

모의 GIS내에서의 부분방전시 UHF 안테나를 이용한 방전위치측정

장효성* · 박광서* · 이현철* · 김인식** · 최병주*** · 최상태**** · 김기채* · 이광식*
 영남대학교 전기공학과* · 경일대학교** · 서라벌대학*** · 경주대학교****

The measurement of a discharging point using UHF Antenna with partial discharge in the model GIS

H.S. Jang* · K.S. Park* · H.C. Lee* · I.S. Kim** · B.J. Choi*** · S.T. Choi**** · K.C. Kim* · K.S. Lee*
 Yeungnam Univ* · Kyungil univ** · Sorabol college*** · Kyongju Univ****

Abstract - 본 논문은 모의GIS(내에서 부분방전(partial discharge:PD) 발생 시 방사되는 전자파 신호를 두 개의 UHF(Ultra-High Frequency)타입 혼형안테나(Time-Do main Antennas: NBS-200)를 설계제작하여 오실로스코 프를 이용한 부분방전의 위치검출에 관해 연구하였다. 실험조건은 GIS내에 금속 파티클을 넣고 전압을 32[kV] 로 고정하여 파티클의 활발한 진동시에 방사되는 전자파 신호를 오실로스코프를 사용하여 측정된 두 신호의 시간 차를 이용하여 추정하였다.

호를 때 시간 t 에 의존하는 방사 전자계는 원주 좌표 계에서 다음과 같이 구해진다.

$$E(\rho, z, t) = \hat{\rho}E_{\rho} + \hat{z}E_z \quad (2-10)$$

$$H(\rho, z, t) = \hat{\phi}H_{\phi} \quad (2-11)$$

$$E_{\rho}(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi\epsilon_0 R^2} \left(\frac{3i(u)}{cR^2} + \frac{1}{c^2 R} \frac{\partial \bar{a}(u)}{\partial u} \right) \quad (2-12)$$

$$E_z(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi\epsilon_0} \left[\left(\frac{3z^2}{cR^2} - \frac{1}{cR^2} \right) i(u) + \left(\frac{z^2}{c^2 R^2} - \frac{1}{c^2 R} \right) \frac{\partial \bar{a}(u)}{\partial u} \right] \quad (2-13)$$

$$H_{\phi}(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi R} \left(\frac{i(u)}{R^2} + \frac{1}{cR} \frac{\partial \bar{a}(u)}{\partial u} \right) \quad (2-14)$$

여기서, R은 방전원으로 부터 관측점 P(ρ, φ, z)까지의 거리이며 R=√z²+ρ²이다. u = t - R / c 이며, c는 광속, ε₀ 는 진공의 유전율을 나타낸다.

1. 서론.

전력은 현대 산업 문명의 급속한 발전과 경제성장의 가속화로 인하여 그 수요가 급격히 증가하는 추세에 있다. 이러한 전력의 사용증가에 따라 전력의 공급장 해 발생시 사회 전체에 미치는 영향은 과거와는 비교 할 수 없을 정도로 크고 복구나 수리 등에도 많은 시간과 노력이 소요되게 되었다. 이로 인해 보다 더 안전하고 신뢰성이 높은 전력을 효율적으로 공급하기 위한 전력설비 및 기기의 유지·보수가 중요하게 되었고, 사고의 예방차원에서 사고의 징후를 미리 발견함으로써 대형사고로의 확대를 미연에 방지할 수 있도록 하기 위해서 상시 절연진단 기술을 필요로 하게 되었다.

국내·외적으로 GIS내의 UHF절연진단 기술현황을 보면 영국, 독일 등 유럽을 중심으로 한 GIS 상시감시 시스템 구축운영을 위한 기술이 발달하여 독자적인 UHF기술을 자사 GIS에 적용하고 있으며 결합진단을 위한 전문가 시스템을 개발하는 등 기술개발 활동이 활발하게 진행되고 있다. 국내에는 부분방전 탐지기술의 연구를 하고 있지만 초보적인 단계이다. 하지만 500[MVA]~1500[MVA] 대역의 UHF신호를 검출함으로써 부분방전 유무를 검증하는 부분방전진단을 행하고 있다.

본 논문에서는 실제 GIS에서 많이 일어나고 있는 금속 파티클에 의한 부분방전시 방전점의 위치 검출을 위해 자체 제작한 실험용 GIS 챔버 내부에 파티클을 넣어 두 개의 타입혼형 안테나를 사용해 부분 방전시 발생하는 신호를 측정하였으며, 두 안테나의 거리차에 의한 방전신호의 시간차를 측정해 방전점 위치를 검출하였다.

2. 관련이론

2.1 시간의존 전자계

그림 2.1은 미소 간극을 갖는 방전원을 길이가 l 인 미소 다이폴로 가정한 것이다. 이 모델은 정전기 방전의 연구에서 Wilson & Ma의 모델 또는 NIST의 모델로 잘 알려져 있다. 이러한 미소 다이폴에 전류 i 가

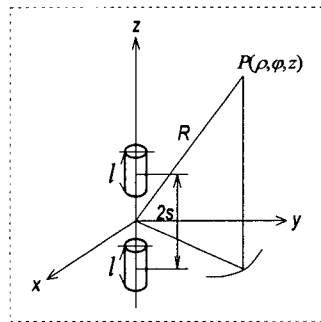


그림 2.1. 미소간격 방전의 다이폴 모델

2.2 실험장치 및 방법

본 실험에서는 모의 GIS (gas insulated switchgear) 내에서 발생하는 방사전자파를 측정하기 위해서 모의 GIS의부위 양쪽 끝에 시간의 차이에 의해 발생하는 전자파 신호를 측정하기 위해서 설계·제작한 두 개의 UHF타입혼형안테나(Time-DomainAntennas: NBS20 0-1)와 2대의 오실로스코프를 설치하였다.

이 실험에서는 모의 GIS의 양끝에 설치한 두 개의 안테나의 거리에 변화를 주었다. 하나의 안테나의 거리는 1[m]로 고정시키고 다른 하나의 안테나의 거리를 1.5[m], 2[m], 2.5[m]로 조정하면서 거리의 차이에 의해 나타나는 신호발생 시의 시간 차를이용해 부분방전의 위치를 추정하였다.

그림 2.2는 실험장치를 구성한 그림이다.

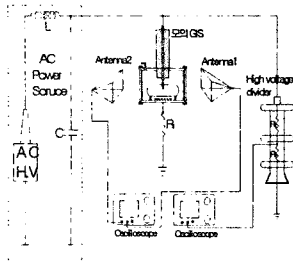


그림 2.2. 실험장치 개략도

본 실험에 사용된 모의 GIS는 자체설계·제작한 것으로 원통형 타입이고 최대인가전압은 200[kV]이고 최대압력은 10 기압까지 압력상승 및 압력유지가 가능하도록 제작하였고 원통형 전극과 바다까지의 거리를 5mm~10mm 까지 Gap조절이 가능하다. 또한 전압원은 교류전압(일본: matsunaga. co. ltd, 입력 AC200[V] 주파수: 50/60 [Hz], 출력: 60[KV])을 이용하였고 인가전압측정을 위해 High Voltage divider (Pulse Electronic Engineering, EP-300K, 10000:1)를 사용하였다.

방전전류와 인가전압은 오실로스코프(Lecroy사 LT372, 500[MHz], 4[Gs/s])로 측정하였다. 안테나에서 오실로스코프까지의 케이블의 길이는 5[m]로 양쪽 모두 동일하고 SF₆ 가스는 4기압을 일정하게 유지하였다. 실제 GIS의 전기적 사고를 모의하기 위해 금속파티클(지름1[mm], 길이 2[mm])을 GIS내부의 일정한 간격을 둔 가장자리에 파티클이 위치하도록 하였다. 인가전압은 절연파괴 되기 직전(즉, 금속파티클의 진동이 아주 활발함)까지의 전압(32[kV])을 일정하게 인가하여 금속파티클의 진동에 따라 발생하는 방사전자파를 두 개의 UHF(NBS, 200-1) 안테나와 오실로스코프를 이용하여 부분방전이 일어난 위치를 신호발생시의 시간차를 이용하여 추정하였다.

본 실험에서의 신호의 측정값은 모의 GIS에 대한 안테나의 위치를 변화할 때마다 5회의 실험을 거친 값을 평균해서 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 3.1과 표 3.1은 두 개의 안테나 중 하나의 안테나는 1[m], 다른 하나의 안테나는 1.5[m] 일 때의 측정치를 나타낸 것이다.

<표3.1>안테나의 거리 차가 0.5[m]일 때 시간 차
단위: [ns]

횟수	1회	2회	3회	4회	5회
(Δt_1) 시간차	7	4	6	4	6
(Δt_2) 시간차	16	15	14	15	15.5

- Δt_1 의 평균 : 4.85 [ns]
- Δt_2 의 평균 : 14.55 [ns]

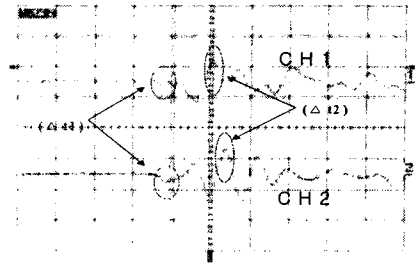


그림3.1 안테나의 거리 차가 0.5[m]일 때, 부분방전 신호(50[ns/div], 20[mv/div])

표 3.1에서 알 수 있는 것은 거리는 0.5[m] 정도의 차이가 있는데 측정을 해서 Δt_1 과 Δt_2 를 계산한 결과로서 Δt_1 은 약1.6 [m]정도 차이가 났고, Δt_2 는 약 4.3[m]정도로 오차가 나왔다. 그러므로 Δt_1 의 값이 오차가 적다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 Δt_1 의 값을 이 실험에서는 기준으로 하는 것이 오차가 적었다.

그림 3.2와 표 3.2는 안테나의 두 개의 거리를 하나의 안테나는 1[m], 다른 하나의 안테나는 2[m] 일 때의 측정치를 나타낸 것이다.

<표3.2> 안테나의 거리 차가 1[m]일 때 시간 차
단위:[ns]

횟수	1회	2회	3회	4회	5회
(Δt_1) 시간차	5	4	4.25	4.5	6.5
(Δt_2) 시간차	12	17	14	14	15.75

- Δt_1 의 평균 : 5.2 [ns]
- Δt_2 의 평균 : 15.1 [ns]

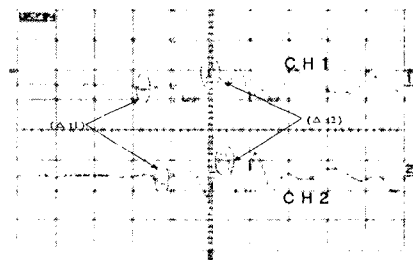


그림3.1 안테나의 거리 차가 1[m]일 때, 부분방전 신호(50[ns/div], 20[mv/div])

표 3.2에서 알 수 있는 것은 거리는 1[m] 정도의 차이가 있는데 측정을 해서 Δt_1 과 Δt_2 을 계산한 결과로서 Δt_1 은 약 1.1[m]정도 차이가 났고, Δt_2 는 약 4.1[m]정도의 오차가 나왔다. 앞의 실험과 같이 Δt_1 의 값이 오차가 적다는 것을 알 수 있었다. Δt_1 의 값을 이 실험에서도 기준으로 하는 것이 오차가 적은 것으로 보아서 알 수 있었다.

안테나의 거리가 앞의 실험보다 0.5[m]정도 더 멀어졌을 때 오차의 수치가 줄어든 것을 알 수 있었다.

그림3.3과 표3.3은 안테나의 두 개의 거리를 하나의 안테나는 1[m], 다른 하나의 안테나는 1.5[m]일 때의 측정치를 나타낸 것이다.

<표3.3> 실험횟수에 따른 시간차

단위: [ns]

횟수	1회	2회	3회	4회	5회
(Δt_1) 시간차	5.5	5	4.5	6.25	7
(Δt_2) 시간차	18.5	16.75	16	13	13

- Δt_1 의 평균 : 5.65 [ns]
- Δt_2 의 평균 : 15.45 [ns]

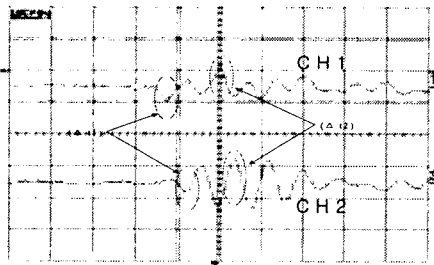


그림3.1 안테나의 거리 차가 1.5[m]일 때, 부분방전 신호(50[ns/div], 20[mv/div])

표 3.3에서 알 수 있는 것은 거리는 1.5[m] 정도의 차이가 나는데 측정을 해서 Δt_1 과 Δt_2 를 계산한 결과로서 Δt_1 은 약 0.6[m]정도 차이가 났고, Δt_2 는 약 4.05[m] 정도의 오차가 나왔다. 앞의 두 실험과 같이 Δt_1 의 값이 오차가 적다는 것을 알 수 있었다. Δt_1 의 값을 이 실험에서도 기준으로 하는 것이 오차가 적은 것으로 보아서 알 수 있었다.

이 세 가지의 실험에서 알 수 있는 것은 안테나의 거리가 방전 점과 가깝게 설치되었다고 해서 오차 값이 적은 것이 아니고 적당한 거리 차가 있을 시에 오차 값이 줄어 든다는 것을 실험을 통해서 알 수 있었다.

앞의 3가지의 그림은 모의 GIS내에서 금속의 파티클이 진동 시 발생하는 방사전자파의 신호를 오실로스코프로 측정된 것이다. 안테나와 모의 GIS의 거리를 0.5[m]씩 증가시켜 시간의 차이를 측정해본 결과로서는 거리가 더 멀어지면 멀어질수록 받아들여지는 신호의 시간차가 점점 더 커지는 것을 볼 수 있었다.

이것은 파형에서 나오는 처음의 피크치(Δt_1)값 기준으로 했을 때와 Trigger신호 이후의 최대 피크치(Δt_2)값을 기준으로 잡았을 때 둘의 값 모두 다 거리에 비례해서 시간의 증가가 조금씩 나타나는 현상을 보여주고 있었다. 측정된 값 모두가 거리의 증가에 비례해서 시간차가 크게 나왔지만 둘 다 어느 정도의 오차가 발생했었다. 오차에 있어서는 처음의 피크치를 기준으로 측정된 값이 최대 피크치를 기준으로 측정된 값보다 오차가 적게 나타났다. 처음 피크치를 기준으로 한 값의 오차가 적은 것으로 보아서 처음 피크치를 기준으로 한 값이 좀 더 정확할 것이라는 것을 알 수 있었다. 그러므로 처음의 피크치를 기준으로 $S=V \times T$ (S : 거리, V : 전자파 속도(3×10^8 m/s), T : 시간)로 계산해 보면 원래의 검출거리는 0.5[m] 이어야 하는데 적게는 0.7[m], 많게는 1.6[m]까지 오차가 난다는 것을 계산을 통해서 알 수 있었다.

본 논문에서 이러한 오차가 발생한 원인을 분석해 보면 첫째, 실험에 사용한 아크릴판과 SF₆가스로 인한 전자파의 감쇠로 인하여 이러한 오차가 발생하기 때문이다.

둘째, 본 논문에서는 방사전자파가 나와서 오실로스코프로 들어가는 속도를 양쪽 끝에있는 케이블을 통과하는 속도와 공기를 통과하는 속도를 구분하지 않고 공기중에서의 전자파의 속도인 3×10^8 m/s로 계산을 했기 때문으로 분석할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 GIS내에 부분방전(partial discharge : PD)시 발생하는 방사전자파의 위치를 추정하기 위해서 실제 발생 가능한 상황을 모의 GIS, UHF타임 혼형안테나(NBS 200-1)와 오실로스코프를 이용하여 부분방전 시 발생하는 방사전자파 신호의 시간차를 측정하였다.

실험결과에서 보는바와 같이 어느 정도의 오차는 있었지만 거리가 안테나와의 거리가 짧을수록 신호가 나오는 시간의 빠르고 멀면 멀수록 늦어진다는 것을 볼 수 있었다. 또한 신호의 기준 값을 잡을 때 신호의 첫 번째 피크 값을 기준으로 해서 잡는 것이 오차가 적다는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서는 안테나의 거리가 가깝다고 해서 오차가 적게 발생하는 것이 아니라 안테나의 특성에 맞는 적합한 위치에서 측정하는 것이 오차를 줄일 수 있다는 것을 보여주고 있으며 또한 이러한 오차율을 최대한으로 줄이게 되면 방전의 위치를 추정, 예측하고 판단할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

[참고문헌]

- [1] H.Okubo, et, "Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharge and its Relation to Partial-Discharge Characteristics" ETEP Vol.7, No1. 1997
- [2] M. D. Judd et al., "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS", IEEE Trans. DEI, Vol.3, No.2, pp.213-228, April 1996
- [3] H. Yamashita et al., "Electromagnetic Spectrum caused by Partial Discharge in Air in High Voltage Substations", T.IEE Japan, Vol.115-B, No.10, pp.1208-1214, 1995
- [4] Schichler. U, Gorablenkow. J, Diessner. A, "UHF PD detection in GIS substations during on-site testing", Dielectric Materials, Measurements and Applications, 2000. Eighth International Conference on (IEE Conf. Publ. No. 473), pp139~144, 2000
- [5] Judd. M.D, Farish. O, "Transfer functions for UHF partial discharge signals in GIS", High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467), Vol.5, 1999
- [6] Hoshino, T. Kato, K. Hayakawa, N. Okubo, H, "A novel technique for detecting electromagnetic wave caused by partial discharge in GIS", Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol.6, Issue 4, pp 545~551, Oct 2001
- [7] Irwin. T, Lopez-Roldan, J, Charlson. C, "Partial discharge detection of free moving particles in GIS by the UHF method: recognition pattern depending on the particle movement and location", Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE, Vol.3, pp2135~2140, 2000