

GIS 내 알루미늄 파티클의 거동에 따른 UHF 신호발생 특성

윤진열*, 박기준, 구선근, 한상옥*
한국전력 연구원, *충남대학교

UHF signals produced by motion of aluminium particles in GIS

Jin Yeol Yoon, Ki Jun Park, Sun-geun Goo, Sang Ok Han*
Korea Electric Power Research Institute, *Chung Nam National University

Abstract - Ultra high frequency (UHF) signals caused by the bouncing motion of aluminium particles in the 362 kV gas-insulated switchgear (GIS) test chamber were measured in order to investigate the signal pattern against the applied voltage phase and ultra sonic signals.

1. 서 론

GIS 설비고장의 대부분을 차지하는 절연과피는 파티클이나 도체간 접촉불량, 도체표면 불량, 스페이스 결합 등 여러 종류의 내부결함에 의해 발생하며, 이들 요인 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 파티클에 의한 절연과피이다[1]. 파티클 결합은 기기 제작 및 조립과정, 운반과정, 현장설치 과정, 상업운전과정에서 사람의 실수에 의해서, 혹은 내부 접촉자 부분 스위칭 동작에 의해서 생성되는 결함으로 어느 GIS이든 파티클 결함을 완전히 피할 수는 없다.

GIS 내부에 도전성 파티클이 존재할 경우 중앙도체에 인가된 전압이 일정값을 초과하게 되면 외합전극 바닥에 놓여있는 파티클은 기립동작과 함께 절연 gap을 가로질러 중앙도체까지 접근하므로써 절연과피의 직접적인 원인으로 작용하게 된다. 본 연구에서는 최신키테크놀로지인 UHF 신호 측정기술을 이용하여 GIS 내부에 파티클이 존재할 때 파티클의 거동에 따라 발생하는 UHF 신호 양상을 파악하므로써 GIS 절연고장을 예방하기 위한 진단기술의 개발에 기여하고자 하였다.

2. 실험장치 구성 및 실험방법

2.1 실험장치 구성

본 연구를 위해 362 kV 급 실규모 실험용 GIS chamber를 이용하였으며 그림 1과 같이 실험장치를 구성하였다.

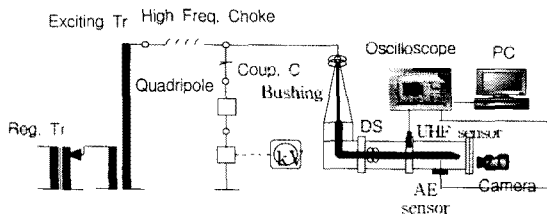


Fig. 1 Experimental apparatus

전원장치는 전원전압 단상 교류 380 V를 regulating transformer에 공급하여 전압 가변장치를 통해 2차 측에 최대 1,000 V까지 승압시키고 exciting transformer에 공급하여 2차 측에서 최대 400 kV의 전압을 얻는 구조이다. 인가된 전압은 GIS bushing 전단의 voltage divider

에서 측정한다.

실험용 GIS chamber는 붓싱, disconnection switch (DS), 파티클 chamber로 3개의 가스구획으로 구분되어 있다. 파티클 chamber와 인접한 spacer의 표면에 외장형 UHF 센서를 취부하였으며 chamber의 하부에는 파티클의 거동에 의한 기계적 신호를 측정 할 수 있는 초음파 센서 (Model SE2MEG-P1 304, DECI)를 부착하였다.

외장형 362 kV open barrier용 UHF센서 (그림 2)는 500 - 1500 MHz 영역에서 effective height가 2 mm 이상이며 평균은 8.4 mm 이다. 센서에서 검출된 부분방전 신호는 중폭기에서 증폭되어 초음파신호 및 인가전압의 위상과 함께 oscilloscope (TDS-684B, TDS-754C, Tektronix)로 측정하고 저장되었다.

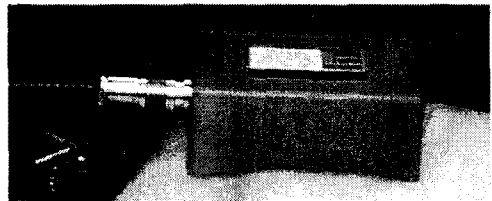


Fig. 2 362 kV open barrier type UHF sensor

2.2 실험방법

파티클 거동에 따른 UHF 신호발생 특성을 조사하기 위해 전원전압을 변화시켜 알루미늄 파티클 4종(직경: 0.5 mm, 길이: 5, 10, 15, 20 mm)에 대한 기립전압 (lift-off voltage)과 fall-down 전압을 조사하여 각 시료 별 인가전압 폭을 결정하고 각 전압마다 파티클 움직임을 따른 UHF 신호발생을 oscilloscope로 측정하므로써 파티클이 바닥에서 뛰어올라 공간에 머무르는 시간(air borne duration)을 관찰하였다. 실험에 사용한 SF₆ 가스 압력은 현장 GIS와 동일하게 상대압력 5기압으로 고정하였다. 파티클이 외합전극 바닥과 충돌하는 과정을 알기 위해 초음파 센서를 외합전극 아랫부분 외부에 부착하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 파티클 기립 특성

그림 3은 파티클 시료 4종에 대한 lift-off 및 fall-down 전압을 수회 측정한 평균치를 표시한 그림이다. Lift-off 와 fall-down 전압 크기는 파티클이 놓여진 장소에서의 전극간 간격, 전극 표면의 상태, 전압 상승 및 하강 속도, 파티클 형상 등에 의해 영향을 받은 것으로 추정된다.

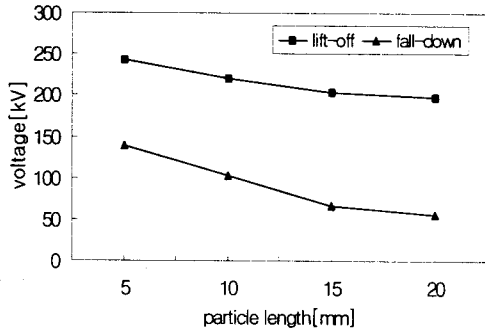


Fig. 3 Lift-off and fall-down voltages for various length of 0.5 mm diameter aluminium wires.

이론적으로 파티클 기립전압은 파티클 길이와는 무관하다. 그러나 실제 실험결과가 보여주듯이 파티클 길이가 길수록 기립전압이 감소하는 경향을 보이고 있다. 그 이유는 파티클 형상과 실험용 chamber가 이상적인 구조가 아닌데서 온 결과라고 생각된다. 실험에서 얻은 기립전압 평균치를 전계로 환산하면, chamber 내부도체의 반경은 60 mm, 외부도체의 내경은 248 mm이므로, 파티클 길이 5 mm의 경우는 976 kV/m, 10 mm의 경우는 884 kV/m, 15 mm의 경우는 819 kV/m, 20 mm의 경우는 793 kV/m 가 된다.

이론적인 파티클 기립전계의 크기, E_{L1} 은

$$E_{L1} = \sqrt{\frac{r g \rho}{1.43 \epsilon_0}} \quad (1)$$

이므로 계산에 의한 기립전계는 723 kV/m 이다. 여기서 $r = 0.25$ mm, $g = 9.8$ m/s², $\rho = 2,698$ kg/m³, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m이다.

위 계산 결과가 보여주듯이 각 길이별 파티클의 기립전계는 실험치가 이론치보다는 약간 크게 나타났으며, 파티클 길이가 짧을수록 그 차이는 더 커진 것을 알 수 있다. 파티클 길이에 따른 기립전압과 fall-down 전압과의 크기를 fall-down 전압을 기준으로 평균치로 비교하면 그림 3에서 5 mm 파티클의 경우 기립전압은 fall-down 전압의 1.8 배, 10 mm 파티클의 경우 2.2 배, 15 mm 파티클의 경우 3.1 배, 20 mm 파티클의 경우 3.5 배 큼을 알 수 있다. 즉 파티클 길이가 커질수록 양 전압 크기의 차이가 커짐을 알 수 있으며 이 결과는 Cooke등이 제시한 것과 일치한다 [2].

3.2 파티클 거동에 따른 UHF 신호발생 특성

파티클 거동에 따른 UHF 신호발생 특성을 파악하기 위하여 UHF 신호와 초음파 (Acoustic emission, AE) 신호, 전압파형을 동시에 측정하였으며, 측정 지속시간을 약 4초 (240 cycles)로 하였다. UHF 신호와 초음파 신호 발생 특성이 전압크기별로 별 차이를 보이지 않았다. 측정결과, 인가전압을 높여가면서 파티클을 기립시키는 과정에서, UHF 신호는 파티클이 기립하기 전에는 전혀 검출되지 않았다. 또한, 파티클이 기립한 후 바닥에 넘어질 때까지 bouncing 과정에서 UHF 신호가 지속적으로 검출되었다. 이 결과에서 알 수 있는 것은 파티클 결합에 의해 UHF 신호가 검출되면 파티클이 기립한 상태일 가능성이 크며, 따라서 절연파괴 발생 위험이 있는 경우에도 해당한다고 할 수 있다.

그림 4 - 7은 파티클 거동에 따른 UHF 신호발생 특

성 실험결과이다. 그림에서 위쪽 신호는 초음파이고 중간신호는 UHF, 아래 신호는 인가전압 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 UHF 신호는 전압위상에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이는 파티클의 거동이 AC 전계의 위상에 대해 불규칙하게 활동하는 것을 보인 것이다. 그 이유는 파티클에 대전된 전하는 지속적으로 변동을 계속하는 주변 전계에 의해 파티클의 움직임이 영향을 받으며, 또한 파티클에 대전된 전하량은 파티클이 전극과 충돌하는 순간에 의해 결정되므로 전하량이 충돌 때마다 달라지는 데에 기인하는 것으로 생각된다. 그 외에, 파티클이 갖는 관성 때문에 활동양상이 전계의 변화 속도를 따를 수 없는 때문인 것으로 생각된다.

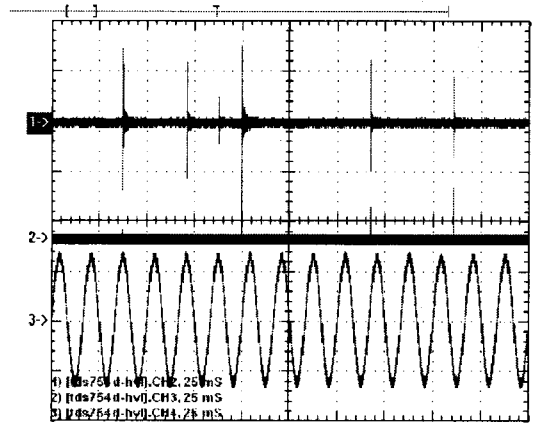


Fig. 4. AE and UHF signals due to motion of an Al particle diameter 0.5 mm and length 5 mm at 240 kV.

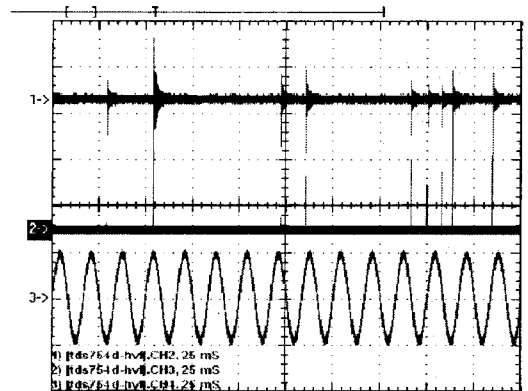


Fig. 5. AE and UHF signals due to motion of an Al particle diameter 0.5 mm and length 10 mm at 180 kV.

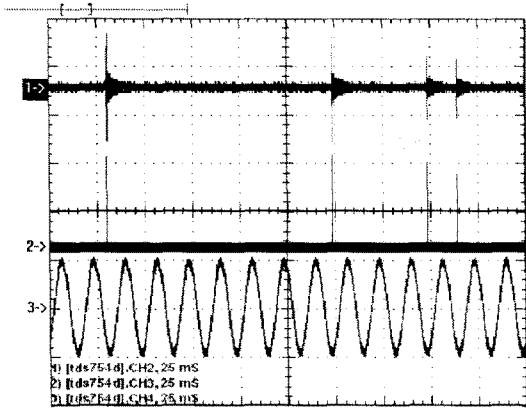


Fig. 6. AE and UHF signals due to motion of an Al particle diameter 0.5 mm and length 15 mm at 180 kV.

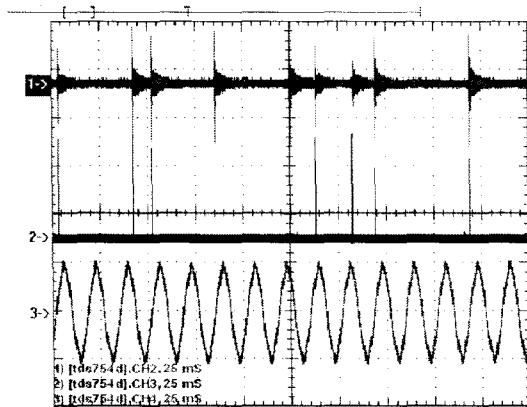


Fig. 7. AE and UHF signals due to motion of an Al particle diameter 0.5 mm and length 20 mm at 180 kV.

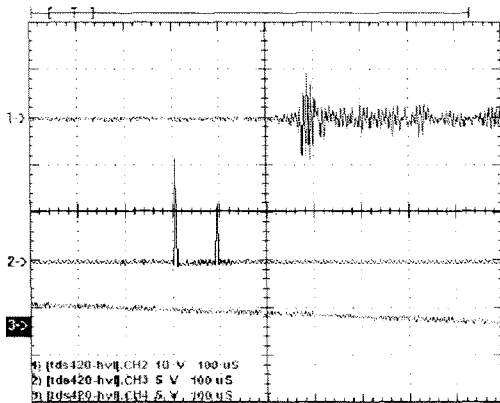


Fig. 8. Enlarged view of UHF, AE, and applied voltage signals.

그림 4 - 7 에서 보듯이 초음파 신호가 발생할 때 마다 대부분의 경우 UHF 신호가 발생하지만 드물게는 UHF 신호가 발생하지 않는 경우가 있다. 이는 Sellars 등이 발표한 내용과는 차이가 있다 [3]. 이러한 현상이 발생하는 이유는 파티클이 바닥과 충돌할 때 방전조건이 충족되지 않아서 방전은 발생하지 않고 단순히 탄성계수에 의해서만 bouncing 한 경우로 생각된다.

또한, 파티클이 바닥으로부터 튀어 올라 일정높이를 갖는 동안, 즉 가스 공간 내에 있을 때는 부분방전이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 UHF 신호들간의 시간 간격을 측정하므로써 파티클이 공간 내에 머무르는 시간을 알 수 있음을 의미하며, 이 값이 클수록 파티클 bounce 높이가 높을 확률이 크다.

그림 8은 그림 7의 중앙점 근처 일부를 확대한 것으로 UHF 신호와 초음파 신호와는 약 0.22 ms 시간차가 발생한 것을 나타낸 그림이다. GIS 내부결함 검출시 UHF 신호와 음향신호를 동시에 검출할 경우 음향신호의 시간 지연 현상을 고려해야 할 필요가 있다

3. 결 론

362 kV GIS test chamber에 초고압을 인가하여 알루미늄 파티클에 의한 결함을 모의하고, 결함검출 감도가 우수한 UHF 신호측정법을 적용하여 얻은 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, GIS 내에 wire형 알루미늄 파티클이 존재할 경우 UHF 신호는 파티클이 외함전극 바닥으로부터 기립하여 bouncing 동작을 하는 동안 발생하는 것이 일반적 현상이다.

둘째, wire형 알루미늄 파티클이 기립한 상태에서 bouncing 동작 때마다 빠짐없이 UHF 신호가 발생하는 것은 아니고, 드물게는 UHF 신호가 발생하지 않는 경우도 있다.

셋째, 파티클 거동에 의한 UHF 신호발생 시점은 인가전압의 위상과는 거의 무관하다.

넷째, 파티클 기립전압 크기는 이론적으로는 파티클 길이에 영향을 받지 않는 것으로 표현되고 있으나, 실험 결과에 의하면 길이가 길수록 기립전압 평균치는 약간 낮아지는 경향을 보였다.

다섯째, 파티클이 외함전극 바닥으로부터 튀어올라 일정높이 이상에서 가스공간 내에 존재할 때에는 부분방전 현상이 발생하지 않는 것이 일반적 특성이다.

여섯째, 파티클 길이가 길수록 fall-down 전압 크기와 기립전압 크기의 차가 크게 나타났다. 이는 파티클 길이가 길수록 일단 기립한 파티클은 짧은 파티클에 비해 쉽게 넘어지지 않는 것을 의미한다.

일곱째, UHF신호와 초음파신호 발생시간 사이에는 약 0.22 ms 정도 초음파신호가 UHF신호보다 지연되어 검출되었다.

(참 고 문 헌)

- [1] CIGRE Joint Working Group 33/23.12, "Insulation co-ordination of GIS : return of experience, on site tests and diagnostic techniques," Electra No 176, pp67-97, Feb. 1998.
- [2] C. M. Cooke, R. E. Wootton, and A. H. Cookson, "Influence of particles on AC and DC electrical performance of gas insulated systems at extra-high voltage," IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol 96, No 3, pp768-777, 1977.
- [3] A. G. Sellars, O. Farish, and B. F. Hampton, "Assesing the risk of failures due to particle contamination of GIS using the UHF technique," IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol 1, No 2, Apr. 1994.