

# 방적사의 단주기 불균제도 해석에 관한 연구

이성웅, 정성훈  
한양대학교 섬유공학과

## 1. 서론

자연계의 모든 것은 어떠한 형태로든 변동을 가진다. 이러한 변동을 해석하고 이 변동의 경향을 분석하면 이후의 변동을 예측할 수 있게된다. 그러므로 변동의 분석은 변동의 예측과 나아가 변동의 제어를 가능하게 하는 바탕이 된다.

방적사는 그것의 원료가 되는 섬유의 특성과 제조 공정중의 많은 변동요인 즉, 기계의 결함, 공정 자체의 요소들에 의하여 불균제를 일으키는 변동을 가지게 된다. 방적사의 불균제는 방적사 자체의 물리적 성질에 나쁜 영향을 미칠 뿐만 아니라 방적 후 공정인 염색, 가공, 제직 시에 영향을 주어 제품의 품질을 저하시킨다.

방적사에서 필연적으로 나타나는 변동에 의한 불균제의 분석은 방적사의 품질을 평가할 뿐만 아니라 불균제의 원인을 찾아내어 그 원인을 제거하는데 매우 중요하다. 지금까지 이 방적사의 불균제를 해석·분석하기 위한 많은 방법들이 제안되어져 왔으며 이 방법들 중 불균제의 변동의 주기를 알아내기 위한 대표적인 신호의 변환 방법으로는 Fourier Transform이 주로 사용되어져 왔다.[1]

본 논문에서는 방적사 불균제를 평가·분석하기 위하여 Fourier Transform과 Fourier Transform을 발전시킨 Short-Time Fourier Transform, 또한 좀더 발전된 개념의 Wavelet Transform을 이용하였으며 각각의 평가 방법을 비교·분석하였다.

## 2. 이론

### 2.1 Fourier Transform

Fourier Transform(FT)은 변동하는 데이터의 분석에 기본이 되는 중요한 개념이다. FT을 이용하면 시영역의 신호가 포함하는 주파수 정보를 알수 있다. 즉 FT은 시영역의 신호를 주파수 영역의 신호로 변환하는 것이다.[2]

$$X(f) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dt$$

$x(t)$  : time domain signal

$X(f)$  : Fourier Transform

데이터가 연속적인 신호가 아닌 구간을 가진 Sampling된 유한 수열일 때는 다음과 같이 FT를 하며, 이것을 Discrete Fourier Transform(DFT)이라 한다.

$$X[l] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{i2\pi l n/N}$$

$x[t]$  : discrete time signal

$X[l]$  : discrete Fourier Transform

일반적으로 컴퓨터를 사용한 계산에서는 DFT의 느린 계산속도의 개선을 위해 고안된 Fast Fourier Transform(FFT)를 사용한다. N개의 데이터의 처리에 DFT는  $N^2$ 회를 계산하지만 FFT는  $N \log_2 N$ 회를 계산할 뿐이다. 단 FFT 실행시에는 반드시 데이터 개수가  $2^N$ 개여야 한다.

### 2.2 Short-Time Fourier Transform

Fourier Transform은 변환하고자 하는 신호가 정상(Stationary)신호일 때 우수한 특성을 나타낸다. 그러나 특정 구간에서 신호의 특성이 변화를 일으키는 비정상(Nonstationary)신호

의 분석에는 적당하지 않다. 왜냐하면, 어떤 구간의 갑작스런 변화가 다른 신호의 변환에 영향을 미치기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Dennis Gabor는 Windowed Fourier Transform로 불리기도 하는 Short-Time Fourier Transform (STFT)을 제안하였다.[3]

$$X[n, k] = \sum_{m=0}^{L-1} x[n+m]w[m]e^{-i\frac{2\pi km}{N}}$$

$x[t]$  : discrete time signal  
 $w[m]$  : the sampling windows

이 STFT는 신호를 단편으로 나눈 후 각각을 FT하여 단편들의 주파수 정보를 나타내는 방법이다. 신호를 단편으로 나누기 위하여 창(Window)함수를 사용한다.

이 STFT의 장점은 시영역과 주파수 영역의 정보를 동시에 보여준다는 것이다. 때문에 정상신호의 일부분이 비정상신호의 성분을 가질 때 그 성분의 시간과 주파수 정보를 알 수 있다. 반면, 신호의 전 영역을 단편으로 나누기 위해 일정한 크기의 창 함수를 사용하기 때문에 시간 또는 주파수 영역의 해상도가 제한적이다.

### 2.3 Wavelet Transform

Wavelet Transform(WT)은 정현파(sine wave)나 여현파(cosine wave)와 같은 무한 함수를 기저 함수로 가지는 FT나 STFT와는 달리 진동을 하다가 중심에서 멀어질수록 값이 0에 가까워지는 작은 파형을 기저 함수로 한다. 가변 창 함수를 사용한 WT는 종래의 일정한 크기의 창 함수를 사용하던 STFT와 비교하여 시간과 주파수 영역에서 우수한 특징을 가진다(Fig.1).[4]

Wavelet Transform은 분석하고자 하는 신호의 특징에 따라 기저 함수를 변화시킬 수 있기 때문에 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있다. 또한 Wavelet Transform은 고대역 주파수 영역에서는 시간 해상도가 높은 반면 주파수 해상도는 낮고, 저대역 주파수 영역에서는 주파수 해상도가 높지만 공간해상도는 낮으며 계속 분해할수록 주파수 범위가 반으로 줄어드는 특성을 가지고 있다.

## 3. 실험 및 분석

### 3.1 실험 재료 및 신호처리

본 실험에서는 100% Mississippi Cotton으로 제조된 18수의 Ring, Rotor, Murata Vortex Spinner(MVS)방적사를 사용하였다. 방적사의 직경 변동은 Zweigle® G-580 (속도:100m/min, 측정 간격:2mm)을 사용하여 측정하였으며, 동시에 직경 변동에 비례하는 analog신호를 검출하기 위하여 Data Acquisition System(DAS)을 제작하였다. Analog signal은 Sampling Rate 840Hz로 검출하였으며 DAS에서 디지털화 하였다.

### 3.2 분석 방법

실험을 통하여 얻은 데이터를 다음과 같이 분석하였다.

1. Diagram : 방적사의 직경 변동을 시간에 따라 나타냈다.
2. Fourier Transform : 20,000개의 데이터를 FFT하여 나타내었다.
3. Short-Time Fourier Transform : 본 연구실에서 개발한 STFT를 이용하였다. 시간과 주파수 영역을 각각 축으로 나타냈고, 밝기를 이용하여 Magnitude를 나타내었다.
4. Wavelet Transform : 'Daubechies wavelet'을 사용하여 WT를 실행하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 Diagram

Figure 2~4의 (a)는 각각 Rotor, MVS, Ring방적사의 직경 diagram이다. diagram에서 보여주듯이 Rotor 방적사는 고른 변동을 보였으나 MVS는 직경 변동이 전체적으로 굴곡을

보였다. Ring사의 경우도 변동폭이 컸으며 직경이 급격하게 튀는 곳이 많았다.

#### 4.2 Fourier Transform

Figure 2.~4.의 (b)는 각각의 방적사 직경 데이터를 Fourier Transform한 것으로 Rotor사의 경우, 특별한 주기불균제를 보이지 않았으며 1.5Hz(1.1m), 17.0Hz(9.8cm)의 주파수 영역에서 주기 불균제를 볼 수 있었다. MVS사는 0.3Hz(5.5m)의 낮은 주파수 대역에서 주기 불균제를 보였으며 불균제 주파수의 폭이 컸다. Ring사의 경우 13.4Hz(12.5cm)~19.9Hz(8.3cm)의 주파수 범위에서 불균제 주기가 편중되어 있었다.

#### 4.3 Short-Time Fourier Transform

Figure 2.~4.의 (c)는 각각의 방적사를 Short-Time Fourier Transform을 한 결과로 불균제 주기뿐만 아니라 결점으로 인한 급격한 직경 변동을 가지는 곳의 위치까지 보여준다.

먼저 이 STFT의 결과는 앞의 diagram과 FT의 결과를 한꺼번에 보여주는데 Rotor 방적사의 경우 Fig.1 (c)에서 흐린 점들이 좌측에 치우쳐 있음을 보인다. 마찬가지로 MVS 방적사의 STFT 결과는 아주 밝은 흰점이 왼쪽에 상당히 편중되어 있음을 보이는데 이것은 FT의 결과에서 나타났듯이 낮은 주파수 대역의 불균제를 많이 가지고 있음을 나타낸다. Ring 방적사의 경우, 불균제 주기가 넓게 퍼져 있음을 보이며, 이 결과도 FT의 결과와 일치한다.

또한, 급격한 직경 변동을 알 수 있는데, 예를 들면 Figure 2.의 (c)에서 x축 240번째의 강도가 높게 나왔는데 이것은 201.6Hz(0.82cm)를 나타내며 2000~2500번째(4m~5m) 사이에 급격한 직경의 변화가 있음을 말해준다.

#### 4.4 1-D Continuous Wavelet Transform

Figure 2.~4.의 (d)는 각각의 방적사를 1-D continuous Wavelet Transform한 결과이다. WT 그래프의 가로축은 시간을 나타내며, 세로축은 scale을 나타낸다. scale이 클수록 낮은 주파수 대역을 나타내 준다. Figure 4.~6.에서는 위쪽의 diagram에서 보이는 급격한 직경 변동이 WT 결과에 흰선으로 뚜렷하게 나타나며, 세로축에서 볼 때 밝은 부분이 분포하는 것으로 불균제 주기 또한 알 수 있다.

### 5. 결론

본 실험에서는 생산공정이 다른 3가지 방적사의 Fourier Transform, Short-Time Fourier Transform, Wavelet Transform을 이용하여 불균제를 분석하였다. 종전의 Fourier Transform으로는 변동하는 방적사의 직경의 주파수 성분을 알아낼 수 있었으나, 섬유 직경의 갑작스런 변동, 즉, nep 등과 같은 것의 발생의 여부와 정확한 발생 지점을 알 수 없었다. 그러나 시간 개념이 도입된 Short-Time Fourier Transform은 시영역의 관찰이 가능하여 Fourier Transform으로 알아보기 어려웠던 급격한 직경 변동의 발생위치까지 알아낼 수 있었다.

앞의 두 변환은 기저함수가 무한 함수를 사용하기 때문에 결국 국부적 변동이 전체의 영향을 준다. 그렇기 때문에 불균제 주기가 정확하게 나타나지 않았지만, 이번에 새롭게 시도한 Wavelet Transform은 유한 함수를 기저 함수로 사용한 동시에 가변 창 함수를 사용함으로 급격한 변동을 일으키는 지점을 보다 정확히 파악할 수 있었으며 불균제 주기 또한 어떤 불균제 주기가 어떻게 분포되었는지 알 수 있었다.

### 참고 문헌

1. 박장규, Short-Time Fourier Transform을 이용한 방적사의 불균제 해석, 석사논문, 한양대학교, 1997
2. National Instruments, "LabVIEW® Analysis VI Reference Manual", pp. 3-1~3-4, National Instruments, Austin Texas, 1996
3. D. Gabor, "Theory of Communication", J.IEEE, 93; 429~457, 1946
4. Mathworks, "Wavelet Toolbox User's Guide", pp. 1-1~1-14, Mathworks, 1996

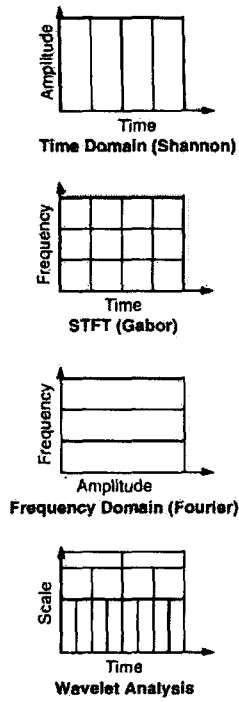


Fig. 1. The time-based, Frequency-based, and STFT views of signals

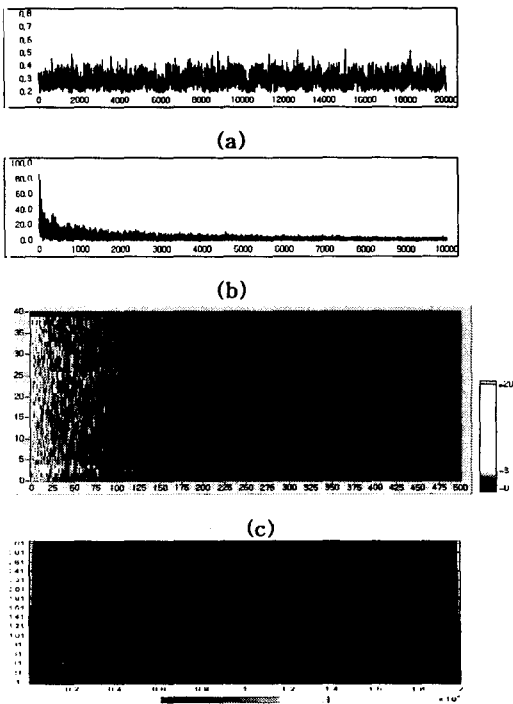


Fig. 3. MVS사의 Diagram(a), FT(b), STFT(c), WT(d)

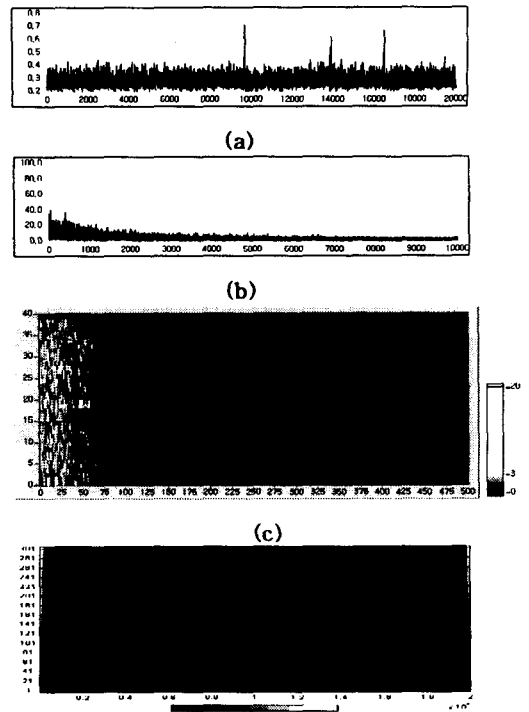


Fig. 2. Rotor사의 Diagram(a), FT(b), STFT(c), WT(d)

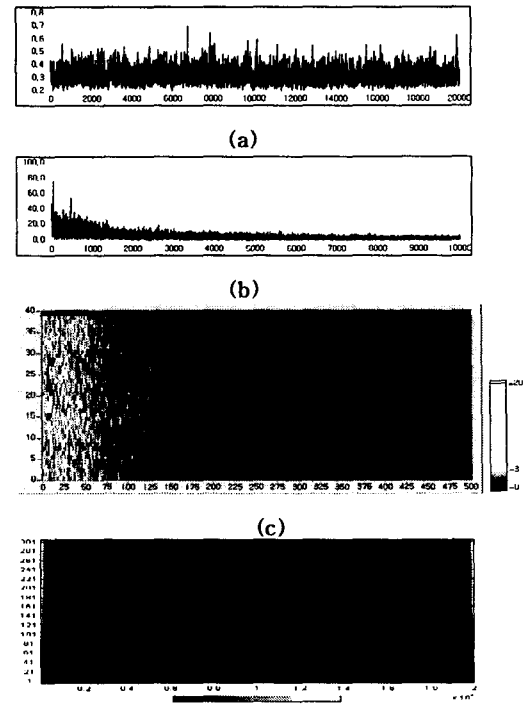


Fig. 4. Ring사의 Diagram(a), FT(b), STFT(c), WT(d)