Emissions 규제와 대응 기술

박 정 국 · 현대자동차(주) 남양연구소

서 론

1950년대 미국에서는 급속한 산업화와 Motorization으로 인한 차량의 지속적인 증가 등으로 인한 대기 오염이 심각한 사회 문제화가 되기 시작하였다. Haagen Smit 박사는 대기 오염원의 구성을 분석하여 Smog를 유발하는 인자의 50%이상을 차지하는 부분이 차량으로부터 나옴을 밝혀내었다(표 1 참조).

〈표 1〉 대기오염의 구성

비행기, 열차, 선박	16%
승용차, 픽업	33%
도금, 가정용품	18%
대형 트럭, 버스	12%
공장 등	21%

차량 배기 가스에 대한 규제는 미국 California 州가 大氣保全局(CARB: California Air Resources Board)를 1967년에 설립하면서 세계 최초로 시작하였으며, 이후 미 연방도 환경청(EPA : Environmental Protection Agency)을 설립하고 자동차의 Emission 규제를 미국 전역에 걸쳐 시행하게 되었다. 차량의 대부분은 승용차로 Emission 규제 역시 가솔린엔진 차량에 대해 가장 먼저 시행되었다.

초기의 Emission 규제는 엔진의 Crankcase "Blow-by" Gas 방출 규제로부터 시작하여, 1970년 이후부터 대기의 전체 오염도는 줄어들었으나 여전히 목표치에는 미달하여 1990년 수정 大氣保全法(Clean Air Act Amendments)를 채택하면서 본격적으로 차량의 Emission 규제를 실시하게 된 것이다.

Emission 규제는 해를 거듭할수록 강화되어 자동차 기술의 발전이 규제의 강화와 그 궤를 같이한다고 이야기하여도 큰 무리가 없다. 본고에서는 각국의 Emission 규제의 근간이 되는 미국의 가솔린 Emission 규제를 살펴보고 그 대응 기술이 어떻게 발전하여 왔는가를 살펴보고자 한다.

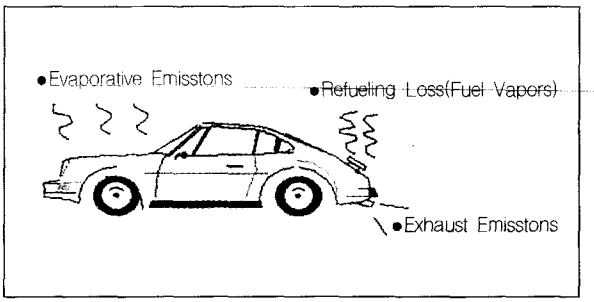
Emissions의 종류와 환경에의 영향

1. Emissions의 종류

차량 관련 Emissions는 연소에 의한 배출가스(HC/CO/NOx 등)와 차량의 주행 및 정차시의 증발 Gas(주로 HC), 그리고 주유시 대기중으로 방출되는 증발 Gas (Refueling Loss)로 구분할 수가 있다. (그림 1 참조)

2. 자동차 Emission의 생성 과정

가솔린이 엔진 내에서 〈식 1〉과 같은 理論的인 完全 연소(Air/Fuel≒14.7/1)를 거치면 유해 물



〈그림 1〉 차량 Emission의 종류

질은 생성되지 않게 된다.그러나 실제의 연소 과정은 완전 연소가 될 수 없으며 다음의 〈식 2〉와 같이 유해 물질이 생성되게 된다.

〈식 1〉 C_7H_{13} (Typical Gasoline)+$10O_2$+$39N_2$ (Air) →$7CO_2$+$6.5H_2O$+$39N_2$

〈식 2〉 Gasoline + Air → ?CO_2 + ?H_2O+?N_2+?HC+?CO+?NOx+(CH_4, SO_2, HCHO 등)

3. 대기 오염의 주 因子

■CO (Carbon Monoxide) : 무색, 무취의 Gas로 대부분이 차량으로부터 나온다. 낮은 Level에서도 정신적 기능과 시력에 영향을 미치며, 혈관내의 산소 공급을 방해하는 인체에 치명적인 Gas로 엔진의 불완전 연소가 방출 원인이다.

■VOCs(Volatile Organic Compounds): VOC는 넓은 범위의 탄화수소 복합물을 통칭하는 용어로 연소 과정과 가솔린 Vapors, Solvent등에서 유출된다.

Global Warming에도 기여하며 햇빛 아래에서 NOx와 반응하여 Ozone(Smog)를 생성한다. Ozone은 눈을 자극하고 호흡기 질환을 일으키며, 농작물의 수확에도 영향을 미친다.

■NOx (Oxides of Nitrogen) : NOx는 연소 과정 중 高溫에서 생성되며, NO_2가 主 성분이다. (Smog내의 황갈색) NOx는 호흡기 계통에 영향을 미치며 대기 반응의 주된 역할을 한다.

■Global Warming : 대기권의 어떤 Gas들은 지구로부터 반사되는 적외선을 흡수한다.

CO_2가 주된 인자(50%)이며, CH4 (18%), CFCs (14%)들도 포함된다. CFC는 성층권의 오존층을 파괴하는 역할도 한다.

■PM (Particulate Matter (PM10)) : PM10은 공기 中 10㎛ 이하의 아주 작은 Particles (e.g., 먼지, Soot, Smoke)를 통칭하는 용어로 주된 Source는 연료를 사용하는 공장과 기타 산업 과정이다. 호흡기를 자극하며, 중금속, 황산염, 질산염 등을 운반하기도 한다.

가솔린 엔진에서는 거의 생성되지 않으며 주로 Diesel 차량에서의 주된 규제 Source이다.

■SO_2 (Sulfur Dioxide) : 황을 포함하는 복합 화합물들을 일컬으며 주로 석탄, Oil을 태우는 과정, 기타 산업 과정에서 생성된다. SO2는 호흡기에 영향을 미치며 대기 중에서 반응하여 산성비 등을 유발한다.

■납 (Pb) : 일상 생활에서 가장 해로운 중금속의 하나로 가솔린 첨가제, Battery 등으로부터 유출되나, 자동차 및 연료 Source에 대한 Control은 아주 성공적이어서 현재는 심각한 문제가 되지않고 있다.

미국의 Emission 규제

세계의 Emission 규제는 크게 나누어 각 국별로 미국의 규제를 기초로 하는 국가들과 유럽의 규제, 그리고 일본의 Emission 규제로 나눌 수 있다. 미국의 규제는 세계에서 가장 먼저 배기 규제를 실시한 국가답게 광범위한 부분에 걸친 규제와 상세한 시험 방법 등 다른 지역에 비해 표준적이라 할만하다. 미국의 Emission 관련 규제는 배출 가스, 증발 가스, 그리고 주유시의 증발 가스 배출치에 대한 규제와 자기진단장치 규정(On-Board Diagnostics), 그리고 지역별 계절별 사

용 연료에 대한 규제가 있으며 Model Year 별로 규제를 강화하고 있다. Model Year는 그 해의 1월1일을 포함한다. EPA와 CARB는 각각의 규제치가 약간씩 차이가 있으며, 시험 방법도 다른 경우가 있으나 자동차 메이커들의 요청을 받아들여 많은 부분에 대해 Harmonize를 추진하고 있다.

EPA는 Clean Air Act를 기본으로 Emission 관련 규제가 CFR (Code of Federal Register)에 詳述 되어있다. CFR의 보조 기능으로 EPA Letters, Advisory Circulars(A/C), Guidelines가 있다. CFR은 여러 Parts와 각 Part에 따르는 Subparts가 있으며 Emission 관련 Parts는 Part 51, 85, 86, 600 등이 핵심 규제를 담고 있다. CARB는 기초가 되는 법규로 Health & Safety Code가 있으며 CCR (California Code of Regulations)의 Section 별로 상세 규제를 서술하고 있다. EPA와 같이 보조 기능으로는 MAC (Manufacturer Advisory Correspondence)가 있다. EPA와 CARB 모두 Internet상에 Home Page가 있으며(EPA : http://www.epa.gov/omswww (OMS : Office of Mobile Sources), CARB : http://www.arb.ca.gov) 현재의 규제와 향후 적용될 규제, 그 배경 등 상세한 자료를 얻을 수 있으며 다음은 각 규제의 종류에 대해 간략히 서술한다.

1. 배출 가스 규제

CARB는 1994년 Model Year부터 저공해 차량(Low Emission Vehicle : LEV) 규제를 시작하여, 2003년 Model Year까지 정해져 있는 차종들의 평균 규제치(Fleet Average Standards : FAS)를 만족하여야 한다.

LEV 차종은 TLEV(Transitional LEV), LEV, ULEV(Ultra LEV)로 구성되며 자동차 메이커는 각 규제를 만족하는 차종을 적절히 조합하여 FAS 규제를 만족할 수 있다. 〈표 2〉에 각 규제치의 상세를 보이며 우리나라는 현재 0.25 HC 규제이다. 2004년 Model Year부터 적용될 더욱 강화된 LEV-2 규제는 법안의 제안 상태이다.

〈표 2〉 차종별 규제치

구 분	Emission(g/mile)		
	HC	CO	NOx
TLEV	0.125	3.4	0.4
LEV	0.075	3.4	0.2
ULEV	0.04	1.7	0.2

EPA는 현재는 Tier-1(0.25 NMHC(Non-methane HC) 규제치이나, 미 전역에 걸친 National LEV의 발효로 인구 밀집 일부 지역에서는 1999년 Model Year부터 California와 동일한 차종들의 조합으로 이루어지는 FAS를 만족하여야 하며 각 규제치는 低地(Sea Level)에서 뿐만 아니라 高地에서도 만족되어야 한다. 또한, CARB에 없는 EPA 고유의 규제도 만족하여야 한다.(예. 저온 CO 규제)

2. 증발 가스 규제

차량에서 증발되는 가스는 장기 주차시에 발생하는 증발 Gas (Diurnal Breathing Loss), 차량 주행 중에 증발되는 Gas (Running Loss), 주행 종료 후 엔진이 아직 뜨거울 때 발생하는 증발 Gas (Hot Soak Loss)의 세 가지로 나누어 규제한다. EPA와 사용 연료의 성상(RVP) 및 시험 방법에 약간의 차이가 있으나 법규의 일원화로 EPA 시험 결과를 따른다.

3. 주유 시의 증발 가스 규제 (On-Board Refueling Vapor Recovery)

주유시 발생되는 증발 가스를 규제하며 각 주유소는 주유기의 주유 속도를 정해진 규격이내로 하여야 하며 차량은 증발 Gas를 포집할 수 있는 장

치를 장착하여야 한다.

4. 자기 진단 장치 규정 (On-Board Diagnostics)

본 규정은 각 규제치의 강화에 따른 전자제어 엔진 장착 차량의 증가로 차량의 사용 과정 중에 발생하는 Emission 저감 장치의 고장을 미리 발견하여 운전자로 하여금 적절한 A/S를 받고자 하는 취지로 88년 Model Year부터 채택되었다.

초기의 OBD-1은 정비성과 사용 과정 차량의 Emission을 저감 시킬 목적으로 각 Emission 관련 부품의 고장만을 감지하도록 하고, 부품의 고장 발생시 운전자에게 경고하기 위한 On-Board Computer의 장착을 요구하였으며, 이에 대한 강화 규정이 OBD-2로서 OBD-1에 비해 각 Emission 관련 부품의 고장뿐만 아니라 그 劣化 정도까지 감지하도록 한 진단능력의 향상 및 개선, 그리고 표준화와 관련된 여러 가지 규정 만족을 요구한다. OBD-2와 관련된 주요 진단 항목은 엔진 失火, 촉매 장치의 효율 감지, 연료 장치 및 증발 가스 제어 장치의 누설 등을 감지하도록 하고있다.

5. 사용 과정 차량(In-Use)의 Emission 규제

2년/2만 mile 이상 주행한 차량에 대해 초기 인증 시와 동일한 Emission 시험을 실시하여 그 결과치가 규제치를 만족하여야 한다. 여기에서 불합격하면 환경청에 수정 계획을 제출하고 Recall을 실시하여야 한다.

6. 차량 연비 규제

배출 가스 외에도 차량의 연비가 특정치 이하이면 벌금을 부과하고 과중한 세금을(Gas Guzzler Tax) 부과한다.매년 인증 시에 EPA는 해당 차종의 공식 연비를 발표하고 차량에 연비 Label을 붙이도록 하고있다.

7. 기타

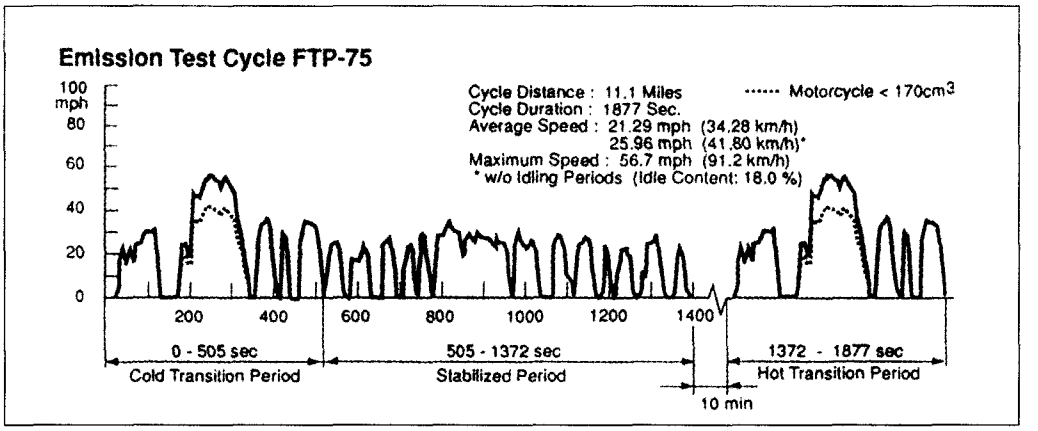
기존의 Emission Test Cycle인 FTP (Federal Test Procedure)가 실제 사용 중의 가혹한 加速度와 최고속도 등을 제대로 반영하지 못하여 추가된 SFTP(Supplemental FTP) Cycle에서의 HC/CO/NOx 규제가 있다. 또한, 계절별로 연료의 RVP를 규제하며, 연료의 성분도 규제한다.

Emission Test Cycles

미국의 Emission 규제를 따른다는 것은 규제치에 대해서가 아니라 시험 방법에 대해 미국의 그것을 채용한다는 것이다. 배출가스 시험은 Chassis Dynamometer위에서 차량을 정해진 Mode로 주행하면서 배출되는 가스를 채집하여 분석함으로써 이루어진다. 현재 미국에서 사용하는 Emission Test Cycles는 그 성격에 따라 4가지가 있으며 다음과 같다.

FTP Cycle은 70년대 LA의 주행 Pattern을 相似한 것으로 LA-4 Mode(Cold Transient, Cold Stabilized, Hot Transient, Hot Stabilized이나 C/S와 H/S는 동일하다고 가정)라고도 부른다. Emission 규제 초기에는 C/T, C/S만으로 이루어진 FTP-72 Mode 였으며, 이후 H/T가 추가되어 FTP-75가 되었고 현재의 Chassis Dynamometer上에서 Exhaust Emission Test Cycle로 사용되고 있다. Highway Cycle은 Highway 주행 Pattern을 相似한 것으로 NOx 규제와 EPA 연비 관련 Program에 사용한다.

FTP Cycle이 현재의 고성능 차량들의 일반적인 주행 Pattern을 대표하지 못함에 따라 새로운 주행 Mode를 개발하게 되었으며 통상 SFTP(Supplemental FTP) Mode라 부르며 高부하, 고속의 Aggressive & Microtransient 주행 Pattern을 대표하는 US-06과, Air Conditioner 사용 Pattern을 相似한 SC03



Cycle로 이루어 진다.

증발 가스 시험은 SHED(Sealed Housing for Evaporative Determination)라고 불리는 밀폐된 공간에서 수행되며 그 중 주행중의 증발 가스를 채집하는 Running Loss는 Chassis Dynamometer와 SHED의 결합 형태에서 수행된다.

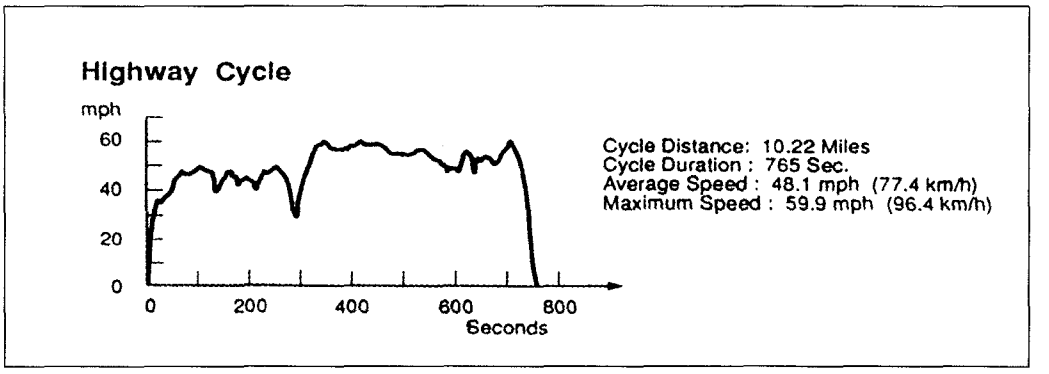
즉, 각 규제의 목적별로 별도의 시험 방법을 채택하고 있으며 미국의 규제를 채택하고 있는 국가들도 SFTP Mode와 Running Loss, 주유시 증발 가스 규제 등은 채택하지 않고 있다.

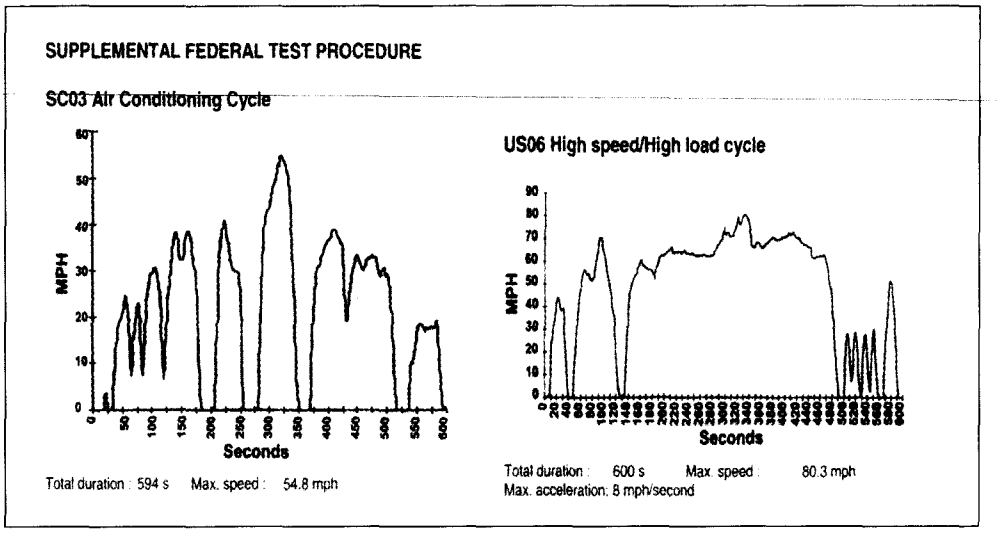
유럽의 Emission 규제

유럽은 1970년 배기 법규를 제정하여 1974년부터 규제를 시작하였다. 당시는 EEC 국가들에 대해 규제를 하였으며, 현재도 EU/ECE/EFTA 등 지역별 경제 Block에 따라 규제의 정도 및 방법이 다르다.

Extra High Speed Cycle이 추가되어 제대로 된 규제의 모습을 갖춘 것은 1991년에 제정되어 1993년부터 적용된 1991/441/EEC 규제로 HC+NOx, CO, 그리고 증발 가스 규제를 갖추고 있으며, 8만 Km 내구 Test가 추가 되었다. 이후 1994년에 1996년 차량을 Target으로 제정된 1994/12/EC가 이른바 EURO-Ⅱ 규제로 유럽 규제의 형태를 채택하는 많은 국가들이 현재 적용 중인 규제이다.

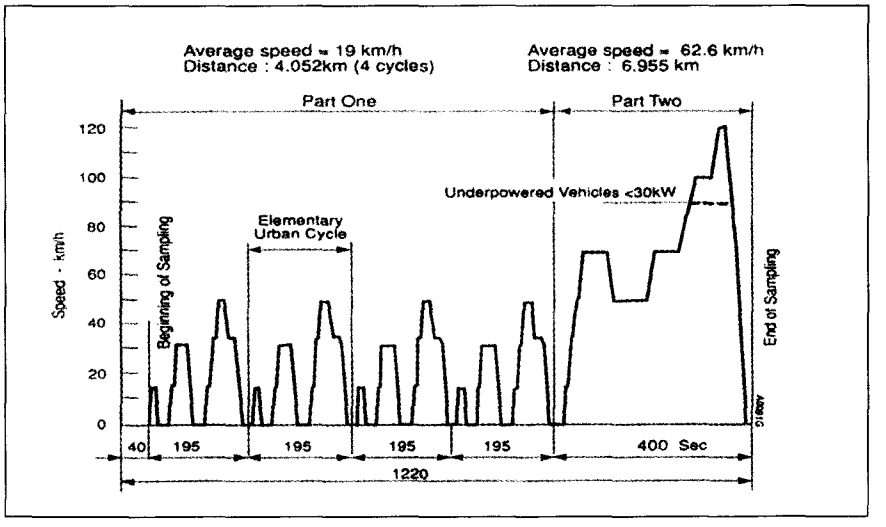
EU는 舊 EEC 15개국으로 2000년 1월부터 강화된 EURO-Ⅲ 규제를 적용 중이며, EURO-Ⅲ는 북미와 같이 OBD 규정과 In-Use 규제, 강





화된 증발 가스 규제를 포함하고 있으며 차량의 배출 가스 규제치를 놓고 볼 때 북미의 TLEV와 LEV 중간 수준으로 볼 수 있다.

유럽의 규제는 Type 1이 배출 가스에 대한 규제이고 Type 2가 Idle CO, Type 3이 Crankcase Emission, Type 4가 증발 가스 규제, Type 5가 내구, Type 6이 Cold CO 규제이다.

다음은 현재 사용되고 있는 Emission Test Cycle을 보인다.

〈박정국 편집위원: ckpar@hyundai-motor.com〉