

이산웨이블렛 변환기법을 이용한 부분방전종류의 신호특징추출에 관한연구

A Study on Signal Feature Extraction of Partial Discharge Types Using Discrete Wavelet Transform Technique

박재준*, 전병훈, 김진승, 전현구,(중부대학교), 백관현(두원공과대학)
(Jae-Jun Park, Byung-Hoon Jeon, Jin-Seong Kim, Hyun-Gu Jeon, Kwan-Hyun Baek)

중부대학교 정보공학부 전기.전자 공학전공
(Joongbu University, Division of Information Engineering,
Major of Electrical. Electronic Engineering)
두원공과대학 전기과
(Doo Won Technical College)

Abstract

In this papers, we proposed the feature extraction method due to partial discharge type of transformers. For wavelet transform, Daubechie's filter is used, we can obtain wavelet coefficients which is used to extract feature of statistical parameters (maximum value, average value, dispersion, skewness, kurtosis) about acoustic emission signal generated from each partial discharge type . The defects which could occur in a transformer were simulated by using needle-plane electrode, IEC electrode and Void electrode. Also, these coefficients are used to identify signal of partial discharge type electrode fault in transformer. As a result, from compare of acoustic emission amplitude and acoustic average value, we are obtained results of IEC electrode> Void electrode> Needle-Plane electrode. otherwise, In case of skewness and kurtosis, we are obtained results of Needle-Plane electrode electrode> Void electrode> IEC electrode.

Key Ward : Acoustic Emission Signals, Discrete Wavelet Transform, Wavelet coefficient ,Feature Extraction, Multi-Decomposition, Partial discharge type electrode

1. 서론¹⁾

전력설비에 대한 열화상태의 계측과 진단은 전체

시스템의 신뢰성을 높일 수 있는 하나의 방법이 될 것이다. 전력분배 시스템에서 가장 중요한 전력기기 중 하나로서 변압기가 치명적인 고장, 사고를 초래하면 그에 대한 엄청난 피해와 보상이 뒤 따르게 될 것이다.

이런 사고를 미연에 방지하여 엄청난 정전사고를 예방하기 위해서는 변압기의 결함탐지 및 변압기 열화의 원인이 될 수 있는 부분에서 발생된 신호를

1) *중부대학교 정보공학부 전기전자공학전공
(충남 금산군 추부면 마전리 산 2-25)
Phone:041-750-6751
H.P:011-207-2381
E-mail:jjpark@joongbu.ac.kr

계측하여 중요한 특징을 추출함으로써 변압기 열화 상태를 진단할 수 있는^(7,8) 많은 연구가 절실히 필요한 것이다. 이런 사고를 미연에 방지하여 엄청난 정전 사고를 예방하기 위해서는 변압기의 결함부위탐지 및 변압기 열화의 원인이 될 수 있는 부분에서 발생된 신호를 계측하여 특징추출을 통한 변압기 결함부위를 진단할 수 있는 많은 연구가 절실히 필요한 것이다.

이런 변압기의 결함부위를 진단하기 위해서 부분방전의 종류에 따른 초음파신호의 주파수 특성 등을 검토하여 왔었다.⁽⁹⁾ 이런 문제점을 검토하기 위해서 일반적으로 부분방전에 의한 초음파신호의 측정은 변압기내에서 가장 발생빈도가 높고 위험한 결함인 돌출부를 침-평판 전극으로만 모의하여 실험하여 왔었다.

종래에는 변압기 열화상태를 진단하기 위해서 신호 해석 및 분석을 통한 진단 방법으로서 부분방전 시 발생된 방전 전하량 과 음향방출 펄스에 대한 새로운 정보로서 인가전압 위상 각의 정보를 도입하였다. (절연열화과정 및 절연파괴와의 관계, 즉 전극형상에 의한 사이클 평균 Φ -q분포를 도입하여 보이드 결함 추정 및 위상각 특성을 고려한 절연재료의 수명예측 등 인가전압 위상각에 따른 Φ -q-n 분포 패턴을 이용하여 수 많은 연구가 진행되었고 현재 실용화를 하고 있는 실정이다. (10,11)

신호해석을 위한 디지털신호처리 기법으로서 주파수-크기 분석법인 FFT(Fast Fourier Transform) 스펙트럼 해석을 주로 이용하였지만, 이 기법으로서 주파수-크기만 알기 위해 계측된 신호가 몇 KHz 인지 또는 몇 MHz 인지 알고자 할 때는 편리하지만 시간의 흐름에 따른 분석으로서 적합하지 못한 것이다.

최근에서는 음향방출신호(Acoustic Emission Signals) 가지고 시간의 흐름에 따른 주파수 분석기법으로 탁월한 성능을 가진 웨이블릿 변환기법(wavelet Transform)을 적용하여 연구되어지고 있다.(1,2,3,12,13)

본 연구에서는 크게 3가지 부분방전결함을 모의한 전극인 침-평판전극, 유중연면 방전(IEC전극), 보이드 방전을 모의하여 각각에 대한 음향방출신호 및 고주파전류신호를 계측하여 이산웨이블릿 변환기법을 적용하여 레벨-3으로 계수를 구한 후 5가지 통계적인 파라미터(최대값, 평균값, 분산, 왜도, 첨도)를 이용하여 특징을 추출하였다.

2. 실험장치 및 디지털 신호처리 과정

2-1. 실험장치

(1).Sensor

음향센서는 독일Vallen System 제품으로서 20[KHZ]~500[KHZ] 밴드 폭을 갖는 40[dB] 전치 증폭기(Pre-amplifier)가 내장된 150[KHZ] 공진주파수를 갖는 Acoustic Emission Sensor를 사용하였다. 센서로부터 출력된 자료가 A/D 컨버터로 입력되었다. 이 센서는 Magnetic hold를 사용하여 여러 가지 종류의 전극으로 구성된 전극이 변압기오일에 잠기도록 제작된 통의 측면외벽에 부착 하였다.

(2).전극구성 및 실험방법⁽⁹⁾

전극의 구성은 그림 1에서 보여준 바대로 3가지 종류의 전극으로 구성하였다. 1-(a) 침대평판 전극 1-(b) 유중 연면방전을 일으키기 위한 IEC전극, 1-(c) 보이드방전을 위한 전극으로 구성하였다.

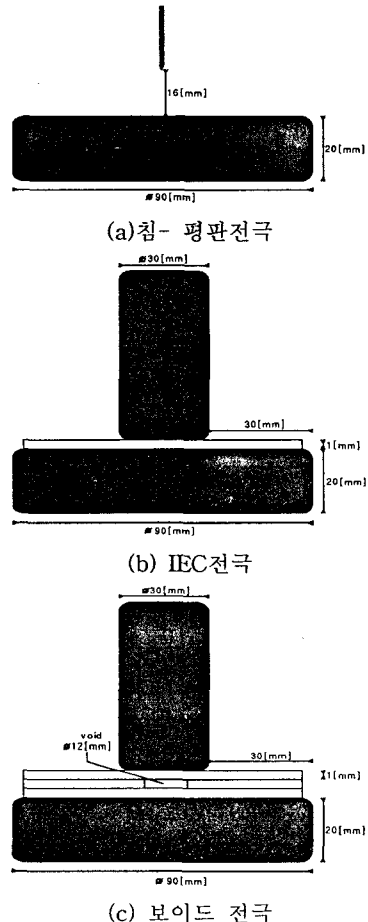


그림1. 부분방전 결함부위를 모의하기 위한 전극

침 전극은 일본 제품인 10[mm] 곡률반경을 갖는 침 전극을 사용하였고, 평판전극은 로고스키전극으로 구성하였으며 1[KV/s]의 일정한 승압속도로 침대 평판전극의 경우 15[KV_{RMS}]까지, 유증연면방전의 경우 30[KV/s]까지 일정하게 승압 한 후 파괴시까지 일정하게 인가하였다. 보이드방전 시 30[KV/s]까지 일정하게 승압 한 후 초기 5분 동안의 신호를 측정하였다.

(3). Data acquisition System^(1,2,3)

Data Acquisition System은 Digital Oscilloscope을 이용하게 되면 실시간으로 데이터를 컴퓨터로 전송받기 어려운 점이 많기 때문에 본 연구에 적합한 A/D Converter를 선정 하였습니다. Ultraview에서 생산된 12bit A/D board로서 80MHZ/Dual 40MHZ를 처리할 수 있으며, 최대 80MS/S 샘플링을 가지고 있으며 2-Channel로 구성되었으며, 차폐된 동축 케이블 (Shield coaxial cable)을 통하여 음향센서로부터 신호가 A/D보드로 입력되도록 구성하였습니다. 본 연구에서는 위상각을 고려하지 않은 단일AE 채널만을 이용하여 4Mbyte A/D보드의 버퍼 메모리를 갖는 PCI버스방식을 가지고 있다.

Sampling Rate는 A/D 컨버터의 측정기 면에서 체적의 상태라고 생각되는 8Ms/s을 유지하였으며, 4M byte를 실시간 data를 획득하는데 걸리는 시간은 125[ms]= 0.125[s]이었다. 5분 동안 데이터를 획득하고 1분 동안의 휴지시간을 두고서 절연파괴시 까지 연속적으로 측정을 실시하였다. 4M byte의 정보는 2진 정보로 되어 있으므로 Visual C++ 6.0으로 Interface 프로그램을 작성하여 10진 형식으로 코드 변환을 실시하였다. 동시에 4 M byte의 데이터를 나타낼 수 없으므로 EXCEL창에서 쉽게 나타낼 수 있도록 하기 위해서 64등분하는 프로그램을 작성하여 파일로 분류 선별하였다. 한 file내의 신호 point수는 16384개의 Point를 가지게 되므로 한 file동안 데이터를 획득하는데 소요되는 시간은 1.95[ms]이었다. 음향방출신호의 한 point 동안의 시간은 0.12[μs]가 된다.

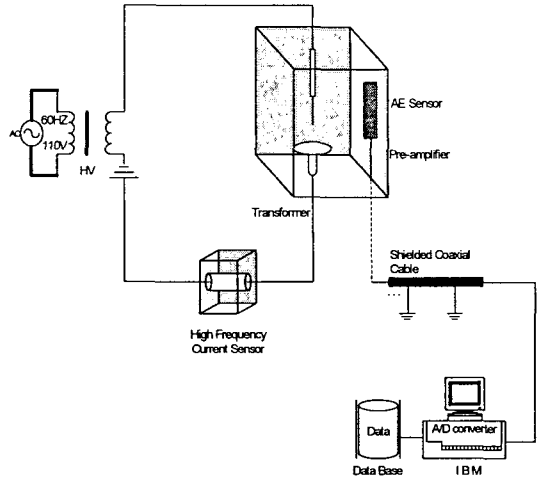


그림2. 실험장치 구성

Fig 2. Data Acquisition system set up

2-2.. 다중해상도 웨이블릿 변환(1,2,3)

(Multi-Resolution Wavelet Transform)

이산 웨이블릿의 확장으로 직교벡터공간에서 웨이블릿 함수를 변화 시킴에 따라서 다양한 크기의 해상도로 신호 $x(t)$ 에 포함되어 있는 성분들을 분석할 수 있게 된다. 이를 위해 다중 해상도 신호 분할 알고리즘이 소개되었으며, 이는 신호성분을 단계별로 더욱 세밀하게 표현하는 이산웨이블릿을 만들어서 적용하는 과정을 거치게 된다. 다시말해 2ⁿ만큼 확장된 식 (1)에서

$$W_{\psi} f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int f(t) \Psi * \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \dots\dots\dots (1)$$

이산 웨이블릿 함수 $\Psi_2^j(t)$ 를 시간 축에 대해 2^{-j} n 천이 시키고, 로 정규화

함으로써, 함수를 $\Psi_2^j(t)$ 를 시간 축에 대해 2^{-j} n 천이 시키고, $\sqrt{2^{-j}}$ 로 정규화 함으로써,

$$\sqrt{2^{-j}} \Psi_2^j(t - 2^{-j} n) \dots\dots\dots (2)$$

이산웨이블릿이 구성된다. 다중 해상도 웨이블릿 변환(Multi Resolution Wavelet Transform)은 웨이블릿 함수를 정규 직교기저에 적용함으로써 주어진 함수 특성을 분해하여 나타내는 알고리즘이라 할 수 있다. 웨이블릿은 고주파와 저주파를 단계별로 분리 적용하여 level-1, level-2.....level-n.로 분해하여간다. 그 역의 과정을 합성 즉, 역 이산웨이블릿(IDWT)이라고 한다. 이산웨이블릿의 과정 및 그 역

의 과정을 그림3에서 나타내고있다.

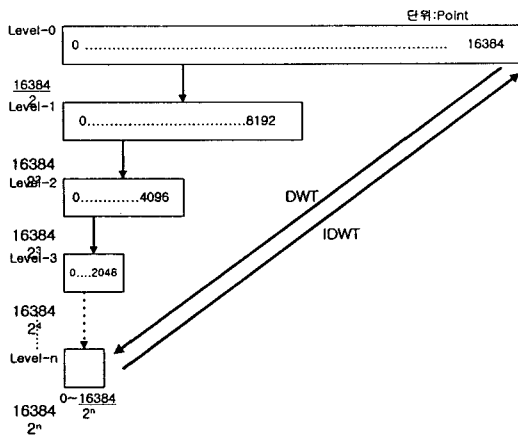


그림3. 본 연구에 적용된 신호의 이산웨이블렛의 분해 및 합성과정

Fig3 Discrete Wavelet Decomposition and Composition Procedure

그림2에서 볼 수 있듯이 고주파성분과 저주파성분이 적절히 분해되고 있음을 볼 수 있으며, 분리된 에너지는 웨이블렛 변환레벨을 증가시킴에 따라 저주파 쪽으로 에너지가 집중되어가는 과정을 볼 수 있다. 일반적으로 웨이블렛 변환을 적용했을 때 90[%]이상의 에너지성분이 저주파 쪽으로 집중된다.

(1).데이터 처리의 흐름도

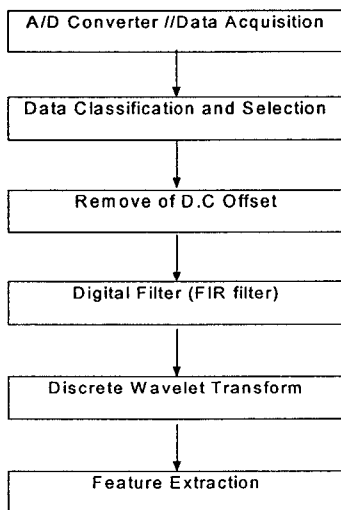


그림4.자료처리의 흐름도
Fig4 Flowchart of Data Treatment

3. 결과 및 검토 고찰

3-1. 음향방출신호

부분방전 시 발생된 음향방출신호의 전형적인 신호파형을 그림5에서 나타내었다. 신호의 포인터 수는 24576포인트로서 2.825[ms]의 시간동안 측정된 신호이다. 계측된 모든 음향방출 신호의 전반적인 특징은 신호 전반부에서는 급상승하여 급강하 되는 형태를 나타내고 있으며, 부분방전신호 원이 모의 변압기의 중앙에 위치하여 부분방전이 발생하면 음향의 전파에 의하여 다른 벽면에 부딪쳐 일부 반사되어오게 되므로 이는 echo에 의하여 음향펄스의 파가 길어지고 있다고 사료된다.

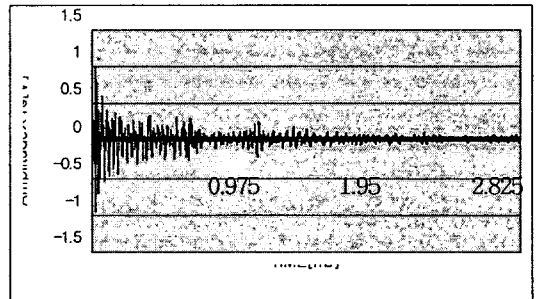


그림5. 실제 계측 된 전형적인 음향방출 신호
Fig5. Typical acoustic signal

3-2.부분방전 결함을 모의한 전극의 종류에 따른 음향방출신호의 패턴

3-2-1.침대평판전극

(1) 열화 초기신호

열화초기 음향방출신호의 대표적인 신호 패턴으로서 그림6에서 나타내고 있다. 음향방출 열화 초기신호는 중기 및 말기신호에 비하여 발생 펄스진폭이 크고, 발생신호의 duration time이 상대적으로 길기 때문에 excel상에서 나타내기 쉬운 정도인 16384포인트 만으로 나타내고 있다.

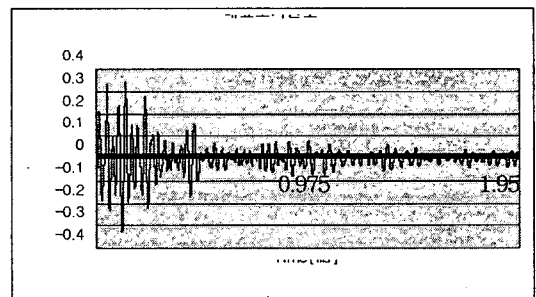


그림6. 침대평판전극으로 구성된 변압기 부분방전시 열화초기의 음향방출신호

Fig6. Initial aging state signal pattern

음향방출 파형은 지수함수적인 형태이지만, 말기의

음향방출신호보다 좀더 완만한 지수함수 형태의 신호가 다수의 신호형태로 표현되고 있다.

대표적인 신호의 경우는 하나의 파일에서 추출된 특징이 5가지 통계적인 파라미터(이산웨이블렛의 최대값, 평균값, 분산값, 왜도값, 첨도값)를 가지므로서, 초기상태에 계측된 신호의 파일수가 수천에서 수만 개의 파일이 발생됨으로 각 신호에서 발생된 특징 추출된 값을 전체 산술 평균한 값이 5가지 파라미터에 가장 근사한 신호를 선택하여 초기상태 및 말기상태 대표신호로 나타내었다.

(2) 열화말기신호

열화말기 음향방출신호패턴으로서 그림9에서 나타내고 있다. 열화의 말기신호는 초기에 비하여 진폭이 낮고, 펄스의 duration time도 극히 짧은 시간동안의 신호로서 단발성의 펄스가 다수의 신호 특징으로 나타나고 있다. 역시 지수함수 적인 펄스의 형태를 이루고있지만 초기에 비하여 기울기가 더욱 큰 지수함수의 형태를 가진 신호로서 나타내고 있다.

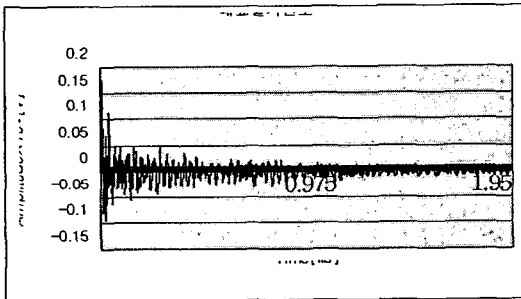


그림7. 변압기 부분방전시 열화말기의 대표적인 음향방출신호

Fig.7. Final aging state signal pattern

3-2-2. 유중연면방전(IEC전극)

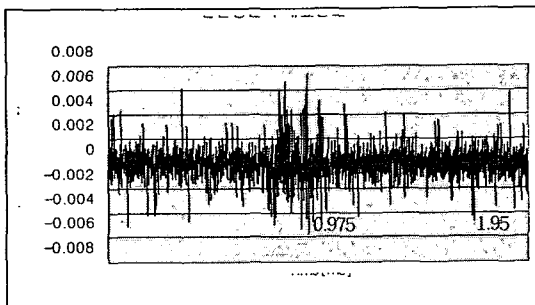


그림8. 연면방전시 대표적인 신호

3-2-3.보이드방전

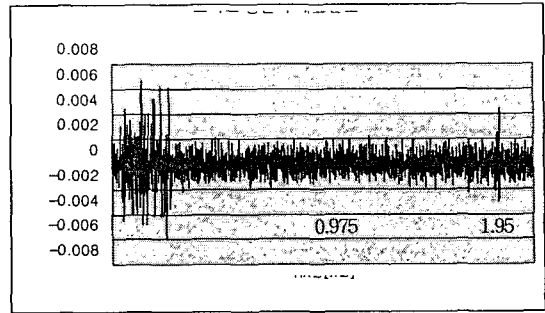


그림9. 보이드방전시 대표적인 신호

3-3. 음향방출신호를 Daubechies' Discrete Wavelet Transform에의 적용

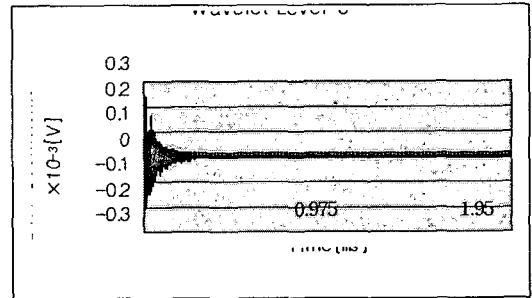


그림10. 침대평판의 대표적인 신호의 이산웨이블렛의 변환(Level-3)

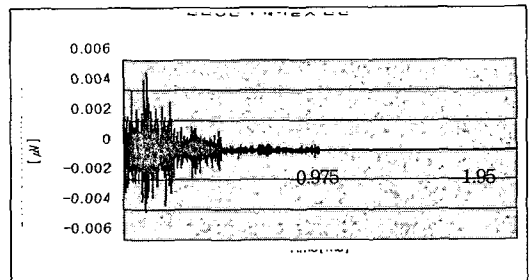


그림11. 연면방전의 대표적인 신호의 이산웨이블렛의 변환(Level-3)

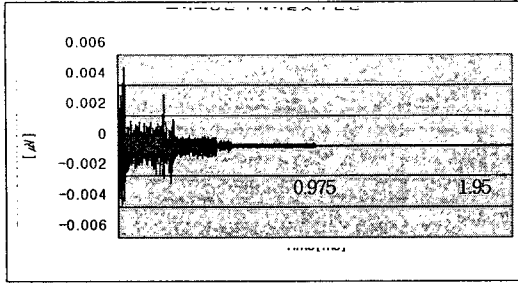


그림12. 보이드방전의 대표적인 신호의 이산웨이블렛의 변환(Level-3)

부분방전 결함을 모의한 3종류의 전극에대한 이산웨이블렛의 변환을 그림10~그림12에서 나타내고 있다.

웨이블렛의 레벨을 Level-3 이상 높이면 원형 신호의 패턴을 잃게 되므로, 즉 에너지가 새어 버리므로서 최적의 이산 웨이블렛 레벨-3으로 하는 것이 바람직하였다. 특징추출 시 하나의 파일에서 나타낸 신호패턴이 16384포인트인데 구성되어있지만, 이산 웨이블렛 변환의 Level-3으로 취하게 되면 2048 포인트의 웨이블렛 계수로서 16384포인트와 유사한 신호패턴을 그대로 유지하게 된다. 2048포인트를 Zero Cross의 Positive값을 재배열하여 5가지의 통계 파라미터에 적용하였다.

3-4. 부분방전 결함을 모의한 전극의 종류에 따른 음향방출신호의 특징추출

특징 전극종류	웨이블렛 계수	평균값	분산	왜도	첨 쇄 도
침대평판	165[μV]	20[μV]	4.93×10^{-4}	2.8	10.46
IEC 연면방전	440[μV]	53[μV]	16.5×10^{-4}	2.15	5.22
보이드 방전	410[μV]	51[μV]	15.5×10^{-4}	2.48	7.01

4. 결 론

본 연구에서 다음 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 부분방전결함을 모의한 3전극의 음향방출신호를 계측한 결과 이산웨이블렛 변환기법을 적용한 결과 다음과 같은 특징을 추출할 수가 있었다.

첫째로는 이산웨이블렛 변환시 Level-3가 원형의 신호패턴을 유지할 수 있는 최적의 level임을 확인

할 수가 있었다.

둘째로는 연면방전시 웨이블렛의 계수와 평균값이 가장 크고 그리고 보이드방전, 침대평판의 순서임을 알 수 있었다.

셋째로는 왜도와 첨쇄도는 침대평판이 가장 크고 그리고 보이드방전, 연면방전 순서임을 알 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 중부대학교 2001년 교내 연구과제에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

[참고문헌]

- [1] 박재준, 권동진, 송영철, 안창범 "이산웨이블렛 변환 기법을 이용한 변압기 열화신호의 특징추출에 관한 연구", 대한전기학회 논문지(c), Vol.50, No.3, pp121-129, 2001년3월
- [2] 박재준, 송영철, 전병훈 "이산웨이블렛 변환과 신경망을 이용한 변압기 열화상태 진단에 관한연구", 한국 전기전자 재료학회 논문지, Vol.14, No.1 pp84-92, 2001년1월
- [3] 박재준, "변압기 부분방전 발생패턴 인식에 의한 열화진단", 기초전력공동연구소, 99-지-02, 1999년
- [4] 박재준, 김성홍, 김재환, "The Diagnosis of Treeing Breakdown using Simultaneous Detection of Electrical Charge and Acoustic Emission Pulse of Partial Discharge", Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineer, Vol. 10, No.3, pp247-254, 1997
- [6] 박재준, 김 상남, "Characteristics of Acoustic Emission according to Variation Gap Length on Artificial Needle Shape Void", Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineer, Vol.8, No.4, pp495~503, 1995
- [7] Santosh Kumar Pandey and L. Satish, "Multiresolution Signal Decomposition : A New Tool For Fault Detection in Power Transformers During Impulse Tests", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.13, No.4, pp1194-1200, 1998
- [8] Hang Wang, Karen L. Butler, "Detection of Transformer Winding Faults Using Wavelet and Neural Network", Intelligent (ISAP'99) April

4 -8,pp 231~235, 1999

- [9] 박현수,박재도,정용기,곽희로,“부분방전 종류에 따른 초음파의 신호특성,”2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집“,pp1897-1899,2000
- [10] T. Okamoto, T. Tanaka Change in Pulse-Mean $\Phi - q$ Distribution Patterns of Partial Discharge due to Treeing Propagation”, Trans. Inst. Elect. Eng. Japan, vol. 102.A, No. 12, pp. 665-672, 1982
- [11] T. Okamoto and T. Tanaka, " Cycle-mean $\Phi - q$ characteristic of partial discharges in six electrode system", JIEE Vol. 102, No. 7, pp.7-14, 1982
- [12] Xiaoli Li , Shen Dong, Zhejun Yuan, "Discrete Wavelet Transform for Tool Breakage Monitoring", International Journal of Machine Tools & Manufacture 39(1999)1935-1944,1999
- [13] Agostino Abbate, Jeff Koay, Julius Frankel ,Stephan C. Schroeder, and Pankaj, "Signal Detection and Noise Suppression Using aWavelet Transform Signal Processor :Application to Ultrasonic Flaw Detection"IEEE Transaction on Ultrasonic FlawDetection" IEEE Transaction on Ultrasonics,Ferroelectrics, and Frequency Control,Vol44,No.1,1997