

운전조건에 따른 R404A와 R134a를 적용한 냉동탑차용 냉장시스템의 엑서지 비교

Comparison of Exergy in a Refrigerating System using R404A and R134a for a Refrigeration Truck with Operating Conditions

신윤찬(Yunchan Shin)¹, 김태중(Taejung Kim)¹, 조홍현(Honghyun Cho)^{2*}

¹조선대학교 기계공학과 대학원, ²조선대학교 기계공학과

¹Graduate school of Mechanical Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

²Department of Mechanical Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

(Received June 3, 2014; revision received August 25, 2014; Accepted: September 1, 2014)

Abstract The performances of refrigeration truck systems using R404A and R134a were investigated by experimental testing, and compared. The optimal COPs of the R404A and R134a systems were 2.96 and 3.42, when the refrigerant charge amount was 1.3 kg and 1.4 kg, respectively. When the indoor side air temperature increased from 5°C to 9°C, the total exergy destruction rate of the R404A system was on average 39.1% higher than that of the R134a system. In addition, the exergy efficiency of the R404A system was 12.9% higher than that of R134a system, for various indoor air temperatures.

When the outdoor side air temperature increased from 25°C to 35°C, the total exergy destruction rate of the R404A and R134a systems decreased by 18.9% and 19.5%, respectively. In addition, the exergy efficiency of the R404A and R134a systems increased by 25.2% and 30.7%, respectively. As the compressor rotating speed increased, the COP of the R404A and R134a systems decreased by 23.6% and 18.4%. The total exergy destruction rate and exergy efficiency of the R404A system were 27.2% and 15.7% higher than those of R134a system, respectively. Compared to the R404A system, the R134a system showed a higher COP and a lower exergy destruction rate; thus it can be concluded that the R134a system has the better performance.

Key words R404A, R134a, EDR(엑서지 파괴율), COP(성능계수), Efficiency(효율)

† Corresponding author, E-mail: hhcho@chosun.ac.kr

기호설명

EDR : 엑서지 파괴율 [kW]
 \dot{m} : 질량유량 [kg/s]
 \dot{Q} : 냉동용량 [kW]
 s : 엔트로피 [kJ/kg · K]
 T : 온도 [K]
 η : 효율 [-]

in : 입구
 out : 출구
 0 : 사장상태(dead state)

하첨자

air : 공기
 $comp$: 압축기
 $cond$: 응축기
 $expa$: 팽창장치
 $evap$: 증발기
 ex : 엑서지

1. 서론

식생활의 향상 및 다양화로 고품질의 물품에 대한 요구가 증대되면서 인스턴트 식품류, 육류, 냉동 생선류 및 채소류, 청과물 등의 저온유통이 날로 증가되고 있으며, 이러한 식품의 장단거리 운송을 위한 냉동기를 탑재한 냉동(장) 차량이 널리 사용되고 있다.⁽¹⁾ 통계에 의하면 세계적으로 육상 냉동(장)수송 차량은 100만대 이상인 것으로 보고되고 있으며 냉동탑차의 수요는 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.⁽²⁾ 이러한 냉동탑차는 고내의 온도를 항상 일정하게 유지하기 위해 냉동장치를 사용

함으로써 일반 탑차에 비하여 더 많은 에너지를 소비한다.

기존의 냉동탑차에 사용되었던 냉매는 주로 안정된 화학적 성질과 우수한 열역학적 성질을 가진 CFC계 냉매이며, 자동차 에어컨, 냉장고, 냉장창고와 식품가공, 건축자재 등의 다양한 분야에서 사용되어 왔다. 그러나 1970년대에 들어서면서 오존층을 파괴하는 원인으로 주목되어 몬트리올 의정서에 의해 규제되기 시작하였다.⁽³⁾ 이러한 CFC계 냉매의 대체냉매로써 HCFC계 냉매가 저온냉동산업에서 사용되었지만 지구온난화와 오존층 파괴 등의 이유로 전 세계적으로 사용이 제한되고 있다. 그러나 아직까지 HCFC계 냉매인 R404A와 R134a 냉매가 현재 상업용 냉장고 및 냉동탑차 등 다양한 냉동분야에 사용중이다. 자동차 공조시스템에 사용되는 냉매에 관련하여 유럽공동체위원회(EC)에서는 냉매 규제에 대한 법규를 제정 및 공포하였고, 지구온난화지수(GWP : Global Warming Potential)가 150 이상인 냉매를 이용한 에어컨 시스템을 장착한 차량을 대상으로 2017년 신차에 대한 규제가 이루어질 것으로 예상된다.⁽⁴⁾ R404A와 R134a의 GWP는 각각 4700과 1300으로 기준치보다 높지만 이러한 규제는 신차에만 사용되며, 현재 전세계적으로 냉동분야에 가장 많이 적용되고 있는 R404A 및 R134a 냉매에 대해서는 시스템의 성능을 향상시키는 것이 중요하다. R134a 냉매는 증발잠열이 크므로 적은 양의 냉매로도 냉방효과가 크며, R404A 냉매는 저온조건인 -20℃이하의 낮은 작동온도 조건에서 효율이 높다. 본 연구에서 사용한 냉매들의 물성치를 Table 1에 나타내었다.

기존 상용탑차에 대한 연구를 살펴보면 상용탑차의 시스템 성능을 향상시키기 위해 Mun⁽⁵⁾은 Thermobank 열저장매체를 적용한 시스템의 냉각성능에 대한 연구를 진행하였고, Peck et al.⁽⁶⁾은 일반 냉동탑차와 축냉식 냉동탑차의 성능특성을 실험을 통하여 비교하였다. Kim et al.⁽⁷⁾은 다양한 조건에서 R404A와 R744 냉매를 적용한

냉동탑차 냉장시스템의 성능을 비교하였다.

또한, 냉동시스템의 엑서지 해석에 대한 연구를 살펴보면 R134a와 R290/R600a를 적용한 자동차용 에어컨 시스템의 성능을 파악하기 위해 Oh et al.⁽⁸⁾은 성능실험 및 엑서지 해석을 하였으며, 작동조건의 변화중 압축기 속도와 공기온도의 변화가 성능에 큰 영향을 끼친다고 보고하였다. Li et al.⁽⁹⁾은 GWP가 낮은 냉매를 사용하여 2차 루프 자동차 에어컨 시스템의 에너지와 엑서지 성능을 실험적으로 조사하였다. 하지만 현재 사용되고 있는 다양한 냉매를 적용한 연구는 일반적인 승용차 및 가정용 에어컨 시스템의 성능에 대한 연구가 대부분이며, 지속적으로 증가하고 있는 냉동탑차의 냉장시스템 성능에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 또한 두 가지 냉매를 비교한 시스템의 구성요소별 엑서지를 비교하여 성능을 평가한 연구는 거의 찾아볼 수 없다. 따라서 본 논문에서는 현재 다양한 냉동 분야에 사용 중인 R404A 및 R134a 냉매를 냉동탑차 냉장시스템에 적용하여 성능특성을 파악하고 엑서지 분석을 통하여 성능 향상을 위한 기본적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험장치는 상용탑차 냉동시스템으로 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브, 수액기(receiver), 냉매저장기(accumulator)로 구성되어 있으며 Fig. 1에 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 보여주고 있다. 작동냉매를 가압하는 압축기는 사판식 압축기로 운전조건에 따라 압축기 회전수를 조절할 수 있도록 인버터가 부착된 전기모터를 사용하여 구동되며 실험장치의 구성요소에 대한 자세한 사양은 Table 2에 나타내었다. 성능실험을 실시하기 위해 사용된 열환경챔버는 각각의 공간의 건구 및 습구 온도를 독립적으로 제어가능하다. 시스템의 냉동용량은 공기엔탈피 방식으로 측정되며 풍량을 측정하여 계산한다. 성능평가는 R404A와 R134a 냉매를 실험장치의 시스템에 충전하여 최적의 냉매충전량을 찾고 기본 성능을 평가하였다. R404A 냉매에 대한 성능평가가 완료되면 시스템 내부를 진공으로 만들고 다시 R134a 냉매를 주입하여 동일한 실험을 반복하였다.

본 논문에서는 실내측 공기온도, 실외측 공기온도, 압축기 회전수를 변화시켜가면서 실험을 수행하였으며, Table 3에 본 연구에서 설정된 실험조건(ISO 15502)⁽¹⁰⁾을 나타내었다. 얻어진 결과를 활용하여 각각의 운전조건에서 성능을 평가하고 각 구성요소의 엑서지 파괴율을 비교하였다. 본 연구에서 냉동용량과 성능계수는 다음과 같은 식을 사용하여 계산하였다.

Table 1 Refrigeration properties

	R404A	R134a
Molecular weight[kg/kmol]	97.6	102.03
Boiling point[℃]	46.4	-26.25
Critical temperature[K]	345.1	374.2
Critical pressure[MPa]	3.73	4.06
Latent heat of vaporization at 25℃ [kJ/kg]	177.8	140.3
Flammability/toxicity	N/N	N/N
Ozone depletion potential	0	0
Global warming potential	4700	1300

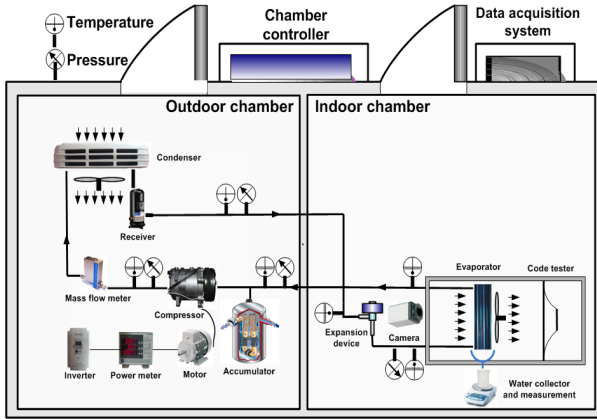


Fig. 1 Schematic of experimental equipment.

Table 2 Specification of system

Component	Type	Specification
Compressor	Wobble plate	Displacement : 138(cc/rev)
Condenser	Fin-tube	760.2(L)×283.5(H) ×99.3(W)
Expansion valve	EEV	Orifice size : 1.8 mm
Evaporator	Fin-tube	864.6(L)×135.8(H) ×209(W)

Table 3 Test conditions

Item	Parameters
Compressor speed(rpm)	1000*, 1500, 2000
Outdoor temperature(°C)	25*, 30, 35
Indoor temperature(°C)	5*, 7, 9
Outdoor air velocity(m/s)	2.5
Indoor air velocity(m/s)	2.0

* Standard condition.

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}(h_{air,in} - h_{air,out}) \quad (1)$$

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_{evap}}{W_{comp}} \quad (2)$$

또한, 각 구성요소별 엑서지 파괴율(EDR : Exergy destruction rate)과 엑서지 효율은 다음과 같은 식을 사용하여 계산하였다.⁽¹¹⁾

$$EDR_{comp} = \dot{m}(s_{comp,o} - s_{comp,i})T_0 + W_{comp} \quad (3)$$

$$EDR_{cond} = T_0 \left[\dot{m}(s_{cond,o} - s_{cond,i}) - \frac{\dot{Q}_{cond}}{T_H} \right] \quad (4)$$

$$EDR_{expa} = \dot{m}(s_{expa,o} - s_{expa,i})T_0 \quad (5)$$

$$EDR_{evap} = T_0 \left[\dot{m}(s_{evap,o} - s_{evap,i}) - \frac{\dot{Q}_{evap}}{T_L} \right] \quad (6)$$

$$\eta_{ex} = \frac{EDR_{\dot{Q}_{evap}}}{\dot{W}_{comp}} = \frac{\dot{Q}_{evap}(T_0 - T_L)/T_L}{\dot{Q}_{evap}/COP_R} = \frac{COP_R}{T_L/(T_H - T_L)} = \frac{COP_R}{COP_{R,rev}} \quad (7)$$

3. 결과 및 고찰

상용탑차용 냉장시스템의 각 구성요소의 효율성을 파악하기 위해서 실험 데이터를 이용하여 엑서지 파괴율을 계산하였으며 이 결과를 냉매에 따라 비교하였다. 탑차용 냉동시스템의 최적의 냉매충전량을 결정하기 위해 R404A와 R134a 냉매의 충전량을 1.1 kg부터 1.5 kg까지 0.1 kg씩 증가시켜 실험을 수행하였으며, 실험 결과를 Fig. 2에 나타내었다. R404A 시스템의 충전량이 1.3 kg일 때, 냉동용량은 5.22 kW, 성능계수는 2.96으로 가장 높게 나타났으며, R134a 시스템은 냉매충전량이 1.4 kg일 때, 냉동용량과 COP는 각각 4.46 kW, 3.42로 가장 높게 나타났다. 본 연구에서 R404A 냉매의 포화액체 상태의 밀도가 R134a 냉매보다 작기 때문에 R404A 시스템의 최적의 냉매충전량이 R134a 시스템에 비하여 상대적으로 적게 나타났다. R404A와 R134a 시스템은 냉매의 충전량이 증가함에 따라 시스템에 흐르는 냉매의 질량유량의 증가로 인해 냉동용량 및 압축기 소비동력이 증가하였으며, COP는 최적의 냉매 충전량 이후 감소하였다. 이는 냉매량 변화에 따른 냉동능력의 변화는 크지 않지만 압축기 소비동력의 변화량이 상대적으로 크게 증가하기 때문이다. R404A 시스템이 R134a 시스템보다 냉동용량이 크지만, COP가 낮은 이유는 R134a 시스템의 증발잠열이 R404A 시스템보다 크고, R404A 시스템의 질량유량이 R134a 시스템보다 많음으로 압축기 소비동력이 크게 증가하였기 때문이다.

Fig. 3은 실내온도 변화에 따른 R404A 냉매를 적용한 상용탑차 냉장시스템 각각의 구성요소별 엑서지 파괴율과 COP를 나타내고 있다. 실내측 공기온도가 5°C에서 9°C로 증가함에 따라 냉매와 공기의 온도차가 증가하여 증발기 입구와 출구 측의 엔탈피 차가 증가하며 이에 냉동용량이 증가하게 된다. 또한, 증발기 입구로 유입되는 냉매의 비체적이 증가하여 시스템에 흐르는 질량유량의 감소로 인해 압축기 소비동력이 감소하기 때문에 R404A 시스템의 성능계수는 2.96에서 3.20으로 약 8.1% 증가하는 것으로 나타났다. 표준조건일 때 압축기에 의한 엑서지 파괴율은 전체 시스템의 47.2%로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 증발기에 의한 엑서지 파괴율이 24.0%로 크게 나타났다. 반면, 실내측 공기온도가 5°C에서 9°C까지 증가함에 따라 압축기에 의한

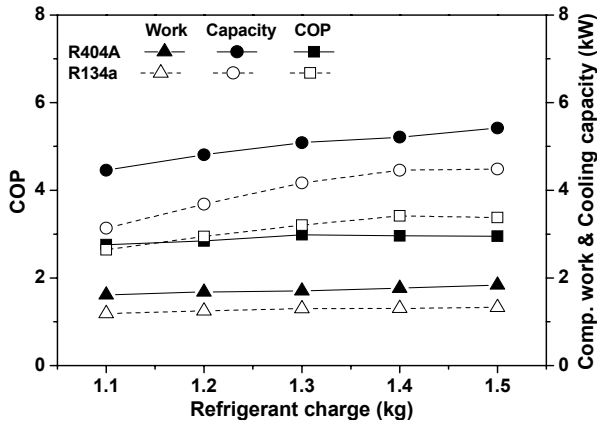


Fig. 2 Comparison of performance between R404A and R134a refrigeration system with charge amount.

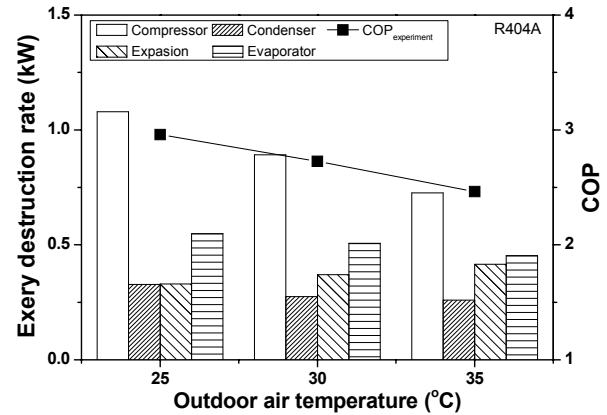


Fig. 4 Exergy destruction rate variation of each component and COP in R404A refrigeration system with outdoor air temperature.

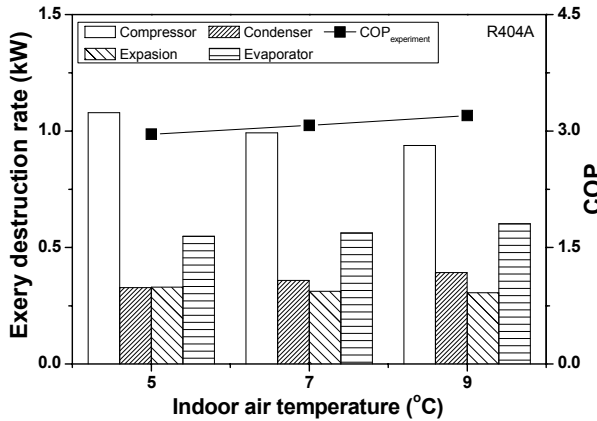


Fig. 3 Exergy destruction rate variation of each component and COP in R404A refrigeration system with indoor air temperature.

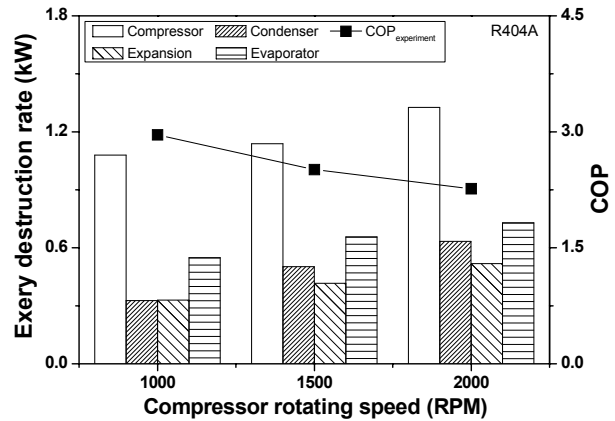


Fig. 5 Variation of exergy destruction rate for each component and COP in R404A refrigeration system with compressor rotating speed.

엑서지 파괴율은 13.0% 감소하였고 증발기에 의한 엑서지 파괴율은 9.7% 증가하였다. 실내측 공기온도가 증가함에 따라 시스템에 흐르는 냉매의 질량유량의 감소로 압축기 소비동력이 감소하여 압축기의 엑서지 파괴율은 감소하였고 증발기에서는 냉매와 공기측의 온도차가 증가함에 따라 열전달량이 증가하여 냉동용량의 증가와 함께 엑서지 파괴율도 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 실외온도 변화에 따른 R404A 냉매를 적용한 상용탑차 냉장시스템 각각의 구성요소별 엑서지 파괴율과 COP를 나타내고 있다. 응축온도의 상승은 응축압력의 상승을 의미하며 압축비의 상승과 압축기 체적효율의 저하를 가져와 압축기 소비동력은 증가하게 된다. 또한 응축기에서 냉매가 충분한 열교환을 하지 못함에 따라 응축기에서 토출되는 냉매의 온도와 엔탈피

의 증가로 인해 냉동효과는 감소하게 된다. 따라서 시스템의 성능계수는 2.96에서 2.46으로 약 16.9% 감소하였다. 또한, 실외측 공기온도가 증가함에 따라 압축기에 의한 엑서지 파괴율은 32.7% 감소하였고, 응축기와 증발기에 의한 엑서지 파괴율은 각각 20.8%, 17.5% 감소하였다. 반면, 팽창장치에 의한 엑서지 파괴율은 26.3% 증가하였다.

Fig. 5는 압축기 회전수 변화에 따른 R404A 냉매를 적용한 상용탑차 냉장시스템의 각 부분에서 엑서지 파괴율과 COP의 변화를 보여주고 있다. 압축기 회전수가 1000 rpm에서 2000 rpm으로 증가함에 따라 냉매측 질량유량이 증가하고 이에 따라 냉동용량이 증가하지만, 압축기 소비동력의 증가율이 냉동용량보다 크기 때문에 R404A 시스템의 성능계수는 2.96에서 2.26으로 약 23.6% 감소하였다. 또한, 압축기 회전수가 증가함에 따

라 압축기와 증발기의 엑서지 파괴율은 각각 22.9%와 32.8% 증가하였으며, 응축기 및 팽창장치의 엑서지 파괴율 또한 각각 93.2%와 57.3% 증가하였다. 압축기 회전수가 증가함에 따라서 냉매의 질량유량의 증가로 인해 압축기 소비동력과 냉동용량이 증가하였으며 이에 따라 압축기 및 증발기에서의 엑서지 파괴율이 가장 큰 값을 보였고, 증발기와 응축기의 엑서지 파괴율이 가장 크게 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 실내온도 변화에 따른 R134a 냉매를 적용한 상용탑차 냉장시스템의 각 부분에서 엑서지 파괴율과 COP를 나타내고 있다. 실내측 공기온도가 5°C에서 9°C까지 증가함에 따라 R134a 시스템의 성능계수는 3.42에서 3.90로 약 14.0% 증가하였으며, 이와 유사한 조건에서 자동차용 에어컨 성능을 실험한 Oh et al.⁽⁸⁾의 연구결과에서는 약 11.0% 증가하는 것으로 보고되어 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 전반적으로 시스템의 각 부분에서 압축기에 의한 엑서지 파괴율이 전체시스템의 엑서지 파괴율을 주도하고 있다. 표준조건일 때 압축기에 의한 엑서지 파괴율은 전체 시스템에서 58.5%로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 증발기에 의한 엑서지 파괴율이 19.1%로 크게 나타났다. 실내측 공기온도가 5°C에서 9°C까지 증가함에 따라 압축기에 의한 엑서지 파괴율은 9.5% 감소하였고 증발기에 의한 엑서지 파괴율은 3.2% 증가하였다. 이는 앞에서 설명하였듯이 실내측 공기온도가 증가함에 따라 압축기 소비동력의 감소로 인해 엑서지 파괴율이 감소하였으며, 증발기에서 열전달량의 증가로 인해 엑서지 파괴율이 증가한 것으로 사료된다.

Fig. 7은 실외온도 변화에 따른 R134a 냉매를 적용한 상용탑차 냉장시스템의 각 구성요소에서 엑서지 파괴율과 COP의 변화를 비교하여 보여주고 있다. 실외측 공기온도가 25°C에서 35°C까지 증가함에 따라 R134a

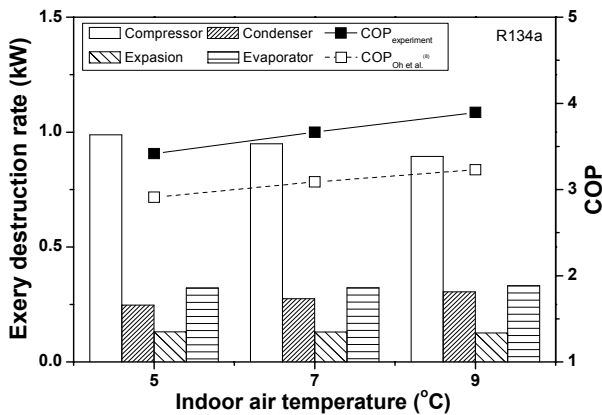


Fig. 6 Variation of exergy destruction rate for each component and COP in R134a refrigeration system with indoor air temperature.

시스템의 성능계수는 3.42에서 2.99로 약 12.6% 감소하였으며, 이는 Oh et al.⁽⁸⁾의 연구결과인 9.7% 감소보다 약간 더 큰 것으로 확인되었다. 실외측 공기온도가 증가함에 따라 압축기에 의한 엑서지 파괴율이 가장 큰 것으로 나타났으며 엑서지 파괴의 감소율은 압축기가 19.5%, 증발기가 35.3%로 가장 크게 나타나는 것으로 확인되었다.

Fig. 8은 압축기 회전수 변화에 따른 R134a 냉매를 적용한 상용탑차 냉장시스템 각각의 부분에서 엑서지 파괴율과 COP를 나타내고 있다. 압축기 회전수가 1000 rpm에서 2000 rpm까지 증가함에 따라 R404A 시스템의 성능계수는 18.4% 감소하였으며, Oh et al.⁽⁸⁾의 실험결과에서 보고된 약 39.8% 감소보다 적게 나타났다. 이는 본 실험에 비하여 성능이 압축기 회전수에 더욱 민감하기 때문이다. 압축기 회전수가 증가함에 따라 압축기에 대한 엑서지 파괴율은 54.5% 증가하였고 증

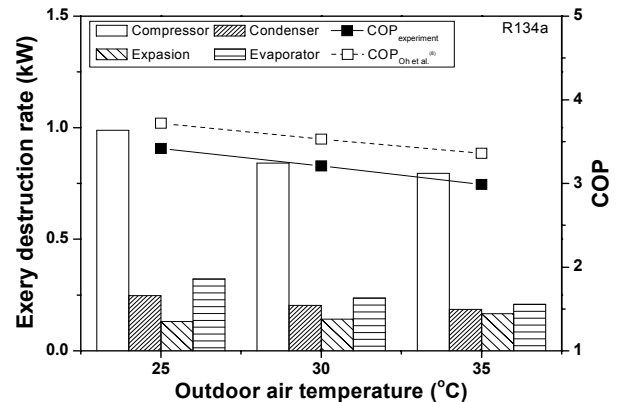


Fig. 7 Variation of exergy destruction rate for each component and COP in R134a refrigeration system with outdoor air temperature.

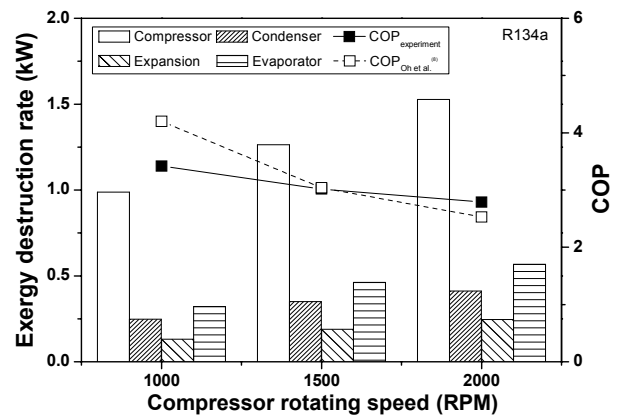


Fig. 8 Exergy destruction rate variation of each component and COP in R134a refrigeration system with compressor rotating speed.

발기에 대한 엑서지 파괴율은 76.4% 증가하였다. 평균적으로 압축기와 증발기에서의 엑서지 파괴율의 합이 총엑서지 파괴율의 60% 이상을 차지하고 있다. 압축기 회전수가 증가함에 따라서 압축기 소비동력과 냉동용량은 크게 증가하였으며, 특히 R404A에 비하여 R134a의 압축기에서의 엑서지 파괴율의 증가가 더욱 크게 나타났다.

Fig. 9는 실내측 공기온도 변화에 따른 총 엑서지 파괴율과 엑서지 효율의 변화를 냉매의 종류 및 기존의 연구(R134a)⁽⁸⁾와 비교하여 보여주고 있다. 실내측 공기온도가 5°C에서 9°C로 증가함에 따라 R404A와 R134a 시스템의 총 엑서지 파괴율은 각각 2.0%와 1.9% 감소하였으며, R134a 시스템의 총 엑서지 파괴율이 R404A 시스템보다 평균적으로 25.6% 크게 나타났다. R404A와 R134a 시스템의 엑서지 효율은 각각 14.8%와 10.1% 감소하였으며, 평균적으로 R134a 시스템의 엑서지 효율이 R404A 시스템보다 16.2% 높게 나타났다. Oh et al.⁽⁸⁾의 실험결과에서 엑서지 효율은 약 26.8% 감소하는 것으로 보고되었는데, 이는 Oh et al.⁽⁸⁾의 실험의 경우 열교환기의 크기가 충분한 용량을 가지도록 설계되지 않아 성능의 변화가 운전조건 변화에 매우 민감하게 반영되었기 때문이다.

Fig. 10은 실외측 공기온도 변화에 따른 총 엑서지 파괴율과 엑서지 효율의 변화를 냉매의 종류 및 기존의 연구(R134a)⁽⁸⁾와 비교하여 보여주고 있다. 실외측 공기온도가 25°C에서 35°C로 증가함에 따라 R404A와 R134a 시스템의 총 엑서지 파괴율은 각각 18.9%와 19.5% 감소하는 것으로 나타났으며 R404A 시스템의 총 엑서지 파괴율이 R134a 시스템보다 평균적으로 38.6% 크게 나타났다. 반면, R404A와 R134a 시스템의 엑서지 효율은 각각 25.2%와 30.7% 증가하였으며, Oh et al.⁽⁸⁾의 실험결과에서 엑서지 효율은 약 35.4% 증가하는 것으로

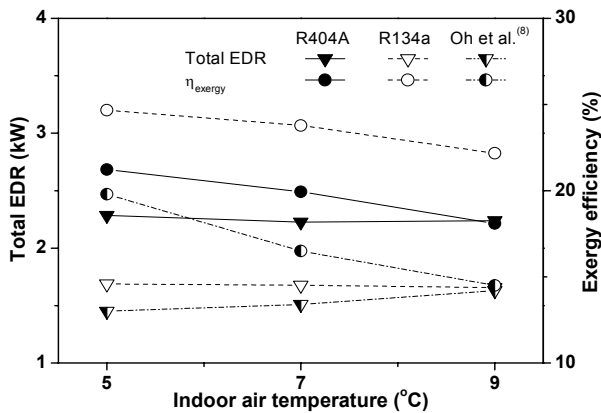


Fig. 9 Variations of total exergy destruction rate and exergy efficiency for R404A and R134a with indoor air temperature.

보고되어 본 연구결과와 경향성이 일치하는 것으로 확인되었다.

Fig. 11은 압축기 회전수 변화에 따른 엑서지 파괴율과 성능계수의 변화를 나타내고 있다. 압축기 회전수가 1000 rpm에서 2000 rpm으로 증가함에 따라 R404A와 R134a 시스템의 총 엑서지 파괴율은 각각 40.3%와 63.0% 증가하였으며, Oh et al.⁽⁸⁾의 실험결과에도 총 엑서지 파괴율이 증가하는 경향을 나타내었다. R134a 시스템이 R404A 시스템보다 평균적으로 총 엑서지 파괴율이 18.9% 높게 나타났다. 이는 R404A 시스템의 냉동용량이 R134a 시스템보다 높기 때문에 총 엑서지 파괴율도 높게 나타난 것으로 사료된다. 또한, R404A 시스템과 R134a 시스템의 엑서지 효율은 각각 23.6%와 19.5% 감소하였으며, 평균적으로 R134a 시스템의 엑서지 효율이 R404A 시스템보다 15.3% 높게 나타났다. 상대적으로 R134a 시스템의 COP가 높기 때문에 엑서

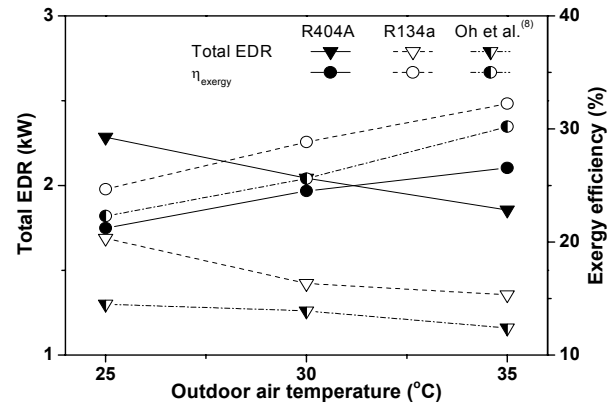


Fig. 10 Variations of total exergy destruction rate and exergy efficiency for R404A and R134a with outdoor air temperature.

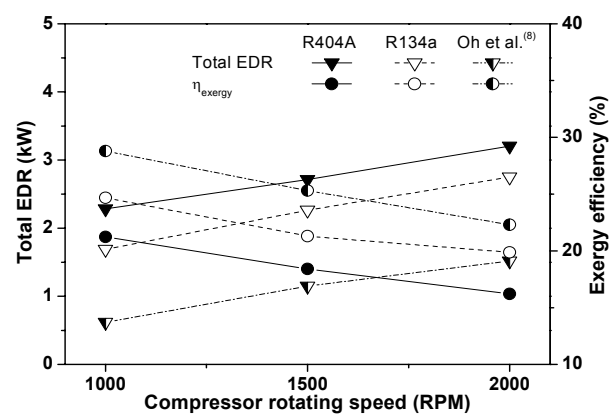


Fig. 11 Variations of total exergy destruction rate and exergy efficiency for R404A and R134a with compressor rotating speed.

지 효율 또한 R404A 시스템보다 높게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 냉동분야에 널리 사용중인 R404A와 R134a 냉매를 냉동탑차 냉장시스템에 적용하여 다양한 운전조건에 따른 성능을 비교 및 분석하였다. 전체적으로 성능은 R134a 시스템이 R404A 시스템보다 우수한 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) R404A와 R134a 냉매의 충전량 실험을 통하여 최적 충전량을 결정하였으며 R404A 시스템은 1.3 kg, R134a 시스템은 1.4 kg에서 최대 COP 값인 2.96과 3.42를 나타내었다.
- (2) 실내온도 변화에 따른 R404A와 R134a 시스템 모두 압축기와 증발기에 의한 엑서지 파괴율이 높게 나타났다. 또한 실내온도 증가시 COP는 각각 8.1%와 14.0% 증가하였으며, 이 때 총 엑서지 파괴율은 각각 2.0%와 1.9% 감소하였다. R404A 시스템의 총 엑서지 파괴율이 R134a 시스템보다 평균적으로 25.6% 높게 나타났다. 또한, 엑서지 효율은 R134a 시스템이 R404A 시스템보다 평균 16.2% 높게 나타났다.
- (3) 실외온도 증가에 따른 R404A와 R134a 시스템의 COP는 각각 16.9%와 12.6% 감소하였으며, 총 엑서지 파괴율은 각각 18.9%와 19.5% 감소하였다. 또한, R404A와 R134a 시스템의 엑서지 효율은 각각 25.2%와 30.7% 증가하는 것으로 나타났다.
- (4) 압축기 회전수가 증가함에 따라, R404A 시스템과 R134a 시스템의 COP는 각각 23.6%와 18.4% 감소하였으며, 총 엑서지 파괴율은 각각 40.3%와 63.0% 증가하였다. 평균적으로 R404A 시스템이 R134a 시스템보다 COP가 19.2% 낮고, 총 엑서지 파괴율이 18.9% 높게 나타나는 것으로 확인되었다. 또한, R134a 시스템의 엑서지 효율이 R404A 시스템보다 평균 15.3% 높게 나타나는 것으로 확인되었다.

References

1. Mun, J. C., Choi, K. I., Oh, J. T., and Kim, J. H., 2009, Cooling characteristics of car refrigeration with

- heat storage, Proceedings of the SAREK 2009 Summer Conference, pp. 115-118.
2. IIR, 2006, Refrigeration drives sustainable development, Report Card of IIR.
3. UNEP, 1987, Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer, United Nation Environmental Programme.
4. Won, J. P., 2010, Response to the convention on climate change replacement car air conditioning system refrigerant technology trends, Magazine of SAREK, Vol. 39, No. 2, pp. 10-16.
5. Mun, J. C., Choi, K. I., Oh, J. T., and Kim, J. H., 2009, Cooling characteristics of refrigerated vehicles with heat storage materials in thermobank, Proceedings of the SAREK 2009 Summer Conference, pp. 810-814.
6. Peck, J. H., Park, S. S., Kim, Y. L., and Kim, S. C., 2002, Study on the performance characteristics of mechanical refrigeration truck vs. Hold-over refrigeration truck, Proceedings of the SAREK 2002 Summer Conference, pp. 339-344.
7. Kim, S. H. and Cho, H. H., 2012, Performance comparison between R404A and R744 refrigeration system in refrigerating conditions, Proceedings of the SAREK 2012 Winter Conference, pp. 199-202.
8. Oh, S. H., Youn, J. G., and Won, S. P., 2000, Performance experiment and Exergy analysis of an automotive air-conditioning system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 363-370.
9. Li, G., Eisele, M. N., Lee, H. S., Hwang, Y. H., and Radermacher R. H., 2014, Experimental investigation of energy and exergy performance of secondary loop automotive air-conditioning systems using low-GWP (global warming potential) refrigerants, Energy, Vol. 68, No. 15, pp. 819-831.
10. ISO 15502, 2005, Household refrigerating appliances-characteristics and test methods, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
11. Cengel, Y. and Boles, M. A., 2011, Thermodynamics : an engineering approach, McGraw-Hill, 7th Edition, pp. 610-620.