

FEM에 의한 부직포 삽입 예각 적층판의 전단특성 해석

이승환 · 정성균*

일본 규슈대학 대학원 공학부, *서울산업대학교 기계공학과

Analysis of Shear Characteristics of Angle-Ply Laminates with Non-woven Tissue by FEM

Seung-Hwan Lee and Seong-Kyun Cheong*

Faculty of Engineering, Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, Japan

*Department of Mechanical Engineering, Seoul National Univ. of Technology, Seoul 139-743, Korea

요 약

본 연구에서는 적층판 자유단 근처에서의 층간응력 문제를 해석하였다. 탄소섬유 복합적층판 [+40/-40]s과 탄소 부직포가 삽입된 적층판 [+40//40]s 이 인장하중을 받고 있는 경우에 대하여 해석한다. 부호 “//”는 층간에 부직포가 위치함을 의미한다. 부직포를 삽입함으로써 모드 II의 층간파괴인성치는 크게 증가하지만 모드 I의 값은 크게 변하지 않음이 보고되어 있다.³⁾ 복합재료 구조물에 있어서 모드 III 층간파괴인성치가 중요하지만 그 값을 실험적으로 평가하기는 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 부직포 효과 특히, 적층판 자유단 근처에서의 모드 III 층간파괴 특성을 이해하기 위하여 유한요소 해석을 통해 전단응력을 분석하고자 한다.

Abstract

The interlaminar problems near the free edge of composite laminates are analyzed in this paper. CFRP specimen ([+40/-40]s) and interleaved specimen ([+40//40]s) with non-woven carbon tissue (NWCT) are discussed under tensile loading condition. The symbol “//” means that the NWCT is located between the CFRP interfaces. The NWCT has carbon short fibers which are discretely distributed with the in-plane random orientation. It was reported³⁾ that the Mode II interlaminar fracture toughness of CFRP laminates with NWCT is increased largely and the Mode I interlaminar fracture toughness is not changed significantly. Mode III interlaminar fracture toughness is also an important factor in composite structures. But it is not easy to experimentally investigate the Mode III interlaminar fracture toughness. The objective of this work is to study the effect of the NWCT and to fundamentally understand the Mode III interlaminar shear characteristics of laminated composites with NWCT in the vicinity of a free edge by using finite element method analysis.

1. 서 론

섬유강화 복합재료(FRP)는 비강도, 비강성, 내부식성 그리고 경량화 등의 우수한 특성 때문에 많은 산업분야에서 사용되고 있는 반면에 낮은 층간강도¹⁾와 높은 생산단가, 그리고 외부로부터의 손상에 의한 기계적 특성이 저하한다는 것도

중요한 문제로 알려지고 있다.

근래에는 각종 강화복합재료를 이용하여 각각의 장점을 극대화 하고 그 단점을 보강하며, 또한 생산단가의 절감과 함께 기계적 특성을 개선하기 위하여 하이브리드화(Hybrid concept)에 관심이 집중되고 있다.²⁾

하이브리드화란 종래의 기계적 성질이 다른 소

재들을 여러 가지 형태의 조합에 의해 요구되는 기계적 성질을 만족시키는 것을 목적으로 하는 개념이다. 특히, 현재 구조재로서 광범위하게 사용되고 있는 FRP복합재료는 하이브리드화에 의해 고성능, 다기능을 부가할 수 있는 가능성이 기대되고 있다.

최근에는 적층복합재료의 층간파괴에 대한 저항특성을 개선하기 위하여 하이브리드 개념^{3,6)}을 도입한 연구가 수행되고 있으며, 그 중에서 일방향 탄소섬유 강화 복합재료 (CFRP)에 탄소부직포 (Non-woven carbon tissue)를 삽입하여 층간 파괴 특성을 개선한 연구가 보고되고 있다.^{3,4)} 그 보고에 의하면, 적층복합재료의 모우드 II의 층간파괴 인성치는 탄소부직포에 의해 약 25%에서 260% 증가를 보였으며, 모우드 I의 층간파괴인성치는 큰 변화가 없음을 나타내었다. 그러나 부직포가 모우드 III의 층간파괴인성치에 미치는 영향에 관하여는 보고되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 부직포가 모우드 III의 층간 파괴에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하고자 Fig. 1과 같이 예각 적층판 ([+40/-40]s)¹⁾에 대해 적층계면에 부직포를 삽입시켜 인장하중에 의한 계면층간특성을 FEM을 이용하여 검토하고자 한다.

2. 해석방법

해석의 대상은 Fig. 1과 같은 예각대칭적층판이며, 그 중에서 자유단 부근의 전단응력 (τ_{yz} = 모우드 III 성분)이 크게 발생하는 예각²⁾ $\theta=40^\circ$ 를 선택하여 모우드 III의 층간파괴특성을 논하기 위하여 [+40/-40]s 대칭적층판을 해석모델로 하였다.

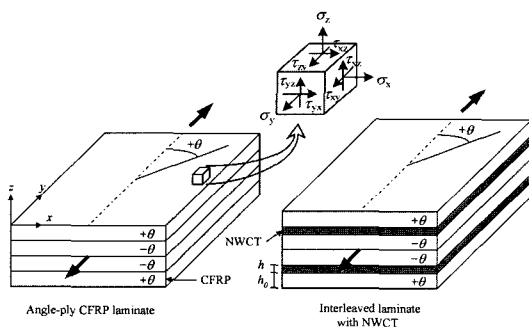


Fig. 1. Angle-ply CFRP laminate with NWCT.

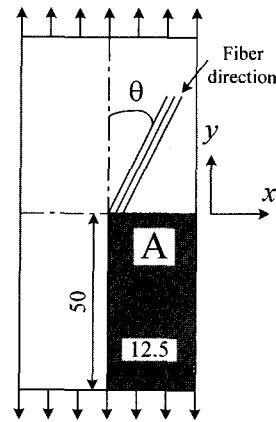


Fig. 2. Analytical model of rectangular plate.

해석프로그램은 상용 프로그램(ANSYS)을 사용하였으며, 유한요소형태는 층간응력을 보다 정밀하게 계산하기 위해서 +θ층과 -θ층은 각각 solid layer 46요소로 해석을 수행하였으며, 부직포의 기계적 특성³⁾을 고려하여 부직포의 모델은 등방성 요소인 solid 45를 사용하여 해석을 수행하였다. Fig. 2에 보이는 것과 같이 하중조건을 고려해 볼 때 1/4의 모델만으로 구조물의 전체적인 거동을 해석할 수 있으므로 A 영역을 모델링하여 해석을 수행하였다. 하중이 가해지는 방향을 y방향으로 하였으며 경계조건은 Fig. 3의 a면과 b면은 대칭 경계조건 (symmetric boundary condition)을 부가하였다. 하중을 부가하는 방법은 c면에 20 kg/mm²의 응력(압력)을 부가하였다. 자유단 근방에서 발

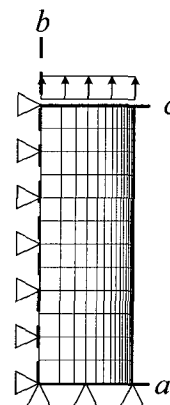


Fig. 3. Boundary conditions of FEM model in A of Fig. 2.

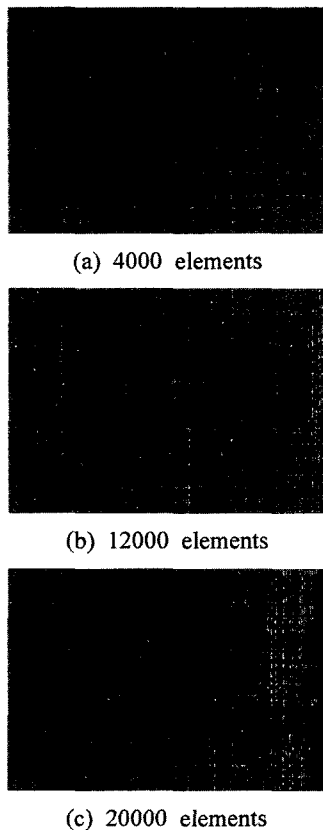


Fig. 4. Finite elements meshes used for sensitivity study.

생하는 층간응력을 보다 정밀하게 해석할 수 있도록 조밀한 요소 분할을 하였으며 요소 분할에 따른 해의 민감성과 수렴성을 조사하였다. Fig. 4에는 요소의 형상과 요소의 조밀도를 나타내고 있다. CFRP 대칭적층판의 계면에 탄소부직포를 삽입시킨 [+θ//−θ]s의 계면에 작용하는 전단응력 (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz}) 해석을 수행하여 비교 검토하였다.

Table 1. Material properties of CFRP and non-woven carbon tissue

CFRP	Non-woven carbon tissue
$E_1 = 128 \text{ GPa}$	
$E_2 = 8.5 \text{ GPa}$	
$\nu_{12} = \nu_{13} = 0.32$	$E = 14 \text{ GPa}$
$\nu_{23} = 0.43$	$\nu = 0.41$
$G_{12} = G_{13} = 4.8 \text{ GPa}$	$G = 5.0 \text{ GPa}$
$G_{23} = 3.0 \text{ GPa}$	$h = 0.05 \text{ mm}$
$h_0 = 0.125 \text{ mm}, b = 5 \text{ mm}$	

본 해석에 사용된 CFRP와 탄소부직포의 기계적 성질을 Table 1에 나타낸다.

3. 해석결과 및 고찰

Fig. 5는 CFRP 대칭적층판 ([+40/−40]s)의 모델을 요소의 수가 증가함에 따라 전단응력성분 (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz})의 변화를 조사한 결과이다. 요소의 증가량은 20,000개의 요소까지 수행하여 검토하였으며 그 결과 약 10,000개의 요소부터 해가 수렴함을 알 수 있었다. 본 해석에서는 12,000개의 요소를 사용하였다. Fig. 6은 CFRP 예각 적층판 모델과 계면에 부직포를 삽입한 모델의 해석으로 부터 층간전단응력이 폭 방향에 따라 변화하는 값을 표시하였다. Fig. 6(a)는 τ_{xy} 에 대한 해석결과를 나타낸다. 부직포를 삽입한 모델의 τ_{xy} 는 CFRP의 모델보다 약 23% 높게 나타났다. 자유단(x-coordinate = 12.5 mm)에서 부직포를 삽입한 모델의 경우 τ_{xy} 가 급격히 감소하여 CFRP 모델과 비슷한 값을 나타냈다. Fig. 6(b)는 τ_{yz} 에 대한 해석결과를 나타낸다. 부직포를 삽입한 모델과 CFRP 모델은 자유단에서 τ_{yz} 가 급격히 변화하여 응력집중이 나타남을 알 수 있으며, 부직포를 삽입한 모델의 τ_{yz} 는 CFRP 모델 보다 절대값이 약 100% 증가함을 보여주고 있다.

Fig. 6(c)는 τ_{xz} 에 대한 해석결과를 보여주고 있다. CFRP 모델과 부직포가 삽입된 모델의 자유단에서 급격히 τ_{xz} 가 증가하는 경향을 보이고 있는

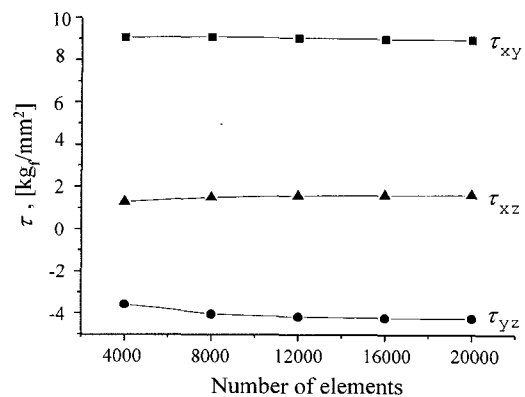


Fig. 5. Result of convergence test for CFRP model.

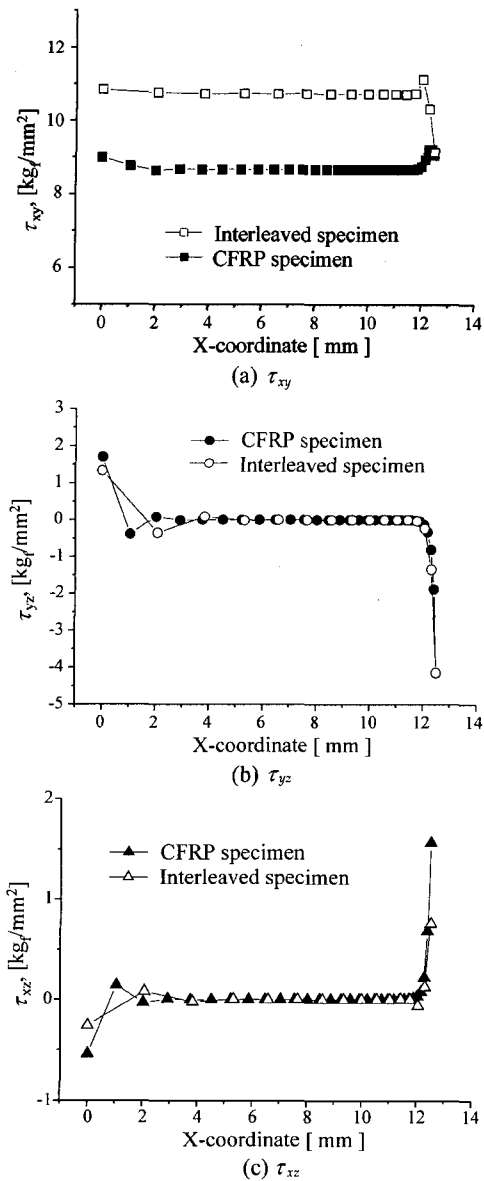


Fig. 6. Comparison of shear stress occurred in CFRP and interleaved specimens.

며, 부직포를 삽입한 모델의 τ_{xz} 는 CFRP 모델 보다 약 51% 감소한 결과를 나타냈다. 부직포를 삽입함으로써 자유단에서의 τ_{xz} 는 감소함을 알 수 있다.

4. 결 론

구조물의 설계에 필요한 신뢰성 있는 층간파괴

특성을 확보하기 위해서는 추후 유한요소해석과 같은 조건의 실험을 통해 비교 분석함이 요구되며, 본 연구에서의 유한요소 해석결과 부직포가 전단특성에 미치는 영향에 관한 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) CFRP 대칭적층판의 모델 ([+40/-40]s)과 계면에 부직포를 삽입한 모델 ([+40// -40]s)의 해석으로부터 자유단에서의 전단응력성분 τ_{xy} 는 비슷함을 나타내었다.

(2) 자유단에서의 층간전단응력성분 τ_{yz} (모우드 III 성분)에 대해서 부직포를 삽입한 모델이 CFRP 모델 보다 절대값이 증가함을 보였다.

(3) 자유단 층간전단응력성분 τ_{xz} (모우드 II 성분)에 대해서는 부직포를 삽입한 모델이 CFRP 모델 보다 감소하였다.

참고문헌

- 1) Pipes, R. B. and Pagano, N. J., "Interlaminar Stresses in Composite Laminates Under Uniform Axial Extension", *Journal of Composite Materials*, **4**, 538 (1970).
- 2) Marissen, R., "Flight Simulation Behaviour of Aramid Reinforced Aluminum Laminates (ARALL)", *Engineering Fracture Mechanics*, **19**, 261 (1984).
- 3) Lee, S. H., "A Study on Development of Hybrid Composites with Non-Woven Tissue", Ph.D Dissertation, Faculty of Engineering, Kyushu University (2002).
- 4) Lee, S. H., Kim, Y. B. and Noguchi, H., "Interlaminar Fracture Toughness of Hybrid Composites with Non-Woven Tissue (1st Report, Mode I Interlaminar Fracture Toughness)", *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineering A*, **661**, 67, 1471 (2001).
- 5) Lee, S. H. and Noguchi, H., "Shear Characteristics of Hybrid Composites with Non-Woven Carbon Tissue", *JSME International Journal A*, **44**, 4, 535 (2001).
- 6) Lee, S. H., Noguchi, H. and Cheong, S. K., "Tensile Properties and Fatigue Characteristics of Hybrid Composites with Non-Woven Carbon Tissue", *International Journal of Fatigue*, **24**, 397 (2002).