각국 Heavy Duty 상용차(버스, 트럭) 탑재 디젤엔진의 배기규제동향과 대응기술 소개

Worldwide Emission Regulations for Commercial Vehicle Diesel Engines and Emission Reduction Technologies Trend

글 / 韓 濟 元
(Han, Che Won)
차량기술사, 한국기술사회 홍보위원,
Cummins Korea 부장.
E-mail : jeff.han@Cummins.com

Diesel engines are the major sources of pollutants in the cities and each country is trying to enforce their emission regulations to reduce the diesel emissions. Expecially Commercial diesel engines have large displacement and they are the major sources of diesel emissions in the cities. This paper introduces the major countries' Diesel Engine Regulations and explains the emission reduction technologies that are currently applied and will be applied in the future.

1. 서문

자동차 및 중장비에 탑재된 엔진의 배출 가스가 환경오염의 원인이 됨에 따라 각국은 배기 규제를 점차 강화하고 있다. 특히 배기량이 큰 heavy duty 디젤엔진의 경우 배기량이 작은 승용차 대비 대당 오염 물질의 배출량이 크므로 on/off road 차량 모두 향후 유해 배출가스 규제를 강화하고 있으며 이를 저감하기 위하여 oxidation catalyst가 일부 차종에 적용 중이며 향후 particulate trap 등 배기가스 중 유해성분을 저감하는 후처리 장치의 사용이 증대될 전망이다.

본고에서는 대도시에서의 오염의 주요인으로 지적되는 각국의 on road용 heavy duty 디젤엔진의 최근 배기 규제 동향 및 대응 기술을 소개함으로써 기술사님들의 이해를 향상하고 차량 및 엔진 제조업체, 부품개발 및 생산업체, 정비 등 관련사업에 종사하시는 분들께도 도움을 드리고자 한다.

2. 주요 국가의 상용차용 Heavy Duty 디젤엔진의 배기 규제 동향

2.1 미국

Heavy duty 차량은 연방법에서는 GVW(Gross Vehicle Weight) 8,500 lb이상, California에서는 14,000 lb이상으로 정의된다. Heavy duty차량용 diesel 엔진은 GVW에 의하여 다음과 같이 세분된다.

- Light heavy duty diesel engine: 8,500〈LHDDE〈19,500
- Medium heavy duty diesel engine: 19,500〈MHDDE〈33,000
- Heavy heavy duty diesel engines: HHDDE〉33,000

현재의 연방법규는 heavy duty diesel engine은 chassis로 인증 받는 것이 아니고 엔진상태로 받아야 하므로 배기규제는 g/bhp.hr로 표시되며 emission 시험은 Transient FTP 엔진 dynamometer cycle을 요구한다.

추가로 요구되는 시험항목은 1998년부터 도입되었고 다음을 포함한다.

- Supplemental Emission Test(SET)
- Not To Exceed(NTE) limits

연방법은 SET를 2007년부터 실시할 것을 요구한다. SET는 13mode steady state test로 heavy duty 엔진이 고속도로에서 주행하는 경우와 같은 steady state상태로 주행시 배기 제어가 되는지를 확인하기 위하여 도입되었는데 이는 EU의 13 mode ESC(European Steady Cycle)와 동일하다.

NTE규제는 heavy duty 엔진 배기가 속도와 load전 범위 내에서 제어되는지를 확인키 위하여 도입된 사항으로 NTE 시험 절차는 특정 시간의 driving cycle을 규정하지는 않지만 Steady state나 transient 조건에서의 변화되는 조건을 포함한 NTE 제어 영역(control area)의 어떤 주행 type도 포함한다. 배기는 최소 30초의 기간에서의 평균값을 NTE배기 규제값과 비교한다.

다음은 각 연도별 배기 규제의 특성이다.

1) 1994 - 규제부터 연료내 황 함유량이 500ppm wt이하로 저감되었다.
2) 2004 - 규제부터 NOx를 약 2.0g/bhp.hr로 강화함.
3) 2007 - 규제부터 PM은 2004년의 10%정도로 강화되는데 이는 particulate trap등의 배기후처리 장치를 필요로 함.

또한 diesel 연료내의 황 함유량도 15ppm(wt)로 기존의 500ppm 대비 대폭 저감됨.

〈표 1〉 EPA 연방 배기 규제 : Heavy Duty Diesel 엔진

unit: g/bhp.hr

Year	HC	CO	NOx	NOx+NMHC	PM	Remarks
1988	1.3	15.5	10.7	-	0.60	
1991	1.3	15.5	5.0	-	0.60	
1994	1.3	15.5	5.0	-	0.10	
1998	1.3	15.5	4.0	-	0.10	
2004		15.5	-	24	0.10	
				2.5(NMHC0.5이하)		
2007			0.20	2007	0.01	

2.2 European Union(EU)

Heavy duty diesel 엔진의 EURO 규제는 〈표 2〉와 같이 EURO 1,2,3,4,5로 규정된다. EURO1은 1992년에 최초로 도입되었다. EURO2는 1996년부터 실시되었고 heavy duty highway diesel 엔진과 도시형 버스에 적용되었다.

1999년 유럽의회(European Parliament)와 환경장관위원회(the Council of Environment Ministers)는 EURO3규제를 채택하였고 2005년 EURO4와 2008년 EURO5를 실시키로 합의하였다.

2005년과 2008년 도입될 EURO4와 5는 particulate trap 이나 DeNOx catalysts와 같은 배기 후처리 장치(Exhaust Aftertreatment Devices)를 필요로 할 것이다.

〈표 2〉 EU의 heavy duty diesel 엔진의 배기 규제

g/kwh (smoke in m-1)

Tier	Date&Category	Test cycle	CO	HC	Nox	PM	Smoke
EURO1	1992,〈85kw	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.621	
	1992,〉85kw		4.5	1.1	8.0	0.36	
EURO2	1996.10		4.5	1.1	7.0	0.25	
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15	
EURO3	1999.10	ESC&ELR	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	2000.10	ESC&ELR	2.1	0.66	5.0	0.10	0.8

EURO3 규제(2000)부터 test cycle의 변경이 있었는데 과거 steady state engine test cycle ECE R-49는 stationary cycle인 ESC(European Stationary Cycle)과 Transient Cycle인 ETC (European Transient Cycle) 두 cycles로 대체되었다. Smoke opacity는 ELR(European Load Response)로 측정된다.

ETC test cycle로 시험되는 디젤엔진 배기규제는 다음의 〈표 3〉으로 요약된다.

〈표 3〉 Diesel과 Gas 엔진의 배기 규제, ETC cycle

g/kwh

단계	적용시점	Test cycle	CO	NMHC	CH_4	NOx	PM
EURO3	2000.10	ETC	5.45	0.78	1.6	5.0	0.16
EURO4	2005.10		4.0	0.55	1.1	3.5	0.03
EURO5	2008.10		4.0	0.55	1.1	2.0	0.03

EU 회원국은 새로운 배기 법규를 만족하는 차량의 판매를 증진하기 위하여 세제혜택(tax incentives)을 허용할 방침이다.

참고 : EU 국가의 Diesel연료 규정(specification)

EU 내에서의 자동차용 연료의 품질은 유럽표준협회(European Standards Organization)의 표준에 의거 규정된다. 1993년 3월 16일 비준된 최초의 자동차용 연료의 표준은 1993년 9월 EU 회원국에서 의무 사항이 되었으며 3가지 표준이 자동차의 연료 품질을 규정한다: Diesel 연료에 대한 EN590, Gasoline에 대한 EN 228, LPG에 대한 EN589이다. 이 표준은 정기적으로 연료내 황 함유량과 같은 성분을 규정키 위하여 정기적으로 갱신된다.

다음은 EU Diesel연료의 중요한 성분의 변화를 요약한 것.

- 1994년 10월 gasoline 및 diesel연료의 최대 황 함유량이 0.2%(wt) 이하
- 1996년 10월 diesel연료의 최대 황 함유량이 0.05%(wt) 이하
- 2000년 1월 최대 황 함유량이 350ppm 이하일 것
- 2005년 1월 최대 황 함유량이 50ppm 이하일 것
- 2009년 1월 최대 황 함유량이 10ppm(sulfur-free)일 것 : highway 및 nonroad vehicle에 대하여

2.3 일본

디젤 연료를 사용하는 신상용차의 배기 규제는 아래 〈표 4〉 중형상용차(Heavy Commercial Vehicles)의 배기규제와 같이 규정되어 있다.

경트럭과 버스에 대한 배기시험은 10-15 mode cycle로 시험되지만 Heavy duty엔진에 대하여는 13mode cycle로 시험되는데 이는 과거의 6mode cycle을 대체한 것이다.

2005년 규제는 새로운 2개의 transient tests를 도입하는데 GVW 3500kg 이하의 차량에 대한 것과 GVW 3500kg 이상에 대한 JE05 Test로 구분된다.

Heavy vehicle에 대한 새로운 시험 규제인 The New Heavy-duty Test Cycle(warm start version)은 2005년부터 시행 계획이다. 시험 mode 및 측정 단위는 아래 〈표 4〉에 명시되어 있다. 배기가스시험은 2005년 규제부터 황 성분 50 ppm의 diesel연료를 사용하여 시험한다.

〈표 4〉 Heavy Commercial Vehicles의 배기 규제, GVW 〉 2500kg (〉3500 kg, 2005년부터)

Year	Test	Unit	CO	HC	NOx	PM
			Mean(max)	Mean(max)	Mean(max)	Mean(max)
1988/89	6 mode	ppm	790(980)	510(670)	DI : 400 (520) IDI : 260 (350)	
1994	13 mode	g/kWh	7.40(9.20)	2.90(3.80)	DI : 6.00 (7.80) IDI : 5.00 (6.80)	0.70(0.96)
1997 a			7.40(9.20)	2.90(3.80)	4.50(5.80)	0.25(0.49)
2003 b			2.22	0.87	3.38	0.18
2005 c	JE05		2.22	0.17d	2.0	0.027

a- 1997: GVW 〈 3500 kg; 1998:3500 〈 GVW 〈 12000 kg; 1999 〉 12000 kg
b- 2003: GVW 〈 12000 kg; 2004: GVW 〉 12000 kg
c- 2005년말까지 전면시행
d- non methane hydrocarbons

주) 'mean'과 'max' 두 가지의 규제치가 있는데 'mean'은 인증시험한계치(type approval limit)와 생산평균(production average)을 적용시 규제치이며, 'max'는 양산(series production)의 경우 개별허용치(individual limit)이고 연간 생산대수가 2000대 미만인 경우 인증허용치(type approval limit)를 의미한다.

2.4 한국

한국의 Heavy Duty Trucks(GVW〉3500kg)에 대한 규제가 〈표 5〉에 규정되어 있다.

배기시험은 일본의 13mode cycle과 동일한 시험 cycle로 시험되었으며 2004년 7월 1일부터 시행된 국내 2004년 배기규제는 ND-13mode로 EU의 EURO3 mode와 동일한 시험 mode이다. 특히 2004년 7월 1일부터는 CCV(Closed Crankcase Ventilation)가 적용되는데 이는 외부로 배출되는 blowby gas의 양이 0g/1주행을 의미하는 것으로

상용차에서는 세계 최초로 전면적으로 시행되는 blowby 관련 규제이다.

연료의 황 함유량은 2005년 12월 31일까지는 430ppm 이하이나 2006년 1월 1일부터는 30ppm으로 대폭 강화되는 것으로 고시되어 있다.

2008년부터는 EURO4(EU에서 2005년 10월부터 적용) 수준의 배기규제가 적용될 전망이다. 이를 만족키 위해서는 NOx의 대폭적인 저감이 필요하므로 SCR(Selective Catalytic Reduction), Cooled EGR 등의 고도의 기술이 필요한 후처리 장치를 장착하여야 할 것으로 예상된다.

〈표 5〉 한국 Heavy duty diesel 엔진의 배기 규제

일자	CO	HC	Nox	PM
-	g / kwh			
1933.1.1	980+	670+	350+IDI 750+DI	-
1996.1.1	4.90	1.20	11.0	0.90
1998.1.1	4.90	1.20	6.0(9.0)*	0.25(0.50)*
2000.1.1	4.90	1.20	6.0	0.25(0.10)*
2002.1.1	4.90	1.20	6.0	0.15(0.10)*
2004.7.1 a	2.10	0.66	5.0	0.10
2008 a	1.5	0.46	3.5	0.5

* : bus에 적용

+ : JP 6-mode test, ppm단위로 측정

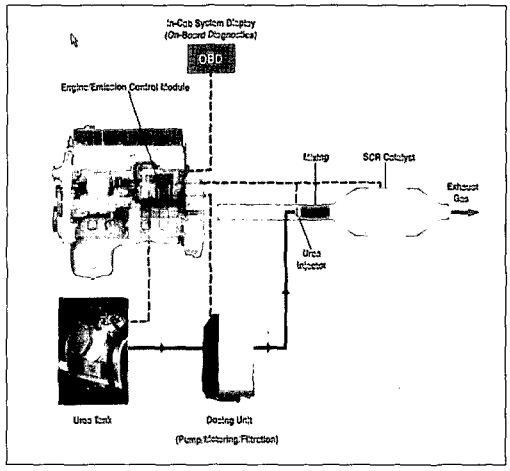
a : ND-13 mode 기준 규제치임.

3. 향후의 유해가스 저감 적용 기술 전망

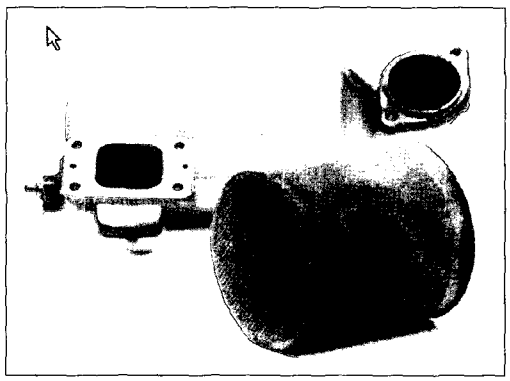
향후 2008년경부터의 한국 규제는 EURO4수준으로 강화되는데 이는 2004년 한국 규제에 비하여 PM(Particulate Matters, 입자상물질)은 절반 수준, NOx는 30%를 추가로 저감하여야 하므로 고도의 배기가스 중 유해성분 저감 기술을 필요로 한다.

이러한 2가지 성분을 동시에 저감하는 것은 PM과 NOx가 trade-off의 관계가 있어서 매우 어려운 과제인데 전자엔진제어, 연료의 고압분사 기술에 더하여 cooled EGR(Exhaust Gas Recirculation)이나 요소 (Urea)를 사용하는 SCR(Selective Catalytic Reduction) 등의 기술(〈그림 1〉 참조)이 추가로 적용될 전망이며 EU에서는 SCR을 적용하는 기술이 선호되는 추세이다.

〈그림 1〉 SCR(Selective Catalytic Reduction) system의 예



〈그림 2〉 DPF(Diesel Particulate Filter)의 예



향후 EURO4,5 수준의 규제가 적용될 2008년경 이후에는 대형상용차에서도 DPF(Diesel Particulate Filter)가 적용(〈그림 2〉 참조) 되어 PM을 포집하여 정화하는 후처리 장치가 사용될 것으로 전망된다. DPF는 PM이 포집되어 쌓이게 되면 배압을 증가시키는데 이를 방지키 위하여 재생기술이 필요하다.

(원고 접수일 2004년 9월 15일)