

## GIS 절연 신뢰성 향상을 위한 탱크 내면 코팅이 파티클 거동에 미치는 영향

이방욱\*, 구자윤\*, 김민규\*\*, 김익수\*\*  
\*한양대학교 전기공학과, \*\*한국전기연구소 고전압팀

### Effect of the Inner Side Dielectric Coating of the Tank on the Particle Movement for Improving of GIS Insulation Reliability

Bang Wook Lee\*, Ja Yoon Koo\*, Min Kyu Kim\*\*, Ik Soo Kim\*\*  
\* Dept. of Electrical Eng. HanYang University, \*\* High Voltage Team, KERI

#### Abstract

In this work, the influence of wire type conducting particles on the insulation reliability of GIS has been systematically investigated when outer electrode was dielectric coated by epoxy resin.

For this purpose, coaxial cylinder-type electrode was adopted in 362 kV chamber and various size of Cu conducting particle was used and different gas pressure was applied. To prove the coating effect on the gas insulation, different thickness of epoxy coated outer electrode have been considered and the lift-off voltage and flashover voltage have been analyzed.

The results show that the dielectric coated electrode has an remarkable influence on the reducing particle behavior in GIS system and enhancing the GIS insulation reliability.

#### 1. 서론

고전압 가스 절연 개폐기(Gas Insulated System)가 널리 보편적으로 쓰임에 따라 그 운용의 안정성과 신뢰성 향상에 관한 많은 연구가 선진 각국에서 행해지고 있다. GIS는 대부분 절연내력이 우수한 SF<sub>6</sub> 가스를 그 소화매체로 이용하고 있으며, 그 제조기술과 조립공정 또한 상당히 발달되고 있다.[1]

그러나, GIS의 운용중에 일어나는 사고를 살펴보면 대부분이 가스 기기내에 존재하는 파티클이 원인이 되고 있다. 압축 가스 시스템 내에 파티클이 존재하면 그 전기적 성능에 큰 영향을 미치게 되며 상당한 절연 내력의 저하를 가져오게 된다.

파티클에 의한 사고를 방지하기 위해서는 우선적으로 조립공정과 운용과정에서 파티클의 혼입을 방지하는 것이 중요하지만, 내부에 파티클이 존재하더라도 절연내력의 저하를 억제하는 기술을 개발하는 것이 중요하며 이에 관한 많은 검토가 이루어지고 있다.

파티클에 의한 절연내력 방지를 위한 기술에는 GIS 내부 구조 변경에 의한 부상억제, 내부도체 코팅 또는 탱크표면 코팅에 의한 절연내력 향상, 파티클 트랩의 설치 등이 있다.

만일 파티클이 혼입되더라도 운전전압 하에서 파티클이 부상하지 않는다면 고전압 도체나 스페이스 표면에 미치는 영향은 극복할 수 있으므로 탱크 내면에 대한 코팅은 GIS 신뢰성 향상을 위하여 중요한 방법이 될 수 있다.[2]

이에 주안점을 두고 본 연구에서는 가스공간 절연내력의 향상

을 위한 방법으로 GIS 내부에 파티클 존재시 내부 탱크 코팅에 의한 섬락전압의 변화 추이를 관측하였다. 코팅 재료로서는 epoxy 수지를 사용하였으며 362kV 시험용 챔버에 AC 전원을 인가하여 파티클 부상전압, 섬락전압 등을 코팅 두께를 변화시켜 가며 관측하였다. 시험 결과 GIS 내부 탱크에 대한 절연물 코팅은 가스 절연내력 향상에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

#### 2. 실험 방법

동축원통전극 구조를 가진 GIS에 파티클 혼입시 SF<sub>6</sub> 가스 절연내력에 미치는 절연 코팅의 영향을 알아보기 위하여 동축원통전극 구조물을 362kV 시험용 챔버 내에 설치하였으며, AC 고전압을 인가하였다(그림 1). 동축원통은  $\phi 240/120$ 의 직경으로 설계되었으며, 내부 탱크에 각각 예측시 코팅의 두께를 달리하여 절연 코팅이 파티클에 미치는 영향을 검증하고자 하였다. 코팅의 두께는 약 12  $\mu\text{m}$  : 38  $\mu\text{m}$  : 57  $\mu\text{m}$ 로서 그 비율이 1 : 3 : 5로 측정되었다. 가스압은 절대기압 1atm에서 3atm까지 변화시켜 가며 코팅 두께에 따른 부상전압 및 섬락전압을 관측하였다. 시험용 챔버 내부에는 8mm, 10mm, 12mm인 구리 선형 파티클을 제작하여 10개씩 혼입하여 각각에 대한 거동 양상을 관측하였다.

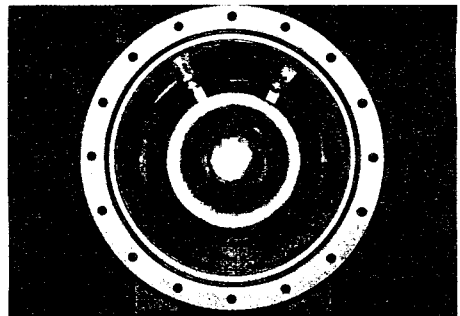


그림 1. 실험에 사용된 동축전극구조

AC 전압을 인가하였을 때 파티클의 거동양상을 살펴보면 전압이 올라감에 따라 파티클들은 바닥 전극에서 수직으로 기립하게 되며 전극표면을 따라 움직이기 시작한다. 이때 파티클과 전극 접촉부에서는 밝은 글로우가 발생하며 점점 심해지게 된다. 전압을 더 올리게 되면 파티클은 갭을 가로질러 부상하게 되며 갭

사이클 반복 운동하다가 전극 근처에 도달하게 되어 섬락이 일어나게 된다. 동축 전극의 외부 표면을 코팅했을 때는 코팅을 하지 않을 때보다 더 많은 글로우가 발생하는 것을 관측할 수가 있었으며 이것은 파티클과 코팅 접촉부 부근의 전계 강도가 저하되고, 이로 인하여 상당한 부분방전이 일어나기 때문인 것으로 추정된다. 그림 2는 동축 실린더 전극 표면 코팅시 파티클의 부상과 글로우의 발생, 파티클로 인한 섬락을 관측한 것이다.

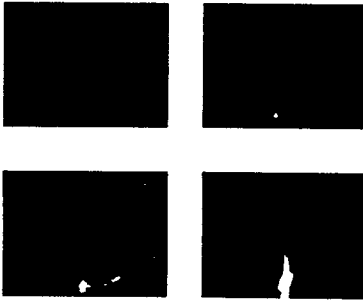


그림 2. 절연물 코팅시 겉간의 파티클의 부상, 글로우 발생과 섬락

### 3. 실험 결과 및 해석

도체 표면에 대한 절연 코팅은 직류, 교류 전계하에서 파티클의 거동에 영향을 미친다. 절연물 코팅은 밑에 놓여진 도체에 파티클이 직접 접촉하는 것을 방지함으로써 파티클 전하의 대전을 방해할 뿐만 아니라 쌍극자 상호작용에 의하여 금속이물을 도체 표면에 붙잡는 역할을 한다. 따라서 코팅하지 않을 때보다 더 높은 섬락전압을 가지게 된다.[3]

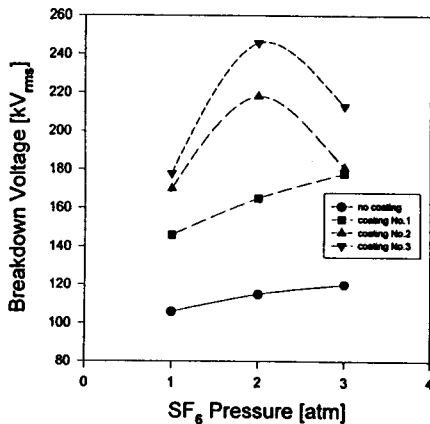


그림 3. 8mm 파티클을 혼입하였을 때 코팅 두께에 따른 섬락전압의 변화

그림 3은 동축 실린더 내부에 8mm 파티클을 혼입하였을 때 코팅하지 않을 때와 12 μm, 38 μm, 57 μm로 예폭시 코팅을 실시하였을 때 가스압에 따른 섬락전압의 추이를 보여주고 있다.

그림에서 알 수 있듯이 코팅을 했을 때 섬락전압이 12 μm 코팅두께에서는 34%, 38 μm에서는 40%, 57 μm에서는 49% 정

도 평균적으로 향상되는 것을 볼 수 있다. 여기서 특이한 점은 코팅을 실시하였을 때 두 코로나 안정화 효과가 나타난다는 점이다. 이 영향으로 2기압 전후에 있어서 상당히 섬락전압이 향상되는 것을 볼 수 있다.

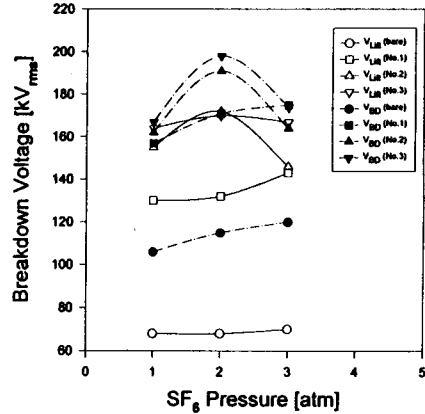


그림 4. 12mm 파티클 혼입시 코팅 두께에 따른 부상전압과 섬락전압의 변화

그림 4는 12mm 파티클을 대상으로 코팅 두께별로 가스압에 따른 섬락전압 및 부상전압을 관측한 결과이다. 파티클 부상전압은 코팅 두께가 증가함에 따라 전반적으로는 증가하는 양상이지만 가스압에 대한 영향은 그리 크지 않은 것으로 관측되었다. 가스압이 증가함에 따라 섬락전압은 전반적으로 증가하지만 코로나 안정화 영향으로 2기압에서는 상당히 섬락전압이 높아진 것을 동일하게 관측할 수 있다. 또 가스압이 낮을 때는 상당한 코로나가 코팅층과 파티클 사이에 발생하였으며, 파티클 부상이 거의 일어나지 않다가 갑자기 절연파괴에 이르렀다. 이것은 코팅층으로 인하여 파티클에 대한 전하의 축적이 점진적으로 일어나지는 않는다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

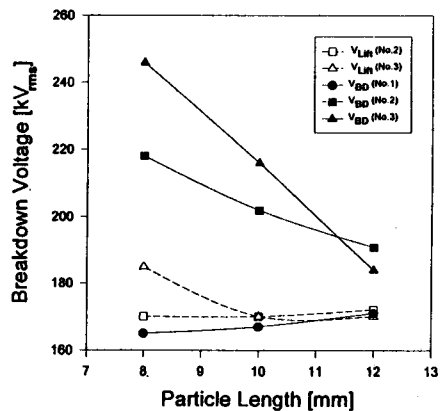


그림 5. 절대 2기압에서 파티클 길이변화에 따른 코팅 두께별 부상전압 및 섬락전압

그림 5는 절대 2기압에서 파티클 길이변화에 따른 코팅 두께별 부상전압 및 섬락전압의 추이를 관측한 것이다. 길이가 길어짐에 따라 섬락전압은 감소하는 양상을 나타내지만 부상전압은 거의 일정한 것을 알 수 있다. 12 $\mu\text{m}$  두께에서는 부상전압이 제대로 관측되지 않았는데 그 원인은 절연층이 파티클을 잡아끄는 힘이 상대적으로 약하기 때문인 것으로 추정된다.

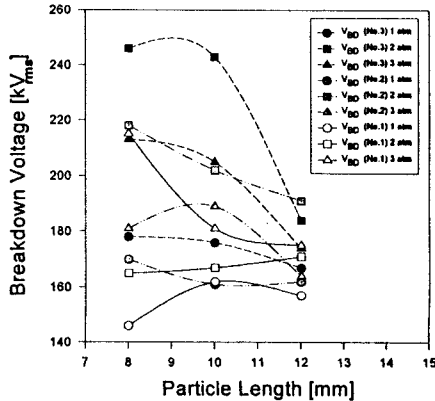


그림 6. 1기압, 2기압, 3기압에서의 파티클 길이변화에 따른 섬락 전압

그림 6은 1기압, 2기압, 3기압에서의 파티클 길이변화에 따른 섬락 전압을 보여주고 있다.

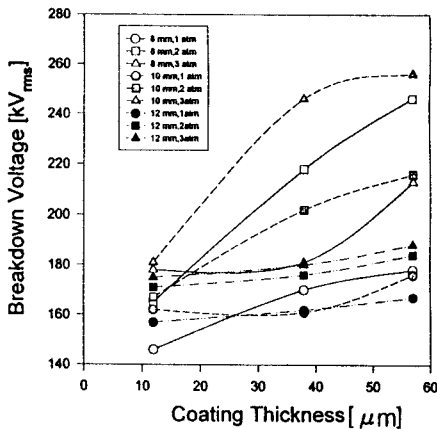


그림 7. 에폭시 코팅 두께 변화에 따른 파티클 길이별 섬락전압의 변화

그림 7은 에폭시 코팅 두께 변화에 따른 파티클 길이별 섬락전압의 변화를 나타낸 것이다. 코팅이 두꺼워짐에 따라 전반적으로 섬락 전압의 향상을 보이고 있으며 코팅의 효과는 저압보다는 고압쪽으로 갈수록 더 확실하게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

동축 실린더에 절연물 코팅을 실시함으로써 전극표면의 거칠음으로부터 비롯되는 전계왜곡의 역제가 가능하며, 상당한 절연내력의 향상을 가져올 수 있다. 섬락전압에 미치는 절연물 코팅의 큰 잇점은 도전성 파티클이 부상하기 위해서는 비코팅시보

다 상당히 더 큰 전계를 요한다는 것과, 파티클이 부상시에 얻게 되는 전하량은 비코팅시보다 훨씬 작게됨으로 갭간을 가로지르는 힘을 상대적으로 약화시킬 수 있다는 것이다. 파티클의 대전 전하량이 작게되면 그만큼 전계집중을 완화하게 되어 섬락전압의 향상을 가져오게 되는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

GIS 내벽에 절연물 코팅을 실시하였을 때 절연내력에 미치는 영향을 검증하기 위하여 구리 선형 파티클을 대상으로 에폭시 코팅 두께를 달리하여 시험한 결과 다음과 같은 결과를 도출해 낼 수 있었다.

첫째, 절연물 코팅시 파티클의 기립과 부상 그리고 섬락에 이르는 현상을 명확히 관측하여 파티클의 거동양상을 확인하였다.

둘째, 절연코팅을 실시함으로써 전반적인 GIS의 절연내력의 향상을 가져왔으며, 그 효과는 코팅의 두께가 증가할수록 더 크다.

셋째, 절연코팅에 의하여 파티클과 도전층과의 직접적인 접촉이 차단됨으로써 파티클의 부상력은 완화되고, 섬락전압은 증가하였다.

넷째, 절연코팅을 실시하였을 때 섬락전압은 크게 향상되었으나 부상전압은 가스압에 별 영향을 받지 않았다.

위의 결과를 바탕으로 더 나아가서는 절연물 코팅시의 부상전계와 부상전하량에 관한 수치적인 해석을 실시하여 보다 명확히 절연물 코팅의 영향을 규명하고, 실제적으로 GIS제작에 응용하는 것이 필요하다고 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] J. R. Laghari and A. H. Qureshi, "A Review Of Particle - Contaminated Gas Breakdown", IEEE Trans. on EI, Vol. EI-16, No. 5, pp. 388~398, 1981
- [2] H. Anis and K. D. Srivastava, "Breakdown Characteristics of Dielectric Coated Electrodes in Sulphur Hexafluoride Gas with Particle Contamination", 6th ISH 32, 06, 1989
- [3] Y. L. Chow et Al., "Field Computation around a Charged Sphere near a Dielectric Coated Conducting Plate and under a Uniform External Electric Field", 3rd ISH 11.15, 1979