

가스사출성형인자가 가스사출성형품의 중공부 형성에 미치는 영향

한성렬*, 박태원**, 정영득#

Effects of Processing Variables on the Gas Penetrated Part of Gas-Assisted Injection Molding

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

ABSTRACT

Gas-assisted injection molding (GAIM) process is reducing the injection pressure during mold filling required as well as the shrinkage and warpage of the part and cycle time. Despite of these advantages, this process introduces new parameters and makes the application more difficult because the process interacts between gas and melt during injection molding process. Important GAIM factors that involved in this process include gas penetration design, locations of gas injection points, shot size, gas injection delay time as well as common injection molding parameters, gas pressure and gas injection time. In this study, the experiments were conducted to investigate effects of GAIM process variables on the gas penetration for PP and ABS moldings by changing gas injection point. Taguchi method was used for the design of experiment. When the gas was injected at cavity's center, the most effective factor was shot size. When the gas was injected at cavity's end, the most effective factor was melt temperature. Injection speed was also an effective factor in GAIM process.

Key Words : Gas-assisted injection molding (가스사출성형), Gas penetration(중공부), PP (Polypropylene), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrens), Taguchi method (다구찌 방법)

1. 서론

현재의 플라스틱 제품은 그 활용도가 다양하게 확산되고 있으며, 과거에는 외관목적으로 사용되던 것이 현재에는 제품의 구조적인 목적으로도 많이 사용되고 있다. 이런 이유에서 플라스틱은 금속을 대신할 수 있는 재료로 그 인식이 많이 변화

고 있다. 구조적인 목적의 제품을 성형하기 위해서 현재 많이 사용되는 성형공정중의 하나로 가스사출성형(Gas-Assisted Injection Molding: GAIM)이 있다. 가스 사출성형은 미리 설정된 일정한 양의 플라스틱 수지를 캐비티에 사출 한 후 미충전 상태에서 고압의 질소가스를 주입하여 캐비티의 체적을 보상하고, 냉각시킨 후 질소가스를 제거하여

접수일: 2004년 8월 4일; 게재승인일: 2005년 1월 21일

* 부경대학교 기계공학부 대학원

** 창원기능대학

교신저자, 부경대학교 기계공학부

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

요구하는 제품을 성형하는 것이 일반사출성형과 다르다. 원래의 GAIM은 재료의 이용도를 높이고, 사이클 시간을 단축하며, 살 두께가 두꺼운 성형품의 표면품질을 향상시키기 위하여 개발되었다.^{1,2} GAIM이 적용된 분야로는 승용차, 가전제품, 가구, 건축, 주방기구와 대형잡화 등이며, 사출제품 중 휨 또는 수축의 불량률이 많은 제품에 주로 적용되고 있다.

그러나 GAIM은 gas와 용융수지 사이의 상호작용에 의한 성형이므로 기존의 사출성형에 비하여 가스압력, 가스주입지연시간 및 가스보압시간과 같은 새로운 공정요소가 필요하고, 복잡하고 난해한 적용이 필요한 것이 단점이다. 그리고 중공부의 형성에는 사출량, 사출속도와 가스압력 등의 성형인자가 크게 영향을 미치고 있다.

본 연구에서는 PP(Polypropylene)수지와 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrens)수지를 사용하여 오버플로(overflow)가 있는 금형에서 GAIM의 성형조건에 따라서 중공부의 길이가 어떻게 영향을 받는지를 알아보기 위해 원형 단면 캐비티에 기존의 많은 연구에서와 같이 캐비티 말단에 가스를 주입하였고, 또한, 기존 연구와는 달리 성형품의 중앙에서 가스를 주입하여 성형품 중공부의 변화도 조사하였다. 실험의 체계화와 공정변수의 영향을 알아보기 위하여 다구찌 방법(Taguchi method)을 사용하여 그 결과를 고찰하였다.

2. 가스 사출성형 실험

Fig. 1은 실험에 사용된 사출성형기로서 LG 기계에서 제작한 형체력이 140톤인 직압식 수평형 LGH 140N을 나타낸 것이다.

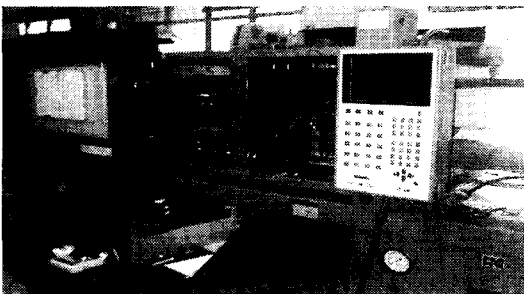


Fig. 1 Injection molding machine

사용된 금형은 Fig. 2과 같이 200× 300× 250mm 크기의 단면이 다른 4개의 캐비티를 가지고 있다. 각각의 캐비티 단면은 원형, 사각형, 원추형 그리고, 타원형이며 각각의 캐비티는 오버플로우를 가지고 있다.

이번 연구에서는 용융수지를 Fig. 2의 오버플로(overflow)가 있는 원형단면의 캐비티에 수지를 완전충전(full shot)하고 캐비티 말단부①와 중앙부②에 가스를 주입하였을 때의 두 가지 경우에 대하여 성형인자에 따른 성형품 내부의 중공부 길이의 변화를 조사하였다. 질소가스를 가압 및 주입하는 장치는 NARA M&D(주)사에서 제작한 것을 사용하였다.

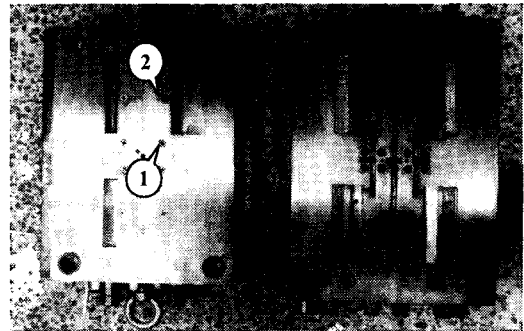


Fig. 2 Experiment mold

Fig. 3은 본 연구에서 실험한 가스성형 샘플들이다. Fig. 4는 실험에 적용한 GAIM 시스템의 구성을 나타낸 것이다. 실험에 사용한 수지는 LG 화학에서 생산한 PP M580과 BASF사에서 생산한 ABS GP22 수지를 사용하였다.

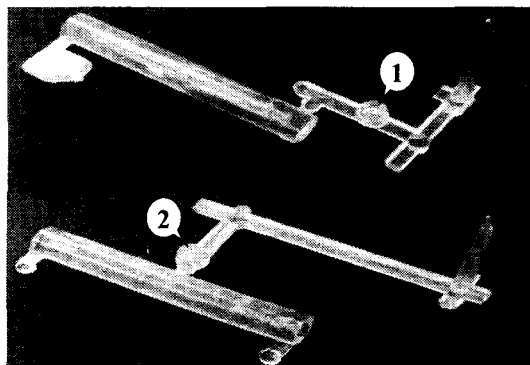


Fig. 3 GAIM samples

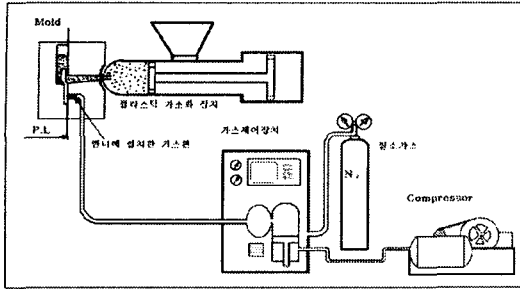


Fig. 4 Schematic diagram of GAIM system

3. 실험계획법

3.1 다구찌 방법

실험계획법은 여러 가지 공정변수와 각각의 변수들 사이의 상호작용을 효과적으로 분석하는 방법으로 본 연구에서는 다구찌 실험계획법을^{3,4} 사용하여 성형조건 중 성형품의 중공부에 가장 영향을 많이 미치는 인자를 구하고자 하였다. S/N(signal & noise)비에는 망목특성, 망대특성, 막소특성과 같이 세가지로 분류할 수 있다. 이번 연구에서는 성형품 내의 중공부가 크면 성형품 전체의 무게가 감소함으로 망소특성 분석을 사용하였다. 식(1)은 S/N 비의 정의를 나타낸 것이며, 식(2)은 S/N 비 계산방법 중에서 망소특성을 나타낸 식이다.

$$S/N = \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}} \quad (1)$$

망소특성 : 목표값이 작을수록 좋은 경우

$$S / N = - 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

여기서, y_i 는 실험 데이터 값이며, n 은 실험 회수를 말한다. S/N 비가 크다는 것은 각각의 인자가 잡음에 대하여 강건함을 의미한다. 원래 다구찌 실험계획법의 목적은 영향력이 큰 인자를 찾아낸 후 그 인자들의 영향력을 최대로 하여 잡음의 영향력을 최소화하고 최적의 인자를 도출함에 있으나, 본 연구에서는 인자별 영향력만 확인한 후 성형에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 인자상호간의 영향을 고려하지 않은 것은 실험의 간략화를 위함이었다.

3.2 가스사출성형인자와 직교배열표

성형품의 중공부에 영향을 줄 것으로 예상되는 성형인자는 금형온도, 수지온도, 사출속도, 사출량, 가스압력, 가스주입시간, 가스주입지연시간과 가스유지시간으로 정하고, 적절한 수준을 선정하기 위하여 수차례 예비성형을 수행하여 적절한 수준(level)값을 선정하였다. Table 1은 인자와 각각의 수준값을 나타낸 것이다. 특히, 수지온도는 수지제조업체에서 제공한 적정온도를 기준으로 $\pm 10^\circ\text{C}$ 값을 수준으로 채택하였다.

Table 1 Factors and levels used in the experiment

Factors	Levels			
	1	2	3	
A. Mold temperature (°C)	50	60	70	
B. Melt temp. (°C)	PP	190	200	210
	ABS	240	250	260
C. Injection speed (%)	50	60	70	
D. Shot size (mm)	8	9	10	
E. Gas pressure (kg/cm ²)	10	15	20	
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	

$L_{27}(3^8)$ 직교배열표를 작성하고 27가지 실험에 대하여 각각 3회의 반복 실험을 수행하였다. 실험계획에 의하여 성형한 샘플들의 중공부의 길이를 측정하고자 하였으나, 많은 샘플들에서 명확한 중공부의 측정이 어려워 샘플들의 무게를 측정 한 후 그 값으로 중공부의 크기를 간접적으로 나타내었다. 즉, 성형품의 무게가 무거울수록 성형품 내부의 중공부가 적고, 가벼울수록 중공부의 크기가 큰 것을 뜻한다. 측정치는 통계분석 소프트웨어 MINITAB를 사용하여 성형품에 영향을 주는 주요 인자를 분석하였다.

지금까지 기술한 실험계획법을 이용한 연구의 순서를 요약하면 Fig. 5 과 같다.

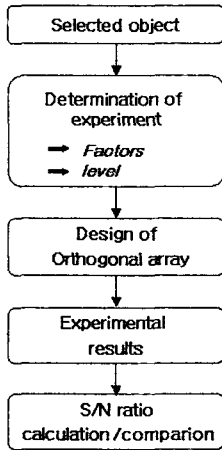


Fig. 5 Design of experiment using Taguchi method

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 PP 성형품의 중공부

4.1.1 중앙부 가스 주입시

직교배열표에 따라 성형품 중앙부에 가스를 주입시켰을 때 성형에 있어서 중공부 형성에 영향을 미치는 인자의 영향도는 Fig. 6 와 같이 나타났다. 영향을 크게 주는 순서는 사출량(D), 사출속도(C), 수지온도(B), 금형온도(A)의 순으로 나타났다. 그러나 가스와 관련이 있는 인자(E, F, G, H)들은 중공부의 형성에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었다.

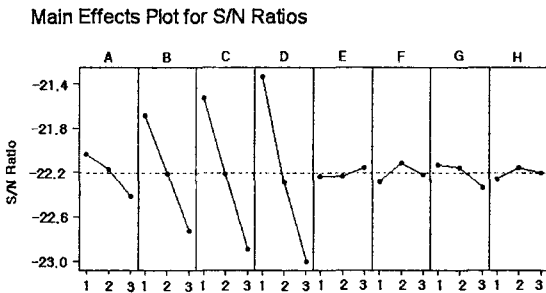


Fig. 6 Effects of factors on the molding weight

Fig. 7 은 성형품 무게에 대한 사출속도의 관계를 사출량별로 나타낸 그래프이다. 사출속도와 사출량이 증가할수록 성형품의 중량이 증가하였다. 사출속도가 증가하면 사출속도가 낮을 때와 비하여 많은 양의 수지가 충전되므로 성형품의 무게가 증가하게 되었다. 그러므로 체적이 작은 제품에서 중공부를 크게 하려면 사출속도와 사출량을 감소시키는 것이 더 유리할 것으로 판단된다.

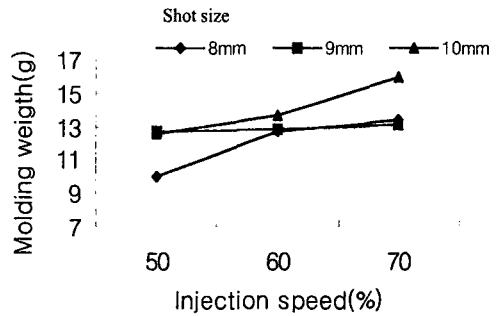


Fig. 7 Molding weight versus injection speed

4.1.2 말단부 가스 주입시

성형품의 말단부에 가스를 주입했을 경우는 Fig. 8 와 같이 중공부 형성에 큰 영향을 주는 인자는 수지온도(B), 사출속도(C), 가스주입지연시간(G), 사출량(D) 순이었다. 중앙부 가스주입시와는 달리 가스주입지연시간이 주요인자로 나타났는데 이는 캐비티에 주입된 용융수지의 고화정도가 중공부 형성에 영향을 미치는 것을 의미한다고 판단 된다.

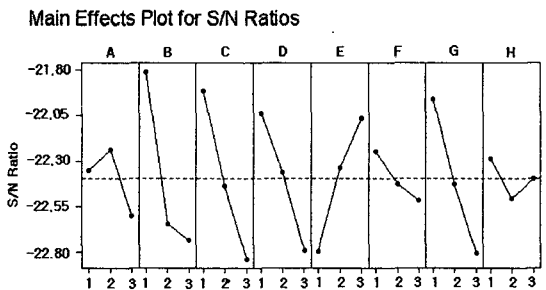


Fig. 8 Effects of factors on the molding weight

Fig. 9 은 성형품 무게에 대한 사출속도의 관계를 수지온도별로 나타낸 그래프이다. 사출속도와 수지온도가 낮을 수록 성형품의 무게가 가벼웠다. 중앙에서 가스를 주입했을 때보다 말단에서 가스를 주입했을 때 성형품 중공부 크기가 감소하였다. 이와 같은 현상은 주입가스가 중공부를 형성하기 위하여 캐비티 밖으로 밀어내야 할 용융수지량이 가스를 중앙에서 주입했을 때 보다 말단에서 주입했을 경우에 더 많은 양의 수지를 밀어내야 하므로 말단에서 가스를 주입했을 경우에 상대적으로 주입가스가 캐비티 속의 용융수지로부터 받는 저항이 큼으로 발생한다고 생각된다.

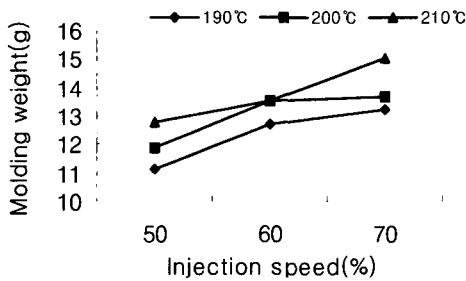


Fig. 9 Molding weight versus injection speed

4.2 ABS 성형품의 중공부

4.2.1 중앙부 가스 주입시

Fig. 10 는 ABS 를 대상으로 성형품 중앙부에 가스를 주입시켰을 때 중공부의 크기에 가장 큰 영향을 주는 변수로는 사출량(D), 수지온도(B), 사출속도(C), 금형온도(A)의 순서로 나타났다.

Main Effects Plot for S/N Ratios

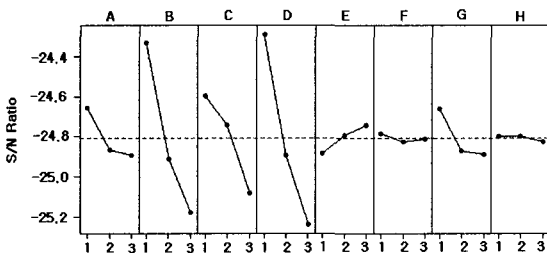


Fig. 10 Effects of factors on the molding weight

Fig. 11 은 성형품 무게에 대한 수지 온도의 관계를 사출량별로 나타낸 그래프이다. 수지온도가 증가할수록, 사출량이 증가할수록 성형품의 중량이 증가하는 하는 경향을 보였다. 성형품의 무게는 약간의 차이가 있지만 전체적인 경향은 PP 성형품의 경우와 유사한 경향을 보였다.

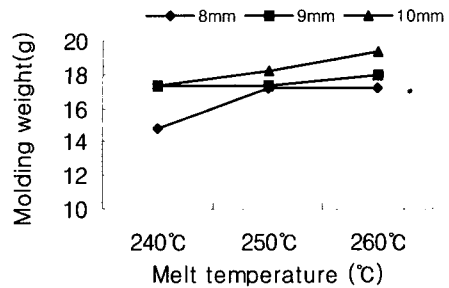


Fig. 11 Molding weight versus melt temp

4.2.2 말단부 가스 주입시

Fig. 12 은 성형품 말단부에 가스를 주입시켰을 때 성형품의 중공부의 크기에 가장 큰 영향을 주는 변수는 수지온도(B), 사출량(D), 사출속도(C), 금형온도(A)의 순서로 나타났다.

Main Effects Plot for S/N Ratios

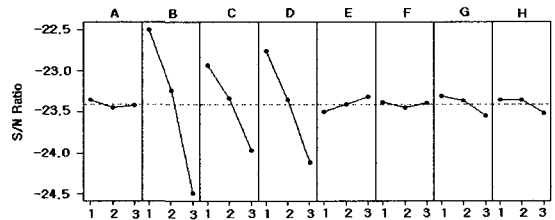


Fig. 12 Effects of factors on the molding weight

Fig. 13 은 성형품 무게에 대한 사출량의 관계를 수지온도별로 나타낸 그래프이다. 사출량과 수지온도가 증가할수록 무게가 증가하는 경향을 보였다. 수지온도가 높아지면 용융수지의 점도가 낮아지고 금형 내에서 유동이 더욱 원활하게 일어난다. 따라서 사출량과 수지온도가 높을수록 캐비티

내에 충전량이 많아져서 성형품의 무게가 증가한다.

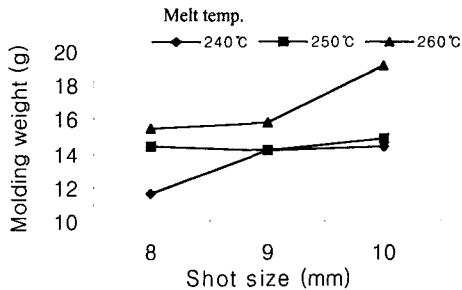


Fig. 13 Molding weight versus shot size

4.3 수지별 영향인자 비교

각 실험 결과의 분석을 통하여 얻은 영향인자를 비교 정리하면 Table 2 와 같다. 두 수지 모두 중공부에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 사출량과 수지온도로 나타났다.

Table 2 Rank of effective factors for each experiment

Rank		1	2	3
PP	Center	D	C	B
	End	B	C	G
ABS	Center	D	B	C
	End	B	D	C

여기서, D : 사출량(shot size)

B : 수지온도(melt temperature)

C : 사출속도(injection speed)

G : 가스주입지연시간(gas delay time)

주입위치별로 보면 중앙에서 가스를 주입했을 때에는 사출량이, 말단에서 가스를 주입했을 때에는 수지온도가 가장 큰 영향을 미쳤다. 사출량, 수지온도 그리고, 사출속도는 캐비티 충전량에 직접적 영향을 주는 인자들이다. 특히 사출속도는 금형내를 유동하는 용융수지가 금형벽면과 마찰하는데 그 마찰로 인한 마찰열이 수지의 점도를 조절하는 영향^{5,6} 을 주는 것으로 판단된다. 즉, 사출속도가 빨라질수록 러너 내에서 발생하는 수지와 금형벽면 사이의 마찰열이 더 증가하면서 수지의 점도가

낮아져 캐비티 내로 수지가 더욱 많이 충전되는 경향이 있다. 따라서 사출속도는 캐비티 충전량에 간접적으로 영향을 미치는 인자로 작용한다고 생각된다. 그리고 ABS 수지와는 달리 PP수지의 경우 말단에서 가스를 주입했을 때 세 번째 영향인자로 가스주입지연시간이 영향인자로 나타났는데, 이는 PP 수지의 적정 용융온도가 ABS 수지의 적정 용융온도보다 약 50°C 낮기 때문에 캐비티 내에서의 PP의 용융수지 고화층의 생성이 ABS의 용융수지 고화층의 생성보다 쉽게 이루어지기 때문이다.

5. 결론

PP 와 ABS 수지를 대상으로 가스사출성형시 가스 주입위치에 따라 생성된 중공부 크기의 변화에 대하여 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) PP 및 ABS 수지의 소형제품을 가스사출성형할 때 성형품 중앙에서 가스를 주입했을 때 중공부의 크기에 가장 큰 영향을 미치는 성형인자는 사출량, 말단에서 가스를 주입했을 경우에는 수지온도로 나타났다.
- (2) 성형조건 중 사출속도가 빨라지면 러너 내에서의 수지와 금형면 사이의 마찰열로 수지 점도가 낮아져 수지의 충전량이 많아 짐을 알 수 있었다.
- (3) PP 수지에서 캐비티 말단에 가스를 주입했을 경우 ABS 와는 다르게 가스주입지연시간이 중공부 형성의 영향인자로 작용하였다.

후 기

본 연구는 부경대학교 BK21 사업의 지원에 의한 것이며, 실험을 위하여 가스장치를 지원해 주신 ㈜태성정밀에 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌

1. Shah, S., "Gas assisted injection molding: a technology overview," J. Injection Molding Technol. 1 (2), pp. 96-100, 1997.
2. Barton, K. S. and Türng, L. S., "General design guidelines for gas-assisted injection molding using a CAE tool," ANTEC Technical Paper, pp. 421-425,

1994.

3. Lee, S. H. and Son, J., "Optimization of nano machining parameters using acoustic emission and the Taguchi method," J. of KSPE, Vol. 21, No. 3, pp. 163-170, 2004.
4. Kwak, J. S. and Ha, M. K., "Optimization of Grinding Conditions and Prediction of Surface Roughness Using Taguchi Experimental Design," J. of KSPE, Vol. 21, No. 7, PP. 37-45, 2004.
5. Beaumont, J. P., Young, Jack H., "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner System," Journal of Injection Molding Technology, Vol 1, No.3, pp. 133-143, 1997.
6. Je, D. G. and Jeong, Y. D., "Filling Imbalance in 3 Plate Type Injection Molds with Multi-Cavity," J. of KSPE, Vol. 21, No.6, pp. 117-121, 2004.