

# 소형 고속 디젤기관의 배기 배출물에 미치는 플라즈마의 영향에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Effect of Plasma for Exhaust Emissions in Small High-Speed Diesel Engine

이 승 규\*      조 기 현\*\*      황 의 현\*\*\*      박 성 규\*\*\*\*  
정회원                  정회원  
S. K. Lee      K. H. Cho      U. H. Hwang      S. K. Park

### 1. 서      론

화석연료의 연소에 의해 발생하는 질소산화물(NOx)은 가스상의 대기오염물질로서 인류의 생활환경에 유해함은 물론 식물의 성장속도에도 막대한 영향을 미치고 있으며, 질소산화물은 햇빛의 존재 하에서 탄화수소와 광화학 반응을 하여 광화학적 산화물과 오존 등을 생성하는 광화학적 스모그 생성에 관여하고, 이러한 광화학 스모그는 사람에게 만성적 호흡기 질환을 유발하거나 시정거리의 감소를 가져온다.

최근의 우리 나라에서는 일반산업과 수송부문에서 화석연료의 사용이 급증하고 있으며, 농업부문에 있어서도 감소되는 농업 노동력에 대해 생산성을 높게 유지하기 위해서는 농업 기계의 사용이 불가피하기 때문에, 대기오염을 방지하기 위해서는 농업기계의 사용으로 인해 발생하는 오염물질을 저감시키기 위한 기술개발이 뒤따라야 한다.

본 연구에서는 연면방전 플라즈마(plasma) 및 촉매장치를 이용하여 소형 고속 디젤기관의 배기가스 중에 포함된 대기오염물질 중의 질소산화물을 저감하기 위한 기초적 자료를 제공하고자 한다.

### 2. 이론적 배경

#### 가. 질소산화물의 생성

화석연료의 연소에 의해 발생하는 질소산화물의 종류에는 열 질소산화물(thermal NOx)과 연료 질소산화물(fuel NOx)의 두 가지가 있다. 유기질소 화합물을 함유한 석탄이나 증유 및

---

\* 경상대학교 농업기계공학과

\*\* 경도대학 자동차과

\*\*\* 경도대학 토목환경과

\*\*\*\* 서울시립대학교 환경공학과

디젤유를 연소시킬 경우에는 배기가스 중에 fuel NOx가 대부분을 차지하며, 이 때에는 산소의 이용도(availability)가 NOx의 생성에 주로 영향을 미치게 된다. 또한 천연가스와 같은 질소성분이 포함되지 않은 연료를 연소시킬 경우에는 NO의 형태의 열 질소산화물이 배기가스의 대부분이다.

열 질소산화물의 경우는 연료를 연소시키기 위해 공급되는 연소공기 중의 질소(N<sub>2</sub>) 성분이 높은 연소온도에 노출·산화되어 형성되는 동적 과정(kinetic process)이라고 볼 수 있다.

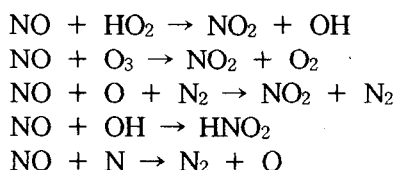
NOx는 연료의 연소 중에 최고화염온도(peak flame temperature) 영역에서 형성되며, 높은 온도와 산소농도가 일산화질소(NO) 형성에 기여하게 된다. 이러한 높은 온도와 산소농도의 두 가지 혹은 하나의 조건을 배제하는 것이 열 질소산화물 제거기술의 기초가 되나, 연소의 특성 및 연소효율의 문제로 이러한 두 가지 조건 중에서 하나를 배제하는 것은 곤란하다.

#### 나. 디젤엔진에서의 질소산화물(NOx)의 처리

연소기관에서 발생하는 질소산화물(NOx)은 일산화질소(NO)와 이산화질소(NO<sub>2</sub>)가 대부분이며, 이중 일산화질소는 반응성이 낮기 때문에 이것을 처리하지 않고는 질소산화물의 저감 효과를 향상시키기 어려운 현실이다.

따라서 본 연구에서는 연면방전 플라즈마를 이용한 일산화질소의 전환율을 향상시키고 플라즈마 발생장치의 후단(downstream)에 반응기로서 촉매장치를 설치하여 질소산화물을 저감시키는 실험을 실시하여 결과를 분석하였다.

플라즈마 발생장치는 원래 전기적 하전을 이용하여 오존을 생성시킬 목적으로 개발된 것으로서 반응기의 형태와 전원 공급 형태에 따라 여러 가지의 종류가 있다. 이중 연면방전 플라즈마는 끝이 날카로운 금속의 전극에 비교적 낮은 전압과 주파수 범위의 전원을 공급하여도 강력한 전기장(electric field)을 형성하여 전자를 발생시킨다. 이러한 전자는 라디칼 반응을 유도하게 되는데, NO 및 NO<sub>2</sub>의 라디칼 반응은 다음의 식들로 표현될 수 있다.



### 3. 실험장치 및 방법

#### 가. 디젤엔진

본 실험에 사용된 디젤엔진은 국내에서 생산된 3기통의 수냉식 4행정 기관으로 외관 및 성능에 있어서 제품의 결함이 없는 것으로 확인한 후 사용하였으며, 실험장치로 사용된 기관의 주요 사양은 다음의 표 1과 같다. 또한 표 2에는 본 실험에 사용된 경유 연료의 물리적·화학적 성질을 나타내었다.

Table 1. Specification of the diesel engine.

| Content                            | Specifications            |
|------------------------------------|---------------------------|
| Type                               | Diesel engine             |
| Rated output                       | 14kW/2,800rpm             |
| Maximum torque                     | 53 N·m/1,800rpm           |
| Maximum revolutions                | 2,950~3,050rpm            |
| Cycle number                       | 4 cycles                  |
| Cooling method                     | By cooling water pump     |
| Cylinder number and array          | 3 cylinder, vertical type |
| Cylinder inner diameter and stroke | 75mm/70mm                 |
| Compression ratio                  | 22 : 1                    |
| Displacement                       | 927cc                     |
| Injection nozzle and pressure      | Throttle type/13.7MPa     |
| Generator                          | 12V, 240w                 |

Table 2. Chemical and physical properties of used fuel.

| Content                          | Specifications |
|----------------------------------|----------------|
| Carbon(wt %)                     | 85.7           |
| Residual carbon(wt %)            | 0.2            |
| Hydrogen(wt %)                   | 13.6           |
| Sulfur(wt %)                     | 0.09           |
| Ash(wt %)                        | 0.001          |
| Specific gravity at 15/4℃        | 0.848          |
| Kinematic viscosity at 37.8℃     | 2.982          |
| Heating value(kcal/kg, high/low) | 10,920/10,244  |
| Flash and pour point(℃)          | 47/-22         |

#### 나. 플라즈마 발생장치

연면방전 플라즈마 발생장치는 일산화질소를 이산화질소나 질산(HNO<sub>3</sub>) 등으로 전환시키기 위하여 산화제를 사용하지 않고 O<sub>3</sub>, OH, O 및 N 등의 활성기(radical)를 생성시키는 연면방전 플라즈마 장치는 100mm×50mm의 산화알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 세라믹 절연판에 한쪽 표면에는 티타늄 성분의 방전극을 설치하였고, 다른 쪽의 표면에는 필름 형태의 유도전극을 설치하였다. 그림 1에 연면방전 장치에서의 플라즈마의 생성을 표시하였다.

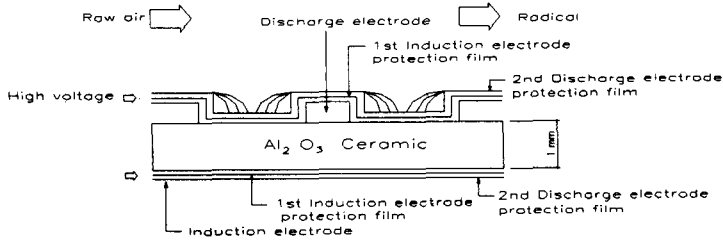


Fig. 1. Plasma production in surface plasma generator.

#### 다. 촉매 반응기

본 실험에 사용된 3원촉매 장치의 촉매실은 적절한 공간속도를 유지하기 위하여 충분한 촉매실 용적을 확보토록 하였으며, 엔진의 성능저하를 가져오는 배압의 영향을 줄이기 위하여 10mesh의 스테인리스망을 사용하였다. 외부 대기의 온도로 인한 영향을 최소화하기 위하여 촉매장치의 주변은 보온재로 단열시켰다.

#### 라. 실험장치

먼저 일산화질소의 이산화질소 등으로의 전환율을 측정하기 위하여, 디젤엔진을 운전하면서 촉매반응기를 가동하지 않고 플라즈마 발생장치의 운전조건에 따라서 배기가스 중의 질소산화물을 NO 및 NO<sub>2</sub>로서 측정하였다. 또한 전체 질소산화물의 제거효율을 측정하기 위해서는 촉매반응기를 가동하면서 플라즈마 발생장치의 운전조건에 따라 배기가스 중의 질소산화물을 NO 및 NO<sub>2</sub>로서 측정하였다. 그림 3에 실험장치의 개략도를 나타냈다.

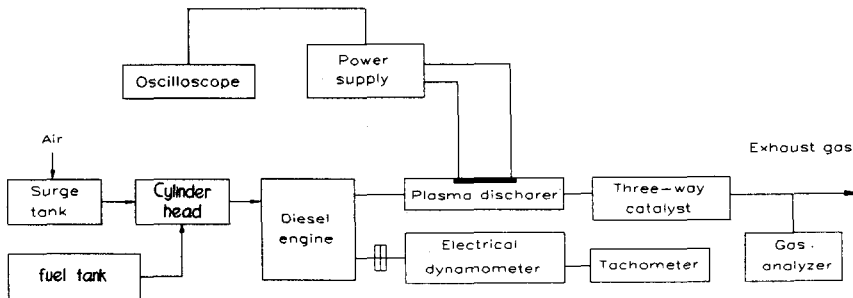


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

### 4. 결과 및 고찰

디젤기관의 운전으로 발생되는 질소산화물(NOx)의 농도를 다음의 그림 3에 나타내었다.

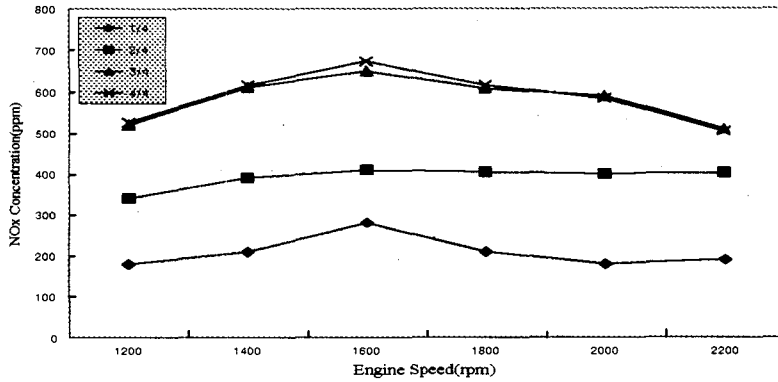


Fig. 3. NOx concentration according to engine speed.

방전으로 인한 플라즈마의 생성으로 질소산화물의 생성과 파괴는 대기 중과 배기가스 중에서 서로 다른 결과를 나타냈다. 공기 중에서의 방전으로 인한 질소산화물의 생성은 그림 4에서와 같이 소비전력이 증가함에 따라 증가하였다. 이 때에는 수분을 첨가할 경우 질소산화물의 농도는 낮게 유지되었다. 그러나 그림 5와 같이 배기가스 중에서 질소산화물이 포함되어 있을 경우에는 플라즈마 반응에 의해 일산화질소가 이산화질소나 질산 등으로 전환된다. 이 때에는 배기가스 중에 수분이 9% 정도일 때에는 오히려 질소산화물의 제거효율이 낮아지는 것으로 나타났다.

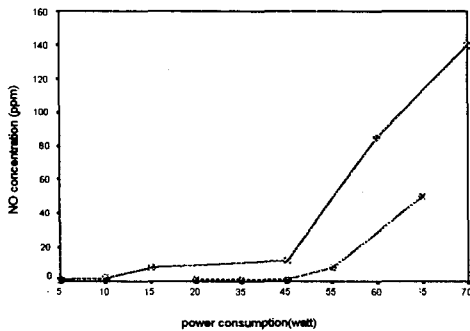


Fig. 4. NO concentration according to power consumption on air condition.

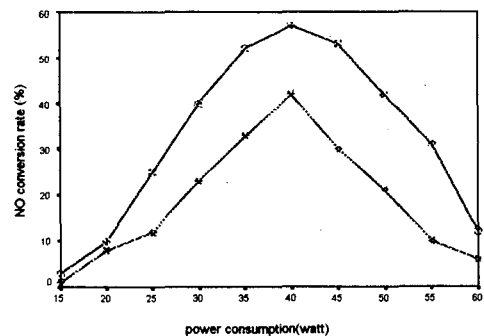


Fig. 5. NO conversion rate according to power consumption on exhaust condition.

배기가스 중에서는 radical이 특정 오염물질에 선택적으로 작용하여 NO의 전환율을 향상시키거나 분해율을 증가시키는 것으로 생각되며, 이는 NOx의 저감효과 및 후단의 촉매반응기의 반응을 촉진하는 결과를 가져오는 것으로 판단된다.

배기가스 조건에서 NO의 전환율이 가장 높은 40watt의 소비전력으로 플라즈마를 발생시

켜 배기가스를 처리하고, 촉매반응기를 통과시키고 난 후의 디젤기관의 3/4 및 4/4 부하조건에서의 배기가스 중의 질소산화물 농도를 다음의 그림 6에 나타내었다.

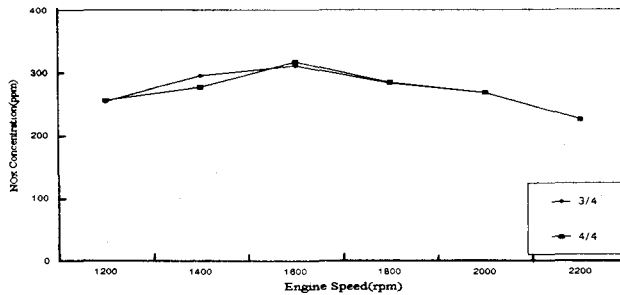


Fig. 6. NOx concentration according to engine speed at 40watt plasma power.

## 5. 결 론

1) 디젤기관의 부하조건을 높여서 운전할 경우 연소실 내부의 연소온도 상승으로 인하여 열 질소산화물은 높은 농도로 배출되게 되며, 이러한 열 질소산화물은 삼원촉매 반응기만으로는 충분히 제거할 수 없다.

2) 일반적으로 분해가 어려운 일산화질소를 다른 형태로 산화시키기 위하여, 플라즈마를 이용한 라디칼 반응으로 일산화질소를 이산화질소 및 질산 등으로 전환을 시킨 후 촉매반응기를 통과시키면 약 50% 정도의 질소산화물 저감효과를 나타내었다.

## 6. 참 고 문 헌

1. 한국기계연구원. 1995. 디젤기관 배기배출물의 생성과정 및 저감대책에 관한 연구 (1차년도 중간보고서).
2. 최동석. 1995. 건설차량용 디젤엔진의 배출물 특성 및 저감에 관한 연구”, 부산대학교 대학원 석사학위 논문.
3. R. P. Dahiya, S. K. Mishra and A.Veefkind. 1993. Plasma Chemical Investigations for NOx and SO<sub>2</sub> Removal from Flue Gases. IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 21, No. 3.
4. Giorgio Dinelli, Luigi Civitano and Massimo Rea. 1990. Industrial Experiments on Pulse Corona Simultaneous Removal of NOx and SO<sub>2</sub> from Flue Gas. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 26, No. 3.
5. Y. Sakai and H. Tagashira. 1993. Decomposition of NO<sub>2</sub> by Glow Discharge Plasma. NASA ASI Series, Vol. G 34, Part A.