

곡률반경을 갖는 CFRP 적층셸의 충격손상

황재중*, 이길성, 김영남(조선대 대학원 기계설계공학과),
나승우(순천제일대 차량기계학부), 심재기(조선대 기계전기공학과), 양인영(조선대 기계정보공학과)

Impact Damage of CFRP Laminated Shells with the Curvature

J. J. Hwang, G. S. Lee, Y. N. Kim(Department of Mechanical Design Engineering Graduate School, Chosun University),
S.W. Ra(Department of Automobile & Machinery, Sunchoen First College), J.G. Sim(Department of Mechanical
Electronics, Chosun University), I. Y. Yang(Department of Mechanical Information Engineering, Chosun University)

ABSTRACT

Studies on impact damage of composite laminate shells were fewer compared with those on impact behaviors to analyze time-load, displacement-load and impact energy - energy absorption. Up to date the studies were not enough to demonstrate suitability of their results because they were dependent on theories and numerical analyses. In particular, it is a well-known fact that there was a correlation between initial peak load and damage resistance of composite material flat plates imposed with low-speed impact, but studies on composite material shells with curvature were also very few. Actually structures such as wings or moving bodies of airplanes, motor cases and pressure containers of rockets are circular. And as low-speed impact load is imposed for optimal design of take-off and landing, and containers of airplanes, it is very important to analyze evaluation of behaviors and damaged areas.

Therefore, in this paper to evaluate the impact characteristics of the CFRP laminate shell according to size of curvature quantitatively, it was to identify energy absorption and impact damage instruments according to change of impact speed.

Key Words : Impact Damage(충격손상), CFRP(탄소섬유강화 플라스틱), Impact Energy(충격에너지), Interlaminar Number(계면수), Damage Area(손상면적)

1. 서론

산업화와 더불어서 지속적으로 발전하고 있는 것 중에 하나가 재료에 대한 특성 연구일 것이다. 사용되는 재료도 다양해지고 환경조건도 가혹해졌으며 복잡화 되어가고 있다. 이러한 조건에 맞는 재료의 특성이 필요하게 되었고 일차적인 재료의 특성만으로는 다양한 요구를 충족할 수가 없게 되었다. 재료의 장·단점을 고려한 복합재료(composite materials) 개발이 필요하게 되었다.

복합재료를 이용함으로써 구조물 및 기계기구의 안정성 향상 및 효율증대를 꾀할 수 있게 되었다. 최근에는 구조경량화 및 환경오염의 경감을 위하여 수송기계분야의 구조부재에 복합재료가 널리 이용

되고 있으며 복합재료의 역학적 특성에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

첨단 복합재료 중 대표적인 재료인 탄소섬유강화 플라스틱(Carbon Fiber Reinforced Plastic : 이하 CFRP 라고 한다)은 비강성, 비강도의 특성을 갖기 때문에 선박, 항공기, 우주 비행체, 자동차, 기차 및 엘리베이터 등의 수송기계의 경량화가 요구되는 분야에 널리 이용되고 있다. 특히, 가혹한 환경 하에서 사용되는 1 차 구조부재나 엔진 부재에 이르기까지 여러 분야에 걸쳐 그 용도가 확대 되어 가고 있다.

그러나 CFRP 는 정적부하에 대해서는 우수한 역학적 특성을 가진 반면에 충격부하에 대해서는 우수한 특성을 기대할 수 없고, 특히 저속 충격을 받는 복합재료 구조물은 외형상으로는 손상이 보

2.4 손상면적 측정

손상을 평가하는 데는 흔히 X-ray 투시나 초음파 C-scan 과 같은 비파괴 검사법을 사용한다. 이들은 여러 개의 계면에 발생하는 층간 분리를 하나의 X-Y 평면에 투영하는 방식이고, 초음파 현미경의 경우 각 계면에 발생하는 층간 분리를 측정할 수는 있으나 곡률을 가진 시험편의 경우 측정하는 검사부와 곡률을 가진 시험편의 거리가 일정하지 않으므로 측정하는데 한계가 있다. 그러므로 이러한 방법으로는 계면에 발생하는 층간 분리를 정량화 하는 데는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 시험편의 각 계면을 핀셋과 칼을 이용하여 벗겨낸 다음 손상면적을 측정하였다. 총손상면적은 각 계면에서 측정된 모든 값을 더하여 계산하였다. Photo. 2 는 직접시험을 벗겨낸 사진과 초음파현미경 사진을 비교한 것이다.



(a)Handed method (b)Ultrasonic microscope
Photo. 2 Damage area

3. 실험결과 및 고찰

3.1 정적실험

충격실험에 대한 정량적인 평가를 위해 먼저 정적실험을 수행하였으며, 그 결과 곡률 및 계면수 변화에 따른 단위손상면적당 시험편의 흡수에너지를 Fig. 3 에 나타냈다.

곡률이 증가할수록, 즉 곡률반경이 작아질수록 단위 손상면적당 흡수에너지는 선형적으로 증가하

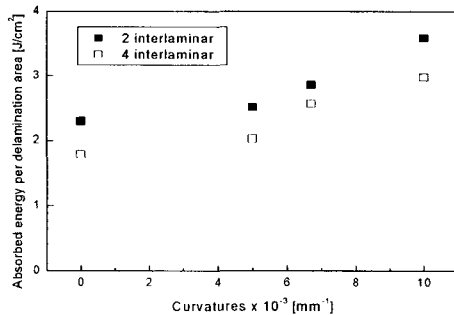


Fig. 3 Relationship between absorbed energy per delamination area and curvature

는 경향을 보였으며, 4 계면의 시험편보다 2 계면을 갖는 시험편이 더 높은 단위 손상면적당 흡수에너지를 나타냈다.

3.2 충격실험

본 연구에서는 충격실험 시 변수로 계면수 변화, 곡률변화, 충격에너지를 사용하였으며, 그 결과를 Figs. 4-7 에 나타냈다. Fig. 4 에서와 같이 곡률이 증가함에 따라 시험편에 가해지는 최대 접촉력은 감소하는 경향을 보였으며, 정적실험의 경우와 유사하게 2 계면수를 갖는 시험편의 경우가 4 계면수를 갖는 시험편보다 더 높은 최대 접촉력을 보였다.

곡률변화에 따른 박리면적을 살펴보면 2 계면수를 갖는 시험편의 경우 곡률이 증가함에 따라 감소하는 반면, 4 계면수를 갖는 시험편의 경우 곡률변화에 따른 박리면적의 변화는 그다지 크지 않았으며, 2 계면수를 갖는 시험편의 박리면적이 4 계면수를 갖는 시험편에 비해 크게 나타났다.

그 이유는 4 계면수를 갖는 시험편의 경우, 시험편 두께에 비해 많은 계면수를 가지고 있기 때문에 2 계면수를 갖는 시험편에 비해 작은 박리면적을 나타낸다고 사려된다. 이러한 경향은 기존의 평판 시험편의 충격실험과도 같은 결과를 보였다.

충격실험 후 얻어진 곡률변화에 따른 단위 박리면적당 흡수에너지를 살펴보면, Fig. 6 에 나타난 것처럼, 정적실험과 유사한 경향을 보였다.

Fig. 7 는 충격에너지 변화와 박리면적과의 관계를 나타낸 그래프이다. 일반적으로 충격에너지가 증가함에 따라 박리면적은 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며, 곡률이 감소할수록(곡률반경이 커질수록) 박리면적은 증가하는 경향을 보였다. 또한 Fig. 7 의 우측 상단에 있는 데이터는 실험 시 높은 충격에너지에 의한 영향으로 충격점 이면의 플라이가 터지는 현상을 보였으며, 그 결과 박리면적의 크기가 크게 증가하였다.

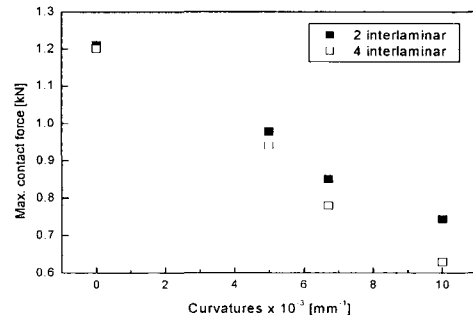


Fig. 4 Relationship between max. contact force and curvature

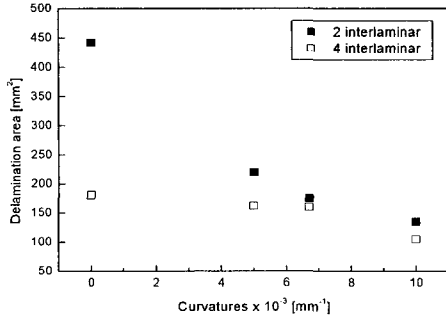


Fig. 5 Relationship between delamination and curvature

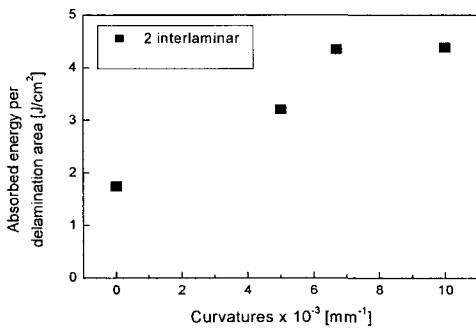


Fig. 6. Relationship between absorbed energy per delamination area

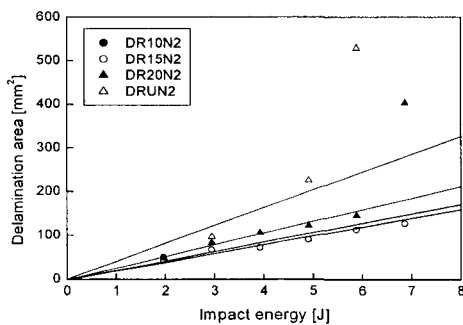


Fig. 7 Relationship between delamination area and impact energy

4 결론

본 연구에서는 곡률반경을 갖는 CFRP 적층셸의 정적·충격실험을 행하였으며, 충격손상에 관하여 다음과 같은 결론은 얻었다.

- (1) 정적·충격 실험 모두 곡률반경이 ∞인 CFRP 적층판이 곡률을 갖는 적층셸보다 단위면적당 흡

수에너지는 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며, 4 계면보다는 2 계면을 갖는 것이 더 높게 나타났다.

- (2) 고정지지 조건하에서는 곡률반경이 감소함에 따라 최대접촉력은 감소하였다. 시편의 구속 조건에 따라 곡률반경에 따른 최대접촉력의 변화추이는 다르게 나타났으며 경계조건과 최대 접촉력사이에 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.
- (3) 충격에너지가 증가할수록 박리현상은 선형적으로 증가 하였으며 같은 충격에너지 범위라 할지라도 곡률 반경이 증가할수록 흡수에너지는 증가하였다.

참고문헌

1. Wardle B. L., Lagace P. A., "Importance of Instability in Impact Response and Damage Resistance of Composite Shells", AIAA Journal, Vol. 35, No. 2, pp. 389-396, 1997.
2. Wardle B. L., Lagace P. A., "Beavior Composite Shells Under Transverse Impact and Quasi-State Loading", AIAA Journal, Vol. 36, No. 6, pp. 1065-1073, 1998.
3. 진정규, 권오양, 이우식, "곡률을 가진 적층복합재 구조에서의 저속충격손상 평가." 한국복합재료학회지, 제 14 권, 제 2 호, pp. 22-32, 2001.
4. 김영남, 김지훈, 양인영, "경량화용 복합재 튜브의 적층구성이 흡수에너지 특성에 미치는 영향," 한국정밀공학회 논문집, 제 18 권, 제 11 호, pp. 34~41, 2001.
5. 원종진, 이종선, 홍석주, "탄소섬유 복합적층 원통셸의 거동해석," 한국자동차공학회, 추계 학술대회 논문집, 1998.
6. Y. N. Kim, K. H. Im, I. Y. Yang, "The Experimental Study on the Impact Collapse Characteristics of CF/EPOXY Circular Tubes", Review of progress in QNDE, Vol. 22, 2002.
7. Sun C. T, Chen J. K., "On the Impact of Initially Stressed Composite Laminates", J. of Composite Materials, Vol. 19, pp. 490~504, 1985.