

자유이물에 의한 GIS 내부 코로나특성 연구

윤진열

한국전력연구원

Corona Discharge in GIS Initiated by Free Conducting Particles

Jin Yeol, Yoon

KEPRI

[Abstract]

The Gas Insulated Switchgear(GIS) has made it an indispensable part of power transmission network.

In order that the GIS may have its high reliability, it is necessary to pay careful attention to its whole process e.g., designing, manufacturing, installation, and operation.

The main hazard in GIS comes from free conducting particles, which can move and cause breakdown under the influence of the electric field. Although the concentration on protecting the GIS inner part against the free conducting particles is made, it is, actually, almost impossible to avoid the hazard from the particles throughly.

In this paper, the corona discharge in GIS initiated by the free conducting particles was described through laboratorial experiment. The magnitude of the corona discharge voltage was measured using current measuring method by the impedance. The purpose of this experiment is to get fundamental data which is essential to develop GIS diagnosis technology.

1. 서 론

GIS는 기기신뢰도는 높으나 내부고장 발생시 피해가 광범위하고 복구에도 수일이 소요되는 등, 고장에 의한 파급효과가 매우 크다. 또한, 운전전압이 345 kV 등 초고압 설비일 경우 또는 대용량 발전소의 경우 그 영향은 더욱 확대될 수 밖에 없다. 이에 대한 대응방법으로 예비설비를 확보하는 방안도 있으나 이 경우 시설 투자비의 과다부담 문제가 수반되기 때문에 바람직한 대처방안이라 하기는 어렵다. 근래에 와서는 내부이상을 사전에 인지하기 위한 예방진단설비를 추가하는 방향으로 진행되는 추세에 있다. 이렇게 할 경우 기기 내부에서 진행중인 결함을 운전자가 발견하여 사전조치 또는 계획보수를 가능하게 하므로써 불시정전을 예방하고 소요비용도 대폭 감소시킬 수 있는 큰 잇점이 있다.

GIS에서 발생하는 전기적 고장요인중 가장 큰 비중을 차지하는 것이 도전성 자유이물이다[1,2]. 그 외 요인으로는 도체표면 돌기부에 의한 방전, 접속불량 도전부에 의한 방전 등이다. 이들 결함이 갖는 공통적 특징은 완전한 절연파괴로 이어지기 전에 대부분 부분방전의 과정을 거치게 된다[3]. 도전성 자유이물이 GIS Enclosure 내에서 전계 하에 놓여지게 되면 정전력을 받게되고, 점착력 등, 기타 작용력을 무시했을 경우, 이 정전력이 중력에 의한 힘보다 크게 되면, Particle은 Enclosure 바닥으로부터 Lift off 을 하게된다. 가해진 전계가 계속 증가할 경우 Particle은 Bouncing, Hovering, Crossing의 과정을 거쳐 Break Down으로 진행하게 된다[4]. 이 과정에서 Particle에 의해 발생하는 부분방전 현상을 기기 운전자가 인지하게 될 경우 Break Down으로 진행되는

것을 예방할 수 있다.

본 논문에서는 초고압 실규모 크기의 GIS 실험설비를 통하여 Wire 형 Particle에 의해 발생하는 코로나 개시전압을 Lift off 전압과 비교 측정하고, Particle 거동현상을 동시에 관측하므로써 GIS 내부결함을 사전에 인지하기 위한 예방진단기술 연구에 기여하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 구성

본 연구를 위한 실험설비의 전체적 구성은 그림 1과 같다.

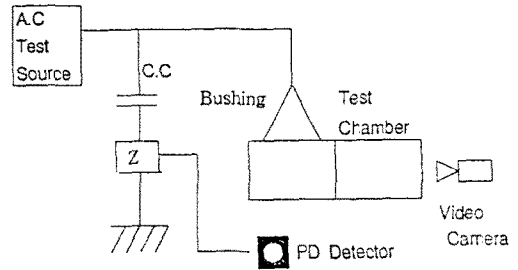


그림 1. 실험장치도

실험설비를 구성하는 각 요소별 대략사양은 다음과 같다.

Test Chamber 내의 도체에 전원을 가하기 위한 A.C Source는 Mitsubishi계 정격 1,100 [kV], 2,200 [KVA]이며, Coupling Condenser는 Mitsubishi계 KP Type 정격 1,100 [kV AC], 1,000 [pF]를 사용하였다. Test Chamber 내 Particle의 거동을 관찰하기 위해 사용한 Video Camera는 LG 전자 LC-V909 Model을 사용하였으며, PD 신호측정을 위한 Coupling Quadripole은 Haefely 제품 AKV 572를 사용하였고 Setting치는 2,000 [mA], 1~2 [nF]로 하였다. PD 신호 측정을 위한 Detector는 Haefely 제품 TE 571 형식을 사용하였으며 이 측정기의 사양은 PD Measurement Display 0-999 [pC/nC], Band Width 40-400 [KHz], Test-Voltage Frequency Range 40-200 [Hz]이다. Test Chamber 전체적인 규모는 800 [kV]급 GIS 크기로서 구조는 그림 1, 2에서 보는바와 같이 Chamber 내에 전원인입을 위한 붓싱부와 도체연결부, 그리고 Particle 실험을 행할 수 있는 Test Part로 구성되어 있다. Test Part 내부구조는 중앙부에 AL 내부도체가 있고 이 도체와 Enclosure 사이에는 중간전극으로 동축인 통형 AI 점지전극을 배치하였다. 중간전극은 취부와 분리를 자유롭게 할 수 있는 구조이며, 따라서, 다양한 크기의 점지전극으로 실험이 가능한 구조이다.

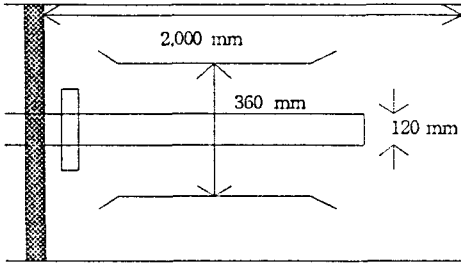


그림 2 Test Chamber 전극부의 구조도

스페이서와 인접하여 스페이서 보호용 실드를 배치하였고 Chamber 내부에서 일어나는 각종현상을 관찰하기 위해 Chamber 윗면 및 측면에 전부 6 개의 관측창을 배치하였다.

2.2 실험방법

동축원통 전극 구조를 갖는 GIS 내에 도전성 Particle 이 혼입시 SF6 개스의 절연내력 특성 변화를 관찰하기 위해 AC Test Transformer 로 부터 고전압 전원을 발생시켜 800 [kV] 용 Bushing 을 통해 Test Chamber 에 인가하였다.

SF6 개스의 압력변화에 따른 Free Conducting Particle 의 코로나 개시전압을 측정하기 위해 압력을 3, 4, 5 [atm.abs] 로 변화시켰고, Particle 의 크기변화에 따른 코로나 개시전압을 측정하기 위해 Al Wire 형 Particle 0.8 [mm ϕ] 길이 5, 10, 15 [mm] 3 종류를 각 10 개씩 사용하였다. 전원전압의 상승에 따라 Particle 에 의한 코로나방전 개시 때의 거동을 관측하기 위해 관측창을 통해 Video Camera 로 촬영하였으며, 또한 PD Detector 상에 나타나는 PD 방전량을 관찰하므로써 Particle 의 방전개시전압을 측정하였다.

2.3 실험결과 및 고찰

전원을 인가함에 따라 Particle 의 Motion 을 관찰하면, 처음에는 접지전극 바닥에 놓여있던 Particle 은 전원전압의 증가에 따라 Lift off 과 함께 전극표면으로 부터 Bouncing 을 하게되고 이 때 Particle 하부와 전극표면 간에는 Diffuse Corona 방전이 관측된다. 계속하여 전원전압을 증가시키면 Particle 은 부상과 함께 Hovering 을 하게되며, 이어 상부전극과 접지전극간을 왕복비행을 하게되는 Crossing 현상을 관측할 수 있다. Hovering Motion 까지는 일반용 Video Camera 를 통해 관측될 수 있으며 이후 Motion 은 매우 빠른 속도로 이동하는 특징이 있다. Breakdown 현상은 Particle 이 상부전극에 가까이 근접한 상태에서 전원전압 파형이 Positive Half Cycle 인 때에 일어난다. Wire 형 Particle 의 경우 직경이 작을수록, 길이가 길수록 Breakdown 이 발생하기 쉬우며[4], 그러나 Particle 이 Crossing Motion 에 도달하였다고 해서 Breakdown 현상이 반드시 일어나는 것은 아니다.

그림 3 은 Particle 길이 5 [mm] 10 개를 Chamber 내에 혼입시켰을 때의 SF6 개스압력 변화에 따른 코로나 발생전압과 Lift off 전압 크기를 표시한 그림이며, 그림 4 는 Particle 길이 10 [mm] 10 개를 Chamber 내에 혼입시켰을 때의 SF6 개스압력 변화에 따른 코로나 발생전압 크기를 표시한 그림이다. 또한 그림 5 는 Particle 길이 15 [mm] 10 개를 Chamber 내에 혼입시켰을 때의 SF6 개스압력 변화에 따른 코로나 발생전압 크기를 표시한 그림이다.

그림 3, 4, 5 에서 알 수 있듯이 Particle 길이가 5 [mm] 인 경우 코로나 방전개시 전압은 Lift off 전압보다는 다소 낮은 값을 나타내었으나 그 차이는 크지않은 것으로 나타났으며, Particle 길이가 10, 15 [mm] 인 경우 코로나방전은 Particle 이 Lift off 하면서 개시되었다. Particle 길이가 5 [mm] 경우 코로나 개시전압이 Lift off 전압보다 다소 낮게 나타나는 현상은 Particle 이 Lift off 하기전 미세한 Jumping 현상에 의한 것으로 추정되며, Particle 길이가 10, 15 [mm] 인 경우는 자중에 의해 미세한 jumping 과정을 거치지 않고 Lift off 했

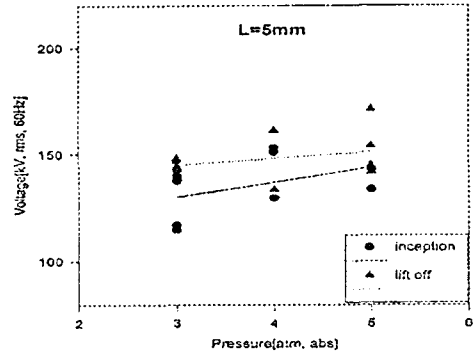


그림 3. Particle 길이 5 mm 일 경우 개스압력 변화에 대한 코로나 개시전압 및 Lift off 전압 크기

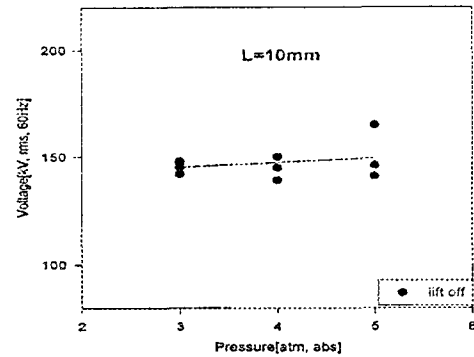
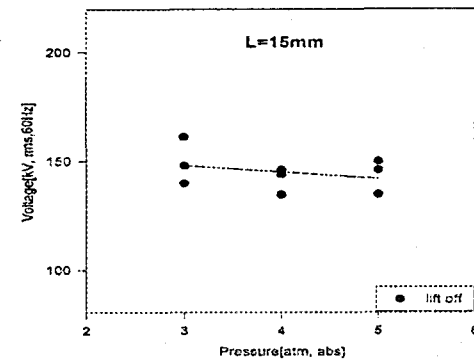


그림 4. Particle 길이 10 mm 일 경우 개스압력 변화에



대한 코로나 개시전압 크기

그림 5. Particle 길이 15 mm 일 경우 개스압력 변화에

대한 코로나 개시전압 크기

기 때문인 것으로 추정된다. 실험결과를 종합해 볼 때 Particle 길이변화와 개스압력변화가 코로나 방전개시전압 또는 Lift off 전압크기에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있으며, 이것은 Wire 형 Particle 의 Lift off 또는 부상전계 식

$$E_1 = [rg\rho/1.43 \epsilon_0]^{1/2}$$

r : Particle 반경

g : 중력가속도

ρ : Particle 밀도 ϵ_0 : 공기의 유전율
 에서 Particle 의 길이나 개스압력의 영향을 거의 받지 않는
 것과 일치한다[5].

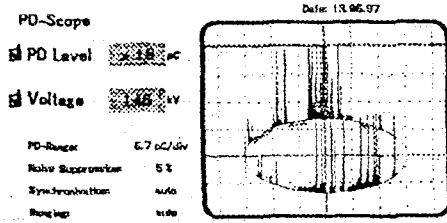


그림 6. Particle 길이 10 [mm], 개스압력 3 [atm. abs] 에서 코로나 개시 때 PD 측정치

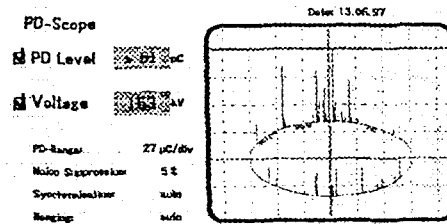


그림 7. Particle 길이 10 [mm], 개스압력 3 [atm. abs] 에서 Hovering 시 PD 측정치

그림 6, 7 에서 알 수 있는바와 같이 Particle 이 Lift off 상태에서 Hovering 상태로 진행하면서 PD 발생량이 크게 증가하는 것을 알 수 있으며, 인가전원의 Positive and Negative Peak 부근에서 PD가 집중적으로 발생하고 있음을 알 수 있다.



그림 8. Particle 길이 15 [mm] 의 Lift off 상태 및 부상모양

그림 8 은 길이 15 [mm] Particle 의 Lift off 상태를 Video Camera 로 촬영한 그림으로 Particle 하단과 Enclosure 표면 사이에 방전현상이 발생하고 있고, 이들중 한개가 도체를 향하여 부상하는 모습을 나타내고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 현장에서의 GIS Enclosure 내에 Free Conducting Particle 이 혼입되었을 경우 예방진단 측면에서의 Particle 특성을 파악하고자, 실험실 내에서 구간거리 120 [mm] 의 GIS Test Chamber 내에 Wire 형 Al Particle 의 길이와 SF6 Gas 압력을 변화시키면서 Particle 에 의한 코로나 방전 개시전압을 Lift off 전압과 함께 실험을 통하여 측정하였으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

첫째, Wire형 Particle에 의한 코로나 방전 개시전압은 Particle의 Lift off 전압과는 큰 차이를 보이지 않았고, Particle 길이가 길수록 Lift off 전압 크기와 거의 동일하였다. 따라서 Wire형 Particle 존재시, 코로나 방전개시전압은 GIS내의 Lift off상태를 의미할 수 있으므로 전계가 집중되는 형상구조로 되므로 주의가 필요하다.

둘째, Wire형 Particle의 길이와 SF6 Gas 압력 크기는 Lift off 전압에서와 마찬가지로 Particle 에 의한 코로나 방전개시 전압 크기에 별 영향을 미치지 않았다. 따라서 실제의 운용상 태인 고압력 하에서도 낮은 전압에 의해 코로나방전이 발생 함을 의미한다.

셋째, Wire형 Particle이 Lift off 상태에서 Hovering 상태 로 진행하면서 방전량의 크기도 현저하게 증가하였다. 이는 곧 GIS 내부에서 발생하는 부분방전량을 추적하므로써 GIS 내 Particle 의 거동을 추정할 수 있다.

이상의 실험결과는 전력설비 운용자가 현장에서 운전중인 GIS 의 예방진단연구에 기초자료로 활용할 수 있을것으로 생각되며, 추후 연구에서 보다 체계적이고 광범위한 연구를 진행 할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] N. Fujimoto and G.L.Ford, "Results of Recent GIS Fault Survey", IERE Workshop on Gas Insulated Substations, Toronto, Sept. 1990.
- [2] D. Kopejtkova, T.Moiony, S. Kobayashi and I. M. Welch, "A Twenty-five Year Review of Experience with Gas-insulated Substations", CIGRE Paper 23-101, Paris, 1992.
- [3] J. S. Pearson, O. Farish, B. F. Hampton, and I. M. Welch, "Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations", IEEE Trans.,1995, DEI-2,(5),pp893-905.
- [4] A.G. Sellars, O. Farish, and B. F. Hampton, "Assessing the Risk of Failure due to Particle Contamination of GIS using the UHF Technique", IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 1, No.2, pp.323-331,1994.
- [5] "초고압 GIS 기본기술 연구(최종보고서)" 한국전력 연구원 pp.359, 1996. 11