

탄소 니들펀칭 프리폼의 소재조성 및 공정변수에 따른 인장 특성평가와 제작 최적화

배준희*, 이재열**, 강태진*, 정관수*

Evaluation of the tensile properties and optimum condition of manufacturing of carbon needle punched perform by material composition and processing parameters

Jun Hee Bae, Kwan Soo Chung, Tae Jin Kang and Jae Yeol Lee

Key Words : needle punching, preform, carbon fiber, oxi-PAN, tensile strength

ABSTRACT

The effect of punching density and material composition on the tensile properties and optimum condition of manufacturing of carbon needle punched perform was studied. The interlaminar tensile strength were increased but the intralaminar tensile strength were decreased with increasing punching density. In the case of the performs composed of continuous oxi-PAN fabrics, there was a considerable improvement of the interlaminar and intralaminar tensile strength.

1. 서론

탄소 섬유 복합재료는 경량이면서 고온에서 고강성과 고강도를 유지하기 때문에 여러 형태의 내열 복합재, 단열 복합재 그리고 구조 복합재로 이용되고 있다. 이러한 탄소 섬유 복합재료는 최근까지 평직 및 주자직 직물을 적층시킨 프리폼을 통해 제작되어 왔다. 그러나, 이러한 형태의 프리폼은 두께 방향으로 보강된 섬유가 없기 때문에 복합재료에서 층간 결합력이 낮아 두께 방향의 강도가 낮다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 다양한 형태의 3차원 구조 프리

폼이 연구되고 있다. 3차원 구조 프리폼을 제조하는 다양한 방법 중에서 니들펀칭은 생산성과 작업성이 우수하고 unit cell 이 작아 성형성이 우수하다는 장점을 가지고 있다.

니들펀칭은 적층 구조에서 평면으로 배열된 섬유를 니들의 상하 반복운동에 의해 두께 방향으로 배열시킴으로써 층간 결합력을 형성한다. 그러나, 과도한 니들펀칭은 평면의 강도를 감소시키고 심각한 섬유 파손을 초래하기 때문에 프리폼 제작시 단위 면적당 니들의 펀칭횟수를 나타내는 니들의 펀칭밀도를 적절히 조절해야 한다. 또한 니들펀칭을 통한 프리폼 제작은 최종적으로 복합재료가 고물성을 형성하는 중요한 변수가 되므로 프리폼이 고밀도, 고물성 그리고 고등방성을 가질 수 있도록 하는 프리폼의 소재조성 역시 적절히 고려되어야 한다.

본 연구에서는 carbon fabric 과 oxi-PAN felt, spun oxi-PAN fabric 그리고 continuous oxi-PAN fabric 을

* 서울대학교 재료공학부

** 국방과학연구소

사용하여 3 가지 종류의 탄소 니들펀칭 프리폼을 제작하였고, 두께방향의 보강재 종류별 효과를 조사하였다. 또한 프리폼의 역학적 성질을 결정하는 가장 중요한 인자인 펀칭밀도를 변화시켜 프리폼의 인장특성이 어떻게 변화하는지 확인하고, 최적의 프리폼 제작 조건을 찾고자 했다.

펀칭밀도는 웹의 이동속도를 변화시켜서 세 가지로 다르게 하였고, 제작된 프리폼은 탄소 섬유 프리폼을 제작하기 위하여 탄화하였다.

2. 실험

2.1 시편 제작

2.1.1 펀칭 프리폼의 제조

Carbon fabric 과 oxi-PAN felt, spun oxi-PAN fabric 그리고 continuous oxi-PAN fabric 을 사용하여 그림. 1 의 니들펀칭 장치로 3 가지 종류의 니들펀칭 프리폼을 제작하였다. 또한 3 가지 종류의 니들펀칭 프리폼은 펀칭밀도를 3 가지로 다르게 하여 각각 제작 하였다. 제작된 프리폼의 조성 및 수량은 표. 1 과 같고 프리폼의 이름은 각각 C/F, C/P 그리고 O/P 로 하기로한다.

조성	비율	수량	이름
1) carbon fabric (3K, satin 8H) 2) oxi-PAN felt	1:1 (weight)	3	C/F
1) carbon fabric (3K, satin 8H) 2) spun oxi-PAN fabric	1:1 (weight)	3	C/P
1)continuous oxi-PAN fabric	1:1 (weight)	3	O/P

표. 1 제작된 프리폼의 조성 및 수량

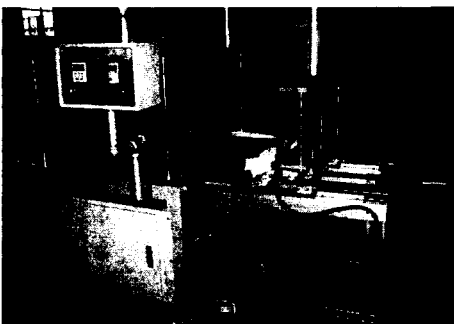


그림. 1 니들펀칭 장치

C/F 의 경우 carbon fabric 과 oxi-PAN felt 를 각각

3 장, 4 장으로 하여 하나의 층을 구성하였으며, 이때의 층을 펀칭을 가하는 최소의 단위인 unit layer 로 정하였고, 10 unit layer 로 C/F 니들펀칭 프리폼을 제작하였다. C/P 는 carbon fabric 과 spun oxi-PAN fabric 을 각각 3 장, 2 장으로 하여 unit layer 를 구성하였으며, 14 unit layer 로 프리폼을 제작하였다. O/P 는 펀칭밀도에 따라 continuous oxi-PAN fabric 6 장과 4 장으로 unit layer 를 구성하였고, 11unit layer 와 17unit layer 의 프리폼을 제작하였다.

니들펀칭은 unit layer 를 평면방향에 대하여 각각 3 번씩 수행하였고, 펀칭된 unit layer 위에 펀칭된지 않은 unit layer 를 겹치게 하여 같은 방식으로 니들펀칭을 수행하였다. 펀칭밀도는 단위 면적당 가해진 펀칭횟수를 나타내는데 본 연구에서는 웹의 이동속도를 변화시켜서 펀칭밀도를 다르게 하였고 층간의 반복 펀칭가중치를 도입하여 펀칭밀도를 계산하였다. 이후 펀칭밀도의 단위는 ppsc(punches per square centimeter)라고 표기하기로 한다.

이송속도는 44cm/min, 64cm/min, 126cm/min 의 세가지로 하였고, 펀칭결과 C/F 의 펀칭밀도는 2979ppsc, 2048ppsc, 1042ppsc 로 계산되었다. C/P 는 4955ppsc, 3406ppsc, 1730ppsc 그리고 O/P 는 3775ppsc, 2595ppsc, 1730ppsc 로 각각 계산되었다.

2.1.2 제작된 프리폼의 탄화

탄소 프리폼은 니들펀칭을 통해 제작된 프리폼을 탄화하여 제조하였다. 탄화 cycle 은 그림. 2 와 같다.

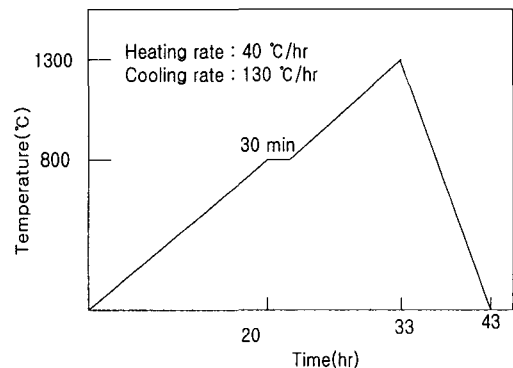


그림. 2 니들펀칭 프리폼의 탄화 cycle

2.2 시험 방법

2.2.1 밀도 측정

탄소 복합재료에서 고물성을 나타내는데 중요한 인자인 프리폼의 밀도를 알아 보기위해 탄화 전의 프리폼 밀도와 탄화 후의 프리폼 밀도를 측

정하였다.

2.2.2 인장 특성 시험

편칭밀도와 소재의 조성이 프리폼의 등방성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 프리폼의 두께방향과 평면방향의 인장강도를 MTS Sintech 1/G 시험기를 이용하여 측정하였다.

2.2.3 미세구조 분석

편칭밀도와 소재 조성에 따른 탄소 니들편칭 프리폼의 섬유 분포를 확인하고, 섬유 분포가 탄소 니들편칭 프리폼의 인장 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 탄소 니들편칭 프리폼 단면의 미세구조를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 밀도 측정

제작된 프리폼의 탄화 전과 탄화 후의 밀도변화를 표. 2, 표. 3 그리고 표. 4에 나타내었다.

편칭밀도	탄화 전 밀도	탄화 후 밀도	탄화 후 잔류율
2979ppsc	0.36	0.26	70.3%
2048ppsc	0.39	0.28	71.7%
1042ppsc	0.37	0.27	72.8%

표. 2 C/F 밀도변화

편칭밀도	탄화 전 밀도	탄화 후 밀도	탄화 후 잔류율
4955ppsc	0.50	0.35	70.5%
3406ppsc	0.52	0.39	74.9%
1730ppsc	0.54	0.33	61.6%

표. 3 C/P 밀도변화

편칭밀도	탄화 전 밀도	탄화 후 밀도	탄화 후 잔류율
3775ppsc	0.70	0.40	57.1%
2595ppsc	0.69	0.40	58.0%
1730ppsc	0.66	0.38	57.6%

표. 4 O/P 밀도변화

O/P의 경우 밀도는 C/F와 C/P에 비해 상대적으로 높지만, 탄화 후 잔류율은 C/F와 C/P에 비해 상대적으로 낮음을 확인할 수 있는데, 이는 소재의 조성에 따른 결과로 보여진다. 즉, C/F와 C/P는 탄화 후에도 무게의 변화가 없는 carbon fabric을 무게비율로 50%씩 함유하고 있지만, O/P의 경

우는 oxi-PAN만으로 구성되어 있기 때문에 탄화 후 C/F와 C/P에 비해 상대적으로 많은 무게 손실을 보인 것이다.

3.1 인장 특성 시험

소재 조성과 편칭밀도의 변화에 따른 탄소 니들편칭 프리폼의 인장 특성을 그림. 3과 그림. 4에 나타내었다.

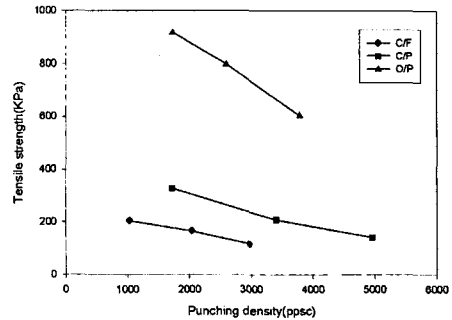


그림. 3 니들편칭 프리폼의 평면방향 인장강도

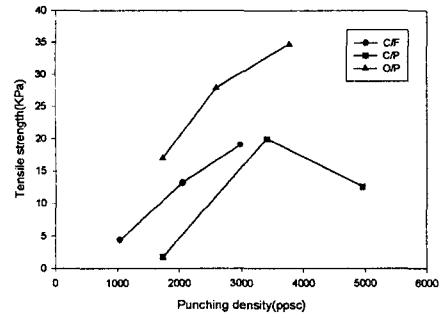


그림. 4 니들편칭 프리폼의 두께방향 인장강도

편칭밀도가 증가함에 따라 평면방향의 인장강도는 3가지 종류의 탄소 프리폼 모두 대체적으로 감소하는 경향을 보였다. 이것은 니들편칭이 평면에 배열된 섬유를 두께방향으로 재배열하여 두께방향의 보강 효과를 주는 방법이기 때문에 편칭밀도가 증가하면 두께 방향의 보강이 이루어짐과 동시에 평면성질의 저하도 함께 수반하기 때문이다.

두께방향의 경우는 편칭밀도가 증가함에 따라 인장강도가 증가하는 경향을 보였지만, 편칭밀도가 높아질수록 그 증가량은 감소함을 확인할 수 있었다. 그러나, O/P의 경우 인장강도가 3406ppsc 이후 오히려 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 과도한 편칭밀도가 편칭된 섬유 다발의 크기를 증대 시키고, 이로 인해 인접 섬유 다발과의 거리를

짧게 하여 크랙의 생성과 진전을 유발함으로써 일어난 결과로 볼 수 있다.

평면방향과 두께방향의 인장강도 모두 O/P 가 C/F 와 C/P 에 비해 가장 높은 값을 가짐을 확인할 수 있는데, 이는 O/P 가 가장 높은 밀도 값을 가지고, 파손 변형률이 큰 oxi-PAN 만으로 구성되어 있기 때문에 니들펀칭시 섬유 손상이 적어서 나타난 결과로 볼 수 있다.

fabrication and design of three-dimensional textile preforms : a review", *Journal of Composite Science and Technology*, 60, 33~47(2000)

- (4) Sungho Lee and Tae Jin Kang, "Mechanical and Impact Properties of Needle Punched Nonwoven Composites", *Journal of Composite Materials*, 34(10), 816~840(2000)
- (5) Tengfel Chen, Jiqiao Liao, Genshan Liu, Fuqin Zhang and Qianming Gong, "Effect of needle-punched felt structure on the mechanical properties of carbon/carbon composites", *Carbon*, 41, 993~999 (2003)

4. 결 론

carbon fabric 과 oxi-PAN felt, spun oxi-PAN fabric

그리고 continuous oxi-PAN fabric 을 사용하여 3 가지 종류의 탄소 니들펀칭 프리폼을 제작하였고, 이들의 인장특성을 비교하고, 프리폼 제작의 최적 조건을 조사하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 펀칭밀도가 증가함에 따라 평면 방향의 인장 강도는 감소하는 경향을 보였으나, 두께 방향의 인장강도는 증가하는 경향을 보였다.
2. C/P 의 경우 가장 높은 밀도를 나타내고, 평면 방향과 두께방향에서 가장 높은 인장강도 값을 가진다.
3. 니들펀칭으로 탄소 프리폼을 제작할 경우 소재는 O/P 의 경우가 고강도를 유지하는데 가장 효율적이며 펀칭밀도는 두께방향과 평면방향의 인장강도를 고려해 적절히 조절해야 한다.

후 기

본 연구는 2000 년 과학기술부 지정 국가지정연구실 사업의 과제 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

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) Vaclav Mrstina and Frantisek Fejgl, "Needle punching textile technology", Elsevier, Wool Institute, Brno, Czechoslovakia, 1990
- (3) Ryuta Kamiya, Bryan A. Cheeseman, Peter Popper and Tsu-Wei Chou, "Some recent advances in the