

## 플라즈마를 이용한 이륜자동차 배출가스저감 특성

김영주, 박홍재, 정장근, 이재동, 박재윤, 고희석  
경남대학교

### The removing characteristic of harmful exhaust from a motorcycle using non-thermal plasma

Kim.Young-ju, Park.Hong-jae, Jung.Jang-gun, Lee.Jae-dong, Park.Jae-yoon, Koh.Hee-seog  
Kyongnam Univ.

#### Abstract

In the last several centuries, humankind have been experienced the material abundance with a development of technical civilization and being industrialized quickly. During the process of this, environmental pollutant have occurred naturally so that humankind have more interests for environment pollutant. Air pollution caused by exhaust from a car is very harmful for human. Most of exhaust from a gasoline engine are  $CO_x(CO+CO_2)$ ,  $NO_x(NO+NO_2)$ , and THC(Total Hydrocarbon). The method to remove these kinds of noxious gases are so many thing such as the three catalysts,  $NO_x$  catalysts, Filter and so on. However, although air pollution caused by exhaust from motorcycle have also occurred very much, there is no regulation for motorcycle.

In this paper, we studied to remove  $CO_x(CO+CO_2)$ ,  $NO_x(NO+NO_2)$ , THC exhaust from a motorcycle using non-thermal plasma In the result,  $NO_x(NO+NO_2)$  concentration was decreased approximately 70% and THC(Total Hydrocarbon) was removed about 40%.

**Key Words** : non-thermal plasma,  $CO_x$ ,  $NO_x$ , THC(Total Hydrocarbon)

#### 1. 서론

현재 휘발유자동차 및 이륜자동차에서 배출되는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물( $NO_x$ ) 등은 대기오염 및 인체에 해로운 영향을 끼치고 있다. 자동차 엔진 연료가 완전히 연소하지 못했을 때 다량의  $CO_x(CO+CO_2)$ 가 배출되며, 일산화탄소는 인체의 호흡기를 통해 혈액 속으로 들어가면, 산소를 운반하는 중요한 역할을 하는 헤모글로빈과 결합하여 적혈구의 산소운반능력을 잃게 만들어 현기증을 유발시키게 된다. 그리고, 자동차 배기가스 중에 포함된 발화성 탄화수소(HC)는 어느 나라에서나 현저하게 증가하고있는 폐암 발생의 원인중의 하나로 들 수 있다. 또한,  $NO_x(NO+NO_2)$ 같은 유해가스들이 다량으로 함유되어 있으며, 질소산화물은 고온의 연소과정에서 공기중의 질소( $N_2$ )와 산소( $O_2$ )가 반응하여 생성되고, 배기가스의 약 80[%] 정도가  $NO_x$ 이며 반응성이 낮기 때문에 제거가 상

당히 어렵다.<sup>1)</sup>  $NO_x$ 는 대기로 배출되어 대기중의  $O_3$ ,  $O_2$ , 수분 등에 의하여  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $N_2O_4$ ,  $N_2O_5$  등으로 산화되지만 대부분은  $NO_2$ 이다. 이들은 공기 중에서 에어로졸 상태가 되어 산성비의 원인이 된다. 이와 같이 자동차 배기가스는 매년 그 배출량이 증가하고 있는 추세이다. 특히, 이륜차 배출오염물질[ $CO_x(CO+CO_2)$ ,  $NO_x(NO+NO_2)$ , HC]은 전체 자동차에서 배출되는 총 배출량의 15.8%를 차지하고 있지만 이륜차에 대한 규제기준이 마련되지 않아 대기오염을 심화하고 있다. 이러한 유해가스 저감을 위하여 삼원촉매,  $NO_x$ 촉매, Filter 등의 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 휘발유자동차에서 배출되는 유해가스와 같이 이륜차에서도 다량의 유해가스가 배출되고 있지만, 이를 저감하기 위한 연구는 미비한 실정이다.

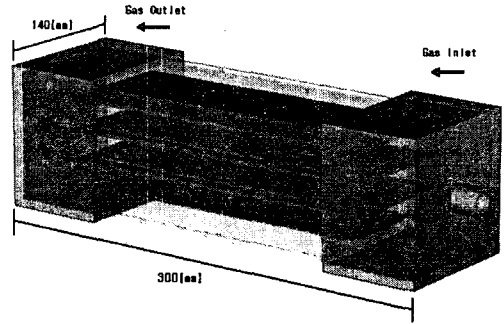
본 논문에서는 이륜차의 배기가스를 정화시키기 위하여 고밀도의 스트리머방전을 이용하였다. 이를 위해 톱니형 전극을 사용하였고, 약 250[°C]~300

[°C]의 배기가스 온도에 견딜 수 있는 테프론 (teflon)을 이용하여 플라즈마 반응기를 제작하였다. 비열플라즈마 반응기를 실제 Scooter에 장착하여 CO<sub>x</sub>(CO+CO<sub>2</sub>), NO<sub>x</sub>(NO+NO<sub>2</sub>), THC(Total Hydrocarbon)등의 배기가스 저감특성을 측정하고 분석하였다.

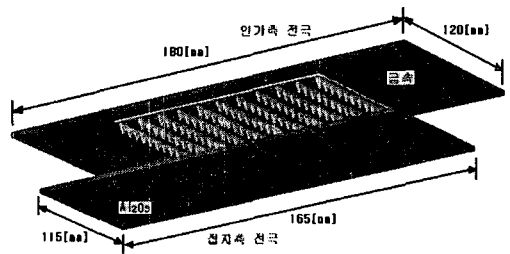
## 2. 본 론

### 2.1 실험장치 및 방법

본 실험은 이륜차에서 배출되는 배기가스를 저감하기 위해 실제 scooter(대림자동차 Delfino 100[cc])에 플라즈마 반응기를 장착하여 CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HC 제거율을 측정하였다. 그림 1은 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다. 내열성이 좋은 테프론 (teflon)을 사용하여 플라즈마 반응기를 제작하였으며, 그림 2 (a)와 같이 길이 300[mm], 높이 50[mm], 폭 140[mm]인 직사각형 구조이다. 그림 2(b)와 같이 길이 180[mm], 폭 120[mm]인 톱니형 전극을 이용하였으며, 전극의 집중을 높이기 위해서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 유전체를 접지부에 설치하여 고밀도 스트리머 방전이 발생할 수 있도록 플라즈마 반응기를 설계하였다. 인가되는 전압은 네온트랜스를 사용하여 주파수가 60Hz인 AC 고전압을 인가하였으며, 초정밀 가스분석기인 Green Line MK2를 사용하여 실험 전·후의 CO<sub>x</sub>(CO+CO<sub>2</sub>), NO<sub>x</sub>(NO+NO<sub>2</sub>)의 농도를 측정하였고, 또한 FTIR을 이용하여 실험 전·후의 제거율 및 THC 제거율을 측정하였다. 반응기 내부의 배기가스의 유량은 초정밀 가스분석기인 Green Line MK2의 처리 가능 용량이 4[l/min]정도밖에 되지 않아 scooter에서 배출되는 가스의 일부를 플라즈마 반응기에 통과시켜 CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, THC 제거율을 측정분석 하였다.



(a)



(b)

그림 2. 반응기 형상.

Fig. 2. The shape of reactor.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 인가전압에 따른 NO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>농도

그림 3은 시동 후의 불완전연소 조건에서 인가 전압에 따른 NO<sub>x</sub> 농도를 나타내고 있으며, 그림 4는 완전연소 조건에서의 NO<sub>x</sub> 농도를 나타내고 있다. scooter 시동 직후 다량의 NO<sub>x</sub>가 발생되고, 시간이 경과하면 감소하는 경향이 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 플라즈마 반응기를 장착하여 인가 전압에 따른 NO<sub>x</sub>농도 변화량을 측정된 결과 플라즈마 반응기를 장착한 경우가 더욱 빨리 환원 분해 반응이 일어났다. 전압이 높을수록 NO<sub>x</sub>제거율은 좋게 나타났으며, 전압이 9[kv]이상 인가되면 오히려 NO<sub>2</sub>농도가 증가하여 NO<sub>x</sub> 제거율은 좋지 않은 것으로 나타났다. 그림 3은 NO농도는 8[kv]에서 120[ppm]으로 줄어들었으며, 그림 4는 동일전압 8[kv]에서 10[ppm]으로 줄어들었다. NO농도가 다른 것은 불완전 연소 시에 발생하는 NO농도가 완전연소 시에 발생하는 양보다 많기 때문에 플라

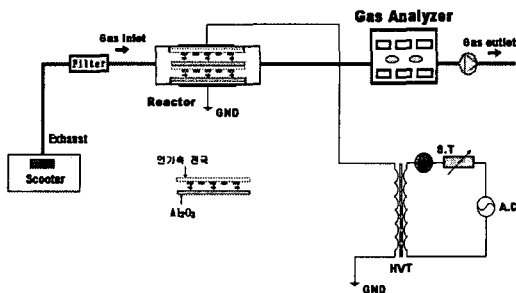


그림 1. 실험장치 구성도.

Fig. 1. Experimental Setup.

즈마 반응기의 처리량에 미치지 못하는 것으로 사료된다. NO의 경우 플라즈마 에너지에 의해 배기가스 중에 포함되어있는 활성산소 O<sup>-</sup>와 반응하여 NO<sub>2</sub>로 산화분해 되는 것으로 사료되고, 또는 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>로 환원분해 되는 것으로 사료된다. 반응식은 다음과 같다.

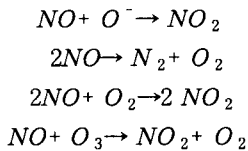


그림 5는 인가전압에 따른 플라즈마 발생 전후의 CO<sub>x</sub>농도를 나타낸다. 불완전 연소 시 많이 발생하는 CO는 플라즈마 에너지에 의해서 산화되어 CO<sub>2</sub>로 되는 것으로 사료된다.

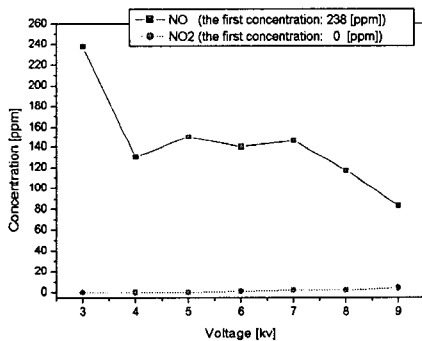


그림 3. 인가전압에 따른 NO<sub>x</sub> 농도(불완전연소).  
Fig. 3. NO<sub>x</sub> concentration as applied voltage (imperfect combustion).

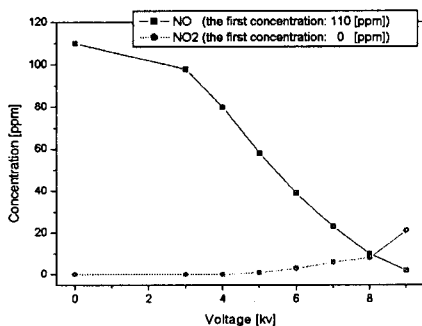


그림 4. 인가전압에 따른 NO<sub>x</sub> 농도(완전연소).  
Fig. 4. NO<sub>x</sub> concentration as applied voltage (perfect combustion).

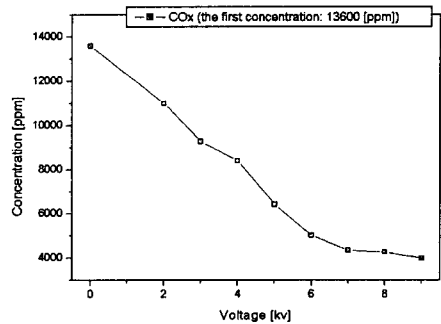


그림 5. 인가전압에 따른 CO<sub>x</sub>농도(완전연소).  
Fig. 5. CO<sub>x</sub> concentration as applied voltage (perfect combustion).

### 3.2 플라즈마 반응 전·후의 FTIR 분석

그림 6과 그림 7은 배기가스를 플라즈마 반응기에 통과 시켰을 경우와 통과시키지 않았을 경우의 배기가스를 포집하여 FTIR로 측정분석 하였다. 그림 6에서와 같이 scooter에 플라즈마 반응기를 장착하지 않았을 경우 CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, THC등의 오염물질들을 나타내고 있으며, 플라즈마 반응기를 장착한 경우 그림 7과 같이 일산화탄소(CO), NO<sub>x</sub> 모두 줄어드는 것을 알 수 있다. NO의 경우 약 70[%] 정도 제거되었으며, THC의 경우 약 40[%]정도 저감되는 것으로 나타났다.

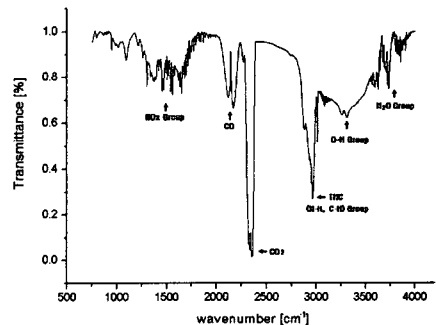


그림 6. 플라즈마 반응전의 FTIR.  
Fig. 6. FTIR before the plasma reaction.

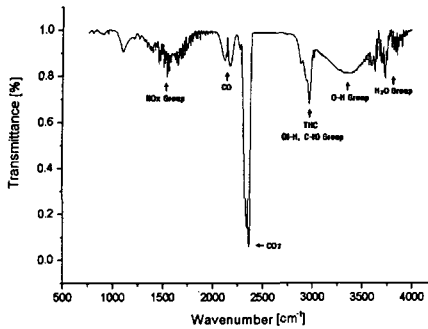


그림 7. 플라즈마 반응후의 FTIR.

Fig. 7. FTIR after the plasma reaction.

#### 4. 결론

톱니형 전극을 이용한 플라즈마 반응기를 실제 Scooter에 장착하여 인가전압에 따른 CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, THC 등의 배기가스 저감에 관하여 측정 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 이륜차에서 배출되는 NO<sub>x</sub>는 전압이 증가함에 따라 환원분해 또는 산화분해 약 70[%]정도 제거되는 것으로 사료된다.
- (2) THC(Total Hydrocarbon)의 경우 촉매, Filter등을 사용하지 않고, 플라즈마 에너지를 이용하여 약 40[%]정도 분해 제거되는 것으로 사료된다.
- (3) 이륜차 배출물 중 CO는 플라즈마 에너지에 의해서 산화되어 CO<sub>2</sub>로 되는 것으로 사료된다.

따라서, 위의 실험결과와 같이 스트리머방전을 이용한 플라즈마 반응기를 사용할 경우 이륜차에서 배출되는 NO<sub>x</sub>, THC 등의 저감에 효과적인 것으로 나타났으며, 반응기 구조 및 이륜차 부하(rpm)에 따른 저감 특성에 관한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

- [1] 장철현, 신남철, 유해가스 처리공학, 동화기술 (1995)
- [2] Bruce R. Locke, Member, IEEE, Atsufumi Ichihashi, Hyun Ha Kim, "Diesel Engine

Exhaust Treatment with a Pulsed Streamer Corona Reactor Equipped with Reticulated Vitreous Carbon Electrodes" IEEE Trans. on Industry Application, VOL.37,NO 3, pp.715~pp.722, 2001.

- [3] K. Takaki, S. Kudo, S. Kato, "Multipoint Barrier Discharge for Removal of NO<sub>x</sub> from Diesel Engine Exhaust. IEEE Trans. Plasma Science, VOL.29,NO.3, 2001
- [4] 박재윤, "코로나 방전 시스템을 이용한 연소가스중의 NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>제거", 한국전기전자재료학회, Vol. 10, No.8, pp. 830-835, 1997.
- [5] 박재윤, 이재동, 고용술, 한상보, 박상현, 이덕출, "자체가 인가된 원통형 플라즈마 반응기에서 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 제거특성", 한국전기전자재료학회, Vol. 12, No.2, pp. 188-192, 1999.
- [6] J. S. Chang et al, "The effect of ammonia mixing concentration on the reduction of NO<sub>x</sub> in a combustion flue gas by superimposing surface/silent discharge plasma reactor", 放電プラズ마によるガス状 環境汚染物質の處理技術に関する總合的研究, pp. 59~68, 1994.
- [7] B.S.Rajanikanth, V.Ravi, "Pulsed Electrical Discharge Assisted by Dielectric Pellets/Catalysts for Diesel Engine Exhaust Treatment", IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation, VOL.9,NO4, 2002
- [8] S. Pekarek, J. Rosenkranz, and H. Lonekova, "Generation of electron beam for technological processes", Non-Thermal Plasma Tecniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag Pub. Co., pp. 345~389, 1993.