

## Twisted Yarn 복합재료에서 인장강도에 미치는 섬유배향의 영향

이동기\*, 심재기, 김혁(조선대 기전공학과), 김진우, 이정주, 이하욱(조선대 대학원 정밀기계공학과)

### Effect of Fiber Orientation on the Tensile Strength in Twisted Yarn Composites

D. G. Lee, J. K. Sim, H. Kim(Mech. Eng. Dept., CSU), J. W. Kim, J. J. Lee, H. U. Lee(Prec. Eng. Dept., CSU)

#### ABSTRACT

Investigated whether fiber orientation distribution of twisted yarn composites and the fiber content are 0° and 90° direction tensile strength and some correlation.

Tensile strength of 0° directions of twisted yarn composites increased changelessly being proportional the fiber content and fiber orientation function get into anisotropic in isotropic. But, tensile strength ratio by separation of fiber filament of 90° directions tensile strength decreased when tensile load is imposed for width direction of reinforcement fiber.

0° and 90° direction tensile strength ratio value of a twisted yarn composites not receive almost effect of the fiber content of fiber orientation function  $J = 0.4$  lows. Although do, 20 wt% of the fiber content is high about 0° and 90° direction tensile strength ratio about 1.6~2 than 10 wt% from  $J = 0.4$ . Therefore, could know that effect of the fiber content is dominate.

Key Words : Twisted Yarn Composites(트위스터 양 복합재료), Fiber Orientation Function(섬유배향함수), Tensile Strength(인장강도), Fiber Length(섬유길이), PP(폴리프로필렌), Fiber Orientation Angle(섬유배향각)

#### 1. 서 론

Twisted Yarn 복합재료는 금속재료에 비해 비강도(중량대비 강도) 및 비강성(중량대비 강성) 등의 우수한 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라 특정 방향으로 섬유를 배향하여 강도를 향상시킬 수 있어 다양한 용도로 사용되고 있다. 또한, 성형의 자유도가 커서 복잡한 형상의 부품성형이 가능하여 생산성도 높고 생산비도 낮다. 따라서 이 복합재료의 성형품은 장판 프레스의 성형품을 대신해서 항공기, 자동차, 스포츠, 에너지 관련분야 등의 구조재료로 사용이 확대되고 있다.

Twisted Yarn 복합재료의 성질은 모재의 성질에 의존하는 것이 당연히지만, 강화재의 섬유배향상태, 섬유길이, 섬유함유율, 섬유영김상태, 섬유매트구조 그리고 모재와 강화재의 합침성 및 성형조건 등에 따라서 물성이 변화한다. 그러므로 Twisted Yarn 복합재료에서 섬유함유율과 섬유배향상태가 기계적 성질에 어떠한 영향을 미치는지를 밝히주는 것은 재료

설계, 최적 성형조건의 결정, 기계적 특성 등을 예측하는데 있어서 선결되어야 하는 가장 중요한 인자이다. 이와 관련하여 한 방향 복합재료에 대해서는 많은 연구가 있었으나 섬유배향상태에 따른 연구는 미흡한 실정이다.

Kim<sup>1</sup> 등은 장섬유강화 고분자 복합판의 섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도에 대해서 연구하였고, Sim<sup>2</sup> 등은 섬유배향과 모재가 다른 CFRP 적층판이 횡충격을 받을 때에 적층판 내에 생기는 손상 발생 및 산류 굽힘강도 저하관계에 대해서 연구하였고, Lee<sup>3</sup> 등은 화상처리에 의한 섬유배향각 분포측정에 있어서 교차점합산법의 정밀도를 고찰하였고, Chun<sup>4</sup> 등은 보강섬유의 굴곡정도에 따른 인장, 압축 및 굽힘에서의 기계적 특성의 변화를 예측하는 해석모델을 제시하였고, Kim<sup>5</sup> 등은 사출성형 중에 성형품의 인장강도를 높이는데 사용되는 유리섬유를 함유한 시험편의 인장강도와 사출성형 공정의 조건과의 관계를 고찰하였다.

Twisted Yarn 복합판재를 이용한 구조부재에서는

어느 특정 방향으로 강도가 요구되는 경우가 빈번하므로 섬유함유율과 섬유배향상태를 변화시킨 복합판재의 제작이 요구된다. 그러나 Twisted Yarn의 섬유배향상태가 복합판재의 인장강도에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 미흡하다.

따라서, 본 연구에서는 섬유배향상태의 척도인 섬유배향함수를 이론적으로 계산하여 섬유배향상태와 섬유함유율을 변화시켜 복합판재를 제작한 후, 이 제작된 Twisted Yarn 복합판재의 인장강도를 높이는데 사용되는 섬유함유율과 섬유배향상태와의 관계에 대해 고찰하였다.

## 2. 섬유배향

현재, 국내외에서 스텝퍼블 시트의 상호로 판매되고 있는 Twisted Yarn 복합판재의 두께(3.8mm)는 폭과 길이에 비교하여 매우 얕기 때문에 섬유를 2차원 집합체로서 취급하여, x-y평면상에 섬유가 분포하고 있는 경우 x축과 이루는 섬유배향각  $\theta$ 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.<sup>1,3</sup>

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

여기서  $J$ 는 2차원 섬유배향각 분포의 척도인 섬유배향함수이며, 섬유배향이 무작위로 되어 있는 등

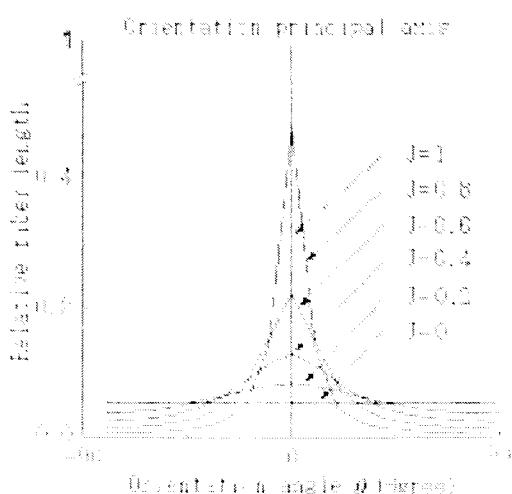


Fig. 1 Distribution of relative fiber length according to the fiber orientation angle

방성인 경우  $J=0$ , 섬유배향이 한 방향으로만 배열되어 있는 이방성인 경우는  $J=1$ ,  $J=1$ 의 방향에 대해  $90^\circ$  회전방향으로 배열되어 있는 경우는  $J=-1$ 이다. 이와 같이 섬유배향함수( $J$ ) 값은 0에서 1사이에 있으나 0에 가까워지면 섬유의 배향상태가 무작위에 가깝게 됨을 나타낸다.

Fig. 1은 식(1)의 섬유배향함수( $J$ ) 값 변화에 따른 섬유배향각( $\theta$ )과 상대 섬유길이와의 관계를 나타낸 그림이다. 여기서, 상대 섬유길이는 배향된 전체 섬유의 총길이에 대한 개개의 섬유배향각( $\theta$ )을 갖는 섬유의 총길이와의 비이다.

## 3. 실험

Twisted Yarn 복합판재의 섬유함유율과 섬유배향상태에 따른 기계적 성질을 고찰하기 위하여, 프레스 성형용으로 개발된 폴리프로필렌(PP)에 유리섬유(glass fiber)를 사용하여 강화할 때 섬유배향상태의 척도인 섬유배향함수와 섬유함유율을 변화시켜 적층한 시편의 형상과 치수(25mm × 25mm × 3.2mm)는 Fig. 2와 같다.

Twisted Yarn 복합판재 제작 시 모재는 폴리프로필렌(PP 성형온도 :  $210^\circ\text{C}$ ), 강화재는 한국화이바의 E-글라스 앤(필라멘트 직경 :  $13\mu\text{m}$ , Tex :  $135\text{g}/1,000\text{m}$ )을 사용하였다. 복합판재의 성형장치는 열압축프레스(Carver Model 2518, U.S.A.)를 사용하였고, Twisted Yarn의 배향 시 섬유배향함수( $J$ )는 0에서 1사이에 0.1간격으로 변화시켰다.

이와 같은 Twisted Yarn 복합판재의 중앙부의 섬유배향상태는 Fig. 3과 같다. 인장강도 측정부위에 배향된 섬유의 총길이( $L$ )는 1m(10wt%)와 2m(20wt%) 두 종류이다.

각각의 섬유배향상태의 변화에 따라 함침성형된 Twisted Yarn 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  $1\text{mm}/\text{min}$ 로 하였다.

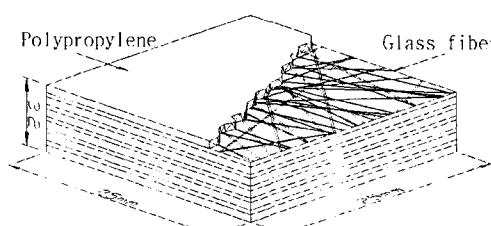


Fig. 2 Schematic structure of specimen

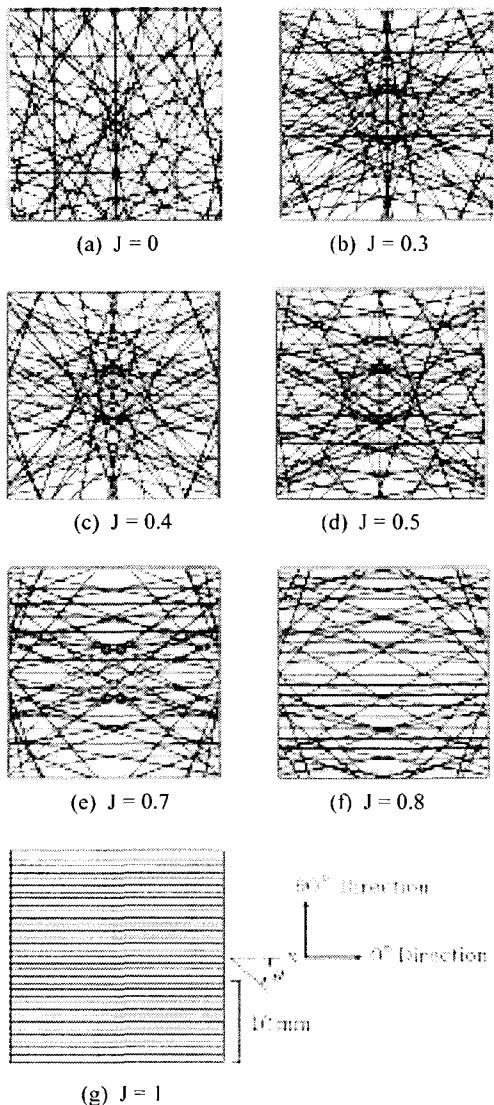


Fig. 3 Schematic representation of long fibers distributed in two dimensions ( $L = 2\text{m}$ )

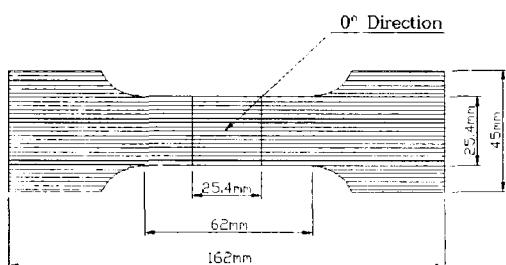


Fig. 4 Schematic diagram of test sample ( $J = 1$ )

#### 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 모재(PP)와 복합판재의 인장강도비( $\sigma_\theta / \sigma_{pp}$ )를 섬유배향함수( $J$ )에 따라 비교한 그림이나. Twisted Yarn 복합판재에서 섬유함유율 10wt%와 20wt% 모두  $0^\circ$  방향의 인장강도( $\sigma_{[0^\circ]}$ )는 등방성( $J=0$ )에서 이방성( $J=1$ )이 될수록 섬유함유율과 섬유배향상태에 비례하여 일정하게 증가되었다. 섬유배향상태가 등방성인  $J=0$  일 때는  $0^\circ$  방향 인장강도( $\sigma_{[0^\circ]}$ )와  $90^\circ$  방향 인장강도( $\sigma_{[90^\circ]}$ )는 일치하나,  $90^\circ$  방향 인장강도( $\sigma_{[90^\circ]}$ )는 이방성이 될 수록( $J=1$ 에 가까워 질수록) 인장강도비가 감소하였다. 이는 섬유가 배향된 강화섬유의 폭(법선)방향으로 인장하중이 가해질 때 섬유 필라멘트의 분리는 균일단면이 편리를 자진 때와 같은 응력집중 효과로 인하여 순수 모재의 인장강도 값보다 더 낮게 나타났다.

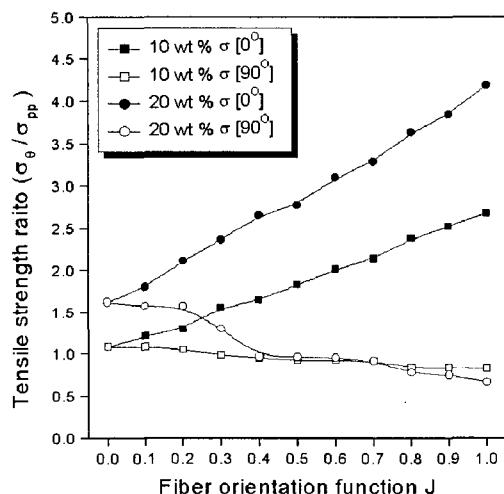


Fig. 5 Relationship between tensile strength ratio ( $\sigma_\theta / \sigma_{pp}$ ) and fiber orientation function  $J$

Fig. 6은 Twisted Yarn 복합판재의 섬유배향 종횡 방향 인장강도비( $\sigma_{[0^\circ]} / \sigma_{[90^\circ]}$ )와 섬유배향함수( $J$ )와의 관계를 나타낸 그림이다. Twisted Yarn 복합판재는 강화섬유가 대부분의 외력을 흡수하므로 하중지지 방향의 섬유함유율의 증가는 강화효율의 증가를 의미한다. 그러나 섬유배향의 수직방향으로 하중이 작용할 때는 강화섬유의 필라멘트가 분리되기 때문에 강화효율이 감소함을 알 수 있다. 또한 섬유배향함수  $J < 0.4$  이하에서는 섬유배향상태가 등방성에 가까우므로 Twisted Yarn 복합판재의 종횡방향 인장강도비의 값이 작고, 섬유배향함수  $J > 0.4$  이상에서는 섬유함유율이 20 wt%인 경우가 10 wt%인 경우보다 종횡방향 인장강도비가 약 1.6~2배정도 높게 나타나 섬유함유율의 영향이 지배적임을 알 수 있다.

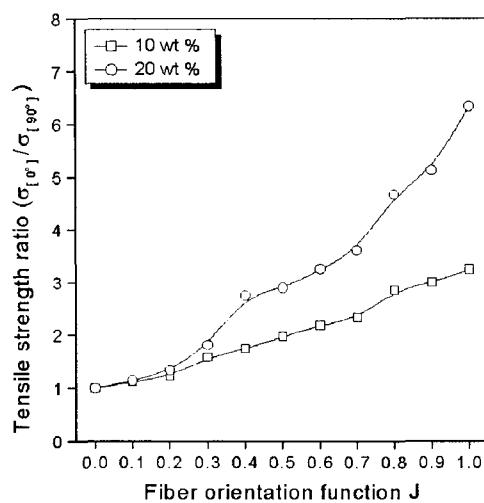


Fig. 6 Relationship between tensile strength ratio ( $\sigma_{[0^\circ]} / \sigma_{[90^\circ]}$ ) and fiber orientation function J

Fig. 7은 섬유배향함수가  $J = 0.9$ 인 경우 인장강도( $\sigma$ )와 인장변형률( $\varepsilon$ )과의 관계를 복합판재의 종횡방향에 대하여 나타낸 그림이다. Twisted Yarn 복합판재의  $0^\circ$  방향에서는 섬유함유율이 20wt%인 경우가 10wt%인 경우보다 인장강도와 인장변형률이 높게 나타났으나,  $90^\circ$  방향에서는 섬유함유율이 10wt%, 20wt%인 경우 모두 인장변형률이 유사하게 나타났다.  $90^\circ$  방향에서는 강화재인 섬유필라멘트의 분리로 인하여 섬유함유율 영향보단 모재(PP)의 성질에 의존함을 알 수 있었다.

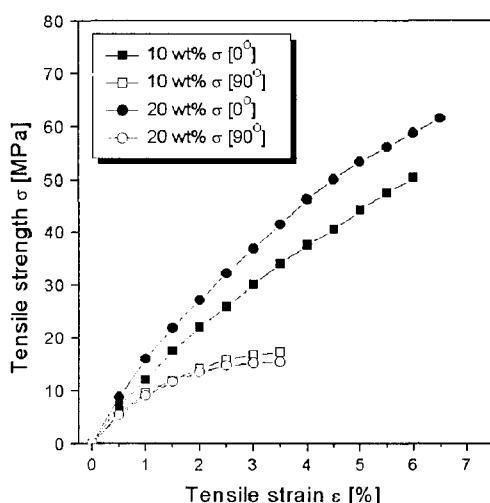


Fig. 7 Tensile strength-strain response for fiber orientation function  $J=0.9$

## 5. 결 론

Twisted Yarn 복합판재의 인장강도를 높이는데 사용되는 섬유함유율과 섬유배향상태와의 관계를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Twisted Yarn 복합판재에서  $0^\circ$  방향의 인장강도( $\sigma_{[0^\circ]}$ )는 등방성에서 이방성이 될수록 섬유함유율과 섬유배향상태에 비례하여 일정하게 증가되었다. 그러나  $90^\circ$  방향 인장강도( $\sigma_{[90^\circ]}$ )는 강화섬유의 폭(법선)방향으로 인장하중이 가해질 때 섬유필라멘트의 분리로 인하여 인장강도비가 감소하였다.

(2) Twisted Yarn 복합판재의 종횡방향 인장강도비 값은 섬유배향함수  $J = 0.4$  이하에서 섬유함유율의 영향을 거의 받지 못하지만,  $J = 0.4$  이상에서는 섬유함유율이 20wt%인 경우가 10wt%인 경우보다 종횡방향 인장강도 비가 약 1.6~2배 정도 높아지므로 섬유함유율의 영향이 지배적임을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- 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, pp. 23-34, 1996.
- Sim, J. K., Yang, I. Y. and Oh, T. Y., "Impact damage and residual bending strength of CFRP composite laminates involved difference of fiber stacking orientation and matrices," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 10, No. 4, pp. 152-162, 1993.
- Lee, S. D., Park, J. S., Lee, D. G., Ilan, G. Y. and Kim, E. G., "Accuracy of Intersection Counting Method in Measurement of Fiber Orientation Angle Distribution Using Image Processing," Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 12, pp. 97-105, 1998.
- Chun, H. J., Shin, J. Y. and Choi, H. S., "Effects of Fiber Waviness on Elastic Properties of Composites and New Fabrication Method for Composites with Uniform Fiber Waviness," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 9, pp. 135-142, 1999.
- Kim, Y. S. and Kim, I. K., "Effect of Glass Fiber Contents on the Tensile Strength in Injection Molding Process," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 63-96, 2000.