한국정밀공학회지 제17권 제10호 (2000년 10월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17, No. 10, October 2000.

금형 시스템의 살두께에 대한 발포 배율의 변화

황윤동*, 차성운**, 윤재동*, 김지현***

A Change of Foaming Magnitude as Thickness of Mold System

Yun Dong Hwang*, Sung Woon Cha**, Jae Dong Yoon*, and Ji Hyun Kim***

ABSTRACT

We use so many plastic products in everyday. Because polymer materials have a lot of merits including low cost and easiness of forming, they are widely using at many manufacturing industries. Microcellular foaming process appeared at MIT in 1980's to save a quantity of material and increase mechanical properties. The information about the thickness of cavity plays an important role in appling microcellular foaming process to the conventional injection molding process. It is essential to make an effective foam.

The goal of this research is to measure the relation between the change of cavity's thickness and foaming magnitude made after inserting a gas. R/t is a conception that indicate proportion between radius and thickness of cavity in mold system. By means of SEM observation of side surface of cavity sample, foaming magnitude of polymer in microcellular foaming process is decreasing gradually as the value of R/t is increasing. The proposed foaming magnitude change data of polymer in relation to mold system can be applied in more extensive injection molding process, such as optimum design of mold for microcellular foaming process.

Key Words : Injection Molding Process (사출 성형 공정), Foaming Magnitude (발포 배율), Mold (금형), Microcellular Foaming Process (초미세 발포 공정), Polymer (고분자 물질)

기호 설명

R/t = radius over thickness of cavity
R = radius of cavity
t = thickness of cavity

1. 서 론

일반적으로 값싸고, 가볍고, 녹슬지 않는다는 장점을 지닌 소재라는 인식으로부터 출발한 플라스틱 제품에는 TV 케이스, 카셋트, 전등, 자동차 용품 등과 같은 것들이 있다. 이렇게 우리의 일상생활에서 많이 사용되고 있는 사출 성형품은 이루 헤아릴 수 없을 정도이다.

또한 다양한 물성 만큼이나 다양한 가공방법의 개발로 종래 복잡한 가공공정과 많은 인력을 투입

* 연세대학교 대학원 기계공학과
** 연세대학교 기계전자공학부
*** (주) LG 생산기술원

하여 제작하던 제품을 단 한번에 생산을 하게 됨으로써 품질향상과 가격경쟁력을 동시에 확보하는 신기술들이 앞 다투어 소개되고 있다.

그러나 현대의 수요자는 더욱 복잡하고 다양한 성형품을 요구하고 있으며, 또 정밀도 높은 성형품을 요구하고 있는 실정이다. 또한 여러 가지 특성을 갖는 수지의 개발은 현재의 다품종 소량생산용의 사출금형의 기술을 한 단계 더 발전시킬 필요가 있으며, 이를 위해서는 지금까지의 경험적인 방법으로는 부족하다고 할 수 있다.[1]

그리고 플라스틱의 원재료로 쓰이고 있는 석유자원은 그 매장량이 한정되어 있기 때문에 천연자원의 고갈로 인한 재료의 부족현상이 일어날 것이고 따라서 앞으로 점점 더 재료의 단가가 올라갈 것은 불을 보듯 뻔한 일이다. 이것은 곧바로 제품의 가격상승이라는 결과를 가져오게 된다.

따라서 이러한 문제점을 해결하고자 1980년대에 등장한 '초미세 발포 공법'이라는 새로운 제조공정 기법이 그 대안으로 주목받게 되었다. 이 새로운 공정은 가스(이산화탄소)를 폴리머 속에 주입하는 방식으로서 이 공정을 도입하게 되면 소요되는 원재료의 양을 줄임으로써 상당한 양의 재료비를 절감할 수 있다. 뿐만 아니라 내구성이나 충격강도의 측면에 있어서도 오히려 기존의 제품보다 훨씬 개선된 이점을 보여주기 때문에 관련 제조업체로부터 많은 관심과 호응을 받고 있는 상황이다.

이러한 플라스틱을 성형하는 방법은 사용재료의 종류, 금형의 형상 및 용융 방법 등에 따라 여러 가지 방법이 있다. 사출성형은 압출성형과 함께 플라스틱의 성형에 있어서 매우 중요한 기술 중의 하나로서 파이프나 필름과 같이 길이가 길어 연속적으로 성형될 수 없는 형상의 제품, 즉 3차원 성형물의 가공에 이용되고 있다.

특히 사출 성형시 적절한 금형 시스템의 정보는 효과적인 제조공정에 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 그리고 초미세 발포 공법을 기존의 사출성형 공정에 적용시키기 위해서는 발포가 일어날 만한 공간이 필요하다.

이번 연구의 목적은 폴리머에 가스를 주입했을 때 금형의 두께를 변화시키면서 발포 배율이 어떻게 변하는지를 측정하여 그 결과를 비교, 분석하는 것이다. 폴리머의 발포 배율을 얻기 위해서는 우선 금형에 충진되는 캐비티의 무게를 측정하여 가스의 주입에 따른 무게의 감량비를 측정해야 한다. 이번 연구에서는 살두께에 대한 제품 반경의 비를 R/t로 정의하였으며, 두께 t를 조절하여 이 값이 초미세 발포용 사출성형 제품의 발포 배율에 미치는 영향을 체크하였다.

본 연구는 기존의 사출성형 공정에 가스를 주입하는 초미세 발포 공법을 적용함에 있어서 금형 시스템과 발포 배율의 상관관계에 관한 정보를 포함하고 있다. 그렇기 때문에 폴리머의 발포 배율 변화 데이터는 사출 성형기를 초미세 발포에 적합하도록 금형을 최적의 조건을 가진 상태로 디자인하는 영역에 적용될 수 있다.

2. 초미세 발포 공법

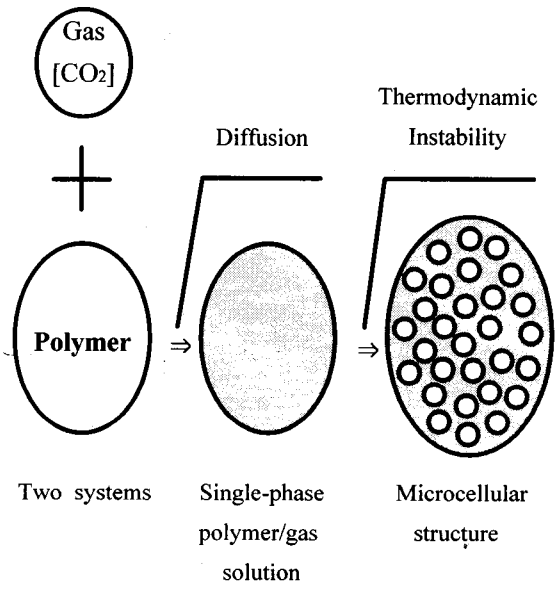

Fig. 1 Schematic of the morphology change of polymer/gas systems in overall microcellular foaming process

고분자 재료의 발포 기술은 고분자 제품의 비용 중에서 재료비가 차지하는 비율을 줄이기 위해서 개발되었다. 초미세 발포 공법은 1980년대 초에 MIT에서 시작되었는데 다양하고 개선된 성질을

가지고 있으며 기계적인 성질의 제약없이 재료의 원가를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 초미세 발포 공법은 단열 성능 향상, 방음 성능 향상, 재료비 절감 등의 장점을 충분히 살리면서 충격 강도와 같은 기계적 물성을 향상시킬 수 있다.[2]

Fig. 1에서 보는 바와 같이 극도로 미세한 기포를 주입함으로써 원재료의 양은 물론이고 무게도 줄일 수 있다. 그렇다고 해서 제품이 더 약해지는 것이 아니라 오히려 더 강해진다. 초미세 발포 공법을 이용한 폴리머의 발포는 폴리머로의 가스 용해, 핵 생성, 핵 성장의 세 단계를 거쳐 이루어진다. 이 공법은 폴리머 재료에 질소와 이산화탄소 같은 비활성 가스를 사용하여 포화시키는 것이다. 가스의 용해도와 밀접한 관계가 있는 압력 및 온도를 조절하여 열역학적 불안정 상태를 일으켜서 발포시키는 공법으로 전체에 균일한 크기의 수많은 셀을 갖는 제품을 생산할 수 있다.

3. 성형품의 두께와 발포 배율

성형품의 두께는 사이클 타임에 가장 큰 영향을 미친다. 성형품의 두께가 두 배로 늘어나면 냉각시간은 약 4 배로 길어진다. 성형품의 두께는 사출성형 작업자가 변경할 수 없는 사항이지만 성형품의 견적시 사이클 타임이 길어지므로(냉각시간이 길어지므로) 고려할 필요가 있다.

기존의 1-gate를 가지는 금형 시스템에서 초미세 발포용 사출성형 테스트를 해본 결과 제품의 끝단 쪽에서는 높은 발포 배율을 가지는 데에 반해서 사출점에서부터 앞부분의 경우에는 발포가 거의 일어나지 않는 결과를 나타내었다. 이에 제품의 길이가 살두께에 비해서 상대적으로 큰 경우에는 용융 수지가 유동되면서 벽면으로 점착되어 다져지기 때문에 발포가 일어나는 것을 방해한다고 볼 수 있다.[3,4]

폭이 좁고 유동 길이가 긴 금형 시스템에서는 구속 조건이 많기 때문에 발포의 효율이 상대적으로 작다. 따라서 용융 수지의 유동 흐름에 제약이 적도록 디스크 모양을 찍을 수 있는 금형 시스템에서 살두께에 대한 제품 반경의 비인 R/t를 작게 해줌으로써 높은 발포 효과를 거둘 수 있다.

R/t를 작게 하는 방법 중에는 R을 작게 하는 방법과 t를 크게 하는 방법이 있겠으나 이번 연구에서는 제품의 반경 R을 일정하게 고정시켜 놓고 살두께 t를 조절해 가면서 발포 배율의 변화를 측정하여 살펴보았다.

4. 실 험

4.1 R/t에 따른 금형 시스템

본 연구에서 사용한 금형은 Fig. 2에서 나타낸 것과 같이 디스크 모양의 형상을 지닌 것으로서 유동의 반경이 고정되어 있으며, 직경이 90 mm인 것이다. 성형품의 두께를 최소 0.8 mm부터 2.0 mm, 2.8 mm까지 취출되도록 조절하였다. 성형품의 살두께에 대한 반경의 비를 R/t로 정의하였으며, 성형품의 살두께 t를 변수로 해서 다양한 R/t에 따른 발포 배율의 변화를 측정하였다.

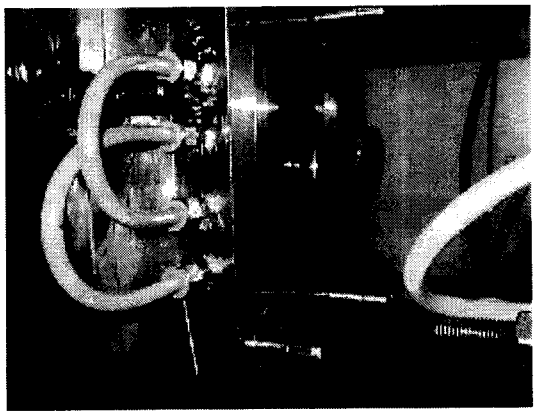

Fig. 2 Mold system in injection molding machine using microcellular foaming process

스프루를 통하여 러너에 연결되어 있는 게이트는 1-gate로 구성되어 있다. 그리고 이산화탄소를 ABS 용융 수지 속으로 주입시켜 발포가 일어나도록 하였다. 발포 배율은 캐비티의 무게 감량비로 측정할 수 있는데 가스(이산화탄소)를 주입하기 전의 상태에서 사출 성형기로 사출한 것을 기준 샘플로 하여 비교, 측정하였다.[5]

성형품의 각 두께에서 발포 배율 정도를 측정하여 초미세 발포 공정을 박육성형 공정에도 사용할

수 있는지의 여부를 알아보고자 하였다. 실험에 사용한 가스의 양은 가스 공급 장치의 제어기에 의해 일정하게 유지되며 다른 실험 조건은 일정하게 유지한 후, 샘플들을 제작한다.

4.2 실험 조건

본 연구에서는 컴퓨터 본체 및 모니터, 에어컨, 히터, TV 등과 같은 고품위 표면을 요구하는 곳에 이용되는 고광택 수지인 ABS수지(Acrylonitrile - Butadien - Styrene Copolymer)를 사용하였다. 실험에 사용된 사출 성형기(75톤)의 실험 조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Processing parameters for the analysis

Injection Pressure (MPa)	Fill Time (s)	Melt Temp (℃)	Cooling Time (s)	Mold Temp. (℃)
12	10	180	30	50

가스 공급 장치로부터 공급되는 이산화탄소의 실험 조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Processing parameters for CO_2 gas

Main Pressure (MPa)	Sub Pressure (MPa)	Working Pressure (MPa)	Gas Temp. (℃)
24.13	17.24	10.34	50

초미세 발포 공정을 이용한 사출성형에서 사출된 제품의 발포 배율을 측정하기 위하여 필요한 기준 샘플을 제작한다. 초미세 발포 사출 성형기에 가스를 공급하지 않은 상태에서 사출하여 기준 샘플을 제작하고 무게를 측정한다.[6,7]

실험에 사용된 금형의 형상은 초미세 발포 공정을 박막 두께의 금형에도 응용할 수 있는지의 여부를 파악하기 위해 Fig. 3에서 보는 바와 같이 디스크 모양으로서 반경이 37 mm, 살두께가 각각 0.8 mm, 2.0 mm, 2.8 mm인 세 가지의 타입을 사용하였다.

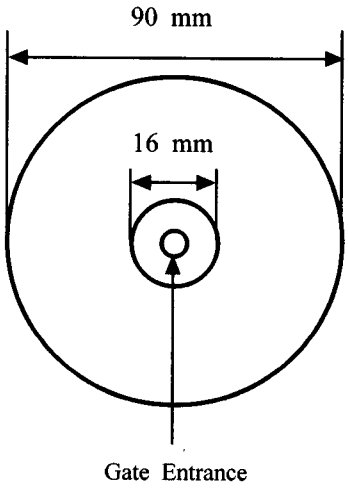

Fig. 3 Thickness controller of disk mold system

5. 실험 결과 및 고찰

먼저 가스(이산화탄소)를 주입하지 않은 상태에서 세 가지 타입의 금형 시스템에서 기준 캐비티 샘플을 취출하였다. 그 다음에 가스를 주입하면서 반경 R을 고정시키고 살두께 t를 변화시키면서 R/t에 따른 폴리머의 발포 배율을 측정하였다.

디스크 금형의 몰드 깊이가 4 mm이므로 두께가 각각 3.2 mm, 2.0 mm, 1.2 mm인 dummy를 끼워서 캐비티의 두께가 각각 0.8 mm, 2.0 mm, 2.8 mm가 되도록 하였다. 이들 세 가지 타입의 살두께 t에 대한 반경 R의 비를 정의하는 R/t를 구할 수 있다.

Table 3 Foaming magnitude as R/t of cavity sample

R/t	Standard Sample (g)	Gas Assistant (g)	Foaming Magnitude (%)
46.3	5.5	4.7	14.5
18.5	11.7	8.3	29.1
13.2	17.1	9.7	43.1

Table 3에서 성형품의 살두께의 변화에 따른 R/t

에 대한 발포 배율을 측정하여 비교해 보았다. 세 가지 타입의 조건에서 기준 샘플에 대한 가스 주입 후에 취출된 샘플의 무게를 측정하여 발포 배율을 계산하였다. 각 조건에서 샘플들을 사출한 다음 평균값을 구해서 Table 3에 나타내었다.

그리고 Fig. 4와 Fig. 5와 Fig. 6에서 보는 바와 같이 가스(이산화탄소)를 주입한 각각의 금형 시스템에서 R/t에 따른 발포 배율 정도를 표면의 SEM 사진을 통해 살펴보았다.

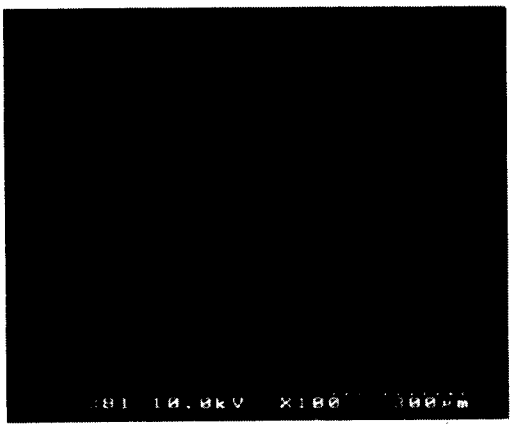

Fig. 4 SEM observation of side surface of cavity sample (R/t = 46.3)

Fig. 5 SEM observation of side surface of cavity sample (R/t = 18.5)

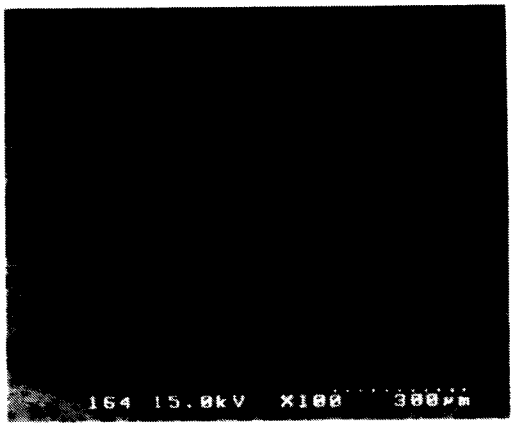

Fig. 6 SEM observation of side surface of cavity sample (R/t = 13.2)

각각의 SEM 사진들을 보아서 알 수 있듯이 R/t가 작아질수록 R/t가 큰 시스템보다 발포될 공간이 넓어지기 때문에 발포배율이 증가한다는 사실을 알 수 있다.

이번 실험의 결과 살두께에 대한 유동 반경의 길이가 길수록 발포가 잘 일어나지 않았다. 이것은 R/t가 증가할수록 발포가 일어날 수 있는 공간이 상대적으로 줄어들기 때문이다. 핵생성 노즐을 통해 사출된 플라스틱/가스 용액이 초미세 발포되어 적당한 크기로 성장하기 위해서는 발포될 수 있는 공간이 필요함을 알 수 있다.[8,9]

6. 결 론

초미세 발포 공법을 기존의 사출 성형기에 적용시키기 위해 가스 공급 장치를 배럴에 연결한 다음 가스(이산화탄소)를 주입한 상태에서 실험을 하였다. 금형 시스템에서 성형품의 무게 감량비를 측정하여 발포 배율의 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 캐비티의 두께가 증가할수록, 즉 R/t가 감소할수록 발포 배율이 점점 증가한다. R/t=46.3인 샘플은 사출점에서 멀리 떨어져 있는 유동 끝단에서 발포 효과가 일어났으며 발포배율은 14.5% 정도

였다. R/t=18.5인 샘플의 경우는 29.1%의 발포배율을 얻었고, R/t=13.2인 샘플은 전반적으로 높은 발포효과를 나타내었는데 최고 발포배율은 43.1% 정도였다. 그리고 SEM 사진에서 보는 바와 같이 균일한 셀의 분포를 획득할 수 있었다.

2. 성형품의 두께가 0.8 mm인 박육 금형에 있어서도 14.5%라는 상당한 발포의 효과가 나오는 것으로 보아 적절한 게이트 시스템과 R/t를 조절해 준다면 초미세 발포 공정을 박육 금형 시스템에도 적용할 수 있음을 알 수 있다.

3. 발포 플라스틱 제품을 사출성형 공정에 의해 생산하게 되면 상당한 재료의 절감을 가져올 수 있을 뿐만 아니라 제품의 단가도 낮출 수 있는 이점이 있다. 이것은 발포 배율에 따른 무게 감량비에 의해 좌우된다. 그리고 무게 감량비와 사이클 타임에 가장 큰 영향을 미치는 성형품의 두께는 발포 배율과 상호 밀접한 관계를 가지고 있으며, 성형 사이클은 충진시간과 냉각시간과의 조화에 의해서 지배된다.

후 기

본 연구는 (주) LG 생산기술원과 한국과학재단 지정 정보저장기기 연구센터의 지원(과제번호 : 2000G0100)으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. "플라스틱 사이언스," 한국 플라스틱 기술 정보센타, 통권151호, 제8호, pp. 104～128, 1997.
2. Sung Woon Cha, "A Microcellular Foaming / Forming Process Performed at Ambient Temperature and a Super Microcellular Foaming Process," M.I.T., pp. 32～105, 1994.
3. Peter Kennedy, "Flow Analysis of Injection Molds," Hanser Publishers, pp. 42～66, 1995.
4. Dominick V. Rosato and Donald V. Rosato, "Injection molding handbook : the complete molding operation : technology, performance, economics," New York : Van Nostrand Reinhold, pp. 35～56, 1986.
5. J.D.Yoon, S.W.Cha, K.W.Choi, and H.J.Cho, "Effects of previous history on diffusivity and solubility of gas in the polymer matrix," KSPE Journal, Vol. 17, No. 3, pp. 108～113, 2000.
6. 조용회, "다재 사출 성형품 및 금형 설계를 위한 전문가 시스템 개발에 관한 연구," 연세대학교 대학원 기계공학과, pp. 34～46, 1999.
7. 박성진, "경계 요소법을 이용한 사출금형 냉각장치의 최적 설계," 포항공과대학교 대학원 기계공학과, pp. 24～36, 1996.
8. 조용무, "금형 설계를 위한 사출 성형 이론," 일진사, pp. 102～125, 1995.
9. 김재원, 김칠수, 김휘동 공저, "사출 성형 금형 설계," 원창 출판사, pp. 50～84, 1995.