

적층 부직포의 역학적 이방성에 관한 연구

김동환, 이승윤, 서문호

건국대학교 공과대학 섬유공학과

1. 서론

부직포의는 그 구조조건의 특징으로 인하여 역학적 특성을 규명하기 힘든 물질에 속한다. 그러나 산업용 부직포와 같이 그 역학적 특성이 요구되는 부분에서는 오프닝-카딩공정에서 얻어진 단층웹을 크로스레이드 시켜 어느 정도의 등방성을 부여한 뒤 니들펀칭이나 화학적 방법으로 접착시켜 사용한다. 본 연구에서는 아크릴 접착제를 사용하여 제조한 이방성이 뚜렷한 단층 심지용 부직포를 사용하여 부직포의 적층시에 나타나는 역학적 이방성을 복합재료의 이방성 측정에서 사용되는 관계식을 적용시켜 보았다.

부직포의 역학적 이방성에 관한 연구를 위하여 일단 부직포를 섬유복합재료로 보고 다음과 같은 가정을 하고 부직포의 진행방향에 각 θ 만큼 비직각방향의 탄성계수 E_{θ} 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[1].

- 1) 부직포는 연속체(continuum)이며 단일층이다.
- 2) 변형을 포함한 전영역에서 Hooke의 법칙을 따른다.
- 3) creep가 없다.
- 4) hysteresis가 없다.
- 5) small strains

$$\frac{1}{E_{\theta}} = \frac{\cos^4 \theta}{E_L} + \frac{\sin^4 \theta}{E_C} + \left[\frac{4}{E_{45}} - \frac{1}{E_L} - \frac{1}{E_C} \right] \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta \quad \text{---- (1)}$$

E_L : 기계방향의 modulus

E_C : 폭방향의 modulus

E_{45} : 45° 방향의 modulus

2. 실험

본 연구에서 사용한 단층 부직포는 비스코스레이온과 PET섬유를 혼성한 단층 부직포로서 단위 면적당 중량 26g/m^2 이며 접착제로는 아크릴 수지를 사용한 것이다(Xetex사의 제품번호 K-9200-11). 이 시료의 한 쪽면에 접착제가 점의 형태로 묻어 있어서 직물의 심지로서 접착할 수 있게 되어 있다. 본 실험에서의 적층은 이 접착제에 의해 이루어 졌다.

적층시료의 준비는 기계방향과 비직각방향으로 교차시켜 배향시킨 부직포를 4층으로 짤아 시험접착기로 130°C 에서 10초간 3kg/cm 의 압력을 가하여 접착시켰다. 적층각은 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° 로 하였다.

인장시험은 단층 부직포와 7종류의 적층부직포에서 $2\text{cm} \times 16\text{cm}$ 인 시료를 부직포의 길이 방향에 대하여 15° 간격, 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° 인 7종류의 시료 각 3개씩 준비하였다. 각각의 시료가 부직포의 길이 방향에 대해서 이루는 각을 실험각으로 하였다. 얻어진 힘-변형곡선 결과들을 분석하기위해 각 변형에서의 접선기울기(탄젠트 모듈러스)를 구하여 E_t 를 식(2)와 같이 정의 하였다.

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \text{-----(2)}$$

탄젠트 모듈러스의 물리적인 의미로는 각 변형율에서 외력에 대응하는 부직포의 내부구조물의 밀도를 나타낸다. 변형율 제로에서의 탄젠트 모듈러스의 값이 초기탄성계수가 된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 단층부직포의 거동

Fig 1a는 기계방향을 기준으로 하여 그림에 표시된 각도만큼 비껴서 측정된 단층 부직포의 응력-변형률 곡선이다. 비껴 각도 0° 와 15°의 경우는 변형률 10%이후까지 응력이 증가하다가 항복하는 현상을 보이며 그 변화도 완만한 것을 알 수 있다. 이 결과들은 비껴 측정각이 15도가 넘으면 힙-변형률곡선이 현저하게 변하며 그이상의 비껴측정각에서는 많은 차이를 보이지 않는다. 즉 이 경우는 초기와 후기를 나누는 항복현상이 나타났으며 잔류 변형 시험을 해 본 결과 초기 변형은 탄성변형이나 나중변형은 소성변형임을 증명할 수 있었다. 힙-변형특성을 부직포를 이루는 섬유들의 구성상태와 비교하기 위해서 탄젠트 모듈러스를 계산해 본 결과인 Fig. 1b는 최고 탄성계수를 보이는 변형율은 초기가 아니라 변형율이 어느정도 커졌을 때 임을 보여 주었다. 즉 부직포의 구조가 응력에 의해 섬유의 배향이 증가하되 접착제가 항복하지 않은 시점에서 가장 높은 탄성계수를 보임을 알 수 있다.

3.2. 적층 부직포의 거동

각 적층부직포 시료들의 힙-변형률 곡선은 비껴측정각이 0도일 경우의 결과들은 접착각도가 증가하면 힙 변형률 곡선의 항복점이 급격히 낮아져 단층 부직포와 유사하게 보인다. 그러나 항복 및 절단 변형율이 상대적으로 아주 크다. 적층부직포의 이러한 특성을 단층부직포의 특성과 비교하기 위하여 적층시킨 부직포에 해당하는 조합의 응력-변형률 곡선을 결합시켜 이에 대응하는 적층 응력-변형률 곡선과 비교해 보았다. 이 결과들은 적층 부직포가 아주 높은 강도와 항복 강도를 보인다. 이러한 차이는 층간 접착제가 부직포를 구성하는 섬유들의 접착력을 올려서 외력을 견디는 성분의 양이 많아지고 이러한 결과는 탄젠트 모듈러스의 결과에서도 보여 주었다.

적층 부직포 역시 초기 탄성계수보다 변형율이 어느 정도 되었을 때 최대 탄젠트 모듈러스를 나타내었다. 이 두 수치는 그 값이 낮을 때는 좋은 상관관계를 보이나 값이 커지면 상관성이 떨어진다. 적층 부직포의 탄성계수와 단층부직포의 탄성계수를 비교하기 위해서 식(1)을 사용하여 단층 및 적층부직포의 각 비껴각에서의 초기 탄성계수와 최대탄성계수를 실험 결과와 계산치를 비교하여 보았다. Fig. 2a는 단층부직포의 이방성을 실험결과와 계산값을 비교해 본 결과이다. 이 결과는 실험치와 계산값이 거의 비슷한 값을 보여주고 있다. Fig. 2b는 적층각이 0도인 부직포의 경우로서 이 경우는 단층과 유사한 경향을 보인다. 이에 비해서 Fig. 2c처럼 적층각이 45에 가까울수록 실험치와 계산치는 멀어진다. 만약 부직포를 복합재료와 같은 구조로 본다면 이러한 차이가 날 수가 없다.

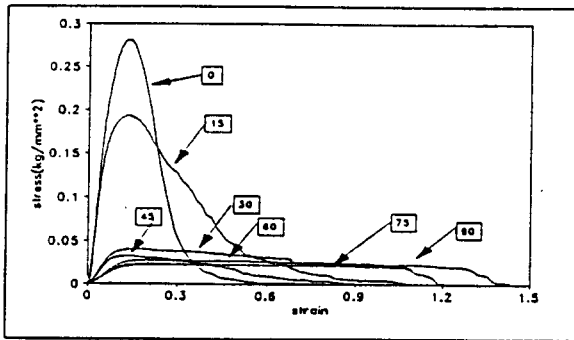


Fig. 1a

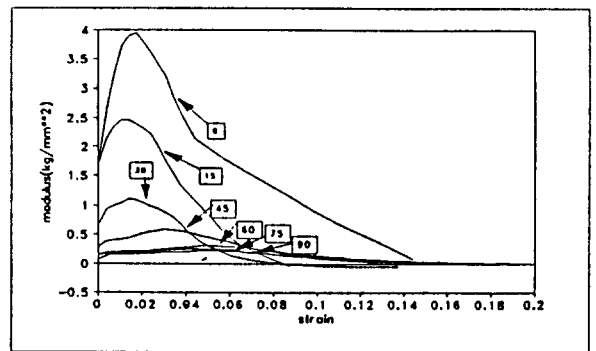
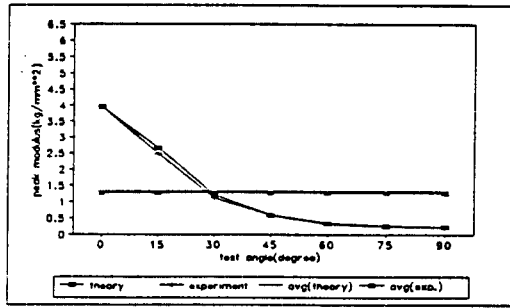
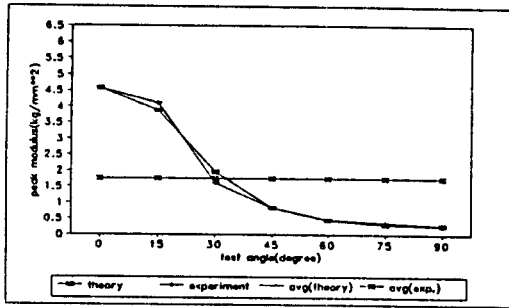


Fig. 1b

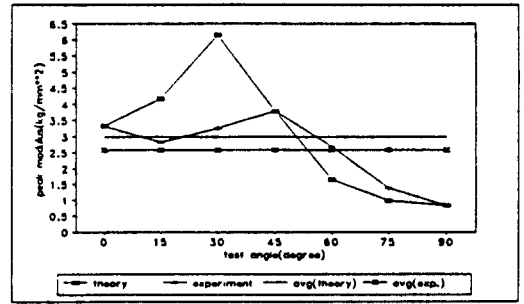
Fig. 1a, 1b Stress-Strain Relationships and Tangent Modulus of Single Layer Nonwoven Fabric Tested at Skewed Angle Marked on the Curves



(a)



(b)



(c)

Fig 2a,b,c Comparison of Theoretical and Experimental Modulus of Multilayered Nonwoven Fabrics(a: single layer-0, b: multilayer-0, c: multilayer-45)

4. 결론

- 1) 일축 배향된 단층부직포의 인장거동은 인장실험방향에 의존한다. 인장실험방향과 배향방향의 각이 30도가 넘으면 항복현상이 뚜렷이 나타난다. 항복점 이전의 거동은 섬유들의 거동에 의존하고 항복점 이후는 접착제의 거동에 의존한다.
- 2) 단층 부직포에서 최대 탄젠트 탄성계수는 실험각이 30도 까지는 2% 신도 부근에서 나타나며 각이 커지면 최대 탄젠트 탄성계수점 신도가 커진다.
- 3) 단층 부직포에서 각 실험각에서의 최대 탄젠트 탄성계수값은 초기탄성계수보다 이론식에서 예측한 경향과 상대적으로 더 일치한다. 이 결과로 유추하면 부직포의 인장시 최대 탄젠트 탄성계수 신도까지 부직포의 섬유들의 배향이 증가함을 알 수 있다.
- 4) 적층부직포의 경우 각 실험각에서의 최대탄성계수값의 경향은 0도와 90도 적층시는 이론식의 경향과 거의 일치하나 45도 부근으로 갈수록 차이가 크다.
- 5) 층간 접착제의 영향으로 단층부직포에 비해 적층부직포의 절단신도는 커지며 적층각이 증가할수록 인장변형에 대한 접착제의 영향이 감소한다.

5 인용문헌

1. J.W.S. Hearle & P.J. Stevenson, Text.Res.J. Vol. 33 No. 11, 1963