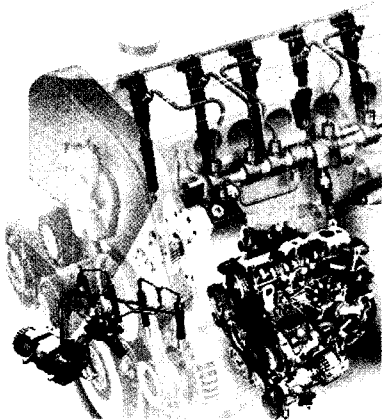


유럽의 디젤 엔진 미래 동향

Strong Diesel Future in Europe



정 동 수 / 한국기계연구원 책임연구원
Dong-Soo Jeong / Korea Institute of Machinery & Materials



휘발유 자동차 위주의 정책을 펼치는 미국과는 달리 유럽은 경유차 시장이 발달해 지난해 경유승용차 판매가 전체 승용차의 35% 수준을 기록했으며 2005년부터는 50%를 넘을 것으로 전망하고 있다. 2000년 기준 경유 승용차 비율은 벨기에 56.1%, 스페인 50.0%, 프랑스 48.3%, 이탈리아 33.2%, 독일 29.6% 순으로 많았다. 특히 유럽은 향후 자동차 배출가스의 이산화탄소 기준을 새롭게 설정해 무역장벽으로 사용할 방침이다. 유럽 수출차량은 2009년부터 이산화탄소 기준 140g/km, 2012년 120g/km를 만

족시켜야 하며 중간단계로 2004년엔 165g/km를 맞춰야 하므로 배기가스 저감과 함께 연비 저감도 중요한 요인이 되고 있다.

국내 시장도 최근 경유 RV가 증가되어 승용차 판매 중 RV가 40% 이상이며, 이 중 경유차가 70%를 넘어서다. 자동차 업계의 수출 다변화를 위한 노력이 가속화되면서 유럽시장 진출을 위한 경유승용차의 국내 허용 요구가 계속되고 있다. 그러나 최근 RV(다목적 차량) 판매가 급증하자 경유차의 폐해를 지적하는 시민단체의 지적이 쏟아지는 등 경유승용차 도입이 시기상조라는 반대도 만만치 않다.

차세대 경유승용차 기술의 주역이 될 독일의 Bosch사와 영국의 Ricardo연구소에서 발표한 승용차용 디젤엔진 기술의 미래 동향에 대한 내용을 정리하여 소개하고자 한다.

독일의 Robert Bosch사는 1920년대에 MAN 트럭에 처음으로 In-line 연료 분사 펌프 시스템을 공급한 이후로 자동차 사업 착수 76주년을 맞고 있는데, 지속적인 디젤 엔진의 기술개발로 향후 10년 동안 유럽 시장의 점유율이 계속 증가할 것이라고 확신하고 있으며 최근 그룹 내 발표회에 이러한 내용이 소개되었다.

Bosch사에 의하면, 상용차의 경우 향후 배기가스

규제를 만족시키고 또한 승용차 제조사로 하여금 운행 CO₂ 배출량을 줄이는데 도움을 주기 위해서는 무엇보다도 집중적인 개발이 더 필요하다고 한다. Bosch사에서 예측하는 년도별 신차 시장 증가 추세와 디젤 차량의 시장 점유율 증가 추세는 <표 1>과 같다.

<표 1> New Vehicle(All Types) Demand, Bosch Estimates to 2010

	Vehicle (Millions)	% Desel Share
1998	53	18
2002	55	23
2005	61	25
2010	64	26

Bosch사에 의한 1970년 이래 약 30년 동안 상용 트럭 디젤 엔진의 출력, 효율, 연비, 배기가스 면에서 지속적인 개발로 향상된 성능의 정도를 <표 2>에서 비교하고 있다. 약 30년 동안 디젤 엔진의 성능이 많은 발전한 이유는 여러 가지가 있겠지만 그 중에서도 분사 압력, 연료분무 패턴, 분사 펄스 제어와 같은 분사 시스템의 지속적인 개발이 주 이유라고 할 수 있다.

<표 2> Typical CV Diesel Performance

	1970	2000
Consumption	50	35
Specific Power	16	30
Emissions, g/kWh	14.4	5.0
Efficiency	39%	46%

Bosch사에서도 향후 상용 차량에 대한 배기가스 규제 목표치를 달성하기 위해서는 더 지속적인 엔진 개발이 이루어져야 한다고 자인하고 있다.

<표 3>은 1985년도 배기가스 규제치를 기준으로 하여 현 EURO IV와 향후 EURO V 예상 규제치에 대한 강화 정도를 Bosch사에 의해 퍼센트로 표시한

것인데, 아직 명확하게 확정된 것은 아니지만 일반적인 윤곽은 거의 들어난 셈이다. 이 표에 의하면 HC나 CO는 소폭으로 강화 되었지만 NOx/PM에서는 상당한 폭으로 줄어들어 전반적으로는 크게 강화되었다고 할 수 있다.

<표 3> Euro CV Emissions Standards - % Reduction on 1985

	Euro III	Euro V
HC	-81	-87
CO	-85	-89
NOx	-72	-89
PM	-86	-97

이 표에 의한 수치를 NOx를 수평축으로 하고 PM을 수직축으로 하여 그래프를 그려보면 EURO V의 범위 면적은 상당히 좁아진 것을 느낄 수가 있다. Bosch 사는 이 예상 범위 내에 들어가기 위해서는 첨단 배기가스 후처리 기술을 적용하지 않고는 엔진 성능을 맞출 수 없다고 예측하고 있다.

연료 분사 시스템의 차이에 따라 NOx와 PM의 Trade-off 특성이 달라지게 되는데, Common-rail 시스템은 EURO III 규제치에는 문제가 없으나, EURO IV 규제치에 맞추기 위해서는 Cooled EGR 등 더 정교한 EGR 제어기술 등이 추가되어야 할 것이라는 것이 Bosch 사의 견해이다.

또한 DPF(입자상물질 포집기)를 설치함으로써 EURO IV 규제치는 달성시킬 수 있겠으나 EURO V의 좁은 범위를 맞추는 데는 문제가 있다고 한다. Bosch사가 제안하는 향후 가장 가능성 있고 효과적인 방법으로 SCR(Selective Catalytic Reduction) Catalytic Converter와 Urea(요소) 분사 방식으로 이미 컴퓨터 제어에 의한 첨단기술이 개발되어 있다고 한다. 여기서 언급한 Urea는 일반 Urea가 아닌 AdBlue라는 상표명의 첨가제를 의미하고 있다.

승용차의 경우 Bosch사는 디젤엔진이 CO₂ 저감에

도움이 되기 때문에 디젤 승용차의 시장 점유율 증가는 어쩔 수 없는 현실임을 강조하고 있다. 2001년 서유럽 운행 디젤 승용차의 점유율은 36%이고 2006년도까지는 750만대로 불어나 시장점유율은 약 49%로 증가될 것으로 예상된다. 그러나 시장 내 디젤 점유율의 분포는 국가와 차종 분류에 따라 일정치가 않는데 그 이유는 지금까지는 소형 디젤 엔진의 첨단 기술이 부족하여 소형 디젤 승용차 비율이 적은 것으로, Bosch사는 향후 몇 년 내에 <표 4>에서와 같이 소형 디젤 승용차의 시장 점유율이 큰 폭으로 성장할 것으로 전망하고 있다.

<표 4> Diesel Share(%) Per Passenger Car Market Segment

	2001	2006
B-segment	17.0	28.0
C-segment	36.5	49.0
D-segment	47.0	58.0
E-segment	43.0	51.0
Fullsize MPV	61.0	71.0
4WD(RV/SUV)	50.0	55.0

CO₂ 저감과 직결되는 연료 절감만이 디젤 차량의 시장 점유 증가 이유만은 아니라고 한다. 1990년 엔진을 기준으로 비교해보면, 최근에는 비출력이 2배로 증가되었고 앞으로도 계속 증가될 추세이며, 그 반면 연비는 40%까지 감소되었고 조만간에 50%까지 감소될 전망이다. 그리고 NO_x와 PM 배출 가스는 10% 까지 감소되었고 향후 6년 내에 50%까지 감소될 것으로 전망되므로, 이미 EURO IV는 만족시키고 있고 향후 EURO V까지 만족시킬 경우 여러면에서 재정적인 혜택이 발생하게 되는 것이다.

지금까지 가장 획기적인 기술 변화는 Common-rail 기술을 신속히 수용하여 디젤 승용차에 널리 보급되었다는 것이다. 이미 간접 분사식 엔진은 줄어가고 있고 보다 더 고압 분사를 위한 기술 개발이 활발

히 진행되고 있다.

디젤 엔진 관련 생산 회사들은 현재 2,000bar 정도의 고압분사 시스템 개발을 추진하고 있으며 그 이상 분사압력의 가능성에서도 문제점과 가능성을 검토하고 있지만 이미 항공우주기술에서는 4,000bar까지 분사 제어 기술이 적용되고 있는 점은 큰 위안이 될 수 있다. 이러한 개발 방향은 물론 연료 분사율을 증가시키고 연료 분무각을 좁힘으로서 실린더 보어 직경이 작은 엔진에도 적합하게 되므로 2,000bar의 고압분사 Common-rail 디젤 직분 엔진의 개발은 소형 디젤 승용차 보급과 밀접한 관계를 갖게 되는 셈이다.

Bosch사가 큰 규모로 예상하는 기술 중에 하나는 디젤엔진 연료 공급의 Closed-loop Control 기술이다. 현재 기술된 엔진에서는 램다 센서의 신호를 피드백하여 운전자가 쓰로틀 각도를 조정함에 따라 정밀한 공연비가 제어되는 Closed-loop Control이 실용화되고 있는데 비해, 디젤 엔진에서는 운전자가 연료공급을 직접 조정함에 따라 엔진은 거의 항상 공연비가 희박한 상태에서 Open-loop로 운전되고 있다. Bosch사에는 디젤엔진에 적합한 UEGO(Universal Exhaust Gas Oxygen) 센서를 사용해서 Closed-loop Control을 시도하기를 제안하고 있다. Bosch사가 염두에 두고 있는 센서는 램다값이 0.8에서 무한대로 측정이 가능한 것으로 정밀한 작동을 위해 미세 온도 제어 가능 가열장치가 부착되어야 한다. 이 센서의 신호를 이용하는 Closed-loop Control은 EGR과 연료 분사량 제어에도 적용될 수 있다고 제안하고 있다. 이 Closed-loop Control로 입력되는 신호는 기존 프로세서에 추가되는 것으로 운전을 위해 미리 결정된 매연 한계 기본 데이터 맵 뿐만 아니라ダイナ믹하게 수정된 공기유량 신호, 즉 순간 효과의 계산이 가능한 시스템을 필요로 하는 것이다.

램다 피드백의 다른 가능한 방법은 Closed-loop 공기량 제어를 포함시키는 것으로 램다 피드백이 실제

연료 공급을 수정하는 과정에서 시작점이 될 FMA (Fuel Mean Value Adaptation)와 함께 연소에도 필요한 공기량을 결정하기 위해 EGR율도 사용될 것이다.

디젤 승용차의 시장 점유율이 증가하는데 대한 Bosch사의 낙관론은 큰 폭의 연비 절감뿐만 아니라 더욱 운전의 즐거움을 위한 출력 증가에도 기인한다. 이런 시점에서 최근 Bosch사는 Ricardo연구소로부터 절대적인 지지를 받았는데 Ricardo는 르노 자동차의 최신 디젤 모델을 대상으로 수행한 최근의 연구결과 긍정적인 미래의 전망을 제시하고 있다.

Ricardo에 의하면 승용 디젤 엔진의 경우 몇 년 내 리터당 70KW(94 bhp)의 비출력을 달성할 수 있을 것이라고 한다. 또한 소형 디젤 자동차의 엔진 성능의 개선은 기본 엔진 설계, 초고압분사, 전자제어, 가변 구조 터보 차저, 개량 인젝터 그리고 연소실 설계 변경 등을 포함하는 광범위한 측정으로부터 발생하는 반면에 비출력의 추가 개선은 가능한 시간 내에 더 많은 연료를 분사하는 것과 연료를 태우기 위한 충분한 공기를 공급할 수 있는 것의 두가지 요인에 달려 있다고 지적하고 있다.

연료 공급 시스템면에서 볼 때 약 10년 내에 양산 엔진에서 리터당 70KW 비출력을 달성하기 위하여 충분한 연료를 공급할 수 있을 것이라고 Ricardo에서는 장담하고 있다. 현재 기존 디젤 엔진 중에서도 우수한 엔진은 운전 성능 면에서는 충분하지 않을지는 몰라도 서로 경쟁하면서 이미 50kW/liter를 넘는 엔진이 있다.

그러나 주요 첨단기술은 공기의 공급과 제어 달려 있다고 여기고 있다. 현재 앞에서 언급한 경쟁중인 디젤 엔진은 오버 싸이즈 터보 차저와 높은 부스트 압력의 도움으로 높은 비출력을 달성시키고 있다.

개발의 궁극적인 목적은 공기유량을 출력 요구조건에 매칭시킬 수 있으면서 저부하시 운전 안정성과 아

이들 상태에서도 문제가 없이 최고 목표치 성능을 달성하는 것이다.

가변구조 터보 차저는 이 목적에 부합하는 방법 중의 하나이지만 궁극적인 해결책은 저속 목적으로는 소용량 터보(기계식 혹은 전기 보조 부스트 시스템)이고 고속에서는 실린더 충전범위를 확장시키기 위해 좀 더 큰 터보 기능을 갖는 2단 부스트 시스템을 구성하는 것이다.

이러한 이상적인 부스트 시스템일지라도 최대 출력에서 더 많은 공기 유량은 엔진 회전수 범위를 확장시킴으로 해서 달성될 수 있다. 현재의 디젤 엔진은 최대 5,000rpm에서 한계가 있으며, 4,000rpm 부근에서 최대 출력을 나타내고 있다. 그러나 르노 디젤 엔진에 대한 Ricardo의 연구 결과 5,000rpm 부근에서 최대 출력을 얻을 수 있고 최대 회전수는 약 5,700rpm까지 확장이 가능하였다고 한다.

이 엔진의 성능 곡선에서는 아주 최적화된 저속용 1단 터보 차저를 사용함으로써 1,000rpm 전부하 조건에서 거의 50%의 정도 토크가 증가 되었다고 한다.

기계적인 설계 변경 방법으로 가장 확실한 방법은 디젤 엔진 압축비를 14:1까지 계속해서 낮추는 것이다. 이것은 열효율을 저하시키는 셈이 되지만은 최고 스트레스를 낮출 수 있어 엔진 무게를 줄임으로 해서 극복할 수 있게 된다. 현재까지는 고압축비 디젤엔진이 냉시동성에 유리하여 사용되어 왔지만은 인젝터의 성능향상과 첨단 글로우플로그의 사용으로 저압축비 엔진에서도 영하 기온상태에서의 시동성은 우수하다고 한다.

(정동수 편집위원 : dsjeong@mailgw.kimm.re.kr)