

## 유리섬유강화플라스틱 복합집성재의 접착성능\*1

박 준 철\*2 · 신 윤 종\*3 · 홍 순 일\*2†

### Bonding Performance of Glulam Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Plastics\*1

Jun-Chul Park\*2 · Yoon-Jong Shin\*3 · Soon-Il Hong\*2†

#### 요 약

본 연구에서는 작업성과 경제성을 고려하여 집성재 제작용 접착제를 목재와 유리섬유강화플라스틱(GFRP: Glass fiber reinforced plastic) 접착에 적용할 수 있는지를 검토하였다. 복합집성재는 접착제 종류와 혼합비에 따라 6가지 타입으로 제작하여 블록전단강도시험과 침지박리, 삶음박리 시험을 실시하였다. 레조시놀수지 접착제와 초산비닐수지접착제, 에폭시수지 접착제를 사용한 복합집성재 3가지 타입과 레조시놀수지 접착제와 초산비닐수지 접착제를 혼합한 3가지 타입으로 총 6가지 타입으로 제작하였다. 블록전단시험 결과 모든 타입의 복합집성재가 KS F 3021 기준  $7.1 \text{ N/mm}^2$  보다 높아 전단강도는 양호하였지만, 목과울에서는 초산비닐수지접착제가 65.9%로 가장 우수한 접착 성능을 나타내었다. 박리시험에서는 초산비닐수지 접착제를 사용한 경우 GFRP 접착층까지 포함된 경우 침지박리는 1.08%, 삶음박리는 4.16%로 KS F 3021 합격기준인 5% 이하를 만족하였다. 레조시놀수지 접착제만을 사용한 경우 목재 접착층은 침지박리 1.26%, 삶음박리 0%로 합격기준을 만족하였으나 GFRP 접착층을 포함시킬 경우 침지박리는 21.85%로 합격기준을 만족하지 못하였고 삶음박리의 경우만 1.45%로 만족하였다.

#### ABSTRACT

This study was carried out to investigate whether adhesive used in manufacturing glulam can be used to bond wood and GFRP, when considering working process and economical efficiency. The six different glulams were manufactured, changing the adhesives and the mixing ratios of the adhesives, and investigated by the block shear test and the delamination of the water soaking or boiling water soaking. The three glulams were manufactured, using the resocinol resin based

\* 1 접수 2009년 4월 24일, 채택 2009년 6월 12일

\* 2 강원대학교 산림환경과학대학 임산공학과, Department of Wood Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

\* 3 (주)신성소재, Shinsung basic materials 149-5 Yongwol-ri, Samjuk-myeon, Anseong-si, Gyeonggi-do 456-883, Korea  
† 주저자(corresponding author) : 홍순일(e-mail: hongsi@kangwon.ac.kr)

adhesive, the PVAc resin based adhesive and the epoxy resin adhesive, and the other three glulams, using the adhesives mixing resocinol resin and PVAc resin. The block shear strength is higher than  $7.1 \text{ N/mm}^2$  in all types, which is standard of KS F3021. However, in the wood failure the block shear strength was the highest as 65.9% in the PVAc. The delamination of glulams glued with PVAc adhesive, which was 1.08% in water soaking and 4.16% in boiling water soaking, was lower than 5.00% which is the standard of KS F 3021, and the adhesive strength is good. In glulams glued with only resocinol resin adhesive, the wood layers were good as 1.26% in the water soaking delamination and 0.00% in the boiling water soaking delamination. The GFRP layers were not good as 21.85% in the water soaking delamination but were good as 1.45% in the boiling water soaking delamination.

**Keywords:** GFRP, reinforced glulam, water soaking delamination, boiling water soaking delamination

## 1. 서 론

재료의 복합화에 있어 가장 문제시되는 것은 서로 다른 재질의 재료를 접착하는 것이다. 접착 강도는 크게 기계적 강도와 환경적 강도 두 가지로 구분할 수 있다. 기계적 강도는 접착한 물건에 기계적 힘을 가하였을 때의 파괴에 대한 저항력이고 환경적 강도는 물, 비, 습기, 일광, 자외선, 고온, 저온 등 어떠한 환경에 놓였을 때 그 환경에 따른 파괴에 대한 저항력이다(일본접착협회, 1991).

목재 공업에서 이종재료 접착에 사용되는 접착제는 피착제에 따라 구분되어 사용된다. 금속이나 유리, 타일 등 표면에 매끄러운 피착제에는 에폭시수지, 클로로프렌, 초산비닐수지계 접착제가 사용되고 고무재질에는 클로로프렌, 니트릴고무 접착제가 사용된다. 플라스틱 계열은 종류에 따라 다시 구분되는데 폴리에스테르나 우레탄 폼 플라스틱은 클로로프렌, 에폭시, 초산비닐수지계 접착제가 사용된다.

섬유강화플라스틱에 사용되는 접착제는 폴리에스테르계, 에폭시계, 폴리우레탄계 접착제가 사용된다.

현재 외국에서 연구되고 있는 GFRP 보강집성재 연구에서도 보의 휨강도나 접합부 관련 연구는 많이 이루어지고 있으나 두 재료의 접착 성능에 대한 보고는 미비한 실정이다. 복합집성재 개발에 있어 강도 향상도 중요하지만 접착력에 대한 안전성 검토가 없

이는 복합집성재 자체의 안전성에도 신뢰성이 떨어질 수밖에 없다. Herzog (2005) 등은 에폭시수지 접착제를 사용한 접착과 비닐수지계 접착제를 사용한 접착력 시험을 통하여 블록전단강도와 목파울 모두 접착력이 양호하다고 보고하였지만 기계적 강도만을 비교한 것으로 환경적 강도는 평가되지 않았다. Lopez-Anido (2000) 등은 페놀-레소시놀 공축합수지 접착제(PRF)와 비닐 에스테르 수지 접착제, 비닐 에스테르 수지와 하이드록시 메틸 레조시놀 수지를 혼합한 접착제(HMR)를 사용하여 웨스턴 햄록과 GFRP시트의 접착성능을 평가하였다. 실험결과 HMR 접착제가 외장용으로 가장 내구성이 우수한 접착제라고 보고하였다. Tascioglu (2003) 등은 유리섬유강화플라스틱과 방부목의 접착성능을 평가하였다. 시험 결과 CCA 방부 처리량이 증가할수록 박리율이 증가하였으며 CDDC, 유상방부제 모두 박리율이 증가하여 방부처리가 접착성능을 저하시킨다고 하였다.

본 연구에서는 구조용 집성재에 사용되는 레조시놀 접착제와 목재와 플라스틱 계열 이종재료 접착에 많이 사용되는 초산비닐수지계 접착제, 섬유강화플라스틱 접착에 사용되는 에폭시수지계 접착제를 사용하여 복합집성재를 제작하여 접착성능을 평가하였다. 접착성능은 블록전단강도시험으로 기계적 강도를 측정하였으며 침지박리와 삶음박리시험으로 환경적 강도성능을 측정하였으며 접착제에 종류에 따른

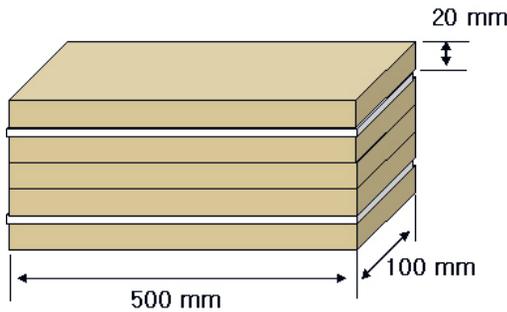


Fig. 1. Schematic diagram of the glulam.

기계적 강도와 환경적 강도를 비교 검토하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1. 공시재료

실험에 사용된 재료는 길이 500 mm, 폭 100 mm, 두께 20 mm의 국내산 낙엽송재(*Larix kaempferi* Carr.)를 사용하였다. 낙엽송재의 평균함수율은 10%이었으며 비중 0.6이었다. 접착 성능 평가에 사용된 보강재는 두께 1 mm의 유리섬유강화플라스틱(GFRP)시트를 사용하였다.

### 2.2. 집성재 제작

GFRP와 목재가 접착되는 재면 상태에 따라 3가지 타입의 집성재를 제작하였다. 목재와 목재가 접착된 Type A 시편과 GFRP의 매끄러운 면과 목재면이 접착된 Type B 시편을 제작하였다. 또한, GFRP의 거친 면과 목재가 접착되는 Type C 시편을 제작하였다.

접착제에 따른 접착 성능 시험을 위한 GFRP 복합 집성재를 제작하였다. 집성재의 크기는 길이 500 mm, 두께 20 mm, 폭 100 mm의 제재판을 5층 적층하였으며 상층부와 하층부 최외각 층과 다음 층 사이에 GFRP를 적층하였다(Fig. 1). 집성재는 접착제 종류와 혼합비에 따라 6가지 타입으로 제작하였다. 집성재 PV는 초산비닐수지계 접착제 100%로 집성재를 제작하였고 집성재 RE는 레조시놀 접착제 100%로 제작

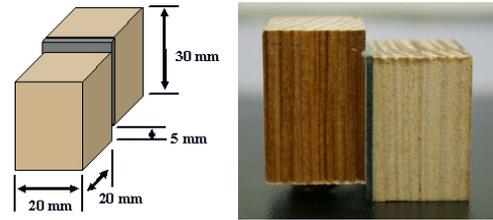


Fig. 2. Specimen for block shear test.

였다. 집성재 R9는 레조시놀 접착제와 초산비닐수지계 접착제를 9대 1 비율로 혼합하여 제작하였고 집성재 R7은 레조시놀 접착제와 초산비닐수지계 접착제를 7대 3 비율로 혼합하여 제작하였다. 집성재 R5는 레조시놀 접착제와 초산비닐수지계 접착제를 5대 5 비율로 혼합하였으며 집성재 EP는 다용도 에폭시수지 접착제((주)오공- EP935)로 집성재를 제작하였다.

PV : 초산비닐수지계 접착제 100%

RE : 레조시놀 접착제 100%

R9 : 레조시놀 접착제 90%와 초산비닐수지계 접착제 10% 혼합

R7 : 레조시놀 접착제 70%와 초산비닐수지계 접착제 30% 혼합

R5 : 레조시놀 접착제 50%와 초산비닐수지계 접착제 50% 혼합

EP : 다용도 에폭시수지 접착제 100%

### 2.3. 블록전단강도 시험

GFRP를 삽입한 집성재를 KS F 3021의 전단 표준 규격에 맞게 절단하여 전단 블록을 제작하였다(Fig. 2). 시험편의 개수는 각 Type별로 24개씩 총 144개의 시험편을 제작하였다. 블록 전단 시험은 만능 강도 시험기 Instron 4482를 사용하여 9,800 N/min.의 하중 속도로 시험편이 파괴될 때까지 하중을 가하였다.

### 2.4. 침지박리시험과 삶음박리시험

KS F 3021에 따라 침지박리시험과 삶음박리시험을 실시하였다. 박리시험용 시편은 Fig. 3과 같이 GFRP

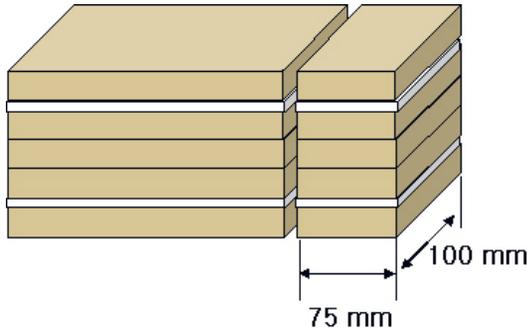


Fig. 3. Shape of delamination test specimen.

Table 1. Results of block shear strength

Specimens	Shear strength (N/mm <sup>2</sup> )		Wood failure (%)
	Average	Ratio of strength	
Type A	108	<b>152</b>	51
Type B	43	<b>0.61</b>	0
Type C	98	<b>138</b>	40

KS F 3021 - 71 N/mm<sup>2</sup>

를 삽입한 집성재를 75 mm로 절단하여 제작하였다. 시험편은 각 Type별로 침지박리 시험편 4개, 삶음박리 시험편 4개로 8개씩 총 48개의 시험편을 제작하였다. 침지박리 시험은 시험편을 상온(약 20°C)에서 물속에 24시간 침지시킨 후 70°C의 항온 건조기에 넣었다. 삶음박리시험은 끓는 물(약 100°C)에서 4시간 삶은 후 상온(약 20°C) 물속에 1시간 침지시키고 70°C의 항온 건조기에 넣었다. 건조기 내에 습기가 차지 않도록 하며 24시간 이상 건조하여 건조 후의 함수율이 시험 전의 함수율 이하가 되도록 하였다. 시험편의 양쪽 횡단면에 나타나는 접착층의 박리 중에서 길이 3 mm 이상인 것의 길이를 측정하고 건조나 용이 등에 의한 목재의 갈라짐은 측정에서 제외하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 블록전단강도

Table 1은 GFRP 재면에 따른 블록 전단 시험 결과

Table 2. Results of block shear strength

Specimens	Shear strength (N/mm <sup>2</sup> )		Wood failure (%)
	Average	Ratio of strength	
PV	149	<b>21</b>	<b>65.9</b>
RE	103	<b>14</b>	39.9
R9	110	<b>16</b>	43.9
R7	122	<b>17</b>	31.0
R5	148	<b>21</b>	40.6
EP	105	<b>15</b>	35.1

KS F 3021 - shear strength 71 N/mm<sup>2</sup>, wood failure 65%

이다. 표면이 매끄러운 면의 Type B는 4.3 N/mm<sup>2</sup>로 거친 면에 접착한 Type C의 9.8 N/mm<sup>2</sup> 보다 전단강도 값이 낮게 나왔다. 또 Type B의 평균 목파율은 거의 0%로 Type C의 평균 목파율인 40%보다 낮았다. 실험결과 GFRP의 재면 상태가 접착력에 영향을 주어 표면이 매끄러운 경우 접착제가 GFRP 표면에 흡수되지 못한 것으로 사료된다.

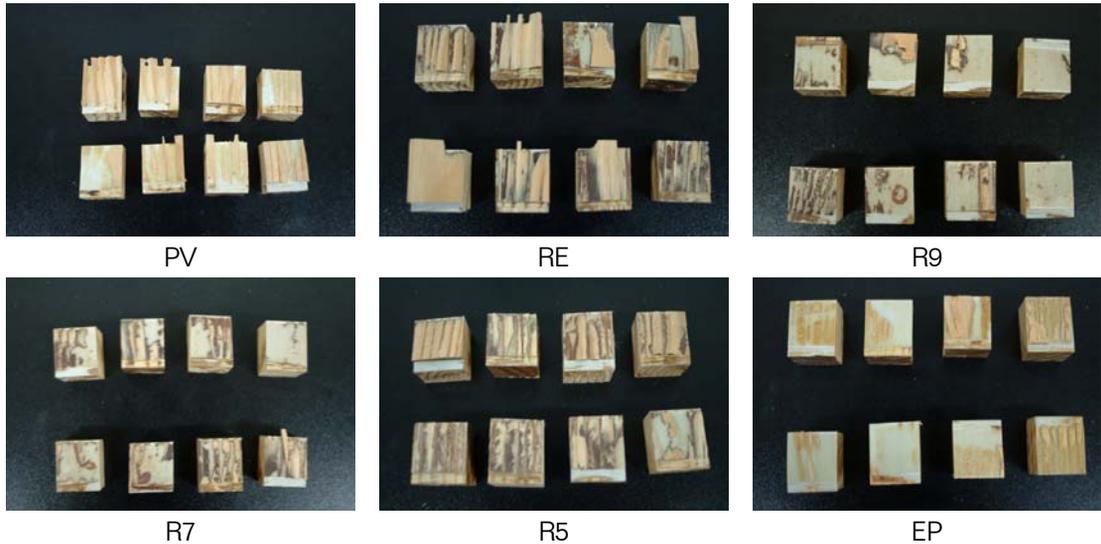


Fig. 4. Photographs of wood failure.

Table 2는 접착제 혼합 비율을 다르게 제작한 집성재의 블록전단강도를 나타낸 것이다. 모든 타입의 집성재가 KS F 3021의 기준강도  $7.1 \text{ N/mm}^2$  보다 높은 전단강도를 나타내었다. 하지만, 목과울에서는 초산비닐수지접착제가 65.9%로 가장 우수한 접착성능을 나타내었다. 레조시놀 접착제와 초산비닐수지 접착제를 혼합해 제작한 경우 초산비닐수지 접착제의 비율이 0%에서 50%로 증가할수록 전단강도가 높아졌으나 목과울은 크게 향상되지 못하였다.

### 3.2. 침지박리와 삶음박리 시험

Table 3은 접착제 혼합 비율이 다른 집성재의 침지박리와 삶음박리 실험 결과이다. 초산비닐수지 접착제를 사용한 PV의 경우 GFRP 접착층까지 포함된 경우 침지박리는 1.08%, 삶음박리는 4.16%로 KS F 3021 합격기준인 5% 이하를 만족하였고 목재 접착층만을 보았을때도 침지박리 0%와 삶음박리 2.34%로 접착성능이 매우 우수한 것을 알 수 있었다. 레조시놀수지 접착제만을 사용한 RE의 경우 목재 접착층은 침지박리 1.26%, 삶음박리 0%로 합격기준을 만족하였으나 GFRP 접착층을 포함시킬 경우 침지

박리는 21.85%로 합격기준을 만족하지 못하였고 삶음박리의 경우만 1.45%로 만족하였다. 레조시놀수지 접착제의 경우는 고온에는 우수하나 내수성 면에서 접착성능이 저하되는 것을 알 수 있었다. 레조시놀수지 접착제와 초산비닐수지접착제를 9대 1로 혼합하여 제작한 R9의 경우 RE와 마찬가지로 목재 접착층만은 침지박리 4.28%, 삶음박리 0.37%로 우수하였으나 GFRP 접착층을 포함시킬 경우 침지박리율은 36.72%로 급격히 증가하였다. 레조시놀수지 접착제와 초산비닐수지 접착제의 혼합비를 7대 3으로 제작한 R7 역시 GFRP 접착층을 포함시킬 경우 침지박리율이 28.66%로 합격기준을 만족시키지 못하였다. 레조시놀수지 접착제와 초산비닐수지 접착제를 5대 5로 혼합한 R5의 경우 목재 접착층만의 침지박리율이 5.36%, 삶음박리율이 7.55%로 접착성능이 불량하였으며 GFRP 접착층을 포함했을 경우 침지박리 17.69%, 삶음박리 6.24%로 모두 합격기준이 미달하였다. 다용도 에폭시수지 접착제를 사용한 EP의 경우 모든 접착층에서 박리가 생겨 접착력이 매우 불량한 것을 확인할 수 있었다. 초산비닐수지 접착제의 경우 목재와 GFRP의 접착력이 수축, 팽창에 의한 응력보다 강하여 박리율이 크지 않았으나 레조시놀수지 접

Table 3. Ratio of water soaking delamination

Specimens	Delamination after water soaking (%)	Delamination after boiling water soaking (%)
GFRP to wood	11	34
PV	Wood only	0
	All layers	11
RE	GFRP to wood	21.4
	Wood only	13
	All layers	21.9
R9	GFRP to wood	35.3
	Wood only	4.3
	All layers	36.7
R7	GFRP to wood	28.1
	Wood only	1.8
	All layers	28.7
R5	GFRP to wood	15.9
	Wood only	5.4
	All layers	17.7
EP	GFRP to wood	39.5
	Wood only	84.1
	All layers	67.6

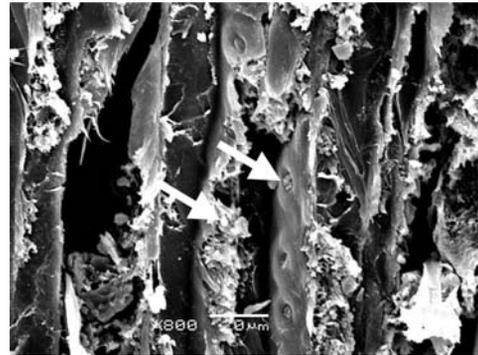
KS F 3021 - 5%

착제를 사용한 경우 GFRP와의 접착력이 초산비닐수지 접착제보다 낮은 것으로 사료된다.

### 3.3. 접착면의 주사전자현미경 관찰

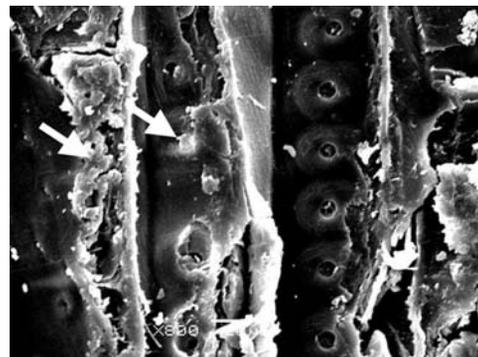
블록전단강도 시험 후 시편의 접착면을 주사전자현미경으로 관찰하였다. 주사전자현미경 관찰은 주사전자현미경(JEOL, JSM-5510)으로 20 kV의 가속 전압하에서 실시하였다.

Fig. 5는 초산비닐수지계 접착제로 제작된 집성재 PV의 목재 접착면을 주사전자현미경으로 본 모습이다. 목재 조직 내 접착제가 침투하여 있으며 벽공에도 접착제가 침투한 것을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 레조시놀 수지 접착제로 제작된 집성재 RE의 목재 접착면을 본 것으로 조직과 조직 사이에 접착제가 침투하여 있으며 벽공에도 접착제가 침투한 것을 확인



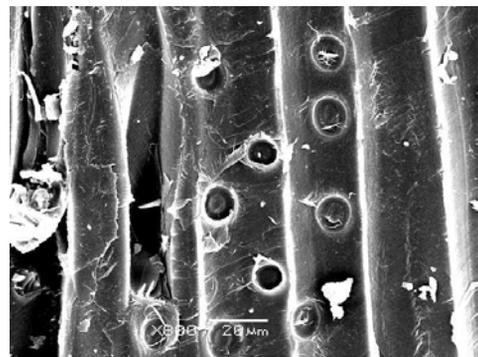
(Surface of wood)

Fig. 5. Scanning electron micrographs of PVAc-based resins penetration.



(Surface of wood)

Fig. 6. Scanning electron micrographs of resocinol-based resins penetration.



(Surface of wood)

Fig. 7. Scanning electron micrographs of epoxy-based resins penetration.

할 수 있었다. 하지만, 다용도 에폭시 수지 접착제를 사용한 EP의 목재 접착면을 보면 접착재가 목재 조직에 흡수되지 못한 것을 알 수 있었다(Fig. 7). 목재 조직 내 접착제 침투 정도도 접착력에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

접착 성능은 목재와 목재가 접착되는 접착면에서는 레조시놀수지 접착제와 초산비닐수지 접착제 모두 블록전단강도와 침지박리, 삶음박리 모두 양호하였으나 목재와 GFRP가 접착된 접착층에서는 레조시놀수지 접착제를 사용한 경우 침지박리율이 높아 합격기준을 만족하지 못하였다. 에폭시수지를 사용한 경우 침지박리와 삶음박리율 매우 높아 접착력이 매우 떨어지는 것을 알 수 있었다. 레조시놀수지 접착제와 초산비닐수지 접착제를 혼합하여 사용하였을 때에도 침지박리율이 높아 접착력이 불량하였다.

본 연구를 통하여 GFRP를 사용한 복합집성재 제작시 목재와 GFRP의 접착에 한해서는 초산비닐수지접착제가 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 일본접착협회. 1991. 접착제 핸드북.

2. Herzog, B., B. Goodell, R. Lopez-Anido, and D. J. Gardner. 2005. Durability of fiber-reinforced polymer (FRP) composite-wood hybrid products fabricated using the composites pressure resin infusion system (ComPRIS). *Forest Products J.* 55(11): 54~60.

3. Herzog, B., B. Goodell, R. Lopez-Anido, L. Muszynski, D. J. Gardner, W. Halteman, and Y. Qian. 2004. The effect of creosote and copper naphthenate preservative systems of the adhesive bondlines of FRP/glulam composite beams. *Forest Products J.* 54(10): 82~90.

4. Lopez-Anido, R., D. J. Gardner, and J. L. Hensley. 2000. Adhesive bonding of eastern hemlock glulam panels with E-glass/vinyl ester reinforcement. *Forest Products J.* 50(11/12): 43~47.

5. Tascioglu, C., B. Goodell, and R. Lopez-Anido. 2003. Bond durability characterization of preservative treated wood and E-glass/phenolic composite interfaces. *Composites Sci. and Tech.* 63(7): 979~991.

6. Tascioglu, C., B. Goodell, R. Lopez-Anido, and D. Gardner. 2004. Surface energy characterization of preservative-treated wood and E-glass/phenolic composites. *Forest Prod. J.* 54(12): 262~268.