

## 시뮬레이션에 의한 SF<sub>6</sub> - N<sub>2</sub> 혼합기체의 전자수송특성

김상남  
시립인천전문대학

### Electron Transport Characteristic in SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> Mixture Gases by MCS-BEq Simulation

Sang-Nam Kim  
Incheon city collage

**Abstract :** SF<sub>6</sub> gas is widely used in industrial of insulation field. In this paper, N<sub>2</sub> is mixed to improve pure SF<sub>6</sub> gas characteristics. Electron transport coefficients in SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> mixture gases are simulated in range of E/N values from 70 to 400 [Td] at 300K and 1 Torr by using Boltzmann equation method.

The results have been obtained by using the electron collision cross sections by TOF, PT, SST sampling, compared with the experimental data determined by the other author. It also proved the reliability of the electron collision cross sections and shows the practical values of computer simulation.

The result of Boltzmann equation and Monte Carlo Simulation has been compared with experimental data by Ohmori, Lucas and Carter. The swarm parameter from the swarm study are expected to sever as a critical test of current theories of low energy scattering by atoms and molecules.

#### 1. 서론

기체는 전기적으로 많은 중성적인 입자가 무질서한 상태로 운동하고 서로 충돌하는 복잡한 상태에 있다. 전계 중에서 기체는 방전현상으로 전자군의 성질이 변화하게 되며 이것을 규명하기 위해서는 전자수송계수(전자군 파라미터), 즉 전자이동속도, 전리계수, 부착계수, 실효전리계수, 종축, 횡축확산계수, 평균에너지 및 전자에너지분포 함수를 파악하는 것이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체의 전기 전도 특성을 나타내는 전리계수( $\alpha/N$ ), 부착계수( $n/N$ ), 실효전리계수( $(\alpha-n)/N$ ), 전자이동속도( $W$ ) 등의 전자수송계수를 E/N : 70~400[Td], 절대온도 300K, 압력 P = 1 Torr의 범위에서 볼츠만 방정식을 이용한 수치해석 기법으로 시뮬레이션하고 그 결과를 고찰하도록 한다.

#### 2. 해석방법

기체중의 방전현상은 전계가 인가된 공간에서 전자가 전계에 의해 에너지를 얻고 중성기체와 충돌하여 전리반응을 일으키는 메카니즘으로서 전자의 수송특성에 기초가 된다. 따라서 이들의 현상을 정량적으로 해석하기 위해서는 먼저 각 입자 상호간의 충돌과정 즉 전리, 여기, 해리 등의 충돌 단면적을 이해하여야 한다.

한편, 전자군의 임의의 위치와 속도 및 시간의 함수인 전자수 밀도는 위치 변화에 따른 밀도의 변화, 전계에 의한 속도변화에 따른 밀도의 변화, 그리고 충돌로 나타나는 속도의 변화에 의한 밀도의 변화로 나타낼 수 있고 이것을 식으로 표현한 것이 볼츠만 방정식(BEq)이다.[1]

BEq에서는 MCS와 달리 개개의 전자를 추적하지 않고 처음부터 다수의 입자를 포함하는 전자류를 취급하기 위하여 충돌의 확률적 성질을 기초로 하여 전자군의 연속적인 통찰이 가능하고 따라서 전자군의 운동과정을 명확히 규명할 수 있으며 이들의 여러 가지 파라미터를 정량적으로 해석하는 경우 비교적 짧은 시간으로 전산 처리하여 구하여진다.

#### 3. 결과 및 검토

본 연구에서는 N<sub>2</sub>가스와 SF<sub>6</sub> 가스에 관한 지식을 얻고, SF<sub>6</sub> 가스를 N<sub>2</sub>가스와 혼합해, 그 혼합 기체 중에 있어 전리계수와 부착계수를 측정한다.

그림 3.1은 N<sub>2</sub>와 SF<sub>6</sub>기체의 혼합비와 E/N의 변화에 따른 SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 기체의 전리계수의 변화를 나타내고 있다. 각 기체의 전리 단면적( $Q_i$ )의 분포를 살펴보면, SF<sub>6</sub>의 전리 단면적은 전자에너지가 17~1000[eV] 사이에 분포되어있으며 17~50[eV]사이에서 급격히 증가함을 볼 수 있다. N<sub>2</sub>의 전리 단면적은 7~100[eV] 사이에 분포되어있고 그 변화는 SF<sub>6</sub>에 비해 완만한 증가를 이루고 있다. 또한 크기는 SF<sub>6</sub>의 전리 단면적에 비해 작음을 알 수 있다.

그림 3.1를 살펴보면 SF<sub>6</sub>의 혼합비율이 증가할수록 전리계수( $\alpha/N$ )의 크기가 E/N<100[Td]에서는 그 변화의 기울기가 완만하고 E/N>100[Td] 이상에서는 급격히 증가함을 알 수 있다. 이는 E/N의 값이 증가함에 따라 분포함수가 전자에너지가 큰 범위에 형성되어 전리단면적의 영향을 많이 받기 때문이다. N<sub>2</sub>의 혼합비가 증가 할수록 E/N의 변화에 대한 전리계수의 변화가 완만해짐을 알 수 있는데 이는 전자에너지에 대한 전리단면적의 분포가 비

교적 완만하고, 그 단면적의 크기가 작기 때문이다.

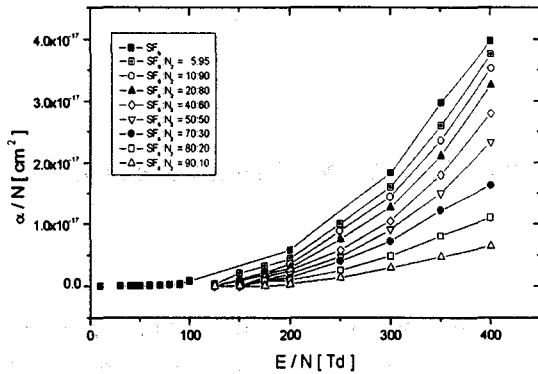


그림 3.1 SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체의 전리계수  
Fig. 3.1 The Ionization Coefficient in SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub>

그림 3.2는 N<sub>2</sub>와 SF<sub>6</sub> 기체의 혼합비와 E/N의 변화에 따른 SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체의 부착계수( $\eta/N$ )의 변화를 나타내고 있다. SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체의 부착계수는 SF<sub>6</sub>의 혼합비가 증가할수록 증가하고 E/N의 값이 증가 할수록 감소함을 그림을 통해 알 수 있다.

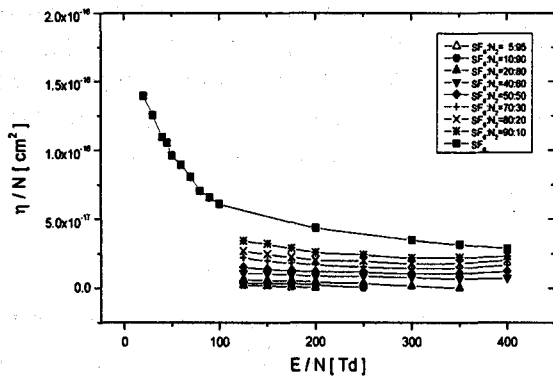


그림 3.2 SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체의 부착계수  
Fig. 3.2 The Attachment Coefficient in SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub>

낮은 E/N의 범위에서 부착계수의 값이 굉장히 커지는데 이는 SF<sub>6</sub>의 부착 단면적이 전자에너지가 낮은 범위(0.1 ~ 2[eV])사이에서 커다란 부착 단면적을 가지고 있기 때문이다. 부착 단면적이 없는 N<sub>2</sub>에 SF<sub>6</sub>를 조금만 혼합하여도 낮은 E/N의 영역에서 커다란 부착계수의 값을 갖는 것은 SF<sub>6</sub>의 낮은 E/N의 영역에서의 커다란 부착단면적의 특성 때문이다.

이 SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체에 대한 부착계수의 크기 변화는 낮은 E/N과 SF<sub>6</sub>의 혼합비가 클 때 그 기울기가 급격히 변화하는데 이는 N<sub>2</sub>가 부착 단면적을 가지고 있지 않아 SF<sub>6</sub>의 혼합비에 의해서 부착의 영향을 크게 받기 때문이다. 또한 SF<sub>6</sub>는 넓은 범위에 걸쳐 부착 단면적이 존재하기 때

문에 그 영향 또한 무시할 수 없게 된다. E/N이 증가함에 따라 감소하는 부착 단면적은 높은 E/N의 영역이 되면 그 값이 점점 0에 가깝게 나타나게 된다.

#### 4. 결론

SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체의 전리계수에 있어 각 기체의 전리 단면적은 높은 전자에너지 범위에 분포한다. 또한 SF<sub>6</sub>는 전리 단면적의 변화가 급격하게 일어난다. 또한 그 크기가 N<sub>2</sub>에 비해 크기 때문에 SF<sub>6</sub>의 혼합비가 증가하고 100[Td]이상의 E/N 영역에서 그 크기가 급격히 증가함을 알 수 있다. 부착 계수의 경우에서 N<sub>2</sub>는 부착 단면적이 존재하지 않기 때문에 SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체의 부착계수는 낮은 E/N 범위에서 부착 단면적이 크고, 또 넓은 범위에 존재하는 SF<sub>6</sub>의 혼합비에 영향을 많이 받아 낮은 E/N영역과 SF<sub>6</sub>의 혼합비가 증가 할 수록 그 값은 크게 됨을 알 수 있다.

지금까지는 기체의 절연성능을 개선하기 위해 2종 기체의 혼합에 대해 연구해 왔다. 절연기체로서 SF<sub>6</sub>는 그 성능이 뛰어나나 다른 프레온 계열의 기체에 비해서도 가장 우수한 절연능력을 가지는 것은 아니다. 일반적으로 가스절연에 사용되는 기체절연물은 절연능력이 높아야 되나, 그 유해성 또한 고려해야만 한다. 앞으로의 연구는 이런 2종 기체의 연구 뿐만 아니라 다원 혼합기체에 대한 전자수송계수의 연구가 필요 할 것이라 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 인천전문대학 교내 연구비 지원에 의한 논문임

#### 참 고 문 헌

- [1] 山本,生田,“몬테카를로시ミュレーションによる CF<sub>4</sub>카스의電子衝突 斷面積”, 電氣學會放電研究會 資料, ED-92-101, pp.71-80, 1992.
- [2] 菅野卓雄 “半導體 プラズ마 プロセス技術”産業圖書), pp. 38-50, 1993. J. phys. 38. 677-85, 1985
- [3] “大森義行, 下妻光夫, 田頭博昭, SiH<sub>4</sub> ガスの電子衝突斷面積およびスウォームベラメータ”電氣學會研究會資料, ED-86-114, HV-86-34, 1988.
- [4] 小沼光晴著 “プラズ마と成膜の基礎”, 日刊工業新聞社, pp.13-20, 1993
- [5] 氣體放電 シミュレーション技法(제140호), 1974.
- [6] C. Jacoboni and P. Lugli, "The Monte Carlo Method for Semiconductor Device Simulation", Springer-VerlagWien, pp.1-4, 1989.
- [7] Philip. E. Luft, "Description of a Backward prolongation program for computing transport coefficients", JILA. information center report, No.19, 1975.
- [8] 金相南 "SF<sub>6</sub>-Ar혼합기체의 MCS-BEq에 의한 전자 분포함수" 대한전기학회 논문집51P-1-4집 pp.28 ~ 32, 2002
- [9] 金相南 "SiH<sub>4</sub>-Ar혼합기체의 전자분포함수 해석" 대한전기학회 논문집53P-1-2집 pp.65 ~ 69, 2004