

미래의 엔진기술

- UEF Conference를 다녀와서 -

전 광 민 교수 · 연세대학교 기계공학과

지난 10월 24일부터 28일까지 이탈리아의 오르비에토에서 United Engineering Foundation 이 주최한 'Present and Future Engines for Automobiles VI' 에 다녀왔다.

엔진기술의 전반을 총괄적으로 살펴보고 토론의 자리를 갖는 이 학술회의는 격년으로 열리는데 유럽, 미국, 일본이 주도하고 있다. 여섯 번째인 이번 회의에 이르러서야 한국 측이 처음으로 초청 받았으나 자동차업계, 연구소에서는 참석 못하고 세 명의 대학교수가 참석하여 미래의 자동차 관련하여 여러 가지 좋은 정보와 의미 있는 토론을 가질 수 있었다.

이번 학술회의는 아래의 여덟 개의 세션으로 이루어져 진행되었고 각각의 세션에서 각국의 자동차회사들의 엔진개발 현황과 방향, 전망 등이 발표되었고 연구기관, 대학에서 진행하고 있는 관련 연구의 발표 등이 아울러 이루어졌으며 깊이 있고 격의 없는 토론이 밀도 있게 이루어졌다.

1. 국가연구프로그램 (Requirements and National Research Programs)
2. 엔진부품시스템 (Engine Subsystems)
3. 직접분사식 디젤엔진 (Direct Injection Diesel Engines)
4. 연료 및 후처리 기술 (Fuels and After

Treatment)

5. 가스엔진 (Gas Engines)
6. 직접분사식 가솔린엔진 (Direct Injection Gasoline Engine)
7. 하이브리드 및 전기 자동차 (Hybrid and Electric Vehicles)
8. 연구개발 (Research and Development)

국가연구프로그램

(Requirements and National Research Programs)

먼저 국가별 연구프로그램에 대해서는 유럽, 미국, 일본을 중심으로하여 발표가 이루어졌는데 치밀한 연구체계 아래 효율을 극대화하면서 국가주도의 엔진개발 연구가 이루어지는 것이 인상적이었다. 유럽연합의 경우 수송체계의 효율, 에너지 수급, 환경 3요소간의 균형을 고려한 총체적 계획을 입안하는 과정이 11년내 개별국가의 연구 계획과 연동하여 기획되고 지원된다는 사실이 우리로서는 부러울 따름이었다.

유럽연합 자체에서만 연간 10억 유로의 예산을 지속적으로 지원한다. 유럽의 경우 비용효과를 증시하면서도 엔진효율, 배기 개선, 성능개선, 시스템 경쟁성 확보의 목표아래 기존엔진에 대해서는 연료 제어, 연료공급 및 미립화, 촉매변환기, 운

전제어 최적화 등의 기술을 적용할과 아울러 하이브리드, GDI, Fuel cell 등의 미래형 엔진의 타당성 연구 및 지속적 개발을 진행하고 있으며 택시, 버스 등의 공용수송체계에 대체연료 시스템을 적용하는 전략이 본받을 만 하다고 느껴졌다.

내연기관이 앞으로도 상당 기간 여전히 가장 중요한 동력원으로 남을 것이라는 기본 인식은 모든 나라의 연구개발 계획의 근간을 이루고 있었다. 미국의 PNGV 프로그램의 경우 생산기술의 고도화와 신개념 차량의 실현을 목표로 하며 구체적으로 중형차에서의 80mpg를 이루고자 한다.

군용엔진에 있어서까지 연료경제성이 증시될 정도로 연비개선이 미국 내에서 이슈화되고 있다는 사실이 주목할 만 하였고, 미국경제에서 수송부분의 중요성을 재인식하여 산, 학, 연, 각 단위연구역량의 역할을 유기적으로 연결하여 효율적인 국가연구체계를 구축하고 있으며 내연기관의 배기개선 가능성이 무한하다는 관점에서 국가사업을 추진하고 있다.

일본의 경우 많은 국가주도 연구프로그램 중에 PEC가 담당한 JCAP(Japan Clean Air Program)이 소개되었는데 배기정정화를 목표로 배기개선에 주력하여 연간 1100만 US\$를 투입하고 있다. 일본의 경우도 차량 및 연료/연소계통 연구개발을 수행하여 미래를 예측하여 비용효과를 평가하고 정책결정을 위한 정보 제공 및 2010년 배기 상황을 예측하는 역할을 수행하고 있다. 일본정부는 현용 가솔린, 디젤엔진의 개선을 통한 저공해차량 기술과 하이브리드 시스템 및 청정연료 연소 기술에 주목하고 있다.

지금까지 특히 유럽과 일본이 주도가 되어 년평균 1% 정도의 성능개선을 통해 내연기관이 지금의 고효율, 고성능, 저배기 수준을 갖게 되었듯이 앞으로도 획기적인 기술개발을 바탕으로 적어도 2020년까지는 내연기관의 장래가 밝다는 전망이 순개되었으며, 화석연료의 채취가 짧게는 앞으로 45년 길게는 120년까지 가능할 것으로 보는 분

석이 이를 뒷받침하였다. 그 예 중의 하나로 VVT 또는 BMV 기술을 채택, 실용화함으로써 기화기 대신 전자식 연료분사기를 쓰게 되면 알콜의 기술적 도약이 이루어질 것이라는 예측도 대두되었다.

엔진부품시스템 (Engine Subsystems)

엔진 subsystem에 대한 논의에서는 MPI/HPDI SI engine, CNG/LPG, DI Diesel, Hybrid, BEV, Fuel cell 등 미래형 엔진이 거론되었는데, 그 중의 핵심직으로 전망있는 부분으로 대부분의 전문가들이 고압의 Common Rail System을 이용한 DI Diesel 기술과 Automatic transmission의 management system을 들었다.

직접분사식 디젤엔진

(Direct Injection Diesel Engines, Diesel Direct Injection)

승용차용 DI Diesel 엔진의 개발이 거의 모든 회사에서 적극적으로 개발되는 현상이 보고되었는데, Nissan, Fiat, Daimler-Benz, AVL, Isuzu 등의 실제 연구개발 결과를 통해 볼 때 이미 여러 가지 저연비, 저공해 기술들이 적용되고 있음을 확인 할 수 있었다.

기술할 엔진의 미래 개념으로서의 GDI 엔진과 DI 디젤 (DDI) 엔진 중에 DDI가 효율이 높을 것이라는 점에서 그 성장 잠재력이 무척 높게 평가되었다. Nissan의 MK연소 개념이 소개되었는데 EGR를 및 스웰강도를 높이고 분사정기를 지연하면서 고압, Common rail, variable nozzle turbo-charged intercooled 방식을 택하고 pilot injection으로 PM과 HC배출을 저감하여 1.2리터 엔진으로 저연비, 저공해를 이루는데 성공하였다.

Fiat의 CR-DDI(Common-Rail Diesel Direct Injection)엔진도 pilot/post injection을 포함한 multiple injection의 고압 CR 분사 방식으로 저속에서의 토크 증진을 실현하고

cooled EGR과 4밸브헤드에서의 스웰조절 기능으로 고성능 저연비를 실현하였다.

DDI/HSDI 엔진의 연비 장점을 살리면서, 연소제어를 위하여 분사율을 최적으로 조절하여 (optimized injection rate shaping) 효율 제고 및 배기물(특히 soot와 NOx) 저감을 이루는 기술은 Isuzu, AVL, Daimler-Benz 등이 공히 시도하고 있는 내용이다.

이 방식의 기술은 HCCI(Homogeneous Charge Compression Ignition)엔진 개념으로 확장되어 좀더 진보된 저연비 저공해엔진을 개발하기 위한 노력으로 이어지고 있다. 이를 뒷받침하기 위해 4원 촉매 및 대체연료에서의 HCCI 등이 보완될 것으로 전망되었다.

DDI엔진의 개발에는 유럽을 중심으로 대학교의 분무/연소 연구의 역량이 설계를 위한 기초 D/B 지원 역할을 하는 것이 많이 소개되었으며 이러한 효율적 연구체계 역시 우리가 주목할 내용이였다.

연료 및 후처리 기술 (Fuels and After Treatment)

연료 및 후처리기술에 대해서는 연료의 생산 및 공정 기술이 후처리에 요구되는 연료의 기준에 대한 논의와 함께 이루어졌는데 역시 황함량 기준에 대한 자동차사/ 연료회사 간의 관심이 돋보였다.

연료생산 기술의 발전은 석유 연료의 개선을 바탕으로 하여 현용 내연기관의 발전과 하이브리드 엔진, 연료전지엔진 등의 신엔진 개발과 맞물려 산업전반의 지도력을 유지할 정도의 중요성을 갖게 될 것으로 전망되었으며, HCCI나 SCCI(Stratified Charge Compression Ignition)엔진 연소기술에서 점화 및 열 발생률에의 연료의 영향이 부각되기도 하였다.

가솔린뿐만 아니라 특히 유럽에서 중요성이 더해가고 있는 디젤엔진에서 NOx 환원촉매의 황피독을 방지하기 위한 경유의 탈황 요구가 지속적

로 가중되고 있다.

가스엔진 (Gas Engines)

가스엔진 부분에서는 희박연소를 통하여 저배기를 구현할수 있다는 점에서의 전망이 제시되었는데 infrastructure 구축이 앞서가고 있는 이탈리아 및 프랑스의 CNG엔진 개발이 돋보였다.

이탈리아의 경우 CNG station을 이미 300개 이상을 보유하고 있고 600개까지 확충할 계획이어서 LPG와 함께 공용교통 수단인 버스엔진으로서의 유용성이 제시되었다.

승용차용 가스엔진은 bore/stroke비가 작은 설계가 요구되며 특히 혼다는 거의 유해배기가 없는 엔진을 설계했다는 소식이 소개되었다. 가스엔진이 갖고 있는 저배기 장점을 구현하기 위해서는 세제지원을 통한 희박연소 기술의 장려지원책이 뒷받침되어야 한다는 인식이 세계각국에 공통적으로 깔려있다는 점이 확인되었다.

직접분사식 가솔린엔진 (Direct Injection Gasoline Engine)

가솔린엔진의 미래형 엔진으로서 직접분사식(DI) Gasoline엔진 기술은 DDI엔진과 아울러 가장 밀도 있게 논의된 부분이었다.

미국시장에서 GDI(또는 DIG)에 대한 경계가 상존하는 가운데 Ford도 그 발전 가능성에 맞추어 연구를 진행하고 있으며 Nissan, Ricardo, Renault, AVL 등의 연구성과는 괄목한 만한 것이었다. DIG엔진이 갖고 있는 20%정도의 연비 개선 효과와 30%이상의 CO₂ 저감효과는 가장 큰 장점이지만 LEV II에 미치지 못하는 HC, PM 배기는 역시 치명적인 문제로 지적되었다.

이 문제는 스파크간극 주위의 공연비의 변동에 기인하는 것인데 현재의 hollow-cone spray를 fan spray로 개선할 경우 해결 가능성이 있다.

실제로 Nissan의 경우 피스톤과 연료분무, 공기유동의 개조와 2단 연소, adsorption

catalyst, lean NOx catalyst, ECU 개선 등을 미래 기술로 제시하였다. 같은 관점이 Ricardo에 의해서도 제시되었으며 성공적인 DIG엔진으로서 40%의 효율을 달성한 Voyager항공기 엔진을 들 수 있다.

황의 regeneration문제만 해결된다면 lean NOx trap도 DIG엔진에 적용할 수 있으며 이를 통해 HSDI보다 저렴한 엔진을 구현할 수 있으며 제반 기술개발 속도와 여건을 고려할 때 앞으로 5-10년 내에 저배기를 구현한 DIG의 출현을 기대할 수 있다.

지금까지 개발된 DIG엔진의 정충연소 기법을 분류하여 보면 MMC, Nissan, VW, AVL등의 wall guided system, FEV의 flow guided system, Toyota, Renault 등의 spray guided system 등을 들 수 있다. AVL은 덧붙여 고압분사를 채택하고 난류를 증진한 spray guided system과 터보과급, VVT를 이용한 가변 압축비의 DIG 개념을 제시하기도 하였으며 HCCI 가솔린엔진으로의 접목 및 발전이 논의되기도 하였다.

직접분사식엔진은 정녕 미래의 가솔린엔진으로 떠오르고 있지만 안정된 엔진으로서 자리잡기 위해서는 연소, 후처리, subsystem, ECU의 개선이 상호 보완되어 연구개발이 진행되어야 하며 이 과정에서 엔진 비용, 시스템 견고성, 후처리 기술, 배기와 연비의 조화 등이 해결되어야 할 과제이다. 그러나 항상 관심을 끌고 논란의 대상이 되는 것은 PFI SI엔진에 대한 수월성에 관한 것인데 실제로 혼다는 PFI엔진으로 Zero-emission에 가까운 기술을 달성하고 있다고 주장하고 있다는 점이 예시될 수 있다.

**하이브리드 및 전기 자동차
(Hybrid and Electric Vehicles)**

하이브리드 엔진에 대해서는 Ford, Nissan, Fiat 등이 비전을 제시하였는데 공통적으로 자연비의 장점을 부각하였다. Ford의 경우 DIATA,

Nissan의 NEO, Fiat의 ECODRIVER 등 각각의 독특한 시스템들이 발표되었으며 이미 TRW의 EMT(Electro-Mechanical Transmission)을 장착하고 97년에 발표된 Toyota의 Prius의 뒤를 이어 각광 받는 엔진이 될 것을 예고하고 있었다. 이것들은 모두 보통 승용차의 2배 이상의 자연비 성능을 보이고 그래서 미국의 PNGV의 모델이 되고 있다. 그러나 경량화와 비용 저감, 내구성 및 신뢰성 확보 등이 아직 해결해야 할 과제로 남아 있다.

연구개발 (Research and Development)

기초적인 지원 부분으로서의 연구개발 전략으로 엔진개발을 담당한 자동차사를 중심으로 이를 지원하는 대학교의 R&D system, engineering consulting 사의 역할이 유기적으로 만들어서 연구개발의 효율과 비용효과를 극대화하여야 한다는 논리가 제시되었으며, 3자는 소비자의 feedback을 수용하여 유기적이고 지속적인 연구개발을 추진하여야 하며 이 과정에서 3자는 각각 prototype test, 학문적 지식과 경험의 engineering, simulation의 역할을 수행하여야 한다. 대표적인 연구개발 성과의 사례로 Imperial College의 '연료분사기구 및 분무에 대한 실험 및 모델링', Aachen공대의 'DDI에서의 점화, 연소, 공해배출물 생성과정에 대한 3차원 모사'와 '실린더내 샘플링을 통한 soot형성 및 산화과정 연구', 일본 New ACE의 '자연비 저배기를 위한 예혼합디젤연소', Toyota의 '믹레형 디젤 연소기구 HCCI:UNIBUS', Sandia의 '디젤 분무 모델링을 통한 디젤분무의 기화과정 연구' 등이 발표되었다.

이들의 연구개발은 오랜 기간에 걸친 꾸준한 지원에 의해 각각 독립적인 D/B를 만들어 나감으로써 자동차엔진의 설계를 위한 과학적 방향을 선도적으로 제시하고 있으며 오래간의 협업에 의한 산,학,연 간의 연구지원체계가 본받을 만 하였다.

심 관 기

맺는말

나홀간의 밀도 있는 발표와 토론의 내용을 짧게 적어 내려가는 것이 역부족이긴 하나 미래의 엔진 기술에 대한 전망과 현황을 전하였다. 위에서 나열한 여러 가지 연구개발의 항목들을 단적으로 요약하기는 어려우나 내연기관이 앞으로 오래간 자동차의 동력기관으로서의 주도적인 역할을 할 것이라는 전제 아래 저공해 저연비 엔진 기술로서의 직접분사식엔진(DIG, DDI)에 대한 연구개발이 많은 문제점들을 극복하면서 괄목할 만하게 이루어지고 있다는 점을 강조하고자 하며 현재의 엔진 기술 특히 가솔린 엔진 기술의 개선 여지도 아직 충분함과 대체 및 미래엔진으로서의 가스엔진, 하이브리드 엔진의 개발이 균형적으로 이루어져야 함을 확인하였다. 이 모든 연구개발 효과의 극대화를 위해서는 모든 분야의 경험과 지식을 총망라

하고 집중화하기 위한 산,학,연의 연구체계 구축을 산업체 주도와 지원아래 이루어야 할 것이며, 모든 자동차 선진국에서처럼 경제적 중요성이 크고 고용효과가 큰 자동차산업의 생존과 발전을 위하여 국가의 지속적 지원과 개발프로그램의 구축이 요구된다. 학회 기간 내내 생산 대수로는 선진 대열의 들어선 우리의 기술 수준이 어디인가에 대한 회의를 하면서도 우리도 집중된 지원아래 조금만 더 노력하면 선진 수준이 될 수 있다는 자신감을 얻을 수 있었던 것은 무엇보다 커다란 소득이었다.

우리의 연구개발 의지와 노력을 가일층 더하여 하루 빨리 격화되는 세계규제와 급변하는 기술에 대처하도록 하여야겠다.

〈전광민편집위원 : kmchun@yonsei.ac.kr〉