

CV케이블의 부분방전 신호를 통한 열화과정의 정량적 진단

Normalization Diagnosis of Aging Process on Partial Discharge Signals of CV Cable

소순열* 전남대학교 공과대학 전기공학과
임장섭** 목포해양대학교 전자·통신공학부
김진사*** 광운대학교 공과대학 전기공학과
이준웅*** 광운대학교 공과대학 전기공학과
김태성* 전남대학교 공과대학 전기공학과

- * : Dept. of Electrical Eng., Chonnam National University.
** : Faculty of Marine Electronic and Communication Eng.,
Mokpo National Maritime University.
*** : Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon University.

Abstract

The partial discharge has been known as the chief breakdown of power equipments. The analysis and the recognition is much difficult because the partial discharge signal is very small and has complex aging pattern.

Recently, insulation aging diagnosis based on pattern of phase(ϕ), partial discharge magnitude(q), number(n) has been very important. Owing to depreciate the reappearance of aging progress at the electrical tree pattern and to be difficult to analyze visually, the study on partial discharge pattern is suggested to normalizing analysis method of partial discharge signals.

This paper is purposed on prediction of life-time measurement of cv-cable, on decision of risk degree with normalization and real-time measurement of partial discharge signals for aging diagnosis of cv-cable. As normalizing the aging signals of electrical tree in cv-cable, it is able to confirm risk degree of insulation material with the distribution of ϕ -q-n and recognize the process of aging pattern using neural network.

1. 서론

부분방전 측정은 1960년대에 이르러 고전압 전력용 설비의 절연상태를 진단하기 위한 중요한 시험으로 자리잡게 되었으며, 컴퓨터를 응용한 계측기술의 진보에 의해 부분방전의 계측과 해석도 고속화 및 정밀화가 되었다. 초창기의 부분방전 연구는 자기 테

이프를 이용한 부분방전량의 좀더 정확한 진단, 시간적으로 변화하는 상태 등의 정보를 제공하는 실험적인 연구로 진행되어왔으며, 컴퓨터를 이용한 측정 시스템은 데이터 저장과 처리를 향상시키고 데이터 처리과정에 있어서 강력하고 융통성이 대단히 크므로, 이것을 이용한 부분방전 진단에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

부분방전의 자동해석 과정에 대한 노력은 펄스각과 펄스위상의 히스토그램으로부터 얻어지는 자료를 전문가 시스템에 결합하는 것으로 시작되었으

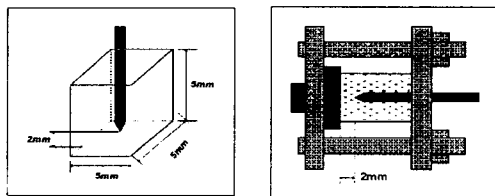
나, 측정장치에서 얻어지는 인위적인 해석이나 인식은 대단히 어렵다. 그러나, 부분방전의 패턴 인식에 관한 가능성은 방전 위상각, 방전량, 방전 빈도수($\phi-q-n$)의 3축으로 방전신호를 정량화함으로써 표현되어지고, 3D 부분방전 패턴은 기존의 부분방전 데이터 보다 훨씬 많은 정보를 갖고 있어 새로운 열화해석의 측면에 공헌을 하고 있다.

본 연구에서는 전력용 케이블의 전기트리 열화현상에 동반된 부분방전 신호를 정량화함으로써 케이블 절연체의 위험도를 인식하고, 정량적인 3D 패턴을 신경회로망에 적용하여 열화과정에 대한 진단을 수행하였다.

II. 실험 및 방법

1. 시료제작

실험에서 사용된 시료는 고전압 케이블에서 실제 사용되고 있는 가교 폴리에틸렌 (XLPE : crosslinked polyethylene)이며, 고압 케이블을 실제 절단하여 사용하였다. 시료의 구조는 그림과 같다.



(a) 시료 (b) 시료 고정기
그림 1. 시료의 구조

전압별로 인가하여 열화과정을 시각적으로 확인할 수 있도록 가로, 세로, 두께 $5 \times 5 \times 5$ [mm]의 크기로 절단하였으며, 이를 전기로에서 120°C 까지 상승시킨 후 30분간 유지하였다. 침전극은 직경 1[mm], 선단곡률반경 5[μm], 선단각도 30° 인 전극을 자체 제작하여 사용하였다. 평판전극과 침전극의 사이는 2 ± 0.2 [mm]의 거리가 되도록 침전극을 삽입하였다.

2. 실험방법

시료 고정기에 시료를 삽입한 후 목적전압까지 500[V/s]의 전압상승속도로 인가하여 목적전압에 도달하면 절연파괴가 형성될 때까지 유지시킨다.

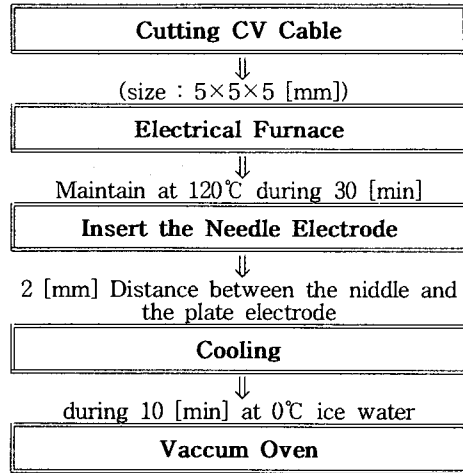
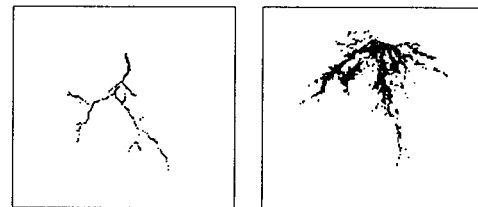
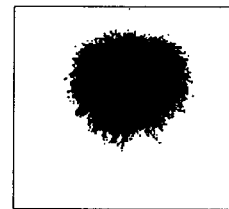


그림 2. 시료 제작과정의 다이어그램

여기서 발생되는 전기트리의 형상을 현미경과 CCD 카메라를 통하여 관측하고, 절연체가 열화되면서 발생하는 부분방전 신호를 전파정류회로와 피크홀더회로를 이용하여 오실로스코프에 측정된 데이터를 획득하였다. 오실로스코프의 데이터 저장방법은 자체 저장기능과 PC와의 인터페이스를 이용한 데이터 획득방법이 있으며, 본 실험에서는 두가지 방법을 함께 사용하였다.



(a) 7[kV] (b) 9[kV]



(c) 12[kV]

그림 3. 인가전압별 전기트리 형상

그림 3은 7[kV], 9[kV], 12[kV]에서 발생한 트리의 형태를 현미경과 CCD 카메라를 이용하여 획득한 형상이다.

3. 부분방전 신호의 3D 패턴

케이블의 열화시 발생하는 부분방전 신호는 방전량에 관한 열화패턴의 분석보다는 위상각 및 방전 발생빈도에 따른 패턴 인식이 중요한 것으로 추정되고 있기 때문에 방전량, 위상각, 발생빈도($\emptyset - q - n$)의 3D 패턴으로 정량화하였고, 이로서 얻어지는 방전신호의 정보로 열화과정에 관한 절연체의 위험도를 인식할 수 있었다.

그림 4는 열화 상태에서부터 발생하는 방전신호를 획득하고 이 신호에 함유되어 있는 방전정보를 3D로 정량화하는 과정을 나타내었다

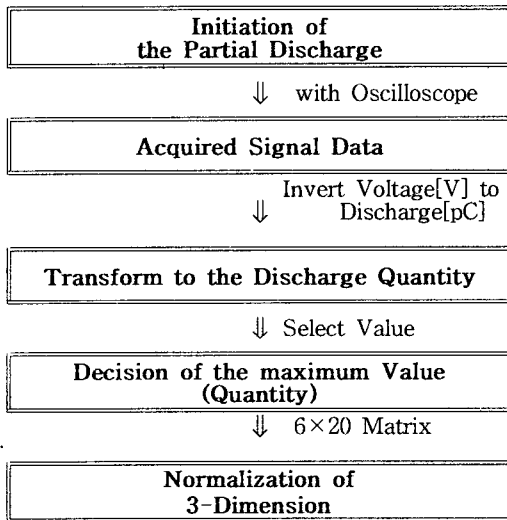


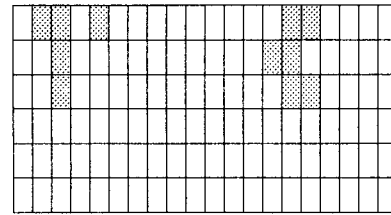
그림 4. 3D 신호 정량화 알고리즘

III. 실험결과 및 고찰

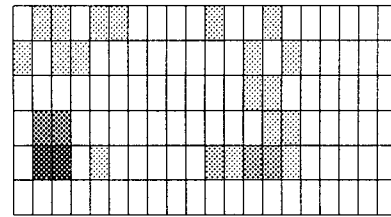
1. 3D 패턴을 이용한 분석

현재, 절연체의 파괴형태는 방전량의 크기에 의존한다는 이론보다는 방전량과 인가주파수의 위상각의 상호작용에 대한 연구가 진행되고 있다. 즉, 인가전압을 상승시킬수록 방전량은 증가하게 되지만 일정한 전압으로 유지 시킨 상태에서의 방전량의 변화는 큰 진폭을 형성하지 않는다. 따라서 $\emptyset - q - n$ 의 상호작용 패턴을 측정하고 분석함으로써 열화에 대한 특성을 해석할 수 있다.

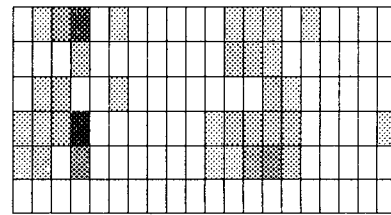
그림 5는 열화개시시의 부분방전 패턴과 열화개시 후 30분경에 형성된 3D 패턴이며 절연체의 파괴직전의 발생하는 신호의 패턴들을 보여주고 있다.



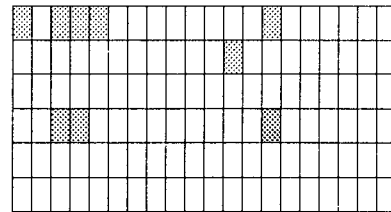
(a) 열화개시시의 3D 패턴



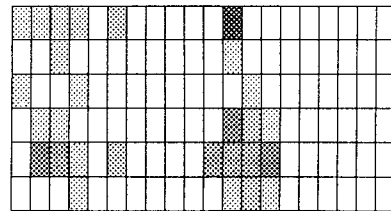
(b) 열화개시후 30분의 3D 패턴



(c) 절연체의 파괴직전의 3D 패턴
그림 5. 열화과정의 3D 패턴



(a) 열화개시시의 3D 패턴



(b) 절연파괴 직전의 3D 패턴

그림 6. bush형 트리의 열화과정 3D 패턴

그림 6, 7은 bush형과 chestnut형 전기트리의 열화 패턴과 방전 분포를 시간적인 변화과정으로 나타내었다.

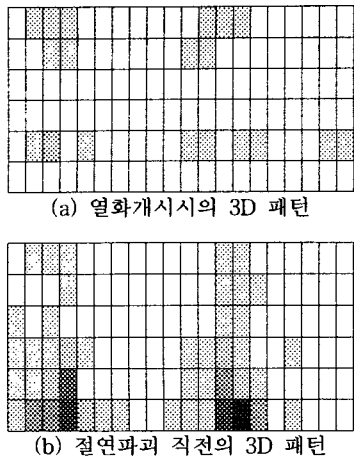


그림 7. chestnut형 트리의 열화과정 3D 패턴

이상의 결과로 부분방전의 신호를 정량화함으로써 방전의 진행과정 및 인가 주파수에 관한 특성을 관측할 수 있으며, 절연체의 위험도에 관한 정보를 확인하였다. tree형 전기트리의 3D 패턴은 방전개시시 일정한 위상에서 주 방전이 형성되지만, 열화형상이 진전할수록 방전량의 분포가 전면적인 위상으로 확산됨을 확인할 수 있고, bush형, chestnut형의 패턴도 방전빈도가 70%의 신호비로 증가됨을 확인하였다. 이는 곧 열화상태의 방전신호를 정량적으로 표현하였고 3D 정량화를 이용하여 케이블의 위험도에 관한 정보를 획득할 수 있었다.

2. 신경회로망을 이용한 열화인식

2-1. 열화인식을 위한 파라메타

신경회로망의 학습과정은 기본적으로 목적하는 출력을 따라가는 입력패턴의 구조를 반복적으로 변환하고, 적절한 오차의 값까지 감소시키기 위해 가중치 및 바이어스를 교정한다. 열화인식을 위한 알고리즘의 적절한 파라메타를 결정하기 위해 신경회로망의 구조는 입력층, 은닉층과 출력층으로 120, 20, 3으로 선정하였다. 신경회로망 파라메타는 학습을 α 는 0.9, β 와 δ 는 각각 0.5로 선정하였다.

신경회로망에 학습시킬 데이터는 120개의 셀로 구성된 Input 층과 Hidden 층의 뉴런의 수를 20, Output 층의 뉴런 수를 3개로 한 전기트리의 3D 정량화이다. Output 층의 안정영역과 불안정 영역, 그리고 이들 영역의 중간영역에 대한 유사패턴을

각 영역별로 25종으로 총 75개의 입력자료를 선정하였다

2-2. 전기트리 패턴에 관한 열화인식

전압 인가별 전기트리의 시간적 열화발생에 대한 패턴인식을 학습된 가중치를 적용하여 수행하였고, 이로 인한 열화형태에 관한 위험영역의 인식이 가능하였다. 학습된 파라메타와 가중치를 적용하여 트리패턴에 대한 위험영역의 인식정도를 확인해 보았다. 그림 9-12에서 tree형 패턴의 경우 영역 A, B, C의 구분을 확실하게 인식함을 보여주어 인식이 95%로 형성되어지고, bush형의 패턴은 A과 C의 영역에서 90%정도 인식되어지고 중간영역은 A과 B의 반복적인 인식결과로 부분방전이 불연속적으로 형성되는 특성으로 해석된다. chestnut형의 패턴은 B와 C의 영역이 혼잡하게 형성되며 인식율은 75%로 얻어진다.

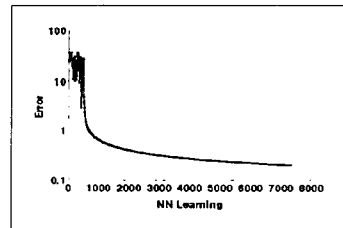


그림 8. 신경회로망 학습 데이터의 오차결과

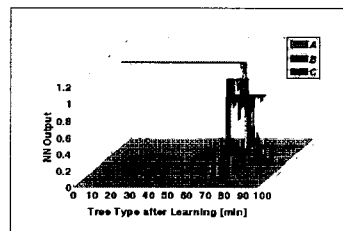


그림 9. 신경회로망에 적용된 tree형 패턴

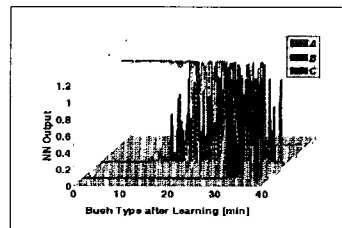


그림 10. 신경회로망에 적용된 bush형 패턴

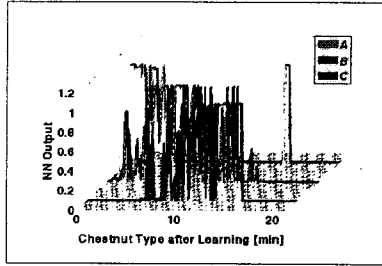


그림 11. 신경회로망에 적용된 chestnut형 패턴

이상의 결과로 열화단계를 3가지의 목표 출력에 적용한 결과 열화단계의 구분에 대한 가능성을 보여 주었고, 향후에 학습 데이터의 축적 및 반복적으로 형성되는 부분의 적응성 조사가 필요할 것으로 추정된다.

IV. 결론

부분방전의 신호를 정량화 함으로써 방전의 진행 과정 특성을 관측할 수 있으며, 신경회로망을 이용한 전력용 케이블 위험도 및 열화과정의 단계를 구분할 수 있다.

1) Tree형 전기트리 형태인 경우, 절연파괴가 일어나기까지의 3D 패턴은 주 방전의 위상의 확산 및 또한 방전량의 분포도 높은 발생빈도로 형성된다.

2) Bush형 전기트리의 경우, 열화개시시의 방전 패턴은 tree형 전기트리와 유사한 성향을 보이고, 수분 후에 chestnut형 전기트리 패턴으로 변화된다. 절연체의 파괴의 주된 원인이 방전량의 크기보다는 빈번하게 형성되는 빈도수라 할 수 있다.

3) 전기트리 형태에 따른 신경회로망의 학습을 적용해 본 결과, 학습 인식율은 98%의 매우 우수한 성능을 보여주었고 3D 패턴으로부터 위험도 인식의 정확도는 90%정도로 우수하였다.

4) 전기트리 패턴별에 따른 신경회로망의 적용으로 전기절연의 단계별 열화상태의 위험도를 진단할 수 있었으며, 시각적인 관측이 불가능한 절연체의 열화진단에 적용하는 것이 가능하였다.

Reference

- 1 G. Mole, "The Portable ERA Discharge Detector," CIGRE Report 105, 1954
- 2 J. Austin and R. E. James, "On-line Digital Computer System for Measurement of Partial Discharges in Insulation Structures," IEEE Trans. Elec. Insul., Vol. 11 No. 4, pp. 129-139, December 1976
- 3 T. Tanaka and T. Okamoto, "A Minicomputer Based Partial Discharge Measurement System," IEEE Int. Symp. on Electrical Insulation, Conf. Record 78-Ch1287-2-EI, pp. 86-89, June 1978
4. P. A. White and R. E. James, "Application Minicomputers to Study of Partial Discharges in Electrical Insulation," 54th Conf. of ESEA of NSW, pp. 2.1-2.27, 1979
- 5 D.A. Natrass, "Partial Discharge Measurement and Interpretation", IEEE Elec. Insul. mag., vol. 4, No. 3, pp10~23, May-June 1988
- 6 F. H. Kreuger, Partial Discharge Dection in High-Voltage Equipment. Butterworth Pub., 1989
- 7 H. Suzuki, "Pattern Recognition of Partial Discharge in XLPE Cables Using a Neural Network," IEEE. Trans. on Elcetrical Insulation, Vol. 27 No. 3, 1992
- 8 T.Okamoto, "Discrimination of Partial Discharge Patterns Using a Neural Network," IEEE Trans. Electrical Ins., Vol. 1 No. 1, 1992
- 9 E. Gulski, "Computer-Aided Measurement of Partial Discharge in HV Equipment," IEEE. Trans. on Electrical Insulation, Vol. 28 No. 6, 1993
- 10 L. Satish, "Artificial Neural Network for Recognition of 3-D Partial Discharge Pattern," IEEE. Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 28 No. 2, 1994