

3리터 CAR와 차세대 승용차용 엔진 기술



정 동 수(KIMM 열유체환경연구부)

- '70 - '77 서울대학교 기계공학과 (학사)
- '84 - '88 KAIST 기계공학과 (석사)
- '90 - '95 부산대학교 정밀기계과 (박사)
- '77 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 머리말

1992년 6월에 채택된 지구변화협약 이후 1996년 12월 교토 지구 온실가스 저감 협약을 거치면서 CO₂ 규제에 대한 국제규제가 본격화되어 자동차 배출가스에서 직접 CO₂를 규제하는 방안이 EU 국가들을 중심으로 활발하게 논의되어 오다가 1998년 10월 룩셈부르크에서 개최된 EU 환경이사회에서 2008년까지 신규 자동차의 CO₂ 배출량을 140g/km으로 낮추고 2012년까지 120g/km으로 다시 강화하는 자동차 이산화탄소 배출제한 협약을 승인하게 되었다.

선진국에서는 자동차의 CO₂ 배출이 향후 자동차 기술경쟁의 가장 중요한 요소가 될 것으로 판단하고 이미 유럽의 3L Car Program, 미국의 Super Car Project 등 초 저연비 자동차 기술개발 사업을 적극적으로 추진하고 있다. 이들 사업은 현재 연료소비율의 1/3 수준인 3리터 당 100km(3L/100km ; 33.3km/l)를 주행할 수 있는 3L 자동차기술의 실용화를 목표로 하고 있다. 미국의 Super Car Project는 초 저공해이면서 연비가 현재의 1/3 수준인 80mpg(34.5km/l)인 신세대차량(New Generation Vehicle)을 중장기적으로 개발하겠다는 것으로 중대형 승용차를 대상으로 하고 있으며 유럽에서는 미국과는 달리 소형 승용차가 초 저연비 기술을 조기에 구현할 수 있고 수요도 많으므로 3L 대상차량을 중량 약 800kg 이하의 소형차량을 대상으로 삼고 있다.

따라서 그 동력원으로는 유럽의 경우, 기존 엔진을 개량 보완한 가솔린직접분사식(GDI) 엔진, 대체연료 엔진, 고속직접분사식 디젤엔진 등이

유망하겠으나, 이 중에서도 당장은 연료소비 면에서 상대적으로 유리한 고속직접분사식 디젤엔진이 선호되고 있으며, 미국의 경우, 중대형 승용차를 대상으로 하고 있으므로 기존의 동력시스템으로는 목표달성이 어렵고 향후 대체 동력원인 하이브리드 시스템이나 연료전지 시스템의 적용이 불가피 하리라고 예상하고 있다.

2. 3리터 자동차 개발의 배경

세계기후변화협약으로 CO₂ 배출을 줄이기 위해 자동차 산업계는 연료소비율을 줄이기에 비상이 걸렸다. CO₂ 국제규제협약에 따르면 자동차 제작회사에서 제작 판매하는 차량의 각 연료소비량을 모두 합쳐서 통제한다고 해서 소형차량 제작회사에서는 그래도 반가운 소식이지만 대형차량을 주로 제작하는 회사한테는 비상사태 선포나 다름없을 것이다. 자동차의 이산화탄소 배출제한 협약이라는 것은 유럽 자동차 제조업자 협회(ACEA)가 제안한 EC와의 자율협정으로 2008년까지 운행 자동차의 평균 CO₂ 배출량을 1995년 기준인 186g/km에서 약 25%에 해당하는 140g/km 까지 줄이는 것이며 이 목표치는 100km당 약 5.6리터의 평균 연료소비량에 해당되는 것이다.

이 협정은 EC집행위로부터의 수년간에 걸친 CO₂ 법제화의 압력과 중재를 거쳐 1998년 10월에 체결된 것으로 일본과 한국자동차협회와도 그 후에 협정이 체결되었다. 협정에 따르면, 전 유럽내 자동차 판매의 약 85%에 해당되는 모든 유럽자동차 제조업자협회(ACEA)소속 운행 차량의 연료소모량이 모두 평균으로 산출되게 된다. 협약 체결 후 EC집행위에서는 2008년까지 25%의 감축에 큰 기대를 걸어 왔었는데 여러 단체로부터 이 계획이 어려울 것이고 2008년까지는 개인소유 중대형 자동차의 숫자가 증가할 것이라는 여론이 많아 걱정을 하고 있다. 중, 대형차량의 수요증가로 인한 신규 생산을 고려할

경우에 CO₂를 90g/km 이하로 낮출 수 있는 3L Car를 약 50%정도 생산해야만 전체 평균 120g/km의 기준치를 맞출 수 있게 되므로 선택의 여지가 없는 셈이다.

한편으로 CO₂ emission을 감축하기 위한 다른 방법도 추구하고 있다. 1995년 이후로 약 5년 동안 새로운 승용차에서의 CO₂ 배출량은 186g/km에서 175g/km로 약 6%정도 감소 시켜왔는데, 자동차 회사 입장에서는 유럽에서 저 유황 연료가 널리 보급되지 않으면 140g/km, 120g/km의 CO₂기준을 달성하기에는 많은 어려움이 따르게 된다고 주장하고 있다. 이러한 점을 고려하여 독일의 경우 2001년 11월 1일부터 시작해서 유황이 50ppm보다 더 많이 함유된 가솔린과 디젤 연료에 대해 높은 세금을 부과할 계획이고, 2003년 1월에는 유황함량이 10ppm이상인 연료까지 확대 적용할 계획이다. 그 동안 유럽 오일 업체의 반발에도 불구하고 '99년 유럽의회가 Clean-fuel law를 통과시킴으로써 2005년부터 EU에서는 50ppm 이상의 유황 성분을 포함한 연료에 대한 판매 금지 규제를 시행하게 된다.^[1]

3. 「3리터카」개발의 세계 동향

몇 년 전만 하더라도 「3리터카」라고 하면 6기통 3000cc 엔진을 장착한 중형차로 통했던 용어가. 최근에는 100km를 주행하는데 3리터 미만의 연료를 소모하는 소형 차량의 의미로 바뀌었다. 이 수치는 1리터 연료로 약34km 이상을 주행할 수 있는 것으로 서울-부산을 왕복하는데 10리터 정도 밖에 안 들게되므로 30리터 연료 탱크를 갖고 있는 차의 경우 1회 충전으로 서울-부산을 세 번정도 왕복해도 된다는 결론이다.

환경문제에 대해서 최선을 다한다고 자부하는 여러 자동차 제작회사들 중에 독일의 폭스바겐사가 「루포(Lupo)」라고 불리는 「3리터카」를 처음으로 생산함으로써 여러 경쟁 회사들의 콧대를 꺾었다. 그림 1은 「3리터카」가 환경보전에 크게

기여하고 있다는 홍보물중의 하나이다. 「3리터 카」의 시조라고 할 수 있는 「루포(Lupo)」 3리터 카의 성능과 특성들을 요약 정리해서 소개하고 아울러 타 자동차회사에서 최근 개발품과 비교해 보고자 한다.

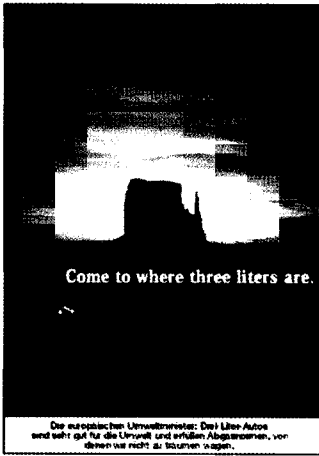


그림 1. 「3리터카」의 환경보전 기어 홍보물

3.1 독일 폭스바겐사의「루포(Lupo)」^[2]

폭스바겐의 「루포」는 이미 예상한 대로 첨단 동력전달기술과 과감한 경량화기술이 복합적으로 적용되어있다. 즉, 차량의 엔진, 트랜스미션, 구동기어, 차체는 주행성능이나 충돌안전성, 내구성 등에 있어서 예전 수준을 그대로 유지하면서 가능한 고효율성과 초경량화를 위해 설계되

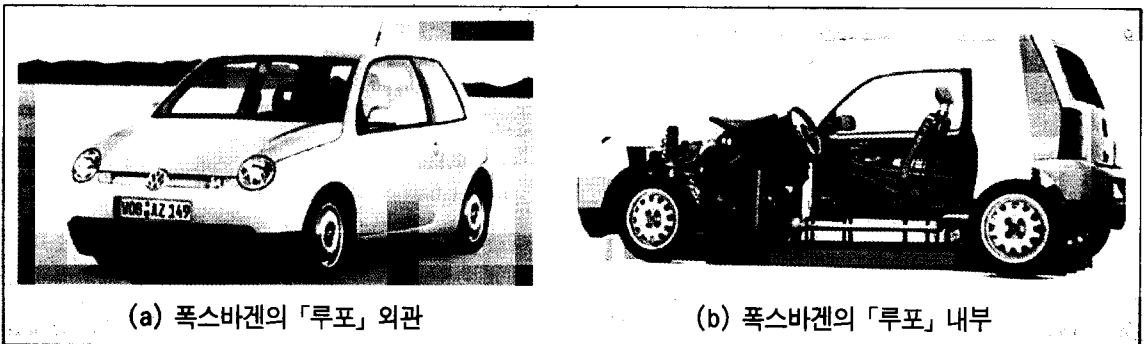
어졌다.

「루포」의 모양이나 크기는 그림 2에서와 같이 완전히 새로운 것이 아니며, 플랫폼은 폭스바겐 자회사인 스페인 세아트(Seat)사의 아로사(Arosa)와 같은 것을 사용하고 있다. 전체적인 외관은 유선형으로 라운드가 저있고 깔끔한 패션감을 살렸으며, 내부 장식과 배치도 전통적인 점과 현대적인 감이 잘 조화되어 있다고 한다.

경량화 기술면에서 기존 가솔린이나 디젤 승용차 모델과는 큰 차이점이 있는데 전면의 라디에타그릴이 더 작아졌고 드랙(drag)을 최소화하기 위해서 전후 범퍼의 모양을 새롭게 했으며 프론트 스포일러도 장착했다. 차량의 밑 부분을 통과하는 공기의 드랙(drag)을 줄이기 위해 공기흐름을 부드럽게 하도록 rear end diffuser 와 flat underbody를 동시에 적용하였다. 또한 전방 타이어 바퀴의 바람저항을 줄이기 위해 바퀴 앞부분을 좀 더 깊숙히 덮히도록 하였다.

문짝, 날개, 앞좌석 프레임, 페달 그리고 본네트는 모두 알루미늄으로 만들어졌다. 비싸지만 가벼운 마그네슘 재료가 테일게이트 프레임으로 사용되고 있다. 패널 겹은 아주 촘촘하게 조립되어 있고 사이드 윈도우와 물뿌리개가 달려있는 전조등 카바는 더 얇은 유리로 되어있다. 운전대 핸들도 무게를 줄이기 위해 마그네슘 재료를 사용하고 있다.

알루미늄 합금 바퀴에 정착된 바스켓 같이 얇은 14인치 타이어는 그림방법을 개선해서 롤링



(a) 폭스바겐의 「루포」 외관

(b) 폭스바겐의 「루포」 내부

그림 2. 세계 최초의 「3리터카」인 폭스바겐의 「루포」 외관 및 내부

저항을 줄일 수 있도록 설계되었다. 파워 스티어링은 전방에 anti-roll bar가 무게를 고려하여 채택되지 않았으므로 정속 속도 이상으로 코너를 회전할 때는 약간 비틀거리는 경향은 있다고 한다. 속 업소버는 알루미늄으로 대체되었고, 후방에는 스프링을 따로 장착함으로써 트렁크 공간을 좀 더 넓게 하였다.

기어박스도 알루미늄 케이스와 중공축을 사용하고 있다. 따라서 이렇게 함으로써 일반 1700cc 디젤 루포보다 약 180kg이 가벼운 800kg 수준을 유지하고 있다. 무게를 줄임에도 불구하고 루포의 안전성과 충돌안전성은 매우 양호하다. 두 개의 전방 air bag, 머리보호대, 안전벨트 조임장치와 장력 조절장치 그리고 multi-section화된 조향축, ABS 등 모든 안전장치들이 기존차량보다 빠지지 않는다. 이렇게 차량 무게를 20% 정도 줄여도 무게가 약 3배정도 가벼운 느낌을 주게 된다고 한다.

표 1에서와 같이 장착된 엔진의 사양은 1200cc 터보 디젤 엔진으로써 3기통에 각 실린더마다 인젝터가 부착되어 있고 직접분사 펌프는 2000bar의 고압으로 작동되며 압축비는 19.5 : 1이다.

고압 분사 시스템은 3리터 카의 요구사항인 초청정 연소 레벨과 그로 인한 저공해 레벨을 만족하는데 결정적인 역할을 하고 있다. 펌프와 인젝터는 실린더 헤드에 밸브기어와 함께 내장되어 있고 second cam과 roller-cam기구에 의해 작동된다.

실린더 당 두 개의 밸브는 bucket tappet에 의해 콘트롤 되어 진다. 솔레노이드 밸브로 파일럿드 인젝션을 시작하게 하고, 그 반면 유압과 기계의 복합 시스템으로 파일럿드와 주 분사 사이를 콘트롤 한다. 또한 실린더 헤드 내부에는 연료 공급과 return덕트가 내장되어 있다.

크랭크 케이스와 실린더 헤드는 캐스트 알루미늄으로 만들어져 4,000rpm에서 45kw의 최대 출력과 1,800과 2,400rpm사이에서 140Nm의 경이적인 torque를 낸다. 정지상태에서 100km/h 속도까지 내기 위해 14초밖에 걸리지 않으며 최고 속도는 165km/h이다. 폭스바겐의 1,600cc가솔린 엔진과 배출공해가스를 비교해 볼 때, 3리터 루포의 배출공해가스는 CO가 85% HC가 75% 저감되며 전반적인 CO₂ 레벨은 90g/km 수준보다 미만이다.

연료효율을 더 높이기 위해서, 엔진 전자제어 장치는 브레이크를 밟지 않고 기어박스가 경제 모드의 상태에서 차량이 3초 이상 정지하게 되면 자동으로 시동이 꺼지게 되고 가속페달을 밟으면 바로 재시동이 걸리게 되어 있다.

알루미늄으로 된 새로운 tiptronic 스타일의 클러치 없는 기어 박스는 엔진이 최적조건에서 작동이 되도록 자동모드로 프로그램이 되어 있다. 운전자는 완전 자동모드로 운전할 것인지 아니면 수동5단 기어로 할 것인지 선택할 수 있다.

현재로는 생산기술의 특수성 때문에 이 차의 연간 생산량은 약 5,000대로 한정되어 있다.

표 1. 폭스바겐의「루포」제원^[3]

엔진	1.2L, 3기통 직접분사식 과급 디젤, 압축비 19.5:1, 중량 100kg 최대출력: 61bhp/4000rpm, 토크 140Nm/1800-2400rpm
연료장치	Unit Injector System, 자석 밸브, 2000bar
자동시동	3초이상 정지 시, 자동으로 시동 꺼지고, 급속 재시동
차량	중량 800kg, Cd=0.29
차량성능	최고속도 165km, 가속성능 1-100km/h 14sec
연비	2.99ℓ/100km
배기	CO ₂ 90g/km 이하, HC 75% CO 85% 이하 (VW 1.6리터 가솔린엔진 비교)

3.2 최근 3리터카 개발 현황

폭스바겐사 외에도 여러 자동차 제작회사들이 향후 4년 이내에 이러한 3리터 카를 경쟁적으로 개발해서 소개할 것으로 예상된다.

다임러-크라이슬러사는 2개의 소형 차종인 Smart Car 와 A-class를 대상으로 하고 있는데, 그림 3은 Smart Car의 외관이며 엔진 등 주요 제원은 표 2와 같다.

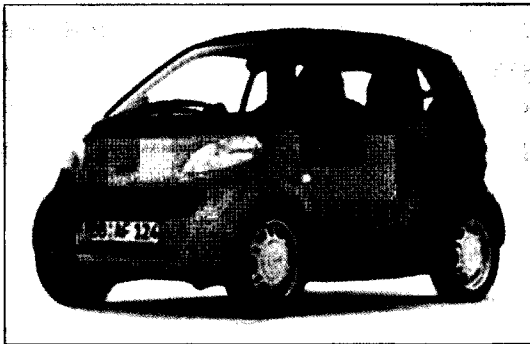


그림 3. 다임러-크라이슬러의 Smart Car 외관

일본의 경우, 도요다사는 현재 100km 주행에 약 5리터의 연료가 소모되는 1,000cc 엔진이 장착된 야리스(Yaris)를 대상으로 하고 있고, 한편



그림 4. 도요다 자동차의 프리우스(Prius) 외관

으로는 1997년 도쿄 모터쇼에서 발표한 도요다 자동차의 하이브리드 승용차인 프리우스(Prius)는 66mpg(3.6L/100km)의 연비와 상용화가 가능한 가격으로 판매를 시작함으로써 CO₂ 대책 저연비자동차로 많은 관심을 끌고 있다. 그림 4는 프리우스(Prius)의 외관이고 그림 5는 프리우스(Prius)에 장착된 동력장치 구조도이며, 표 3은 그 제원으로써 아직 3L Car 수준에는 못 미치지만 유럽의 배기량 1리터급의 소형디젤승용차에 비해 배기량 1.5리터 가솔린엔진을 사용하는 중 소형 차량의 하이브리드시스템 적용기술에 대한 가능성을 제시하고 있다.

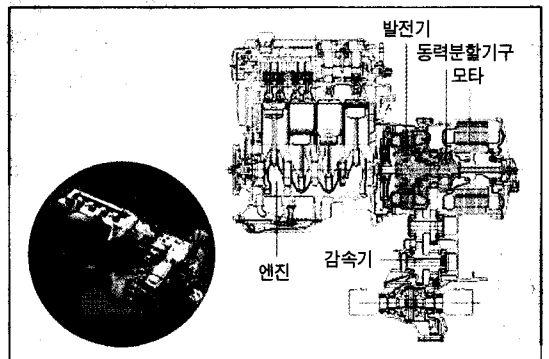


그림 5. 프리우스(Prius)에 장착된 동력장치 구조도

그림 6은 혼다에서 2000년을 맞이해서 도요다 자동차의 하이브리드 승용차인 프리우스(Prius)와 경쟁하기 위한 2인승, 2-door 가솔린/전기모터 하이브리드 생산차「Insight」이며 주요 제원은 표 4와 같다.

그림 7은 Audi사의 A2로 1998년 가을에 선보인 것인데 샤시 전체가 알루미늄으로 제작 되었고 루포와 같이 3기통 터보 디젤 엔진을 공유하고 있어 루포 다음을 이을 3리터 카로 주목을

표 2. 다임러-크라이슬러사의 Smart Car 제원^[4]

엔진	800cc, 3기통, common rail 직접분사식(cdi), 과급 디젤, 최대출력: 40bhp/4000rpm, 토크 100Nm/2000rpm
차량성능	최고속도 135km, 가속성능 1-100km/h 17.5sec
연비	3.4L/100km (68mpg)
배기	CO ₂ emission : 90g/km 이하

표 3. 도요다자동차 Prius 제원^[5]

엔진	1.5리터, DOHC 16밸브, EFI 4실린더 가솔린, VVT-i(지능형 가변밸브 개폐시기), 최고출력 : 58hp/4000rpm
전기모터	AC 영구자석형, 최대출력 : 40 hp / 940-2,000rpm, 최대토크 : 31.1 kg · m / 940rpm
축전지	sealed nickel-metal hydride with 40modules
최적주행범위	약 960km (기존 차량의 약 2배)
최고속도	160 km/h (엔진과 모터 통합구동시)
제동장치	Regenerative , ABS
연비	3.57L/100km (66 mpg)
배기	CO 0.29g/km(규제치 2.1g/km), HC 0.02g/km(0.25g/km), NOx 0.03g/km(0.25g/km)

표 4. 혼다의 2000 Insight 제원^[6]

엔진	1.0리터, DOHC 12밸브, MPFI 3실린더, VTEC-E 가솔린, 최대출력 : 70hp/5700rpm, 최대토크 : 9.4kg · m /4800rpm
전기모터	DC brushless 영구자석형, 최대출력 : 12.5hp/2000rpm, 최대토크 : 5kg · m /1000rpm
축전지	nickel-metal hydride
제동장치	Regenerative
연비	61-mpg (city), 70-mpg (highway)
제어장치	Intergrated Motor Assist (IMA)

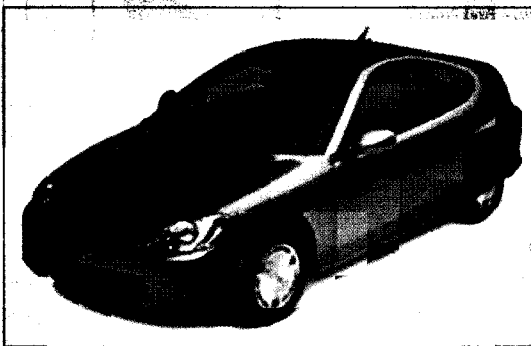


그림 6. 혼다자동차의 2000 Insight 외관

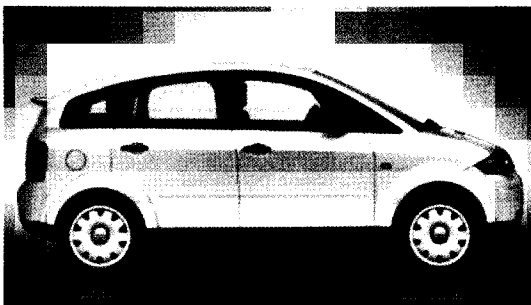


그림 7. Audi사 알미늄 자동차 A2 외관

받고 있으므로 앞으로 이런 3리터 카의 출현이 줄어들 것으로 기대가 된다.

그리고 Daihatsu사는 Sirion을, BMW사는 영국 Rover사의 새 Mini를 등장시키고 있다. 우리나라의 경우, 대우의 Martiz, 현대의 Atoz등과 같은 경량 차량은 아직 3리터 카와는 먼 거리가 있지만 향후 개발 대상이 되고 있다.

4. 3리터 CAR 용 승용차용 엔진 기술

4.1 유럽에서의 소형 승용차 엔진 기술 동향^[7]

요즈음 유럽의 도심지 교통상황을 50년전과 비교해서 주시해보면 크게 세가지 달라진 점이 있는데, 첫째는, 교통량이 약 10배 정도로 증가한 것이고, 둘째는 자동차에서 배출되는 매연 등이 상대적으로 줄어들었고, 셋째는 소형디젤차량의 숫자가 증가한 것이라고 한다.

소형디젤엔진이 매우 경제적이고 가솔린엔진

대응으로 받아들여거나 더 선호하게 된 것은 하루아침에 이루어진 것이 아니고, 몇 세대를 거치면서 디젤 기술자들이 성능이나 배기가스 정밀도 등을 향상시키는데 노력을 기울인 덕택이다.

이러한 현재의 위치를 고수하기 위해서는 여러 가지 고비가 없지는 않았다. 영국에서도 도심지 내 입자성물질이 원인이 되어 8천 여명이 사망한 적이 있어, 디젤엔진은 입자상물질의 주범으로 '위험한 엔진'으로 여겨지고 있다. 또한 촉매를 장착한 가솔린 엔진에 비해서 NOx를 더 많이 배출하므로 지역이나 지구 환경의 오염원으로 여겨지고 있다.

디젤엔진은 항상 가솔린엔진과 경쟁적으로 비

교되어 왔는데 최근 그림 8과 같은 GDI(가솔린 직접분사)엔진^[8]이 새로 개발됨으로써 디젤엔진의 최대 장점인 연료절감효과도 색이 바래고 있다. 게다가 그림 9와 같은 연료전지 자동차가 2004년경에는 실용화 될 것이라는 말들로 인해 디젤이든 가솔린이든 내연기관의 존재 자체가 위협 당하고 있는 처지이므로 과연 향후 몇 년간이나 유지될지는 의문이 생기게 된다.

4.2 디젤엔진의 개발역사

디젤엔진이 1893년 8월 10일날 처음 개발되어 트럭엔진으로 수송수단에 첫 발을 내딛기까지는

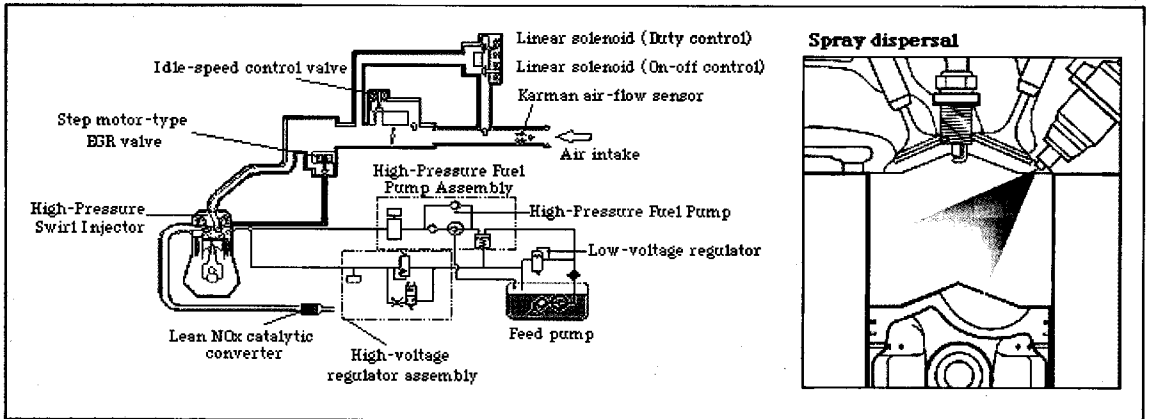
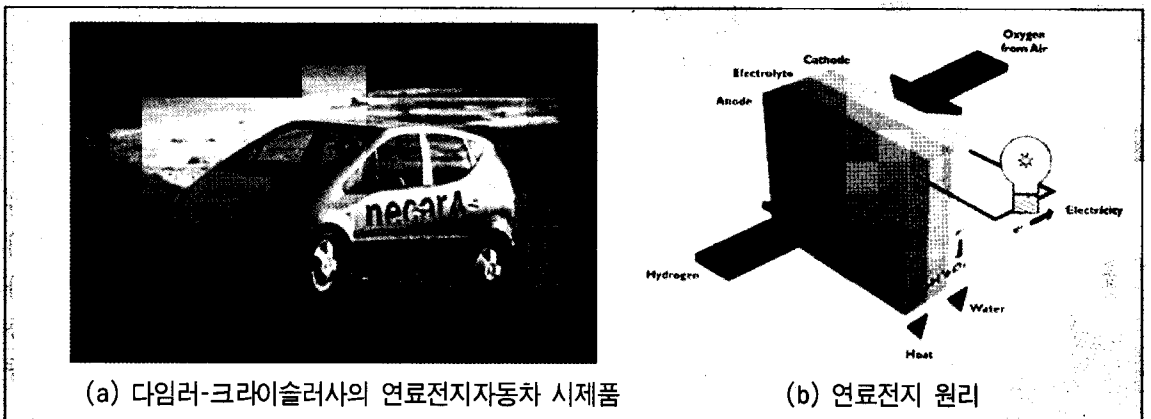


그림 8. GDI(Gasoline Direct Injection) 엔진의 원리 및 연소실 내부구조



(a) 다임러-크라이슬러사의 연료전지자동차 시제품

(b) 연료전지 원리

그림 9. 연료전지자동차 시제품과 연료전지 원리

약 30년이라는 세월이 걸렸다. 그 때까지 가솔린 엔진이 잘 정착되어 왔으며 점차 차량이 증가함에 따라 1920년 중반에 석유매장량을 점검하다 보니 앞으로 30년이 더 지나면 석유가 고갈 될 것으로 판단됨에 따라, 특히 유럽 지역에서 연비가 유리한 디젤엔진을 승용차용으로 관심을 갖게 되는 계기가 된 것이다.

1935년 첫 디젤차량은 출력 면에서 취약하였으나, 연비 면에서는 매우 유리한 장점이 있었으므로 널리 알려지게 되었다. 1950년대 말과 1960년대 초의 오일 파동으로 인해 오스틴(Austin), 피아트(Fiat), 뿌조(Peugeot)사에서 디젤차량 모델을 생산하여 소형 디젤엔진에 새로운 바람이 불기 시작했으나 본격적으로 보급이 시작된 것은 연료 가격이 하루 밤새 2배 이상으로 인상된 1973년의 오일 파동 때 이후였으며 이 시기에는 미국 자동차 회사에서도 디젤승용차 생산을 고려할 정도였다.

디젤 생산 초기시절에도 직접분사식(DI)이 연비면에서 유리할 것으로 생각은 되었으나 간접분사식(IDI)이 사용된 것은 직분식 분사장치가 불완전하여 비출력과 매연(smoke) 특성이 좋지 않았기 때문이다. 그 당시 Ricardo 연구소의 연구 결과에서는 DI 디젤엔진이 IDI 디젤엔진보다 저부하에서 SFC(Specific Fuel Consumption)가 적어도 20% 개선되었다고 나와있지만 매연 한계 출력으로 인해 도로 운행 시 실제 연료절감 개선효과가 나타나지 않았고 소음과 배출가스 특성도 동급 IDI 디젤엔진에 비해 매우 불리하였다. 이러한 것은 그 당시 디젤 엔진의 연소에 대한 이해 부족도 있었고, 무엇보다도 분사시스템의 압력 능력이 부족하여 600bar정도의 최대 연소 압력에 못 미치는데서 기인한 것이었다.

배기 규제가 점차 강화됨에 따라 분사제어기술의 개선이 요구되고 디젤엔진 개발을 위해서는 연료분사 장치 제작회사의 분사압력증가가 요구되어 1988년 영국 로버(Rover)사에서는 퍼킨스(Perkins)사에 의해 개발된 2.0리터 DI 디젤

엔진을 탑재시킨 몬테고(Montego)를 생산할 수 있었다. 분사펌프는 약 800bar 정도만 공급할 수 있었지만 81마력의 만족스러운 출력을 낼 수 있었고, 엔진이 과급 될 때는 소음도 향상되었으며, 그리고 처음으로 IDI엔진보다 연비를 향상시킬 수 있었다. 이와 비슷한 시기에 피아트사에서 90마력·출력의 1.9리터 DI 디젤엔진을 탑재한 크로마(Croma)를 소개했다. DI 디젤엔진을 처음으로 생산했을 때는 IDI엔진에 비해 연비는 개선되었으나 배기가스와 소음은 매우 불리하였으므로 1988년까지 유럽시장에 디젤 엔진 점유율은 약15% 정도에 머물렀는데 이것은 가솔린 엔진과 비출력이나 배기규제치 만족도 면에서 경쟁을 해야되기 때문이었다.

점차 디젤차 생산회사에서는 4밸브, 수직 인젝터 연소시스템을 설계하고 기본으로 터보차저를 장착하기 위해 연료분사장치 제작회사에 전자제어식 1,000bar 이상의 분사시스템을 개발하도록 요청하게 되었다. 마찬가지로 IDI 디젤엔진도 전자제어, 연소실 설계개선, 과급 등을 채택함으로써 개선이 되어 1997년에는 유럽 시장 점유율이 25% 정도로 상승하게 되었다. 물론 IDI 디젤엔진이 지배적이었지만은 모든 자동차회사가 DI 디젤엔진 개발을 착수하고 있었으며 그림 10과 같은 가장 최신 고속 고압 common rail 직접분사 방식의 DI 디젤엔진은 동급 가솔린 엔진에

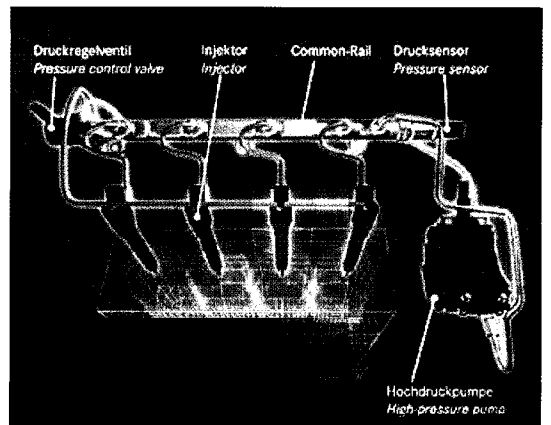


그림 10. 디젤엔진의 고속고압 common rail 직접 분사 방식

비해 35%정도 연료절감 효과를 내고 있고 점차 IDI 엔진을 대체하고 있는 실정이다.

4.3 소형 디젤엔진의 보급 현황

서유럽에서의 디젤 경상용차 판매량은 최근까지 거의 연간 100만대 수준으로 안정적인데 비해 디젤승용차는 계속 판매량이 증가하여 1998년에는 총 차량 판매량 1500만대 중에 360만대를 차지하여 시장점유율이 25%정도이다. 그러나 이러한 경향은 전 세계적으로 비슷하지 않은데, 일본의 경우는 시장점유율이 10% 미만이고, 연료가격이 매우 낮은 미국의 경우는 매우 이색적인 역사를 갖고 있다. 1973년 오일 파동 이후 연료가격 급상승으로 인한 염려로 디젤 승용차가 거의 제로 상태에서 50만대(시장점유율 5%)로 급상승하였으나 그 이후 연료 가격이 내려감에 따라 최근에는 판매가 거의 중단되었다.

그러나 미국내 디젤 경상용차는 1985년에 거의 제로 상태에서 1996년에는 25만대까지 상승했으며 그 이후 조금 하락은 했으나 생산능력 부족으로 인한 것이며 소비자의 요구는 여전히 유지되고 있다.

4.4 배기가스 규제 강화와 디젤엔진의 운명

전 세계 곳곳에서 배기규제치는 점점 강화되고 있는 실정이며, 특히 디젤엔진에 관해서는 유럽과 미국이 가장 중요한 지역이다. 유럽의 경우 Euro V 단계에서 NOx와 입자상물질의 규제 수준을 Euro IV의 50% 수준으로 더 강화할 계획이며, 미국의 경우 향후 디젤 경상용차를 대상으로 미 연방 Tier 1과 Tier 2의 2단계로 구분하였는데 Tier 1은 Euro III, Tier 2는 Euro IV와 기준치나 적용시기가 거의 유사하다.

최근 미국 캘리포니아에서 인증된 LEV 2는 현 디젤엔진성능 수준보다 훨씬 낮아 연소실 개조나 후처리장치 장착 등을 어느 방법으로도 실

질적이고 경제적인 방법이 없는 것 같아 미연방 정부가 이 규제치를 전국에 적용할 경우 미국 자동차 시장에서 소형 디젤 엔진은 완전히 사라져야만 할 운명이다.

전통적으로 미연방 정부는 캘리포니아 규제를 따라왔지만, 미국이 2010년까지 CO₂ 배출가스 7%까지 줄이겠다고 약속한 Kyoto 협약을 지켜야 한다. 미 에너지성(DOE)의 분석에 의하면 미국 경량차량 시장에서 디젤엔진의 시장점유율이 25~30%정도가 되면, Kyoto협약에서 약속한 7%보다 3배 효과가 나게 되므로 미연방이 캘리포니아 규제를 처음으로 적용받지 않게 될 가능성이 높아진 셈이다.

배출가스 규제는 유럽이든 미국이든 그 패턴이 비슷하므로, 만약 미국에서 디젤엔진을 규제치에 만족시키지 못하게 규제를 강화하면 다른 지역도 마찬가지로 입장일 것이다. 이럴 경우 소형 디젤엔진의 존립에 위협을 받게 됨에 틀림없다. 그러나 가장 중요한 사항은 소형디젤엔진이 현재 어느 다른 동력원보다 SFC(Specific Fuel Consumption) 효율 면에서 유리하므로 이것이 바로 CO₂를 적게 배출하는 것이고 따라서 Kyoto 협약을 지킬 수 있는 가장 현실적인 방법이라는 점이다.

4.5 향후 디젤엔진의 성능향상을 위한 관련기술 개발동향

지금까지는 디젤엔진으로 배기가스 규제치를 만족시키기 위해 엔진설계, 연소시스템 그리고 분사시스템을 수정해왔다. 일부 생산중인 디젤엔진에는 HC와 입자상물질을 줄이기 위해 이미 산화촉매를 사용하기도 한다. Euro IV와 Tier 2를 만족시키기 위해서는 NOx 저감용 촉매와 어떤 형태가 되든 그림 11과 같은 입자포집 장치가 필요할 것이다. 보다 더 엄한 규제치를 만족시키기 위해서는 SCR(Selective Catalytic Reduction)도 기술적으로 타당한 방법 중에 하나이다.

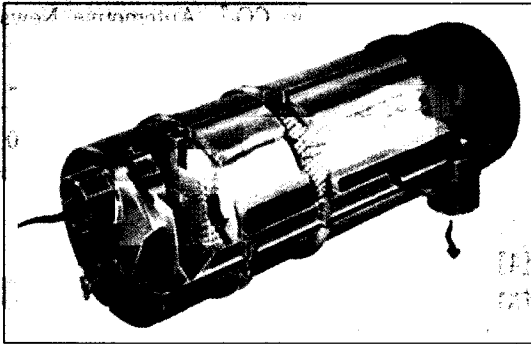


그림 11. 영국 Johnson Matthey사에서 개발한 입자상 물질 포집장치 CRT(Continuously Regenerating Trap)

현재 개발 중에 몇가지 기술들 중에 큰 기대를 모으고 있는 ISAD(Integrated Starter Alternator Damper)는 전기적인 힘을 플라이휠 motor/alternator로 공급함으로써 배출가스, 연료 소모량과 토크 변동을 확실히 줄일 수 있다. 또한 이 시스템은 hybrid 시스템으로의 응용도 가능하다. 디젤엔진의 적용 가능한 기술 중에는 입자포집장치, de-NOx 촉매, piezo시스템 형태의 분사시스템, 그리고 가변면적 분사노즐(variable area injection nozzle), 배출가스의 플라즈마 이용 제어 등이 있다. 이러한 기술 등을 적용할 경우 향후 적어도 20년 정도는 소형디젤엔진에 대해서 배기가스, 연료절감, 비출력 등을 계속 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 맺음말

세계 기후변화 협약으로 자동차의 이산화탄소 배출제한 협약이 체결되어 자동차의 CO₂ 배출이 향후 자동차 기술경쟁의 가장 중요한 요소가 될 것으로 판단되고 있다.

미국의 경우, 중대형 승용차를 대상으로 초 저공해이면서 연비가 현재의 1/3 수준인 80mpg(34.5km/l)인 신세대차량(New Generation Vehicle)을 증장기적으로 개발하겠다는 Super Car Project를 수행하고 있으며 유럽에서는 미국

과는 달리 소형승용차가 90g/km의 초 저연비 기술을 조기에 구현할 수 있고 수요도 많으므로 3L/100km의 소형차량을 대상으로 단기간 내에 개발하겠다는 3L Car Program을 수행하고 있다.

이러한 초 저연비 소형 승용차용 동력원으로 여러 가지가 있겠으나 그 중 당장은 고속직접분사식(HSDI; high-speed direct injection) 디젤엔진이 선호될 것으로 전망되고 있는데, 디젤엔진이 고속직분식 등으로 엄청나게 개선된다하더라도 가솔린 엔진도 역시 계속 개발되므로 향후에도 경쟁은 계속 될 것이다. 그러나 HSDI 디젤엔진은 적어도 35%의 연료절감 효과가 있는데 비해, 기존의 포트 분사 가솔린 엔진에 후처리장치, 가변 밸브타이밍, 흡기관 구조 등의 개선과 ISAD(Integrated Starter Alternator Damper) 등의 방법을 효과적으로 적용한다고 하더라도 약 10%정도의 연료절감 효과가 기대 된다.

그러나 최근 개발되어 실용화되고 있는 GDI(Gasoline Direct Injection) 엔진의 경우 homogeneous charge 타입에서 filling 개선과 potential 압축비 증가로 12% 정도의 연료절감효과를 얻고 있으나 throttling이 없고 stratified charge 타입이 잘 이루어질 경우 이론적으로 25%까지 연료절감효과가 가능하다고 하므로 관심이 쏠리고 있다.

LPG, CNG와 같은 가스연료는 기존 가솔린 엔진에 비해 배기가스 면에서 유리하며, 노킹 저항성이 큰 장점을 잘 활용하면 연료절감 면에서도 장점이 있다. 그러나 LPG는 연료의 지속적인 공급상의 문제 외에는 큰 문제가 없고 최근 액체연료분사 시스템과 같은 첨단기술의 적용으로 조금씩 보급이 확대될 것으로 예상되고 있으나, CNG는 CO₂를 적게 배출하는 큰 장점에 비하여 연료 충진을 위한 인프라 문제와 짧은 주행거리의 결정적인 단점을 갖고있어 제한 구역내를 운행하는 소형 상용차급 이하 차량으로 보급이 국한될 전망이다. 따라서 아직은 광범위하게 적용되는 가솔린이나 디젤엔진과는 경쟁이 되지 않는다.

내연기관은 아니지만 소형디젤엔진의 경쟁자로 2004년경부터 실용화가 예상되는 연료전지를 들 수 있으나, 가장 이상적인 액화수소 사용 연료전지 자동차도 차량가격과 수소연료의 준비를 위한 infra의 비용 등을 고려할 때 디젤엔진의 가격과는 큰 차이가 있으므로 당분간 경쟁이 되지 않는다.

소형디젤엔진에 대해 여러 경쟁자들이 있지만 연료절감효율, 배기가스, 생산단가, 상용화를 위한 time scale 등을 고려해 볼 때 현재까지는 소형디젤엔진이 가장 많은 장점을 가졌다고 볼 수 있으며, 기본 연료 공급원인 오일의 매장량을 고려해도 향후 30년간은 가솔린과 디젤엔진이 계속 공존할 것으로 예상하고 있다.^[9]

참 고 문 헌

[1] D.T.Kurylko, "EC bids to enforce

sweeping cuts in CO₂", Automotive News Europe April 24 일자, 2000

[2] B.Whitworth, "A Sippy Little Number", Automotive Engineers 12월호 pp.58-60, 1999

[3] <http://www2.vw-online.de/>

[4] <http://www.mercedes-benz.com/>

[5] <http://www.toyota.com/>

[6] <http://www.honda.com/>

[7] M.Monaghan, "How long will the light duty diesel be with us?", Automotive Engineers 4월호 pp.72-75, 1999

[8] <http://www.mitsubishi-motors.co.jp/>

[9] 정동수, "유럽입장에서 본 소형 디젤엔진의 어제, 오늘 그리고 내일" 한국 자동차공학 회지 10월호 pp.43-46, 1999.