

금형 cavity 내의 압력 차이에 의한 발포사출품의 결정화도 차이

이동욱*(연세대 대학원 기계공학과), 차성운(연세대 기계공학부), 현창훈(플라코)

The Difference of the Degree of Crystallinity of Foamed Plastics Depending on the Pressure Gradient in Mold Cavity

D. W. Lee(Mecha. Eng. Dept. Yonsei Univ.), S. W. Cha(Mechanical Eng. Dept. Yonsei Univ.),
C.H.Hyun(PLAKOR)

ABSTRACT

Mold Analysis is crucial factors in the design of injection molding process. Since the quality of products depends on filling, shrinkage and etc, the procedure of prediction through analysis in the design of injection molding process is needed. In many cases, this kind of analysis makes it possible to predict pressure pattern which determines the condition of injection molding process. Crystallinity is the factor that determines the shrinkage of products. The studies showed the factors that had been related to the degree of crystallinity, which were mostly Weight Reduction, mold temperature and melt temperature. Therefore, the objective of this study is to see the differences of the degree of crystallinity depending on the positions of foamed plastics. The procedure of this study is as the following. First, Simulate the pressure gradient in mold cavity that can produces specimen by using Moldflow. Secondly, produce specimen and measure the degree of crystallinity of each part of specimen by using XRD. Lastly, identify the sensitivity of conventional plastic and foamed plastic on pressure gradient by comparing the simulation and the results of measurement.

Key Words : Mold Analysis(금형 해석), Degree of Crystallinity (결정화도), Foamed Plastics(발포 사출품),

1. 서론

미세 발포 플라스틱이란 미세한 기포를 갖는 플라스틱을 말한다. 이 초미세 발포 공정은 기존의 발포 기술이 단열성능, 비열연성 등이 우수하여 현재 널리 사용되고는 있으나 기계적 강성이 저하되는 등의 단점을 해결하기 위해서 1980 년대 초 미국 MIT 에서 개발된 발포 플라스틱 제조공정이다. 새로운 발포사출성형(Foaming Injection Molding) 공법의 방식은 설비 제조업체들에게 경량화 부품에 대한 생각을 혁신적으로 개선하고 있다. 초임계 상태의 가스는 플라스틱과 가스가 한번에 섞여지는 배럴 부분으로 주입된다. 그 동안 이 새로운 공정을 일반적인 플라스틱 성형 기술인 압출, 사출성형 등에 적용하기 위하여 많은 연구가 진행되어져 왔다. 또한 앞서 말한 기계적 특성을 결정하는 중요한 요인 중에 하나인 결정화도는 수축률과 강도를 결정하는 것으로 알려져 있다. 그러나 아직까지의

발포플라스틱의 결정화도에 관한 연구는 거의 발포율과의 관계에 초점이 맞추어져 있어 발포공정의 금형설계에 필요한 자료로서의 역할을 하지 못해 왔다.

금형 치수로부터 성형된 플라스틱의 수축률을 정확히 측정하는 것은 사출성형공정에서 금형 시스템을 설계하는데 있어서 필수적이다. 이러한 플라스틱 재료의 치수변화는 금형 설계자로 하여금 성형된 제품과 실제의 금형 cavity 사이의 차이를 예측할 수 있게 하는 중요한 요소가 된다. 일반적으로 사출 성형된 제품들은 크기 면에서 금형의 cavity 보다 작다. 따라서 "수축률 요소"라고 하는 용어가 허용오차를 정의하는데 사용된다. 성형된 제품의 치수에 영향을 주는 이 요소를 고려하는 것은 매우 중요하다. 각 제품은 "최적"으로 간주되는 성형 조건을 만족시키면서 허용오차 범위 내에서 성형되게 된다. 결정화도는 사출성형 공정에서 준

결정성 고분자의 체적 수축률에 영향을 주는 중요한 인자이다. 결정화가 진행되면 수축률은 커지고, 진행이 되기 전에 성형품이 굳어버리면 수축률은 작아진다.

본 논문에서는 일반 사출품과 발포 사출품의 각 금형내 압력분포에 따른 결정화도의 차이를 포함함으로써 수축률에 영향을 미치는 결정화도의 차이와 금형내의 압력구배와의 상관관계를 연구하여 발포사출품의 결정화도 차이를 예측하여, 발포 사출품의 금형 설계에 있어서 각 부분별로 수축률을 예측 하고 이를 활용하는데 기본적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 이론

2.1 금형 Cavity

금형 cavity 는 빠른 충전, Air Trap 이나 Weld Lines 의 부재를 목적으로 여러 조건을 등 고려하여 설계된다. 그를 위 해 많은 해석 상용 해석 툴이 있다. 그 해석 툴들은 이론적인 식에 의해 해석하는 방법과 노우하우가 들어간 경험식으로 해석하는 방법을 사용한다. 어떤 방법이든 가장 기본적인 지배방정식을 기초로 한다

금형 cavity 내의 지배방정식은 다음과 같다.

Continuity Equation

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum Equation

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Energy Equation

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \eta \dot{\gamma}^2 + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3)$$

2.2 결정화도와 수축률

준결정성 고분자에 있어서 결정화가 일어나는 메커니즘은 수축이 발생하는 메커니즘과 직접적인 관계가 있다. 따라서 결정화가 진행되면 수축률은 커지고, 진행이 되기 전에 성형품이 굳어 버리면

수축률은 작아진다. 결정성 플라스틱은 결정화가 진행되어 결정 부분이 많아지면 밀도가 높고 강한 성질을 지니는 특성이 있다.

비교적 낮은 온도로 성형시 수축률 및 수지의 유동 방향에 따른 수축 차이가 크게 된다. 성형가공 조건에 의한 성형변형, 이방성의 차이 및 결정화도의 차이에 의한 변동을 고려하여, 재료마다의 고유치로서 범위를 갖는 성형 수축률이 측정되고 있다.

2.2.1 결정화도

결정화도(degree of crystallinity)는 결정화의 정도를 나타내며, 순수 무정형에서 거의 전부 결정(약 95%)으로 되는 것까지 범위를 잡을 수 있다.

결정화도는 고분자 물질의 전체 중량에 대한 결정성 영역의 중량이 차지하는 비율로서 정의되며, 평가방법에는 밀도법, X-선 회절분석법, 적외선 흡수, 핵자기 공명 및 열분석(DSC) 등이 있는데 방법에 따라 얻어지는 결정화도의 값은 일반적으로 일치하지는 않는다.

따라서 결정화도의 절대치는 큰 의미가 없으며, 오히려 결정화도를 달리한 다른 시편간의 비교나 동일한 시편의 서로 다른 실험적 처리에 의한 비교 등을 통하여 경향을 파악하는 것이 중요하다.

이번 실험에선 XRD(X-ray Diffractometer)가 사용 되었으며, X-선 회절분석법은 물질의 결정구조를 분석하는데 널리 사용되는 방법으로서 X-선이 물질의 결정면에서 산란·회절 되는 현상을 이용한 것이다. X-선 회절분석법에 의하여 결정화도를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$X_c = \frac{\text{Area of crystalline region}}{\text{Area of crystalline and amorphous region}} \times 100(\%)$$

결정영역과 비결정영역을 정확히 구분하고 그 넓이를 구하는 것은 쉬운일이 아니다. 본 실험에서는 기존연구의 결과에서 보여진 것과 같이 X-선 회절분석으로부터 얻은 그래프의 피크 값이 결정화도와 유사한 경향을 보인다는 가정하에 피크를 이용해 비교하였다.

2.2.2 수축률

고분자 용융체가 높은 온도, 높은 압력에서 금형 내의 cavity 에 채워진 후 게이트(gate) 부분이 냉각되면서 밀폐되고 밀폐된 상태에서 상온으로 냉각이 일어나 부피변화가 생기게 되는데, 이 부피의 감소된 정도를 수축률(shrinkage)로 나타낸다. 수축률은 사출성형, 압출성형 등에서 금형이나 다이의 크기보다 성형 된 제품의 크기가 작아지는 현상을 측정하는 항목으로서 금형이나 다이의 초기 설계에

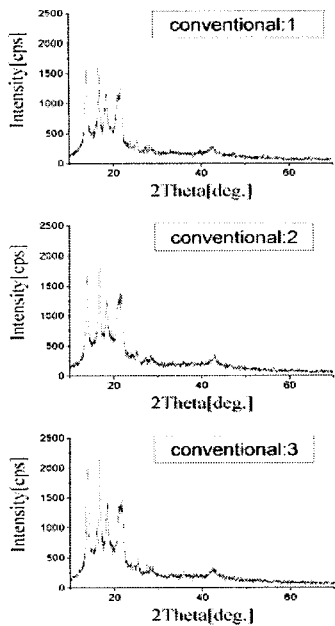


Fig. 3(a) The results of conventional plastic measurement

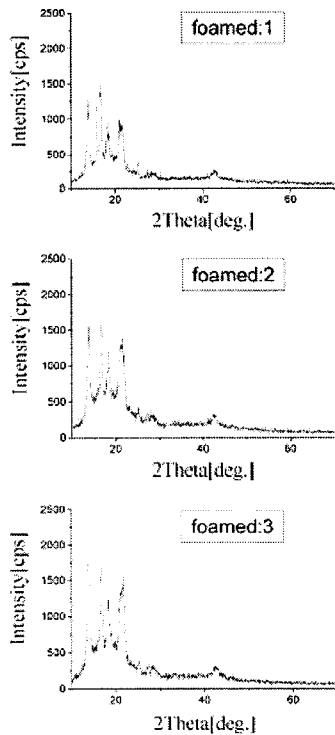


Fig. 3(b) The results of foamed plastic measurement

X-선 회절분석으로부터 얻은 그래프의 피크 값을 보면 끝단에서 가운데, 그리고 게이트 부분으로 가면서 점차 값이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이를 압력 분포와 비교 하여, 점차 압력이 증가 함에

따라 결정화도가 증가 함을 알 수 있다. 이 변화를 그래프로 그린 것이 아래 Fig. 4 이다.

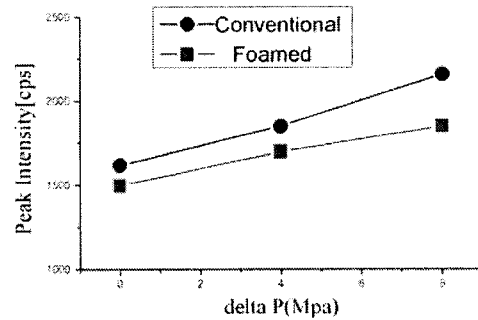


Fig. 4 The variation rate graph of conventional plastic and foamed plastic on pressure gradient

위의 Fig. 4 를 보면 일반 사출품보다 발포 사출품이 압력에 대하여 증가하는 기울기가 작다. 이는 사출 공정에서 가스에 의해 점도가 낮아져 식(2)에 의해 일반 사출품에 비해 압력의 변화가 적기 때문이라 생각된다.

4. 결론

앞서 본 실험 결과에 의하면 발포 사출품이 일반 사출품에 비해 같은 금형에서의 결정화가 적어 수축률이 작음과 동시에, 그 변화량이 적어 각 위치에서의 수축률 차이가 적게 되어 보다 고른 형상의 사출품을 얻을 수 있다.

다른 변수들 즉 발포율, 셀 사이즈, 셀 덴시티, 성형 조건 등을 고려 하지 않은 실험으로서 정확한 값을 제시하거나 실험 식을 만들 수는 없었지만 발포 사출품의 금형 설계에 있어서 참고 자료로서의 의미가 있다고 생각된다.

참고문헌

1. 황윤동, "초미세 발포 사출성형 공정에서 성형된 플라스틱의 수축률 특성," 연세대학교 대학원 기계공학과 석사학위 논문, pp.29-42, 2001.
2. Peter Kennedy, "Flow Analysis of Injection Molds," Hanser Publishers, pp.59-71, 1995.
3. 이석현, "고분자의 구조와 물성," 제 14 회 고분자학회대회, pp.35-43, 1992.
4. Michael J. Doyle, "On the Effect of Crystallinity on the Elastic Properties of Semicrystalline Polyethylene," Polymer Engineering & Science, Vol.40, No.2, pp.330-335, Feb. 2000.