

## SF<sub>6</sub>가스중 절연파괴전압에 미치는 전극의 면적효과

서길수\*

한국전기연구소 고전압연구팀

### Area effect of breakdown voltage in SF<sub>6</sub> gas

\* Kil-Soo Seo

High Voltage Research Team

Korea Electrotechnology Research Institute

#### Abstract

In This paper, to understand statistical properties of breakdown voltage, the experiment is performed on four gaps of different electrode area, ranging from 17.44[cm<sup>2</sup>] to 1809.5[cm<sup>2</sup>], in SF<sub>6</sub> gas. Statistcial property of breakdown is confirmed Weibull distribution and as area of electrode is increased, breakdown voltage is decreased and converged constant value E<sub>0</sub>.

#### 1. 서론

GIS중 절연파괴(breakdown)은 전극에서의 미소 돌기, 시스템에 남아있는 외부 파티클에 의한 불평등계수에 좌우된다. 외부 파티클을 제거하는 파티클 트랩, 조립을 위한 먼지가 없는 청정실(clean room) 그리고 금속 표면의 곰개 가공하는 마무리 등이 있으나 불평등성에 영향을 받지 않는 큰 GIS를 생산하는 것은 경제적이지 않다.

따라서 시스템의 크기를 적절하게 결정하기 위해서는 실규모에서의 데이터를 필요로 하게 된다. 그러나 실규모의 시험은 상당한 비용을 초래하므로 실험실에서 얻은 데이터를 실규모에 응용이 필요하다. 실험실과 실규모에서의 파괴특성의 차이는 불규칙성이 가지고 있는 통계적 성질에 기인하는 것이다[1].

파괴전압특성의 영향을 주는 약점의 확율은 시스템이 커질 수록 높아진다. 시스템에서 파괴전압이 가장 약한 지점에 의해 지배될 때 파괴전압의 통계적 분포는 수학적으로 극값분포를 따른다. 압축 SF<sub>6</sub>가스중 전기적인 파괴의 경우에 극치분포의 한 예인 Weibull분포의 통계적해석에 의해 계산하는 것이 가능하다[2, 3].

따라서 본 논문에서는 평판의 면적이 각기 다른 평판-평판전극을 모의하여 압축 SF<sub>6</sub>가스의 파괴전계강도의 통계적인 분포, 면적효과, 전극조건에 따른 절연파괴전압특성연구 결과를 제시한다.

#### 2. 실험장치 및 방법

표 1은 SF<sub>6</sub>가스중 전극의 면적에 따른 절연파괴전압특성 실험에 사용된 전극의 사양을 나타낸 것이다.

표 1 면적효과실험에 사용된 전극

전극	크기	면적[cm <sup>2</sup> ]	비	간극[cm]
A	5cm $\phi$ rod-plan	17.44	1/151.5	0.5
B	10cm $\phi$ plan-plan	78.54	1/33.64	0.5
C	26cm $\phi$ plan-plan	530.93	1/4.97	0.5
D	48cm $\phi$ plan-plan	1809.5	1/1.46	0.5

하부전극 재질은 스테인레스 스틸, 직경은 58[cm], 전극의 면적은 2642.08[cm<sup>2</sup>]이고 단말은 전계의 집중을 방지하기 위하여 로고스키 형으로 제작하였다.

전극 A는 가장 작은 유효면적(effective area:전극의 최대 전계강도의 90%이상인 영역)을 갖는 전극으로서 직경이 5[cm]인 봉대평판전극이다. 전극 B, C, D는 평판-평판전극구조로서 전극의 단말부의 전계집중방지 처리를 하였다. 그림 1은 실험용 전극에 전압을 인가하기 위한 시험회로이다.

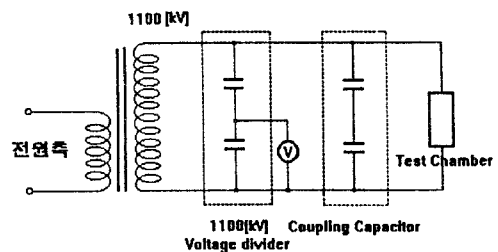


그림 1 AC전압 인가회로

실험조건은 온도 18~24℃, 전극간 간격 0.5[cm]이고 압력 2, 4, 6[atm,abs]에서 AC 60[Hz]를 인가하여 실험을 수행하였다. 전압 인가방법은 약 20[sec]내에 기대 파괴전압의 50[%]에 도달후, 초당 기대 파괴전압의 1[%] 비율로 상승하였다. 50~100회의 파괴를 각 경우에 대해서 각각 2[min]간격으로 해서 얻었다.

### 3. 실험결과 및 분석

그림 2~5는 압축 SF<sub>6</sub>가스에 표 1의 전극 A~D의 50~100회 AC파괴전압을 나타낸 것이다. 가스압은 [atm,abs]로 나타내고, 파괴전압의 이론치는 점선으로 표시하였다.

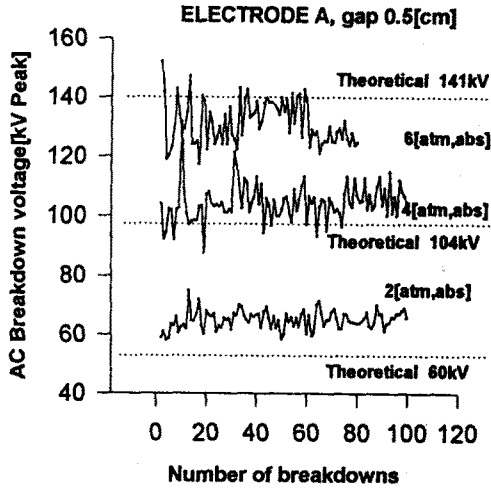


그림 2 전극 A의 파괴전압

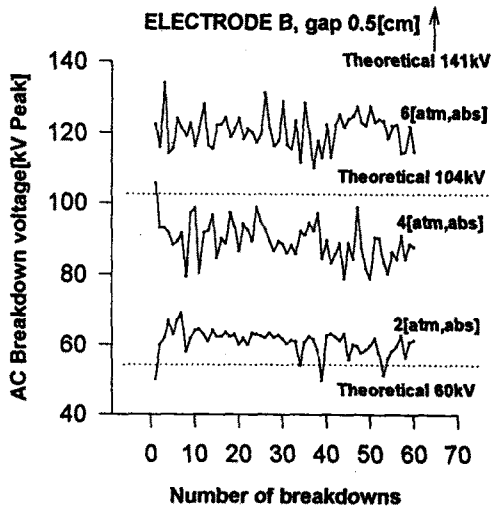


그림 3 전극 B의 파괴전압

파괴전압의 통계적 분포는 파괴메카니즘의 명확한 표시이다. 파괴전압은 최대전계에 의해 결정되므로 최대전계강도의 통계적인 분포를 실험하였다. 통계적인 분포의 샘플 모집단의 유사성을 설명하기 위해서는 컨디전닝 효과가 고려되어야 하나 분포의 개략적인 개념을 얻기 위해 여러 종류의 압력에서 관계 가능한 전극A의 최대파괴전계강도의 누적확률분포의 예를 그림 6에 나타낸다.

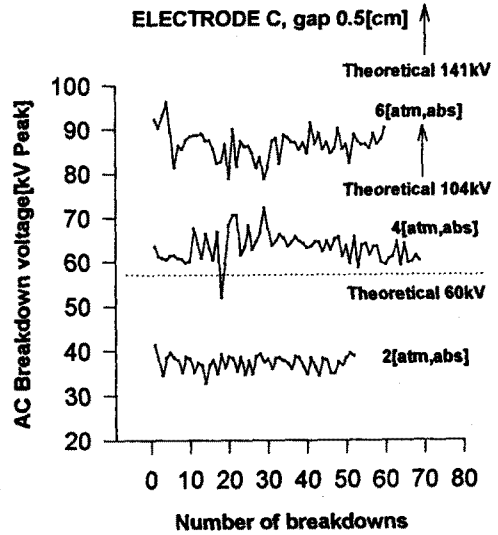


그림 4 전극 C의 파괴전압

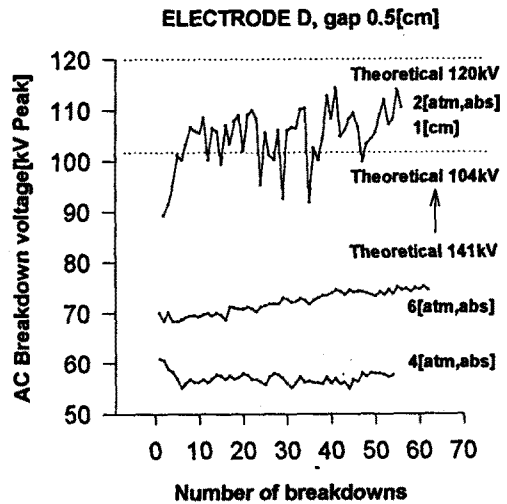


그림 5 전극 D의 파괴전압

그림 6에서 나타낸 것처럼 압력이 낮을 때는 일반적인 분포를 하지만 압력이 증가함에 따라 점차로 높아지는데 이것은 고전계강도는 초기전자가 존재시 유효하다. 그러나 분포는 파괴전계강도가 이론치보다 낮은 고압력의 영역에서 시작하므로 이분포는 극값분포를 따르는 것으로 알려져 있다.[1] 또한 전극의 면적이 증가할 때 통계적분포는 극값분포인 Weibull분포로 된다. 파괴전압 값을 이론적인 추정값보다 낮은 영역에서 적용시키기 위해서는 Weibull분포가 사용된다. Weibull분포식은 다음과 같이 된다.

$$F(E) = 1 - \exp[-\lambda(E - E_0)^m] \quad (1)$$

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(E)} = m \ln(E - E_0) + \ln \lambda$$

여기서  $\lambda$ 와  $m$ 은 분포의 크기 및 형태를 규정하는 상수이고,  $E_0$ 는 임의의 기압에서 파괴가능한 최소전계강도이다. 주어진 전극면적의 단위전장 누적확률이 식(1)과 같다면 면적이 단위전장보다 수배 큰 전극의 확률  $F_s(E)$ 는 다음과 같다. 겹 s개

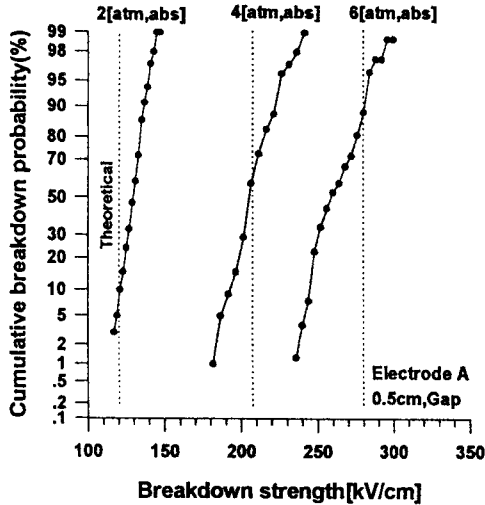


그림 6 전극 A의 파괴전계강도의 누적확률분포

로 병렬로 연결되어 있다고 하면 E에서 단위갭에서 파괴가 일어나지 않을 확률은  $1-F(E)$ 이므로 파괴되지 않을 확률은  $[1-F(E)]^m$ 이다. 그러면 파괴확률  $F_s(E)$ 는

$$F_s(E) = 1 - [1 - F(E)]^m = 1 - \exp[-\lambda s(E - E_0)^m] \quad \text{또는}$$

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F_s(E)} = m \ln(E - E_0) + \ln \lambda \quad (2)$$

그림 7는 여러 가지 압력에서 0.5%파괴전계강도를 전극의 면적에 따른 함수로 나타낸 것으로 전극의 면적이 증가함에 따라 전계강도는 점차감소하여  $E_0$ 값에 수렴하게 된다.

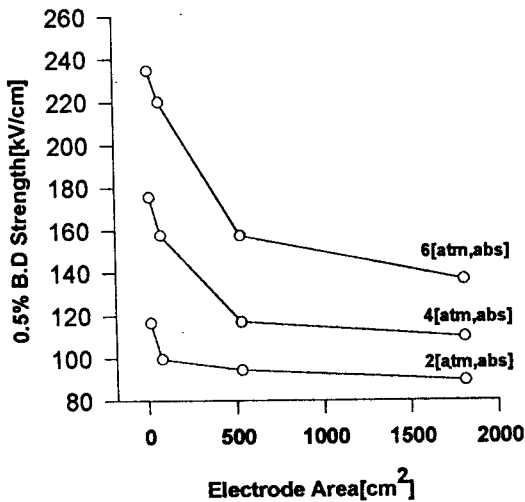


그림 7 전극면적이 함수인 최소파괴전계강도

그림 7의 각 압력 2, 4, 6[atm,abs]에 대해 전극의 면적  $A_e$ 을 변수로 한 최소파괴전계강도  $E_{BD}$ 의 다음과 같은 함수형으로 두 면 상수 A, B의 값은 표 2와 같이 된다.

$$E_{BD} = A * \log A_e + B \quad (3)$$

상수 압력	A	B
2[atm,abs]	-12.5721	128.6701
4[atm,abs]	-35.0814	220.1789
6[atm,abs]	-52.3373	306.6690

#### 4. 결론

본고에서는 SF<sub>6</sub>가스중 평행평판전극에서의 파괴전계강도의 통계적 특성에 대해서 고찰하였다.

SF<sub>6</sub>가스중 평행평판전극에 수십~백회의 절연파괴시 파괴전압은 통계적으로 극값분포인 Weibull분포를 나타낸다. 또한 시험전극의 전극면적이 넓어짐에 따라 파괴전압은 점차감소하여  $E_0$ 값에 수렴한다.

따라서 본고에서는 추후 여러 가지 전극형상과 통계적 샘플을 늘려 SF<sub>6</sub>가스중 파괴전압의 통계적 특성 및 절연의 신뢰성평가에 필요한 데이터를 획득하고자 한다.

#### 참고문헌

- [1] A.H.Cookson, "Electrical Breakdown for Uniform Field in Compressed Gases",PIEE,vol.117,No. 1, pp269~280, JAN., 1970
- [2] N. Yamada, et al "Electrical Breakdown and Prebreakdown Dark current in Compressed SF<sub>6</sub>",IEE of JAPAN, vol. 93-A, No.1 pp37-44, JAN, 1973
- [3] E. J. Gumberl, "Statistics of Extremes", New York, 1958