

RTM 공정의 실시간 제어에 관한 연구

이도훈* · 박윤희** · 이우일*** · 엄문광**** · 변준형****

A Study on Real Time Control of Resin Transfer Molding

Doh Hoon Lee, Yun Hee Park, Woo Il Lee, Moon Kwang Um, Joon Hyung Byun

Key Words : RTM(Resin Transfer Molding), Dry Spot, Void, Race Track, 실시간 제어

ABSTRACT

In case of performing resin transfer molding (RTM), race track effects and non-uniform fiber volume fraction may cause undesirable resin flow pattern and thus result in dry spots, which affect the mechanical properties of the finished parts. In this study, a real time RTM control strategy to reduce these unfavorable effects is proposed. Through numerical simulations and experiments, the validity of the proposed scheme is demonstrated.

1. 서론

RTM(Resin Transfer Molding) 공정은 복잡한 형상의 복합 재료 제품을 빠르게 생산할 수 있는 비교적 저렴한 공정이다. 이러한 RTM 공정에서 금형 충전 과정에서 수지 유동은 금형내의 불균일한 섬유 체적분율 및 race track 등의 효과로 인해 영향을 받게 되며 이는 dry spot 등의 제품 결함으로 이어지게 되므로 제품 성형에서 이에 대한 고려는 필수적이다.

기존의 RTM 공정은 수지를 금형에 충전하기 전에 주입구와 공기 토출구의 위치와 열리는 순서를 미리 결정 한 후 수지를 금형에 주입하여 race track 및 불균일한 섬유 체적분율 등의 미리 예측하기 어려운 결함 원인에 대해 능동적으로 대처할 수 없는 단점이 있다.

본 연구에서는 RTM 공정에서 수지 주입구와

공기 토출구 등을 수지의 유동을 실시간으로 검사하여 그 상황에 따라 수지 주입구의 개폐를 제어하여 사전에 예측하기 어려운 결함 요인들에 의한 결함을 감소 시키기 위한 공정 제어 규칙을 제안하였으며 그 타당성을 검증하기 위해 수지 모사를 통한 실험과 실제 공정의 제어를 통한 실험을 통해 dry spot의 생성 여부를 조사하였다.

2. 제어 규칙

2.1 dry spot의 형성 위치 예측

dry spot은 금형 충전이 완료된 후에도 금형 내부에 공기가 갇혀 있는 것으로 race track 효과, 불균일한 섬유 체적 분율 등의 원인으로 생성된다.

race track 효과는 섬유 예비 형성품(fiber preform)과 금형의 벽면 사이에서의 섬유 분율이 다른 곳보다 작아 수지의 유동이 빨라지는 현상으로 이 현상이 발생할 경우 수지가 금형 벽면을 따라 먼저 공기 토출구에 도달하게 된다.

불균일한 섬유 체적 분율은 금형 내에서 섬유 예비 형성품을 배치 시킬 때 섬유가 겹쳐지거나

* 서울대학교 기계항공공학부 대학원

** 삼성전자

*** 서울대학교 기계항공공학부

**** 한국기계연구원 재료기술연구소 복합재료그룹

굴곡이 있는 금형에서 흔히 관찰되며 이 경우에 섬유 체적분율이 낮은 쪽으로 유동이 집중되어 섬유 체적분율이 높은 부분 주위에 dry spot 이 생성될 가능성이 크게 된다.

위의 원인들에 의한 dry spot 의 경우 그 형성 위치의 대략적인 예측이 가능하며 예측된 dry spot 형성 지역에 센서와 보조 수지 주입구를 위치시켜 센서가 dry spot 을 감지하면 보조 주입구의 개폐를 조절하여 dry spot 을 제거할 수 있다.

2.2 제어 규칙

RTM 공정의 제어는 dry spot 이 형성될 가능성이 큰 지역에 감지 센서를 위치시켜 dry spot 의 생성 여부를 감지하여 dry spot 이 형성되었을 경우 보조 주입구를 열어 그 부분의 기공을 수지로 채우도록 하는 것이며 다음 Fig. 1 은 제어 규칙에 대한 순서도이다.

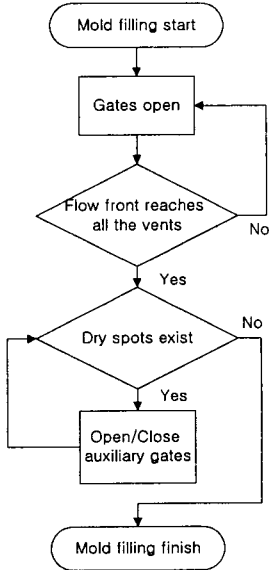


Fig. 1 Flow chart of control strategy

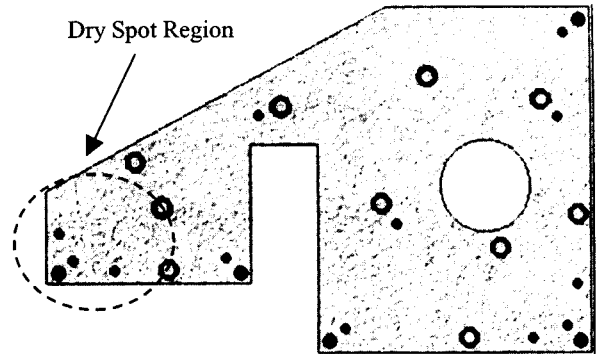
3. 적용

공정 제어 규칙의 검증을 위하여 수치 모사를 통한 해석과 실제 RTM 공정 제어 실험을 수행하였다.

3.1 수치 모사

본 연구에서는 CVFEM(Control Volume Finite Element Method)를 이용하여 금형 충전 과정을 해석 하였으며 dry spot 이 생성 될 것으로 예측되는

지역의 노드에서의 값을 센서 입력값으로 설정하였으며 위의 Fig. 1 에서의 흐름으로 제어를 수행하였으며 race track 에 의한 효과를 수치적으로 실험한 결과(Fig. 2)와 불균일한 섬유 체적분율에 의한 유동의 제어의 결과(Fig. 3)을 얻었다.



(a) Sensors, Gates and Vents Location



(b) Without Control



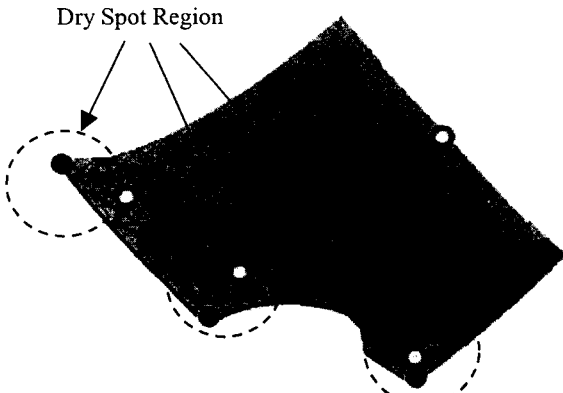
(c) With control

● : Gate ● : Vent ● : Sensor

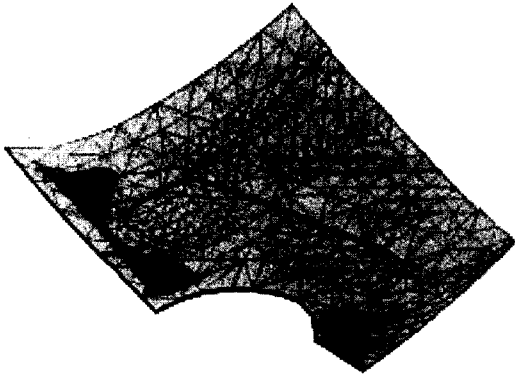
Fig. 2 Race Track Control

위의 Fig. 2 에서 제어를 하지 않은 경우 race

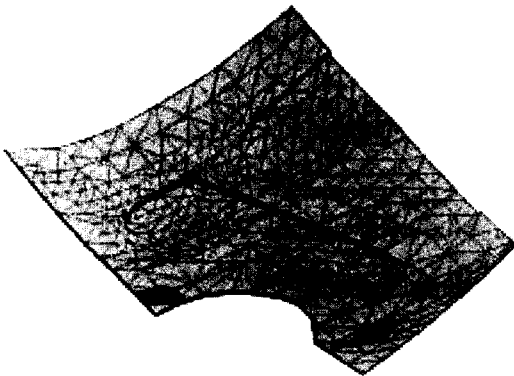
track 효과에 의하여 공기 토출구에 수지가 먼저 도달하여 예측된 지역에 dry spot 이 크게 생성되었으며, 제어를 수행한 경우에는 그 크기가 현저히 줄어들음을 관찰할 수 있다.



(a) Sensors, Gates and Vents Location



(b) Without Control



(c) With control

○ : Gate ● : Vent ● : Sensor

Fig. 3 Non-uniform Volume Fraction Control

불균일한 섬유 체적 분율에 의한 효과로 생성된 dry spot 역시 공정제어를 통해 현저히 크기가

감소함을 볼 수 있다.

3.2 실험

RTM 공정의 제어를 위해 다음과 같은 공정 장치를 제작하여 실험을 하였다..

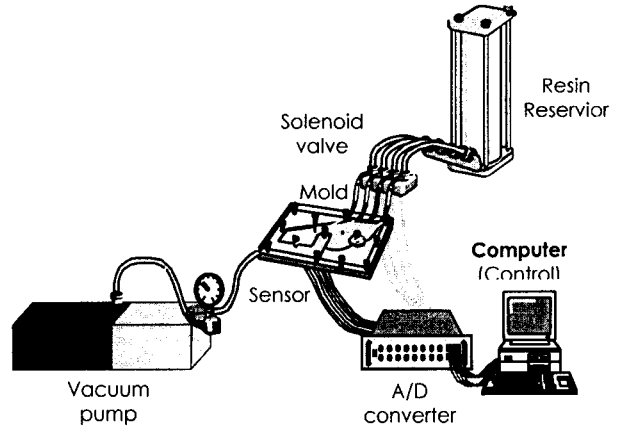
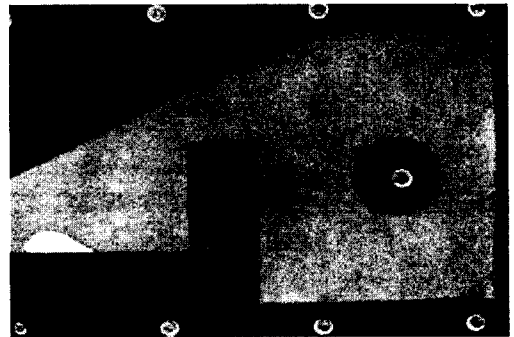
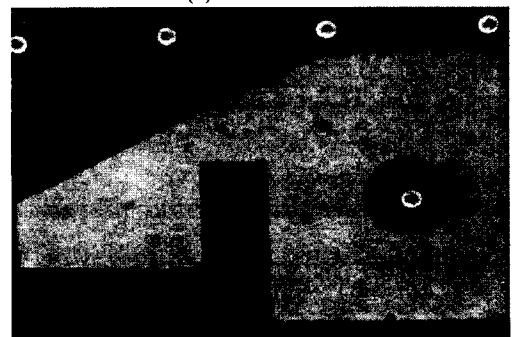


Fig. 4 Experimental Equipment

여기서 센서는 반사형 포토 인터럽터인 SG-2BC (Kodenshi AUK, <http://www.kodenshiauk.com>)를 사용하였으며 이는 섬유 예비 형성품에 수지가 함침되어 감에 따라 빛의 투과율이 달라지는 것을 감지하여 수지의 유동 선단을 파악할 수 있다.



(a) Without Control



(b) With Control

Fig. 5 Non-uniform Volume Fraction Control

위의 Fig. 5 에서 수지 주입구와 공기 토출구 및 센서의 위치는 Fig. 2 에 도시 된 것과 같으며, 실제 공정 상에서 공정을 제어한 결과, 예측된 지점에서의 dry spot 을 제거 할 수 있었다.

4. 결 론

실제 공정은 예측하기 어려운 다양한 요인에 의해 상황이 변화되므로 이에 능동적으로 대처하기 위하여 실시간으로 제어를 수행하여 그 타당성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 차세대소재성형기술개발사업의 위탁 과제로 과학 기술부 21 세기 프론티어 연구개발사업의 지원으로 이루어졌다.

참고문헌

- (1) Moon Koo Kang, Jae Joon Jung, Woo Il Lee, 2000, "Analysis of resin transfer moulding process with controlled multiple gates resin injection," *Composites: Part A* 31 (2000) 407-422
- (2) 강문구, "Resin Transfer Molding 공정에서의 금형 충전 및 기공 형성에 관한 연구," 서울대학교, 공학 박사 학위 논문, 1997.
- (3) S. Bickerton, Suresh G. Advani, "Characterization and modeling of race-tracking in liquid composite molding process," *Composite Science and Technology* 59, 1999, pp. 2215-2229.
- (4) S. Bickerton, E.M. Sozer, P.J. Graham, S.G. Advani, "Fabric structure and mold curvature effects on perform permeability and mold filling in the RTM process, Part I. Experiments," *Composite Part A*, 2000, pp. 423~ 438 .
- (5) S. Bickerton, E.M. Sozer, P.J. Graham, S.G. Advani, "Fabric structure and mold curvature effects on perform permeability and mold filling in the RTM process, Part II. Predictions and Comparison with experiments ," *Composite Part A*, 2000, pp. 439~ 458 .
- (6) C.W.Hirt and B.D. Nichols, "Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries," *J. of Computational Physics* 39, pp.201-225,1981.
- (7) C.L.Tucker, "Fundamentals of Computer Modeling for Polymer Processing," *Hanser Publishers, Oxford University Press*, New York, 1989.
- (8) B.R.Baliga and S.V.Patankar, "Elliptic Sytems: Finite Element Method II", *Handbook of Numerical Heat Transfer*, *John Wiley & Sons*, Inc, 1998.