

알루미나 반응기에서의 이산화탄소의 무성방전 특성

Silent Discharge Characteristics of CO₂ for Alumina Imbedded-Discharge Reactor

조문수* 곽동주

(Cho, Moon-Soo* and Kwak, Dong-Joo)

Abstract

Deep Interests have been paid on the application of non-thermal plasma technique to solve the environmental pollution problems. CO₂ is one of the severe pollutants which cause the acid rain and global warming.

In this study, in order to improve the conversion efficiency of CO₂, the streamer corona discharge plasma and barrier discharge plasma reactors were made, and the conversion characteristics of CO₂ by the corona discharge plasma and some discharge characteristics of these discharge chambers are studied experimentally.

Key Words : CO₂, silent discharge, streamer corona, dielectric barrier

1. 서론

최근, 석탄 화력 발전소와 관련한 DeSOx/DeNOx 문제를 비롯하여, 디젤 자동차의 배연 가스의 처리 등에 저온 플라즈마의 응용이 시도된 이래 많은 종류의 대기 오염 물질의 재처리를 위한 연구 및 방전관의 개발이 시도되어 왔다. 이들은 주로 분해하고자 하는 가스의 해리 및 전리 에너지를 고려하여 보다 효과적인 플라즈마화의 방법을 모색하고자 하는 연구이며, 그 결과 몇 가지의 방전 양식 및 반응기가 제안되고 있다. 즉, 비교적 낮은 전기 에너지의 주입으로 높은 변화 효율을 얻을 수 있는 NO_x 및 SO_x의 경우에는 스트리머 코로나방전이 효과적인 것으로 보고되고 있으며, 이에 따라 반응 공간 내에

극심한 불평등 전계를 형성하여 코로나 방전을 얻기 위한 침-평판 전극계를 채용한 반응기가 개발되어 있다.[1~3]

그러나, 원자들간의 결합력이 매우 큰 난분해성 물질의 경우, 예컨대 PFC공정의 VOCs(Volatile Organic Compounds : 휘발성 유기 화합물)는 수십 KJ/Liter의 전기 에너지를 부가하여도 제거율이 낮은 것으로 보고되고 있어, 비평형 플라즈마에 의한 이들 유해 가스의 재처리 공정을 위해서는 보다 강력한 방전의 실현이 필요하다.

한편 CH₄ 및 반도체공정에서 발생하는 CF₄, C₂F₆와 같이 난분해성 물질인 CO₂의 경우, 방전 전류가 비교적 큰 글로우방전으로 상당량의 환원이 가능할 것으로 생각되나, 일반적으로 대기 오염 물질의 생성 환경이 대기압보다 약간 높은 양압의 상태에서 발생하므로, 비교적 저기압 상태에서 방전의 발생 및 유지가 가능한 글로우 방전은 적용의 의미가 없다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 이산화탄소와 같은 난분해성

*경성대학교 전기전자공학과
(부산시 남구 대연동 경성대학교,
Fax: 051-624-5980,
E-mail: jms012 @ hanmail.net
djkwak @ star.ks.ac.kr)

물질의 효과적인 환원을 위하여 전극 간에 유전체를 삽입하여 교류전압을 가할 때, 유전체에 축적되는 벽전하의 영향으로 보다 낮은 전압하에서 방전의 발생 및 유지가 가능한 무성 방전을 이용하여 이산화탄소의 효과적인 환원의 가능성을 타진 해 보고자 한다. 또한 본 연구에서는 기존의 펄스 스트리머 코로나방전에 의한 결과도 함께 비교·검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1에 실험장치의 개략도를 나타낸다.

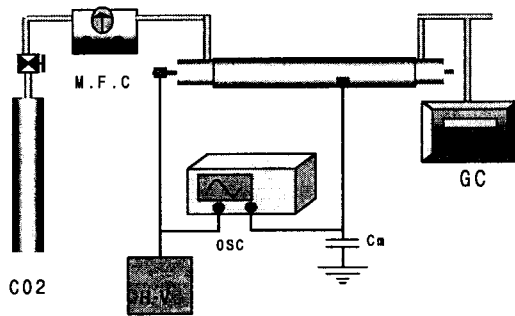


그림 1. 실험장치의 개략도

방전관의 부하 전압 및 전류는 1000:1의 고압프루부(Tektronix P6015A) 및 전류프루부(Tektronix TM502A) 그리고 오실로스코프(H.P 54540A)로 측정하고 그림 파일로 저장하였다. 본 실험에 사용된 전원은 모든 경우에 대하여 상용 주파수의 교류 전압 발생 장치(30kV, 6kVA)를 사용하였다.

반응가스는 순수 CO₂ (99.98%)를 사용하였으며, 가스분배에서 반응기로의 유입은 가스조절기로 원하는 유량을 조절하였고, 반응기를 통과한 가스는 연속적으로 배출되어 테프론 백에 포집되며, 포집된 가스는 활성탄 컬럼을 이용한 가스 분석기(GC, Shimadzu 8AIT)로 분석하였다.

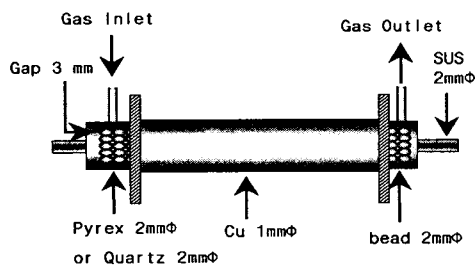
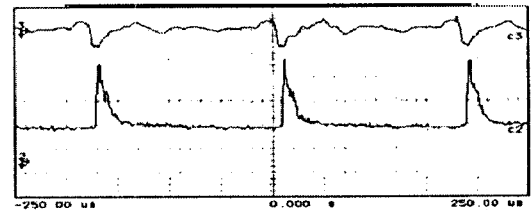


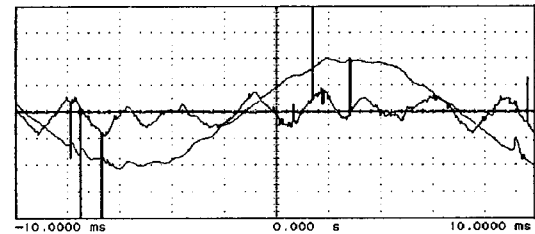
그림 2. 방전관 구조

그림 2는 무성 방전의 발생을 위한 방전관을 나타낸다. 방전관은 원통형이며, 본 연구에 사용된 유전체로는 유리(pyrex:reactor1), 석영(quartz:reactor2), 유리 bead(reactor3) 및 알루미늄(reactor4)을 사용하였다. 한편 코로나 방전 플라즈마 반응기는 5mm 두께의 아크릴제로 500×100×30mm의 직육면체 형태이고, 전극구조는 가능한 극심한 불평등 전계를 형성하기 위하여 다침(多針) 대 평판 전극계로 하였다. 즉, 고전압측 전극은 절연성이 강한 알루미늄 기판 위에 5mm의 간격으로 500개의 침전극을 사용하였으며 접지측 전극으로 구리 전극을 사용하였다. 접지측 전극은 연면에서의 불필요한 스파크를 억제하기 위하여 전극 면적을 고전압측 전극에 비하여 넓게 배치하였다.

3. 결과 및 고찰



(a) 코로나방전



(b) 무성방전

그림 3. 전형적인 코로나 및 무성방전시의 방전 전류의 파형

그림 3에 무성 방전 및 코로나 방전시의 전형적인 전압에 대한 전류의 파형을 나타낸다. 그림으로부터 우선 무성방전에 의한 전류파형은 전압의 극성변화에 따라 정(+), 혹은 부(-)의 주기적인 전류가 관측되었고, 전류의 발생 확률 및 크기가 매우 불규칙적이며, 전압이 상승하는 동안 매우 짧은 약 수 ns 정도로 계속 시간을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 발생되는 부분은 정(+), 혹은 부(-)의 상승부분에 발생하여 방전구간임을 알 수 있다.

한편, 무성 방전은 그 방전 특성이 시간적 그리고 공간적으로 매우 불규칙하게 발생하므로 본 연구의

방전 전류는 주어진 인가 전압과 유량의 조건하에서 여러 차례 시간적으로 파형을 분할하여 그 평균치로 정의하였다.



그림 4. 스트리머 코로나 방전의 외관

그림 4에 CO₂의 유량이 53sccm일 경우의 코로나 방전현상을 나타낸다. 12kVpeak에서 침전극 선단에서 발생된 코로나는 19kV에서 스트리머 상으로 진전되어 약 25kV에서는 전로 파괴에 이른다. 따라서 CO₂의 전환반응은 전로파괴 이전의 전압영역에서 실행하였다.

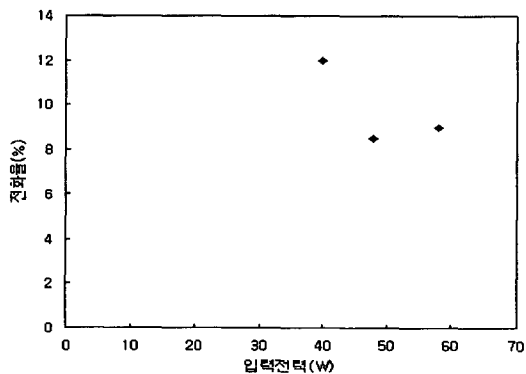


그림 5. 방전 전력에 대한 CO₂의 전환율

그림 5에 방전전력에 대한 CO₂의 전환율 특성을 나타낸다. 그림으로부터 코로나 방전 플라즈마에 의한 전환율은 약 8~10% 정도로, 방전 전력의 변화에 따른 정성적인 전환율의 변화는 인정할 수 없었으며, 최대 전환율은 방전전력 약 40W에서 11%로 비교적 저조한 전환율을, 에너지 수율은 코로나 방전의 개시 직후의 방전전력 40W에서 약 0.015[g/W·hr]정도로 비교적 양호하였으며, 이는 본 연구실에서

수행된 글로우 방전에 의한 이산화탄소의 전환특성 [4]의 결과 40% 정도의 전환율을 나타낼 때의 방전전력이 수 백 W정도로 코로나 방전전력에 비해 매우

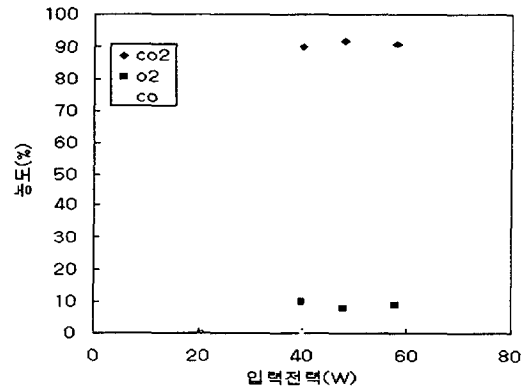


그림 6. 반응 후의 CO₂ 및 생성물의 농도

높았음을 감안하며, 대기 오염 물질의 처리와 관련하여 코로나 방전 플라즈마의 응용이 매우 효과적일 수 있음을 알 수 있다.

그림 6은 방전 전력의 증가에 대한 CO₂ 및 이에 따른 생성물의 변화를 나타내고 있다. 그림으로부터 반응의 결과, CO₂의 대부분이 CO 및 O₂로 전환되고 있음을 알 수 있다.

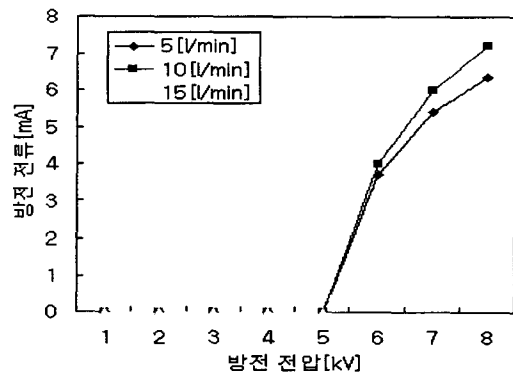


그림 7. 유량에 따른 이산화탄소의 입력전압에 대한 방전전류

그림 7에서는 이산화탄소의 유량을 매개변수로 하여 입력 전압에 대한 전류 특성을 나타내고 있다. 유량에 관계없이 6[kV] 부근에서 방전이 개시하며, 방전 전류는 입력전압이 증가할수록 거의 선형적으로 증가하고 10[l/min]의 유량 조건에서 주어진 전압 하의 전류가 가장 높게 형성됨을 알 수 있었다.

그림 8에 무성 방전시의 방전 전압-전류 특성에 미치는 유전체 재질의 영향을 나타낸다. 그림으로부터

터 방전개시전압은 약 6kV 정도로 큰 차이가 없으나, 방전 전류는 알루미늄을 사용한 경우가 일정 전

[4] 광동주의, 전기전자재료학회 논문지, vol.11 p.248, 1998

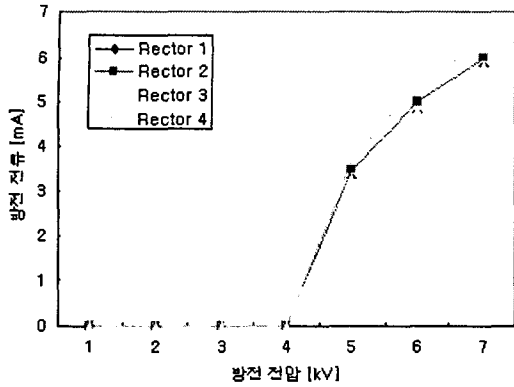


그림 8. 유전체에 따른 이산화탄소의 입력전압에 대한 방전전류

압하에서 보다 높은 전류를 형성하여, 이산화탄소의 전환특성과 관련하여 유리보다 석영이, 석영보다 알루미늄 유전체의 경우가 보다 높은 전화율을 나타낼 수 있음을 예상할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 이산화탄소와 같은 난분해성 물질의 효과적인 환원을 위한 원통형의 무성 방전관을 제작하고, 각 유전체에 따른 무성방전의 특성을 연구하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서의 무성 방전 특성을 알루미늄 방전관의 경우, 일정 전압하에서의 가장 큰 전류가 형성됨을 알 수 있었다.
- (2) 방전 전류는 방전 전압의 증가와 더불어 선형적으로 증가하였으며, 10[l/min]의 유량에서 잘 일어남을 알 수 있다.
- (3) 코로나 방전에 의한 반응 후의 CO₂ 농도는 방전 전력의 변화에 대한 정성적인 변화를 인정할 수 없었으며, 최대 전화율은 약 40W의 방전전력에서 11% 정도였다.

참고 문헌

- [1] A. Mizuno, et. al., IEEE Trans. on IA, 31, pp.957, 1995
- [2] K. Hujii, IEEE Trans. on PS, 20, pp.1,1992
- [3] N. Boukhalfa, Proc. 8th Int. Conf. on Plasma Chem., pp.787, 1987