화상 분석을 이용한 직물 구성 인자의 객관적 측정

최수현, 강태진, 이승구*
*서울대학교 섬유고분자공학과, *충남대학교 섬유공학과*

1. 서 론

직물에 있어서 경·위사의 밀도, crimp, cover factor, 직물의 두께, 무게 등은 경·위사의 섬도, 직물의 패턴 등과 더불어 직물의 특성을 나타내는 기본적인 인자들이며 이러한 직물 구성 인자간의 관계에 대하여 Peirce의 연구[1] 이래 많은 연구가 이루어져 왔다.

그러나 이러한 인자들을 실제로 측정하기 위해서는 직물을 자르거나 분해하여야 하며, 측정에 많은 시간이 소요되고, 측정 방법이나 기기 또는 측정자에 따라 측정치에 차이가 나는 등의 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 최근 컴퓨터와 전자 기술의 발달에 따라 섬유 공업의 여러 분야에서도 연구, 이용되고 있는 디지털 화상 분석 기술과 기존의 cloth geometry를 이용하여 이러한 직물 구성 인자를 객관적이고 신속하게 측정, 계산할 수 있는 시스템을 개발하고 이를 통해 측정한 값을 실측치와 비교하였다.

2. 본 론

2.1 화상 분석 시스템의 구성과 이미지 전처리

직물의 이미지는 줌 렌즈가 부착된 CCD 카메라를 사용하여 획득하였으며, 이에 연결된 PC에서 화상 처리와 분석을 시행하였다.

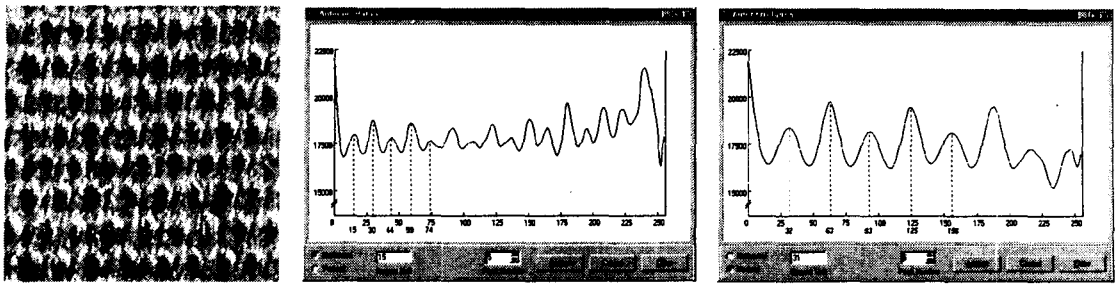
이미지의 전처리 단계로서 획득된 이미지를 회색화한 후, 이미지 획득시의 노이즈를 제거하기 위하여 Gaussian filtering을 시행하고, 이미지의 대비(contrast)를 증진시키기 위하여 히스토그램 균등화(histogram equalization)를 시행하였다.

2.2 경·위사 밀도

경·위사간의 거리를 구하기 위하여 자기 상관 함수(autocorrelation function)를 사용하였다. 자기 상관 계수 $C_{\Delta x,\Delta y}$는

$$C_{\Delta x,\Delta y}=\left(\sum_{i=\Delta x}^{M-1}\sum_{j=\Delta y}^{N-1} G_{i,j}\, G_{i-\Delta x,j-\Delta y}\right)\Big/\Big[(M-\Delta x)(N-\Delta y)\Big] \qquad (1)$$

로서, 여기서 $G_{i,j}$는 이미지의 (i,j) 좌표의 회색값이며 M, N은 각각 이미지의 가로, 세로 픽셀 수이다. Δx, Δy에 따라 자기 상관 계수를 구하면 Fig. 1에서와 같이 경·위사간 거리의 배수마다 피크가 나타나므로 이로부터 경·위사간 거리와 경·위사 밀도를 측정한다.

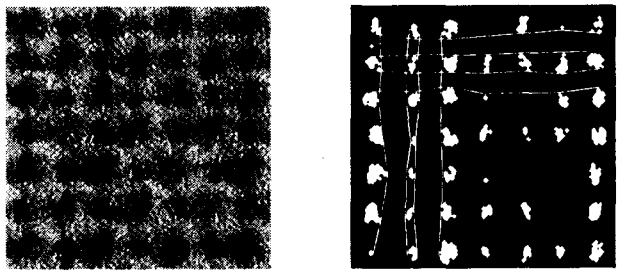


(a) Fabric image (b) Warp direction (c) Weft direction

Figure 1. Yarn spacing measurement using autocorrelation function

2.3 경·위사 지름 및 Cover Factor

Fig. 2와 같이 이미지를 thresholding하여 이원화된 이미지를 얻고 이를 수축, 확장한 후 남은 흰 영역의 끝을 연결하여 두 선 사이의 평균 거리로서 경·위사의 지름을 결정하였다. 이렇게 얻은 지름과 앞서 얻은 경·위사간 거리로부터 cover factor를 계산할 수 있다.



(a) Fabric image (b) Binary image

Figure 2. Yarn diameter measurement

2.4 Crimp

직물 상태의 경·위사에는 서로간 압력의 작용으로 표면이 평평해지는 flattening 현상이 일어나게 되는데, 이때 변형된 단면을 타원 또는 반원과 직사각형으로 이루어진 race-track 형태 등으로 가정한다[2]. 본 연구에서는 변형 전의 단면을 원형, 변형 후의 단면을 race-track 형으로 가정하고 cloth geometry를 이용하여 crimp를 계산하였다.

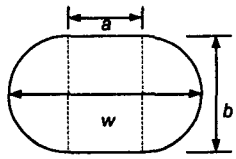


Figure 3. Race-track cross-section

원형 단면의 경우, 실의 지름 d는

$$d = \sqrt{\frac{40}{\pi} \frac{\text{tex}}{\text{yarn porosity} \times \text{fiber density}\,(g/cm^3)}} \times 10^{-2}(mm) \qquad (2)$$

이고, 변형 전후의 단면적이 같다면 앞서 측정한 실의 지름을 단면의 폭 w로 계산하여

$$b = \frac{2}{4-\pi}\left[w - \sqrt{w^2 + (\pi-4)\frac{\pi d^2}{4}} \right] \qquad (3)$$

$$a = w - b = \frac{2}{4-\pi}\left[\frac{2-\pi}{2}w + \sqrt{w^2 + (\pi-4)\frac{\pi d^2}{4}}\right] \tag{4}$$

와 같이 구할 수 있다.

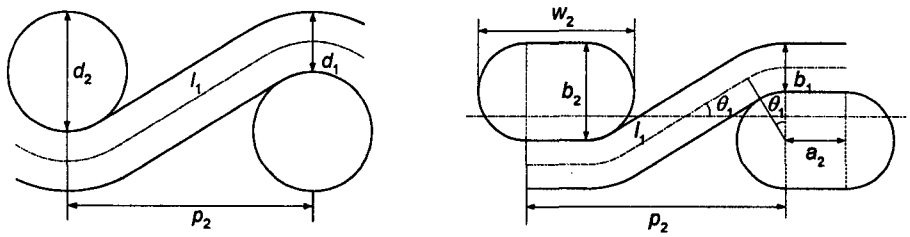


Figure 4. Diagram showing yarn flattening

Crimp의 정의와 Fig. 4로부터 crimp c_1을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$c_1 = \frac{l_1}{p_2} - 1 \tag{5}$$

$$l_1 = D\theta_1 + \frac{p_2 - D\sin\theta_1}{\cos\theta_1}, \quad D = b_1 + b_2 \tag{6}$$

2.5 직물의 무게와 두께

직물의 단위 면적 당 무게(g/m^2) w는 경사와 위사의 밀도(thd/cm) n_1, n_2, crimp c_1, c_2, 섬도(tex) ρ_1, ρ_2로부터 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} w &= \frac{\text{total length of yarn} \times \text{linear density}}{\text{fabric area}} \\ &= [n_1(c_1+1)\rho_1 + n_2(c_2+1)\rho_2] \times 10^{-1} \end{aligned} \tag{7}$$

직물의 두께는 Fig. 4에서 보듯이 변형된 후의 경사와 위사의 높이의 합으로 계산한다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에 사용한 직물 시료를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Fabric sample specification

sample number		1	2	3
material		cotton	polyester	wool
pattern		1×1 plain	1×1 plain	2/1 twill
linear density (tex)	warp	13.1	14.6	26.6
	weft	13.7	15.4	23.3

본 연구에서 개발한 시스템으로 측정한 직물 구성 인자 값을 실측치와 비교하기 위하여 경·위사의 밀도, crimp, 직물의 무게 및 두께를 각각 ASTM D 3775-85, D 3883-90, D 3776-85, D 1777-64에 의거 계측하였으며 그 결과를 Table 2에 비교하였다.

시스템 측정치와 실험에 의한 실측치를 비교한 결과 crimp와 두께를 제외하고는 좋은 일치 결과를 보였다. Crimp와 두께의 오차는 cloth geometry의 근사(近似)에 기인한 것으로 생각된다.

Table 2. Comparison of system calculated data with experimental value

sample number		1		2		3	
		calc.	exp.	calc.	exp.	calc.	exp.
density (thd/cm)	warp	56.9	56.9	41.5	41.5	41.6	41.1
	weft	27.5	28.2	33.5	32.9	26.6	26.7
diameter (mm)	warp	.156	.161	.184	.204	.225	.237
	weft	.191	.191	.209	.218	.239	.242
cover factor (%)	warp	88.5	91.6	76.5	84.7	93.5	97.1
	weft	52.5	53.8	70.1	71.8	63.5	64.7
crimp (%)	warp	2.832	6.557	4.827	6.241	3.238	6.662
	weft	6.327	7.030	6.555	7.305	2.791	12.426
weight (g/cm^2)		116.78	120.14	118.22	117.65	177.88	189.54
thickness (mm)		.176	.21	.190	.20	.295	.36

4. 결 론

직물을 분해하지 않고도 2차원 화상 분석과 cloth geometry를 이용하여 경·위사의 밀도, crimp, cover factor, 직물의 두께, 무게 등의 직물 구성 인자를 객관적이고 신속하게 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이러한 시스템은 직물의 품질 검사, 객관적 등급 평가, 생산 관리 등의 분야에 실용적으로 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고 문헌

1. Peirce, F. T., The Geometry of Cloth Structure, *J. Textile Inst.*, **28**, T45 (1937).
2. Kemp, A., The Extension of Peirce's Cloth Geometry to the Treatment of Non-circular Threads, *J. Textile Inst.*, **49**, T44 (1958).
3. Hearle, J. W. S., Grosberg P. and Backer S., Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics, John Wiley & Sons (1969).
4. Russ, J. C., The Image Processing Handbook 2nd ed., CRC Press (1995).