

블로우 성형공정변수가 PET 용기에 미치는 영향에 관한 연구

김종덕[†] · 고영배 · 김옥래 · 박형필 · 김홍렬 · 권창오

한국생산기술연구원 정밀금형팀, 동아정밀공업(주)
(2008. 8. 12. 접수 / 2008. 11. 21. 채택)

Effects on the process factors of blow molding affects to the PET bottle

Jong-Dug Kim[†] · Young-Bae Go · Ok-Rae Kim · Hyung-Pil Park · Hong-Ryul Kim ·
Chang-Oh Kwon

KITECH, DONG-A Precision CO. LTD
(Received August 12, 2008 / Accepted November 21, 2008)

Abstract : Injection-stretch blowing system for preform has been developed in this study. The preforms for injection blow molding and injection stretch blow molding are being manufactured by injection molding. However it contains gate mark that affects the bottom crack in the PET bottle. The compression molded preform does not contain gate mark, thus the appearance quality of bottle has been increased and the residual stress near gate(bottom of the bottle) has been reduced. The thickness distributions, haze, and transmittance are well accepted for the preform. Also, flow characteristics of the resin between a core and cavity could be analyzed through computer simulation.

Key Words : Injection-stretch blow molding; Preform; Injection molding; PET bottle

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 양방향 분자배향을 가지는 병(bottle)과 같은 중공 제품을 성형하는데 적용되며, 양방향의 배향은 강화된 물리적 상태량, 탄산음료병과 같은 제품에 중요한 가스 불투과성 상태량을 제공한다. 사출-연신 블로우 성형 중 분리형(two-stage) 공정에서는 사출성형으로 생산된 프리폼을 적외선 히팅 기구로 재 가열된다. 재 가열된 프리폼은 블로우 금형 안에 장착된 후 고압의 공기를 분사시켜 병의 형상을 생성 및 유지 하면서 완성시킨다. 그러나 블로우 성형은 연신율이 10 배 이상이 되기 때문에 최종 두께 분포를 예측하는 것이 매우 어렵다. 따라서 균일한 두께를 가질 수

있는 프리폼 형상 최적화가 필요하다.

지금까지 대부분의 연구는 시행착오에 의존하였으며, 경제적인 비용 증가 및 시간 소요를 요구한다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해 효율적이고 경제적인 방법을 찾아야 한다.

본 연구에서는 블로우 성형 시 공정변수가 용기 두께에 미치는 영향을 알아보고, 두께 균일화를 위한 블로우 공정 변수 설정 및 최종 생산제품인 PET 용기의 안정화 기술의 신뢰성을 향상시키는데 그 목적이 있다.

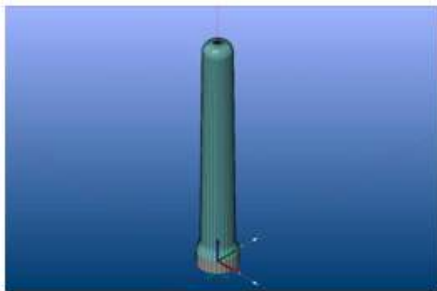
2. 사출-연신 블로우 성형 해석

2.1 블로우 성형을 위한 모델 설정

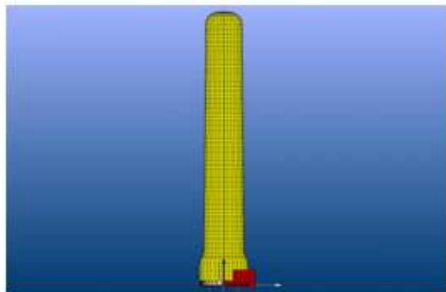
블로우 성형해석에 사용된 모델은 생활 용기 용도로 사용되는 타원(oval)형태의 페트 용기이다. 프리폼 형상은 기존에 사용된 유사 용기의 외곽 형상을 이용하였으며, 이를 초기 프리폼 형상 설계에 적용하였다. 프리폼의 두께는 일반적으로 상부에서 하부로 내려 갈수록 얇아지는 두께 분포를 가지고 있

지만, 여기에서는 두께(4.5mm)는 균일하다고 가정하였다. 프리폼 하부는 연신봉의 헤드와 맞닿기 때문에 성형과정 중 거의 변형이 일어나지 않는다. 그러므로 프리폼 하부의 두께는 2.5mm 설계하였다. 대부분의 프리폼 형상은 축 대칭이므로, 외곽 프로파일을 형성한 다음 축에 대하여 360도 회전하면서 격자를 생성하였다.

해석에 사용된 경계조건으로는 프리폼 전체가 균일하게 100℃로 가열이 된다고 가정하였으며(Fig. 1 (b)의 노란색 부분), 용기의 목 부분은 블로우 성형기의 이송 장치에 고정되므로 변위가 고정된다는 경계조건을 사용하였다 (Fig. 1 (b)의 빨간색 부분)



(a) FE model



(b) Boundary Condition

Fig. 1 FE modeling and boundary condition of blow molding

PET 용기의 경우 블로우 금형 형상, 연신봉(stretch-rod) 및 목(neck) 형상에 대한 유한요소 모델로 구성된다. 블로우 금형의 유한요소모델은 먼저 3D 캐드 프로그램을 이용하여 형상 모델링을 한 후 격자 구성 전용 프로그램(Hyper Mesh 7.0)을 이용하여 격자를 구성하였다. 연신봉의 유한요소 모델은 연신봉 머리 부분만 모델링 하였으며, 이 형상 역시 프리폼과 같은 방법으로 격자를 구성하였다.

2.2 블로우 성형 해석

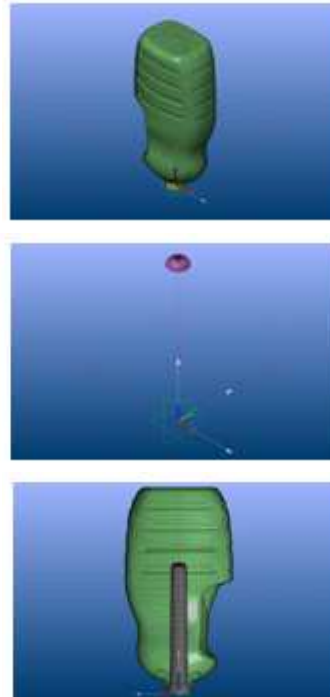


Fig. 2 FE modeling of blow molding

2-stage 블로우 성형기에서는 프리폼이 성형기의 가열부를 지나면서, 가열부에 설치된 IR 램프에서 발산되는 열에 의해 가열된다. 그러나 프리폼의 균일 가열은 어렵기 때문에 어느 정도 온도 구배를 가지게 된다. 따라서 두꺼운 부분에서는 높은 온도로, 얇은 부분에는 낮은 온도로 가열하여 전체적으로 균일한 온도 분포를 가질 수 있도록 조절한다. 이렇게 가열된 프리폼은 금형 안으로 삽입되어, 일차적으로 연신봉에 의해 프리폼이 연신된 다음 저압의 공기압으로 성형되고, 그 후 완전한 용기 모양을 얻기 위해서 고압의 공기압으로 성형한다. 따라서 블로우 성형 공정 중 연신 및 블로우 과정이 성형품의 두께 변화에 미치는 변화를 수치적으로 알아보고자, 앞에서 언급된 모델을 이용하여 PET 용기의 사출-연신 블로우 성형 과정에 대한 해석을 진행하였다. 해석에는 블로우 성형 전용 해석 프로그램인 SIMBLOW를 이용하였다.

블로우 성형 해석은 3가지의 다른 경우로 수행되었다. 첫 번째는 프리폼이 연신 없이 블로우 되는경

우이고, 두 번째는 프리폼이 몰드의 하부까지 우선 연신된 다음 공압에 의해 블로우 되는 경우이다.

하부 아래쪽에서 벌지(bulge)가 시작되며, 부풀려진 두 부분은 성형의 마지막 단계에서 만나게 된

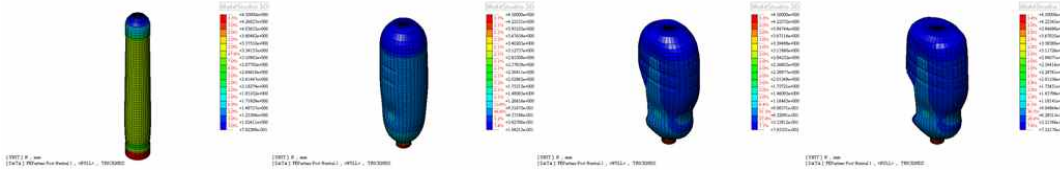


Fig. 3. Process of blow molding without elongation

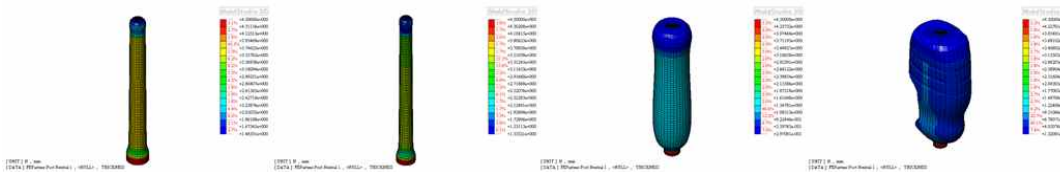


Fig. 4. Process of blow molding after elongation

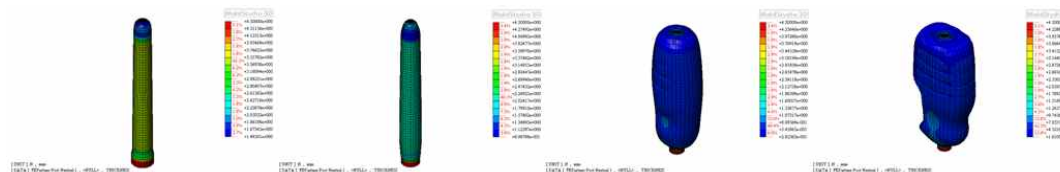


Fig. 5. Process of blow molding in process of elongation

세 번째는 프리폼이 몰드의 하부로 연신되기 전에 공기를 분사시킴으로써 길이 방향으로의 연신에 의해 늘어나고 동시에 길이에 수직인 방향으로는 공기압에 의해 늘어나는 2축 연신이 되는 경우이다. 따라서 변형 모드는 성형공정 변수에 따라 각각 다르게 발생된다. 각 경우 연속된 변형 과정을 살펴보기 위하여 중간 단계의 프로파일을 선택하였다. 첫 번째 경우(Fig. 3 참조)는 성형 과정 초기의 프리폼이 길이방향으로는 성형되지 않고, 반경 방향으로 부풀려짐을 알 수 있다. 이것은 주위의 몰드 형상에 제약을 받기 때문이며, 고무풍선과 같이 변형하는 모습을 보여 주고 있다. 특히 금형 총 표면적의 30% 이상을 초기 프리폼의 외곽과 접촉하기 때문에, 접촉되지 않은 프리폼이 이후 블로우를 통하여 금형 표면으로 고착되며 용기 형상을 만든다. 따라서 두께가 매우 얇아지는 문제를 가지고 있다.

두 번째 경우는 프리폼이 연신되기 때문에, 반경 방향으로 명확하게 수축되는 것을 확인 할 수가 있다. 연신과정이 끝나면 프리폼의 총 길이는 초기 길이의 2.5배 이상이 된다. 블로우 단계에서는 상부와

다.(Fig. 4 참조)

세 번째 경우는 길이 방향으로 먼저 프리폼이 연신이 되고, 이후에 공기압이 프리폼 내부에 전달된다. 따라서 초기 팽창은 프리폼의 상부에서 진행되며, 그런 다음 점진적으로 하부로 내려오며 팽창된다. 그러나 프리폼 하부는 팽창은 진행 되지만, 팽창 속도가 상부보다 상대적으로 느리기 때문에 두 번째 경우와 같이 상부와 하부에는 풍선 형상이 생기지 않는다.

3가지 경우의 최종 두께 구배는 Fig.5와 같이 나타낼 수가 있다. 첫 번째 경우는 앞에서 언급한 바와 같이 용기의 중간 부분 격자가 심각할 정도로 뒤틀려져 있으며, 두께도 0.05mm로 감소되어 있다. 일반적으로 파열 기준을 FEM 모델에 적용하지 않지만, 두께 분포를 통하여 파열을 예측할 수 있었다.

Fig. 4에서 나타난 변형된 격자 형상은 매끄러우며, 상하부 풍선 모양 사이에서의 격자는 주위의 파트들 보다 변형이 적음을 볼 수가 있다. 결과적으로 이러한 영역에서의 두께는 주위 영역에서 보다 더

두꺼워진다. Fig. 5에서는 하부 영역을 제외하고는 변형된 격자 형상은 매우 규칙적이며, 상부에서부터 하부까지 매끄러운 두께 분포를 가짐을 알 수가 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 블로우 성형 연신과정에 따라 페트 용기의 두께 변화를 알아보기 위하여 사출-연신 블로우 해석을 수행하였다. 그 결과를 이용하여 프리폼 초기 설계 및 블로우 성형 공정시 미치는 영향을 살펴보았으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 사출-블로우 성형 해석 결과를 이용하여 연신 및 블로우 과정이 용기에 미치는 영향을 수치적으로 모사해 보았다.
2. 사출-블로우 성형시 연신과정과 동시에 공기를 블로우 하는 것이 용기 두께의 편차를 최소화시킬 수 있다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 생산환경혁신기술개발 사업의 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
- [3] SONG WANG and AKITAKE MAKINOUCI " 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