Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 4, pp.1-11 (2006)

Copyright © 2006 KSAE
1225-6382/2006/082-01

터보 인터쿨러 커먼레일 디젤기관의 매연, CO 및 CO_2 배출물에 미치는 플라즈마 EGR 조합시스템의 영향에 관한 연구

배 명 환[*1] · 구 영 진[2] · 이 봉 섭[3] · 윤 일 중[1]

경상대학교 기계항공공학부, 항공기부품기술연구센터[1] · 교통안전공단[2] · 경상대학교 대학원[3]

A Study on Effect of a Combined Plasma EGR System upon Soot, CO and CO_2 Emissions in Turbo Intercooler Common-rail Diesel Engines

Myung-whan Bae[*1] · Young-jin Ku[2] · Bong-sub Lee[3] · Iljoong Youn

[1] *Research Center for Aircraft Parts Technology, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 660-701, Korea*

[2] *Korea Transportation Safety Authority, 523 Gojan-dong, Ansan-si, Gyeonggi 425-801, Korea*

[3] *Graduate School, Gyeongsang National University, Gyeongnam 660-701, Korea*

(Received 30 May 2005 / Accepted 4 March 2006)

Abstract : The aim in this study is to develop the combined EGR system with a non-thermal plasma reactor for reducing exhaust emissions and improving fuel economy in turbo intercooler ECU common-rail diesel engines. In this study, the characteristics of soot, CO and CO_2 emissions under four kinds of engine loads are experimentally investigated by using a four-cycle, four-cylinder, direct injection type, water-cooled turbo intercooler ECU common-rail diesel engine with a combined plasma exhaust gas recirculation(EGR) system operating at three kinds of engine speeds. The EGR and non-thermal plasma reactor system are used to reduce NO_x emissions, and the non-thermal plasma reactor and turbo intercooler system are used to reduce soot and THC emissions. The plasma system is a flat-to-flat type reactor operated by a plasma power supply. The fuel is sprayed by pilot and main injections at the variable injection timing between BTDC 15° and ATDC 1° according to experimental conditions. It is found that soot emissions with increasing EGR rate are increased, but are decreased as the applied electrical voltage of the non-thermal plasma reactor is elevated at the same engine speed and load. Results also show that CO and CO_2 emissions are increased as EGR rate is elevated, and CO emissions are increased, but CO_2 emissions are decreased as the applied electrical voltage of the non-thermal plasma reactor is elevated at the same engine speed and load.

Key words : Combined plasma EGR system(플라즈마 EGR 조합시스템), Non-thermal plasma reactor(비열 플라즈마 반응기), Turbo intercooler ECU common-rail diesel engine(터보 인터쿨러 ECU 커먼레일 디젤기관), Soot, CO and CO_2 emissions(매연, CO 및 CO_2 배출물), Fuel economy(연비)

1. 서 론

열기관 중에서도 디젤기관은 열효율이 아주 높기 때문에, 자동차, 선박 등의 다양한 동력원으로 활용되고 있다. 최근에는 에너지 자원의 유용성 뿐만이 아니고, 연비향상에 따른 지구온난화의 예방대책에도 유리한 것으로 알려져 세계 각국에서 소형 고속 디젤기관의 개발연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 현재의 상태에서는 배기 배출물, 그 중에서

*Corresponding author, E-mail: mwbae@nongae.gsnu.ac.kr

도 NO_x 및 매연이 다른 열기관에 비해 많이 배출되기 때문에, 갈수록 엄격해지고 있는 배기 배출물에 대한 규제값을 준수하기 위해서는 다양한 저감기술의 개발이 요구되고 있다.[1)]

저자들은 양자 교환관계에 있는 NO_x 및 매연 배출물을 동시에 저감시키기 위해 스크러버형 EGR 시스템[2)] 및 플라즈마 EGR 조합시스템[3)]을 개발하여 디젤기관에 적용한 결과, 이 들 배출물의 동시저감 효과가 상당하게 이루어졌지만, 배기 배출물 규제 강화에 따라 매연 배출물의 허용 기준치를 만족시키지 못하고 있을 뿐만 아니라, 기존 디젤기관은 기계식에 의해 연료가 분사되기 때문에, 배기 배출물 저감의 한계와 연비악화의 문제점이 대두되었다.

저자들은 터보 인터쿨러 커먼레일 디젤기관의 NO_x 및 매연 배출물을 동시에 저감시키기 위해 플라즈마와 EGR을 조합적으로 적용하는 연구[4)]를 수행하여 1차적으로 연비, 연소 및 NO_x · THC 배출물의 특성을 조사한 결과, NO_x 배출물은 동일 기관부하에서 EGR률이 증가할수록 현저히 감소하였는데, 특히 기관부하가 높을수록 EGR률 증가에 따른 NO_x 배출물의 감소폭이 더 컸고, EGR을 적용하는 경우에는 인가전압이 NO_x 배출물에 거의 영향을 미치지 않았지만, EGR을 적용하지 않은 경우에는 인가전압의 증가에 따라 NO_x 배출물이 소폭으로 감소됨을 알았다.

한편, THC 배출물은 동일 기관부하에서 EGR률이 증가할수록 증가하였는데, 특히 기관부하가 높을수록 EGR률 증가에 따른 THC 배출물의 증가폭이 더 컸고, THC 배출물에 미치는 플라즈마 인가전압의 영향은 크지 않았지만, EGR률이 증가할수록 인가전압의 영향이 조금 더 크게 나타나고 있음을 알았다.

본 연구에서는 터보 인터쿨러 커먼레일 디젤기관에 저자들이 개발한 플라즈마 EGR 조합시스템을 적용하여 실험조건에 따라 플라즈마 반응기 인가전압 및 EGR률을 변화시켰을 경우, 배기 배출물 중의 매연, CO 및 CO_2 배출물의 특성을 조사하는 것이 목적이다.

2. 실험 장치 및 방법

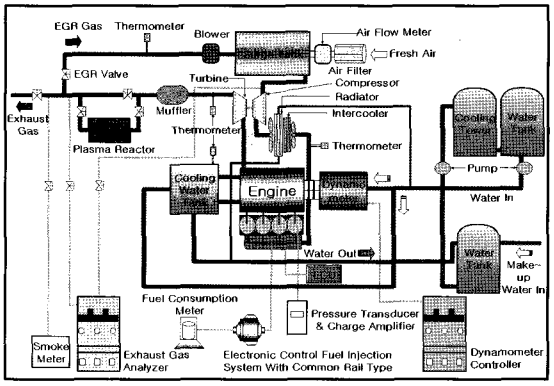

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus for a test engine

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 장치의 개략도를 나타내고 있는데, 실험기관은 수냉, 4기통, 직접분사식, 4행정, 터보 인터쿨러, 커먼레일 디젤기관으로 국내에서 생산되는 자동차용을 사용하였고, 주요 제원은 Table 1과 같다.

실험에 사용된 터보 인터쿨러 디젤기관은 입 · 출력 센서에 의한 시스템이 ECU에 의해 제어되었고, 외부 EGR 적용을 위해 내부 EGR을 제거시켰다. 터보과급의 목적은 기관에 유입되는 공기밀도를 크게 하여 출력을 증가시키기 위한 것이다. 그런데 압축기에 의해 압력을 증가시키면 공기밀도는 커지지만, 동시에 온도가 증가되어 밀도가 작아지기 때문에, 압축공기 밀도를 증가시키기 위해 수냉식 라디에이터의 전후에 냉각팬을 장착하여 고온 · 고압의 공기를 냉각시켜 연소실로 공급되도록 하였다.

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Type	4 Cylinder, 4 Cycle, Water cooled, DI(Direct Injection), Turbo Intercooler
Piston displacement (cc)	2497
Bore (mm)×Stroke (mm)	91 × 96
Max. Power (kW/rpm)	104.5/4000
Fuel injection type	Bosh common rail
Compression rate	17.5 : 1
Intake exhaust type	TCI
Fuel injection timing	BTDC 15° ~ ATDC 1°

2.2 플라즈마 반응기[4]

플라즈마 반응기의 형상은 평판 대 평판으로 절연체인 운모판으로 만들어진 2 mm 간격의 평판 10개가 설치되었고, 전극은 평판 대 평판의 전극이 다층으로 이루어져 있다.[3] 전극의 크기는 가로 150 mm, 세로 80 mm이며, 운모판 양쪽에 50 ㎛의 구리판이 코팅 처리되어 있다.

플라즈마 반응을 발생시키기 위한 상압의 고전압 발생기 전원은 AC이며, 0 ~ 15 kV rms(30 kV peak)까지 인가가 가능하고, 출력 주파수는12 ~ 35 kHz로 실험에서는 20 kHz를 사용했으며 출력용량은 2 kW이다.

2.3 실험방법

본 실험에서는 기관회전속도 1500, 2100 및 2700 rpm의 경우에 대해 기관부하 100%까지 25% 간격으로 변화시키면서 EGR률 0, 10 및 20%로 증가시켰고, 플라즈마 반응기 인가전압은 0, 8, 10, 12 kV로 변화시켰다. 기관회전속도, 부하, EGR률 및 반응기 인가전압의 4개 파라미터 중 3개를 고정한 상태에서 하나의 조건만을 변화시키면서 실험하였는데, 데이터 수가 너무 많고, 또한 기관회전속도를 변화시키는 경우에는 유사한 경향이 나타났기 때문에, 매연, CO 및 CO_2 배출물의 실험결과에 대해 대표적으로 2100 rpm의 경우만을 고찰하여 나타내고 있다.

본 연구에서는 동일 실험조건일지라도, EGR률은 ± 1% 정도, 기관부하는 ± 5% 이하의 변동률을 나타내었다. 실험 중 냉각수와 윤활유의 온도를 조절하기 위해 수냉식 열교환기를 사용하였다. EGR률 및 플라즈마 반응기 인가전압의 측정조건을 변경시킬 경우에는 반드시 저회전속도, 저부하 상태에서 고회전속도, 고부하의 조건으로 실험을 하였다.

EGR률은 EGR밸브에 의해 재순환 가스량을 조절하여 기관의 흡기측과 배기측 CO_2 농도를 측정해 일반적으로 많이 사용되고 있는 아래의 식[2~4]을 사용하여 계산하였다.

$$\text{EGR Rate}(\%) = \frac{[CO_2]_{EGR} - [CO_2]_{W/O\ EGR}}{[CO_2]_{EXH}} \times 100$$

여기서, $[CO_2]_{EGR}$은 EGR시 흡기 중의 CO_2 농도, $[CO_2]_{w/o\ EGR}$은 EGR을 하지 않았을 경우의 흡기 내 CO_2 농도, $[CO_2]_{EXH}$는 EGR시 배기 중의 CO_2 농도를 나타내고 있다.

본 연구의 실험에 있어서 연료는 연소의 상태에 따라 Table 1에서 보여 주는 것처럼 BTDC 15°와 ATDC 1° 사이의 ECU 커먼레일에 의해 파일럿 및 주 분사가 이루어졌다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 매연 배출물

기관회전속도 1500, 2100, 2700 rpm에서 플라즈마 반응기 인가전압, 기관부하 및 EGR률 중 2개의 조건을 고정시키고, 1개의 조건만을 변화시키면서 실험조건에 대한 매연 배출물을 측정하였다.

Fig. 2에는 대표적으로 기관회전속도 2100 rpm의 각 기관부하에서 EGR률 0, 10 및 20%에 대해 반응기 인가전압을 8, 10, 12 kV로 증가시켜 매연 배출물을 측정해 나타낸 결과이다. 결과를 정량적으로 비교하기 위해 Table 2, 4 및 6에는 기관회전속도 1500, 2100, 2700 rpm에 있어서 실험조건의 각 기관부하 및 반응기 인가전압에 대해 EGR률 0%의 매연 배출물을 기준으로 하여 EGR률 10% 및 20%인 경우의 매연 배출물 증가율을 나타내고 있다. 또한, Table 3, 5 및 7에는 기관회전속도 1500, 2100, 2700 rpm에서 반응기 인가전압을 8, 10, 12 kV로 증가시킨 경우, 인가전압 0 kV일 때 각 EGR률에 있어서 매연 배출물을 기준으로 하여 실험조건의 각 기관부하 및 EGR률에서 매연 배출물 저감률을 나타내고 있다.

그림과 표로부터 동일 기관부하에서 EGR률이 증가할수록 매연 배출물은 증가하였는데, EGR률 증가에 따른 매연 배출물 증가의 경향은 기관부하가 증가할수록 상당히 큼을 알 수 있다. 그러나 동일 실험조건에서 플라즈마 반응기 인가전압이 증가할수록 매연 배출물이 감소되었는데, 이러한 경향은 기관부하율의 증감에 따른 영향이 확실하게 나타나지는 않았지만, 반응기 인가전압이 증가할수록 감소율이 커짐을 알 수 있다.

디젤기관의 매연 배출물은 착화지연, 연소가스 온도, 열발생률, 연소기간 등에 의해 영향을 받는데, EGR률이 증가하면 연소에 필요한 흡입산소농도가 감소되어 산화반응의 참여기회가 줄어들어 부분적

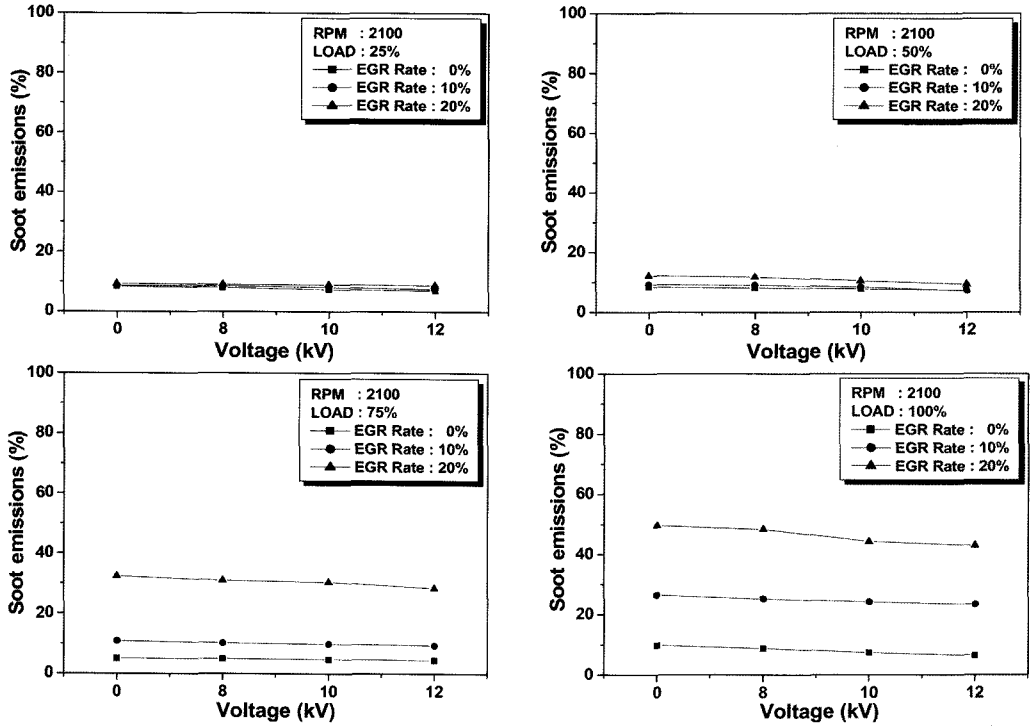

Fig. 2 Effect of the applied voltage on soot emissions for various engine loads as a parameter of EGR rate at an engine speed of 2100 rpm

Table 2 Increasing rate of soot emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 1500 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	267.3	479.6
	8	0	446.9	743.8
	10	0	496.4	842.9
	12	0	541.7	958.3
75	0	0	142.9	571.4
	8	0	153.1	628.1
	10	0	151.6	645.2
	12	0	166.7	744.4
50	0	0	35.9	44.4
	8	0	37.5	41.7
	10	0	13.0	43.5
	12	0	4.8	47.6
25	0	0	4.0	40.0
	8	0	0	17.4
	10	0	4.8	23.8
	12	0	0	4.8

Table 3 Reduction rate of soot emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 1500 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Reduction rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	34.7	42.9	51.0
	10	0	2.8	7.2	14.0
	20	0	4.9	7.0	10.6
75	0	0	8.6	11.4	22.9
	10	0	4.7	8.2	15.3
	20	0	0.9	1.7	3.0
50	0	0	11.1	14.8	22.2
	10	0	2.9	23.5	35.3
	20	0	12.8	15.4	20.5
25	0	0	8.0	16.0	16.0
	10	0	4.2	8.3	12.5
	20	0	22.9	25.7	42.9

Table 4 Increasing rate of soot emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 2100 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	169.4	406.1
	8	0	186.4	450.0
	10	0	227.0	498.6
	12	0	265.6	571.9
75	0	0	113.7	535.3
	8	0	104.0	520.0
	10	0	106.3	533.3
	12	0	108.9	531.1
50	0	0	9.5	44.0
	8	0	11.0	43.9
	10	0	7.7	34.6
	12	0	7.2	27.0
25	0	0	3.6	11.9
	8	0	7.5	13.8
	10	0	9.5	21.6
	12	0	7.1	25.7

Table 5 Reduction rate of soot emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 2100 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Reduction rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	10.2	24.5	34.7
	10	0	4.5	8.3	11.4
	20	0	2.4	10.7	13.3
75	0	0	2.0	5.9	11.8
	10	0	6.4	9.2	13.8
	20	0	4.3	6.2	12.3
50	0	0	2.4	7.1	11.9
	10	0	1.1	8.7	21.7
	20	0	2.5	13.2	22.3
25	0	0	4.8	11.9	16.7
	10	0	1.1	6.9	13.8
	20	0	3.2	4.3	6.4

Table 6 Increasing rate of soot emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 2700 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	143.4	245.5
	8	0	136.4	221.0
	10	0	120.2	204.8
	12	0	124.4	139.1
75	0	0	39.4	94.4
	8	0	35.6	98.5
	10	0	42.4	108.8
	12	0	39.2	111.7
50	0	0	13.0	72.1
	8	0	19.1	85.8
	10	0	11.6	84.1
	12	0	21.6	97.6
25	0	0	30.6	71.3
	8	0	42.1	70.5
	10	0	45.1	69.2
	12	0	65.3	76.0

Table 7 Reduction rate of soot emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 2700 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Reduction rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	6.9	11.1	17.5
	10	0	9.6	19.6	23.9
	20	0	13.5	21.6	42.9
75	0	0	4.9	12.0	15.5
	10	0	7.6	10.1	15.7
	20	0	2.9	5.4	8.0
50	0	0	8.4	10.4	18.8
	10	0	3.4	11.5	12.6
	20	0	1.1	4.2	6.8
25	0	0	12.0	15.7	30.6
	10	0	4.3	6.4	12.1
	20	0	12.4	16.8	28.6

으로 착화, 혼합 등의 연소특성에 악영향을 끼쳐 매연 배출물이 증가된다. 또한, 착화지연이 증가되면 예혼합 연소기간 중 연소되는 연료량이 증가될 것 같지만, 흡입산소농도의 감소 때문에, 연소에 이용되는 산소농도의 감소로 인해 예혼합상에서 연료의 연소속도가 감소되고, 또한 연소온도도 저하될 뿐만 아니라, 연소기간이 단축되어 매연 배출물이 증가된다고 Bae 등[2, 3]은 보고하고 있다.

Lee 등[5] 및 Bae 등[3]은 매연이 저온 플라즈마 반응에 의해 그 중 일부가 분리되고, 라디칼에 의해 산화 연소되어 감소된다고 했다. 또한, Kim[6]은 OH, RO_2, HO_2 등의 라디칼에 의해 플라즈마에 의한 산화반응이 증가되어 매연 배출물은 감소되지만, 매연의 산화반응에 의해 다음에 고찰하는 CO 배출물은 증가된다고 했다.

3.2 CO 배출물

매연 배출물 특성 조사의 경우와 동일한 실험조건에 대해 CO 배출물 특성에 미치는 기관회전속도, 플라즈마 반응기 인가전압, 기관부하 및 EGR률의 영향을 파악하기 위하여 CO 배출물을 측정하였다. Fig. 3에는 기관회전속도 2100 rpm인 경우에 대해 각 기관부하에서 EGR률을 0, 10, 20%로 증가시키고, 반응기 인가전압을 0, 8, 10, 12 kV로 증가시켜 CO 배출물을 측정한 결과를 대표적으로 나타내고 있다. Table 8, 10 및 12에는 기관회전속도 1500, 2100, 2700 rpm에 있어서 실험조건의 각 기관부하와 반응기 인가전압에 대해 EGR률 0%의 CO 배출물을 기준으로 하여 EGR률 10%, 20%인 경우의 CO 배출물에 대한 증가율을 나타내고 있다. Table 9, 11 및 13에는 반응기 인가전압을 8, 10, 12 kV로 증가시킨 경우, 반응기 인가전압 0 kV일 때 각 EGR률에 있어서의 CO 배출물을 기준으로 하여 실험조건의 각 기관부하와 EGR률에서 CO 배출물의 증가율을 나타내고 있다.

그림과 표로부터 동일 기관부하에서는 EGR률과

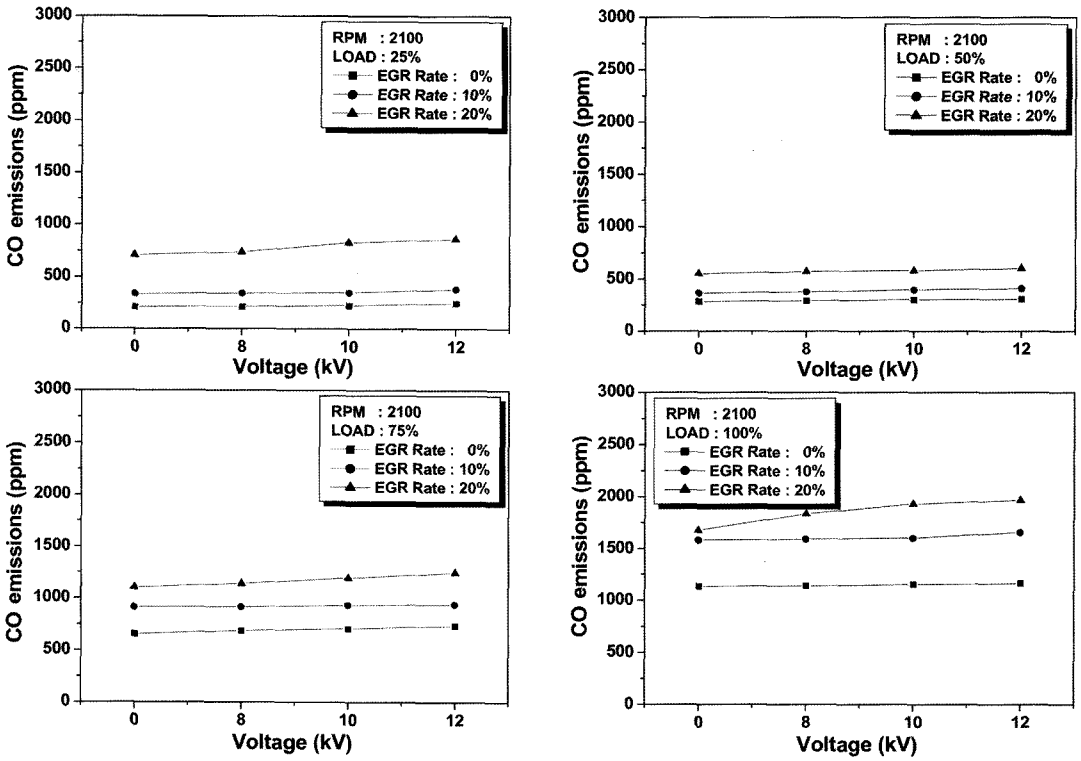

Fig. 3 Effect of the applied voltage on CO emissions for various engine loads as a parameter of EGR rate at an engine speed of 2100 rpm

Table 8 Increasing rate of CO emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 1500 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	3.7	92.7
	8	0	6.0	72.4
	10	0	3.8	93.2
	12	0	2.4	114.1
75	0	0	43.7	91.3
	8	0	38.5	111.3
	10	0	41.8	125.5
	12	0	41.1	136.9
50	0	0	21.0	88.1
	8	0	18.6	85.4
	10	0	25.8	82.4
	12	0	24.1	82.7
25	0	0	33.3	134.0
	8	0	33.8	137.2
	10	0	32.9	133.6
	12	0	34.7	149.4

Table 9 Increasing rate of CO emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 1500 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Increasing rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	21.0	27.0	33.9
	10	0	23.6	27.5	32.2
	20	0	8.2	27.7	48.7
75	0	0	7.9	9.6	14.8
	10	0	4.0	8.2	12.8
	20	0	19.2	29.2	42.2
50	0	0	3.9	6.5	8.4
	10	0	1.9	10.7	11.2
	20	0	2.4	3.3	5.3
25	0	0	0.7	3.4	4.8
	10	0	1.0	3.1	5.9
	20	0	2.0	3.2	11.6

Table 10 Increasing rate of CO emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 2100 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	39.6	48.0
	8	0	39.8	61.2
	10	0	38.9	67.5
	12	0	42.3	69.2
75	0	0	39.2	68.3
	8	0	33.0	65.8
	10	0	31.6	68.8
	12	0	27.4	69.0
50	0	0	29.2	94.4
	8	0	28.6	94.6
	10	0	31.4	92.4
	12	0	33.4	95.8
25	0	0	85.7	233.3
	8	0	60.0	243.7
	10	0	54.2	265.6
	12	0	54.4	248.4

Table 11 Increasing rate of CO emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 2100 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Increasing rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	0.5	1.8	2.7
	10	0	0.7	1.3	4.7
	20	0	9.6	15.2	17.4
75	0	0	4.7	7.9	12.2
	10	0	0.1	2.1	2.7
	20	0	3.2	8.2	12.7
50	0	0	3.5	6.7	8.5
	10	0	3.0	8.4	12.0
	20	0	3.6	5.6	9.2
25	0	0	0.9	6.6	16.4
	10	0	1.8	3.6	13.3
	20	0	4.1	16.9	21.7

Table 12 Increasing rate of CO emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 2700 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	2.9	8.6
	8	0	2.2	9.4
	10	0	1.8	7.2
	12	0	2.7	5.8
75	0	0	81.8	87.2
	8	0	77.5	90.4
	10	0	74.0	85.1
	12	0	71.9	101.0
50	0	0	10.0	12.2
	8	0	9.8	12.0
	10	0	9.4	11.4
	12	0	9.3	11.6
25	0	0	3.8	22.9
	8	0	2.8	22.4
	10	0	3.0	22.8
	12	0	0.7	20.5

Table 13 Increasing rate of CO emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 2700 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Increasing rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	2.1	5.5	7.5
	10	0	1.4	4.4	7.3
	20	0	2.9	4.2	4.8
75	0	0	3.0	7.2	9.6
	10	0	0.6	2.6	3.6
	20	0	4.8	6.0	17.7
50	0	0	0.8	1.7	3.0
	10	0	0.6	1.1	13.9
	20	0	0.6	0.9	2.4
25	0	0	1.2	1.4	4.5
	10	0	0.2	0.7	1.4
	20	0	0.8	1.3	2.5

플라즈마 반응기 인가전압이 증가할수록 CO 배출물이 증가하고 있다. 이러한 경향은 부하가 낮아질수록 증가율이 커지고 있는데, 반응기 인가전압보다는 EGR률의 영향이 더 큼을 알 수 있었다.

EGR률의 증가에 따른 CO 배출물의 증가 원인은 CO가 산화반응에 의해 CO_2로 변할 때, 산소농도의 부족 및 연소속도의 감소 때문에, 산화되지 못하고 CO로 배출되기 때문이라고 했다.[7]

또한, Lee 등[5]은 비열 플라즈마 반응에 의해 CO_2가 CO로 해리 된다고 했고, Kim[6]은 매연의 산화반응에 의해 CO 배출물이 증가된다고 했다.

3.3 CO_2 배출물

CO_2 배출물은 연소성 물질이 산소와 반응하여 완전연소시에 발생되는데, 현재 대기오염물질로 규정되어 있지는 않지만, 지구온난화에 많은 영향을 주고 있는 물질로 CO_2 배출물 저감에 대한 논의가 이루어져 각국은 다양한 대책을 수립하고 있다.

Fig. 4에는 동일 실험조건에 대한 CO_2 배출물 특성을 조사하기 위해 기관회전속도 2100 rpm에서 플라즈마 반응기 인가전압, 기관부하 및 EGR률 중 2개의 조건을 고정시키고, 1개의 조건만을 변화시키면서 측정한 CO_2 배출물을 나타내고 있다. Table 14, 16 및 18에는 기관회전속도 1500, 2100 및 2700 rpm에서 측정한 값을 정량적으로 비교하기 위해 실험조건의 각 기관부하와 인가전압에 대해 EGR률 0%의 CO_2 배출물을 기준으로 하여 EGR률 10%, 20%인 경우의 CO_2 배출물에 대한 증가율을 나타내고 있다. Table 15, 17 및 19에는 반응기 인가전압을 증가시킨 경우, 반응기 인가전압 0 kV일 때 각 EGR률에 있어서의 CO_2 배출물을 기준으로 하여 실험조건의 각 기관부하와 EGR률에서 CO_2 배출물의 감소율을 나타내고 있다.

그림과 표로부터 EGR률이 증가할수록 동일 기관부하에서 CO_2 배출물은 증가하고 있지만, 반응기 인가전압이 증가하면 CO_2 배출물은 감소하고 있다. EGR률 증가에 따른 CO_2 배출물의 증가률의 경향은 기관부하의 영향이 명확하지는 않았지만, 부하 75%에서 증가율이 가장 컸고, 전부하에서는 오히려 가장 증가율이 낮았다. 한편, 반응기 인가전압의 증가에 따른 CO_2배출물의 감소율은 기관부하가 낮아질수록 커지고 있음을 알 수 있다.

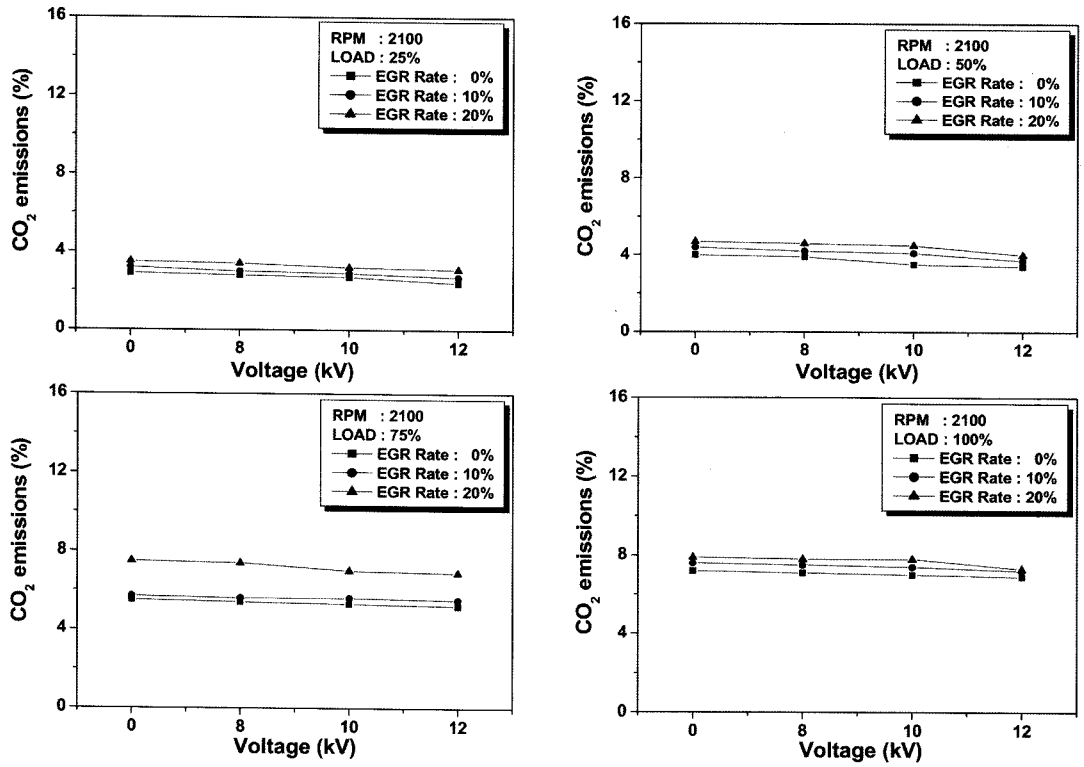

Fig. 4 Effect of the applied voltage on CO emissions for various engine loads as a parameter of EGR rate at an engine speed of 2100 rpm

Table 14 Increasing rate of CO_2 emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 1500 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	2.6	7.8
	8	0	4.0	9.3
	10	0	2.7	8.1
	12	0	1.4	4.1
75	0	0	11.5	24.6
	8	0	9.8	23.0
	10	0	8.3	23.3
	12	0	8.8	24.6
50	0	0	10.0	22.5
	8	0	10.3	23.1
	10	0	13.2	21.1
	12	0	17.1	25.7
25	0	0	10.0	33.3
	8	0	10.3	31.0
	10	0	10.7	32.1
	12	0	19.2	30.8

Table 15 Reduction rate of CO_2 emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 1500 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Reduction rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	2.6	3.9	3.9
	10	0	1.3	3.8	5.1
	20	0	1.2	3.6	7.2
75	0	0	0	1.6	6.6
	10	0	1.5	4.4	8.8
	20	0	1.3	2.6	6.6
50	0	0	2.5	5.0	12.5
	10	0	2.3	2.3	6.8
	20	0	2.0	6.1	10.2
25	0	0	3.3	6.7	13.3
	10	0	3.0	6.1	6.1
	20	0	5.0	7.5	15.0

Table 16 Increasing rate of CO_2 emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 2100 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	5.6	9.7
	8	0	5.6	9.9
	10	0	5.7	11.4
	12	0	4.3	5.8
75	0	0	3.6	36.4
	8	0	3.7	37.0
	10	0	5.7	32.1
	12	0	5.8	32.7
50	0	0	10.0	17.5
	8	0	7.7	17.9
	10	0	17.1	28.6
	12	0	8.8	17.6
25	0	0	10.3	20.7
	8	0	7.1	21.4
	10	0	7.4	18.5
	12	0	12.5	29.2

Table 17 Reduction rate of CO_2 emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 2100 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Reduction rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	1.4	2.8	4.2
	10	0	1.3	2.6	5.3
	20	0	1.3	1.3	7.6
75	0	0	1.8	3.6	5.5
	10	0	1.8	1.8	3.5
	20	0	1.3	6.7	8.0
50	0	0	2.5	12.5	15.0
	10	0	4.5	6.8	15.9
	20	0	2.1	4.3	14.9
25	0	0	3.4	6.9	17.2
	10	0	6.3	9.4	15.6
	20	0	2.9	8.6	11.4

Table 18 Increasing rate of CO_2 emissions by increasing EGR rate at an engine speed of 2700 rpm

Engine load (%)	Applied electrical voltage (kV)	Increasing rate (%)		
		EGR 0%	EGR 10%	EGR 20%
100	0	0	16.0	25.3
	8	0	17.8	26.0
	10	0	16.4	24.7
	12	0	16.7	23.6
75	0	0	4.7	12.5
	8	0	6.3	12.7
	10	0	6.5	14.5
	12	0	4.9	16.4
50	0	0	9.8	15.7
	8	0	10.0	14.0
	10	0	10.0	12.0
	12	0	10.2	14.3
25	0	0	9.1	15.2
	8	0	6.2	12.5
	10	0	6.5	12.9
	12	0	3.3	16.7

Table 19 Reduction rate of CO_2 emissions by increasing the applied electrical voltage at an engine speed of 2700 rpm

Engine load (%)	EGR rate (%)	Reduction rate (%)			
		0 kV	8 kV	10 kV	12 kV
100	0	0	2.7	2.7	4.0
	10	0	1.1	2.3	3.4
	20	0	2.1	3.2	5.3
75	0	0	1.6	3.1	4.7
	10	0	0	1.5	4.5
	20	0	1.4	1.4	1.4
50	0	0	2.0	2.0	3.9
	10	0	1.8	1.8	3.6
	20	0	3.4	5.1	5.1
25	0	0	3.0	6.1	9.1
	10	0	5.6	8.3	13.9
	20	0	5.3	7.9	7.9

Lim 등[7]은 EGR률의 증가에 따른 CO_2 배출물의 증가는 완전연소로 인한 것보다는 재순환되는 CO_2 배출물의 증가 때문이라고 했다. 또한, 플라즈마 인가전압을 증가시키는 경우, Lee 등[5]은 비열 플라즈마 반응에 의해 CO_2가 CO로 해리되기 때문에 CO 배출물은 증가하고, CO_2 배출물은 감소된다고 했다.

4. 결 론

수냉, 4기통, 4행정, 직접분사식, 커먼레일 디젤기관에 터보 인터쿨러 플라즈마 EGR 조합시스템을 사용하여 기관회전속도, 기관부하, EGR률 및 플라즈마 반응기의 인가전압을 파라미터로 한 매연, CO 및 CO_2 배출물 특성을 본 연구의 실험조건인 EGR률 20%의 범위 내에서 조사한 결과를 비교하고 고찰하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

1) EGR률이 증가할수록 동일 기관회전속도 및 부하에서 매연 배출물은 증가하였고, 이러한 경향은 부하가 증가할수록 커졌다. 한편, 동일 실험조건에서 플라즈마 반응기 인가전압이 증가할수록 매연 배출물은 감소하였고, 이러한 경향은 부하의 증감에 따른 영향이 확실하게 나타나지는 않았지만, 반응기 인가전압이 증가할수록 감소율은 커졌다.
2) EGR률과 플라즈마 반응기 인가전압이 증가할수록 동일 기관회전속도 및 부하에서 CO 배출물은 증가하였다. 이러한 경향은 부하가 낮아질수록 증가율이 커지고 있는데, 플라즈마 반응기 인가전압보다는 EGR률의 영향이 더 컸다.
3) 동일 기관회전속도 및 부하에서 EGR률이 증가할수록 CO_2 배출물은 증가하였고, 이러한 경향에 미치는 부하의 영향은 명확하지 않았지만, 부하 75%에서 증가율이 가장 컸고, 전부하에서는 오히려 가장 증가율이 낮았다. 그러나 동일 실험조건에서 플라즈마 반응기 인가전압이 증가할수록 CO_2 배출물은 감소하였고, 이러한 경향은 기관부하가 낮아질수록 커졌다.

후 기

본 연구는 경상대학교 공학연구원 주관의 제12차 및 제13차 산학연공동기술개발 컨소시엄, 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 : R01-2000-000-00307-0), 2006년도 NURI 사업 및 2단계 BK 21 사업의 지원에 의해 수행된 것으로 도움을 준 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

1) A. Tsolakis and A. Megaritis, "Exhaust Gas fuel Reforming for Diesel Engines - A Way to Reduce Smoke and NO_x Emissions Simultaneously," SAE 2004-01-1844, pp.1-13, 2004.
2) M. W. Bae, "A Study on the Effects of Recirculated Exhaust Gas on NO_x and Soot Emissions in Diesel Engines with Scrubber EGR System," SAE 1999-01-3266, pp.78-87, 1999.
3) M. W. Bae and Y. Mochimaru, "Characteristics of Performance and Exhaust Emissions with a Combined Plasma EGR System in Diesel Engines," Proceeding of the FISITA 2004 World Automotive Congress, pp.1-19, 2004.
4) M. W. Bae, Y. J. Ku and B. S. Lee, "A Study on Characteristics of Performance and NO_x·THC Emissions in Turbo Intercooler ECU Common- rail Diesel Engines with a Combined Plasma EGR System," Transactions of KSAE, Vol.14, No.3, pp.10-21, 2006.
5) J. B. Lee, J. H. Hwang and G. N. Bae, "Effect of DC Corona Characteristics and Plasma Reactor Conditions on Soot and Combustion Gas Concentrations," Autumn Conference Proceedings, KSAE, Vol. Ⅰ, pp.230-235, 1999.
6) D. I. Kim, "A Basic Experimental Study of Soot Oxidation Using Plasma/DPF System," M. S. Thesis, Graduate School of Yonsei University, pp.1- 49, 2001.
7) J. K. Lim, M. W. Bae and J. I. Kim, "An Experimental Study on Effects of EGR Rate upon Exhaust Emissions in Small High-speed Diesel Engines," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.28, No.5, pp.252-269, 1992.