

## 종이로 강화된 복합재료의 기계적 특성평가

김윤해\* · 조영대\*\* · 안승준\*\*\* · 배창원\*\*\*\* · 배성열\*\*\*\*\* · 양동훈\*\*\*

\*한국해양대학교 조선기자재공학과 교수, \*\*한국해양대학교 대학원

\*\*\*한국해양대학교, \*\*\*\*한국해양수산연수원, \*\*\*\*\*한국선급

# Evaluation of Mechanical Property of Paper Reinforced Composites and Its Application

Y. H. Kim\* · Y. D. Jo\*\* · S. J. An\*\*\* · C. W. Bae\*\*\*\* · S. Y. Bae\*\*\*\*\* · D. H. Yang\*\*\*

\*Division of Marine Equipment Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*\*Div. of Mechanical Engineering National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 복합재료는 비강도 특성이 뛰어나기 때문에 항공기, 자동차 및 기타의 용도에 많이 응용되고 있다. 특히, 탄소섬유강화 복합재료는 중량감소를 위해서는 아주 유용한 재료다. 이러한 장점에도 불구하고 탄소섬유강화 복합재료는 그 가격이 비싸다는 이유로 사용하기가 어려운 실정이다. 한편, 한지는 한국의 전통적인 종이이다. 한지는 다른 종이에 비해 강도가 상당히 높고, 밋고다 낮고, 가격이 낮다는 장점이 있다. 따라서 한지는 무게감량을 위해 탄소섬유를 대신할 수 있는 소재다. 실제적으로 한지강화 복합재료의 강도는 CFRP보다는 낮다. 그러나 무게감량을 위해서는 CFRP를 대체할 수 있는 아주 훌륭한 재료다. 본 연구에서는 한지강화 복합재료의 기계적인 특성평가에 대한 결과를 나타낸다. 결과적으로 무게감량의 관점에서 한지는 아주 우수한 대체 재료임을 알 수 있었다.

**핵심용어** : 한국의 전통종이, 한지, 복합재료, 저밀도, 저가

**ABSTRACT** : The composite materials are well known for its specific strength, so it is widely used in aerospace, automobile, and other industries. Especially CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics) is the most famous and useful material for weight reduction. Against all its advantages, CFRP is not easy to use because of its relatively high cost. The Hanji is a kind of Korean traditional paper made of fiber from the paper mulberry. The Hanji is famous for its high strength compare with other papers. Another advantages of the Hanji are its extremely low density and low cost. Because of these advantages, the Hanji can replace the use of carbon fiber for weight reducion. Actually, the strength of the Hanji reinforced composites is lower than that of CFRP, but the Hanji reinforced composites can be one of the best selection for weight reduction. This paper represents the evaluation of tensile property, copmpressive property, in-plane shear property, and density of the Hanji reinforced composites and it shows the comparision with GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastics) and CFRP. This research proves that the Hanji reinforced composites can be a good competitive material with CFRP.

**KEY WORDS** : Korean traditional paper, Hanji, Composites, Low density, Low price

### 1. 서 론

복합재료는 두개 혹은 그 이상의 재료를 결합하여 우수한 특성을 나타내도록 만든 재료를 말하며 일반적으로 복합재료의

최종적인 특성은 원래의 재료보다 우수하다. 섬유강화복합재료의 경우 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드 섬유와 같은 강화섬유가 최종적인 섬유강화 복합재료의 기계적 특성을 결정하는 결정적인 요소가 된다. 탄소섬유는 매우 낮은 밀도와 현저하게 뛰어난 강도를 가지며 아라미드섬유는 아주 질긴 특성을 가지고 있다.

\* yunheak@hhu.ac.kr 051)410-4355

\*\* shaq27@hhu.ac.kr

## 종이로 강화된 복합재료의 기계적 특성평가

그리고 유리섬유는 높은 강도와 상대적으로 낮은 가격으로 인하여 가장 흔하게 사용되는 보강섬유라 할 수 있다.

최근까지 CFRP(탄소섬유강화복합재료)는 가격이 매우 비싸지만 경량화에 있어 가장 효과적인 재료로 알려져 있다. 때때로 기계적 강도는 중요하지 않지만 가벼운 소재가 필요한 경우가 있다. 이런 경우 CFRP는 우수하지만 비싸기 때문에 적합하지 않다. 본 연구는 구조적 강도는 크게 필요하지 않지만 경량화가 필요한 분야에 있어 종이를 이용한 복합재료의 적용에 대한 연구를 수행하였다. 지금까지 세계적으로 다양한 종이 나오고 있으나 본 연구에서는 한국의 한지를 강화섬유로 이용하였다. 한지는 일반적인 다른 강화섬유에 비하여 기계적 강도는 부족하지만 탄소섬유보다 낮은 밀도를 가지고 있기 때문에 경량화를 목적으로 하는 분야에 효과적인 적용이 가능하리라 생각된다.

최근 환경에 대한 중요성이 부각되면서 전기자동차에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-2]. 그러나 연료전지나 모터 등의 전기적 기계적 부품에 대한 연구는 활발하게 진행되고 있으나 경량화에 대한 연구는 매우 부족하다. 경량화 소재에 대한 연구도 병행해서 진행되어야 보다 뛰어난 성능과 효율성을 가진 전기자동차를 개발할 수 있다. 따라서 본 연구는 한지를 이용한 복합재료에 대한 연구로 경량의 천연복합재료의 연구에 기초가 되고자 하였다.

## 2. 시편의 준비 및 실험

한지의 종류는 무게, 두께, 용도 등에 따라 다양한 종류가 있다. 본 연구에서는 단위면적당 무게와 두께가 다른 세 가지 종류의 한지를 강화재료 이용하였다. 사용된 한지에 대한 물성을 Table 1에 나타내었다. 매트릭스 수지로는 VIP(Vacuum Infusion Process) 공정에 적합하게 설계된 RIM 135(Hexion사) 에폭시 수지를 사용하였다. VIP 공정용 수지를 사용한 것은 일반적인 수지에 비하여 흐름성이 우수하여 함침이 잘되는 특성을 보이기 때문이다. 사용된 에폭시 수지에 대한 물성을 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Properties of the Hanji

	Fiber A	Fiber B	Fiber C
Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.38	0.38	0.38
Areal weight (g/cm <sup>2</sup> )	5.34e-3	4.15e-3	3.26e-3
Thickness (mm)	0.13	0.11	0.07

Table 2 Properties of the epoxy resin

Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.18
Modulus of elasticity (GPa)	2.7
Tensile strength (MPa)	60
Cure temperature (°C)	23
Cure time (hr)	24

시편은 섬유체적함유율이 60%가 되도록하여 hand lay-up 방법으로 제작하였다.

KS M ISO 527, KS M 14126, KS M 14129 시험표준에 따라 시편을 제작하고 인장, 압축, 면전단 시험을 수행하였다. 시편의 형상은 Fig. 1과 같다.

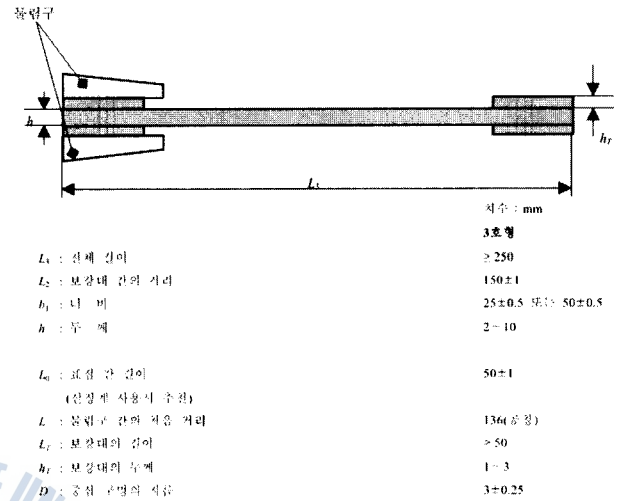


Fig. 1 Scheme of specimen

## 3. 결과 및 고찰

X축에 표시된 다섯 개의 시편에 대한 인장시험의 결과를 Y축에 표시하여 Fig. 2에 나타내었다.

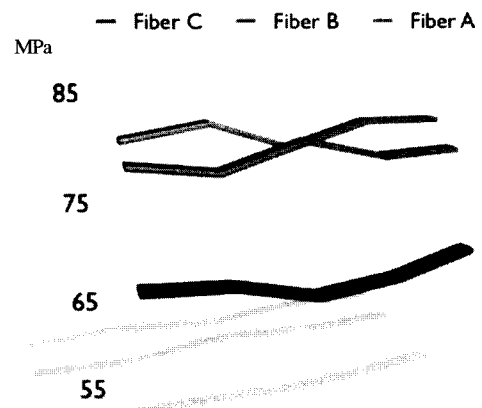


Fig. 2 Test results of the tensile test

Fiber A의 결과를 통해 단위면적당 무게가 인장강도의 증가에 큰 영향을 미치는 인자임을 알 수 있었다. 한지로 강화된 복합재료는 수지 원래의 인장강도에 비하여 30% 정도의 향상이 있었다. 그러나 일반적인 다른 강화섬유에 비하면 부족한 강도인 것은 사실이다. 한지로 강화된 복합재료는 0도와 90도의 방

향에 따른 강도의 차이는 없었다.

인장강도 측정의 결과를 통하여 한지로 강화된 복합재료는 구조용 재료로는 사용이 불가능하였으나 다른 섬유강화 복합재료에 비하여 월등히 우수한 경량화 특성을 구현할 수 있었다.

압축시험의 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 압축강도는 인장강도와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 압축강도에서도 인장강도에서와 같이 높은 단위면적당 무게가 강도에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

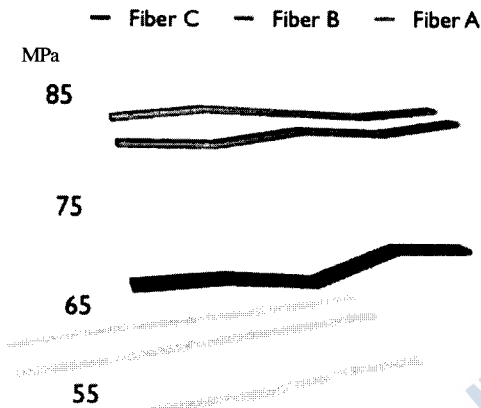


Fig. 3 Test results of the compressive test

본 연구에서는 45도 방향의 인장시험방법에 의한 면전단 강도 측정을 수행하였다. 면전단강도의 결과는 Fig. 4에 나타내었다.

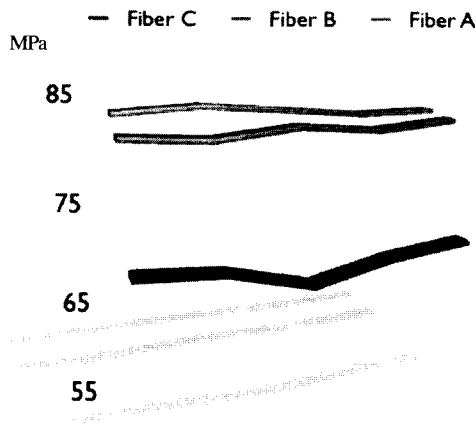


Fig. 4 Test results of the in-plane shear test

면전단 강도에서도 인장, 압축강도에서와 같은 경향을 나타내었다. 그리고 방향에 대한 차이는 발생하지 않았는데 이는 한지의 제조공정에 의한 것으로 판단된다. 한지의 제조 시 다투 섬유 슬러리 중에 나무로 된 체를 넣어 건져 올리면서 섬유가 배열되는데 액상에 분포된 다투 섬유는 난방향으로 배열

되어있기 때문에 방향성을 가지지 않은 것으로 판단된다. 육안으로 보았을 때 한지에 방향성이 있는 것처럼 보이기 는 하지만 이는 섬유를 건져 올릴 때 사용하는 나무로 된 체의 모양으로 인한 것으로 섬유의 배열과 무관한 무늬인 것을 알 수 있었다. 따라서 한지에서 다투 섬유 배열은 난방향의 배열을 하고 있으며 한지로 강화된 복합재료는 모든 방향으로 동일한 특성을 보이는 등방성 재료라고 생각할 수 있다. 단 두께방향의 특성은 레이어의 적층으로 이루어지는 복합재료의 특성상 다른 특성을 나타낸다.

한지로 강화된 복합재료의 밀도를 Table 3에 나타내었다. 시편의 밀도는 재료의 강도와 비례하지만 큰 차이는 발견할 수 없었다. 이는 시편의 제조공정으로 인한 것으로 판단된다. Hand lay-up공정은 섬유체적함유율을 정밀하게 제어하기가 어려움이 있었다. 그러나 조직이 조밀하게 구성된 한지의 경우 VIP 등의 공법을 적용하기가 어렵기 때문에 섬유체적함유율을 정밀하게 제어하기 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 모든 밀도의 시편이 일반적인 강화섬유가 보강된 경우에 비하여 월등한 경량화를 구현할 수 있었다. 특히 수지자체의 밀도보다 낮은 값을 나타낸 것은 현저하게 낮은 한지의 밀도에 의한 것으로 한지로 강화된 복합재료가 경량화에 매우 우수한 특성을 나타내는 것을 알 수 있었다.

Table 3 Density of the Hanji reinforced composites

Reinforcement	Original resin	Fiber A	Fiber B	Fiber C
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.18	0.70	0.70	0.69

#### 4. 결 론

인장, 압축, 면전단 시험을 통하여 한지로 강화된 복합재료의 가능성에 대하여 평가를 해보았다. 한지로 강화된 복합재료는 경량화에 있어서 매우 우수한 특성을 나타내었다. 각 실험에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 한지로 강화된 복합재료에서 단위면적당 무게가 강도의 증가에 가장 큰 기여를 하는 인자인 것을 확인하였다.
2. 한지로 강화된 복합재료는 순수한 수지에 비하여 30%의 강도 증가가 있었다.
3. 한지로 강화된 복합재료에 있어서 방향에 따른 차이는 발생하지 않았다.
4. 인장, 압축, 면전단 시험의 결과는 모두 유사한 경향을 나타내며 단위면적당 무게가 높을수록 높은 강도값을 나타내었다.

이상의 실험을 통하여 한지로 강화된 복합재료가 순수한 수지보다 높은 강도를 낼 수 있었으나 구조용 재료로 사용하는 것은 어려운 것으로 판단된다. 그렇지만 경량화 성능은 매우 우수한 것을 알 수 있었으며 전기자동차의 내장재나 전자기기의 케이스 등의 용도로 사용하기에 적합한 것으로 판단된다. 그리고 한지는 다양한 천연수지와 결합하여 좋은 천연복합재료로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## 참 고 문 헌

- [1] Sanjay Mazumdar, 2002: Composites Manufacturing Materials Product and Process Engineering, CRC Press LLC.
- [2] H.J. Jo, Y.K. Kim, and S.B. Park, 2003: Development of the Hanji Wallpaper for Electromagnetic Wave Screen, Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 7-10.
- [3] Plastics-Determination of Tensile Properties, KS M ISO 527.
- [4] Fibre Reinforced Plastic Composites-Determination of Compressive Properties in the In-plane Direction, KS M ISO 14126
- [5] Fiber Reinforced Plastic Composites - Determination of the In-Plane Shear Stress/Shear Strain Response, Including the In-Plane Shear Modulus and Strength, by the  $\pm 45^\circ$  Tension Test Method, KS M ISO

---

원고접수일 : 2009년 12월 23일

원고채택일 : 2010년 02월 23일