

# 지구온난화와 차세대 대체냉매 기술

CFC/HCFC/HFC 냉매의 규제에 따른 차세대 대체냉매의 개발동향 및 대체냉매를 적용하기 위한 응용 기술 개발 현황을 소개한다 (본고는 2005년 공업화학전망 제8권 제2호에 게재된 내용을 일부 수정 보완한 것임).

김만회 / 편집이사

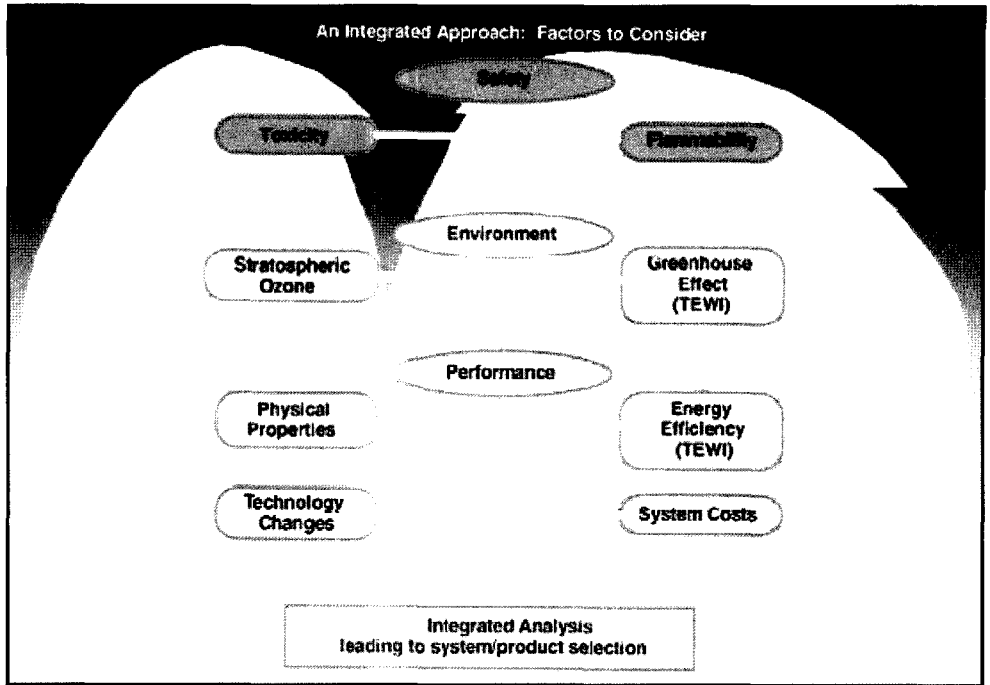
한국과학기술원 기계공학과(manhoe.kim@kaist.ac.kr)

## 머리말

1930년대 Thomas Midgley에 의하여 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 냉매로는 물론 발포제, 세정제 및 분사제 등으로 널리 사용되어 왔다. 그러나 CFC 및 HCFC가 대기에 누출될 경우 오존층을 파괴하고 지구온난화에 영향을 미치는 환경오염물질로 판명되어 이들 물질의 생산 및 사용에 대한 규제가 가속화 되고 있으며, 이에 대한 대체물질의 개발과 대체냉매를 적용한 친환경제품을 개발하기 위한 응용연구가 활발히 진행되고 있다. 가정용 냉장고, 산업용냉동기 및 자동차 에어컨의 냉매로 사용되던 CFC(R-11, R-12, R-502 등)는 96년 1월부터 생산이 금지되었고(개발도상국 제외), 가정용 에어컨에 많이 사용되고 있는 HCFC(R-22)는 96년 1월부터 규제가 시작되었다(표 1 참조). CFC/HCFC의 대체냉매로는 합성물질인 HFC(hydrofluorocarbon)와 천연물질인 HC(hydrocarbon)와 CO<sub>2</sub> 등이 가장 많이 검토되고 있으며 일부는 제품에 적용되어 생산되고 있다. 그러나, 대체냉매로 개발 사용되고 있는 HFC도 2005년 2월 16일 발효된 교토의정서에서 6개의 온실가스 중 하나로 포함되어 대기방출규제물질로 분류되어

이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있다. 더구나, 유럽에서는 자동차 에어컨용 냉매인 R-134a를 2011년부터 신규 자동차에 적용하는것을 금지하고 2017년에 완전히 규제하도록 계획되어 있다. 이에 대응하기 위하여 CO<sub>2</sub>냉매를 적용한 시스템의 개발과 함께 미국을 중심으로 GWP가 150 이하인 합성물질(Honeywell의 Fluid-H, DuPont의 DP-1 및 INEOS Fluor의 AC-1 등)이 개발되고 있다. 올해 3월에는 DuPont과 Honeywell이 자동차 에어컨용 R-134a 대체냉매를 공동으로 개발하여 유럽의 R-134a냉매의 규제에 대응하기로 하였다. 그러나, 대체냉매를 선정할 때 친환경성의 평가기준은 냉매 자체의 영향뿐만 아니라 시스템운전에 필요한 전력 생산시 발생하는 이산화탄소에 의한 간접적인 영향을 함께 고려하는 것이 필요하다. 이러한 냉매의 직접적인 영향과 간접적인 영향을 함께 나타내는 척도가 생애주기기후성능(LCCP, life cycle climate performance) 또는 총등가온난화지수(TEWI, total equivalent warming impact) 이며 이를 기준으로 보면 친환경 냉매의 선정은 물론 시스템의 효율을 향상시켜 TEWI를 최소화 하는 것이 중요하다. 그림 1에 대체냉매를 선정할 때 고려해야할 사항을 도시하였으며, 표 2에는 응용 제품별로 TEWI에 미치는 직/간접 영향을 나타내었다.

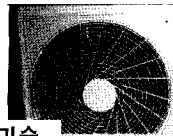
냉장고의 대체냉매는 R-134a(HFC 냉매)와 이소부탄인 R-600a(HC 냉매)로 대별할 수 있으며 프로판(R-290)의 이중 혼합냉매와 R-22도 일부 사용되고



[그림 1] 대체냉매 선정시 고려사항

있다. R-134a는 미국, 일본을 비롯한 대부분의 국가에서 냉장고용 냉매로 사용하고 있으며 시스템의 성능을 향상시켜 에너지 소비효율을 향상시키기 위한 연구가 다각도로 진행되고 있다. R-600a는 유럽을 중심으로 가정용 소형 냉장고에 적용하고 있는데, 국내외의 우수한 제조사들은 유럽향으로 개발을 완료하여 수출하고 있다. 미국은 가연성냉매를 사용할 수 없도록 규정하고 있어서 탄화수소를 포함한 천연냉매는 연구개발 단계에만 국한되고 있고 아직까지 상품화되지는 않고 있다. R-22는 일본의 일부사에서 단기 대체냉매로 사용하였으나 최종적으로는 R-134a와 R-600a로 전환되었다. 국내의 경우는 일부 소형냉장고를 제외하면 대체냉매인 R-134a를 적용하여 냉장고를 생산하고 있다. 운송용 냉동차량 및 산업용냉동기에 사용되어 오던 중저온용 공비혼합냉매인 R-502(HCFC-22/CFC-115 : 48.8/51.2 wt %)의 대체냉매로는 주로 HFC의 혼합냉매(R-404A, R-507)가 많이 검토되고 있으며 미국을 비롯한 선진국은 이미 R-502의 대체냉매를 적용

하여 제품을 생산하고 있다. 국내에서도 R-502의 중저온 대체냉매의 개발과 시스템에 적용하기 위한 응용연구가 진행되고 있다. 자동차 에어컨의 냉매는 R-134a로 대부분 전환되었으나, HFC 냉매가 교토의정서에 온실가스로 분류되어 차세대 대체냉매를 선정하고 이를 적용하기 위한 시스템 응용연구가 다각도로 진행되고 있다. 자동차 에어컨의 경우 반밀폐형 압축기와 연결호스의 사용, 사고로 인한 냉매의 누출이 다른 시스템에 비하여 상대적으로 크므로 교토의정서에 의한 R-134a의 대기방출억제 규제에 대처하기 위한 적극적인 노력이 필요하다. 참고로, 표 2에 나타낸 바와 같이 자동차 에어컨의 경우 총등가온난화지수(TEWI)에서 냉매의 직접적인 영향이 70%이고 시스템 효율과 관련된 간접적인 영향이 30%이다. 미국에서는 R-134a냉매로의 전환 시 소요된 비용을 미화 50억달러로 추산하고 있으며, 냉매의 누출 감소 및 시스템의 고효율화에 대한 연구를 통한 LCCP를 줄이기 위한 연구를 미국자동차학회를 중심으로 체계적으로 진행하고 있다. 또



<표 1> CFC 및 HCFC 물질의 규제일정

Annex	물질	규제 일정							
		1987	1990	1992	제11 (May,1995)			1995	
		몬트리올 의정서	런던개정 의정서	제4차 코펜하겐	노르웨이 제안	말린, 미국, 중국 제안	인도 제안	제7차 비엔나회의	
A	CFC11 CFC12 CFC113 CFC114 CFC115	'86 소비량 기준	'86 소비량 기준	'86 소비량 기준	개발도상국 대상 규제 SCHEDULE			'90 런던회의의 가 입국 (개도국에 한함)	'92 코펜하겐회의 가입국 (개도국에 한함)
		1999.7.1 - 100%	1995.1.1 - 50% 1997.1.1 - 20% 2000.1.1 - 0%	1994.1.1 - 25% 1996.1.1 - 0%	2002.1.1 - 전폐	2004.1.1 - 20% 2006.1.1 - 0%	2005.1.1 - 50% 2007.1.1 - 20% 2010.1.1 - 0%	'98 소비량 기준	'96 소비량 기준
C	HCFCs			기준 : '89 CFC의 ODP 3.1% + HCFC 의 ODP	스웨덴 제안 기준 : '89 CFC의 ODP 1.5% + HCFC 의 ODP	유럽연합 제안 기준 : '89 CFC의 ODP 2.6% + HCFC 의 ODP		기준 : '89 CFC의 ODP 2.8% + HCFC의 ODP	
				1996.1.1 - 100% 2004.1.1 - 65% 2010.1.1 - 35% 2015.1.1 - 10% 2020.1.1 - 0.5% 2030.1.1 - 0%	1996.1.1 - 100% 2000.1.1 - 50% 2004.1.1 - 25% 2007.1.1 - 10% 2010.1.1 - 0%	1996.1.1 - 100% 2000.1.1 - 50% 2004.1.1 - 25% 2007.1.1 - 10% 2010.1.1 - 0%		1996.1.1 - 100% 2004.1.1 - 65% 2010.1.1 - 35% 2015.1.1 - 10% 2020.1.1 - 0.5% 2030.1.1 - 0%	개도국은 2015년 소비량 기준으로 2016.1.1 - 100% 2040.1.1 - 0%

<표 2> TEWI에 대한 직/간접 영향 비교

	직접영향 (%)	간접영향 (%)
가정용 냉장고/에어컨	4	96
자동차 에어컨	70	30
상업용 제품	56	44
Water chillers	1	99

한 차세대 대체냉매로 가장 많이 검토되고 있는 CO<sub>2</sub> 냉매는 작동압력이 매우 높고 임계온도가 낮은 천연냉매로 초임계사이클에서 작동되기 때문에 그 사이클 특성이 R-134a와는 매우 다르고 구성 요소 부품을 포함한 시스템의 재설계가 요구되고 있다. 또한 최근에 미국의 Honeywell사와 DuPont사가 그동안 각자 개발하고 있던 Fluid H와 DP-1에 대

해 공동으로 개발하기로 협정하였다. 가정용 에어컨에 널리 사용되고 있는 R-22의 대체냉매로는 CO<sub>2</sub> 및 HC계(R-290 및 R-290의 혼합냉매) 천연냉매와 HFC계 물질인 R-134a의 단일냉매와 R-32의 혼합냉매(R-407C, R-410A)가 가장 많이 검토되고 있다. 미국 및 일본을 포함한 대부분의 제조사들은 이미 R-407C와 R-410A를 적용한 분리형 가정용 에어컨을 생산 판매하고 있다. 유럽에서는 천연냉매를 R-22의 대체냉매로 폭넓게 검토하고 있으며 R-290을 적용한 소형 이동형 냉방기를 생산하고 있다. 현재까지 개발되어 적용이 되고 있는 HFC계 및 천연냉매는 기존냉매와는 매우 다른 특성을 갖는다. 천연냉매인 HC계 냉매는 성능이 비교적 우수하고 기존과 같은 계통의 윤활유를 사용할 수 있어 신뢰성에 대한 문제는 없을 것으로 보이나 가연성에 대한 검토

가 필수적이다. CO<sub>2</sub>는 앞에서 기술한 바와 같이 임계온도가 낮고 압력이 높은 초임계사이클에서 작동하는 냉매로 가정용 급탕기, 자판기, 건조기 등에 적용하기 위한 연구가 많이 진행되고 있으며 일부 사에서는 제품화되어 출시되고 있다.

본 고에서는 CFC/HCFC 냉매의 규제에 따른 대체 냉매의 개발 현황과 기술변화에 대해 소개하고, 대체냉매를 적용한 가정용 냉장고, 자동차 에어컨, 가정용 에어컨을 중심으로 한 친환경제품 개발현황을 기술하고자 한다.

### 대체냉매 적용 기술

#### 가정용 냉장고 및 냉동기

표 3에 전세계의 냉장고 수요량을 나타내었다. 냉장고는 세계의 연간 수요량이 7,000만대 이상에 이

<표 3> 세계의 연간 가정용 냉장기의 수요량\*

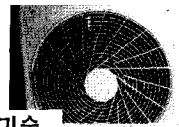
(단위 : 천대)			
지역	2003년	2004년	2005년
아시아	26,571	26,760	28,583
중동	4,070	4,206	4,328
유럽	20,464	21,384	21,655
북미	10,750	11,107	11,364
중남미	7,931	8,109	8,181
아프리카	1,920	1,985	2,031
총계	71,706	73,551	76,142

\* 삼성전자 제공

<표 4> ASHRAE 조건에서의 R-12 대체냉매의 이론적 특성

냉매	R-12	R-134a	R-600a	R-600	R-290
화학식	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
ODP	1.0	0	0	0	0
GWP(CO <sub>2</sub> =1, 100yr)	8500	1300	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(54.4°C), kPa	1354	1470(109%)	761(56%)	556(41%)	1883(140%)
증발압력(-23.3°C), kPa	133	115(87%)	62(47%)	39(29%)	217(164%)
압력차, kPa	1221	1355(111%)	699(57%)	517(42%)	1666(136%)
압축비	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%)	1216(720%)	283(167%)
냉매질량유량 <sup>1)</sup> , g/h	5070	3870(76%)	2143(42%)	1973(39%)	2034(40%)
행정체적 <sup>2)</sup> , 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
평창장치 입구온도, °C	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2
냉매비체적, dm <sup>3</sup> /kg	0.775	0.845(109%)	1.844(238%)	1.771(229%)	2.08(268%)
냉매체적유량, dm <sup>3</sup> /h	3.93	3.27(83%)	3.95(101%)	3.49(89%)	4.23(108%)

<sup>1)</sup> 은 200 W에 대한 냉매의 질량유량을 나타내며, <sup>2)</sup> 은 3500 rpm 에 대한 행정체적을 나타냄



르는 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 대체냉매로는 HFC계 물질인 R-134a, HC계 냉매로 R-600a, R-290/600가 주로 사용되고 있으며, 단기 대체냉매로 HCFC 물질인 R-22가 사용되었으나 R-134a로 전환되고 있다. 표 4에 R-12 대체냉매에 대한 이론적 특성을 ASHRAE 압축기 시험조건(응축온도: 54.4℃, 증발온도: -23.3℃, 과냉도: 32.2℃, 과열도: 32.2℃)을 기준으로 나타내었다.

R-134a 냉매는 오존파괴지수가 영이고 열역학적 성질이 기존의 R-12 냉매와 유사하기 때문에 냉장고의 대체냉매로 널리 사용되고 있다. 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 특성을 보임) 압축비가 R-12 에 비해 약 25% 정도 높다. 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 한다. 그러나 이렇게 할 경우 냉장고의 효율이 저하되게 되는 문제와 압축기 오일을 광유에서 합성유로 대체하면서 생기는 모세관 입구의 막힘 현상 등이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 업체의 현장에서는 용축기의 용량을 크게하고 모세관에서의 저항값을 감소시켜서 모세관의 직경을 증가시킬 수 있는 방향으로 설계하고 있다. 압축기의 경우 R-134a 용으로 재설계하는 것은 냉매의 특성에 의한 것보다는 압축기의 윤활유를 기존의 광유(mineral oil)에서 합성유인 POE(polyol ester oil) 로 대체하면서 생기는 압축기 부품과의 재질적합성에 따른 것이 대부분이다. 냉매의 물성에 의한 압축기 행정체적의 증가요인은 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 약 5% 정도이며 이는 압축기를 최적설계하여 고효율화

시켜 냉동능력을 향상시키면 대부분 가능하다. 냉매 및 오일의 대체에 따른 부품의 변경은 건조제(R-134a용: XH-9)에 거의 국한되고 천연 및 합성 고무류를 제외한 기타 부자재는 그대로 사용할 수 있는 것으로 보고 되고 있다. 광유와 합성유의 시간에 따른 수분흡수율은 합성유(POE)가 기존의 광유에 비해 상당히 크다. 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 재선정이 요구되며 사이클내의 수분함유량을 최소화하기 위해서 압축기의 오일을 기존의 압축기의 제조라인에서 봉입하던 것을 냉장고의 조립라인에서 봉입하도록 변경하고 있다. 냉장고의 냉매와 오일을 R-134a와 POE로 대체하면서 발생하는 가장 큰 문제는 압축기의 마모 및 모세관의 막힘(capillary blocking)현상이다. 이는 대부분이 오일의 수분흡습성과 가수분해성에 의한 것으로 생산라인에서의 보다 철저한 공정관리를 통해 냉장고 사이의 회로내에 수분을 포함한 이물질의 침투를 방지함으로써 해결될 수 있다. 이와 같은 POE 오일의 문제를 해결하기 위해 새로운 오일을 개발하였는데 그 중의 하나가 Ether 오일이다. Ether오일은 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 대체냉매로의 전환을 검토하고 있으며 일부 국가에서 생산판매하고 있으나 대체냉매를 적용할 경우 생길 수 있는 원가상승 요인, 설비의 개조에 따른 시설투자 비용 발생 및 CFC 냉매를 사용할 수 있는 상황 등이 R-134a 로의 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 총등가온난화지수인 TEWI 를 최소화 해

야할 것이다.

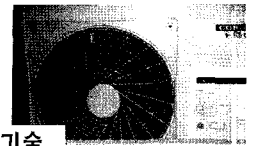
천연냉매인 탄화수소는 표 4에서 볼 수 있듯이 기존의 R-12 냉매에 비하여 압력범위 및 물성이 많이 다르다. 저압냉매인 이소부탄(R-600a) 및 부탄(R-600)은 증발압력이 R-12의 값보다 약 53% 및 70% 정도 낮은 반면 프로판(R-290)은 64% 정도 높다. 따라서 프로판과 저압냉매인 이소부탄 또는 부탄을 적당한 비율로 혼합하면 R-12와 유사한 특성을 갖는 혼합냉매를 만들 수 있게 되는데 영국의 Calor 가스 사에서는 프로판과 이소부탄의 비공비혼합냉매를 제조하여 상품명 Care30으로 판매하고 있다. 표 4의 ASHRAE 사이클 조건에서의 냉매의 이론적 특성을 보면 이소부탄의 압력차는 R-12의 경우 보다 작으나 증발압력이 대기압 이하가 되어 압력비가 20% 정도 커짐을 알 수 있다. 또한 증발잠열은 R-12에 비해 133% 정도 커서 동일 냉동능력을 내기위한 냉매의 질량유량은 R-12의 42% 수준이며 압축기의 행정 체적은 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 체적 유량은 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. 최근에 유럽에서는 R-290을 적용한 슬러시와 이이스크림 제조기 등을 개발하고 있으며, 국내에서도 외국업체의 수주를 받아서 수출형 R-290 식품냉동기를 개발하고 있다. 이러한 천연냉매 제품의 개발은 이미 응용제품에 적합한 R-290 압축기가 개발되어 있어서 가능한 것이다.

탄화수소냉매를 상기와 같은 제품에 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℃이며 점화 가능한 이소부탄과 공기의 농도는 체적비율로 1.8 ~ 8.5 vol% 이고 냉매의 봉입량이 매우 작아 냉장고 사용시 냉매의 누출로 인한 폭발가능성은 매우 희박한 것으로 나타나고 있다. 그러나 냉장고 내의 온도조절기, 간냉식 냉장고의 제상히터(석영유리관 히터의 경우 표면온도 : 약 400℃)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 단열재로 사용하는 냉장고의 제조 공장에서는 대량의 탄화수소를 취급하게 되므로 냉매보관 탱크의 안전장치, 용접방법의 대체(초음파 용접이나 특수 접합법등) 및 누설탐지기 등의 새로운 도입이 필요하다. 탄화수소와 같은 가연성 냉매를 사용하는 냉장고에는 가연성에 대한 위험표지를 부착하여 주의를 환기시킬 필요가 있으며 가연성 냉매의 사용에 따른 규정을 준수해야 한다.

### 자동차 에어컨

산업의 현대화와 생활수준의 향상으로 자동차 에어컨은 대부분의 차량에 장착되어 생산되고 있는데, 전 세계적으로 연간 5000만대 정도가 생산되고 있다(표 5 참조). 자동차용 에어컨의 냉매는 CFC물질인 R-12에서 HFC물질인 R-134a로 대체되어 사용되고 있으나, 대체냉매인 R-134a도 2005년 2월 16일 발효된 교토의정서에서 온실가스의 하나로 분류되어 규제가 현실화 되고 있다. 자동차용 에어컨은 반밀폐형 압축기와 연결호스 등의 사용으로 인한 냉매의 누출 및 충돌 사고로 인한 냉매의 누출 등으로 다른 냉동공조기에 비하여 냉매의 누출이 상대적으로 큰 시스템에 해당한다. 이에 따라서 자동차 에어컨 업체에서는 R-134a냉매의 누출을 줄이고 시스템의 효율을 향상시키기 위한 연구를 광범위하게 진행하고 있다. 미국 자동차학회(SAE, Society of Automobile Engineering)에서는 미국 환경보호국(EPA, Environmental Protection



<표 5> 세계의 연간 자동차 에어컨의 수요량\*

(단위 : 천대)

지역	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년
아시아-태평양	16,721	17,613	18,653	19,594	20,088
동유럽	1,198	1,459	1,643	1,778	1,799
서유럽	12,896	13,252	13,456	13,600	13,508
북미	15,778	15,897	16,275	16,416	16,443
중남미	2,603	2,825	3,078	3,328	3,416
한국	3609	3,737	3,677	3,655	3,682
총계	52,805	54,783	56,782	58,371	58,936

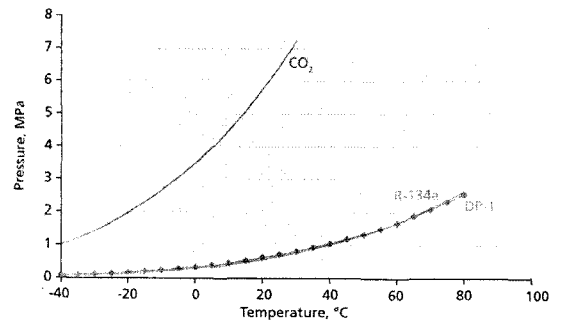
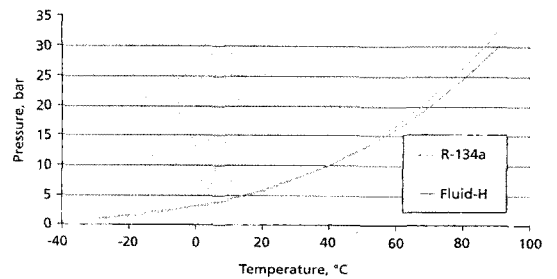
\* 한라공조 자료(예상치)

Agency), 자동차와 자동차 에어컨 업체 및 냉매 공급 업체들을 중심으로 SAE I-MAC CRP (SAE Improved Mobile Air Conditioning Cooperative Research Program)를 2004년에 구성하여 다음과 같은 목표를 가지고 체계적인 연구를 진행하였으며, 그 후속으로 CRP 150을 현재 진행중에 있는데 국내에서는 현대-기아 자동차와 한국과학기술원이 참여하고 있다.

- 냉매 누출량 50% 이상 저감
- 시스템 효율 30% 이상 향상
- 차량 냉방부하 30% 이상 저감
- 서비스 냉매 손실 50% 이상 저감

그러나, 유럽연합에서는 2011년부터 새로 생산되는 자동차에 R-134a의 사용을 규제하고 2017년 부터는 자동차 에어컨에 R-134a의 사용을 전면 규제하기로 계획하고 있으며, GWP가 150이하인 냉매의 사용은 허용하고 있다. 이에 따라서 GWP가 140인 R-152a도 CO<sub>2</sub> 및 HC 냉매와 더불어 R-134a의 차세대 대체냉매로 자동차 에어컨에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 또한, SAE에서는 R-134a 냉매를 대체하여 Drop-in 할 수 있는 후보로 GWP가 매우 작은 합성냉매(Honeywell사의 Fluid-H와 DuPont사의 DP-1 등)에 대한 연구 프로그램 CRP 150을 I-MAC CRP의 후속으로 추진하고 있으며 그 내용은 다음과 같다.

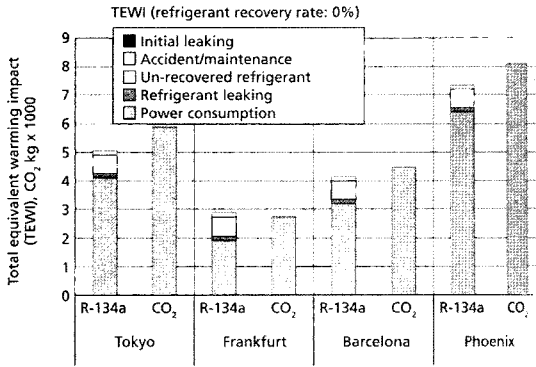
- 위험성 평가(risk assesment)
- 화학적 적합성(chemical compatibility)
- 시스템 설계(system impact)
- 서비스 및 냉매 누설 (service/Leakage)
- 내구성(vehicle durability)



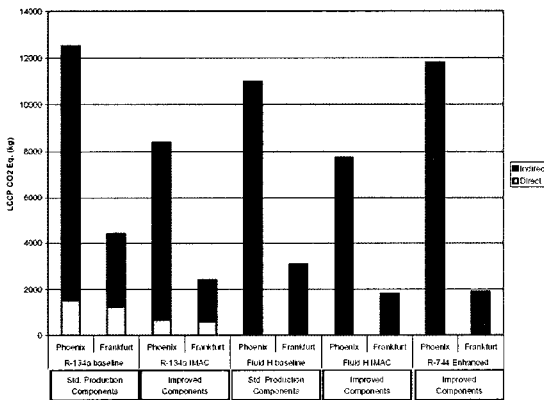
[그림 2] Fluid-H와 DP-1의 온도-압력 곡선

그림 2에는 Fluid-H와 DP-1의 포화온도-압력 곡선을 R-134a와 CO<sub>2</sub>냉매와 비교하여 나타내었는데, 압력특성이 R-134a와 매우 유사함을 알 수 있다. INEOS Fluor에서도 R-134a를 대체할 수 있는 AC-1 냉매를 개발중에 있으나 아직 자세한 내용은 발표되지 않고 있다. 그림 3에는 차세대 대체냉매와 R-134a냉매를 비교하여 지구온난화지표를 비교하여 도시하였는데, 냉매의 누설을 고려하여 R-134a와

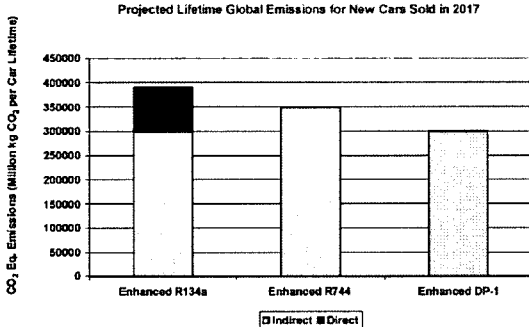
CO<sub>2</sub>냉매를 비교한 결과 오히려 R-134a가 CO<sub>2</sub>보다 TEWI가 적은 것으로 나타나 있다(그림 3 a)). 그러나, R-134a는 유럽지역에서 규제가 계획되어 있으므로



a) R-134a와 CO<sub>2</sub> 냉매



b) Fluid-H, R-134a 및 CO<sub>2</sub> (R-744) 냉매



c) DP-1, R-134a 및 CO<sub>2</sub> (R-744) 냉매 (2017년 기준)

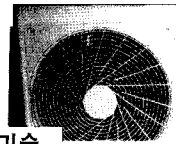
[그림 3] 차세대 대체냉매의 지구온난화 영향 비교

로 현재까지는 Fluid-H와 DP-1이 가장 환경영향이 작은 냉매로 볼 수 있다. 두 냉매 (Fluid-H와 DP-1) 모두 아직 샘플 생산 단계이며 제품화를 위한 성능 평가 및 신뢰성 시험을 다각도로 진행하고 있다. 금년 3월에는 Honeywell사와 DuPont사가 차량 에어컨용 R-134a 대체냉매를 공동으로 개발하여 유럽의 규제에 대응하기로 발표하였다. 새로운 냉매를 개발하고 이를 적용한 시스템을 개발하는 일은 시간과 비용이 많이 소요되는 일이다. 미국의 자동차에어컨 업계에 따르면 몬트리올의정서에 의한 CFC물질의 사용규제로 R-12시스템에서 R-134a 시스템으로 전환하는데 1993부터 3년간 미국에서만 미화 50억불을 투자한 것으로 추정하고 있다. 여기서, 자동차용 에어컨의 차세대 냉매 중 가장 유망한 냉매의 하나로 활발하게 검토되고 있는 천연냉매인 CO<sub>2</sub>는 운전 압력이 매우 높고 초임계 사이클에서 작동되는 냉매로 열역학적 특성이 기존 냉매와는 크게 차이가 있다. 선진국에서는 CO<sub>2</sub> 냉매를 적용한 차량 에어컨의 구성부품인 압축기, 열교환기, 팽창장치 및 시스템 제어기술을 개발하기 위한 연구를 활발히 진행하고 있으며 일부 시제품이 차량에 탑재되어 시험 중에 있다. 국내에서도 정부지원을 받아서 관련업체와 연구기관 공동으로 이산화탄소 냉매 적용 차량 에어컨의 개발이 진행되고 있다. 이러한 차세대 대체냉매를 자동차 에어컨에 적용하기 위해서는 냉매의 특성에 맞는 핵심요소부품 (압축기, 열교환기, 팽창장치 등)의 개발과 이를 잘 조합하여 시스템의 에너지효율을 향상시키는 시스템 매칭기술이 필요하며, 상품화를 위한 신뢰성 확보 및 서비스 기술 등이 추가로 요구된다.

### 가정용 에어컨

가정용 및 소형 업무용 에어컨(Room A/C 및 Package A/C)의 세계 수요는 연간 약 5,000만대 정도이며 동남아시아가 전체수요의 약 60%인 3,000만대 정도를 점유하고 있다. 또한 미국을 포함한 북미가 1,300만대 수준으로 약 20%의 수요를 차지하고 있어 전체 가정용 에어컨의 수요의 대부분(약 80%)을 아시아와 북미가 차지하고 있다(표 6 참조). 가정용 에어컨(R-22) 및 중저온 냉동기(R-502)의 대체





<표 6> 세계의 연간 가정용 에어컨의 수요량\*

(단위 : 천대)

지역	2003년	2004년	2005년
아시아	27,454	29,010	30,591
중동	1,849	1,893	1,937
유럽	3,775	4,154	4,427
북미	12,848	12,857	12,866
중남미	2,001	2,107	2,154
아프리카	734	757	779
오세아니아	701	738	777
총계	49,362	51,516	53,531

\* 일본냉동공조공업회 자료

냉매 선정은 1992년-1997년간 미국의 공조냉동협회 (ARI: Air-conditioning and Refrigeration Institute) 산하에 구성된 R-22 대체냉매평가프로그램(AREP: Alternative Refrigerants Evaluation Program)에 의하여 냉매의 물성 및 안전성 평가, 압축기 성능평가, 열전달 특성, 시스템 성능평가, 임지시험을 통한 신뢰성 분석 등을 거쳐 체계적으로 이루어졌다.

가정용에어컨에 사용되고 있는 R-22 시스템의 대체 냉매 적용은 크게 3가지 방향으로 추진되고 있는데 북미의 경우 가연성 냉매의 사용이 금지되고 있어 HFC계 냉매인 R-134a, R-407C 및 R-410A가 주로 사용되고 있다. 유럽에서는 천연냉매(탄화수소, NH<sub>3</sub>)와 HFC냉매가 동시에 사용되고 있고 일본에서는 HFC계 냉매가 주로 사용되고 있는데 소형에는 R-410A, 대형에는 작동압력으로 인한 문제로 R-407C가 대체로 적용되고 있다. 그러나 OECD 가입국을 회원으로 하는 국제 에너지국(IEA: International Energy Agency)의 ANNEX-22분과에서 천연냉매를 이용한 중기압축시스템에 대한 연구를 국제공동으로 진행한 바가 있는데 여기에는 미국과 일본도 장기적인 관점에서 참여하였다. 표 7에 공조기용 압축기의 ASHRAE 시험조건(응축온도: 54.4℃, 증발온도: 7.2℃, 과냉도: 46.1℃, 과열도: 35℃)에 대한 R-22 대체냉매의 이론적 특성을 나타내었다.

현재까지 가장 많이 사용되고 있는 대체냉매는 ODP=0, 비가연성, 비독성 등 냉매로서의 구비조건을 비교적 잘 갖추고 있는 HFC계 물질(R-134a, R-407C 및 R-410A)이다. 냉동용량이 큰 50-500톤 급

의 냉동기는 R-134a와 R-410A가 사용되고 있으며, 5-100톤급의 상업용 제품에는 R-407C 및 R-410A가 적용되고 있다. 5톤 이하의 소형 가정용 에어컨에는 R-407C와 R-410A가 혼용되고 있으나 최종적으로는 R-410A로 일원화될 것으로 예상된다.

대체냉매로 HFC를 적용하기 위해서는 냉장고와 마찬가지로 압축기의 윤활유를 기존의 광유(mineral oil)에서 합성유(poyol ester oil)로 전환하는데 따른 수분흡수성, 가수분해성, 재질적합성 등 여러 가지 신뢰성 관련 검토사항이 발생한다. 또한 냉매의 압력특성이 R-22와 다른 R-134a 및 R-410A의 경우 압축기를 포함한 시스템의 재설계가 필요하다. 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-10 시리즈가 많이 사용되고 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 가정용에어컨의 대체냉매로는 부적합하다. 다만 현재 R-11 또는 R-12를 사용하고 있는 대형 상업용 냉동기의 경우는 R-134a가 대체냉매의 하나로 사용되고 있다.

R-407C 냉매는 R-22와 유사한 압력 특성을 갖는 R-32/125/134a(23/25/52 wt%)의 비공비혼합냉매로 압축기오일의 대체에 따른 부품 변경외의 큰 설계 변경 없이 적용 가능한 냉매이다. 그러나 6℃ 정도의 온도슬라이드 및 냉매의 열전달계수의 저하(R-22 대비 30 ~ 40% 감소)로 인한 성능의 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 함께 검

도 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 가정용 에어컨의 경우도 응축기 출구에 분류(by-pass)관을 설치하여 일부냉매(약 25%)를 분류(by-pass)시키고 감압장치를 이용하여 저온의 냉매로 만든후 모세관 입구의 냉매와 열교환시켜 과냉도를 증가시키고 압축기로 보내는 LLHX(liquid/liquid subcooling heat exchanger)를 적용하면 성능을 향상(능력 5%, 효율

2% 정도)시킬 수 있다. 특히 R-407C는 압축기를 포함한 시스템의 큰 설계 변경 없이 적용이 가능하므로 중소형 가정용 에어컨의 단기적인 대체냉매 또는 기존 시스템의 전환 냉매로 사용하고 있다.

R-410A 냉매는 R-32/125(50/50 wt%)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 압력강하도 비교적 작고 동일능력을 내기 위한 압축기의 행정체적도 30% 정도 작게 되므로 시스템의 소형화가 가능하다. 따

<표 7> ASHRAE 조건에서의 R-22 대체냉매의 이론적 특성

성 질	냉 매	단일냉매					혼합냉매	
		R-22	R-32	R-125	R-134a	R-290	R-407C	R-410A
ODP		0.05	0	0	0	0	0	0
GWP(CO <sub>2</sub> =1, 100yr)		1700	580	3200	1300	3	1370	1370
가연성(F/N)		N	F	N	N	F	N	N
NBP, ℃		-41	-52	-48	-26	-42	-44	-51
임계온도, ℃		96	78	66	101	97	87	85
온도 Glide, ℃		-	-	-	-	-	6.3	0.1
응축압력(54.4℃), kPa		2146	3478 (162%)	2798 (130%)	1480 (69%)	1883 (88%)	2337 (109%)	3389 (158%)
증발압력(7.2℃), kPa		625	1018	837	377	588	652	1005
압력비		3.43	3.41 (100%)	3.34 (97%)	3.90 (114%)	3.2 (93%)	3.58 (104%)	3.37 (98%)
증발잠열, kJ/kg		170	261 (154%)	98 (58%)	162 (95%)	308 (181%)	170 (100%)	180 (106%)
COP		100	91	92	100	100	97	93
압축기 입구 비체적(35℃), cc/g		43.1	42.7	22.3	61.9	89.8	41.3	31.1
냉매질량유량 <sup>1)</sup> , kg/h		85	55	147	89	47	85	80
행정체적 <sup>2)</sup> , cc/rev		17.44	11.18 (67%)	15.61 (90%)	26.24 (150%)	20.10 (115%)	16.71 (96%)	11.85 (68%)
압축기 토출온도, ℃ (등엔트로피과정)		101	121 (20%)	80 (79%)	85 (84%)	84 (83%)	92 (91%)	101 (100%)
압축기 윤활유		광유	합성유	합성유	합성유	광유	합성유	합성유
평창장치 입구온도, ℃		46.1	46.1	46.1	46.1	46.1	46.1	46.1
냉매 비체적, dm <sup>3</sup> /kg		0.91	1.15	0.95	0.89	2.19	0.96	1.05
체적유량, dm <sup>3</sup> /h		77	63	140	79	103	82	84

<sup>1)</sup> 은 4.0 kW에 대한 냉매의 질량유량을 나타내며, <sup>2)</sup> 는 3500 rpm에 대한 행정체적을 나타냄



라서 R-134a의 경우와 마찬가지로 압축기를 포함한 시스템의 재설계가 요구되나 시스템의 크기가 작아져 원가적인 측면에서도 유리하며 시스템의 최적화 시 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 한다. 그러나 R-410A는 단일냉매와 같이 거동하여 취급이 R-407C 등의 비공비혼합냉매보다 유리하며 제품의 소형화 및 재료비의 절감이 가능하고 성능이 좋은 우수한 냉매이다. 따라서 소형 가정용 에어컨의 냉매는 유럽의 천연냉매를 제외하면 R-410A로 일원화 될 것으로 예상되며 미국, 일본 등 선진업체에서는 현재 R-410A를 적용한 가정용 에어컨을 생산하고 있다.

천연냉매를 공조기 및 산업용 냉동기에 적용하고자 하는 연구는 유럽을 중심으로 폭넓게 진행되고 있는데 탄화수소인 R-290과 그의 혼합물, 암모니아(NH<sub>3</sub>, R-717), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>, R-744), 물(H<sub>2</sub>O, R-718) 및 공기(AIR, R-729) 등을 대상으로 하고 있다. 네덜란드에 본부를 둔 IEA 산하에 구성된 ANNEX-22 분과에서는 상기와 같은 천연냉매를 중기압축시스템에 적용하기 위한 연구를 국제 공동으로 진행하고 있는데 이미 상품화된 천연냉매냉장고등은 연구대상에서 제외하고 있다. 표 8에 탄화수소를 제외한 대표적인 천연냉매의 열역학적 특성을 나타내었다. 탄화수소냉매는 가연성을 제외하면 기존의 압축기 오일을 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 비

해 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 상업용 냉동기에 주로 적용되고 있다. 독일의 경우 가연성냉매의 사용에 대한 표준(DIN 7300)이 있으며 현재 R-290 또는 R-1270(propylene)을 적용한 가정용 에어컨을 생산하여 판매하고 있다. 기타 유럽의 일부사에서도 이동형 냉방기에 R-290을 적용하여 판매하고 있으며 미국의 Lennox사의 연구결과에 의하면 R-290을 소형 가정용 에어컨에 적용할 경우 UL에서 제시하는 안전규격 범위에서 가정용 에어컨을 설계하기 위해서는 시스템의 크기에 따라 다소 차이는 있으나 시스템의 가격이 30% 정도 상승할 것으로 보고하였다. 암모니아는 유독성의 가연성 냉매로 상업용 및 산업용 건물의 냉방 및 산업용 냉동기(음식 제조공정, 얼음제조, 냉동보관 등)에 오래전부터 사용되고 있다. 최근 HCFC의 규제에 따라 상업용 건물과 지역 냉난방 시스템의 대형 열펌프 및 냉동기에의 적용이 새롭게 검토되고 있다. 이산화탄소는 고압냉매(100기압)로 시스템의 소형화가 가능하고 독성과 가연성이 없으며 기존의 윤활유를 그대로 사용할 수 있어서 가정용 에어컨의 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 내압설계 및 고효율화 등 난제가 많아 현재까지는 저온 냉동시스템의 2차냉매로 사용되고 있는 정도이다. 이산화탄소를 중기압축시스템에 적용하기 위해서는

<표 8> 천연냉매의 열역학적 특성

냉매	분자량	NBP (°C)	임계온도 (°C)	임계압력 (bar)	응축온도 @25 bar (°C)	증발잠열 @0°C (kJ/kg)	체적냉동능력 @0°C (kJ/m <sup>3</sup> )
NH <sub>3</sub>	17.03	-33.3	133.0	114.2	58.1	1,261	4,360
CO <sub>2</sub>	44.01	-78.4	31.1	73.7	-	231.6	22,600
H <sub>2</sub> O	18.02	100	374.2	221.3	224	2,257	1,349
AIR	28.97	-194.3	-140.7	37.64	-	-	-

고압냉매에 적합한 초임계 사이클의 개발과 시스템 해석, 요소부품(압축기, 증발기, 가스 냉각기 등)의 개발 및 시제품 제작에 의한 성능측정 및 신뢰성에 대한 충분한 검토가 있어야 한다. 그러나, 현재는 일본과 유럽을 중심으로 주로 급탕기나 자판기 등에 적용하여 상품화 되고 있으며, 가정용 냉난방 및 급탕기에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있으나 아직 상품화 단계는 이르지 못하고 있다.

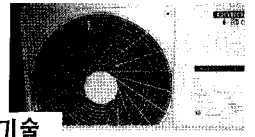
### 맺음말

CFC/HCFC 냉매의 규제에 따른 대체냉매의 현황과 기술변화, 그리고 가정용 냉장고, 자동차 에어컨 및 가정용 에어컨에 대체냉매를 적용하기 위한 응용연구개발 동향을 살펴보았다. 많은 시간과 비용을 들여 CFC/HCFC의 대체냉매로 개발하여 사용하고 있는 HFC도 2005년 2월 발표된 교토의정서에서 온실가스로 분류되어 대기 방출억제물질로 규제되고 있다. 이에 따라서 냉매의 사용량을 감소시키고 냉매의 누출을 줄이기 위한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 연구되고 있으며, HFC를 대체하기 위한 차세대 대체냉매의 개발과 응용기술도 함께 연구되고 있다. 친환경 냉동공조 제품을 개발하기 위해서는 응용분야에 적합한 대체냉매 및 윤활유의 선정, 압축기 행정체적, 모터의 크기, 압축기 속도, 열교환기의 배관구조 및 크기, 수액기의 크기와 팽창장치의 사양 결정과 같은 구성요소 부품의 개발 및 냉매 봉입량의 최적화 등을 통한 시스템의 고효율화로 에너지 소비효율을 향상시켜 총등가온난화지수(TEWI) 또는 LCCP를 최소화 하는 것이 중요하다. 이와 더불어 대체냉매 적용 시스템의 수명시험을 통한 신뢰성 및 안전성을 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. 가연성냉

매를 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 여러 가지 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 고압냉매의 취급에 따른 서비스 도구들의 전환도 함께 고려되어야 한다. 특히, 자동차 에어컨의 경우는 냉매의 누출로 인한 온난화지수가 상대적으로 매우 크기 때문에 CFC 대체냉매로 R-134a를 사용하게 되면 냉매의 누출 감소, 냉매 봉입량 감소, 차내의 냉방부하 감소 및 시스템의 효율 향상 등을 통한 지구 환경부하를 최소화해야 한다. 이와 더불어 차세대 대체냉매의 개발과 이를 시스템에 적용하기 위한 구성 요소 부품의 개발과 시스템 매칭 기술 등이 체계적으로 검토되어야 한다. 가정용 냉장고와 에어컨의 경우는 일본, 유럽 및 미국의 선진사들은 이미 대체냉매를 적용한 제품을 생산하고 있으며 국내에서도 이들 국가의 수출물량을 포함하여 부분적으로 대체냉매 적용 제품을 생산하고 있다. 선진국의 경우 TEWI나 LCCP를 줄이기 위한 수단으로 대체냉매 적용 제품의 에너지소비효율 기준을 점차 증가시키고 있으므로 이에 대비한 시스템의 고효율화에 대한 응용기술 연구가 필요하다. 즉, 대체냉매 제품의 에너지 소비효율을 향상시키기 위한 구성 핵심요소부품의 개발과 이들 부품의 최적 조합을 위한 시스템의 설계기술이 필요하다. 따라서 국내에서도 차세대 대체 냉매의 개발, 대체냉매의 적용에 따른 핵심요소 기술 및 시스템 효율 향상 기술에 보다 많은 관심과 지원이 필요하리라 생각된다.

### 참고문헌

1. Arthur D. Little, Inc., 2002, "Global Comparative Analysis of HFC and Alternative Technologies for Refrigeration, Air Conditioning, Foam, Solvent, Aerosol Propellant, and Fire Protection



- Application," Final Report to the Alliance for Responsible Atmospheric Policy.
2. World Meteorological Organization, 2003, "Executive Summary- Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002," World Meteorological Organization, Geneva.
  3. J.M. Calm and D.A. Didion, 1998, "Trade-Offs in Refrigerant Selections: Past, Present, and Future," International Journal of Refrigeration, Vol. 21, No. 4, pp. 308-321.
  4. V. Boxter, S. Fischer, and J.R. Sand, 1998, "Global Warming Implications of Replacing Ozone-Depleting Refrigerants," ASHRAE Journal, Vol. 40, No.9, pp. 23-30.
  5. M.-H. Kim, J. Pettersen, C.W. Bullard, 2004, "Fundamental Process and System Design Issues in CO<sub>2</sub> Vapor Compression Systems," Progress in Energy and Combustion Sciences, Vol. 30, No.2, pp.119-174.
  6. C.W. Bullard, 2004, "Transcritical CO<sub>2</sub> Systems - Recent progress and new challenges," Bulletin of the IIR, 2004-5, pp. 6-19.
  7. P. Weissler, 2006, "Air conditioning and global warming," Automotive Engineering International, December 2006, pp. 52-56.
  8. JSAE, 2007, Proceedings of Review of Automotive Air-Conditioning 2007- Technology Friendly to People and the Environment, Jan. 23-25, 2007, Tokyo, Japan.
  9. 김만희, 2005, "CFC대체냉매의 현황과 기술변화," 공업화학전망, 제 8권 제2호, pp.11-24.