



# 섬유배향함수와 섬유배향각을 고려한 유리섬유 강화 고분자 복합재료의 인장강도 거동 및 예측

김진우<sup>a\*</sup>

## Tensile Behavior and Strength Prediction of Glass Fiber Reinforced Polymer Composites Considering Fiber Orientation Function and Orientation Angle

Jin-Woo Kim<sup>a,\*</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Chosun University

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received	21	January	2026
Revised	4	February	2026
Accepted	10	February	2026

#### Keywords:

Thin plate milling  
Fixture error compensation  
Cutting-induced deflection  
Eddy current sensor  
Depth accuracy  
Compensation machining

### ABSTRACT

This study investigates the quantitative influence of fiber orientation variables on the tensile behavior of glass fiber reinforced polymer (GFRP) composites and proposes predictive models for tensile strength under various orientation conditions. Tensile tests were conducted in the 0° and 90° directions, and the effects of the fiber orientation function (J) and fiber orientation angle ( $\theta$ ) were analyzed. The results demonstrate that composite tensile performance is governed more strongly by J and  $\theta$  than by fiber volume fraction. Linear and nonlinear models were respectively developed for the 0° and 90° directions based on the measured data and showed excellent agreement with the experimental results. The equations provide an effective tool to predict the tensile strength of GFRP composites under diverse orientation states as they require only J and fiber volume fraction as input parameters. These findings provide practical guidelines for structural optimization, material selection, and performance evaluation of GFRP composite plate systems.

## 1. 서론

Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP) 복합재료는 금속재료에 비해 강도 대비 밀도와 탄성 대비 밀도가 우수하며, 충격 흡수 능력이 뛰어나 경량화가 필수적인 항공우주 및 자동차 산업에서 폭넓게 활용되고 있다<sup>[1,2]</sup>. 특히 자동차의 내·외장 구조 부품과 높은 내충격성이 요구되는 요소에 적용된다<sup>[3]</sup>.

유리섬유의 열팽창계수(CTE)가 거의 0에 가까워 극한 온도 환경에서도 치수 안정성을 유지할 수 있으며<sup>[4]</sup>, 금형을 이용한 정형 가공(Net Shape Manufacturing)으로 복잡한 형상도 추가 가공

없이 제작 가능하다<sup>[5]</sup>.

GFRP의 기계적 특성은 모재(polypropylene, PP)와 강화재(유리섬유)의 조합에 따라 달라진다. PP와 유리섬유는 가격 대비 강도와 인성이 우수하며, 단섬유 강화 PP보다 충격 강도가 높고, SMC 대비 충격 특성은 뛰어나지만 강성은 다소 낮다<sup>[3]</sup>. 특히 자동차 범퍼빔에 사용되는 일방향 섬유 배향 복합재료는 인장 및 굽곡 강도가 금속재와 유사한 수준을 보인다<sup>[6]</sup>.

또한 유리섬유의 다층 구조는 균열 확산을 억제해 구조적 안정성을 높이고<sup>[7]</sup>, 섬유 종류·함유율·수지 선택에 따라 다양한 Grade 설계가 가능하다. 재활용성 측면에서도 BASF는 폐열가소성

\* Corresponding author. Tel.: +82-62-230-7014

E-mail address: jinu763@chosun.ac.kr (Jin-Woo Kim).

GFRP를 활용해 최대 26% 재활용 함량을 가진 제품을 상용화하고 있다<sup>8)</sup>.

현재 상용화된 스탬퍼블 시트(stampable sheet) 형태의 GFRP는 랜덤 배향 섬유 매트 또는 chopped strand를 사용해 강도의 방향성이 없는 특징을 가진다<sup>9)</sup>. 그러나 범퍼빔과 같은 구조부재에는 특정 방향의 강도가 요구되므로, 섬유 배향을 제어해 기계적 성능을 향상시키는 연구가 진행되고 있다<sup>10)</sup>.

최근에는 섬유 배향함수(J)와 함유율 변화가 인장강도 및 파단 거동에 미치는 영향을 분석하고, 적외선 열화상 기법을 활용해 파단 시 온도 분포를 측정함으로써 손상 메커니즘을 규명하는 연구가 보고되었다<sup>11)</sup>. 또한 Pultrusion 공정을 이용한 일방향 유리섬유 프리프레그 제조는 균질한 섬유 배향과 높은 함유율을 확보해 범퍼빔용 GFRP의 강도 향상에 기여하고 있다<sup>12)</sup>. 더불어 저속 충격시험을 통한 충격 특성 평가 및 신뢰성 검증은 자동차용 GFRP 부품 설계의 안전성을 높이는 핵심 요소로 작용한다<sup>13)</sup>.

이에 본 연구에서는 섬유배향함수와 섬유배향각을 동시에 고려함으로써 기존 연구의 한계를 보완하고, 다양한 배향 조건에서 GFRP 복합재료의 인장강도 거동을 정량적으로 평가하고 예측할 수 있는 인장강도 예측식을 제안하는 것을 목표로 한다.

## 2. 이론

### 2.1 섬유배향함수

GFRP는 두께(약 3.8 mm)가 폭과 길이에 비해 매우 얇으므로, 섬유를 2차원 집합체로 취급한다. 이때 섬유는 x-y 평면상에 분포하며, 섬유배향각  $\theta$ 는  $0 \leq \theta \leq \pi$  범위에 있다. 섬유배향각 분포 상태를 나타내는 척도인 섬유배향함수(J)와 섬유배향각 분포  $q(\theta)$ 의 관계는 다음과 같다:

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

여기서 J는 2차원 섬유배향각 분포에 대한 함수로,

- J = 0: 섬유가 무작위로 배열된 등방성 상태
- J = 1: 섬유가 한 방향으로만 배열된 완전 이방성 상태
- J = -1: J = 1 방향에 대해 90° 회전한 배열 상태

J 값이 0에 가까울수록 섬유 배향이 무작위에 가까움을 의미한다. Fig. 1은 섬유배향함수(J) 값 변화에 따른 섬유배향각  $\theta$ 와 상대 섬유길이의 관계를 나타낸다. J = 1일 때는 섬유가 주축 방향으로 집중되어 강도가 최대화되며, J = 0일 때는 섬유가 0°~180° 범위에서 균일하게 분포하여 등방성 특성을 보인다. 이 그림은 섬유배

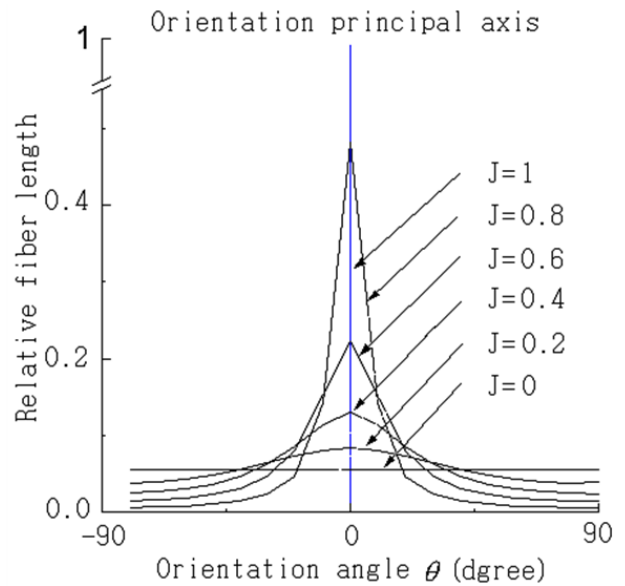


Fig. 1 Distribution of relative fiber length as a function of fiber orientation angle

향 상태가 복합재료의 기계적 특성에 미치는 영향을 시각적으로 보여주며, 설계 시 섬유 배향 최적화의 중요성을 강조한다<sup>9)</sup>.

### 2.2 섬유배향효율과 일방향 섬유배향각효율

섬유배향효율( $\eta_J$ )은 섬유배향 상태 변화에 따른 강도 저하를 예측하는 중요한 인자로, 다음과 같이 정의된다:

$$\eta_J = \frac{\sigma(J)}{\sigma(J=1, \theta=0^\circ)} \quad (2)$$

일방향 섬유배향각효율( $\eta_a$ )은 섬유배향각 변화에 따른 강도 변화를 나타내며, 다음과 같이 정의된다:

$$\eta_a = \frac{\sigma(\theta)}{\sigma(J=1, \theta=0^\circ)} \quad (3)$$

이 두 효율은 복합재료 설계 시 섬유 배향 최적화 및 강도 예측에 활용되며, 자동차 구조부품의 경량화와 안전성 확보를 위한 핵심 설계 인자로 사용된다.

## 3. 실험

본 연구에서는 GFRP의 인장강도에 미치는 섬유함유율과 섬유 배향 상태의 영향을 규명하기 위해, 프레스 성형용으로 개발된 PP를 기지재로 사용하고 유리섬유(E-glass yarn)를 보강재로 적용하였다. 성형에는 유압식 열압축 프레스(Carver Model 2518, U.S.A.)를 사용하였으며, 성형 온도는 210°C로 설정하였다. 예열 후 10

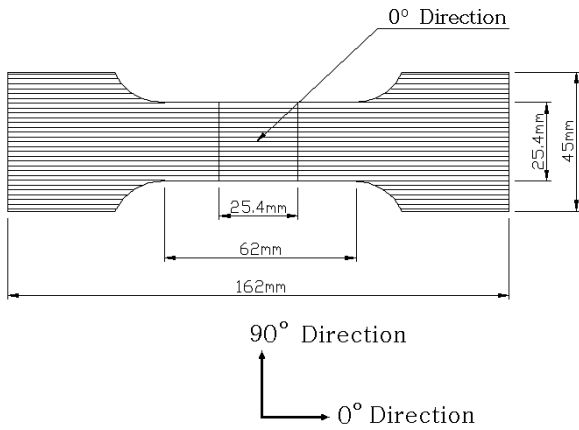


Fig. 2 Schematic diagram of the test specimen with dimensions and fiber orientation. ( $J = 1$ ,  $\theta = 0^\circ$ )

ton의 하중을 가하여 10분간 유지함으로써 섬유와 수지의 충분한 함침을 유도하였다. 이후 냉각 단계에서는 가압 상태를 유지한 채 자연 냉각을 실시하여 잔류응력을 최소화하였다. 모든 시편은 동일한 성형 조건에서 제작하였다.

섬유배향 상태는 섬유배향함수  $J$ 와 일방향 섬유배향각  $\theta$ 를 변화시켜 조절하였다.  $J$  값은 식 (1)에 따라 0에서 1까지 0.1 간격으로 변화시켰으며, 섬유배향각은  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 까지  $10^\circ$  간격으로 설정하였다. 섬유함유율은 10 wt%와 20 wt%로 변화시켰다. 사용된 유리섬유는 스페이스프로에서 시판되는 E-glass yarn(필라멘트 직경:  $13 \mu\text{m}$ , Tex: 135 g/1,000 m)이다.

본 연구에서 인장시험편은 ASTM D638 규격에 따라 Fig. 2와 같은 도그본 형상으로 제작하였으며, 게이지 길이는 25 mm로 설정하였고, 변형률은 시험기 크로스헤드 변위로부터 계산하였다. 인장시험은 Hounsfield사의 만능재료시험기(Load cell: 5 ton, U.K.)로 사용하여 수행하였으며, 시험 속도는 크로스헤드 기준 1 mm/min으로 설정하였다. 섬유배열상태는 시편 중앙부(25 mm × 25 mm × 3.2 mm)의 영역에 대해 Fig. 3에 제시된 배향 조건으로 제어하였다<sup>[10]</sup>.

Fig. 3은 유리섬유 yarn의 2차원 섬유 배열 상태를 나타낸 것이다. Yarn 형태의 섬유를 사용함으로써 각 섬유를 직선 요소로 가정할 수 있으며, 섬유 배열은 Fig. 1에 제시된 섬유배향함수  $J$ 와 섬유배향각 분포 관계를 기준으로 계산하였으며, Fig. 3(a)~(e)는  $J$  값 변화에 따른 배열 상태를, Fig. 3(f), (g)는 일방향 배향 상태에서  $\theta$  변화를 나타낸다. 이를 통해 섬유 배열은  $J$ 와  $\theta$ 로 정량적으로 평가될 수 있다.

Fig. 4는 GFRP 복합재료의 적층 구조와 제조 개념을 나타낸 것이다. 유리섬유 yarn층과 PP층을 교호 적층한 후 열압축 성형을 통해 복합재료를 제조하였다. 이러한 적층 구조는 성형 시 섬유 배열의 균일성과 재현성을 확보하기 위한 것이다.

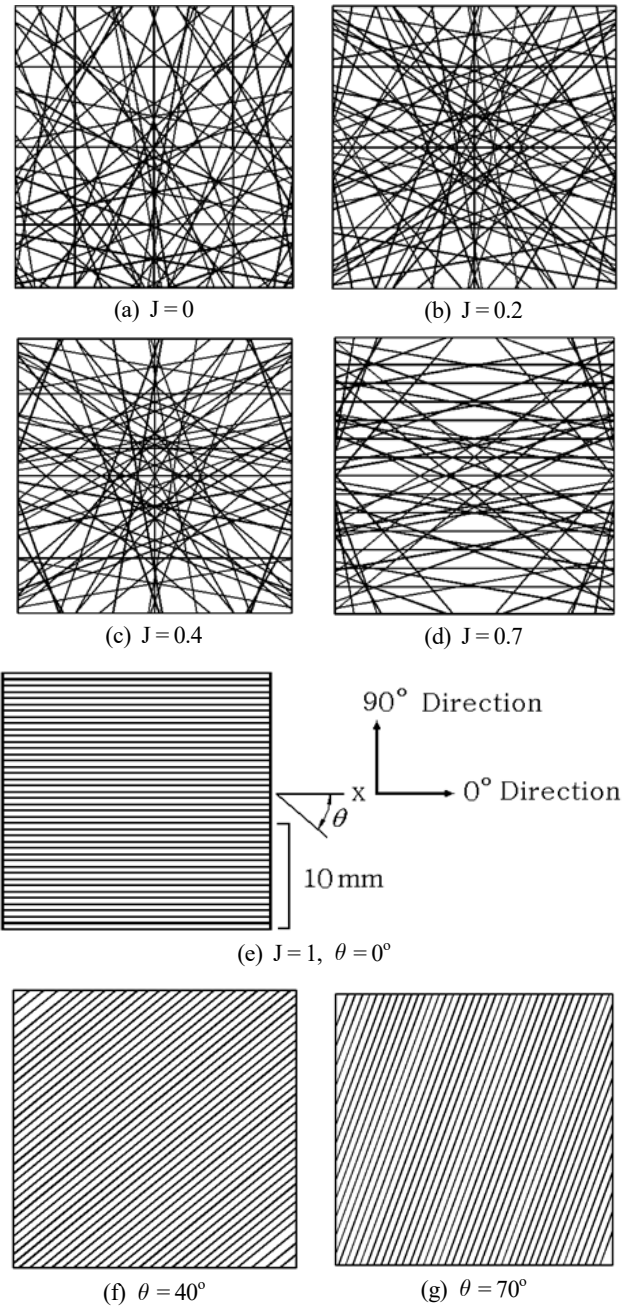


Fig. 3 Two-dimensional distribution of long fibers: schematic representation (10wt%)

#### 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 섬유배향효율( $\eta_f$ )과 섬유배향함수( $J$ ) 간의 관계를 나타낸다. 그래프에서 확인할 수 있듯이,  $J$  값이 증가함에 따라 섬유배향효율은 지속적으로 상승하며, 이는 섬유의 배향 상태가 복합재료의 기계적 성능 향상에 중요한 역할을 함을 보여준다. 특히  $J$ 가 0.1에서 1.0으로 증가할 때, 섬유배향효율은 약 60% 향상되는 것으로 나타나, 섬유배향 최적화가 복합재료 설계에서 핵심 요소임

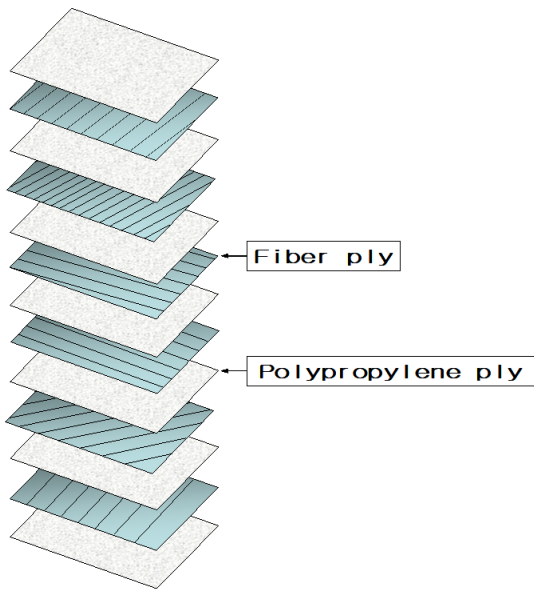


Fig. 4 Schematic of the fiber ply and PP ply lay up

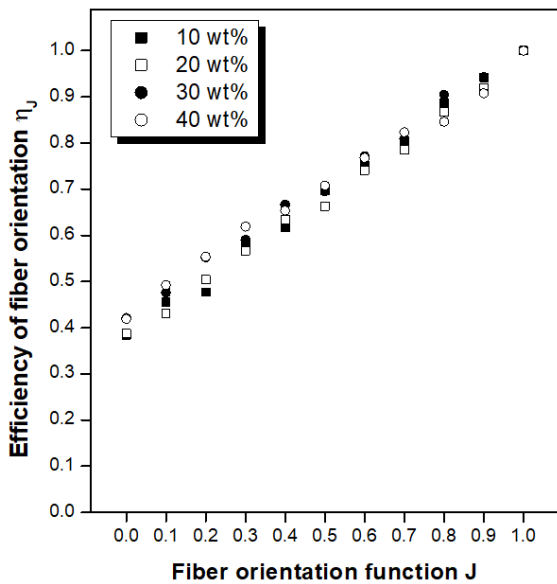


Fig. 5 Relationship between fiber orientation efficiency ( $\eta_f$ ) and fiber orientation function ( $J$ ) for different fiber contents (10–40 wt%)

을 시사한다.

또한 섬유함유율(10 wt%, 20 wt%, 30 wt%, 40 wt%) 변화는  $\eta_f$ 에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 관찰되었다. 이는 복합재료 내에서 섬유배향효율은 섬유함유율보다 섬유배향 상태에 의해 지배된다는 것을 의미한다. 따라서 복합재료의 인장강도 향상을 위해서는 단순히 섬유 함량을 증가시키는 것보다 섬유의 배향을 제어하는 것이 훨씬 효과적이다.

Fig. 6은 섬유 배향각 효율( $\eta_a$ )과 섬유 배향각( $\theta$ ) 간의 관계를 나타낸다. 실험 결과,  $\theta$ 가 증가함에 따라  $\eta_a$ 는 급격히 감소하며,

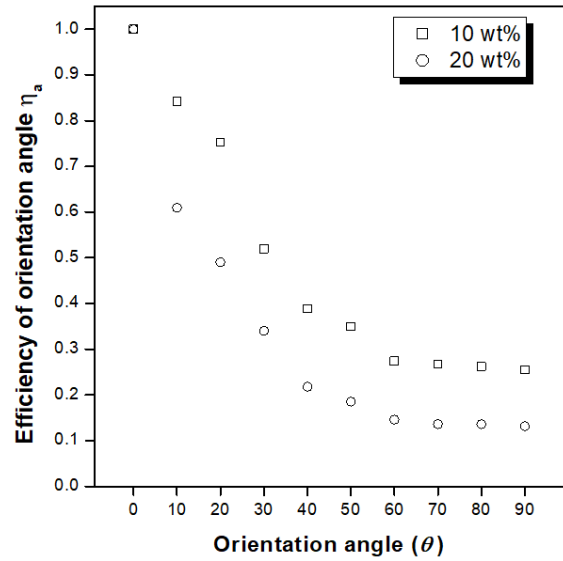


Fig. 6 Relationship between orientation efficiency ( $\eta_a$ ) and orientation angle ( $\theta$ ) for fiber contents (10–40 wt%)

이는 섬유가 하중 방향과 일치할 때( $\theta = 0^\circ$ ) 복합재료가 최대 효율을 발휘함을 의미한다.  $\theta = 0^\circ$ 에서는 인장하중이 주로 섬유층을 통해 전달되어 파단에 이를 때까지 섬유가 외력을 대부분 지지한다. 반면,  $\theta$ 가  $90^\circ$ 에 가까워질수록 하중은 강화재보다 모재(PP)에 의해 지지되므로 효율이 크게 저하된다.

또한 섬유 함유율의 영향도 관찰되었는데, 10 wt%의 경우가 20 wt%보다  $\eta_a$ 가 더 높게 나타났다. 이는 낮은 함유율에서 섬유 배향 효과가 상대적으로 크게 작용함을 시사하며, 복합재료 설계 시 단순히 함유율을 높이는 것보다 섬유 배향 제어가 더 중요한 요인임을 보여준다.

GFRP 복합재료에서 섬유 함유율이 10 wt%와 20 wt%인 경우 모두 섬유 배향각  $\theta$ 가  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 로 증가함에 따라 인장강도가 감소하였다. 이는 섬유 함유율보다는 인장하중의 방향과 섬유 배향각 간의 밀접한 관계가 주요 요인임을 나타낸다. 특히, 일방향 섬유강화( $\theta = 0^\circ, J = 1$ ) 복합재료를 x방향( $\theta = 0^\circ$ )으로 인장할 때, 섬유 배향각이  $40^\circ$  이상에서는 인장강도가 모재인 PP의 인장강도(20.52 MPa)보다 낮게 나타나, 이 경우 섬유 강화 효과가 사실상 사라짐을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 섬유배향상태가 다른 복합재료와 섬유배향각  $\theta$ 를 변화시킨 일방향 복합재료의 인장강도를 비교한 것이다. 섬유함유율 20 wt%에서는 섬유배향함수  $J = 0.2$ 와 섬유배향각  $\theta = 20^\circ$ 에서 유사한 인장강도 값이 나타났으며, 10 wt%에서도  $J = 0.3$ 과  $\theta = 30^\circ$  조건이 비슷한 수준의 강도를 보였다.

이는 섬유함유율에 따라 동일한 인장응답을 제공하는 섬유배향함수( $J$ )-배향각( $\theta$ ) 조합이 존재함을 의미한다. 또한 섬유함유율 증가 시 동일 강도를 구현하는 배향각이 더 낮아지는 경향이 관찰되

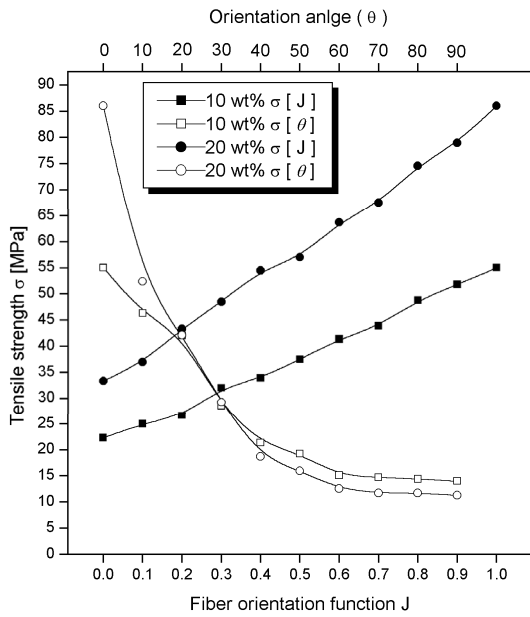


Fig. 7 Relationship between tensile strength, fiber orientation function J, and orientation angle  $\theta$

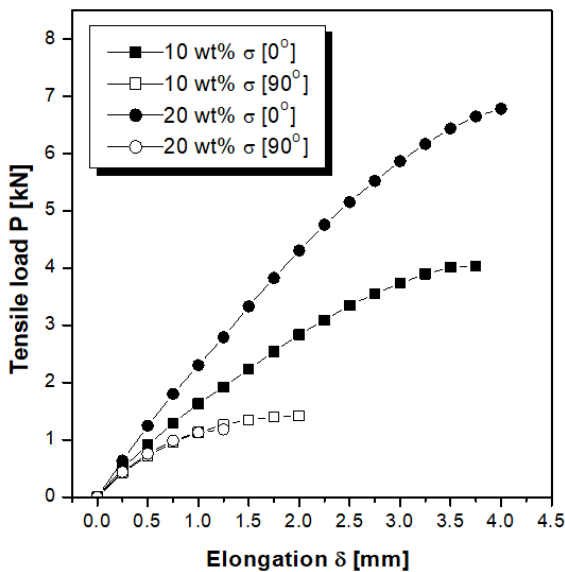


Fig. 8 Tensile load-elongation curves for GFRP (fiber orientation function  $J = 1$ ) with 10 wt% and 20 wt% fiber at  $0^\circ$  and  $90^\circ$  orientations

어, 섬유 네트워크의 연속성과 하중전달 효율이 함유율에 따라 크게 달라짐을 보여준다. 따라서 GFRP 복합재료를 x방향( $\theta = 0^\circ$ )으로 인장할 때, 섬유함유율이 높을수록  $J$ - $\theta$  관계 곡선의 교차점이 더 높은 강도 영역에서 형성될 것으로 판단된다.

Fig. 8은 섬유배향함수  $J = 1$ 인 경우, 복합재료의 종방향( $0^\circ$ )과 횡방향( $90^\circ$ )에 대한 인장하중( $P$ )-신장량( $\delta$ ) 관계를 나타낸다.  $0^\circ$  방향에서는 섬유함유율이 20 wt%인 시편이 10 wt% 시편보다 우수한 하중-변위 특성을 보여, 섬유 함유율 증가가 종방향 인장성

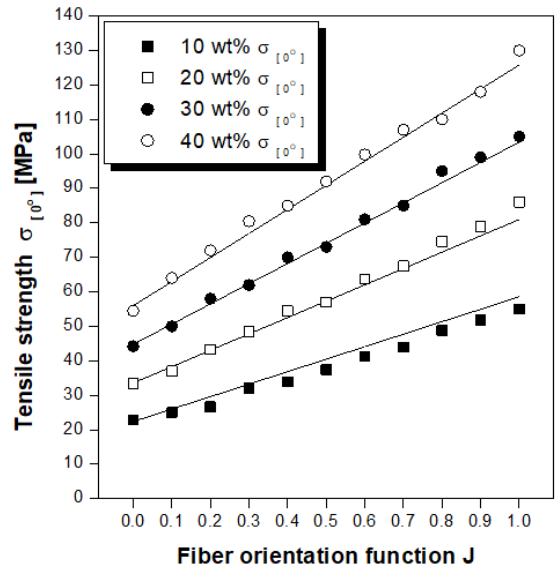


Fig. 9 Comparison of experimental tensile strength at  $0^\circ$  with values predicted by the linear regression model (Eq. (4)) for different fiber contents ( $R^2 = 0.9933$ ).

능 향상에 기여함을 확인할 수 있다. 반면,  $90^\circ$  방향에서는 섬유함유율이 10 wt%인 시편이 20 wt% 시편보다 더 큰 변위를 나타내어, 섬유 함유율 증가가 횡방향 연성 향상에는 기여하지 않음을 시사한다. 이러한 결과는 하중 방향과 섬유 배향이 불일치할 경우 섬유의 기여도가 제한되고, 오히려 모재의 연속성 감소가 변형 능력을 저하시킬 가능성이 있음을 보여준다.

GFRP 복합재료의 인장강도 예측식을 도출하기 위하여  $0^\circ$ (식 4) 및  $90^\circ$ (식 5) 방향 시편의 인장강도 데이터를 최소제곱 회귀분석을 통해 곡선 적합하였다. Fig. 9에서 확인되었듯이  $0^\circ$  방향에서는 섬유배향함수  $J$ 가 증가함에 따라 인장강도가 선형적으로 증가하는 경향을 보여 선형 회귀모델을 적용하였다. 이는 하중전달이 주로 섬유에 의해 지배되는 전형적 일방향 복합재료 거동과 일치한다. 반면, Fig. 10의  $90^\circ$  방향에서는  $J$  증가에 따라 인장강도가 비선형적으로 감소하는 경향을 나타내어, 모재 지배적 변형 메커니즘을 반영하기 위해 비선형 회귀모델을 적용하였다.

회귀모델의 적합성을 평가하기 위하여 도출된 실험식 기반의 예측값과 실제 실험값을 Fig. 9와 Fig. 10에서 비교하였다. 두 방향 모두에서 예측값과 실험값이 높은 상관성을 나타내었으며, 특히  $0^\circ$ 의 선형적 증가특성과  $90^\circ$ 의 비선형적 감소특성이 모두 정밀하게 재현되었다. 이러한 결과는 제안된 회귀모델이 섬유배향함수 및 섬유함유율 변화에 따른 인장강도 변화를 효과적으로 예측할 수 있음을 의미한다.

본 연구에서 제시한 예측식은 섬유배향함수  $J$ 와 섬유함유율을 입력 변수로 하여 다양한 배향조건의 GFRP 복합재료에 대한 인장강도를 정량적으로 산출할 수 있다는 점에서 중요한 설계적 유용

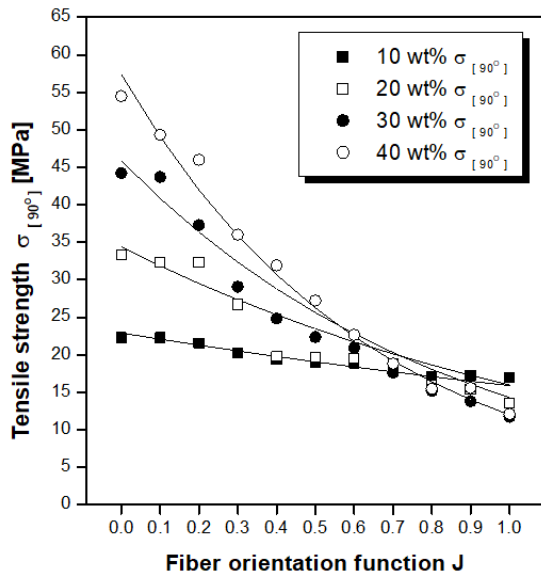


Fig. 10 Comparison of experimental tensile strength at 90° with values predicted by the nonlinear regression model (Eq. (5) for different fiber contents( $R^2 = 0.9608$ ))

성을 갖는다. 이는 복합재료의 최적 설계, 구조 성능 평가, 또는 재료선정 단계에서의 정량적 지침 제공 등 산업 적용 가능성을 크게 확장한다. 결국 제안된 모델은 다양한 배향상태의 GFRP 복합 재료를 보다 합리적이고 정밀하게 설계하기 위한 신뢰성 높은 예측도구로 활용될 수 있음을 보여준다.

$$\sigma_{[0^\circ]} = 1.12\{(\text{wt}\% + 10) + (\text{wt}\% + 22.32)J\} \quad (4)$$

$$\sigma_{[90^\circ]} = (11.4 + 1.15\text{wt}\%)e^{(0.034 - 0.0402\text{wt}\%)J} \quad (5)$$

## 5. 결론

본 연구에서는 GFRP 복합재료의 인장거동에 미치는 섬유배향 변수의 정량적 영향을 체계적으로 규명하고, 이를 기반으로 다양한 배향 조건에 적용 가능한 인장강도 예측 모델을 제안하였다. 분석 결과, 복합재료의 인장성능은 단순한 섬유함유율보다 섬유배향함수(J) 및 섬유배향각( $\theta$ )의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다. 특히  $\theta$ 가 증가함에 따라 인장강도가 현저히 감소하는 경향이 나타났으며, 섬유 함유율과 무관하게  $\theta$ 가 약 40°를 초과하는 경우 섬유 보강 효과가 거의 소멸하는 임계적 거동이 확인되었다.

0° 및 90° 방향에서 획득한 인장강도 데이터를 회귀 분석하여 각각 선형 모델과 비선형 모델을 도출하였다. 본 연구에서 제안한 예측식은 다음과 같다.

0° 방향 인장강도 예측식(선형 모델)

$$\sigma_{[0^\circ]} = 1.12\{(\text{wt}\% + 10) + (\text{wt}\% + 22.32)J\}$$

90° 방향 인장강도 예측식(비선형 모델)

$$\sigma_{[90^\circ]} = (11.4 + 1.15\text{wt}\%)e^{(0.034 - 0.0402\text{wt}\%)J}$$

두 모델은 실험결과와 매우 우수한 일치도를 보였으며, 0° 방향에서의 선형적 강화 효과와 90° 방향에서의 비선형적 강도 저하 경향을 정밀하게 재현하였다. 이는 제안된 모델의 신뢰성과 예측 정확성을 뚜렷하게 입증하는 결과이다.

또한 식은 섬유배향함수 J와 섬유함유율 wt%만을 입력 변수로 사용하기 때문에, 다양한 배향 조건을 갖는 GFRP 복합재료의 인장강도를 신속하고 정량적으로 예측할 수 있는 단순하면서도 실용적인 도구를 제공한다. 이러한 간결성과 적용 가능성은 GFRP 복합재료의 구조 설계 최적화, 성능 평가, 재료 선택 과정에서 실질적인 설계 지침으로 활용될 수 있음을 시사한다. 더 나아가, 본 연구에서 제시한 접근법은 향후 다른 섬유강화 복합재료 시스템으로의 확장 가능성 또한 갖고 있다.

## 후 기

이 논문은 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음 (2025).

## References

- [1] Stanciu, M. D., Drăghicescuc H. T., Roşcaci I. C., 2021, Mechanical Properties of GFRPs Exposed to Tensile, Compression and Cyclic Tests, *Polymers*, 13:6 898, <https://doi.org/10.3390/polym13060898>.
- [2] Mohammadi, H., Ahmad, Z., Mazlan, S. A., Johari, M. A. F., Siebert, G., Petru, M., Kolor, S. S. R., 2023, Lightweight Glass Fiber-Reinforced Polymer Composite for Automotive Bumper Applications: A Review, *Polymers*, 15:1 193, <https://doi.org/10.3390/polym15010193>.
- [3] Vogel, K., Heinrich, M., Ulbricht, J., Elsner, J., Feige, H. J., Vogel, J., Kroll, L., 2014, Mechanical Characterization of Glass Fiber-Reinforced Composites, XIIIth Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, 137-140, <<https://www.imeko.org/publications/ysesm-2014/IMEKO-YSESM-2014-032.pdf>>.
- [4] Fejkiel, R., Skwara, K., 2024, Analysis of the Thermal

Expansion Coefficient of Glass- and Carbon-Fibre-Reinforced Composites, *Adv. Mech. Mater. Eng.*, 41:1 17-26, <https://doi.org/10.7862/rm.2024.2>.

- [5] Johnson, R. R., Kural, M. H., Mackey, G. B., 1981, viewed 29 March 2026, Thermal Expansion Properties of Composite Materials, NASA Contractor Report, NASA-CR-165632, National Aeronautics and Space Administration, <<https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA306191.pdf>>.
- [6] Kim, H.-S., Kim, J.-W., Seo, J., Lee, D.-G., Sim, J.-K., 2013, Fabrication and Characterization Evaluation of Prepreg with Unidirectional Glass Fibers for Use of Automobile Bumper Beams, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 22:5 806-811, <http://doi.org/10.7735/ksmte.2013.22.5.806>.
- [7] Jones, R. M., 1999, *Mechanics of Composite Materials* (2nd Edition), Taylor & Francis, Boca Raton, <https://doi.org/10.1201/9781498711067>.
- [8] BASF, 2023, viewed 15 January 2026, Automotive Recycled GFRP Product Report, BASF Technical Publication, <[https://myindustryworld.basf.com/emea/en/industries/nonwovens\\_and\\_composite\\_materials/automotive\\_composites](https://myindustryworld.basf.com/emea/en/industries/nonwovens_and_composite_materials/automotive_composites)>.
- [9] Kim, J. -W., Lee, D. -G., 2007, Effect of Fiber Orientation and Fiber Contents on the Tensile Strength in Fiber-reinforced Thermoplastic Composites, *Compos. Res.*, 20:5 13-19, <https://doi.org/10.7234/kscm.2007.20.5.013>.
- [10] Lee, D. -G., Sim, J. K., Kim, J. -W., 2006, Study on the Fiber Orientation and Fiber Content Ratio Distribution during the Injection Molding for FRP, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 15:4 1-7.
- [11] Kim, J. W., 2021, Measurement of Temperature Distribution in the Tensile Strength Test of Composites According to Fiber Orientation Functions, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 30:5 382-388, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.5.382>.
- [12] Kim, T. W., 2021, Reliability Validation of Impact Test Results for Polymer Composite, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 30:1 80-84, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.1.80>.
- [13] Zangana, S., Epaarachchi, J., Ferdous, W., Leng, J., Schubel, P., 2021, Behaviour of Continuous Fibre Composite Sandwich Core Under Low-velocity Impact, *Thin-Walled Struct.*, 158 107157, <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107157>.



**Jin-Woo Kim**

Professor in the Department of Mechanical Engineering, Chosun University.

His research interests include mechanics, design, and materials.

E-mail: [jinu763@chosun.ac.kr](mailto:jinu763@chosun.ac.kr)