

압출 블로우 성형에서 성형조건에 따른 성형특성

류민영[#], 전재후¹, 배유리²

Blow Characteristics in Extrusion Blow Molding for Operational Conditions

Min-Young Lyu, Jae Hoo Jun, Youlee Pae

(Received November, 30, 2004)

Abstract

Blow molding is divided into three categories, injection stretch blow molding, injection blow molding, and extrusion or direct blow molding. Extrusion blow molding has been studied experimentally to characterize the blowing behavior of parison. Blow conditions such as blowing temperature and cooling time were the experimental variables in this blowing experiment. Wall thickness of the lower part of blow molded sample was thicker than that of the upper part because of the sagging of parison during extrusion process. As temperature increases the wall thickness and the weight of blow molded sample decreased. No thickness variations in the blowing sample were observed according to the cooling time. The lower part of the sample showed high degree of crystallinity compare with the upper part of the sample. Thus the lower part of the sample was strong mechanically and structurally. It was recognized that the uniform wall thickness could not be obtained by only controlling the operational conditions. Parison variator should be introduced to get uniform wall thickness of parison and subsequently produce uniform wall thickness of blow molded product.

Key Words: Extrusion Blow Molding, Parison, Blowing Temperature, Cooling Time, Wall Thickness

1. 서 론

중공성형 또는 블로우성형 (Blow Molding)은 플라스틱 소재를 압출 또는 사출성형을 이용하여 패리슨 (Parison) 또는 프리폼 (Preform)을 만들고 이것을 금형 안으로 이동시켜 공기를 주입해서 중공품을 하는 방법으로, 성형품에 응력이 작게 걸리며 저렴한 성형비용으로 다양한 외곽 모양 및 벽 두께를 가능하게 하는 성형 방법이다[1~5]. 블로우성형은 크게 세가지로 나뉘는데 이는 사출 인장 블로우성형 (Injection Stretch Blow Molding), 사출 블로우성형 (Injection Blow Molding), 그리고

압출 블로우성형 (Extrusion Blow Molding, Direct Blow Molding)이다. 사출 인장 블로우성형은 Fig. 1에 나타난 것처럼 먼저 사출성형으로 프리폼을 성형한다. 그리고 프리폼의 몸통부분을 가열한 후 블로우 금형안으로 이동시키고 스트레칭 로드로 프리폼을 축방향으로 연신 시키면서 동시에 공기를 주입하여 중공품을 성형한다. 이는 두 단계 (Two Stage) 성형이라 부르기도 한다. 사출 블로우성형은 사출 연신 블로우성형에서 축 방향으로 연신 시키는 공정이 없다. 이는 단 단계 (One Stage) 성형이라 부르기도 한다. 압출 블로우성형은 Fig. 2에 보는 것처럼 패리슨 (프리폼 이라 고도 부르

1. 서울산업대학교 대학원

2. 아담스텍놀로지㈜

교신저자: 서울산업대학교 금형설계학과
정밀기계기술연구소, mylyu@snut.ac.kr

지만 일반적으로 압출 블로우성형에서는 패리슨이란 용어를 씀)을 압출공정으로 성형하고 이 패리슨을 블로우 금형으로 유도하여 블로우 성형을 한다[6~7].

압출블로우성형에서는 블로잉을 하기 전에 만드는 패리슨의 안정적 성형이 중요한데, 이때 온도가 너무 높으면 소재의 용융강도 (Melt Strength) 가 낮아져 처짐 (Sagging)현상이 발생하고 온도가 낮으면 패리슨의 성형이 불 균일해지는 경우가 있어 소재와 성형가공 측면에서의 노력이 필요하다. 이를 위해 고분자 소재는 선형 보다는 가지형 고분자를 이용하여 용융강도를 높여 처짐현상을 방지하고[8], 성형가공 측면에서는 올바른 온도와 토출량 조절 그리고 다이 디자인에 중점을 둔다. 중공품의 블로우 성형 시에는 성형조건에 따라서 성형품의 위치 별 두께가 달라지며 물성도 변하게 된다. 블로우 금형은 성형품의 최종 외곽 모양만을 가지고 있기 때문에 정해진 패리슨의 형상과 두께에서 중공 성형품의 두께 조절을 위해서는 블로우 성형 조건이 매우 중요하다 하겠다. 그러나 블로우 성형 공정은 장치에 많이 의존하고 있는 상황이며 이에 대한 연구는 매우 미미하다.

본 연구에서는 압출중공성형 공정에서 성형조건에 따른 성형품의 치수 변화를 관찰하고, 성형조건에 따른 성형품의 위치 별 물성변화를 확인하고자 한다. 성형 조건은 블로잉 온도 (패리슨 압출온도)와 냉각 시간이다. 이러한 연구를 통해 요구하는 성형품을 얻기 위한 최적 조건을 찾을 수 있으며 나아가서는 올바른 형상의 중공성형품을 성형하기 위한 패리슨의 디자인 및 패리슨의 압출 공정에 응용할 수 있다.

2. 실험

2.1 샘플 디자인 및 블로우 금형

실험에서 성형하고자 하는 샘플은 Fig. 3에 보는 바와 같이 원통형에서 한쪽 부분이 납작하게 생긴 모양을 채택 하였다. 이는 모양이 단순하면서도 축 대칭이 아니어서 많은 정보를 제공해 줄 것으로 판단된다. 또한 성형품에서 윗쪽 부분을 잘라서 뚜껑으로 사용하게 하도록 특별히 설계가 되어있다. 중공품의 바깥지름은 52mm, 길이는 205mm 이다. 납작한 부분 (반원부분)의 폭은 31.64 mm 이다.

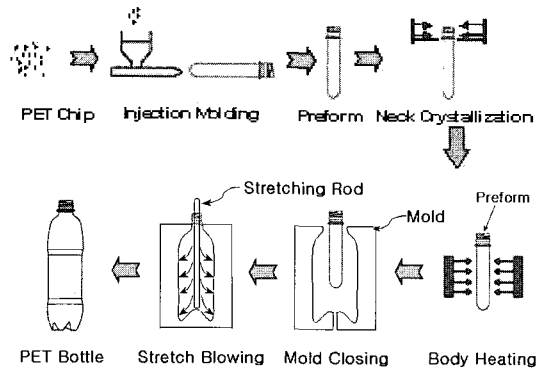


Fig. 1 Schematic drawings of injection stretch blow molding

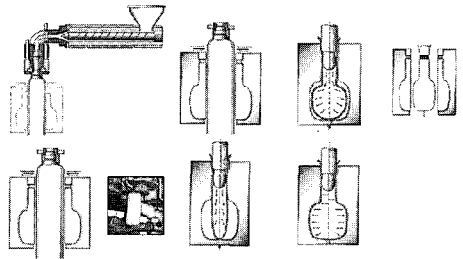


Fig. 2 Schematic drawing of extrusion or direct blow molding

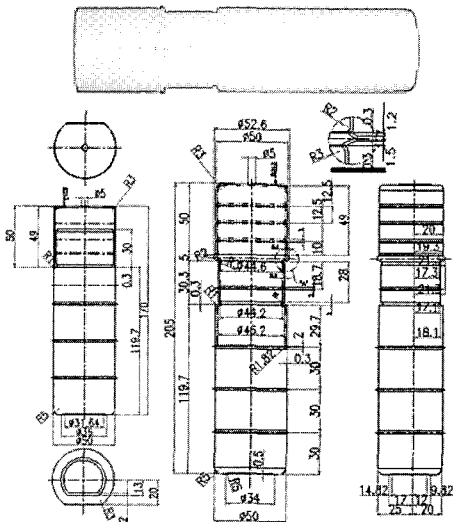
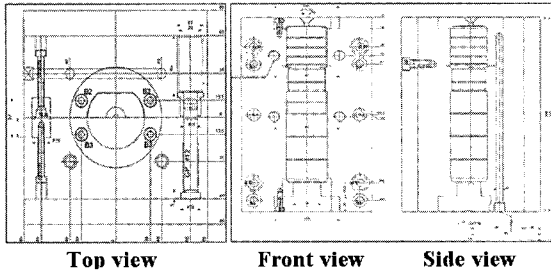
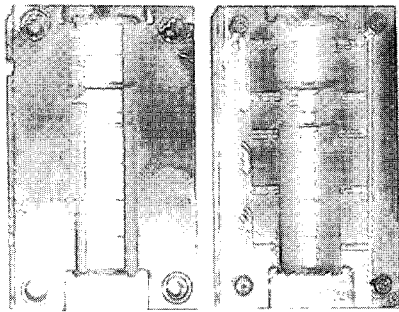


Fig. 3 Drawing of designed sample for blow molding experiment



(a) Drawing of blow mold



(b) Mold for blowing mold

Fig. 4 Blow mold for blowing experiment

Fig. 4 에는 샘플을 블로우성형 하기 위한 금형 설계 도면과 이를 통해 제작한 실험에 사용된 금형의 사진이 나타나 있다.

2.2 재료 및 성형조건

사용된 재료는 폴리프로필렌 (PP, Polypropylene) 으로 LG 화학의 R724J (Random Copolymer)를 사용하였다. 성형조건은 수지온도 (패리슨 압출온도), 블로우 압력, 금형온도, 그리고 냉각시간 등인데 본 실험에서는 수지온도 (패리슨 압출온도)와 냉각시간을 변화시켜 실험 하였으며 이는 Table 1 에 나타나 있다. 냉각시간은 블로잉 후 성형품을 냉각하기 위해 금형안에서 체류시킨 시간을 의미하며 성형품은 금형에서 빠져 나온 후에 공기 중에서 자연냉각이 수행된다.

조건 1, 조건 2, 그리고 조건 3 에서는 블로우압력, 금형온도, 냉각시간이 일정할 때 수지온도를 195℃, 205℃, 215℃로 증가시키며 성형하였으며, 조건 4, 조건 5, 그리고 조건 6 에서는 수지온도, 블로우압력, 금형온도가 일정할 때 냉각시간을 13sec, 20sec, 27sec 로 증가시키며 성형하였다.

Table 1 Blow molding conditions

| Condition | Resin Temp (℃) | Blow Pressure (kg/cm ²) | Mold Temp (℃) | Cooling Time (sec) |
|-----------|----------------|-------------------------------------|---------------|--------------------|
| 1 | 195 | 4 | 13 | 20 |
| 2 | 205 | | | |
| 3 | 215 | | | |
| 4 | 205 | 4 | 13 | 13 |
| 5 | | | | 20 |
| 6 | | | | 27 |

3. 결과 및 고찰

3.1 물성측정 위치

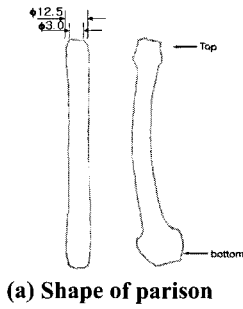
Fig. 5(a)는 블로우성형 하기 전 패리슨의 형상인데 바깥지름이 12.5mm, 안지름이 3.0mm 이다. 패리슨을 블로잉 하여 성형한 중공품의 모양이 Fig. 5(b)에 나타나 있다.

Fig. 6에는 블로우성형 된 중공품에서 물성을 측정하기 위한 위치를 나타내고 있다. 위치①은 중공품의 원형부분이고 위치②는 납작한 부분 (반원 처리 부분)이다. 위치①과 ②에서 측정 Point는 25mm간격으로 각각 여섯 곳이며 두께 및 바깥치수를 측정하였다. 물성측정을 위한 위치는 화살표로 표시한 곳으로 위치 ②에서 네 곳을 선정하여 DSC (Differential Scanning Calorimetry) Peak와 열의 흐름(Δ H)을 측정하였다.

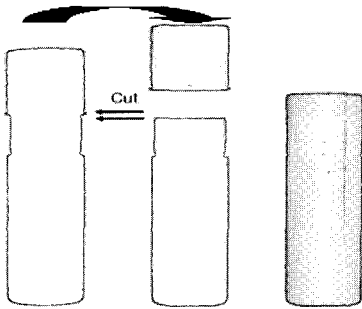
3.2 성형온도에 따른 위치 별 치수의 변화

Fig. 7은 블로우 온도에 따른 중공품에서 각 Point별 두께 변화를 나타낸 것이다. 위치①은 원형부분, 위치②는 납작한 부분 (반 원형 부분)이다. 두께의 변화량은 동일한 Point에서 성형온도가 높을수록 두께가 줄어드는 것을 보여주고 있으며, Point 1에서 Point 6으로 갈수록 즉 성형품의 아랫부분으로 갈수록 두께가 커지고 있다.

이는 중력에 의해 재료가 아랫 쪽으로 처짐이 일어나며 따라서 패리슨의 아랫 쪽이 두껍기 때문이다. 또한 재료의 온도가 낮을수록 다이에서 패리슨의 성형속도가 작고 패리슨의 두께가 커져 중공품의 두께가 두꺼워지고 있다. 위치①과, 위치②의 두께 변화는 모든 성형조건에서 동일하게 위치②에서의 두께가 두꺼운데 이는 원형부위보다 반원형의 부위인 위치②가 제품의 중심에서



(a) Shape of parison



(b) Blow molded sample

Fig. 5 Shape of parison and blow molded sample

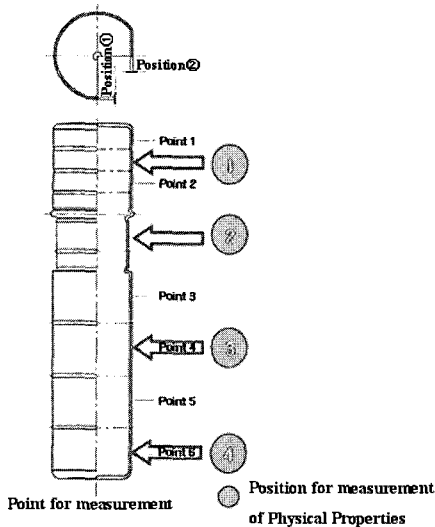


Fig. 6 Test positions for the measurement of dimensions and physical properties

거리가 짧아서 나타나는 결과로 볼 수 있다. 즉 블로잉이 되면서 소재가 먼저 반 원형 부분의 금형에 접촉이 되고 냉각이 되어 스트레칭이 덜 되기 때문에 두께가 두껍게 되었다.

Fig. 8 은 수지온도에 따른 중량 및 외경의 변화를 보여주고 있는데 성형온도가 높을수록 중공품

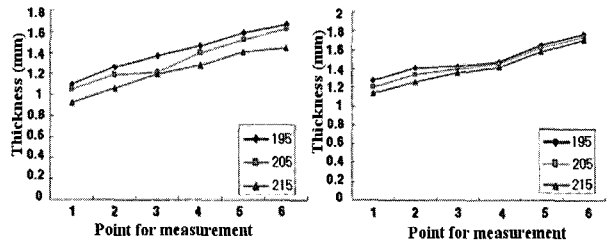


Fig. 7 Thickness distributions in blow molded sample for blowing temperature

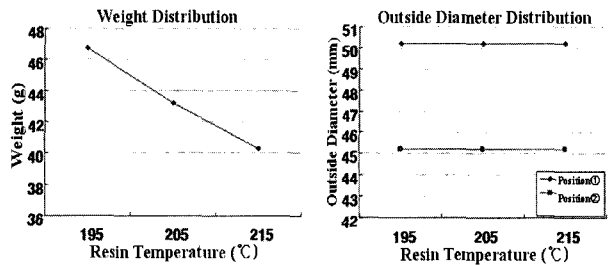


Fig. 8 Weight and outside diameter of blow molded sample for blowing temperature

의 두께가 줄어들기 때문에 중량 역시 줄어드는 것을 볼 수 있다. 각 위치별로 외경의 변화가 없는 것으로 보아 수지와 금형의 밀착 정도가 좋은 것으로 판단된다.

3.3 냉각시간에 따른 위치 별 치수의 변화

Fig. 9 는 냉각시간에 따른 두께의 변화를, Fig. 10 은 냉각시간에 따른 중량 및 외경 변화를 나타내고 있다. 냉각시간에 따라서 동일한 Point 에서의 두께 변화가 없는 것으로 나타났는데 이는 제품의 두께가 냉각시간에 따라서는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이는 본 실험에서 냉각시간에 따라 소재의 결정화도 (밀도)는 큰 변화가 없다는 것을 의미한다.

결정수지인 PP 는 일반적으로 성형조건에 따라서 결정화도의 차이가 있을 것으로 예측되는데 이를 분석하기 위해 DSC 에서 Peak 의 온도와 열의 흐름량 (ΔH)을 측정하였다. 측정은 상온에서 온도를 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 상승 시키며 하였다. Fig. 11 에 DSC Peak 와 ΔH (Endotherm, 흡열)가 나타나 있다. 수지온도와 냉각시간의 변화에 따라 Peak 의 온도 (용융온도)가 다소 증가하나 큰 차이가 없다. 또한 ΔH 도 큰 차이가 없는 것으로 보아 성형온도와 냉각시간에 따른 결정화도의 변화는 크지

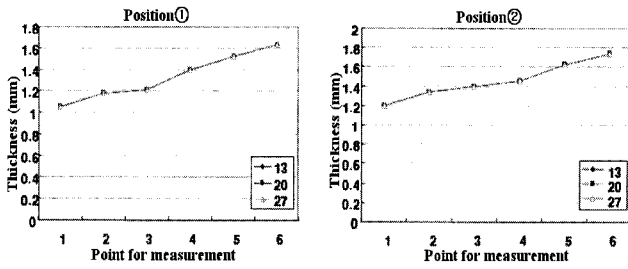


Fig. 9 Thickness distribution of blow molded sample for cooling time

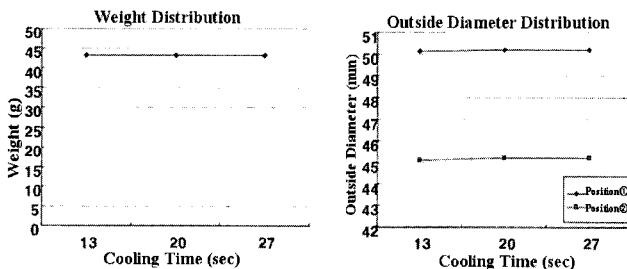


Fig.10 Weight and blow molded outside diameter of blow molded sample for cooling time

않다고 판단된다[9]. 그러나 ΔH 의 차이를 좀더 자세히 분석해 보면 수지온도가 높을 때 그리고 냉각시간이 길 때 샘플의 아랫부분 (Point3, Point 4)이 다소 높음을 알 수 있다.

결론적으로 본 연구에서 실험한 온도범위와 냉각시간의 범위에서는 성형품의 결정화도에 크게 영향을 주지 않으나 성형품 아랫부분의 결정화도가 다소 높다고 볼 수 있다. 따라서 중공성형품의 아랫부분은 두께가 두껍기 때문에 냉각이 늦게 되며 결정화도도 증가하여 물성적으로나 구조적으로 강한 상태임을 알 수 있다. 또한 성형조건에 따른 물성의 변화를 명확히 보기 위해서는 결정화도가 높은 PP수지 (Homo PP, Isotactic PP)를 사용해야 한다고 생각 된다.

4. 결론

압출블로우성형 공정에서 성형조건에 따른 성형성을 조사하기 위해 성형품의 치수 변화를 관찰하였고 성형품의 위치별 물성에 대해서 분석하였다. 본 연구에서의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 성형조건에 따른 성형품 치수 변화 (두께변

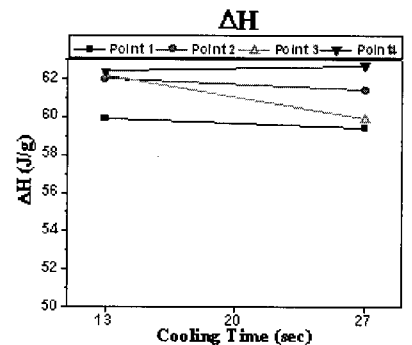
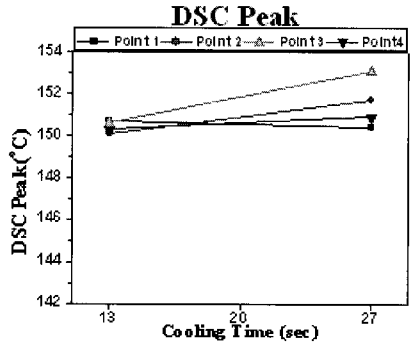
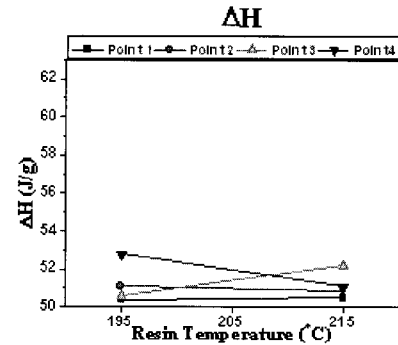
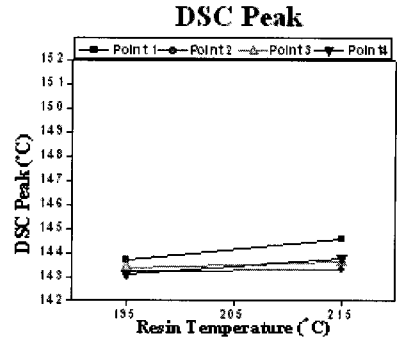


Fig.11 DSC peak and heat flow of blow molded sample for blowing temperature and cooling time

화)에 있어서 성형온도에 따라 약 20%의 편차가 있었으며, 측정위치에 따라서는 약 60%의 편차가 있었다. 성형온도와 측정 위치를 같이 고려하면 90%의 편차가 있음을 알 수 있었다. 성형품의 아랫부분에서 가장 두꺼운 두께분포를 이루고 있었고 윗부분은 가장 얇았다.

(2) 성형조건에 따른 성형품의 위치 별 물성변화는 크지 작으나 중공품의 아랫부분의 결정화도가 다소 높았으며, 성형조건에 따라서는 본 연구의 성형조건 범위에서는 결정화도에 큰 차이가 없었다. 성형품의 아랫부분은 결정화도가 높아 가장 견고한 상태이고 상대적으로 윗부분은 낮고 결정화도가 낮아 구조적으로 취약한 상태이다.

(3) 패리슨의 중력에 의한 처짐 때문에 아랫부분이 두꺼웠는데 균일한 두께를 위해서는 성형조건을 조절로서는 불가능하고 패리슨 두께 조절장치(Parison Variator)가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] D. H. Morton-Jones, 1989, Polymer Processing, Chapman and Hall.
- [2] 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.
- [3] 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, p. 2808.
- [4] Min-Young Lyu, Yong Hwan Kim, 2002, Investigation of Design Parameters and Novel Design of Pataloid PET Bottles, International Polymer Processing, Vol. 17, No. 3, pp. 279~283.
- [5] 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.
- [6] Donald V. Rosato, Dominick V. Rosato, 1989, Bloq Molding Handbook, Hanser Publishers.
- [7] 강호석, 1991, 블로우성형기술, 코플래드.
- [8] Min-Young Lyu, Jae Sik Lee, Youlee Pae, 2001, A Study of Mechanical and Rheological Behaviors of Linear and Branched Polycarbonates Blends, J of Applied Polymer Science, 80, pp. 1814~1824.
- [9] Tim A. Osswald, Georg Menges, 1995, Materials Science of Polymers for Engineers, Hanser Publishers.