면사의 Lea강력

방적사의 강도는 실의 가장 중요한 특성의 하나로서 실의 외관과 함께 실을 평가할 때 많이 쓰이며 이중 강력은 특히 중요한 사항으로 2개의 hook사이에 1 Lea의 실을 걸어서 잡아 당겼을 때의 강력 즉 Lea strength로서 표시하는 것이 편리하다.

면사의 특징을 판정할 때에는 번수×리이강도(count strength product)를 사용하여 방적성능(spinning quality)를 판정하는 지수로 사용하는 것은 주지하는 바이다.

본고에서는 면사의 리이강력 추정에 대해서는 이미 본 섬유기술에 소개된 바 있으며 최근 면사의 lea강력에 관한 필자의 연구 사항에 대해서 기술해 보고자 한다.

동일 원면에 대해서 연계수와 다른 방적 조건이 같은 일련의 실을 번수에 따라 방적할 때 count strength product는 번수증가에 따라 일차적으로 감소하여 번수와 CSP의 관계를 다음 식으로 나타내고 있다.(Fig.1)

CS = a-bc

즉 CS : count strength product

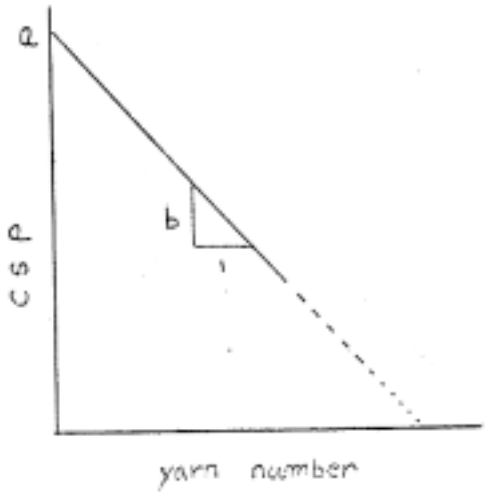
a : CS scale상의 절편

b : 번수의 단위 증가에 의한 CS의 감소를 나타내는 직선의 기울기

리이강력은 번수와 꼬임에 따라 변동하는 것으로 알려져 있으며 CSP –번수 직선의 기울기는 원면 종류와 연계수에 따라 달라진다. 일반적으로 강력이 큰 원면으로부터 방적한 실은 약한 원면으로부터 방적한 실보다 번수 증가에 따른 사강력의 감소율이 낮아지는 것은 확실하다.

태번수에서는 섬유강력이 실의 lea strength에 영향을 미치는 주인자이며 길

고 가는 섬유는 짧고 굵은 섬유보다 CSP-번수 직선의 절편의 값(a)이 크다. 이 절편의 값은 섬유강력, 방적조건 및 다른 섬유특성에 의해서 좌우된다.



<Fig. 1> CSP와 번수 (yarn number)의 관계

번수 증가에 따라 절편으로부터 CSP의 상대적인 감소는 b/a에 의해서 측정되며 이 값은 섬유강력과 고유섬도에 의해서 크게 좌우된다. 길고 가는 섬유는 짧고 굵은 섬유보다 b/a,의 값은 작고 CS/a는 급격히 감소한다. 그런고로 길고 가늘고 강한 섬유는 짧고 굵고 약한 섬유보다 강력이 큰 실을 방적할 수 있다.

태번수로 방적했을 때 원면 A가 B보다 섬유강력이 크다면 원면 B보다 실강력이 크겠지만, 만약 세번수로 방적할 때 원면 A가 B보다 굵고 짧은 섬유라면 번수 증가에 따라 실의 강력의 감소가 급격히 일어나기 때문에 그 상황은 뒤바뀔 것이다.

이와 같이 일반적으로 세번수 방적에서는 길고 가는 원면을 사용하는 것이 관례이다.

Kerr와 Den Hartog는 1952년 progress report에 보정강력과 번수의 역수와의

관계를 직선적인 관계로 보고하고 있다.

$S = k_1(1/c)-k_2$

즉 S : 리이강력

c : 번수

k_1k_2 : 구성섬유에 의해서 결정되는 계수

Campbell은 섬유장 변화에 따른 CSP-count line의 기울기(negative slope)에 대한 실험치를 (표1)과 같이 나타내었다.

<표 1>

staple length (in)	slope
13/16	25.1
7/8	23.1
15/16	23.3
1	21.2
1 1/16	21.3
1 1/8	17.4
1 3/16	17.3
1 1/4	15.9
weighted mean	21.7

이 결과는 섬유장 1 1/4~13/16in의 변화에 따라 15.9/25.1의 기울기의 변동을 나타내고 있지만 이것은 타래시험(skein testing)에 있어서 흔히 예상되는 실험오차내에 있는 단지 0.5lb의 차이가 난다.

$$S_2 = \frac{C_1S_1-(C_2-C_1)21.7}{C_2}$$

즉, S_2 : 추정한 번수의 lea강력 (lb)

C_2 : 추정한 번수

S_1 : 기지의 번수의 lea강력 (lb)

C_1 : 기지의 번수

위에 제시된 식은 동일 원면에서 방출한 이번수 사의 lea강력을 보정하기 위해서 ASTM에서 천거되고 있지만 1in보다 짧거나 1 1/16in보다 긴 섬유에 대한 리이강력을 보정하기 위해 21.7이외의 다른 값이 사용되고 있다.

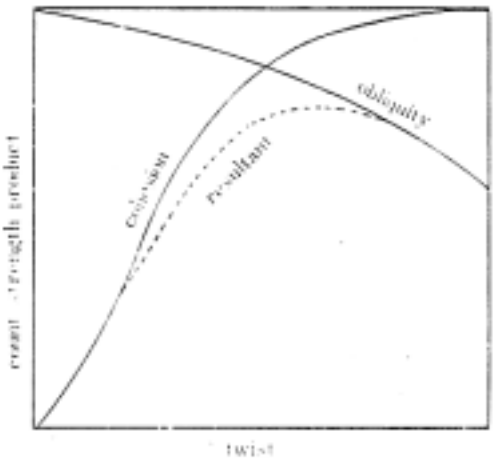


Fig. 2 CS와 twist와 관계

또 소면사에 대한 타래강도(skein strength)를 추정하기 위해 다음 공식이 유도되었다.

$$S = \frac{91.49(L) - 18.27(C) - 70.3}{C}$$

즉, L : 1/32in 단위의 섬유장

C : 실의 번수

S : 추정된 타래강도(skein strength) (lb)

이 공식에서 볼 때 섬유장이 길어질수록 Lea강도가 증가됨을 알 수 있을 뿐만 아니라 섬유장의 변화는 실의 번수가 증가함에 따라서 더욱 큰 영향을 주고 있음을 나타내고 있다.

Sheldon & son은 섬유장을 동시에 포함시켜 방출번수와 그 lea강력과의 관계를 다음 식으로 표시하고 있다.

$$S = \frac{k_1(1 \pm 0.11a \pm 0.01b)}{b}$$

즉 S : 추정한 lea 강력 (lb)

C : 방출 번수

k : 상수 1600-소면사

1750-정소면사

a : 1/16in 단위로 표시되는 섬유장과 1in와의 차로서 1in 이상일때는 (+), 1in 이하일 때는 (-)

b : 방출 번수 C와 28'ˢ와의 차로서 C가 28'ˢ보다 태번수일 때는 +, 28'ˢ 보다 세번수 일 때는 -

고로 상기의 식은 C×S =K(1±0.11a±0.01b)가 되며, 지금 방출 번수를 28'ˢ로 하고 사용 원면의 섬유장을 1in라고 하면

C×S =1600 · · · · 소면사

C×S =1750 · · · · 정소면사

이 되고 번수와 lea강력적은 일정하게 된다는 기초하에 결론을 내린 것으로 이 C×S는 방적사의 품질관리에 대단히 중요하다.

섬유특성에서 리이강력을 추정하는 식중에서 미국농무성에서 발표한 자료에 의하면

Estimated CSP

$= 10.28 – 19.48N + 18.25S_R + 1392.25UHM – 80.56F$

$= -514.45 – 19.47N + 17.39S_R + 1642.26UHM$

$= -548.82 – 19.48N + 2621.19UHM + 13.43S – 85.26F$

$= -1303.504 – 17.590N + 2428.474UHM – 59.786F + 22.964S$

Texas 대학에서 발표한 것 중에서

22’s lea강력 (1b) = 123.77UHM + 0.73S – 1.73F- 82.27

= 118.86UHM +0.18S – 4.10F – 24.19

기타

40’s lea강력 (1b) = 65.530UHM + 0.335.75S – 2.1315F – 33.2005

즉 N : 번수

S : 강력(0gg 1000 1b/in)

SR : 강력 (1/8gg PI)

F : 섬도(μg/in)

UHM : 상반부 평균장

의 일차다항회귀식에 의해서 보고되고 있다. 상기의 결과들을 정리하면 원면 특성으로 면사의 리이강력을 추정하는데는 섬유 개개의 특성을 독립변수로 취급하는 일차다항식과 섬유특성을 하나의 혼합지수로 묶어놓은 곡선식으로 분류할 수 있으나 이와 같은 식들에 있어서 번수에 대한 계수는 원면 종류에 따라 달라지는데 이것은 섬유특성들의 상대적 비중이 번수에 따라 차이가 있다는 것을 뜻한다.

섬유특성으로부터 실강력을 추정하는데 사용되는 여러 식에는 동일 원면에 대해 일반적으로 방적해 온 일 정 범위를 넘어서는 적용할 수 없는 미흡한 점이 있다.

연계수(twist multiplier)에 대한 count strength product의 관계는 Fig.2에서와 같이 강력이 최대로 증가했다가 서서히 감소한다.

상승하는 부분은 꼬임(twist)에 따라 포합력의 증가에 기인되며, 감소는 섬유의 실에 대한 경사가 실의 강력에 미치는 효과(obliquity effect)에 기인된다. 최대 실강력은 포합력의 증가와 섬유의 실에 대한 경사로 발생된 강력 감소

가 균형을 이루는 점에서 일어난다.

일반적으로는 방적 시험에서는 실 강력을 연계수에 의존하는 경향이 있는데 편사나 공업용 직물에서와 같은 약연사에는 해당되지 않는다.

섬유특성이 틀리면 섬유강도, drafting, 꼬임포합력(twist cohesion)에 다른 영향을 미친다. 열에 의한 유연성은 섬유가 달라붙거나 견인하는 방법에 영향을 미치지 않고 섬유강도를 저하시킬 것이다. 포합력에 영향을 미치는 것은 최대 강력의 위치를 변경시킨다. 즉 윤활유나 colloidal silica를 첨가하면 섬유강도나 drafting에 영향을 미치지 않고 꼬임과 섬유와의 관계에 상이한 영향을 미칠 것이다.

두 종류의 섬유가 같은 강력을 갖고 있더라도 한 섬유가 단섬유의 함량이 적다면 우수한 drafting성 때문에 세사를 방적하기에 적합할 것이다.

섬유강도, 섬유포합력 drafting이 이상적으로 조합되어야 최대 강력을 나타낸다. 항상 최대의 skein strength만이 원하는 성질은 아니다.

Broad 직물이나 편사는 광택을 필요로 하기 때문에 꼬임이 적어야 하며 water tight 직물이나 air tight 직물은 고도의 균제도를 필요로 한다.

1946년 Peirce는 방적품질(Spinning quality)의 3개의 요인 (섬유강도, 섬유포합력 및 실의 균제도)과 실강력과의 관계를 고찰한 바 있으며, 1956년 Bogdan은 Peirce의 이론을 토대로 합성섬유방적사의 경우를 고려하여 섬유의 꼬임으로 인한 경사가 실강력에 미치는 효과를 첨가하여 실강력과의 관계를 고찰하였다.

실강력에 기여하는 주요인(positive component)은 섬유강도, 섬유포합력이며 부요인(negative component)은 실의 불균제도와 섬유의 실에 대한 경사(fiber obliquity)이다. Fiber obliquity는 기하학적 효과이며 실의 체적이나 섬유탄성에 따라 변화한다.

Fiber obliquity parameter, drafting parameter, 포합력 parameter, 고유강력 parameter는 주어진 섬유에 대해서 실번수-꼬임-실의 강력의 관계로부터 측정할 수 있다.

Bogdan은 기본적인 고찰로부터 면사의 리이강력에 대한 추정식을 다음과 같이 전개하였다.

$S = k[p/c\{1-10^{-0.13(M-T)^2}\}-F]$ · · · · · (1)

즉 k : 섬유의 꼬임으로 인한 경사와 실의 파괴장으로 환산함에 대한 보정치, $160/1+BM^2$

B : 가연으로 인한 섬유의 사에 대한 경사가 실강력에 미치는 효과

c : 실의 번수(면방식)

M : 연계수

p : 고유강력 parameter

T : ineffective twist parameter

F : drafting parameter

이 식은 주어진 섬유에 대해서 4가지 parameter를 알면 기지의 번수와 꼬임을 가진 실에 대해서 리이강력을 산출할 수 있다.

여기에서 intrinsic strength parameter P는 면섬유에 있어서 조직적인 상호관계를 가지며 이 parameter가 원면품질을 설명하기 위하여 단독으로 사용될 때 품질지수 Q와 같은 개념으로 나타내었다.

이어 Bogdan은 세가지 parameter에 대한 경험식을 다음과 같이 제시하였다.

$B = 0.014$ · · · · · · · (2)

$T = 4.5 – 0.15p$ · · · · · (3)

$F = 2.1/(p-8)$ · · · · · · (4)

(2)(3)(4)식을 (1)식에 대입하면 소면사에 대한 lea강력 추정식이 성립된다.

$$S = \frac{160}{1+0.014M^2}[p/c\{1-10^{-0.13(M-4.5+0.15P)2}\}-2.1/p-8] \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

상기 식으로부터 기지의 번수, 연계수, Lea강력을 가진 면사와 동일한 원면조성으로 전자와 다른 번수 연계수의 실을 방적하려할 때 그 Lea강력을 단일 parameter를 이용하여 추정할 수 있다.

1974년 Subramanian등은 Lord가 제시한 식을 토대로 섬유품질지수 Q를 다음과 같이 정하였다.

$$Q = \frac{E\sqrt{S \times S_o}}{\sqrt{H \times H_s}}$$

즉 E : 1/32in 단위의 섬유장

S, S_o : 1/8in 및 O gauge length의 섬유속강도(gf/tex)

H, H_s : 실측섬도 및 표준섬도(10^{-8}g/cm) 방적조건에 따라 달라지는 상수 R, D를 첨가하여 섬유품질지수 Q와 고유강력 parameter P와의 회귀식을 얻어 $P = R\frac{e^{0.02Q}-1}{0.02(Q+1)} + \frac{D}{Q+1}$를 (5)식에 대입하여 Lea강력을 추정하였으며, 한 측면으로는 고유강력 parameter P가 CSP-count line의 기울기와 절편에 미치는 영향이 같지 않다는 가정하에 식을 개선하였다. 즉

$$CS = \frac{160}{H0.014M^2}\left[P_I\{1-10^{-0.13(M-4.5+0.15PI)}\}\left\{-\frac{2.1}{Ps-\delta}\right\}C\right]$$

즉 P_I : 절편에 미치는 strength parameter

Ps : 기울기에 미치는 strength parameter

이상 Subramanian등의 식을 검토해 보면 고유강력 parameter를 구하기 위한 식은 방적조건에 따라 상수 R, D가 달라지므로 현실적으로 불합리하고 실제 구하기 곤란하므로 필자는 (1)식으로부터 Lea강력의 추정을 합리화할 목적으로 고유강력 parameter와 실 강력에 미치는 요인이 큰 원면특성 중 섬유장 L, 섬유강력 S, 섬유장균제도 U와 섬도 F를 택하고 L, S, U는 실강력에 비례하

며 F는 반비례하고 이 factor들과 고유강력 parameter와의 관계에 있어서 지수승에 비례한다는 가정하에 다음의 함수를 유도하였다.

$$P = C\frac{L^{\alpha}S^{\beta}U^{\gamma}}{F^{\sigma}}$$

즉 C, $\alpha, \beta, \gamma, \sigma$는 상수

고유강력 parameter와 원면특성간의 관계식을 설정하기 위해서 사용된 시료는 우리나라 수요원면의 대부분을 차지하고 있는 미국 전역 (South eastern area, South central area, South western area, Western area)에서 재배되는 U. S. Upland cotton의 3 group. 즉

Group 1. 31/32 in short staple cotton으로 T. M 4.4로 방적한 22’s 소면사

Group 2. 1~1 3/32 in medium staple cotton으로 T. M. 4.0으로 방적한 22’s 소면사

Group 3. 1 1/8~1 1/4in long staple cotton으로 T.M 3.8로 방적한 22’s 소면사로 측정한 Lea strength와 원면특성은 다음과 같다.

(1) 섬유장 : digital fibrograph에 의한 2.5% span length (31/32~1 1/4in)

(2) 섬유장균제도 : 50/2.5 uniformity ratio(42~47%)

(3) 섬도 : micronaire value(5.5~3.5μg/in)

(4) 섬유강력 : pressley tester에 의한 O gauge length의 섬유속강도 {71~93 Mpsi (Thousand pounds per square inch)}와 stelometer에 의한 1/8 in gauge length의 섬유속강도 (18.5~26.4g/tex).(표 2 참조)

이상의 U.S.D.A의 “annual cotton quality survey”에 의한 원면특성으로부터 computer로 programming하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

$$P = 2.54298\frac{L^{0.44451}S_{1/8}^{\ 0.10572}U^{0.27417}}{F^{0.08101}}$$

즉 L : Digital fibrograph에 의한 2.5% span length(in)

$S_{1/8}$: 1/8 in gauge length의 섬유속강도(g/tex)

U : 50/2.5 uniformity ratio(%)

F : micronaire value(μg/in)

<표 2> Staple length에 대한 섬유속강력

staple length group and objective description	zero gauge (1000 psi)	1/8 in gauge (g/tex)
Short staple		
Low strength	71—76	18.5—19.9
Average strength	77—82	20.0—21.4
High strength	83—88	21.5—22.9
Medium staple		
Low strength	74—79	19.0—20.9
Average strength	80—85	21.0—22.9
High strength	86—91	23.0—24.9
Long staple		
Low strength	82—85	23.5—24.4
Medium strength	86—89	24.5—25.4
High strength	90—93	25.5—26.4

(5) Lea강력 (표3) 참조

<표 3>

	Low	15—31(lb)
Short staple group	Average	32—48
	High	49—65
	Low	9—20
Medium staple group	Average	21—32
	High	33—44
	Low	8—25
Long staple group	Average	26—43
	High	44—61

필자에 의해서 제시된 식에 의해 국내에서 방적하고 있는 20’s, 30’s, 40’s에 대해 검토한 바, 표 4에서 보는 바와 같이 실측치와 추정한 Lea 강력이 근사하게 일치하고 있음을 알 수 있다.

<표 4> Estimated and observed lea strength of domestic cotton yarn

	20's	30's	40's
estimated	95.8 104.4 105.4 103.7 107.6	64.6 72.3 79.4 64.5 74.8	58.8 58.2 64.5 60.9 61.8
observed	93.8 100.5 103.5 102.8 106.5	65.1 74.0 76.6 67.0 71.2	53.9 53.5 59.5 54.4 57.1

주어진 원면으로부터 방적한 리이강력은 필자의 식으로부터 intrinsic strength parameter를 구하고 그 값을 Bogdan식에 대입해서 리이강력을 구한 바 실측치에 가까웠으며 필자의 식은 Subramanian 등의 식보다 간단하고 실용적이다.