

난연성 복합적층재의 저속충격특성

김재훈*·김후식*·조정미**·박병준**

Low velocity Impact Characteristics of Non-flamable Composite Laminates

Jae Hoon Kim*, Hu Shik Kim*, Byoung Joon Park** And Jung Mi Cho**

Key Words: Non-flamable(난연성), Delamination(층간분리), Impact energy(충격에너지), Ultrasonic C-scan(초음파 C-스캔), Low velocity impact(저속충격)

Abstract

Impacter tester was build up to evaluate the characterization of non-flamable Glass/phenol laminate plates under the low velocity impact. The damage of composite laminates are matrix cracking, delamination, and fiber breakage for impact energy. In this study, this is to find impact properties of Glass/phenol in used in a forehead part of lighting subway. To determine impact damage characteristics which is made in a laminate, use the UT C-scan after macrography. And then evaluated the reduction of strength in a rate of impact energy with CAI(Compression After Impact) test

1. 서 론

복합재료 적층 구조물을 경량화 지하철 차량 전두부의 외피구조에 사용하는 경우에 주행중 작은 돌이나 새, 우박 등에 의하여 외부로부터 충격을 받을 수 있다. 또한 부재의 제작과정이나 제작 후 보수 과정에서 작업자의 실수로 공구를 낙하시켜 복합적층 구조물에 충격이 가해질 수 있다. 이는 저속충격이 육안으로 확인 할 수 없어도, 심각한 강도 감소를 보일 수 있다.

충격을 받은 복합적층판의 손상모드는 섬유파손(fiber breakage), 층간 분리(delamination), 기지균열(matrix crack)등이 발생할 수 있다. 충격을 받는 순간 복합재료는 일차적으로 변형이 일어나며 탄성한계를 지나면 기지크랙이 발생되고, 충격 에너지가 증가할수록 크랙의 크기가 점차

진전되며 강화섬유 층간에서는 수평적으로 기지크랙이 발생되고 곧이어 층간분리를 일으킨다. 충격에너지가 좀 더 높은 단계에서는 강화섬유의 탄성한계를 건디지 못하고 과도한 층간분리와 섬유 파단이 일어난다. 이로 인해서 원래 구조물이 가지고 있는 강도와 강성을 심각하게 감소시켜 안정성에 영향을 미치며 계속적인 사용동안 구조물의 완전 붕괴를 발생시키는 손상 성장의 시작점이 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 난연성이 있어 경량화 지하철 전두부와 내장재에 사용되는 면밀도가 다른 3가지 Glass/phenol의 저속 충격 특성을 평가하기 위하여 시험편에 저속충격 후 시각적 관찰, UT C-scan, 광학현미경으로 표면과 단면을 관찰하여 충격부위에 대한 손상 정도를 고찰하였고 잔류압축강도 시험을 수행하였다.

2. 재료 및 시험방법

2. 재료 및 시험방법

* 충남대학교 기계설계공학과

** 한국화이바(주)

2.1 재료 및 시험편

난연성 복합적층재인 Glass/phenol 프리프레그는 (주)한국화이버에서 제작되고 있는 Glass fabric 650과 Glass fabric 580, Glass fabric 823이다. Table 1은 Glass/phenol의 Glass fabric에 대한 물성을 나타내고 있다.

Glass/phenol의 성형주기는 오토클레이브에서 압력 5bar로 일정하게 유지시키고 80℃에서 30분 유지시킨 후에 온도를 서서히 올려 120℃에서 30분 유지시키고 최종에는 150℃에서 90분 동안 유지시킨 후 서서히 냉각시켜 제작하였다. 시험편은 충격실험규격인 BSS 7260에 따라 152×101mm의 크기를 가지도록 절단된 충격 시험편을 제작하였다. 시험편의 두께는 세 가지 재료에 대해 5mm로 하기 위하여 Glass650/phenol은 10ply, Glass580/phenol은 8ply, Glass823/phenol은 20ply를 접합시켰다.

Table 1 Glass fabric specification

Prepreg	Specific density (g/m ²)	Density (count/inch)		Thickness (mm)
		Horizontal fiber	Vertical fiber	
Glass fabric 650	529	10	8	0.5
Glass fabric 580	580	6.3	6	0.5
Glass fabric 823	294	56	53	0.23

2.2 실험 방법

2.2.1 저속충격시험

본 연구에서 사용한 시험기는 타워형 충격체 낙하식 시험기인 Instron dynatup 8250이고, 충격 시험데이터 시스템은 Dynatup 830-I이다.

시험 방법은 Boeing standard BSS 7260(1)에 준하여 충격자의 지름 15.7mm, 반구형 강체, 충격자의 중량은 2.85kg와 6.45kg인 두가지를 사용하여 125×75mm의 창을 가지고 있는 지그에 시험편을 놓고 네 모서리를 고정한 후 충격자의 높이를 변화시키면서 시험편의 중앙에 충격 하중을 가하였다. 중량이 2.85kg인 충격자를 이용하여 충격에너지가 작은 0.9J~5J까지 충격 하중을 가하였고, 무게 6.45kg인 것은 충격에너지가 6J~65J까지 충격 하중을 가하는데 사용하였다.

2.2.2 충격 후 UT C-scan검사

시험편 제작 후 제작과정에서 발생될 수 있는

결함을 찾기 위해서 충격 받지 않은 전체 시험편에 대하여 비파괴 검사인 UT C-scan을 이용하여 충격 손상 여부 및 크기를 검사하였다. 이 때 탐촉자는 직경이 0.75inch이고, 주파수 5MHz인 변환장치를 사용하였으며 스캔 속도는 400mm/s, 스캔 증분은 1mm이다. 또한 충격시험편의 내부 손상 모드를 파악하기 위해서 충격 받은 시험편을 선택하여 수냉식 다이아몬드 톱을 사용하여 손상영역의 단면을 절단하였고 그 후 표면을 고품질 연마하였다. 표면에 남아있는 이 물질을 제거하기 위해서 메틸알콜을 사용하여 초음파 세척을 한 다음 광학 현미경을 이용하여 손상 단면을 70배로 확대하여 기지크랙, 충전분리, 섬유파단 등의 손상을 상세히 관찰하였다.

2.2.3 충격 후 압축 시험

본 연구에서 사용한 저속충격 후 압축시험은 시험편의 크기가 작은 보잉사의 BSS 7260 규격에 따라 수행하였다. 충격 후 압축 시험에 이용한 시험기는 MTS 810으로 25ton 로드셀을 이용하여 실험하였다. 시험 하중속도는 0.5mm/min 변위 제어방식을 선택하여 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 저속 충격 결과

Fig. 2는 두께 5mm인 Glass650/phenol의 저속 충격시험에서 얻은 에너지 변화에 대한 충격하중 이력선도를 나타낸 것이다. 하중이력곡선이 떨림이 없는 에너지인 2.2245J까지는 시험편에 아무런 손상도 발생하지 않았다. 6.24J의 충격에너지

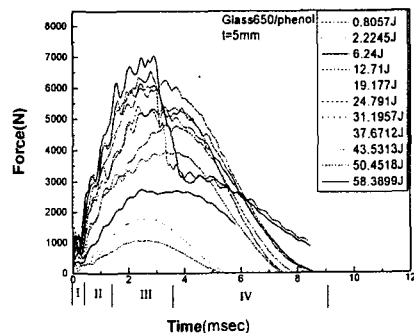


Fig. 2 Impact force vs. time traces for the variation of impact energy

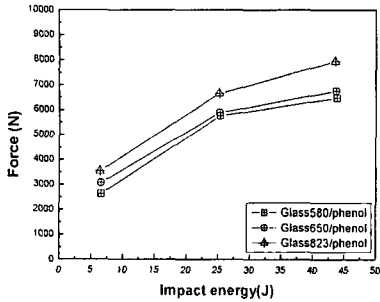


Fig. 3 Maximum force vs. impact energy for variation of test materials

로부터 충격 손상 개시가 발생하였다. 하중이력 곡선에서 I 구간인 1000N 근방에서 약간의 하중 하락을 볼 수 있다. 이 지점은 충격자에 의해 시험편에 압입이 발생하면서 하중이 하락한 것으로 보여진다. II 구간은 하중이 증가하면서 3200N 근방에서 급격히 감소되는 지점(P_i)은 판재 내부의 손상이 발생됨으로써 강성이 감소하기 시작하는 곳으로 최초의 손상개시점이 발생된다. 이 지점을 지나 III 구간은 최대하중(P_{max})에 도달할때까지 시험편에 섬유파손이 발생하면서 층간분리로 성장하는 구간이다. IV 구간에 도달하면 충격자가 리바운드 되는 지점이다. Glass650/phenol은 기지 균열이 성장하기 힘든 직조된 섬유로 구성되어 있기 때문에 상대적으로 층간분리가 발생하는 구간이 짧으며 판통이 시작되어 하중의 증가 없이 많은 진동을 가지는 구간이 길게 나타난다.

Fig. 3은 3가지 재료의 에너지에 따른 하중을 나타낸 것이다. Glass823/phenol이 면밀도가 작고, 적층수가 가장 많아 저속충격특성이 가장 우수하게 나타났다.

3.2 충격 손상 평가

저속충격을 받은 모든 시험편에 대하여 육안으로 시험편을 검사하면 6.24J의 충격에너지로부터 손상이 발견되었다. 충격자와 접촉되었던 곳에는 아무런 손상이 없었으며 맨 아래층에서 섬유 파손과 다음 층과의 층간분리가 발생했다. 충격에너지가 증가함에 따라 섬유 파손과 층간 분리가 나타나는 영역은 상위층으로 전파되었고 24.79J의 충격에너지를 받은 적층재에서는 그러한 영역이 전 두께 방향에 걸쳐 발생되었음을 알 수 있었다. 실제 하중 이력선도에서도 이때의 충격에

너지에서부터 충격하중의 증가가 없었다.

Fig. 4는 세가지 Glass/phenol의 충격 후 손상영역을 평가하기 위해서 UT C-scan을 사용하여 손상영역이 확인된 사진이다. 세가지 재료에 대해 모두 동일한 충격에너지를 비교하기 위하여 충격자의 높이를 동일하게 놓고 시험하였다. 세가지 재료중 손상 면적은 면밀도가 높고 경사와 위사값이 작아 적층수가 적은 Glass580/phenol이 가장 손상면적이 크게 나타났다. 충격에너지가 24.79J인 시험편에 대해 절단단면을 관찰해보면 섬유파손이 발생하고, 직조되어 있어 [0/90]방향으로 성장하게 되어 원형 형상을 가지고 있으나 섬유파손이 시작되는 24J부터 타원형의 형상을 보이기 시작한다. 판통에 가까운 58.38J의 충격하중을 받은 시험편은 두께방향으로 기지손상에서 섬유파손으로 성장해 가기 때문에 타원형의 형상을 지닌다.

Fig. 5은 UT C-scan을 이용하여 구한 충격에너지에 대한 손상면적을 나타낸 것이다. 세가지 재료에서 Glass823/phenol과 Glass650/phenol이 저속충격특성이 비슷하게 나타났다. 이것은 면밀도가 낮은 Glass823/phenol은 섬유파손이 일어나면서 층간분리로 성장해 가는 범위가 커서이다. Glass580/phenol은 경사와 위사로 들어가는 섬유의 수가 적어 섬유파손이 많이 발생한다.

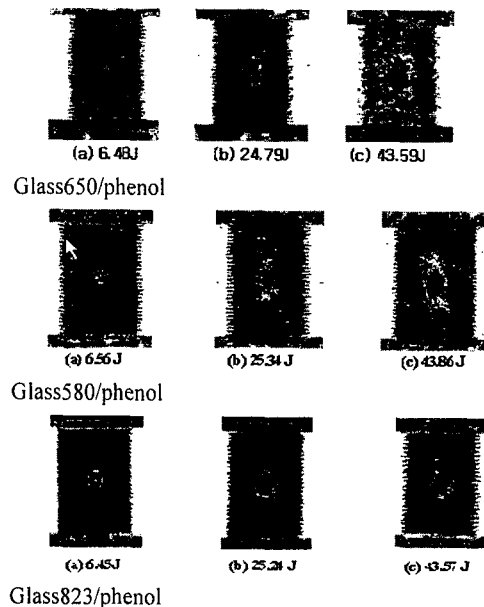


Fig. 4 UT C-scan image of specimens after impact for Glass/phenol

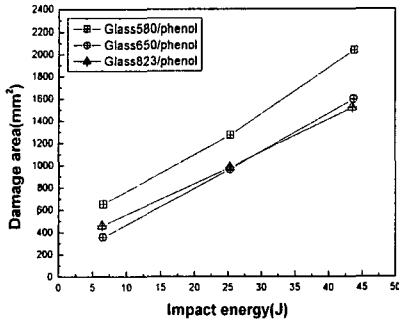


Fig. 5 Damage area for variation of impact energy

3.2 충격 압축 시험 결과

Fig. 6은 세가지 Glass/phenol의 충격시험 후 충격 에너지에 대한 잔류압축강도를 나타낸 것이다. 충격 받지 않은 시험편에 대하여도 압축시험을 수행하였다.

여기에서 Glass650/phenol과 Glass823/phenol은 잔류 압축강도는 유사한 결과를 보이고 있다. 저속 충격에서는 Glass823/phenol이 더 큰 값을 보였으나 잔류압축강도는 유사한 결과로 나온 것으로 보아 면밀도와 경사, 위사의 조건들이 중요한 요소임을 알 수 있다. Glass580/phenol은 다른 두가지 Glass/phenol에 비하여 충격에너지가 6.4J이었을 때 약66%정도 잔류 압축 강도가 작았다. 이는 적층수가 다른 재료들에 비하여 작아 충격에 저항하는 정도가 떨어져 잔류압축강도도 가장 낮게 나온 것이라 생각된다.

Glass650/phenol은 관통까지 약 43%가량 압축 강도가 감소하고 Glass580/phenol은 약 45%가량 감소하고 Glass823/phenol은 약46%가량 감소를 알 수 있었다.

5. 결론

충격 하중으로 인한 면밀도가 다른 세가지 복합 적층재의 충격거동, 내부 손상 결정을 평가하기 위하여 Glass/phenol에 저속충격시험을 수행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 세가지 재료에서 동일 에너지에서의 충격 특성을 비교한 결과 Glass823/phenol이 면밀도가

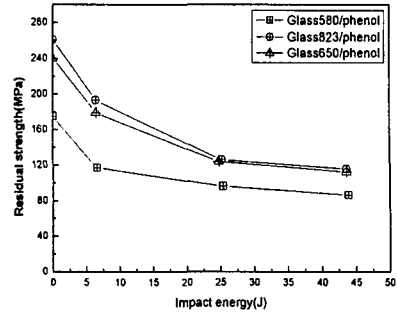


Fig. 6 Impact energy vs. residual strength for the materials

가장 낮은 특성으로 인하여 섬유가 경사와 위사로 들어가는 수가 많아진다. 그래서 저속충격특성이 가장 조은 것으로 평가된다.

- (2) 광학현미경을 이용한 파단면 관찰에서 손상 개시하중 점을 찾을 수 있었고, 층간분리와 기지파손이 발생하는 충격 에너지 수준을 결정할 수 있다.
- (3) UT C-scan에서는 시각적으로 보여지는 부분 외에 기지 안에서 일어나는 층간분리까지 손상면적을 구할 수 있고, 각 재료의 충격에너지에서의 손상정도를 예측할 수 있었다.
- (4) 잔류압축강도는 Glass650/phenol에서 보면 낮은 충격에너지를 받았을 때 압축강도는 급격히 감소한다는 것을 알 수 있다.

후 기

이 연구는 산업자원부와 한국화이바의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Boeing, 1979, "BSS 7260, Compressive Properties After Impact of Carbon Laminates"
- (2) G. Caprino, 1983, " On the Prediction of Residual Strength for Notched Laminates", Journal of Materials Science, Vol. 18, pp. 2269-2273