

압축성형을 통한 블로우 성형품용 프리폼 성형기술 연구

최성현¹ · 민형기¹ · 류민영[#]

A Study on the Molding Technology for the Preform of Blow Molding Through Compression Molding

S. H. Choi, H. K. Min, M. Y. Lyu

(Received November 16, 2006)

Abstract

Novel compression molding 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 Molding, Compression Molding, Injection Blow Molding, Injection Stretch Blow Molding, Preform, Residual Stress, Crack

1. 서 론

블로우 성형법의 하나인 사출 연신 중공성형법(Injection Stretch Blow Molding)은 프리폼(Preform)을 사출성형으로 제작한 후 몸통을 가열하고 stretch rod가 프리폼을 축 방향(길이방향)으로 연신시키면서 고압의 공기를 주입하여 중공품을 성형한다[1~2]. 이러한 공정은 PET(Polyethylen Terephthalate) 병을 성형하는 공정에 적용되고 있다. 이때 프리폼의 사출성형 시 생성되는 게이트(Gate)는 프리폼의 바닥에 위치하게 되고 블로우성형 시 병의 바닥부분을 형성하게 된다. 사출성형품의 게이트 부위는 성형 중에 고온과 고압을 받게 되므로 잔류응력이 내포되어 취약부위로 남게 된다. 게이트의 이러한 결점은 프리폼을 블로잉하여 병을 성형할 때 여러 가지 형태의 성형불량을 일으키는 물론 병의 사용 중에 바닥면에 크랙이 발생하

며, 또한 병의 외관품질을 저하시키고 있다[3~8].

사출성형품에서 게이트가 문제가 되어 이를 다른 공정으로 성형하는 예는 병의 뚜껑(Cap, Closure)을 생산하는 경우가 있다. 그러나 프리폼을 압축성형으로 성형하는 예는 아직 보고된 바가 없다.

압축성형이 용기형태의 제품성형에 응용되는 경우는 유리를 이용하여 컵이나 용기류를 만드는 공정이 있다. 유리는 근본적으로 투명성을 갖고 있기 때문에 투명한 유리 용기를 제작하는데 기술적으로 큰 어려움은 없다. 그러나 PET소재는 결정성 플라스틱으로 결정화도가 높은 재료이기 때문에 투명하게 프리폼을 제작하기 위해서는 성형공정이 중요하다. PET소재의 결정화도가 높아지면 투명도가 크게 저하되기 때문에 성형 중에 급랭을 시켜서 결정화도를 낮추어 빛의 투과도는 높이고 Haze는 낮춰야 한다. 본 논문에서는 이러한 요구사항을 만족할 수 있는 압축성형장치를 설

1. 서울산업대학교 대학원
교신저자 : 서울산업대학교 금형설계학과, mylyu@snut.ac.kr

Table 1 Compression molding conditions

Resin	Resin Temperature (°C)	Cooling Temperature (°C)	Compression force (kg/cm ²)	Compression Time (sec)
PET CHIP PPR	260	0	100	10
		10		
		20		
AA	280	0	100	10

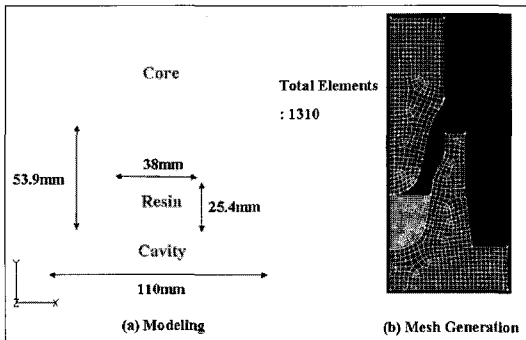


Fig. 4 Modeling and mesh generation

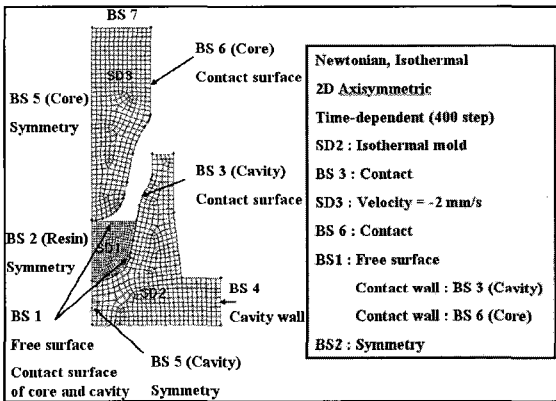


Fig. 5 Boundary conditions

어떠한지를 알아보기 위해 Fluent社의 CFD(Computational Fluid Dynamics)프로그램인 Polyflow를 사용하여 압축성형해석을 하였다.

2.3.1 유한요소 해석모델

Fig. 4은 압축성형해석을 하기 위해서 (a)와 같이 코어, 성형재료 및 캐비티로 모델링을 했으며 계산영역을 (b)와 같이 총 1310개의 요소로 나누었다. 또한 모델링이 좌우 대칭이기 때문에 Axisymmetric으로 반만 해석을 했다.

2.3.2 유한요소 해석의 경계조건 설정

Fig. 5는 각 요소에 경계조건을 적용한 것이다. 압축성형공정은 시간에 따라 Time-dependent Problem을 적용해서 Newtonian, isothermal로 해석하였다. 코어의 하강속도는 2mm/s를 적용했다. 성형재료(SD1)의 표면을 Free Surface로 정하고 그 표면과 만나는 부분인 BS3(Cavity)와 BS4(Core)를 Contact wall로 선택하였다.

3. 실험결과 및 해석결과

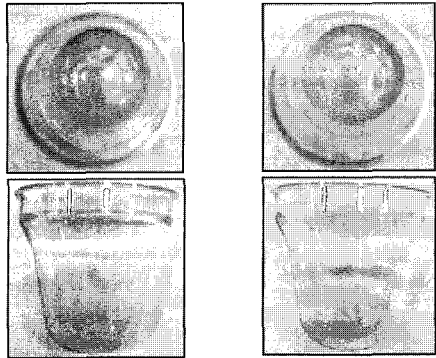
3.1 냉각온도에 따른 성형품의 품질

Fig. 6는 성형온도 260°C, 압축압력 100kgf/cm² 및 압축시간 10sec를 기준으로 하여 캐비티금형의 냉각온도를 낮추면서 성형을 한 제품이다. 모든 조건에서 완전한 형상이 성형되었으나, 성형품의 바닥 부분에서 결정화가 일어났다. 결정화는 냉각온도가 상승할수록 더 많이 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제품의 바닥 및 측면 하단에 주름이 생긴 것을 알 수 있었고 냉각온도와는 무관하게 모든 조건에서 비슷한 분포의 주름이 발생했다.

Fig. 7은 성형온도 280°C, 압축압력100kgf/cm² 및 압축시간 10sec를 기준으로 하여 냉각온도를 낮추면서 성형을 한 제품이다. 성형온도 260°C에서 성형한 제품과는 다르게 결정화가 발생하지 않았고, 냉각온도 변화에 따른 결정화 차이는 나타나지 않았다. 그러나 260°C에서 성형한 시편보다 바닥과 측면부위에서 더 많은 주름이 발생한 것을 확인할 수 있었고 성형온도가 높아질수록 제품에 기포의 발생 정도가 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. 배압은 스크류의 후퇴에 대한 저항으로 작용되며 용융된 재료에 적당한 온도의 전단작용을 가하여 스크류의 후퇴속도를 제어함과 동시에 혼련을 좋게 하고 흡입된 공기 또는 휘발가스를 호퍼 측으로 보내기 위해서다. 그러나 가소화 온도가 상승하면 수지의 흐름이 좋아져 노즐 선단으로 수지가 새어 나와 가소화장치의 실린더 내부에서 용융된 수지가 충분한 압력(배압)을 받지 못하여 가스배출이 용이하게 이루어지지 않아 생긴 것으로 판단된다.

3.2 성형품의 두께분포

Fig. 5과 같이 오른쪽의 6포인트를 표시하여 두께를 포인트 마이크로미터로 측정하였으며 오차 범위는 0.02mm 정도 발생한다. 왼쪽은 기준치수를 나타내고 있다.

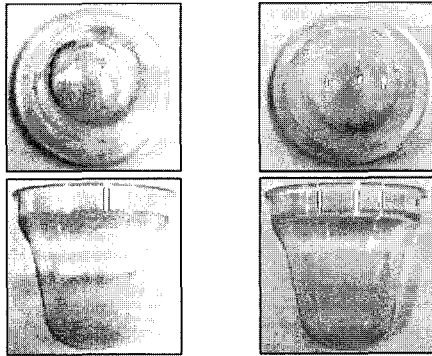


Resin Temperature : 260 °C
Cooling Temperature : 0 °C
Compression Pressure : 100 kg_f/cm²
Compression Time : 10sec

(a)

Resin Temperature : 260 °C
Cooling Temperature : -10 °C
Compression Pressure : 100 kg_f/cm²
Compression Time : 10sec

(b)



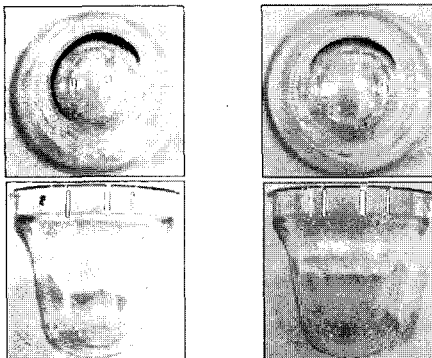
Resin Temperature : 260 °C
Cooling Temperature : 20 °C
Compression Pressure : 100 kg_f/cm²
Compression Time : 10sec

(c)

Resin Temperature : 260 °C
Cooling Temperature : 30 °C
Compression Pressure : 100 kg_f/cm²
Compression Time : 10sec

(d)

Fig. 6 Compression molded specimens for various cooling temperature at 260 °C of molding temperature



Resin Temperature : 280 °C
Cooling Temperature : 0 °C
Compression Pressure : 100 kg_f/cm²
Compression Time : 10sec

(a)

Resin Temperature : 280 °C
Cooling Temperature : 20 °C
Compression Pressure : 100 kg_f/cm²
Compression Time : 10sec

(b)

Fig. 7 Compression molded specimens for various cooling temperature at 280 °C of molding temperature

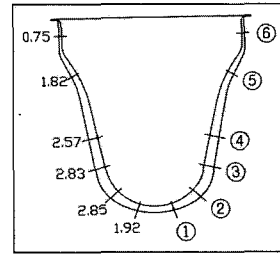


Fig. 8 Required thickness distribution of preform

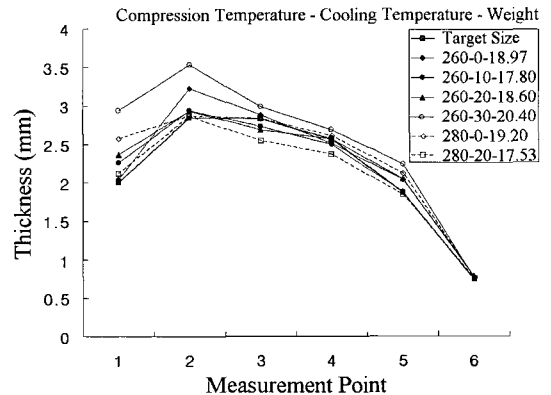


Fig. 9 Thickness distribution of preform according to compression condition-PET

Fig. 9는 성형조건에 따른 두께를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 1, 2번 포인트에서는 기준치수보다 측정값이 크게 나타났다. 이것은 성형한 프리폼의 중량과 밀접한 관계가 있다. 즉 가장 기준중량과 가까운 경우(280-20-17.53)를 보면 기준치수와 근접한 것을 확인할 수 있다.

3, 4번 포인트에서는 성형온도가 높아 흐름이 좋아지고, 다른 포인트에 비해 두께가 가장 크기 때문에 수축이 많이 되어 치수가 작게 나오는 것으로 판단된다. 이것은 3, 4번 포인트에서는 압축 압력을 받기가 어려워 이로 인해 제품의 외형에 많은 주름이 발생한 것으로 보인다.

5, 6번 포인트로 갈수록 치수정밀도가 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 측면에 많은 압력을 받는 것으로 판단되며 성형품의 모든 포인트 중에서 주름이 없는 가장 깨끗한 성형이 되었다.

치수정밀도 및 주름이 없는 깨끗한 외형을 성형하기 위해서는 정확한 용량을 계량할 수 있어야 하며 모든 부분에서 유효한 큰 압력을 받을 수 있도록 하는 것이 중요하다고 판단된다.

Fig.10는 사출성형으로 성형한 시편에서 두께분

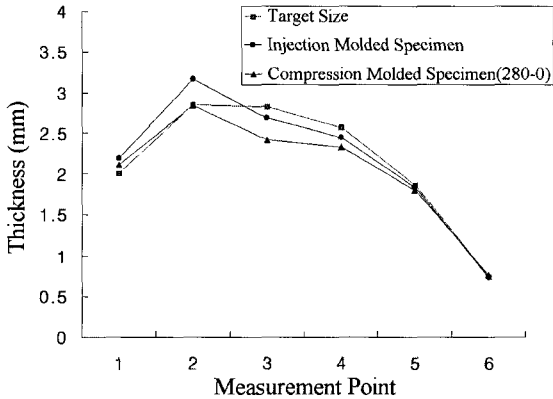


Fig.10 Compression of thickness distribution between injection molded and compression molded specimens-PET

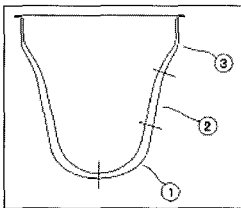


Fig.11 Sampling point in the specimen for the measurement of haze and transmittance

포를 보여주고 있다. 사출성형제품의 중량은 17.3g이며 압축성형제품의 중량과 비슷한 시편(280-20)의 두께측정결과와 2번 포인트에서 약간의 차이는 있으나 비슷한 분포를 보여주고 있다. 이것은 압축성형제품과 사출성형제품의 두께 정밀도가 큰 차이가 없다는 것을 보여주고 있다.

3.3 성형품의 Haze, Transmittance

결정화가 나타나지 않은 성형온도 280℃, 냉각수온도 0℃, 압축압력 100kg/cm², 압축시간 10sec의 성형조건으로 성형한 제품을 Fig.11 과 같이 세 영역으로 나누어 Haze, Transmittance 측정하였다.

Fig.12 는 Haze 및 Transmittance 의 측정값을 나타낸 것이다. Haze 는 목표치 (80%이하)보다 낮은 값을 보이고 있으며, Transmittance 는 목표치 (50% 이상)보다 높은 값을 보이고 있다. 따라서, 투명도를 유지할 수 있는 블로잉용 프리폼의 성형이 가능할 것으로 판단된다[6].

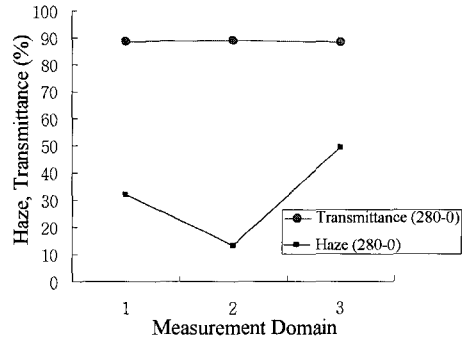
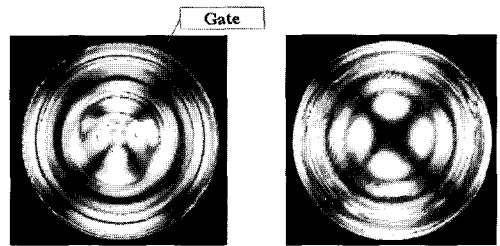


Fig.12 Haze and transmittance in the specimen-PET



(a) Injection Molded Specimens (b) Compression Molded Specimens
Fig.13 Comparison of birefringence pattern between injection molded compression molded specimens

3.4 복굴절 측정

Fig.13은 Strainoptic社의 광탄성 측정장비를 이용하여 동일한 조건으로 프리폼 바닥부분의 복굴절 분포를 시각화한 사진이다. 복굴절이 큰 것은 응력이 크다는 것을 의미하고 검정색 패턴은 복굴절 양이 적은 것으로 응력이 거의 없는 것을 의미한다. 게이트 부분에서 (a)는 복굴절 양이 높고 (b)는 복굴절 양이 작기 때문에 (a)에 비해 (b)는 응력이 감소 했음을 알 수 있다.

3.5 Pressure Distribution

Fig.14는 유체해석 프로그램인 Polyflow를 사용하여 얻어진 Simulation 결과이고, 시간에 따라 성형재료가 받은 압력분포를 보여주고 있다. 초기에는 성형품의 하단부에 높은 압력이 걸리고 시간이 지날수록 압력이 측면부로 전달되어 10초가 지난 뒤에는 균일한 압력 분포를 보이고 있다.

3.6 Velocity Distribution

Fig.15는 해석을 통하여 얻어진 성형재료의 속도분포를 보여주고 있다. 속도는 재료의 중앙에서

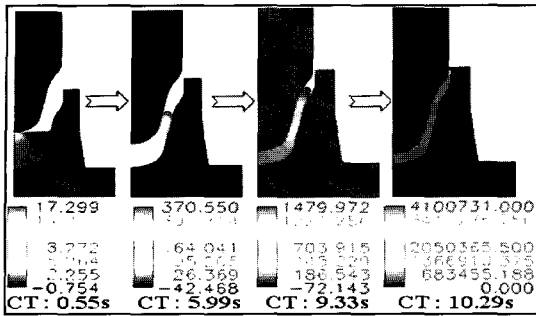


Fig.14 Pressure distribution

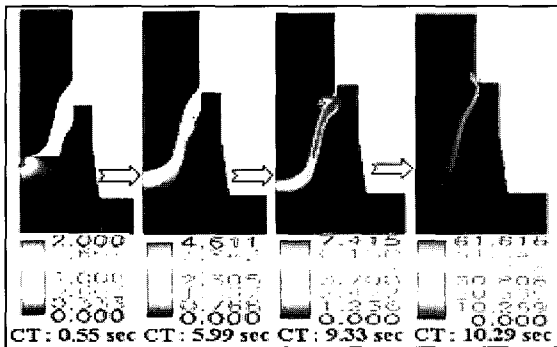


Fig.15 Velocity distribution

가장 높은 것을 알 수 있고, 코어와 캐비티의 캡이 줄어들수록 속도가 급격히 커지고 있다.

3.7 코어의 속도 변화에 따른 해석 결과

Fig.16은 코어의 속도를 변화하면서 각 성형시간에 따른 최고압력의 변화를 보여주고 있다. 코어의 속도가 3mm/sec일 때, 약 6초 후 성형재료에 균일한 압력이 걸릴 것으로 예측된다.

4. 결론

본 연구에서 프리폼 압축성형장치를 설계하였고 성형조건에 따른 프리폼 압축성형실험을 수행하였다. 그 결과 Haze 및 Transmittance 을 통해 볼 때 PET 는 성형온도 280℃에서 양질의 제품을 성형할 수 있었다. 그리고 사출성형된 성형품에 비해 Gate Mark 가 없을 뿐 아니라 잔류응력이 감소된 프리폼을 얻을 수 있었다. 또한, 해석을 통하여 시간에 따라서 재료가 어떤 유동현상을 보이는지 알아보았다. 향후 성형품에 균일한 압축압력을 받도록 금형의 구조를 변경하면 치수정밀도도 향

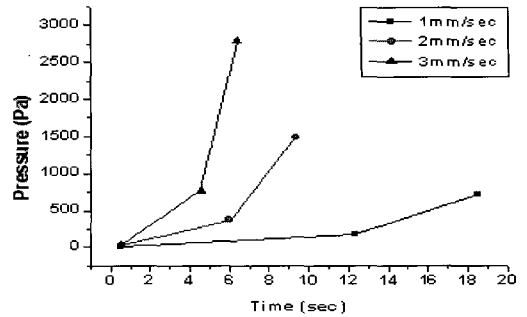


Fig.16 Pressure distribution according to velocity

상 및 주름발생을 감소시킬 수 있다고 예측된다.

참 고 문 헌

- [1] 류민영, 전재후, 배유리, 2005, 압축 블로우 성형에서 성형조건에 따른 성형특성, 한국소성가공학회지, 제 14 권 3 호, pp. 233~238.
- [2] 류민영, 2002, 플라스틱 성형법의 개요와 연구동향의 고찰, 한국소성가공학회지, 제 11 권 8 호, pp. 651~667.
- [3] 주성태, 김용환, 류민영, 2001, 유한요소법을 이용한 PET 병의 성형공정 해석, 한국소성가공학회지, 제 10 권 7 호, pp. 525~533.
- [4] Min-Young Lyu, H. C. Kim, J. S. Lee, H. C. Shin, Youlee Pae, 2001, Causes of Cracks in Petaloid Bottom of Carbonated PET Bottle, International Polymer Processing, 16, pp. 72~78.
- [5] Min-Young Lyu, H. C. Kim, H. C. Shin, J. S. Lee, S. T. Joo, Y. W. Kim, 2001, A Study on the Bottom Design of Petaloid Carbonated PET Bottle to Prevent Bottom Crack, SPE ANTEC Technical Papers, 47, 2808.
- [6] Min-Young Lyu, Yong Hwan Kim, 2002, Investigation of Design Parameters and Novel Design of Petaloid PET Bottles, International Polymer Processing, Vol. 17, No. 3, pp. 279~283.
- [7] Min-Young Lyu, Youlee Pae, 2003, Bottom Design of Carbonated Soft Drink Polyethylene Terephthalate Bottle to Prevent Solvent Cracking, J of Applied Polymer Science, Vol. 88, pp. 1145~1152.
- [8] Min-Young Lyu, Youlee Pae, Changwoon Nah, 2003, Investigation of Bottom Cracks in Carbonated Poly (Ethylene Terephthalate) Bottle, Elastomer, Vol. 38, No. 4, pp. 354~362.