

적층 방법에 따른 고분자 기지 복합재의 저온 영역 하에서 정적 강도 변화의 비교

엄수현* · 김윤해* · 최병근* · Piyush K. Dutta** · 권순철** · 김국진***

A Comparison of the Effect of Fabrication Methods on Static Strength of Polymer Based Composites under the Low Temperature Range

S.H. Eum[†] · Y.H. Kim^{*} · B.K. Choi^{*} · P.K. Dutta^{**} · S.C. Kwon^{**} · K.J. Kim^{***}

Key Words: Cold regions (극한지역), Vacuum Bagging Process (진공백 성형), RIM (Resin Injection Molding), Composites (복합재료)

Abstract

When the structures are used in cold regions, the mechanical properties and dimension stability of the blade will be changed. The proposal of this study is to test the durability of the structures in cold regions. It is necessary to select the most comfortable materials and fabrication processes for more stable structures in cold regions. To select the most comfortable materials and processes, the static strength has to know through the tensile static tests at the severe condition as cold regions. First, the tensile static specimens made by RIM (Resin injection molding) process & vacuum bagging process with reinforcement materials and resin. Tensile static tests were carried out on three laminate lay-ups (carbon prepreg, carbon fiber dry fabric) at different test temperature(24°C, -30°C), determining properties such as the mechanical strength, stiffness and strain to failure. At different test temperature, in order to test the tensile strengths of these specimens used the low temperature chamber. Next, the results of this test were compared with each other. Finally, the most comfortable materials and fabrication processes can select based on these results. The results show the changes in the static behavior of three laminate lay-ups at different test temperatures. At low temperatures, the static strengths are higher than the ones at room temperature.

1. 서론

복합재료에 있어서 복합이란 말은 두 가지 혹은 그 이상의 재료들이 더해져서 그 각각의 재료들보다 훨씬 더 성능과 기능이 뛰어난 구조를 가질 때 이를 나타내는 말로 사용된다. 복합재료의 가장 보편적인 구조는 두 가지 요소, 즉 접합재

료의 역할을 하는 기지와 강화재의 역할을 하는 섬유이다. 복합재료는 다른 재료에 비해 비강도, 비강성이 뛰어나다.

복합재료는 그들의 독특한 특성 때문에 많은 저온에서 사용되는 구조물에도 적용된다. 열의 변화 견딜 수 있는 복합재료를 설계하기 위해서는 변화되는 온도 하에서 강화재료(reinforcement)와 기지(matrix) 간의 계면 거동도 매우 중요하다.

복합재료는 그들의 높은 피로 저항성과 열적 특성 때문에 풍력발전기 블레이드 등과 같은 여러 구조물의 제작에 주로 사용된다. 게다가 복합재료의 낮은 열전도성과 높은 치수안정성과 같은 이들 특성은 구조물과 그들을 지지하고 있는 요

* 한국해양대학교 재료공학과

** U.S.Army Cold Regions Research & Engineering Laboratory, U.S.A.

*** 대한항공 항공우주 사업본부

소들이 저온 영역에 적용될 때 발휘하게 된다.

극한지에서 사용되는 복합재료 구조물은 남극과 같은 예측할 수 없는 매우 혹한 환경 조건에서 사용할 수 있도록 설계되어야 한다. 사용 조건과 제작 조건 사이에 많은 온도 차가 있기 때문에 그들의 사용 조건에 따라 설계되어야 한다. 만약 구조물이 극한지에서 사용된다면, 블레이드의 기계적 물성치, 치수 안정성이 변하게 될 것이고 블레이드의 수명도 줄어들 것이다. 그러므로 극한지에서 더욱 안정적인 구조물을 위한 가장 적합한 재료와 제조 공정을 선택하는 것이 필요하며, 가장 적합한 재료와 공정을 선택하기 위해 극한지와 같은 혹한 조건하에서 정적 인장 시험을 통한 정적 강도를 평가해야 한다. 따라서 이 논문은 제조방법에 따른 기계적 물성치의 저온에 대한 영향을 규정하기 위한 실험 결과를 요약한 것이다.

2. 시편제작

2.1 RIM process

RIM(Resin injection molding)은 진공성형 방법 중의 하나이다. 몰드 위에 보강재를 적층하고 이형을 위한 필 플라이(peel ply) 그리고 진공 백 내부 수지의 유동과 균일한 압력을 위해 레진플로어(resin flower)를 적층하고 실런트 테이프(sealant tape)을 바르고 진공 백 필름(vacuum bag film)으로 몰드를 감싼 뒤, 수지 주입구와 배출구를 만든다. 그 다음 진공 백 내부를 진공분위기로 만들고 수지 주입을 시작한다. 진공 백 내부는 낮은 압력으로 인해 수지를 사출하기 시작하고 이 과정에서 발생하는 기포는 수지 배출구로 빠져나가게 된다. 수지가 모두 함침 된 다음 수지 주입구와 배출구를 막고 상온에서 경화시킨다.

RIM 공법의 장점은 저점도의 수지를 사출하기 때문에 사출압력 및 금형 지지압력이 작아도 되기에 시설비가 적게 들고 대형제품의 생산에 유리하다.

2.2 Vacuum bagging process

Vacuum bagging process도 일종의 진공성형법이며 RIM 성형법에서 이형을 위한 필플라이의 사용, 진공을 위한 실런트 테이프와 진공백 필름, 그리고 진공 펌프를 사용하여 진공분위기를 만들어 주는 것에 대해서는 거의 공정이 비슷하지만,

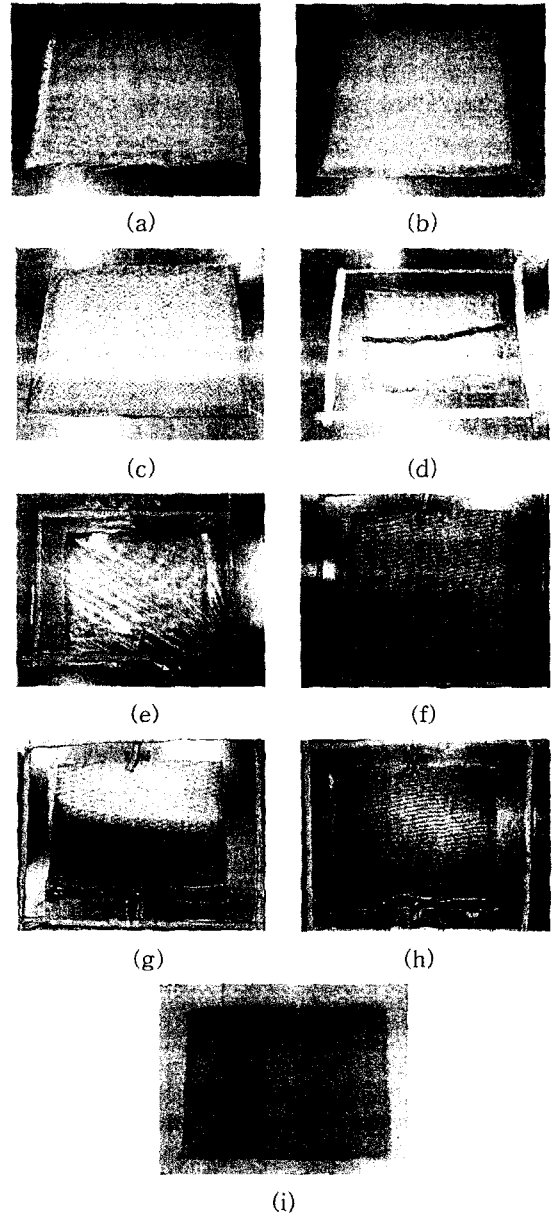


Fig. 1 RIM process

dry fabric과 수지를 사용하지 않고, dry fabric에 수지가 함침 되어 B-stage로 경화되어 있는 prepreg를 사용하기 때문에 수지의 주입이 없다는 점에서 약간의 차이가 있다 (Fig. 2). 그리고 RIM 성형법에 의한 시편제작에서는 적용된 수지를 상온에서 경화시킨 반면에 vacuum bagging process에 의한 시편제작에서는 fabrication 후 Fig. 3과 같은 경화 사이클로 고온 경화하였다.

2.3 시편

위와 같은 공정에 의해 제작된 각각의 라미네이트를 인장시편크기(183mm × 19mm)에 맞게 직사각형으로 다이아몬드 휠 커터로 절단한 뒤 ASTM D638-9 (Fig. 4) 에 규정된 규격 맞는 지그에 넣고 Tensil kut을 이용하여 독본(dog bone)형상으로 절삭한 후 응력 집중부를 없애기 위해 그라인더를 이용해 다듬질하였다.

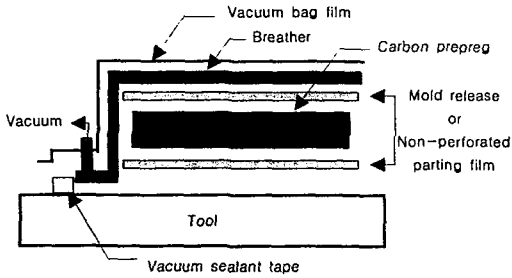


Fig. 2 Vacuum bagging process

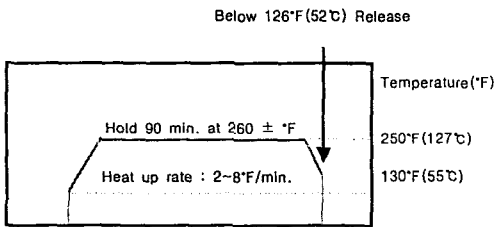


Fig. 3 Cure cycle for vacuum bagging system

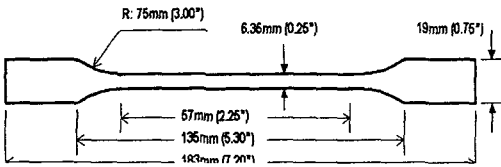


Fig. 4 The shape of specimen (ASTM D638-9)

Table 1 Overview of materials and fabrication method

Group	Reinforcement		Resin		Process	Test Method
	Type	Volume %	Type	Volume %		
A	Carbon prepreg	56.6%	Epoxy	43.4%	Vacuum Bagging	Tensile
B	Carbon fiber dry fabric	45.7%	Epoxy	54.3%	RIM	Tensile

Table 1은 vacuum bagging process와 RIM process를 통해 얻어진 각각의 라미네이트의 수지 함유량과 섬유함유량을 volume %로 나타낸 것이다. 사용된 재료는 (주) TB카본社의 C3327 dry fabric과 prepreg를 사용하였고, 사용된 수지는 dry fabric과 prepreg의 경우 모두 국도화학社의 에폭시 YD-115, 경화제는 RIM 공정에 사용된 경화제는 G-A0432, D-230을 사용하여 상온 경화시켰고, vacuum bagging process에서 사용된 prepreg도 동일한 경화제를 적용하여 오븐에서 고온 경화하였다.

기지재료는 우선 G-A0432와 D-230을 50:50의 비율로 혼합하여 경화제를 만든 다음, 다시 에폭시 YD-115와 혼합된 경화제를 100:35의 비율로 혼합하여 사용하였다.

3. 실험

3.1 Test set up

저온 실험을 하기 위하여 MTS에 저온 챔버를 장착하고 액체 질소를 이용하여 챔버 내의 분위기를 저온으로 만들고, controller로 온도를 제어했다(Fig. 5). 챔버 내를 -30℃로 유지하고 지그에 시편을 장착한 후 시편에 열전달이 충분히 이루어지도록 1시간 이상 노출시켜 인장실험을 실시하였다.

3.2 Test

정적 인장 실험의 목적은 각각의 재료와 각각의 제조공법이 따라 tensile strength와 Young's modulus 그리고 ultimate strain이 저온에 어떠한 영향을 받는지를 알기 위함이다. 그리고 이들 실험

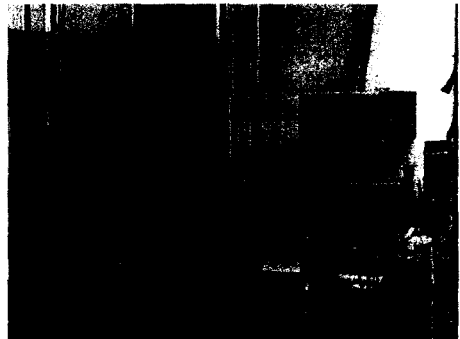
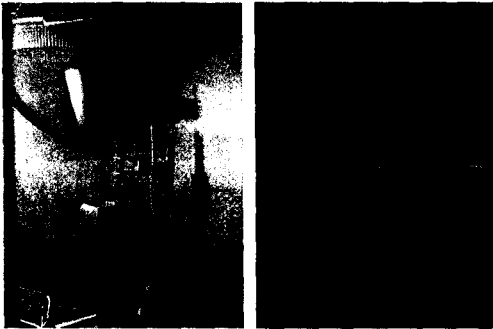


Fig. 5 Test set up(I)



(a) Before the test (b) After the test

Fig. 6 Test set up(II)

험에 사용된 시험편은 carbon dry fabric을 이용하여 RIM 공법에 의해 제작된 것과 carbon prepreg를 이용하여 vacuum bagging process에 의해 제작된 3가지이며, 이들 시험편을 이용하여 각각 실온과 저온(-30℃) 분위기에서 실험을 실시하였고, cross head speed는 1.27mm/min.(0.05in./min.)으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 Static tensile test

정적 인장 시험의 결과로부터 각 시험편의 온도에 따른 강도와 변형률의 변화를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

carbon prepreg의 경우 저온과 실온에서의 강도와 변형률은 각각 거의 차이를 나타내지 않고 있다. 그러나 carbon dry fabric에서는 저온에서 훨씬 더 강도가 높아지는 것을 알 수 있으나 변형률에서는 그다지 차이를 나타내지 않고 있음을 알 수 있다.

carbon fiber를 이용해서 fabrication method를 달리하였을 경우에는 prepreg를 이용하여 vacuum bagging system을 통하여 제작된 시험편이 상온에서 강도가 좀더 우수한 것을 알 수 있다. Table 1에 나타나 있는 것과 같이 vacuum bagging system 쪽이 RIM process에서 보다 더욱 섬유 함유율이 높은 것을 알 수 있다. RIM process 보다 더욱 높은 압력을 가해주기 때문에 잉여 수지가 breather에 흡수되어 상대적으로 섬유 함유율이 높아졌기

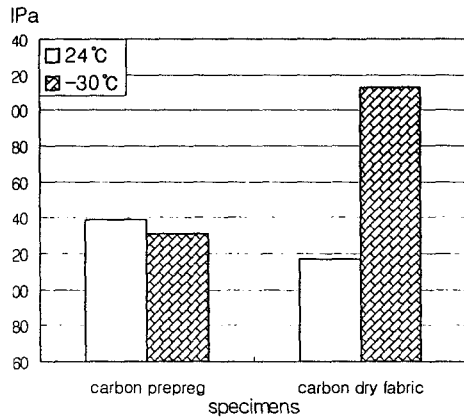


Fig. 7 Comparison of strengths

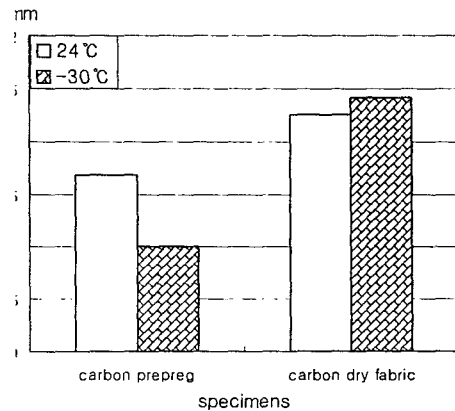


Fig. 8 Comparison of strains

때문으로 사료된다.

반면에 저온일 때에는 carbon dry fabric을 이용하여 RIM process를 통해서 제작된 시험편이 더욱 높은 강도를 나타내었다. 이 경우는 보강재의 역할보다 기지재의 역할 때문인 것으로 사료된다. RIM process를 통해 시험편을 만들었을 경우, vacuum bagging system에서 보다 훨씬 수지함유율이 높기 때문에 시험편이 저온영역에서 1시간 이상 유지하게 되면 기지재인 수지가 brittle하게 되어 상온일 때에 비해 훨씬 강도가 높아졌으리라 사료된다.

4.2 SEM analysis

Static tensile test 후 저온영역에서 파단면의 미세적 메커니즘에 미치는 영향을 관찰하기 위하여

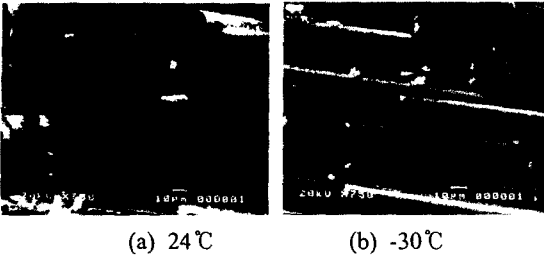


Fig. 9 Fractography of carbon dry fabric

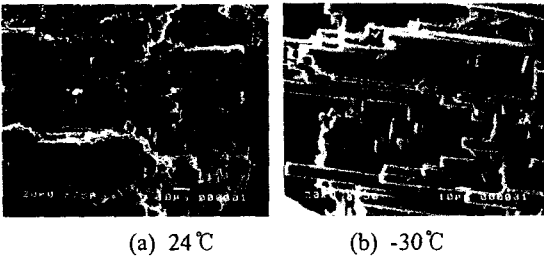


Fig. 10 Fractography of carbon prepreg

SEM(Scanning electron microscopy) 촬영을 실시하였다. static tensile test에서 파단된 시험편의 SEM 사진은 온도변화에 따른 파단 메커니즘의 차이를 보여준다.

파단면은 두 가지 특징이 있는데 파단된 섬유 엔드(end)의 파단면에 나타나는 무늬와 섬유의 pull-out이다. 특히, 저온에서는 pull-out되어 파단된 섬유와 파단된 섬유에서 취성파괴가 일어난 흔적을 관찰할 수 있다.

Fig. 9에서 24°C에서와 -30°C에서의 파단면을 비교해 보면 실온에서는 matrix가 저온에서 보다 약간 ductile한 상태이기 때문에 matrix가 먼저 파단하면서 떨어져 나온 matrix 파편들이 섬유 표면에 잔재해 있는 것을 알 수 있다. 반면에 온도가 낮아짐에 따라 matrix는 더욱 brittle하게 되어 취성적으로 파단이 일어나기 때문에 matrix의 파편은 찾아보기 힘들고, 섬유와 matrix 간에 결합력이 떨어져 섬유가 pull-out되면서 파단이 일어난 섬유에서는, 섬유 엔드(end)가 매우 날카로워 저온에 의한 취성파괴가 일어났음을 잘 나타내고 있다.

Fig. 10에서도 마찬가지로 24°C에서는 섬유에 많은 matrix 파편이 남아 있는 것을 관찰할 수 있으나, -30°C의 경우에는 섬유 표면이 아주 매끄러우며 matrix 파편은 많이 찾아 볼 수 없고, 온도가 낮아짐에 따라 matrix가 brittle해 지면서 섬유

와 matrix 간에 박리현상이 일어나서 섬유가 파단되어 pull-out된 것을 잘 나타내고 있다.

5. 결론

(1) static tensile test에서 carbon prepreg의 경우에는 실온과 저온에서의 강도는 큰 차이가 없었지만, carbon dry fabric의 경우에는 저온에서 강도값이 실온 보다 훨씬 높은 것을 알 수 있었는데, 이것은 matrix가 온도가 낮아짐에 따라 brittle하게 되어 강도가 상승한 것으로 사료된다.

(2) 변형률의 경우에는 carbon prepreg와 carbon dry fabric은 보강재인 탄소섬유의 영향을 받아 온도가 낮아져도 변형률은 큰 변화가 없었다.

(3) SEM 사진으로 알아본 각 시편들의 파단면에서는 실온의 경우에는 matrix가 먼저 파단이 되면서 생긴 파편들이 섬유 표면에 많이 잔재해 있는 것을 알 수 있었으며, 저온의 경우에는 섬유와 matrix 간의 박리현상에 의해 섬유 표면이 깨끗하게 pull-out 되면서 파단이 일어난 것을 알 수 있었으며, 특히 glass dry fabric의 경우에는 저온에서 섬유 엔드가 매우 날카로워 저온에 의한 취성파괴가 일어난 것을 잘 알 수 있었다.

(4) vacuum bagging system에 의해 제작된 carbon 시편과 RIM process에 의해 제작된 carbon 시편의 실온과 저온에서의 강도 차이는 vacuum bagging system과 RIM process 간의 압력차에 따른 섬유함유량과 수지함유량의 차이 때문이라 사료된다. 따라서 vacuum bagging system에 의해 제작된 시편이 실온과 저온에서의 강도 차이가 그다지 크지 않은 것을 보아 저온용 구조물 제작 시 vacuum bagging system의 적용이 훨씬 효율적이라 생각된다.

참고문헌

- (1) REINFORCED plastics Feb. 2001 "Composites Enable Cheaper Wind Power" pp. 28-33.
- (2) George Lubi, Handbook of Composites.

- (3) Yun Hae Kim, Composites, 2001, Hyosung press.
- (4) J.B. Schutz, 1998, "*Properties of Composite Materials for Cryogenic Application*", Cryogenics 38, pp. 3~12.
- (5) Yu. A. Gorbatkina & Z. P. Sulyaeva, 1997, "*Strength of The Fiber/Thermoplastic-Matrix Interface Under Cyclic Cooling to Low Temperatur*" Composites and Science and Technology 57, pp. 995~1000.
- (6) S. Sanchez-Saez, T. Gomez-del Rio, E. Barbero, R. Zaera, C. Navarro, 2002, "*Static Behavior of CFRPs at Low Temperature*", Composites: Part B 33, pp. 383~390.
- (7) S.M. Havali, I.A. Sale, 2000, "*Local Design, Testing and Manufacturing of Small Mixed Airfoil Wind Turbine Blades of Glass Fiber Reinforced Plastics Part I : Design of the blade and root*", Energy Conversion & Management 41, pp. 249~280.
- (8) Anne C. Roulin-Moloney, Fractography and Failure Mechanisms of Polymers and Composites.