

# HCFC22 대체 R290, R1270 및 R1270/R290, R290/HFC152a, R1270/R290/RE170 혼합냉매의 공기조화기와 열펌프 작동범위에서의 성능 평가

황 지 환, 백 인 철, 정 동 수<sup>†</sup>  
인하대학교 대학원 기계공학과, \*인하대학교 기계공학과

## Performance of HCFC22 Alternatives R1270, R290, R1270/R290, R290/HFC152a, R1270/R290/RE170 Refrigerants for Air-conditioning and Heat Pump Applications

Ji-hwan Hwang, In-cheol Baek, Dongsoo Jung<sup>†</sup>

Graduate School, Inha University, Incheon 402-751, Korea

\*Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received October 5, 2005; revision received February 16, 2005)

**ABSTRACT:** In this study, performance of 2 pure hydrocarbons and 7 mixtures was measured in an attempt to substitute HCFC22 used in air-conditioners and heat pumps. The mixtures were composed of R1270 (propylene), R290 (propane), HFC152a, and RE170 (Dimethyl ether, DME). The pure and mixed refrigerants tested have GWPs of 3~58 as compared to that of CO<sub>2</sub> and the mixtures are all near-azeotropic showing the gliding temperature difference (GTD) of less than 0.6°C. Thermodynamic cycle analysis was carried out to determine the optimum compositions and actual tests were performed in a laboratory heat pump test bench at the evaporation and condensation temperatures of 7.5 and 45.1°C respectively. Test results show that the coefficient of performance (COP) of these mixtures is up to 5.7% higher than that of HCFC22. While propane showed 11.5% reduction in capacity, most of the fluids tested had the similar capacity to that of HCFC22. Compressor discharge temperatures were reduced by 11~17°C with these fluids. There was no problem with mineral oil since the mixtures were mainly composed of hydrocarbons. The amount of charge was reduced up to 55% as compared to HCFC22. Overall, these fluids provide good performance with reasonable energy savings without any environmental problem and thus can be used as long term alternatives for residential air-conditioning and heat pumping application.

**Key words:** COP(성능계수), Capacity(냉동용량), Heat pump(열펌프), Air-conditioning(공조기), Refrigerant mixtures(혼합냉매), Discharge temperature(압축기 토출온도)

### 기 호 설 명

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-32-860-7320; fax: +82-32-868-1716

E-mail address: dsjung@inha.ac.kr

COP : 성능계수

GTD : 온도구배 [°C]

GWP : 지구 온난화지수  
 ODP : 오존층 붕괴지수  
 P : 압력 [MPa]  
 Q : 냉동능력 [W]  
 T : 온도 [°C]

**하첨자**

avg. : 평균값  
 c : 응축기  
 dis. : 압축기 토출부분  
 e : 증발기

**1. 서 론**

HCFC22는 지난 반세기 동안 공조기에서 거의 독점적으로 사용되어 왔으며 시장 규모 역시 모든 냉매 중에서 가장 크다. 비록 HCFC의 오존붕괴지수가 CFC11이나 CFC12와 비교해 볼 때 그리 높은 편은 아니지만 그 안에 여전히 오존을 붕괴시키는 염소를 포함하고 있으므로 전 세계는 HCFC22의 우수한 특성에도 불구하고 이를 계속해서 장기적으로 사용할 수는 없다는 데 동의하게 되었다. 이에 몬트리올의정서에 의거하여 선진국들은 이미 1996년 1월 1일부터 HCFC 사용량을 동결하게 되었고, 2019년 말까지는 전폐시킴으로 합의하였다.<sup>(1)</sup> 한편 HCFC22의 지구 온난화지수가 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)보다 약 1,500배 정도 높기 때문에 HCFC22를 계속해서 사용한다면 지구 온난화가 야기될 소지가 매우 크다는 우려도 있다.<sup>(2)</sup> 따라서, 급증하는 환경 및 에너지 문제를 해결하기 위해서는 적절한 HCFC22 대체냉매를 개발해야만 한다.

지난 5년간 공조산업계는 HCFC22를 대체할 수 있는 물질에 대한 연구를 진행해 왔고, 새로운 상업용 기기의 경우에는 HFC134a가 HCFC22를 대체할 수 있는 강력한 후보로 떠오르고 있다. 반면에 상업용과 가정용 공조기의 경우에는 미국 냉동공조학회(ASHRAE)에서 공식적으로 R410A로 명명한 혼합냉매(50%HFC32/50%HFC125, Allied Signal사의 AZ20)와 R407C로 명명한 혼합냉매(23%HFC32/25%HFC125/52%HFC134a DuPont사의 AC9000)가 시장에 나와 있다.<sup>(3)</sup>

이중에서 R410A는 GTD가 0.2°C 미만인 근공

비 혼합매체로서 전통적인 냉매 충전방법을 적용할 수 있을 뿐만 아니라 장비의 소형화에 대한 잠재성과 시스템 효율이 향상될 가능성을 지니고 있어 매우 매력적이다. 그러나 이 냉매의 증기압은 HCFC22의 증기압보다 무려 60% 정도 높기 때문에 설비 제조업체들은 압축기의 재설계(소형화)와 관벽의 두께 강화, 강인한 용접을 위한 고압용기의 사용 등으로 인한 제조비용의 증가와 체적용량의 증대로 인한 제조비용의 감소가 어떻게 경제적으로 서로 상쇄될 수 있는가를 연구하여 이 대체냉매의 사용을 결정해야만 한다. R410A의 등엔트로피 효율은 HCFC22에 비해 상대적으로 낮은 것으로 알려져 있지만 마찰의 감소 및 밀도의 증가로 인한 압력손실의 감소가 등엔트로피 효율의 감소를 상쇄시킬 수 있으므로, 이 냉매를 사용하는 시스템의 효율은 HCFC22보다 클 것으로 전문가들은 추측하고 있다.<sup>(3-4)</sup>

반면에 R407C는 6°C 정도의 온도구배를 지닌 비공비 혼합매체로서 HCFC22와 비슷한 증기압을 내며, 따라서 별도로 현행 장비를 크게 수정하지 않고서도 이를 적용할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그러나 비공비 혼합냉매이므로 시스템 누설이 있는 경우에는 분리현상이 발생하여 냉매를 보충하는 데 문제가 있고 또한 질량전달저항으로 인해 열전달계수가 감소하므로 열교환기의 성능저하가 우려된다.

한편 최근 HFC 역시 지구 온난화 가스로 밝혀짐에 따라 교토의정서에서 HFC 사용을 제한하도록 제안되었다.<sup>(5)</sup> 따라서 많은 EU 국가들은 공기조화기와 히트펌프에서 HFC의 사용을 금지하는 것을 고려하고 있다.<sup>(6)</sup> 예를 들면, 덴마크는 2001년부터 HFC 사용을 줄이기 시작했고, 2007년부터는 새로운 장비에는 HFC를 사용하지 않도록 하는 규제를 제안하였으며, HFC와 에스테르 오일 사용에 대한 강력한 규제사항을 만들었다. 또한 장기적으로는 지구 온난화지수(GWP)가 150 이하인 냉매들만을 냉동/공조기에 사용할 것을 법으로 규정하려 하고 있다.<sup>(7)</sup>

HFC 사용규제로 인한 문제들을 풀기 위한 해결책 가운데 하나는 탄화수소 같은 자연냉매를 사용하는 것이다. 지난 몇 세기 동안 탄화수소는 안전성 때문에 대부분의 냉동기와 공기조화기에 사용이 금지되었지만 탄화수소의 환경 친화성, 비독성, 화학적 안정성, 그리고 기존의 미네랄 오일과

의 호환성 등의 좋은 특징 때문에 요즘에는 이런 경향이 완화되고 있고, 특히 EU 국가와 호주 등에서는 이것들의 사용이 급격히 증가하고 있다.<sup>(8-9)</sup>

현재 EU 국가들과 일본, 한국, 중국, 인도 등에서는 탄화수소 중 하나인 R600a(Isobutane)를 가정용 냉동/냉장고에 사용하고 있고 유럽에서는 가정용 에어컨, 히트펌프, 상업용 자판기 등에 R290(Propane)과 R1270(Propylene)을 사용하고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 ODP가 0이고 GWP가 3 이하인 2개의 순수 탄화수소 냉매 R290(Propane), R1270(Propylene)의 성능을 측정하고 동시에 이 냉매들과 HFC152a, RE170(Dimethyl ether, DME)를 각기 공비혼합물에 가까운 조성으로 혼합한(GWP 60 이하) 혼합냉매의 성능을 측정하고 특성을 비교 분석하였다.

2. 실험장치

2.1 벤치 테스터 설계 및 제작

위의 연구목표를 달성하기 위해 본 연구에서는 냉매와 물이 대향류를 이루며 흐르면서 외부조건

을 균일하게 맞추어 줄수 있는 벤치 테스터 장비를 설계하고 제작하여 여러 가지 대체냉매의 냉동용량, 성능계수, 압축기 토출온도 등을 측정하고 비교 분석하였다. Fig.1은 대체 혼합냉매를 실험하기 위해 Mulroy et al.<sup>(10)</sup>이 사용한 것과 비슷하게 설계한 벤치 테스터를 개략적으로 보여준다. 본 실험에서는 증기압축식 냉동기의 중요 요소인 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기를 조합하여 3~3.5kW의 냉동용량의 벤치 테스터를 설계·제작하였다.

본 실험에서 증발기와 응축기로 사용한 열교환기는 내경 19.0 mm, 외경 25.4 mm, 길이 740 mm의 이중관 형태의 동관을 8개씩 직렬로 연결하여 만들었다. Fig.2는 열교환기의 연결부를 자세히 보여준다. 증발기와 응축기의 총 길이는 각각 5.92 m이며 내 벽면을 기준으로 한 열교환기의 면적은 각각 0.3536 m<sup>2</sup>이다. 사용된 이중관 열교환기의 내관으로 2차 유체가 흐르도록 하였으며, 냉매는 내관과 외관 사이의 환상공간으로 흐르게 하였고, 열교환을 극대화시키기 위해 대향류가 되도록 제작하였다. 냉동사이클의 특성상 응축기 압력은 20~25기압까지 올라갈 수 있기 때문에 이

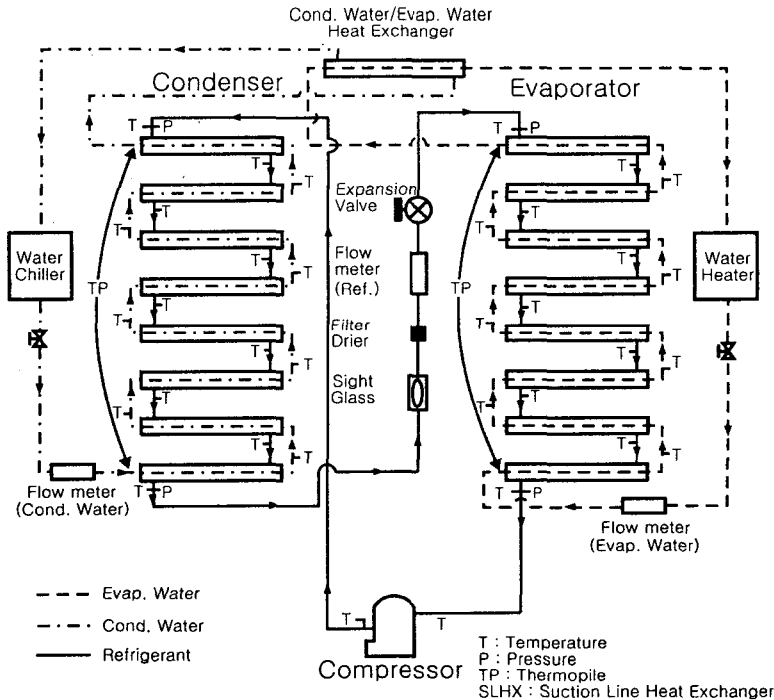


Fig. 1 Schematic diagram of the breadboard heat pump.

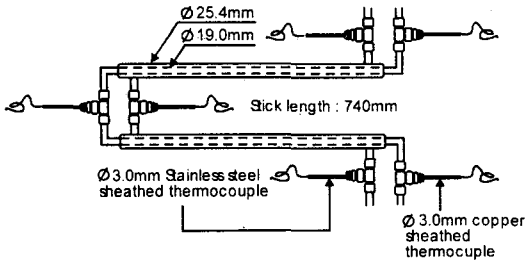


Fig. 2 Details of evaporator and condenser connection.

같은 고압에서도 시스템이 견딜 수 있도록 하기 위해 모든 접합부는 은납을 사용하여 용접하였다.

압축기로는 밀폐형 왕복동식 압축기(독일 Bock 사 제작)를 사용하였으며, 이 압축기를 구동하기 위한 모터(3상 220 V)와 인버터를 장착하여 회전수를 조절 가능하게 하였다. 응축기를 통과한 냉매가 완전히 과냉되었는지 확인하기 위해 유리로 된 가시화 장치(Sight Glass)를 설치하였으며, 팽창밸브 전에 필터 드라이어를 설치하여 냉매 속에 있을지도 모르는 불순물이나 수분 등을 제거하였다. 그리고 미세조절이 가능한 수동식 팽창밸브를 사용하여 증발기로 들어가는 냉매의 양과 압력을 조절하였다.

한편, 2차유체로는 증발기 및 응축기 모두 물을 사용하였고, 물의 온도를 일정하게 맞추기 위해 응축기에는 칠러를 사용하였으며, 증발기에는 히터를 사용하였다. 그리고 열교환기의 물측 입구에는 필터를 설치하여 물 속에 섞여 있을지도 모르는 불순물을 제거하였다. 또한 칠러와 히터의 부하를 최소화하기 위해 응축기에서 나오는 뜨거운 물과 증발기에서 나오는 차가운 물을 열교환시켜 각각의 용량을 줄였다. 본 실험에서는 열손실을 최소화하기 위해 열교환기 외벽에 3mm 두께의 스펀지 테이프를 두 겹으로 감고, 그 위에 25mm 두께의 단열 폼을 덮었으며, 그뒤 열교환기 전체를 50mm 두께의 유리섬유로 덮었다.

## 2.2 데이터 측정

증발기 및 응축기 내에서 냉매 및 물의 온도를 측정하기 위해 각각 20개 이상의 T-type 열전대를 열교환기 연결부위의 냉매 및 물이 흐르는 관 속에 삽입하였고, 모든 열전대들은 사용에 앞서

정도  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 의 정밀온도계로 보정하였다. 증발기 및 응축기의 용량을 결정하기 위해서는 각 열교환기로 흐르는 2차유체측의 온도차를 정확히 측정해야 한다. 2차유체측의 온도차를 정확히 측정하기 위해 6개의 열전대를 연결하여 Thermopile을 제작하였고 이 역시 정밀온도계로 보정한 뒤 물측 입출구에 삽입하여 직접 온도차를 측정하였다. 압축기의 흡입온도와 토출온도도 측정하여 압축기의 안정성과 냉매의 혼합비에 따른 변화도 살펴보았다.

한편 증발기와 응축기의 입출구에는 모세관을 삽입하여 압력측정포트를 만들었고 정도가  $\pm 0.1\%$  미만인 정밀 압력변환계를 이용하여 냉매측 압력을 측정하였다. 한편 압축기의 소요동력은 정도가  $\pm 0.5\%$  미만인 정밀 토크미터를 이용하여 측정하였다. 냉동기의 용량을 정확히 결정하기 위해서는 증발기측 2차유체의 질량유량을 정확하게 측정해야 하며 냉매측 및 2차유체측의 에너지 균형이 맞는가를 살펴보기 위해서는 냉매측의 용량을 측정해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 점도나 밀도 등 유체의 물성치에 영향을 받지 않고  $\pm 0.2\%$ 의 고정도를 갖는 질량유량계를 이용하여 증발기측 2차유체의 유량과 시스템 내부를 순환하는 냉매의 유량을 정확하게 측정하였다. 끝으로 온도, 압력, 유량 등의 데이터는 PC와 데이터 로깅 시스템(HP3852A)을 상호 연결하여 수집하였으며, 이렇게 수집한 데이터는 PC의 하드디스크에 저장하여 추후에 데이터 해석을 위한 프로그램을 이용하여 분석하였다.

## 2.3 실험조건 및 방법

냉매의 성능들을 공정하게 비교하기 위해서는 실험을 동일한 실험조건 하에서 데이터를 취해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 공조기 및 열펌프의 냉방 실험조건 하에서 모든 실험을 진행했다. 실험조건으로 증발기측 물의 입출구 온도를  $21.6^\circ\text{C}$ 와  $10.5^\circ\text{C}$ 로 고정하였으며, 응축기측 물의 입출구 온도는  $35.0^\circ\text{C}$ 와  $43.2^\circ\text{C}$ 로 고정하였다. 이렇게 설정하면 대부분의 실험냉매들에 대해 증발기 및 응축기의 포화온도가 각각  $7.5^\circ\text{C}$ 와  $45.1^\circ\text{C}$ 가 된다. 외부 유체의 온도를 고정하였으므로 실험냉매들의 포화온도는 열전달계수 등에 따라 조금씩 다르며 이렇게 실험데이터를 구해야 공정한

비교와 평가를 할 수 있다. 한편 본 실험에서 증발기 출구의 과열도와 응축기 출구의 과냉도를 각각 5°C로, 그리고 그 편차는  $\pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지했다.

실험방법은 다음과 같다.

(1) 먼저 냉매 주입구와 압축기 흡입구에 진공 펌프를 연결하여 작동시키고 게이지의 압력이 더 이상 떨어지지 않는 것을 확인한 뒤 약 2시간 가량 계속해서 작동시켜 시스템의 내부를 완전히 진공(2 kPa 이하)으로 만든다.

(2) 칠러와 히터를 작동시킨 상태에서 0.1 g의 정도를 지닌 전자저울로 냉매의 양을 측정해 가면서 조금씩 냉매를 주입한다. 순수냉매의 경우에는 기체상태로 압축기 흡입부로 충전하고 혼합냉매의 경우에 이미 제조사에서 혼합시켜 용기에 담겨 있을 때는 증발기 입구에서 액체로 충전한다.

(3) 팽창밸브를 조절하여 과열도와 과냉도를 맞추어 가면서 위에서 언급한 실험조건에 맞추어 실험을 수행한다.

(4) 시스템이 60분 이상 정상 상태에 다다른 뒤 30초 간격으로 30분 이상 데이터를 취한다.

## 2.4 실험냉매 조성 및 윤활유 선정

본 연구에서는 HCFC22를 효과적으로 대체하기 위해 HCFC22를 기준으로 하여 증기압이 비슷한 탄화수소 자연냉매인 R1270(Propylene)와 R290(Propane)의 성능실험을 우선 시행하였다. 그리고 2개의 순수 하이드로카본 냉매와 HFC152a, RE170(Dimethyl ether)를 포함한 혼합냉매를 근공비점에서 조성을 선택하여 성능평가를 실행하였다.<sup>(11)</sup> 대체혼합냉매의 조성을 결정하기 위해 Raderma-

Table 1 Refrigerants tested in this study

Test No.	Refrigerant (Mass fraction)	GTD (°C)	GWP
1	R22	0	1700
2	R290 (Propane)	0	<3
3	R1270 (Propylene)	0	<3
4	20%R1270/80%R290	0.57	<3
5	50%R1270/50%R290	0.33	<3
6	80%R1270/20%R290	0.03	<3
7	60%R290/40%R152a	0.25	57.8
8	71%R290/29%R152a	0	42.7
9	75%R290/25%R152a	0.25	37.3
10	45%R1270/40%R290/15%DME	0.59	<3

cher and Jung<sup>(12)</sup>이 만든 사이클 해석 프로그램을 이용하였으며 냉매의 물성치는 미국의 표준 연구소에서 개발한 REFPROP 6.0<sup>(13)</sup>을 이용하여 구하였다.

Table 1은 본 연구에서 실험한 냉매들의 조성 과 지구 온난화지수 등을 나타낸다. 압축기에 들어가는 윤활유는 냉매와 혼합되어 시스템 내부에서 순환하기 때문에 대체냉매의 성능평가지 올바른 윤활유를 선정하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 가능한 한 기존의 압축기나 윤활유를 바꾸지 않아도 되는 냉매를 선정하는 데 초점을 맞추었으므로 기존에 HCFC22 시스템에 사용되어 온 미네랄 오일을 그대로 사용했다.

## 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 왕복동식 압축기를 사용하는 수냉식 벤치 테스트에서 HCFC22와 두 종류의 탄화

Table 2 Test results for various refrigerants

Test No.	Refrigerant	COP	$Q_e$ (W)	$T_{dis.}$ (°C)	Charge (g)	$T_{e, avg.}$ (°C)	$T_{c, avg.}$ (°C)
1	R22	3.78	3600	80.2	1170	6.9	44.8
2	R290 (Propane)	3.85	3187	63.0	520	7.7	44.9
3	R1270 (Propylene)	3.75	3808	69.1	540	7.4	45.0
4	20%R1270/80%R290	3.90	3362	63.8	525	7.7	45.2
5	50%R1270/50%R290	3.91	3589	65.5	550	7.4	45.1
6	80%R1270/20%R290	3.92	3729	67.4	530	7.5	45.0
7	60%R290/40%R152a	3.84	3572	64.9	630	7.6	45.2
8	71%R290/29%R152a	3.91	3533	64.4	600	7.5	45.3
9	75%R290/25%R152a	3.91	3527	64.6	600	7.5	45.3
10	45%R1270/40%R290/15%DME	3.99	3551	67.5	540	7.5	45.2

수소 순수냉매, 탄화수소 냉매와 HFC152a, RE170 (Dimethyl ether, DME)로 구성된 7개의 혼합냉매의 성능을 측정하였다. 모든 냉매에 대해 최소한 2번씩 반복 실험을 수행해서 각각의 편차가 1% 미만인 것을 확인하여 데이터로 간주했다. Table 2는 본 연구에서 사용한 냉매들의 각종 측정지수들을 보여준다.

### 3.1 성능계수

지구 온난화를 줄이기 위해서는 냉동/공조기의 에너지 변환장치들의 에너지 효율, 즉 성능계수는 향상되어야 한다. Fig. 3과 Fig. 4는 실험한 여러 냉매의 성능계수와 HCFC22와 비교한 성능계수의 변화량을 보여준다. 이 그림들에서 볼 수 있듯이

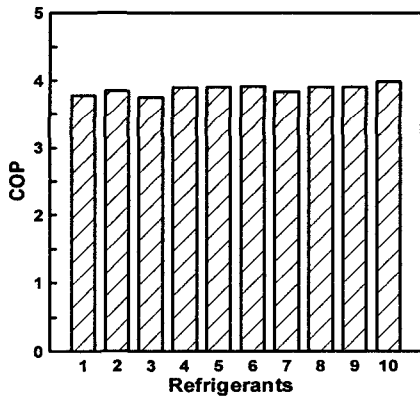


Fig. 3 COP of various refrigerants.

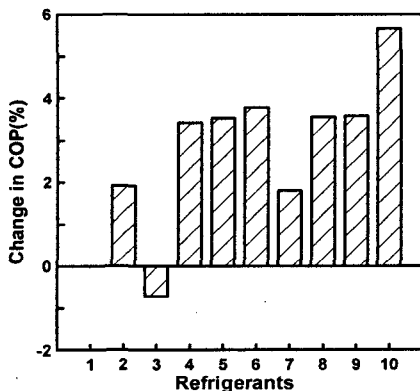


Fig. 4 Change in COP of various refrigerants as compared to HCFC22.

모든 대체냉매들은 세번째 냉매가 HCFC22보다 0.7% 낮은 것을 제외하면, HCFC22보다 최대 5.7%까지 높다. 이런 결과는 실험한 모든 유체는 에너지 효율 측면에서 HCFC22의 대체냉매가 될 수 있다는 것을 보여준다.

### 3.2 냉동용량

냉동용량은 냉동에서 성능계수만큼 중요하게 여겨진다. 만약 대체냉매의 용량이 기준 유체의 용량에서 많이 벗어나면, 압축기를 완전히 다르게 설계해야 하므로 설비 제조업체들의 제조비용이 증가할 것이다. 그러므로 대체냉매가 기준 유체와 비슷한 용량을 가지는 것이 좋다.

Fig. 5와 Fig. 6은 실험한 여러 냉매들과 HCFC22

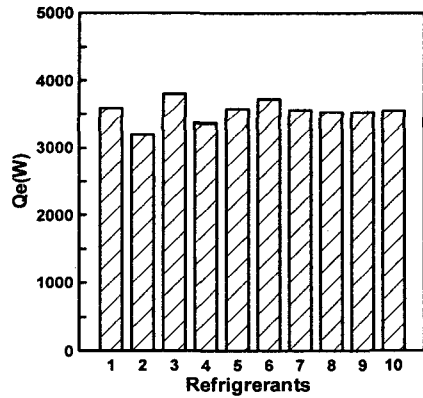


Fig. 5 Refrigerating capacity of various refrigerants.

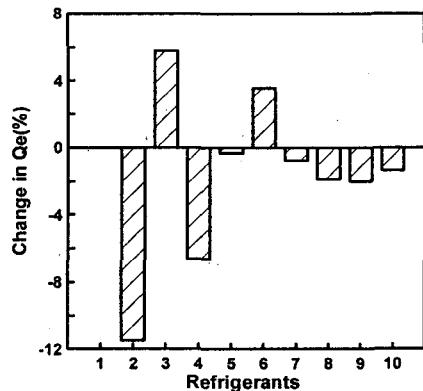


Fig. 6 Change in capacity of various refrigerants as compared to HCFC22.

의 냉동용량 차이를 보여준다. R290(Propane)은 HCFC22에 비해 11.5% 낮은 용량을 가진 것으로 나타났고, R1270(Propylene)은 5.8% 높은 용량을 가지고 있다.

다른 모든 혼합냉매들은 HCFC22와 비슷한 용량을 가지고 있고, 다섯번째와 일곱번째 냉매는 HCFC22와 거의 같은 용량을 가지고 있다.

### 3.3 압축기 토출온도

대체냉매 적용을 고려할 때는 시스템의 수명이나 윤활유 및 냉매의 안정성 등도 고려해야 하며 압축기의 토출온도를 측정 비교함으로써 간접적으로나마 이런 특성을 비교할 수 있다. Fig. 7은 각 냉매의 압축기 토출온도를 보여준다.

그림을 통해 알 수 있듯이 실험한 냉매들이 HCFC22와 비교해서 11.2~17.3°C만큼 감소함을 알 수가 있다. 이 결과로 미루어 볼 때 실험한 냉매들은 윤활유 및 냉매의 안정성에 관해 큰 문제점이 없을 것이라고 생각된다.

### 3.4 냉매 충전

대부분의 하이드로카본은 할로카본의 밀도보다 작은 밀도를 가지고 있기 때문에 충전량은 현저히 작다.<sup>(14)</sup>

실험냉매 모두 가연성 문제가 있긴 하지만 Table 2에서 보듯이 냉매 충전량이 55% 이상 감소하고, 지구 온난화지수가 60 이하의 혼합냉매

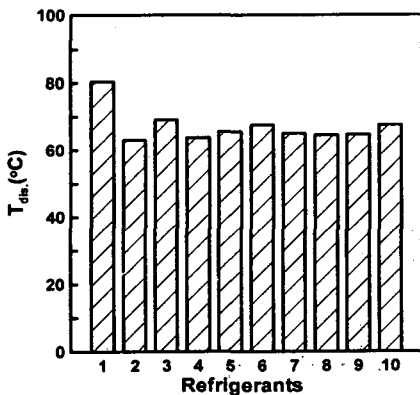


Fig. 7 Discharge temperature of various refrigerants.

이므로 지구 온난화 문제해결에 큰 기여를 할 것이라 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구는 HCFC22를 기본으로 2개의 순수 하이드로카본, 하이드로카본과 HFC152a, RE170(Dimethyl ether) 로 구성된 7개의 혼합냉매를 선정하여 그 성능을 측정하였다. 이를 위해 왕복동식 압축기가 장착된 수냉식 Breadboard 열펌프를 제작하였으며, 가정용 공조기의 실험조건 하에서 총 10가지 냉매의 성능을 측정하고, 그 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실험한 모든 냉매들 조성의 성능계수는 HCFC22보다 좋거나 비슷했다. 45%R1270(Propylene)/40%R290(Propane)/15%RE170(Dimethyl ether) 3원 혼합냉매는 HCFC22보다 5.7% 높아 가장 높은 성능계수의 향상을 보였다.

(2) R290(Propane)과 20%R1270(Propylene)/80%R290(Propane) 혼합한 유체는 각각 HCFC22보다 11.5%와 6.6% 낮은 냉동용량을 보였고, 다른 유체들은 HCFC22와 비슷한 용량을 나타내었다.

(3) 실험한 모든 유체의 압축기 토출온도는 HCFC22보다 11.2~17.3°C만큼 낮으므로 이들을 사용하는 시스템의 안정성에 매우 좋을 것이라 판단된다.

(4) 본 연구에서 사용된 모든 냉매들의 충전량은 탄화수소의 특유의 저밀도 액체 특성에 의거하여 HCFC22보다 최대 55%까지 감소되었다.

(5) 본 연구에서 사용된 모든 냉매는 오존층 붕괴를 일으키지 않고 지구 온난화지수가 60 이하로 친환경적이므로 앞으로 지구 온난화 문제를 해결할 수 있는 장기적 대체냉매라 할 수 있다.

## 참고문헌

1. Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer, 1989, Final Act, United Nations Environment Programme.
2. CFC Focus, 1998, March, Korea Specially Chemical Industry Association.
3. ARI, 1992-1997, R22 and R502 Alternative Refrigerants Program, US Air-Conditioning and Refrigeration Institute.

4. Didion, D. A., 1994, Private Communication, US National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
5. Global Environmental Change Report, 1997, A Brief Analysis of the Kyoto Protocol, Vol. IX, No. 24, December.
6. Cox, N., 2004, Energy comparison of a ground source heat pump using hydrocarbon refrigerants, Prod. of the 6th IIR Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference, Glasgow, UK.
7. Private communication with N. Cox at Earth-care Products, London, UK, 2004.8.
8. Kruse, H., 1996, The stats of the art of the hydrocarbon technology in household refrigeration, Proc. of the Int. Conferences on Ozone Protection Technologies, Washington, DC, pp.179-188.
9. Jung, D., Song, Y. and Park, B., 2000, Testing of propane/isobutane mixture in domestic refrigerators, Int. J. Refrigeration, Vol. 23, pp.517-527.
10. Mulroy, W., Kauffeld, M., McLinden, M. O. and Didion, D. A., 1988, Experimental evaluation of two refrigerant mixtures in a bread-board air conditioner, Proc. of Int. Inst. Refrigeration, Purdue Conference on CFCs, Commissions B1, B2, E1 & E2, pp. 27-34.
11. Didion, D. A. and Bivens, D. B., 1990, Role of refrigerant mixtures as alternatives to CFCs, Int. J. Refrigeration, Vol. B, pp.163-175.
12. Radermacher, R. and Jung, D., 1993, Theoretical analysis of replacement refrigerants for R22 for residential uses, ASHRAE Trans., Vol. 99, Part 1, pp.333-343.
13. McLinden, M. O., Klein, S. A., Lemmon, E. W. and Peskin, A. P., 1998, NIST Thermodynamics and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures, REFPROP Version 6.0.
14. Maclaine-cross, I. L. and Leonardi, E., 1997, Why hydrocarbons save energy?, Australian AIRAH Journal, Vol. 51, pp.33-37.