

카본/나일론 복합재료의 냉각속도에 따른 기계적 특성변화

홍순곤*·변준형**·황병선**·강범수***

Effect of Cooling Rate on Mechanical Properties of Carbon/Nylon66 Composites

S. G. Hong, J. H. Byun, B. S. Hwang and B. S. Kang

Key Words: thermoplastic composites, co-braided yarn, Nylon 66, cooling rate, SEM

Abstract

The objective of this research is to develop hybridized yarns for thermoplastic composites, and to examine the effect of cooling rate on mechanical properties of the composites. The co-braided yarn utilizing carbon fibers as reinforcements and Nylon 66 fibers as matrix materials has been fabricated. Thermoplastic composites have been manufactured by the hot-press forming process. For the processing conditions, cooling rates of $-2.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ and $-60^{\circ}\text{C}/\text{min}$ have been considered. Three-point bending test and Iosipescu shear test were performed to investigate the effect of the cooling rate and the surface treatment of carbon fibers. SEM photographs were used to investigate the fracture surfaces of the tested samples. The cooling rate of $-60^{\circ}\text{C}/\text{min}$ resulted in the higher strength and elastic modulus for bending and shear tests. The composites of the epoxy-sized carbon fibers showed the lowest strength due to the degradation of the sizing material during the thermoforming process.

1. 서론

열가소성 수지는 수분흡수가 낮고 인성과 손상 허용치가 높으며 성형시간이 짧고 공정이 단순하며 열안정성과 진동감쇄능이 우수하다. 또한 열경화성 수지와는 달리 재료 보관시간이 무한대이며 다시 용융하여 재성형이 가능하기 때문에 재활용이 가능하다는 등의 장점으로 인하여 최근 열가소성 복합재료의 응용 분야가 점차 확대되고 있다. 그러나, 열가소성 복합재료로 많이 사용되고 있는 프리프레그는 딱딱하기 때문에 곡면이 심한 제품 성형에 어려움이 많다. 비록 이러한 프리프레그의 단점을 해결하기 위하여 commingle 섬유를 고려할 수 있으나 이러한 형태의 혼합섬유는 고속의 air jet를 사용하는 commingling 공정 중에 섬유손상이 생기기 쉽고 직조 공정을 거치

면서 더 심한 섬유손상을 초래할 수 있으며 섬유 분포가 균일하지 않는 단점이 있다. 또한, 열가소성 복합재료는 용융점도가 상당히 높고 냉각에 의해 급속히 응고되기 때문에 성형과정에서의 수지유동 특성 및 열이력에 의한 결정학적 거동 특성에 대한 이해가 매우 중요하다 [1]. 특히, 냉각 속도에 따라 열가소성 고분자의 결정화도와 결정의 종류가 달라지기 때문에 열가소성 복합재료의 기계적 특성이 변화하게 된다 [2-4].

본 연구의 목적은 열가소성 복합재료의 중간재로서, 직조방법을 이용한 혼합섬유를 개발하고 이 혼합섬유를 사용한 복합재 성형에 있어서 냉각 속도에 따른 복합재료의 기계적 특성변화를 통하여 최적의 성형공정을 개발하는 데 있다.

혼합섬유는 탄소섬유를 중축섬유로 하고 폴리 아미드계인 나일론 66 섬유를 브레이딩 섬유로 하여 직조하였으며 이렇게 브레이딩된 혼합섬유를 평편에 winding하여 프리프레그 형태의 평편을 제작하고 이것을 여러 장 적층한 후 압축성형으

* 부산대학교 기계공학과 대학원

** 한국기계연구원 복합재료그룹

*** 부산대학교 항공우주공학과

로 복합재 시편을 제조하였다. 성형과정 중 냉각속도가 열가소성 복합재료의 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하기 위해 두 가지의 냉각속도로 복합재료를 제작하였고 탄소섬유의 표면 처리 여부에 따른 영향을 알아보기 위해 표면처리가 다른 두 종류의 탄소섬유를 사용하였다.

냉각속도는 기지 재료의 특성에 직접적으로 영향을 주기 때문에 기지와 섬유간의 접착강도를 알아보기 위해 3점 굽힘 시험과 Iosipescu 전단 시험을 실시하였다. 또한 각 시험편의 파단면을 SEM으로 관찰하여 각 조건에 따른 파손 양상을 확인하였다.

2. 실험

2.1 시편제조

2.1.1 탄소섬유/나일론66 co-braiding

혼합섬유를 제조하는 방법은 브레이딩 직조법을 사용하였다. Fig.1에서 보는 바와 같이 브레이드 직물은 서로 위나 아래를 지나는 두 종류의 섬유로 이루어져 있다. 섬유 방향이 프리폼 길이 방향에 대하여 $\pm \theta$ 를 이루는 섬유를 브레이드 섬유 (braider yarn)라고 하고 0도 방향의 섬유를 종축섬유(axial yarn)라고 한다. 이러한 형태의 프리폼을 3축(triaxial)브레이드 라고 한다. Fig.2는 브레이딩 직조 장비를 도식적으로 보인 것이다.

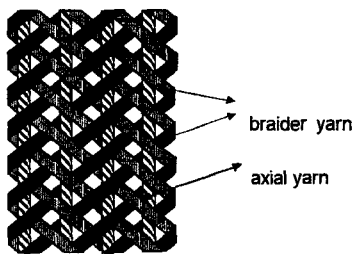


Fig.1 Braid pattern.

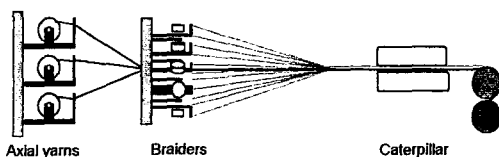


Fig.2 Braiding machine.

본 연구에서는 종축섬유로서 4 개의 AS-4 탄소섬유 (3K tow, Hexcel사)와 1 개의 840 denier 나일론 6-6 섬유 (Dupont사)를 사용하였고 브레이드 섬유로는 16개의 210 denier 나일론66 섬유를 사용하였다. Fig. 3은 혼합섬유의 단면을 보인 것인데 4 개의 탄소섬유의 중앙에는 840 denier의 나일론 섬유가 위치해 있고 탄소섬유 외부에는 210 denier의 나일론 섬유가 배열되어 있는 구조이다.

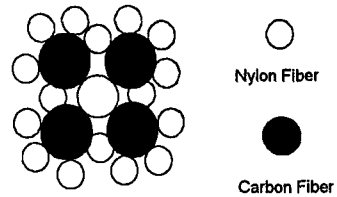


Fig.3 Co-braided yarn.

이 구조는 3K 크기의 탄소섬유 외부에서 일정량의 열가소성 수지가 함침되기 때문에 균일한 섬유분포를 줄 수 있다. 탄소섬유는 표면처리가 되어있지 않은 섬유와 에폭시 수지 복합재료에 자주 사용되는 G/Prime으로 사이징된 섬유를 사용하였다. 3K tow를 사용한 이유는 고점도의 열가소성 수지의 유동거리를 짧게 하여 카본섬유 다발의 내부까지 함침이 완전히 일어나도록 하기 위함이다. 본 연구에서 개발한 브레이딩 직조법에 의한 혼합섬유 (co-braided yarn)의 특징은 수지가 탄소섬유 tow 주변에 균일하게 존재하게 되므로 균일한 수지함침 및 함침시간의 단축과 성형압력의 저감 등의 장점이 있다. 또한, 취성이 큰 탄소섬유 주위에 열가소성 섬유가 둘러싸고 있기 때문에 탄소섬유사이의 마찰이나 직조 등의 공정에서의 기계적 접촉에 의한 섬유의 파손이 최소화되기 때문에 기존의 commingle 섬유보다 기계적 강도를 향상시킬 수 있다. Fig. 4는 제조된 co-braided 섬유의 모습이다.



Fig.4 Co-braided carbon/Nylon 66 yarn.

2.1.2 탄소섬유/나일론66 복합재 성형

제작된 co-braided yarn을 먼저 알루미늄 판에 와인딩하여 hot-press에서 용점이상으로 가열하고 약 1MPa 정도의 압력에서 10분간 성형하여 1차 성형판인 일방향 프리프레그를 만든다. 이것을 4장 적층하여 알루미늄 금형에 넣어 Fig.5와 같은 성형 cycle로 285°C에서 2.2MPa의 압력으로 40분간 가압한 후 압력을 유지하면서 -2.5°C/min 혹은 -60°C/min의 냉각속도로 냉각시킨다.

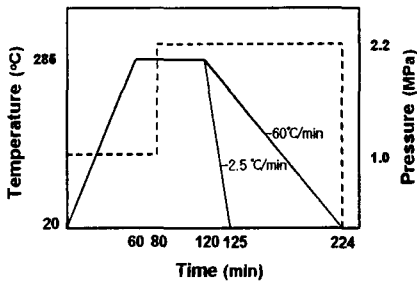


Fig.5 Thermoforming process.

2.3 시편의 준비

3점 굽힘시험으로는, 각각의 냉각조건으로 성형된 복합재료 평판에서 60×25×2.5mm의 크기로 UD 시편을 8개 씩 가공했으며 섬유방향은 시편 길이방향의 90°가 되도록 하였다. 전단시험을 위해서는 76×20×2.5mm의 시편을 8개 씩 절취하여 notch tip 간격이 12mm가 되도록 가공하였고 섬유방향은 시편의 길이방향으로 하였다. 시편의 섬유부피비율은 약 % 이었다.

2.4 시험 방법

3점 굽힘 시험 절차, 강도 및 탄성을 계산은 ASTM D790-96에 의거하였고 시편을 지지하는 support와 loading nose의 반경은 5mm, 지지점 사이의 간격은 40mm로 하였다. Cross head speed는 1mm/min로 하였다. 전단시험은 ASTM D5379/D5379M-93에 따라서 실시하였고 Cross head speed는 2mm/min이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기계적 특성 시험 결과

동일한 냉각속도(-2.5°C/min)로 제작된 복합재

료 중에 G/prime 사이징 처리된 것 (이하 GP2.5로 표기)과 처리되지 않은 경우의 최대 응력값은 3점 굽힘시험과 전단시험 모두에서 사이징 처리되지 않은 것이 월등히 우수하게 나타났다.

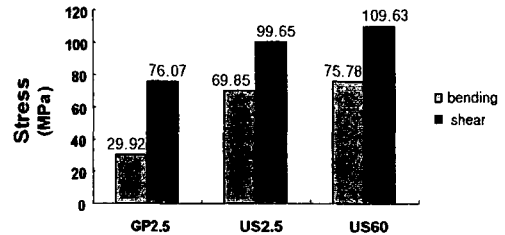


Fig.6 Maximum stress of 3 point bending and shear tests.

냉각속도에 따른 결과는 -2.5°C/min로 서냉한 경우(이하 US2.5로 표기)보다 -60°C/min로 급랭한 것(이하 US60으로 표기)이 굽힘 및 전단시험 모두 우수한 것으로 나타났다. 탄성률의 경우는 Fig.7에서 보는 바와 같이 사이징 처리의 유무에 따른 경향은 최대응력의 경우와 동일하나 냉각속도에 따른 결과는 냉각속도가 느릴수록 높은 값을 보였다.

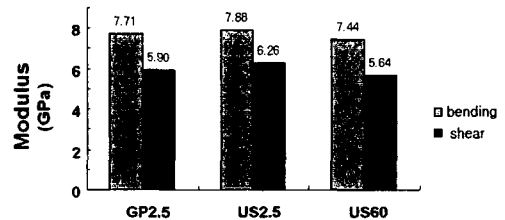


Fig.7 Elastic modulus of 3 point bending and shear tests.

또한 3점 굽힘시험에서 최대굽힘량은 US60 시편이 가장 크고 US2.5 시편이 이보다 약간 낮은 값을 보이지만 GP2.5시편은 가장 낮았다.

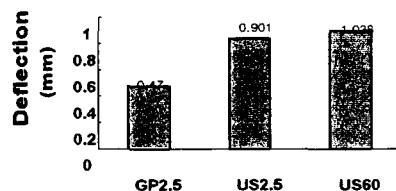


Fig.8 Maximum mid-span deflection.

3.2 시험편 파단면의 SEM관찰

3점 굽힘시험과 전단시험에서의 응력상태와 미세 파괴기구를 규명하기 위하여 시험편의 파단면을 SEM으로 관찰하였다. Fig.9, 10에서 보는 바와 같이 3점 굽힘과 전단시험에서 US2.5 시험편의 경우에는 섬유-수지 계면이 분리되지 않고 수지 층에서 분리가 일어난 반면에 US60 시험편과 GP2.5 시험편의 경우는 섬유-수지 계면에서 분리가 일어나서 섬유의 표면이 드러남을 볼 수 있다. 특히, GP2.5시험편에서는 수지가 섬유표면에서 깨끗하게 분리된 것을 관찰 할 수 있는데 그 이유는 사이징 처리된 에폭시가 나일론의 성형온도인 285°C에서 열화되어 접착강도를 떨어뜨리기 때문이다. 그러나, Fig.10에서 보는 바와 같이 US60의 전단시험의 파면에서는 수지 층이 분리되지 않고 섬유-수지간에 분리된 모습이 보이는데 그 이유는 냉각속도가 빠를수록 나일론 66의 결정화도는 낮아서 비교적 연성이 높은 amorphous 상이 더 많이 존재하기 때문인 것으로 보인다.

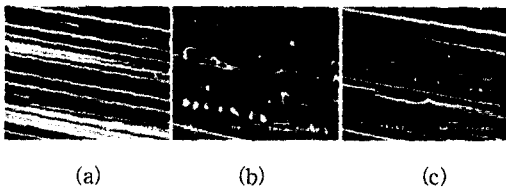


Fig.9 SEM photograph of fracture surface for 3 point bending specimens: (a) GP2.5; (b) US2.5; (c) US60.

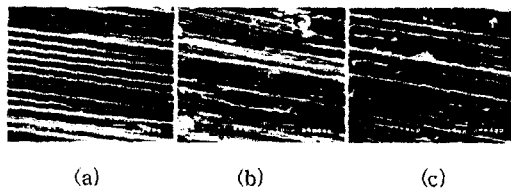


Fig.10 SEM photograph of fracture surface for Iosipescu shear specimens: (a) GP2.5; (b) US2.5; (c) US60.

4. 결 론

본 연구에서는 브레이딩 직조법으로 탄소섬유/나일론66 혼합섬유(co-braided yarn)를 제조하고 이를 이용하여 적층복합재를 성형할 때의 냉각속

도 및 탄소섬유 사이징제 유무에 따른 기계적 강도 시험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 냉각속도의 증가에 따라 3점 굽힘시험과 전단시험 모두에서 최대응력이 증가하는 것으로 나타났다. 그 이유는 냉각속도가 빠른 시험편에서는 섬유-기지 계면에서 파괴가 일어나고 냉각속도가 느린 시험편은 수지층에서 파괴가 일어남을 SEM 관찰 결과로서 알 수 있었다.

(2) 두 가지 시험 모두에서 냉각속도가 증가함에 따라 탄성률은 감소하였다. 이는 냉각속도가 빠를수록 나일론 66의 결정화도가 낮아지고 비교적 연성이 높은 amorphous 상이 더 많이 존재하기 때문이다.

(3) 탄소섬유에 G/Prime으로 사이징 처리된 복합재료는 사이징 재료가 고온에서 열화되어 섬유와 나일론 수지 사이의 접착강도를 떨어뜨리기 때문에 가장 낮은 강도 값을 보였다.

후 기

본 연구는 1999년 과학기술부 지정 국가지정연구실 사업의 과제 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) A. Kelly and C. Zweben, "Comprehensive Composite Materials," Elsevier Science Ltd., Vol 2, 2000, pp. 853-872.
- (2) N. Klein, H. Nuriel and G. Marom, "The effect of transcrystalline interface on the mechanical properties of composite material", Proc. of ECCM-8, 1998.
- (3) H. C. Y. Cartledge and C. A. Baillie, "Studies of microstructural and mechanical properties of Nylon/Glass composites Part II," J. Material Science, Vol 34, 1999, pp. 5113-5126.
- (4) H. C. Y. Cartledge, C. A. Baillie and Y. W. Mai, "Influence of cooling rate on morphological and mechanical properties of thermoplastic composites," Proc. of ICCM-11, 1997.