

3-D Circular Braided Composite의 최적구조 Modeling

김성준*, 강태진*, 정관수*

Optimum Modeling of 3-D Circular Braided Composite

Sung Jun Kim, Tae Jin Kang, Kwan Soo Chung

ABSTRACT

3-D 원형 브레이드 복합재료의 물리적인 물성을 계산하기 위해서는 실제와 같은 단위구조의 모델링과 이를 통한 RVE(Representative Volume Element)의 구현이 필수적이다. 실제적인 내부구조 모델링을 위해 단위구조를 2가지로 나누었으며, 실의 경로를 3차원 스플라인으로 적합시켰다. 구현한 내부구조를 통하여 공정변수와 구조변수와의 관계를 고찰하였다.

1. 서론

3-D 브레이드는 삼차원 직물을 만들기 용이하며, 여러 다양한 모양을 만들 수 있는 이점이 있다. 3-D 원형 브레이드 복합재료는 적층복합재료보다 두께방향으로 기계적 물성이 월등하며, 충격에도 강한 특성이 있다. 이런 우수한 기계적 물성은 내부구조와 구성물질에 따라 좌우되므로 실제적인 내부구조의 모델링은 필수적이다. 이를 위해 단위구조를 적층했을 때 실제 시편과 같은 구조를 가지도록 모델링 하였으며, 단위구조안의 실의 경로를 각 실들의 접촉을 고려하여 곡선으로 묘사하였고 이 단위구조를 통해 연구에 사용된 전체시편의 구조를 해석하였다.

2. 공정

본 실험실에 있는 브레이드 기계는 수직 형태의 원형 4-스텝 브레이드 기계로서 총 2016개의 캐리어가 압축공기를 이용한 피스톤에 의해 움직이도록 설계되어 있다. 기계동작과 치기동작의 두 가지 동작에 의해 시편을 제작한다. 기계동작인 4-스텝은 캐리어의 처음위치에서 네 개의 동작을 거치면 캐리어의 정렬상태가 같은 1주기를 이루는 공정이다. 일반적으로, 총 실의 개수는 기계의 총 캐리어의 개수와 같고 아래와 같다.

$$N_{Yarn} = RCN \times CCN$$

* 서울대학교 재료공학부

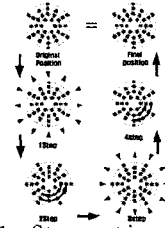


Fig 1. Step motion 3×12

(N_{Yarn} : 총 실의 개수, RCN: Radial direction carrier no: 지름 방향의 캐리어 수, CCN: circumferential direction carrier no: 원주방향의 캐리어 수)

지름방향으로 M개의 실과 원주방향으로 N개의 실을 사용하여 시편을 제작하면, 지름방향으로 M-1개의 레이어와 원주방향으로 각 레이어를 N개 가지는 시편을 제작할 수 있다. 시편의 구조를 공정변수로부터 다음과 같은 함수로 정의하였다.

$$G(N_{Yarn}, L_{Yarn}, D_{Yarn}, D_{Mandrel})$$

L_{Yarn} : 일정길이의 직물을 만드는데 사용한 실의 길이

D_{Yarn} : 실의 단면 제원

$D_{Mandrel}$: 주축의 지름

3. 내부구조 모델링

가정

1) 시편은 특별한 기준에 따라 부피요소로 나눌 수 있으며 이 부피요소를 전 영역으로 확장하면 시편과 같은 구조를 가진다.

2) 부피요소의 부류가 같을 경우, 실의 경로의 형태는 모든 부피요소를 통틀어 동일하다.

1) 주축을 중심으로 실들의 꼬임을 형성 시편을 만든다.

3)브레이드 공정으로 만든 시편의 피치길이²⁾(이하 PL)는 직물의 길이방향으로 동일하며, 모든 레이어들 간에도 동일하다.

4)실의 단면은 타원형태이며, 모든 영역에서 타원의 단축(b)은 변하지 않고, 부피 요소에서 실들은 서로 단축방향으로 접하고 있다.

시편의 물리적인 물성과 같은 물성을 가지는 가장 작은 부피요소는 RVE, RVE안의 가장 작은 반복단위를 단위구조(Unit cell 이하 UC)로 정의하였다.

UC를 내부단위구조(Inner unit cell 이하 IUC)와 표면단위구조(Surface unit cell 이하 SUC)로 나누었으며,SUC은 다시 외부(Exterior surface unit cell 이하 ESUC)와 내부(Interior surface unit cell 이하 ISUC)로 나누었다.

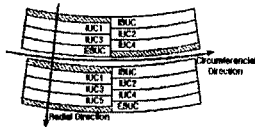


Fig 2. RVE & Unit cell accumulation, (up)Layers,(down)Layers UC들의 적층순서는 축과 접하고 있는 안쪽부터 각각 ISUC, IUC(i)(단 i=1부터 Layer수 -1 까지) ESUC로 이루어져 있다.(ISUC을 UC(0), IUC(1)을 UC(1)와 같이 각 UC를 번호 순으로 명명하고, i를 UC NO.로 정의한다.) 빗금 친 부분은 몰드 성형 시 채워지는 비어있는 부피구조(Void Cell 이하 VC)이다.

직물의 길이방향을 Z축, UC의 단면을 X-Y평면으로 정의하였다. UC는 2개의 원시구조(Cell Box 이하 CB)로 구성되고, 각 CB에는 2개의 실이 있다.

3.1 내부단위구조 모델링

한 주기동안 형성되는 IUC의 크기는 공정변수 $N_{Yarn}, D_{Yarn}, D_{Mandrel}$ 로부터,

$$\text{두께: } 4b, \text{ 안쪽호의길이: } \frac{2\pi(R + 2 \times i \times b)}{CCN}$$

높이: Pitch Length

(b : 실 단면 단축의 길이, R : $D_{Mandrel}/2$)

X-Y평면에서, 실의 경로는 캐리어의 동작을 통해 CB안에 X-Y축으로 6개의 실경로 데이터 정보를 얻어 이를 3개의 3차함수로 이루어진 스플라인으로

2) 한 주기당 만들어진 직물의 길이(Pitch Length).

로 구현하였다.

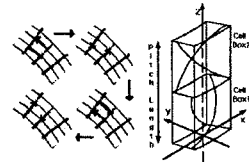


Fig 3. Inner Carrier Motion & Yarn Path

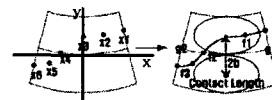


Fig 4. Yarn path modeling in CB1

두 실간의 접촉길이는 타원의 단축의 두 배인 2b로 하였다. 모든 방향으로 PL이 동일하다고 가정하였으므로, Z-X축의 실의 경로는 직선으로 묘사하였다. 위 방법을 CB1과 CB2의 각각의 실에 적용하였다.

3.2 표면단위구조 모델링

SUC에서의 실의 경로도 캐리어의 동작을 통해 IUC와 같은 스플라인으로 구현하였으나,Z-X축으로는 IUC의 스플라인과 연속성 때문에 3차곡선으로 묘사하였다.

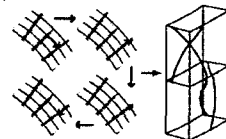


Fig 5. Surface carrier motion & Yarn path

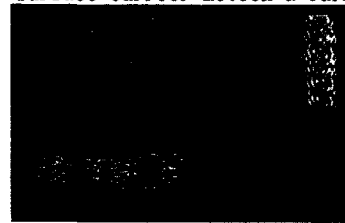


Fig 6. Construction of (a) UCs. (b) Preform & Real Preform (c) RVE.

4. 내부구조 해석

CB1을 기본 부피요소로 하여 각 UC(i)(이하 i: UC NO.)의 구조변수를 계산하였다. 각 UC(i)의 실경로 길이는 위 스플라인을 이용 수치해석적 방법으로 구하였다. 3-D 원형 브레이드 복합재료는 지름방향으로 구조변수가 각각 다르기 때문에 각 UC(i)에서의 구조변수를 계산하고 그 값들의 평균을 전체 시편의 구조변수로 하였다.

4.1 실 수축 비(YRF)

Yarn Retraction Factor(이하 YRF)는 직물의 길

L : X-Y평면에서 두 실의 접점과 원점사이의 Z-X 평면으로의 투영길이.

6. 결과 및 고찰

위의 방법들로부터, 시편의 모델링을 4Layers 부터 13Layers 까지 공정변수 $a=2.5$, $b=1.0$ 그리고 $MD=300.0$ 으로 하여 모델링한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

6.1 실 배향 각도

YOA(i)는 i값이 증가 할수록 PL이 동일한 상태에서 UC(i)의 크기가 증가하기 때문에 증가함을 알 수 있다. 또한 레이어의 개수가 많은 구조일 수록 평균 YOA 즉, α_{mat} 는 같은 이유로 증가함을 알 수 있다.

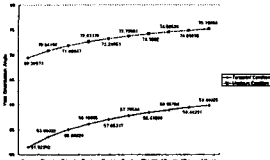


Fig 11. Layers vs YOA

6.2 실 부피 비

YVF(i)은 i값이 증가할수록 감소하는데, 이는 실들이 i값의 증가에 따라 YRF(i)의 증가로 실의 부피는 증가하지만, UC(i)의 부피가 더욱 큰 변화율로 증가하기 때문이다. 레이어수가 많은 구조일수록 평균 YVF은 증가함을 알 수 있는데, 이는 레이어의 수가 적을수록 ISUC과 ESUC의 기여가 크기 때문이다.

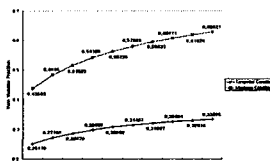


Fig 12. Layers vs YVF

6.3 주축 지름(MD)에 따른 구조변수

레이어의 수는 같지만 MD가 다른 경우의 구조는, MD가 증가할수록 YVF_{mat} 는 감소하는데, MD가 큰 시편의 UC(i)들의 부피가 MD가 보다 작은 경우보다는 더욱 크기 때문이다. YOA은 6.1과 같은 이유로 해서 MD가 증가할수록 증가한다.

6.4 피치길이(PL)와 구조변수

PL이 증가할수록 z축으로의 UC높이가 증가하기 때문에 YOA은 감소하며, UC높이가 증가할수록 UC의 부피도 증가하므로 YVF 또한 감소한다.

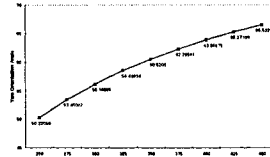


Fig 13. MD vs YOA , Layer NO=6

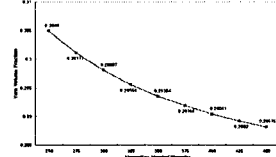


Fig 14. MD vs YVF , Layer NO=6

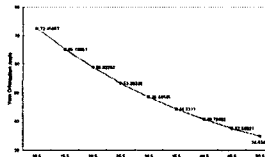


Fig 15 . PL vs YOA , Layer NO=6

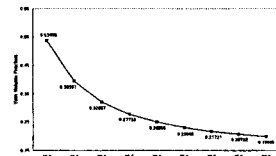


Fig 16. PL vs YVF , Layer NO=6

7. 결론

실제시편의 내부구조를 구현하기위해 UC를 2가지로 나누고, 실경로를 3차원 스플라인으로 묘사하여 구조변수를 계산하였다.

후기

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

참고 문헌

- 1.Li,W. & El Shiekh, A. "The effect of processes and processing parameters on 3-D braided preforms for composites" SAMPE Quart, 19(1988)22.
- 2.M.Hammad, M. EL-Messery*, and A. EL-Shiekh, "Structural mechanics of 3-D braided preforms for composites PART4" SAMPE, 1991,pp.114-128
- 3.L.Chen,X.M. Tao*,C.L. Choy "On the microstructure of three-dimensional braided preforms" Composites Science and Technology, 59(1999)pp.391-404