

# 스트레치 블로우 성형 공정의 점소성 유한요소해석 Viscoplastic FEM Analysis of Stretch Blow Molding Process

\*김흥규<sup>1</sup>, #차백순<sup>1</sup>, 박형필<sup>1</sup>, 김양수<sup>2</sup>

\*H. K. Kim<sup>1</sup>, #B. S. Cha(bscha@kitech.re.kr)<sup>1</sup>, H. P. Park<sup>1</sup>, Y. S. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 금형·성형연구부, <sup>2</sup>㈜콜테크

Key words : Viscoplastic, FEM, Blow Molding

## 1. 서론

PET의 ISBM (Injection Stretch Blow Molding) 공정은 사출에 의해 제조된 프리폼(Preform)을 용기형상의 금형에 넣고 가열된 상태로 공기를 불어 넣어 최종 제품을 생산하는 방식으로서 (Fig. 1), 사출성형 용기보다 두께를 최소화할 수 있으며, 강도, 투명성, 위생성, 내약품성 등이 우수한 제품 생산에 효과적인 공법으로 알려져 있다.

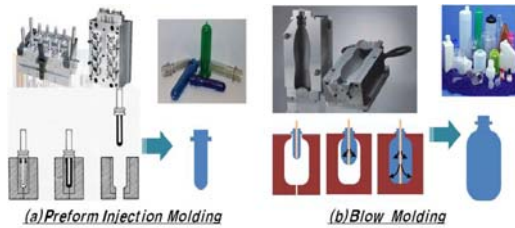


Fig. 1 Process of PET ISBM (Injection Stretch Blow Molding)

최근까지 PET ISBM에 대한 연구는 주로 프리폼을 사용한 다수 캐비티 생산 기술에 초점이 맞추어져 있었으나, 프리폼의 연신과정 중에 발생하는 두께 분포의 영향이 최종 제품의 품질에 영향을 미치고 두께 분포의 안정화가 재료비 절감 측면에서도 효과적이기 때문에 이에 대한 연구가 최근 들어 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 ISBM 공정에서 연신에 의한 PET 두께 분포를 효과적으로 예측하기 위한 방법으로서 점소성(viscoplasticity) 이론을 적용한 유한요소해석을 수행하고 그 결과를 평가하였다.

## 2. ISBM 공정 유한요소해석 모델

본 연구에서 대상으로 하는 유한요소해석 모델과 ISBM 공정을 Fig. 2에 나타내었다.

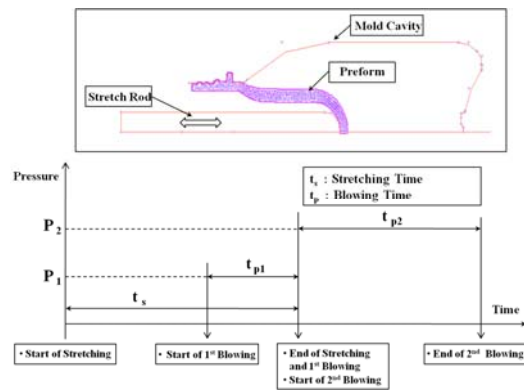


Fig. 2 Schematic of the Stretch-Blow Process and the FEM model for analysis

ISBM 공정에 관한 그 동안의 연구로부터 비정질 PET의 블로우 성형 거동에 대한 예측 정확성 면에서 점탄소성(visco-elasto-plasticity) 모델이 가장 효과적인 것으로 알려져 있다. 문제는, 재료의 수학적 모델이 복잡해질수록 예측의 정확성은 높아지지만 모델을 정의하기 위해 필요한 재료 시험 개수, 해석기술 난이도 등이 증가한다는 점이다.

본 연구에서는 비교적 단순한 형태를 갖는 점소성 모델로서 금속의 온/열간 소성변형을 기술하는데 효과적으로 사용되는, 식 (1)과 같은 형태의 변형률 효과 고려 유동응력식을 적용하여 유한요소해석을 수행하였다.

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n \dot{\bar{\epsilon}}^m \quad (1)$$

### 3. 유한요소해석 결과

ISBM 유한요소해석의 타당성을 확보하기 위해서는 PET 재료 시험에 기초하여  $K$ ,  $n$ ,  $m$  값을 구해야 하지만, 본 논문에서는 Table 1에 나타낸 값을 적용하고 그에 따른 PET 병 벽두께 변화를 고찰하였다.

블로우 성형된 PET 병의 3 개 주요 위치에서의 유효변형률을 아래 Fig. 3, 4, 5, 6에 각각 나타내었다. 그 결과를 비교하면, 변형률경화지수  $n$ 가 증가할 때 벽두께 균일도가 다소 향상됨을 알 수 있다. 변형률민감도 지수  $m$ 이 증가해도 마찬가지로 벽두께 균일도가 향상됨을 볼 수 있다. 그에 비해 강도계수  $K$ 의 증가에 따른 효과는 비교적 작게 나타났다.

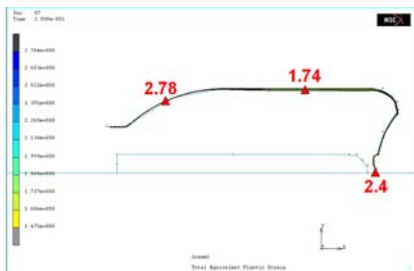


Fig. 3 Effective strains for flow stress #1

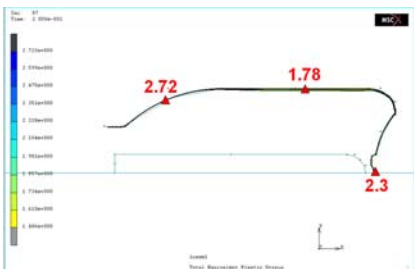


Fig. 4 Effective strains for flow stress #2

Table 1 Parameters for rate-power law of PET

Flow stress	$K$	$n$	$m$
#1	0.1	0.7	1.0
#2	0.1	0.8	1.0
#3	0.1	0.8	0.8
#4	0.2	0.8	0.8

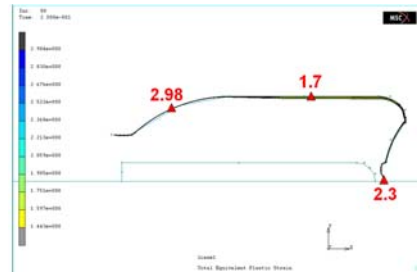


Fig. 5 Effective strains for flow stress #3

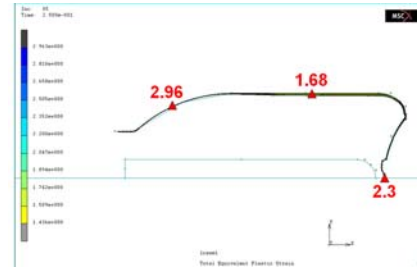


Fig. 6 Effective strains for flow stress #4

### 4. 결론

점소성 모델의 유동응력식 변수 값과 PET ISBM 공정에서의 벽두께 감소 거동의 상관 관계를 살펴보았다. 점탄소성 모델과 비교하여 탄성 거동이 고려되지 못하는 제약이 있지만, 블로우 성형에서 발생하는 벽두께 감소 등의 주요 성형 불량 문제의 사전 파악과 최적 공정 설계에 점소성 유한요소해석이 활용 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Walter, M, Thorsten, L, "Modeling the Structural Performance of Stretch-Blow Moulded PET Bottles," ANTEC 2010, 156-160, 2010.
2. Buckley, C.P., and Jones, D.C., "Glass-rubber Constitutive Model for Amorphous Polymers Near the Glass Transition," Polymer, **36**, 3301-3312, 1995.
3. Pham, X.T., Thibault, F., and Lim, L.T., "Modeling and Simulation of Stretch Blow Molding of Polyethylene Terephthalate," Polymer Engineering and Science, **44**, 1460-1472, 2004.