

論文

주파수 응답을 이용한 CF/Epoxy 복합적층판의 낙추충격 특성평가

임광희⁺, 박노식^{**}, 김영남^{**}, 김선규^{***}, 양인영^{****}

Characteristic Analysis of Falling Weight Impact Response in CF/Epoxy Composite Plates Using Frequency Responses

Kwang-Hee Im⁺, No-Sick Park^{**}, Young-Nam Kim^{**}, Sun-Kyu Kim^{***} and In-Young Yang^{****}

ABSTRACT

We have implemented a system of falling weight impact tester in order to evaluate the impact energy absorbing characteristics and impact strength of CFRP laminate plates. The absorbed energy of T-300 orthotropic composites 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 T-300 orthotropic composites, which are composed of the same stacking number and orientation became more than that of T700 fiber specimen; however there was no big difference 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 were 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.

초 록

낙추충격 시험시스템을 제작하여 CFRP적층판의 충격흡수특성 및 충격강도가 평가가 가능하였다. 충격에너지 대략 7J이상에서는 동일한 T300 섬유와 적층배향으로 구성된 직교이방성 시험편이 의사등방성(quasi-isotropic)보다 높게 나타났으나 T700 섬유의 경우에는 크게 차이가 나타나지 않았다. 또한 동일한 T300섬유와 적층수로 구성된 시험편이 T700 섬유로 된 시험편보다 높게 나타났으나 T700섬유인 의사등방성 시험편의 경우에는 크게 차이가 나타나지 않았다. 초음파 C-스캐너를 이용하여 내부손상영역을 관찰하여 시험편의 손상면적과 흡수에너지의 상관관계를 고찰 하였으며, 충격 손상유무에 따라 박리면적과 주파수응답계수를 평가하였다. 주파수응답계수와 박리면적사이에는 상관관계가 있음을 알 수 있었으며 충격손상으로 인한, 손상의 유무 및 정도를 주파수응답계수로 평가가 가능하였다.

Key Words: 주파수응답(Frequency responses), 박리면적(Delamination area), 낙추충격(Falling weight impact), 흡수에너지(absorbed energy)

1. 서 론

최근 항공기, 우주기기 등 우주구조용 재료로서 가장 주

목받고 있는 선진 복합재료중에서도 탄소섬유 강화복합재(Carbon Fiber Reinforced Plastics : 이하 CFRP라고 한다)는 고등복합재(Advanced Composite Materials: ACM)의 대표

⁺ 우석대학교 반도체전기자동차공학부, 교신저자(e-mail:khim@woosuk.ac.kr)

^{**} 조선대학교 대학원

^{***} 익산대학 자동차과

^{****} 조선대학교 기계공학부

적인 재료인 CFRP 적층재의 가장 큰 결점은 충격에 대해서는 취약하며[1] 탄소섬유와 수지를 복합한 재료이기 때문에 파괴현상이 아주 복잡하여 해석하기 어렵다는 점이다. 또한 CFRP 적층판이 항공기 구조부재로 이용될 때 정비중의 공구낙하(Tool drop)나 비행중 날으는 새와의 충돌(Bird strike)[2], 이착륙시의 작은돌이나 파편 등 여러종류 재질의 충돌체에 의한 충격손상(Foreign Object Damage: FOD)을 피할수가 없으며[3] 표면으로부터는 거의 보이지 않는 충격손상이 적층판 내부에 발생하여 이것에 의해 강도가 저하하게 되는 것이 중요한 문제로 지적되고 있다[4].

현재까지의 CFRP 적층재의 FOD에 관한 연구는 충격후의 잔류인장강도[5], 복합적층재 구조를 활용함에 있어 두께 방향인 횡충격에 의한 Graphite/Epoxy 및 Graphite/PEEK의 잔류압축강도를 평가 하였다[6]. 특히, 곡률을 갖은 적층복합재 구조에서의 저속충격손상평가를 실시하였으며[7], 복합재의 충격손상개시를 평가하는데 압전필름센서[8]를 이용하여 평가하였다. 이때 대부분이 충격강도 평가법으로 낙추를 이용한 샷피프, 아이쵸트 충격시험과 다이네틱 등을 이용하여 금속재료뿐만 아니라 복합재료에 적용을 하고 있으나 특히, 이방성을 갖은 복합재료에 있어서는 충격에 대한 정확한 계측 및 평가가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 매트릭스는 같고 적층배향 및 섬유강도가 다른 CFRP 적층판에 낙추충격손상을 가한 후 CFRP 적층판의 충격하중과 변위를 평가할 수 있는 간이기법을 통하여 각 적층판의 흡수에너지 특성을 파악하고, 초음파 C-스캐너를 이용하여 내부 손상영역을 관찰하여 CFRP 적층판의 흡수에너지와 손상면적의 상관관계를 평가하였으며 저가의 장비시스템을 구축하여 주파수응답 기법을 이용하여 적층구조에 따른 충격특성 및 강도평가를 수행하고자한다.

연구방법으로는 충격시험장치로서 낙추식 충격시험시스템을 제작하고 낙추 중의 응력과 전파현상을 고려한 정확한 충격하중과 변위를 측정하는 방법을 개발하고 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 3개의 스트레인 게이지를 부착하여 낙추종류 및 충격에너지에 따라 시험편의 손상유무와 손상규모를 주파수 응답함수와 비교하여 각 시험편의 주파수 응답에 의한 충격강도를 평가한다. 또한 낙추충격에 의해 발생한 시험편 계면내의 손상영역을 초음파 탐상하여 평가하고 시험편의 손상영역 크기와 주파수 응답함수와의 상관관계를 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 낙추시험장치

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. 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 정방향으로 절단했다. 그리고 시험편은 A : T700 [0₄/90₄]_s, B : T700 [0₂/45₂/90₂/-45₂]_s, C : T300 [0₄/90₄]_s, D : T300 [0₂/45₂/90₂/-45₂]_s의 4종류를 사용했다. 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. 그리고 Fig. 2은 낙추를 나타냈다. 충격체는 낙추 I (0.48kg), 낙추 II (0.74kg), 낙추 III (1.29kg), 낙추 IV (1.57kg)의 4종류로 $\phi 10 \times 600$ mm의 연강 환봉을 사용하고 선단부는 지름 14mm 곡면으로 했다. 또한, 하중 검출부에 스트레인 게이지를 낙추 I에서는 길이를 2등분한 부분에, 낙추 II, III, IV에서는 길이를 3등분한 2개 부분에 중심축에 대칭되도록 2매 붙이고, 굽힘 변형의 영향이 없도록 하기 위해서 직렬로 연결시켰다.

충돌시 나타나는 스트레인 게이지의 저항변화는 실드선으로부터 브리지 회로를 통하여 동적변형 측정기로 입력되어 전압변화를 증폭하고 기억된 파형을 PC에 의해 데이터 처리하여 변형률로 환산한다. 충격 낙추가 CFRP 적층판에 충돌할 때 낙추의 선단부와 시험편이 접하는 위치의 이동량 즉, 변위의 측정은 낙추에 부착한 표적의 이동을 광학식 변위계(Zimmer, 100F)를 사용하여 측정한다. 광학식 변위계는 광학 렌즈를 이용하여 표적의 백색부와 흑색부의 경계선의 변위량을 전압변화로 환산하는 것이며, 렌즈를 교환하여 측정 가능한 변위량을 변화시킬 수 있다. 충격에너지는 낙추의 질량과 충격속도를 이용하여 구하였고 이때 낙추의 충격속도는 시험장치에 설치된 레이저에 의해 시간을 체크해서 측정한다.

2.2 충격 흡수에너지 산출법

측정 방법으로부터 측정된 하중 및 변위에 대하여 평가 파라메타를 검토하였다. 하중과 변위 선도로부터 적층판의 충격 특성을 알 수 있다. 우선 시험 결과를 간편하게 비교하는 방법으로서 하중-변위 선도에서 적절한 대표 값을 산출하여 하중-변위 선도를 나타내는 파라메타로서 Fig. 3의 시간과 하중, 시간과 변위 선도에서 시간을 소거하여 하중-

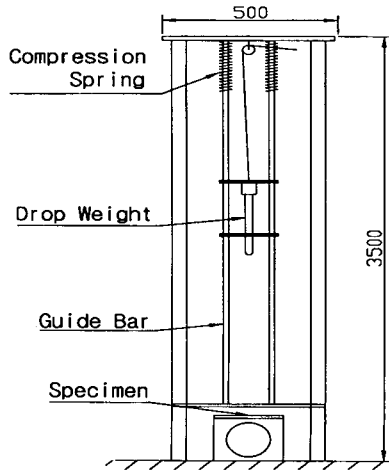


Fig. 1 Schematic diagram of falling weight tester.

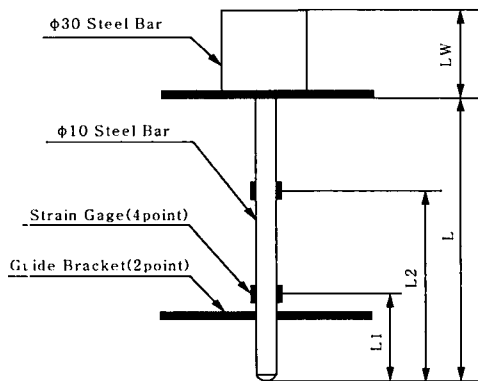


Fig. 2 Details of the drop-weights.

변위 선도의 폐곡선으로 둘러싸인 부분의 면적을 시험편이 파괴될 때에 소비된 에너지(흡수에너지)로 간주해서 하나의 평가 파라메타로 나타냈다. 이때 폐곡선의 면적은 엑셀 프로그래밍으로 구하였다. 이 평가 방법은 여러 FRP 적층판에 대한 강도 평가에 적용되고 있어서 타당하다고 생각되지만, 흡수 에너지만을 이용하여 충격 특성을 표현하는 것은 두리가 있기 때문에 하중 이력의 최대하중 F_{max} 에 의한 평가 등도 고려되어야 한다. 그리고 충격체인 낙추로부터 CFRP 적층판에 충격특성을 평가하기 위하여 C++ Builder로 작성하였으며, Fig. 4는 운용파일이다. 여기에서 ①은 샘플링 시간이며, ②는 낙추의 낙하속도, ③은 샘플링 수, ④는 트리거레벨, ⑤와 ⑥은 스트레인으로 낙추 충격중 실험 조건으로부터 스트레인게이지에 의해 검출된 값이다. ⑦과 ⑧은 충격하중 및 변위 파일로 낙추 충격 실험에서 얻고자 하는 실험의 결과 값을 보여준다. ⑨는 실행키이다.

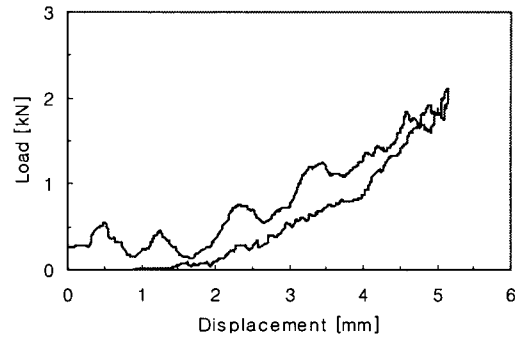


Fig. 3 Relation between displacement and load.

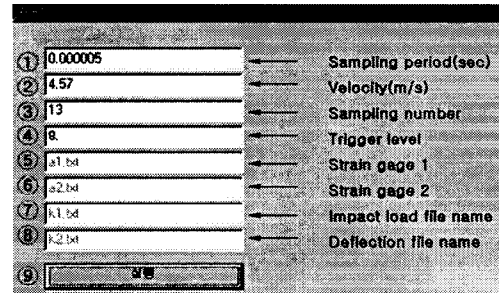


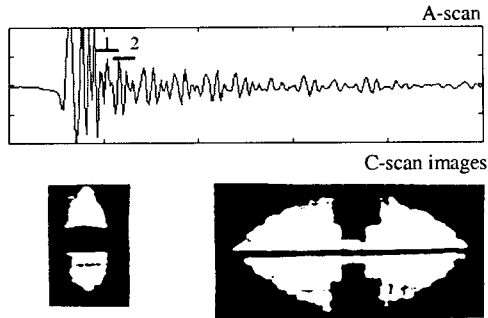
Fig. 4 Screen capture of software program.

2.3 손상영역 관찰방법

초음파 C-스캔이미지는 품질관리와 신뢰성 등을 부여하기 위하여 재료의 결함을 평가하는데 유용한 비파괴검사 기법이다. 초음파 측정방법은 Fig. 5와 같이 펄스에코우 모드방법이 수침조내에서 모두 행해졌다. C-스캔장비는 시험편의 전면과 배면의 에코우 진폭을 이미지로 나타낼수 있다. 이때 진폭변화를 그레이상과 칼라상으로하여 비디오 상에서 0에서 250까지 나타낼 수 있다. 이때 복합적층판의 손상영역을 C-스캔으로 관찰하기 위하여 주파수가 50MHz 트랜스듀서가 사용되었다. 이 트랜스듀서는 시험편의 수조 내에서 표면과 수직탐상 하였으며 모델명이 5052PR의 펄서/리시버가 이용이 되었다. 그리고 Fig. 5는 낙추 충격에 의해 발생된 시험편의 손상 영역을 관찰하기 위한 게이트 기법을 나타냈다.

2.4 주파수응답 관찰방법

주파수 응답함수는 CFRP 적층판의 경우 충격손상 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 하중이



(a) Delamination from the 1st interface (b) Delamination from the 2nd interface

Fig. 5 Inspection method of composite laminated damages using ultrasonic C-scanner.

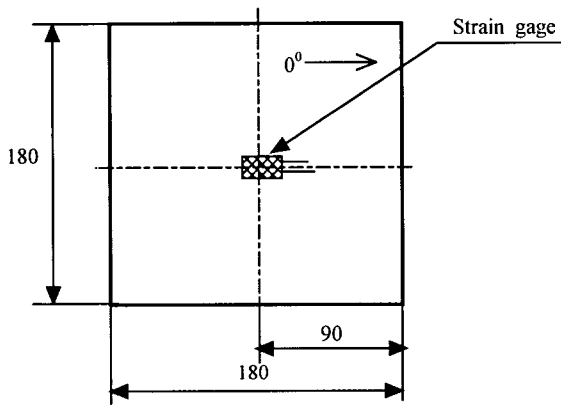


Fig. 6 Position of strain gage on the specimen.

력 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 부착 위치는 가장 민감한 스트레인을 검출할 수 있도록 Fig. 6처럼 충격점 반대쪽에 부착하고, 스트레인 게이지의 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 10 μ s, 샘플링수 4096으로 측정했다. 또한, 충격속도를 낙하 높이로부터 구하면 1.0m/sec로 된다. 대표적인 하중 이력을 Fig. 7에 나타냈다. 그림으로부터 시험편의 진동은 40ms내에서 대단히 감소하고 샘플링시간, 샘플링수가 적절함을 알 수 있었다. 주파수 응답계수는 하중이력 및 스트레인 이력을 각각 FFT에 의해 주파수 영역으로 교환하고, 주파수 영역에 있어서 스트레인을 하중으로 나누어서 산출한다. 산출된 주파수영역의 응답을 Fig. 8에 표시 했으며,

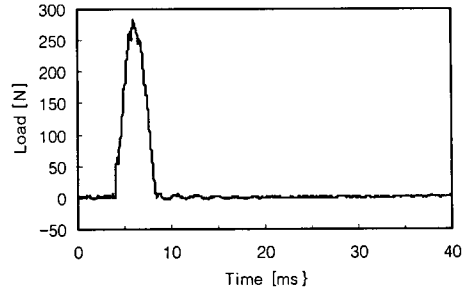


Fig. 7 Load variation in time (Specimen A, Drop weight I, Release height 5cm).

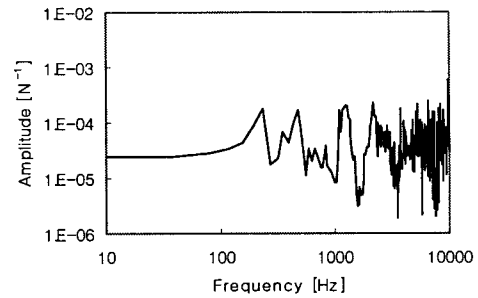


Fig. 8 Frequency response function (Specimen A, Drop weight I, Release height 5cm).

700Hz근처에서 주파수 응답계수의 첨두치(peak)가 나타났다. 또한 손상평가의 대상으로 판단 할 수 있는 5kHz이하의 저주파 영역도 충분히 미세한 샘플링 간격으로 되고 있음을 알 수 있었다. 시험편에 손상이 발생하지 않은 범위에서는 시험편은 탄성 응답을 나타내고 있기 때문에 주파수 응답계수는 파형으로 나타낼 수 있다. 주파수 응답계수의 재현성을 확인하기 위해 같은 시험편에 낙추를 2cm의 높이에서 낙하시켜(충격에너지 0.095J), 같은 모양으로 주파수 응답계수를 산출했다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 충격특성

Fig. 9는 T300섬유종류와 적층수가 같고 적층방향이 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. 그림 중 \square 표는 직교이방성 적층재 시험편 C, \blacksquare 표는 의사등방성(quasi-isotropic)적층재 시험편 D를 나타냈다. 대략 충격에너지가 4J에서 7J까지의 흡수에너지는 크게 차이는 나타나지 않았지만 7J 이상에서는 다소 직교이방성 시험편 C가 크게 증가 하였다. Fig. 10은 T700섬유종류와 적층수가 같고 적층방향이 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. Fig. 11으로부터 프리프레그 시트의 압축강도가

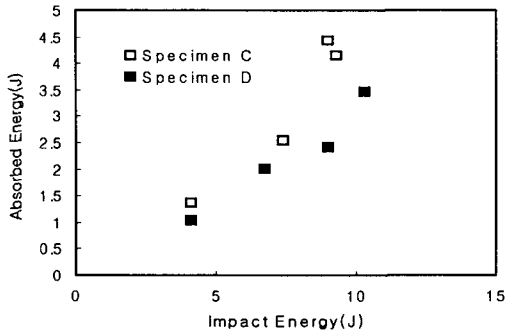


Fig. 9 Relation between absorbed energy and impact energy(C, D).

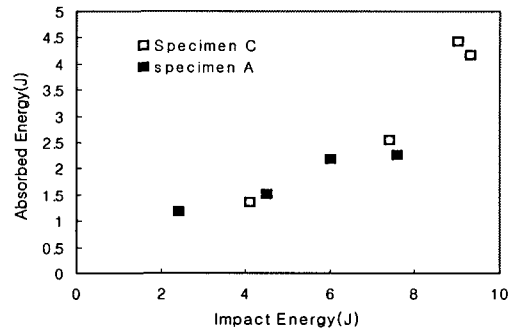


Fig. 11 Relation between absorbed energy and impact energy(C,A).

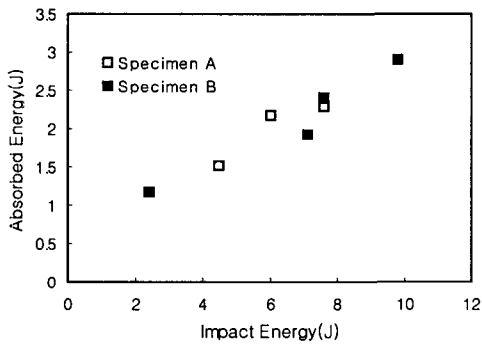


Fig. 10 Relation between absorbed energy and impact energy(A, B).

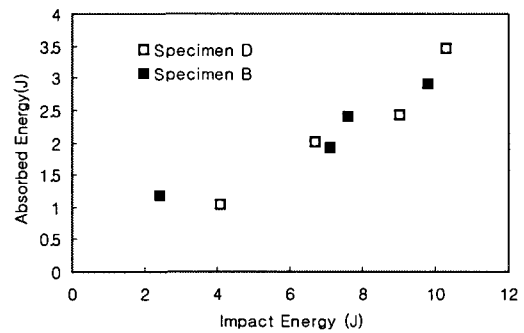


Fig. 12 Relation between absorbed energy and impact energy(D, B).

다른 T300섬유와 T700섬유를 사용하였다. T300섬유를 이용한 시험편 C가 T700섬유를 이용한 시험편 A와 같이 충격 에너지와 흡수에너지관계가 대략 7J까지는 크게 나타나지는 않았지만 대략 8J이상에서는 시험편 C가 흡수에너지가 크게 증가 하였다. 이는 섬유의 강도가 흡수에너지에 영향을 미치기 때문이라 생각된다. Fig. 12로부터 초기에는 T700섬유를 이용한 시험편 B의 흡수에너지가 T300섬유를 이용한 시험편 D보다 크게 나타났지만 충격에너지가 증가함에 따라서 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다.

3.2 주파수 응답

2.4절에서는 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 충격점에서 조금 떨어진 위치에 접착 할 필요가 있다. 또한 FRP는 이방성의 성질을 가지므로 손상이 발생한 경우 나타난 충격점 안쪽의 균열, 층간 박리등의 최 외층의 섬유 방향에 따라 발생하는 경향이 있으므로, 스트레인 게이지의 부착위치, 방향에 따라 다른 주파수 응답이 검출된다. 따라서 본 절에서는 스트레인 게이지의 부착위치, 측정 방

향이 주파수 응답계수에 미치는 영향에 대해서 검토하고자 한다.

Fig. 13에 나타난 충격 점에서 각각 30mm 떨어진 세지점에 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. 충격실험은 손상발생 전, 손상발생 시, 손상발생 후 각각의 주파수 응답계수를 관찰하기 때문에 시험편에 Table 1과 같은 순서로 충격을 가했다. 충격시험 후에 시험편을 관찰하면 충격점 안쪽의 섬유방향으로 길이 7cm 정도의 균열을 발생시키고 있다. 그러나 시험편 표면의 압흔 및 시험편 안쪽의 용기는 육안 관찰이 어려웠다. 또한, 초음파 탐상기에 의한 시험편의 층간박리를 관찰하고, 최외층의 섬유방향에 상당히 크게 팽창한 층간박리를 발생하고 있음을 알았다.

Fig. 13으로부터 충격시의 시험편의 스트레인 게이지의 응답은 게이지1, 게이지2 에서는 인장 스트레인을, 게이지3 에서는 압축 스트레인을 나타냈다. 또한, 게이지1~3의 어느 것에서도 하중을 가한 후, 낙추가 시험편에서 떨어진 후의 시험편 에서 진동 측정이 가능하였다. Table 1을 보면 손상발생 전과 손상발생 후에서 최대하중 및 시험편표면에

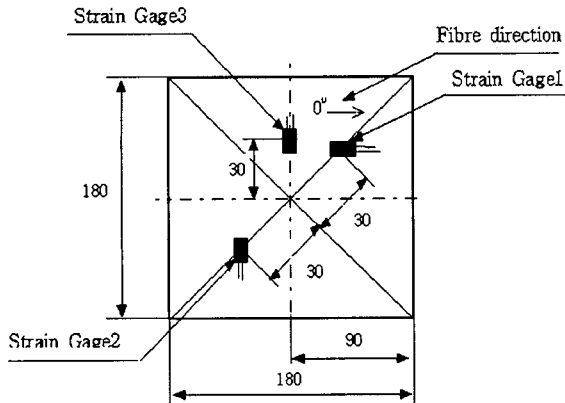


Fig. 13 Position of strain gages on the specimen.

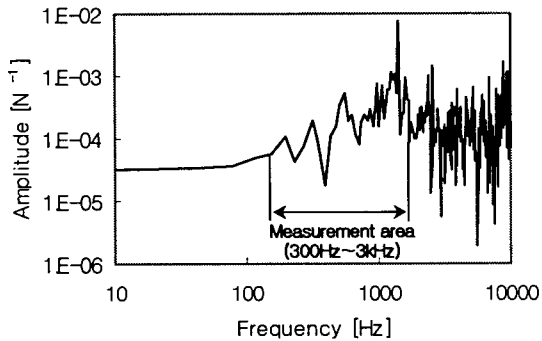


Fig. 14 Frequency response function (No. 1~3 Averaging).

서 최대 스트레인이 크게 변화하고 있음을 알았다. 최대하중은 손상발생 전에 비해 손상발생 시에 크게 저하하고 있다. 또한 게이지1에 의한 최대 스트레인도 크게 변화하였다. 게이지3에 의한 최대 스트레인은 압축방향에서 크게 증가하고 있다. 이로부터 스트레인 게이지의 붙임 위치에 따라 충격 손상발생 전 후의 스트레인 변화의 양상은 상당히 다르게 나타났다. 각각의 시험결과에 대해서 게이지1~3에 의해 주파수 응답계수를 비교하면 게이지1, 게이지2에 의한 주파수 응답계수는 대단히 잘 근사하고 있음을 알았다. 이 값은 스트레인 게이지에 의해 얻은 결과로서 그림을 비교하면 침투부는 잘 일치하고 있으나 미세한 부분에서는 다소차이를 나타내고 있다. 이 원인으로서는 미소진동의 영향을 생각할 수 있기 때문에, 일회의 충격시험으로 손상 평가의 결과로 이용하기에는 문제가 있어 No.1~No.3에 의한 주파수 응답계수, 주파수 응답계수에 대해 각각 평균화 처리를 실시하여, 그 결과를 비교하였다. No.1~No.3에 의해 평균화 처리를 실시했던 주파수 응답계수를 Fig. 14에 표시하였다. 이들을 상호 비교하면 300Hz~3kHz의

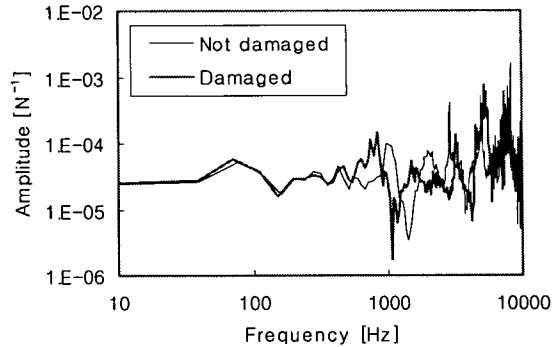


Fig. 15 Frequency response function (Test 1A).

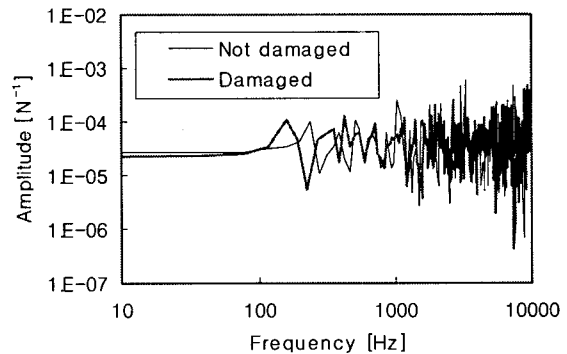


Fig. 16 Frequency response function (Test 2A).

범위에서 양자의 파형은 서로 다르게 나타나고 있다. 이 결과로부터 위 두 주파수 영역에서의 파형응답에서 손상의 존재 여부를 알 수 있으며 따라서 주파수 응답계수에 의한 손상유무의 비교, 조사가 가능함으로서 주파수 응답계수에 의한 손상의 유무의 변화 관계를 나타낼 수 있다.

3.3 손상규모에 관한 주파수 응답계수의 비교

Figs. 15~16에 Test1A~Test4A에 있어서 손상발생 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. 16에서는 손상 발생 전, 후의 주파수 응답계수의 변화를 나타 내는데 그 차는 42Hz다. 이들의 결과를 통해 시험편의 크랙 길이와 중간박리 면적이 크게되면 손상발생 전에 비해 손상발생 후의 파형이 저주파의 방향으로 이동하고 있음이 관찰되었다. Test1A에 의한 주파수 응답계수는 손상발생 전, 후에서 거의 변화가 나타나지 않았다. 그러나 Test2A 에서는 시험편에 있는 정도의 손상이 발생해 있고, 손상발생 후의 주파수 응답계수는 1kHz이하의 범위에 있어서 손상발생 전보다도 저주파 쪽으로 이동하였

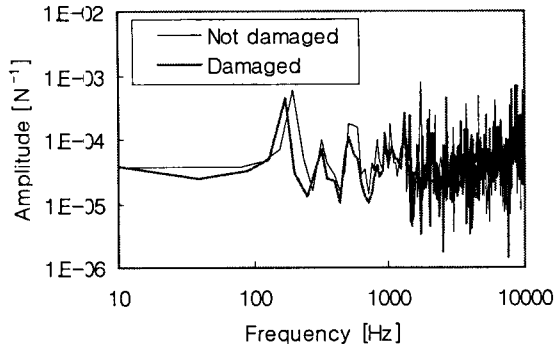


Fig. 17 Frequency response function (Test 1C).

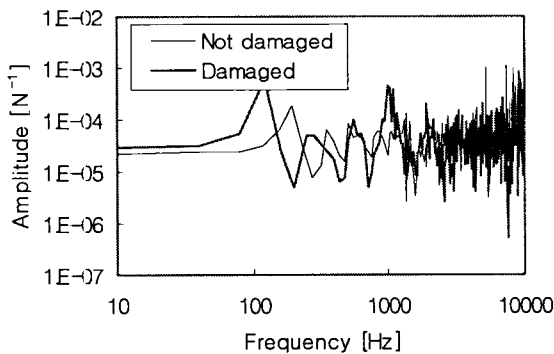


Fig. 18 Frequency response function (Test 2C).

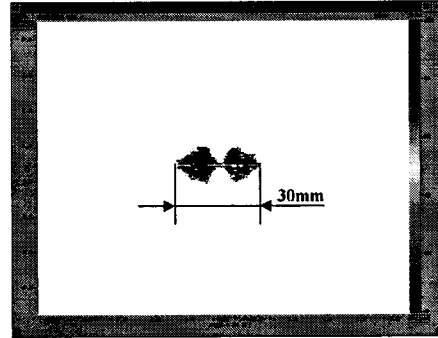


Fig. 19 Observation of delamination area (Test 2C), I.E. 3.11J.

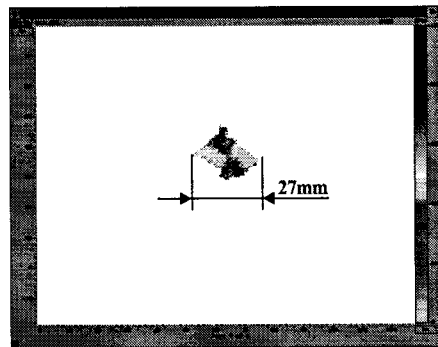


Fig. 20 Observation of delamination area (Test 2D).

다. 더욱이 손상이 크게 증가한 Test3A와 Test4A에서는 주파수 응답계수가 크게 변화하였다. Fig. 17~18은 직교 이방성 시험편 C의 주파수와 진폭 관계를 나타냈다. 시험편 B, C, D에 대해서도 유효성이 적용 가능하였다. 이는 시험편에 발생한 손상규모가 크면 시험편의 휨 강성이 저하하고, 이로 인해 고유진동수가 저하하는 일에 기인한다고 사료된다.

Fig. 19은 충격에너지가 3.11J이고 박리길이가 대략 30mm인 시험편 Test2C로 무 충격손상에 비해 주파수 응답계수의 변화는 110Hz이다. Fig. 20은 충격에너지가 3.11J인 Test2D시험편의 경우로서 박리길이가 대략 27mm이며 주파수 응답계수의 변화는 시험편 D의 무 충격손상에 비해 60Hz로 나타났다. 동일한 충격 에너지 하에서 주파수 응답계수는 직교 이방성 시험편에 있어서 T-300섬유를 이용한 시험편이 T-700섬유를 이용한 경우보다 36% 크게 나타났다. 이는 휨 강성의 변화의 원인이라 생각된다. 낙추충격에 의해 무 충격손상과 충격손상에 따라 주파수 응답계수를 평가하기 위해서 Fig. 21에 나타낸 것처럼 주파수 응답계수의 초기의 변화 즉, 400Hz~500Hz사이를 기준 하여 무 충격손상에 의한 주파수 응답계수와 충격손상에 의한 주파수 응답계수의 차이를 주파수변화(Δf)로 정의하였다.

Table 1 Results of the tests (Specimen A, Drop weight I)

Test No.	Release height [m]	F_{max} [N]	$\epsilon_{max} (\times 10^{-3})$		
			Gage 1	Gage 2	Gage 3
1	0.02	569.2	0.549	0.250	-0.054
2	0.02	558.5	0.539	0.238	-0.064
3	0.02	549.5	0.290	0.232	-0.063
4	1.5	2924.2	1.167	0.909	-0.183
5	0.02	522.7	0.479	0.218	-0.063
6	0.02	492.6	0.407	0.218	-0.065
7	0.02	431.0	0.276	0.174	-0.056

다음으로 각각의 시험결과에 대해서 주파수 변화의 값을 구했다. Fig. 22에는 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. Fig. 23에는 낙추충격에 의한 층간박리 면적과 주파수 변화(Δf)와의 관계를 나타냈다. 층간박리 면적과 주파수 변화에는 시험편의

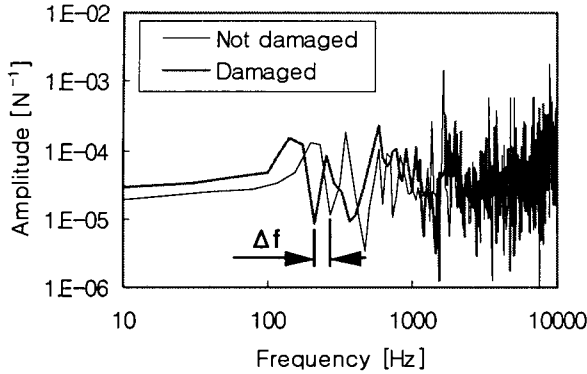


Fig. 21 Shifting of frequency response.

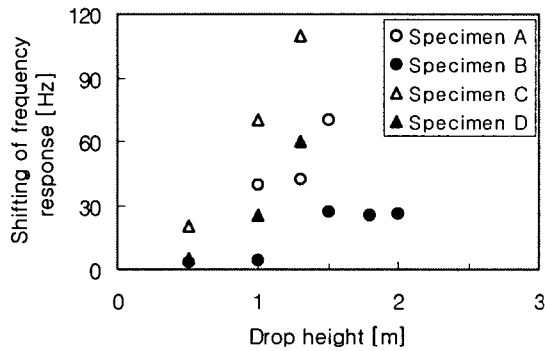


Fig. 22 Shifting of frequency response versus drop height.

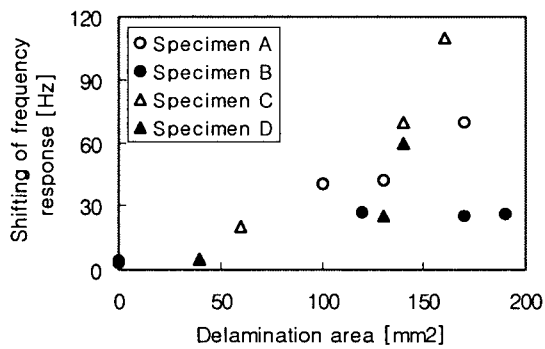


Fig. 23 Shifting of frequency response versus delamination area.

섬유강도 및 적층배향에 따라 영향을 미쳤다. 섬유강도가 높을수록 주파수 응답계수의 변화는 그다지 심하지 아니하였고, 적층배향의 측면에서는 직교이방성의 경우가 의사등방성에 비해 주파수 응답계수의 변화가 심하게 나타났다. 특히, 직교 이방성 시험편 A와 C는 대체적으로 선형적인 관계가 나타났지만 의사등방성(quasi-isotropic) 시험편 B와 D는 다소 2차원 함수형태로 나타났다. 이는 낙추충격에

의하여 발생된 손상 영역을 초음파로 측정할 때 초음파의 특성상 박리면적은 투영 면적으로 평가되어 감소된 박리면적으로 나타나기 때문이라 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 CFRP 적층판의 충격시험장치로 낙추식 충격시험장치를 제작하고, 적층방향과 섬유강도를 변화시킨 각각의 적층판에 따른 충격실험을 행한 후, 초음파 C-스캐너를 이용하여 박리면적을 관찰하여 적층판의 흡수 에너지와 박리면적의 상관관계를 고찰을 통하여 충격손상유무에 따른 주파수응답을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 저가의 충격시험시스템을 구축하여 충격손상이 내재한 시험편의 진동 응답으로부터 얻어지는 주파수 응답계수를 이용하여 충격손상 유무를 평가 할 수 있었다.
- 2) 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.
- 3) 적층구성이 같은 직교 이방성 적층재의 경우 섬유강도가 낮은 시험편이 섬유강도가 높은 시험편보다 흡수 에너지가 크게 나타났으나 의사 등방성 적층재의 경우는 섬유강도의 대, 소에 따라서는 큰 차이가 없었다.

후 기

이 논문은 2002년도 익산대학 산업기술연구소의 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

- 1) 炭素纖維懇談會便:炭素纖維の應力技術, シ-エムシ-社, 1984, p. 116.
- 2) 田中吉 へ助, 黒川知明ら, “橫衝擊を受ける CFRP板の損傷と殘留曲げ強度,” 日本航空宇宙學會誌 第37卷 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 衝擊應答と 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 Freview," *Composite Materials : Fatigue and Fracture (Third Volume)*, ASTM STP 1110, Philadelphia, 1991, pp. 550-578.
- 6) 최익현, 최윤록, 홍창선, "Graphite Epoxy 및 Graphite/PEEK 복합적층판의 저속충격후 잔류압축강도에 대한 실험적 해석," *한국복합재료학회지*, 제6권, 제2호, 1993, pp. 69-79.
- 7) 전정규, 권오양, 이우식, "폭렬을 가진 적층복합재 구조에서의 저속충격손상평가," *한국복합재료학회지*, 제14권, 제2호, 2001, pp. 22-32.
- 8) 박천익, 김인걸, 이영신, "압전필름센서를 이용한 복합재평판의 저속충격 손상개시 모니터링," *한국복합재료학회지*, 제15권, 제2호, 2002, pp. 11-17.