

ULSD, CR-DPF와 EGR을 적용한 디젤기관의 배출가스에 관한 연구

문병철*, 오용석⁺

(논문접수일 2006. 6. 16, 심사완료일 2006. 7. 11)

A Study on Exhaust Gas of Diesel Engine with a ULSD, CR-DPF and EGR

Byungchul Moon*, Yongsuk Oh⁺

Abstract

Since air pollution has become a globally critical issue and exhaust emissions from automobiles cause a major source of air pollution, many countries including advanced countries have stipulated stringent emission regulations. This test was conducted on the effect of continuous regeneration diesel particulate filter and cooled-EGR, and 15ppm low sulfur diesel was used as a test fuel. Exhaust emissions, PM, NOx, CO, HC and Soots were measured and compared under D-13modes. Through durability test on diesel particulate filter, regeneration characteristics and control technology on PM were investigated in overall.

Key Words : ULSD(초저유황경유), CR-DPF(연속재생디젤필터트랩), EGR(배기가스재순환), PM(입자상물질)

1. 서론

자동차 배출가스가 대기오염의 주원인으로 밝혀지면서 심각한 환경오염문제가 전 세계적인 문제로 대두됨으로서 선진국을 중심으로 우리나라도 배출가스 규제를 이미 선진국 수준으로 강화하고 있으며, 특히 국내 대도시의 대기오염 발생량 중에서 대형디젤자동차에서 발생하는 배출량이 NOx 48.9% 및 PM 51.1%⁽¹⁾를 차지하고 있기 때문에 이에 대한

배출가스저감기술의 연구개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 배기량 8,000cc급 대형디젤기관에 연속재생방식 DPF와 전자제어식 Cooled-EGR시스템을 장착하고 430ppm의 일반디젤유와 15ppm의 저유황디젤유를 사용하여 장착 전·후의 기관성능을 측정하여 비교하였다.

또한, 배출가스 측정을 위해 현재 대형디젤기관의 배출가스 측정모드인 D-13모드와 매연측정모드인 D-3모드를 선정하여 유해배출가스인 PM, NOx, CO, HC, 및 Soot의 배출

* 한국폴리텍 I 서울경수대학 카일렉트로닉스과
+ 교신저자, 한국폴리텍 II 인천대학 자동차과 (ysoh@kopo.ac.kr)
주소: 403-719 인천 부평구 구산동 39-1

량을 비교·검토하였고, 장치 내구성능 실험을 통하여 대형 디젤기관에서의 PM재생특성과 제어방법에 대해 전반적으로 고찰하였다.

따라서 본 연구를 통해 대형디젤기관에서 초저유황경유를 사용하면서 연속재생방식 DPF⁽²⁾와 전자제어식 Cooled-EGR시스템을 동시 장착했을 때의 기관성능특성과 배출가스특성 및 PM재생특성 등의 상관관계를 정량적으로 분석·평가하여, 향후 강화되고 있는 대형디젤자동차의 PM 및 NOx배출가스 규제를 동시에 만족시키기 위한 기본적인 설계 자료를 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

환경오염에 대한 우려가 심화됨에 따라서 유해물질에 대한 규제가 강화되고 자동차 배출가스가 대기오염의 주원인으로 밝혀지면서 자동차용 배출가스 저감기술에 대한 연구가 Fig. 1과 같이 선진국을 중심으로 활발히 진행 중이며 특히 디젤자동차의 경우에는 NOx와 PM에 대한 배출규제가 강화되고 있다.

디젤자동차는 뛰어난 내구성과 효율로 미래 자동차 시장에서의 전망이 밝으며 EU의 자동차 연비규제와 각 배출가스 규제를 만족하는 등 그 우수성이 입증됨에 따라 디젤자동차의 수요가 급격히 증가하고 있다. 또한 EU의 공동전략에 따르면 승용차용 HSDI(High Speed Direct Injection) 디젤기관의 시장점유율이 2~3년내 25%에서 30%이상으로 급증할 것으로 예상하고 있으며⁽³⁾. 우리나라에서도 디젤승용차가 2005년부터 허용되고 있어 그 수요는 한층 증가할 것이다. 이에 따라 디젤자동차의 주요 오염물질인 NOx와 PM

저감을 위한 기술개발이 시급하며, 일반적으로 디젤기관의 배출가스 저감기술은 기관개량, 후처리기술 및 연료질 개선의 세 부분으로 분류할 수 있다. 그러나 디젤배출가스의 오염물질인 NOx와 PM이 서로 상반관계(Trade-off)에 있어 두 오염물질에 대한 동시저감기술 개발에 어려움이 있다.

유럽에서는 2005년 디젤자동차의 PM과 NOx 배출한도를 더욱 강화하고 있으며, EURO IV, V 기준을 충족시키기 위한 현재의 기술에서 가장 유력한 여과장치는 DPF이다. 이러한 배기 후처리기술이 적용될 수 있는 환경을 만들어 주기 위하여 미국의 EPA에서는 2006년까지 ULSD공급을 의무화하였고, 2007년부터는 첨단 후처리기술을 적용하지 않고서는 PM 및 NOx 규제를 만족시킬 수 없도록 규제를 강화하고 있다. Table 1은 세계 각국의 대형디젤차량의 배출가스 규제기준을 나타낸다.

Table 1, Fig. 1에서 보는 바와 같이 디젤자동차의 엄격한 규제와 이에 발맞추어 나가기 위해서는 연료분사시스템 기술이 고압분사기술, Cooled-EGR, CR-DPF, 터보 인터쿨링, 가변터보, HCCI(Homogeneous Charged Compressed Ignition) 및 De-NOx 촉매개발 등이 요구되고 있다^(4,5).

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

실험기관은 국내에서 제작한 8,000cc, Turbo-charged 대형디젤기관을 사용하였으며, 주요제원은 Table 2와 같고, 실험에 사용된 연료는 황성분이 15ppm이하인 초저유황 연료(Ultra Low Sulfur Diesel)를 사용하였으며, 동력계는

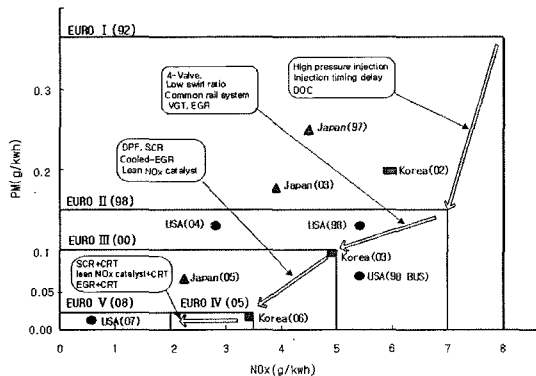


Fig. 1 Low emission technology of heavy-duty diesel engine7

Table 1 Emission regulations for heavy-duty diesel engines

Country	Applica tion year	Test method	Emission standard(g/kwh)			
			CO	THC	NOx	PM
Korea	98-01	D-13	4.90	1.20	6.00	0.250
	2010	D-13	1.50	0.46	3.50	0.020
U.S.A	1998	US-5DT	15.50	1.30	4.00	0.100
	2007	US-5DT	15.50	1.30	0.20	0.010
EU	EURO-III	ESC & ELR	2.10	0.66	5.00	0.100
	EURO-IV	ESC & ELR	1.50	0.46	3.50	0.020
	EURO-V	ESC & ELR	1.50	0.46	2.00	0.020
Japan	2003	D-13	2.22	0.87	3.38	0.180
	2005	New HD	2.22	0.17	2.00	0.027

250kW, EC형 기관동력계와 배출가스 측정장치로 CO는 비분산적외선분석법(NDIR : Nondispersive infrared), HC는 가열식 불꽃이온화검출기법(HFID : Heated flame ionization detector), NOx는 화학발광법(CLD: Chemiluminescence detector), 또한 PM의 측정은 미니희석터널(MDT)를 사용하였고, 또한, 본 실험에 사용한 DOC는 백금촉매에 Ti-Si로 위시코트된 제품을, DPF는 벌집형모노리스 타입으로 사용하였다.

Fig. 2는 본 실험의 전체 구성도를 나타낸다.

Table 2 Specifications of test engine

Model	D1146T
Maker	DAEWOO
Model	D1146T
Type	in-line, 6 cylinders
Fuel injection	Direct injection
Aspiration	Turbo-charged
Bore & stroke	111mm×139mm
Compression ratio	16.7 : 1
Displacement	8,071 cc
Rated power	132kW / 2200rpm
Max. torque	696Nm / 1200rpm

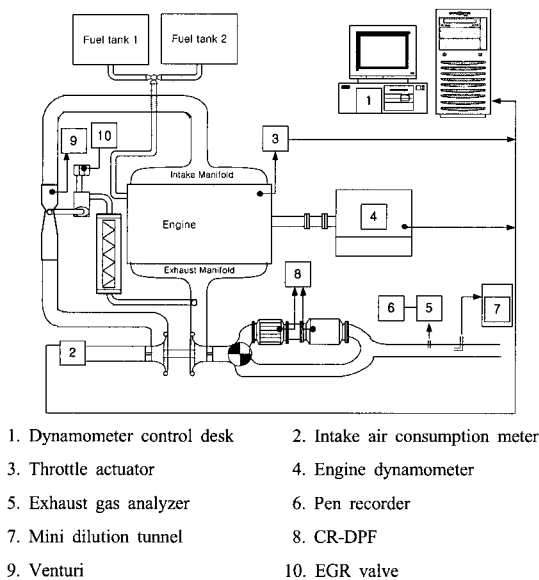


Fig. 2 Schematic diagram of experimental measuring apparatus

3.2 실험방법

3.2.1 기관실험

기관성능실험은 먼저 연속재생방식 DPF와 Cooled-EGR 장치를 장착하기 전의 베이스상태에서 일반디젤유와 ULSD 연료를 사용하여 기관부하율을 100%에 맞추고 1,000rpm 부터 2,200rpm까지 400rpm씩 변화시키면서 운전조건별로 기관출력과 토크, 연료소비량, 배기가스온도 및 흡기온도 등을 3분 동안 안정시킨 상태에서 60초 동안 안정된 데이터를 수집·산술평균 한다. 그 후에 ULSD연료를 사용하여 연속 재생방식 DPF 및 Cooled-EGR 장치를 장착한 후에도 동일한 방법으로 기관성능을 측정·분석한다.

Cooled-EGR은 제이스위치를 통해 EGR밸브의 스텝을 1 단계, 3단계로 조정하여 EGR율을 10%와 20%로 설정되게 하며, 신기와 배기가스가 혼합된 후 실린더로 유입되는 혼합기의 온도는 부하에 관계없이 30~52℃로 유지한다.

3.2.2 배출가스 성능실험

일반디젤유와 ULSD연료를 사용하여 연속재생방식 DPF 및 Cooled-EGR시스템을 각각 장착하기 전·후에 우리나라 중량디젤자동차의 배출가스 규제모드인 D-13모드를 이용하여 CO, THC, NOx 및 PM을 측정하며, Soot는 D-3모드

Table 3 Driving condition of D-13 mode

Mode	Speed	Load (%)	W/F
1	idle	-	0.25/3
2	intermediate	10	0.08
3	"	25	0.08
4	"	50	0.08
5	"	75	0.08
6	"	100	0.25
7	idle	-	0.25/3
8	rated	100	0.10
9	"	75	0.02
10	"	50	0.02
11	"	25	0.02
12	"	10	0.02
13	idle	-	0.25/3

- 1) Intermediate speed ; 60% engine speed of maximum engine speed
- 2) Rated speed ; maximum engine speed

Table 4 Driving condition of D-3 mode

Mode	Speed	Load (%)
1	40% of rated speed	100
2	Intermediate	100
3	Rated	100

를 선정하여 최소 3회 이상 측정하여 산출값을 산술평균한다, 배출가스성능 실험시의 운전조건은 Table 3 및 4와 같다.

4. 결과 및 고찰

4.1 기관성능 결과

Fig. 3~5까지는 연속재생방식 DPF와 Cooled-EGR 장착 전·후의 영향을 알아보기 위해서 100%부하조건에서 기관회전수를 1,000rpm에서 2,200rpm까지 400rpm씩 변화시킨 경우의 기관출력과 토크 및 연료소비량의 변화를 측정하고 EGR은 EGR 솔레노이드 밸브의 한정된 작동영역과 기관 내구성 문제로 인해 EGR율은 10%와 20%로 제한한다.

각 데이터를 베이스상태와 비교하였을 때 기관회전력과 기관출력 및 연료소비량은 연속재생방식 DPF와 Cooled-EGR장치의 장착전·후를 비교했을 때 약 1~4%의 변화를 보여준다. 이는 후처리장치를 장착함으로써 배기시스템의 배압상승에 따른 원인과 함께 EGR적용에 따른 연소환경 불량으로 인한 결과로 보이지만, 감소폭이 적어서 연속재생방식 DPF와 Cooled-EGR의 장점이 기관성능에 미치는 영향을 미소함을 확인할 수 있다.

4.2 배출가스 결과

4.2.1 일산화탄소

Fig. 6은 연속재생방식 DPF와 EGR율에 따른 부하별 CO의 배출량을 나타낸다. CO의 배출특성을 살펴보면 저부하보다는 고부하에서 미소하지만 더 많이 배출한다. Cooled-EGR에 의한 EGR율의 증가는 고부하 및 고회전 일수록 많이 발생되지만 DOC에 의해 이미 CO가 크게 저감된 상태에서는 EGR율의 변화시켜도 추가적인 CO의 저감에 큰 영향을 미치지 않음을 볼 수 있다.

4.2.2 탄화수소

Fig. 7은 연속재생방식 DPF 및 EGR율 증가에 따른 HC 배출특성을 나타내기 위해 기관회전수별로 장치장착 전·후

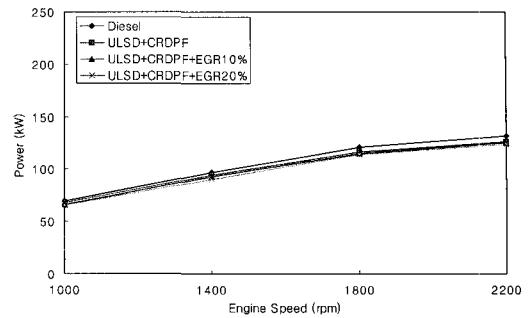


Fig. 3 The effect of CR-DPF and Cooled-EGR on engine power of engine speed at 100% load

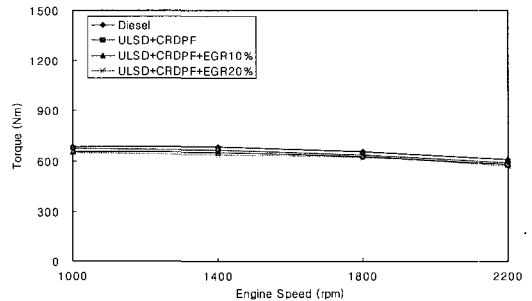


Fig. 4 The effect of CR-DPF and Cooled-EGR on engine torque of engine speed at 100% load

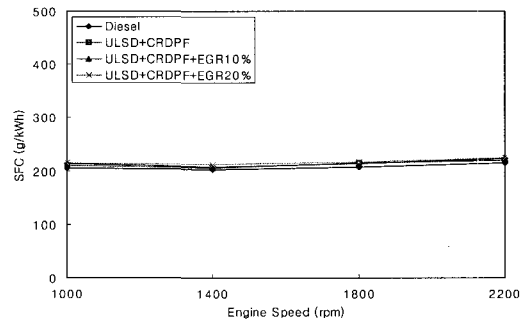
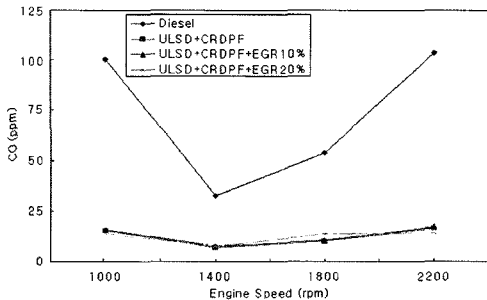
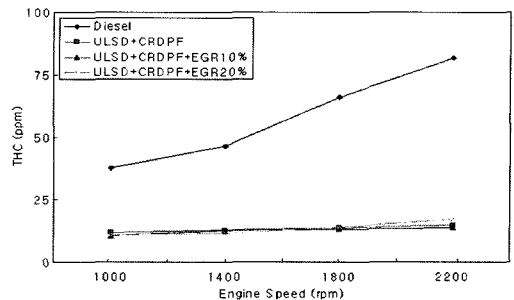


Fig. 5 The effect of CR-DPF and Cooled-EGR on engine SFC of engine speed at 100% load

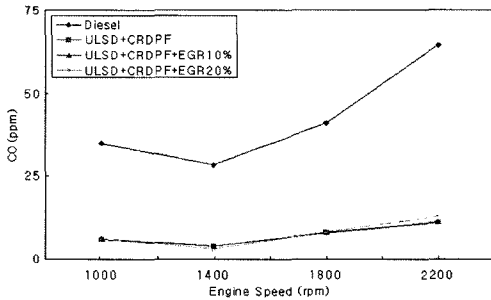
의 부하별 HC배출특성을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 대형디젤기관에서 HC배출은 기관회전수에 관계없이 비교적 모든 영역에서 비슷하게 배출하며 동일한 기관회전수에서는 비교적 고부하 조건에서 많이 배출됨을 알 수 있다.



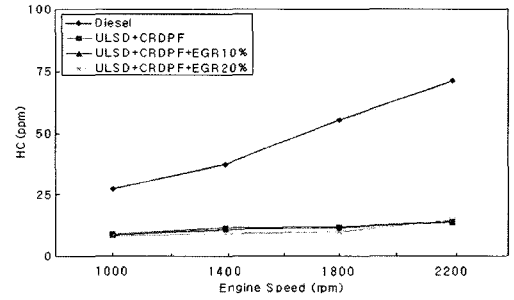
(a) 100% load



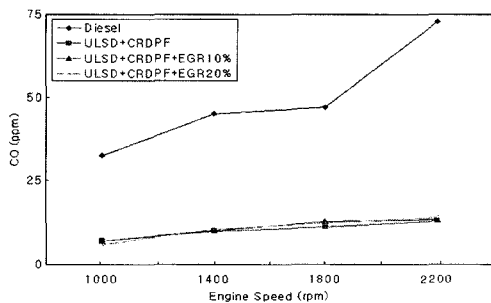
(a) 100% load



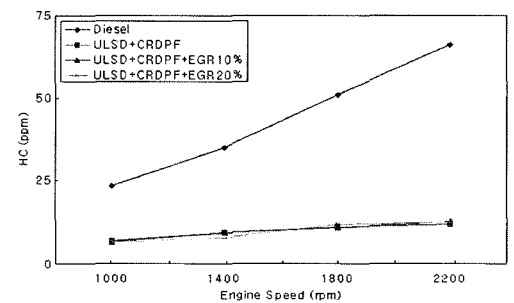
(b) 75% load



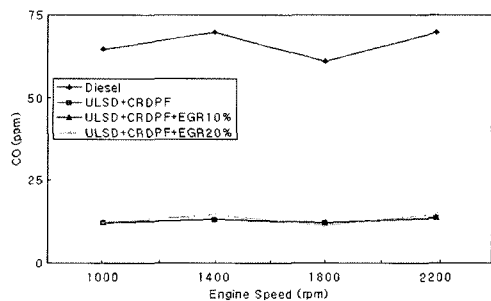
(b) 75% load



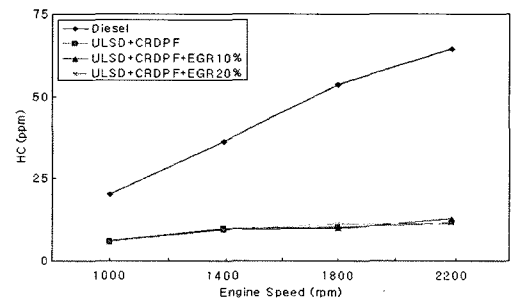
(c) 50% load



(c) 50% load



(d) 25% load



(d) 25% load

Fig. 6 The effect of CR-DPF and Cooled-EGR on CO emission characteristics at various load

Fig. 7 The effect of CR-DPF and Cooled-EGR on HC emission characteristics at various load

EGR을 증가에 따른 배출특성은 기관회전수와 부하율에 큰 영향을 받지 않으며, 전부하에서 2,200rpm일 때 일반디젤유 대비 최고 약 82% 감소한다. 이것은 장치에 설치된 DOC에 의한 산화반응에 따른 HC정화의 결과라고 생각한다.

4.2.3 질소산화물

Fig. 8은 CR-DPF와 Cooled-EGR 장착 전·후에 D-13모드 운전조건에서의 NOx 배출특성을 데이터의 객관성을 유지하기 위해 4회 측정된 결과값을 나타낸 것으로서 연속 CR-DPF만을 장착한 경우, 장치 전단부에 설치된 DOC가 기관에서 배출된 NO를 NO₂로 전환시켜 필터재생온도를 낮추는 역할만 할 뿐 전체적인 NOx 감소에는 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있으며, Cooled-EGR에 의해 배기가스가 재순환되어 EGR율이 증가함에 따라 NOx가 30~60%까지 감소되는 것으로 보아 EGR시스템이 NOx를 저감하는데 매우 효과적임을 확인할 수 있다.

4.2.4 입자상물질

Fig. 9와 같이 일반디젤유를 사용했을 때의 PM배출량과

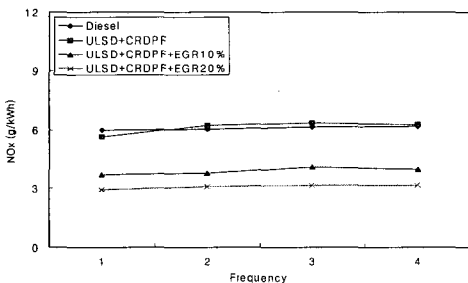


Fig. 8 The effect of CR-DPF and Cooled-EGR on NOx emission characteristics of each D-13 mode

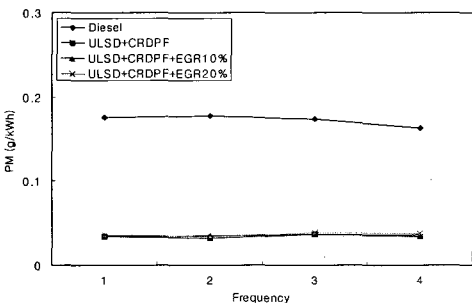


Fig. 9 The effect of CR-DPF and Cooled-EGR on PM emission characteristics of each D-13 mode

ULSD사용과 연속재생방식 DPF장착에 따른 PM배출량은 평균적으로 82% 정도 저감된다. 이는 여과장치 전단의 DOC에 의해 산소보다 낮은 온도에서 산화시킬 수 있는 물질인 NO₂을 생성하고 NO₂가 필터를 재생시켜 포집된 PM이 연속적으로 제거되는 것을 알 수 있다.

4. 결론

대형디젤기관에서의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기관성능과 연료소비율의 영향은 ULSD, CR-DPF와 EGR의 동시장착의 경우에도 기존 성능과 약 5% 정도로 적게 나타나 동시적용이 가능함을 확인하였다.
- (2) CO 및 THC배출량은 CR-DPF와 전자제어식 Cooled-EGR을 적용하기 전에는 저부하보다 고부하에서 증가하는 경향을 보였으나, 적용 후에는 EGR을 상승에도 DPF내 DOC의 산화반응에 의하여 저감효과가 높은 것을 확인하였다.
- (3) NOx의 저감은 전자제어식 Cooled-EGR 장착 후에 고부하에서 최대 약 60% 정도, 15ppm 황연료 사용시 PM의 배출량은 CD-DPF적용에 따라 약 82% 정도 저감됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Han, Y. C., Rha, W. Y., Oh, Y. S., Moon, B. C., Park, B. K. and Park, K. Y., 2001, "A Study on NOx and Smoke by Exhaust Gas Measuring Method of Light-Duty Engine," *Journal of the KSMTE*, Vol. 10, No. 3, pp. 7~12.
- (2) Moon, B. C., Oh, Y. S., Park, K. Y., Kang, K. W. and Lee, T. Y., 2005, "A Performance Prediction of Diesel Engine with a CR-DPF and Cooled-EGR," *Journal of the KSMTE*, Vol. 14, No. 6, pp. 95~100.
- (3) Chun, B. L., Young, H. Y. and Yong, K. W., 2002, "Status and Trends of Diesel Particulate Matters Reduction Technology," *KSAE*, Vol. 24, No. 4, p. 59.
- (4) Catelleri, W., 1998, "Worldwide Trend of Heavy Duty Truck Diesel Engine Technologies to Meet Future Stringent Exhaust Emission Legislations," *JSME Conference*.
- (5) Zelenka, P. and Cartelleri, W., 2000, "Evaluation of future diesel engine technologies," *NPRA*, AM-00-56.