

### 3상 일괄형 GIS 부분방전 진단 알고리즘 적용 및 평가

김성일, 최영찬, 정승완, 백병산, 권중록, 홍철용  
현대중공업

#### Application and evaluation of PD diagnostic algorithm for 3-phase in one enclosure type GIS

Seong-IL Kim, Young-Chan Choi, Seung-Wan Jung, Byung-San Baek, Joong-Lok Kwon, Cheol-Yong Hong  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

**Abstract** - 본 논문은 3상 일괄형 GIS의 부분방전 진단을 위해 새롭게 개발한 진단 알고리즘에 관한 것이다. 진단 알고리즘 개발을 위해, 먼저 실시간 부분방전 데이터를 행벡터 및 열벡터로 구성하고 각각의 벡터에서 통계 특징량 및 질감 특징량을 추출하였다. 다음으로 이들 특징량을 GA-NN(Genetic Algorithm - Neural Network) 학습에 적용하여 진단 알고리즘을 구성하였다. 또한 진단 알고리즘의 위상독립성은 부분방전 신호의 위상변화에 관계없이 진단결과가 일치하는 것을 확인함으로써 검증하였다.

개발한 진단 알고리즘의 실증 평가를 위해, 부분방전이 발생되고 있는 국내 3상 일괄형 GIS 변전소에 적용하였다. 적용 결과, 위상에 관계없이 부분방전 발생원을 정확히 진단함을 확인하였고, 이를 통해 개발 알고리즘의 우수성을 입증하였다.

#### 1. 서 론

GIS(Gas Insulated Switchgear) 절연사고가 발생하면 사회적, 경제적 파급효과가 심각하기 때문에, 사고를 미연에 방지하기 위한 목적으로 GIS 예방진단시스템에 대한 관심과 적용이 확대되고 있다. 이에 한편에서는 신규 설치되는 170kV 이상의 GIS에 UHF(Ultra High Frequency) 센서 설치를 의무화하고 있으며, 최근에는 민수용 변전소를 중심으로 170kV 이하 3상 일괄형 GIS에도 예방진단시스템이 확대 적용되고 있다.

기존의 부분방전 진단 알고리즘은 부분방전의 위상특성을 기반으로 하는 PRPD(Phase Resolved Partial Discharge)에서 위상정보를 포함하는 특징량을 추출하여 GIS 내부에서 발생한 결함원을 추정하고 있다[1-2]. 그러나 3상 일괄형 GIS의 경우 부분방전을 발생시킨 전압원 확인 및 현장에서의 위상동기가 어렵기 때문에, 기존의 362kV 이상 단상형 GIS 진단에 적용되던 위상기반의 부분방전 진단 알고리즘을 신뢰할 수 없다.

이러한 문제점 때문에 3상 일괄형 GIS 부분방전 진단에 대한 연구가 일부 수행되었으나 국내에서 이를 상용화한 사례는 없는 것으로 조사되고 있다[3].

따라서 본 논문에서는 3상 일괄형 GIS에 적합한 부분방전 진단 알고리즘을 개발하기 위해 위상 독립형 특징량을 추출하였고, 이 특징량을 GA-NN 학습에 적용하여 알고리즘을 구성하였다. 또한 위상 독립성 검증을 위해 위상변환된 부분방전 데이터를 진단하였으며, 현장적용을 통해 알고리즘을 실증 및 평가하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 위상 독립형 특징량

기존의 단상형 GIS 부분방전 진단 알고리즘은 부분방전 신호를 PRPD 분석법으로 나타낸 다음 특징량을 추출한다. 그러나 이들 특징량들은 위상정보를 포함하기 때문에 위상정보를 신뢰할 수 없는 3상 일괄형 GIS에는 적용할 수 없다. 따라서 상기 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같은 과정을 통해 위상독립 특징량을 추출하였다.

##### 2.1.1 부분방전 Matrix 구성

센서를 통해 들어온 부분방전 신호는 디지털 신호처리되어 M×N 포맷의 Matrix로 구성된다. 이러한 부분방전 Matrix는 각 픽셀이 부분방전의 크기 정보를 가지고 있으므로, 이 Matrix를 부분방전 크기 Matrix( $M_M$ )라 한다. 이를 바탕으로 각 픽셀에서 부분방전 발생 여부를 파악하는 부분방전 발생 Matrix( $M_O$ )를 구성한다. 구성된 Matrix에서 위상독립 특징량을 추출하기 위한 전단계로서,  $M_M$ ,  $M_O$  각각에 대해 행벡터와 열벡터를 다음과 같은 방법으로 구성한다[4].

①  $M_M$ 과  $M_O$ 의 각 열을 합하여  $1 \times n$  크기의 행벡터  $rv_{Mj}$ ,  $rv_{Oj}$  생성

$$rv_{Mj} = \sum_{i=1}^m a_{Mij} \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\underline{rv}_M = [rv_{M1} \ rv_{M2} \ rv_{M3} \ \dots \ rv_{Mn}]$$

$$rv_{Oj} = \sum_{i=1}^m a_{Oij} \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\underline{rv}_O = [rv_{O1} \ rv_{O2} \ rv_{O3} \ \dots \ rv_{On}]$$

②  $M_M$ 과  $M_O$ 의 각 행을 합하여  $m \times 1$  크기의 열벡터  $cv_{Mi}$ ,  $cv_{Oi}$  생성

$$cv_{Mi} = \sum_{j=1}^n a_{Mij} \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$\underline{cv}_M = [cv_{M1} \ cv_{M2} \ cv_{M3} \ \dots \ cv_{Mm}]'$$

$$cv_{Oi} = \sum_{j=1}^n a_{Oij} \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$\underline{cv}_O = [cv_{O1} \ cv_{O2} \ cv_{O3} \ \dots \ cv_{Om}]'$$

##### 2.1.2 위상 독립형 특징량 추출

상기 행벡터와 열벡터에서 서로 다른 성격의 특징량인 통계, 질감 및 기타 특징량을 각각 추출하였다. 여기서 통계 특징량은 행벡터, 열벡터로 구성된 부분방전 신호의 평균, 표준편차 등의 통계적 지수를 적용하여 정량화시킨 특징량이며, 질감 특징량은 질감적 특성 지수를 적용하여 정량화시킨 특징량이다. 끝으로 기타 특징량은 부분방전의 크기 평균과 발생 평균 등을 정량화시킨 특징량이다.

<표 1> 위상 독립형 특징량

PD Matrix	Vector formulation	Extracted Features		
		Statistical features	Texture features	Other features
PD Magnitude Matrix	Row vector	Average ; Covariance ; Skewness ; Kurtosis ; etc.	Entropy ; etc.	PD average ; etc.
	Column vector	Average ; Covariance ; Skewness ; Kurtosis ; etc.		
PD Occurrence Matrix	Row vector	Average ; Covariance ; Skewness ; Kurtosis ; etc.	Entropy ; etc.	PD average ; etc.
	Column vector	Average ; Covariance ; Skewness ; Kurtosis ; etc.		

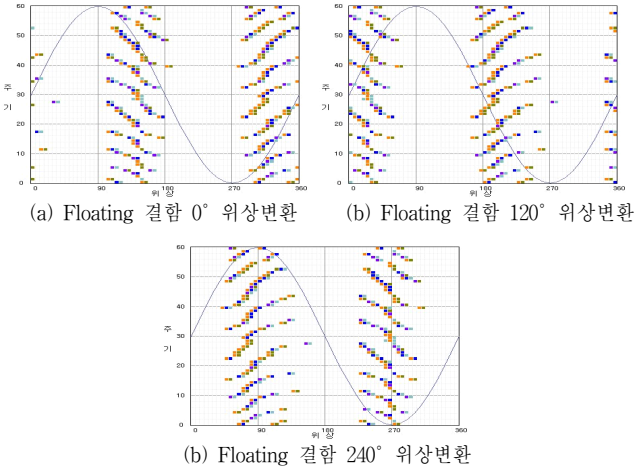
##### 2.2 GA-NN 학습

기존의 진단 알고리즘은 대부분 NN 학습만을 통하여 구성되었는데, 이때 NN의 파라미터들은 간략화된 "Trial and Error" 방식 또는 설계자의 경험에 근거하여 결정된다. 이는 최적화되지 않은 NN으로 진단 결과를 도출하는 것으로 진단 알고리즘 신뢰성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 학습과 동시에 최적의 NN 파라미터를 찾아주는 GA-NN 기법을 적용하였다. 이때 적용된 GA의 목적함수는 신경망 학

습오차 최소화이며, 이를 위해 최적화되는 NN 변수는 은닉층 뉴런의 수, 학습률(learning rate), 모멘텀(momentum) 등이다.

### 2.3 개발 알고리즘의 위상독립성 검증

개발 알고리즘에 대해서 그림 1과 같이 임의로 120°씩 위상을 변환시킨 1,100개의 부분방전 데이터에 대한 진단일치율 분석을 통해 위상독립성을 검증하였다.



<그림 1> 부분방전 데이터 위상변환 예

<표 2> 개발 알고리즘 적용 진단일치율

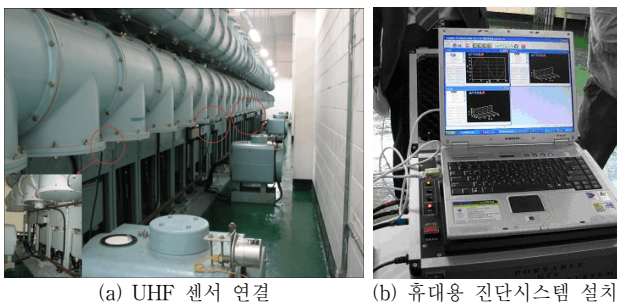
Defects	Diagnosis Results (0°, 120°, 240°)						ARD[%]
	FE	Corona	FMP	VS	CP N	M N	
Floating Electrode	196	3	0	1	0	0	98
Corona	0	200	0	0	0	0	100
Free Moving Particle	0	0	200	0	0	0	100
Void in a Spacer	0	1	0	199	0	0	99.5
Cell Phone Noise	0	1	0	10	86	3	86
Motor Noise	0	0	0	0	2	198	99
Total ARD (Agreement Rate for Diagnosis)							98.1

1,100개의 데이터를 각각 0°, 120°, 240° 위상변환 시킨 데이터에 대하여 진단한 결과, 진단일치율은 표 2와 같이 데이터의 위상변환과 관계없이 98.1%로 동일함이 확인되었으며, 이를 통해 개발 알고리즘의 위상독립성이 검증되었다.

### 2.4 개발 알고리즘 현장적용

#### 2.4.1 부분방전 측정 및 데이터 취득

절연체 결합에 의한 부분방전이 발생하는 것으로 추정되고 있는 현장에 그림 2와 같이 기 설치된 UHF 센서와 휴대용 부분방전 진단시스템을 연결하여 부분방전을 측정하여 데이터를 취득하였다.

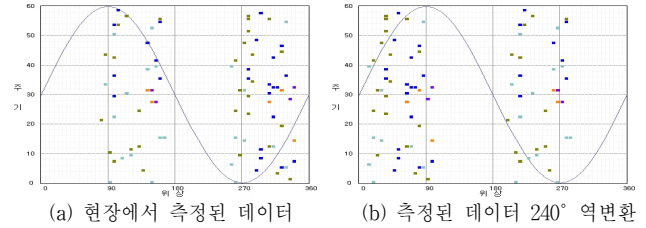


(a) UHF 센서 연결 (b) 휴대용 진단시스템 설치

<그림 2> 부분방전 측정을 위한 시스템 구성

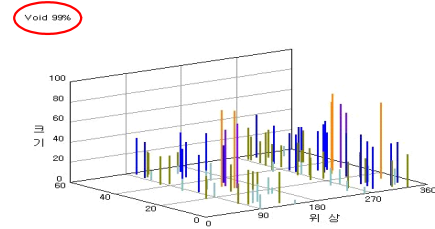
#### 2.4.2 측정 데이터 분석 및 진단

그림 3은 앞서 구성한 시스템을 통해 취득한 데이터로서 신호의 크기, 빈도 및 발생영역은 절연체 결합과 유사하다. 그러나 부분방전의 발생 위상은 1상함과 3상함에 발생하는 전형적인 절연체 결합이 아니라 약 240° 정도 위상 변환된 신호가 측정되었다. 따라서 측정된 데이터를 240° 이전의 위상으로 변환시킴으로써 측정된 데이터가 전형적인 절연체 결합임을 확인하였다.



<그림 3> 위상 역변환을 통한 취득데이터의 결합 추정

그림 4는 앞서 측정된 데이터에 개발 알고리즘을 적용한 결과이다. 적용 결과, 측정된 데이터가 전형적인 절연체 결합과 위상차가 있음에도 불구하고, 개발 알고리즘은 이 데이터를 절연체 결합(Void)으로 판정할 수 있음을 확인하였다.



<그림 4> 현장 측정 데이터에 대한 진단 결과

### 3. 결 론

본 연구에서는 3상 일괄형 GIS를 대상으로 하는 부분방전 진단 알고리즘을 개발하였으며, 현장에 적용하여 그 성능을 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- i) 부분방전 크기, 발생 Matrix로부터 행벡터, 열벡터를 각각 구성하고, 이들 벡터로부터 위상정보를 포함하지 않는 통계 특징량, 질감 특징량 및 기타 특징량을 추출하여 입력변수로 선정하였다.
- ii) 선정된 입력변수를 GA-NN 학습에 적용하여 학습오차가 최소가 되는 연결강도를 진단 알고리즘에 적용하였으며, 개발 알고리즘의 위상독립성은 1,100개의 위상변환 데이터를 이용하여 검증하였다.
- iii) 부분방전이 발생되고 있는 현장에 알고리즘을 적용한 결과, 위상과 관계없이 부분방전 발생원을 정확히 추정함을 확인하였으며, 이를 통해 개발 알고리즘의 우수성을 입증하였다.

본 연구를 통해 개발한 알고리즘은 GIS 예방진단시스템에 적용되어 170kV 3상 일괄형 GIS가 설치된 다수의 현장에서 GIS를 진단하고 있다. 향후 부분방전 신호를 이용한 진단 기술뿐만 아니라 GIS 위험도 평가 및 수명예측에 관한 연구를 수행할 계획이다.

#### [참 고 문 헌]

[1] Y. Choi and et al., "Development of automatic identification method for GIS PD defects diagnosis", IEEE Powertech 2007, pages 52, 2007  
 [2] F. Kreuger and et al., "Classification of Partial Discharges", IEEE Electrical Insulation, vol. 2, no. 5, 1995  
 [3] Y. Lim, J. Koo, "Comparative analysis of partial discharge pattern from different artificial defects by means of conventional phase-resolved partial discharge analysis and a novel chaotic analysis of partial discharge" Journal of the Korean Physical Society, vol. 42, no.6, page 755-764, 2003  
 [4] Y. Choi. and et al., "Development of phase-independent GIS PD diagnostic system", CIGRE SC A1 & D1 Joint Colloquium, 2007