

고온용 밀폐형 왕복동 압축기에서 탄화수소계 혼합냉매 적용

The application of hydrocarbon refrigerant mixtures in a hermetic reciprocating compressor for high back pressure conditions

김 기 문*, 박 희 용**
K. M. Kim, H. Y. Pak

Key Words: Hydrocarbon refrigerant(탄화수소 냉매), Coefficient of performance(성능계수), High back pressure(고온용), Volumetric capacity(체적 냉동능력), Total acid number(전산가), OS-12a(탄화수소계 신혼합냉매), Pressure ratio(압축비), Calorimeter(열량계)

ABSTRACT

The application of hydrocarbon refrigerant mixtures in a hermetic reciprocating compressor for dehumidifier is investigated. The selected refrigerants are R12, R134a, HC-Blend (R290/R600a), CX(R152a/R600a) and OS-12a. Both theoretical and experimental investigations have been performed for the selected refrigerants. The test results of hydrocarbon refrigerants have been compared to traditional refrigerant(R12) and R134a. The results show that hydrocarbon refrigerant mixtures(HC-Blend, CX and OS-12a) are very good alternatives in the refrigeration system for R12 and R134a.

기 호 설 명

<p>a, a_0, a_1, a_2 : 상태방정식의 계수</p> <p>a_{12} : 혼합냉매의 상태계수</p> <p>b, b_0, b_1, b_2 : 상태방정식의 계수</p> <p>b_{12} : 혼합냉매의 상태계수</p> <p>k : 냉매에 관한 상호작용 계수</p> <p>k_{12} : 혼합냉매에 관한 상호작용 계수</p> <p>k_t : 온도에 관한 상호작용 계수</p> <p>P : 압력</p> <p>R : 일반기체 상수</p>	<p>T : 온도</p> <p>v : 비체적</p> <p>x_1, x_2 : 질량 분율</p> <p>ϵ : 오차</p> <p>h : 엔탈피</p> <p>n : 시료수</p> <p>CX : R152a/R600a 혼합냉매</p> <p>HC-Blend : R290/R600a 혼합냉매</p>
--	--

하 침 자

<p>c</p> <p>e</p> <p>exp</p> <p>cal</p>	<p>: 응축</p> <p>: 증발</p> <p>: 실험값</p> <p>: 계산값</p>
---	---

*정회원, 한양대학교 대학원

**정회원, 한양대학교 기계공학과

1. 서론

자동차 에어컨, 제습기등 고온용 냉동기의 경우 R12 대체물질로서 R134a를 주로 개발 적용하고 있으나, R134a 냉매의 경우 냉동기유와의 상용성 확보를 위하여 필수적으로 특수 오일을 필요하게 되며, 이 특수 오일의 아주 높은 수분 흡수 특성으로 인하여 냉동기 제조 과정에서 아주 엄밀한 공정 관리와 추가적인 설비투자, 부품개발이 필요하게 된다. 따라서 냉동기 제품의 원가구조를 상승시키게 되며 또한 지구온난화 지수(GWP)에 크게 영향을 주어 완전한 대체냉매로서 위치하기에 충분하지 못한 실정이다.^(1,2)

반면 탄화수소계 냉매는 오존층 파괴와 지구 온난화와 같은 환경 문제가 전혀없어 차세대 대체냉매로서의 기본적 조건을 충분히 가지고 있고, 종전의 R12 냉동기 시스템에 사용되는 광유와도 잘 부합하는 장점을 가지고 있어 가연성 문제에도 불구하고 유럽을 중심으로 개발 적용하고 있다.^(3,4)

본 연구는 자동차 에어컨과 제습기와 같이 R12 또는 R134a 냉매를 사용하며 사용 조건이 고온용인 냉동기 시스템에서 현재의 냉동기 시스템의 설계 변경을 최소화하고 냉매량 조정만으로 곧 바로 대체할 수 있는 탄화수소계 혼합냉매를 개발 적용하는데 있다. 여기서 냉동기를 냉매량 조정만으로 곧 바로 대체 적용하기 위한 몇 가지 조건을 살펴보면, 첫 번째 열량계(Calorimeter) 장치에서 동일 압축기를 사용하여 고온용 표준 조건(ASHRAE HBP)⁽⁵⁾에서 비교 평가할 때 냉동 능력과 효율(COP) 및 전류 특성이 R12 또는 R134a 대비 우수하여야 하고, 두 번째 냉동기 신뢰성 시험 규격⁽⁶⁾을 적용하여 비교 평가할 때 현재의 R12 또는 R134a 냉동기 시스템이 가지고 있는 신뢰성보다 우수하여야 하며, 세 번째 흡입 및 토출 압력 특성이 R12 또는 R134a 대비 우수하여야 한다. 이러한 기본 조건을 바탕으로 냉동기 사이클의 최적 설계 및 적용을 통하여 성능이 우수한 냉동기 제품을 개발 사용할 수 있다.

본 연구에서는 자동차 에어컨과 사용 조건이 유사한 제습기용 고온용 밀폐형 압축기를 이용하여 각종 냉매의 성능 및 효율, 신뢰성등 각종 실험을 수행하였다. 또한 실험 결과 분석을 통하여 환경 친화적인 탄화수소계 신혼합냉매(OS-12a)

가 탄화수소계 혼합냉매(HC-Blend, CX)와 더불어 현재의 R12 또는 R134a 냉매 사용 고온용 냉동기 시스템에 적용하였을 때 현재의 설계 내용을 변경하지 않고 냉매량 조정만으로 바로 적용하여 제품화가 가능한지를 입증하는데 그 목적이 있다.

2. 탄화수소계 냉매의 열역학적 물성치

열역학적인 사이클을 해석하는데 있어서 작동 유체의 물성치를 정확하게 예측하는 것은 매우 중요한 일이다. 본 연구에서 사용하고 있는 탄화수소계 신혼합냉매 OS-12a는 순수 탄화수소계 냉매가 가지고 있는 인화성 문제점을 개선하기 위하여 첨가제(난연성 실리콘의 2종)⁽¹¹⁾를 혼합하였다. 첨가제의 영향을 고려한 냉매의 물성치 변화를 추가적으로 계산하기 위하여 실험값과 계산값의 오차가 최소가 되도록 온도에 따른 상호작용 계수 값을 계산하였고, 이를 바탕으로 물성치를 계산하였다.

2.1 열역학적 상태 방정식의 선정

본 연구에서는 CSD상태 방정식⁽⁷⁾을 사용하였다.

$$P = \frac{RT}{v} \frac{1+y+y^2-y^3}{(1-y)^3} - \frac{a}{v(v+b)} \quad (1)$$

여기서,

$$y = \frac{b}{4v} \quad (2)$$

$$a = a_0 \exp(a_1 T + a_2 T^2) \quad (3)$$

$$b = b_0 + b_1 T + b_2 T^2 \quad (4)$$

2.2 상태계수 및 상호작용 계수의 계산

혼합 냉매에 대한 물성치의 계산은 단일 냉매를 통하여 구한 계수 값들과 상태 방정식을 그대로 적용하게 되는데 이때 Lorentz-Berthelot-van der Waals의 혼합법칙⁽⁸⁾을 이용하였다.

$$a = x_1^2 a_{11} + 2 x_1 x_2 a_{12} + x_2^2 a_{22} \quad (5)$$

$$b = x_1^2 b_{11} + 2x_1 x_2 b_{12} + x_2^2 b_{22} \quad (6)$$

여기서 $a_{11}, a_{22}, b_{11}, b_{22}$ 는 단일 냉매의 상태 계수이고, x_1, x_2 는 질량 분율(mass fraction)이며, a_{12}, b_{12} 는 혼합냉매에 추가되는 상태계수로서 식(7)과 식(8)을 이용하여 계산한다.

$$a_{12} = (1 - k_{12})\sqrt{a_{11} a_{22}} \quad (7)$$

$$b_{12} = \left(\frac{b_{11}^{1/3} + b_{22}^{1/3}}{2} \right)^3 \quad (8)$$

$$k_{12} = k + k_t \cdot T \quad (9)$$

여기서 k_{12} 는 혼합 냉매의 상호작용 계수 (Interaction factor)로서, 실험에 의한 온도-압력 특성과 계산에 의한 온도-압력 특성간의 오차가 최소가 되도록 결정한다. 본 연구에서 식(9)와 같이 상호작용 계수를 계산하는데 있어 순수 단일 냉매의 영향과 온도에 관한 영향으로 구분하였으며, 순수 냉매에 대한 인자 k 는 기존의 발표된 값을 사용하였고, 온도에 관한 상호작용 계수 k_t 값은 실험에 의한 포화 온도-압력 값과 계산에 의한 포화 온도-압력 값과의 오차 ϵ 가 최소가 되도록 반복 계산에 의하여 결정하였다. 오차 계산식은 다음과 같다.

$$\epsilon = \frac{P_{exp} - P_{cal}}{P_{cal}} \times 100 \quad (10)$$

이 결과를 바탕으로 온도 범위 $-40^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 에서 탄화수소계 신혼합냉매 OS-12a에 대한 상호작용 계수 k_t 와 k_{12} 를 계산한 결과를 Table 1에 나타내었다.

3. 냉매성질 및 이론적 사이클 특성

3.1 냉매의 열역학적 성질 비교

이 연구에서 선택한 냉매의 성질들은 Table 2와 같다. 탄화수소계 혼합냉매(HC-Blend, CX OS-12a)는 프레온계 냉매(R12, R134a)에 대비

Table 1 Interaction parameter for OS-12a

T	k_t	k_{12}	T	k_t	k_{12}
-40	-0.0001	0.006543	10	0.0014	0.016543
-30	-0.0004	0.014543	20	0.0007	0.016543
-20	-0.0007	0.016543	30	0.0005	0.017543
-10	-0.0014	0.016543	40	0.0004	0.018543
0	0	0.002543	50	0.0003	0.017543

Table 2 Thermophysical properties of refrigerants

Refrig. Item	R12	R134a	HC-Blend	CX	OS-12a	
Chemical Formula	CCl_2F_2	CH_2FCF_3	$\text{C}_4\text{H}_{10}/\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{C}_4\text{H}_{10}/\text{CHF}_2\text{CH}_3$	HC-Mixture	
Molecular Weight	120.92	102.0	49.71	63.67	57.9	
Boiling Point ($^\circ\text{C}$)	-29.8	-26.5	-29.9	-20.3	-34.5	
Flammability (%)	None	None	1.8-9.5	3.1-15.1	5.5-9.5	
Thermal Conduc. (W/m.K)	Liquid	0.080	0.094	0.10	0.1146	0.10
	Vapor	0.009	0.012	0.01	0.013	0.01
Heat of Vapor. (kJ/kg) [at 0°C]	149.8	198.7	367.0	298.0	364.0	
ODP	1	0	0	0	0	
GWPCO ₂ =1, 100yr	6900	1200	3	98.9	3	
Stability	Thermal	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
	Chemical	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
Base Oil	Mineral	Ester	Mineral			

하여 가연성이 존재하는 것을 제외하고는 열전달 특성과 증발잠열, 오존층파괴, 지구온난화 영향 등의 특성이 매우 우수함을 알 수 있다.

3.2 이론 사이클 적용 연구결과

본 연구에서 선택한 여러 냉매에 대한 이론적인 사이클 특성 해석을 위한 표준 조건은 ASHRAE HBP⁽⁵⁾ 조건으로서 Fig. 1에, 그 해석 결과는 Table 3에 제시하였으며, 사이클 성능에 영향을 주는 인자에 대해서 자세히 고찰해 보면 다음과 같다.

3.2.1 체적 냉동능력(Volumetric Capacity)

체적 냉동능력을 R12와 비교하여 보면 OS-12a는 -2.8%로 저하되고, HC-Blend는 동일 수준이며, CX 및 R134a는 4.3% 정도 우수한 특성을 보인다.

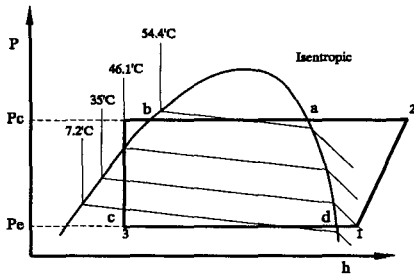


Fig. 1 Pressure-enthalpy diagram for non-azeotropic mixtures(HBP).

3.2.2 성적계수(COP)

R600a가 효율 특성이 가장 우수하나, R290의 영향으로 HC-Blend는 효율 특성이 R12 대비 -1.8% 저하되는 특성을 보인다. CX, OS - 12a, R134a의 경우 R12 대비 효율이 동등 수준이다.

3.2.3 압축비(Pressure Ratio, $\alpha = P_c/P_e$)

압축비를 R12 대비 비교하여 보면 HC-Blend는 동등 수준이다. OS-12a 및 CX는 R12 대비 2.3% 정도 높으나, R134a 보다는 9.5% 양호함을 알 수 있다.

3.3.4 온도구배(Temperature glide)

증발 및 응축 과정에서 온도구배 특성을 살펴 보면 혼합냉매 HC-Blend 및 OS-12a는 5~6°C 정도의 온도구배가 발생하나, CX 냉매는 단일 냉매와 유사한 매우 우수한 특성을 보인다.

4. 실험장치 및 측정방법

본 연구에서는 자동차 에어컨과 사용 조건이 유사한 제습기용 고온용 밀폐형 왕복동 압축기를 이용하여 여러 냉매에 대한 성능 및 효율 평가를 수행하였고, 열량계 측정 장치는 Fig. 2와 같다. 이장치는 한국 산업 규격(KS B 6365-1987)에 준하여 증발기 열량계법을 이용하여 제작되었으며, 주요 장치 구성은 온도 제어를 위하여 냉각기와 히터, 2차냉매(R11)를 이용한 응축 및 증발 유니트, 냉각기와 히터, 송풍기를 이용한 압축실 그리고 압력제어를 위한 정압식 자동 팽창밸브로 이루어져 있다.

한편 측정 방법은 ASHRAE HBP⁽⁵⁾ 조건을 이용하였으며, 측정시 사이클의 평형 안정 기준은 온도편차 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 압력편차 $\pm 0.5\text{kPa}$ 로 하였다.

Table 3 Theoretical performance of refrigerants for HBP conditions

	R12	R134a	R600a	HC-Blend	R290	R500	CX	OS-12a
Cond. Mid Temp. °C	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4
Cond. Mid Press. kPa	1354	1470	761.4	1392	1883	1559	1402	1280
Inlet (Vapor) T. °C	54.4	54.4	54.4	57.31	54.4	54.48	54.71	57.6
Outlet (Liquid) T. °C	54.4	54.4	54.4	51.52	54.4	54.32	54.08	51.2
Δt Condensation °C	0	0	0	5.79	0	0.16	0.63	6.40
Evap. Mid Temp. °C	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.20
Evap. Mid Press. kPa	389.4	377.1	200.6	399.0	587.5	450.5	393.0	360.0
Inlet (L+V) T. °C	7.2	7.2	7.2	4.48	7.2	7.17	7.05	4.40
Outlet (Vapor) T. °C	7.2	7.2	7.2	9.99	7.2	7.23	7.31	10.00
Δt Evaporation °C	0	0	0	5.51	0	0.06	0.28	5.60
Pressure Ratio -	3.48	3.90	3.80	3.49	3.21	3.46	3.56	3.56
Discharge Temp. °C	88.4	84.8	74.7	82.5	83.8	90.4	85.8	79.0
ρ_1 (Suc.Density) kg/m ³	19.94	16.16	4.78	8.22	11.12	18.94	10.49	8.01
Volumetric Capa. kWh/m ³	600.2	628.1	342.7	600.4	817.1	691.8	626.3	583.3
Δh (Evap.) Capa. kWh/kg	30.1	38.87	71.74	73.03	73.48	36.53	59.70	72.81
C O P w/w	5.00	5.00	5.25	4.91	4.91	4.98	5.08	5.02
Molecular Weight g/mol	120.9	102.0	58.1	49.7	44.1	106.5	63.67	49.0

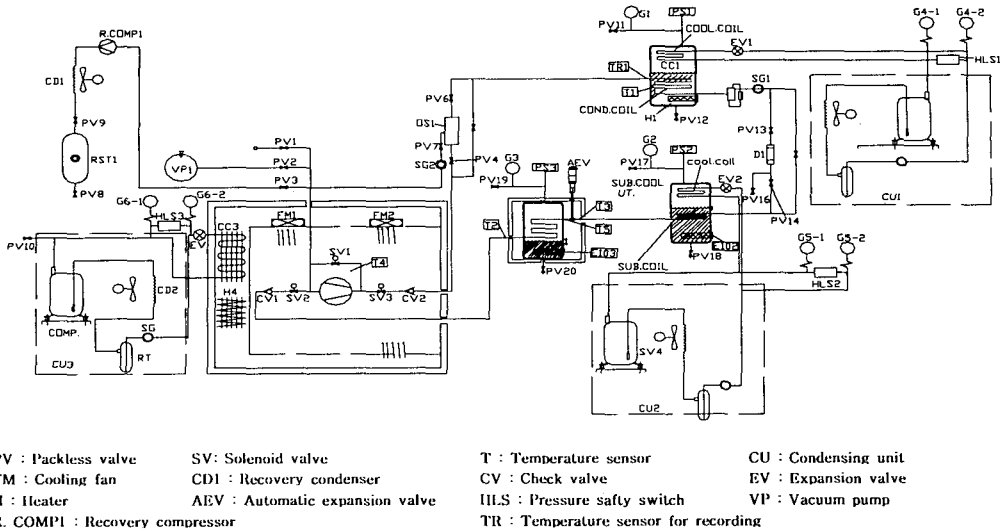


Fig. 2. Schematic diagram of calorimeter for compressor.

신뢰성 평가를 위해서는 G.E.사의 규격⁽⁶⁾을 적용하였고, Fig. 3의 실험 장치를 사용하였다. 주요 장치는 온도 제어를 위한 히터와 송풍기, 압력 제어를 위한 팽창밸브와 모세관을 선택적으로 사용할 수 있도록 구성되어져 있으며, 일체형 응축/증발기를 사용하여 장치의 크기를 최소화 하였다. 한편 냉매와 냉동유의 적합성 시험은 일본 공업 표준규격(JIS K 2211-1992)에 준하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 성능 및 효율 평가 시험 (Calorimeter test)

이 실험의 측정 조건은 Table 4와 같고, 그 실험 결과는 Table 5와 같다.

HC-Blend 냉매는 R12 대비 냉동능력은 동등 수준, 효율(COP)은 3.8% 우수하며, 전류는 6.8% 감소한다. OS-12a 냉매는 R12 대비 냉동능력은 2.8% 감소되나 효율은 9.0% 우수하고, 전류는 16.2% 감소하는 결과를 보임으로서 전반적으로 R12 대비 우수한 성능 특성을 나타내었다.

CX 냉매는 R12 대비 냉동능력은 6.6%, 효율은 4.6% 우수하며, 전류는 3.4% 감소하는 결과를 보임으로서 R12 대비 가장 우수한 성능 특성을 나타내었다. 응축/증발압력 및 온도구배 실험 결과를 보면 OS-12a와 HC-Blend 냉매는 R12 대비 응축 압력 -0.7%~1.8%, 증발압력 -6.0%~-2.3% 범위 내에 존재하여 매우 양호한 압력 특성을 보이며, 증발/응축 과정에서의 온도구배는 5.4°C~6.4°C 수준이다. CX 냉매는 증발/응축 압력이 R12 대비 1.3%~4.5% 높으나 R134a 대비 양호한 수준을 보이며, 증발/응축 과정에서의 온도구배는 0°C~0.4°C 수준으로서 공비 혼합물 특성을 나타내었다.

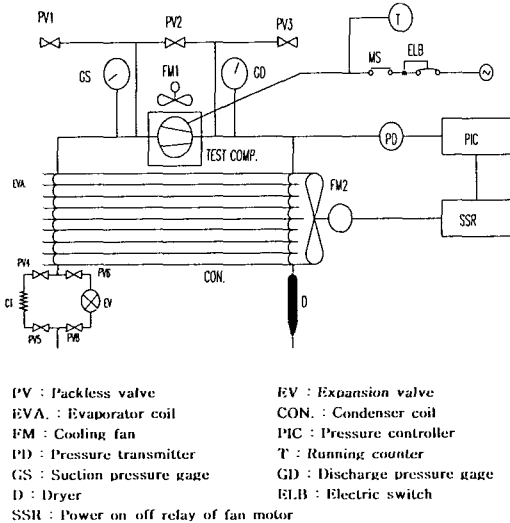


Fig. 3. Schematic diagram of life tester.

Table 4 Conditions of calorimeter test

Item Ref.	Con. T. (°C)	Con. P. (atg)	Eva. T. (°C)	Eva. P. (atg)	Remark
R12	54.4	12.68	7.2	2.938	NIST Ref. 5.1
R134a	54.4	13.90	7.2	2.812	
IIC-Blend	57.3/51.5	12.91	4.5/9.9	2.870	
CX	54.6/54.2	13.26	7.2	2.974	Actual
OS-12a	57.6/51.2	12.58	4.4 /10	2.760	

Table 5 Results of calorimeter test

Item Ref.	Capac. (kcal/hr)	Input (W)	COP (W/W)	Current (A)	T. Glide (°C)	Remark
R12	424.2	241.4	2.042	1.17	0/0	· Comp.: VCI145
IIC-Blend	429.5	235.3	2.121	1.09	5.4/5.8	
R134a	452.9	246.3	2.137	1.12	0/0	· Oil : IITS150
CX	452.3	248.9	2.112	1.13	0/0.4	
OS-12a	412.3	215.1	2.226	0.98	5.6/6.4	

5.2 과부하(Over load) 수명 실험

이 실험은 Table 6의 조건에서 수행되었으며, 그 결과는 Table 7에 제시하였다.

HC-Blend 및 CX 냉매 모두 R12 대비 매우 우수한 신뢰성을 보인다, 특히 OS-12a의 경우 각종 냉동유와의 신뢰성 실험 결과 전산가는 다소 상승되었으나 추천규격⁽⁶⁾을 만족하며, 밸브 운동부 및 기계 구동 마찰 마모 특성이 R12 대비 동등 수준의 양호한 결과를 보인다.

Table 6 Conditions of heavy load life test

Item	Specification
Suction Pressure (kPa)	147
Discharge Pressure (kPa)	2940
Running Time (hr)	1000
Compressor Case Temperature (°C)	90

Table 7 Results of heavy load life test

Item Ref.	Ref. Comp. Oil	R12	IIC-Blend	CX	OS-12a		
		NR45			NR45		
		IITS150			IITS150	Freol α-22T	PAG22
Wear		No	No	No	No	No	Little
Ref. Oil	Color	L0.5	L0.5	L0.5	L1.0	L1.5	L1.5
	TAN(0.1 ↓) (mgKOH/g)	0.007	0.016	0.005	0.014	0.065	0.085
	Water (20ppm ↓)	0	5	0	3	8	10

Table 8 Conditions of capillary blockage test

Item	Specification
Condensing Temperature (°C)	54.4
Capillary Outlet Temperature (°C)	-29.0
Motor Winding Temperature (°C)	140.0
Compressor Case Temperature (°C)	110.0
Running Time (hr)	672
Capillary Tube (mm)	φ 0.70 × 2120
Dryer	- XII-5

Table 9 Results of capillary blockage test

Item Ref. Comp. Oil	R12	IIC-Blend	CX	OS-12a			
	NR45			NR45			
		IITS 150			IITS 150	Freol α-22T	PAG 22
Wear		No	No	No	No	No	No
Ref. Oil	Color	L1.5	L1.5	L1.5	L1.5	L2.0	L2.0
	TAN(0.1 ↓) (mgKOH/g)	0.02	0.04	0.03	0.02	0.06	0.08
	Water (20ppm ↓)	0	3	2	0	8	5
Flow Change Rate (10% ↓)		2%	3%	2%	3%	5%	7%
Capillary Tube State		GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD

5.3 모세관 막힘(Capillary blockage) 실험

이 실험은 Table 8의 조건에서 수행하였으며, 그 결과는 Table 9에 제시하였다.

HC-Blend 및 CX 냉매 모두 R12 대비 매우 우수한 특성을 보였으며, OS-12a의 경우 각종 냉동유를 적용한 모세관 막힘 실험 결과 모세관 내부의 오염현상과 이로인한 냉매 유량의 변화율은 규격을 만족하였다.

5.4 자재 적합성(Material compatibility)실험

이 실험은 Table 10의 조건에서 수행되었고, 그 결과는 Table 11에 제시 하였다. 유기 자재와의 적합성 실험 결과 HC-Blend, CX, OS-12a 냉매 모두 R12 대비 동등 수준의 품질 특성을 보인다.

5.5 포화 온도-압력 측정 실험

이 실험 장치는 Fig. 4와 같으며 크게 평형장치, 냉매 회수용 탱크, 평형 장치의 온도제어를

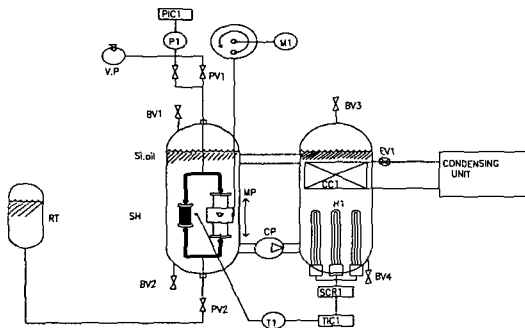
위한 장치로 구성되어 있으며, 평형 장치는 다시 평형 셀과 마그네틱 펌프로 이루어져 있다. 이 실험 장치를 이용하여 -40°C ~ 60°C 범위에 걸쳐 각 냉매의 포화 온도-압력을 측정한 결과는 Table 12에 제시하였다. OS-12a 냉매의 경우 포화 온도-압력 특성은 R12 대비 동등 수준이며, R134a 대비 매우 양호한 특성을 보인다.

Table 10 Conditions of material compatibility test

Item		Specification
Refrigerant / Oil (wt %)		50 / 50
Temperature (°C)		130
Period (days)		14
Equilibrium Conditions	Temperature (°C)	130
	Pressure (kPa)	1960

Table 11 Results of material compatibility test

Item	Ref. Oil	R12	HC-Blend	CX	OS-12a		
		HTS 150	HTS 150	HTS 150	Freol a-22T	PAG 22	
Muff.-Body (PBT)	Oligomer	No	No	No	No	Little	Little
O-Ring (NBR)	Size	Good	Good	Good	Good	Good	Good
Pet.-Film (SR-53)	Flexible	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Ref. Oil	Color	L0.5	L1.0	L1.0	L1.0	L1.0	L1.0
	TAN (mgKOH/g)	0.10 ↓	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
	Water	20ppm ↓	0	0	0	0	0



- PV1,2 : Packless valve
- P1 : Pressure transmitter
- T1 : Temperature sensor
- CC1 : Cooling coil
- SCR1 : Power regulator
- EVI : Expansion valve
- SH : Sample shell
- BV1,2,3,4 : Ball valve
- PIC1 : Pressure indicator
- TIC1 : Temperature controller
- H1 : Electric heater
- M1 : Motor
- MP : Magnetic pump
- RT : Refrigerant tank

Fig. 4 Schematic diagram of equilibrium tester.

Table 12 Results of equilibrium test

Temp.(°C)	Refrig. Pressure (kPa)				
	R12	R134a	HC-Blend	CX	OS-12a
60	1516.4	1682.1	1571.3	1591.0	1548.5
55	1356.5	1490.8	1356.5	1421.0	1364.5
50	1208.4	1317.3	1261.4	1265.0	1220.0
45	1074.1	1159.4	1124.1	1122.0	1086.5
40	950.5	1016.2	997.6	991.5	964.5
0	303.3	292.5	326.8	311.4	315.5
-20	148.4	132.6	162.1	150.7	156.6
-25	120.9	106.2	136.7	123.2	128.8
-30	99.3	84.6	109.1	99.8	105.1
-35	80.7	67.0	89.5	80.0	84.9
-40	64.0	51.3	70.9	63.5	69.9

6. 결론

자동차 에어컨과 사용 조건이 유사한 제습기용 고온용 밀폐형 왕복동 압축기에 탄화수소계 냉매를 적용하여 각종 성능 및 신뢰성 실험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 고온용 표준(ASHRAE HBP) 조건에서 열량 측정 실험 결과 HC-Blend는 R12에 비하여 냉동능력은 동등 수준이나 효율(COP)이 3.8% 우수하게 나타났으며, OS-12a는 냉동능력은 2.8% 저하되나 효율이 9.0% 우수하였고, CX는 냉동능력 6.6%증가, 효율 4.6% 우수하였다. 특히 CX 냉매에서 증발/응축 과정의 온도구배는 0~0.4°C 정도로서 공비 혼합물과 유사한 특성을 보인다.

(2) 고온용 밀폐형 왕복동 압축기를 이용하여 각종 신뢰성 실험을 비교 수행한 결과 R12 대비 탄화수소계 혼합냉매(HC-Blend, CX)의 신뢰성은 우수한 것으로 확인되었으며, OS-12a 냉매의 경우 인화성 개선을 위하여 혼합된 첨가제가 신뢰성에 미치는 영향은 미미한 것으로 확인되었다.

(3) 포화 온도-압력 측정 실험 결과 OS-12a 냉매의 경우 증발/응축 압력 특성이 R12 대비 동등 수준이며, R134a 대비 우수한 특성을 보인다.

참고문헌

- Revis, E. and Bidone, A., 1994, Isobutane - propane mixtures : Comparison with traditional and non-traditional refrigerants, International Conference CFCs, THE DAY AFTER, Podova pp. 345-353

2. Lorentzen, G., 1994, Natural Refrigerants, A complete solution, International Conference CFCs, THE DAY AFTER, Podova, pp. 317-328.
3. Agarwal, R. S., 1996, Hydrocarbon blends- a simple alternative technology to CFC-12 for domestic refrigerator, International Conference on Ozone Protection technologies, October, USA.
4. Zhijing Liu, Imam Haider, Liu, B.Y., Reinhard Radermacher, 1994. Test results of hydrocarbon mixture in Domestic Refrigerators / Freezers, International CFC and Halon Alternatives Conference October 24-26, USA.
5. ASHRAE, 1978, Positive displacement refrigerant compressor methods of testing for rating, Standard 23.
6. General Electric, 1996. Compressor methods of testing for reliability Standard EPT516.C001~C004.
7. Desantis, R., Gironi, F. and Marreli, L., 1976, Vapor-Liquid equilibrium from a hard-sphere equation of state, Industrial and Engineering Chemistry, Fundamentals Vol.15, No. 3, pp. 183-189.
8. Gallagher, J. S., McLinden, M. O., Morrison, G., 1996, Thermodynamic diagrams for refrigerant mixtures, ASHRAE Trans. Vol. 94, pp. 2119-2136.
9. Prausnitz, J. M., Lichtenthaler, R. N. and de Azevedo, E. G., 1986, Molecular thermodynamics of fluid phase equilibria, 2nd ed, Prentice-Hall.
10. Gallagher, J., McLinden, M., Morrison, F., and Huber, M., 1996, NIST Thermodynamic properties of refrigerants and refrigerant mixtures data base (REFPROP), ver.5.10, NIST.
11. 오석재, Sato, 김기문, 1996, 냉매 조성물과 그 제조방법, 특허 출원번호 96-1318.