

하이브리드 자동차 기술 개발 동향

이 장 무 교수 · 서울대학교 기계항공공학부

박 영 일 교수 · 서울산업대학교 기계설계학과

조 성 태, 전 순 일 · 서울대학교 기계항공공학부 박사과정

고연비/저공해 자동차의 개발

오늘날 내연기관 장착차량은 연비/배기가스/가속성능 면에서 초기와는 비교가 되지 않을 정도로 발전하여 왔다. 그러나 급격하게 늘어나는 석유 소비량과 지구 환경보존에 대한 인식이 발전함에 따라 세계각국에서는 자동차에 대한 저 연비 및 배출가스 저감에 대한 요구가 커지고 있으나 현재의 내연기관 기술로서는 이러한 요구를 충족 시키기가 점점 어려워지고 있다. 따라서 이에 대한 대안으로 전기 자동차/하이브리드 자동차/연료전지 자동차등이 제시되고 있다.

전기 자동차의 경우 복잡한 변속장치가 필요 없고 저소음이며 배기가스가 전혀 없는 등 내연기관 차량에 비해 많은 장점을 가지고 있으나 운행거리가 짧으며 충전효율이 낮고 대용량의 배터리로 인한 고가격화와 오염문제

등의 문제점이 있으며 에너지원인 전기는 결국 발전소에서 생산되므로 오염원을 개개의 자동차에서 발전소를 옮긴 것 뿐이라는 평가도 있다.

연료전지 자동차는 전기자동차의 단점을 획기적으로 보완한 것으로서 고 용량의 배터리 대신에 석유, 알코올등의 연료를 전기로 변환할 수 있는 연료전지를 장착하여 전기자동차에 비하여 주행거리를 획기적으로 늘릴 수 있고 배기가스 또한 거의 생성되지 않는다는 장점이 있다. 그러나 현재의 연료전지 기술로는 단기간 내에 내연기관 정도의 용량을 가지는 연료전지를 개발하기는 어렵다는 단점이 있다.

하이브리드 자동차는 기존의 내연기관차량에 전동기를 부가하여 두 동력원이 서로 고 효율 영역에서 작동하도록 하며 엔진의 불완전 연소 구간에서는 전동기를 이용하여 구동함으로써 연

비 향상과 배기가스 저감을 실현한 자동차이다. 주 연료로 가솔린을 사용하고 엔진의 여유 동력을 이용하여 배터리를 충전하는 것이 가능하므로 외부 충전이 필요 없어 전기자동차의 가장 큰 문제인 짧은 운행거리 및 배터리 수명이 커지는 문제를 해결할 수 있다. 또한 이미 3종의 양산 차량이 판매가 되고 있을 정도로 기술적으로도 실용화 단계에 있으므로 연료 전지 자동차가 본격적으로 실용화되기까지는 저공해 자동차의 주류를 이룰 것으로 전망된다.

이 중 직렬 방식은 차량의 구동은 전기자동차와 마찬가지로 전동기가 담당하고 전력은 주행 중 엔진을 이용하여 발전하여 사용함으로써 전기자동차의 단점인 고 용량의 배터리와 주행거리 문제를 해결하였으나 에너지 변환으로 인한 손실이 크다는 단점이 있다. 직렬 방식의 하이브리

드 차량의 경우 기존 전기 자동차 개발기술을 적극적으로 활용할 수 있으며 또한 직렬형 하이브리드 개발에서 얻어진 기술 또한 연료 전지 자동차의 개발에 그대로 적용될 수 있다는 장점이 있다. 병렬 방식은 엔진의 동력을 전동기가 보조해주는 방식으로 직렬형에 비하여 제어 방법과 구조가 복잡해 진다는 단점이 있으나 에너지 변환 손실이 적고 기존 내연기관 차량의 구조에 큰 변화를 주지 않고도 적용이 가능하다는 장점 때문에 현재 출시되었거나 개발 중인 하이브리드 자동차는 대부분 이 형식을 따르고 있다.

차량의 하이브리드화로 인한 연비 향상

일반 내연기관 차량의 경우 가변 하는 도로의 동력 요구 사항을 모두 충족시키기 위하여 평균 요구 동력량의 3~4배를 낼 수 있는 용량의 엔진을 장착하게 되는데 이로 인하여 일반적인 순항시에는 엔진이 불완전 연소 구간에서 작동하게 되어 연비가 저하되고 배출가스 발생이 심하다는 단점이 있다. 따라서 전동기를 부가적인 동력원으로 장착하여 고동력이 요구되거나 엔진의 배기가스 발생이 심한 영역에서는 전동기의 동력을 사용하고 순항시에는 엔진의 동력을 사용하여 주행하거나 충전함으로써 차량 전체의 연료효율을 높이고 배기

가스를 저감하는 것이 가능하다.

또한 하이브리드 자동차에 적용되는 엔진 및 전동기의 제어기술과 동력분배 및 충/방전 전략 등은 그대로 연료전지 자동차에 적용할 수 있다는 장점이 있다.

하이브리드 자동차는 크게 직렬형과 병렬형으로 나눌 수 있는데, 직렬형의 경우 고성능의 전동기를 필요로 하며 에너지 변환 효율로 인해 차량 전체의 효율이 낮아진다는 단점이 있는 반면 주행 시의 속도/토크 요구조건과 엔진의 작동 역을 완전히 분리시킬 수 있다는 장점이 있다.

병렬형의 경우 직렬형과는 반대로 비교적 저 성능의 전동기와 소용량의 배터리로도 구성이 가능하며 에너지 변환이 직렬형에 비해 적으므로 전체 효율이 향상되는 장점이 있으나 유단 변속기를 사용할 경우 주행시의 속도 요구조건에 엔진의 작동 역이 연동이 되므로 엔진의 최고 효율점에서 작동 시키기 어렵다는 단점이 있다.

따라서 무단 변속기를 병렬형 하이브리드 자동차에 장착함으로써 엔진과 주행시 속도 요구량의 연성까지 없앨 수 있으므로 주행 상황과는 무관하게 엔진을 고 효율 영역에서 작동시키는 것이 가능해지므로 차량 전체의 연비 향상과 배기가스 저감이 가능해진다. 그러나 벨트형식의 무단 변속기의 경우 변속기 자체의 손실이 크기 때문에 니산의 티노를 제외하고는 대부분 수동변속

기나 자동화 변속기를 채택하고 있는 실정이다.

현재 시판되거나 컨셉트 카로 발표된 하이브리드 차량의 경우 40-100mpg의 연비를 가지는 것으로 발표되고 있으나, 전기에너지의 소모량을 고려한 등가 가솔린 소비량의 정의 또한 제조업체마다 다르고 하이브리드의 경우 내연기관 차량과는 달리 주행도로에 최적화 시킨 주행제어 전략의 수립이 가능하므로 연비 테스트용 주행 도로에만 최적화된 결과일 가능성도 있으므로 보다 정확한 하이브리드 차량의 성능 평가를 위해서는 객관적인 성능 평가 기준 및 성능지수의 개발이 필요하다.

최근의 하이브리드 차량 개발 동향

하이브리드 차량의 개념은 20세기 초 초기 내연기관의 성능 부족으로 인하여 부족한 출력을 보조하기 위한 용도로 전동기를 사용하는 것으로 시작되었으나 그 후 엔진 기술이 급격히 발전함에 따라 하이브리드 기술은 더 이상 발전되지 못하고 개발이 중단되었다. 이후 세계대전시 고성능 유도 전동기의 제조가 가능해지자 궤도차량의 기동성 향상을 위해서 주 동력원으로 전동기를 사용하고 엔진으로 발전을 하여 전원을 공급하는 직렬형 하이브리드 차량이 연구되었으나 이 또한 동력변환시의 효율이 낮은 문제와 유도 전동기의 성능문제로 실

용화 되지는 못하였다.

그러나 1960년대 이후 석유 파동 및 선진 각국에서 지구온난화 등의 환경 문제가 중요 관심사로 부각되고 전기자동차의 한계가 명확해지면서 다시 하이브리드 승용차에 대한 연구가 활발해지고 있다.

현재 개발되고 있는 하이브리드 차량은 크게 직렬형, 병렬형, 복합형으로 분류될 수 있으며 주동력원인 엔진으로는 가솔린/디젤엔진 외에 천연가스엔진, 가스 터빈 엔진등의 장착이 시도되고 있으며 연료전지 차량 또한 메탄올 리포머를 장착한 직렬형 하이브리드 차량으로 분류될 수 있다.

직렬형은 전동기를 이용하여 구동을 하고 그 에너지원인 전기를 엔진을 이용해서 발전하여 얻는 방식으로 별도의 변속장치가 필요 없고, 동력원의 구조 및 제어 방법이 간단해지며 엔진을 항상 고성능 영역에서 운행시킬 수 있다는 이점이 있으나 주행 요구조건을 모두 만족시키는 고성능의 전동기의 개발이 힘들며, 주행 중 계속되는 에너지 변환으로 인해 차량의 효율이 저하되는 단점이 있다.

병렬형은 엔진을 주동력원으로 하여 주행 상황에 따라 고 동력이 요구 되는 시점에는 전동기의 동력을 이용하여 보조하고 엔진의 여유 동력이 발생하면 이를 이용하여 충전을 하며 주행하는 방식으로, 일반 내연기관 차량에 비해서 엔진의 고 효율 영역에서

운전할 수 있으므로 연비/배기가스 성능이 향상된다는 장점이 있으나 그 구조 및 제어가 복잡하고 유단 변속기구를 쓸 경우 주행시의 속도 요구 조건에 엔진의 운행이 구속된다는 단점이 있다.

복합형은 병렬형과 직렬형의 장점을 합한 방식으로 동력 순환/분기 구조를 이용하여 직렬방식이 유리할 시에는 직렬로 병렬방식이 유리할 시에는 병렬로 작동하는 구조이거나 전륜에 전동기를 후륜에는 엔진을 장착하여 필요에 따라 직렬/병렬 방식으로 운행하는 구조등으로써 직렬형과 병렬형의 장점을 발휘할 수 있으나, 그 제어가 어렵고 병렬형에 비해 고 성능의 전동기를 필요로 한다는 단점이 있다.

현재 세계 각국의 자동차 회사들의 하이브리드 차량 개발 현황에 대해 살펴보면 1997년 도요다 자동차에서는 1.5L-43kw의 가솔린 엔진과 30kw의 구동 전동기, 15kw의 발전기를 장착한 복합형 하이브리드 자동차 프리우스를 세계 최초로 일반 판매용 하이브리드 자동차로 발매하였으며, 혼다 자동차에서는 이에 대응하여 1.0L-41kw의 가솔린 엔진과 10kw의 구동 전동기를 장착한 병렬형 하이브리드 자동차 인사이트를 개발/판매중에 있다.

또한 닛산에서는 CVT를 장착한 병렬형 하이브리드 차량을 개발하여 티노라는 명칭으로 하이

브리드 차를 발매하고 있다.

유럽에서는 벤츠사에서 가스 터빈 엔진과 충전기, 전동기를 사용하는 직렬형 하이브리드 자동차를 개발하였으며, 미국에서는 GM에서 디젤엔진과 전동기, 배터리를 장착한 병렬형 하이브리드 자동차인 EV1을 개발하여 하이브리드 차량에 대한 기초 설계기술을 개발하고 이를 기반으로 획기적으로 연비를 향상시킬 수 있는 새로운 형태의 하이브리드 차량인 PRCEPT을 개발하였으며 최종적으로 PRCEPT의 연료전지 형태를 개발 중에 있다. 또한 다임러크라이슬러 사에서는 1996년에 개발된 ESX1을 시작으로 하여 미국 정부의 PNGV(Partnership for a New Generation of Vehicles) 계획에 의해 ESX2, ESX3를 계속 개발해 나가며 내연기관 장착 차량과의 가격차를 줄이는 연구를 해나가고 있다.

국내에서는 1996년 아시아 자동차에서 G7프로젝트의 일환으로 서울대학교와의 산학협동을 통하여 AMT (Automatic Manual Transmission)을 적용한 마을버스용 병렬형 하이브리드 동력전달계를 개발하였으며, 초박형 모터를 클러치 하우징에 내장하여 Power-Assist 개념으로 작동하는 병렬형 하이브리드 버스의 시제차를 개발하여 서울대학교에서 시험운행을 실시하기도 하였다.

또한 현대자동차에서는 CVT

를 장착한 병렬형 하이브리드 승용차와 메탄올 연료전지를 장착한 연료전지 승용차를 개발 중에 있다.

이러한 하이브리드 차량의 설계를 위해서는 기초 설계단계에서 그 연비/배기가스 성능을 평가해 볼 수 있도록 동력 전달계의 연비/배기가스 성능의 수학적 모델링의 개발과 각 동력원의

매칭 기법 및 동력 분배 전략의 개발이 필수적이며 현재 하이브리드 차량을 개발하려고 하는 제조회사 및 연구소들에 의해서 이 부분의 중점적인 연구/투자가 계속될 전망이다.

하이브리드 자동차의 설계에 있어서는 엔진과 전동기의 용량 매칭 기술, 주행시의 동력분배 및 최적 기어 비 선택 전략 등 내

연기관 자동차에 비해 매우 복잡한 기술이 요구된다.

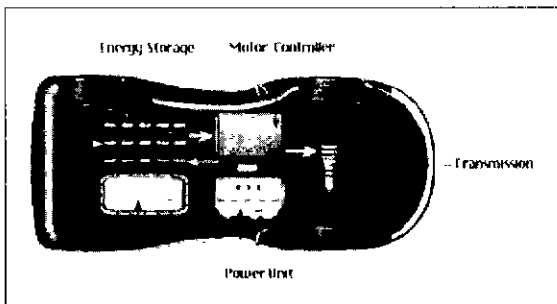
또한 자동차 선진국들의 기술 축적도에 비해 국내의 하이브리드 자동차의 연구 및 설계 기술은 아직도 초보적인 상태이다.

따라서 국내에서의 체계적인 하이브리드 차량의 설계 기술 개발이 필수적이다.

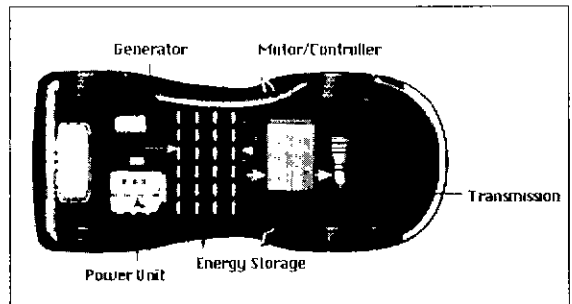
〈조성태: bangle@hitel.net〉

〈표 1〉 세계 각국의 하이브리드 자동차 개발 현황

차량 명칭	동력전달형식	엔진	전동기	변속기	비 고	제조사
PRIUS	병렬형	43kw	30kw	CVT	15kw 발전기, 유성기어 CVT장착	Toyota
INSIGHT	병렬형	41kw	10kw	MT	경량화 바디 장착	Honda
CITADEL	병렬형	253hp	70hp	MT	엔진이 후륜을, 전동기가 전륜을 구동하는 4륜 구동방식	DaimlerChrysler
ESX3	병렬형			EMAT	디젤엔진, 리튬이온배터리 장착	DaimlerChrysler
MULTIPIA	병렬형	1.6L	30kw			Fiat
PRODIGY	병렬형	55kw		AMT	전동기제어를 통해 플라이 휠을 없앴	Ford
PRECEPT	복합형/ 연료전지			Reduction Gear	전륜에 전동기 후륜에 엔진장착 또는 연료전지 장치	GM
MITSUBISHI HV TINO	직렬형	15L	Twin motor	2speed semi-auto	저속용/고속용 전동기를 장착하여 효율 향상	Mitsubishi
	병렬형	74kw	17kw	CVT	리튬이온 배터리	Nissan



〈그림 1〉 병렬형 하이브리드 차량의 구조도
(자료 출처 <http://www.ott.doe.gov/hev>)



〈그림 2〉 직렬형 하이브리드 차량의 구조도
(자료 출처 <http://www.ott.doe.gov/hev>)