

---

# 선형조합 웨이브릿 변환을 사용한 시간-주파수 분석 및 진단 모니터링 시스템의 적용

김민수\*, 권기룡\*\*, 김석태\*

## Time-Frequency Analysis Using Linear Combination Wavelet Transform and Its Application to Diagnostic Monitoring System

Min-Su Kim\*, Ki-Ryong Kwon\*\*, Seok-Tae Kim\*

### 요 약

웨이브릿 변환은 시간 및 주파수에 대하여 국부성을 가지며, 비정상상태의 신호를 해석하는데 유용하다. 웨이브릿 변환에서의 기저함수들은 원형 웨이브릿을 천이(translation) 및 확장/수축(dilation)을 시킴으로써 만들어진다.

본 논문은 두 개의 웨이브릿을 선형적으로 조합한 선형조합 웨이브릿 변환을 사용하여 시간-주파수 분석 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 선형조합 웨이브릿 변환을 사용하여 진단모니터링 시스템에 적용하였다. 제안한 선형조합 웨이브릿 변환 분석 방법의 유효성을 검증하기 위하여 FFT(Fast Fourier Transform), Daubechies, Haar 기법과 비교한다. 분석 대상 신호로는 linear chirp 신호, 팬 소음신호, 회전체 회전신호, 전기신호를 사용하였다. 그 결과는 정상상태 신호처럼 비정상상태 시간 신호를 나타내는데 적당하다. 또한 선형조합 웨이브릿을 사용한 진단 모니터링 시스템은 효과적인 신호분석을 수행한다.

### Abstract

Wavelet transform has localization for time or frequency. It is useful to analyze a nonstationary signal. Basic function on wavelet transform is generated dilating and translating the original wavelet(mother wavelet).

In this paper, time-frequency analysis method using linear combination wavelet transform is proposed. And

---

\* 부경대학교 공과대학 정보통신공학과

\*\* 부산외국어대학교 전자공학과

접수일자 : 1998년 11월 18일

it is applied to diagnostic monitoring system using the proposed linear combination wavelet transform. The stationary and nonstationary signal is used linear chirp signal, fan noise signal, a sinusoid signal from revolution body, electronic signal.

Transform applied to signal analysis use fast Fourier transform (FFT), Daubechies, Haar and proposed linear combination method. The result of time-frequency analysis using linear combination wavelet transform is suited for portraying nonstationary time signal as well as stationary signal. Also the diagnostic monitoring system carry out the effective the signal analysis.

## 1. 서 론

순간적이고 다른 비정상 모드에서 동작되는 물리적 상태나 시스템의 상태를 정확히 예측하기란 어렵다. 실제 시스템에서는 장비의 오동작을 피하기 위해서나 사용 수명을 연장하기 위해서 완전한 분해없이 시스템의 물리적 상태를 판단하는 진단 모니터링 시스템을 사용하게 된다. 과도상태이거나 순간적인 비정상모드에서 동작되는 시스템의 상태는 각 시간에 따라 주파수 성분이 변화한다. 이런 특징을 조사하기 위하여 신호성분은 시간 및 주파수 영역에서의 동시 표현이 필요하다.

정상(stationary)적인 신호에 대한 분석은 푸리에 변환을 통해서 이루어지고 있다. 이것은 신호의 불규칙한 정도(고주파)는 알 수 있지만, 전 시간영역 상에서 적분을 하므로 시간적으로 국부적(local)인 특성을 만족하지 않는다. 분석을 하고자하는 신호가 비정상(nonstationary)적인 경우에는 신호가 시변-스펙트럼 특성을 갖기 때문에, 짧은 시간 동안 정상적인 신호로 가정하고 분석하는 STFT(short time Fourier transform) 기법이 행해졌다[1,2]. 이와같은 분석은 시간해상도가 주파수에 상관없이 항상 일정하므로 비정상상태의 신호해석에 불리하게 된다. 그러나 웨이블릿 변환은 비정상적인 신호에 대한 해석방법으로 주파수에 따라 시간해상도가 변하는 특성을 갖고 있다.

웨이블릿 변환은 시간 및 주파수의 국부성을 가짐으로 이의 변환은 통계적 특성을 모르거나 시간적으로 예측할 수 없는 비정상상태 신호를 처리하는데 효과적으로 사용된다[3,4]. 웨이블릿 변환은 신호성분을 다중해상도(multiresolution)로 분해한다. 신호를 다중

해상도로 분해하면, 입력 신호는 저주파 영역의 신호 해상도로 표현되는 근사신호(approximation signal)와 고주파 영역의 신호 해상도로 표현되는 세부신호(detail signal)로 나누어진다. 그런데 1차원 및 2차원 신호들은 에너지 분포가 주파수 영역에서 관찰할 때 고르지 못한 분포를 가지게 된다. 이로 인해 신호를 분해하는 것이 필요하게 되었고, 기본적으로 목적에 맞도록 처리하는 서브 밴드 분해방식이 사용된다.

웨이브릿은 1910년 Haar가 처음으로 고조파 해석(harmonic analysis)을 위하여 푸리에 스펙트럼을 옥타브 밴드로 나눈 직교 웨이블릿을 만들었고, Morlet 등[7]은 단일 원형 함수(single prototype function)를 기초로 한 국부 푸리에 해석을 변형하여 지진파 연구에 웨이블릿을 이용하였다. 또한 Daubechies[8]는 유한한 길이(compactly support)의 스케일링 함수 및 웨이블릿을 발생시킬 수 있는 Daubechies 웨이블릿을 제안하였으며, Mallat 등[9]이 다중해상도 이론을 발표한 후 웨이블릿 변환 이론은 크게 발전하여 응용되고 있다. 현재는 웨이블릿의 필터 성질을 이용하여 음성 및 영상 신호의 압축, 잡음제거, 신호분석 등에서 많이 사용되고 있다.

서브밴드 필터뱅크(subband filter bank)는 입력 신호를 분해필터에 의해 몇 개의 주파수 대역으로 분할하여 각 대역별로 필터링을 수행하여 계산량을 감소시키며, 수렴속도를 향상시키는 방법이다. 일반적으로 분해필터를 대역필터로 사용하여 간혹하면 엘리어싱이 발생하는데, 이를 제거하고 신호성분만을 추출하기 위하여 QMF(quadrature mirror filter) 필터를 사용한다[5,6]. 웨이블릿 변환에서 사용되는 QMF 필터뱅크는 기본적으로 분해(analysis) 및 합

성(synthesis) 필터뱅크로 이루어진다. 분해필터뱅크는 저주파 필터 및 간축(decimation)으로 구성되어지며, 합성필터뱅크는 보간(interpolation) 및 고주파 필터로 이루어져 각 필터 뱅크 신호를 합성하여 원신호를 완전복원한다.

부밴드 필터뱅크에 대한 연구로는 Crochiere 등 [10]이 QMF 필터뱅크를 이용하여 부밴드 부호화 방법에 대하여 제안하였고, Vaidynathan 등[11]은 합성 필터뱅크를 통하여 신호복원시에 완전한 복원(perfect reconstruction) 조건을 위하여 초단위(paraunitary) 필터뱅크를 제안하였다. Koilpillai 등 [12]은 M 밴드 분해 방식의 cosine modulated FIR 필터 뱅크를 이용하여 완전한 복원이 되도록 제안하였다.

진단 모니터링 시스템을 위하여 Shin 등[13]은 고속 푸리에 변환 알고리즘을 사용한 Pseudo Wigner-Ville distribution을 이용하여 신호의 상태를 분해하였고, Flandrin 등[14]은 시간-주파수 신호분석을 이용하여 도어(Dore) 장치의 전력신호분석에 진단 모니터링을 수행하였다. 또한 Forrester[15]는 기어 오류 검출에 대한 기계상태를 진단 모니터링 하였다. 이러한 분석 방법들은 미세한 신호성분을 잘 분석하지 못하고, 적응적으로 신호특성에 맞게 해석할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

이 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 linear chirp 신호, 팬 소음신호 등 비정상 상태 신호에 대한 각종 신호성분을 분석하기 위한 두 개의 웨이블릿을 조합한 새로운 선형조합 웨이블릿 기법을 제안한다. 제안한 선형조합 웨이블릿은 신호의 특성에 맞게 두 개의 웨이블릿에 하중 인자를 적절히 조정하여 효과적인 신호분석이 이루어지도록 한다. 제안한 선형조합 방법으로 실제 신호인 회전체의 정현신호, 전기신호에 대해서 정상모드(normal mode) 및 비정상모드(abnormal mode)인 시스템에 대해서 진단 모니터링을 수행한다. 또한 신호분석에 사용한 변환 기법에는 고속 푸리에 변환(FFT), Daubechies 웨이블릿, Haar 웨이블릿 및 제안한 선형조합 웨이블릿을 사용하였으며, 제안한 선형조합 웨이블릿이 나머지 다른 방법들에 비해 우수함을 입증한다.

본 논문의 II장에서는 선형조합 웨이블릿 방법을

제안하고, III장에서는 FFT, 기존의 웨이블릿, 제안한 선형조합 웨이블릿을 시간-주파수 영역에서 비교 분석하고, IV장에서는 제안한 선형조합 웨이블릿으로 진단 모니터링을 수행하였으며, V장에서 결론을 맺었다.

## II. 제안한 선형조합(linear combination) 웨이블릿

비정상상태 신호에 대한 각종 신호성분을 분석하기 위하여 두 개의 웨이블릿을 조합한 새로운 선형조합 웨이블릿 기법을 제안한다. 선형조합 웨이블릿은 신호의 특성에 맞게 두 개의 웨이블릿에 하중 인자를 적절히 조정하여 효과적인 신호분석이 이루어지도록 한다. 선형조합 웨이블릿은 웨이블릿 변환의 기본적인 이론을 바탕으로 하여 그림 1과 같이 두 개의 웨이블릿을 선형조합 한다. 두 개의 알려진 웨이블릿  $\psi_1$ 과  $\psi_2$ 을 선형조합함으로써, 각기 다른 위상에서 신호를 분석하게 된다.

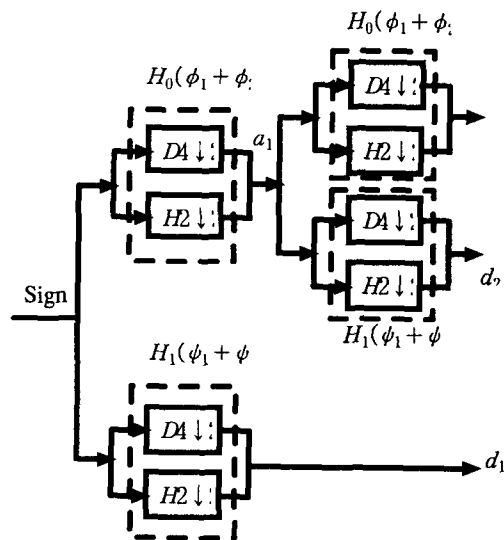


그림 1. 제안한 선형조합 웨이블릿 변환

Fig. 1. Proposed linear combination wavelet transform.

그림 1에서  $H_0$ 는 저주파 필터이고,  $H_1$ 은 고주파 필터이다. 본 논문에서 사용한 두 개의 웨이블릿  $\psi_1$ 과  $\psi_2$ 는 이산 웨이블릿 변환 함수인 Daubechies

웨이브릿과 Haar 웨이브릿을 사용한다. 그림 1에서 입력 신호는 저주파 필터  $H_0$ 와 고주파 필터  $H_1$ 을 통과하여 저주파 부분과 고주파 부분으로 나누어진 다. 이때 저역 통과 신호  $a$ 을 근사신호라 하고, 고역 통과 신호  $d$ 를 상세신호라 한다. 이 과정을 1 레벨이라 한다. 다시 저주파 부분  $a$ 는 앞의 과정을 반복하여 신호 분할을 한다.

**정의)**  $L^2(R)$  속한 기본 웨이브릿  $\psi$ 가 다음과 같은 'admissibility condition'이 만족될 때,  $\psi$ 를 '기본 웨이브릿(basic wavelet)'이라 한다.

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty. \quad \dots\dots\dots(1)$$

신호  $f$ 에 대한 모든 기본 웨이브릿  $\psi$ 에 관한 웨이브릿 변환은 다음과 같이 나타낸다.

$$(W_\psi f)(b, a) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt. \quad \dots\dots\dots(2)$$

여기서  $f$ 는  $L^2(R)$ 에 포함되며,  $a \neq 0$ 인 스케일 변수  $a$ 와 천이변수  $b$ 는 실수  $R$ 에 포함된다.

위의 정의를 이용하여 선형조합된 새로운 웨이브릿이 만들어지며, 이는 웨이브릿 역변환에 의하여 다시 원 신호로 복원된다.

**정리)**  $\psi_1$ 과  $\psi_2$ 가 기본 웨이브릿이라면, 이 두 개의 웨이브릿을 선형조합한 새로운 웨이브릿이 식 (3)과 같이 생긴다.

$$\psi = (1 - \alpha)\psi_1 + \alpha\psi_2, \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad \dots\dots\dots(3)$$

여기에서  $\alpha$ 는 두 개의 웨이브릿을 선형조합하기 위해 조절해 주는 하중인자이며,  $\psi$ 는 새롭게 발생한 기본 웨이브릿이 된다. 이에 대한 복원정리는 다음과 같다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (W_\psi f)(b, a) \overline{(W_\psi g)(b, a)} \frac{da}{a^2} db = C_\psi \langle f, g \rangle \quad \dots\dots\dots(4)$$

단,  $f, g$ 는  $L^2(R)$ 의 공간의 함수이다.

더욱이 신호  $f$ 가  $\psi$ 에서 연속이라면,

$$f(x) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [(W_\psi f)(b, a)] \psi_{b,a}(x) \frac{da}{a^2} db \quad \dots\dots\dots(5)$$

식 (3)에서  $\psi_1$ 과  $\psi_2$ 은 임의의 웨이브릿으로도 사용 가능하며, 어떤 입력 신호에 대해서  $\alpha$ 값의 가변에 의해 적응적으로 신호의 분석이 가능하다. 따라서  $\psi_1$ 과  $\psi_2$ 가 가지는 특성은  $\alpha$ 값의 가변에 의해 적절한 신호분석이 가능하게 된다. 여기서  $\alpha$ 는 더 분석하고자 하는 부분에 비중을 두기 위한 하중인자이다.

### III. 선형조합 웨이브릿을 이용한 시간-주파수 영역 분석

#### 3.1 Linear Chirp 신호

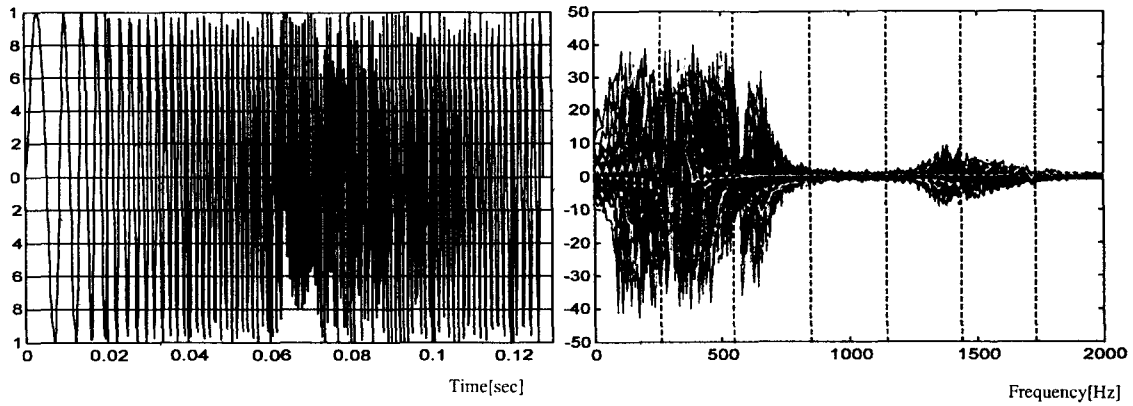
주파수 성분이 증감하면서 스위프하는 비정상상태의 신호를 그림 2 (a)와 같이 linear chirp 신호라 한다. 이 신호는 각 시간마다 하나의 주파수 성분만을 갖는다. linear chirp 신호를 발생시키는 함수는 다음과 같다.

$$s(t) = \sin\left[2\pi\left(30 + \frac{220(i-1)}{256}\right)t\right], \quad 1 \leq i \leq 256 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$s(t) = \sin\left[2\pi\left(30 + \frac{220(512-i)}{256}\right)t\right], \quad 256 < i \leq 512. \quad \dots\dots\dots(7)$$

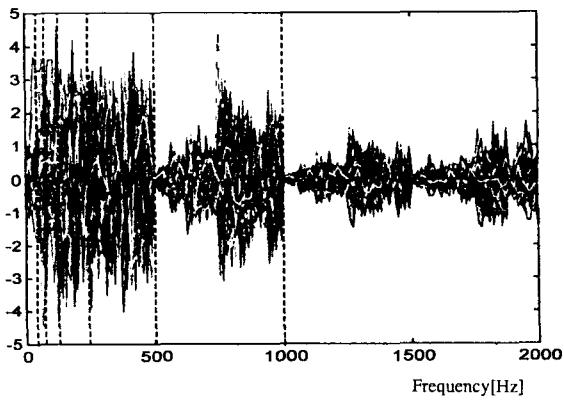
여기에서  $t = (i-1)dt$ 이고,  $dt = 0.0005$ 이다. 샘플링 주파수는 4kHz이고, 데이터 개수  $N$ 은 1024개로 하였다. 주파수 대역은 7 레벨로 분해하였고, 각 주파수 대역의 신호성분을 가장 잘 나타낸  $\alpha$  값은 0.5이다.

FFT를 취한 결과는 그림 2 (b)에 나타내었고, Haar로 한 결과는 그림 2 (c)에 나타내었으며, Daubechies의 D4 웨이브릿은 그림 2 (d)에 나타내었다. 그리고 선형조합한 결과는 그림 2 (e)에 나타내었다. 그림 2 (f)은 선형조합한 결과의 시간-주파수 영역 성분을 3차원으로 나타낸 것이다. 그림 2 (b)에서 FFT 방법은 등간격으로 주파수 대역을 분할하므로 각 대역의 주파수 성분을 잘 나타내 못하며, 특히

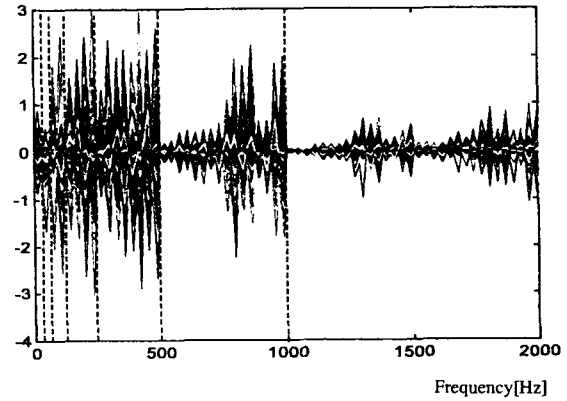


(a) Linear chirp signal

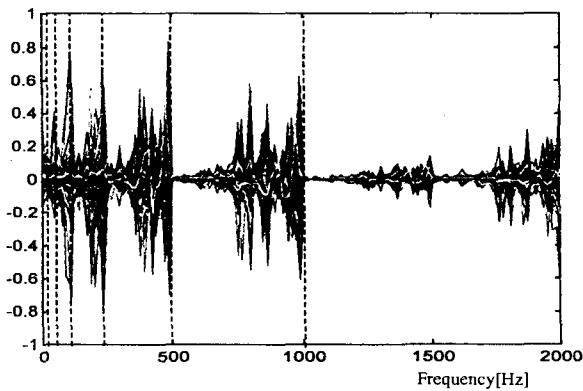
(b) FFT 변환 방법



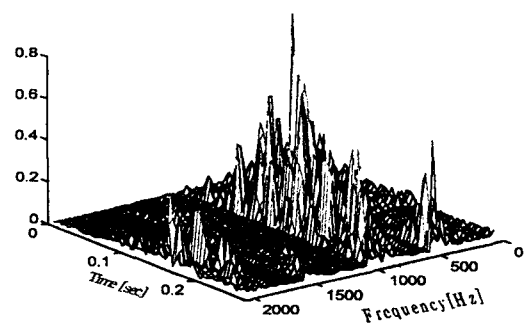
(c) Haar 웨이브릿 방법



(d) Daubechies 웨이브릿 방법



(e) 제안한 선형조합 방법



(f) 제안한 선형조합 방법의 시간-주파수 스펙트럼

그림 2. Linear chirp 신호의 실험 결과

Fig. 2. Experiment results of Linear chirp signal.

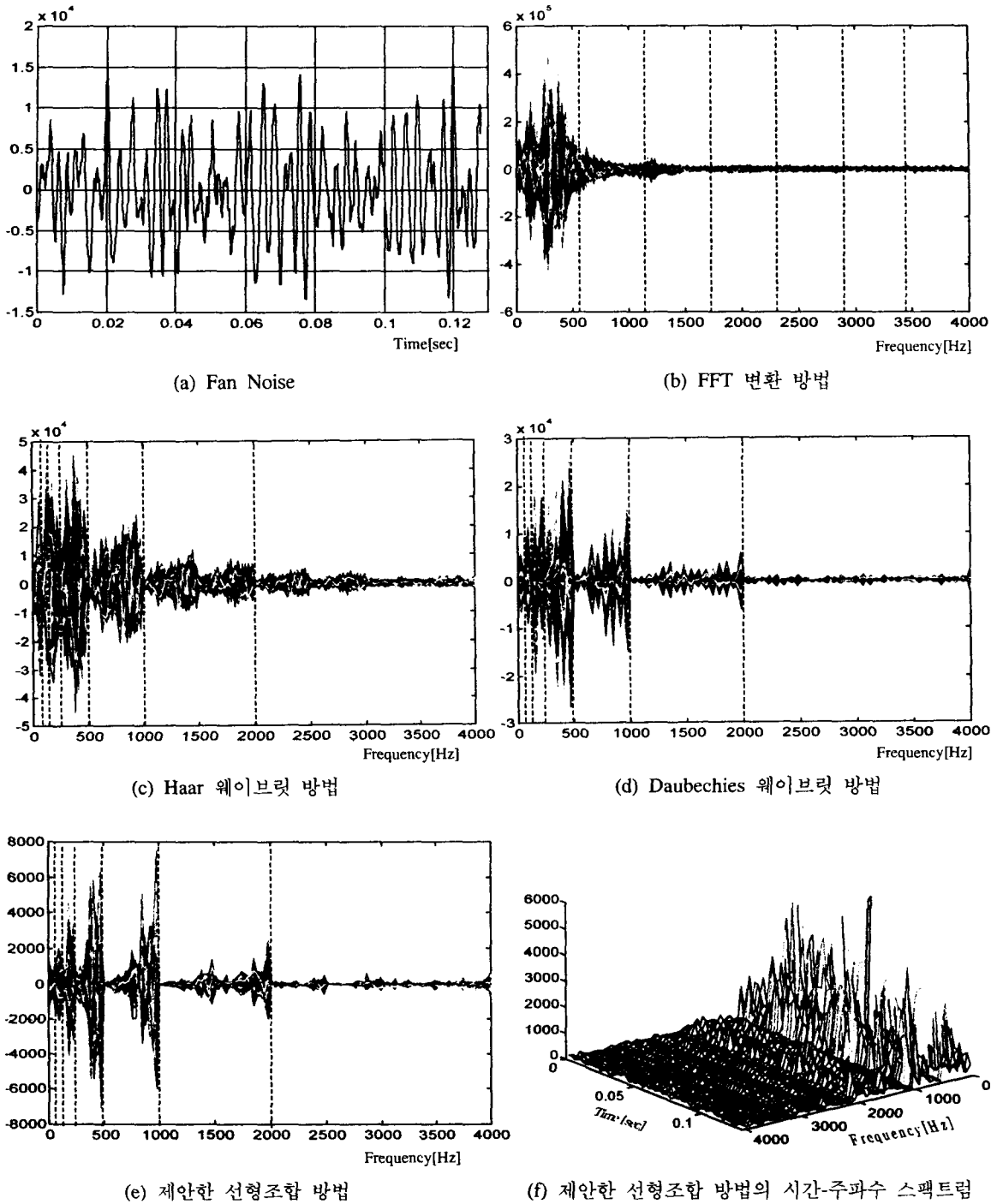


그림 3. 팬 노이즈의 실험 결과  
 Fig. 3. Experiment results of fan noise.

고주파대역에는 신호가 평탄해지는 스므딩 현상이 발생됨을 볼 수 있다. 반면에 Daubechies 및 Haar 웨이브릿은 옥타브 밴드로 주파수 대역을 분할하므로 FFT보다는 각 대역의 주파수 성분을 잘 나타내지만, 레벨 수가 높아질수록 각 대역의 주파수 성분이 정확하지 못함을 볼 수 있다. 즉 그림 2 (c)에서 Haar 웨이브릿은 3번째 레벨에서부터 나머지 대역들을 구별하기 어렵고, 각 대역의 주파수 성분을 잘 나타나지 못함을 볼 수 있다. 그림 2 (d)의 Daubechies 웨이브릿은 Haar 웨이브릿보다는 각 대역의 주파수 성분을 잘 나타냄을 볼 수 있지만, 4번째 레벨부터는 각 대역의 신호성분을 잘 분석하지 못함을 볼 수 있다. 이에 반해 제안한 선형조합 웨이브릿 방법은 정확히 옥타브 밴드로 주파수 대역이 분할되었을 뿐만 아니라, 각 대역의 주파수 밴드에 해당하는 신호성분에 대한 구분도 명확하고, 신호가 평탄해지는 스므딩 현상이 발생되지 않음을 볼 수 있다.

### 3.2 Fan Noise

그림 3(a)는 실제 공조기 덕트의 팬 소음을 획득한 실제 데이터 신호이다. 10kHz로 샘플링한 후 16bit A/D 변환기를 사용한 것이다. 주파수 대역은 7 레벨로 분해하였고, 각 주파수 대역의 신호성분을 가장 잘 나타낸  $\alpha$  값은 0.5이다. 팬 소음 신호에 대해 FFT를 취한 결과를 그림 3 (b)에 나타내었고, Haar 웨이브릿을 취한 결과는 그림 3 (c)에, Daubechies 웨이브릿은 그림 3 (d)에 나타내었다. 그림 3 (e)는 Haar와 Daubechies 웨이브릿을 선형조합한 결과이며, 그림 3 (f)는 선형조합 결과의 시간-주파수 스펙트럼이다. 이 신호 역시 그림 3 (b)의 FFT 방법은 등간격으로 주파수 대역을 분할하므로 각 대역의 주파수 성분이 잘 나타나지 않음을 볼 수 있다. 반면에 그림 3 (c)의 Haar 웨이브릿은 4번째 레벨부터 각 주파수 대역이 잘 구분되지 않으며, 신호성분 또한 명확하지 않음을 볼 수 있다. 그림 3 (d)의 Daubechies 웨이브릿도 4번째 레벨부터 각 주파수 대역을 잘 나타내지 못함을 볼 수 있다. 반면에 그림 3 (e)의 제안한 선형조합 웨이브릿 방법은 정확히 옥타브 밴드로 주파수 대역이 분할

되었고, 각 대역의 주파수 성분이 명확히 나타남을 볼 수 있다. 따라서 제안한 선형조합 방법이 다른 웨이브릿 방법들보다 각 주파수 밴드의 신호성분들을 보다 잘 분석함을 알 수 있다.

## IV. 선형조합 웨이브릿 방법을 사용한 진단 모니터링 시스템

선형조합 웨이브릿을 사용하여 정상모드 시스템과 비정상모드 시스템에 대해서 진단 모니터링을 수행하였다. 일반적으로 진단 모니터링은 시스템이 정상적으로 동작하고 있을 때에 분석한 데이터 결과를 가지고 있는 상태에서, 만일 그 시스템이 비정상적으로 동작하고 있을 때에 다시 그 시스템을 분석하여 분석된 결과를 원래 가지고 있던 데이터와 비교 검토하여 시스템 어느 부분에 오류가 있는지를 진단하는 것이다. 이 실험을 하기 위해서 정상모드일 경우의 시스템과 비정상모드일 경우의 시스템을 5 레벨의 주파수 대역으로 분석하여 각 주파수 대역별로 비교 분석한다. 사용한 입력 신호는 회전체의 정현신호, 전기신호를 사용하였다. 그리고, 정상모드 시스템에 사용되었던 입력신호에 오류로 인하여 발생하는 임펄스 성분이 포함된 상태를 비정상모드 시스템으로 가정하여 실험하였다. 본 실험에서 사용한 방법은 제안한 선형조합 웨이브릿 방법을 사용하였고, 식 (3)의  $\alpha$  값을 0에서 1까지 가변하여 실험 한 결과 중 각 주파수 대역 성분을 잘 나타내는  $\alpha$  값에 해당하는 결과 파형만 나타내었다. 사용한 Tool은 MatLab Ver.5.2와 Visual C를 사용하였다.

### 4.1 회전체의 정현신호

실험에 사용한 데이터는 모터 회전체에서 얻은 데이터이고, 회전체의 정현신호의 샘플링 주파수는 500Hz이고, 데이터의 개수는 1024개이다. 분석 방법은 선형조합 방법을 사용하였고, 부밴드는 5 레벨로 분해하였다. 그림 5에 실험한 결과를 나타내었다. 그림 4 (a)는 시스템이 정상적으로 동작할 경우의 회전체의 정현신호이고 그림 4 (b)는 시스템이 비정상적으로 동작할 경우의 회전체의 정현신호이다.

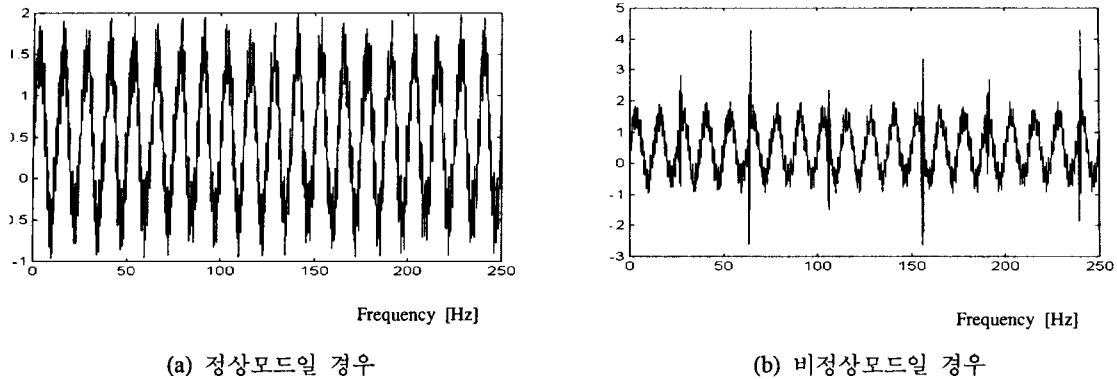


그림 4. 정상 및 비정상모드의 회전체의 정현신호  
 Fig. 4. A sinusoid from revolution body of normal and abnormal mode.

그림 5 (a)에서 (f)까지는 각 주파수 대역별로 분석한 결과를 나타내었다. 이 실험에서  $a$  값이 0.9 일 경우가 시스템이 정상모드일 경우와 비정상모드로 동작할 경우에도 각 주파수 대역의 신호성분을 가장 잘 나타내었다. 그림 5 (a)는 5 레벨의 근사신호이고, (b)에서 (f)까지는 5 레벨에서 1 레벨까지의 상세신호이다. 결과 파형을 살펴보면, 그림 5 (a)에서 (d)까지는 시스템이 정상모드일 경우와 비정상모드로 동작할 경우가 거의 비슷함을 볼 수 있었다. 반면에 그림 5 (e)와 (f)는 시스템이 정상모드로 동작할 경우와 시스템이 비정상모드로 동작할 경우의 결과 파형은 100에서 250Hz 주파수 부분에 오류에 해당하는 성분으로 인하여 진폭의 변화가 크게 차이가 남을 볼 수 있다. 그러므로 이 주파수 대에 해당하는 시스템 부분에 오류가 있음을 결과 파형을 보고 시스템의 물리적 상태를 진단 할 수 있다.

#### 4.2 전기신호

전기신호는 MatLab Toolbox에 있는 전기신호로써, 샘플링 주파수는 8kHz이고, 데이터의 개수는

1024개이다. 분석 방법은 선형조합 방법을 사용하였고, 부밴드는 5 레벨로 분해하였다. 그림 7에 실험한 결과를 나타내었다. 그림 6 (a)와 (b)는 시스템이 정상적으로 동작할 경우의 전기신호와 시스템이 비정상적으로 동작할 경우의 전기신호를 나타낸다.

그림 7 (a)에서 (f)까지는 각 주파수 대역별로 분석한 결과를 나타내었다. 이 실험에서  $a$  값은  $a$  값이 0.9일 경우가 시스템이 정상모드일 경우와 시스템이 비정상모드로 동작할 경우의 각 주파수 대역의 신호성분을 가장 잘 나타내었다. 그림 7 (a)는 5 레벨의 근사신호이고, (b)에서 (f)까지는 5 레벨에서 1 레벨까지의 상세신호이다. 결과 파형을 살펴보면, 그림 7 (a)에서 (d)까지는 시스템이 정상모드일 경우와 비정상모드로 동작할 경우가 거의 유사함을 볼 수 있었다. 반면에 그림 7 (e)와 (f)의 1 레벨과 2 레벨의 상세신호를 살펴보면, 2000에서 4000 Hz에 주파수에서 진폭의 변화가 크게 다름을 알 수 있었다. 따라서 이 결과 파형에 의해 1 레벨과 2 레벨에 해당하는 주파수 대의 시스템 부분에 오류가 있다는 것을 알 수 있으며, 시스템의 물리적 상태를 진단 할 수 있다.



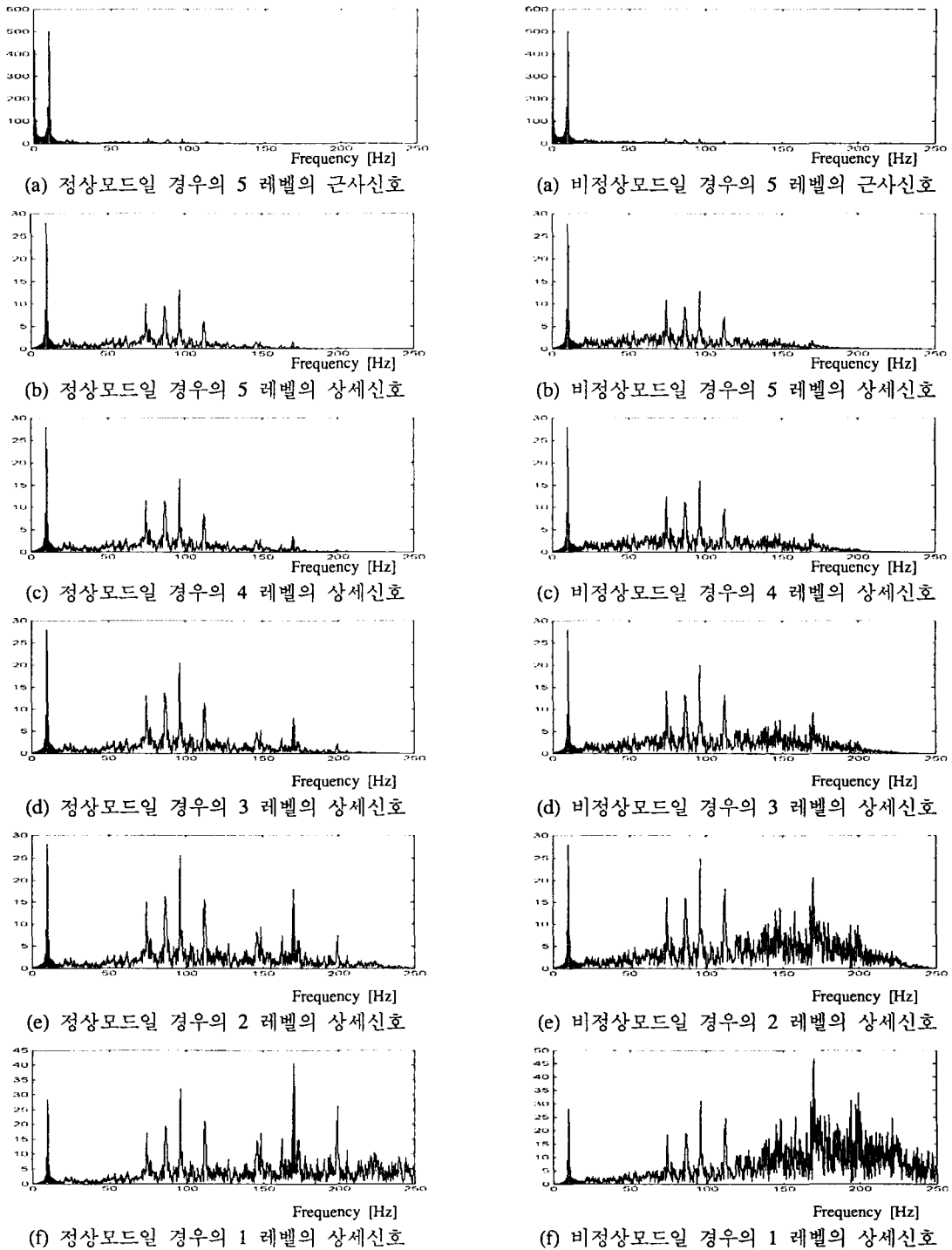
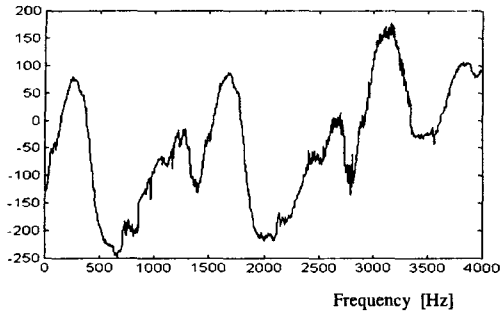
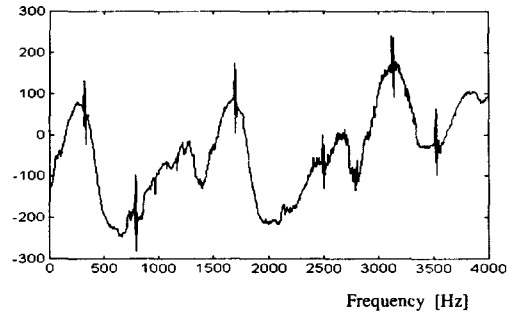


그림 5. 회전체의 정현신호의 실험 결과

Fig. 5. Experimental results of a sinusoid from revolution body.



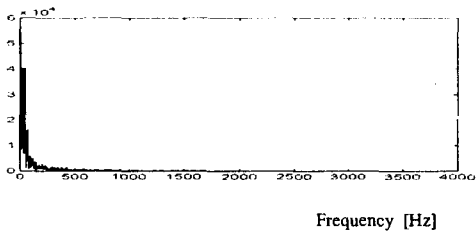
(a) 정상모드일 경우



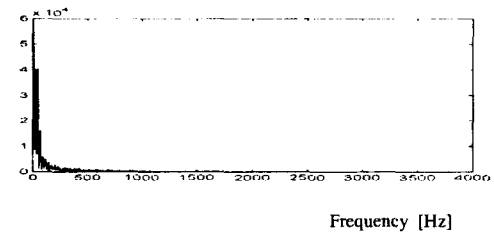
(b) 비정상모드일 경우

그림 6. 정상 및 비정상모드의 전기신호

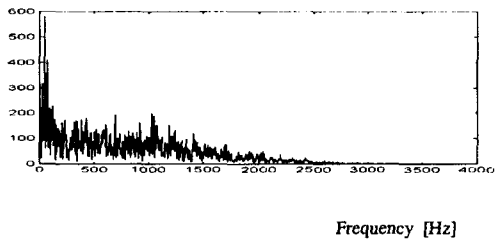
Fig. 6. Electronic signal of normal and abnormal mode.



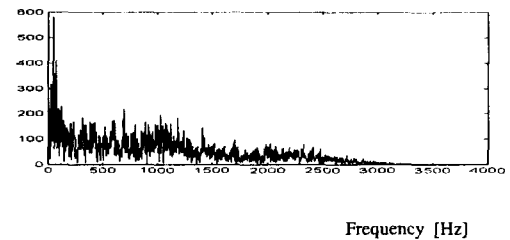
(a) 정상모드일 경우의 5 레벨의 근사신호



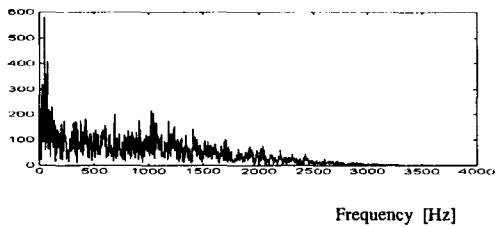
(a) 비정상모드일 경우의 5 레벨의 근사신호



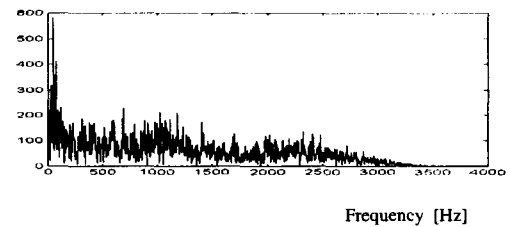
(b) 정상모드일 경우의 5 레벨의 상세신호



(b) 비정상모드일 경우의 5 레벨의 상세신호



(c) 정상모드일 경우의 4 레벨의 상세신호



(c) 비정상모드일 경우의 4 레벨의 상세신호

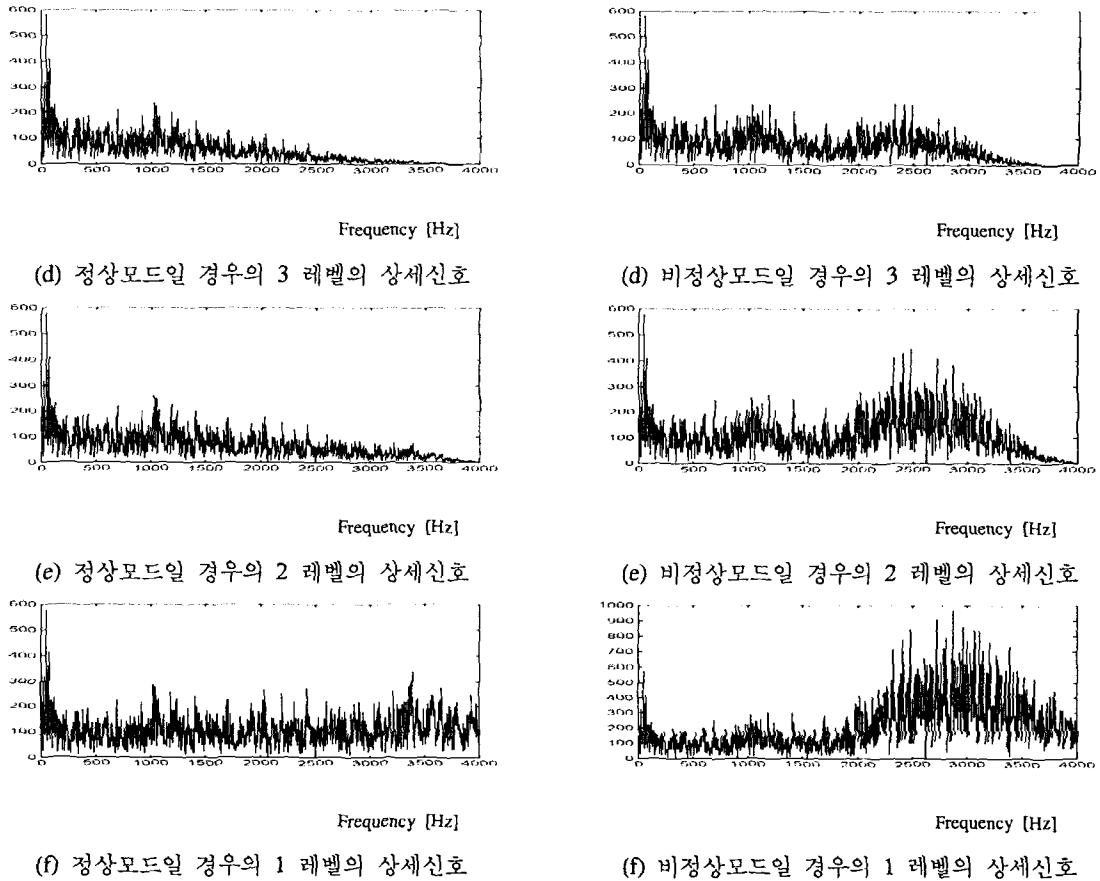


그림 7. 전기신호의 실험 결과

Fig. 7. Experimental results of the electronic signal.

### V. 결론

본 논문에서는 과도상태이거나 순간적인 비정상 모드에서 동작되는 시스템의 특성인 비정상상태 신호의 분석을 위해서 웨이브릿 변환을 사용해 시간-주파수 영역을 분석하고, 진단하는 진단 모니터링 시스템을 제안하였다. 신호분석에 사용한 신호로는 linear chirp 신호, 두 개의 주파수 합성 신호, 팬 소음신호를 사용하였고, 진단 모니터링 시스템에 사용한 신호로는 정상 및 비정상모드의 회전체의 정현신호, 전기신호를 사용하였다. 신호분석 방법으로 고속 푸리에 변환(FFT), Daubechies 웨이브릿, Haar 웨이브릿 및 선형조합 웨이브릿 변환 기법을 사용

하여 시간-주파수 영역에서 비교 분석하였다.

분석 결과 비정상상태 신호일 경우에 FFT 방법은 등간격으로 주파수 대역을 분할하므로 각 대역의 주파수 성분을 잘 나타내지 못하며, 스무딩 현상 또한 발생됨을 볼 수 있었다. 반면에 Daubechies 웨이브릿과 Haar 웨이브릿은 옥타브 밴드로 주파수 대역을 분할하므로 FFT보다는 각 대역의 주파수 성분을 잘 나타내지만, 레벨 수가 높아질수록 각 대역의 주파수 성분을 나타내지 못함을 볼 수 있으며, 각 주파수 대역이 정확히 구별이 되지 않았다. 이에 반해 제안한 선형조합 웨이브릿 방법은 정확히 옥타브 밴드로 주파수 대역이 분할되었을 뿐만 아니라, 각 대역의 주파수 밴드에 해당하는 신호성

분을 잘 나타내며 스므딩 현상이 발생되지 않음을 볼 수 있다. 또한 선형조합 방법으로 실제 신호인 회전체의 정현신호, 전기신호에 대해 진단 모니터링을 수행한 결과  $\alpha$  값의 가변에 의한 선형조합 방법이 각 주파수 밴드의 신호성분을 잘 분석하였고, 갑자기 발생하는 과도신호성분도 잘 분석함을 알 수 있었다.

따라서 선형조합 방법이 비정상상태 신호일 경우 각 주파수 밴드의 특성을 잘 분석하므로, 저주파 및 고주파 성분의 효과적인 시간-주파수 분석이 가능하고, 비정상모드 상태 체크를 진단하는 진단 모니터링 시스템에도 적합하다는 것을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] M. H. Ackroyd, "Short-time spectra and time-frequency energy distributions," *Jour. of Acous. Soc. of America*, vol. 50, no. 5, pp. 1229-1231, July 1970.
- [2] J. B. Allen and L. R. Rabiner, "A unified approach to short-time Fourier analysis and synthesis," *IEEE Proc.* vol. 65, no. 11, pp. 1558-1564, Nov. 1977.
- [3] M. Vetterli and C. Herley, "Wavelets and filter banks : theory and design," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 40, no. 9, pp. 2207-2232, Sep. 1992.
- [4] C. Herley, and M. Vetterli "Wavelets and recursive filter banks," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 41, no. 8, pp. 2536-2555, Aug. 1993.
- [5] C. R. Galand and H. J. Nussbaumerl, "New quadrature mirror filter structures," *IEEE Trans. on Acus. Speech, and Signal Processing*, vol. 32, no. 3, pp. 522-531, June 1984.
- [6] A. N. Akansu R. A. Haddad, and H. Caglar, "The binomial QMF wavelet transform for multiresolution signal decomposition," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 41, no. 31 pp. 13-19, Jan. 1993.
- [7] J. Morlet, G. Arens, I. Fourge, and D. Giarg, "Wave propagation and sampling theory I, II," *Geophysics*, vol. 47, no. 2, pp. 203-236, 1982.
- [8] I. Daubechies, "Orthogonal basis of compactly supported wavelets," *Comm., Pure Applied Math.*, vol. 41, no. 7, pp. 909-996, 1988.
- [9] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition : the wavelets representation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.
- [10] R. E. Crochiere and L. R. Rabiner, *Multirate digital signal processing*, Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1983.
- [11] P. P. Vaidyanathan "Multirate digital filters, filter banks polyphase networks, and applications : A tutorial," *IEEE Proc* vol. 78, pp. 56-93, Jan. 1990.
- [12] R. D. Koilpillai and P. P. Vaidyanathan "Cosine-modulated FIR filter bank satisfying perfect reconstruction," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 40, pp. 770-783, Apr. 1992.
- [13] Y. S. Shin and J. J. Jeon, "Pseudo Wigner-Ville time-frequency distribution and its application to machinery condition monitoring," *Shock and Vibration*, vol. 1, no. 1, pp. 65-76, 1993.
- [14] P. Flandrin, D. Garreau, and D. Puyal, "Improving monitoring of PWR electrical power plants 'In Dore' Instrumentation with time-frequency signal analysis," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 4, pp. 2246-2249, 1989.
- [15] B. Forrester, "Analysis of gear vibration in the time-frequency domain," *Proceedings of the 44th Meeting of the Mechanical Failures Prevention Group*, pp. 225-234, 1990.

김 민 수 (Min-Su Kim)

1995년 釜山工業大學校 制御計測工學科 卒業(工學士)

1997년 釜慶大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學碩士)



권 기 룡 (權奇龍)

1986년 慶北大學校 電子計算學科 卒業(工學士)

1990년 慶北大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學碩士)

1994년 慶北大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學博士)

1996년~현재 釜山外國語大學校 電子工學科 助教授  
관심분야 : 웨이브릿 변환, 적응신호처리, 능동잡음 제거, 멀티미디어통신 등



김 석 태 (金錫泰, Seok-tae Kim)

1983년 光云大學校 電子工學科 卒業(工學士)

1988년 京都工藝纖維大學 電子工學科 卒業(工學碩士)

1991년 大阪大學 通信工學科 卒業(工學博士)

1991년~1996년 釜山水產大學校 情報通信工學科 助教授

1996년~현재 釜慶大學校 情報通信工學科 副教授

관심분야 : 화상처리, 패턴인식, 멀티미디어통신, 지적 CAI 등