

하이브리드 자동차의 개발 역사 및 최신 기술 동향

The History and Recent Trend of Hybrid Vehicle Technology.

박 영 일, 임 원 식 · 서울산업대학교 교수

Young Il Park, Won Sik Lim · Seoul National University of Technology

하이브리드 차량의 개념은 20세기 초 내연기관 차량 개발의 초기에 당시 엔진 기술의 미약으로 고출력 엔진의 제도가 불가능하였으므로 모자라는 출력을 보조하기 위한 용도로 전동기를 사용하는 것으로부터 시작되었으나 그 후 엔진 설계 기술이 급격하게 발달함에 따라 하이브리드 차량 개발에 관한 기술은 더 이상 발전하지 못하고 개발이 중지되었다. 이후 세계 대전 중에는 무한궤도를 이용하는 전차등의 전투차량의 조향 및 기동성 향상을 목적으로 순수하게 전동기만으로 주행을 하고 필요한 전력을 엔진이 구동하여 공급하는 직렬형 하이브리드 차량에 관한 연구가 활발히 진행되었으나 전동기 기술의 미비로 별다른 진척을 보지 못하였다.

그러나 1960년대 이후 석유파동 및 대기오염 문제에 대한 사회적 관심이 커지고 선진 각국에서 이에 관련된 환경법안을 채택함에 따라 자동차에 대한 연비 절감 및 배기가스 감소에 대한 요구가 커졌고 이에 대한 해결책으로 다시금 하이브리드 차량에 대한 연구가 활발해 지고 있다. 하이브리드 차량은 동력의 전달 구조에 따라 크게 직렬(Series) 방식과 병렬(Parallel) 방식, 그리고 복합형으로 구분된다. 직

렬형 하이브리드 차량은 <그림 1>의 (a)와 같이 엔진과 항상 결합되어 있는 발전기(Generator)를 통해 얻어진 전기가 배터리 시스템과 전동기에 공급되고, 차량은 전동기에서 발생하는 동력만을 이용하여 주행하는 구조로 이루어져 있다. 따라서 차량 휠과 엔진과는 기계적인 연결이 되어있지 않으며 모든 구동동력은 전동기를 통한 전기에너지를 이용한다는 특징을 가지고 있다. 반면 <그림 2>의 (b)에서 나타난 것과 같은 병렬형 하이브리드 차량은 기존의 차량과 같이 휠과 엔진뿐만 아니라 휠과 전동기도 역시 기계적으로 연결되어 있다는 특징을 갖고 있다.

직렬식 및 병렬식 하이브리드 차량에 대한 대표적인 특징과 장단점을 <표 1>에 나타내었다.

이들 두 가지 형태에 대한 시스템의 구성요소로는 전동기 및 제어장치, 엔진, 배터리 등과 함께 직렬식의 경우 발전기, 병렬식의 경우 변속장치 등을 주요 부품으로 하고 있다. 그 외의 특징으로 병렬식의 경우 전동기의 출력 및 용량이 비교적 작아도 충분한 성능을 나타낼 수 있지만, 직렬식의 경우 전동기 자체에서 정격 출력뿐만 아니라 순간 가속 시 필요한 최대 출력이 모두 요구되므로 전동기의 성능이 주행

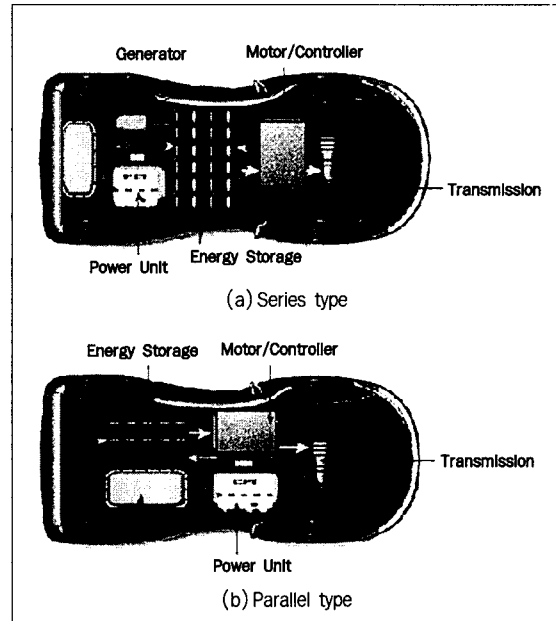
특집 동력전달시스템

〈표 1〉 Comparison of Series and Parallel Hybrid Vehicle

Series Type Hybrid Vehicle	Parallel Type Hybrid Vehicle
◆ Simple Structure	◆ High Tractive Power Available
◆ Low Emission Level	◆ High Efficiency of Overall System
◆ No Engine Idle Operation	◆ Complex Structure and Control Algorithm
◆ Possible to Operate the Optimum Point of Engine at any Driving Condition	◆ Disadvantage When Emission Control
◆ Various Structure Application (Flexibility)	
◆ High Vehicle Weight Compared with Output Power	
◆ Low Efficiency of Overall System	
◆ Low Acceleration Performance	

성능에 미치는 영향이 더욱 크다. 또한 직렬형의 경우 엔진의 정속 회전이 가능하기 때문에 배기가스 저감이 용이하고, 동력원이 되는 전동기와 엔진에 대한 제어가 독립적이기 때문에 차량의 원활한 주행을 위한 운전 제어 모드가 비교적 간단하다.

하이브리드 차량의 개념은 오래 전부터 있어왔지만 실제 양산을 목표로 개발되었던 차량의 제작과 실험이 본격적으로 시작되었던 것은 미 에너지국(DOE : Department of Energy)에 의해 1978년부터 1984년까지 주도된 하이브리드 차량 개발 프로젝트이다. 이는 제트 추진 연구소(JPL : Jet Propulsion Laboratory), JPL/General Electric 사 그리고 Aerospace사가 참여한 과제로 차량의 모든 거동과 관련된 컴퓨터 시뮬레이션을 포함하여 매우 다양한 하이브리드 차량들의 설계 기법과 성능들을 연구하였다. 이러한 연구 결과 그 당시의 기존 엔진 차량과 순수 전기 자동차에 비하여 하이브리드 차량의 기동 성능이 가장 우수하다고 발표하였으며, 엔진으로 가동되는 발전기(Generator)를 장착한 직렬형 하이브리드보다 엔진과 전동기를 동시에 동력원으로 사용하는 병렬형 하이브리드가 더욱 경량, 소형 그리고 저가의 동력전달계를 구성할 수 있으므로, 병렬형이 상대적으로 고성능 하이브리드 차량을 위하



〈그림 1〉 Hybrid Vehicles
(Reference : <http://www.oti.dcc.gov/hev>)

여 적합하다고 결론지었다.

특히 JPL/General Electric사가 이 기간(1978~1982)동안 수행한 “Near-term Hybrid Vehicle Program” 과제에서는 주어진 동력 대 차량무게 설계조건(0.04375 KW/Kg)에서 목표 가속 성능을 만족시키는 병렬형 하이브리드 차량인 HTV(Hybrid Test Vehicle)을 제작하고 그 실차실험을 수행하였다. 이는 33 Kw의 직류 전동기와 55 Kw, 4기통 가솔린 엔진을 장착하였으며, JPL에서 제작한 동력계 실험(Dynamometer Test)을 통해 도심주행인 FUDS(Federal Urban Driving Schedule)와 고속도로 주행인 FHHS(Federal Highway Test Schedule)에 대하여 HTV의 성능을 실험해 본 결과 많은 연료 절약 효과와 높은 가속 성능 등을 얻을 수 있었다. 그러나 배기가스 특성 실험에서는 1980년 당시의 배기가스 배출기준은 만족하였으나, 1990년 대의 캘리포니아 배기가스 규제인 ULEV는 만족시키지 못하였다. 또한 이 과제에서는 내연기관 차량,

전기자동차 그리고 하이브리드 차량 등의 주행 성능과 에너지 소비량을 해석할 수 있는 차량 성능 해석 프로그램인 JANUS를 개발하였다. 그리고 이를 위하여 동력전달계 각 구성 요소들에 대한 간략화된 성능 모델들을 소개하였고, 개발된 프로그램을 이용하여 1981년 발표된 ETV-1 (Electric Test Vehicle) 차량에 대해 그 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 동급의 내연기관 차량에 대해서도 동시에 시뮬레이션을 수행하여 그 성능을 비교 분석하였다.

HTV 이후 전세계적으로 많은 하이브리드 차량 개발 과제들이 수행되었는데, 특히 I. Forster, P. W. Masding, J. R. Bumby 등은 그 제어 전략들에 대하여 많은 연구 결과들을 발표한 바 있다.

이 중 Bumby는 승용차용 병렬형 하이브리드 차량에 대하여 두 동력원간의 동력 분배비를 구하기 위한 목적함수를 주행 부하, 주행 사이클 그리고 변속기의 현재 변속 단수에 대한 함수로 정의하여 이를 최적화하는 주행 알고리즘을 구하였다. 또한 이를 실제 차량에 적용하기 위하여 동력원들의 작동 영역을 구간별로 구분한 준-최적화 방법(Sub-Optimal Method)을 사용하여, 좀더 현실적인 하이브리드 모드 주행 알고리즘을 제안하였다. 또한 배터리 크기, 두 동력원들의 용량비 그리고 변속기 형식 등에 대한 영향도를 분석하여 승용차용 하이브리드 동력전달계의 설계를 위한 적절한 파라미터들을 제시하였다. 또한 승용차용 병렬형 하이브리드 차량의 변속장치로 두개의 공압 실린더를 이용한 자동화 변속기를 장착한 실험장치를 구성하고 이의 변속 알고리즘을 개발하였다. 특히 개발된 자동화 변속기는 수동 변속기의 클러치 대신에 일방향 클러치(One-way Clutch)를 장착하고, 변속시 속도-동기화 제어 알고리즘(Speed-Synchronisation Control Algorithm)을 적용하여 이의 결합을 수행하였으므로 부드러운 변속이 이루어질 수 있었다. 이러한 변속 제어 알고리즘은 모두 변속기 입력축과 연결되어 있는 전동기에

대한 속도 제어로서 이루어지며, 따라서 병렬형 하이브리드 차량만의 고유한 자동화 변속기가 설계되었다. 또한 승용차용 병렬형 하이브리드 차량 동력전달계에 대한 통합 제어를 설계하였으며, 이것에는 엔진과 전동기의 출력 토크 제어 시스템과 토크 간접 측정 방식 등이 포함되어 있다.

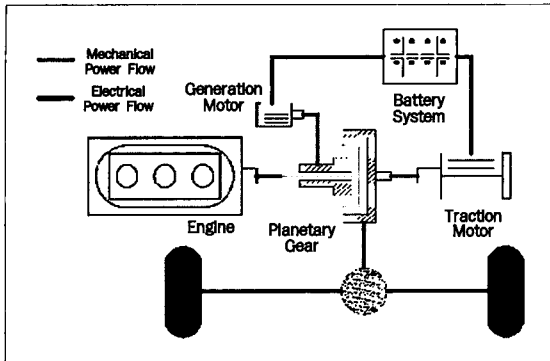
한편 C. Anderson, E. Pettit 등은 하이브리드 차량에 대하여 전체 시스템 효율을 극대화하기 위한 최적 제어 전략(Control Strategy)을 개발 시 반드시 고려해야 될 여러 요소들과 그 설계 방안을 제시하였다. 특히 이들 요소중 직렬형 하이브리드 차량에 있어서는 보조 동력 장치(APU : Auxiliary Power Unit)라고 할 수 있는 엔진의 출력이 배터리 시스템의 원활한 작동을 보장해주는 범위 내에서 연비 효율과 배기가스 특성을 최적화 하도록 엔진과 배터리 그리고 전동기 사이의 동력 흐름을 균형있게 제어하는 것이 하이브리드 제어 전략의 기본 목표이다. 그러나 이러한 하이브리드 차량의 동력전달계 요소들과 최적 제어 전략을 설계시에는 반드시 트레이드-오프(Trade-off)가 존재하게 되며, 따라서 효율적인 최적화 과정을 수행시에는 시스템의 모든 측면들을 균형있게 조화시켜야 한다. 본 연구에서는 APU와 배터리의 특성이 전체 시스템과 어떻게 연관되는가를 알아보고, 최적의 하이브리드 동력전달계와 이것에 적용되는 제어 알고리즘의 설계 과정에 대하여 제안하였다.

또한 스위스에서 개발하고 있는 하이브리드 차량은 쥐리히 연방 기술 연구소(Swiss Federal

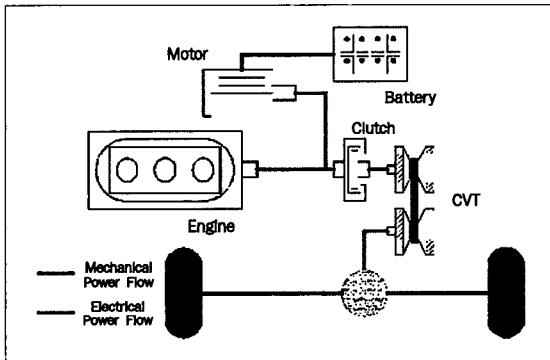
〈표 2〉 Spec. of Three Hybrid Vehicle

	Toyota	Honda	Nissan
Engine	1.5L I4(Miller cycle) Engine	1.0 L I3 DI Engine	2.5L V6 DI Engine
Motor	Traction Motor Generation Motor	10 kW Traction Motor	Traction Motor Starting Motor
Battery	NiMH	Condenser	Lithium Ion
Power Density	600W/kg	N/A	800W/kg

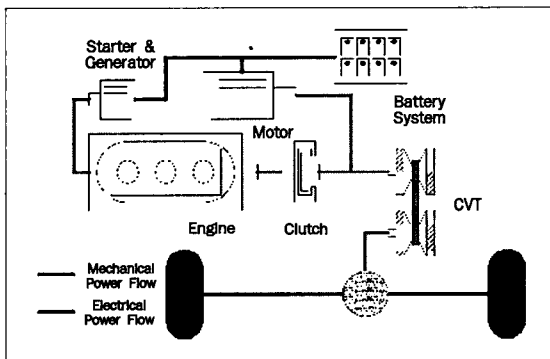
특집 동력전달시스템



〈그림 2〉 Schematic Diagram of Prius' Drivetrain



〈그림 3〉 Schematic Diagram of Insight' s Drivetrain



〈그림 4〉 Schematic Diagram of Tino' s Drivetrain

Institute of Technology Zurich)에서 주도하고 핀헨 대학과 Volkswagen AG 사가 참여한 프로젝트인 Hybrid III에서 개발된 하이브리드 차량으로서 승용차형 병렬형 구조를 가지고 있으나, 변속장치로 무단 변속기(CVT : Continuously Variable

Transmission)와 단기간 에너지 저장 장치인 플라이휠(Flywheel)을 장착한 것이 그 특징이다. 플라이휠은 고속 주행시 손실을 줄이기 위하여 클러치를 통해 완전 분리할 수도 있으며, 1:20.5 까지의 매우 넓은 속도 비 범위를 가지고 있는 무단 변속기는 매우 느린 저속에서부터 고속인 고속도로 주행까지를 모두 주행 가능 영역으로 사용할 수 있는 것이 장점이다. 그러나 아직 경제성 등이 해결되어야 할 문제이며, 첨단 기술들이 모두 포함되어 있기 때문에 그 제어가 매우 복잡하다는 단점도 동시에 가지고 있다.

최근에는 일본을 중심으로 하이브리드 승용차의 판매가 시험적으로 이루어지고 있다. 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 초 경량 차체와 1.0L-41kw의 가솔린 엔진, 10kw의 구동 전동기를 장착한 병렬형 하이브리드 자동차 인사이트를 개발/판매하였다. 또한 닛산에서는 도요다 프리우스와 마찬가지로 2개의 전동기를 장착하고 벨트 식 CVT를 장착한 병렬형 하이브리드 차량을 개발하여 티노라는 명칭으로 발매하고 있다. 유럽에서는 벤츠 사에서 가스터빈 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 다임러 크라이슬러 사에서는 1996년에 개발된 ESX1을 시작으로 하여 미국 정부의 PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles) 계획에 의해 ESX2, ESX3를 계속 개발해 나가며 내

〈표 3〉 Reviews of Completed and Current Hybrid Vehicle Project

Name	Drivetrain	Engine	Motor	TM	Etc.	Company
PRIUS	Split	43kw	30kw	CVT	15kw Generator Planetary Gear CVT	Toyota
INSIGHT	Parallel	41kw	10kw	MT	Ultra Light Body	Honda
CITADEL	Parallel	253hp	70hp	MT	Engine drives rear wheel Motor drives front wheel 4-wheel drive	Daimler Chrysler
ESX3	Parallel			EMAT	Diesel Engine Lithium Ion Battery	Daimler Chrysler
MULTIPIA	Parallel	1.6L	30kw			Fiat
PRODIGY	Parallel	55kw		AMT	Non-Flywheel Vehicle with Motor Control	Ford
PRECEPT	Combined / Fuel Cell			Reduction Gear	Motor drives front wheel Engine drives rear wheel or Fuel cell equipped	GM
MITSUBISHI HV	Series	1.5L	Twin motor	2speed semi -auto	Two motors are equipped for lower speed region and higher speed region	Mitsubishi
TINO	Parallel	CVT	17kw	CVT	Two motors are equipped Lithium Iron Battery	Nissan

연기관 장착 차량과의 가격차를 줄이는 연구를 해나가고 있다.

국내에서는 1996년 아시아 자동차에서 G7프로젝트의 일환으로 서울대학교와의 산학협동을 통하여 AMT (Automatic Manual Transmission)을 적용한 마을 버스용 병렬형 하이브리드 동력 전달계를 개발하였으며, 초박형 모터를 클러치 하우징에 내장하여 Power-Assist 개념으로 작동하는 병렬형 하이브리드 버스의 시제차를 개발하여 서울대학교에서 시험운행을 실시하기도 하였다. 또한 현대자동차에서는 CVT를 장착한 병렬형 하이브리드 승용차와 메탄

올 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.

〈박영일 교수 : yipark@duck.snut.ac.kr〉