

복합적층재의 온도에 의한 저속충격특성

한영욱*·김후식*·김재훈*·이영신*·조정미**·박병준**

Effect of Temperature on Low Velocity Impact Characteristics of Composite Laminates

Young Uk Han*, Hu Shik Kim*, Jae Hoon Kim*, Young Sin Lee*,
Jung Mi Cho** and Byoung Joon Park**

Key Words: Low-velocity impact, Phenol matrix, Residual compressive strength, Damage, Temperature

Abstract

Instrumented impact tests and compression-after-impact(CAI) tests have been used to evaluate the effect of temperature on the low-velocity impact characteristics of phenolic matrix composites reinforced with various woven glass fabric. Impact characteristics and damage area in laminates are evaluated by C-scan. It is shown that the extent of damage and residual compressive strength of the laminates vary with energy level and impact test temperature. The damage area increases with increasing impact energy and temperature. All these observations indicate reduced impact damage resistance and damage tolerance of the laminates at elevated temperature.

1. 서 론

섬유 강화 복합 적층재는 비 강도와 비 강성이 우수하므로 항공기, 자동차, 철도 차량에 사용이 증가하고 있다. 이러한 복합 적층재의 설계 및 적용에 있어 고려 되어야 할 사항은 적층 평면에 대한 수직방향의 하중에 대하여 매우 민감하다는 것이다.

충격 하중 하에서 손상 저항과 허용은 복합 적층재의 중요한 특성이며 재료의 표면 처리나 계면 속성이 손상 개시 에너지와 손상 확장, 파괴 구조에 중요한 역할을 한다. 저속 충격으로 인한

손상은 복합 적층재 구조물의 제작이나 운용시 갑작스런 파손의 원인이 될 수 있다.

저속 충격으로 의하여 발생되는 손상의 경우 기지균열, 섬유 파단, 충간 분리, 내부 충간 파손 등의 형태로 나타나며 육안으로는 쉽게 발견되지 않으므로 잠재적인 위험성을 지니고 있다.

따라서 본 연구는 경량화 지하철 전두부와 내장재에 사용되는 Glass/phenol을 온도 조건에 따른 저속 충격 특성을 평가하였다. 고온 및 저온 환경 하에서 충격시험을 수행하였고 C-scan이용하여 손상영역을 계산하였으며, 충격 후 압축 시험(CAI)을 통하여 고온 및 저온 하에서 충격하중에 따른 압축 강도의 감소를 평가하여 실제 경량화 지하철의 설계 자료로 사용하는데 그 목적이 있다.

* 충남대학교 기계설계공학과

** 한국화이바(주)

2. 재료 및 시험방법

2.1 재료 및 시험편

본 논문에서 사용된 복합 적층재 프리프레그(Prepreg)는 (주)한국화이바에서 제작되었으며 Table 1에 물성을 제시하였다.

Glass/phenol의 성형주기는 Autoclave에서 압력 5bar로 일정하게 유지시키고 80°C에서 30분 유지시킨 후에 온도를 서서히 올려 120°C에서 30분 유지시키고 최종에는 150°C에서 90분 동안 유지시킨 후 서서히 냉각시켜 제작하였다. 시험 편은 충격시험규격인 BSS 7260[1]에 따라 152×101mm의 크기로 충격 시험 편을 제작하였다. 시험편의 두께는 세 가지 재료 모두 5mm이다.

2.2 실험 방법

2.2.1 온도 조건

본 연구에 사용한 온도는 저온 -76°C, 고온 80°C이다. 고온은 Toyo사의 FS-34D인 공기 순환식 항온조를 사용하여 80°C로 일정한 온도 하에서 시험하였다. 저온은 -76°C 이하에서 2시간 동안 유지, 보관 후 시험하였다.

2.2.2 저속충격시험

본 연구에서 사용한 시험기는 낙하식 충격 시험기인 Instron dynatup 8250이고, 시험 방법은 Boeing standard BSS 7260[1]에 준하여 시험하였다. 시험 편을 충격에 앞서 125×75mm의 창이 있는 고정 장치에 고정하였고 질량 6.45Kg의 지름 15.7mm를 가지는 반구형 강체를 사용하여 시험편의 중앙에 충격하중을 가하였다.

에너지 레벨은 충격체를 적당한 높이로 조정하여 각 시편에 대해 6J, 25J, 43J의 세 경우의 충격 하중을 가하였다. 충격 데이터 획득 시스템은 Dynatup 830-I를 사용하여 충격 하중 이력, 충격

Table 1 Glass fabric specification

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

속도 및 충격에너지를 측정하였다.

2.2.3 충격 후 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. 사용한 탐촉자는 직경이 0.75inch이고, 주파수 5MHz인 변환장치를 사용하였으며, 스캔 속도는 200mm/s, 스캔 증분은 1mm이다. 또한 C-scan을 이용하여 충격 받은 복합 적층재 내의 손상 영역을 파악하였다.

2.2.3 충격 후 압축 시험

충격 손상을 가지는 시편의 압축 시험에는 시편의 전 좌굴과 응력 집중으로 인한 파손을 막기 위한 시험 지그를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 저속충격 후 압축시험은 시험편의 크기가 비교적 작은 보잉사의 BSS 7260[1] 규격에 따라 수행하였다. 충격 후 압축 시험에 이용한 시험기는 MTS 810으로 25ton 로드셀을 이용하였으며 시험 하중속도는 0.5mm/min 단위 제어방식을 선택하여 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 저속 충격

Fig. 1은 복합 적층재 Glass/phenol의 에너지 변화에 대한 최대 하중 선도를 나타낸 것이다. 결과에서 충격 에너지 증가에 따라 최대 하중이 증가하고 있다. 저온이 고온보다 최대 하중이 크고 고온 25J 이상에서는 최대 하중이 증가하지 않았다. 저온에서 시험한 Glass823/Phenol이 단위 길이에 비하여 가로, 세로 섬유수가 많고 면밀도가 낮기 때문에 최대 하중이 발생하였다. 동일한 43J의 에너지에서는 고온에 비해 최대 하중이 두 배정도 증가하고 있다. 이는 복합 적층재가 온도에 영향을 받아 기지 재료의 연성이 증가하여 하중이 감소한 것이고 저온에서는 취성을 띄게 되어 최대 하중이 증가한 것으로 판단된다.

3.2 충격 손상 평가

Fig. 2는 충격에너지에 대한 손상영역을 나타낸 것이다.

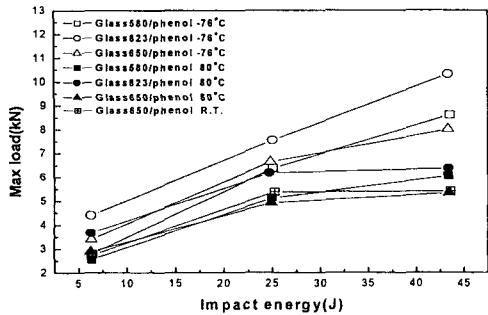


Fig. 1 Maximum load for impact energy

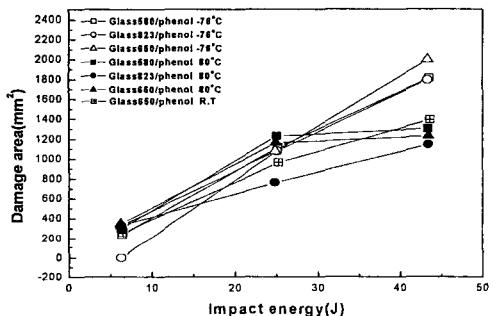
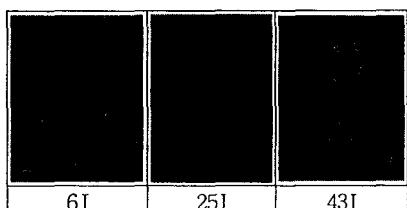
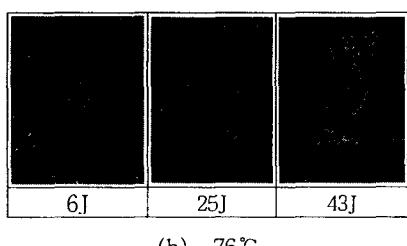


Fig. 2 Damage area for impact energy



(a) 80°C



(b) -76°C

Fig. 3 C-scan images of Glass580/phenol for variation of impact energy

육안 검사 시 충격손상은 저속 충격으로 인하여 소성적으로 변형된 압입으로 나타나며, 기지 방향을 따라 압입을 중심으로 손상영역이 증가한

다. Glass/phenol 복합 적층재의 경우 43J의 충격에너지에서 저온의 손상영역이 고온보다 크게 발생하였다. 충격 에너지 5J~25J의 경우 고온에서의 Glass/phenol은 기지 균열과 충간 분리가 쉽게 일어나 저온보다 손상 영역이 크고 높은 에너지로 갈수록 충간 분리와 섬유 파손에 의한 손상 영역이 증가함을 알 수 있다. 고온의 경우 Glass823/phenol은 C-scan 사진으로 확인한 결과 재료의 결합으로 보이고 손상 영역이 작았다. 충격에너지가 43J인 저온에서 시험한 Glass/phenol은 섬유 파손에 의한 손상영역이 고온보다 더 크게 발생하고 있다.

Fig. 3은 에너지 변화에 따른 Glass580/phenol의 UT C-scan사진으로 에너지가 증가함에 따라 손상 영역이 커지며 43J의 충격에너지에서 저온이 고온보다 손상영역이 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 충격에너지 43J에서는 손상영역이 온도의 영향을 많이 받고 기지 재료가 고온에서 인성이 증가하여 손상 영역이 크게 나왔으며 저온에서는 재료가 취성을 띠고 최대 하중이 증가하여 손상영역이 크게 발생하고 있다.

3.3 충격 후 압축 특성

Fig. 4는 Glass/phenol 적층 복합재의 충격후 압축 시험하여 충격 에너지 변화에 따른 잔류 압축강도를 나타낸 것이다. 잔류 압축강도는 손상 영역이 증가할수록 강도 저하를 보인다. 저온에서 Glass823/phenol 경우 43J에서 잔류 압축 강도는 약 60% 정도 감소한다. 이는 재료의 충격 특성이 아닌 내부 결합으로 생각되며 UT C-scan으로 확인할 수 있었고, 고온은 44% 강도 감소가 있다. 이는 단위 길이에 대해 섬유수가 많음에도 불구하고 면밀도가 다른 재료에 비해 낮기 때문이다. Glass580/phenol의 경우 충격에너지 증가에 따라 잔류 압축 강도 감소가 15~30%까지 감소하고 있다. 이는 재료의 면밀도가 크고 섬유수가 다른 시험 편에 비해 적기 때문이다. 전체적인 Glass/phenol 복합재는 25J 이상에서 잔류 압축강도가 감소 없이 일정하고 43J 이상이 되면 관통에 의한 손상이 진전하지 않기 때문에 압축 강도의 감소가 없다. Fig. 5에 저온 및 고온에서 구한 잔류 압축강도 σ_r 과 충격 받지 않은 시험 편의 압축강도 σ_0 와의비, σ_r/σ_0 에 대한 충격 에너지 U에 대한 함수로 나타내었다. 이는 충격

반은 Glass/phenol의 복합재의 잔류 압축 강도를 예측하기 위해, 시험 데이터를 Caprino[2]식을 이용하여 표현한 결과이다.

Table 2는 Caprino식을 이용하여 구한 손상 개시 에너지 U_0 를 두 온도 조건에서 구한 값으로 손상 개시점이 고온으로 갈수록 작아짐을 알 수 있다. 이는 고온으로 갈수록 재료의 연성이 커지므로 낮은 에너지에서 쉽게 기지 균열과 충간 분리가 발생한다. 또한 Table 2에서 볼 수 있듯이 Glass/phenol의 경우 25J이하에서는 고온

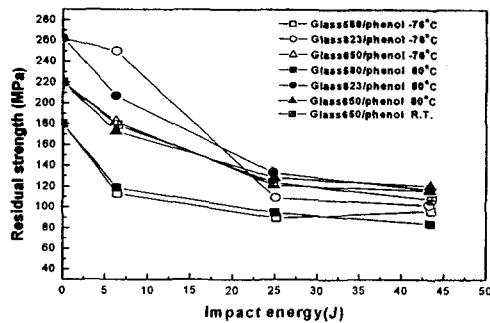


Fig. 4 Residual compressive strength for impact energy

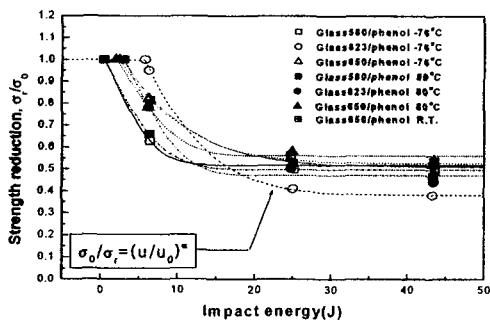


Fig. 5 Strength reduction for impact energy

Table 2 Results of threshold impact energy U_0 and exponents α .

Temp (°C)	#580/phenol		#823/phenol		#650/phenol	
	U_0	α	U_0	α	U_0	α
80	0.483	0.162	2.917	0.324	1.950	0.213
-75	0.412	0.169	5.753	0.591	2.437	0.207

이 저온보다 기지 균열이 먼저 발생하고 손상 영역이 저온보다 증가하였다.

4. 결 론

Glass/phenol 복합 적층재의 온도변화에 대한 충격 특성, 잔류 압축 강도 및 내부 손상을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 모든 Glass/phenol은 고온 보다 저온에서 충격 특성이 우수하고 저온에서 Glass823/phenol 이 가장 우수한 충격 저항을 가진다.
- (2) Glass823/phenol은 충격 특성이 우수한데 비해 잔류 압축 강도가 크게 감소 하고있다.
- (3) 고온 및 저온의 잔류 압축 강도는 충격에너지 6~10J 범위에서 기지 균열과 충간 분리에 의한 손상으로 급격히 감소하고 있다.

후 기

이 연구는 산업자원부와 (주)한국화이바의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

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.
- (3) Yasunobu Hirai, Hiroyuki Hamada and Jang-kyo Kim, 1998, "Impact Response of Woven Glass-Fabric Composites-I .Effect of Fiber Surface Treatment", Composite Science and Technology, Vol. 58, pp.91-104
- (4) Yasunobu Hirai, Hiroyuki Hamada and Jang-kyo Kim, 1998, "Impact Response of Woven Glass-Fabric Composites-II .Effect of Temperature", Composite Science and Technology, Vol. 58, pp.119-12