

섬유강화 고분자 복합재료에서 섬유배향상태에 따른 기계적 성질

이동기**, 심재기*, 한길영*, 김혁*, 김진우**, 이정주**

The Mechanical Property by Fiber Orientation Distributions in Fiber-Reinforced Polymeric Composites

Dong-Gi Lee**, Jae-Ki Sim*, Gil-Young Han*, Hyuk Kim*, Jin-Woo Kim**, Jung-Ju Lee**

Key Words : Fiber Reinforced Polymeric Composites (섬유강화 고분자 복합재료), Fiber Length (섬유길이), Fiber Orientation Function (섬유배향함수), Tensile Strength (인장강도)

ABSTRACT

Investigated whether fiber orientation situation of fiber reinforcement macromolecule composition board and the fiber inclusion rate are perpendicular and horizontal direction tensile strength and some correlation. Fiber orientation situation of tensile strength of 0 direction of composition board increased changelessly by aeolotropy in isotropy. Tensile strength of 90 direction that is isotropy and tensile strength of 0 direction that is aeolotropy agreed almost. Get into aeolotropy, the reinforcement rate of fiber decreased. When load interacts for width direction of reinforcement.

기호설명

- J : 섬유배향함수
- L : 섬유길이
- $q(\theta)$: 섬유배향각 분포
- wt % : 섬유함유율
- $\sigma_{[0^\circ]}$: 0° 방향의 섬유배향 인장강도
- $\sigma_{[90^\circ]}$: 90° 방향의 섬유배향 인장강도

1. 서 론

섬유강화 고분자 복합재료는 비강도(중량대비 강도) 및 비강성(중량대비 강성) 등의 우수한 특성을 가지고 있을뿐만 아니라 특정 방향으로 섬유를 배향하여 강도를 향상시킬 수 있어 다양한 용도로 사용되고 있다. 또한, 경량성 재료이며 성형

성이 좋아 복잡한 형상이나 디자인을 증시하는 구조부품 등에 활용도가 증가하고 있다.

섬유강화 고분자 복합재료의 성질은 모재의 성질에 의존하는 것이 당연하지만, 섬유배향상태, 섬유의 길이와 함유율, 섬유영킵상태, 섬유매트구조, 모재와 강화재의 합침성 및 성형조건 등에 따라서 물성이 변화한다. 그러므로 섬유강화 고분자 복합재료 성형품의 섬유함유율에 따른 섬유배향상태를 밝혀두는 것은 재료설계, 최적 성형조건 결정, 기계적 특성 등을 예측하는데 있어서 선행되어야 하는 가장 중요한 인자이다.

Kim 등은 장섬유강화 고분자 복합판의 섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도에 대해서 연구하였고[1], Yoon 등은 장섬유강화 복합재의 사출성형에 있어서 충전과정과 두께방향에 대한 섬유배향의 정량적 가시화에 대한 방법을 제시하였고[2], Lee 등은 섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도에 미치는 섬유중량비와 면적비의 영향에 대해 연구하였고[3], Chung 등은 Graphite

* 조선대학교 공과대학 기계공학부
** 조선대학교 대학원 정밀기계공학과
*+ 교신저자(E-mail:dglee@mail.chosun.ac.kr)

섬유강화 복합재료 주름판의 강성계수를 유도하고 진동해석하여 복합재료 주름판의 특성에 대한 연구를 수행하였고[4], Byun 등은 끈 섬유로 강화한 복합재료의 탄성계수를 예측하기 위한 강성모델을 제시하였다[5].

그러나 섬유강화 고분자 복합판재를 이용한 구조부재에서는 어느 특정 방향으로 강도가 요구되는 경우가 빈번하므로 섬유함유율에 따른 섬유배향상태를 변화시킨 복합판재의 제작이 요구된다. 복합판재의 섬유배향상태가 기계적 성질에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 섬유배향상태의 척도인 섬유배향함수를 이론적으로 계산하여 변화를 주어 복합판재를 제작한 후, 이 제작된 복합판재의 섬유배향상태와 섬유함유율이 중형방향 인장강도와 어떠한 상관관계가 있는지에 대해 고찰하였다.

2. 섬유배향함수

현재, 국내외에서 사용되고 있는 대부분의 섬유강화 고분자 복합판재의 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[1~3].

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

여기서 J는 2차원 섬유배향각 분포에 대한 섬유배향함수이며, 섬유배향이 무작위로 되어 있는 등방성인 경우 $J=0$, 섬유배향이 한 방향으로만 배열되어 있는 이방성인 경우는 $J=1$, $J=1$ 의 방향에 대해 90° 회전방향으로 배열되어 있는 경우는 $J=-1$ 이다. 이와 같이 섬유배향함수(J) 값은 0에서 1사이에서 있으나 0에 가까워지면 섬유의 배향상태가 무작위에 가까게 됨을 나타낸다.

Fig. 1은 식(1)의 섬유배향함수(J) 값 변화에 따른 섬유배향각(θ)와 상대 섬유길이 $q(\theta)$ 와의 관계를 나타낸 그림이다. 여기서, 상대 섬유길이는 배향된

전체 섬유의 총길이에 대한 개개의 섬유배향각(θ)을 갖는 섬유의 총길이와의 비이다.

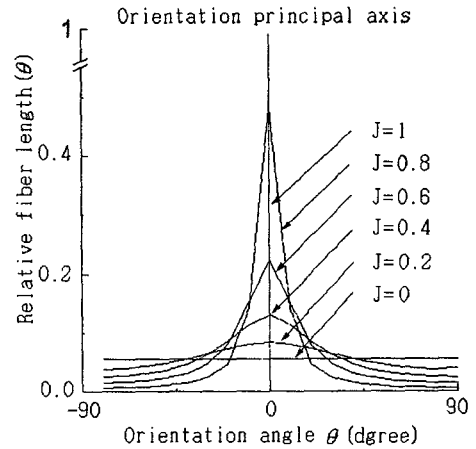


Fig. 1 Distribution of relative fiber length according to the fiber orientation angle

3. 실험

섬유강화 고분자 복합판재의 섬유배향상태에 따른 기계적 성질을 고찰하기 위하여, 프레스 성형용으로 개발된 폴리프로필렌에 유리섬유를 사용하여 강화할 때 섬유배향상태의 척도인 섬유배향함수와 섬유함유율을 변화시켰고, 시편의 섬유배향상태는 Fig. 2에 한 예로 나타내었다. 이때 섬유배향상태는 식(1)에 의하여 이론적으로 계산하여, 섬유배향함수(J)를 0에서 1사이에서 0.1간격으로 변화시켰다.

실험에 사용한 유리섬유는 시판되고 있는 한국화이바의 E-글라스 안(필라멘트 직경: 13 μ m, Tex: 135g/1,000m)이다. 성형장치는 열압축프레스(Carver Model 2518, U.S.A.)를 사용하여 섬유강화 고분자 복합판재를 제작하였고, 성형온도는 210 $^\circ$ C로 하였다.

제작한 섬유강화 고분자 복합판재의 중앙부는 Fig. 3과 같은 치수(25mm \times 25mm \times 3.2mm)와 구조로 적층하였다. 인장강도 측정부위에 배향된 섬유의 총길이(L)는 1m (10wt%)와 2m (20wt%)이다.

각각의 섬유배향상태의 변화에 따라 함침성형된 섬유강화 고분자 복합판재의 인장강도 값을 측정하기 위하여 Fig. 4와 같은 형상으로 ASTM D638 규격을 참조하여 인장시험을 행하였다. 재료시험기는 만능재료시험기(5 ton, U.K.)를 사용하여 측정하였고, 크로스 헤드 속도는 1mm/min로 하였다.

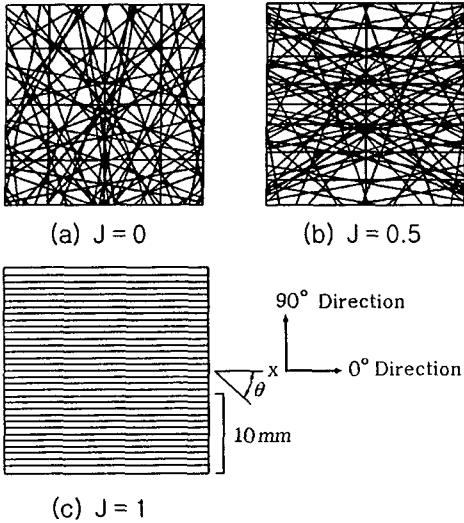


Fig. 2 Schematic representation of long fibers distributed in two dimensions (L = 2m)

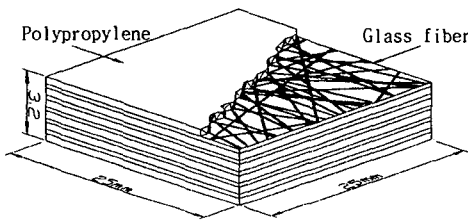


Fig. 3 Schematic structure of specimen

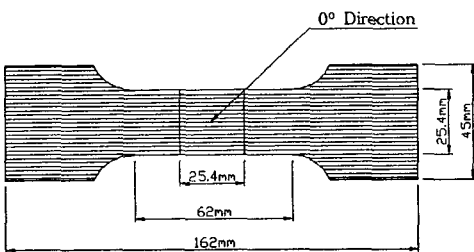


Fig. 4 Schematic diagram of test sample (J=1)

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 섬유배향상태를 변화시켜서 제작한 판재의 인장강도(σ_θ) 값과 섬유배향함수(J)와의 관계를 나타낸 그림이다. 섬유강화 고분자 복합판재에서 0° 방향의 섬유배향 인장강도($\sigma_{[0^\circ]}$)는 섬유함유율과 섬유배향상태에 비례하여 섬유배향상태가 무작위인 등방성에서 한 방향인 이방성으로 일정

하게 증가되었다.

섬유강화 복합판재의 섬유배향상태가 등방성에 가까운 90° 방향의 섬유배향 인장강도($\sigma_{[90^\circ]}$)와 0° 방향 인장강도($\sigma_{[0^\circ]}$)는 거의 일치하였다. 그러나, 섬유배향상태가 이방성이 될수록 섬유의 강화율이 감소하였다. 이는 강화섬유의 폭방향으로 하중이 가해질 때 섬유 필라멘트의 분리로 인하여 순수 모재의 인장강도 값보다 더 낮게 나타났다.

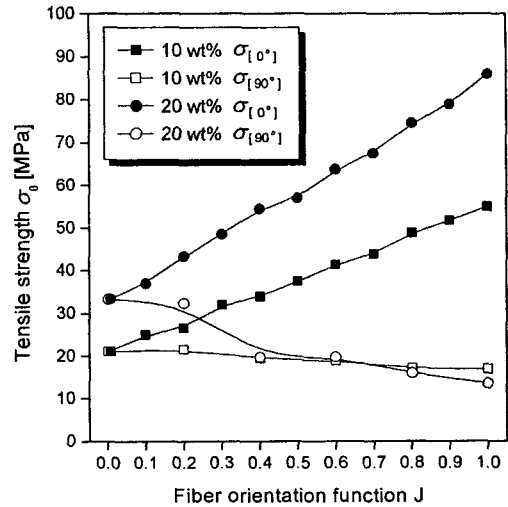


Fig. 5 Relationship between tensile strength σ_θ and fiber orientation function J

Fig. 6은 복합판재의 섬유배향 종횡방향 인장강도비($\sigma_{[90^\circ]}/\sigma_{[0^\circ]}$)와 섬유배향함수(J)와의 관계를 나타낸 그림이다. 섬유강화 복합판재에 하중이 가해질 때 배향상태가 등방성일때는 섬유층에서 외력의 대부분을 받고 있어 종횡방향의 인장강도비는 거의 일치하지만, 섬유가 이방성으로 배향되는 경우에는 섬유의 폭방향으로 하중이 작용되기 때문에 종횡방향 인장강도비가 낮아짐을 알 수 있다. 또한 하중이 강화섬유의 폭방향으로 작용할 때 섬유함유율이 20wt%인 경우가 10wt%인 경우보다 섬유 필라멘트의 분리가 많아지므로 종횡방향 인장강도비가 약 15%정도 낮아짐을 알 수 있다.

Fig. 7은 섬유배향함수가 J=1인 경우 인장하중(P)과 신장량(δ)의 관계를 복합판재의 종횡방향에 대하여 나타낸 그림이다. 0° 방향에서는 섬유함유율이 20wt%인 경우가 10wt%인 경우보다 하중-변위가 향상되는 것은 당연하나, 90° 방향에서는 섬유함유율이 10wt%인 경우가 20wt%인 경우보다 변

위가 더 크게 나타남을 알 수 있었다.

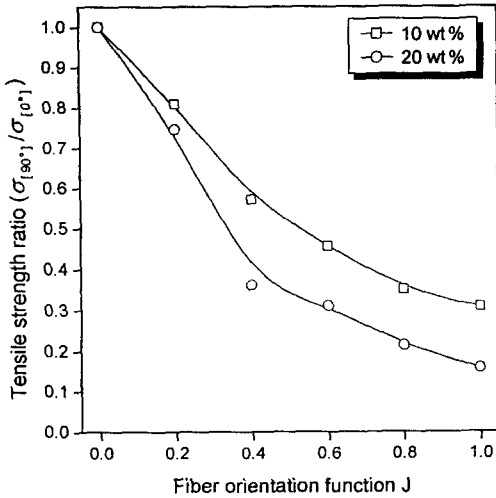


Fig. 6 Relationship between tensile strength ratio ($\sigma_{[90^\circ]}/\sigma_{[0^\circ]}$) and fiber orientation function J

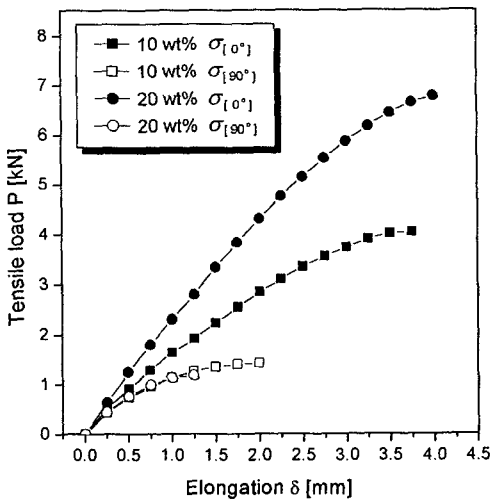


Fig. 7 Tensile load-elongation response for fiber orientation function J=1

5. 결론

섬유강화 고분자 복합판재의 섬유배향상태와 섬유함유율이 종횡방향 인장강도와 어떠한 상관관계가 있는지에 대해 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 복합판재의 0° 방향의 인장강도($\sigma_{[0^\circ]}$)는 섬유 배향상태가 등방성에서 이방성으로 일정하게 증가되었고, 등방성에 가까운 90° 방향 인장강도($\sigma_{[90^\circ]}$)와 0° 방향 인장강도($\sigma_{[0^\circ]}$)는 거의 일치하였으나, 이방성이 될수록 섬유의 강화율이 감소하였다.
- 2) 하중이 강화섬유의 폭방향으로 작용할 때 섬유 함유율이 20wt%인 경우가 10wt%인 경우보다 섬유 필라멘트의 분리가 많아지므로 종횡방향 인장강도비가 약 15%정도 낮아짐을 알 수 있다.

참고문헌

- 1) Kim, H., Lee, D.G., Han, G.Y., and Kim, E.G., "Accuracy of Intensity Method for the Measurement of Fiber Orientation Distribution of Long Fiber-Reinforced Polymeric Composites," *Journal of Korean Society for Composite Materials*, Vol. 9, No. 2, 1996, pp. 23~34.
- 2) Yoon, S.U., Park, J.K., Jo, S.H., Kim, E.G., "Measurement of the Fiber Orientation Distribution for Injection Mold Filling Stage and Thickness Direction of Long Fiber Reinforced Polymeric Composites" *Journal of Korean Society for Composite Materials*, Vol. 11, No. 6, 1998, pp. 47~58.
- 3) S. D. Lee, H. Kim, D. G. Lee, G. Y. Han and E. G. Kim, "Effects of Aspect and Area Ratio of Fiber on the Accuracy of Intensity Method in Measurement of Fiber Orientation-Angle Distribution", *Transactions of the KSME-A*, Vol. 22, No. 4, 1998, pp. 953~959.
- 4) Chung, K., and Kim, Y.W., "Rigidity and Vibration Analysis on Fiber-Reinforced Composite Corrugated Plates" *Journal of Korean Society for Composite Materials*, Vol. 15, No. 4, 2002, pp. 1~8.
- 5) Byun, J.H., Lee, S.K., Um, M.K., Kim, T.W., and Bae, S.W., "Characterization and Prediction of Elastic Constants of Twisted Yarn Composites" *Journal of Korean Society for Composite Materials*, Vol. 15, No. 6, 2002, pp. 30~37.