

편측분기형 러너 금형에서 가스사출 성형변수가 성형품의 중공부 길이 변화에 미치는 영향

한성렬*, 박태원**, 정영득#

The Effects of the GAIM Process Variables on the Penetration-Length Variations in a Unary Branch Type Runner Mold

Seong Ryul Han*, Tae Won Park** and Yeong Deug Jeong#

ABSTRACT

Gas-Assisted Injection Molding(GAIM) is an innovative technology for producing plastic parts and has been received extensive attention in the plastic manufacturing industries. But, due to gas-polymer interacting during the gas injection phase, the process has significantly different characteristics from conventional injection molding and, therefore, the control of the process requires much technical knowledge in processing and materials. The experiment was performed about variations of gas-penetration length that is affected by filling imbalance resulting from the structure of runner. The Taguchi method was used for the design of experiment. The most effective factors for the gas-penetration length were the shot size and mold temperature. The most effective factors for the difference of the gas-penetration length were the melt temperature and shot size. This study also discussed the filling imbalance phenomenon in a unary branch runner type mold that has geometrically balanced runner.

Key Words : GAIM(가스사출성형), Gas-Penetration Length(중공부 길이), Filling Imbalance(충전 불균형), Taguchi Method(다구짜 실험계획법), Unary Branch Type Runner (편측 분기형 러너)

1. 서론

가스사출성형(Gas-Assisted Injection Molding : GAIM)은 최근에 개발된 가장 중요하고 혁신적인 사출성형 공정중의 하나이다. 가스사출성형은 금형의 캐비티(cavity)에 용융수지의 일부분을 충전한 후 고압의 가스를 용융수지의 코어부에 주입하여 캐비티 전체를 충전하는 것이다. 이 공정은 재

료비 및 금형 클램핑(clamping) 톤수의 절감과 두꺼운 제품에서의 사이클 타임의 절감을 통하여 생산비용을 절감할 수 있다.¹

그러나 가스사출성형은 일반 사출성형에 비하여 가스사출과 같은 새로운 공정요소가 필요하며, 복잡하고 까다로운 성형조건을 적용해야 하는 단점이 있다. 만약 가스채널의 구성, 원하는 제품의 형상과 단면적의 크기가 적절하게 설계되지 않으면,

접수일: 2004년 4월 8일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

* 부경대학교 기계공학부 대학원

** 창원기능대학

교신저자: 부경대학교 기계공학부

E-mail: ydjung@pknu.ac.kr Tel. (051) 620-1534

성형품 내부에 가스코어의 길이 차이와 같은 결함이 발생하게 된다. 이러한 결함을 극복하려는 움직임은 많으나 지금까지 가스사출 성형공정은 정량적으로 확립된 데이터가 부족하고, 또한 일반적인 사출성형과는 다르게 가스성형은 gas와 수지 사이가 이종물질 사이의 관계를 고려해야 하므로, 캐비티내의 유동을 예측하기 힘든 어려움이 있어 연구되어야 할 부분이 많다.

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 편측 분기형 러너(unary branch runner)를 가진 금형을 통해 러너를 흐르는 용융수지 흐름 내부의 속도 불균형으로 인하여 캐비티내의 불균형 충전이 발생하게 되는 원인을 제시하였으며, 캐비티 내의 불균형 충전과 관련된 가스사출성형품 내부의 중공부도 한쪽의 길이가 다른 쪽의 길이보다 길게 되는 현상이 발생하는데 그 편차의 정도에 대해 실험계획법에 따라 실험하고 그 결과를 고찰하였다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 재료

실험에 사용된 사출성형기는 LG 기계에서 제작한 직압식 수평형 LGH 140N을 사용하였다. 사용된 실험금형은 Fig. 1 과 같이 200× 300× 250mm 크기의 4개의 캐비티를 가지고 있다. 이 4개의 캐비티는 각각 원형, 사각형, 원추형, 타원형 단면을 가지며 캐비티는 중앙과 말단에 게이트를 설치하여 성형할 수 있다. 이번 연구에서는 게이트를 제품의 중간에 위치하게 하여 가스성형을 하였을 때, 성형품 내부의 중공부 길이의 변화에 성형인자가 미치는 영향에 대해 다루었다.

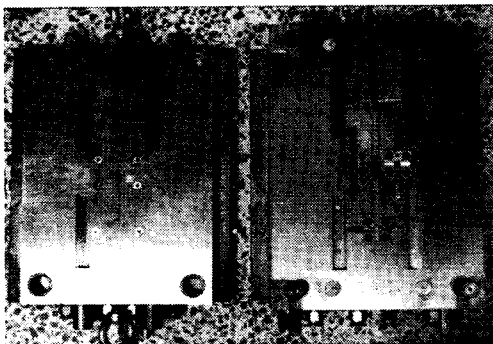


Fig. 1 Experimental mold

금형 내부에 질소가스를 가압 및 주입하는 장치는 GAIN Technologies2 에서 생산한 것을 사용하였으며, 성형품 내부의 가스채널 관찰을 용이하게 하기 위하여 실험용 수지는 LG 화학에서 생산한 GPPS(General Purpose Polystyrene) 25SPI 투명 수지를 사용하였다. Fig. 2 는 가스주입장치를 나타낸 것이다. Fig. 3 은 이번 연구에서 가스성형으로 생산한 실험샘플 들이다.



Fig. 2 Gas pressure -generating unit

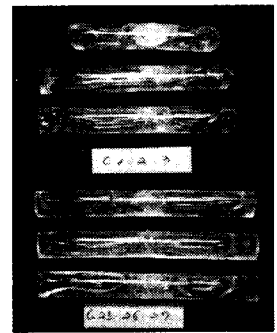


Fig. 3 Various molding samples

2.2 실험계획

본 연구에서는 실험계획법을 사용하여 성형조건 중 성형품의 중공부에 가장 영향을 미치는 인자를 구하고자 하였고, 실험에 사용된 실험계획법으로 다구찌 방법(Taguchi method)을 사용하였다.³ Table 1 은 가스채널의 길이에 영향을 미칠 것으로 예상되는 성형 인자들과 수준을 나타낸 것이다.⁴ 여기서, 사출량(shot size)은 사출기에서 사출량을 제어하는 스크류(screw)의 이동거리를 나타낸 것이다.

Table 1 Factors and levels used in the experiment

Factors	Levels		
	1	2	3
A. Mold temperature(°c)	40	50	60
B. Melt temperature(°c)	190	200	210
C. Injection speed(%)	50	60	70
D. Shot size(mm)	8	9	10
E. Gas pressure(MPa)	2.7	3.1	3.5
F. Gas injection time(sec)	1	1.5	2.0
G. Gas delay time(sec)	0.5	1.0	1.5
H. Gas holding time(sec)	1	1.5	2.0

L₂₇(3⁸) 직교배열표를 작성하고 27 가지 경우에 대하여 각각 3 회씩의 반복 실험을 수행하였다. 실험 계획에 의하여 생산한 샘플들의 중공부의 길이를 측정 후 MINITAB 소프트웨어를 사용하여 성형품에 영향을 주는 주요인자를 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 캐비티내의 충전불균형 현상

이번 연구에서는 중공부의 길이 변화와 직접 관련이 있다고 생각되는 캐비티 내의 수지 충전 불균형에 대해서 Fig. 4와 같은 수지유동 모델을 통하여 캐비티에서의 충전불균형을 나타내었다. 일반적으로 다수개 캐비티(multi cavity) 금형에서의 충전불균형에 관한 연구⁵는 발표되어 있으나, 단일 캐비티 내에서의 충전불균형에 대한 것은 구체적으로 연구된 바를 찾아 볼 수 없다. Fig. 4는 본 연구에서 취급한 편측분기형 러너 금형의 단일 캐비티에서의 충전불균형을 설명한 것이다.

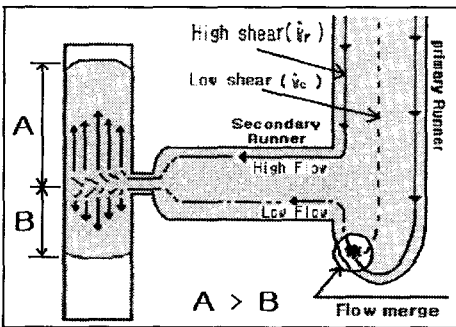


Fig. 4 Cavity-filling imbalance in unary branch type runner layout

중공부에 의한 캐비티내의 충전불균형 현상은 용융수지가 캐비티의 한쪽에 더 많이 충전된 상태에서 가스가 주입되면 주입된 가스가 중공부를 형성하는 과정에서 용융수지가 많이 충전되어 있는 쪽에서는 용융수지에 의해서 거의 충전된 상태이므로 가스로 인한 중공부의 형성이 어렵지만 반대쪽 캐비티는 아직 미충전 상태이므로 가스에 의한 중공부 길이가 생성되는 현상이 발생한다. Fig. 5는 가스가 주입되어 중공부가 형성된 성형품 내부의 중공부 불균형을 나타낸 것이다.

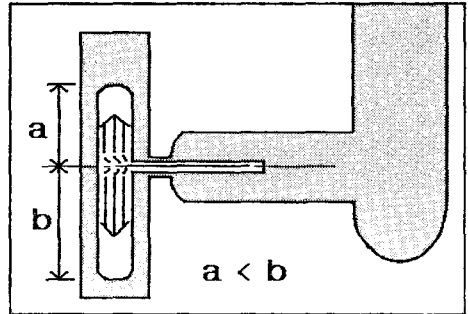


Fig. 5 The imbalance of penetration in molding

이와 같은 충전 불균형은 러너 중심부를 따라 흐르는 수지와 반경부를 따라 흐르는 수지의 전단율의 차이에서 기인된다. 반경부를 따라 흐르는 수지의 전단율($\dot{\gamma}_r$)은 중심부를 따라 흐르는 수지의 전단율($\dot{\gamma}_c$)보다는 크게 된다. 전단율이 크게 되면 사출성형시 수지 점도를 나타내는 수정 Cross 모델식⁶ (1)에서 보는 것과 같이 점도는 감소하게 되므로, 수지의 유동은 빨라지게 하는 요인이 된다. 또한 전단율이 커짐에 따라 상대적으로 전단 마찰열 또한 증가하게 되므로, 이는 반경부 근처의 수지가 중심부보다 더욱 빠르게 흐르는 요인으로 더해진다. 따라서 중심부보다는 러너의 반경부 외측 유로를 따라 흐르는 수지가 캐비티가 먼저 충전되게 된다. 즉, 캐비티의 중심을 기준으로 초기에 용융수지가 충전되면 빠른 흐름을 타고 온 수지가 캐비티 한쪽으로 더 많이 충전되는데 그 후 가스를 주입하면 용융수지가 많이 충전되어 있는 쪽으로는 가스가 작게 주입되고, 반대로 용융수지가 작게 충전된 부분으로 가스가 많이 주입되어 중공부의 불균형이 발생하게 된다.

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \times \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{(1-n)}} \quad (1)$$

- 여기서, $\dot{\gamma}$: 전단율(shear rate)
- τ^* : 경계역에서의 전단응력
- n : 비뉴턴 지수
- η_0 : 제로 전단율에서의 점도

3.2 성형품의 무게편차

성형품 중공부의 길이는 가스성형의 특성상 정

확히 측정하기가 곤란하므로, 그 대안으로 성형품을 2등분으로 절단하여 그 절반의 무게 차이를 조사하였다. 이를 위하여 샘플들의 무게를 측정하여 어떤 가스사출 성형인자가 영향을 미치는지를 MINITAB 이용하여 결과를 분석하였다. 분석결과를 살펴보면 성형품의 무게에 영향을 주는 성형인자는 수지온도(B), 사출량(D), 금형온도(A), 사출속도(C), 가스유지시간(H), 가스주입시간(F), 가스주입지연시간(G), 가스압력(E) 순으로 나타났다. Fig. 6은 성형품 중량의 편차(difference of weight; DOW)의 정도를 나타낸 것이다.

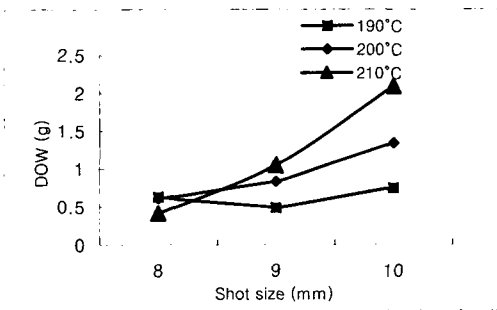


Fig. 6 Difference of weight in moldings

Fig. 6에서 사출량이 가장 작은 8mm에서는 사출량과는 상관없이 수지온도에 대한 무게의 편차 정도가 약 0.5g으로 비슷하였다. 그러나 수지온도가 증가하고 사출량이 증가할수록 편차정도가 증가하였다.

3.3 성형인자별 S/N 비

가스사출성형 실험에서 얻어진 성형품의 중공부의 길이에 대한 측정치를 MINITAB에서 분석하였다. Fig. 7은 S/N 비 주효과를 나타낸 것이다.

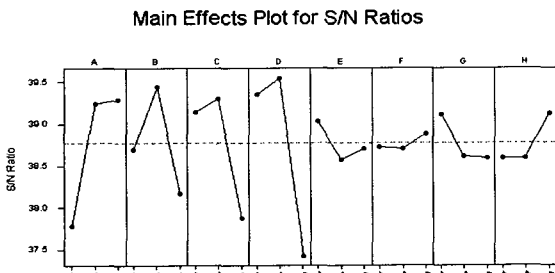


Fig. 7 Main effect plot for S/N ratios

위의 S/N 비의 주효과를 살펴보면 성형품의 중공부 길이에 영향을 주는 성형인자는 사출량(D), 금형온도(A), 사출속도(C), 수지온도(B), 가스유지시간(H), 가스주입지연시간(G), 가스압력(E), 가스주입시간(F) 순으로 나타났다. 이중 특히 영향을 미치는 인자는 D, A, C, B로 나타났다. 특별히 가스제어 관련 인자인 H, G, E, F가 성형품의 중공부에 영향을 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 오버플로우가 없고 단위 면적이 작은 캐비티에서 가스성형의 적용은 가스압력 요인 보다는 수지의 초기 충전량과 관계가 깊은 것으로 사료된다. 즉, 금형온도, 수지온도 및 사출속도가 높으면 단위 시간당 수지의 유동량이 증가하여 캐비티내의 충전량이 더 많이 충전된다. 이와 같이 사출량(shot size)이 중공부의 길이에 가장 영향이 크다는 기존의 연구⁷ 결과에 더하여 초기의 캐비티의 충전량과 관계가 깊은 인자들이 중공부 길이에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

3.4 중공부 길이변동에 대한 주요 성형인자

3.4.1 금형온도의 영향

Fig. 8은 금형온도에 대한 중공부의 길이(gas penetration length; GPL)와 사출량 사이의 관계를 나타낸 것이다. 금형온도가 높아지면 용융수지의 유동성이 개선되어 캐비티의 충전불균형은 개선되지 만⁵, 같은 사출량에서는 금형온도가 높으면 중공부 길이가 증가하는 경향을 볼 수 있다. 또한, 사출량이 많아지고 금형온도가 높아지면 캐비티 내의 용융수지 유입의 증가로 인하여 중공부 길이가 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.

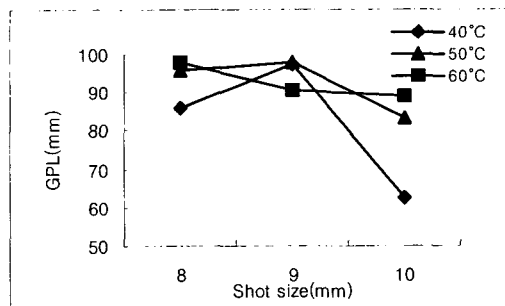


Fig. 8 Gas penetration length vs. shot size

3.4.2 사출속도의 영향

Fig. 9는 중공부의 길이와 사출속도와의 관계를 나타낸 것이다. 사출속도가 증가하면 사출량에 관계없이 중공부의 길이가 감소하는 경향을 보였다. 이는 사출속도가 증가하면 단위시간당 캐비티에 충전되는 수지량이 증가하는 영향에 의한 것으로 생각된다. 특히, 사출 속도 70%에서는 급격한 감소를 보였는데, 이는 높은 사출속도로 인하여 수지가 유동벽면 근처의 높은 전단으로 인한 전단 마찰열로 인하여 수지의 점도(viscosity)가 더욱 감소하여 캐비티에 충전량이 크게 되는 영향이 더해진 것으로 생각된다.

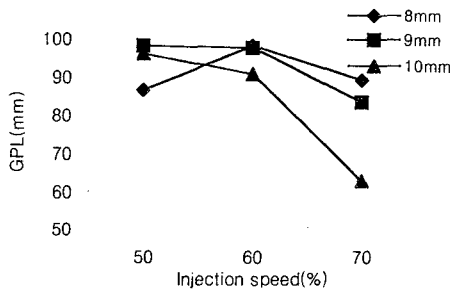


Fig. 9 Gas penetration length vs. injection speed

3.4.3 수지온도의 영향

Fig. 10은 중공부의 길이와 수지온도와의 관계를 나타낸 것이다. 수지온도가 증가하면 용융수지의 점도가 낮아져서 캐비티내의 불균형충전은 개선되지만 이번 연구에서는 수지온도가 증가하면 중공부의 길이가 증가하나 사출량이 10mm이상의 일정수준 이상으로 충전되면 가스성형시 중공부의 길이가 심하게 감소하는 것을 볼 수 있다.

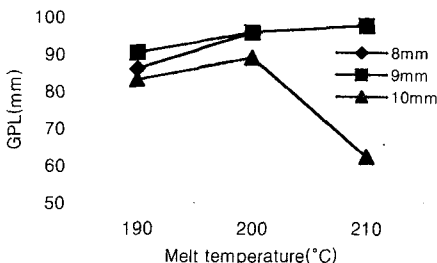


Fig. 10 Gas penetration length vs. melt temperature

이는 높은 용융수지 온도와 많은 사출량으로 인하여 캐비티 충전량이 증가하고 가스를 주입하여도 이미 캐비티가 완전 충전된 상태이므로 중공부가 형성될 여유 공간이 없어서 다른 성형조건에 비하여 중공부가 감소하는 결과를 보였다.

4. 결론

편측분기형 러너를 가진 금형을 대상으로 가스 성형시 중공부 길이의 변화에 대한 실험적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 러너내의 수지흐름시 전단에 기인한 충전불균형으로 캐비티내의 가스 중공부에 길이 편차가 근본적으로 존재함을 알 수 있었다.
2. 캐비티내의 충전불균형에 따른 중공부의 변화는 사출량과 수지온도가 증가 할 수록 성형품내의 중공부 길이의 편차 정도가 증가함을 알았다.
3. 중공부의 길이에 영향을 미치는 사출 성형인자를 크기별로 나타내면 사출량, 금형온도, 사출 속도, 수지온도 순이었다.

후 기

본 연구는 부경대학교 BK21 사업의 지원에 의한 것이며, 실험을 위하여 가스장치를 지원해주신 ㈜나라 M&D 에 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Shah, S., "Gas Assisted Injection Molding: a Technology Overview," Journal of Injection Molding Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 96-100, 1997.
2. Stevenson, J. F., "Innovation in Polymer Processing Molding," Hanser Gardner Publication, Inc., Cincinnati, 1996.
3. Lee, S. H. and Son, J. M., "Optimization of Nano Machining Parameters Using Acoustic Emission and the Taguchi Method," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 3, pp. 163-170, 2003.
4. Park, K. M., Park, B. H., Lee, S. H. and Km, C. K., "The Effect of Gas Pressure on the Stiffness of

Products Manufactured with Gas-Assisted Injection,” Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 10, pp.102-109, 2000.

5. Beaumont, J. P. and Young, J. H., “Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems,” Journal of Injection Molding Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 133-143, 1997.
6. Beaumont, J. P., Young, J. H. and Jawoski, M. J., “Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds,” Journal of Injection Molding Technology, Vol. 2, No 2, pp. 47-58, 1998.
7. Edited by J. Avery, “Gas-Assisted Injection Molding,” Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati, 2001.