

방사전자파의 주파수분석에 의한 배전반 진단기술

Diagnostic Technique of a Switchboard by Frequency Analysis of Radiated Electromagnetic Wave

박대원* 김선재** 정광석** 길경석† 조은제 §
Dae-Won Park Sun-Jae Kim Kwang-Seok Jung Gyung-Suk Kil Eun-Je Jo

ABSTRACT

In this paper, we analyzed the frequency spectrum of radiated electromagnetic waves generated by series arc- and corona- discharges as a basic study to develop an online diagnostic technique for power facilities installed inside switchboards. To simulate corona and series arc discharges, an arc generator specified in UL1699 and a corona generator were fabricated. The experiment was carried out in an electromagnetic shielding room, and the measurement system consists of an Ultra Log Antenna and an EMI Test Receiver.

The frequency spectrum exists in ranges from 30 to 500 [MHz] for series arc discharge and 30 [MHz] to 2 [GHz] depending on defects for corona discharge. The peak frequency of series arc discharge and corona were 40 [MHz], 80 [MHz] and 35 [MHz]~160 [MHz], respectively.

1. 서 론

폐쇄배전반은 전력설비중 하나로서 계전기, 계측기, 제어기와 같은 감시제어용기와 차단기, 단로기와 같은 주 회로기기로 이루어져있고 각각의 단위기기는 지지구조물에 유지 및 보수가 용이하도록 장착되어 있다. 전력 계통의 전 구간에서 사용되는 폐쇄배전반의 내부에서 전기사고가 발생하면 전력 공급의 중단은 물론 전기화재 및 인명사고와 같은 2차 사고를 발생시키므로 신뢰성 있는 운전이 요구되어진다[1].

그러나 폐쇄배전반내의 전력 장치의 노후화로 인한 접속점의 열화, 진동이나 충격으로 인한 내부선로의 손상 등과 같이 접촉이 불완전한 환경은 직렬아크 방전을 발생시켜 주위 절연물을 산화 및 열분해하여 탄화도전로(Carbonic electric conductive pass)를 형성시킨다. 탄화도전로 주위는 전자의 이동에 의해 줄열이 발생됨에 따라 절연 내력이 저하되므로 전기화재나 감전 등의 전기사고가 발생하게 된다[2].

소방 방재청의 최근 10년간의 통계자료에 의하면 매년 전기화재 발생원인 중 60 [%] 이상이 아크를 동반한 단락사고로써 높은 비율을 차지하고 있다[3]. 또한 절연물의 절연성능 저하에 따른 코로나 발생도 장기 열화를 통한 사고원인으로 보고되고 있다.

따라서 폐쇄배전반내의 절연과피와 이상상태로 인해 발생하는 방전신호의 검출을 통하여 사고를 미연에 방지하고 전력 공급의 안정성과 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 직렬 아크 방전은 전압 및 전류 측정법, 광 검출법, 초음파 측정법 및 전자파 측정이 가능하다.

특히, 전자파 측정법은 센서의 소형화 및 경량화가 가능하므로 전력기기가 밀집되어 있는 폐쇄배전반

† 책임저자 : 정회원, 한국해양대학교, 전기전자공학부, 교수
E-mail : kilgs@hhu.ac.kr
TEL : (051)410-4414 FAX : (051)403-1127
* 정회원, 한국해양대학교, 전기전자공학부, 박사과정
** 정회원, 한국해양대학교, 전기전자공학부, 석사과정
*** 정회원, 부산교통공사, 운영본부, 차량검수팀, 기술담당

의 절연 진단에 적합하며, 방전의 종류에 따라서 특징적인 주파수 스펙트럼을 나타내므로 결함의 판단도 가능할 것이다.

본 논문에서는 폐쇄배전반에 설치되어 있는 전력설비의 온라인 진단 기술 개발을 위한 기초연구로서, 직렬 아크와 코로나 방전에 의해 발생하는 방사 전자파의 주파수 스펙트럼을 분석하였다.

2. 실험계

아크와 코로나는 전기적 방전현상으로 공기 중에서 방전이 발생하면 전자의 이동 및 이온화에 의해 소리, 빛, 전자파 등이 발생한다. 직렬 아크와 코로나 발생에 의한 방사전자파 스펙트럼분석을 위해 그림 1과 같이 실험대상과 3 [m]의 이격거리를 두고 주파수대역 30 [MHz]~2 [GHz]의 Ultra Log Antenna(HL562)와 주파수 대역 150 [kHz]~2 [GHz]의 EMI Test Receiver를 사용하여 전파암실(15 [m]×28 [m]×10 [m])에서 측정하였다.

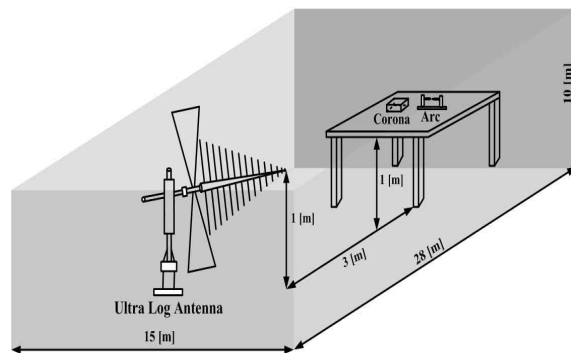


그림 1. 실험계의 구성

3. 실험 및 분석

3.1 직렬 아크

직렬 아크는 부하와 직렬로 연결되어 있는 도전성 물체 또는 전선의 소선이 일부 절단된 경우와 같이 도체의 불완전한 연결부위에서 발생한다[4]~[6]. 아크 전류는 부하의 임피던스에 의해 제한되어 부하 전류보다도 적어 차단기의 보호 레벨 범위 내에서 흐르기 때문에 정상상태로 오인하여 수배전반내의 기기를 보호하지 못하는 경우가 있다. 따라서 본 논문에서는 직렬 아크시 발생하는 방사전자파를 측정하고 주파수 스펙트럼을 분석하였다. 그림 2는 직렬 아크 방전시 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것으로 30 [MHz]~500 [MHz]에 넓게 분포하며, 40 [MHz]와 80 [MHz]에서 피크 값을 나타내었다.

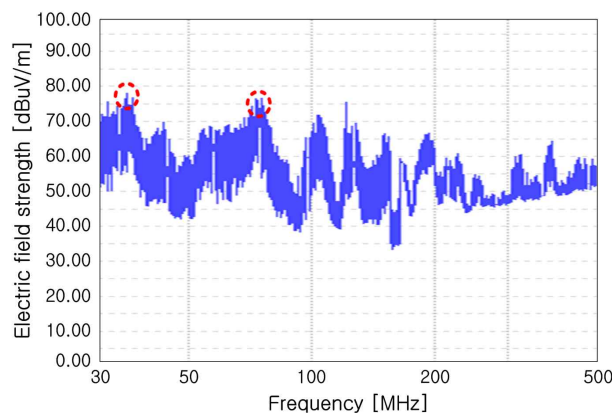


그림 2. 직렬 아크 방전의 주파수 스펙트럼

3.2 코로나

코로나 방전은 전계가 집중되는 곳에서 발생하는 국부방전으로, 빛과 소리를 동반하고 이에 의해 전자파를 방사한다. 코로나 방전은 전원의 종류(교류, 직류, 고주파 및 극성)와 전극의 형상 등에 따라 달라진다. 본 논문에서는 코로나 방전이 발생할 수 있는 다양한 형태의 그림 3~7과 같은 전극계를 제작하여 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 분석하였다. 동종의 전극계에서 절연의 형태별(종이와 공기) 및 침전극의 곡률반경에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼의 차이를 비교하였다.

평판전극은 텅스텐과 구리의 합금으로 가장자리를 둥글게 처리하여 전계 집중이 발생하지 않도록 하여 침 전극에서의 방전을 유도하였다. 코로나 방전을 발생시키기 위해 그림 3~7의 전극계에서는 3.5 [kV], 그림 6 및 7의 전극계에서는 4.8 [kV]의 상용주파수 교류 고전압을 인가하였다.

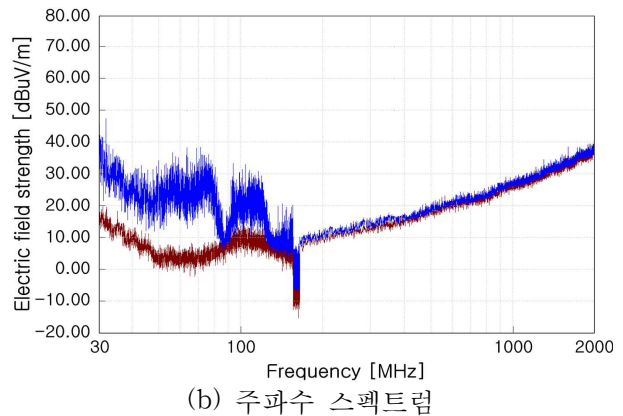
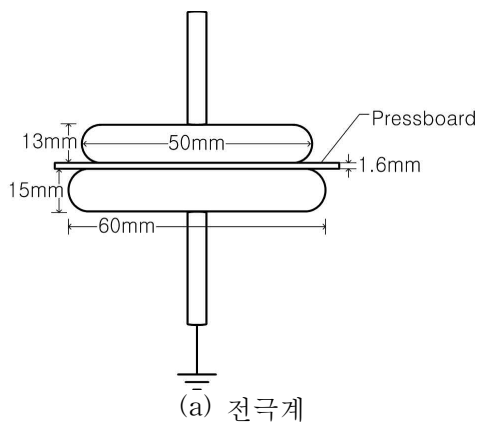


그림 3. 평판-평판 전극계(종이)

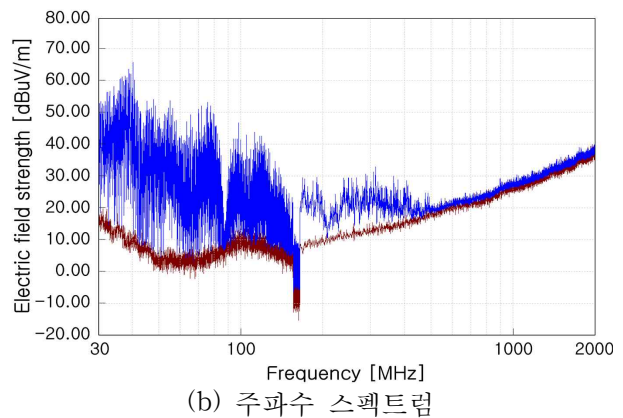
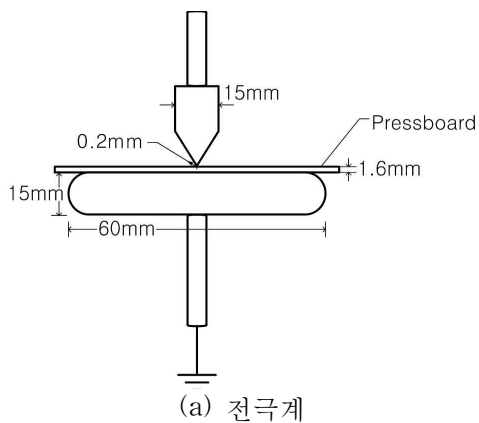


그림 4. 침(0.2 [mm])-평판 전극계(종이)

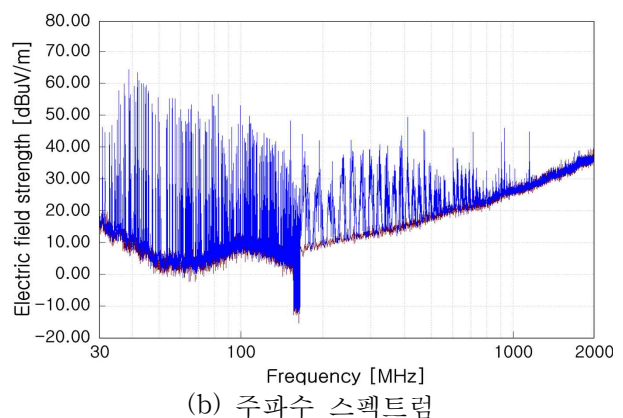
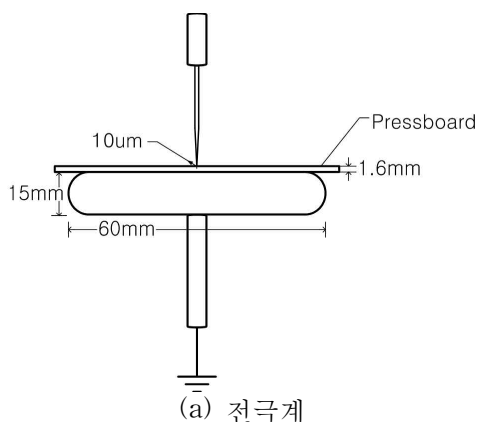


그림 5. 침(10 [μm])-평판 전극계(종이)

도표 1. 전극계에 따른 주파수 대역(종이)

전극계	주파수 대역	피크 주파수 대역
평판-평판	30 [MHz]~150 [MHz]	50 [MHz]~80 [MHz]
침(0.2 [mm])-평판	30 [MHz]~400 [MHz]	35 [MHz]~80 [MHz]
침(10 [μ m])-평판	30 [MHz]~1 [GHz]	35 [MHz]~80 [MHz]

각각의 전극계에서 발생한 코로나 방전의 주파수 스펙트럼 분석결과를 그림 3~그림 5에 나타내었다. 그림 3(a)와 같은 평판-평판 전극계에서의 주파수 스펙트럼은 30 [MHz]~200 [MHz]에 분포하였고 50 [MHz]~80 [MHz]에서 피크 주파수 대역을 나타내었다. 그림 4(a)와 같은 침(0.2 [mm])-평판 전극계에서는 35 [MHz]~80 [MHz]에서 분포하였고 30 [MHz]~80 [MHz]에서 피크 주파수 대역을 나타내었으며 그림 5(a)와 같은 침(10 [μ m])-평판 전극계에서는 30 [MHz]~1 [GHz]에 분포하였으며 35 [MHz]~80 [MHz]에서 피크 주파수 대역을 나타내었다.

유사한 전극 형태를 가진 그림 4(a)와 5(b)의 경우 방전으로 인한 주파수 스펙트럼은 상이하나 피크 주파수는 동일한 대역임을 확인하였으며, 침-평판 전극계에서 발생된 전자파가 평판-평판 전극계에 비해 20 [dB] 높은 전계강도로 측정되었다. 평판-평판 전극계에서는 150 [MHz] 이상의 주파수 성분이 존재하지 않았던 반면 그림 4(a)와 그림 5(a) 같이 전계분포가 불평등인 침-평판 전극계에서는 150 [MHz] 이상 대역의 주파수 성분이 넓게 나타났다.

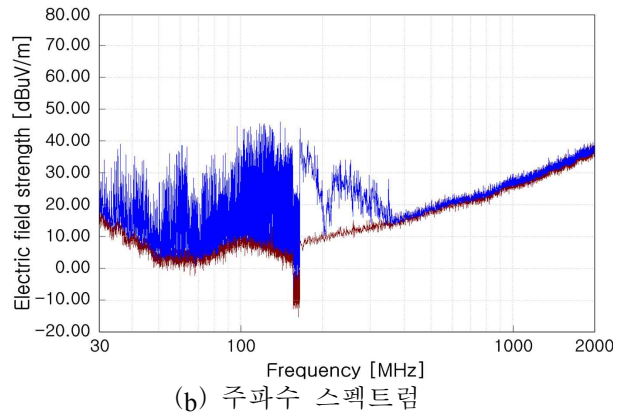
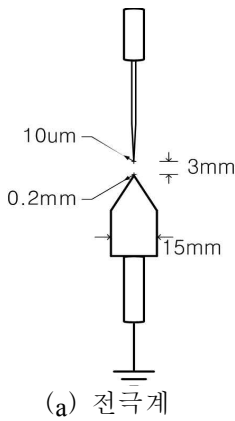


그림 6. 침(10 [μ m])-침(0.2 [mm]) 전극계(공기)

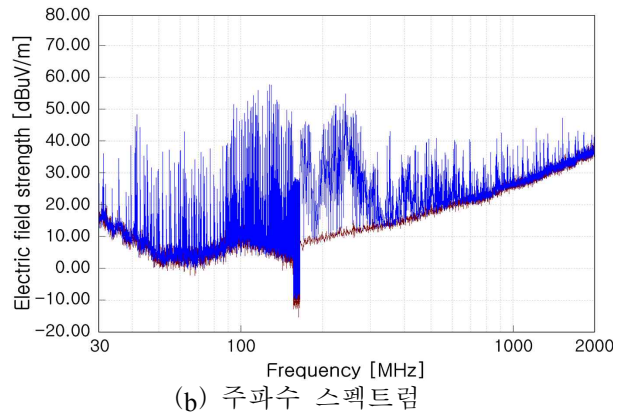
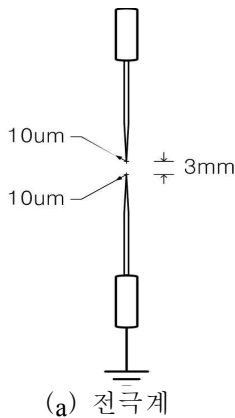


그림 7. 침(10 [μ m])-침(10 [μ m]) 전극계(공기)

도표 2. 전극계에 따른 주파수 대역(공기)

전극계	주파수 대역	피크 주파수 대역
침(10 [μ m])-침(0.2 [mm])	30 [MHz]~350 [MHz]	100 [MHz]~160 [MHz]
침(10 [μ m])-침(10 [μ m])	30 [MHz]~2 [GHz]	90 [MHz]~160 [MHz]

그림 6 및 7은 기중에서의 코로나 방전을 모의한 것이며, 그림 6과 같이 침(10 [μ m])-침(0.2 [mm]) 전극계에서 발생한 방전신호의 주파수는 30 [MHz]~350 [MHz]에 분포하였고 100 [MHz]~160 [MHz]에서 피크 주파수 대역을 나타내었다. 그림 7과 같은 침(10 [μ m])-침(10 [μ m]) 전극계에서 발생한 방전신호의 주파수는 30 [MHz]~2 [GHz]로 전 범위에서 분포하였고 90 [MHz]~160 [MHz]에서 피크 주파수 대역을 나타내었다. 종이 절연물을 삽입한 그림 3~그림 5의 경우와 동일하게 유사한 전극 형태를 가진 그림 6(a)와 7(b)의 경우에서도 방전으로 인한 주파수 대역은 상이하나 피크 주파수 대역은 동일함을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 수배전반내 설치되어 있는 전력설비의 온라인 절연감시를 위한 기술로, 직렬 아크 방전과 코로나 방전의 방사전자파를 측정, 분석하였다. 실험은 전파 암실 내에서 주파수 대역 30 [MHz]~2 [GHz]의 Ultra Log Antenna와 150 [kHz]~2 [GHz]의 EMI Test Receiver를 이용하였다.

직렬 아크 방전시 방사전자파의 주파수 스펙트럼은 30 [MHz]~500 [MHz]에 넓게 분포하였으며, 피크 값은 40 [MHz]와 80 [MHz]이었다. 코로나 방전에서의 주파수 스펙트럼은 전극계의 형태에 따라 많은 차이가 있으나, 30 [MHz]~2 [GHz]의 전 범위에서 분포하였고 직렬 아크 방전시와 달리 피크 값은 35 [MHz]~160 [MHz] 대역에서 존재하였다.

따라서 이들 대역에서의 방사 전자파를 검출하면 전기적 사고를 발생시킬 수 있는 아크와 코로나의 발생을 알 수 있기 때문에 전기적 사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다. 배전반 적용에 있어서는 상기 아크와 코로나 방전시 발생하는 방사전자파 대역만을 검출하는 협대역 검출시스템을 설치하면 효과적으로 진단이 가능할 것으로 판단한다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

1. 이상훈 외, “방사전자파 특성을 이용한 부분방전 검출의 기초연구”, 대한전기학회, 전기학회논문지 C, 전기학회논문지 제49C권 제7호, PP.412-417, 2007.
2. George D. Gregory, "More about Arc-Fault Circuit Interrupters", IEEE Trans. Industry Applications, Vol.40, No.4, pp.928-933, 2004.
3. 소방방재청(2009), “2009년도 화재통계 연감”
4. IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms, IEEE Std. 100-1996.
5. Wen-Jun Li, Yuan-Chun Li, “Arc Fault Detection Based on Wavelet Packet”, In Proc. 2005 Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol.3, pp.1783~1788, 2005.
6. 길경석, 지홍근, 박대원, 김일권, 류길수, 송재용, “직렬 아크신호의 검출방법”, 한국철도학회논문집, 제 11권 제5호, pp.477~481, 2008.