

니들펀칭 부직포 탄소/페놀 복합재료의 역학적 성질 및 열적 성질에 관한 연구

정경호* · 강태진*

Mechanical and Thermal Properties of Needle Punched Nonwoven Carbon/Phenol Composite

Kyoung Ho Jung*, Tae Jin Kang*

Key Words: Needle punching, Carbon/Carbon composite, Carbon/Phenol composite, Oxi-PAN

Abstract

The effect of punching density on the mechanical and thermal properties of nonwoven needle-punched carbon/phenol composite was studied. The carbonized preforms were formed into composites with phenol resin. The interlaminar shear, tensile and flexural strengths were increased with increasing punching density. However, excessive punching density decreased interlaminar shear and tensile strengths. Erosion rate of carbon/phenol composite was decreased with increasing punching density.

기호설명

ppsc : punching density(punches per square centimeter)

1. 서론

탄소/탄소 복합재료는 1300℃ 이상의 고온에서도 강도를 유지하는 성능이 우수하여 항공기용 브레이크 디스크, 로켓노즐, 재돌입 우주선의 열차폐재 등에 사용되고 있다. 이러한 분야에 응용되는 탄소/탄소 복합재료는 지금까지 평직 및 주자직의 직물을 적층한 프리폼으로 많이 만들어져 왔다. 그러나, 이와 같은 적층 복합재료는 두께 방향으로 보강된 섬유가 없기 때문에 두께 방향의 기계적 성질이 취약하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 3차원 구조의 프리폼을 제조하여 복합재료에 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 3차원 구조의 프리폼을 제조

하는 여러 가지의 방법 중에서 니들펀칭은 장비의 구조 및 제조 공정이 간단하기 때문에 생산성과 작업성 및 경제성이 우수하다는 장점을 가지고 있다.

펀칭 니들은 끝단으로 향하는 갈고리 모양의 돌출부를 가지고 있어서, 섬유집합체의 평면에 수직인 방향으로 반복 운동하는 동안 평면상에 배열된 섬유들을 끌고 들어가 두께 방향으로 재배열함으로써 3차원 구조를 형성하게 한다. 니들펀칭에 의해 수직하게 배열된 섬유들은 두께 방향의 강도를 향상시키게 된다. 그런데, 펀칭 밀도가 과도하게 증가하면 평면상에 배열된 섬유의 손실이 커지고 수직으로 배열된 섬유들에 의해 평면상에 배열된 섬유들간의 거리가 벌어지는 현상, 펀칭에 의해 섬유들이 파손되는 현상 등이 발생하여, 여러 가지 기계적 물성이 오히려 나빠진다. 따라서, 평면성질과 두께 방향의 성질을 함께 향상시킬 수 있는 최적의 공정조건을 찾아내는 연구가 필요하다.

니들펀칭된 3차원 프리폼의 역학적 성질을 결정하는 공정변수에는 펀칭밀도, 니들의 관통깊이, 니들의 형태, 니들의 운동 속도 등 여러 가지 요

* 서울대학교 재료공학부

인이 있으나, 본 연구에서는 가장 중요한 인자로 생각되는 편칭밀도를 변화시키면서 복합재료의 역학적 성질이 어떻게 변화하는지를 확인하고, 최적의 편칭밀도를 찾아내고자 하였다.

PAN계 탄소섬유의 높은 열전도도는 내열재료로 사용될 때에 큰 단점이 되기 때문에, 연속사 대신 단섬유로 이루어진 carded web을 사용하여 열전도도를 낮추고자 하였으며, 니들편칭에 의한 섬유 배향 변화가 복합재료의 열적 특성에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구도 수반하였다.

이를 위해 편칭밀도를 네 가지로 다르게 하여 제작한 프리폼에 페놀 수지를 함침시켜 탄소/페놀 복합재료를 성형하였다. 탄소섬유 프리폼을 제작하기 위해 oxi-PAN 섬유로 이루어진 carded web을 니들편칭한 후 탄화하였으며, 수지 함침은 삼투압법으로 하였다.

2. 실험

2.1 시편 제조

2.1.1 편칭 fabric의 제조

탄소섬유 자체는 취성이 높아 니들편칭 시에 섬유의 파손이 심하기 때문에 파손 변형률이 높은 oxi-PAN 섬유를 편칭한 다음 탄화시키는 방법을 사용하였다. oxi-PAN 섬유는 미국 Zoltek社의 제품을 사용하였으며, 단면의 지름은 13 μ m이다. 길이 25mm가량의 단섬유로 이루어진 carded web을 얻은 다음, 이것을 인접한 층과 서로 직교하도록 하여 20장을 적층한 것을 편칭을 가할 최소 단위로 하였다.

니들편칭을 위해 웹의 이송속도와 니들의 단위 시간당 편칭회수를 모두 조절할 수 있도록 제작된 장비를 사용하였다. 편칭 밀도란 단위면적 당 가해진 니들편칭의 회수를 말하는데, 웹의 이송 속도 또는 니들의 운동속도(단위시간당 편칭 회수)를 변화시키거나, 웹을 편칭기계에 통과시키는 회수를 다르게 함으로써 조절할 수 있다. 본 연구에서는 웹의 이송 속도를 조절함으로써 편칭밀도를 변화시키는 방법을 사용하였다. 그러나, 편칭밀도는 니들편칭 기기의 작동 변수의 차이를 그대로 따르는 것이 아니라 편칭 전후의 웹의 길이와 폭의 변화에 의해서도 영향을 받기 때문에,

편칭되는 동안 길이와 폭 및 두께가 직선적으로 변화한다는 가정 하에서 도출한 식으로 편칭 밀도를 계산하였으며, 이후로 편칭밀도의 단위는 ppsc(punches per square centimeter)라고 표기하기로 한다.

20층의 웹을 겹쳐서 니들편칭 기기에 1회 통과시켜 부직포를 얻었고, 이 부직포를 한 장씩 겹치면서 니들편칭 기기에 통과시키는 작업을 반복하여 총 14장의 부직포를 겹치게 하였다.

이송속도를 9cm/min, 18cm/min, 27cm/min, 36cm/min의 네 가지로 하여 편칭하였고, 그 결과 편칭밀도가 각각 7800 ppsc, 5000ppsc, 2800ppsc, 1700ppsc로 계산되었다.

2.1.2 편칭된 Oxi-PAN 부직포의 탄화

편칭된 oxi-PAN 부직포를 탄화하여 탄소 프리폼을 제조하였다. 탄화는 다음과 같은 방법으로 하였다. 800 $^{\circ}$ C까지 승온 속도 50 $^{\circ}$ C/hr로 열처리한 후, 같은 온도에서 30분동안 유지하고, 1100 $^{\circ}$ C까지 같은 승온 속도 50 $^{\circ}$ C/hr로 처리한 다음 곧바로 온도를 내렸다. 온도를 내릴 때의 속도는 110 $^{\circ}$ C/hr로 하였다.

2.1.3 탄소/페놀 복합재료의 제조

편칭된 oxi-PAN 부직포는 3차원의 구조를 갖기 때문에 적층복합재료를 성형할 때와 같이 메탄올에 희석한 페놀 수지를 표면에 바르는 방법으로는 내부까지 수지가 침투하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 편칭 부직포를 먼저 메탄올에 담가둔 다음 이것을 페놀 수지에 침지시켰다. 편칭 부직포의 내부와 페놀 수지 사이에 농도 차가 매우 크기 때문에 삼투압의 원리에 의해 페놀 수지가 편칭 fabric의 내부에까지 충분히 침투하였다.

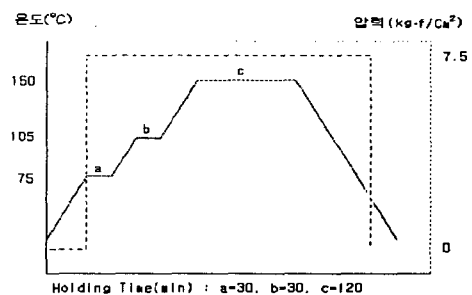


Fig.1 Curing cycle of phenol resin

메탄올에 담가 두는 시간은 30분으로 하였고, 페놀 수지에 1시간동안 침지한 다음 110℃의 오븐에서 1시간동안 건조하여 프리프레그(prepreg)를 완성하였다. 건조된 시편은 autoclave를 사용하여 curing하였다. curing cycle은 Fig.1과 같고 온도 변화 속도는 1℃/min으로 하였다.

2.2 시험 방법

2.2.1 기계적 특성 시험

펀칭밀도가 니들펀칭 탄소/페놀 복합재료의 역학적 성질에 미치는 영향을 보기 위하여 인장시험, 굽힘시험, 충격전단강도 시험을 수행하였다. 인장시험은 ASTM D3039-76, 굽힘시험은 ASTM D790, 충격전단강도 시험은 ASTM D2344의 방법에 따라 MTS Sintech 10/GL 시험기를 사용하여 수행하였다.

2.2.2 토치 시험

토치 시험을 통하여 삭마율과 단일지수를 계산하였다. Brown gas(전기분해된 산소와 수소)를 열원으로 하는 토치 시험기를 사용하였다. 화염의 온도는 약 1700℃이며, 최대 열량은 200Btu/ft²hr이다.

2.2.3 미세구조 분석

니들펀칭에 의한 섬유분포의 변화를 확인하고, 섬유분포의 변화 양상이 복합재료의 기계적 성질 및 열적 특성에 어떻게 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 니들펀칭된 부직포 복합재료의 단면 및 평면의 미세 구조를 관찰하였다.

CCD 카메라를 사용하여, 섬유들의 전체적인 배향의 경향을 살펴보고, SEM을 이용하여 섬유의 배향을 관찰하였다.



Fig.2 Fiber orientation of needle-punched nonwoven Oxi-PAN fabric

CCD 카메라에 의한 복합재료의 단면 사진인 Fig.2에 의하면, 섬유들이 두께 방향으로 보강될 때에 수직에서 수백 가닥이 모여있게 됨을 알 수 있다. 이것은 하나의 니들이 수직 가닥의 섬유를 걸고 내려가기 때문이기도 하며, 펀칭밀도가 높기 때문에 한번 펀칭된 지점이 다시 펀칭이 될 가능성도 매우 크기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기계적 특성 시험

펀칭밀도의 변화에 따른 니들펀칭 탄소/페놀 복합재료의 기계적 특성을 Fig.3과 4에 나타내었다.

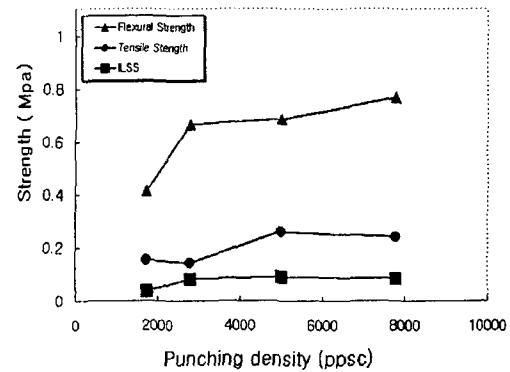


Fig.3 Strength variation of needle punched nonwoven carbon/phenol composites

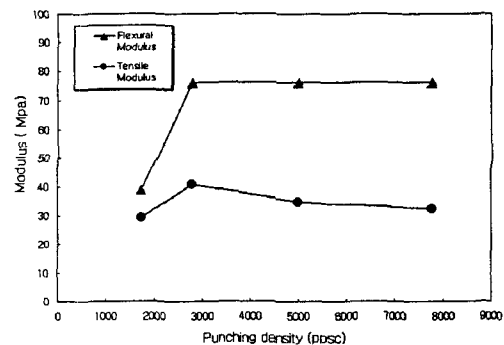


Fig.4 Modulus variation of needle punched nonwoven carbon/phenol composites

펀칭밀도가 증가함에 따라 인장강도와 층간전단강도 및 전단강도가 모두 대체적으로 증가하는 경향을 보였다. 인장강도와 층간전단강도는 펀칭밀도가 7800ppsc 정도로 높아지면 오히려 조금 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 펀칭에 의해 두께방향으로 배열되는 섬유가 많아지면서 평면방향으로 배열된 섬유의 과도한 손실을 유발하였기 때문으로 볼 수 있다.

전체적으로 강도 및 탄성계수가 낮은 값을 나타내고 있다. 니들펀칭 oxi-PAN 부직포를 탄화하면서 50%가량의 많은 질량 손실이 발생했는데, 이 때에 개별 섬유가 많은 손상을 입은 것으로 생각된다.

3.2 삭마특성

토치 시험에 의한 결과로 펀칭밀도에 대한 삭마율의 변화를 Fig.5에 나타내었다.

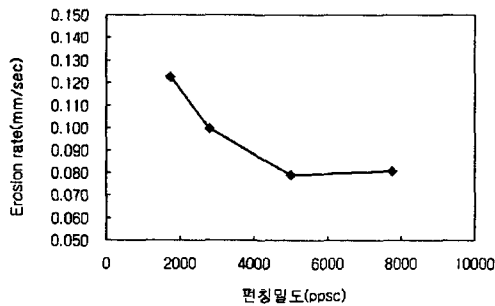


Fig.5 Erosion rate of needle punched nonwoven carbon/phenol composites

펀칭밀도가 높아질수록 삭마율이 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 이것은 두께 방향으로 배열된 섬유가 많아질수록 두께 방향의 섬유의 부피 분율이 높아지고, 전체적으로 보아도 섬유의 부피 분율이 커지기 때문이다.

4. 결 론

펀칭밀도를 다르게 하여 제조한 니들펀칭 탄소/페놀 복합재료의 기계적, 열적 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 펀칭밀도가 증가함에 따라 층간전단강도와

인장강도 및 전단강도가 모두 증가하는 경향을 보였으나, 펀칭밀도가 7800ppsc 정도로 높아지면 층간전단강도와 인장강도는 오히려 감소하였다.

2. 탄화에 의한 질량 감소와 이에 수반하는 섬유의 파손을 줄이기 위하여 oxi-PAN 섬유를 비교적 낮은 온도에서 미리 탄화를 시킨 다음 니들펀칭에 사용하는 방법이나, 펀칭을 하는 동안 웹에 압력을 가하여 밀도를 높이는 방법 등을 고려해 보아야 한다.

3. 펀칭밀도가 높을수록 섬유의 부피분율이 높아져 니들펀칭 탄소/페놀 복합재료의 삭마율이 낮아진다.

참고문헌

- (1) J. W. S. Hearle and M. A. I. Sultan, "A Study of Needled Fabrics. Part I : Experimental Methods and Properties", *J. Tex. Inst.*, 58(6), 251~265(1967)
- (2) J. W. S. Hearle and M. A. I. Sultan, "A Study of Needled Fabrics. Part II : Effect of the Needling Process", *J. Tex. Inst.*, 59(2), 103~116(1968)
- (3) Sungho Lee and Tae Jin Kang, "Characterization of Reinforcing Web Structures in Needle Punched Nonwoven Composites", *Journal of Composite Materials*, 33(22), 2116~2132(1999)
- (4) 이승호, 강태진, "Textile Composite의 구조와 물성(II)-부직포 복합재료의 기계적 물성과 충격 특성에 관한 연구", *한국복합재료학회지*, 제9권, 제3호, 1996 .9
- (5) Vaclav Mrstina and Frantisek Fejgl, "Needle punching textile technology", Elsevier, Wool Institute, Brno, Czechoslovakia, 1990