

하이브리드 자동차 기술개발 동향

하 회 두

(한국전기연구소 Mechatronics 연구그룹)

1. 머리말

전기자동차의 경우 주에너지원인 Battery의 에너지 밀도 (약 35Wh/kg : 연축전지)가 내연기관에 사용되는 가솔린(약 12.2 kWh/kg)에 비해 매우 낮기 때문에 1회 충전으로 주행 가능한 거리가 매우 짧은 단점을 가지고 있으며, Battery의 화학적 특성으로 인해 긴 충전시간이 요구되며, 더더구나 이러한 충전 인프라 구축이 미흡한 실정이다.

따라서 최근에는 배출가스에 대한 대기오염과 대체연료 자동차의 선두주자로 인식되고 있는 순수 전기자동차의 기술적 어려움을 해결하는 방안으로 Hybrid Electric Vehicle (HEV)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전기자동차는 모든 동력원을 Battery에서 얻지만, 하이브리드 자동차는 구조에 따라 엔진이나 연료전지로부터 공급되는 전력으로 충전할 수도 있기 때문에 충전소에서 충전할 필요가 없을 수도 있고, 또한 주차장이나 가정에서 야간에 충전하기도 하기 때문에 급속충전이 필요없다.

또한 대도시의 중심이나 관광단지 등에서는 EV로 장거리 주행을 위해서는 ICE로 주행하는 등 사용목적에 따라 하이브리드 차량 구성을 다양히 할 수 있다.

자동차 회사들은 그동안 발전되어온 축전지, 모터기술과 현재 일반적으로 사용 중인 엔진기술 또는 새로운 형태의 발전기 기술의 적절한 조합으로 차량 주행연비의 향상과 배기가스의 감소하는 이익을 얻을 수 있는 하이브리드 전기자동차 개발을 순수 전기자동차 개발완료에 이르는 과정에서 중간자적인 역할을 담당하는 것과 함께 특화된 분야에 있어서 독자적인 입지를 구축할 수 있는 것으로 인식하고 있다.

2. 기술의 특성

하이브리드 자동차는 시스템기능의 중복성 때문에 본질적으로 redundant design이 요구되며, 에너지 변환 없이 엔진의 기계적 힘을 바퀴에 직접 전달하는 것이 가장 효율적인 에너지 전달과정을 고려한다면 기계적 힘을 전기적 힘으로 또는 전기적 힘을 기계적 힘으로 에너지 변환하는 것은 연료 절약 목적으로는 적합하지 않다.

따라서 전지에 저장된 에너지를 가장 효율적으로 사용하는 것은 엔진이 꺼진 상태에서 순수 전기적 모드로 구동하는 것이다.

하이브리드 자동차는 크게 직렬 하이브리드 전지자동차 (SHEV)와 병렬 하이브리드 전기자동차(PHEV)와 직렬병렬을 조합한 혼합형 하이브리드 전기자동차로 나눌 수 있다.

직렬 HEV는 엔진과 축전지, 모터를 직렬로 하여 엔진의 동력은 발전기를 통하여 축전지에 저장하고, 차량의 구동은 모터만으로 수행하는 구동 시스템을 찾는 자동차이기 때문에 배기가스 저감과 대체 Power source(가스, 터빈 등)를 사용할 수 있다는 장점과 엔진이 바퀴로부터 분리되어 있는 특성 때문에 운전자의 요구사항과 관계없이 독립적으로 운영되어 진다. 그러나 엔진에서 바퀴까지 에너지를 이동하는 과정에 여러번의 에너지 변환과정을 거쳐야 하기 때문에 연료절감효과는 거의없다.

병렬 HEV는 엔진과 모터가 병렬로 구성되어 각각의 동력이 차량을 독자적으로 구동하기도 하고 때로는 동시에 구동하는 시스템을 갖는 자동차이기 때문에 배기가스 저감 측면에서는 많은 직접적 효과가 없으나 엔진과 전동기의 적합한 크기 및 통합 운영으로 연료소비를 현저히 줄일 수 있다.

전체적으로 하이브리드 전기자동차는 전기 구동시스템을 가지고 있기 때문에 회생제동에 의해서 연료 효율을 높일 수 있고, 저속에서 전동기의 고토코 특성 때문에 저속 차량의 주행성능을 향상시킬 수 있다. 그러나 순수전기자동차의 마찬가지로

가지로 전지 성능 향상과 전지의 무게 및 크기를 줄이는 것이 하이브리드 전기자동차의 개발관건이다. EV와 달리 HEV는 전지의 충방전이 자주 필요하며, 엔진, 모터 및 관련부품의 통합된 에너지 효율을 극대화 하기 위한 드라이브 라인의 리 엔지니어링이 필요하다. 현재는 병렬 HEV의 연료절감효과의 일부가 주로 전지에 의한 차량무게 증가를 보전하고 있다.

3. 미국의 기술개발 동향

캘리포니아의 ZEV 의무 규정의 개정안에 따라(표 1 참조) 하이브리드 자동차는 미국에서 판매되기 시작했으며, Honda 와 Nissan이 1999년에, Toyota가 2000년에, GM이 2001년부터 판매를 시작하려고 하고 있으며, 2000년에서 2002년 사이에 연방 및 주정부의 의무규정 및 시장유도 정책에 의해서 연간 29,000대의 하이브리드 자동차가 판매될 것으로 예측되고 있다.(Energy Information Administration(EIA) 자료)

특히 PNGV(Partnership for a New Generation of Vehicle) 프로그램에 의해서 기존 차와 경쟁력 있는 34 km/l(80 mpg)의 연료비를 얻을 수 있는 하이브리드 자동차 개발을 지원하고 있는데, 7개연방 Agency와 19개 연방 연구소 및 Daimlerchrysler, Ford, GM이 참여하여 1993년 9월 23일에 시작해서 2004년 말에 종료하는 국가적 프로젝트이다.

97년에서 99년 사이에 7억 2천백만불을, 2000년에는 2억 6천 3백만불을 투입하고 있으며, 차세대 자동차기술을 개발

표 1 캘리포니아 ZEV(Zero Emission Vehicle) 의무규정 개정추이

구분	주요 내용
1990년	- 7대 자동차회사는 총판매차량의 일정비율 이상을 의무판매 규정 (1998년에 2%, 2001년에 5%) - 2003년부터 모든 자동차 회사에 적용되며 ZEV 의무판매 규정은 10% 이상
1996년 개정안	- 7대 자동차회사의 MOA(Memoranda of Agreement)에 의해 규정 완화 - 1998년 750대, 1999년 1,500대 - 2003년 10%는 동일
1998년 개정안	- 7대 자동차 회사의 MOA 여전히 유효 - 소규모 자동차회사는 10% ZEV를 여러가지 저공해 자동차로 의무 규정 대체
1999년 개정안	- 7대 자동차회사는 10%의 60% 까지 LEV로 대체 - SLEV 0.2 credit - HEV 0.6 credit - FCEV 일정 credit - 환경개선에 이점이 있는 기능에 대해서는 추가적인 크레디트 부여 - 100~175(mile) 주행거리를 가지는 ZEV에 대해서 부가 크레디트 부여

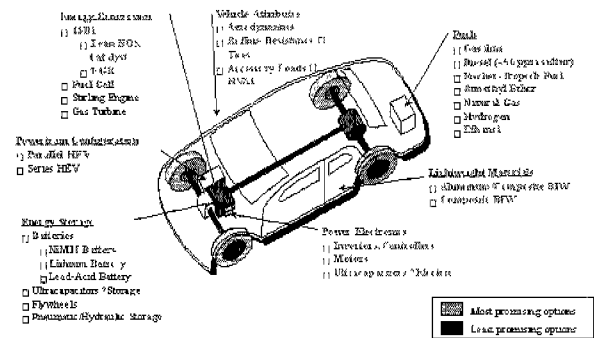


그림 1 Results of Technology Selection Process for the 80-mpg Vehicle

해서 에너지 효율을 높이는 것이 목적이며 350개의 자동차 부품업체, 대학 및 중소기업이 연구프로젝트를 지원하고 있으며, Super Car라 불리는 장기 목표는 현재의 중형차와 비교해서 연료 효율을 3배로 늘리면서 성능, 안전도, 승차인원 제한없이 환경친화적인 차를 개발하는 것이다.

98년 1월에 경쟁력 있는 기술을 선정하여 에너지 변환, 추진시스템 구성, 에너지저장, 연료, 경량소재 및 전력전자 분야에 R & D를 중점지원하고 있다.(그림 1 참조)

1998년에서 2000년 사이에 각 자동차 회사는 콘셉트 카를 생산하고, 2004년까지 양산용 Prototype을 개발하려고 한다.

또한 각 자동차회사들은 다양한 하이브리드 EV 시범운행 사업을 하고 있는데 GM은 하이브리드버스는 뉴욕에서 픽업 트럭은 캘리포니아와 뉴욕에서 Toyota의 프리우스는 캘리포니아, 일리노이, 워싱턴 등지에서 Ford는 P2000 하이브리드 승용차를 시범운행하고 있으며, 특히 2000년에서 2003년 사이에 캘리포니아에서 Ford, Daimler Chrysler, 발라드(연료전지) ARCO/Shell/Texaco(정유회사) 등이 참여하여 45대의 연료전지 승용차 및 버스를 운행할 예정이다.

4. 유럽의 기술개발 동향

HYZEM(European Hybrid Technology Development approaching efficient zero emission mobility) 라는 project 를 EC(European Commission)의 자금으로 진행중에 있는데 이 프로젝트에는 BMW, Daimler Benz, PSA Peugeot Citroen, FIAT, Renault, Rover, Volvo, 폭스바겐 등 8개 자동차회사가 참여하고 있으며, 추진시스템 분야에 RICARDO, LVK, LVV, ALL 등 4개 연구소가 교통 및 배기가스 분야에 INRETS, LAT의 2개 연구소가 참여하여 진행 중에 있다.

하이브리드 추진시스템 분석 및 환경적 이익과 에너지 절약 효과평가 등 아래와 같은 6개 분야로 나누어서 진행 중에 있다.

- 1) 시뮬레이션 프로그램 개발 및 검증
- 2) 6개의 시제차의 최적화 및 시뮬레이션 프로그램의 검증을 위한 시험
- 3) 도시와 시외지역에서의 차량 동특성 분석
- 4) 미래자동차의 요구사항에 대한 통합 접근
- 5) 교통개발과 하이브리드 시장점유 분석
- 6) 유럽에서의 하이브리드 자동차의 영향분석을 위한 평가 Tool 및 데이터 베이스 구축

현재까지 임의의 드라이브 사이클에서 차량의 성능, 에너지 소비 및 배기가스를 시뮬레이션 할 수 있는 HYZEMLIB 라는 Tool을 개발하였다.

이 프로젝트내에서 BMW/AVL, FIAT, VW는 병렬 HEV 추진시스템을 Daimler-Benz, Renault 및 Volvo는 직렬 HEV 추진시스템을 개발하고 있다.

특히 하이브리드 기술의 검증과 영향 파악을 위해서 유럽인 들 운행습관 파악 및 운행특성을 얻기 위해 77대의 차량을 독일, 프랑스, 영국 및 그리스에서 DAS(Data Aquisition System)를 장착하여 사용거리 및 운행조건에 관한 데이터를 획득 중에 있다.

그리고 경제혁신, 기술적, 사회적, 생태적 및 정치적 요인들에 의한 하이브리드 자동차의 잠재적 시장 점유율을 분석한 결과 아래와 같은 결론을 내리고 있다.

- 1) 하이브리드 자동차의 기술적 특성이 잘 알려지지 않음
- 2) 경쟁력 있는 가격으로 HEV를 생산할 수 있을지가 의문
- 3) 세계적으로 경제상황이 매우 불안정
- 4) 도시지역의 대기오염 방지에 관한 미래의 규정을 모름
- 5) 전기자동차의 일 충전 주행거리와 가격 경쟁력이 기대보다 훨씬 빨리 향상되고 있음

5. 일본의 기술개발 동향

97년부터 7년간 하이브리드 EV개발 Project를 시작하였으며 97년에 2억 1천만엔, 98년에 3억 8천만엔의 연구비를 투자하였다. 정부에서도 하이브리드 차량구입시 차량 취득세율을 2% 감면하는 세제상의 혜택을 부여하고 있다.

표 2 CEV 지원규모(1998년) (단위 : 대)

	목 표	결 과
EV	230	148
HEV	10,000	3,967
CNG	1,100	1,198
Methanol 차량	100	19

표 3 일본의 HEV 차량

	제조회사	주요 내용
Insight	Honda	- 99년 12월 시판 - 경량소재의 liter-3 Cylinalle 엔진으로 30 km/1로 연비 향상 - 가속시 BLDC 모터로 출력 보조 - 감속시 울트라 캐패시터로 회생충전
Avenir	Nissan	- 직렬 하이브리드 시스템 - 주행거리 60km (전동기 만으로 50km) - Li-ion 전지 장착 - HC, CO : 95% 감소 Co ₂ : 50% 감소
Coaster	Toyota	- 1997년 8월 시판 - 24인승 버스 - 직렬 하이브리드 시스템이며 1,500cc 가솔린 엔진, 전동기, 발전기 및 연속전지 장착 - 일충전 주행거리 400 km, 최고속도 80 km/h - 가격은 1,450만엔(디젤버스의 3배)
Prius	Toyota	- 하이브리드 EV를 위한 고유의 모델 - 가격 215만엔(기준차보다 25% 정도 비쌌) - 1997년 12월부터 월 1,000 ~ 1,500대 생산 - 가솔린 엔진과 전동기가 직렬형 운전형태이며 Ni/MH 전지를 장착하고, 28km/1의 연비를 가짐
Estima	Toyota	- 미니밴 - 2000년 1월 시판 - Prius 보다 성능이 더 뛰어남 - 대도시에서 NOx의 주범은 미니밴이기 때문에 (현재 수만대 운행중) 판매량이 증가하면 환경개선 효과가 큼

또한 1998년부터 CEV(Clean Energy Vehicle) 보급 프로젝트로 지원금을 지원하고 있으며(표 2 참조), 1998년도만 50억엔 지원규모 중 33억엔을 지원하였다.

이 CEV 프로젝트에서는 2010년까지 200만대 보급을 목적으로 하고 있으며, 지방자치 단체나 기업은 제한이 없으나 개인지원에는 업무용으로 사용되어야만 하고, 하이브리드 EV는 연간 6,000 km 전기자동차는 3,000 km 이상 사용해야 한다는 조건이 되어야만 지원된다.

연구개발분야는 ACE(Advanced Clean Energy Vehicle) 프로젝트를 수행 중에 있다. 이 프로젝트는 NEDO(New Automotive Development Organization)와 JARI(Japan Automotive Research Institute)가 주관하여 Isuzu Ceramic, Nissan, Nissan Diesel, Hino, Honda 및 Mitsubishi가 참여하여 연료절감 효과를 2배이상 증진시키면서 청정에너지를 활용하여 배기가스를 저감시키는 하이브리드 승용차, 버스 및 트럭을 개발 중이며, 특히 Toyota와

Mitsubishi는 합성연료와 엔진성능에 미치는 영향분석을 담당하고 있다.

10년간 전기자동차 보급대수가 2,500대 정도(승용차)에 비해 1997년 12월부터 시판한 도요타 Prius가 이미 30,000대 넘게 판매되었다.

일본에서는 여러가지 형태의 하이브리드 전기자동차가 판매되고 있다.(표 3 참조)

6. 결 론

환경문제의 주범으로 자동차의 배기가스가 인식되고 에너지원의 다변화를 위해서 휘발유 이외의 대체 연료 차량 개발의 필요성이 부각됨에 따라 전세계 자동차회사들은 환경친화적이며 경제성도 향상시킬 수 있는 차량개발에 주력하고 있다.

앞절에서 보았듯이 전세계적으로 여러 가지 하이브리드 전기자동차 및 연료전지 차량들이 기존의 내연기관 자동차와 경쟁력을 가리면서 개발되어지고 있다.

고성능 전지의 개발이 관건이지만 전기자동차, 하이브리드 전기자동차 및 연료전지 전기자동차의 공통된 핵심기술은 전동기 구동시스템이다. 따라서 현재의 가용한 소재를 최대한 효율적으로 사용하기 위해서는 전동기 구동시스템 관련기술의 개발은 매우 중요하다.

일반적으로 경쟁력 있는 전동기 구동 자동차를 만들기 위해서는 전동기 구동시스템 가격은 kW당 20\$ 이하, 무게는 kW당 1kg 미만, 부피는 kW당 0.5l 미만이어야 한다. 또한 안전측면에서 DC 입력전압은 450 V 이하여야 하고, 수명은 10년 이상이 되어야 한다.

결론적으로 내연기관에 필적하는 성능을 가지면서 에너지원에 관계없이 구동할 수 있는 경제적인 전동기 구동시스템 개발이 최대 목표이다. ■

참 고 문 헌

- [1] Wolfgang D nitz, "BEV, FCEV, HEV the Sariv Electric Drive Train ?" EVS-16, 1999
- [2] Callahan, K., "EVs : Clean Driving into the 21st Century" EVS-16, 1999
- [3] Electric & Hybrid Vehicle Technology 1997
- [4] Patil, G., "Hybrid and Electric Vehicle in the U.S.A." Intenational Electric Vehicle Symposium in KOREA, 1999. 4.

〈 저 자 소 개 〉



하회두(河會斗)

1954년 10월 3일생. 1977년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1984년 뉴욕 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 뉴욕 주립대 대학원 전기공학과. 1991년~현재 한국전기연구소 근무 전기자동차 개발 사업담당. EVAAP(아시아 태평양 전기자동차 협회) 이사.

아시아 태평양 전기자동차 협회) 이사.