

고주파 플라즈마 시스템에 의한 디젤기관의 배기가스 특성

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

박재윤 · 정장근 · 김종석 · 하현진*

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

요 약

자동차에서 발생되어지는 NOx, Soot 그리고 기타 배출 가스는 대기오염의 주요한 원인물질이다. 그래서 많은 나라에서 이를 점점 더 엄격하게 규제하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 디젤 엔진에서 발생되어진 NO, Soot 그리고 CO를 고주파 플라즈마 시스템을 이용하여 제거특성을 연구 하였다. 전반적으로 유해 물질들이 전압이 증가함에 따라 그 제거특성이 우수하게 나타났다.

Abstract

NOx, Soot 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, Soot and CO from diesel engine are investigated, when MF plasma system is put to the diesel engine. NOx is decreased in all measured load and applied voltage to plasma reactor.

Key Words : Plasma, NOx, Soot, Diesel Engine

1. 서 론

인간 생활의 편의성을 위하여 개발된 자동차에서 배출되는 오염 물질이 자연적으로 정화 되는데 한계에 이르게 되고, 급기야 1954년에 미국 로스 엔젤레스에서 발생한 자동차 배출가스로 인하여 다수의 사상자가 발생한 사건을 계기로 본격적인 자동차 배출

가스 규제가 시작 되었다[1]. 미국의 캘리포니아주에서는 1969년에 자동차 배출 가스를 제한하는 법을 최초로 제정하였으며, 연방정부는 1965년에 자동차 오염 방지법을 공포하였고, 이 법은 1968년부터 생산되는 자동차에 대한 배기가스 배출 허용기준을 명시하여 자동차에서 배출되는 대기 오염 물질을 강제적으로 억제하기 시작하였다[2]. 이에 자동차 제작사에서는 엔진 연소 개선과 같은 방법으로 대응하였으나, 1975년에 강화된 배출가스 규제에 처음으로 배기 후 처리 방법을 소개하였다[3]. 이것이 산화촉매 인데, 전기 점화기관에서 발생한 미연소 탄화수소(HC)와 일산화탄소를 산화 반응으로 저감시키는 기능을 수

* 주저자 : 경남대학교 전기공학과
Tel : 02-2214-7431, Fax : 02-2242-2285
E-mail : hhj1784@empal.com
접수일자 : 2005년 6월 13일
1차심사 : 2005년 6월 24일, 2차심사 : 2005년 7월 7일
심사완료 : 2005년 7월 11일

고주파 플라즈마 시스템에 의한 디젤기관의 배기가스 특성

행한다[4]. 1981년부터는 이들 배출가스와 더불어 질산화 산화물 (NOx)을 동시에 저감 시키는 삼원 촉매가 사용되기 시작하였으며, 다양한 개선 방안의 적용을 통하여 정화 기능이 개선되면서 현재까지 사용되고 있다. 기존의 삼원 촉매는 이론 공연비 근처와 적절한 활성 온도 범위 내에서는 충분한 성능을 발휘하나, 이를 만족하지 못하는 조건에서는 효율이 급격히 저하되는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위하여 냉시동시와 같은 엔진 운전 조건에서는 강제적으로 촉매를 예열시키거나 미연소 탄화수소를 별도의 장치에 흡착 시켰다가 적절한 조건에서 연소시키는 기술들이 다양하게 제시되었다. 지구 온난화 억제 및 휘발유 차량의 효율을 증가시키기 위하여 회박 연소 엔진 또는 직접 분사식 전기 점화 기관이 실용화됨에 따라 삼원 촉매의 기능 중 NOx의 정화율의 저하를 보완하는 NOx 촉매가 연구되고 있다. 디젤 기관은 전기 점화 기관에 비교하여 규제 시행 초기에는 다소 느슨한 배출가스 규제를 받아왔기 때문에 배출 가스 규제 대응에 다소 소극적이며, 엔진 연소 기술의 개선으로 강화되는 법 규제에 대응 할 수 있었다. 그러나 점차 강화되는 경유 자동차의 배출가스에 대한 규제에 대하여 연소 개선만으로는 법 규제에 대응하는데 한계가 있음을 인지하고 전기 점화기관에서 사용되는 배기 후처리 장치를 바탕으로 배기 후처리 장치에 대한 관심을 갖기 시작하였다. 그러나 전기 점화 기관과는 달리 디젤 기관에서는 연소특성으로 인하여 입자상 물질(PM)과 NOx의 처리가 매우 심각한 문제로 대두되고 있다. PM 저감 대책으로는 매연 여과 장치(DPF : Diesel Particulate Filter)가 계속적으로 연구되고 있으며, NOx는 전기 점화 기관의 경우와 마찬가지로 회박 NOx 촉매가 연구되고 있다.

그러나 이러한 연구 결과물들은 매우 고가이기 때문에 실용화가 되더라도 소비자가 구매 하기는 거의 불가능한 것으로 사료된다. 본 연구에서는 기존 휘발유 승용차를 대상으로 한 비열 플라즈마 방식은 있었으나 디젤에 국내외적으로 연구되지 않았던 비열 플라즈마 방식을 통해 이러한 문제점을 해결하고자 저가인 고주파 플라즈마 장치를 이용해 디젤엔진에서 배출되는 유해 물질을 저감시키기 위해 디젤엔진에 적용하고 NOx, Soot, THC, CO의 배출 특성을 측정하고 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 와류실식의 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[mm] 구리판이 코팅처리 되었다. 플라즈마 반응을 일으키기 위한 고전압발생기는 AC이며 4~20[kV]까지 인가가 가능하고, 출력 주파수는 20~30[kHz]이며 실험에서는 20[kHz]를 사용하였다.

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

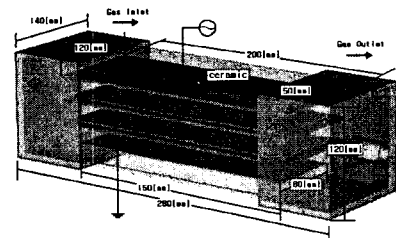


그림 1. 반응기
Fig. 1. reactor

2.2 실험 방법

본 실험에 들어가기 전에 EGR(Exhaust Gas Recirculation)을 하지 않은 경우에 대한 기관성능특성 실험을 실시하였다. 기관성능실험은 기관의 전 부하에서 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 3가지 경우에 대해서 기관부하를 25~100[%]까지 25[%]씩 증가시키고, 인가전압은 0[kV], 6.8[kV], 7[kV], 7.2[kV], 7.4[kV] 간격으로 증가시키며 실험을 하였으며 3800[rpm]인 경우 재순환되는 가스의 고온으로 인해 운전이 불안정해지기 때문에, 부하 25[%]까지만 실험하였으나 비교가 되지 않기 때문에 2800[rpm]까지만 표시하였다. 기관회전속도, 기관부하, 인가전압의 3개 파라미터 중 2개를 고정한 상태에서 하나만을 변화시키면서 실험을 실시하였다. 또한 측정조건을 변경할 경우에는 반드시 저회전, 무부하 상태에서 고회전, 고부하쪽으로 측정조건을 조절하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 NOx의 변화 특성

그림 2는 부하율, 회전수에 따른 NOx 제거 특성에 미치는 인가전압의 영향을 나타낸 것이다. 전압이 인가되면 6.8[kV]에서 방전이 반응기 전체에서 발생하였는데 이때 NOx의 제거율은 약 10[%] 정도이며 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. 인가전압을 증가시킨 경우 NOx의 저감율이 20~50[%] 정도 감소되어

졌다. 이는 엔진 연소시 발생되어진 NOx가 플라즈마 반응기 내부로 유입되어지면 방전시 발생되어지는 전자 에너지에 의해서 NO가 N과 O라디칼로 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.

3.2 Soot의 변화 특성

그림 3은 부하율, 회전수에 따른 Soot의 제거 특성에 미치는 전압의 영향을 나타낸 것이다. 각각의 부하에서 인가전압을 증가시킨 경우의 인가전압이 증가할수록 Soot가 10.4~61.5[%]정도 감소되는 것으로 나타내어진다. 이는 반응기에 유입된 Soot 즉 탄소 파티클이 도전성을 띠고 있기 때문에 금속 파티클과 마찬가지로 파티클 부분에 전계가 집중되어 이 부분의 전계 에너지에 의해서 탄소 파티클이 전계 에너지에 의해 분해 되어지고 이는 배기가스 중에 포함되어져 있는 산소와 결합하여 CO, CO2를 발생시키는 것으로 사료되어진다.

3.3 THC의 변화 특성

그림 4는 인가전압에 따른 THC(Total Hydro-

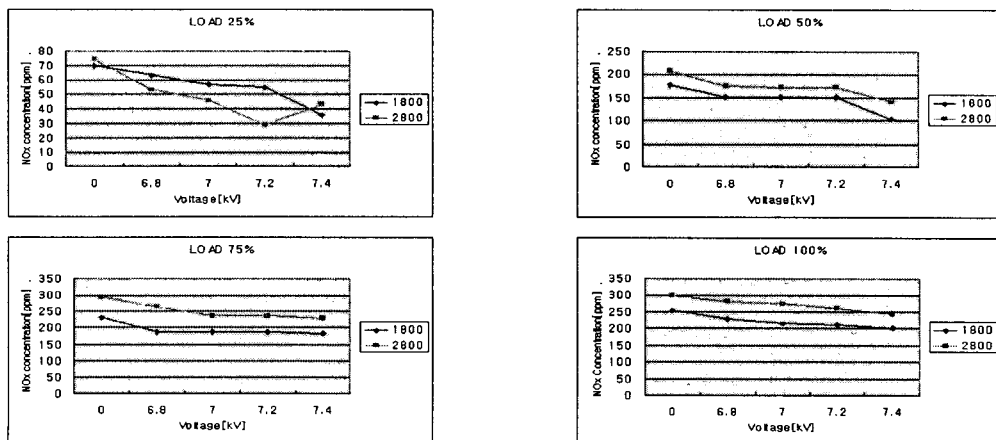


그림 2. 인가전압에 따른 NOx의 제거 특성
Fig. 2. The characteristic of NOx removal as applied voltage

고주파 플라즈마 시스템에 의한 디젤기관의 배기가스 특성

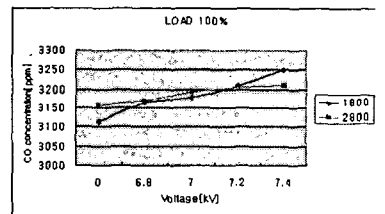
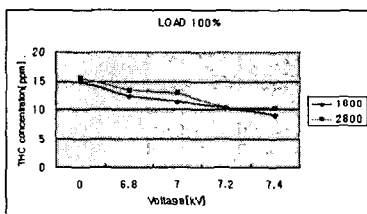
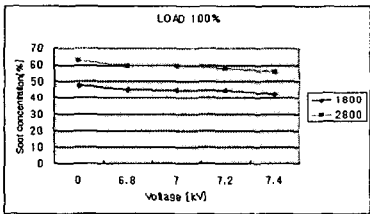
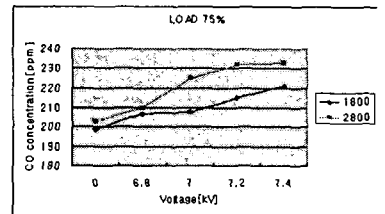
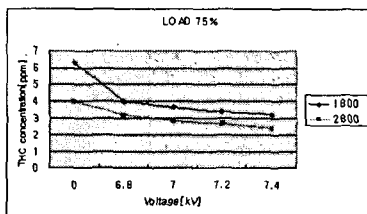
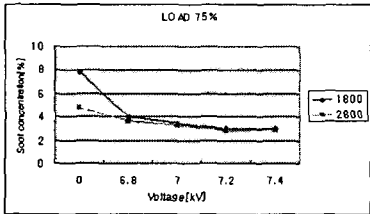
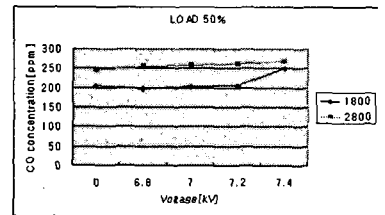
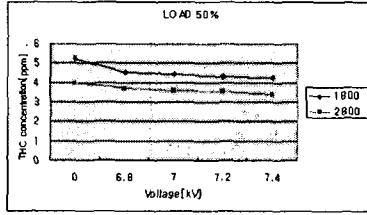
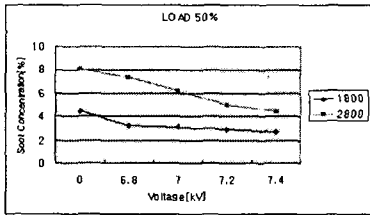
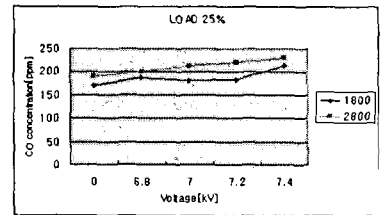
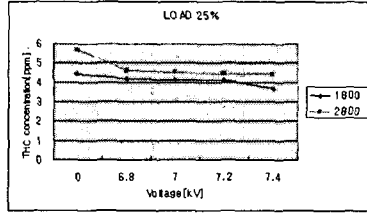
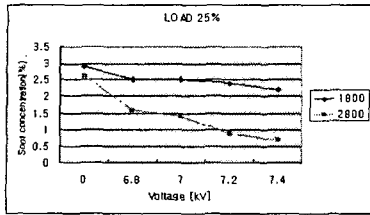


그림 3. 인가 전압에 따른 Soot의 제거 특성
Fig. 3. The characteristic of Soot removal as applied voltage

그림 4. 인가 전압에 따른 THC의 제거 특성
Fig. 4. The characteristic of THC removal as applied voltage

그림 5. 인가전압에 따른 CO의 제거 특성
Fig. 5. The characteristic of CO removal as applied voltage

Carbon)의 제거 특성을 나타낸 것이다. 기관회전속도 1800[rpm]과 2800[rpm]에서 인가전압을 0[kV], 6.8[kV], 7[kV], 7.2[kV], 7.4[kV]로 증가시킨 경우의 THC에 대한 결과를 비교한 것으로 동일 부하에서 있어서 플라즈마 반응기에 인가되는 전압이 증가할수록 THC 배출량은 17.8[%]~49.1[%]정도 감소하였다. 이는 배출가스 중에 포함되어진 HC가 방전에너지에 의해서 수소 라디칼과 탄소 라디칼로 분해되어지고 이들 중 일부는 배기가스 중에 포함되어 있는 산소 라디칼이나 OH라디칼과 결합하여, CO, CO₂, H₂O, H₂O₂ 등과 같은 부산물을 발생시키기 때문인 것으로 사료되어진다.

3.4 CO의 변화 특성

그림 5는 1800[rpm], 2800[rpm]에서 각각의 부하에서 EGR률을 0~20[%]의 범위에서 10[%]씩 증가시키고, 인가전압을 0[kV], 6.8[kV], 7[kV], 7.2[kV], 7.4[kV]로 증가시킨 경우의 CO 배출물에 대한 결과를 비교한 것으로 CO 발생량은 동일 부하에서 EGR률과 인가전압이 증가할수록 CO발생량은 4.4~26.6[%]정도 증가하고 있다. 이는 EGR에 의한 영향도 있지만, 탄소 파티클이 플라즈마 에너지에 의해서 분해 될 때 발생하는 탄소가 배기가스 중에 포함되어진 산소 라디칼과 결합 하면서 CO의 발생량이

증가 되어 질뿐만 아니라, HC가 분해 되어 지면서 발생되어지는 탄소가 산소 라디칼과 결합하여 CO를 발생 시키는 것으로 사료된다. 이로 인해 CO의 발생량이 증가되는 것으로 사료되어진다.

4. 결 론

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

- 1) NOx 배출물은 모든 부하영역에서 인가전압이 증가할수록 NOx 배출물의 감소율은 증가하고 있다.
- 2) 반응기에 유입된 Soot 즉 탄소 파티클이 도전성을 띠고 있기 때문에 금속 파티클과 마찬가지로 파티클 부분에 전계가 집중되어 이 부분의 전계 에너지에 의해서 탄소 파티클이 전계 에너지에 의해 분해 되어지고 이는 배기가스 중에 포함되어져 있는 산소와 결합하여 CO, CO₂를 발생시키는 것으로 사료되어진다.
- 3) 인가전압이 증가할수록 CO 배출물은 증가하였다.

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関する總合的研究, 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.

◇ 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. 2002년2월 동대학원 석사. 2005년 현재 경남대학교 박사학위 과정.

하현진 (河賢珍)

1974년 12월 27일생. 2000년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2002년2월 동대학원 석사. 2005년 현재 동대학원 박사학위 과정.