

신경회로망을 이용한 HFPD 패턴인식

김덕근<sup>\*</sup>, 정영일<sup>\*</sup>, 임장섭<sup>\*\*</sup>, 여인선<sup>†</sup>

\*전기안전시험연구원 진단연구팀, \*\*목포해양대학교 전자·통신공학부, † 전남대학교 전기공학과

HFPD Pattern Recognition Using Neural Network

Duck-Keun Kim<sup>\*</sup>, Young-Il Jung<sup>\*</sup>, Jang-Seub Lim<sup>\*\*</sup>, In-Sun Yeo<sup>†</sup>

\*KESCO, \*\*Mok-po National Maritime Univ., † Chonnam National University

**Abstract** - Recently, the HFPD measurement methods that detect high frequency bandwidth of frequency components of partial discharge pulses are proposed and many studies are carried out. The HFPD measurement method is able to detect partial discharge signal in active line, therefore this method has a merit that can does condition monitoring of power equipments and measure growth state of partial discharge erosion with on-line and real time.

In this study, the radiated HFPD signals are detected by antenna and aging diagnosis is executed with a neural network algorithm. As a result of this study, the aging diagnosis of insulation material using neural networks is possible.

1. 서 론

부분방전 검출을 통한 절연 열화진단법은 전력설비의 장시간 운전중 치명적인 절연파괴의 원인이 되는 부분방전 신호를 검출하고, 해석 알고리즘을 통해 절연체 열화 정도를 파악할 수 있는 진단기법으로서 현재 활선상태에서 S/N비가 높은 HFPD(High Frequency Partial Discharge) 측정 및 분석이 주로 연구되고 있다.

집지선에서 신호를 검출하는 기존의 부분방전 측정 시스템은 활선상태에서 적용할 수 없으며, 측정 대상체와 병렬로 캐패시터를 연결하고 전원인력 장치를 이용해 측정하기 때문에 대용량 전력설비 진단은 제측 시스템의 규모나 비용 문제 때문에 적용에 한계가 있었다. 1998년 CIGRE(Conference International Grands Reseaux Electrique pub.)에서는 활선상태에서 센서를 이용해 고주파 영역에서 부분방전을 측정할 수 있는 방법을 제안하였고, HFPD 신호의 부분방전 패턴분석 연구가 진행중이다.

본 연구에서는 기존 PD측법의 한계성을 극복하기 위하여 HFPD 측정방법을 채택하였으며, 현재 연구중인 HFPD 측정방법이 용량성, 유도성 및 저항성 센서를 이용하고 있기 때문에 측정 주파수의 한계가 있는데, 측정 주파수를 가변할 수 있는 안테나를 이용한 측정 시스템을 구성하였다. 각종 센서를 이용한 측정 시스템은 센서들이 영구 장착되어 있거나 활선상태에서 탈부착시 위험에 노출될 가능성이 높지만, 안테나를 이용해 공중으로 전파되는 전자파를 검출하는 측정 시스템은 고전압 설비에 직접 부착하지 않기 때문에 안전에 대한 위험성이 낮다. 또한 하나의 시스템으로 여러 설비들을 측정할 수 있는 장점도 있다.

부분방전 신호는 비주기적이며 재현성이 낮기 때문에, 본 연구에서는 100회 측정된 HFPD 신호를 동일 주파수 구간에 누적하여 정규화 과정을 거친 후, 신경회로망을 이용한 패턴인식을 위해 HFPD 패턴의 학습그룹을 선정하고 학습시킨 후 측정 신호를 신경회로망에 적용하여 열화진단하는 시스템을 개발하였다.

2. 실험방법

절연체 열화로 인해 발생하는 부분방전 펄스는 수 MHz~수 GHz의 주파수 특성을 갖기 때문에, 고주파 영역에서 발생하는 방전신호 해석을 위해 안테나를 이용한 방사 전자파 측정법을 도입하였다. 고주파 영역에서 방전신호 측정은 S/N비가 높기 때문에 외부 노이즈에 대한 영향이 적어지지만 거리에 비례해서 신호의 감쇄가 커지는 단점도 가지고 있다. 그림 1은 고주파 영역에서 부분방전 신호를 측정할 수 있는 안테나를 이용한 HFPD 측정 시스템이다.

고전압이 인가된 EUT(Equipment Under Testing)에서 부분방전이 발생하여 방사되는 전자파를 안테나(EMCO, BiConiLog 3142B model : 26MHz~2GHz)를 이용하여 EMC analyzer(HP 7104A)로 측정하고, 계측기 제어 및 데이터 처리는 컴퓨터와 GPIB 인터페이스를 하였으며, 데이터는 100회 반복 측정하여 특성을 분석하였다.

BiConiLog 안테나는 20~300MHz의 주파수 대역을 갖고 있는 biconical 안테나와 200MHz~2GHz의 주파수 대역을 갖는 log periodic 안테나가 조합된 안테나이다. 안테나의 특성을 그림 2에 나타냈다.

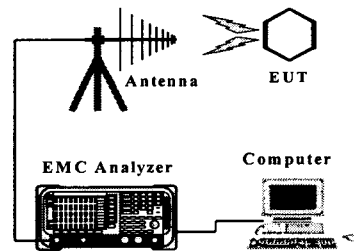
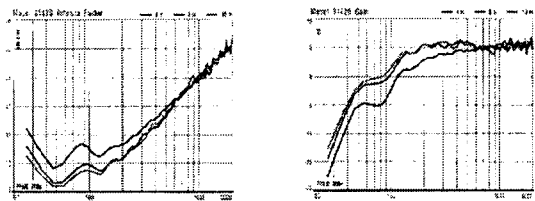


Fig. 1. HFPD measurement system.



a) antenna factor (b) gain  
Fig. 2. The characteristics of BiConiLog antenna.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 HFPD 패턴 처리과정

EUT에서 발생하는 전자파 신호는 안테나를 이용해 100회 반복 측정된 100,000개(1,000×100회)의 데이터를 HFPD 패턴 분석에 이용하였다. 다른 처리과정을 거치지 않은 최초의 데이터는 신경회로망의 입력으로 너무 크기 때문에 데이터 축소 작업이 필요하다. 100회 측정된 데

이터를 각 주파수 구간에서 대표값을 결정하기 위해 각 구간에서 측정된 데이터를 최대값에서 최소값 순서로 정렬한다. 전자파 패턴은 전자파의 크기와 발생 주파수가 중요한 인자로 작용하며, 주파수가 낮은 대역에서는 발생빈도수 또한 열화와 밀접한 요소이다.

100,000개의 데이터에서 구간 대표값으로 선정된 데이터를 전자파의 최대 크기값을 1로하여 정규화하고, 이 데이터를 새로운 정규화축으로 분포시킨다. 정규화 된 데이터를 40×6 매트릭스로 다시 축소하여 신경회로망의 입력셀로 설정한다.

그림 3은 안테나를 이용해 측정한 데이터를 각 주파수 구간에서 대표값을 선정하여 나타낸 예이며, 그림 4는 특정 주파수 구간에서 빈도수를 정규화하는 과정이며, 그림 5는 HFPD 측정 데이터를 정규화 과정을 거쳐 240(40×6)개의 신경회로망 입력셀로 나타낸 것이다.

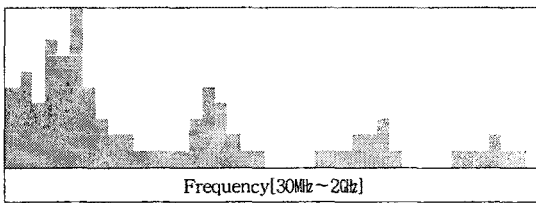


Fig. 3. Example of a measured HFPD pattern.

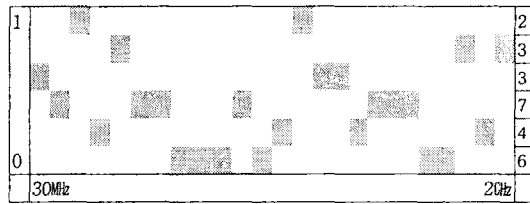


Fig. 4 Normalization of 3D HFPD pattern.

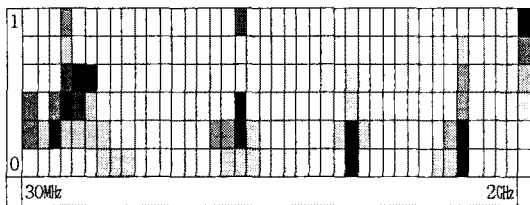
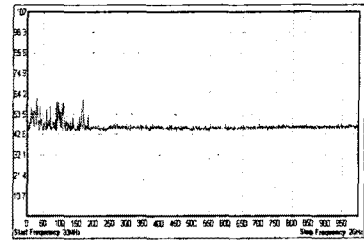


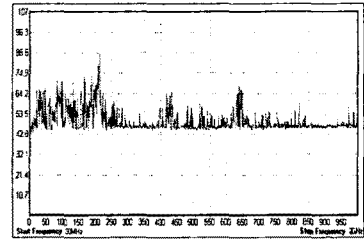
Fig. 5. Input cells of neural network of HFPD pattern.

### 3.2 인가전압에 따른 HFPD 특성

시료에 고전압을 단계적으로 인가하면서 발생하는 전자파 패턴을 측정된 결과를 그림 6에 나타냈다. 그림 (a)는 시료에 5kV의 교류전압을 인가했을 때 측정된 신호패턴이다. 30~350MHz의 주파수 영역에서 45~64dB $\mu$ N/m 정도의 신호가 검출되고 있다. 즉, 비교적 전압이 낮은 경우에는 VHF 대역이 우세하게 나타난다. 그림 (b)는 15kV를 인가했을 때의 신호패턴이다. VHF 영역에서 신호의 크기가 더욱 커지며 UHF 영역의 거의 모든 구간에서 신호가 검출된다. 이 결과는 절연체 내부의 보이드와 절연체의 유전율 차이로 인해 전압이 인가되면 보이드의 전계가 절연체보다 높게 되는 데 인가전압의 상승으로 보이드에 인가되는 전계가 더욱 높아져 방전의 크기와 빈도수가 증가하며 방전 발생시간이 짧아져 고주파 영역의 신호들이 검출되기 때문이다.



(a) 5kV

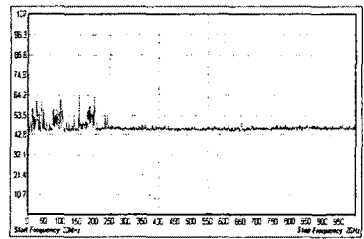


(b) 15kV

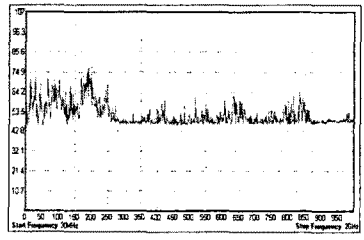
Fig. 6. The characteristics of HFPD pattern according to applied voltages.

### 3.3 인가시간에 따른 HFPD 특성

그림 7은 220℃로 열 열화시킨 시료에 교류전압 15kV를 인가한 후 시간의 경과에 따른 신호의 패턴변화 결과이다. 전압 인가후 5분이 지난 그림 (a)의 경우에는 VHF 대역에서 신호들이 검출되고 있지만, 인가시간의 경과와 더불어 신호의 크기도 증가하며 UHF 대역에서도 신호들의 발생빈도가 점점 증가하는 경향을 나타낸다. 인가전압 특성의 결과와 마찬가지로 전압인가 시간이 길어지면 절연체의 열화가 진행되면서 신호의 발생 주파수 영역과 크기가 변하지만 부분방전 신호가 비주기적이며 랜덤하기 때문에 짧은 시간에 몇번의 측정값으로 신호의 패턴을 파악하는 것은 거의 불가능하며 본 연구에 사용된 절연체의 경우에는 최소 50회 이상 측정하는 것이 효과적이었으며, 열화초기의 경우 신호의 발생 빈도수와 크기가 작기 때문에 측정횟수를 높은 경우에 패턴의 변화를 뚜렷이 관찰할 수 있었다.



(a) 5 min



(b) 20 hour

Fig. 7. The characteristics of HFPD pattern according to applied times.

### 3.4 신경회로망을 이용한 열화진단

학습 데이터는 VHF 영역과 UHF 영역의 특징값을 구분하여 6가지의 다른 패턴을 이용하고, 1,000회 이상 반복학습시켜 출력값을 3가지(안정, 중간, 위험)로 구분하였다. HFPD 신호를 측정하여 VHF 대역과 UHF 대역의 주파수 대한 크기와 빈도수의 특징 관계값을 기준으로 영역을 구분하고, 각 영역의 대표패턴 그룹을 선정한 후 신경망에서 1,000회 반복 학습하고, 목표출력을 3가지로 하여 50개의 데이터에 적용한 결과 그림 8과 같은 인식 특성을 얻었다. 50개의 데이터 중 패턴의 혼합이 나타나는 경계점 구간을 제외하면 5개의 데이터 값에서 불완전한 인식이 발생하고 있다. 26시간 데이터의 인식결과는 안정영역 0%, 중간영역 50%, 위험영역 67%로서 패턴의 구분으로는 중간영역에 해당하는 패턴이지만 위험영역의 패턴을 많이 포함하고 있기 때문에 위험영역을 상대적으로 높게 추정하고 있는 오류가 발생했으며, 27시간 데이터는 안정 0%, 중간 63%, 위험 57%로 인식을 하고 있다. 26시간 데이터와 마찬가지로 위험한 상태의 패턴이 많이 포함되어 있는 패턴으로 볼 수 있다.

35시간 패턴은 안정영역 0%, 중간영역 67%, 위험영역 41%로서 중간영역을 추정하는 오류를 나타내고 있다. 그림에서 좌측 점선 사각형 영역이 열화초기 특성이 나타나는 안정단계이며, 우측 사각형 영역은 절연시스템의 수명기로 판단할 수 있는 단계이다.

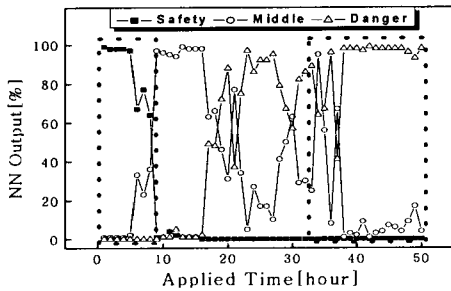


Fig. 8. Neural network output after learning.

그림 9는 시료에 교류전압 14kV를 인가하고 이때 발생된 HFPD 신호를 안테나를 이용해 측정하여 신경망 열화진단을 통해 3가지 영역으로 구분한 인식결과이다. 8시간까지는 98%의 인식율을 가지고 안정한 단계로 판단하고 있으며, 40시간까지는 열화가 진행되고 있는 중간 단계로 40시간 이후는 위험영역으로 인식하고 있다. 그런데 중간단계와 열화말기 단계로 인식하는 영역내에 다른 영역으로 인식된 결과가 혼재하고 있는 특성을 보여준다. 궁중으로 방사되는 신호측정을 이용하면 신호 발생원에서 멀어질수록 감쇄가 거리에 비례해 증가하므로 측정감도가 낮아지는 특성을 갖는다.

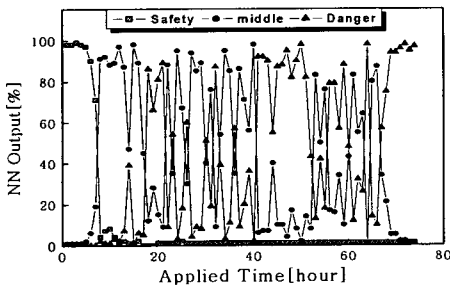


Fig. 9. Neural network output at 14kV.

그림 10은 15kV의 교류전압을 시료에 인가했을 때 안테나로 측정된 HFPD 패턴의 신경망 인식결과이다. 2.5시간까지는 안정영역으로 인식하고 있으며, 17시간 이후에는 위험영역으로 인식하고 있다. 중간영역의 인식이 낮은 것을 볼 수 있는데, 이것은 신호의 감쇄로 인해 구분이 명확하게 되지않는 패턴이 많다는 것과 측정 데이터의 특징값 추출이 어렵다는 것을 의미한다. 이런 문제점을 해결할 수 있는 방법은 주파수 구간별 측정점의 숫자를 증가하여 RBW(resolution band width)를 작게하는 것이다. 또한 신호의 증폭을 위해 높은 비율의 pre-amp를 사용해야 하며, 노이즈로 판단되는 신호들을 제거할 수 있는 필터의 설계가 동시에 이루어져야 한다.

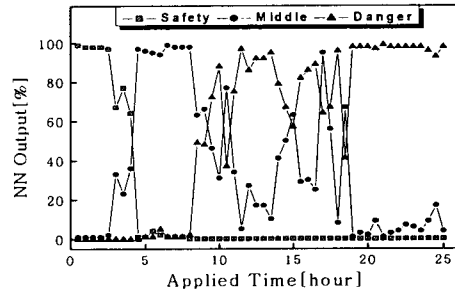


Fig. 10. Neural network output at 15kV.

## 4. 결 론

절연체에서 발생하는 HFPD 신호를 안테나를 이용해 검출하고, 측정된 신호를 정규화하여 신경망에 입력하여 패턴인식 및 열화진단을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 안테나를 통해 신호를 검출하는 HFPD 측정법은 고전압 기기에 센서를 직접 부착해 방전 신호를 검출하는 방법에 비해 감도는 약간 낮지만 절연체 열화진단이 가능하였다.
2. 인가 스트레스가 낮아 HFPD 신호의 패턴변화가 뚜렷히 관측되지 않은 경우에는 신경망의 인식률이 낮게 나타났다.
3. 인가 스트레스가 낮은 인가시간 초기에는 VHF 대역의 HFPD 신호가 주로 검출되지만, 인가 스트레스 및 인가시간이 증가되면 UHF 대역의 신호 및 전체 주파수 영역에서 신호를 검출할 수 있었다.

이상의 결과에서 모의 가속실험에서 발생하는 HFPD 신호를 안테나를 이용해 열화진단이 가능하였지만, 보다 장시간의 샘플링 시간과 측정기술이 요구되며 이에 대한 장기적인 실험과 현장운용 실험이 요구된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] G.C. Montanari, A. Contin, A. Cavallini, "Random Sampling and Data Processing for PD-pulse Height and Shape Analysis", IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 7 No. 1, pp. 30~39, February 2000
- [2] E. Galski, "Discharge Pattern Recognition in High Voltage Equipment", IEE Proceeding on Science of Measurement Technology, Vol. 142, No. 1, January 1995
- [3] B.A. Fruth, D.W. Gross, "Partial Discharge Signals Generation Transmission and Acquisition", IEE Proceeding on Science of Measurement Technology, Vol. 142, pp. 22~28, January 1995