

산 · 학 · 연 공동 프로젝트 「FreedomCAR」

Freedom Cooperative Automotive Research



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

미국내에서 National Benefits와 관련하여 언급되고 있는 각종 Program 가운데 에너지 유효이용을 목적으로 하는 Energy 관련 Program이 주목을 받고 있다. 차세대 첨단 자동차 기술개발을 통한 에너지 유효이용 또한 프로그램 목표 달성을 위한 주요 수단이 되고 있다. 따라서 이를 참고하는 것은 미국 자동차 기술개발의 미래를 가능하게 하는데 도움이 될 것이라 판단된다. 다만, 일본·독일 등을 포함한 자동차 기술 선진국들과는 달리, 미연방을 구성하고 있는 각 주마다 나름대로의 독특한 장·단기 프로그램을 갖고 시행하고 있기 때문에 미국을 대표하면서도 포괄적인 기술개발 동향을 파악하는 것은 그다지 쉬운 일이 아니다. 따라서 가능하다면 미국내 산·학·연을 모두 연계하는 R&D 프로그램을 참조하는 것이 유익하다 하겠다. 대표적인 예로서 미연방정부의 Department of Energy에 의해 시행되고 있는 「FreedomCAR」 Program을 들 수 있는데, 이는 상기 조건을 만족하는 첨단 자동차 기술개발을 위한 장기 프로젝트라 할 수 있다.

FreedomCAR Program의 유래

FreedomCAR는 차세대 연료전지 차량 개발 등을 주요 목표로 하고 있는 Freedom Cooperative

Automotive Research의 약어로서, 이 프로그램의 전신은 1993년 9월, 「Triple Automobile Fuel Efficiency」라고 하는 슬로건을 내걸고 발족시킨 PNGV^(주1) 프로그램이다. 이는 최초, 1993년부터 2004년까지 연구개발 과정에서 얻어진 Prototype 기술의 양산화를 목표로 한 장기 연구개발 프로그램이었으나, 최초 수립했던 목표 수준을 넘어선 첨단 기술 개발의 필요성이 1990년 후반 이후 절실히 요구되었던 바, National Research Council에 의해 시행된 Peer Review 결과에 따라 2001년에 FreedomCAR라고 하는 새로운 프로그램으로 거듭나게 되었다.

FreedomCAR Concept 및 특징

FreedomCAR에서 강조되고 있는 차세대 첨단 자동차 기술에 대한 기본 Concept 으로 다음 다섯 가지를 들 수 있다.

- Freedom from Petroleum Dependence
- Freedom from Pollutant Emissions
- Freedom from to Choose the Vehicle you Want
- Freedom to Drive Where you Want, When you Want
- Freedom to Obtain fuel Affordably and Conveniently

FreedomCAR 프로그램은 DOE와 USCAR^(*)에 의해 시행되고 있으며 PNGV 프로그램과 비교하여 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- High-risk & High-payoff Research 지원 강화
- 산·학·연 공동 연구 활성화
- Fundamental R&D 투자 확대
- Zero Emission Vehicle 육성 및 양산기술 확보
 - Fuel Cell and Hydrogen Vehicle
- 연소기술개선을 통한 Emission의 획기적 개선

이 프로그램은 각급 연구기관의 시너지 배가를 위해 공동 연구그룹 편성에 의한 프로젝트 진행을 충분히 배려하고 있으며, 이를 배경으로 대학, 기업연구소, 국립연구소의 공동연구가 점차 확대되고 있는 추세이다. 아울러 실용화를 목표로 하는 경우, 개발 초기 단계에 있는 첨단기술과 아울러 순수 기초분야의 기술연구가 갖는 위험부담 그리고 불투명한 장래성으로 인하여 발생하는 연구비 확보의 곤란한 단점을 보완하고자 이들에 대한 상당한 연구비를 할당하고 있어 주목할 만 하다.

FreedomCAR 연구기술개발

상기 언급한 FreedomCAR 프로그램의 다섯 가지 컨셉은 기본적으로 연료선택의 자유도 확대, Zero Pollutant Emissions, 경제성 추구, 수요자 선택의 폭 확대에 요약할 수 있다. 이 가운데 경제성과 수요자 선택의 폭 확대는 향후 양산 가능여부와 매우 밀접한, DOE 자동차 기술관련 일반적 Policy라 할 수 있으며, 이는 High-risk & High-payoff Research 지원 및 기초연구 지원 강화 정책과 상반된 듯 보이나,

〈표 1〉 FreedomCAR 관련 주요 연구 프로그램

- Batteries for Electric Vehicles
- Emissions and Combustion
 - SIDE(Spark Ignition Direct Injection) Engine
 - CIDI(Compression Ignition direct Injection) Engine
 - HCCI(Homogeneous Charge compression Ignition) Engine
- Fuels
- Fuel Cell Technologies
 - Propulsion Materials
 - Lightweight Materials
- Materials
- Power Electronics
- Vehicle System

실용화 단계가 비교적 낮은 기초/첨단기술에 대해 집중 투자가 이루어지고 있는 점으로 미루어보아, 기술개발 분야의 원원전략이라 이해하면 되겠다. 최근, 수소 연료전지 및 수소 구동 자동차 기술 확보를 위해 향후 5년간 \$ 1.7 billion에 해당하는 연구 개발비를 확보한 후, DOE -FreedomCAR 프로그램을 통해 지원하기로 결정한 것은 원천기술의 전략적 사용 및 그 실용화에 대규모 투자를 행한 대표적 사례가 될 전망이다.

〈표 1〉에 FreedomCAR와 관련된 DOE 주요 연구 프로젝트의 일람을 표시하였고 〈표 2〉에 구체적 목표들의 상세를 기술하였다.

이들 표에서 기술한 내용이 그대로 현실화된다면 2010년 이후의 미국 자동차 산업은 기존의 탄화수소계 연료, 대체연료 혹은 수소를 연료로 이용하는 차량과 연료전지 차량을 위한 구조로 재편되리라 판단된다. 다음은 〈표 1〉에서 보인 FreedomCAR 프로그

^{*)} PNGV : Partnership for a New Generation of Vehicle.

^{**)} USCAR : U.S. Council of Automotive Research, Ford, General Motors, DaimlerChrysler로 구성된 연구 위원회

〈표 2〉 FreedomCAR 프로그램 관련 Technical Specific 2010 Goals

<ul style="list-style-type: none"> · Fuel Cell Powertrain <ul style="list-style-type: none"> - Electric Propulsion System 15년 내구성능유지 (최저출력 55kW/18sec, 연속 30kW 이상 확보) System Cost : \$12/kW · Fuel Cell Power System <ul style="list-style-type: none"> - 효율 : 60% Power Density : 325W/kg, 220W/liter(수소구동연료전지) Cost Target : \$45/kW (2010년), \$30kW(2015년) · Hydrocarbon Powered Internal Combustion Engine <ul style="list-style-type: none"> - ICE Combustion System 제동효율 45%, Cost : \$30kW, Emission Standard 만족 - Fuel Cell System 제동효율 45%, Emission Standard 만족, Cost Target : Fuel Cell Power System과 동일 · Hydrocarbon Electric Vehicle <ul style="list-style-type: none"> - Electric Drivetrain Energy Storage 수명 및 출력성능 15년(Cost : \$20kW, Discharge Power : 300 Wh - 25 kW/18sec 기준 - 동시만족) · Hydrogen Fuel Economy <ul style="list-style-type: none"> - 2001년 현재 가솔린 기준치와 동일한 Energy Cost 확보 - 출력 및 내구 성능 : Internal Combustion Engine와 동일 수준 확보 · Manufacturing Base Goal <ul style="list-style-type: none"> - 차량 구조 및 Subsystem 개선에 의한 중량 50% 감소 - Recyclable/Renewable 재료 개발

램과 관련된 DOE의 연구 프로젝트별 개요로서 아래와 같다.

Batteries for Electric Vehicles

기본적으로 전기자동차에 응용할 배터리의 상용화를 위한 프로젝트로서 GM, Ford, DaimlerChrysler 그리고 Electric Power Research Inst.로 구성되는 U.S. Advanced Battery Consortium (USABC)와 DOE에 의해 주도되고 있다. 현재 리튬-이온, 리튬-폴리머 기술확보에 주안점을 두고 있으며, 현재 상용화에 가장 문제시되고 있는 전기자동차에서의 Power Density 개선 및 경제성 확보가 장기적 과제로서 취급되어지고 있다.

Emissions and Combustion

통상의 내연기관의 컨셉을 유지하면서 연소기구 개선을 통해 Emission 제어를 달성하고자 하는 프로그램으로서 크게 6개 Division으로 나뉘어 있다. 질소산화물과 입자상 물질 저감이 주요 이슈이며, 연소 개선 및 후처리 장치 개발 두 개의 분야로 나눌 수 있다. 전보에서도 설명한 바와 같이 연소개선 분야는 저온모드형 연소기구에 대해 기초 연구와 더불어 최적화가 시도되고 있고 이와 아울러 배기가스 후처리 장치와의 최적화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재까지 양산차종에 적용된 바는 없으나, 메이저 업체를 중심으로 양산 상용화가 추진되고 있으며, 향후 수년 후 시장에 선보이게 될 것이라 기대된다.

Fuel

최근 환경친화 내연기관 연료, 특정 연소기술 응용을 위한 최적 연료라는 용어가 일반화되어 가고 있다. 예를들어 왕복동 내연기관 및 전기 모터와의 조합시 부하 변동에 가장 이상적으로 대응하는 연료를 연구 대상으로 하는 응용 사례보고도 있는 가운데, DOE에서 실시하고 있는 연료 프로그램은 주로 Light-Duty Fuel을 연구대상으로 하고 있다. 이 가운데 연료전지에 가장 적합한 연료를 찾기 위해 RFG, Diesel C2, 메탄올 E100, CH2를 대상으로 실시한 연구결과가 흥미롭다. 또한 입자상 물질 저감을 위한 대체연료 연구도 비교적 활발히 진행되고 있다고 DOE 소식지가 밝히고 있다.

Fuel Cell Technology

이 부문에서 다루어지고 있는 것으로 고효율 저비용 Fuel Cell Power System의 개발, Fuel Processing Subsystem의 개발, Fuel Cell Stack의 개발, Polymer Electrolyte Membrane(PEM) Base Fuel

Cell 개발 등을 들 수 있다. 이들 프로젝트는 대략 Power Density 개선을 위한 열전도성이 우수한 재료 개발과 소형 Fuel Cell 개발을 위한 Heat Transfer Rate의 증대, 경제성 확보 여부가 주요 이슈로 취급되고 있으며 FreedomCAR 프로그램의 핵심 과제이다.

Lightweight Automobile Materials

자동차 산업에서 Powertrain의 효율 개선과 아울러 차량의 중량 감소는 연비 개선의 중요 수단이며, 가볍고 강한 재질의 선택 가능 여부는 중량감소에 의한 연비개선 뿐만 아니라 새로운 연소기술의 적용 자유도에까지 지대한 영향을 미친다. 배기가스가 혁신적으로 개선되어 진다고 보고되고 있는 최근의 신 연소방식은 대개 저부하 영역에서 그 효율성이 극대화되나 고부하 영역에서 아직까지 그 응용에 회의적인 점을 고려하면 차량 무게 감소는 신 연소 개념의 Feasibility 개선에 큰 역할을 하리라 판단된다. 자동

차용 부품 재료로서 알루미늄 사용의 확대가 시도되어지고 있고, 주조 마그네슘, Polymer, Carbon Fiber Composite 등을 포함한 신재료 개발, 재료 Processing을 위한 기술로서 분말소결기술 개선 또한 이 프로젝트의 주요 관심사이다. 이와 더불어 환경친화적 Recyclable/ Renewable 재료 개발 또한 시도되어지고 있다.

HEV Technology

Hybrid Electric Vehicle은 통상의 왕복동 내연기관 차량에서 완전 무공해 전기자동차 혹은 수소이용 내연기관으로의 전환 단계에 있어 중간자적 역할을 할 것이라고 보는 견해가 지배적이다. 가장 큰 장점으로 현 수준으로도 저·고부하 영역을 넘나드는 운전 영역의 전환이 비교적 용이하다는 점이다. 이러한 점에서 고부하 기관의 배기성능 여부에 따라서는 완전 무공해 차량 이전에 택할 수 있는 가장 매력적인 대안 중의 하나라고 할 수 있다. DOE가 택한 프로젝트 중 가장 실용화에 근접해 있는 과제라 할 수 있으며 기술린, 디젤기관과 모터 Hybrid가 기 검토 완료되어 있으며, Non-petroleum Fuel Base 기관과 Motor와의 조합이 제안되는 등 배기가스 규제 만족을 위한 HEV 최적화가 수행되고 있다.

이상 미국에서 향후 십 수년을 계획하여 산·학·연이 공동으로 참여하는 프로그램의 전형적인 예로서 FreedomCAR와 그 관련 연구의 개요에 대해 개관하였다. 이는 업계의 요청과 정부의 기획에 의해 이루어진 합작품이라 할 수 있으며 프로그램에 관련하고 있는 산·학·연 어느 한 쪽에 편중되지 않은 방침 운용이 시너지 배가에 핵심이라 사료된다. 이와 같은 각종 연구 프로그램이 지금으로부터 수년 간에 걸쳐 미국 내 자동차 메이저 업계의 기술동향에 어떤 식으로 영향을 미치게 될 지 큰 관심이 아닐 수 없다.

(최 대 편집위원 : dchoi@ca.sandia.gov)



Ford Focus Direct Hydrogen Fuel Cell Vehicle



DaimlerChrysler's NECAR 5 & Jeep Commander 2 Methanol-Fueled Fuel Cell Vehicle

(그림 1) 미국의 연료전지 탑재 차량