

## HFC 및 탄화수소를 포함한 R-22 대체냉매의 성능평가

김 창 년<sup>\*</sup>, 박 영 무<sup>\*</sup>, 이 병 권<sup>\*\*</sup>, 임 종 성<sup>\*\*</sup>

아주대학교 대학원, <sup>\*</sup>아주대학교 기계 및 산업공학부, <sup>\*\*</sup>한국과학기술연구원 환경·공정연구부

### Performance Evaluation of R-22 Alternative Refrigerants with Hydrofluorocarbon and Hydrocarbon

Chang-Nyeun Kim<sup>†</sup>, Young-Moo Park<sup>\*</sup>, Byung Gwon Lee<sup>\*\*</sup>, Jong Sung Lim<sup>\*\*</sup>

Graduate School, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

<sup>\*</sup>School of Mechanical Industrial Engineering, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

<sup>\*\*</sup>Division of Environment and Process Technology, KIST, Seoul 130-650, Korea

(Received November 10, 1999; revision received December 28, 1999)

**ABSTRACT:** R-410A, R-407C, and four refrigerant mixtures composed of R-32, R-134a, R-143a, R-152a, R-600(butane), and R-600a(isobutane) were tested in an attempt to replace R-22 used in most of the residential air conditioners. The performance evaluation was carried out in a psychrometric calorimeter test facility using a residential split type air conditioner under the KS rating conditions. Except for the lubricant and hand-operated expansion valve, the other parts of the air conditioner were the same with the commercial system. Performance characteristics were measured; COP, capacity, compressor power, and VCR. R-410A was shown to have 5.5% higher COP and 3.5% lower capacity than R-22. R-32/134a/600a (42.8/ 46.0/11.2 wt%) mixture have the best performance among the four refrigerant mixtures composed of hydrofluorocarbon and hydrocarbon. This mixture have 3.0% lower COP and 1.6% lower capacity than R-22.

**Key words:** Air-conditioners(공조기), Capacity(냉동용량), COP(성능계수), Hydrocarbon(탄화수소), Hydrofluorocarbon(불화탄화수소), Refrigerant mixtures(혼합냉매)

#### 기호설명

$h$  : 엔탈피 [kJ]  
 $m$  : 질량유량 [g/s]  
 $W$  : 압축기 소요동력 [W]

#### 그리스 문자

$\eta$  : 압축기 압축효율

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-331-219-2934; fax: +82-331-213-7108  
E-mail address: nyeonkim@hanmail.net

#### 하첨자

$c$  : 압축기  
 $c_i$  : 압축기 입구  
 $c_o$  : 압축기 출구  
 $isen$ : 등엔트로피 과정

#### 1. 서론

미국, EC, 일본등 선진국들은 현재 냉방 및 냉동기의 냉매로 쓰이고 있는 HCFC 계열의 R-22

에 대한 사용규제 일정을 발표하면서 R-22 대체 냉매와 그 응용기술 개발에 온 힘을 기울이고 있다. 선진국들은 이미 미국의 공조냉동협회(ARI : air-conditioning and refrigeration institute)를 중심으로 R-22 대체 냉매평가 프로그램(AREP : alternative refrigerants evaluation)을 수행하여 대체냉매의 열물리적 성질, 압축기 시험 및 공조기 성능에 대한 활발한 연구를 수행하였다.<sup>(1, 2)</sup> 국내에서도 학계와 관련업계를 중심으로 대체냉매의 개발과 대체냉매를 사용하는 공조기 설계 기술확보에 적극 나서고 있다.<sup>(3-5)</sup>

공조기에 사용되고 있는 R-22의 대체냉매 개발은 크게 3가지 방향으로 추진되고 있다. 즉 북미의 경우 가연성 냉매의 사용이 금지되고 있어 HFC계열 냉매인 R-407C 및 R-410A가 주로 검토되고 있으며 시제품이 출시되고 있다. 유럽에서는 천연냉매(탄화수소, NH<sub>3</sub>)와 HFC계열 냉매가 동시에 연구되고 있고 일본에서는 HFC계열 냉매가 주로 검토되고 있다. 반면 OECD 가입국을 회원으로 하는 국제에너지기구(IEA : international energy agency)의 ANNEX-22분과에서 천연냉매를 이용한 증기압축시스템에 대한 연구를 국제공동으로 진행중에 있는데 여기에는 미국과 일본도 장기적인 관점에서 참여하고 있다.<sup>(6)</sup>

가정용 및 산업용 냉방기에 많이 쓰이는 R-22 및 저온용 냉매인 R-502에 대한 대체 냉매로서, 단일냉매이며, 이와 포화증기압이 비슷하면서, 냉매가 갖추어야할 성질들을 고루 갖춘 단일성분의 대체냉매는 현재까지 발견되지 않았다. 따라서 두 가지 혹은 세 가지의 HFC계열 냉매를 혼합하여 대체냉매로 사용하려는 움직임이 일고 있다. 혼합냉매를 이용하면, 시스템의 성능향상 및 용량조절 등의 효과<sup>(7)</sup>를 거둘 수 있는 반면, 혼합냉매가 본질적으로 다루기 힘들고, 고장, 수리 보수시에 발생하는 누출로 인하여 성분비의 변동이 생기며, 더욱이 재충전시에서도 초기 성분비를 재현하기 힘들기 때문에, 혼합냉매를 기피하는 경향이 있다. 하지만 현재로서는 HFC계열 냉매를 혼합하여 사용하는 것 외에 다른 적절한 대안이 없다. HFC계열 적용 공조기에서 현재까지 가장 가능성이 높게 평가되고 있는 냉매는 오존 파괴지수(ODP)가 0, 비가연성, 비독성 등 냉매로서의 구비조건을 비교적 잘 갖추고 있는 R-410A이다.

그러나 HFC계열 냉매가 오존층에 미치는 영향은 비록 전무하지만, 지구의 온난화에는 영향을 미치는 것으로 알려지고 있기 때문에, 유럽 등지에서는 HFC계열 냉매도 사용하지 말자고 주장하고 있다.<sup>(8)</sup> 특히, 최근의 기상 이변 등이 지구온난화에 기인한다고 밝혀지고 있는 실정에서 지구온난화가 큰 HFC계열 냉매의 사용은 바람직하지 않다고 할 수 있다. 이러한 문제에 대한 근본적인 해결책은 지구온난화에 영향을 거의 미치지 않는 물질을 냉매로 사용하는 것으로, 그 일환으로 천연냉매의 사용을 적극 고려하고 있다.

천연냉매를 공조기 및 산업용 냉동기에 적용하고자 하는 연구는 유럽을 중심으로 폭 넓게 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. 그러나 천연냉매의 경우도 일부 냉매가 가연성 혹은 독성등의 문제점을 가지고 있다.<sup>(6)</sup>

천연냉매 중 탄화수소계열 냉매에는 프로판, 이소부탄, 부탄, 프로필렌, 사이크로 프로판 등이 있다. 프로판과 이소부탄 또는 부탄과의 혼합냉매가 냉장고의 대체냉매로 제안되어 이들 냉매를 적용한 연구가 수행되었다.<sup>(9, 10)</sup> 최근에는 탄화수소계열 냉매를 냉방시스템에 적용한 연구가 수행되고 있다.<sup>(11, 12)</sup> 그리고 HFC계열 냉매(R-134a)와 탄화수소계열 냉매(R-290, R-600a)의 혼합냉매를 이용한 연구 또한 수행되었다.<sup>(13)</sup>

HFC계열 냉매와 천연냉매중 탄화수소계열 냉매의 특징을 살펴보면, HFC계열 냉매는 냉매효율이 우수하며, 폭발이나 부식의 위험이 낮아 안정성면에 있어 매우 우수하며 HCFC계열 대체냉매로 폭넓게 사용되고 있으나, 탄화수소계열에 비해 값이 비싸 경제적인 면에서 불리하고 지구온난화에 영향을 미치는 반면, 탄화수소계열 냉매는 폭발성이 있어 안정성면에서는 HFC계열 냉매에 비해 떨어지나 HFC계열 냉매와 마찬가지로 냉매효율이 우수하며 HFC계열 냉매와 달리 값이 저렴한 점과 환경문제가 전혀 없다는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 R-22의 대체 냉매 개발의 일환으로 HFC계열 냉매와 천연냉매인 탄화수소계열 냉매를 혼합한 대체냉매가 R-22를 대체할 수 있는지의 가능성을 실험적으로 검토하고자

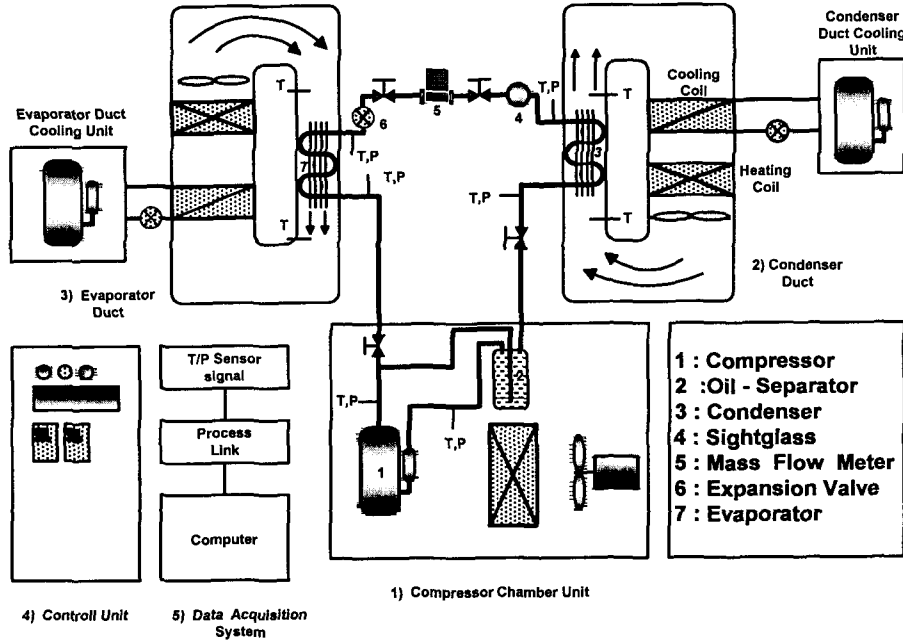


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

대체냉매의 성능평가 실험을 수행하기 위하여 실험장치를 구성하였으며 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험장치는 압축기 챔버, 응축용 향온/향속 풍동, 증발용 향온/향습/향속 풍동, 시스템 제어장치, 자료수집 장치로 구성되어 있다. 냉동시스템은 현재 상용화되어 있는 R-22용 분리형 에어컨 시스템의 부품을 사용하여 구성하였으며, 단지 팽창장치는 모세관 대신 정밀하게 조절될 수 있는 수동식 팽창밸브를 사용하였다.

압축기 챔버는 압축기 주위공기를 일정하게 유지시켜 주기 위한 곳으로서 냉동장치와 가열기가 설치되어 있으며 챔버내의 온도는 PID 제어기에 의해 제어된다. 응축용 향온/향속 풍동은 응축기에 일정한 온도와 속도의 공기를 유입시켜 주며 증발용 향온/향습/향속 풍동 또한 증발기에 일정한 온도와 속도의 공기를 유입시켜 준다. 각 풍동은 PID 제어기에 의해 공기의 온도를 일정하

게 유지시켜 주며 공기의 유속은 송풍기의 회전 속도에 의해 제어된다.

냉동시스템에서 압축기는 R-22용 3상 로터리 형이 사용되었으며 인버터를 연결시켜 압축기의 회전수를 조절할 수 있도록 하였다. 압축기 출구에는 오일분리기를 설치하여 열교환기와 팽창밸브로 유입되는 오일의 양을 최소화하려고 하였다. 또한 수분의 제거를 위한 드라이어, 그리고 냉동 사이클 내의 불순물 제거를 위한 스트레이너를 설치하였다. 압축기의 운행을 위해 사용된 오일은 VG68 POE오일이다. 이 오일은 HFC계열 대체냉매와 함께 사용될 수 있도록 개발된 합성 오일이다.

증발기와 응축기는 7 mm관 열교환기를 사용하였으며 각각 공기속도와 온도 및 습도를 조절할 수 있는 향온/향습 풍동에 설치하였다. 증발용 열교환기는 1열 6단이며 관직경은 7 mm, 핀간격은 1.3 mm, 핀형상은 슬릿(slit)형, 그리고 폭×높이×길이는 400×250×14 mm이다. 또한 응축용 열교환기는 3열 12단이며 관직경은 7 mm, 핀간격은 1.3 mm, 핀형상은 슬릿(slit)형, 그리고 폭×높이×길이는 400×250×65 mm이다. 응축기 출구에는 유동하는 냉매의 상태를 확인하기 위하여 관측경을 설치하였으며 관측경 다음에는 냉매의

유량을 측정할 수 있는 질량유량계(D012S-SS-200, OVAL)를 설치하였다.

보통 에어컨에서는 팽창장치로서 모세관이 사용되나 본 연구에서는 수동식 팽창밸브를 사용하여 실험조건을 조절하는데 용이하도록 하였다.

시스템의 질량유량은 Coriolis 효과를 이용한 질량유량계를 이용하여 측정하였다. 질량유량계를 시스템과 분리된 방진대 위에 설치하여 시스템에서 발생된 진동에 의한 영향을 최소화하였다. 질량유량계의 유량범위는 0~300 kg/h이며 유량계의 교정은 제작사에서 수행하였다.

각 풍동의 공기온도는 RTD 온도센서를 이용하여 측정하였으며 실험장치 주요 부분 및 냉동시스템의 온도는 T형 열전대를 이용하여 측정하였다. 열전대는 냉매의 유동에 영향을 미치지 않도록 냉매관 외부표면에 부착하였다. 열전대와 RTD 온도센서는 실험장치에 설치하기 전에 정밀 수는 온도계를 이용하여 자체 보정하였다.

압력은 압축기 입구, 출구, 증발기 입구와 출구 그리고 응축기 입구와 출구에서 측정하였다. 증발기 입구와 출구에는 압력 측정범위 0~15 bar를 가지는 Konics사의 PT-3111AZZ모형을 설치하였으며, 응축기 입구와 출구에는 압력 측정범위 절대압 0~35 bar를 가지는 Druck사의 PDCR922를 설치하였다. 그리고 압축기 입구에는 압력측정범위 0~10 bar, 출구에는 0~60 bar를 가지는 NAGANO KEIKI SEISAKUSHO사 제품을 설치하였다. 각 압력변환기는 분동식 압력 교정기를 사용하여 교정하였다.

실험장치 각각의 위치에서 측정된 온도와 압력 신호는 자료수집기(DA2500E, YOKOGAWA)에서 일괄수집되며 이 자료는 RS-232C 통신을 통하여 PC에 실시간 저장된다.

압축기의 소비동력은 정밀 디지털 동력 측정기(2535, YOKOGAWA)를 이용하여 측정하였다.

각 측정자료의 오차를 살펴보면, 온도와 압력의 측정오차는 0.5℃ 및 0.3%로 추산되었다. 그리고 질량유량과 소비동력의 측정오차는 0.4%와 0.3%로 추산되었다.

## 2.2 실험조건 및 방법

본 연구에서는 대체냉매의 성능을 평가하기 위하여 한국공업규격에 있는 냉동용 압축기의 정격

Table 1 Standard conditions of rating temperature for refrigerating compressors [KS B 6226]

Saturated Temperature of Suction Pressure	7.2℃
Temperature of Suction Gas	18.0℃
Saturated Temperature of Discharge Pressure	54.4℃
Ambient Temperature	35.0℃
Subcooling	8.3℃

온도 조건(KS B 6226)<sup>(14)</sup>에 따라 실험을 수행하였다. 한국공업규격에는 압축기의 용량과 용도에 따라 여러 온도 조건이 있으나 본 연구에서는 가정용 냉방용 정격 온도조건을 선택하였으며 그 조건은 Table 1과 같다.

정격온도 조건에 따라 실험에서 맞추어 주어야 할 실험조건은 압축기 흡입압력, 압축기 토출압력, 압축기 입구온도, 그리고 팽창밸브 입구온도이다. 압축기 흡입압력과 토출압력은 각 실험대상 냉매의 증기압이 다르기 때문에 각 냉매마다 그 설정값이 다르다. 또한 비공비 혼합물의 경우 한 온도에 두 개의 압력(이슬점 압력과 비등점 압력)이 존재하나 본 연구에서는 압축기 흡입압력은 흡입압력의 포화온도의 이슬점 압력(dew point pressure)으로 하였으며 토출압력은 토출압력의 포화온도의 비등점 압력(bubble point pressure)으로 하였다. 그리고 압축기 입구온도는 18℃로 팽창밸브의 입구온도는 46.1℃로 유지하였다.

혼합냉매의 성능평가를 수행하기 위한 실험순서는 다음과 같다.

(1) 냉동시스템을 진공시킨다.

(2) 진공이 끝나면 실험대상 냉매를 주입한다. 본 연구에서는 실험대상 혼합냉매를 미리 혼합하였다. 따라서 혼합냉매는 증발기 입구에서 액체상태로 주입한다. 냉매의 주입량은 실험대상 냉매에 따라 그 양을 다르게 한다. 주입량의 기준은 압축기 입구의 과열도가 일정한 값으로 고정되었을 때 팽창밸브 입구의 과냉도이다. 즉 모든 냉매에 대하여 동일한 과열도와 과냉도가 얻어지도록 냉매를 주입한다.

(3) 냉매를 주입한 후 응축기측과 증발기측의 풍동을 작동시켜 각각 원하는 공기온도를 맞춘다.

Table 2 Test refrigerants

Ref. Number	Refrigerants	Compositions (weight %)
1	R-32/R-152a/R-600	60.3/30.1/9.6
2	R-32/R-152a/R-600a	54.4/31.1/14.5
3	R-32/R-143a/R-600	35.4/55.9/8.7
4	R-32/R-134a/R-600a	42.8/46.0/11.2
5	R-32/R-125	50/50
6	R-32/R-125/R-134a	23/25/52
7	R-22	-

(4) 원하는 공기온도가 얻어지면 냉동시스템의 압축기를 작동시켜 2~3시간 운전시킨다.

(5) 2~3시간이 지난 후 실험조건을 맞춘다. 실험조건은 냉매에 따라 다르다. 실험조건은 팽창밸브, 압축기의 회전속도를 조절하여 맞춘다.

(6) 실험조건이 설정값의 0.1%내에서 1~2시간 정도 유지되면 실험자료를 측정한다. 측정은 1분 간격으로 2시간 정도 취하며 그 평균값을 측정값으로 한다.

### 2.3 대체냉매

대체냉매의 성능실험을 수행하기 위한 대체냉매는 Table 2와 같다. 여기서 R-22는 기준냉매이며, R-410A와 R-407C는 이미 R-22를 대체하기 위해 개발된 냉매이며 다른 4종류의 혼합냉매는 HFC계열 냉매와 탄화수소계열 냉매를 혼합한 것이다. 혼합냉매는 R-32를 기본으로 하여 구성하였다. 여기서 혼합냉매의 조성은 REFPROP<sup>(15)</sup> 프로그램을 이용한 열역학적 해석을 통하여 결정하

였다.

이들 냉매들의 기본 물성들을 Table 3에 제시하였다. 기본물성들은 REFPROP 6.01<sup>(15)</sup>을 이용하여 계산하였다. 냉매 1~4번과 6번은 비공비혼합물이고 냉매 5번은 유사공비혼합물이다. 따라서 냉매 1~4번과 6번의 경우 온도 구배가 존재하며 R-32/152a/600a (54.4/31.1/14.5) 혼합냉매의 경우 온도구배가 8.02℃로 가장 크며 유사공비혼합냉매인 R-410A를 제외한 나머지 대체냉매의 경우는 온도구배가 7.09~7.87℃내에 존재한다. 그리고 비공비혼합물의 경우 응축압력은 비등점 압력(bubble point pressure)을 증발압력은 이슬점 압력(dew point pressure)를 각각 이용하여 계산하였다.

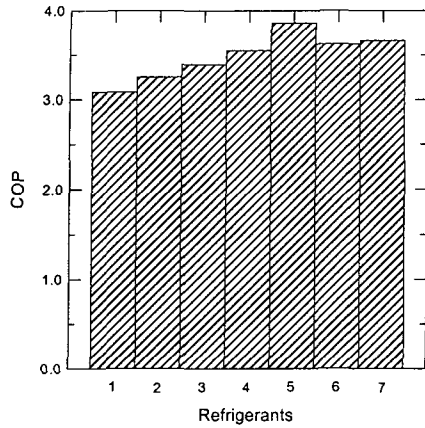
### 3. 결과 및 고찰

대체냉매의 성능을 비교하기 위하여 실험에서 측정된 자료를 이용하여 성능계수(COP), 냉동용량 그리고 체적 냉동효과 (VCR)를 계산하였으며 각 냉매의 계산결과를 R-22의 계산결과와 비교하였다.

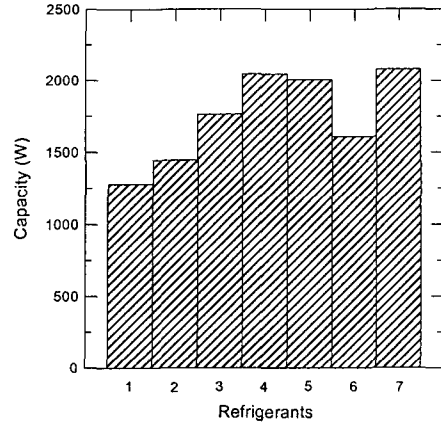
Fig. 2~9에는 실험결과 및 R-22와의 비교 결과를 보여주고 있다. Fig. 2(a)와 (b)는 성능계수 및 R-22와의 비교결과를 보여주고 있다. R-410A를 제외한 모든 냉매들이 R-22보다 성능계수가 낮다. R-32/152a/600(60.3/30.1/9.6) 혼합냉매의 경우는 R-22보다 성능이 15.6%, R-32/152a/600a (54.4/31.1/14.5) 혼합냉매의 경우는 11.2%, R-32/143a/600(35.4/55.9/8.7) 혼합냉매의 경우 7.4%, R-32/134a/600a(42.8/46.0/11.2) 혼합냉매의 경우 3.0%, R-407C의 경우 1.1% 떨어진다. 반면 R-410A의 경우는 R-22 보다 약 5.5% 정도 성능이

Table 3 Typical properties of refrigerants

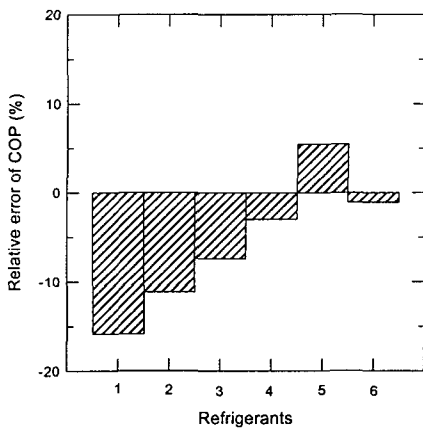
Ref. No.	1	2	3	4	5	6	7
Critical Temperature, ℃	95.50	96.86	80.87	93.62	70.17	86.05	96.15
Critical Pressure, kPa	5828	6011	4039	5773	4770	4634	4990
Temperature Glide, ℃	7.87	8.02	7.09	7.22	0.05	7.09	-
Condensing Pressure at 54.4℃, kPa	2644	2689	2933	2688	3383	2442	2146
Evaporating Pressure at 7.2℃, kPa	621	653.5	765.9	675.3	995.4	588.6	625.4
Compression Ratio	4.258	4.115	3.829	3.980	3.399	4.149	3.430
Heat of Vaporization at 0℃, kJ/kg	311.3	301.1	239.4	250.7	220.9	208.9	205.0



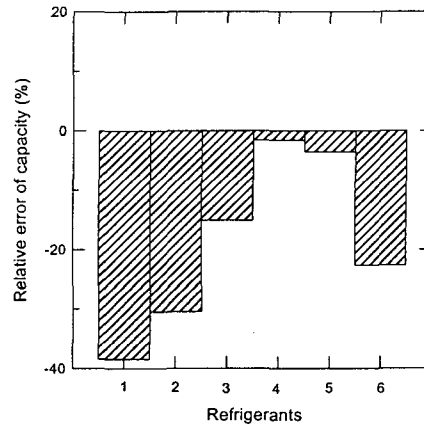
(a) COP



(a) Capacity



(b) Relative COP



(b) Relative capacity

Fig. 2 COP and comparison of COP of various refrigerants with that of R-22.

Fig. 3 Capacity and comparison of capacity of various refrigerants with that of R-22.

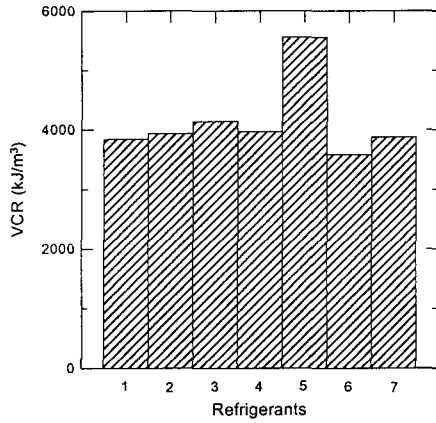
우수하다.

Fig. 3(a)와 (b)는 냉동용량 및 R-22와의 상대 오차를 보여주고 있다. 모든 냉매들의 냉동용량이 R-22의 냉동용량보다 작은 것을 알 수 있다. R-32/152a/600(60.3/30.1/9.6) 혼합냉매의 경우는 냉동용량이 R-22의 냉동용량보다 38.4%가 작았으며, R-32/152a/600a(54.4/31.1/14.5) 혼합냉매의 경우는 30.5%, R-32/143a/600(35.4/55.9/8.7) 혼합냉매의 경우는 15.1%, R-32/134a/600a(42.8/46.0/11.2) 혼합냉매의 경우 1.6%, R-410A의 경우는 3.5%, R-407C의 경우는 22.6% 작았다.

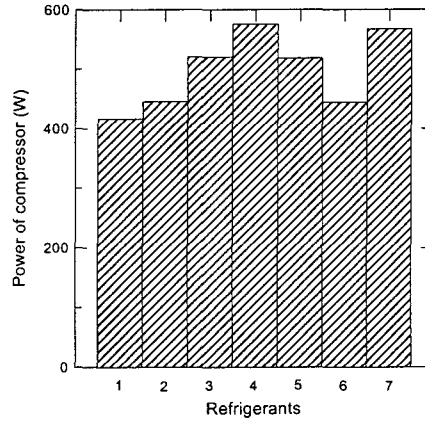
Fig. 4(a)와 (b)는 체적 냉동효과 및 R-22와의

상대오차를 보여주고 있다. R-410A를 제외한 모든 냉매들의 체적 냉동효과가 R-22의 값과 ± 10%내에 존재하는 것을 알 수 있다. 반면 R-410A의 경우는 R-22보다 체적 냉동효과가 43.52% 더 컸다. 체적 냉동효과가 같다는 것은 동일한 압축기 배제체적에서는 같은 용량을 가진다는 것을 의미한다. 따라서 체적 냉동효과가 클수록 동일한 배제체적에서 더 큰 용량을 갖는다는 것을 의미한다.

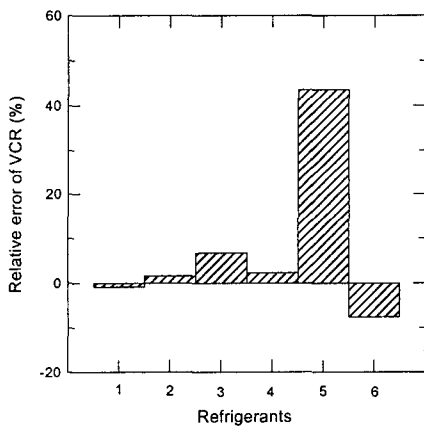
Fig. 5(a)와 (b)는 압축기의 소비동력 및 R-22와의 상대오차를 보여주고 있다. R-32/134a/600a(42.8/46.0/11.2) 혼합냉매를 제외한 모든 냉매들



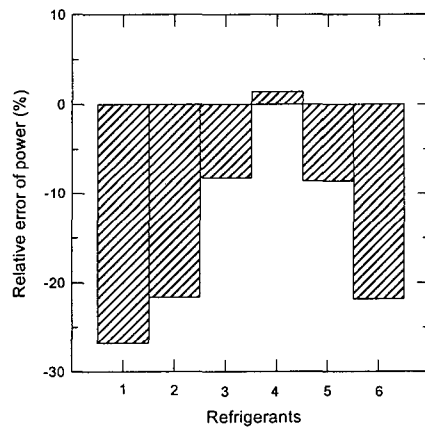
(a) VCR



(a) Power of compressor



(b) Relative VCR



(b) Relative power

Fig. 4 VCR and comparison of VCR of various refrigerants with that of R-22.

의 압축기 소비동력이 R-22의 소비동력보다 작은 것을 알 수 있다. R-32/152a/600(60.3/30.1/9.6)과 R-32/152a/600a(54.4/31.1/14.5)의 경우 소비동력이 21%이상 작다. 동일한 압축기를 사용하였기 때문에 이렇게 큰 압축기의 소비동력의 차이는 압축기의 회전수와 관련이 있으며 이것은 또한 냉매의 질량유량과 관련이 있다. 즉 압축기 소비동력이 작으면 질량유량이 작아진다.

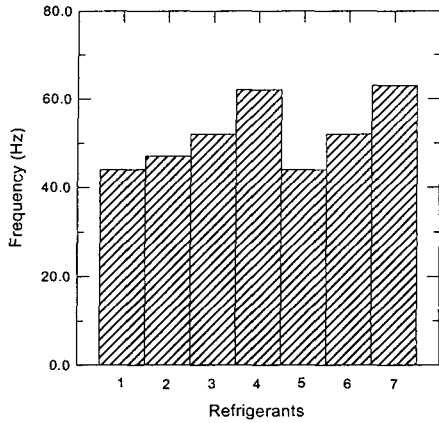
냉매에 따라 압축기 회전속도에 따라 압축기의 마찰, 밸브에서의 압력강하 등의 손실일의 크기가 다르므로 압축기의 성능이 변하게 된다. 이는 시스템의 성능에 직접적으로 영향을 미치므로 다

Fig. 5 Power of compressor and comparison of power of various refrigerants with that of R-22.

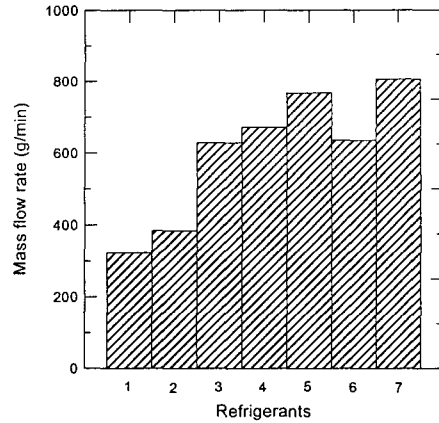
음과 같이 압축기의 압축효율을 정의한다.<sup>(14)</sup>

$$\eta_c = \frac{m_r(h_{co, isen} - h_{ci})}{W} \quad (1)$$

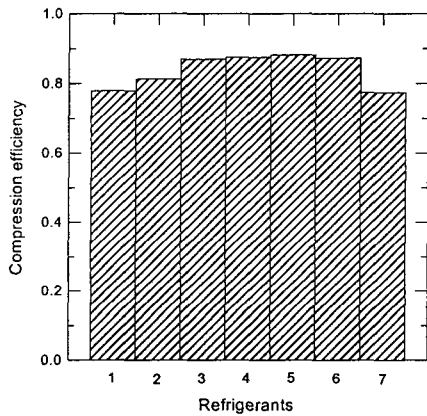
여기서  $\eta_c$ 와  $m_r$ 는 각각 압축기의 효율과 냉매의 질량유량을 나타내고,  $h_{ci}$ 와  $h_{co, isen}$ 는 각각 압축기 입구에서의 냉매의 엔탈피와 주어진 입구조건에서 출구압력까지 등엔트로피 압축했을 경우의 출구 엔탈피를 나타낸다. Fig. 6(a)과 (b)는 냉매에 따라 측정된 압축기의 주파수와 그 때의 압축효



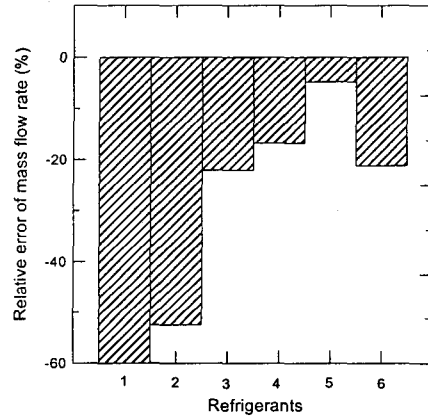
(a) Frequency



(a) Mass flow rate



(b) Compression efficiency



(b) Relative mass flow rate

Fig. 6 Frequency and compression efficiency of compressor for refrigerants.

Fig. 7 Mass flow rate and comparison of mass flow rate of various refrigerants with that of R-22.

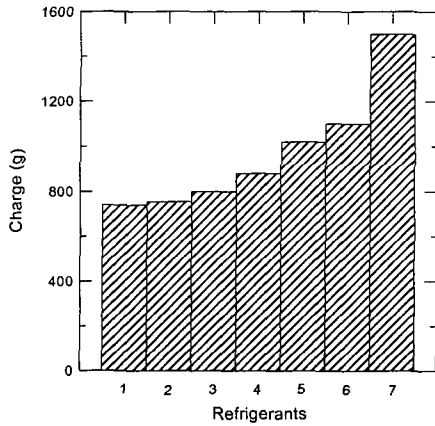
을 보여주고 있다. 비록 동일한 주파수에서 비교할 수 없으나 실험에서 측정한 주파수에서 각 냉매에 대한 압축효율을 살펴보면 실험조건에서 모든 혼합냉매에 대한 압축효율이 R-22에 대한 압축효율보다 높다. 특히 R-410A에 대한 압축효율이 가장 높았으며 R-22에 비교하여 14%더 높았다.

Fig. 7(a)와 (b)는 질량유량 및 R-22와의 상대 오차를 보여주고 있다. 모든 냉매들의 질량유량이 R-22의 질량유량보다 작은 것을 알 수 있었다. R-32/152a/600(60.3/30.1/9.6)과 R-32/152a/600a(54.4/31.1/14.5) 혼합냉매의 질량유량은 R-22의 질량유량보다 50%이상 작았으며 R-410A의

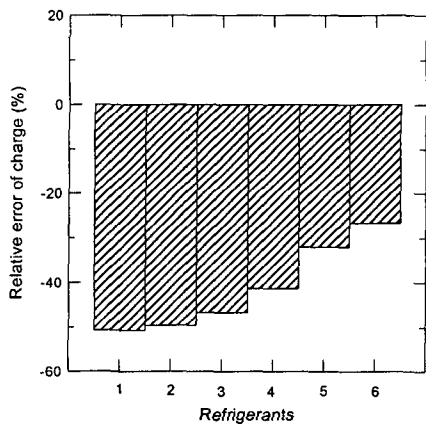
질량유량이 4.8%로 R-22와 가장 유사하였다.

Fig. 8(a)와 (b)는 냉매 봉입량과 상대오차를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 모든 냉매의 봉입량이 R-22보다 작다. 이것은 냉매들의 포화액 비체적으로부터 예상할 수 있다. 냉매봉입량이 냉매에 따라 26.7%에서 최대 50.7%까지 감소하였다. 냉매의 봉입량은 냉동시스템의 과냉도에 영향을 미친다. 동일한 조건에서 냉매 봉입량이 많을수록 과냉도가 커진다. 그에 따라 성능계수도 변화한다. 그러나 본 연구에서는 모든 냉매들이 동일한 과냉도가 얻어지도록 냉매를 봉입하였다.





(a) Charge



(b) Relative charge

Fig. 8 Charged mass and comparison of charged mass of various refrigerants with that of R-22.

Fig. 9는 냉매의 압축기 출구온도를 보여주고 있다. R-407C를 제외한 모든 냉매의 압축기 출구온도가 R-22보다 최대 10℃ 높다. 압축기 출구온도는 압축기 쉘표면의 온도와 관련이 있다. 즉 압축기 출구온도가 높으면 압축기 쉘표면의 온도가 높다. 이것은 압축기 내부의 온도가 높다는 것을 의미한다. 압축기 내부의 온도가 높게 올라가면 압축기내에 있는 오일에 악영향을 끼친다. 따라서 압축기 출구온도가 너무 고온으로 올라가지 않는 것이 좋다. 본 실험에서는 모든 냉매들의 온도가 95℃이하로 오일에는 큰 영향을 끼치

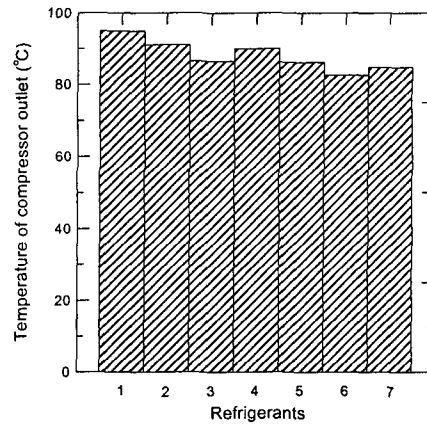


Fig. 9 Temperature of refrigerants at compressor outlet.

지 않을 것이다.

#### 4. 결론

대체냉매의 성능을 평가하기 위하여 실험장치를 제작하여 성능평가 실험을 수행하였다. 대체냉매로는 HFC계열 냉매와 탄화수소계열 냉매를 혼합한 4종류의 3성분계 혼합냉매를 선정하였다. 이들 냉매는 R-32/152a/600(60.3/30.1/9.6), R-32/152a/600a(54.4/31.1/14.5), R-32/143a/600(35.4/55.9/8.7), R-32/134a/600a(42.8/46.0/11.2) 등이다. 이들 냉매와 R-22 대체냉매로 이미 개발된 R-410A 및 R-407C를 이용하여 성능평가 실험을 수행하여 R-22의 성능과 비교하였다.

R-22에 사용되던 기존의 압축기를 사용하는 시스템에 대체냉매를 적용할 경우, 성능면에서 보면 R-410A가 가장 우수하였고, HFC계열 냉매와 탄화수소계열 냉매를 혼합한 혼합냉매 중에서는 R-32/134a/600a(42.8/46.0/11.2)가 가장 우수하며 R-22의 성능과 3%의 오차를 보였다.

혼합냉매 R-32/152a/600(60.3/30.1/9.6), R-32/152a/600a(54.4/31.1/14.5), R-32/143a/600(35.4/55.9/8.7)의 경우는 성능계수가 R-22의 성능계수보다 7%이상 작았다. 그러나 실험에서 압축기의 소비동력이 R-22의 값보다 21% 이상 작고 증발잠열이 R-22보다 크므로 새로운 설계로 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

본 연구를 통하여 HFC계열 냉매와 탄화수소계

열 냉매를 혼합한 혼합냉매가 R-22를 대체할 수 있는 잠재력은 있다고 판단되었다. 그러나 아직 이들 혼합냉매의 폭발성에 관한 연구가 수행되지 않아 많은 양의 탄화수소계열 냉매를 혼합하지 못하였다. 따라서 앞으로 폭발성 문제 등을 고려하여 탄화수소계열 냉매의 양을 더 증가시키는 방향으로 그리고 Drop-In 실험과 열전달 실험 등 더 많은 실험연구가 진행되어야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 한국과학기술연구원 환경·공정연구부의 연구비로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

### 참고문헌

- Godwin, D. and Menzer, M., 1993, Results of compressor calorimeter tests in ARI's R-22 alternative refrigerants evaluation program, ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, August, pp. 1-18.
- Jung, D. S., 1997, Report on AREP Technical Committee Meeting, Korea Refrigeration and Air-Conditioning Industry Association.
- Hwang, E. P., Kim, C. N., and Park, Y. M., 1997, An experimental investigation of thermodynamic performance of R-22 alternative blends, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 9, No. 1, pp. 82-91.
- Song, Y. J., Park, B. J., Jung, D. S., and Kim, C. B., 1998, Performance evaluation of R22 alternative refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 292-302.
- Lim, B. H., Shin, J. S., and Kim, M. H., 1998, Evaporation Heat Transfer Characteristics of R22 and R410A in Smooth and Microfin Tubes, Proceedings of the SAREK, pp. 97-102.
- Kim, M. H. and Park, Y. S., 1996, The development of CFC/HCFC free refrigeration and air-conditioning systems, The Magazine of the SAREK, Vol. 25, No. 6, pp. 489-505.
- Didion, D. A. and Bivens, D. B., 1990, Role of refrigerant mixtures as alternatives to CFCs, Int. J. Refrig., Vol. 13, pp. 163-175.
- Kim, M. S., 1997, Heat pump and refrigeration systems using natural refrigerants, The Magazine of the SAREK, Vol. 26, No. 3, pp. 171-182.
- James, R. W. and Missenden, J. F., 1992, The use of propane in domestic refrigerators, Int. J. Refrig., Vol. 15, No. 2, pp. 95-100.
- Bodio, E., Chorowski, M., and Wilczek, M., 1993, Working parameters of domestic refrigerators filled with propane-butane mixture, Int. J. Refrig., Vol. 16, No. 5, pp. 353-356.
- Chang, Y. S., Kim, M. S., and Ro, S. T., 1997, Performance and Heat transfer of an Air Conditioning System Filled with Hydrocarbon Refrigerants, Transactions of the KSME(B), Vol. 21, No. 5, pp. 713-723.
- Refrigeration and Air-Conditioning, 1999, Trends of abroad, Journal of Korea Refrigeration and Air-Conditioning Industry Association, Vol. 57, p. 56.
- Kim, M. S., Mulroy, W. J. and Didion, D. A., 1994, Performance Evaluation of Two Azeotropic Refrigerant Mixtures of HFC-134a With R-290 (Propane) and R-600a (Isobutane), Journal of Energy Resources Technology, Vol. 116, pp. 148-154.
- Korea Standard, 1977, Standard conditions of rating temperature for refrigerating compressors, Korea Standards Association, KS B 6226.
- McLinden, M. O., Klein, S. A., Lemmon, E. W., and Peskin, A. P., 1998, NIST Thermodynamic and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures-REFPROP, Version 6.01.