

열 충격에 따른 탄소 직물 복합재료의 역학적 특성 평가

김재홍*·이중호*·정경호*·강태진*

Evaluation of Mechanical Properties of Carbon Fabrics Composite with Thermal Shock

Jae Hong Kim, Jung Ho Lee, Kyung Ho Jung and Tae Jin Kang

Abstract

In this study, mechanical properties of carbon fabrics composite under the thermal shock cycling were evaluated. Due to the interactions between fiber and polymer matrix, it is reasonable to conclude that both thermal cycles of thermal shock result in improvement of interlaminar shear strength(ILSS) for the longer conditioning time duration. The rise in ILSS may be attributed to the improved adhesion by cryogenic compressive stress and also by the post-curing strengthening effect. However, the flexural and tensile strength were decreased with increasing conditioning time of thermal cycle.

Key Words: Thermal Shock, Interfacial Adhesion, Carbon Fabrics Composite, Mechanical Property

1. 서 론

탄소 섬유 복합재료는 비강도, 비강성이 우수하여 재료의 경량화를 기할 수 있으며, 1300℃ 이상의 고온에서도 강도를 유지할 수 있어 항공기용 브레이크 디스크, 로켓노즐, 재돌입 우주선의 열 차폐재 등에 폭넓게 사용되고 있다.

60년대 후반부터 최근까지 고체연료 로켓모터의 내열재료로 사용되고 있는 탄소 섬유/ 페놀 수지 복합재료는 순간적으로 높은 열을 받는 열 충격 환경 하에서 운용되며, 더욱이 재료 내에 발생할 수 있는 국부적 열 충격은 시스템 구성체에 치명적인 손상을 초래할 수 있다.

극저온(cryogenic)에서 고온까지 주변 환경 온도가 변화함에 따라, 복합재료는 역학적, 열적 특성의 변화를 겪게 된다. 보강재와 기지재간의 서로

다른 열팽창 계수로 인해 계면(interface)내에 잔류응력이 발생하고, 미소균열이 성장하여 각 층의 층간 분리를 일으키게 되며, 결국에는 복합재료의 물성 저하를 초래하게 된다. 이러한 환경적 변화로 인한 잔류응력은 재료의 파괴에 커다란 영향을 미치며, 복합재료의 설계나 평가를 함에 있어 열적 하중에 의해 발생하는 잔류응력을 고려할 필요성이 있다.

본 연구에서는 열적 환경에 대하여 우수한 열 차단 효과를 발휘하는 내열용 복합재료로서 탄소 직물 복합재료를 제조하여 열 충격에 따른 역학적 특성 변화 및 균열거동, 열 충격 저항성 등을 고찰하였다.

실험에 사용된 보강재는 1500℃에서 탄화한 PAN계 탄소 섬유를 8매 주사직으로 제직한 탄소 직물이며, 기지재로는 열분해 시에 탄화수율이 높고, 탄화하면서 표면에 다공질의 char를 형성하여 내열재 및 열 차폐재로서의 역할을 수행하는 레졸 형태의 페놀 수지를 사용하였다.

본 연구에서는 열 충격이 가해진 탄소/ 페놀 복합재료의 층간 전단력과 굽힘 강도, 인장 강도

* 서울대학교 재료공학부

를 thermal cycle, conditioning time에 따라 각각 측정하였고, 열 분석기를 이용하여 열 충격 횟수 증가에 따른 무게 변화를 관찰하였다.

2. 실험

2.1 탄소 직물 복합재료의 제조

연속사 형태의 PAN계 탄소 직물에 메탄올을 희석한 페놀 수지를 고르게 도포하여 프리프레그 (prepreg)를 얻었다. 경화는 hydraulic press에서 시행하였고, 압력은 70kgf/cm^2 (7MPa)로 하였다. Curing cycle은 150°C 에서 holding time 2시간을 적용하였다.

2.2 열 충격 실험

탄소 직물 복합재료의 열 충격 실험은 Fig. 1에 나타낸 실험 장치를 사용하여 thermal cycle, conditioning time에 따라 Fig. 2와 같이 수행하였다.

2.3 역학적 특성 실험

2.3.1 층간 전단력 실험

열 충격이 가해진 탄소 직물 복합재료의 층간 전단력을 측정하기 위하여 ASTM D2344의 방법에 따라 short beam shear test를 MTS Sintech 10G/L 시험기를 사용하여 수행하였다. 시편의 span to depth ratio는 4로 하였으며, cross-head speed는 1.0mm/min 으로 하였다. 각 Thermal cycle의 conditioning time에 따라 5개의 시편을 사용하였다.

2.3.2 굽힘 실험

열 충격이 가해진 탄소 직물 복합재료의 굽힘 강도를 측정하기 위하여 ASTM D790의 방법에 따라 3점 굽힘 실험을 MTS Sintech 10G/L 시험기를 사용하여 수행하였다. 실험에 사용된 시편의 span to depth ratio는 16으로 하였으며, cross-head speed는 1.0mm/min 으로 하였다. 시편의 평균 두께는 4.65mm , 폭은 12.4mm , 지지 거리는 80mm 가 되게 하였다.

2.3.3 인장 실험

열 충격이 가해진 탄소 직물 복합재료의 인장 강도를 측정하기 위하여 ASTM D3039-76의 방법

에 따라 MTS Sintech 10G/L 시험기를 사용하여 인장 실험을 수행하였다. Cross-head speed는 5.0mm/min 으로 하였고, 시편의 양 끝에 epoxy tab을 붙였다. 시편의 평균 두께는 2.5mm , 폭은 20.2mm , 지지 거리는 100mm 가 되게 하였다.

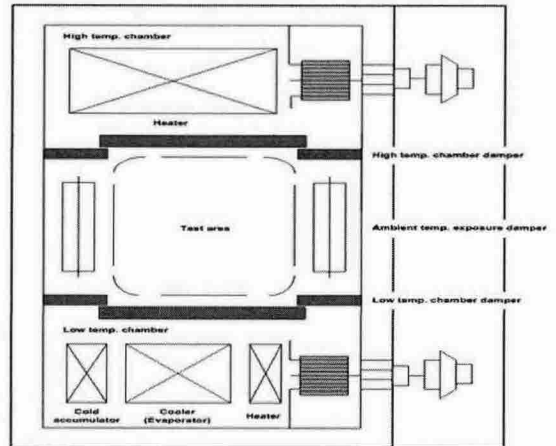


Fig. 1 Schematic diagram of thermal shock cycling equipment

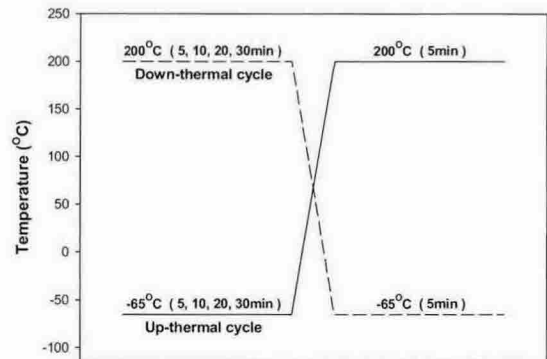


Fig. 2 Thermal cycle as conditioning time

3. 결과 및 고찰

3.1 역학적 특성

3.1.1 층간 전단력 실험 결과

층간 전단력(interlaminar shear strength)은 적층 복합재료에서 여러 역학적 특성에 중요한 영향을 미친다. Fig. 3과 4는 short beam shear test를 통해 얻은 열 충격이 가해진 복합재료의 thermal cycle, conditioning time에 따른 층간 전단력 변화를 나

타낸 그래프이다. Fig. 3, 4에서 보듯이 upthermal, downthermal cycle하에 노출된 시편의 층간 전단력은 conditioning time-30min을 제외한 각 지점에서 감소하는 경향을 보였다. Conditioning time-30min에서 층간 전단력의 증가는 upthermal cycle의 경우, 극저온 환경에 대한 노출 시간이 길어짐에 따라 재료내의 미소균열은 증가하나, 계면에서 잔류 압축 응력(cryogenic compressive stress)이 생겨 시편의 층간 전단력을 증가시키는 효과를 가져왔다고 판단된다. 또한, downthermal cycle의 경우, 고온 환경에 대한 노출 시간이 길어짐에 따라 post-curing strengthening effect로 인한 층간 전단력 증가로 사료된다.

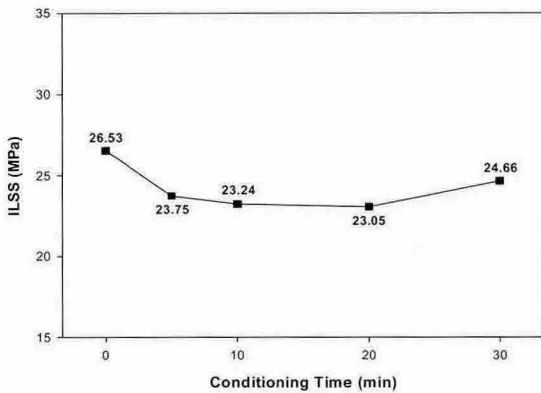


Fig. 3 Effect of upthermal cycle on ILSS

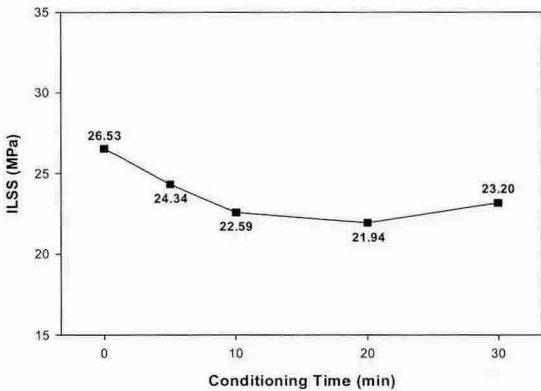


Fig. 4 Effect of downthermal cycle on ILSS

열 충격 횟수 증가에 따른 층간 전단력 변화와 무게 변화는 Fig.5 와 6에 나타내었다. Fig. 5, 6에서 보듯이 열 충격 횟수가 증가함에 따라 층간 전단력은 전반적으로 감소하였고, 시편의 분해

또한 촉진됨을 확인할 수 있다.

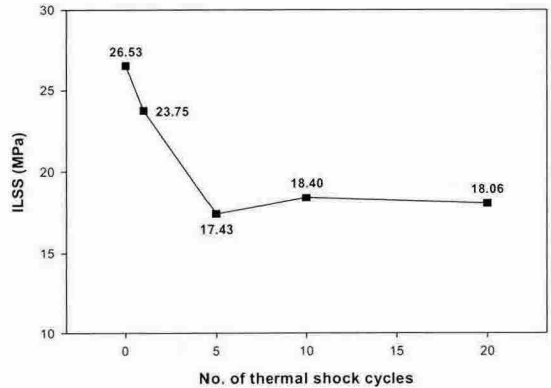


Fig. 5 Effect of thermal shock cycling on ILSS

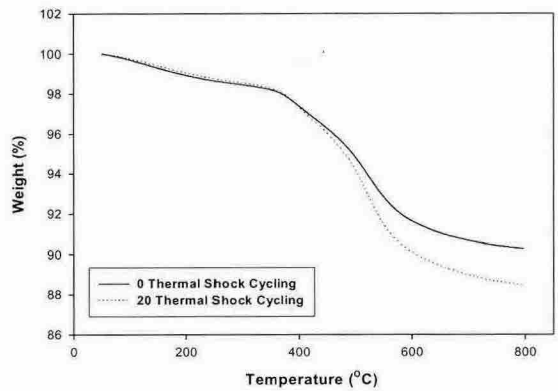


Fig. 6 TGA thermogram of specimen with thermal shock cycling

3.1.2 굽힘 실험 결과

3점 굽힘 실험을 통해 얻은 열 충격이 가해진 복합재료의 thermal cycle, conditioning time에 따른 굽힘 강도 변화를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보듯이 downthermal cycle하에 노출된 시편의 굽힘 강도는 대체로 감소하는 경향을 보였으며, conditioning time이 증가할수록 강도 감소율은 낮아짐을 확인할 수 있다. 또한, upthermal cycle하에서도 이와 같은 결과를 확인할 수 있었다.

3.1.3 인장 실험 결과

인장 실험을 통해 얻은 열 충격이 가해진 복합재료의 thermal cycle, conditioning time에 따른 인장 강도 변화를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서

보듯이 upthermal cycle하에 노출된 시편의 인장 강도는 conditioning time이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, downthermal cycle하에서도 이와 같은 결과를 확인할 수 있었다.

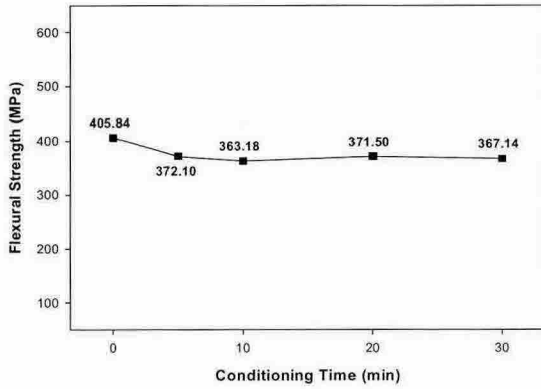


Fig. 7 Effect of downthermal cycle on flexural strength

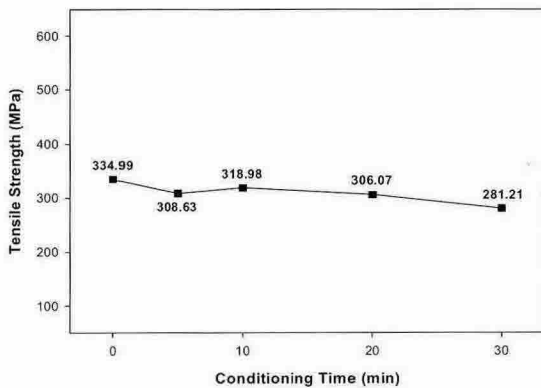


Fig. 8 Effect of upthermal cycle on tensile strength

4. 결론

열적 환경에 대하여 우수한 열 차단 효과를 발휘하는 내열용 복합재료로서 탄소 직물 복합재료를 제조하여 열 충격에 따른 역학적 특성 변화 및 균열 거동, 열 충격 저항성 등을 평가하였다. 층간 전단력 실험 결과 conditioning time-30min을 제외한 각 지점에서 감소하는 경향을 보였으며, 잔류 압축 응력과 post-curing strengthening effect로 인한 층간 전단력의 증가 또한 확인할 수 있

었다. 굽힘 실험과 인장 실험에서는 conditioning time이 증가할수록 강도는 전반적으로 감소하였고, 강도 감소율은 낮아짐을 확인할 수 있었다. 또한, thermal cycle에 따른 차이는 그다지 크지 않았다.

후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음 (R11 - 2005 - 065)

참고문헌

- (1) A.R. Boccaccini, A.M. Torre, C.R. Oldani, D.N. Boccaccini, "Effect of thermomechanical loads on microstructural damage and on the resulting thermomechanical behavior of silicon carbide fibre-reinforced glass matrix composites", *Materials Characterization*, 54, p.75-83(2005)
- (2) B.C. Ray, "Thermal shock on interfacial adhesion of thermally conditioned glass fiber/epoxy composites", *Materials letters*, 58, p.2175-2177(2004)
- (3) J.F. Timmerman, M.S. Tillman, B.S. Hayes, J.C. Seferis, "Matrix and fiber influences on the cryogenic microcracking of carbon fiber/epoxy composites", 33, p.323-329(2002)
- (4) C. Sauder, J. Lamon, R. Pailler, "Thermomechanical properties of carbon fibres at high temperatures(up to 2000°C)", *Composites Science and Technology*, 62, p.499-504(2002)