

비열 플라즈마를 이용한 배기가스 정화에 대한 연구

A study on exgausted gas cleaning using non-thermal plasma

선 상 권·박 동 화·#M.YAMAGUMA

인천대학교·#일본산업안전연구소

SUN SANG-KWEON · PARK TONG-WHA · M. YAMAGUMA

University of Incheon · Japan Industrial Safety Institute

1. 서론

beam 조사법이 유해 가스 제거에 대해 많은 전자와 이온오늘날 세계는 산업화, 공업화의 발전으로 인해 인류에게 풍요로운 삶을 누릴 수 있게 많은 혜택을 주었지만 그 반대로 우리가 살아가고 앞으로 우리 후손들이 살아가야 할 이 곳이 많은 오염물질로 인해 환경오염문제를 일으키고 있다. 환경오염원을 살펴보면 화석 연료를 연소시켜 발전하는 발전소, 공장, 자동차 등으로써 이것에서 발생하는 SO₂, NO_x, CO₂ 등과 같은 가스가 대기오염을 일으키는 오염원이 되고 있다. 이것으로 인해 온실효과, 산성비, 도시 스모그, 오존층 파괴 등이 발생하는데 이에 대한 환경문제에 대처하기 위해 여러 가지가 연구되고 있다.

비열 플라즈마를 형성하는 방법은 전자 beam 조사식과 전기 방전법이 있다. 이 두 방법의 공통점은 고 에너지의 전자를 생성하여 플라즈마를 발생시킨다는 것이다. 가스 분자의 전자충돌과 이온화에 의해 고 에너지는 free radical과 O₃, 전자를 증가시킨다. 이것은 가스 분자를 결합시키고, 분해한다는 것이다.

Penetrante에 의하면 전자 을 생성하고 에너지 소모 측면에서도 더 좋은 방법으로 제시하고 있다.¹⁾

전기 방전법은 종류면에서 구분해보면 Masuda와 Ito는 연면방전(Surface Induced Plasma Chemical Processing, SPCP)방식에 의한 방향족화합물의 제거에 대해 연구하였으며²⁾ Mizuno는 Ferro electric packed bed corona방전을 이용하여 SO_x, NO_x제거에 대한 방향을 제시하였고³⁾ 이탈리아의 Civitano는 Pulsed corona 방전을 이용하여 화력발전소에서 나오

는 배기가스제거에 대한 연구를 하였다⁴⁾. 최근에는 Oda에 의해 단일 방전에 의한 실험보다는 전기 방전과 함께 촉매를 이용한다든가, 첨가제를 사용하는 방법도 시도되고 있다⁵⁾. 그리고 Okubo에 의하여 Corona radical shower system이라는 새로운 리액터로 NO_x 제거를 하고 있다⁶⁾. 배리어 방전과 연면 방전을 결합한 중첩 방전이 Ito에 의해 활발하게 연구되고 있다⁷⁾.

본 실험은 코로나방전과 연면방전을 결합한 중첩 방전을 실험하였다. 중첩시 상부전극과 하부전극의 주파수를 달리하였다. 그리고 가스의 온도를 달리하여 온도의 영향에 대하여 실험하였고, 또 U.V조사시의 영향과 첨가제에 대한 영향에 대하여 실험하였다. 마지막으로 산소와 공기 주입시 ozone과 NO₂의 생성에 대하여 실험하였다.

2. 실험 방법 및 고찰

2.1 실험장치 및 방법

본 실험은 크게 5가지 파라미터에 대해 실험을 행하였다. 중첩 방전, 첨가제의 영향, U.V조사, 온도 변화, Ozone 생성으로 구별된다. 그림 1은 전체적인 실험 개략도이다. 이 그림에서 볼 때 NO_x, SO_x는 gas mixer에서 balance가스와 첨가 가스와 혼합되고 맨틀을 통과하며 가스의 온도가 자동 온도 조절기에 의해 콘트를 된다. 맨틀을 통과한 가스는 U.V 조사등과 플라즈마 통로를 지나며 가스는 분해하게 된다. 이 분해된 가스는 가스 분석기 (E-COM AMERICA PLUS)에 의해 가스가 분석된다. 그리고 방전 전력은 두 대의 고전압프로브(2000배와 1000배)를 오실로스코프

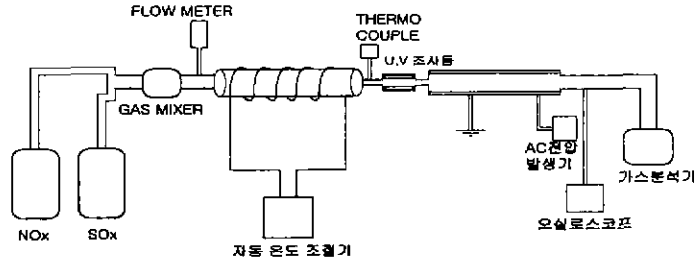


Fig. 1 Schematic of experimental

(Hewlet Packard)에 연결하여 측정하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

그림 2는 NO가스에 N₂가스를 balance로 하여 실험한 결과이다. 이 실험은 연면방전과 코로나 방전을 중첩시킨 것으로 상부전원을 high power와 low power으로 나누어 고정시키고 하부전원을 변화시켜 실험한 결과로 단일 방전보다 높은 분해율을 보이고 있다. 이는 중첩에 의한 상승효과가 있는 것으로 생각 된다.

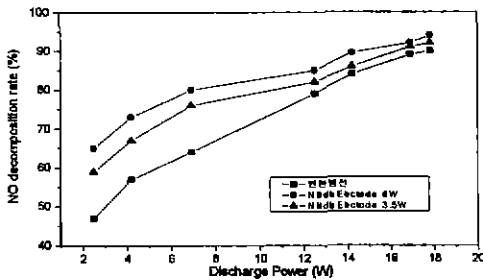


Fig.2 Superposed discharge effect on NO decomposition (NO : 300ppm, Flow rate : 2L/min)

그림 3은 NO의 농도에 따른 결과를 나타내는 그래프이다. 농도는 300(ppm)에서 900(ppm)까지 변화시켰으며, 유량은 2(L/min)으로 하였다. 이 실험에서의 결과는 역시 농도가 커질수록 분해율이 감소하는 경향이 있다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 유량에 따른 NO의 분해율을 나타내는 그래프로 NO의 초기 농도는 300(ppm)으로 하였고 유량은 1000cc/min에서 5000cc/min으로 하였다. 하부전원만 인가한 상태로 유량이 커질수록 분해율은

감소하는 경향이 있다.

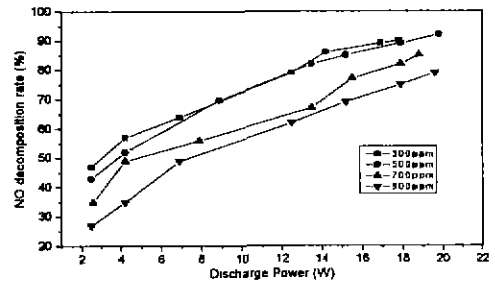


Fig. 3 Concentration effect on NO decomposition (SPCP, Flow rate : 2L/min)

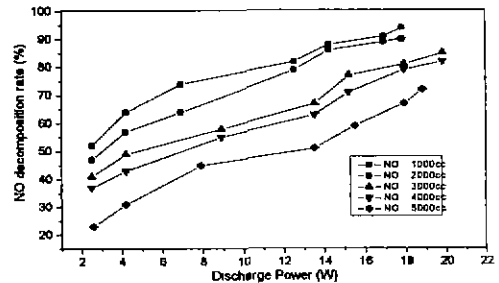


Fig. 4 Flow rate effect on NO decomposition (SPCP, NO : 300ppm)

그림 5와 6은 NO₂와 SO₂를 N₂ balance로 하여 농도에 따른 분해율을 실험한 결과이다. 분해율이 NO가스와 많은 차이가 나는 것을 알 수 있으며 SO₂의 분해율은 60(%)를 넘지 않고 있다. 이는 방전에 의해 발생하는 O라디칼이나 N라디칼로는 SO₂의 분해가 어렵다는 것을 의미한다. SO₂의 분해는 OH라디

칼에 의해 분해가 용이하다는 것이 보고되고 있다.

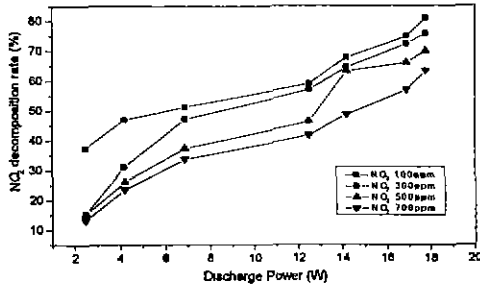


Fig. 5 Concentration effect on NO₂ decomposition (SPCP, Flow rate : 2L/min)

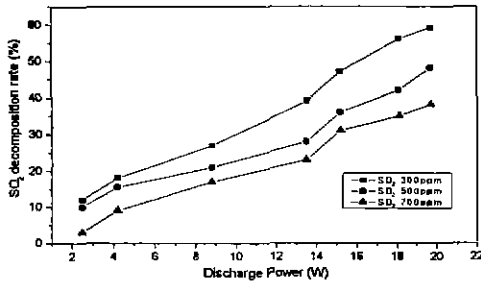


Fig. 6 Concentration effect on SO₂ decomposition (SPCP, Flow rate : 2L/min)

그림 7은 NO가스의 주파수에 대한 영향을 나타내는 실험으로 주파수가 높을수록 분해율이 높아지는 경향이 있다. 하지만 중첩방전에서는 상부전극의 주파수가 낮을수록 분해율이 높아지는 것을 볼 수 있다. 이 현상에 대해서는 앞으로 더 연구가 진행되어야 할 것이다.

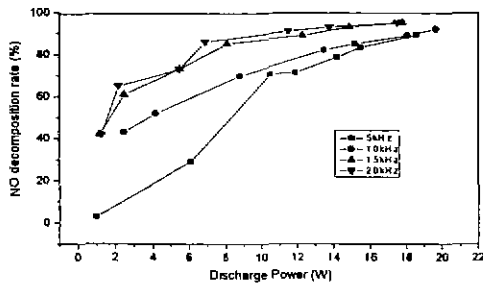


Fig. 3.7 Frequency effect on NO decomposition (SPCP, NO:500ppm, Flow rate : 2L/min)

그림 8은 CO₂첨가시 NO의 분해율을 나타내는

실험으로 CO₂는 15(%)에서 30(%)까지 변화시켰다. CO₂의 유량이 커질수록 분해율은 작아진다는 결론을 얻을 수 있었다.

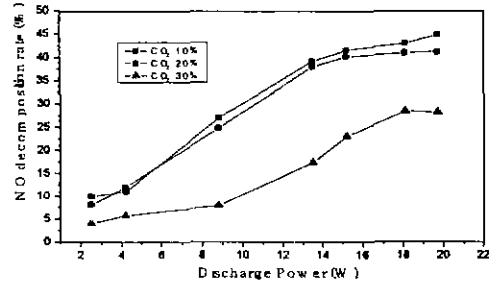


Fig. 8 CO₂ influence on NO decomposition (SPCP, NO : 500ppm, Flow rate:2L/min)

그림 9는 O₂첨가에 대한 NO분해율을 나타내는 실험이다. 그림 8과 같이 첨가된 O₂유량이 커질수록 분해율은 작아진다는 결론을 얻을 수 있었다. 그 이유는 N₂ balance가스가 O₂주입에 따른 O와의 결합 때문에 초기 농도보다도 NO의 농도가 상승하게 된다.

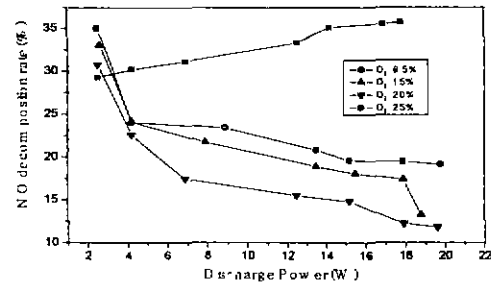


Fig. 9 O₂ influence on NO decomposition (SPCP, NO : 500ppm, Flow rate : 2L/min)

그림 10은 가스의 온도를 달리했을 때 NO 분해율에 대한 영향을 실험하였다. 이 실험에서 가스의 농도는 500(ppm)으로 하였고, 유량은 2(L/min)으로 하였다. 가스의 온도는 실내온부터 약 200(°C)까지 변화시켰다. 가스의 온도가 상승할수록 분해율이 저하된다는 결론을 얻을 수 있었다. 그림 11은 dry air 주입시 ozone의 생성을 실험한 그래프이다. dry air의 유량은 2(L/min)으로 한 결과 ozone은 1800(ppm)까지 생성되었다. 하지만 중첩시 주파수를 변화시켰을 때 ozone의 생성은 증가하지 않고 주파수와 관계없이 일정한 농도를 보이고 있다. 또한 O₂주입시 생성되는 ozone의 농

도는 다르지만 dry air의 주입시와 거의 같은 경향을 보이고 있다.

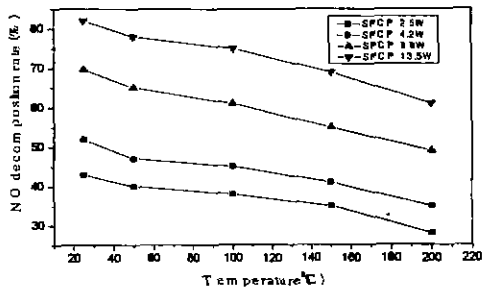


Fig. 10 Temperature effect on NO decomposition (SPCP, NO : 500ppm, Flow rate : 2L/min)

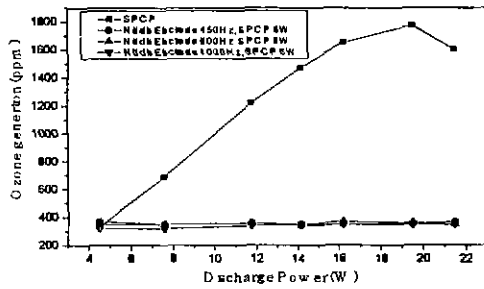


Fig. 11 Ozone generation in terms of dry air (Superposing discharge, dry air : 2L/min)

그림 12는 dry air 주입시 ozone과 NO₂ 생성관계를 나타내는 그래프로 ozone의 농도가 높아질수록 NO₂의 농도도 높아지는 것을 볼 수 있다.

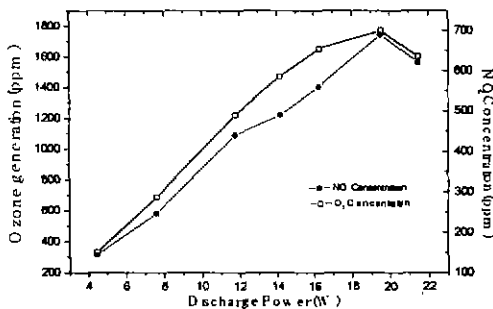


Fig. 12 Ozone and NO₂ generation in terms of dry air (dry air : 2L/min)

3. 결론

본 실험은 코로나방전과 연면방전을 결합한 이중구조로 중첩방전에 의한 배가스를 분해·분석하였다.

- ① 코로나방전과 연면방전을 중첩한 결과 상승효과를 있어 분해율에 있어서 낮은 5~15(%) 이상의 효율을 보여주고 있다.
- ② 연면방전에서 주파수가 높일수록 분해율은 상승하였지만, 중첩시 상부전극의 주파수는 낮을수록 분해율이 상승하는 것으로 나타났다.
- ③ O₂와 CO₂첨가시 NO의 분해율은 현저히 저하하는 것으로 나타났다.
- ④ 가스의 온도를 상승시켰을 때 NO가스의 분해율은 약 5(%)저하하는 것으로 나타났다.
- ⑤ 플라즈마 방전로에 dry air 주입시 ozone의 농도가 상승할수록 NO₂의 농도도 상승하였다.

(참고 문헌)

1. B.M Penetrante, M.C. Hsiao et al "Basic energy efficiency of plasma production in electrical discharge and electron beam reactors" Proceedings of NEDO Symposium on "Non-thermal Discharge Plasma Technology for Air pollution Control 1996 pp69~84
2. S.Masuda T.Oda et al "Decomision of gaseous organic contaminants by surface discharge induced plasma chemical processing-SPCP" in conf.Rec. '92 IEEE/IAS annual Meeting..1992, pp1570~1574
3. A.Mizuno, H.H.Kim et al "Experimental Approach to Enhance Efficiency of Non-thermal Plasma Process in Flue Gas Cleaning" Proceedings of NEDO Symposium on "Non-thermal Discharge Plasma Technology for Air pollution Control 1997 pp 1~14
4. L.Civitano "Industrial Application of Pulsed Corona Processing to Flue Gas" NATO ASI Series p103~130
5. T.Oda "NOx Treatment Using Non-thermal plasma, Catalyst, and Addition of Hydrocarbon" Proceedings of NEDO Symposium on "Non-thermal Discharge Plasma Technology for Air pollution Control 1997 pp122~131
6. T.Ohkubo, J.S.Chang et al "Time Dependence of NOx Removal Rate by a Corona Radical Shower System" IEEE Trans IAs 1996 vol.32 NO.5 pp1058~1062
7. 伊藤泰郎, 浦島邦子 et al "NOxの分解における放電重畳効果 T.IEE Japan, vol.116-A NO.8 1996 pp 678~683