

## 천연섬유강화 폴리머 복합재료의 압축강도 특성

송준희\*, 문상돈\*, 김유경\*\*, 김홍건\*\*\*  
(논문접수일 2009. 10. 28, 심사완료일 2010. 01. 28)

### Compressive Strength of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites

Jun Hee Song\*, Sang Don Mun\*, Yoo Young Kim\*\*, Hong Gun Kim\*\*\*

#### Abstract

In recent years there has been a growing interest for the use of natural fibers in composite applications due to their low cost, environmental friendliness, and good mechanical properties. The purpose of this study is to determine the characteristic of bending strength on bamboo fiber reinforced polymer composites. The parameters of RTM process depend on the weight ratio of bamboo fiber and resin, the number of bamboo ply and amount of hardening agent. Besides the existence of pore in composites according to vacuum time investigated a effect on mechanical properties of reinforced polymer composites. Test result shows that compressive strength was a maximum(approximately  $1,840\text{kgf/cm}^2$ ) value when weight ratio of resin was 12%.

**Key Words** : Natural Fiber(천연섬유), Reinforced Polymer Composites(폴리머 강화 복합재료), RTM(수지이동성형), Compressive Strength(압축강도)

## 1. 서론

다양하고 고도화된 산업화는 인간에게 물질적 만족을 주지만 반면 이로 인한 산업 폐기물은 해마다 급증하여 사회적 문제로 부각되고 있다. 특히 자동차 산업의 경우만 보더라도 자동차 제조업체에서는 계속하여 새로운 모델의 차량을 생산하고 있지만 한편으로는 폐차로 인한 폐기물도 증가하여

재활용 문제가 두드러지고 있다. 이러한 환경적인 문제는 전 세계적인 관심거리이며, 각 나라마다 규제를 강화하고 있는 추세이다. 그러나 아직 국내의 경우 환경적인 문제보다는 매출, 효율, 이윤, 품질 등과 같은 생산 자체에 더 비중을두고 있는 실정이다.

하지만 향후 몇 년 후 국내에서도 환경규제가 강화될 것이며, 기업의 전 세계적 경쟁력을 감안한다면 자연 친화적인

\* 전북대학교 기계설계공학부  
\*\* 전주대학교 나노신소재공학과  
\*\*\* 교신저자, 전주대학교 기계자동차공학과 (hkim@jj.ac.kr)  
주소: 560-759 전북 전주시 완산구 백마길 45

제품의 개발이 필요한 시기이다.<sup>(1,2)</sup> 자동차 부품 중 내장과 외장의 상당 부분은 폴리머 복합재료를 사용하고 있으며, 경량화를 위한 특수한 목적의 자동차의 경우는 대부분의 금속 구조용 부품이 폴리머 복합재료로 대체되기도 한다. 차량의 경량화는 연료 소비의 절감과 이로 인한 매연 배출의 감소를 가져올 수 있다. 천연섬유 강화 복합재료는 우수한 기계적 특성 뿐 아니라 재활용과 생산비 절감, 대기오염 감소, 에너지 절감 등의 부수적인 이점을 갖고 있는 재료로서, 연구 및 개발이 중요시되는 분야이다.<sup>(3)</sup> 현재, 트럭 바닥재로 사용하고 있는 목재는 모두 수입에 의존하고 있기 때문에 이를 대체할 수 있는 재료가 시급한 실정이다. 천연 섬유를 이용한 제품의 상당수는 대부분 인공섬유보다 상대적으로 기계적인 강도면에서는 열등하지만, 저렴하고 쉽게 구할 수 있는 장점 때문에 현재까지도 사용되고 있으며, 근래에 와서는 환경 친화적이라는 측면에서 오히려 환영받고 있다. 최근 제품의 원가절감과 환경보호에 맞물려 제품 재활용의 측면이 부각되었으며, 이러한 추세는 앞으로도 계속될 것이다. 이러한 상황은 자동차 산업에 대하여도 마찬가지이고 자동차 부품의 설계나 제조단계에서 재활용의 요소를 고려하여야 한다. 그러나 이러한 천연섬유 등으로 보강한 복합재료에 대해서는 국내에서는 아직 본격적인 연구 및 제품적용이 이뤄지지 않고 있으며, 제품의 실제 설계나 제조 등의 적용에 필요한 자료가 부족한 실정이다.

수지이동성형(Resin Transfer Molding ;이하 RTM)법은 완전 자동화가 가능하며, 작은 부피에서 중간 부피의 구조물까지 적용이 가능하다. 대형 부피의 사용에서는 열경화성 수지의 장시간 경화 공정을 줄이기 위해 부가적으로 촉진제와 온도를 가한 상태에서 성형이 가능하며 이들은 제조인자에서 중요한 역할을 담당한다.<sup>(4)</sup> 작은 구조물에서는 매우 단순한 금형과 주변 장치가 요구되지만 체적이 증가함에 따라서 가열 및 냉각장치가 부착된 복잡한 형상의 금형과 복잡한 혼합장비가 필요하다. RTM 성형법은 항공기용 부재, 자동차 부품 및 외장, 의료기기, 선박용 부품, 군수용품, 압력용기, 건축용품에 이르기까지 응용이 다양하다.<sup>(4,5)</sup>

따라서 본 연구는 열경화성 수지인 불포화 폴리에스테르 수지와 기계적인 강도에서 우수한 성질을 나타내는 에폭시 수지를 매트릭스로 선택하고 폴리머 복합재료의 제작은 RTM 성형 공정을 이용하였다<sup>(6-8)</sup>. 천연섬유의 주 대상재료는 직조된 대나무<sup>(9,10)</sup>를 충전재로 사용하였다. 기존의 목재 구성요소를 대체할 목적에서 기계적 강도치가 타당성이 있는지를 검토하는 것이 또 하나의 목적이다. 각각의 공정 변수에 따른 복합재료의 기계적 특성은 굽힘시험을 통한 굽힘

강도로 특성을 조사하였다.

## 2. 실험재료 및 제작

### 2.1 시험편 제작

실험에서 사용한 RTM장치는 Plastech사(英)의 용량 6ℓ 인 HYPAJECT이다. 유입된 공기압은 6~8bar, 진공도는 -0.8~-0.9bar, 주입압력은 1~2bar로 실시하였다. RTM 장치의 사진과 공정의 순서 흐름도가 Fig. 1~2에 나타나있다.

### 2.2 몰드(mold) 제작

RTM용 제작에 사용한 실제 몰드의 사진이 Fig. 3에 제시되었다. RTM용 몰드와 제작품과의 이형처리하는 몰드 표면과 제작품이 접촉되는 것을 방지하고 탈형을 용이하게 하기

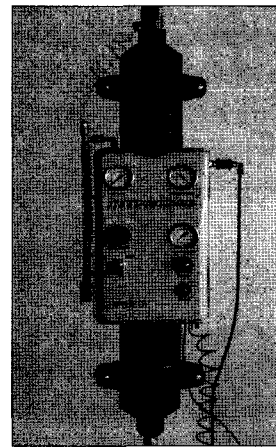


Fig. 1 The manufacturing apparatus of RTM

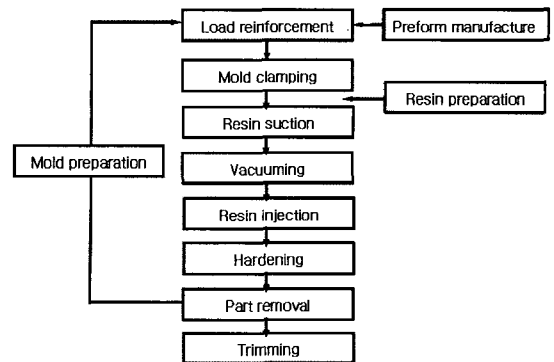


Fig. 2 Flow chart of RTM process



Fig. 3 The manufacturing mold for RTM

위하여 테프론 필름과 DEXTER사(미국)의 FREKOTE 4368 을 이용하였다.

### 2.3 사용재료

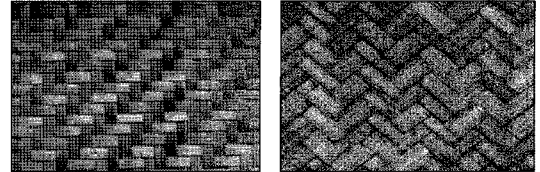
제작에 사용된 수지는 2종류로서 열경화성 수지인데 하나는 불포화 폴리에스테르 수지이고 다른 하나는 에폭시 수지이다. 폴리에스테르 수지는 CRAYVALLEY사의 EPOVIA VUP-3518T이고, 에폭시 수지는 국도화학의 YD-115이다. 여기서 폴리에스테르 수지가 기본 재료제이고, 에폭시 수지는 기계적인 물성치의 비교를 위해 선택하였다. 수지와 함께 보강재로 사용될 섬유는 천연섬유인 대나무이다. 자연적인 대나무를 얇은 판 두께(0.5~1.0mm)의 긴 직사각형 형태로 가공한 후 이를 직조하여 2mm 정도의 직사각형 직조판(295×210mm)을 만들었다. 표면의 오염도에 따른 영향을 알아보기 위해 섬유표면이 오염된 것과 깨끗한 얇은 것을 준비하였다. 또한 추가적인 천연섬유 대상으로는 왕겨와 쌀겨, 광목 등을 사용하였다. 수지에 대한 섬유들의 중량 비율에 따른 영향을 고려하고자 1장, 2장, 3장씩 적층하였다. 사용된 천연섬유들은 Fig. 4에 제시하였다.

### 2.4 시험편 제작종류

시험편은 각각 수지의 종류, 대나무 적층수와 섬유 종류, 진공시간, 경화제의 양, 제작 두께 등의 인자에 따라 제작하였다. 시험편은 폴리에스테르와 에폭시 수지, 대나무 섬유의 상태, 적층수, 제작두께 등이 제조 변수들이다.

### 2.5 실험 장치 및 방법

각 성형 조건별로 제작된 판재는 기계적 물성치의 변화를 보기 위하여 소정의 크기로 절단 가공되었다. 이 시험편들은 인장시험기(INSTRON 4206)에서 일정 변위속도(3mm/min)



(a) Bamboo(standard) (b) Bamboo(pollution)

Fig. 4 The shape of natural fiber

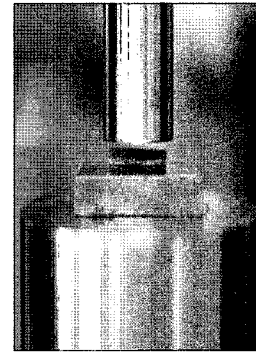


Fig. 5 Photograph of bending test

로 시험을 행하였다. 이때 하중-변위 데이터는 데이터 획득 장비(Data Acquisition System: DAS)를 사용하여 실시간으로 그래프화하고 저장되었다.

압축실험은 ASTM D 695M과 KSM 3015 규정을 참조하여 1mm/min의 일정 시험속도하에서 부하시켰다. 시험편은 가로(30mm)×세로(13mm)의 크기로 가공하였다. 압축실험의 장치 사진이 Fig. 5 보인다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 경화제의 양의 영향

경화제량을 제조사에서 제시한 표준값을 기준으로 ±30% 증감시켜 제작한 후 이들의 압축강도 영향을 조사하였다. Fig. 6에서 보이는 바와같이 경화제량이 증가함에 따라 압축강도는 낮아져 굽힘특성과는 반대의 경향이 일어났다. 압축강도는 수지보다 섬유에서 압축강도가 낮으므로 섬유의 영향이 크다. 그러나, 섬유의 조건은 동일하고 경화제량의 다소에 따라 수지가 달라지면 수지의 물성치가 직접적인 영향을 줄 것으로 판단된다. 따라서 수지의 취화 정도에 따라 압축력에 견디는 저항력이 달라졌을 것이다. 파괴형태에서 경화제량이 표준이하던 4(PB16HS)와 2(PB16) 조건은 압축

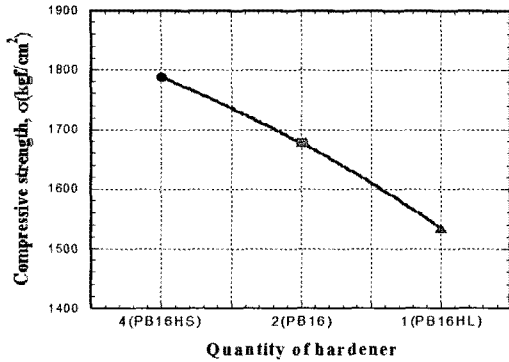


Fig. 6 Compressive strength with quantity of hardener

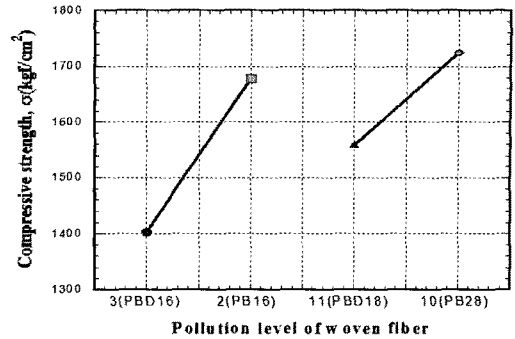


Fig. 8 Compressive strength with pollution level of woven fiber

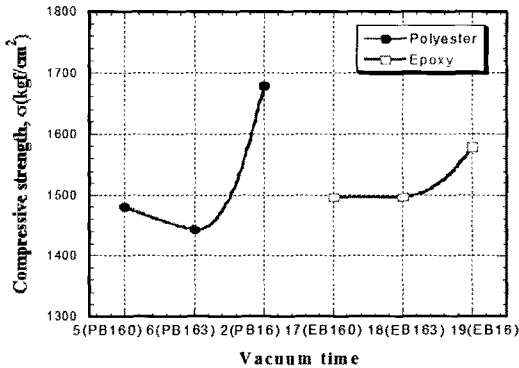


Fig. 7 Compressive strength with vacuum time

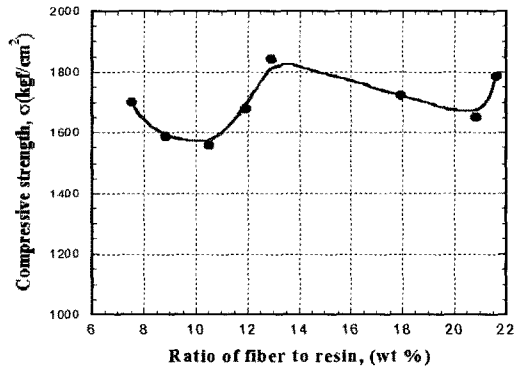


Fig. 9 Compressive strength with weight percentage of fiber to resin

단면의 섬유계면에서 크랙이 형성되어 있지만, 경화제량이 다소 많은 1(PB16HL) 재료는 압축단면의 크랙 뿐만아니라 측면에서 섬유와 수지의 박리현상도 발생하여 압축강도의 저하를 가져온 것으로 분석되었다.

### 3.2 진공시간의 영향

진공시간을 0, 3, 6분으로 조절하여 제작한 조건이 5(PB160), 6(PB163), 2(PB16)이며 이들의 압축강도 분포가 Fig. 7에 보인다. 진공시간이 0, 3분은 강도가 비슷하지만 6분인 조건에서는 압축강도가 증가하였다. 이는 기포가 완전 제거되는 시간이 6분 이상이므로 기공의 형성 유무가 압축강도에 영향을 준 것으로 생각된다. 에폭시 수지계에서 진공시간을 0, 3, 6분으로 조절한 17, 18, 19에서는 약간 증가하지만 폴리에스테르계 보다는 정도가 낫다. 이것은 에폭시 수지 특성상 진공에 의하여 6분에서도 기포 제거가 완전히 제거되지 않았기 때문이라고 여겨진다.

### 3.3 섬유의 표면 오염도의 영향

대나무 섬유의 직조판이 오염된 재료인 3(PBD16), 11(PBD18) 과 깨끗한 2(PB16), 10(PB28)의 압축강도 변화를 Fig. 8에 제시하였다. 2와 3은 대나무 직조 섬유가 1장이고, 10과 11은 2장 적층된 것이다. 적층수가 1장과 2장 모두 표면이 깨끗한 재료에서 보다 높은 압축강도가 구해졌고 오염도에 따른 강도차는 약 165와 270kgf/cm<sup>2</sup>이었다. 오염된 섬유는 수지와 결합력을 약화시키고 강도의 저하를 가져오기 때문에 굽힘강도와 더불어 압축강도 역시 표면개질의 문제는 FRP 제조시 중요한 인자라는 사실을 보여주는 결과이다.

### 3.4 수지에 대한 섬유함량에 따른 영향

여러 조건의 재료들을 수지에 대한 섬유의 함유량과 압축강도 관계를 Fig. 9에 나타내었다. 섬유 함량은 7.5% [9(PB110)], 8.8% [8(PB18)], 10.5% [16(PBS6)], 11.9% [2(PB16)],

12.9% [12(PB210)], 17.9% [10(PB28)], 20.8% [7(PB13)], 21.6% [13(PB310)]이었다. 압축강도의 분포는 상호 그 차이가 크진 않지만 'W'자 형상으로 분포하고 있다. 굽힘강도와 마찬가지로 12.9%인 12(PB210) 재료에서 가장 우수한 값을 나타내어 기계적인 물성치가 가장 우수하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 천연섬유 강화재로 자연계에 널리 분포하는 대나무 조직을 이용하여 RTM 공정을 사용한 천연섬유 강화 폴리머 개발을 하였다. 천연섬유 강화 폴리머 재료에 대한 압축강도 특성에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 천연섬유와 기지재와의 결합공정 개발 측면에서 순수한 RTM 공정만으로는 계면과 내부에 기공이 다수 발생하므로 진공장치를 이용한 기포제거가 타당하였다. 이는 진공 제거뿐만 아니라 섬유와 수지에 압축력을 가해 구조적 특성이 향상됨을 알았다.
- (2) 강도향상을 위한 천연섬유 구조 개발을 위해 제조 공정 변수를 다양하게 변화시켰다. 그 인자들로는 경화제량, 진공시간, 섬유 적층재의 표면 상태, 제작 두께, 섬유 적층수, 수지 종류, 섬유 함유량 등이다. 기계적인 물성치들은 이러한 인자들에 의존성을 보였다.
- (3) 섬유의 표면 오염도의 영향에 대한 실험에서 적층수가 1장과 2장 모두 표면이 깨끗한 재료에서 보다 높은 압축강도가 구해졌고 오염도에 따른 강도차는 약 165와 270 kgf/cm<sup>2</sup>이었다. 오염된 섬유는 수지와와의 결합력을 약화시키고 강도의 저하를 가져오기 때문에 굽힘강도와 더불어 압축강도 역시 표면개질의 문제는 FRP 제조시 중요한 인자라는 사실을 알았다.
- (4) 압축강도의 평가에서는 굽힘강도처럼 재료의 제조인자에 따라 영향이 다소 민감하지 않았다. 제작된 재료중에서 12(PB210) 시편이 1,843kgf/cm<sup>2</sup>으로 가장 높은 압축강도를 나타내었다. 더구나, 목재의 압축강도가 600kgf/cm<sup>2</sup>이 하인 점을 감안하면 본 연구의 천연섬유 강화 복합재료의 경우에 어느 조건에서도 1,400kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 나타내어 압축강도의 측면에서는 훨씬 우위에 있다고 보여진다.

#### 참고 문헌

- (1) Wambua, P., Ivens, J., and Verposet, I., 2003, "Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics,"

*Composites Science and Technology*, Vol. 63 pp. 1259~1264.

- (2) Bisanda, E. and Ansell, M. P., 1991, "The effect of silane treatment on the mechanical and physical properties of sisal-epoxy composites," *Composites Science and Technology*, Vol. 41, pp. 165~178.
- (3) Lee, D. G., Sim, J. K., and Kim, J. W., 2005, "Fiber Orientation Distribution of Injection Molded Product on the Fiber-Reinforced Polymeric Composites," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 14, pp. 73~80.
- (4) Owen, M. J, Middleton, V., etc, 1989, "Materials Behavior in RTM for Volume Manufacture", *Plastic Rubb Process Applications*, Vol. 12, No. 4, pp. 221
- (5) Thielemans, W. and Richard, P. W., 2004, "Butyrate kraft lignin as compatibilizing agent for natural fiber reinforced thermoset composites", *COMPOSITES part A: applied science and manufacturing*, Vol. 35, pp. 327~338.
- (6) Ryu, Y. M., Yoon, E. P., Yoon, Y. S., and Lee, S. H., 1998, "Stiffness Comparison with Design of GFRP Roof Panels Prepared by RTM Method," *The Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 6, No. 4, pp. 32~38.
- (7) Hwang, B. S., Um, M. K., and Lee, S. K., 1997, "A Study on the Process Parameters for High-Quality Laminates Using Resin Transfer Molding," *The Korean Society for Composite Materials*, Vol. 10, No. 3, pp.22~33.
- (8) Yoon, Y. K., Chung, S. H., Lee, W. I., Lee, B. H., and Byun, J. H., 2004, "A Study on the Measurement System Design for the Resin Flow and Curing in the Vacuum Assisted Resin Transfer Molding(VARTM) Process Using the Long Period Fiber Bragg Grating," *Transactions of KSME*, Vol. 28, pp. 489~494.
- (9) Shigeyasu, S. U., 2001, "Fracture properties of bamboo," *Composites Science and Technology*, Vol. 32, pp. 451~459.
- (10) Thwe, M. M. and Liao, K., 2003, "Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites," *Composites Science and Technology*, Vol. 63, pp. 37~387.