

# 운전조건 변화에 따른 전기버스 난방성능 특성에 관한 해석적 연구

박차식\*

\*호서대학교 기계자동차공학부  
cspark@hoseo.edu

## A simulation on performance characteristics of heating for an electric bus with the variation of operation conditions

Cha-Sik Park\*

\*School of Mechanical and Automotive Engineering, Hoseo University

### 요약

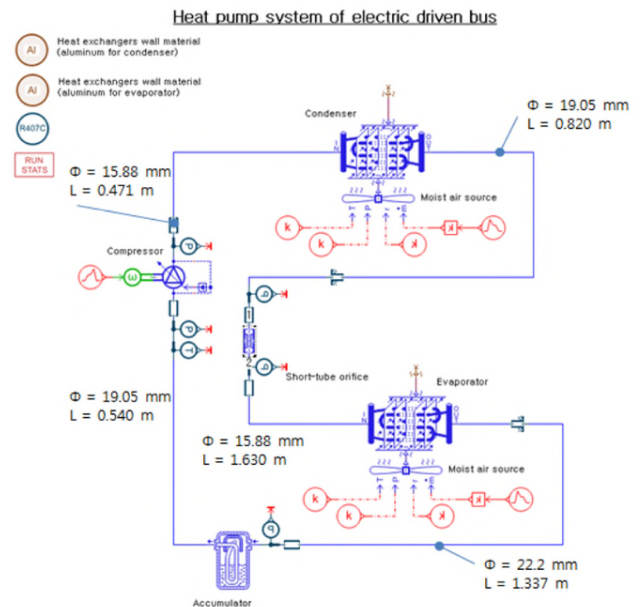
본 연구에서는 전기버스에 히트펌프를 적용하여 운전조건 변화에 따른 난방성능을 해석적 방법을 이용하여 분석하였다. 상용프로그램인 Amesim을 이용하여 압축기, 응축기, 팽창장치 그리고 증발기를 모델링하여 운전조건 변화에 따른 난방성능을 분석하였다. 압축기 회전수와 차량 실내온도를 4600 rpm과 27°C로 각각 고정시키고, 외기온도를 5°C에서 -5°C로 낮추었을 때 난방용량은 28% 감소하였다. 또한, 외기온도와 차량 실내온도를 -5°C와 27°C로 고정하고 압축기 회전수를 3000 rpm에서 6000 rpm으로 증가하였을 때 난방용량은 32% 증가하는 것으로 분석되었다.

## 1. 서론

화석연료 사용에 따른 지구온난화 문제와 내연기관 자동차의 배기가스에 대한 환경문제로 인하여 점차 전기자동차의 보급이 확대되고 있다. 실제로 전기자동차의 시장은 매년 급격히 성장하고 있어, 전기자동차의 적용 범위도 승용차에서 상용차와 버스 등에도 적용되고 있는 추세이다. 전기자동차는 배터리를 통해 저장되는 에너지를 이용하여 구동모터 및 공조시스템이 작동되는데 배터리에 저장되는 에너지의 양으로 총 주행거리가 한정된다. 따라서, 전기자동차에서 1회 충전시 주행거리를 최대한 확보하기 위해서는 효율적인 에너지 소비가 중요시되고 있다. 본 연구에서는 전기버스에 히트펌프를 적용하여 난방운전시 운전조건 변화에 따른 난방성능을 해석적 방법을 통하여 분석하였다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서는 전기버스에 난방성능을 향상하기 위하여 히트펌프를 적용하여 운전조건 변화에 따른 난방 성능특성을 상용프로그램인 Amesim을 이용하여 해석하였다. 그림 1은 Amesim을 이용하여 전기버스 공조시스템을 모델링한 개략도를 나타낸다.



[그림 1] Schematic diagram of an electric bus climate control system using Amesim software.

전기버스 공조시스템에 적용한 냉매는 R407c를 적용하였고, 주요 부품인 압축기, 응축기, 팽창장치 그리고 증발기의 제원은 Table 1에 나타내었다.

[표 1] Specifications of main components

Items	Specifications	
Compressor	maximum displacement	80 cm <sup>3</sup>
	minimum displacement	7 cm <sup>3</sup>
	volumetric efficiency	0.85
	Isentropic efficiency	0.85
	mechanical efficiency	0.85
Expansion device	orifice diameter	2.6 mm
	length	20 mm
Condenser	number of tube banks	5
	tubes per bank	18
	tube pitch	20 mm
	tube length	1.9 m
	tube inner diameter	7 mm
	tube thickness	0.32 mm
	fin pitch	2.8 mm
Evaporator	number of tube banks	4
	tubes per bank	10
	tube pitch	20 mm
	tube length	1.8 m
	tube inner diameter	9.52 mm
	tube thickness	0.35
	fin pitch	2.8 mm
	fin thickness	0.14 mm

전기버스의 난방성능을 해석하기 위하여 운전조건을 외기 조건을 5℃와 -5℃로 설정하고, 차량 실내온도 조건은 20℃와 27℃로 변화시키면서 난방성능 특성을 해석하였다. 또한, 최대 난방성능 확보를 위하여 압축기의 회전수를 3000 rpm에서 6000 rpm까지 변화시키면서 해석을 수행하였다. 해석을 위한 운전조건을 요약하여 표 2에 나타내었다.

[표 2] Operation conditions of simulation

Outdoor temperature	Indoor temperature	Compressor rpm
-5℃ 5℃	20℃ 27℃	3000 rpm
		4000 rpm
	20℃ 27℃	4600 rpm
		5000 rpm
		6000 rpm

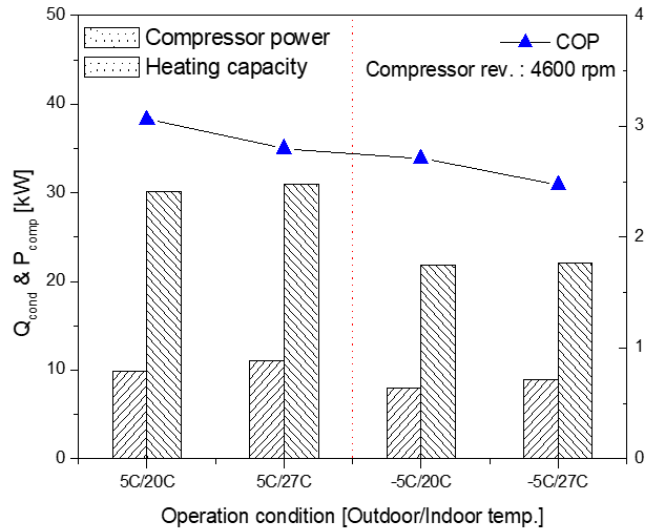
### 3. 해석 결과

본 연구에서는 전기버스 난방성능 해석을 위하여 운전조건 변화에 따른 해석을 수행하였다. 운전변수는 외기온도와 차량 실내온도, 그리고 압축기의 회전수를 변화시키면서 난방성능 특성을 고찰하였다.

표 3은 압축기의 회전수는 4600 rpm으로 고정시키고 외기 온도와 차량 실내온도를 변화시켰을 때 난방성능을 비교하여 나타낸다. 외기온도가 낮으면 증발기에서 흡수할 수 있는 열 원 용량이 감소하여 난방용량은 감소하였고, 차량의 실내온도를 높이면 냉동사이클의 저단측과 고단측의 압력비가

[표 3] Results with the variation of operation conditions

외기 온도 (℃)	실내 온도 (℃)	압축기 회전수 (rpm)	압축기 소비동력 (kW)	난방용량 (kW)	COP
5	20	4600	9.88	30.2	3.06
5	27	4600	11.08	31.03	2.80
-5	20	4600	8.05	21.8	2.71
-5	27	4600	8.93	22.10	2.47

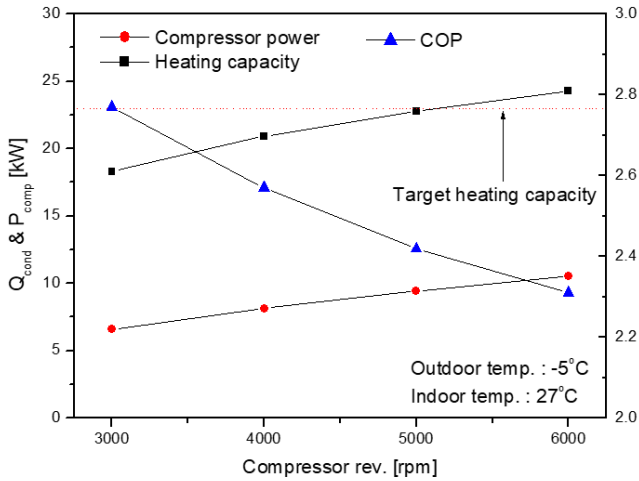


[그림 2] Simulation results with the variation of outdoor and indoor temperature.

증가하여 압축기의 소비동력은 증가하는 것으로 나타났다. 차량 실내온도 27℃에서 외기온도를 5℃에서 -5℃로 낮추었을 경우 난방용량은 31.03 kW에서 22.10 kW로 28% 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 2는 외기온도와 차량 실내온도 변화에 따라 압축기 소비동력, 난방용량, COP 변화를 그래프로 나타내었다.

표 4는 최대 난방성능을 분석하기 위하여 외기온도와 차량 실내온도를 -5℃와 27℃로 고정하고 압축기 회전수를 증가시키면서 최대 난방용량을 해석한 결과를 요약하여 나타내었다. 압축기의 회전수를 증가시키면 시스템에 흐르는 냉매유량이 증가하고 압축기 토출부의 압력과 온도가 증가하여 응축기에서의 난방용량은 증가하게 된다. 압축기 회전수를 3000 rpm에서 6000 rpm으로 변화시켰을 때 난방용량은 18.30 kW에서 24.29 kW로 32% 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 전기버스의 난방성능 목표치를 23 kW로 설정을 하였는데, 이를 도달하기 위해서는 압축기의 회전수를 5600 rpm까지 올려야 하는 것으로 분석되었다. 그림 3은 압축기 회전수 변화에 따라 압축기 소비동력, 난방용량, COP 변화를 그래프로 나타내었다.

### 4. 결론



[그림 3] Simulation results with the variation of compressor rpm.

본 연구에서는 전기버스에 히트펌프를 적용하여 운전조건 변화에 따른 난방성능을 해석적 방법으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

압축기 회전수를 고정시키고 차량 실내온도를 27°C로 설정하여 외기온도를 5°C에서 -5°C로 낮추었을 때 난방용량은 28% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 외기온도와 차량 실내온도를 -5°C와 27°C로 고정하고 압축기 회전수를 3000 rpm에서 6000 rpm으로 증가하였을 때, 회전수 5600 rpm에서 난방성능 목표치 23 kW를 달성하는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 향후 전기버스용 공조시스템의 주요부품 설계시에 다양한 운전조건에서 해석 결과를 활용할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 2020년도 한국산업기술평가관리원의 재원으로 산업핵심기술개발사업의 지원(과제번호 10082573)을 받아 수행한 연구 과제입니다.

## 참고문헌

[1] H. Hermann, R. Rene, "CO<sub>2</sub> as Refrigerant-Possible Applications", 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference, pp.43-50. 2000.

[2] A. Hanfner, "Experimental Study on Heat Pump Operation of Prototype CO<sub>2</sub> Mobile Air Conditioning System", 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference, pp.177-184. 2000.

[3] H. Cho, C. Ryu, Y. Kim, "Experiment -al Study on the Cooling Performance of a CO<sub>2</sub> Cycle with

Internal Heat Exchanger", Proceedings of the SAREK '2004 Winter Annual Conference, pp.554-559, 2004.

[4] H. Cho, H. Lee, C. Park, "Study on the performance improvement for an automobile air conditioning system using alternative refrigerant R1234yf", Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.25, No.4, pp.201-207, 2013.

DOI: <https://doi.o>

[5] G. Pottker, P. Hrnkak, "Effect of the condenser subcooling on the performance of vapor compression systems", International Journal of Refrigeration, Vol.50, pp.156-164, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.11.003>

[6] A. Mackensen, S. Klein, D. Reindl, "Characterization of refrigerant system compressor performance", International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, 2002.

[7] J. Dong, J. Chen, Z. Chen, W. Zhang, Y. Zhou, "Heat transfer and pressure drop correlations for the multi-louvered fin compact heat exchangers", Energy Conversion and Management, Vol.48, pp.15066-1515, 2007.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.11.023>