

## 섬유강도와 적층구성이 CFRP적층판의 충격손상에 미치는 영향

### Influence of Fiber Strength and Stacking Sequences on Impact Damages of CFRP Composites

임 광 희\*, 박 노 식\*\*, 양 인 영\*\*\*  
Kwang-Hee Im, No-Sik Park, In-Young Yang

#### ABSTRACT

This paper aims at the evaluation on the characterization of CFRP laminate plates using falling weight impact tester. The experimentation was conducted on several laminates of different fiber and ply orientation. A system was built for the impact strength of CFRP laminates in consideration of stress wave propagation theory using drop-weight impact tester as one of impact test. 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. It is found that influence was confirmed between impact energy and absorbed energy as the impact energy is increased with adding the falling weight.

주요기술용어 : Falling weight test(낙추시험), Impact damages (충격손상), Composite materials(복합재료), Delamination(박리), Impact energy(충격에너지)

#### 1. 서 론

탄소섬유 강화복합재(Carbon Fiber Reinforced Plastics : 이하 CFRP라고 한

다.)는 선진복합재(Advanced Composite Materials: ACM)의 대표적인 재료로써 금속재료에 비해서 대략 20~50% 정도의 중량을 감소시킬 수 있다는 장점<sup>1-2)</sup>이 있어 구조경량화가 요구되는 항공우주분야를 비롯하여 자동차 산업분야, 조선산업분야, 일반산업분야, 레저스포츠, 의료기기 부품 및

\* 회원, 우석대학교 반도체전기자동차공학부

\*\* 회원, 조선대학교 대학원

\*\*\* 회원, 조선대학교 기계공학부

에너지 관련분야 등의 구조용 재료로 널리 사용되고 있다. 그러나 이종재료의 조합에 의한 복합재료 이기 때문에 불균질, 이방성 등의 성질을 가지고 있으며, 충격시 역학적 거동은 매우 복잡하다. 특히, 섬유와 모재의 파괴, 섬유와 모재의 계면 박리, 섬유의 파단, 적층계면에 있어서의 층간 박리등 여러 가지의 요소가 복합해서 동시에 발생하며 손상은 충격체의 형상, 질량, 속도 그리고 복합재료 자체의 적층 구조에도 깊이 관계되어 있으며, 재료가 가진 잔류강도를 현저히 저하 시키는등, 문제점을 포함 하고 있다.<sup>3,4)</sup> 이러한 문제로부터 복합재료를 실용화시키고 그의 안전성, 신뢰성의 보증을 위해서는, 충격 강도 및 손상 허용성의 평가를 해야 하며, 그 외에 외부에서 파악하기 곤란한 구조물 내부의 손상의 유무와 손상의 위치를 해석하는 일도 매우 중요시되고 있다. 충격을 받은 복합재료 구조물은 외형상으로는 손상이 보이지 않지만 내부에는 손상이 발생하여 복합재료의 계면 특성 및 구성 재료의 기계적 성질의 저하를 가져 오고 있다.<sup>5)</sup> 또한 CFRP 적층판을 항공기에 사용할 경우 항공기제조, 수리, 정비중의 공구 낙하, 항공기의 이착륙시 작은 돌등과의 충돌, 비행중 폭우, 우박, 새 등의 비교적 경량인 물체의 고속 충격에 의한 이물 충격 손상(Foreign Object Damage : FOD)<sup>6)</sup>을 받는 경우가 많아 충격손상의 문제가 CFRP적층재의 안전 설계에 있어 중요한 문제로 제기되고 있으며, CFRP적층재의 FOD로 인한 충격손상에 관한 연구로는 충격후의 잔류인장<sup>7)</sup> 및 잔류 압축강도(Compression Strength After Impact : CAI)저하 현상이 문제점으로 제기 되고있다.<sup>8)</sup> Cantwell<sup>9,10)</sup> 등은 탄소섬유 복합재료에 낙추를 이용하여 저속 충격을 가하여 초음파를 이용한 C-scan, 광학 현미경, X-방사선에 의해서 손상 진전 현상을 고찰하고 있

다.

현재의 경우 FRP 충격강도를 검토할 수 있는 시험법은 몇 가지가 제안되어 있지만 그들은 서로 다른 부하조건, 시험편의 형상, 치수등으로 되어있으며 그 중 대표적인 시험법으로는 금속재료를 대상으로한 샤르프-아이폰트 충격 시험법과 다이내딤(Dynatup) 등을 이용하는 낙추식 충격 시험법이 있다. 이 방법에서는 시험편에 진자에 의해서 충격 굽힘 하중을 가한 시험법으로 종래부터 금속재료 등의 균질 재료를 대상으로한 충격 시험법으로 넓게 이용되고 있으나 이 시험법은 시험편을 모재에서 잘라내어 실험하기 때문에 불균질, 이방성을 가진 FRP에 적용함은 시험편의 치수, 형상등이 시험결과에 큰 영향을 주는 결점이 있다. 특히, 낙추식 시험법은 충격시 낙추중에 전달되는 복잡한 응력파를 고려하지 않고 질점의 역학만을 이용하여 근사적으로 하중이력이나 하중점의 변위를 산출하고, 손실에너지에 의해 적층판의 내 충격특성을 평가 하고 있다.<sup>11,13)</sup> 그러나 이 방법은 계측된 하중이력중에 복잡하게 중첩하는 고주파 성분을 필터로서 소거 할 필요가 있기 때문에 시험편의 정확한 파형을 측정하기가 불가능 하다.

따라서 본 연구에서는 FRP 충격시험법으로서, 낙추식 충격시험법을 이용하여 정확한 충격하중을 계측하였다. 낙추의 하중 검출부분은 동일단면의 환봉으로 하고, 이 환봉의 후방에 부가질량을 장치한 후 한쪽을 충격단으로하여, 환봉의 변형응답으로부터 일차원 파동전파이론을 적용 충격단의 하중변화를 낙추중의 변형계이지의 출력으로부터 낙추선단의 충격하중을 정확히 측정하는 방법을 제안했다. 특히, 정량적인 충격 손상량을 평가하기 위해서는 정확한 하중·변위선도 및 오차가 적은 흡수에너지 산출이 가능한 하중·변위선도 및 흡수에너지를 구하는 평가법을 제시 하고자한다.

실험방법으로는 일방향 탄소섬유 프리프 레그(Prepreg)를 배향각이 각각 다르게 적 층하여 오토클래브(Auto clave)에서 200 × 200 × 2.2t 로 성형한 CFRP 적층판을 180 × 180으로 다이아몬드 커터로 절단하여 지 름150원형 상하판 사이에 장착하여 낙추의 자유 낙하 또는 가속시켜 시험편에 충격하 중을 가함으로써 봉에 전달되는 변형응답으 로부터 충격하중과 변위를 측정 할 수 있는 시스템을 구축하고 이 시스템으로부터 얻은 데이터를 평가 파라메타로 하여 하중 · 변위 선도 및 흡수에너지와의 관계, 손상하중과 변위선도 및 흡수에너지의 관계, 낙하질량 의 질량이 크기에 따른 운동에너지와 흡수 에너지의 관계를 고려하여 CFRP적층판의 충격강도를 평가한다.

## 2. 측정기본원리 및 방법

CFRP 적층판의 충격 특성을 평가하는 데는 우선 충격점에 있어서 충격 하중을 정확히 측정할 필요가 있다. 최근에는 낙추식 충격시험법이 대표적인 시험법으로 이용되고 있으며, 충격 하중을 측정하는 센서로서 는 스트레인 게이지, 가속도계, 압전소자, 광학식 변위계 등이 이용되고 있다. 이 센 서 중에서 가장 일반적으로 이용되는 스트 레인 게이지를 이용한 낙추식 충격시험법으 로 CFRP적층판에 충격을 가하여 낙추중의 응력파 전파를 고려하여 낙추 선단부의 하 중이력을 정확히 측정하는 방법을 제안했 다. 충격체의 변형률 응답으로부터 충격단 에 있어서의 하중을 2 게이지법을 이용하였 다

### 2.1 기초이론

먼저 하중 및 변위를 구하기 위해 봉중에 전달되는 응력파를 해석한다. 충격체인 봉

의 2부분의 변형률을 측정하고 역으로 경계 조건을 파동이론에 적용하여 결정한다. 부 가 질량을 충격체인 봉의 후단부에 설치한 다. 봉중에서는 응력파가 1차원의 파동 전 파 이론에 따르는 것으로 한다. 스트레인 게이지를 붙인 환봉을 자유 낙하시켜 CFRP 적층판에 충돌시키고 스트레인 게이 지의 출력으로부터 적층판에 가한 하중과 적층판의 변위를 산출한다. 봉의 길이, 단 면적, 영률 및 밀도를 각각 L, A, E 및 ρ 로 한다. 또 변형률의 측정 위치를 L<sub>1</sub>, 및 L<sub>2</sub>로 하고 좌표, 시간 및 변위를 각각 l, x, t 및 u로 한다. 충격체인 낙추 봉의 지배 방정식은 1차원 파동전파 이론으로부터 다 음과 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

여기서

$$c^2 = E / \rho \quad (2)$$

다음 초기조건을 이용하면 식(3)이 된다.

$$t=0 \quad : \quad u=0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -v_0 \quad (3)$$

일반해를 구하면 다음과 같다.

$$\bar{u}(p) = A_1 \exp(px/c) + A_2 \exp(-px/c) - v_0/p^2 \quad (4)$$

여기서 A<sub>1</sub> 및 A<sub>2</sub>는 경계조건에서구해지는 미정계수이다. 미정계수 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>은 다음과 같이 결정된다.

$$A_1 = \frac{C}{P} \frac{-\bar{\epsilon}_1 \exp(-pl_2/c) + \bar{\epsilon}_2 \exp(-pl_1/c)}{2 \sin h\{p(l_2 - l_1)/c\}}$$

$$A_2 = \frac{C}{P} \frac{-\bar{\epsilon}_1 \exp(pl_2/c) + \bar{\epsilon}_2 \exp(pl_1/c)}{2 \sin h\{p(l_2 - l_1)/c\}} \quad (5)$$

충격체가 시험편에 가하는 충격하중은 충격체의 환봉 부분과 시험편이 접하는 위치 ( $x = 0$ )에 있어서 압축력  $F(t)$ 이다. 또 하중점의 변위  $W(t)$ 는 낙추의 환봉의 선단부분과 시험편이 접하는 위치의 이동량이기 때문에 결국  $F$  및  $W$ 를 정의하여 라플라스 변환 영역에 있어서의 식(6)과 같이 충격하중  $F$  및 변형  $W$ 가 구해진다.

$$\bar{F}(p) = AE \frac{-\bar{\epsilon}_1 \sinh(p l_2 / c) + \bar{\epsilon}_2 \sinh(p l_1 / c)}{\sin h(p(l_2 - l_1) / c)}$$

$$\bar{W}(p) = \frac{c}{p} \frac{\bar{\epsilon}_1 \cos h(p l_2 / c) - \bar{\epsilon}_2 \cos h(p l_1 / c)}{\sin h(p(l_2 - l_1))} + \frac{\bar{v}_0}{p^2}$$

(6)

식(6)을 라플라스 역변환하면 시험편이 받는 충격하중과 시험편의 하중점에 있어서의 다음과 같이 시간의 함수인 하중을 구할 수 있다.

$$F(t) = -AE \left\{ \epsilon_1(t + l/2c) H(t + l/2c) + \epsilon_2(t - l/2c) H(t - l/2c) \right\}$$

(7)

여기서  $H(t)$ 는 헤비사이드의 스텝함수이다. 변위에 대해서 마찬가지로 파동의 중첩원리를 이용하여 풀면 닫혀진 형태로 구하는 것이 불가능하다. 그래서 수치적으로 라플라스 변환 및 역변환을 한다. 이상의 방법에 의해 충격체의 봉 부분의 변형률 응답으로부터 하중이력, 처짐이력을 구할 수 있다..

## 2.2 수치라플라스 변환 및 역변환

충격체의 충격하중 및 변위를 구하기 위하여 봉의 변형률  $\epsilon_1(t)$  와  $\epsilon_2(t)$  의 측정 데이터를 라플라스 변환하고 또한  $\bar{F}(p)$  및  $\bar{W}(p)$ 를 라플라스 역변환을 하였고, 연산의

고속화를 하기 위하여 고속 푸리에변환(FFT)의 알고리즘을 이용한 수치라플라스 변환법 및 역변환법을 적용하였다. 라플라스 변환 및 역변환식은 식 (8)에 나타냈다. 여기서  $p$ 는 라플라스 변환 파라메타이다.

$$\bar{F}(p) = \int_0^{\infty} F(t) \exp(-pt) dt$$

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} \bar{F}(\gamma+iw) \exp\{t(\gamma+iw)\} i dw$$

(8)

이산 푸리에 변환법에 의해 라플라스 변환식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\bar{F}(\gamma + in\Delta\omega) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} [F(k\Delta t) \exp(-\gamma k \Delta t)] \exp\{-i(2\pi/N)nk\}$$

$$F(k\Delta t) = \frac{\exp(\gamma k \Delta t)}{T} \sum_{n=0}^{N-1} [\bar{F}(\gamma + in\Delta\omega)] \exp\{i(2\pi/N)nk\}$$

(9)

이 급수식을 계산하는 것에 의해 시간영역의 값을 주파수 영역에, 또 주파수 영역의 값을 시간영역에 변환할 수 있다. 역시 데이터수  $\Delta t$ 는 측정치의 샘플링시간을 표시한다. 하중이력, 처짐이력을 구할 수 있다.

## 3. 실험방법

### 3.1 시험편의 형상

본 실험에서 이용한 CFRP 적층 시험편은 CF/Epoxy로 조합된 T300 및 T700섬유로 구성된 일방향 탄소섬유 프리프레그 시트(한국화이버, CU125NS-Carbon fiber Unidirection 125g/m<sup>2</sup>, No Scrim)를 적층한 후, 오토클레브를 이용하여 제작하였다. 적절한 섬유함유율과 원하는 시험편 크기에 따라 제작한 지그(200×200mm)를 사용하여 CFRP 적층판을 성형하였으며 경화온도인 125℃로 90분 경화하였다. 또한, 성형 후 CFRP 적층판을 잔류응력이 발생하

지 않도록 다이아몬드 커터를 이용하여 180×180mm의 정방형으로 절단했다. Table 1은 시험편명과 적층구성을 나타냈으며, Table 2은 탄소섬유의 제반특성이다. Table 3은 프리프레그시트의 특성을 나타냈다.

Table 1 Fiber stacking sequences of specimens

TYPE	Prepreg	Fiber carbon/matrix	Fiber stacking sequences
A	Cu125NS (T700)	T-700/Epox y#2500	[0 <sub>4</sub> °/90 <sub>4</sub> °]s
B	Cu125NS (T700)	T-700/Epox y#2500	[0 <sub>2</sub> °/45 <sub>2</sub> °/90 <sub>2</sub> ° /-45 <sub>2</sub> °]s
C	Cu125NS (T300)	T-300/Epox y#2500	[0 °/90 °]s
D	Cu125NS (T300)	T-300/Epox y#2500	[0 °/45 °/90 ° /-45 °]s

Table 2 Specification of the carbon fibers

	Carbon T-300	Carbon T-700
Tensile strength	3.41[Gpa]	4.81[Gpa]
Ten sile Modulus	232.5[Gpa]	229[Gpa]
Breaking Elong ation	1.7%	2.1%
Mass Density	1.70[g/cm <sup>3</sup> ]	1.80[g/cm <sup>3</sup> ]

Table 3 Specification of the prepreg sheet

	CU125NS(T-300)	CU125NS(T-700)
Tensile strength	1.85[Gpa]	2.53[Gpa]
Tensile modulus	132[Gpa]	138[Gpa]
Compressive strength	1.03[Gpa]	1.54[Gpa]
Compressive modulus	107[Gpa]	112.2[Gpa]
Poissons ratio	0.30	0.30

### 3.2 충격시험

낙추식 충격시험 장치는 낙추의 정확한 충격위치와 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. 충격체는 낙추 I (0.48kg), 낙추 II (0.74kg), 낙추 III (1.29kg) 및 낙추 IV (1.57kg)의 4종류로  $\phi 10 \times 600$ mm의 연강 환봉을 사용하고 선단부는 지름 14mm 곡면으로 했다. 또한, 하중 검출부에 스트레인 게이지를 낙추길이를 3등분한 2개 부분에 중심축에 대칭되도록 2매 붙이고, 굽힘 변형의 영향이 없도록 하기 위해서 직렬로 연결시켰다. 낙추를 Fig. 2에 나타냈다. 또한, 본 연구에서는  $\phi 150$ 의 구멍이 있는 180×180×10mm의 연강제 정방형판으로 지지상자를 만들고 방향성이 없도록 구멍  $\phi 150$  윗면 상·하판 사이에 시험편을 끼워 실험을 했다. 시험편에 작용하는 충격하중은 낙추에 부착된 스트레인게이지의 출력으로부터 프로그램에

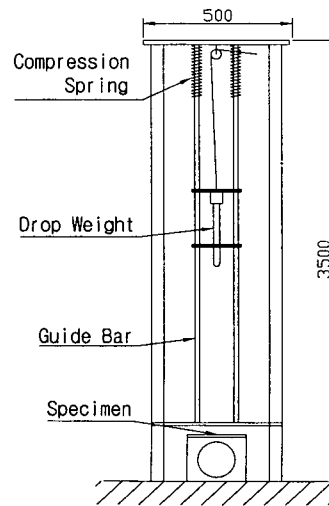


Fig. 1 Schematic diagram of falling weight tester

그 변형률을 입력하여 하중으로 환산하였다. 변위의 측정에는 낙추에 부착한 표적의 이동을 광학식 변위계(Zimmer, 100F)를 사용하여 측정한다. 이 측정시스템은 Fig. 3과 같다.

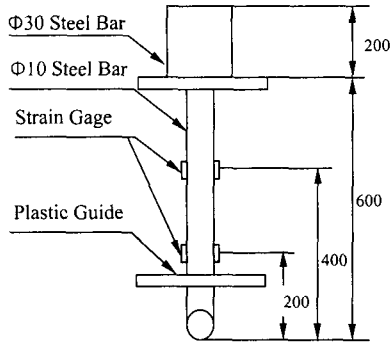
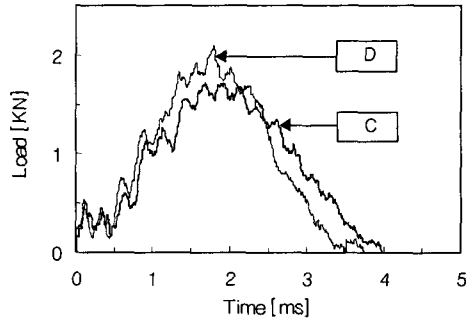


Fig. 2 Schematic diagram of falling weight



(a) Load history

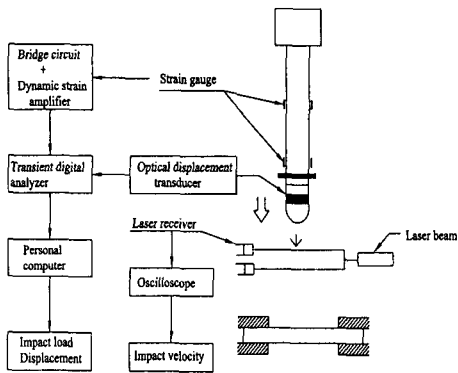
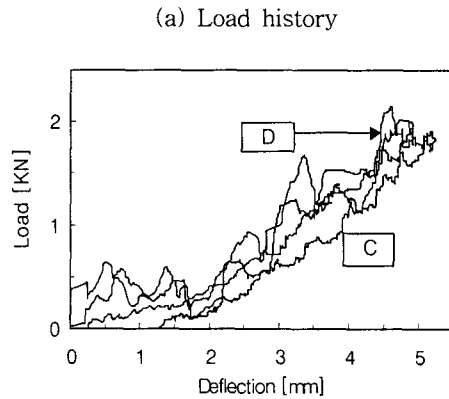


Fig. 3 Measurement system



(b) Load-displacement curve

Fig. 4 Falling-weight test of specimens C and D (impact energies : 4.1J and 4.2J)

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 섬유배향차에 따른 영향

#### 4.1.1 T300섬유를 사용한 경우

본 실험에서는 낙추식 충격시스템을 제작하여 충격시에 충격하중 및 광학식 변위계를 이용해 변위를 측정하여 시험편의 흡수 에너지를 평가한다. 따라서 낙추를 CFRP 적층판에 충격을 가할 때 CFRP의 섬유배향, 섬유강도 및 낙추질량에 따라 하중, 변위, 흡수에너지의 특성을 고찰하였다. 이 때

충격에너지는 낙추의 질량과 충격의 속도를 이용하여 구할 수 있었으며, 충격시 시험편에 흡수된 에너지는 하중-변위선도에서 폐곡선의 면적으로 구한다. Fig. 4은 낙추를 이용하여 낙추 충격시험 결과를 하중과 시간, 하중과 변위 곡선으로 나타냈다. Fig. 4는 충격에너지가 대략 4.1J 및 4.2J 인 경우의 시험편 C 및 D의 흡수에너지이다. 이때 시간과 하중선도를 보면 상당한 노이즈처럼 보이는 것은 섬유가 파단되면서 나타난

현상이라고 생각된다.

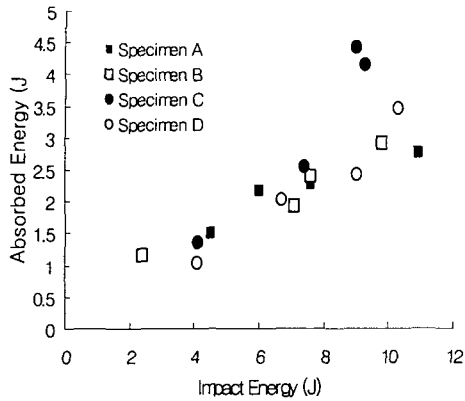


Fig. 5 Relation between absorbed energy and impact energy (A, B, C and D)

그리고 Fig. 5는 시험편 A,B,C,D의 충격에너지와 흡수에너지의 관계를 나타냈다.

Fig. 6은 낙추높이 3500mm에서 낙추무게 0.48kg 및 낙추II 0.74kg를 이용해 T300 섬유종류와 적층수가 같고 적층방향이 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. 그림중 □표는 직교이방성 적층재 시험편 C, ■표는 의사등방성 적층재 시험편 D를 나타냈다. 대략 충격에너지가

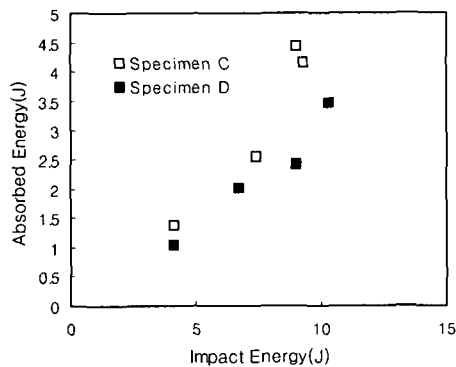


Fig. 6 Relation between absorbed energy and impact energy(C, D)

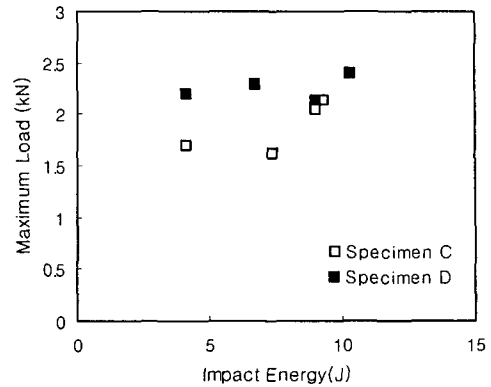


Fig. 7 Relation between maximum load and impact energy(C, D)

4J에서 7J까지의 흡수에너지는 크게 차이는 나타나지 않았지만 7J 이상에서는 다소 직교이방성 시험편 C가 크게 증가 하였다. Fig.7은 충격에너지크기에 따른 최대 충격하중을 나타냈다. 직교이방성 시험편C는 충격에너지가 증가함에 따라서 낙추 충격하중이 약간 증가 하였지만, 의사등방성 시험편 D는 증가하지 않음을 알 수 있었다.

#### 4.1.2 T700섬유를 사용한 경우

Fig. 8은 T700섬유종류와 적층수가 같고 적층방향이 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. 그림중 □표는 직교이방성 적층재 시험편 A, ■표는 의사등방성 적층재 시험편 B를 나타냈다. 그리고 낙추높이 3500mm에서 낙추무게 0.48kg 및 낙추II 0.74kg를 이용했다. 시험편 A 및 B 모두 충격에너지가 증가함에 따라 흡수에너지가 선형적으로 증가하였다. 그러나 충격에너지와 흡수에너지의 차이가 크게 나타나지 않았다. T300 섬유를 사용한 경우

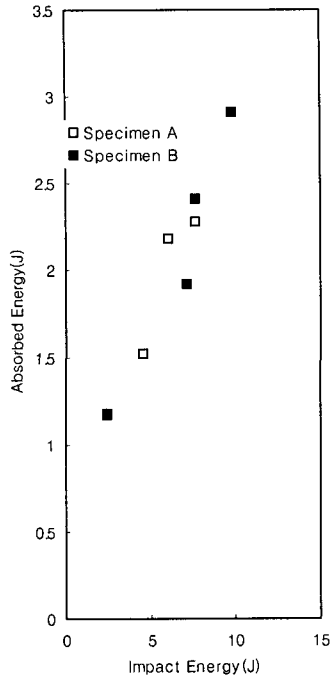


Fig. 8 Relation between absorbed energy and impact energy(A, B)

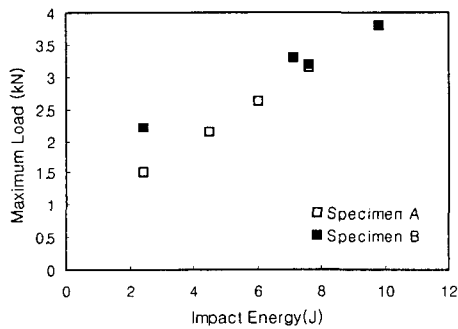


Fig. 9 Relation between maximum load and impact energy(A, B)

에는 직교이방성 시험편 C가 의사등방성 시험편 D보다 충격에너지가 증가함에 따라 흡수에너지도 증가하였지만 T700섬유를 사

용한 경우에는 별다른 차이가 나타나지 않았다. 이는 섬유의 강도가 충격에너지와 흡수에너지에 크게 영향을 미쳤기 때문이라 생각된다. Fig. 9는 충격에너지 크기에 따른 최대 충격하중을 나타냈다. 시험편 A 및 B는 충격에너지가 증가함에 따라 낙추충격하중도 선형적으로 증가 하였다.

## 4.2 섬유강도에 따른 영향

### 4.2.1 직교이방성의 경우

본 실험에서는 프리프레그시트의 압축강도가 다른 T300섬유와 T700섬유를 사용하였다. 이때 T300섬유는 1.03GPa이고 T700섬유는 1.54GPa이다. 우선 Fig. 10은 적층배향과 적층수는 같고, 섬유종류가 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. 그림중 □표는 T300섬유를 이용한 적층재 시험편 C, ■표는 T700섬유를 이용한 직교이방성 적층재 시험편 A를 나타냈다. 그리고 낙추높이 3500mm에서 낙추무게 0.48kg 및 낙추II 0.74kg를 이용했다. 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 미쳤기 때문이라 생각된다. 따라서 동일한 적층배향의 경우에 강도가 높은 섬유를 사용하여도 충격에너지에 따른 흡수에너지 크게 영향을 미치지 못하였다. Fig.11는 시험편 C 및 A의 충격에너지와 최대충격강도를 나타냈다. 특히, 시험편 A는 선형적인 관계를 나타남을 알 수 있었다.

### 4.2.2 의사등방성의 경우

Fig. 12는 낙추높이 3500mm에서 낙추무



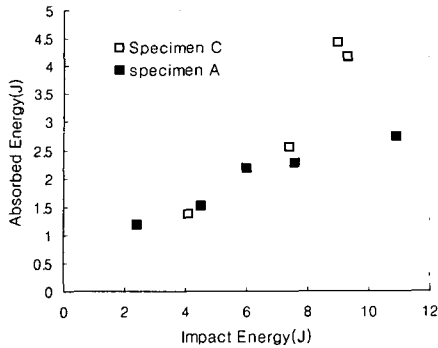


Fig. 10 Relation between absorbed energy and impact energy(C, A)

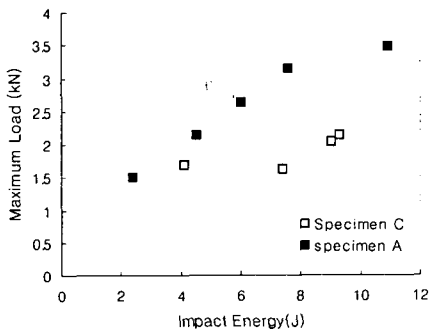


Fig. 11 Relation between maximum load and impact energy(C, A)

계 0.48kg 및 낙추II 0.74kg를 이용했으며, 적층배향과 적층수는 같고, 섬유종류가 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. 그림중 □표는 T300섬유를 이용한 의사등방성 적층재 시험편 D, ■표는 T700섬유를 이용한 의사등방성 적층재 시험편 B를 나타냈다. Fig.12로부터 초기에는 T700섬유를 이용한 시험편 B의 흡수에너지가 T300섬유를 이용한 시험편 D보다 크게 나타났지만 충격에너지가 증가함에 따라서

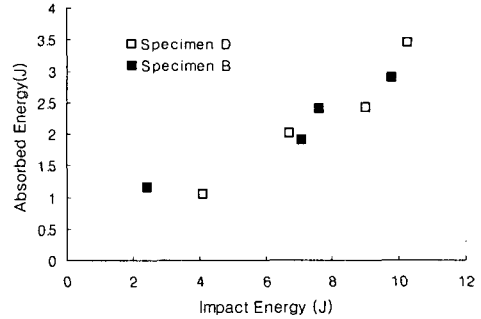


Fig. 12 Relation between absorbed energy and impact energy(D, B)

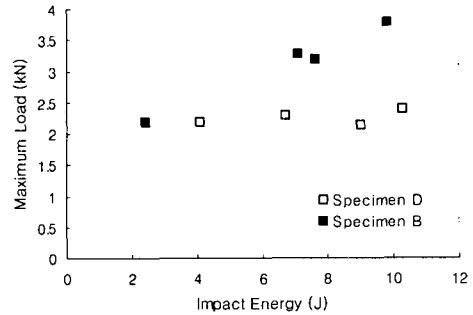


Fig. 13 Relation between maximum load and impact energy(D, B)

크게 나타나지 않음을 알 수 있었다. Fig. 13은 충격에너지크기에 따른 최대충격하중을 나타냈다. 시험편 B는 선형적인 관계를 나타냈지만 시험편 D는 충격에너지에 따라 흡수에너지가 약간 증가하였다.

### 4.3 낙추질량에 따른 흡수에너지관계

#### 4.3.1 섬유강도의 영향

충격에너지와 흡수에너지관계의 영향을 고찰하기 위하여 낙추의 낙하높이 3500mm에서 충격체의 낙추 I (0.48kg), 낙추 II

(0.74kg), 낙추Ⅲ(1.29kg) 및 낙추Ⅳ(1.57kg)의 4종류를 각각 이용하였다. Fig. 14는 적층배향과 적층수는 같고 섬유종류가 다른 CFRP 적층판의 낙추 충격시험 결과를 나타냈다. 그림중에는 직교이방성 시험편 C는 T300의 섬유를 이용하였고, 직교이방성 시험편 A는 T700의 섬유를 사용하였다. 초기에는 시험편 C 및 A 모두는 큰 차이는 나타나지 않았지만 충격에너지가 증가함에 따라 즉 낙추의 질량을 증가 시킴으로써 T300섬유를 이용한 시험편 C가 크게 증가하였다. 또한 시험편C와 A의 충격에너지가 동일한 7J 및 10J 근방에서 시험편 C의 흡수에너지가 훨씬 크게 나타났다. 낙추의 질량이 큰경우가 충격손상에 영향을 미칠 수 있었다. 그리고 시험편 C의 커브피팅식  $y=2.81716\ln(x)-2.2867$  및 시험편A는  $y=2.1468\ln(x)-1.9329$ 를 얻을 수 있었다. 이는 섬유강도가 높은 T700섬유를 이용한 시험편 A보다 섬유강도가 낮은 T300섬유를 이용한 시험편 C가 보다 많은 변형을 수반하였고 또한 시험편 C가 섬유의 일부분이 파손이 되었기 때문이라 사료된다.

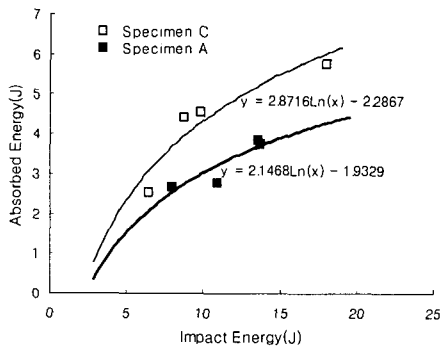


Fig. 14 Relation between absorbed energy and impact energy(C, A)

#### 4.3.2 적층구성의 영향

Fig.15는 T300섬유와 적층수는 같고, 적

층배향이 다른 CFRP 적층판의 낙추 시험 결과이며 낙추에 질량을 추가하여 충격에너지와 흡수에너지에 따른 영향을 고찰하였다. 그림중에는 동일한 T300섬유를 이용한 시험편 C는 직교이방성이고, 시험편 D는 의사등방성이다. 초기에는 시험편 C 및 D의 충격에너지와 흡수에너지가 크게 차이가 나타나지 않았지만 낙추의 질량을 증가시킴으로써 충격에너지가 대략 8J 이상이 되면서 시험편 C가 의사등방성 시험편 D 보다 흡수에너지가 크게 차이가 나타났다. 이는 낙추 충격시에 0/90으로 구성된 직교이방성 시험편이 의사등방성 시험편보다 많은 변형이 수반이 되어 충격에너지에 따른 흡수에너지가 증가하였고 사료된다. 또한 낙추의 질량을 추가하여 시험한 결과 충격에너지에 따른 흡수에너지가 현저하게 변화됨을 알 수 있었다.

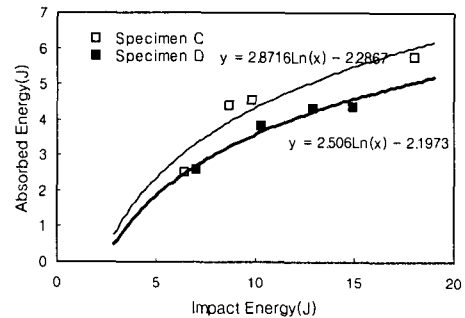


Fig. 15 Relation between absorbed energy and impact energy(C, D)

### 5. 결론

본 연구에서는 CFRP 적층판의 충격시험 장치로 낙추식 충격시험장치를 제작하고, 섬유배향, 섬유강도 및 낙추질량을 변화시킨 각각의 적층판에 따른 충격실험을 행한 후 적층판의 흡수에너지와 섬유배향, 섬유강도 및 낙추질량의 상관관계를 고찰하여

다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 낙추의 충격과현상을 고려하여 CFRP 적층판의 평가시스템을 제작가능 하였다.
- 2) 섬유종류와 적층수가 같고 적층배향이 다른 T300섬유를 이용한 직교이방성 시험편이 의사등방성 시험편보다 흡수에너지가 증가하였지만 T700섬유를 이용한 경우에는 그다지 큰 변화가 없었다.
- 3) 적층배향과 적층수는 같고 섬유종류가 다른 T300섬유를 이용한 직교이방성 시험편은 T700섬유를 사용한 직교이방성 시험편보다 흡수에너지는 크게 증가하였지만 의사등방성 시험편에는 큰 차이가 나타나지 않았다. 이는 의사등방성으로 구성된 적층배향이 섬유종류의 영향은 크게 미치지 않기 때문이라 사료된다.

## 후 기

이 논문은 우석대학교 교내학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- 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) MA C.C.M., HUANG Y.H.,and CHANG M.J., "Hydrothermal effect on the PEEK/C.F.and pp.s/c.F.under Impact Loading(I)",ANTEC, pp.2029-2096,1991.
- 5) 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, pp.151-161, 1985.
- 6) 田中吉 え助, 黒川知明ら, "横衝擊を受けるCFRP板の損傷と残留曲げ強度",

日本航空宇宙學會誌 第37券 第25號, pp.29-36, 1989.

- 7) D. S. Cairns and P. A. Lagace, "Residual Tensile Strength of Graphite/Epoxy and Kevlar/Epoxy Laminates with Impact Damage", Composite Materials: Testing and Design, Vol. 9, ASTM STP 1059, Philadelphia, pp.48-63, 1990.
- 8) A. Rotem and H. G. Nelson, "Residual Strength of Composite Laminate Subjected to Tensile-Compressive Fatigue Loading", Journal of Composites Technology & Research, Vol. 12, No. 2, pp.76-84, 1990.
- 9) W. J. Cantwell and J. Morton, : "Detection of Impact Damage in CFRP Laminates," Composite Structures, Vol. 3, pp.241-257, 1985.
- 10) W. J. well, P. T. Curtis and J. Morton : "An Assessment of the Impact Performance of CFRP Reinforced With High-strain Carbon Fibers," Composites Science and Technology, 25: pp.133-148, 1986.
- 11) M. D. Rhodes : "Impact Tests on Fibrous Composite Sandwich-Structures," NASA A TM-78755, 1978.
- 12) M. D. Rhodes, J. G. Williams and J. H. Starnes : "Effect of Filamentary-Composite Hat-Stiffened Panels," "Society for the Advancement of Material and Process Engineering," 23, 300, 1978.
- 13) J. H. Starnes, M. D. Thodes and J. G. Williams : "The Effect of Impact Damage and Circular Holes on the Compression Strength of a Graphite-Epoxy Laminate," NASA TM-78796, 1978.