

전기상용차 칠러 적용 히트펌프 시스템 난방 성능 특성에 관한 연구

이호성*, 전한별*, 원종필*, 구영모*, 한만승**

*한국자동차연구원 열제어연구센터

**고아정공 모터연구소

e-mail : leehs@katech.re.kr

Experimental Study on Heating Performance Characteristics of Heat Pump System with Chiller for Light-duty Commercial Electric Vehicles

Ho-Seong Lee*, Han-Byeol Jeon*, Jong-Phil Won*, Young-Mo Goo*,
Man-Seung Han**

*Korea Automotive Technology Institute

**Koh-A Jung Gong

요 약

본 연구에서는 전기 상용차의 실내 난방에 사용되는 냉각수의 온도를 높이기 위하여, 냉매를 사용하고자 하는 칠러는 적용한 히트펌프 시스템을 전기상용차에 적용하였을 때, 난방운전시의 성능 특성을 분석하였다. 칠러에 적용되는 냉각수 온도에 대한 변화, 그리고, 시스템에 적용된 전동식 압축기의 회전수 변화에 대한 영향도 분석하였다. 칠러에서의 열전달량은 냉각수 온도가 낮을수록 크고, 시스템도 전동식 압축기의 전영역에서 안정적으로 움직인다는 것을 알 수 있었다. 실내 난방을 위한 히터코어에서는 냉각수 온도가 높을수록 공기측과의 온도차에 의해서, 열전달량이 커진다는 것을 알 수 있었지만, 냉각수 온도가 높으면, 시스템이 고압조건에서 운전되기 때문에, 전동식 압축기의 운전범위가 좁아진다는 것을 알 수 있었다. 폐회로 구조의 히트펌프 시스템에서 냉각수 온도를 높이기 위하여, 히트펌프 단독운전을 진행하였을 때, 실내 난방 부하에 대응하기에는 시간이 많이 소요되므로, 히트펌프 시스템과 냉각수 가열식 히터의 조합을 통한 연구가 필요할 것으로 판단되어서, 향후에는 냉각수 가열 히터와 히트펌프 시스템의 하이브리드화를 통한 시스템 효율 등을 분석하여서, 최적 운전에 대한 연구를 진행할 예정이다.

1. 서론

현재 대기오염 문제로 각국 도시의 디젤 상용차에 대해서 도심 진입 제한이 확대되고 있는 반면 도심 배송용 트럭 수요는 온라인 쇼핑시장 성장 등 도심 물류산업이 빠르게 성장하면서 지속적으로 증가하고 있다. 2012년부터 온실가스 규제가 도입된 소형자동차와 달리, 대형자동차에 대한 온실가스 규제는 이르면 2020년 이후에 도입이 가능할 것으로 보인다. 대형자동차의 온실가스 규제가 소형자동차와 비교하여 늦어진 까닭은 대형자동차는 운수 업계에 종사하는 국민들의 생계와 직결되어 있고, 국가 물류 산업의 근간으로서 경제와 밀접한 연관성을 갖는다는 점 때문이다. 대형자동차는 국내 전체 자동차 등록대수의 5% 이하로 수송부문에 차지하는 비중은 낮은 편이다. 그럼에도 불구하고 대형자동차에서 발생하는 온실가스 배출량은 수송부문 온실가스 배출량의

1/4로 자동차 등록대수에 비해 높은 비율을 차지하고 있다. 대형자동차의 온실가스 배출량이 높은 원인으로서는 대형자동차는 엔진의 높은 배기량으로 인해 연비가 낮고 온실가스 배출량이 높은 점과, 대부분의 대형자동차는 자가용이 아닌 사업 및 운수업에 활용되기 때문에 주행거리가 길고 주행시간이 많기 때문으로 분석되고 있다. 온실가스 감축 수요가 지속적으로 증가하는 국제 정세를 감안하고 수송부문의 효율적인 온실가스 배출량 관리를 위해선 대형자동차에서 발생하는 온실가스를 줄이는 방안이 필요하다. 대형자동차에서 온실가스를 줄이는 방안으로 전기동력자동차(전기차 및 수소연료전지 자동차)의 적용을 고려하여서, 개발이 진행중이다.[1]

전기상용차에서 분석되었던 바와 같이, 전기대형자동차에서도 난방을 위한 별도 열원이 필요하기 때문에, 저온 운전시, 난방 부하대응을 위하여서, 현재 주로 적용되고 있는 전기히터가 고려되고 있다. 전

기승용차량의 경우에도, 주행거리가 20~50%까지 낮아지는 것으로 보고(히트펌프 시스템 : 30%이하 수준, 전기 히터 : 40.0%이상) 되고 있으며, 전기상용차는 감소폭이 더 클 것으로 예상되기 때문에, 히트펌프 시스템의 적용이 고려되고 있다. [2]

히트펌프 시스템의 경우, 냉난방이 가능한 시스템으로, 전기자동차에 적용하기 위해서 많은 연구가 진행되고 있다. Jeon et al.[2]은 전기상용차에 적용될 수 냉각수 열원을 활용한 히트펌프 시스템에 대해서, 냉방운전시의 특성을 분석하였다. Woo et al. [3]은 공기열원과 폐열원의 이중열원 이용한 전기자동차용 히트펌프의 난방 운전 특성에 대해서 고찰하였다. 기존의 공기열원을 이용하는 시스템과 폐열원을 이용한 시스템에서 난방 성능실험을 수행하였고, 각 열원에서의 난방용량 부족을 해결하기 위해 두 열원을 동시에 이용하는 이중열원 히트펌프 시스템을 설계 및 제작하여 폐열측 바이패스 유량비에 따른 난방 성능 연구를 진행하였고, Wang et al. [4]는 전기자동차 CO₂ 히트펌프에 대하여서, -20℃ 저온에서 난방 성능과 시스템 효율을 진행하여, 히트펌프 성능 향상을 위하여서, 냉매를 바꾸어서 진행한 연구 결과를 제시하였다. Hosoz et al. [5]는 현재 사용중인 냉매 R-134a를 적용하여서, 히트펌프 성능 향상을 위하여, 열원 사용에 대한 비교 분석을 진행하였다.

기존에 연구된 논문들에서는 히트펌프 시스템의 성능을 향상시키기 위하여서, 냉매를 바꾸거나, 열원을 바꾸었을 때의 연구를 진행하였고, 냉방모드에 국한되어서 진행하였다. 본 연구에서는 전기상용차에 적용되는 냉각수를 실제 운전시 운전조건을 활용하여서, 히트펌프 열원으로 적용하고자 하였고, 국내의 겨울철 운전조건에서의 난방 성능 특성을 분석하고자 하였다.

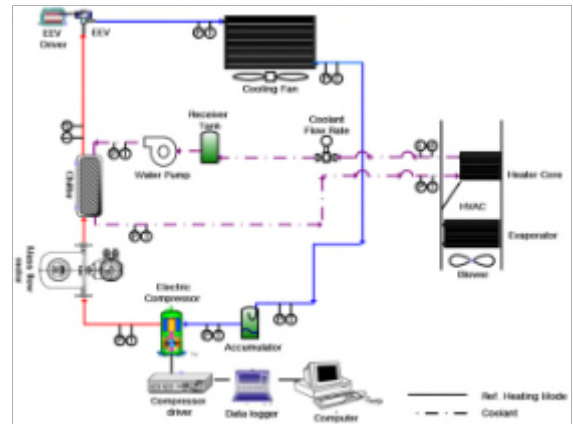
2. 본론

2.1. 실험 장치 및 방법

본 연구에서 진행한 전기 상용차 냉각수 열원 히트펌프 시스템은 냉각수 열원을 확보하기 위하여서, 냉매와 열교환을 하는 칠러(Chiller)를 새로이 적용하였고, 다른 히트펌프 시스템 부품들(전동식 압축기, 실외열교환기(Exterior Heat Exchanger), 증발기(Evaporator), TXV(Thermal Expansion Valve), 어큐뮬레이터(Accumulator))는 기존 히트펌프 동일하

게 적용되었다.

그림 1은 평가 시스템에 대한 Layout을 보여주고 있고, 구성 부품에 대한 상세 사양은 표 1과 같다.



[그림 1] 칠러를 적용한 전기상용차용 히트펌프 시스템 실험 장치 개요

[표 1] 전기상용차용 히트펌프 시스템 핵심부품 사양

Electric Compressor	Type	Scroll
	Displacement	36.0 cc/rev
Chiller	Layers NO.	24 Layer
	Core Size	150×83×58 mm
Exterior Heat Exchanger	Type	PF Type
	Core Size	568×382×20 mm
Heater core	Type	PF Type
	Core Size	185×165×30 mm
Expansion Valve	Type	Electric Expansion Valve
Accumulator	Volume	300cc

본 연구에서는 전기 상용차용 히트펌프 시스템의 난방 성능 및 시스템 효율을 분석하기 위하여서, 실험적으로 진행하였다. 국내 동절기에 자동차가 운전하였을 때, 다양한 조건으로 차량의 운전 조건 변화로 칠러의 냉각수 온도에 대한 변화, 전동식 압축기 회전수에 대한 성능 변화 특성 평가를 수행하였다. 본 연구의 실험 조건은 표 2와 같다. 시스템 압력이 25bar를 최대 압력으로 고려하여서, 진행하였다.

[표 2] 전기상용차용 히트펌프 난방 모드 평가 조건

Electric Compressor	Compressor Speed [RPM]	2,000, 3,000, 4,000, 5,000, 6,000
Chiller	Coolant Temp. [°C]	-6.7, 0, 10, 20, 30, 40, 50
	Coolant Flow Rate [L/min]	10
Exterior Heat Exchanger	Air Temp. [°C]	-6.7
	Air Velocity [m/s]	3.0
Heater core	Air Temp. [°C]	-6.7
	Air Flow Rate [m ³ /h]	300

시스템의 난방 특성을 파악하고자 칠러의 열전달량,

히터코어의 열전달량, 그리고 성능계수(COP)는 아래 식에 의해서, 계산하였다.

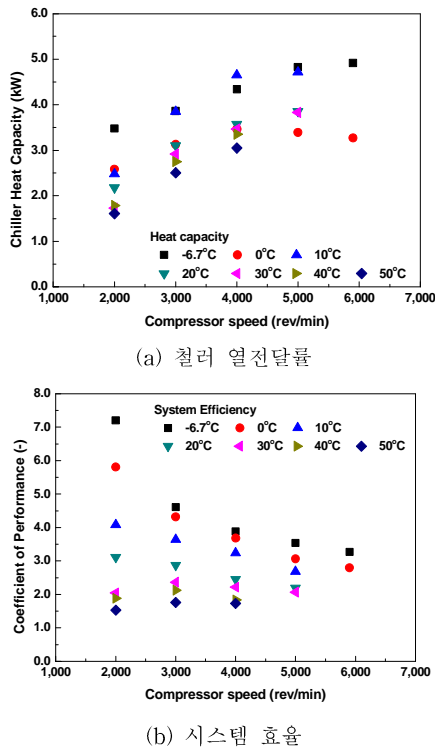
$$\dot{Q}_{HC} = \dot{m}_a(h_{a,i} - h_{a,o}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_{ref}(h_{r,i} - h_{r,o}) \quad (2)$$

$$COP_{Heating} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}_{Comp.}} \quad (3)$$

2.2. 실험 결과 및 고찰

본 전기상용차용 난방시스템은 고온냉매를 저온 냉각수와 열교환을 진행하여서, 냉각수온도를 상승시켜서, 히터코어에서 공기와의 열교환으로 실내 난방을 하고자 하는 것이다. 칠러에 적용된 냉각수에 따라서, 시스템 특성이 변화되게 되기 때문에, 냉각수 온도와 전동식 압축기 회전수 변화에 대한 연구를 진행하였다.



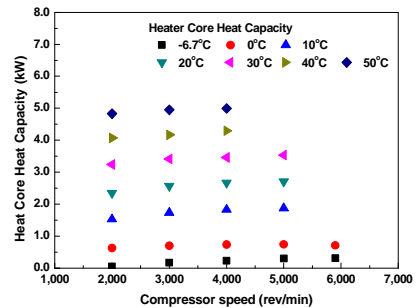
[그림 2] 난방모드 성능 특성 변화

그림 2는 칠러에서의 열교환량과 난방모드시의 시스템 효율에 대한 분석을 진행한 결과를 보여주고 있다. 칠러에서는 냉각수 온도가 낮으면, 열교환량은 증가하게 되고, 냉각수 온도가 높으면, 열교환량은 줄어드는 결과를 보여주고 있다. 시스템 효율 측면에서도, 온도가 낮으면 열교환량은 많고, 소비전력을

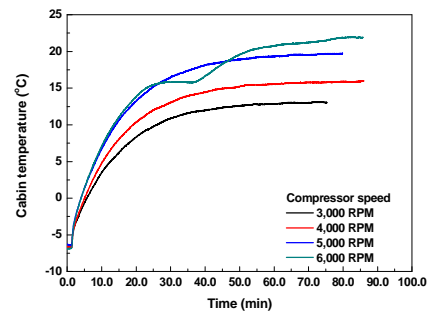
작기 때문에, 효율도 높은 수준을 유지하는 것을 알 수 있다. 칠러의 경우, 약 4.9kW의 냉각수로의 열전달이 진행될 수 있는 것을 볼 수 있고, 시스템 효율은 약 3.26정도를 보여주고 있다. 최소 수준 대비 약 41%정도의 열전달량 증가를 보여주고 있다.

냉매로부터 열전달을 받은 냉각수를 히터코어에 적용하여서, 공기측과 열교환을 통하여서, 실내 난방을 진행하는 자동차 구조에서, 냉각수 온도 변화에 대한 히터코어의 성능 특성을 분석하였다. 칠러를 통과하는 냉각수의 출구온도가 입구온도 대비 크지 않았기 때문에, 히터코어의 성능은 냉각수 입구조건에 따라서, 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 냉각수 입구조건이 온도가 높으면, 공기와의 온도차가 높아져서, 열전달량이 증가되지만, 입구 온도가 낮으면, 공기와의 온도차가 낮아져서, 히터코어에서의 냉각수와 공기와의 열전달량은 상대적으로 적은 것을 그림 3에서 보여주고 있다. 냉각수 온도가 -6.7°C일 경우에는 약 0.2kW 수준이지만, 50°C일 경우에는 5.0kW로 상당히 높은 결과를 보여주고 있다. 전기상용차의 난방 요구조건이 5.0~6.0kW 수준이므로, 냉각수 온도가 50°C 이상은 되어야 난방 요구조건을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.[6]

그림 2와 3의 경우, 정상상태의 운전시의 성능 특성을 분석한 것이기 때문에, 냉각수 입구온도가 영향을 많이 미치고 있다. 그러므로, 폐회로 구조의 시스템을 과도상태에서의 특성을 분석하고자 하였다.



[그림 3] 난방운전시 히터코어 열전달 성능



[그림 4] 과도상태 운전시 실내측 난방 성능

과도상태의 운전을 통하여서, 실내측 온도 변화 특성을 분석하였을 때, 그림 4와 같은 결과를 보여주고 있다. 최대 회전수에서 실내온도가 22℃가 되기 위해서는 약 90분 정도의 시간이 필요하다는 결과를 보여주고 있다. 그러므로, 히터코어에서 냉각수와 공기와의 열교환을 통하여서, 실내 난방을 위하여서는 히트펌프 시스템 하나가 아닌 히트펌프 시스템과 냉각수 가열식 히터가 함께 적용되어서, 냉각수 온도를 일부 올려놓은 상황에서 히트펌프 시스템을 작동시키는 방향으로 진행하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3. 결론

칠러를 적용하여서, 냉각수의 온도를 높이기 위하여서, 냉매를 사용하고자 하는 히트펌프 시스템을 전기상용차에 적용하였을 때 난방운전시의 성능 특성을 본 연구에서 분석하였다. 분석 결과 아래와 같은 결론을 얻게 되었다.

(1) 칠러에서의 열전달량은 냉각수 온도가 낮을수록 크고, 시스템도 전동식 압축기의 전영역에서 안정적으로 움직인다는 것을 알 수 있었다.

(2) 실내 난방을 위한 히터코어에서는 냉각수 온도가 높을수록 공기측과의 온도차에 의해서, 열전달량이 커진다는 것을 알 수 있었지만, 냉각수 온도가 높으면, 시스템이 고압조건에서 운전되기 때문에, 전동식 압축기의 운전범위가 좁아진다는 것을 알 수 있었다.

(3) 폐회로 구조의 히트펌프 시스템에서 냉각수 온도를 높이기 위하여서, 히트펌프 단독운전을 진행하였을 때, 실내 난방 부하에 대응하기에는 시간이 많이 소요되므로, 히트펌프 시스템과 냉각수 가열식 히터의 조합을 통한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

향후에는 냉각수 가열 히터와 히트펌프 시스템의 하이브리드화를 통한 시스템 효율 등을 분석하여서, 최적 운전에 대한 연구를 진행할 예정이다.

후기

본 연구는 산업통상자원부에서 친환경자동차 부품 클러스터 조성 사업(과제번호 : P0000760)과 산업핵심기술개발사업(과제번호 : 10084611)의 지원하에 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Ho-Seong Lee, Han-Byeol Jeon, Jung-Il Kim, Moo-Yeon Lee, "Experimental study on cooling performance characteristics of hybrid refrigeration system in a heavy duty vehicle", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 1, pp. 419-425, 2019, <https://10.5762/KAIS.2019.20.1.419>
- [2] Han-Byeol Jeon, Jung-Il Kim, Hun-Joo Won, Ho-Seong Lee, "A Study on Performance Characteristics of Heat Pump System on Cooling Mode for Light-duty Commercial Electric Vehicle", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 12, 2019, <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.12>.
- [3] Hyoung Suk Woo, Jae Hwan Ahn, Myoung Su Oh, Hoon Kang, Yongchan Kim "Study on the Heating Performance Characteristics of a Heat Pump System Utilizing Air and Waste Heat Source for Electric Vehicles" Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 25(4), pp180-186, 2013
- [4] Dandong Wang, Bingbing Yu, Jichao Hu, Liang Chen, Junye Shi, Jiangping Chen, "Heating performance characteristics of CO2 heat pump system for electrical vehicle in a cold climate", International Journal of Refrigeration 85 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.09.009>
- [5] Murat Hosoz, Mehmet Direk, Kadri S. Yigit, Mustafa Canakci, Ali Turkan, Ertan Alptekin, Ali Sanli, "Performance evaluation of an R134a automotive heat pump system for various heat sources in comparison with baseline heating system", Applied Thermal Engineering 78(2015), pp. 419-427
- [6] Yong-Chul Kim, Nak-Sup Sung, Keon-Soo Jin, Hoo-Taek Cho, "Consideration of High Voltage PTC Heater", Proceeding of KSAE, 2011