

부직포를 삽입한 탄소섬유강화 복합적층판의 인장특성 평가

정성균*, 이승환**

Evaluation of Tensile Properties of Carbon Fiber Reinforced Composite Laminates with Non-Woven Carbon Mat

Seong-Kyun Cheong*, Seung-Hwan Lee**

Abstract

Tensile properties of carbon fiber reinforced composite laminates with non-woven carbon mat are evaluated in this paper.

Composite laminates are made by inserting non-woven carbon mat between layers. The specimens were cut and polished according to ASTM standard. Longitudinal and Transverse Young's modulus are obtained by tensile test. Young's moduli without non-woven carbon mat are compared with those with non-woven carbon mat. Longitudinal and Transverse tensile strength are also investigated.

Experimental results show that the transverse Young's modulus of composite materials with non-woven carbon mat is about 10% higher than that of composite materials without non-woven carbon mat. Longitudinal tensile strength of composite materials with non-woven carbon mat is about 24% higher than that of composite materials without non-woven carbon mat. Transverse tensile strength and toughness also increase by inserting non-woven carbon mat between layers.

Keywords : Carbon Fiber Reinforced Composite Laminates(탄소섬유강화 복합적층판), Non-woven Carbon Mat(탄소 부직포), Longitudinal Young's Modulus(섬유방향의 탄성계수), Transverse Young's Modulus(섬유수직방향의 탄성계수), Longitudinal Tensile Strength(섬유방향의 인장강도), Transverse Tensile Strength (섬유수직방향의 인장강도), Toughness(인성)

* 서울산업대학교 기계공학과

** 서울산업대학교 기계공학과 대학원

1. 서론

산업의 발달에 큰 기여를 하여온 기계공업은 안전성 및 경량성 등 다양한 조건을 요구하고 있다. 그 중 소재의 선택은 안전성이나 경제적으로 대단히 중요하다.

충분한 강도와 우수한 내식성, 내열성, 대형화에 따른 초경량화 등 다양한 조건을 만족하기 위한 신 소재의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 그 중에서도 합금과 더불어 계속 연구되고 있는 복합재료에 대한 관심을 가지고 그 특성을 정확히 파악하고 해석하는 연구가 진행되고 있다.

최근에는 자동차, 선박, 항공기, 인공위성 등 우주산업과 같은 최첨단 산업분야에서부터 심지어는 테니스 라켓, 스키 등 스포츠 용품에 이르기까지 그 사용범위는 매우 다양한데, 요즘은 우리 나라에서는 복합재료를 사용하여 낚시대나 골프샤프트를 만들어 외화를 획득하는데 일익을 담당하고 있다.¹⁻³⁾

우리의 일상 생활에서도 복합재료의 우수한 성질을 이용하고 있다. 그러나 이러한 복합재료의 특성을 보다 정확히 이용한다면 보다더 경제적이고 안전하게 이용할 수 있다. 복합재료의 특성은 널리 알려진 바와 같이 예측이 어려운 특성을 가지고 있다.

복합재료 적층판은 항공기 날개나 동체 등의 외피구조물에 사용되거나 또는 항공기용 엔진의 압축기, 날개, 우주산업 등에 사용된다.

복합재료 적층판의 물적 특성을 증가시키기 위하여 여러 가지 방법을 사용하고 있다. 그 가운데에서도 복합재료 역학에 관한 이론적 지식을 활용하여 적층순서를 고려하므로써 각종 손상을 줄일 수 있는 방법도 그 중의 하나이지만 적층복합재료의 층(layer)과 층 사이에 부직포(non-woven mat)를 삽입하여 복합재료의 특성을 개선시킬 수 있을 것으로 예측된다. 따라서 본 연구에서는 탄소섬유 복합재료에 탄소 부직포를 삽입하여 복합재료의 인장 특성을 얻기 위하여 인장시험을 수행하여 탄소섬유 복합적층판(0_s, [90_s]의 탄성계수(E₁, E₂)와 인장강도(X_t: 섬유방향, Y_t: 섬유수직방향)를 얻은 결과를 비교 분석하고자 한다.

2. 실험방법

2-1 시편제작

본 연구에서 사용한 재료는 SKI에서 개발한 에폭시 수

지계에 탄소섬유를 함침시킨 USN125 제품으로 프리프레그(prepreg) 한 단층의 두께는 0.125 mm 이고, 적층형태는 섬유방향의 탄성계수와 인장강도를 측정하기 위하여 [0_s], 섬유수직방향의 탄성계수와 인장강도를 측정하기 위하여 [90_s] 로 적층하였으며, 탄소 부직포(non-woven carbon mat)를 삽입한 시편과 삽입하지 않은 시편을 각각 다음과 같은 과정으로 제작하였다.

- (1) 프리프레그를 원하는 크기와 각도로 자른다.
- (2) 탄소 부직포를 원하는 크기로 자르고 각 층의 프리프레그와 프리프레그 사이에 탄소 부직포를 삽입하여 원하는 각도와 층수만큼 쌓는다.
- (3) 성형(curing)중 프리프레그의 위와 아래로 흘러나오는 수지(resin)의 흡수가 잘되도록 하기 위해 필 프라이를 원하는 프리프레그의 크기보다 약 30% 더 크게 자른다.
- (4) 성형시 가이드판 아래면과 윗면사이에 재료와 분리가 잘 되도록 테프론 필름(teflon film)과 필 프라이로 감싼 프리프레그를 넣는다.

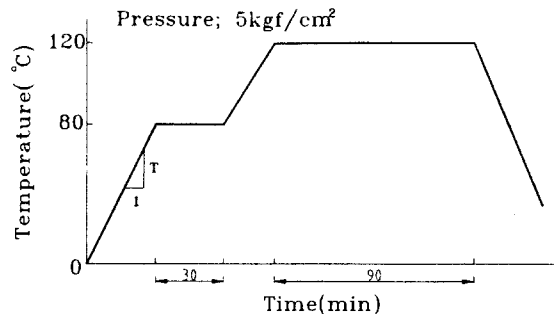


Fig. 1 Hot press curing cycle for composite materials

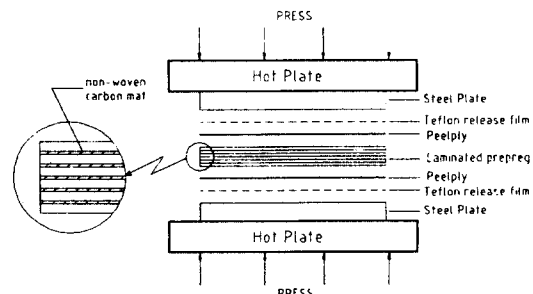


Fig. 2 Hot press curing setup for composite materials

- (5) 이상과 같이 모든 준비가 끝나면 적층한 프리프레그를 핫 프레스(hot press)에 넣고 Fig. 1과 2에서 보이는 바와 같은 과정으로 압력과 온도를 가한다.
- (6) 성형된 적층판을 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 ASTM⁴⁾에서 추천하는 크기의 시편으로 만들기 위해 다이아몬드 커터(diamond cutter)로 절단하고 #300번 사포(sand paper)로 가공하였다.

	폭 (W)	전길이 (L)	두께(T)		탭길이 (Lt)	탭두께 (Tt)
			without non-woven carbon mat	with non-woven carbon mat		
섬유 방향	15	225	0.9	1.1	50	1.5
섬유 수직방향	25	175	0.9	1.1	40	1.5

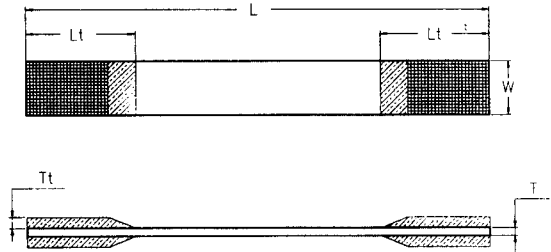


Fig. 3 Tensile test specimen of composite materials

2-2 실험장치

하중 변화에 따른 적층판의 거동을 측정하기 위해 스트레인 게이지⁵⁾를 적층판 중간위치에 부착하고, 인장시험을 실시하였다. 만능시험기(MTS 810)로 섬유방향의 탄성계수(E_1)와 인장강도(X_t)를 얻기 위하여 2mm/min의 속도로 인장시험을 실시하였으며, 인장시험에서 하중-변형률 선도를 얻기 위해 스트레인 게이지에서 나오는 스트레인 신호를 증폭기(amplifier)로 증폭하였으며, 섬유수직방향의 탄성계수(E_2)와 인장강도(Y_t)를 얻기 위해 0.67mm/min의 속도로 하중을 가하였다. 이것을 X-Y기록계에서 기록하고, 변위까지 모두 A/D 변환기(converter)를 통해서 PC로 데이터를 처리하였다.

3. 실험 및 결과분석

3-1 섬유수직방향의 실험 및 결과분석

Table 1 Material properties of Non-woven carbon mat⁶⁾

밀도(density)	10g/m ²
두께(thickness)	0.05mm

우선 탄소 부직포의 효과를 비교하기 위하여

- (1) 탄소 부직포를 삽입하지 않은 복합재료에 섬유 수직방향의 인장시험을 5회에 걸쳐 실시하여 평균한 탄성계수(E_2)와 인장강도(Y_t)를 얻었다.
- (2) 탄소 부직포를 삽입하여 (1)과 같은 조건으로 실시하여 평균한 탄성계수(E_2)와 인장강도(Y_t)를 얻었다.

이상과 같이 두 시험의 결과를 부직포를 삽입하지 않은 적층판 두께로 Table 2에서 비교하였더니, 탄성계수(E_2)는 약11%, 인장강도(Y_t)는 약 17%정도 증가하는 것으로 나타났다.

Table 2 Transverse Young's modulus and tensile strength

	탄성계수: E_2 (GPa)	인장강도: Y_t (MPa)
[90 _s] without non-woven carbon mat	8.317	56.89
[90 _s] with non-woven carbon mat	9.234	66.67

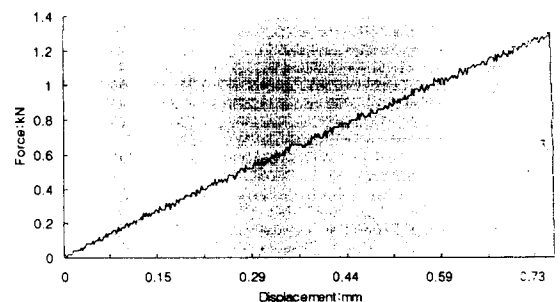


Fig.4 Force-displacement diagram [90_s] specimen without non-woven carbon mat

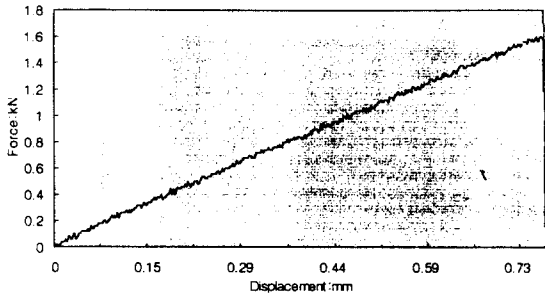


Fig. 5 Force-displacement diagram [90s] specimen with non-woven carbon mat

Fig. 4와 5는 탄소 부직포를 삽입하지 않은 경우와 탄소 부직포를 삽입한 경우의 대표적인 섬유수직방향의 하중-변위 선도이다.

여기서 알 수 있는 것은 탄소 부직포를 삽입한 복합재료가 삽입하지 않은 복합재료보다 탄성계수(E_2)와 인장강도(Y_t)가 크게 나타났다. 즉 탄소 부직포를 삽입하지 않은(Fig. 4) 재료에서는 약 1.3kN일 때 파괴가 일어났으며, 탄소 부직포를 삽입한(Fig. 5) 재료에서는 약 1.6kN일 때 파괴가 일어나 Fig. 4보다 더 큰 하중에 견디는 것을 알 수 있다. 그 이유는 탄소 부직포가 복합재료의 모재(matrix)보다 탄성계수와 인장강도가 크기 때문에 각각의 섬유수직방향의 분리현상을 억제 시키므로서 모재크랙이 일어나는 것을 막아주기 때문에 탄성계수(E_2)와 인장강도(Y_t)를 증가시키는 것으로 사료된다. 또 위 결과로부터 복합재료의 섬유수직방향의 인성(toughness)을 평가한 결과 탄소 부직포를 삽입한 복합재료가 삽입하지 않은 복합재료보다 약 14%의 인성이 증가하는 것으로 나타났으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 여기서 인성치는 Fig. 4와 Fig. 5의 하중-변위선도 아래의 면적을 의미한다.

Table 3 Toughness of [90s] specimen

	인성(toughness)
[90s] without non-woven carbon mat	0.48
[90s] with non-woven carbon mat	0.55

3-2 섬유방향의 실험 및 결과분석

섬유방향($[0_s]$)적층판에 대해서 탄소 부직포를 삽입하지 않은 경우와 삽입한 경우에 대하여 인장시험을 수행하였다.

먼저, 탄소 부직포를 삽입하지 않은 복합재료에 섬유방향의 인장시험을 실시하여 평균한 탄성계수(E_1)와 인장강도(X_t)를 얻었다. 그 다음으로 탄소 부직포를 삽입한 복합재료에 섬유방향의 인장시험을 실시하여 평균한 탄성계수(E_1)와 인장강도(X_t)를 얻었다.

이상과 같이 두 시험의 결과를 부직포를 삽입하지 않은 적층판 두께로 Table 4에서 비교하였더니, 탄성계수(E_1)는 약 14%감소하고 인장강도(X_t)는 약 32%정도 증가하는 것으로 나타났다.

Table 4 Longitudinal Young's modulus and tensile strength

	탄성계수 : E_1 (GPa)	인장강도 : X_t (GPa)
$[0_s]$ without non-woven carbon mat	124.85	1.247
$[0_s]$ with non-woven carbon mat	107.36	1.656

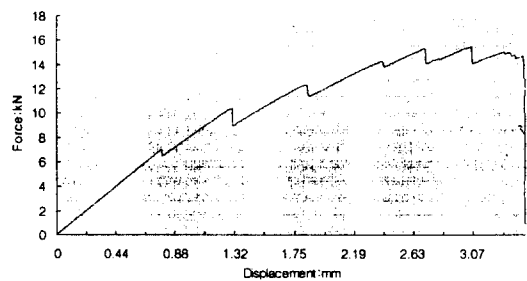


Fig. 6 Force-displacement diagram for $[0_s]$ specimen without non-woven carbon mat

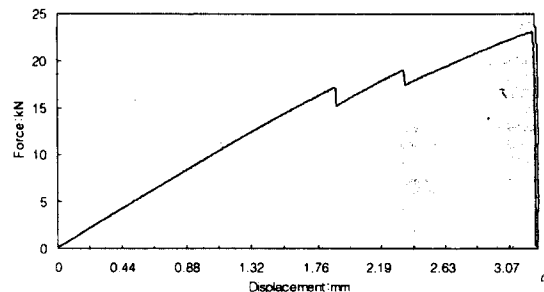


Fig. 7 Force-displacement diagram for $[0_s]$ specimen with non-woven carbon mat

Fig. 6과 7은 탄소 부직포를 삽입하지 않은 경우와 탄소 부직포를 삽입한 경우의 대표적인 섬유방향 하중-변위 선도이다. Fig. 6과 7에서 알 수 있는 것은 탄소 부직포를 삽입한 복합재료가 삽입하지 않은 복합재료보다 탄성 한도가 크게 나타났다. 즉 탄소 부직포를 삽입하지 않은 (Fig. 6) 복합재료에서는 약7kN일 때 1차 파괴가 일어나 재료의 안전성에 영향을 미쳤으며, 부직포를 삽입한 (Fig. 7) 복합재료에서는 약17kN일 때 1차 파괴가 일어나 더 큰 하중에 견디는 것을 알 수 있다. 그리고 탄소 부직포를 삽입한 복합재료보다 삽입하지 않은 복합재료에서 수차에 걸쳐서 잦은 파괴가 일어나는 것을 볼 수 있다. 인장강도(X_t)도 탄소 부직포를 삽입하지 않은 복합재료에서는 약15kN일 때 파괴되었으나, 탄소 부직포를 삽입한 복합재료에서는 약23kN일 때 파괴되었다. 위와 같은 현상들은 섬유수직방향의 모재강도가 낮은 관계로 각각의 섬유들이 쉽게 분리되는 것을 탄소 부직포가 억제하기 때문이라고 사료된다. 즉, 파괴의 원인으로 사료되는 모재균열 (matrix crack)과 섬유파단(fiber breakage)을 방지하므로써 인장강도를 전체적으로 증가시키는 것으로 사료된다. 또 탄소 부직포를 삽입한 복합재료의 섬유방향의 탄성계수(E_1)는 넣지 않은 복합재료보다 탄성계수(E_1)가 감소함을 알 수 있었다. 이와 같은 이유는 탄소 부직포의 탄성계수가 섬유(fiber)의 탄성계수보다 낮기 때문이다. 또 위 결과로부터 복합재료의 섬유방향의 인성을 평가한 결과 탄소 부직포를 삽입한 복합재료가 삽입하지 않은 복합재료보다 약13%의 인성이 증가하였으며 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Toughness of $[0_s]$ specimen

	인성(toughness)
$[0_s]$ without non-woven carbon mat	35.414
$[0_s]$ with non-woven carbon mat	40.220

4. 결 론

본 연구는 적층복합재료의 층(layer)과 층 사이에 탄소 부직포를 삽입하여 복합재료의 특성을 개선시키기 위한 시험이었다. 이 시험을 통해서 복합재료의 인장 특성을 개선시킬 수 있는 가능성을 확인하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 부직포를 삽입한 복합재료의 섬유수직방향(90° 방향)의 탄성계수(E_2)는 넣지 않은 복합재료보다 약 11% 증가함을 알 수 있었다.
- (2) 부직포를 삽입한 복합재료의 섬유방향(0° 방향)의 탄성계수(E_1)는 넣지 않은 복합재료보다 약 14% 감소함을 알 수 있었다.
- (3) 부직포를 삽입한 복합재료의 섬유방향 인장강도 (X_t) 및 섬유수직방향의 인장강도(Y_t)는 부직포를 삽입하지 않은 경우에 비하여 각각 약 32%, 17% 증가함을 알 수 있었다.
- (4) 탄소 부직포를 삽입한 복합재료의 인성치를 평가한 결과 삽입하지 않은 경우에 비하여 섬유방향으로 약 13%, 섬유수직방향으로 약 14% 증가하였다.

이 논문은 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Stephen R. Swanson, "Introduction to Design and Analysis with Advanced Composite Materials", Prentice Hall, pp. 22~24, 1997.
2. Engineered Materials Handbook. Composites "Section 12. Applications and Experience", Vol. 46, pp. 799~845, 1997.
3. Isaac, M. Daniel and Ishai, "Engineering Mechanics of Composite Materials", Oxford University Press, Vol. 2, pp. 10~11, 1994.
4. standard test method for "tensile properties of polymer matrix composite materials", ASTM D3039, 1996.
5. Richard S. Figliola and Donald E. Beasley, "Theory and Design for Mechanical Measurements", Wiley, Vol. 11, pp. 500~513, 1995.
6. SKI 정밀화학연구개발실, "탄소섬유 부직포 스크림 프리프레그 자료집" 1997.