

Peirce 모델을 이용한 직물의 역학적 거동에 관한 연구

전소연, 전봉수
성균관대학교 섬유공학과

A Study on the Mechanical Properties of Woven Fabric employing Peirce Model

So Yeon Chun and Boong Soo Jeon

Department of Textile Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, Korea

1. 서 론

직물의 역학적 거동은 실의 역학적 특성과 직물의 구조적 특성에 의존한다. 직물의 구조적 특성에 관한 연구로는 Peirce[1]가 원형 단면의 모델을 제안하면서부터 시작된 이래 이 모델을 기본으로 한 여러 가지 기하학적 모델에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 지금까지 많은 모델이 제시되었지만 아직까지도 Peirce의 구조 모델이 직물의 역학적 거동은 물론 직물의 표현 방법으로 많이 사용되고 있다. 이와같이 Peirce의 구조 모델은 다양한 방법으로 응용될 수 있지만 구조를 나타내는 수학적식이 복잡하여 모델의 적합성 검증에는 많은 제한이 있었다. 특히 역학적 거동을 예측하기 위해서 이 모델을 사용하는 경우에는 더욱 복잡한 식으로 구성되기 때문에 연구 결과가 발표된 사례가 많지 않았다. 일반적으로 기하학적 모델로부터 역학적 거동을 예측하기 위한 접근 방법으로는 힘의 평형을 이용하는 방법과 에너지 방법이 있다. 이 중 에너지 방법은 다양한 직물 구조와 여러 형태의 변형들에 대한 관계를 보다 간단하게 접근할 수 있는 방법이다.[2,3] 그러므로 본 연구에서는 Peirce의 기하학적 모델에 에너지 방법을 적용하여 직물의 역학적 특성을 예측하고자 한다.

2. 이 론

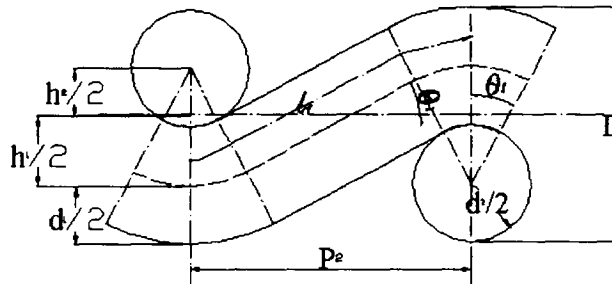


Figure 1. Peirce model

Figure 1에서 처럼 Peirce 모델의 직물은 원형 단면의 경사와 위사가 직선 부분과 원호 부분으로 서로 교차되어 있다. 이러한 구조는 식(1)로서 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 x &= (\ell_1 - D \theta_1) \cos \theta_1 + D \sin \theta_1 \\
 y &= (\ell_2 - D \theta_2) \cos \theta_2 + D \sin \theta_2 \\
 h_1 &= (\ell_1 - D \theta_1) \sin \theta_1 + D (1 - \cos \theta_1) \\
 h_2 &= (\ell_2 - D \theta_2) \sin \theta_2 + D (1 - \cos \theta_2) \\
 h_1 + h_2 &= D \\
 D &= d_1 + d_2
 \end{aligned} \tag{1}$$

이 구조물이 변형을 받은 후에도 동일한 구조의 직선과 원호 부분을 유지한다고 하면 식(2)와 같은 형태가 된다.

$$\begin{aligned}
 x &= (\ell_1 - D \theta_1) \cos \theta_1 + D \sin \theta_1 \\
 y &= (\ell_2 - D \theta_2) \cos \theta_2 + D \sin \theta_2 \\
 h_1 &= (\ell_1 - D \theta_1) \sin \theta_1 + D (1 - \cos \theta_1) \\
 h_2 &= (\ell_2 - D \theta_2) \sin \theta_2 + D (1 - \cos \theta_2) \\
 h_1 + h_2 &= D \\
 D &= d_1 + d_2
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 변형된 후에 실의 부피변화가 없다고 가정하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_1 = d_1 \sqrt{\frac{\ell_1}{\ell_1}}, \quad d_2 = d_2 \sqrt{\frac{\ell_2}{\ell_2}} \tag{3}$$

식(1), (2), (3)과 에너지 방법을 이용하여 유도한 식은 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 F_x + F_y \frac{\partial y}{\partial x} &= \frac{\partial E}{\partial \theta_1} \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + \frac{\partial E}{\partial \theta_2} \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial x} \\
 F_y \frac{\partial y}{\partial \ell_1} &= \frac{\partial E}{\partial \ell_1} + \frac{\partial E}{\partial \theta_1} \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial \ell_1} + \frac{\partial E}{\partial \theta_2} \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial \ell_1} + \frac{\partial E}{\partial D} \cdot \frac{\partial D}{\partial \ell_1} \\
 F_y \frac{\partial y}{\partial \ell_2} &= \frac{\partial E}{\partial \ell_2} + \frac{\partial E}{\partial \theta_1} \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial \ell_2} + \frac{\partial E}{\partial \theta_2} \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial \ell_2} + \frac{\partial E}{\partial D} \cdot \frac{\partial D}{\partial \ell_2}
 \end{aligned} \tag{4}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 크립프가 인장특성에 미치는 영향

크립프는 직물의 역학적 특성을 결정하는 중요한 변수 중의 하나이다. Figure 2은 Ne30의 경·위사로 경·위사 직물밀도가 각각 60올/in인 직물에서 크립프가 인장특성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 크립프가 증가할수록 변형률에 대한 하중은 작아짐을 보이고 있다.

3.2 실의 초기 탄성 계수가 인장특성에 미치는 영향

실의 초기 탄성 계수가 직물의 인장특성에 미치는 영향을 Figure 3에서 볼 수 있

다. Ne30의 경·위사로 경·위사 직물밀도가 각각 60올/in인 직물에서 실의 탄성 계수가 100, 150, 200인 경우 나타난 것으로 변형률이 커짐에 따라 직물의 modulus는 커지는 것으로 나타났다. 또한 실의 탄성 계수가 커질수록 변형률에 대한 곡선의 변화폭이 더 큰 것으로 나타났다.

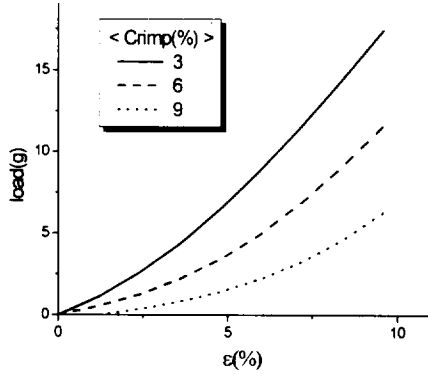


Figure 2. Load vs. strain as a function of crimp.

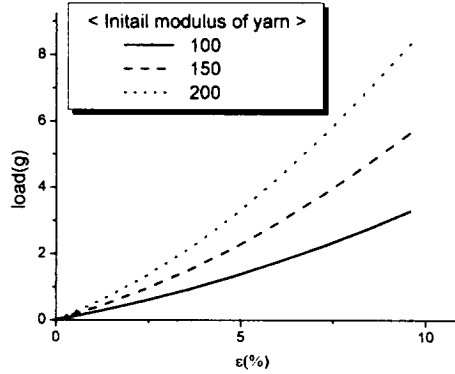


Figure 3. Load vs. strain as a function of initial modulus of yarn.

3.3 실의 굽힘 강성이 인장특성에 미치는 영향

실의 굽힘 강성이 직물의 인장특성에 미치는 영향을 Figure 4에 나타냈다. Ne30의 경·위사로 경·위사 직물밀도가 각각 60올/in인 직물에서 굽힘 강성이 0.0003, 0.00045, 0.0006로 증가함에 따른 직물의 인장거동을 나타냈다. 굽힘 강성은 인장 거동에 크게 영향을 주지 않았다.

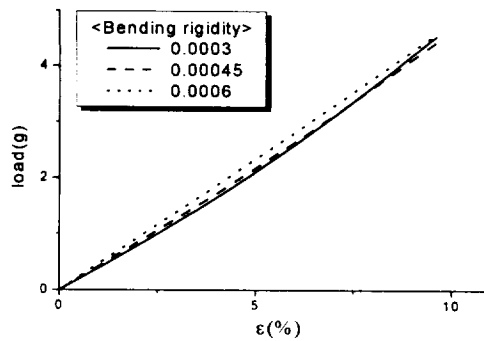


Figure 4. Load vs. strain as a function of bending rigidity.

3.4 직물의 인장 성질을 측정하는 방식이 인장특성에 미치는 영향

직물의 인장거동을 측정하는 방법에는 직물의 폭방향으로는 하중이 걸리지 않도록 하중이 길이방향으로만 인장시키는 1축 인장방식과 직물의 폭방향으로는 인장되지 않도록 하중을 가하면서 길이 방향으로 인장시키는 2축 인장방식이 있다. Figure 5는

두 방법을 나타낸 결과이다. Ne 30이고, 직물밀도 30올/in인 직물을 2축 인장 방식으로 인장시켰을 경우가 1축 인장방식으로 인장시켰을 경우보다 변형률에 대한 하중이 더 크게 나타났다.

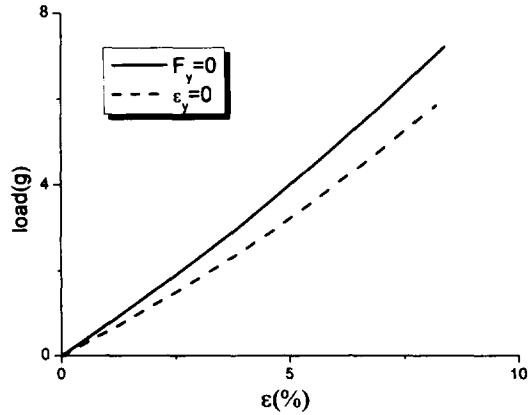


Figure 5. Load vs. strain with the different test methods.

4. 결론

Peirce 모델을 사용하여 직물의 역학적 거동을 예측하기 위하여 에너지 방법을 이용하여 직물의 인장 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직물의 인장거동시 구조적 특성인 크립프는 커질수록 변형률에 대한 하중이 작아진다.
2. 직물의 인장거동시 실의 역학적 특성인 초기 탄성 계수가 커질수록 변형률에 대한 하중이 커진다.
3. 직물의 인장거동시 실의 역학적 특성인 굽힘 강성은 변형률에 대한 하중에 크게 영향을 미치지 못한다.
4. 직물의 인장시 1축 인장 방식보다 2축 인장 방식인 경우 변형률에 대한 하중이 더 크게 나타났다.

5. 참고 문헌

1. F.T.Peirce, J. Text. Inst., 28, T45 (1937)
2. J.W.S.Hearle and W.J.Shanahan, J. Text. Inst., 69, 81 (1978)
3. W.J.Shanahan and J.W.S.Hearle, J. Text. Inst., 69, 92 (1978)