

## 섬유강화 복합재료의 인장강도 측정변수에 따른 영향

이재동<sup>1</sup> · 진영호<sup>1</sup> · 김민석<sup>1</sup> · 손현식<sup>1†</sup> · 권동준<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>다이텍연구원

<sup>2</sup>경상대학교 그린에너지융합연구소

(2021년 05월 20일 접수, 2021년 06월 10일 수정, 2021년 06월 17일 채택)

## Effect of Measuring Parameters of Tensile Strength of Fiber-reinforced Composite Materials

Jae-Dong Lee<sup>1</sup>, Young-Ho Jin<sup>1</sup>, Min-Seok Kim<sup>1</sup>, Hyun-Sik Son<sup>1†</sup>, Dong-Jun Kwon<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Test-Bed Research Center, Textile Material Solution Group,  
Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

<sup>2</sup>Research Institute for Green Energy Convergence Technology, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

(Received May 20, 2021, Revised June 10, 2021; Accepted June 17, 2021)

**요약:** 섬유강화 복합재료를 이용하여 다양한 제품을 개발하고 있다. 제품화를 위해서는 기본적으로 복합재료의 인장강도 평가를 진행해야 한다. ASTM D3039 규격을 기반으로 섬유강화 복합재료가 평가되는데, 인장시편에 대한 변수 및 평가 조건에 따른 변수가 섬유강화 복합재료의 인장강도에 변화를 유발시킨다. 본 연구에서는 섬유강화 복합재료의 인장강도를 평가하는 ASTM D3039 기준을 따라 실험을 하되 탭, 시편의 두께, 탭을 붙이기 위한 접착제의 종류, 지그의 압력에 따른 섬유강화 복합재료의 인장강도 결과의 변화를 확인하였다. 시편의 두께에 따라 인장강도 및 인장탄성률의 변화가 있었다. 시편의 두께는 1~1.5 mm이 최적이며, 지그의 압력은 0.28 MPa, 탭을 붙이는 접착제는 접착력이 가장 우수한 구조용 접착제를 사용하는 것이 효과적이었다. 다양한 실험적 변수로 인해 오류를 일으킬 수 있었다. 접착제 및 탭, 지그 등에 대한 정확한 설정을 통해 효과적인 복합재료 평가가 이루어지길 희망한다.

**Abstract:** Generally, the tensile strength of carbon fiber reinforced composite (CFRP) should be determined to produce this material. The tensile strength was performed based on ASTM D3039, and this test could cause the error by specimens and human. In this research, the CFRP tensile test was performed with different thickness of specimens and tap, adhesive for attaching tap, and pressure of jig to hold the specimens, while the test was performed based on ASTM D3039. The tensile stress and modulus exhibited differently with different specimen thicknesses, and the 1~1.5 mm thickness of the specimen was optimized. In the case of 0.28 MPa jig pressure, the slip or fracture at the clamping area of the specimen has not occurred, and specimens were fractured to the center section of the specimen. The adhesive to attach jig on specimen should be used to exhibit high adhesive stress. Experimental parameters could cause errors. It is expected to achieve an accurate tensile property evaluation of composite materials via improvements in adhesives, tabs, and jigs.

**Keywords:** Tensile test, Measuring parameters, Fiber-reinforced composite, Tap, Adhesion

† Corresponding author: Hyun-Sik Son, Dong-Jun Kwon  
(bigson@dyetec.or.kr, djk8778@gnu.ac.kr)

## 1. 서론

섬유강화 복합재료는 섬유와 기지재료가 혼합되어 가벼우면서 구조적으로 높은 기계적 물성을 가지는 소재이다[1]. 섬유강화 복합재료의 비강도 특성이 철보다 우수하여 구조용 소재로 활용이 확대되고 있다[2]. 물론 섬유와 고분자 기지재료가 혼합되어 있기 때문에 섬유의 인장특성과 고분자기지기가 섬유를 고정시키는 형태로 높은 수준의 인장특성을 가지게 된다[3,4].

근본적으로 복합재료의 섬유강도 및 고분자의 내구성은 복합재료의 물성에 큰 영향을 미친다. 따라서 복합재료를 제조할 때 사용하는 강화재와 기지재료의 물성평가를 통해 정확한 구성 재료의 물성을 평가하는 것이 중요하다. 구성 재료에 따라 복합재료의 대부분 물성이 조절되게 된다[5]. 대부분의 복합재료 전문가들은 복합재료의 기계적 물성 향상을 목적으로 연구하는 경우가 많다[6]. 항공분야를 제외하고는 아직 최적화된 섬유강화 복합재료의 표준물질이 설정되어 있지 않은 상태이기 때문에 다양한 섬유와 고분자 재료 조합을 통해 새로운 복합재료의 기계적 물성을 검증하는 과정이 중요하다[7,8].

다채로운 소재를 조합하거나 새로운 공정을 통해 새로운 섬유강화 복합재료가 개발되고, 이러한 재료에 대한 기계적 물성을 평가하기 위해 ASTM, ISO, KS 등의 표준시험규격을 많이 사용한다[9-11]. 하지만 이러한 규격들은 단위, 시편 사이즈도 차이가 있어 완벽한 물성비교가 어렵다.

사용자가 어떠한 표준시험규격 선정하는가에 따라 동일한 재료라고 하여도 다양한 편차가 발생된다. 예를 들어, 고분자 재료의 경우 일반적으로 인장강도를 평가하기 위해 ASTM D638 기준을 많이 활용한다[12]. 주로 사출 타입의 고분자 재료의 인장강도를 많이 평가한다. 하지만 ASTM D638규격만 하더라도 아령과 같은 형태를 가진 시편이 5종류가 된다[13]. 시편의 중앙부분에 고분자의 배열이 형성되도록 이루어지도록 하였으나 시편의 종류가 5개나 존재하기 때문에 사용자의 선택에 따라 재료의 객관적인 평가, 상대적인 비교가 어렵게 된다.

섬유강화 복합재료 내 존재하는 섬유의 길이, 함량, 배열 조건에 따라 ASTM D638 또는 D3039규격으로 사용이 가능하다. 일반적으로 사출타입의 장섬유 강화 고분자복합재료의 경우 ASTM D638기준으로 평가가 가능하다. 하지만 연속섬유강화 복합재료나 프리프레그를 활용한 복합재료와 같이 섬유의 길이가 길고 방향성을 가질 경우, ASTM D638로 평가하기에 규격의 적합성은 떨어진다. 따라서 직사각형 형태의 ASTM D3039규격을 기반으로 복합재료의 인장강도 평가를

진행한다[14]. 아령 형태의 시편을 활용하여 섬유강화 복합재료의 섬유배열특성이 정확하게 검증되지 못하기 때문에 직사각형 타입의 ASTM D3039규격을 반드시 활용해야 한다. 시편의 두께를 얇게 하여 사용 시편 내에서 응력 집중이 이루어지도록 규정화된 시편을 활용하여 인장특성을 평가한다. 규정집에 존재하는 평가 기준들은 연구자에 의해 재설정되고 일반적인 실험기준 내에서 평가규격을 따라 실험 결과를 도출한다.

구조용 소재로 섬유강화 복합재료가 더 광범위하게 사용될 수 있도록 하려면 구조물의 구조해석에 적용 가능한 편차가 적고 신뢰할 수 있으며, 규격화된 시험을 통해 확보한 실험 결과가 필요하다[15]. 즉 다양한 섬유강화 복합재료가 개발되고 있는 상황에 정확한 소재물성 데이터 구축이 빅데이터 및 디지털 트윈과 같은 사회적 트렌드에 맞춘 기초데이터로 활용되기에 중요하다.

복합재료의 기초 물성인 인장평가에서 발생하는 변수에 대한 최소화를 이루기 위해 고려되어야 할 변수가 무엇인지 확인하기 위해 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 탄소섬유 강화 고분자 복합재료에 대한 인장 물성을 평가할 때 주어지는 탭의 종류, 지그 그립압력, 탭과 시편을 붙이는 접착제, 시편의 두께와 같은 실험적 변수가 복합재료의 인장특성 평가에 미치는 영향을 분석하였다. ASTM D3039규격에 따른 섬유강화 복합재료 시편의 두께는 1 mm로 설정되었으나 두께가 더 얇거나, 더 두꺼워진다면 어떠한 변화를 유발하는지 하였다. 섬유강화 복합재료의 인장강도를 평가하기 위해서 사용되는 탭에 대해서 확인하였다. 탭을 시편에 붙일 때 사용되는 접착제 및 시편을 잡는 지그 그립압력이 섬유강화 복합재료의 인장특성 평가결과에 미치는 영향을 평가하였다. 궁극적으로 실험 변수에 따른 섬유강화 복합재료의 물성 변화 최소화 조건을 도출하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약 및 재료

본 논문에서는 탄소섬유 강화 복합재료를 사용하였다. 탄소섬유 강화 복합재료(CFRP)를 제작하는 방법은 프리프레그 가압공법을 사용하였다. 티비카본의 속경화 타입 프리프레그를 이용했다. 프리프레그 적층 조건은 0°C, 90°C 조건으로 쌓아 올렸다. 프리프레그 두께는 평균 0.2 mm이었다. 프리프레그의 수지 분율은 32%이었다. 프리프레그를 크로스몰드에 삽입한 뒤 핫프레스 온도가 180°C 조건에서 30분간 1 MPa 가압 조건으로 성형하여 시편을 제작하였다.

인장용 시편으로 제작한 CFRP평판은 300 mm × 300

mm이며 프리프레그 플라이 수를 달리하여 0.6 mm 부터 2.8 mm까지 제작하였다. 다이텍연구원이 보유한 가열/냉각이 가능한 프레스를 활용하여 120°C 15분 가열, 40°C 30분 냉각과정을 가졌고 시편에 가해진 압력은 0.89 MPa의 압력이었다. 냉각과정 동안 평판의 열 변형을 최소화할 수 있었다. 확보된 평판의 수지 퍼짐 및 섬유 배열이 미세하게 변형된 모서리 부분을 워터젯으로 절단하였다. 결함이나 외부 형상의 휨 등이 발생되지 않은 CFRP 평판에서 인장 평가용 시편을 확보하여 실험하였다. CFRP는 ASTM D3039 규격에 따라 폭 15 mm, 길이 250 mm, 두께 1 mm로 표현이 되었다. 하지만 본 실험에서는 시편의 두께가 실험에 미치는 영향을 관찰하기 위해 시편의 두께는 변화시키도록 하였고, 폭 15 mm, 길이 250 mm 규격은 유지하여 실험하였다.

실험에 사용된 탭은 일반적으로 섬유강화 복합재료 인장평가에 많이 활용되는 유리섬유강화 복합재료 (FRP, 란스카본, 한국)를 사용하였다. 추가적으로, 탭 종류에 따른 CFRP 인장 특성평가의 결과 차이를 검증하기 위해 알루미늄 5052 플레이트, 사포(Sandpaper, CW400)를 활용하였다. 규격에 따른 탭의 두께 및 길이는 1.5 mm, 56 mm이다. 실험에서 사용한 FRP와 알루미늄 탭은 규격대로 준비하여 사용하였다. 하지만 상용화된 사포의 두께는 1 mm이라 그대로 사용하였다.

탭과 복합재료 시편을 붙이는 접착제의 영향을 확인하기 위해 엑시아사에서 아크릴계 접착제 031, (주)오공사에서 제작한 클로로프렌 고무계 오공본드601, 헌츠만사의 아랄다이트 속건성 이액형 에폭시, 헌츠만사의 구조용 접착제(AW106CI: HV953UCI=7:3)를 사용하였다. ASTM D3039 규격에 맞춰 절단한 CFRP과 탭 간에 접착제 접착은 0.5 MPa 조건으로 압착하여 하루 동안 상온에서 접착제를 경화하고 CFRP의 인장실험을 실시하였다.

## 2.2. 기계적 물성 평가

CFRP의 인장특성을 평가하기 위해 시마즈사의AGS-X 모델의 UTM을 활용하였다. 시편의 두께, 탭 종류, 탭 접착제, 지그 압력의 변수에 따른 CFRP 인장강도 평가를 위해 각 조건별 5개의 인장실험을 실시하고 최대, 최소값을 제거한 뒤 3개의 데이터로 분석하였다. 인장 평가는 10 mm/min의 속도로 진행하였다. 프리 로드를 10 N으로 설정하고 실험하였다. 시편의 상태, 변화 등을 확인하기 위해 니콘사의 현미경을 활용하였다.

## 3. 결과 및 토의

### 3.1. CFRP 두께에 따른 인장 특성 변화

Fig. 1은 ASTM D3039 기준에 맞춰 실험하되 시편의

두께에 따른 인장강도, 인장탄성률의 변화를 관찰한 결과이다. Fig. 1(a), (b)와 같이 시편의 두께가 1 mm 근처일 경우 CFRP의 인장특성이 일정한 구간이 확인되었다. CFRP의 두께가 얇을 경우 측정에 대한 편차가 큰 편이었다. 이는 인장응력에 의해 섬유와 섬유사이의 파단이 빨리 발생되었다. 즉 시편의 두께가 얇을수록 계면 접착 및 층간접착의 영향이 적어 섬유와 섬유간의 파단이 인장하중에 의해 쉽게 발생되기 때문이라 예측된다. 시편을 만드는 가압 조건에서 섬유의 배열

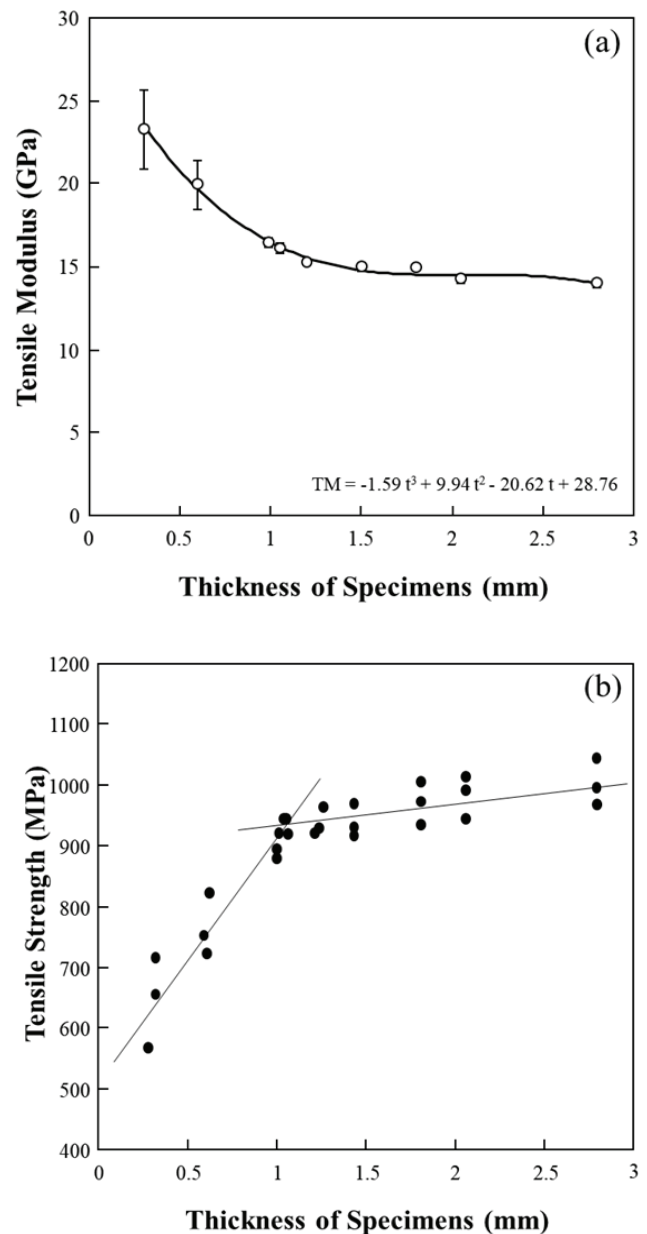


Figure 1. Tensile modulus and strength of CFRP based on the ASTM D3039 with different thickness of CFRP.

변화가 쉽게 발생되기 때문에 적절한 두께를 가진 시편을 활용하여 CFRP의 인장 평가하는 것이 적합하였다. Fig. 1(a)의 결과와 같이 CFRP의 인장탄성률이 일정하게 확인되는 구간이 1~2 mm 두께의 시편에서 도출되었다. 하지만 2 mm 이상 두께가 증가됨에 따라 인장탄성률은 저하되었다. 반대로 Fig. 1(b)에서 CFRP의 인장강도는 지속적으로 증가되는 경향을 확인하였다. 이는 CFRP의 두께가 증가됨에 따라 시편 내부에 존재하는 계면의 수가 증가됨에 따라 CFRP에 전달되는 인장하중을 견디는 특성이 증가될 수 있음을 발견하였다. 시편의 크기는 동일한데 시편의 두께가 증가되면서 CFRP를 이루는 계면이 증가되고, 계면 접착력이 향상되면서 발생하는 현상이라 예상된다.

**3.2. 인장평가용 그림 부 변수에 의한 CFRP 인장특성의 변화**

Fig. 2는 CFRP 인장시험을 위해 사용되는 탭 고정용 접착제의 종류에 따른 결과의 차이를 정리하였다. CFRP의 두께는 1.1 mm, 지그의 압력은 0.12 MPa로 설정하여 인장실험을 한 결과이다. Non으로 표현한 결과는 탭을 붙이지 않은 CFRP를 인장한 결과이다. 탭을 사용하여야 시편이 슬립이 나지 않았다. CR계 접착제를 이용할 경우 탭을 일시적으로 고정할 뿐 명확한 접착이 이루어지지 않았다. 따라서 인장하중에 의해 접착부분에 그림이 밀려나는 현상이 발생되었다. 아크릴계 접착제인 PAL 조건은 큰 하중을 받을 경우 시편과 탭이 분리되는 현상이 간혹 발생되었다. 이는 아크릴계 접착제의 강인성이 낮은 특성 때문에 인장하중에 의해 계면파괴가 쉽게 이루어졌다. 따라서 높은 인장

하중을 가지는 CFRP 인장평가용 탭용 접착제로는 적합하지 않았다. 일반 에폭시, N-epoxy를 사용할 때, 안정적인 결과를 확인할 수 있었다. 구조용 접착제인 S-epoxy를 사용할 경우 탭 고정이 최적이었다. 즉 접착제의 접착력이 높아질수록 최적의 CFRP 인장 평가결과를 확인할 수 있었다. 접착제의 접착강도와 강인성은 CFRP 인장특성 평가에 중요 변수였다.

Fig. 3은 인장평가용 지그 그림압력에 따른 CFRP의 인장강도 변화를 정리한 결과이다. Fig. 2의 결과를 통해 탭이 시편을 강하게 잡아야 정확한 인장평가가 가능하였다. 만약, 탭 없이 그림압력이 증가된다면 CFRP에 대한 인장평가가 정확하게 이루어지는지 조사하였다. 탭을 붙이지 않은 결과를 보면 0.17 MPa 조건까지는 그림압력을 올리면 시편에 대한 고정이 잘 이루어지기 때문에 시험평가가 대략적으로 가능하였다. 하지만 그 이상의 그림압력으로 평가할 경우 CFRP 시편은 파괴되거나, 표면 미세균열을 형성시켜 낮은 인장강도가 측정되었다. CFRP 쪽으로 사포의 거친 면을 배치시켜 실험한 CFRP/BSP와 거친 사포면을 반대로 배치한 CFRP/SP의 결과에서는 지그 그림압력 0.28 MPa 초과 조건에서, CFRP의 그림부 파손으로 인해 인장강도 평가가 정확히 이루어지지 못했다. 이는 사포가 종이로 되어 있어 그림압력을 그대로 시편에게 전달하였기 때문이다. 지그 그림압력으로 CFRP표면에 미세균열 및 파괴가 발생되지 않도록 탭이 그림압력을 전달 수 있는 강직한 소재를 탭으로 사용하는 것이 중요하였다. FRP 탭을 사용할 경우, 0.28 MPa 지그 그림압력 조건에서 가장 높은 인장강도가 측정되었다. 알루미늄 탭

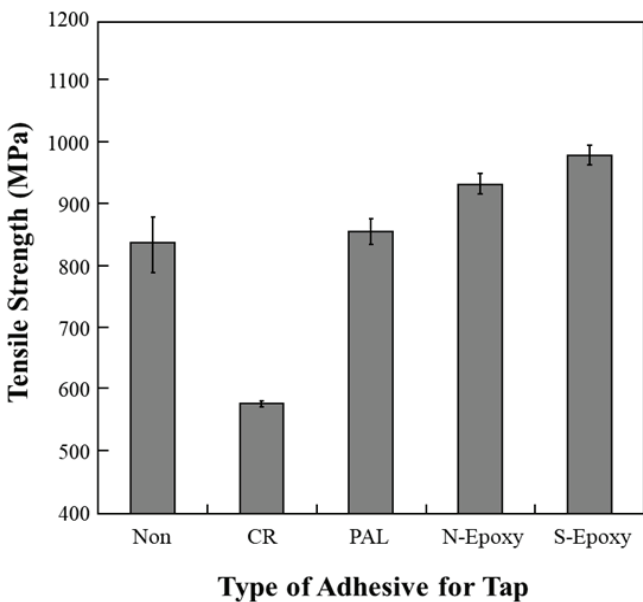


Figure 2. Tensile strength of CFRP with different adhesive on tap.

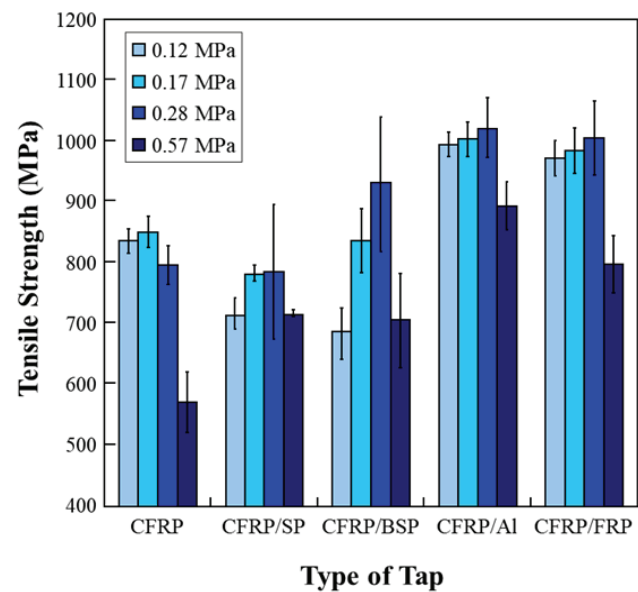
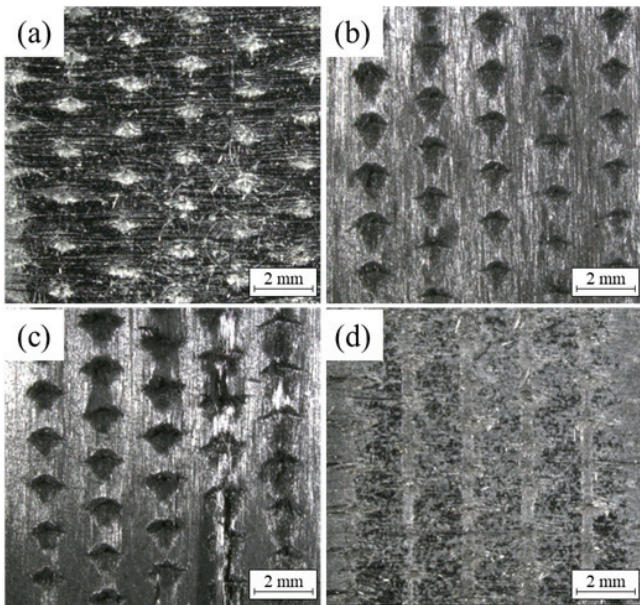


Figure 3. Tensile strength of CFRP with different grip press.



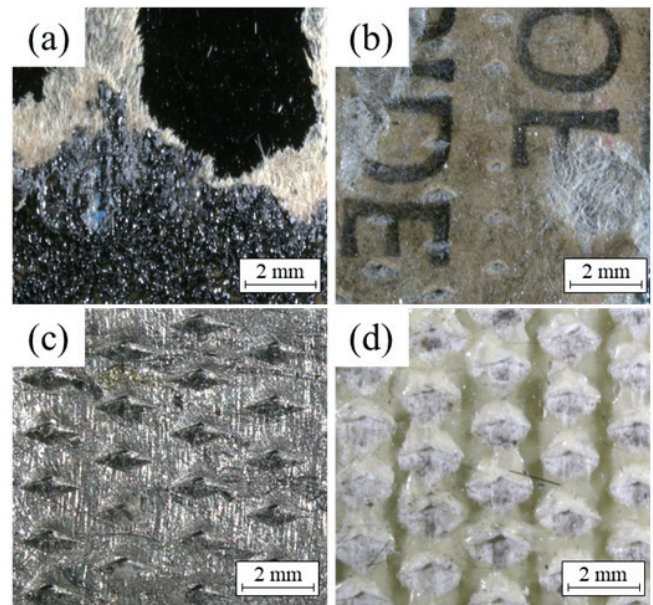


**Figure 4.** Surface of CFRP specimens with different grip press level after tensile test: (a) 0.12; (b) 0.17; (c) 0.28; and (d) 0.57 MPa.

을 활용했을 때도 유사한 경향이였다. 0.28 MPa 그립 압력으로 시편을 고정하여 평가할 때 적절한 조건이였다. 그 이상의 지그 그립압력은 CFRP 그립부를 파괴시키기 때문에 적절하지 못하였다.

Fig. 4는 탭을 붙이지 않은 시편에 가해지는 지그 그립압력이 높을 경우 발생하는 시편의 형상변화를 나타낸 결과이다. 지그 그립압력이 낮을 경우 CFRP 표면에 미세균열이 형성되였다. 지그 그립압력이 증가될 경우 시편의 표면균열이 더 깊게 형성되였다. 즉 미세균열이 너무 커질 경우 Fig. 4(c), (d)와 같이 시편 표면의 내구성 감소하여 충분한 인장평가를 위한 시편의 고정이 이루어지지 못하였다. 탭 없이 CFRP를 인장 평가할 수 있지만 탭을 사용하기를 권장한다. 지그 그립압력이 너무 높아도 CFRP 표면층을 모두 파손시켜 버리는 문제가 있기 때문에, Fig. 3의 탭 사용 결과들과 Fig. 4의 결과를 바탕으로, CFRP인장 특성 평가를 위한 지그 그립압력은 0.28 MPa이 적합한 수준이라 판단하였다.

Fig. 5는 탭의 종류에 따른 CFRP 인장특성 평가 후, 탭의 표면변화를 관찰했다. CFRP 인장실험을 할 경우 지그 그립압력이 전달되는 시편의 표면이 고분자로 이루어져 있기 때문에, 정확한 평가를 위해 강직한 탭이 필요하였다. 사포와 같이 표면은 실리콘카바이드 소재로 강직하다. 거칠기에 의한 시편 고정능력은 우수했지만 사포자체가 찢어지기 때문에 Fig. 5(a), (b)와 같은 결과를 확인할 수 있었다. Fig. 5(c)와 같이 알루미늄 탭은 그립을 명확하게 고정하였음을 확인할 수 있었



**Figure 5.** Surface of tap with 0.28 MPa grip press after tensile test: (a) CFRP/SP; (b) CFRP/BSP; (c) CFRP/Al; and (d) CFRP/FRP.

다. 지그 그립압력으로 그립 표면의 요철이 그대로 알루미늄 탭 표면에서 관찰되었기 때문이다. FRP 탭을 활용할 경우 지그 그립압력에 의해 탭이 지그 그립의 표면요철을 강하게 잡을 수 있었지만, 요철에 의한 파인 표면이 인장하중에 의해 쉽게 변형됨이 Fig. 5(d)를 통해 확인하였다. FRP 탭의 구성 자체가 고분자와 섬유이기 때문에 그립 지그압력에 의해 표면에 쉽게 그립의 요철이 고정될 수 있지만, 인장하중에 의한 요철 부분의 미세한 변형이 쉽게 발생하는 재질이였다. 이는 실험결과에 오류를 미칠 수 있는 변수였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 섬유강화 복합재료에 대한 정확한 인장평가를 위해 탭의 종류와 탭용 접착제, 지그 그립압력, 시편의 두께와 같은 변수에 따른 영향을 확인하였다.

1. 탭의 종류는 강직한 소재를 사용해야 지그 그립요철과 그립압력에 대한 시편보호가 가능했으며, 탭 표면에 그립요철에 의한 미세 균열 발생이 적은 알루미늄이 효과적이었다.

2. 탭용 접착제는 S-epoxy와 같이 접착력이 높으며 강인성을 보유한 접착제가 적합하였다.

3. 지그 그립압력 변수는 0.28 MPa 조건이 가장 인장강도가 높고, 결과에 대한 편차가 낮은 결과를 확보할 수 있었다.

4. 시편의 두께는 CFRP 인장평가에 가장 크게 변화

를 발생하는 변수였다. ASTM 규격대로 1 mm 두께가 적합하였다.

이러한 결과를 바탕으로 복합재료 인장평가를 처음 진행하는 연구자 또는 새로운 평가법을 개발하는 개발자에게 도움이 되어 복합재료 평가분야의 발전에 도움이 될 것으로 판단된다.

## 감사의 글

This research was supported by the National defense textile material industry promotion, funded by the Ministry of Trade, Industry, and Energy. (No 20016160), Moreover, the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) was funded by the Ministry of Education (No. 2020R1A6A1A03038697).

## References

- Hong, T.M., Lee, J.E., Hong, Y.K., Lee, J.S., Cho, D.H., Lee, S.G., *Journal of Adhesion and Interface*, **14**(3), 117 (2013).
- Kim, J.H., Shin, P.S., Lee, S.I., Park, J.M., *Journal of Adhesion and Interface*, **21**(1), 27 (2020).
- Masaki, K., *Journal of Adhesion and Interface*, **18**(2), 100 (2017).
- Wang, Z.J., Kwon, D.J., Gu, G.Y., Park, J.K., Lee, W.I., Park, J.M., *Journal of Adhesion and Interface*, **11**(4), 149 (2010).
- Jeon, K.W., Shin, K.B., Kim, J.S., *Composites Research*, **23**(5), 22 (2010).
- Kwak, Y., Jung, W., *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, **10**(3), 8 (2019).
- Lee, K.Y., Cho, D.H., *Journal of Adhesion and Interface*, **20**(3), 87 (2019).
- Lee, J., Ha, C.S., *Journal of Adhesion and Interface*, **17**(4), 131(2016).
- ASTM D3039: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- ISO 527-2: Tensile Testing for Plastics.
- KS M ISO 527-3: Plastic-tensile test.
- ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- Laureto, J., Pearce, J.M., *Polymer Testing*, **68**, 294 (2018).
- Kim, J.K., Choi, S.H., Kim, Y.K., Kim, H.G., Kwac, L.G., *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, **20**(3), 53 (2021).
- Lukáš Bek, Radek Kottner, Vladislav Laš, *Composite Structures*, **259**, 113435 (2021).