

방전 플라즈마에 의한 이산화탄소 전환 효율 상승에 관한 연구

Study of the Increase of Conversion Efficiency of CO₂ by Discharge Plasmas

조문수, 곽동주

(Moon-Soo Cho, Dong-Joo Kwak)

Abstract

In this study, the plasma-assisted CO₂ conversion characteristics were investigated in the streamer corona discharge and silent discharge reactors with dielectric of Al₂O₃, to improve the conversion efficiency CO₂. Some discharge characteristics of CO₂ as parameters of gap spacing and applied voltage frequency, in both corona and silent discharge reactor were also obtained.

The maximum CO₂ conversion rate was 10.1 [%] under the 5.2 [W] of discharge power and 250 [Hz] of applied voltage frequency.

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

2. 실험

1. 서론

지구 온난화 현상의 주범으로 배출의 억제가 강력히 요구되는 CO₂의 경우 BDE(Bond Dissociation Energy)가 매우 큰 화합물로서, CH₄ 및 반도체 공정 중에 발생하는 CF₄, C₂F₆와 같이 기존의 펄스 스트리머 코로나 방전의 시도 이외에 새로운 양식의 방전 응용이 요구되고 있다.

이에, 본 연구에서는 난분해성 물질인 이산화탄소의 전환 효율 상승을 위해 비교적 낮은 전기에너지의 주입으로 높은 변화 효율을 얻을 수 있는 코로나 방전과 전극간에 유전체를 삽입하여 교류전압을 인가할 때 유전체의 축적되는 벽 전하의 영향으로 보다 낮은 전압 하에서도 방전의 발생 및 유지가 가능한 무성 방전을 이용하여, 보다 효율적인 이산화탄소의 전환을 연구하고자 한다.

2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 그림 1에 나타낸다.

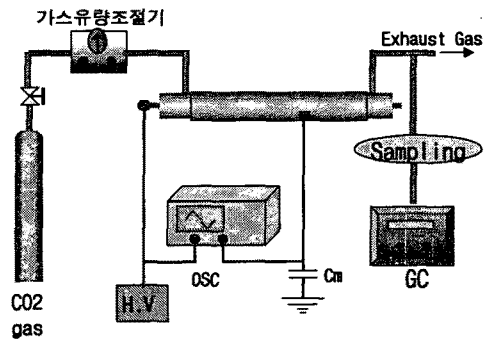


그림 1. 무성 방전 실험장치의 개략도.

Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup for silent discharge.

경성대학교 전기전자공학과
(부산광역시 남구 대연동 110-1)
Fax: 051-624-5980
E-mail : jms012@hanmail.net
djkwak@star.ks.ac.kr

방전관의 부하 전압 및 전류는 1000:1의 고압푸르부(Tektronix P6015A) 및 전류푸르부(Tektronix TM502A) 그리고 오실로스코프(H.P 54540A)로 측정하고 그림 파일로 저장하였다. 본 실험에 사용된 전원은 모든 경우에 대하여 고주파 교류 전압 발생 장치(1kHz, 30kV, 3kVA)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 Porapak Q 컬럼을 이용한 가스 분석기(GC, 영인과학 680D)로 분석하였다.

방전시의 전력은 Digital Power Analyzer (Voltech PM3300)을 사용하여 측정하였다.

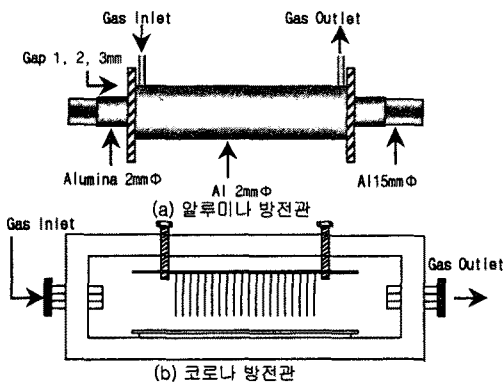


그림 2. 방전관의 구조.

Fig. 2. Structure of discharge reactor.

그림 2는 무성 방전의 발생을 위한 방전관과 코로나 방전 플라즈마 반응기를 나타낸다. 방전관은 원통형이며, 무성방전의 경우 유전체로 알루미나를 사용하였다. 한편 코로나 방전 플라즈마 반응기는 5[mm] 두께의 아크릴재로 500×100×70[mm]의 직육면체 형태이고, 전극구조는 가능한 극심한 불평등 전계를 형성하기 위하여 다침(多針) 대 평판 전극계로 하였다. 즉, 고전압측 전극은 절연성이 강한 알루미나 기판 위에 10[mm]의 간격으로 200개의 침전극을 사용하였으며 접지측 전극으로 구리 전극을 사용하였다. 두 전극 사이에 유전체로 1[mm] 두께의 아크릴을 삽입하였고, 접지측 전극은 연면에서의 불필요한 스파크를 억제하기 위하여 전극 면적을 고전압측 전극에 비하여 넓게 배치하였다.

3. 결과 및 고찰

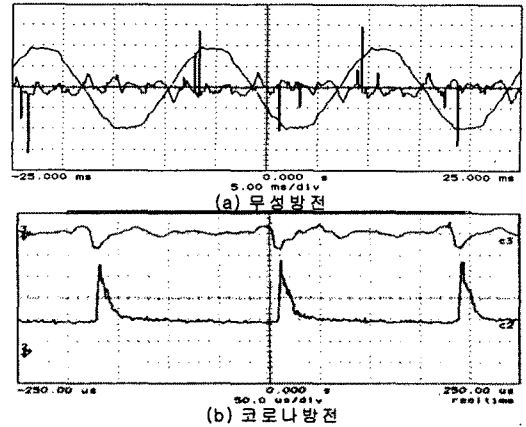


그림 3. 무성 방전 및 코로나 방전의 전형적인 전압과 전류의 파형.

Fig. 3. The waveforms of voltage and current for silent discharge and corona discharge.

그림 3에 무성 방전 및 코로나 방전시의 전형적인 전압에 대한 전류의 파형을 나타낸다. 그림으로부터 우선 무성 방전에 의한 전류 파형은 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 정도의 계속 시간을 나타내고 있음을 알 수 있다.

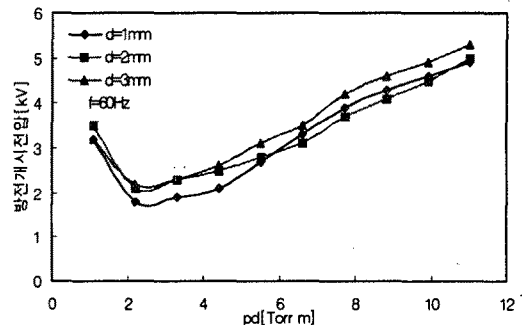


그림 4. 이산화탄소의 파셴 곡선.

Fig. 4. Paschen curve of pure CO₂ gas.

한편 무성 방전은 방전의 발생이 시간적 그리고 공간적으로 매우 불규칙하므로 본 연구에서의 방전 전류는 주어진 인가 전압 및 유량의 조건하에

서 여러 차례 시간적으로 파형을 분할하여 그 평균치로 정의하였다.

그림 4에 원통형 무성 방전관의 CO₂ 가스의 파센 곡선을 나타낸다. 파센 곡선은 일정한 전극 간격 하에 1.1[Torr·m]에서 12[Torr·m]까지 압력을 변화할 때의 방전 개시 전압을 구하였다. 결과 (pd)_{min}은 2200[Torr]정도였으며, 이때의 가스 유량은 약 2[L/min]이었다. 즉, 본 연구에서의 효율적인 CO₂의 전환을 위한 가스 유량은 1[L/min]에서 5[L/min]의 범위로 결정하였다.

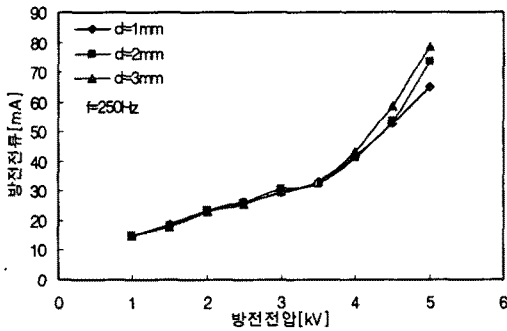


그림 5. 전극간 거리에 대한 방전 전압-전류 특성.
Fig. 5. Discharge voltage vs. discharge current characteristics with 3 gap spacings.

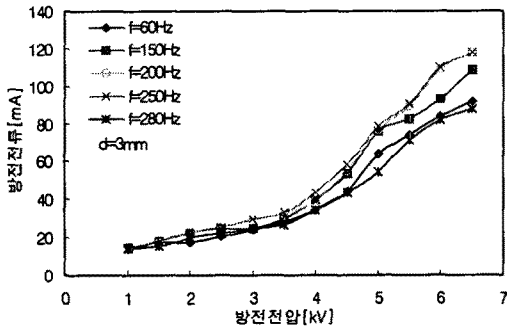


그림 6. 주파수에 대한 방전 전압-전류 특성.
Fig. 6. Discharge voltage vs. current characteristics at several voltage frequencies.

그림 5에 알루미늄 유전체를 가진 무성 방전관의 방전 전압에 대한 방전 전류 특성을 전극간 거리(1, 2, 3mm)를 매개 변수로 나타내고 있다. 그림으로부터 CO₂의 방전 전류는 전압의 증가와 함께 완만하게 상승하였으며, 방전 전류의 범위는 약 10

[mA]~80[mA]정도였다. 한편, 일정 전압하의 방전 전류는 전극 간격에 관계없이 거의 일정하나 CO₂의 전환이 활발히 일어나는 약 4[kV] 이후부터 전극간격이 길수록 방전 전류는 증가하는 경향을 보이고 있다.

그림 6에 무성 방전시의 방전 전압-전류 특성에 미치는 주파수의 영향을 나타낸다. 그림으로부터 주파수 250[Hz]일 때 방전 전류가 가장 높은 것을 알 수 있으며, 이는 주파수가 증가하면 전자 및 양이온이 바로 전극으로 흘러가지 않고 방전 공간 내에 체류시간이 길어지게 되며, 결국 유전체 표면에 축적되는 벽 전하(wall charge) 효과가 더욱 강화되어 내부 전계가 강해져서 방전 전류가 상승하게 되는 것으로 생각된다.

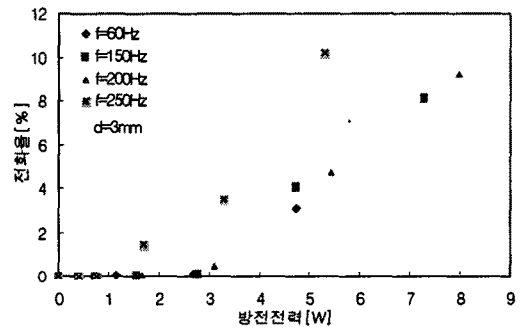


그림 7. 무성 방전관의 방전 전력에 대한 CO₂의 전환율에 미치는 주파수 효과.

Fig. 7. Frequency effect on CO₂ conversion to discharge power in silent discharge tube.

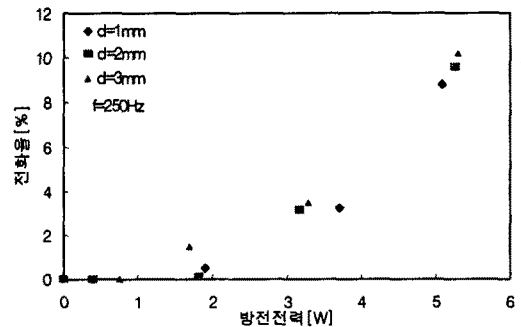


그림 8. 무성 방전관의 방전 전력에 대한 CO₂의 전환율에 미치는 전극 간격 효과.

Fig. 8. Effect of electrode distance on CO₂ conversion in silent discharge tube.

그림 7과 그림 8에 무성 방전관의 방전 전력에 대한 CO₂의 전환율에 미치는 주파수 및 전극간 거리의 효과를 나타낸다. 전환율은 다음 식에 의해 산정 하였다.

$$\text{전환율} = \frac{\text{유입 CO}_2 \text{농도} - \text{유출 CO}_2 \text{농도}}{\text{유입 CO}_2 \text{농도}} \times 100(\%)$$

그림으로부터 주파수 및 전극간 거리가 증가함에 따라 일정 방전 전력하의 전환율은 높았으며, 최대 전환율은 전극 간격 3[mm], 주파수 250[Hz]일 때 10.1[%]로 방전 전력은 5.3[W]였다.

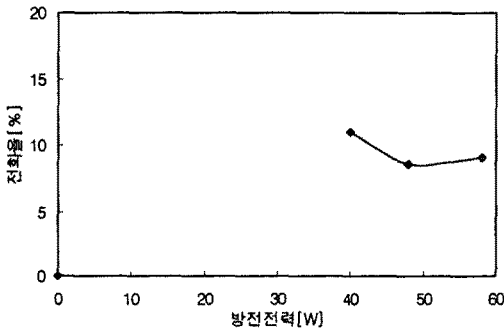


그림 9. 코로나방전에 의한 CO₂의 전환율의 변화.

Fig. 9. Variation of CO₂ conversions with corona discharge.

한편, 그림 9에 코로나 방전 플라즈마에 의한 CO₂의 전환율 특성을 나타낸다. 코로나 방전에 의한 전환율은 약 8~10[%] 정도로, 방전 전력의 변화에 따른 정성적인 전환율의 변화는 인정할 수 없었다. 또한 최대 전환율은 방전 전력 약 40[W]에서 11[%]정도로, 무성 방전 플라즈마에 의한 최대 전환율과 비슷하였다. 그러나 단위 시간, 단위 전력당의 가스 반응량을 나타내는 에너지 수율은 0.015[g/W·hr] 정도로 무성 방전의 0.0019[g/W·hr]에 비해 상대적으로 저조한 결과이다. 즉, 코로나 방전의 경우 무성 방전에 비해 전력 소모가 다소 크다는 것을 알 수 있으며, 에너지 효율 또한 떨어짐을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 이산화탄소와 같은 난분해성 물질의 효과적인 환원을 위해 알루미늄 유전체를 사용한 원통형 방전관을 제작하고, 각 방전관에 따른

무성 방전의 특성을 연구하였다. 또한, 다침(多針) 대 평판형 전극 사이에 아크릴 유전체를 삽입한 반응기를 제작하고 방전의 특성을 연구하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 파센 곡선의 (Pd)_{min}은 2200[Torr] 정도였으며, 효율적인 CO₂의 전환을 위해 가스 유량을 1[L/min]에서 5[L/min]의 범위로 결정하였다.
- (2) 무성 방전에서 주파수가 증가하면 방전관 내에 전자 혹은 이온이 체류할 시간이 길어지며, 결국 방전 공간에서의 내부 전계를 강화하여 방전 전력을 증가시킨다.
- (3) 무성 방전관 전극간격 3[mm]에서 순수 CO₂의 방전 전력에 대한 전환율은 방전 전력 5.3[W]일 때 10.1[%]이다. 이는 코로나 방전의 방전 전력은 약 40[W]에서의 11[%]의 전환율에 비해 상당히 효율적인 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 박진원, 이승무, "이산화탄소에 의한 지구온난화와 대책기술의 연구동향", 화학 공업과 기술, 제 11 권, 제 4 호, p. 2~8, 1993.
- [2] IPCC(Intergovernment Panel on Climate Change), The IPCC Scientific Assessment, WHO / UNEP. Cambridge, England, pp. 1~40(1990).
- [3] K. Hujii, IEEE Trans. on PS, 20, pp.1,1992
- [4] N. Boukhalfa, Proc. 8th Int. Conf. on Plasma Chem., pp.787, 1987
- [5] M. Matsumaru, Trans. IEE Japan, Vol. 113-A, No.2, pp.77, 1993