

저온용 밀폐형 왕복동 압축기에서 탄화수소계 냉매 적용

The application of hydrocarbon refrigerants in a hermetic reciprocating compressor for low back pressure conditions

김 기 문*, 박 희 용**
K. M. Kim, H. Y. Pak

Key words : Hydrocarbon refrigerant(탄화수소 냉매), Coefficient of performance(성적계수), Low back pressure(저온용), Volumetric capacity(체적 냉동능력), Pressure ratio(압축비), Total acid number(전산가), OS-21C II (탄화수소계 혼합냉매)

Abstract

The application of hydrocarbon refrigerants in a hermetic reciprocating compressor for refrigerator is investigated. The selected refrigerants are isobutane(R600a), propane(R290), R12, binary mixture of R600a/R290, and OS-21C II. Both theoretical and experimental investigations have been performed for the selected refrigerants. The test results of hydrocarbon refrigerants have been compared to the traditional refrigerant(R12). The results show that hydrocarbon refrigerants(HC-Blend, OS-21C II) are very good alternatives in the refrigeration system for R12.

기 호 설 명

a, a_0, a_1, a_2 : 상대방정식의 계수	T : 온도
a_{12} : 혼합냉매의 상태계수	v : 비체적
b, b_0, b_1, b_2 : 상대방정식의 계수	x_1, x_2 : 질량 분율
b_{12} : 혼합냉매의 상태계수	ϵ : 오차
k : 냉매에 관한 상호작용 계수	h : 엔탈피
k_{12} : 혼합 냉매에 관한 상호작용 계수	n : 시료수
kt : 온도에 관한 상호작용 계수	Blend-A : RC270/R600a 혼합냉매
P : 압력	HC-Blend : R290/R600a 혼합냉매
R : 일반기체 상수	

하첨자

c	: 응축
e	: 증발
exp	: 실험값

* 정회원, 한양대학교 대학원
** 정회원, 한양대학교 기계공학과

cal : 계산값

1. 서 론

CFC계 냉매가 오존층 파괴와 지구 온난화의 주 원인이라는 연구 결과에 따라 국제협약인 몬트리올 의정서에 의거하여 생산 및 사용이 규제되고 있다. 따라서 이를 보다 경제적이고 효과적으로 대체하기 위한 물질과 적용기술 개발이 절실하게 요구되고 있다. 현재의 국내외 사정을 종합하여 보면 탄화수소계 냉매와 R134a 냉매의 선택적 사용을 놓고 논의를 계속하고 있으며, 탄화수소계 냉매에 있어서도 단일 냉매(R600a)와 혼합냉매(주로 R600a와 R290의 혼합)의 사용 문제를 놓고 어느 것을 사용할 것인가 하는 논의를 계속하고 있다.^(1,2) R134a는 미국과 일본을 비롯한 세계 각국으로부터 대체 냉매로서 각광받고 있으나, 지구 온난화 지수(GWP)가 높아서 완전한 환경 친화적인 냉매로 인정받지 못하고 있다. 또한 냉동기유와의 상용성 확보를 위하여 특수 에스터 오일을 사용해야 하며, 이 오일의 아주 높은 수분 흡수 특성으로 인하여 냉동기 제조 과정에서 아주 엄밀한 공정 관리와 추가적인 설비투자, 부품 개발이 요구되고 있다.⁽³⁾ 반면 탄화수소계 냉매는 오존층 파괴와 지구 온난화와 같은 환경 문제가 전혀 없어 차세대 냉매로서의 기본적 조건을 충분히 가지고 있으며 종전의 R12 냉동기 시스템에 사용되는 팽윤와도 잘 혼합되는 장점을 가지고 있다.⁽⁵⁾ 따라서 유럽을 중심으로 연구에 박차를 가하고 있으며, 인화성 및 폭발성의 위험에도 불구하고 추가적인 안전장치의 채용으로 이미 유럽 및 아시아 지역의 일부 냉장고 제조 업체를 중심으로 상품화를 가속화하고 있다.⁽⁷⁾ R600a는 단일 성분의 유체이기 때문에 제조 및 서비스에서 취급이 용이하고 냉동 시스템의 설계 변경을 통하여 효율을 최대로 개선할 수 있으며 낮은 증기압 특성으로 인하여 소음 특성에서 유리한 반면, 체적 냉동능력이 R12 대비 저하되기 때문에 압축기 배기량을 크게 하여야 한다.^(8,9) 따라서 압축기 모터를 비롯한 냉동기 시스템의 전체적 설계 변경이 불가피하다. 특히 국내에서 판매되고 있는 420~600ℓ 급 중대형 냉장고의 경우에는 지금 사용되고 있는 왕복동 압축기를 두 대 적용해야 하므로 제조원가는 물

론 소음 및 효율 특성마저도 R12 냉동기에 비하여 크게 불리해진다.

본 연구에서는 냉장고, 쇼케이스 등의 냉동기에 사용되는 저온용 밀폐형 왕복동 압축기를 이용하여 성능 및 효율 평가실험, 파부하 신뢰성 실험등 각종 실험을 수행하였다. 또한 실험 결과 분석을 통하여 환경 친화적인 탄화수소계 신혼합냉매(OS-21CⅡ)와 R600a/R290 혼합냉매를 기존의 R12용 냉장고에 적용하였을 때 시스템의 설계를 변경하지 않고 냉매량의 조정만으로 제품화가 가능한지를 입증하는데 그 목적이 있다.

2. 탄화수소계 냉매의 열역학적 물성치

2.1 탄화수소계 냉매

열역학적인 사이클을 해석하는데 있어서 작동 유체의 물성치를 정확하게 예측하는 것은 매우 중요한 일이다. 본 연구에서 사용하고 있는 탄화수소계 신혼합냉매 OS-21CⅡ는 순수 탄화수소계 냉매가 가지고 있는 인화성 문제점을 개선하기 위하여 첨가제(난연성 실리콘의 2종)⁽¹²⁾를 혼합하였다. 첨가제의 영향을 고려한 냉매의 물성치 변화를 추가적으로 계산하기 위하여 실험값과 계산값의 오차가 최소가 되도록 온도에 따른 상호작용 계수값을 계산하였고, 이를 바탕으로 물성치를 계산하였다.

2.1.1 열역학적 상태 방정식의 선정

본 연구에서는 CSD 상태 방정식⁽¹³⁾을 사용하였다.

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

여기서,

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

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

$$b = b_0 + b_1 T + B_2 T^2 \quad (4)$$

2.1.2 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⁽¹⁶⁾을 이용하였다.

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

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

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

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

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

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

여기서 k_{12} 는 혼합 냉매의 상호작용 계수(interaction factor)이다. 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 kt 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.

Table 1 Interaction parameter for OS-21C II

T	k_{12}	T	k_{12}
-40	0.006543	10	0.016543
-30	0.014543	20	0.016543
-20	0.016543	30	0.017543
-10	0.016543	40	0.018543
0	0.002543	50	0.017543

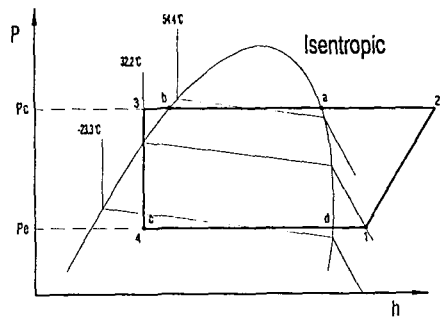


Fig.2 Pressure-enthalpy diagram for non-azeotropic mixtures(LBP)

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

이 결과를 바탕으로 온도 범위 $-40^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 에서 탄화수소계 신혼합냉매 OS-21C II에 대한 상호작용 계수 kt 와 오차 ϵ 와의 관계를 Fig.1에 도시하였고, 상호작용 계수 k_{12} 를 계산한 결과를 Table 1에 나타내었다.

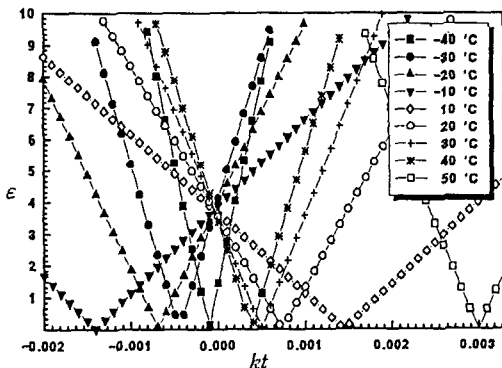


Fig.1 Interaction factor(kt) and error(ϵ) for OS-21C II

3. 냉매성질 및 이론적 사이클 특성

3.1 냉매의 열역학적 성질 비교

본 연구에서 선택한 냉매의 성질들은 Table 2와 같다. 즉 탄화수소계 냉매의 경우 프레온계 냉매 대비 가연성이 존재하는 것 이외에 열전도율과 증발잠열, 오존층 파괴지수, 지구온난화지수 등의 특성이 매우 우수함을 알 수 있다.

3.2 이론 사이클 적용 연구 결과

본 연구에서 선택한 여러 냉매에 대한 이론적인

Table 2 Thermophysical properties of refrigerants

Item \ Ref.		R12	R134a	R600a	R290	HC-Blend	OS-21C II
Chemical formula		CCL ₂ F ₂	CH ₂ FCF ₂	C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀ /C ₃ H ₈	HC-Mix.
Molecular weight		120.92	102.0	58.12	44.1	49.71	57.9
Boiling point (°C)		-29.8	-26.5	-11.7	-42.1	-29.9	-34.5
Toxicity		None	None	None	None	None	None
Flammability (%)		None	None	1.8~8.4	2.1~9.5	1.8~9.5	5.5~9.5
Erosion		None	None	None	None	None	None
Ignition temp.(°C)		None	None	460	450	450	950
Thermal conduct (W/m·K)	Liquid	0.068	0.083	0.1042	0.1077	0.10	0.10
	Vapor	0.0076	0.0102	0.0120	0.0147	0.01	0.01
Heat of Vapor (kJ/kg) (at 0°C)		149.8	198.7	355.7	374.5	367.0	366.0
ODP		1	0	0	0	0	0
GWP (CO ₂ =1. 100yr)		6900	1200	3	3	3	3
Stability	Thermal	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
	Chemical	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
Base oil		Mineral	Ester	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral

사이클 특성 해석을 위한 표준 조건은 ASHRAE LBP⁽⁶⁾ 조건으로 Fig.2에, 그 해석 결과는 Table 3에 제시하였다.

여기서 사이클 성능에 영향을 주는 인자에 대해서 자세히 고찰해 보기로 한다.

3.2.1 체적 냉동능력(Volumetric capacity)

Fig.3에 R12 대비 각종 냉매에 대한 체적 냉동능력을 나타내었다.

R600a의 경우 체적 냉동능력이 R12 대비 43% 정도 저하된다. R290의 경우 체적 냉동능력은 R12 대비 50%정도 우수하다.

HC-Blend(R290/R600a=60/40wt%) 및 탄화수 소계 신혼합냉매(OS-21C II)의 경우 체적냉동능력이 R12와 유사하여 곧바로 작용을 할 수 있는 조건을 갖추고 있다.

3.2.2 성적 계수(COP)

Fig.4에 각종 냉매의 COP를 나타내었다.

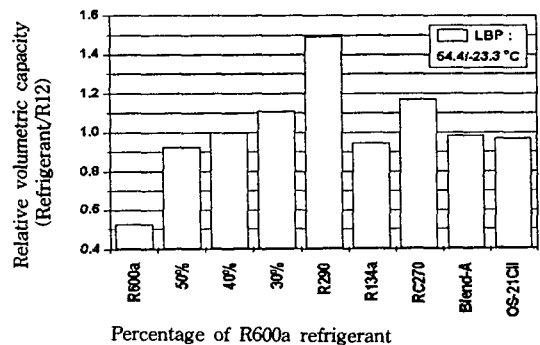


Fig.3 Volumetric capacity of the examined refrigerants

R600a의 경우 효율(COP) 특성이 가장 우수하며, HC-Blend 및 OS-21C II의 경우 R12 대비 효율이 동등 수준이다.

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

Fig.5에 각종 냉매의 압축비를 나타내었다.

Table 3 Theoretical performance of refrigerants for LBP conditions

	R12	R600a	RC270 /R600a (70/30)	R600a /R290 (50/50)	R600a /R290 (40/60)	R290	R134a	OS -21C II
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	761.4	1304	1280	1392	1883	1470	1347
Inlet (vapor) T. (°C)	54.4	54.4	55.51	57.64	57.31	54.4	54.4	57.47
Outlet (liquid) T. (°C)	54.4	54.4	53.27	51.19	51.52	54.4	54.4	51.34
Δt Condensation (°C)	0	0	2.24	6.45	5.79	0	0	6.10
Evap. mid. temp. (°C)	-23.3	-23.3	-23.3	-23.3	-23.3	-23.3	-23.3	-23.3
Evap. mid. press. (kPa)	132.8	62.43	126	121.0	136.0	216.6	114.8	130.0
Inlet (L+V) T. (°C)	-23.3	-23.3	-24.3	-26.2	-26.20	-23.3	-23.3	-26.20
Outlet (vapor) T. (°C)	-23.3	-23.3	-22.2	-20.3	-20.6	-23.3	-23.3	-20.5
Δt Evaporation (°C)	0	0	2.1	5.76	5.63	0	0	5.74
Pressure ratio	10.07	12.19	10.35	10.57	10.23	8.69	12.80	10.36
Discharge temp. (°C)	126.7	102.4	128.7	112.2	113.5	115.7	118.8	112.9
ρ_1 (Suc. density) (kg/m ³)	6.496	1.451	2.327	2.448	2.683	3.889	4.714	2.590
Volumetric capa. (kg/m ³)	220.7	116.5	216.9	201.6	222.2	329.2	209.1	214.1
Δh (evap.) capa. (kg/kg)	33.07	80.27	93.20	82.37	82.84	84.64	44.36	82.65
COP (w/w)	2.71	2.89	2.75	2.73	2.71	2.72	2.73	2.72
Molecular weight (g/mol)	120.9	58.1	46.9	51.1	49.7	44.1	102.0	57.9

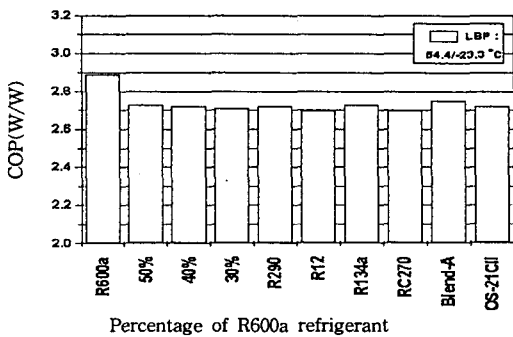


Fig.4 COP of the examined refrigerants

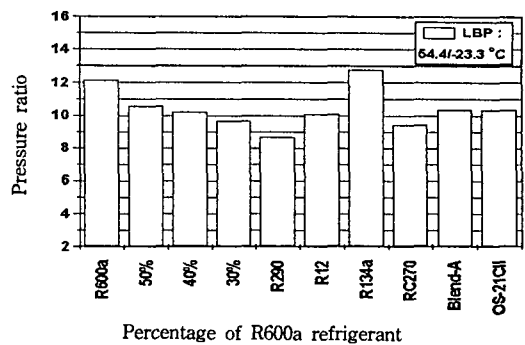


Fig.5 Pressure ratio of the examined refrigerants

R600a의 압축비는 R134a와 동등 수준이나 흡입 압력이 대기압 이하의 진공 상태로 운전되므로써 사이클 내로의 공기 침투가 용이하다. HC-Blend 및 OS-21CII의 경우 압축비 및 흡입/토출 압력이 R12와 동등 수준이다.

4. 실험 장치 및 측정 방법

본 연구에서는 압축기를 이용하여 여러 냉매에 대한 성능 및 효율 비교 평가를 위해서 Fig.6과 같은 열량계 장치를 사용하였다. 주요 장치 구성은 각 부

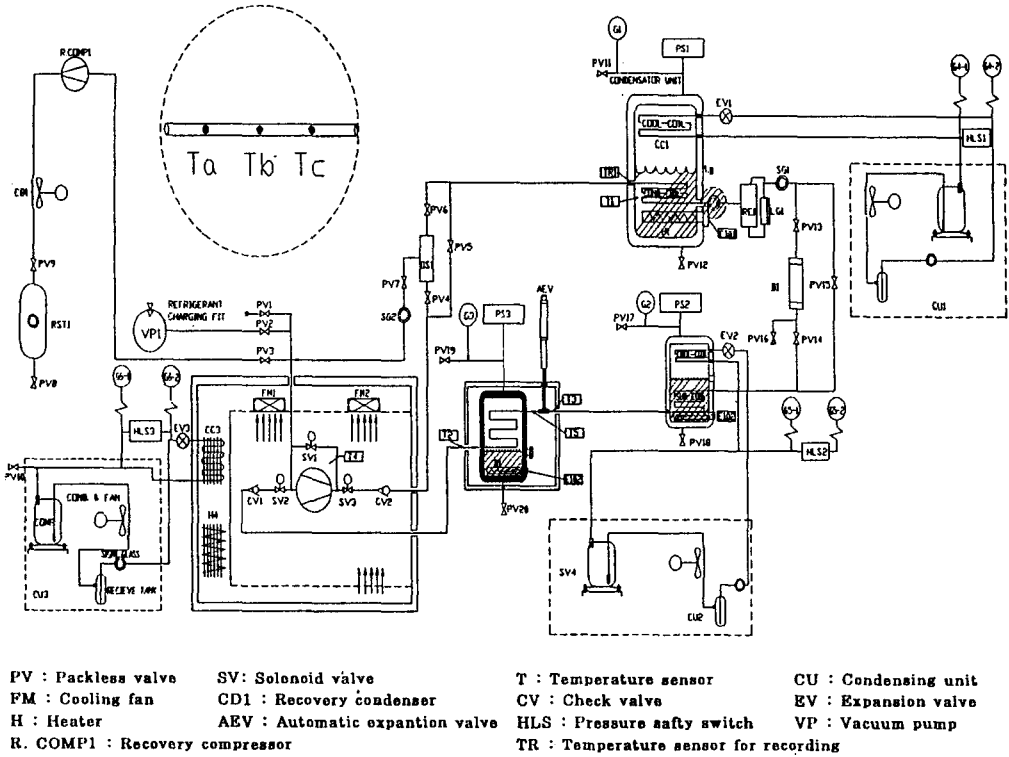


Fig.6 Schematic diagram of calorimeter for compressor

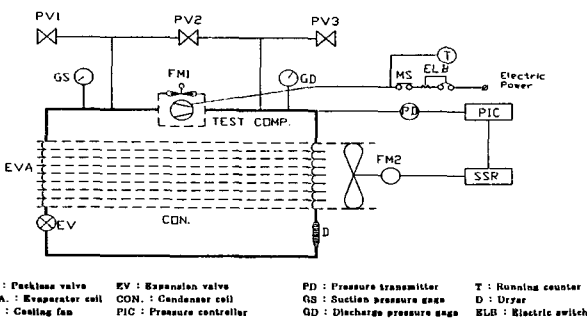


Fig.7 Schematic diagram of life tester

위의 온도와 압력 제어를 위한 응축기 유니트와 냉각기, 히터, 송풍기 그리고 자동 팽창 밸브로 이루어져 있다. 측정 방법은 ASHRAE LBP 조건⁽⁶⁾을 이용하였으며, 사이클의 평형 안정 기준은 온도 편차 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 압력 편차 $\pm 0.5\text{kPa}$ 로 하였다.

신뢰성 평가를 위해서는 G.E.사의 규격⁽¹⁷⁾을 적용하였고, Fig.7의 수명 실험 장치를 사용하였다. 주요

장치 구성은 온도와 압력 제어를 위한 히터, 송풍기 그리고 모세관으로 이루어져 있으며, 일체형 응축/증발기를 사용한 열전달 특성 개선으로 장치의 크기를 최소화하였다. 한편 냉매와 냉동유의 적합성 시험은 일본 표준 규격(JIS K 2211-1992)에 준하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 성능 및 효율평가 실험(Calorimeter test)

Table 4 Conditions of calorimeter test

Item Ref.	Con. T. (°C)	Con. P. (kPa)	Eva. T. (°C)	Eva. P. (kPa)	Remark
R12	54.4	1,344.7	-23.3	132.6	NIST ref.5.1
HC-Blend	57.3/51.5	1,391.8	-26.2/-20.6	136.0	
R600a	54.5	761.3	-23.3	62.5	
OS-21C II	57.5/51.5	1,327.1	-26.2/-20.5	127.8	Actual

Table 5 Results of calorimeter test

Refrigerant \ Item		Cooling Capac. (kcal/hr)	Input (W)	COP (w/w)	Current (A)	Temp. Glide (°C)	Dis. Temp. (°C)	Remark
PL25 (\bar{X})	R12	203.7	163.3	1.450	0.774	0/0	65.4	• Number of sample n=5
	HC-Blend	215.6	164.6	1.522	0.772	5.2/5.6	66.7	
	R600a	115.5	91.4	1.468	0.470	0/0	56.3	• Disp. of compress 6.7cc/Rev
	OS-21CII	203.1	157.1	1.502	0.732	6.0/5.7	65.2	
PL87 (\bar{X})	R12	265.8	228.2	1.354	1.353	0/0	77.9	• Number of sample n=4
	R600a (a)	153.7	134.0	1.333	1.350	0/0	57.3	
	R600a (b)	154.1	108.3	1.654	0.570	0/0	57.6	• Disp. of compress 8.7cc/Rev
	R600a (c)	153.2	110.8	1.607	0.567	0/0	56.0	

(a), (b), (c) : Type of motors in different stacking heights.

실험 조건 및 결과를 Table 4 및 5에 나타내었다. HC-Blend 냉매의 경우 R12 대비 냉동능력이 5.8%, 효율(COP) 5.0% 정도 우수하며, 전류 및 토출 온도 특성은 거의 동일하다.

한편 OS-21CII의 경우 R12 대비 냉동능력은 동등 수준, 효율은 3.5% 정도 개선되었고, 전류특성은 5.7% 감소함으로써 전반적으로 R12 대비 우수한 성능 특성을 보인다. OS-21CII와 HC-Blend의 경우 R12 대비 용축압력 -1.3%~3.5%, 증발압력 -3.6%~2.5% 범위내에 존재하는 특성을 보임으로서 동등 수준의 성능 특성을 이용하여 기존의 R12 시스템의 설계 변경없이 곧바로 적용할 수 있는 조

건을 가지고 있음을 확인하였다. 증발/용축 과정에서의 온도구배 특성은 5.2°C~6.0°C 수준이다.

R600a의 경우 동일 압축기에서 냉매만 변경 적용시 R12 대비 냉동능력은 -43.3%~-42.2%, 전

Table 6 Conditions of heavy load life test

Item	Specification
Suction pressure (kPa)	147
Discharge pressure (kPa)	2,940
Running time (hr)	1,000
Compressor case temperature (°C)	90

Table 7 Results of heavy load life test

Item \ Ref. Spl.	R12		HC-Blend		R600a		OS-21C II		
	NO.H	NO.1	NO.206	NO.214	NO.Q	NO.T	NO.210	NO.213	
Compressor	PL25YG		PL25YG		PL25YG		PL25YG		
Suc. Valve	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	Sluged	GOOD	GOOD	GOOD	
Dis. Valve	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	Sluged	GOOD	GOOD	GOOD	
Piston	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	
Ref oil	Color	L0.5	L0.5	L1.0	L0.5	L1.0	L1.0	L1.5	L1.5
	TAN(mgKOH/g) max. 0.10	0.013	0.007	0.014	0.016	0.014	0.015	0.152	0.085
	Water(ppm) max. 20	0	0	0	0	0	0	0	10
	Type	Freol R22T		Freol R22T		Freol R22T		Freol R22T	

류는 -39.3%~-16.1% 정도 감소하며 효율은 동등 수준을 보이나, 적정 배기량 선정과 모터 개선 적용시 냉동능력 및 효율을 22% 향상할 수 있음을 확인하였다.

5.2 과부하(Heavy Load) 수명 실험

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

HC-Blend와 R600a의 경우 모두 R12 대비 동등 수준의 양호한 신뢰성을 보인다. OS-21CⅡ의 경우 냉동유의 전산가는 업체 추천 규격⁽¹⁷⁾을 조금 상회하나 전반적으로 밸브 운동부 및 기계 구동 마찰 부분의 신뢰성이 R12 대비 동등 수준이며, 냉동

유의 전산가 상승 부분에 대해서는 개선 대책이 필요하다.

5.3 모세관 막힘(Capillary blockage) 실험

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

HC-Blend의 경우 냉동유의 전산가는 일부 시료에서 추천규격을 조금 상회하나 모세관 입출구의 오염현상과 이로인한 냉매유량의 변화율은 추천 규격을 만족한다. 운동 마찰부의 마모특성은 양호한 수준이다.

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 0.70×2,120
Dryer	- XH-5

Table 10 Conditions of rapid and on-off life test

Item	Test	
	Rapid cycle	On-Off cycle
Suc. Press.(kg/cm ²)	1.0±0.5	1.0±0.5
Dis. Press.(kg/cm ²)	23±2	23±2
On/Off Time(min)	0.25/0.25	15/45
Comp. Case Temp.(°C)	90±5	90±5°C
Running Time(hr)	1000	1000
Compressor(type)	PL25YG	PL25YG
Ref. Oil(type)	Freol S22T	Freol S22T

Table 9 Results of capillary blockage test

Item	Refrigerant Sample	HC-Blend		OS-21CⅡ		Remark
		NO.002	NO.005	NO.014	NO.015	
Compressor		PL25YG		PL25YG		
Suc. Valve		GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	
Block		GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	
Refrigerant Oil	Color	L2.0	L1.0	L3.0	L1.5	
	TAN(mgKOH/g) max. 0.1.0	0.140	0.084	0.1506	0.0456	
	Water(ppm) max. 20	19.5	10.4	0	0	
	Type	Freol S22T		Freol S22T		
Capillary State	Flow change rate	3%	2%	5%	2%	Max. 10%
	Inlet tube	GOOD	GOOD	Pollution	GOOD	
	Outlet tube	GOOD	GOOD	Pollution	GOOD	

OS-21CII의 경우 고온 마찰 부분의 탄화현상과 동도급 현상이 미세하게 발생하였다. HC-Blend에 서와 같이 일부 시료에서 냉동유의 전산가는 추천 규격을 조금 상회하나, 모세관 입출구의 오염현상과 이로인한 냉매 유량의 변화율은 추천 규격을 만족 한다.

Table 11 Results of rapid end on-off life test

Item	Test Ref.	Rapid cycle		On-Off cycle		Remark
		OS -21CII	HC -Blend	OS -21CII	HC -Blend	
Suc.& Dis.valve		GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	
Piston & block		GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	
Ref. oil	Color	L1.0	L1.0	L1.0	L1.0	
	TAN	0.05	0.03	0.05	0.02	
	Water	16.3	0	15.3	0	

Table 12 Conditions of autoclave test

Item	Specification
Refrigerant/Oil (wt%)	50/50
Temperature (°C)	130
Period (days)	14
Equilibrium Temperature (°C)	130
Conditions Pressure (kPa)	1,960

Table 13 Results of autoclave test

Material	Test	Before test	After test			
			CFC-12	HC-Blend	R600a	OS-21CII
Muff.-body(PBT)		Oligomer	GOOD	GOOD	GOOD	Pollution
O-ring(NBR)		Size	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD
Gasket(Tombo-1901)		Size	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD
Pet.-tube(φ 2.5)		Flexibility	GOOD	GOOD	GOOD	Pollution
Pet.-film(SR-53)		Flexibility	GOOD	GOOD	GOOD	Pollution
Ref.-oil (Freol S22T)	Color	L0.5	L0.5	L1.0	L0.5	L1.0
	Tan (mgKOH/g)	0.10 ↓	0.013	0.025	0.020	0.103
	Water(ppm)	20 ↓	8.8	0	0	0

5.4 순간 및 휴지 사이클 수명 실험

이 실험의 조건과 그 결과를 각각 Table 10 및 11에 제시하였다.

HC-Blend와 OS-21CII의 경우 모든 반복적인 순간 및 휴지실험 결과 마찰 마모 특성과 냉동유의 전반적 특성이 매우 양호하다.

5.5 자재 적합성(Autoclave) 실험

이 실험 Table 12와 같은 조건에서 수행하였고, 그 결과는 Table 13에 제시하였다.

HC-Blend와 R600a의 경우 모두 R12 대비 동 등 수준의 품질특성을 확보할 수 있다.

OS-21CII의 경우 Pet-Film류의 유연성은 양호 하나, PBT와 Film류의 오염 현상이 발생하였으며, 냉동유의 전산가가 추천 규격을 상회한다.

5.6 저온특성(Flock point) 실험

실험 조건은 JIS K 2211-1992의 규격에 준하였고, 그 결과는 Table 14에 제시하였다.

Table 14 Results of floc point test

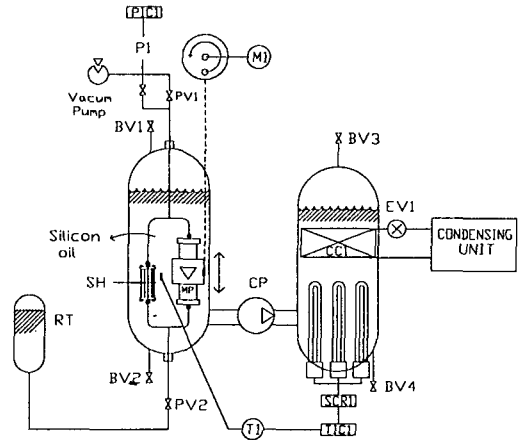
Item	Oil	Freol S22T			
		R600a Blowing	R12 Blowing	HC-Blend Blowing	OS-21CII Blowing
Floc point(°C)		< -50	< -50	< -50	< -50

Table 15 Conditions of falex extreme pressure test

Item		Specification
Materials	Pin(Steel)	SAE 3135
	V-Block(Steel)	AISI C1137
Conditions	Refrig. Blowing (ml/min.)	70
	Temperature (°C)	60
	Rotating speed (rpm)	300

Table 16 Result of falex extreme pressure test

Item	Oil Ref	Freol S22T			
		R600a Blowing	R12 Blowing	HC-Blend Blowing	OS-21C II Blowing
Falex extreme press.(lbf)		440	520	440	480



- PV1,2 : Packless valve
- P1 : Pressure transmitter
- T1 : Temperature sensor
- SCR1 : Power regulator
- EV1 : 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.8 Schematic diagram of equilibrium tester unit

Table 17 Results of 2 phase separation test

Item	Oil Ref	Freol S22T							
		R600a		R12		HC-Blend		OS-21C II	
Phase separation temp.(Low/High)		Low	High	Low	High	Low	High	Low	High
Oil/Ref (wt%)	1/9	-	-	-47	>90	-60	>90	-60	>90
	2/8	-60	>90	-45	>90	-55	>90	-55	>90
	4/6	-45	>90	-43	>90	-44	>90	-44	>90
	6/4	-	-	-41	>90	-42	>90	-42	>90
	8/2	-	-	-37	>90	-38	>90	-38	>90

HC-Blend 및 OS-21C II 모두 R12 대비 동등 수준이다.

5.7 내마모(Falex extreme pressure) 실험

이 실험은 Table 15의 조건에서 수행되었으며, 그 결과는 Table 16에 제시하였다.

OS-21C II의 경우 첨가제의 영향으로 R600a 대비 9% 정도 개선되었다.

5.8 냉동유 2상 분리(2 Phase separation) 실험

냉동유와 냉매를 중량비(wt%)로 혼합한 후 온도를 서서히 내리면서 냉동유가 분리되는 온도값을 측정하였고, 그 결과는 Table 17에 제시하였다. HC-Blend 및 OS-21C II 모두 R12 대비 우수하다.

Table 18 Results of equilibrium test

Temp. (°C)	Refrigerant				
	R12	R134a	R600a	HC-Blend	OS-21CⅡ
60	1,516.4	1,682.1	868.2	1,571.3	1,548.5
55	1,356.5	1,490.8	772.1	1,356.5	1,364.5
50	1,208.4	1,317.3	683.8	1,261.4	1,220.0
45	1,074.1	1,159.4	603.4	1,124.1	1,086.5
40	950.5	1,016.2	520.8	997.6	964.5
0	303.3	292.5	156.2	326.8	315.5
-20	148.4	132.6	71.8	162.1	156.6
-25	120.9	106.2	58.2	136.7	128.8
-30	99.3	84.6	46.4	109.1	105.1
-35	80.7	67.0	36.6	89.5	84.9
-40	64.0	51.3	27.8	70.9	69.9

5.9 포화 온도-압력 측정 실험

이 실험 장치는 Fig.8과 같으며 크게 평형장치, 냉매 회수용 탱크, 평형 장치의 온도제어를 위한 장치로 구성되어 있고, 평형 장치는 다시 평형 셀과 마그네틱 펌프로 이루어져 있다.

이 실험 장치를 이용하여 $-40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 범위에 걸쳐 각 냉매의 포화 온도-압력을 측정된 결과는 Table 18에 제시하였다. OS-21CⅡ 냉매의 경우 R12 대비 포화 온도-압력 특성은 고온측 2.1%, 저온측 6.6% 범위내에 존재한다.

6. 결 론

냉장고, 쇼케이스 등에 사용되는 저온용 밀폐형 왕복동형 압축기에 탄화수소계 냉매를 적용하여 각종 성능 평가 실험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) ASHRAE LBP 조건에서 R12 대비 열량측정 실험 결과 R600a의 경우 냉동능력은 43% 정도 저하되나, 적정 배기량 선정과 모터개선 적용으로 효율(COP)특성은 22% 정도 개선이 가능하다. HC-Blend의 경우 냉동능력 및 효율 특성이 모두 5% 정도 우수하였고, OS-21CⅡ의 경우 동등 수준이다.

2) 저온용 밀폐형 왕복동 압축기를 이용하여 신

뢰성 실험을 비교 수행한 결과, R12 대비 탄화수소계 냉매(R600a, HC-Blend)의 신뢰성은 우수한 것으로 확인되었으며, OS-21CⅡ의 경우 인화성 개선을 위하여 혼합된 첨가제가 신뢰성에 미치는 영향은 미세한 것으로 확인되었다.

3) 포화 온도-압력 측정 실험 결과 HC-Blend 및 OS-21CⅡ의 경우 R12 대비 2.1~6.6% 범위내에 존재한다. 이상의 HC-Blend 및 OS-21CⅡ에 대한 각종 성능 및 신뢰성, 압력특성 실험 결과를 종합하면 현재의 R12 냉장고 시스템의 설계를 변경하지 않고 냉매량 조정만으로 적용이 가능함을 확인하였다.

4) 온도에 관한 상호작용 계수값을 이용하여 탄화수소계 신혼합냉매 OS-21CⅡ의 물성치를 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

참 고 문 헌

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

- Podova pp. 345~353.
2. G. Lorentzen, 1994, "Natural refrigerants, a complete solution", International Conference CFCs, THE DAY AFTER, Podova, pp. 317~328.
 3. R. S. Agarwal, 1996, "Hydrocarbon blends-a simple alternative technology to CFC-12 for domestic refrigerator", International Conference on Ozone Protection Technologies, October, USA.
 4. J. Gallagher, M. McLinden, F. Morrison, and M. Huber, 1996, "NIST Thermodynamic properties of refrigerants and refrigerant mixtures data base (REFPROP)", ver.5.1, NIST.
 5. Zhijing Liu, Imam Haider, B.Y. Liu, Reinhard Radermacher, 1994, "Test results of hydrocarbon mixture in domestic refrigerators/freezers", International CFC and Halon Alternatives Conference, October 24-26, USA.
 6. ASHRAE, 1978, "Positive displacement refrigerant compressor methods of testing for rating", Standard 23.
 7. 정동수, 1996, "신냉매 개발동향", 공기조화 냉동공학 제25권 제6호
 8. 김만희, 박윤서, 1996, "신냉매 적용 냉동공조기기 개발동향", 공기조화 냉동공학 제25권 제6호
 9. 주종문, 박영무, 1996, "R-22 대체용 혼합냉매의 Drop-In 열역학적 성능계산", 공기조화 냉동공학회, 96년도 하계 학술대회 논문집.
 10. 김민수, 1995, "탄화수소냉매를 사용하는 히트펌프의 성능해석", 대한기계학회, 95년도 추계 학술대회 논문집(II), pp. 646~651.
 11. 장세동, 노승탁, 1994, "R-12의 대체냉매를 사용한 공기조화기의 성능 시뮬레이션", 공기조화 냉동공학 논문집 제6권, 제1호, pp. 47~53.
 12. 오석재, Sato, 김기문, 1996, "냉매 조성들과 그 제조방법", 특허 출원번호 96-1318.
 13. Desantis, R., Gironi, F. and Marrelli, L., 1976, "Vapor-Liquid equilibrium from a hard-sphere equation of state", Industrial and Engineering Chemistry, Fundamentals, Vol. 15(3), pp. 183~189.
 14. Prausnitz, J. M., Lichtenthaler, R. N. and de Azevedo, E. G., 1986, "Molecular thermodynamics of fluid phase equilibria", 2nd ed. Prentice-Hall.
 15. 김창년, 박영무, 1996, "HFC32/134a계의 기액상평형", 대한기계학회, 96년도 춘계학술대회 논문집 B, pp. 411~416.
 16. J. S. Gallagher, M. O. McLinden, G. Morrison, 1996, "Thermodynamic diagrams for refrigerant mixtures", ASHRAE Trans. Vol. 94, pp. 2119~2136.
 17. General Electric Co., 1996, "Compressor methods of testing for reliability", Standard EPT516. C001~C004.