

# 유럽입장에서 본 소형 디젤엔진의 어제, 오늘 그리고 내일

## 1. 소개말

대도시 대기 오염의 주원인이 자동차이고 자동차 중에서도 디젤차량이 주범으로 판정되어져 우리 나라에서는 정부 차원에서 DPF(Diesel Particulate Filter), CNG(Compressed Natural Gas)엔진의 적용을 법제화 해오고 있는 실정이다.

가솔린 값과 디젤 값이 거의 차이가 없는 유럽에서도 이미 오래전부터 디젤승용차가 보편화되어 왔는데 비해 디젤 값이 가솔린 값보다 엄청나게 싼 우리 나라에서 지금까지 디젤승용차가 발을 붙이지 못하고 있는 데에 대해 유럽 사람들은 이해하지 못하고 있다.

그 동안 가솔린엔진기술에 비해 국내의 디젤엔진 기술이 상대적으로 낙후되어 온 것은 사실이다. 이제 오일쇼크가 아닌 CO<sub>2</sub>의 국제 규제 강화로 인해 연료 소모량을 줄이고자 새삼스럽게 승용차 디젤엔진에 눈을 돌리게된 현 시점에서 영국 Ricardo Group의 Technical Director인 Michael Monaghan씨가 최근 발표한 글을 요약정리해서 소개함으로써 향후 연구방향 설정이나 정책 입안 등에 도움이 되었으면 한다.



정 동 수 박사  
KIMM엔진환경그룹  
책임연구원

## 2. 개 요

요즈음 유럽의 도심지 교통상황을 50년전과 비교해서 주시해보면 크게 세가지가 달라진 점을 알 수 있는데, 첫째는, 교통량이 약 10배 정도로 증가한 것이고, 둘째는 자동차에서 배출되는 매연 등이 상대적으로 줄어들었고, 셋째는 소형디젤차량의 숫자가 증가한 것이다.

소형디젤엔진이 매우 경제적이고 가솔린엔진 대용으로 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 어려운 고비가 없지는 않았다. 영국에서도 도심지 내 입자성물질이 원인이 되어 8천 여명이 사망한 적이 있어, 디젤엔진은 입자성물질의 주범으로 '위험한 엔진'으로 여겨지고 있다. 또한 촉매를 장착한 가솔린 엔진에 비해서도 NOx를 더 많이 배출하므로 지역이나 지구 환경의 오염원으로 여겨지고 있다. 디젤엔진은 항상 가솔린엔진과 경쟁적으로 비교되어 왔는데 최초 GDI(가솔린 직접분사)

엔진이 새로 개발됨으로써 디젤엔진의 최대 장점인 연료절감효과도 색이 바래고 있다. 게다가 연료전지 자동차가 2004년경에는 실용화 될 것이라는 말들로 인해 디젤이든 가솔린이든 내연기관의 존재 자체가 위협당하고 있는 처지이므로 과연 향후 몇 년간이나 유지될는지 하는 의문이 생기게 된다.

### 3. 개발역사

디젤엔진이 1893년 8월 10일날 처음 개발되어 트럭엔진으로 수송수단에 첫 발을 내딛기까지는 약 30년이라는 세월이 걸렸다. 그 때까지 가솔린 엔진이 잘 정착되어 왔으며 점차 차량이 증가함에 따라 1920년 중반에 석유매장량을 점검하다보니 앞으로 30년이 더 지나면 석유가 고갈 될 것으로 판단됨에 따라, 특히 유럽 지역에서 연비가 유리한 디젤엔진을 승용차용으로 관심을 갖게 되는 계기가 된 것이다. 프랑스의 씨트뢰(Citroen)사와 독일의 벤츠(Benz), 하노막(Hanomag)사가 1932년에 디젤 승용차를 개발하기 시작해서 1935년 초에 프랑스의 씨트뢰사가 Roslie 모델로 처음 생산하게 되었고 다음해 3월에 벤츠 260D와 하노막 1.6이 생산되었다.

첫 디젤차량은 출력 면에서 취약하여 씨트뢰의 경우 1.7리터 엔진에서 겨우 27마력, 벤츠 2.6리터 엔진에서 45마력 정도의 수준이었으나, 연비 면에서는 매우 유리하여 장점으로 널리 알려지게 되었다. 1950년대 말과 1960년대 초의 오일 파동으로 인해 오스틴(Austin), 피아트(Fiat), پژ오(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 디젤 승용차 생산을 고려할 정도였다.

디젤 생산 초기시절에도 직접분사식(DI)이 연비 면에서 유리할 것으로 생각은 되었으나 간접분사식

(IDI)이 사용된 것은 직분식 분사장치가 불완전하여 비출력과 매연(smoke) 특성이 좋지 않았기 때문이었다. 그 당시 Ricardo 연구 결과에서는 DI 디젤엔진이 IDI 엔진보다 저부하에서 SFC(Specific Fuel Consumption)가 적어도 20% 개선되었다고 나와있지만 매연 한계 출력으로 인해 도로 운행시 실제 연료절감 개선효과가 나타나지 않았고 소음과 배출가스 특성도 동급 IDI 엔진에 비해 매우 불리하였다. 이러한 것은 그 당시 디젤 엔진의 연소에 대한 이해 부족도 있었고, 무엇보다도 분사시스템의 압력 능력이 부족하여 600bar 정도의 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 디젤엔진을 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 IDI 엔진보다 연비를 향상시킬 수 있었다. 이와 비슷한 시기에 피아트사에서도 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 약 15% 정도에 머물렀는데 이것은 가솔린 엔진과 비출력이나 배기 규제치 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 가장 최신 DI 디젤엔진은 동급 가솔린 엔진에 비해 35%정도 연료절감 효과를 내고 있고 점차 IDI 엔진을 대체하고 있는 실정이다.

#### 4. 현재상황

서유럽에서의 디젤 경사용차 판매량은 최근까지 거의 연간 100만대 수준으로 안정적인데 비해 디젤 승용차는 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 연료가격이 내려감에 따라 최근에는 판매가 거의 중단되었다.

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

#### 5. 배기가스 규제

전 세계 곳곳에서 배기규제치는 점점 강화되고 있는 실정이며, 특히 디젤에 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 경사용차를 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 실질적이고 경제적인 방법이 없는 것 같아 미연방정부가 이 규제치를 전국에 적용할 경우 미국 자동차 시장에서 소형 디젤 엔진은 완전히 사라져야만 할 운명이다.

전통적으로 미연방정부는 캘리포니아 규제를 따라왔지만, 미국이 2010년까지 CO<sub>2</sub> 배출가스 7%까지 줄이겠다고 약속한 Kyoto 협약을 지켜야한다. 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 적용하지 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 소형디젤엔진의 존립에 위협을 받게 됨에 틀림없다. 그러나 가장 중요한 사항은 소형디젤엔진이 현재 어느 다른 동력원보다 SFC 효율 면에서 유리하므로 이것이 바로 CO<sub>2</sub>를 적게 배출하는 것이고 따라서 Kyoto협약을 지킬 수 있는 가장 현실적인 방법이라는 점이다.

#### 6. 향후 개발 동향

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

이다.

현재 개발 중인 몇가지 기술들 중에서 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. 디젤엔진에 적용 가능한 기술 중에는 입자포집 장치, 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.

## 7. 타 내연기관과의 비교

디젤엔진이 엄청나게 개선된다하더라도 가솔린 엔진도 역시 계속 개발되므로 향후에도 경쟁이 계속 될 것이다. 그러나 HSDI(high-speed direct injection) 디젤엔진은 적어도 35%의 연료절감 효과가 있는데 비해, 기존의 포트 분사 가솔린 엔진에 후처리장치, 가변밸브타이밍, 흡기관 구조 등의 개선과 ISAD등의 방법을 효과적으로 적용할 경우 10%의 연료절감 효과까지 기대가 된다.

최근 개발되어 실용화되고 있는 GDI(Gasoline Direct Injection)엔진의 경우 homogeneous charge 타입에서는 filling 개선과 potential 압축비 증가로 12% 정도의 연료절감효과를 얻고 있다. 그러나 throttling이 없고 stratified charge 타입

이 잘 이루어질 경우 이론적으로 25%까지 연료절감효과가 가능하다고 하므로 관심이 쏠리고 있다. LPG, CNG와 같은 가스연료는 기존 가솔린 엔진에 비해 배기가스 면에서는 유리하며, 노킹 저항성이 큰 장점을 잘 활용하면 연료절감 면에서도 장점이 있다. 그러나 LPG는 연료의 지속적인 수급상의 문제 외는 큰 문제가 없어 조금씩 보급이 확대될 것으로 예상되고 있으나, CNG는 CO<sub>2</sub>를 적게 배출하는 큰 장점에 비하여 연료 충진을 위한 인프라 문제와 짧은 주행거리의 결정적인 단점으로 제한 구역내를 운행하는 소형상용차급 이하 차량으로 보급이 국한될 전망이다. 따라서 광범위하게 적용되는 가솔린이나 디젤엔진과는 경쟁이 되지 않는다. 내연기관은 아니지만 소형디젤엔진의 경쟁자로 2004년경부터 실용화가 예상되는 연료전지를 들 수 있으나, 가장 이상적인 액화수소 사용 연료전지 자동차의 경우는 실용화가 요원한 것이며 2004년경부터 실용화가 예상되는 일반형 연료전지차량도 차량가격과 수소연료의 준비를 위한 infra의 비용 등을 고려할 때 디젤의 가격과는 큰 차이가 있으므로 당분간 경쟁이 되지 않는다.

소형디젤엔진에 대해 여러 경쟁자들이 있지만은 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.

(정동수박사: dsjeong@mailgw.kimm.re.kr)