

경편물 복합재료의 역학적 특성

신은호, 서문호

건국대학교 섬유공학과

Mechanical Properties of Warp Knit Reinforced Composites

Eun-Ho Shin, Moon Hwo Seo

Department of Textile Engineering, Konkuk University, Seoul, Korea

1. 서론

섬유강화 복합재료는 상대적으로 아주 높은 질량 대비 탄성계수를 가지고 있으므로 경량화 할 필요가 있는 물체나 관성력이 최소로 요구되는 부분에 사용되고 있다. 대부분의 복합재료판들은 고탄성-저신도 섬유를 사용하여 만든 단층의 복합재료를 그 배향 방향을 조절하여 원하는 방향 특성으로 접근한다. 그러나 다층으로 만들어 2차원의 등방성 소재로 만들어 사용하고 있다. 그러나 이러한 경우에는 여러 층을 결합하여야 하는 번거로움과 두께의 제약 등이 있다. 이러한 면에서 PCB 기판 등의 경우는 직물을 이용하는 방법 등을 사용한다. 이러한 직물 역시 경위 2 방향으로 배열되어 있어서 한정적인 특성을 가지고 있다. 이에 비해서 편성물은 루프구조로 이루어져 있기 때문에 정도는 서로 다르지만 전 방향으로 배향을 가지고 있어서 단층 직물 복합재료에 비해 전혀 다른 탄성특성을 보인다[4,5,6,7].

본 연구에서는 직물과는 그 미세 구조가 서로 다른 경편성물을 모형으로 하여 복합재료에 대한 이론적 탄성계수와 구해 보았다. 경편성 구조의 모형으로는 엘라스티카 이론을 사용한 Grosberg[1]의 제 1 모형을 이용하여 각 변화 조건에서의 효율인자, 탄성계수, 변형 등을 예측하여 보고 이를 실험 결과와 비교해 보았다.

2. 경편성물의 루프 엘라스티카 모형

경편성물에 대한 모형으로는 여러 연구자들의 모형이 있으나 본 연구에서 사용한 모형은 Fig. 1과 같은 단순 엘라스티카(simple slatica)를 이용한 Grosberg의 제 1 모형[1]을 참조하여 경편물의 구조를 모델링 하였다.

이 모형의 구체적인 특징은 경편의 루프부분은 엘라스티카이며 나머지 부분은 직선으로 이루어져 있다. 즉 Fig 1에서 CBA 부분이 루프 부분이다. 이의 구조는 초기에 직선 상이던 CBA부분이 양단에서 동일 선상에서 반대 방향의 힘 P를 받아서 생기는 구조모형이다. 이 압축력에 의해 우선 벡클링이 시작되고 계속해서 변형할 경우

얻어지는 곡선의 모양이 엘라스티카 곡선이며 경편의 경우 양단인 C점과 A점이 한계점까지 접근하게된다. 이 모형을 설명하기 위해 설정한 좌표계로서 웨일 방향은 x축, 코스 방향은 y축으로 하였다.

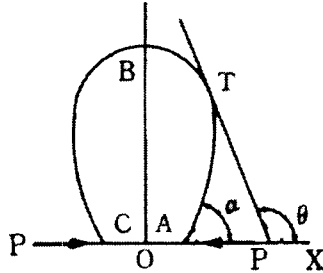


Fig. 1 The Simple Elastica

여기서

T = Elastica 上의 임의의 한점

θ = T점에서의 접선이 X축과 이루는 각

α = A점에서의 접선이 X축과 이루는 각

B = 섬유의 굽힘 강성

이다.

여기에 강성 보(beam)의 굽힘 관계를 대입하여 위치 T에서 압축력 P에 해당하는 모멘트 M에 의한 국부적인 굽힘 곡률을 ρ 로 두어 엘라스티카 식을 유도하였다. 그 결과는 제1종 및 제2종 완전 타원함수를 포함한 좌표 값이 얻어진다.

본 연구에서는 수치해석 방법을 사용하여 수치 적분하여 위의 엘라스티카에 대한 해를 구하였다. 본 연구에 사용한 경편 모형은 양단이 같이 합치는 엘라스티카 루프와 래핑(lapping)부분이 직선인 모형을 사용하였다.

3. 모형의 효율인자

단섬유 복합재료나 일축 방향으로 배향시킨 장섬유 복합재료는 섬유의 배향에 따라 지탱할 수 있는 힘의 크기 및 탄성계수가 다르며 기준 축에 대한 기울기가 α 인 경우 기준 축 방향에 대한 기운 섬유의 탄성계수의 비는 $\cos^4 \alpha$ 가 되고 이는 바로 효율인자(efficient factor)로 정의된다. 이 개념을 곡선에 도입하여 임의의 곡선에서 x, y 위치에서 각 미세 부분이 기준 축과 이루는 각을 $\alpha(x, y)$ 라고 한다면 전 곡선의 평균 효율인자는 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\eta = \overline{\cos^4(\alpha)} = \frac{1}{L} \int \cos^4(\alpha) dL \quad (6)$$

단, L은 섬유 전체 길이이다.

실제 경편물의 미세구조는 루프부분과 래핑부분의 결합으로 이루어져 있으며 조직

의 타이트한 정도에 따라 래핑부분의 장력에 따라 루프부분의 배향이 제편 진행 방향에 대해 어느 정도 기울어져 있다. Fig 2는 트리코트 (1/1)조직의 루프의 회전전후의 모형이다. 이 모형을 사용하여 복합재료의 인장 변형곡선을 추정해 보기 위하여 코스 방향으로 동일한 변형률을 가하였을 때의 효율인자의 변화를 루프의 기울기에 따라 구해 보았다.

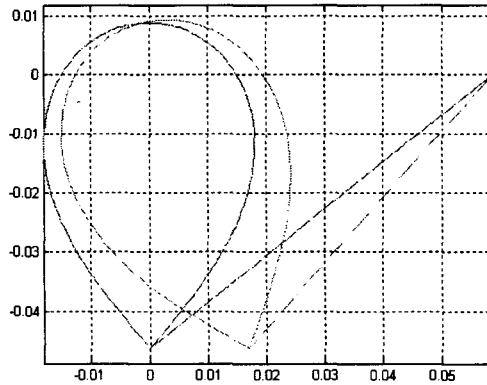


Fig. 2 Tricot(1-and-1) Warp Knit Model

이 계산을 위하여 사용한 시료의 조건은 실의 섬도를 55데니어, 웨일과 코스의 밀도를 43.2/in와 54.9/in,를 사용하였으며 매트릭스의 포아송비(ν)를 0.3으로 가정하였다.

편성 단위 구조는 루프부분과 직선부분인 래핑으로 이루어져 있으므로 루프의 인장에 따른 효율인자들을 계산해 보았다. Fig. 3a의 결과는 인장에 따라 효율인자는 지수함수 형식으로 증가하나 기울기의 각이 커지면 효율인자가 감소라고 있다. 이에 비해서 단위 구조 전체를 감안하면 Fig. 3b와 같이 효율인자는 반대로 증가하는 경향을 나타내었다.

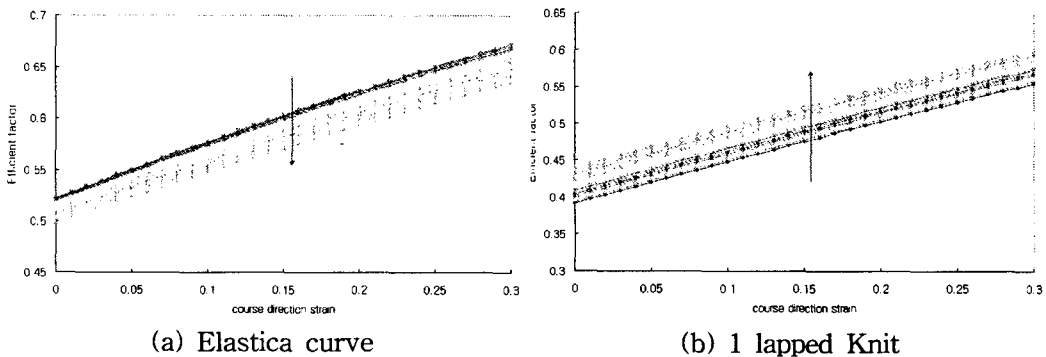


Fig. 3 Efficient factor

이 결과는 회전에 의해 엘라스티카 부분의 효율인자 값이 떨어지지만 상대적으로 래핑 부분의 효율인자 증가 정도가 커져서 나타나는 현상으로 보인다. 경편의 구조에

서 중요한 래핑의 수 변화 역시 효율인자에 크게 영향을 미친다.

Fig 4a는 코스방향의 인장에 대한 코스방향의 효율인자이며 Fig 4b는 웨일 방향으로의 인장에 따른 코스방향의 효율인자이다. 코스 방향 인장의 경우 인장에 따라 코스방향 효율인자가 증가하며 웨일방향의 인장의 경우 코스방향 효율인자가 저하하고 있다. 특히 두 경우 모두 래핑수가 커지면 코스방향 효율인자는 줄어든다.

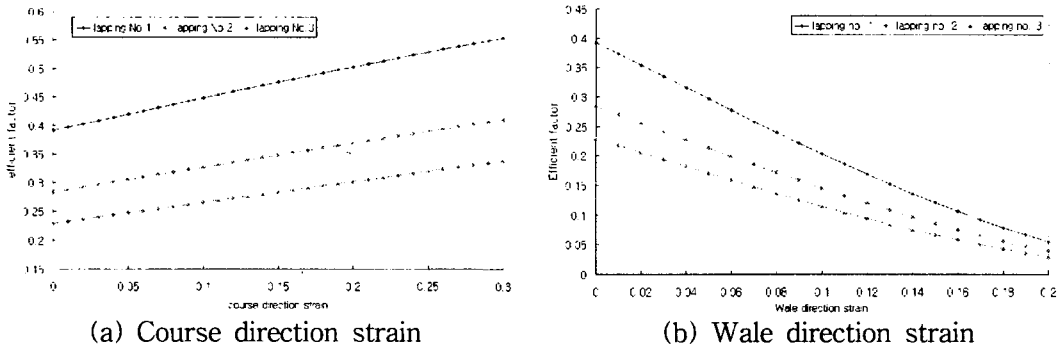


Fig. 4 Efficient factor of 1, 2 and 3 lapped Warp Knit

4. 결론

- 1) 엘라스티카 모형을 사용한 경편 모형은 경편 복합재료의 탄성거동을 예측할 수 있게 해 준다
- 2) 경편 모형에서 루프부분의 기우는 정도가 크면 클수록 효율인자는 커진다.
- 3) 래핑이 많아지면 코스방향의 효율인자가 저하한다.

5. 참고문헌

- 1) G.A.V. Leaf, *J. Text. Inst.*, **44**, T49(1960)
- 2) S.P. Timoshenko. J. M. Gere,, "Theory of Elastic Stability", 2nd ed., pp.76~82, McGraw, 1983.
- 3) B. Gommers, I. Verpoest and Van Houtte, *Composites Science and Technology*, **56**, 685 (1996)
- 4) B. Gommers, I. Verpoest and Van Houtte, *Composites Part A* **29A**, 1579 - 1588 (1998)
- 5) B. Gommers, I. Verpoest and Van Houtte, *Composites Part A* **29A**, 1589 - 1601 (1998)
- 6) B. Gommers, I. Verpoest and Van Houtte, *Journal of Composite Materials*, **32**, No 4, 310 - 334 (1998)