

압축하중을 받는 홀을 가진 적층판에 관한 해석

Analysis of Laminate Plates Containing an Open Hole Subjected to Compression

이 행 기* · 김 봉 래**
 Lee, Heang-Ki · Kim, Bong-Rae

ABSTRACT

Numerical analysis on laminated plates containing an open hole subjected to compression is conducted to predict the damage constitutive behaviour of the plates. A micromechanical constitutive model for unidirectional laminated composites proposed by Liang et al. (2006), in conjunction with damage models (Karihaloo and Fu, 1989, 1999; Zhao and Weng, 1996, 1997), is implemented into the finite element code ABAQUS to conduct the numerical analysis. The predictions are compared with experiments (Lessard and Chang, 1991) to verify the accuracy of the present analysis.

Keywords: numerical analysis, constitutive model, damage model, laminated composite plate.

1. 서 론

FRP 적층판은 우수한 공학적인 특성 때문에 많은 분야에서 널리 사용되고 있다. FRP 적층판은 방향성이 서로 다른 섬유를 가진 FRP를 적층한 것으로 재료의 특성은 섬유의 방향, 적층 두께 및 적층 순서에 의해 영향을 받는다 (Herakovich, 1998).

본 연구에서는 미세역학을 기반으로 한 구성모델 (Liang et al., 2006)을 이용하여 압축을 받는 홀을 가진 적층판에 관한 수치해석을 수행하였으며, 최종적으로 수치해석을 통해 얻은 결과를 Lessard와 Chang에 의해 수행된 시험 결과 (Lessard and Chang, 1991)와 비교하여 구성모델과 수치해석 결과의 타당성을 검증하였다.

2. 수치해석

미세역학을 기반으로 한 FRP 적층판 구성모델 (Liang et al., 2006)과 손상모델 (Karihaloo and Fu, 1989, 1999; Zhao and Weng, 1996, 1997)을 유한요소 프로그램인 ABAQUS에 적용하여 압축하중을 받는 홀을 가진 적층판에 대한 해석을 수행하였다. 구성모델 등의 자세한 사항은 Lee and Kim (2006)에 소개될 예정이다.

* 정회원 · 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 부교수 E-mail: leeh@kaist.ac.kr
 ** 한국과학기술원건설 및 환경공학과 석사과정 E-mail: bong-ida@kaist.ac.kr

3-1. 수치해석을 위한 모델의 기하학적 형상

수치해석을 위한 모델로써 T300/976 CFRP 적층판 (Lessard and Chang, 1991)을 선택하였고, 적층방법에 따른 수치해석을 수행하였다. 그림 1은 홀을 가진 적층판의 개략적인 형상을 나타내고, 적층판의 기하학적 형상 및 적층방법은 표 1에 나타나 있다.

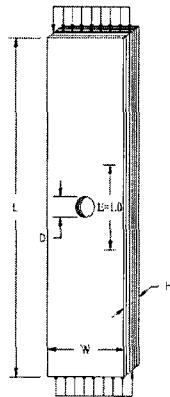


그림 1. 홀을 가진 적층판의 개략적인 형상 (Lessard and Chang, 1991)

표 1. 적층판의 기하학적 형상 및 적층방법 (Lessard and Chang, 1991)

Ply orientation		H (mm)	L (mm)	D (mm)	W/D ratios
Cross-ply	$[(0/90)_6]_s$	3.429	101.6	6.35	4
Angle-ply	$[(\pm 30)_6]_s$				

3-2. 수치해석을 위한 유한요소 모델

적층판은 ABAQUS 내의 8절점 선형 사각형 입체 요소 (C3D8)를 사용하여 모델링하였으며, 홀 주변은 fine mesh를 적용하였다. 적층판의 1/8을 모델링하였으며, 실제 모델의 거동을 만족시키기 위해 적절한 경계조건을 선정하였다. 그림 2는 해석에 사용된 유한요소 모델과 경계조건을 보여준다. 해석에 사용된 재료의 물성치 및 섬유 손상, 미세균열과 관련된 변수는 각각 표 2와 표 3에 나타나 있다.

표 2. 수치해석시 사용된 재료의 특성 (Liang et al., 2006)

E_0	E_1	ν_0	ν_1	ϕ_1	ϕ_2
4.62 GPa	238.56 GPa	0.36	0.20	0.66	0.001

표 3. 섬유의 손상과 미세균열과 관련된 변수 (Liang et al., 2006)

S_0 (GPa)	M	ϵ^{th}	A	B
10.06	4.0	0.05%	0.4	1.8

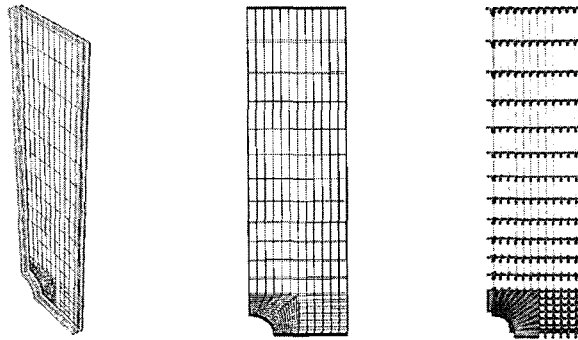
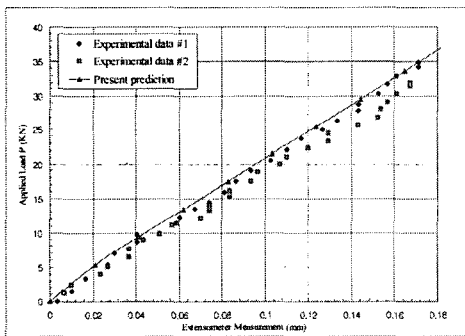


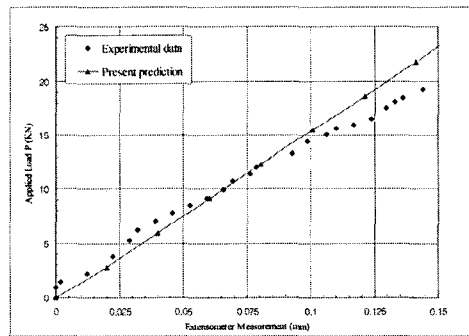
그림 2. 유한요소 모델과 경계조건

3-3. 수치해석 결과 및 시험결과와의 비교

시험결과와의 비교를 위해서 적층판의 중간으로부터 위아래로 12.7mm 떨어진 두 점 사이의 상대 변위를 계산하였다 (Lessard and Chang, 1991; Liang et al., 2006). 그림 3은 적층판의 적층방법에 따른 하중-변위 곡선을 보여준다.



(1) Cross-ply [(0/90)₆]_s



(2) Angle-ply [(±30)₆]_s

그림 3. 적층판의 적층방법에 따른 하중-변위 곡선

수치해석을 통해 얻은 하중-변위곡선과 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 압축하중을 받는 홀을 가진 적층판에 관한 수치해석 중 초기결과를 소개하였다. 미세역학을 기반으로 한 구성모델과 연속체 손상모델을 고려한 손상구성모델을 유한요소프로그램인 ABAQUS에 적용하여 구조해석을 수행하였다. 손상구성모델의 타당성을 입증하기 위한 수치해석과 시험과의 비교 결과 미세역학을 기반으로 한 구성모델이 적층판의 탄성거동을 예측하는데 적합함을 알 수 있었다.

본 연구실에서는 보다 정확한 적층판 해석을 위하여 섬유 손상과 미세균열과 관련된 변수를 검증하는 실험과 추가해석을 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 스마트 사회기반시설 연구센터로부터 지원된 연구비(NC 33676, R11-2002-101-02004-0 (2005))에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Herakovich, C.T. (1998) *Mechanics of Fibrous Composite*, John Wiley & Sons, New York.
- Karihaloo, B.L. and Fu, D. (1989) A Damage-based Constitutive Law for Plain Concrete in Tension, *European Journal of Mechanics, A-Solids*, 8(5), pp.373-384.
- Karihaloo, B.L. and Fu, D. (1990) Orthotropic Damage Model for Plain Concrete in Tension, *ACI Materials Journal*, 87, pp.62-67.
- Lee, H.K. and Kim, B.R. (2006) Constitutive modeling and finite element analysis of laminated composite materials and structures, *Computational Mechanics*, to be submitted.
- Lessard, L.B. and Chang, F.K. (1991) Damage Tolerance of Laminated Composites Containing an Open Hole and Subjected to Compressive Loadings: Part II-Experiment, *Journal of Composites Materials*, 25, pp.44-64.
- Liang, Z., Lee, H.K. and Suaris, W. (2006) "Micromechanics-based Constitutive Modeling for Unidirectional Laminated Composites," *International Journal of Solids and Structures*, in press.
- Zhao, Y.H. and Weng, G.J. (1996) Plasticity of a Two-phase Composite with Partially Debonded Inclusion, *International Journal of Plasticity*, 12(6), pp.781-804.
- Zhao, Y.H. and Weng, G.J. (1997) Transversely Isotropic Moduli of Two Partially Debonded Composites, *International Journal of Solids and Structures*, 34(4), pp.493-507.
- ABAQUS Example Problems Manual, Version 6.5 (2004), Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, RI.