

섬유배향과 일방향 섬유배향각 변화에 따른 복합재료의 인장강도 비교

김진우* · 이정주* · 이동기**

The comparison of the tensile strength of fiber-reinforced composites according to the change of fiber orientat- ion and fiber orientation angle in one direction

Jin-Woo Kim*, Jung-Ju Lee* and Dong-Gi Lee**

Key Words: Fiber Reinforced Composites(섬유강화 복합재료), Fiber Orientation Function
(섬유배향함수), Fiber Content(섬유함유율), Fiber Orientation Angle(섬유배향각)

Abstract

After we experiment one direction fiber reinforced composites($\theta = 0^\circ$, $J=1$) to the X direction($\theta = 0^\circ$, $J=1$), we can say that fiber orientation efficiency and fiber orientation angle efficiency become lower. It is because the more the fabric is orientated in a equal direction with one direction fiber floor the more the load given from the exterior becomes shear rather than tension, even though one direction fiber floor gets the most of the exterior power. when fiber content ration is 10wt%, the fiber reinforcement efficiency of $J=0.3$ is similar with the fiber reinforcement efficiency of $\theta=30^\circ$. We also found that the fiber reinforcement efficiency of $J = 0.2$ is similar with the fiber reinforcement efficiency of $\theta=20^\circ$ in case of 20wt%.

기호설명

- J : 섬유배향함수
 Θ : 섬유배향각
 η_u : 섬유배향효율
 η_a : 일방향 섬유배향각효율
 $q(\Theta)$: 섬유배향각 분포
 σ : 복합재료의 인장강도

계적 특성 등을 예측하는데 있어서 선결되어야 하는 가장 중요한 인자이다.

또한, 이러한 섬유배향은 섬유직경, 섬유길이, 섬유함유율에 따른 섬유상호간의 간섭력 등과 같은 재료인자와 금형 닫힘속도, 성형압력 및 금형 온도 등과 같은 성형인자에 의해서도 발생한다. 압축성형된 제품은 섬유배향 때문에 불균질하고 이방성이 나타나 성형품의 기계적 성질 등에 큰 영향을 미친다[1-2].

섬유배향된 복합재료 성형품의 기계적 성질에 미치는 성형, 재료 및 금형 등의 인자와 관련된 주요 연구내용을 보면, Kim 등은 장섬유강화 고분자 복합판의 섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도에 대해서 연구하였고[3], Jo 등은 압축성형된 한 방향 섬유강화 고분자 복합판의 섬유함유율 분포에 대해서 연구하였다[4]. 이와 같은 연구내용들을 보면, 일방향 섬유강화 복합재료의 강도계산을 위한 연구와 섬유배향상태를 측정하여 정량적으로 나타낼 수 있도록 연구하여

1. 서 론

섬유강화 복합재료의 성질은 모재의 성질에 의존하는 것이 당연하지만, 강화재인 섬유함유율과 배향상태, 섬유엉킴상태, 섬유매트구조, 섬유길이 등에 따라서 물성이 변화한다. 그러므로 섬유강화 복합재료의 섬유함유율에 따른 섬유배향상태를 밝혀두는 것은 재료설계, 성형조건의 결정, 기

* 조선대학교 대학원 정밀기계공학과

** 조선대학교 공과대학 기계공학부

발표하였으나, 섬유함유율에 따른 섬유배향과 일방향 섬유배향각 복합재료의 기계적 성질을 예측을 할 수 있는 데이터 베이스(D / B) 구축은 되어 있지 않았다.

섬유배향 상태의 척도인 섬유배향함수를 이론적으로 계산하여 변화를 준 복합재료와 일방향 섬유배향각 변화에 따른 복합재료를 제작한 후, 각각의 복합재료 섬유배향 상태가 복합재료의 인장강도에 어떠한 영향을 주는지에 대해서 고찰하였다.

2. 이 론

2.1 섬유배향함수

현재, 국내외에서 사용되고 있는 대부분의 섬유강화 복합재료의 두께(3.8mm)는 폭과 길이에 비교하여 매우 얇기 때문에 섬유를 2차원 집합체로서 취급하여, x-y평면상에 섬유가 분포하고 있는 경우 x축과 이루는 섬유배향각 θ 는 $0 \leq \theta < \pi$ 의 범위에 있다. 따라서 섬유배향각 분포상태를 표시하는 섬유배향함수(J)와 섬유배향각 분포 $q(\theta)$ 사이의 관계는 식(1)과 같다.

$$q(\theta) = \frac{1}{\pi} \left[\left(\frac{1-J}{1+J} \right) \cos^2 \theta + \left(\frac{1+J}{1-J} \right) \sin^2 \theta \right]^{-1} \quad (1)$$

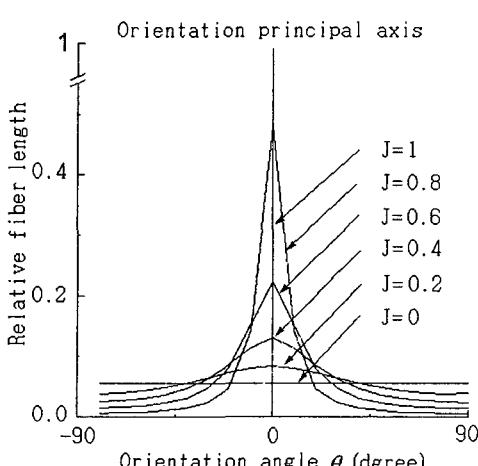


Fig. 1 Distribution of relative fiber length according to the fiber orientation angle

여기서 J 는 2차원 섬유배향각 분포에 대한 섬유배향함수이며[5-6], 섬유배향이 등방성(isotropic)인 경우 $J=0$, 섬유배향이 한 방향으로만 배열되어 있는 이방성(orthographic)인 경우는 $J=1$, $J=1$ 의 방향에 대해 90° 회전방향으로 배열되어 있는 경우는 $J=-1$ 이다. 이와 같이 섬유배향함수 J 값은 0에서 1사이에 있으나 0에 가까워지면 섬유의 배향상태가 무작위(random)에 가깝게 됨을 나타낸다.

Fig. 1은 식(12)의 섬유배향함수 J 값 변화에 따른 섬유배향각 θ 와 상대 섬유길이와의 관계를 나타낸 그림이다. 여기서, 상대 섬유길이는 배향된 섬유의 총길이에 대한 개개의 섬유배향각 θ 를 갖는 섬유의 총길이와의 비이다.

2.2 섬유배향효율과 일방향 섬유배향각효율

섬유배향효율(η_J)은 식(2)와 같이 정의되며, 섬유배향 상태 변화에 따라 일마만큼의 강도저하가 일어나는가를 예측하기 위한 중요한 인자이다.

$$\eta_J = \frac{\text{섬유배향함수에 따른 인장강도}}{\text{섬유배향이 일방향인 복합재료의 인장강도}} \quad (2)$$

일방향 섬유배향각효율(η_a)은 식(3)과 같이 나타낸다.

$$\eta_a = \frac{\text{섬유배향각 변화에 따른 인장강도}}{\text{섬유배향이 일방향인 복합재료의 인장강도}} \quad (3)$$

3. 실험

섬유강화 복합재료의 인장강도에 미치는 섬유함유율과 섬유배향 상태의 영향에 대해서 고찰하기 위하여, 프레스 성형용으로 개발된 폴리프로필렌에 유리섬유를 사용하여 강화할 때 섬유배향 상태를 섬유배향함수와 일방향 섬유배향각에 따라 섬유함유율을 변화시킨 다음 열압축프레스(Carver Model 2518, U.S.A.)로 섬유강화 복합재료를 제작하였다. 이때 성형온도는 210°C 이다.

섬유강화 복합재료는 식(1)에 의하여 이론적으로 계산된 섬유배향함수(J)는 0에서 1사이에 0.1간격으로 변화시키고, 일방향 섬유배향각(θ)는 0° 에서 90° 사이에 10° 간격으로 변화시켰다. 이때 섬유함유율은 10wt%, 20wt%로 변화를 주었다.

실험에 사용한 유리섬유는 시판되고 있는 한국

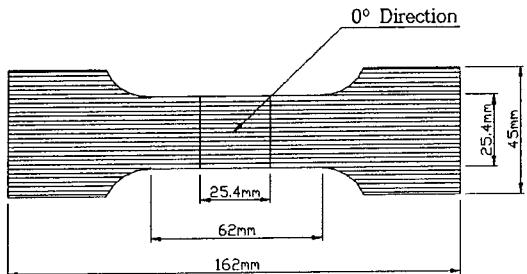


Fig. 2 Schematic diagram of test sample ($J=1$, $\theta=0^\circ$)

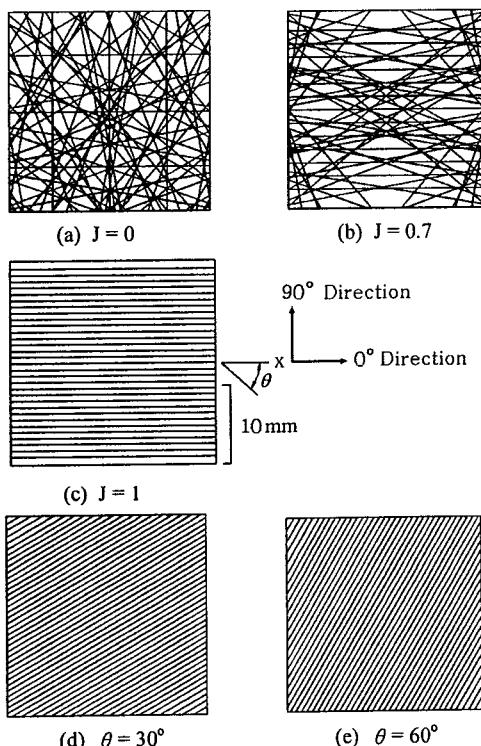


Fig. 3. Schematic representation of long fibers distributed in two dimensions (10wt%)

화이바의 E-글라스 앤(필라멘트 직경 : $13\mu\text{m}$, Tex : 135 g/1,000m)이다. 섬유강화 복합재료의 중앙부는 Fig. 2와 같은 치수($25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 3.2\text{mm}$)와 구조로 적층하였고 섬유배향상태는 Fig. 3와 같다.

각각의 섬유배향 변화에 따라 함침성형된 섬유강화 복합재료의 인장강도 값을 측정하기 위하여 ASTM D638 규격을 참조하여 인장시험을 행하였다. 재료시험기는 만능재료시험기(Hounsfield, Load Cell : 5 ton, U.K.)를 사용하여 측정하였고, 크로스헤드 속도는 1mm/min 로 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 4는 섬유배향효율(η_J)과 섬유배향함수(J)와의 관계를 나타낸 그림이다. 섬유배향함수가 증가할수록 섬유배향 효과가 증가함을 알 수 있다.

섬유배향효율(η_J)은 섬유함유율이 10 wt%, 20 wt%, 30 wt%, 40 wt%인 경우 모두 유사하게 나타남을 알 수 있었다. 이는 복합재내의 섬유배향효율(η_J)은 섬유함유율의 영향은 받지 않고 섬유배향상태가 지배적인 영향을 미침을 알 수 있었다.

그러므로 섬유강화 복합재료에서 섬유배향함수 $J = 0.1$ 과 $J = 1$ 인 경우를 비교해 보면 섬유배향효율은 $J = 1$ 인 경우가 $J = 0.1$ 인 경우보다 복합재료의 섬유배향 효과가 약 60% 높게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 5는 섬유배향각효율(η_θ)과 섬유배향각(θ)와의 관계를 나타낸 그림이며 섬유배향각(θ)이 증가할수록 섬유배향 효과가 감소함을 알 수 있었다. 이는 일방향 섬유강화($\theta = 0^\circ$, $J=1$) 복합재료를 x 방향($\theta = 0^\circ$)으로 인장시험하면 섬유배향방향으로 인장력을 받아서 파단에 이르기까지 일방향 섬유층에서 외력의 대부분을 받고 있지만, 섬유가 $\theta = 90^\circ$ 방향으로 배향 될수록 강화재인 유리섬유보다는 모재인 폴리프로필렌이 외부에서 가해지는 하중을 담당하기 때문에 섬유배향각효율이 낮아짐을 알 수 있다.

섬유배향각효율(η_θ)은 섬유함유율이 10 wt%인 경우가 20 wt%인 경우 보다 높게 나타남을 알 수

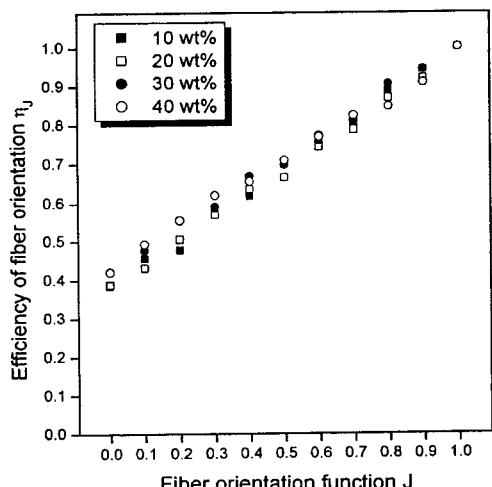


Fig. 4 Relationship between efficiency of fiber orientation η_J and fiber orientation function J

있었다.

Fig. 6은 섬유배향상태를 변화시켜서 제작한 복합재료의 인장강도 값과 섬유배향각을 변화시킨 일방향인 복합재료의 인장강도 값을 비교하여 나타낸 그림이다. 섬유강화 복합재료의 섬유함유율 20 wt%에서 섬유배향함수 $J=0.2$ 인 경우와 섬유배향각 $\Theta=20^\circ$ 인 경우는 인장강도 값이 유사하게 나타났다. 또한 섬유강화 복합재료의 섬유함유율 10 wt%에서도 섬유배향함수 $J=0.3$ 인 경우와 섬유

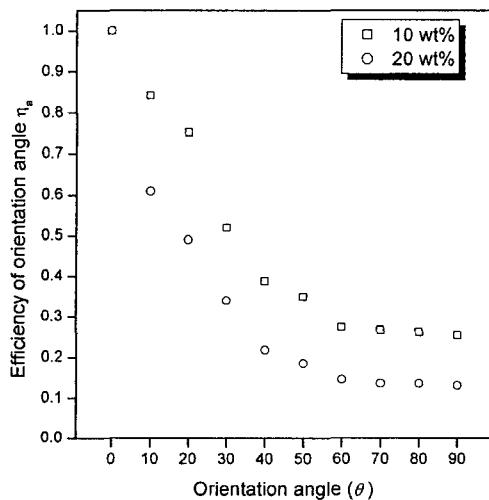


Fig. 5 Relationship between efficiency of orientation angle η_a and orientation angle θ

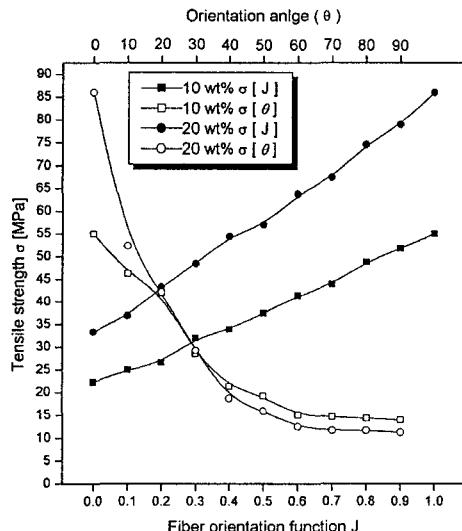


Fig. 6 Relationship tensile strength between fiber orientation function and orientation angle θ
배향각 $\Theta=30^\circ$ 경우는 비슷하게 나타남을 알 수 있었다.

섬유강화 복합재료를 x 방향($\Theta=0^\circ$)으로 인장력

을 가할 때 섬유함유율이 높을수록 섬유배향함수 J 와 섬유배향각 Θ 의 인장응력 값이 만나는 점이 높게 나타날 것으로 생각된다.

4. 결 론

섬유배향과 일방향 섬유배향각 변화에 따른 복합판재의 인장강도에 어떠한 상관관계가 있는지에 대해 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 일방향 섬유강화($\Theta=0^\circ$, $J=1$) 복합재료를 x 방향($\Theta=0^\circ$)으로 인장시험하면 일방향 섬유층에 외력의 대부분을 받고 있지만, 섬유가 일방향 섬유층과 일정각도로 배향되는 섬유일수록 외부에서 가해지는 하중이 인장력보다는 전단력으로 가해지기 때문에 섬유배향효율 및 섬유배향각효율이 낮아짐을 알 수 있었다.
- 2) 섬유함유율이 10 wt%에서는 $J=0.3$ 과 $\Theta=30^\circ$ 은 비슷한 섬유강화효과를 갖으며, 20 wt%에서는 $J=0.2$ 와 $\Theta=20^\circ$ 인 경우도 비슷한 섬유강화효과를 갖는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Hojo, H., Kim, E. G., Tamakawa, K. and Nagatsuka, C., "Separation of Matrix and Fibers during Molding of Long Fiber-Reinforced Thermoplastics." Proceedings of 3rd Japan-U.S. Conference on Composite Materials, Tokyo, 1986, pp. 605-612.
2. Hojo, H., Kim, E. G., Yaguchi, H. and Onodera, T., "Simulation of Compression Molding with Matrix-Fibre-Reinforced Thermoplastics." International Polymer Processing, Vol. 3, No 1, 1988, pp. 54-61.
3. 김 혁 · 이동기 · 한길영 · 김이곤. "장섬유강화 고분자 복합판의 섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도." 한국복합재료학회지, 제9권, 제2호, 1996, pp. 23-34.
4. 조선형 · 임영호 · 김이곤. "압축성형된 한 방향 섬유 강화 고분자 복합판의 섬유함유율 분포." 한국복합재료학회지, 제7권, 제3호, 1994, pp. 67-76.
5. Stein, R. S. and Stidham, S. N., "A Theory of Orientation Correlation in Crystalline Polymeric Solids", J. Applied Physics 제35권 제42호, 1964.
6. Yaguchi, H., Hojo, H., Lee, D. G. and Kim, E. G., "Measurement of Planar Orientation of Fibers for Reinforced Thermoplastics Using Image Processing", International Polymer Processing, Vol. X Issue 3, 1995, pp. 262- 269.