

## 자동차용 경량화 A17075 / CFRP 샌드위치 패널의 강도와 충격손상 특성

윤한기<sup>†</sup> · 이종호\* · 박이현\* · 이제현\*\*

### Strength and Impact Damage Characteristics of A17075/CFRP Sandwich Panel by Using Automobiles

Han Ki Yoon, Jong Ho Lee, Yi Hyun Park and Je Heon Lee

**Key Words:** A17075/CFRP Sandwich Composite (CARALL), CFRP (탄소섬유강화 복합재료), Volume Friction (체적함유량), Fiber Orientation (섬유배열방향), Tensile Strength (인장강도), Impact Damage (충격손상)

#### Abstract

To establish an optimum condition in the surface treatment and curing process will be an important parameters for the fabrication of multilayered hybrid composite materials, A17075/CFRP (CARALL : carbon fiber reinforce aluminum laminates). Effects of carbon fiber direction and thickness variation in tensile strength were investigated. And impact damage behavior of carbon fiber reinforce plastic (CFRP) and CARALL were investigated also, it was found that a partial stress increase in order of epoxy adhesive, A17075, CFRP. And the partial stress of CFRP carried out a great portion of applied stress. The impact damage resistance of CARALL was higher than that of CFRP. This is because both side Al sheet of CARALL absorb a great of impact damage.

#### 1. 서 론

항공우주, 조선 및 자동차 분야 소재에서 많은 관심을 보이고 있는 열경화성 수지기지 복합재료는 일반 금속재료와 비교 시 뛰어난 비강도, 내식성 및 진동 감쇄능을 가지며 열전도율이 낮고 탁월한 피로강도를 가지고 있어 소형항공기와 자동차에서는 거의 모든 부분에 복합재료를 사용하여 설계 및 제작이 시행되고 있고 군용기에는 약 25%, 대형항공기에는 약 15% 이상이 적용되고 있

으며 자동차 경량화를 위한 제품개발이 시도되고 있다.<sup>1,2)</sup> 이와 관련된 최근 연구보고에 의하면 2005년까지 미 공군 전투기 기체중량의 50%까지 복합재료화 한다는 계획이 추진되고 있으며 그 중에서 Glass/Epoxy 및 탄소섬유/에폭시 수지 복합재료가 날개와 동체주요부분을 포함하여 대부분의 구조재에 사용될 것으로 전망된다.<sup>3,4)</sup> 그러나 뛰어난 비강도, 치수안정성, 내피로 특성을 지닌 탄소섬유 복합재료도 일반적으로 취성을 지니는 열경화성 고분자 기지재에 의해 충격강도 및 손상허용성을 감소시키며 흡습성, 광민감성은 복합재료의 수명을 저하시킨다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위해 최근 AI과 수지기지 복합재의 적층 소재가 많은 관심을 가지고 있다.<sup>5~8)</sup>

본 연구와 관련된 항공기용 기체재료에 많이 사용되고 있는 AI 7075판재 및 CFRP(carbon fiber reinforced plastics) 적층 소재를 최적 전처리에 따른 제조의 특성<sup>9)</sup>을 연구한 바 있다. 따라서 본

<sup>†</sup> 동의대학교 기계·산업시스템공학부

E-mail : hkyoon@dongeui.ac.kr

TEL : (051)890-1642 FAX : (051)890-2232

\* 동의대학교 기계공학과 대학원

\*\* 국방품질관리소

연구에서는 이러한 소재를 대상으로 기본 물성인 섬유배열방향과 두께변화에 대한 강도변화의 고찰과 고속주행중의 이물질 충돌이나 우박의 영향, 자동차 구조물 조립 및 정비작업중 발생하는 공구낙하 등으로 인한 강도저하 특성을 파악하기 위해서 충격손상에 의한 압축강도특성을 연구하였다. 이러한 결과는 향후 자동차 경량화 소재 국산화를 위한 기초자료로 삼고자 하는데 목적을 두고 있다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2.1 시험편 제조

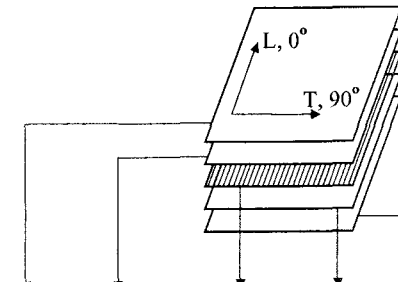
본 연구에 사용된 하이브리드 복합재료는 일방향 탄소섬유판재에 인산 양극 산화피막 처리(PAA)된 알루미늄 클래드판을 필름형태의 접착제를 사용하여 양측 면에 부착하고 경화하여 접합시킨 것이다. 이 재료를 편의상 CARALL (carbon fiber reinforced aluminum laminates)로 명명하였다. 하이브리드 복합재료 (CARALL)의 제작에는 미국 KAISER사의 두께 0.25mm Al 7075-T6 클래드재와 미국 Cytec사의 FM300M nonwoven carrier 접착필름 및 미국 Hexel사의 F584-4 일방향 탄소/에폭시 프리프레그를 사용하였다.

전처리 조건 및 경화조건 결정 후 섬유배열 방향과 섬유두께의 영향을 고찰하기 위해 알루미늄과 이방성 재료인 탄소/에폭시 라미네이트를 L(0°) 방향과 45°, T(90°) 방향으로 배열하여 섬유배열 방향에 따른 인장강도와 충격손상의 변화를 조사하고, 그리고 탄소/에폭시 라미네이트를 2, 4, 6, 8ply 두께로 각각 제조하여 섬유두께 변화에 따른 CARALL 시험편을 Table 1과 같이 제작하였다. Table 1에서 상단의 그림은 CARALL 시험편의 적층 구조를 나타낸다. Fig. 1은 접착 필름을 이용하여 제조한 Al과 탄소/에폭시 복합소재의 단면을 나타낸다.

### 2.2 인장시험

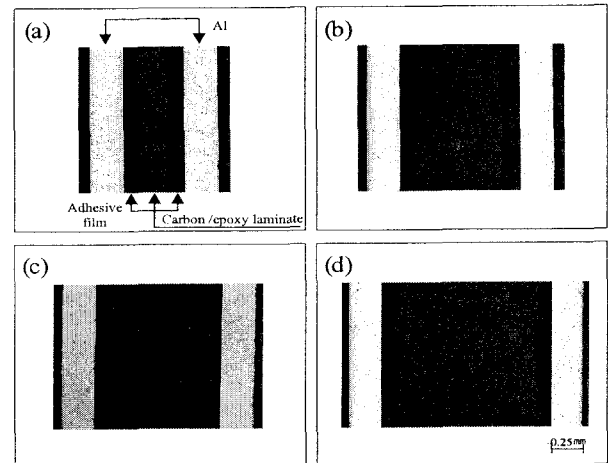
인장시험은 10ton용량의 유압식 피로시험기(MTS-810)를 사용하여 실시하였다. 시험형상과 치수는 ASTM D638을 따랐으며 시험가공은 밀링가공에 따른 시험손상을 막기 위해 다이아몬드휠

**Table 1** Schematic structure of Al 7075 / carbon - epoxy hybrid specimen



Matl. / Spec.	Al sheet	Adhesive film	Carbon/epoxy laminate	Adhesive film	Al sheet
CARALL 2 ply	Al 7075	FM 300M	F584-4 L(0°)*, 45°, T(90°) 2 ply	FM 300M	Al 7075
CARALL 4 ply	Al 7075	FM 300M	F584-4 L(0°), 45°, T(90°) 2 ply	FM 300M	Al 7075
CARALL 6 ply	Al 7075	FM 300M	F584-4 L(0°), 45°, T(90°) 2 ply	FM 300M	Al 7075
CARALL 8 ply	Al 7075	FM 300M	F584-4 L(0°), 45°, T(90°) 2 ply	FM 300M	Al 7075

The L(0°) direction for CARALL is defined to the fiber direction.



**Fig. 1** Macroscopic appearances of CARALL specimen with various carbon / epoxy laminate thickness.

- (a) 2 ply carbon/epoxy laminate
- (b) 4 ply carbon/epoxy laminate
- (c) 6 ply carbon/epoxy laminate
- (d) 8 ply carbon/epoxy laminate

을 이용하여 커팅하였다. 시험에 사용한 인장시험편의 종류는 CARALL재의 비교시험편으로써 L(0°) 방향과 45°, T(90°) 방향으로 채취한 Al 7075-T6 시험편 과 L(0°) 방향과 45°, T(90°) 방향의 uni-direction 탄소/에폭시 (CFRP)복합재 그리고 L(0°) 방향과 45°, T(90°) 방향으로 각각 2, 4, 6, 8ply의 CARALL 시험편 등 모두 18종류를 Fig. 2와 같이 준비하였다.

### 2.3 충격손상 및 압축시험

CARALL재의 충격저항을 측정하기 위해 탄소 섬유 복합재료의 층간 강인화도 측정에 많이 사용되고 있는 CAI (compression ultimate test after impact) 실험을 수행하였다. CAI 시험은 압축시험 전 충격손상시험이 수행되는데 이것은 항공기 및 자동차 구조물의 조립에서나 복합재 구조물의 사용 시 발생하는 사고, 즉 작업 중 공구를 떨어뜨린다든지 구조물에 총알과 같은 것이 맞는다든지 고속비행중인 항공기에 새가 부딪힌다든지 고속주행에서 다른 물질의 충격 시 충격에너지를 흡수할 수 있는 성능을 평가하기 위해 사용된다. 탄소/에폭시 복합재료는 여러 면에서 그 우수성이 입증되고 있으나, 그 중에 가장 취약한 점으로 충격에 약하다는 것이다. 따라서 본 실험에서는 Al판재의 접착유무에 따른 충격저항 변화를 고찰하기 위해 Al판재를 탄소 섬유판재에 접착한 형태인 CARALL소재와 기존소재인 탄소섬유 적층판을 제조, Fig. 3과 같이 제작하여 impact damage 영향을 비교 파악하고 impact damage에 의해 발생하는 압축강도를 고찰하였다.

충격시험장비는 미국 General Research사의 drop 식 Dynatup 8250을 사용하였다. 또 충격 후 시험편의 damage 면적을 미국 McDonnell Douglas사 AUSS-V C-SCAN장비를 이용하여 측정하였다. CAI 시험편의 lay-up pattern은 [+45 / 0 / -45 / 90]4s와 같고 가로 100mm × 세로 150mm 크기로 시험편을 제작한 후 Fig. 4 (a)와 같이 장착하여 충격손상시험을 실시하였으며, C-SCANNING하여 손상을 측정하고, Fig. 4 (b)와 같이 장착하여 압축시험을 실시하였다.

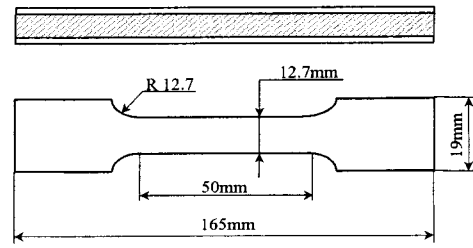


Fig. 2 Configuration of tensile specimen for CARALL materials.

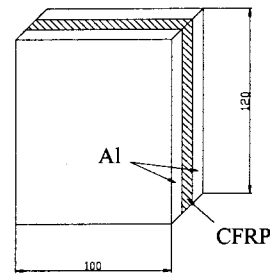
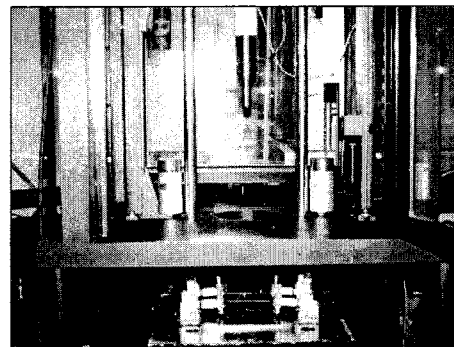
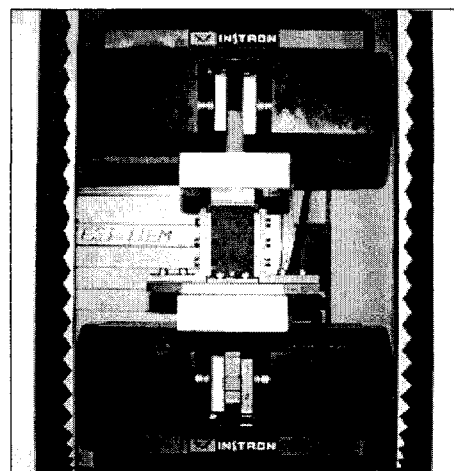


Fig. 3 Impact damage test specimen



(a) Impact instrument



(b) Compression ultimate test

Fig. 4 Impact and compression test instrument

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Al7075/CFRP 복합재의 섬유배열 방향과 두께영향

Fig. 5는  $L(0^\circ)$  방향에 대한 CFRP, AL, CARALL 소재의 인장강도 결과를 종합적으로 보여준다. 여기서 CARALL 소재는 AL과 CFRP의 중간강도를 가져 복합법칙을 잘 만족하며 탄소섬유 라미네이트에 의한 강도상승 효과는 4ply 이상을 사용했을 경우 뚜렷해짐을 잘 알 수 있다. Table 2는 Al 7075-T6 alclad판의 압연방향에 따른 기계적 성질, 일방향 탄소섬유 복합재(CFRP)의 섬유배열방향에 따른 기계적 성질 및 CARALL재의 섬유배열 방향과 두께 변화에 따른 기계적 성질의 실험결과를 나타낸 것이다. 여기서 Al 7075-T6 alclad 소재의 경우 인장시험 방향과 압연방향이 평행한  $L(0^\circ)$  방향이  $45^\circ$  나  $T(90^\circ)$  방향에 비해 약간 높은 인장강도값을 나타내나 거의 비슷한 수준으로 등방성을 나타내고 있다고 할 수 있다. 그러나 CFRP의 경우 일방향 재질임에 따라 방향에 따라 극단적으로 인장강도 값의 차이가 나타남을 알 수 있다. 즉  $L(0^\circ)$  방향에서는 알루미늄에 비해 3.5배 이상의 높은 강도 값을 나타내나,  $45^\circ$  방향 및  $T(90^\circ)$  방향에서는 오히려 1/10이하로 저하하여 전형적인 이방성 재질임을 알 수 있다.

Al 판재사이에 2, 4, 6, 8ply의 탄소섬유를 적층하여 제조한 CARALL 복합재의 경우에도 이방성의 경향을 나타내며 CFRP의 두께가 두꺼울수록 이방성이 심해졌는데 이는 CARALL재의 주응력을 담당하는 일방향 CFRP의 이방성 영향인 것으로 생각된다. 그리고 Table 2에서 CARALL 소재의  $L(0^\circ)$  방향의 인장강도는 기존 Al소재에 비해 상당히 많이 증가하였음을 알 수 있다. 즉

2ply의 경우 117%, 4ply의 경우 175%, 6ply의 경우 214%, 8ply의 경우 233%의 강도 상승효과가 있음을 알 수 있으며 특히 4ply 이상의 탄소섬유 라미네이트를 사용하였을 경우 그 효과가 뚜렷해지는 것을 알 수 있다. 이는 2ply의 탄소섬유 라미네이트를 사용하였을 경우 CARALL소재에 대한 인장강도 기여도가 크지 않고 그 이상을 사용할 경우에 강도상승효과가 나타남을 알 수 있다. 그러나  $45^\circ$  방향 및  $T(90^\circ)$  방향으로 인장시험하였을 경우에는 순수한 Al소재보다 오히려 낮은 강도 값을 나타낸다. 이것은 인장방향에 대해서  $45^\circ$  또는  $T(90^\circ)$  방향으로 배열된 CARALL소재의 탄소섬유는 순수한 CFRP의 경우와 마찬가지로 인장강도 상승에 거의 기여하지 못하고 오히려 단면적 증가효과만 가져와 강도하락의 주원인으로 작용하기 때문으로 판단된다.

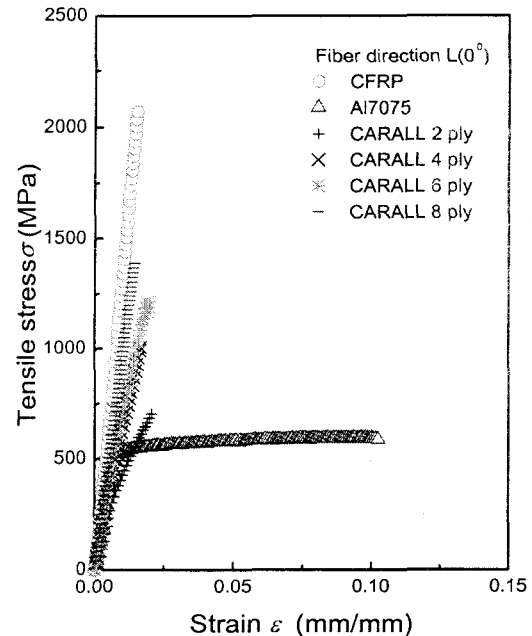


Fig. 5 Stress-strain curve of Al7075, CFRP and CARALL

Table 2 Mechanical properties of Al7075-T6, CFRP and CARALL

Specimen	Prop.	Tensile strength (MPa)			Strain (mm/mm)			Elastic modulus (GPa)		
		$L(0^\circ)$	$45^\circ$	$T(90^\circ)$	$L(0^\circ)$	$45^\circ$	$T(90^\circ)$	$L(0^\circ)$	$45^\circ$	$T(90^\circ)$
Al 7075-T6		573.72	556.30	546.49	0.146	0.136	0.130	69.77	66.87	60.82
CFRP		2013.49	55.66	40.49	0.0149	0.0043	0.0039	136.06	12.92	8.49
CARALL	2ply	671.52	270.64	255.80	0.0209	0.0417	0.0604	58.64	39.68	39.24
	4ply	1005.79	232.17	220.96	0.0120	0.0178	0.0362	87.05	37.19	31.46
	6ply	1225.98	205.46	190.05	0.0202	0.0219	0.0300	90.51	33.01	28.49

### 3.2 CFRP 및 CARALL 복합재의 충격손상 거동

Fig. 6, 7은 충격시험용으로 별도로 제작한 탄소섬유 복합재(CFRP) 및 CARALL 복합재에 대해 먼저  $0\text{ N}\cdot\text{m}$ ,  $2.8\text{ N}\cdot\text{m}$ ,  $5.6\text{ N}\cdot\text{m}$ ,  $8.4\text{ N}\cdot\text{m}$ ,  $11.2\text{ N}\cdot\text{m}$ 의 충격하중을 가한 후 시편 내부의 손상여부를 초음파 탐상장비인 C-SCAN 장비를 이용하여 촬영한 결과이다. Fig. 6 (a)는 순수한 탄소섬유 복합재의 하중을 가하기 전의 무손상 상태를 나타내며, Fig. 6 (b)는  $2.8\text{ N}\cdot\text{m}$ 의 충격하중 적용으로 시편의 표면에 압입체의 충격자국만 남아 있는 형상을 보여준다. Fig. 6 (c)는  $5.6\text{ N}\cdot\text{m}$  충격적용으로 대각선으로 조금씩 손상영역이 증가되며, Fig. 6 (d)는  $8.4\text{ N}\cdot\text{m}$  충격적용으로 거의 전 대각선영역으로 손상된 상태를 보여준다. Fig. 6 (e)는  $11.2\text{ N}\cdot\text{m}$  충격적용으로 손상영역의 폭이 크게 확대되는 양상을 보여 충격하중이 증가함에 따라 비례적으로 손상영역이 증가함을 알 수 있었다. 그러나 Fig. 7에서 탄소섬유 복합재의 양면에 AI 판재를 접착한 CARALL재의 경우 압입체의 형상이 조금씩 커나가는 형태만 보였을 뿐 대각선 형태로는 크게 손상이 가지 않아 AI의 접착으로 인해 압입체의 충격하중을 상당부분 흡수하는 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 이것은 CARALL재의 양측면에 부착된 AI에 의해 충격하중의 상당부분이 흡수되어 충격하중의 증가에도 불구하고 압입체의 형상만 조금씩 증가할 뿐 CFRP재의 대각선 형태의 손상은 나타나지 않았다. 이것은 CFRP 소재에 비해 높은 충격저항을 갖고 있음을 입증하고 있다.

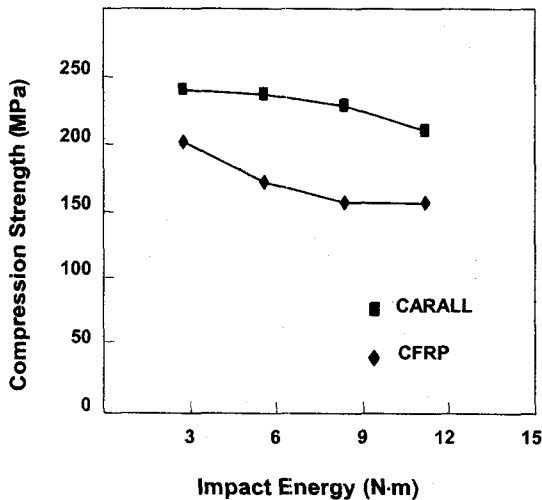


Fig. 8 Compression strength after impact

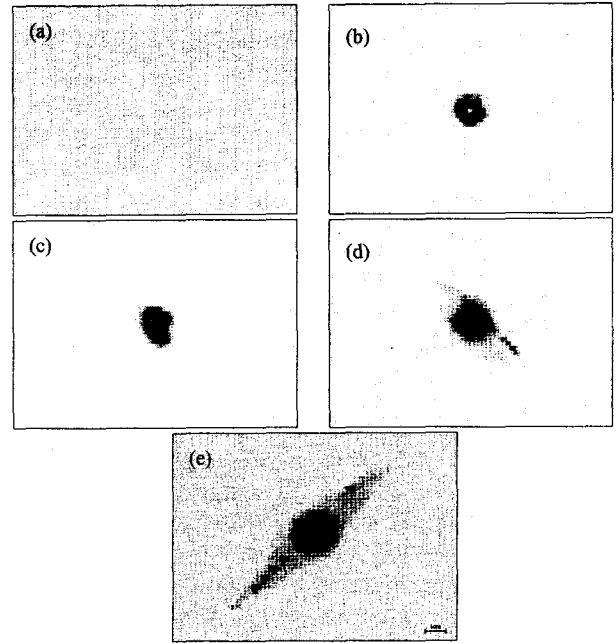


Fig. 6 C-SCAN of CFRP after impact

- (a)  $0\text{ N}\cdot\text{m}$
- (b)  $2.8\text{ N}\cdot\text{m}$
- (c)  $5.6\text{ N}\cdot\text{m}$
- (d)  $8.4\text{ N}\cdot\text{m}$
- (e)  $11.2\text{ N}\cdot\text{m}$

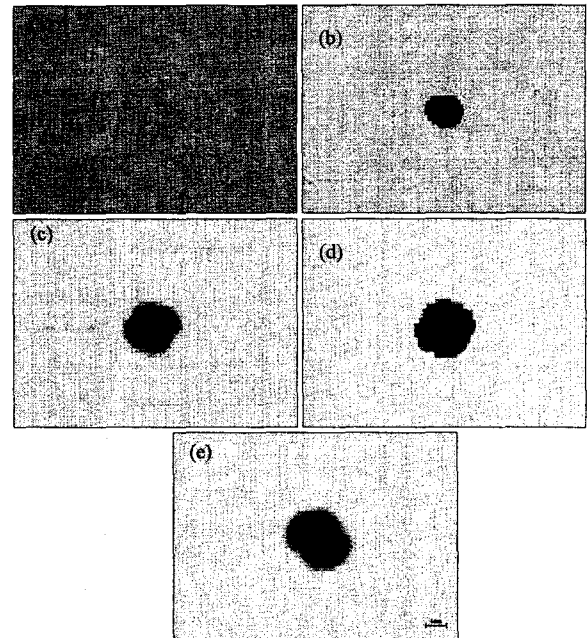


Fig. 7 C-SCAN of CARALL after impact

- (a)  $0\text{ N}\cdot\text{m}$
- (b)  $2.8\text{ N}\cdot\text{m}$
- (c)  $5.6\text{ N}\cdot\text{m}$
- (d)  $8.4\text{ N}\cdot\text{m}$
- (e)  $11.2\text{ N}\cdot\text{m}$

### 3.3 충격손상과 압축강도와의 관계

Fig. 8은 Fig. 6, 7의 충격을 가한 후 재 압축하였을 때의 강도변화를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 CARALL소재는 충격하중이 증가하여도 소재의 손상정도가 크게 늘어나지 않아 압축강도 저하가 비교적 적은 편이다. 그러나 순수 탄소섬유(CFRP) 적층판의 경우 충격하중 증가에 따라 섬유손상정도가 증가하여 압축하중 적용 시 강도저하가 비교적 많은 편이다. 그리고 충격하중 전반에 걸쳐 CARALL소재가 탄소섬유 적층판인 CFRP소재에 비해 높은 압축강도를 나타내어 외부손상에 대해 CARALL소재가 높은 충격저항을 나타냄을 알 수 있었다.

## 4. 결론

(1) 박판의 Al 판재 및 유리섬유대신 접착필름을 사용함으로써 강도가 우수한 CARALL 복합재를 제조할 수 있었으며, 탄소섬유 라미네이트에 의한 강도상승효과는 0.13 mm 두께의 F584-4 탄소 프리프렉을 4 ply 이상 사용할 경우 뚜렷해짐을 알 수 있었다.

(2) 충격시험결과 CARALL 복합재는 압입체의 형상이 조금씩 커져가는 형태만 보였을 뿐 대각선 형태로는 크게 손상이 가지 않았고, CFRP소재에 비해 높은 충격저항을 나타내었다. 이는 CARALL재의 양측면에 부착된 Al에 의해 충격하중의 상당부분이 흡수되기 때문이다.

(3) 충격 후 압축시험에서 CARALL소재는 충격하중이 증가하여도 소재의 손상정도가 크게 늘어나지 않아 압축강도저하가 비교적 적었다. 순수한 CFRP는 충격하중의 증가에 따라 섬유손상 정도가 증가하여 압축하중 작용시 강도저하가 비교적 크게 나타났다. 이는 CARALL재가 CFRP소재에 비해 충격손상 후 높은 압축강도를 나타내므로, 외부 손상에 대해 충격저항이 적음을 알 수 있다.

## 참고문헌

(1) Middleton. D. H., 1990, "Composite Materials in Aircraft Structures", John wiely Inc., New

York, p. 273

(2) Choi. C. L., 1992, "The Light and Strong Advanced Materials", Dong-A Press, p. 148

(3) 김정규, 강기원, 1999, "평직 Glass/Epoxy 복합재료의 충격손상거동과 잔류강도 평가, 대한기계학회논문집(A), 제24권, 제2호, pp. 294-303

(4) 강기원, 김정규, 1999, "횡방향 충격을 받는 평직 Glass/Epoxy 복합재료의 충격하중 해석", 대한기계학회논문집 A권, 제23권, 제4호, pp. 687-696

(5) 이제현, 김영환, 박준수, 윤한기, 2000, "원공노치를 갖는 A17075/CFRP 적층복합재의 노치강도특성에 관한 연구", 한국복합재료학회지, 제13권, 3호, pp. 58-66

(6) K. B. Lee, H. K. Yoon, J. H. Yoo and C. W. Hur, 1999, "A Study on Mechanical and Fatigue Characteristics in a Fiber-reinforced Metal Laminates of Al/CFRP", Journal of KIIS, Vol. 14, No. 5, pp. 11-15

(7) H. K. Yoon, S. H. Lee and W. K. An, 2000, "Optimization of Molding Cure Condition on A17075/CFRP Sandwich Composite by the Taguchi Method", Vols. 183-187, pp. 1087-1092

(8) S. P. Lee and H. K. Yoon, 2000, "Improvement of Impact Properties for Nb/MoSi2 Laminate Composite by the Interfacial Modification (II)", KSME International Journal, Vol. 14, No. 8, pp. 830-835

(9) 이제현, 김영환, 윤한기, 2000, "항공기 구조용 하이브리드 복합재료(CARALL)의 제조와 특성", 대한금속·재료학회지, 제38권, 제1호, pp. 91-97