

# Short-Time Fourier Transform을 이용한 방적사의 단주기 불균제 해석

박장규, 정성훈, 최영엽  
한양대학교 섬유공학과

## 1. 서론

방적사에는 꼬임, 부피, 강도, 섬도등의 변동이 필연적으로 존재하여 섬유제품에 악영향을 미치게 된다. 방적사의 불균제는 제품의 품질을 결정하는 매우 중요한 특성으로 방적사와 직물의 많은 특성에 영향을 준다.

방적사의 불균제도란 방적사의 측정 가능한 성질의 변동 즉 단위 길이당 무게, 직경, 색, 꼬임수, 강력 등과 그 자체가 불균제도가 되는 nep, slub, 매듭 등을 말한다. 원료의 특성, 공정기계의 고유한 결함, 기계적으로 결함 있는 기계, 작업조건과 비효율적인 조작에 의한 외적 원인 등에 의하여 불균제가 발생하여, 방적사와 직물에 다음과 같은 문제<sup>1)</sup>를 발생시킨다.

첫째로 방적사 불균제는 섬유 재료의 여러 특성에 악영향을 끼치는데 그 중에서도 방적사의 강력에 가장 큰 영향을 준다. 불균일한 방적사는 균일한 방적사보다 강력이 약하여 정방, 권취, 제직, 편성 등의 공정에서 사절되기 쉬우므로 생산성이 저하된다.

둘째로 불균일한 방적사로 만든 직물은 표면에 시각적 결점을 나타낸다. 특히 thick and thin place 같은 결함이 일정 간격으로 나타날 때 moire, steaks, stripes, barre 등의 결점을 나타내어 직물의 외관에 악영향을 준다.

셋째로 불균일한 방적사로 만든 직물을 염색·가공하였을 때 불균일한 염색이 된다. 왜냐하면 방적사의 가는 부분에서는 꼬임이 더 많아져 이러한 위치에서 염료나 가공제의 침투가 두꺼운 부분보다 덜 침투하므로 상대적으로 두꺼운 부분보다 색상이 연해진다. 자연히 직물의 결점은 더욱 잘 나타나게 된다.

이 외에도 마찰저항성, 드레이프, 흡수성, 광택, 반사율 등의 특성이 방적사 균제도에 의해 직접 영향을 받는다.

1940년대 이후 방적사 불균제도에 대한 많은 연구를 통하여 방적사의 불균제도를 statistical average, autocorrelation function, spectral function, variance-length curve, number of imperfections and faults 등의 방법으로 평가하는 것이 유용하다는 것을 알게 되었다. 이와같은 평가방법을 이용하여 방적사의 불균제도를 측정하는 여러 장치가 이미 개발되어 CV%, nep and IPI counts, yarn diagram, histogram, spectrogram, length-variance curve 등을 실시간으로 측정하고 있다.

하지만 현재 주기성 분석을 위해 사용하는 spectrogram<sup>2)</sup>은 중·장주기 불균제에 관한 분석에는 용이하나 단주기 불균제를 분석하기에는 용이하지 못하다. 그러므로 방적사의 단주기 불균제를 파악하기 위해 본 연구에서는 time-varying signal 연구에 가장 널리 사용되는 short-time fourier transform을 이용하여 방적사의 단주기 불균제를 정확하게 분석하고자 한다.

## 2. Short-Time Fourier Transform

Short-time fourier transform<sup>3,4)</sup>이란 신호를 좁은 영역의 단편으로 나눈 후 fourier transform을 이용하여 각 단편내에 존재하는 주파수를 확인하는 신호처리방식으로 시간에 따

른 스펙트럼 변화를 알 수 있어 time-varying signal 연구에 가장 널리 사용되는 방식이다. 개념은 간단하지만 매우 강력한 분석 도구인 short-time fourier transform 기술은 측정장치에서 검출된 디지털 신호를 작은 단편(segments)으로 나누기 위해 윈도우(window) 함수를 사용해야 하는데 윈도우에 따른 신호의 변형이 발생하므로 윈도우 선택에 주의가 요구된다.

Short-time fourier transform을 이용하여 프로그램을 구성하려면 다음의 절차를 따라야 한다. 먼저 선택한 윈도우 함수  $w[m]$ 를 디지털 신호의 첫부분에 위치시킨 후 디지털 신호와 곱한다. 그러면  $m$ 주변의 신호는 강조되고  $m$ 에서 멀리 떨어진 신호는 감추어진다. 그런 후 fourier transform을 하면 윈도우를 통과한 디지털 신호는 시간  $m$ 주위의 신호를 강조하기 때문에 fourier transform은  $m$ 주위의 주파수 분산을 반영하게 된다. 그런 다음 윈도우 함수를 윈도우 크기의  $\frac{1}{2}$ 만큼 이동시킨 후 다시 디지털 신호와 윈도우 함수를 곱하고 fourier transform을 수행한다. 윈도우 함수가 디지털 신호의 끝에 이를 때까지 이 절차를 반복한다. Short-time fourier transform은 위의 절차에 따라 진행되며 실제 불연속적인 신호를 계산하기 위해서는 다음식과 같이 정의되는 discrete short-time fourier transform<sup>4)</sup>을 따르게 된다.

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

$w[m]$  : the sampling window,  $0 \leq m \leq L-1$

$x[n]$  : the signal,  $0 \leq k \leq N-1$

$L$  : the maximum window length

이때  $X[n,k]$ 는 간격이  $n$ 개이고 주파수가  $k$ 개인 신호  $x[n]$ 의 시간-주파수 분포이다.

신호의 주파수가 시간에 따라 어떻게 변하는지를 시각적으로 보여주기 위해서 신호의 첫번째 segment를 fourier transform한 후 행렬의 첫번째 column에 놓고 두번째 segment의 fourier transform 결과를 두번째 column에 위치시키는 절차를 신호의 끝까지 반복하여 2차원 행렬을 구성한다. 그런 후 가로축 또는 세로축을 시간항이나 주파수항으로 설정하고 각 항의 magnitude를 주파수 강도로 표현한다.

Short-time fourier transform의 time-frequency resolution은 어느정도 제한된다. Window의 크기가 작으면 시간 해상도가 높아져 주파수 해상도는 낮아지고, window의 크기가 무한히 크면 시간 해상도가 낮아져 주파수 해상도가 높아지게 되므로 실제 적용에서는 시간과 주파수에 대한 정보를 모두 알 수 있도록 윈도우의 크기를 적절히 조절해야 한다.

### 3. 실험

본 실험에서는 100% 면사를 사용하였다. 정밀한 신호를 검출하기 위하여 Zweigle사의  $G 580^{(6)}$ 을 이용하여 2mm간격으로 방적사의 직경변동을 측정하였다.  $G 580^{(6)}$ 은 최대 400m/min의 속도로 0.01mm의 직경 변동까지 측정할 수 있고 광학 센서를 이용해 측정하므로 습도, 온도, 혼섬률에 따른 영향을 받지 않는다. 실험은 측정속도를 97m/min로 하여 방적사 400m를 측정하였다.  $G 580^{(6)}$ 으로 검출한 신호는 아날로그 신호로 plug-in board인 Lab-PC+<sup>(6)</sup>에서 샘플링 속도 840Hz로 하여 20만개 이상의 디지털 신호를 얻었다. 그런 후 검출된 디지털 신호를 short-time fourier transform을 이용한 균제도 평가 프로그램으로 방적사 불균제도를 분석·평가하였다. 분석결과는 3차원으로 표현되며 X축 또는 Y축에는

time항이나 주파수항으로 설정하고 Z축은 magnitude를 나타내었다.

#### 4. 결과

균제도 평가 프로그램을 이용한 분석을 통하여 다음과 같은 결과를 알게 되었다.

첫 번째로 방적사의 단주기 불균제도를 파악하는데 유리하였다. Segment의 크기를 작게 하는 동시에 분석결과중 단주기 영역을 중심으로 표현할 수 있어 단주기 불균제도 분석에 유리하였다.

두 번째로 시간에 따른 불균제 주기의 변화를 정확히 파악할 수 있었다. Fourier transform을 이용하는 방법은 어떠한 주기를 갖는 주파수가 얼마나 존재하는지는 알 수 있지만 언제 발생하는지는 파악할 수 없었다. 반면 균제도 평가 프로그램을 이용하면 불균제도가 언제부터 발생했으며 그때 어떤 주기를 갖는 주파수가 발생했는지 쉽고 정확하게 파악할 수 있음을 Fig. 2에서 보여주고 있다. Fig. 1은 평가하고자 방적사의 단편 변화를 나타낸 diagram이다. Fig. 2는 Fig. 1의 방적사를 균제도 평가 프로그램을 이용하여 4.1cm~410cm의 주기를 갖는 단·중주기 불균제를 분석한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3은 방적사를 fourier transform을 이용해 분석한 스펙트로그램을 나타낸 것이며, Fig. 4는 Fig. 2에서 주파수에 따른 각 segments의 magnitude를 모두 더하여 그합의 magnitude를 나타낸 것이다. 이때 Fig. 3과 Fig. 4의 경향이 서로 비슷하게 나타나지만 magnitude의 상대적 크기가 일치하지 않는 것은 단편내 디지털 신호의 수가 클수록 주파수 해상도가 작아져 주파수 영역을 자세하게 표현할 수 있고 leakage에 따른 영향이 감소하기 때문이다.

세 번째는 알고리즘의 처리속도가 빠르다는 것이다. 프로그램의 속도에 가장 크게 영향을 미치는 인자로 단편내 디지털 신호의 수를 들 수 있다. Table 1.에서 보는바와 같이 디지털 신호수가 커짐에 따라 프로그램의 처리속도가 점점 늦어지게 된다. 이와같이 처리속도가 늦어지는 이유는 균제도 평가 프로그램에서 사용되는 discrete fourier transform의 계산량이 매우 많기 때문이다. 하지만 디지털 신호수가 512, 1024, 2048, 4096인 경우에는 처리속도가 매우 빠르다. 이것은 디지털 신호수가  $n=2^m$  ( $m=1,2,3,\dots$ )인 경우 discrete fourier transform의 계산량이  $n\log_2(n)$ 로 줄어드는 fast fourier transform<sup>5)</sup>을 사용하게 되므로 균제도 평가 프로그램에서는 계산량이 [단편수  $\times n\log_2(n)$ ]로 줄게 되어 처리속도가 빨라졌다.

#### 5. 결론

Short-time fourier transform을 이용하여 시간에 따른 단주기 불균제의 변화를 파악할 수 있게 됨에 따라 이를 바탕으로 불균제 원인이 원료 섬유에서 기인하였는지 방적공정에 의해 발생했는지 파악할 수 있을뿐만 아니라 각 공정 기계의 bearing, gear, roller 등에 존재하는 결점으로 인하여 발생하는 불균제의 원인을 제거함으로써 균일한 방적사 제조가 가능한 최적의 기계 상태로 만들 수 있다.

#### 참고문헌

- (1) K. Slater, *Textile Progress*, 14(3), 1(1986).
- (2) Zellweger Uster, *Uster News Bull.*, 35, Charlotte, N. C., 1988.
- (3) Leon Cohen, "Time-Frequency Analysis", pp.93~112, Prentice Hall, N. J., 1995.
- (4) Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer, *Discrete-Time Signal Processing*, P695~721, Prentice Hall, 1989.

(5) National Instruments, "Labview Analysis VI Reference Manual", pp.3-1~3-4, National Instruments, Austin Texas, 1996.

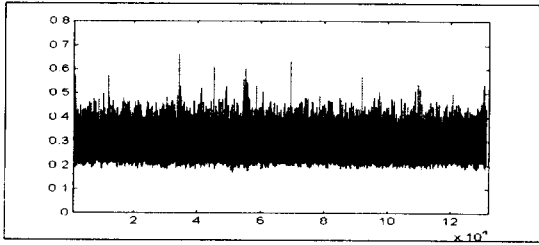


Fig. 1 방적사의 단면 diagram

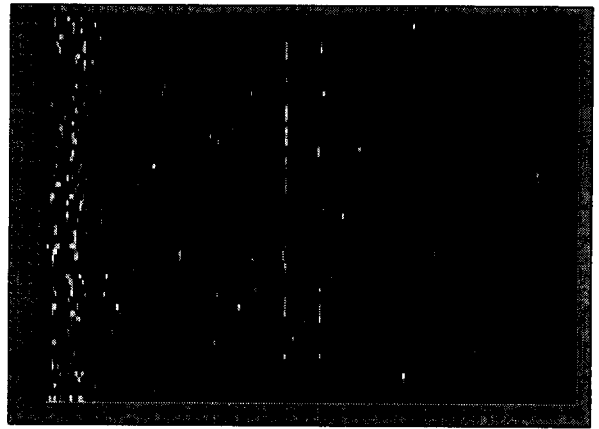


Fig. 2 균제도 평가 프로그램의 spectrogram

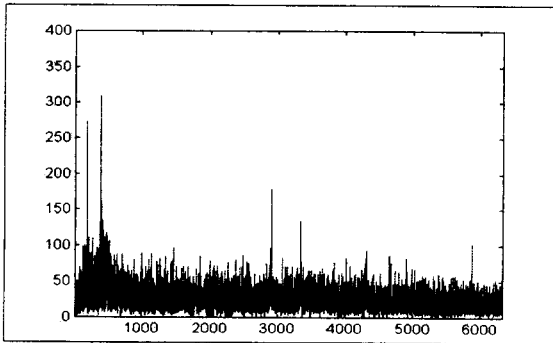


Fig. 3 Fourier transform으로 분석한 spectrogram

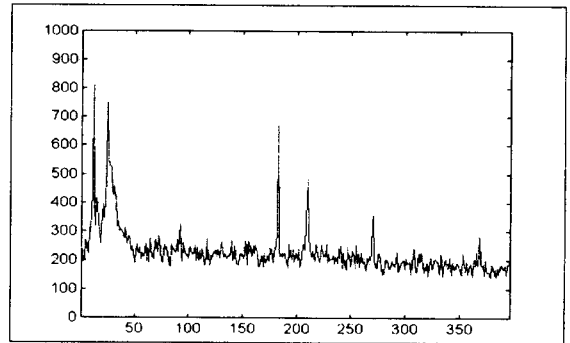


Fig. 4 균제도 평가 프로그램 spectrogram의 주파수별 magnitude의 합

Table 1. 단편내 디지털 신호수에 따른 프로그램의 처리속도

측정 길이	디지털 신호수	단편수	처리시간 (sec)	측정 길이	디지털 신호수	단편수	처리시간 (sec)
200m	500	399	13.52	400m	1000	399	29.88
	512	390	5.99		1024	390	8.51
	1000	199	15.54		2000	199	32.25
	1024	195	5.05		2048	195	8.35
	2000	99	17.74		4000	99	35.93
	2048	97	5.39		4096	97	8.19
	4000	49	18.67		8000	49	38.55