

SF₆+N₂ 혼합기체의 절연특성에 관한 연구

The study of the insulation charateristic in SF₆+N₂ mixture gas

박명진* 전병훈** 하성철*

Myung-Jin Park, Byoung-Hoon Jeon, Sung-Chul Ha

* : 동국대학교 전기공학과, ** : 중부대학교 컴퓨터응용설계학과

Abstract

The electron transport coefficients in SF₆ + N₂ gas is analyzed in range of E/P values from 70 ~240(V/cm Torr⁻¹) at 20°C by Boltzmann method that using set of electron collision cross sections determined by authors. The result of this Boltzmann simulation such as ionisation coefficient, attachment coefficient, effective ionisation coefficient and breakdown voltage are in nearly agreement with the respective experimental and theoretical for a range of E/P.

Key Wards(중요용어) : BE(볼츠만 방정식), Electron collision cross section(전자충돌단면적)

Breakdown boltage(절연파괴전압), Effective ionisation coefficient(실효전리계수)

1. 서론

고전압 기술의 발전과 이들 전력기기에 대한 전계에서 고절연강도에 대한 가스절연의 필요성이 대두되어 왔으며 CCL₂F₂, CF₄, C₃F₈, C₄F₁₀ 등과 같은 강력한 부착특성 연구와 함께 이들 절연기체의 수송계수에 대해 실험 측정과 시뮬레이션이 되어왔다. 이 같은 가스절연은 그 높은 비용으로 인하여 최근의 연구가 N₂, air, CO₂ 등과 같은 완충가스를 사용하고 절연 강도를 가진 부착성 가스를 혼합하므로써 실용적인 면에서 단일가스보다 절연능력이 크게 저하되지 않으며, 비용을 절감할 수 있는 혼합가스에 대한 연구가 진행중에 있다. 이러한 절연가스의 해석을 위해서는 가스의 물성적인 특성인 전자의 이동도, 확산, 충돌, 전리, 부착현상등을 정량적으로 해석해야 한다. 그러므로 전계가 인가된 기체중에서의 전자의 운동을 파악하기 위해서는 운동량 변환 단면적, 여기 충돌 단면적, 전리 충돌 단면적, 전자 이동

속도, 확산계수, 전자 부착계수, 전자 에너지 분포함수에 대한 정확한 측정과 해석이 필요하다. 특히 전자 이동속도는 전자의 충돌단면적을 결정하는 중요한 요소가 되고, 전자의 충돌단면적을 이용하여 입자군의 전자에너지 분포함수와 수송계수를 계산할 수 있다. 또한 측정된 전자기동속도와 볼츠만 수송방정식을 Backward prolongation 법으로 해석하여 절연가스의 수송계수와 전자의 전리계수, 부착계수 및 실효전리계수의 영향을 검토하여, SF₆+N₂ 혼합기체의 절연 특성을 해석하였다.

본 연구에서는 SF₆+N₂를 혼합하여 이 혼합가스의 절연특성을 나타내는 전리계수(α/p), 부착계수(η/p), 실효전리계수($(\alpha - \eta)/p$)를 구하고 실효전리계수를 이용하여 각 혼합비에 따른 절연파괴전압을 E/P(V/cm Torr⁻¹) : 70~240 (E:전계, P:압력, 20°C)의 범위에서 볼츠만 방정식에 의한 Backward prolongation법을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

2. 해석 방법

볼츠만 법

볼츠만 수송방정식은 열평형 상태가 아닌 경우 전자가 운동 중 충돌에 의한 임의의 속도와 임의의 위치에 따라 어떻게 변화하는가를 결정하는 것이다. 볼츠만에서는 몬테칼로 시뮬레이션과는 달리 개개의 전자를 추적하지 않고 처음부터 다수의 입자를 포함하는 전자류를 취급하기 위하여 충돌의 확률적 성질을 기초로 하여 전자군의 연속적인 관찰이 가능하다. 따라서 전자군의 운동과정을 명확히 규명할 수 있으며 이들의 여러 가지 파라미터를 정량적으로 해석하는 경우 비교적 짧은 시간으로 전산처리하여 구하는 것이 가능하다[1]. 이러한 전자수송현상을 이해하기 위해서는 기체의 전자충돌단면적을 알아두어야 할 필요가 있다.

3. 전자충돌단면적

전자충돌단면적은 전자의 거시적 특성을 이해하는데 기초적 자료로서 가스 절연에서 비평형 플라즈마 응용기술에 이르기까지 각각의 경우에 필요한 가스의 종류, 상태조건등을 파악 할 수 있으며 필요한 전자에 대한 정보를 알 수 있다. 특히 여러 단면적 중 절연가스에 관련된 전리와 부착단면적, 에칭에 관련된 여기, 해리 단면적은 충돌단면적에서도 상당히 중요한 부분을 차지하고 있다.

본 연구에서는 SF₆+N₂ 혼합기체의 절연강도에 관점을 두고 있으므로 전리 단면적과 부착단면적에 커다란 비중을 두고 있다. 아래의 그림은 SF₆기체와 N₂기체의 충돌단면적을 나타내고 있다.[1]

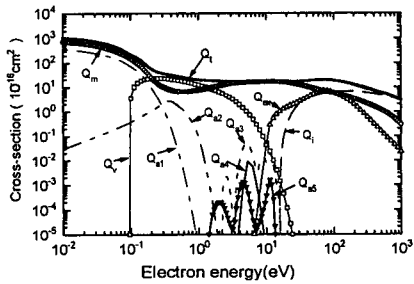


그림 1 SF₆기체의 전자충돌단면적

Fig. 1. The collision cross sections of electrons in SF₆ gas

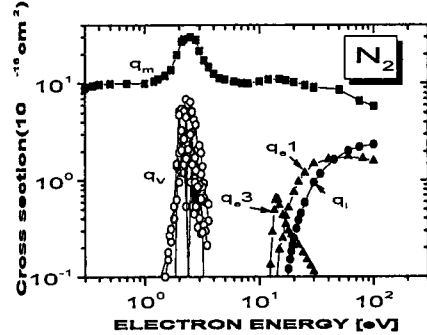


그림 2 N₂ 기체의 전자충돌단면적

Fig. 2. The collision cross sections of electrons in N₂ gas

q_m : 전 충돌 단면적 (total cross section)

q_i : 전리 단면적 (ionisation cross section)

q_1 : 해리 단면적 (dissociation cross section)

4. 해석결과 및 고찰

4-1 전리계수

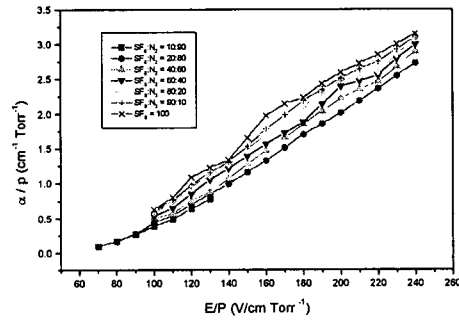


그림 3 SF₆+N₂ 혼합기체의 전리계수

Fig. 3 The ionisation coefficient of SF₆+N₂ mixture gas

충돌에 의하여 일어나는 기체 분자의 내부 에너지의 증가가 $E_{\infty} - E_1$ 을 넘으면 기저 상태에 있던 전자는 분자 밖으로 떨어져나가 자유롭게 되는데 이 결과 분자는 정 이온으로 되고 공간에 자유 전자가 발생한다. 이 현상을 전리라고 한다. 전리가 일어날 확

올은 전자 에너지가 너무 크면 오히려 저하되는데 이것은 전자 에너지가 너무 크면 충돌 때 상호 작용한 시간이 너무 짧기 때문에 전리하기가 어려워지기 때문이다.[6] 그림에서 E/P가 점점 증가 할수록 각각의 혼합비에 따른 전리가 증가 하고 있음을 나타내고 있다. 가스 절연에 있어서 전리는 절연파괴를 촉진 시키는 역할을 한다.

4-2 부착계수

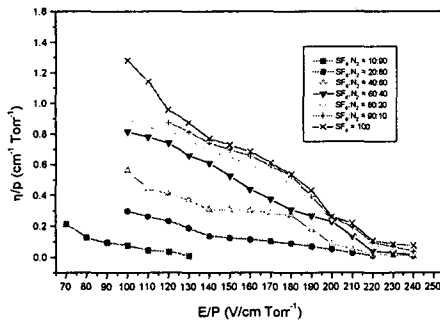


그림 4 SF₆+N₂ 혼합기체의 부착계수
Fig. 4 The attachment coefficient of SF₆+N₂ mixture gas

부 이온은 전자에 비하여 질량이 크고 기체중에서는 전계의 가속을 받더라도 높은 에너지 상태에 도달하기가 힘들고 전리능력이 없다[6]. 전자의 부착은 전자가 중성원자 혹은 분자에 충돌하면 에너지에 의하여 원자나 분자에 포획되어 부 이온을 형성한다.[6] SF₆는 이러한 부착특성이 좋기 때문에 뛰어난 절연가스로써 이용되고 있다. 그림에서 SF₆의 혼합비가 증가할수록 부착계수가 증가함을 알 수 있다. 가스 절연에 있어서 부착은 전리를 억제하여 절연파괴가 쉽게 일어나지 않도록 한다.

4-3 실효전리계수

전자가 전계로부터 큰 에너지를 얻게 되면 부착이 일어나기 어렵다. 실효전리계수는 전리계수와 부착계수의 차로 정의되며 전리의 양 보다 부착의 양이 크다는 것은 전자의 이동이 자유롭지 못함으로 이것은 전류의 흐름을 방지한다는 것을 의미하며 가스의 실제 절연능력을 판단하는 척도가 된다. 가스절연에서는 실효전리계수가 0이 될 때 절연파괴가 시작된다고 보고 있다. 그림에서는 혼합비에 따른 실효전리계수의 값을 보여 주고 있다. SF₆의 혼합비가 증가 할수록 작아짐을 보여주고 있다.

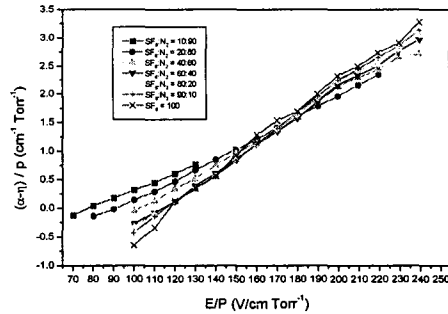


그림 5 SF₆+N₂ 혼합기체의 실효전리계수
Fig. 5 The effective ionisation coefficient of SF₆+N₂ mixture gas

4-4 임계 E/P

실효전리계수가 0이 되는 순간을 임계절연파괴라고 말한다. 부착계수보다 전리계수의 값이 커서 실효전리값이 (+)가 되기 시작하면 방전이 발생해 절연이 파괴되기 때문에 가스절연의 관점에서는 이 양의 값에 대해서는 커다란 의미를 두지 않는다. 그림은 가스의 혼합비에 따른 임계 E/P의 변화를 나타내고 있다.

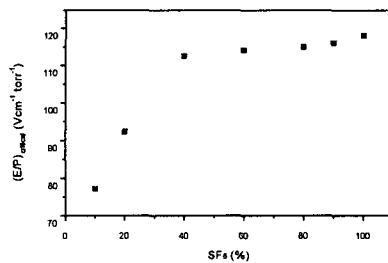


그림 6 SF₆+N₂ 혼합기체의 임계 E/P
Fig. 6. Critical E/P of SF₆+N₂ mixture gas

4. 결론

본 연구에서는 SF₆+N₂ 혼합기체를 그 혼합비에 따라 전리계수, 부착계수, 실효전리계수를 구하여 혼합기체의 절연특성을 알 수 있는 임계 E/P값을 시뮬레이션을 통해 구하였다.

1. N₂가스에 SF₆를 10% 정도만 혼합하여도 100%의 SF₆가스의 임계 E/P 값에 65%의 절연성능확인 하였다.

2. 40% 이상의 SF₆가스의 혼합에서는 임계 E/P의 값은 그다지 크게 변화하지 않는다. 따라서 SF₆:N₂의 혼합비를 60:40정도로 하여도 순수 SF₆가스의 절연성능에 근사함을 알 수 있다. 지금까지 절연성능의 향상을 위해 2원 기체의 혼합이 주로 이루어져왔다. 앞으로의 연구는 단순히 2원 혼합이 아니라 다원 혼합 기체의 전자수송계수에 대한 연구가 필요할것이라 생각된다.

참고 문헌

- [1] L. G. H. Huxley and R. W. Crompton, "The diffusion and drift of electrons in gases", John Wiley & Sons, pp627-631, 1974.
- [2] H. Itoh, Y. Miura, N. Ikuta, Y. Nakao and H. Tagashira, "Electron swarm development in SF₆ : I. Boltzmann equation analysis", J. Phys. D: Appl. Phys. 21, pp.922-930, 1988.
- [3] M C Siddagangappa, C S Lakshminarasimha and M S Naidu, "Ionisation and attachment in binary mixtures of SF₆-N₂", J. Phys. D : Appl. Phys, 16, pp.763-772, 1983.
- [4] Philip. E. Luft, "Description of a Backward prolongation program for computing transport coefficients", JILA, information center report, No.19, 1975.
- [5] 李福熙, "고전압대전류공학", 청문각, pp.64-72, 1993.
- [6] 田春生. "방전 및 고전압공학", 동명사, pp.13-61, 1995.
- [7] M C Siddagangappa, C S Lakshminarasimha and M S Naidu, "Ionisation and attachment in binary mixtures of SF₆-N₂ and CCl₂F₂-N₂", Department high Voltage Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore-560 012, India, 1982. 10. 11.
- [8] 氣體放電 シミュレーション技法(제140호), 1974.
- [9] Y. Qiu and Y. P Feng, "Investigation of SF₆+N₂, SF₆+CO₂ and SF₆+air as Substitutes for SF₆ Insulation", conference recorder of the 1996 IEEE international symposium on electrical insulation. pp.766-769, 1996.
- [10] M. S. Dincer and T. Aydin, "Simulation of limiting field behavior in electrons swarms in SF₆, N₂ gas mixtures" IEEE transaction on dielectrics and electrical insulation vol.1 NO. 1, February 1994, pp139-145.
- [11] Y. A. safar, N. H. Malik and A. H. Qureshi, "Impulse breakdown behavior of negative rod plane gaps in SF₆-N₂, SF₆-air, and SF₆-CO₂ mixtures", IEEE transaction on dielectrics and electrical insulation vol.1 NO. 5, October 1982, pp441-450.
- [12] E. Husain and R. S. Nema, "Analysis of Paschen curve for air, N₂, and SF₆ using the Townsend breakdown equation", IEEE transaction on dielectrics and electrical insulation vol 1 EI-17 No. 4. August 1982, pp350-353.
- [13] M. S. Dincer and G. R. Govinda Raju, " Ionisation and attachment coefficients in SF₆+N₂ mixtures" IEEE transaction on electrical insulation vol 1 EI-19 No. 1. February 1984. pp40-45
- [14] N. H. Malik and A. H. Qureshi, "Breakdown gradients in SF₆-N₂, SF₆-air and SF₆-CO₂ mixture", IEEE transaction on electrical insulation vol 1 EI-15 No. 5, October 1980, pp413-418.