

하이브리드 자동차와 IT 자동차 융합 기술 소개

충북대학교 | 남기훈 · 김시호

1. 하이브리드 자동차(HEV) 소개

하이브리드 자동차는 연료와 전기를 구동에너지 원으로 한다는 의미로 붙여진 이름이며, 영문으로 공식 명칭은 Hybrid Electric Vehicle(HEV)라고 부른다. 본 글에서도 이후에는 HEV로 부르려고 한다. 본 글에서는 하이브리드 자동차의 기술적인 개요와 기술 및 시장 동향을 살펴보고 HEV가 “IT + 자동차” 융합 기술에 미치는 영향에 대해서 논의하고자 한다. 미국의 오바마 대통령 취임 이후에 자동차 산업의 구조 조정과 친환경 산업의 성장 정책을 펴고 있고, 한국의 친환경 녹색 성장의 정책 기조가 서로 일치하면서 이제는 미국과 한국을 포함한 전 세계인의 관심사가 되었다. HEV가 기술적으로 뿐만 아니라, 시장에서도 주목 받게 된 이유는 지구 온난화의 원인이 되는 온실가스 배출 문제, 지난 몇 년간 고유가에 따른 고연비 자동차의 중요성 부각, 도시의 대기 오염에 대한 해결 방안 등 여러 가지 이유가 매우 중요한 현안이 되었기 때문이다.

자동차는 에너지원으로 화석 연료를 사용하는 종래의 자동차와 연료와 전기를 사용하는 HEV, 그리고 전기만을 동력원으로 사용하는 전기자동차(EV, Electric

Vehicle)로 분류할 수 있다. 연료전지 자동차는 전기 에너지 저장 장치로 배터리를 사용하지 않고 연료전지를 사용하지만 광의의 전기 자동차(FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle)로 분류할 수 있다.

2. 하이브리드 자동차의 시장 및 기술 동향

자동차 시장 조사기관들의 보고서에 의하면 2010년부터는 HEV가 도입기를 지나서 성장기로 진입하며 2025년도에는 전체 자동차 생산량의 절반 정도가 HEV 또는 EV가 될 것으로 전망하고 있다. 유럽과 미국을 포함한 세계 각국이 온실 가스 규제를 통해서 친환경 자동차의 도입을 반 강제적으로 유도하고 있으며 석유 자원의 고갈에 대한 경고가 나오면서 재생에너지의 중요성이 강조되고 있기 때문에 HEV의 성장속도는 시장 조사 기관의 예측보다도 빠르게 진행되고 있는 추세이다. 미국 정부는 자동차 회사에서 시판되는 차의 평균 주행연비가 15km/리터 이상이 되도록 규제하는 장치 마련 중이고, 유럽 연합은 CO₂ 배출량을 130g/km 이하(약 18km/리터의 이상의 연비 필요함)로 규제하기 위한 작업을 진행 중이다. 이와 같은 각국의 규제를 만족하기 위해서는 전체 자동차 생산량 중에서 일정비율 이상을 HEV로 하여야만 하기 때문에 자동차 사들은 HEV의 개발과 생산에 총력을 기울이게 되었다.

항목	기존 자동차	하이브리드(HEV)	Plug-in 하이브리드 (PHEV)	전기자동차(EV)
구조				
사용동력	엔진	엔진+모터	엔진+모터	모터
주입연료	화석연료	화석연료	화석연료+전기	전기
기술단계	상용화, 쇠퇴기	도입기	기술 개발, 도입검토	기술 검토, 도입검토
Battery	Lead Acid	Ni-MH 또는 Ni 계열	Ni 계열	Ni 계열

그림 1 에너지원에 의한 자동차의 분류[1]

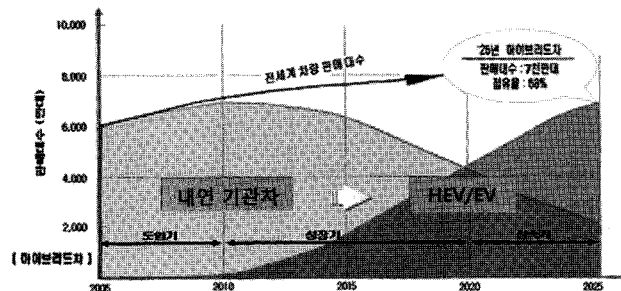


그림 2 자동차산업의 전망, 2025년 전체 자동차 생산량에서 HEV 점유율이 약 60% 정도 전망 [자료 : Automotive World Car Industry Forecast Report, Global Insight]

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원(NIPA)의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-C1090-0904-0007).

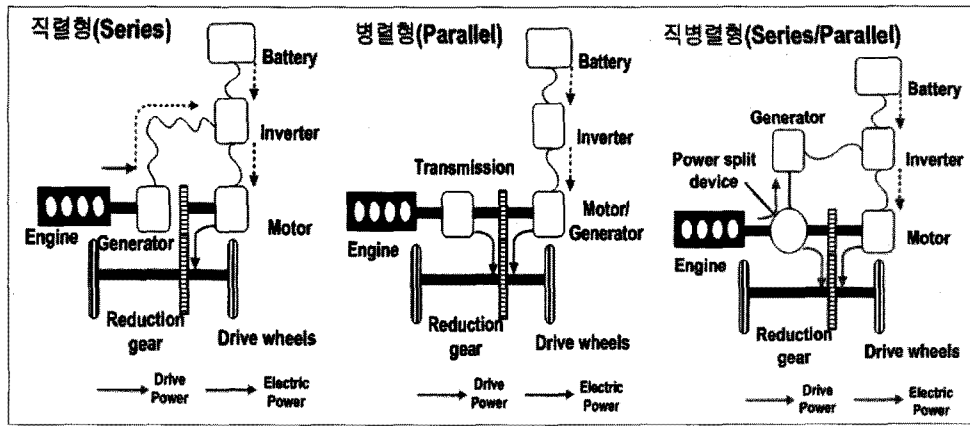


그림 3 구동 방식에 따른 HEV의 분류

미국 시장에서 HEV 시장 점유율을 자동차 모델별로 살펴보면 도요다의 프리우스, 렉서스, 하이랜더 3개 모델이 70% 이상의 점유율을 가지고 있으며, 2위인 혼다가 약 20% 정도의 시장을 점유하고 있어서 일본 기업이 시장의 90% 정도를 점유하고 있다. 2008년 미국에서 판매된 HEV는 약 35만대 정도이며 그 중 절반 이상을 Prius가 점유하였다.

3. 하이브리드 자동차의 기술 분류

HEV를 구분하는 방법은 여러 가지가 있으나, 엔진과 모터의 동력 전달 방식에 따라서 일반적으로 직렬형(series type), 병렬형(parallel type), 직병렬형(series-parallel type)과 직병렬복합형(complex type)으로 구분한다. 직렬형은 모터만이 차의 동력축을 구동하며 엔진은 발전기를 돌려서 배터리를 충전하는 보조적인 동작을 하는 구조를 갖는다. 병렬형은 엔진과 모터가 별도로 동력을 구동할 수 있는 구조를 갖는다. 직병렬형은 직렬형과 병렬형을 합한 형태이며, 엔진이 발전기를 돌려서 배터리를 충전할 수 있고, 트랜스미션은 엔진과 모터로부터 동력을 개별적으로 또는 동시에 전달 받을 수 있는 구조를 가지고 있다. 직병렬복합형은 직병렬형에 더 복잡한 구조를 혼합한 형태에 이며, 엔진이 주행중에 발전기를 돌려서 배터리를 충전할 수 있고, 트랜스미션은 엔진과 모터로부터 동력을 개별적으로 또는 동시에 전달 받을 수 있는 구조를 가지고 있다. 도요다의 THS(Toyoda Hybrid System) 방식이 대표적인 직병렬 복합형 구조이다.

종래 내연 엔진자동차(ICEV, Internal Combustion Engine Vehicle)의 에너지 소비 비율을 살펴보면, 연료 연소로 얻어진 에너지의 18.2% 정도가 자동차의 구동축에 전달되고 81.8% 정도의 에너지가 열손실, 정차시 공회전, 벨트 등의 악세사리 구동 등으로 손실되고 있

다. 자동차의 구동축(Driveline)에 전달된 에너지 중에서도 기계적인 마찰과 감속 breaking 동작으로 대부분이 손실되고 실제로 자동차의 주행에 사용되는 에너지는 10% 미만이 된다. HEV는 이와 같이 손실되는 에너지를 전기에너지로 변환하여 배터리에 저장하고 자동차의 보조 동력원으로 사용함으로써 자동차의 연비를 개선하고자 개발되는 방식이다. 대부분의 HEV는 자동차가 감속시에 손실되는 기계적인 운동 에너지의 일부를 전기 에너지로 변환하여 배터리에 저장하는 회생제동 방식(Regenerative Breaking)을 사용하고 있다. HEV 마다 차이는 있지만, HEV는 배터리로는 약 1km 정도를 주행할 수 있다. PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)는 배터리의 용량을 HEV에 비해서 크게 하고, 외부에서 배터리를 충전할 수 있도록 개선한 HEV이다. PHEV는 배터리로 약 10km에서 80km 정도를 주행할 수 있는 대용량의 배터리를 장착하게 된다. PHEV는 HEV의 개량형 모델이며 배터리의 용량과 충전기

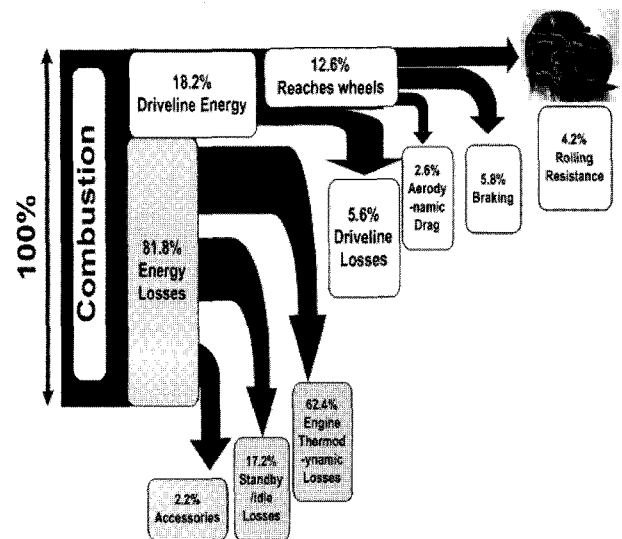
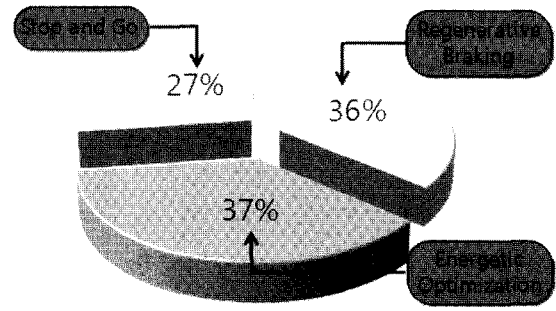


그림 4 내연 자동차(ICEV)의 에너지 소비 비율 [2]

능을 제외하고 기술적으로는 HEV와 거의 유사한 구조를 가지고 있어서, HEV를 구입해서 사용자가 PHEV로 개조할 수도 있으며 미국에서는 PHEV로 개조하는 자동차 tuning 서비스가 시작되어 새로운 “after HEV market”을 형성하고 있다.

현재 상용화에 성공한 하이브리드의 대표적인 두 방식인 토요다의 THS(Toyota Hybrid System)와 혼다의 IMA(Integrated Motor Assist) 주행 전략을 비교하면, IMA 방식에서는 정차시에는 엔진을 정지하고 출발시에는 6기통 엔진을 모두 사용하여 출발에 필요한 토크를 얻는다. 급 가속을 위해서 높은 출력이 필요할 때는 엔진과 모터를 모두 동작시켜서 큰 토크를 얻으며 자동차가 평지를 주행할 때는 3기통만을 사용하여 연료를 절약하며 주행중 약한 가속이 필요한 경우에는 3기통 엔진 출력을 모터가 보조하여 토크를 높인다. 차를 감속할 때 발전기를 동작시켜서 회생 제동을 통하여 전기를 얻어서 배터리를 충전한다. 반면, 도요다 THS 방식은 정차시에는 엔진을 정지하며, 출발시부터 일정 속도에 도달할 때까지는 모터만을 사용하여 차를 구동시킨다. THS 방식에 비해서 모터는 엔진의 동력을 도와주는 방식으로 동작되어 도요다 방식에 비해서 주행전략에서 다소 불리한 점이 있다. 차가 일정 속도에 도달하여 정상 주행에 도달하면 엔진을 켜서 구동하고, 순간 가속이 필요한 경우에는 모터가 엔진을 도와서 토크를 높일 수 있다. 정상 주행시에 엔진의 출력이 남으면 발전기를 구동하여 배터리를 충전할 수 있고, 감속 제동시에는 바퀴의 관성에 의해서 모터가 구동되어 발전기 역할을 하며, 생성된 전기는 배터리를 충전한다. 도요다 Prius III의 공인연비는 리터당 37km를 초과(미국 시험 시내 주행 연비는 약 21 km/리터)하여 종래의 엔진 자동차 비해서 두 배 정도로 연비가 향상되었다.



Hybrid Vehicle Powertrain: Modeling and Control GPC98

그림 6 회생 제동 하이브리드 자동차의 연료 소비 절감 비 (도요다 Prius THS-II 모델)

도요다 Prius 모델의 연비 절감비를 살펴보면, 공회전시에 엔진 정지(Idle stop and go)를 통해서 약 27%, 회생제동의 에너지 회생 발전(Regenerative braking)을 통해서 약 36%, 그리고 효율적인 운전전략을 통해서 37%의 연비 향상을 가져왔다.

90년대에 친환경 자동차의 연구가 본격적으로 시작되었을 때, 미국은 HEV 보다는 연료전지 자동차(FCEV)를 집중 개발하였으나 FCEV는 아직 실용화 시장진입 단계에 도달하지 못하고 있다. HEV의 회생제동에 관련한 중요기술은 이미 일본 기업들에 의해서 선점당한 상태에서 미국은 FCEV 개발에서 벗어나 PHEV 개발에 집중하는 경향을 보이고 있다. 미국에서는 PHEV라는 용어보다는 사용 범위가 확장된 전기자동차라는 개념으로 ReEV(Range Extended Electric Vehicle)라는 용어를 사용하고 있다. 최근 모기업이 파산하고 새로운 시작을 선언한 GM은 시보레 볼트(Chevy Volt) ReEV를 통하여 회생을 하고자 노력하고 있다. GM이 개발한 시보레 볼트는 모터에 의해서만 구동되고 엔진은 배터리를 충전하는 기능만을 수행하는 직렬 방식의 HEV에 대용량의 배터리와 Plug-in 충전기능을 갖춘 PHEV이다.

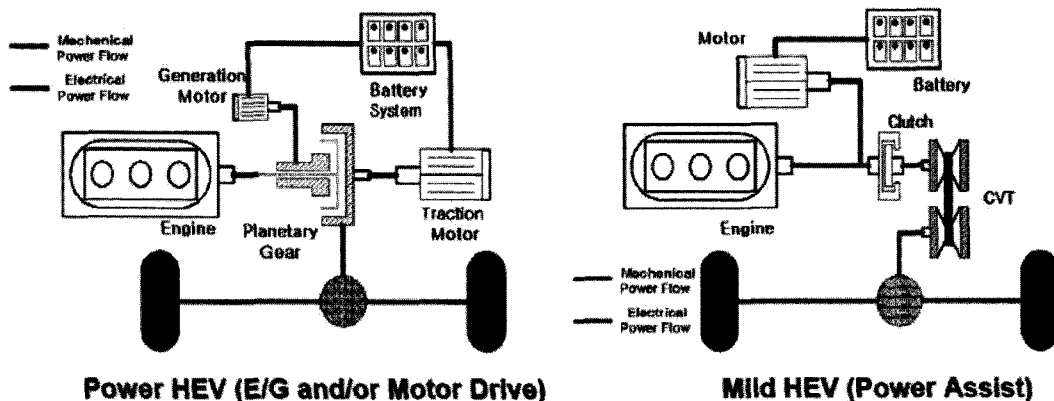


그림 5 도요다와 혼다의 HEV 기술 비교

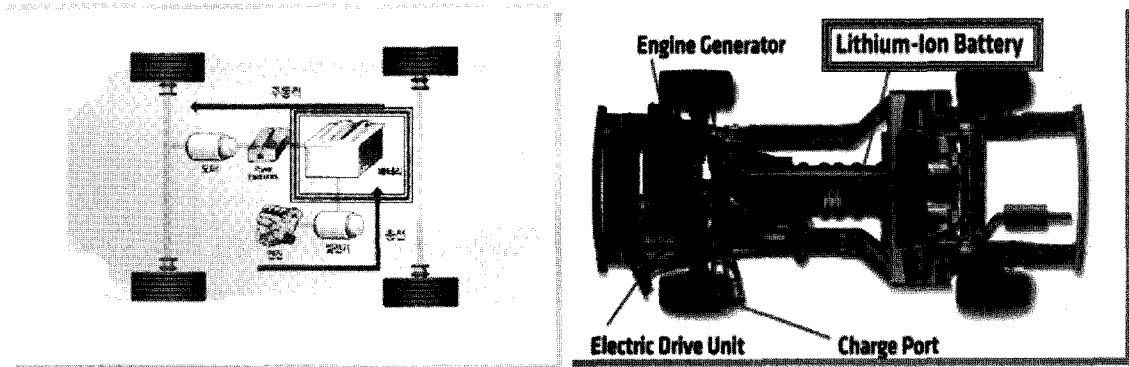


그림 7 GM사의 시보레 볼트(직렬 방식 HEV)의 간략한 구성도와 내부 구조[자료: LG화학]

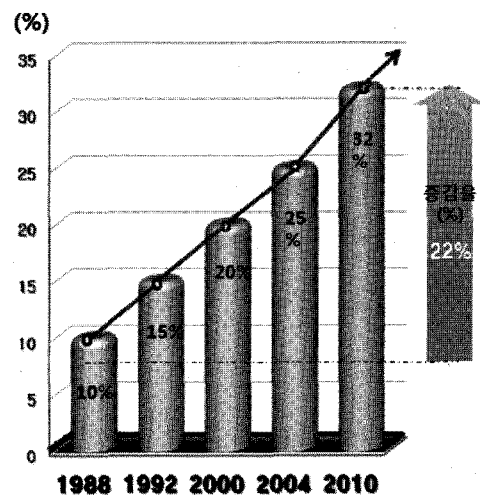
미국이 PHEV 개발에 관심을 갖는 이유를 살펴보면, 완전한 전기자동차, EV는 배터리에 의해서만 구동이 되므로 배터리 용량이 매우 커야하고 충전에 많은 시간이 소요되기 때문에, 기술적으로 해결하지 못한 문제들이 많이 남아 있어서 실용화에는 많은 시간이 필요하다. 미국 도시 통근자들의 평균 출퇴근시 평균 이동 거리에 해당되는 거리인 40마일(약 64km) 정도는 배터리에 의해서만 주행가능하고, 그 이후에는 HEV로 전환되는 PHEV를 이용하면 대부분의 도시의 통근 자동차는 전기 자동차처럼 운행되고, 장거리 이동시에는 HEV 모드로 운행되므로 무공해 전기 자동차의 특징을 살리면서도 전기자동차의 배터리 용량 문제를 보완할 수 있기 때문이다. 미국에서 PHEV보다는 ReEV라는 용어를 사용하는 것도 전기자동차임을 강조하기 위함이라고 판단된다. PHEV는 주차중에 심야전력을 이용하여 배터리를 충전할 수 있는데, 전력은 시간대별로 사용량이 매우 심하게 차이가 나고, 심야에는 전력수요가 거의 없으므로, 버려지는 심야전력을 이용하여 PHEV를 충전하는 경우에, 미국에서는 100만대의 PHEV가 도입되어도 추가적인 발전소의 건설이 필요 없다고 한다. 결국, 100만대의 PHEV를 도시 통근자가 배터리 구동구간에서 운행한다고 가정하면 추가적인 전력 설비 투자 없이도 온실가스 배출하지 않는 자동차 100만대가 사용하는 연료 소비를 절감할 수 있다는 계산이 나온다. 미국에서는 전력망에 PHEV의 충전 시스템과 신재생 에너지 전력 공급 망(smart Grid)을 연계시키는 V2G(Vehicle to Grid) 등의 연구가 지금 활발하게 진행되고 있다.

4. HEV와 IT+자동차 융합 기술

필자가 하이브리드 자동차 관련된 연구를 시작하고 RAVERS[3]를 설립하였을 때, 주변의 지인으로 부터 가장 많이 받은 질문이 “기계공학 전공자가 아닌데 자

동차에 대해서 얼마나 알고 있는냐”는 것이었다. 질문에는 필자는 HEV는 더 이상 기계공학만의 전문 분야가 아니고 전기전자 공학과 자동차 공학이 만나는 “IT + 자동차” 융합 분야이기 때문에 자동차 엔진이나 트랜스미션에 대해서는 잘 모르는 필자도 해야 할 일이 많다고 설명하곤 한다. IT + 자동차 융합 분야는 기계기반의 전통적인 자동차 기술에 전자 및 정보통신 기술이 융합되어 생성된 새로운 산업분야이다.

실제로 지금 생산되는 종래 내연 엔진 자동차에서 전자부품의 원가 비율이 이미 30%에 도달하고 있고, 자동차 사들의 보고서에 의하면 HEV에서는 전장의 원가 비율이 50%를 상회할 것으로 전망하고 있다. 또한 더욱 놀라운 사실은 HEV가 대량생산되면 현재 사용되는 종래 자동차 부품의 50% 이상이 새로운 부품으로 교체되어야 한다는 것이다. 교체되는 부품의 대부분은 기계적인 부품을 전기전자 부품으로 대체하는 것이 될 것이다. 예를 들면, 현재 자동차는 벨트에 의해서 구동되는 에어컨, 유압식 핸들, 유압식 브레이크를



자료 : 현대 자동차
그림 8 자동차 전자 부품 가격 비율

사용하고 있는데 HEV는 정차시 및 주행 중에 수시로 엔진을 끄므로 유압식 또는 벨트 구동이 불가능해진다. 따라서 에어컨은 열전 반도체 소자를 사용하는 열전 냉각방식으로 바뀌어야하고 유압식 부품은 모터 구동 방식으로 바뀌게 된다. HEV에는 모터 구동을 위한 고전압부가 있으며 DC 고전압 공급하기 위한 고전압 고용량 배터리가 필요하다. 종래의 자동차는 12V 배터리(화물차는 24V)를 통한 단일 전압 전력망을 가지고 있는데 HEV에서는 고전압 배터리가 있으므로 12V의 납축전지는 일반적으로 사용하지 않으며 12V 발전을 위해서 팬 벨트에 의해서 구동되는 교류 발전기(alternator)도 없어지게 된다. HEV의 전력망 구성을 살펴보면 고전압 배터리와 관련된 BMS(Battery Management System)가 매우 중요해진다는 것을 알 수 있으며, 고전압(120V 이상)과 저전압(12V)을 변환하기 DC-DC 변환기와 모터 구동을 위한 DC-AC 변환기가 많이 소요된다는 것을 알 수 있다. HEV의 최적 주행전략의 개발을 위해서는 제어 기술이 중요해진다. 또한, HEV에서 모터 구동시에 스위칭 노이즈가 많이 발생하므로 자동차의 EMI도 중요한 연구 분야가 될 것이다. 따라서, HEV에서는 배터리, 모터 구동, 전력 변환, 전력 생성, 주행 전략과 제어 시스템 등 전기전자에 관련된 새로운 과제가 많이 발생된다.

3. 맺음말

현재 상용화된 HEV는 회생 제동으로 자동차에서 재생 에너지를 발생시키고 있는데, 회생 제동은 『idle stop and go』, 『회생 제동』, 및 『최적 에너지 제어』 등으로 기존 차에 비해서 약 100%의 연비 향상을 달성하였지만, 여전히 엔진에 의해서 소비된 에너지의 60% 이상은 열로 버려지고 있다. 따라서, 열전 발전을 위한 재생에너지의 연구가 필요하다. BMW, 혼다 등에서는 열전 HEV(Thermoelectric HEV)의 시제품을 2008년도에 이미 만들어서 공개하였으며 BMW는 2013년에 시판하겠다고 발표하였다. RAVERS는 HEV의 에너지 회생기술을 개발하기 위하여 설립된 연구센터로써, 열전 발전을 통한 에너지 회생기술을 주로 연구하며, HEV의 BMS와 최적 제어에 관련된 EMS(Energy Management System)에 대해서도 연구하고 있다.

1947년 트랜지스터의 발명 이후에 반도체 기술은 1980년대까지 TV와 Video 등 가전, 1990년대 PC, 2000년대 이동통신을 기본 플랫폼으로 하여 발전하여 왔다. 그러나 현재 정보통신과 컴퓨터 기술의 발전이 사회적 수요를 추가로 끌어내지 못하면서 그 성장에 한계를

보이고 있다. 이제는 전기전자공학의 기술 중심이 정보통신 기술에서 에너지와 환경 문제를 해결하기 위한 IT 융합 기술로 이동해야 한다고 생각한다.

화석 연료의 고갈과 지구 온난화 등의 환경 문제로 인하여 환경과 에너지 고갈 문제를 해결하기 위한 지속 가능 발전이 전 지구촌의 화두로 떠오르게 되었다. HEV와 PHEV는 이제 개발 단계를 지나서 시장 진입기에 도달하였으며 EV 기술도 배터리의 발전에 따라서는 10년 이내에는 대량 상용화가 가능해질 것으로 전망된다. 미국의 자동차 BIG3의 몰락에서 보듯이 자동차 산업은 이제 대변환기를 맞이하고 있다. 지금, 자동차의 에너지 원이 화석 연료에서 전기 에너지로 전환되어 가는 과정에 있으며 이 과정에서 기술적으로는 자동차 플랫폼의 일대 변혁이 일어나며 사회적으로도 엄청난 변화를 가져올 것으로 예견된다. HEV와 PHEV가 대중화되면, 단순히 주유소가 필요 없어져서 사라지는 수준이 아니고 도시인들의 life style에도 큰 변화가 발생할 것으로 전망된다. HEV가 IT 융합 산업에서의 새로운 플랫폼이 될 것이라고 기대하며, 미래는 준비하는 사람들의 것이라는 말로 글을 맺고자 한다.

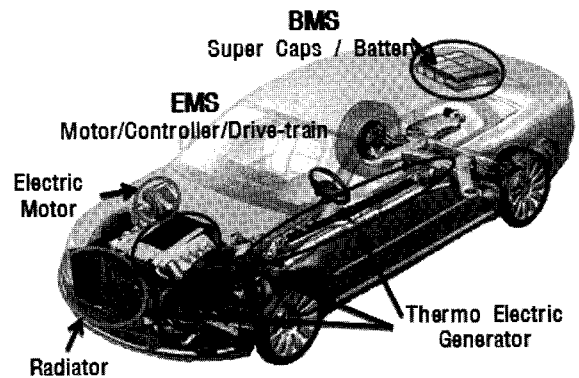


그림 9 RAVERS에서 연구하는 열전 하이브리드 자동차(TE-HEV, Thermo-Electric HEV)

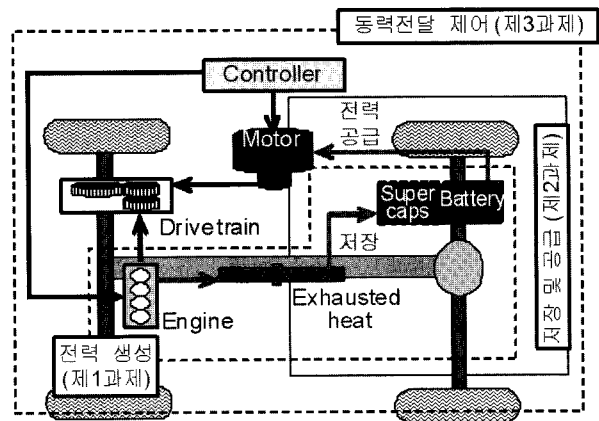


그림 10 RAVERS의 연구 분야

참고문헌

- [1] 박충년의 12인 “플러그-인 하이브리드 에너지 저장 시스템 및 제어, 운용 기술개발”, 연구기획사업 최종 보고서, 지식경제부 2008. 5
- [2] J. Yang, and F. Stabler, “Automotive Applications of Thermoelectric Materials”, Journal of Electronic Materials, Vol. 38, No. 7, pp. 1245-1251, 2009
- [3] Research center for Advanced hybrid electric Vehicle Energy Recovery System, ravers.chungbuk.ac.kr

약 력



남 기 훈

1999 서경대학교 컴퓨터과학 학사
2001 서경대학교대학원 컴퓨터과학 석사
2006 서경대학교대학원 컴퓨터과학 박사
2006~2007 서경대학교 겸임교수
2006~2009 한양대학교 전임연구원
2009~현재 충북대학교 연구교수

관심분야 : IT-융합 기술, 디지털 시스템 설계, Flash memory controller & 신뢰성

E-mail : daemnonam@naver.com



김 시 호

IEEE Senior Member

2005~현재 충북대학교 전기전자공학부 교수
- 하이브리드자동차 에너지회생기술 연구센터 (ITRC) 센터장
- System Chip Integration (SCI) 연구실 운영
1986 연세대학교 전자공학과 학사졸업

1988 KAIST 전기 및 전자 공학과 석사졸업

1995 KAIST 전기 및 전자공학과 박사졸업

1988~1991 LG반도체 중앙연구소 주임연구원

1995~1996 LG반도체 중앙연구소 책임연구원

1997~2005 원광대학교 전임, 조교수, 부교수

2000~2001 IMEC 연구소(KU Leuven) 초빙교수

관심분야 : 하이브리드 자동차 에너지 회생기술, System on Chip Design, 3DIC 설계 및 냉각 기술

E-mail : shiho@chungbuk.ac.kr