

방사전자파 특성을 이용한 부분방전 검출의 기초연구

The Fundamental Study About Partial Discharge Detection With The Radiated Electromagnetic Wave Characteristics

李相勳* · 朴光緒* · 李炫東* · 金忠年* · 宋炫直** · 金基採*** · 李廣植*** · 李東仁***
 (S. H. Lee · K. S. Park · H. D. Lee · Ch. N. Kim · H. J. Song · K. C. Kim · K. S. Lee · D. I. Lee)

Abstract - This paper offer fundamental materials about Partial Discharge(PD) detection by electromagnetic waves. All spectrum data-usually used as grape- can be used as numbers. And then the average of background noise spectrum strength was made. Average value subtract from every data. Then average value appeared, graphed. The graph was compared with the magnitude of charge. The shape of changes is similar, and the change of electric field strength could be seen in one sight. When the magnitude of charge is over than 100[pC], antenna can detect partial discharge. So this method will be very useful to diagnosis of insulation. If the performance of the antenna used in this experiment is analyzed, good results can be obtained.

Key Words : Partial Discharge, Air, Monopole antenna, Data analysis, Insulation diagnosis

1. 서 론

전력은 현대 산업 문명의 급속한 발전과 경제성장의 가속화로 인하여 그 수요가 급격히 증가하는 추세에 있다. 이러한 전력의 사용증가에 따라 전력의 공급장애발생시 사회전반에 미치는 영향은 과거와 비교할 수 없을 정도로 커지게 되었고, 복구나 수리 등에도 많은 시간과 노력이 소요되게 되었다. 따라서, 보다 안전하고 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 절연진단기술을 필요로 하게 되었다.

절연파괴사고의 대부분이 부분방전 과정을 거치는 것으로 알려져 있다.[1] 따라서, 부분방전의 검출은 절연진단의 핵심이라 할 수 있다. 이런 부분방전의 검출법에는 여러 가지가 있지만, 그중 방사전자계법은 전력 기기의 이상시 방사되어지는 전자파를 안테나를 이용해 측정하므로 검출감도가 좋고, 검출범위가 넓어 하나의 센서로 광범위한 검출이 가능하므로 경제적인 이점이 있다.[2] 하지만, 검출되어지는 신호의 처리라든지, 설치위치에 따른 변화 등의 문제점을 가지고 있다. 그러므로, 신호처리의 기법이 절실히 요구되어지고 있으며, 이에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[3-5]

본 연구에서는 절연파괴의 전구현상인 부분 방전의 검출

에 모노폴안테나를 이용하였다. 또한 기존의 안테나를 이용한 분석에서는 스펙트럼 아날라이저에서 얻어지는 전계강도 스펙트럼을 이용하여 분석하였다. 하지만, 본 연구에서는 이러한 스펙트럼의 모든 값을 데이터로 인식하고 이를 처리하였다. 이렇게 처리된 결과를 방전오실로그래프와 방전전하량과 비교를 통하여 부분방전의 진전에 대하여 살펴보았다.

2. 관련이론

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

그림 (b)는 방전을 미소 다이폴로 모델링하여 전류 i 가 다이폴 안테나를 흐를 때 시간 t 에 의존하는 방사 전자계는 원주좌표계에서 다음과 같이 구해진다.[6-8]

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

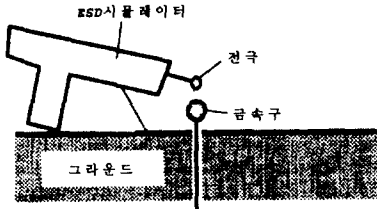
$$E_z(\rho, z, t) = \frac{\epsilon}{2\pi\epsilon_0} \left[\left(\frac{3z^2}{cR^4} - \frac{1}{cR^2} \right) i(u) + \left(\frac{z^2}{c^2R^3} - \frac{1}{c^2R} \right) \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right] \quad (2)$$

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

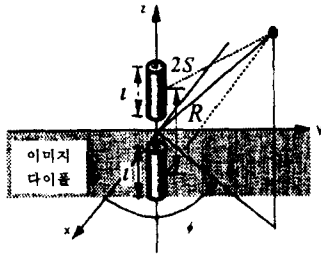
여기서, R 은 방전원으로부터 관측점 (ρ, ϕ, z) 까지의 거리이며, $R = \sqrt{z^2 + \rho^2}$ 이다. $u = t - R/c$ 이며, c 는 광속, ϵ_0 는 진공의 유전율을 나타낸다.

* 準 會 員 : 嶺南大 電氣電子工學部 博士課程
 ** 正 會 員 : 嶺南大 工業技術研究所 研究員 · 工博
 *** 正 會 員 : 嶺南大 電氣電子工學部 教授 · 工博
 接受日字 : 2000年 1月 29日
 最終完了 : 2000年 6月 13日

Wilson과 Ma의 결과로부터 다음과 같은 사실을 알 수가 있다. 파선의 범칙에 따르면, 정지 물체는 q가 클수록 긴 λ 로 방전하고, V_s 는 증가하는데 반해, (V_s/λ) 는 반대로 감소함을 알 수 있다. 이로써 정전계는 q에 비례하고, V_s 가 높을수록 레벨도 높아지는데 반해, 유도계나 방사계는 (V_s/λ) 이 크게 기여하기 때문에 q나 V_s 에 반드시 비례하지 않는다. 즉, 인가전압이 높다고 해서 전계가 반드시 비례하여 크게 나타나지는 않는다는 것을 보여준다.



(a) 실험장치도



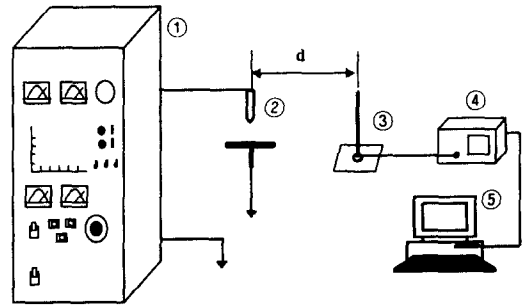
(b) 다이폴 모델 개념도

그림 1 Wilson과 Ma의 모델
Fig. 1 Wilson & Ma model

3. 실험장치 및 방법

그림 2는 본 실험의 장치도를 나타내고 있다. 먼저, 전원 장치는 입력 AC 220[V], 4[kVA], 1 ϕ , 60[Hz]이고, 출력 AC 15/30[kV], 3[kVA], 60[Hz]인 교류전원을 이용하고 있다. 방전전하량의 측정에는 corona detecting apparatus system set.(AC 100[V], 50/60[Hz], 80[W], 펄스분해능 15[μ S], 통과대역폭 15~150[kHz], 증폭율 75[dB]이하)을 통하여 측정하였다. 침전극은 침단각도 45도인 탄소강 재질의 전극을 사용하였다. 탄소강 재질의 전극을 이용하는 이유는 여러 차례의 방전실험에도 전극의 외형에 거의 변화가 일어나지 않기 때문이다. 그리고, 평판전극은 서스재질을 이용하였다. 전극의 배치는 중력에 수평방향으로 전원인가쪽에 침전극을 접지측에 평판전극을 배치하였다. 기중 방전에서 방사되어지는 전자파는 넓은 영역에 걸친 전자파를 공간으로 방사하고 있다. 방전전류의 상승시간을 살펴보면, 대략 수백 [MHz]대의 전자파가 발생된다고 생각된다. 따라서, 본 실험에서는 그 중 일부분인 150~170[MHz]대역에 대해서 측정을 실시하였다. 스펙트럼아날라이저를 통하여 안테나에서 측정되어진 전계강도 스펙트럼을 확인하였다. 사용된 모노폴안테나의 길이는 42[cm]이다.

갭간격을 10, 20, 30[mm]로 하여 전압을 인가하게 된다. 안테나와 전극부와의 거리는 20[cm]로 동일하게 하였다. 인가된 전압에 따라 발생하는 방사전자파는 모노폴 안테나를 통하여 측정되어졌다. 그리고, 스펙트럼 아날라이저에서는 데이터 축적을 위하여 3[sec]동안 전계강도 변화의 피크치를 측정하는 Maxhold방식을 이용하였다. 스펙트럼 아날라이저를 통하여 보여지는 전계강도 스펙트럼은 퍼스널 컴퓨터에 저장되어진다. 이때 저장되어지는 데이터는 700개의 텍스트 형식의 데이터이다. 이 연산을 통하여 그래프로 표현하였다. 또한, 방전의 진전을 알아보기 위하여 방전전하량 측정과 방전 다이어그램을 동시에 측정하여 비교하였다.



① Power system ② Electrodes
③ Monopole antenna ④ Spectrum analyzer
⑤ Personal computer

그림 2 실험장치도
Fig. 2 Experimental setup diagram

그림 3은 컴퓨터에 저장되어지는 데이터의 일부분을 보여주는 것이다. 데이터는 모두 700개이다.

| 주파수 | 전계강도 |
|------------|------------|
| 1.5000e+00 | 0.0000e+01 |
| 1.5000e+00 | 0.0000e+01 |
| 1.5010e+00 | 0.0000e+01 |
| 1.5010e+00 | 0.0000e+01 |
| 1.5010e+00 | 0.0000e+01 |
| 1.5010e+00 | 0.0000e+01 |
| 1.5010e+00 | 0.0000e+01 |
| 1.5020e+00 | 0.0000e+01 |
| 1.5020e+00 | 0.0000e+01 |

그림 3 전계강도 데이터의 예
Fig. 3 Example of electromagnetic spectrum data

그림 4에는 본 논문에서 제안하고 있는 데이터 처리방식을 나타내고 있다. 본 처리 방식의 기본 개념은 전원이 인가되지 않은 때의 배경잡음과 그 외 전압이 인가된 상태의 스펙트럼과의 차이를 보여주기 위한 것이다. 또한 시간에 따라 다른 전압을 인가한 경우의 전계강도의 변화를 한눈에 볼 수 있도록 하여 절연진단에 있어 편리성을 도모하려 하였다. 먼저, 안테나가 위치한 곳의 배경잡음을 측정하였다. 측정된 700개의 데이터는 평균값을 구하였다. 이렇게 구해진 평균값을 시간에 따라 다른 전압을 인가하여 얻어진 스

패턴 데이터에서 각각 빼주었다. 또한 뺀 결과에서 0이하의 값을 가지는 데이터에 대해서는 0으로 환원하였다. 이런 작업을 통하여 전압이 인가된 상태의 스펙트럼에서 노이즈의 기본 성분을 제거하고자 한 것이다. 다음으로, 이렇게 처리된 데이터 700개의 평균값을 구하였다. 이러한 일련의 과정을 통하여 처리된 값들은 배경잡음과의 차이를 표시한다. 그리고, 이러한 값들은 전압에 따른 값의 변화로 한 그래프에 나타냄으로써 해서 전압인가에 따른 전계강도의 변화를 가시적으로 나타냈다.

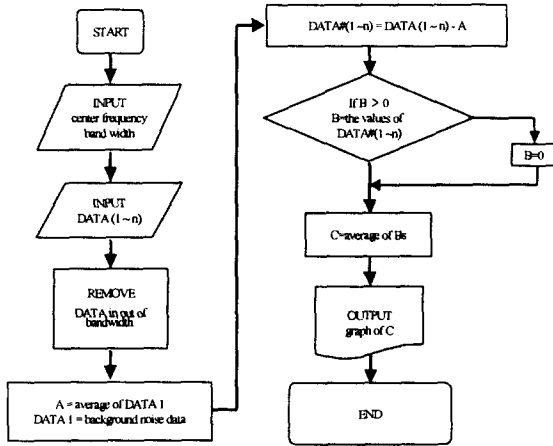


그림 4 데이터 처리 플로어차트
Fig. 4 Flow chart for data analysis

3. 실험결과 및 고찰

그림 5에는 침전극에 전압을 인가하지 않은 경우의 전계강도 스펙트럼이다. 기존의 방식에서는 안테나에서 받아들이는 방식의 처리와 전압을 인가한 후 얻어지는 스펙트럼의 변화에 관해서 분석을 실시하여 부분방전의 진전에 대하여 살펴보았다. 본 논문에서도 마찬가지로 배경잡음 스펙트럼을 사용하였다. 하지만, 이는 그림 4에서 본 바와 같이 처리

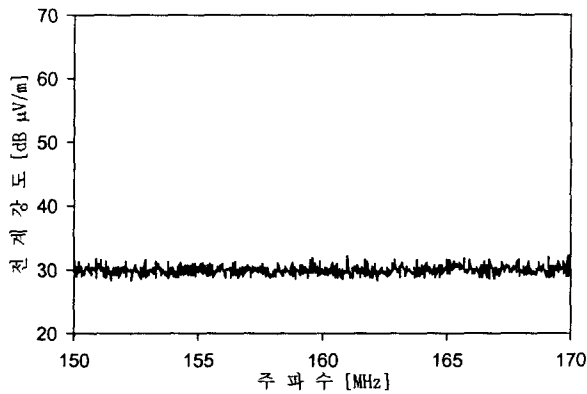
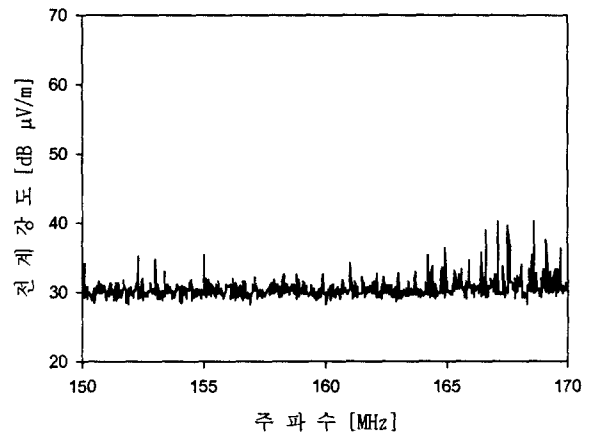


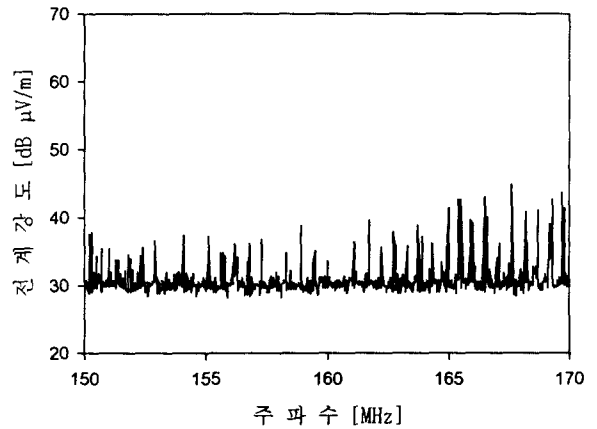
그림 5 배경잡음 전계강도 스펙트럼
Fig. 5 Electric field strength spectrum of background noise

를 위한 기본이 되는 것으로 이를 통하여 전압인가에 따른 변화를 알아보았다. 이런 방식은 전압인가에 따라 각각의 스펙트럼을 비교하는 것과는 달리 전압인가에 따른 전체적인 변화를 한눈에 알아볼 수 있게 하였다.

그림 6에는 전계강도 스펙트럼 상에서 가시적인 변화를 보이기 시작한 6, 7[kV]인가시의 전계강도 스펙트럼을 나타내고 있다. 6[kV]인가시 153[MHz]부근과 165[MHz]이후의 부분에서 전계강도의 변화를 보였다. 이때 측정되어진 방전전하량은 150[pC]이었다. 그리고, 7[kV]를 인가한 경우에는 측정되어진 전 영역에서 전계강도의 변화를 보이고 있으며, 6[kV]인가시와 동일하게 167[MHz]부근에서 피크치를 보이고 있다. 7[kV]인가시의 전하량은 최소 100에서 250[pC]사이를 나타내었다.



(a) 6[kV]인가시 전계강도 스펙트럼



(b) 7[kV]인가시 전계강도 스펙트럼

그림 6 부분방전 직후의 전계강도 스펙트럼(갭 10[mm])
Fig. 6 Electric field strength spectrum after PD occurred(gap 10[mm])

그림 7에는 갭간격을 10[mm]로 하여 전압을 인가하고 그때의 방전전하량을 동일 그래프에서 나타내고 있다. 그림을 살펴보면 4[kV]전압을 인가한 이후 처리된 전계강도에서 변

화가 나타나고 있음을 보았다. 4[kV]인가시 전하량은 약 50[pC]로 나타났다. 방전전하량 역시 4[kV]이후에 동일한 경향으로 증가하고 있음을 볼 수가 있다.

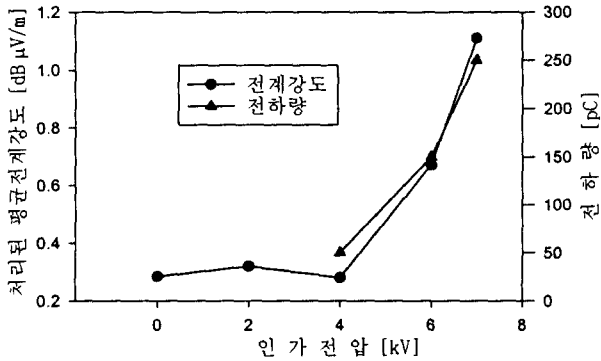


그림 7 처리된 전계강도와 전하량(갭 10[mm])
 Fig. 7 Managed electric field strength & magnitude of charge(gap 10[mm])

그림 8에는 4, 6, 7[kV]인가시의 방전 오실로그램을 나타냈다. (a)에서 보면 부극성의 중심좌우로 넓게 방전 펄스를 볼 수 있다. 이는 트리첵 펄스 방전이 일어나고 있음을 알 수 있는 것으로 4[kV]를 직후로 방전이 시작되었다는 것을 알 수 있다. 다음으로 그림 (b)와 (c)에서는 방전이 점차로 진행되어 정극성에서 상당히 큰 펄스가 나오고 있으며, 부극성에서는 중심에 집중되었던 펄스가 좌우로 이동하여 나타났다.

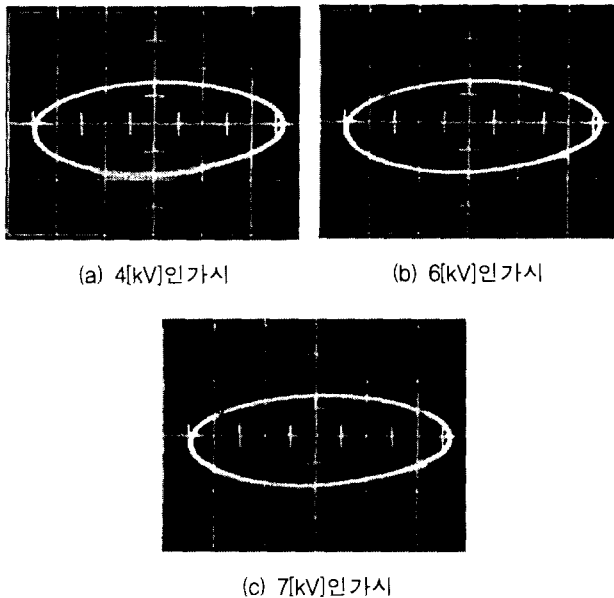


그림 8 인가된 전압에 따른 방전오실로그램
 Fig. 8 Discharge oscillogram with applied voltages

그림 9에는 갭간격을 20[mm]로 한 경우의 결과를 나타냈다. 그림에서 살펴보면, 처리된 평균전계강도에서 12[kV]가

인가될 때까지는 배경잡음과의 차이가 거의 나타나고 않지만, 14[kV]와 15[kV]에서는 급속히 증가하고 있음을 볼 수 있다. 전하량의 변화에서는 6[kV]인가시 30[pC]정도 전하량이 감지되기 시작하였다. 이후 큰 전하량의 변화를 보이지 않았으며, 12[kV]에서부터 전하량의 변화가 시작되어 이후 급격한 증가를 보였다.

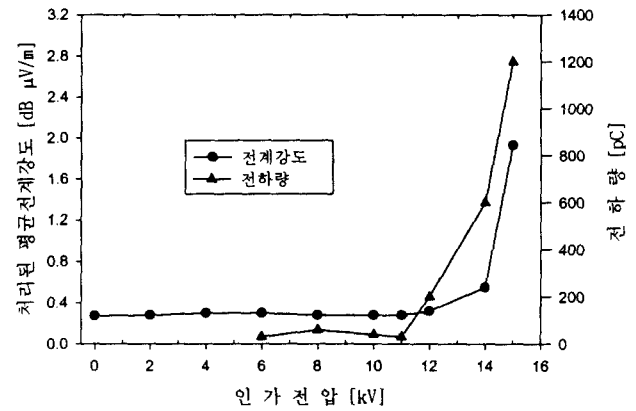


그림 9 처리된 전계강도와 전하량(갭 20[mm])
 Fig. 9 Managed electric field strength & magnitude of charge(gap 20[mm])

앞의 그림 7에서의 결과와 비교해 보면, 실험에 사용하고 있는 모노폴 안테나의 특성상 전하량이 100[pC] 이상이 되어야 그 변화가 측정되어지는 것으로 생각된다. 따라서 방전 특성에 맞추어진 고감도의 안테나를 사용한다면 미약한 전하량에서도 부분방전을 측정할 수 있다고 생각한다.

마지막으로 갭간격을 30[mm]로 한 결과를 그림 10에 나타낸다. 여기서도 마찬가지로 그림 7과 그림 9에서의 결과와 마찬가지로의 결과를 얻을 수 있다. 갭길이가 앞서와는 달리 상당히 길어짐에 의해서 방전전하량이 점진적으로 증가하는 모습을 보이고 있다.

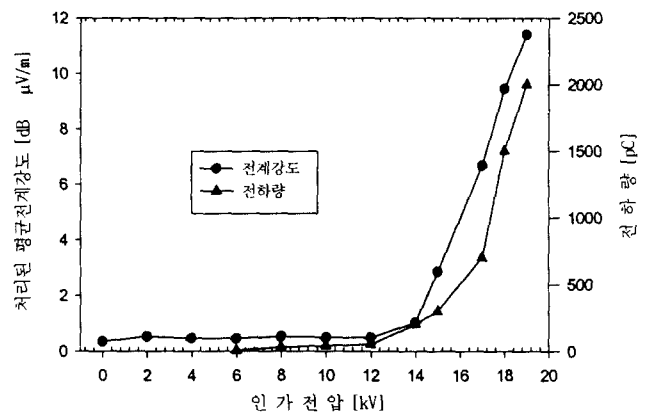


그림 10 처리된 전계강도와 전하량(갭 30[mm])
 Fig. 10 Managed electric field strength & magnitude of charge(gap 30[mm])

4. 결 론

본 논문에서는 공기중 침-평판전극에서 방전 발생시 공간으로 방사되어지는 전자파를 측정하고 이를 분석하였다. 전계강도 스펙트럼의 데이터에 대하여 연산을 실시하였다. 그 결과 나타난 그래프와 방전전하량의 그래프가 동일한 증가 경향을 나타냈다. 또한 기존의 방식인 각 인가전압에 따라 나타나는 각각의 전계강도 스펙트럼의 분석에 비해 하나의 그래프로 실험에서 인가된 전압에서의 크기를 한번에 나타낼 수 있는 장점이 있으므로, 방전의 진전을 쉽게 알아볼 수 있다. 따라서, 이러한 방법을 이용한다면, 절연진단의 실시간 관측이 가능해 질 수 있다. 본 실험의 결과에서 방전 전하량이 약 100[pC] 이상이 되어야 변화를 관측할 수 있었다. 따라서, 방전전하량이 발생하기 시작하는 전압부터의 검출을 위해서 특성해석을 실시한 안테나를 사용한다면 더욱 좋은 결과를 얻으리라 예상된다.

참 고 문 헌

[1] 佐久間守一, “가스絶縁開閉装置の絶縁診断”, EIM-89-5, HV-89-5, pp 41~50, 1989.
 [2] H. Okubo, H. Yamashita, N. Hayakawa, T.Ueda, M. Hikita, “Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharges and its Relation to Partial-Discharge Characteristics”, ETEP Vol.7, No.1, pp 57~63, January/February 1997.

[3] Yonghong Cheng, Hengkun Xie, Xiang Zhen, “Preliminary Study on the Methods for Suppressing Background Interference in Ultra Wideband Partial Discharge Detection” IEEE(ja) ISBN4-88686-050-8 pp 693-696 9/27/1998.
 [4] Xiaolian Han, N. Alan Heckert, James J. Filliben, Yicheng Wang, “Statistical Analysis of Partial Discharge Phenomena-Time of Occurrence Distributions”, IEEE(us), ISBN0-7803-5035-9, pp. 407-411, 1998.
 [5] 岡本達希, “絶縁計測におけるコンピュータ應用の最近の動向”, 電學論A, 116卷 6号, pp481~487, 1996.
 [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] 김기채, 이광식, 이동인, “안테나 법에 의한 미소 간극의 방전전류파형 추정”, 한국전자과학회논문지, 제 9권, 제 4호, pp.499-504, 1998.
 [8] 藤原 修, “ESD(정전기방전)에 의한 전자간섭과 그 대책”, “전자기술” Vol.12, No.2, ISSN 1227-1101, 1999.

저 자 소 개



이 상 훈 (李相勳)
1973년 1월 16일 생. 1998년 영남대 전기 공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기전자 공학부(석사). 현재 동 대학원 박사과정
Tel : 053-815-7291, Fax : 053-813-8230
E-mail : h2mlove@orgio.net



박 광 서 (朴光緒)
1970년 3월 23일생. 1997년 영남대 전기공 학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기전자공 학부(석사). 현재 동 대학원 박사과정
Tel : 053-815-7291, Fax : 053-813-8230
E-mail : a9714704@chunma.yeungnam.ac.kr



김 충 년 (金忠年)
1966년 6월 16일 생. 1992년 영남대 전기 공학과 졸업 1995년 동 대학원 졸업(석 사). 1995년~1998년 대우중공업(주) 우주 항공연구소 주임연구원. 2000년 동 대학원 박사과정
T디 : 016-511-8407, Fax : 053-813-8230
E-mail : kchn0512@dreamwiz.com



이 현 동 (李炫東)
1970년 6월 13일 생. 1993년 영남대 전기 공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학 과 졸업(석사). 1998년 동 대학원전기공학 과 박사과정
Tel : 053-815-7291, Fax : 053-813-8230
E-mail : leeeun@orgio.net



송 현 직 (宋炫直)
1968년 7월 30일 생. 1991년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 영남대 공업 기술연구소 연구원
Tel : 053-815-7291, Fax : 053-813-8230,
E-mail : song3288@chunma.yeungnam.ac.kr



김 기 채 (金基采)
1959년 10월 19일생. 1984년 영남대 전자 공학과 졸업. 1986년 일본 Keio Univ. 대 학원 전기공학과(석사). 동 대학원 전기공 학과(공학). 1989년~1993년 한국표준과학 연구원 전자파연구실 선임연구원. 1993 년~1995년 후쿠오카공업대학 정보공학과 조교수. 1995년~ 현재 영남대 전기전자공학부 조교수
Tel : 053-810-2583, Fax : 053-813-8230
E-mail : kckim@ynucc.yeungnam.ac.kr



이 광 식 (李廣植)
1948년 10월 20일 생. 1971년 영남대 공 대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교 수. 1995~현재 한국조명·전기설비학회 대구·경북지회장, 부회장. 현재 당학회 방전·고전압 연구 회 간사장. 영남대 공대 전기전자공학부 교수
Tel : 053-810-2486, Fax : 053-813-8230
E-mail : kslee@ynucc.yeungnam.ac.kr



이 동 인 (李東仁)
1936년 10월 19일생. 1959년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973년~1977년 영국 athclyde대 대학원 졸업(공학). 1982년~ 1983년 미국 South California대 방문교수. 현재 영남대 전기전자공학부 교수
Tel : 053-810-2480, Fax : 053-813-8230
E-mail : dilee@ynucc.yeungnam.ac.kr