직조형 섬유강화 복합재 구조의 유효물성 기반 공정유도 잔류변형 예측
Prediction of process-induced residual deformation of woven fiber reinforced composite structure based on the effective material property

*김상우 [1,2+], 김동협 [2]
* S.W. Kim [1,2+], D.H. Kim [2]

[1] 한경대학교 ICT로봇기계공학부, [2] 한경대학교 융합시스템공학과
[+] E-mail: swkim@hknu.ac.kr

Keywords: Woven composite, Effective material property, Curing process, Residual deformation.

1. 서론

경화공정(curing process)을 거친 섬유강화 열경화성 수지 복합재는 섬유와 수지의 열화학적 물성 차이로 인해 예상치 못한 잔류변형이 발생한다[1]. 따라서 복합재의 공정유도 잔류변형을 예측하고 정밀하게 분석하여 복합재 구조물 설계에 반영해야 한다. 본 연구에서는 유효물성(effective material property) 계산을 기반으로 하여 직조형 섬유강화 열경화성 수지 복합재 구조의 공정유도 잔류 변형을 예측하였다.

2. 이론

2.1 경화 모델링

열경화성 수지의 경화도(degree of cure) 이력을 계산하기 위해 수정 Arrhenius 방정식 기반 경화 동역학(cure kinetics) 모델을 사용하였다[2]. 계산된 경화도 이력을 점탄성(viscoelastic) 구성 방정식에 적용하여 열경화성 수지 복합재의 경화에 따른 물성변화와 잔류응력을 산출하였다[1].

2.2 유효물성 예측

직조형 섬유강화 복합재의 유효물성을 계산하기 위해 단방향(unidirectional) 섬유강화 복합재 얀(yarn)이 직조된 기하학적 모델을 구축하여 기하학적 변수를 계산하였다. 이때 미시역학적 모델(micromechanical model)을 통해 단방향 섬유강화 복합재의 유효물성을 계산하였다. 계산된 복합재 얀의 유효물성과 기하학적 변수를 이용하여 복합재 얀의 날실(warp)과 씨실(fill) 방향에 대한 국부 좌표계를 전역 좌표계로 변환하였다. 이후 체적 평균법을 통해 직조형 복합재의 유효물성을 산출하였다[3].

3. 해석 결과

Fig. 1은 유한요소법 기반 경화해석을 통해 도출한 직조형 복합재 플랜지(flange) 구조의 경화에 의한 스프링 인(spring-in) 현상을 보여준다. 이때 기하학적 변수의 영향을 분석하기 위해 씨실 얀의 두께를 증가시켰다. 그 결과, 씨실 얀의 두께가 증가함에 따라 날실 방향과 씨실 방향의 물성 차이가 증가하면서 잔류변형이 증가하였다. 그러나 복합재 층(lamina)의 두께가 크게 증가함에 따라 스프링 인 각도가 점차 감소됨을 확인하였다.

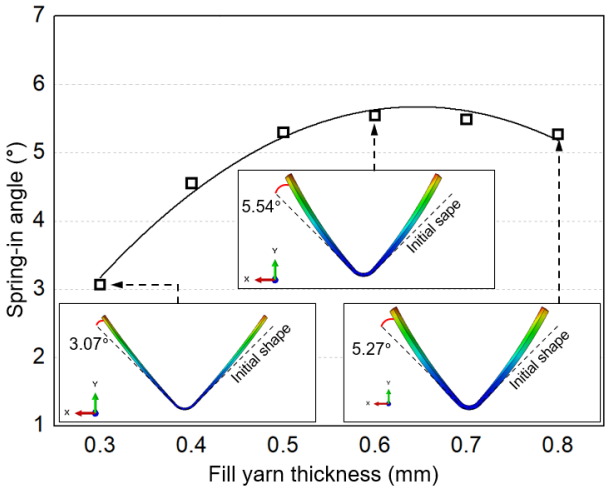

Fig. 1. Spring-in angles of fully cured composite flange.

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 유효물성 계산을 기반으로 하여 직조형 섬유강화 복합재 구조의 공정유도 잔류변형을 예측하였다. 이는 복합재 구조 개발 시 몰드 설계에 반영되어 고품질의 복합재 생산에 기여할 것이다. 향후 실험을 통해 경화 동역학 모델과 점탄성 구성 방정식에 적용되는 상수를 취득하고 복합재를 제작하여 해석 결과를 검증할 것이다.

참고문헌

[1] SR White et al. Mech Adv Mater Struct. 5:153–186, 1998.
[2] WI Lee et al. J Compos Mater. 16:510–520, 1982.
[3] SK Lee et al. Mater Sci Eng A. 347:346–358, 2003.

후기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C4070280).