

전기자동차용 배터리 및 열관리시스템 기술동향

서현상 · 조행묵[†]

공주대학교 기계자동차공학부

(2014년 5월 7일 접수, 2014년 6월 9일 수정, 2014년 6월 12일 채택)

Thermal management system for electric vehicle batteries and technology trends

Hyun Sang Seo · Haeng Muk Cho[†]

Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

(Received 7 May 2014, Revised 9 June 2014, Accepted 12 June 2014)

요약

자동차산업이 해결해야 할 과제로서 석유에너지의 소비증가와, CO₂ 배출에 의한 지구온난화, 배기가스 배출에 의한 도시부 대기오염 등에 대한 대처가 필요한 시점이다. 이들의 해법으로 시장에서 높은 평가를 받고 있는 전기자동차의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 전기자동차 모터, 배터리 및 구동모터를 포함한 고전압 핵심부품들의 효율적인 열관리 기술, 배터리 및 구동모터의 열관리 기술 및 개발동향을 알아보하고자 한다.

주요어 : 전 전기자동차, 배터리, 모터, 냉각시스템, 열관리

Abstract - Challenges the automotive industry as the increase in consumption of oil and energy, CO₂ emissions of global warming, caused by exhaust emissions and urban air pollution, it is time for a deal is needed. The solution of these highly regarded in the market as there is a demand of electric cars. In this study, electric car motor, battery and high-voltage core components, including the drive motor of the effective thermal management technologies, thermal management of the battery and the drive motor to evaluate the technology and development trends.

Key words : electric vehicles, Battery, Motor, Cooling System, Thermal Management

1. 서 론

현재 전 세계적으로 석유에너지의 소비가 증가하는 추세를 보임에 따라 자동차의 배기가스는 지구온난화, 대기오염의 문제를 일으키고 세계 각국에서는 자동차의 배기가스 규제를 강화하고 있으며 이에 대

응하기 위해서 하이브리드자동차(HEV), 플러그인-하이브리드자동차(PHEV), 연료전지자동차(FCEV), 전기자동차(EV)와 같은 차량의 개발에 박차를 가하고 있다.

자동차산업이 해결해야 하는 과제로서 CO₂ 배출에 의한 지구의 온난화, NO_x에 의한 대기오염, 배기가스 배출에 의한 도시부의 대기오염 그리고 석유의 자원고갈 등에 대한 대처가 필요한 가운데, 쾌적함, 편리함, 무소음과 더불어 에너지 사용의 효율성 및 환경문제 등을 고려하여 전기자동차의 보급이 확대될 것으로 전망되는 시점이다. 하지만 이들의 문제점에

[†]To whom corresponding should be addressed.

Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University (KNU) 275, Budae-dong, Cheonan-si, Chungcheongnam-do 330-717, South Korea.

Tel : 041-521-9287 E-mail : hmcho@kongju.ac.kr

대한 현실적인 해법으로는 시장에서 높은 평가를 받고 있는 것이 바로 전기자동차이다. 전기자동차에는 그림 1에서 보는 것처럼 구동모터, 인버터, 온보드 배터리충전기, 대용량 배터리 및 PCU (Power Control Unit)등의 고용량 전장기기들로 구성되어 있으며 이러한 전장기기들의 사용은 전기구동 자동차의 주행 시간 및 주행 능력과 밀접한 연관 관계를 맺는다. 이에 따라 배터리 및 구동모터를 포함한 고전압 핵심부품들의 효율적인 열관리 기술은 전기구동 자동차에서 해결해야하는 중요한 과제이며, 배터리 및 구동모터의 열관리 기술 및 개발동향을 알아보고자 한다.[1]

전기구동 자동차용 대용량 배터리의 경우, 고성능, 에너지 고출력의 향상을 위해서는 냉시동 시 배터리 난방시스템 제공과 과열 시 배터리의 열관리에 따른 내구성 향상 및 자동차의 운전성 향상을 위한 고효율 열관리 시스템에 대한 개발이 필요하다. 전기구동 자동차의 모터의 경우, 일반적으로 모터, 인버터 및 컨버터 등으로 구성되어 있기 때문에 전기구동 모터의 열관리 기술은 구동력의 공급원인 배터리 열관리 기술과 더불어 모터 열관리 기술이 함께 유기적으로 연구가 되어야 한다. 현재까지 국내외적으로도 많은 모터가 개발이 되어있으나, 전기구동 자동차의 용도로 사용할 수 있는 습도, 온도와 충격 등 고효율, 높은 신뢰성을 장담할 수 있는 부품은 그리 많지 않다. 더욱이 전기구동 자동차에 사용되는 모터들은 조향장치 제동장치 등 자동차의 주행 성능과 직접적으로 연관된 부품이며, 모터의 효율 또한 차량의 동력성능과 일 충전 및 주행거리 등에 매우 큰 영향을 주게 되므로 전기구동 자동차에서 배터리의 열관리 기술과 더불어 구동모터의 효율을 높이는 기술이 더욱 중요하다.

2. 전기구동 자동차 모터열관리 시스템 기술

전기구동 자동차용 열관리 시스템은 구동시스템의 성능을 위한 냉각시스템, 차량 실내 측의 열 쾌적성을 위한 냉·난방 시스템으로 구분된다.

전기구동 자동차의 냉각시스템은 배터리의 과열방지를 위한 시스템, 각종 차량용 모터, 모터 드라이버 등의 효율적인 성능 향상을 위한 시스템이며, 배터리 전력의 사용은 자동차의 주행시간 지속능력 및 주행



Fig. 1. 전기구동 자동차[1]



Fig. 2. 영구자석형 브러쉬 DC전동기의 구조[2]

능력과 직접적인 연관에 있어서 전기구동 자동차에 적용되는 열관리 시스템은 기존의 엔진구동력을 이용하는 고효율 시스템이 필요하다.

전기구동 자동차들 중에서 상용화가 이루어진 HEV의 구동모터에 대해서 일본의 Toyota가 있다. Toyota는 2세대 Prius, Camry, Lexus LS600h 등 HEV의 전기구동 모터 시스템의 핵심부분인 모터, 인버터, 컨버터의 경량화, 고출력화, 고효율화를 이루고 있다. Toyota의 구동모터는 소형화, 고출력화, 고효율화를 위하여 고전압과 고속화의 기술을 필두로 높은 회전속도에 대한 회전자 강성 확보가 요구되어 영구자석을 폭(원주) 방향으로 2분할하여 V자형으로 배치하는 구조를 그림 2 처럼 개발하였다. V자형으

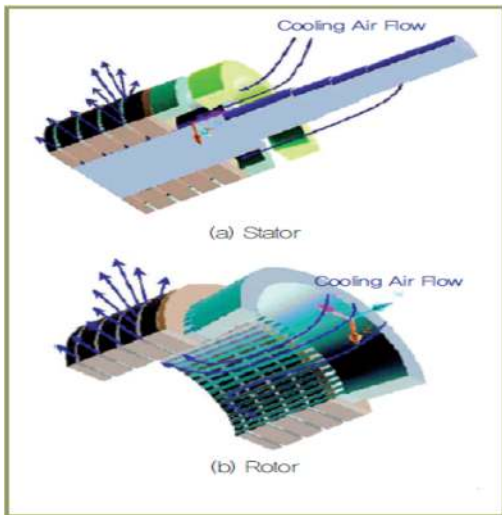


Fig. 3. 구동모터 내부 냉각용 공기의 흐름 [1]

로 배치하는 이유는 모터의 철손의 회전수의 제곱에 비례하여 증대하기 때문에 철손 절감을 위해 V자형 배치로 톨력턴스 토크를 증대시키고, 경부하시에 철손을 저감시킬 수 있다.[1]

소형 모터에서는 열이 큰 문제가 되지 않으나, 연속적으로 운전하는 전기구동 자동차의 구동 모터의 경우, 열발생을 효과적으로 제거하지 않으면, 모터의 수명이 짧아지고 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 대형 모터에서는 하우징 내부에 유로를 구성하고, 냉각수를 이용하여 열을 제거하기 위한 기술들에 대한 개발이 많이 진행되고 있다.[3]

전기구동 모터 열관리기술의 핵심은 구동모터의 내부온도 분포를 파악한 후 냉각 해석을 통하여 내부 온도 상승치가 각기 다른 위치에 맞게 적절한 유량이 흐르도록 유로 설계를 수정 및 변경하여 모터 냉각시스템의 냉각효율을 예측할 수 있도록 하는 것이며 통과 유량을 최적화 하는 것이다. 이런 과정을 통해서 모터 냉각성능에 미치는 영향요소를 찾고 냉각 효율을 최적화 할 수 있는 유로의 위치, 형상 및 냉각 방법 등을 도출하는 것이 중요하다.

전기구동 자동차 (EV, PHEV, FCEV)의 파워 트레인에는 전기에너지에 의존하는 구동모터, 인버터를 사용하고, 전기에너지를 공급하는 배터리 측면에서는 충전 시스템 및 고전압 2차 배터리를 사용하고 있기 때문에, 시스템의 안정적인 성능 확보를 위한 최적 효율점에서의 운전과 실차 구동시의 내구 신뢰성을

확보하기 위하여, 기존 냉각 시스템과는 다른 고효율 부품의 기술이 필요한 시점이다.

모터의 냉각 해석을 위한 구체적인 방법으로는 모터는 스테이터, 로터, 프레임, 축 등으로 구성되어 있어서 각 부품의 경계조건은 로터를 제외하고 모두 벽으로 가정할 수 있고 로터는 움직이는 벽으로 가정하여 속도를 입력하고, 실제 모터환경을 구현해서 해석이 가능하다. 유로의 입구를 Mass Flow Inlet으로 가정하고 Outlet은 대기압으로 배출된다고 가정할 수 있으며, 모터 작동 시 생성되는 열은 철손, 동손, 기계손 등의 Source 향으로 간주하여 각 손실이 발생하는 위치에 입력하고, 주위온도는 일반적으로 25°C로 압력은 대기압으로 가정하고 열전달 해석을 할 수 있다. 그림 3은 대용량 구동 모터의 내부 냉각용 공기의 흐름에 대한 해석 결과를 나타낸다. 전기구동 자동차용 구동모터를 3차원의 모델링을 통하여 상용코드인 Fluent를 이용해서 모터 내부의 냉각용 공기의 흐름을 해석하여 모터의 냉각설계에 응용한 예이다. 이런 냉각 해석을 통해서 모터 냉각시스템 설계의 주요변수가 되는 요소를 도출하였고, 모터의 발열량, 열원의 배치, 유량 분배, 팬 풍량 등 여러 변수들에 의하여 나타내는 모터 내부의 열-유동을 예측할 수 있었으며 고효율 모터 냉각시스템을 설계하는데 활용하였다.[1]

3. 배터리 열관리 기술

배터리는 전기화학 반응을 이용하여 화학에너지와 전기에너지를 상호간에 자유로이 변환시킬 수 있는 장치이다. 전기구동 자동차의 경우 구동을 위한 장치로서 배터리를 직·간접적으로 사용하고 있기 때문에, 배터리 전력의 효율적인 사용은 자동차의 주행시간 및 주행 능력과 직접적인 연관이 있다. 배터리의 경우, 효율이 낮은 곳에서 운전되면 배터리의 과도한 열방출로 인하여 국부적인 온도상승이 발생하게 되고, 배터리의 신뢰성과 성능에 손상을 가하게 된다. 이러한 원인으로 인해서 배터리의 수명이 단축될 수 있다. 온도에 따른 배터리의 수명 변화를 확인해보면, 배터리의 충·방전 시 온도범위가 일정 구간에서 운전이 된다고 볼 때, 내구성 및 신뢰성의 확보가 가능하다는 것을 알 수 있게 된다. 또한 극한의 조건이나 혹서기 등의 조건에서는 일정 온도 구간에서 운전할 수

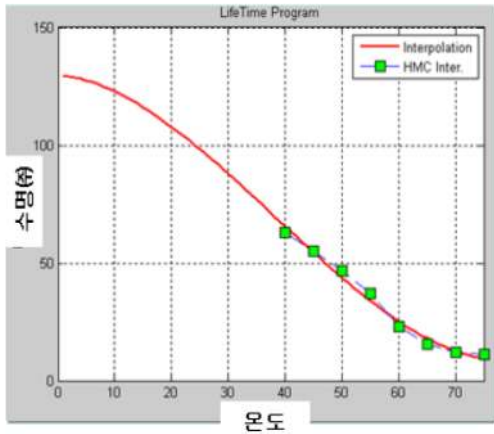


Fig. 4. 온도에 따른 배터리의 수명변화[4]

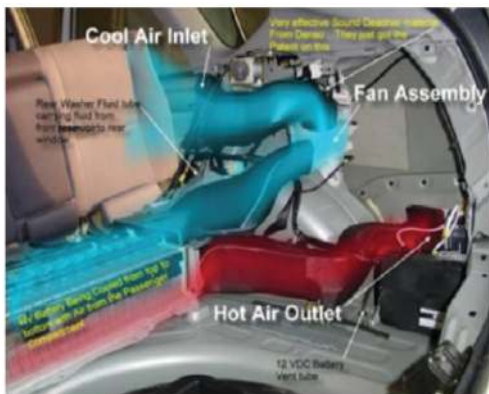


Fig. 5. Prius HEV 배터리 냉각장치[1]

있는 열관리 시스템이 필요하다. 그림 4 는 온도에 따른 배터리의 수명변화에 대한 특성을 나타내고 있다.

전기구동 자동차용 대용량 배터리의 성능과 에너지 출력밀도 향상을 위하여 냉 시동 시 쾌속 배터리 난방시스템 제공과 과열 시 배터리의 내구성 향상 및 차량의 운전성 향상을 위한 냉각 시스템이 필요한 가운데, 배터리 냉각 장치 구조를 살펴보면 초기의

차종	Toyota Prius 3세대 (THS-II) Battery Cooling (Denso)
형상	
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 특징 - 별도 Blower를 사용하여 배터리를 냉각하는 공기냉각 방식임 - Motor 및 Blower가 일체로 배터리에 부착되어 있는 형태로 잔동 및 소음 저감을 위한 기술이 적용됨

Fig. 6. Toyota Prius PHEV 컨셉카의 배터리 냉각시스템 [5]

Toyota의 Prius는 그림 5 와 같은 배터리 냉각 시스템을 구성하고 있다. 덕트부와 블로워로 구성된 배터리 냉각 방식을 사용하고 있으며, 배터리 내부의 공기유동 시스템은 U 자형 매니폴드로 구성되어있다.

Toyota Prius의 배터리 에너지 저장장치는 자동차의 트렁크 안에 수평으로 장착되어있다. 또한 냉각 시스템은 트렁크에 장착된 별도의 공기 순환용 팬을 사용하였고, 실외로 배출하는 구조를 사용하였다. 소형 Blower와 배터리 모듈을 일체로 구성하고, 공기냉각 방식에 의해서 냉각을 하는 형태로 진동 및 소음 저감을 위한 기술이 사용되고 있으며, 그림 6은 Toyota Prius PHEV 컨셉카의 배터리 냉각시스템의 구조 및 특징이다.

4. 결론

현재 전 세계적으로 석유에너지의 소비가 증가하는 추세를 보임에 따라 자동차의 배기가스인 이산화

탄소와 NOX 등은 지구의 온난화, 대기오염 의 문제를 일으키고 세계 각국에서는 자동차의 배기가스 규제를 강화하고 있으며 이에 대응하기 위해서 하이브리드자동차(HEV), 플러그인-하이브리드자동차(PHEV), 연료전지자동차(FCEV), 전기자동차(EV) 와 같은 차량의 개발에 박차를 가하고 있다.

본 논문에서는 내연기관 자동차를 대체하는 미래형 자동차로서 전기구동 자동차의 전망에 대한 분석과, 일본의 시장선점을 통한 시장 지배에 대한 결과로부터 전기구동 자동차의 시장이 앞으로 크게 확산 될 것과, 전기구동 열관리 시스템의 특징을 분석하여, 전기자동차의 핵심 부품인 배터리의 열효율을 좋게 하기 위해서는 열관리 시스템의 중요성이 크게 대두되고 있는 것을 알아보았다. 전기구동 자동차의 성능 향상을 위해서는 인버터, 구동모터, 고용량 전장부품에 대한 고효율 열관리 기술에 대한 개발이 더욱 중요하게 될 것이다. 특히 전기구동 자동차의 핵심 구동원인 배터리 및 구동 모터의 효율적인 열관리 기술 개발을 통하여, 성능 및 내구·신뢰성을 확보할 필요가 있다. 또한, 냉·난방 시스템의 공조시스템도 고효율화의 개발이 필요하다.

전기구동 자동차 열관리 시스템에 대한 핵심 기술 개발은 구동모터의 고효율 열관리 기술이 자동차의 주행시간과 지속적인 주행능력 향상에 밀접한 관계가 있기 때문에 향후 해결해야할 중요한 요소이다.

the Summer Institute of Electrical Engineers, 14/07/2009, pp. 17.

5. BIR RESEARCH GROUP, “최신 방열 기술 소재 동향과 개발”, 2011.08.26, pp. 216

References

1. Mooyeon Lee, “Thermal Management of the Motor/Battery System for Electric Driven Vehicles (VTMS)”, *Auto Journal* 33(12), 2011.12, pp. 36-41.
2. <http://martial707.blog.me/20115450290>
3. Jongphil Won, Hoseong Lee, “The Need to Develop Thermal Management System Technologies of Electric Driven Veicles (EV, PHEV, FCEV)”, *Auto Journal* 33(12), 2011.12, pp. 22-28.
4. ByounHonn Kim, BackHaeng Lee, DongHyun Shin, JinBeom Jeong, HyunSik Song, Hoon Heo, HeeJun Kim, “A Study on Development of the Life Prediction Process of an Energy storage system for Vehicles”, *Proceedings of*