

글라이딩 아크 플라즈마를 이용한 SF₆ 가스의 분해

노임준¹, 신백균¹, 정영식², 임현찬³, 박구범⁴, 박종관⁴, 육재호⁴, 조기선⁴, 이덕철¹
 인하대학교 전기공학부¹, 인천대학교², 대구공업대학³, 유한대학⁴

SF₆ gas decomposition using gliding arc plasma

I.J. No¹, P.K. Shin¹, Y.S. Jeong², H.C. Lim³, G.B. Park⁴, J.K. Park⁴, J.H. Yuk⁴, K.S. Cho⁴, D.C. Lee¹
 INHA Univ.¹, Incheon Univ.², Daegu Technical College.³, Yuhan College⁴

Abstract - 교류 펄스전압을 이용하여 글라이딩 아크 플라즈마 반응기에서 지구 온난화의 주요 원인으로 꼽히는 PFCs(Perfluoro compounds) 가스의 일종인 SF₆에 관한 분해 연구를 하였다. 가스의 농도를 조절하기 위하여 압축공기를 사용 하였고 각각의 유량을 MFC를 통하여 조절하였다. 반응기 내의 양전극사이에 인가하는 전압을 아크가 발생하는 7kV~10kV 사이를 1kV 단위로 가변하였고 유량을 변화시켜가며 실험한 결과 높은 전압과 낮은 유량일 때 높은 분해율 특성을 보였다. 기본 방전 특성을 오실로 스코프를 통하여 관찰 분석하였다. 각 가스들의 분해율과 분해후 가스 성분분석은 글라이딩 아크 플라즈마와의 반응후 가스를 포집하여 FT-IR을 통하여 분석 하였다.

1. 서 론

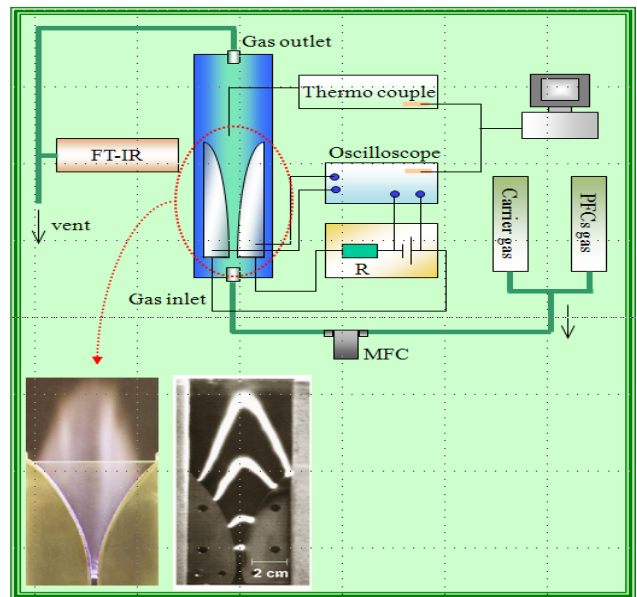
최근 지구 온난화에 대한 관심과 우려가 높아지고 있다. 그에 따라 지구 복사열의 방출을 막음으로써 지구 온난화 현상을 유발시키는 물질의 발생을 억제하는 기술 및 발생된 물질을 처리하는데 필요한 효율적인 기술의 필요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 물질로써 이산화탄소와 PFC를 들 수 있다. 그중에서 과불화 탄소(PerFluoro Carbon) 또는 과불화 화합물(PerFluoro Compound)이라고 불리는 PFCs(PerFluoro Compound) 가스는 다수의 불소가 포함된 가스로서 CF₄, C₂F₆, C₂F₈와 같이 탄소를 포함한 경우와 NF₃, SF₆와 같은 무기성 가스로 구분할 수 있다. PFCs는 반도체나 LCD 같은 Display 소재 제조공정으로부터 배출 가스 중 식각(Etching) 및 증착(CVD)공정에서 차지하는 비중이 크며 높은 안정성 및 지구온난화 지수로 인하여 환경적 문제가 되고 있다. 산업의 여러 공정에서 폭 넓게 이용되고 있으며, 하지만 PFCs는 상대적으로 안전하고 독성은 없으나, 지구상에서 분해되는 시간이 약 1,000~10,000년 이상 걸리기 때문에 지구에 잔존하는 시간이 상당히 길며, 이 PFCs는 지구의 복사열의 방출을 막아서 지구 온난화 현상을 일으킨다. 지구온난화 물질은 이산화탄소가 대표적이며, 총량 규모에서 PFCs보다 훨씬 많다. 하지만 이산화탄소는 그 발생 장소가 다양하여 발전소, 소각로, 자동차, 일반가정, 산업전반에서 생성되므로 그 억제가 사실상 불가능한 현실이다[1]. 그러나 PFCs의 경우는 배출량이 이산화탄소의 수천분의 1 정도이며 발생하는 장소가 대부분 반도체 산업이나 변압기사업에 국한되어 있기 때문에 그 처리가 기술적으로 가능하다. 그래서 현재 배출가스에 대한 분해기술을 비롯하여 회수 및 대체 물질 개발에 관한 연구가 필요하다[2]. 현재 PFCs 분해기술은 수소를 이용한 고온소각법이나 아크 또는 RF와 같은 고온 플라즈마를 이용한 기술이 개발되고 또한 저온 플라즈마를 이용한 플라즈마분해법, 약제 처리법, 흡착제거법, 저온 냉동법 등의 처리 기술 연구가 활발히 진행 중이다. 여러 분해기술 중 글라이딩 아크 플라즈마를 이용한 화학적 분해반응은 난분해성 물질인 PFCs를 강력한 에너지인 플라즈마를 이용하여 분해하는 방법으로 플라즈마는 거의 모든 난분해성 물질을 분해할 수 있을 뿐 아니라 현재 주로 사용되고 있는 비열평형 플라즈마뿐만 아니라 열평형 플라즈마의 성질을 복합적으로 나타냄으로서 각 상태의 특성을 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다[3]. 본 연구는 글라이딩 아크 플라즈마를 이용하여 PFCs 가스중 SF₆를 분해하여 저비용 고효율의 최적화를 위한 전반적 기초 데이터와 분해 반응의 전압에 따른 방전 특성을 해석하는 연구를 진행하였다.

2. 본 론

2.1 실험 장치

<그림 1>은 실험장치의 구성도를 나타내었다. 반응관은 내경 95mm 길이 300mm의 파이렉스관을 사용하였다. 반응관의 위와 아래는 베이크라이트 판으로 실링하였다. 반응관 내의 전극은 길이 150mm, 재질은

SUS-304, 전극의 최대간격이 20mm인 칼날모양의 전극을 이용 하였다. 반응관내 설치된 전극은 최소 근접 간격을 2.5mm로 하였고 반응 가스는 양전극 사이에 내경이 2mm인 튜브를 통하여 직접 분사하였다. 이때 튜브와 전극간의 거리는 5mm로 설치하였다. 플라즈마 발생전원은 Short pulsed power generator(EN TECHNOLOGIES, IHP-1002)를 이용하여 아크방전을 발생시켰다. 전원 발생장치의 출력 주파수는 40kHz, On time을 5μsec 로 고정시켰다. 실험에서 글라이딩 아크 플라즈마 방전관으로 인가하는 전압은 아크가 발생하는 전압 7kV~10kV 로 가변하며 실험하였다. 반응관에 투입되는 가스의 유량은 MFC(mass flow meter, Sierra c100)와 ball-flowmeter를 사용하여 조절하였다. 반응관 내에서 아크 방전 플라즈마에 의해 분해된 가스는 방전관과 연결된 튜브에 의해 FT-IR로 포집되어 분해후 가스의 분해율을 관찰하였고 분해후 가스 내에 남아있는 성분들을 분석하였다. 또한 아크방전 전후의 전압전류 파형을 digital oscilloscope (Tektronix, TDS 3012G), Current probe(Tektronix, TCP303), high voltage probe(Tektronix, P6015A)를 이용하여 측정하였다.



<그림 1> 장치 구성도

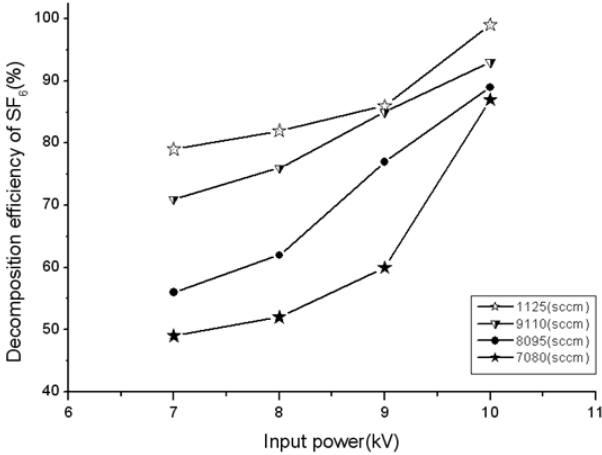
2.2 분해 가스

분해를 위한 모의가스로는 과불화 탄소라 불리는 PFCs의 일종인 SF₆를 사용하였다. 고 순도의 공기와 SF₆를 각각 ball-flowmeter와 MFC (mass flow controller)를 조절하여 혼합 챔버로 유입된후 공기와 충분히 혼합된 SF₆가스가 반응기로 흘러가는 유량을 이 실험에서는 7080sccm, 8095sccm, 9110sccm, 1125sccm 으로 각각 조절하여 실시하였다. 분해된 가스의 분해율을 분석하기 위해 도입된 기체의 농도는 5000ppm으로 고정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 SF₆ 분해

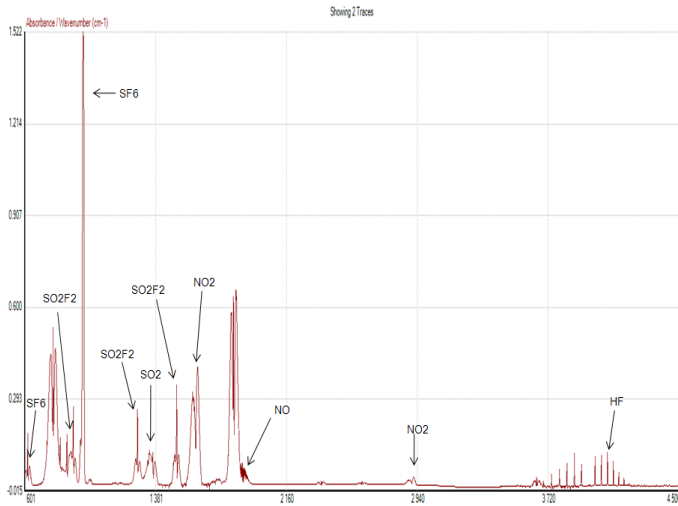
글라이딩 아크 플라즈마가 발생하는 전극의 양단에 걸리는 전압을 아크가 발생하는 전압 7kV~10kV까지 1kV씩 증가시켰고 각각의 전압마다 고순도의 공기와 혼합된 SF₆ 가스를 7080sccm, 8095sccm, 9110sccm, 1125sccm으로 변화시키며 분해를 하였다. 분해된 가스는 FT-IR을 통하여 분해율을 분석하였다. 이때 도입된 기체의 농도는 5000ppm 이다.



〈그림 2〉 아크방전 인가전압과 유량의 따른 SF₆의 분해율

그림 2는 글라이딩 아크 플라즈마를 발생시키기 위해 반응기에 인가된 전압의 변화에 따른 분해율을 나타낸 그래프로써 각각의 SF₆ 가스의 유량별로 나타내었다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 SF₆ 가스의 분해는 인가전압이 높고 유량이 낮을수록 분해율이 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한 글라이딩 아크 플라즈마를 이용하여 SF₆ 가스를 99% 이상의 높은 분해처리 능력을 확인할 수 있었다.

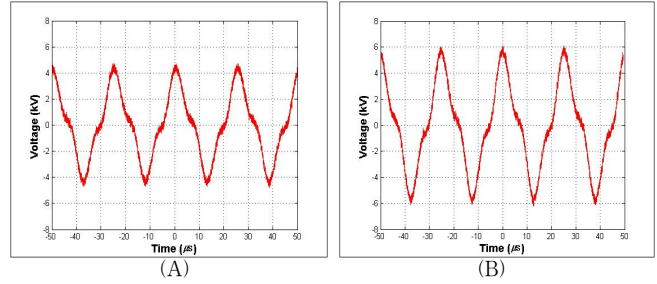
3.2 분해후 가스내 성분



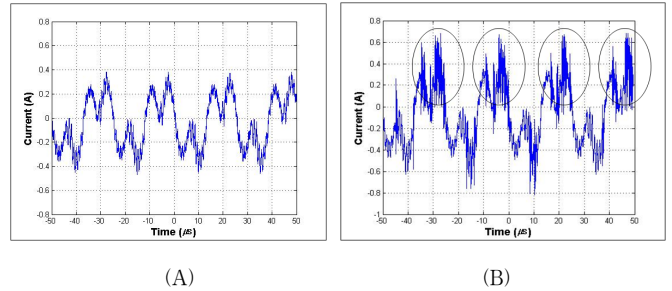
〈그림 3〉 FT-IR을 이용한 분해후 가스내 성분분석

그림 3은 반응기내 전극에 인가되는 전압이 10kV이고 SF₆와 공기의 유량이 7080sccm의 조건에서 글라이딩 아크 플라즈마를 발생시켜 분해된 가스내에 성분을 FT-IR을 통해 분석한 스펙트럼이다. 위 그림에서 보는 바와 같이 각각의 피크에 따른 성분들이 분석 되었다.

3.3 아크방전 전후의 전류, 전압파형



〈그림 4〉 아크방전 전후의 전압파형; (A)방전 전; (B)방전 후



〈그림 5〉 아크방전 전후의 전류파형; (A)방전 전; (B)방전 후

Digital oscilloscope를 이용하여 전극의 아크가 발생 직전과 발생 직후의 전압, 전류파형을 Probe를 이용하여 측정하였다. 그림 4,5는 측정된 전압, 전류 파형을 나타낸 것으로서 그림 4의 그림에서 알 수 있듯이 전압은 아크방전 전과 후의 차이를 확인할 수 없었다. 반면에 그림 5에 나타난 전류파형에서는 방전 전과 후의 차이를 확인할 수 있었다. 그림 5에서 B의 파형에 원으로 표시한 지점의 강하고 우세한 진동성 전류들이 많아진 것을 확인할 수 있다. 이것은 아크방전이 일어나는 순간에 전압은 급격히 떨어지고 전류는 급격히 증가한다. 이러한 절차가 연속적으로 발생하는 데에서 그이유로 설명할 수 있다.

4. 결 론

글라이딩 아크 방전 플라즈마를 이용하여 PFCs의 일종인 SF₆ 가스를 분해하였다. 반응기내 전극에 인가된 7kV~10kV전압을 1kV씩 가변하였고 SF₆가스를 고순도 공기와 혼합하여 유량을 7080sccm, 8095sccm, 9110sccm, 1125sccm로 MFC를 조절하여 반응관 내로 직접 분사시켰다. 글라이딩 아크 방전 플라즈마에 의해 분해된 가스를 포집하여 FT-IR로 분해율을 분석한 결과 전극사이의 인가전압이 높고 유량이 작을수록 분해율이 높은 것을 확인하였다. 특히 인가전압 10kV에 SF₆ 가스를 1125sccm을 흘려주었을 경우 99% 이상의 높은 분해율을 보였다. 이것으로 보아 글라이딩 아크 방전 플라즈마 분해장치는 PFCs 가스를 사용하는 저비용 고효율의 가스 분해 장치를 희망하는 산업현장에서 응용가능성이 충분한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 산업자원부 지정 인하대학교
열플라즈마환경기술연구센터의 2008년도 지원에 의한 것임

[참 고 문 헌]

- [1] A. A. Fridman, et al., "Gliding arc gas discharge", Prog. Energy Combust. Sci, 25, 211, 1999
- [2] O. Mutaf-Yardimci, et al., "Thermal and nonthermal regimes of gliding arc discharge in air flow", J. Appl. Phys. 87, 4, 2000
- [3] Gherardi N, et al., " Mechanisms Controlling the Transition from Glow Silent Discharge to Streamer Discharge in Nitrogen", IEEE Trans. Plasma Sci., 29, 536, 2001