

유리/케블라 하이브리드 구조로 강화된 복합재료의 충격 거동

주기호*· 류한선*· 정관수*· 강태진*

Impact Properties of Glass/Kevlar Hybrid Composites

Ki Ho Joo, Hansun Ryou, Kwansoo Chung, Tae Jin Kang

Abstract

Impact properties of glass/Kevlar hybrid composites which have 3-D braided structures were studied. Results were compared to those of composites made of only glass fibers where the same epoxy resin were used as matrix. Absorbed impact energies evaluated through the combination of the data from the impact tester and high speed camera were compared to each other. In order to see the difference between the damaged area distribution CCD camera captures were performed.

Key Words: braid, impact, hybrid

1. 서 론

다축섬유복합재료는 우수한 내피로성, 고굽힘강성, 경량성 등의 특성을 가지는 재료로서 특히 재료의 두께 방향으로의 섬유 배향으로 인한 고전단강성을 가지는 장점이 있다. 다축섬유복합재료에 강화제로 사용되는 프리폼은 여러 가지 방법으로 제조할 수 있으나, 브레이드법은 제조가 용이하며 다양한 형태의 직물을 만들 수 있는 장점이 있다. 또한 브레이드법을 이용하면 두 가지 이상의 섬유를 사용하여, 강화재의 단면을 따라 불연속적인 성질을 갖는 구조를 만들 수 있다 (FGS, Functionally Gradient Structure).

현재 브레이드 복합재료의 기하학적 구조에 대한 모사가 이루어지고 있으며[1][2], 물리적, 역학적 성질에 관한 실험과 분석들이 성과를 내고 있고[3] 하이브리드 구조에 대한 실험적 연구가 진행 중이다.

충격에 관한 연구는 재료가 흡수하는 에너지 측면에서 접근 할 수 있다[4]. 충격 에너지는 재

료에 흡수된 에너지와 충격자에 되돌려진 에너지로 나뉘고, 흡수되는 에너지는 재료의 특성에 따라 다양한 기구를 따르게 된다. 기존의 평판 적층형태의 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 유리 섬유와 케블라 섬유를 강화재로 하고 에폭시를 기지재로 사용하였다. 3-D 원형 브레이드 기계를 이용하여 7 layer를 가지는 하이브리드 프리폼을 만들고, 수지 이송 성형법(RTM)으로 복합재료를 성형하였다. 브레이드 복합재료에 충격자 속도를 변화시켜가며 실험을 수행하였으며, 브레이드 재료와 유사한 섬유부피분율을 가지는 하이브리드 브레이드 복합재료에 관한 실험을 동시에 수행하였다. 충격시험기와 고속 카메라 촬영으로 얻어진 자료를 바탕으로 흡수된 에너지를 얻어내어 시편 종류별로 비교하였고, 손상된 면적과 에너지 흡수 기구를 이해하기 위해 이미지 분석을 수행하였다.

* 서울대학교 재료공학부

2. 충격실험

브레이드 복합재료를 만드는데 사용된 3-D 브레이드 기계는 수직 형태의 4-step 원형 브레이드 기계로서 여러 가지 패턴으로 브레이드를 제작할 수 있다. 본 실험에 사용된 패턴은 지름방향으로 96개의 피스톤과 원주방향으로 6개의 피스톤을 사용하여 캐리어가 각 방향으로 한 칸씩 움직이는 형태이며, 여기에 해당하는 캐리어들에는 유리 섬유를 걸었다. 이와 별도로 일정한 범위 내에서만 움직이는 캐리어들 중 최 외곽 위치에 케블라를 장착하여 전체 구조에 종속된 채로 한 레이어가 케블라로 이루어 질 수 있도록 하였다.

강화재로 사용된 유리섬유는 S-2 glass fiber이며 elastic tensile modulus는 87GPa이고 케블라는 112GPa이다.

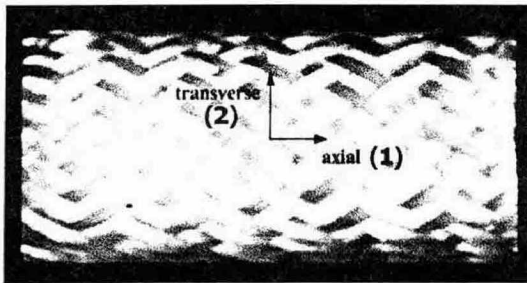


그림 1. 브레이드 복합재료의 프리폼

기지재로는 epoxy를 사용하였다. 기지재와 경화제의 비율은 100:56로 하였다.

각각의 시편들은 모두 수지이송성형법(RTM)으로 제조하였는데, 60psi의 압력을 10~12시간 주입하였다. Curing은 130℃에서 120분간 시행하였다.

충격시험은 ITR-2000 충격시험기와 고속촬영 카메라를 사용하였다. 하이브리드 재료의 시험은 케블라가 충격면에 있는 경우와 반대면에 있는 경우를 별도로 시행하였다. 충격시험기에서 얻어진 시간에 따른 힘의 데이터와 고속카메라에서 얻어진 시간에 따른 변위의 자료를 동기화(synchronize)시켜서 변위에 따른 힘의 값을 얻어 흡수된 에너지양을 구해 내었다. 충격 후의 시편에 후면광(back light)를 비추고 CCD카메라로 촬영하여 손상된 영역에 대한 이미지를 얻었다. CCD 카메라를 사용하여 얻은 영상을 통해 손상면적과 충격 에너지의 전파 방향등을 관찰하였

다.

3. 결과와 분석

3.1 흡수 에너지

충격 시험 후 각 시편이 흡수한 에너지를 구하기 위해, 충격 시험기에서 얻은 시간-하중의 데이터와 고속카메라로부터 얻어진 시간-변위 데이터를 동기화하여 하중-변형의 결과를 얻어내었다. 유리섬유로만 구성된 브레이드 시편의 경우와 유리브레이드 구조에 주축방향으로 케블라 섬유를 추가로 보강한 강화재 구조를 갖는 복합재료의 경우를 그림1., 그림2.에 나타내었다.

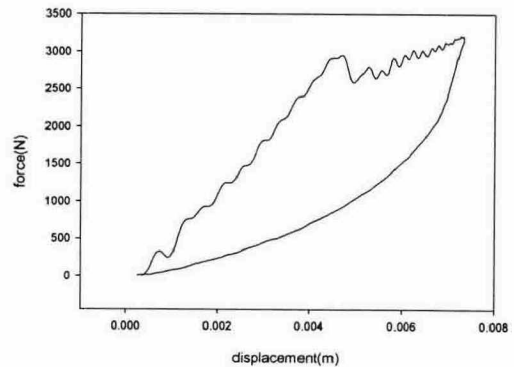


그림 2. 유리섬유 브레이드 복합재의 하중-변형 곡선

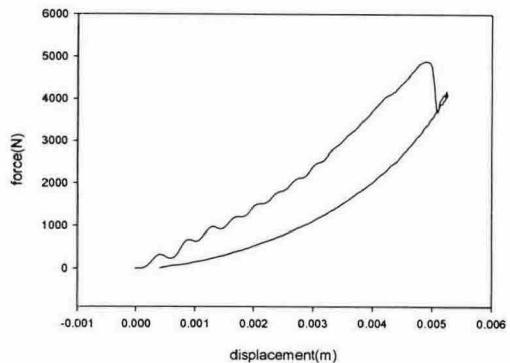


그림 3. 하이브리드 복합재의 하중-변형 곡선

충돌 직전의 충격자 속도는 각각 1.98m/s, 1.77m/s로 큰 차이를 보이지 않는 경우의 예시이다. 두 경우를 비교해 보면, 일반 브레이드 구조의 경우 최대하중 3200N, 최대 변형 7.5mm 정도의 값을 보이는데 반해 하이브리드 구조의 경우 최대하중 5000N에 최대 변형 5.4mm의 값을 보였

다. 이로부터 일반 브레이드 재료에 비해 하이브리드 재료가 변형에 대한 저항이 더 크며 이에 따라 결과적으로 더 적은 변형을 하게 됨을 알 수 있다. 최대 변형 시 까지 시편이 흡수한 에너지를 비교하면 각각 14.08J, 11.63J 로 큰 차이는 없지만, 충격자가 시편으로부터 튕겨져 나가며 하중이 제거된 상황에서 시편이 최종적으로 흡수한 에너지량은 8.05J, 5.23J으로 최대 에너지와의 비율은 각각 57.17%, 44.97%이다. 이로부터 비슷한 양의 충격 에너지가 가해졌을 때, 일반 브레이드 재료가 더 많은 에너지를 흡수하고 하이브리드 재료가 더 많은 가역 변형을 하여 충격자나 외부에 에너지를 되돌려주는 것을 알 수 있으며, 이에 따라 단일 브레이드 재료가 손상이 더 심할 것으로 예측할 수 있다. 그래프 상에서도 단일 브레이드의 곡선이, 하중이 가해지는 구간에서 더 많이 진동함을 확인할 수 있다. 이런 진동은 기지재나 강화재가 파괴되면서 생기는 현상이다. 이상으로 하이브리드 구조를 갖는 재료가 가해진 충격에너지를 외부로 더 잘 발산해 내어 충격에 대한 저항력이 더 높은 것을 알 수 있다.

3.2 충격 에너지 전파

하이브리드 재료에 주축 방향으로 추가 보강을 해주면 경사구조(functionally gradient structure)를 갖게 되는데 본 연구에서는 케블라를 표면쪽에 집중시켜 레이어(layer)를 형성하게 하였다. 이에 따라 충격을 케블라 면에 가할 때와 반대편에 가할 때와 차이가 생기게 된다. 그림.4는 케블라 반대편에 충격을 가한 경우이고, 그림5.는 케블라면에 가한 경우이다. 각각 1.77m/s, 1.73m/s의 초기 충격자 속도를 가지며 접촉시간은 10ms, 12ms이다. 최대 에너지와 최종 흡수 에너지는 거의 차이를 보이고 있지 않지만, 케블라면을 가격한 경우의 곡선이 더 많은 진동을 보이고 있어 더 많은 손상을 입었음을 알 수 있다. 접촉시간도 케블라면에 충격을 가한 경우가 더 길었으며, 시험 후 CCD 카메라 이미지 상에서도 더 넓은 crack 분포가 확인 되었다. 이는 modulus가 더 높은 케블라가 충격 반대편에서의 인장 변형에 대한 저항력을 높여서 그 구간에서의 기지재 crack 형성을 방해하기 때문으로 추정된다. 섬유 강화 복합재료의 충격 에너지는 충격 반대편에서 생성된 crack이 delamination을 일으키며 재료의 각 부분

으로 전파 되는 기구를 따르고 있으며 충격점 근방의 기지재 crushing은 다른 부분으로 전파 되지 않음이 보고되고 있다[6]. 케블라 반대편을 가격한 경우 crack면적이, 케블라면에 충격을 가한 경우나 케블라를 사용하지 않은 경우에 비해 작은 것을 보아도 케블라의 존재가 크랙 형성을 방해한 것을 알 수 있다.

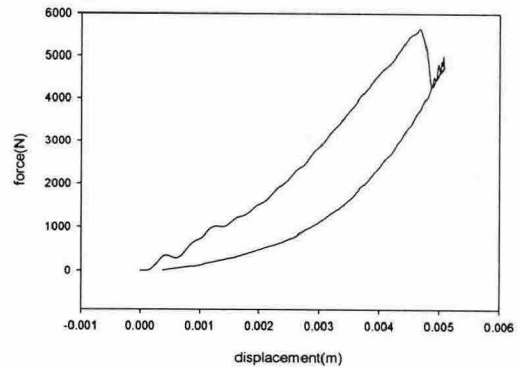


그림 4. 케블라 반대편 레이어에 충격을 가한 경우

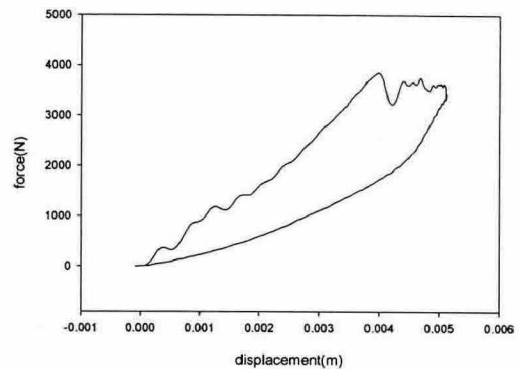


그림 5. 케블라 레이어에 충격을 가한 경우

4. 결론

유리섬유 브레이드 복합재료와 유리섬유 브레이드의 주축방향에 케블라를 추가로 보강한 하이

브리드 복합재료의 충격 거동에 관한 연구가 수행되었다. 하이브리드 재료가 유리 단일 구조의 브레이드 재료에 비해 충격에너지를 적게 흡수하여 재료를 손상이 적었다. 하이브리드 재료가 더 큰 하중을 받고 적게 변형했으며 최종 흡수 에너지도 적었다. 충격으로 유발된 시편내의 crack도 하이브리드 재료의 경우 더 좁은 면적에 분포하였다.

유리와 케블라의 하이브리드 구조를 케블라가 표면쪽에 레이어 형태로 배치되게 구성한 시편의 경우, 케블라 면의 반대편에 충격이 가해졌을 때 재료의 손상이 적었으며 crack 면적도 적었다.

후기

본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실 사업의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

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 multi-axial warp-knit fabric composites under impact loading", Composites Science and Technology vol.60, 2000, pp.773-784
- [6] J.P. Hou*, N. Petrinic, C. Ruiz, S.R. Hallett, "Prediction of Impact Damage in Composite Plates", Composite Science and Technology vol.60 2000, pp.273-281