

362 kV GIS 내부 이물질 운동에 의한 UHF 부분방전신호 검출

박기준*, 구선근, 윤진열
전력연구원, 전력계통연구소

Detection of partial discharge due to particle movement
in the 362 kV gas-insulated switchgear structure using the UHF sensor

Kijun Park*, Sun-geun Goo, Jin Yeol Yoon.

Power System Laboratory, Korea Electric Power Research Institute, Taejon 305-380, Korea

Abstract - 정상 상태의 gas-insulated switchgear (GIS) 내부에서 발생한 부분방전 신호를 검출 할 수 있는 UHF 부분방전 검출 센서를 실험용 362 kV GIS에 적용하였다. GIS 내부에 알루미늄 이물질을 투입한 다음 120 - 180 kVrms 전압을 단계적으로 인가하고 장시간 인가전압 위상에 대한 UHF 부분방전 신호를 측정하였다. 인가전압을 높일수록 검출된 방전신호의 간격이 늘어났으며, 이물질로 사용한 알루미늄선의 길이가 길어질수록 이물질의 상승고도는 증가하였다. GIS 내부에서 이물질의 운동에 대한 간단한 계산에서도 비슷한 경향을 보임을 확인하였다.

1500 MHz 영역에서 2 mm 이상의 effective height를 가지며 동 영역에서의 effective height 평균은 8.4 mm 이다 [4]. 센서에서 검출된 부분방전 신호는 광대역 증폭기에서 증폭되고 검파되어 인가한 전압파형과 함께 oscilloscope (TDS-684B, TDS-754C, Tektronix)로 측정하고 저장되었다.

1. 서 론

GIS 설비고장의 대부분을 차지하는 절연파괴는 이물질 유입, 도체간의 접촉불량, 도체표면의 손상, 스페이스의 결합 등 여러 종류의 내부결함에 의해 발생하며, 이들 요인 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 도전성 이물질에 의한 절연파괴이다[1]. 이물질(파티클)에 의한 결합은 기기의 제작, 조립, 운반, 현장설치, 및 운전과정에서 사람의 실수 혹은 내부 접촉자 부분의 스위칭 동작에 의해서 생성되는 결합으로서 어떤 GIS도 파티클에 의한 결합을 완전히 피할 수는 없다. GIS 내부에 도전성 파티클이 존재할 경우 중앙도체에 인가된 전압이 일정값을 초과하게 되면 외함전극 바닥에 놓여있는 파티클은 기립동작과 함께 절연 gap을 가로질러 중앙도체까지 접근하므로써 절연파괴의 직접적인 원인으로 작용하게 된다.

본 연구에서는 GIS 내부에 파티클이 존재할 때 GIS 내부에서 발생한 부분방전 신호를 검출 할 수 있는 UHF 부분방전 검출 센서를 실험용 362 kV GIS에 적용하고 급속 이물질의 운동에 의한 부분방전을 검출하였다 [2, 3]. GIS의 인가전압과 투입된 이물질의 크기를 변화하며 파티클의 거동에 따라 발생하는 UHF신호를 측정하고 그 특성을 전산시능 결과와 비교하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치구성 및 실험방법

본 연구에서는 362 kV 급 실험용 GIS chamber (362 kV 단상 GIS chamber, 효성)를 이용하였으며 그림 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 전원장치는 단상 교류 380 V 전원을 regulating transformer에 공급하고 전압 가변장치를 통해 2차 측에 최대 1,000 V 까지 승압시켜 exciting transformer에 공급하여 2차 측에서 최고 400 kV의 전압을 얻는 구조이다. 인가된 전압은 GIS bushing 전단의 voltage divider에서 측정한다. 실험용 GIS chamber는 붓싱, disconnection switch, 파티클 chamber (이물질 투입부)로 나뉘어 있으며, 현장 GIS와 동일하게 상대압력 5기압의 SF₆ 가스를 충전하였다. 파티클 chamber와 인접한 spacer의 표면에 외장형 UHF 센서를 취부하였다. 그림 2의 외장형 362 kV open barrier용 UHF센서는 500 -

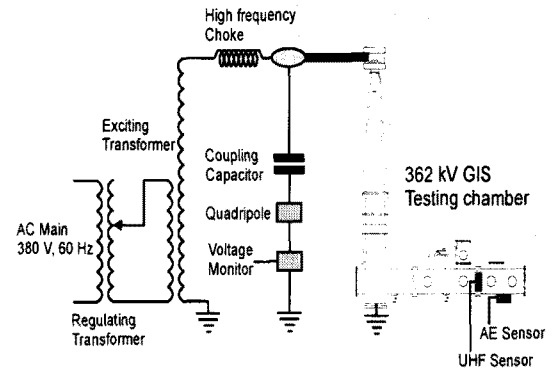


Fig. 1. Experimental set-up.

파티클 거동에 따른 UHF 신호발생 특성을 조사하기 위해 GIS에 알루미늄 (밀도: 2,698 kg/m³) 파티클 4종 (직경: 0.5 mm, 길이: 5, 10, 15, 20 mm)을 투입하고 인가전압을 변화하며 기립 (lift-off) 과 fall-down 전압을 조사하였다. 또한 전산시능시에 필요한 반발계수 (Restitution coefficient, R)를 측정하였다. 파티클 거동에 따른 UHF 신호와 인가전압 파형을 40 초간 측정하여 UHF신호간의 시간간격 및 신호발생시의 인가전압의 위상을 추출하였다. 파티클이 외함전극 바닥과의 충돌과 UHF 신호발생 과정을 알기 위해 초음파 센서를 외함전극 아랫부분 외부에 부착하여 측정하였다 [5].

2.2 GIS내부 이물질 운동의 전산시능

전압이 인가된 GIS 내부에 놓인 도전성 이물질의 움직임의 특성을 알기 위해 측정된 알루미늄 선의 반발계수와 362 kV GIS의 형상(내부도체 외경 120 mm, 외부도체 내경 496 mm)을 수치화 하여 전산시능을 시도하였다. 반경이 r, 길이 l, 밀도 ρ 인 파티클이 동축형 전극 바닥에 누워있을 때, 영상전계의 영향을 고려한 상태에서 입자가 부상하는 데에 필요한 전계의 세기는

$$E_{12} = (\ln \frac{2l}{r} - 1) \sqrt{\frac{r^2 \rho g}{\epsilon_0 l (\ln \frac{l}{r} - 0.5)}} \quad (1)$$

이다. 전계가 $E(t) = E_m \sin \omega t$ 이고 중력가속도가 g 일 때 파티클의 운동방정식은

$$\frac{d^2x}{dt^2} = A_n \cdot \omega \sin(\omega t + \Phi_n) - g \quad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = A_n \cdot [\cos \Phi_n - \cos(\omega t + \Phi_n)] - gt - RU_n$$

$$x = A_n \cdot [t \cos \Phi_n + \frac{1}{\omega} \sin \Phi_n - \frac{1}{\omega} \sin(\omega t + \Phi_n)] - \frac{1}{2}gt^2 - RU_n t$$

$$\text{where } A_n = \frac{E_\phi E_m \epsilon_0 l}{\omega \rho r^2 (\ln \frac{2l}{r} - 1)}$$

이다. 여기서 E_ϕ 는 $t=0$ 에서 n 번째 거동 시작시점의 전계, U 는 n 번째 거동 전 파티클이 전극에 부딪히는 속도, R 는 반발계수, E_m 은 인가 전계 피크치, Φ_n 은 $\sin^{-1}(E_\phi/E_m)$ 이다 [6].

도전성 파티클의 운동방정식 (2)로부터 반발계수를 변화하여 계산한 인가전압 위상에 대한 파티클 (길이 10 mm, 알루미늄)의 운동을 그림 2에 보였다. 그림에서 반발계수가 클수록 높이 그리고 장시간 체공할 가능성이 높음을 알 수 있다. 또한 최고점에서의 전압의 위상이 + 또는 - peak 근처에 있을 가능성이 매우 높다.

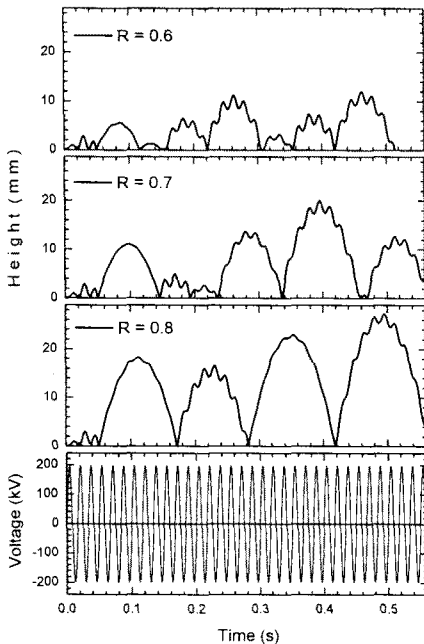


Fig. 2. Calculated wire particle heights versus applied voltage for restitution coefficient, R , of 0.6, 0.7, and 0.8. Applied voltage was 140 kVrms and the wire diameter was 0.5 mm and the length was 10 mm.

그림 3은 식 (2)를 그림 2에서와 같이 인가전압 값을 다르게 하여 지속적으로 전산시뮬한 결과로부터 알루미늄 선이 외함에 닿을 경우간의 시간간격 또는 공중에 머무르는 시간을 추출하여 그린 분포도이다. 사용된 표본은

각 인가전압 별로 2000개를 추출하였다. 그림의 횡축은 시간간격 (공중에 머무르는시간, interpulse interval)을 인가전압위상 주기(cycle)로, 단위구간 동안의 표본 수이다. 전압이 높은 수록 상승하여 있는 시간이 커질 확률이 높음을 알 수 있다.

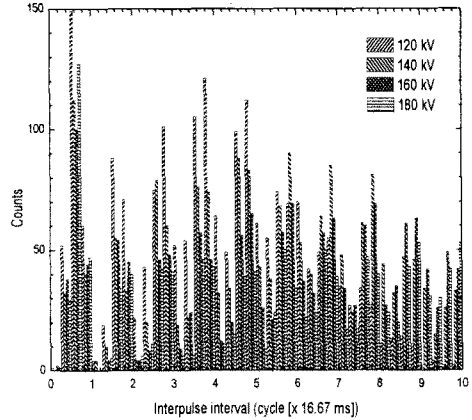


Fig. 3. Distribution of air born time for different applied voltages.

2.3 이물질 운동에 의한 UHF 신호

그림 4는 이물질이 지속적으로 운동 할 때 발생하는 UHF 신호를 40초간 측정하고 UHF 신호사이의 시간간격을 추출하여 표시한 분포도이다. 그림의 횡축은 UHF 신호간의 간격(interpulse interval)을 인가전압 위상 주기(cycle)로, 종축은 단위구간에 해당하는 pulse 개수분포를 표시했다. 인가전압이 증가할수록 interpulse time이 큰 쪽으로 pulse 개수 분포가 이동하는 경향을 나타내고 있다. 앞서 계산한 결과와 같이 인가전압이 클수록 파티클이 공간에 머무르는 시간이 길어짐을 볼 수 있다.

특히 5 mm 파티클의 경우 표본의 개수가 위상의 일부 영역에 (3rd quadrant + n th cycle) 집중되는 현상을 관찰 할 수 있었다. 이 현상은, 10 또는 15 mm 파티클에서는 위의 경우만큼 두드러지는 않았지만 인가전압이 낮을수록, 파티클 길이가 짧을수록 일부 구간에 집중되는 현상을 보였다. 이것은 파티클 무게가 가벼울수록, 인가전압이 낮을수록 그림 2에서 처럼 파티클의 움직임이 인가전압 위상에 동기화 되기 쉽기 때문인 것으로 생각된다. 즉, 파티클의 부분방전에 의한 UHF 신호와 전원전압 위상의 동기화 정도가 심할수록 파티클의 길이는 작을 가능성이 높다고 할 수 있다.

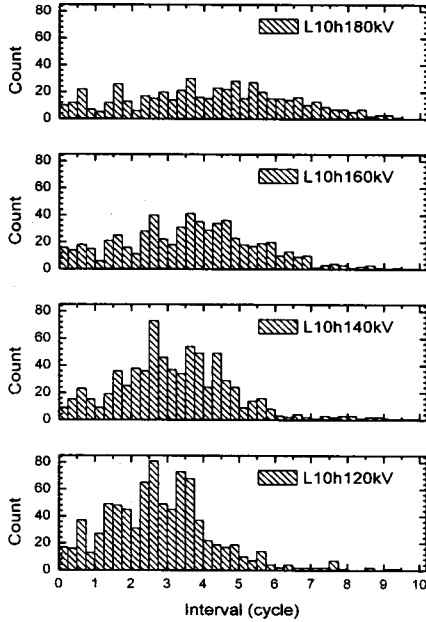


Fig. 4. Distribution of interpulse interval for a 10 mm long aluminium wire at 120, 140, 160, and 180 kVrms.

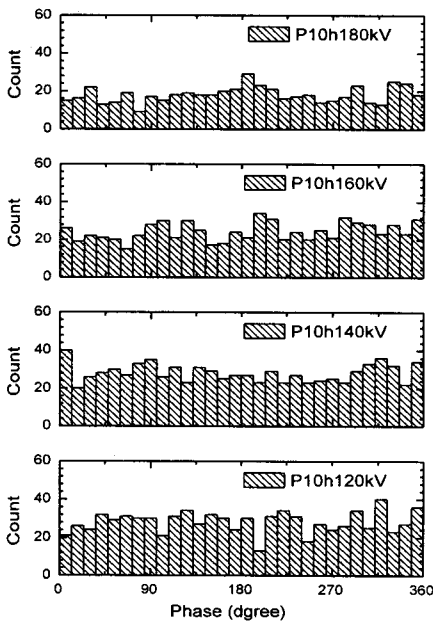


Fig. 5. Phase angle distribution of the UHF signals for a 10 mm long aluminium wire at 120, 140, 160, and 180 kVrms.

그림 5는 측정된 신호를 인가전압의 위상에 따라 횡

수분포를 표시한 그림으로서, 횡축은 인가전압의 위상각이고 종축은 단위구간에서의 UHF신호 검출 횟수이다. 그림에서 알 수 있듯이 파티클의 부분방전에 의한 UHF신호 분포는 인가전압 위상과 상관관계가 거의 없음을 알 수 있다. 실험중 특이한 현상 두가지가 관찰되었는데, 파티클이 외함 전극으로부터 전극간 gap을 횡단하여 중앙도체 하부에 도달한 파티클이 도체 하부에 매달린 채 중앙도체(bus bar) 길이방향으로 bouncing 하면서 진행하다가 다시 돌아오는 도중에 외함전극으로 추락하는 동작을 보였다. 이 과정에서 절연파괴 현상은 일어나지 않았다. 또 다른 것은, 중앙도체 하부까지 외함 전극으로부터 횡단에 성공한 파티클이 중앙도체 표면을 따라 원주방향으로 상부를 향해 이동하다가 외함전극으로 추락하는 동작을 보였다. 이 경우에도 마찬가지로 절연파괴 현상은 일어나지 않았다.

3. 결 론

정상 상태의 362 kV GIS 내부에 알루미늄 이물질을 투입하고 120 - 180 kV 전압을 단계적으로 인가하고 결합검출 감도가 우수한 UHF 신호측정법을 적용하여 부분방전 신호를 측정하였다. GIS 내에 wire형 알루미늄 이물질 존재할 경우 UHF 신호는 파티클이 외함전극 바닥으로부터 기립하여 bouncing 동작을 하는 동안 발생하는 것이 일반적 현상이며 이때 부분방전에 의한 UHF신호를 측정하여 이물질의 운동상태를 추측할 수 있었다.

40초간 인가전압의 위상에 대한 UHF 부분방전 신호로부터 파티클 거동에 의한 UHF신호는 인가전압의 위상과는 거의 무관함을 알았다. 인가전압을 높일수록 부분방전의 간격이 늘어났으며, 금속 이물질로 사용한 알루미늄선의 길이가 길어질수록 이물질의 상승고도는 증가함을 알았다. GIS 내부에서 이물질의 운동에 대한 간단한 계산결과에서도 동일한 효과를 확인하였으며 향후 이물질의 부분방전에 의한 UHF신호 측정 및 해석에 유용한 정보를 제공하였다. 또한 인가전압이 낮을수록, 파티클 길이가 짧을수록 UHF신호 사이의 시간 표본의 수가 위상의 일부 영역에 집중되는 현상을 관찰 할 수 있었다. 이것은 파티클 무게가 가벼울수록, 인가전압이 낮을수록 파티클의 움직임이 인가전압 위상에 동기화 되기 쉽기 때문인 것으로 생각되며 부분방전에 의한 UHF 신호와 전원전압 위상의 동기화 정도가 심할수록 파티클의 길이는 작을 가능성이 높다고 할 수 있다.

[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, pp 67-97, Feb. 1998.
- [2] 박기준, 구선근, 윤진열, "345 kV GIS AC 내전압 시험의 UHF 부분방전 검출기술 적용," 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1843-1845, 2000.
- [3] 윤진열, 박기준, 구선근, 조성훈, 한상욱, "GIS 부분방전 검출을 위한 UHF 신호측정법 현장 적용," 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1915-1917, 2000.
- [4] 구선근, 박기준, 윤진열, GIS 부분방전 검출기술연구 1차년도 중간보고서, 전력연구원, TM98PJ04.M2000.166, 2000. 4.
- [5] 윤진열, 박기준, 구선근, 한상욱, "GIS 내 알루미늄 파티클의 거동에 따른 UHF 신호발생 특성," 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 2000. 11.
- [6] A. H. Cookson and R. E. Wootton, "Movement of filamentary conducting particles under ac voltages in high pressure gases," Int. Symp. on High Voltage Technology, Zurich, 416, 1975.