

# 부직포의 굽힘거동에 관한 해석

박태열, 전한용\*, 주창환\*\*

전북산업대학교 의류학과, \*전남대학교 섬유공학과, \*\*충남대학교 섬유공학과

## 1. 서론

부직포의 굽힘특성은 Freeston와 Platt에 의한 연구<sup>1)</sup>가 그 기초가 되었으며 여기에서는 구성섬유의 거동형태를 섬유운동이 자유로운 Complete Freedom 영역과 섬유운동이 제한되어 있는 No Freedom 영역에서의 이론적 모델이 제안되었다.

Lee와 Argon<sup>2, 3)</sup>은 여러종류의 결합패턴이 다른 부직포의 굽힘강성을 Freeston & Platt 이론과 Petterson의 fiber-web 이론을 병행하여 새로운 모델을 설정하였으나 그 적용에 있어서는 몇가지 문제점이 지적된다.

Patel과 Warner<sup>4)</sup>는 열융착 부직포의 굽힘강성에 대한 연구에서는 No Freedom 영역에서의 이론식에서 두께는 결합영역에서의 두께인데 비결합영역의 두께로 계산한 점과 굽힘강성의 실험치의 평균치를 MD, CD방향의 기하평균으로 환산하는 것과 unit cell내에 존재하는 섬유수의 계산에서 문제점이 나타났다.

따라서 본 연구에서는 굽힘강성을 평가할 수 있는 이론적 모델을 Freeston & Platt 이론<sup>1)</sup>을 근거로 하여 정립하고자 한다. 실제 이 이론은 fiber network 이론에 근거하여 설정되었으므로 부직포 결합패턴에 대한 메카니즘이 전혀 고려되지 않고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 고려하여 배향분포도, 섬유율수, 기여도에 대한 이론식을 설정하여 이론적 모델을 새롭게 정립하고 실험적 데이터에 근접하고자 한다.

## 2. 이론적 모델

### 2.1 No Freedom 영역의 굽힘강성(EI')

No Freedom 영역의 섬유는 완전히 결합되어 있으며 Freeston & Platt이론을 이용하여 Lee와 Argon<sup>2)</sup>은 No Freedom 영역에서의 굽힘강성(EI')

$$EI' = \frac{E_F t^3}{12}$$

여기서,  $E_F$ 는 부직포의 초기강성률이며  $t$ 는 부직포 두께이다.

### 2.2 Complete Freedom 영역의 굽힘강성(EI'')

Freeston와 Platt는 Complete Freedom 영역의 섬유운동은 완전히 자유로워 섬유의 배향분포도와 굽힘과 비틀림특성이 굽힘강성에 큰 영향을 미치며 Complete Freedom 영역에서의 굽힘강성을 다음과 같이 나타내었다.

$$EI'' = N_f \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \phi(\theta) (E_f I_f \cos^4 \theta + G_f I_p \sin^2 \theta \cos^2 \theta) d\theta$$

여기서,  $N_f$ 는 단위면적 내의 섬유율수이며  $E_f$ 는 섬유의 초기강성률,  $\phi(\theta)$ 는 섬유의 배향분포도,  $G_f$ 는 섬유의 전단강성률로서  $E_f/(2(1+\nu))$ 와 동일하며  $\nu$ 는 섬유의 포아슨비이다. 또한,  $I_p$

는 섬유단면의 극2차 모멘트로서  $2I_f$ 와 동일하며  $I_f$ 는 2차 모멘트이다.

그런데 굽힘은 소변형에서 발생하기 때문에  $\nu$ 는 거의 0에 접근하여  $G_f$ 는  $E_f/2$ 가 되며  $\sin^2\theta$ 는  $(1-\cos^2\theta)$  이므로  $EI''$ 는 다음과 같이 전개된다.

$$EI'' = N_f E_f I_f \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \phi(\theta) \cos^2 \theta d\theta$$

### 2.2.1 섬유의 배향분포도( $\phi(\theta)$ )

섬유의 배향분포도는 0(radian)을 기준으로  $-\pi/2$ 에서  $+\pi/2$  구간에서 cosine 형태의 좌우 대칭형태를 나타내므로 배향분포도는 다음과 같이 응용이 가능하도록 Hearle과 Ozsanlav<sup>5)</sup>의 이론식을 수정한다.

$$\phi(\theta) = A + B \cos^n \theta$$

여기서, A와 B는 상수이며 n은 실험치에 접근하는 상수로서 실험식으로부터 구하게 되는 데 결국 A, B를 구하는 경계조건은 배향분포도의 radian이 0 또는  $\pm\pi/2$ 인 경우이다.

### 2.2.2 단위면적당 섬유율수( $N_f$ )

한 섬유의 평균길이당 중량을  $w_f$ 라고 하고 여기에 섬유율수( $N_f$ )를 곱하면 단위면적당 섬유 전체의 중량( $W_f$ )이 된다. 여기서 섬유의 배향분포가 Fig.1(A)와 같이 있다고 할 때, 구성섬유의 평균길이( $l$ )는 Fig.1(B)와 나타낼 수 있어  $\langle l \rangle$ 을 구할 수 있다. 이로부터 섬유밀도( $\rho$ ), 섬유직경( $d$ ), 단위면적의 반경( $a$ )을 고려하면 단위면적당 섬유율수는 다음과 같이 구해진다.

$$N_f = \frac{W_f}{\rho a d^2}$$

### 2.3 굽힘강성에 미치는 기여도(K)

굽힘강성에 미치는 기여도를 평가하기 위해서는 단위면적과 결합점크기를 결정하여야 한다. 이를 위해 1회 반복되는 결합패턴의 면적을 단위면적(정사각형)으로 계산하고 결합점 크기를 단위면적당 존재하는 작은 정사각형으로 배치한다.

부직포는 구조상 결합점 사이가 가까울수록 그 사이에 존재하고 있는 섬유는 부직포가 굽힘거동을 할 때 그 운동은 구속될 가능성이 크다. Fig.2는 정사각형으로 환산된 결합점의 위치를 나타낸 것으로 원점으로 부터 가장 가까운 결합점까지의 거리를 L이라 하고 정사각형으로 환산된 결합점의 한변을 H이라고 하면 원점과 결합점사이에 존재하는 영역이 부직포의 굽힘강성에 미치는 기여도(K)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K = H/L$$

이 기여도는 단위면적( $L^2$ )에서 원점과 결합점을 잇는 삼각형 면적(LH)에 대한 비로서 정의 하며 이에 대한 고려는 선행의 연구결과에서 나타난 이론치와 실험치의 편차를 줄일수 있는 가장 중요한 인자라고 평가된다.

### 3. 굽힘강성 계산

부직포의 굽힘강성은 No Freedom과 Complete Freedom 영역으로 구성된 섬유거동에 의해 결정된다. 그러나 Complete Freedom 영역에서 No Freedom 영역에 가까이 존재하는 섬유들은 No Freedom 영역에서와 같은 거동을 하는 것이 경험적으로 알려져 있으며 이것이 기여도

이며 최종적인 부직포의 굽힘강성(EI)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$EI = EI' \cdot K + EI''(1-K)$$

따라서 궁극적으로 기여도(K)는 No Freedom 영역의 굽힘강성에 미치는 계수이며 Complete Freedom 영역에 미치는 계수는 (1-K)이다.

#### 4. 결론

부직포의 굽힘강성에 대한 이론적 고찰을 위해 Freeston과 Platt 모델을 기초로 하여 구성 섬유 배향분포도와 단위면적당 섬유율수, 기여도를 이론적으로 재정립하였으며 굽힘강성의 최종적인 이론적 모델을 유도하여 실험적 데이터에 근접하고자 한다.

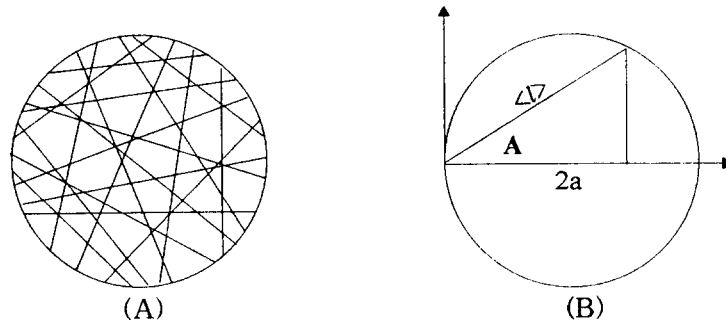


Fig.1 Fiber orientation distribution(A) and average fiber length(B) in the unit cell.

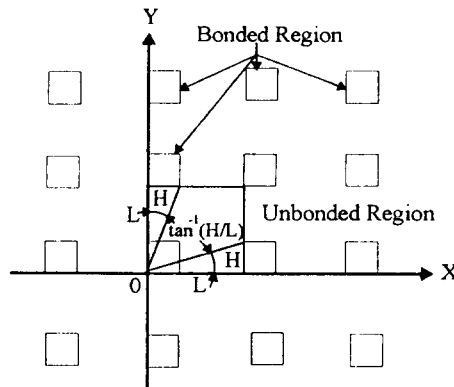


Fig.2 Modified unit cell pattern and contribution Factor(K).

#### 참고문헌

1. W.D. Freeston and M.M. Platt, *Text. Res. J.*, 35, 48(1965).
2. S.M. Lee and A.S. Argon, *J. Text. Inst.*, 74, 1(1983).
3. S.M. Lee and A.S. Argon, *J. Text. Inst.*, 74, 12(1983).
4. S.V. Patel and S.B. Warner, *Text. Res. J.*, 64, 507(1994).
5. J.W.S. Hearle and V. Ozsanlav, *J. Text. Inst.*, 70, 487(1979).