복합촉매를 이용한 플라즈마 반응에 의한 황산화물의 제거에 관한 연구

A study of decomposition of sulfur oxides using Composite catalyst by plasma reactions

우 인 성*・황 명 환*・김 다 영*・김 관 중*・김 성 태*・박 화 용*
In-Sung Woo*・Myung-Hwan Hwang*・Da-Young Kim**
KwanJoong Kim*・Sung-Tea Kim*・Hwa-Young Park*

Abstract

In this study, a combination of the plasma discharge in the reactor by the reaction surface discharge reactor complex catalytic reactor and air pollutants, hazardous gas SOx, change in frequency, residence time, and the thickness of the electrode, the addition of simulated composite catalyst composed of a variety of gases, including decomposition experiments were performed by varying the process parameters. 20W power consumption 10kHz frequency decomposition removal rate of 99% in the decomposition of sulfur oxides removal experiment that is attached to the titanium dioxide catalyst reactor experimental results than if you had more than 5% increase. If added to methane gas was added, the removal efficiency increased decomposition, the oxygen concentration increased with increasing degradation rate in the case of adding carbon dioxide decreased.

Keyword : catalysis reactor, spcp reactor, sulfur oxides

* 인천대학교 안전공학과
Department of Safety Engineering Graduate School. University of Incheon

1. 서 론

최근 산업이 발전함에 따라 에너지 수요가 크게 증가하고 있으며 대부분의 에너지는 화석연료의 연소에 의한 발전에 의존하고 있다. 이러한 화석에너지의 사용이 급증하면서 화석에너지 연소의 부산물로 대기오염 물질들이 다량 배출되어 대기오염문제가 심각하게 대두되고 있다. 화력발전소와 자동차등에서 주로 배출되는 가스인 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx)은 산성비의 주요 원인인 동시에 광화학 스모그, 호흡기 질환등을 일으키는 원인 물질이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 대기오염 물질들을 취급하여 유해가스를 제거하는 방법인 산화환원법, 촉매법 등이 사용되어 왔으나 비용, 에너지 수급 등에 의해 많은 제약을 받고 있다. 따라서 대기환경 오염의 주원인인 이산화황(SO2) 등을 촉매 반응기(catalysis reactor)와 연면방전 반응기(SPCP reactor)를 방전시켜 발생하는 Plasma반응에 의하여 SOx 유해 가스를 분해 제거하고자 하였다.

2. 실험장치

2.1 실험장치

본 실험은 2가지 형태로 구분하여 SO2가스의 분해실험을 하였다. 먼저 catalysis reactor를 사용하지 않은 상태에서 SO2가스의 분해실험을 하였으며, 그 분석결과를 가지고 CaO, CuO, TiO2 catalysis reactor를 SPCP reactor와 같이 사용하여 SO2가스의 분해실험을 하였을 때의 분해제거효율(decomposition efficiency)을 비교분석 하였다.

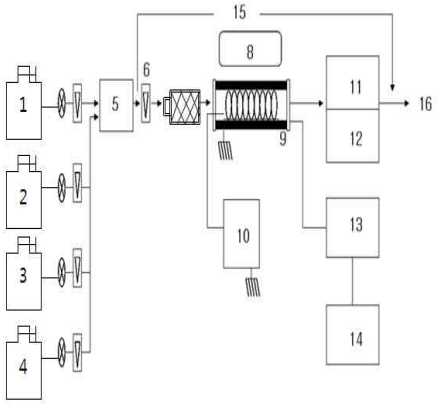
본 연구에서 사용한 촉매 반응기는 Figure.1, 2에서 보는 바와 같이 유효길이 150 mm, 안쪽직경 10 mm의 테프론 관을 사용하여 99.9% 촉매 반응기(CaO, CuO, TiO2 catalysis reactor)를 충전하여 연면방전 반응기(Surface discharge induced Plasma Chemical Process, SPCP reactor)에 연결한 후 실험 하였다.

2.1.1 Plasma에 의한 분해실험 장치

Plasma 방전에 의한 유해가스를 분해하기 위한 장치의 개략도는 Figure.1 과 같다. 시료가스와 기준가스는 유량계를 통하여 mixing tank로 도입되어 혼합된 다음 반응기로 주입된다. 반응기는 코일형 연면방전 반응기(SPCP reactor)를 이용하였고 발열 반응기에 의한 반응기의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 냉각 팬을 설치하였다.

방전에 필요한 전력은 High Voltage Power Supply(SIS electronics co, SHP6501)를 사용하여 전압범위에서 실험하고, 분해가스는 NOx, SOx분석기(Ecom-AC, Germany)를 사용하여 분석하였다.

시료가스의 분해 시 전압과 주파수는 고전압을 직접 측정할 수 없기 때문에 1,000 : 1로 전압을 낮추어 측정하기 위하여 Probe(PR30 AC/DC, England)를 사용하였으며, Oscilloscope (Hewlett Packard model 54601A, 500MHz)와 기록계를 사용하여 측정 확인하였다.



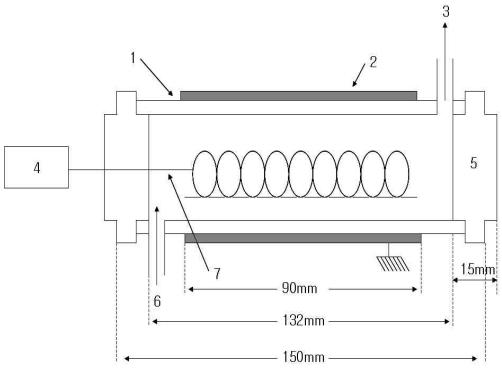
1. Sample gas
2. Air bombe
3. O_2 bombe
4. N_2 bombe
5. Mixing tank
6. Flow meter
7. Catalysis reactor
8. Cooling fan
9. SPCP reactor
10. H. V. Power supply
11. Gas analyzer N_2 bombe
12. Gas Chromatograph
13. H. V. probe
14. Oscilloscope
15. By-pass
16. Exhaust

Figure 1. Schematic diagram of expe rimental apparatus

3. 실험방법

본 실험에 사용된 표준시료 가스는 1,500ppm SO2(N2 base 99.95%)를 사용하여 실험하였다. 시료가스의 유량은 유량계에 부착된 조절밸브를 이용하여 N2, O2, 공기, 시료가스 및 첨가 가스(CH4)를 실험조건에 따라 조절하면서 혼합탱크에서 혼합하였으며, 혼합 한 가스는 유량계를 사용하여 100, 200, 300㎖/min로 유량을 변화시키면서 반응기에 주입하였다. 이 때 가스 분석기로 SO2의 농도를 측정 하였다. 가스의 농도는 순도 99.95%의 N2가스와 표준시료가스를 혼합하여 초기 농도 100, 200, 300 ppm으로 하여 정상상태가 되도록 일정시간 유지시킨 후 분해하였다.

실험은 상온, 대기압 하에서 하였으며 테프론을 이용하여 SPCP reactor를 밀봉하였으며 초기농도는 정상상태에 도달한 후 분석기로 확인 후 분해하였다. 입력전력은 Oscilloscope와 기록계로 파형을 관찰하며 전압과 전류를 상승시켜 반응기내에서 Plasma가 발생하는 최저 전력부터 증가시키며 실험 하였다. 입력전력을 일정하게 유지시킨 후 reactor를 통과한 시료가스 속에 있는 SO_2 의 농도가 거의 변화되지 않을 때의 측정값을 기록하였다.



1. Quartz (Di : 13 mm , Do : 15 mm)
2. Aluminum
3. Sample gas out
4. High voltage power supply
5. Teflon stopper
6. Sample gas in
7. Tungsten (9 mm)

Figure 2. Schematic diagram of discharge plasma reactor

실험변수는 촉매의 종류(CaO, CuO, TiO2), 주파수, 방전전력, 표준가스의 유량과 농도, 전극의 재질(W, Cu, AI), 전극의 굵기(1, 2, 3mm), 전극의 감은 횟수(7, 9, 11 회), 기준가스(N2, O2, air), 첨가물질(CH4)등을 변화시켰고, 실험변수의 기준 값은 시료가스의 농도 300ppm, 주파수 10kHz, 유량 200㎖/min, 전극재질을 W으로 전극의 굵기는 1mm, 감은횟수는 7회로 하였고, 기준 가스는 N2로 하였다. 이들 실험변수 중 기준 값을 고정하고 한 개의 변수만을 변화시키면서 실험을 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 SO_2의 분해

본 실험은 2가지 형태로 구분하여 SO2가스의 분해실험을 하였다. 먼저 catalysis reactor를 사용하지 않은 상태에서 SO2가스의 분해실험을 하였으며, 그 분석결과를 가지고 CaO, CuO, TiO2 catalysis reactor를 Figure. 1 그리고 Figure 2. SPCP reactor와 같이 사용하여 SO2가스의 분해실험을 하였을 때의 분해제거효율(decomposition efficiency)을 비교분석 하였다.

4.1.1 촉매의 영향

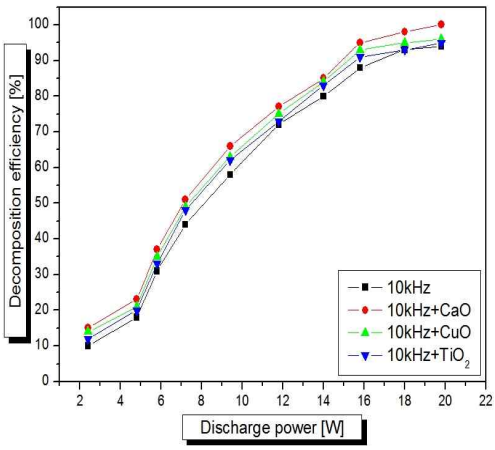


Figure 3. Effect of type of catalysis on decomposition efficiency of SO2 by SPCP reactor

Figure. 3은 CaO, CuO, TiO2 catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 1, 2에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 300ppm의 초기농도(initial concentration)와 200㎖/min의 유량(flow rate)그리고 N2를 기준가스(base gas)로 하여 실험을 하였다. 이때 촉매를 CaO, CuO, TiO2로 변화시켰을 때 10kHz의 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해제거율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다.

실험결과는 무촉매, CaO, CuO, TiO2 촉매로 실험하였을 때 각각 94.0%, 99.0%, 96.0%, 95.0%의 분해율을 보임에 따라 CaO(Calcium Oxide) 촉매를 사용하였을 때 가장 높은 분해제거율을 보이는 것을 알 수 있었다.

4.1.2 주파수의 영향

Figure. 4는 catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 1, 2에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 300ppm의 초기농도(initial concentration)와 200㎖/min의 유량(flow rate)그리고 N2를 기준가스(base gas)로 하여 실험을 하였다. 이때 주파수(electric frequency)를 5, 10, 20, 50kHz로 변화시켰을 때 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해효율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다.

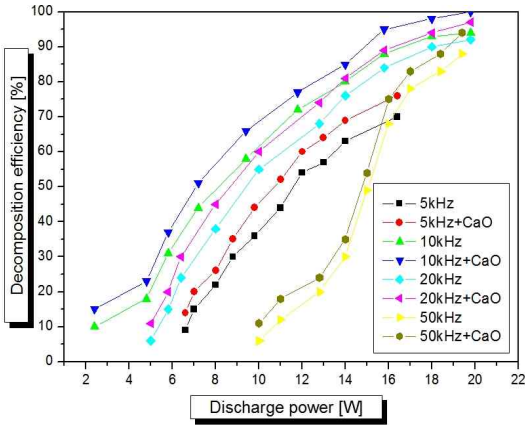


Figure 4. Effect of electric frequency on decomposition efficiency of SO2 by SPCP reactor with CaO catalysis

실험결과는 분해율의 변화가 방전전력을 커질수록 급격하게 증가하는 경향을 보였으며 주파수를 10kHz로 사용하였을 때 가장 높은 분해제거율을 나타내었다. 본 실험 범위 내에서는 주파수 10 kHz시 방전전력 19.8W에서 94.0%로 최대의 분해제거율을 나타냈으며 그리고 산화칼슘(Calcium, CaO) catalysis reactor를 첨가하여 실험을 한 결과 주파수 10kHz와 방전전력 19.8W에서 99%의 최대 가스분해제거율을 나타냈다.

방전출력이 커질수록 전류가 증가하여 분해효율이 처음에는 급속히 증가하다가 18~20W의 높은 방전출력 범위에서는 서서히 증가하는 것을 알 수 있었다. 20kHz 이상에서는 주파수가 증가함에 따라 분해제거율이 감소하는 것을 알 수 있었고, 5kHz의 저주파수에서는 분해제거율이 감소하였다. 그러나 5kHz 이하의 저주파수 범위 즉, 50~800Hz에서 NO가스의 분해 연구, 60~400Hz의 범위에서 NOx의 분해의 연구등의 저주파 영역에서의 연구결과는 주파수의 증가에 따라 분해제거율이 증가하였다. 결과적으로 10kHz를 분기점으로 저주파수 범위에서는 주파수가 커질수록, 고주파수 범위에서는 주파수가 작을수록 분해제거율이 커지는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 주파수의 변화는 10kHz와 18~20W의 높은 전력 값에서 높은 분해제거율을 보였기 때문에 이후의 실험은 모든 전력 범위에서 안정된 분해제거율을 갖는 10kHz를 기준 주파수로 하여 실험하였다.

4.1.3 방전전력에 의한 영향

Figure. 5은 산화칼슘(CaO) catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 8, 9에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 300ppm의 초기농도(initial concentration)와 10kHz의 주파수(electric frequency) 그리고 N2를 기준가스(base gas)로 하여 실험을 하였다. 이때 체류시간(residence time)을 10.5초로 하여 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해제거율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다.

실험결과는 방전전력(discharge power)이 19.0W일 때 가장 높은 분해제거율을 나타내었다.

SO2 가스의 체류시간이 길수록 즉, 유량이 작을수록 분해제거율이 높게 나타났으며, 그리고 전 단계에 산화칼슘(calcium oxide)을 첨가한 실험 시는 분해제거율이 조금씩 더 높게 나타났다.

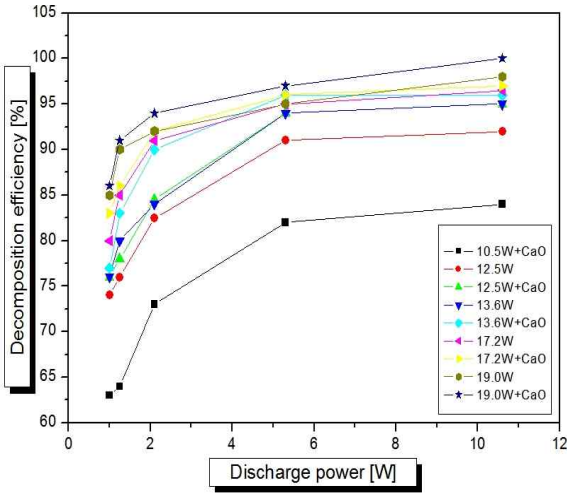


Figure 5. Effect of discharge power on decomposition efficiency of SO2 by SPCP reactor with CaO catalysis

4.1.4 농도에 의한 영향

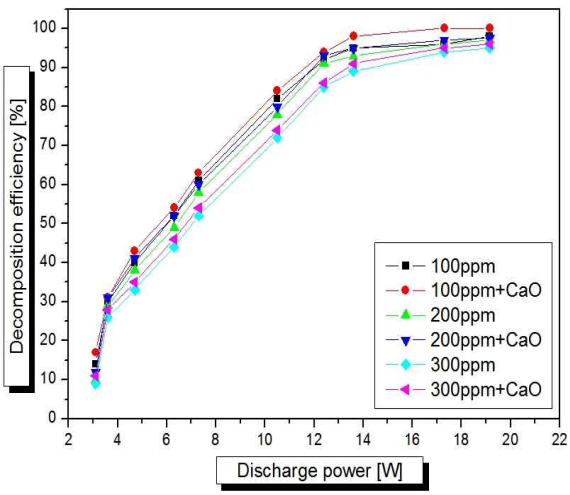


Figure 6. Effect of initial concentration of SO2 decomposition efficiency by SPCP reactor with CaO catalysis

Figure. 6는 산화칼슘(CaO) Catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 1, 2에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 200㎖/min의 유량(flow rate), 10kHz의 주파수(electric frequency) 그리고 N2를 기준가스(base gas)로 하여 실험을 하였다. 이때 초기농도(initial concentration)를 100, 200, 300으로 변화시켰을 때 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해제거율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다.

실험결과는 초기농도(initial concentration)를 100ppm 사용하였을 때 가장 높은 분해제거율을 나타내었다.

초기농도(initial concentration)가 작을수록 분해제거율이 높게 나타났으며 그리고 전단계에 산화칼슘(Calcium Oxide) catalysis reactor를 첨가한 실험의 경우에는 분해효율이 조금씩 더 높게 나타났다. 이것은 초기농도(initial concentration)가 작을수록 SO2 분자가 분해하는데 필요한 에너지가 커지기 때문이라고 사료된다. 이것은 기준가스와 충돌하여 생성된 N •, O • 및 OH • 라디칼이 NO분자와 반응하거나 자유전자가 직접 NO와 충돌하여 반응 할 수 있는 확률이 커지므로 분해제거율이 높게 나타나는 것으로 사료 된다. 이것은 펄스방전 Plasma에서 초기농도 100, 150, 및 200ppm에서 NOx의 제거를 연구한 角田 등의 연구 결과와 일치하였다.

4.1.5 전극의 재질에 따른 영향

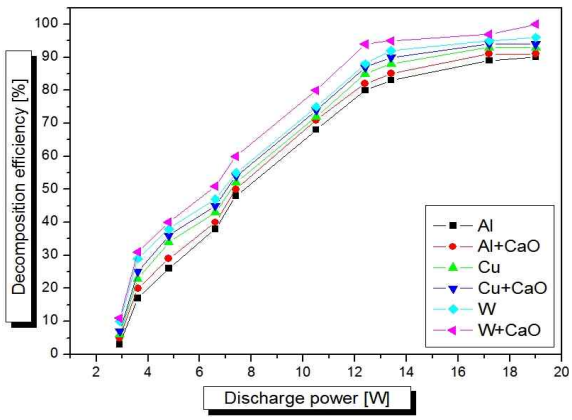


Figure 7. Effect of electrode material on decomposition efficiency of SO2 by SPCP reactor with CaO catalysis

Figure. 7는 산화칼슘(CaO) Catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 1, 2에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 300ppm의 초기농도(initial concentration)와 200㎖/min의 유량(flow rate), 10kHz의 주파수(electric frequency) 그리고 N2를 기준가스(base gas)로 하여 실험을 하였다. 이때 전극재질(electrode material)을 텅스텐(W), 구리(Cu), 알루미늄(Al)을 사

용하였을 때 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해제거율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다.

실험결과는 전극재질(electrode material)을 텅스텐(W)으로 사용하였을 때 가장 높은 분해제거율을 나타내었다.

그리고 전 단계에 산화칼슘(CaO) catalysis reactor를 첨가한 실험 시는 분해제거율(decomposition efficiency)이 조금씩 더 높게 나타났다.

이것은 전극재질의 전기저항이 높을수록 전극의 온도가 높아지므로 이온방전 즉, Plasma가 발생하기 쉽고 융점이 낮을수록 전극의 오염도가 커져서 다른 물질이 전극 표면에 침적되어 전극의 성능이 저하되기 때문이다.

4.1.6 전극의 굵기에 의한 영향

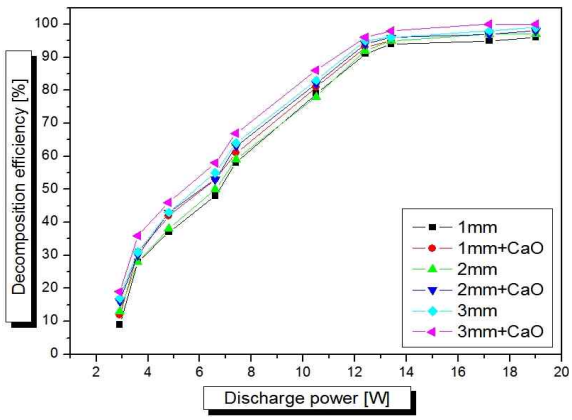


Figure 8. Effect of thickness of electrode material on decomposition efficiency of SO2 by SPCP reactor with CaO catalysis

Figure. 8은 산화칼슘(CaO) Catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 1, 2에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 300ppm의 초기농도(initial concentration)와 200㎖/min의 유량(flow rate), 10kHz의 주파수(electric frequency) 그리고 N2를 기준가스(base gas)로 하여 실험을 하였다. 이때 텅스텐(W)전극에서 전극의 굵기(thickness of electrode material)를 1, 2, 3mm로 변화 시켰을 때 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해제거율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다.

실험결과는 전극의 굵기(thickness of electrode material)를 3mm의 전극을 사용하였을 때 가장 높은 분해제거율을 보였다. 그리고 전 단계에 산화칼슘(CaO) catalysis reactor를 첨가한 실험 시는 분해제거율이 조금씩 더 높게 나타났다.

이것은 전극의 굵기가 굵을수록 방전을 일으키는 방전 면적이 증가하여 분해제거율이 증가하는 것으로 사료 된다.

4.1.7 전극의 감은 횟수의 영향

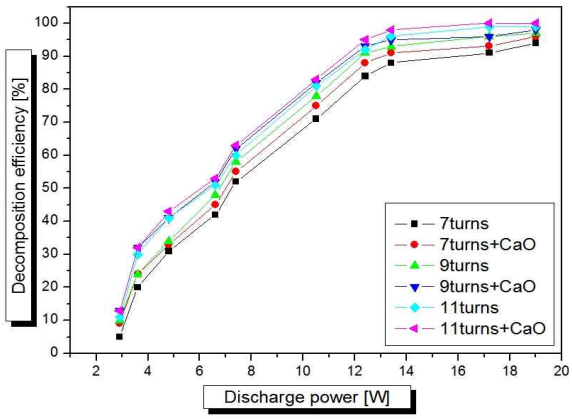


Figure 9. Effect of number of electrode turn on decomposition efficiency of SO2 by SPCP reactor with CaO catalysis

Figure. 9은 산화칼슘(CaO) Catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 1, 2에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 300ppm의 초기농도(initial concentration)와 200㎖/min의 유량(flow rate), 10kHz의 주파수(electric frequency) 그리고 N2를 기준가스(base gas)로 하여 실험을 하였다. 이때 텅스텐(W)전극에서 전극의 감은횟수(number of electrode turn)를 7, 9, 11회로 변화 시켰을 때 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해제거율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다.

실험결과는 전극의 감은횟수(number of electrode turn)를 11회 감았을 때 가장 높은 분해제거율을 나타내었다. 그리고 전 단계에 산화칼슘(CaO) catalysis reactor를 첨가한 실험 시는 분해제거율이 조금씩 더 높게 나타났다.

이것은 감은 횟수가 증가할수록 방전면적이 증가하고 코일 간격이 좁아져서 에너지가 증가하므로 코일의 주위에 Plasma의 발생이 증가하기 때문으로 사료되며 이것은 Oda 등이 1,000ppm의 트리클로로에틸렌 분해에서 21과 38회로 감은횟수를 변화시켜 분해제거율을 구한 연구에서도 확인할 수 있었다.

4.1.8 기준가스 변화에 따른 영향

Figure. 10은 산화칼슘(CaO) Catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 1, 2에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 300ppm의 초기농도(initial concentration)와 200㎖/min의 유량(flow rate), 10kHz의 주파수(electric frequency)로 하여 실험을 하였다. 이때 텅스텐(W)전극에서 기준가스(base gas) N2, 공기와 60vol.% 산소(O2), 75vol.% 산소(O2)로 변화시켰을 때 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해제거율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다.

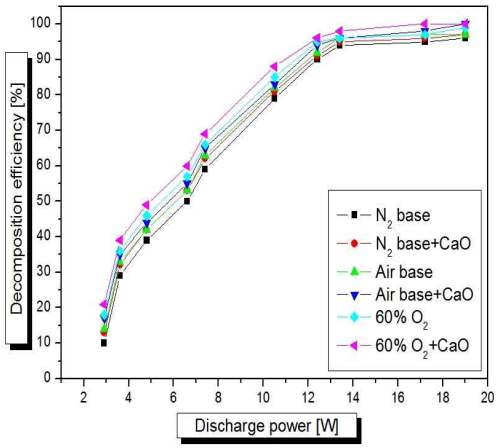


Figure 10. Effect of base on decomposition efficiency of SO2 by SPCP reactor with CaO catalysis

실험결과는 텅스텐(W)전극에서 60vol.% 산소(O2)일 때 가장 높은 분해제거율을 나타냈으며, 다음으로 공기 기준가스 및 N2기준가스의 순서로 SO2가스의 분해제거율이 감소하였다. 그리고 전 단계에 산화칼슘(CaO) catalysis reactor를 첨가한 실험 시는 분해제거율이 조금씩 더 높게 나타났다.

60vol% O2, 공기 기준가스의 순서로 분해제거율이 감소하였는데 이것은 산소분자가 많이 존재할수록 산소분자가 Plasma로부터 에너지를 받아 자유전자로 분해되고 NO와 라디칼 화학반응을 일으키므로 분해제거율이 증가하는 것으로 사료된다.

4.1.9 메탄가스 첨가에 의한 영향

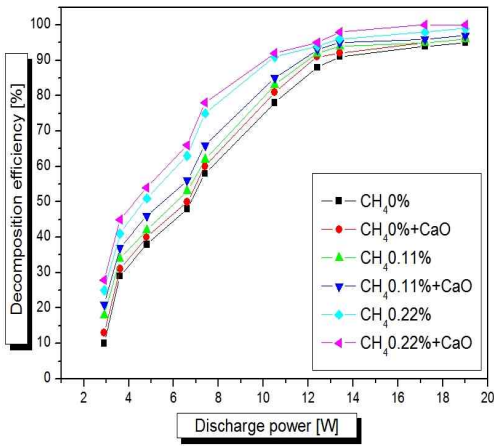


Figure 11. Effect of additive CH4 on decomposition efficiency of SO2 by SPCP reactor with CaO catalysis

Figure. 11는 산화칼슘(CaO) catalysis reactor 및 SPCP reactor를 이용한 유해가스 분해실험으로 Figure. 1, 2에서 보는 바와 같이 Plasma에 의한 가스분해 실험 장치를 설치한 후 300ppm의 초기농도(initial concentration)와 200㎖/min의 유량(flow rate), 10kHz의 주파수(electric frequency) 그리고 N2를 기준가스(base gas)로 하여 실험을 하였다. 이때 분해제거율을 높이기 위하여 메탄(CH4)을 0.00, 0.11, 0.22 vol.%로 첨가하면서 방전전력(discharge power)에 대한 SO2가스의 분해제거율(decomposition efficiency)을 나타낸 것이다. 실험결과는 메탄(CH4)을 0.22vol.%로 첨가 사용하였을 때 가장 높은 분해제거율을 나타내었다.

메탄을 첨가한 양이 커질수록 분해제거율이 증가하여 17.2~19.0W의 높은 전력에서는 100%의 분해제거율을 얻을 수 있었다. 그리고 전 단계에 산화칼슘(CaO) catalysis reactor를 첨가한 실험 시는 분해제거율이 조금씩 더 높게 나타났다.

5. 결론 및 기대효과

본 논문은 특수 설계된 Catalysis reactor와 SPCP reactor를 방전시켜 발생하는 Plasma에 의하여 촉매로 CaO, CuO, TiO2를 사용하여 SO2등의 유해가스를 농도, 유량, 주파수, 체류시간, 전극종류 및 촉매 등을 변화시켜 분해제거 실험을 수행하였으며 특히 산화칼슘(CaO) catalysis reactor를 첨가한 실험 시 분해제거율이 더 높게 나타났으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 촉매의 영향은 CaO > CuO > TiO2 순서였고, 산화칼슘(CaO) catalysis reactor와 SPCP reactor에 의한 SO2의 분해실험에서 10kHz의 주파수와 19.8, 20.0, 19.0 및 29.6W의 소비전력에서 최대 분해제거율은 각각 96.0, 87.0, 99.0 및 94.0% 이었으며 20kHz이상의 고전압에서 주파수가 커질수록 기준가스의 전도성이 증가하여 연면을 따라 전류가 부분적으로 흐르기 때문에 분해제거율이 감소하였다.

2. 산화칼슘(CaO) catalysis reactor에 의한 SPCP reactor 전극에 의한 분해제거율은 텅스텐 전극을 사용한 경우 가장 높은 분해제거율을 나타내었고, 구리, 알루미늄 전극의 순서로 분해제거율(decomposition efficiency)이 낮아졌으며, 방전 전극 굵기에 대한 영향은 전극의 두께가 굵을수록 증가하였다.

3. 산화칼슘(CaO) catalysis reactor와 SPCP reactor에 의한 SO2의 분해제거율은 농도 300ppm, 주파수 10kHz, 분해전력 19.8W일 때, SO2 97.0%로 SPCP reactor만 사용했을 때보다 높았다.

4. 실제 배기가스로 맞추기 위한 첨가물질의 영향은 메탄(CH4)을 첨가할수록 분해제거율은 증가하였고, 산소의 농도를 높일수록 증가하였다.

6. 참고문헌

[1] K. Shimizu and T. Oda, "NOx Treatment Using Non-Themal Plasma Catalyst and Addition of Hydrocarbons", Proc. of NEDO Symp. on Non-Thermal Discharge Plasma Technology for Air Pollution Control, pp. 122-131, 1997.

[2] 박성국, "Reduction and decomposition of hazardous NO_(x) and SO_(x) pollutants by discharging plasma with Titanium Oxide(TiO)", pp.50-80, 2008.

[3] 변영철 ,이기만 ,고동준 ,신동남"Removal Characteristics of NOx & SOx using Absorption Catalyst based Carbon",대한환경공학회지,Vol.33, No.1, pp. 39-46, 2011.

[4] Hwang seung Kwon, "A study on NOx reduction characteristics of LNT catalyst with fuel injection control in light-duty dieselengine", pp. 8-27, 2012.

[5] Geon seog son, Seung won yun, Seong Hyuk ko, Dae joong kim, Jae won song, Kwi young lee "A Study of Non-thermal Plasma Generation on a Photocatalytic Reactor Using a Ceramic Honeycomb Monolith Substrate ", 한국자동차공학회 논문집 pp. 48-54, 2002.

[6] Ki sung kim, Han uk kim, "A Study on the Characteristics of Flames in a Valve Driven Oscillating Combustion Burner ", 한국연소학회지, Vol.9, No3, pp.130-137, 2004.

[7] I. Hanchisuka, T. Yoshida, H. Ueno, N. Takahashi, A.Suda and M.Sugiura, "Improvement of NOx Storage-Reduction Catalyst," SAE Technical paper 2002-01-0732, 2002.

[8] A. Ogata, K. Mizuno, S. Kushiya ma, I. Tamori, and T. Yamamoto, "Behavior of Oxygen Species and Role of Ceramic Pellet-Surface in the Packed-Bed Plasma Reactor during Methane Destruction", Proc. of NEDO Symp. on Non-Thermal Discharge PlasmaTechnology for Air Pollution Control, pp. 33-43, 1997.

[9] Sang kwon sun, "A Study on Removal of NOx, SOx Using Non-therma l Plasma", 인천대학교 석사학위 논문, pp. 35-50, 1999.

[10] D. H. Lee, J. M. Oh, H. Y. Jeong, K. H. Lee and K. G. Yeo, "Spray Behavior and Distribution Characteristics in the Flow Field of Injector Used for HC-De NOx Catalyst System", Fall Conference Proceedings, KSAE, pp. 278-284, 2006.

[11] G. W. Nam, J. W. Park and J. H. Lee, "A Study of NOx Rduction System with NOx Storage Ctalyst," SAE07-S0039, pp. 258-263, 2007.

[12] R. W. Breault and C. McLarnon, "Reaction Kinetics for Flue Gas Treatment of NOx", NATO ASI Series, G34, Part B, pp. 239-259, 1993.

[13] 尹談 泰郎. "放電を利用した環境改善-放電發生法を中心と しで, 靜電氣學會誌, 2(1), pp. 2-4, 1997.

[14] 角田 和彦, 清水 孝太進郎, 柱 進司, 水野 璋, “パルス放電 プラズマによるディーゼル排ガス中のNOx除去", 靜電氣學會講 演論文集, 97, 16p B5, pp. 233-236, 1997.
[15] R. Gasparik. M. Gasparikova, S. Ihara, S. Satoh, and C.Yamabe, "Comparison of Tungsten, Copper, Stainless and Molybdenum Used as HV Electrodes in Wire-to-Plane System Designed for NOx Treatment", Proc. fo NEDO Symp. on Non-Thermal Discharge Plasma Technology for Air Pollution Control, pp. 143-154, 1997.
[16] 화학용어사전편찬회, “화학용어사전”, 2006.