

절연진단을 위한 기중방전에서의 방사전자파 측정과 분석

(The Measurement and Analysis The Electromagnetic Wave
by Discharge in Air for Insulation Diagnosis)

이상훈 · *이현동* · **이준하 · ***윤영대 · *김기채 · *이광식 · *이동인

(Sang-Hoon Lee · Hyun-Dong Lee · Chun-Ha Lee · Young-Dae Yun
Ki-Chai Kim · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee)

*School of Electrical and Electronic Engineering of Yeungnam University

Dept. Safety Engineering of Hoseo University · *Electricity of Pohang 1 college

Abstract

This paper offer fundamental ones about insulation diagnosis with electromagnetic wave, when discharges occurred. To simulate Partial-Discharge(PD), It is used needle-plane electrode in air. As the voltages applied, measure the electromagnetic wave with monopole antenna and analysis its fundamental characteristics, then, acquired data were operated. The results presented as the form of graph, and the magnitude of charge when occurred PD simultaneously. In conclusion, when the magnitude of charge over 100[pC], the electric field strength changed, and then the magnitude of charge and the electric field strength increased samely.

1. 서론

현대 산업 문명의 급속한 발전과 경제성장의 가속화로 인하여 에너지에 대한 수요는 급격히 증가하는 추세에 있다. 그중 전력은 최종 에너지 가운데 가장 빠른 소비증가세를 보이는 에너지 원이다.[1] 이에 따라 전력의 공급장해발생시 이로 인한 사회적 영향은 더욱 커지게 되었고, 복구나 수리 등에도 많은 시간과 노력이 소요되게 되었다. 따라서, 보다 안정하고 신뢰성이 높은 전력을 효율적으로 공급하기 위한 전력설비 및 기기의 유지·보수가 중요하게 되었고, 사고의 예방적인 차원에서 사고의 징후를 미리 발견하여 대형사고로의 확대를 미연에 방지할 수 있도록 하는 항시감시 진단기술을 필요로 하게 되었다. 따라서 이러한 사고를 방지하기 위해서는 절연파괴의 전구현상인 부분방전을 검출하면 사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다.[2][3] 이러한 부분방전의 검출법에는 화학적, 기계적, 광학적, 전기적인 방법[4][5] 등이 있으며, 상용되고 있는 대부분의 센서들이 접촉형으로 기기마다 부착해야 하며, 센서의 보수 시에도 기기의 운전을 중단하여야 한다는 등의 많은 불편함을 가지고 있다. 이에 반해 전력 기기 이상에 의해 방사되어지

는 방사전자파를 비접촉센서인 안테나를 이용하여 검출하는 방법은 감도가 좋고, 검출범위가 넓어 하나의 센서로 광범위한 검출이 가능하므로 경제적인 이점이 있어 그 중요성이 부각되고 있다.

따라서 본 논문에서는 대기압하의 공기중에서 침-평판전극에 교류전압을 인가하여 부분방전을 모의하고 이때 방사되어지는 전자파를 모노폴 안테나를 이용하여 측정하고, 데이터를 처리한 결과를 나타내었다.

2. 본론

2.1. 관련이론

그림 1은 Wilson & Ma의 모델, 혹은 NIST 모델로 알려진 내용을 나타낸 그림이다. 그림 2.3의 (a)에서 보면 그라운드판 위에 반지름 4[mm]의 금속구를 근접 배치하고, 이것에 ESD시플레이트로 불꽃을 튀겼을 때의 발생 전계를 불꽃점(방전점)에서 1.5[m] 떨어진 그라운드 판 위의 지점에서 측정하고 있다.

그림 1의 (b)에는 방전을 미소 다이폴로 모델링하여 전류 i 가 다이폴 안테나를 흐를 때 시간

t에 의존하는 방사 전자계는 원주좌표계에서 다음과 같이 구해진다.[6][7]

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

$$E_\rho(\rho, z, t) = \frac{t}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho^2}{R^2} \left(\frac{3i(u)}{cR^2} + \frac{1}{cR^2} \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right)$$

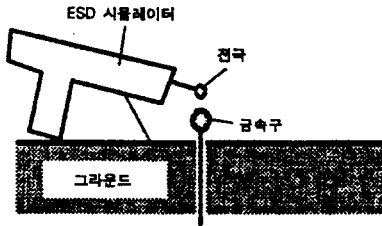
$$E_z(\rho, z, t) = \frac{t}{2\pi\epsilon_0} \left[\left(\frac{3z^2}{cR^4} - \frac{1}{cR^2} \right) i(u) + \left(\frac{z^2}{c^2R^3} - \frac{1}{c^2R} \right) \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right]$$

여기서, R은 방전원으로부터 관측점(ρ, ϕ, z)까지의 거리이며,

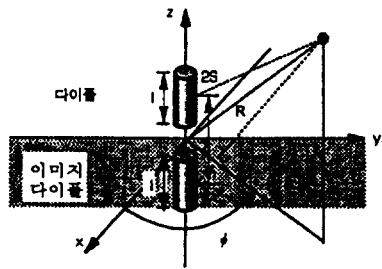
$$R = \sqrt{z^2 + \rho^2}$$

이다.

$u = t - R/c$ 이며, c는 광속, ϵ_0 는 진공의 유전율을 나타낸다.



(a) 실험장치도



(b) 다이폴모델 개념도

그림 1. Wilson과 Ma의 모델

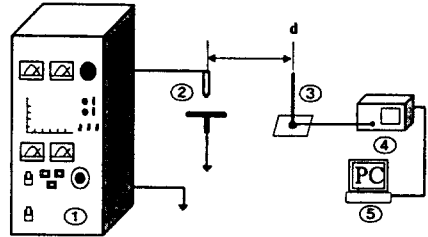
Fig. 1. Wilson & Ma model

이상을 통하여 살펴본 바와 같이 방전시 전하의 흐름은 공간으로의 전자파의 방출을 유기 시키게 되므로, 이러한 특성을 이용하여 기중방전시의 전자파 측정을 통하여 그 방전상태에 대해

서 살펴보는 방법이 유용하다고 생각된다.

2.2. 실험방법

그림 2는 본 실험의 장치도를 나타내며, 전원장치로는 교류전원장치(입력:AC 220 [V], 출력:AC 15/30 [kV], 60 [Hz])를 사용하였다.



- ① 전원장치 ② 전극계 ③ 모노폴안테나
④ 스펙트럼이널라이저 ⑤ 퍼스널 컴퓨터

그림 2. 실험장치도

Fig. 2. Experimental setup diagram

방전시 공간으로 방사되어지는 전자파를 측정하기 위하여 Monopole Antenna(150 ~ 170[MHz]) 및 Spectrum Analyzer를 이용하여 방사전자파의 스펙트럼 분포를 측정하였다.

부분방전을 모의하기 위하여 침단 각도가 45°인 탄소강 재질의 침전극을 이용하고, 평판전극은 서스재질의 직경 46[mm]이고, 중력방향에 수평으로 배치하였다. 전극간의 간격은 10, 20, 30[mm]로 하였다.

그림 3에는 본 논문에서 제안하고 있는 스펙트럼 데이터처리 플로어차트를 나타낸다.

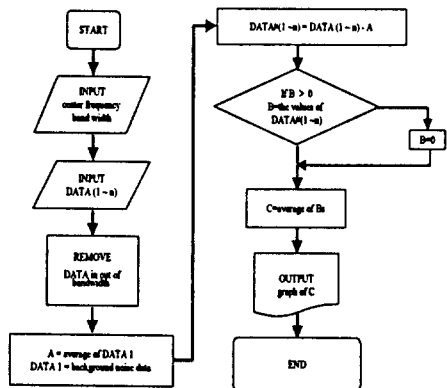


그림 3. 데이터처리 플로어차트

Fig. 3. Flow chart for data analysis

데이터처리는 포트란을 이용한 프로그램으로 컴퓨터로 입력되는 스펙트럼의 데이터 중에서 필요한 영역의 데이터를 배경잡음(Back-ground noise)데이터와 비교를 하여 그 결과를 그래프로 나타내었다.

2.3. 실험결과

본 실험을 실시하고 있는 대기 중에는 여러 가지 전자파잡음원이 존재하고 있으며, 이러한 잡음원은 그 크기나 대역에 있어서 여러 가지 양상을 보이고 있다. 그림 4는 본 실험에서 선정한 측정주파수 대역(150~170[MHz])에서의 잡음 스펙트럼을 나타낸 것으로 본 논문에서 제안하고 있는 스펙트럼 데이터처리에서의 가장 기본이 되는 데이터이다.

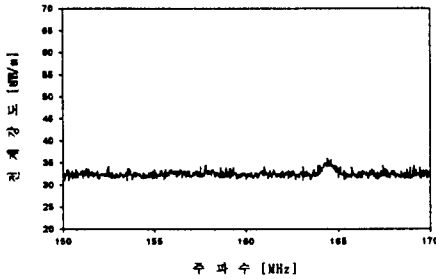


그림 4. 배경잡음 스펙트럼

Fig. 4. The electric field strength with frequency of environmental situation

그림 5는 갭간격을 10[mm]로 하고 전압을 인가하였을 때 안테나와 스펙트럼어널라이저를 통하여 받아들여지는 전계강도를 그림 3에서 제시하고 있는 데이터처리 방식에 의한 결과와 동시에 방전시의 방전전하량을 나타냈다.

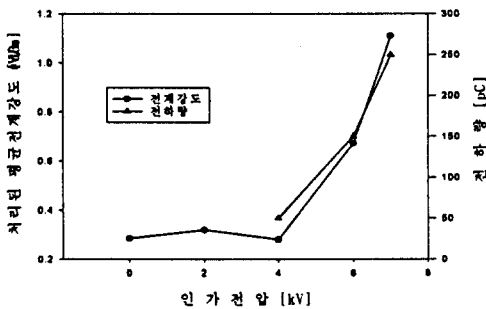
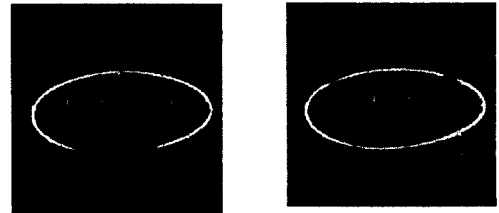


그림 5. 평균전계강도와 방전전하량 (갭 10 (mm))
Fig. 5. Average of electric field strength and magnitude of charge (gap 10 (mm))

그림 5를 보면 전압이 0[V]인 것은 배경잡음으로 그래프의 기본이 되는 것이고, 그후 차차 전압을 인가함에 따라 처리된 평균전계강도는 4[kV]이후에 급격한 증가를 하게 된다. 방전전하량의 경우 4[kV]인가시 방전전하량은 50[pC] 정도 이지만, 평균전계강도에서의 변화는 거의 없었다. 하지만, 전압을 인가함에 따라 평균전계강도와 방전전하량이 동일한 모양으로 증가되고 있음을 볼 수 있다.

사진 1의 (a)에서는 4[kV]인가시의 방전 오실로그램을 나타내고 있으며, 부극성의 중심부 좌우로 일정한 크기의 트리플 펄스가 발생하고 있음을 볼 수가 있다. 사진 (b)는 6[kV]인가시의 방전오실로그램으로 정, 부극성에서 펄스가 발생하고 있으며, 위상의 중심에서 벗어난 영역에서 방전이 발생하고 있음을 볼 수가 있다.



(a) 4 [kV] 인가시

(b) 6 [kV] 인가시

사진 1. 인가전압에 따른 방전오실로그램 (갭 10 (mm))

Photo. 1. Discharge oscillogram with applied voltages (gap 10 (mm))

그림 6과 그림 7에는 갭간격을 각각 20[mm], 30[mm]로 한 경우의 결과를 나타내었다.

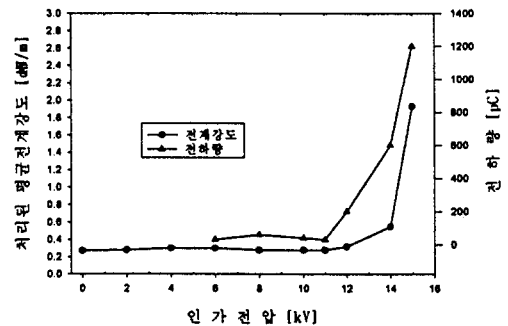


그림 6. 평균전계강도와 방전전하량 (갭 20 (mm))
Fig. 6. Average of electric field strength and magnitude of charge (gap 20 (mm))

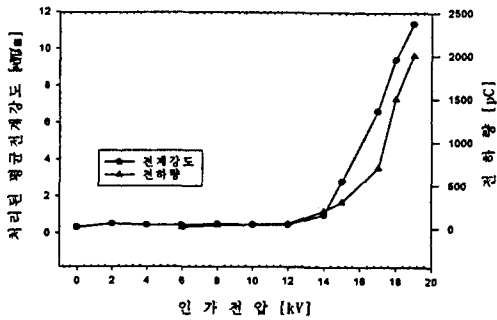


그림 7. 평균전계강도와 방전전하량 (갭30 (■))
 Fig. 7. Average of electric field strength and magnitude of charge (gap 30 (■))

그림 6과 7은 각각 갭간격을 변화시킴에 따른 방전의 진전상황에 대해서 자세히 살펴볼 수 있는 장점이 있다.

그림 6에서는 6[kV]에서부터 방전전하량이 검출되는 것으로 나타나지만, 방전 오실로그래를 살펴보면 그 이전에 미소부분방전이 이미 시작되었음을 볼 수 있다. 전하량의 경우 11[kV] 이후 큰 변화를 나타내고 있으며, 평균전계강도 역시 동일한 전압을 전후하여 변화가 일어나고 있음을 볼 수 있다.

그림 7은 12[kV]에서부터 방전전하량과 평균전계강도가 동일하게 변화해 나가고 있음을 볼 수 있다.

환산에 의해 나타난 데이터처리 결과와 방전 전하량의 변화가 동일한 유형을 가지고 있음을 보았다. 하지만, 센서로서 사용된 안테나의 감도문제로 인하여 미소방전의 시작점부터 방전을 검출하지 못한다는 문제가 있지만, Willson & Ma의 모델을 통하여 이미 살펴본 바에 의하면 전계강도가 반드시 인가전압에 비례하는 것은 아니라는 사실은 앞으로의 연구에서 고려되어야 할 사항이라 생각한다.

3. 결론

본 연구에서는 절연진단에 많이 사용되어진 접촉형 센서와 달리 비접촉형인 안테나를 이용하여 공기중 방전시 전자파 스펙트럼에 대하여 살펴보았다. 그리고, 안테나를 통하여 얻어진 스펙트럼데이터에 대하여 본 연구에서 제안하고 있는 데이터 처리 방식에 의하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전자파측저에 의한 절연진단시 선정된 주파수 대역에서의 전계강도변화를 통하여 분석을 실시하고 있다. 본 논문에서는 이러한 각각의 스펙트럼을 연산처리하여 한 그래프에 나타냄으로써 해서 보다 쉽게 전체 상황을 파악할 수가 있었다.
- 2) 모노폴안테나를 통하여 측정된 결과, 방전전하량이 100[pC]이상이 되는 경우에 대하여 전계강도의 변화를 나타내기 시작함을 볼 수 있는데, 이 특성을 절연진단에 이용할 수 있을 것이다.
- 3) 갭간격을 증가시킴에 따라서, 100[pC]이상의 방전이 일어나는 전압도 증가함을 볼 수 있었으며, 이후의 전계강도와 방전전하량이 동일한 모양으로 증가하고 있음을 볼 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 에너지동향 - 1997년 11월 17일자 (제14권 제33호) 한국에너지경제연구원
- [2] 佐久間守一, "가스絶縁開閉裝置の絶縁診断", EIM-89-5, HV-89-5, pp 41~50
- [3] 大韓電氣學會誌, "가스絶縁開閉裝置의 外部診斷技術", pp 30~35, 1987.10
- [4] 中村光一 外3人, "超音波法による油入變壓器の放電点標定に關する實驗的檢討", 電學論B, 116卷 10号, pp 1285~1291, 平成 8年
- [5] R.Mangeret, J.Farenc, Bui Ai, "Optical Detection of Partial Discharge using Fluorescent Fiber", IEEE EI-26, No.4, pp783~789, August 1991.
- [6] P. F. Wilson and M. T. Ma, "Field radiated by Electrostatic Discharge", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol.33, No.1, pp.10-18, 1991
- [7] 김기재, 이광식, 이동인, "안테나 법에 의한 미소 간극의 방전전류파형 추정", 한국전자파학회논문지, 제9권, 제 4호, pp.499-504, 1998花岡, 良一, "液體窒素中の氣泡發生と絶縁破壊電壓", DEI-91-69, pp. 11-17, 1991.