

제직공정에서의 경사절률 예측

일반적으로 제직공정에서 원면의 제직성능(weaving performance)은 경사의 사절률(warp-breakage rate)로써 표시된다. 사절률이 너무 과다하면 직기의 효율이 감소하게 되어 결과적으로 생산성을 저하시킬 뿐만 아니라 직물의 품질에도 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 이는 제직공정에서 사절률의 관리가 얼마나 중요한지를 강조하고 있다. 원사가 직기에서 실질적으로 제직되기 이전에 사절률을 예측하는 기술을 이용한다면 도움을 얻을 수 있는데, 본 고에서는 앞으로 이에 관한 내용을 다루고자 한다. 과거에도 사절률을 예측하고자 하는 시도가 수없이 행해져 왔으며, 이들은 주로 전통적인 가호사 시험에서 얻게 되는 단사강력 및 신도, 내마모성, 강연도, 피로도(fatigue), 포합력(cohesion) 등과 같은 데이터나 특별히 고안된 시험기기를 통해 구한 데이터로부터 수행되어 왔다. 이런 연구는 사절의 발생요인을 이해하는데 많은 도움은 주었지만, 여기에서 발표된 기술 중에 어느 것도 공장에서 실제 사절률을 예측하는 데 이용할 수 있는 공식을 제시하지 못하였다.

어떤 예측함수를 응용한다는 것은 특히 인도의 제직공장에서는 가치가 있는 일로서 이는 매우 다양한 인도산 원면뿐만 아니라 폭넓은 구매력도 충족시켜야 한다. 결과적으로 어떤 특정 변수의 실을 생산하는 데 있어 상당히 융통성을 가지고 원면을 선택할 수 있게 된다. 물론 동일한 변수의 원사라도 거의 모든 품질면에서 상당한 변동을 보이지만 본 호에서 제시하고자 하는 원사의 품질로부터 사절률을 추정하는 방법은 실질적으로 가치가 있을 것이다.

그러므로 ATIRA에서 변수강력정수(lea count strength product)가 1700~2000인 중 변수(Ne 30~40)의 면사를 가지고 시험했을 때 사절률과 원사의 품질사이

에 뚜렷한 관계가 있음은 그렇게 놀랄 만한 일이 아니었다. 그러나 한편으로 원사의 품질이 여러 가지 측면에서 미치게 되는 영향과 다른 한편으로 제직 이전에 원사가 거치게 되는 준비 공정에서 받는 영향을 확인하기 위해 이런 공식을 만든 것은 아니었다.

이 연구에서는 여러 인자들이 상대적으로 미치는 영향을 개별적으로 확인하는 데 사용 할 수 있도록 초기의 공식을 재구성하고자 시도하였으며 그 인자들은 다음과 같다.

- 제직하는 동안 받게 되는 하중, 신장 및 마모에 견디는 원사의 일반적인 적합성(inadequacy)

- 가는 부분 (thin place)에서 이로 인한 장애 또는 강력/마모로 인한 파단 (failure)

- 매듭 (knot) 및 기타 여러 가지 결점들로 인한 장애 또는 파단

그밖에도 면섬유 이외의 다른 섬유를 함유 한 원사에까지 모델을 확장하려고 시도하였다.

2. 기초 데이터

이 연구에서는 두 곳으로부터 나온 실제 현장 데이터를 사용하였는데, 작업방법에 대한 연구가 진행되는 동안에 ATIRA의 회원사 공장에서 수집하고 Kimothi가 이를 위해 정리한 데이터와 또 하나는 다른 특정 조사 도중에 수집된 것으로 일부는 문헌상에 발표 되거나 또는 발표되지 않았던 데이터들이었다. 이 때 수집된 데이터들에 대해서는 사절률이 원사에 상응하는지에 관해 신중을 기하여 확인한 후, 이 데이터들을 원사의 품질을 시험하는 데 사용하였다. 그러나 이들 원사가 직기의 개구에까지 관계가 있는지에 대해서는 조사하지 않았기 때문에 우연오차(occasional error) 는 예상되었다. 때때

로 사절률의 관측값이 원사의 품질과 불균형하게 높거나 낮게 비례할 수도 있었다. 또한 많은 공장(40개 이상)에서 데이터를 수집하였기 때문에 각 인자가 사절 전체에 미치는 영향을 계산할 수 있는 설득력 있는 모델을 만들 수 있었다. 따라서 본 연구결과로 나온 공식은 각 원사배치(yarn batch)의 제직성을 평가하는데 가치가 있을 것이다.

3. 경사절 모델(warp-breakage model)

가. 표 기

R = 경사밀도(올 수/in)

P = 위사밀도(올수/in)

I = 직물 in²당 교차점의 수($\times 10^4$)

F₁ = 주어진 어떤 값 I에서 경사 100,000m당 사절수

F = I의 단위값당 경사 길이 100,000m당 사절수

LSCP = 변수강력정수

N = 감도 -50% 수준에서 원사 100m당 가는 부분의 개수

T = 감도 +3 수준에서 원사 100m당 굵은 부분의 개수

D = (T-N)

P' = 혼방사에서 폴리에스터의 함량

나. 사절률의 표준 단위

제직공정에서 사절률은 대개 제직시간당 사절수 또는 경사 x 올 및 위사 y 올 당 사절수와 같은 2가지 방법 가운데 하나로 표시한다. 이런 방식 가운데 어느 것도 실제 소비 되는 위사 길이를 계산에 넣고 있지 않은데, 이는 임의의 경사밀도에서 볼 때 위사밀도가 거의 없는 직물이라면 위사밀도가

많은 직물보다 어느 특정 위사밀도에 대해 그 길이나 경사 올 수가 많아질 수 있다. 또 다른 좋은 방법으로써 제직된 경사의 길이 100,000m 당 사절수로 나타내는 방법이 있지만 사절률은 경위사 밀도가 증가함에 따라 같이 증가한다고 알려져 있다.

<표 1> 경위사 밀도가 사절률에 미치는 영향

시 No.	로 No.	공 장 LSCP	경사올수/in R	위사올수/in P	I	F ₁	F ₂	추정오차 %
1	1	2010	88	56	0.493	21.3	22.5	+6.2
2			112	62	0.694	37.3	35.2	-5.6
3	2	1837	64	56	0.358	26.3	25.8	+1.9
4			80	56	0.448	33.7	34.4	+2.1
5	3	1875	96	52	0.499	29.2	26.0	-11.1
6			112	52	0.627	30.6	35.0	+11.1
7	4	1870	80	52	0.416	37.4	39.9	+6.7
8			84	48	0.403	40.8	38.4	-5.9
9	5	2054	96	56	0.537	17.6	22.5	+27.8
10			112	56	0.627	33.7	27.6	-18.1
11	6	1973	80	52	0.416	15.0	18.8	+25.3
12			96	56	0.538	27.1	26.4	-2.6
13			104	60	0.624	37.6	32.0	-14.9
14	7	1933	56	48	0.269	10.0	9.3	-7.0
15			92	56	0.515	19.8	21.5	+8.6
16	8	1624	72	44	0.317	65.0	57.1	-12.0
17			80	52	0.416	70.0	81.0	+16.0
18	9	1859	80	56	0.448	32.3	34.0	+5.6
19			88	56	0.493	38.8	38.6	-0.5
20			96	60	0.576	53.3	47.3	-11.2
21	10	1777	80	48	0.384	24.2	25.1	+3.7
22			88	56	0.493	29.3	34.8	+18.7
23			104	52	0.541	50.3	39.3	-21.8
24			112	56	0.627	52.0	47.6	-8.4
25			120	64	0.768	51.1	61.9	+21.1
26	11	2080	96	72	0.691	31.1	33.0	+6.4
27			120	64	0.768	40.1	37.9	-5.5
28	12	2100	112	60	0.672	22.0	20.5	-6.8
29			120	64	0.768	22.6	24.3	+7.8
30	13	2030	84	76	0.638	21.8	22.2	+1.8
31			88	78	0.655	23.4	23.0	-1.7
최소값		1624	56	44	0.269	10.0	-	-
최대값		2100	120	78	0.768	70.0	-	-

따라서 사절률의 근본적인 표준 모델을 설정하는 첫번째 단계로서 경위사 밀도가 사절률에 주는 영향에 대해 정량분석을 실시해야 했다. 이런 목적으로 여러 원사를 대상으로 경위사 밀도를 각기 달리하면서 각각에 대한 데이터를 조사할 필요가 있었으며 이들 데이터를 <표 1>에 나타내었다.이 데이터들을 신중히 분석해 보면, 어느 원사의 경우에도 경위사 밀도가 주는 영향은 다음의 관계식으로 설명될 수 있었다.

$$F_{RP} = F\left(\frac{RP}{10,000}\right)^m \text{-----}(1)$$

여기서 $F_{R,P}$ 는 경사밀도 R, 위사밀도 P인 경우 경사 100,000m로 직물을 제직할 때 일어나는 사절수이다. 단, $RP/10,000$ 은 경사밀도와 위사밀도가 각각 R과 P일 때 직물 in^2 당 경사와 위사의 교차점 개수($\times 10^4$)이다. 따라서, 직물 in^2 당 교차점의 수($\times 10^4$)를 정의할 수 있으며,

$$I = \frac{RP}{10,000}$$

이로부터 다음의 식을 구하였다.

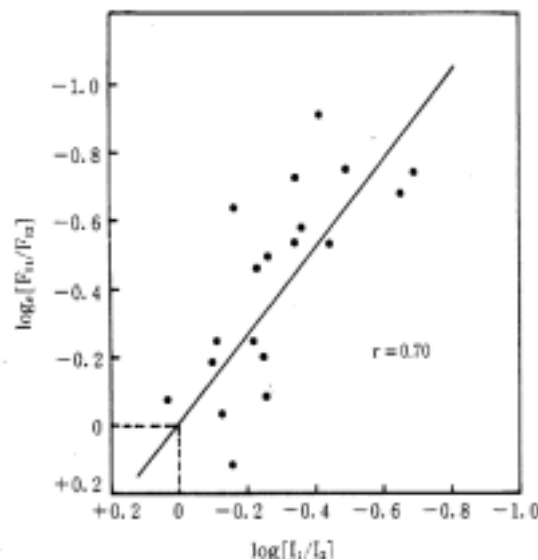
$$F_I = F(I)^m \text{-----}(2)$$

달리 표현하면, 어떤 주어진 원사의 품질에 대하여,

$$F = \frac{F_{I1}}{(I_1)^m} = \frac{F_{I2}}{(I_2)^m} \text{-----}(3)$$

그러므로 양적인 값(quantity) F는 바디, 위입 등과 관계가 없지만 그 원사

를 대표하는 표준화된 단위를 제공한다. 또 한가지 이 식으로부터 중요한 관계를 발견했는데, 즉 다음과 같이 구해진 양적인 값 m 도 모든 원사에 대해 거의 동일하였다. $\log_e(I_1/I_2)$ 의 값에 대해 $\log_e(F_{I1}/F_{I2})$ 를 플롯 해 보면 <그림 1>에서와 같이 이들 두 값 사이에서 선형의 관계가 있음을 알 수 있다. 이 직선은 원점을 통과하며 기울기가 1.3 이었는데, 다시 말하면 m 의 값 은 원사의 품질과 관계없이 1.3이다.



<그림 1> m 값의 추정

<그림 1> 을 처음 볼 때 분명히 직선과의 편차가 큰 경우는 약간 존재하는 것처럼 보인다. 이런 산포의 중요성을 판단하기 위해서 각각의 I 값에서 원사의 품질에 대해 사절률의 기대값을 이에 대응하는 관측값과 비교해야 하였다. 이를 위해서 식(2)에 m 을 관측값 1.3 으로 치환하였다.

$$F = \frac{F_I}{(I)^{1.3}} \text{ -----(4)}$$

그 후, 이 원사에 대한 평균값 F와 다음의 식을 사용하여 I 값에 대한 사절의 기대값을 계산하였다.

$$F_I = \overline{F}(I)^{1.3}$$

이와 같이 하여 이용 가능한 모든 원사에 대해서 계산을 할 수 있었다. <표 1>에서 사절의 기대값과 관측값을 비교해 보면 식 (4)는 경위사밀도가 사절에 영향을 준다고 생각할 정도로 정확한 것을 알 수 있다. 총 31개의 경우 가운데 23개의 경우에서 예측오차는 12% 이내이었는데, 중회귀지수(index of multiple regression)는 0.93 이었다. 따라서 원사의 품질에 관계없이 m값을 상수로 설정할 수 있다.

이런 분석을 통하여 어떤 원사를 대표하는 사절의 표준단위와 이 원사로 경사밀도(R)와 위사밀도(P)를 다양하게 하여 직물을 제직할 때 발생하는 사절률을 계산하는 공식을 구하였다.

라. 사절률을 예측하는 공식

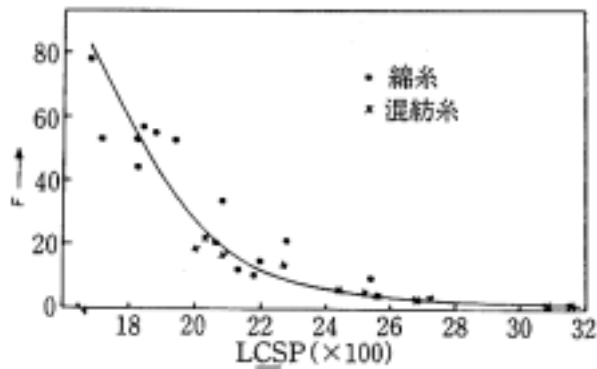
여기에서 변수강력정수와 원사의 가는 부분이 사절률에 미치는 영향을 확인하는 데 사용했던 방법은 Subramanian 등이 발표한 것과 어느 정도 유사하다. 그러나 이 연구에서 장력/신장을 받아 유발되는 실의 파단, 굵은 부분에서 장애나 인장/마찰로 인한 파단, 매듭 및 기타 여러 결점으로 인해 생기는 파단이나 장애 등에 상대적으로 미치는 영향을 개별적으로 조사하는 데 이용할 수 있는 방식으로 공식을 재구성하고자 시도하였다. 한편으로는 원사의 종류와 사용되는 기계등에 따라 특징되는 일련의 조건에 응용할 수 있도록 충분히 유연성 있는 식을 만들었다. 지금부터 공식을 개발하는 데 사용 된

실제 과정을 설명하고자 한다.

처음에는 품질시험을 위해 샘플링한 원사와 제직공정에 사용되는 원사 사이에 완전히 1:1로 대응되는 어느 특정조사로부터 수집한 데이터에 관해 생각해 보았다. 이런 데이터들은 모든 면사와 혼방사에 적용될 수 있다. 이런 원사들 각각에 대해 표준화된 사절률 F 를 계산한 후 이에 대응되는 LCSP 값에 대해 플롯하였다. <그림 2>의 점들은 LCSP와 F 사이의 곡선의 관계가 분명히 있음을 보여주고 있다. 이 점들을 통해서 완만한 곡선의 특성을 다음과 같은 관계로 나타낼 수 있다.

$$\log_e F = a(LCSP) + b$$

$$\text{즉, } F = e^{a(LCSP)+b} \text{ -----(5)}$$



<그림 2> 경사의 사절률과 원사의 LCSP와의 관계

원사품질의 다른 측면에서 사절의 관측값과 식 (5)로부터 구한 값을 비교해 보면 식 (5)는 가는 부분의 개수 N 을 포함하는 식으로 만들 수 있다.

$$F = e^{a(LCSP)+b+c\sqrt{N}} \text{ -----(6)}$$

상수 a, b와 c 는 중회귀분석을 이용하여 구하였다. 따라서 결론적으로,

$$F = e^{10-LCSP / 257+0.124\sqrt{N}} \text{-----}(7)$$

식 (7)은 표준화된 사절률과 관계가 있는데 즉 LCSP와 N에 따른 단위값 I 에 대한 사절률이다. 이를 식 (4)에 대입하면 어떤 I 값에서 사절률의 관측값 은

$$\begin{aligned} F_I &= F(I)^{1.3} \\ &= [e^{10-LCSP / 257+0.124\sqrt{N}}](I)^{1.3} \\ &= Q(I)^{1.3} \end{aligned}$$

양적인 값 $Q = [e^{10-LCSP / 257+0.124\sqrt{N}}](I)^{1.3}$ 을 설정하면 제직 동안에 인장/장력의 상호작용에 의해 발생하는 원사를 특징 짓는 원사의 품질지수(index of yarn quality)가 된다.

이제는 원사의 굵은 부분과 매듭이 미치는 영향에 대해 고려해 보는 일이 남았다. 굵은 부분이 사절에 미치는 영향에 대해서는 <표 2>에 있는 데이터 들을 보면 이해할 수 있다. 여기에는 여러 원사들에 대한 사절률이 나와 있는데, 굵은 부분의 갯수가 다를 뿐만 아니라 LCSP 와 가는 부분도 거의 같은 수준으로 다르게 있음을 볼 수 있다. 이런 데이터들을 조사했을 때 사절을 유발하는 굵은 부분이 너무 굵기 때문에 가는 부분의 굵기를 무시하고 별도로 생각할 수 있었으며 원사의 길이에서 고려할 때도 동일하였다. 다시 말해서 LCSP- 가는부분이 미치는 영향과 굵은 부분이 미치는 영향과의 관계

는 아무래도 상호작용적 (interactive)이기 보다는 가법적(additive) 이라고 설정할 수 있었다.

<표 2> 굵은 부분이 경사절률에 미치는 영향을 보여주는
데이터들의 전형적인 예

資料 No.	原糸의 形態	LCSP	경사율수/in R	위사율수/in P	가는 部分 N	굵은 部分 T	100,000m당 糸切數 F_t
1	綿 糸	2052	112	56	20	75	33.7
		2080	96	72	24	61	31.0
2	綿 糸	1629	88	56	103	170	76.2
		1620	72	64	114	222	95.4
3	綿 糸	2060	88	52	12	86	15.6
		2082	88	52	12	78	12.3
4	混紡糸	2720	88	88	5	28	12.7
		2681	84	80	5	41	20.9

원사에서 굵은 부분의 총 개수를 대략적으로 조사하기 위해서 가는 부분의 개수를 초과한 굵은 부분의 개수(굵은 부분의 개수-가는 부분의 개수)에 관하여 살펴 보았다. 동일한 원사에 대해(굵은 부분-가는 부분)의 개수와 사절에 이들 데이터가 미치는 영향을 자세히 조사해 보면, 그들 사이의 관계를 지수함수로 나타낼 수 있다. 이때 지수는 1.5이다. 이런 추론을 이용하여 굵은 부분과 매듭이 미치는 영향의 정도를 염두에 두며 다음과 같이 사절률 예측모델을 재구성하였다.

$$F_t = AQI^{1.3} + BD^{1.5}I + CI \text{ -----}(8)$$

여기서 D는 실 100m 당 (굵은-가는)부분의 개수이며 A, B 및 C는 회귀계수들이다. 식 (8)에서 첫번째 항은 LCSP와 N이 사절에 미치는 영향을 의미

하며, 두 번째 항은 굵은 부분 D가 미치는 영향, 세 번째 항은 매듭과 기타 그 밖의 결점들이 미치는 영향을 나타내고 있다. 따라서 이 식은 사절에 기대되는 첫번째 조건을 충족시켰다고 할 수 있다. 두 번째 요구조건은 즉, 각기 다른 권사기와 원사에 대한 적용성으로 이는 회귀계수 A, B 및 C의 값을 적절히 변화시킴으로써 설명될 수 있다.

4. 사절을 예측모델과 그 의미

가 . 여러 권사기와 원사로의 모델 연장

두 종류의 원사 즉, 링방적으로 방출된 중 변수(Ne 28~42)의 면방적사와 Ne 36~70의 폴리에스터 혼방사를 대상으로 사절 모델의 타당성을 전반적으로 시험하였다.

면방적사의 경우, 두 종류의 권사기에 대해 이 모델을 시험했는데 하나는 회전식 톱니 블레이드가 있는 슬럽 캐처 (slub catcher)와 자동식 노터(knotter)가 부착된 자동 권사기이고 다른 하나는 고정식 블레이드가 달린 슬럽 캐처와 비자동식 노터가 부착된 재래식 권사기이었다. 또한 자동 권사기의 경우에는 비교적 신형이거나 보전상태가 좋은 권사기(이상적)와 구형(일반적)의 두 종류에 따라서 수집한 데이터를 분류하였다. 재래식 권사기에 대해서는 데이터에 제한이 따르기 때문에 이런 분류는 하지 않았다. 혼방사에 관한 데이터는 보전이 양호한 자동 권사기에 대해서만 수집하였다. 모든 경우에 대해 정경 및 가호조건은 모두 유사 하며 만족스러웠다는 점도 여기서 언급할 만하다.

1) 경우 1

보전상태가 양호한 권사기로 면사를 처리한 경우의 데이터가 <표 3>에 나와 있다. 이 데이터를 이용하여 계수 A, B 및 C를 구하였다. 보전상태가 양

호한 권사기로 처리한 면사에 대한 최종식은 다음과 같다.

$$F_I = 1.15QI^{1.3} + 0.0234D^{1.5}I + 5.9I \text{ -----(9)}$$

이 모델의 장점은 다음 식으로부터 다중 곡선회귀 계수 r을 계산하여 판단할 수 있다.

$$r = \sqrt{1 - \left[\frac{F_I - \hat{F}_I}{n-k} \div \frac{F_I - \hat{F}_I}{n-1} \right]} \text{ -----(10)}$$

<표 3> 사절률 측정의 정확도

試料No.	번수		LCSP	R	P	I	N	D	F ₁	F ₂	推定 誤差, %
	經糸	緯糸									
1	35	40	2198	120	72	0.864	12	28	12.3	14.3	+16.2
2	35	40	2257	120	72	0.864	15	50	17.9	17.5	-2.2
3	30	36	1777	88	52	0.458	40	74	27.9	29.5	+5.7
4	30	36	2060	88	52	0.458	12	74	15.6	14.2	-8.9
5	30	36	1846	88	52	0.458	28	63	20.4	21.5	+5.4
6	30	36	2082	88	52	0.458	12	66	12.3	12.7	+3.2
7	35	40	2043	120	72	0.864	14	21	20.7	18.8	-9.1
8	35	40	2176	120	72	0.864	13	37	10.4	16.5	+58.6
9	35	40	2131	120	72	0.864	19	39	13.2	19.0	+43.9
10	36	36	2547	120	60	0.720	2	20	6.6	6.7	+1.5
11	30	38	1875	112	52	0.582	42	79	30.6	31.9	+4.2
12	30	38	1875	96	52	0.499	42	79	29.2	26.7	-8.5
13	38	38	1938	120	66	0.792	24	74	41.4	34.7	-16.2
14	30	36	1814	112	56	0.627	29	30	31.5	29.2	-7.3
15	34	40	1710	120	64	0.768	7	30	38.5	39.6	+2.8
16	34	40	1816	120	64	0.768	9	31	32.6	29.9	-8.3
최소값	30	36	1710	88	52	0.458	2	20	6.6	—	—
최대값	38	40	2547	120	72	0.864	42	79	38.5	—	—

여기서 F_I 는 사절률의 관측값이고 $\hat{F}_I$ 는 그 관측에 대한 사절률의 추정값이다. n 은 총 관찰횟수이며 k 는 식 (7)과 (9)에 있는 회귀계수의 총 개수이다. 이 데이터 집단의 상관지수는 0.96이다. 더군다나 예측에서 오차값이 나올 비율을 보면 16개 경우 가운데 127R 경우에서 예측오차는 $\pm 10\%$ 이내 이며 모든 변수에 대해 정확하게 관리가 이루어 진다면 이 오차는 좀 더 감소될 수 있다.

2) 경우 2

두 번째 데이터 집단은 수명이 오래 되었으며 기계를 재조정하거나 소모된 부품을 교환하려고도 하지 않은 권사기로 처리된 데이터들이다 .

이런 권사기에 적용할 수 있는 사절 예측 식을 만들기 위해서 어느 특정 원사에 대해 보전이 양호한 자동 권사기와 일반 자동 권사기간에 사절률의 차이가 생기는 것은 일반 자동 권사기에서 굵은 부분이 완전히 제거되지 못하고 매듭의 품질도 저하되기 때문에 그만큼 사절이 발생하는데, 즉 LCSP와 가는 부분(타입 I)이 사절에 미치는 영향은 변동이 없이 일정하게 유지된다고 가정하였다. ATIRA의 초기 연구에서 가는 부분의 개수가 권사공정의 종류에 따라 원료의 특성상 영향을 받지 않는다는 발견이 이런 가정의 기초가 되었다.

일반 자동 권사기에서 사절률에 관해 수집된 데이터를 <표 4>에 나타내었다. 사절 예측식을 구하기 위해서 우선 LPSP와 가는 부분으로 인해 생기는 사절의 영향을 총 사절수에서 감하였다.

$$X = F_I - 1.15QI^{1.3} \text{ -----(11)}$$

그런 다음 I로 나눈 사절수의 잔차 X와 굵은 부분의 총합과의 관계를 회귀식으로 나타 내었다.

$$\frac{X}{I} = 0.0466 \times D^{1.5} + 15.0$$

$$\text{즉, } X = 0.0466 \times D^{1.5} - 15.0I \text{ -----(12)}$$

식 (11) 과 식 (12)로부터 다음의 최종식을 구하였다.

$$F_I = 1.15QI^{1.3} + 0.0466D^{1.5}I + 15.0I \text{ -----(13)}$$

<표 4> 경사절률 추정의 정확도(보통의 자동 권사기)

試料No.	편수		LCSP	R	P	I	N	D	F ₁	F ₂	推定 誤差, %
	經糸	緯糸									
1	32	36	2010	88	56	0.493	60	30	21.3	21.7	+1.9
2	32	36	2010	112	62	0.694	60	30	37.3	32.2	-13.7
3	34	34	1813	120	64	0.768	38	28	51.1	50.2	-1.8
4	36	36	2420	112	64	0.717	8	44	20.1	22.4	+11.4
5	36	36	2420	120	68	0.816	8	44	24.0	25.6	+6.6
6	40	36	2303	96	88	0.845	16	60	31.1	36.3	+16.7
7	30	36	1717	88	52	0.458	23	42	27.9	33.5	+20.0
8	30	36	2060	88	52	0.458	7	42	15.7	16.9	+7.6
9	30	36	1910	80	52	0.416	37	55	19.7	24.3	+23.3
10	30	36	2052	112	56	0.627	20	55	33.7	29.5	-12.0
11	36	36	2265	112	60	0.627	26	75	32.2	32.3	+0.5
12	42	42	2312	120	68	0.816	28	81	50.7	44.6	-12.0
13	31	35	1973	96	56	0.538	41	43	27.1	26.7	-1.5
14	40	40	2080	96	72	0.691	24	37	31.0	26.4	-14.8
15	28	28	1751	48	44	0.211	37	57	13.3	15.2	+14.3
16	36	36	2100	112	60	0.672	14	22	22.0	20.1	-8.6
17	36	36	1925	112	56	0.627	30	43	48.3	32.9	-32.0
18	30	36	1730	80	52	0.416	77	84	47.0	49.8	+5.9
19	40	40	2080	120	64	0.768	24	37	40.1	29.7	-25.3
20	36	36	2100	120	64	0.768	14	22	22.6	23.2	+2.6
최소값	28	28	1717	48	44	0.211	7	22	13.3	—	—
최대값	42	42	2420	120	88	0.845	77	84	51.1	—	—

이 데이터 집단에서 다중곡선 상관지수는 0.87이었다. 현저하게 비정상적인 경우 2개를 제외한 후 상관지수는 0.94까지 좋아졌다. 20개의 경우 중 15개 경우에서 예측오차는 15% 이내이었다. 이 경우에는 사절률의 관측값과 계산값 간에 일치하는 정도가 보전이 양호한 권사기의 경우보다 그다지 좋지 않은데, 이는 보전이 양호한 권사기에서와 달리 편차가 각각의 경우마다 서로 다르기 때문이다. 그러나 일반적인 기준에서는 일치하므로 사절모델의 구조로 설정하기에는 충분하였다.

3) 경우 3

세 번째 데이터 집단은 고정 블레이드의 슬립 캐처와 비자동식 노터가 부착된 재래식 권사기로 처리된 원사에 대한 데이터들이다.

사절모델의 응용범위를 재래식 권사기에까지 확대시킬 때 보통의 자동 권사기에서와 유사한 가정을 하였다. 즉 LCSP와 가는 부분으로 표시되는 원사의 품질은 원료의 특징면에서 볼 때 권사공정에 의해 영향을 받지 않으므로 사절이 증가한다는 것은 주로 결점이 제거된 실에서 전반적인 총 결점수가 많고 매듭이 불량한데 기인하는 것으로 가정하였다. 권사공정동안에 세팅이 잘 되어 있는 회전 톱니형 블레이드의 슬립 캐처에서 총 결점 가운데 30~65%가 제거되는 것에 비해 고정형 블레이드의 슬립 캐처는 단지 5~10% 정도이다. 또한 재래식 권사기에서 수행되는 수작업을 통한 이음매듭(hand - knotting)도 결국 매듭과 관련되는 사절의 증가를 초래하는 요인이 된다.

따라서 이 식을 전개시킬 때 채택한 과정은 앞의 경우에서와 마찬가지로 LCSP와 가는 부분이 미치는 영향 만큼 제외시킨 후 잔차분 X/I 를 가는 부분의 함수로써 회귀식을 구하였다. 그 결과식은 다음과 같다.

$$F_I - 1.15QI^{1.3} = 0.053D^{1.5}I + 16.0I$$

$$\text{즉, } F_I = 1.15QI^{1.3} + 0.053D^{1.5}I + 16.0I \text{ -----(14)}$$

이 식을 이용하여 각 원사에 대해 사절률의 기대값을 계산하여 <표 5>에 나타내었다. <표 5>에서 나온 예측 오차값을 보면 7개 경우 가운데 6개의 경우에서 예측오차가 $\pm 12\%$ 이내 이었다. 그러므로 재래식 권사기의 경우에서도 앞서 제시된 사절 모델은 어느 특정 원사의 품질과 직물구조에 대해서도 사절률을 예측하는데 성공적으로 이용할 수 있다.

<표 5> 사절률 추정의 정확도(재래식 권사기)

試料 No.	번수		LCSP	R	P	I	N	D	F_I	F_I	推定 誤差, %
	經糸	緯糸									
1	28	33	1865	80	52	0.416	55	81	37.4	40.1	+7.2
2	28	33	1865	84	48	0.403	55	81	40.8	35.9	-11.9
3	30	36	1629	88	56	0.493	103	67	76.2	85.0	-11.5
4	50	55	1620	72	64	0.461	114	108	95.4	98.5	+3.2
5	30	36	1760	90	58	0.522	66	71	58.4	61.5	+5.3
6	33	33	1950	88	56	0.493	43	88	44.7	41.0	+8.2
7	33	33	1950	96	60	0.576	43	88	59.6	48.7	-18.0
최소값	28	33	1620	72	48	0.403	43	67	37.4	-	-
최대값	50	55	1950	96	64	0.576	103	108	95.4	-	-

4) 경우 4

폴리에스터 혼방사의 수집된 데이터들을 <표 6>에 나타내었다. 본 연구에서 사용된 모든 혼방사는 보전이 양호한 자동 권사기에서 처리되었음을 참고로 한다. 폴리에스터 섬유를 함유한 혼방사에까지 사절 모델을 연장했을 때 공장간 공장 간에 혼방사에 대한 경사절률이 변동이 매우 적었기 때문에

어려운 문제가 발생하였으며, 이런 한계 내에서 경사절 예측 모델을 전개시키려고 하였다.

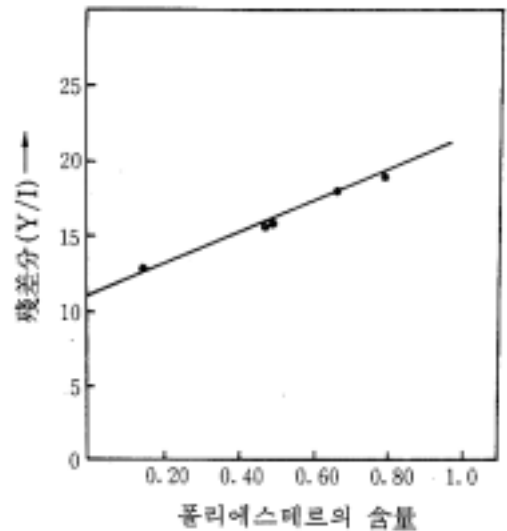
<표 6> 사절률 추정의 정확도(폴리에스터 혼방사)

시 No.	번수		폴리에스 테르함량	LCSP	R	P	I	N	D	F _I	F _I	추정오차, %
	경사	위사										
1	40	76d	0.15	2519	88	84	0.739	2	9	11.0	10.9	-1.15
2	50	76d	0.48	2442	88	88	0.774	4	7	16.1	14.4	-11.1
3	50	76d	0.48	2720	88	88	0.774	5	23	12.7	14.8	+16.8
4	36	36	0.50	2560	90	80	0.720	2	8	12.6	12.8	+1.8
5	50	76d	0.67	3080	88	92	0.810	7	17	15.6	15.8	+1.5
6	50	76d	0.67	3074	88	92	0.810	6	15	13.2	15.6	+18.0
7	50	68F	0.67	3149	92	76	0.699	8	18	12.9	13.7	+6.2
8	50	76d	0.67	3150	88	88	0.774	3	19	17.2	15.3	-11.0
9	70	76d	0.67	2271	80	80	0.640	55	41	22.0	20.4	-7.3
10	60	68F	0.80	3214	92	88	0.810	17	27	17.3	18.1	+4.6
11	60	76d	0.80	3350	88	88	0.774	6	13	16.1	15.6	-3.1
12	60HT	76d	0.67	2030	84	76	0.638	24	6	21.8	21.1	-3.2
13	60HT	76d	0.67	2030	88	78	0.655	24	6	23.4	21.8	-6.8
14	60HT	76d	0.67	2681	84	80	0.672	5	36	20.9	15.9	-23.9
최소값	36	68F	0.15	2271	84	76	0.638	2	6	11.0	-	-
최대값	70	76d	0.80	3350	92	92	0.810	55	41	23.4	-	-

이들 혼방사는 보전이 양호한 자동 권사기로 처리되었기 때문에 여기에서 채택한 과정은 LCSP- 가는 부분과 굵은 부분이 미치는 영향이 보전이 양호한 권사기로 처리된 원사의 경우와 동일하다고 가정한 후 잔차분을 혼방사에서의 폴리에스터 함량 P에 대해서 플롯하는 것인데, 잔차분은 다음과 같다.

$$\frac{Y}{I} = \frac{F_I - 1.15QI^{1.3} - 0.0234D^{1.5}I}{I}$$

<그림 3>의 점들은 잔차분 Y/I 가 P 에 따라 선형의 관계로 증가하고 있음을 보여주고 있으며 회귀분석을 통해 다음 식을 구하였다.



<그림 3> 사절물의 잔차분과 혼방사에서의 폴리에스터 함량과의 관계

$$F_I - 1.15QI^{1.3} - 0.0234D^{1.5}I = 10.0pI + 11I$$

$$\text{즉, } F_I = 1.15QI^{1.3} + 0.0234D^{1.5}I + 10.0pI + 11I \text{ -----(15)}$$

사절물의 계산값을 <표 6>에 나타내었다. 상관지수가 0.93이라는 것은 경사절물의 기대값과 관측값 간에 상관관계가 매우 좋다는 것을 보여 준다. 실제로 14개 경우 가운데 11개 경우에서 예측오차는 12%이내 이었다. 여기서 제시된 경사절 모델이 혼방사의 경우에 조차 경사절물을 예측하는 데 성공적으로 이용될 수 있음을 보여 준다.

식(15) 는 두 가지 함축성 있는 의미를 가지고 있다. 즉, 혼방사의 경우에 매듭과 그 밖의 결점들이 경사절에 미치는 영향은 면사보다 거의 2배 정도

가 된다. 이런 다중성 인자는 혼방사에서 폴리에스터가 차지하는 함량에 따라 좌우된다.

나. 예측의 정확도와 실제적인 의미

경사절 모델에 대한 예측의 정확도를 권사기와 원사의 종류에 따라 종합적으로 <표 7>에 나타내었다.

<표 7> 사절 모델에서의 종합적인 예측의 정확도

원사의 형태	권 사 기 의 형 태	예측오차별 경우의 수				총합
		<6%	6-12%	12-18%	>18%	
면사	보 전 이 양 호 한 자동권사기	7	5	2	2	16
면사	보 통 의 자 동 권사기	6	6	4	4	20
면사	재 태 식 권 사 기	2	4	1	0	7
혼방사	보 전 이 양 호 한 자동 권사기	7	4	2	1	14
합계	—	22	19	9	7	57

총 57개의 경우 가운데 41개 경우에서 예측오차는 $\pm 12\%$ 이내이었다. 더군다나 여러 공장에서 수집한 실제 사절률을 사용하여 모델들을 설정했기 때문에 신뢰성을 가지고 현장 데이터에도 응용할 수 있다. 인도에서와 같이 변수가 동일한 원사의 경우라도 품질의 변동이 매우 다양한 지역에서는 이런 공식이 실질적으로 가치가 있다. 이런 지역에서 사절예측 모델을 사용하면 비중이 가장 큰 사절률의 감소가 준비공정의 기계들을 보다 잘 이용했기 때문인지 또는 원사의 품질을 개선 했기 때문인지를 확인할 수 있는 데 매우 도움이 될 것이다. 즉 여기에서 제시되고 있는 사절 모델은 경사의 품질

을 최상으로 이용하는가를 조사하는데 진단용 도구로써 사용할 수 있다. 만일 어떤 공장에 실제 사절률과 계산값이 지속적으로 일치하고 있다면 준비공정에 주의를 기울여서 사절률을 감소시킬 여지는 그다지 많지 않다. 따라서 상당한 개선을 가져오기 위해서는 원사의 품질을 향상 시킬 필요가 있다. 그러나 사절률의 관측값이 계산값보다 크면 준비공정에 계속 관심을 기울임으로써 이를 감소시킬 가능성은 매우 크다.

한편 본 연구는 효율적인 제직에 요구되는 원사 품질의 최소 조건을 정량적으로 분석하는데 도움이 된다. <그림 2>를 보면 LCSP 의 임계값 2250 이상이면 사절률은 더 이상 증가해도 많은 영향을 받지 않으나 2250 이하에서는 LCSP 가 감소함에 따라 사절률은 급격하게 감소하기 시작한다. 이런 경향은 다른 연구논문에서 발표된 내용과 비슷하다.

본 고에서는 한가지 사항을 명확히 할 필요가 있다. 즉 제직 동안에 받게 되는 인장으로 인한 파단은 마모와 신장을 동반하는 복잡한 과정이다. 이 때 LCSP 와 같이 원사의 강력을 측정하는 것이 어떻게 사절률을 예측할 수 있는 효과적인 수단이 될 수 있는가? 이런 기론을 설명할 수 있는 두 가지 발견이 있다.

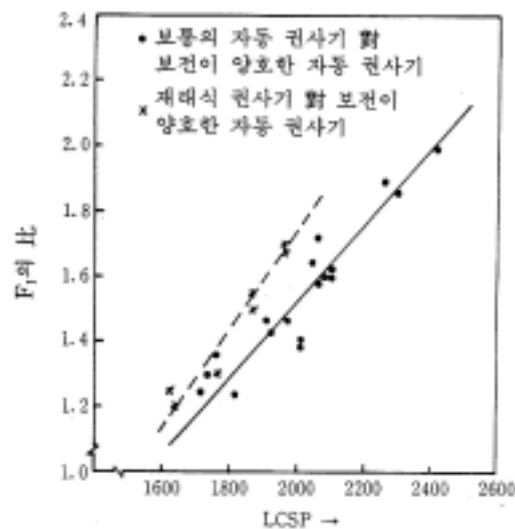
첫째는 이들 데이터에서 원사의 LCSP와 Reutlinger 웹 시험기로 측정한 원사 및 가호된 면사의 내마모성과는 상관관계가 매우 좋다는 점이다. 더군다나 이들 연구에서 알 수 있듯이 면사의 경우에 LCSP가 2200 미만인 면사는 가호처리를 해도 (가호율 12%까지) 내마모성이 그다지 향상되지 않았다.

이는 즉 LCSP가 2200 이상이 되는 원사의 경우에만 가호처리를 함으로써 이익을 얻을 수 있다. 두 번째 발견은 LCSP가 2200 미만인 면사에 마모성이 낮은 실이 많이 함유되어 있다는 점이다. 그러므로 LCSP는 제직 동안에 받게 되는 마모와 신장에 대해서 실의 저항도를 측정할 수 있는 총괄적인 수

단임이 판명되었다.

다. 원사의 품질에 따른 권사기의 선택

원사의 품질별로 권사기의 형태에 따라 사절률에 미치는 영향을 조사하기 위해서 이용 가능한 이들 데이터를 보다 더 분석하였다. 이런 목적으로 <표 4>에 나와 있는 각각의 경우에 대해서 식(13)과 식(9)를 이용하여 보전이 양호한 권사기와 보통의 자동 권사기와의 사절률 기대값의 비를 계산하였다. 이와 같은 방법으로 <표 5>의 각 경우에 관해서 식 (14)와 식 (9)를 이용하여 보전이 양호한 자동 권사기에 대해 재래식 권사기의 사절률 기대값의 비를 계산하였다. 이들 비를 LCSP에 대해 <그림 4>에서와 같이 플롯해 보면 한가지 흥미로운 사실을 알 수 있게 된다.

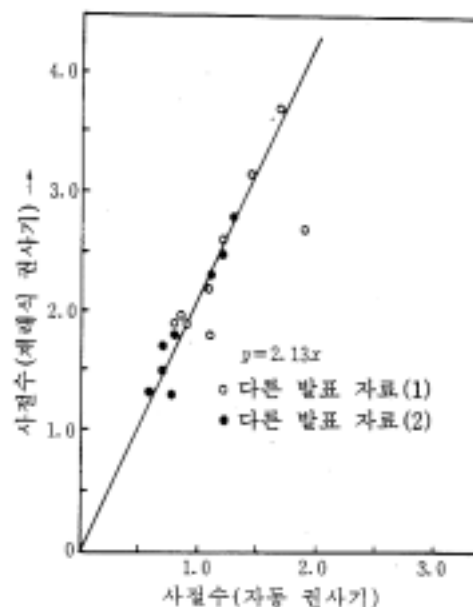


<그림 4> 사절률의 비와 LCSP와의 관계

즉 양쪽 데이터 집단의 경우에서 사절률의 비는 1.2~2.0까지는 LCSP에 따라 증가하는데, LCSP가 낮은 원사들은 적게 증가하고 LCSP가 높은 실은 크

게 증가한다. 다시 말해서 보다 좋은 권사기를 사용함으로써 미치게 되는 사절률의 감소는 LCSP가 높은 원사보다는 LCSP가 낮은 원사에서 그 비율이 적어진다. 이는 다음의 사항으로 설명될 수 있는데, LCSP가 낮은 원사(강력이 약한 원사)의 경우에 가는 부분이나 매듭으로 인한 장애보다는 인장으로 인한 파단이 사절에 가장 큰 영향을 미치는 인자이다. 즉 어느 특정 LCSP 수준에서 볼 때 보전이 양호한 자동 권사기에 대한 재래식 권사기에서의 비는 보전이 양호한 자동 권사기에 대한 보통의 자동 권사기에서의 비보다 크다는 것을 볼 수 있다.

참고적으로 다른 연구보고서에 발표된 실제 데이터들은 <그림 5>에서와 같이 자동 권사기에 대한 재래식 권사기의 사절률 비는 LCSP가 약 2300 정도의 원사인 경우 약 2.1 정도가 된다. 나아가서 이는 권사조건이 본 모델에서 예상되는 사절에 미치는 영향의 정도가 전적으로 불합리하지 않다는 것을 입증하게 된다.



<그림 5> 재래식 권사기로 처리한 사절률의 관측값과
자동 권사기로 처리한 사절률의 관측값과의 관계

공장의 시점에서 볼 때 이런 사실은 매우 중요하고도 실질적인 의미를 지닌다. 즉 LCSP 가 낮은 원사를 사용하는 공장에서는 원사의 품질에 관심을 집중해서 제직성능을 향상시켜야 되고 권사공정에 대해서는 그다지 많은 집중을 하지 않아도 되는, 이는 권사공정의 개선으로는 그리 많은 이익을 얻지 못하기 때문이다. 한편으로 LCSP가 높은 원사를 사용하는 공장은 권사기에 관심을 집중시켜 사용 원사로부터 최대의 제직성능을 얻어야 한다.

5. 결 론

본 연구 내용을 살펴 보면 사절률과 원사의 품질과 경위사 밀도 사이에는 매우 밀접한 관계가 있다. 실제로 원사의 품질과 경위사 밀도에 관한 데이터를 이용함으로써 사절 모델을 설정하면 어떤 종류의 원사와 권사기에 대해서도 사절률을 예측하는 것이 가능하게 된다.

이 모델에서 예측의 정확도는 매우 높다. 더군다나 사절 모델은 공장에서 수집한 데이터를 이용하여 만들어졌기 때문에 이 모델은 어떤 원사의 품질과 직물에 대해서도 사절률을 평가하는데 실질적으로 가치가 있으며, 특히 인도에 있는 공장들의 경우에는 더욱 가치가 있을 것으로 예상된다.