

## 신경회로망을 이용한 부분방전 신호의 패턴분석

### The Analysis of PD Signal using Neural Network

김종서<sup>1,a</sup>, 박용필<sup>1</sup>, 천민우<sup>1</sup>

(Jong-Seo Kim<sup>1,a</sup>, Yong-Pil Park<sup>1</sup>, and Min-Woo Cheon<sup>1</sup>)

#### Abstract

Recently, GIS(Gas Insulated Switchgear) has been recognizing of importance on development of diagnosis technique which is happened problem on confidence for a long time use. Therefore, the measurement and analysis of PD with prior phenomenon of insulation breakdown is used many method of diagnosis for GIS.

In this paper, we simulate trouble condition in DS and analysis trouble signal to use electrical and mechanical methods, interpretation of detected signal has analysed with to use  $\phi-q-n$  patten and neural network. For this analysis, we have used the induction and AE(acoustic emission) sensors. For the simulation experiment, we make DS for 170 KV GIS and analyze the classification and characteristics of detected signals with the application of neural network algorithm.

**Key Words** : Partial Discharge(PD), Neural Network, Gas Insulated Switchgear(GIS), Disconnecter

#### 1. 서론

60년대 말부터 설치·운전되고 있는 GIS 설비의 경우, 최근 사용년수가 오래되면서 신뢰성에 문제가 발생되고 있어 절연진단기술의 개발이 중요하게 인식되고 있으며, 이에 따라 절연파괴의 전 현상인 부분방전의 측정 및 해석이 GIS 설비를 진단하는 방법으로 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 현장에서 전기적 검출법에 의한 PD 분석시 주변의 노이즈의 영향에 의하여 실제적인 이상 신호를 구분하기 어려운 것이 사실이다[2,4].

따라서 본 연구에서는 단로기에서 발생 가능한 고장 조건을 모의하여 부분방전을 발생시켜 전기적, 기계적 방법을 동시에 적용하여 이상신호를 분석하고자 하며, 검출된 신호특성의 해석은 유도성

센서와 초음파 센서를 적용하여 검출된 신호를 위상-크기-갯수( $\phi-q-n$ )에 따라 누적하여 이때 나타나는 여러 가지 패턴들을 분석하였다. 모의실험 설비는 현장에 설치된 자가용 170 kV GIS 단로기(DS)와 동일한 형태로 제작하여 구성하고, 그 검출된 신호는 신경회로망 알고리즘을 적용하여 분류 및 특성을 분석하였다.

#### 2. 시료제작 및 실험방법

##### 2.1 모델 단로기 제작

본 연구수행을 위하여 실시한 설문조사 결과 GIS의 여러 구성 부분중 가장 높은 사고 비율을 차지하고 있는 단로기(DS)의 고장 조건별로 나타나는 이상신호 특성분석을 위해 모의실험 시료장치를 170 kV, 31.5 kA의 GIS용 단로기(DS)를 모델링 하여 GIS 전문 제작회사에 의뢰하여 제작하였다. 본 연구를 위한 모의실험 시료는 3상 분리형 모델로 한 상(one phase)만을 독립적으로 제작하였으며, 이의 구성은 고압 인가를 위한 부싱 부분

1. 동신대학교 전기전자공학과  
(전남 나주시 대호동 252)

a. Corresponding Author : kjs227@chollian.net

접수일자 : 2003. 9. 25

1차 심사 : 2003. 10. 23

2차 심사 : 2004. 4. 2

심사완료 : 2004. 4. 9

과 1개의 단로기(DS) 그리고 2개의 접지개폐기(ES)를 조합하여 구성하였다.

크기는 4800 mm(길이) × 2625 mm(높이)이고, 지지용 가대에 운반이 용이한 절연바퀴를 부착한 구조로 하였다. 그림 1은 170 kV GIS용 단로기(DS)의 모의실험 개략도를 나타내었다.

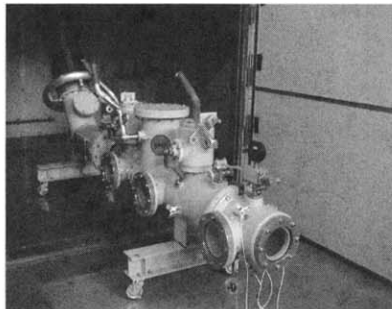
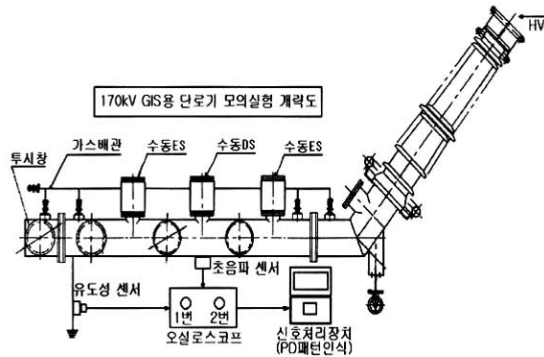


그림 1. 170 kV GIS용 단로기의 모의실험 설비.  
Fig. 1. Equipment of simulation of DS for GIS (170 kV).

## 2.2 실험방법

본 논문에서는 단로기의 고장신호 조건으로 극간gap(1mm) 및 침 전극, 그리고 고장조건이 없는 일반적인 상태에서 발생하는 이상신호를 부분방전 및 초음파 음향 센서를 사용하여 검출하고 그 패턴의 특성을 분석하였다. 신호의 측정에는 유도성 센서(Lemke Probe)와 초음파 음향 센서(PAC co, 10 kHz~1 MHz)를 적용하였으며, 인가전압은 고전압 설비(Hipotronics, max 200 kV)를 이용하여 30kV를 연속적으로 인가하였다.

초음파(AE) 신호는 Pre-Amp 및 Post-Amp를

통해 신호를 증폭하여 GPIB 보드를 이용해 오실로스코프(TDS 7404 A)를 제어하여 데이터를 측정하였고, 데이터의 분석을 위하여 LabVIEW 소프트웨어를 이용하여 신호검출 및 분석 프로그램을 개발하였다.

## 3. 실험 결과

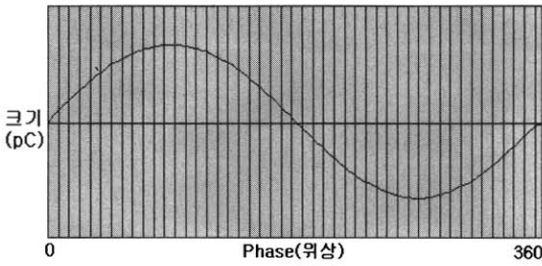
### 3.1 부분방전 검출특성

일반적인 절연체에서 발생하는 부분방전 신호는 비 주기적인 랜덤한 신호이며, 복잡한 패턴을 갖는다. 이런 신호를 일정 주기 이상 동일 위상에 누적하면 방전패턴의 재현성을 높일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이산치 값인 방전량을 고전적인 방법인 통계적 처리를 하지않고, 120회 반복 측정하여 얻은 60,000(500×120회)개의 입력 데이터를 위상에 대하여 누적하였으며,  $\phi-q-n$  을 적용하여 신경회로망 입력 파라메타의 요소로 사용하였다 [1-6].

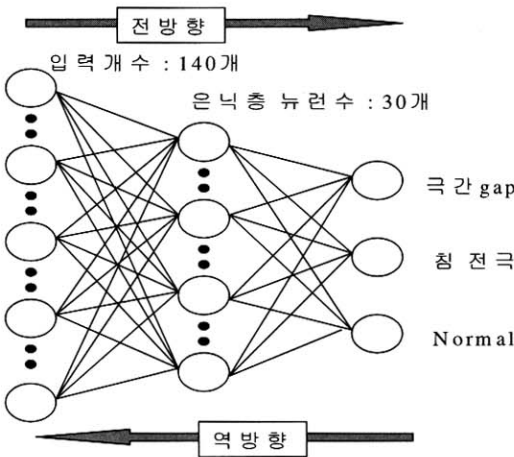
### 3.2 부분방전 패턴분석 알고리즘

부분방전 패턴인식을 위하여 적용한 신경회로망은 여러 알고리즘중 다층 구조를 가지는 역전파 학습 알고리즘(Back-Propagation Algorithm)을 이용하여 고장 조건별 취득 데이터를 그림 2와같이 변경하였다. 입력의 파라메타 갯수는 140개이고, 학습은 각 패턴별로 대표적인 신호들을 임의적으로 선정하여 실행하였다[4,5,7].

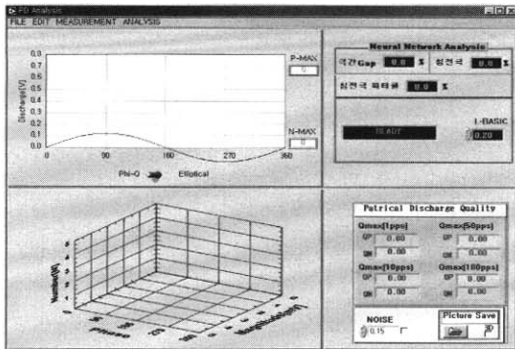
데이터의 분석은 위상-방전량에 발생 개수를 누적하여 이를 입력 데이터의 신호로 재처리 하였다. 중간층은 1개의 은닉층으로 구성하여 뉴런 갯수를 30개로 설정하였고, 출력층 뉴런은 앞에서 설명한 고장 source외에 이상신호가 없는 초기상태의 신호를 더하여 3개로 설정한 구조로 하였으며, 입력층, 은닉층, 출력층 사이의 활성화함수는 Sigmoid 전달함수를 사용하였다. 그림 2의 (a)는 패턴인식을 위한 입력패턴 선정방법이다. 이 방법은 위상을 140구간(418개÷3≈140)으로 나누고 각 구간별로 최대값을 선정하여 구하는 방식이며, 신경회로망의 적절한 학습을 위하여 최대 크기 1로 정규화 하였다. 학습은 그림 2의 (b)와 같이 역전파 알고리즘을 적용하였으며, 그림 2의 (c)는 오실로스코프의 제어 및 검출된 신호를 처리하는 분석 프로그램이다.



(a) 입력패턴 처리방법



(b) 신경회로망 알고리즘



(c) 신호취득 및 분석 프로그램

본 프로그램은 오실로스코프를 제어하는 측정부와 검출된 신호의 패턴을 분석하는 신경회로망 처리부, 그리고  $\phi-q-n$  표현 및 부분방전량으로 환산하는 부분 등 크게 3으로 구성되어 있다.

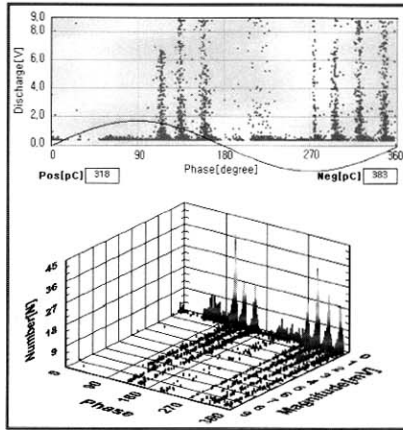
출력층 뉴런의 학습신호는 단로기의 가동자와 고정자 간격(극간 gap)이 1mm 일 경우 [1, 0, 0], 침 전극일 경우 [0, 1, 0], Normal일 경우 [0, 0, 1]로 설정하였다. 학습은 최소오차가 0.01 이하가 되면 입력 패턴이 학습된 것으로 판단하고, 프로그램을 종료하도록 하였다.

## 4. 결과

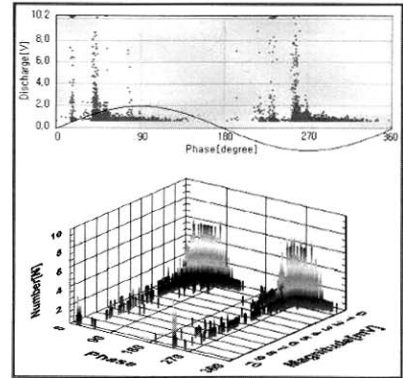
### 4.1 센서별 이상신호 측정결과

그림 2에 나타난 방법으로 극간 gap, 침 전극의 조건에 대해서 취득하여 분석한 패턴 결과를 이상 조건별로 위상-크기-갯수( $\phi-q-n$ )에 대하여 누적한 데이터를 2D와 3D로 표현하여 나타내었다. 실험결과를 분석하면 단로기의 고정자와 가동자가 1mm 이격되어 있을 경우 연속적인 아크에 의한 방전에 의해 이상신호가 검출되지만, 접촉 및 완전히 삽입되었을 경우에는 GIS의 정격전압인 170 kV까지 인가하여도 특징적인 신호가 나타나지 않았는데 이는 단로기의 가동자와 고정자가 접촉되었을 경우 이들 단말부가 완전한 굴곡을 이루고 있어 전계를 완화시키므로, 고전압에 의하여 접촉시 거의 통전의 상태로 되는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 장시간 접촉의 경우는 발열등에 의하여 특징적인 신호가 검출될 것으로 분석된다. 그림 3의 모의실험 결과 데이터를 분석하면, 극간 gap 1 mm 조건의 경우 유도성 센서는  $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ,  $270^{\circ} \sim 360^{\circ}$ , 초음파 센서는  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ,  $200^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 부분에서 특징적인 신호의 형태가 관찰되며, 침 전극에서는 유도성 센서의 경우  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  부위에서 중점적으로 이상 신호가 발생하고 있으며, 초음파 음향은  $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$  구간에 걸쳐 넓게 나타나고 있다. 이것은 음향 특성 상 울림등에 의한 영향으로 분석된다. 결과적으로, 극간 gap(1 mm)와 침 전극의 검출패턴의 형태가 명확히구별되는 특징적인 분포패턴을 가지고 있음을 관찰할 수 있다.

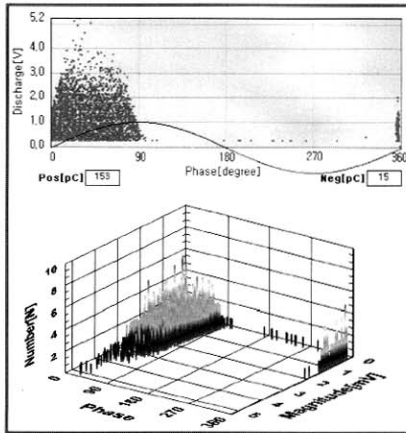
그림 2. 신호처리 프로그램 및 데이터 처리 방법.  
Fig. 2. Program of signal process and method of data process.



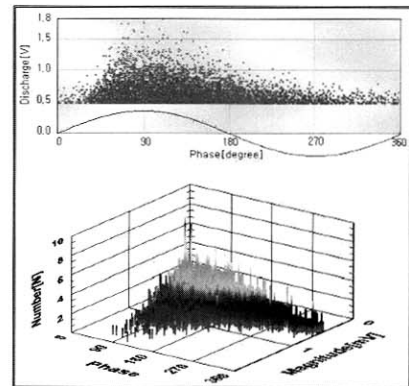
(a) 극간 gap(1 mm)



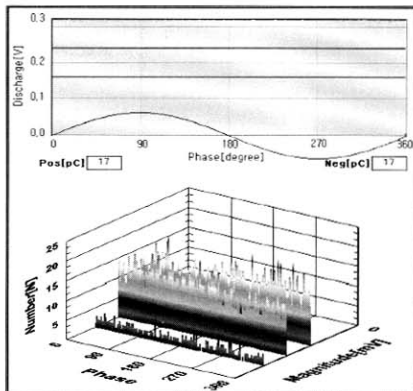
(a) 극간 gap(1 mm)



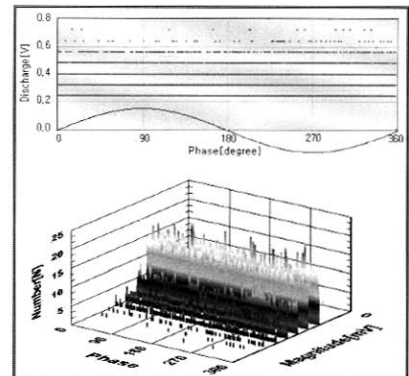
(b) 칩 전극



(b) 칩 전극



(c) 일반적인 경우



(c) 일반적인 경우

1) 유도성 센서를 이용한 부분방전 신호:  
 $\phi-q-n$

2) 초음파 센서를 이용한 부분방전 신호:  
 $\phi-q-n$

그림 3. 센서별 단로기 이상신호 측정 결과.

Fig. 3. A measuring result of trouble signal for each of sensors.

#### 4.2 이상신호의 패턴인식

위에서 검토한 알고리즘을 이용하여 3가지의 조건별로 구분하고, 학습을 시킨 후 개발 프로그램에 적용하여, 데이터의 측정과 동시에 검출 신호를 분석할 수 있도록 하였다.

표 1에 나타낸 바와 같이 각각의 조건에 30개의 데이터를 적용한 결과 유도성 센서 및 초음파 음향 센서로 검출한 인식 결과는 표 1과 같이 나타났다. 표 1에서 초음파 센서의 경우 침 전극에서 인식이 75 %로 낮게 나타났는데, 이것은 부분방전의 연속적으로 발생하고 또한 부분방전 검출량의 크기도 상대적으로 작은 값으로 검출되며, 부분방전 신호의 검출시 울림 현상 등으로 인한 영향으로 분석된다. 표 1에 나타낸 인식을 100 %의 결과는 실험실에서 극단적인 고장조건을 모의하였으며, 주변의 노이즈가 거의 없는 상태에서 실험하고 이의 데이터를 취득하여 신경회로망 학습 자료로 적용하였기 때문이다.

표 1. 검출 데이터의 패턴인식 결과.  
Table 1. Result of patten recognition of data detected.

구분		인식결과		인식율 (%)
종류	입력수	정인식	오인식	
극간 gap	30	30	0	100
침 전극	30	30	0	100
일반적인 경우	30	30	0	100
극간 gap(AE)	30	30	0	100
침 전극(AE)	30	24	6	75
일반적인 경우	30	30	0	100

### 5. 결 론

부분방전에 의해 발생하는 신호를 유도성 센서 및 초음파 센서를 이용해 측정하고, 검출된 신호를 패턴화하여 규격화 하고, 신경회로망 알고리즘을 이용해 단로기에서 발생할 수 있는 고장 조건별로 이상신호 특성을 분석하였고, 결과는 다음과 같다.

- 1) 현장에 설치된 것과 동일한 모의실험용 단로기에 극간 gap(1 mm) 및 침 전극 고장 조건으로 실험한 결과 각각의 고장조건에서 특징적인  $\phi-q-n$  분포 패턴을 나타내었다.
- 2) 단로기의 가동자와 고정자가 접촉된 상태에서 최대 인가전압 170 kV 까지 인가하여도

특징적인 신호를 나타내지 않았다.

- 3) 부분방전 분석 및 신경회로망 알고리즘을 적용한 GIS용 단로기의 이상을 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

### 참고 문헌

- [1] Gabriel J. Paoletti, Alexander Golubev, "Partial Discharge Theory and Technologies Related to Medium-Voltage Electrical Equipment" IEEE Transactions on industry applications, Vol. 37, No. 1, p. 90, 2001.
- [2] W. Ziomek, "Activity of moving metallic particles in prebreakdown state in GIS", IEEE Transactions on dielectrics and electrical insulation, Vol. 4, 1997.
- [3] H.Saitoh and K.Morita, "Impulse partial discharge and breakdown characteristics of rod-plane-gaps in N2/SF6 Gas mixtures", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 9, No. 4, 2002.
- [4] 김태성, 구할본, 임장섭, 정우성, "전력용기기의 예방진단을 위한 부분방전 측정", 전기전자재료학회논문지, 7권, 1호, p. 42, 1994
- [5] 최재관, 김성홍, 김재환, "신경망을 이용한 보이드 결함에 의한 열화진단", 전기전자재료학회논문지, 11권, 10호, p. 940, 1988.
- [6] 권동진, 박재준, "변압기 부분방전 상시 감시기법에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 14권, 12호, p. 1032, 2001.
- [7] 김대수, "신경망 이론과 응용(I)", 하이테크 정보, p. 91, 2001.