

초미세 발포 사출 시 핵 생성장치를 이용한 셀 크기의 변화

김학빈* (연세대 대학원 기계공학과), 차성운(연세대 기계공학과)

Cell morphology of microcellular foaming injection molding products with pressure drop rate

H. B. Kim* (Mecha. Eng. Dept. YSU), S. W. Cha (Mechanical Eng. Dept., YSU)

ABSTRACT

The industries use polymer materials for many purposes for they have many merits. The costs of these materials take up too great a proportion of the overall cost of products that use these materials as their major material. It is advantage for polymer industries to reduce these costs. The microcellular foaming process was developed in the early 1980s to solve this problem and proved to be quite successful.

Microcellular foaming process uses inert gases such as CO₂, N₂. As these gases solve into polymer matrices, many properties are changed. The microcellular foaming process makes the glass transition temperature of polymers to low, and diminish the residual stress of polymer matrices. Besides, the microcellular foaming process has several merits, impact strength elevation, thermal insulation, noise insulation, and raw material saving etc. This characteristic of microcellular foaming process has influenced by cell morphology. The cell morphology means cell size and cell density. The cell morphology has influenced by many factors. The examples of factor are pressure drop rate, foaming temperature, foaming time, saturation pressure, saturation time etc. Among their factors, pressure drop rate is the most important factor for cell morphology in microcellular foaming injection molding process. This paper describes about the cell morphology change in accordance with the pressure drop rate of microcellular foaming injection molding process.

Key Words: Microcellular foaming injection molding process (초미세 사출 발포 공정), Cell morphology (셀 형상), Pressure drop rate (압력 강하율), valve gate (핵 생성장치)

1. 서론

플라스틱은 현재의 산업 사회에서 가장 많이 사용하고 있는 재료 중의 하나이고, 지금도 그 사용량은 계속해서 증가하고 있다. 이렇게 플라스틱 재료가 산업계에 널리 사용되고 있는 이유는 플라스틱 재료가 가벼우며 가공이 용이하고 높은 대량 생산성을 가지고 있다는 장점을 바탕으로 하고 있다.

그러나 우리나라 플라스틱 제품들의 생산 비용 중 재료가 차지하는 비중이 높기 때문에 재료비를 줄일 수 있다는 것은 생산 비용에 있어 많은 이익을 가져올 수 있다.

이러한 취지에서 플라스틱 제품에서 재료를 절약하는 많은 방법이 개발되고 또 이러한 방법을 사

용한 다양한 응용 제품들이 나오고 있다. 그러한 방법 중의 하나가 발포 공법이다. 발포는 플라스틱 제품 내에 미세한 크기의 기포들을 만들어내어 그 기포들이 차지하는 부피만큼의 재료를 절약하는 방법이라 할 수 있다.

발포 제품들은 재료비를 절감시킬 수 있을 뿐만 아니라 단열성이 좋아지고 방음성이 좋아진다는 장점 역시 가지고 있기 때문에 많은 측면에서 연구되고 있다.

하지만 이런 발포 제품들은 생성된 기포가 균일하게 분포하지 못한다는 단점을 가지게 됨으로써 균일한 성질을 가진 제품이 나오지 못한다는 단점을 드러내게 되었다. 게다가 발포에 사용되는 프레온, 부탄 등의 물질이 환경에 유해하다는 점 때문

에 현재 발포 물질의 사용은 제한되고 있다.

그래서 그러한 단점을 보완하고 발포 제품의 장점을 살릴 수 있는 방법으로 초미세 발포 공법이 개발되게 되었다.

초미세 발포 공법은 1980년대 초 미국의 MIT에서 개발된 기술로 기포의 직경 크기를 10 μm이하로 만들어 발포시키는 방법이다. 기포를 만들 때도 환경 친화적인 가스(N₂ 또는 CO₂ 등)를 사용하여 공기를 오염시키지 않는 장점을 가지고 있다. 게다가 기포의 크기가 작기 때문에 기존 발포 기술의 한계로 지적되던 기계적 강도의 저하 역시 거의 발생하지 않는다.

게다가 초미세 발포 공법은 기존 발포 공법이 지니고 있던 단열 성능 향상, 방음 성능 향상, 재료비 절감, 인성 등을 좋아지게 만드는 장점 역시 가지고 있기 때문에 새로운 대안으로 각광 받고 있는 실정이다.

초미세 발포 사출은 이런 예전 연구(초미세 발포 공법)들을 이용하여 새롭게 산업 현장에서 사용하기 위하여 많은 연구들을 진행시켜 왔다. 이런 초미세 발포 사출에서 셀의 크기를 일정하게 유지하면서 셀 크기를 작게 만드는 것은 상당히 중요한 문제이다. 셀의 크기에 따라 사용할 수 있는 분야가 상당히 많이 바뀔 수 있기 때문이다. 그래서 셀의 형성에 큰 영향을 끼치는 인자 중의 하나인 압력강하율을 높이는 장치들을 만들어 압력강하율을 변화시키고 그에 따른 Cell morphology에 대해 이번 연구에서 알아보고자 한다.

2. 이론

2.1 Microcellular foaming injection molding process

초미세 발포 사출 공법은 아래와 같은 개략도에서 진행된다.

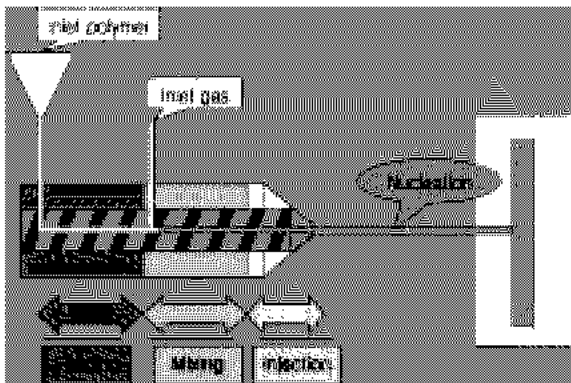


Fig1. Microcellular foaming injection molding process

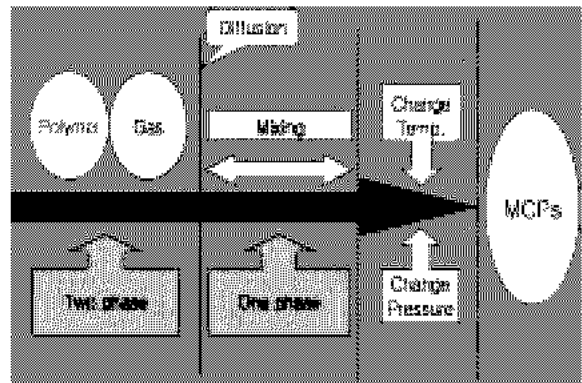


Fig2. Polymer-Gas one phase formation

Fig1에서 보는 바와 같이 사출기의 Hopper에서 나온 플라스틱은 고온의 Feeding 부분은 지나면서 고온의 용융 상태로 변하게 된다. 그리고 사출기가 계량을 시작하는 시점에서 고압의 Gas를 주입해서 용융플라스틱 속에 녹아 들어가게 만드는 것이다.

Fig2에서 보는 바와 같이 고압의 Gas는 용융 플라스틱 속으로 확산을 통해서 스며들게 된다. 고압의 Gas는 용융 플라스틱 내부에서 플라스틱과 함께 하나의 상(phase)을 이루면서 분포하게 되고, 그 상태에서 용해 평형을 이루면서 Gas는 용융 플라스틱 내부에 고르게 분포하게 된다. 그 상태에서 압력을 낮추거나 혹은 온도를 높이면 열역학적 불안정성이 유도되어, 용해되었던 Gas가 기체로 상변화를 일으키며 플라스틱 내부에 수많은 기포를 만들게 되는 것이다.

실제 사출에서는 사출기 내부의 Screw를 지나서 금형으로 들어가는 순간, 즉 Injection하는 순간에 열역학적 불균형, 즉 큰 Pressure drop이 발생하고 그에 따라서 초미세 발포 사출이 일어난다고 생각할 수 있다. 초미세 발포 사출에서 중요한 사항 중의 하나가 얼마나 고르고 작은 기포가 플라스틱 내부에 분포하느냐라고 할 수 있는데, 발포를 일으키는 중요한 변수 중의 하나인 Pressure drop rate에 따라서 Cell morphology가 어떻게 변하는지 알아보는 것은 초미세 발포 사출에 있어 큰 의미를 지니고 있다고 할 수 있다.

3. 실험

3.1 실험 내용

실험은 PP수지인 HT340 Grade를 사용하였으며, WOJIN SELEX E-120(120톤 사출기)을 이용하여 실행되었다. 금형은 PAN형상의 시편을 제작하여 사출하였고, 사출기 온도는 노즐로부터 순서대로 200℃, 190℃, 185℃, 180℃, 175℃로 고정시키고 실험

을 진행하였다. 주입하는 가스는 질소(N₂)로 200 기압으로 압축하여 배럴로 일정하게 주입하였다.

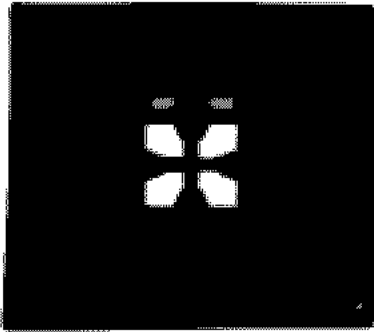
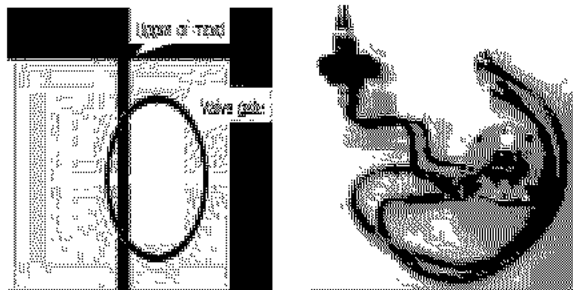


Fig3. PAN sample

실험은 총 9 단계로 나누어 실행하였다. 각 각의 직경이 다른 노즐을 가지고 각 각의 실험에서 1 단계 사출 속도는 85mm/s, 2 단계는 140mm/s, 3 단계는 260mm/s 로 나누어 실험을 시행하였다. 각 각의 사출 속도에 대하여 사출 압력은 700 kg/cm², 1200 kg/cm², 2100 kg/cm²로 놓고 실험을 진행하였다.

일반 sprue 의 경우 8mm 의 직경을 갖는다. 그러나 초미세 발포 사출이 좀 더 잘 일어나게 해주기 위해 압력 강하율을 높여주기 위하여 노즐 앞에 핵 생성장치(valve gate)를 만들어 주어 각 직경이 3mm, 1.5mm 로 놓고 실험을 진행하였다.



(Synopsis of valve gate)
Fig4. Valve gate system

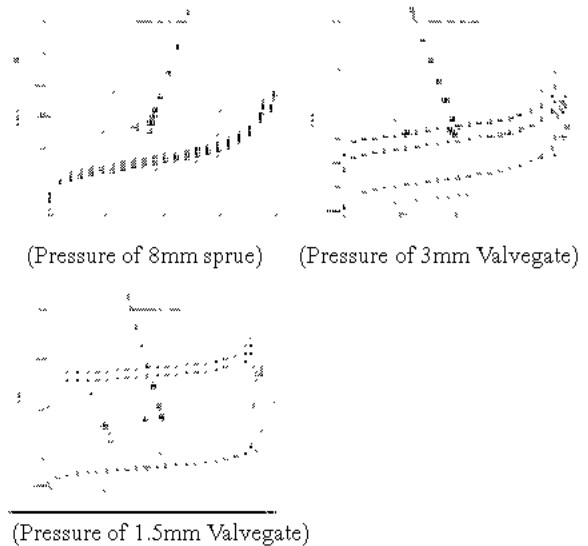
(Figure of valve gate)



(8mm Sprue) (3mm Valvegate) (1.5mm Valvegate)
Fig5. Various diameters of valve gate

3.1.1 실험 결과

우선 압력의 변화를 측정하기 위해서는 노즐 끝단에서의 압력 값이 필요하다. 그러나 실질적으로 노즐 끝단의 압력을 측정하기 어렵기 때문에 Mold flow 프로그램을 이용하여 각 각의 노즐 직경에 대한 압력 값을 시뮬레이션을 통해 찾아 보았다.



(Pressure of 8mm sprue) (Pressure of 3mm Valvegate)

(Pressure of 1.5mm Valvegate)

Fig6. Results of simulation for moldflow

위의 시뮬레이션 결과를 통해 8mm sprue 에서는 압력 편차가 8MPa, 3mm 핵 생성장치의 경우는 13MPa, 1.5mm 핵 생성 장치의 경우는 28MPa 의 차이를 보인다는 것을 확인할 수 있었다.

압력 강하율을 계산하기 위해서는 사출 시간을 알아야 하는데, 사출 시간의 경우는 실험에 사용한 사출기에 표시되는 시간을 사용하였다. 아래 표에 각 각의 속도와 게이트의 직경에 따른 사출 시간을 나타내었다.

	1.5mm	3mm	8mm
85 mm/s	6.9 sec	5.5 sec	4.8 sec
140 mm/s	3.7 sec	3.0 sec	2.6 sec
260 mm/s	2.8 sec	2.3 sec	1.6 sec

Table1. Shooting out time

그러나 위의 표에 나타난 값은 금형 전체에 수지가 채워지는 시간이므로 실제 압력 강하율의 계산에는 맞지 않는다. 실제 압력 강하율의 경우는 노즐을 빠져나가는 순간이 필요하기 때문에 전체 부피와 노즐의 부피비를 통해서 노즐을 빠져나가는 데 걸리는 시간을 측정할 수 있었다. 아래 그림은 금형과 노즐의 도면이다.

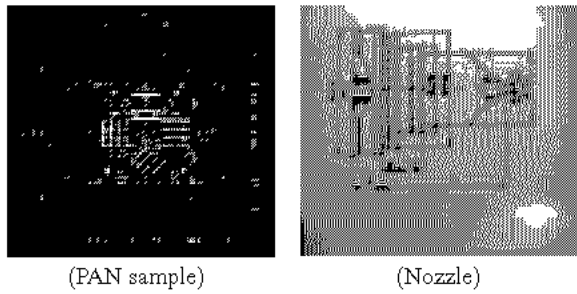


Fig7. Drawings of PAN sample and nozzle

실제 부피를 계산해 보면, 전체 제품의 부피가 153.9 cm³, 노즐 내부의 부피는 1.2 cm³의 부피가 나오게 된다. 이 부피비를 가지고 다음과 같은 식을 통해 수지가 노즐을 빠져나가는 시간을 계산할 수 있다.

$$X = (\text{Time} * \text{volume of valve gate}) / \text{volume of PAN sample}$$

위의 식으로 계산한 실제 수지가 노즐을 빠져나가는 시간이 아래의 표에 정리되어 있다.

	1.5mm	3mm	8mm
85 mm/s	0.054sec	0.043sec	0.037sec
140 mm/s	0.029sec	0.023sec	0.02sec
260 mm/s	0.022sec	0.017sec	0.012sec

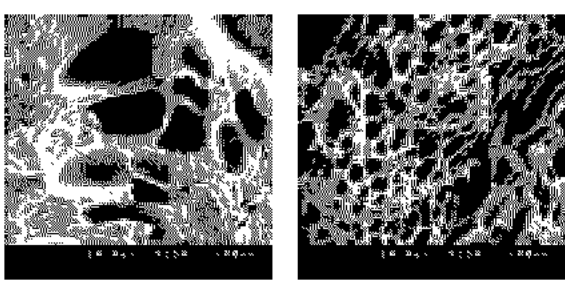
Table2. Time which polymer passes by each nozzle

압력 값과 시간 값을 가지고 실제 압력 강하율을 계산하면 다음과 같은 결과가 나온다.

	1.5mm	3mm	8mm
85mm/s	0.52GPa/s	0.3GPa/s	0.22GPa/s
140mm/s	0.96GPa/s	0.57GPa/s	0.4GPa/s
260mm/s	1.27GPa/s	0.76GPa/s	0.67GPa/s

Table3. Pressure drop rate for each nozzle

각각의 압력 강하율에 따른 셀 형상을 SEM 을 통해 확인하여 보았다.



8mm sprue(85mm/s) 8mm sprue(260mm/s)

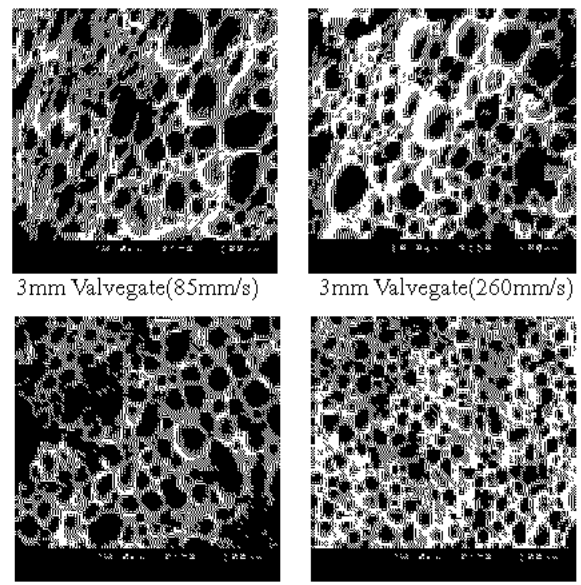


Fig8. Cell morphology with SEM

압력 강하율에 따른 셀 크기를 그래프로 정리한 것이 아래의 그래프이다.

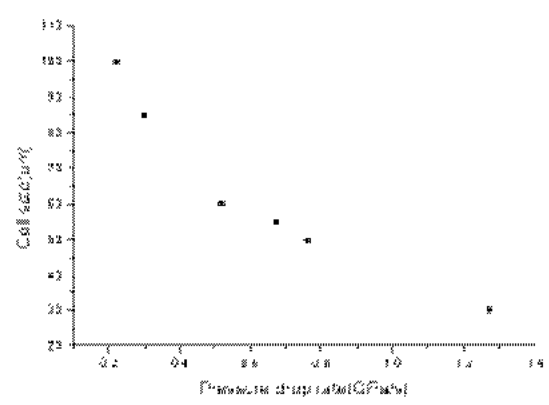


Fig9. Cell size for pressure drop rate

4. 결론

이번 연구를 통해 초미세 발포 사출에서 압력 강하율의 영향을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 같은 sprue 의 크기일 경우에는 사출 속도가 빠른 것이 압력 강하율이 높다. 압력 강하율이 높은 것이 SEM 으로 확인해 보았을 때 셀 형상이 고르게 나오는 것을 볼 수 있다. 같은 사출 속도로 사출을 했을 경우, 핵 생성 장치를 사용하여 압력 강하율을 높인 것이 셀 형상이 더 좋다는 것을 확인할 수 있다.

일반적으로 초미세 발포 사출에 있어서 셀 형상

이 좋다는 것은 셀 크기가 작고, 셀 분포가 고르다는 것을 의미한다. 만약 압력 강하율이 높다면, 셀 형상은 좀 더 개선될 수 있을 것이다. 이번 연구를 통해서 셀 형상을 좀 더 개선 시킬 수 있는 방향을 제시하였다고 볼 수 있을 것이다.

후 기

한국 생산 기술 연구원의 지원을 받는 경량 초미세 발포 플라스틱 부품 개발 프로젝트의 연구 일환으로 진행되었습니다.

참고문헌

1. D.F. Baldwin, Microcellular polymer processing and the design of a continuous sheet processing system, Ph.D. thesis in Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, January 1994
2. S.W. Cha, A microcellular foaming/forming process performed at ambient temperature and a supermicrocellular foaming process, Ph.D. thesis in Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, April 1994
3. Chul Bum Park, The role of polymer/gas solution in continuous processing of microcellular polymers, Ph.D. thesis in Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, May 1993
4. J.S. Colton, The nucleation of microcellular thermoplastic foam, Ph.D. thesis in Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, September 1985
5. J.D. Yoon, Glass transition temperature and viscosity of polymer as a function of solved gas amount, M.S. thesis in Mechanical Engineering, Yonsei University, December 1998