

## 신경회로망을 이용한 GIS용 단로기의 이상신호 패턴분석

### Patten Analysis of Trouble Signal on DS for GIS using Neural Network

김중서<sup>\*</sup>, 이은석, 천중철  
(Jong-Seo Kim<sup>\*</sup>, Eun-Suk Lee, and Jong-Cheol Cheon)

#### Abstract

GIS(Gas Insulated Switchgear) is power equipment with excellent dielectric strength and is economy merit in high confidence and stability. But, because of structural characteristics, this is difficult to monitor externally and provide much loss in the event of an accident. Recently, because equipment of GIS is occurring problem of confidence used for a long time, development of diagnosis technique have been importantly recognized. therefore, measurement and analysis of PD much has been generally used for equipment of GIS. But, in case of measurement of PD at field, real trouble signals is difficult to classify noise. Accordingly, a variety of trouble conditions for DS are simulated, and detected signals are analyzed by the application of electrical and mechanical methods. For this analysis, detected signals are accumulated according to phase-magnitude with the application of induction sensor, and then we analyzed the characteristics. For the simulation experiment, we make DS for 170KV GIS and analyze the characteristics of detected signals with the application of neural network algorithm. last, we have measured DS for GIS at field, and then have analyzed detected signals.

**Key Words** : Neural network, Partial discharge(PD), Disconnecting switch(DS)

#### 1. 서론

GIS(Gas Insulated Switchgear)는 기존에 절연 재료로 쓰이던 공기나 절연유 대신 절연내력이 우수한 SF<sub>6</sub> 가스를 금속외함에 충전시켜 밀폐시킨 전력기기로서 종래의 대기절연 방식의 변전소에 비하여 크기를 1/10으로 줄일 수 있을 만큼 효율적이며 높은 신뢰성 및 밀폐된 구조, 운전면에서 경제적인 장점을 가지고 있다. 그러나 구조적 특징으로 인해 사고를 사전에 외부에서 감시하기 어렵고 사고시 경제적으로 많은 피해를 줄 수 있으며 복구시간도 장시간 소요된다[1].

GIS의 사고예방 및 보전을 위해 주로 탱크내부에서 발생하는 절연이상이나 통전 이상을 검출할

필요가 있고, 이러한 이상을 검출하는 방법으로서 는 사고시 발생하는 부분방전을 검출하는 방식이 유용하며 현재 이에 대한 연구결과가 계속 보고되고 있다. 최근 GIS 설비는 사용 년 수가 오래되면서 신뢰성에 문제가 발생되고 있어 절연진단기술의 개발이 중요하게 인식되고 있으며, 따라서 절연 파괴의 전 현상인 부분방전의 측정 및 해석이 GIS 설비를 진단하는 방법으로 폭넓게 사용되고 있다 [1,6]. 그러나, 현장에서 부분방전 측정을 실시할 경우, 주변의 여러 가지 노이즈의 영향에 의하여 실제적인 고장 신호를 구분하기가 어렵다.

이에 따라, 본 연구에서는 단로기(DS) 부분에서 주로 발생할 수 있는 고장 발생 조건을 3가지로 구분하여 인위적으로 부분방전을 발생시킨후 전기적방법을 적용하여 이상 신호를 분석하였으며, 검출된 신호특성의 해석은 유도성 센서를 적용하여 측정된 신호를 위상-크기-갯수( $\Phi$ -Q-N)에 따라 누적하여 고장특성을 분석하였다[2-4].

\* : 한국전기안전공사 전기안전연구원  
(경기도 가평군 의서면 상천리 27,  
Fax: 031-580-3111  
Corresponding Author : kjs227@chollian.net)  
2003년 9월 25일 접수, 2003년 10월 18일 최종 심사완료

모의실험 설비는 현장에 설치된 것과 동일한 자가용 170kV의 GIS 단로기(DS)를 제작하여 구성하고, 그 검출된 신호는 신경회로망 알고리즘을 적용하여 분류 및 특성을 분석하였다[7].

최종적으로 모의실험의 결과를 분석 후 현장에 설치된 GIS의 단로기에 실제 적용하여 현장데이터의 특성을 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 GIS 단로기 실태조사

국내에 설치되어 운전되고 있는 자가용 170KV GIS설비의 사고발생 분포, 발생 부위 등 사고가 많이 발생하는 부위와 유지·보수방법에 대한 실태를 파악하여 현장에 필요한 점검 및 진단 방법을 분석하고자 전국 GIS 설비 설치 수용가 201호에 대하여 우편설문을 조사하였다. 전체 설문조사 수용가에서 97호가 회신을 하였고, 사고 및 고장 발생 수용가에 대해서는 직접 방문하여 사용 실태를 확인하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 사고는 조사 수용가의 15%에서 발생하였고 반복적인 사고 경험도 40%를 점유하고 있었다.
- (2) 사고발생은 3년~5년 사이에서 많이 발생하였고, 사고부위별 유니트로 구분할 경우는 직선 단로기 부위가 47%로 가장 많이 발생하였다.
- (3) GIS설비의 사고예방을 위해서 전기담당자들은 평소 육안점검을 주로 실시하고 있었고, GIS설비의 점검장비나, 방법 등이 없어 정확한 진단장비의 개발 필요성을 요구하고 있었다.

### 2.2 모의실험 개요

본 논문에서는 그림 1에 나타낸 것처럼, 모의실험 설비를 고전압실 부분방전 실험실에 설치하여, 최대한 외부 노이즈의 영향을 적게 받도록 하였다. 고장조건은 GIS 단로기의 가동자와 고정자의 극간 거리(1mm), 침 전극 그리고 파티클에 의하여 발생하는 이상신호로 설정하였고, 이때 발생하는 이상신호를 유도성 센서(Lemke Prove(LDP-5))를 적용하여 특징적인 신호를 검출하였다. 인가전압은 고전압 설비(Hipotronics, max 200KV, 60Hz)를 이용하여 154KV를 연속적으로 인가시켰다.

모의실험은 그림 1에 나타낸 것처럼, 신호처리장치(A/D Board, Portable PC)에 유도성 센서를 연결하여 이상신호를 취득하였고, 비교·분석을 위하여, 오실로스코프(TDS 7404A)와 고전압 설비에

PD 분석기(Robinson Instrument, Model 5, Type 700)을 사용하였으며, 측정된 신호는 신호처리장치를 통해 이상신호를 연속적으로 측정 및 저장하였고, 또한 PD 분석을 위하여 측정 신호를 각 고장 원인별로 다양한 재현성 실험을 통하여, 조건별로 대표적인 신호를 검출하였다. 데이터의 취득·분석 및 신경망 알고리즘의 구성을 위하여 LabVIEW 소프트웨어를 이용하여 프로그램을 개발하였다.

### 2.3 모델 단로기 제작

본 연구수행을 위하여 실시한 설문조사 결과 GIS의 여러 구성 부분 중 가장 높은 사고 비율을 차지하고 있는 단로기(DS)의 고장 조건별로 나타나는 이상신호 특성분석을 위해 170KV 수용가에서 사용하는 것과 동일한 170KV, 31.5KA 1200A 단로기(DS)를 모델링 하여 GIS 전문 제작회사에 의뢰하여 시료를 제작하였다.

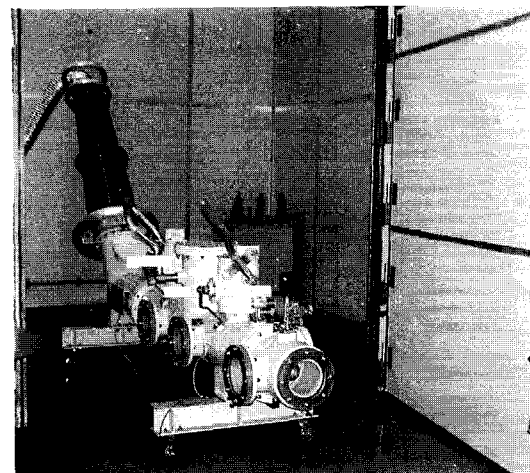
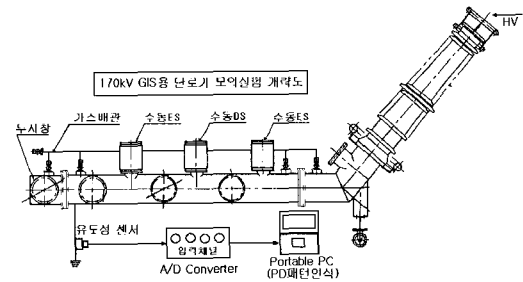


그림 1. 170KV GIS용 단로기의 모의실험 설비.  
Fig. 1. Simulation equipment of DS for GIS (170KV).

본 연구를 위한 모의실험 시료는 3상 분리형 모델로 한 상(one phase)만을 독립적으로 제작하였으며, 이의 구성은 1개의 단로기(DS)와 2개의 접지개폐기(ES)를 조합하여 구성하였다. 크기는 4800mm(길이)×2625mm(높이)이고, 지지용 가대에 운반이 용이한 절연바퀴를 부착한 구조로 하였다.

그림 1은 170KV GIS용 단로기(DS)의 모의실험 개략도 및 실험실에 설치된 실제 형태를 나타낸 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 부분방전 검출개요

교류전압을 이용한 부분방전 측정시에는 교류전압의 한 주기에서 변화하는 전압에 따라 부분방전이 발생하는 위상영역이 나타나게 된다. 위상영역에 따른 부분방전 발생은 부분방전을 일으키는 재료의 종류, 보이드의 종류 및 형상, 코로나 일 때 달라진다. 따라서, 위상에 따른 부분방전의 측정을 통해 열화에 대한 많은 지식을 알 수 있으며, 이것이 곧 부분방전 패턴인식이며, 전압의 위상을  $\Phi$ 라 할 때  $\Phi$ -Q 분석 또는 부분방전 펄스수 n까지 고려하여  $\Phi$ -q-n 분석을 수행한다[2-4].

일반적으로 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 하지 않고, 120회 반복 측정하여 얻은 60,000(500×120 회)개의 입력 데이터를 위상에 대하여 누적하였으며,  $\Phi$ -Q-N(측정갯수)을 적용하여 신경회로망 입력 파라메타의 요소로 사용하였다.

#### 3.2 부분방전 패턴분석 알고리즘

검출신호의 특성분석을 위한 부분방전 패턴인식은 신경회로망을 적용하였으며, 여러 알고리즘중 다층 구조를 가지는 역전파 학습 알고리즘(Back-Propagation Algorithm)을 이용하였다.

신호처리를 위한 신경망의 학습은 각 패턴별로 대표적인 신호들을 임의적으로 선정하여 실시하였다. 데이터의 분석은 위상-방전량에 발생 개수를 누적하여 그림 2에 나타난 바와같이 2차원적으로 처리하였다. 즉 위상을 140개로 분할하여, 입력 데이터의 신호로 재처리 하였다. 중간층은 1개의 은닉층으로 구성하여 뉴런 갯수를 20 개로 설정하였으며, 출력층 뉴런은 앞에서 설명한 고장 원인(source)인 3개로 설정 하였으며, 신경망 알고리즘

의 활성화함수는 일반적으로 사용하는 Sigmoid 전달함수를 사용하였다.

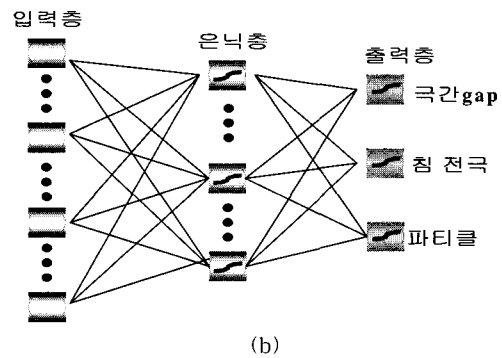
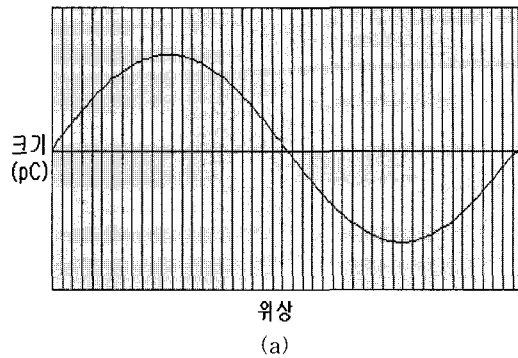


그림 2. 데이터 처리 방법.

- (a) 입력데이터
- (b) 신경회로망 구조

Fig. 2. Method of data process.

- (a) Input data
- (b) Process of neural network

신경회로망의 상태를 결정하는 연결강도  $W_{ji}$ ,  $W_{kj}$ 와 오프셋  $\theta_j$ ,  $\theta_k$ 는 난수표를 이용하여, -0.9부터 0.9사이의 작은 값으로 초기화 하였다. 출력층 뉴런의 학습신호는 단로기의 가동자와 고정자 간격(극간 gap)이 1mm 일 경우 [1, 0, 0], 침 전극일 경우 [0, 1, 0], 파티클일 경우 [0, 0, 1]로 설정하였다. 학습은 최소오차가 0.01 이하가 되면 입력 패턴이 학습된 것으로 판단하고, 프로그램을 종료하도록 하였다.

#### 3.3 센서별 이상신호 측정결과

그림 2에 나타난 방법으로 극간 거리(gap), 침 전극 그리고, 파티클일 경우의 조건에 대해서 실험하고 분석한 결과를 이상조건별로 위상-크기-갯수

(Φ-Q-N)에 대하여 누적한 데이터를 2D와 3D로 표현하여 나타내었다. 그림 3의 실험 결과를 고찰하면 단로기의 고정자와 가동자가 1 mm 이격되어 있을 경우 연속적인 아크에 의하여 발생위치는 다르지만 날카로운 형태의 이상신호가 연속적으로 나타나며, 소음이 크게 들린다. 그러나, 가동자와 고정자가 접촉되었을 경우는 GIS의 정격전압인 170 kV까지 인가하여도 특정한 이상 신호가 검출되지 않았다. 이것은 단로기의 가동자와 고정자가 접촉되었을 경우 이들 단말부가 완전한 골곡을 이루고 있어 전계를 완화시키므로, 고전압에 의하여 접촉시 거의 통전의 상태로 되는 것으로 판단된다. 그러나 현장에서 장시간 접촉의 경우는 과부하 및 접촉불량 등에 의한 발열 등으로 특징적인 신호가 검출될 것으로 분석된다. 침 전극에서는 270° 부위에서 중점적으로 신호가 발생하고 있으며, 파티클일 경우에는 0°~90°, 180°~270°부근에서 이상 신호가 중점적으로 발생하고 있는 것을 관찰할 수 있다. 결과적으로는 각각의 고장조건에 대하여 매우 특징적인 신호가 나타나고 있음을 발견할 수 있었다. 또한 지금까지의 모의실험의 결과를 기초로 하여 직접 현장에 설치된 자가용 GIS의 단로기에 대한 현장실측을 실시하고 결과를 다음절에 나타내었다.

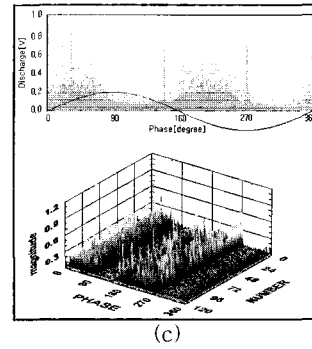


그림 3. 유도성 센서를 이용한 부분방전 신호.  
 (a) 극간 거리(gap)(1mm)  
 (b) 침 전극  
 (c) 파티클

Fig. 3. Signal of PD using induction sensor.  
 (a) Distance of pole(1mm)  
 (b) Cone-plane electrode  
 (c) Moving particle

3.4 이상신호의 패턴인식

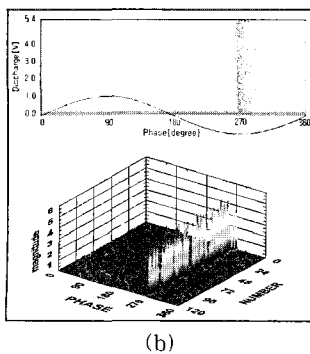
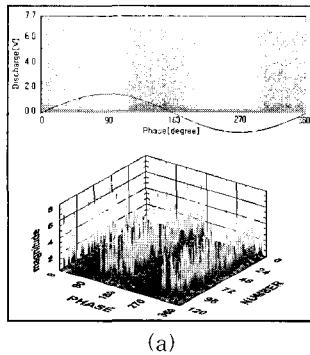
위에서 검토한 감독 학습 방법중 델타 학습 법칙의 일종인 오류 역전파 학습 알고리즘 적용하여 검출 데이터인 부분방전 패턴을 인식하는 프로그램을 개발하고, 각 고장 조건들에 대한 입력 파라메타를 그림 1에서 설명한 조건으로 처리하여, 학습을 시킨 후 입력 신호에 대한 검출 신호의 인식을 표 1에 나타내었다.

표 1. 검출 데이터의 패턴인식 결과.

Table 1. Result of patten recognition of detected data.

구분	입력수	인식결과		인식율 (%)
		정인식	오인식	
극간 거리(gap)	50	50	3	94
침 전극	50	50	0	100
파티클	50	50	5	90

고장 신호의 인식은 측정과 동시에 검출된 신호를 자동으로 분석할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 표 1에서, 침 전극의 검출 패턴이 매우 독특하여 인식율이 100%로 매우 높은 것으로 나타났으며, 침 전극과 파티클의 경우는 90% 및 94%로 인식율이 낮게 나타났다. 이것은 그림 3에 나타난



것처럼, 극간 거리(gap)와 파티클의 신호 패턴이 형태나 발생위치가 상대적으로 유사하기 때문인 것으로 분석할 수 있다. 이와 같은 결과는 현장에 적용할 경우, 각각의 경우마다 다양한 현장조건에 따른 여러 노이즈의 영향으로 위의 결과와는 차이가 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 현장실측

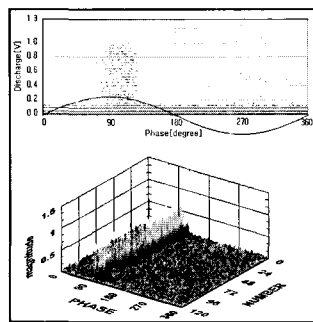
본 연구에서는 설문조사를 기초로 사고경험이 있는 수용가를 선정하여, 현장실측을 실시하였다. 측정은 현장에 설치된 자가용 170kV GIS의 단로기(DS)에 유도성 센서를 취부하여 검출한 신호를 분석하였다.

그림 4에 나타낸 현장실측 데이터를 살펴보면, A 전자 및 B 시멘트 모두 패턴 형태가 비슷하다. 모의실험과 비교하면, A 전자의 경우, 돌기등에 의한 전계의 불균일에 의하여 인가전압의 (+)반주기에서 방전이 발생하는 것으로 분석되며, B 시멘트의 경우는 단로기의 구조가 수직 단로기로서 검출 형태로 분석하면, 탱크 내부의 돌기 또는 개폐기의 조작등에 의한 미세한 금속이물의 복합작용에 의한 패턴으로 판단된다.

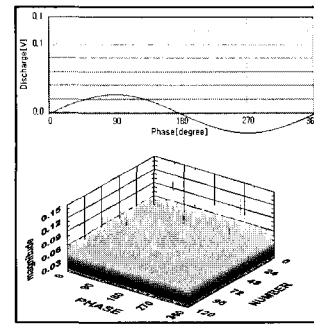
표 2. 측정 GIS 사양.

Table 2. Specification of measured GIS.

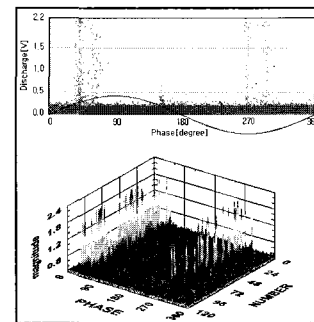
No	수용가명	GIS 사양	제작년도	운전년수
1	A전자	170kV/1200A	1990. 5	13년
2	B시멘트	170kV/1200A	1989. 10	14년



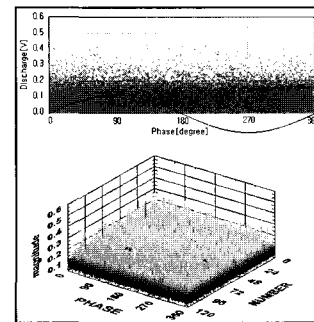
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. 현장실측 측정결과.

- (a) A전자(이상신호)
- (b) A전자(일반적인 신호)
- (c) B시멘트(이상신호)
- (d) B시멘트(일반적인 신호)

Fig. 4. Measured results at field.

- (a) A electronic(trouble signal)
- (b) A electronic(normal signal)
- (c) B cement(trouble signal)
- (d) B cement(normal signal)

노이즈의 영향은 실험실에서 측정된 것과 크기 및 발생패턴이 유사하여 거의 영향이 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 본 현장실측의 경우는 노이즈의 영향이 매우 작은 곳에서의 결과이며, 지역에 따라서 노이즈에 의하여 측정 및 분석이 어려운 곳도 매우 많다.

### 5. 결 론

자가용 170kV GIS용 단로기(DS)를 제작하고 여기에 고장 조건을 인위적으로 만들어, 부분방전을 발생시키고, 이에 의해 발생하는 신호를 유도성 센서 이용해 측정하여, 검출된 신호를 패턴화하여 규격화하고, 이들 신호를 신경회로망 알고리즘에 적용하여 단로기에서 발생할 수 있는 고장 조건별로 이상신호의 패턴을 분석하였으며, 또한 모의실험의 결과를 바탕으로 현장실측을 실시하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다.

1) 170KV 단로기(DS)에 여러 고장 조건으로 모의실험을 실시한 결과 극간 거리(gap), 침 전극 그리고 파티클의 조건에서 위상-크기의 검출 패턴이 특징적으로 분포하는 것을 관찰할 수 있었으며, 가동자와 고정자가 접촉된 조건에서는 최대 170KV 까지 전압을 상승하여도 특징적인 신호를 나타내지 않았다.

2) 본 모의실험의 결과를 이용하여 현장에 설치된 단로기(DS)의 특성을 분석한 결과 실험결과와 유사한 패턴의 이상신호가 검출되어, 부분방전 측정 및 On-Line 진단이 가능할 것으로 분석되었다.

3) 유도성 센서를 사용하여 부분방전을 측정할 수 있는 장치를 구성하였고, 또한 데이터의 취득 및 분석과 신경회로망을 이용한 GIS용 단로기의 이상을 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

[1] D. L. Yoon, "A study on the live-line diagnostic technique for GIS", Korea Report, Korea Electrical Safety Corporation, p. 7,

1996.

[2] M. Runde, T. Aurud, J. E. Nøkleby, and B. Skyberg, "Risk assessment basis of moving particles in gas insulated substations", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 2, p. 714, 1997.

[3] W. Ziomek and E. Kuffel, "Activity of moving metallic particles in prebreakdown state in GIS", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 4, No. 1, p. 39, 1997.

[4] H. Saitoh and K. Morita, "Impulse partial discharge and breakdown characteristics of rod-plane gaps in N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub> gas mixtures", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 9, No. 4, p. 544, 2002.

[5] 최재관, 김성홍, 김재환, "신경망을 이용한 보이드 결합에 의한 열화진단", 전기전자재료학회논문지, 11권, 10호, p. 940, 1988.

[6] 홍재일, 정영호, 류주현, "GIS 내의 급속이물 탐지용 AE 센서의 설계와 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 6호, p. 502, 2000.

[7] 박재준, 송영철, 전병훈, "이산웨이블렛 변환과 신경망을 이용한 변압기 열화상태 진단에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 14권, 1호, p. 84, 2001.