

코로나 방전-EGR 조합시스템에 의한 디젤기관의 배기 가스 특성

(The Characteristics of Exhaust Gas in Diesel Engine by Corona Discharge-EGR System)

박재윤 · 정장근 · 김종석 · 하현진*

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

요 약

고연료 중 대부분이 수소와 탄소의 결합물이다. 연료들은 엔진 내부에서 완전 연소되었을 경우는 수분인 증기와 CO₂ 가 발생된다. 그러나 대개 불완전 연소가 일어나 NO_x나 Smoke가 발생되어진다. 그리고 이 물질은 인체에 매우 해로운 물질들이다.

본 논문에서는 EGR과 상용주파수를 이용한 플라즈마 장치를 조합하여 배기가스 유해물질 제거 특성을 연구하였다. NO_x의 경우에는 전압과 EGR율이 증가 할수록 유해물질 제거 특성이 우수 하였고, Smoke의 경우에는 EGR율이 증가하게 되면 Smoke의 발생율이 증가 하였으나 전압이 증가하게 되면 발생율이 감소하였다.

Abstract

A great part of flint fuel is Hydrogen and carbon's combination. they should be generated steam and carbon gas when combine with oxygen for perfect combustion in the inside of engine but, the pollutive material are discharged, even though perfect combustion condition especially NO_x and Smoke. they are really harmful for health.

In this paper was shown the result of discharging gas' reduction quality. which used combination of corona discharge using the high voltage source of common frequency with EGR. NO_x is increased in entire load area in proportion to increasing of EGR rate and impression voltage. Smoke is increased slowly under 75[%] in load rate but, it is increased rapidly in entire load area and the reduction rate of Smoke is increased in proportion to increasing of impression voltage.

Key Words : Corona, Plasma, EGR

1. 서 론

최근에 우리가 사용하고 있는 화석 연료의 대부분은 수소와 탄소의 화합물이다. 이러한 수소와 탄소 화합물들은 엔진 내에서 완전 연소를 위해서 산소와

* 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

결합하여 수증기와 탄소가스를 발생시켜야 한다 [1][2]. 그러나 현재의 기술 수준으로는 완전 연소가 되지 않는다. 비록 엔진이 최적의 연소 조건이라 할 지라도 배출가스의 오염 물질, 특히 CO, HC, NO_x 가스 그리고 파티클이 배출된다[3][4][5].

디젤 엔진에서 발생하는 대기 오염 물질의 종류로는 배출가스, 블로우 바이 가스, 그리고 증발가스가 있다. 환경 오염물질 배출에 대한 규제가 점점 더 엄격해 짐에 따라, 배출 가스 감소를 위한 연구를 하는 연구자들은 NO_x 감소와 매연 배출의 감소를 위해 연구하고 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[8][9][10].

따라서 본 논문에서는 디젤기관에 플라즈마 EGR 조합시스템 장치를 사용하여 기관회전속도, 기관부하, EGR을 및 인가전압을 파라미터로 하여 연소성능 및 배기 배출물 특성을 비교, 분석하여 배기가스 저감 특성에 관한 실험을 하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 와류실식의 4행정 디젤기관으로 국내에서 생산되는 자동차용 디젤 기관을 사용하였다.

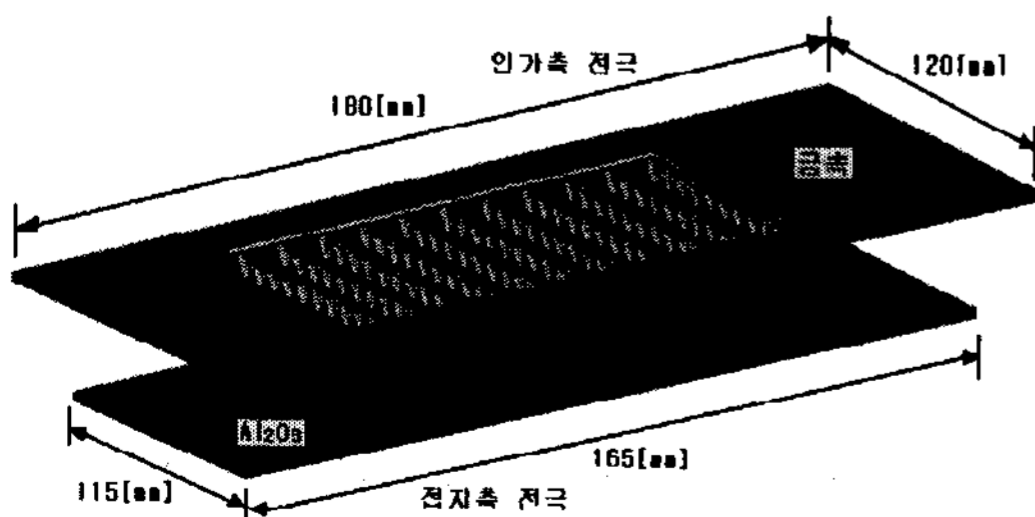


그림 1. 반응기
Fig. 1. reactor

플라즈마 반응기 형상은 칩 대 평판으로 전극은 톱니 대 평판의 전극이 다층으로 이루어져 있으며, 톱니형의 인가측 전극을 세라믹으로 50[μ m] 두께로 코팅 처리하여 탄소에 의한 절연 파괴를 막았으며, 접지측 부분은 전극을 유전체인 Al₂O₃로 안쪽에 삽입하였다. 플라즈마 반응을 일으키기 위한 고전압발생기는 60[Hz] AC 전원장치인 네온 변압기를 사용하였다.

CO, CO₂ 배출물은 NDIR(Non-Dispersive InfraRed 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 실험방법

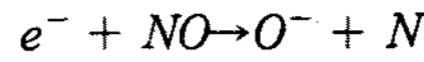
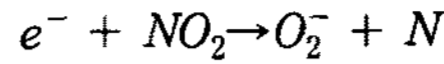
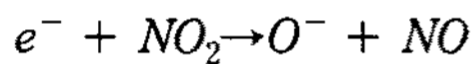
본 실험에서는 기관회전속도가 1800, 2800[rpm]의 2가지 경우에 대해서 기관부하를 25~100[%]까지 25[%]씩 증가시키고, EGR율을 0~20[%]까지 10[%]씩 증가시키면서, 인가 전압은 0[kV], 6.8[kV], 7[kV], 7.2[kV], 7.4[kV] 간격으로 증가시키며 실험하였다. 기관회전속도, 기관부하, 인가전압, EGR (Exhaust Gas Recirculation)율의 4개 파라미터 중 3개를 고정한 상태에서 하나만을 변화시키면서 실험을 실시하였다. 그리고 실험에서 동일조건인 기관회전속도와 기관부하를 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, 고부하쪽으로 측정조건을 조절하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 NO_x의 변화 특성

그림 2는 1800, 2800[rpm]에서 인가전압, 부하 및 EGR를 중 2개의 조건을 고정시키고, 1개의 조건만을 변화시키면서 실험조건에 대한 NO_x 배출물을 측

정한 결과를 나타낸 것이다. 기관회전속도 1800, 2800[rpm]에서 각각의 부하율에서 EGR율을 0~20[%]의 범위에서 10[%]씩 증가시키고, 인가전압을 0[kV], 7[kV], 8[kV], 9[kV]로 증가시킨 경우의 NO_x 배출물에 대한 결과를 비교한 것으로 NO_x 배출물은 동일 기관부하율에서 EGR율과 인가전압이 증가할수록 NO_x의 발생량이 현저히 감소함을 알 수 있다. NO_x의 저감율은 10[%]에서 79[%]까지 저감되어짐을 알 수 있다. 이는 NO_x가 플라즈마에 의해서 발생되어지는 전자가 N₂를 N로 변화시키고 이때 발생되어진 N가 NO와 화학 반응을 일으켜 N₂와 O로 변환된다. 또는 NO가 O 라디칼과 결합하여 NO₂로 산화가 일어나는 것이다. 이는 아래 식에서 보는 것과 같이 엔진 연소시 발생되어진 NO_x가 플라즈마 반응기 내부로 유입되어지면 방전시 발생되어지는 전자 에너지에 의해서 NO가 N과 O 라디칼로 환원되어진다. 그러나 본 실험에서는 NO가 NO₂로 변환되어지는 반응은 2[ppm]내외의 적은 양만 발생하였다.



3.2 Smoke의 변화 특성

그림 3은 1800, 2800[rpm]에서 인가전압, 기관부하 및 EGR율 중 2개의 조건을 고정시키고, 1개의 조건만을 변화시키면서 실험조건에 대한 매연 배출물을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 동일 기관부하율에 있어서 EGR율이 증가할수록 매연 배출물의 농도는 증가함을 알 수 있다. 또한 각각의 EGR율에서 기관부하율이 증가할수록 매연 배출물은 증가하고 있다. 또한 인가전압이 증가할수록 매연 배출물 감소되어짐을 알 수 있다. 이는 플라즈마 반응기 내부에 유입되어진 Smoke, 즉 탄소 덩어리가 도전성을 띄기 때문에 이 탄소를 통하여 전로가 형성되어지므로 이 부분에서 많은 에너지가 발생되어 아래 식에서 나타난 것처럼 탄소 덩어리들이 O 라디칼과 결합하여 CO를 생성하게 된다. 이로 인해 Smoke의 발생량은 감소되어지나 CO의 발생량은 오히려 증가하게 된다.

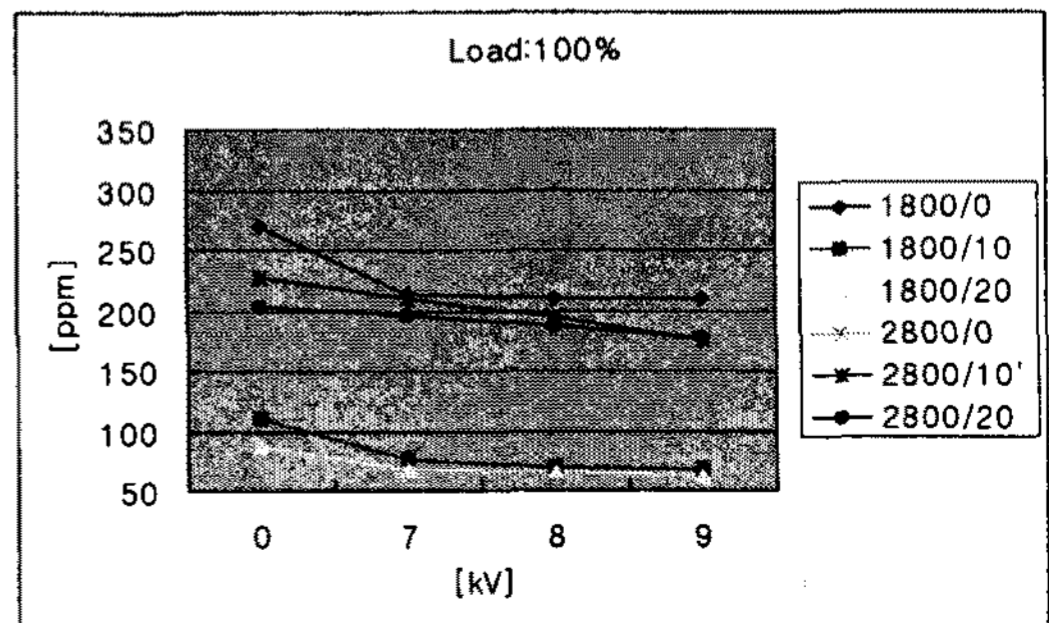
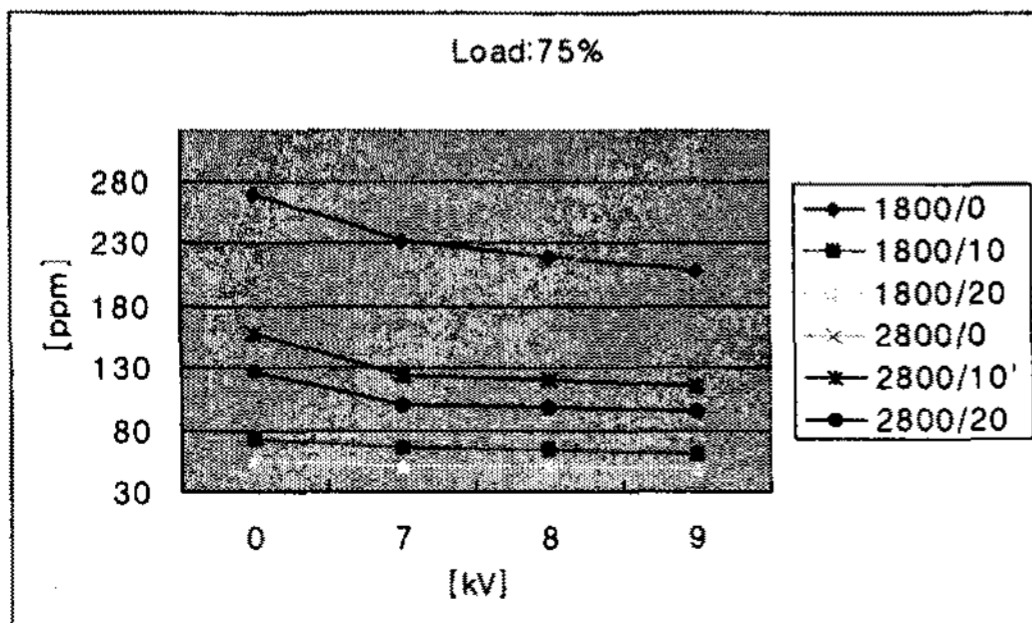
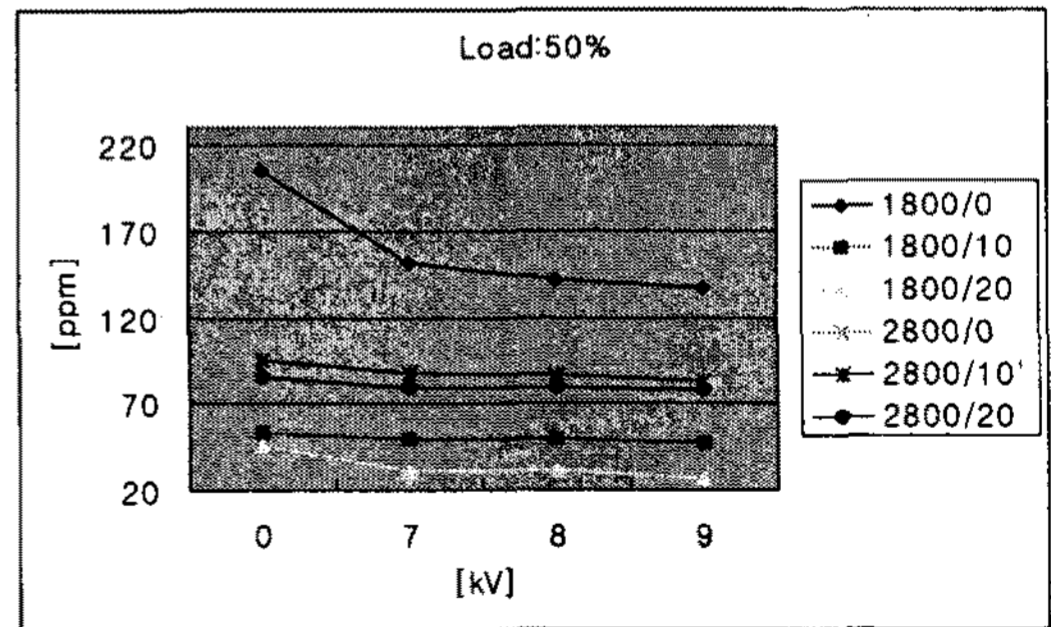
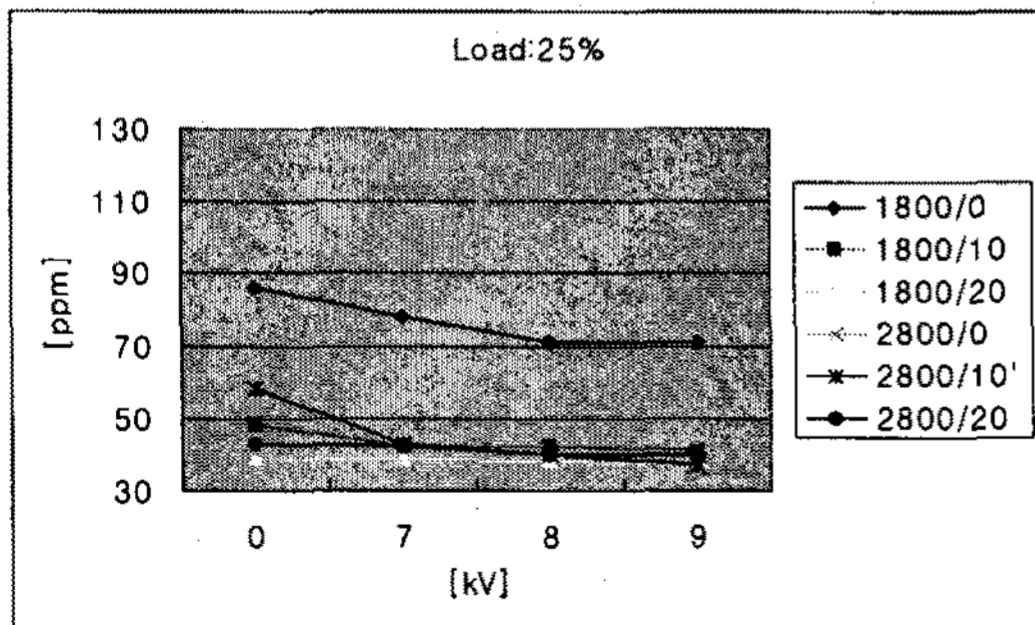


그림 2. 인가전압에 따른 NO_x의 제거특성
Fig. 2. The characteristic of NO_x removal as applied voltage

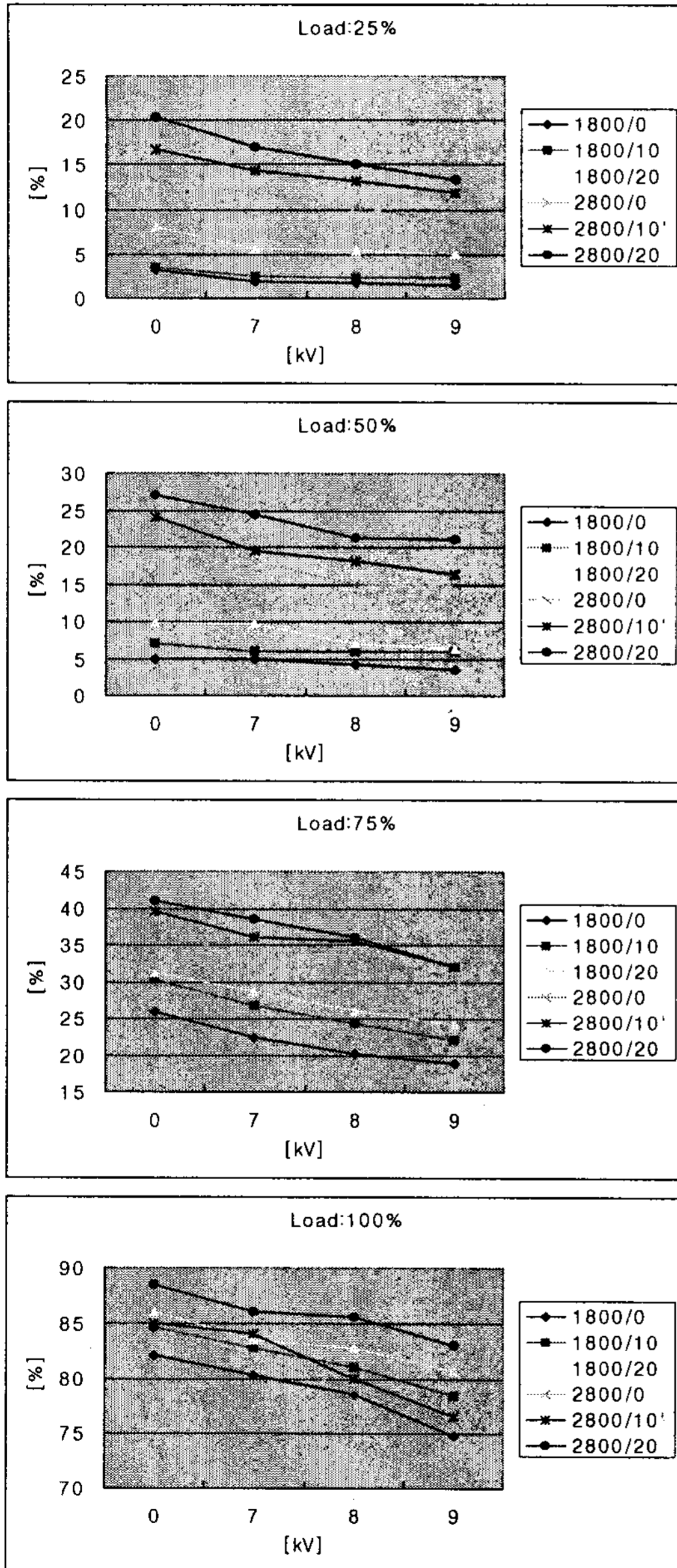
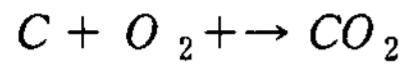
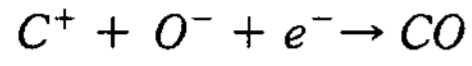
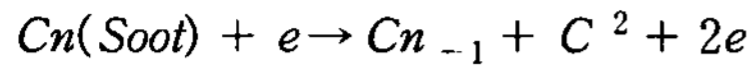


그림 3. 인가전압에 따른 smoke의 제거특성
Fig. 3. The characteristic of smoke removal as applied voltage

3.3 THC의 변화 특성

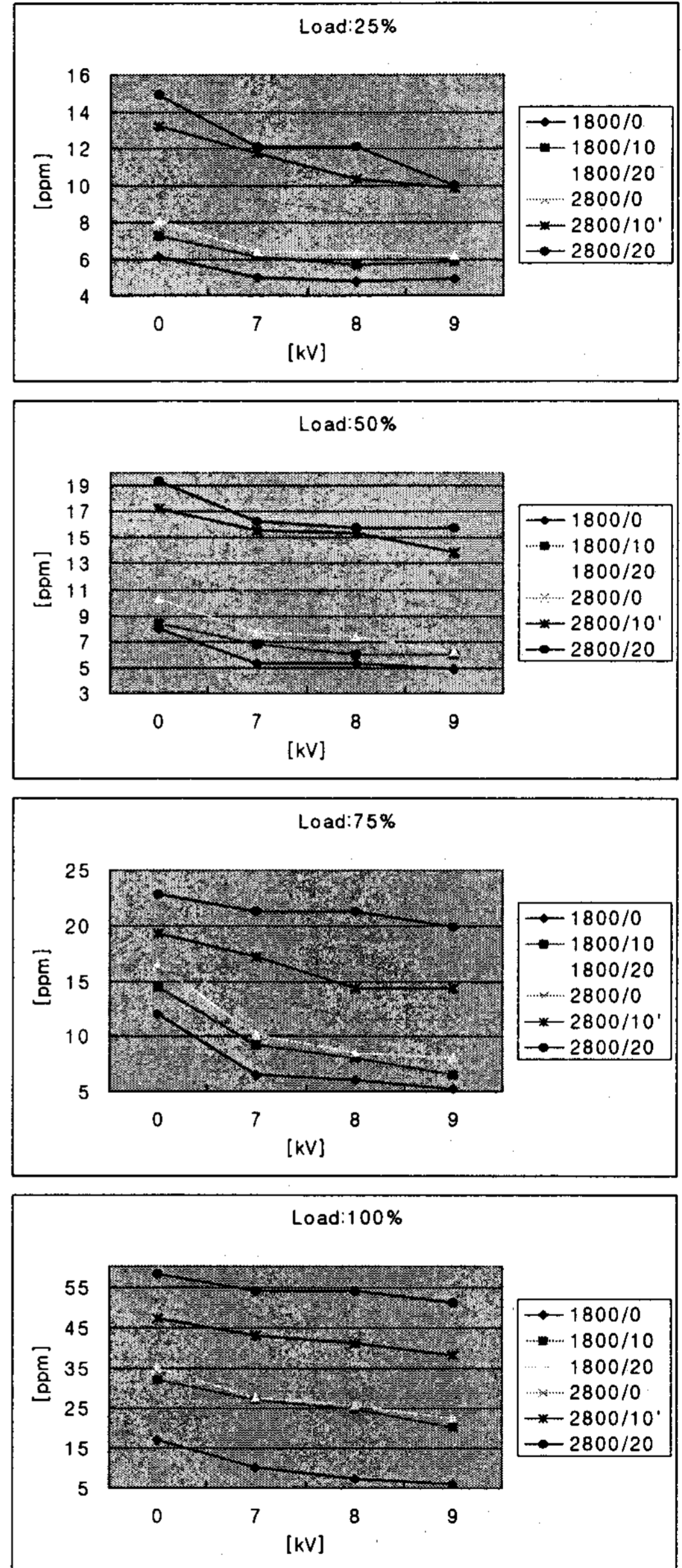
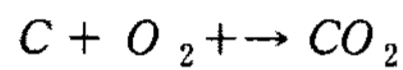
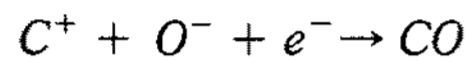
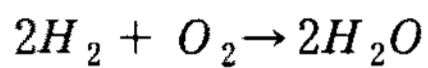
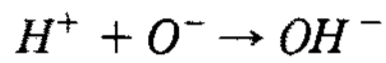
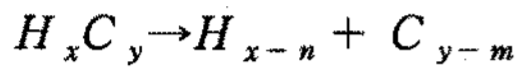


그림 4. 인가전압에 따른 THC의 제거특성
Fig. 4. The characteristic of THC removal as applied voltage

그림 4는 1800, 2800[rpm]에서 인가전압, 부하 및 EGR을 중 2개의 조건을 고정시키고, 1개의 조건만을 변화시키면서 실험조건에 대한 THC 배출물

측정한 결과를 나타낸 것이다. THC 배출물은 동일 기관부하율에서 EGR율이 증가할수록 THC의 발생량은 증가 하였으나, 인가전압이 증가할수록 THC의 발생량이 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 플라즈마 에너지에 의해서 HC가 O 라디칼과 결합하여 H₂O, CO, CO₂ 등으로 변환되어진다.



3.4 CO의 변화 특성

그림 5는 1800, 2800[rpm]에서 인가전압, 기관부하 및 EGR율 중 2개의 조건을 고정시키고, 1개의 조건만을 변화시키면서 실험조건에 대한 CO 배출물을 측정한 결과를 나타낸 것이다. CO 배출물은 동일 기관부하율에서 EGR율과 인가전압이 증가할수록 증

가함을 알 수 있다. 이는 Soot가 플라즈마 에너지에 의해서 탄소 덩어리들이 분해 되어지면서 O 라디칼과 재결합이 이루어지고, THC가 분해 되어 질 때 발생되는 C가 O라디칼과 결합하여 발생되어 질뿐만 아니라 CO₂가 플라즈마 에너지에 의한 해리 작용에 의해서 CO₂가 CO와 O로 변환되어 지기 때문이다.

4. 결 론

수냉, 4기통, 4행정, 와류실식 디젤기관에 플라즈마 EGR 조합 시스템 장치를 사용하여 기관회전속도, 기관부하, EGR를 및 인가전압을 파라미터로 하여 연소성능 및 배기 배출물 특성을 비교, 분석하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

- 1) NO_x 배출물은 모든 부하영역 에서 EGR율의 증가에 따라 감소하고 있으며, 플라즈마 인가전압이 증가할수록 NO_x 배출물의 감소율은 증가하고 있다.
- 2) 매연, THC는 배출물은 각각의 기관회전속도에서 EGR률의 증가에 따라 완만하게 증가하며, 플라즈마 인가전압이 증가함에 따라 매연

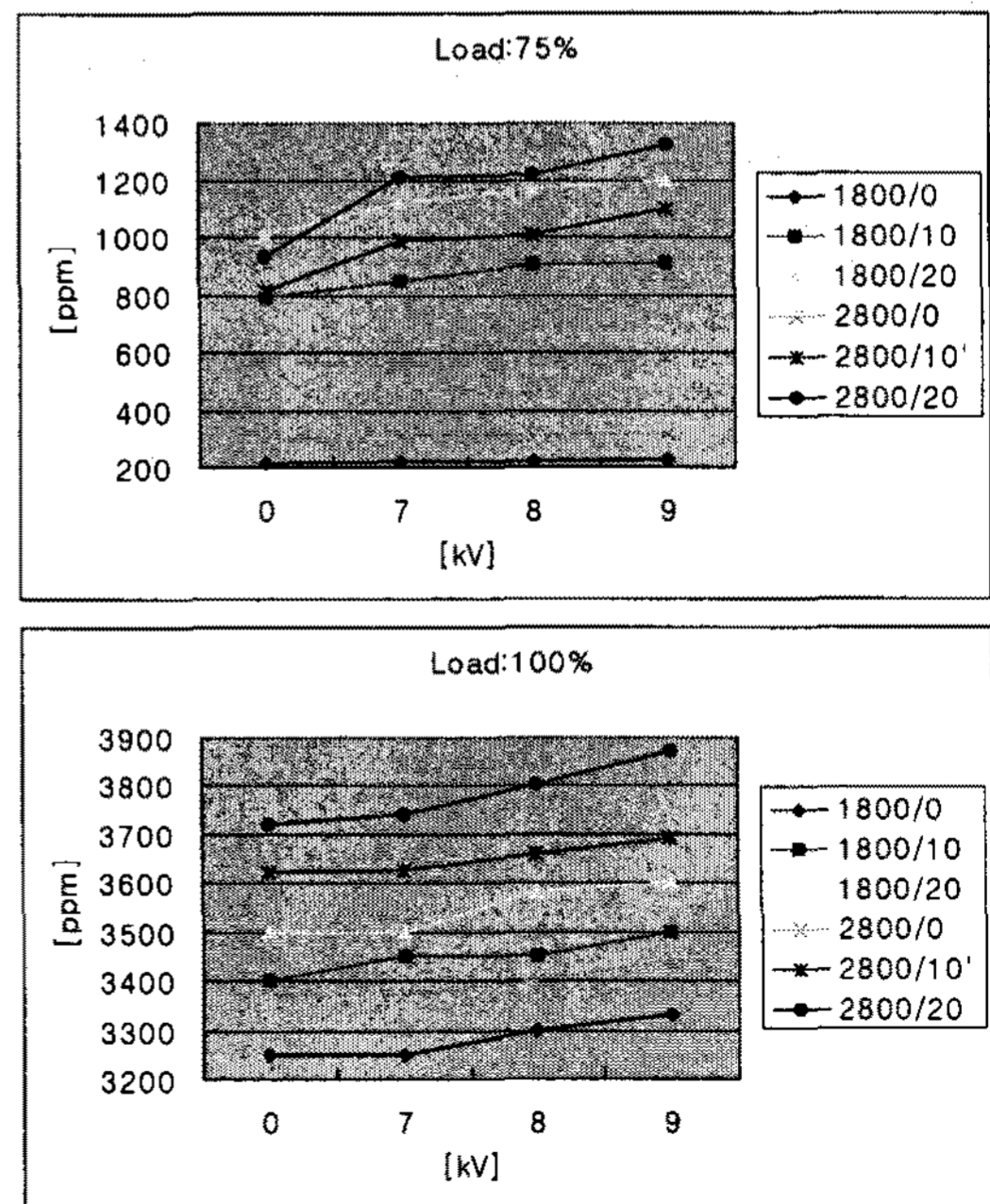
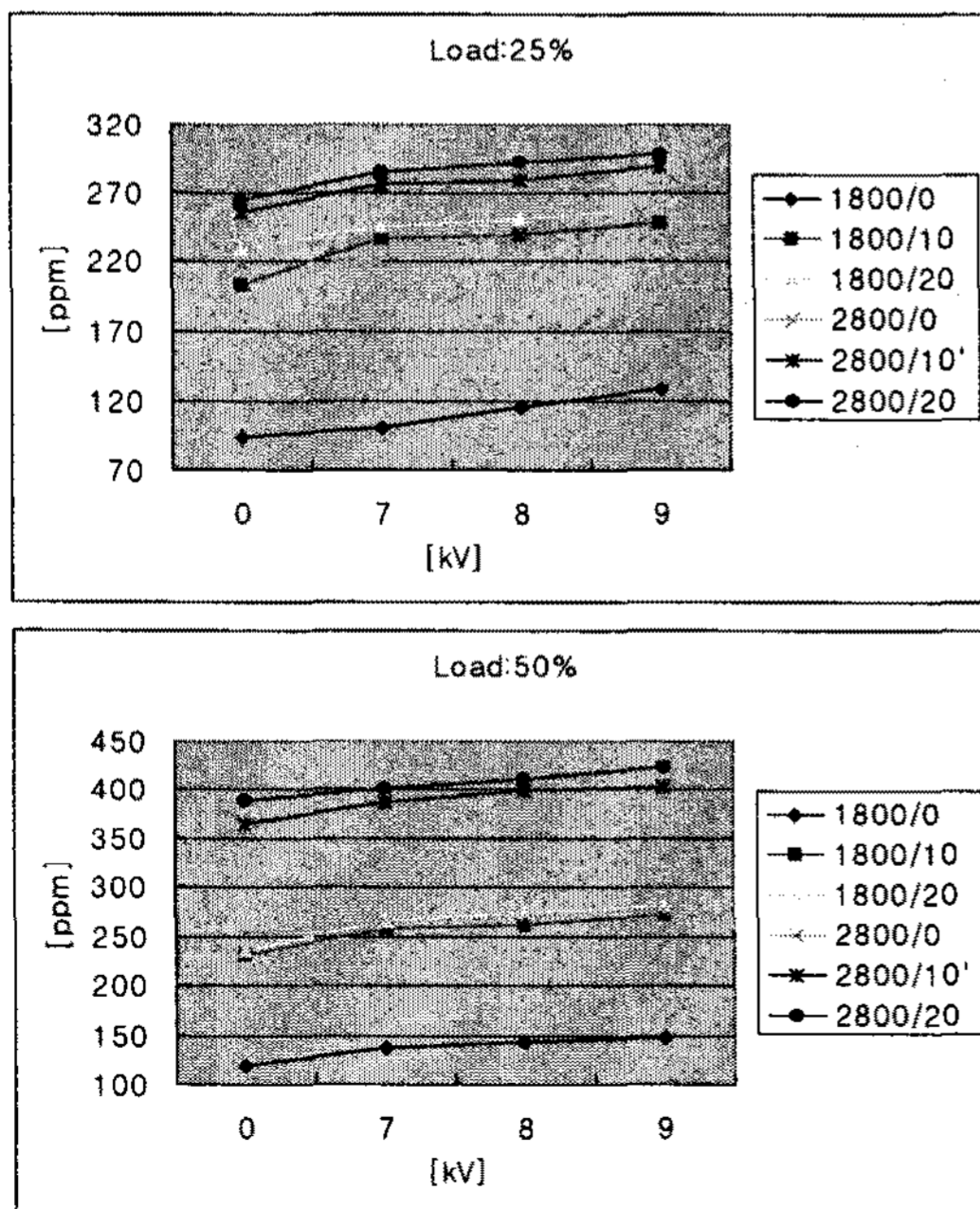


그림 5. 인가전압에 따른 CO의 제거특성
Fig. 5. The characteristic of CO removal as applied voltage

배출물의 감소율은 증가하고 있다.

- 3) CO 배출물은 저 부하영역에서는 감소하고, 고 부하영역에서는 EGR율과 플라즈마 인가전압을 증가시킬수록 CO 배출물은 증가하였다.

2005학년도 경남대학교 학술 논문 게재 연구비 지원으로 이루어졌음.

References

[1] S. J. Scott, "A long life, high repetition rate electron beam source", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag Pub.Co., PP.339~344, 1993.

[2] S. Pekarek, J. Rosenkranz, and H. Lonekova, "Generation of electron beam for technological processes", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag Pub.Co., PP.345~389, 1993.

[3] 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総合的研究, pp.69~78, 1994.

[4] M. Rea and K. Yan, "Energization of pulse corona induced chemical processes", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A, pringer-Verlag Pub.Co., PP.191~204, 1993.

[5] Y. L. M. Greyghton, E. M. van Velhuizen, and W. R. Rutgers, "Electrical and optical study of pulsed positive corona", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag Pub.Co., PP.205~230, 1993.

[6] T. H. Teich, "Emission spectroscopy of corona discharges", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag Pub.Co., PP.231~248, 1993.

[7] G. J. Pietsch, D. Braun, and V. I. Gibalov, "Modeling of dielectric barrier discharges", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag

Pub.Co.,

[8] 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.

[9] "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.

[10] K. Fujii, M. Higashi, and N. Suzuki, Simultaneous removal of NO, CO, SO and soot in diesel engine exhaust," in Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, ser. NATO ASI, B. M. Penetrante, Ed., 1993, pt. B, vol. C34, pp.257~279.

◆ 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(박사).

하현진 (河賢珍)

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