

직물의 COVER FACTOR

1. 실과 직물에 대한 기하학적 반응

섬유나 실을 수학적으로 다루기 그 형태의 특수성 때문에 여러 가지 제한을 받는다. 더욱 섬유나 실 및 직물을 역학적으로 취급하는 것은 그들의 특수성에 대해서 역학적인 모형을 신중히 고려해서 정하지 않는다면 해석결과에 커다란 오류를 범하기 쉬운것이다.

그리하여 이러한 실이나 직물에 대해서 기하학적인 가정방법을 설명하고 이들을 수학적인 측정을 하는데 단위를 정하는 방법을 설명하고자 한다.

(a) 실의 비용적과 직경

일반적으로 비용적이라면 일정체적의 물체와 동체적의 물의 비율을 말하는 것으로서 실의 비용적(Specific Volum of Yarn)을 계산하면 다음과 같다.

$$\text{실의 비용적} = \frac{\text{실의 체적}}{\text{실과 같은 무게의 물의 체적}}$$

A. 영식면사변수의 경우

실은 단면이 원주상이라면 실의 체적은

$$\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot 840 \cdot 36 \cdot N(\text{inch})^3$$

즉 : d : Inch단위의 실의 직경

N : 영식면사변수

$$1\text{cc} : 0.06102\text{in}, 1\text{lb} = 453.6\text{g}$$

- 비용적 V는

$$V = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot 840 \cdot 36 \cdot N}{453.6 \times 0.06102}$$

$$- V = 858Nd^2 \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

직물의 경사 또는 위사의 밀도와 직접적인 비교를 위해서 비용적을 $\frac{1}{d}$

주로 표시해 보면

$$\frac{1}{d} = \sqrt{\frac{858N}{V}} = 29.3\sqrt{\frac{N}{V}} \dots\dots(2)$$

그러나 실시면에서 실이나 직물의 체적은 위와 같은 수학적 표시를 하기
에 부정확한 것이기 때문에 실의 꼬임이나 장력 기타 제직조건에 의해서 여
러 가지 수정요인이 들어가야만 한다. 그리하여 위의 관계식에서는 수정될
요인으로 V를 정하는 것이며 직물을 구성하고 있는 실이 교차압을 받고 있
는 상태하에서 V 1.1을 가정하는 것이다. 즉 V 1의 가정을 면사에 대해서
만 한정하기로 한다. 그러면 (2)식은

$$\frac{1}{d} = 28\sqrt{N}$$

<표 1>

번 수	최대병렬본수	실의 직경
	$(\frac{1}{d} = 28\sqrt{N})$	$d = \frac{1}{28\sqrt{N}} \text{ Inch}$
16's	112.00	$0.0090 = \frac{9.0}{1,000}$
20's	125.16	$0.0080 = \frac{8.0}{1,000}$
23's	134.40	$0.0075 = \frac{7.5}{1,000}$
30's	153.44	$0.0066 = \frac{6.6}{1,000}$
40's	177.57	$0.005 = \frac{5.7}{1,000}$
60's	217.00	$0.0046 = \frac{4.6}{1,000}$
80's	250.32	$0.0040 = \frac{4.0}{1,000}$

이 식을 보면 $\frac{1}{d}$ 은 $\sqrt{N}$ 에 비례함을 알 수 있는데 이것은 면사는 최대 병렬가능수가 변수의 평방근에 비례함을 알 수 있고 1's의 실은 최대병렬수가 28본임을 알 수 있다. 참고로 면사의 최대병렬본수를 나타내 보면 다음의 표 1과 같다.

또 위와 같은 실로서 제직된 직물의 비용적을 계산해 보면 다음과 같다.

지금 G를 Mils단위의 직물의 두께라고 하고 W를 Ounce단위의 마당중량이 라면 직물 1마의 체적은

$$\frac{G}{1,000} \times 36 \times 36 (\text{inch})^3$$

그런데 물 1oz의 체적은

$$28.35 \times 0.01602$$

$$\text{즉 } 1\text{oz} = 28.35\text{g} = 28.35\text{cc}$$

- 직물 1oz의 체적은

$$\frac{\frac{G}{1,000} \times 36 \times 36}{W} = 1,296 \frac{G}{W}$$

- 비용적은

$$\frac{1,296 \frac{G}{W}}{28.35 \times 0.06102} = 0.75 \frac{G}{W} \dots\dots (3)$$

그런데 면직물의 경우는 $V=0.64$ 로 정한다. 물론 이 경우에도 직물의 중량을 (3)식으로 정확히 표시될 수 있을만치 기하학적인 가정이 정확한 것은 아니나 이외 수정요인으로서 V를 정하고 $V=0.64$ 는 이러한 가정상의 오류를 수정할 수 있을 정도의 값인 것이다.

$$- G = 0.853 \frac{1}{W}$$

그러나 직물의 밀도가 많고 두꺼운 경우에는 $V=2.0$ 으로서 이 경우에는 다

음과 같이 된다.

$$-G = 2.67 \frac{1}{W}$$

또 경사나 위사의 굴곡과 조직점과 조직점 사이의 경위사의 길이를 나타내는 단위를 위사와 경사의 변수로 표시하면 편리한데 지금

$$D = d_1 + d_2$$

즉 d_1 : 경사의 직경

d_2 : 위사의 직경

이라면 $d = \frac{1}{28\sqrt{N}}$ 이니까 이것을 mils단위로 환산하면

$$d = 0.0357 \frac{1}{\sqrt{N}} = 0.036 \frac{1}{\sqrt{N}} \text{ inch} = 36 \frac{1}{\sqrt{N}} \text{ mils}$$

$$-D = 36 \left(\frac{1}{\sqrt{N_1}} + \frac{1}{\sqrt{N_2}} \right) \dots\dots(4)$$

이 방법은 실의 밀도나 수축을 표시하는 단위로서 편리하기는 하나 특별한 경우에는 (4)식대신에 β -Ratio는 다음과 같이 정의된다.

$$\beta = \sqrt{\frac{N_1}{N_2}}$$

즉 : N_1 영식면사변수(경사)

N_2 영식면사변수(위사)

(b) Cover Factor

직물의 경사밀도 또는 위사밀도와 영식면사변수와의 차를 Cover Factor라고 한다. Cover Factor의 개념은 방적에서 연계수가 쓰이는 것과 같이 아주 편리하고도 유용한 개념으로써 직물의 경위사밀도를 정하는데 쓰인다. Cover Factor를 K라면

$$\text{Cover Factor } K = \frac{\text{Threads per Inch}}{\sqrt{N}}$$

지금 P 를 경사 또는 위사간의 간극을 mils단위로 나타낸 것이라면

$d = 36 \frac{1}{\sqrt{N}}$ mils이며, P 의 정의에 의하여

$$- \text{Threads per Inch} = \frac{1,000}{P}$$

또 K 의 정의에 의하여

$$K = \frac{\frac{1,000}{P}}{\frac{1}{\sqrt{N}}} = \frac{1,000}{P\sqrt{N}}$$

그런데 $d = \frac{1}{28\sqrt{N}}$ 이니까 $\sqrt{N} = \frac{1}{28d}$ 로서

$$K = 28 \frac{d}{p} \dots\dots (5)$$

$d=p$ 이면 $K=28$ 이 되는데 $d=p$ 라는 것은 실의 직경과 경사 또는 위사간의 간극이 같다는 것을 뜻하는 것으로서 직물을 구성하는 경사나 경사방향의 Cover Factor가 $K=28$ 이면 최대밀도라는 것을 뜻하는 것이다. 상업상의 Cover Factor는 이 값보다 적어야만 함은 물론인 것이다.

경위사의 밀도비율이 같고 경위사의 변수가 같은 직물은 경위사의 굴곡각이 45° 가 되는데 이런 직물을 Square Fabric 이라고 한다.

Square Fabric에서 K 의 값은 최대 $K=16$ 이 되는데 상업상의 Cover Factor값은 $K=12$ 를 한도로 한다.

또 Voile, Mull, Organdie같이 밀도가 비교적 적은 직물의 것은 $K=10$ 정도이다.

상업상의 K 값은 $K=8$ 정도로 하고 있다.

다음으로 $\frac{d}{p}$ 를 직경-밀도비라고 하며 d 가 Inch단위일 때 (2)식에 의하면

$$d = \frac{1}{29.3} \sqrt{\frac{V}{N}} = 0.03414 \sqrt{\frac{V}{N}}$$

그런데 $\frac{d}{p}$ 즉 Diameter Spacing Ratio를 Cover Factor의 개념을 이용해서 나타

내보면

$$K = \frac{\frac{1}{p}}{\sqrt{N}} = \frac{1}{P\sqrt{N}} \quad P = \frac{1}{K\sqrt{N}} \text{ 이니까}$$

$$\frac{d}{p} = 0.3414 \sqrt{\frac{V}{N}} / \frac{1}{K\sqrt{N}} = 0.03414 \sqrt{V.K}$$

그런데 V 1.1을 Standard로 했으니까 $0.03414 = \frac{1}{27.93\sqrt{1.1}}$ 임을 생각한다면

$$\frac{d}{p} = \frac{1}{27.93\sqrt{1.1}} \sqrt{V.K} = \frac{K}{\frac{27.93\sqrt{1.1}}{\sqrt{v}}} \dots\dots\dots(6)$$

그리하여 상수 27.93은 실의 변수법에 의해서 틀리는데 표 2는 이것을 나타냈다.

<표 2>

English Cotton Count	상수=27.93
Worsted Count	22.80
Woolen Count(Yorkshire)	15.42
Linnen count(Leas per Pound)	16.69
TYPP(Thousand per Pound)	33.47

<표 3> direct System에서의 상수

Grams per Meter	상수=21.46
Denier	20.36
Pounds per Spyndle	
(Flex, Zute, Hemp Etc)	115.6

English Cotton Count에서 Cover Factor의 값은 $K=28$ 로 되었고 Reciprocal System에서 K 의 정수는 $K = \frac{TPI}{\sqrt{N}}$ 로 했으나 Direct System에서는 이와는 다르다. 그리하여 지금부터는 Direct System에서의 Cover Factor에 대해서 말하고자 한다.

Direct System에서는 Cover Factor를 Threads per Centimeter와 Denier의 상승적으로 표시한다. 즉 $K = \text{Threads per Centimeter} \times \sqrt{D}$ 단 D :Denier 그런데 이 경우에 Specific Volume을 정의해 보면

$$V = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \times 3.14 \times 450 \times 100 / D \times 0.05}{1}$$

$$\therefore V = 706500 \frac{d^2}{D} \quad \therefore d = 0.00119 \sqrt{DV}$$

d 를 μ 단위로 사용하면

$$d = 11.9 \sqrt{D} \quad V = 1.016 \text{ 이면} \quad d = 12 \sqrt{D} \quad (\mu\text{Unit})$$

지금 p 를 cm단위로 나타낸 간격이라면 $P = \frac{1}{\text{Threads per Centimeter}}$

$$\therefore K = \frac{1}{P} \sqrt{D}$$

그런데 $d = 0.00119 \sqrt{DV}$ 에서 $V = 1.016$ 임을 생각하면 $d = 0.12495 \sqrt{D}$

$$\therefore K = \frac{1}{P} \times \frac{d}{0.12495} \quad \therefore K = 8.0 \frac{d}{p}$$

(c) 직물의 무게

직물의 무게를 Cover Factor의 개념으로 나타내면 밀도와 변수 및 중량과의 관계를 쉽게 알 수 있다.

Cover Factor의 정의에 의해서 $\text{Threads per Inch} = K \sqrt{N}$

$$\therefore \text{Threads per Yard in Fabric} = 36K \sqrt{N}$$

지금 직물을 구성하는 경사나 위사의 Contraction을 C라면 직물 1평방마를 만드는데 필요한 경사 또는 위사의 길이는

$$36K\sqrt{N}(1+C)\text{Yards}$$

이 때문에 직물 1평방마를 구성하는 경사 또는 경사의 중량을 Ounce단위로 나타내면

$$\frac{36K\sqrt{N}(1+C)}{840 \times N} \times 16 = 0.6857 \frac{1}{\sqrt{N}} K(1+C)$$

그리하여 직물 1마를 구성하는 경사와 위사량의 합계는

$$\begin{aligned} W &= 0.6857 \frac{1}{\sqrt{N_1}} K_1(1+C_1) + 0.6857 \frac{1}{\sqrt{N_2}} K_2(1+C_2) \\ &= \frac{1}{\sqrt{N_1}} 0.6857 [K_1(1+C_1) + K_2(1+C_2) \frac{\sqrt{N_1}}{\sqrt{N_2}}] \\ &= \frac{1}{\sqrt{N_1}} \times 0.6857 [K_1(1+C_1) + K_2(1+C_2)\beta] \\ &= \frac{W}{\sqrt{N_1}} \end{aligned}$$

$$\text{단 } W = 0.6857 [K_1(1+C_1) + K_2(1+C_2) \beta]$$

W를 Weight Factor라고 치며 이는 경위사의 수축율과 Cover Factor에 의해서 결정되는 것으로서 이 관계식을 이용하면 직물의 중량과 변수밀도의 관계를 아는데 편리하다.

(d) Twist Factor

Twist Factor의 정의는 다음과 같다.

$$h = \tau / \sqrt{N} \quad \text{단 } \tau : \text{Turns per inch}$$

이 Twist Factor는 연각(Angle of Twist)을 정의할 수 있는 것으로서 연각을 X 라면



$$\tan X = \pi d \sqrt{1,000} = 0.107 \sqrt{V \cdot K}$$

$$V=1.1 \text{ 이면 } \tan X = k/9 \cdots (8)$$

단 d는 Mile단위의 실의 직경

이러한 Twist Factor는 실의 hardness, Strength, Extensibility같은 것을 나타내기에 알맞은 것이며 이의 영향은 실의 변수나 면의 섬유장에 의해서 크게 영향을 받는다는 것이다. 예를 들자면 Twist Factor는 정해진 면에 대해서는 실이 굵을수록 수치가 커지며 정해진 변수에 면의 길이가 짧고 섬도가 클수록 K의 값이 커진다.

이것은 섬유의 길이나 굵기가 실의 기하학적구조에 영향을 주지는 않기 때문이다.

(e) Breaking Length

Breaking Length라면 시편과 같은 실의 파괴강력과 동일한 중량에 해당하는 실의 길이를 말하는 것으로서 이것은 실의 단면의 매평방인치에 대한 파괴강도를 나타낼 때 유용한 것이다. 이것을 보다 보편적으로 말하면 응력 대신에 실의 경우에는 단위길이당의 무게에 대한 길이의 비로서 나타내는 것이 보다 편리하기 때문이다.

지금 S를 응력(Kg/cm²)이라고 하고 B를 강력과 동량의 무게에 해당하는 실의 길이를 Hank로 표시한 것이라면 V=1.1일 때 B=0.013VS 즉 $B = \frac{S}{70}$ 가 된다.

이것은 다음과 같은 계산으로 쉽게 알 수 있다. S와 B의 정의에 의해서

$$S = \frac{\text{실의무게}}{\text{실의단면적}(\text{cm}^2)} = \frac{B \times 0.4536 \times \frac{1}{N}}{(\frac{2}{d})^2 \times 3.14 \times 6.45} = \frac{B \times 0.4536 \times 4}{\frac{1}{858} \frac{V}{N} 3.14 \times 6.54 \times N}$$

$$= 858 \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{B \times 0.4536 \times 4}{3.14 \times 6.45 \times N} = \frac{B}{V} \cdot \frac{858 \times 0.4536 \times 4}{3.14 \times 6.45} = \frac{B}{V} \times 76,865$$

$$\therefore B = 0.013VS \quad \text{즉 } B = S/70$$

$$\text{즉 } 1\text{Sgin} = 6.45\text{cm}^2$$

$$1\text{Lbs} = 0.4536\text{kg}$$

$$d^2 = \frac{1}{858} \cdot \frac{V}{N}$$

강력이 F_y 인 실의 Breaking Length는 $F_y \cdot N/16$ Hanks이고 이것은 Breaking length의 정의에 의해서 $F_y/16$ 의 관계가 있기 때문이다.

또 F_c^N 를 직물의 폭방향으로 보아서 Inch당의 Breaking Load라고 한다면 W를 마당 중량으로 할 때

$$\text{Breaking Length} = \frac{Fc \times \frac{1}{36}}{\frac{1}{16} W \times \frac{1}{36} \times \frac{1}{36}} = \frac{16 \times 36 Fc}{W} = 576 \frac{Fc}{W}$$

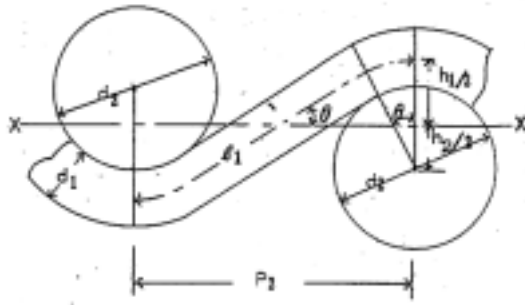
참고로 강력이 요구되는 Square Cotton Cloth의 Breaking Length는 $576Fc/W = 10,000$ yards를 초과해야 한다는 것을 일러둔다.

2. 평조직의 기하학적분석

다음의 그림은 직물의 면에 직각인 평면에다 직물의 단면을 투영한 모형도이다. X-X축은 직물의 면의 중앙을 관통하는 평면을 역시 직물의 평면과 직교하는 평면에 투영을 한 것으로서 이것을 X-X면으로 한 것이다.

l1을 경사와 위사사이에 가로 놓인 경사의 길이라고 하고 P_2 를 위사간의 간극이라 하면 정의에 의해서 경사의 수축 C_2 는

$$C_2 = \frac{l_1}{P_2} - 1 \dots \dots \dots (9)$$



그런데 P_2 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_2 = \frac{1}{2} D \sin \theta_1 + (l_1 - D \theta_1) \cos \theta_1 + \frac{1}{2} D \sin \theta_1$$

$$\therefore P_2 = (l_1 - D \theta_1) \cos \theta_1 + D \sin \theta_1 \dots \dots \dots (10)$$

그림에서도 알 수 있듯이 h_1 을 X-X축에서 경사가 편재한 거리를 나타낸다
면

$$h_1 = 2 \left[\frac{1}{2} (l_1 - D \theta_1) \sin \theta_1 + \frac{1}{2} D (1 - \cos \theta_1) \right] \dots \dots \dots (11)$$

$$= (l_1 - D \theta_1) \sin \theta_1 + D (1 - \cos \theta_1)$$

그런데 경사와 위사의 직경의 합은 경사가 편재한 거리와 같아야 하기 때
문에 $h_1 + h_2 = d_1 + d_2$

$$\therefore D = h_1 + h_2 \dots \dots \dots (12)$$

위의 관계식에서 사실상으로 l 과 θ 의 값은 알지 못하는 것이기 때문에 다
음과 같이 해서 l 과 θ 를 없애 할 수 있다.

(10)식과 (11)식에 의해서

$$(l_1 - D \theta_1) = \frac{P_2 - D \sin \theta_1}{\cos \theta_1} = \frac{h_1 - D (1 - \cos \theta_1)}{\sin \theta_1}$$

$$\therefore \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} = \frac{h_1 - D(1 - \cos \theta_1)}{P_2 - D \sin \theta_1}$$

이것을 정리하면

$$h_1 = D(1 - \cos \theta_1) - P_2 \tan \theta_1 + D \sin \theta_1 \tan \theta_1 = 0$$

$$D(\sin \theta_1 \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} - 1 + \cos \theta_1) - D(\frac{\sin^2 \theta_1 + \cos^2 \theta_1}{\cos \theta_1} - 1) - P_2 \tan \theta_1 + h_1 = 0$$

$$D(\frac{\sin^2 \theta_1 + \cos^2 \theta_1}{\cos \theta_1}) - P_2 \tan \theta_1 + h_1 = 0$$

$$D(\sec \theta_1 - 1) - P_2 \tan \theta_1 + h_1 = 0$$

이와 같이 하면 l 가 생략될 수 있다.

그런데 (10)에 의하면

$$l = D\theta_1 + \frac{P_2 - D \sin \theta_1}{\cos \theta_1}$$

또 (9)에 의하면 $l_1 = P_2(1 + C_1)$

$$\therefore P_2(1 + C_2) = D\theta_1 + \frac{P_2 - D \sin \theta_1}{\cos \theta_1}$$

끝으로 C_1, C_2, P_1, P_2, D 사이의 관계는 $[l_1 - D\theta_1]\sin \theta_1 + D(1 - \cos \theta_1)] + [l_2 - D\theta_2]\sin \theta_2 + D(1 - \cos \theta_2)] = D$ 가 성립하는데 $l_1 = P_2(1 + C_1), l_2 = P_1(1 + C_2)$ 임을 생각하면 $[\{P_2(1 + C_1) - D\theta_1\} \sin \theta_1 + D(1 - \cos \theta_1)] + P_1(1 + C_2) - D\theta_2 \sin \theta_2 + D(1 - \cos \theta_2)] = D$

그런데 l 가 주어지면 여기에 따라서 θ 도 주어지는 것으로서 만일 경사나 위사중 어느 한편이 일직선으로 되면 즉 Rib Structure가 되면 $h_2 = 0$ 가 되고 $h_2 = D$ 로 된다. 그리하여 (11)식으로 불러 θ_1 의 상한은 $D = (l_1 - D\theta_1)\sin \theta_1 + D(1 - \cos \theta_1)$

$$\therefore \theta_1 + \cot \theta_1 = l_1/D \cdots \cdots (13)$$

그런데 $l_1 - D\theta_1 = 0$ 가 되면 위사는 완전히 상접하여 $P_2 = d_2$ 로서 θ 의 상한은 $\theta_1 = l_1/D$

그리하여 그림에서 $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$ 즉 $\frac{\pi}{2} = \frac{l_1}{D}$ 이며 위사는 완전히 밀집하고 굴곡이

없으며 Rib Structure를 갖게 된다.