



# R134a와 R1234yf 냉매를 적용한 고속열차용 냉장고의 성능비교

김 종 열†  
동명대학교(교수)

## Performance Comparison of Refrigerator for High-Speed Train Applying R134a and R1234yf Refrigerant

Kim Jong Ryeol†  
Tongmyong University(professor)

### Abstract

To solve the problem that refrigerator used for high-speed railway must be designed and manufactured in a private vibration and low-pitched sound structure because indoor equipment in high-speed railway vehicles must operate normally with minimal impact on noise and vibration even at a speed. It should minimize the generation of harmful substances and should not use materials that emit contaminants. However, the refrigerant used for refrigerators in KTX still uses R-134a with a high global warming index. When replacing the refrigerant with R-1234yf refrigerant of environment-friendly refrigerant with four global warming indexes, the performance of the refrigerator is compared. As a result, R134a is less in temperature deviation as the temperature set in the refrigerator is higher, and R1234yf is more advantageous in the time of reaching the set temperature. Power consumption was generally the same, but R134a was at a disadvantage at low temperatures.

**Key words :** KTX, R134a, R1234yf, Refrigerant

### I. 서론

2004년에 영업 운전을 시작한 경부고속열차(KTX)를 시작으로 고속철도 차량에 대한 연구가 본격적으로 시작되었다. 고속철도 차량 내의 실내설비는 설계속도 330 km/h까지의 속도에서도 소음 및 진동에 영향을 최소화하여 정상적으로 작동이 되어야 하며, 유지 보수성을 고려하여 제작되어야 하므로 일반 냉장고와는 다른 제작기술이 필요하다. KTX에 사용되는 냉장고 역시 설계속도 330 km/h에서 정상적으로 작동 가능하도록 저진동, 저소음 구조로 설계, 제작해야 한다. 또한 산업안전보건법 시행령에 의하여 제조 등이

금지되는 유해물질이 사용되어서는 안 되고 유해물질의 발생이 최소화되어야 하며, 환경부가 고시하는 오염물질방출 건축자재를 사용하여서는 안 된다.

하지만 현재 KTX 내의 냉장고용 냉매는 일반 냉장고의 냉매와 같이 R-134a가 사용되고 있는데, 이는 오존층 파괴지수는 0이지만 지구온난화 지수가 1430으로 높아 2005년 2월에 발효된 교토 의정서에 온실가스로 분류되어 규제가 강화되고 있다. 이러한 환경규제가 갈수록 강화되고 있는 상황에서 2007년 미국 Dupont과 Honeywell사가 R-134a를 대체할 수 있는 냉매로 HFO 계열의 R1234yf 냉매를 공동 개발했다. 이 냉매는 약가

† Corresponding author : 051-629-1684, kji804@tu.ac.kr

연성 물질로 독성 및 폭발성이 없고, 오존층 파괴지수는 0이며, 지구 온난화지수는 4인 친환경 냉매이다.

기존 연구에 의하면 R1234yf와 R1234yf에 R134a를 혼합하여 난방성능과 냉방성능을 평가하고 그 결과를 R134a 성능과 비교하였다(Park et al., 2010). 냉방의 경우 4.0% 정도 냉방용량이 감소하였고 난방의 경우 동등한 난방용량을 나타내었다. 가정용 냉장고에 R1234yf를 적용하여 성능 최적화에 대한 실험적 연구를 수행하였다(Han et al., 2011). R134a 시스템과 비교하여 냉매충전량은 비슷한 수준을 나타내었고 냉각속도 개선을 위하여 모세관경을 변경하여 최적화된 시스템을 구성하였다. 대체냉매 R1234yf용 압축기 개발과 관련하여 R134a 대비 흡입 밀도증가에 의한 냉매 유량 증가로 압축기 흡입 및 토출밸브에서의 압력손실이 증가한다고 보고하였다(Lee et al., 2011). 냉매 R134a와 R1234yf를 각각 적용하여 물 대 냉매 bench tester에 성능평가를 실시하였는데 냉매 R1234yf의 냉방COP가 R134a과 비교하여 0.8~2.7% 낮은 것으로 나타났다(Lee et al., 2012).

따라서 기존의 R134a 에어컨 시스템에 R1234yf 냉매를 Drop-in 성능평가를 실시하여 두 냉매의 냉동사이클 특성을 분석한 실험결과를 토대로 기존 R134a 차량용 냉장고 시스템에 R1234yf 냉매를 Drop in 성능평가를 실시하여 친환경 냉매를 적용한 고속차량용 냉장고의 사이클 최적화를 위한 설계변수에 참고하기 위해 두 냉매를 이용한 고속열차용 냉장고의 고내온도 및 소비전력을 비교 분석하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 고속열차용 냉장고 상세사양

본 연구에서 사용하는 냉장고는 호남고속차량의 T4호차의 부속실에 설치되어 열차내 판매를

위한 음료수의 냉장보관용 냉장고이다. 냉장고의 상세사양은 <Table 1>에 정리하였다. 또한 <Table 2>는 R134a와 R1234yf에 대한 기본 물성정보를 나타낸 것이다.

<Table 1> Refrigerator Details

Item	Details
Voltage	AC 220V/60 Hz
Volume(W×D×H)	790 × 530 × 1040 (mm)
Capacity	134 liter
refrigeration capacity	700 kcal/h
Power consumption	385 W below
Operating temperature	-1 ~ 5 °C (1 °C temperature control)
Operating refrigerant	R-134a(R1234yf)
Material	stainless steel(STS 304)

<Table 2> Property of R134a and R1234yf

Properties	R134a	R1234yf
ODP	0	0
GWP	1410	4
Boiling Point [K]	247	243.5
Critical point [K]	374	367.7
Critical Pressure [MPa]	4.1	3.4
Critical Density [kg/m <sup>3</sup> ]	511.9	478
Vapor Pressure,(25 °C)[Mpa]	0.665	0.673
Vapor Pressure,(80 °C) [Mpa]	2.63	2.47
Vapor Density,(25 °C) [kg/m <sup>3</sup> ]	32.35	37.60

### 2. 실험방법

대체냉매 R1234yf는 기존 R134a 냉매적용 냉장고의 작동압력 범위도 비슷하고 동일한 냉매오일(POE Oil)의 적용이 가능하므로 고속열차용 냉장고에 Drop in 평가를 수행하였다.



[Fig. 1] Experimental device and measuring instrument

성능평가는 먼저 R134a 냉매를 실험장치의 시스템에 충전하여 고내의 설정온도별로 냉각력과 냉각속도, 에너지 소비전력 평가를 수행하였다. 기존 R134a 냉매에 대한 성능평가가 완료되면 시스템 내부를 진공으로 만들고 냉매 R1234yf를 다시 주입하면서 동일한 실험을 반복하였다. 냉매의 충전은 증발기 출구와 압축기 입구 사이에 충전포트를 설치하고 매니폴드게이지를 이용하여 냉매 저장용기와 연결하여 밸브를 열어 충전하였다. 이때 냉매 저장용기의 무게를 전자저울로 무게를 측정하여 주입된 냉매의 양을 알 수 있도록 하였다([Fig. 2]).

압축기를 구동하기 위한 소비전력은 파워미터(YOKOGAWA WT310)를 이용하였으며, 냉동사이클의 분석을 위하여 주요 구성기기 전후의 온도, 압력 및 유량을 측정하였다. 각 지점의 온도는 T-타입의 열전대를 사용하여 측정하였으며, 압력은 디지털 냉매압력계(setra Transducer206)를 사용하여 측정하였다. 각 센서에서 읽어들이는 데이터는 데이터로거(YOKOGAWA MX100)에 의해 컴퓨터에 저장하였다.

실험조건은 냉장고 내의 온도를 0°C, 3°C, 5°C로 설정했을 때 설정온도까지 도달시간과 최저온도, 최고온도, 소비전력을 분석하고자 한다.

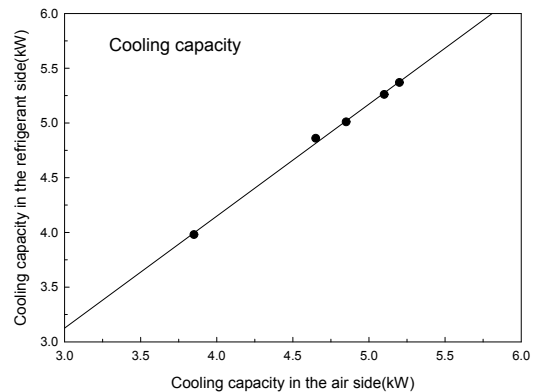


[Fig. 2] Refrigerant filling of experimental device (R1234yf)

### Ⅲ. 연구결과

#### 1. 에너지 평형

운전결과에 따른 증발기측의 냉방용량을 구하기 위하여 공기측 열량과 냉매측 열량을 비교하였다. 공기측과 냉매측의 에너지평형오차율은 식 (1)을 이용하여 평가하였다.



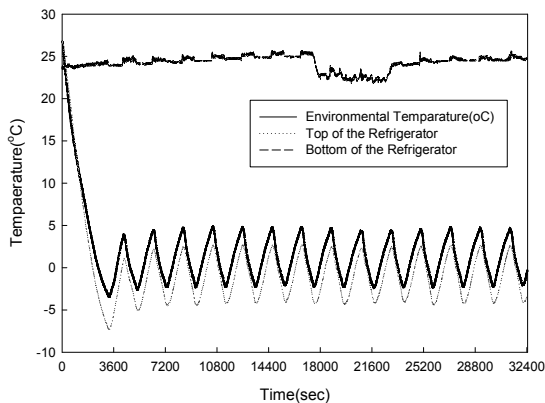
[Fig. 3] Energy balance between the refrigerant and air side cooling capacity

실험결과에 의하면 에너지 평형오차율은 5% 이내로 분포하였다. [Fig. 3]은 운전조건에 따른 공기와 냉매측의 냉방용량을 측정하여 비교한 값을 나타낸다.

$$Q_{dev}(\%) = \frac{Q_{e, air} - Q_{e, ref}}{Q_{e, air}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

## 2. 실험결과

고속열차용 냉장고에 냉매 R134a를 충전하고 냉장고의 설정온도를 0℃로 하여 운전한 경우의 측정된 결과를 [Fig. 4]에 나타냈다. 실내온도 23.5℃에서 오전 9시 정각에 시작한 실험은 오후 6시 정각까지 9시간 실험하였으며, 냉장고내 온도 27℃에서 운전시작 41분에 0℃에 도달하였다.

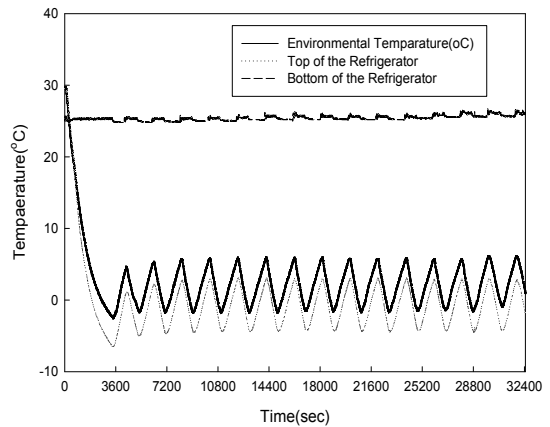


[Fig. 4] Results at measurement point in the refrigerator with refrigerant R134a applied(S.T. : 0℃)

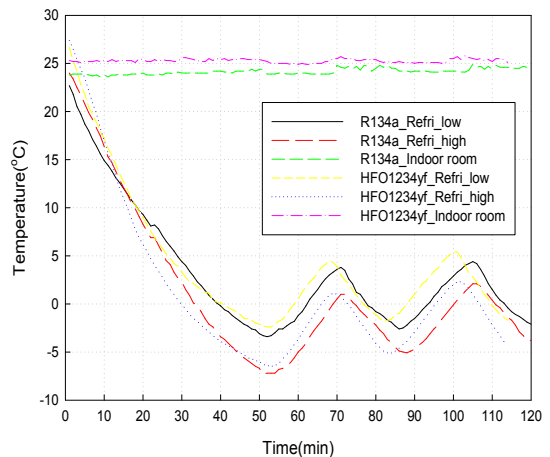
운전시작 53분에 -3.4℃에 도달한 후 냉장고의 운전이 정지되었다. 이후 -3.5℃까지 냉장고 내의 온도가 내려갔지만, 차츰 상승하여 냉장고 내 온도 4.2℃에서 다시 작동하였다.

[Fig. 5]는 냉매 R1234yf를 고속열차용 냉장고에 충전하고 냉장고의 설정온도를 0℃로 운전하여 측정된 결과를 나타낸 그래프이다. 실내온도 25℃인 실험실에서 오전 8시 34분에 실험을 시작

하여 오후 6시 12분까지 9시간 38분간 실험하였다. 운전시작시 냉장고내의 온도는 29.0℃이었는데, 43분만인 9시 17분에 설정온도 0℃에 도달하였다. 운전시작 54분인 9시 28분에 -2.3℃에 도달, 냉장고의 운전이 정지되었다. 이후 -2.4℃까지 냉장고 내의 온도가 더 내려갔으며 차츰 상승하여 냉장고내 온도가 3.2℃까지 상승한(냉장고 정지시간으로부터 14분) 시점에 다시 작동하였다.



[Fig. 5] Results at measurement point in the refrigerator with refrigerant R1234yf applied(S.T. : 0℃)



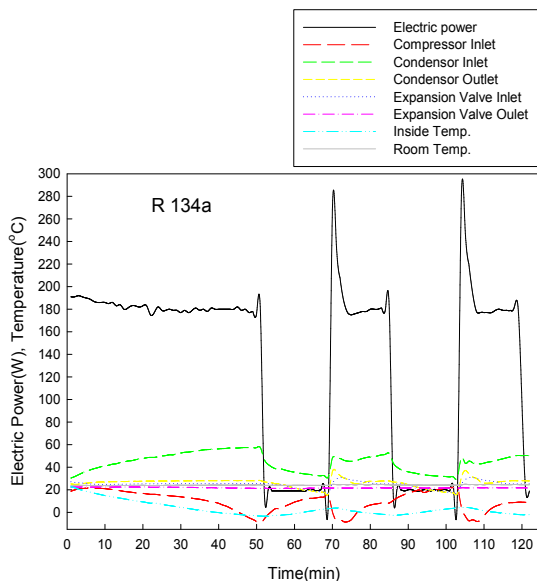
[Fig. 6] Temperature change in refrigerator by refrigerant

R134a와 R1234yf 냉매를 적용한 고속열차용 냉장고의 성능비교

[Fig. 6]은 냉장고 내의 온도를 0℃로 셋팅했을 때 R134a 냉매와 R1234yf 냉매를 사용했을 때의 냉장고 상부와 하부의 온도 및 실내공기온도를 나타낸 것이다. R134a 냉매는 냉장고 상부 및 하부의 온도가 R1234yf 냉매보다 낮았다. 또한 설정된 온도보다 온도편차 역시 R134a 냉매 쪽이 더 크게 나타났다.

[Fig. 7]은 R134a 냉매를 사용하여 냉장고 내의 온도를 0℃로 셋팅했을 때 소비전력과, 각 지점에서 측정된 압력과 온도 변화를 나타낸 것이다.

실내온도는 23.5℃~24.8℃인 조건에서, 냉장고 내 온도 26.7℃에서 시작하여 40분이 경과하여 0℃에 도달하였으며, 54분이 경과할 무렵 -3.4℃까지 내려갔다가 다시 상승하여, 20분간의 정지 상태에서 3.8℃까지 상승하여 다시 15분간에 걸쳐 온도가 -2.6℃까지 내려가는 것을 반복하였으며, 0℃를 기준으로  $\pm 3.0℃$ 를 보였다. 냉장고가 작동하는 시기에는 초기(270 W)를 제외하면 소비전력이 평균 180 W였으며, 정지시에는 19 W의 전력소비를 나타냈다.



[Fig. 7] Changes in power consumption due to refrigerant R134a

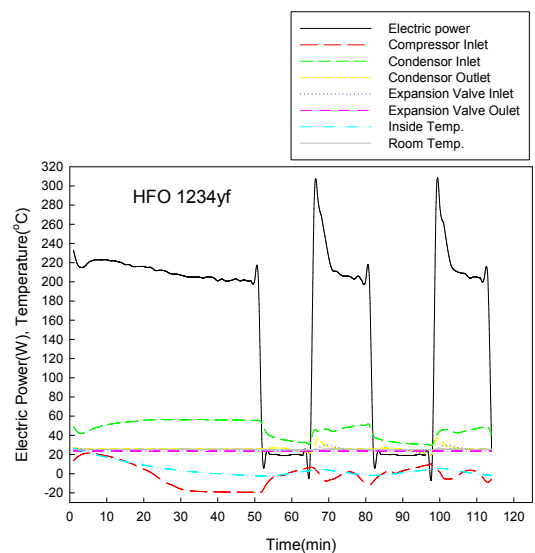
[Fig. 8]은 R134a 냉매를 사용하여 냉장고 내의 온도를 0℃로 셋팅했을 때 소비전력과, 각 지점에서 측정된 압력과 온도 변화를 나타낸 것이다.

실내온도는 24.9℃~25.7℃인 조건에서, 냉장고 내 온도 26.7℃에서 시작하여 42분이 경과하여 0℃에 도달하였으며, 54분이 경과할 무렵 -2.4℃까지 내려갔다가 다시 상승하여, 15분간의 정지 상태에서 4.5℃까지 상승하여 다시 14분간에 걸쳐 온도가 -1.8℃까지 내려갔다가 17분간 정지 상태에서 5.4℃까지 상승하는 것을 반복하였으며, 0℃를 기준으로 최대 +5.8℃, -1.8℃를 보였다.

R134a 냉매와 달리 냉장고 내의 온도가 고온으로는 5.8℃까지 높았으며, 최저점은 -1.8℃의 온도를 보였다.

냉장고가 작동하는 시기에는 초기(290 W)를 제외하면 소비전력이 평균 210 W였으며, 정지시에는 20 W의 전력소비를 나타냈다.

이런 특성으로 보아 친환경 냉매인 R1234yf의 소비동력이 동일 조건에서 높았으며, 냉장고 설정온도에 도달하는 시간도 기존 냉매인 R134a에 비해 2~3분 늦었다.



[Fig 8] Changes in power consumption due to refrigerant R1234yf

### IV. 결론

이상과 같이 R134a 및 R1234yf 냉매를 실험장치의 시스템에 충전하여 고내의 설정온도별로 냉각력과 냉각속도, 에너지 소비전력 평가를 수행 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 냉장고 내의 설정온도를 0℃로 한 경우, R134a 냉매의 경우가 R1234yf 냉매의 경우보다 빠르게 도달하였으며, 온도편차도 R134a 쪽이 크게 나타났다.

(2) 동일 설정온도 조건에서 냉장고 내의 상부와 하부 온도는 R134a 냉매쪽이 모두 낮게 유지되었다.

(3) 냉장고 내의 설정온도를 동일하게 할 경우 친환경 냉매인 R1234yf 냉매를 사용한 경우가 소비전력이 크게 나타났다.

### References

Del Col D, Torresin D and Cavallini A(2010). Heat transfer and pressure drop during condensation of the low GWP refrigerant R1234yf, *International Journal of Refrigeration*, 33, 1307~1318.

Global Environmental Change Report(1997). A Brief Analysis of the Kyoto Protocol, 4(24)

Han JS, Lee JS, Lee MR and Jeon SM(2011). An Experimental Study on the Optimization of the Performance Characteristics of R-12234yf in a Household Freezer/Refrigerator, *Proceedings of the SAREK summer annual conference*, 1135~1138.

Koban M(2009). R-1234yf low GWP refrigerant LCCP analysis, *Proceedings of SAE world congress, Detroit, USA*.

Lee TJ, Kim KB, Lee SW and Lee GH(2011). Development of Performance Analysis Program and the Study of Substitution Refrigerant R1234yf for Vehicle Refrigerant Compressor, *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 23(11), 699~704.

Lee Y. and Jung D(2012). A brief performance comparison of R1234yf and R134a in a bench tester for automobile applications, *Applied Thermal engineering*, 35, 240~242.

Longo AG(2012). Vaporisation of the low GWP refrigeration R1234yf inside a brazed plate heat exchanger, *International Journal of Refrigeration*, 35, 952~961.

Park K, Lee C, Kang DG and Jung D(2010). External Condensation Heat Transfer Coefficients of R1234yf, *Korea Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering*, 22(6), 345~352.

Park KJ, Lee YH, Choe DS and Jung DS(2010). Performance of R1234yf and R1234yf/R134a Mixture under Mobile Air-conditioner Operating Conditions, *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 22(12), 837~844.

Zilio C, Steven Brown J, Schiochet G and Cavallini A(2011). The refrigerant R1234yf in air conditioning systems, *Energy*, 36, 6110~6120.

- 
- Received : 21 May, 2019
  - Revised : 30 May, 2019
  - Accepted : 04 April, 2019