

# Fuel Properties and Emissions

金萬永, 선임연구원乙, 崔圭勳, 수석연구원, 디젤엔진시험팀, 譯  
W. Addy Majewski, PhD, President of Ecopoint Inc., <http://www.dieselnet.com/tg.html>, 著

## Abstract

연료의 일부 물성치와 규제되는 배출물 사이에는 명확한 상관관계가 존재한다. 그러나, 서로 다른 연료의 물성치, 서로 다른 엔진기술, 그리고 서로 다른 테스트 사이클 사이의 상관관계와 같은 여러 인자들로 인하여 이에 대한 일반적인 결론을 도출하는 것은 쉽지 않다. 대형디젤엔진의 경우, 세탄가를 높이면 HC, CO, 그리고 NO<sub>x</sub>의 배출이 줄어들고, 연료의 밀도를 낮추면 NO<sub>x</sub>와 PM을 낮출 수 있지만 HC와 CO의 배출이 늘어난다. 소형디젤엔진에서는 대형디젤엔진과는 다른 연료 민감도(fuel sensitivity) 특성을 보인다. 유황은 소형 및 대형엔진 모두에서 PM의 배출을 증가시킨다. 유황은 또한 여러 디젤배기 저감기술의 장애물인 것으로 알려져 있다.

## 1. Introduction

역사적으로, 연료의 물성치는, 원유(crude oil)의 가격, 원유의 질, 정제기술, 가솔린과 디젤의 상대적인 시장의 요구, 그리고 엔진 기술의 변화 등 여러가지 원인에 의해 점진적으로 변하여 왔다. 최근에는 환경문제의 고려와 배기규제가 연료의 제조법과 물성치의 중요한 변경 인자가 되고 있다. 공해물질의 배출이 적은 디젤엔진을 효율적으로 설계하기 위해서는 연료의 질, 엔진기술, 그리고 공해물질의 배출간의 상호작용에 대한 메커니즘을 이해할 필요가 있다. 연료의 물성치가 배출물에 미치는 영향을 고찰하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이에 대한 가장 포괄적인 프로그램은 EPEFE (European Programme on Emission, Fuels, and Engine Technologies)과 (MacKnivern, 1996), AQIRP (American Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program)이다(Burns, 1991). 정유 및 엔진업체, 연구 기관, 그리고 대학교 등지에서 수많은 연구들이 진행되고 있다.

수많은 실험 데이터가 존재함에도 불구하고 연료의 물성치가 배출가스에 미치는 영향에 대한 고찰은 아직까지 확실하지 않다. 아래의 항목들은 서로 다른 곳에서 이루어진 연구결과의 해석 및 이의 비교를 어렵게 만드는 요인들이다.

- **Intercorrelation of fuel properties** : 공해물질의 배출에 영향을 미치는 디젤연료의 물성치는 서로 연관되어 있다. 그 예로서 밀도, 방향족 성분(aromatic content), 그리고 세탄가(cetane number) 등을 들 수 있다. 방향족 성분을 많이 함유하고 있는 혼합물(blending stream)

로 정제된 디젤연료는 밀도가 높고 세탄가가 낮다. 한편, 특정한 연료 물성치가 디젤의 배기에 미치는 효과를 분석하기 위해서는 테스트 연료의 특정한 물성치를 다른 물성치와 주의깊게 분리해야 한다. 일부 연구들에서는 연료의 물성치들이 적절하게 분리되지 않은 경우도 있다. 여러 물성치들이 동시에 변경되면 어느 물성치에 의한 어떤 변화가 나타나는지를 구분하기가 쉽지 않다.

- **Engine technologies** : 디젤엔진의 기술은 전세계적으로 서로다른 방향으로 발전이 이루어져 왔다. 예를 들어, 미국에서의 대형디젤엔진은 전자제어가 광범위하게 이용되고 있고 엔진의 배기량이 크다. 한편, 유럽에서는 아직도 기계식으로 제어되는 엔진의 비중이 높고, 엔진은 높은 회전수에서 정격출력이 조절되어 있으며 배기량이 작은 것이 특징이다. 일본에서는 큰 배기량을 가진 자연흡기식엔진(naturally-aspirated engine)이 시장의 대부분을 차지하고 있다. 이러한 서로 다른 특징을 가진 엔진기술에 따라 연료의 질에 대한 배출특성의 민감도(sensitivity)도 서로 다르다. 또한 향후의 배기규제에 대응하는 엔진기술도 현재 양산에 적용되어 사용되고 있는 기술과는 상당히 다를 것으로 예상된다. 한편, 대형엔진과 소형엔진 사이에는 연료의 품질이 배출물에 미치는 영향 또한 다르다. 명백히, 대형엔진에서의 기술은 소형엔진에 바로 적용되지는 않고, 그 반대 역시 마찬가지이다. 두 엔진의 차이에 대한 것은 뒷부분에서 보다 자세히 설명하기로 한다.
- **Emission test cycles** : 서로 다른 지역에 판매되고 있는 엔진은 서로 다른 엔진 테스트 사이클로 인증을 받는다. 연료의 품질이 배출물에 미치는 영향에 대한 대부분의 연구는 US transient FTP cycle 로 인증을 받는 미국과 ECE R-49 cycle 로 인증을 받는 유럽의 엔진을 대상으로 하고 있는 실정이다. EPEFE 프로젝트는 이러한 두 사이클의 비교 연구를 하고 있다. (Singer, 1996) 이 연구에서 발견된 효과의 크기 및 EU 시범차량운행 결과의 과급효과를 고려해 볼 때, 미국과 유럽의 시험데이터에서 유추할 수 있는 연료의 품질이 배출물에 미치는 영향은 서로 비슷하다. 즉, 비록 테스트 사이클과 오염물질의 생성률에는 서로 차이가 있지만, 연료의 품질이 미치는 영향에 대한 한 쪽의 결과로부터 다른 쪽의 결과를 유추하는 것은 가능하다고 판단된다.
- **Aftertreatment technologies** : 장래의 배기규제에 대응하기 위해서는 디젤산화촉매(diesel oxidation catalyst), lean NOx 촉매, 디젤 트랩, 그리고 다른 기술 등을 포함한 배기가스 후처리장치의 광범위한 사용이 필요하다. 연료의 품질이 이러한 기술에 미치는 영향은 아직 일반적으로 알려져 있지 않다. 한가지 예외는 연료중의 유황성분으로서, 이 성분이 디젤촉매에 미치는 영향은 아주 세밀하게 조사되고 있다. 만일 효율이 높은 후처리장치가 개발된다면, 이는 배출가스의 제어를 위해 기본적으로 장착하는 장치가 될 것이다. 오염물질의 배출이라는 관점에서 보면, 연료의 품질은 별로 중요하지 않다. 따라서, 가장 큰 관심은 연료와 후처리장치 사이의 양립성(compatibility)일 것이다.

## 2. Heavy-Duty Engines

대형디젤엔진의 배출물에 영향을 미치는 중요한 물성치들은 다음과 같다.

- sulfur content
- cetane number
- aromatics (total and polyaromatics)
- density
- volatility (T90/T95)
- oxygenates

대형엔진에 미치는 연료의 영향에 대한 방대한 양의 문헌조사가 Lee 에 의해 이루어졌다. (Lee, 1998)

## 2.1 Sulfur

연료중 유황성분이 오염물질에 미치는 효과는 입자상물질(particulate matter, PM)에 국한되어 있다. 연료중 유황성분의 변화에 따라 엔진에서 배출되는 기체상 오염물질에는 영향이 없으며, 다만 SO<sub>2</sub>의 배출 정도가 변화를 보인다. HC, CO, 그리고 NO<sub>x</sub>의 배출은 연료중 유황성분의 영향을 받지 않는다.

유황성분의 중요성은 PM의 배출에 미치는 영향을 통하여 처음 제기되었다. 연료중 함유된 유황의 일부는 SO<sub>3</sub>와 황산염(sulfuric acid)로 변환이 되는데, 권위있는 기관의 PM의 정의에 따라 이 물질들은 PM으로 분류된다. 이러한 PM은 “황산염 입자상물질(sulfate particulate)으로 알려져 있다. 일반적으로 연료에 함유된 유황성분 중에서 황산염(sulfate)으로 변화되는 성분은 연료에 함유된 유황성분의 2%에 지나지 않는다. (Cowley, 1993) 변환율은 연료의 종류, 엔진기술, 그리고 오염물 배출 수준에 관계없이 거의 일정하다.

황산염(sulfate)은 PM의 여러성분 중의 하나이다. 따라서, 연료중의 유황성분을 줄이는 것은 단지 PM의 저감을 위한 수단일 뿐이다. US '94 규제에서 지적되고 있듯이 연료 중의 유황성분을 0.3%에서 0.05%로 저감하는 것은 상대적으로 효과가 커서 PM을 0.04~0.08g/bhp-hr 정도 감소시키는 효과가 있다. 하지만 유황의 함량을 0.05%에서 그 이하로 낮추는 것은 PM 저감 효과가 미미한데, 약 0.08~0.016g/bhp-hr 정도의 감소에 그친다.

연료중에 함유된 유황성분의 양을 저감시키려는 노력은 다른 오염물질 저감 전략과의 양립성(compatibility)을 가지고 있기 때문에 특히 중요하다. 즉, 연료중의 유황성분을 줄임으로서, 디젤산화촉매(diesel oxidation catalyst), CRT 트랩, 그리고 lean NO<sub>x</sub> 촉매/트랩 등 여러가지 후처리장치의 문제점으로 지적되고 있는 이의 피독(poisoning)현상을 줄일 수 있다는 것이다. 유황에 의한 촉매의 피독(catalyst poisoning)은 촉매를 훼손시키거나 완전히 불능으로 만들어 버린다. 한편, 황산염의 응축(condensation of sulfuric acid)은 NO<sub>x</sub>의 저감을 위하여 사용하고 있는 EGR 시스템의 부식(corrosion)을 초래하기도 한다. 따라서, 향후 오염물질 저감 수단으로서 이러한 장치를 사용하고 자 하면 저유황함유 연료(fuels of low sulfur content)의 사용은 필수적이다.

## 2.2 Cetane Number

세탄가(cetane number)는 디젤엔진에서의 점화지연(ignition delay)에 영향을 미친다. 세탄가를 증가시키면 점화지연이 감소하고 결국 예혼합연소(premixed combustion) 기간을 단축시킨다. 예혼합연소 기간의 단축으로 인하여 연소압의 급격한 증가 대신 연소압이 서서히 증가하게 되고, 이는 주위의 낮은 온도로의 열전달과 희석을 통한 화염의 냉각시간을 충분히 확보하게 되어 최고연소온도를 저하시킴으로서 결국  $\text{NO}_x$ 의 생성을 감소시킨다. 한편, 세탄가를 증가시키면 CO와 HC의 배출 역시 감소하는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 결과는 자연적인 혹은 인위적인 첨가제에 의한 세탄가의 조정에 관계없이 일반적으로 적용된다.

세탄가(cetane number)가 기체상 오염물질의 배출에 미치는 영향에 대한 시험결과의 예를 아래의 Figure 1에 도시하였다. (Owen, 1995) 이 시험은 Japanese 6-mode test cycle에서 수행된 것으로서, 오염물질의 배출량은 ppm 단위로 표시되어 있다.

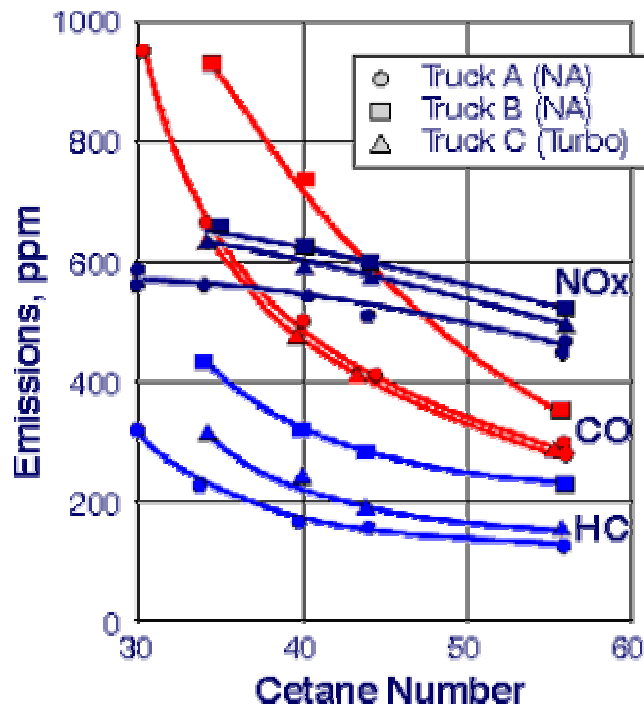


Figure 1 Effect of Cetane Number on HD Diesel Emissions

저  $\text{NO}_x$  시스템에 대한 요구가 점점 증가함에 따라 새로운 엔진에서의 연소현상을 예측/설계할 때 예혼합연소를 배제한 연소가 일어나도록 하려는 시도가 이루어지고 있다. 이는, 세탄가가  $\text{NO}_x$ 의 생성에 미치는 효과에 대한 전통적인 이해에 대한 도전일 것으로 생각된다. 사실상, 예혼합연소가 거의 없는 엔진의 경우 세탄가가  $\text{NO}_x$ 에 미치는 영향은 아주 작거나 거의 없을 뿐만 아니라 CO와 HC의 배출 역시 저감되는 것으로 알려져 있다.

세탄가의 증가가 PM의 배출에 미치는 영향은 엔진마다 다르다. 대부분의 엔진의 경우 세탄가는 PM의 배출에 영향을 미치지 않는다. 하지만 일부 엔진에서는 그 양이 비록 미미하기는

하지만 PM의 감소를 얻을 수 있었지만, 또 다른 엔진에서는 세탄가의 증가에 따라 PM의 배출이 늘어나기도 하였다. (Lee, 1998)

세탄가가 엔진의 성능에 미치는 다른 영향으로는 세탄가를 낮춤에 따른 엔진소음(engine noise)의 증가를 들 수 있다. 한편, 세탄가를 높이는데 사용되는 혼합물(blend)의 낮은 발열량(heating value)으로 인하여 세탄가를 높이면 연료소비량이 어느 정도 증가하게 된다.

### 2.3 Aromatics

방향족성분(total aromatics)이 오염물질에 미치는 영향에 대해서 논란이 지속되고 있다. 과거에 이루어졌던 많은 연구들에서는 방향족성분의 변화를 다른 물성치, 즉, 밀도, T90, 그리고 세탄 등의 변화와 분리할 수 없었다. 이들 연구결과에서는 방향족성분을 감소시킴으로서 HC와 PM의 배출이 감소하는 것으로 보고되었지만, 사실, 방향족성분의 변화는 연료 중 다른 성분의 변화에 의한 것이었다. 한편, 방향족성분과 다른 물성치 사이의 상관관계를 없애고 시험한 최근의 연구에 의하면 방향족성분은 HC, CO, 그리고 PM의 배출에 혼합된 결과를 보이는 것으로 알려지고 있다. 하지만, 대부분의 결과에서는 방향족 성분은 HC, CO, 그리고 PM의 배출에 영향을 미치지 않는 것으로 나타나고 있다.

하지만 방향족성분을 30%에서 10%로 감소시키면 NO<sub>x</sub>의 배출은 0~5% 정도의 적은 양이 저감된다. 이러한 효과는 방향족성분과 연관된 화염온도에 기인한다. 즉, 방향족성분을 감소시킴으로서 화염의 온도가 떨어지고 결국 NO<sub>x</sub>의 생성물을 낮추어 NO<sub>x</sub>가 저감되는 것이다. 또 다른 원인은 방향족성분의 C/H비(ratio)가 높다는 것과 연관이 되어 있다. 한편, C/H비가 높을수록 연소과정 중에 H<sub>2</sub>O보다 CO<sub>2</sub>의 배출이 많다. CO<sub>2</sub>는 고온에서 해리반응(dissociation)을 일으키려는 경향이 높기 때문에, 방향족성분이 많이 함유된 연료는 보다 많은 산소라디칼(oxygen radical, O)을 내놓게 되는데, 이 산소라디칼은 질소분자와 충돌하게 되어 NO의 생성물이 증가하게 된다.

최근에 polyaromatics 혹은 polycyclic(di- and tri-) 방향족성분의 영향과 total aromatics 성분의 영향을 분리하려는 시도가 이루어지고 있다. Polyaromatics를 감소시키면 HC와 NO<sub>x</sub>의 배출을 저감시킬수 있지만 CO의 배출에는 영향을 미치지 않는다. 또한, 오염물질을 많이 배출하는 예전의 낡은 엔진(>0.1g/kWh)에서 탁월한 PM저감능력이 있는 것으로 밝혀지고 있다. 하지만 오염물질 배출이 극히 적은 최신의 엔진에서는 polyaromatics의 감소하더라도 PM의 배출에는 별 영향이 없는 것으로 알려져 있다.

Polyaromatics의 이러한 효과는, aromatics와 마찬가지로, 높은 화염온도 및 높은 C/H비(ratio)와 관련이 있다. Polyaromatics의 C/H비는 monoaromatics의 그것보다 매우 높다.

### 2.4 Density

밀도(혹은 비중, density)는 연료경제성 및 최대출력 측면에서 중요한 연료물성치이다. 일반적으로, 단위체적당 에너지는 밀도의 증가에 따라 증가한다. 방향족(aromatics)와 같은 연료의 다른 물성치와 밀도의 영향을 분리하여 수행한 연구결과에 의하면, 밀도는 디젤의 규제대상 오염물질의

배출에 영향을 미치는 중요한 인자로 밝혀지고 있다.

연료의 밀도가 오염물질의 배출에 미치는 영향을 연구하기 위한 시험을 하는 동안 엔진의 출력을 일정하게 유지해야 함을 주의해야 한다. 만일 일정 최대출력을 유지하지 않은 경우의 결과를 비교하면, 밀도가 낮은 연료는 최대출력을 저하시키고 따라서 오염물질의 배출도 줄어든다. 이러한 경우에  $\text{NO}_x$ 의 배출 역시 감소하는데, 이는 연소압과 연소온도가 낮아지기 때문이다. 이와 함께 전체적인 공연비가 희박해지기 때문에 PM의 배출도 감소한다.

연료의 밀도를  $0.86\text{g/cm}^3$ 에서  $0.81\text{g/cm}^3$ 으로 낮추면 PM의 배출량이  $0.25\text{g/kWh}$  이상인 예전의 엔진에서는 PM이 20%나 감소한다. 하지만 이 양은 엔진에서 바로 배출되는 PM의 양이 감소할수록 줄어든다. 한편, PM의 배출량이  $0.1\text{g/kWh}$ 보다 작은 최신 엔진에서는 연료의 밀도의 변화에 따른 PM의 변화는 매우 작거나 거의 없는 것으로 보고되고 있다.

한편, 밀도를 감소시키면  $\text{NO}_x$ 의 양은 조금 감소하지만, HC의 배출은 크게 늘어나고, CO의 배출도 약간 증가한다. HC의 배출은 PM이 많이 배출되는 엔진( $\text{PM} > 0.15\text{g/kWh}$ )에서 특히 증가한다.

밀도의 변화가 오염물질의 생성에 미치는 영향은 연료분사 시스템과 매우 복잡한 물리적 상관관계를 가지고 있다. 즉, 연료분사 시스템의 물리적 변화로 인하여 분사시기 및 분사율의 변화가 발생하게 된다.

## 2.5 Volatility

90% 혹은 95% 증류회복온도(distillation recovery temperature, T90/T95)로 표현되는 디젤연료의 back-end volatility는 오염물질의 배출에 약간 영향을 미친다. 휘발성(volatility)이 감소하면 HC와 CO의 배출은 약간 증가하고  $\text{NO}_x$ 의 배출은 약간 감소한다. 한편, 휘발성이 감소하더라도 PM의 배출에는 영향을 미치지 않는다. 이와 같이 휘발성의 영향이 작기 때문에, 디젤연료의 휘발성은 오염물질의 배출 성능의 결정에 영향을 미치지 않는 중요하지 않은 인자로 간주될 수 있다.

휘발성의 효과는 back-end의 조성에 의존한다. 예를 들어, 세탄가가 높은 heavy alkane wax는 low cetane polyaromatics에 비하여 배출물의 저감에 약간의 효과가 있다.

## 2.6 Oxygenates

디젤연료에 biodiesel이나 알코올(alcohol)과 같은 여러가지 oxygenate을 첨가한 연료에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 관심은 생태재료(biomass feedstock)로부터 oxygenate을 구하는 것이 가능하기 때문이다. 배기저감 효과는 간혹 이러한 합성연료에 대해서도 요구된다.(Emission benefits are sometimes claimed for such fuel blends)

대부분의 배기물질 저감에 대한 연구에서는 oxygenate의 첨가에 의한 효과와 oxygenate에 의하여 연료가 희석될 때 나타나는 연료의 다른 물성치들(e.g. density)의 변화에 따른 효과를 구분하지 못하고 있다. 한편, 연료에 oxygenate을 혼합하면 연료의 에너지밀도(energy density)가 줄어들고, 따라서 오염물질의 배출수준이 변화한다. 서로 다른 연료를 사용한 엔진시험의 결과를 서로 비교하는 것이 가능하도록 엔진은 혼합연료를 사용한 엔진은 원래의 동력성능을 지니도록 조정되어

야 한다. 따라서, oxygenate이 첨가된 연료를 사용한 시험데이터 들에 대한 신빙성은 불확실하다.

Oxygenate을 사용하면 PM 과 CO 는 약간 감소하지만 HC 는 약간 증가하는 것으로 알려져 있다.

### 2.7 Summary

대형디젤엔진에서 연료의 물성치가 오염물질의 배출에 미치는 영향이 Table 1 에 정리되어 있다. (Lee, 1998) 표에 나타난 경향은 서로 다른 테스트 사이클에서 여러 대의 엔진을 사용하여 시험한 결과로부터 정리한 것이다. 서로 다른 엔진 사이에는 많은 차이가 있었음을 지적하고 싶다.

예전의 오래되고 오염물질이 많이 나오는 엔진의 경우보다, 현재의 보다 깨끗한 디젤엔진 (clean diesel engine)의 경우, 유향의 영향을 제외한 다른 물성치들이 오염물질의 배출에 미치는 영향은 별로 중요하지 않은데, 이는 지금까지 연료의 물성치에 대하여 고찰하면서 계속 관찰되었던 사항이다. 명백히, 연료의 물성치를 바꾸어도 최신의 깨끗한 디젤엔진의 배출특성은 조금 개선되거나 개선된 사항이 거의 없는 것이 사실이다. 하지만 새로운 기술이 개발되어 대형디젤엔진에 적용될 수록 연료의 민감도(sensitivity)는 변할 것이고 위에서 언급된 경향 자체도 재검증을 받아야 할 것으로 사료된다.

Table 1 Influence of Fuel Properties on Heavy-Duty Diesel Emissions

	HC	CO	NOx	PM
Reduced Sulfur	0	0	0	↓↓ ... ↓ <sup>b</sup>
Increased Cetane Number	↓↓ ... 0 <sup>a</sup>	↓↓ ... 0 <sup>a</sup>	↓	0
Reduced Total Aromatics	0	0	↓ <sup>c</sup>	0
Reduced Polyaromatics	↓	0	↓ <sup>c</sup>	↓↓ ... 0 <sup>a</sup>
Reduced Density	↑↑	↑	↓	↓↓ ... 0 <sup>a</sup>
Reduced T95	↑	↑	↓	0
Increased Oxygenate*	↑	↓	0	↓

\* - tentative results, require confirmation by future work

a - effect disappears on low emission engines

b - smaller effects are observed with low sulfur levels

c - polyaromatics are expected to give a bigger reduction than mono aromatics

Legend: ↑↑ - large effect; ↑ - small effect; ⤴ - very small effect; 0 - no effect

위의 Table 1 에 나와 있는 결과들은 연료의 특정 물성치의 영향만을 분리해서 고찰한 것이다. 하지만 현실적으로는 연료의 한가지 물성치를 변화시키면 다른 물성치들도 변하게 된다. 이러한 경우, 연료의 특정 물성치의 변화에 기인한 오염물질 배출특성의 변화는 반드시 중첩적이지는 않음을 주의하기 바란다.

연료 물성치의 변화를 일으키는 인위적 첨가제와 자연적 첨가제를 사용한 서로 다른 연료를 사용한 경우, 이 두 연료에 의한 오염물질의 배출특성은 서로 비슷하다. 최근의 엔진들에서 연

료품질의 민감도가 감소하고 있음을 비추어 볼 때, 연료첨가제의 효과 역시 비슷한 경향을 보일 것이라고 예측할 수 있다. 세탄가 증진제(cetane improver)와 연소 촉진제(combustion enhancer)와 같은 여러가지 첨가제들은 품질이 좋지 않은 디젤연료를 사용하는 오염물질의 배출이 많은 오래된 엔진에서 오염물질을 감소시키는 데에 효과적이다. 연소를 촉진시키는 첨가제가 최신 엔진의 배출 특성에 미치는 효과는 극히 작다.

연료의 다른 물성치 중에서 연료중 함유된 유황은 특별한 위치를 차지하고 있다. 비록 현재 유황의 함유수준(~0.05%)을 더욱 낮추어도 오염물질의 배출특성에는 별 효과가 없지만, 디젤의 오염물질을 제어하는 여러가지 장치, 예를 들어 후처리장치나 EGR 시스템 등은 유황에 피독되는 문제 혹은 부식되는 문제 등을 가지고 있기 때문에, 연료 중 유황의 함유량을 더욱 낮추어야 할 필요가 있다.

### 3. Light-Duty Engines

EPEFE 프로그램은 소형디젤엔진에서 연료의 물성치가 오염물질의 배출에 미치는 영향에 대해서 가장 광범위하게 연구하는 프로젝트이다. 모든 차량과 엔진들이 1996 유럽 배기규제(European Emission Standards)(즉, PM = 0.08, HC+NO<sub>x</sub> = 0.7, CO = 1.0 g/km )에 맞춰 시험되었다. 연료는 11 종류를 사용했는데, 물성치의 변화는 다음과 같다.

- cetane number : 50 ~ 58
- density : 0.855 ~ 0.828 g/cm<sup>3</sup>
- polyaromatics : 8 ~ 1 %wt.
- T95 : 370 ~ 325 °C

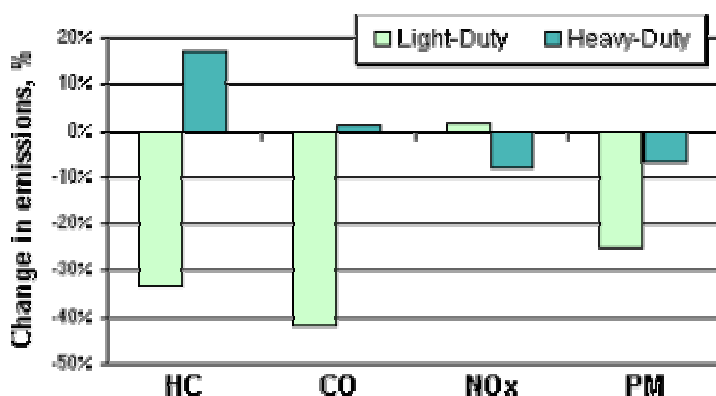


Figure 2 Fuel Effects on Light and Heavy Duty Engine Emissions

연료의 품질이 소형 및 대형디젤엔진의 오염물질에 미치는 영향은 서로 상당히 다르다. 이에 대한 그림이 위의 Figure 2 에 나와 있는데, 이 그림은 위에서 언급된 연료물성치의 모든 변화에 걸쳐서



시험된 것으로서, 연료의 변화에 따른 오염물질의 배출특성을 나타낸 것이다. (Rickeard, 1996) 연료의 변화에 대하여 단지 PM 만이 같은 방향의 변화를 보이고 있고, NO<sub>x</sub>, HC, 그리고 CO 는 서로 다른 방향으로 변하고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이, NO<sub>x</sub>를 제외한 다른 배출물은 대형 디젤엔진에서보다 소형엔진에서 연료의 민감도(sensitivity)가 더욱 크게 나타나고 있다.

Table 2 Influence of Fuel Properties on Light-Duty Diesel Emissions

	HC	CO	NOx	PM
Reduced Sulfur	0	0	0	↓
Increased Cetane Number	↓↓	↓↓	0	↓
Reduced Density and Polyaromatics*	↓	↓	0	↓↓
Reduced T95	↓	↓	↓	↓

\* - influence of these parameters was not decoupled

Legend : ↑↑ - large effect (10-20%); ↑ - small effect (2-10%); ⚡ - very small effect (<2%); 0 - no effect

EPEFE 프로그램에서 제공된 연료물성치의 변화가 소형엔진의 배출특성에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. (MacKnivern, 1996) 이 데이터들은 앞의 Table 1에 나와 있는 대형디젤엔진에서의 시험보다 적은 양의 시험데이터에서 얻은 결론으로서, 1996년 당시의 유럽 디젤엔진 기술의 대표적인 경향을 나타낸 것으로 보아도 좋다. 한편, 위의 결과는 서로 다른 지역의 새로운 승용디젤엔진이나 산업용 소형디젤엔진에 보편적으로 적용할 수도 있고 그렇지 못할 수도 있음을 주의하기 바란다.

### 참 고 문 헌

1. Burns, V. R., et al., 1991, "Description of Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program," SAE 912320.
2. Cowley, L. T., Stradling, R. J., and Doyon, J., 1993, "The Influence of Composition and Properties of Diesel Fuel on Particulates Emissions from Heavy-Duty Engines," SAE 932732.
3. Lee, R., Pedley, J., and Hobbs, C., 1998, "Fuel Quality Impact on Heavy Duty Diesel Emissions : A Literature Review," SAE 982649.
4. MacKniven, R., and Hublin, M., 1996, "European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies - Objectives and Design," SAE 961065.
5. McKinley, T., 1997, "Modeling Sulfuric Acid Condensation in Diesel Engine EGR Coolers," SAE 970636.
6. Owen, K., and Coley, T., 1995, "Automotive Fuels Reference Book," 2nd edition, SAE, Warrendale, PA.
7. Rickeard, D. J., Bonetto, R., and Singer, M., 1996, "European Programme on Emissions, Fuels and Engine

Technologies (EPEFE) - Comparison of Light and Heavy Duty Diesel Engine Studies,” SAE 961075.

8. Singer, M., et al., 1996, “European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE) - Heavy Duty Diesel Study,” SAE 961074.