

## GIS내 파티클의 상태에 따른 부분방전 신호의 분석

(The analysis of partial discharge signals according to particle states in GIS)

김경화\* · 이동준\*\* · 곽희로\*\*\*

(Kyung-Hha Kim · Dong-Zoon Lee · Hee-Ro Kwak)

### 요 약

본 논문에서는 GIS내 파티클에 의해 발생할 수 있는 절연사고를 미연에 방지하고 또한 파티클의 상태를 파악하기 위하여 GIS내 파티클 상태에 따른 부분방전 신호를 측정하고 분석하였다. 본 논문에서는 GIS내 파티클의 상태를 4가지(전극부착시, 외함부착시, 스페이서 부착시, 자유운동시)로 모의하였으며, 이때 발생하는 부분방전 신호의  $\Phi$ -Q-N 분포를 형태적으로 분석하였다. 또한,  $\Phi$ -Q 분포에 대하여 통계적 연산자를 도입하여 파티클 상태에 따른 부분방전 신호를 정량적으로 분석하였다. 그 결과 파티클 상태에 따른  $\Phi$ -Q-N 분포의 형태적인 분석과  $\Phi$ -Q 분포의 정량적인 분석으로 파티클의 상태 구별이 가능하였다.

### Abstract

This paper presents the analysis of partial discharge signals according to the particle states in GIS, for preventing the insulation failure and recognizing the particle states. In this paper, four states of particle (particle on electrode, particle on enclosure, particle on spacer and crossing particle) were simulated. And  $\Phi$ -Q-N distribution of partial discharge signals was analyzed and the statistical operator of the  $\Phi$ -Q distribution was analyzed. As a result, it was found that the states of particle were distinguished by analysis of the  $\Phi$ -Q-N distribution and the statistical operator of the  $\Phi$ -Q distribution.

### 1. 서 론

최근 산업사회의 발달 및 고도화에 따라 전력 이용에서 신뢰성이 높은 양질의 전기에너지를 요구하게 되었고, 인구의 도시집중화 및 도시기능의 다양화로 인하여 특정한 좁은 지역에 대용량 에너지의 공급을 요구하게 되었다. 이러한 전력수요에 부응하기

위해서 발전설비 뿐만 아니라 변전기기 역시 용량이 대용량화, 초고압화 되고 있는 추세이다. 그러나, 전력설비의 대용량화 고전압화는 우리나라같이 토지가 한정된 경우에는 부지확보 차원에서 소형화 및 옥내화가 불가피하므로 운전 및 보수의 간편화, 계통 운용의 신뢰성, 안전성 확보가 요구되는 SF<sub>6</sub>가스를 절연재료로 사용하는 변전기기의 사용이 늘고 있다.

고기압 SF<sub>6</sub> 가스를 절연매체로 하는 대표적인 전력기기인 GIS는 모선, 차단기, 단로기, 접지장치 등을 조합하여, 충전부를 스페이서로 지지하고, 높은 절연내력을 가지는 SF<sub>6</sub> 가스로 금속용기에 밀폐시킨 안

\* 정회원 : 홍성기능대 전기과 교수

\*\* 정회원 : 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정

\*\*\* 정회원 : 숭실대학교 공과대학 전기공학과 교수

접수일자 : 1999년 12월 7일

## GIS내 파티클의 상태에 따른 부분방전 신호의 분석

전한 고신뢰성 기기이다. 이와 같은 장점 때문에 GIS는 1960년대 말 프랑스의 변전소에 최초로 사용된 이래, 전세계에서 널리 사용 중에 있으며 국내에서도 22[kV]급에서 부터 345[kV]급에 이르기까지 설치되어 운전 중에 있다.

그리고 GIS는 내부의 도체와 접지 된 외부도체로 구성된 동축원통형 전극으로 전극간은 준평등 전계를 형성하고 있어, 통상의 운전상태에서는 부분방전이 발생하지 않는 충분한 전계강도로 설계되어 있다. 그러나 GIS의 금속가공, 연마작업, 운반, 현장조립 및 가스 주입시 도체에서의 돌기, 스페이서의 크랙 및 파티클 등이 발생할 수 있으며, 이러한 결함으로 전계가 균일화된 GIS내에 국부적인 전계 집중현상이 발생하면 그곳에서 부분방전이 일어나서 절연파괴에 도달할 가능성을 갖게 된다.[1-2] GIS는 내부사고 발생시 대형사고로 진전될 뿐만 아니라 사고부분의 추정이나 복구작업이 어려우므로 GIS의 사고를 예방하여야하고 또한 변전소 무인화를 뒷받침하기 위해서는 GIS에서 발생하는 이상의 징후를 초기단계에 찾아내는 것이 중요하다[3].

따라서 본 논문에서는 GIS내 금속이물의 상태에 따라 부분방전 신호가 각각 다른 특성을 나타낼 것으로 사료되기 때문에 그 특성을 잘 나타내는 인가 전압의 위상( $\phi$ ), 위상에 따른 방전량(Q) 그리고 위상에 따른 방전횟수(N)를 이용하여[4-7] 형태적 분석을 행하였고 또한  $\phi$ -Q 분포에 대한 통계적 연산자를 이용한 정량적 분석을 통하여 파티클의 상태에 따른 패턴을 분석하고자 한다.

## 2. 실험 및 분석

### 2.1 실험장치

본 논문에서 구성한 실험장치는 전원공급장치, 계측분석장치, 모의 GIS 챔버로 구별되어진다. 그림 1은 본 논문에서 구성한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 것처럼 고전압 발생장치, 고전압 발생장치 제어기 및  $\phi$ -Q-N 측정장치로 구성되어지고 모의 GIS챔버는 챔버내 공기를 배출하는 진공펌프와 SF<sub>6</sub> 가스 주입구 그리고 챔버 안의 전극으로 구성되어져 있다.

본 논문에서는 정격전압 400[kV], 정격용량 600 [kVA] 그리고 부분방전 레벨(PD level)이 2[pC]이하

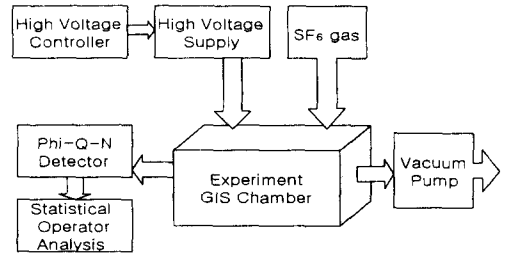


그림 1 실험장치 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

인 HAEFELY사의 고전압 발생장치를 이용하였다.

또한, 모의 챔버내에서 도전성 이물질의 상태에 따라 발생하는 부분방전신호를  $\phi$ -Q-N으로 측정하기 위하여 HAEFELY사에서 제작한 PD Detector TE-571을 이용하였다. PD 신호 검출 규격은 IEC 270을 따랐다.

모의 GIS 챔버는 가로 170[mm], 세로 170[mm] 높이 170[mm]의 크기로 설계하였다. 이때 진공펌프 이용과, 가스 주입 및 배출할 수 있도록 설계하였고 평등전계 구조의 GIS 내부에서 파티클이 전계에 의해 부상할 수 있도록 하였다. 모의 GIS 챔버에서 외함은 접지 하였으며 외함에는 파티클의 거동상태를 관찰할 수 있도록 관찰 창을 설치하였다. 모의 GIS 챔버에서 외부전극 위에 파티클이 있을 때 내부전극에 전압을 인가하고 부분방전 및 절연파괴에 이르는 과정을 실험하기 위해 가스압을 4기압까지 충전될 수 있도록 설계하였다.

GIS 내부에서 파티클의 상태에 따른 부분방전을 발생시키기 위하여 지름 100[mm], 두께 10[mm]의 전극을 제작하였으며 전극 끝 부분에서 부분방전이 발생하는 것을 방지하기 위하여 라운드(round)처리 하였다.

챔버 내 파티클의 왕복운동(bouncing)시 파티클이 전극에서 벗어나는 것을 방지하기 위하여 전극사이에 두께 5[mm] 지름 10.5[mm]의 원통형 투명 아크릴을 만들어 그 안에 전극을 놓았다. 파티클이 스페이서에 부착했을 경우에 발생하는 부분방전신호를 분석하기 위하여 모의 스페이서는 아크릴로 제작하였다.

### 2.2 실험 방법

본 논문에서는 제작한 모의 GIS 챔버에 파티클의 상태를 모의한 전극을 삽입시켰다. 본 논문에서 모의한 전극의 모양은 4가지 경우로 파티클이 전극에 부착한 경우, 파티클이 외함에 부착한 경우, 파티클이 스페이서에 부착한 경우, 파티클이 자유운동을 하는 경우로 모의하였으며 이때 전극간의 거리는 12 [mm]로 하였고 파티클의 크기는 지름 0.56[mm] 길이 5[mm]의 파티클을 이용하였다. 그림 2는 위의 4가지 경우를 그림으로 나타낸 것이다.

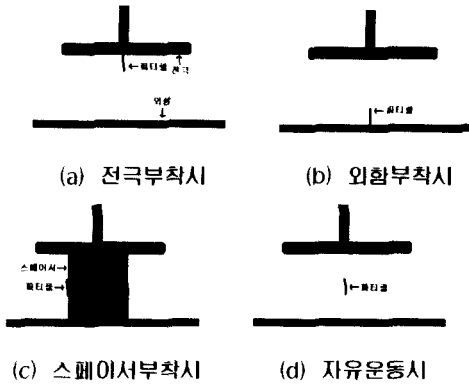


그림 2 파티클의 상태에 따른 전극모양  
Fig. 2 Electrode shape according to particle states

그림 2의 전극을 챔버에 삽입한 후 밀폐시킨 다음 진공 펌프로  $1 \times 10^{-3}$  [torr]까지 진공을 한 후 SF<sub>6</sub> 가스를 0.1[Mpa] 넣어 실험하였다.

이 때 측정할 항목은 각각의 전극에 따른 절연과 파괴전압과 전압인가에 따른 방전량 등을 측정하였다. 절연과파괴전압 측정은 1[kV/sec]의 속도로 전압을 인가하며 파괴전압을 구했으며, 각각의 전극에서 5번 이상 측정하여 평균값을 대표 값으로 삼았다. 또한, 방전량 측정은 절연과파괴가 일어날 때까지 각각의 전압에 따라 발생하는 방전량을 기록하였으며, 평균값을 대표 값으로 삼았다.

또한, 인가전압에 따라 방전량이 다르게 발생하므로 본 논문에서는 방전개시전압부터 절연과파괴전압까지를 10등분하여 10[%]인 전압을 초기부분방전전압 (Initial Partial Discharge Voltage), 40[%]인 전압을 전기부분방전전압 (Developing Partial Discharge

Voltage), 70[%]인 전압을 후기부분방전전압 (Later Partial Discharge Voltage), 90[%]인 전압을 말기부분방전전압 (Close Partial Discharge Voltage)으로 정의하였다. 표 1은 파티클의 상태에 따른 각각의 부분방전 전압을 나타낸 것이다.

표 1. 파티클 상태에 따른 부분방전전압 (단위: kV)  
Table 1. Partial discharge voltage according to particle states (unit: kV)

부분방전 전압 / 파티클상태	초기 (10[%])	전기 (40[%])	후기 (70[%])	말기 (90[%])
전극 부착시	17	23	29	33
외함 부착시	17	23	29	33
스페이서 부착시	20	26	32	35
자유운동시	18	22.5	27	29

부분방전신호를 얻기 위하여 파티클의 상태와 각각의 인가전압에서 각각 3회 이상 실험하였다.

### 2.3 통계적 연산자

자료의 분포를 정량적으로 나타내는 대표적인 특징 파라미터에는 왜도(歪度, skewness), 첨도(尖度, kurtosis), 비대칭(asymmetry) 그리고 교차 상관계수 (cross-correlation) 등이 있다. 본 논문에서는 왜도, 첨도, 비대칭 그리고 교차상관계수를 이용하여 파티클의 상태에 따른  $\Phi$ -Q 분포를 정량적으로 나타내었다. 다음 식은 본 논문에서 이용한 통계적 연산자들의 정의 식이다[8].

왜도  $Sk$ 와 첨도  $Ku$ 의 값은 다음과 같다.

$$Sk = \frac{\sum(x_i - \mu)^3 \cdot p_i}{\sigma^3} \quad (1)$$

$$Ku = \frac{\sum(x_i - \mu)^4 \cdot p_i}{\sigma^4} - 3 \quad (2)$$

여기서  $x_i$ 는 측정값,  $\mu$ 는  $x_i$ 의 평균값,  $p_i$ 는  $i$ 번째 위상각에서  $x_i$ 가 발생할 확률,  $\sigma$ 는 표준편차를 나타낸다.

비대칭  $asy$ 의 값은 다음과 같다.

$$asy = \frac{Q_s^-/N^-}{Q_s^+/N^+} \quad (3)$$

여기서  $Q_s^+$ 와  $Q_s^-$ 는 전압 주기의 양의 반주기와 음의 반주기의 평균펄스의 방전 총량을 나타낸 것이다. 또한,  $N^+$ ,  $N^-$ 는 전압주기의 양의 반주기와 음의 반주기의 평균펄스의 방전량의 개수이다.

교차 상관계수  $CC$ 는 다음과 같다.

$$CC = \frac{\frac{1}{N} \sum (x_i - \mu_x)(y_{i+k} - \mu_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (4)$$

여기서  $\mu_x, \mu_y$ 는 각각  $x, y$ 의 평균치이고,  $\sigma_x, \sigma_y$ 는 각각  $x, y$ 의 표준편차이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 $\emptyset$ -Q-N 분포 분석

파티클 상태에 따른 부분 방전신호를  $\emptyset$ -Q-N으로 분석하기 위하여 GIS내 파티클이 전극에 부착되어 있는 경우, 외함에 부착되어 있는 경우, 스페이서에 부착되어 있는 경우, 파티클이 자유운동하는 경우에 대하여 살펴보았다.

파티클이 전극에 부착시 초기부분방전전압, 전기부분방전전압, 후기부분방전전압, 말기부분방전전압에서 나타난  $\emptyset$ -Q-N 분포를 그림 3에 나타내었다.

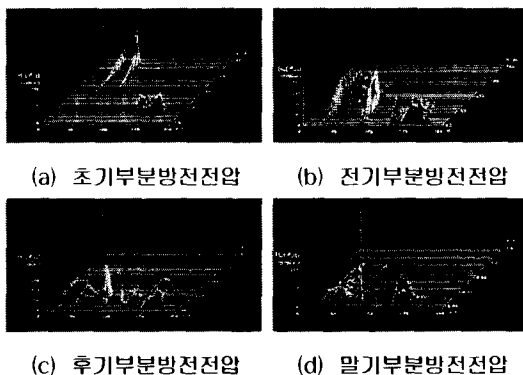


그림 3. 전극에 파티클 부착시  $\emptyset$ -Q-N 분포  
Fig. 3.  $\emptyset$ -Q-N distribution according to particle on electrode

그림 3에서 보듯이 전극에 파티클 부착시 나타난  $\emptyset$ -Q-N 분포를 양의 반주기와 음의 반주기로 나누어 살펴보면, 먼저 양의 반주기의 경우 초기, 전기부분방전전압에서는 분포 중심이 약  $90^\circ$  내외에서 발생하고 있으며  $90^\circ$ 를 중심으로 주로 교집합( $\cap$ )의 형태로 발생하고 있다. 또한 말기부분방전전압에서는 분포 중심이 두 번 발생하고 있다.

한편, 음의 반주기에서 나타난 분포는 전반적으로 양의 반주기에 비해 크기가 작은 부분방전이 집중적으로 발생하고 있다. 전체적으로 양의 반주기의 부분방전은 음의 반주기의 부분방전에 비하여 부분방전의 크기가 상대적으로 크게 발생하였다.

파티클이 외함 부착시 초기부분방전전압, 전기부분방전전압, 후기부분방전전압, 말기부분방전전압에서 나타난  $\emptyset$ -Q-N 분포를 그림 4에 나타내었다.

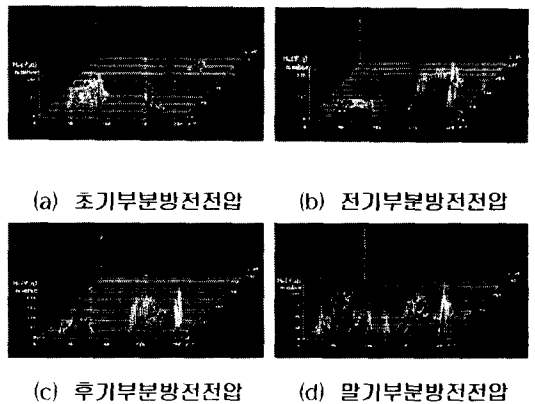


그림 4. 외함에 파티클 부착시  $\emptyset$ -Q-N 분포  
Fig. 4.  $\emptyset$ -Q-N distribution according to particle on enclosure

그림 4에서 보듯이 양의 반주기에서는 크기가 작은 부분방전이 집중적으로 발생하고 있다. 한편 음의 반주기에서는 약  $270^\circ$  부근에서 분포중심이 나타나고 있으며 초기, 전기부분방전전압에서는 그 모양이 교집합( $\cap$ )의 형태로 발생하고 있다. 그리고 말기부분방전전압에서는  $270^\circ$  전후에서 두 개의 피크가 나타나고 있다.

전체적으로 음의 반주기의 부분방전은 양의 반주기의 부분방전에 비하여 대체적으로 부분방전의 크기가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 이런 부분방전 패턴은 파티클이 전극에 부착하였을 경우의 부분방

전패턴과 반대되는 모습으로 파티클이 전극에 부착시 양의 반주기와 파티클이 외함에 부착시 음의 반주기의 모습이 유사한 분포를 나타내고 있다.

파티클이 스페이서에 부착시 초기부분방전전압, 전기부분방전전압, 후기부분방전전압, 말기부분방전전압에서 나타난  $\phi$ -Q-N 분포를 그림 5에 나타내었다.

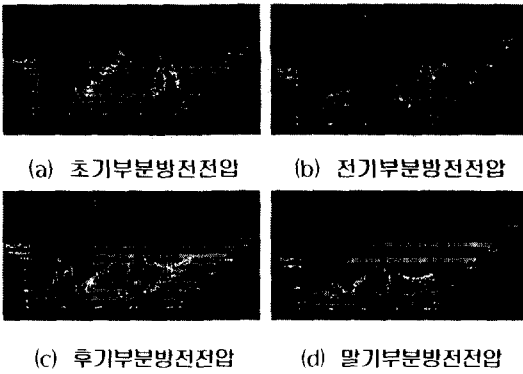


그림 5. 스페이서에 파티클 부착시  $\phi$ -Q-N 분포  
Fig. 5.  $\phi$ -Q-N distribution according to particle on spacer

그림 5에서 보듯이 파티클이 스페이서에 부착한 경우에는 양의 반주기와 음의 반주기에서 부분방전의 크기가 비교적 유사하게 발생하고 있으며, 전기, 후기, 말기 부분방전전압에서는 작은 방전량에서는 위상폭이 넓고 발생수도 많지만, 방전량이 커지면 위상폭도 좁아지고 방전 발생횟수도 줄어드는 삼각형 형태( $\Delta$ )의 파형이 주로 나타난다.

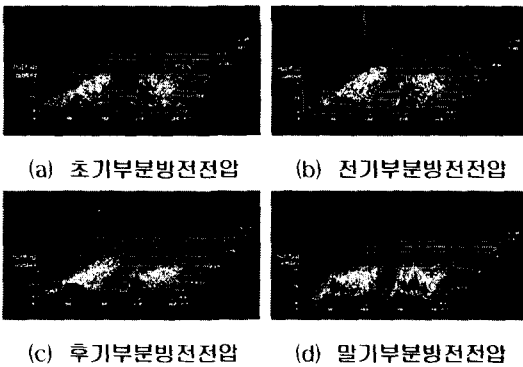


그림 6. 파티클 자유운동시  $\phi$ -Q-N 분포  
Fig. 6.  $\phi$ -Q-N distribution according to crossing particle

파티클이 자유운동시 초기부분방전전압, 전기부분방전전압, 후기부분방전전압, 말기부분방전전압에서 나타난  $\phi$ -Q-N 분포를 그림 6에 나타내었다.

그림 6에서 보듯이 분포중심은 양의 반주기에서는  $90^\circ$  주위, 음의 반주기에서는  $270^\circ$  주위에서 발생하고 있으며 양의 반주기와 음의 반주기에서의 부분방전의 크기가 거의 비슷하여 파티클의 상태 4가지 중 부분방전 패턴이 가장 유사함을 알 수 있다. 그 형태로는 모든 부분방전전압에서 작은 방전량에서는 위상폭이 넓고 방전 발생횟수도 많지만, 방전량이 커지면 위상폭도 좁아지고 방전 발생횟수도 줄어드는 폭 넓은 삼각형 형태( $\Delta$ )의 파형이 주로 나타난다. 또한 부분방전 분포의 형태를 전체적으로 보면 밀(密)한 경향을 보이고 있다.

### 3.2 $\phi$ -Q 분포의 통계적 연산자별 특성

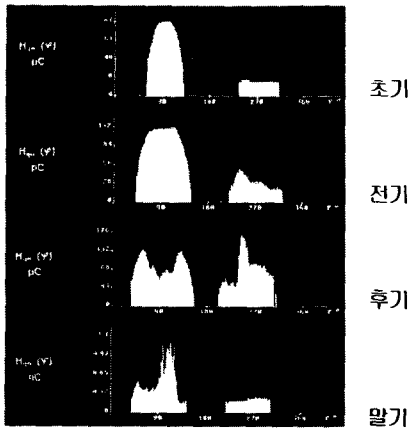
파티클 상태에 따른 부분방전 신호를 정량적으로 분석하기 위해  $\phi$ -Q 분포의 통계적 연산자별 특성치를 분석하였다. 그림 7은 GIS내 파티클의 상태에 따른 평균 방전량의  $\phi$ -Q 분포를 나타낸 것이다. 각각의 상태에서 초기, 전기, 후기, 말기부분방전전압 일때의 분포를 나타내었다.

각각의 파티클 상태에 따른 왜도 특성은 데이터의 분포가 기준값(중위수)을 중심으로 좌측이나 우측으로 치우쳐 있는 정도를 나타내는 척도이다. 그림 8은 평균 방전량의 왜도를 나타낸 것이다.

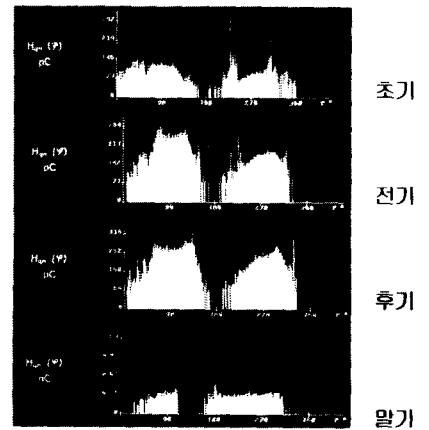
그림 8에서 볼 수 있는 것처럼 왜도는 파티클이 전극에 붙어 있을 경우 양의 반주기(Elc+)와 음의 반주기(Elc-) 및 파티클이 외함에 붙어 있을 경우 양의 반주기(Enc+)와 음의 반주기(Enc-)는 그 값이 양으로 나타났으며, 파티클이 스페이서에 붙어 있을 경우 양의 반주기(Spc+)와 음의 반주기(Spc-) 및 파티클이 자유운동하고 있을 경우 양의 반주기(Cro+)와 음의 반주기(Cro-)는 그 값이 음으로 나타났다.

평균 방전량에서 대부분의 왜도 값이  $\pm 0.1$  이하에 존재하는데 파티클이 스페이서에 붙어있는 양의 반주기에서는 왜도 값이 약  $-0.3$ 에 가깝게 나타나 다른 것들의 약 3배정도 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이것은 스페이서 양의 반주기에서는 평균치 보다 더 큰 위상각에서 많이 나타나고 있다는 것을 보여준다.

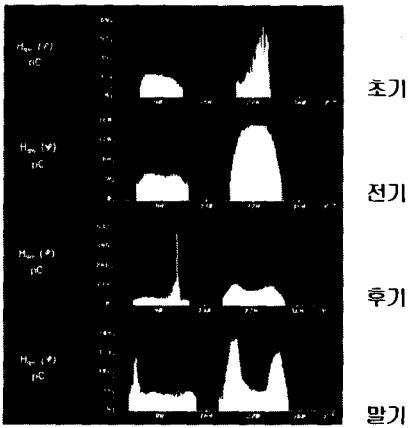
GIS내 파티클의 상태에 따른 부분방전 신호의 분석



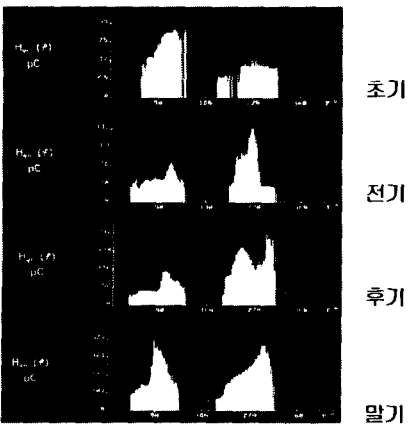
(a) 전극부착시



(d) 자유운동시



(b) 외함부착시



(c) 스페이스 부착시

그림 7 파티클 상태에 따른  $\phi$ -Q 분포

Fig. 7  $\phi$ -Q distribution according to particle states

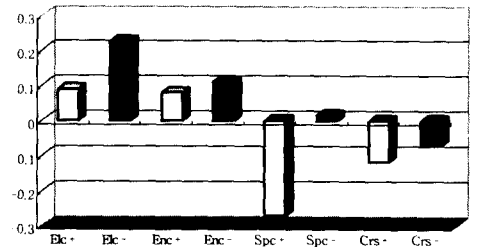


그림 8. 파티클의 상태에 따른 평균 방전량의 왜도 특성  
Fig. 8. Skewness characteristic of mean discharge according to particle states

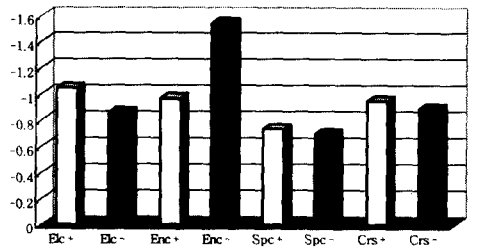


그림 9. 파티클의 상태에 따른 평균 방전량의 첨도 특성  
Fig. 9. Kurtosis characteristic of mean discharge according to particle states

또한, 파티클이 전극에 부착한 경우의 음의 반주

기에서는 왜도 값이 약 +0.2정도로 측정되었는데 이것은 다른 것보다 약 2배정도 큰 값이다.

파티클의 상태에 따른 침도 특성은 데이터의 분포가 평균치 부근에서 얼마나 집중적으로 분포되어 있는지, 또는 양쪽 꼬리에 어느 정도 길게 뻗어 있는지를 측정하는 척도이다. 그림 9는 파티클의 상태에 따른 평균 방전량의 침도를 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 파티클이 존재하는 모든 상태에서 침도 값이 음으로 나타났다. 이것은 파티클에 의한 부분방전신호의 분포 특성은 표준정규분포 보다 평평하다는 의미이다. 즉, 전극내에 파티클이 존재할 경우에는 어느 특정 위상에 방전량이 집중되어 있지 않고 표준정규분포 보다 넓은 위상에 걸쳐 방전이 발생한다는 의미이다.

침도에서는 파티클의 상태에 따른 두드러진 특성이 없었으며 파티클 존재시에는 반드시 음의 값을 가지게 된다.

파티클의 부착상태에 따른 비대칭 특성은 부분 방전의 인가전압 주기중 양의 반주기와 음의 반주기의 방전량의 비를 나타낸 것이다. 그림 10은 파티클의 상태에 따른 평균 방전량의 비대칭을 나타낸 것이다.

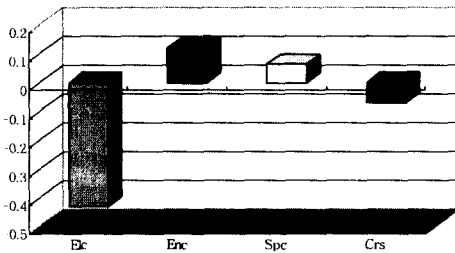


그림 10. 파티클의 상태에 따른 평균 방전량의 비대칭 특성

Fig. 10. Asymmetry characteristic of mean discharge according to particle states

그림에서 보듯이 파티클이 전극에 붙어 있을 경우(Elc)와 파티클이 자유운동하고 있을 경우(Crs)에는 그 값이 음으로 나타났으며, 파티클이 외함에 붙어 있을 경우(Enc)와 파티클이 스페이스에 붙어 있을 경우(Spc)에는 그 값이 양으로 나타났다.

파티클이 외함이나 스페이스 혹은 자유운동할 경우의 비대칭은 그 값이  $\pm 0.1$  범위에 속해 있으나 파티클이 전극에 붙어 있을 때의 값은 약 -0.4 정도로

크게 발생하는 것을 보여주고 있다. 비대칭 값이 음으로 나타난 것은 파티클이 전극에 붙어 있을 때 양의 반주기 방전량이 음의 반주기 방전량보다 많다는 것을 의미한다.

파티클의 부착상태에 따른 교차 상관계수 요소 특성은 양의 반주기 동안의 데이터 분포와 음의 반주기 동안의 데이터 분포의 모양이 얼마나 차이가 나는지를 나타낸 척도이다. 그림 11은 파티클의 상태에 따른 평균 방전량의 교차 상관계수 특성을 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 대부분의 분포에서 0.4 정도의 값을 나타내고 있으나 파티클이 자유운동 하는 경우(Crs)는 그 값이 약 0.7 이상으로 나타나고 있다. 교차 상관계수 요소가 1.0에 가까워진다는 의미는 양의 반주기의 분포와 음의 반주기의 분포가 더 일치한다는 것을 의미한다. 따라서 교차 상관계수 요소의 값이 0.7이 넘는 경우는 파티클이 자유운동하고 있다는 의미이다.

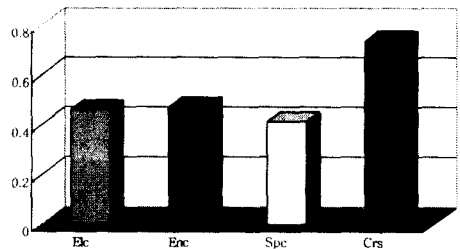


그림 11. 파티클의 상태에 따른 평균 방전량의 교차 상관계수 특성

Fig. 11. Cross-correlation characteristic of mean discharge according to particle states

#### 4. 결론

본 논문에서는 GIS내 파티클의 상태에 따른 부분 방전신호의 특성을  $\phi$ -Q-N 분포를 통해 형태적인 분석과  $\phi$ -Q 분포의 통계적 연산자를 이용한 정량적인 분석으로 행하였으며, 파티클의 상태에 따른 결론은 다음과 같다.

- (1) 파티클이 전극에 부착시  $\phi$ -Q-N 분포는 양의 반주기에서 최대 방전이 발생하였고, 양의 반

주기 방전량의 형태는 교집합 형태가 주로 나타났다. 또한  $\phi$ -Q 분포의 통계적 연산자의 경우 음의 반주기의 왜도가 약 +0.2로 다른 파티클의 상태에 비해 약 2배 큰 값이다.

- (2) 파티클이 외함에 부착시  $\phi$ -Q-N 분포는 음의 반주기에서 최대 방전이 발생하였고, 음의 반주기 방전량의 형태는 교집합 형태가 주로 나타났다. 이때 음의 반주기의 방전량 형태는 파티클이 전극에 부착하였을 경우의 양의 반주기의 형태와 유사한 형태를 가지고 있었다.
- (3) 파티클이 스페이서에 부착하였을 경우  $\phi$ -Q-N 분포는 양의 반주기와 음의 반주기에서 고루 나타났고, 분포 형태는 삼각형 형태가 주로 나타났다. 또한  $\phi$ -Q 분포의 통계적 연산자의 경우 두드러진 특징으로는 양의 반주기의 왜도 값이 약 -0.3 으로 다른 분포에 비해 3배 큰 값을 갖는다.
- (4) 파티클이 자유운동시  $\phi$ -Q-N 분포는 양의 반주기와 음의 반주기에서 고루 나타났다. 또한 자유운동시의  $\phi$ -Q-N 분포는 다른 분포와 비교하여 볼 때 방전발생 위상영역이 초기 부분방전전압에서도 넓게 나타났으며 전체적으로는 폭넓고 밀(密)한 삼각형 형태가 주로 나타났다. 또한  $\phi$ -Q 분포의 통계적 연산자의 경우 교차 상관계수가 다른 값에 비해 2배 큰 약 +0.7 의 값을 가진다.

이상의 결과로부터 부분방전신호를 받아  $\phi$ -Q-N 분포의 형태적인 분석과  $\phi$ -Q 분포의 통계적 연산자를 이용한 정량적인 분석을 통하여 GIS내 파티클의 상태가 구별 가능함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 광 회로 외, "모의 GIS 내에서 파티클 재질에 따른 절연파괴 특성", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp. 67-69, 1997.
- [2] H.Kuwahara, S.Inamura, T.Watanabaeand Y. Arahata, "Effect of Solid Impurities on Break-down in Compressed SF<sub>6</sub> Gas", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, pp.1546-1555, 1974.
- [3] S.Shiono, S.Takeuchi and K.Okumura, "Preventive Maintenance on Insulation of GIS", IEEE High Voltage Study Committee, HV 84-1, 1984.
- [4] T.Tanaka and T.Okamoto, "Analysis of q-n and  $\phi$ -q Characteristics of Partial Discharge in Several Electrode

Systems" IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation 1980.

- [5] W. Ziomek and E.Kuffel, "Activity of Metallic Particles in Prebreakdown State in GIS", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.4 No.1, pp39-43, 1997.
- [6] Edward Galski, "Digital Analysis of Partial Discharges", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.2 No.5, pp822-837, 1995.
- [7] J.S.Pearson, O.Farish, B.F.Hampton, M.D.Judd, D.Templeton, B.M.Pryor, and I.M.Welch, "Partial Discharge Diagnostic for Gas Insulated Substations", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.2 No.5, pp893-905, 1995.
- [8] Andrej Krivda, "Recognition of Discharge- Discrimination and Classification ", Delft Univ. Press, pp.11-25, 1995.

### ◇ 저자소개 ◇

김 경 화 (金庚和)

1958년 7월 27일생. 1985년 숭실대 전기공학과 졸, 1991년 연세대 대학원 졸(석사), 1997년 숭실대 대학원 박사과정 수료, 현재 홍성기능대 전기과 교수.

이 동 준 (李東俊)

1971년 12월 27일생, 1995년 숭실대 공대전기공학과 졸업, 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

곽 희 로 (郭熙魯)

1942년 3월 1일생. 1967년 서울공대 전기공학과 졸, 1978년 호주 New South Wales 대학원 전기공학과 졸(석사). 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸(박사). 1986년 M.I.T Visting Scientist. 현재 숭실대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 부회장.