

전기구동 자동차 실차 운전시의 배터리 열관리 특성 실험적 연구

이호성*, 구영모**, 정재우***, 구중삼****, 김영찬****

*한국자동차연구원 융합연구본부 열제어연구센터

**한국자동차연구원 수소모빌리티연구센터

***한국자동차연구원 그린카연구본부 하이브리드동력연구센터

****한온시스템 라디에이터 & 팬 팀

e-mail:leehs@katech.re.kr

A Experimental Study of Battery Thermal Management Characteristics under real road conditions in Electric-driven Vehicles

Ho-Seong Lee*, Young-Mo Goo**, Jae-Woo Chung***, Jung-Sam Gu****

*Thermal Management Research Center, KATECH

**Hydrogen Mobility R&D Center, KATECH

***Advanced Powertrain R&D Center, KATECH

****Radiator & Fan Team, Hanon Systems

요약

본 연구에서는 전기구동자동차 연비 및 혹서기 실차 운전시의 배터리 열특성 및 에너지 소모량 특성에 대해서, 분석을 진행하였다. 연비 모드인 경우, 시내모드(FTP72), 고속모드(HWFET), 그리고 실도로 운전시를 반영한 WLTC 모드에 대해서 분석을 진행하였고, 혹서기 실차 운전 모드인 경우, 냉방운전과 냉각운전시의 특성을 분석하였다. 연비 운전 모드를 적용한다고 하여도 배터리 최고온도는 외기온도인 35°C 수준을 넘지 않았다. 혹서기 실차 운전모드를 반영한 조건에서는 배터리 온도가 35°C 초과하는 경우가 발생하고 있고, 이 경우, 냉방시스템의 운전으로 냉매와 배터리 냉각을 위한 냉각수와의 열교환이 이루어지는 칠러모드가 적용되는 것을 확인할 수 있었다. 배터리 에너지 소모량의 경우, 연비모드 대비, 혹서기 실차 모드의 경우가 더 크다는 것을 알 수 있었고, 에너지 소모량의 증가는 배터리 온도의 상승으로 이루어진다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 진행한 코나 EV의 경우, 외기온도가 높고, 주행 부하가 큰 경우에는 배터리의 최적 온도에서 운전되지 못하는 결과를 보여주고 있기 때문에, 배터리 열관리를 위한 운전 로직이 변경되어야 할 것으로 판단된다. 향후, 코나 EV의 개선된 차량에 대한 연구를 통하여서, 비교분석을 진행할 예정이다.

1. 서론

현재의 운송수단에서 가장 널리 사용되고 있는 자동차의 경우 이제까지 화석연료 기반의 에너지를 사용하고 있어서, 심각한 환경오염문제와 화석연료의 고갈이라는 문제를 안고 있다. 이러한 이유로 전 세계적으로 기존의 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 에너지원의 개발에 많은 노력을 하고 있고, 그 결과로 전기 자동차와 연료전지 자동차와 같이 전기에너지를 사용하는 전기동력 자동차의 개발이 많은 주목을 받고 있다. 그러나 전기자동차의 경우, 배터리의 에너지 밀도가 현재로서는 충분히 높지 못한 실정으로, 내연기관 수준의 주행거리를 확보하기 위해서는 배터리 열관리에 대한 중요도가 높아지고 있다.

전기구동자동차의 관심이 높아지기 전에는 배터리 열관리가 주로 공기를 활용하는 방안이 진행되고 있어서, 실내 공기를 활용하는 방식을 사용하였다. 그렇지만, 전기구동자동차의 주행거리 증대를 위하여서, 배터리 용량이 커지는 상황에서, 혹서기에는 냉각을 혹한기에는 히팅을 위한 능동적인 열관리 시스템의 적용을 위한 연구가 진행되고 있다.

전기동력 자동차의 경우, 외부환경에 따라서, 주행거리가 20~50%까지 낮아지는 것으로 보고 되고 있어서, 환경변화에 따른 주행거리 단축에 대한 개선기술의 연구가 필요한 상황이다.([1]~[3])

외부환경에 대한 영향을 대응하기 위하여서, 가정용 시스템에 적용이 많이 진행된 기술인 히트펌프 시스템에 대해서, 전기동력 자동차에도 적용을 위한 연구가 진행중이다. 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. Choi et al.[5]은 공랭식 히트펌프에 대해서 동절기 외기온에 따른 공랭식 히트펌프 시스템의 성능 평가를 통해 히트펌프 시스템의 외부 환경 요인에 따른 효율 향상에 대해서 실험적 연구를 진행하였다.

기존 연구들에서는 배터리 자체에 대한 연구에 국한되어있기 때문에, 실차 조건에서의 배터리 열관리 특성에 대한 연구가 부족한 상황이다. 배터리 열관리 제어를 위해서는 실차 운전시의 열적 거동에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 실차 운전시를 모사하고 있는 전기구동자동차 연비 평가 모드에서, 배터리 열적 거동 특성, 열관리 운전 특성에 대한 연구를 실험적으로 진행되었다.

2. 실험 방법 및 조건

본 연구에서는 전기구동자동차 연비모드 운전시의 배터리 열관리 특성을 분석하기 위하여, 배터리 온도, 배터리 냉각을 위한 냉각수 온도, 냉각수 온도를 제어하기 위한 냉방시스템 운전 특성등을 분석하기 위하여, 배터리 및 배터리 팩, 그리고, 냉방시스템에 대한 온도 센서 및 전압, 전류 센서를 적용하여, 데이터 획득을 진행하였다.

실험 대상 차량의 경우, 현재 양산중인 코나 EV를 사용하였고, 표 1은 코나 EV의 사양을 정리하였다.

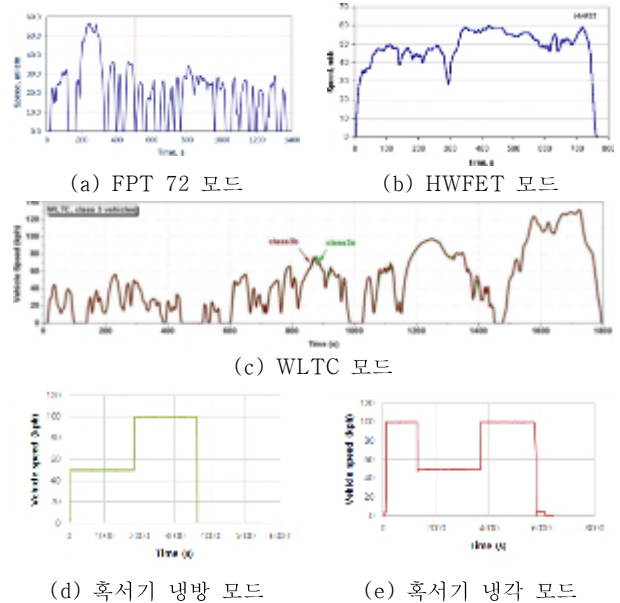
[표 1] 코나 EV 사양

항목	제원
사이즈	4,180 × 1,800 × 1,570
정격 전압	356V
배터리 용량	64kWh
모터 용량	150kW(204PS)

실험 모드의 경우, 전기동력자동차 연비평가지 적용되는 시내모드(FTP72모드), 고속모드(HWFET), 그리고, 실주행 조건의 반영한 WLTC Class3에 대한 연구를 진행하였다. 추가적으로, 혹서기 실차 운전모드를 반영한 조건을 평가하였다. 그림 1에서는 코나 EV에 대한 실차 운전 모드에 대한 시간별 속도 프로파일을 보여주고 있다. 연비 평가의 경우, 2회 연속운전을 진행하여서, 그 결과를 분석하였고, 혹서기 운전 모드인 냉방 및 냉각모드의 경우, 1회 운전을 한 이후에, 데이터를 분석하였다.

평가 분석시 외기온도의 경우, 35℃이상 조건에서 진행하였고, 차량의 운전 조건의 경우, 완성차에서 실차 평가시 적

용



[그림 1] 전기구동자동차 연비 및 실차 평가 모드

하는 Full load 조건에서 진행하였다.

본 연구에서는 운전모드별 배터리 온도에 대한 특성 및 배터리 냉각을 위한 냉각수 온도에 대한 특성을 확인하여서, 제어인자로서의 분석을 진행하고자 하였다. 그리고, 각 운전 모드별 배터리 소모에너지를 분석하기 위하여, 배터리 SoC(State of Charge)에 대해서도 분석하여서, 동일 조건에서의 운전 조건에 따른 배터리 에너지 소모량에 대한 기초 자료를 확보하고자 하였다.

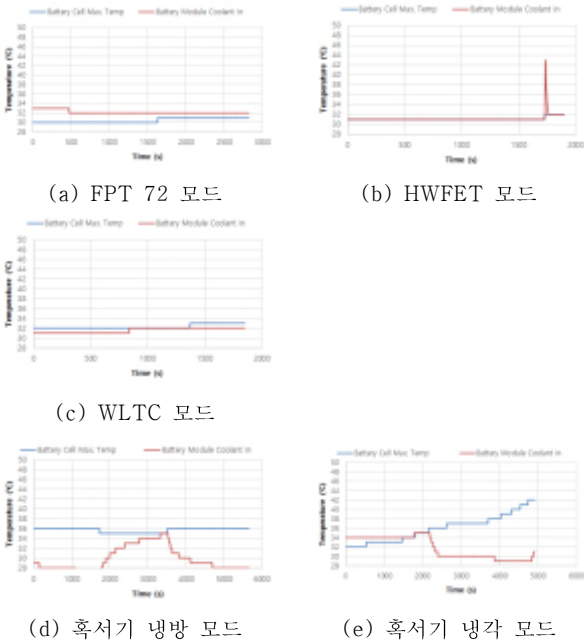
3. 실험 결과

본 연구에서는 전기구동자동차 연비모드 및 실도로 운전시의 배터리 열특성을 알아보기 위하여, 배터리 팩에 설치된 배터리 온도와 배터리 냉각을 위한 냉각수 온도를 측정하였다. 그리고, 배터리 SoC 변화 특성을 확인하여, 연비 및 실도로 운전 모드별 부하 변화율에 대한 기초 데이터를 분석하였다.

3.1 배터리 온도 특성

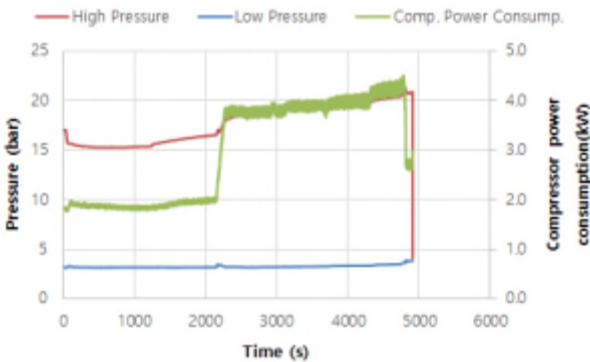
그림 2는 연비 및 혹서기 실차 운전 모드에서의 배터리 최고 온도 및 냉각수 온도 특성을 보여주고 있다. 코나 EV는 배터리 열관리를 위하여, 외부 공기와 냉각수와 열교환을 진행하는 모드와 냉방시스템과의 연계를 진행하는 칠러 모드가 있다. 배터리 최고 온도에 따라서, 각 모드별 운전이 다르게 적용되고 있는 것을 실차 평가를 통하여서 알 수 있었다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 연비 모드에서는 배터리 최고 온도가

35°C 이상을 넘지 않는 것을 볼 수 있다.



[그림 2] 전기구동자동차 연비 및 실차 평가 모드시 배터리 최고 온도 및 냉각수 온도 특성

그렇지만, 혹서기 실차 운전 모드인 냉방 모드와 냉각 모드 시에는 배터리 최고온도가 외기온도인 35°C보다 더 높은 수준을 보여주고 있었다. 배터리 최고온도가 35°C 이상이 되면, 냉각수 온도가 외기온도보다 낮아지는 칠러모드가 적용되기 때문에, 냉각수 온도가 외기온도보다 낮아지는 28°C 수준까지도 낮아지는 것을 알 수 있었다. 칠러모드는 실내 냉방을 위한 냉방시스템에 적용되는 냉매의 일부가 나누어져서, 배터리 냉각을 위하여서, 사용되는 것을 전동식 압축기 운전 소모 전력에 대한 특성을 분석하여서, 알 수 있었다. 실내 냉방만을 적용하였을 경우에는 약 2.5kW 수준이었지만, 배터리 냉각을 위한 칠러모드에서는 추가적으로 1.5kW 수준이 더 소모되어서, 4.0kW 정도의 소모전력을 보여주고 있었다.(그림 3)



[그림 3] 전기구동자동차 연비 및 실차 평가 모드시 배터리 최고 온도 및 냉각수 온도 특성

등판주행을 모사하여서, 냉각 부하를 최대도로 진행하고자 하는 냉각모드에서는 칠러모드를 적용한다고 하여도, 배터리 최고 온도는 45°C수준까지 높아지는 결과를 보여주고 있었다. 배터리 종류에 따라서, 다르긴 하지만, 일반적인 최적 효율 운전을 위한 최적의 온도는 20~40°C를 요구하고 있기 때문에, 냉각모드에서의 배터리 온도의 열관리는 적절하지 않다고 판단된다. 실차 운전시에 추가적인 제어로직 개선을 통하여서, 배터리 열관리에 대한 능동적인 대처가 필요할 것으로 판단된다.

3.2 배터리 SoC 특성

주행모드에 따라서, 배터리 에너지 소모량에 대한 분석을 진행하기 위하여서, 시간별 SoC 변화 특성을 그림 4에 표현하였다. 3.1절에서 분석한 바와 같이, 배터리 온도 특성은 배터리 에너지 사용량에 따라서, 달라지는 것으로 판단된다. 그림 3을 보게되면, 비교적 마일드한 조건인 연비 모드에서는 SoC 변화가 6.5~8.5%수준을 보여주고 있었다. 그렇지만, 혹서기 실차 모드인 냉방 및 냉각 모드에서는 23%, 64.5%의 배터리 에너지 소모량 변화를 보여주고 있었다.

연비 모드의 경우, 주행 속도가 높은 고속주행 모드인 HWFET 모드에서 8.5%의 SoC 변화를 보여주고 있어서, 가장 큰 변화량을 보여주고 있고, 이를 반영하여서, 배터리 최고온도도 높은 것을 알 수 있다.

혹서기 실차 운전모드인 냉방 및 냉각 모드의 경우, 50KPH, 100KPH 조건에서, 일정 시간 운전이 진행되고 있기 때문에, 배터리 에너지 소모량이 커지는 것으로 볼 수 있다. 에너지 소모량이 크기 때문에, 배터리의 온도도 높아져서, 적정 온도 수준을 유지하지 못하는 경우도 발생하고 있다.

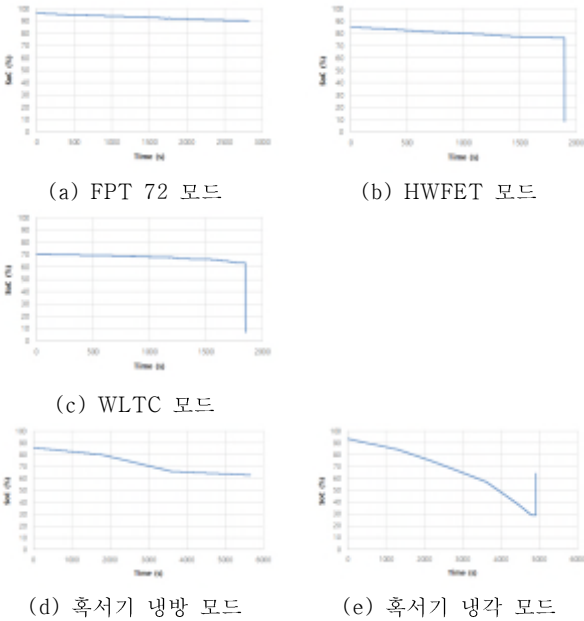
SoC 변화율을 기초로 하여서, 전비(km/kWh)를 분석해 보았을 때, 완성차에서 적용하고 있는 혹서기 기준으로, 도심주행이 고속도주행보다 약 4.2%정도 더 낮은 결과를 전기구동자동차가 보여주고 있었다. 만약 실도로 모사를 반영한 WLTC와의 비교를 진행하였을 때, 도심주행 운전 모드시의 전비가 약 11.3%정도 더 높은 결과를 보여주고 있었다. 본 연구에서는 완성차에서 적용하는 운전모드(Full load)를 반영하였기 때문에, 실제 연비모드의 결과와는 차이를 보일 수 있다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 산업기술혁신사업(자동차산업핵심기술개발사업, 과제번호 : 20002762)과 산업기술혁신사업(산업핵심기술개발사업, 과제번호 : 10084611)에 의해서, 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 이호성, 이무연, 조중원, “100kW급 연료전지 열관리 시스템 실도로 운전조건 해석적 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제 20권 2호, pp. 1-6, 2019년.
- [2] 이호성, 김정일, 이무연, “연료전지 스택 폐열 활용 전동식 히트펌프 시스템 난방 성능 특성 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제 19권 12호, pp. 924-930, 2018년.
- [3] 전한별, 김정일, 원헌주, 이호성, “EV 상용차용 히트펌프 시스템 냉방 운전 특성에 관한 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제 20권 12호, pp. 1-7, 2019년.
- [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] 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



[그림 4] 전기구동자동차 연비 및 실차 평가 모드시 배터리 SoC 변화 특성

4. 결론

본 연구에서는 전기구동자동차 연비 및 혹서기 실차 운전시의 배터리 열특성 및 에너지 소모량 특성에 대해서, 분석을 진행하였다. 연비 모드의 경우, 시내모드(FPT72), 고속모드(HWFET), 그리고 실도로 운전시를 반영한 WLTC 모드에 대해서 분석을 진행하였고, 혹서기 실차 운전 모드의 경우, 냉방운전과 냉각운전시의 특성을 분석하였다. 그 결과를 아래와 같다.

- 1) 연비 운전 모드를 적용한다고 하여도 배터리 최고온도는 외기온도인 35°C수준을 넘지 않았다.
- 2) 혹서기 실차 운전모드를 반영한 조건에서는 배터리 온도가 35°C초과하는 경우가 발생하고 있고, 이 경우, 냉방시스템의 운전으로 냉매와 배터리 냉각을 위한 냉각수의 열교환이 이루어지는 칠러모드가 적용되는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 배터리 에너지 소모량의 경우, 연비모드 대비, 혹서기 실차모드의 경우가 더 크다는 것을 알 수 있었고, 에너지 소모량의 증가는 배터리 온도의 상승으로 이루어진다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 진행한 코나 EV의 경우, 외기온도가 높고, 주행 부하가 큰 경우에는 배터리의 최적 온도에서 운전되지 못하는 결과를 보여주고 있기 때문에, 배터리 열관리를 위한 운전 로직이 변경되어야 할 것으로 판단된다. 향후, 코나 EV의 개선된 차량에 대한 연구를 통하여서, 비교분석을 진행할 예정이다.