

FPS 공정에 의한 열경화성 복합재 온도분포 연구

전영준* · 엄문광* · 변준형* · 이상관*

A Study on Temperature Distributions of Thermoset Composite in FPS Process

Y-J Chun, M-K Um, J-H Byun and S-K Lee

Key Words: Temperature Distribution, FPS(Fiber Placement System), Numerical Analysis

Abstract

Among the various manufacturing processes of composites, the tape lay-up process of thermoset prepreg has many advantages compared to autoclave or hot press forming. It has a high potential to process automation and continuous fabrication. In this study, temperature distribution of composite exposed in hot gas was studied numerically and the validity of the analysis was verified by the experiments.

1. 서론

섬유강화 복합재료는 외부로부터의 하중을 감당하는 강화 재료(Reinforcement)와 강화 재료를 결합하고 보호하는 기지 재료(Matrix)로 구성되어 있다. 복합재료는 이종(異種), 이방성 물성으로 인해 요구 물성 충족에 대한 유연성이 높고 고성능을 요구하는 우주항공용 부품에서부터 일반적인 기계부품 등에 이르기까지 다양한 분야에 적용되고 있다. 섬유강화 복합재료의 경우 현재 널리 적용되고 있는 복합재료 제작 공정은 수적층 방법을 이용한 오토클레이브 진공백 성형 공정(Autoclave Vacuum Bag Molding Process), 압축성형 공정(Compression Molding Process), 수지 충전 공정(Resin Transfer Molding Process) 등이 있다. 수적층을 이용한 공정들의 경우 제품의 형상이

3차원일 때 2차원 프리프레그의 특성상 형상 적응성이 떨어지고, 설계 시에 설정한 방향으로 보강재를 적층할 수 없어 제품의 강도 구현에도 어려움이 많으므로 이러한 문제점을 해결하기에 적합한 테이프 레이업(Tape Lay-up) 성형 공정에 대한 해석을 시도 하였다. 테이프 레이업 성형 공정의 경우 크고 복잡한 복합재료 구조물을 제조하는 기술로 다양한 형상에 대해서 제작이 가능하며, 섬유배열을 정확하게 할 수 있어 제품 형상의 정밀화 및 구조물성을 극대화 할 수 있다. 또한 자동화된 연속 성형 공정이 가능하므로 제품의 재연성과 생산성이 뛰어나다.[1]

본 논문에서는 열경화성 복합재(카본 프리프레그 테이프) 테이프 레이업 공정 중에 발생하는 온도 분포를 파악하기 위해 유동 및 열전달을 고려한 수치해석을 통해 온도 분포를 규명하였으며, 실험결과와 비교·검증 하였다.

* 한국기계연구원 복합재료그룹

2. 실험장치 및 결과

본 논문에서는 열경화성 복합재료를 성형하기 위하여 섬유 자동 연속 적층 장비(Fiber Placement System)를 이용하며 장비의 헤드부가 Fig. 1에 주어져 있다. 섬유 자동 연속 적층 장비는 크게 두 개의 부분으로 나눌 수 있다. 먼저, 테이프형 프리프레그를 적층하는 섬유 자동 적층 헤드부와 섬유 자동 적층 헤드부를 움직이는 구동부로 이루어져 있다. 다시 섬유 자동 적층 헤드부는 테이프형 프리프레그를 공급 할 수 있는 테이프 공급장치부, 프리프레그 테이프의 층간을 압착시키는 가압 로울러부, 테이프형 프리프레그를 가열하기 위한 열원부로 나누어진다. 실험에서 열경화성 프리프레그 테이프의 경우 상온에서 프리프레그의 점도가 높아지는 것을 방지하기 위해 테이프 공급장치에 냉각장치를 설치하였으며 온도를 -6.5도로 유지 하였다. 섬유 자동 연속 적층 장비의 가압 로울러부는 압력 조절장치를 설치하여 프리프레그가 압착되는 압력을 일정하게 유지할 수 있도록 하였으며 로울러의 소재는 열전달이 작은 고무 소재를 사용하였다. 섬유 자동 연속 적층 장비에서 열원은 선행된 연구에서 레이저 가열방식, 초음파 가열방식, 고온가스 가열방식 등이 있다. 레이저 가열방식의 경우 고질의 복합재료를 생산하는 데에 유망한 열원으로 입증되었으나[2] 비용면에서 어려움이 있으며, 초음파 가열 방식의 경우 레이저 가열방식에 비해 비용면에서 장점이 있으나 프로세스 제어와 크기를 조절하기 힘든 문제가 있어 본 연구에서는 질소 가스를 이용한 가열방식을 사용하였다. 질소 가

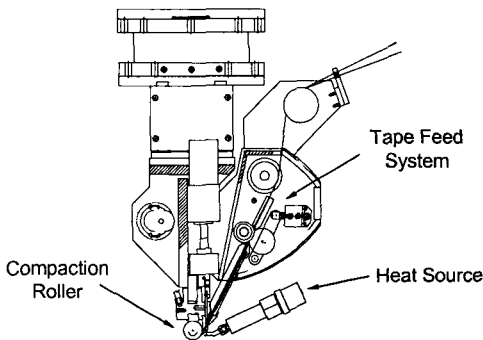


Fig. 1 Schematic of the Fiber Placement System Head.

스 가열방식의 경우 복잡한 복합재료 구조와 구성요소가 다른 다양한 시스템 요구에도 폭 넓게 적용할 수 있으며, 작업성 및 비용적인 면에서도 주요한 열원으로 입증된 바 있다.[3,4,5]

섬유 자동 연속 적층 장비를 이용한 테이프 레이업 성형공정에서 복합재료 표면 및 층간의 온도 분포를 측정하기 위해 온도 측정 장치를 사용하였다. 온도 측정은 K형 열전대를 이용하여 첫 번째 층을 적층한 후 열전대를 복합재료 표면 중앙에 설치하고 반복적으로 적층하여 복합재료의 내부 온도를 측정하였다. 실험에 사용된 테이프형 프리프레그는 SK사의 TSN1210이며, 테이프의 폭은 10mm를 사용하였다.

테이프 레이업 성형공정에서 고온가스 가열방법을 사용하는 경우 공정변수로 작용할 수 있는 인자는 고온 가스 토치의 출구 온도와 고온가스의 유량, 가압 로울러의 압착력, 공정 속도 등이 있다. 실험에서는 로울러의 압착력을 10Kg, 공정속도를 38.1mm/s로 일정하게 하고, 고온 가스 토치의 출구온도를 70도와 100도의 경우에 고온 가스 유량을 30·60SLPM로 변화 시켜 복합재료의 내부 온도변화를 측정하였다.

Fig. 2는 테이프 프리프레그의 시작층 중앙에 열전대를 설치하고 한 장의 테이프 프리프레그를 적층 하였을 때의 온도 분포이다.

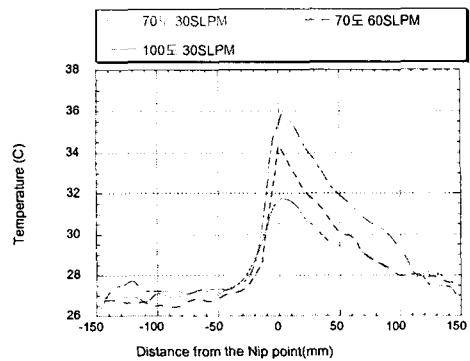


Fig. 2 Temperature Distributions during Lay-up Process.

3. 열유동 수치해석

테이프 레이업 공정에서 열유동 수치해석은 복합재료 내부의 온도 변화를 구하는 것을 목적으

로 하기 때문에 우선적으로 테이프형 복합재료의 열적 물성치가 필요하다. 실험에서 사용한 SK사의 프리프레그 테이프의 경우 알려진 물성치가 없으므로 열분석 장비를 사용하여 섬유방향 및 횡방향 열전도도를 구하였으며, 해석에 고려된 금형 및 로울러의 물성은 문헌치를 사용하였다. Table 1은 테이프 레이업 공정에서 열전달 해석에 사용된 테이프형 복합재료의 열적 물성치를 보여준다.

열전달 수치 해석을 위해 상용 해석 패키지인 Fluent를 이용하여 2차원 격자계를 구성하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 복합재료 부분에서 온도 및 속도의 급속한 구배를 없애기 위해 45291개의 셀요소와 24345개의 격자점으로 사용하였다. 또한, 테이프 레이업 공정에서 섬유 자동 적층 헤드부의 움직임을 모사하기 위해 로울러의 관점에서 금형과 프리프레그 테이프에는 공정속도와 같게 인가하였으며, 로울러에는 회전속도를 부가하여 해석하였다. 테이프 레이업 공정에서 압착형상을 구현하기 위해 실제 가압조건에서 압착 로울러부의 변형 형상을 모사하였으나, 로울러의 압착력에 의한 복합재료의 두께 방향 변형

Table 1 Thermal Properties of Tape Type Composite. (TSN1210)

Density	1580 kg/m ³
Specific Heat	920 j/kg · K
Thermal Conductivity	
(Longitudinal)	48.44 w/m · K
(Transverse)	0.358 w/m · K

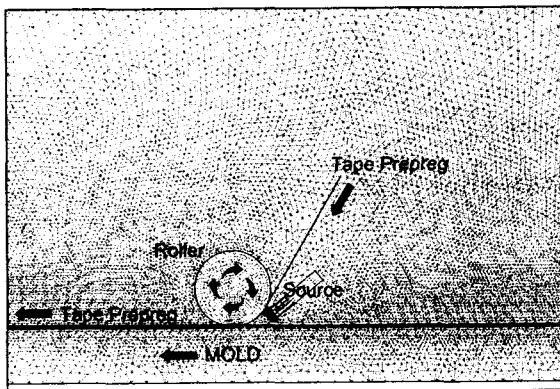
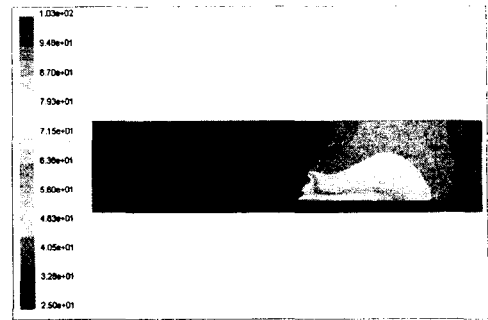
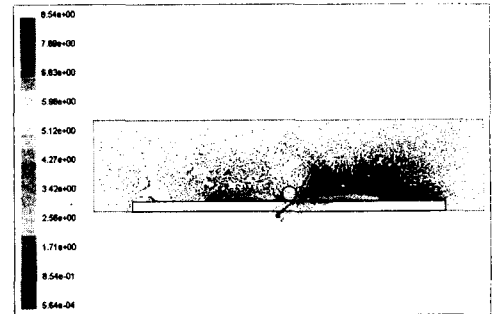


Fig. 3 Two Dimensional Mesh for the Thermal Fluid Analysis.



(a) Contours of Temperature



(b) Velocity Vectors

Fig. 4 Numerical Analysis on Tape Lay-up Process.

은 고려하지 않았다.

Fig. 4는 고온 질소 가스의 유량을 30SLPM으로 하고 고온 가스 토치 출구 온도를 100도로 하였을 때의 온도분포와 속도분포를 나타낸 그림이다.

4. 결과 및 고찰

고온 질소 가스를 열원으로 하는 테이프 레이업 공정에서 열경화성 복합재료의 열전달 현상을 열유동 수치해석을 통해 고찰하였다. 공정변수는 고온 가스 토치의 출구 온도와 고온가스의 유량을 각각 달리하여 복합재료의 온도분포를 검증하였다. Fig. 5는 시작층의 중앙에 열전대를 설치하고 한 장의 테이프 프리프레그를 적층할 때의 수치해석결과와 실험결과를 정리하여 나타낸 것이다. 동일한 온도조건에서 고온 가스 출구의 유량을 두 배로 하였을 경우 온도가 2도 정도 차이가 나지만, 동일한 유량에서 온도를 30도 증가하였을 경우 복합재료 표면의 온도 차이는 4도 정도 나는 것을 볼 수 있다. 위 결과에 의하면 본 연구에서 사용한 열경화성 복합재료의 경우

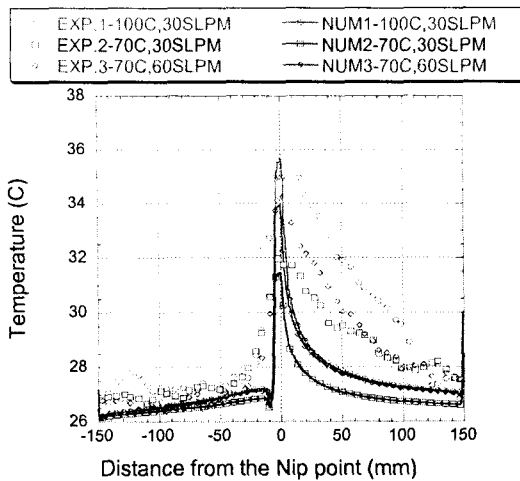


Fig. 5 Comparison between Experiments Data and Numerical Analysis Data

고온가스의 유량에 의한 온도 변화 보다 고온 가스 토치의 출구 온도변화에 더 많은 영향을 받는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 본 연구에서는 열유동 수치해석의 결과와 실험결과와의 약간의 온도 분포 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이것은 이차원 격자계의 경우 열원에서 나오는 고온 가스 z방향 유동 성분을 표현하지 못함에 의한 에러로 추정되므로 3차원 해석이 필요한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업 (NRL)의 지원으로 진행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Air & Space Europe, Vol.3, No.3/4, 2001, pp.119-121
- (2) S. K. Mazumdar and S. V. Hoa, 38th Intern. SAMPE Sympo., 189 (1993)
- (3) Steiner, K. V., R. Pitchumani, B. M. Bauer and J. W. Gillespie, Jr. "Experimental Verification

of Modeling and Control for Thermoplastic Tow Placement" 40th International SAMPE Symposium, 1995, pp.1550-1559

- (4) Roderic, C. D., R. Pitchumani and J. W. Gillespie, Jr. "Simulation of the Transient Thermoplastic Fiber Placement" 39th International SAMPE Symposium, 1994, pp.1521-1535
- (5) Carpenter, C. E. and J. S. Colton. "On-Line Consolidation Mechanisms in Thermoplastic Filament Winding" Polymer Composites, 1994, 15(1):55-63