

탄소섬유강화 복합재료의 충격 후 잔류강도 평가

Evaluation of Residual Strength after Impact for Woven Fabric Carbon Fiber Reinforced Composite Materials

*박흥선¹, 최정훈², 강민성¹, 구재민², #석창성²

*H. S. Park¹, J. H. Choi², M. S. Kang¹, J. M. Koo², #C. S. Seok(seok@skku.edu)

¹성균관대학교 대학원 기계공학과, ²성균관대학교 기계공학부

Key words : English only and one line only, Times New Roman 9pt

1. 서론

섬유강화 복합재료는 비강도와 비강성과 같은 기계적 성질이 우수하여 경량화를 요구하는 항공우주분야를 비롯하여 자동차분야, 스포츠산업분야 등에 적용이 확대 되고 있다. 복합재료는 prepreg를 여러 겹으로 적층하여 제작하기 때문에 면에 수직인 충격손상에 취약하다. 따라서 재료의 건전성 및 신뢰성을 확보하기 위해서는 충격손상 후의 하중지지능력에 대한 평가와 해석이 필요하다¹⁻³. 충격손상으로 인해 저하된 복합재료의 잔류강도 평가에 관한 연구는 선형탄성파괴역학적인 개념을 적용하였다⁴⁻⁶. 특히, Caprino⁵는 충격후 잔류강도 예측모델을 식 (1)과 같이 제시하였는데, 시험편 형상, 경계조건, 충격자의 형상 등과 같은 구속조건이 일정하다면 하한계 충격에너지 E_{th} 와 α 는 재료상수로 사용될 수 있다고 하였다.

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_0} = \left\{ \frac{E_{th}}{E_i} \right\}^\alpha \quad (1)$$

여기서 σ_0 , σ_R 는 인장강도, 잔류강도이다.

본 연구에서는 평직 CFRP 복합재료의 충격에너지의 변화에 따른 충격손상거동을 관찰하였으며, 충격후 잔류강도를 측정하여 Caprino 모델⁵과 비교하였다.

2. 시험편 및 충격 시험

재료는 국내 한국 카본(주)에서 시판되는 직물구조 탄소섬유 프리프레그인 WSN-3K(두께 0.227 mm)를 이용하여 16 ply로 적층하였으며, Auto clave에서 140 °C, 5.9 MPa의 온도와 압력에서 60분간 성형 및 제작하였다. 프리프레그의 화학적 성분은 Table 1에 나타내었다. ASTM D-3039¹¹의 규정에 의해 NC machine을 이용하여 시험편을 가공하였다.

충격시험시 충격자의 직경은 15.8 mm의 반구

Table 1 Chemical compositions of prepreg (Wt. %)

Fabric (Wt, g/m ²)	Resin (Wt, g/m ²)	Resin Content (%)	Total (Wt, g/m ²)
205	148	42	353

를 사용하였고, 충격에너지는 충격자의 질량을 고정하고 낙하 높이를 조절하여 변화시켰다. 이때 시험편은 평면 위에 설치하였다. 한편, 각각의 충격에너지에 대해 2~3개의 시험편을 제작하여, Shimadzu 사의 만능시험기를 사용하여 잔류강도 시험을 실시하였다.

3. 입사충격에너지의 변화에 따른 충격 손상거동 및 잔류강도 저하

Fig. 1은 충격 후 시험편의 인장 파단면으로서 충격에너지가 클수록 충격을 받은 부분에 백화 현상이 두드러지고 그 면적 또한 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 충격손상으로 인해 국부적인 섬유 파손과 기지 파손이 동반되는 것으로 판단된다.

Fig. 2에 충격에너지에 따른 시험편의 잔류강도를 인장강도와와의 비(σ_R/σ_0)로 나타내었다. 2.6 J 이하의 충격에너지에서는 강도저하가 발생하지 않으나 그 이상에서는 에너지의 증가에 따라 잔류 강도가 감소하며 인장강도의 약 40 %까지 저하되었다. 여기서 점선은 식 Caprino 모델의 예측식이다.

Caprino 모델은 simple/support 조건이지만, 본 연구는 plate support 조건으로 바닥면에 완전히 지지하였다. 그러므로 본 연구의 잔류 강도 시험 결과를 Caprino 모델에 직접적으로 적용하기 어렵다고 판단된다. 따라서 Fig. 2를 통해 알 수 있듯이, 강도가 선형적으로 감소하다가 충격에너지가 증가하더라도 더 이상 잔류 강도가 감소하지 않고 수렴하였다. 따라서, 하한계 충격에너지와 충격에너지가 증가하더라도 더 이상 강도 저하가 발생하지 않는 임계 에너지를 고려한 충격 후 잔류 강도 거동을 평가할 수 있는 모델이 필요하다.

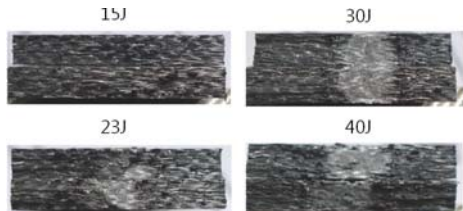


Fig. 1 Fracture surface with impact energy¹⁰

4. 섬유배열 방향에 따른 잔류강도 특성

섬유배열 방향에 따른 잔류강도 특성을 평가하기 위해서 0°/90°, +15°/-75°, +45°/-45°와 같이 3가지 종류의 시편을 제작하여 잔류 강도 시험을 실시하였다. 그 결과를 Fig. 3과 같이 섬유배열 방향에 대한 인장강도비로 나타내었다.

섬유배열 방향에 따른 잔류강도 거동은 0°/90°와 동일하게 하한계 충격에너지 값과 강도 저하가 더 이상 발생하지 않는 임계 충격에너지 값을 갖고 있었으며, 강도 저하는 선형적으로 나타났다.

강도 저하 구간을 살펴보면, 섬유배열 각도가 클수록 그 기울기는 완만해졌으며, 하한계 충격에너지를 중심으로 회전하였다. 따라서, 임의의 각도 θ 에 대한 기울기 a_θ 는 식(2)를 통해 구할 수 있다.

$$a_\theta = a_{0/90} - (a_{0/90} - a_{+45/-45}) \times \frac{\theta}{45^\circ} \quad (2)$$

이 때, $a_{0/90}$ 와 $a_{+45/-45}$ 는 각각 0°/90°와 +45°/-45° 시편의 기울기를 나타낸다. 본 연구에서 사용한 복합재료의 경우, 직물 구조로 90°주기를 가지므로, 45°로 나누었다. 이를 통해, 임의의 섬유배열각도를 갖는 시편에 대해서 충격에 따른 잔류 강도를 예측할 수 있다.

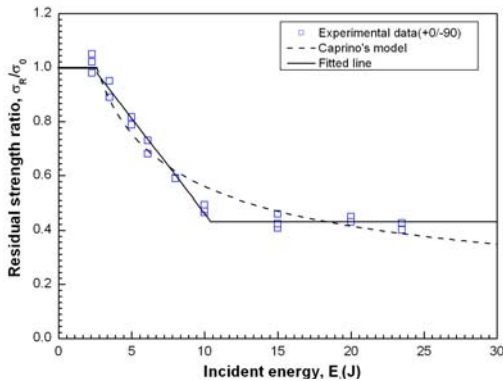


Fig. 2 Strength reduction behavior

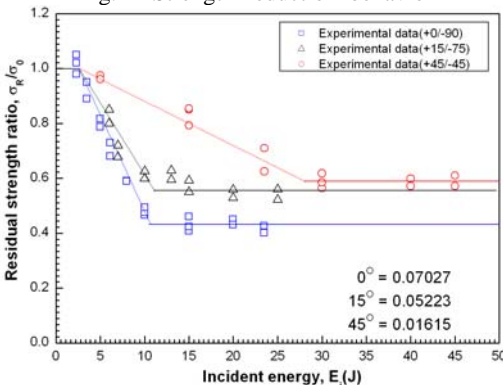


Fig. 3 Strength reduction behavior

5. 결론

충격손상을 받은 평직 CFRP 복합재료에 대하여 충격에너지와 섬유배열 방향에 따른 잔류강도의 특성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 시험편을 바닥에 완전 고정시킨 본 연구의 경우는 강도가 선형적으로 감소하다가 충격에너지가 증가하더라도 더 이상 잔류 강도가 감소하지 않고 수렴하였다.

(2) 섬유배열 방향에 따른 잔류강도 시험을 통해, 3가지 종류에서 동일하게 하한계 충격에너지 값과 강도 저하가 더 이상 발생하지 않는 임계 충격 에너지 값을 갖고 있었으며, 선형적으로 강도 저하가 나타났다.

(3) 0°/90°와 +45°/-45°와 같은 임의의 두 종류 섬유배열 방향에 대한 잔류 강도 저하 기울기를 통해서 임의의 각도 θ 에 대한 잔류 강도 저하 기울기를 예측할 수 있으며, 이를 이용하여 임의의 섬유배열각도 θ 를 갖는 시편에 대해 충격 후 잔류 강도 거동을 예측할 수 있다.

후기

이 논문은 2단계 두뇌한국 21 (BK21) 사업, 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2007-0055842).

참고문헌

1. Waddoups, M. E., Eisenmann, J. R. Kaminski, B. E., "Macroscopic Fracture Mechanics of Advanced Composite Materials", Journal of Composite Materials, **5**, 446~454, 1971
2. Nuismer, R. J., Whitney, J. M., "Uniaxial Failure of Composite Laminates Containing Stress Concentrations", ASTM STP 593, 117~142, 1975
- 3 Hahn, H.T. Kim, R.Y., "Fatigue Behavior of Composite Laminates", Journal of Composite Materials, **10**, 156~180, 1976
4. Husman, G. E., Whitney, J. M., and Halpin, J. C., "Residual Strength Characterization of Laminated Composite Subjected to Impact Loading", ASTM STP **568**, 92~113, 1975
5. Caprino, G., "On the Prediction of Residual Strength for Notched Laminates", Journal of Material Science, **18**, 2269~2273, 1983
6. Avva, V. S., Vala, J. R., Jeyaseelan, M., "Effect of Impact and Fatigue Loads on the Strength of Graphite/Epoxy Composites", ASTM STP **893**, 196~206, 1986
10. Choi, J.H., Kang, M.S., Shin, I.H., Koo, J.M., Seok, C.S., "Evaluation of Residual Strength in Aircraft Composite Under Impact Damage", J. of KSPE, **26**(1), 94~101, 2010
11. ASTM D 3039-93, "Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Resin Composite"