

# 이산 웨이블릿 변환 기법을 이용한 변압기 열화신호의 특징추출에 관한 연구

論 文
50C-3-4

## A Study on Feature Extraction of Transformers Aging Signal using Discrete Wavelet Transform Technique

朴材俊\* · 權東震\*\* · 宋映澈\*\*\* · 安昌範<sup>§</sup>  
(Jae-Jun Park · Dong-Jin Kwon · Young-Chul Song · Chang-Beom Ahn)

**Abstract** - In this paper, a new efficient feature extraction method based on Daubechies discrete wavelet transform is presented. This paper especially deals with the assessment of process statistical parameter using the features extracted from the wavelet coefficients of measured acoustic emission signals. Since the parameter assessment using all wavelet coefficients will often turn out leads to inefficient or inaccurate results, we selected that level-3 stage of multi decomposition in discrete wavelet transform. We make use of the feature extraction parameter namely, maximum value of acoustic emission signal, average value, dispersion, skewness, kurtosis, etc. The effectiveness of this new method has been verified on ability a diagnosis transformer go through feature extraction in stage of aging(the early period, the middle period, the last period)

**Key Words** : Acoustic Emission Signals, Discrete Wavelet Transform, FIR Digital Filter, Feature Extraction, Multi-Decomposition

### 1. 서론

최근 전력기기의 고전압, 대용량화 됨으로써 안정적이고 효율 좋은 전력공급이 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 전력 기기인 변압기나 전력 케이블을 비롯한 전력 계통과 절연 시스템에 있어서 절연 성능의 향상을 위한 중요성이 어느 때 보다 높다 하겠다.

전력의 대용량화는 절연시스템에 대한 열화와 결함을 가져 오게 되는 주요한 원인이 된다.

절연 시스템이 특정부분에 약점으로 작용하게 되면 곧바로 부분 방전으로 이어져 전로 파괴에 이르게 된다. 이런 변압기와 같은 전력기기가 절연 파괴에 이른다면 상상을 초월한 대 혼란과 손실이 막대하리라고 생각한다.

이런 절연 파괴를 미연에 방지하기 위해 대용량 및 소용량 변압기의 열화를 상시 진단하기위해서 본 연구를 착수하였다.

종래의 신호 해석 및 분석을 통한 진단 방법으로 인가전압 위상각에 따른  $\varphi-q-n$  분포 패턴을 이용하여 연구되어 왔고 실용화를 하고 있다.[1]

종래의 디지털신호처리 기법으로서는 종래에 FFT(Fast Fourier Transform) 스펙트럼 해석을 주로 이용하였지만 이 신호처리 기법으로서는 그 신호의 주파수 및 크기만을 알 수 있고,시간의 흐름에 따라 어떤 주파수가 어느 시점

에서 발생되었는지 알 수가 없는 단점이 있습니다. 즉, 시간의 개념을 이해할 수가 없다는 점입니다.

그리하여 웨이블릿 변환기법이 알려지기 전에는 데이터 Acquisition 한 신호를 일정하고 짧게 구간을 잡아서 그 신호를 FFT함으로써 그 주파수 성분이 어떤 시점 t 에서 발생 하였지를 대략 예측해 내는 STFT(Short Time FT)를 사용하여 왔었습니다. 그러나 최근에서는 웨이블릿 변환기법은 주파수-시간 성분을 동시에 표현할 수 있어서, 어떤 시점 t에서 어떤 주파수가 발생되는 지를 알 수가 있는 최신 신호처리의 한 기법입니다. 결국 FFT의 경우 X 축은 주파수가 되고 Y축은 그 주파수의 magnitude (계수 값)이 됩니다. 그러나 웨이블릿 변환의 경우 X축은 시간 축이 되고 Y축은 그 주파수의 계수 값이 됩니다. 결국 FFT와 웨이블릿 변환은 같은 주파수 개념을 사용하지만 결국 다른 의미가 됩니다.[3-7]

본 연구에서도 변압기내에서 부분방전이 발생될 때 수반된 음향방출신호를 실시간 계측하여,이산 웨이블 변환(Discrete Wavelet Transform ; 이하 DWT라고 한다)기법을 이용하여 계측된 열화신호를 열화상태에 따라 초기, 중기, 말기상태로 구분하여 각 열화상태에 대한 특징추출알고리즘을 구현하여 [15] 특징추출을 행하였다. 이산 웨이블릿의 multi-resolution (multi windows)기법을 사용하여 Visual C++6.0 컴파일러로 알고리즘 하였다[4,8-10]. 다중 분해능 기법으로서 적절한 스케일로 저주파 와 고주파 신호를 분류 하여 비선형적인 신호인 음향 방출신호를 웨이블릿 시킴으로서 발생된 계수를 통하여, 통계적인 파라미터로서 평균값 및 분산 그리고 왜도, 첨세도 와 같은 파라미터로 열화상태의 특징을 추출하였다.

\* 正 會 員 : 中 部 大 理 工 大 情 報 工 學 部 助 教 授 . 工 博  
 \*\* 正 會 員 : 韓 國 電 力 公 社 電 力 研 究 員 先 任 研 究 員 . 工 博  
 \*\*\* 正 會 員 : 光 云 大 工 科 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程  
 § 正 會 員 : 光 云 大 工 科 大 電 氣 工 學 科 教 授 . 工 博  
 接 受 日 字 : 2000 年 6 月 28 日  
 最 終 完 了 : 2001 年 2 月 26 日

## 2. 실험방법 및 디지털 신호처리 과정

### 2.1. 실험장치

#### 2.1.1 Sensor

센서는 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. 센서의 출력 단에서 증폭되어 나온 신호가 후치 증폭기20[dB]의 걸쳐 A/D컨버터로 입력되었다. 이 센서는 Magnetic hold를 사용하여 모의 변압기 외벽에 부착하였다.

#### 2.1.2 전극구성

전극의 구성은 그림 1에서 보여준 바처럼 침대평판 전극으로 구성하였다. 침 전극과 평판전극 사이에 절연지 보드판을 사이에 두고 침 전극을 절연지 보드판에 마이크로 메터를 통하여 일정하게 접촉하였다. 상부 침 전극은 일본 제품인 10[μm] 곡률반경을 갖는 전극을 사용하였고, 평판전극은 로고스키전극으로 구성하였으며 1[KV/s]의 일정한 승압 속도로 15[KV<sub>RMS</sub>]까지 승압 후 파괴 시까지 일정하게 유지인가하였다.

#### 2.1.3 Data acquisition System

Data Acquisition System은 Digital Oscilloscope보다 여러 가지로 우수한 장점을 갖는 A/D Converter를 본 연구에서 사용하였다. ULTRAVIEW에서 생산된 12bit A/D board로서 80MHZ/Dual 40MHZ를 처리할 수 있으며, 최대 80MS/S 샘플링을 할 수 있으며 채널는 2-Channel로 구성되었고, 차폐된 동축 케이블 (Shield coaxial cable)을 통하여 음향센서로부터 신호가 A/D보드로 입력되도록 구성하였습니다.

본 연구에서는 위상각을 고려하지 않은 단일 AE 채널만을 이용하여 4M-byte A/D보드의 비퍼메모리를 갖는 PCI버스방식을 가지고 있다.

본 연구에서는 Sampling Rate가 체적의 상태라고 생각되는 8MS/S을 유지하였으며, 4M byte메모리에 실시간 data를 획득하는데 걸리는 시간은 125[ms]=0.125[s]이었다.

계측방법으로서 9분 동안 데이터를 획득하고 1분 동안 휴지시간을 두고 절연파괴 시 까지 연속적으로 계측을 실시하였다. 4M byte의 원형 신호의 정보는 2진 정보로 되어 있으므로, Visual C++ 6.0 컴파일러로 Interface 프로그램을 작성하여 텍스트 형식으로 코드 변환을 실시하였다. 동시에 4 M byte의 데이터를 Display 할 수가 없으므로 EXCEL창에서 쉽게 나타낼 수 있도록 하기위해서 4M byte정보를 64등분하는 데이터분류 프로그램을 작성하여 신호를 분류 선별하였다. 64개의 파일 중 하나의 파일 내의 신호 point 수는 16384개의 Point를 가지게 되므로 한 파일동안 데이터를 획득하는데 소용되는 시간은 1.95[ms]이었다. 음향방출신호의 한 point동안시간은 0.12[μs]가 된다.

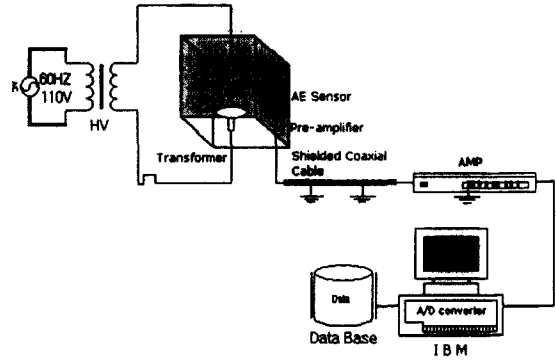


그림1. 실험장치

Fig1. Data Acquisition System Set up

### 2.2 Data Processing

#### 2.2.1 D.C offset

Data acquisition과정에서 신호가 Zero점으로 입력 되어있지 않기 때문에 Visual C++ 6.0의 프로그램으로 신호를 영점으로 설정하였다.

#### 2.2.2 마더웨이브렛 선정(Selection of Mother Wavelet)

Mother Wavelet의 선정은 각기 다른 신호의 변화를 탐지하고 위치를 확인 하는데 중요한 역할을 하게 된다. 따라서 Mother Wavelet의 선정은 연속된 신호의 성질과 종류에 달려있다 할 것이다. 본 연구에서 사용된 음향 방출 신호는 low-amplitude, short duration, fast decading 그리고 oscillating하는 형태의 신호이므로, 그 신호에 맞는 Daubechies' Mother Wavelet의 알고리즘을 위해서 사용된 각각의 디지털 필터계수를 표1에서 나타내고 있다.

표1.Daubechies마더웨이브렛의 필터계수

Table1.Daubechies Mother Wavelet Filter Coefficients

Daubechies' Mother Filter Coefficients	
저주파	. 026749f, -. 016864f, -. 078233f, . 266864f, . 602949f, . 266864f, -. 078233f, -. 016864f, . 026749f
고주파	0. 000f, -. 045636f, . 028772f, . 295636f, -. 557543f, . 295636f, . 028772f, -. 045636f, 0.00f

#### 2.2.3 웨이브렛 변환[8,9,10]

웨이브렛 변환(Wavelet Transform)은 원형함수를 시간에 따라 스케일링(Scaling)과 시프트(Shift)를 통해 원신호와 비교로서 그 유사성의 값을 계수값의 크기로 표현하여 신호를 재구성하는 기법을 말한다. 웨이브렛 변환에서 사용되는 기저함수(Basic Function)에는 스케일링 함수 j(t)와 웨이브렛 함수 Y(t)로 구성된다. 웨이브렛 변환 시 나타난 기저함수는

마더 웨이브렛(Mother Wavelet) Y(t)를 확대,축소,천이 등

에 의해서 얻어진다.

마더 웨이블릿 함수  $Y(t)$ 는 짧고 진동하는 함수로서 평균값이 0 이고 양쪽 끝에서 급격하게 감쇄하는 형태를 갖는다. 웨이블릿은 마더 웨이블릿의 크기를 확대, 축소, 천이 시켜 얻어진 함수들의 집합체로서 식(1)과 같이 나타낸다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \dots \dots \dots (1)$$

여기서 a: scaling factor, b: shift factor로 사용된다.

웨이블릿의 기저함수 들은 마더웨이블릿  $Y(t)$ 의 스케일링 및 병진한 결과로서 얻어지며, 다음 두 가지의 조건을 허용하여야 한다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\Psi(t)| = 0 \dots \dots \dots (2)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0 \dots \dots \dots (3)$$

또한 스케일링 함수의 적분값은 아래의 식을 만족해야 한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 1 \dots \dots \dots (4)$$

결국 웨이블릿의 변환식은 다음과 같이 표현될 수가 있다.

$$W_{\Psi} f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \dots \dots (5)$$

여기서 인자 a의 역할은  $a > 1$ 이면 확장되고,  $a < 1$  이면 축소된다. 그러므로 웨이블릿의 크기를 조절하는 역할을 한다. 또한 인자 b의 역할은 기저 웨이블릿의 시간축의 위치변화를 변화시키는 역할을 한다. 결국 크기인자 a의 값이 커지므로 기저 웨이블릿  $Y(t)$ 는 커지게 되며 이로인해서 획득신호  $f(t)$ 의 저주파성분을 분석할 수가 있고 그리고 a의 값이 작아지게 되면  $Y(t)$ 는 수축하게 되어  $f(t)$ 의 고주파성분을 찾아내는데 사용될 수가 있다.

**2.2.4 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform) [3, 8,9,10,12]**

이산 웨이블릿(Discrete Wavelet Transform, 이하 DWT라 한다)은 웨이블릿의 변환식 (5)의 인자 a, b를 이산치로 나타냄으로써 이루어진다. 이산 웨이블릿 함수는 다음 식(6)같이 표현할 수 있다.

$$\Psi_2^j(t) = 2^j \Psi(2^j t) \quad (j=0, -1, -2, -3, \dots) \dots \dots (6)$$

여기서, j는 scaling 지수를 의미하며, 시간 t 에서의 크기 인자  $2^j$  를 사용하였을 때, 입력  $x(t)$ 에 대한 웨이블릿 변환은 다음과 같이 표현된다.

$$d_{2^j} = D_{2^j}[x(t)] = x(t) * \Psi_2^j(t) \dots \dots \dots (7)$$

여기에서,  $D_{2^j}[x(t)]$ 는  $2^n$ 의 웨이블릿 변환 연산자는 나타낸다. 결국 웨이블릿 계수  $d_{2^j}$ 는 주어진 신호  $x(t)$ 와 이산 웨이블릿 함수  $\Psi_2^j(t)$ 의 상승 적분에 의해 구해지게 된다. 이 과정은 원 신호를 2의 역승 형태에 기초한 다운 샘플링의 방법을 사용하여, 고차 필터와 저차 필터를 사용하여 필터링 하는 개념이다. 그림 4에서 본 연구에 적용된 다운 샘플링 되는 과정을 보여주고있다.

**2.2.5 다중해상도 웨이블릿 변환 (Multi-Resolution Wavelet Transform ) [4,8,9,10]**

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 웨이블릿을 만들어서 적용하는 과정을 거쳐게 된다. 즉, 2<sup>n</sup>만큼 확장된 식 (7)에 있는 이산 웨이블릿 함수  $\Psi_2^j(t)$ 를 시간 축에 대해  $2^{-j}n$  천이 시키고,  $\sqrt{2^{-j}}$ 로 정규화 함으로써, 함수를  $\Psi_2^j(t)$ 를 시간 축에 대해  $2^{-j}n$ 천이시키고,  $\sqrt{2^{-j}}$ 로 정규화 함으로써,

$$\sqrt{2^{-j}} \Psi_2^j(t - 2^{-j}n) \dots \dots \dots (8)$$

웨이블릿이 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.....로 분해하여간다.

그 역의 과정을 합성 즉, 역 웨이블릿(Inverse Discrete Wavelet Transform ;이하 IDWT라고 한다)이라고 한다. 이산 웨이블릿의 과정 및 그 역의 과정인 역 웨이블릿을 그림3에서 나타내고있다.

그림2에서 볼 수 있듯이 고주파성분과 저주파성분이 적절히 분해되고 있음을 볼 수 있으며, 분리된 에너지는 웨이블릿 변환 레벨을 증가시킴에 따라 저주파쪽으로 에너지가 집중되어가는 과정을 볼 수 가있다. 일반적으로 웨이블릿 변환을 적용했을 때 90[%]이상의 에너지성분이 저주파쪽으로 집중된다.

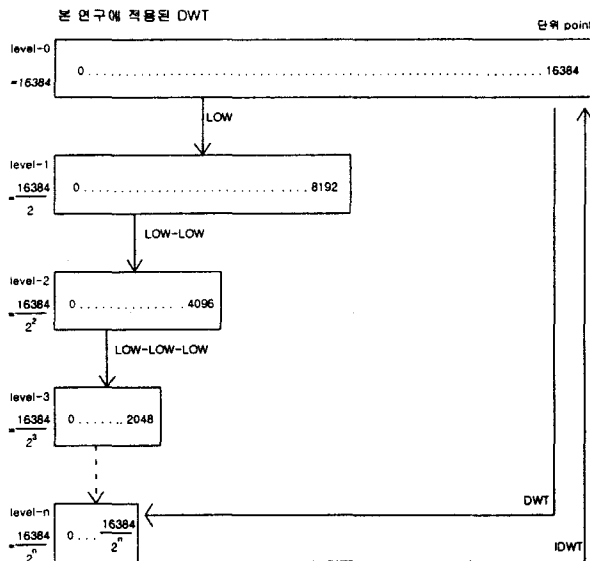


그림2. 알고리즘한 이산웨이블렛 변환의 분해와 합성  
(본 연구에 적용된 음향방출신호)

Fig2. Discrete Wavelet Decomposition and Composition Procedure

2.2.6자료처리의 흐름도

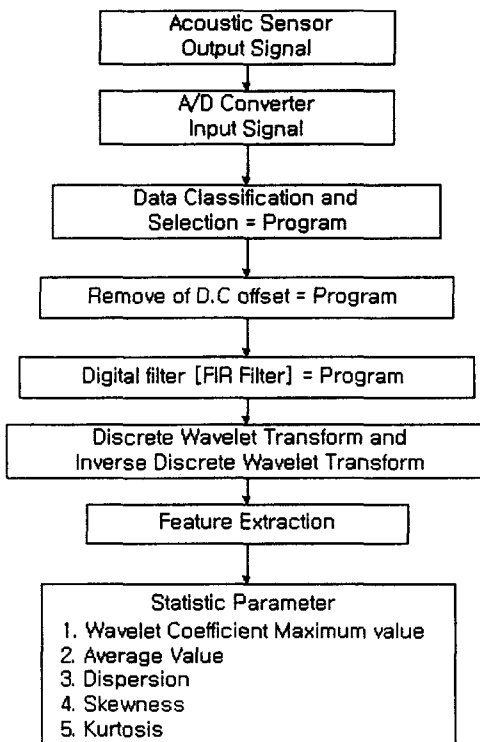


그림3.자료처리의 흐름도

Fig3 Flowchart of Data Treatment

2.2.7 특징추출(Feature Extraction)

이산웨이블렛의 다중분해능을 이용하여 특징을 추출하기위해서 원형신호를 DWT의 레벨0,1,2,3,4로 하여 원형신호의 형태를 그대로 유지되는 레벨을 찾아, 그 레벨로 고정하여 각각의 통계 파라미터에 이용한다.

원형신호의 포인트 수는 16384 Point인데 이산웨이블렛을 Level-1로 하면 원 신호에 대한 에너지가  $\frac{1}{2}$  만큼(8192포인트)으로 해당된 포인트 수를 갖게 된다. Level-2 로 하면  $2^2$  (4배)만큼 에너지가 한 곳으로 모여들어, 그때 포인트의 수는  $\frac{1}{4}$  만큼(4098포인트)으로 된다. Level-3로 하면  $2^3$ (8배)만큼 에너지가 모여들어  $\frac{1}{8}$  만큼(2048)포인트로 된다. 이렇게 계속하여 레벨을 높여주어 Level-n 로 되면  $2^n$ 만큼으로 에너지가 모여들게 된다.

즉 Level-3으로 하면 16384포인트의 신호가 2048의 웨이블렛 계수로, Level-4로 하면 웨이블렛의 계수가 1024포인트의 신호로 압축되어 표현될 수 있으므로 최적의 웨이블렛의 레벨을 선정하여 특징을 추출하면 된다.

본 연구에서는 Level-3으로 고정하여 통계적인 파라미터에 적용하였다.

2.2.8 열화상태 구분

일반적으로 유전체물질 등의 경우 열화구분 방법은 I-V특성을 이용하여 변곡점 및 기울기에 따라 1구간, 2구간, 3구간 등으로 나누어 메커니즘 해석을 합니다. 그러나 본 연구에서의 경우 열화구간을 열화 전체시간에 대해서 초기열화상태는 10[%] 열화증기는 80[%] 열화말기는 10[%]로 구분하여 시간적 구분으로 열화구분을 실시하였습니다. 구체적으로 표현하면

4Mbyte의 A/D Converter 버퍼메모리의 내용을 살펴볼 때 시료에 전압을 인가한 후부터 절연파괴가 이루어진 시점까지를 고려하여 전체시간으로 잡았습니다. 계속된 그 많은 데이터를 모두가 사용될 수는 없습니다. 따라서 전체에 걸쳐 계속된 신호를 이용한 것은 아닙니다. 자동분류 프로그램에서 4Mbyte의 내용을 64개의 데이터 파일로 자동분류 하였습니다. 자동분류 시 처음 발생된 신호가 대부분 지수 함수적으로 발생하기 때문에 그 처음 발생된 음향신호의 진폭이  $0.09 \times 10^{-3}$ [V] 이상의 신호만을 선택하여 본 연구에서 데이터로 사용하였습니다. 그런 결과로 인하여 초기상태에서는 다수 큰 음향펄스가 계속되었고 중기 및 말기로 갈수록 초기에 비하여 음향펄스의 진폭이 작은 펄스가 많이 계속되었습니다. 그런 이유로 그 선별된 데이터를 전체시간에 대해서 초기열화를 10[%] 증기를 80[%] 말기를 10[%]로 구분하였고, 그 범위 내에서 선별된 파일이 수천개의 파일이 됩니다. 이 많은 파일 중 1500개씩 각기 선별하여 통계적 파라미터를 이용하여 특징추출 하였습니다. 특징 추출된 파일은 1개의 원형신호에 대해서 최대값,평균값,분산,왜도,첨도가 발생되게 됩니다. 예를들어 1000개의 원신호를 특징추출하게 되면 각각의 통계적 파라미터의 값이 각각1000개씩 발생되게 됩니다. 그런 각각의 특징마다 전체 산술평균을 실시하였습니다. 그 값을 표2에 나타내었습니다.

### 3. 결과 및 검토

#### 3.1 디지털 필터[6,7,13]

원 신호를 살펴보면 smooth하지 않고 신호 위에 리플들이 함유되어 있는 것처럼 보입니다. FIR(Finite Impulse Response) 필터는 원 신호를 좀더 smooth 하게 만들어 웨이블릿 변환 전이나 후에 원 신호의 시간적인 효과를 높이기 위해서 사용된 일종의 Low-Pass 필터 입니다. 사용된 FIR 필터의 계수는 Matlab을 이용하여 생성된 즉, 이미 입증된 계수들을 사용하였습니다. 물론 사용된 계수는 Matlab을 통해 생성된 많은 계수들 중 원 신호의 magnitude에 큰 변형을 일으키지 않으면서도 시각적으로 향상된 신호를 얻을 수 있는 것으로 많은 모의 실험을 통해 선별된 것입니다. FIR 디지털 필터의 장점은 입력 신호에 의존하여 자동적으로 필터계수(coefficients)를 조정 할 수 있다는 점입니다. 그림4와 5에서 FIR필터링 전후의 그림을 나타내고 있다.

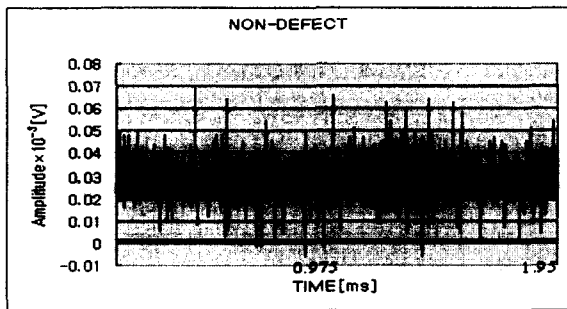


그림 4. 시스템내의 랜덤노이즈 신호  
Fig4 Random Noise Signals of System

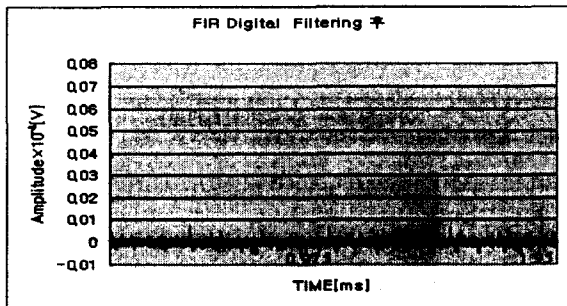


그림5. FIR 디지털 필터링 후의 노이즈가 제거된 상태신호  
Fig5. Noise remove signal after FIR digital filter application

#### 3.2 음향방출신호

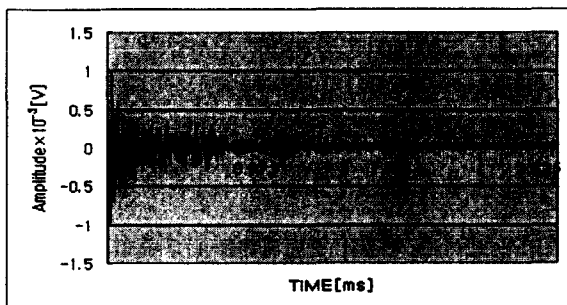


그림6. 실측된 전형적인 음향방출신호  
Fig6. Typical Acoustic Signals

부분방전 시 발생된 음향방출신호의 전형적인 신호파형을 그림 6에서 나타내었다. 신호의 포인터 수는 24576포인트로서 2.825[ms]의 시간동안 측정된 신호이다.

계측된 모든 음향방출신호의 전반적인 특징은 신호 전반부에서는 급상승하여 급강하 되는 형태를 나타내고 있으며, 부분방전 신호 발생원이 모의 변압기의 중앙에 위치하여 부분방전이 일어나면 음향의 전파에 의하여 다른 벽면에 부딪쳐 다시 반사되어 오게 되므로 이는 echo에 의하여 음향펄스의 파가 길어지고 있다고 사료된다.[6]

#### 3.3 Daubechies' Wavelet Transform의 음향방출신호에 적용 [3,4,5,6,7]

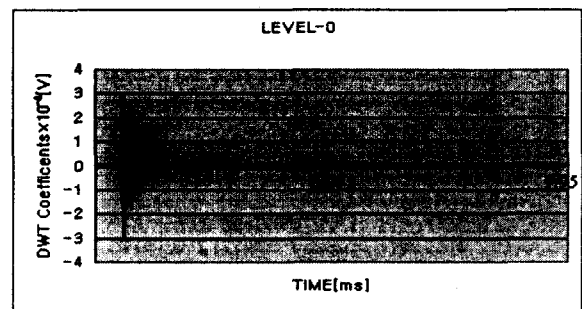


그림7.음향신호의 이산 웨이블릿 변환 Level-0  
Fig7.Discrete Wavelet Transform Level-0

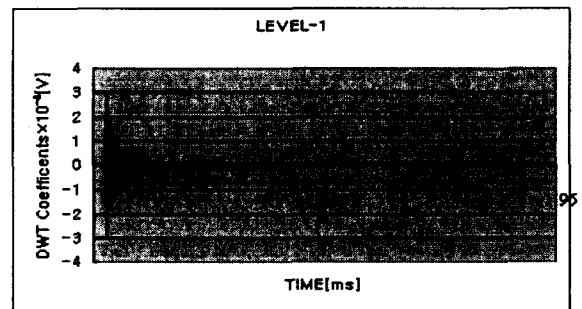


그림8. 음향신호의 이산 웨이블릿변환 Level-1  
Fig8. Discrete Wavelet Transform Level-1

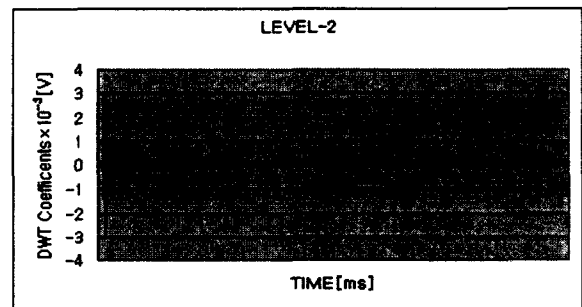


그림9 .음향신호의 이산 웨이블릿변환 Level-2  
Fig7.Discrete Wavelet Transform Level-2

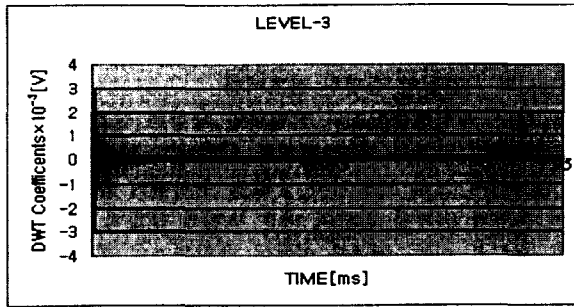


그림10. 음향신호의 이산 웨이블릿변환 Level-3  
Fig10. Discrete Wavelet Transform Level-3

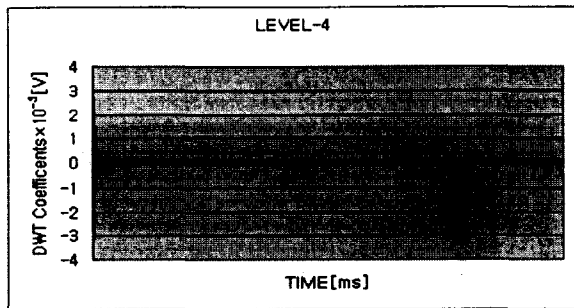


그림11.음향신호의 이산 웨이블릿변환 Level-4  
Fig11. Discrete Wavelet Transform Level-4

부분방전시 발생된 음향방출신호를 Daubechies' 마더 웨이블릿 이산 필터계수를 표1에서 나타내었다. Visual C++ 6.0으로 다중-분해능 이산웨이블릿을 자체알고리즘한 결과 음향방출신호에 적용한 결과를 그림7에서 11까지 각 레벨인 Level-0, Level-1, Level-2, Level-3, Level-4까지 나타내었다.

본 연구에서 특징추출을 위한 통계파라미터에 적용하기위해서 DWT의 Level-3으로 고정하여 모든신호를 DWT하였다.

하나의 파일에서 나타낸 신호는 16384포인트인데 DWT의 Level-3으로 하면  $\frac{16384}{2^3}$  개의 2048포인트의 Zero Cross의 Positive 값을 재 배열하여 각 통계파라미터에 적용하였다.

Daubechies' 이산웨이블릿이 음향방출신호의 분석 및 합성에 용이함을 알 수가 있었다.

### 3.4. 웨이블릿 레벨선정[8][10]

어떤 신호에 웨이블릿 변환을 적용하면 에너지가 한쪽 부분 즉, 저주파 쪽으로 모이게 됩니다. 웨이블릿 변환 레벨은 적용되는 신호에 따라 달라 질 수 있습니다. 본 논문에서 웨이블릿 변환 레벨을 3으로 한 것은 원 신호들의 에너지 집중도가 그 경우에 제일 높다고 판단했기 때문입니다. 일반적으로 변환레벨을 너무 작거나 또는 크게 하면 에너지 집중도가 떨어지는 결과를 초래한다고 알려져 있습니다. 결과적으로 변환 레벨의 선택은 적용 대상이 되는 신호의 에너지 집중도에 따라 얼마든지 바뀌질 수 있는 변수입니다.

## 3.5 Feature Extraction

변압기내 부분방전 시 발생된 음향방출 신호의 열화상태 특징 추출

### 3.5.1 열화 초기상태 특징추출

열화초기상태의 대표적인 음향방출신호 패턴으로서 그림12-13에서 나타내고있다.

음향방출 열화 초기신호는 중기 및 말기신호에 비하여 발생 펄스폭이 크고, 발생신호의 duration time 이 상대적으로 길기 때문에 excel상에서 나타내기 쉬운 정도인 16384 포인트 만으로 나타내고있다. 음향방출신호 파형은 전구간의 열화상태에 모두 지수 함수적인 형태로 나타나지만, 열화초기에서는 말기의 음향방출신호보다 좀더 완만한 지수함수 형태로 표현되고있다. 이런 형태를 통계적인 파라메터인 왜도와 첨쇄도의 값으로 표2에서 표현 하고있다.

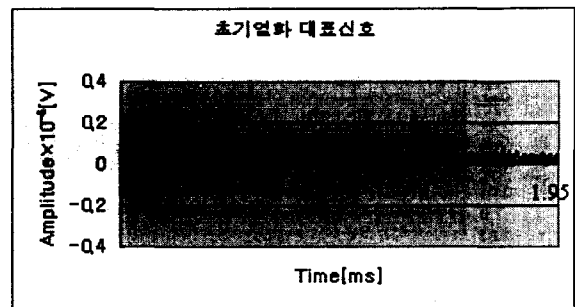


그림12. 열화초기상태 대표신호  
Fig12. Typical Signal of Initial Aging State

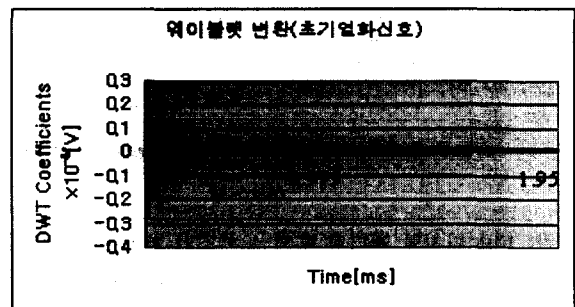


그림13. 열화초기상태 대표신호를 웨이블릿 변환 Level-3  
Fig13. Typical Signal of Initial Aging State (Wavelet Transform Level-3)

### 3.5.2 열화중기 상태 특징추출

열화중기상태 음향방출신호패턴으로서 그림14-15에서 나타내고 있다.

열화초기와 말기의 중간의 분포패턴을 나타내고있다. 이는 표2에서 왜도 및 첨쇄도를 통하여 나타나고있다.

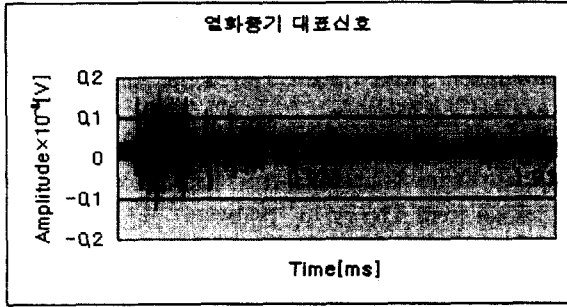


그림14. 열화중기 상태 대표신호  
Fig14. Typical Signal of Middle Aging State

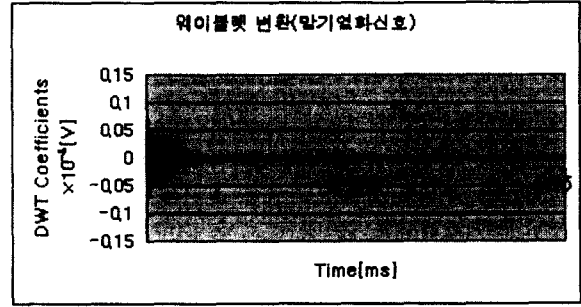


그림17. 열화말기상태 대표신호를 웨이블릿 변환 Level-3  
Fig17. Typical Signal of Last Aging State (Wavelet Transform Level-3)

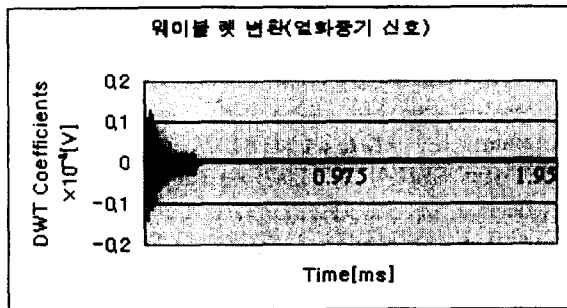


그림15. 열화중기 상태 대표신호를 웨이블릿 변환 Level-3  
Fig15. Typical Signal of Middle Aging State (Wavelet Transform Level-3)

### 3.5.3 말기열화상태 특징 추출

열화말기상태의 음향방출신호패턴으로서 그림16-17에서 나타내고있다.

열화의 말기신호는 초기에 비하여 진폭이 낮고, 펄스의 duration time도 극히 짧은 시간동안발생하고 있으며, 역시 지수함수적인 형태를 이루고있지만 초기에 비하여 기울기가 더욱 큰 지수함수의 형태를 가진 신호로서 나타내고있다. 이를 통계적인 특징추출로서 표 2에서 나타내고있다.

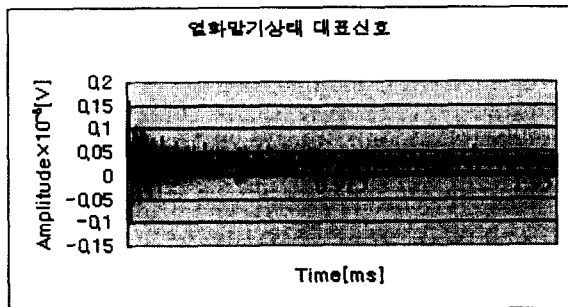


그림16. 열화말기상태 대표신호  
Fig16. Typical Signal of Last Aging State

### 3.5.4 열화초기, 중기, 말기상태에서 추출된 통계적인 특징 파라미터

열화 상태에 따라 나타낸 통계적인 파라미터로서 열화초기, 중기, 말기에서 나타낸 값은 매9분 동안에서 측정된 신호를 전체 평균화 한 값으로 나타내었고, 평균화 한 값에 대한 파일 개수는 약 1500개를 기준으로 하였다.

열화상태	열화초기	열화중기	열화말기
통계 파라미터			
이산웨이블릿 계수	0.257	0.129	0.1095
평균	0.032	0.019	0.0095
분산	0.00083	0.00051	0.00014
왜도	2.57	2.17	3.67
첨쇄도	8.3	5.95	17.13

## 4. 결 론

본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. Daubechies 마더웨이블릿을 음향방출신호에 적용한 결과 신호의 분해와 합성이 용이함을 알수있었다.
2. 랜덤노이즈의 제거기법으로서 FIR Digital Filter의 알고리즘이 상당한 노이즈를 제거할 수가 있었다.
3. DWT의 Multi-Decomposition시 Level-3가 특징추출 위해서 사용되었다.
4. 열화초기,중기, 말기 신호패턴의 특징을 추출한 결과에 대해서

- A. 초기에서는 펄스의 진폭이 말기에 비하여 상대적으로 크지만 ,말기에서는 작았다.
- B. 초기상태에서는 펄스발생 duration time이 길고 말기에서는 단발성펄스로서 극히 짧았다.
- C. 왜도 및 첨쇄도 경우도 초기, 말기에서 공통적으로 지수 함수적인 펄스 즉, 신호전반부에서 높다가 급강하하는 형태를 이루고있었다.

그러나 말기에서는 급강하하는 정도가 더욱 커서 왜도 및 첨쇄도가 초기에 비하여 상대적으로 컸다. 중기에 있어서는 초기와 말기상태의 중간 값을 유지하고 있는 이유로서 방전의 흐트러짐이 강하게 나타나고 있음을 나타내고 있다.

5. 열화초기상태 경우 duration time 이 크게 되는 경우는 부분방전 신호 원이 모의 변압기 내부 중앙에 위치하여 발생된 신호가 사방벽면의 반사에 기인될 수가 있다고 사료 됩니다.

**감사의 글**

본 연구는 한국전력공사 지원에 의하여 기초전력 공동 연구소 주관(관리번호 99-지-02호)으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

**참 고 문 헌**

[1] 박 재 준, " 음향방출 계측법을 이용한 트리아 열화진단에 관한 연구" 광운대학교 박사학위논문,1993

[2] 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

[3] Xiaoli Li , Shen Dong, Zhejun Yuan, "Discrete Wavelet Transform for Tool Breakage Monitoring", International Journal of Machine Tools & Manufacture 1935-1944 , 1999

[4] 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

[5] Hang Wang ,Karen L.Butler, "Detection of Transformer Winding Faults Using Wavelet Analysis and Neural Network", Intelligent System Application to Power Systems(ISAP'99)April 4 -8,pp 231~235, 1999

[6] Agostino Abbate, Jeff Koay, Julius Frankel, Stephan C. Schroeder, and Pankaj, "Signal Detection and Noise Suppression Using a Wavelet Transform Signal Processor : Application to Ultrasonic Flaw Detection" IEEE Transaction on Ultrasonic Flaw Detection" IEEE Transaction on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control,Vol 44,No.1,1997

[7] Stefan Pittner and Sagar V.Kamarthi, "Feature Extraction from Wavelet Coefficients for Pattern Recognition Tasks" ,IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,Vol.21,No.1,pp83~88,1999

[8] Mladen Victor Wickerhauser , "Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software", IEEE PRESS, pp213~234,1994

[9] A Primer , "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms", Prentice Hall ,pp1~38,1998

[10] Gilbert Strang , Truong Nguyen , "Wavelet and Filter Banks" , Wellesley-Cambridge Press, 1996

[11] Andrew Bruce, David Donho & Hong-Ye Gao , " Wavelet Analysis " , IEEE SPECTRUM, pp26~35,1996

[12] W. Awilkinson, M.D.Cox, "Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients",IEEE Transaction on Power System, Vol .11,No4,1996

[13] Masahiro KOZAKO, Zhihai TIAN, Hitoshi OKUBO, Nobuyuki SHIBATA, Masayuki HIKITA, "Noise Reduction and PD Measurements Using Digital Filter and Signal Processing Technique in HV Substations" Proceeding of 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials,E2-2,pp561~564,1998

[14] Akram Al-Rawi, Michael Devaney, "Wavelet and Power System Transient Analysis", Proceeding of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Vol 2,pp1331-1334,1998

[15] William H.Press ,Numerical Recipes in C "The art of scientific computing second edition",Cambridge University Press, 1992



저 자 소 개



박재준 (朴材俊)

1962년 5월 23일 생. 1985광운대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(공학박사). 1997년 3월 ~현재 중부대학교 이공대학 정보공학부 조교수.

Tel : 041-750-6751, Fax : 041-750-6751

E-mail : jjpark@joongbu.ac.kr



송영철 (宋映澈)

1969년 2월 4일 생. 1994년 2월 광운대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 광운대학교 전기공학과(석사). 1999년 2월 광운대 전기공학과 대학원. 박사과정 수료 현재 광운대 전기공학과 대학원 박사 연구과정.

Tel : 02-940-5148

E-mail : songyc0307@hanmail.net



권동진 (權東震)

1963년 1월 20일 생. 1986년 2월 서울 산업대 전기공학과 졸업. 1992년 2월 숭실대 전기공학과 졸업(석사). 1995년 8월 숭실대 전기공학과 졸업(공학박사). 1999년 6월~현재 한전전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.

Tel : 042-865-5874

E-mail : djkwon@kepri.re.kr



안창범 (安昌範)

1958년 4월 16일 생. 1981년 서울공대 전자공학과 졸업. 1983년 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 졸업(공학박사). 1986~1991년 Univ. California, Irvine 조교수. 1991~1992년 생

산기술연구원 부교수. 1992년~현재 광운대학교 전기공학과 부교수. 1989년 미국의학물리학회 최우수 논문상(Sylvia Sorokin Greenfield Award) 수상. 1986년 IEEE Transactions on Medical Imaging 의 최다 인용 논문 저자로 선정(2001년).

Tel : 02-940-5148, Fax : 02-909-3159

E-mail : cbahn@daisy.kwangwoon.ac.kr