

## 신경망을 이용한 GIS 부분방전의 패턴인식

강운식, 이창준, 강원중, 이희철, 박종화  
LG산전 전력시험기술센터

### Pattern recognition of GIS partial discharges using neural network

Yoonsik Kang, Changjoon Lee, Wonjong Kang, Heecheol Lee, Jongwha Park  
Power testing & Technology Institute, LG industrial systems

**Abstract** - SF<sub>6</sub> 가스로 절연된 GIS(Gas Insulation Switchgears)는 매우 신뢰성이 높은 것으로 평가되어왔다. 그러나 GIS 내부에서 발생하는 결함에 대하여 완전하게 배제시키지 못하고 있으며, 이러한 부분방전 활동에 의한 대부분의 결함들이 GIS의 사고를 이끈다고 알려져 있다[1]. 따라서, GIS 내부에서 발생하는 부분방전 현상의 위치와 측정은 1940년대 초반부터 관심을 가져왔으며, 현재에는 부분방전 형태의 패턴이 사용된 부분방전 검출회로 및 신호의 전파와는 무관하다는 것을 알아낸 시점에 이르렀다. 이에 따라, 본 논문에서는 SF<sub>6</sub> 가스가 봉입된 GIS 내부에서 발생하는 부분방전 형태의 패턴인식을 위한 방법으로 NN(Neural Network)의 알고리즘 중 BP(Back-Propagation) 알고리즘을 이용하였다.

## 1. 서 론

GIS 내부에서 발생하는 부분방전들은 완전하게 연결되지 않은 전극들에서 사이에서 발생한다. 비록 이와 같은 방전의 크기는 일반적으로 작지만, 그들의 점진적인 진행은 GIS의 상태의 악화를 발생시켜 결국, 파괴를 이끈다. 이러한 이유에서 비파괴적인 방법으로 그들의 존재를 검출하는 것이 필수적이다[2]. 최근에는 이러한 부분방전들의 검출방법으로 여러 가지 방법이 이용되어지고 있다. 본 논문에서는 부분방전 발생시에 방출되는 전자파를 검출하는 UHF PD 검출 방법을 이용하였다. 시험에는 70[kV]급 산업용 GIS를 사용했으며, 5[bar]의 SF<sub>6</sub> 가스를 주입 시켰다. 또한, 시험에 사용된 모의 방전 cell의 경우 CIGRE의 권고에 따라 코로나 방전, 표면 방전, 부유 전극에 의한 방전등의 3가지 결함에 대해서 시험을 하였다. 마지막으로 시험결과를 토대로 역전파 신경망 알고리즘을 이용하여 각각 결함에 대한 패턴 인식률에 대해 알아보았다.

## 2. 본 론

### 2.1 측정 시스템

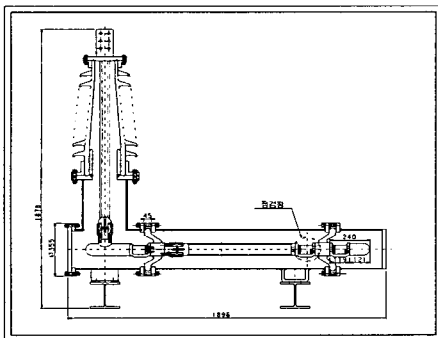


그림 1. 시험에 이용된 모의 GIS

위의 그림 1은 GIS 부분방전 측정에 이용된 모의 GIS이다. 시험에 사용된 GIS는 LGIS에서 생산된 것으로 높이와 길이는 약 2[m] 정도가 되며 2개의 스페이서와 단상의 도체로 이루어져 있다. 또한 GIS 내부의 상태를 감시하기 위한 점검장이 시설되어 있다.

### 2.1.1 측정 방법

다음 그림 2는 GIS 부분방전 검출 시스템의 블록 다이어그램이다. 모의 GIS의 내부에 채워진 SF<sub>6</sub> 가스는 각각의 결함에 따른 측정시 매번 교체하였다. 시험에 이용된 PD 센서로는 그림 3과 같은 LGIS에서 개발한 내장형 스파이럴 형태의 UHF 센서가 이용되었으며, 부분방전 발생 감지와 교정을 위해 CT 센서가 외함 접지 측에 적용하였다. 또한, PD의 발생 위상각을 판별하기 위해 VD(Voltage Divider)를 이용하였으며, PD 센서에서 감지된 신호는 오실로스코프와 UHF PD 검출 시스템을 거쳐 1단계 분석이 수행되며, 부분방전 분석 프로그램이 내장된 PC와 통신을 한다. 여기서, PD 신호의 2단계 분석이 수행되고, 분석에 이용된 data는 저장된다.

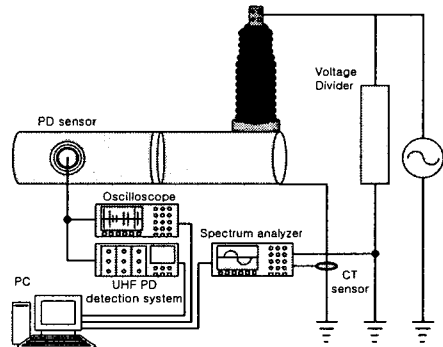


그림 2. GIS 부분방전 검출 시스템

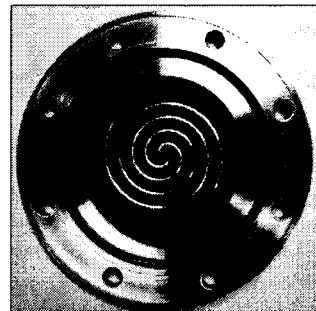


그림 3. GIS 내장형 스파이럴 형태의 센서

## 2.2 PD 분석방법

### 2.2.1 대표적인 방법

부분방전 패턴 인식에 역전파 신경망 알고리즘을 적용하기 위해 먼저, GIS 내부에서 발생하는 부분방전 패턴에 대해 연구하였다. 부분방전의 패턴은 앞서 여러 대학과 기업에서 활발히 연구됨에 따라 각 결합별 부분방전의 패턴에 대해 어느 정도 기준을 세울 수 있었다. 부분방전의 결합별 패턴을 분석하기 위해 최근 들어 가장 대표적인 방법이 바로  $\phi$ -q-n을 이용한 방법이다. 이러한  $\phi$ -q-n은 위상각 $\phi$ , 방전 크기 q, 그리고 집중분포 n 등으로 나타내며, GIS 부분방전 패턴분석에 중요한 특성 파라미터이다.

다음 그림 4는 이러한 방법을 바탕으로 LGIS PD 검출 시스템에 적합하게 개발한 방법( $\phi$ -q-f)을 통해 코로나 부분방전의 형태를 3D로 표현한 것이다.

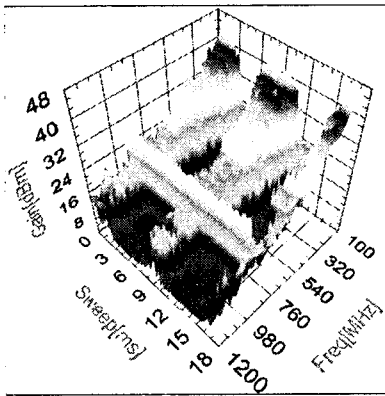


그림 4 부분방전의 3D 분석결과

다음 그림 5는 부분방전 중 코로나 방전의 패턴을 위상과 이득으로 표현한 것이다. 이러한 파라미터들은 발생하는 부분방전의 종류에 따라 각각 다른 형태로 나타난다. 이러한 사실을 바탕으로 발생하는 부분방전의 패턴인식을 위해 역전파 신경망 알고리즘에 적용하였다.

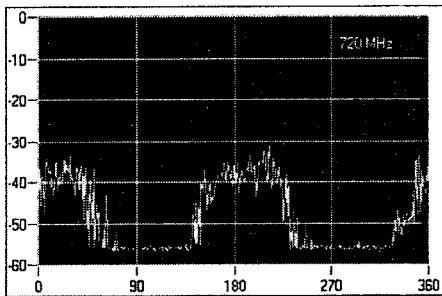


그림 5. 부분방전의 2D 분석결과

## 2.3 신경망을 이용한 패턴인식

### 2.3.1 역전파 알고리즘

본 논문에서는 GIS 내부에서 발생하는 부분방전의 패턴을 인식하기 위해 역전파 신경망 알고리즘을 이용하였다. 이러한, 신경망의 알고리즘은 여러 종류가 있으며, 알고리즘 중에 다층구조의 형태를 지닌 역전파(BP) 알고리즘을 이용하였다. 그림 6은 다층신경망 중 역전파 알고리즘의 구조를 나타낸 것이다. 이러한 역전파 알고리즘의 특징은 입력층에 입력 값이 주어지면, 주어진 각각의 신호는 변환되어 은닉층에 전달되며, 은닉층과 연

결된 출력층으로 신호를 보낸다. 여기서, 출력된 값이 기대값과 차이를 발생하게 되면 오차를 줄이기 위해 연결 가중치를 조절한다. 이러한 신경망은 패턴인식에 대해 여러가지 장점을 가지고 있는 반면, 학습된 data와의 현저히 다른 data가 입력된다면 재학습을 시켜야 하는 단점을 가지고 있다.

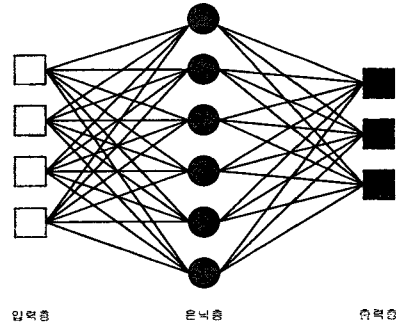


그림 6. 다층구조의 역전파 신경망

### 2.3.2 역전파 알고리즘의 학습과정

다음 그림 7은 역전파 신경망 알고리즘을 이용한 부분방전 측정을 위한 학습과정을 나타낸 것이다. 주어진 data를 신경망에 적용하기 위해서 먼저, data mining 과정을 거쳐 아래의 순서에 의해 처리가 되며, 목표치에 도달하기 위해서 가중치(Weight)가 지속적으로 바뀐다. 이러한 학습과정 중에서 초기에 영향을 주는 것은 은닉층의 수와 학습 횟수, 요구되는 오차의 목표 등이다.

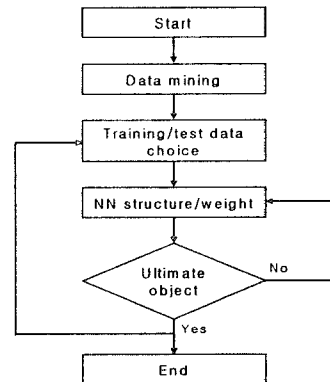


그림 7. 학습과정

### 2.3.3 역전파 알고리즘을 이용한 패턴인식 결과

GIS의 부분방전의 패턴인식에 이용된 부분방전의 형태는 부유전극(Floating Particle)과 침대평판(Needle to Plane)이다. 각각의 부분방전 형태에 대하여 60[MHz]~1.2[GHz]까지의 주파수에서 측정된 data를 이용하였다. 또한, 신경망을 이용한 패턴인식을 위해 500회, 1000회, 2000회의 학습을 실시하여 각각의 값들에 대해 비교 분석하였다. 여기서, 학습에 이용된 신경망의 은닉층의 수는 20개이며, 초기 가중치는 0.5를 주었다. 또한 신경망에 적용하기 위해 특성 파라미터들을 0~1까지의 값으로 정규화시켰다.

다음의 그림 8, 9, 10은 각각의 학습에 대한 결과를 나타낸 것으로 RMSE(Root Means Square error)의 값들이 학습 횟수와 밀접한 관련이 있는 것을 보여주고 있음을 알 수 있다. 여기서, 학습 횟수의 증가에 따라 RMSE의 값이 낮아지는 반면, 학습을 위해 소요되는 시간은 증가하는 단점을 지니고 있다.

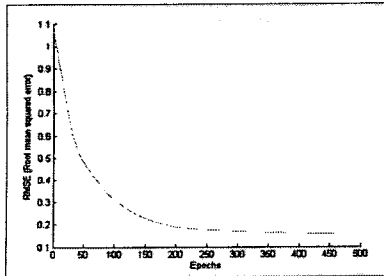


그림 8. 500회 학습결과(RMSE)

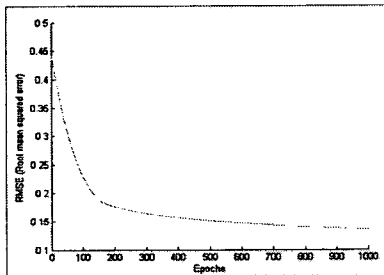


그림 9. 1000회 학습결과(RMSE)

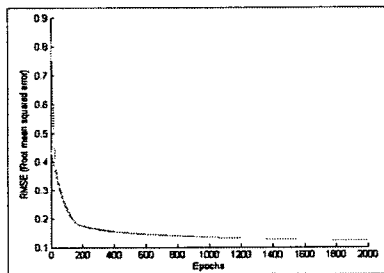


그림 10. 2000회 학습결과(RMSE)

다음 표1은 학습 횟수에 따른 RMSE의 변화를 표로 나타낸 것이다. 다음에서와 같이 학습 횟수는 RMSE의 값에 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

표 1. 학습 횟수 vs. RMSE

학습 횟수[회]	RMSE
500	0.153007
1000	0.135413
2000	0.121345

다음 그림 11은 부유전극과 침대평판에 대하여 신경망을 이용하여 패턴을 분류한 결과이다. 그림 11에서 위의 그래프는 신경망 학습을 위한 패턴학습을 나타낸 것이다. 그림 11에서 아래의 그래프는 패턴인식의 결과를 나타낸 것으로, 1에 해당하는 것이 부유전극의 부분방전이며, 2에 해당하는 것이 침대평판의 부분방전을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 부분방전의 패턴별 검출결과는 매우 양호하게 나타내었다.

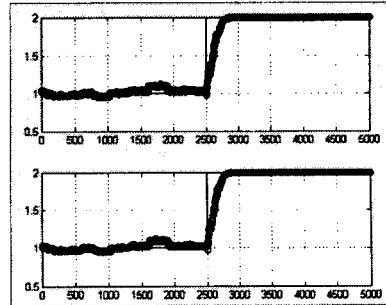


그림 11. 부유전극과 침대평판에 대한 패턴인식 결과

### 3. 결 론

부분방전의 패턴 인식을 위해 신경망을 적용하는 방법에는 여러 가지가 있으며 인식을 또한 매우 높은 것을 알 수 있었다. 패턴인식을 위한 방법 중에서  $\phi-q-n$  또는  $\phi-q-f$ 의 파라미터를 이용하여 GIS 내부에서 발생하는 부분방전의 패턴을 인식하고 분류하기 위해서는 신경망 이외에도 부수적으로 패턴분류의 정확성을 위한 알고리즘이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

현재, 본 논문에서는 부유전극과 침대평판에 대해서만 적용을 하였지만 차후 부분방전에 대표가 되는 모든 부분방전의 형태에 대해서 검토할 예정이며, 보다 나은 패턴인식을 위해 신경망과 접목 시켜 보다 빠르고 정확하게 인식할 수 있는 알고리즘을 개발하여, 결과를 바탕으로 향후 LGIS의 부분방전 검출 시스템에 적용할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] S.Meijer, E.Gulski and J.J Smit, "Pattern analysis of partial discharges in SF<sub>6</sub> GIS", IEEE, Vol.5 No.6, pp.830-842, December 1998.
- [2] Dr F.H Kreuger, "Partial discharge detection in high-voltage equipment", pp.1-4
- [3] Jin-Ha Lee, Seon-Wook Park, Bo-Hyuk Seo, "Fault Diagnosis for a System Using Classified Pattern and Neural Networks", 전기학회논문지 49D권 12호, pp.643-650
- [4] W.R. Rutgers and P. van den Aardweg, KEMAS T&D consulting, "UHF-TMS PD detection system User manual".
- [5] W.R.Rutgers and P. van den Aardweg, D. Aschenbrenner, H.G. Kranz, Netherlands & Germany "New on-line measurements and diagnosis concepts on power transformers", 13th ISH, 2003.
- [6] M.D. Judd, O. Farish, J.S. Pearson and B.F. Hampton, institute for Energy and the Environment university of Strathclyde, Glasgow, UK, "Dielectric windows for UHF partial discharge Detection", IEEE, Vol.8 No.6, pp.953-958, December 2001.
- [7] CIGRE Task Force 15/33/03.05 of working group 15.03, "Partial discharge detection system for GIS: sensitivity verification for the UHF method and the acoustic method", Electra, No. 183, pp.75-87, 1999
- [8] C.J.Lee, W.J.Kang, H.C.Lee, J.W.Park, "A study on the UHF PD measurement for the HV apparatus", ACED & KJ symposium, pp.223-226, 2002
- [9] 충북대학교 우수교육충북 21사업단, "PD 검출기법 및 진단 알고리즘 개발(중간보고서)", 2003. 4.
- [10] L. Satish and Walter S. Zaengl, "Artificial Neural Networks for Recognition of 3-d Partial Discharge Patterns", IEEE, Vol.1 No.2, pp.265-275, April 1994.