

과냉각도에 따른 R410A 대체 냉매의 냉방 성능비교

Comparison of Cooling Performance of R410A Alternative Refrigerant by Subcooling

정광무* · 이준혁** · 차승윤** · 강민우** · 손창효**†

Kwang-Moo Jeong*, Jun-Hyuk Lee**, Seung-Yun Cha**, Min-Woo Kang**
and Chang-Hyo Son**†

(Received 12 February 2025, Revision received 26 May 2025, Accepted 26 May 2025)

초록 : HFC계 냉매는 기존 냉매에서 ODP를 고려하여 사용되었으나, 높은 GWP로 인하여 2016년 키갈리 개정에 따라 사용이 단계적으로 감축되어야만 한다. 이에 따라 HFC계 냉매에서 대표적인 R410A 냉매를 대체하는 냉매를 찾아야 할 필요성이 커졌다. 기존 다양한 연구는 R410A와 유사한 성능을 가진 냉매를 찾기 위해 진행되었으나, 추가적으로 성능향상에 대한 연구는 부족한 상황이다. 본 연구에서는 R410A의 대체 냉매 특성을 비교하고, 내부 열교환기를 적용한 시뮬레이션을 통해 과냉각도가 성능 향상에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, HFC계 냉매인 R32를 제외하고 R455A가 R410A와 매우 유사한 냉동용량과 COP 등을 보였다. 따라서 이를 검증하고자 향후에는 실제 냉매를 사용한 실험을 통해 시뮬레이션 결과의 유사성을 검증할 계획이다.

키워드 : 과냉각도, 내부 열교환기, 오존 파괴 지수, 지구온난화지수, 성능계수

Abstract : The use of HFC-type refrigerants was considered due to their ODP, but because of their high GWP, their use must be reduced step by step according to the revision of the Kigali Amendment in 2016. Accordingly, the need to find a refrigerant to replace the widely used R410A refrigerant has increased. Various studies have been conducted to find a refrigerant with performance similar to that of R410A, but research on performance improvement remains insufficient. In this study, the alternative refrigerant characteristics of R410A were compared, and the effect of subcooling on the improvement of refrigeration capacity was analyzed through a simulation that applies an internal heat exchanger. As a result, with the exception of the HFC-type refrigerant R32, R455A showed very similar refrigeration capacity, COP, etc. In the future, it is planned to verify the similarity of the simulation results through experiments using actual refrigerants.

Key Words : Subcooling, Internal Heat Exchanger, ODP, GWP, COP

**† 손창효(<https://orcid.org/0000-0002-2143-0515>) : 교수,
국립부경대학교 냉동공조공학과

E-mail : sonch@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6183

*정광무(<https://orcid.org/0009-0008-4665-7928>) : 선임연구
원, 한국산업인력공단

**이준혁(<https://orcid.org/0000-0002-4575-8099>) : 박사, 국
립부경대학교 냉동공조공학과

**차승윤(<https://orcid.org/0000-0002-5733-1957>), 강민우
(<https://orcid.org/0009-0007-4810-7957>) : 대학원생, 국립부
경대학교 냉동공조공학과

**† Chang-Hyo Son(<https://orcid.org/0000-0002-2143-0515>) :
Professor, Department of Refrigeration and Air-Conditioning
Engineering, Pukyong National University.

E-mail : sonch@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6183

*Kwang-Moo Jeong(<https://orcid.org/0009-0008-4665-7928>) : Research
engineer, Human Resources Development Service of Korea.

**Joon-Hyuk Lee(<https://orcid.org/0000-0002-4575-8099>) : Ph.D.,
Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering,
Pukyong National University.

**Seung-Yun Cha(<https://orcid.org/0000-0002-5733-1957>) : Min-Woo
Kang(<https://orcid.org/0009-0007-4810-7957>) : Graduate student,
Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering,
Pukyong National University.

— 기 호 설 명 —

COP	: Coefficient of Performance [-]
h	: Enthalpy [kJ/kgK]
m	: Mass flow rate [kg/s]
Q _c	: Cooling capacity [kW]
V	: Volume flow rate [m ³ /s]
W	: Compressor work [kW]

그리스 문자

ρ	: Density [kg/m ³]
η	: Efficiency [-]

하첨자

c	: Compression
comp	: Compressor
eva	: Evaporator
in	: Inlet
out	: Outlet
v	: Volumetric

1. 서 론

전 세계적으로 지구온난화 등 환경문제가 심각하게 직면하고, 불안정한 국제정세에 따른 석유 등 화석연료 공급의 차질로 국가별 몸살을 앓고 있는 실정이다. 이에 따라 공조냉동업계에서도 사용 냉매에 대한 규제에 지속적인 변화를 주어야 했다.¹⁻³⁾ 그동안 히트펌프에는 오존파괴지수(ODP)만을 고려하여 HFC계 냉매(HFC407C, HFC410A 등)를 주류로 사용하였다. 그러나 이러한 냉매는 ODP가 0이지만, 누설 시 구성 냉매 비율의 변화에 따른 재충전이 어렵고, 지구온난화지수(GWP)가 크다는 문제로 지구환경보호 규제 즉, 단계적 감축 대상으로 여겨져 대체 냉매 사용이 필수적으로 요구되고 있다.⁴⁻⁶⁾ 이러한 배경으로 해외 공조냉동업계에서는 Low GWP와 냉매량 저감 등의 목적으로 오래전부터 HFC32(이하 R32)를 개발 및

적용하였다. 즉, R32는 단일냉매로서 열역학적 성능이 우수하며, GWP가 675로 R410A 대비 1/3 수준으로 낮아 비교적 친환경적인 이점이 있다. 또한 비교적 적은 냉매충전으로 향상된 시스템 효율의 결과를 보여 R410A의 대체 냉매로 R32가 효과적이라는 다양한 연구결과로 현재까지도 다양한 분야에 적용되고 있다.⁷⁾

Pande 등⁸⁾은 R32가 R410A 대비 냉방 시 냉방능력이 약 6.8%, COP가 약 1.8% 정도 증가됨을 보였고, 난방 시 난방능력이 약 7.2%, COP가 약 4.3% 증가된 결과를 확인하였다.

Pham 등⁹⁾은 R410A 대비 냉방능력이 약 3.3%, COP가 약 1.7% 증가됨을 보였고, 난방능력 약 3.9%, COP가 0.9% 증가된 결과를 확인하였다. Xu 등¹⁰⁾은 vapor injection 유무에 따른 R32와 R410A 간 특성을 비교하였고, 냉방능력이 약 3.7%, COP가 약 2.5% 증가된 결과를 확인하였다.

그러나 지구온난화 등 환경문제가 가속화됨에 따라 ‘몬트리올 의정서 당사국총회’에서 기존 오존층파괴 물질 외에 강력한 지구온난화 물질인 수소불화탄소(HFCs) 사용 규제를 위한 ‘키갈리 개정서’를 채택(‘16.10월)하였다. 이 개정서를 비준한 국가는 198개국 중 137개국으로 대한민국이 포함된 A5 Group 1의 국가들은 2024년도부터 2045년까지 기준 수량의 약 80% 정도 감축을 목표(A2 그룹인 미국, 캐나다, 유럽의 다수 국가들은 2019년까지 HFC 냉매 사용량의 10%를 감축하는 것을 시작으로 2036년까지 85%를 감축하는 목표)로 하고 있다. 이를 대응하기 위해 국내에서는 “오존층 보호 등을 위한 특정물질의 관리에 관한 법률” 개정을 통해 특정물질의 정의에 HFC를 추가하였고, 제2종으로 구분하여 감축목표를 수립하고 ’24년부터 키갈리 개정서에 따라 제2종 특정물질(HFCs)에 대한 신규 감축에 노력하여야 한다.

현재도 국내 히트펌프 시장에 대부분 불소화 온실가스가 포함된 R410A, R32가 사용되고 있어 국내 공조냉동업계에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상되며, 사용 냉매를 불소화 온실가스가 포함되지 않은 R290(Propane) 등으로 대체하여야 하나, 비교적 높은 단가는 산업에 있어 부담을 주는 부

정적 요소 중 하나가 된다. 따라서 R290 외에도 R410A를 대체할 수 있는 HFO계열인 여러 가지 혼합 냉매들(R455A, R454C, R454A, R444B, R446A, R454B, R447A, R450A, R452B 등)에 대해 사이클 비교를 통한 대체 냉매 연구가 다양하게 이루어지고 있다.¹¹⁾

종래에는 R410A와 같은 기존 사용 냉매에 대한 사이클 성능개선을 위해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 대체 냉매를 적용하였을 때 R410A와의 성능 유사성 또는 성능을 향상시키기 위한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 HFC계 냉매 중 산업분야에 많이 활용되고 있는 R410A의 대체 가능한 냉매를 모색하기 위해 다양한 냉매들의 화학적, 환경영향, 열역학적, 안전성 등을 고려하여 특성을 비교하였다. 추가로 냉동용량 향상을 기대하며 과냉각도(Subcooling, 이하 SC)의 영향 등을 파악하기 위해 내부열교환

기(Internal heat exchanger, 이하 IHX)를 적용하여 대체 냉매가 적용된 시스템에서 SC가 시스템에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

2. 시뮬레이션 모델

2.1 시스템 구성도

Fig. 1은 IHX를 설치한 냉동시스템 개략도를 나타낸다. 시스템은 압축기, 응축기, IHX, 팽창밸브, 증발기로 구성된다. 즉, 1단압축 시스템에 보조장치로 IHX를 설치한 것으로 응축기 출구의 고온 액체 냉매와 증발기 출구의 저온 기체 냉매 간 열교환이 이루어져 SC와 과열도(Superheating, 이하 SH)를 확보할 수 있다. 확보된 SC로 냉동용량을 향상시킬 수 있으며, SH를 통해 압축기로 흡입되는 액체 냉매를 최소화하여 액압축을 방지할 수 있다.

Table 1 Properties of alternative refrigerants

Type	Refrigerant	Molar mass (kg/kmol)	NBP (°C)	Critical temperature (°C)	Critical pressure (MPa)	ODP	GWP	ASHRAE safety class
-	R410A	72.6	-51.4	71.3	4.901	0	2,088	A1
Natural gas	R744	44.01	-78.464	30.978	7.377	0	1	A1
HFC	R32	52.024	-51.651	78.105	5.782	0	675	A2L
	R440A	66.2	-25.5	112.891	4.5356	0	144	A2
HC	R290	44.096	-42.114	96.74	4.251	0	~20	A3
	R600A	58.12	-11.75	134.7	3.6	0	3	A3
	R1270	42.08	-48.8	91.1	45.6	0	2	A3
	R436B	49.9	-33.4	117.4	4.2	0	3.16	A3
	R511A	44.2	-42.1	96.97	4.288	0	3.9	A3
	R441A	48.3	-41.9	117.26	4.404	0	3.6	A3
HO	R433A	43.5	-44.6	94.229	4.342	0	2.85	A3
	R433C	43.6	-44.3	94.784	4.3305	0	2.93	A3
	R433B	44	-42.7	96.337	4.267	0	3.23	A3
HFO	R1234yf	114.04	-29.485	94.7	3.3822	0	<1	A2L
	R1234ze(E)	114.04	-18.973	109.36	3.634	0	<1	A2L
	R454C	90.8	-45.9	85.67	4.3187	0	146	A2L
	R455A	87.5	-52.3	85.61	4.6538	0	146	A2L
	R1336mzz(Z)	164.0	33.4	171.3	2.9	0	2	A1

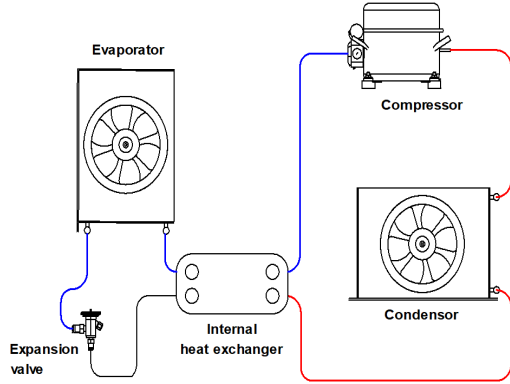


Fig. 1 Schematic of refrigeration system with an internal heat exchanger

2.2 대체 냉매 후보군 선정

R410A 냉매에 대한 대체 냉매 후보군은 자연 냉매 및 HFC, HC, HO, HFO 계열 중 비교적 GWP가 낮은 일부 냉매를 선정하였다. Table 1은 선정된 대체 냉매의 열역학적 주요 성능을 R410A 냉매와 비교하여 나타냈다.

2.3 에너지 모델

시스템의 성능을 분석하기 위해 먼저 냉동용량의 경우 아래의 식 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$Q_e = m \times (h_{eva, out} - h_{eva, in}) \quad (1)$$

압축기에서의 소비전력은 식 (2)를 사용하여 계산하였으며, 질량유량의 경우 식 (3)을 통하여 계산하였다.

$$W = \frac{m(h_{comp, out} - h_{comp, in})}{\eta_c} \quad (2)$$

$$m = \rho_{comp, in} \times V \times \eta_v \quad (3)$$

COP는 식 (1)과 식 (2)를 통해 계산된 값을 사용하여 식 (4)를 통해 계산하였다.

$$COP = \frac{Q_e}{W} \quad (4)$$

3. 시뮬레이션 조건 및 방법

본 시뮬레이션에 적용된 조건은 Table 2와 같다. 먼저 응축온도는 KS B ISO (물대물 히트펌프의 KS 규격)의 냉각수 공급온도 기준보다 10℃ 높은 35℃로 설정하였고, 증발온도 역시 KS 규격에 명시된 냉수 온도보다 10℃ 낮은 2℃로 설정하였다. 압축기의 체적효율과 압축효율은 각각 75%로 설정하였다. 또한 본 논문은 기존의 R410A 시스템에 drop-in 가능 냉매를 시뮬레이션을 통해 모색하고자 하는 바, 시스템의 체적유량(압축기의 토출량을 17.3 m³/h로 가정)을 고정변수로 설정하였다.

시뮬레이션은 앞서 서술한 조건에 따라 다음과 같이 진행하였다. 먼저, Table 2의 시뮬레이션 조건에서 R410A와 유사한 냉방용량을 구현하는 냉매를 모색하는 데 주안점을 두었다. 성능 분석을 위한 시뮬레이션은 Matlab에 Refprop 냉매 물성치 프로그램과 연동하였으며, 2.3절 열역학 모델링 수식을 통하여 필요한 데이터를 수집하였다.

Table 2 Simulation conditions

Parameter	Value	Unit
Condensation temperature	35	℃
Evaporation temperature	2	℃
Compressor displacement	17.3	m³/h
Compressor volumetric efficiency	0.75	-
Compressor adiabatic efficiency	0.75	-

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

R410A를 대체할 냉매를 모색하는데 주안점을 두고 시뮬레이션을 수행하였으며, 다양한 변수를 두어 R410A의 특성과 유사성을 파악하고자 하였다. Fig. 2는 SC에 따른 R410A 대비 대체 냉매의 냉방용량을 비교한 것이다. SC 증가에 따라 냉방용량은 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 SC 증가에 따라 증발기로 들어가는 냉매 건도가 감소하였으며, 그로 인한 증발기에서의 엔탈피의 차이가 증가하였기 때문이다.¹²⁾ 그러나 R32를 제외하고,

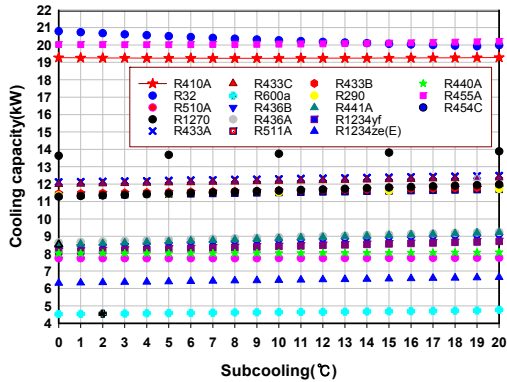


Fig. 2 Cooling capacity according to Subcooling between R-410A and selected alternative refrigerants

Low GWP인 냉매 모두 R410A 대비 냉방용량이 현저하게 낮은 것에 반해, R455A는 R410A와 매우 유사한 경향을 나타냈다.

동일 조건에서 유사한 냉방용량 결과를 토대로 R410A를 대체할 냉매의 가능성을 R455A에 포커싱하여 다른 변수 변화를 분석하였다. Fig. 3은 SC에 따른 R410A 냉매와 비교한 대체 냉매의 압축기 소비동력을 비교한 것이다. 일반적으로 SC가 증가하면 압축기 흡입가스의 과열로 압축기의 소비동력은 증가한다. 이러한 측면으로 R410A 냉매를 포함한 대부분 냉매는 SC 증가에 따라 압축기 소비동력이 증가하였지만, R455A 냉매의 경우 SC 증가에 따른 압축기 소비동력이 감소하였다. 압축기 소비동력은 냉매순환량과 압축기 입·출구 간 엔탈피 차이의 곱으로 구해지며, R410A는 SC가 증가하는 경우, 냉매순환량 감소폭은 약 16%, 압축기 입·출구 간 엔탈피 증가폭은 약 20% 정도로 나타났다. 즉, 냉매순환량 감소의 영향보다 압축기 입·출구 간 엔탈피 차이 증가의 영향이 커 압축기 소비동력이 증가하였다. 이와 반대로 R455A는 SC가 증가하는 데 냉매순환량 감소폭은 약 14%, 압축기 입·출구 간 엔탈피 증가폭은 약 13% 정도로 나타났다. 즉, 냉매순환량 감소의 영향이 압축기 입·출구 간 엔탈피 차이 증가의 영향보다 커 압축기 소비동력이 감소하는 경향을 보이는 것으로 분석된다(Fig 4).

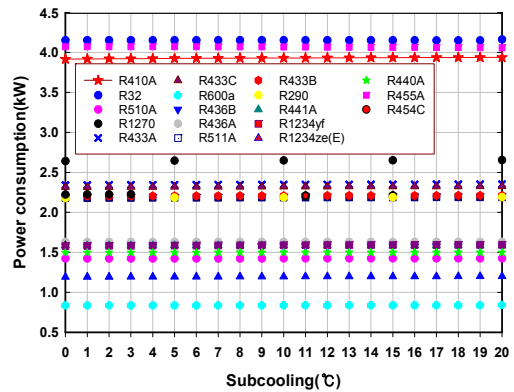


Fig. 3 Power consumption according to Subcooling between R-410A and selected alternative refrigerants

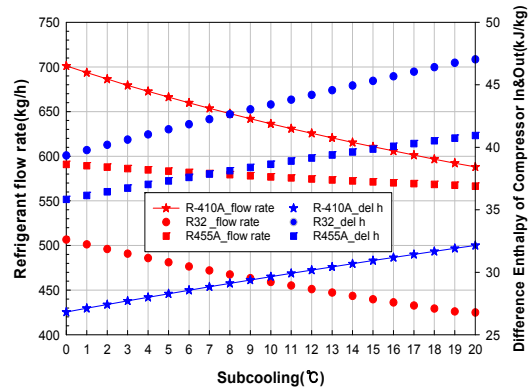


Fig. 4 Refrigerant flow rate and Difference enthalpy of compressor inlet & outlet according to Subcooling between R-410A and selected alternative refrigerants

Fig. 5는 SC에 따른 R410A 냉매와 비교한 대체 냉매의 COP를 비교한 것이다. SC 증가에 따라 냉동용량이 증가한 패턴과 유사하게 COP 또한 증가 추세를 보였다. 시스템에 IHX가 설치되었더라도 R410A 냉매와 R455A 냉매는 낮은 SC 구간에서 COP가 서로 유사한 형태를 나타내었으나, SC가 커짐에 따라 R410A 냉매의 경우 COP가 점차 감소한 반면, R455A 냉매는 증가하는 형태를 나타냈다. 일반적으로 SC가 증가하면 증발기에서의 입·출구 엔탈피 차가 커져 냉동용량이 증가하게 된다. 이때 냉동용량과 압축기 소비동력의 비로

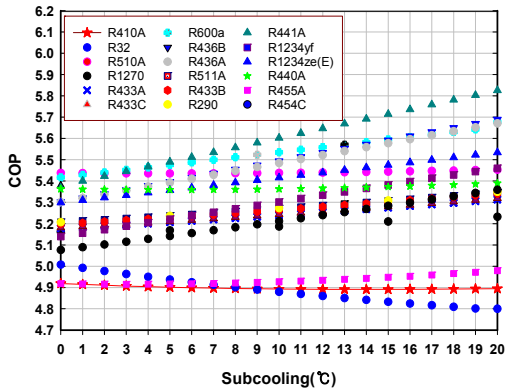


Fig. 5 COP according to Subcooling between R-410A and selected alternative refrigerants

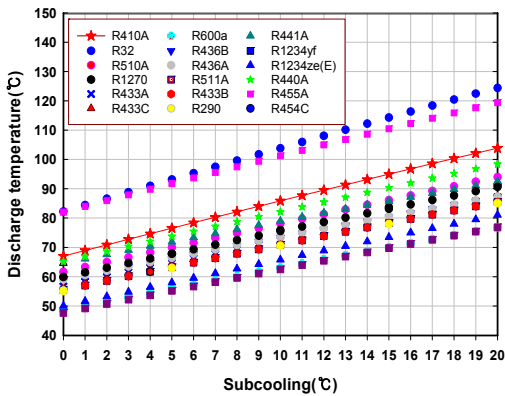


Fig. 6 COP according to Subcooling between R-410A and selected alternative refrigerants

COP가 결정되나, 냉매에 따라 비열, 기화잠열 등의 열역학적 특성으로 냉동효과와 압축기 소비동력이 미치는 영향이 다르게 된다. 이러한 측면으로 R410A 냉매는 SC의 증가에 따른 냉동용량 증가율 보다 압축기 소비동력 증가의 영향이 더 크게 작용한 것으로 보여지며, R455A 냉매는 그와 반대로 냉동용량 증가율의 영향이 더 크게 작용한 것으로 분석된다.

Fig. 6은 SC에 따른 R410A 냉매와 비교한 대체 냉매의 압축기 토출가스 온도를 비교한 것이다. 위의 결과를 토대로 R455A 냉매는 SC 증가에 따른 압축기의 영향이 비교적 적게 작용하는 것으로 판단된다. SC를 증가시켜 높은 COP의 결과로 유리한 측면으로만 보일 수 있겠지만, SC 증가에

따라 압축기의 흡입가스 온도의 증가로 압축기 토출가스 온도가 증가하게 된다. 일반적으로 토출가스 온도가 높으면 오일의 열화현상으로 소비동력에 직접적인 영향을 미쳐 효율적인 운전이 어려워지기에 일반적으로 토출가스 온도는 100°C 정도를 적정 한계로 본다. 즉, 100°C를 초과하는 경우 현실적으로 대체하기 적합하지 않은 것으로 판단된다. R410A 냉매는 SC 18°C 정도 구간에서 압축기 토출가스 온도가 100°C를 초과하게 되는 반면, R455A 냉매의 경우 이보다 낮은 SC 9°C 정도 구간에서 토출가스 온도가 100°C를 초과하게 된다. 토출온도 100°C일 때 R455A 냉매의 COP는 4.92 정도로 4.89인 R410A 냉매보다 0.6% 정도 높게 나타났다. 이러한 결과를 토대로 R455A 냉매를 R410A 냉매의 대체 냉매로 사용하는 경우, 소정의 SC가 확보된다면 더 나은 효율을 기대할 수 있을 것으로 보여진다.

Fig. 7은 R410A 냉매를 포함한 대체 냉매의 IHX를 설치하지 않은 기본 사이클과 IHX를 설치한 사이클의 COP를 비교하였다. 대부분 IHX 설치에 따라 추가적인 SC확보 효과로 COP가 향상된 결과를 나타냈으나, 모든 냉매에 대해 동일한 결과를 보이진 않았다. IHX 설치에 따른 작동원리 측면으로 보면 응축기를 나오는 뜨거운 액체 냉매는 증발기를 나오는 차가운 냉매 기체에 열을 방출하여 냉각된다. 이 과정은 팽창장치를 나올 때 기화되는 냉매의 양을 줄이며, 이는 증발기에서의 냉동용량을 증가시켜 COP가 향상되는 경우

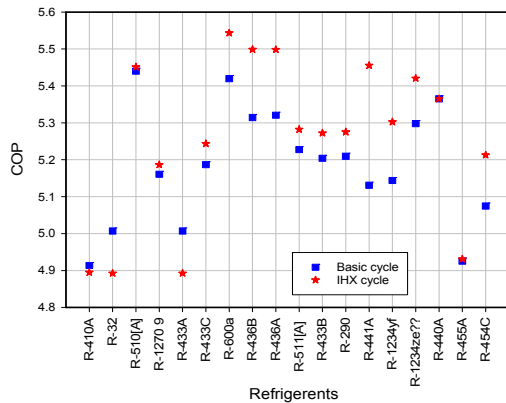


Fig. 7 Comparison of COP between Basic cycle and IHX cycle selected alternative refrigerants

도 있으나, 동시에 압축기로 들어가는 기체에 열이 가해져 압축 작업에 영향을 미쳐 COP가 감소하는 효과도 발생한다. 결과적으로 이 IHX는 유체의 특성에 따라 사이클의 COP를 증가시키거나 감소시킬 수 있다. 냉매의 분자 기준으로 낮은 기체 열용량 값을 가진 유체(예를 들면, 암모니아와 같은 작은 분자)는 COP에 패널티를 겪는 반면, 상대적으로 복잡한 분자(예를 들면, 세 개의 탄소를 가진 분자)는 일반적으로 이익을 보게 된다. R455A 냉매의 경우에는 다른 냉매에 비해 비교적 IHX의 설치 효과를 보지 않으므로 부수적인 장치 설치를 하지 않고도 R410A 냉매와 유사성능을 보였으므로 대체 냉매로서 비교적 적합하다고 판단된다.

Fig. 8은 R410A 냉매 대비 대체 냉매의 냉방용량과 COP를 비교한 것이다. 이미 대체 냉매로 사용되고 있는 R32 냉매를 제외하고, Low GWP인 냉매 모두 R410A 냉매 대비 COP는 비교적 높은 값을 나타냈으나, 유사한 냉방용량을 구현하는 데는 한계를 보였다. 특히, R600a 냉매의 경우 COP가 5.4 정도로서 R410A 냉매보다 10% 정도 높게 나타냈으나, 냉방용량은 4.53으로서 R410A 냉매보다 76% 정도 낮게 나타났다. 시스템은 선정 냉매에 따른 최대한의 시스템의 성능과 효율을 향

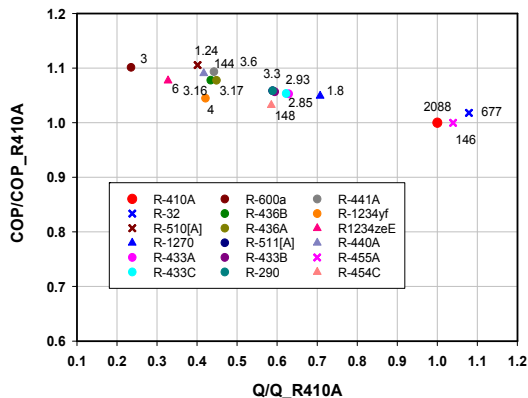


Fig. 8 Comparison of COP and capacity between R410A and selected alternative refrigerants (subcooling 0°C (The above values represent the meaning of GWP))

상시키는 것이 매우 중요하나, 대체 냉매를 위한 HFO계 냉매는 대체로 낮은 압력특성을 보이기 때문에 시스템 효율 저하 문제를 야기시킬 수 있다.¹³⁾ 그러나 R455A 냉매의 경우에는 Low GWP(146)임에도 불구하고, R410A 냉매와 유사한 냉방용량뿐만 아니라 COP 측면에서도 매우 유사한 결과를 나타냈다. 즉, R455A 냉매는 냉방용량이 20 kW 정도로서 R410A 냉매보다 4% 정도 높게 나타냈으며, COP는 4.9 정도로서 R410A 냉매보다 0.01% 정도로 매우 유사한 결과를 나타냈다.

Fig. 9와 Fig. 10은 R410A 냉매와 R455A를 적용한 사이클을 P-h선도 상에 나타내었다. 2가지 사이클을 비교한 결과, R455A를 적용한 사이클의 증발 압력과 응축 압력이 약 2~3 bar 정도 낮은 경향을 보였다. 그러나 응축압력의 감소폭이 증발 압력의 감소보다 작아 압축비는 5.2% 정도 증가하는 경향을 보였다.

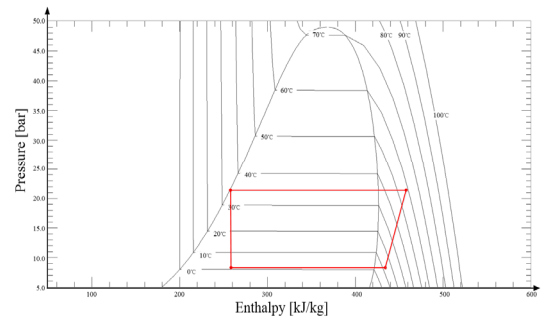


Fig. 9 P-h diagram of standard cooling cycle (R410A)

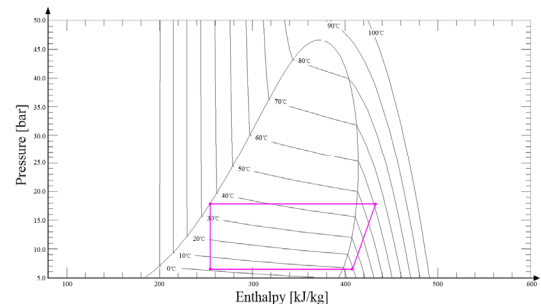


Fig. 10 P-h diagram of standard cooling cycle (R455A)

앞선 결과들을 바탕으로 2가지 냉매를 적용한 냉동 사이클의 경우, POE 계열의 냉동 오일을 사용하므로 냉동 사이클의 측면에서 R455A를 대체할 수 있다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 HFC계 냉매의 환경적 문제와 그 대체 냉매로서 다양한 냉매를 비교·분석하였다. HFC계 냉매는 지구온난화의 직접적인 주요 원인 중 하나로, 국제적인 규제와 정책 변화에 따라 단계적으로 감축되고 있다. 이에 따라, R410A와 같은 기존 냉매를 대체할 수 있는 새로운 냉매의 필요성이 대두되고 있다.

시뮬레이션 연구 결과, R32와 R455A는 R410A와 비교하여 유사한 성능을 보였으며, 특히 R455A는 R410A와의 성능 차이가 미미한 것으로 나타났다. 추가로 SC가 냉동용량에 미치는 영향에 대한 분석을 통해, 적절한 SC가 냉동시스템의 효율성을 높일 수 있음을 확인하였다. 특히, R455A 냉매의 경우 SC에 따른 COP 개선이 R410A 냉매보다 큰 것으로 나타내었다. 이러한 결과는 R455A가 R410A의 대체 냉매로서의 가능성을 시사하며, 향후 실험을 통해 이 결과를 더욱 검증할 필요가 있다.

결론적으로, HFC 냉매의 대체를 위한 연구는 지속적으로 진행되어야 하며, R455A와 같은 대체 냉매의 성능을 최적화하는 방향으로 나아가야 한다. 이를 통해 환경 보호와 에너지 효율성을 동시에 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 국립부경대학교 자율창의학술연구비(2023~2025년)에 의하여 연구되었음.

Author contributions

K. M. Jeong; Conceptualization. C. H. Son; Project administration. J. H. Lee; Data curation. S.

Y. Cha; Formal analysis. M. W. Kang; Visualization.

References

1. J. MA et al., 2025, "Size and match of the collector-evaporator for direct-expansion solar assisted heat pumps using potential alternative refrigerants", *International Journal of Refrigeration*, 171, 253-266. (<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2024.12.002>)
2. V. H. Panato, D. F. M. Pico and E. P. B. Filho, 2022, "Experimental evaluation of R32, R452B and R454B as alternative refrigerants for R410A in a refrigeration system", *International Journal of Refrigeration*, 135, 221-230. (<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.12.003>)
3. M. H. Oudah and Z. K. Yasser, 2025, "Low-GWP refrigerants performance evaluation: R513A and R515B boiling within smooth and microfinned tubes", *International Journal of Thermal Sciences*, 211, 109724. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2025.109724>)
4. S. J. Ha and J. H. Lee, 2024, "Heat transfer characteristics of R-1234yf, an eco-friendly alternative refrigerant in condenser for semiconductor chiller", *Applied Thermal Engineering*, 239, 122106. (<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.122106>)
5. S. K. Jena, S. Bose and S. D. Patle, 2023, "Comparison of the performance of propane (R290) and propene (R1270) as alternative refrigerants for cooling during expansion in a helical capillary tube: A CFD-based insight investigation", *International Journal of Refrigeration*, 146, 300-313. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.11.009>)
6. F. W. A. B. Ojeda et al., 2022, "Experimental evaluation of low-GWP refrigerants R513A, R1234yf and R436A as alternatives for R134a

- in a cascade refrigeration cycle with R744”, International Journal of Refrigeration, 144, 175-187.
(<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.08.010>)
7. Y. J. Park and B. D. Park, 2019, “Performance of the Geothermal Heat Pump Using HFC32 Refrigerant”, Journal of The Korean Hydrogen and New Energy, 30(4), 369-375.
(<https://doi.org/10.7316/KHNES.2019.30.4.369>)
8. M. Pande et al., 1996, “An experimental evaluation of flammable and non-flammable high pressure HFC replacements for R-22”, International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, 20-26.
9. H. M. Pham and R. Rajendran, 2012, “R32 and HFOs as low-GWP refrigerants for air conditioning”, International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, 2262.
10. X. Xu et al., 2012, “Performance measurement of R32 in vapor injection heat pump system”, International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, 2328.
11. K. H. Lee, 2023, “Trends in Low GWP Refrigerant Technology for VRF Heat Pumps”, The magazine of The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 52, 32-38.
12. J. I. Yoon et al., 2015, “Performance Analysis of Two-stage Compression Refrigeration System with Internal Heat Exchanger Applied Various Refrigerants”, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, 19(6), 82-88.
13. M. S. Kim and K. N. Cho, 2017, “Research Trend of Low GWP Refrigerants as alternative refrigerants for R-410A”, Proceedings of the SAREK 2017 Winter Annual Conference, 49-50.