

Phi-f-q 데이터를 이용한 GIS내부 부분방전의 패턴인식에 관한 연구

강윤식, 이창준, 강원중, 이희철, 박중화  
LG산전 전력시험기술센터

A study on the pattern recognition of GIS partial discharges using Phi-f-q data

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

**Abstract** - 전력을 공급하는 변전소 등의 주요 위치에 시설되는 GIS는 사고를 미연에 방지하기 위해 여러 가지 진단방법을 이용하여 이상여부를 판별한다. 이러한 진단 방법 중 현재 국내외적으로 각광을 받고 있는 방법이 UHF센서를 이용한 부분방전 검출방법이다. 따라서, 본 논문에서는 부분방전을 발생시키기 위한 인공결함을 제작하여 GIS 내부에 삽입하고 부분 방전을 발생시켰으며, 이때 발생된 부분방전 신호를 UHF센서를 이용하여 검출하였다. 검출된 부분방전 신호는 phi-f-q 방법으로 분석 하였으며, 그 결과 발생된 파라미터를 인공신경망에 적용하여 각각의 결함에 따른 인식률에 대하여 알아 보았다.

위의 그림 1은 부분방전 측정 시험을 위해 LGIS에서 제작된 362kV급 단상 모의 GIS로 길이는 약 2.5m 정도이며, 2개의 스페이서와 단상의 도체로 이루어져 있다. 또한 GIS 내부의 상태를 감시하기 위한 점검창 2개가 시설되어 있다. 점검창 내부에는 부분방전 신호를 검출하기 위한 내장형 UHF센서가 부착되어 있으며, 이러한 내장형 UHF센서는 부분방전 신호를 검출할 때 외부 노이즈의 영향을 거의 배제시킬 수 있다는 장점을 지니고 있다. 본 시험에서는 phi-f-q 방법의 적용성 검토를 위하여, 동일 조건하에서 내장형 UHF센서 이외에 외장형 UHF센서를 통한 시험도 병행하여 시행하였다.

1. 서 론

SF<sub>6</sub>로 절연된 GIS의 절연상태에 대한 평가는 부분방전의 감시를 통하여 이루어진다. 이러한 부분방전의 감시는 지난 십수년간 GIS 진단 분야의 전문가들에 의해 여러 가지 방법으로 연구되어 왔다. 이에 따라 다양하고 신뢰성이 높은 기술들이 제안 되었으며, 그 결과 IEC 60270의 방법을 기반으로 한 GIS 내부의 방전원에 따른 UHF 신호를 검출하여 분석하는 방법이 널리 이용되어 지고 있다. 이러한 UHF 신호를 분석하는 방법으로 현재, 부분방전 신호에 대한 phi-q-n 분석 방법이 거의 정형화 되어가는 추세이다. phi-q-n 분석 방법은 부분방전의 발생위상과 방전량, 방전횟수에 대한 자료를 바탕으로 3차원 분석과, phi-q, phi-n, q-n 등의 2차원 분석을 통하여 이루어진다. 또한 분석된 각종 파라미터는 부분방전을 발생시키는 결함에 대한 패턴인식에 이용된다.

본 논문에서는 협대역 구간만을 분석하는 phi-q-n 분석을 기반으로 광대역 구간을 분석할 수 있는 phi-f-q 분석 방법을 제시하고 이미지 프로세싱을 이용하여 인공 신경망에 적용하여 패턴 인식률에 대해 알아보았다.

2. 본 론

2.1 측정시스템

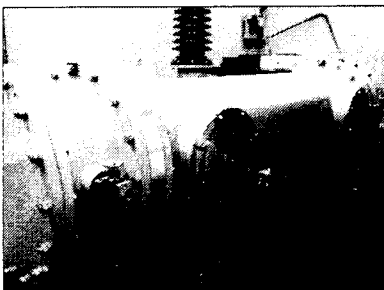


그림 1. 시험에 이용된 362kV 단상 GIS

2.1.1 측정 방법

다음 그림 2는 GIS 부분방전 검출 시스템의 블록 다이어그램으로 GIS의 내부에 채워진 SF<sub>6</sub> 가스는 각각의 결함에 따른 측정시 매번 교체하였으며, LGIS에서 개발한 내장형 스파이럴 형태의 UHF 센서와 외장형 폴디드 다이폴 형태의 UHF센서가 이용되었다. 또한 부분방전 발생 감지와 교정을 위해 CT 센서를 외함 접지 측에 적용하였다. VD(Voltage Divider)는 PD의 발생 위상각을 판별하기 위해 이용되었으며, PD 센서에서 감지된 신호는 오실로스코프와 UHF PD 검출 시스템을 거쳐, 부분방전 분석 프로그램이 내장된 PC와 통신을 한다. 여기서, PD 신호의 분석이 수행되고, 분석에 이용된 데이터는 저장된다.

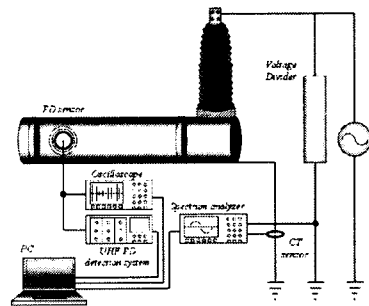


그림 2. 부분방전 측정시스템

2.2 PD 분석방법

2.2.1 phi-f-q 방법

phi-q-n을 이용한 방법은 GIS 부분방전 패턴분석에 있어 거의 정형화 된 방법으로 phi-q-n에서 추출된 각종 파라미터를 인공신경망에 적용하여 패턴인식에 이용하고 있다.

본 논문에서는 300MHz~1.5GHz까지의 광대역 신호를 바탕으로 하는 phi-f-q 방법을 시행하여 다음 그림 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림에서도 확인할 수 있듯이 각 결함이 지니고 있는 특징은 phi-q-n의 3차원 분석과 같이 phi-f-q의 3차원 분석에서도 뚜렷하게 구별

이 된다는 것이다. 다만, 광대역의 분석을 이용함에 따라 외부 노이즈에 따른 영향을 많이 받게 된다는 단점을 지니고 있으나 본 시험에 이용되어진 내장형 UHF센서를 이용하여 검출한 부분방전 신호들은 약 800MHz~900MHz의 개인용 단말기 주파수 대역을 제외한 대역에서의 외부 노이즈에 대한 영향을 거의 받고 있지 않음을 알 수 있었다.

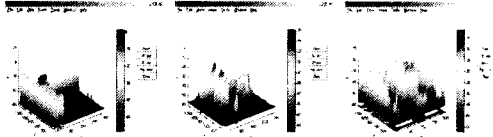


그림 3. 결합별 3차원 phi-q-f 이미지

다음 그림 4의 결합별 2차원 phi-f-q 이미지는 부분방전 패턴분석에 이용될 이미지 프로세싱을 위한 이미지로 위상과 주파수 대역에 따른 부분방전 분포를 나타낸 것이다.

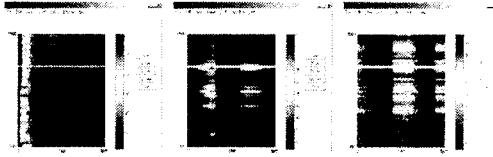


그림 4. 결합별 2차원 phi-f-q 이미지

### 2.2.2 이미지 프로세싱

색의 3원색은 빨강, 초록, 파랑으로, Red, Green, Blue의 약자를 이용하여 RGB라고 하며, RGB 공간을 Red channel, Green channel, Blue channel로 나뉘게 된다. 그림 5는 부분방전의 패턴인식을 위한 이미지 프로세싱의 기초가 되는 이미지와 RGB에 대해 나타낸 것이다.

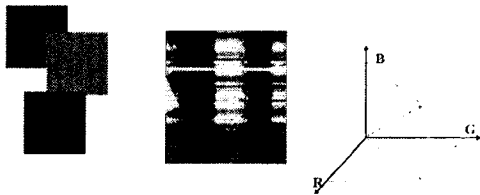


그림 5. 부분방전 RGB

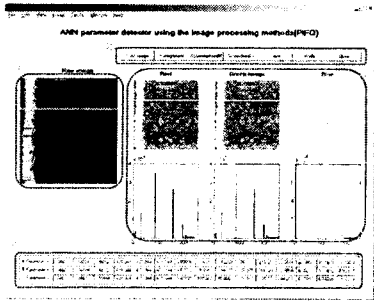


그림 6. phi-f-q 이미지 프로세싱 화면

이미지 처리를 이용한 패턴인식을 위하여 Matlab을 이용하여 그림 6에서와 같이 구성하였다. 그림에서 ①은 PD 진단 시스템의 phi-f-q 분석을 이용한 3차원 이미지를 위상과 주파수 대역을 기준으로 하는 2차원 이미지로 변환한 화면으로 가공이 이루어지지 않은 원본 이미지를

나타내고 있다. ②는 이미지 프로세싱을 하기 위한 옵션을 나타낸 것으로 원본 이미지에서 R, G, B 채널을 각각 분리하고 0~255의 화소로 나타내었으며(Matlab 특성상 화면에는 gray로 나타남), ③에서와 같이 각각의 channel에 대한 히스토그램을 나타낼 수 있도록 구성되어 있다. 히스토그램은 특정 이미지에 대한 명암 분포도를 나타내는 것으로 이미지가 지니고 있는 특성을 나타내기도 한다. 원본 이미지의 R, G, B의 히스토그램에 대해 각각의 히스토그램이 지니고 있는 특성을 부각시키기 위해 히스토그램에 일정량의 가중치를 줄 수 있도록 되어 있으며, 각 영역별로 산재화 되어 있는 히스토그램을 전 영역에 걸쳐 균일하게 존재 하도록 할 수 있도록 하였다.

또한 인공지능망에 적용하기 위하여 ④에서와 같이 원본 이미지의 히스토그램은 파라미터 A, 강조화된 이미지 히스토그램을 파라미터 B, 평활화된 이미지의 히스토그램은 파라미터 C로 구분하였으며, 각각에 대한 왜도, 첨도, 표준편차, 평균값 등을 추출하여 신경망의 입력으로 사용하였다.

## 2.3 신경망을 이용한 패턴인식

### 2.3.1 역전파 알고리즘

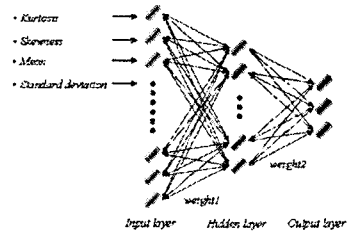


그림 7. 다층구조의 역전파 신경망

위의 그림 7은 다층구조 신경망의 역전파(Back-Propagation) 알고리즘의 기본 구조를 나타낸 것으로 이미지 프로세싱을 이용한 패턴인식분야 뿐만 아니라 각종 패턴인식 분야에 이용되고 있다. 역전파 알고리즘은 최초로 신경망의 고질적인 XOR의 문제를 해결하였을 뿐만 아니라 현재 다양한 분야에서 여러 방법으로 이용되고 각종 패턴인식 알고리즘의 시초이자 기반이라고 볼 수 있다. 또한, 각종 전자기기에서 발생하는 PD의 패턴 분석용으로도 동일분야의 전문가들로부터 탁월한 인지도를 지니고 있다. 역전파 알고리즘을 통한 학습(learning)은 목표치(target)가 정해져 있으며, 입력을 목표치에 근접시키기 위해 수차례(or 될 때까지) 동안 되풀이한다(안되는 경우도 발생함). 이러한 과정에서 입력층(Input layer)과 은닉층(hidden layer) 그리고 은닉층과 출력층(output layer) 사이의 가중치(weight)가 지속적으로 변동하게 되며, 요구하는 최종의 목표치에 근접하였을 경우 학습은 종료하게 되고, 이때에 발생하는 가중치들이 이용하여 패턴인식에 적용하게 된다.

### 2.3.2 역전파 알고리즘을 이용한 패턴인식 결과

인공신경망을 이용한 패턴학습은 목표치에 수렴하기 위하여 최대 1000회까지 반복하도록 기본 설정되어 있으며, 학습 도중에 목표치에 수렴하게 되면 학습을 종료하고 결과가 화면상에 나타나도록 되어 있다. 본 인공신경망의 패턴학습에 이용된 신경망의 은닉층 뉴런의 수는 10개이며, 초기 가중치는 0.5를 주었다. 또한 인공신경망의 입력으로 이용되는 부분방전 패턴의 특성 파라미터들을 0~1까지의 값으로 정규화 하였다.

다음의 그림 8은 학습에 대한 결과를 나타낸 것으로 결합의 형태에 대한 RMSE(Root Means Square Error)의 값이 0.01이하로 되었을 경우에 학습을 멈추게 되어

있다. 본 결함에 대한 학습은 233번제의 반복 후에 목표치를 수렴하고 정지하였다.

그림 9는 인공신경망의 학습에서 발생한 최종 가중치를 임의의 부분방전 파라미터에 적용한 결과로써 type 1 일 확률이 94.4%임을 나타내고 있다.

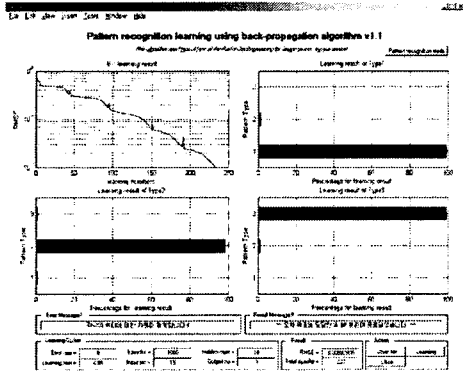


그림 8. 인공신경망 학습결과

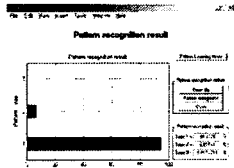


그림 9. 패턴인식 결과

다음 그림 10은 내장형 UHF센서를 통해 검출된 부분방전 신호의 phi-f-q 분석에서 발생한 파라미터의 패턴인식 결과로 패턴인식률을 알아보기 위해 이용된 결함별 데이터는 각각 100개씩이다. 결과는 앞서 언급한 파라미터 A, B, C 중에 C를 제외한 파라미터 A, B에 관해서만 나타내었다. A를 사용했을 경우보다 B를 사용했을 경우에 현저하게 인식률이 높아지는 것을 알 수 있었으며, 이미지에 노이즈가 극히 적은 내장형 UHF센서를 통해 검출된 부분방전 신호의 phi-f-q 분석과 이미지 프로세싱을 이용한 인공신경망 적용은 향후 수차례의 시행착오를 거친다면 충분한 적용 가능성이 있음을 알 수 있었다. 여기서, 파라미터 C의 경우 3가지 결함에 대해 모두 type 3으로 인식하는 등 매우 낮은 인식률을 보여줬기 때문에 그래프에 표시하지 않았다.

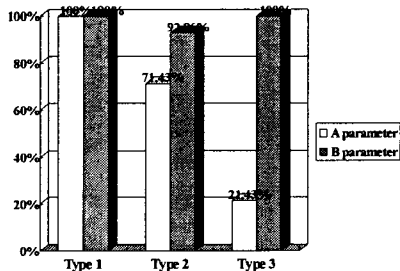


그림 10. 내장형 센서를 이용하여 검출한 파라미터 A, B에 대한 패턴인식결과

그림 11은 외장형 UHF센서를 이용하여 검출된 신호에 대해 앞서 언급한 방법을 동일하게 적용하여 패턴인식을 한 결과로 초기에 예상했던 바와 같이 외부노이즈의 영향에 매우 민감하며, 외부노이즈의 함유량이 많으

면 많을수록 저조한 인식률을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 이미지 프로세싱을 이용한 패턴인식의 특성에서 때문이라고 추측해 볼 수 있으며, 상기 외장형 UHF센서의 경우 또한, 내장형 UHF센서와 마찬가지로 파라미터 C는 모든 결함에 대해 type 3으로 인식하였기 때문에 그래프에 표시하지 않았다.

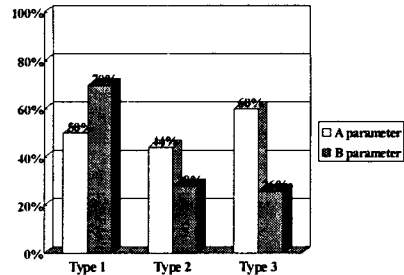


그림 11. 외장형 센서를 이용하여 검출한 파라미터 A,B에 대한 패턴인식결과

### 3. 결 론

본 시험의 결과로 phi-f-q 분석을 이용한 이미지 프로세싱의 패턴인식 방법의 적용성/효율성에 대해 알아보았으며, 향후 GIS뿐만 아니라 Tr. 등 외부노이즈의 영향을 거의 받지 않는 부분방전 신호를 검출할 수 있는 장비에 대하여서도 적용할 수 있으리라 예상된다. 또한, 부분방전 패턴인식에 있어 보다 높은 신뢰성을 유지하기 위해 다른 방법과 병행하여 이용할 수 있는 방법이 될 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

### [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 FH Kreuger, "Partial discharge detection in high voltage equipment", pp.1-4
- [3] E. Gulski, S. Meijer, W.R. Rutgers, R. Brooks, "Recognition of PD in SF<sub>6</sub> Insulation Using Digital Data Processing", IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, San Francisco, pp.577-580, October 20-23, 1996.
- [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 우수교육충부 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.