

Carbon/Epoxy 복합재료 구조물의 층간강도 향상 연구

최재호*, 송흥섭*, 박인서*, 박승범**, 황병선**

Study on the Improvement of Inter-laminar Bonding Strength of Carbon/Epoxy Composite Structures

Jaeho Choi*, Heung-Sub Song*, In-Seo Park*, Seung-Bum Park** and Byung-Sun Hwang**

Abstract

In these days, composite materials are applied to the military field like parts of air crafts, rockets, ammunitions and so on. As high pressure is loaded on the composite body, however, cracks or delamination phenomena can be occurred between layers of laminate. These cracks or delamination usually cause a deterioration of mechanical properties under the complicated loads. In this study, methods for improvement of the inter-laminar bonding strength of thick carbon/epoxy composite structures are suggested and discussed in terms of segment bending test.

Key Words: carbon/epoxy composite, hoop, stitching, segment bending test

1. 서 론

새로운 소재들이 개발되고 설계 및 공정 등에 관한 기술이 발전하면서, 전통적으로 사용되어오던 재료들이 보다 경량화 되고 고기능성을 가지는 첨단 재료들로 대체되고 있다. 특히 섬유강화고분자 복합재료(이하 복합재료)는 금속 재료에 비해 비강도, 비강성이 우수하고 밀도가 낮아 우주·항공 및 방위산업분야에서 뿐만 아니라 자동차, 레저용품 등의 일상에서 흔히 접하는 소재로 각광받고 있다. 최근 들어 군수용 소재를 위한 복합재료의 연구·개발이 활발히 진행되고 있는데 이는 경량화로 인한 무기의 성능 증대 효과가 크기 때문이다. 실제로 현재 개발 중인 대전차포탄의 경우, 일부 부품을 기존의 금속재료에서 복합재료로 대체할 시 탄의 비행속도와 관통력이 크게 증가하는 효과를 나타내고 있다[1,2].

* 국방과학연구소 기술연구본부

** 한국기계연구원 공정연구부

본 연구에서는 복합 응력을 받는 두꺼운 carbon/epoxy 복합재료 적층 구조물의 층간 결합 강도를 향상시키기 위하여 적층방향과 수직인 방향으로 hoop 보강하는 방법과 steel wire 또는 fiber로 stitching하는 방안을 도입하였다. High pressure에 의한 압축 하중과 이종 재료와의 경계면에서 발생하는 전단하중, 그리고 압축하중의 영향으로 구조물 내부에 작용하는 인장하중 등을 받게 되는 구조물의 층간 분리 모드와 그에 따른 강도 향상 방안이 연구되었으며, 새로운 시험 방법이 제시 되었다.

2. 실험

2.1. 소재

본 연구에 사용된 소재는 범용 carbon/epoxy unidirectional prepreg (USN175BX, SK Chemicals co., ltd.)로서 bisphenol A형 epoxy수지에 T700급의 탄소섬유가 일방향으로 함침된 재료이다. 원소재의 제원은 아래 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of USN175BX prepreg

Thickness (mm)	0.168
Resin Content (wt.%)	33
Fiber Density (g/cm ³)	1.77
Resin Density (g/cm ³)	1.20
Longitudinal Young's Modulus (GPa)	138.2
Transverse Young's Modulus (GPa)	11.8
In-plane Shear Modulus (GPa)	103.2
Poisson's Ratio	0.31
Longitudinal Tensile Strength (MPa)	1973.0
Longitudinal Compressive Strength (MPa)	836.4
Transverse Tensile Strength (MPa)	29.5
Transverse Compressive Strength (MPa)	12.4
In-plane Shear Strength (MPa)	101.6

2.2. 시편 제작

본 연구에서 사용된 시편은 내경이 작고 두께가 매우 두꺼운 shell 모양의 형태 중 1/3에 해당하는 120도 부채꼴 형상이다.

시편은 일방향 prepreg를, 길이방향을 기준으로 반경방향으로 적층한 후 압축성형에 의해 제작하였다. Prepreg는 앞서 수행한 여러 연구 결과[3~6] 중 [+45/0/-45/90/-45/0/+45]의 배향안을 적용하였으며, 일곱층의 prepreg를 적층하여 하나의 sub-segment를 만들었다. 이렇게 만들어진 sub-segment는 반경방향으로 다시 9개 적층하여 10도 각도의 단위 segment 하나를 구성하게 된다. 시편은 최종적으로 10도 단위 segment 12개를 적층하여 120도의 부채꼴 형태로 만들어진다. 120도의 형상으로 적층된 프리폼은 150℃에서 1시간동안 압축성형 함으로써 완성된다.

적층경계면 간 분리 양상을 관찰하고 층간강도 향상 방안을 마련하기 위하여 시편은 아래의 Fig. 1과 같이 준비되었다. 반경방향으로만 적층

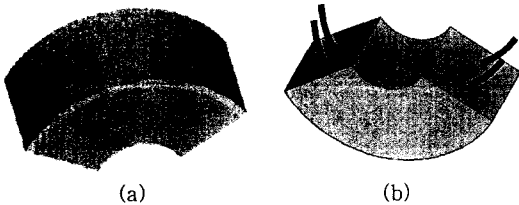


Fig. 1. Configuration of specimens : (a) Hoop specimen (b) Stitching specimen

된 기본 시편과 층간 강도 보강을 위해 외경을 UD (unidirectional) 및 WF (woven fabric) hoop

보강한 시편, 그리고 시편 중앙부의 곡률을 따라 steel 및 fiber로 stitching한 시편 등이 제작되었다.

2.3. 시험 개념

반경방향 적층법에 의해 성형되는 원통형 구조물은 상대적으로 원주방향의 segment 층간 강도가 매우 취약하게 된다. 따라서 본 연구에서는 층간 강도를 향상하기 위한 몇 가지 방안이 제시되었으며, 또한 층간 강도를 평가할 수 있는 별도의 시험방법 및 치구를 고안하였다.

원주방향으로의 취약성을 고려하여, 층간 분리 양상을 확실하게 관찰 할 수 있도록 3 points bending test를 응용하여 인장응력을 가하는 시험방법을 제시하였다. Fig. 2와 같이 부채꼴 형상의 시편의 외경 양단을 일정 부분 지지하고 내경에 원통 형상의 핀으로 수직하중을 가하였다. 가압에 의하여 시편은 굽힘 하중을 받는 상태가 되며, 시편의 중앙 외경에서 굽힘 응력에 의한 인장 응력이 발생하여 상대적으로 취약한 segment 층간 파괴가 발생하게 된다. 시험은 최대 용량이 10 ton인 만능시험기에서 실시하였다.

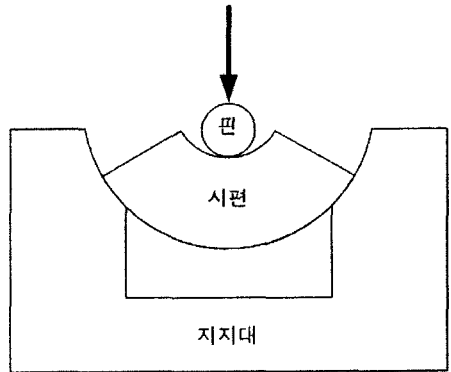


Fig. 2. Method of segment bending test

3. 결과 및 고찰

시험과정에서 얻은 하중-변위 선도는 각 시편에 대하여 Fig. 3에 각각 나타내었다. 시험에서 시편에 작용하는 하중이 최대가 되었을 때 시편의 segment 층간이 파괴되는 현상이 발생하였으며, 이 때의 하중을 segment 층간 파괴하중으로

측정하여 각 시편에 대한 결과를 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다.

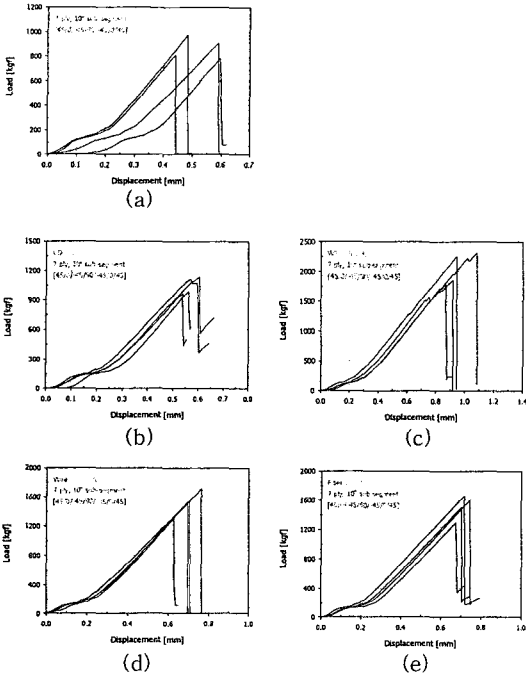


Fig. 3. Graphs of Load-Displacement relation : (a) Only radial (b) UD hoop (c) WF hoop (d) Wire stitching (e) Fiber stitching

시험 결과를 살펴보면, 보강이 없는 시편 (Seg710)은 segment 층간 파단이 일순간에 발생하는데 비하여, 외경을 UD로 보강한 SegUD

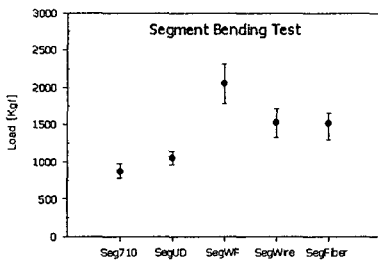


Fig. 4. Results of segment bending test

시편은 segment 층간에서 반경 방향으로 발생한 균열이 UD의 경계면에서 원주 방향으로 균열이 진전되었다. 원주 방향으로의 crack 전파에 의해 UD와 segment가 분리됨과 동시에 급격하

게 하중이 감소하면서 파괴가 발생하여 예상보다는 층간 강도의 증가가 높지 않았다.

이에 비해 외경을 WF로 보강한 SegWF 시편은 하중이 증가하더라도 segment와 WF 경계면이 분리되는 현상 없이 WF가 최종 파단 될 때까지 계속 높은 하중을 지지하여 층간 강도가 가장 높게 나타났다.

시편의 내부를 강선(wire)으로 보강한 Seg Wire 시편은, 원주방향으로 보강되어 있는 강선은 파단 되지 않고 segment 구멍에 접촉되어 있던 강선이 구멍사이를 원주방향으로 미끄러지면서 하중을 더 이상 지지하지 못하고 segment 층간이 파괴되었다. 내부를 원주방향으로 장섬유(fiber) 보강한 SegFiber 시편은 보강된 장섬유의 미끄러짐 또는 파단이 불명확하며 segment의 층간이 일순간에 파괴되었다.

Table 2. Failure mode and results of segment bending test

보 강 시 편		파괴하중 [kgf]	파괴형태
무보강 (Only radial)	Seg710	867.82	
Hoop 보강 : UD	SegUD	1048.39	
Hoop 보강 : WF	SegWF	2050.18	
Stitching 보강 : Wire	SegWire	1527.51	
Stitching 보강 : Fiber	SegFiber	1513.35	

4. 결 론

본 연구는 복합하중을 받는 두꺼운 복합재료 구조물의 segment 층간 강도 향상 방안과 시험 및 평가기법에 관한 것이다. 실제 적용 환경에서 흔히 발생하는 segment 층간 (또는 적층 경계면

간) 분리 양상과 유사하게 구현하기 위해 3 points bending test법을 응용한 segment bending test 기법을 고안하였다. 시험 결과 반경 방향으로만 적층된 기본 시편은 867.82 kgf의 하중을 견디었고 파단이 순간적으로 일어났다. 외경 hoop 보강 시편의 경우 UD prepreg로 보강한 시편은 평균 1048.39 kgf의 하중에서 파단이 일어나기 시작했으며 segment 면과 UD 보강면 사이가 분리되기 시작하면서 급격한 강도 감소 현상이 나타났다. 반면, WF prepreg로 보강한 시편은 2050.18 kgf의 하중을 지탱하였다. 내부를 stitching하여 보강한 시편 역시 두 종류가 있었는데, steel wire를 사용했을 때와 fiber를 사용하였을 때의 결과치는 거의 같았다. 보강 형태에 따른 failure mode에 대해서는 차후 연구가 더 진행되어야겠지만, 현재의 시험결과를 종합해 보면 WF prepreg로 hoop 보강한 경우가 상대적으로 층간 분리 방지 효과가 가장 큰 것으로 정리된다. 정확한 연구를 위해서는 앞으로 외경 hoop 보강의 경우, 최적의 보강두께 설계에 대한 연구와 내부 stitching 보강 시 wire 또는 fiber의 두께 및 최적 개수, stitching 위치 등에 대한 연구도 심층적으로 수행되어야 할 것이다.

- (4) B. S. Hwang *et al.*, ADD Report, KTRC-411-000020, 2000.
- (5) B. S. Hwang *et al.*, ADD Report, KTRC-411-000021, 2000.
- (6) B. S. Hwang *et al.*, ADD Report, ADD Report, KTRC-411-000022, 2000.

참고문헌

- (1) W. Lanz, W. Odermatt, and G. Weihrach, "Kinetic Energy Projectiles : Development History, State of the Art, Trends", 19th International Symposium of Ballistics, 2001.
- (2) B. P. Burns, W. H. Drysdale, C. P. R. Hoppel, and T. A. Bogetti, "The Development of Composite Sabots for Kinetic Energy Projectiles", 19th International Symposium of Ballistics, 2001.
- (3) B. S. Hwang, S. B. Park, J. K. Kim, J. B. Kim, I. S. Park, and H. S. Song, "Failure Strength of Machined Composite Edges", 47th International SAMPE Symposium, 2002.