

다중결함 부분방전의 패턴특성 연구

이준호  
호서대학교 공과대학 전기공학과

A Study on Pattern Characteristics of Multi-Defect Partial Discharge

June-Ho Lee  
Dept. of Electrical Eng., Hoseo University

**Abstract** - In practice, there may be various defects in an insulating system, so that the PD signals can be produced from these defect simultaneously. Regarding these situations, we have to discriminate the type of defect as well as to determine whether the PD occurs or not. In our research, some analysis results of the PD signals from multi-defects insulating system will be presented. We measure the PD signals using three kind of electrode system: IEC(b), Needle-Plane and mixed electrodes. To simulate multi-defect systems, we combine two electrode systems and apply test voltage simultaneously. Neural network, statistical analysis methods will be tested, and the possibilities and limitations of each method will be clarified.

1. 서 론

전력기기에서는 고전압이 인가된 상태로 오랜시간이 경과하면 절연이 취약한 부분부터 열화가 진행되거나 결함이 발생하고 이에 따라 국부적인 절연파괴로 인한 부분방전 현상이 발생한다. 이 부분방전은 전력기기의 절연상태에 대한 정보를 전기적 신호의 형태로 외부에 알려주는 역할을 한다. 따라서 이러한 부분방전패턴(또는 형태)에 대한 올바른 분석방법의 개발을 전력기기의 예방진단에 있어 매우 중요한 위치를 점하고 있다.

실제의 전력기기 절연시스템에는 여러 가지 형태의 결함이 하나의 시스템에 동시에 존재할 수 있다. 예를 들어 GIS(gas insulated switch gear)의 경우 부분방전의 발생 원인으로 spacer의 연면방전, free conducting particle, floating component등을 생각할 수 있으며 이러한 발생원으로부터 동시에 방전이 일어날 개연성은 매우 높다고 사료된다. 또한 전력용 캐이بل의 경우 공정상에서 발생한 기포, 령화에 의한 트리(tree)의 성장, 반도체층과 절연층과의 접착불량에 의한 미소틈새, 접속재에서 이종재료간의 계면 등 여러형태의 부분방전원이 존재한다. 또한 보다 현실적이며 현장에서 자주 마주치는 문제로는 결함에 의한 부분방전과 주변 잡음과의 분리에 관한 것으로 이것 또한 넓은 의미에서 다수의 부분방전원으로부터 결함을 분리, 인식하는 문제로 볼 수 있다.

따라서 기존의 부분방전연구가 단일 결함에 국한된 경우가 대부분이므로 실질적인 적용에 한계성을 가지고 있다고 볼 수 있으며 이를 개선하기 위한 방법의 하나로 다중 결함에 대한 부분방전의 연구는 부분방전을 이용한 전력기기의 진단법 개선을 위해 매우 의미있는 작업이 되리라 사료된다.

2. 본 론

2.1 부분방전의 발생과 측정

부분방전은 절연재료의 내부나 경계면에서 절연파괴가 발생하기 앞서 나타나는 국부적 방전으로 정의된다. 부분방전의 검출은 방전에 수반되는 에너지의 교환현상에 기초한다. 이 에너지의 교환은 전기적 임펄스신호, 유전체손(dielectric loss), 빛, 소리, 기체압력의 증가 및 화학반응 등의 형태로 나타나는데 이중 가장 널리 사용되며 또한 현재까지 가장 성공적인 결과를 보이고 있는 것이 전기적 신호의 측정에 의존하는 방법이다. 그림 1은 절연체 내부에 보이드가 존재할 경우의 개략도와 그 전기적 등가회로이다.

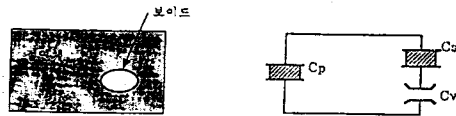


그림 1. 내부에 보이드가 있는 절연체와 그 전기적 등가회로

이 그림에서 Cv는 보이드의 용량성분, Cs는 보이드에 직렬연결된 용량성분이고 Cp는 직렬연결된 Cv, Cs에 병렬연결되는 절연체의 용량성분을 표시한다. 일반적으로 각 용량의 크기는  $C_p \gg C_v \gg C_s$ 의 관계에 있다.

Test object에서 발생하는 부분방전에 의한 임펄스 전류는 순간적으로 결합캐패시턴스와의 페루우프를 흐르게 되는데 이 신호를 RC 임피던스나 CT(current transformer)센서로 측정하여 필터를 거치게 된다. 신호들 중 시험전원의 주파수 성분이나 불필요한 잡음성분은 high pass filter를 거치면서 걸러지게 되고 이 신호는 다시 프리앰프로 증폭되어 A/D변환기를 내장한 데이터 저장장치에 디지털 수치로 저장된다.

부분방전의 신호로부터 파형분석에 필요한 정보는 기본적으로 펄스의 최대치와 그 위상각이며 이는 각각 peak sampling & holding 회로와 타이머로 구현된다. 데이터 저장장치에 저장된 신호는 오실로스코프를 통해 즉시 관찰할 수 있고 IEEE 488.2 GPIB를 이용하여 컴퓨터로 전송된 후 여러 가지의 패턴작성이나 신호처리 기법을 이용한 특징 파라미터 산출에 이용될 수 있다. 부분방전 패턴은 방전의 형태나 원인에 대한 많은 정보를 가지고 있다. 이 정보는 오실로스코프로 가시화될 수 있고 상기한 바와 같이 후처리를 통하여 형상화할 수 있다. 예를 들어 수 주기 동안 측정된 부분방전 신호로부터 방전크기의 분포나 방전회수의 분포를 구할 수 있는데 컴퓨터 시스템은 이러한 분포의 분석에 이용할 수 있다. 이러한 분석의 방법에는 통계적 파라미터를 비교하는 방법과 신경회로망을 이용한 패턴인식을 들 수 있는데 본 연구에서는 이 두가지 방법을 이용하여 다중결함에서 발생하는 부분방전으로부터 결함의 형태를 검출하

기 위한 알고리즘을 개발하고 각각의 알고리즘이 가지는 특성을 분석하고자 한다.

### 2.2 다중결합 부분방전의 식별

본 실험을 위해서는 다음 그림 2와 같은 3가지 전극, 즉 IEC(b), 침-평판 및 혼합전극계로부터 부분방전 펄스를 측정하였다. 혼합전극은 다중결합을 모의한 것이다. 동일한 전압에서 부분방전을 발생시키기 위해 PET 필름과 침전극의 거리 또는 PET필름의 두께를 조절하였다. 인가전압은 실효치 1.5 kV이고 측정과 측정사이의 시간간격은 30초로 하였다. 인가전압의 한주기는 200 등분의 위상각 구간으로 나누어지며 이는 한 구간이 200 μsec에 해당된다.

그림 3은 측정된 부분방전 신호로부터 구축된 PD 패

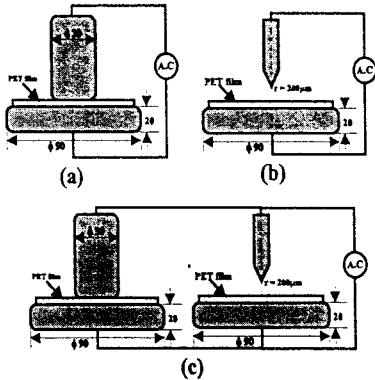


그림 2. 본 연구에서 사용한 전극 : (a) IEC(b)전극계, (b) 침-평판전극계, (c) 혼합전극계

턴이다. 수평축과 수직축은 각각 200 위상각 구간과 임의 스케일의 펄스 크기이다. 각 점은 해당 위상구간에 발생한 방전의 크기를 나타낸다. 이 예로부터 혼합전극으로부터의 부분방전은 각각의 전극으로부터 부분방전 패턴을 겹쳐놓은 상태에 가깝다는 것을 알 수 있다.

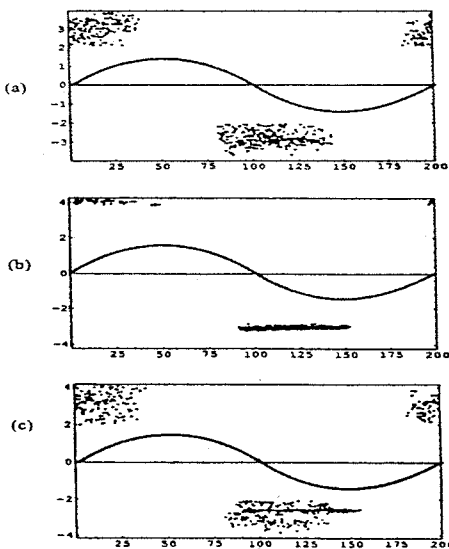


그림 3. 부분방전 패턴의 예 (a) IEC(b) 전극, (b) 침-평판전극, (c) 혼합전극

### 2.2.1 신경회로망을 이용한 식별

최근 많은 연구그룹에서 신경회로망 알고리즘을 이용하여 부분방전 인식을 시도하고 있다. 본 연구에서도 전술한 바와 같이 3층 구조의 역전파학습법을 적용한 신경회로망을 구축하여 부분방전의 패턴인식을 행하였다. 입력층, 중간층, 출력층의 유닛은 각각 320, 40, 3 개로 하였다.

우선 교육용 매트릭스로 320 요소의 입력을 가지는 입력벡터를 15개 만들었다. 교육용 벡터는 각각의 전극계로부터 측정된 20개의 패턴중에서 임의로 5개씩 선택한 패턴으로 구성되어 있다. 출력층의 3 유닛은 각각의 전극형태에 대하여 (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1)을 출력하도록 설정되었다. 교육과정이 끝나면 교육된 네트워크에는 시험용 매트릭스가 입력되어 그 결과를 검토하게 된다. 시험용 매트릭스는 모두 60개, 즉 각각의 전극계로부터 20개의 패턴을 선정하여 구성하였다. 그림 4은 3가지 전극계의 부분방전 데이터로 교육된 NN의 출력 결과이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 교육과정에서 각 PD패턴의 전형이 제공되면 교육된 NN는 각 PD패턴을 성공적으로 식별하고 있다.

다음으로 혼합전극으로부터의 부분방전 데이터를 제공하지 않고 NN을 교육시켰다. 즉 IEC(b) 전극계와 침-평판 전극계로부터 측정된 부분방전의 패턴만을 교육시켰고 그 결과를 살펴보았다. 그림 5을 시험 매트릭스에 혼합전극의 PD데이터를 포함시킨 경우의 출력이다. 그 결과 대부분의 혼합전극으로부터의 부분방전 패턴에 대해 NN는 (0,0,1)이 아닌 (1,0,0)의 출력을 내보냈다. 이것은 NN가 혼합전극의 부분방전 패턴을 IEC(b) 전극계로부터의 부분방전으로 오인하고 있다는 의미이다. 따라서 NN는 교육된 패턴과 유사한 부분방전에 대해서는 좋은 식별능력을 가지고 있으나 교육되지 않은 패턴에 대해서는 전혀 엉뚱한 대답을 할 수 있다는 결론을 얻었다.

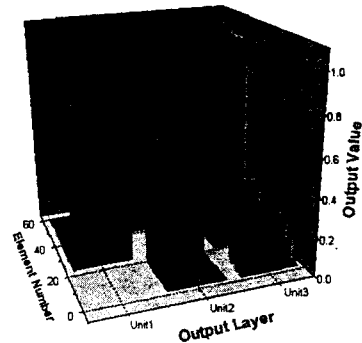


그림 4. 3가지 전극계의 방전패턴이 교육된 신경회로망의 출력

### 2.2.2 상관관계(cross correlation)

상관관계는 두 신호 또는 두 영상사이의 유사성의 정도를 나타내는 계수이다. 두 신호  $f(x,y)$ 와  $h(x,y)$ 사이의 상관계수 CC는 다음 식으로 계산된다.

$$CC = \iint f(x,y)h(x,y)dx dy$$

상관계수의 성질에 의하여 우리는 CC 연산자를 기준 패턴과 시험패턴 간의 매팅필터로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 측정된 신호로부터 구성되는 부분방전 패턴사이의 유사도를 구하기 위하여 위에서 언급한 상관관계를 조사하였다. 그림 6은 CC 계산의 약어관계를 설명하는 도표이다. 예를들어 I-N은 IEC(b) 전극계로부터 측정된 패턴중 하나를 시험패턴으로 하고 침-평판전극으로부터 측정된 20개의 부분방전 패턴을 각각 기준 패턴으로

설정하였을 때의 CC의 최대값 집합이다.

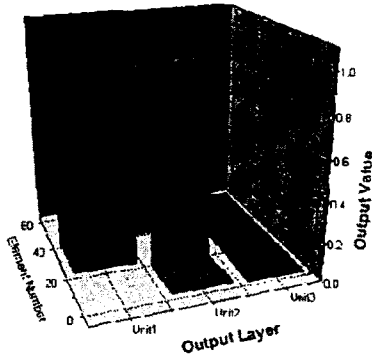


그림 5. 2가지 전극계의 방전패턴이 교육된 신경회로망의 출력

이 경우 1개의 IEC(b) 패턴은 결합형태를 알고자하는 시험패턴이고 20개의 패턴은 기준패턴의 역할을 한다. 그림 7은 그 결과를 보이고 있다. 결과로부터 자기 자신의 패턴에 대한 그룹내에서의 CC의 최대치는 대부분 0.8을 넘고 있다. 그리고 I-M은 I-N보다 큰 값을 가지고 있으나 I-I보다는 작은 값을 보이고 있다. 이 결과로부터 0.8이라는 값을 그 패턴이 해당 그룹에 소속하는지 아닌지를 결정하는 기준값으로 상정할 수 있다. 그럼에도 불구하고 CC를 시험패턴이 기준패턴 그룹에 속하는지의 여부를 결정하기 위한 수단으로 사용하기에는 많은 제약이 따른다고 사료된다.

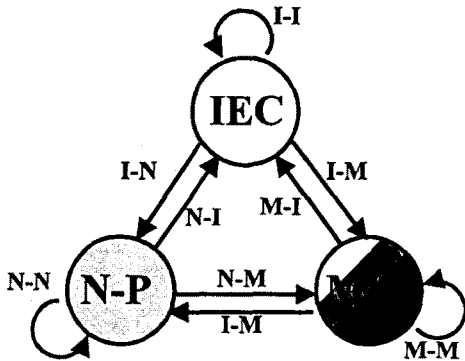


그림 6. 부분방전 패턴그룹 사이의 상관계수의 약어관계

### 3. 결 론

본 연구에서는 부분방전을 이용한 전력기기의 진단기법 개발을 위하여 실험실에서의 모의 시료를 제작하였는데 그 형태는 부분 방전의 3가지 대표적 유형을 모의할 수 있는 것으로 하였다. 이들 모의 시료로부터의 부분 방전 신호를 측정하였으며 그 결과의 이용에 관해 검토하였다. 또한 다중결합으로부터 발생하는 부분방전의 신호로부터 결합의 형태를 식별하기 위한 기초연구의 일환으로 신경회로망과 통계적 연산자의 식별능력을 검토하여 장, 단점으로 비교하였다.

다중결합의 식별실험결과를 종합하면 NN의 경우 교육된 신호와 유사한 신호에 대해서는 우수한 식별능력을 보이는 한편 교육되지 않은 신호에 대해서는 전혀 예기

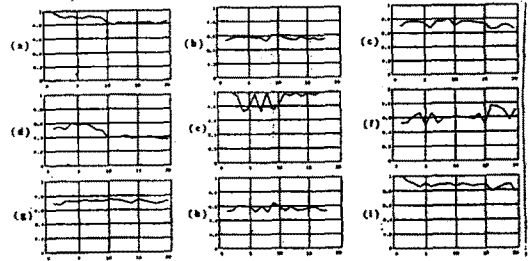


그림 7. PD 패턴의 두 그룹간의 상관계수 결과 : (a)I-I, (b)I-N, (c)I-M, (d)N-I, (e)N-N, (f)N-M, (g)M-I, (h)M-N, (i)M-M.

치 못한 출력을 발생시키는 한계를 확인하였다. 또한 통계적 연산자의 일종인 상관계수의 경우 기준 신호와 시험신호간의 매칭필터의 역할을 수행하였음을 명확히 하였다. 그럼에도 불구하고 CC 역시 혼합전극으로부터의 신호를 분리해 내는 데에는 한계점을 표출하였다. 실시 시스템의 적용에 있어서는 각각의 장점을 취합한 식별알고리즘의 개발이 필요할 것으로 사료된다. 추후의 과제로는 현장에서의 중, 장기적 데이터를 확보하고 이론을 기초로 한 진단 속도 고속화를 위한 알고리즘의 개선이 지속적으로 연구되어야 하리라 사료된다.

### (참고 문헌)

- (1) F. H. Kreuger, *Discharge Detection in High Voltage Equipment*, Temple Press, American Elsevier, 1964; Butterworths, 1989.
- (2) L. A. Dissado and J. C. Fothergill, *Electrical Degradation and Breakdown in Polymers*, Peregrinus, 1992.
- (3) T. Okamoto and T. Tanaka, "Novel Partial Discharge Measurement Computer Aided Measurement System", *IEEE Trans. on Elect. Insul.*, Vol. 21 pp. 1015-1019, 1986.
- (4) E. Gulski, *Computer-aided Recognition of Partial Discharge Using Statistical Tools*, Delft University Press, 1991.