

# 다축경편성물 보강 복합재료의 내충격성에 관한 연구

## Damage Tolerant Properties of Multiaxial Warp Knitted Fabric Reinforced Composites under Impact Loading

김 철, 강 태진  
서울대학교 공과대학  
섬유고분자공학과

### 1. 서 론

일반적인 적층 섬유 강화 복합재료의 경우, 면에 수직 방향으로 작용하는 충격 하중에 대하여 매우 취약한 단점을 가지고 있다. 이러한 복합재료의 단점을 보완하기 위한 연구는 두 가지 방향으로 진행되어 왔으며, 그 중 하나는 새로운 내충격용 재료를 개발하는 것이며, 또 다른 하나는 기존에 존재하고 있는 재료를 이용하여 충격에 강한 구조를 가지도록 만들어 주는 것이다. 본 논문에서 연구한 다축경편성물은 수직방향으로 배치된 loop yarn을 이용하여 두께 방향의 보강이 이루어지도록 만들어진 재료로서, 초기에는 넓은 폭의 직물을 손쉽게 생산하기 위하여 개발되었으며, 두께 방향의 보강 섬유도 각 layer를 고정시키기 위한 역할만을 수행하였으나, 수직 방향으로 보강되는 섬유를 고강도 섬유로 대체할 경우, 평면내에 배치한 섬유의 손상 없이도 수직 방향으로의 보강이 가능하기 때문에, 충격에 의한 손상의 전달을 제한하게 되며, 층간 분리의 억제가 가능하기 때문에 연구가 진행되고 있는 재료이다.

본 연구에서는 이러한 다축경편성물을 보강재로 이용한 섬유 강화 복합재료에 충격하중을 가하여, 충격에 의한 손상의 생성과 전파, 피로 충격에 의한 복합재료의 손상 전파와 특성, 충격에 의한 물성의 감소 등에 관하여 연구하였으며, 직물 적층 복합재료와의 비교를

통하여, 다축경편성물의 내충격성에 대하여 연구하였다.

### 2. 실험

섬유 보강재료는 케블라 29를 사용하였으며, 보강 기지재료는 국도화학의 범용 에폭시인 YD-128을 사용하였다. 표1에 사용된 두 가지 보강용 다축경편성물의 구조인자를 나타내었다. 또한 에폭시의 경우, DDM을 경화제로 사용하였으며, 60:40의 무게비로 수지와 혼합하여 120도에서 1시간 30분 동안 5MPa의 압력으로 가압하면서 성형하였다. 3가지 시편의 경우, 전체 두께는 2mm 전후로 유지하였으며, 다축경편성물 복합재료의 부피분율은 0.56, 0.58 이었으며 직물 적층 복합재료의 경우는 0.61의 부피분율을 나타내었다.

물성을 해석하기 위한 실험은 instrumented impact tester를 이용한 single impact, steel sphere를 이용한 impact fatigue test를 실시하였으며, single impact test의 경우에는 충격자의 변위에 따른 충격 하중과 시간에 따른 변위와 하중의 기록이 가능하며, 이를 이용하여 충격에 의하여 재료에 흡수되는 에너지를 계산할 수 있었다. Impact fatigue test의 경우에는 이러한 하중과 변위의 측정은 불가능하였으며, 재료 전체에 층간 분리가 전파될 때까지의 충격

회수를 기록하여 분석의 자료로 사용하였다. 또한 각 충격 시편은, depley method를 이용하여 층간 분리영역을 평가하였다. 충격을 받는 시편의 각 층마다 모서리 부분에 테플론 필름을 삽입하여 층간 분리영역 평가시 층간 분리가 쉽도록 하였으며, 충격 후 중심 부분에 드릴로 직경 1mm의 원공을 도입하여 착색제를 주입함으로써 층간 분리가 발생한 부분의 평가가 가능하도록 하였다. 그림 1은 single impact를 가하기 위한 instrumented impact tester의 개략도와 impact fatigue를 가하기 위한 실험의 setup을 보이고 있다.

### 3. 결과 및 토의

그림 2에 single impact를 가한 경우의 복합재료의 반응을 보이고 있다. 복합재료에 관통이 발생하지 않을 정도의 에너지를 가하였으며, 직물 복합재료가 가장 낮은 충격하중과 변형을 보이고 있다.

그림 3에 이러한 충격 하중을 가한 복합재료에 발생하는 층간 분리와 흡수된 충격에너지의 관계를 보이고 있는 그림이다. 층간 분리가 발생하는 threshold 에너지를 확인하기 위하여 낮은 수준의 에너지를 가하여 층간 분리 초기 영역에서의 에너지-층간 분리 관계를 보이는 그림으로서, 다른 연구자들의 보고에서와 같이 층간 분리가 시작되기 위해서는 일정 수준 이상의 에너지가 흡수되어야 층간 분리가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 에너지가 증가함에 따라 층간 분리 영역이 증가되는 것을 볼 수 있으며, 직물 적층 복합재료의 경우에 다축경편성물 보강 복합재료보다 층간 분리 영역이 현저히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 다축경편성물을 보강재로 사용한 경우, 이러한 층간 분리에 필요한 최소 에너지가 직물 적층 복합재료보다 현저히 높은 것을 알 수 있으며, 결론적으로 볼 때, 다축경편성물 보강 복합재료는 직물 적층 복합재료보다 층간 분리의 시작이 지연되는 것으로 생각 할

수 있다.

그림 4는 반복 충격을 가한 경우, 층간 분리가 완전히 진행될 때까지의 충격 회수를 가하는 충격에너지의 변화에 따라 나타낸 그림이다. 충격에너지가 낮아질수록 층간 분리가 완전히 진행되기까지 필요한 충격의 회수가 증가하고 있으며, 이는 모든 종류의 시편에서 동일하게 관찰되었다. 또한 다축경편성물 보강 복합재료의 경우, 동일한 충격 수준에서도 층간 분리가 진행되기 까지 더 많은 충격회수가 필요한 것을 알 수 있으며, 직물 복합재료보다 뛰어난 내충격성을 확인할 수 있었다.

그림 5에서는 이러한 충격회수의 증가에 따른 압축강도의 변화를 보이고 있는 그림으로, 압축 시험은 panel compression test를 이용하였다. 직물 복합재료의 경우, 피로 충격의 초기에서부터 지속적인 물성의 감소가 나타나는 것을 알 수 있으며, 다축경편성물을 보강재로 이용한 경우, 초기 충격에는 물성의 감소가 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향은, single impact test에서의 delamination threshold 에너지의 차이와 같은 경향으로 생각할 수 있으며, 다축경편성물 보강 복합재료의 경우, 층간 분리가 시작되기 위해서 더 많은 충격 에너지 흡수가 필요한 것으로 생각되며, 이에 따라 충격의 회수가 증가한 후에야 층간 분리가 시작되는 것으로 생각할 수 있다.

그림 6은 층간 분리가 일어난 형태를 depley technique를 이용하여 확인할 것의 한 예로서, single impact를 가한 경우, 층간 분리가 여러 층에서 동시 다발적으로 진행된 것을 확인할 수 있으나, 피로 충격을 가한 경우, 몇 개의 층에서 층간 분리가 주도적으로 발생, 전파된 것을 알 수 있다. 이는 피로 충격시, 가하여준 에너지 수준이 낮기 때문에, 새로운 층간 분리의 시작보다는 이미 발생한 층간 분리의 전파에 의하여 에너지가 흡수되었기 때문인 것으로 생각되어진다. 다축경편성물 보강 복합재료의 경우, 층간 분리 영역이 직물 복합재료보다 훨씬 낮은 수준을 보이는 것을 알 수 있으며,

직물 복합재료의 경우, 후면에 배치된 섬유 배향을 따라 층간 분리가 진행된 것을 확인할 수 있었으며, 다축경편성물은 직물 복합재료에 비하여 방향성이 상당히 감소한 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

케블라 다축경편성물 보강 복합재료와 직물 적층 복합재료를 이용하여 충격특성을 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

다축경편성물을 보강재로 이용한 경우, 층간 분리의 시작이 지연되는 것을 확인할 수 있었으며, 충격에 의한 층간 분리 영역의 증가도 제한되는 것을 알 수 있었으며, 또한 피로 충격이 가하여진 경우, 완전한 층간 분리의 전과가 발생할 때까지 충격회수가 증가하는 것을 알 수 있었으며, 충격에 의한 압축 강도의 감소도 직물 복합재료보다 심각하지 않음을 알 수 있었다.

#### 5. 참고 문헌

- 1.C.Kim, T.J.Kang, S.Lee and J.Yook, Study in the mechanical properties of Kevlar multiaxial warp knit composites, *J. of the Korean Soc. for Com. Mat.*, Vol 9 , 4, pp37-48, 1996
- 2.J.Skelton, *Comp. Mat. Series* (Ed.R.Pipes), Vol 6, pp141-142, Elsevier, NY, 1989
3. B.Cox and G.Flanagan, Handbook of analytical methods for textile composites, *NASA CR-4750*, March 1997
- 4.B.Cox, Delamination and buckling in 3D composites, *J. of Comp. Mat.*, Vol 28, pp1114-1126, 1994
5. B.Cox, Fundamental concepts on the suppression of delamination by stitching, *9th conf. of Fibrous Composites in Structural Design*, Nevada, 11. 1991
6. R.M.Adsit, K.Carnahan and J.Green, *Composite Materials:Testing and Design* (Ed.H.Corten), *ASTM STP 497*, pp107-120, PA, 1972

표1. Configuration of reinforcing fabric

Fabric Code	BTC	QTC
Knitting Type	Tricot / Chain	Tricot / Chain
Insertion Yarn	Kevlar 29	Kevlar 29
Knitting Yarn	Kevlar 29	Kevlar 29
Bias Angle (degree)	0/90	0/45/90/-45
Fiber Volume Fraction (%)	36.8/36.8	20.2/19.7/ 26.9/19.7
Knitting Yarn Fraction (%)	26.4	13.5
Areal Density (g/cm <sup>2</sup> )	0.044	0.077
Thread Count (cpi)	6.35/12.7	6.35/18/12.7/18

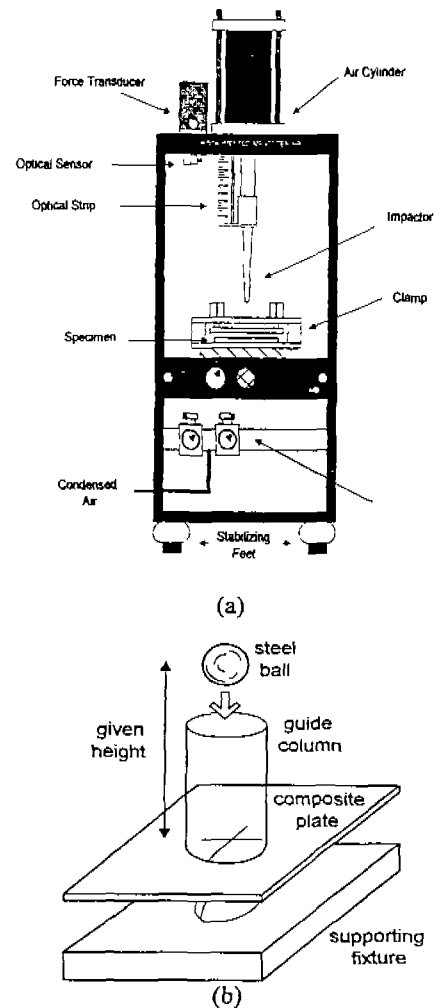


Figure 1. Instrumented impact tester and impact fatigue test setup

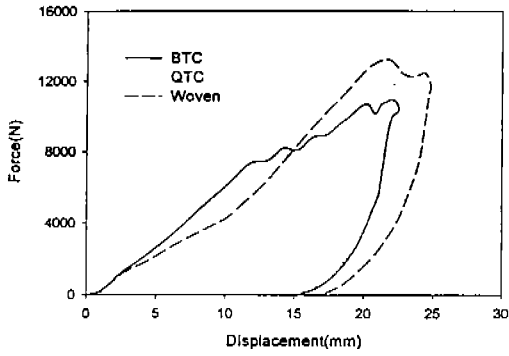


Figure 2. Impact behavior under single impact

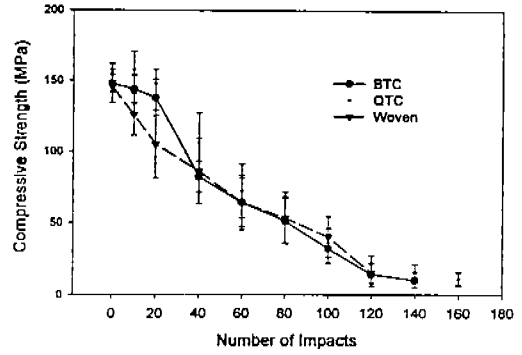


Figure 5. Compressive strength after impact with the number of impacts

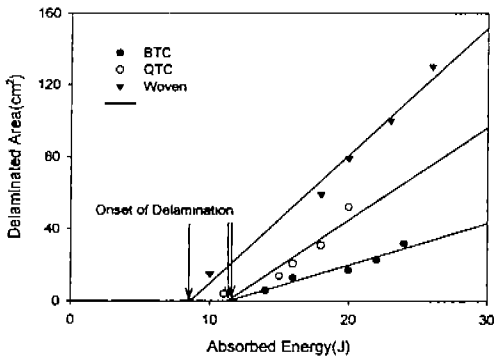


Figure 3. Absorbed energy-delamination area relations

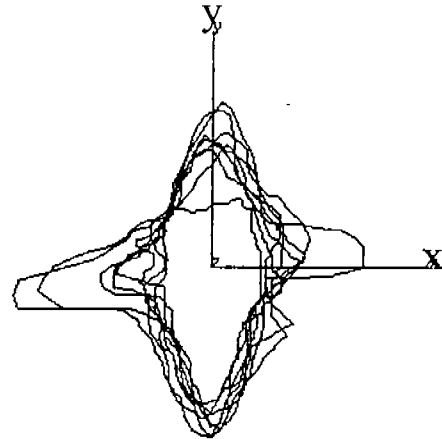


Figure 6 Delaminated patterns of woven lamiate

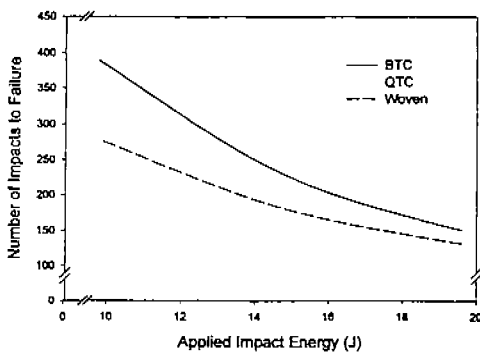


Figure 4. Number of impact to failure at different applied impact energy