

MF 플라즈마-EGR 조합시스템에 의한 디젤기관의 배기 가스 특성

(The Characteristics of Exhaust Gas in Diesel Engine by Middle Frequency Plasma-EGR System)

박재윤 · 정장근 · 김종석 · 하현진*

(Jae-Yoon Park · Jang-Gun Jung · Jong-Suk Kim · Hyun-Jin Ha)

요 약

디젤 자동차 배출 가스인 NOx, Soot 그리고 기타 가스들은 주요한 대기 오염의 물질들이다. 그러므로 여러 많은 나라들이 이에 관련된 규제 법규를 점점 더 엄격하게 규제하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 디젤 자동차에서 발생되어지는 NOx, 매연 그리고 CO를 고주파 플라즈마와 EGR 시스템을 조합하여 그 제거 특성을 연구하였다. NOx는 부하와 전압이 증가하게 되면 NOx는 감소하고 매연의 경우에는 EGR율이 증가함으로 인해서 증가 하였다. 그러나 전압이 증가함에 따라서는 감소하였다.

Abstract

NOx, Smoke and other exhausted components already became a dangerous state as principal materials of the air pollution. Therefore, the exhausted regulations are getting strict in the many countries.

In this paper, reduction characteristic of NOx, Smoke and CO from diesel engine are investigated, when MF plasma-EGR hybride system is put to the diesel engine. NOx is decreased in all measured load and applied voltage to plasma reactor. However Smoke is increased as increasing EGR rate and it is decreased as increasing applied voltage.

Key Words : EGR, Plasma, NOx, Soot

1. 서 론

최근 우리사회는 경제성장의 고도화에 따른 사회 구조의 변화를 가져오고 있다. 이 중에서도 자동차

산업은 경제발전과 생산수준의 향상에 큰 역할을 담당해 왔다[1]. 하지만 인구증가, 경제 및 산업의 발달에 따른 많은 문제점들이 나타나고 있고, 21C 에너지와 환경이라는 동시에 해결하기 어려운 커다란 문제가 우리를 기다리고 있다. 특히 내연기관이라고 하는 동력발생장치는 이들 모두에 상당히 많은 영향을 미치는 것으로 산성비, 지구 온난화, 오존층 파괴, 호흡기질환 등 환경오염에 의해 발생하는 문제 등이 주요 관심사로 부각되어 긴급히 해결해야 할 사회적

* 주저자 : 경남대학교 전기공학과
Tel : 02-2214-7431, Fax : 02-2242-2285
E-mail : hhj1784@empal.com
접수일자 : 2005년 6월 13일
1차심사 : 2005년 6월 24일
심사완료 : 2005년 7월 14일

문제가 되고 있다[2],[3]. 대기오염의 대부분을 차지하는 내연기관에서 배출되는 유해가스성분은 가솔린기관보다는 디젤기관에서 더욱 심각하고, 또한 경제 성장에 따른 열병합용, 건설기계용, 선박용 등에 디젤기관의 적용이 증가됨에 따라 많은 오염물질을 배출시키기 때문에 배기 배출물 규제가 실행되어지고 점점 강화되고 있다[4],[5].

디젤기관은 소형동력원으로 타의 추종을 불허하는 고효율, 내구성, 신뢰성 및 배기 배출물 중 지구온난화의 주된 요인으로 알려져 있는 이산화탄소(CO₂)의 배출이 가솔린기관에 비하여 20[%]이상 적기 때문에 지구온난화 억제의 바람직한 동력원임이 입증되었다. 1996년 12월 교토에서 타결된 지구온실가스 저감목표량을 보면 유럽 등의 최대 8[%] 삭감부터 아이슬랜드의 10[%]증가 허용까지의 차등 폭을 두고 38개국이 2008년부터 2012년 사이에 평균 5.2[%]의 CO₂삭감을 결정하였다. 또한 최근에는 세계 각국의 해양환경보존에 대한 의식의 확대로 1997년 9월 국제 해사기구(IHO)본부에서 개최된 모임에서 협의된 질소산화물(NO_x) 규제에 의하면 2000년 1월 1일부터는 박용기관에서도 NO_x를 규제할 예정이고, 이를 만족하기 위해서는 현 단계에서 대체로 약 30[%]의 삭감이 필요할 것으로 예상하고 있다[6],[7]. 기존에 비열 플라즈마를 이용한 매연 저감 장치는 Smoke로 인한 절연 파괴로 인해서 플라즈마가 생성되지 않아 적용하지 못하였다. 주로 DPF(Diesel Particulate Filter) 장치 후단에 적용하여 NO_x 제거용으로 많은 연구가 이루어졌다. 그리고 이에 관해 시뮬레이션 연구는 있었으나 실질적으로 엔진에 적용한 기술은 없었다.

본 연구에서는 디젤엔진에서 배출되는 유해 물질을 저감시키기 위해 MF 플라즈마와 EGR을 결합한 시스템을 디젤엔진에 적용하고 NO_x, Smoke 등의 배출 가스 특성을 측정하고 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 와류실식

의 4행정 디젤기관으로 국내에서 생산되는 자동차용 디젤기관을 사용하였다. 그림 1은 플라즈마 반응기의 개략도이다. 플라즈마 반응기 형상은 평판 대 평판으로 다층으로 이루어져 있으며, 절연체인 세라믹으로 만들어진 평판은 1[mm]간격으로 20개를 설치하였고, 크기는 가로 100[mm], 세로 34[mm]이며, 세라믹 양쪽에 50[μ m] 구리판이 코팅처리되었다. 플라즈마 반응을 일으키기 위한 고전압발생기는 AC이며 4~20[kV]까지 인가가 가능하고, 출력 주파수는 20~30[kHz]이며 임피던스 정합 문제로 인하여 실험에서는 20[kHz]를 사용하였다.

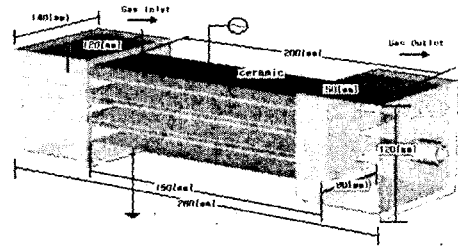


그림 1. 반응기
Fig. 1. reactor

CO, CO₂ 배출물은 NDIR(Non-Dispersive Infra-Red technology), 배기 분석계(CGT-7000), O₂ 배출물은 지르코니아(Zirconia)법에 의한 O₂ 분석계, NO_x 배출물은 화학발광법 NO_x 분석계(signal 4000[VM]), 매연은 광반사식 디젤 매연측정기(DST 210)를 사용하여 측정하였다.

2.2 실험 방법

본 실험에 들어가기 전에 EGR(Exhaust Gas Recirculation)을 하지 않은 경우에 대한 기관성능특성 실험을 실시하였다. 기관성능실험은 기관의 전부하에서 기관회전속도 1200~3600[rpm]의 범위에서 300[rpm]씩 증가시켜 각각의 출력, 토크 및 연료 소비율을 측정하는 기관성능특성실험을 실시하였다.

본 실험에서는 기관회전속도가 1800, 2800[rpm]의 2가지 경우에 대해서 기관부하를 25~100[%]까지 25[%]씩 증가시키고, EGR율을 0~20[%]까지

10[%]씩 증가시키면서, 인가전압은 0[kV], 6.8[kV], 7[kV], 7.2[kV], 7.4[kV] 간격으로 증가시키며 실험을 하였다. 기관회전속도, 기관부하, EGR율, 인가전압의 4개 파라미터 중 3개를 고정한 상태에서 하나만을 변화시키면서 실험을 실시하였다. 그리고 실험에서 동일조건인 기관회전속도와 기관부하를 갖는다고 할 경우라도 EGR율의 변동율은 ± 1 [%]이고, 동일 기관회전속도와 EGR율 일지라도 기관부하를 바꿀 경우에도 ± 5 [%]의 기관부하 변동율을 나타내었다. 또한, 측정조건을 변경할 경우에는 반드시 저회전, 무부하 상태에서 고회전, 고부하 쪽으로 측정조건을 조절하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 NOx의 변화 특성

그림 2는 부하율, 회전수, EGR율에 따른 NOx 제거 특성에 미치는 인가전압의 영향을 나타낸 것이다. 전압이 인가되면 6.8[kV]에서 방전이 반응기 전체에서 발생하였는데 이때 NOx의 제거율은 약 10[%] 정

도이며 7.2[kV]까지는 비슷한 제거율을 나타내었으나, 7.4[kV]에서는 40[%]이상의 제거율을 나타내고 있다. 7.5[kV] 이상에서는 절연 파괴가 일어나 이 이상의 전압을 인가 할 수는 없었다. EGR율을 0[%], 10[%], 20[%]의 증가시키면, 0에서 10[%]로 변화될 때 NOx 제거율이 크게 나타났으나, 10[%] 이상에서는 NOx 제거율은 큰 차이가 없었다. 인가전압을 증가시킨 경우 NOx는 EGR율이 증가할수록 감소하고, EGR만 실시하였을 경우 NOx의 저감율은 60[%] 이상이고, 전압만 인가하였을 경우에는 NOx의 저감율이 20~50[%]정도 감소되어졌다. EGR과 플라즈마를 결합 하였을 경우 1800[rpm]에서는 75[%]정도 감소되어진다. 이는 아래 식에서 보는 것과 같이 엔진 연소시 발생되어진 NOx가 플라즈마 반응기 내부로 유입되어지면 방전시 발생되어지는 전자 에너지에 의해서 NO가 N과 O 라디칼로 환원되어지며 OH, O 등에 의해 염으로 변화되는 것으로 사료된다. 모델링 실험장치에서는 주로 NO가 NO₂로 산화반응을 일으켜 실질적인 NOx의 발생량은 증가하는 것으로 보고 되어 지고 있으나 본 반응기에서는 산화 반응보다는 환원 반응이 일어나고 있다.

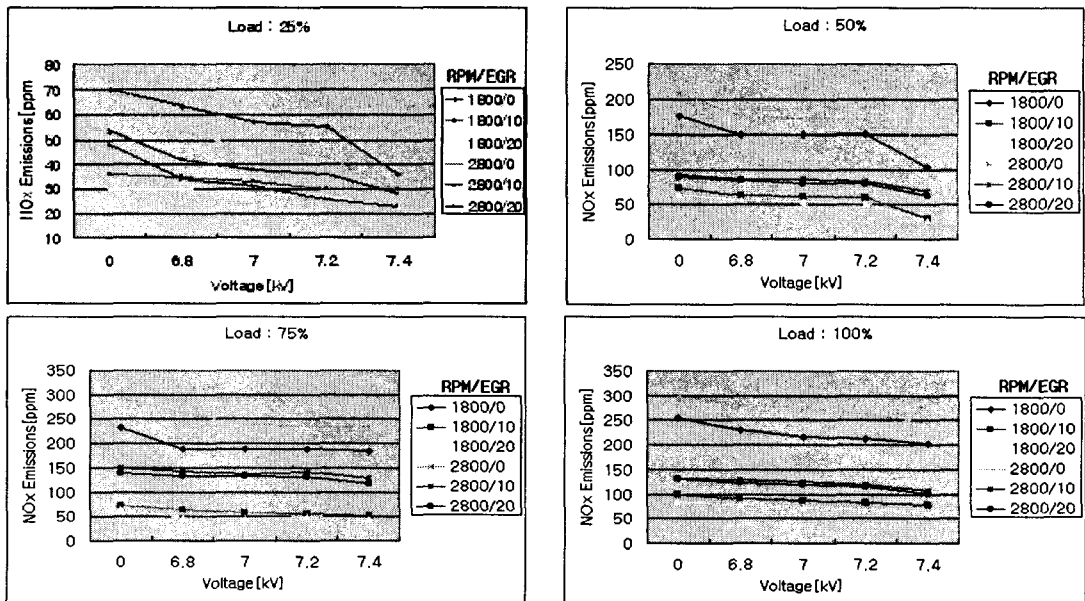
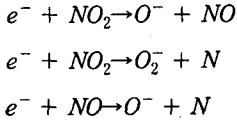


그림 2. 인가전압에 따른 NOx의 제거 특성
Fig. 2. The characteristic of NOx removal as applied voltage

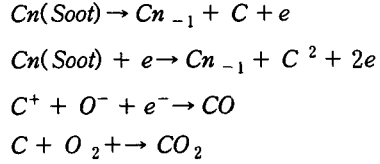
MF 플라즈마-EGR 조합시스템에 의한 디젤기관의 배기 가스 특성



3.2 Smoke의 변화 특성

Smoke의 제거 특성에 미치는 전압의 영향을 나타낸 것이다. 각각의 부하에서 EGR율과 인가전압을 증가시킨 경우의 매연 배출물에 대한 결과를 비교한 것으로 EGR율이 증가할수록 Smoke 배출물의 농도는 증가하며, 각각의 EGR률에서 부하가 증가할수록 Smoke의 발생량은 증가하고 있다. 그러나 인가전압이 증가할수록 Smoke가 10.4~61.5[%]정도 감소되는 것으로 나타내어진다. 이는 반응기에 유입된 Smoke 즉 탄소 파티클이 도전성을 띠고 있기 때문에 금속 파티클과 마찬가지로 파티클 부분에 전계가 집중되어 이 부분의 전계 에너지에 의해서 아래 식에서처럼 탄소 파티클이 전계 에너지에 의해 분해되어지고 이는 배기가스 중에 포함되어져 있는 산소와 결합하여 CO, CO₂를 발생시키는 것으로 사료되어진다.

그림 3은 부하율, 회전수, EGR율 등에 따른



4. 결 론

디젤엔진에 플라즈마 EGR 조합시스템 장치를 사용하여 회전속도, 부하, EGR를 및 인가전압을 변화시켜 배기 배출물 특성을 비교하고 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) NOx 배출물은 모든 부하영역에서 EGR률의 증가에 따라 감소하고 있으며, 인가전압이 증가할수록 NOx 배출물의 감소율은 증가하고 있다.
- 2) 매연 배출물은 각각의 기관회전속도에서 기관 부하율 75[%] 미만에서는 EGR률의 증가에 따라 완만하게 증가하지만 전부하 영역에서는 급격히 증가하고 있으며, 인가전압이 증가함에 따라 매연 배출물의 감소율은 증가하고 있다.
- 3) 반응기에 유입된 Smoke, 즉 탄소 파티클이 도

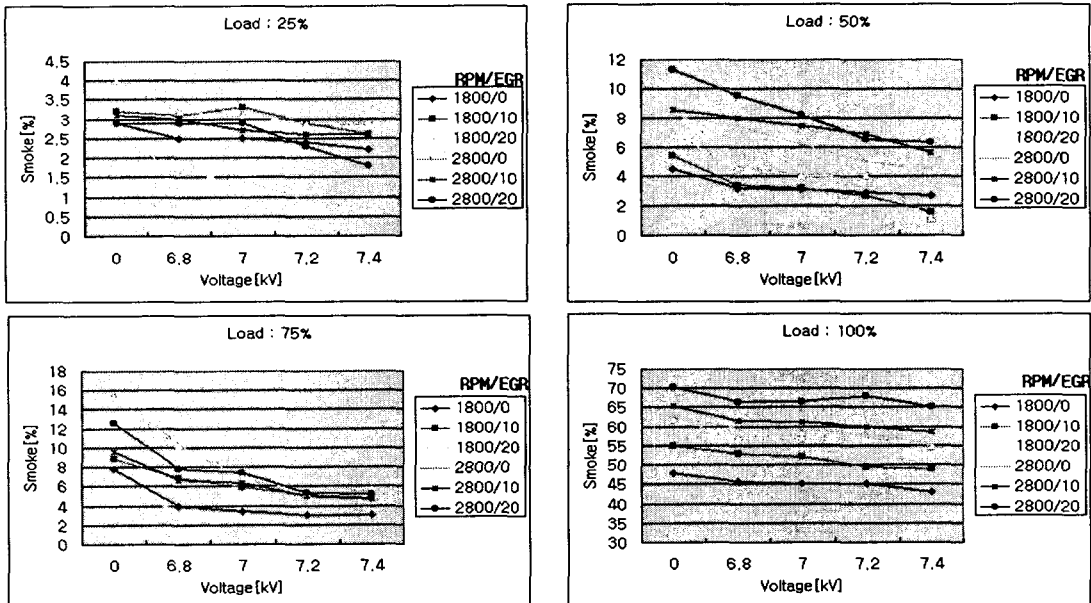


그림 3. 인가 전압에 따른 Smoke의 제거 특성
Fig. 3. The characteristic of smoke removal as applied voltage

전성을 띄고 있기 때문에 금속 파티클과 마찬가지로 파티클 부분에 전계가 집중되어 이 부분의 전계 에너지에 의해서 탄소 파티클이 전계 에너지에 의해 분해 되어지고 이는 배기 가스 중 에 포함되어져 있는 산소와 결합하여 CO, CO₂를 발생시키는 것으로 사료되어진다.

2005학년도 경남대학교 학술 논문 게재 연구비 지원으로 이루어졌음.

References

- [1] Akira Mizuno, Yoshifumi Yamazaki, Hiroshilto, and Hiroshi Yoshida, "Ac energized ferroelectric pellet bed gas cleaner", IEEE Trans. on IAS, Vol. 28, No.3, pp.535-540, 1992.
- [2] 清水一男 外1人, "濕式プラズマガス處理", 放電プラズマによるガス狀 環境汚染物質の處理技術に關する總合的研究, pp.69~78, 1994.
- [3] N. W. Frank and S. Hirano, "The history of eletron beam processing for environmental pollution control and work performed in the united states", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part B, Springer-Verlag Pub.Co., PP.1-26, 1993.
- [4] K. Kawamura, S. Aoki, H. Kimura, K. Adachi, T. Katayama, K. Kengaku and Y. Sawada, "Electron beam dry flue gas treatment process", Environ. Sci. & Tech., 14, pp.288-293(1980).
- [5] Mizuno, K. Shimizu, K. Yanagihara, K. Kinoshita, H. Tsunoda, H.Kim, and S.Katsura, "Effect of additives and catalysts on removal of nitrogen oxides using pulsed discharge," in Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, vol. 3, San Diego, CA, Oct. 610, 1996, pp. 1808~1812.

- [6] T. Oda, T. Kato, T. Takahashi, and K. Shimizu, "Nitric oxide decomposition in air by using nonthermal plasma processing With additives and catalyst," in Conf. Rec.IEEE-IAS Annu. Meeting, vol. 3, San Diego, CA, Oct. 610, 1996, pp. 1803~1807.
- [7] "Nitric oxide decomposition in air by using nonthermal plasma processing," in Proc. IEJ-ESA 1996 Joint Symp. Electrostatics, Univ.Of Tokyo, Tokyo, Japan, Oct. 3031, 1996, pp. 1728.

◆ 저자소개 ◆

박재윤 (朴在潤)

1960년 4월 15일생. 1986년 2월 경남대학교 전기공학과 졸업. 1988년 8월 인하대학교 대학원 전기공학과(석사). 1991년 8월 동대학원(박사). 1992년 2월 현재 경남대학교 전기전자공학부 교수.

정장근 (鄭章根)

1969년 10월 28일생. 1997년 2월 경남대학교 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동대학원(석사). 2003년 2월 동대학원(박사).

김종석 (金種錫)

1973년 5월 24일생. 2000년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2002년 2월 동대학원(석사). 2005년 현재 경남대학교 박사학위과정.

하현진 (河賢珍)

1974년 12월 27일생. 2000년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2002년 2월 동대학원(석사). 2005년 현재 동대학원 박사학위과정.