

# Preform 최적화를 위한 사출-연신 블로우성형에 대한 수치적 연구 A Numerical Study on Injection-Stretch Blow Molding For Preform Optimization

\*김옥래<sup>1</sup>, 김종덕<sup>1</sup>, 이상용<sup>1</sup>, 김영근<sup>1</sup>, 박형필<sup>1</sup>, 우창기<sup>2</sup>, 김홍렬<sup>2</sup>, 권창오<sup>2</sup>

\*O. R. Kim\* (kor@kitech.re.kr), J. D. Kim<sup>1</sup>, S. Y. Lee<sup>1</sup>, Y. G. Kim<sup>1</sup>, H. P. Park<sup>1</sup>, C. k. Woo<sup>2</sup>, H. R. Kim<sup>2</sup>, C. O. Kwon<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> 한국생산기술연구원 정밀금형팀, <sup>2</sup> 인천대학교 동아정밀공업부

Key words : Injection-stretch blow molding, Preform, Injection molding, PET bottle

## 1. 서 론

PET 용기의 성형은 사출-연신 블로우 성형에 의해 이루어진다. 블로우 성형공정은 재료에 공기를 이용하여 압력을 가하여 금형에 접촉하도록 하여 성형을 하는 공정이다.

사출-연신 블로우 성형용 프리폼은 열가소성 수지인 PET 를 사출성형하여 제작되며, 재가열 후 블로우 성형이 이루어짐에 따라 열 및 화학적 안정화된 특성이 요구된다. 또한 냉각된 프리폼을 100 ~ 120°C로 재가열 후 연신하여 고압의 압력으로 블로우 하여 성형이 이루어짐으로 연신에 대한 고 신뢰성의 수지 물성이 확보되어야 한다. 이 성형 공정은 매우 정밀해야 하는 성형 조건(수지온도, 재가열 온도, 블로우 압력, 연신비율)이 따르게 되며, 프리폼의 형상 및 블로우 성형에 의해 생산되는 최종 생산품의 품질을 좌우하게 된다.

본 연구에서는 블로우 성형시 최종 제품인 용기의 두께 분포를 균일화하기 위하여 프리폼의 형상 및 공정 조건의 특성을 고려하여 사출성형 및 블로우 성형을 수행하였다. 수행된 해석 결과를 통하여 프리폼 형상 및 최적화된 성형 조건을 이용하여 최종 제품인 PET 용기의 안정화된 기술의 향상시키는데 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 사출-연신 블로우 성형 해석

가. 블로우 성형을 위한 모델 설정

블로우 성형해석에 사용된 모델은 손잡이가 달린 생활 용기 용도로 사용되는 PET 용기이다. 프리폼 형상은 기존에 사용된 유사한 용기의 프리폼 외곽 형상을 이용하여 초기 프리폼 형상 설계에 적용하였다. 대부분의 프리폼 형상은 축에 대하여 대칭이므로 외곽 프로파일을 형성한 다음 축에 대하여 360 도 회전하면서 격자를 생성하였다. 또한 초기 프리폼의 두께는 4.5mm 로 일률적으로 동일하게 적용하였으며, 최적화를 통하여 용기가 균일한 두께를 가질 수 있도록 다시 설계하였다. 프리폼의 경계조건으로는 프리폼 전체가 균일하게 100°C로 가열이 된다고 가정하였으며(그림 1 (b)의 노란색 부분), 용기의 목 부분은 블로우 성형기의 이송 장치에 고정되는 부분이므로 변위가 고정된다는 경계조건을 사용하였다(그림 1 (b)의 빨간색 부분).

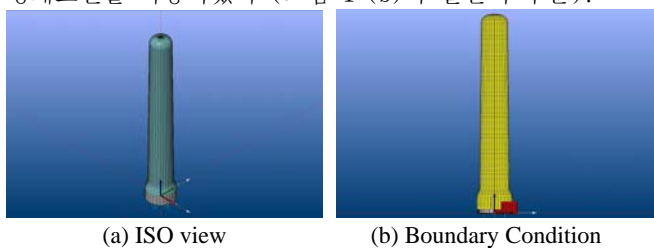
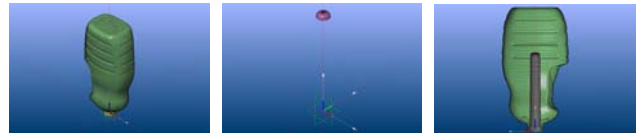


그림 1 블로우 성형용 프리폼 유한 요소 모델링 및 경계 조건

PET 용기의 경우 유한요소 모델은 블로우 몰드 형상, 연신봉(stretch-rod) 및 목(neck) 형상으로 구성이 된다. 블로우 금형의 유한요소모델은 먼저 3D 캐드 프로그램을

이용하여 형상 모델링을 한 후 격자 구성 전용 프로그램을 이용하여 격자를 구성하였다. 금형의 경계조건으로는 최적화 설계를 할 때 균일한 벽 두께를 가질 수 있도록 경계조건을 적용하였다. 연신봉의 유한요소 모델은 연신봉 머리 부분만 모델링 하였으며, 이 형상 역시 프리폼과 같이 축에 대하여 대칭인 형상이므로 프로파일을 작성한 후 360 도 회전 하면서 격자를 구성하였다. 또한 각각을 모델링한 다음 전용 프리/포스트 프로그램에서 import 한 후 격자들을 조립하였다.

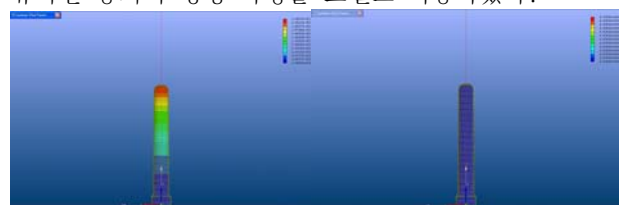


(a) Blow mold shape (b) Stretch rod shape (c) Assemble element

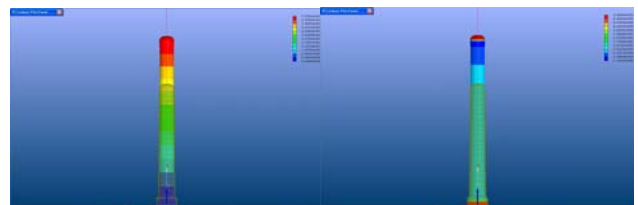
그림 2 블로우 성형해석을 위한 유한 요소 모델링

나. 블로우 성형 해석

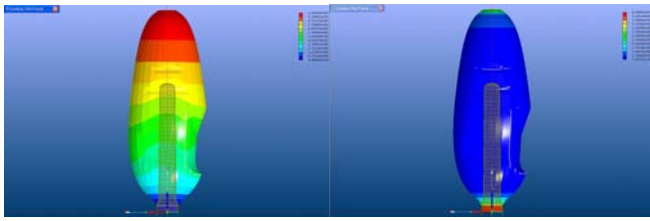
2-stage 성형기에서는 프리폼을 공급받아 성형기의 가열부를 지나면서 가열된다. 그러나 이러한 구간을 지나면서 적외선 램프에서 발산되는 열에 의해 부분적으로 균일하게 가열되지만 전체적으로 볼 때 어느 정도 온도 구배를 가지게 된다. 두꺼운 부분에서는 높은 온도로 얇은 부분에는 낮은 온도로 가열하여 전체적으로 균일한 두께 분포를 가질 수 있도록 조절한다. 이렇게 가열된 프리폼은 금형 안으로 삽입되고 일차적으로 연신봉에 의해 프리폼이 연신된 다음 저압의 공기압에 의해 성형되고 그 후 고압에 의해 완전한 용기 모양 성형된다. 이러한 과정을 blow 성형 전용 해석 프로그램인 SIMBLOW 를 이용하여 해석 하였다. 성형 공정에서는 약 0.4 초 동안 연신봉에 의해 프리폼이 연신되고 0.2 초 동안 저압인 6 기압에 의해 블로우 성형되고, 30 기압을 4.4 초 동안 유지함으로써 용기가 블로우 성형되는 과정을 해석하였다. 이러한 공정은 용기의 모양에 따라 성형 조건은 조금씩 다르지만 본 연구에서 적용되는 유사한 용기의 성형 과정을 모델로 적용하였다.



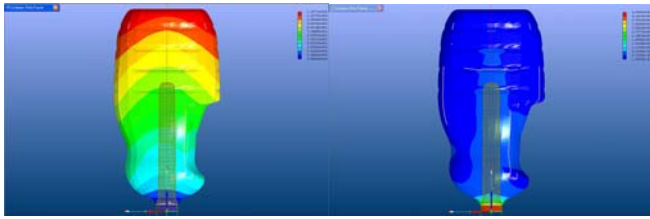
(A) Deformation at 0.0 sec (a) Preform thickness at 0.0 sec



(B) Deformation at 0.3 sec (b) Preform thickness at 0.3 sec



(C) Deformation at 0.6 sec (c) Preform thickness at 0.6 sec



(D) Deformation at 0.7 sec (d) Preform thickness at 0.7 sec

그림 3 blow 성형 중 변형(ABCD)과 성형 중 제품의 두께(abcd)

### 3. 프리폼 사출 성형 해석

가. 프리폼 사출 성형을 위한 모델 설정

사출 성형 해석 프로그램에서 사용할 수 있는 모델은 3 차원 솔리드 모델, 표면만 인식하는 fusion 모델, 두께를 고려한 중립면 모델을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 형상 차체가 높지 방향으로 두께의 변화가 일정하지 않기 때문에 두께에 대한 유동 및 냉각 현상을 고려 하기 위하여 3 차원 모델을 이용하여 해석을 수행하였다. 사출 성형 해석에 사용된 유한 요소 모델은 그림 4 와 같다. 프리폼에 사용된 유한 요소 모델은 3D 격자를 사용하였으며, 사용된 격자수는 약 267,000 개이다. 프리폼 몸체 부분에서 스파이럴 모양의 냉각 채널을 사용하여 최대한 빨리 냉각이 이루어질 수 있도록 설계하였으며, 프리폼 안쪽 부분은 bubble 형태의 냉각 채널로 구성하였다. 러너는 핫러너를 이용하여 프리폼 부와 손잡이 부분에 2 점의 게이트를 구성하여 충전 평형을 유지하도록 설계 하였다.



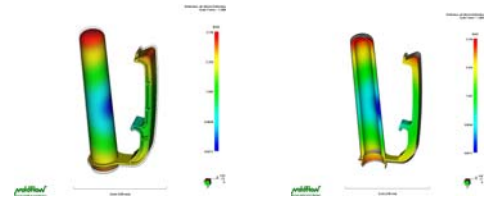
(a) 전체 조립도 (b) 프리폼 (c) 냉각 채널

그림 4 프리폼, 주입기구 및 냉각채널 유한요소 모델링

나. 사출 성형 해석 결과

사출 성형에서 사용된 수지는 SK 케미칼에서 생산되는 PET 수지를 사용하였으며 사출 시간 2.0 sec, 금형 온도 25℃, 용융 온도 290℃, 보압 시간 10 sec 및 보압은 최고 사출압력의 80%로 설정하였다. 그림 5 는 프리폼에서 발생하는 변형량을 나타낸 그림이다. 이러한 변형량의 차이는 내부 잔류 응력의 형태로 나타나고 이러한 잔류 응력은 제품의 휨을 유발시키는 원인이 되므로 성형 공정에서 발생하는 수축률의 차이를 되도록 적게 함으로써 휨을 발생시키는 원인을 줄일 수 있다. 특히 이러한 프리폼 형상에서는 좌우 두께 편차에 의해 최종 제품인 PET 용기 두께의 균일화에 큰 영향을 미치므로 사출

성형할 때 이와 같은 불량을 미리 방지할 수 있도록 설계에 반영되어야 한다.



(a) 전체 형상 (b) Section 단면도

그림 5 프리폼 변형 분포

### 4. 프리폼 사출 성형 해석

프리폼 금형을 제작하여 사출성형 실험을 수행하였다. 사출기는 동신 550 톤 preform 전용 사출기를 이용하였다.

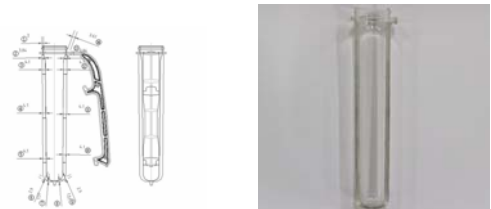


그림 6 프리폼 측정 위치 및 사출 성형품

Table 1 측정 치수 데이터

	도면치수	(a)실측치수(좌)	(b)실측치수(우)
1	3.84	㉑ : 3.83	㉒ : 3.94
2	4.10	㉓ : 4.02	㉔ : 4.08
3	4.10	㉕ : 3.99	㉖ : 4.06
4	4.10	㉗ : 4.05	㉘ : 4.12
5	2.90	㉙ : 3.12	㉚ : 3.04

### 6. 결 론

본 연구에서는 PET 용기의 두께를 균일화 하기 위하여 사출성형 해석 및 사출-연신 블로우 해석을 수행하였으며, 그 결과를 이용하여 프리폼 설계 및 금형을 제작 하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다. 사출-블로우 성형 해석 결과를 이용하여 프리폼 설계시 반영함으로 약 5% 미만의 두께 편차를 줄일 수가 있었다.

해석을 통한 예측 결과와 실험 결과 데이터를 비교했을 때 비슷한 경향을 보여 주었으나 전체 0.5mm 범위정도 일치하지는 않았으며, 이러한 요인들은 실험 및 해석시 경계 조건들의 차이로 인하여 발생하였다.

### 후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업혁신 기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. J. P. MCEVOY, C. G. ARMSTRONG, and R. J. CRAWFORD " Simulation of the Stretch Blow Molding Process of PET Bottles " *Advancds in Polymer Technology, Vol.17, NO.4, 339-352, 1998*
2. X. -T. PHAM, F. THIBAUT, and L-T. LIM " Modeling and Simulation of Stretch Blow Moulding of Polyethylene Terephthalate " *POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, AUGUST 2004, VOL.44, NO.8, pp 1460~1472*