

평등, 불평등 전계에서 AC전압의 SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> 혼합가스 절연내력 특성

성허경\*, 황청호\*, 김남철\*, 허창수\*  
인하대\*

Breakdown Characteristics of SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> Mixtures under AC Voltages in Uniform, Nonuniform Field

Heo-Gyung Sung\*, Cheong-Ho Hwang\*, Nam-Ryul Kim\*, Chang-Su Huh\*  
Inha University\*

**Abstract** - Although many studies have been carried out about binary gas mixtures with SF<sub>6</sub>, few studies were presented about breakdown characteristics of SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> mixtures. At present study the breakdown characteristics of SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> mixtures in uniform and nonuniform field was performed. The experiments were carried out under AC voltages. The sphere-sphere electrode whose gap distance was 1 mm was used and the point-plane electrode whose gap distance was 3 mm was used in a test chamber. SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> mixture contained 20% SF<sub>6</sub> and 80% CF<sub>4</sub> and the experimental gas pressure ranged from 0.1 to 0.5 MPa. The results show that addition of SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> mixtures increase AC breakdown voltages. In uniform field the breakdown voltages of gas were linearly increased according to the pressure. However in nonuniform field the breakdown voltages of gas were increased nonlinearly.

해서 구-구 전극을 사용하였다. 구-구 전극은 제작이 용이하고 구전극의 직경이 전극간격보다 훨씬 크면 구전극 중심에서 평등전계와 유사한 값을 얻을 수 있다. 구전극의 직경은 12.5, 전극 간격은 1mm로 실험하였다. 불평등 전계를 모의하고자 침-평판전극을 사용하였으며 전극 간격은 3 mm로 고정하여 실험하였다.

2.1.1 실험 방법

실험용 챔버의 내부는 메탄올로 청소하여 다른 이물질의 영향을 최소화시켰다. 진공 펌프로 챔버내부에 존재하는 공기의 양을 줄여서 가스 혼합기를 통해서 0.1~0.5 MPa의 가스를 주입하였다. 순수 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub> 가스와 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 절연내력을 알아보았으며 절연내력 시험 전에 몇 차례의 방전을 일으킨 후 실험하였다. 각 압력과 혼합비에서의 절연과피 전압을 10개씩 찾아 평균값을 구하였다. 절연과피 후 3분의 시간 간격을 두고 실험하였으며 혼합비가 바뀌면 챔버내부를 다시 닦아서 이전 실험의 영향을 최소화시켰다.

1. 서 론

SF<sub>6</sub> 가스는 좋은 절연내력을 가지고 아크 소호 능력도 우수해서 고전압 기기에 절연 매질로 널리 사용되고 있다. 그러나 SF<sub>6</sub> 가스는 높은 압력과 낮은 온도에서 액화되는 경우가 발생하여 이를 보완하기 위해 N<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub> 가스등을 혼합하는 연구가 진행되었다. 그리고 지구온난화 가스로 지정되면서 SF<sub>6</sub> 가스의 사용량을 줄이기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 사용되는 SF<sub>6</sub> 가스의 운반, 회수 등의 중요성이 대두되고 있지만, 근본적인 해결을 위해서 SF<sub>6</sub>의 사용을 억제하여야 한다. 이를 위해 SF<sub>6</sub> 가스에 N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, AIR 등을 혼합하는 혼합가스 연구와 SF<sub>6</sub> 가스를 완전히 대체하기 위한 CF<sub>3</sub>I 가스 등에 대한 대체가스의 연구가 이루어지고 있다.[1-2]

고압, 저온에서 SF<sub>6</sub> 가스의 액화를 방지하고자 N<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub> 가스 등을 SF<sub>6</sub> 가스와 혼합한 혼합가스에 대한 연구가 진행되어 왔다. PFC 가스 계열인 CF<sub>4</sub> 가스는 전자부착 능력을 가지고 있으면서 액화점이 낮은 장점이 있다. CF<sub>4</sub> 가스는 SF<sub>6</sub> 가스의 고압, 저온에서 액화되는 약점과 불평등 전계에서의 취약점을 보완해주면서 절연내력은 많이 약해지지 않게 해줄 수 있다. 이러한 이유로 SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> 혼합가스는 캐나다 등에서 연구가 이루어져 왔다.[3] 그러나 국내에는 SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> 혼합가스 연구가 아직 부족한 실정이다.

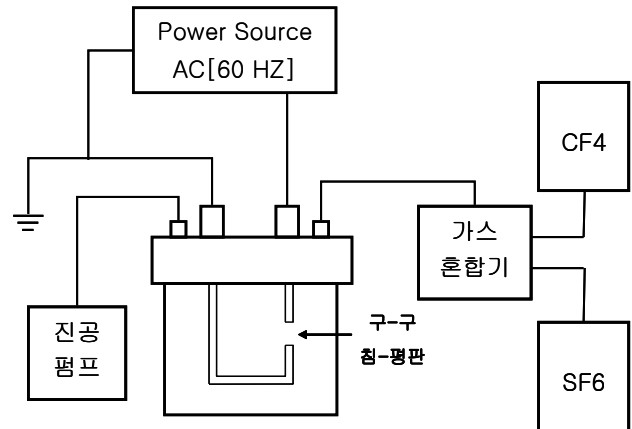
구-구 전극을 통해서 평등전계를 모의하고 침-평판 전극을 통해서 불평등 전계를 모의하여 SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> 혼합 가스에서 절연 파괴 실험을 실행하였다. 실험은 순수 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub> 가스와 SF<sub>6</sub> 20%, CF<sub>4</sub> 80%를 혼합한 혼합 가스의 압력에 따른 절연 내력을 나타내었고 60 Hz AC전압에서 실험하였다. 평등, 불평등 전계서 절연내력 특성을 살펴보았으며 SF<sub>6</sub> 20%, CF<sub>4</sub> 80% 혼합 가스와 순수 SF<sub>6</sub> 가스의 절연 내력을 비교하여 대체가스로 사용되기에 충분한지 알아보았다.

2. 본 론

2.1 실험 구성 및 방법

2.1.1 실험 구성

SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> 혼합가스 절연내력 특성 실험에 사용된 구성을 그림 1에 나타내었다. 실험에 사용된 절연 가스는 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub> 가스였으며 가스의 혼합은 혼합기(오차±2%)를 사용하여 혼합하였다. 다른 가스의 영향을 최소화 하기 위해 로터리 진공펌프를 사용해서 진공을 잡은 후 가스를 주입하였다. 전원은 60 Hz AC 전압을 인가하였다. 평등전계를 모의하기 위



<그림 1> SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> 혼합가스 실험 구성도(구-구 전극 간격 1mm 침-평판 전극 간격 3mm)

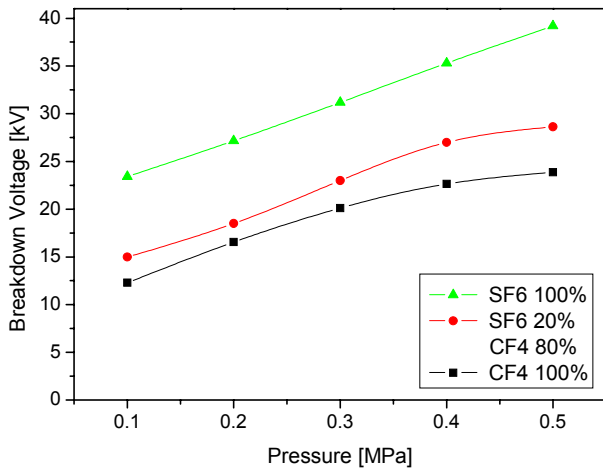
2.2 실험 결과

2.2.1 평등전계에서 절연내력

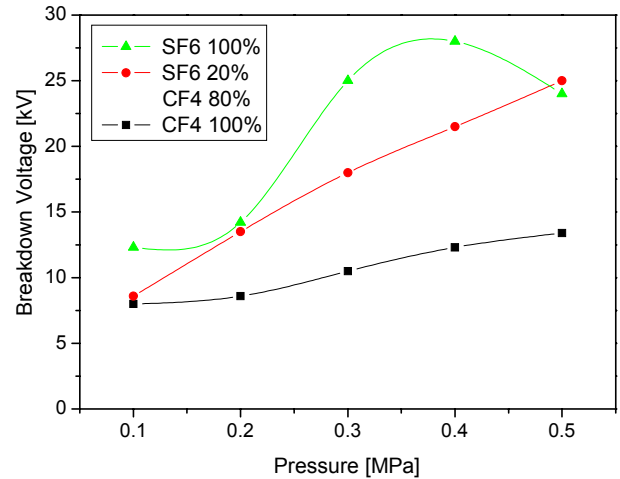
평등전계에서 SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> 혼합가스의 AC 전압에서 절연내력 실험 결과를 그림 2에 나타내었다. 평등전계에서 절연내력의 강도는 가스의 압력에 비례해서 증가하는 것으로 파센의 곡선과 많은 다른 연구 결과에서 볼 수 있다. 이번 실험에서도 평등전계의 절연과피 전압은 압력에 비례해서 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 평등전계에서는 불평등 전계에서 발생하는 전계의 집중에 의한 공간전하가 형성되지 않기 때문에 가스 압력과 전극 간격이 절연과피 전압에 가장 큰 영향을 미친다. SF<sub>6</sub> 순수가스의 절연내력의 압력에 따른 증가율이 CF<sub>4</sub> 순수가스 보다 더 높게 나타났다. SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 절연내력은 SF<sub>6</sub> 순수가스의 약 70% 정도의 절연내력을 보였다. 이 비율은 각각의 압력에서 절연내력 차이를 평균해서 구한 값이다.

2.2.2 불평등전계에서 절연내력

불평등전계에서 순수 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub> 가스와 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스



〈그림 2〉 구-구 전극에서 SF<sub>6</sub>, SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80%, CF<sub>4</sub> 가스의 AC 절연파괴 전압 (전극 간격 1mm)



〈그림 3〉 침-평판 전극에서 SF<sub>6</sub>, SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80%, CF<sub>4</sub> 가스의 AC 절연파괴 전압 (전극 간격 3mm)

의 AC 전압에서 절연내력 실험결과를 그림 2에 나타내었다. 불평등 전계에서 절연내력을 살펴보면 순수 CF<sub>4</sub> 가스의 절연내력은 압력의 증가에 따라 완만하게 증가한다. 반면 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 절연내력은 압력의 증가에 따라 가파른 기울기를 가지고 증가하였다. 순수 SF<sub>6</sub> 가스의 경우 다른 압력에서는 압력에 따라 절연내력이 증가한다. 그러나 코로나 안정화 작용에 의해 0.4~0.5 MPa 구간에서는 압력의 증가에 따라 절연내력이 감소하는 것을 볼 수 있다. 코로나 안정화 작용에 의한 절연내력의 변화는 침전극의 곡률반경, 전극의 간격, 가스 압력, 가스 종류 등의 영향에 의해서 다른 형태를 나타낸다. 이러한 코로나 안정화 작용에 의해서 SF<sub>6</sub> 순수 가스의 절연내력과 다른 혼합가스의 절대적인 비교는 어렵다. CF<sub>4</sub> 가스 보다 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 절연내력은 약 64% 정도 증가하였으며 가스 압력이 높을수록 절연내력의 차이가 커지는 것을 볼 수 있다.[4]

### 2.3 결과 분석

평등전계에서 AC 전압에서 절연특성을 살펴보면 압력의 증가에 따라서 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>, 순수가스와 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 절연내력이 거의 같은 기울기를 가지고 증가하였다. 0.4 MPa에서 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 절연내력은 0.2 MPa에서 SF<sub>6</sub> 순수 가스의 절연내력과 거의 같은 값을 가졌다. 불평등전계에서 절연내력은 코로나 안정화 작용에 의해서 압력에 따라 비선형적으로 나타난다. CF<sub>4</sub> 순수가스는 압력에 따른 절연내력의 증가가 적지만 SF<sub>6</sub>가스를 혼합하면 월등히 높은 절연내력을 갖는 것으로 나타났다. 절대적인 비교는 되지 않지만, SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스는 SF<sub>6</sub> 순수가스의 약 83% 정도의 절연내력 가진다. 실험의 조건에서는 이러한 결과가 나왔지만 다른 구조에서는 많은 차이가 날 수도 있다. 그러나 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 절연내력이 침전극에서 더 좋은 절연특성을 나타내는 것을 알 수 있기에는 충분한 자료로 생각된다.

### 3. 결 론

평등전계에서 순수 SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub> 가스와 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 절연파괴 전압은 압력의 상승에 따라 증가하였다. 불평등전계에서는 SF<sub>6</sub> 순수가스의 경우 코로나 안정화 작용에 의해서 비선형적인 모습을 보였다. CF<sub>4</sub> 순수가스의 경우 SF<sub>6</sub> 순수가스를 대체하기에는 평등, 불평등 전계 전부 절연내력이 많이 낮았다. 그러나 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합가스의 경우 평등, 불평등 전계에서 70~85% 가량의 절연내력을 나타냈으며 절연내력을 약화시키는 불평등전계에서 강점을 나타내었다. 불평등 전계에서 CF<sub>4</sub> 순수가스의 경우 압력에 따른 절연내력의 증가 기울기가 완만하지만 SF<sub>6</sub> 순수가스의 첨가로 절연내력의 증가 기울기를 더욱 상승시켰다. 불평등 전계에서의 강점과 적은 양의 SF<sub>6</sub> 순수가스의 첨가로 SF<sub>6</sub> 순수가스의 절연내력에 가까운 절연특성을 나타낼 수 있으므로 SF<sub>6</sub> 20%/CF<sub>4</sub> 80% 혼합 가스는 SF<sub>6</sub> 순수가스의 사용량을 줄일 수 있는 혼합가스로 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 전력기반조성사업센터(R-2007-011) 주관으로 수행된 과제임.

### [참 고 문 헌]

- [1] N.H. Malik, A.H. Qureshi, "A Review of Electrical Breakdown in Mixtures of SF<sub>6</sub> and Other Gases", Electrical Insulation, IEEE Trans. on Vol EI-14, Issue 1, p. 1 - 13, 1979
- [2] HIROYUK TOYOTA, SHIGEYASU MATSUOKA, HIDAKA KUNIHICO, "Measurement of Sparkover Voltage and Time Lag Characteristics in CF<sub>3</sub>I-N<sub>2</sub> and CF<sub>3</sub>I-Air Gas Mixtures by using Steep-front Square Voltage", Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. A, Vol. 125, NO. 5, p. 409 - 414, 2005
- [3] W. Ziomek, E. Kuffel "Breakdown and Prebreakdown Characteristics of SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> Mixtures in Non-uniform Electric Field", High Voltage Engineering, Eleventh International Symposium on Conf. Vol 3, p. 240 - 243, 1999
- [4] Th. Hinterholzer, W. Boeck, "Space-charge-stabilization in SF<sub>6</sub>" in Proc. 2001 IEEE Electrical Insulation and Dielectric Phenomena Conf., p. 392-396, 2001