

CF/Epoxy 복합적층판의 저속충격 특성평가에 관한 연구

임 광 희*, 박 노 식**, 김 영 남***, 김 정 호****, 김 선 규****, 심 재 기****, 양 인 영****

A Study on Characteristics Analysis of Low Velocity Impact Response of CF/Epoxy Composite Plates

Kwang-Hee Im, No-Sick Park, Young-Nam Kim, Jong-Ho Kim, Sun-Kyu Kim,
Jae-Ki Sim and In-Young Yang

Key Words: Falling weight impact tester, Orthotropic composites, Delamination area, Impact energy absorption

Abstract

We have implemented a system of falling weight impact tester. Absorbed energy of orthotropic composites with using T300 fiber, which are composed of the same fiber and stacking number is higher than that of quasi-isotropic specimen over impact energy 7J, but in case of using T700 fiber, much difference does not show. Also, absorbed energy of orthotropic composites with using T300 fiber, which are composed of stacking number and orientation became more than that of T700 fiber specimen; however great change doesn't show in case of quasi-isotropic specimens. Delamination area of impacted specimens was measured with ultrasonic C-scanner to find correlation between impact energy and delamination area. Delamination area and frequency responses was evaluated between impacted and unimpacted specimens. There is a strong correlation between frequency responses and impact-induced delamination. The presence and scale of damages have been investigated based on the variations of frequency responses.

1. 서 론

CFRP 적층재의 가장 큰결점은 충격에 대해서는 취약하며(1) 탄소섬유와 수지와를 복합한 재료이기 때문에 파괴현상이 아주 복잡하여 해석하기 어렵다는 점이다. 또한 CFRP 적층판이 항공기 구조부재로 이용될때 정비중의 공구낙하(Tool drop)나 비행중 날으는 새와의 충돌(Bird strike)(2), 이착륙시의 작은돌이나 파편 등 여러 종류 재질의 충돌체에 의한 충격손상(Foreign

Object Damage:FOD)을 피할수가 없으며(3) 표면 으로부터는 거의 보이지 않는 충격손상이 적층판 내부에 발생하여 이것에 의해 강도가 저하하게 되는 것이 중요한 문제로 지적되고 있다.(4)

현재까지의 CFRP적층재의 FOD에 관한 연구는 충격후의 잔류인장강도,(5) 잔류압축강도(Compression Strength After Impact : CAI)(6) 및 피로굽힘강도 문제가 대부분이다. 최근에 Rotem(7)등은 횡충격을 받은 적층판의 파괴굽힘강도가 아주 낮다는 점에 주목하여 횡충격에 의해 충격손상을 받는 CFRP 적층판을 3점 및 4점 굽힘시험을 실시하여 잔류피로굽힘시험 저하관계를 실험적으로 설명하고 있으며 또한 FRP부재가 반복하중을 받을 경우를 대상으로 FRP적층판의 피로시험및 노치가 있는 적층판을 이용한 피로시험(8)을 하였다. 또한 충격강도 평가법으로 낙추

* 우석대학교 반도체전자자동차공학부

** 조선대학교 대학원

*** 순천대학교 자동차기계공학부

**** 익산대학 자동차과

***** 조선대학교 기계공학부

를 이용한 샤르피, 아이쥬트 충격시험과 다이내믹 등을 이용하여 금속재료에 적용을 해왔으나 이방성을 갖는 복합재료에 적용에 있어서는 충격에 대한 정확한 계측이 곤란하여 간이 기법중의 하나인 낙추를 이용한 복합재료를 이용하여 특성 평가한 연구결과는 찾아 보기 힘들다.

본 연구에서는 매트릭스는 같고 적층배향 및 섬유강도가 다른 CFRP적층판에 낙추충격손상을 가한후 CFRP적층판의 충격하중과 변위를 이용하여 각 적층판의 흡수에너지 특성을 파악하고 초음파 C-스캐너를 이용하여 내부손상영역을 관찰하여 CFRP적층판의 흡수에너지와 손상면적의 상관관계를 구하고 주파수응답을 평가하여 적층 구성에 따른 충격특성 및 강도평가를 하고자 한다.

연구방법으로는 충격시험장치로서 낙추식 충격 시험시스템을 제작하고 낙추 중의 용력과 전파현상을 고려한 정확한 충격하중과 변위를 측정하는 방법을 개발하고 일 방향 탄소섬유 프리프레그(PREPREG)를 적층배향각을 각각 다르게 적층하여 오토클레브(Auto-clave)에서 190×190×2.2t로 성형한 후 180×180으로 다이아몬드 커터로 절단한 후 직경150mm 의원형 상하판 사이에 고정하여 자유낙하 실험을 행한다. 시험편에 충격하중을 가하여 봉에 전달되는 스트레인 응답으로 충격하중과 변위를 측정 할 수 있는 시스템을 구축하였다. 낙추 충격시스템을 이용하여 성형된 CFRP 적층판의 적층배향 구성, 낙추질량 및 충격에너지의 차에 따른 CFRP 적층판의 충격특성을 평가한다. 낙추충격에 의해 시험편의 손상이 주파수 응답에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시험편의 배면에 이방성 및 섬유방향을 고려하여 중앙에서 30mm 떨어진 곳에 3개의 스트레인 게이지를 부착하여 낙추종류 및 충격에너지에 따라 시험편의 손상유무와 손상규모를 주파수 응답함수와 비교하여 각 시험편의 주파수 응답에 의한 충격강도를 평가한다. 또한 낙추충격에 의해 발생된 시험편 계면내의 손상영역을 초음파 탐상하여 평가하고 시험편의 손상영역 크기와 주파수 응답함수와의 상관관계를 고찰하였다.

따라서 본 연구에서는 CFRP 적층판의 적층 구성의 차에 따른 충격특성을 평가하고, 충격하중이 가해질 경우 CFRP 적층판에 발생하는 손상영역의 크기를 평가할 수 있는 새로운 강도평가

법을 제안하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시험편

본 실험에서 이용한 CFRP 적층 시험편은 CF/Epoxy로 조합된 일방향 탄소섬유 프리프레그 시트(한국화이버, CUI25NS-Carbon fiber Unidirection 125g/m², No Scrim)를 적층한 후, 오토클레브를 이용하여 제작하였다. 필요한 시험편 크기에 따라 제작한 지그(200×200mm)를 사용하여 CFRP 적층판을 성형하였으며 경화온도인 125℃로 90분 경화하였다. 또한, 성형 후 다이아몬드 커터를 이용하여 180×180mm의 정방형으로 절단했다. 시험편 종류로는 A : T700 [0°₄ / 90°₄]_s, B : T700 [0°₂ / 45°₂ / 90°₂ / -45°₂]_s, C : T300 [0°₄ / 90°₄]_s, D : T300 [0°₂ / 45°₂ / 90°₂ / -45°₂]_s 이다.

2.2 주파수응답 관찰방법

주파수 응답함수는 CFRP 적층판의 경우 충격 손상 유무에 의해 영향을 받는다. 충격손상을 받은 시험편의 손상을 평가하기 위해 주파수 응답법을 이용하였다. 우선 충격 손상이 주파수에 미치는 영향을 고찰하기 위해 시험편 배면에 스트레인 게이지를 접착하고 낙추충격을 가하여 하중이력 및 변위이력을 구하여 FFT 처리를 한다. 그리고 진폭과 주파수 영역에서 스트레인을 하중으로 처리하여 나타낸다. 시험편 표면의 스트레인을 측정하기 위해서 시험편 안쪽에 스트레인 게이지를 부착한다. 스트레인 게이지의 부착위치는 가장 민감한 스트레인을 검출할 수 있도록 충격점 반대쪽에 부착하고, 스트레인 게이지의

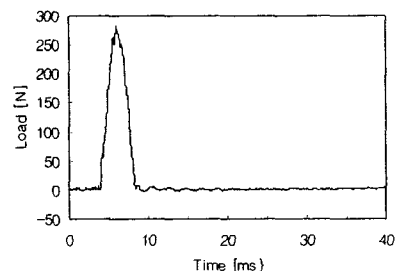


Fig. 1 Load variation in time (Specimen A, Drop weight I, Release height 5cm)

방향은 섬유방향(0°)으로 했다. 충격시험은 시험편에 손상이 발생하지 않도록 낙추 I 을 5cm의 높이에서 낙하시키는 것으로 했다. 이때의 시험편은 A를 이용했다. 측정조건은 시험편의 진동을 충분한 시간 범위에서 측정할 수 있도록 샘플링 시간 10μs, 샘플링수 4096으로 측정했다. 또한, 충격속도를 낙하 높이로부터 구하면 1.0m/sec로 된다. 대표적인 하중 이력을 Fig. 1에 나타냈다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 충격특성

Fig. 2로부터 프리프래그시트의 압축강도가 다른 T300섬유와 T700섬유를 사용하였다. T300섬유를 이용한 시험편 C가 T700섬유를 이용한 시험편 A와 같이 충격에너지와 흡수에너지관계가 대략 7J까지는 크게 나타나지는 않았지만 대략 8J이상에서는 시험편 C가 흡수에너지가 크게 증가 하였다. 이는 섬유의 강도가 흡수에너지에 영향을 미치기 때문이라 생각된다.

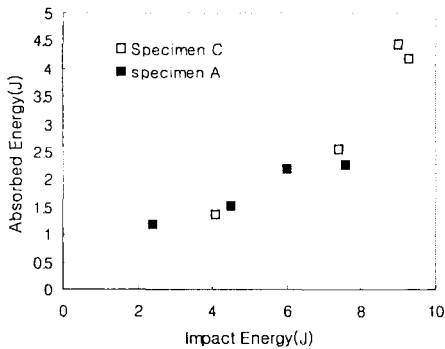


Fig. 2 Relation between absorbed energy and impact energy(C, A)

3.2 주파수응답

시험편의 충격점 뒷면에 스트레인 게이지를 붙여서 충격시험을 했다. 그러나 시험편의 손상을 평가하는 경우, 시험편의 안쪽에는 균열, 용기 등의 변형이 발생한다. 충격 시험에서는 스트레인 게이지를 시험편의 충격 점에서 조금 떨어진 위치에 접착 할 필요가 있다. 또한 FRP는 이방성의 성질을 가지므로 손상이 발생한 경우에 나타난 충격 점 안쪽의 균열, 층간 박리등의 최 외층의 섬유 방향에 따라 발생하는 경향이 있으므로, 스트레인 게이지의 부착위치, 방향에 따라 다른 주파수 응답이 검출된다. 그래서 본 절에서는

스트레인 게이지의 부착위치, 측정 방향이 주파수 응답계수에 미치는 영향에 대해서 검토한다.

충격 점에서 각각 30mm 떨어진 3곳에 스트레인 게이지를 접착하여 충격을 가한다. 게이지1은 섬유방향(0°), 게이지2, 게이지 3은 섬유방향과 수직(90°)에 스트레인 게이지를 붙였다. 시험편으로는 A를 사용하고, 낙추로는 낙추 I 을 사용했다.No.1~No.3에 의해 평균화 처리를 실시했던 주파수 응답계수를 Fig. 3에 표시하였다. 이들을 상호 비교하면 300Hz~3kHz의 범위에서 양자의 파형은 서로 다르게 나타나고있다. 그래서 위 두 주파수 영역에서의 파형의 응답은 손상의 존재 여부를 알 수 있으며 따라서 주파수 응답계수에 의한 손상유무의 비교, 조사가 가능함으로서 주파수 응답계수에 의한 손상의 유무의 변화 관계를 나타낼 수 있다.

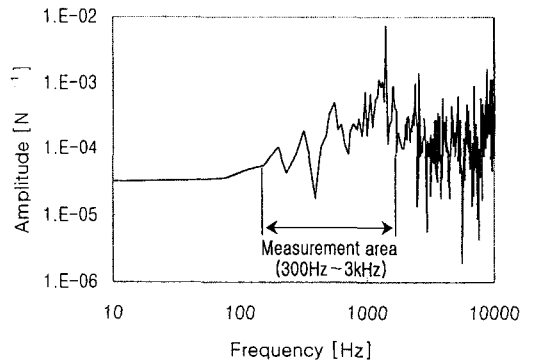


Fig. 3 Frequency response function (No. 1~3 Averaging)

3.3 손상규모에 관한 주파수응답비교

우선, 시험편 A에 스트레인 게이지를 붙여 다음과 같이 충격시험을 행했다. 첫째, 2cm높이에서 낙추를 낙하 시켜 손상발생 전의 주파수 응답계수를 산출한다. 이 방법을 3회하고 3회의 주파수 응답 계수에 대해 평균화 처리를 실시한다. 둘째, 보다 높은 높이에서 낙추를 낙하시켜 시험편에 강한 충격을 가하는 일로 시험편에 손상을 발생시켰다. 셋째, 다시 2cm높이에서 낙추를 낙하시켜 손상발생 후의 주파수 응답계수를 산출한다. 이 방법을 3회하고, 3회의 주파수 응답계수에 대해 평균화 처리를 실시한다. 마지막으로, 시험편의 목·시 관찰, 초음파 탐상기에 의한 내부의 비파괴 검사 등을 하고, 손상의 정도를 관찰한다. Fig. 7에 Test1A~Test4A에 있어서 손상발

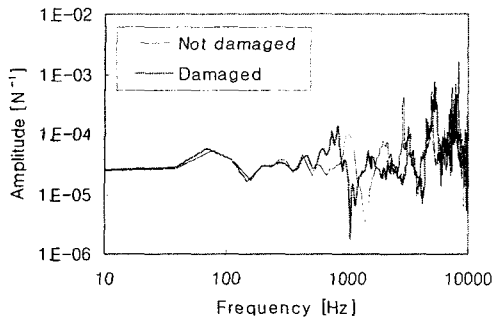


Fig. 4 Frequency response function (Test 1A)

생 전과 손상발생 후의 주파수 응답계수의 비교를 표시하였다. 손상발생 전, 후의 주파수 응답계수를 비교할 때에는 300Hz~3kHz의 주파수 범위를 비교함이 적절하다고 생각되기 때문에, 그림은 그 주파수 범위의 파형만을 표시한다. 그리고

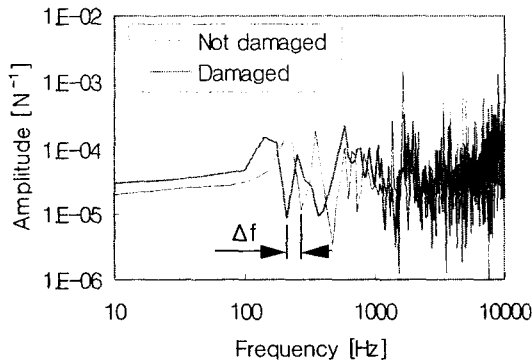


Fig. 5 Shifting of frequency response

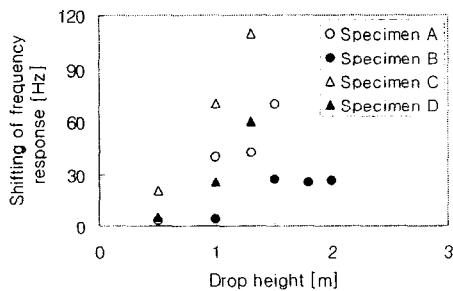


Fig. 6 Shifting of frequency response versus drop height

주파수 응답계수를 평가하기 위해서 Fig. 5에 나타난 것처럼 주파수 응답계수의 초기의 변화 즉, 400Hz~500Hz사이를 기준 하여 무 충격손상에

의한 주파수 응답계수와 충격손상에 의한 주파수 응답계수의 차이를 주파수변화(Δf)로 정의하였다. Fig. 6에는 손상발생시의 낙추의 낙하높이와 주파수 변화(Δf)와의 관계를 표시하였으며 그 결과 주파수 변화가 가장 적었던 시험편 B는 낙추의 낙하높이가 변해도 주파수 변화량은 크게 변하지 않았다.

4. 결론

낙추식 충격시험장치를 이용하여 낙추의 응력과 전파 현상을 고려한 CFRP 적층판의 강도 평가가 가능하였으며 시험편의 손상발생 전, 후의 주파수 응답계수의 변화는 차이가 있으며, 손상발생 전보다 손상발생 후의 쪽이 주파수가 저하하였다. 이는 충격손상으로부터 시험편의 휨강성이 저하하여 시험편의 고유진동수가 저하하였다고 사료된다.

참고문헌

- (1) 炭素纖維懇談會便:炭素纖維の應力技術,シーエムシー社, 1984, p. 116.
- (2) 田中吉 へ助, 黒川知明ら, "横衝撃を受けるCFRP板の損傷と残留曲げ強度", 日本航空宇宙學會誌 第37巻 第25號, 1989, pp.29-36.
- (3) MA C.C.M., HUANG Y.H., and CHANG M.J., "Hygrothermal effect on the PEEK/C.F.and pp. s/c.F.under Impact Loading(I)", ANTEC, 1991, pp.2029-2096.
- (4) 武田 展雄, "複合材料の 衝撃應答と 破壊(I)", 日本複合材料學會誌,11,4, 1985, pp.151-161.
- (5) Camponeschi Jr. E.T., "Compression of Composite Materials : A Review", Composite Materials : Fatigue and Fracture (Third Volume), ASTM STP 1110, Philadelphia, 1991, pp. 550~578.
- (6) Demuts E., Whithead R.S. and Deo R.B., "Assessment of Damage Tolerance in Composites, Comp. Struct. 4, 1985, pp. 45~58.
- (7) Rotem A. and Nelson H.G., "Residual Strength of Composite Laminate Subjected to Tensile-Compressive Fatigue Loading", Journal of Composites Techology & Research, Vol. 12, No. 2, 1990, pp. 76~84.
- (8) Cairns D.S. and Lagace P.A., "Residual Tensile Strength of Graphite/Epoxy and Kevlar/Epoxy Laminates with Impact Damage", Composite Materials: Testing and Design, Vol. 9, ASTM STP 1059, Philadelphia, 1990, pp. 48~63.