

## PFCs가스 분해처리를 위한 글라이딩 아크 플라즈마 응용

노임준<sup>1</sup>, 신백균<sup>1</sup>, 박동화<sup>1</sup>, 김형권<sup>2</sup>, 이상희<sup>3</sup>, 박종국<sup>4</sup>, 강대하<sup>5</sup>, 김진식<sup>6</sup>  
 인하대학교<sup>1</sup>, 한국소방검정공사<sup>2</sup>, 한중대학교<sup>3</sup>, 국립강원대학교<sup>4</sup>, 국립부경대학교<sup>5</sup>, 국방기술품질원<sup>6</sup>

### Gliding arc plasma application for PFCs gas decomposition

I.J. No<sup>1</sup>, P.K. Shin<sup>1</sup>, D.W. Park<sup>1</sup>, H.K. Kim<sup>2</sup>, S.H. Lee<sup>3</sup>, J.K. Park<sup>4</sup>, D.H. Kang<sup>5</sup>, J.S. Kim<sup>6</sup>  
 INHA Univ.<sup>1</sup>, KF<sup>2</sup>, Hanzhong Univ.<sup>3</sup>, Kangwon National Univ.<sup>4</sup>, Pukyong National Univ.<sup>5</sup>, DTaQ<sup>6</sup>

**Abstract** - 교류 펄스전압을 이용한 글라이딩 아크 플라즈마를 이용하여 PFCs(Perfluoro compounds) 가스의 일종인 CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>를 가스분해하는 연구를 실시하였다. 반응기 양전극 사이에 인가되는 전압은 10kV로 고정하고 각각의 가스의 유량을 조절하여 분해한후 FT-IR을 통해 각각의 가스의 분해율과 분해후 가스내 성분을 스펙트럼을 이용하여 분석하였다. 유량이 낮아질수록 분해율은 좋아졌고 SF<sub>6</sub>와 NF<sub>3</sub>의 경우 99%이상의 높은 분해율에 도달하였을뿐 아니라 대표적인 난분해 가스로 손꼽히는 CF<sub>4</sub>의 경우 82%이상의 분해율을 확인하였다.

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 plused 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 분해율이 가장 좋은 10kV로 고정하여 실험하였다. 반응관에 투입되는 가스의 유량은 MFC(mass flow meter, Sierrac100)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 가스내에 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.

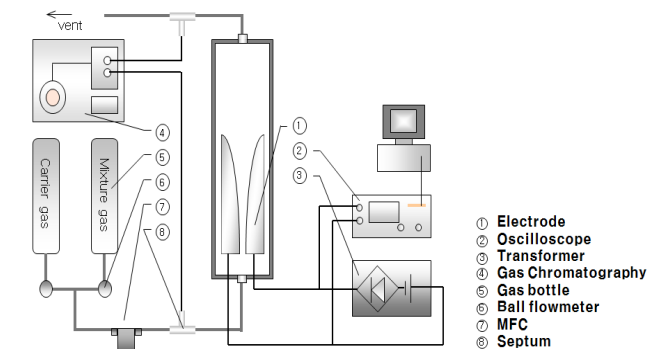
## 1. 서 론

산업혁명을 필두로 인간의 생산 활동을 통해 인류는 현재까지 눈부시게 빠른 변화와 발전을 맞이하였으며 인류는 이전과는 현저하게 높은 수준의 윤택한 삶을 영위하게 되었다. 하지만 이런 활발한 생산 활동의 이면에는 필연적으로 생산 활동 본래의 명분에 역행하는 환경오염이라는 결과를 초래하게 되었다. 20세기에 들어오면서 선진국들은 생산 활동으로 인한 환경오염문제를 자각하고 법제정을 통해 이를 제재하며 그 폐해를 최소화하는 다양한 연구를 진행하여 왔다. 최근 우리나라에서도 환경오염관련 법률이 제정되어 구체적인 규제대상 및 시설이 추가되고 있는 실정이다. 환경 유해 가스중 반도체나 LCD같은 display 소재 제조 공정으로부터의 배출가스중 식각(etching) 및 증착 공정에 사용되는 합불소 화합물인 PFC(Perfluorocompound)가 차지하는 비중이 크며, 높은 안정성 및 지구 온난화 지수로 인하여 환경적 문제가 되고 있다. PFCs 가스는 다수의 불소가 포함된 가스로 CF<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>와 같이 탄소를 포함한 경우와 NF<sub>3</sub>, SF<sub>6</sub>와 같은 무기성 가스로 구분할 수 있다[1]. 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 이산화 탄소가 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 분해기술중 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 특징을 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다[3]. 본 연구는 글라이딩 아크 플라즈마를 이용하여 PFCs 가스중 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>, NF<sub>3</sub>를 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 파이프관을 사용하였다. 반응관의 위와 아래는 베이크라이트 판으로 실링하였다. 반응관 내의 전극은 길이 150mm, 재질은 SUS-304, 전극의 최대간격이 20mm인 칼날모양의 전극을 이용 하였다.



<그림 1> 장치 구성도

### 2.2 분해 가스

분해를 위해 사용된 가스는 PFCs가스로서 난 분해가스로 손꼽히는 CF<sub>4</sub>와 SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>를 사용하였다. 고 순도의 공기함께 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>, NF<sub>3</sub>를 각각 ball-flowmeter와 MFC (mass flow controller)를 조절하여 혼합 챔버로 유입된후 공기와 충분히 혼합된 각각의 가스가 반응기로 흘러가는 유량을 이 실험에서는 아래 표1와 같이 각각 조절하여 실시하였다. 분해된 가스의 분해율을 분석하기 위해 도입된 기체의 농도는 5000ppm으로 고정하였다.

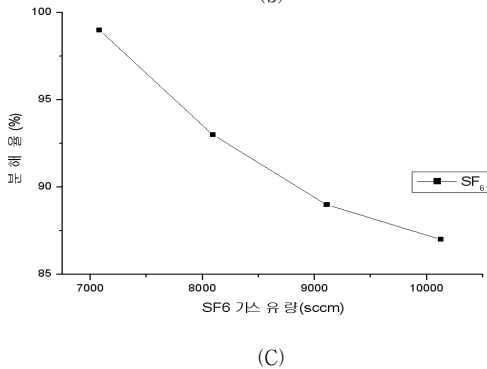
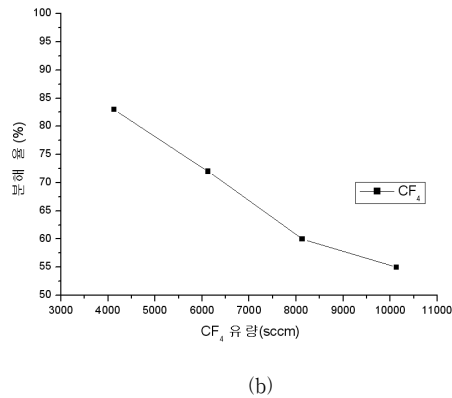
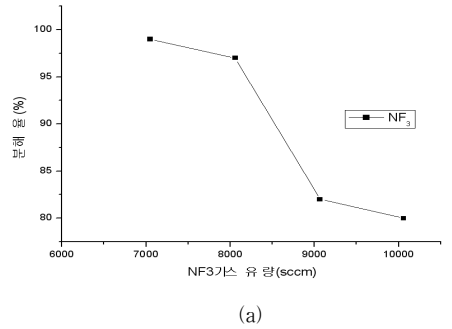
<표 1> 실험에 사용된 PECs 가스 유량

가스	가스 유량(sccm)			
NF <sub>3</sub>	7050	8060	9065	10060
CF <sub>4</sub>	4130	6130	8130	10130
SF <sub>6</sub>	7080	8095	9110	10125

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 PECs 가스분해

글라이딩 아크 플라즈마가 발생하는 전극의 양단에 걸리는 전압을 아크가 발생하는 전압은 선행연구를 통해 습득한 지식으로 가장 높은 전압인 10kV로 고정하고 표.1과 같은 유량으로 반응기내로 가스를 분사한 후 분해된 가스는 FT-IR을 통하여 분해율을 분석하였다.

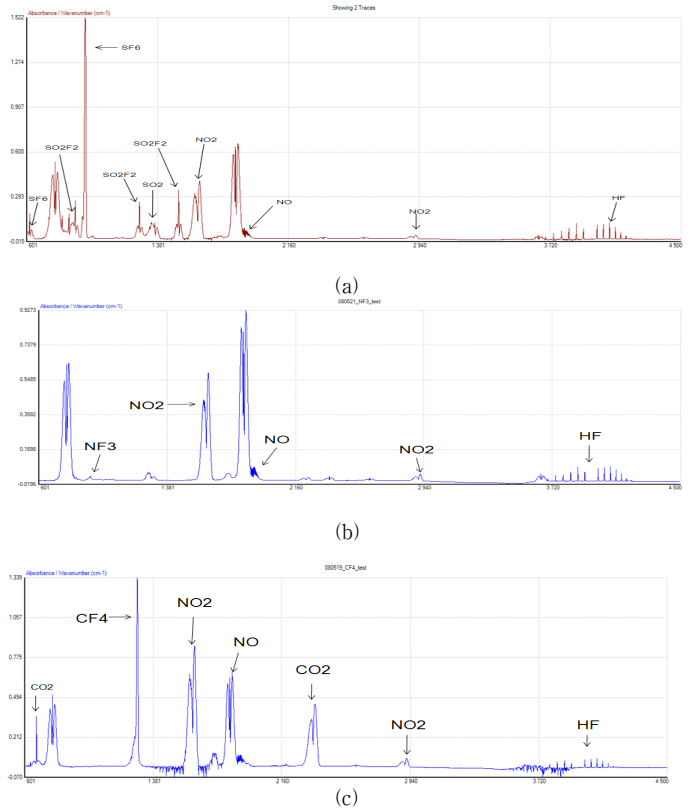


〈그림 2〉 10kV로 고정된 인가전압과 유량변화에 의한 각각의 가스의 분해율; (a) NF<sub>3</sub>; (b) CF<sub>4</sub>; (c) SF<sub>6</sub>

그림 2는 10kV로 고정된 인가전압을 유량변화에 의해 반응기내로 분사하여 글라이딩 아크 방전 플라즈마로 분해한 각각의 가스의 분해율을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그림을 통해 알 수 있는 사실은 유량이 높아질수록 분해율은 떨어진다는 사실과 글라이딩 아크 방전 플라즈마를 이용하여 NF<sub>3</sub>와 SF<sub>6</sub>를 99%이상 높은 분해처리 능력을 확인했을뿐만 아니라 대표적인 난분해성 가스로 손꼽히는 CF<sub>4</sub>를 82%이상 분해할 수 있었다.

### 3.2 분해후 가스내 성분

그림 3은 반응기내 전극에 인가되는 전압이 10kV이고 SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, CF<sub>4</sub>와 공기의 유량이 각각 7080sccm, 7050sccm, 4130sccm의 조건에서 글라이딩 아크 플라즈마를 발생시켜 분해된 가스내의 성분은 FT-IR을 통해 분석한 스펙트럼이다. 위 그림에서 보는 바와 같이 각각의 피크에 따른 성분들이 분석 되었다.



〈그림 3〉 FT-IR을 이용한 분해후 가스내 성분분석; (a) SF<sub>6</sub>; (b) NF<sub>3</sub>; (c) CF<sub>4</sub>

### 3. 결 론

글라이딩 아크 방전 플라즈마를 이용하여 PECs 가스중 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>, NF<sub>3</sub>를 가스분해 하여 분해율을 알아보았다. 이때 반응기내 전극에 인가되는 전압을 10kV로 유지하였고 도입된 기체의 농도는 5000ppm으로 유지하며 고순도 공기와 혼합된 각각의 가스의 유량을 조절하며 분해율을 관찰하였다. 그 결과 유량이 작아질수록 분해율은 좋아진다는 결론에 도달하였고 SF<sub>6</sub>와 NF<sub>3</sub>의 경우 99%이상의 높은 분해율에 도달하였을뿐만 아니라 대표적인 난분해성 가스로 손꼽히는 CF<sub>4</sub>의 경우 82%의 분해율을 얻는 성과에 도달하였다. 이로서 글라이딩 아크 방전 플라즈마를 이용한 가스분해처리장치는 저비용 고효율의 가스분해 장치를 필요로 하는 산업현장에서 응용가능성이 충분한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 산업자원부 지정 인하대학교 열플라즈마환경기술연구센터의 2008년도 지원에 의한 것임

### [참 고 문 헌]

- [1] 김관태, "DBD 반응기에서 플라즈마 방전형태에 따른 PFCs 가스의 분해특성", J. KOSAE, Vol. 20, No. 5, 625, 2004
- [2] Frank-Kamenetski DA, "Diffusion and heat transfer in chemical kinetics", Moscow, Nauka, 491, 1987
- [3] O. Mutaf-Yardimci, A. V. Saveliev, A. A. Fridman, and L. A. Kennedy " Thermal and nonthermal regimes of gliding arc discharge in air flow", J. Appl, Phys, 87, 4, 2000