

면사의 리이강력추정식

본고는 T · A · Sutramanian, K. Ganesh 및 S. Bandyopadhyay 등이 Journal of the Textile Institute Vol. 65 No. 6에 기재한 “A generalized equation for predicting the lea strength of ring-spun cotton yarns”를 옮긴 것으로 원면특성으로부터 면사의 리이강력을 추정하는 식을 제시하고 이를 설명한 것이다.

1. 서 언

원면특성으로부터 링방적사의 리이 강력을 추정하는 데는 현재 몇 가지 공식이 사용되고 있다. 이 공식들을 두 가지 형태로 분류하면 다음과 같다.

- (1) 개개의 섬유특성을 독립변수로 취급하는 일차다항회귀식
- (2) 섬유특성들을 하나의 혼합지수로 묶어놓은 특별한 곡선식

그러나, 이러한 두 가지 형태의 식으로는 아직 미흡한 점이 있다. 이를테면, 1차다항회귀식에서 변수에 대한 계수는 특수치 사이에 있어야 하는 충분한 근거가 있긴 하지만 원면종에 따라 크게 변동한다. 더욱이 몇 개의 1차다항회귀식을 비교해 보면 여러 섬유 특성들에 대한 계수들이 경우에 따라 달라지는데 이것은 섬유특성들의 상대적 비중이 한가지 방적과 다른 방적 간에 차이가 있다는 것을 뜻한다. Morton이 말한 바와 같이 “동일한 조사자가 모순이 없는 기술로서 완전한 모집도를 몇 개로 나눌 때 왜 각각에 대하여 서로 다른 경우에 따라서는 엉뚱한 추정식을 얻게 되는 것인가?” 이러한 모순은 섬유특성 회귀계수치들의 변화에 의하여 방적조건이 영향을 받는 것으로 설명되어야 하는 연구방법에 근본적인 원인이 있다. 사실 이러한 방법으

로는 사강력에 대한 방적조건의 영향을 분명히 확인할 수는 없다.

두번째 형태에 속하는 식에도 이러한 가능성이 있다. 즉 주어진 방적설비의 영향을 나타내는 매개변수(parameter)와 비교하여 섬유특성들의 상대적 비중을 나타내는 매개변수를 함수내에서 식별시키기 위한 아무런 시도도 없다.

섬유특성으로부터 사강력을 추정하는데 사용하는 여러 식에는 종종 또 다른 곤란이 발생하는데 그것은 일정 원면에 대하여 일반적으로 방적해 온 일정 변수 범위를 넘어서는 적용할 수 없다는 것이다.

본고는 광범위한 섬유특성, 방적조건 및 변수에 걸쳐 보편 타당성있는 식을 유도하고자 하는 것이다.

채택한 방법은 먼저 사강력에 영향을 미치는 것으로 알려진 섬유특성들을 사용하여 합성된 섬유품질지수(fibre-quality index)를 정하고 다음 고유 사강력 매개변수와 이 지수 간의 상관함수에 도달하는 것이다. 이 때 상관함수의 회귀계수들은 방적조건에 따른 영향을 설명할 수 있게 한다. 이렇게 함으로써 두가지 이점이 있게 되는데 첫째, 이 지수를 사용함으로써 직접 사강력에 대한 원면의 등급결정이 가능하며, 둘째, 적당한 회귀계수를 추정함으로써 어떠한 방적설비에도 이 식을 사용할 수 있다는 것이다.

2. 기초적인 고찰

2.1 섬유품질지수

섬유품질지수는 다음 사항을 고려하여 전개시켰다.

(a) 지수에 사용하는 섬유특성은 사강력에 영향을 미치는 것으로 밝혀진 이론적인 고찰이나 사전지식 또는 이들의 복합적인 뒷받침을 근거로 선택하여야 한다.

(b) 사용할 섬유특성의 수는 최소로 하여야 한다.

(c) 섬유특성은 실제 활용할 수 있도록 일반적으로 측정하는 것이어야 한다.

(d) 섬유특성의 측정착오가 낮아야 한다.

(e) 함수의 형태와 지수를 구성하는데 사용된 어떠한 매개변수도 방적조건이 달라져도 변하지 않아야 한다.

2.2 사강력의 종속변수를 적절히 선택하는 것이 필요하다. 리이강력은 변수와 꼬임에 따라 변동하는 것으로 알려져 있으며 따라서 분명히 그 자체가 독립적으로 섬유품질지수와 상관관계를 가질 수 없다. 변수강력적(CSP)도 변수로부터 독립된 것은 아니다. 일반적으로

$$C_1S_1 + KC_1 = C_2S_2 + kC_2 = G(G\text{는 상수}) \dots\dots\dots (1)$$

의 관계가 성립하므로 k 를 CSP-변수 직선의 기울기라고 할 때 함수 $[CSP + KC]$ 가 바른 선택이 될 것이다. 그러나 K 가 원면종에 따라 변하므로 k 의 공통치를 모든 직선에 대하여 사용할 수 없다는 것을 증명할 만한 충분한 근거가 있다. 사실상 어떠한 원면에 있어서도 이 값은 연계수에 따라 변한다. 따라서 변수와 꼬임에 대하여 독립적으로 주어진 원면과 방적설비에 대하여 변함이 없는 사강력의 매개변수가 증명되어야 한다.

2.3 방적조건

동일 원면으로 방직한 코머사가 소면사보다 높은 강력을 갖는 것은 잘 알려진 사실이다. 마찬가지로, 방적조건에 차이 즉 전방공정의 차이, 정방의 드래프팅 시스템 등 사용기계의 차이 그리고 기계의 조건이 역시 사강력에 영향을 미칠 것이 예상된다.

이들 많은 요인들을 직선 수량화 시킬 수는 없지만 그 효과는 반드시 추

정식에 고려해 넣어야 한다. 이것은 섬유품질지수와 사강력 매개변수의 상관식에 회귀계수를 도입하는 방법으로 행하였다.

그러나 회귀식의 형태를 선택하는 데는 어떤 합리적인 기대 및 조사된 사실이 틀리지 않는다는 것이 확인되어야 한다. 이를 보면, 보통의 소면사는 대응하는 코머사보다 낮은 CSP를 가져야 하며 이 차이는 원면이 좋을수록 더 커진다.

2.4 데이터

위에 열거한 모든 요구사항을 고려하여 하나의 식으로 형식화하는 데는 광범위한 원면, 변수 및 방적조건에 걸쳐 섬유특성과 상응하는 사강력의 일련의 신뢰성있는 데이터를 기초로 식의 적정여부를 결정하는 것이 필요하다. 따라서 이러한 데이터를 이용하여 이 목적에 사용하였다.

3. 공 식

3.1 섬유품질지수

처음에, Lord가 제시한 섬유품질지수 즉 [유효섬유장×1/8in gauge length의 섬유속강도/cm당 표준섬유중량]을 택하여 보았다. 이 식은 대부분의 원면에 대하여 만족스러웠지만 어떤 경우에 있어서는 부적합한 것으로 밝혀졌다. 최종적인 품질지수로서 선택한 식은 다음과 같다.

$$Q = \frac{E\sqrt{S \times S_o}}{\sqrt{H \times H_s}} \dots\dots\dots (2)$$

단, E : 1/32in 단위의 유효섬유장

S, S_o : 1/8in 및 0 gauge length의 섬유속강도(gf/tex)

H, H_s : 실제섬도 및 표준섬도(10⁻⁸ g/cm)

지수에 0gauge length의 섬유속강도와 실제섬도를 포함함으로써 추정을 어느

정도 낮게 하였다.

3.2 종속변수

기초적인 고찰에서부터 출발하여 Bogdan은 면사의 리이강력에 대한 식을 다음과 같이 전개하였다.

$$S = k \left[\frac{P}{C} \{1 - 10^{-0.13(M-T)^8}\} - F \right] \dots\dots\dots (3)$$

단, k: 섬유 사행도 및 단사 파단장의 환산을 위한 보정,

$$= 160/(1+BM^2)$$

B: 섬유 사행도 매개변수

P: 고유 사강력 매개변수

C: 영식 면변수

M: 연계수

T: 무효꼬임 매개변수

F: 드라프팅 매개변수

Bogdan은 세가지 매개변수에 대한 경험식을 다음과 같이 제시하였으며 따라서 미지수 P만 남게 된다.

$$B = 0.014 \dots\dots\dots (4)$$

$$T = 4.5 - 0.15P \dots\dots\dots (5)$$

$$F = 2.1/(P-8) \dots\dots\dots (6)$$

어떤 원면의 고유강력 매개변수를 구하기 위하여서는 이 원면으로 *지의 변수와 꼬임을 갖는 실을 방적해서 (3)식에 대입해 보아야 한다. Bogdan의 분석은 바로 두가지 점을 시사하고 있다. 첫째, 고유강력 매개변수 P는 사강력과 섬유특성의 관계식을 대입하는데 종속변수로 사용할 수 있는 적절한 강력지수가 된다. 둘째, 이 지수와 섬유품질지수의 관계식이 대립된다면

Bogdan이 제시한 바와 같이 새로운 원면에 대하여 최소 한가지 변수를 방적해야 할 필요가 없으며 식(3)을 사용하여 간단히 사강력을 추정할 수 있다. 사실, Bogdan이 말한대로 “면섬유에서, 강력매개변수들은 조직적인 상호관계를 갖는다. 이 매개변수가 원면품질을 설명하기 위하여 단독으로 사용될 때 품질지수 Q로 불리워진다.” 그러나 그는 지수 Q를 섬유특성의 명백한 함수로 본 것 같지는 않다. 식(3)을 사용하는데 있어 받는 제한을 설명할 필요가 있다. 이 식은 어떤 원면의 고유강력 매개변수가 어떤 한 방적조건에서 연수와는 독립적이라는 것을 의미한다. 예비조사에서, 강력매개변수는 적정치 ± 0.5 의 연계수 범위에서는 일정한 것으로 나타났다. 그러나 극히 높거나 낮은 연계수에서는 맞지 않았다. 이러한 제한에도 불구하고 종속변수로서 고유강력 매개변수를 사용하면 두가지 확실한 장점이 있다.

첫째, 원면이 좋을수록 CSP-변수 직선의 기울기가 낮아지는 것은 확실한데 여기에는 이러한 사실이 고려되고 있다.

둘째, 상관성은 변수를 독립변수의 하나로 사용하여 얻어지는 1차다항 상관정보보다 훨씬 의의가 크다. Morton의 견해대로 독립변수의 하나로서 변수를 사용하는 것은 “우리의 이해를 개선시키지 못하여 섬유특성이 방적거동에 어느 정도 영향을 미치는가 하는 문제를 흐리게 한다.”

3.3 품질지수와 강력매개변수의 관계식

고유강력 매개변수와 섬유품질의 적절한 관계식을 선택하는데 다음의 기준을 택하였다.

(a) 오차의 제곱의 합은 적어야 한다. 즉 ECSP를 변수강력적(CSP)의 기대치라고 하면 $\sum (CSP - ECSP)^2$ 은 적어야 한다.

(b) 실제 적용가능한 범위 내에서 곡선상의 값은 사실에 상반되지 않아야

한다.

(d) 공식에서 상수의 수는 가능한 한 극히 적어야 한다.

(e) 어떤 군에서도 오차의 조직적인 경향이 없어야 한다.

식의 형태를 선택하고 회귀상수를 구하기 위하여 사용한 방법은 다음과 같다. 데이터를 활용할 수 있는 각 원면에 대하여 동 원면으로 방직한 실의 리이강력으로부터 고유강력 매개변수 P 를 계산하였다. Q 에 대한 P 의 점을 찍어 곡선의 모양을 검토하였다. 시행착오를 거듭한 결과 두개의 가능한 경험식을 얻었다.

$$P = R \left\{ \frac{e^{aQ} - 1}{a(Q+1)} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

$$P = R \left\{ \frac{e^{2Q} - 1}{a(Q+1)} \right\} + \frac{D}{(Q+1)} \dots\dots\dots (8)$$

이 식에서 R 과 D 는 상수로서 방직조건에 따라 달라지며 a 는 모든 방직조건에 공통적인 상수이다.

섬유허성을 조합하여 Q 를 구하고자 한 실험 및 사강력 매개변수와 섬유허물 질지수 간의 관계를 찾고자 한 실험들을 통하여 수집한 정보를 기초로, 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 이에 의하여 다섯가지 섬유허성 즉 유효섬유허장, $\frac{1}{8}$ in 및 0 gauge length의 섬유허속강도, 실제섬도와 표준섬도의 각각에 대하여 0~2사이에서 $\frac{1}{2}$ 씩 증가시킨 수치를 *으로 취함으로써 7000개의 조합을 만들어 세밀히 분석했다. 그 결과, 사강력, 매개변수는 a 를 0.015, 0.020, 0.025 및 0.030의 값으로 한 식 (7), (8), (9) 및 (10)을 사용할 때 이들 각 조합과 상관관계를 가졌다.

$$P = R \left(\frac{e^{aQ}}{Q} \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$P = R \left(\frac{e^{aQ}}{Q^2} \right) \dots\dots\dots (10)$$

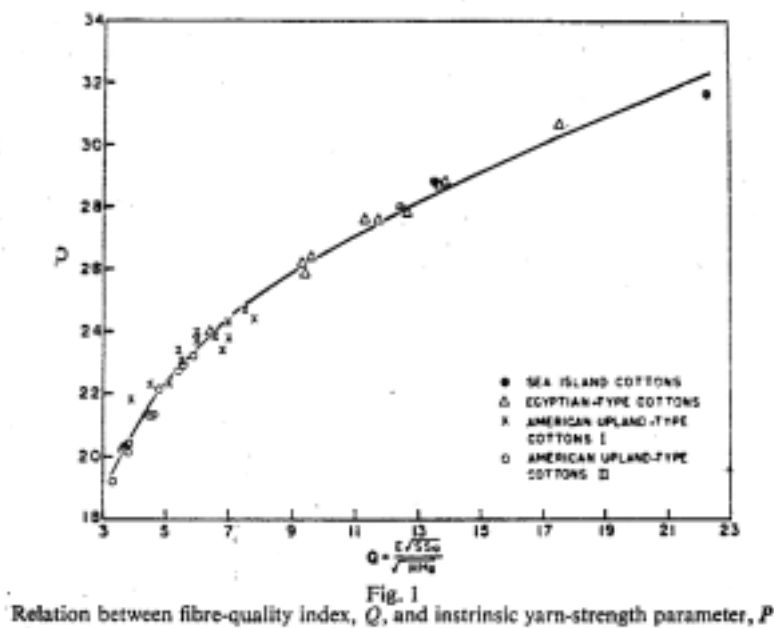
이를 기초로, 최종적으로 섬유품질지수(Q)와 고유강력 매개변수를 추정하기 위한 회귀식을 선택하였으며 그것은 다음과 같다.

$$Q = \frac{E\sqrt{S \times S_0}}{\sqrt{H \times H_s}} \dots\dots\dots (2)$$

$$P = R \frac{e^{0.02Q} - 1}{0.02(Q+1)} + \frac{D}{(Q+1)} \dots\dots\dots (11)$$

식(11)은 앞에 설정한 다섯가지 기준을 사용하여 결정한 것이다.

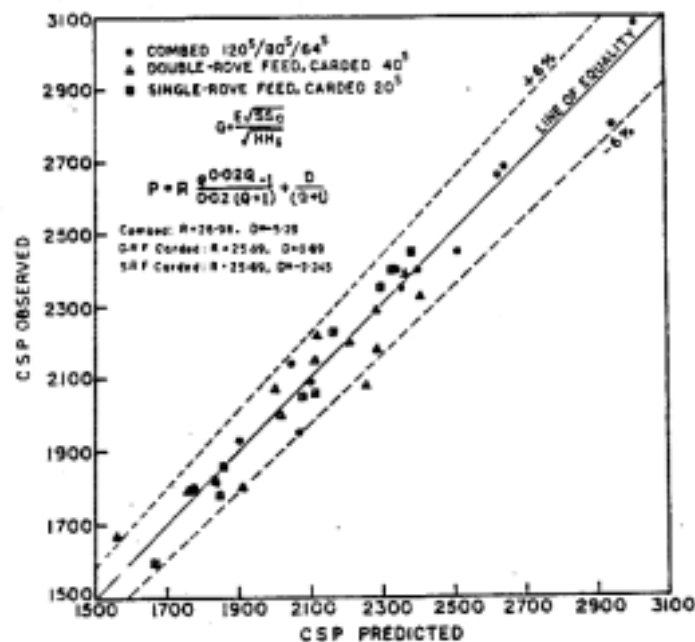
<그림 1>에 Q에 대한 P의 점을 찍고 방적조건에 구애되지 않는 공통회귀 함수를 그렸다. 이 함수의 모양은 광범위한 원면군에 잘 맞고 있음을 보인다. 곡선회귀함수의 적정여부에 대한 정량적 측정은 결정지수에 의하여 주어진다.



결정지수는 회귀식에 의하여 계산할 수 있는 CSP의 변동정도를 가리키는 것이다.

세가지 방적조건 즉 코우머, 카아드 쌍조사공급 및 카드 단조사공급에 대한 일반식은 Q에 대한 P의 결정지수 0.98과 Q에 대한 CSP의 결정지수 0.90을 나타낸다. Q와 CSP의 회귀에서 편차제곱의 평균이 10681로서 이것은 CSP의 추정 평균 $\pm 3.7\%$ 의 오차를 가져온다. 서로 다른 방적조건에 대하여 별개의 식을 사용하면 공급의 평균은 6204로 되어 추정의 평균오차는 2.7%로 떨어진다.

전체적인 결과는 CSP의 실측치와 식에서 계산한 추정치가 아주 근사하게 일치함을 보이며 또 어떤 군 내에서도 조직적인 과대 혹은 과소 추정치가 없었다. 다만 두 가지 원면만이 <그림 2>에 보이는 바와 같이 6% 이상의 추정오차를 나타내었다.



<그림 2> Relation between observed and predicted values of CSP

보다 간단한 형태의 Q를 사용했을 때 페루의 Tanguis면의 추정 CSP는 실

측치에 비하여 13%나 차이를 나타냈다는 것을 여기에 밝혀 두는 것이 좋을 것 같다. 사실, Load와 보다 최근의 duBois는 페루의 Tanguis면으로 방적인 실은 이와 유사한 섬유특성을 갖는 다른 원면으로 방적인 실에 비하여 비교적 낮은 강력을 갖는다고 지적했었다. 본 논문의 식에서 이러한 모순은 상당히 감소되었으며 이 원면에 대한 과대추정은 8%에 불과하다. 이러한 개선은 섬유품질지수에서 S대신에 $\sqrt{S \times S_0}$ 를 사용한 때문이다. 이것은 실의 리이 강력을 추정하는데는 gauge length를 다르게 하는 것이 낫지 않을까 하는 문제에 대한 검토를 요하게 한다.

4. 식의 개선

4.1 식의 구조

Bogdan이 만든 식을 다시 써보면 식(12) 또는 (13)과 같다.

$$CS = \frac{160}{(1 + 0.014M^2)} [P \{1 - 10^{-0.13(M^{-4.5+0.15P})^2}\} \frac{2.1C}{P-8}] \dots\dots\dots (12)$$

$$CS = G-KC \dots\dots\dots (13)$$

식(13)에서 G와 K는 CSP-변수 직선의 절편과 기울기로서 다음과 같이 표시된다.

$$G = \frac{160}{1 + 0.014M^2} [P \{1 - 10^{-0.13(M^{-4.5+0.15P})^2}\}] \dots\dots\dots (14)$$

$$K = \frac{160}{1 + 0.014M^2} \left(\frac{2.1}{P-8} \right) \dots\dots\dots (15)$$

식 (14)와 (15)는 P가 증가함에 따라 비례하여 G가 증가하고 K는 감소함을 보인다. 어떤 방적조건에 있어서도 P는 Q에 비례하여 증가하므로 원면 A가 B보다 높은 Q의 값을 가질 때 원면 A는 모든 방적조건 F에서 보다 높은 사강력을 갖게 된다. 그러나 변수와 CSP의 관계직선들이 교차하게 되는 원면이 있다. 따라서 본식은 이러한 범위까지 더 수정을 요하게 된다. 현재의 식

은 동일한 섬유특성이 CSP-변수 직선의 기울기와 절편에 모두 영향을 주며 상대적인 비중 역시 두가지에 동일하다는 가정에서 유도했으나 꼭 그렇지 않을지도 모른다. 만약 이 두가지에 대하여 섬유특성들을 묶어 서로 다른 두 가지 Q값을 얻을 수 있다면 이를 식(13)에 적용함으로서 보다 정확하게 실의 리이강력을 추정할 수 있을 것이다. 그렇게 되면 식(12)를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$CS = \frac{160}{1 + 0.014M^2} [P_1 \{1 - 10^{-0.13(M^{-4.5+0.15P_1})^2}\} - \frac{2.1C}{PS-8}] \dots\dots\dots (16)$$

단, P_1 은 절편에 관계되는 강력매개변수

PS 는 기울기에 관계되는 강력매개변수

4.2 단사강력, SI 단위 및 Tex방식에서의 식변환

리이 CSP는 두가지 이유로 본논문에 사용하였다. 첫째, 광범위한 원면의 시험데이터를 상관분석에 이용할 수 있다는 것 둘째, 리이 CSP는 앞으로 계속 공업적으로 사용될 것이며 또 현재 연구조사에서 이를 사용하고 있다. 마찬가지로 이유로 영식면변수와 영국 단위를 채용했다.

단사강력에서 유도한 고유강력 매개변수와 섬유품질지수를 관련시키기 위하여서는 SI단위와 Tex방식의 선밀로 측정한 섬유특성 및 사강력으로 식을 교환할 필요가 있다. 그러나 이것은 본 논문의 내용에서 벗어나는 것으로 이렇게 하자면 Bogdan의 식(4)에서 상수의 값이 다르게 정해져야 한다. 이 논문에서 유도한 식을 사용하기 위하여 단순히 리이 CSP를 단사강력치로 바꾸는 것은 변환계수가 단사시험법의 시료장에 따라 리일의 엔주와 타래의 실가닥수에 따라 그리고 실의 형태 및 균제도에 따라 변하는 것으로 알려져 있기 때문에 오차를 발생시키기 쉽다.

5. 결 론

원면의 섬유특성으로부터 실의 리이강력을 추정하기 위하여 자주 사용하는 1차다항회귀식은 많은 비평을 받고 있다. 보다 만족할 만한 식은 CSP-변수 직선의 절편과 기울기를 섬유특성에 관련시키는 것일 것이다. 본논문에서, 이것은 한 원면에 대하여 하나의 섬유품질 혼합지수로부터 Bogdan의 고유강력 매개변수를 추정할 수 있는 경험식을 만들므로써 이루어졌다. 이 식에서, 사강력에 대한 방적조건의 영향을 고려하여 두 개의 상수를 두었으며 이들 상수는 주어진 방적설비에 대하여 일정한 값을 갖는다. 어떤 원면으로 방적한 실의 리이강력은 먼저, 제시된 식에 의하여 고유강력 매개변수를 구하고 다음 Bogdan의 식에 의하여 추정할 수 있다.

이 식은 단섬유면과 해도면(Sea Island)에 이르는 넓은 범위의 원면과 카드, 쌍조사공급 및 코머에 걸쳐 얻어진 모든 데이터에 잘 들어맞는다는 것을 보였다. CSP-변수 직선의 절편과 기울기를 밝히기 위하여 두 개의 상이한 섬유품질지수가 사용되어야 하는 것에 대하여 앞으로 더 연구가 있어야 할 것을 시사했다.