

오우픈 엔드 방적사에서 섬유특성과 사강력의 관계를 추정하는 함수(I)

1. 서 론

많은 연구결과는 섬유의 여러 특성이 방적공정이나 최종제품의 성능과 상당한 관련이 있음을 보여주고 있다. 최근까지 이러한 연구는 단지 링방적에만 행하여졌다. 그러나 현재에는 오우픈 엔드 방적에 관한 연구도 행하여진 바있다. 이들 연구는 섬유특성에 대한 정보의 유용함을 명백히 해주고 있다. 그러나 품질관리측면에서 이들 정보를 어떻게 사용할 것인가는 보여주고 있지 못했다.

따라서 섬유특성과 제품의 특성과의 함수관계를 구명하는 것이 요구되고 있다. 궁극적인 목적은 어떤 품질수준을 예측할 수 있는 등식을 추정하는 데 있다.

이 연구의 목적은 ① 실의 강력을 예측할 수 있는 등식을 택정하는 방법을 보여주고, ② 그 결과들을 실제 어떻게 물질관리에 이용할 수 있는지를 보여주는 데 있다.

섬유의 특성과 실의 물질사이의 통계적 상관 관계에 있어 기본적으로 범할 수 있는 위험은 그들이 단상관, 변상관 또는 베타 계수(beta coefficient)이든 간에 직선적인 관계가 있다고 가정하는 것인데, 이러한 생각은 옳지 못할 때가 있다. 따라서 만약 그 관계가 직선적이 아닐 경우, 그에 따른 상관계수도 믿을 수는 없는 것이다

또한 상관계수는 관계의 척도에 불과하며, 실의 품질에 영향을 주는 정도의 크기를 나타낼 수 있는 계수가 필요하다는 것을 강조하고 싶다. (섬유의

특성과 실의 성능사이에 상당한 관계가 있음에도 불구하고, 실의 품질에 대한 실제 영향은 적을 경우도 상당이 있다. 관계가 있다는 것이 반드시 중요성을 뜻하는 것은 아니다.)

선형회귀를 이용하는 것은 상관계수만을 의존하는 것보다 낫다.

그러나 성형이라고 가정하는 데에는 아직도 제한성을 면치 못하고 있다. 실제의 함수 관계가 섬유특성의 해당범위에서 선형이 아닐 경우 선형으로 간주하면 그것은 다만 작은 범위에서 만족스럽게 될 것이다.

그러나 통계적 추정의 신뢰성은 독립변수의 범위가 제한을 받을 경우 언제나 감소하기 마련이다.

본 연구에서는 ① 비선형성의 존재가 유의한지 알아보기 위하여 다변수 선형회귀의 결과를 검토하고, ② 섬유특성과 사품질을 관련시키는 함수식을 구하고, ③ 통계적인 방법을 사용하여 관계를 가장 잘 묘사하는 형태를 선택하는데 있다.

2. 데이터의 수집과 처리

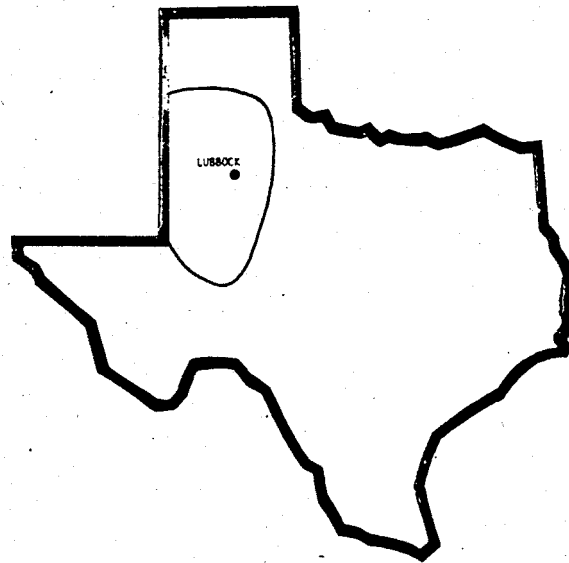
1978년과 1979년도에 Texas의 고원지대에서 생산된 단섬유장면 96표에서 섬유시료를 수집하였다.(그림1) 샘플링, 방적 및 시험은 Textil Research Center(Texas Tech University Lubbock, Texas)에서 하였다.

섬유특성의 측정은 Motion Control 사에서 제작한 High Volume Instrument (HVI)

Testing System을 사용하여 행했다. 시험항목은 아래와 같다.

- ① 마이크로 네어식(M), $\mu\text{g/in}$
- ② 상반부 평균길이(L), mm
- ③ 섬유장 균제도(U): 상반부 평균길이의 비, %

- ④ 1/8in 게이지 강력(S), KN m/kg
- ⑤ 회색도(G), %
- ⑥ 황색도(Y), %
- ⑦ 잡물등급(T): 미농무성(WSDA) 품선실에서 측정



<그림 1> 면을 샘플링한 텍사스 고원

96표에 대한 특성치를 측정한 결과는 표 1과 같다. 평균식들을 살펴보면 텍사스 고원지대에서 생산되는 면에서 기대할 수 있는 바와 같이 비교적 중급의 강력을 갖는 가늘고 섬유장이 짧은 섬유임을 보여주고 있다. 데이터의 변동은 섬유장의 경우는 예외일 수 있으나 다른 것들은 모두 통계적방법에 의한 유의한 추정을 하기에 충분한 것으로 나타났다. 그러나 상반부 평균길이의 범위(range)는 이 지역에서 나는 면의 대표적인 것으로 나타났다.

첨도(kurtosis)치가 비정상적인 것은 하나도 없다. (표1) 왜도(skewness)치 중에서 섬유장과 회색도의 그것들은 정의 큰 값을 갖기 때문에 샘플링이 오른

쪽으로 치우치지 않았나 생각이 된다. 이것은 그림2의 도수분포그래프에서 확인할 수 있다.

<표 1> 96면샘플의 섬유특성에 대한 평균치, 산포, 왜도

纖維特性	平 均	標準偏差	最 小 值	最 大 值	歪 度 ^{a)}	尖 度 ^{b)}
마이크로네어	3.67	0.66	2.25	5.10	-0.23	-0.63
강 력	1,925.83	190.64	1,544.55	2,453.63	0.22	-0.30
길 이	25.91	1.27	23.37	29.46	0.41	-0.25
균 제 도	78.24	2.08	73.50	82.80	-0.13	-0.59
회 색 도	15.68	7.52	2.00	37.00	0.58	0.13
황 색 도	47.34	7.26	32.00	64.00	0.11	-0.82
잡 물	39.48	9.66	2.2	60.00	0.18	0.17

a) 왜도(skewness) : $n = \sum_{i=1}^n Z_i^3 / (n-1)(n-2)$

b) 첨도(Kurtosis) : $n(n+1) \sum_{i=1}^n Z_i^4 / (n-1)(n-2)(n-3) - 3(n-1)^2 / (n-2)(n-3)$

단 n=샘플크기, X=변수X의 평균치, S=X의 표준편차, $Z=(X-\bar{X})/S$:X의 표준화

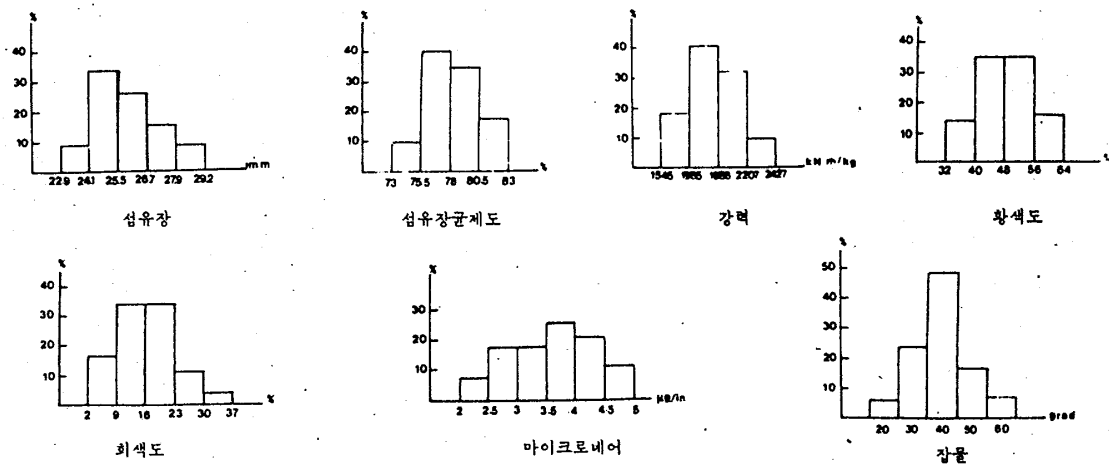
그러나 샘플의 대표성이나 그것에서 얻은 데이터를 사용하여 통계적으로 얻은 값이 믿을 수 없다는 우려를 불러일으킬 만큼 비대칭성을 보인 것은 없다. 표2에 보인 두 특성간의 상관계수들은 다른 연구에서 보고된 상관관계와 일반적으로 잘 일치하고 있다. 즉, 마이크로네어치와 섬유장 균제도의 큰 정의 상관성, 마이크로네어치와 섬유장의 부의 상관성, 강도와 섬유장 및 섬유장 균제도간의 일반적인 상호관계의 양상 등이다.

그러나, 등식을 추정하는데 함께 사용될 수 없음을 나타낼 만큼 상관성이 높은 변수는 하나도 없다. 즉, 그것들은 모두 방적성에 영향을 주는 것으로 보인다.

모든 샘플로 Rieter 오픈엔드정방기에서 TM5.00의 Ne10/1을 방출하였다. 각 샘플 마다 타래강도(파운드)를 측정한 후 10을 곱하여 번수강력정수(CSP : Count Strength Product)를 계산하였다. 96개의 샘플에 대한 CSP의 평균치는 2,237였고 표준편차는 180.4였다. CSP의 범위는 1,870~2,740이었다.

<표 2> 96면샘플의 섬유특성치간의 상관관계

	S	L	U	G	Y	T
M	0.15	-0.20	0.51	0.19	-0.01	0.23
S		0.56	0.36	0.25	0.09	0.06
L			0.18	0.17	0.03	0.14
U				0.36	-0.01	0.49
G					0.34	0.44
Y						0.004



<그림 2> 96면샘플의 섬유특성치 도수분포

3. 분석 및 추정결과

분석방법을 명확히 보여주기 위하여 예비적으로 얻은 회귀결과를 표3에 보였다. 회귀식(1)에서 CSP는 이용할 수 있는 7개의 섬유특성 모두에 관계가 있다. F값이 18.20로서 회귀식은 유의하다. 강력, 마이크로네어치, 섬유풀 균

제도 및 회색도의 4개 계수는 모두 기대한 바와 같은 부호를 갖고 있으며, t 값을 산출해보면 통계적으로도 유의함을 알 수 있다. 다른 3계수, 즉 잡물등급, 황색도 및 섬유장은 유의하지 않았다. T와 L의 두 계수가 불합리한 부호를 갖고 있긴 하지만, 유의차는 별로 없기 때문에 문제가 되지 않는다. 기여율(R^2)은 0.59인데 이는 회귀식이 데이터의 전변동 중에 59%를 설명해준다는 것을 의미한다. 회귀추정의 표준오차(SE)는 119.37인데, 이는 샘플의 CSP의 표준편차 180.44보다 상당히 적은 것이다.

표3의 회귀식(2)에서는 중요치 않은 변수는 빼버렸다. 여기에서 고려된 변수의 계수들은 여전히 유의했고, 식(1)에서의 그것들에 비교될 만큼의 크기를 갖는다. 회귀의 기여율과 표준오차는 근본적으로 변하지 않았다. 그러나 F값이 상당히 증가했는데, 이는 식으로부터 무의미한 변수들을 제거한 영향을 보인 것이다. 이들 변수가 중요치 않음은 다른 변수의 존재때문이 아니라는 것이 입증되었다. 섬유장 L은 식으로부터 강력 S를 제외할 경우에만 중요성을 보일 수 있다. 그러나 이렇게 되면 회귀의 정확성이 상당히 떨어진다. 단계적인 회귀방법에 있어 변수 S는 언제나 첫번째로 선택된다. S가 제외될 때 L이 갖는 유의성은 S와의 상관에 따른 결과로 인해 생기는 잘못된 유의성임이 명백하다. (표2참조)

이 연구의 주안점은 CSP와 섬유특성 간의 함수관계에 관한 것이므로, 이들 예비적으로 얻은 회귀에서 가장 관심의 대상이 되는 것은 규정된 오차다. 심각한 문제인지를 알아보는 것이었다. 여기에서 회귀식으로부터 초래된 잔차(또는 오차)에 대하여 자세히 검토해볼 필요가 있다.

측정 i ($i = 1, 2, \dots, n$)에 따른 잔차를 e_i 라고 하면 회귀기법에서는 $\sum_{i=1}^n e_i = 0$, 또는 $\sum_{i=1}^n e_i$ 를 최소화한다. 회귀결과가 유효하려면 e_i 는 랜덤 분포와 일정한 분산을 가져야 한다. 만약 그렇지 못할 경우는 가정이 만족 될 수

있도록 추정식의 적용범위를 결정하는 문제가 해결 되어 할 것이다.

<표 3> 섬유특성과 변수강력 정수간의 예비실험적 회귀

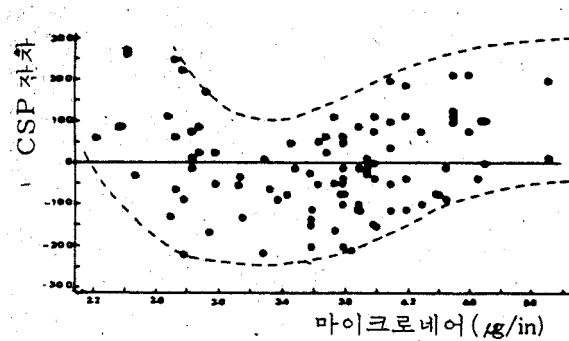
等式	常數	S	M	U	G	T	Y	L	M'	기여율 (R ²)	標準誤差	F값
(1)	-3.56	0.54 ^a (6.25)	-171.44 ^a (-7.35)	24.61 ^a (2.99)	-3.64 ^c (-1.78)	2.23 (1.39)	-0.69 (-0.37)	-3.59 (-0.30)		0.59	119.37	18.20
(2)	-348.43	0.50 ^a (7.26)	-169.44 ^a (-7.93)	29.19 ^a (3.90)	-2.95 ^c (-1.68)					0.58	119.32	31.56
(3)	1,195.02	0.51 ^a (6.51)	-948.31 ^a (-5.80)	25.11 ^a (3.41)	-2.88 ^c (-1.67)	1.66 (1.15)	-1.68 (-1.02)	5.28 (0.48)	108.42 ^a (4.79)	0.67	107.20	22.77
(4)	903.60	0.51 ^a (8.12)	-927.12 ^a (-5.76)	29.98 ^a (4.45)	-2.75 ^c (-1.74)				104.88 ^a (4.74)	0.66	107.32	35.71

주) b: 99% 신뢰수준, c: 90% 신뢰수준

잔차에 대한 검토에 가장 좋은 방법은 그래프를 이용한 분석이다. 회귀잔차를 CSP예측치와 독립변수에 대해 플롯하였다. CSP예측치에 대한 CSP잔차의 플롯 결과는 잔차의 분포가 랜덤하지 않았음을 보였으나, 곡선임을 나타내었다. 더 조사해본 결과 이런 양상의 주된 원인은 마이크로네어치라는 것을 알았다. 지면관계로 표3의 식(1)에서 마이크로네어치에 대한 CSP잔차를 플롯한 것만을 실렸다. 그림3에서 점선으로 표시한 바와 같이 뱀모양의 곡선성을 보여주고 있다. 따라서 다음과 같은 결론을 확실하게 얻을 수 있었다.

즉 ① CSP와 M은 그 관계가 비선형이다. ② 마이크로네어치의 제곱으로 표현하는 것이 아마도 선형으로 표시하는 것 보다 더 나을 것이다.

마이크로네어치에 대한 제곱(M²)의 회귀결과를 표3에 또한 요약하였다. M²의 타당성은 그에 따른 t값에 의해 강력하게 뒷받침되었다. 더욱이 기여율은 8%증가, 회귀추정의 표준오차는 12만큼 감소, F값은 상당히 커졌다. 이것은 분명히 섬유특성치의 선형만을 사용하는 것 보다 우수한 모형임을 알 수 있다.



<그림 3> 표3의 회귀식을 사용한 마이크로네어치에 대한 CSP잔차

섬유특성치에 대한 함수관계의 보다 우수한 모형을 체계적으로 찾아내기 위하여 “ R^2 의 최대한 기법”을 사용하였다. 이 방법이 종래에 사용되었던 단계적 회귀기법보다 우수하고, 모든 가능한 회귀에 사용될 수 있다고 생각된다. 각 단계마다 단일 모형을 설정하는 것 대신에 이 방법에서는 한 개의 변수를 갖는 가장 좋은 모형, 두개의 변수를 갖는 가장 좋은 모형등의 순서로 찾아나가는 것이다. 이러한 과정을 모든 변수가 포함될 때 까지나 또는 나머지 변수가 기여율에 뚜렷한 향상을 가져오지 못할 때 까지 계속한다.

섬유의 모든 특성치 변수는 대수함수와 1차, 2차, 3차의 다항식으로 나타낸다.(1차 다항식은 물론 선형이다) 선형성에서 약간 벗어나는 경우에는 대수를 취하면 충분히 범위안에 들 수 있다. 그외에는 대부분 다항식을 하나 또는 그 이상을 사용하면 가능할 수 있다. 3차보다 높은 다항식을 사용할 경우는 거의 없음이 명백하다.

또한 교호작용을 알기 위해서는 우 변수의 적으로 된 항이 있어야 했다. 이러한 함수중 CSP의 변동을 일차식의 그것보다 가장 잘 나타내주는 형태로 선택해야 할 것이다.

이와 같은 연구결과 아래와 같은 최적 회귀식을 얻었다.

$$CSP = -6487.01 + 728.84(8.50)$$

$$\ln S - 2913.89(-2.48) + 658.4M^2(2.03) - 50.10(-1.72)$$

$$M^3 + 2253.54 \ln U(4.49) - 0.00003(G \times Y)^2(-2.15) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (5)$$

$$R^2 = 0.68 \quad SE. = 105.23 \quad F = 31.72$$

단 $\ln S$: 섬유강도의 자연대수

M^t : 마이크로네어치의 I제곱값

$\ln U$: 섬유장 균제도의 자연대수

$(G \times Y)^2$: (회색도 $\times$ 황색도)²

섬유장이나 잡물등급은 식에 포함되지 않았다. 그러나 황색도는 회색도-황색도의 교호작용항의 일부로서 포함되고 있다. 모든 계수는 90~99%수준으로 유의하였고 모두 기대한 바와 같은 부호를 갖고 있다. 회귀의 기여율(R)과 표준오차(S.E.)는 이식이 전에서 말한 모든 식보다 우수함을 보여주고 있다.