

유리/에폭시 3차원 브레이드 복합재료의 저속 충격 에너지 흡수기구

주기호*·설인환*·김수창*·강태진*

Energy Absorption Mechanism of Glass/Epoxy 3-D braided structure in Low Velocity Impact Test

Ki Ho Joo, In Hwan Sul, Soo Chang Kim, Tae Jin Kang

Abstract

In order to investigate the impact behaviors of 3-D braided glass/epoxy composites, the energy profiles and damage area were compared to the laminates of similar volume fraction and composition. The energy profiles showed different characteristics from each other which indicates they have distinct energy absorption mechanisms. The image analysis on the damage projections visualized the crack propagation paths along the fiber direction.

Key Words: braid, impact, image analysis

1. 서 론

다축섬유복합재료는 우수한 내피로성, 고굽힘강성, 경량성등의 특성을 가지는 재료로서 특히 재료의 두께 방향에서 섬유 보강으로 인한 고전단강성을 가지는 특성이 있다. 다축섬유복합재료에 강화제로 사용되는 프리폼은 여러 가지 방법으로 제조할 수 있으나, 브레이드 방법에 의한 제조는 방법면에서 편리한 장점이 있고, 다양한 형태의 직물을 만들 수 있는 장점을 가진다.

현재 브레이드 복합재료의 기하학적 구조에 대한 모사가 이루어지고 있으며[1][2], 물리적, 역학적 성질에 관한 실험과 분석들이 성과를 내고 있다[3].

충격에 관한 연구는 재료가 흡수하는 에너지 측면에서 접근할 수 있다[4]. 충격 에너지는 재료에 흡수된 에너지와 충격자에 되돌려진 에너지로 나뉘고, 흡수된 에너지는 재료의 특성에 따라 다양한 기구를 통해 흡수되게 된다. 기존의 평판적충형태의 복합재료의 경우 층간 분리가 주요한

에너지 흡수기구이고 층간분리 현상이 발생하면서 재료의 물성이 현격하게 떨어진다. 이에 반해, 다축섬유구조 복합재료는 적층 재료와는 다른 에너지 흡수기구를 따른다[5].

본 연구에서는 다축섬유복합재료 중 브레이드 복합재료의 충격특성에 관한 연구를 수행하였다. 유리 섬유를 보강재로 하고 에폭시를 기지재로 사용하였다. 3-D 원형 브레이드 기계를 이용하여 7 layer를 가지는 유리 섬유 브레이드 프리폼을 만들고, 수지 이송 성형법(RTM)으로 복합재료를 성형하였다. 브레이딩 복합재료에 충격자 속도를 변화시키며 실험을 수행하였고, 브레이딩 재료와 유사한 섬유부피분율을 가지는 평판 적층 복합재료에 관한 실험을 동시에 수행하였다. 충격 시험기에서 얻은 자료를 바탕으로 흡수된 에너지를 비교하였고, 손상된 면적과 에너지 흡수 기구를 이해하기 위해 이미지 분석을 수행하였다[6].

2. 브레이드 복합재료 충격실험

브레이드 복합재료를 만드는데 사용된 3-D 브

* 서울대학교 재료공학부

레이드 기계는 수직 형태의 4-step 원형 브레이드 기계로서 총 2016개의 캐리어(Carrier)를 압축공기를 이용한 피스톤에 의해 움직이도록 설계되어 있다. 지름방향으로 288개의 피스톤과 원주방향의 캐리어 운동을 담당하는 6개의 피스톤에 의해 각 스텝운동을 하도록 설계되어 있으며, 본 실험에 사용된 기계의 패턴은 지름방향으로 96개의 피스톤과 원주방향으로 6개의 피스톤을 사용하여 1 by 1 패턴 캐리어가 각 방향으로 한 칸씩 움직이는 형태이다.

브레이딩 복합재료의 강화재로 사용된 유리섬유는 Owens Corning Fiberglass Corporation 에서 제조된 S-2 glass fiber를 사용하였다. 사용된 유리섬유의 Tensile modulus는 87GPa이다.

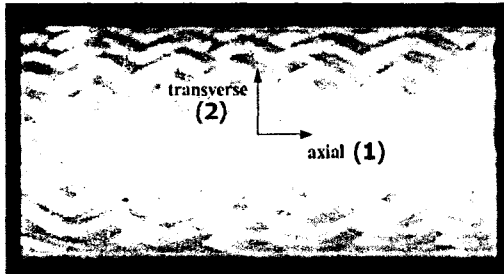


그림 1. 브레이드 복합재료의 프리폼

평판 적층에 사용된 유리섬유직물은 Plain Weave 구조로서 브레이딩에 사용된 유리섬유와 동일한 섬유를 사용하여 Area density가 5×5 count/inch² 되도록 제작된 것을 사용하였다. 브레이드 복합재료의 Layer 수와 같은 7장의 laminate를 적층하여 두 재료의 부피분율이 비슷하게 되도록 성형하였다. 기지재는 diglycidyl ether of bisphenol 종류의 epoxy로서 국도화학의 YD-128을 사용하였고, 경화제로서 4,4-diamino diphenyl methane(DDM)인 국도화학의 TH-432를 사용하였다. Epoxy와 경화제는 100:56의 비율로 하였다.

두 종류의 복합재료 모두 수지이송성형법(RTM)으로 제조하였는데, 60psi의 압력으로 10~12시간 주입하였다. Curing은 130℃에서 120분간 시행하였다.

재료의 충격실험은 ITR-2000 충격시험기를 사용하여 수행하였다. 충격 실험 후 손상 면적과 충격에너지 흡수 기구에 관한 연구를 수행하기 위해 시편의 이미지를 얻었다. 충격을 가한 시편에 후광(back light)을 비추고 CCD 카메라로 영상

을 얻었다. CCD 카메라를 사용하여 얻은 영상을 통해 손상 면적과 충격 에너지의 전파 방향등을 관찰하였다.

시편의 굽힘강도를 측정하기 위해 MTS 사의 Sintech 10/GL을 사용하여 3점 굽힘실험을 axial 방향과 transverse 방향에 대해 각각 시행하였다.

3. 결과와 분석

3.1 하중-변형 곡선

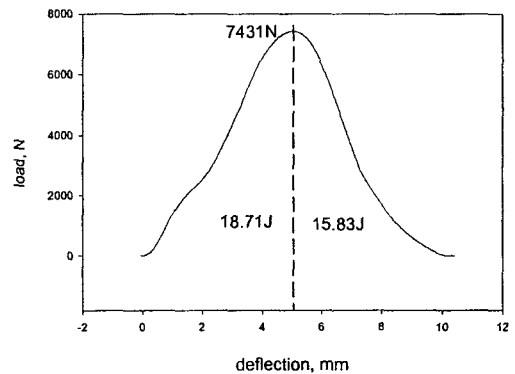


그림 2. 적층 재료의 하중-변형 곡선, 150J

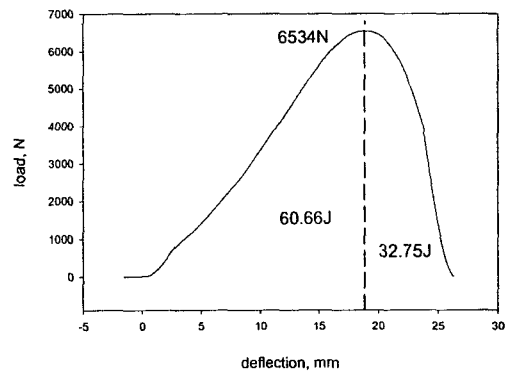


그림 3. 브레이드 재료의 하중-변형 곡선, 150J

150J의 충격 에너지를 가했을 경우의 하중-변형 곡선을 적층재료인 경우와 브레이드 재료인 경우 각각 그림 2.와 그림 3.에 나타내었다. 각 경우에 최대 하중은 7431N 과 6534N 으로 서로 근접한 값을 보이지만 시편에 전해진 에너지의 양은 적층 재료인 경우 가해진 전체 150J의 에너

지 중 35J 만 전달 되었으나 브레이드 재료의 경우 93J이 전달 되어 큰 차이를 보이고 있다.

그림 4,5.를 보면 250J 의 충격 에너지를 가하면 150J을 가한 결과와 달리 곡선 형태에 진동이 포함됨을 확인할 수 있다. 더 큰 에너지를 가했으므로 두 경우 모두 더 많은 에너지를 흡수하였고 150J의 경우와 마찬가지로 브레이드 재료가 적층재료에 비해 2배 정도의 에너지 흡수를 보였고 최대응력도 13456N 과 10228N 으로 적층 재료의 경우에 더 높게 나타났다. 브레이드 재료가 낮은 최대응력에도 불구하고 더 많은 에너지를 흡수하는 것은 그래프에서 알 수 있듯이 더 큰 변형을 하기 때문이다.

최대하중 이후에 나타나는 진동은 적층 재료에서는 짧은 구간에서 작은 진폭으로 나타났고 브레이드 재료의 경우 넓은 구간에서 큰 진폭으로 나타났다. 그 구간에서 흡수한 에너지를 비교하면 적층재에서는 거의 흡수가 일어나지 않았으나 브레이드의 경우 전체 에너지의 대부분을 진동 구간에서 흡수했다.

이상의 결과에서 브레이드 재료는 적층 재료에 비해 더 쉽게 변형함으로 인해서 가해진 에너지를 더 많이 흡수하고, 적층 재료는 변형에 강하게 저항하여 더 큰 하중을 유발하면서 가해진 에너지의 대부분을 충격자에 되돌려 주거나 다른 부분으로 발산해 냄을 알 수 있다.

3.2 화상 분석

그림 6,7.의 맨 왼편 사진은 각각 150J의 충격 에너지를 가했을 때 적층 재료와 브레이드 재료의 화상이고 그 오른편 그림들은 밝기 범위를 0~255 로 했을때 각각 140, 100, 80의 임계값을 주어 구성한 이미지들이다. 그림 6.의 시편은 그림 2.와 같은 시편이고, 그림 7.의 시편은 그림 3.과 동일 시편이다. 두 경우 모두 타격점 근처의 2~3cm 정도의 범위에서 기지재의 파괴를 보인다. 브레이드재의 경우 기지재의 파괴가 섬유 배향에 크게 의존하고 있음을 확인할 수 있으나 적층 재료의 경우 상대적으로 섬유 배향 의존도가 떨어진다. 임계값 140일 경우의 화상은 전체 기지재 파괴를 투영하고 있고 임계값이 줄어들 수록 심하게 파괴된 부분의 화상만 남아 있다.

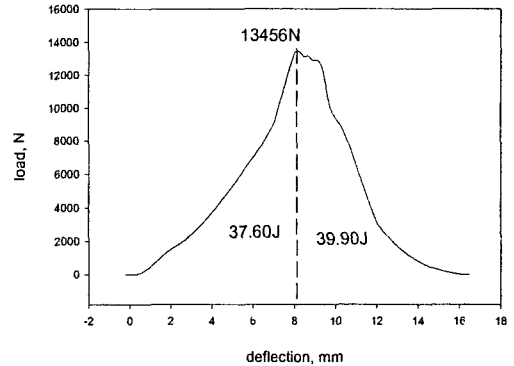


그림 4. 적층 재료의 하중-변형 곡선, 250J

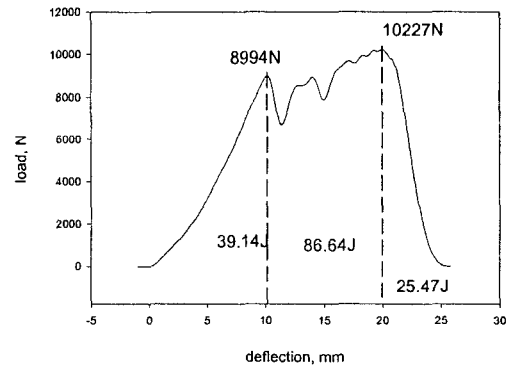


그림 5. 브레이드 재료의 하중-변형 곡선, 250J

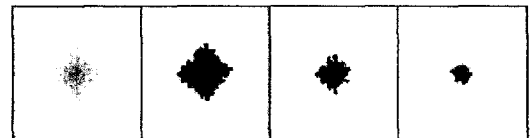


그림 6. 적층 재료의 화상 분석 이미지, 150J

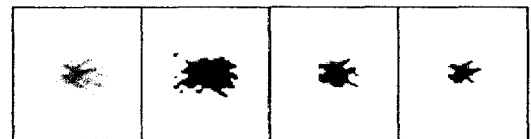


그림 7. 브레이드 재료의 화상 분석 이미지, 150J



그림 8. 브레이드 재료의 화상 분석 이미지, 250J

그림 8은 그림 5와 동일 시편에서 얻은 결과로 브레이드 시편에 250J가 가해졌다. 그림 5에서 첫 번째 피크를 지난후에는 기지재 파괴가 타격점 근방을 타원형으로 전파되어 나감과 더불어 섬유방향의 에너지 전달에 의한 파괴가 크게 일어난다. 그림 5의 대각선방향의 파괴가 일어나지 않은 경우 하중-변형 곡선의 진동은 거의 나타나지 않았다. 임계값을 낮추어서 심하게 손상된 부분만을 표시하면 섬유를 따라 전달된 부분으로 많은 에너지가 전달 및 흡수되었음을 알 수 있다.

3.3 파단면 관찰

화상분석을 통해서 알 수 있는 바와 같이 파단면을 관찰해 보아도 브레이드의 경우가 더 에너지를 잘 전달 함을 알 수 있다(그림 9,10). 적층재인 경우 충격 에너지를 300J 이상으로 올리면 미처 에너지를 발산하지 못하고 충격점 근방에서 섬유 절단이 일어나지만 브레이드의 경우 에너지 잘 분산 시켜서 충격점 에서 섬유 절단이 일어나지 않았다.



그림 9. 적층 재료의 파단면



그림 10. 브레이드 재료의 파단면

4. 결론

유리/에폭시로 구성된 브레이드 복합재료와 평판 적층 복합재료의 충격 관한 연구가 수행되었다. 낮은 충격에너지 레벨에서는 기지재의 손상과 타격점에서의 함몰을 볼 수 있었고, 충격에너

지가 높아지면서 강화재의 손상과 층간분리와 같은 재료의 손상을 볼 수 있었다. 300J 이상의 에너지가 가해졌을 때 적층 구조의 복합재료는 섬유절단 현상이 나타났지만 브레이드 재료에서는 섬유절단 현상은 나타나지 않았다. 이미지 분석을 통해 충격에 의한 손상 범위와 에너지 전파 및 흡수를 관찰한 결과 두 가지 재료에서 서로 다른 충격에너지 흡수기구를 확인 할 수 있었다.

후기

본 연구는 2000년 과학기술부 지정 국가지정연구실 사업의 과제 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] 김성준, "3-D 브레이드 복합재료의 구조설계, 서울대학교", 석사학위논문, 2003
- [2] 한문희, 강태진, 윤재륜, "하이브리드 삼차원 브레이딩 복합재료의 기하학적 모델링", 복합재료학회추계학술대회, 2003
- [3] Kwansoo Chung, Hansun Ryou, Wonoh Lee, "Mechanical property of circular braided fiber composites", Proceedings of the 2nd international workshop on multi-axial textile composite, Seoul National University, 2004, pp. 157-176
- [4] Abrate, S., "Impact on laminated composite materials", Applied Mechanics Review, vol. 44(4), 1991, pp.155-190
- [5] Tae Jin Kang, Cheol Kim, "Energy-absorption mechanism in Kevlar multiaxial warp-knit fabric composites under impact loading", Composites Science and Technology vol.60, 2000 pp.773-784
- [6] Anil K.Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice Hall, Inc., NJ, 1989