

특집 : 전기자동차

# 전기모터를 구동 동력원으로 하는 자동차의 개발동향

이재용\*, 이백행\*\*

(\*고등기술연구원 동력시스템연구실 책임연구원, \*\*동 주임연구원)

## 1. 머리말

최근 화석연료를 사용하는 자동차의 배출가스가 산성비, 오존층 파괴 등 제반 환경문제를 야기하는 대기오염의 주요 원인으로 주목받으면서 자동차 업계는 오염물질을 대폭적으로 감소시키거나 또는 전혀 발생시키지 않는 무공해 자동차 (ZEV : Zero Emission Vehicle)를 개발해야 하는 어려운 상황에 직면해 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 차세대 교통수단의 대안으로 알코올이나 천연가스 등을 사용하는 대체연료 자동차 및 전기모터를 동력원으로 사용하는 자동차 등이 전면에 부각되고 있으며, 특히 미국의 경우 대기보전법의 발효로 2003년부터 일정비율의 무공해 자동차 판매를 의무화하고 있다. 유럽지역의 경우에도 무공해 자동차의 대중화를 위한 여러 가지 제도의 도입 및 정비를 추진 중에 있고, 일본은 전기자동차의 구입 시 세제혜택과 전력요금의 할인 등으로 무공해 자동차의 확산 및 상용화를 위한 노력을 경주하고 있으며, TOYOTA 등 일부 자동차 업체에서는 하이브리드형 전기자동차를 생산, 판매하고 있다. 여기서는 이러한 세계적인 추세에 효과적으로 대응하기 위한 전기모터를 동력원으로 하는 자동차의 개발동향에 대해 전력전자 분야를 중심으로 간략히 살펴보기로 한다.

## 2. 전기자동차의 시스템 구성 및 개발동향

### 2.1 시스템 구성 및 기본 원리

#### 2.1.1 기본 구동원리 및 전력전자의 역할

전기자동차는 일반 내연기관 자동차와 달리 전동기, 전동기 제어기, 축전지 및 충전장치로 구성되며, 기본적으로 축전지에 저장된 에너지를 인버터 등의 전력 변환장치를 이용하여

효과적으로 전동기에 전달해 차량을 구동하는 무공해 자동차이다. 따라서 전기자동차에 있어서 차량을 구동하기 위한 전동기 및 제어기, 축전지에 에너지를 저장하기 위한 충전장치, 축전지에 저장된 에너지를 차량에서 사용하기 적합한 수준으로 변환하는 DC/DC Converter 등은 전력전자 분야와 밀접한 관계에 있으며, 이 외에도 Air Conditioner 및 Electric Power Steering 등 전기자동차를 구성하는 여러 부분들이 전력전자 분야와 직,간접적인 관계를 갖고 있다.

#### 2.1.2 전기자동차의 시스템 구성

전기자동차의 시스템 구성을 전력전자를 중심으로 살펴보면 아래 그림 1과 같다.

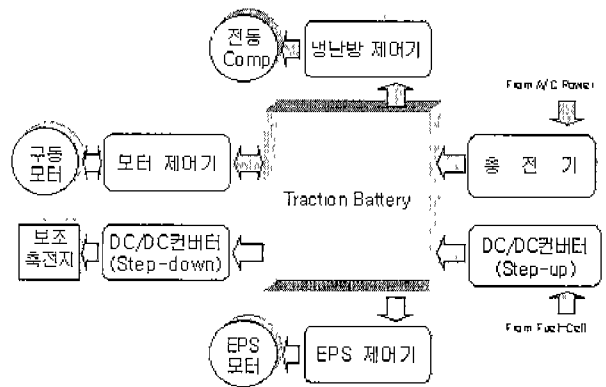


그림 1 전기자동차 시스템 구성

### 2.2 전기자동차의 개발동향

대기오염 물질의 배출을 감소시키고 연비를 향상시키는 동시에 북미 캘리포니아주 등의 지역에서 요구하는 강력한 환경관련 법규를 만족시키기 위하여 무공해 자동차(ZEV)

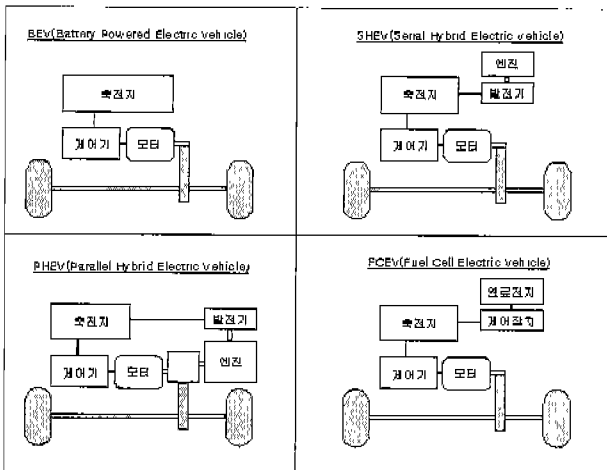


그림 2 전기자동차의 구성 비교

개발의 필요성이 강력하게 대두되었고, 이에 따라 전동기를 구동 시스템으로 사용하는 자동차, 특히 순수 전기자동차(Pure EV 또는 Battery-Powered EV)에 대한 개발이 90년대 초반에서 중반 사이에 집중적으로 이루어졌었다. 순수 전기자동차는 배기가스 규제 측면에서 “Zero Emission”을 만족시키는 장점이 있는 반면 축전지만을 에너지원으로 사용하기 때문에 축전지의 특성에 의해 기본적으로 갖게 되는 한계 즉, 1회 충전으로 주행할 수 있는 주행거리(일충전 주행거리) 및 재충전에 소요되는 시간 등의 문제를 내포하고 있다. 순수 전기자동차가 이미 100여 년 전에 개발되었으나 그 동안 시장에서 괄목할 만한 성장을 이루지 못한 이유는 이러한 근본적인 한계에 기인한 결과라고 말할 수 있다.

이러한 한계를 극복하고 소비자의 다양한 요구에 대응하기 위하여 순수 전기자동차에 새로운 형태의 동력계통을 접목시키려는 시도가 지속적으로 이루어져 왔으며, 90년대 중반 이후 복합형 전기자동차(Hybrid EV) 및 연료전지 전기자동차(Fuel Cell EV) 등의 형태로 나타나고 있다.

### 2.2.1 BEV (Battery-Powered Electric Vehicle)

순수하게 차량에 탑재된 축전지만을 에너지원으로 사용하므로 배출가스가 전혀 없는 “Zero Emission Vehicle”로 환경규제에 가장 적극적으로 대응할 수 있는 장점을 가진 반면, 축전지 자체의 여러 가지 제약조건으로 인해 발생하는 소비자 관점의 한계들을 극복하기 어려운 단점이 있다. 현재까지는 2003년 캘리포니아주 등 북미 시장의 법규에 대응하기 위한 가장 현실적인 방안으로 고려되고 있으나, 축전지의 획기적인 발전이 없을 경우 장기적으로는 Hybrid 또는 Fuel Cell EV로 대체될 것으로 보는 시각이 지배적이다.

### 2.2.2 HEV (Hybrid Electric Vehicle)

BEV에서 가장 큰 문제로 대두되고 있는 일충전 주행거리 및 충전시간 등을 해결하기 위한 대안으로 Hybrid EV가 고안되었으며, 구동 에너지원으로 내연기관 또는 연료전지 등과 축전지를 복합하여 사용하는 형태이다. HEV는 크게 직렬형과 병렬형으로 구분할 수 있으며, 직렬형은 내연기관 또는 연료전지에서 발생하는 에너지는 반드시 축전지를 경유하여 차량을 구동하는데 사용되는 형태이고, 병렬형은 발생하는 에너지가 축전지를 충전하거나 또는 직접 차량을 구동하는데 사용될 수 있는 형태이다. 직렬형은 구조가 간단하고 발생하는 배기가스가 상대적으로 적으며, 병렬형은 구조가 복잡하고 배기가스 측면이 상대적인 열세이나 동력성능 측면에서 강점을 가진다. 그러나, 내연기관 등을 사용하여 HEV를 구성하는 경우 BEV에서 가장 큰 문제로 지적되고있는 일충전 주행거리 등의 한계는 극복할 수 있으나, 북미 일부지역에서 요구하는 무공해(Zero Emission Regulation)법규를 만족시킬 수 없어 HEV는 주로 연비 및 이산화탄소 배출규제 등에 대응하기 위한 대책으로 선호되고 있다.

### 2.2.3 FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)

BEV는 “Zero Emission”이라는 환경규제는 만족시키는 반면 일충전 주행거리 등에 문제가 있어 소비자 입장에서 요구에 대응하기 곤란하며, HEV는 일충전 주행거리 등의 문제는 해결할 수 있으나 “Zero Emission”의 요구사항을 충족시키지는 못한다. 이러한 문제들을 동시에 해결할 수 있는 대안으로 최근 연료전지(Fuel Cell)가 전면에 대두되고 있다. 연료전지를 구동 에너지원으로 하여 차량을 구성하는 경우는 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 순수하게 연료전지만을 사용하여 차량을 구동하는 경우와 축전지 등 다른 에너지 저장장치와 복합형으로 구성하는 동력원으로 사용하는 경우로 대별된다. 현재 연료전지 추진차량의 상용화를 위하여 세계적으로 유수한 자동차 업체 및 전지업체들이 컨소시엄을 구성하여 2005년 전후에 상용화하는 것을 목표로 개발에 박차를 가하고 있으며, 국내에서도 정부지원 하에 G-7 사업 등을 통하여 개발이 진행중이다.

연료전지에서 에너지를 생산하기 위해서는 수소와 산소가 공급되어야 하는데, 수소를 공급하는 방식에 따라 크게 두 가지 시스템 구성을 생각할 수 있다. 즉, 수소저장장치를 차량에 탑재하여 직접 수소를 얻는 방식과 메탄올이나 가솔린에서 개질기(Reformer)를 이용하여 수소를 추출하는 방식으로 대별된다. 수소저장장치에서 직접 수소를 얻는 경우 시스템 구성은 간단하나 수소의 재충전을 위한 사회기반시설(Infrastructure)에 대한 방대한 투자가 불가피하며, 메탄올 또는 가솔린에서 수소를 추출하는 방식은 현재의 사회기반시설을 이용하기 용이한 반면 개질기 등 구성 시스템이 대단히 복잡해지는 단점이 있다.

### 3. 전기자동차의 구성부품

#### 3.1 구동모터 및 제어기

비록 상기와 같이 여러 가지 형태의 전기 자동차가 있지만, 적용되는 구동 시스템의 관점에서 보면 크게 다르지 않다고 말할 수 있다. 즉, 전기 자동차의 구동 시스템 가운데 구동모터 및 제어기는 토오크-속도특성, 냉각특성, 부피 및 무게, 시스템 전압 그리고 가격 등을 종합적으로 고려하여 차량의 요구조건을 만족시킬 수 있도록 선정되어 지는데, 어떤 형태의 전기 자동차이든 차량에서 요구하는 기본적인 사항들은 유사하다고 볼 수 있다. 전기자동차용 전동기에서 일반적으로 요구되는 사항은 고효율, 높은 출력밀도, 고효율, 저소음 및 진동, 제작의 용이성, 경쟁력 있는 가격 등이다. 전기 자동차에 적용되는 구동모터로는 개발초기에 비교적 간단한 직류 전동기(Brushed DC Motor)가 사용되었으나, 최근에는 대부분 유지보수가 용이한 유도 전동기(Induction Motor) 또는 영구자석 전동기(Brushless DC Motor)가 사용되고 있으며, 또한 일부에서 스위치드 릴럭턴스 모터(Switched Reluctance Motor)의 적용 가능성에 대해서도 검토도 진행되고 있다.

##### 3.1.1 직류 전동기 (Brushed DC Motor)

비교적 제어가 용이하며, 대용량화가 용이하여 종래의 분권식 DC Motor를 개선한 전동기가 전기 자동차의 개발 초기에 주로 사용되었으나, Brush 및 Commutator 등이 반드시 필요한 구조이므로 고속운전이 곤란하고 정기적인 유지보수가 필요하고 기밀성이 떨어져 상대적으로 내환경성이 불량하다. 또한 최근의 전자산업의 발전 및 제어기술의 발달로 간단한 제어의 장점이 퇴색되어 거의 유도 전동기로 대체되고 있는 추세이다.

##### 3.1.2 유도 전동기 (Induction Motor)

회전자의 구조가 매우 간단하고, 외부와 접촉되는 부분이 없으므로 고속운전이 가능하며, 밀폐형 구조를 취하므로 내환경성이 좋고, 유지보수가 용이하며, 원 재료비가 상대적으로 저가이므로 경제적이다. 과거에는 제어기술 및 제어기 구성에 어려움이 있어 속도제어 및 토오크 제어 등에 여러 가지 제약이 있었으나, 근래 전자제어기술 및 소자의 빠른 발전에 힘입어 이러한 한계들은 거의 극복되고 있는 추세이다. 주로 북미 및 유럽에서 제작되는 전기 자동차에 장착되고 있는 추세이며, 중량 및 부피와 가격의 문제가 향후 집중적으로 개선되어야 할 것으로 보인다.

##### 3.1.3 영구자석 전동기 (Brushless DC Motor)

영구자석 전동기는 유도 전동기에 비해 효율이 높고, 빈번한 가/감속이 요구되는 운전형태나 소형, 경량 모터가 필요한 하

이브리드형 차량에 적합하며, 회전자에 자성이 매우 강한 희토류 자석을 사용하여 출력밀도를 향상시킬 수 있는 장점이 있으나, 희토류 자석이 고가이고, 이를 사용하여 소결, 성형, 접착하는 등 제작과정의 어려움 때문에 대용량화에 문제가 있어 시스템 가격이 상대적으로 고가이다. 또한, 회전자에 영구자석이 결합되어 있는 구조로 인해 고속운전에 제약이 있고, 온도에 따라 민감한 특성을 나타내며, 진동이나 충격에 약한 단점이 있다. 그러나, 차량에 탑재되는 부품의 가장 중요한 고려사항 중 하나인 중량 및 부피 측면에서 장점을 갖고 있기 때문에 영구자석 전동기는 현재 유도 전동기와 더불어 전기 자동차용 전동기로 지속적으로 검토, 개발되고 있으며, 주로 일본에서 개발되는 전기 자동차에 적용되고 있는 추세이다.

##### 3.1.4 제어기 (Inverter or Controller)

전기자동차용 모터 제어기는 운전자의 의도에 따른 차량의 목표성능을 만족시킬 수 있도록 빠른 응답특성과 넓은 속도 영역에서의 원활한 운전특성 및 축전지의 전압변동에 대한 고른 출력특성, 그리고 감속 시 회생제동 특성 등을 고려하여 설계되어야 하며, 차량의 특성에 맞는 Parameter Setting을 통한 Calibration을 수행할 수 있도록 하여야 한다. 또한, 제어기의 자기진단기능과 Data 저장기능, 그리고 차량에 장착된 다른 제어기들이나 외부 컴퓨터와의 정보교환을 위한 Interface 기능이 필요하다. 차량에 장착된 제어기와의 통신은 주로 CAN(Control Area Network) 방식이 사용되며, 외부 컴퓨터와의 통신은 RS232C 방식이 사용된다.

#### 3.2 충전장치 (Battery Charger)

전기 자동차의 충전장치는 장착위치에 따라서 차량에 탑재되는 탑재형 충전기(On-Board Charger)와 외부에 설치하는 별치형 충전기(Off-Board Charger)로 구분되며, 축전지에 전력을 공급하는 방식에 따라 유도형 충전기(Inductive type Charger)와 접촉형 충전기 (Conductive type Charger)로 구분할 수 있다.

##### 3.2.1 장착위치에 따른 분류

탑재형 충전기는 기본적으로 가정용 단상전원을 이용하여 개별차량에 탑재된 충전기를 통해 구동용 축전지를 충전하는 장치로, 통상 30A 용량까지 사용되며, 별치형 충전기는 3상 교류전원을 이용하여 최대 400A용량까지 충전하는 장치로, 통상 급속 충전기로 사용된다.

##### 3.2.2 전력공급방식에 따른 분류

유도형 충전방식은 변압기의 원리와 같이 자기적 결합(Magnetic Coupling)에 의해 축전지와의 직접적인 접촉 없이 축전지를 충전하는 방법으로 도체 접촉부의 노출이 없으며

로 충전 중 누전의 염려가 없어 사용환경의 제약이 거의 없고 대용량의 경우 전선의 두께를 크게 줄일 수 있는 장점이 있으나, 효율이 낮고 전자파에 대한 대책 수립에 어려움이 있다.

접촉형 충전방식은 축전지에 공급하는 전력을 직접적인 도체의 연결(Connection)에 의해 수행하는 방식으로 유도형에 비해 효율이 높고 일반적으로 많이 사용되는 방식이나, 대용량일 경우 전선의 두께가 굵어지고 충전 중 누전 등의 안전에 대한 대책을 강구하여야 한다.

### 3.3 DC/DC 컨버터 (DC/DC Converter)

전기 자동차에 사용되는 DC/DC 컨버터는 크게 강압(Step-down)에 사용되는 경우와 승압(Step-up)에 사용되는 경우로 나누어 생각할 수 있다.

강압 컨버터(Step-down Converter)는 내연기관 자동차의 Alternator와 같은 역할을 하는 장치로 주로 200~300V 정도의 구동용 축전지에서 차량의 편의장치에 사용되는 +12V 수준의 보조축전지를 충전하기 위해 사용되며 전류 용량은 대략 100A 내외이다.

승압 컨버터(Step-up Converter)는 연료전지 등에서 발생되는 비교적 낮은 전압을 구동용 축전지를 충전할 수 있을 정도의 수준의 전압으로 승압하기 위하여 주로 사용되며 통상 약 20~40kW 정도의 용량을 갖는다.

### 3.4 냉난방 장치 (Air Conditioner)

전기 자동차용 냉난방 장치 가운데 냉난방을 동시에 해결할 수 있는 열 펌프(Heat pump)를 이용한 시스템의 경우 전동 압축기(Compressor)가 사용되는데, 압축기의 회전수를 조절하기 위하여 압축기에 내장되어 있는 전동기의 회전속도를 제어하게 된다. 이 때 사용되는 전동기는 통상 효율이 높은 영구 자석 전동기(Blushless DC Motor)로 용량은 4~5kW 정도이며, IGBT 소자 등을 이용한 압축기 제어기는 구동용 축전지로부터 직접 전력을 공급받아 전동기에 필요한 전력을 공급한다.

### 3.5 조향 장치 (Electrical Power Steering)

기존의 내연기관 차량에 사용되는 Power Assist Steering System에서는 엔진의 구동력을 이용하여 유압 펌프를 동작시키는 Hydraulic assist type이 사용되었으나, 전기 자동차에서는 유압장치 대신 전기모터를 사용하는 Electric assist type이 사용되어 차량 Package 및 제어성 등에서 상대적인 강점이 있으나 가격 경쟁력 측면에서 단점을 지니고 있다. Column Type Electric Power Steering은 직류 모터가 Steering Column에 부착되어 있고, 차속 센서(Vehicle speed sensor)와 Steering Shaft에 장착된 Steering 센서의 신호에 기초하여 Motor가 회전하여 핸들조작을 Assist하도록 구성되어 있다.

### 3.6 회생제동 시스템(Regenerative Braking System)

회생제동 시스템은 구동 모터의 발전기능에 의해 차량의 운동에너지를 전기에너지로 바꾸는 것으로 이것은 제동력을 만든다. 그러나 회생제동력은 모터의 성능과 축전지의 충전상태에 따라 한계를 가지며, Regenerative Efficiency를 향상시키기 위해서는 유압 브레이크의 제동력이 최소로 되는 것이 바람직하다. 여기서 Regenerative Efficiency가 높다는 것은 차량에 의해 사용되는 축전지의 에너지 효율이 높다는 것을 의미한다. 과거에는 회생제동과 Hydraulic Braking을 개별적으로 제어하였으나, 최근에는 보다 효율적인 제어를 위하여 통합 단일제어기가 사용되는 추세이다.

### 3.7 발전기 및 AC/DC 컨버터

직렬형 하이브리드(Serial Hybrid) 전기 자동차에 주로 사용되는 발전기는 엔진에서 발생하는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 장치로 통상 AC/DC 컨버터를 이용하여 차량에 장착된 축전지를 충전하거나 구동용 모터를 동작시킨다. 차량의 성격에 따라 다르지만 정격출력은 보통 10~30kW 정도이다.

### 3.8 Super-Capacitor 및 I/F 장치

전기 자동차의 일충전 주행거리를 증가시키고 축전지의 수명을 향상시키기 위해 Pulse Power Unit을 이용한 축전지의 Load-Leveling에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이 가운데 전기 자동차에 가장 적합한 것이 Super-Capacitor 혹은 Ultra-Capacitor라고 불리는 Electrochemical Double Layer Capacitor이다. Super-Capacitor는 차량의 가속운전 구간에서 필요한 순간 최대출력 축전지와 분담하여 구동 시스템에 공급하고, 감속 구간에서는 회생제동 시스템을 통하여 축전지 충전 시 발생할 수 있는 과충전 문제를 해결할 수 있다. 여기에 사용되는 Interface 장치는 Capacitor의 효율적인 이용을 위해 축전지와 Capacitor 사이의 운전조건 등을 제어하는 역할을 한다.

## 4. 결 론

지금까지 내연기관 자동차의 사용으로 인해 발생하는 일련의 환경문제들에 대한 대안으로 거론되고 있는 대체연료 자동차 가운데, 여러 가지 형태의 전기자동차에 관해 전력전자 분야를 중심으로 간략히 살펴보았다. 위에서 살펴본 바와 같이 전력전자 분야는 전기자동차의 개발에 있어서 광범위하고 핵심적인 위치를 점유하고 있으며, 향후 성장 잠재력이 무한한 분야로 지속적인 관심과 연구가 필요한 분야라고 할 수 있다. ■

참고문헌

- [1] BEV, FCEV, HEV...- the same electric drive train?, EVS-16, 1999
- [2] Air Quality And Advanced Transportation Technologies: A California Perspective, EVS-15, 1998
- [3] 대체에너지 자동차 개발현황, 자동차공학회지, Vol. 18, No.2, 1996
- [4] Hybrid 자동차 동력시스템 개발기술, 자동차부품연구원, 1999
- [5] 전기자동차 차량 및 시스템 기술개발에 관한 연구, 고등기술연구원, 1998
- [6] 전기자동차용 냉난방장치 개발, 고등기술연구원, 1996

〈저자소개〉



**이재용**

1984년 대우자동차 입사. 1998년 고등기술연구원 입사. 현재 고등기술연구원 동력시스템연구실 책임연구원.



**이백행**

1994년 고등기술연구원 입사. 현재 고등기술연구원 동력시스템연구실 주임연구원.