

What are Diesel 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

이 논문은 환경규제와 관련이 있는 디젤 배출물과 그렇지 않은 배출물에 대한 고찰을 목적으로 하고 있다. 서로 다른 엔진 형태에서의 배출물의 규제치를 비교하였고, 디젤엔진에서의 생성에 대한 고찰을 하였다.

1. Diesel Combustion Products

디젤엔진은 다른 내연기관과 마찬가지로 연료 중에 포함되어 있는 화학적 에너지를 기계적인 동력으로 바꾸는 장치이다. 디젤 연료는 탄화수소의 혼합물인데, 이론적으로 이들이 연소하면 연소생성물로는 순수하게 CO_2 와 H_2O 가 생긴다. 사실상, 디젤 배기가스의 대부분은 CO_2 와 H_2O , 그리고 사용되고 남은 엔진 흡입 공기로 이루어져 있다. 이들 배기가스의 농도는 엔진의 종류 및 부하, 그리고 속도 조건 등에 따라 다르지만, 대략 아래와 같은 범위에 있다.

- CO_2 : 2 ~ 12 %
- H_2O : 2 ~ 12 %
- O_2 : 3 ~ 17 %
- N_2 : $100 - (\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2)$

지구온난화에 영향을 주는 CO_2 를 제외한 그 어느 배출가스도 건강이나 환경에 영향을 미치지 않는다.

디젤의 배출가스 중에는 인간에게 해롭거나 환경에 부정적인 영향을 미치는 배출물이 들어 있다. 이러한 디젤 배출물은 실제 연소 중에 일어나는 여러가지 비정상적인(non-ideal) 프로세스에 의한 부산물(by-product)이다. 이러한 부산물은 연료의 불완전 연소, 고온 고압에서의 혼합물의 반응, 윤활유와 윤활유 첨가제의 연소, 그리고 연료의 첨가제와 연료중에 들어있는 유황 성분의 연소 등에 기인한다. 하지만 현재의 디젤엔진에서 배출되는 이러한 비정상적인 부산물은 전체 배기가스의 몇 퍼센트에 지나지 않는다.

미국과 유럽 뿐만 아니라 세계의 여러나라에서 디젤 배기가스에 대한 규제가 이루어지고 있다. 규제되는 디젤 배출물은 다음과 같다.

- 디젤 입자상물질 (diesel particulate matter, DPM) : PM (particulate matter) 혹은 TPM (total particulate matter)으로 불리는 것으로서 중량(mass) 규제를 하고 있다.
- 질소산화물 (Nitrogen Oxides, NO_x)
- 탄화수소 (Hydrocarbon, HC) : total hydrocarbon(THC)과 non-methane hydrocarbon (NMHC)
- 일산화탄소 (Carbon Monoxide, CO)

디젤엔진은 내부적인(internal) 혼합물 형성, 그리고 연료 분사 중에 그리고 후에 일어나는 압축 점화로 작동하기 때문에 디젤의 배출가스는 가솔린 기관에서 배출되는 gas와 다소 다르다. 경량 디젤엔진(light-duty diesel engine)과 가솔린 엔진에서 배출되는 배기가스의 규제에 대한 비교가 Figure 1에 도시되어 있다. (Bosch, 1994) 두 엔진 모두 유럽 테스트 사이클(European Test Cycle)(4-cylinder MY 1992 engines, 배기량 1.7 l)에서 테스트가 수행되었다.

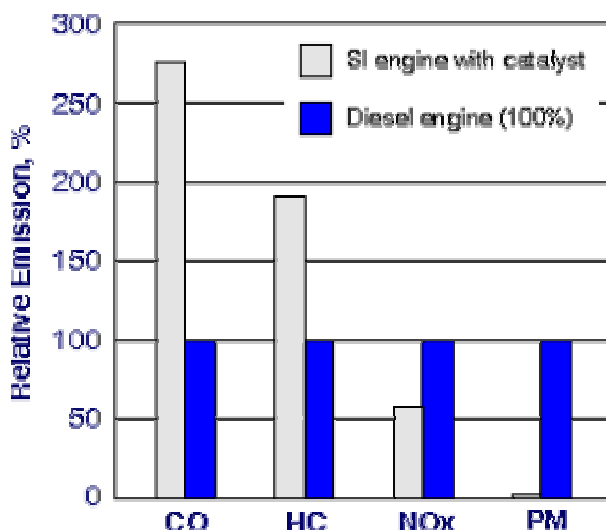


Figure 1. Comparison of Regulated Emissions - Spark Ignited and Diesel Engines

디젤엔진에서 배출되는 CO와 HC는 가솔린 엔진에서 배출되는 것보다 훨씬 낮다. 디젤 NO_x 는 가솔린 엔진에서 배출되는 것보다는 작지만 가솔린 엔진에는 삼원촉매가 장착되어 있기 때문에 가솔린 엔진에서보다 많이 배출된다. 디젤엔진의 실제 단점은 가솔린 엔진의 배기가스에는 거의 없는 PM의 배출이다. PM과 NO_x 저감이 현재 디젤엔진 배기가스 제어의 핵심이다.

한편 비록 규제되는 배출물질의 양보다는 훨씬 작기는 하지만, 디젤엔진에서는 현재 규제되지 않는 물질, 그리고 규제대상에 포함시키려고 하는 오염물질이 다수 포함되어 있다. 이들 중의 어떤 물질은 PM의 한 부분을 이루고 있기도 하고 어떤 물질은 그 자체가 독립적인 기체상태의 배출물이 되기도 한다. 이러한 규제되지 않는 디젤 배출물을 정리하면 다음과 같다.

- PAH : “polynuclear aromatic hydrocarbons”로서 대부분 PM 에서 발견되는 무거운 유기 성분 (heavy organic compound), 혹은 PAH 는 기체상태로 존재하기도 한다.
- SOF : “soluble organic fraction”으로서 DPM 의 한 부분을 구성하고 있다.
- Aldehydes, R-CHO : 탄화수소(hydrocarbon)(formaldehyde, HCHO, 는 일부 분야에서는 규제되고 있다.)로부터 나온다.
- Sulfur Dioxide, SO₂ : 연료중에 함유되어 있는 유황(sulfur)으로부터 생성된다.
- Nitrous Oxide, N₂O (N₂O 는 NO_x 에 포함되지 않는다.)
- Dioxines : 비록 아직까지 확실한 증거가 있는 것은 아니지만, 디젤 배기가스는 다이옥신 배출의 한 원인으로 의심받고 있다.)
- Metal Oxides : 여러가지 엔진 윤활유 첨가제는 metalorganic compound 를 함유하고 있는데, 이로 인하여 인(phosphorus), 아연(zinc), 그리고 칼슘(calcium) 같은 산화금속(metal oxide) 배출이 생긴다. 한편 디젤의 배기 규제에 대한 연구의 일환으로서 이루어지고 있는 연료 첨가제의 연구결과는 철(iron), 구리(copper), 세륨(cerium), 그리고 다른 금속(metal) 성분의 배출이 이루어지고 있음을 보고하고 있다.

2. Diesel Emission Levels

아래의 Table 1과 Table 2에 g/kWh 의 단위로 여러 시대의 여러 종류의 엔진에 대한 규제를 나타내었다. 각각의 데이터들은 여러가지 문헌으로부터 뽑은 것을 정리한 것이다. (Sawyer, 1995) 또한 각 데이터에는 서로 다른 테스트 사이클에서 얻어진 것들도 다수 포함되어 있다. 서로 다른 테스트 사이클에 의한 데이터는 완전히 서로 비교할 수 있지 않기 때문에 표에 나타나 있는 비교는 단지 개략적일 뿐이라는 것을 염두에 두기 바란다. 1974년 이후의 데이터에는 EPA 의 기체상 배출물 (gaseous emission)에 대한 인증데이터(certification data)도 포함되어 있다. 1988년 이후의 데이터는 PM 및 기체상태의 배출물에 대한 FTP 과도사이클(transient cycle)에 의한 EPA 인증데이터(certification data)를 포함하고 있다. 한편 여기에서 고려된 엔진은 다음의 세가지 타입의 엔진이다. 즉,

- 4-NA : 4 행정 자연흡기 방식
- 4-TC : 4 행정 터보차저 방식
- 2-DI : 2 행정 직접분사 방식

지난 20 여년 동안 배출가스 저감에 대한 상당한 진전이 있었다. DPM 은 1970 년대에 비해 중량 기준으로 거의 1/10 로 감소하였다. 이러한 저감은 주로 디젤엔진의 설계 및 제어의 발전에 기인한 것이다. 1990 년대 이후의 저유황 배출은 연료에서의 유황분의 감소에 의한 것이다.

Table 1 Gaseous Emissions from Diesel Engines

Time Period	Engine Type	NOx	HC	CO
		g/kWh	g/kWh	g/kWh
1970s	4-NA	6.7~12.7	2.1~4.5	3.5~5.5
	4-TC	6.9~16.7	0.2~2.9	1.5~2.4
	2-DI	21.1~27.1	0.4~2.7	3.0~11.3
1980s	4-NA	5.8~10.1	1.5~3.3	2.7~4.8
	4-TC	11.2~12.5	1.6~1.75	1.5~2.1
	2-DI	6.0~7.7	0.6~1.7	1.3~3.8
1990s	4-NA	3.21~0.22	0.15~0.22	3.21~3.28
	4-TC	3.21~3.73	0.15~0.75	0.89~1.72
	2-DI	3.58~3.66	0.08~0.38	1.12~1.19

Table 2 Gaseous Emissions from Diesel Engines

Time Period	Engine Type	TPM	SOF	Carbon	Sulfates*
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	mg/kWh
1970s	4-NA	2.1~3.0	0.22~0.31	1.8~2.6	20~120
	4-TC	0.6~2.5	0.08~0.28	0.5~2.2	40~120
	2-DI	0.8~1.9	0.08~0.2	0.7~1.7	20~50
1980s	4-NA	0.25~0.6	0.05~0.36	0.2~0.25	15~70
	4-TC	0.28~0.58	0.07~0.26	0.2~0.31	27~55
	2-DI	0.4~0.6	0.03~0.06	0.35~0.55	20~50
1990s	4-NA	0.18~0.19	0.03~0.09	0.02~0.04	< 0.5
	4-TC	0.11~0.39	0.03~0.09	0.02~0.04	< 0.5
	2-DI	0.1~0.25	0.03~0.09	0.02~0.04	< 0.5

* in 1990's data fuel sulfur level was 0.01%, while 1970's and 1980's data were for typical sulfur level of 0.3~0.35%. The unit of measure, mg/kWh, was misprinted in the original source.

참 고 문 헌

Bosch, 1994, "Diesel Fuel Injection," Robert Bosch GmbH

Sawyer, R. F., and Johnson, J. H., 1995 "Diesel Emissions and Control Technology," In Diesel Exhaust : A Critical Analysis...?, Health Effects Institute, 1995