

# 초고압 불평등전계중 SF<sub>6</sub>가스 절연파괴전압 예측

이형호\*, 서길수\*\*

(\*한국전기연구소 고전압연구팀장, \*\*동 연구소 고전압연구팀 연구원)

## 1. 서론

패적인 사회생활을 위하여 이용되는 각종 에너지 가운데 전기에너지는 제어·변환이 간편하고, 장거리수송시의 고효율성 등의 특징을 갖기 때문에 그 중요성이 점차 증가하여 21세기에는 쉘에너지의 50%이상을 차지할 것으로 예상된다[1].

그 가운데 가스절연개폐장치, 변압기 등의 신뢰성 향상을 위한 기초기술 개발은 기술과제로서 굉장히 중요하다. 사회시스템의 제1의 요구는 고도정보화에 동반하는 전력공급의 안정성, 신뢰성 향상 및 정전압과 그파형정도의 향상 등 전기의 질에 기인하는 과제이고, 제2는 대도시와 그주변으로 대표되는 고밀도사회로부터 오는 것으로, (1)설비기기의 축소화, (2)방재대책으로의 불연화, 내진화 및 (3)환경조화대책으로서의 구조의 스마트화 등과 같은 소재면, 구조면의 과제이다.

이러한 상황에서 국토가 좁은 우리나라에서는 환경조화 문제와 더불어 Compact한 대용량전력기기의 개발을 필요로 하게 되어, 절연 및 소호 매체로서 뛰어난 SF<sub>6</sub>가스가 1960년대 후반부터 송전, 변전, 배전설비에 사용된 이후 현재는 차단기, 단로기, 모선 뿐만 아니라 변압기에도 SF<sub>6</sub>가스 절연이 적용되고 있다[2-4].

한편, 가스절연개폐장치의 실용화연구는 신뢰성 향상과 경제성이라는 2가지 측면에서 연구가 진행되어, 신뢰성 향상에 관해서는 전계해석기술의 고도화 및 SF<sub>6</sub>가스의 절연특성 등 기기의 성능추정법의 확립, 경제성에 관해서는 소형축소화 및 고밀도화를 기본으로 기기구성의 간소화가 시도되고 있다. 고기압 SF<sub>6</sub>가스를 절연매체로 하는 대표적인 전력기기인 가스절연개폐장치(GIS: Gas Insulated Switchgear)는 높은 절연내력 및 소호성능에 의하여 종래에 비교하여 그 크기가 약 1/20까지 축소되고, 또한 밀폐화에 의해서 고신뢰화, 보수이 간편화, 환경조화 등의 이점을 가지고 있다. 이점 때문에 GIS는 1966년 프랑스 EDF의 변전소에 최초로 개발된 이래, 우리나라에서는 1970년대말부터 1980년대초 사이에 외국기술의 도입에 의해 GCB 및 GIS의 개발생산이

시작되어 1978년에 170kV-31.5kA GCB, 1979년에 362kV-40kA (2점절) GCB, 1980년에는 170kV 및 362kV GIS가 처음으로 국내에서 생산이 되었으며, 최근 765kV급 GIS 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그간 여러가지의 기초기술, 해석기술이 확립, 개량되고 또 제작경험, 현장경험도 축적되어 실용성능에 관한 노하우도 증가하여 왔다. GIS의 기술동향은 제작경험의 축적, 기초기술의 축적 및 해석기술 등의 향상을 기본으로 GIS의 고신뢰화, 고전압대용량화, 소형화가 시도되고 있다[5-7].

이를 위한 대책으로는

- (1) 절연파괴기구의 규명, 공간전하의 거동과 평가법, V-t특성에 의한 물성연구
- (2) 품질의 고도화, 신뢰성 공학의 도입, 운전보수합리화를 위한 활성절연 진단법의 확립, 완성기기절연 평가시험의 학문적 근거의 확립
- (3) 이상전압의 확실한 평가, 전계해석법 정확도 향상, 대규모실험에 대한 Computer simulation 기술 도입 등이 있다.

이상에서 알 수 있듯이 초고압전력기기의 소형화, 고전압화 및 전기환경에 대응하기 위한 체계적인 연구는 중요하다.

본고에는 實機器인 초고압 GIS의 최적설계에 기본이 되는 불평등 전계중의 SF<sub>6</sub>가스 절연 파괴전압 예측 기술에 대한 국내외의 연구결과[8-10]를 정리하여, 첫째 불평등전계중 SF<sub>6</sub>가스 절연파괴이론, 둘째 이온밀도와 통계적시간지연, 셋째 SF<sub>6</sub>중의 방전진전과 절연파괴의 계산 Model로 분류하여 기술하였다.

## 2. SF<sub>6</sub>가스중 불평등전계 절연파괴 이론[12]

GIS내부의 전극형상은 통상 준(Quasi)평등전계를 형성하도록 설계한다. 그러나 내부에서의 아크(Arc)형성이나 파티클(Particle)이 존재할 경우 불평등전계를 형성하게 되므로 불평등전계하에서의 절연파괴에 대한 메카니즘의 해석과

파괴전압을 예측할 수 있는 방법을 정리할 필요가 있다. 불평등전계에서 SF<sub>6</sub>가스가 파괴되기 위해서는 89 kV/cm·bar이상의 고전계영역에서 자유전자가 발생진전하여 코로나(Corona)발생을 동반하여 절연파괴에 이르게 되는데, 이러한 자유전자는, 부극성의 경우 전극에서의 전계방출, 正극성의 경우 가스중의 부이온에서의 전자분리에 의해 주로 발생된다.

2.1 부이온의 생성

SF<sub>6</sub>가스중 부이온은 우주선에 의해 중성 SF<sub>6</sub>가 전리되어 발생하고, 이온-이온의 재결합이나 전극표면과의 충돌에 의해서 소멸한다. 여기서 중요한 변수는 GIS중 부이온의 생성분리, 부이온의 공간밀도에 좌우되고 충돌시간, 전계, 가스압력의 영향 등이다. 실제로 측정된 결과에 따르면 부이온의 생성은 약 10개ion-pair/cm<sup>3</sup>·s·bar으로 가스압력의 상승과 더불어 증가한다. 평형상태에서의 부이온밀도는 2500개/cm<sup>3</sup>·s·bar정도로 추정된다. GIS의 내부에는 내부도체와 접지용기표면에서의 부이온밀도는 0이고, 가스공간에서는 평형상태로 된다. 그림 1은 500kV급 GIS의 가스압력 4 bar일때 내부도체 직경 7.5cm인 GIS가스공간의 부이온밀도를 추정한 것이다.

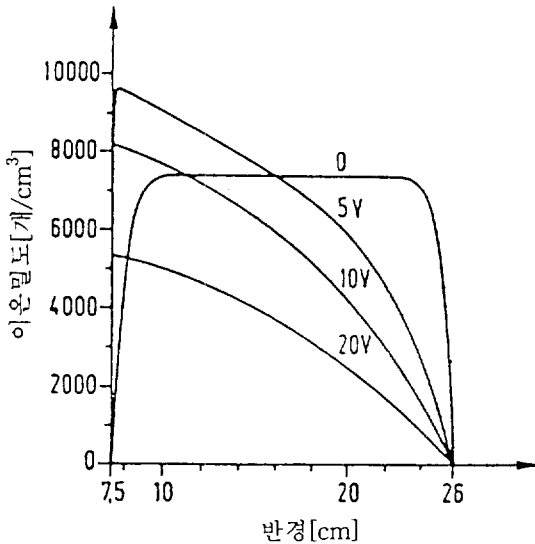


그림 1. 500kV급 GIS내부의 이온밀도

2.2 부이온에 의한 전자분리

SF<sub>6</sub>가스에 고전계가 인가되면 부이온은 Coulomb력에 의하여 운동에너지를 얻게 되고, 에너지가 증가함에 따라 중성 SF<sub>6</sub>분자와의 충돌확율이나 전자분리를 일으키는 고에너지의 부이온수도 증가한다. 부이온에 의한 전리확율과 인가전계와의 관계를 명확하게 결정하는 것은 어렵지만, 광범위한 전극조건의 실험결과를 정리해서 충돌에너지의 통계

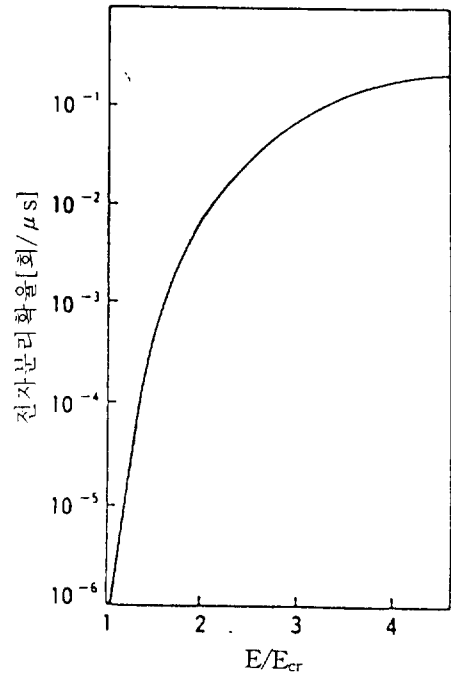


그림 2. 부이온에서의 전리확율과 인가전계의 관계

적인 분포에 적절한 가정을 설정하면, 이론적으로도 타당한 관계를 얻는 것이 가능하다.

그림 2는 4 bar의 SF<sub>6</sub>가스중에 전리 확율을 추정한 것으로 종축은 1개의 부이온이 1μs동안에 전리확율을, 횡축은 인가전계 E를 임계전계 E<sub>cr</sub>로 규격화하여 나타낸 것으로 E가 E<sub>cr</sub>을 넘어서면, 분리전자의 수는 급격하게 증가함을 알수 있다.

실제로 불평등전계파괴에 이르는 통계적 시간지연을 측정하면, 생성된 전자가 파괴를 일으키는 것으로 예측한 값과 잘 일치하는 것을 알수 있다.

2.3 불평등전계에서의 절연파괴 조건

2.3.1 평등전계와 불평등전계의 차이

평등전계에서 전자사태가 발생하면, SF<sub>6</sub>분자의 화학결합을 절단하고, 분자중의 전자를 여기해서 광을 발생한다. 이 광은 다시 SF<sub>6</sub>분자를 전리(광전리)하고, 전극에서 전자를 방출시키는 작용(광전자 방출)을 한다. 광은 전자사태보다도 더욱 빠르게 진전해서 자유전자를 생성하고, 스트리머로 진전하여 절연파괴는 단일 스텝(Step)으로 지극히 짧은 시간에 발생한다[스트리머(Streamer)파괴].

이것에 대해 불평등전계의 경우는 전자사태의 진전과 함께 선단의 전계는 급격하게 감소하기 때문에 스텝상 파괴로 된다[리더(Leader)파괴].

2.3.2 절연파괴의 필요충분조건

불평등전계에서 파괴가 발생하기 위해서는 리더의 개시

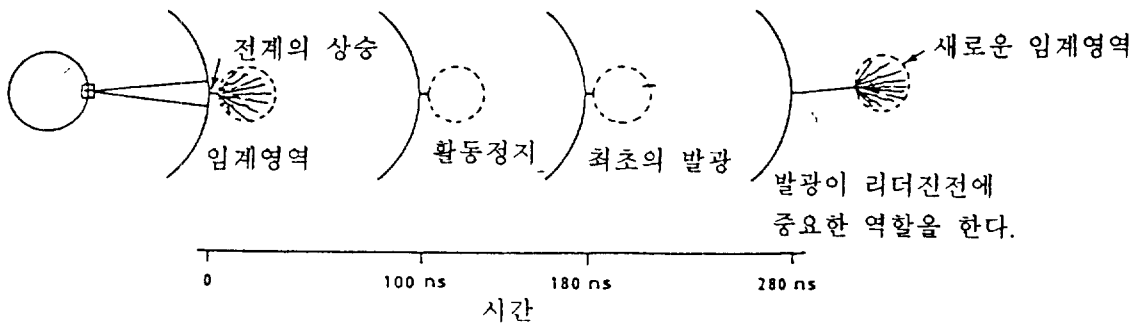


그림 3. SF<sub>6</sub>가스중 불평등전계의 방전진전과정의 개요

가 필요하고, 이것은 스트리머(Streamer)중에 충분한 전하가 주입될 필요가 있다. 그림 3은 리더파괴가 진전하는 상황과 그의 시간척도(Scale)의 개요를 나타낸 것으로 임계전계를 초과하는 고전계영역(임계영역)에서 전자사태가 발생하고, 발광이나 다수의 전자발생을 수반하면서 많은 스트리머가 형성됨을 알수 있다

이 결과 임계영역은 스트리머로 채워지고 짧은 시간동안 활동이 정지한다. 관측에 의하면 스트리머선단에서 광(Luminous event)의 발생이 명확함을 알수 있으며 이 광이 그전에 형성된 리더채널에 도달하면, 펄스(Pulse)성 전류가 흐르고, 스트리머 선단까지 리더가 진전한다.

이와같이 되기 위해서는 발광이 강한 도전성을 가진 채널을 형성하고 그것이 진전할 필요가 있다. 발광이나 그에 수반한 펄스전류는 채널을 가열하고, SF<sub>6</sub>가스는 분해되어 채널선단의 전계는 임계전계에서 2.5kV/cm정도까지 저하하고, 채널선단의 전계는 상승하여 이점이 새로운 임계영역으로 된다. 이 스텝의 반복이 파괴로 이르게 된다.

2.4 방전메카니즘[11]

SF<sub>6</sub>가스중 방전메카니즘은 스트리머형과 리더형이 공존하여 각각의 방전형태는 압력, 인가전압파형, 전극의 형상에 의존한다. 임펄스전압의 경우 전압의 인가직후는 스트리머형으로 되어 즉시 리더형으로 전환이 이루어지며 리더 선단에 스트리머를 수반하는 리더방전이 진전되어 가는 것으로 생각할 수 있다. 이 전환과정에 기초를 두고 Farish 등에 의하여 검토가 이루어지고 있는데, Pinnekamp등은 이러한 검토를 근거로 그림 4와 같은 SF<sub>6</sub>의 절연파괴모델을 제창하고 있다.

횡축은 압력, 종축은 전압을 나타내고, 방전영역은 압력의 변화에 의해서 스트리머로 지배되는 영역과 리더로 지배되는 영역 그리고 리더와 스트리머가 혼재하는 영역으로 분류되고 4개의 임계곡선으로 표현된다.

(1) 스트리머개시(Streamer onset) 곡선

불평등 전계에 있어서 스트리머의 개시전압의 하한치를 표시하고 이 이하의 전압에서는 방전은 일어나지 않으며, 이 경우 전자사태로부터 스트리머로의 전환조건을 구할 수가 있다.

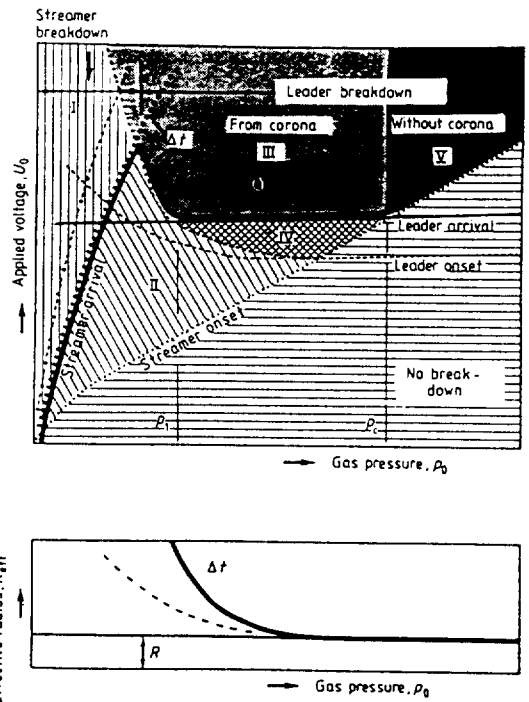


그림 4. 4개의 임계곡선으로 분류된 V-P특성

- (2) 스트리머 도달(Streamer arrival) 곡선  
침전극에서 발생한 스트리머가 대향전극에 도달하는 전압으로 섬락을 유발시킨다.
- (3) 리더 개시(Leader onset) 곡선  
Niemeyer와 Pinnekamp에 의해서 유도된 리더진전의 조건을 만족하는 곡선이다.

$$U_{cr} = \frac{Const}{\sqrt{dC/dX_L}}$$

여기서는 U<sub>cr</sub>은 리더가 진전하는 경우의 리더선단의 전압을 X<sub>L</sub>은 리더선단의 길이를 나타낸다.  
또 dC/dX<sub>L</sub>은 미분용량으로 불리우며, 리더의 선단의 전리영역과 대향전극과의 사이에 형성된 정전용량의 단위 길

이당 변화율이다.

(4) 리더도달(Leader arrival) 곡선

리더가 진전하면 리더내부의 전위강화로 인해서 리더선단의 전위가 저하한다. 리더개시 전압곡선에 대해서 그 저하분을 보정하기 위한 곡선이다.

절연파괴는 그림 4의 굵은 선보다 상측의 영역 I, III, V에서 발생하는데 이 경우 파괴는 다음과 같이 생각할 수 있다. 영역III은 코로나방전 즉 스트리머 코로나 또는 리더와 코로나를 수반하는 리더를 거쳐서 파괴가 발생하고, 영역V는 코로나 방전을 경유하지 않고 직접 파괴에 이른다. 한편 영역II에서는 스트리머가 발생하는데 스트리머 도달조건 혹은 리더개시의 조건을 만족하지 않으므로 리더는 발생하지 않고 스트리머 코로나만이 존재하고 파괴는 발생하지 않는다. 영역IV에서는 리더가 발생하지만 대향전극에 도달하지 않으므로 파괴는 발생하지 않는다. 절연파괴전압의 상승효과를 가져오는 코로나 안정화작용은 영역 II, III 및 IV에서 발생한다[8, 9].

### 3. 이온밀도와 통계적시간 지연[13]

GIS에 있어서 통계적 시간지연은 파괴확율의 예측에 중요한 양이다. 지금까지는 시간지연을 추정하는 기초적인 모델로서 체적-시간(Volume-time)법칙이 제안되어 있고, 준평동전계에서의 파괴에 적용하여 좋은 결과가 얻어지고 있다. 그러나 불평동율이 높은 전극구조에 있어서는 적용이 곤란하여 실험결과와 일치하기 위해서는 어느 정도의 가정을 설정할 필요가 있다. 여기서는 개략된 이론과 모델에 대하여 기술한다.

#### 3.1 통계적시간지연을 받는 체적-시간법칙

체적-시간법칙은 스트리머가 개시될 확율로 다음식으로 표현된다.

$$p = 1 - \exp\left[- \int_{t_n}^{t_n+t_s} \left( \int_V (dn_e/dt) p_0 dV \right) dt\right]$$

여기서  $dn_e/dt$ 는 체적 V의 공간내에서의 단위체적과 단위시간당 초기전자 생성·결합,  $p_0$ 는 초기전자가 스트리머로 전환하여 전자사태를 일으킬 확율,  $t_n$ 는 인가전압이 스트리머 개시레벨을 초과하는 시간,  $t_s$ 는 통계적지연시간을 나타낸다. 초기전자는 부이온에서 충돌전리(전계에 의해 가속된 부이온이 중성분자에 충돌해서 전자를 분리시키는 현상)에 의해 생성되므로 2장에서 기술한 부이온밀도나 전자의 분리과정을 고려하지 않으면 안된다.

### 3.2 여러 전극구조에서의 부이온밀도

#### 3.2.1 이온에 관한 기초결과

정·부이온의 생성, 재결합, 확산에 의한 밀도변화는 미분

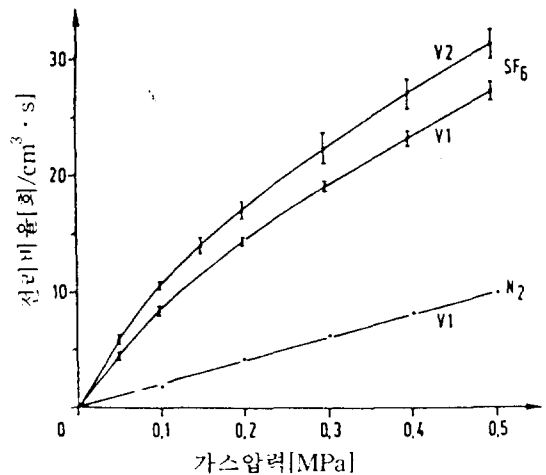


그림 5. SF6 및 N2중에서 전리비와 가스압력의 관계 (V1과 V2에서는 실험용기의 크기가 다르다)

방정식으로 기술하는 것이 가능하고, 또 이것을 수치계산으로 해를 구할 수 있다. 전극배치, 전압파형에 대해서 갱신에 부이온밀도 분포를 계산하는 것도 가능하다.

그림 5는 이온의 생성비율을 결정하기 위해서 시험용기에 SF6 와 N2가스를 봉입하여 가스압력을 변화시키면서 전극간에 전압을 인가해서 정상전류를 측정하는 것이다. SF6가스의 경우 전리결합은 가스압력의 증가와 함께 증가하며 포화하는 경향을 나타내나 N2가스의 경우에는 SF6가스보다 완만하지만 직선적으로 증가한다.

이온의 이동도와 이온-이온의 재결합계수는 수 100V의 단형파전압을 인가했을 때의 필드전류 및 그것이 평형하게 도달한 후의 이온밀도를 측정해서 구할 수 있다. 확산계수는 이온의 이동도에서 Einstein관계식에 의해 구하는 것이 가능하다.

#### 3.2.2 이온밀도의 평형

전리비가 주어지면 무(無)전계에서 평형한 이온밀도에 도달하는 시간도 수치계산으로 구할 수 있다. 그림 6은 동축

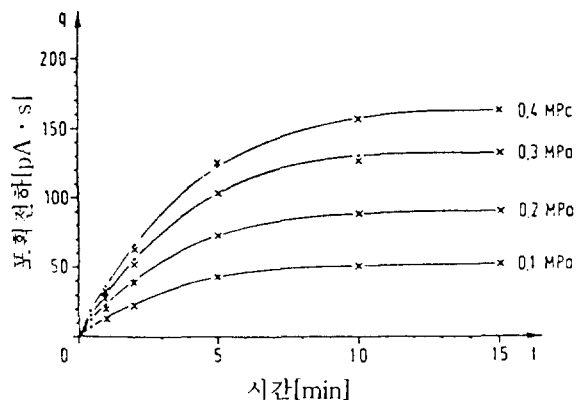


그림 6. 실험용기내의 포집전하의 시간특성

원통구조의 시험전극에 전계를 인가하면, 이온이 소멸된 후 이온밀도가 평형상태로 되돌아가는 것을 실측한 것이다. 그림의 심벌은 실측값, 실선이 상기의 계산으로 구한 것으로 둘다 거의 일치하는 것이 확인되어 이온밀도가 평형에 도달까지는 수분이상 걸린다는 것을 알수 있다.

따라서 연속해서 임펄스전압을 인가하는 시험은 적어도 6분의 휴지간격을 설정해야 하고, 이보다 짧은 경우는 통계적지연시간의 증가와 절연파괴확율의 저하, 즉 파괴전압의 상승을 초래하는 경우가 있다.

### 3.3 통계적시간지연의 측정

통계적시간지연의 측정은 집지축의 봉전극부에 연결된 프로브(Probe)에 의해 행해진다. 인가전압은 임펄스(5.6×420μs)로서 가스압력은 1 bar로 하고, 봉전극에 흐르는 전류펄스를 검출해서 방전개시로 했다.

그림 7의 곡선은 부이온밀도의 전자분리비율을 고려하여 얻어진 통계적 시간지연 분포이고, 앞서 기술한 바와 같이 계산과정에서는 전자분리단면적의 분포함수를 실측값에 일치하도록 선택된다[4].

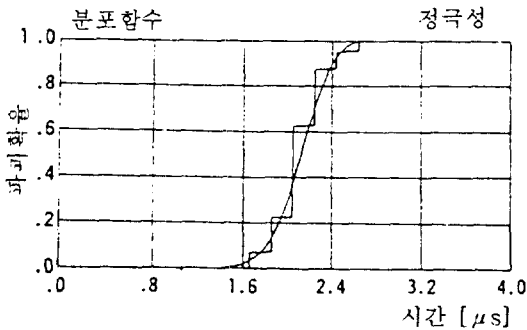


그림 7. 통계적시간 지연의 실측치(계단상직선)와 계산치(곡선)

## 4. SF<sub>6</sub>가스중의 방전진전과 절연-파괴전압 계산 Model[14]

불평등전계의 SF<sub>6</sub>가스중 방전진전은 코로나형성, 스트리머에서 리더로의 천이, 리더의 진전과정을 경유하는데 이들에 대해 적용할 수 있는 정량적인 모델이 제안되었다. 약간의 불평등전계 값에 있어서 파괴전압-가스압력특성의 실측과 모델에 의한 계산치로부터 파괴전압의 고정도(精度) 예측이 가능하다.

### 4.1 임펄스-코로나의 진전

상승시간이 급준한 전압파형에 대해서는 공간전하가 없는 가스중을 스트리머가 돌발적으로 진전하는데 이것을 임

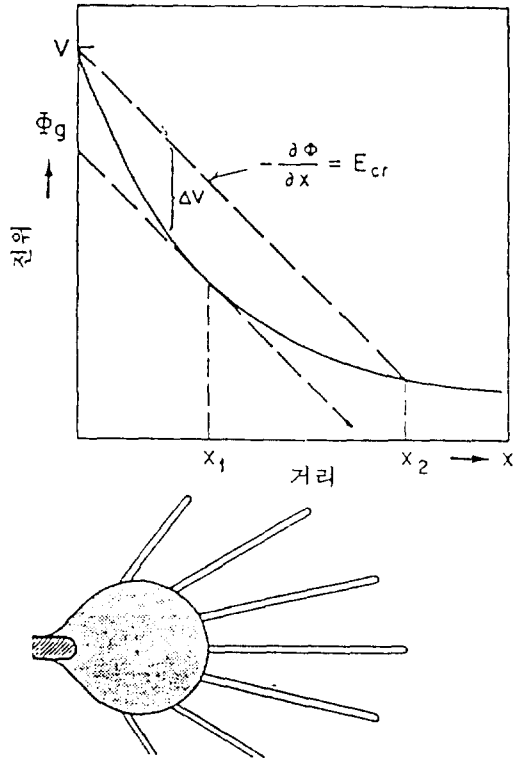


그림 8. 스트리머기구의 개요  
(윗 그림:꺾간의 전위분포, 아래그림:코로나 구조)

펄스 코로나라고 한다. 불평등전계에서 코로나의 진전은 정성적으로 그림 8과 같이 설명된다. 곡선은 꺾간의 전위분포, 상측의 파선은 스트리머 선단의 전위분포로 임계전계를 기울기로 나타낸 하측의 파선은 그것을 곡선에 접하도록 그은 것이다.

X<sub>1</sub>까지의 영역에서는 스트리머선단의 전위와 주위의 가스공간의 전위차가 스트리머선단에서의 전자사태의 성장을 만족한다. X<sub>1</sub>까지 스트리머가 진전하면, 공간전하의 생성은 없어지지만 양자의 전위차가 없게 된 X<sub>2</sub>까지 스트리머는 진전한다.

불평등전계에서의 임펄스 코로나의 Schilren관측에 의하면 전극근방의 영역에서 같은 모양으로 확장하는 코로나와 그 범위에서 선상으로 확장하는 코로나와 명확한 구별됨을 알수 있으며 그 개략도를 상기 X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>에 대응해서 그림 8에 나타낸다.

코로나의 진전길이나 전하량과 함께 상기의 해석은 SF<sub>6</sub>나 공기와 SF<sub>6</sub>의 혼합가스에 대해서 정확하다는 것이 실측에 의해 확인되었다.

### 4.2 리더의 개시

리더내에서의 도전율은 스트리머 채널보다 높고, 전계는 스트리머 채널보다 낮으며, SF<sub>6</sub>와 같은 전기적 부성기체와 공기에서는 스트리머의 성질에 거의 관계없다. 공기중의 리

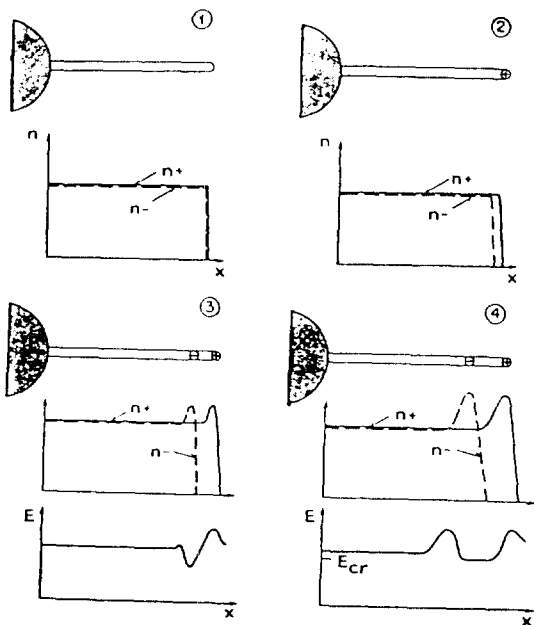


그림 9. Precursor의 개요(이온밀도 분포와 전계분포)

더는 Stem으로 되고 코로나가열에 의해서 형성되고, 전압 파형에 의존해서 연속적 혹은 스텝상으로 진전하는 것에 대해, SF<sub>6</sub>중에서는 스텝상의 리더가 관측되고 있지는 않다. 또 "리더 Precursor"라고 하는 특유의 방전진전형태가 존재한다.

SF<sub>6</sub>중의 방전진전 사진에 따르면, 코로나의 진전이 정지한 후, 무발광의 기간이 이어진다. 전극에서 떨어진 영역에서는 각 스텝의 진전거리가 짧지만, 정전극부근에서는 길다. 채널이 전극에 이르게 되면 전위가 급격하게 상승하기 때문에 갭중에 새로운 코로나를 형성한다. 이때의 채널은 급격하게 가열되고 가스의 조성이나 밀도가 변화하여 임계전계는 실질적으로 저하한다. 이와같이 채널은 리더로 전환한다.

방전진전이 일반적으로 리더전환보다도 먼저 일어나기 때문에 현상을 리더·Precursor라고 부른다.

그림 9는 Precursor의 기구를 나타낸 것으로 스트리머 채널은 많은 정·부이온을 포함하고, 두개의 밀도는 거의 같다. 스트리머의 진전이 정지되면 정·부이온은 역방향으로 이동하기 시작하여 스트리머선단에서는 전하밀도차가 발생한다(①,②). 이 밀도차는 고전계에서 새로운 전리(광)이 발생하고, 전하밀도는 더불어 증가하므로, 정·부양극분포를 형성한다(③). 두곳에서 전계 극대점이 역방향으로 각각의 속도로 이동하고, 그 사이의 전계는 거의 임계전계로 된다(④). 가열된 채널의 진전은 정전적인 조건에 의해 정지한 후 이 현상이 반복한다.

### 4.3 리더의 진전

Precursor에서 리더로의 전환은 전극 에너지에 관계한다.

주입된 에너지는 가스를 가열해서 분산시키고, 또한 국부적으로 압력과 온도를 큰폭으로 상승시킨다. 압력상승은 순간적으로 일어나므로 채널은 충격파 모양으로 전파한 후 밀도는 급속하게 저하한다. 충격파는 Schlieren관측법으로 확인된다.

리더채널의 도전성이 높은 것은 가스밀도의 저하와 임계전계의 저하에 기초하고, 리더내부의 전위강하가 작은 것은 리더개시전압과 파괴전압의 차가 작기 때문이다. 따라서 파괴 모델은 리더의 각 스텝에 복잡한 계산 없이 리더개시전압과 리더내부의 전압강하를 구하면 가능하다.

### 4.4 절연파괴의 계산모델

본 계산 모델은 거의 물리적 이론에 근거하고 있지만, 일부는 실험치가 포함되어 있다. 현상에서는 계산을 간단히 하기 위해 다음과 같은 제약이 따른다.

- 1) 전극배치는 회전대칭으로 한다. 단 3차원장으로 적용도 가능하다.
- 2) 인가전압파형의 상승시간이 수십  $\mu$ s이하의 급준파에 대해서도 이용하는 것이 가능하다. 그렇지 않은 경우에는 파괴전압의 계산값은 하한값을 얻게 된다.
- 3) 코로나 고려시 임계영역내의 전계는 같은 모양으로 임계전계로 된다고 가정한다.
- 4) 가스압력 1bar이하이고, 갭길이 20mm이하인 경우에는 코로나 형상으로의 근사는 적절하지 않다.

계산모델은 최초에 正전극상의 최대전계를 구한 다음, 코로나를 모의하여 여러가지 크기의 도전성의 구를 갭내에 삽입한 후에 스트리머 개시전압, 스트리머 파괴전압, 리더 개시전압등 파괴전압의 추정에 필요한 값을 계산한다.

스트리머나 Precursor의 수치적인 모델은 리더개시전압 추정의 열쇠가 되는 이온밀도의 평가는 가능하지 않다. 그래서 이온밀도는 구내의 소코로나 전하량에 관계한다고 가정하고 실험에 의해 임계 코로나 전하량을 측정하여 계산에 사용된다.

Program에서는 스트리머 개시전압을 초기값으로서 코로나 전하량을 임계전하량과 비교하여 전압과 코로나 구의 크기를 계산한다. 리더가 대향전극에 도달하는 전압을 리더 개시전압으로 리더내부의 전압강하를 가해 결정된다. 마지막으로 최저 스트리머 파괴전압과 더불어 리더 도달전압을 고려하여 갭의 최저파괴전압이 계산된다. 이것에 인가전압 파형에 대해 유효한 초기전자의 발생확율을 포함하여 최종적으로 파괴전압이 계산된다.

### 4.5 파괴전압의 계산값과 측정값의 비교

본 계산모델의 정도(精度)와 신뢰성은 여러가지 조건에서 실험에 의해 확인 가능하고, 갭길이는 25~215mm, 높은분 평등전계에서 평등전계에 가까운 것까지 21종류가 시험에 사용되었다. 여기서는 계단형전압을 인가한 4가지 경우의 결과를 그림 10에 나타낸다.

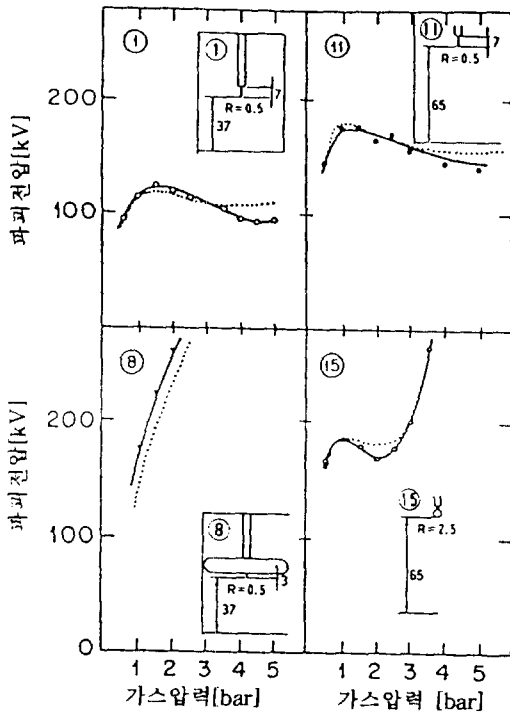


그림 10. 각종 갭형상에 있어서 파괴전압-가스압력특성  
 실측치 : 실선, 계산값 : 점선

### 5. 결 론

본고에는 實機器인 초고압 GIS의 최적설계에 기본이 되는 불평등전계중의 SF<sub>6</sub>가스절연 파괴전압예측 기술에 대하여 첫째 불평등전계중 SF<sub>6</sub>가스절연파괴이론, 둘째 이온밀도와 통계적시간지연, 셋째 SF<sub>6</sub>가스중의 방전진전과 절연파괴의 계산 Model로 분류하여 기술하였다.

전술한 계산모델은 아직 어느정도 한계가 있지만, 최근 GIS의 신뢰성 향상을 위한 주요 관심사로 대두되고 있는 파티클의 영향을 고려한 초고압전력기기의 절연설계기술, 단로기의 초고속과도 서어지 현상, 복잡한 전극형상에서의 절연설계등에도 본기술의 응용이 가능할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

[1] 제31회 전력그룹협력회 워크샵, “電力供給 信賴度 向上 對策”, 한국전기연구소 주관, 1993.11  
 [2] A.H.Cookson, “Gas Insulated Cable”, IEEE-EI, Vol. 20, No. 5, 859, 1985  
 [3] 일본전기협동연구, “절연설계의 합리화”, 전기협동연구, 제44권, 제3호, 1988  
 [4] H. Toda et al, “Development of 800kV Gas Insulated Swichgear”, IEEE Trans on power Delivery, Vol.7,

No.1, 1992

[5] 일본전기학회 가스절연개폐장치기술조사전문위원회, “GIS 선능에 배려되고 있는 제문제”, 기술보고서 II부 163호, 1984  
 [6] 일본전기학회 가스절연기술조사전문위원회, “급준파서어지와 GIS의 절연문제”, 기술보고서 II부 324호, 1990  
 [7] 이형호, 박사학위논문, “A Study on Breakodwn Mechanism and Improvement of Dielectric Performace under Particle-initiated Conditions in SF<sub>6</sub> Gas”, 1993  
 [8] 서길수, 문인옥, 김익수, 이형호, “SF<sub>6</sub>가스중의 코로나안정화작용이 절연파괴특성에 미치는 영향”, 전기재료연구회, 1995.5.27  
 [9] 서길수, 문인옥, 김익수, 이형호, “불평등전계중의 SF<sub>6</sub>가스절연파괴 특성”, 하계학술대회, 1995.7.20-22  
 [10] T. Hara, N. Sugiyama and K. Kita, “Imprved Surface Flash-over Characteristics of SF<sub>6</sub> Gas Spacers Contaminated by Conducting Particle”, Proc of 4th ISH, No.34.01, 1983  
 [11] F Pinnekamp and L Niemyer “Qualitative Model of Breakdown in SF<sub>6</sub> in Inhomogeneous Gaps” J. Phys. D: Appl. Phys., 16, 1293~1302page.  
 [12] N. Wiegart, L. Niemyer, F. Pinnekamp, W. Boeck, “Inhomogenous Field Breakdown in GIS the Prediction of Breadkdown Probabilities and Voltages” Part I, Overview of a Theory for Inhomogeneous Field Breakdown in SF<sub>6</sub>, IEEE/PES 1987 Meeting, 87 WM 190-2, 1-7page, 1987  
 [13] Ibid, Part II, Ion Density and Statistical Time lag,  
 [14] Ibid, Part III, Discharge Development in SF<sub>6</sub> and Computer Model of Breakdown,

### 저 자 소 개



이형호(李亨浩)

1953년 3월 16일생. 1976년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 2월 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 3월 일본 구주대 전기공학과 졸업(공학박). 1980년 2월~현재 한국전기연구소 고전압연구팀장. IEEE 회원, 일본전기학회 회원.



서길수(徐吉洙)

1966년 8월 25일생. 1989년 2월 22일 영남대 전기공학과 졸업. 1994. 8월 동 대학원 졸업(석사). 1995년 1월~현재 한국전기연구소 고전압연구팀 연구원