연 구 논 문

접착제 접합된 자연섬유강화 복합재료의 파괴강도 특성에 미치는 접착제 필릿의 영향

윤호철* · 최준용* · 김연직** · 임재규***

*전북대학원 기계설계학과
**국립익산대학 산업설비제어과
***전북대학교 기계항공시스템공학부, 공업기술연구센터

Effect of Spew Fillet on Failure Strength Properties of Natural Fiber Reinforced Composites Including Adhesive Bonded Joints

Ho-Chel Yoon*, Jun-Yong Choi*, Yon-Jig Kim** and Jae-Kyoo Lim***

*Dept. of Mechanical Design, Chonbuk Nat'l Univ., Duckjin 1-664-14, Jeonju, Korea
**Dept. of Industrial Facilities Control, Iksan Nat'l Collage, Ma 194-5, Iksan, Korea
***Research Center of Industrial Technology, Engineering Research Institute, Faculty of Mechanical & Aerospace System Eng., Chonbuk Nat'l Univ., Duckjin 1-664-14, Jeonju, Korea

Abstract

This paper is concerned with a study on fracture strength of composites in an adhesive single lap joint. The tests were carried out on joint specimens made with hybrid stacked composites consisting of the polyester and bamboo natural fiber layer. The main objective of this work was to evaluate the fracture properties adjacent to adhesive bonded joint of natural fiber reinforced composite specimens. From the results, natural fiber reinforced composites have lower tensile strength than the original polyester. But tensile-shear strength of natural fiber reinforced composites with bamboo layer far from adhesive bond is as high as that of the original polyester adhesive bonded joints. Spew fillet at the end of the overlap reduced the stress concentration at the bonded area. Spew fillet and position of bamboo natural fiber layer have a great effect on the tensile-shear strength of natural fiber reinforced composites including adhesive bonded joints.

* Corresponding author : jklim@chonbuk.ac.kr (Received June 30, 2005)

Key Words : Natural fiber reinforced composites, Adhesive bonded joints, Spew fillet, Hybrid stacked joints

1. 서 론

자연섬유강화 복합재료는 저가이고 친환경적이며 유리섬유 복합재료(GFRP)의 대체 가능성 때문에 최근 많은 관심을 얻고 있다. 유리섬유강화 복합재료는 이미 자동차 산업에서 많은 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. 자연섬유는 여러 가지를 생각할 수 있으나, 사이잘(sisal), 대마 등은 우리나라 실정을 고려할 때 가격이 비싸서 사용에 제약이 있으므로, 쉽게 구할 수 있는 대나무를 쓰는 방안을 생각할 수 있다. 일반적으로 알려진 자연섬유강화 복합재료의 특성으로 모재에 천연물이 들어가면 재료의 단가는 낮아지지만 인장강도 또한 낮아지게 된다. 그러나 섬유형 보강재를 이용함으로서 급격한 강도하락을 방지할 수 있으며 보강재가 없는 재료와 비교해 보면 굽힘이나 충격에는 강한 능력을 갖게 된다[1]. 현재 세계적으로 자연섬유를 보

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

강재로 사용하여 제품을 생산하려는 연구는 많이 이루어지고 있다. 자연섬유강화 복합재료를 활용하는데 있어서 중요한 한 가지는 복합재를 조립하는 것이며, 접착제 접합은 그 중 한 방법이 될 수 있다. 접착제 접합의 장점은 쉽고 편리하게 이종재료를 체결하는데 유리하며 건축, 의료, 기계 등 산업 전반에 걸쳐 두루 사용되는 방식이다. 이러한 접착제 접합을 할 경우 일반적으로 접착제가 가장자리로 밀려 나와서 일종의 필릿을 형성하는데, 이것을 접착제 필릿(spew fillet)이라고 한다. 이러한 접착제 필릿은 비록 미관상 좋지 않으나 접착부 가장자리의 응력집중을 줄이는데 상당한 영향을 주며, 접착강도향상에 큰 영향을 미치는 인자로 알려져 있다[2]. 본 연구에서는 자연섬유강화 복합재료에 접착제 접합을 적용하였을 때 접착부 가장자리의 응력집중에 의한 피착제(adherend)의 응력분포 및 파괴강도를 조사하였다.

특히 본 실험은 재료의 응력분포 및 파괴강도를 조사하기 위한 것으로 접착부 계면에서의 파괴가 아니라 접착부 가장자리의 응력집중에 의한 모재파괴의 평가를 목적으로 하였다. 따라서 강한 접착력을 가지게 하여 접착부 계면에서 파괴가 일어나지 않게 하였다[3].

가격이 저렴하고 일반적으로 널리 사용되는 열경화성 수지인 불포화 폴리에스테르를 모재로 선택하였고 보강재로는 대나무 직조판을 적층형 구조로 사용하였다. 이때 대나무 보강재의 배치와 접착제 필릿에 따른 접착강도 및 재료의 파괴강도 등의 변화를 관찰하였다. 또한 자동차 산업에 적용할 수 있는 소재로서의 타당성을 평가하기 위하여, 두께를 변화시킨 폴리에스테르 수지를 자동차용 강판이나 알루미늄판에 접합시켜서 접착제 필릿에 의한 접착강도평가를 수행하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

제작에 사용된 수지는 열경화성(thermoset) 불포화 폴리에스테르(unsaturated polyester)이다. 여기에 수지와 함께 보강재로 사용될 자연섬유로 대나무를 선택하였다. 자연적인 대나무를 두께 1mm의 긴 직사각형 형태로 가공한 후, 이를 직조하여 2mm두께의 직사각형 직조판(bamboo natural fiber layer)을 만들었다. 이러한 재료를 RTM(resin transfer molding)을 이용하여 수지 내에 대나무 직조판이 원하는 위치에 올 수 있도록 조절하면서 판(plate)형태의 복합 적층재를 제조하였다. RTM에 유입된 공기압은 6~8bar, 진공도는 -0.8~-0.9bar, 주입압력은 1~2bar로 하였다. 폴리에스테르는 초기 경화현상이나 기포발생을 최소화하도록 주제와 경화제의 최적 혼합비를 사용하였다. 폴리에스테르 내부의 기포를 제거하기 위하여 진공로에서 0.1bar, 50℃상태로 3~4시간 유지하여 경화시켰다.

자연섬유강화 복합재료가 갖는 물성치를 구하기 위하여 ASTM D 638에 따라 150×35×5mm 크기의 시험편을 제작하였다. 또한, ASTM D 1002를 기준으로 단일 겹침 접착시험편을 제작하였다. 사용한 접착제는 구조용 에폭시(epoxy) 접착제 (3M사 DP-460)로 2액상 혼합형이며 상온 건조 경화가 가능하다. 접착부위는 #1000의 사포(sand paper)로 연마하고, 아세톤으로 세척하였다. 접착두께를 조절하기 위하여 0.1mm 구리선을 사용하였으며 접착제가 충분한 접착강도를 갖도록 상온 건조한 다음 실험에 제공하였다. 모든 시편에서 접착부위의 표면조도, 접착두께등 접착조건은 동일하게 수행하였다. 접착부의 겹침길이는 6mm, 10mm, 14mm로 하였으며, 접착제 필릿(spew fillet)은 접착제의 경화조건에 맞추어 접착 3시간후 다듬기 작업을 통하여 0mm, 1mm, 2mm로 하였다.

단일재료를 사용하였을 때 자동차 산업에 적용할 수 있는 소재로서 폴리에스테르의 접합성능과 접착제 필릿의 영향을 평가하였다. 폴리에스테르-폴리에스테르, 폴리에스테르-강판(SPCC), 폴리에스테르-알루미늄판(Al 6061)을 제작하여 실험하였다. 자연섬유강화 복합재료를 사용하였을 때 대나무 보강재의 위치와 접착제 필릿의 영향을 평가하였다. 대나무 보강재의 위치가 접착부에 가까이 있는 경우를 narrow type으로, 접합부에 멀리 떨어져 있는 경우를 wide type이라고 정의하였다.

본 실험에 사용된 단일 겹침 접착시험편을 Fig. 1에 정리하였다.

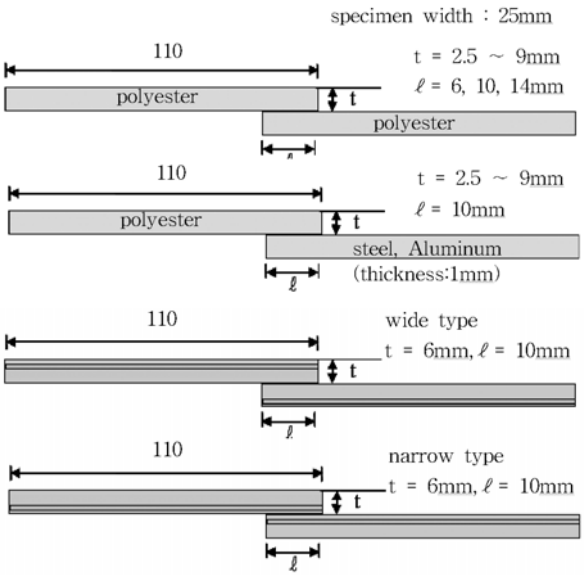

Fig. 1 Single lap adhesive tensile-shear specimen

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

2.2 실험 및 해석모델

인장시험기(Instron 4206)를 이용하여 단일 겹침 접착시험편에 인장전단하중에 의한 파괴를 유도하였으며 그때의 파괴강도를 로드셀(loadcell)로 측정하여 데이터를 저장하였다. 하중속도(crosshead speed)는 3mm/min로 일정하게 유지하였다.

적층형 복합재료에서 대나무 보강재가 위치하는 높낮이(narrow type과 wide type)와 접착제 필릿의 크기(0, 1, 2mm)에 따른 접착부에서 응력분포를 알아보기 위하여 유한요소해석을 하였다. 물성치는 단일 재료 시험편의 인장시험을 통하여 나타난 그래프를 이용하였으며 2, 3차원의 대나무 보강재의 위치와 접착제 필릿의 형태가 다른 해석모델을 만들었다[4]. 접착부에 인장전단하중이 가해지도록 경계조건을 적용시켰으며 하중을 0에서 980N까지 점차 증가시키는 방법으로 비선형 해석을 하였다. Fig. 2, 3은 해석모델, 경계조건을 Table. 1은 해석에 사용한 물성치를 나타낸 것이다.

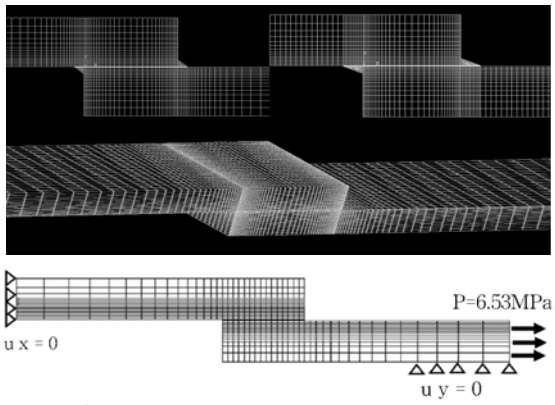

Fig. 2 Mesh model for finite element method

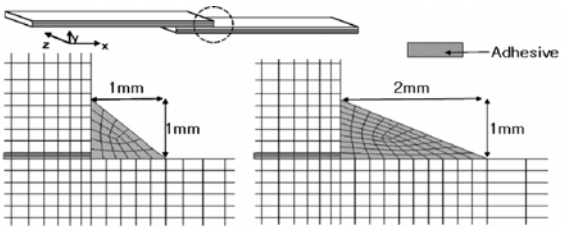

Fig. 3 Mesh model of spew fillet and its size

Table. 1 Mechanical Properties of material

Unsaturated polyester	Tensile strength Young's modulus Poisson's ratio	75[MPa] 5.2[GPa] 0.26
Epoxy Adhesive	Tensile strength Young's modulus Poisson's ratio	10[MPa] 30[MPa] 0.30
Bamboo Fiber (heat pressed)	Tensile strength LongitudinalModulus Major Poisson's ratio Longitudinal Shear Modulus Transverse Modulus Transverse Poisson's ratio Transverse Shear Modulus	4[MPa] 3[GPa] 0.26 10[Mpa] 0.1[GPa] 0.26 5[Mpa]

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단일 재료 시험편

3.1.1 단일 시험편

150×35×5mm 크기의 대나무 섬유, 폴리에스테르, 폴리에스테르+대나무 섬유 시험편에 대한 인장시험결과는 Fig. 3과 같다. 인장강도는 대나무 섬유를 포함한 재료가 포함하지 않은 재료에 비해 낮게 나타났다. 이것은 일반적으로 알려진 자연섬유강화 복합재료의 인장강도가 약해지는 특성과 일치한다[1]. 그러나 강도의 하락은 비교적 작은 것으로 나타났으며, 모재에 대한 대나무 섬유의 부피 충진율이 40%인 것을 생각하면, 재료강도와 경제적인 면을 고려했을 경우에 효율적임을 알 수 있다.

3.1.2 폴리에스테르/폴리에스테르 시험편

접착제 필릿을 제거하고 접착부의 겹침길이와 재료의 두께를 달리 했을때의 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 모재의 두께가 얇으면 접착제 가장자리의 응력집중의 영향에 관계없이 시편내의 불특정한 곳에서 파괴가 일어났다. 그러나 모재의 두께가 두꺼울 경우에는 접착제 가장자리의 응력집중의 영향을 받으므로 이 부분에서 응력이 집중하여 모재를 관통하는 절단파괴(sectional failure)가 일어났다. 겹침길이가 6mm이면 시편의 두께가 3.5mm이상에서, 겹침길이가 10mm이면 4.5mm 이상에서, 겹침길이가 14mm이면 5mm이상에서 절단파괴가 일어났다. 일반적으로 겹침길이가 길수록 접착강도는 증가하는 것으로 알려져 있으며, 그 증가하는 정도는 겹침길이에 선형적으로 비례하지는 않는다[5]. 본 실험에서 절단파괴가 일어나는 한계두께(critical thickness)(Fig. 4의 점선)도 선형적으로 증가하지 않는다.

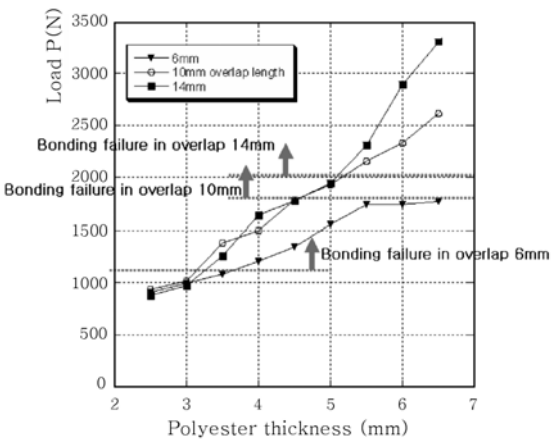

Fig. 4 Relation between fracture load of single overlap specimens and polyester thickness

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

3.1.3 폴리에스테르/강판, 알루미늄판 시험편

겹침길이가 10mm인 조건에서 폴리에스테르에 1mm 두께의 강판 및 알루미늄판을 단일 겹침으로 접착한 시험편의 인장전단시험 결과를 Fig. 5에 정리하였다. 폴리에스테르의 두께가 5mm이하에서는 모재에서 파괴가 일어나고 그 이상으로 두꺼우면 접착부 가장자리에서 파괴가 일어나며 파괴강도는 점차 높아진다. 강판과 결합된 폴리에스테르의 두께가 6mm이상인 경우, 그리고 알루미늄판과 결합된 폴리에스테르의 두께가 8mm이상인 경우에는 단일 겹침 인장전단시편의 특성상 모멘트가 과도하게 작용하므로 점차 접착강도가 낮아진다[6]. 알루미늄판과 강판에 따른 폴리에스테르에서의 파괴강도 차이는 알루미늄의 연신량이 크기 때문에 약간의 모멘트 완화로 알루미늄판을 결합하는 경우가 약간 크게 나타났다. 접착제 필릿이 없는 시편보다 있는 시편의 파괴강도가 큰 것으로 나타났다. 이것은 접착제 필릿이 접착부 가장자리의 응력집중을 완화시킨 것으로 해석된다.

3.2 자연섬유강화 복합재료 시험편

대나무 보강재가 단일 겹침 인장전단시편 접합부위를 중심으로 위치가 변화할 때, 모재 내에서 파괴에 미치는 영향을 알아보았다. 모두 접착부 가장자리에 충분히 응력이 집중하도록 6mm두께의 시험편을 사용하였고, 겹침길이는 10mm로 실험을 하였다.

대나무 보강재가 없는 경우(polyester)는 접착부의 가장자리에서 파괴(sectional failure)가 일어났으나 대나무 보강재가 접착부에 멀리 떨어진 경우(wide type)에는 혼합파괴(sectional + layer failure)가 일어났다. 접착제 필릿이 없는 경우 모재의 파괴하중은 대나무 보강재가 없는 경우에 2362N(Fig. 5), 대나무 보강재가 접착부에 멀리 떨어진 경우(wide type)에 2303N(Fig. 6)으로 거의 비슷하였다. 그러나 대나무 보강재가 접착부에 가까운 경우(narrow type)에는 745N(Fig. 6, 7)으로 매우 낮은 파괴하중을 얻었다. 그 이유는 대나무 보강재가 접착부에 가까운 경우(narrow type)에 곧 바로 계면파괴(layer failure)가 일어나서 접착부 가장자리의 응력집중에 견딜 수 있는 절단파괴(sectional failure)를 가질 수 없기 때문이다. 접착부 가장자리의 응력집중은 접착제 필릿의 영향을 받는다. 접착제 필릿의 크기는 시편의 파괴강도와 시편의 응력집중 위치도 변화시킨다.(Fig.10) 이러한 응력집중 위치의 변화는 대나무 보강재가 접착부에 가까운 경우(narrow type)에 파괴의 형상에도 영향을 미치게 된다.(Fig. 9)

polyester, wide type, narrow type 시험편의 파괴형상에 대하여 나타낸 것이 Fig. 8, 9이다.

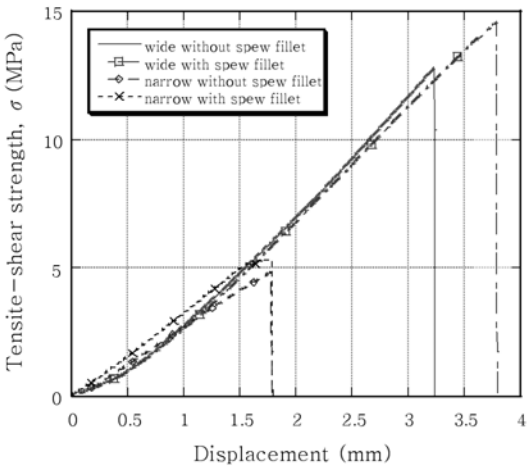

Fig. 5 Relation between tensile-shear strength of various single overlap specimens and polyester thickness

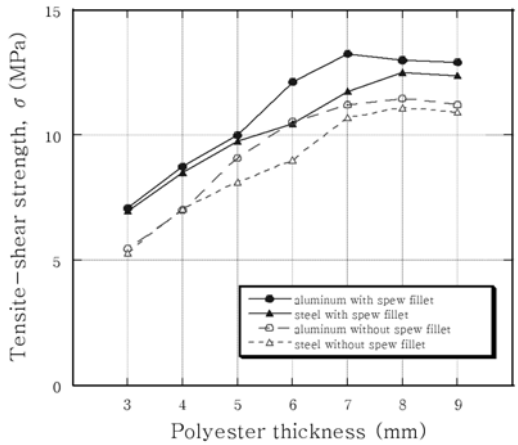

Fig. 6 Tensile-shear strength - displacement curves of various single overlap specimens

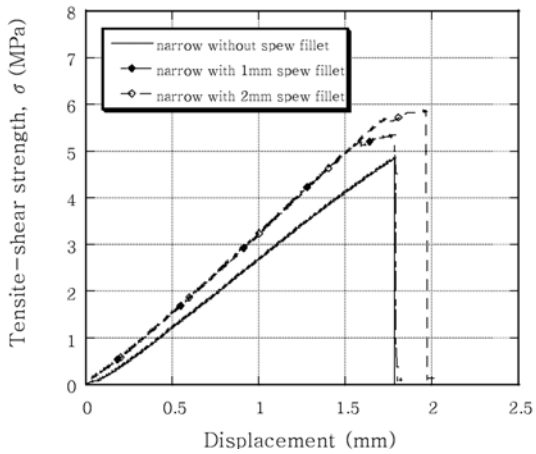

Fig. 7 Variation of tensile-shear strength - displacement curves with spew fillet size

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

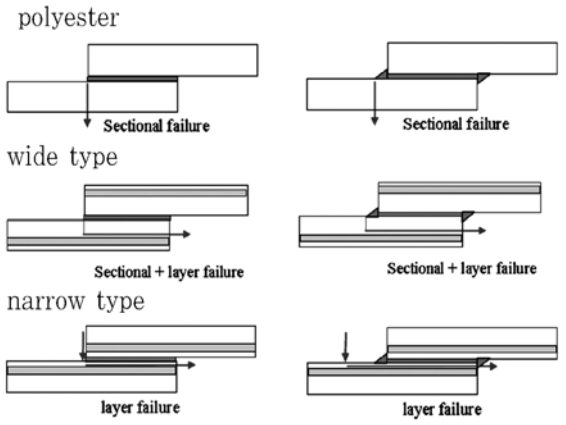

Fig. 8 The failure model of adhesive bonded joints in natural fiber reinforced composites

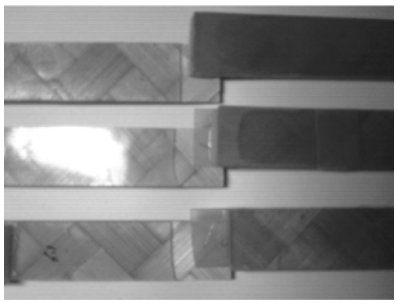

Fig. 9 The failure of narrow type with 0, 1, 2mm spew fillet

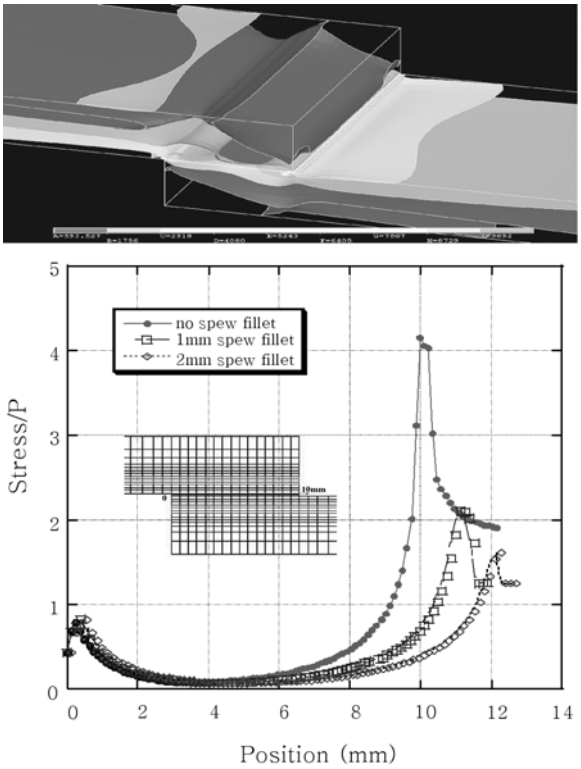

Fig. 10 The stress distribution in hybrid stacked joints and spew fillet

4. 결 론

본 연구에서는 접착제 접합을 자연섬유강화 복합재료에 적용시키고 접착제 필릿에 의한 응력분포 및 파괴강도의 변화를 조사하여 접착제 필릿과 대나무 보강재의 위치가 접착제를 적용한 시편에서 모재의 파괴강도에 영향을 주는 것을 알게 되었다.

1) 모재의 두께가 얇으면 접착제 가장자리의 응력집중의 영향에 관계없이 시편내의 불특정한 곳에서 파괴가 일어났다. 그러나 모재가 5mm이상 두꺼울 경우에는 접착제 가장자리의 응력집중의 영향을 받으므로 이 부분에서 응력이 집중하여 모재를 관통하는 절단파괴(sectional failure)가 일어났다.

2) 접착제 필릿의 크기(0, 1, 2mm)는 접착제 가장자리에서 응력집중의 위치를 변화시키며 필릿의 크기가 클수록 응력집중을 완화시켜주는 것으로 확인되었다.

3) 대나무 보강재가 접착부에 가까운 경우(narrow type)에 곧 바로 계면파괴(layer failure)가 일어난다. 따라서 접착부 가장자리의 응력집중에 견딜 수 있는 절단파괴(sectional failure)를 가질 수 없기 때문에 매우 약한 강도에서 파괴가 일어난다.

4) 자연섬유 강화 복합재료의 단일 겹침 접착제 접합에서 파괴의 형상 및 강도 특성은 대나무 보강재의 위치와 접착제 필릿의 크기(0, 1, 2mm)에 영향을 받는다.

참 고 문 헌

1. 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
2. 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
3. P. T. Cheuk, Liyong Tong : Failure of Adhesive Bonded Composite Lap Shear Joints with Embedded Precrack, Composites Science and Technology 62 (2002), 1079-1095
4. L. Dorn, Weiping Liu : The Stress State and Failure properties of Adhesive-bonded plastic/metal joints, Butterworth Heinemann Ltd (1992)
5. D. W. Seo, H. C. Yoon, Y. B. Jeon, H. J. Kim and J. K. Lim : Effect of Overlap Length and Adhesive Thickness on Stress Distribution in Adhesive Bonded Single-Lap Joints, Key Engineering Materials, Vol. 270-273, (2004), 64-69
6. Robert W. messler Jr : Joining of advanced materials, Butterworth Heinemann Ltd, (1993) 135
7. M. Y. Tsai : The effect of a spew fillet on adhesive stress distributions in laminated composite single-lap joints, Composite Structures, Vol. 32, (1995), 123-132

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.