

전기, 하이브리드 및 연료전지 자동차의 향후 동향

이현동*, 최종률*

(*현대자동차(주) 연구개발본부 산행개발실 하이브리드전기차개발팀)

1. 서론

지구의 환경 문제는 전 인류가 함께 풀어야 할 가장 큰 과제 중에 하나이다. 이중 자동차의 배기 가스로 인한 대기 오염 및 이산화 탄소에 의한 지구 온난화 현상은 자동차 산업에서 해결해야 될 숙제이다. 따라서 주요 선진국에서는 심화되는 환경오염에 대처하여 화석연료를 사용하는 자동차로부터 배출되는 탄화수소(HC), 일산화탄소(CO), 산화질소물(NOx) 등과 같은 유해 배기가스의 규제를 한층 강화하고 있다(CARB:미국, Euro IV: 유럽). 한편 주 에너지원인 석유 자원이 2040년을 기점으로 점점 고갈되고 있는 실정이라서 주요 자동차 메이커에서는 차량의 연비 향상과 대체 에너지 개발을 위해 매우 많은 투자로 기술 개발을 하고 있다.

이러한 환경의 변화는 자동차 기술에 대한 새로운 대응을 요구하고 있다. 이에 대하여 아래와 같은 3가지 방향으로 대응 가능하며, 이 중 신개념의 동력전달계를 사용하는 차량에 대한 연구가 가장 큰 관심과 초점이 집중되고 있다.

- 희박연소 사용, 촉매장치 개선, 엔진 최적제어 등과 같이 기존 동력전달계의 개념 변경이 없이 추가장치나 보완설계를 통한 성능 개선
- 메탄올, 에탄올, 압축천연가스(CNG), 액화석유가스(LNG), 수소 등과 같은 대체연료 사용
- 전기자동차(Electric Vehicle, EV), 하이브리드 전기자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV), 연료전지 자동차(Fuel Cell EV, FCEV) 등과 같이 기존 동력전달계의 개념을 변경하여 차량의 성능 개선

EV, HEV, FCEV 중 에너지 저장장치로 배터리만을 사용하는 EV는 저소음, 무매연의 장점을 가지고 있으므로 궁극적인 대체 에너지 자동차로서 고려되고 있다. 그러나, 기존 내연기관을 대체할 수 있는 만큼의 고성능, 저중량, 고효율 배터리 개발이 단시일내에 이루어지기 힘든 것으로 전망되므로, 차량의 성능 및 경제성 차원에서 EV의 완전 상품화는 아직 요원하다고 할 수 있다. 또한 기존의 주유소에

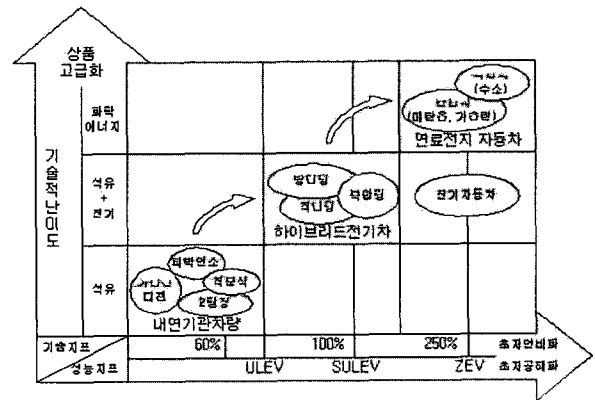


그림 1. 미래형 자동차의 기술동향.

해당하는 배터리 충전장치 등과 같은 사회 간접 자본 미비, 소비자의 선입견 등도 EV의 상품화에 제약조건으로 작용한다.

따라서, EV의 일충전거리, 충전시간 등에 있어서의 현실적 한계를 극복하기 위하여, 내연기관 자동차와 EV의 단점을 상호 보완함으로써 배기가스를 저감시키는 동시에 효율 및 가속성능상의 개선을 꾀할 수 있는 HEV를 개발하는 것이 자동차 선진국 메이커들의 현실적이며 공통된 대응 방법이다. 향후 2010년 이후 전체 자동차 시장의 십 수%를 HEV가 차지할 것이라고 예상하는 견해가 지배적임에도 불구하고, HEV는 저공해 자동차로서 궁극적인 형태라고 할 수 없고 과도적인 단계라는 인식에는 변함이 없다. 또한, 최근에는 EV에서 배터리를 대체하는 하나의 에너지원으로 연료전지가 각광을 받고 있으며, 이를 이용한 FCEV에 대한 연구가 선행단계에서 이루어지고 있다. 이상을 정리하면, 그림 1에서 보이듯이 기술의 발달에 힘입어 미래형 자동차는 초저연비화와 초저공해화의 2가지 목표를 가지고 있으며, EV의 현실적 한계와 HEV의 과도적 단계를 거쳐 궁극적인 형태에 가장 근접한 FCEV의 단계로 발전해 나가리라고 전망할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 미래형 자동차에 대한 구분 및 각각의 특성에 대하여 살펴본 후, 구동시스템 중 배터리, 모

터, 인버터 등과 같은 전기적 구성요소에 대한 세계적 연구 추세와 향후 동향에 대하여 고찰해 보고자 한다.

2. 미래형 자동차의 분류

2.1 EV, HEV, FCEV의 특징 및 분류

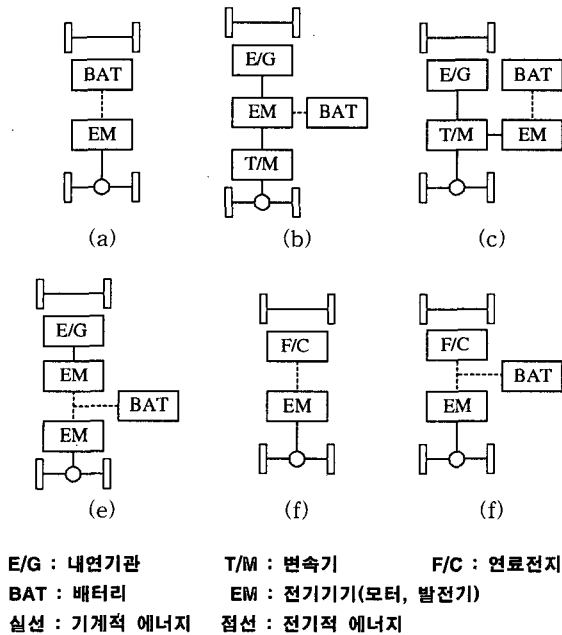


그림 2. 자동차의 분류

(a) 순수전기자동차 (b) 병렬형 하이브리드 전기자동차 #1 (c) 병렬형 하이브리드 전기자동차 #2 (d) 직렬형 하이브리드 전기자동차 (e) 연료전지 전기자동차 (f) 직렬형 연료전지 하이브리드 전기자동차

미래형 자동차로서 가장 보편적으로 알려져 있는 형태가 그림 2(a)의 EV이다. 앞서 언급하였듯이 궁극적인 형태의 구조를 가지나, 현재 에너지 저장원인 배터리의 단점으로 인하여 현실적인 해법은 아닌 것으로 판단된다. 그러나, 구조적, 기술의 완성도적인 측면에서 소형경량의, 그리고 제한된 운행범위를 가지는 차량으로는 그 적용의 가능성은 크다고 할 수 있다.

HEV는 동력시스템의 동력 흐름에 따라 크게 병렬형(Parallel-type HEV, PHEV)과 직렬형(Series-type HEV, SHEV)의 두가지로 구분되며, 그 개념도는 그림 2(b), (c), (d)와 같다.

그림 2(b)와 같은 구조의 PHEV는 엔진의 크랭크 샤프트와 모터 회전축이 직결되어 있으므로(물론, 클러치를 이용하여 동력의 단속이 가능함.) 차량의 구동력이 단일축을 통하여 차량의 구동륜으로 전달되는 형태를 가진다. 한편, 그림 2(c)와 같은 구조의 PHEV는 엔진의 동력과 모터의 동력이 변속기 또는 기어 등과 같은 기계적 장치에서 합하여진 후 차량의 구동륜으로 전달되는 형태를 가진다. 그림 2(d)의 SHEV는 엔진에서 발생하는 운동에너지를 모두 전

기에너지로 변환시켜, 이를 배터리의 충전 및 모터의 동력원으로 사용하고, 차량의 구동부는 EV의 그것과 동일하다. PHEV는 전동기의 출력이 비교적 작아도 충분한 목표 성능을 기대할 수 있지만, 시스템의 조합 및 제어가 SHEV보다 어렵고, 배기가스 제어가 상대적으로 난이하다는 점이 지적된다[2]. 반면, SHEV의 제어방식 및 구조는 비교적 간단하고 배기 가스 배출량을 최소화시킬 수 있지만 최고출력에 한계가 있고, 에너지 효율이 낮으며, 전기 시스템의 용량이 커서 생산비용이 높다는 단점이 있다. EV로부터 SHEV로의 차량구조상의 전개는 엔진과 발전기의 조합으로 구성된 보조동력장치(Auxiliary Power Unit, APU)를 이용하여 차량의 배기가스 저감이라는 목적과 함께 기존 EV의 배터리를 대체하는 입장이고, EV로부터 PHEV로의 발전은 EV의 배터리 문제를 고려하였다기 보다는 모터를 이용한 차량의 연비향상 및 동력성능 개선에 초점이 맞추어져 있다고 해석할 수 있다.

그림 2(e)는 연료전지를 이용하여 단순히 EV의 배터리를 대체한 결과이며, 이의 확장된 형태의 하나로 그림 2(f)와 같이 SHEV의 엔진+발전기 구조의 APU를 연료전지로 대체한 형태로 간주할 수 있다.

2.2 세계각국의 HEV 연구동향

일본은 각 자동차 메이커별로 승용 HEV에 대한 연구 개발에 많은 투자를 하고 있으며, 이들은 대부분 미국 유럽의 기술 개발 수준에 병행하여 진행 중에 있다. Toyota사는 97년말 세계 최초의 양산형 하이브리드 동력전달계를 탑재한 Prius 승용차를 발표하였는데, 이는 1500cc급 GDI 엔진과 무단변속기(Continuous Variable Transmission, CVT)를 장착한 새로운 개념의 HEV 승용차이다. 한편 Nissan 자동차는 97년 초 1.3l 가솔린 엔진을 채용한 SHEV 승용차를 개발했으며, Mitsubishi의 1.5l CNG엔진 그리고 Honda 자동차의 1.0l 회박연소 엔진에 각각 CVT를 장착한 PHEV 승용차 등이 개발 완료 단계이다.

미국에서는 캘리포니아주 등 초저공해 자동차 판매를 규정한 환경법 등에 대응하기 위하여 정부 및 각 자동차 메이커, 부품업체 등이 컨소시엄을 구성하여 Super Car Project라는 이름으로 50개 이상 다양한 형태의 하이브리드 차량을 개발 중에 있다. 각각의 목적과 요구성능은 다르지만 현재 미국의 자동차 메이커들은 가스 터빈, 직분 디젤 엔진, 경량화 차체개발, 고효율 가솔린엔진, 연료전지, 플라이휠 에너지 저장장치 등을 이용하여 HEV를 개발하고 있다. GM의 경우 가솔린엔진과 납축전지를 사용한 SHEV 형태의 HX3를 개발하였고, Ford는 P2000 프로젝트에서 직분식 디젤 엔진, 메탄올 엔진과 연료전지 등 다양한 형태의 HEV를 현재 개발 중에 있다. 특히 미국 자동차 3사와 PNGV(Program of New Generation Vehicle) 공동으로 Dodge Intrepid ESX에 Diesel 엔진과 모터를 장착한 PHEV 3000cc급 대형 승용차를 개발 중에 있다.

유럽은 저공해차가 가장 많이 보급되어 있는 곳으로,

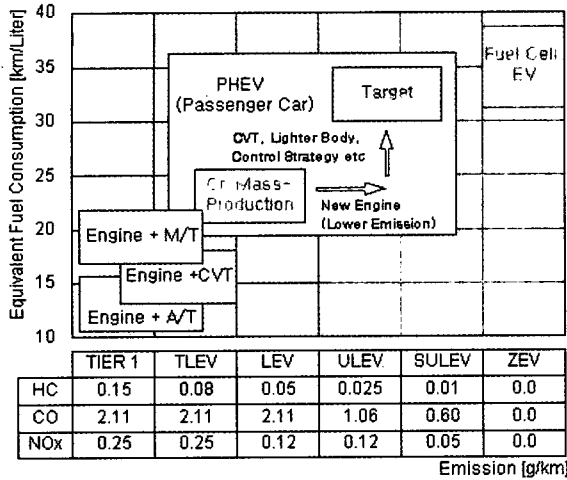


그림 3. 승용 HEV 개발 전략.

특히 자동차 기술이 앞선 독일, 프랑스 등이 주도적으로 자연 환경 보호를 위한 국가산업으로 정부 지원하에 저공해차 개발에 주력하고 있다. 이러한 HEV의 개발 방향은 주로 디젤엔진을 이용한 에너지 효율 최대화, 차량 경량화, 병렬형에 의한 출력 향상에 중점을 두고 개발을 진행하고 있다. 독일의 경우 Daimler-Chrysler는 UX100이라는 다목적 차량에 2.3리터급 디젤엔진을 장착한 SHEV를 개발했고, Audi는 1.9TDI엔진에 클러치를 사용한 PHEV인 듀오를 97년 초에 개발했었다. 한편 독일 자동차 4사 연합은 Volks Wagen 1.9TDI엔진에 알미늄 Frame의 전자클러치를 장착한 PHEV를 개발했다. 프랑스의 경우에는 푸조자동차가 직렬형 2인승 투아레그를 96년 발표했었으며, 르노는 병렬, 직렬 복합방식의 하이브리드 승용차를 개발했다.

2.3 승용 PHEV의 개발 전략

현재의 기술력으로 보아 승용차용으로 HEV를 구성함에 있어 PHEV와 SHEV의 우열을 단정짓기에는 아직 이르지만, 효율 및 출력면에서 PHEV가 우수한 것으로 결론되어 가는 경향이며, 결국 이러한 PHEV가 세계시장 진출에서도 유리할 것으로 판단된다. 승용 PHEV 개발에 있어 그 성능 목표로서 고려되어야 하는 주된 사항으로 ①연료소비량 (km/Liter), ②HC, CO, NOx 등의 배기가스 배출 수준을 들 수 있다. 연료소비량과 배기가스 배출 수준을 축으로 하여 기존의 일반 차량과 HEV, 그리고 FCEV의 위치를 도시하면 그림 2와 같다. 현재 양산 시판 중에 있는 승용 HEV의 경우 그 배기가스 배출은 LEV(Low Emission Vehicle) 수준이며, 연료소비량은 약 20-25km/Liter 정도이다. 향후의 승용 PHEV에서는 ULEV(Ultra Low Emission Vehicle), 또는 더 나아가 SULEV(Super Ultra Low Emission Vehicle) 수준으로 배기가스 배출을 감소시키고, 연료소비량에 있어서는 100km를 주행하는데 3리터의 가솔린을 소비하는 소위 '3리터 자동차'의 수준인 30-35km/Liter의 수준으로 개선

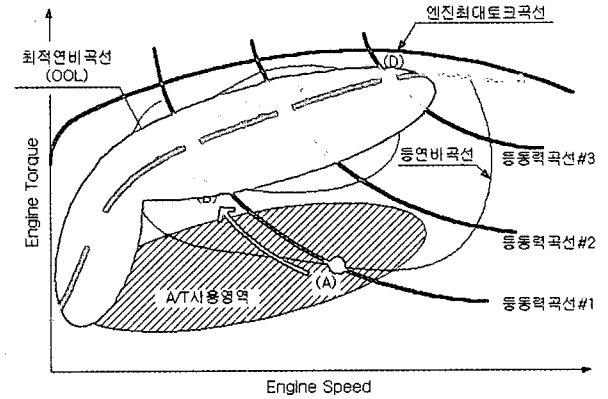


그림 4. 연료소비량 개선을 위한 PHEV 주행전략.

시키는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 배기가스 배출 저감 측면에서 촉매장치의 개선, 새로운 저공해 엔진의 개발 등의 연구 개발이, 그리고 연료소비량의 개선을 위하여 차량의 경량화, 저마찰 타이어 및 CVT의 적용, 제어성능의 향상 등의 연구가 활발히 진행되고 있다.

연료소비량 개선을 위한 PHEV의 주행제어전략은 그림 3에서와 같이 모터를 이용하여 단순히 차량의 구동력을 보조하는 전략과 엔진과 모터의 서로 개별적인 구동원의 부하분배전략으로 구분하여 설명될 수 있다. 자동변속기를 장착한 승용차의 경우 그림 4의 동작점(A)에서 엔진의 운전점과 효율이 결정된다고 할 때, 자동변속기 대신 CVT를 적용함으로써 엔진의 운전점은 등동력곡선 #1상의 동작점(B)로 이동하게 되고 이에 따라 연료소비량이 개선됨을 볼 수 있다. 또, 엔진+CVT 시스템에 모터를 이용하여 단순히 구동력을 보조하는 기능의 하이브리드 시스템을 적용함으로써 동작점(B)의 엔진 운전상태를 등동력곡선 #1과 엔진의 최적연비곡선(Optimal Operating Line, OOL)상의 동작점(C)로 이동시켜 효율개선을 실현할 수 있다.

엔진과 모터의 부하분배제어의 기본개념은 다음과 같이 설명될 수 있다. 우선 엔진 자체의 배기가스 배출은 이미 그 규제치에 적합하도록 조정되었음을 전제로 하고 있다. 현재 엔진의 출력곡선이 등동력곡선 #1일 때, 주행중 배터리를 충전할 필요가 있을 경우에는 등동력곡선 #2와 OOL의 교점, 동작점(E)로 엔진을 운전하여, 잉여동력을 이용하여 최적의 연비로 배터리를 충전시키도록 한다. 이 때에는 차량에서 엔진만이 동력원이 되고 모터는 배터리 충전이라는 부하로 작용하므로 동력분배제어에는 배터리의 충전상태라는 정보가 반드시 필요함을 알 수 있다. 한편, 차량이 등동력곡선 #3의 출력을 요구할 경우, 엔진만을 장착한 차량에서는 최대 효율이 OOL상의 동작점(D)로 엔진의 운전점이 결정되나, HEV 시스템의 경우, 모터를 이용한 동력보조가 가능하므로 언제나 등동력곡선 #3과 #2의 차이만큼을 보상하도록 모터를 제어하여 동력보조를 수행할 수 있으므로, 엔진을 최적의 연료소비량을 가지는 동작점(E)에서 운전시킬 수 있다.

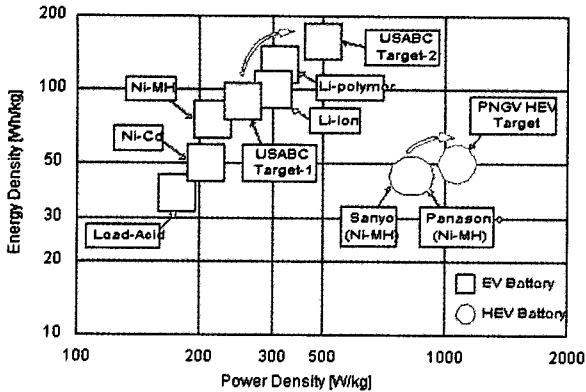
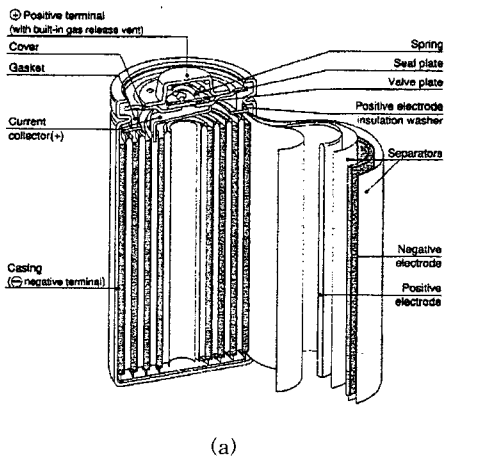
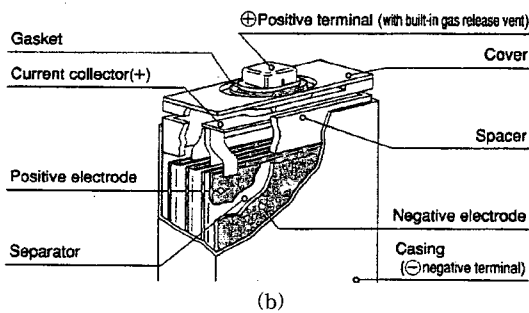


그림 5. EV 및 PHEV용 배터리의 비교 및 목표



(a)



(b)

그림 6. 승용 PHEV용으로 양산 적용중인 Ni-MH 배터리의 구조.(a) 원통형 (b) 각형

3. 전기적 동력시스템의 주요 부품 동향

EV 또는 HEV용 구동계에서 전기적 동력시스템을 크게 배터리, 모터, 전력용 반도체, CPU, 그리고 모터제어기법으로 나누어 고찰해 본다.

3.1 배터리

배터리는 EV 및 HEV, 그리고 FCEV에서 에너지저장장치로 간주되며, 배터리의 특성 중 에너지 밀도(Energy

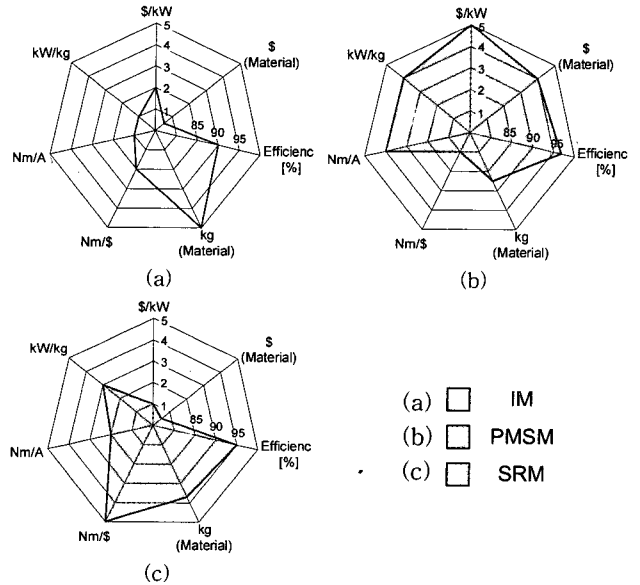


그림 7. 각종 모터의 특성 비교.

(a) 유도전동기 (b) 영구자석동기전동기 (c) 릴럭턴스전동기

Density)는 차량의 일충진거리와, 그리고 출력 밀도(Power Density)는 차량의 가속성능과 직접적인 관계를 가진다. EV 배터리로 납산(Lead-acid), 니켈계열, 리튬계열의 배터리가 적용되고 있다. 이들 중 니켈메탈하이드라이드(Nickel Metal Hydride, Ni-MH) 배터리가 가장 보편적으로 사용되고 있으며, 이의 성능은 그림 5에서 보이듯이 USABC (U.S. Advanced Battery Consortium) 중기 성능 목표에 근접하고 있다. 최근에는 USABC 장기목표를 만족시키기 위하여 리튬계열 배터리가 개발, 적용단계에 있으며, 리튬폴리머 배터리의 성능이 이에 가장 근접하고 있다[1,2].

PHEV용 배터리는 차량의 주행에 필요한 충분한 에너지를 저장하고 있을 필요가 없으므로 EV용 배터리에 비하여 낮은 에너지 밀도를 가진다. 그러나, PHEV용 배터리는 EV용 배터리와 비교하였을 때 출력 밀도가 높는데, 이는 배터리 자체의 출력 밀도가 우수하기 때문이 아니라 PHEV의 경우 배터리의 차량 탑재시 공간상, 중량상의 제약에 의하여 배터리의 경량화가 불가피 하기 때문이다. 현재 양산 적용되고 있는 승용 PHEV용 배터리의 종류는 Ni-MH이며, 그 구조는 그림 6과 같이 원통형과 각형의 구조를 가진다. 또한 특성은 PNGV (Program of New Generation Vehicle) HEV 배터리 목표에 근접하고 있다.

3.2 모터

현재 유도전동기(Induction Machine, IM)와 영구자석동기전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM)가 EV 또는 PHEV의 구동시스템에 보편적으로 적용되고 있으며, 최근에는 릴럭턴스전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)가 이들의 대안으로 고려되고 있다. IM, PMSM, 그리고 SRM의 간단한 특성을 그림 7에 서로 비교하였다[3].

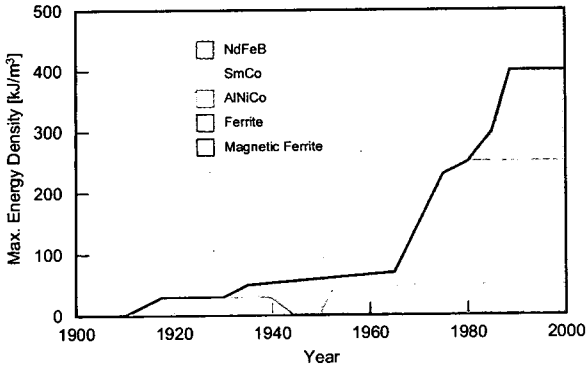


그림 8. 각종 자석의 에너지 밀도 비교.

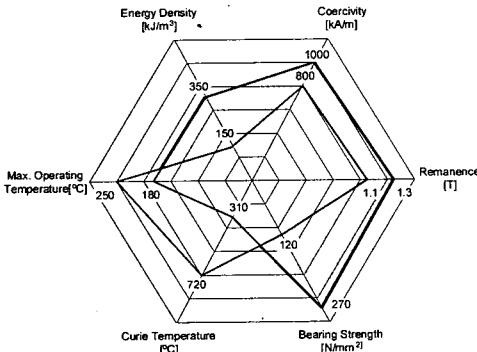


그림 9. SmCo 자석과 NdFeB 자석의 특성 비교

IM은 간단하고 강건한 구조와 저렴한 가격을 특징으로 하고 있고, 제조 및 제어기술이 이미 일정수준에 도달한 상태이므로 EV 및 HEV용으로 기존의 생산기반을 활용할 수 있다는 것이 장점으로 부각된다. 그러나, 회전자 손실로 인한 발열 및 효율저하가 단점으로 지적되고 있으며, 고토크 특성을 만족시키기 위하여 극수를 증가시킬 경우 권선 엔드 와이어링(end wiring)과 고정자 철심의 증가로 인하여 모터 부피와 무게가 증가한다는 점이 소형, 경량화가 요구되는 EV 및 HEV 분야에 취약점으로 간주되고 있다.

PMSM은 IM에 비하여 고효율, 소형, 경량, 고토크 등의 EV 및 HEV 적용에 장점을 가지는 반면, 영구자석 자체의 가격이 비싸고 영구자석이 온도, 부하조건에 따라 감자될 가능성이 있으며 고속운전시 기계적으로 취약하다는 단점이 있다. PMSM의 고정자는 기존의 IM의 것을 그대로 사용할 수도 있으나, 영구자석의 부착 또는 매입에 따른 회전자의 제조비가 상승한다는 단점이 있다. 현재 사다리꼴의 역기전력을 가지는 브러시리스 DC 전동기(Brushless DC Motor, BLDCM)가 가장 널리 사용되고 있는데, 이는 고속운전에 한계가 있고 토크리플이 크다는 단점은 있지만, 정현파 역기전력을 가지는 PMSM에 비하여 제어가 쉽고 단위전류당 발생 토크가 크며 출력밀도가 높다는 장점이 EV 및 HEV 적용에 있어서 더 부각된 이유이다.

그림 8은 PMSM용으로 사용되는 영구자석의 에너지밀도를 도시하고 있다. 1920년대부터 현재까지 페라이트(ferrite) 계열, 알니코(AlNiCo)계열, 사마륨-코발트(SmCo)계열 등이

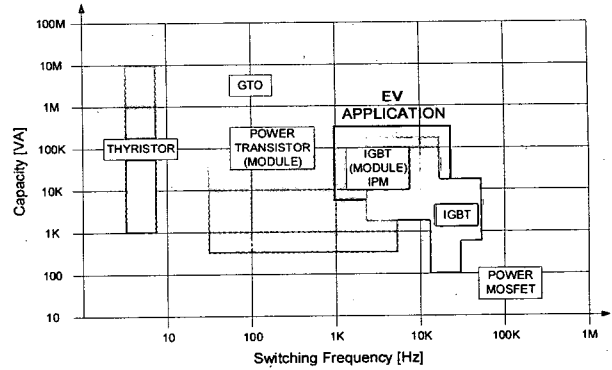


그림 10. 전력용반도체의 용량별 구분.

개발되어 오고 있으며, 1980년대부터 이들보다 에너지 밀도가 우수한 네오뮴-아이언-보론(NdFeB)계열의 영구자석이 개발되어 PMSM용으로 사용되고 있다. 현재 NdFeB 영구자석의 가격은 kg당 약 \$50의 수준이며, 2005년경에는 kg당 약 \$40 수준으로 싸질것으로 기대된다. SmCo계 영구자석과 NdFeB계 영구자석의 제반 특성을 비교하면 그림 9와 같다. NdFeB계 영구자석은 SmCo계 영구자석과 비교하였을 때, 에너지 밀도, 강도 등에서 우수한 특성을 보이나, 온도 측면에서 불리한 특성을 가지고 있다. 그러나 EV 및 HEV용으로 사용되는 PMSM의 최대온도는 약 130 °C로 NdFeB 영구자석 자체만으로도 결점은 문제되지 않는다.

현재 EV 및 HEV용으로 연구 개발 단계에 있는 SRM은 IM과 마찬가지로 간단하고 강건한 구조를 가지고 고속운전이 가능하며 고토크 발생의 장점이 있으나, 토크 리플이 크고 전자기적 잡음과 기계적 진동이 IM이나 PMSM에 비하여 크게 발생한다는 단점이 있다. 고정자의 구조는 IM의 것과 상이하여 기존의 생산기반을 활용할 수 없지만, 대량생산시 재료비가 저렴하고 생산공정이 단순하므로 EV 및 HEV용으로 양산시 그 가격이 매우 저렴할 것으로 예상된다.

향후 영구자석 가격의 지속적인 하락, 제조기술의 발전 등에 의하여 PMSM은 그 출력용량을 더욱더 확대시켜 나갈 것으로 예상되며, 모터의 출력용량 측면에서 SRM 역시 기존의 IM이 적용되는 상당부분 차지할 것으로 기대된다. 또한, 매입형 영구자석동기전동기와 같이 영구자석의 전자기적 토크와 회전자 형상에 의한 릴럭턴스 토크를 동시에 사용할 수 있는 형태의 모터가 현재 EV 및 HEV용으로 적용되는 IM 또는 BLDCM을 대체해 나갈 것으로 기대된다[4].

3.3 전력용 반도체

현재 EV 및 HEV용 모터구동을 위하여 사용되는 인버터의 용량은 그림 10에서 보듯이 수kVA에서 300kVA정도이며 그 스위칭 주파수는 1~20kHz의 범위에 있다. 이에 따라 전력용 반도체로는 MOSFET, 전력용 트랜지스터(Power Transistor), IGBT 등이 적용되고 있으나, 수십kW의 응용 분야에 있어서 IGBT 모듈이 거의 표준으로 자리잡고 있다. EV 및 HEV용 IGBT의 발전방향은 손실 저감, 스위칭특성

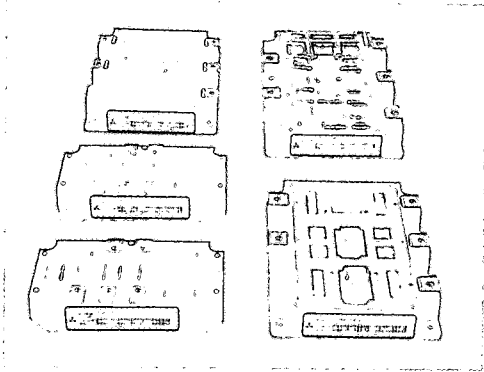


그림 11. EV/HEV 전용 IPM(Intelligent Power Module). (5)

개선, 패키징, 다기능화의 크게 4가지 정도로 요약될 수 있다. 우선 손실저감 측면에서는 IGBT 손실을 감소시키기 위하여 트렌치 구조를 사용하여 도통상태전압강하를 감소시키고, 역병렬 다이오드의 특성을 개선하여 스위칭시 역회복 전류의 크기 및 시간을 감소시키고자 하는 노력이 진행중이다. 또, IGBT의 고속 스위칭으로 인한 EMI를 비롯한 기타 제반 문제점들을 완화시키고자 전압/전류 상승률을 제한하고 패키지 내부의 인덕턴스를 최소화하는데 노력을 경주하고 있으며, 소형경량화와 함께 자동차용 환경에 적합한 내온, 내습, 내진, 내충격 특성을 가지도록 구조 설계 및 패키징에 관한 연구도 활발히 진행중이다. IGBT의 다기능화 측면에서는 기존 범용 IPM(Intelligent Power Module)과 같이 패키지 내부에 게이트 구동부와 고장진단회로를 포함하는 것은 물론 사용자 주문형의 다양한 기능을 구현하는 회로를 모두 포함하는 형태의 IGBT가 개발될 것으로 예상된다.

그림 11에 보인 것과 같이 이미 Mitsubishi사에서는 EV 및 HEV 전용으로 600V 600A급까지의 6-package IPM을 개발하였다. 이는 기존의 범용 IPM의 전류정격이 150A인 것에 비하여 그 전류용량에 있어서 큰 진전을 보였고, 각 상마다 고유의 고장처리 및 신호를 발생시킨다는데 그 특징이 있다[6]. 그러나, 현재 비슷한 용량의 IPM에 비하여 그 크기와 중량에 있어서 다소 불리한 점이 있으며, 소형경량화 작업이 향후의 과제가 될 것이다.

3.4 CPU

EV 및 HEV용 CPU는 모터의 구동뿐만 아니라 배터리의 상태 감시, 차량 전반에 걸친 제어 등과 같은 광범위한 기능을 수행하여야 하며, 현재 16비트의 마이크로컴퓨터가 가장 보편적으로 적용되고 있다. 그러나, 최적제어, 인공 지능 등과 같은 많은 연산량이 요구되는 제어기법들이 EV 및 HEV 분야에 적용되고 있고, 배터리, 엔진, 모터, 차량 등과 같은 각각의 구성요소에 대한 제어가 서로 통합되는 추세에 있으므로, 향후 EV 및 HEV용 CPU로 고속의 32비트 DSP(Digital Signal Processor)가 적용되리라 예상된다. 또한, 메모리는 물론이고 디지털 입출력, A/D변환, D/A 변환,

표 1. 각종 CPU의 비교.

	TMS320LF2407	ADMC401	TMS320C31	ADSP-21065L
Speed	30 MIPS	26 MIPS	40 MIPS	60 MIPS
ROM/Flash	X/32k	2k/X	X/X	X/X
RAM	2.5k	3k	2k	1.6k
A/D Ch.	16 Ch.	8 Ch.	X	X
PWM Ch.	16 Ch.	3 Ch.	X	2 Ch.
SerialComm.	2	2	1	2
CAN	0	X	X	X
BSL	ROM	X	0	X
(100개 기준)	18 USD	24.95 USD	44.45 USD	34.5 USD

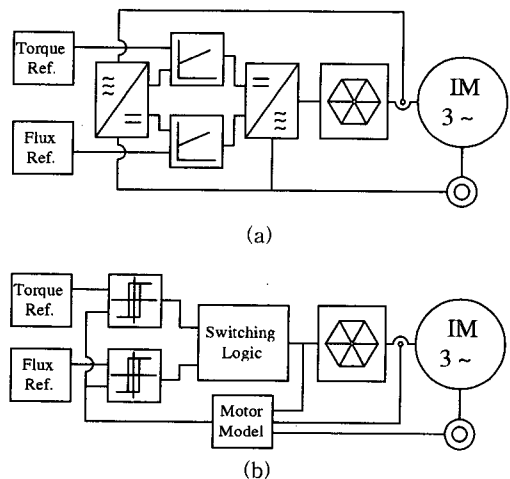


그림 12. 제어블럭 다이어그램. (a) FOC (b) DTC

PWM 발생 등과 같은 기능성 회로들이 내장된 형태의 CPU가 개발 되어 적용되리라 예상된다. 뿐만 아니라, 각 제어기간의 통신은 필수적이므로 CPU는 RS232, CAN (Control Area Network) 등과 같은 통신기능을 기본적으로 내장하게 될 것이다. 현재 EV용은 아니지만, 모터제어전용으로 이러한 기능이 포함된 CPU가 이미 생산 판매되고 있는 실정이며[7], 그 몇가지를 표 1에 정리 비교하였다. 전력용 반도체와 마찬가지로 차중에 따라 원하는 기능이 내장된 EV 및 HEV 메이커 주문형 CPU는 점차 고속화, 고성능화, 다기능화 될 것으로 판단된다.

3.5 모터제어기법

전력용 반도체, 마이크로프로세서 그리고 각종 제어이론과의 발달에 힘입어 IM 또는 PMSM과 같은 교류전동기의 제어기법은 눈부신 발전을 거두고 있으며, IM의 경우 발생 토크를 순시적으로 정확하게 제어할 수 있도록 그림 12(a)와 같은 구조의 자속기준제어(Field Oriented Control, FOC)가 EV 및 HEV 응용분야에 보편화되어 있다. 또한, 최근에는 EV 및 HEV용 유도전동기의 구동제어기법으로 그림 12(b)와 같은 구조의 직접토크제어방식(Direct Torque Control, DTC)[8~10]의 적용가능 여부가 검토되고 있다. FOC와 DTC의 특성을 비교한 표 2에서 보이듯이 DTC는

표 2. FOC와 DTC의 비교.

	구현상의 단순성	제작상의 경제성	제어성능	강인성
FOC	△	△	◎	○
DTC	○	○	◎	◎

그 구현에 있어서 간단하고, 알고리즘 자체가 모터 정수의 변화에 강인하기 때문에 온도, 습도와 같은 환경조건이 열악하고, 부하의 변동이 극심한 차량 응용분야에서 FOC보다 그 적용성이 더욱 뛰어나리라 예상된다.

한편, 자동차 응용분야에서 기계적 진동 또는 전자기적 노이즈에 대하여 가장 취약한 부분중의 하나인 모터 속도 측정장치를 제거하려는 센서리스(Sensorless) 제어기법[11,12]에 관한 연구가 세계적으로 활발히 진행중이다. 그러나, 현재 센서리스 제어는 그 특성에 있어서 한계가 있을 뿐만 아니라 특히 자동차의 안전상 문제로 인해 현실성이 떨어진다. 따라서, 모터 구동시스템의 저속영역에서의 특성개선을 위하여 저분해능 엔코더와 센서리스 제어기법을 병용하는 제어 알고리즘이 더욱 현실성 있는 대응이라 할 수 있다.

4. 결 론

EV, HEV 그리고 FCEV를 막론하고 미래형 자동차용 구동시스템의 핵심은 모터구동, 배터리, 전력변환장치 등과 같은 전기적 시스템이라고 결론지을 수 있다. 이와 관련된 기술들은 비자동차용 응용분야에 있어서 산업계 전반적으로 이미 어느 정도 성숙단계에 들어서 있는 것으로 판단된다. 따라서 이들을 어떻게 활용하여 자동차 응용분야에 적합하도록 시스템을 구성해 나갈 것인가 향후의 과제가 될 것이다. 이를 위하여 하드웨어 및 소프트웨어의 신뢰성 확보, 소형경량화, 양산화 등과 관련된 기술 개발이 우선 급선무이며, EV 및 HEV용 전기적 구동시스템의 단품 및 전체 시스템에 대한 시험규정을 확립하고 시험방법 및 절차를 정립하는 것 또한 매우 중요한 과제라 하겠다.

참고문헌

[1] *Electric and Hybrid Vehicle Technology '96*, UK and International Press, 1996.
 [2] *Electric and Hybrid Vehicle Technology '98*, UK and International Press, 1998.
 [3] *Electric Motors in Automobiles Part II : Drive Motors and Systems for Electric and Hybrid Vehicles*, Intertech Co., Portland, 1992.
 [4] *Electric and Hybrid Vehicle Technology '97*, UK and International Press, 1997.

[5] Mitsubishi Technical Report, Vol. 72, No.12, pp. 61~64, 1998.
 [6] Mitsubishi Technical Report, Vol. 73, No.1, 1999.
 [7] Texas Instruments, TMS320F24x User's Guide, 1997.
 [8] D. Depenbroeck, "Direct Self-Control of Inverter-Fed Induction Machine", *IEEE Trans. Power Elec*, Vol. 3, No. 4, pp. 420~429, Oct., 1988.
 [9] ACS600 Frequency Converters Technical Catalog, ABB Industry Co., 1995.
 [10] J. G. Kang, "Analysis on Direct Torque Control Method and Improvement of Output Performance for the Induction Motor", Seoul National University, Ph.D Thesis, 1999.
 [11] J. Holtz, "Speed Estimation and Sensorless Control of ac Drives", *IEEE IECON Conf.* 1993.
 [12] J. I. Ha and S. K. Sul, "Sensorless Field Oriented Control of an Induction Machine by High-Frequency Signal Injection," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 35, no. 1, Jan./Feb., 1999.

제 자 소개



이현동(李炫東)

1969년 10월 7일생. 1993년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 현대자동차(주) 연구개발본부 선행개발실 하이브리드

드전기차개발팀 선임연구원



최종률(崔鍾律)

1954년 10월 27일 생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 독일 베를린 공대 전기전자공학과 졸업(디플롬). 1986-1991년 동 대학 공대 전력전자 및 계측연구소 조교수. 1991년 동 대학 공대 전

기전자공학과 졸업(공박). 1991년-1993년 미국 Mannesmann 그룹 Rexroth/ Indramat 응용연구 및 자문관. 1993년-1999년 현대정공 공작기계연구개발본부 수석연구원 및 이사. 현재 현대자동차(주) 연구개발본부 선행개발실 하이브리드전기차개발팀 팀장 및 이사