

## 접착제 접합된 자연섬유강화 복합재료의 파괴 강도특성에 미치는 섬유방향의 영향

### Effect of Fiber Orientation on Failure Strength Properties of Natural Fiber Reinforced Composites including Adhesive Bonded Joints

임재규\*, 윤호철\*\*, 이상용\*\*, Wang Renliang\*\*

\*공학연구원 공업기술연구센터, 전북대학교 기계항공시스템공학부

\*\* 전북대학원 기계설계학과

**ABSTRACT** This paper is concerned with a fracture strength study of composite adhesive lap joints. The tensile and peel tests were carried out on specimen manufactured hybrid stacked composites such as the polyester and bamboo natural fiber layer. The main objective of the work was to test the failure strength of adhesive bonded joints using hybrid stacked composites with a polyester and bamboo natural fiber layer adjacent to the fiber orientation. From results, the load directional orientation, small amount and low thickness of bamboo natural fiber layer have a good effect on the tensile and peel strength of natural fiber reinforced composites. and these characters are have a great influence on fracture strength and failure shape of adhesive bonded joints using hybrid stacked composites in the difference of fiber orientation.

#### 1. 서 론

자연섬유강화 복합재료는 저가이고 친환경적이며 유리섬유 복합재료(GFRP)의 대체 가능성 때문에 최근 많은 관심을 얻고 있다. 유리섬유강화 복합재료는 이미 자동차 산업에서 상당한 부분을 차지하고 있지만, 가볍고 고강성인 장점에도 불구하고 분해가 어려워 폐기가 쉽지 않기 때문에 많은 공해문제를 일으키고 있다. 따라서 자연섬유의 활용은 이들 문제를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다. 일반적으로 알려진 자연섬유강화 복합재료의 특성으로 모재에 천연물이 들어가면 재료의 단가는 낮아지지만 인장강도 또한 낮아지게 된다. 그러나 섬유형 보강재를 이용함으로써 급격한 강도하락을 방지할 수 있으며 보강재가 없는 재료와 비교해 보면 굽힘이나 충격에는 강한 능력을 갖게 된다<sup>(1)</sup>. 현재 세계적으로 자연섬유를 보강재로 써서 제품을 생산하려는 연구는 많이 이루어지고 있으며, 이것을 실제 제품에 적용하기 위해서는 체결방법의 하나로 접착제 접합을 들 수 있다. 접착제 접합의 장점은 쉽게 이종재료를 체결하는데 유리하여 건축, 의료, 기계 등

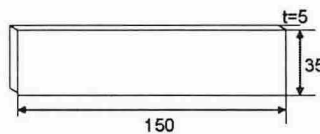
산업 전반에 걸쳐 두루 사용되는 방식이다. 본 연구에서는 접착제 접합을 자연섬유강화 복합재료에 적용시켰을 경우 재료의 응력분포 및 파괴강도를 평가하였다. 특히, 이 재료에서 보강재인 대나무의 섬유 방향에 따른 접착강도 및 재료의 파괴강도의 영향을 평가하였다. 대나무의 섬유 방향을 다르게 한 적층형 복합재료<sup>(1)</sup>로 단일 겹침 형태의 접착제 접합 시험편을 제작하여 모재 파괴에 어떠한 영향을 주었는지 알고자 하였다.

#### 2. 실험방법

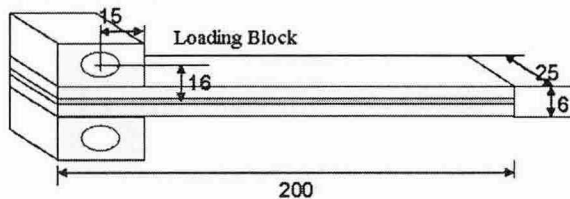
제작에 사용된 수지는 열경화성(thermoset) 불포화 폴리에스테르(unsaturated polyester)이다. 여기에 수지와 함께 보강재로 사용될 섬유는 자연섬유인 대나무이다. 자연적인 대나무를 두께 1mm의 긴 직사각형 형태로 가공하였고 그들 중 일부를 직조하여 2mm두께의 직사각형 직조판(bamboo natural fiber layer)을 만들었다. 이러한 재료들을 RTM(resin transfer molding)을 이용하여 수지 중앙에 대나무 직조판이 존재하도록 하여 판(plate)형태의 복합 적층재(hybrid stacked

joints)를 제조하였다. 이 재료는 방향성에 따라 하중방향에 수평인 horizontal type, 하중방향에 수직인 vertical type, 직조된 matrix type 3가지 형태로 분류하였다. ASTM D 638에 의거하여 150mm×35mm의 직사각형 모양의 두께 5mm 크기의 시험편을 제작하였다. 모재와 대나무 보강재의 계면강도를 알기 위하여 ASTM D 5528에 의거하여 복합재료에 Loading Block을 장착한 DCB(double cantilever beam) 시험편을 제작하였다. 단일접침 접착제 접합(single lap adhesive bonding)을 위하여 ASTM D 1002를 기준으로 시험편을 제작하였다. 단일접침 접착제 접합 시험편의 제작은 표면처리로 접착부위를 #1000의 사포(sand paper)로 연마하였고 아세톤으로 세척한 후 접착하였다. 접착두께를 조절하기 위하여 0.1mm의 구리선을 사용하였고, 접착부의 접침길이는 10mm로 조절하였다. 또한, 접착제가 완전히 경화하기 전에 접착제 필릿(spew fillet)을 제거하여 모든 시편이 동일한 조건이 되도록 하였다. 본 실험에서는 재료의 응력분포 및 파괴강도를 평가하기 위한 것으로 접착제의 계면의 파괴가 아닌 모재의 강도와 접착제에 의한 파괴의 평가를 위하여 강한 접착력을 가지게 하는데 그 목적을 두었다<sup>(2)</sup>. 사용된 접착제는 구조용 에폭시(epoxy) 접착제 (3M Co. DP-460)로 2액상 혼합형이며 상온건조 경화가 가능하다. DCB 시험편으로 하중속도(strain rate)를 0.25/min로 보강재와 모재 계면간의 박리(peel)시험을 하였다. 단일접침 접착제 접합 시험편에는 접착부에 걸리는 인장전단하중을 측정하기 위하여 하중속도는 3mm/min으로 일정하게 유지하였다.

ASTM D 638



ASTM D 5528



ASTM D 1002

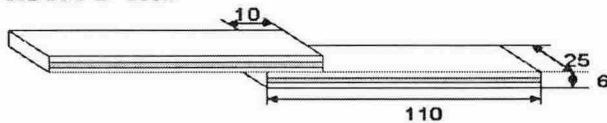


Fig. 1 specimen

### 3. 실험결과 및 고찰

5mm두께의 대나무 섬유, 폴리에스테르, 폴리에스테르+대나무 섬유를 ASTM D 638에 따라 인장시험하였을 때 결과는 Fig. 2과 같다.

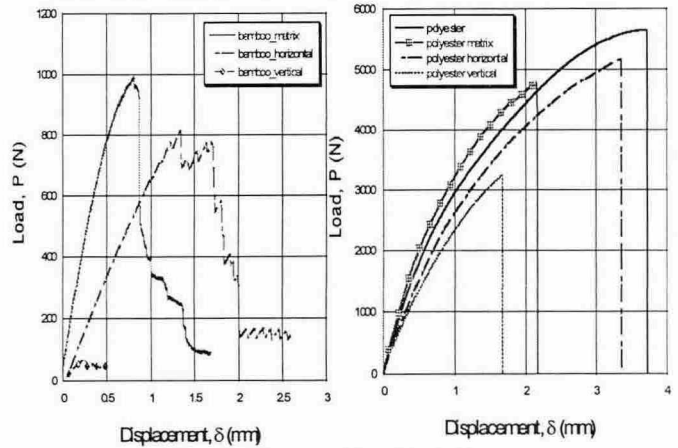


Fig. 2 The result of tensile test

ASTM D 5528에 의거하여 복합재료에 Loading Block을 장착한 DCB 시험편으로 보강재와 모재 계면간의 박리시험(peel test)을 하였다. 하중속도(strain rate)를 0.25mm/min으로 주었을 경우, 실험개시 직후 박리에 의한 하중의 변화는 Fig. 3에 나타난 것처럼 얇은 두께의 보강재를 가진 재료쪽에서 더 크게 나타났다. 최대하중이 나타난 후, 박리에 의한 하중이 일정하게 변화하였다. 박리에 의한 하중의 기준으로 DCB 시험편의 파괴역학적 기준이 되는 모드 I의 에너지해방율(energy release rate)( $G_I$ )을 이용하였고 진행된 크랙길이를 기준으로 5mm 단위로 계산하였다<sup>(3)</sup>.

$$G_I = \frac{3P\delta}{2ba}$$

여기서, P는 최대하중,  $\delta$ 는 개구변위, b는 시험편 폭, a는 진행된 크랙길이이다. 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 크랙 구동에 작용하는 에너지는 모든 길이에서 거의 일정함을 볼 수 있다.

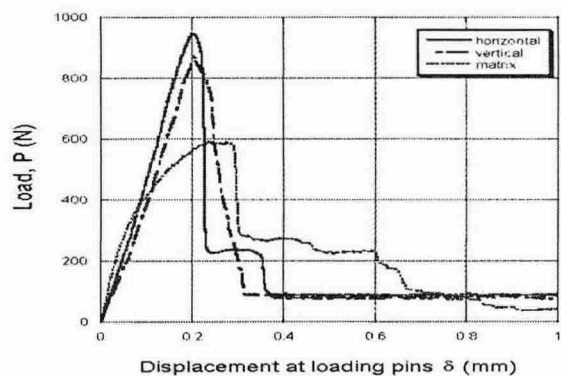


Fig. 3 The result of starting point in peel test

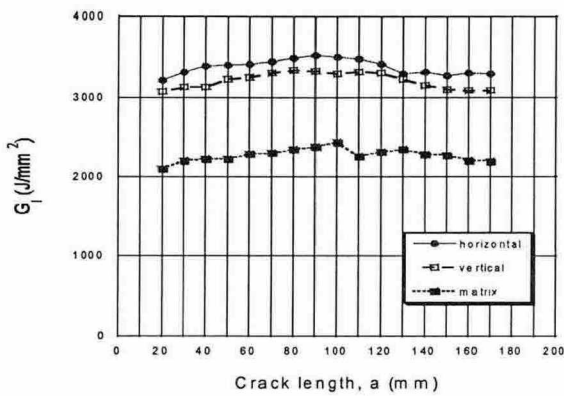
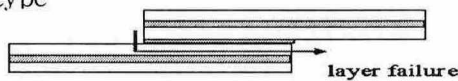


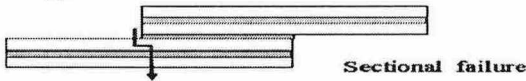
Fig. 4 The result of  $G_I$  in peel test

보강재인 대나무의 섬유 방향에 따른 접착강도의 영향을 평가하기 위하여, 대나무의 섬유방향을 다르게 한 적층형 복합재료로 단일 겹침형태의 접착제 접합 시험편을 제작하여 인장전단하중을 가했을 때 시험편의 파괴형상을 Fig. 6에 나타내었다<sup>(4)</sup>.

matrix type



horizontal type



vertical type

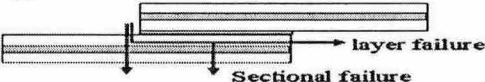


Fig. 6 The failure model of adhesive bonded joints

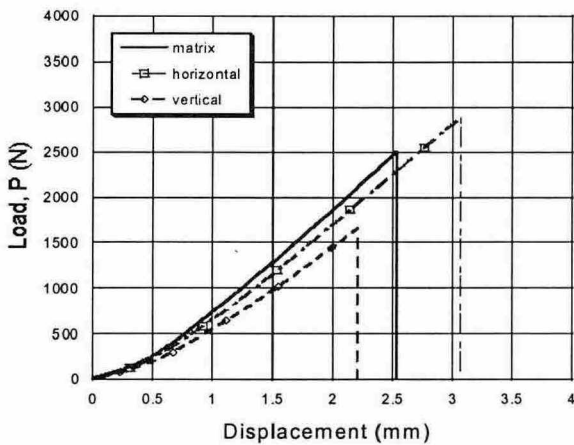


Fig. 7 The result of tensile-shear test

자연섬유 강화 복합재료로 단일겹침 접착제 접합을 적용하였을 때, 인장전단 시험에 따른 파괴하중 값을 Fig. 7에 나타내었다. 접착부의 파괴는 접착부 가장자리에 응력이 집중하여 원래의 인장하중보다 낮은 강도에서 각각 파괴가 일어났

며, 접착강도는 앞에서 실험한 인장시험과 박리 시험을 충분히 고려하여 보았을 때 대체로 이해할 수 있는 수준의 값을 나타내었다.

#### 4. 결론

1) 하중방향에 수평으로 대나무 섬유를 보강하거나 직조하여 보강하였을 때 대나무 섬유의 함유가 각각 부피비의 20%, 40%를 차지하였지만 인장강도의 하락은 비교적 적은 것으로 나타났다.

2) 박리에 의한 하중은 얇은 두께의 보강재를 가진 재료에서 더 크게 나타났다. 보강재의 두께가 두꺼운 matrix type은 낮은 박리하중값을 가지며 이것은 접착제 접합에 적용한 시험편의 파괴특성 및 강도에도 영향을 주었다.

3) 접착제 접합을 적용한 시험편에서 파괴의 시작지점은 matrix type, horizontal type은 접착제 가장자리에서 바로 파괴가 일어나기 시작하여 계면으로 균열이 전파하였다. vertical type도 접착제 가장자리에서 바로 파괴가 일어나기 시작하였으나, 섬유보강 방향이 시편에 수직이고 이것은 보강재에서 접착부에 가까운 면에서 응력이 국부적으로 더 집중하므로 시편을 가로지는 방향으로 균열이 전파하여 절단파괴를 나타내었다.

4) 보강재의 섬유배열 방향성은 인장강도와 박리강도에 큰 영향을 주며, 인장시험과 박리시험을 통한 분석으로 접착제 접합을 적용한 자연섬유 강화 복합재료의 파괴특성의 영향을 알 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. M. Y. Tsai, J. Morton : The Effect of a Spew Fillet on Adhesive Stress Distributions in Laminated Composite Single-lap Joints, Composite Structures 32 (1995), 123-131
2. J. M. Ferreira, H. Silva, J. D. Costa and M. Richardson : Stress analysis of lap joints involving natural fibre reinforced interface layers, Composites Part B: Engineering, 36-1 (2005), 1-7
3. ASTM D 5528-01 : Standard Test Method for Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Unidirectional Fiber-Reinforced Polymer matrix Composites, (2004)
4. P. T. Cheuk, Liyong Tong : Failure of Adhesive Bonded Composite Lap Shear Joints with Embedded Pre-crack, Composites Science and Technology 62 (2002), 1079-1095