

# 파티클보드에 보강된 유리섬유의 layer 수가 기계적 성질에 미치는 영향<sup>1</sup>

차재경<sup>2</sup>

## The effect of mechanical properties on the particleboard reinforced with fiberglass layer number<sup>1</sup>

Jae-Kyung Cha<sup>2</sup>

### ABSTRACT

This research examined the technical feasibility of composite that had 2- and 3- layers of fiberglass reinforcement to enhance the load carrying capacity of particleboard. Specimens were prepared from commercial particleboard. Results indicated that bending properties, hardness and impact bending energy increased as the number of layers of fiberglass reinforcement increased. The wood screw withdrawal load only decreased at the 3-layer of fiberglass reinforcement. The technique developed by this study may increase an opportunity to use particleboard for structural purposes.

**Keywords** : particleboard, bending properties, hardness, impact bending energy, wood screw withdrawal load, fiberglass.

### 1. 서론

파티클보드는 뒤틀림이 적고, 표면이 고우며, 균일한 두께를 가지고 있어 국내에서 많이 사용되고 있다. 특히 파티클보드의 국내생산량은 2003년 79만 4천 m<sup>3</sup>에서 2005년 84만 7천 m<sup>3</sup>으로, 2008년에는 96만 m<sup>3</sup>으로 증가하였으며, 현재도 크게 증가하고 있다. 또한 수입량도 2003년 68만 1천 m<sup>3</sup>에서 2005년 75만 9천 m<sup>3</sup>으로, 2008년에는 84만 1천 m<sup>3</sup>으로 꾸준히 증가하고 있다.(이 2008) 따라서 국내의 파티클보드의 사용량이 2003년에 147만 5천 m<sup>3</sup>에서 2005년 160만 6천 m<sup>3</sup>으로, 2008년에는 180만 1천 m<sup>3</sup>으로 증가하여 외국산 파티클보드의 국내시장 점유율이

---

1. 논문접수: 2010. 03. 25.; 심사: 2010. 04. 20.; 게재확정: 2010. 09. 14. 본 연구는 국민대학교 교내연구비 (2010) 지원에 의해 수행되었음.

2. 국민대학교 임산생명공학과, Dept. of Forest Products and Life Science, College of Forest science, Kookmin University, Seoul, Korea. (E-mail: jcha@kookmin.ac.kr).

45% 이상 차지하고 있다. 또한 파티클보드는 다양한 크기와 밀도로 만들 수 있어 필요한 특정 성질의 제품을 설계할 수 있는 기회를 많이 제공한다. 그러나 파티클보드의 사용량 증가에도 불구하고 측면 처리의 어려움과 무게에 대한 낮은 강도 및 강성에 대한 문제점 등을 가지고 있다. 특히 접합부는 파티클보드의 사용자들에게 가장 큰 고민거리이다. 따라서 파티클보드가 가지고 있는 이러한 문제점들의 개선을 위해 많은 연구가 필요하다.

파티클보드 등 목제품에 대한 구조용도의 수요증가는 강도와 강성에 대한 개선이 요구되고 있다. 유리섬유보강중합체(fiberglass reinforced polymer; FRP)의 발달은 인공적인 보강에 의해 목제품들에 대한 구조성능의 향상 가능성을 검토하게 하는 동기를 제공하였다. 특히 최근의 연구들은 목재와 합판 등 목제품에 유리섬유의 보강으로 구조성능들을 크게 향상시켰다. 많은 연구들(Rowlands 등 1986; Gardner 등 1994; Privu 등 2004; Spaun 1981; Smulski 1987; Saucier와 Holman 1975)이 유리섬유로 목재 표면을 보강시켜 휨성질 등을 크게 향상시켰다. Biblis와 Carino(2000)는 합판, Cai(2006)는 중밀도섬유판과 flakeboard, Davids 등(2005)과 Lopez-Anido 등(2000)은 Glulam, Saucier와 Holman(1975)은 파티클보드에 각각 유리섬유를 보강하여 휨성능 등을 향상시켰다. Soltis 등(1998)은 유리섬유로 목재 표면을 보강하여 결합부의 성능을 크게 향상시켰다.

얇은 목재 단판을 붙이거나 씌운 많은 양의 파티클보드가 가구제작, 부엌의 싱크대 제조, 캐비닛, 몰딩, 문, 마루판 등으로 널리 사용되고 있다. 그러나 파티클보드는 휨 성능을 신뢰할 수 있을 때까지 구조용으로는 시장에서의 거래와 이용에 한계가 있을 것이다. 또한 FRP로 보강한 복합소재는 국내에서 생산되는 파티클보드가 가지고 있는 기계적인 성질을 크게 개선시켜 구조용으로 개발할 기회를 제공할 수 있다. 그러나 FRP의 보강으로 얻어진 좋은 결과들에도 불구하고 국내에서는 그에 대한 연구들(차와 이 2007; 차 2008; 차 2009)이 매우 미흡하다. 따라서 본 연구의 목적은 국내에서 생산되는 파티클보드의 성능을 증진시켜 파티클보드로 제작된 복합소재의 용도를 다양화시킴으로 파티클보드의 고부가가치 이용을 촉진시키고자한다. 파티클보드의 보강은 진공에 의해 접착제를 침투시키는 방법(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding; VARTM)으로 차와 이(2007)가 사용했던 복합소재에 유리섬유 layer를 추가하여 제작했다. 휨강도, 경도 및 충격실험이 유리섬유로 보강된 복합소재의 기계적 성능을 평가하기 위해 실시되었다. 나사못은 사용하는데 많은 인건비가 소요되지만 쉽게 제거할 수 있고 다시 사용했을 때 크게 지지력을 잃지 않으며, 취성물질을 결합하는데도 사용할 수 있다. 이러한 이유들로 나사못 뽑기 실험도 실시했다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2-1 유리섬유로 보강한 복합소재의 제작

본 연구에서는 유리섬유로 보강한 복합소재의 제조에 국내에서 생산되어 시중에서 유통되고 있는 파티클보드를 사용하였다. 또한 유리섬유 layer 수의 영향을 연구하기 위해 차와 이(2007)의 파티클보드에 대한 실험 자료가 포함됐다. 이를 위해 복합소재는 그들 및 차(2009)와 같은 제작 방법으로 파티클보드의 양면에 유리섬유를 사용하여 샌드위치 모양으로 만들었다.

차와 이(2007) 및 본 연구에 사용된 유리섬유, 파티클보드 및 접착제는 시중에서 판매되는 제

차재경 - 파티클보드에 보강된 유리섬유의 layer 수가 기계적 성질에 미치는 영향

품을 사용하였다. 연구범위는 파티클보드, 상온수지인 폴리에스테르 및 3매의 유리섬유로 제한했다. 유리섬유는 단축방향(unidirection)으로 짠 조방사(roving)로 파티클보드의 길이방향과 같은 방향으로 배열하였다. 진공펌프는 비닐과 봉합테이프를 사용하여 만든 봉지(bag)를 진공으로 만들어 접착제가 피착재와 유리섬유 조방사로 이동될 수 있도록 사용되었다.

## 2-2 휨강도 실험

파티클보드와 유리섬유로 보강한 복합소재 시편에는 휨 성질을 측정하기 위해 휨하중을 가했던 차와 이(2007)의 자료도 포함했다. 휨하중은 비교를 위해 그들과 같은 3점 하중 실험방법(ASTM D1037)에 의해 복합소재 시편이 파괴될 때까지 만능재료시험기에 의해 분당 2.5mm의 하중속도로 시편 중앙에 가했다. 복합소재의 휨탄성계수와 휨강도의 계산에는 전체 횡단면의 치수를 사용하였다. 휨탄성계수, 휨강도 등의 휨성질을 구하기 위해 모든 하중과 변형량은 개인용 컴퓨터에 자동으로 저장하였다.

## 2-3 경도 실험

경도실험은 표준시험 방법(ASTM D1037)에 의해 실시되었다. 하중은 만능재료시험기에 의해 분당 6mm의 하중속도로 직경이 11.3mm인 볼이 시편표면으로부터 2.5mm이상 압입될 때까지 가했다. 경도는 하중-압입량 곡선의 직선 부분에서 기울기를 사용하여 볼의 절반 크기인 5.65mm 압입했을 때 하중을 계산하였다. 시편의 두께는 시편의 특성상 복합소재의 두께를 그대로 사용하였다.

## 2-4 나사못 유지력 실험

나사못 유지력 실험은 표준시험 방법(ASTM D1037)에 의해 일반적으로 사용되는 길이가 25 mm인 No. 10 나사못을 표면에 수직으로 박아 실시하였다. 나사못의 위치는 각 시편의 모서리에 두 개의 선을 그어 만나는 점을 중심으로 표면에 표시한 다음 천공을 하였다. 표면의 나사못 뽑기 실험을 위해 나사못을 박을 때 나사못 주위의 분할을 방지하기 위해 직경이 3.2 mm인 구멍을 미리 천공하였다. 나사못은 나사니가 모두 감추어질 때까지 약 17 mm 정도 박아 실험을 실시했다. 시편을 고정하는 결합 철물은 만능재료시험기의 아래에 위치한 플레이트에 고정하였다. 고정된 결합 철물의 위쪽에 만들어진 가늘고 긴 홈을 통하여 시편 표면 위로 나온 나사못은 Hounsfield 사의 만능재료시험기의 위쪽에 고정된 플레이트에 의해 하중을 가했다. 하중속도는 위쪽에 위치한 플레이트의 이동 속도 1.5 mm/분으로 실시했다.

## 2-5 충격 실험

충격실험은 합판에 대한 표준 충격시험 방법(ASTM D3499)에 의해 실시되었다. 충격에너지 측정에는 여러 실험기계들이 유용하지만 간단한 실험에 의해 측정할 수 있다. 흔들리는 추에 의한 실험기는 추의 위치에너지 차에 의해 파괴에 필요한 에너지를 측정하는데 국제적으로 표준화된 24cm 지지점 사이의 스패 중앙에 하중을 가한다. 하중은 국립산림과학원에 있는 충격시험기를 사용하여 복합소재의 유리섬유로 보강된 면에 수직으로 스패 중앙에 가해 충격에너지를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 1은 본 연구에 사용된 파티클보드 및 유리섬유로 보강된 복합소재에 대한 밀도의 평균과 표준편차를 보여주고 있다. 기계적 성질을 측정하기 위한 모든 시험들은 각각 7개의 시편을 사용했다.

Table 1. Average density of particleboard and fiberglass reinforced particleboard.

Samples	Density(g/cm <sup>3</sup> )
particleboard	0.99(0.02*)
1-layer	1.21(0.03)
2-layer	1.29(0.02)
3-layer	1.34(0.02)

\* Standard deviation

파티클보드와 파티클보드에 유리섬유로 보강된 복합소재의 휨강도와 휨탄성계수는 Table 2에서 보여주고 있다. 파티클보드에 1-layer의 유리섬유로 보강한 복합소재는 강도 및 강성의 큰 증가를 보였다. 그러나 layer 수의 증가가 강도 및 강성의 큰 증가를 보이지는 않았다. 1-layer로 보강했을 경우에 강성이 244%의 증가를 보였지만, 2-layer로 보강했을 경우 430.4%, 3-layer의 경우 486.3% 증가하여 layer 수가 증가할수록 강성이 증가하였지만 증가율은 감소하였다. 휨강도는 layer 수가 증가하므로 휨탄성계수보다 더 큰 증가를 보였다. 1-layer로 보강하였을 경우 1087.1%의 증가를 보였지만 2-layer의 경우 1315.4%, 3-layer는 1497.2% 증가를 보여 layer 수의 증가로 휨강도의 증가율도 감소하였다. 이는 목재에 유리섬유로 보강된 복합소재의 경우와 같이 layer 수의 증가가 인장역에서 접착층의 파괴가 원인으로 판단되며, 압축역에서 표면경도가 Table 3과 같이 크게 증가하지 않은 경도실험의 결과도 이를 뒷받침하고 있다. 그러나 유리섬유 layer 수의 영향은 간벌소경제로 만든 복합소재보다 파티클보드를 유리섬유로 보강한 복합소재가 휨강도 및 휨탄성계수의 더 큰 증가를 보여주고 있다. 특히 유리섬유 layer 수를 1-layer에서 2-layer로 증가시켰을 경우 휨강도는 잣나무 목재로 만든 복합소재가 23.3%의 증가를 보였지만 특히 밀도가 큰 낙엽송과 리기다소나무 목재로 만든 복합소재는 각각 5%와 2.8%의 증가를 보인 것으로 보고되고 있다(차 2009).

Table 2. Average values of flexural strength and stiffness of particleboard and fiberglass reinforced particleboard.

Samples	Modulus of elasticity (× 10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	Modulus of rupture (× kgf/cm <sup>2</sup> )
particleboard	29.3(3.7*)	141.2(37.2*)
1-layer	100.8(4.8)	1676.2(136.2)
2-layer	155.4(6.5)	1998.5(191.9)
3-layer	171.8(7.3)	2255.3(206.9)

\* Standard deviation

파티클보드에 유리섬유의 보강 효과를 조사하기 위해 표면경도시험이 또한 실시됐다. 유리섬유로 보강된 파티클보드의 표면경도는 하중-압입곡선의 직선부분의 기울기를 구한 다음, 기울기를 사용하여 5.65mm 압입되었을 때 하중의 크기를 계산하였다. 표면경도의 평균은 1-layer의 유리섬유로 보강한 복합소재에서 약 6.3배 증가했다(Table 3). 특히 2-layer의 유리섬유로 보강했을 때 경도는 9.25배 증가했지만 3-layer인 경우는 9.3배로 2-layer와 유사한 값을 보였다. 이들 결과는 유리섬유의 보강이 표면성질을 향상시켰다는 사실을 증명하지만 유리 섬유의 layer 수를 증가시킨다고 표면경도가 계속 증가한다는 것을 의미하지 않는다. 하지만 파티클보드에 유리섬유의 보강이 표면 경도를 개선시키므로 파티클보드의 구조용도 증진을 위한 가능성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Average hardness values of particleboard and fiberglass-reinforced particleboard.

Samples	Hardness(kgf)
particleboard	327.2(32.5*)
1-layer	2388.8(309.6)
2-layer	3355.2(82.6)
3-layer	3371.9(63.6)

\* Standard deviation

Table 4는 충격실험으로부터 구한 충격에너지의 평균 및 표준편차를 보여주고 있다. 충격실험에 의해 측정된 에너지는 일정한 스펠길이에서 시편의 두께와 폭의 변이로 횡단면 치수 사이에 선형관계를 이용하여  $W_{adj} = \frac{A_{stan}}{A_{test}} W_{test}$ 에 의해 조정된 에너지( $W_{adj}$ )를 계산했다.  $W_{test}$ 는 충격실험으로부터 구한 최대 충격에너지를 사용했고  $A_{test}$ 는 시편의 횡단면 면적이며,  $A_{stan}$ 은 충격에너지의 비교를 위해 파티클보드 충격시편의 횡단면 면적을 사용하여 조정된 에너지( $W_{adj}$ )를 구하였다. Table 4는 양면에 1-layer와 2-layer 및 3-layer의 유리섬유로 보강된 복합소재의 충격에너지를 각각 보여주고 있다. 파티클보드의 충격에너지는 18.2kgf · cm를 보였고, layer 수를 증가하므로 충격에너지가 증가하였다. 1-layer를 보강하였을 경우 충격에너지는 파티클보드의 충격에너지보다 약 880% 증가하였다. layer 수가 증가할수록 충격에너지는 증가하였지만 2-layer일 경우 13.8배, 3-layer일 때 약 17배로 증가율은 감소하였다. 이와 같은 사실은 휨강도실험에서 layer 수가 증가하면 유연하지 않아 파괴가 일어날 때까지 하중-변형량 곡선의 아래 면적들이 layer 수에 의해 영향을 받지 않기 때문으로 판단된다. 이는 차의 연구(2009)에서 목재를 유리섬유로 보강하였을 경우 1-layer일 때 비중이 작은 잣나무 목재로 만든 복합소재가 가장 큰 값을 보였지만 2-layer로 보강했을 경우 감소하였고, 낙엽송 목재에 2-layer로 보강하였을 경우 약간 증가한 결과와도 유사한 경향이다.

Table 4. Average bending toughness values of particleboard and fiberglass- reinforced particleboard specimens.

Species	Bending toughness(kgf • cm)
particleboard	18.2(2.7)
1-layer	178.3(15.2)
2-layer	269.5(27.9)
3-layer	327.7(37.5)

\* Standard deviation

Table 5는 나사못이 박힌 단위 길이당 최대 나사못 뽑기 하중을 나타내고 있다. 나사못 뽑기 하중의 평균은 파티클보드가 53.2 kgf/cm로 가장 작았다. 파티클보드에 유리섬유로 보강했을 때 복합소재의 나사못 뽑기 하중의 평균이 1-layer의 경우 266.2kgf/cm로 크게 증가했지만 3-layer 일 때는 감소하였다. 이는 복합소재의 제조에 사용된 layer 수가 나사못 뽑기 하중에 영향하지 않았음을 의미한다. 차의 연구(2009)에서도 국산 소경재 목재에서 2매의 유리섬유로 된 복합소재의 표층에서 나사못 뽑기 하중이 잣나무목재에 1매 유리섬유 복합소재보다 25% 증가를 보였지만 리기다소나무와 낙엽송 목재로 제조한 복합소재는 큰 차이가 없었던 경우와 같이 3-layer의 경우 접착층의 파괴가 일어나 더 이상 하중을 지지할 수 없었기 때문으로 판단된다.

Table 5. Average wood screw withdrawal loads of particleboard and fiberglass- reinforced particleboard specimens.

Samples	Wood screw withdrawal load(kgf/cm)
particleboard	53.2(5.97*)
1-layer	266.2(28.6)
2-layer	274.9(18.6)
3-layer	254.7(26.1)

\* Standard deviation

#### 4. 결 론

본 연구는 파티클보드의 기계적 성질을 향상시키기 위해 2-layer와 3-layer의 유리섬유로 보강한 복합소재의 기계적 성질들을 조사하였다. 파티클보드에 유리섬유로 보강한 복합소재는 휨강도, 휨탄성계수, 경도 및 충격에너지의 증가를 보여주었다. 그러나 나사못 유지력은 3-layer로 보강하였을 경우 감소했다. 이러한 기계적 성질의 개선은 국내에서 생산되는 파티클보드를 구조용도로의 사용 가능성을 증가시켰다.

## 5. 참고문헌

- 이 중영. 2008. 합판 보드산업의 현황과 과제. 합판·보드협회. 제5회 한국 합판·MDF·파티클보드 심포지움: 11-32.
- 차 재경, 이 성우. 2007. VARTM(Vacuum assisted resin transfer molding)방법에 의해 보강된 목재 및 파티클보드를 유리섬유로 보강한 복합소재의 성질. 목재공학 35(3): 29-35.
- 차 재경. 2008. 국산 소경재의 휨 성질을 이용한 충격에너지와 최대하중까지 일/에너지 예측연구. 한국가구학회지 19(5): 350-357.
- 차 재경. 2009. 유리섬유로 보강된 제재목의 기계적 성질에 대한 연구. 한국가구학회지 20(4): 281-289. 김광철, 박희준, 정인수. 2009. 목재 폐기물 재활용의 의의 및 필요성에 대한 고찰. 한국가구학회지 20(1):31-41.
- American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test method of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials, ASTM D 1037. ASTM, Philadelphia, PA.
- American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test method for toughness of plywood, ASTM D 3499. ASTM, Philadelphia, PA.
- Biblis, E.J. and Carino, H.F. 2000. Flexural properties of southern pine plywood overlaid with fiberglass-reinforced plastic. Forest Prod. J. 50(4): 34-36.
- Cai, Z. 2006. Selected properties of MDF and flakeboard overlaid with fiberglass mat. Forest Prod. J. 56(11/12): 142-146.
- Davids, W. G, Richie, M. and Gamache, C. 2005. Fatigue of glulam beams with fiber-reinforced polymer tension reinforcing. Forest Prod. J. 55(1): 93-101.
- Gardner, D. J., Davalos, J. F. and Munipalle, U. M. 1994. Adhesive bonding of pultruded fiber-reinforced plastic to wood. Forest Prod. J. 44(5): 62-66.
- Lopez-anido, R., Gardner, D.J. and Hensley, J.L. 2000. Adhesive bonding of eastern hemlock glulam panels with E-glass/vinyl ester reinforcement. Forest Prod. J. 50(11/12): 43-47.
- Pirvu, A., Gardner, D.J. and Lopez-andino, R. 2004. Carbon fiber-vinyl ester composite reinforcement of wood using the VARTM/SCRIMP fabrication process. J. composites: part A 25:1257-1265.
- Rowlands, R.E., Deweghe, R.P.V., Laufenberg, T.L. and Krueger, G.P. 1986. Fiber-reinforced wood composites. Wood and fiber science 18(1): 39-57.
- Saucier, J. R. and Holman, J.A. 1975. Structural particleboard reinforced with glass fiber-progress in its development. Forest Prod. J. 25(9): 69-72.
- Smulski, S. J. and Ifju, G. 1987. Flexural behavior of glass fiber reinforced hardboard. Wood and fiber science 19(3): 313-327.
- Soltis, L.A., R.J. Ross and D.F. Windorski. 1998. Fiberglass reinforced bolted wood connections. Forest Prod. J. 48(9): 63-67.
- Spaun, F.D. 1981. Reinforcement of wood with fiberglass. Forest Prod. J. 31(4): 26-33.