

탄소섬유복합평판에 낙추충격을 가할 때 적층구성에 미치는 영향에 관한 연구

임 광 희* · 박 노 식** · 양 인 영***

A Study on the Influence of Stacking Sequences using CFRP Laminate Plates by Falling Weight Impact

Kwang-Hee Im, No-Sick Park and In-Young Yang

Key Words: Falling Weight Test(낙추시험), Composite Materials(복합재료), Delamination(박리), Impact Energy(충격에너지), Ultrasonic C-scanner(초음파 C-스캐너)

Abstract

Impact tester was build up to evaluate the characterization of CFRP laminate plates under the low velocity impact. The tests were conducted on several laminates of different ply orientation. A system was builded for the impact strength of CFRP laminates in consideration of stress wave propagation theory using drop-weight impact tester as one of impact test. Results indicate that absorbed energy of quasi-isotropic specimen, having four interfaces is higher than that of orthotropic laminates with two interfaces. Also the damage area was measured with ultrasonic C-scanner on some samples. In the specimens the relationship was linear between damaged area and absorbed energy to some degree. Absorbed energy in the specimen that ply number, interface number and fiber stacking sequences is same but having hybrid is higher than that of orthotropic laminates without hybrid.

1. 서 론

최근 항공기 우주기기등 우주구조용 재료로서 가장 주목받고 있는 선진 복합재료중에서도 탄소 섬유 강화복합재(Carbon Fiber Reinforced Plastics : 이하 CFRP라고 한다.)는 선진복합재(Advanced Composite Materials: ACM)의 대표적인 재료로써 금속재료에 비해서 대략 20~50%

정도의 중량을 감소 시킬 수 있다는 장점^{1~2)}이 있어 구조용 재료로 널리 사용되고 있다.

그러나 CFRP 적층재의 가장 큰결점은 충격에 대해서는 취약하며³⁾ 탄소섬유와 수지와를 복합한 재료이기 때문에 파괴현상이 아주 복잡하여 원인규명이 어렵다는 점이다. 또한 손상에 의한 강도저하의 원인은 아직 해명되지 못한 부분이 많다.

낙추를 이용하여 강도를 평가한 충격시험법으로써 샤르피, 아이조트 충격시험과 다이내믹

* 우석대학교 반도체전기자동차공학부

** 조선대학교대학원

*** 조선대학교 기계공학부

등을 이용하여 CAI(Compression After Impact) 법으로 금속재료에 적용을 해왔다⁴⁻⁷⁾. 이방성을 갖는 복합재료에 적용하기는 복합재료의 손상 정도가 적고 어느 정도 잔류 강도를 가지고 있는 경우 충격에 대한 정확한 계측이 곤란하여 간이 기법중에 하나인 낙추를 이용한 복합재료를 이용하여 정량적으로 평가한 연구결과가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 낙추충격을 이용하여 각 적층판의 흡수에너지를 특성을 파악하고 평가한 후에 초음파 C-스캐너를 이용하여 내부손상 영역을 관찰하여 CFRP적층판의 흡수에너지와 손상면적의 상관관계를 구하여 적층구성의 차에 따른 특성 및 강도평가를 하고자한다.

2. 실험방법

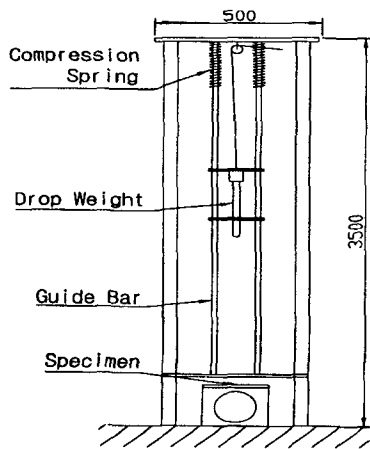


Fig.1 Schematic diagram of falling weight tester

2.1 시험편

본 실험에서 이용한 CFRP 적층 시험편은 CF/Epoxy로 조합된 일방향 탄소섬유 프리프레그 시트(한국화이버, CU125NS-Carbon fiber Unidirection 125g/m², No Scrim)를 적층한 후,

오토클레브를 이용하여 제작하였다. 시험편의 종류는 A[0°₄ / 90°₄]_s, B[0°₂ / 45°₂ / 90°₂ / -45°₂]_s, C[0°₂ / 90°₄ / 0°₂]_s 및 D : [0°₄ / 90°₄ / 0°₄]_s 이다.

2.2 낙추시험장치

낙추식 충격시험 장치는 낙추의 정확한 충격 위치와 양호한 재현성을 확보하는 것이 중요하기 때문에 낙추식 충격시험 장치에 2개의 가이드 바를 수직으로 설치하고, 2개의 플라스틱 판을 붙여 낙추가 가이드 바를 따라서 일정한 자유낙하와 낙하속도를 얻을 수 있도록 했다. 시험장치 개략도를 Fig. 1에 나타냈다.

2.3 손상관찰방법

초음파 측정방법은 Fig.2와 같이 펄스에코우 모드방법이 수침조내에서 모두 행해졌다. C-스캐너장비는 시험편의 전면과 배면의 에코우를 진폭모드를 이미지로 나타낼수 있다. 복합적층판의 손상영역을 C-스캐너로 관찰하기 위하여 주파수가 50MHz 트랜스듀서가 사용되었다.

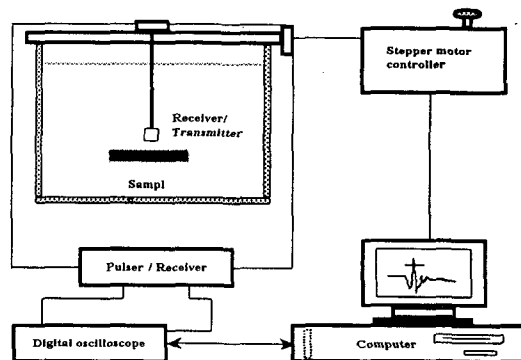


Fig. 2 Experimental setup for pulse-echo scan mode in immersion tank

3. 실험결과 및 고찰

3.1 낙추충격시험

낙추를 CFRP 적층판에 충격을 가할 때 CFRP의 적층구성에 따라 하중, 변위, 흡수에너지의 특성을 고려하였다. Fig. 3은 부가질량이 있는 낙추 II를 이용하여 계면수가 2계면인 직교이방성인 시험편 A의 낙추 충격시험 결과를 하중과 시간, 하중과 변위 곡선으로 나타냈다. 충격시 시험편에 흡수된 에너지는 하중-변위선도에서 폐곡선의 면적으로 구한다.

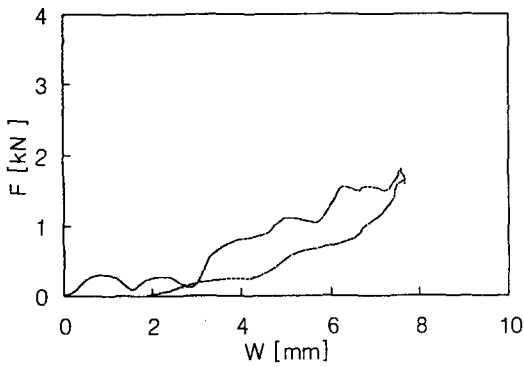


Fig. 3 Falling-weight test of specimen A (Impact energy : 5.74J)

3.2 손상진전관찰

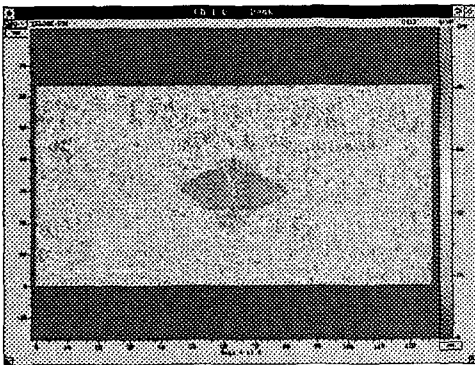


Fig. 4 Typical delamination shapes of specimen A

충격손상을 받은 CFRP 적층재가 낙추시험 후에 손상영역을 평가하기 위하여 충격손상을 받

은 CFRP적층판을 초음파의 산란 및 감쇠를 최소화 하기 위하여 수조에 집어넣어 C-스캐너를 이용하여 내부의 낙추에 의한 충격손상의 영역을 관찰하였다. Fig4는 충격손상을 받은 CFRP 적층 시험편 A의 대표적인 박리형상을 나타냈다.

3.3 적층배향의 차

Fig. 5은 적층수가 같고 계면수, 적층방향이 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. 그림중 ■표는 계면수가 2계면인 직교 이방성 적층재 시험편 A, □표는 계면수가 6계면인 의사등방성 적층재 시험편 B를 나타냈다. 대략 충격에너지가 4J 정도에서 시험편 A, B의 흡수에너지는 거의 차이가 없다.

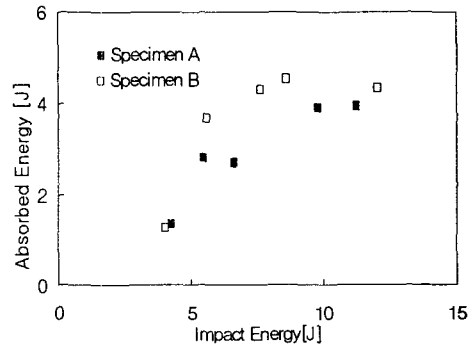


Fig. 5 Relation between absorbed energy and impact energy(A, B)

3.4 계면수의 차

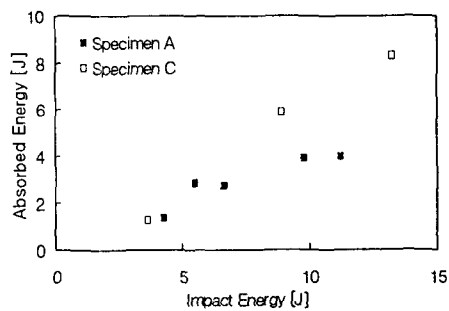


Fig. 6 Relation between absorbed energy and

impact energy(A, C)

Fig. 6은 적층수가 같고, 계면수가 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. 여기서 계면수란 적층배향이 다를 때 생기는 경계수를 의미한다. 이때 시험편 A, C, 모두 직교 이방성으로, 시험편 A의 계면수는 2이며, 시험편 C는 4개의 계면이다. 충격에너지와 흡수에너지를 비교하면 초기에는 별로 차이가 없었지만, 충격에너지가 증가할수록 계면수가 더 많은 시험편 C가 시험편 A보다 흡수에너지가 증가하였다.

3.5 낙추 충격시험에 의한 손상영역과 적층구성의 관계

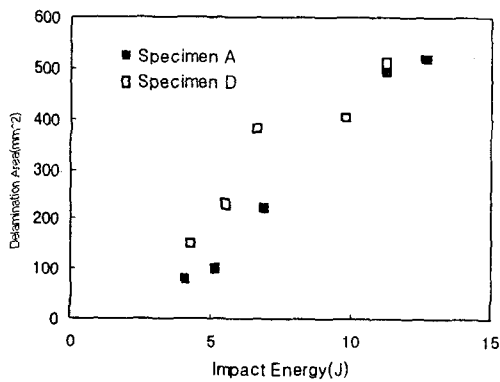


Fig. 7 Relation between impact energy and delamination area of specimens A and D

Fig. 7은 적층수 및 적층배향이 같은 시험편 A $[0^{\circ}_4 / 90^{\circ}_4]_s$, GFRP 프리프레그시트를 시험편 D $:[0^{\circ}_4 / 90^{\circ}_4 / (\theta_1) / 0^{\circ}_4]$ 의 충격에너지의 크기와 층간 박리면적과의 관계를 나타냈다. 시험편 A 및 D 모두 선형적인 관계를 나타냈다. 또한 박리발생 임계충격에너지는 시험편 A(3.21J), 시험편 D(2.01J)를 예측할 수 있었다.

4. 결론

1) 간이시험법으로서 낙추식 충격시험장치를 이용하여 낙추의 응력과 전파 현상을 고려한 CFRP 적층판의 강도 평가가 가능하였다.

2) 적층배향이 다른 직교이방성 시험편 A $[0^{\circ}_4 / 90^{\circ}_4]_s$ 와 의사등방성 시험편 B $[0^{\circ}_2 / 45^{\circ}_2 / 90^{\circ}_2 / -45^{\circ}_2]_s$ 의 충격에너지와 흡수에너지 관계를 보면 의사등방성 시험편이 흡수에너지가 높게 나타났지만, 충격에너지와 박리면적의 크기는 크게 차이가 나타나지 않았다.

3) 적층수가 같고 계면수가 다른 직교 이방성 적층판을 충격에너지와 흡수энер지를 비교하면 계면수가 2인 시험편 A $[0^{\circ}_4 / 90^{\circ}_4]_s$ 에 비해 계면수가 4인 시험편 C $[0^{\circ}_2 / 90^{\circ}_4 / 0^{\circ}_2]_s$ 가 흡수에너지가 증가하였다. 즉, 계면수가 많은 시험편이 충격을 받을 때 충격에너지를 많이 흡수한다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 強化プラスチック協會編：新版FRP入門, p. 8, 1987.
2. G. Lubin : Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold, p. 147, 1982
3. 炭素纖維懇談會便：炭素纖維の應力技術, シ-エムシ-社, p. 116, 1984.
4. 田中吉 へ助, 黒川知明ら, 1989, "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, pp.29-36.
5. 武田 展雄, "複合材料の衝撃應答と破壊(I)", 1985, 日本複合材料學會誌, 11, 4, pp.151-161.
6. E. T. Camponeschi Jr., "Compression of Composite Materials : A Review", Composite Materials : Fatigue and Fracture (Third Volume), ASTM STP 1110, Philadelphia, pp. 550~578, 1991.
7. E. Demuts, R. S. Whithead, and R. B. Deo, "Assessment of Damage Tolerance in Composites, Comp. Struct. 4, pp. 45~58, 1985.