

## 비열플라즈마와 라디칼을 이용한 디젤엔진의 매연 및 NO 제거 특성

최승환\* · 김규보\* · 전충환\*\* · 장영준†  
(2001년 7월 23일 접수, 2002년 1월 11일 심사완료)

### Removal Characteristics of Soot and NO by Nonthermal Plasma and Radical in a Diesel Engine

Seung Hwan Choi, Gyu Bo Kim, Chung Hwan Jeon and Young June Chang

**Key Words:** Radical Activation(라디칼 활성화), Exhaust Emissions Removal(배출가스 저감),  
Corona Discharge(코로나 방전)

#### Abstract

We are facing the serious environmental pollution difficulties such as acid rain, green house effects, etc. The gaseous matter NOx, SOx, VOCs which are regarded as main factors for these current pollutions are mainly emitted from power plants and vehicles. Therefore several leading countries are regulating the emissions strictly, especially the exhaust emissions from a Diesel engine without an aftertreatment device. The objective of this study is to find out soot and NO removal characteristics focused on the emissions of a Diesel engine by using nonthermal plasma for each engine speeds and loads. Electrostatic precipitator(wire-to-plate type reactor) is used for soot removal. Radicals generated from outer air and put into a mixing chamber in the end of exhaust line are used for NO removal. Concentration of exhaust emissions is analyzed from the gas analyzer(KaneMay) and FTIR to estimate by-products.

#### 1. 서론

지구촌에는 현재 산성비, 지구온난화 그리고 오존층 파괴등 심각한 환경 공해 문제에 직면해 있다. 이러한 환경공해의 주된 원인이 되고 있는 입자상물질, NOx, SOx, VOCs등은 발전소 및 자동차 배출가스로부터 주로 발생되고 있다. 따라서 선진 각국은 이에 대한 엄격한 규제를 실시하고 있으며 특히 후처리 장치가 부착되지 않은 디젤 엔진용 차량에 대한 배출가스 허용규제를 강화하고 있다. 이에 환경부에서도 차세대 경유차

배출허용기준을 확정해 대기환경보전법 시행규칙에 반영한다고 발표하였다.

디젤엔진에서 배출되는 배기배출물질 중에서 가장 문제가 되는 것은 입자상물질과 NOx로 알려져 있다. 이들 중 입자상물질은 공기부족 상태에서 연소할 경우 생성되며 초기입자는 연료분자가 열분해에 의해 탈수소 반응을 일으킴으로써 입자상물질 전단계의 미립자 핵을 생성하며, 이 핵들의 응집, 엉김, 합체로 입자상물질이 생성된다. 입자상물질은 크기가 미세하고 많은 화학물질을 함유하고 있어 호흡기 질환 및 폐암 등의 피해를 유발한다고 보고되고 있으며, 과거에는 배출가스 농도 및 빛의 투과도로서 규제를 하였지만, 현재는 중량기준(accumulate mode)으로, 그리고 향후에는 50nm 이하의 nano-particle을 대상으로 하는 수량기준(nuclei mode)으로 규제가 엄격해 질 전망이다.<sup>(15)</sup>

† 회원, 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

E-mail : changyj@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-2332 FAX : (051)582-818

\* 회원, 부산대학교 대학원

\*\* 정회원, 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

NOx는 대기 중에 방출되어 수산화(OH)와 반응하여 질산을 형성하는데 이는 산성비의 주요 원인이 되고 있다. NOx는 이외에도 빛에너지로 탄화수소와 반응하여 2차 오염물질인 광화학 산화물인 PAN(peroxyacetal nitrate) 등을 형성하여 광화학스모그의 원인이 된다.

이 중 입자상물질은 매연여과장치(DPF, Diesel Particulate Filter)<sup>(1,2)</sup>를 통하여 80% 이상의 제거효율을 보이고 있으나 재생방법, 내구성, 경제성 및 배압으로 인한 출력과 연료소비율이 다소 악화되는 문제점이 있다.

NOx는 lean NOx catalyst(LNC)<sup>(3)</sup> 방식, NOx trap 방식 등이 연구되고 있으나 효율이 낮고 황성분의 피독으로 인해 적용이 곤란하며, 암모니아 등을 사용하여 NOx를 N<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 환원하는 선택적촉매(SCR, Selective Catalytic Reduction)<sup>(4,5)</sup>의 경우 저감율은 90%로 우수하나 주로 산업체 등에서 적용되고 있으며, 과도상태가 많은 자동차 적용에는 어려움이 있다.

따라서 최근에는 여러 가지 대기 오염물질의 동시 제거가 가능하고 비용이 적게 들며 2차 오염이 적은 비열플라즈마(Nonthermal Plasma)<sup>(6-10)</sup>에 관한 연구가 활발하며 암모니아, 탄화수소 등의 첨가물과 함께 사용하여 에너지 효율 및 저감효율을 높이고 유해 부산물을 억제하는 기술이 제안되고 있다.

Chae<sup>(11)</sup> 등은 유전체 장벽반응기와 고정층반응기의 두 가지 비열 플라즈마를 이용하여 VOC 제거 특성을 조사하여 VOC 제거 효율은 분자 구조와 밀접한 관련이 있음을 보였다.

Mizuno<sup>(12)</sup>와 Civitano<sup>(13)</sup>는 펄스 방전과 촉매 조합으로서 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>와 수증기 첨가제를 사용함으로써 NOx 제거율을 향상시켰으며, 소형 파일릿 규모에서 첨가제로 NH<sub>3</sub> 가스를 사용하여 좋은 결과를 얻었으며 부가적으로 활성전자가 코로나 스트리머에 의한 NO와 SO<sub>2</sub> 분자의 산화에 기여하는 자유 활성기의 반응에 대해 연구하였다. 권준호<sup>(14)</sup> 등은 연소에 의해 생성된 유해 물질 중 NOx를 제거하기 위한 저온 플라즈마 장치에서 NOx의 초기 농도, 가스유량, 첨가제의 첨가량, 공급전압 및 주파수 등의 인자가 NOx 저감에 미치는 영향을 연구한 결과 NOx 저감율은 첨가제의 첨가량, 공급전압과 주파수에 비례하며, NOx의 초기농도와 유량에 반비례함을 보였다.

현재까지 발표된 대부분의 연구는 실제 엔진의 배출가스가 아닌 표준가스에 대한 내용이 주류를 이루고 있다. 따라서 본 연구에서는 간접분사식 디젤엔진에서 직류 코로나 방전을 이용한 매연저감 특성과 유전체 장벽반응기(dielectric barrier discharger)에서 생성된 라디칼이 NO 저감 특성에 미치는 영향을 파악함으로써 실차량 적용 가능성을 실험적으로 검토하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용한 엔진을 비롯한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

실험장치는 스윙 챔버를 갖는 간접분사식 디젤 엔진, 동력계, 라디칼 발생기, 전원 공급장치, 혼합조, 배출가스 분석 장치 등으로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용된 시험 기관은 2700cc급 4기통으로 제원은 Table 1과 같다. 매연 포집을 위한 비열 플라즈마 반응기는 150mm 간격으로 두 개의 전극에 고전압을 인가하여 생성되는 음극성(negative) 코로나 방전 현상을 이용하였고 선-평판형 반응기(wire-to-plate type reactor)를 사용하였다. 라디칼 발생기(9kV, 1kHz)는 유전체 장벽 방전을 사용하여 스파크가 없는 상태에서 높은 전자온도와 낮은 기체온도를 가지는 화학적 반응을 증가시키는 플라즈마를 이용하여 생성된 O<sub>3</sub> 라디칼을 혼합조에 주입하여 적정량을 공급할 수 있게 하였다. 혼합조는 직사각형의 축소, 확대판으로 연결된 200×200×400 mm인 사각 챔버로 윗면에서 배출 가스의 진행 방향으로 라디칼을 투입하였다.

라디칼 투입구에 K-type의 열전대를 이용하여 라디칼의 주입 시 배출 가스 온도를 함께 측정하였다. 실험변수는 엔진회전수(1000, 1500 및 2000 rpm)와 엔진부하(0, 50, 100%)의 변화이다. 매연 측정은 여지반사식 스모크 미터(TDST-201)를 사용하였다. NO, NO<sub>2</sub>, CO의 측정은 가스 분석기(Gas analyzer, Kane-May, QuinTox KM-9106)를 사용하였으며 배출가스의 정성적인 분석 및 부산물 생성 여부를 확인하기 위해 FTIR(Fourier Transform Infrared Spectrometer: Galaxy Series FTIR7000)을 사용하였다.

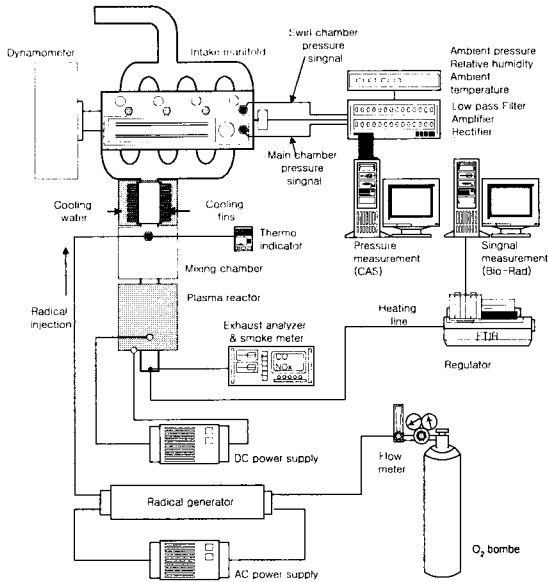


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

2.2 실험방법

매연 제거특성 실험을 위해 전기 집진기를 배기관 후단에 설치하고 엔진 회전수 1000, 1500 및 2000rpm 그리고 전부하 조건에 대해 직류 고전압을 인가하여, 이 때 발생되는 코로나에 의한 매연제거율을 측정하였다. 그리고 절연 내력을 유지하기 위해 애자에 케이싱을 함으로써 인가전압을 유지할 수 있도록 하였다. 애자의 케이싱은 지름 40mm, 길이 120mm의 원통형 파이프를 이용하였다. 케이싱의 역할은 애자 주위로 매연이 도포 됨으로써 고전압 인가시 아크(arc)로의 진전을 피하여 방전극 주위에 코로나 방전을 계속 유지시키는 것이다.

라디칼 발생기에서 생성된 라디칼은 혼합조에 투입되어 배출가스 중의 NO와 반응하게 된다. 혼합조를 통과한 배출가스 성분 중 NO 제거율과 NO<sub>2</sub> 생성률은 라디칼 주입전과 후의 농도를 각각 측정하여 확인하였다. 라디칼 투입구의 최고 온도는 약 400 °C이고 라디칼 생성을 위해 주입되는 산소의 초기 전체 유속은 25lpm으로 고정하였다.

또한 온도에 따른 라디칼의 잔존율 및 반응성을 알아보기 위해 냉각핀을 설치한 배기관에 냉각수를 공급하여 배출가스 온도를 낮추어 NO 제거율 실험을 수행하였다.

Table 1 Engine specifications

Engine type		IDI diesel engine	
Combustion chamber		Swirl chamber	
Displacement(cc)		2662	
Bore×Stroke(mm)		93.0×98.0	
Compression ratio		21.5	
Max. power(PS/rpm)		80/4000	
Max. torque(kgm/rpm)		17.5/2000	
Valve timing	Intake	open	BTDC 19°
		close	ABDC 52°
	Exhaust	open	BBDC 47°
		close	ATDC 14°

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 엔진 회전수에 대한 CO, NO, NO<sub>2</sub>, NOx 발생량을 부하별로 나타낸 결과이다. 엔진의 회전수가 낮아짐에 따라 연소의 절대시간이 길어지고 연소가스가 고온 상태에 노출되는 시간이 길어지기 때문에, 회전수가 증가하면 NOx는 감소하는 경향을 보여주고 있다. 또 부하의 증가에 따라 연료분사량의 증가로 인해 연소실 온도가 높아지게 되어 2원자 질소 N<sub>2</sub>가 더욱 많이 단원자 질소 N으로 분해되어 NOx가 증가한다. NO는 75% 부하까지는 증가하다가 더 이상은 증가하지 않는 경향을 보이는데 이는 연료분사량의 증가로 인해 공기과잉률이 어느 정도 이하가 되면 국부적으로 산소부족을 야기해 NO의 생성을 감소시킨 것으로 사료된다. CO는 농후한 공연비 일수록 산소 부족에 의해 CO<sub>2</sub>로 완전히 전환되지 못하기 때문에 불완전 연소의 증대로 급격히 증가한다. 회전수가 높아질수록 증가하며 부하가 높아질수록 감소하다가 100% 부하일 때 증가하는 경향을 보이는데 이는 부하의 증대로 인한 불완전 연소가 증가되기 때문으로 사료된다.

Fig. 3은 매연의 발생량을 나타낸 것이다. 부하가 증가할수록 연소실내의 연료량이 증가하여 혼합기가 농후해지며 고체 탄소 매연 입자를 형성한다. 50% 부하까지는 연소실 내의 난류와 입자의 질량 운동이 계속적으로 혼합되므로 이들 대부분의 탄소입자들은 더욱 반응하기에 좋은 산소분위기에서 연소하므로 CO<sub>2</sub>로 되어 반응한다. 또한 혼합기가 연소실에서 배출된 다음에도 배기관에서 반응이 계속 일어나 고체 탄소의 양은 더욱 감소한다. 따라서 이 영역의 부하에서는 거의 매

연이 나오지 않음을 알 수 있다. 그러나 100% 부하일 때는 연료분사량이 최대가 되므로 연소실 내에는 다량의 고체 탄소 입자가 생성됨을 알 수 있다.

3.1 DC 코로나에 의한 매연 제거특성

Fig. 4는 1000, 1500 및 2000rpm 전부하 조건에서의 매연 제거특성을 보여준다. 1000rpm의 경우 15W이하에서는 전압은 인가되지만 전류가 흐르지 않기 때문에 집진을 위한 코로나 스타팅이 되지 않는다. 15W이후에서 코로나 방전이 시작되어 매연입자가 대전되면서 집진판에 포집되기 시작한다. 1000rpm일 때는 유속이 17m/s로 낮고 매연의 배출량이 33%로 높기 때문에 제거율이 96W(16kV)에서 81%로 높게 나타났다. 45W(12kV)에서 70~80%로 제거율이 일정한 포화 구간이 있으며 100W(16kV)이상이 되면 아크로 진전되므로 모든 실험은 16kV까지만 인가하였다.

1500rpm의 경우는 64W(13kV)부터 제거율이 72.3%로 포화되기 시작하여 80W(14kV)에서 76.8%로 나타났다. 이는 유속이 25m/s로써 빠르고 매연의 양이 22%로 상대적으로 작기 때문에 제거율이 1000rpm 보다는 약간 낮게 나타났다. 80W에서 아크가 발생하였다.

2000rpm의 경우는 유속이 33m/s로 매우 빠르며 매연의 양도 많이 배출되기 때문에 1000rpm과 1500rpm에서의 같은 제거율을 얻기 위해서는 인가전력을 128W(16kV)까지 높여주어야 했고 제거율은 71.4%이다. 포화되기 시작하는 전력은 120W(16kV, 제거율 67.9%)로써, 1000rpm의 3배, 1500 rpm의 2배 정도에 해당하는 전력이 요구됨을 알 수 있다. 일반적으로 유속이 빠를수록 매연 입자는 방전극 주변의 코로나 영역에서 대전되는 입자수가 작아지고 입자가 집진판과 수직 방향의 속도 성분과 배출 가스 유동 방향의 속도 성분으로 운동거리가 길어지면서 집진판에 포집이 되기 어렵기 때문에 매연 제거율은 떨어진 것으로 판단된다.

3.2 라디칼에 의한 NO 제거특성

3.2.1 배출가스 냉각 전

Fig. 5는 NO가 라디칼과 반응하여 NO<sub>2</sub>로 전환되는 NO 제거와 NO<sub>2</sub> 생성 특성을 나타낸 그래프이

다. 전체적으로는 회전수가 증가하고 부하가 커질수록 NO의 제거율은 급격히 감소함을 볼 수 있다.

각각 회전수별로 살펴보면 부하 0%일 때는 82%~95%의 NO 제거율과 최대 9.5%의 NO<sub>2</sub> 생성률을 보인다. 부하 50%일 경우 NO가 라디칼에 의해 산화가 일어나 상대적으로 NO<sub>2</sub>의 생성률이 증가하여 전체 NO 제거율은 부하보다는 증가하지만 배출가스 온도가 높은 2000rpm의 경우는 감소한다.

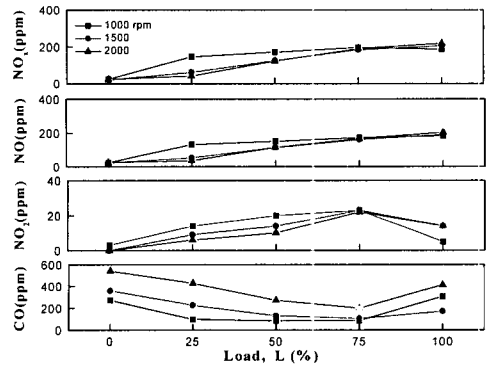


Fig. 2 Emissions for each speed and load

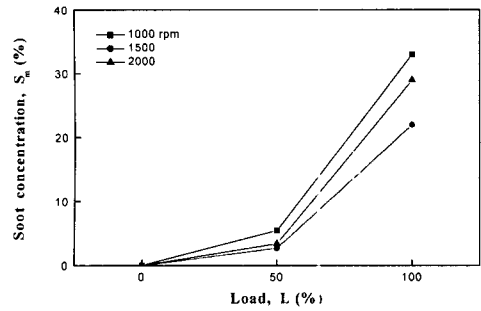


Fig. 3 Soot concentration for each speed and load

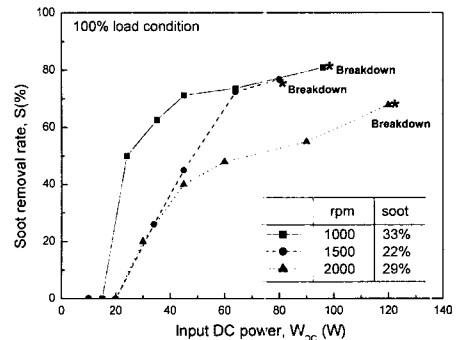
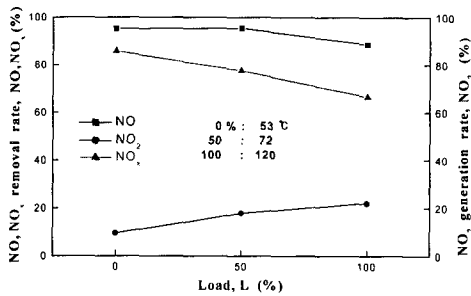


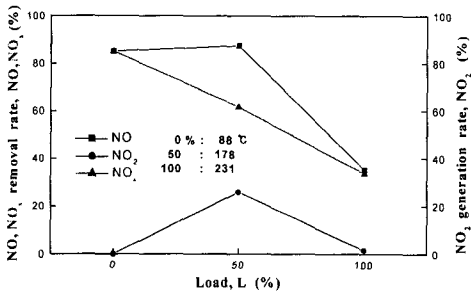
Fig. 4 Soot removal rate

부하가 100%인 경우, Fig. 5(a)에서는 NO의 제거율은 88.5%, NO<sub>2</sub>의 생성률은 22%로 높게 나타났다. 하지만 배출가스 온도가 200℃ 이상이 되는 1500rpm과 2000rpm의 경우는 NO의 제거율이 각각 35.5%, 6.4%, NO<sub>2</sub>의 생성률이 2% 이하로 급격히 저하되는 것을 알 수 있다.

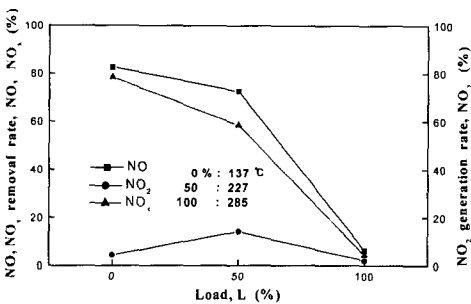
이 때의 NO 배출량은 약 200ppm 정도로 부하 50%보다 많이 배출됨에도 불구하고 NO<sub>2</sub>로의 전환이 쉽게 발생되지 않는데, 이는 혼합조에 들어오는 배출 가스의 온도의 영향으로 사료된다.



(a) 1000rpm



(b) 1500rpm



(c) 2000rpm

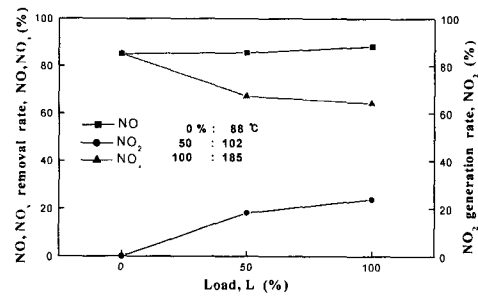
Fig. 5 NOx removal rate before cooling

Fig. 5의 (a)에서 배출 가스 온도가 120℃인 경우(100% 부하조건) NO 제거율이 약 88.5% 정도로 나타나는데 비해 배출가스 온도가 높은 2000rpm, 100% 부하의 경우 Fig. 5 (c)에 나타낸 바와 같이 제거율이 6.4%로 저감되는 결과들로부터 배출가스의 온도가 NO를 NO<sub>2</sub>로 전환시키는 역할을 하는 라디칼의 활성화에 많은 영향을 미침을 예측할 수 있다.

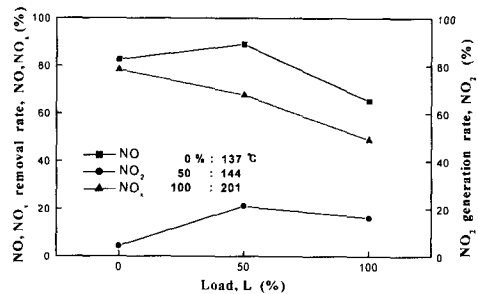
### 3.2.2 배출가스 냉각 후

라디칼의 온도에 대한 영향을 알아보기 위하여 혼합조에서의 배출가스 온도가 150℃ 이상인 조건에서만 냉각핀이 장착된 배기관에 수냉각시켜 각각의 회전수별, 부하에 대하여 NO의 산화 제거 특성을 평가하였다. 이에 해당하는 조건은 1500 rpm 및 2000rpm에 대해 부하 50% 및 100% 일 때이며 그 결과는 Fig. 6과 같다.

1000rpm의 전 영역의 부하 조건과 1500rpm, 2000rpm의 경우 부하 0%일 때는 3.2.1절의 실험과 동일한 NO 제거율을 나타내었다.



(a) 1500rpm



(b) 2000rpm

Fig. 6 NOx removal rate after cooling

배출가스 온도가 높은 고속·고부하 영역에서 냉각에 의한 NO 제거 효과는 크게 나타났다. 라디칼은 냉각에 의해 활성화가 유지되면서 NO를 산화시켜 NO<sub>2</sub>로의 전환이 부하가 증가해도 유지되는 것을 관찰할 수 있었다. Fig. 6 (a)와 Fig. 6 (b)의 100% 부하조건에서 NO 제거율은 각각 88.1% 및 65.2%, NO<sub>2</sub> 생성률은 23.8%와 16.2%로써 Fig. 5 (b)와 Fig. 5 (c)를 비교해 높은 제거 효율을 보여준다.

Fig. 7은 배출가스 온도가 150℃ 이상의 조건인 1500rpm과 2000rpm의 부하 50% 및 100%일 경우의 NO 제거율과 NO<sub>2</sub> 생성률의 상관관계를 표현한 것이다. 라디칼만을 공급한 경우 엔진회전수와 부하조건에 따라 다른 특성을 보이지만, 라디칼과 냉각을 실시한 경우는 NO 제거율 65~90%, NO<sub>2</sub> 생성률 15~25%로 상대적으로 많은 양의 변환이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 라디칼의 활성화는 배출가스의 온도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있고 그 온도 영역은 약 200℃ 이하로 유지되어야 좋은 전환효율을 나타냄을 알 수 있었다.

Fig. 8은 1500rpm, 부하 50%인 조건에 대해 라디칼과 냉각수를 공급한 경우와 공급하지 않은 경우에 대해 혼합조 전후의 출구에서 처리된 가스의 FTIR 스펙트럼을 나타낸 것이다. 이때 라디칼의 주입량은 25lpm이다. 각 성분들은 고유주파수에서 피크값을 가지므로 이 피크값의 크기로 각 성분의 존재유무를 파악할 수 있다. 피크값은 성분의 파장과 그 정성적인 크기를 표시한다.

라디칼과 냉각수 공급을 실시하지 않은 Fig. 8 (a)에서 NO는 1903.7nm에서 피크값을 보이며 그 크기는 0.009이며, NO<sub>2</sub>는 2919.8nm에서 0.001의 크기로 존재하고 있다.

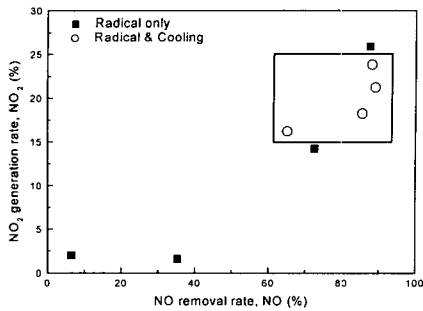


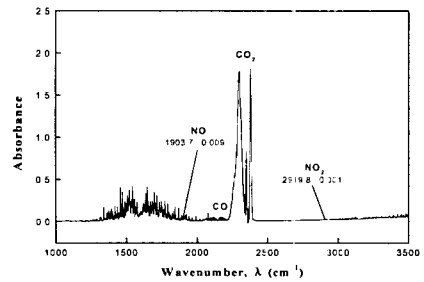
Fig. 7 Comparison of NO removal ratio and NO<sub>2</sub> generation ratio

하지만 라디칼과 냉각수를 공급한 경우 Fig. 8(b)에서 나타낸 바와 같이 NO는 그 크기가 0.002로 감소되었으며 NO<sub>2</sub>는 0.006의 크기로 존재함을 관찰할 수 있다. 이는 냉각에 의해 충분히 냉각된 배출가스 내에서 라디칼이 활발한 반응을 보인 것으로 사료되며, 이상의 결과로부터 냉각조건만 만족시켜주면 라디칼에 의해 NO의 많은 양이 NO<sub>2</sub>로 전환되는 NO의 산화제거특성을 확인할 수 있었다.

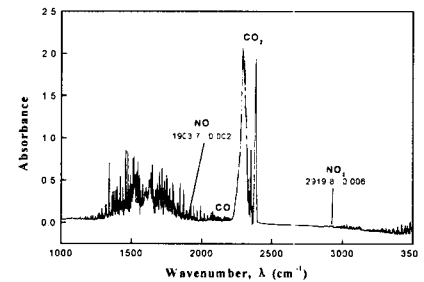
Fig. 9는 Fig. 8(b)의 조건에서 라디칼에 의한 부산물의 생성여부를 확인한 결과이다. 1053nm 파장의 O<sub>3</sub>와 1325nm의 HNO<sub>3</sub> 생성물을 조사한 결과 스펙트럼 피크가 존재하지 않음을 알 수 있었다.

4. 결론

간접분사식 디젤 기관에서 미세먼지를 제거를 위해 DC 코로나 방전을 이용한 전기 집진기를 설치하여 제거율을 평가하였고 NO 제거를 위해 배기관 끝에 혼합조를 설치하고 라디칼의 첨가에 의한 NO의 제거와 NO<sub>2</sub>의 생성을 라디칼 투입시의 혼합 온도에 대한 영향을 평가하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

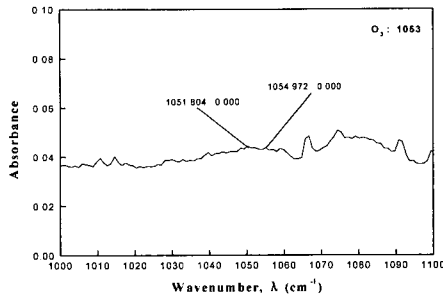
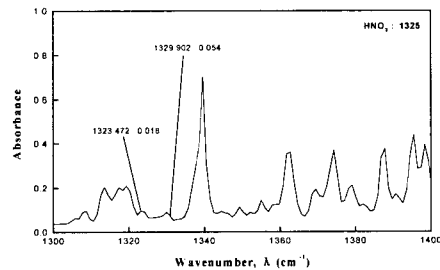


(a) Without Radical and cooling



(b) With Radical and cooling

Fig. 8 FTIR spectra of NOx removal rate

(a) Residual O<sub>3</sub> radical(b) By-product HNO<sub>3</sub>**Fig. 9** FTIR spectra of by-products with radical

(1) 매연 제거율은 플라즈마 반응기 내부에서의 유속, 매연의 양, 인가 전력에 큰 영향을 받는다. 코로나 방전이 아크로 진전되지 않도록 하는 방안으로 애자에 케이싱을 이용하여 내구성을 높인 결과 70~80%의 지속적인 제거율을 보였다.

(2) NO 제거율은 라디칼의 생존 여부에 큰 영향을 받으며, 라디칼의 활성화는 배출가스 온도에 크게 의존한다. 1500과 2000rpm, 부하 100% 조건에서는 NO 제거율이 35.5%, 6.4%로 낮았으나 혼합조 투입전 배출 가스의 온도를 낮추었을 때 NO 제거율은 88.1%와 65.2%로 나타났다.

(3) 배출가스 온도가 증가할수록 고온연소에 의한 NO의 발생량은 증가되고 고온 배출가스 영역에서 라디칼의 활성화는 급격히 감소하여 NO의 저감 효과는 기대할 수 없게 된다. 이 때 라디칼 첨가에 의한 NO 제거율을 60%이상 확보하기 위해서는 라디칼과 혼합되는 배출가스 온도는 200℃ 이하로 유지하여야 할 것으로 사료된다.

(4) FTIR 스펙트럼분석 결과 NO의 제거는 주로 투입된 라디칼에 의해 NO<sub>2</sub>로 환원되었으며, HNO<sub>3</sub> 또는 O<sub>3</sub> 등의 기타 부산물은 관찰되지 않았다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 기성희 재원 학술연구 조성비의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Pattas K., Kyriakis N., Samaras Z., Pistikopoulos P. and Ntziachristos L., 1998, "Effect of DPF on Particulate Size Distribution Using an Electrical Low Pressure Impactor," SAE paper No.980544.
- (2) Penetrante B. M., Brusasco R. M., Merritt B. T., Pitz W. J. and Vogilin G. E., 1999, "Feasibility of Plasma Aftertreatment for Simultaneous Control of NO<sub>x</sub> and Particulates," SAE paper No.1999-01-3637.
- (3) Daniel W. Dickey, Thomas W. Ryan III and Andrew C. Matheaus, 1998, "NO<sub>x</sub> Control in Heavy-Duty Diesel Engines-What is the Limit?," SAE paper No.980174.
- (4) Thomas Hammer and Stefan Broer, 1998, "Plasma Enhanced Selective Catalytic Reduction of NO<sub>x</sub> for Diesel Cars," SAE paper No.982428.
- (5) Penetrante B. M., Brusasco R. M., Merritt B. T., Pitz W. J., Vogtlin G. E., Kung M. C., Kung H. H., Wan C. Z. and Voss K. E., 1998, "Plasma-Assisted Catalytic Reduction of NO<sub>x</sub>," SAE paper No.982508.
- (6) John Hoard and Balmer M. Lou, 1998, "Analysis of Plasma-Catalysis for Diesel NO<sub>x</sub> Remediation," SAE paper No.982429.
- (7) Balmer M. Lou, Russ Tonkynb, Andy Kim, Steven Yoon, Dan Jimenez, Thom Orlando, Barlow S. E. and John Hoard, 1998, "Diesel NO<sub>x</sub> Reduction on Surfaces in Plasma," SAE paper No.982511.
- (8) Christopher R. McLarnon and Bernie M. Penetrante, 1998, "Effect of Reactor Design on the Plasma Treatment of NO<sub>x</sub>," SAE paper No.982434.
- (9) Toshiaki Yamamoto and Chen-Lu Yang, 1998,

- "Plasma Chemical Hybrid Process for NO<sub>x</sub> Control," SAE paper No.982432.
- (10) Ralph Slone, Madhu Ramavajjala, Vishwesh Palekar and Victor Puchkare, 1998, "Pulsed Corona Plasma Technology for the Removal of NO<sub>x</sub> from Diesel Exhaust," SAE paper No.982431.
- (11) Jae-ou Chae, Seung-il Moon, Hee-suk Sun, Kwan-young Kim, Vsevolod A. Vassiliev and Edouard M. Mikhola, 1999, "A Study of Volatile Organic Compounds Decomposition with the Use of Non-Thermal Plasma," *KSME International Journal*, Vol. 13, No. 9, pp. 647~655.
- (12) Misuno A., 1995, "Effect of Additives and Catalysts on Removal of Nitrogen Oxides Using Pulsed Discharge," Toyohashi University of Technology, pp.1808~1812.
- (13) Civitano L., 1987, "Flue Gas Simultaneous De-NO<sub>x</sub>/De-SO<sub>x</sub> by Impulse Corona Energization," Report No. TECDC-428, Int Atomic Energy Agency, pp. 55~84.
- (14) 권준호, 강우정, 정태용, 1998, "저온 플라즈마 장치에서 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 첨가량이 NO<sub>x</sub> 저감에 미치는 영향에 대한 실험적 연구," 한국자동차공학회 논문집 제6권, 제4호, pp. 211~218.
- (15) www.autoenv.org