

가스절연개폐장치에서 결함별 부분방전의 특성

Characteristics of Partial Discharge Depending on Defects in GIS

박경수*, 김선재*, 왕국명*, 길경석*[†], 김성욱**

Kyoung-Soo Park*, Sun-Jae Kim*, Guoming Wang*, Gyung-Suk Kil**[†], and Sung-Wook Kim**

Abstract This paper described characteristics of partial discharge(PD) depending on defects for the purpose of condition monitoring of gas insulated switchgears(GIS). Four types of defects were fabricated and PD pulses were detected using an ultra-high frequency(UHF) sensor, which had a frequency range of 300MHz~1.4GHz. The characteristics depending on defects were analyzed by phase resolved partial discharge(PRPD) method. In addition, the discharge inception voltage(DIV), discharge extinction voltage(DEV), as well as pulse magnitude and count were measured. The DIV of particle on spacer(POS) was the highest whereas that of free particle(FP) was the lowest. More than 80% of PD pulses distributed in the positive and negative half in protrusion on conductor(POC) and protrusion on enclosure(POE), respectively. From the results, clusters formed by PRPD presented different patterns depending on defects, which can be used for condition monitoring of GIS.

Keywords : Partial discharge, DIV, DEV, PRPD, Defects

초 록 본 논문에서는 가스절연개폐장치(GIS)의 상태진단을 목적으로 결함별 부분방전의 특성에 대해 연구하였다. 4종의 결함을 제작하였고, 300MHz~1.4GHz대역의 UHF 센서를 사용하여 부분방전 펄스를 검출하였다. 결함별 특성은 PRPD 방법으로 분석하였으며, 방전개시 및 소멸전압, 펄스 크기와 펄스 수를 측정하였다. 방전개시전압은 스페이서 파티클(POS)에서 가장 높았으며, 자유입자(FP)에서 가장 낮게 나타났다. 부분방전 펄스의 극성 분포는 80% 이상이 도체돌출(POC)은 정극성, 외함돌출(POE)은 부극성에 분포하였다. 이와 같은 특징으로 형성된 클러스터는 결함별로 다르게 나타나므로 상태진단에 활용할 수 있다.

주요어 : 부분방전, 방전개시전압, 방전소멸전압, PRPD, 결함

1. 서 론

철도 차량에 전기를 공급하는 변전설비는 변압기, 피뢰기 및 차단기 등 다양한 시스템으로 구성되어 있다. 철도 차량의 빈번한 기동, 정지 및 운영환경으로 인하여 전력설비의 안정성 및 신뢰성이 요구된다. 전력 계통을 분리 및 변경을 목적으로 높은 절연성을 갖는 큐비클형 가스절연개폐장치(Cubicle-Gas Insulated Switchgear, C-GIS)가 많이 사용되고 있다.

[†] 교신저자: 한국해양대학교 공과대학 전자전기정보공학부(kilgs@kmou.ac.kr)

* 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학과

** (주)효성 중공업연구소 PAM팀

C-GIS에 사용되는 SF₆ 가스는 공기 대비 1기압에서 2.5~3.5배 절연내력이 크기 때문에 소형화가 가능하며, 높은 신뢰성을 갖는다[1]. 그러나 C-GIS에 금속 이물질의 유입 및 크랙 등으로 전계가 집중되면, 부분방전(PD)이 발생한다. 철도 전력설비의 고장을 예방하기 위하여 상태진단기술(Condition Based Maintenance, CBM)이 적용되고 있다. 전원이 인가된 환경에서 대상설비의 고장여부를 사전에 검출하는 것으로 철도 전력설비의 유지보수에 적합하다[2-4]. 따라서 본 논문에서는 SF₆ 가스를 사용하는 가스절연개폐장치의 상태진단을 위한 목적으로 결합에 따른 방전개시전압(DIV), 방전소멸전압(DEV) 및 PRPD를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 결 함

절연결함은 전기적·기계적 스트레스 및 기타 환경적 요인에 의해 발생하며, 결함의 종류에 따라 부분방전의발생 패턴이 다르다. 가스절연개폐장치는 제작과정, 운반, 설치 및 운전시 도체 및 외함 돌출과 스페이서 크랙 등의 결함이 발생한다. 대부분 설비 내부에서 나타나기 때문에 시각적으로 검사하기 어렵다. 가스절연개폐장치에서 발생 가능한 결함을 모의하기 위하여 도체 돌출(protrusion on conductor, POC), 외함 돌출(protrusion on enclosure, POE), 스페이서 파티클(particle on spacer, POS), 자유 입자(free particle, FP) 등의 전극계를 Fig. 1과 같이 제작하였다[5,6]. 전극계는 지름 144mm, 높이 131mm의 밀폐형 구조이며, SF₆ 가스를 최대 0.6MPa까지 봉입할 수 있다.

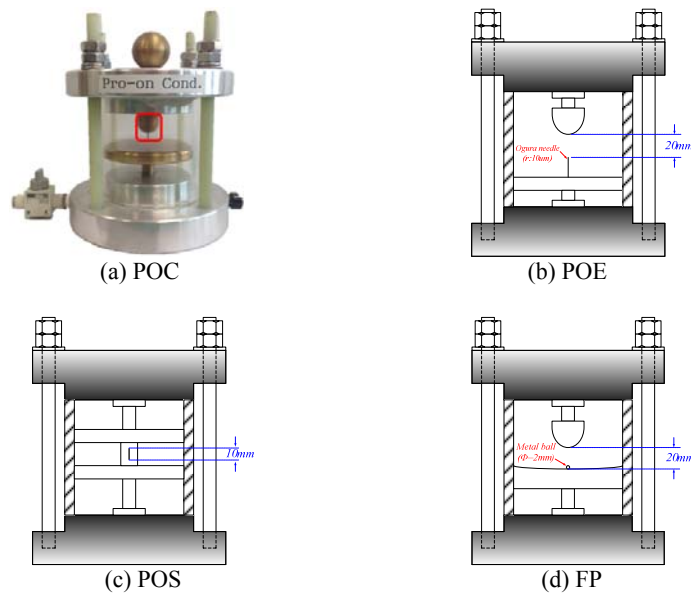


Fig. 1. Electrode systems

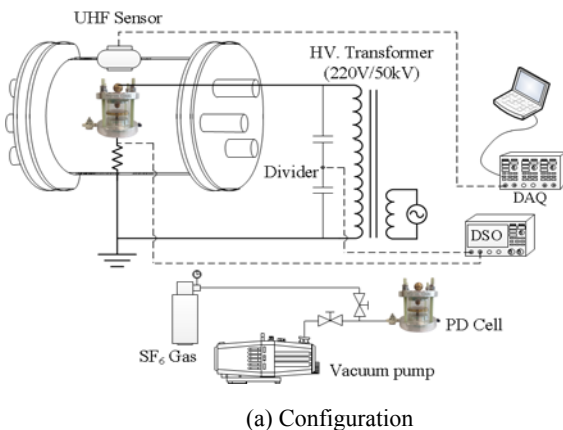
(a)와 (b)는 도체 및 외함 돌출을 모의한 것으로 전극계 내부에 사용된 침은 곡률 반경 10 μm, 높이 5mm, 지름 1mm이다. 평판전극은 지름 80mm, 두께 10mm로 가장자리를 둥글게 제작하여 전계 집중을 방지하였다. 침과 평판의 거리는 20mm이다.

(c)는 가스절연개폐장치의 스페이서에 파티클이 부착된 경우를 모의한 것으로 평판전극은 도체 돌출과 외함 돌출에 사용된 것과 동일하다. 가로 10mm, 세로 10mm, 높이 15mm의 에폭시 고체절연물에 10mm의 파티클을 부착시켰다. (d)는 자유 입자로 인한 결함을 모의한 것으로 입자의 직경은 2mm로써, 고압측과 저압측의 전극 간격은 20mm이다. 제작과정에서 철이 많이 사용되기 때문에 자유 입자의 재질을 철로 선정하였다. 하부전극을 오목하게 설계하여 입자의 자유 운동이 용이하도록 평판 전극계를 제작하였다[7, 8].

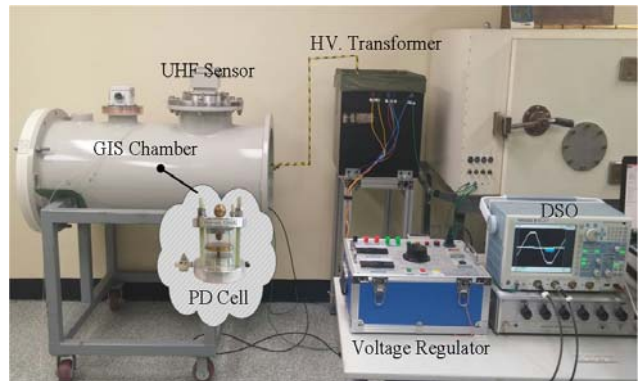
2.2 실험계

전극계를 가스절연개폐장치 챔버에 설치한 후, Fig. 2와 같이 실험을 수행하였다. 최대 출력 전압 및 전류는 각각 50kV, 30mA인 몰드형 고압 변압기를 사용하여 전극계에 전압을 인가하였다. 광유(Mineral oil)에 몰드형 고압 변압기를 함침(습)시켜 접촉부에서 발생할 수 있는 코로나를 방지하였다. 인가전압의 위상은 분압기(VD-100)에서 측정하였다.

진공펌프(120 l/min.)로 전극계 내부를 10^{-3} torr까지 진공한 후, SF₆ 가스를 0.5MPa 봉입하였다. 가스절연개폐장치 챔버의 윈도우에 UHF 센서(300MHz~1.4GHz)를 설치한 후, 250MS/s DAQ를 사용하여 부분방전 펄스를 분석하였다.



(a) Configuration



(b) Photograph

Fig. 2. Experimental setup

2.3 DIV 및 DEV

방전개시전압(DIV) 및 방전소멸전압(DEV)을 각각 10회씩 측정하여 최소, 최대 및 평균을 Fig. 3에 나타내었다. 평균 방전개시전압은 도체 돌출 24.6kV, 외함 돌출 20.4kV, 스페이서 파티클 28.8kV 및 자유 입자는 17.2kV로 검출되었다. 4종의 전극계 중 스페이서 파티클의 평균 방전개시전압이 가장 높았다.

도체 돌출과 외함 돌출은 10 μm의 침에 전계가 집중되며, 자유 입자는 움직임이 가능한 파티클에서 부분방전이 발생한다. 그러나 스페이서 파티클은 절연물에서 부분방전이 발생하기 때문에 3종의 전극계와는 다르게 평균 방전개시전압이 상대적으로 가장 높은 것으로 생각된다. 평균 방전소멸전압도 스페이서 파티클이 26kV로 가장 높았고, 자유 입자가 15.3kV로 가장 낮게 검출되었다.

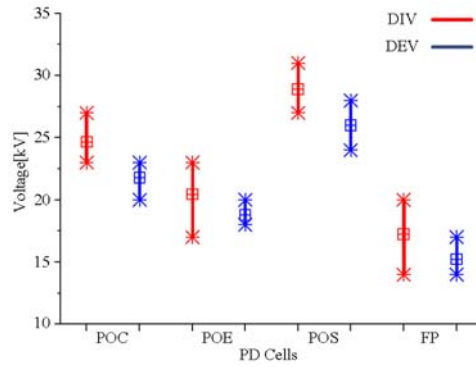


Fig. 3. DIV and DEV

2.4 PRPD

UHF 센서로 검출된 부분방전 펄스를 위상(X축, θ)과 크기(Y축, dBm)에 대하여 분석하였다. 전극계별 부분방전 펄스의 최댓값을 검출하여 Fig. 4에 나타내었다. 도체 및 외함 돌출은 정극성($0^\circ \sim 180^\circ$)과 부극성($181^\circ \sim 360^\circ$)에서 각각 부분방전이 밀집되어 분포하였다.

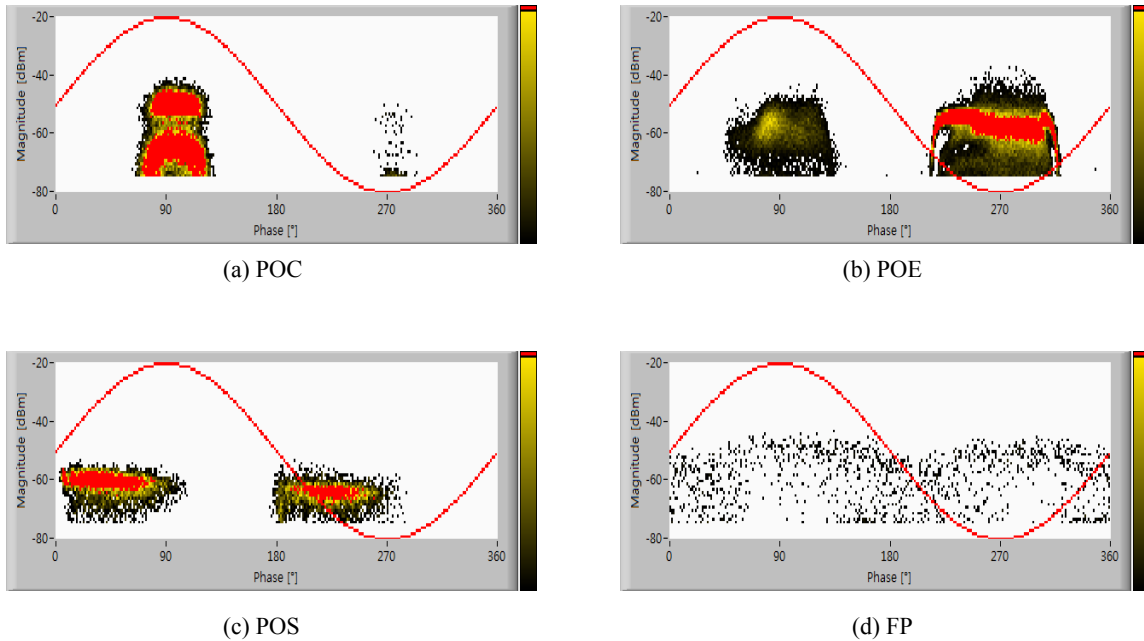


Fig. 4. PRPD intensity graph

스페이서 파티클은 정극성 보다는 부극성에서 최댓값이 형성되었고, 자유 입자는 셔플과 점핑 때문에 전(全) 대역에서 부분방전이 분포하였다. 펄스 수는 도체 돌출 11,257개, 외함 돌출 37,699개, 스페이서 파티클 323개 및 자유 입자는 1,602개로 측정되었다. 도체 돌출은 정극성에서 88%, 외함 돌출은 부극성에서 84% 부분방전이 발생하였다. 도체 돌출과 외함 돌출이 한 극성에서 부분방전이 80% 이상 발생하는 것은 $10\mu\text{m}$ 의 침에 전계가 집중되기 때문이다.

3. 결 론

평균 방전개시전압은 스페이서 파티클이 28.8kV로써, 가장 낮은 자유 입자보다 약 1.7배 높았다. 스페이서 파티클은 3종의 전극계와는 다른 구조로써, 절연물에서 부분방전이 발생되기 때문에 상대적으로 방전개시전압이 높은 것으로 생각된다. 평균 방전소멸전압도 스페이서 파티클이 26kV로써 가장 높았다. 자유 입자는 평균 방전개시전압의 1.3배에서 셔플과 점핑을 병행하였다. 도체 돌출은 정극성에서, 외함 돌출은 부극성에서 부분방전이 80% 이상 발생하였다. UHF 센서로 검출된 부분방전 펄스를 위상(X축, θ)과 크기(Y축, dBm)에 대하여 분석한 결과, 결합별 고유의 클러스터가 형성되었다. 특정 지역의 클러스터 분포는 가스절연개폐장치에서 결합을 판별하기 위한 자료로 활용될 수 있다.

후 기

본 연구는 2015년도 미래창조과학부 및 연구개발특구진흥재단의 기술이전사업화 사업과 (주)효성의 위탁연구사업 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] S.J. Kim, G. Wang, M.Y. Yun, G.S. Kil (2015) Partial discharge characteristics according to particle types in SF₆ gas, *Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, Yeosu, pp. 1474-1479.
- [2] S.J. Kim, H.E. Jo, G.W. Jeong, G.S. Kil, et al. (2015) Analysis on PD pulse distribution by defects depending on SF₆ pressure, *Journal of the Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, 28(40), pp. 40-45.
- [3] F.H. Kreuger (1989) Partial discharge detection in high-voltage equipment, Butterworth-Heinemann, United Kingdom, pp. 140-143.
- [4] M.S. Naidu, V. Kamaraju (2009) High voltage engineering, McGraw-Hill, India, pp. 364-366.
- [5] M.S. Kim, G.W. Jeong, G.S. Kil, D.W. Park (2013) Analysis of PD patterns depending on SF₆ gas pressure on a needle-plane electrode, *Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, Daegu, pp. 459-464.
- [6] G. Wang, S.J. Kim, H.E. Jo, G.W. Jeong, et al. (2015) Algorithm for defects identification by analysis of PD pulses in SF₆ gas, *19th International Symposium on High Voltage Engineering*, Czech Republic, pp. 165(1)-165(5).
- [7] G.S. Kil, D.W. Park, H.E. Jo, M.S. Kim, et al. (2013) National Korea Maritime and Ocean University, Development of a data acquisition and an analysis method of partial discharge.
- [8] K.H. Kim, D.Z. Lee, H.R. Kwak (2003) Pattern recognition of PD by particles in GIS, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 17(1), pp. 31-36.