

하이브리드 전기자동차의 현황과 전망

이 글에서는 하이브리드 자동차의 현재와 미래를 살펴보고 하이브리드 자동차의 개발에 필요한 엔진 기술, 모터시스템 기술, 에너지 저장·관리시스템 기술, 차량제어 기술, 동력분배·전달시스템 기술, 시뮬레이션 및 시험·평가기술, 회생제동 기술, 시스템 인테그레이션 및 제어 기술에 대하여 고찰하였다.

김 현 수 / 성균관대학교 기계공학부, 교수

e-mail : hskim@me.skku.ac.kr

여 훈·오 경 철·김 동 현 / 성균관대학교 기계공학부, 박사과정

친환경 기술은 미래 자동차 산업의 생존이 달린 핵심기술로서 자동차 선진 각국은 환경 및 연비규제를 달성하기 위한 친환경 자동차 개발에 총력을 기울이고 있다. 최근 교토의정서 협약 발효에 따른 각국의 이산화탄소 배출가스 저감 의무화와 주 에너지원인 원유 가격이 배럴당 40달러를 넘어 50달러 가까이 육박하고 있다는 점, 지구상의 석유 자원 매장량이 앞으로 30~40년 내에 고갈될 것이라는 예측은 자동차 산업에서 대체 파워트레인(powertrain) 개발에 대한 요구를 더욱 심화시키고 있다. 이와 같은 사회적·환경적 요구에 대응하여 선진 자동차메이커들은 전기자동차(EV : Electric Vehicle), 하이브리드 전기자동차(HEV : Hybrid Electric Vehicle), 연료전지자동차(FCEV : Fuel Cell Electric Vehicle) 등을 미래형 자동차 기술로서 개발하고 있다.

장기적인 관점에서 화석연료 사용 차량의 대안으로는 전기자동차와 연료전지자동차와 같은 완전 무공해 자동차(ZEV : Zero Emission Vehicle)가 미래의 대체 파워트레인으로 주목받고 있다. 특히, 전기자동차는 내연기관(IC engine: internal combustion engine) 대신에 배터리를 동력원으로 하여 전기모터로 구동하는 방식으로, 1873년 영국에서 처음 제작되었으나 내연기관을 장착한 기존 차량(conventional vehicle)에 비하여 성능이 현저하게 떨어져 그동안 사장되어 왔으나 최근 환경 문제에 대한 사회적 요구와 기술의 진보에 따라 다시 연구되기 시작하였다. 1997년 GM의 EV1 출사를 필두로 Toyota 등이 전기자동차를 출시하였으나

실용화를 위해서는 배터리에 의한 주행거리의 한계와 에너지 저장의 한계, 배터리의 과중한 무게를 극복하기 위한 문제, 배터리 충전을 위한 사회기반시설(infrastructure) 문제와 성능 대비 높은 가격 등의 문제들을 극복하여야 하기 때문에 대기오염 해결을 위한 현실적인 대안으로는 한계가 있다. 연료전지 자동차는 우주항공선의 연료로 사용되는 연료전지(fuel cell)를 동력원으로 사용하고 전기자동차와 같이 전기모터가 휠을 구동하는 방식으로, 가까운 미래에 기존차량을 대체할 차량으로 주목받고 있다. 연료전지자동차는 이론적으로는 무배기가스 구현이 가능하고 수소와 물을 이용하여 동력을 만들어낼 수 있다는 장점 때문에 미래의 동력원으로 기대되고 있으나 연료전지 스택(stack)의 가격이 \$ 4,000/kW로서 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해서는 스택의 가격을 현재보다 1/10 이하로 낮추어야 한다는 문제가 있다. 또한 수소의 생산 및 보급 등 인프라 문제가 극복해야 할 문제로 지적되고 있다. 현재로서 수소의 생산은 화석연료를 사용하게 되면 배기가스가 발생하기 때문에 회복 가능한 자원(renewable resources)인 태양 에너지(solar energy) 또는 생물 자원을 이용한 연료(biomass fuel) 등을 이용하여 물로부터 만드는 것이 궁극적인 방향이다. 그러나 연료전지의 소형·경량화와 고출력화 등의 문제들과 고가의 연료전지 스택 가격으로 인한 대당 5~10억 원의 차량가격으로 인하여 2020년 이후에나 실용화가 기대되고 있다. 따라서 각 선진자동차 메이커에서는 각국의 배기가스 규제를 만족시키고 연비성능의 향상을 위한 중·단기적인 현실적 대안으로

서 하이브리드 전기자동차에 주목하고 이의 실용화 개발에 치열한 경쟁을 벌이고 있다.

하이브리드 전기자동차는 2개 이상의 에너지원(power source)을 사용하는 자동차로서 그림 1과 같이 여러 가지 방식으로 조합될 수 있으며 에너지원으로는 기존의 화석 연료를 사용하는 가솔린엔진, 디젤엔진과 배터리나 울트라 캐패시터(ultra capacitor)의 전기에너지에 의하여 구동되는 모터가 혼합(hybrid)되어 사용되고 있다. 현재 하이브리드 전기자동차를 양산 중인 Toyota와 Honda의 경우 병렬형 하이브리드 구동방식을 채택하고 있으며 가솔린 엔진과 Ni-MH 배터리를 이용한 AC 모터 또는 BLDC 모터를 이용하여 동력을 발생시키고 대부분 CVT를 이용하여 동력전달을 수행하고 있다. 특히 Toyota의 'Prius'에서는 유성기어를 이용하여 엔진과 모터의 동력분배 및 CVT의 역할을 동시에 구현이 가능하게 하였다.

하이브리드 전기자동차는 엔진과 모터의 조합에 따라 모터만으로 구동되는 ZEV 모드, 엔진과 모터를 동시에 사용하는 HEV 모드, 엔진만 사용하는 Engine only 모드의 구현이 가능하며, ZEV 모드에서는 배기가스가 없는 무공해 운전이 가능하다. 또한 HEV 모드에서도 가속성을 향상시킴과 동시에 엔진을 배기가스가 적게 배출되는 영역에서 운전시켜 초저배기가스 운전을 이룰 수 있다. 연비측면에서는 하이브리드화로 인한 엔진의 다운사이징(down sizing)에 의한 연료 감소, 차량 정지시 엔진을 정지시키는 아이들 정지(idle stop), 차량 제동시 기존의 마찰에 의한 제동 대신에 차량의 운동에너지를 이용하여 발전기를 구동하고 이때 발생하는 전기에너지를 배터리에 저장하였다가 차량 구동시 재사용하는 회생제동(regenerative braking)에 의한 연료 감소 등으로 기존 차량에 비하여 대폭적인 연비 개선 효과를 얻을 수 있다.

그림 2는 가솔린차량과 Toyota의 하이브리드 전기자동차인 'Prius' 및 'New Prius'의 시스템 효율을 나타낸 것이다. 기존 차량의 경우 에너지의 14%(well-to-wheel)만이 차량을 구동하는데 사용되는 반면, 'Prius'는 28%, 'New Prius'는 32%가 사용되는 것으로 알려져 있다.

'Prius'는 하이브리드화에 의하여 연비가 기존차량 대비 100%증가하고 'New Prius'는 이보다 15%의 추가적인 연비향상을 보인다. 이와 같은 연비 향상은 엔진 다운사이징, 회생제동, 아이들 정지, 시스템 제어기술(control) 및 동력전달장치(transaxle) 등의 기술에 의한 것이다.

Toyota는 1997년 세계 최초로 양산 하이브리드 전기자동차인 'Prius'를 개발하였고, 이를 기점으로 Toyota 'Estima', 'Crown', Honda 'Insight', 'Civic Hybrid', Nissan 'Tino' 등이 발표되었다. Toyota 'Prius'는 판매개시 6년 만에 총 판매 20만 대를 달성하였고, 2005년까지 연간 30만 대의 하이브리드 자동차를 판매할 수 있는 대량생산 체제를 구축을 진행하고 있다. 한편, 미국 및 유럽에서도 하이브리드 자동차 시장이 급속하게 확대되고 있으며 Ford는 2005년에 하이브리드 SUV(Sports Utility Vehicle) 'Escape',

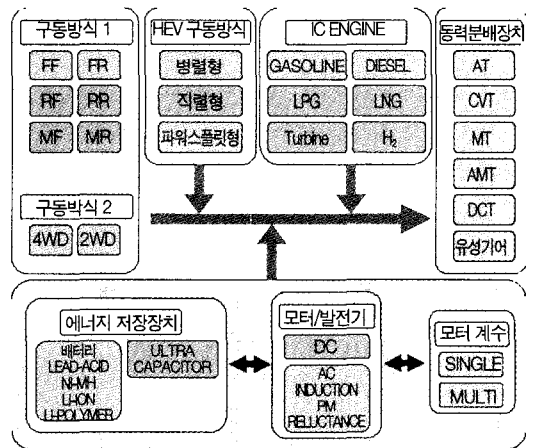


그림 1 하이브리드 동력시스템 구성

	Overall efficiency(%) (Well-to-Wheel)				
	0	10	20	30	40
Recent gasoline car			14%		
Prius				25%	
Prius with THS II					32%

자료 : (SAE 2004-01-0064)

그림 2 하이브리드 자동차의 에너지 효율분석

2006년 이후에 하이브리드 차량 4개 모델을 추가 생산할 계획이고, GM과 Daimler Chrysler는 2007년까지 12개 모델의 하이브리드 자동차를 연간 100만 대 생산할 계획이다.

국내의 하이브리드 전기자동차 개발도 활발히 이루어지고 있다.

현대자동차(주)는 1999년 서울모터쇼에 FGV - II 하이브리드 차량을 처음 소개하였고, G7 과제로 초저연비 하이브리드 동력시스템 및 하이브리드 차량 개발하였으며, 이와 함께 주요 부품인 ECU (engine control unit)/차량컨트롤러, 모터/컨트롤러, 전장품 및 제어 알고리즘 최적화 연구개발과 Ni-MH 축전지에 대한 기술개발을 수행한 바 있다.

특히 2004년 국내 최초의 하이브리드 자동차인 'Click' 을 환경부에 50대 납품하였으나 모터, 배터리, 동력분배장치와 같은 핵심 부품은 아직까지 수입에 의존하고 있다. 'Click' 하이브리드 자동차는 순수한 전기 구동이 불가능하고 전기 모터가 보조 동력으로 작용되는 '소프트' 타입 하이브리드 자동차로서 세계시장에서의 경쟁을 위해서는 전기모터에 의한 주행이 가능한 '하드' 타입 하이브리드의 개발이 필수적으로 요구된다.

표 1은 하이브리드 자동차에 요구되는 기반 기술의 국외 기술 수준에 대한 국내 기술 수준을 비교한 것이다. 이 표에 따르면 모터/컨트롤러 기술, 배터리 기술과 같은 핵심부품기술 외에 차량 제어기술 등 시스템 설계·제어기술이 취약한 것을 알 수 있다.

그러므로 현재의 수준에서 벗어나, 보다 혁신적인 개념을 도입하여 하이브리드 전기자동차에 대한 차량 설계, 첨단 부품 적용, 기계적 매칭 기술 등 차량 시스템 최적화에 대한 기술적 도약이 있어야만 향후

선진국과 대등한 기술 수준으로 이끌 수 있으며, 경제성 및 양산성 있는 하이브리드 차량 제작 기술이 확보될 수 있을 것이다.

현재 국내에서는 하이브리드 차량에 대한 시장이 형성되어 있지 않다. 하이브리드 자동차는 아직 성숙되지 않은 성능향상 과정에 있는 차량시스템으로서 부가되는 장치가 많아서 차량가격이 높아 기존차량에 비하여 가격 경쟁력이 떨어져 시장에 진입하기가 매우 어렵다. 이러한 가격 상승을 보완하기 위해서 세금 감면과 같은 정책적인 측면에서 뒷받침이 필요한 상황이다.

하이브리드 자동차 중 현재 선호되는 병렬식의 경우에는 독자적인 동력결합시스템의 개발을 필요로 하고 있으며, 현재 하이브리드 기술의 우위를 점하는 업체들은 공통적으로 이 기술 부분에 많은 투자와 이에 대한 특허를 보유하고 있다. 하이브리드 자동차 개발의 각 회사별 기술 보유 수준인 특허출원(등록특허) 현황(그림 3)은 Toyota가 총 142건으로 가장 많고 Toyota 이외에도 Honda, Nissan, Mitsubishi, Hitachi, Denso 등 일본의 회사가 10개사를 차지하고 있다. 한편, 이들 외에는 우리나라의 현대자동차와 미국의 GM이 포함되는 것으로 나타난다. 하이브리드 자동차의 특허 기술 분야를 살펴보면 하이브리드 자동차 개발을 위한 기반 기술이 어떤 것인지 잘 알 수 있다. 아래의 그림 4에 나타나 있는 바와 같이, 동력분배 및 회생제동제어(110건)와 주행제어(72건), 동력전달(분배)장치(69건)와 관련된 특허 출원을 가장 많이 하였음을 알 수 있다. 따라서 선진국과의 기술 격차를 줄이기 위해서는 이러한 하이브리드 동력시스템 설계 및 제

표 1 국내 하이브리드자동차 기반기술 수준 비교 (기준 : 선진국=100)

부품품목	부품설계	생산설계	생산기술	종합
모터컨트롤러	10	20	20	16
축전지	60	30	30	40
보조에너지장치	90	60	60	70
차량제어	40	20	20	26
종합	50	32	32	38

자료 : 산업은행 산업기술정보 26호, 2003

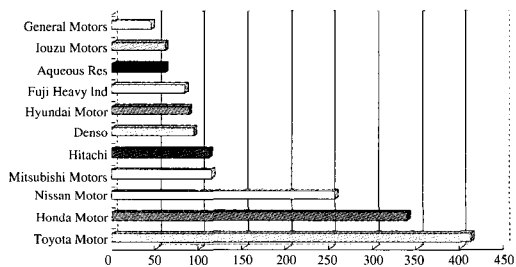
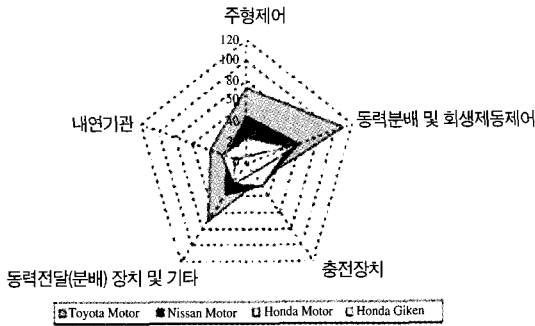


그림 3 주요국의 하이브리드 자동차에 대한 주요 출원인별 특허출원 현황



자료 : 2003 신기술동향조사 보고서
- 하이브리드 자동차, 특허청
그림 4 주요 출원인별 / 주요 기술분야별 특허출원 현황

어에 대한 기반 기술 연구가 활발히 이루어져야 할 것이다.

국내의 하이브리드 자동차 개발을 위한 주요 기술 과제는 다음과 같다.

◎ 엔진기술

- 세계적으로 가솔린 엔진의 경우는 연료를 실린더에 직접 분사함으로써 초희박 연소가 가능한 GDI(Gasoline Direct Injection) 엔진이, 압축착화엔진의 경우는 전자제어식 초고압분사를 하는 HSDI(High Speed Direct Injection) 디젤엔진이 개발됨으로써 효율을 상당히 높일 수 있었고, 효율을 보다 높이고 유해배기를 줄이기 위한 노력이 계속 진행 중이다. 미래에 이들 엔진의 하이브리드 자동차 탑재 여부는 산소가 과잉된 배기가스 중 질소산화물(NOx)을 제거하는 후처리 기술의 확보가 관건이며, 최근에는 효율이 높고 유해 배기가스 배출이 매우 적은 예혼합압축착화(HCCI : Homogeneous Charge Compression Ignition) 방식의 신개념 엔진의 개발이 활발히 진행 중이다.

◎ 모터시스템 기술

-하이브리드 자동차용 모터 및 컨트롤러는 고출력, 소형이면서 효율이 높은 시스템이 요구되고 있으며, 주요 과제로서 하이브리드 전기자동차에 손색없는 동력성능의 고출력화와 10,000rpm 이상의 고회전화가 이루어짐에 따라 경량, 소형화가 추진되어

최근에는 고출력 밀도의 모터가 개발되고 있다. 또한 저속에서 고속까지 효율이 높은 모터 및 제어기술도 크게 발전하여 파워소자인 IGBT 개량, 인버터 개량, 고속마이크로 컴퓨터 사용 및 원칩화, 냉각방법 개선, 제어 방법 개선에 따른 고속화 등을 통해 컨트롤러의 소형화를 실현하고 있다.

◎ 에너지 저장 · 관리시스템 기술

-현재 Li-Ion, Li-Polymer 축전지가 차세대 축전기 기술로 연구개발 중이며, Ni-MH는 실용화에 진입하였다.

◎ 차량제어기술

-병렬형 하이브리드 시스템의 경우 엔진과 모터를 최적으로 운행하기 위한 다양한 제어전략이 필요하다. Toyota 'prius'의 경우 setup charge, battery drive, regeneration charge, engine drive & charge, engine & motor drive, full power mode, motor drive & engine charge 및 engine & motor drive + charge 등 다양한 제어기법이 사용된다. Honda 'Insight'의 경우도 startup, cruising, regenerative brake, acceleration, idle stop의 제어기법이 사용되고 있다.

◎ 동력분배 · 전달시스템 기술

-직렬형, 병렬형, 분리형, 결합형 등 다양한 구동 방식에 따른 새로운 형식의 고효율 트랜스미션 기술이 필요하다. 현재 유성기어를 이용한 방식 및 CVT, AMT, DCT, MT, AT의 방식이 실용화되거나 연구개발 중이다.

◎ 시뮬레이션 및 시험 · 평가 기술

-다양한 형식의 구동방식 및 시스템 구조와 핵심 부품의 사양, 제어전략에 대하여 연비, 배기가스 등을 시뮬레이션할 수 있는 기술로서 미국 AVL 사의 CRUISE 및 DOE의 ADVISOR가 가장 널리 사용되고 있으나 실제 개발에 적용을 위해서는 국내의 시뮬레이션 기술과 시험평가기술의 확보가 요구된다.

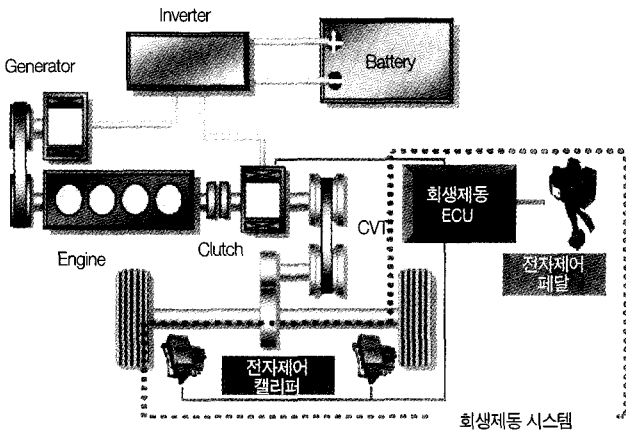
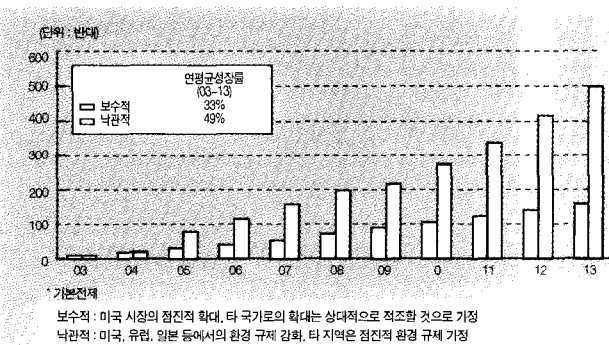


그림 5 회생제동 시스템 구성도



자료 : LG 경제연구원(2004. 8.)

그림 6 세계 하이브리드 자동차 시장 전망

◎ 회생제동 기술

-회생제동은 제동시 마찰로 소모되는 운동에너지를 배터리와 같은 에너지 저장장치에 저장하여 이를 구동시에 다시 이용할 수 있도록 하는 기술로서 회생제동 시스템을 구현하기 위해서 필수적인 핵심 기술은 회생제동 ECU, 마찰제동 제어를 위한 BCU(Brake Control Unit), 운전자에게 최적의 페달감을 제공하기 위한 전자제어 페달, 회생제동 액츄에이터 역할을 하는 전자제어 캘리퍼 등이다. 그림 5는 HEV 내의 회생제동 시스템 구성도이다. 특히 회생제동 제어장치로 사용되는 전자제어 캘리퍼는 4바퀴에 각각 독립 모터로 제동력을 공급하는 제동 시스템으로 기존의 유압 방식보다 효율적/효과적으로 ABS와 ESP 기능을 구현하게 된다.

◎ 시스템 인테그레이션 및 제어 기술

하이브리드 자동차는 엔진, 모터, 배터리, 동력분배장치 등 주요 핵심 부품을 어떻게 인테그레이션하고 제어하는가가 중요한 관건이며 하이브리드 자동차 제어를 위한 ECU, MCU(Motor Control Unit), TCU(Transmission Control Unit), BMS(Battery Management System), BCU 등 제어 소프트웨어와 하드웨어의 제어기 개발이 필요하다.

자동차 시장 전문 조사 기관인 Wards의 분석에 따르면, 세계 자동차 판매량은 향후 2008년까지 연평균 4~5%의 성장을 지속할 전망이다. 한편, 친환경 자동차 시장은 현재의 기술 발전 속도를 감안하였을 때 2008~2009년경이면 기존 일반 자동차와 가격 측면에서 충분히 경쟁할 수 있을 것으로 예상되고 있다. 이러한 전망과 기업들의 생산 계획, 현재의 유가 수준 등을 토대로 세계 시장 규모를 예측해 보았을 때, 하이브리드 자동차 시장은 향후

연평균 33%~50%의 성장이 무난할 것으로 보인다. 그림 6에서 낙관적인 전망에 의하면 세계 하이브리드 자동차 시장은 2004년 20만 대 수준에서 2013년이면 500만 대 수준으로 성장하여 전체 자동차 시장의 약 8.3% 이상을 차지할 수 있을 것으로 보인다. 한편 미국 에너지성은 하이브리드 자동차가 2010년 전 세계 시장의 10%를 점유할 것으로 보다 낙관적으로 전망하고 있다.

정부는 미래형자동차를 10대 성장동력산업의 하나로 선정하 바 있으며 이에 따라 '순수 내연기관 차량 대비 동등한 가속성능을 보유하고 연비 50% 이상 향상 가능한 하이브리드용 신동력 시스템 및 제어 기술 개발'을 최종목표로 2004년부터 산·학·연 공동개발체계를 구축하고 개발에 착수하였다.

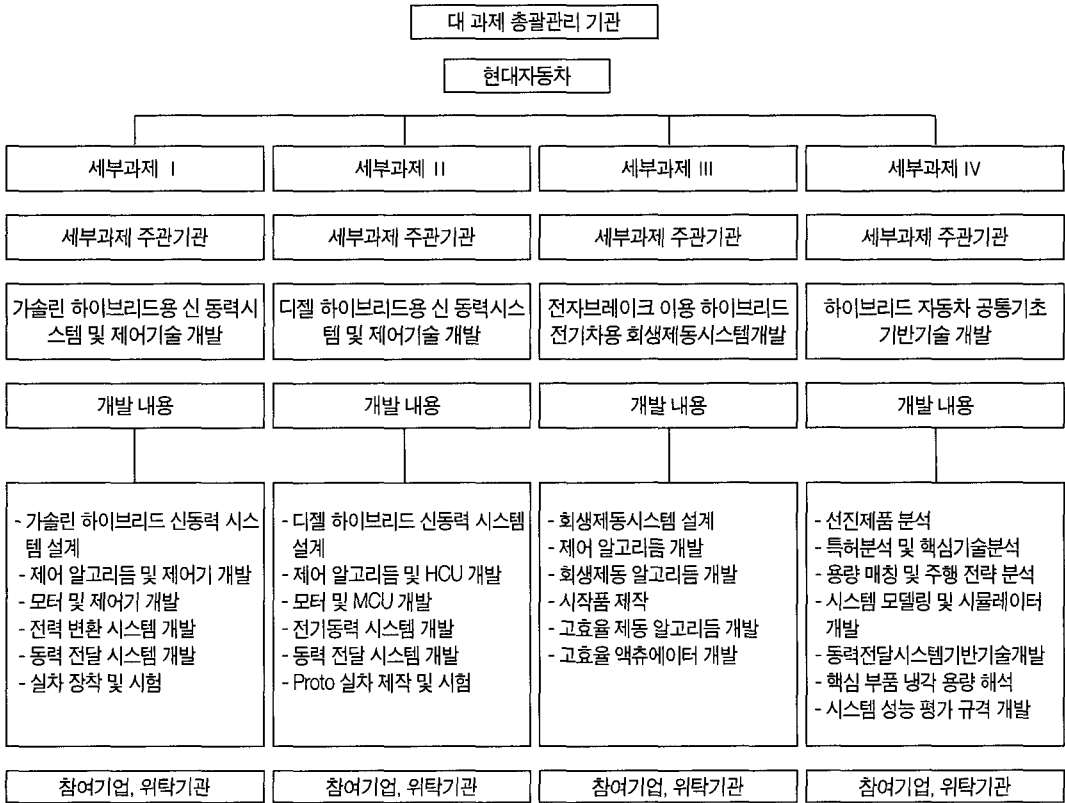


그림 7 하이브리드용 신동력 및 제어장치 기술개발 추진체계

표 2 하이브리드자동차 예상 시장 규모

(기준 : 선진국 = 100)

구 분	현재(2002년)	예상 시장규모(2006년)
세계시장규모	11,000억 원	75,000억 원
한국시장규모	0억 원	200억 원

*산출근거 : 2002년 판매대수 43,700대 * 2,500만 원/대
 2006년 미국 중형차 시장의 10%(20만 대 이상) 점유예상 (ABI Research社 전망)
 2005년 전 세계 시장 30만 대 판매 예상 (도요타社 전망)
 2006년 국내 800대 판매 가정

하이브리드용 신동력 및 제어장치 기술개발의 세부 추진 내용은 그림 7과 같다.

현재의 하이브리드 전기자동차 개발 및 판매 추세로 볼 때 국내에서도 2006년부터 시장이 형성될 것으로 예상되고, 2010년쯤에는 다양한 타입의 하이브리드 전기자동차 개발로 소비자의 선택 폭이 커지게 될 것이며, 차량에 대한 친숙도가 증대되고 해외에서의 선호도가 국내에서도 반영되어 고유가 시대의 대안으로 국내에서의 하이브리드 전기자동차의 판매가 신장될 것으로 예상된다. 또한 일본 정부 보조 및 기술 발전에 힘입어 일본 내에서의 시장은 확대될 것으로 예상되며, 환경 규제를 통한 미국 시장의 점진적인 확대를 예상할 수 있다.