

EV 상용차용 히트펌프 시스템 냉방 운전 특성에 관한 연구

전한별¹, 김정일², 원현주³, 이호성^{1*}

¹한국자동차연구원 열제어시스템 연구센터, ²세덕 주식회사, ³동아전장 주식회사

A Study on Performance Characteristics of Heat Pump System on Cooling Mode for Light-duty Commercial Electric Vehicles

Hanbyeol Jeon¹, Jung-Il Kim², Hun-Joo Won³, Ho-Seong Lee^{1*}

¹Thermal Management System R&D Center, KATECH

²Technical sales dept., CEDIC

³Motor R&D Center, Dong-Aha Electric Equipment Co. Ltd

요약 본 연구의 목적은 EV 경상용차에 적용되는 히트펌프 시스템에 대한 냉방 성능 특성을 실험적으로 분석하는 것이다. EV 경상용차가 운전되는 냉방 운전조건인 외기온도 35 °C, 내기온도 25 °C 상황에서, 히트펌프 시스템의 냉방 특성을 분석하고자, 냉각수의 온도조건, 전동식 압축기 회전수 조건 변화에 대해서, 실험을 진행하였고, 그 결과를 분석하였다. 전동식 압축기 회전수가 증가할수록 냉방 성능이 평균 8.0 %가 증가하였고, 전동식 압축기 소비전력은 27 %가 증가하여서, 시스템 효율은 16.4 %가 감소하는 결과를 보여주고 있다. 전자장비 냉각을 위한 냉각수의 폐열을 활용하기 위하여서, 냉매랑 냉각수가 열교환 하는 칠러를 본 시스템에 적용하였다. 칠러에 적용되는 냉각수의 온도를 35 °C에서 55 °C로 변화시켰을 때, 응축 열원의 증가로 인하여서, 시스템 효율이 평균적으로 18.2 %가 떨어지는 결과를 보여주고 있다. 냉각수 유량 변화 측면에서, 운전 조건을 변화시켰지만, 냉방 성능에는 큰 변화를 보이고 있지 않았다. 향후, 냉각수 폐열을 사용하여서, 히트펌프 시스템에 대한 난방 성능 향상을 위한 연구가 필요한 상황에서, 관련 연구에 추가 할 예정이다.

Abstract The cooling performance of heat pump system for light-duty commercial electric vehicle was evaluated experimentally. The cooling performance characteristics of the heat pump for light-duty commercial electric vehicles were evaluated by varying the temperature, flow rate of chiller coolant, and electric compressor speed, under the exterior air temperature of 35 °C and interior air temperature of 25 °C. Increasing the compressor speeds decreased the cooling system efficiency by 16.4 % on average with the cooling capacity increasing by 8.0 % on average and the compressor work increasing by 27% on average. To use waste heat from the coolant to chill power electronic components, such as the motor and inverter, a chiller was installed to transfer heat between the coolant and refrigerant. Increasing the temperature of the chiller coolant from 35 °C to 55 °C decreased the efficiency by 18.2 % on average due to higher condensing heat source. Increasing the coolant flow rate from 10 liter/min to 20 liter/min did not affect the cooling capacity of the system due to a similar total condensing heat transfer rate at the chiller and the exterior heat exchanger. In future works, heating performance will be investigated by varying the operating conditions to use the chiller's waste heat with an improvement of heating capacity.

Key Words : Light-Duty Commercial Electric Vehicle, Chiller, Heat pump system, Cooling performance, Coolant operating conditions

본 논문은 산업통상자원부에서 지원하는 산업기술혁신사업(우수기술연구센터(ATC, 10051890)사업, 국가혁신클러스터 R&D 사업(울산, P036700113))으로 진행된 연구임.

*Corresponding Author : Ho-Seong Lee(KATECH)

email: leehs@katech.re.kr

Received November 4, 2019

Revised December 4, 2019

Accepted December 6, 2019

Published December 31, 2019

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. 국내의 경우 상용차 등 공로를 이용한 화물운반량을 살펴보면 2015년 기준 17.6억톤으로 2011년 14.4억톤 대비 22% 증가하였으며, 국내 화물수송분담율의 91.3%를 차지하여 2011년 89.6% 대비 1.7% 증가하는 등 비중이 증가하고 있는 추세이다. 상용차는 승용차 대비 적은 생산량에도 불구하고 환경오염물과 온실가스(CO₂) 배출비중이 높은 편으로 국내 상용차 보유대수는 전체 차량의 약 27%(등록기준)에 불과하나, 공해오염(NO_x)에 기여율은 약 80%에 해당하고, 미세먼지(PM10)의 경우에는 전체 자동차 배출의 77%를 차지하고 있다. 특히 상용차는 대당 질소산화물(NO_x) 배출량은 승용차의 9.2배, 분진(PM) 배출량은 232배에 이르고 있어서, 세계 각국은 자동차를 주요 온실가스 배출원으로 지목하고, 강력한 온실가스 배출 저감과 연비 개선을 위한 각종 정책을 시행하고 있다. 그중에 하나로 전기트럭을 개발하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

전기차는 내연기관처럼 난방 열원(엔진)을 보유하고 있지 않아서, 난방을 위한 별도 열원이 필요하여, 현재 주로 적용되는 있는 전기히터의 작동에 따라, 전기승용차의 경우에도 주행거리가 20~50%까지 낮아지는 것으로 보고 되고 있으며, 전기상용차는 화물의 승하차를 위하여서, 문을 빈번한 개폐가 이루어지기 때문에, 냉난방 부하가 승용 전기차에 비해서, 더 크기 때문에, 냉난방 시스템 적용으로 인한 전력감소가 승용대비 더 클 것으로 예상되는 바, 효율적인 히트펌프 시스템의 연구하여, 주행거리 연장을 위한 기술 연구 개발이 필요한 상황이다.

히트펌프 시스템의 경우, 가정용 시스템에 적용이 많이 진행된 기술로, 요즘에는 전기승용차에도 적용하기 위해서 연구되고 있는 기술로, TOSHIHISA et al. [1]은 수냉식 전기 히터보다 히트펌프가 나은지 알아보기 위해서 외기 공기 열원으로 하는 히트펌프 시스템을 구축하여 연구 해보니 외기 공기 열원으로 하는 히트펌프 시스템이 수랭식 전기 히터보다 전기에너지를 감소하고 있는 것을 보여주고 있고, Antonijevic et al. [2]은 히트펌프 시스템이 PTC 전기히터보다 연비와 성능측면에서 우수하다고 하였다. Woo et al. [3]은 공기열원과 폐열원의 이중열원 이용한 전기자동차용 히트펌프의 난방 운전 특

성에 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, Choi et al. [4]은 공랭식 히트펌프에 대해서 동절기 외기온에 따른 공랭식 히트펌프 시스템의 성능 평가를 통해 히트펌프 시스템의 외부 환경 오인에 따른 효율 향상에 대해서 실험적 연구를 진행하였고, Park et al. [5]는 전기차량용 히트펌프의 운전 특성 해석을 위해 MATLAB / SIMULINK 환경에서 R134a 히트펌프 모델과 캐빈 모델을 설계하여, 모델은 여름과 겨울에서 히트펌프의 작동 특성에 따른 실내 온도변화를 나타낼 수 있으며, 모델 검증은 구성품 수준에서 응축기와 증발기의 용량 비교를 연구를 진행하였다.

기존에 연구된 논문들에서는 칠러를 냉방시에는 사용하지 않고, 난방시에 증발기 역할을 하고 있으며, 국내의 H사에서는 개발한 히트펌프 시스템은 실내열교환기를 이용하여, 난방을 하나, 겨울철 실내 제습시 난방 성능 저하에 대한 문제가 발생된다.

EV 상용차용 히트펌프 시스템에서는 칠러에서 냉매와 냉각수가 열교환이 이루어지면서, 칠러를 냉각한 하면서 얻은 열이 냉각수로 열을 전달되어서, 가열된 냉각수가 히터코어에 가서, 난방에 사용된다. 히터코어를 사용하여 난방하기 때문에, 제습을 위해 냉방사이클을 적용하여도, 냉각수 히팅과 제습이 동시에 가능하여 난방성능 저하가 이루어지 않는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 EV 상용차용 히트펌프 시스템에서 냉방시 칠러와 외부열교환기가 응축기 역할을 수행에 대해서 분석하자고 연구를 수행하였으며, 여름철 차량 특성에 맞게 평가조건을 하여 시스템의 냉방 성능 특성 및 에너지 효율을 향상시키고자 실험적인 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 실험계산

EV 상용차용 히트펌프는 전동식 압축기, 칠러(Chiller), 실외열교환기(Exterior Heat Exchanger), 증발기(Evaporator), TXV(Thermal Expansion Valve), 어큐뮬레이터(Accumulator) 등으로 구성되어 있다.

칠러는 냉난모드에서는 응축과정이 일어나며, 실외열교환기는 냉방모드일 때에는 응축기 역할을 하지만 난방

모드일 때에는 증발기 역할을 하며, 어큐뮬레이터는 전동식 압축기에 액상의 냉매가 들어가지 못하게 보호할 수 있도록 구성하였다. 구성 부품에 대한 상세 사양은 Table 1에서 보는 바와 같다.

EV 상용차용 히트펌프 시스템의 성능을 평가하기 위한 실험 장치의 배치도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

냉방모드에서 냉매의 흐름을 살펴보면, 냉매가 압축기에서 압축되어서, 칠러와 외부열교환기에서 응축과정이 일어나고, TXV에서 팽창을 일어난 후에 증발기에서 증발과정이 일어났다.

일반적인 냉방시스템에서는 응축기 하나로 냉매를 응축하나, EV 상용차용 히트펌프 시스템에서는 칠러에서 냉각수랑 열교환을 하면서 냉매가 응축되고, 외부열교환기에서 공기와 추가적으로 열교환을 하면서 냉매가 또 응축이 된다. 냉매가 총 두 번의 응축이 진행되는 시스템으로 구성하였다.

본 연구에서는 EV 상용차용 히트펌프 시스템의 냉방 성능 및 시스템 효율을 분석하기 위하여, 실험적으로 진행하였다.

하절기 차량에서 나타나는 다양한 조건으로 차량의 운전 조건 변화로 칠러의 냉각수 온도 및 냉각수 유량에 대한 변화, 전동식 압축기 회전수에 대한 변화 특성 평가를 수행하였다. 본 연구의 실험 조건은 Table 2에서 보는 바와 같다.

시스템의 냉방 특성을 파악하고자 냉방 성능, 전동식 압축기 소비전력 그리고 시스템 효율(COP)를 계산하였다.

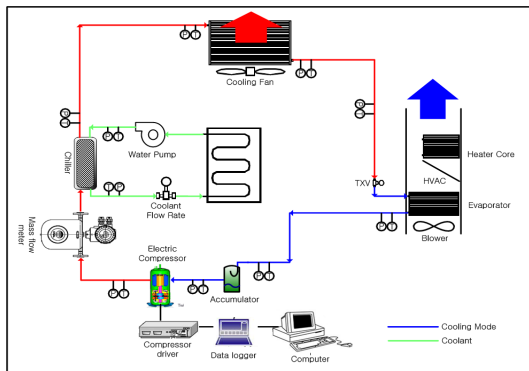


Fig. 1. Schematic diagram of heat pump

Table 1. Specification of tested system components

Name	Specification	
Electric Compressor	Type	Scroll
	Displacement [cc/rev]	27.0
Chiller	Layers NO.	24
	Core Size [mm]	142×80×68
Exterior Heat Exchanger	Type	Parallel Flow Type
	Core Size [mm]	465×365×12
Evaporator	Type	Parallel Flow Type
	Core Size [mm]	216×200×48
Expansion Valve	Type	Thermal expansion valve
Accumulator	Volume [cc]	300

냉방 성능은 증발기 공기측에서 일어나는 잠열변화를 이용한 Eq. (1)에 의해서 계산된다.

$$Q_{cooling} = \dot{m}_a (h_{a,i} - h_{a,o}) \quad (1)$$

Where, \dot{m}_a denotes air side mass flow rate, $h_{a,i}$ denotes air side inlet enthalpy, $h_{a,o}$ denotes air side outlet enthalpy

전동식 압축기 소비전력은 Eq. (2)에 의해 전동식 압축기가 일한 에너지를 계산한다.

$$W = \dot{m}_{ref} (h_{ref,c,o} - h_{ref,c,i}) \quad (2)$$

Where, \dot{m}_{ref} denotes refrigerant mass flow rate, $h_{ref,c,o}$ denotes refrigerant compressor outlet enthalpy, $h_{ref,c,i}$ denotes refrigerant compressor inlet enthalpy

냉방 성능과 전동식 압축기 소비전력 계산한 값을 이용하여 시스템 효율은 Eq. (3)에 의해서 계산된다.

$$COP_{cooling} = \frac{Q_{cooling}}{W} \quad (3)$$

Where, $Q_{cooling}$ denotes cooling capacity, W compressor work

Table 2. Tested system test matrix

Name	Test Condition	
Electric Compressor	Compressor Speed [RPM]	4,000, 5,000, 6,000
	Coolant Temp. [°C]	35, 45, 55
Chiller	Coolant Flow Rate [liter/min]	10, 15, 20
	Air Temp. [°C]	35
Exterior Heat Exchanger	Air Velocity [m/s]	3.0
	Air Temp. [°C]	25
Evaporator	R.H.[%]	60
	Air Flow Rate [m³/h]	450

Table 3. Test equipment and uncertainty of the experimental parameters

Items	Accuracy
Thermocouples (T-type)	±0.1 °C
Pressure gage (Sensors, PI3H)	±0.1 % (Max 250bar)
Mass flow meter (Coriolis type)	±0.15 %, Max 680kg/h
Data logger (Gantner)	E. Gate IP (V3) (2.93W @ 12.06V)
Cooling capacity	4.5 %
COP	5.8 %

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전동식 압축기 회전수 변화의 영향

전동식 압축기 회전수의 조건을 변화시키면서 시스템의 냉방 특성을 알아보았다. 외기 온도 35 °C에서 외부열교환기의 입구 공기 속도는 3.0 m/s로 고정시켰다. 실내측 입구 공기는 25 °C, 60 %RH, 풍량 450 m³/h로 고정시켰다. 칠러 냉각수의 온도는 35 °C로 칠러 냉각수의 유량은 10 liter/min으로 하였으며, 전동식 압축기 회전수를 4,000 RPM, 5,000 RPM, 6,000 RPM로 변화를 시키면서 시스템의 냉방 특성을 파악하였다. Fig. 2는 전동식 압축기 회전수 변화시의 냉방성능, 소비전력, 그리고, 시스템 효율 경향을 보여주고 있고, 경향에 대한 분석을 위하여서, P-h 선도도 사이클을 표시하였다.

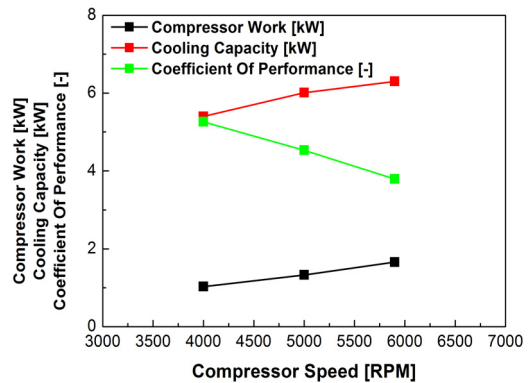
냉방 성능을 살펴보면, 전동식 압축기의 회전수를 1,000 RPM씩 증가 할 때마다 냉방 성능이 약 0.45 kW 정도 간격으로 증가한다. 최대와 최소 회전수에서의 냉방 성능은 약 8.0 % 정도 증가하였다.

전동식 압축기 소비전력을 살펴보면, 전동식 압축기 회전수가 증가하면 0.3 kW 정도 간격으로 증가한다. 백분율로 환산하면 약 27.0 % 정도 간격으로 증가한다.

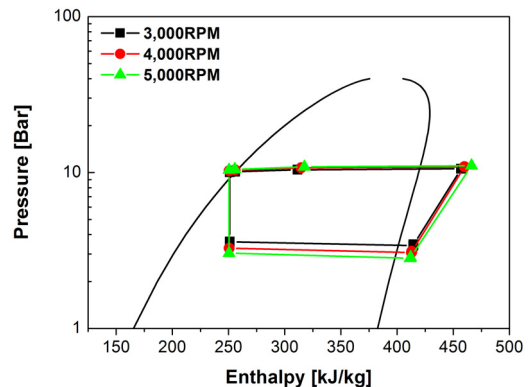
냉방 성능의 증가폭보다 전동기 압축기 소비전력의 증가폭이 상대적으로 큰 폭으로 증가하여, 시스템 효율이 전동식 압축기 회전수가 증가하면 약 0.74 정도 간격으로 시스템 효율이 감소한다. 최대와 최소회전수에서의 시스템 효율은 약 16.4 % 정도 감소한다.

P-h 선도를 보면, 전동식 압축기 회전수가 증가할수록 고압측은 일정하게 유지되는 경향을 보인다. 반면, 전동식 압축기 회전수가 증가할수록 저압측 압력이 낮아지는 경향을 보인다. 저압측 압력이 낮아지면, 냉매의 밀도는 감소한다.

냉매의 밀도가 감소하였지만, 냉매의 밀도 감소폭보다 전동식 압축기 회전수의 증가폭이 상대적으로 큰 폭으로 증가하여, 냉매측 질량 유량이 증가하여, 증발기 공기측에서 열교환량이 증가하여, 냉방 성능이 증가하는 경향을 보인다. 또한 냉매측 질량 유량이 증가하여, 전동식 압축기 소비전력이 증가하는 경향을 보인다.



(a) Cooling capacity, compressor work and COP



(b) P-h diagram

Fig. 2. Performance for various compressor speed at exterior air conditions 35 °C, 3.0 m/s, interior air conditions : 27 °C, 60.0 %RH, 450 m³/hr, and coolant conditions of the chiller 35 °C, 10 liter/min

3.2 칠러 냉각수 온도 변화의 영향

칠러 냉각수 온도의 조건을 변화시키면서 시스템의 냉방 특성을 알아보았다. 외기 온도 35 °C에서 외부열교환기의 입구 공기 속도는 3.0 m/s로 고정시켰다. 실내측 입구 공기는 25 °C, 60 %RH, 풍량 450 m³/h로 고정시켰다. 전동식 압축기 회전수를 5,000 RPM으로 고정시켰으며, 칠러 냉각수의 유량은 10 liter/min으로 하였으며, 칠러 냉각수의 온도를 35 °C, 45 °C, 55 °C로 변화를 시키면서 시스템의 냉방 특성을 파악하였다. Fig. 3는 칠러 냉각수 온도 조건 변화시의 냉방 성능, 소비전력, 그리고, 시스템 효율 경향을 보여주고 있고, 경향에 대한 분석을 위하여서, P-h 선도로 사이클을 표시하였다.

냉방 성능을 살펴보면, 칠러 냉각수의 온도가 10 °C 간격으로 증가하면 약 0.10 kW 정도 간격으로 냉방 성능이 증가한다. 백분율로 환산하면, 약 2.2 % 정도 간격으로 증가한다. 칠러 냉각수의 온도가 증가하면 냉방 성능이 큰 폭으로 증가하는 경향을 보이지 않는다.

전동식 압축기의 소비전력을 살펴보면, 칠러 냉각수 온도가 증가하면 약 0.38 kW 정도 간격으로 전동식 압축기 소비전력이 증가한다. 백분율로 환산하면, 약 25.5 % 정도 간격으로 전동식 압축기 소비전력이 증가한다.

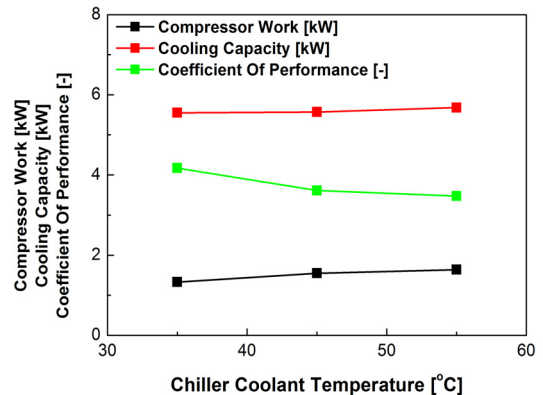
냉방 성능의 증가폭보다 전동기 압축기 소비전력의 증가폭이 상대적으로 큰 폭으로 증가하고 있어서, 시스템 효율이 칠러 냉각수의 온도가 증가할수록 약 0.69 정도 간격으로 시스템 효율이 감소한다. 백분율로 환산하면 약 18.2 % 정도 간격으로 감소하는 경향을 보인다.

P-h 선도를 보면, 칠러 냉각수의 온도를 증가시키면, 고온측의 압력이 올라가는 경향을 보이나, 저온측의 압력이 일정하게 유지 되는 경향을 보인다. 저압측의 압력이 일정하게 유지 되어서, 냉매의 밀도도 일정하게 유지된다. 냉매의 밀도가 일정하게 유지됨으로, 냉매측 질량 유량도 거의 일정하게 유지되어서, 냉방 성능 및 전동식 압축기 소비전력이 큰 폭으로 변화하지 않는다.

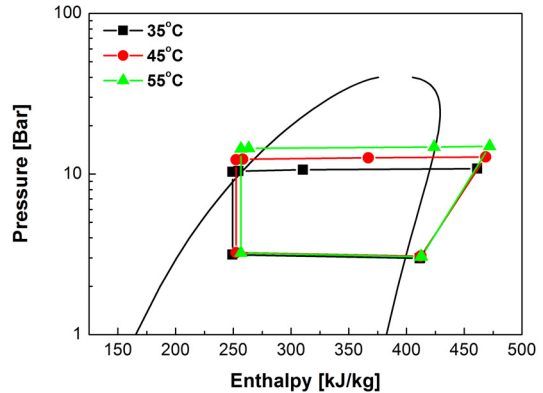
본 연구에서 적용된 시스템의 경우, 칠러에서 냉각수와 냉매와의 열교환을 통한 일부 응축 현상이 일어나고, 실외 열교환기에서 공기와 냉매와의 열교환을 통하여서, 응축 및 과냉을 진행하도록 되어있다.

칠러에 적용되는 냉각수 온도가 상승하게 되면, 냉각수와 열교환을 하게되는 냉매의 온도가 더 상승해야하기 때문에, 압력이 증가하게 되고, 이러한 원인으로, 전동식 압축기의 소비전력이 증가하게 된다. 또한, 냉각수 온도가 증가할 수록 칠러와 실외열교환기의 응축되는 열량의 비율이 달라지고 있는데, 냉각수 온도가 55 °C일 경우에

는 냉매와의 온도차가 적기 때문에, 칠러는 과열영역에서 대부분 응축이 일어나서, 칠러와 실외열교환기의 응축 비율이 약 1 : 3 정도이고, 냉각수 온도가 35 °C일 경우에는 반대로 3 : 1 정도의 비율을 보여주고 있다. 냉각수 온도의 경우, 전기자동차의 전자장비 냉각에 활용되는 것을 사용하기 때문에, 온도에 따른 냉방시스템 제어 방법이 변경되어야 할 것으로 판단된다.



(a) Cooling capacity, compressor work and COP trend



(b) P-h diagram

Fig. 3. Performance for various chiller coolant temperature at exterior air conditions 35 °C, 3.0 m/s, interior air conditions : 27 °C, 60.0 %RH, 450 m³/hr, coolant conditions of the chiller 10liter/min and compressor conditions 5,000 RPM

3.3 칠러 냉각수 유량 변화의 영향

칠러 냉각수 유량의 조건을 변화시키면서 시스템의 냉방 특성을 알아보았다. 외기 온도 35 °C에서 외부열교환기의 입구 공기 속도는 3.0 m/s로 고정시켰다. 실내측 입구 공기는 25 °C, 60 %RH, 풍량 450 m³/h로 고정시켰다. 전동식 압축기 회전수를 5,000 RPM으로 고정시켰다.

켰으며, 칠러 냉각수의 온도는 35 °C로 하였으며, 칠러 냉각수의 유량을 10 liter/min, 15 liter/min, 20 liter/min로 변화를 시키면서 시스템의 냉방 특성을 파악하였다. Fig. 4는 칠러 냉각수 유량 조건 변화시의 냉방 성능, 소비전력, 그리고, 시스템 효율 경향을 보여주고 있고, 경향에 대한 분석을 위하여서, P-h 선도로 사이클을 표시하였다.

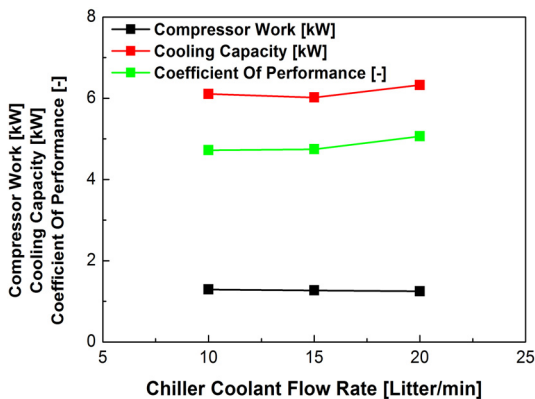
냉방 성능을 살펴보면, 칠러 냉각수의 유량을 10 liter/min 간격으로 증가하면 냉방 성능이 크게 변화되지 않았다. 최대 유량조건에서 약 5.1 % 증가하는 결과를 보인다.

전동식 압축기 소비전력을 살펴보면, 칠러 냉각수 유량이 증가하더라도, 소비전력이 크게 증가하고 있지 않기 때문에, 시스템 효율 측면에서도 거의 동일한 상황으로 보여진다.

P-h 선도를 보아도, 칠러 냉각수 유량이 증가하면, 칠러의 응축 성능이 조금 증가하는 경향을 보이나, 칠러의 응축 성능이 증가한 만큼 외부열교환기의 응축 성능이 감소하여, 응축 과정의 응축 성능이 동일한 경향을 보인다. 전체 응축 성능이 동일하기 때문에 냉방 성능 및 전동식 압축기 소비전력이 또한 거의 동일하게 유지되는 경향을 보인다.

칠러에 적용되는 냉각수 온도 및 유량의 조건 변화가 냉방 성능에는 크게 변화하지 않는 경향을 보인다.

칠러와 외부열교환기가 동시에 응축기 역할을 하고 있어서, 칠러에서 응축 성능이 감소하면 외부열교환기가 칠러에서 응축 성능이 감소한 만큼 응축 성능이 더 증가하여, 전체적인 응축 성능이 동일하게 유지되는 경향을 보여서, 전체 응축 성능이 동일하여, 냉방 성능 및 전동식 압축기 소비전력이 변화하지 않는 경향을 보인다.



(a) Cooling capacity, compressor work and COP trend

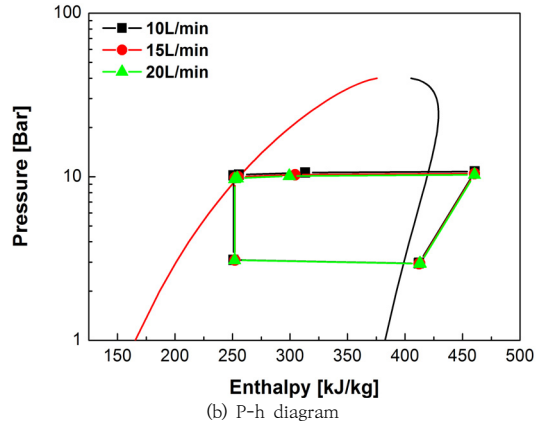


Fig. 4. Performance for various chiller coolant flow rate at exterior air conditions 35°C, 3.0m/s, interior air conditions : 27°C, 60.0%RH, 450 m3/hr, coolant conditions of the chiller 35°C and compressor conditions 5,000RPM

4. 결론

본 연구에서는 칠러를 사용한 EV 상용차용 히트펌프 시스템의 특성을 알기 위하여서, 전동식 압축기 회전수, 칠러에 적용되는 냉각수 온도 및 유량을 변화시켜, 분석을 진행하였다.

- 1) 전동식 압축기 회전수가 증가할수록 냉매 유량의 증가로 인하여서, 냉방 성능이 평균 8.0 %가 증가하였고, 시스템 효율은 16.4 %가 감소하는 결과를 보여주고 있다.
- 2) 칠러에 적용되는 냉각수의 온도와 유량은 전기자동차에 적용되는 전자장비 냉각시스템에 영향을 받고 있기 때문에, 냉각수의 온도 및 유량 변화가 냉방시스템에 미치는 영향을 분석하였을 때, 냉방 성능 및 전동식 압축기 소비전력이 크게 변화하지 않았다.
- 3) 칠러와 외부열교환기가 동시에 응축기 역할을 하고 있어서, 칠러에서 응축 성능이 감소하면 외부열교환기가 칠러에서 응축 성능이 감소한 만큼 응축 성능이 더 증가하여, 전체적인 응축 성능이 동일한 상황이었기 때문에, 전체적인 냉방성능은 동일한 결과를 보여주고 있었다.

추후에 칠러를 적용한 EV 상용차 히트펌프 시스템의 난방 성능 특성을 알아보기 위하여서, 칠러에 적용되는 냉각수 조건, 압축기 회전 조건 등을 변화시켜서, 분석을 진행할 예정이다.

References

[1] TOSHIHISA KONDO, AKIRA KATAYAMA, HIDEKI SUETAKE, MASATOSHI MORISHITA, "Development of Automotive Air-Conditioning Systems" *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, Vol. 48, No. 2, June 2011.

[2] Antonijevic D, Heckt R., "Heat pump supplemental heating system for motor vehicles", *Journal of Automobile Engineering*, vol. 218, no. 10, pp. 1111-1115, 2004.
DOI : <http://www.doi.org/10.1177/095440700421801005>

[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*, KOREA, pp180-186, April 2013
DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE02141280>

[4] Yicheol Choi, Wonsuk Lee, Manhee Park, Yonghyun Choi, "Heating Performance Evaluations for Development of Heat Pump System on Battery Electric Vehicle" *KSAE Fall Conference Proceedings*, KOREA, pp.559-563, November 2011
DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01762247>

[5] Ji Soo Park, Jae Young Han, Sung-Soo Kim, Sang Seok Yu, "Characteristic of Cabin Temperature According to Thermal Load Condition of Heat Pump for Electric Vehicle", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - B* 40(2), pp.85-91, KOREA, February 2016
DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06598941>

전 한 별(Han-Byeol Jeon)

[정회원]



- 2015년 2월 : 충남대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 연구원

<관심분야>

자동차 냉각시스템 해석 및 평가, 자동차 열관리

김 정 일(Jung-II Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 충북대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2002년 ~ 2003년 : CMSTech. Co. CAE팀장
- 2003년 ~ 2005년 : ECIM Co. Ltd. CFD팀장
- 2005년 ~ 현재 : CEDIC Co. Ltd. 자동차 CAE팀장

<관심분야>

자동차 및 항공기 열관리 분야 해석

원 헌 주(Hun-Joo Won)

[정회원]



- 1989년 2월 : 경남대학교 전자공학과 (학사)
- 1989년 ~ 2000년 : 동환산업 과장
- 2000년 ~ 2005년 : 넥슨 개발팀장
- 2005년 ~ 2010년 : 효성정밀 팀장
- 2010년 ~ 현재 : 동아전장 모터 엑츄에이터 팀장

<관심분야>

자동차용 모터 개발

이 호 성(Ho-Seong Lee)

[정회원]



- 2006년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 선임연구원

<관심분야>

자동차 냉각시스템 해석 및 평가, 자동차 열관리