

평직 CFRP 복합재료의 충격잔류강도 평가

Evaluation of Residual Strength under Impact Damage in Woven CFRP

*최경훈¹, #석창성², 박홍선¹, 강민성¹, 구제민²

*J. H. Choi¹, #C. S. Seok(seok@skku.edu)², H. S. Park¹, M. S. Kang¹, J. M. Koo²
¹성균관대학교 일반대학원, ²성균관대학교 기계공학부

Key words : Residual strength, Impact damage, Impact diameter, Ratio of residual strength

1. 서론

외부 물체의 충돌은 복합재료의 구조물에 손상을 발생시키고, 그로인해 구조물의 충격잔류강도가 저하된다[1]. Caprino 등[1]은 시험편 또는 구조물의 형상, 크기 및 경계조건과 충격자의 형상 및 크기 등의 구속조건이 일정하게 유지되면 E_{th} 와 η 가 특성상수(Characteristic property)로 사용될 수 있다고 보고하였다. 이는 동일한 충격에너지가 가해지더라도 충격손상 변수가 달라지면 E_{th} 와 η 가 변한다는 것을 의미한다. 이에 본 연구에서는 평직 CFRP 복합재료를 대상으로 충격손상 변수에 따른 충격잔류강도의 저하 특성을 평가하고자 충격자의 직경 변화에 따른 충격잔류강도의 저하특성을 분석하고 이를 토대로 충격잔류강도를 평가할 수 있는 예측모델을 제안하였다.

2. 충격자 크기변화에 따른 잔류강도 특성

충격자의 크기 변화에 따른 잔류강도 특성을 평가하기 위해서 23.5 J의 충격에너지로 충격손상을 가한 후 인장시험을 수행하였다. Fig. 1에서와 같이 충격자 직경의 증가에 따라 시험편 표면의 압흔면적이 증가하였으며, Fig. 2와 같이 충격자의 직경이 15.8 mm에서 25.4 mm로 증가할수록 평균 잔류강도가 14% 까지 저하되는 경향을 나타내었다. 이는 Shim 과 Yang 등[2]의 연구결과와 상반되는 결과로써, 충격시의 경계조건과 충격자 질량/에너지의 차이로 설명될 수 있다. Shim과 Yang 등[2]의 연구에서는 충격시 복합재료의 경계조건이 simple support 조건으로서 본 연구의 plain support 조건과 다르다. 또한 Shim과 Yang 등[2]의 연구에 사용된 충격자 질량은 0.1~1.0 kgf 이며 충격에너지가 6.25 J 이다. 이는 본 연구에 사용된 충격자 질량과, 충격에너지에 비해 매우 작기 때문에 두께

방향 전반에 걸쳐 손상을 발생시키지 못한다. 이에 반해 본 연구에서는 평면위에 시험편이 놓여진 상태에서 충분한 크기의 충격자 질량과 에너지로 충격손상을 가했기 때문에 굽힘보다는 국부적인 압입에 의해 국부적인 손상이 발생하여 충격자 직경이 증가함에 따라 손상영역이 증가하여 충격잔류강도가 저하되는 것으로 판단된다.

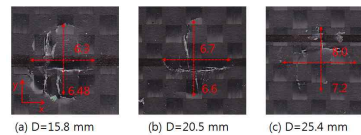


Fig. 1 Permanent indentation of various impactor diameter

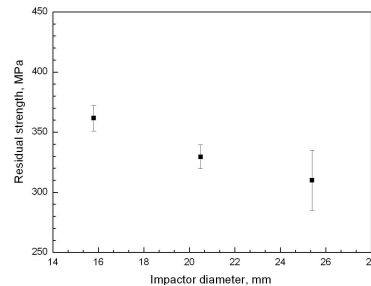


Fig. 2 Strength reduction behavior according to impactor diameter

3. 충격손상을 받은 복합재료의 잔류강도 예측모델

Fig. 3과 같이 동일한 충격에너지일지라도 충격자의 직경과 시험편 폭이 다르면 충격잔류강도가 달라짐을 알 수 있다. 따라서 충격자 직경과 시험편 폭이 고려된 충격잔류강도 예측모델이 필요하다.

본 연구에서는 시험편에 가해진 입사충격에너지(E_i)를 각각의 충격손상 변수에 따른 하한계 충격에너지(E_{th})로 정규화(E_i/E_{th})하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4와 같이 입사충격에너지가 증가함에

따라 일정 수준의 잔류강도비(σ_R/σ_0)에 수렴하는 경향을 나타내었다. 또한 시험편 폭의 변화에 따른 충격잔류강도비의 변화가 없는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 충격자 직경변화에 따라 충격잔류강도비의 수렴값이 다르므로 충격자 직경변화에 따른 충격잔류강도비의 수렴구간에 대한 고찰이 필요하다. 평면지지 조건의 특성상 충격으로 인한 압흔이 시험편의 표면에 남게 되는데, 직경 ($D_{I-15.8}$) 15.8 mm의 충격자로 충격손상을 가했을 때 시험편 표면에 생기는 압흔의 직경($D_{i-15.8}$)은 약 6.4 mm이다. 이에 동일한 홀(Hole) 노치를 갖는 재료의 강도를 평가하기 위하여 석창성 등[3]의 연구결과를 이용하였다. 직경 15.8 mm의 충격자로 충격손상을 가했을 때 시험편 표면에 생긴 압흔의 직경($D_{i-15.8}=6.4$ mm)에 대응하는 홀($2R/W=0.25$) 노치 강도는 370 MPa이었다. 동일한 방법으로 충격자 직경($D_{I-25.4}$) 25.4 mm의 충격자로 충격손상을 가했을 때 발생된 압흔의 직경($D_{i-25.4}$)은 7.6 mm이며, 이때의 홀($2R/W=0.30$) 노치 강도는 301 MPa로 나타났다.

한편 2차 곡선에 의한 2변수 함수중 $x \rightarrow \infty$ 일 때 y_0 로 수렴하는 점근식 형태를 이용하여 실험결과를 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 적합하여 식 (1)과 같은 곡선식을 도출하였다. Fig. 4에 그 결과를 나타내었다.

$$\frac{\sigma_R - \sigma_{HR}}{\sigma_0} = \left[1 + 1.45 \left(\frac{D_i}{D_I} \right) \cdot \left(\frac{E_i}{E_{th}} \right) \right]^{-2} \quad (1)$$

$\sigma_R, \sigma_0, \sigma_{HR}$: 충격잔류강도/인장강도/홀노치강도
 E_i, E_{th} : 입사충격에너지, 하한계 충격에너지
 D_i, D_I : 압흔의 직경/충격자 직경

Fig. 4와 같이 충격자 직경 15.8mm와 25.4mm의 시험결과가 예측 선도와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 따라서 충격자의 직경이 변화하여도 충격후 복합재료의 표면에 남아 있는 압흔의 크기(D_i)를 측정한다면 충격잔류강도 저하 거동을 예측할 수 있다고 판단된다.

4. 결론

본 연구의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 평면지지 조건하에서 충분한 크기의 충격자 질량과 에너지로 충격손상을 가했기 때문에 굽힘보다 국부적인 압입에 의해 손상이 발생하여

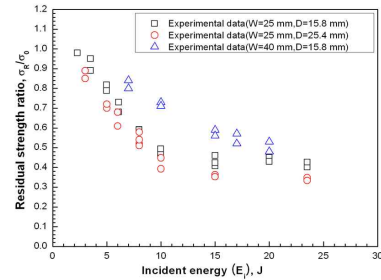


Fig. 3 Residual strength behavior according to impactor diameter

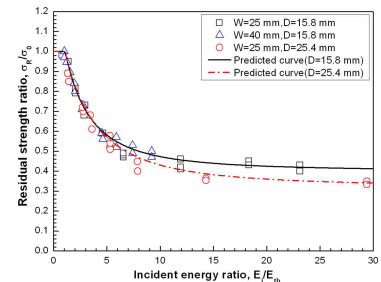


Fig. 4 Predicted strength behavior by proposed model

충격자 직경이 증가함에 따라 잔류강도가 감소하는 것으로 판단된다.

(2) 충격자 직경변화와 시험편 폭의 크기의 변화를 고려할 수 있는 잔류강도 예측모델을 제안하고 유용성을 확인하였다.

후기

이 논문은 2 단계 두뇌한국 21 (BK21) 사업, 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0018888).

참고문헌

1. Caprino, G., "On the Prediction of Residual Strength for Notched Laminates," J. of Material Science, Vol. 18, pp. 2269~ 2273, 1983
2. Shim, V. P. W., Yang, L. M., "Characterization of the Residual Mechanical Properties of Woven CFRP after Low-Velocity Impact," Int. J. of Mechanical Sciences, Vol. 17, pp. 647~ 665, 2005
3. 석창성, 김상영, 구재민, "홀 노치를 포함한 평직 CFRP 복합재료의 파괴기준 연구," 대한기계학회 춘계 학술대회 논문집, pp.103~ 108, 2005