

면섬유 계측기술

전봉수[†] · 양중식[‡]

1. 서 론

약 200년 전 산업혁명이 일어나고, 면사와 면 직물을 공장 시스템에 의해 생산하기 시작하면서 원면의 품질을 보다 정량적이고 객관적인 값으로 나타낼 필요성이 대두한 이래, 오랫동안 원면 품질의 평가는 전적으로 품선사(Classer)의 눈과 손에 좌우되었기 때문에 무엇보다도 원면 품질의 평가를 위해서는 감각적인 오랜 경험이 필수적이었다. 그러나 이러한 방법은 원면 품선사의 주관적인 평가방법에 크게 의존하기 때문에 객관적인 원면 품질 평가 및 품선 기술의 전수가 어려운 실정이다. 따라서 보다 합리적이고 객관적으로 원면 품질 평가를 하기 위하여 사람의 눈 대신에 확대경을 사용하고, 전자기술 및 신호처리 기술 등에 의해 시험 분석의 재현성을 보장할 수 있는 방향으로 면섬유 계측기술이 발전되어 왔다. 아울러 섬유 모집단의 물성 평균값은 개개의 단섬유들의 물성을 모른다 하더라도 섬유 울수가 많은 시료를 시험 분석한 결과로 평가할 수 있으므로, 그 결과 Fibrograph, Micronaire, Pressley, Stelometer 등과 같은 섬유속 시험법(bundle testing)에 의한 계측기들이 개발되어 널리 사용되어 왔다.

그러나 한편 섬유 울수가 많은 시료에 대해 짧은 시간내에 정확도가 우수한 결과를 얻고자 1960년대 중반에 자동화된 시험 방식 및 컴퓨터의 도움에 의해 위의 계측기기를 통합한 HVI (High Volume Instrument) 시스템이 개발된 이후 현재는 이 시스템이 더욱 폭넓게 이용되고 있는데, 이 계측기에서 측정할 수 있는 면섬유의 물

성으로는 색상, 잡물, 섬유장, 섬유장 균제도, 마이크로네어, 섬유속 강력 및 신도 등이 있다.

HVI 개발 이후 면섬유에 대해 단섬유 시험법(single fiber testing)에 의한 계측기로서는 Zellweger Uster사에서 개발한 AFIS(Advanced Fiber Information System)가 대표적인 것으로서 일반적으로 면섬유의 넵, 종자 껍질 넵(seed coat nep), 섬유장 및 섬유 직경, 가시 이물질량, 섬도 및 성숙도를 분석할 수 있다. AFIS 시스템은 섬유 한올에 대한 기본적인 물성 정보를 제공해 줄 뿐만 아니라, 그러한 섬유 물성에 대한 분포도 제공해 줌으로써 이전에 존재하던 어떠한 다른 시험법과도 구분된다. 이와 같이 섬유 물성의 분포를 알게 됨으로써 섬유의 기본적인 물성에 대한 보다 정확한 정보를 얻을 수 있다.

이상과 같이 오늘날 면섬유 계측기에서 적용하고 있는 여러 가지 계측기술을 참고로 하여, 본고에서는 면섬유의 여러 가지 물성 중 섬유장, 섬도 및 섬유 강도와 같은 세가지 기본 물성에 대한 측정 원리 및 측정 방법 등에 관해 조사하였다.

2. 섬유장

씨앗내에서 성장이 거의 다 이루어졌을 때의 면섬유는 섬유장 배열법에 의한 섬유장 분포가 균일 분포 형태를 나타내고 단섬유 함유율도 매우 적지만, 수확 후 씨앗과 린트를 분리하여 린트만을 수집한 후 베일 형태로 압축하는 조면공정(ginning process)과 린트 정섬공정(lint cleaning process)을 거칠 때 면섬유는 과도한 손상을 받게 되므로 조면 및 린트 정섬공정을 거친 면섬

On the Measurement Technology of Cotton Fiber / Boong Soo Jeon[†] and Joong Sik Yang[‡]

[†]성균관대학교 섬유공학과 교수, (440-746) 경기도 수원시 장안구 천천동 300, Phone: 0331)290-7314, Fax: 0331)290-7330, e-mail: jeonbs@yurim.skku.ac.kr

[‡]한국섬유기술연구소

유는 섬유장 배열법에 의한 섬유장 분포가 균일 분포 형태를 나타내지 않으며 단섬유 함유율도 매우 크게 나타난다[1]. 이와 같이 면방적공정의 혼타면공정에 투입되는 섬유집합체는 조면 및 린트 정섬공정을 거친 베일 원면으로서 그 섬유장의 대표값은 품선사에 의한 스테이플 섬유장, 섬유장 배열법에 의한 평균 섬유장(ML), 상사분위 섬유장(UQL) 및 유효 섬유장, 파이브로그래프법에 의한 상반부 평균 섬유장(UHML), 평균 섬유장, 2.5% 스펠 섬유장 및 50% 스펠 섬유장 등 여러 가지 방법으로 표현되고 있으며, 섬유장 분포의 균제성을 나타내는 값으로는 섬유장 배열법에 의한 표준편차, 분산 및 분산율, 또한 파이브로그래프법에 의한 균제도지수(UI) 및 균제도비(UR) 등이 사용되고 있다[2].

초기에는 품선사가 섬유를 잡아 당겨가며 시각에 의해 주관적으로 섬유장을 평가하였으나 Duplex Sorter, 파이브로그래프, Almeter(Texlab System), HVI(High Volume Instrument) 및 AFIS(Advanced Fiber Information System) 등과 같은 시험기가 개발됨으로써 종래에 품선사에 의한 섬유장 시험 결과에 대한 객관성 결여의 문제를 극복하고, 나아가 짧은 시간에 방적공장에서 사용되는 모든 섬유집합체의 섬유 물성에 대한 전수검사가 가능하게 되었다. Webb은 Duplex Sorter라는 장치를 개발하여 면섬유 시료를 섬유장 군별로 분리하여 각 섬유장 군별의 무게를 측정함으로써 섬유장 도수분포 곡선을 얻었다. 한편 1894년에 Müller는 섬유 비어드(beard)의 개념을 소개하고 1929년에 Sommer가 비어드 다이어그램을 최초로 해석한 이후, Hertel은 임의로 붙잡힌 섬유들의 한쪽 끝을 기준선에 일치시키지 않더라도 광학적인 방법으로 섬유장 분포를 해석할 수 있는 파이브로그래프 장치를 사용하여 일반적으로 파이브로그래프이라고 하는 섬유장 분포곡선을 소개하면서 실면(seed cotton)[3] 및 면린트(lint cotton)[4]의 섬유장을 해석하였으며, 이 때 파이브로그래프의 가로축은 섬유장, 세로축의 맨 끝점은 모든 섬유의 총 섬유장으로 삼았으나, 파이브로그래프의 세로축은 섬유의 총 중량으로 간주할 수도 있으며[5], 또한 섬유 올수

혹은 중량에 비례하는 올수 확률 혹은 중량 확률로 간주할 수도 있다[6-8].

파이브로그래프나 HVI에서는 섬유 비어드와 같은 광흡수층에 광을 투사하여 Beer의 법칙에 의해 흡광 물질의 밀도에 비례하는 광학적 밀도(optic density) 또는 흡광도(extinction 혹은 absorbance)로부터 광 스캐닝 위치에서의 섬유 비어드내 섬유장 분포를 결정하지만[9], 이와는 달리 pneumatic wheatstone bridge를 이용하여 섬유 비어드가 슬릿을 통과할 때 발생하는 공기압력차로부터 섬유 비어드내 섬유장 분포를 결정하는 장치도 있으며, 이와 같이 섬유장 측정 원리가 상이한 두가지 시험기에서 평균 섬유장과 상반부 평균 섬유장을 측정된 결과는 잘 일치하였다[10]. 디지털 파이브로그래프에서 섬유장 측정시 영향을 미치는 인자로서는 섬유의 크립프와 섬유 비어드 자유단쪽의 경사져 있는 상태[11], 광 스캐닝의 시작 위치[12], 렌즈의 폭[13] 및 섬유장 측정을 위해 클램프나 코움 또는 기타 장치에 의해 섬유 시료가 붙잡히게 되는 길이(holding length) 등[14]이 있다.

Texlab 시스템은 일렬로 정렬된 섬유들이 올수 시료로서 섬유장 측정 영역에 들어갈 때 섬유들의 총 선밀도(단위길이당 중량)가 커질수록 컨덴서의 전기용량값이 커지는 원리를 기초로 하여 컨덴서의 축을 가로지르는 섬유의 올수 분포를 분석하여 올수기준 섬유장 도수분포(Hauter), 중량기준 섬유장 도수분포(Barbe) 및 터프트 다이어그램으로부터 평균 섬유장이나 단섬유 함유율 등을 나타낸다[15]. AFIS에 의하면 섬유장, 섬도, 섬유 크립프 및 섬유 표면의 평활도 등이 서로 다른 각 섬유들이 기류에 의해 한울씩 광 영역내로 유도된 후, 섬유가 광 영역을 통과할 때 기류에 의한 섬유의 이동속도와 섬유가 광 영역내에 머무르는 시간과의 곱으로서 올수 시료 섬유의 섬유장이 결정되며, 이에 따라 올수기준 및 중량기준 평균 섬유장과 단섬유 함유율 등이 신속하고 정확하게 측정된다[16].

일반적으로 섬유장을 측정하기 위해 준비되는 샘플의 형태[17-19]는 올수 시료(numerical, bulk or unbiased sample)와 편장 시료(length biased

or cross-section sample)가 있다. 울수 시료는 모집단의 각 섬유가 섬유장 측정을 위한 시료에 포함될 확률이 섬유장이나 기타 다른 섬유 물성과는 독립적으로 동일한 시료를 의미하고, 편장 시료는 모집단의 각 섬유가 섬유장 측정을 위한 시료에 포함될 확률이 섬유 물성 중 섬유장에 비례하는 시료를 의미한다. 즉 울수 시료는 SWA (Suter Webb Array), AFIS(Advanced Fiber Information System) 및 Almeter(Texlab System) 시험기에서 섬유의 고유한 양단거리를 측정할 때 준비되는 시료이며, 편장 시료는 HVI (High Volume Instrument) 시험기에서 경사진 섬유 비어드로부터 섬유장을 측정할 때 준비되는 시료이다. 이와 관련 Zylinski[17]는 울수시료의 울수기준 및 중량기준 섬유장 도수분포 관계식과 편장 시료의 울수기준 섬유장 도수분포 관계식을 유도하였고, Woo[19]는 상사분위 섬유장, 상반부 평균 섬유장, 유효 섬유장 및 스펠 섬유장을 울수 시료와 편장 시료의 확률밀도함수를 이용하여 수학적으로 표현하였으며, 예로서 사각형 모양의 스테이플 다이어그램과 사다리꼴 모양의 스테이플 다이어그램의 섬유장 분포를 갖는 경우에 대해 위의 네가지 섬유장들을 수식으로 표현하였다. 또한 Zeidman 등[18]은 AFIS, Suter Webb Array, Almeter 및 HVI 등과 같은 네가지의 중요한 섬유장 시험기별로 울수기준 평균 섬유장, 울수기준 단섬유 함유율(SFN: Short fiber content by number) 및 중량기준 단섬유 함유율(SFW: Short fiber content by weight)을 결정하는 이론식들과 각 섬유장 시험기의 측정 원리에 따라 그 값들의 기하학적인 의미를 제시하였다(Figure 1~4, Table 1).

Hertel 등[20]은 최초로 스펠섬유장의 개념을 소개하면서 드래프팅 공정상에서의 부유섬유(floating fiber) 및 제어섬유(controlled fiber)의 거동을 고려하여 모집단의 섬유장 분포를 해석하기 위해서 파이브로그래프의 2.5% 스펠 섬유장 및 67% 스펠 섬유장의 이용을 권유한 바 있다.

면섬유는 조면공정과 린트 정섬공정을 거치는 동안 과도한 섬유 손상을 받게 되므로 단섬유 함유율이 많아지고, 동일 샘플에 대해 울수기준 섬유

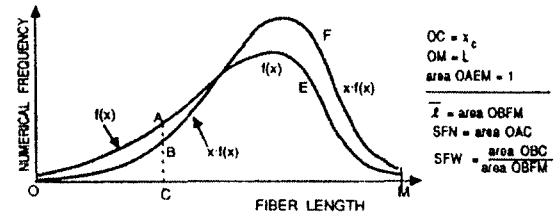


Figure 1. Mean length, SFN, and SFW obtained from numerical frequency function (AFIS method).

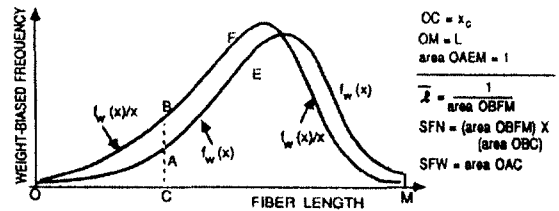


Figure 2. Mean length, SFN, and SFW obtained from weight-biased frequency function (Suter-Webb array method).

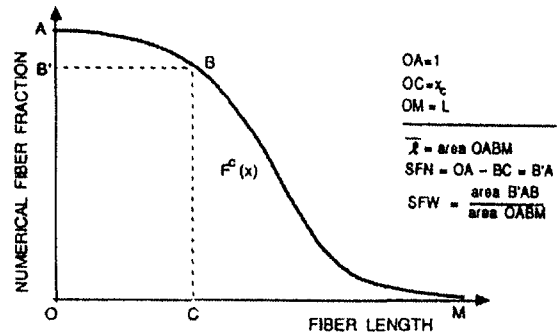


Figure 3. Mean length, SFN, and SFW obtained from numerical complementary distribution function (Peyer Almeter method).

유장 분포에 따른 단섬유 함유율은 중량기준 섬유장 분포에 따른 단섬유 함유율에 비해 단섬유의 비율이 더욱 크게 나타난다[21]. 파이브로그래프에서 나타나는 2.5% 스펠 섬유장 및 50% 스펠 섬유장을 이용하여 Preysch[22]가 구한 중량기준 단섬유 함유율 추정값은 Zeidman 등[21]이 구한 중량기준 단섬유 함유율 추정값보다 약 5% 높게 나타나는데, 이 차이는 단섬유의 정의를 각각 12 mm 이하와 12.7 mm 이하로 서로 다르게 규정한 원인 등에 기인한다. Hertel[4]은 이미 울수기준 및 중량기준 단섬유 함유율을 유도하

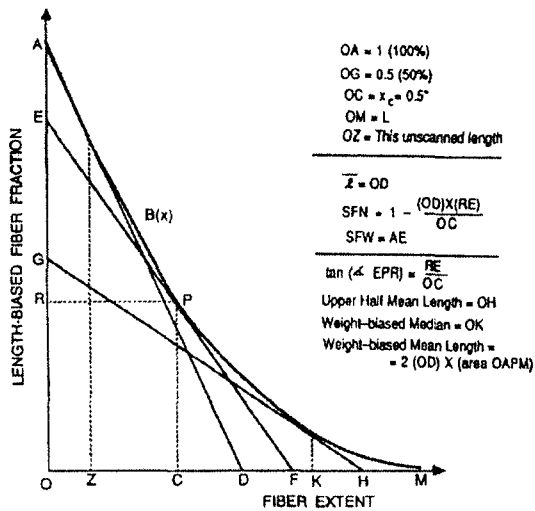


Figure 4. Different length parameters determined from a fibrogram (HVI method).

Table 1. Equations for determining the numerical mean length, SFN, and SFW from four different methods

Method and function used
<u>Definitions (also AFIS method)</u>
Given $f(x)$, $T = \int_0^L x f(x) dx$
$SFN \equiv F(x_c) = \int_0^{x_c} f(x) dx$
$SFW \equiv F_w(x_c) = \frac{1}{T} \int_0^{x_c} x f(x) dx$
<u>Suter-Webb array method</u>
Given $f_w(\xi)$, $T = \left[\int_0^L \frac{f_w(x)}{x} dx \right]^{-1}$
$SFN \equiv F(x_c) = T \int_0^{x_c} \frac{f(x)}{x} dx$
$SFW \equiv F_w(x_c) = \frac{1}{T} \int_0^{x_c} f_w(x) dx$
<u>Peyer Almeter method</u>
Given $F^c(\xi)$, $T = \int_0^L F^c(x) dx$
$SFN \equiv F(x_c) = 1 - F^c(x_c)$
$SFW \equiv F_w(x_c) = \frac{1}{T} \left[\int_0^{x_c} F^c(x) dx - x_c F^c(x_c) \right]$
$= 1 - \frac{1}{T} \left[\int_{x_c}^L F^c(x) dx + x_c F^c(x_c) \right]$
<u>HVI methods: MCI length analyzer and Spinlab Fibrograph</u>
Given $B(\xi)$, $T = -\frac{1}{B'(0)}$
$SFN \equiv F(x_c) = 1 + TB'(x_c)$
$SFW \equiv F_w(x_c) = 1 - B(x_c) + x_c B'(x_c)$

였지만 디지털 파이브로그래프에 의하면 전체 섬유장 혹은 중량기준의 단섬유 함유율은 구할 수 있으나 울수기준 단섬유 함유율은 직접적으로 얻을 수 없기 때문에 Hertel이 유도한 울수기준 단섬유 함유율은 디지털 파이브로그래프에서 이용되지 못하는 반면, Joshi[23]는 파이브로그래프의 기하학적 해석으로부터 새롭게 울수기준 단섬유 함유율을 구하는 방법을 소개하였다.

HVI에서는 편장 시료를 사용하고 섬유장을 감지하는 장치가 비어드의 기준선으로부터 일정한 거리(0.15~0.20 in)만큼 떨어진 지점에서부터 섬유장 분포를 스캐닝할 뿐만 아니라 섬유장 측정을 위해 클램프나 코움 또는 기타 장치에 의해 섬유 시료가 붙잡히게 되는 길이(holding length) 등의 이유로 인하여 단섬유 함유율의 정확한 측정은 불가능하지만[18], Suter Webb Array에 의해 측정된 울수기준 및 중량기준 단섬유 함유율과 HVI에 의한 섬유장(UHML 또는 ML) 및 섬유장 규제도지수(UI)간의 상관관계를 회귀분석한 결과에 의하면 HVI에 의한 섬유장 및 섬유장 규제도지수로부터 울수기준 및 중량기준 단섬유 함유율의 간접적인 추정은 가능하다[21,24].

3. 섬유도

면섬유 단면의 충만도(fullness)와 원형도(roundness)는 섬유의 다른 특성들, 즉 성숙도, 광택, 레질리언스, 머서화도, 절단 강력 및 염색 특성들과 상관관을 갖는 인자로서 실제 섬유 원주와 동일한 원주를 갖는 가상 원의 면적에 대한 섬유의 단면적 비 또는 섬유의 원주를 이용하여 표현할 수 있으며[25], 면섬유의 반지름은 섬유의 고유섬도와 박막의 후도로부터 계산할 수 있다[26].

면섬유의 단면 크기와 관련한 특성을 나타내는 것으로는 선밀도, 원주, 단면적, 막벽의 후도, 비표면적 및 성숙비 등 여러가지 방법이 있으며, 이러한 것들을 측정하는 방법으로는 섬유 배열 및 중량 측정법, 현미경 조사법, 공기 투과법, 가성소다에 의한 팽윤법 및 영상 분석법 등이 있다.

에리얼로미터(Arealometer)는 섬유의 질량과 유동관내의 체적이 일정하다고 할 때, 섬유가 차

지하는 표면적이 커질수록 공기의 유동 저항이 커진다는 원리에 의해 면섬유의 비표면적, 미성숙비, 고유섬도 및 성숙도를 표시하고[27,28], 동일 시료에 대해 에리얼로미터 및 FMT(Fineness/Maturity Tester)의 측정 결과는 상호 잘 일치할 뿐만 아니라[29], 평균 섬유폭과 상대 막벽 후도의 광학적인 측정을 위한 캘리브레이션에 이용될 수 있다[30,31].

영상분석 시스템을 이용하면 면섬유의 섬도 및 성숙도[32,33], 마이크로토움에서 절단된 섬유의 얇은 단면적[34], 섬유 길이 방향을 따라 투영된 섬유폭을 측정함으로써 각 면섬유의 2차 막벽의 발달 정도[35]를 평가할 수 있다.

Krowicki 등은 면섬유의 단면이 원형 실린더 형태[36]라고 할 때와 중공 실린더 형태[37]라고 할 때, 각각 에리얼로미터로부터 구한 면섬유의 표면적과 원주, 또 파이브로그래프에서 광을 면섬유에 투과시킬 때 입사광의 세기, 반사광의 세기 및 광 감쇠계수 등을 이용하여 면섬유의 질량을 추정할 수 있는 이론식을 제시하였고, 나아가 파이브로그래프를 이용하여 면섬유의 단면적이나 비표면적 등 면섬유의 횡단 구조를 결정하는 방법을 썼을 때 에리얼로미터에서 구한 결과와 상관관계가 높게 나타난다고 보고하였다[38].

Radhakrishnan 등[39,40]은 플러그의 기공도와 비체적은 좁은 범위에 있지만 섬유의 형태계수와 선밀도는 넓은 범위에 있는 여러가지 천연 섬유 혹은 합성섬유 플러그내를 통과하는 공기의 유량을 나타내는 식을 소개하였다.

상대습도는 온도에 비해 면섬유의 수분율에 더욱 큰 영향을 미치는 인자로서, 동일한 시료인 경우 일정한 온도에서 상대습도가 커질수록 마이크로네어가 증가하고, 시료로 사용된 면섬유의 마이크로네어가 클수록 상대습도 증가에 따른 마이크로네어 증가 비율도 커진다[41].

평균 섬도가 서로 다른 섬유집합체를 서로 다른 중량혼율로 혼합한 전체 섬유집합체의 평균 섬도는 이론적으로는 가중조화평균을 따르고, 마이크로네어 차이가 1 미만일 때 전체 섬유집합체의 평균 섬도는 각 섬유집합체의 평균 섬도의 중량혼율에 의한 가중평균을 취하더라도 실제 평균

섬도와 큰 차이가 없으며[42], 1베일의 섬도를 결정할 때, 95% 신뢰구간에서 평균 섬도 ± 0.1 (혹은 ± 0.2)의 정확도를 얻기 위해서는 8개(혹은 2개)의 시료가 필요하고, 1베일에서 2개의 시료를 취해 1베일당 1개의 섬도 결정값을 가질 때, 20개 이상의 베일의 평균 섬도는 95% 신뢰구간에서 평균 섬도 ± 0.2 의 정확도를 갖는다[43].

4. 섬유 강도

면섬유가 장력하에 놓일 때 발생하는 섬유의 절단은 구조적 결함이 있는 섬유 막벽보다는 셀룰로오스의 결정화가 더욱 많이 이루어져 있는 피브릴 방향 전환점에서 주로 일어나고, 이러한 면섬유의 피브릴 방향 전환점은 섬유의 base end 쪽 보다는 tip end 쪽에서 더 많이 발생한다[44]. 또한 면섬유의 피브릴 방향 전환점이 많을수록 단섬유 강력과 섬유속 강력(bundle strength)이 낮으며[45], 피브릴의 규칙성, 길이, 섬유축과의 배향각도, 방향 전환점의 빈도 및 피브릴의 결정화도 등과 같은 면섬유의 고유한 강력 특성 관련 인자에 따라서 섬유의 절단 하중은 동일하게 나타나지 않으며 분포함수의 형태를 띠게 된다[46].

면섬유에 대한 절단 하중 분포곡선은 Turner가 1921년에 처음으로 소개한 뒤, Clegg는 면섬유의 막벽 두께와 절단 하중 분포 및 그 평균을 결정하였고, Somashekar 등[47]은 섬유가 성숙할수록 면섬유 한올의 절단 하중 분포의 왜도는 감소하면서 거의 완전히 성숙한 면섬유 한올의 절단 하중 분포는 대칭형의 정규분포를 이루고, 또한 성숙도가 증가할수록 면섬유 한올의 평균 절단 하중은 증가하고 그 변동계수는 작아지며, 면섬유 한올의 절단 강력 실험시 섬유의 파지 거리가 길수록 절단 하중 분포의 평균, 최빈값 및 표준편차 등이 감소한다고 보고하였다.

섬유속이 인장 하중하에 놓이게 되면 섬유속내의 섬유중 강도가 가장 약한 섬유가 먼저 절단되고, 나머지 섬유들간에 인장 하중이 분배되며, 인장 하중이 연속적으로 증가할수록 그 다음 차례의 강도가 약한 섬유가 절단되는데 이와 같이 인장 하중에 의한 섬유속내의 섬유 절단은 전체

섬유속이 절단될 때까지 계속된다[48].

면섬유 한올의 절단 강력과 섬유속 강력간의 이론적인 관계에 대해 Peirce는 섬유속내의 모든 섬유들이 직선적인 하중 신장관계를 가지고 또한 그 기울기가 동일하다는 가정 아래 어떤 신장하에 있는 섬유속의 하중을 구한 후, 최대 절단 신도에서의 섬유속 절단 하중을 유도하였고, Nachane 등[49]은 면섬유 한올의 평균 절단 하중, 절단 신도 분포 및 섬유속내에 있는 섬유 올수로부터 일정한 신장하에 있는 섬유속의 하중을 구한 후 최대 절단 신도에서의 섬유속 절단 하중을 유도하고, 실제 실험에 의한 섬유속 절단 하중을 이론값과 비교한 결과 Peirce에 의한 이론값보다 더욱 잘 일치한다고 보고하였다. 즉 Nachane 등[49]은 섬유속내의 모든 섬유들의 하중 신장 관계가 직선적이라고 가정할 때, 섬유 한올의 절단 하중 분포함수, 절단 신도 분포함수 및 섬유속내 섬유 올수 등을 고려하여 섬유속이 일정한 길이만큼 신장될 때 섬유속에 작용하는 하중을 구하는 이론식을 유도한 후, 섬유속에 작용하는 하중을 섬유속 신장 거리에 대해 미분한 값이 0이 되는 조건에서 구한 섬유속 절단 신도로부터 섬유속에 걸리는 최대 하중으로서 섬유속 절단 강력을 구하였다. 이 경우 섬유속 강력은 섬유속을 구성하는 모든 섬유들의 절단 하중 분포함수 및 절단 신도 분포함수를 먼저 구해야만 얻어질 수 있는 값이다.

한편 스텔로미터나 HVI와 같은 섬유속 강력 시험기에서는 섬유속 강력을 섬유속 강도(bundle tenacity)로 표현하기 때문에 섬유속 절단 하중뿐만 아니라 섬유속 강력 시험에 사용된 시료의 정확한 중량(tex와 같은 선밀도 단위를 이용)도 파악되어야 한다.

이와 같이 섬유 한올의 강신도 범위가 비교적 넓지 않은 섬유집합체의 평균 섬유속 강력은 섬유 한올의 강신도 분포로부터 유도할 수 있지만, 섬유 한올의 강신도와 섬유속 강력의 범위가 넓을 뿐만 아니라 중량혼율이 서로 다른 여러가지 섬유집합체를 혼합한 다봉분포 섬유집합체의 평균 섬유속 강력은 각 섬유집합체의 섬유 한올의 강신도 분포와 평균 섬유속 강력 등으로부터 유

도하하기가 매우 복잡할 것으로 예상된다.

경사져 있는 섬유 비어드로부터 섬유속 강력을 측정하는 프레슬리, 스텔로미터 및 HVI와 같은 시험기중, 섬유속 강력 시험 결과의 재현성은 HVI에 의한 결과가 가장 우수하고[50], HVI에서 준비한 시료가 섬유집합체의 대표적인 특성을 가장 잘 나타내지만[51], HVI에 의한 섬유속 강력 측정시 영향을 미치는 인자들로서는 시료 준비시 코우밍, 브러싱, 중량 측정, 강력 측정 위치, 클램프 마모, 섬유 크립프 등과 관련된 것들이 있다[52].

한편 섬유속이 인장될 때 잔류 크립프가 제거된 후 최대 신도에서의 섬유속 절단에 이르기까지 이상적으로는 섬유속내 모든 섬유들이 동일한 직선 형태의 하중 신장 관계를 가져야만 섬유속의 인장시 모든 섬유들이 동일한 장력을 받게 되므로, HVI에 의한 섬유속 인장 시험의 정확도를 높이기 위해서는 섬유 크립프와 미끄러짐이 최소화되어야 하며, 또한 일반적으로 인장 속도가 증가하면 섬유속 신도는 감소하므로 여러가지 시험기의 섬유속 신도 결과를 비교하기 위해서는 섬유속 인장 속도를 동일하게 유지해야 한다[53].

섬유속 강력을 강도 단위로 표시할 때 실제 절단 시험에 사용된 섬유속의 중량을 절단 칭량 방법으로 측정된 값은 FMT에서 구한 섬도[54] 혹은 Suter Webb Array에 의한 섬유장 균별 올수 평균을 한 섬도[55,56]와 가장 상관이 높지만, HVI에서 섬유속 강력을 강도 단위로 표시할 때 실제 절단 시험에 사용된 섬유속의 중량은 마이크로네어로부터 간접적으로 추정된 값이 이용된다[54].

일반적으로 면섬유는 밀도, 공기 유동 속도 및 대기에 노출되어 있는 시간 등에 따라 수분 함유율의 변화에 민감한 흡습성 섬유[57]로서 상대습도 증가에 따라 프레슬리[58], 스텔로미터[59] 및 HVI[58,60]와 같은 섬유속 강력 시험기에 의한 섬유속 강력이 증가한다.

면섬유 한올의 강신도와 섬유속 강신도 시험에서 시료의 파지 거리가 길수록 최약점이 포함될 확률이 더 커지므로 절단 강도 및 신도는 감

소한다[61,62].

HVI에 의한 섬유속 강력은 섬유속이 절단될 때의 하중을 나타내는데 이때 섬유속의 단면에 포함되어 있는 섬유의 올수와 섬유의 선밀도 등에 따라 그 값이 달라지므로 상대적인 강도를 비교하기 위해서는 절단 하중을 섬유속의 단면적이나 선밀도로 나눈 강도를 사용하여야 한다. HVI에 의한 강도 시험은 15% 스펀섬유장 위치에서 실시된다. 한편 공기압력차를 이용한 방식이나 광을 이용한 방식의 경우 만약 섬유의 크립프가 크다면 구멍(orifice)내의 공기 저항을 크게 할 뿐만 아니라 광의 산란도 커지기 때문에 정확한 amount 측정시 장애 요인이 된다.

5. 결 론

면섬유의 물성 중에는 섬유장, 섬도, 섬유 강도, 성숙도, 넵, 색상, 잡물 등 물리적인 성질과 당분, 왁스 함유량 등 화학적인 성질 등이 있으며, 방적공정에서의 성능 및 최종 제품의 품질 측면에서 볼 때 모든 물성들이 독특한 영향을 미치므로 면섬유 물성을 정확하게 평가 관리하는 것은 매우 중요한 일이다. 이중 섬유장, 섬도 및 섬유 강도는 특히 중요한 물성으로서 오늘날 전자 및 신호처리기술 등의 발달에 힘입어 과거에 비해 획기적으로 이들 물성들을 객관적이고 합리적으로 평가할 수 있는 방향으로 계측기술이 발전하여 왔다.

방적공정에서의 여러 가지 상황을 보다 잘 이해하기 위하여, 예를 들어 로울러 드래프트에서의 게이지 및 드래프트 압력의 설정, 슬라이버나 실에서의 단면내 섬유 올수의 결정, 섬유간 포함력과 꼬임 및 스핀들 회전수에 따른 실의 역학적 특성과 헤어리니스 수준 예측, 최종적으로 면섬유 물성이 면방적사 물성에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 무엇보다도 먼저 면섬유의 물성을 객관적으로 파악하는 것이 필요하다. 이러한 요구에 부응하여 최근의 면섬유 계측기술은 과거에 비해 품선사의 주관적 판단을 배제한 채 보다 객관적이고 합리적인 면섬유 물성을 제공하고 있다.

그러나 아직까지도 HVI 시스템의 경우는 섬유장 및 섬유 강도 측정을 위한 초기 캘리브레이션 방법, 여러 베일이 혼섬되는 경우 섬유장과 섬유장 균제도의 대표값 산출 방법, 섬유속 강력을 강도로 표시할 때 마이크로네어 값을 이용하는 점, 섬유속 강력 및 신도 측정시 어느 지점에서 1/8인치 게이지로 설정할 것인가 하는 점 등이 개선의 여지가 있으며, HVI 및 AFIS 시스템 모두 면섬유의 천연 꼬임(크립프) 차이에 따른 섬유장 평가 방법 등 여러 가지 면에서 개선되어야 할 부분들이 있다. 이러한 문제점들이 향후 개선됨으로써 이전보다 더욱 합리적이고 객관적인 면섬유 품질 분석기술이 수립될 수 있기를 기대한다.

참고문헌

1. H. Wakeham, *Text. Res. J.*, **25**, 422(1955).
2. 김노수, 김상용, "섬유계측과 분석", pp.35-45, 문운당, 서울, 1977.
3. K. L. Hertel and M. G. Zervigon, *Text. Res. J.*, **6**, 331(1936).
4. K. L. Hertel, *Text. Res. J.*, **10**, 510(1940).
5. C. B. Landstreet, *Text. Bull.*, **87**(4), 54-57, 74-75(1961).
6. H. W. Prier and P. E. Sasser, *Text. Res. J.*, **42**, 410(1972).
7. J. D. Tallant and R. A. Pittman, *Text. Res. J.*, **43**, 689(1973).
8. R. S. Krowicki and K. E. Duckett, *Text. Res. J.*, **57**, 200(1987).
9. E. R. Riddle, "Proceedings of the Fifth Annual Engineered Fiber Selection Research Forum", pp. 63-85, Nov. 5-6, Cotton Incorporated, 1992.
10. H. M. Brown, *Text. Res. J.*, **28**, 516(1958).
11. K. L. Hertel and R. Lawson, *Text. Res. J.*, **34**, 866(1964).
12. R. S. Krowicki and H. H. Ramey, Jr., *Crop Sci.*, **24**, March-April, 378(1984).
13. R. S. Krowicki, *J. Text. Inst.*, **77**(3), 223(1986).
14. R. S. Krowicki and D. P. Thibodeaux, *Text. Res. J.*, **60**, 383(1990).
15. J. D. Barger III, *Text. Res. J.*, **56**, 121(1986).
16. C. K. Bragg and F. M. Shofner, *Text. Res. J.*, **63**, 171(1993).
17. T. Zylinski, "Textile Metrology", pp. 412-477, Part I, The Central Institute for Scientific,

- Technical, and Economic Information, Warsaw, 1964.
18. M. I. Zeidman, S. K. Batra, and P. E. Sasser, *Text. Res. J.*, **61**, 21(1991).
 19. J. L. Woo, *J. Text. Inst.*, **58**, 557(1967).
 20. K. L. Hertel and C. J. Craven, *Text. Ind.*, **124** (7), 103(1960).
 21. M. I. Zeidman, S. K. Batra, and P. E. Sasser, *Text. Res. J.*, **61**, 106(1991).
 22. M. Preysch, *Int. Text. Bull., Spin. Ser.*, No. 2, 299(1979).
 23. V. S. Joshi, *Text. Res. J.*, **41**, 77(1971).
 24. M. I. Zeidman, S. K. Batra, and P. E. Sasser, "Proceedings of the Third Engineered Fiber Selection Research Forum", pp. 136-152, Nov. 8-9, Cotton Incorporated, 1990.
 25. E. L. Skau, *Text. Res. J.*, **21**, 14(1951).
 26. P. Neelakantan, *J. Text. Inst.*, **66**(9), 332(1975).
 27. K. L. Hertel and C. J. Craven, *Text. Res. J.*, **21**, 765(1951).
 28. S. G. Stephens, *Text. Res. J.*, **46**, 835(1976).
 29. G. A. T. J. Raes and L. Verschraege, *J. Text. Inst.*, **72**(5), 191(1981).
 30. S. G. Stephens, *Text. Res. J.*, **47**, 1(1977).
 31. S. G. Stephens, *Text. Res. J.*, **47**, 526(1977).
 32. K. Gilhaus, *Int. Text. Bull., Spinning*, No. 2, 117(1980).
 33. E. K. Boylston, D. P. Thibodeaux, and J. P. Evans, *Text. Res. J.*, **63**, 80(1993).
 34. J. D. Berlin, S. Worley, Jr., H. H. Ramey, Jr., and S. S. Linkous, *Text. Res. J.*, **51**, 109(1981).
 35. D. P. Thibodeaux and J. P. Evans, *Text. Res. J.*, **56**, 130(1986).
 36. R. S. Krowicki and K. E. Duckett, *J. Text. Inst.*, **63**, 650(1972).
 37. R. S. Krowicki and K. E. Duckett, *J. Text. Inst.*, **70**(2), 78(1979).
 38. R. S. Krowicki and K. E. Duckett, *Text. Res. J.*, **50**, 354(1980).
 39. P. Neelakantan and T. Radhakrishnan, *Text. Res. J.*, **60**, 329(1990).
 40. T. Radhakrishnan, P. Neelakantan, and T. Narasimham, *Text. Res. J.*, **61**, 382(1991).
 41. F. R. Gates and E. J. Jennings, *Text. Res. J.*, **23**, 942(1953).
 42. E. J. Jennings and H. J. Lewis, *Text. Res. J.*, **25**, 267(1955).
 43. F. C. Brenner and P. M. Scocca, *Text. Res. J.*, **26**, 899(1956).
 44. H. Wakeham and N. Spicer, *Text. Res. J.*, **21**, 187(1951).
 45. H. Wakeham and N. Spicer, *Text. Res. J.*, **25**, 585(1955).
 46. G. S. Patel and N. B. Patil, *Text. Res. J.*, **45**, 168(1975).
 47. T. H. Somashekar, T. Narasimham, A. K. Kulshreshtha, and N. E. Dweltz, *J. Appl. Polym. Sci.*, **21**, 1519(1977).
 48. W. L. Yang and S. K. Yang, *Text. Res. J.*, **48**, 306(1978).
 49. R. P. Nachane and K. R. Krishna Iyer, *Text. Res. J.*, **50**, 639(1980).
 50. R. A. Taylor, *Trans. ASME, J. Eng. Ind.*, **104**, 169(1982).
 51. R. A. Taylor, *Text. Res. J.*, **56**, 92(1986).
 52. R. A. Taylor, "Proceedings of the Fifth Annual Engineered Fiber Selection Research Forum", pp. 53-61, Nov. 5-6, Cotton Incorporated, 1992.
 53. R. A. Taylor, "Proceedings of the Second Engineered Fiber Selection Miniconference", pp. 6-35, Nov. 8-9, Cotton Incorporated, 1989.
 54. R. A. Taylor, "Proceedings of the Beltwide Cotton Production Conferences", pp. 864-869, National Cotton Council, 1991.
 55. K. E. Duckett, Z. Zhou, R. S. Krowicki, and P. E. Sasser, "Proceedings of the Fifth Annual Engineered Fiber Selection Research Forum", pp. 43-52, Nov. 5-6, Cotton Incorporated, 1992.
 56. K. E. Duckett, Z. Zhou, R. S. Krowicki, and P. E. Sasser, *Text. Res. J.*, **63**, 737(1993).
 57. Textile Research Center, *Textile Topics*, **11**, No. 7(1983).
 58. R. A. Taylor, "Proceedings of the Fourth Annual Engineered Fiber Selection Conference", May 7-9, pp. 169-175, Cotton Incorporated, 1991.
 59. R. Lawson, H. H. Ramey, Jr., and R. S. Krowicki, *Text. Res. J.*, **46**, 715(1976).
 60. R. A. Taylor, R. S. Brown, and L. C. Godbey, *Text. Res. J.*, **62**, 80(1992).
 61. R. S. Orr, L. C. Weiss, and J. N. Grant, *Text. Res. J.*, **25**, 939(1955).
 62. W. P. Virgin and H. Wakeham, *Text. Res. J.*, **26**, 177(1956).