

# 초미세 발포 플라스틱의 수축률 변화

서정환<sup>†</sup> · 차성운\* · 현창훈\*\*

The shrinkage characteristics of MCPs ( Micro Cellular Plastics )

JungHwan Seo<sup>†</sup> · Sung Woon Cha\* · ChangHoon Hyun\*\*

**Key Words :** MCPs (Micro Cellular Plastics, 초미세 발포 플라스틱), cell morphology(셀 형상), shrinkage(수축률)

## Abstract

Generally in the case of parts used for precision products, tolerance of parts is very small. So inaccurate size of molding parts generates serious problems. Therefore, it's necessary to secure data about shrinkage on each condition or study about manufacturing process which reduces shrinkage. To apply MCPs to manufacture of plastic product, this paper verifies how the amount of gas and Talc can affect to cell-morphology, and examines the relation between shrinkage and cell-morphology by using ASTM specimen formed by MCPs process.

## 1. 서 론

고분자 수지를 성형하는 공정(사출, 압출 등)에서 대부분 수지를 용융상태로 만든 후 원하는 모양으로 성형을 한다. 용융된 고분자 수지가 금형과 다이에서 생산자가 원하는 형상으로 성형되고, 냉각과정을 거친 후, 최종적인 제품이 만들어 진다. 수지가 고화되는 과정에서 수지의 특성상 성형제품에 응력이 발생하게 된다. 외부 constraint 의 영향을 받으며 고화된 후 constraint 를 제거한 제품의 각 부분에서 서로 다른 응력 분포를 가지게 되므로, 고화가 완전하게 끝난 제품의 치수는 금형이나 다이의 치수와는 다른 치수를 가지게 된다. 이에 따라, 생산자가 원하는 치수와는 다른 치수를 갖는 제품이 생산되는 문제가 발생한다.

일반적으로, 정밀한 제품에 쓰이는 부품의 경

우에는 허용공차가 매우 작아서 성형품의 부정확한 치수가 심각한 문제를 일으키는 경우가 많다. 또한, 치수가 변화함에 따라, 부품의 조립과 최종제품의 사용 등에 있어서 문제가 발생하게 된다. 즉, 서로 다른 수축률이 원인이 되어 부품의 조립이나 제품의 작동 시에 제 기능을 수행하지 못하는 경우가 발생 한다.

고분자 수지의 성형공정에서 발생하는 수축의 원인과, 수축률의 예측에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 현재의 수축에 관한 이론들은 일반적으로 열역학적 측면에 기반을 두고있다. 그러므로 열역학적 원인 이외에, 복잡한 형상 등에서 수축에 관계되는 인자들에 대한 충분한 설명을 하지 못하는 한계가 있다. 고분자 수지 성형에서 발생하는 수축에 대한 문제를 해결하는 가장 이상적인 방법은 수축이 일어나지 않는 공법을 개발하거나 완벽하게 수축을 예측하는 것이지만, 현실적으로 이러한 이상적인 방안은 달성이 불가능하다. 따라서, 각 조건에 따른 수축률에 대한 데이터를 제공하거나, 수축을 감소시키는 공법에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 플라스틱 제품생산에 MCPs 를 적용하기 위하여 gas 의 주입량과 filler

<sup>†</sup> 연세대학교 기계공학과 대학원

E-mail : fhake@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4811 FAX : (02)364-9364

\* 연세대학교 기계공학부

\*\* 주식회사 프라코

중 MCPs 공정에 가장 많이 사용 되어오고 있는 Talc 의 포함량이 cell 의 형상에 미치는 영향을 조사하고, (초미세 발포공법으로 성형된) ASTM 규격시편을 이용하여, 수축률과 cell-morphology 의 관계를 규명할 것이다.

## 2. 이 론

### 2.1 MCPs

초미세 발포공법(Micro Cellular Plastics)은 초기에 고분자 수지의 재료를 절감하는 동시에 기계적 성질을 유지하기 위한 목적으로 기술이 개발되었다. 고분자 수지 내에 10 ~ 50 micron 의 cell 을 형성하는 것이 초미세 발포의 기본적인 내용이다. 이러한 cell 의 형성이 Plastic 의 여러 가지 물리적 성질에 영향을 미치게 된다. 그 중 하나가 고분자 성형에 있어서 문제가 되고 있는 수축을 감소시킬 수 있다는 것이다. 고분자 수지의 재료비를 절감하는 동시에 수축률도 감소되면 그 적용범위가 매우 다양해 질 수 있다. 수축률에 영향을 미치는 주된 인자는 cell 의 형상이다. 또한 cell 의 형상에 영향을 주는 인자는 gas 의 주입량과 Filler 의 포함량이다.

### 2.2 수축률

고분자 용융체가 높은 온도, 높은 압력에서 금형 내의 캐비티(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 성형된 제품의 크기가 작아지는 현상을 측정하는 항목으로서 금형이나 다이의 초기 설계에 중요한 영향을 미친다. 본 논문에서 수축률은 성형품과 금형의 캐비티 치수 사이의 차이로서 정의하였다. 허용오차를 정밀하게 하면서 복잡한 성형을 하려면 실제 수축값과 휨성에 대한 정확한 정보가 필수적이다. 수축률 S 는 다음과 같다.

$$S = \frac{L^* - L}{L^*} \times 100(\%) \quad (2-1)$$

식 (2-1)에서 L\*는 금형의 선형 길이이고, L 은 일정한 표준 온도와 압력 하에서 성형된 플라스틱의 선형길이이다. 만약 S 가 모든 차원에 대해 0 이라면, 그 물질은 금형의 크기와 완전히 일치된다. 만약 S 가 모든 차원에 대해 같은 값

을 갖는다면, 그 물질은 금형과 기하학적으로 비슷할 것이다. 수축은 아주 간단한 기하학적 모양으로 계산될 수 있는데, 그것은 재료의 여러 부분에서의 냉각속도에 의존하기 때문이다.

## 3. 실험

### 3.1 시편제작

실험에 쓰이는 수지는 자동차용 내장재(rear door side trim, switch panel)에 쓰이는 Polypropylene (PP) 로서 하나는 Talc 가 포함되지 않은 수지 (JI-370) 이고 다른 하나는 Talc 가 20% 포함되어 있는 수지 (HT340)이다. 두 가지 수지를 쓰는 이유는 Talc 의 포함여부가 수축률에 미치는 영향을 알아보기 위함이다. 그리고 blowing agent 로는 고 순도의 N<sub>2</sub> 를 사용하였다

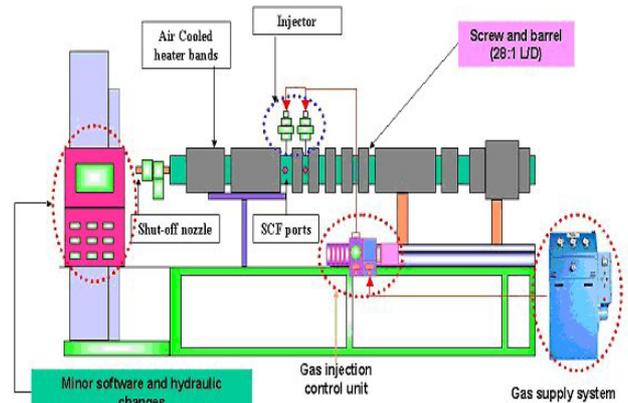


Fig. 1 Diagram of injection molding system.

Fig. 1 은 Injection molding system 에 대한 간략한 개요도 이다. 이로부터 polymer 수지를 이용하여 실험실 차원에서의 샘플을 만든다. 작업 변수의 제어와 반복 실험의 가능, 비교적 간단한 실험이 가능하기 때문에 초미세 발포 연구에 이용하고 있다.



Fig. 2 ASTM 규격 시편

Fig. 2 는 gas 의 공급량에 따른 수축률과 cell morphology 의 관계를 알아보기 위한 실험에 쓰일 ASTM 규격의 시편 사진이다.

먼저, 이 ASTM 시편을 이용하여 N<sub>2</sub> gas 를 주입하지 않고, 일반사출을 수행한 후, 계량 양을 원제품의 무게대비 10% 감소시켜 사출을 수행하며,

점차 gas 의 주입량을 늘여가며 실험을 수행한다. 사출조건은 gas 주입량을 제외한 모든 조건들은 동일하게 유지하며 실험을 수행하고 gas 주입량을 증가시킨 직후부터 20 개의 시편은 측정에서 제외시키고 그 후 15 개의 시편만 측정대상으로 삼는다. 또한, 각 시편의 무게를 측정하여 무게 비로 10% 감소된 무게에 대하여 가장 오차가 큰 시편 5 개를 제외시켜 해석에는 총 10 개의 시편을 사용한다.

3.2 수축률 및 cell morphology 측정

본 논문의 목적은 cell morphology 가 제품의 수축에 미치는 영향을 검증하는 것이다. 각 수지에 대하여 실험조건은 다른 성형조건을 동일하게 유지시키며 gas 주입량을 증가시켜 얻은 sample 의 수축률을 식(2-1)을 이용해 계산하고 sample 의 cell morphology 를 확인하기 위하여 단면을 고배율의 광학식 현미경으로 관찰한다.

사출공정에서 고분자 수지에 N<sub>2</sub> gas 를 증가시키며 주입하여 제품을 성형하여 사출 후 공기중에 노출시킨 후 2, 24, 48, 72 시간 후 길이를 측정하여 수축률을 계산한다.

4. 결 과

4.1 Talc 포함하지 않는 수지 (JI370) 수축률

Talc 가 포함되지 않은 PP 수지에 대하여 제품 성형 후 공기 중에 방치된 시간에 따른 수축률을 측정된 결과는 Fig. 3 에 나타나 있다. Fig. 3 에서 X 축은 방치된 시간이며 Y 축은 급형 치수대비 성형품의 수축률이다. 이 그래프에서 Gas 의 주입량에 따른 수축률을 확인할 수 있다.

Gas 의 주입량은 무게대비 weight percentage 로 나타나있으며 gas 를 주입하지 않은 성형품과 수축률을 비교할 수 있다.

사출 후 24 시간까지의 수축률의 변화는 gas 의 주입량이 0.39 wt %일때 까지 수축률이 급격하게 변화한다. 그러나 주입되는 gas 의 양을 더 증가시키는 경우에는 사출 후 2 시간이 측정된 수축률과 비교적 차이가 없음을 알 수 있다. 그리고 24 시간 이후의 수축률은 gas 의 주입량의 차이에도 불구하고 변화가 나타나지 않음을 확인할 수 있다.

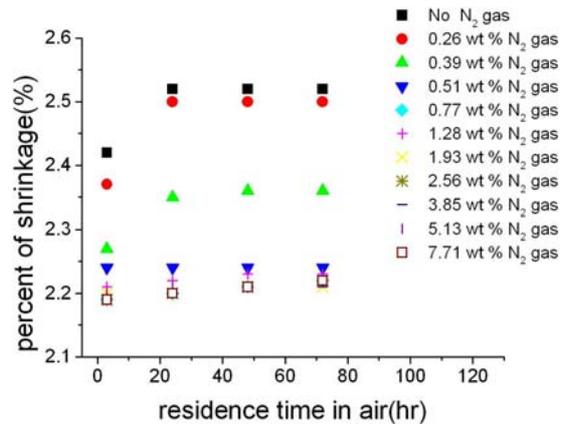


Fig. 3 Shrinkage of no Talc including sample (JI 370)

전체적인 수축률 변화를 살펴보면, gas 를 주입하지 않은 시편의 수축률이 가장 높게 나타나며 gas 를 3.85 wt % 까지 증가시키며 주입한 시편들은 gas 의 주입량이 증가함에 따라 수축률이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 3.85 wt % 이상 gas 를 주입하면 수축률이 더 이상 감소하지 않고 약간 증가하는 경향을 볼 수 있지만 그 증가량은 매우 미미하다.

수축률이 gas 주입량에 따라 많은 차이를 보이는 것은 sample 내부에 생성되는 cell morphology 의 영향에 의한 것이라 판단된다. Gas 를 0.26 wt %를 주입한 경우에는 수축률이 다른 gas 량을 주입한 sample 에 비하여 상당히 큰 것을 알 수 있다. 그리고 gas 를 3.85 wt %주입한 sample 이 가장 수축률이 적은것으로 측정결과가 나타나는데 이 두가지 sample 의 cell morphology 를 살펴보면 다음의 Fig. 4 와 같이 나타난다.

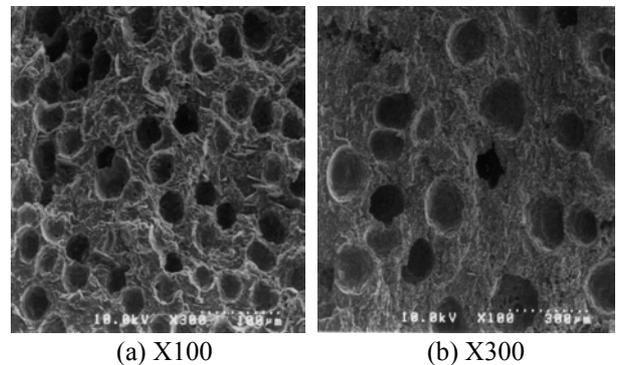


Fig. 4 cell morphology

위의 사진을 살펴보면 두 시편에서 나타나는 cell morphology 는 확연하게 다른 형태를 보여준다. Gas 를 0.26% 주입한 경우의 시편에서는 cell 의 크기가 상대적으로 크며 cell 의 수가 작다. 반

면에 gas 를 3.85% 주입한 경우에는 cell 의 크기가 작아지며 cell 의 개수도 늘어난다. 즉, 두 시편의 차이는 cell 밀도가 다르다는데 있다. 두 시편의 수축률이 차이가 나는 것은 cell 밀도가 작은 시편의 경우에 수지의 수축이 일어날 때 저항할 수 있는 cell 의 개수가 작고 cell 의 크기가 커서 수축을 방해할 만한 에너지가 작지만 cell 밀도가 높은 경우에는 수축을 방해하는 cell 의 에너지가 크기 때문에 수축률이 상대적으로 작다고 할 수 있다.

4.2 Talc 포함한 수지 (HT340) 수축률

수지에 Talc 가 20% 포함되어 있는 수지의 경우, 실험조건은 Talc 가 포함되어 있지 않은 수지의 실험과 동일하게 수행하였다. 실험을 통하여 얻은 결과를 graph 로 표현한 것이 다음의 Fig. 5 이다.

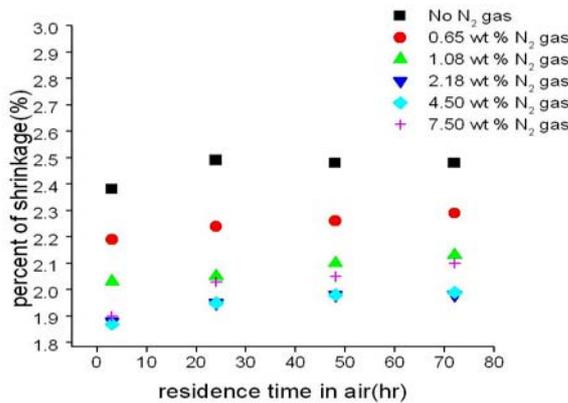
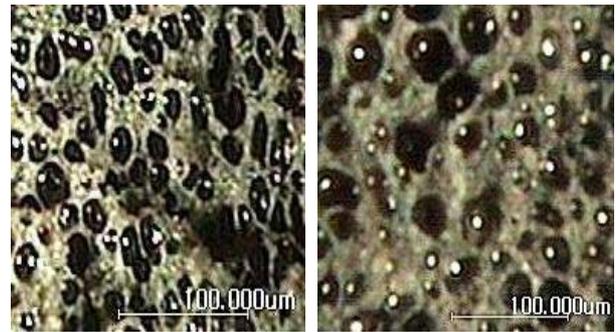


Fig. 5 Shrinkage of Talc including sample (HT 340)

실험결과를 통해 볼 때 수축률의 변화 양상은 Talc 의 포함여부와는 관계없이 두 실험이 비슷한 양상을 나타내고 있는 것으로 결론 지을 수 있다. 그러나, Talc 가 포함된 수지에서는 gas 의 주입량이 4.50%일 때 수축률이 최저값을 보이고 그 이상되면 수축률이 증가하는 것으로 나타나는데 그 증가량이 Talc 가 포함되지 않은 수지에 비하여 큰 차이를 보인다는 것이다. 이러한 현상은 과도한 gas 의 주입이 cell morphology 에 영향을 미쳐서 수축률이 증가하는 것으로 생각할 수 있다. Talc 를 포함하지 않은 수지와 마찬가지로 cell 밀도가 높아지면 수축률이 작아지는 경향을 보인다. Gas 주입량을 4.50% 이상으로 실험하면 cell 밀도가 감소하면서 cell 의 형상이 원형에서 타원형으로 바뀌게 된다.

주입량이 4.50%와 7.50%의 cell morphology 측정사진은 다음과 같다.

Fig.6 의 Talc 가 포함되지 않은 수지의 시편 사진과 Talc 가 포함된 시편의 사진에서 알 수 있듯이 cell 밀도와 형상이 수축률 변화에 영향을 미친다고 결론지을 수 있다.



(a) 4.5wt% 주입 (b) 7.5 wt% 주입

Fig. 6 Cell morphology

또한, 두 실험간의 차이점은 수축률의 절대값의 차이에서 나타난다. Talc 의 포함여부와 관계없이 두 수지에 gas 를 넣지 않은 시편의 수축률 차이는 크지 않다. 그러나 gas 의 주입에 따른 두 수지의 수축률 차이는 주목할 만한 결과를 보여준다.

4.3 Talc 포함 여부에 따른 수축률 비교

Fig.7 은 두 수지의 수축률을 동일한 scale 로 표현하여 비교한 그래프이다. Talc 가 포함되지 않은 수지의 경우는 symbol 로 수축률을 표시하였고, Talc 가 포함된 수지의 수축률은 선으로 표시하였다.

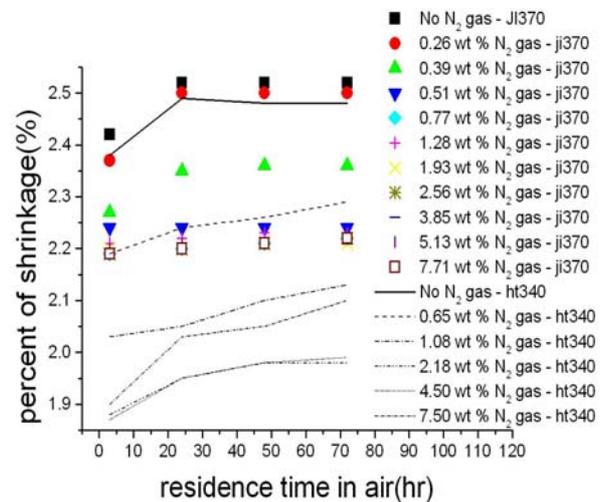


Fig. 7 Shrinkage of Talc filled and unfilled specimen

Fig.7의 그래프에서 볼 수 있듯이 gas를 주입하지 않은 경우의 수축률 측정결과는 두 수지의 수축률은 큰 차이를 보이지 않지만 gas를 주입하여 실험한 결과는 두 수지의 수축률이 큰 차이를 나타낸다. Talc를 포함한 수지의 경우에 수축률의 최저값이 Talc를 포함하지 않은 수지에 비하여 큰 차이를 나타내는 것을 확인 할 수 있다.

이러한 현상은 Talc를 포함한 수지의 경우에 cell 밀도가 그렇지 않은 수지에 비하여 더 높은 것을 확인 할 수 있는데 Talc가 cell을 형성하는데 있어서 nucleation site의 역할을 해 줌으로써 cell의 개수가 많아지면서 cell 밀도를 증가시키는 게 원인으로 분석된다.

Talc를 포함하지 않은 수지의 경우는 주입되는 gas량을 증가시키게 되면 수축률이 최저값으로 수렴하는 결과를 보여주는데 Talc를 포함하는 수지의 경우 수축률이 최저값이 되는 gas의 주입량 이상으로 gas를 공급하게 되면 수축률이 다시 증가하는 추세를 보이게 되므로 주의할 필요가 있다고 보여진다.

## 5. 결론

Talc를 포함하지 않은 수지와 Talc를 포함하는 수지에 대하여 N<sub>2</sub> gas를 변화시키면서 주입하여 무게를 10% 감소시켜 발포를 시킨 사출시편을 제작하였다. 제작된 시편에 대한 수축률 변화 측정결과와 시편단면의 cell morphology의 확인을 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

1. gas를 주입하지 않은 시편의 경우에 사출 후 24시간까지의 수축률의 변화는 급격하게 변화한다. 그러나 gas를 주입하는 경우에는 수축률 변화의 기울기가 상대적으로 작다.
2. Talc를 포함하지 않은 수지의 경우에는 gas의 주입량이 증가함에 따라 수축률이 감소한다. 그러나 3.85 wt %이상 gas를 주입하면 수축률이 더 이상 감소하지 않고 약간 증가하는 경향을 볼 수 있지만 그 증가량은 매우 미미하다.
3. Talc가 포함된 수지에서는 gas의 주입량이 4.50 wt %일 때 수축률이 최저값을 보이고 그 이상이 되면 수축률이 증가하는 것으로 나타나는데 그 증가량이 Talc가 포함되지 않은 수지에 비하여 큰 차이를 보인다.
4. Talc의 포함여부와 관계없이 두 수지에 gas를 넣지 않은 시편의 수축률 차이는 크지 않다. 그러나 gas의 주입에 따른 두 수지의 수축률 차이는 크게 나타난다.
5. cell 밀도가 작은 시편의 경우에 수지의 수축이

일어날 때 저항할 수 있는 cell의 개수가 작고 cell의 크기가 커서 수축을 방해할 만한 에너지가 작지만 cell 밀도가 높은 경우에는 수축을 방해하는 cell의 에너지가 크기 때문에 수축률이 상대적으로 작다.

## 후 기

본 논문은 한국 생산기술 연구원 - 경량 초미세 발포 플라스틱 부품 개발 과제의 지원으로 이루어졌으며 그에 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Chul B. Park, Lewis K. Cheang, and Seung-Won Song, 1998, "Cellular Ploymers", 17,4
- (2) Daniel F. Baldwin, 1994, "Microcellular Polymer Processing and the Design of a Continuous Processing System", M.I.T., mpp, 127-152
- (3) John M. Dealy, Kurt F. Wissbrun, 1990, "Melt Rheology and Its Role in Plastics Processing" Van Nostrand Reinhold, pp.617-621
- (4) Peter Kennedy, "Flow Analysis of Injection Molds," Hanser Publishers, pp.59-71, 1995.
- (5) YoonDong Hwang study on the characterization of shrinkage of molded cellular plastics in a microcellular foaming injection molding process : from the viewpoint of the relationship between crystallization and shrinkage, 2002