모드 I 하중하에서 곡률이 있는 복합재 적층판의 점진적 층간파손 예측

강승구* · 신광복**† · 이현수*

Prediction of Progressive Interlaminar Fracture in Curved Composite Laminates Under Mode I Loading

Seunggu Kang* · Kwangbok Shin**† · HyunSoo Lee*

ABSTRACT

In this paper, prediction of progressive interlaminar fracture in curved composite laminates under mode I loading was described. The prediction of progressive interlaminar fracture in curved composite laminates was conducted using cohesive zone model(CZM) in ABAQUS V6.13. Interlaminar fracture toughness used as input parameters in CZM was obtained through mode I, mode II and mixed mode I/II tests. The behaviors of progressive interlaminar fracture for curved composite laminates showed a good agreement between experimental and numerical results.

초 록

본 논문은 모드 I 하중하에서 곡률이 있는 복합재 적층판의 점진적 층간파손 예측에 대해 서술하였다. 곡률을 갖는 복합재 적층판의 층간파손 예측은 ABAQUS V6.13의 응집영역모델을 사용하여 수행하였다. 응집영역모델의 입력값인 층간파괴인성치는 모드 I, 모드 II, 그리고 혼합모드에 대한 층간파괴인성 시험을 통해 도출하였다. 곡률을 갖는 복합재 적층판의 점진적 층간파손 거동은, 시험과 수치해석 결과가 잘 일치하는 것을 확인하였다.

Key Words: Interlaminar Frature Toughness(층간파괴인성), Progressive Interlaminar Fracture(점진적층간파손), Cohesive Zone Model(응집영역모델)

1. 서 론

복합재료는 금속재료에 비해 비강성 및 비강도가 높아 구조물의 경량화가 필요한 항공기, 자동차, 방위산업 등에서 적용 비율이 증가하고 있다[1]. 복합재의 파손형태 중 층간파손의 경우 초기 균열이 발생하면 균열을 따라 진전하여 파괴되는 응집파손 모드를 낸다. 이러한 파손형태는 기존의 파괴역학 이론을 기반으로 하는 평가보다 응집영역모델을 사용한 파손평가가 더 신

* 한밭대학교 기계공학과 대학원
** 한밭대학교 기계공학과
† 교신저자, E-mail: shin955@hanbat.ac.kr

뢰성 있는 파손판정을 할 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 논문에서는 층간파괴 인성시험을 통해 얻은 층간파괴인성치를 사용하여 곡률이 있는 복합재 구조물의 모드 I 하중하에서의 점진적 파손예측 하였고, 시험과 비교 평가하였다.

2. 복합재 평판의 층간 파괴인성 평가

모드 I, 모드 II 그리고 혼합모드의 층간파괴 인성 평가는 ASTM D5528와 ASTM D6671을 기준에 의거하여 수행하였으며, 가장 일반적으로 사용하는 DCB, ENF 그리고 MMB시편을 사용하여 층간파괴 인성을 평가하였다[2]. Fig. 1은 모드 시험 시편모습을 나타내고 Fig. 2는 DCB와 ENF 시험 모습을 나타낸다.

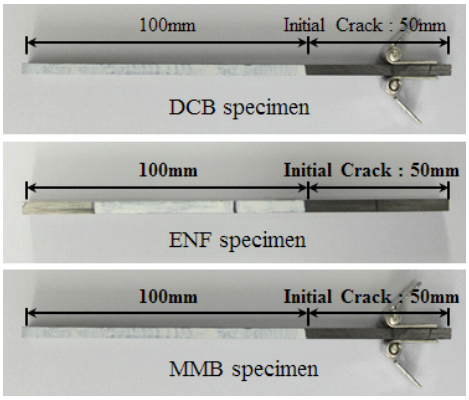
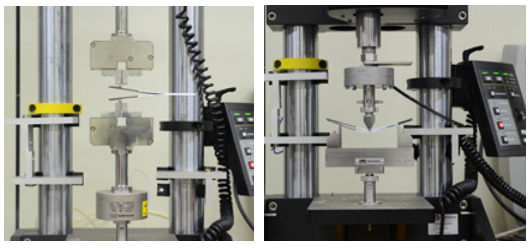


Fig. 1 Specimen shapes of fracture toughness test



(a) DCB test (b) ENF test

Fig. 2 Experimental set-ups

곡률에 따른 DCB, ENF 층간파괴 인성 시험결과 [3] 층간파괴 인성치는 Table 1과 같다.

Table 1. The results of interlaminar fracture toughness for DCB and ENF Ref.[3]

$^{*}G_{1c}$ (N/mm)	$^{**}G_{1Ic}$ (N/mm)
0.29	2.16

$^{*}G_{1c}$: Interlaminar fracture toughness for DCB(Mode I)
$^{**}G_{1Ic}$: Interlaminar fracture toughness for ENF(Mode II)

3. 응집영역모델을 이용한 점진적 파손 예측

3.1 응집영역모델을 적용한 유한요소 모델

기존의 파괴역학적 이론을 기반으로하는 수치해석 모델들은 파괴인성만을 평가하여 균열 선단부의 임계응력은 고려하지 못한 단점을 가지고 있었지만 응집영역모델은 파괴인성과 임계응력을 모두 고려하여 보다 신뢰성을 얻고 있다. 응집영역모델을 이용한 점진적 파손 예측을 위해 ρ=1/1,500mm, 1/1,700mm 모델에 대해 DCB 시편과 동일하게 모델링을 수행하였으며, 해석 모델 중간에 응집영역모델 요소를 삽입하여 점진적 파손을 평가 할 수 있도록 하였다. Fig. 3은 해석모델을 도식적으로 나타낸다.

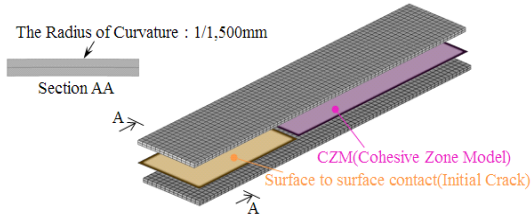
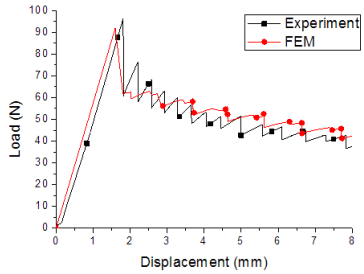


Fig. 3 Schematics of analysis model with radius for curvature 1/1,500mm

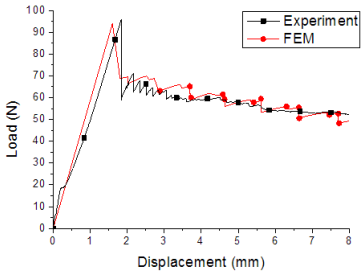
3.2 점진적 파손 예측

점진적 파손 예측에는 층간파괴인성 시험을 통해 도출한 층간파괴 인성치를 적용하였고, 구속조건과 하중조건은 시험과 동일하게

1mm/min을 부여하여 점진적 층간파손 예측을 수행하였다.



(a) Radius of curvature 1/1,700mm model



(b) Radius of curvature 1/1,500mm model

Fig. 4 Comparison of experimental and numerical results

점진적 파손 예측 결과 ρ=1/1,500mm, 1/1,700mm을 갖는 모델 모두 시험과 비교적 잘 일치함을 확인하였다. Fig. 4는 시험과 수치해석의 비교결과를 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 곡률을 갖는 복합재 적층판의 모드 I 하중하의 점진적 층간파손 예측을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 곡률을 갖는 복합재 적층판의 점진적 층간파손 예측을 위해 시험을 통해 층간파괴인성치를 도출하였다.
2. 점진적 층간파손 예측을 위해 응집영역모델을 사용하였고 모드 I 하중하의 곡률을 갖는 복합재 적층판의 점진적 층간파손 예측을 수행한 결과 시험과 비교하여 비교적 잘 일치함을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1D1A1A01060750).

참 고 문 헌

1. Kang, M.S., Park, H.S., Choi, J.H., Koo, J.M. and Seok C.S. "Prediction of Fracture Strength of Woven CFRP Laminates According to Fiber Orientation," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 36, No. 8, pp. 881~887, 2012.
2. 2. Kim, J. H., Shin, K. B., and Hwang T. K., "Progressive Failure Analysis of Adhesive Joints of Filament-Wound Composite Pressure Vessel," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 38, No. 11, pp. 1265~1272, 2014.
3. Kang, S. G., Shin, K. B. and Im, J. M., “Evaluation of Mode I and Mode II Interlaminar Fracture Toughness for Composite Laminates with Curvature“, *The Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1343-1345, 2016.