高壓 및 放電 特輯

徐 國 哲*

負性氣體SF_6Gas의 放電特性과 高氣壓SF_6Gas 중에서의 Impulse Corona에 關한 小考

——차 례——

1. 서 론
2. SF_6Gas의 방전개시 조건
3. 전극의 영향
4. 인가 전압파형의 영향
5. 도전성 입자의 영향
6. Spacer의 절연특성
7. SF_6Gas 중에서의 Corona 방전의 분류
8. Corona 방전과 Flash over 전압치
9. 결 언

1. 서 론

과거 수 10년간 전력 계통의 절연에 쓰여 온 공기에 대치하여 근년 고기압 SF_6gas에 의한 gas절연 방식이 급속도로 진전되고 있으며, 거기에 수반하여 SF_6gas의 방전특성 해명이 초고압 長 gap 영역에서 급선무로 되어 있다.

또한 초고압송전에 대응하는 각종 전력기기 Cable 등의 고기압 절연이 실용화 하게 되었으며 신뢰도가 높고 합리적인 gas 절연기기의 설계를 목표로 부성기체 특히 고기압 SF_6gas의 절연파괴 특성의 연구가 진행되고 있다. 고기압 SF_6gas는 높은 파괴 전계를 갖이므로 극히 적은 원인으로도 절연 특성에 영향을 미치며 공기, 질소등 기체와는 매우 다른 방전 특성을 나타낸다. 여기서는 SF_6gas의 특이한 방전 특성과 고기압 SF_6gas 중에서의 Impulse corona의 특성을 고찰하려고 한다.

2. SF_6gas의 방전개시 조건

Gas에 인가되는 전계에 국부적인 전계변위(變歪)가 없는 상태에서의 SF_6gas 자체의 방전조건은 단순한 법칙성에 의하여 구할 수 있다.

부성기체 중에서 전리에 의하여 방전을 일으킬 경우 전자 Avalanche의 크기는 전리계수 α, 전자부착 계수를 η로하고, 전계방향으로 x를 취하여 $exp\int(\alpha-\eta)dx$로 주어진다.

또한 SF_6gas중 gap의 이론적 파괴전압 Vd(kv)는 근사적으로 다음식을 만족 한다.

$$Vd=89pul(1+0.175/\sqrt{RP}) \quad (1)$$

R : 최대전계를 주는 전극의 서로 직교하는 두 방향의 곡률 반경의 조화평균(cm)

l : gap의 길이(cm)

u : gap의 평균전계와 최대전계의 비

p : 기압(atm)

전계가 매우 불평등하여 corona를 일으킬 경우에는 이 식은 corona 개시 전압을 표시한다. 또한 이식은 초기 전자 부족에 의하여 파괴전압이 일정하지 않을 때에는 그 최저값을 주는 것이다.

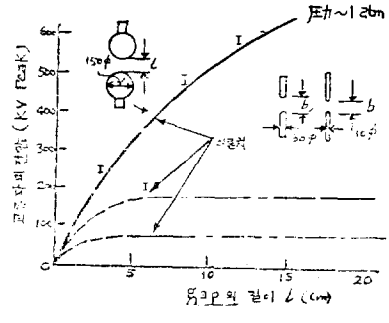


그림 1 : SF_6gas의 파괴전압 이론치와 실험치의 비교

Fig.1은 각종 전극에서의 이론치와 실험치와의 비교이다.

SF_6gas이 파괴특성이 (1)식으로 주어지면, 일정한 전극 형상으로 gap$l$을 증가하면 u가 감소하여, 그 적(積)의 변화는 근소한 것으로 부터 gap$l$에 대하여 파괴 전압이 심한 포화 특성을 나타내는 Fig.1에 표시된 성질이라든지 파괴전압이 국소적인 최대전계에 의존되기 쉬운 부성기체 특유의 방전특성을 이해 할 수가 있다.

3. 전극의 영향

실제의 gas 절연기기 등에서는 이론치보다 훨씬 낮은 전압으로 파괴가 일어나는 일이 있다. 실험치가 이론치와 일치하는 영역과 이론치 보다 저하하는 영역은 gas압과 전극의 크기와 표면의 조도(粗度)에 의하여 결정하여 진다.

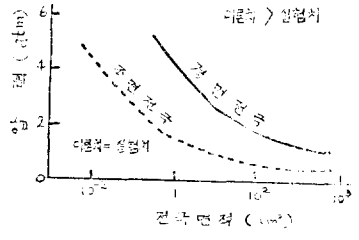


그림 2 : 이론치와 실험치와의 관계 전극면적과 gas압의 영향

Fig.2는 이 영역의 경계를 전극의 조도(粗度)를 패러미이터로 하여 구한 결과이다.

이론치>실험치인 영역에서의 파괴전압 저하의 정도는 Fig. 2의 경계로 부터 멀어질수록 커지며 또 인가전압의 파형, 극성에 의하여 다르다. 또한 부전극의 영향이 현저하며 정전극의 표면은 거의 관계치 않는다.

이 영역에서는 몇번 파괴를 일으키며 서서히 파괴전압이 상승한다. 이것은 파괴에 의하여 전극 위의 미소한 돌기가 소멸하기 때문이라고 생각되며, 그 특성은 전극위에 존재하는 미소돌기의 수 즉 전극의 면적과 표면粗度의 영향을 받는다.

이와같이 고기압 SF_6gas의 파괴전압이 부전극 위의 미소한 약점에 의하여 저하하므로 약점의 존재확율과 직접 관계되어 있는 전극 면적이 넓을수록 파괴전계가 저하되는 면적 효과가 관측된다.

Fig. 3은 전극 면적과 파괴전계와의 관계이며 파괴가 이와같이 약점에 의하여 일어날 경우 파괴확률분포로 되지 않고 좌우 비대칭인 극치 분포를 나타내는 것

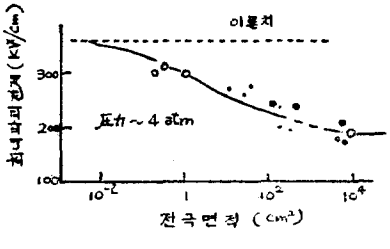


그림3 : SF_6gas의 파괴전압에 대한 전극면적의 효과

으로 알려져 있다.

이 극치분포의 성질로 부터 면적효과가 이론적으로 설명된다.

4. 인가 전압 파형의 영향

일반으로 전계의 국소적인 변왜(變歪)에 의하여 파괴전압이 저하할 경우, 10μs order의 시간 늦음을 요한다. 이 때문에 雷 Impulse에 대한 파괴전압의 저하는 대우 적으나 파형이 완만해 질수록 저하가 현저해지며, 100μs 정도 이상의 파두장을 갖는 부극성 개폐 Surge의 파괴전압은 교류의 파괴전압과 거의 같은 값을 나타낸다.

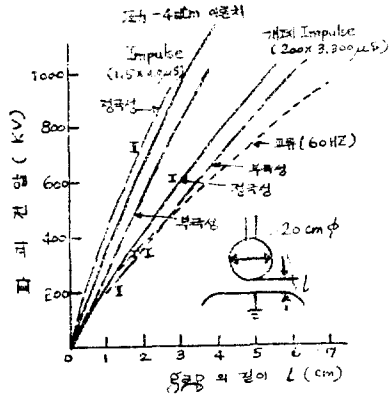


그림4 : SF_6gas의 파괴전압에 대한 인가전압 파형의 효과

Fig. 4는 4atm SF_6gas 중에서의 20cmϕ 구평판 gap에 대하여 구한 파괴전압을 이론치와 비교한 보기이다. 정극성 파괴전압은 Impulse, 개폐 Surge 공히 부극성 보다 수% 높다.

정극성 개폐 Surge 파괴전압이 이론치보다 낮은것은 gap의 전계의 불평등 성이 작으므로 부전극인 평판전극의 영향이 나타나 있기 때문이다. 직류에 대한 파괴특성은 정, 부극성 공히 상술의 개폐 Surge의 특성과 거의같은 특성을 나타낸다.

Long gap, 봉(棒) gap와 같이 매우 불평등한 gap에 대한 부성기체의 방전은, 부분 방전에 의한 전하의 영향으로 특이한 성질을 나타내며 그 인가전압 파형에 대한 이존성은 방전기구 해명상 매우 흥미 있는 일이다.

5. 도전성 입자의 영향

Gas 절연기기내에 도전성인 미소입자가 혼입하여 파

파전압을 매우 저하시키는 일이 있다. 이러한 도전성 입자는 인가전계가 어느 값을 넘으면 전극으로 부터 떠올라, 교류인가 전압에 대하여는 전극근방에서 진동하고 인가전압이 더욱 증가하면 그 진폭이 늘어 맞은편 전극에도 도달한다.

도전성 입자가 파괴전압을 저하시키는 이유는 여러가지 생각되고 있으나 다음 두가지 중요하며, 실험 조건에 의하여 어느 편이 지배적 요인이 된다고 보고 있다.

① 입자의 존재로 인하여 군방의 전체가 높아진다.

② 대전한 입자가 반대 극성의 전극에 접촉할 때 미소방전이 일어나 파괴가 시작 된다.

Fig. 5는 15cm/25cm 동축원통전극에 여러가지 길이의 0.04cmϕ 동선편을 넣었을 때의 교류파괴 전압을 나타내고 있다.

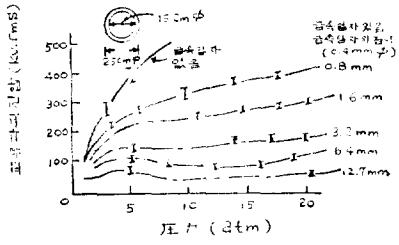


그림 5 : SF_6gas의 파괴에 미치는 도전성 입자의 효과

동선편의 길이와 함께 파괴전압은 저하되고 또 어느 기압에서 파괴전압이 peak를 나타내고 부성기체중의 심한 불평등전계 gap의 파괴특성과 유사한 특성을 나타낸다.

이때 파괴전압이 gas압에 대하여 거의 의존하지 않는 것도 특징이다.

6. 스페이서(Spacer)의 절연특성

Gas 절연기기에서는 유전체를 지지하기 위하여 고체의 절연 Spacer가 사용된다. 이 Sapcer와 도체와의 경계면에 근소한 틈새가 생기며 여기에서 미소한 방전을 이르켜 전체의 파괴전압을 매우 저하시킨다.

이 특성을 개선하기 위하여 Spacer와 도체와의 접촉부의 전계를 국부적으로 낮추는 여러가지 방법이 연구되고 있으며 잘 설계된 Spacer의 파괴전압은 gas 자체의 파괴전압에 가까운 level까지 높일수가 있다.

7. SF_6gas 중에서의 Corona 방전의 분류

2.8(1.7)×42μs(실파두 2.8μs, 30~90%인 점으로 부터 구한 파두장 1.7μs, 파미장 42μs을 뜻함) 50(35)×370μs, 400(280)×2300μs인 세가지 Impulse 파형을 인가하였을 때의 Corona (flash over 하지 않을 때의 경우)는 SF_6gas의 기압 전극형상, gap의 길이 기타에 의하여 변하나, 50% flash over 전압에 가까운 전압을 인가한 경우의 특성을 종합하면

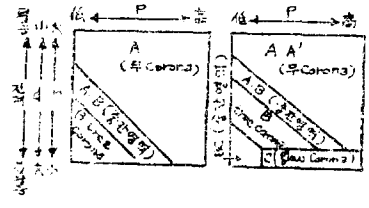
A 및 A′ : 무 corona,

B : tree corona,

C : glow corona

및 각각의 중간 영역으로 나뉘어진다.

이것을 정·부의 극성에 따라 도시한 것이 Fig. 6이다. A의 무 corona는 flash over를 이르키지 않을 때에는 corona도 발생하지 않는 영역이며 다시 말하여 corona가 발생하면 모두 flash over까지 이르는 것을 뜻한다. 이러한 특성은 대기압 공기중에서는 평등전계에 가까운 경우일 뿐이나, 고기압 SF_6gas에서는 매우 불평등한 전극 배치에서도 corona가 그대로 flash over로 이르는 것이 특징이다.



(a) 정극성 (b) 부극성

P : SF_6의 기압, d : gap의 길이, r : 전극첨단의 곡률반경

그림 6 : SF_6gas 중에서의 corona 방전특성

B의 tree corona는 전극 첨단으로 부터 나무가지 모양으로 늘어나는 corona이며, 실험 조건의 변화에 의하여 늘어나는 모양, 가지가 갈라지는 모양이 변한다.

C의 glow corona는 장파두장(400μs) 부극성 Impulse, 각봉대 평판전극, 고기압에서만이 볼 수 있는 각봉첨단만 약간 빛나는 corona이며, 전류파형이 직류분 뿐이라는 것과, flash over 전압을 몹씨 높이는 것이 특징이다.

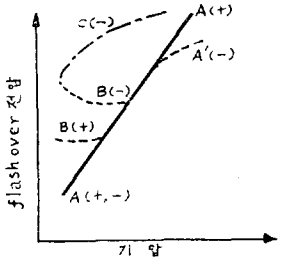
파두장이 2.8μs인 경우 corona 방전의 형식은 정극성에서는 극단한 불평등전계라도 고기압으로 되면 corona 방전이 그대로 flash over로 이르는 일, 부극성

은 정극성보다 corona를 이르키기 쉽고, 이와같은 무 corona에로의 이행은 구대평판전극에서 생긴다. Fig.6에 표시한 바와같이 gas의 길이가 클수록, 따라서 전계의 불평등성이 심할수록 고기압에서도 corona를 발생하기 쉽다.

8. Corona 방전과 Flash over 전압치

SF_6 중의 corona의 상태와 flash over 전압치와는 매우 밀접한 관계를 갖고 있다. 이것을 일반적으로 종합한 것이 Fig. 7이는. 그림에서 실선은 corona 개시전압, 또는 corona를 거치지 않을 때의 flash over전압을 표시하고, 정극성에서는 이 값은 기압에 대하여 거의 직선적으로 증가한다.

한편 부극성은 기압이 낮은 경우 정극성과 거의 일치된 값을 표시하나, 고기압에서는 이것보다 현기하여 낮아진다. 이것이 그림의 A′이다. 부극성 flash over 전압의 고기압에서의 저하원인은 음극표면으로 부터의 전계 방출전자가 부 ion으로 된 전계 stress효과, 전극표면의 산화절연피막을 축적 ion이 절연 파괴하는 것에 의한다. 등의 설이 있으나, 정량적인 해명은 아직 되어있지 않다.



A,A′ : 무 corona 영역
B : tree corona 영역
C : glow corona 영역

그림 7 : SF_6 속에서의 flash over 전압과 corona 방전의 관계

곡선 B는 tree corona 영역이며, 부극성 corona 쪽이 전계완화효과가 크기 때문에 정극성보다 flash over 전압이 높아진다. 또 같은 전극배치에서는 부극성쪽이 corona를 이르키기 쉽고 corona가 발생하는 기압범위가 넓다.

곡선 C는 각봉대 표판전극의 장파두장 부극성, 고기압만으로 발전된 glow corona에 의한 flash over 전압을 나타내고, 전계가 극단으로 불평등 함에도 불구하고 flash over 전압이 높아지는 것이 특징이다.

9. 결　언

이상 고전압기의 설계상 문제점으로 된다고 생각되는 SF_6gas의 방전특성에 관한 최근의 연구구성과와 고기압 SF_6gas 중의 Impulse corona에 대하여 일반적인 방전 성질을 개설하였다.

SF_6gas방전특성중 실용적으로 가장 중요한 것은 고기압인 flash over 전압이 평등 전계에서는 매우 높으나, 불평등으로 되면 매우 낮아지는 점이다. 그 원인은 고기압 SF_6 중에서는 corona 방전이 그대로 flash over로 이르기 쉽기 때문이다.

금후 적당한 혼합 gas의 이용 등에 의하여 불평등 전계에 있어서도 충분히 높은 절연 내력을 갖는 gas 절연방식의 개발이 기대된다.

參 考 文 獻

1) 木下, 高電壓現象
2) 鳳, 木原, 高電壓工學
3) 宅間, 放電研究會資料. 電氣學會, 1971
4) 赤崎・林. 放電研究會資料, 電氣學會, 1972
5) 宅間・渡邊, 電學誌90, 1970~71
6) G,E, Goldspink, *Phenomena in Ionized Gases* 1965
7) Y, Toriyama, *Dust Figure of Sur face Discharge and its Applications.* 1961
8) 電氣規格調査會, JEC—171 衝擊電壓試驗一般 1968
9) 電氣規格調査會, JEC—172 衝擊電壓電流測定法 1968
10) JEC Publication 60, *High Voltage Techniques* 1962
11) IEC TC 42, *High Voltage Techniques.* 1971
12) Peek, *Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering.*