

디지털트윈 기술 활용 전기자동차 열관리 시스템 분석에 관한 연구

이호성*, 전한별*, 남광우**, 김진화**

*한국자동차연구원 융합연구본부 열제어연구센터

**에스트라오토모티브 설계팀

e-mail:leehs@katech.re.kr

A Study on Thermal Management System on Electric vehicles with the digital twin technology

Ho-Seong Lee*, Han-Byeol Jeon*, Kwangwoo Nam**, Jinhwa Kim**

*Thermal Management Research Center, KATECH

**HVAC Team, Estra Automotive

요약

본 연구에서는 전기자동차용 통합 열관리 시스템에 대한 디지털 트윈 기술 활용 운전 로직 분석을 위해, 시스템 모델링을 1D 상용 프로그램에서 진행하였고, 다양한 운전시나리오와 운전 조건에 대한 해석적 연구를 진행하였다. 해석모델의 경우, 실차 운전조건과 비교하였을 때, 유사한 경향을 보이고 있어서, 해석모델의 정확도를 검증되었다. 통합 열관리 시스템의 운전 시나리오(냉난방 운전)에 따른 다양한 운전조건에 대한 성능 해석을 진행하여, 성능 확보를 위한 제어로직 방안에 대해서 연구를 진행하였다. 추후에 냉난방 및 냉각성능에 대한 인자 분석을 통하여, 전기자동차 열관리 시스템 성능 향상을 위한 방안을 디지털 트윈 기술을 활용하여 진행하고자 한다.

Key words : Integrated thermal management system(통합 열관리 시스템), Digital twin technology(디지털 트윈 기술), Analytic approach(해석적 방법), 1D simulation(1D 해석), Cooling and heating capacity(냉난방 성능)

1. 서론

세계적으로 전기동력을 활용하는 친환경 자동차 시장이 환경문제에 대한 관심 증가로, 급속히 확대되고 있다. 국내의 미래차 생태계 가속화를 위해 정부에서는, 2019년에 친환경차(전기동력자동차) 비중을 10%이상 확대하고, 2022년 이후에는 내수 판매의 40%이상을 친환경차가 차지할 수 있도록 목표하고 있기 때문에, 전기자동차를 포함하는 전기동력자동차의 확대가 예상되고 있다.

전기차는 내연기관처럼 난방 열원(엔진)을 보유하고 있지 않아서, 난방을 위한 별도 열원이 필요하여, 현재 주로 적용되는 있는 전기히터의 작동에 따라, 전기동력 자동차의 경우에도 주행거리가 20~50%까지 낮아지는 것으로 보고 되고 있어서, 히트펌프 시스템을 적용하여서, 난방시 주행거리 향상을 위한 연구가 진행중이다.([1],[2])

히트펌프 시스템의 경우, 가정용 시스템에 적용이 많이 진행된 기술로, 요즘에는 전기승용차에도 적용하기 위해서 연구되고 있는 기술로, Choi et al.[3]은 공랭식 히트펌프에 대해서 동절기 외기온에 따른 공랭식 히트펌프 시스템의 성능 평가를 통해 히트펌프 시스템의 외부 환경 오인에 따른 효율 향

상에 대해서 실험적 연구를 진행하였고, Park et al. [4]는 전기차량용 히트펌프의 운전특성 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. Woo et al. [5]은 공기열원과 폐열원의 이중열원 이용한 전기자동차용 히트펌프의 난방 운전 특성에 대해서 고찰하였다. 히트펌프 시스템을 활용하여, 배터리 냉각 및 모터 냉각등을 유기적으로 진행하고자 하는 통합 열관리 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.

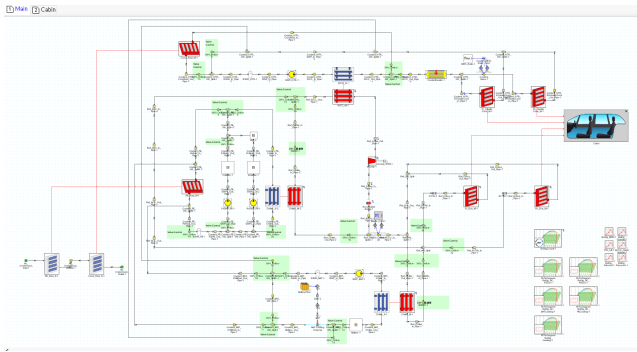
기존에 연구된 논문들에서는 히트펌프 시스템에서 공기 열원에 대한 가정용 연구가 주를 이루었기 때문에, 디지털 트윈 기술을 활용하여, 모델링을 통한 시스템 해석 방법에 대한 연구는 부족한 상황이다. 시스템 해석에 대해서는 다양하게 진행이 되고 있지만, 모델링의 정확도등을 검증하지 않고, 해석을 진행하고 있는 바, 정확도가 높은, 실차 수준에 준하는 해석 기술이 적용될 필요가 있다.

본 연구에서는 디지털 트윈 기술을 활용하여, 실차에 준하는 운전조건에서의 통합 열관리 시스템에 대한 성능 해석을 진행하고자, 모델링을 진행하였고, 그 결과에 대한 실차 내용과 검증한 이후에, 인자 분석을 진행하였다. 통합 열관리 시스

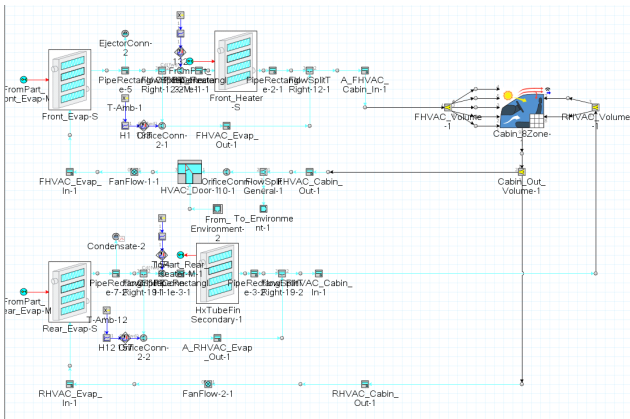
템의 운전제어 로직을 개발하기 위해, 다양한 조건에서의 인자분석을 통하여, 성능 해석이 진행되었다.

2. 해석 모델 및 해석 검증

전기자동차 통합 열관리 시스템에 대한 실차 조건의 레이아웃과 각 부품들에 대한 모델링을 반영하여, Fig. 1과 같은 상용 1D 해석 프로그램인 GT-SUITE을 사용한 시스템 해석 모델링을 구축하였다. 시스템 해석 모델링의 경우, 각 핵심부품들의 모델의 경우, 실험을 통한 데이터를 근거로, 모델링을 구축하였고, 승객석에 대한 분석을 위해서, 차량 실내 조건에 대한 반영을 진행하였다.



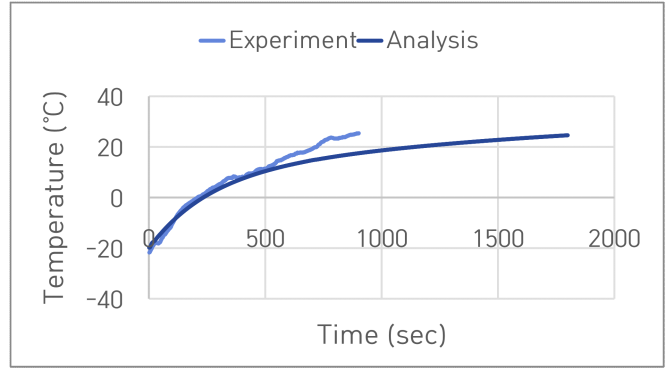
(a) Integrated thermal management system modelling



(b) Cabin modelling

[Fig. 1] Electric vehicle's thermal management system modelling for the digital twin technology

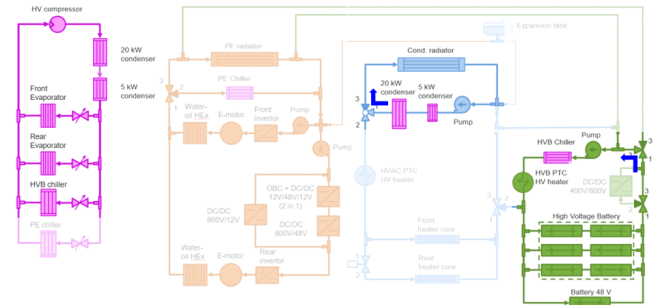
저운전에서의 실차 평가 결과와 해석결과와의 비교를 위해서, 차량 모델에 적용된 동일한 사이즈의 차량 난방 평가 결과를 기준으로, 난방 성능 해석을 진행하였다. Fig. 2는 실차 평가결과와 해석과의 비교 분석으로, 난방 운전조건에서의 실내 온도 변화 특성을 보았을 때, 거의 유사한 경향성을 보이는 것을 알 수 있어, 모델링의 정확도가 확보가 되었다고 판단하였다.



[Fig. 2] Data comparison between experiment and analysis

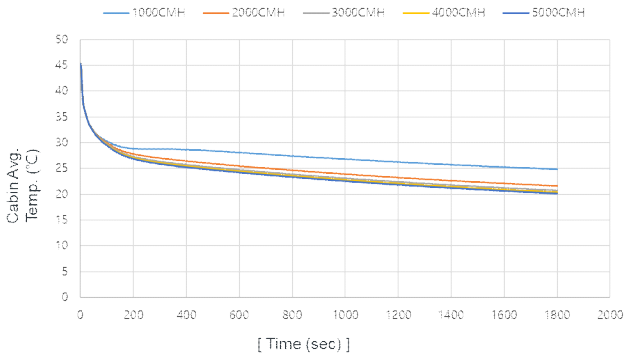
3. 해석 결과 및 고찰

본 연구에서는 전기자동차 통합 열관리 시스템에 대한 디지털 트윈 기술을 활용하기 위해, 시스템 모델링을 진행하고, 모델링에 반영한 운전조건에 따른 성능 해석을 진행하였다. Fig. 3의 경우, 실내측 냉방조건과 배터리 냉각조건을 동시에 구현되는 통합열관리 시스템의 운전 제어로직을 반영하고 있다. 본 연구에서는 냉방조건에서의 쿨링모듈의 운전 특성을 반영하였을 때의 실내측 온도변화 특성을 분석하고, 외기온도변화에 대한 영향도를 해석하였다.



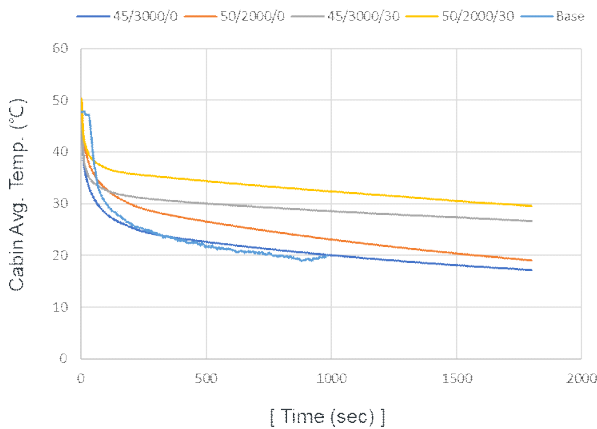
[Fig. 3] Cooling interior and high voltage battery operating scenario

Fig. 4는 쿨링모듈에 적용된 냉각팬의 회전수를 변화시켰을 때의 실내측 온도변화 특성을 분석한 내용으로, 결과를 보았을 때, 쿨링모듈에 적용된 냉각 팬의 경우, 3,000 rev/min에서 구동하는 것이 냉방성능 확보에 효과적일 것으로 판단된다.



[Fig. 4] Cabin average temperature characteristics with cooling fan speed variation

Fig. 5는 외기온도가 변했을 때, 냉방성능 특성에 대한 변화 특성을 분석하였고, 고온일 경우, 냉방운전 제어로직이 변경되어야 함을 알 수 있었다. 고온 조건일 때, 실내온도가 현재 운전조건에서 과도하게 높아질 수 있으므로, 시스템 제어가 필요하다는 것을 알 수 있었다.



[Fig. 5] Cabin average temperature characteristics with ambient conditions

냉방조건이외에도 난방운전조건들에 대한 여러 시나리오 별 해석을 진행하였고, 그 결과를 바탕으로, 운전시 주요하게 제어되어야 할 인자들에 대한 영향도 분석을 진행하였다.

4. 결론

본 연구에서는 전기자동차용 통합 열관리 시스템에 대한 디지털 트윈 기술 활용 운전 로직 분석을 위해, 시스템 모델링을 1D 상용 프로그램에서 진행하였고, 다양한 운전시나리오와 운전 조건에 대한 해석적 연구를 진행하였다.

1) 해석모델의 경우, 실차 운전조건과 비교하였을 때, 유사한 경향을 보이고 있어서, 해석모델의 정확도를 검증되었다.

2) 통합 열관리 시스템의 운전 시나리오(냉난방 운전)에 따른 다양한 운전조건에 대한 성능 해석을 진행하여, 성능 확보를 위한 제어로직 방안에 대해서 연구를 진행하였다.

추후에 냉난방 및 냉각성능에 대한 인자 분석을 통하여, 전기자동차 열관리 시스템 성능 향상을 위한 방안을 디지털 트윈 기술을 활용하여 진행하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 산업기술혁신사업(시장자립형 3세대 xEV 산업육성 사업, 과제번호 : 20018646)에 의해서, 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 이호성, 김정일, 이무연, “연료전지 스택 폐열 활용 전동식 히트펌프 시스템 난방 성능 특성 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제 19권 12호, pp. 924-930, 2018년.
- [2] 전한별, 김정일, 원헌주, 이호성, “EV 상용차용 히트펌프 시스템 냉방 운전 특성에 관한 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제 20권 12호, pp. 1-7, 2019년.
- [3] 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, pp.559-563, 2011
- [4] 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, 2016
- [5] 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), pp.180-186, 2013
- [6] Ho Seong Lee, Jong Phil Won, Choong Won Cho, Taek Kyu Lim, Young Chul Jung, Yongchan Kim “An Experimental Study on Direct Expansion System’s Performance of Mobile Alternative Refrigerant Air Conditioning System” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.423~428, 2012