

GIS 내 자유 도전성 파티클 결함에 대한 위험도 평가 방안

윤진열*, 구선근, 박기준, 정길조
한국전력 연구원

Risk assesment on free conducting particle in GIS

Jin Yul Yoon, Sun-geun Goo, Ki Jun Park, Kil Jo Jung
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 자유 도전성 파티클이 전계의 영향으로 GIS (Gas Insulated Switchgear) 외함전극 내부표면으로부터 가스공간을 가로질러 중앙도체까지 튀어 오르게 되면 절연파괴가 발생할 가능성이 매우 높아진다. 그러므로 파티클이 튀어 오르는 높이는 절연파괴 발생 위험도를 평가하는 데에 중요한 자료로 활용될 수 있다. 본 논문에서는 GIS 내부에 자유 도전성 파티클이 혼입된 상태에서 GIS가 운전중일 때 GIS 외부에서 파티클 상승높이를 추정하는 방안을 세계 최초로 제시함으로써 현재까지 해결되지 않은 도전성 파티클 결함에 대한 절연파괴 위험도 평가가 가능하게 되었다.

1. 서 론

GIS의 절연파괴는 도전성 파티클이나 도체간 접촉불량, 도체표면 불량, 스페이스 결합 등 여러 종류의 내부결함에 의해 발생하며, 이들 요인 중에서 절연파괴를 일으키는 데에 가장 큰 비중을 차지하는 것이 도전성 파티클이다[1]. GIS 내부에 도전성 파티클이 존재할 경우 중앙도체에 인가된 전압이 일정값을 초과하게 되면 외함전극 바닥에 놓여있던 파티클은 기립동작과 함께 절연 공간에서 튀는 동작을 반복하거나 공간을 가로질러 중앙도체까지 접근함으로써 절연파괴의 직접적인 원인으로 작용하게 된다. 도전성 파티클이 GIS 내에서 튀는 동작을 계속하고 있을 때 외부에서 운전자가 이러한 결함을 발견하는 일은 최근에 UHF(Ultra High Frequency) 부분방전 검출기술과 같은 최신기술의 개발로 가능하게 되었다.

GIS 내에 파티클 결함이 검출되었을 경우 이 결함에 의해 GIS가 절연파괴 사고까지 진행되어질지 여부에 대한 판단과 절연파괴 발생가능 시기를 예측하는 일은 설비 운전자의 입장에서는 대단히 중요한 일이다. 이러한 절연파괴 발생 위험도 평가기술은 전력기기 예방진단기술 분야에서 가장 어려운 부분에 해당하며 이 분야에 대한 집중적인 연구개발 노력에도 불구하고 현재까지 현장에 적용할 만큼 신뢰도가 높은 성과를 얻지 못하고 있다.

본 연구에서는 GIS 내부결함 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 도전성 파티클이 GIS 내에서 튀는 동작을 하고 있을 때 절연파괴 발생가능성에 대한 위험도 평가방안을 제시함으로써 실제 현장에서 운전중인 GIS의 절연파괴 사고를 예방하는 데에 기여하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 선형 파티클의 거동 시뮬레이션(2)

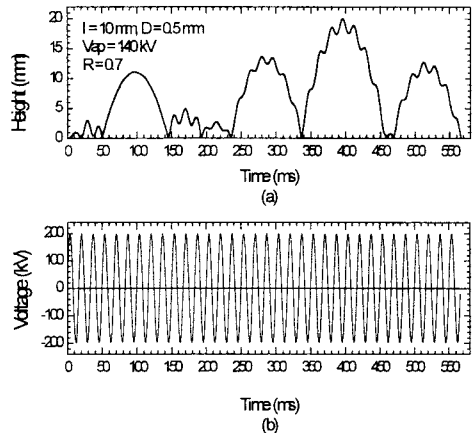
반경이 r , 길이 l , 밀도 ρ 인 도전성 파티클이 GIS의 외함전극 표면 위에서 튀는 동작을 할 때, 그 곳의 전계가 $E(t) = E_m \sin \omega t$ 이고 외함전극 표면에서 중앙전극을 향하여 파티클이 상승하는 높이를 y 라 하면, 파티클의 운동방정식은 (1)식과 같다.

$$y = A_n \cdot [t \cos \Phi_n + \frac{1}{\omega} \sin \Phi_n - \frac{1}{\omega} \sin(\omega t + \Phi_n)] - \frac{1}{2} g t^2 - R U_n t \tag{1}$$

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

여기서 E_{ϕ} 는 $t = 0$ 일때 n 번째 거동 개시 때의 전계, U_n 은 n 번째 거동 전 파티클이 전극에 부딪히는 속도, R 는 탄성계수(coefficient of restitution), E_m 은 인가 전계 피크치, Φ_n 은 $\sin^{-1}(E_{\phi}/E_m)$, ϵ_0 는 공기의 유전율, g 는 중력가속도이다.

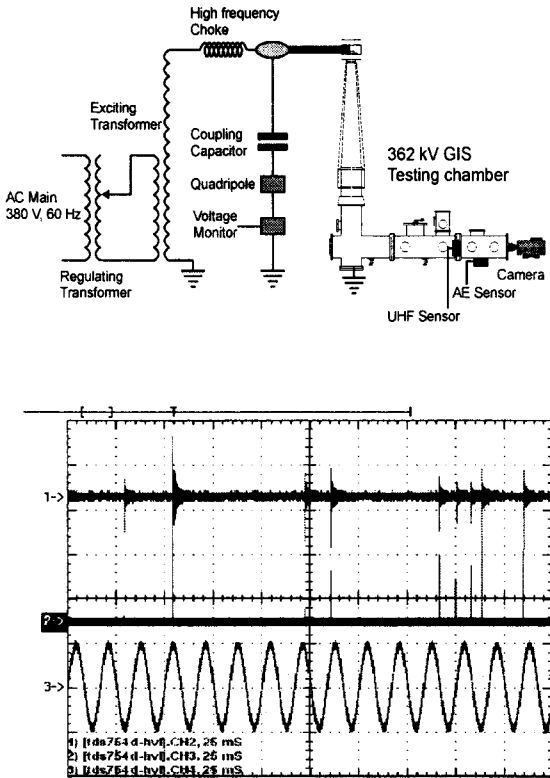
파티클 거동양상을 식 (1)을 이용하여 컴퓨터로 시뮬레이션한 결과의 일부를 그림 1에 나타내었다. 시뮬레이션에 사용한 조건은, 동축 원통형 구조의 362 kV급 GIS에서 중앙전극 반경은 60 mm, 외함전극 내부표면 반경은 248 mm이고, 알루미늄 파티클은 직경 0.5 mm, 길이 10 mm, 밀도 2.698 kg/m³이며, 인가전원은 140 kV_{rms}, 60 Hz 이고, $R = 0.7$ 이다. 그림에서 횡축은 시간을 나타내고, 종축은 위쪽 그림은 파티클이 튀는 높이, 아래그림은 인가전압이다.



2.2 선형 파티클의 거동 실험(3)

파티클 거동에 따른 제반 특성을 측정하기 위한 실험 장치는 그림 2와 같이 구성하였다. 선형 파티클이 튀는 동작 과정에서 하강운동 중 외함전극과 충돌할 때의 부분방전에 의해 발생하는 UHF 신호 특성을 조사하기 위해 120 - 240 kV의 교류 전압을 GIS에 인가하였다. 또한 파티클이 튀는 동작은 고속카메라를 이용하여 촬영

하였다. 그림 3은 직경 0.5 mm, 길이 10 mm의 알루미늄 파티클, 인가전압 180 kV에서의 초음파 신호와 UHF 신호, 인가전압 파형의 예이다. 그림에서 알 수 있듯이 UHF 신호와 초음파 신호는 전압 위상각과는 무관하게 검출되었으며, 대부분의 경우 초음파 신호와 UHF 신호가 동시에 검출되었다. 이것으로부터 파티클이 외함전극과 충돌할 때 대부분 부분방전 현상이 발생함을 알 수 있다.



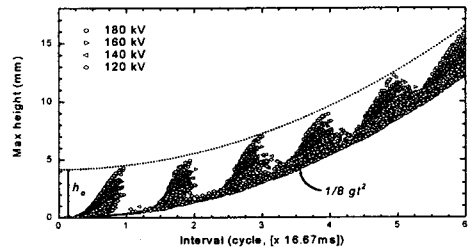
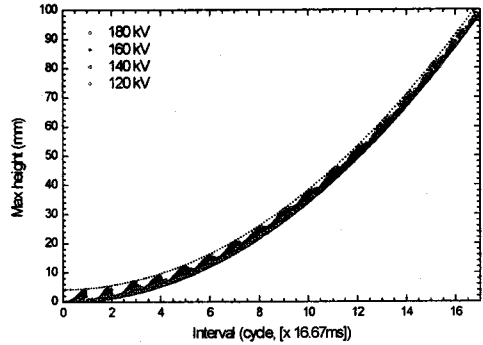
2.3 파티클 결함에 대한 위험도 평가 방안

그림 1과 같이 나타난 파티클 거동에 대한 시뮬레이션 결과를 변형하여, 파티클이 외함바닥과 충돌할 때 마다의 시간간격에 대한 파티클 상승높이를 그림 4에 나타내었으며, 그림 5는 그림 4의 일부를 확대한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 파티클이 1회 상승운동을 하는 데에 소요되는 시간간격이 클수록 상승높이가 증가하여 서로의 상관관계는, 그림에서 최대 상승높이를 y (m), 1회 행정에 소요되는 시간을 t (s)라 하면,

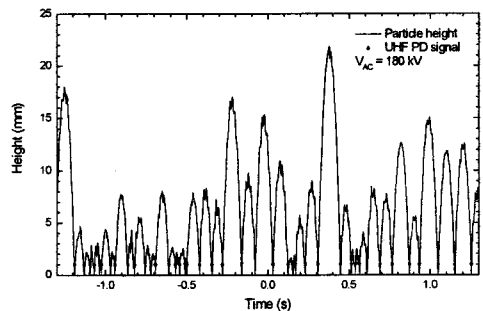
$$y = \frac{1}{8} g t^2 + h_0 \quad (2)$$

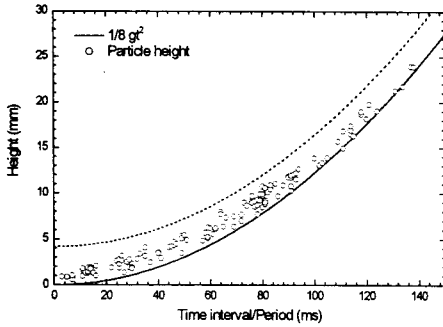
의 관계가 있음을 알 수 있었다. 여기서 g 는 중력가속도 9.8 m/s^2 이다. 식 (2)에서 $(1/8) g t^2$ 은 중력장에서 물체가 수직 상승운동을 할 때 최고점 높이와 상승운동에 소요되는 총 소요시간과의 상관관계를 나타내는 식이다. 식 (2)에서 h_0 는 파티클이 바닥을 출발한 이후 전계의 영향에 의한 상승높이 성분이며 그림 4에서 알 수 있듯이 소요시간이 증가할수록 $(1/8) g t^2$ 에 비해 상대적으로 작아짐을 알 수 있다. 중력장에 존재하는 모든 물체는 식 (2)에서 $(1/8) g t^2$ 항에 지배되

로 h_0 의 값이 상대적으로 작은 값을 고려하면 GIS 내에 존재할 수 있는 거의 모든 물체는 전계에 의해 외함 바닥으로부터 중앙도체를 향하여 상승운동을 할 경우 파티클 형상이나 재질, 인가전압, 탄성계수 등이 어떤 것이든 관계없이 방전 시간간격을 측정함으로써 식 (2)로부터 상승높이 근사치를 계산할 수 있음을 알 수 있다 [4].



식 (2)를 확인하기 위하여 GIS chamber 내에 선행 파티클이 상승운동을 할 때 상승궤적을 고속 디지털 카메라 (1,000 frame/sec)로 촬영하여 시간에 대한 궤적을 그림 6과 같이 나타내었다. 그림에서 횡축 바로 위에 점으로 표시된 것은 UHF 신호가 측정된 시점이다. 그림 7은 그림 6의 결과를 파티클이 외함바닥과 충돌할 때 마다의 시간간격에 대한 파티클 상승높이를 나타낸 그림이다. 고속카메라로 측정한 파티클의 최대 상승높이와 운동 소요시간과의 상관관계인 그림 7은 시뮬레이션 결과인 그림 4와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.





3. 결 론

운전중인 현장 GIS 내에 도전성 파티클 결합이 혼입된 상태에서 파티클이 전계의 영향을 받아 GIS 외함전극 표면으로부터 중앙도체를 향해 튀는 동작을 할 때 파티클에 의해 GIS 절연파괴 사고로 진행할 가능성을 평가하는 위험도 평가방안을 제시하였으며 실험을 통해 제시한 방안을 확인하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, GIS 내에 도전성 파티클이 상승하는 높이는 파티클이 상승운동을 하면서 GIS 외함과 부딪히는 시간간격을 GIS 외부에서 측정함으로써 추정이 가능하다.

둘째, 본 연구에서 세계 최초로 제시한 파티클 상승높이 추정 수식은 중력장에서 적용되는 수식이므로, GIS 내부에서 활동중인 파티클의 종류나 모양, 재질, 인가전압, 탄성계수 등이 어떤 값이든 관계없이 적용이 가능하다.

셋째, 컴퓨터 시뮬레이션 방법에 의한 파티클 상승높이 통계는 실험결과와 일치하였다. 보다 정확한 상승높이는 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 통해 알 수 있다.

GIS 설비 운전자는 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 파티클 상승높이를 알아냄으로써 각 변전소 실정을 고려한 위험도 평가가 가능할 것이며, 본 연구 결과를 적절히 활용할 경우 현장 GIS 안전운전에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

(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, "362 kV GIS 내부 이물질 운동에 의한 UHF 부분방전 신호 검출", 2000년도 대한전기학회 추계 부문학술대회 논문집 p516-518, 2000
- [3] 윤진열, 박기준, 구선근, 한상옥, "GIS 내 알루미늄 파티클의 거동에 따른 UHF 신호발생 특성", 2000년도 대한전기학회 추계 부문학술대회 논문집 p525-527, 2000
- [4] Risk assesment method and detection system of partial discharge generated inside of gas insulated high voltage switchgear and gas insulated gear. 특허출원