요한 안전성 확인 시험을 하기 위하여 설립하였다. FREON에 관한 독성에 대해서의 시험 연구계획.

⑤ 오존 파괴계수 (ODP) -Ozone Depletion Potential-

현재의 인식을 기초로, 각 물질이 오존을 파괴한다고 생각되는 능력을 정수화한 것으로, CFC-11을 1.0으로 하였을 때의 상대치로 표시된다.

⑥ 지구온난화계수(GWP)-Global Warming Potential-

온실효과계수(GHP)-Greenhouse Potential 지구의 온난화에 기여하는 능력을 정수화한 것으로 CFC-11을 1.0하였을때의 증량당의 상대치로 표시된다.

3. 대체 냉매의 평가

냉매 특성을 기초로 단열 압축에서 대체 냉매 후보의 특성을 HCFC-22와 비교하면 표1과 2와 같다. HCFC-22보다도 우수한 성능을 나타내는 대체 냉매는 암모니아 뿐이지만, 가연성과 독성 약취 등으로 현 단계에서 유력한 후보로 되기는 어렵다. 암모니아 이외의 오존 파괴 지수(ODP) 0의 대체 냉매로 교체될 때의 기술적 대응으로서, 에너지 절약과, 시스템 기술, 압축기의 신뢰성 향상, 윤활유 및 재료의 적합성 등에 관한 과제를 해결할 필요가 있다. 대체 냉매를 전망하면, 단기적으로는 HFC-134a, 장기적으로는 HCFC-22와 동일한 압력을 가진 비공비혼합냉매인 HCFC-32/125/134a(23/25/52wt%)와 HCFC-22의

표 1 공조용 대체냉매의 성능평가

냉매	능력	COP	응축압력
HCFC-22	100	100	100
HFC-134a	61	98	68
AC9000	97	96	106
AZ20	140	87	159
프로판	82	88	90
암모니아	117	111	100

표 2 냉동용 대체냉매의 성능평가

냉매	능력	COP	응축압력
HCFC-22	100	100	100
HFC-134a	52	96	66
R-502	94	88	109
HP62	89	80	119
AZ50	90	79	121

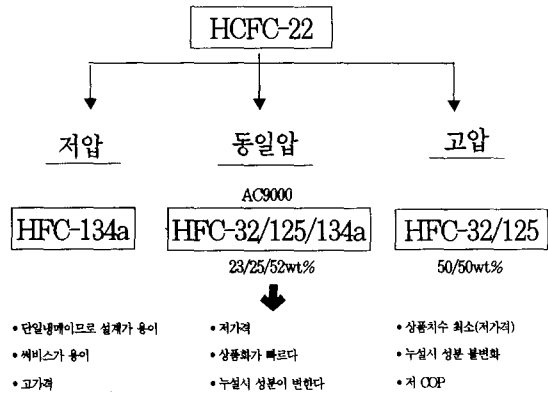


그림 3 HCFC-22의 공조용 대체냉매 후보

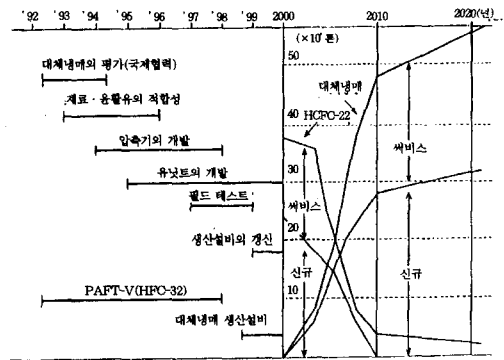


그림 4. HCFC-22를 대체냉매로 교체하는 종합계획

1.5배 압력으로 공비혼합냉매인 HFC-32/125(50/50wt%)가 유력하다. 단, 혼합냉매의 혼합 비율은 가연성을 피하기 위해 다소 변형될 가능성이 있다. HCFC-22를 장기적 관점에서 대체 냉매로 교체하는 종합 계획은 그림 5와 같이 예상된다.

4. 공조 냉동기기의 개발 현황과 대책

4-1. 룸 에어컨과 패키지 에어컨

룸 에어컨에 사용되고 있는 HCFC-22 냉매는 열적 안전성, 화학적 안전성, 열특성이 우수한 냉매이다. 앞에서 설명한 바와 같이, 현재 AREP에서 대체 냉매를 평가 중에 있고,

특정화하는데에는 아직 시간을 요하므로, 현실적으로는 HFC-32/125/134a 등의 비공비혼합냉매, 또는 HFC-32/125 등의 공비혼합냉매가 될 것으로 예상된다. 그러나 상용화는 약 2000년도부터 될 것이다.

패키지 에어컨에 사용되고 있는 냉매는 HCFC-22 룸 에어컨과 동일하게 대체 냉매로서 장기적으로는 HFC-32/125/134a 등의 비공비혼합냉매와 HFC-31/125 등의 공비혼합냉매등이 주목되고 있다. 단기적으로는 용도가 한정되겠지만, HFC-134a에 의한 패키지가 시장에 도입되는 것도 생각할 수 있다.

4-2. 용적식과 원심식 칠러

용적식 칠러에 사용되고 있는 냉매는 대부분 HCFC-22이다. 스크류 칠러의 대체 냉매는 단기적으로 ODP가 0인 것과 고저압의 압력차가 HCFC-22보다도 작기 때문에 HFC-134a가 약 10% 고효율인 잇점이 있지만, 가격이 비싸 관공서나 공공 시설 등에 사용 되리라 생각된다.

장기적으로는 룸 에어컨이나 패키지 에어컨과 동일하게 HFC-32/125/134a 등의 비공비혼합냉매 또는 HFC-32/125 등의 공비혼합냉매가 사용될 것이다.

원심식 칠러에 사용되고 있는 냉매는 대부분 CFC-11이지만, 일부 CFC-12도 사용되고 있다. CFC-11의 대체냉매는 HCFC-123이며, 독

성시험(PAFT, Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing)의 도중 경과에서 허용 환경 농도 10ppm이하로 되는 HCFC-123터보 냉동기가 1992년 10월에 이미 개발되었다. HCFC-123은 전폐가 2030년이기 때문에 원심식 칠러의 수명을 생각하면, 대체 냉매가 개발되기까지 과도적으로 사용될 것이다. 또, 시장 이동기의 보충용으로서 CFC-11이 입수될 수 없기 때문에, HCFC-123에 의한 개조용으로 대응할 필요가 있다. 기존의 CFC-11터보 냉동기는 패킹, O링 등을 교환함으로써 대체 냉매 HCFC-123기로 개조 수정할 수 있다.

CFC-12의 대체 냉매는 HFC-134a로 PAFT는 인정하고 있고, 허용 환경 조건은 2000ppm 이하이다. HCFC-134a 터보 냉동기도 개발되어 1993년도부터 공급되고 있다. 따라서, 지정 설비인정 제도의 시행에 의해 시장 도입이 진행될 것으로 예상된다. 표 3은 1993년 9월까지 각 회사의 HCFC-134a 칠러의 개발 현황을 나타낸 것이다.

지역 냉난방에 사용되고 있는 대형 터보 냉동기에는 HCFC-22가 사용되고 있다. 이 냉매는 2020년에 원칙적으로 전폐되지만 보충용

표 3 HFC-134a 칠러 개발현황

	100	1,000	(USRT)	압축기형식
MITSUBISHI (Heavy)	30	120	150 400 7,000	트윈스크류 이단터보
EBARA	30	120	200 520 7,000	트윈스크류 단단터보
HITACHI	75	300	100 1,000	트윈스크류 단단터보
MITSUBISHI (Elec)	130/162	481/587	300 계획중	싱글스크류 단단터보
DAIKIN	81/107	594/780		싱글스크류

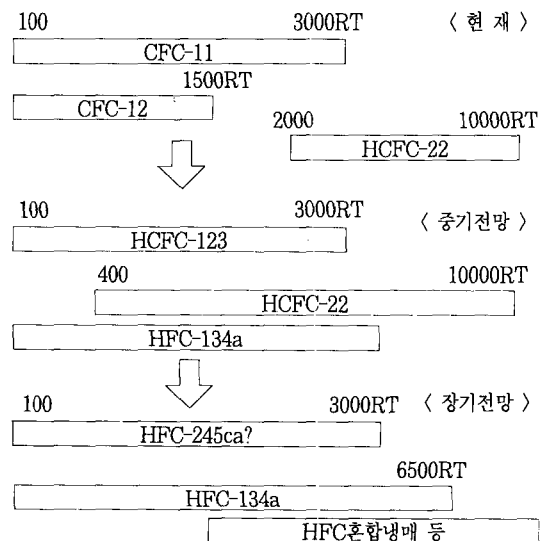


그림 5 원심식 칠러의 장래전망

표 4 터보 냉동기용 냉매의 이론성능 계수 비교

냉매	사이클	이론동력(kW/냉동톤)			압력(ata)	
		단단	단단·과냉각	2단	증발	응축
CFC11		0.527(100)	0.513(97)	0.500(95)	0.45	1.71
HCFC123		0.536(103)	0.518(98)	0.502(95)	0.37	1.52
HFC134a		0.579(110)	0.551(105)	0.527(100)	3.21	10.1
HCFC22		0.574(109)	0.551(105)	0.532(101)	5.41	15.2

조건 : 증발온도 = 2℃, 응축온도 = 40℃, 과냉각 = 5℃

표 5 공조용 열원기기의 대체냉매

열원기기		종 래	현 재		증 장 기
칠 러	원심식	CFC-11	HCFC-123	HCFC-123	HFC-245a
		CFC-12	HFC-134a	HFC-134a	HFC-134a
		HCFC-22	HCFC-22	HCFC-221	HFC혼합냉매
	스크류	HCFC-22	HCFC-22	HFC-134a	HFC혼합냉매
룸에어컨 팩키지에어컨		HCFC-22	HCFC-22	HCFC-22	HFC-134a HFC혼합냉매

으로서 2030년까지는 생산되기 때문에, 제품 수명을 30년으로 할 경우 2000년까지 HCFC-22 터보 냉동기의 생산이 이루어질 것이다. 표 4는 냉매별 냉동 사이클의 효율을 나타낸 것이다. 대형 플레이트핀형 열교환기에 의한 건식 증발기의 개발에 의한 로렌츠 사이클의 실현으로 에너지 절약이 이루어지고, 장기적으로는 HFC 혼합냉매가 사용될 것으로 생각된다. 그림 6은 원심식의 현상과 장래 전망에 대하여 나타낸 것이고, 표 5는 열원기기에 따른 대체 냉매를 요약한 것이다.

4-3. 흡수식 냉동기

H₂O/LiBr를 작동매체로 하는 3중 효율 흡수 냉동기나 2중 효율 흡수 냉동기 외에, 폐열이용이나 미이용 에너지의 고효율 활용을 위하여 NH₃/H₂O에 의한 GAX 사이클 흡수 냉동기나 특수 흡수제에 의한 흡수 냉동기가 개발되어, 실용화단계에 접어들고 있다. 앞으

로 이들의 개량이 다시 이루어지면 용도는 더욱 확대될 가능성이 크다.

4-3-1. 암모니아 흡수식 냉동기의 개발 동향

공조용 소형 분야에서는 냉수칠러로서, 도시 가스, LP 가스, 석유 등의 연료를 사용하여 성능계수가 0.5(가까운 장래에는 0.6~0.7)를 확보할 수 있다. 성능계수를 비교할 때, 직화식에 대해서는 1차 에너지 기준인 것을 잊어서는 안된다. 전동식의 경우에는 이미 전기 에너지가 발전소에서 2차 에너지로 변환되어 있으므로 발전 효율과 송·배전 효율의 곱(약 35% 전후)를 고려해야만 한다. 이 기종은 현재, 정부 지원으로 개발이 진행되고 있으며, 개발 목적의 최대 요점은 흡수식 칠러의 공냉화이다. 미국에서는 이미 30년에 걸쳐 3~8톤의 범위에서 널리 활용되고 있다.

대형 저온 분야에서는 100 냉동톤, -20℃

정도의 냉동, 동결 건조 등에 브라인 칠러의 활용 예가 있고, 독일에서는 널리 산업 분야에 이용되고 있다.

직화식 보일러처럼 기계적 고장이 작고 신뢰성도 높은 것으로 평가 받고 있을 뿐만 아니라 -20℃이하의 저온으로 되면 중기 압축식 보다 에너지 절약을 기대할 수 있다. 앞으로는 코제너레이션(co-generation)의 폐열 회수 이용 기기로서도 활용이 기대되고 있다.

4-3-2. 흡수 사이클용 작동 매체의 개발 동향

현재 보급되고 있는 흡수식 냉동기 및 히트 펌프는 대부분의 경우가 냉매로서 물, 흡수제로서 염화리튬 수용액을 사용하고 있다. 이 계에서는 냉매인 물이 큰 증발잠열을 가지는 특징 때문에, 냉방용으로는 최적의 계라고 말할 수 있다.

그러나 공냉화 및 히트 펌프화라는 관점에서 공냉화의 경우 염화리튬의 결정화 문제가 있고, 히트 펌프에서는 0℃이하의 증발 온도 달성이 불가능한 어려움이 있다. 따라서, 흡수 히트 펌프에 적합한 냉매-흡수제계는 작동 온도 범위가 확장되고, 또 그 범위내에서 안정성이 있는 것이어야 한다.

이들을 종합하면, 흡수 사이클용의 냉매는 물, 암모니아계, 알콜계로 한정된다. 앞에서 설명한 바와 같이 물은 증발 잠열이 크고, 안정하다는 면에서 냉매로서는 최적이어서 현재 사용되고 있지만, 0℃ 이하에서는 적절하지 못하다는 치명적인 결점이 있다. 그리고 증발 잠열이 큰 암모니아도 현재 사용되고 있으며 고성능(advanced)사이클에 없어서는 안될 냉매이다. 또, 알콜류는 가연성이나 점성 등의 결점이 있어, 각각의 장·단점을 가지고 있다. 또한, 이들 냉매와 쌍을 이루는 흡수제는 여러 가지가 있으며, 단성분 뿐만 아니라, 최근에는 다성분인 경우도 많다.

특히 물을 냉매로 한 경우의 흡수제로서는 리튬브로마이드 밖에 없지만, 이 계에서는 리

튬브로마이드의 결정화나 부식성 등의 결점을 개선할 필요가 있다.

최근 관심이되고 있는 새로운 작동 매체를 종합해 보면 다음과 같다. 종래부터 보급되고 있던 작동 매체인 물-리튬브로마이드계는 다른 작동 매체와의 조합에 의해 성능이 향상되고 새로운 기능이 나오는 경우, 혹은 암모니아-물계는 작동 범위가 큰 것에서 새로운 기능, 성능을 내는 것도 새로운 작동매체에 들어있다. 최근의 개발상황에서는 단효용 사이클의 고효율화와 공냉화의 목적에서 4성분계 흡수제나 암모니아/물계의 고성능 사이클의 개발이 적극적으로 이루어지고 있으며, 가정용 소형 공냉식 흡수 냉동기도 가까운 시기에 상품화 되리라 생각된다.

앞으로 에너지의 합리적인 이용은 이미 개발되어 있는 고성능 기기를 시스템적으로 조합하고, 1차 에너지 투입에서 최종의 열수요에 이르기까지 일체화로 사용하는 것이다. 이와 같은 관점에서, 대형 흡수식 냉동기를 코제너레이션의 일환으로 전환하는 것과 저온 구동화가 가장 중요하다. 한편, 전력 부하 평준화의 관점에서는 공냉식 소형 가정용 흡수 냉동기의 개발이 필수 불가결하다.

냉난방·급탕 시스템을 고려하면 지금까지 에너지 시스템은 효율이라는 단편적인 측면에서의 평가가 주류를 형성하였으므로, 최적 기기나 시스템도 단편적으로 결정할 수 있었다.

그러나, 환경이라는 아주 다면성을 가진 관점에서 최적 성능을 평가하면 그 해결책이 단편적으로 결정될 수 없는 것이 많고, 더우기 미이용 에너지의 활용 등을 고려하면, 작동 온도 범위도 다양하고, 작동에 따른 최적 시스템도 변화한다. 즉, 냉난방, 급탕 시스템 기술도 시스템적으로는 최적 혼합 체제 시대로 들어섰다고 할 수 있으며, 흡수식 냉동기가 이 시스템 중에서 가장 중요한 요소로 될 것은 의문의 여지가 없다.