

신냉매 적용 냉동공조기기 개발 동향

The development of CFC/HCFC free refrigeration and air-conditioning systems

김 만 회
M. H. Kim

삼성전자(주) 기술총괄 생활시스템연구소



- 1957년생
- 열유체공학을 전공하였으며 신냉매의 응용기술 및 냉동공조기기의 열해석에 관심을 가지고 있다.

박 윤 서
Y. S. Park

삼성전자(주) 기술총괄 생활시스템연구소



- 1946년생
- 전기공학을 전공하였으며 냉동공조기기를 포함한 가전제품의 제어 및 성능향상에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

1930년대 개발된 CFC(chlorofluorocarbon) 및 HCFC(hydrochlorofluorocarbon) 물질은 열역학적 우수성 및 화학적 안정성 등 냉매로서의 구비조건을 거의 완벽하게 갖추고 있어서 그 동안 냉장고 및 에어컨을 포함한 냉동공조기기의 냉매로 널리 사용되어 왔다. 그러나 CFC 및 HCFC가 대기에 누출될 경우 오존층을 파괴하고 지구온난화에 영향을 미치는 환경오염물질로 판명되어 이들 물질의 생산 및 사용에 대한 규제가 가속화되고 있어 이에 대한 대체물질의 개발과 신냉매를 적용한 친환경제품을 개발하기 위한 응용연구가 활발히 진행되고 있다^{(1),(2)}. 냉장고 및 산업용냉동기의 냉매인 CFC(R-11, R-12, R-502등)는 96년 1월부터 생산이 금지되었고(개발도상국은 10~15년 정도 연장하여 사용할 수 있도록 규정), 공조기에 많이 사용되고 있는

HCFC(R-22)는 96년 1월부터 규제가 시작되었다⁽³⁾. CFC/HCFC의 신냉매로는 합성물질인 HFC(hydrofluorocarbon)와 천연물질인 HC(hydrocarbon)등이 가장 많이 검토되고 있으며 제품으로 생산되고 있다.

냉장고의 신냉매는 R-134a(HFC 냉매)와 이소부탄인 R-600a(HC 냉매)로 대별할 수 있으며 프로판(R-290)의 이중 혼합냉매와 R-22도 일부 사용되고 있다. R-134a는 미국, 일본을 비롯한 대부분의 국가에서 냉장고용 냉매로 사용하고 있거나 사용을 검토하고 있으며 시스템의 성능이 저하하여 에너지 소비효율을 향상시키기 위한 연구가 다각도로 진행되고 있다. R-600a와 R-290/600 혼합냉매(독일의 Foron사)는 유럽을 중심으로 직냉식냉장고에 주로 적용되고 있으며⁽⁴⁾ 간냉식냉장고에는 가연성에 의한 위험성(고내에 설치된 제상히터, 냉각 fan 모터 등의 점화원 가능성)으로 현재까지는 R-134a를 많이

사용하고 있으나 천연냉매로 전환하기 위한 개발을 진행중에 있으며 일부사에서는 생산 판매중에 있다⁽⁵⁾. 미국은 가연성냉매를 사용할 수 없기 때문에 탄화수소를 포함한 천연냉매는 연구개발 단계에만 국한되고 있고 일본의 경우는 가연성냉매의 사용에 대한 제한은 없으나 냉장고의 신냉매로 사용되지 않고 있다. R-22는 일본의 일부사에서 단기 대체냉매로 사용하고 있으며 결과적으로는 R-134a로 전환될 것으로 보인다. 국내의 경우는 아직까지 R-12 냉매를 냉장고의 주요 냉매로 사용하고 있으며 수출용 및 기존공장의 일부 라인과 신규공장(삼성의 경우 광주 신공장)에서만 신냉매인 R-134a를 적용하여 냉장고를 생산하고 있다. 그러나 냉장고가 환경마크 부착제품으로 선정되었고 OECD(organization for economic cooperation and development)가입에 따른 국제압력 등으로 신냉매의 적용이 가속화될 전망이다. 운송용 냉동차량 및 산업용냉동기에 사용되어 오던 중저온용 공비혼합냉매인 R-502(HCFC-22/CFC-115 : 48.8/51.2wt%)의 신냉매로는 주로 HFC의 혼합냉매(R-404A, R-407A, R-407B, R-507)가 많이 검토되고 있으며 미국을 비롯한 선진국은 이미 R-502의 신냉매를 적용하여 제품을 생산하고 있다⁽⁶⁾.

공조기에 널리 사용되고 있는 R-22의 신냉매로는 HC계(R-290 및 R-290의 혼합냉매)인 천연냉매와 HFC계 물질인 R-134a의 단일냉매와 R-32의 혼합냉매(R-407C, R-410A)가 가장 많이 검토되고 있으며 일부 선진사에서는 이를 적용한 신냉매공조기의 생산을 시작하고 있는 실정이다. 미국의 Lennox사는 R-407C공조기의 생산라인을 구축하고 있으며 Carrier사는 고압냉매인 R-410A와 Copeland의 스크롤압축기를 채용한 냉방전용 분리형 공조기 38TXA 시리즈를 생산하고 있다⁽⁷⁾. 또한 유럽에서는 천연냉매를 R-22의 신냉매로 폭넓게 검토하고 있으며 R-290을 적용한 소형 이동형 냉방기를 생산하고 있다⁽⁸⁾. 현재까지 개발되어 적용이 검토되고 있는 HFC계 및 천연냉매는 기존냉매와는 매우 다른 특성을 갖는다. 천연냉매인 HC계 냉매는 성능이 비교적 우수하고 기존과 같은 계통의 유행

유를 사용할 수 있어 신뢰성에 대한 문제는 없을 것으로 보이나 가연성에 대한 검토가 필수적이다^{(9)~(11)}. 반면 가장 많이 검토되고 있는 HFC계 냉매는 가연성에 대한 문제는 없으나 시스템의 성능이 낮아져 이를 개선하기 위한 고효율화 연구 및 대체유통활용 사용에 따른 신뢰성을 확보하기 위한 많은 검토가 필요하다. 또한 비공비혼합냉매인 R-407C는 시스템내의 조성변화에 따른 영향을 고려해야 하며 고압냉매인 R-410A의 경우는 압축기를 포함한 고압부의 재설계 및 내구성 시험을 통한 제품의 품질에 대한 검증이 요구된다^{(12)~(24)}. Domanski^{(12),(13)} 등은 R-22 대체냉매의 성능을 이론적으로 해석하고 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 연구하였으며, Fujitaka⁽¹⁴⁾, Bivens⁽¹⁵⁾, Murphy⁽¹⁶⁾, Hwang⁽¹⁷⁾ 등은 가정용 공조기에 비공비혼합냉매인 R-407C 또는 고압냉매인 R-410A를 적용하기 위한 설계변경요인을 분석하고 시스템의 최적화시험(soft optimization test)을 진행하였다. Ragazzi⁽¹⁸⁾ 등은 비공비혼합냉매의 온도글라이드 특성을 활용한 증발기의 최적화 연구를 진행하였으며 김^{(19),(20)} 등은 R-22 대체냉매 공조기 및 열펌프의 성능을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다. Kim⁽²¹⁾ 등은 비공비혼합냉매의 누설에 관한 연구를 진행하였고 일본의 다이킨^{(22),(23)}에서는 R-407C와 R-410A에 대한 열교환기의 성능을 열풍동을 이용하여 측정하고 관배열에 따른 열교환기의 특성을 분석하였으며, 장⁽²⁴⁾ 등은 HFC계 냉매의 모세관 특성을 연구하였다.

본 고에서는 CFC/HCFC 냉매의 규제에 따른 신냉매의 개발동향과 이를 적용한 신냉매 증기압축시스템을 중심으로 한 친환경제품 개발동향 및 증기압축사이클을 대체할 수 있는 신냉매기술에 대해 국내 및 선진국의 개발동향을 기술하기로 한다.

2. 지구환경문제와 냉매의 규제

지구의 성층권에는 지구에 있는 오존(O₃)의 약 90%가 밀집된 오존층이 존재하는데, 이 오존층은 성층권에 존재하는 산소분자(O₂)가 태양

으로부터 나오는 자외선을 흡수하여 2개의 산소 원자(O)로 분해되고 이들 산소원자가 다른 산소 분자와 결합하는 연쇄과정으로 생성되며 유지되고 있다. 이렇게 생성된 오존층은 태양에서 지구의 표면으로 방사되는 자외선을 차단하여 지구의 환경을 보호하는 역할을 한다. 그러나 CFC/HCFC 물질이 대기에 누출될 경우 이들 물질에 포함되어 있는 염소(Cl)성분이 오존층을 파괴시켜 태양으로부터 방사되는 자외선을 차단하지 못하게 되고 이는 질병(피부암, 백내장)의 증가와 자연환경의 파괴(생태계의 파괴, 지구온난화등)와 같은 문제를 야기시키게 된다.

이러한 지구의 환경문제는 일부 지역 또는 국가에 국한된 문제가 아니며 국제적인 협조와 조정이 요구되는 사안이라는 인식이 확산되어 1987년 몬트리올 의정서가 국제 환경기구인 UNEP (united nations environment programme)에서

제정되었으며 CFC 물질에 대한 규제가 시작되었다. 표 1에 CFC 및 HCFC 물질에 대한 규제 일정을 정리하여 나타내었다. 1992년 덴마크의 코펜하겐에서 개최된 제4차 회의에서는 몬트리올 의정서를 개정하여 CFC에 대한 규제일정을 강화하였으며 HCFC물질에 대한 규제조항을 추가하였다. 그 동안 냉장고, 운송냉동 및 산업용 냉동기의 냉매로 사용하던 R-11, R-12, R-502 등 CFC 물질을 선진국의 경우는 96년 초부터 생산 및 사용을 할 수 없게 되었으며 한국을 포함한 개발도상국의 경우는 10~15년 정도 유예되어 2005~2010년까지 사용할 수 있다. 1995년에 개최된 제7차 비엔나 회의에서는 HCFC에 대한 규제를 강화하였으며 개발도상국에 대한 규제조항을 추가하였으나 일부 선진국에서는 이러한 국제적인 규제와는 별도로 HCFC 물질의 규제일정을 앞당기고 있다. 유럽의 경우가 HCFC

표 1 CFC 및 HCFC 물질의 규제일정

Annex	물 질	규 제 일 정										
		1987	1990	1992	제11차 나이로비 실무자회의(1995.5)			1995				
		몬트리올의정서	런던개정의정서	제4차 코펜하겐	노르웨이 제안	말린,미국,중국 제안	인도 제안	제7차 비엔나회의				
A	CFC11	'86소비량기준	'86소비량 기준	'86 소비량 기준	개발도상국 대상 규제 SCHEDULE			'90런던회의 가입국 (개도국에 한함)	'92코펜하겐회의 가입국 (개도국에 한함)			
	CFC12				2002.1.1-전폐	2004.1.1-20%	2007.1.1-20%					
	CFC113				1987.7.1-100%	1995.1.1-50%	1994.1.1-25%	2006.1.1- 0%	2010.1.1- 0%	'96소비량 기준	'96소비량 기준	
	CFC114				1993.7.1- 81%	1997.1.1-20%	1996.1.1- 0%	※단, 기존장치의 A/S를 위해서는 2020.1.1까지	※단, 기존장치의 A/S를 위해서는 2020.1.1까지			※단, 기존장치의 A/S를 위해서는 2030.1.1까지
	CFC115				1998.7.1- 50%	2000.1.1- 0%						
C	HCFCs			기준 : '89CFC의 ODP 31%+HCFC의 ODP	스웨덴 제안	유럽연합 제안	기준 : '89 CFC의 ODP 2.6%+HCFC의 ODP	기준 : '89CFC의 ODP 2.8%+HCFC의 ODP				
					기준 :	기준 :		1996.1.1-100%	2004.1.1- 65%			
					'89CFC의 ODP 1.5%+HCFC의 ODP	'89 CFC의 ODP 2.6%+HCFC의 ODP		2010.1.1- 35%	2015.1.1- 10%			
					1996.1.1-100%	2000.1.1- 50%		2010.1.1- 35%	2015.1.1- 10%	2020.1.1-0.5%	2030.1.1- 0%	
			핀란드, 독일, 스위스, 노르웨이 지지	EU 가입회원국들 지지			개도국은 2015년 소비량 기준으로 2016.1.1-100%	2040.1.1- 0%				

냉매에 대한 사용을 가장 먼저 규제하기 시작할 것으로 알려지고 있는데 스웨덴은 1998년부터 신제품에의 적용금지(독일은 2000년)와 2002년 전폐를 고려하고 있는 상태이며 미국의 경우는 2005년에 신제품에 대한 HCFC의 사용을 규제하고 2020년 전폐할 것으로 보고 되고 있다.

이러한 규제에 따라 CFC/HCFC 냉매를 대체하기 위한 물질이 개발되고 있는데 합성물질인 HFC계 냉매와 천연물질인 탄화수소 냉매 등이 대표적인 물질이다. HFC는 냉매로서의 조건을 비교적 잘 갖추고 있으면서 비가연성, 비독성이며 오존층파괴지수(ODP)가 영이고 지구온난화지수(GWP)는 영이 아니지만 현재까지 가장 많이 검토되고 있는 냉매이다. 그러나 HFC도 생산공정에서 오존층을 파괴시키는 부산물이 나오는 것으로 알려지고 있으며⁽²⁵⁾ HFC물질이 대기권에 존재할 때 태양광에 의해 분해되어 산성물질 및 독성물질을 생성시키는 것으로 보도되고 있어 이에 대한 명확한 근거 및 해결책이 필요하다. 천연냉매의 경우 오존파괴지수가 영이고 지구온난화지수도 거의 무시할 수 있는 수준이나 가연성 또는 독성에 대한 문제가 있다. 그러나 냉매의 친환경도를 평가하는 기준은 냉매자체의 영향뿐만 아니라 시스템운전에 필요한 전력 생산

시 발생하는 이산화탄소에 의한 간접적인 영향을 함께 고려하는 것이 필요하다. 이러한 냉매의 직접적인 영향과 간접적인 영향을 함께 나타내는 척도가 총동가온난화지수(TEWI : total equivalent warming impact)이며 이를 기준으로 보면 친환경냉매의 선정은 물론 시스템의 효율을 향상시켜 TEWI를 최소화 하는 것이 중요하다. 그림 1에 TEWI의 직접적인 영향과 간접적인 영향을 비교 도시하였는데 냉장고 및 공조기의 경우 냉매에 의한 직접적인 영향(4%) 보다 간접적인 영향(96%)이 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

3. 신냉매 냉장고의 개발 동향

표 2에 전세계의 냉장고 수요량을 나타내었다. 냉장고는 세계의 연간 수요량이 5,700만대에 이르는 가전기기의 대표적인 제품으로 선진국을 포함한 국내에서는 보급율이 높아 대체수요가 많은 반면 전세계 인구의 대부분을 차지하는 중국, 인도를 포함한 개발도상국은 보급율이 매우 낮아 매년 수요량이 증가하고 있는 성장제품이다. 냉장고의 냉매로 사용되던 CFC 물질의 규제에 따른 신냉매로는 HFC계 물질인 R-134a, HC계

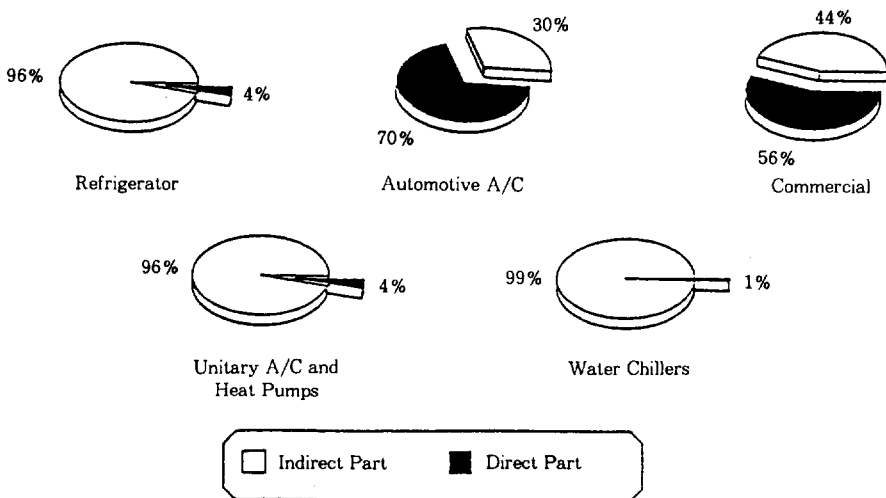


그림 1 TEWI에 대한 직/간접 영향의 비교

표 2 세계의 연간 냉장고의 수요량

(단위 : 천대)

지역	95년	96년
동남아시아	18,630	19,490
중동	1,050	1,070
유럽	22,750	23,950
북미	9,250	9,280
중남미	3,090	3,210
아프리카	580	590
오세아니아	640	640
총계	55,990	57,820

냉매로 R-600a, R-290/600 및 HCFC 물질인 R-22가 사용되고 있다. 선진국은 이미 전 제품을 신냉매를 적용하여 생산하고 있는 반면 대부분의 개발도상국들은 CFC냉매인 R-12를 그대로 사용하고 있고 일부 국가에서 R-134a 및 R-600a를 시범적용하여 생산하고 있는 실정이다. 유럽의 경우 수요량의 25% 정도를 탄화수소냉매를 적용한 냉장고를 생산하고 있으며 R-134a를 적용하는 냉장고도 탄화수소냉매로 전환하기 위한 연구를 수행하고 있다. 그림 2에 냉장고의 냉매로 사용되고 있는 신냉매에 대한 압력-온도 특성을 R-12 냉매를 기준으로 비교하여 도시하였다. 또한 표 3에는 냉장고의 냉매에 대한 이론적 특성을 ASHRAE 압축기 시험조건(응축온도 : 54.4℃, 증발온도 : -23.3℃, 과냉도 : 32.2℃, 과열도 : 32.2℃)을 기준으로 나타내었는데 이는 NIST의 REFPROP 5.0을 이용하여 구한 값이다.

3.1 R-134a 냉장고

R-134a 냉매는 오존파괴지수가 영이고 열역학적 성질이 기존의 R-12 냉매와 유사하기 때문에 냉장고의 신냉매로 널리 사용되고 있다. 그림 2와 표 3에서 보는 바와 같이 R-134a 냉매는 냉장고의 증발온도에 해당하는 저온에서는 R-12에 비해 저압특성을, 응축온도에 해당하는 고온에서는 고압특성을 갖게 되어(약 20℃를 기준으로 그 이하에서는 저압, 그 이상에서는 고압

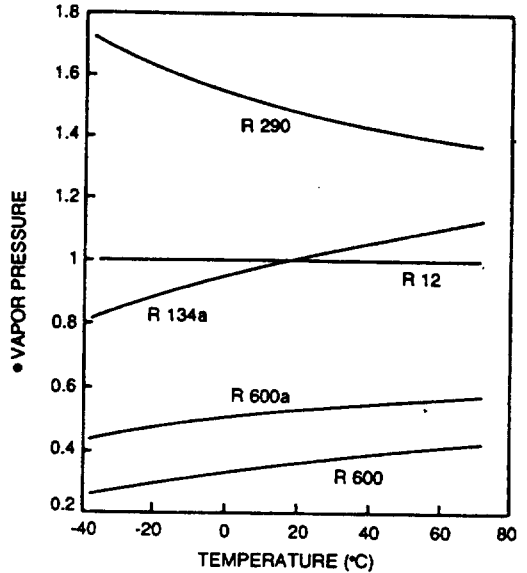


그림 2 냉장고용 신냉매의 압력특성

특성을 보임) 압축비가 R-12에 비해 약 25% 정도 높게 된다. 이러한 조건에서 증발잠열은 30% 정도 증가하여 동일 냉동능력을 내기 위한 냉매의 유량은 R-12에 비해 24% 정도 감소하게 된다. 팽창밸브 입구의 과냉도를 R-12와 동일하게 할 경우(모세관 입구온도 : 32.2℃) 냉매의 체적유량은 17% 정도 감소하고 점성계수도 R-12에 비해 약간 작으므로 모세관의 길이를 증가시켜야 함을 알 수 있다. 그러나 이렇게 할 경우 냉장고의 효율이 저하하게 되는 문제와 압축기 오일을 광유에서 합성유로 대체하면서 생기는 모세관 입구의 막힘 현상 등이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 업체의 현장에서는 응축기의 용량을 크게하고 모세관에서의 저항값을 감소시켜서 모세관의 직경을 증가시킬 수 있는 방향으로 설계하고 있다. 압축기의 경우 R-134a용으로 재설계하는 것은 냉매의 특성에 의한 것보다는 압축기의 윤활유를 기존의 광유(mineral oil)에서 합성유인 POE(polyol ester oil)로 대체하면서 생기는 압축기 부품과의 재질 적합성에 따른 것이 대부분이다. 냉매의 물성에 의한 압축기 행정체적의 증가요인은 표 3에서 알 수 있는 바와 같이 약 5% 정도이며 이는 압

표 3 ASHRAE 조건에서의 냉장고용 냉매의 이론적 특성(NIST REFPROP 5.0 이용)

냉 매	R-12	R-134a	R-600a	R-600	R-290
화 학 식	CCl ₂ F ₂	CH ₂ FCF ₃	CH(CH ₃) ₃	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₃	CH ₃ CH ₂ CH ₃
ODP	1.0	0	0	0	0
GWP(CO ₂ =1, 100yr)	8,500	1,300	3	3	3
NBP, °C	-30	-26	-12	-0.54	-42
임계온도, °C	112	101	135	152	97
가연성(F/N)	N	N	F	F	F
응축압력(54.5°C), kPa	1,354	1,470(109%)	761(56%)	556(41%)	1,883(140%)
증발압력(-23.3°C), kPa	133	115(87%)	62(47%)	39(29%)	217(164%)
압력차, kPa	1,221	1,355(111%)	699(57%)	517(42%)	1,666(136%)
압 축 비	10.2	12.77(125%)	12.2(120%)	14.3(140%)	8.71(85%)
증발잠열, kJ/kg	142	186(130%)	336(233%)	365(254%)	354(246%)
COP, %	100	100	106	107	100
압축기 입구 냉매비체적(60°C), cc/g	169	232(136%)	760(450%)	1,216(720%)	283(167%)
냉매질량유량 ¹⁾ , g/h	5,070	3,870(76%)	2,143(42%)	1,973(39%)	2,034(40%)
행정체적 ²⁾ , cc/rev	3.97	4.16(105%)	7.54(190%)	11.07(279%)	2.66(67%)
압축기 토출온도, °C (등엔트로피과정)	127	119(93%)	103(81%)	105(83%)	116(91%)
압축기 윤활유	광유	합성유	광유	광유	광유
팽창장치 입구온도, °C	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2
냉매비체적, dm ³ /kg	0.75	0.845(109%)	1.844(238%)	1.771(229%)	2.08(268%)
냉매체적유량, dm ³ /h	3.93	3.27(83%)	3.95(101%)	3.49(89%)	4.23(108%)

(주) 1)은 200W에 대한 냉매의 질량유량을 나타내며, 2)는 3,500rpm에 대한 행정체적을 나타냄

축기를 최적설계하여 고효율화 시켜 냉동능력을 향상시키면 대부분 가능하게 된다. 냉매 및 오일의 대체에 따른 부품의 변경은 건조제(R-134a 용: XH-9)에 거의 국한되고 천연 및 합성 고무류를 제외한 기타 부자재는 그대로 사용할 수 있는 것으로 보고 되고 있다. 그림 3에 광유와 합성유의 시간에 따른 수분흡수율을 도시하였는데 POE 오일이 기존의 광유에 비해 상당히 큼을 알 수 있다. 냉장고의 냉매회로내에 수분이 일정량 이상 존재할 경우 오일의 가수분해 현상에 의한 신뢰성 문제가 발생할 수 있으므로 수분의 정확한 관리가 필요하다. 또한 압축기 제조공정에서의 절삭유, 세정유 등의 채선정이 요구되며 사 이를내의 수분함유량을 최소화하기 위해서 압축

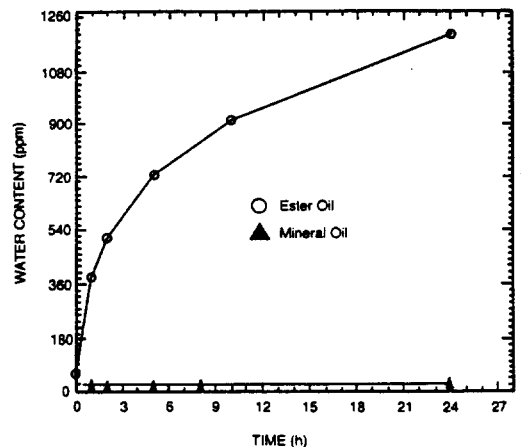


그림 3 광유와 합성유의 수분흡수율

기의 오일을 기존의 압축기의 제조라인에서 봉입 하던 것을 냉장고의 조립라인에서 봉입하도록 변경하고 있다. 냉장고의 냉매와 오일을 R-134a 와 POE로 대체하면서 발생하는 가장 큰 문제는 압축기의 마모 및 모세관의 막힘(capillary blocking)현상이다. 이는 대부분이 오일의 수분흡습 성과 가수분해성에 의한 것으로 생산라인에서의 보다 철저한 공정관리를 통해 냉장고 사이클의 회로내에 수분을 포함한 이물질의 침투를 방지함으로써 해결될 수 있다. 상기와 같은 POE 오일의 문제를 해결하기 위해 새로운 오일의 개발이 여러 각도에서 진행되고 있는데 그 중의 하나가 일본의 이데미쯔사⁽²⁶⁾가 일본의 다이킨 등과 개발하고 있는 Ether 오일이다. Ether 오일은 POE와 비슷한 정도의 수분흡습성을 가지고 있으나 가수분해가 되지 않아 시스템 내에서 안정적이고 모세관 막힘 현상을 배제시키는 것으로 알려지고 있다. 미국의 GE도 현재 R-134a와 POE 오일을 적용하여 냉장고를 생산하고 있으나 POE 오일의 사용에 따른 공정에서의 관리비용의 과다로 Ether 오일로의 대체 가능성을 검토하고 있는 것으로 알려지고 있다. 선진국의 경우 이미 R-134a 냉장고를 생산판매하고 있고 개발도상국도 신냉매로의 전환을 검토하고 있으며 일부 국가에서 생산판매하고 있으나 신냉매를 적용할 경우 생길 수 있는 원가상승 요인, 설비의 개조에 따른 시설투자 비용 발생 및 CFC 냉매를 사용할 수 있는 상황 등이 R-134a로의 전환을 지연시키고 있다. 또한 기존의 R-12 시스템에 R-134a를 적용할 경우 냉장고의 성능이 약간 저하되는 것으로 보고되고 있으나 이는 구성요소 부품의 고효율화 및 시스템의 최적화로 극복할 수 있을 것으로 보이며 이를 통해 총동기온난화지수인 TEWI를 최소화 해야할 것이다.

3.2 천연냉매 냉장고

천연물질인 탄화수소, SO₂ 등은 1929년대 까지만 해도 미국을 포함하여 대부분의 냉동공조기 생산국가에서 냉매로 사용하여 왔으나 1930년대에 냉매로서의 특성을 거의 완벽하게 구비한 CFC/HCFC 물질이 개발됨으로써 천연냉매는

이들 물질로 대부분 대체되었다. 1980년 말부터 시작된 CFC 물질의 규제에 따라 천연냉매를 냉동공조기에 적용하기 위한 연구가 다시 시작되었으며 그 결과 냉장고의 냉매로 천연물질을 사용하는 탄화수소 냉장고가 유럽을 중심으로 생산되고 있다. 유럽의 경우 냉장고의 수요량이 연간 약 2,300만대로 전세계 수요의 약 40%를 차지하고 있으며 약 90%가 직냉식냉장고를 사용하고 있다. 유럽냉장고의 연간 수요량의 약 25%인 550만대 정도가 이소부탄(R-600a)을 냉매로 사이클로펜탄을 단열제로 사용한 탄화수소 냉장고를 생산하고 있으며 R-134a를 사용하는 간냉식냉장고도 천연냉매로 전환하기 위한 연구를 진행 중에 있다. 개발도상국인 중국의 경우도 미국의 환경보호국(EPA)과 독일의 협력사인 Liebherr사의 지원 하에 Haier 그룹의 Qingdao 공장에서 천연물질(R-12 냉매를 이소부탄으로, 발포제인 R-11을 사이클로펜탄으로 대체)을 적용한 직냉식 냉장고의 생산라인을 구축하고 있다⁽²⁷⁾. 냉장고의 연간 수요량이 약 200만대이며 보급율(10% 정도)이 아주 낮아 연간 15~20% 정도 수요가 증가되고 있는 인도의 경우는 냉장고의 4대 제작사중 2개사는 이소부탄을 신냉매로 나머지 2개사는 R-134a로 신냉매로 적용하기 위한 투자를 계획하고 있다. 따라서 인도의 경우 냉장고의 냉매는 기존의 R-12를 포함하여 당분간 3개 이상이 공존할 것으로 보인다.

천연냉매인 탄화수소는 그림 2와 표 3에서 볼 수 있듯이 기존의 R-12 냉매에 비하여 압력범위 및 물성이 많이 다르다. 저압냉매인 이소부탄(R-600a) 및 부탄(R-600)은 증발압력이 R-12의 값보다 약 53% 및 70% 정도 낮은 반면 프로판(R-290)은 64% 정도 높다. 따라서 프로판과 저압냉매인 이소부탄 또는 부탄을 적당한 비율로 혼합하면 R-12와 유사한 특성을 갖는 혼합냉매를 만들 수 있게 되는데 영국의 Calor 가스사에서는 프로판과 이소부탄의 비공비혼합냉매를 제조하여 상품명 Care30으로 판매하고 있다. 표 3의 ASHRAE 사이클 조건에서의 냉매의 이론적 특성을 보면 이소부탄의 압력차는 R-12의 경우보다 작으나 증발압력이 대기압 이하가 되어 압

력비가 20% 정도 커짐을 알 수 있다. 또한 증발잠열은 R-12에 비해 133% 정도 커서 동일 냉동능력을 내기위한 냉매의 질량유량은 R-12의 42% 수준이며 압축기의 행정체적은 냉매의 비체적이 커서 90% 정도 증가시켜야 됨을 알 수 있다. 부탄의 경우는 180% 정도 행정체적을 크게 해야 하는데 이것이 냉장고의 단일냉매로 사용하지 못하는 이유 중 하나가 된다. 또한 이소부탄을 냉매로 사용할 경우 압축기의 토출온도가 17% 정도 낮아지는데 이는 압축기의 신뢰성 측면에서 매우 유리하게 작용한다. 팽창장치에서의 냉매의 체적유량은 R-12와 유사하여 모세관을 팽창장치로 사용할 경우 모세관의 사양을 그대로 쓸 수 있을 것으로 보이나 냉매의 점성이 R-12에 비해 매우 작기 때문에 실제로는 모세관의 길이를 증가시키거나 직경을 감소시켜야 한다. 또한 냉매의 특성상 기존의 광유(mineral oil)를 압축기의 오일로 그대로 사용할 수 있어서 냉장고의 부품과의 적합성 및 신뢰성 측면에서는 큰 문제가 없으며, 냉매의 봉입량도 기존 R-12 시스템의 약 50% 수준으로 시스템의 사이클손실을 줄일 수 있고 냉매의 가연성에 의한 위험성을 감소시킬 수 있다.

탄화수소냉매를 냉장고에 사용할 경우 가장 중요한 문제는 가연성에 의한 위험성이며 이는 생산단계, 제품의 보관 및 운송 단계, 사용 및 서비스 단계로 분류하여 검토하는 것이 필요하다. 이소부탄의 자연 발화온도는 460°C 이며 점화 가능한 이소부탄과 공기의 농도는 체적비율로 1.8~8.5vol%이고 냉매의 봉입량이 매우 작아 냉장고의 사용시 냉매의 누출로 인한 폭발가능성은 매우 희박한 것으로 나타나고 있다. 그러나 냉장고 내의 온도조절기, 간냉식 냉장고의 제상히터(석영유리관 히터의 경우 표면온도: 약 400°C) 등 점화원으로 작용할 수 있는 부품에 대한 설계변경이 필요하다. 또한 임의 화재시 냉장고의 폭발로 인한 화재의 확대 가능성, 운반중이나 창고 적재시 화재에 의한 폭발 가능성 등을 면밀히 검토하여야 한다. 이소부탄을 냉매로 사용하고 사이클로펜탄을 단일제로 사용하는 냉장고의 제조공장에서는 대량의 탄화수소를 취급하게 되므로

냉매보관 탱크의 안전장치, 용접방법의 대체(초음파 용접이나 특수 접합법등) 및 누설탐지기 등의 새로운 도입이 필요하게 된다. 탄화수소와 같은 가연성 냉매를 사용하는 냉장고에는 가연성에 대한 위험표지를 부착하여 주의를 환기시킬 필요가 있으며 가연성 냉매의 사용에 따른 규정을 준수해야 한다.

4. 신냉매 공조기의 개발 동향

가정용 및 소형 업소용 공조기(RAC: Room A/C 및 PAC: Package A/C)의 세계수요는 연간 약 3,000만대 정도이며 일본(연간 800만대)을 포함한 아시아가 전체수요의 약 60%인 1,700만대를 점유하고 있다. 또한 미국을 포함한 북미가 850만대 수준으로 약 30%의 수요를 차지하고 있어 전체 공조기의 수요의 대부분(약 99%)을 아시아와 북미가 차지하고 있다(표 4 참조). R-502를 포함한 R-22의 대체냉매에 대한 연구를 체계적이고 효율적으로 진행하기 위한 방법의 일환으로 1992년 3월에 미국의 공조냉동협회(ARI: air-conditioning and refrigeration institute)산하에 R-22 대체냉매평가프로그램(AREP: alternative refrigerants evaluation program)이 구성되었다. 미국을 중심으로 아시아, 유럽, 캐나다 등이 AREP에 참여하고 있는데 냉동공조기기 및 관련부품 제조업체가 기술위원회의를 구성하고 있으며 대학 및 연구기관 등에서는 참관인(observer) 자격으로 참가하고

표 4 세계의 연간 공조기의 수요량

(단위: 천대)

지 역	95년	96년
동남아시아	16,749	17,095
중 동	1,379	1,412
유 럽	1,317	1,460
북 미	9,131	8,576
중 남 미	880	951
아프리카	399	416
오세아니아	243	268
총 계	30,098	30,178

있다. AREP의 주요 연구과제는 냉매의 물성 및 안전성 평가, 압축기 성능평가, 열전달 특성, 시스템 성능평가, 임지시험을 통한 신뢰성 분석 등이며 현재까지 26개 이상의 후보냉매가 검토되어 약 200편 이상의 보고서가 제출되었다. 제출된 보고서는 AREP 기술위원회의 심의를 거쳐 ARI를 통해 일반에게 공개 되고 있으며 국내에서도 기업, 대학 및 연구기관에서 AREP에 참여하고 있다. AREP 활동은 1997년초에 종료될

예정이나 97년 1월에 열리는 ASHRAE Winter Meeting 장소인 필라델피아에서 개최될 AREP Meeting회의시 최종 결정될 것으로 보인다.

가정용공조기에 사용되고 있는 R-22 시스템의 대체냉매 적용 연구는 크게 3가지 방향으로 추진되고 있는데 북미의 경우 가연성 냉매의 사용이 금지되고 있어 HFC계 냉매인 R-134a, R-407C 및 R-410A(듀폰사의 R-410B는 생산 중단)가 주로 검토되고 있으며 일부 시제품이 출

표 5 ASHRAE 조건에서의 공조용 냉매의 이론적 특성(NIST REFPROP 5.0 이용)

성 질 \ 냉 매	단 일 냉 매					혼 합 냉 매		
	R-22	R-32	R-125	R-134a	R-290	R-407C	R-410A	R-32/134a (30/70)
ODP	0.05	0	0	0	0	0	0	0
GWP(CO ₂ =1, 100yr)	1,700	580	3,200	1,300	3	1,370	1,370	970
가연성(F/N)	N	F	N	N	F	N	N	(F)*
NBP, °C	-41	-52	-48	-26	-42	-44	-51	-52
임계온도, °C	96	78	66	101	97	87	85	78
온도 Glide, °C	-	-	-	-	-	6.3	0.1	6.7
응축압력(54.4°C), kPa	2,146	3,478 (162%)	2,798 (130%)	1,480 (69%)	1,883 (88%)	2,337 (109%)	3,389 (158%)	2,178 (101%)
증발압력(7.2°C), kPa	625	1,018	837	377	588	652	1,005	597
압 축 비	3.43	3.41 (100%)	3.34 (97%)	3.90 (114%)	3.2 (93%)	3.58 (104%)	3.37 (98%)	3.65 (106%)
증발잠열, kJ/kg	170	261 (154%)	98 (58%)	162 (95%)	308 (181%)	170 (100%)	180 (106%)	195 (115%)
COP	100	91	92	100	100	97	93	100
압축기 입구 비체적(35°C), cc/g	43.1	42.7	22.3	61.9	89.8	41.3	31.1	49.6
냉매질량유량 ¹⁾ , kg/h	85	55	147	89	47	85	80	74
행정체적 ²⁾ , cc/rev	17.44	11.18 (67%)	15.61 (90%)	26.24 (150%)	20.10 (115%)	16.71 (96%)	11.85 (68%)	17.48 (100%)
압축기 토출온도, °C (등엔트로피과정)	101	121 (20%)	80 (79%)	85 (84%)	84 (83%)	92 (91%)	101 (100%)	96 (95%)
압축기 윤활유	광유	합성유	합성유	합성유	광유	합성유	합성유	합성유
팽창장치 입구온도, °C	46.1	46.1	46.1	46.1	46.1	46.1	46.1	46.1
냉매 비체적, dm ³ /kg	0.91	1.15	0.95	0.89	2.19	0.96	1.05	0.97
체적유량, dm ³ /h	77	63	140	79	103	82	84	72

(주) 1)은 4.0kW에 대한 냉매의 질량유량을 나타내며, 2)는 3,500rpm에 대한 행정체적을 나타냄

* Marinally flammable mixture

시되고 있다. 유럽에서는 천연냉매(탄화수소, NH₃)와 HFC냉매가 동시에 연구되고 있고 일본에서는 HFC계 냉매가 주로 검토되고 있으나 가연성에 대한 기준이 북미와 약간 다르게 적용(marginally flammable mixtures of R-32)되고 있어서 R-32/134a(30/70wt%)도 함께 검토되고 있다. 그러나 OECD 가입국을 회원으로 하는 국제에너지국(IEA : international energy agency)의 ANNEX-22분과에서 천연냉매를 이용한 증기압축시스템에 대한 연구를 국제공동으로 진행중에 있는데 여기에는 미국과 일본도 장기적인 관점에서 참여하고 있다. 표 5에 공조기용 압축기의 ASHRAE 시험조건(응축온도 : 54.4℃, 증발온도 : 7.26, 과냉도 : 46.1℃, 과열도 : 35℃)에 대한 R-22대체냉매의 이론적 특성을 나타내었다(REFPROP 5.0 이용하여 계산).

4.1 HFC 적용 공조기

현재까지 가장 가능성이 높게 평가되고 있는 냉매는 ODP=0, 비가연성, 비독성등 냉매로서의 구비조건을 비교적 잘 갖추고 있는 HFC계 물질(R-134a, R-407C 및 R-410A)이다. 그림 4에 시스템의 용량에 따른 HFC계 냉매의 적용 계획을 도시하였는데 냉동용량이 큰 50~500톤급의 냉동기는 R-134a와 R-410A가 대체될 전망이다, 5~100톤급의 상업용 제품에는 R-407C 및 R-410A가 적용될 것으로 보인다. 5톤 이하의 가정용공조기에는 초기에는 R-134a, 단 중기 대체냉매인 R-407C 및 중장기 냉매인 R-410A가 혼용되다가 최종적으로 R-410A로 일

원화될 것으로 예상된다.

신냉매로 HFC를 적용하기 위해서는 냉장고의 경우와 마찬가지로 압축기의 윤활유를 기존의 광유(mineral oil)에서 합성유(poyol ester oil)로 전환하는데 따른 수분흡수성, 가수분해성, 재질 적합성 등 여러가지 신뢰성 관련 검토사항이 발생한다. 또한 냉매의 압력특성이 다른 R-134a 및 R-410A의 경우 압축기를 포함한 시스템의 대폭적인 재설계가 요구된다. 특히 고압냉매인 R-410A의 경우는 고압부의 내압기준 설정 및 압축기의 신뢰성 등을 검토할 필요가 있다. 또한 R-32를 포함하는 혼합냉매의 경우는 R-32의 특성상 새로운 건조제가 필요한데 현재 XH-11 및 XH-10 시리즈가 많이 검토되고 있다.

R-134a 냉매는 단일물질로의 장점을 가지고 있으며 응축압력이 R-22에 비해 30% 정도 작은 저압냉매이다. R-134a를 적용할 경우 R-22 시스템과 동일 냉동능력을 얻기 위해서는 압축기의 행정체적을 50% 정도 크게 해야하고 열교환기의 크기를 포함한 시스템의 대폭적인 설계 변경이 요구된다. 또한 R-134a의 열전달계수도 R-22에 비하여 작으며 비체적이 크기 때문에 압력강하가 커서 배관을 포함한 시스템의 크기가 커지게 되고 원가가 상승하게 된다. 따라서 R-134a는 재설계에 따른 시설투자, 원가상승 및 효율의 저하 등의 문제로 소형 가정용공조기의 신냉매로는 부적합하다. 다만 현재 R-11 또는 R-12를 사용하고 있는 대형 상업용 냉동기의 경우는 R-134a가 대체냉매의 하나로 검토되고 있다(그림 4 참조).

R-407C 냉매는 R-22와 유사한 압력 특성을 갖는 R-32/125/134a(23/25/52wt%)의 비공비혼합냉매로 압축기오일의 대체에 따른 부품 변경의 큰 설계 변경 없이 적용 가능한 냉매이다. 그러나 6℃ 정도의 온도슬라이드 및 냉매의 열전달계수의 저하(R-22 대비 30~40% 감소)로 인한 시스템성능의 감소 현상이 발생하며 조성변화에 의한 여러 가지 문제점이 생길 수 있다. 따라서 시스템의 운전조건에 따른 냉매의 조성비의 변화가 성능에 미치는 영향과 냉매의 누설 및 재충전에 따른 시스템의 성능변화 등도 함

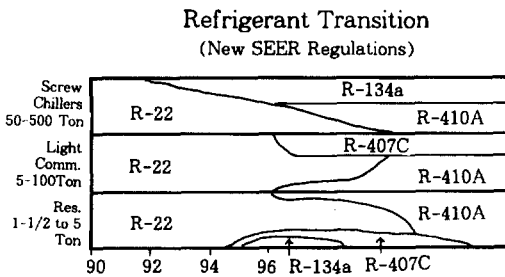


그림 4 R-22와 신냉매인 HFCs의 적용 계획(미국)

게 검토 되어야 한다. R-407C 시스템의 냉동능력 및 효율은 증발기의 구조를 대향직교류로의 변환을 통하여 향상시킬 수 있으며 창문형의 경우 LSHX(liquid-line suction-line heat exchanger)을 적용하여 약간의 성능향상을 추가로 얻을 수 있다. 소형 분리형 공조기의 경우도 응축기출구에 분류(by-pass)관을 설치하여 일부냉매(약 25%)를 분류(by-pass)시키고 감압장치를 이용하여 저온의 냉매로 만든후 모세관입구의 냉매와 열교환시켜 과냉도를 증가시키고 압축기로 보내는 LLHX(liquid liquid subcooling heat exchanger)를 적용하면 성능을 향상(능력 5%, 효율 2% 정도)시킬 수 있다⁽²⁸⁾. 특히 R-407C는 압축기를 포함한 시스템의 큰 설계 변경 없이 적용이 가능하므로 중소형 공조기의 단기적인 대체 냉매 또는 기존 시스템의 전환 냉매로 사용이 가능하다.

R-410A 냉매는 R-32/125(50/50wt%)의 유사공비 혼합냉매로 온도글라이드가 매우 작으며(0.1℃) 응축압력이 R-22에 비해 60% 정도 높은 고압냉매이다. R-410A를 적용할 경우 냉매의 열전달특성이 R-22에 비해 우수하며 비체적이 작아 압력강해도 비교적 작고 동일능력을 내기 위한 압축기의 행정체적도 30% 정도 작게 되므로 시스템의 소형화가 가능하다. 따라서 R-134a의 경우와 마찬가지로 압축기를 포함한 시스템의 재설계가 요구되나 시스템의 크기가 작아져 원가적인 측면에서도 유리하며 시스템의 최적화시 성능도 R-22 보다 약간 우수하다. R-410A를 시스템에 적용하기 위해서는 고압냉매의 사용에 따른 내압특성을 충분히 검토하여 신뢰성을 확보하는 것이 필요하며 서비스도구들도 냉매의 특성에 맞춰 전환되어야 할 것이다. 그러

나 R-410A는 단일냉매와 같이 거동하여 취급이 R-407C 등의 비공비혼합냉매보다 유리하며 제품의 소형화 및 재료비의 절감이 가능하고 성능이 좋은 우수한 냉매이다. 따라서 소형 가정용공조기의 냉매는 유럽의 천연냉매를 제외하면 R-410A로 일원화 될 것으로 예상되며 미국의 캐리어사는 현재 R-410A를 적용한 가정용 냉방전용 에어컨을 생산하고 있다.

R-32/134a(30/70wt%)는 압력특성이 R-22와 유사하며 7℃ 정도의 온도글라이드를 갖는 2중 비공비혼합냉매로 R-407C의 냉매와 마찬가지로 R-22 시스템에 커다란 설계변경 없이 적용할 수 있는 냉매중의 하나이다. 그러나 상기의 조성비(maginally flammable mixture)는 가연성에 대한 문제가 완전히 해결되지 않아 이에 대한 연구가 계속되고 있으며 일본의 다이킨 등에서 많이 검토하고 있다. 비가연성의 R-32/134a 혼합냉매로는 조성비 25/75wt%가 일부 검토되고 있으나 다른 비공비혼합냉매에 비해 성능이 약간 떨어지는 것으로 알려져 있다.

4.2 천연냉매 공조기

천연냉매를 공조기 및 산업용 냉동기에 적용하고자 하는 연구는 유럽을 중심으로 폭넓게 진행되고 있는데 탄화수소인 R-290과 그의 혼합물, 암모니아(NH₃, R-717), 이산화탄소(CO₂, R-744), 물(H₂O, R-718) 및 공기(air, R-729) 등을 대상으로 하고 있다. 네덜란드에 본부를 둔 IEA 산하에 구성된 ANNEX-22 분과에서는 상기와 같은 천연냉매를 증기압축시스템에 적용하기 위한 연구를 국제 공동으로 진행하고 있는데 이미 상품화된 천연냉매냉장고 등은 연구대상에서 제외하고 있다. 표 6에 탄화수소를 제외한 대

표 6 천연냉매의 열역학적 물성

냉 매	분자량	NBP (℃)	임계온도 (℃)	임계압력 (bar)	응 축 온 도 @25bar(℃)	증 발 잠 열 @0℃(kJ/kg)	체 적 냉 동 능 력 @0℃(kJ/m ³)
NH ₃	17.03	- 33.3	133.0	114.2	58.1	1,261	4,360
CO ₂	44.01	- 78.4	31.1	73.7	-	231.6	22,600
H ₂ O	18.02	100	374.2	221.3	224	2,257	1,349
AIR	28.97	-194.3	-140.7	37.64	-	-	-

표적인 천연냉매의 열물성을 나타내었다⁽²⁹⁾.

탄화수소냉매는 가연성을 제외하면 기존의 압축기 오일(광유: mineral oil)을 사용할 수 있으며 열역학적으로도 매우 우수한 냉매이다. 현재 가장 많이 연구되고 있는 냉매는 R-290으로 응축압력이 R-22에 비해 12% 정도 낮으며 압축기의 행정체적을 15% 정도 증가시켜야 하는 등 시스템의 재설계가 요구된다. 그러나 압축기의 토출온도가 R-22에 비해 16% 정도 낮아 신뢰성 측면에서 유리하며 기존의 광유를 그대로 쓸 수 있어서 생산공정의 변경에 따르는 시설투자 비용이 상대적으로 작을 수 있으나 가연성 냉매를 처리하는데 필요한 안전설비가 추가로 설치되어야 한다. 탄화수소냉매는 현재 냉매봉입량이 1kg 이하인 가정용 및 상업용 공조기, 운송(화물트럭, 기차, 컨테이너)냉동 및 수퍼마켓 등의 상업용냉동기에 주로 적용되고 있다⁽³⁰⁾. 독일의 경우 가연성냉매의 사용에 대한 표준(DIN 7300)이 있으며 현재 R-290 또는 R-1270(propylene)을 적용한 가정용 공조기가 연간 판매량의 약 20%를 점유하고 있다. 기타 유럽의 일부사에서도 이동형 냉방기에 R-290을 적용하여 판매하고 있으며 미국의 Lennox사의 연구결과⁽³¹⁾에 의하면 R-290을 소형 공조기에 적용할 경우 UL에서 제시하는 안전규격 범위에서 공조기를 설계하기 위해서는 시스템의 크기에 따라 다소 차이는 있으나 시스템의 가격이 30% 정도 상승할 것으로 보인다.

암모니아는 유독성의 가연성 냉매로 상업용 및 산업용건물의 냉방 및 산업용 냉동기(음식 제조 공정, 얼음제조, 냉동보관 등)에 오래전부터 사용되고 있다. 최근 HCFC의 규제에 따라 상업용 건물과 지역 냉난방 시스템의 대형 열펌프 및 냉동기에의 적용이 새롭게 검토되고 있다. 이산화탄소도 고압냉매(100 기압)로 시스템의 소형화가 가능하고 독성과 가연성이 없으며 기존의 광유를 그대로 사용할 수 있어서 공조기의 냉매로 일부 연구기관에서 이론 및 실험적 연구를 진행하고 있다. 그러나 임계온도(31.1℃) 이상에서 사이클이 형성되어 효율이 저하하고 압축기를 포함한 고압축의 열교환기(gas cooler)의 내압설

계 및 고효율화 등 난제가 많아 현재까지는 저온 냉동시스템의 2차냉매로 사용되고 있는 정도이다. 이산화탄소를 증기압축시스템에 적용하기 위해서는 고압냉매에 적합한 사이클의 개발과 시스템 해석, 요소부품(압축기, 증발기, 가스 냉각기 등)의 개발 및 시제품제작에 의한 성능측정 및 신뢰성에 충분한 검토가 있어야 할 것으로 보인다.

5. 신냉동기술

역 Rankine 사이클을 이용하는 증기압축시스템은 압축기, 열교환기(증발기, 응축기), 팽창장치의 기본요소와 부속장치로 구성되어 있으며 현재까지 냉동공조기기의 기본사이클로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 CFC/HCFC 냉매의 사용규제에 따라 그동안 일부 국한된 경우에만 사용되어 오던 기술이 선진국을 중심으로 증기압축 사이클의 대체 냉동기술로 개발되고 있는데 흡수식, 흡착식, 공기사이클, 스테링 및 Malone 사이클, 열전냉동, 열음향냉동, Magnetocaloric 냉동 등이 그것이다. 공조기에 적용되고 있는 흡수식, 흡착식, 열음향냉동, Magnetocaloric 냉동 등이 그것이다. 공조기에 적용되고 있는 흡수식, 흡착식, 열음향냉동 등은 참고 문헌⁽³²⁾,⁽³³⁾에 비교적 잘 기술되어 있으므로, 여기서는 냉장고에 적용되고 있는 신냉동 기술을 중심으로 열전소자 냉장고, 흡수식 냉장고 및 스테링냉장고에 대해서만 기술하기로 한다. 이들의 기본기술은 오래 전부터 알려진 것으로 상품으로서의 경쟁력(가격, 생산성, 신뢰성 및 효율등)이 기존제품에 비해 낮아 상용화 되지 못하고 있었으며 냉매의 규제와 더불어 연구개발이 활성화 되고 있다.

열전소자는 성질이 다른 두개의 도체를 연결하고 직류전류를 통하면 발열부와 흡열부가 생기는 peltier 효과를 이용하는 것으로 p형과 n형의 반도체가 주로 사용된다. 하나의 소자에서 얻을 수 있는 열량이 매우 작기 때문에 용량에 따라 다수의 소자를 연결하여 제작하며 열전소자 냉장고는 이미 개발되어 소용량의 특수용도에 사용되고 있으나 열전소자의 가격이 비싸고 효율이 낮은 단

점이 있어 가정용으로는 아직 사용되지 못하고 있다. 국내에서도 일부 연구기관에서 열전소자를 개발하고 소형냉장고에 적용을 시도한 적이 있으나 상품화되지 못했으며 선진국에서는 열전소자의 고효율화 및 저렴화 연구에 많은 노력을 기울이고 있다.

그림 5에 흡수식사이클을 간단히 나타내었는데 이는 주로 흡수식냉장고에 사용되는 확산흡수식으로 암모니아와 물외에 수소를 작동물질로 사용하며 구동펌프가 없는 것이 특징이다. 유럽(SIBIR, ELECTROLUX, UPO, WEMO사 등), 일본(산요, 샤프 등)의 가전사 및 미국의 NORCOLD사 등에서 소형가정용, 호텔용, 차량 및 레저용 등으로 흡수식냉장고가 개발되어 판매되고 있으며 가스, 석유 또는 전기 등을 구동원으로 사용하게 된다. 국내에서도 소형 흡수식냉장고를 레저용으로 개발한적이 있으나 효율이 낮고 가격이 비싸 가정용 냉장고로는 사용하지 않고 있으며 일부 호텔용 냉장고로 사용되고 있다. 스테링사이클은 그 동안 극저온의 소용량용으

로 우주선 및 군장비 등과 같은 특수한 용도에 국한 사용되어 왔으나 CFC/HCFC 냉매의 규제에 따라 이를 가정용 냉장고 및 열펌프(vuilleumier heat pump)에 적용하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 여기서는 스테링사이클 기술을 가정용 냉동냉장고에 적용하기 위해 영국의 옥스퍼드대학교 EA Technology^{(34), (35)}에서 공동으로 개발중인 스테링냉장고에 대해 기술하기로 한다. 옥스퍼드대학은 기존의 압축기를 대체하는 스테링냉동기를 설계 제작하고 EA Technology에서는 냉장고의 증발기/응축기에 해당하는 열교환기(열파이프의 일종인 열사이폰)를 설계하여 기존의 냉장고를 변형시켜 스테링냉장고를 제작하고 시험한 결과 그 실현 가능성이 높음을 입증하였다. 냉동냉장고에 적용된 스테링사이클 냉동기는 선행모터에 의해 구동되며 윤활유가 필요 없는 그림 6과 같은 단일 피스톤으로 구성된 시스템으로 고온 등온압축과정과 저온 등온팽창과정으로 구성된다. 압축 및 팽창과정에서 등온상태를 유지하기 위하여 냉동기의 저온부와 고온부에서 열교환이 이루어져야 하는데 팽창과정에서는 냉동기의 저온부에서 주위로부터 열을 흡수하여 냉동기의 고온부로 이동시키고, 압축과정에서는 냉동기의 고온부에서 주위로 열을 방출하여 냉동기의 기능을 하게 된다. 그림 7에 이러한 원리의 스테링냉동기를 적용한 냉장고의 예를 도시하였다. 기존의 냉장고의 기계실에서 압축기를 제거하고 스테링냉동기를 부착한 후 두개의 열사이폰을 이용하여 냉장고내의 증발기에서 스테링냉동기의 저온부로 열을 전달시켜 고내의 저온을 유지시키고 이를 다시 냉동기의 고온부를 통하여 주위공기로 방열시켜 냉장고의 기능을 수행하도록 구성 하였다. 이러한 스테링냉장고의 소비전력을 냉동실의 온도 -20°C , 주위온도 25°C 에서 측정한 결과 일간소비전력이 1.48kWh/day 로 기존의 증기압축식 냉장고의 1.8kWh/day 에 비해 17% 적게 나타났다. 그림 8에는 스테링냉장고의 COP를 증발온도 -25°C , 응축온도 55°C 의 조건에서 측정한 기존 냉장고의 COP와 비교하여 나타내었는데 기존냉장고와 유사한 특성을 보임을 알 수 있다. 스테링냉동기를 이용한 냉장

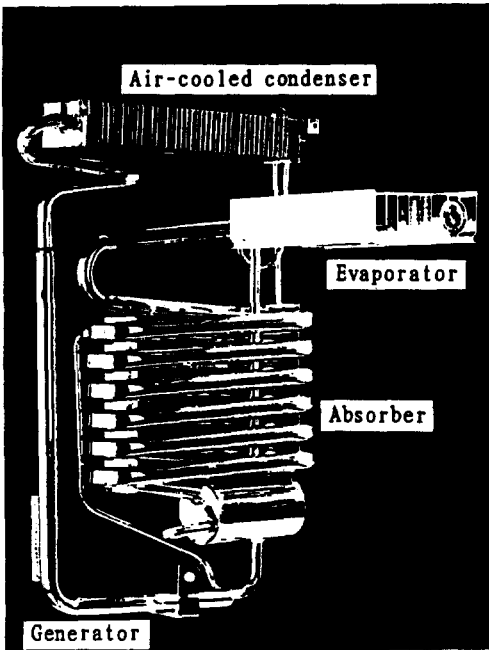


그림 5 흡수식냉장고의 사이클

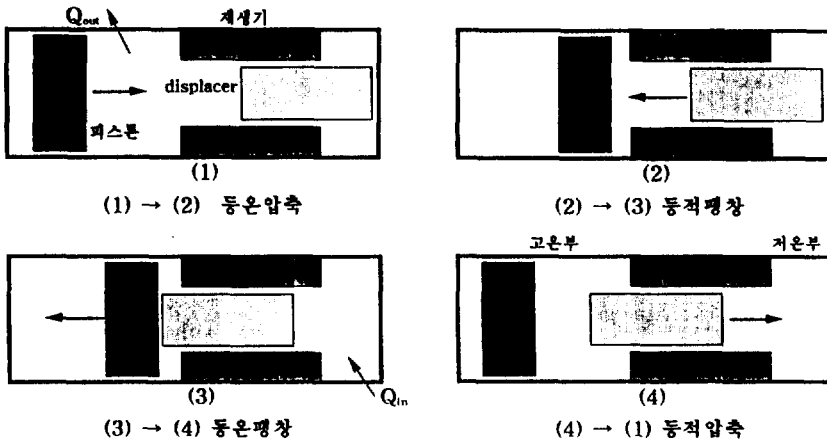


그림 6 스텐링사이클냉장고의 원리

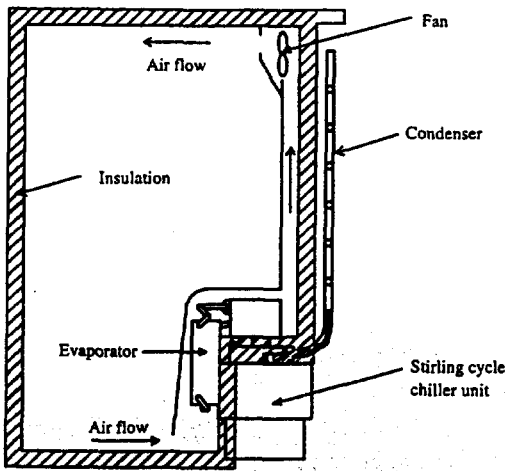
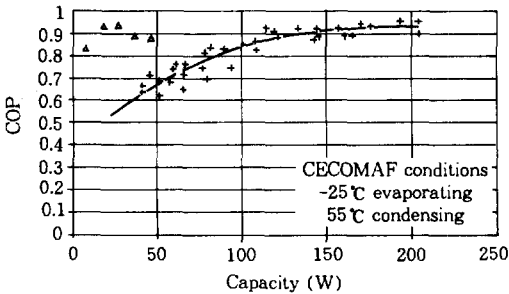


그림 7 스텐링냉장고의 구조

고의 장점은 환경오염물질을 사용하지 않으며 냉장고의 용량제어가 용이하다는 것이다. 기존의 냉장고의 제어는 압축기의 on/off 또는 인버터를 이용하는데 반해 스텐링냉동기의 용량제어는 선형모터의 입력전압을 변화시킴으로써 가능하게 된다. 그러나 스텐링 냉장고가 경쟁력을 갖는 우수상품이 되기 위해서는 100기압 이상의 고압에서 작동되는 냉동기를 저렴하고 신뢰성 있게 제작할 수 있는 기술을 확립하는 것이 무엇보다도 중요하고 증발기 및 응축기로 사용할 수 있는 고효율 열파이프의 개발과 시스템을 최적화하여 냉장고의 성능을 향상시키는 기술이 요구된다.

6. 맺음말

CFC/HCFC 냉매의 규제에 따른 신냉매의 개발과 냉장고 및 공조기에 신냉매를 적용하기 위한 응용연구 개발의 동향을 살펴 보았다. 신냉매를 적용하여 냉장고 및 공조기를 상품화하기 위해서는 적절한 신냉매 및 윤활유의 선정, 압축기 행정체적, 모터의 크기, 압축기 속도, 열교환기의 배관구조 및 크기, 수액기의 크기와 팽창장치의 사양 결정 및 냉매부입량의 최적화 등을 통한 시스템의 고효율화로 에너지 소비효율을 향상시켜 총등가온난화지수(TEWI)를 최소화 하는 것이 중요하다. 그러나, 업체의 입장에서 보면 신냉매 적용시스템의 수명시험을 통한 신뢰성 및



△ Stirling cycle + Vapour compression

그림 8 스텐링냉장고의 성능

안정성을 확보하고 생산공정, 설비 등의 개조를 통한 제품의 품질을 확보하는 것이 필수적이다. 특히 비공비혼합냉매의 사용에 따른 냉매 분류문제, 냉매취급 및 봉입문제, 합성윤활유의 사용에 따른 수분관리 및 윤활유의 봉입문제, 그리고 생산공정상의 세척제, 가공유 및 조립유 등의 새로운 검토 및 철저한 공정관리를 통한 냉매회로내의 이물질의 함유량을 최소화하는 것이 필요하다. 또한, 냉매의 순환조성의 변화를 고려한 설계 및 냉매의 누설시 서비스문제 등을 다각적으로 검토해야한다. 가연성냉매를 적용할 경우는 생산공정에서의 안전성, 운반 및 설치 사용시의 안전성을 충분히 검토하여 제품화 하는 것이 중요하며, 가연성냉매의 사용에 따른 새로운 규격을 정하여 이를 수용하는 것이 요구된다. 그리고 여러가지 냉매를 동시에 적용하여 제품을 생산하고 있는 현재의 경우 냉매에 따른 제품, 서비스 부품, 냉매실린더 등 구분이 명확하도록 표지를 부착하는 등의 노력이 필요하다. 가연성냉매 및 비공비혼합냉매의 경우 서비스 담당자에 대한 냉매의 취급 및 봉입에 대한 철저한 교육과 관리가 필요하며 R-410A와 같은 고압냉매의 취급에 따른 서비스 도구들의 전환도 함께 고려되어야 한다.

냉장고의 경우는 선진국에서 이미 신냉매를 적용하여 냉장고의 생산을 전면 실시하고 있으며 보다 더 친환경냉매 및 제품을 생산하기 위한 연구를 진행하고 있다. 공조기에 사용하는 HCFC계 물질의 총량규제량도 95년 11월 말에 오스트리아의 빈에서 개최된 제7차 몬트리올의정서 가입국회의에서 종전의 결과(92년 코펜하겐회의)보다 적게 조정하고 실질적인 전폐일정도 10년 단축하였으며 유럽 및 미국의 일부사에서는 신냉매를 적용한 제품을 생산하고 있다. 이는 유럽을 중심으로 한 선진국에서 HCFC 대체냉매의 개발 및 이러한 신냉매에 대한 응용기술이 상당히 진전되고 있음을 시사하는 것으로 볼 수 있다. 국내에서도 냉장고 및 공조기(97년 예정)가 환경마크 부착 제품으로 선정되었고 OECD가입에 따른 선진국의 압력 등으로 신냉매 적용 일정이 가속화 될 전망이다. 따라서 국내에서도 신냉매

의 적용에 따른 기초기술과 이를 이용한 냉동공조기의 설계기술에 보다 많은 관심과 지원이 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. David S. Godwin, 1994, "Results of soft-optimized system tests in ARI's R-22 alternative refrigerants evaluation program", Proceedings of 1994 International Refrigeration Conference at Purdue, pp. 7 ~22.
2. ARI, 1996, The Minutes of the AREP Technical Committee Meeting.
3. 김만희, 1996, "HFC계 혼합냉매 적용 공조기의 개발 동향", 냉동공조기술, Vol. 13, No. 1, pp. 80~92.
4. W. Lohbeck, 1995, Hydrocarbons-High tech in refrigeration, Greenpeace.
5. U. G. Wenning, 1995, "No-frost refrigeration: A retrospect after conversion to hydrocarbons", Hydrocarbons and Other Progressive Answers to Refrigeration, Greenpeace, pp. 33~40.
6. S. L. Kwon, J. Berge, L. Naley, 1996, "Evaluation and implementation of R-502 alternatives for transport refrigeration, Proceedings of 1994 International Refrigeration Conference at Purdue, pp. 63~70.
7. Carrier, 1996, Product Data-38TXA (60Hz) Air conditioner with R-410A, United Technologies/Carrier.
8. ARI, 1996, "Global activities in assessing flammable refrigerants", The Minutes of the AREP Flammability Subcommittee, Exhibit B.
9. J. Berghmans, 1994, Working Fluid Safety, IEA Heat Pump Programme, Report No. HPP-AN20-1.
10. J. D. Douglas, E. A. Groll, J. E. Braun, and D. R. Tree, 1996, "Evaluation of pro-

- pane as an alternative to HCFC-22 in residential applications”, Proceedings of the 1996 International Refrigeration Conference at Purdue, pp. 13~20.
11. F. J. Keller, L. Sullivan, and H. Liang, 1996, “Assessment of propane in north american residential air conditioning”, Proceedings of the 1996 International Refrigeration Conference at Purdue, pp. 39~44.
 12. P. A. Domanski and D. A. Didion, 1993, Theoretical evaluation of R-22 and R-502 alternatives, NIST Report Prepared for ARTI.
 13. P. A. Domanski, D. A. Didion, and J. P. Doyle, 1994, “Evaluation of suction line-liquid line heat exchange in the refrigeration cycle”, Int. J. of Refrig., Vol. 17, No. 7, pp. 11~17.
 14. A. Fujitaka et al, 1994, “Experimental evaluation of room air conditioner using R32/125/134a blends”, The International Symposium on R22 & R502 Alternative Refrigerants, pp. 17~22.
 15. D. B. Bivens et al, 1995, “HCFC-22 alternatives for air conditioners and heat pumps”, '95 ASHRAE Annual Meeting, San Diego.
 16. F. T. Murphy et al, 1995, “Comparison of R-407C and R-410A with R-22 in a 10.5kW(3.0TR) residential central air-conditioner”, Int. CFC and Halon Conference, pp. 31~40.
 17. Y. Hwang, J. F. Judge, and R. Radermacher, 1995, “Evaluation of R-22 alternatives for heat pump”, Heat Pump and Refrigeration Systems Design, Analysis and Applications, ASME, Vol. 34, pp. 11~17.
 18. F. Ragazzi and C. O. Pedersen, 1995, Thermodynamic optimization of evaporators with zeotropic refrigerant mixtures, Air Conditioning and Refrigeration Center, University of Illinois.
 19. 김만희, 1995, “R-22 대체냉매 에어컨의 성능향상 방안”, 한일냉동공조세미나, pp. 133~165.
 20. Man-Hoe Kim, 1996, “Performance evaluation of R-407C and R-410B in a residential air-conditioner”, AREP Technical Committee Meeting, Atlanta, USA.
 21. Kim, M. S. and Didion, D. A., 1995, “Simulation of isothermal and adiabatic leak processes of zeotropic refrigerant mixtures”, Int. J. of HVAC and R Research, Vol. 1, pp. 1~17.
 22. 吉見 學 外, 1995, “非共沸混合冷媒を用いた空調用熱交換器の性能評価”, 第29回 空気調和 冷凍 連合講演會(東京) 講演論文集, pp. 65~68.
 23. 吉田 外, 1996, “R-410A を用いた空調用熱交換器の性能評価”, 第30回 空気調和 冷凍 連合講演會(東京) 講演論文集, pp. 145~148.
 24. 장세동, 노승탁, 1995, “HFC계열 순수냉매 및 혼합냉매의 모세관 유동”, 공기조화 냉동 공학회 하계 학술대회논문집, pp. 263~268.
 25. Greenpeace, 1996, Supermarket green-freeze-Supermarket refrigeration & the environment.
 26. Idemitsu Kosan Company, 1996, Technical information of new ether oil for alternative refrigerant.
 27. P. Baz, K. Meyersen, D. Legatis, 1995, Hydrocarbon Technology-The use of hydrocarbons as forming agents and refrigerants in household refrigeration, GTZ.
 28. R. Yajima, N. Domyo, I. Tarutani, 1996, New refrigerants for split-type air conditioner”, Conference proceedings of the 5th IEA heat pumping technologies, vol. 2, pp. 261~268.

29. ASHRAE, 1993, ASHRAE Handbook-Fundamentals, pp. 16.4, 17.44~17.75.
30. J. Stene, 1996, International status report on compression system with natural working fluids, IEA heat pump programme, Report No. HP-AN22-2.
31. D. W. Treadwell, 1994, "Performance cost and safety requirements of employing R-290(propane) in unitary air conditioning equipment", The International Symposium on R22 & R502 Alternative Refrigerants, pp. 42~45.
32. P. J. Lewis, 1993, Proceedings of the 1993 non-fluorocarbon refrigeration and air-conditioning technology workshop, ORNL
33. S. Fisher, 1996, "Technology alternative to CFC/HCFC Vapor Compression", Conference proceedings of the 5th IEA heat pumping technologies, Vol. 1, pp. 207~214.
34. R. Green, P. Bailey, 1995, "The future of the domestic refrigerator?", RAC, Vol. 98, No. 1167, pp. 49~51.
35. R. Green, P. Bailey, 1996, "Is the future stirling?", RAC, Vol. 99, No. 1177, pp. 40, 42.
36. M. Huber, J. Gallagher, M. McLinden, G. Morrison, 1996, NIST Thermodynamic properties of refrigerants and refrigerant mixtures database(REFPROP), Version 5.0.
37. Don Grob, 1995, Refrigeration news note, UL Northbrook Office.
38. Copeland, 1994, Introduction of refrigerant mixtures, Copeland Cooperation.
39. Copeland, 1995, The HFC report-Refrigerant alternatives for the air conditioning industry, Copeland Cooperation.
40. Embraco, 1993, Technical information-Hydrocarbon refrigerants as substitutes for R-12, Code 93651, Embraco.