

# RTM 공정에서 기공 최소화를 위한 공정 제어에 관한 연구

이도훈\* · 전영재\* · 이우일\*\* · 엄문광\*\*\* · 변준형\*\*\*

## A Study on the Control Strategy to Minimize Voids in Resin Transfer Mold Filling Process

Doh Hoon Lee, Young Jae Jeon, Woo Il Lee, Moon Kwang Um and Joon Hyung Byun

### Abstract

In case of Resin Transfer Molding(RTM) process, "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 prevent these unfavorable effects is proposed. The control strategy consists of two "stages" depending on the extent the resin front has reached. Through numerical simulations and experiments, the validity of the proposed scheme is demonstrated. The results show that the proposed scheme is effective in reducing the void formation during RTM mold filling.

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

### 1. 서론

RTM(Resin Transfer Molding)은 단순한 판재에서 복잡한 형상의 제품까지 다양한 복합 재료 제품을 빠르게 생산할 수 있는 공정이다. 복잡한 제품의 경우 금형 충전에서의 섬유 예비 형성품의 완전한 함침은 다양한 이유로 매우 어려워진다. 대개의 경우 금형 및 공정 설계상의 문제 등으로 완전한 금형 충전에 실패할 가능성이 크다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 미리 수치 해석을 수행하여 수지의 주입구와 공기 토출구의 위치를 개선하여 공정을 개선할 수 있다.

그러나 실제 상황에서는 섬유 예비 형성품을 금형 안에 위치시킬 때 금형의 모서리를 따라 생

기는 얇은 공극으로 인해 발생하는 race-track 효과와 부분적으로 섬유 예비 형성품이 잘리거나 접혀서 국부적으로 섬유 분율이 급격히 달라지는 부분 등 다양한 예측할 수 없는 요소가 있으며 이러한 요소들로 인해 dry-spot이 생기는 등 공정의 상황을 미리 예측하여 결함을 없애는 것은 매우 어려운 일이다.

RTM공정에서 이러한 불확실성에 의한 요소는 섬유 예비 형성품의 투과율계수(permeability)의 교란으로 볼 수 있다. race-track의 경우 금형 모서리를 따라 아주 높은 투과율 계수를 가지는 부분이 존재하는 것으로 볼 수 있으며, 섬유가 접힌 부분은 그 부분의 섬유 체적 분율이 두배 혹은 섬유 층 수 만큼 증가하여 그만큼 투과율 계수가 작아지는 것이다.

본 연구에서는 이러한 공정상의 불확실성으로 인한 결함에 공정 중에 대처하여 이를 제어하는 방법을 제안한다. 대부분의 공정에서 수지 주입구와 공기 토출구는 공정에 앞서 미리 적절한 방법으로 최적화되어 있는 상태이지만 앞서 말한

\* 서울대학교 기계항공공학부 대학원

\*\* 서울대학교 기계항공공학부

\*\*\* 한국기계연구원 재료기술연구소 복합재료그룹

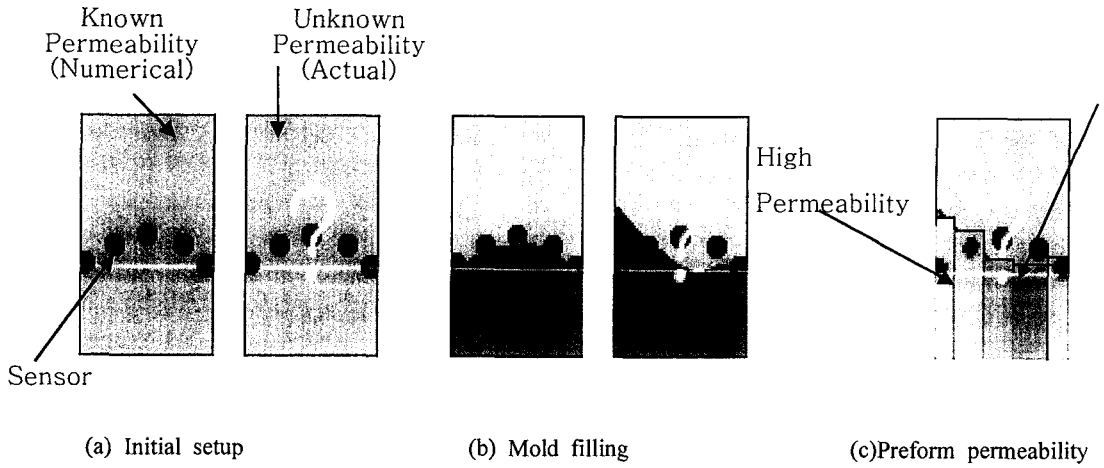


그림 1 1단계 제어

race-track 효과 등은 미리 예측될 수 없는 것이므로 본 연구에서는 공정과 동시에 실시간으로 공정 상황을 점검하여 그에 따라 주입구 압력을 조절하도록 하며 race-track 효과 등의 예기치 못한 상황에 대하여 이를 감지 할 수 있도록 하기 위하여 공정과 동시에 실시간으로 수치해석을 수행하여 이 결과와 공정에서의 수치 유동 선단 등을 비교하도록 한다. 그러나 이러한 제어는 금형 내에서 수치 주입구와 수치 유동 선단의 거리가 멀 경우 주입구의 압력 조절만으로는 유동 선단의 제어가 불가능하므로 금형 충전 초기에만 제어의 효과가 있게 된다.(1단계 제어) 이러한 제어의 한계를 보완하기 위해서는 초기의 주입구와 먼 곳에 보조 주입구를 설치하여 그 주변에서의 dry-spot 등의 생성 여부를 감지하여 보조 주입구를 작동하도록 하는 제어가 필요하게 된다.(2단계 제어)

제안된 제어의 실효성을 검증하기 위하여 수치 해석을 통한 검증과 실험을 통한 검증을 수행하였다.

## 2. 제어 규칙

### 2.1 1단계 제어

1단계 제어는 금형 충전 초기에 이루어지는 제어로서, 수치 주입구의 압력 조절로 수치 유동 선단을 제어 할 수 있는 구간에서 이루어지는 제어이다.

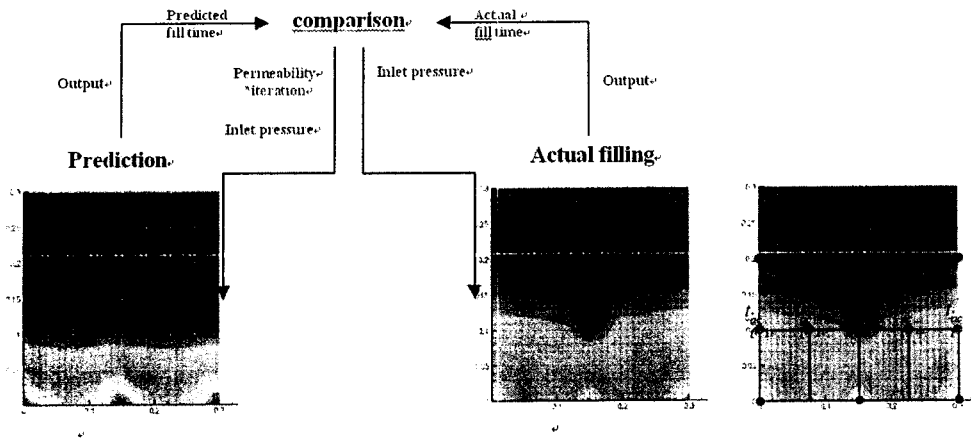
실제 공정상에서 미리 예측하지 못한 상황이

발생하는 것은 주로 금형 내의 섬유 예비 형성품의 투과율 계수가 race-track 효과 등으로 초기에 예측된 것과 다르게 됨을 의미한다. 이러한 경우 유동 선단의 형태가 예측한 형태로부터 벗어나게 된다.

1 단계 제어에서는 실제 공정에서의 유동 선단과 수치 해석을 통해 예측한 유동 선단을 비교하여 이에 따라 수치 주입구의 압력을 조절하여 유동을 조절하게 된다. 예를 들어, 공정의 유동 선단이 예측된 유동 선단보다 뒤에 있을 경우, 이는 그 지역의 섬유 예비 형성품의 투과율 계수가 예측한 값보다 작은 것으로 이를 제어하기 위해 그 지역의 주입구 압력을 증가시키도록 한다.

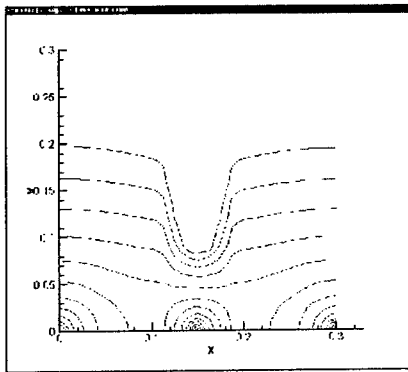
아래 그림 1은 1 단계 제어를 간단히 도시한 것으로 센서는 미리 수치해석으로 예측한 유동 선단에 위치하여 유동 선단을 감지하도록 한다. 실제 공정의 유동 선단이 센서를 통과한 시간과 예측된 시간의 차이를 통해 실제 공정에서의 투과율 계수를 계산하여 이에 따라 수치 주입구의 압력을 조절하여 예측된 유동 선단과 실제 공정의 유동 선단의 차이를 줄여나가도록 제어한다. 여기서 수치해석은 CVFEM(Control Volume Finite Element Method)으로 이루어졌다.

다음 그림 2는 1단계 제어의 결과를 보여준다. 예측된 공정은 전체가 일정한 투과율 계수를 가진 섬유 예비 형성품이 사각형 금형에 있는 것이지만 실제 공정상에서는 가운데 낮은 투과율 계수를 가지도록 하여 이를 주입구 압력 제어를 통해

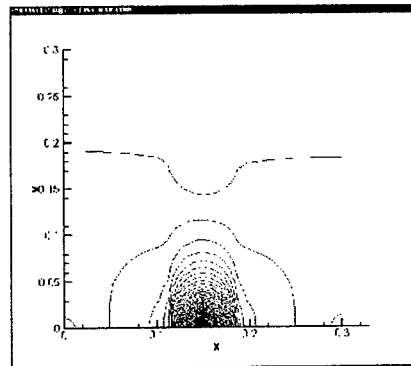


(a) Control setup

(b) Permeability calculation zone



(c) Flow front without control



(b) Flow front with control

그림 2 1단계 제어 결과

바로 잡아 가도록 하였다.

## 2.2 2단계 제어

2 단계 제어는 금형 충전 후기에 이루어지는

제어으로써, 유동 선단이 수지 주입구에서 멀어 수지 주입구의 압력 조절로 수지 유동 선단을 제어할 수 없는 구간에서 이루어지는 제어이다. 대개의 경우 dry spot 등의 결함들은 그 생성 위치를 정성적으로 추정할 수 있다. 2 단계 제어는 dry

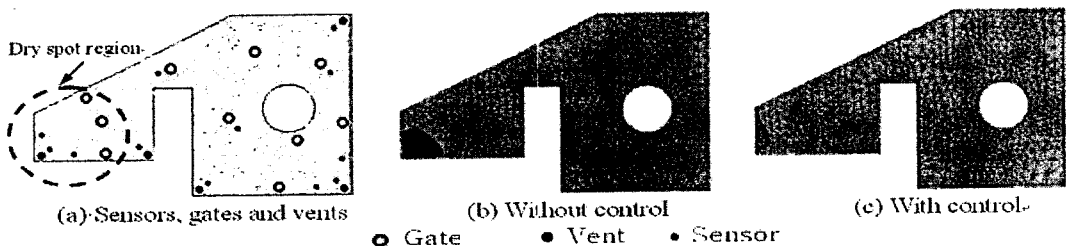


그림 3 2 단계 제어 결과

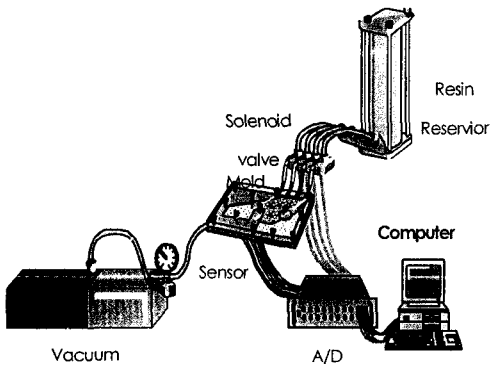


그림 4 실험장치

spot이 생길 가능성이 큰 부분에 미리 그것을 감지하기 위한 센서와 보조 주입구를 설치하여 dry spot이 감지될 경우 보조 주입구를 열어 dry spot을 없애도록 하는 것이다. 그림 3을 보면 2단계 제어의 결과로 초기 주입구에서 먼 곳의 dry spot을 줄일 수 있음을 볼 수 있다.

### 3. 실험

RTM 공정의 제어를 위해 그림 4와 같은 공정 장치를 제작하여 실험을 하였다. 실험에 사용된 금형은 그림 3과 같으며, 사용된 센서는 반사형 포토 인터럽터인 SG-2BC (Kodenshi AUK, <http://www.kodenshiuk.com>)를 사용하였으며 이는 섬유 예비 형성품에 수지가 함침되어 감에 따라 빛의 투과율이 달라지는 것을 감지하여 수지의 유동 선단을 파악할 수 있다.

그림 5a에서, 제어를 하지 않은 경우 race-track 효과에 의해 금형 내부에 dry spot이 생성되었으나, 제어를 수행한 경우인 그림 5b에는 금형 내부에 dry spot이 생성되지 않음을 알 수 있다.

### 4. 결론

실제의 RTM 공정 상황은 예측하기 어려운 다양한 요인에 의해 영향을 받게되므로 이에 대해 능동적으로 대처 할 수 있도록 실시간으로 공정상황을 검증하고 제어하는 방법이 제안되었으며 수치 해석과 실제 실험을 통하여 타당성을 검

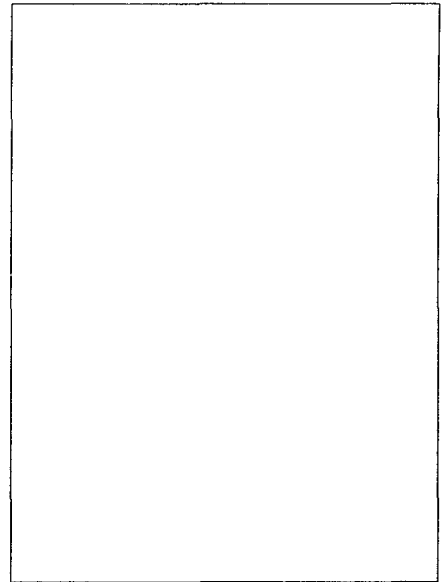


그림 5 실험결과

증하였다.

### 후 기

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

### 참고문헌

- (1) Moon Koo Kang, Jae Joon Jung, Woo and Il Lee, 2000. Analysis of resin transfer moulding process with controlled multiple gates resin injection, , Composites: Part A,31:407-422.
- (2) S. Bickerton, Suresh G. Advani, 1999, Characterization and modeling of race-tracking in liquid composite molding process, Composite Science and Tech nology 59:2215-2229
- (3) Moon Koo Kang, 1997, A Numerical and experimental study on mold filling and void formation during resin transfer molding, Seoul National University, Ph.D thesis
- (4) S. Bickerton, E.M. Sozer, P.J. Graham, 2000,

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, pp. 423~ 438 .