

# Environmental Effects of 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

대기 오염물질은 수많은 환경파괴 현상, 예를 들어, 광화학 스모그(photochemical smog), 산성비(acid rain), 산림의 파괴, 그리고 대기 투명도(atmospheric visibility)의 감소 등의 주범으로 인식되고 있다. 화석연료의 연소에 의한 온실가스(greenhouse gas)의 배출은 지구 온난화(global warming)와 연관되어 있다.

## 1. Pollutants and Air Quality

대기 오염물질은 기후와 식물, 동물, 그리고 전체 생태계(ecosystem)의 생리현상(physiology) 뿐만 아니라 농작물 또는 인간이 만든 구조물과 같은 인간의 재산 등에 부정적 영향을 미치는 성분을 일컫는다. 이러한 대기 오염물질은 자연 또는 인위개변(人爲改變, anthropogenic), 즉, 사람에 의한 배출원(man-made source), 또는 이 모두에서 배출될 수 있다. 오염물질의 자연배출원(natural source)의 예로는 화산폭발 또는 풍식작용(wind erosion), 그리고 인위개변적 배출원(anthropogenic source)으로는 내연기관을 들 수 있다. 한편, 산불과 같은 일부 오염물질의 배출원은 자연현상 그리고 인간의 활동 모두와 연관될 수 있다.

대기반응(atmospheric reaction)은 주요 오염물질을 서로 다른 화학종(chemical species)으로 변환시킬 수가 있다. 이러한 반응은 유해한 화합물 뿐만 아니라 자체의 전구(前驅)물질(precursor)보다 더욱 해로운 2차 대기오염물질을 배출하기도 한다.

전세계에서 가장 중요한 오염물질들과 그 배출원, 그리고 환경에 미치는 영향 또는 그 원인으로 지목되고 있는 영향 등을 아래의 Table 1에 정리하였다. (Sher, 1998)

Table 1 Air Pollutants, their Sources, and Effects

Pollutant	Natural Source	Anthropogenic Source	Environmental Effect
Carbon monoxide	Unnoticeable	Rich & stoichiometric combustion, mainly from motor vehicles	Human health impact

Nitrogen oxides (NO + NO <sub>2</sub> )	Lightnings, soil bacteria	High temperature fuel combustion - motor vehicles, industrial, and utility	Primary pollutants that reduce Photochemical smog, acid rain, and nitrate particulates. Destruction of stratospheric ozone. Human health impact.
Particulates	Forest fires, wind erosion, volcanic eruption	Coal, waste, and fossil fuel burning	Reduced atmospheric visibility. Human health impact.
Sulfur dioxide	Volcanic eruptions and decay	Coal combustion, ore smelters, petroleum refineries, diesel engines burning high-sulfur fuels	Acid rain. Human health impact.
Ozone	Lightning, photochemical reactions in the troposphere	Secondary pollutant produced in photochemical smog	Damage to plants, crops, and man-made products. Human health impact.
Carbon monoxide	Unnoticeable	Rich & stoichiometric combustion, mainly from motor vehicles	Human health impact
Carbon dioxide	Animal respiration, decay, release from oceans	Fossil fuel and wood combustion	Powerful greenhouse gas
Non-methane hydrocarbons (VOC)	Biological processes	Incomplete combustion, solvent utilization	Primary pollutants that produce photochemical smog
Methane	Anaerobic decay, cud-chewing animals, oil wells	Natural gas leak and combustion	Greenhouse gas
Chlorofluorocarbons (CFC)	None	Solvents, aerosol propellants, refrigerants	Destruction of stratospheric ozone

정부 및 국제조직에서는 대기환경을 보호하기 위한 행동을 취하고 있다. 환경보호 당국에 의해 설정된 대기환경 규제 및 지침은 이러한 목적을 위한 유용한 방법이다. 이러한 대기환경 표준의 한 예로 미국의 EPA(Environmental Protection Agency)에 의해 채택된 NAAQS(National Ambient Air Quality Standard)를 들 수 있다. NAAQS 환경규제에서는 특히 미국의 1990 대기환경법(Clean Air Act)에서 규제되고 있는 다음의 여섯 가지 물질들, 즉, 오존(ozone), 일산화탄소(carbon monoxide), 이산화질소(nitrogen dioxide), 납(lead), 입자상물질(particulate matter), 그리고 유황산화물(oxides of sulfur)의 최고농도(maximum concentration)를 규정하고 있다. 도시 지역에서는 이러한 기준 오염물질의 대기 농도를 달성해야만 한다. NAAQS가 규제하는 고전적인 오염물질 뿐만 아니라 캘리포니아에서 설정된 규제치 및 세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서 제안하는 대기환경 지침 대기 관련 지침의 규제치가 아래의 Table 2에 정리되어 있다. 여기에서 각각의 물질들은 서로 다른 시간으로 평균되어 있음을 주의하기 바란다.

Table 2 Selected Ambient Air Quality Standards

Pollutant	U.S. NAAQS	California	WHO
-----------	------------	------------	-----

Ozone (1 hr)	0.12 ppm	0.09 ppm	-
Ozone (8 hr)			120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Carbon Monoxide (1 hr)	35 ppm	20 ppm	30,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Carbon Monoxide (8 hr)	9.4 ppm	9 ppm	10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM-10 (24 hr)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
PM-10 (1 yr)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
Nitrogen Dioxide (1 hr)	-	0.250 ppm	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Nitrogen Dioxide (24 hr)	-		-
Nitrogen Dioxide (1 yr)	0.052 ppm		40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sulfur Dioxide (24 hr)			125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sulfur Dioxide (1 yr)			50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

한편, 하나의 복합적인 측정기준으로 대기오염의 심각성을 나타낼 수 있도록 하기 위하여 대기오염 지수(air quality index)가 고안되었다. 이러한 지수(index)는 여러 가지 기준 오염물질들의 농도와 그들 각각의 농도규제치에 기초를 두고 있다.

미국의 EPA 에 의해 사용되고 있는 AQI (Air Quality Index, 이전에는 PSI , 즉, Pollutant Standards Index)를 아래의 Table 3에 나타내었다. 각 오염물질의 AQI 수치는 표에 나와 있는 중지점(breakpoint) 사이의 값을 선형근사(linear approximation)하여 계산할 수 있다. AQI 의 최종 수치는 각 오염물질에서 계산된 값 중에서 가장 높은 값을 택한다. 즉, 바꾸어 말하면, 상대적인 농도가 가장 높은 오염물질이 AQI 를 결정한다.

Table 3 U.S. Air Quality Index ( AQI ) (EPA, 1999)

AQI	Category	O <sub>3</sub> 8h	O <sub>3</sub> 1h	PM-2.5 24h	PM-10 24h	CO 8h	SO <sub>2</sub> 24h	NO <sub>2</sub>
		ppm	ppm	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	ppm
0-50	Good	0.000-0.064	-	0.0-15.4	0-54	0.0-4.4	0.000-0.034	-
51-100	Moderate	0.065-0.084	-	15.5-40.4	55-154	4.5-9.4	0.035-0.144	-
101-150	Unhealthy for sensitive groups	0.085-0.104	0.125-0.164	40.5-65.4	155-254	9.5-12.4	0.145-0.224	-
151-200	Unhealthy	0.105-0.124	0.165-0.204	65.5-150.4	255-354	12.5-15.4	0.225-0.304	-
201-300	Very unhealthy	0.125-0.374	0.205-0.404	150.5-250.4	355-424	15.5-30.4	0.305-0.604	0.65-1.24
301-400	Hazardous	-	0.405-0.504	250.5-350.4	425-504	30.5-40.4	0.605-0.804	1.25-1.64
401-500	Hazardous	-	0.505-0.604	350.5-500.4	505-604	40.5-50.4	0.805-1.004	1.65-2.04

대기환경의 목표치를 얻기 위해서는 특정 대기오염물질의 배출원(source)을 확인하고 이를 제어해야만 한다. EPA (Environmental Protection Agency)는, 공해물질을 발생시키는 여러 배출원(source)의 상대적 중요도에 관한 정보를 제공하는 “배출원 목록(emission inventory)”을 수집하여 정리한다. 일반적으로 자동차는  $\text{NO}_x$ , HC, CO 그리고 PM 을 많이 배출하는 것으로 알려져 있다. 이러한 자동차에 국한시켜 살펴보면,  $\text{NO}_x$  는 SI 과 디젤엔진에서 서로 같은 양이 배출되고, HC 와 CO 는 주로 SI 엔진에서 배출되며, PM 의 대부분은 디젤엔진에서 배출된다.

## 2. Photochemical Smog

스모그(smog)는 전세계 대부분의 대도시 지역을 괴롭히는 대기 오염물질의 혼합물이다. 스모그(smog)의 주요 구성물질은 질소산화물(nitrogen oxides), 유황산화물(sulfur oxides), 일산화탄소(carbon monoxide), 그리고 미세(微細) 입자상물질(fine particulate)이다. 대기중의 오존(ground level ozone)은 광화학스모그(photochemical smog) 반응에서 생성되는 2차 오염물질(secondary air pollutant)이다. 스모그(smog)는 인체의 호흡기관에 염증(irritation)을 일으키는 갈회색(brownish-grey)의 안개(haze)라는 표현으로 가장 분명히 나타낼 수 있다. 일반적인 증상으로는 기침(coughing), 숨막힘(choking), 그리고 눈의 쓰라림(stinging eye)을 들 수 있다.

도로 교통수단(road traffic), 비행기, 배, 기차, 그리고 산업시설에서의 배출 등과 같은 차량 이외의 교통수단(non-road vehicle) 뿐만 아니라 오염물질이 배출되는 소규모 사업(small business) 및 가계업(household) 등은 스모그(smog) 대기오염의 여러 배출원(source)이다. 디젤트럭, 버스, 그리고 비고속도로 차량(off-highway vehicle)은 스모그(smog)에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 오존(ozone)의 전구(前驅)물질(precursor)인  $\text{NO}_x$  와 PM, 그리고 비록 적은 양이기는 하지만  $\text{SO}_2$  및 탄화수소류(hydrocarbons)의 배출에도 영향을 미친다.

오존(ozone),  $\text{O}_3$  은 질소산화물(nitrogen oxides,  $\text{NO}_x$ )과 탄화수소(hydrocarbons)의 광화학반응(photochemical reaction)에서 생성되는 물질로서 스모그(smog)의 심각성(severity)을 나타내는 “기준(benchmark)” 오염물질이다. 이 반응은 대기중 주요 오염물질(질소산화물(nitrogen oxides,  $\text{NO}_x$ )과 탄화수소(hydrocarbons))의 증대(buildup)에서 시작하여 점진적으로  $\text{NO}_x$ , 탄화수소(hydrocarbons), 그리고 햇빛이 관련된 복잡한 화학반응을 통하여 오존(ozone)이 생성된다. 결과적으로 주요 오염물질의 농도는 감소하고 오존(ozone)의 농도는 증가한다. 무더운 여름 오후와 같이 강한 태양, 고온, 그리고 대기의 역전층(inversion layer)이 존재하는 경우 오존 수치(ozone level)가 높아진다.

오존(ozone)은 화학적 활성(chemical activity)이 매우 높은 산화제 화합물(oxidizing compound)이다. 오존(ozone)의 농도가 증가함에 따라 오존(ozone)은 스모그(smog)의 다른 성분들과 반응하여 공기를 정화시켜서 결국 대기중에서 점점 사라지도록 하는 성질을 가지고 있다. 따라서 이 때의 오존(ozone)은 공기의 불순물을 제거하는 “자연 세척제(nature cleaning agent)”의 역할을 수행한다. 그러나 불행히도 오존(ozone)의 공격은 오염물질에만 국한되지 않는다. 즉, 오존(ozone)은 인간의 허파조직을 공격하여 손상을 입히고, 호흡기질환을 더욱 악화시킬 뿐만 아니라 사람들이 호흡기

질병에 걸릴 확률을 증가시킨다. 또한, 오존(ozone)은 식물의 성장을 방해하고 농작물 및 삼림의 피해를 가져올 수도 있다.

도시지역의 오존(ozone)을 감소시키는 데에 효과적인 유일한 전략(strategy)은 주요 스모그(smog) 오염물질, 즉, 탄화수소류(hydrocarbons, VOC)와  $\text{NO}_x$ 를 제어하는 것이다.

### 3. Acid Rain

산성비(acid rain)는  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ 와 같은 산성가스(acidic gas), 그리고 대기오염(airborne pollution)의 배출원(source)에서 나오는 염산(hydrochloric acid)으로부터 생성된다. 대기중에서 산성가스(acidic gas)는 물(water)에 용해되거나 그리고/또는 산화됨으로서 2차 오염물질(secondary pollutant)로 변한다. 이러한 반응의 생성물로는 아황산(sulfurous acid), 황산(sulfuric acid), 그리고 질산(nitric acid)을 들 수 있다. 이러한 산(acid)은 강우(降雨, rainfall), 눈, 안개, 그리고 이슬에 응결되어 채소, 흙, 그리고 인간이 만든 구조물의 재료에 침전된다.

순수한 비(rain)는 중성 수용액(pH-neutral solution)이 아니라, 대기 중의  $\text{CO}_2$ 로 인하여 비의 pH는 일반적으로 약 5.6이다. 한편, 산성비(acid rain)의 pH는 4~5 정도이고, 때로는 4 이하일 때도 있다. 산성비(acid rain)는 (1) 호수와 수로(waterway)의 산성화(acidification), (2) 삼림(forest)의 죽음, 그리고 (3) 건물의 돌, 콘크리트, 그리고 인간이 만든 여러 구조물의 손상을 가져오는 것으로 알려져 있다.

#### 3.1 Acidification of Waters

물(water)의 산성화(acidification)에 따른 영향은 다음과 같다. (Degobert, 1995)

- 송어(trout)와 연어(salmon)와 같은 어류 및 양서류(amphibian)의 감소 또는 멸종
- 플랑크톤(plankton)의 특성 변화
- 분해반응(decomposition process)에 관여하는 박테리아의 균류(菌類, fungus)로의 대체
- 호수의 물이끼(peat moss) 성장의 증가

또한 물(water)의 산성화(acidification)는 중금속(heavy metal)의 용해에도 영향을 미치는데, 이러한 중금속(heavy metal)은 높은 수준의 pH에서도 불용성인 물질이다. 이러한 현상으로 인하여 수은(mercury, Hg), 카드뮴(cadmium, Cd), 납(lead, Pb), 그리고 구리(copper, Cu)와 같은 금속(metal)이 음용수(drinking water)에 섞여있게 된다.

#### 3.2 Death of Forests

산업화에 따른 오염물질로 인한 삼림의 파괴는 대기오염에 대한 마스크(media) 및 일반대중의 관심을 촉발시켰다. 삼림의 죽음(death of forest)은 전혀 새로운 현상이 아니다. 1970년대와

1980년대에 이미 유럽의 서로 다른 지역에 있는 산림의 광범위한 파괴가 일어나고 있었다. 화력발전 전에 고유황의 갈탄(high sulfur lignite)을 이용하는 체코슬로바키아의 경우 약 500,000 ha ( $2.2 \times 10^6$  acre) 이상의 산림이 사라졌다. (Degobert, 1995)

산림의 죽음(death of forest)은 다음과 같이 서로 밀접한 관련이 있는 오염 인자 및 비오염(non-pollution) 인자의 조합에 기인한다.

- 화학적 인자(chemical factor) :  $SO_2$  와  $NO_x$  및 오존(ozone)과 같은 대기오염(airborne pollution)에 의한 (식물의) 잎(foliage)의 화학적 공격(chemical attack)
- 기후적 요소(climate factor) : 특히 나무가 다른 요소에 의하여 이미 허약해져 있는 경우 가뭄(drought)과 늦은 서리(late frost) 역시 산림의 손상을 가져올 수 있다.
- 산림학적 요소(silvicultural factor) : 새로운 나무의 식수는 종종 목재(lumber) 생산에 초점이 맞춰진 것이다. 하지만 나무의 선정은 주어진 환경, 토양, 그리고 기후조건에 그 나무들이 살아남을 수 있도록 최적화된 것은 아니다. 산림의 밀도가 너무 높으면 이웃하는 나무 사이의 물(water)을 확보하려는 경쟁이 치열해진다.
- 병리학적 인자(pathological factor) : 토양의 산성화(acidification) 또는 수자원의 고갈 등과 같은 생태학적 변화(ecological change)는 병리학적 종(種, pathological species)의 성장을 유발한다.

#### 4. Global Warming

지구온난화(global warming)는 온실효과(greenhouse effect)를 일으키는 이산화탄소(carbon dioxide,  $CO_2$ ) 및 다른 가스의 누적(accumulation)에 의한 지표면 온도의 상승을 나타낸다.  $CO_2$  가스의 누적(accumulation)은 인류의 문명화(civilization)에 의한 화석연료(fossil fuel)의 연소의 증가에 기인한다.

수많은 연구 결과에 의하면 전세계의 평균온도는 지난 수십년간 지속적으로 증가한 것으로 밝혀지고 있다. 이와 함께 온실효과(greenhouse effect)는 인류의 역사상 가장 극적인 기후변화를 초래하고 있다는 인식이 확산되고 있다. 기후의 온난화(warming)는 빙하 얼음조각(glacial ice sheet)의 용해, 해수면의 상승, 농업방식의 변화, 그리고 토네이도(tornado) 및 홍수와 같은 이상기후현상의 증가 등을 초래한다.

인간이 생활하고 있는 지표면의 온도는 태양으로부터의 복사열과 지구에서 우주로 재방출(입사된 에너지의 약 30% 정도가 다시 반사된다.)되는 복사열의 에너지 균형(energy balance)에 의한 것이다. 온실가스(greenhouse gas)라고 하는 대기중의 일부 가스는 지구에서 반사되는 에너지를 흡수하는 성질을 가지고 있다. 이러한 가스들은 고주파(high-frequency)의 태양복사 에너지는 투과시키지만 지구에서 재방출되는 저주파(low-frequency)의 적외선 복사열(infrared radiation)에는 “불투명한(opaque)” 특성을 보인다. 이것은 “일방 필터효과(one-way filter effect)”로서, 온실(greenhouse)의 유리지붕(glass roof)에서 관측되는 현상과 매우 유사하다.

한편, 이산화탄소(carbon dioxide, CO<sub>2</sub>), 수증기(water vapor, H<sub>2</sub>O), 프레온(freon)으로 알려져 있는 클로로플루오로카본(chlorofluorocarbon, CFC ; 스프레이의 분사제/냉각제로 사용되던 탄소/염소/불소/수소로 된 각종 화합물, 譯註), 메탄(methane, CH<sub>4</sub>), 아산화질소(nitrous oxide, N<sub>2</sub>O), 그리고 대류권의 오존(tropospheric ozone) 등이 중요한 온실가스(greenhouse gas)로 분류된다. 이와 같은 가스의 물성치가 아래의 Table 4에 정리되어 있다. (Sher, 1998)

Table 4 Greenhouse Gases

Gas	Formula	Current inventory	Rate of increase per year	Warming effectiveness per mole	Relative greenhouse effect contribution
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	356 ppm	+0.4%	1	50%
Methane	CH <sub>4</sub>	1.74 ppm	+0.6%	23	20%
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	0.31 ppm	+0.25%	270	5%
CFC-11	CFCl <sub>3</sub>	0.26 ppb	+2.1%	14,000	5%
CFC-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0.47 ppb	+2.3%	19,500	10%
Tropospheric ozone	O <sub>3</sub>	0.03 ppm	-0.51%	-	10%

특정 화합물의 온실가스(greenhouse gas) 물성치에는 큰 차이가 있다. 예를 들어 프레온(freon) 가스는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)보다 거의 20,000 배 이상 강력하다. 비록 프레온(freon) 가스의 농도는 다른 가스에 비하여 무시할 만 하지만, 프레온(freon) 가스는 전체 온실효과(greenhouse effect)의 약 15%를 차지하는 것으로 알려져 있다.

한편, 비록 프레온(freon) 가스는 전적으로 인간의 활동에 의해 생성되는 것이지만, 다른 온실가스(greenhouse gas)의 경우 앞의 Table 1에 나와 있듯이 여러 종류의 자연원(natural source)에서 배출된다. 가장 중요한 온실가스(greenhouse gas)인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 주로 자연원(natural source)에서 배출되고, 인위개변(人爲改變, anthropogenic), 즉, 인간 활동에 의한 배출은 전체의 약 3.5~4%에 지나지 않는다. (Lenz, 1999; Sher, 1998)

디젤엔진은 또 다른 내연기관인 스파크 점화기관에 비하여 열효율(thermal efficiency) 및 연료경제성(fuel economy)이 좋아서 CO<sub>2</sub>의 상대적인 배출량도 작다. 일부의 연구에 의하면 디젤엔진에서 배출되는 CO<sub>2</sub>는 가솔린엔진에서 배출되는 양보다 약 14% 정도 작은 것으로 밝혀지고 있다. (Walsh, 1998) 따라서 지구온난화(global warming)의 관점에서 본다면 디젤엔진이 훨씬 유리하다.

비록 지구 자체의 자연현상에 의한 것보다 인간의 활동에 의해 지구의 온난화가 진행되고 있다는 명백한 증거는 없는 상황이지만, 지구온난화는 점점 중요한 문제로 자리잡아 가고 있다. 현재 전세계 대부분의 국가에서는 온실가스(greenhouse gas)의 추가적인 배출을 방지하기 위한 정책이 고려되고 있을 뿐만 아니라 일부는 채택되어 시행되고 있다.

## 5. Reduced Atmospheric Visibility

시계(air visibility)의 감소는 안개, 화산폭발, 산불, 또는 모래폭풍과 같은 자연원(natural source) 뿐만 아니라 대기오염(air pollution)에 의해 야기된다. 한편 대기오염은 그 영향이 거의 영구적이기 때문에 자연원(natural source)에 의한 영향과는 달리 특별한 관심이 집중되고 있다.

빛(light)은 부유입자(suspended particle)에 의해 회절되기 때문에 시계(visibility)의 감소는 주로 입자상물질의 배출과 관련이 있다. 디젤엔진에서 배출되는 탄소알갱이(carbon particle)는 대도시 지역의 하늘을 어둡게 하는 가장 중요한 인자이다. 한편, 네덜란드에서 수행된 연구에 의하면, 황산염(sulfate) 및 질산염(nitrate) 입자는 탄소알갱이(carbon particle)보다 더욱 강한 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. (Diederer, 1985) 여기에서 질산염 입자상물질(nitrate particulate)은 대기 중의 NO<sub>x</sub>에서 생성되는 2차 오염물질(secondary pollutant)이다. 따라서 질산염(nitrate)에 의한 오염 역시 디젤엔진의 문제로 귀착될 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. Degobert, P., 1995, "Automobiles and Pollution," SAE / Editions Technip.
2. Diederer, H., et al., 1985, "Visibility Reduction by Air Pollution in the Netherlands," *Atm. Environ.*, 19, pg. 377-383.
3. EPA, 1999, "Air Quality Index Reporting," Final Rule, 64 FR 42530, August 4, 1999, [http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/fr\\_notices/airqual.pdf](http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/fr_notices/airqual.pdf)
4. Lenz, H. P., and Cozzarini, C., 1999, "Emissions and Air Quality," Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.
5. Sher, E., 1998, "Environmental Aspects of Air Pollution," In: "Handbook of Air Pollution ?," Editor: E. Sher, Academic Press, Boston, 1998, pg. 27-41.
6. Walsh, M. P., 1998, "Global Diesel Emission Trends," *Automotive Engineering*, June 1998, pg. 114-118.