

차량기술개발 관련 DOE-EERE Program(I)

DOE-EERE Program



최 대 / 미국샌디아 국립 연구소
Dae Choi / Sandia National Laboratories, U.S.A.

DOE Program의 개요

U.S. Department of Energy (이하 DOE)는 미국 내 에너지 관련 정책을 수립하고 예산 획득 및 집행을 포함한 전과정을 총괄하는 정부의 대표기관이라 할 수 있다. DOE 활동은 군수관련 산업으로부터 일반산업에 이르기까지 국익 차원에서 보호되어야 필요성이 있거나 이를 발전시켜야 할 분야에 소요되는 Energy Source를 대상으로 한 에너지 유효이용 기술 확보에 집중되고 있고, 인체에 미치는 영향의 최소화를 포함한 환경보호 나아가 안전확보에까지 이르고 있다.

DOE에 의해 수행되고 있는 프로젝트들은 수많은 관련 소프트웨어 및 하드웨어의 유기적 연계를 통한 시스템 구축이 주요 목표이고, 궁극적으로 Infrastructure 구성을 통한 실제 산업현장에서의 적용에 초

점이 맞추어져 있다.

DOE에 의해 수행되고 있는 대단위 프로그램들은 <표 1>에 보인 바와 같이 기본적으로 10개의 Program Office에 의해 수행되며, 다시 중소규모의 Program들로 나뉘어, 서로 유사한 프로그램 혹은 프로젝트가 서로 유기적으로 연계되어 있는 한편, 각 프로그램들의 전략적 특성을 살리는 방식으로 수행되고 있다.

일반적으로 DOE에 의해 수행되는 많은 프로그램과 이와 관련된 프로젝트들은 사용하는 Energy Source가 무엇인가에 의해 구분되는데, 대상이 되는 Energy Source는 차량 이용 목적에 한정하는 경우, 기존의 화석연료를 시작으로 Bioenergy, 전기에너지, 수소, 천연가스, 기타 대체연료로 나뉘어진다.

DOE 10개의 Program Office 가운데 Energy Efficiency and Renewable Energy (이하 EERE) Office는 차량 관련 에너지 기술뿐만 아니라 Biomass, 지열, 태양열, 수력 및 풍력까지를 총괄하는 대표기관이기도 하다. 이번 호에서는 EERE가 주관하는 프로그램 중 수송용 차량 관련 기술을 Improved Petroleum-Based Fuel을 기준으로 대별하여 소개하기로 한다.

<표 1> DOE Major Program Offices and EERE Program

Major Program Offices DOE	EERE Major Program
Civilian Radioactive Waste Management	Biomass program
Electric Transmission and Distribution	Building Technologies Program
Energy efficiency and Renewable Energy	Distributed Energy Program
Environment, Safety, and Health	Federal Energy Management Program
Environmental Management	FreedomCAR & Vehicle Technologies Program
Fossil Energy	Geothermal Technologies Program
Legacy Management	Hydrogen, Fuel Cell & Infrastructure Technology Program
Nuclear Energy, Science, and Technology	Industrial Technologies Program
Science	Solar Energy Technologies Program
Work and community Transition	Weatherization & Intergovernmental Program
	Wind & Hydropower Technologies Program

EERE-OFCVT의 프로그램 동향

OFCVT는 Office of FreedomCAR & Vehicle Technologies Program의 약칭으로서 EERE가 수행하고 있는 프로그램 가운데 차량 기술과 가장 밀접한 내용을 다루는 기관이라 할 수 있다.

기본적으로 대체 에너지 차량을 포함한 차세대 관련 차량 기술 프로그램을 수행하고 있으며, 미국내 자동차 산업계가 독자적으로 수행하고 있는 개발 프로그램들과는 달리 참여대상의 범위가 산·학·연에 걸쳐 매우 광범위하다는 것이 큰 특징이다. 2003년 6월에 소개한 바와 같이 FreedomCAR의 기본 개념은 다음과 같다.

Freedom From

- Petroleum Fuel Dependence,
- Pollutant Emissions
- To Choose the Vehicle You Want
- To Drive Where You Want, When You Want
- To Obtain Fuel Conveniently

이들 가운데 처음 두 개념은 미국내에서 차세대 차량 개발에 요구되어지는 기본 항목이라 인식되어지고 있으며, 그 자리를 Hydrogen Fuel Cell Vehicle이 차지하고 있었던 것이 일반적이었다.

이러한 가운데 최근에 이르러 여러 프로그램 수행 과정 중, 주목할 만한 변화의 분위기가 일고 있어 흥미롭다. 즉, 탄화수소계 연료가 연료전지가 경제성을 갖기까지의 「Interim Source」로서 새롭게 인식되기 시작했으며, 이는 현재의 기술수준과 대체 연료 이용 차량 연구개발 프로그램의 로드 맵에 현실 인식이 반영된 까닭이라 하겠다. 또 다른 하나는 미국 정부차원에서 1998년 교토 의정서 협의 내용에 거부한 이래, 활발히 논의되지 않고 있었던 이산화탄소 저감 기술 확보에 대한 논의가 DOE 주관 Technical Meeting

에서 연구개발자 들을 중심으로 재개되고 있다는 점이다.

1990년대 후반부터 현재에 이르기까지 수년간의 Advanced Vehicle 기술과 관련된 사회적 관심이 연료전지로 급속히 전이되는 과정에서 불가피하게 Petroleum-Based Fuel과 Alternative Fuel 관련 연구개발 활동이 상대적으로 위축되었던 점을 고려하면, 상기 두 변화의 조짐은 디젤차량을 포함한 여타 다른 차량 동력 시스템의 보완, 발전에 새로운 활력소로 작용하게 될 것이고 특히, 미국내의 디젤 차량 개발에 한층 힘을 실어주는 결과를 가져오리라 사료된다.

Improved Petroleum-Based Fuel

EERE의 Transportation 부문 가운데 시도되고 있는 주요 아이টে을 Improved Petroleum-Based Fuel의 종류로 구분하여 <표 2>에 나타내었다.

Reformulated Gasoline Fuel의 경우, 산소 성분이 함유된 가솔린 연료로부터 발생하는 스모그, 즉 Volatile Organic Compounds (VOCs)를 줄이려 한 것이 주된 목적이다. 일반에 잘 알려진 MTBE의 경우, 수질오염 원인이기도 하거니와 동물 실험을 통하여 암 유발 인자로 보고된 바 있고, 약 2 ppb 수준의 농도에서도 두통, 눈 및 피부염증의 원인이 되는 등,

<표 2> EERE Transportation Tech. and Approaches
Improved Petroleum-Based Fuel

Reformulated Gasoline
Ethanol
ETBE(Ethyl Tertiary Butyl Ether),
MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether)
Low-Sulfur Gasoline
Advanced Petroleum-Based Diesel Fuels
DME(Dimethyl Ether),
DMEM(Dimethoxy Methane),
DOMDME(Dioxy Methylene Dimethyl Ether)
Low-Sulfur Reformulated Diesel
Fischer-Tropsch Diesel

E-10 (Ethanol-Blended Gasoline Fuel, 10% Ethanol)이 그 대안의 하나라 알려져 있다. 전반적으로 Regular 가솔린과 비교하여 PM의 입자 사이즈가 작아지는 점을 제외하고는 PM, HC, CO, VOCs를 포함한 Emission 배출특성이 개선된다는 장점을 가지고 있다. 그러나 윤활 특성이 악화되는 이유로 몇몇 모델의 경우에만 사용 가능할 뿐 모든 동력 시스템에 범용될 수 없다는 점이 단점으로 이에 대한 개선이 요구되고 있다.

한편, 차량으로부터 배출되는 Sulfur Oxide Emission 저감을 목적으로 유황 함유율을 줄이는 것 또한 가솔린 개질 연료 사용의 또 다른 목적이기도 하다. 제조과정 중에 고온고압을 유지하는 방법으로 Low-Sulfur Gasoline의 제조가 가능하나, 현재는 Bio-Catalyst를 이용하여 제조하는 방법 즉, Bio-desulfurization 법이 개발되고 있으며, 이는 상온에서 Low-Sulfur Gasoline 제조가 가능한 점이 특징이다.

가솔린과 마찬가지로 디젤연료와 관련된 Reformulated 기술은 산소함유연료를 이용한 분야에 집중되고 있다. 배기 효과만을 고려하면, 이로부터 얻어지는 연소성상이 가솔린의 경우에 비해 상대적으로 대폭 개선된다고 이미 알려져 있다. 그러나 연료의 점성감소가 윤활 및 연료공급 장치의 내구성능에 치명적일 수 있다는 보고가 계속되고 있으며 이에 대한 재질 개선이 요구되어 왔고, 이와 관련하여 EERE-OFCVT Sub-Program의 재료분야와의 유기적 연계가 기대된다.

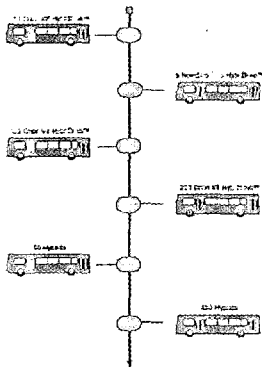
종래의 디젤연료를 사용하는 디젤 차량의 경우, Sooting Combustion을 피할 수 없으며 여타 배기 성분과는 달리 PM의 형성과정이 매우 복잡한 물리·화학적 과정을 거치는 관계로 Low-Sooting 기술은 두 가지 측면으로부터 그 개선이 시도되고 있다. 하나는

PM의 Precursor로 알려진 PAH 형성을 연소과정 중에 억제하는 방법이고, 또 하나는 저온산화반응 과정 중에 가연혼합기의 예혼합율을 높여 궁극적으로 착화 후의 PM 형성에 영향을 미치는 물리적 Process에 개선을 도모하는 방법이다. 상기 설명한 Reformulated Diesel Fuel과 관련된 기술은 첫번째 연소 Reaction Mechanism의 변화를 통하는 개선 방법이며, 경제성 여부에 따라서는 상용화에 가장 근접한 기술중의 하나라 할 수 있다.

GTL (Gas-to-Liquid) Diesel은 천연가스를 Catalytic Process를 통해 액산화하여 얻을 수 있는 연료로서, 기존의 천연가스에서 문제점으로 지적되었던 과도한 운송비용이 해결이 예상된다. DaimlerChrysler에 의하면 기타 Advanced 연소법을 적용한 경우와 비교하여 30% 가량 개선된 클린한 배기가 얻어짐과 동시에 크게 뒤지지 않는 동력성능을 기대할 수 있다는 점에서 매우 흥미롭다. 특히, 현재까지 알려진 대체연료로는 좀처럼 얻을 수 없는 High Load 조건에까지 운전조건의 확대가 가능하다는 점으로부터 흥미롭다. 아울러 ExxonMobil, Chevron Texaco를 비롯한 메이저 Oil Company들이 적극적으로 이 프로그램에 참여하고 있다는 점도 이 프로그램의 미래가 어둡지 않음을 예측할 수 있는 단서라고 사료된다.

Improved Petroleum-Based Fuel 이용 차량은 통상의 가솔린/디젤기관을 채용한 경우와 거의 유사하여, Compression Ignition Direct Injection (CIDI) Engine, Spark Ignition Direct Injection (SIDI) Engine, Turbocharged Direct Injection (TDI) Diesel Engine이 Major Powertrain System을 구성하는 주요 동력기관으로 구분되어 프로그램이 진행되고 있다. EERE의 여러 프로그램 중에 상기 형식의 엔진이 차량에 적용되는 경우를 상정하여 내연기관과

Buses	10 Orion VI
- Model Year	1998, 1999
- Length / Width / Height	- 40ft / 102in / 125h
- GVWR / Curb Weight	- 41,640 / 31, 840lb
- Seats / Standees	- 31 / 32
- Service	- Manhattan
Engine	DDCS 30 Diesel
- Rating	- 230 bhp@2300 rpm - 605 ft-lb@1500 rpm
- Calibration	- MY 2000
Diesel Fuel Storage	100 gallons
Hybrid Propulsion	BAE SYSTEMS HybriDrive™ Series
- Traction Generator	- 170KW@2000 rpm
- Traction Motor	- 187KW 346 Vrms@500 Hz
- Traction Batteries	Sealed lead acid 2 Roof mounted battery tubs 23(12V) batteries in each tub 580V Total
- Regenerative Braking	Yes
Emissions Equipment	Nett Technologies Catalyzed Particulate Filters



(그림 1) Heavy-Duty Diesel Hybrid Electric Bus - Fleet Being Evaluated by DOE/ NREL since 1998

Electric Motor를 조합한 형태의 Hybrid Electric Vehicles 개발 프로그램이 진행되고 있다. <그림 1>에

DOE/NREL에 의해 시험되고 있는 Diesel Hybrid Vehicle의 주요 사양과 계획을 도시하였다.

현 시점에서 하이브리드 차량과 관련하여 가솔린 하이브리드와 디젤 하이브리드 어느 쪽이 차세대 차량으로 유리한 지를 판단하고자 할 때, 그 의견이 둘로 나뉠 수 있다. 미국내 Major OEM의 경우, 일본이 개발하여 시판하고 있는 같은 형식으로 가솔린 배이스를 선호하여 그 적용도 일반 Passenger Car에 적용하려 하는 반면, 연구기관 혹은 DOE의 정책은 디젤 하이브리드차량 선상에 놓여 있다. 가솔린의 경우에는 에너지의 유효이용이라고 하는 관점에서 단점을 가진 반면에 현재 디젤 차량과 비교하여 클린한 배기를 보장한다는 장점이 있다. 디젤 하이브리드의 경우, 에너지 유효이용 측면에서 가솔린의 경우와 비교하여 적어도 10% 이상 효율적이라고 하는 장점을 가진 반면에 청정치 못한 배기 때문에 비교우위를 점하고 있다고 단언할 수 없는 형편이었다.

이 두 가지를 평가하는데 있어 연구개발 관련 기술 발전의 흐름을 고려하는 경우, 비교적 간단히 답을 얻을 수도 있다. 기본적으로 가솔린 엔진의 효율을 논하는 경우, 직분식 가솔린 엔진이 통상의 디젤연료에 버금가는 효율을 보장한다고 했을 경우에 한해서만 디젤 하이브리드와 비교하여 상대우위를 점한다고 할 수 있겠으나, 현 시점에서 가솔린 직분식 엔진이 안고 있는 저효율, Sooting 연소조건으로 인하여 점차 가솔린 직분식 엔진의 미래가 불투명해지는 점을 고려하면, 디젤 하이브리드 경우가 청정한 배기가스가 연소기술 및 배기 후처리 기술의 조합에 의해 실현 가능성이 높아짐에 따라 비교우위를 다질 수 있는 가능성이 열릴 것이라고 예상되며, 이러한 현실이 향후 DOE의 정책에 직접적으로 영향을 미치리라 예상된다.

(최대 편집위원 : dchoi@ca.sandia.gov)