

SF<sub>6</sub>가스 중 파티클 형태에 따른 부분방전의 특성Partial Discharge Characteristics according to Particle Types in SF<sub>6</sub> Gas

김선재\*, 왕국명\*, 윤민영\*, 길경석\*†

Sun-Jae Kim\*, Guoming Wang\*, Min-Young Yun\*, and Gyung-Suk Kil\*†

**Abstract** This paper described the characteristics of partial discharge depending on particle types to analyze the risk of defects in SF<sub>6</sub> gas insulation system. The particle types were classified into ball, trapezoid, rectangle, and twist.

HVDC was applied to the electrode system including a particle up to 25 kV<sub>max</sub>. We analyzed discharge inception voltage(DIV), discharge extinction voltage(DEV), and the time resolved partial discharge(TRPD). The risk probability of the twist was the highest due to its lowest DIV. Also, TRPD of the particles were compared.

**Keywords** : High voltage direct current(HVDC), Partial discharge(PD), Discharge inception voltage(DIV), Discharge extinction voltage(DEV), Time resolved partial discharge(TRPD)

**초 록** 본 논문에서는 SF<sub>6</sub>가스의 절연 시스템에서 발생 가능한 결함의 위험성을 분석하기 위하여 파티클 형태에 따른 부분방전의 특성을 기술하였다. 파티클은 볼, 사다리꼴, 직사각형 및 Twist로 분류하였다.

파티클이 설치된 전극계에 직류고전압을 최대 25 kV 인가하였다. 각각의 파티클에 대하여 방전개시전압(DIV), 방전소멸전압(DEV) 및 TRPD(Time Resolved Partial Discharge)를 분석하였다. 실험결과, 네 종류의 파티클 중 Twist의 방전개시전압이 가장 낮게 검출되었기 때문에 위험성이 가장 높을 것으로 판단된다. 또한 TRPD가 파티클의 형태에 따라 상이하게 분석되었다.

**주요어** : 직류고전압, 부분방전, 방전개시전압, 방전소멸전압, TRPD

## 1. 서 론

철도의 전력설비는 차량에 전기를 공급하는 변전설비로 변압기, 정류기 및 차단기 등 다양한 설비로 구성되어 있다. 철도차량의 빈번한 기동, 정지 및 운영환경으로 인하여 전력설비의 안정성 및 신뢰성이 요구된다. 전력설비 중 개폐장치는 선로의 분기와 연계로 구성이 복잡한 부하설비에서 계통을 구성, 분리 및 변경을 목적으로 사용된다. 그 중에서도 높은 절연성을 갖는 큐비클형 가스절연개폐장치(Cubicle-Gas Insulated Switchgear, C-GIS)가 많이 사용되고 있다. 공기절연 방식은 부피가 크고 넓은 설치 공간이 필요하지만, C-GIS는 SF<sub>6</sub>가스를 절연매질로 사용하기 때문에 협소한 장소에도 설치가 가능하다. 공기 대비 절연내력이 1

† 교신저자: 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학부(kilgs@kmou.ac.kr)

\* 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학과

기압에서 2.5 ~ 3.5배 크기 때문에 소형화가 가능하며, 높은 신뢰성을 갖는다[1]. 그러나 C-GIS 내부에 금속 이물질이 유입되면 전계가 집중되어 부분방전(Partial Discharge, PD)이 발생된다. 철도 전력설비의 고장을 예방하기 위하여 상태진단기술(Condition Based Maintenance, CBM)이 적용되고 있다. 이 기술은 전원이 인가된 환경에서 대상설비의 고장여부 및 징후를 사전에 검출하는 것으로 철도 전력설비의 유지보수에 적합하다[2-4].

따라서 본 논문에서는 SF<sub>6</sub>가스를 사용하는 전력설비의 상태진단을 위한 목적으로 파티클 형태에 따른 부분방전 특성에 관하여 기술하였다. 제작과정, 운반, 설치 및 운전 시 유입 가능한 네 종류의 파티클을 제작하여 방전개시전압(DIV), 방전소멸전압(DEV) 및 TRPD(Time Resolved Partial Discharge)를 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 전극계 및 파티클



파티클을 설치할 수 있는 전극계를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 외함은 지름 144 mm, 높이 131 mm이며, 투명 실린더의 내경은 80 mm이다. 상·하 두 개의 평판전극은 지름 65 mm, 두께 20 mm이며, 가장자리를 둥글게 설계하여 전계가 집중되는 것을 방지하였다. 상·하부 평판전극의 간격은 40 mm이며, 전압 인가 시 파티클이 전극계 내부를 부유하도록 제작하였다. 전극계 내부는 0.5 MPa의 SF<sub>6</sub>가스로 충전하였다.



Fig. 1 A photograph of the electrode system

전력설비의 제작과정, 운반, 설치 및 운전 시 유입 될 수 있는 파티클 사양을 Table 1에 나타내었다. 형태는 볼, 사다리꼴, 직사각형 및 Twist로써 알루미늄으로 만들어졌다.

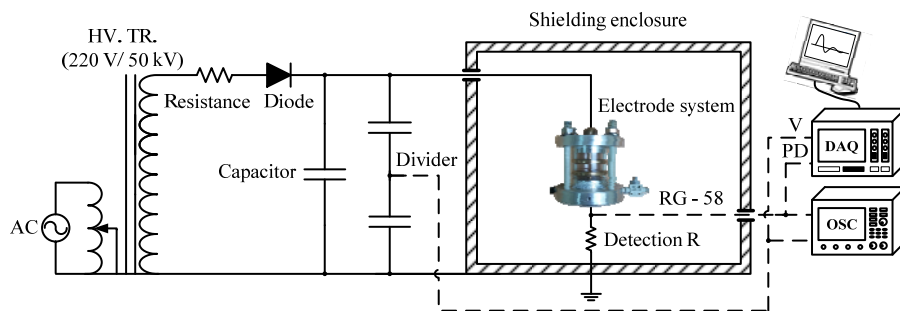
Table 1 Particle types

Photograph	Type	Width [mm]	Length [mm]	Height [mm]	Weight [mg]	Remark
	Ball	-	-	-	34.3	Diameter 3 mm
	Trapezoid	7	-	5	59.7	Lower base 5.5 mm

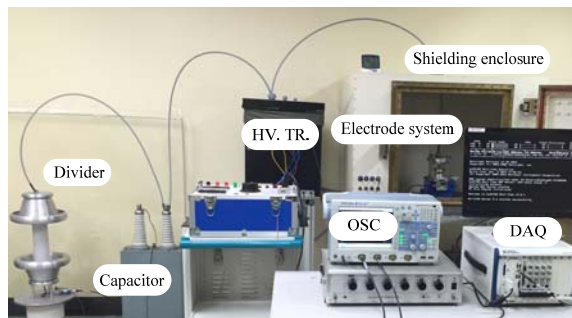
	Rectangle	15	5	-	141	-
	Twist	10	4	-	113.7	-

## 2.2 실험계의 구성

50 kV<sub>max</sub> 몰드변압기, 100 kV 고압다이오드 및 0.5 uF 캐패시터로 Fig. 2와 같이 실험계를 구성하여 직류고전압을 인가하였다. 또한 충전되어 있는 캐패시터를 일정시간 내에 방전할 수 있는 회로를 설계하였다. 고전압 인입부는 코로나를 방지하기 위하여 충분한 절연내력을 갖도록 하였다. 10,000:1의 분압기로 인가전압을 측정하였으며, 외부 노이즈의 영향을 최소화하기 위하여 차폐함 내부에서 실험을 수행하였다. 각각의 부분방전 펄스는 50 Ω의 무유도 저항으로 검출하였으며, 5 GS/s 오실로스코프와 250 MS/s DAQ를 사용하여 부분방전 펄스를 분석하였다.



(a) Configuration



(b) Photograph

**Fig. 2** Experimental system

## 2.3 측정 파라미터

부분방전 펄스를 방전개시전압, 방전소멸전압, TRPD 및 통계적 특성으로 분석하였다. 직류 고전압을 인가하여 부분방전 펄스가 처음 검출되는 전압을 방전개시전압, 인가전압을 감소시켜 부분방전 펄스가 검출되지 않는 전압을 방전소멸전압으로 정의하였다. TRPD 방식은 Fig. 3과 같이 방전크기( $q_i$ )와 두 번째 측정된 부분방전 펄스를 기준으로 첫 번째, 세 번째 등

연속적으로 발생하는 펄스의 시간차( $\Delta t$ )를 근간으로 한다.  $\Delta t_{pre} = t_i - t_{i-1}$ ,  $\Delta t_{suc} = t_{i+1} - t_i$ 로 산출하였다. 통계적 특성은 부분방전 펄스의 클러스터가 분포하는 형태를 나타내는 것으로 첨도(Kurtosis)와 왜도(Skewness) 방식을 적용하였다[5,6].

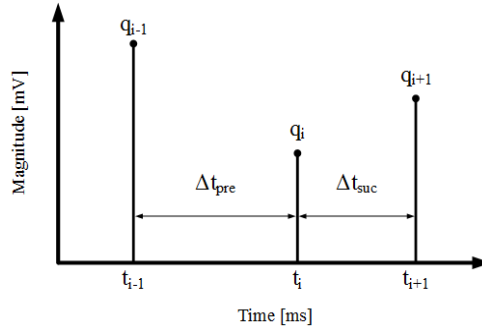


Fig. 3 Sequence of PD pulses

## 2.4 분석 및 고찰

각각 10회씩 측정하여 방전개시전압과 방전소멸전압의 평균을 Fig. 4에 나타내었다. 방전개시전압은 직사각형이 22.4 kV로 가장 높았으며, Twist가 9.1 kV로 가장 낮게 측정되었다. 방전소멸전압은 방전개시전압과 동일하게 직사각형이 19.7 kV로 최대, Twist가 9.1 kV 최소로 분석되었다. Twist를 제외한 볼, 사다리꼴 및 직사각형은 형태가 납작하고 구(球) 형태로써, 방전이 잘 발생하지 않기 때문에 높은 인가전압에서 부분방전이 발생한 것으로 판단된다.

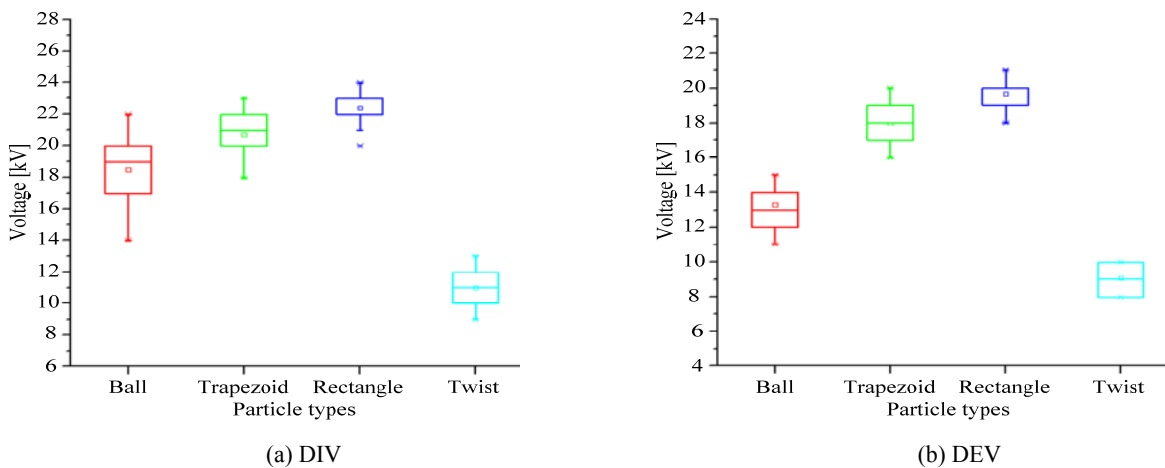


Fig. 4 Mean value

각 파티클에 대한 클러스터의 통계적 분포특성을 Fig. 5에 나타내었다. 볼과 사다리꼴의 클러스터 분포가  $q(\Delta t_{pre})$  및  $q(\Delta t_{suc})$ 에서는 산발적으로 이루어졌으며, 직사각형은  $q(\Delta t_{pre})$ 에서는 다소 밀집되어 있었으나  $q(\Delta t_{suc})$ 에서는 넓게 분포하였다. 세 종류의 파티클과는 다르게 Twist는  $q(\Delta t_{pre})$  및  $q(\Delta t_{suc})$ 에서 모두 밀집하여 클러스터가 분포하였다.

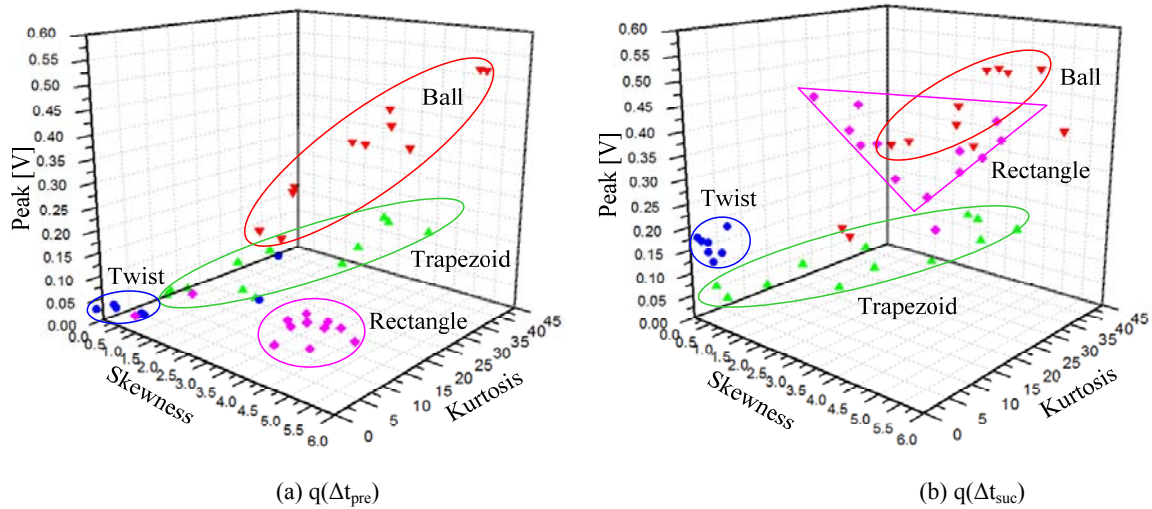


Fig. 5 Distribution of the cluster

### 3. 결론

SF<sub>6</sub>가스를 사용하는 전력설비에 파티클 유입 시, 위험성을 분석하기 위하여 파티클 형태에 따른 부분방전의 특성을 기술하였다. 본 실험 조건에서는 Twist가 가장 낮은 인가전압에서 전계가 집중되어 부분방전이 발생하였다. 세 종류의 파티클 대비 방전개시전압과 방전소멸전압이 약 47% 낮게 분석되었다. 볼, 사다리꼴 및 직사각형은 납작하거나 구(球) 형태이지만, Twist의 형상은 입체적이기 때문에 전계 집중이 낮은 전압에서 발생한 것으로 판단된다.

또한 TRPD 분석에서는 세 종류의 클러스터가 산발적으로 분포하였지만, Twist는  $q(\Delta t_{pre})$  및  $q(\Delta t_{suc})$ 에서 모두 밀집하여 분포하였다. 네 종류의 전극계 중 Twist의 방전개시전압이 가장 낮기 때문에 전력설비 유입 시 사고 위험성이 높을 것으로 판단된다.

### 후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2013년도 중소기업기술개발지원사업(No.S2138505) 및 2014년도 중소기업기술개발지원사업(S2243009)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

### 참고문헌

- [1] H.E. Jo, S.J. Kim, G.M. Wang, G.S. Kil (2015) Analysis of Partial Discharge Characteristics under AC and DC in SF<sub>6</sub> Gas, 2015 Spring Conference of the Korean Society for Railway, Mokpo, pp. 25(1)-25(5).
- [2] H.S. Jung, Y. Park, H.I. Kang (2013) Implementation of Prediction Program for Deterioration Judgment on Substation Power Systems in Urban Railway, The Transactions of Korean Institute of Electrical Engineers, 62(6), pp. 881-885.
- [3] H.G. Lim, B.D. Lee, T.D. Kim, S.H. Jang (2011) Urban Rail Power Facilities on-site Implementation

of an Integrated System Diagnosis, 2011 Autumn Conference of the Korean Society for Railway, Jeju Island, pp. 2015-2020.

- [4] T.K. An, J.R. Shin, W.D. Lee, M.H. Kim (2007) Intelligent Surveillance System for Urban Transit using Context-aware Technology, 2007 Conference on Information and Control Systems, Jecheon, pp. 399-400.
- [5] G.M. Wang (2015) Analysis on Statistical Characteristics of Partial Discharge in SF<sub>6</sub> Gas under HVDC, ME Thesis, Korea Maritime and Ocean University.
- [6] C.H. Jin (2013) Measurement and Analysis of Partial Discharge Pulse in a Gas Insulated Switchgear, ME Thesis, Korea Maritime and Ocean University.