손잡이 일체형 PET 용기 제작을 위한 블로우 성형에 대한 수치적 연구

김종덕† · 고영배 · 김홍렬 · 권창오

한국생산기술연구원 · 동아정밀공업(주)

(2008. 2. 26. 접수 / 2008. 4. 30. 채택)

A numerical study on blow molding for manufacturing PET bottle consisted of single body

Jong-Duck Kim† · Young-Bae Go · Hong-Ryul Kim · Chang-Oh Kwon

KITEC · Dong-a precision

(Received February 26, 2008 / Accepted April 30, 2008)

Abstract : Forming of PET bottle was performed by injection-stretch blow molding. Blow molding is process of contacting the dies with air of materials by pressing. In this paper, the aim was to improve reliability of technical stabilization for the PET bottle that is last productive product and process technology which was able to do maximization by a preform performance enhancement of the uniform thickness that took temperature and a characteristic of materials. Preform design and dies manufacture were conducted using injection blow molding analysis results. Therefore thickness error of 5% for PET bottle can be obtained in this paper.

Key Words : Blow molding, Injection molding, PET bottle, Injection-stretch, Preform

1. 서 론

지난 수십년 간, 블로우 성형(blow molding)은 매우 급격한 성장을 가져 왔으며, 최근 엔지니어링 플라스틱의 개발이나 다차원 블로우 성형법 등 새로운 성형법의 개발에 의해 포장, 용기 뿐만 아니라 자동차 부품이나 산업자재 관계에 응용되고 있는 추세이다. 다양한 블로우 성형 기법 중 사출-연신 블로우(injection-stretch blowing) 성형은 강화된 물리적 상태량, 탄산음료병과 같은 제품에 중요한 가스 불투과성 상태량을 요구하는 양방향 분자배향을 가지는 병과 같은 중공 제품을 성형하는데 적용된다. 사출-연신 블로우 성형 중 분리형(two-stage) 공정에서는 프리폼은 사출성형 후 블로우 성형 시 적외선 히팅 램프를 사용하여 설정된 온도 조건에서 재 가열된다. 재 가열된 프리폼은 블로우 금형 안에 이송된 후 저압 및 고압의 공기에 의해 블로우 성형하면서 병의 형성을 완성시킨다. 성형의 상대적인 높은 가격과 설비 때문에 탄산음료병과 같은 큰 용량의 병을 제작하는데 가장 적합하다.

종래의 PET 용기는 2리터 미만의 음료수 용기로 사용되었으나, 최근에는 2리터 이상의 손잡이가 부착된 대용량 PET 용기의 수요가 급증하고 있다. 해외 및 국내에서 사용되는 손잡이가 달린 대용량 PET용기는 용기와 일체형이 아닌 별도로 손잡이(PP로 사출 성형)를 조립한 형태로 사용되고 있다. 마개 부분에 손잡이를 부착하거나, 용기의 측면에 손잡이를 부착할 수 있도록 한 것이기 때문에 별도의 압입 공정이 추가로 필요하여 공정이 복잡해지고 생산원가의 증가를 유발하며, 조립된 손잡이는 용기와 다른 소재이기 때문에 재 활용시 손잡이 부분을 재 분리해야 하는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 손잡이와 용기가 모두 PET 수지로 된 손잡이 일체형 용기의 개발은 필요한 실정이다. 그러나 일체형 PET 용기를 성형하는데 있어 가장 어려운 것은 연신율이 크게 되면 최종 두께

분포를 예측하는 것이 매우 어렵기 때문에 균일한 두께를 가질 수 있도록 프리폼 형상을 최적화 하는 것이다. 지금까지는 시행착오에 의존하며, 경제적인 비용의 증가 및 시간 소요가 요구되었다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해 효율적이고 경제적인 방법을 찾아야 한다.

본 연구에서는 블로우 성형시 PET 용기의 두께를 균일화하기 위하여 수지의 온도 및 특성을 고려한 균일한 두께의 프리폼 성능 향상을 최대화 할 수 있는 공정 기술 및 최종 생산제품인 PET 용기의 안정화 기술의 신뢰성을 향상시키는데 그 목적이 있다.

2. 사출-연신 블로우 성형 해석

2. 1 블로우 성형을 위한 모델 설정

블로우 성형해석에 사용된 모델은 손잡이가 달린 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 360도 회전하면서 격자를 생성하였다. 또한 초기 프리폼의 두께는 4.5mm로 일률적으로 동일하게 적용하였으며, 최적화를 통하여 용기가 균일한 두께를 가질 수 있도록 다시 설계하였다. 프리폼의 경계조건으로는 프리폼 전체가 균일하게 100℃로 가열이 된다고 가정하였으며(Fig. 1 (b)의 노란색 부분), 용기의 목(neck) 부분은 블로우 성형기의 이송 장치에 고정되는 부분이므로 변위가 고정된다는 경계조건을 사용하였다 (Fig. 1 (b)의 빨간색 부분).

PET 용기의 경우 유한요소 모델은 블로우 몰드 형상, 연신봉(stretch-rod) 및 목 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(head) 부분만 모델링 하였으며, 이 형상 역시 프리폼과 같이 축에 대하여 대칭인 형상이므로 프로파일을 작성한 후 360도 회전 하면서 격자를 구성하였다. 또한 각각을 모델링한 다음 전용 프리/포스트 프로그램에서 import 한 후 격자들을 조립하였다.

2. 2 블로우 성형 해석

2-stage 블로우 성형에서는 프리폼을 공급받아 성형기의 가열부를 지나면서 가열된다. 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 이송되고 일차적으로 연신봉에 의해 프리폼이 연신된 다음 저압의 공기압에 의해 성형되고 그 후 고압에 의해 완전한 용기 모양 성형된다. 이러한 과정을 블로우 성형 해석 프로그램인 SIMBLOW를 이용하여 해석 하였다. 성형 공정에서는 약 0.4초 동안 연신봉에 의해 프리폼이 연신되고 0.2초 동안 저압인 6기압에 의해 1차로 블로우 성형되고, 30기압을 4.4초 동안 유지함으로써 용기가 2차 블로우 성형되는 과정을 해석하였다.

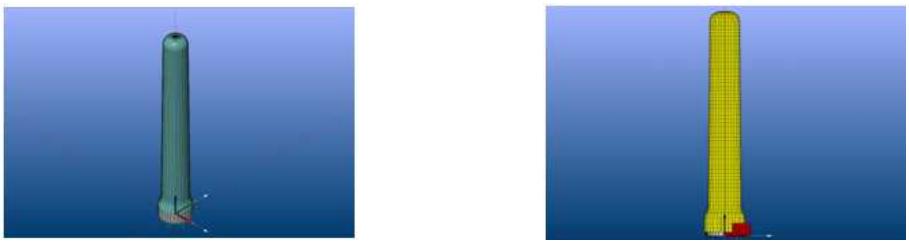
Fig. 3은 시간에 따른 블로우 성형 과정을 나타낸 Fig.이다. 0.4초 동안 연신봉이 bottom 몰드쪽으로 이동되면서 가열된 프리폼을 연신하며(Fig. 3(b) 참조), 0.6초까지 저압인 6기압으로 공기가 유입되면서 블로우 성형이 되어 진다(Fig. 3(c) 참조). 그리고 약 1초 정도에서는 용기 형상의 약 96% 정도까지 블로우 성형 된다. 그리고 5초 까지 형상 유지 및 냉각되며 최종적으로 용기가 성형되는 것을 볼 수가 있다.

Fig. 4는 프리폼 두께 최적화 및 최적화 된 프리폼을 이용하여 블로우 성형을 하였을 때 결과를 나타낸 Fig.이다. 최적화 된 결과는 약 2.6mm(Fig. 4(a) 참조)로 이 결과를 토대로 다시 프로폼을 설계하여 블로우 성형 해석을 한 결과 목표치 인 0.3mm(Fig. 4(c) 참조)에 근접한 결과를 얻을 수가 있었다.

3. 프리폼 사출 성형 해석

3. 1 프리폼 사출 성형을 위한 모델 설정

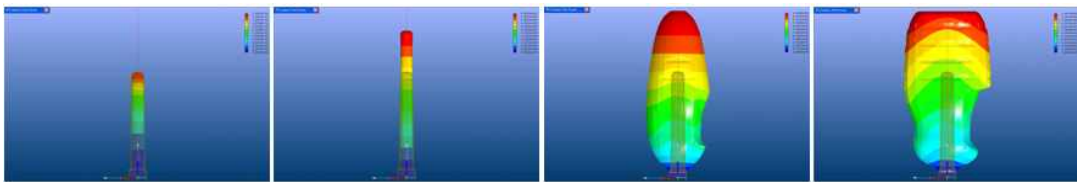
사출 성형 해석 프로그램에서 사용할 수 있는 모델은 3차원 솔리드 모델, 표면만 인식하는 fusion 모델, 두께를 고려한 중립면 모델을 사용할 수 있다.



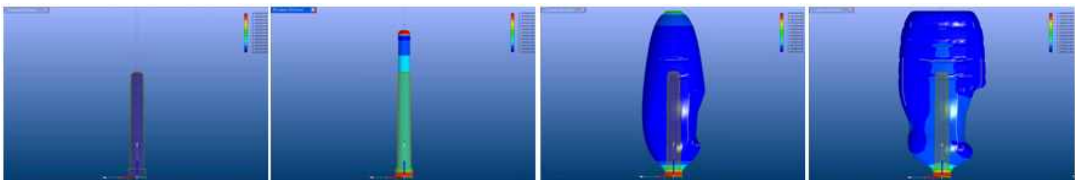
(a) FE model (b) Boundary Condition

Fig. 1 FE modeling and boundary condition of blow molding

Fig. 2 FE modeling of blow molding

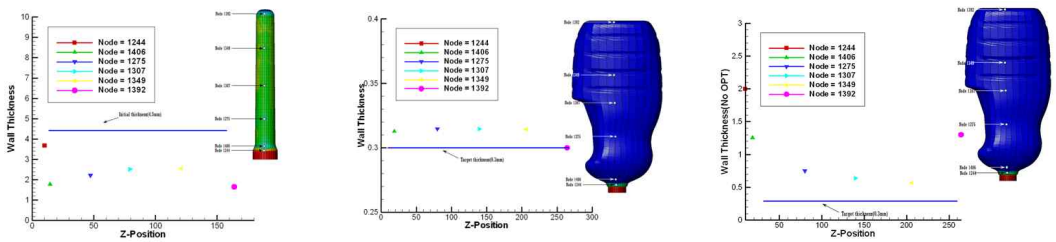


(A) 0.0 sec (B) 0.3 sec (C) 0.6 sec (D) 5.0 sec



(a) 0.0 sec (b) 0.3 sec (c) 0.6 sec (d) 5.0 sec

Fig. 3 Deformation(ABCD) and thickness(abcd) accoding to time in blow molding

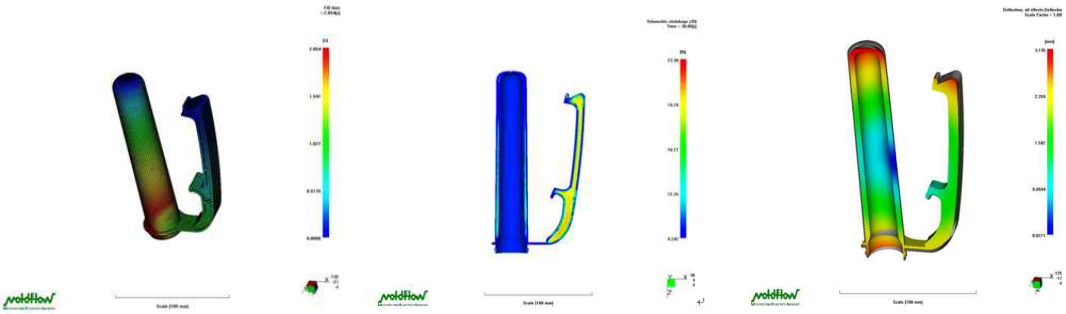


(a) Preform thickness (b) PET thickness (c) PET thickness

Fig. 4 Variation of height direction

(a) Assembly drawing (b) Preform (c) Cooling channel

Fig. 5 FE modeling of preform and cooling channel



(a) Result of filling (b) Result of shrinkage (c) Result of warpage

Fig. 6 Forming analysis of preform

Fig. 7 Injection molding product and drawing of single body

Table 1 Deviation of thickness of sampled preform

	도면치수	(a)실측치수(좌)	(b)실측치수(우)
1	3.84	② : 3.83	⑬ : 3.94
2	4.10	③ : 4.02	⑫ : 4.08
3	4.10	④ : 3.99	⑪ : 4.06
4	4.10	⑤ : 4.05	⑩ : 4.12
5	2.90	⑥ : 3.12	⑨ : 3.04

본 연구에서는 형상 자체가 높이 방향으로 두께의 변화가 일정하기 않기 때문에 두께에 대한 유동 및 냉각 현상을 고려 하기 위하여 3차원 모델을 이용하여 해석을 수행하였다. 사출 성형 해석에 사용된 유한 요소 모델은 Fig. 5와 같다. 프리폼에 사용된 유한 요소 모델은 3D 격자를 사용하였으며, 사용된 격자수는 약 267,000 개이다. 프리폼 몸체 부분에서 스파이럴 모양의 냉각 채널을 사용하여 최적의 냉각이 이루어질 수 있도록 설계하였으며, 프리폼 안쪽 부분은 bubble 형태의 냉각 채널로 구성하였다. 러너는 핫러너를 이용하여 프리폼 부와 손잡이 부분에 2점의 게이트를 구성하여 충전 평형을 유지하도록 설계 하였다.

3. 2 사출 성형 해석

사출 성형에서 사용된 수지는 SK 케미컬에서 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. Fig. 6(a)는 preform 형상을 충진하는 수지의 흐름을 나타낸 Fig.이다. 완전 충진까지 약 2.03초 정도 시간이 소요되었으며 게이트에서 유동의 말단까지 수지가 균일하게 충진 되고 있는 것을 알 수가 있다.

Fig. 6(b)는 preform 형상을 충진하는 수지의 온도 분포를 나타낸 Fig.이다. 금형 안으로 유입된 고온의 수지는 금형 벽면에 접촉과 동시에 거의 금형 온도까지 낮아지며 중심분에서는 고온을 유지하며 충진되는 유동 분포를 보여 주고 있다. 완전 충진 후 고화된 수지와 금형의 벽면으로부터 금형 냉각 효과에 대해서도 영향을 받으며 서서히 냉각되고 있는 것을 보여 준다. 점성에 의해 발생된 마찰열은 고화층을 통하여 금형 표면을 통하여 대기로 방출된다. 초기의 고화층은 얇으나 열전달에 의해 열이 금형 밖으로 방출되므로 수지의 온도는 낮아지게 되고 수지의 고화층의 두께는 두꺼워진다. 고화층은 열전달에 의한 열손실이 수지 유동에 의한 마찰열과 같아지는 두께에 도달 하게 되어 평형 상태를 이룬다. 시간에 따른 온도 분포는 preform과 손잡이 부가 근접한 부분에서 냉각수가 유입되면서 수지 열플럭스가 냉각수로 전도되면서 다른 부분에 비해 온도가 낮아지는 것을 알 수가 있다. 온도의 편차로 인하여 preform의 두께가 달라지며 blow 성형할 때 용기의 두께 편육을 야기시킬 수 있다. 손잡이 부는 다른 부분에 비해 제품의 두께가 두꺼우므로 부가적인 냉각 설계가 필요하다.

Fig.6 (c)는 프리폼에서 발생하는 변형량을 나타내는 Fig.이다. 이러한 변형량의 차이는 내부 잔류 응력의 형태로 나타나고 이러한 잔류 응력은 제품의 휨을 유발시키는 원인이 되므로 성형 공정에서 발생되는 수축률의 차이를 되도록 적게 하는 것이 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.

4. 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 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 사출-블로우 성형 해석 결과를 이용하여 프리폼 설계시 반영함으로 약 5% 미만의 PET 용기 두께 편차를 줄일 수가 있었다.
2. 프리폼 사출 성형해석을 통한 예측 결과와 실험 결과를 비교했을 때 손잡이 부분이 반대편 두께보다 수축이 작아짐에 따라 약 2.7% 두께 편차를 보여 줌을 알 수가 있었다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업혁신기술개발사업의 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. THIBAULT, 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

[3] SONG WANG and AKITAKE MAKINOUCHI ″ Three-Dimensional Viscoplastic FEM Simulation of a Stretch Blow Molding Process ″ Advancds in Polymer Technology, Vol.17, No. 3, 189-202, 1998

[3] Z. J. YANG, E. HARKIN-JONES, G.H. MENARY, and C. G. ARMSTRONG ″ A Non-Isothermal Finite Element Model for Injection Stretch-Blow Molding of PET Bottles With Parametric Studies ″ POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, JULY 2004, VOL.44, NO.7, pp.1379-1390