

고체절연체의 연면방전에 따른 방사전자파 분포 특성

김충년°, 이현동°, 김기재°, 박원주°, 이광식°, 이동인°, 이춘하°
 ° 영남대학교 전기전자공학부, ° 호서대학교 소방화전공

The Characteristics of Electromagnetic waves
 by surface discharge in solid insulator

Chung-Nyun Kim°, Hyun-Dong Lee°, Ki-Chai Kim°, Won-Zoo Park°,
 Kwang-Sik Lee°, Dong-In Lee°, Chun-HaLee°
 °Yeungnam University, °Hoseo University

Abstract - Recently, diagnostic techniques have been investigated to detect a partial discharge(PD) associated with a dielectric material defect in a high-voltage electrical apparatus. Among the PD measuring method, detecting electromagnetic wave generated by PD is one of the most effective method because PD radiates wide frequency of electromagnetic wave up to UHF. From the above points of view, we have investigated the polarization and distance characteristics of electromagnetic wave radiated by an insertion of solid insulators between needle-plane electrodes in the air. According to the magnitude of applied voltage, the frequency spectrum of radiated electromagnetic waves were increased about under 100(MHz), compared with background noise. The electromagnetic wave magnitude is attenuated about 4~7.6(dB) at the point 3(m) away from PD.

1. 서 론

가스를 절연매체로 하는 가스절연개폐장치나 변압기 등과 같은 고전압 절력기기는 신뢰성 향상을 위해 기기의 운전 중에 이상유무를 검출할 수 있는 항시 감시시스템의 확립이 대단히 중요하다. 따라서 전력설비내에서의 절연파괴 전구현상을 미연에 검출하는 것은 매우 중요한 문제이다. 이 절연파괴의 전구현상의 하나가 부분방전(Partial discharge:PD) 또는 그에 가까운 현상에 의해 발생되며, 주요 원인은 절연매체로서 채용되고 있는 기체, 액체 및 고체 절연체에 대한 절연방식과 고압도체 표면상의 미소돌기, 금속 이물질 혼입 등과 고체절연물이 접해있는 절연 스페이스내 보이드 및 크랙 등으로 인해 절연지지물에 국부적인 불평등전계가 형성되면 절연내력이 저하되어 절연파괴가 발생한다[1,2,3].

PD 검출방법으로는 부분방전시 발생하는 광, 음파, 기계적·전기적진동, 전자파, 전위변동 등의 변화를 이용한 검출방식이 제안되고 있다. 이 중에서 특히 PD에 의해 발생하는 전자파를 안테나를 이용하여 검출하는 방사전자파법(안테나법)은 외부노이즈에 민감하지만, 타 검출법에 비해 검출감도가 좋고, 검출범위가 넓으며, 센서의 수를 적게할 수 있어 경제적이라는 등의 잇점 때문에 주목을 받고 있다.[4,5]

본 연구는 전력설비내 절연지지물로부터 많이 사용하고 있는 에폭시 절연체에 부분방전을 모의한 연면방전에 의해 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 인가전압에 따른 거리별 및 편파특성의 변화에 대하여 측정하였다.

2. 본 론

2.1 관련이론

그림 1은 미소간극을 갖는 방전원을 길이가 l 인 미소 다이폴로 가정 한 것이다. 이 모델은 부분방전이나 정전기방전(EDS)의 연구에서 Wilson & Ma의 모델 또는 NIST의 모델로 잘 알려져 있다. 이러한 미소 다이폴에 전류 I 가 흐를 때 시간 t 에 의존하는 방사전자계는 원주좌표계에서 다음과 같이 구해진다.[6,7]

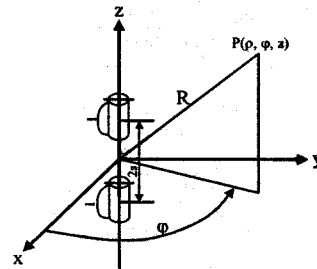


그림 1. 미소 간극 방전의 다이폴 모델

$$E_{\rho}(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho^2}{R^2} \left(\frac{3i(u)}{cR^2} + \frac{1}{c^2R} \frac{\partial^2 i(u)}{\partial u^2} \right) [V/m]$$

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

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

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.

2.2 실험방법

본 연구에 이용한 실험장치는 그림 2에 나타냈다. 전원부는 고전압 발생장치로 1차측 입력전압 220(V), 50/60(Hz)이고, 2차측 출력전압은 15/30(kV)인 Corona detecting시스템을 사용하였다. 인가전압에 따른 방전개시전압, 방전소멸전압 및 방전전하량과 방전펄스를 정·부위상에서 관측할 수 있다.

전극부는 침·평판전극으로 전극사이에 에폭시절연체를 끼워 구성하였다. 에폭시 시료는 고온경화용 주형수지로서 비스페놀-A형(Bisphenol-A type)이며, 경화제는 산무수물 계통의 MeTHPA를 사용하여 높이 10(mm), 직경 30(mm)인 원통형으로 제작하였다. 침전극은 곡률반경 0.62(mm), 직경 2.4(mm)이며, 평판전극은 직경 50(mm)인 스테인레스 스틸로 로고스키형 타입을 사용하였다.

전극부와 안테나는 수직으로 배치하였다. 이것은 방전

시 전극부가 안테나로서 전자파를 방사한다고 보았을 때 안테나와 동일한 편파특성을 가지도록 하기 위함이다.

방전필스파형의 측정은 평판전극과 대지사이 무유도 저항 50[Ω]을 삽입하여 그 양단에 걸리는 전압을 오실로스코프(LeCroy 9350AL, 500[MHz]) 측정하였다.

방사전자파 측정은 Biconical 안테나(EMCO 3110, 주파수범위 : 30~300 [MHz])와 스펙트럼 분석기(Advantest, 주파수범위: 10[kHz]~3.5[GHz])를 사용하여, Resolution bandwidth 1[MHz], Video bandwidth 1[MHz], Input attenuator 10[dB], Sweep time은 1[sec]로 두고 측정을 하였다. 이때 이 폭시 수지의 연면방전시 발생하는 방사전자파는 안테나와 스펙트럼 분석기를 통하여 컴퓨터에 데이터를 저장하였다.

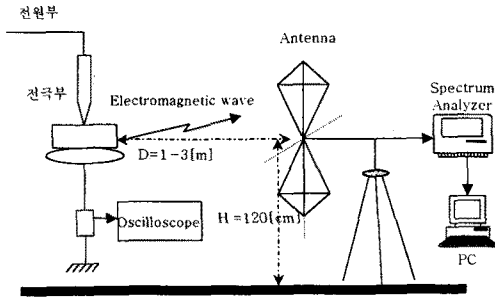


그림 2. 실험장치도

2.3 실험결과 및 고찰

2.3.1 인가전압에 따른 주파수 분포특성

실험내에서의 주변환경잡음은 본 연구의 측정 주파수대역 30~230[MHz]의 범위에서 관측한 것을 그림 3에 나타냈다. 그림 3에서 주파수 대역 84~104[MHz]에서 33~40.4[dBuV]와 180[MHz]대역 부근의 33~38[dBuV]의 전계강도 크기는 주변에서 발생하고 있는 방송파 또는 무선주파수라 생각된다. 주변환경잡음은 방전원과 안테나간 거리를 1[m], 수직으로 두고 측정한 것이다.

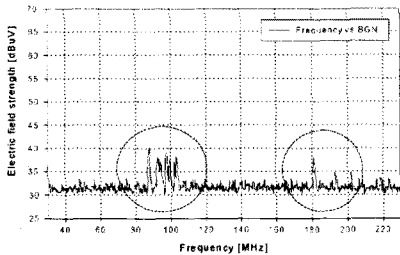


그림 3. 주변환경잡음

그림 4는 인가전압 상승에 따라 에폭시절연체에 부분방전시 발생하는 방전전하량[pC]의 크기를 나타낸 것이다. 방전전하량의 측정은 Corona detecting system의 discharge meter에 나타난 방전전하량의 크기 변화에 대한 최소값(Qmin)과 최대값(Qmax)을 Rate select를 100PPS로 두고 읽었다.

인가전압의 상승에 따라 에폭시에 흐르는 방전전하량의 크기 증가와 더불어 방전전하량의 변화폭도 커지고 있음을 알 수 있다. 방전전하의 증가는 시료를 통하여 흐르는 방전전류가 증가에 기인한 것이다.

이것은 인가전압의 상승에 따른 에폭시연면을 통하여 접지전극으로 흐르는 전류의 변화에 따라 인가전압의 사이클의 정·부위상에서 발생하고 있는 방전전하량의 크기도 점점 증가하고 발생빈도도 높아짐을 알 수 있다.

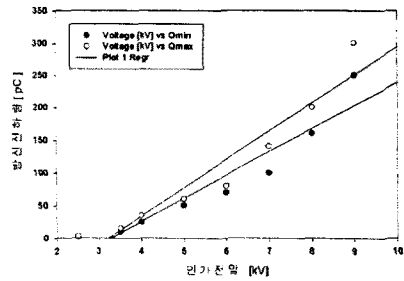


그림 4. 인가전압과 방전전하량

그림 5는 전압 5[kV], 방전전하량이 50~60[pC] 일 때 정·부위상에서 발생하는 방전전하의 분포를 관측한 것이다.

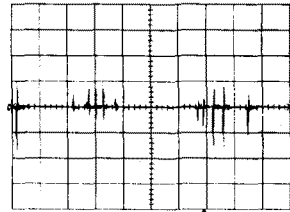
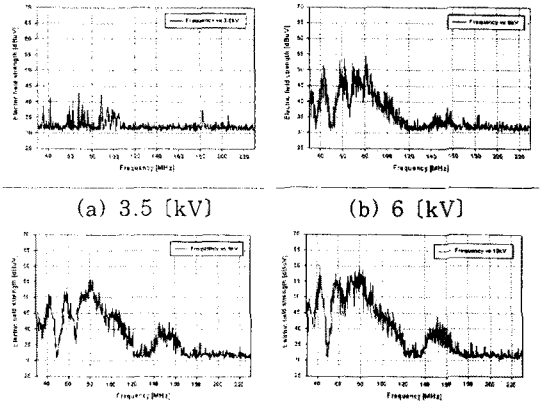


그림 5. 방전펄스분포(2ms, 2V/div)

그림 6은 인가전압 3.5[kV]~10[kV]일 때 방전원으로부터 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 나타낸 것이다. 방전원과 안테나를 수직으로 두고 거리 1[m]에서 측정한 스펙트럼 분포이다.



(a) 3.5 [kV] (b) 6 [kV] (c) 8 [kV] (d) 10 [kV]

그림 6. 인가전압과 주파수스펙트럼 분포

인가전압 3.5[kV]에서는 주변환경잡음(BGN)을 나타내고 있는 그림 3에 비하여 주파수 대역 35[MHz]에서 8[dB], 41[MHz]에서 10[dB], 57~76[MHz]에서 5~10[dB] 정도로 높게 나타나고 있다. 전압 상승에 따른 주파수 스펙트럼의 변화를 보면, 저주파 대역(80[MHz] 이하)에서는 큰 전계강도로 증가하면서 '凹凸(골과산)'의 변화를 보이고 있지만, 고주파영역(80[MHz] 이상)으로 갈수록 감쇠폭이 증가하면서 고주파영역으로 이동하고 있다. 이것은 전압 상승과 더불어 침전극과 접한 에폭시 표면에서 부분방전에 기인하여 축적된 공간전하가 에폭시 연면의 방전경로를 통하여 대향전극으로 급격히 이동된다는 것을 알 수 있다. 골(凹)과 산(凸)이

무엇해지는 것은 전극부가 미소 다이폴 안테나로서 역할을 하면서 자체의 공진주파수에 기인한 것이라 생각된다.

그림 7은 전압에 따른 전계강도레벨의 증감 변화를 나타낸 것이다. 전압상승에 따른 전계강도레벨의 증가폭은 40~80[MHz]에서 약 2[dB] 정도, 100[MHz]이하에서는 약 1[dB] 비율로 증가하고 있다.

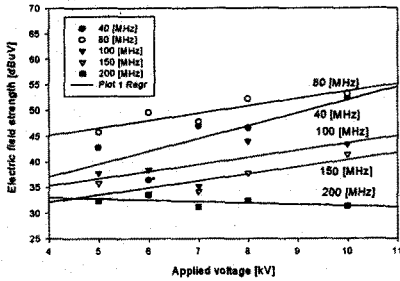


그림 7. 주파수 분포특성

2.3.2 방사전자파의 거리감쇠 특성

그림 8은 인가전압 5[kV]에서 방전원과 안테나간 거리를 1[m]와 3[m]에서 각각 측정된 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다. 측정거리에 따른 편파특성을 알기 위하여 안테나 엘리먼트를 회전시켜 각각 수직과 수평 배치하여 측정하였다.

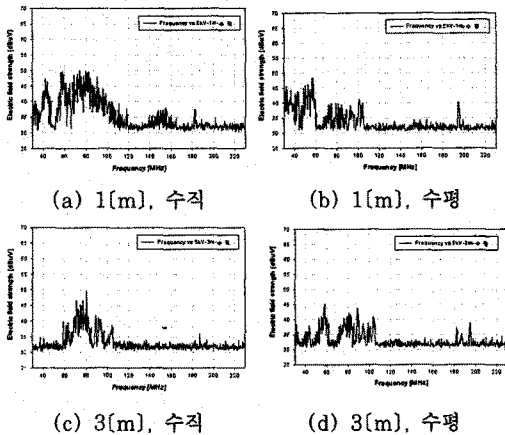


그림 8. 거리 및 안테나 배치에 따른 스펙트럼 분포

그림 9는 안테나를 전극부와 동일하게 수직 배치하여 거리에 따른 전계강도레벨의 변화를 나타낸 것이다(그림 8(a),(b) 참조).

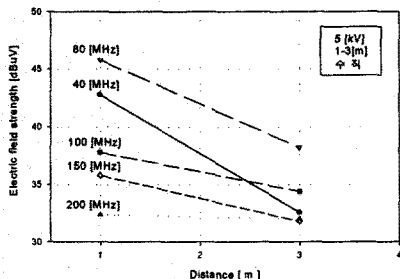


그림 9. 거리감쇠 특성(1~3[m], 그림 8(a),(c))

주파수가 상승함에 따라 연속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 거리가 증가할수록 80[MHz]이하

7.6[dB]이상, 100[MHz]이상에서는 4[dB]이하로 감소하고 있다. 이것은 전자계가 거리의 역수에 비례하여 감쇠한다는 것과 잘 일치하고 있다. 이것은 인가전압, 시료의 표면상태 등에 따른 방전형식과 부분방전펄스의 활동에 의한 영향이라 생각된다.

2.3.3 방사전자파의 편파특성

그림 10은 인가전압 5[kV], 거리 1[m]와 3[m]에서 안테나 엘리먼트를 회전시켜, 수직과 수평시 편파각도 변화에 따른 전자파의 편파특성 변화를 나타냈다(그림 8(b),(c),(d) 참조).

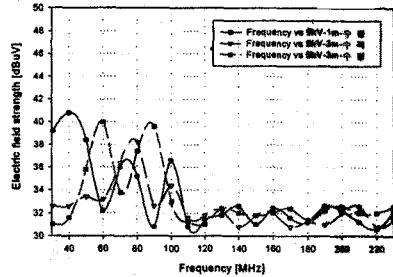


그림 10. 편파특성(그림 8(b),(c),(d))

동일 주파수성분에서도 방사전자파는 거리 및 안테나의 편파각도 차이에 따라 수신전계강도에 영향을 받는다. 이 같은 영향은 대지의 반사, 고압도체, 절지선 등의 영향 때문에 저주파대역에서는 파장이 수m로 되어 침-평판전극에 비하여 길고, 또한 침전극의 축방향에 일치한 평면파를 만들 수 없기 때문이라 생각된다.

3. 결 론

예폭시 절연체에 부분방전을 모의하여 발생하는 방사전자파를 인가전압, 거리 및 안테나의 편파각도를 변화시켜 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 방전전하량은 전압 상승에 따른 전류 변화에 기인하여 증가하고 또한 발생빈도도 높아진다.
- (2) 전압상승에 따른 방사전자파의 전계강도레벨은 40~80[MHz]에서 약 2[dB], 100[MHz]이하에서는 약 1[dB]의 비율로 증가하고 있다.
- (3) 거리변화에 따른 방사전자파의 전계강도레벨은 80[MHz]이하에서는 약 7.6[dB] 이상, 100[MHz]이상에서는 약 4[dB]로 감소하고 있다.
- (4) 수신전계강도의 레벨은 동일한 주파수성분에서 보면 측정거리 및 안테나의 편파각도 등의 차이에 의해 영향을 받는다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.Baumgärtner외3, "Partial discharge-Part IX/X" IEEE Elect.Insul.Magazine, Vol.7, No.6 pp.5-27, '91.
- [2] E.Gulski외 1, "Computer-aided recognition of discharge sources", IEEE Trans. on EI, Vol.27, No.1, pp.82-92, '92.
- [3] 이상훈, 김충년의 4, "기중방전에 대한 방사전자파 측정과 분석", 대한전기학회 하계논문집, pp.2028-2030, '99.
- [4] Takashi Kimura외3, "Diagnostic methods for GIS insulating systems using external antenna", T.IEE Japan, Vol.115-B, No.10, pp.1199-1207, '95.
- [5] 大久保仁, "電力機器の診断技術の現状と今後の課題", T.IEE Japan, Vol.119-B, No.4, pp.434-437, '99.
- [6] 김기채, 이광식, 이동인, "1안테나법에 의한 미소간극의 방전전류파형 추정", 한국전자과학회논문지, 제9권 제4호, pp.499-504, 1998년 8월
- [7] 한국전기연구소, "EMI 기초연구", 1987, 12