

Feedstock 종류에 따른 금속분말사출성형 유동특성 분석을 위한 실험적 연구

정우철[#], 허영무¹, 신광호¹, 윤길상¹, 장성호¹, 이정원¹

An Experimental Study on Rheological Characteristics of Metal Injection Molding by Feedstock Material

W. C. Jung, Y. M. Heo, K. H. Shin, G. S. Yoon, S. H. Chang, J. W. Lee

Abstract

In recently industry, with the miniaturization and high-precision of machine part, the development of mold manufacturing technology for mass production is accompanied by the development of new industrial field such as IT, NT and BT. The metal injection molding(MIM) process combines the well-known thermoplastic injection and powder metallurgy technologies to manufacture small parts for IT, NT, BT industrial. In this study, the bar type MIM mold with a 800um thickness is made for influence of feedstock material and injection parameter through an experiment.

Key Words : Powder Injection Molding, Metal Injection Molding, MIM Mold, DOE, Taguchi Method

1. 서 론

현대 사회에서는 기계부품의 소형화 고정밀화가 추구됨에 따라 관련 제품의 제작기술의 발전도 동반되고 있는 추세이다. IT, BT, NT 산업의 발달과 함께 새로운 형태의 제품군이 탄생하고 있으며, 초미세 형상을 포함한 기능성 제품의 수요가 급증하고 있다[1]. 새로운 수요에 발맞추어 필요한 부품, 제품의 확산을 위해서는 대량 생산용 틀인 금형 기술의 확보 없이는 불가능하고, 관련 기반기술 확보 없이는 관련 분야의 발전 또한 제약을 받을 수 밖에 없다[2]. 이러한 부품의 요구사항을 반영하기 위해 고분자 수지를 활용하여 부품을 제작하기도 하고, 최근에는 분말사출(powder injection molding)공정이 부품 생산에 적용되고 있다. 분말사출성형은 금속 혹은 세라믹스 분말과 유기재료로 만들어진 결합제(binder)를 혼합한 후

사출성형법을 이용하여 성형을 하고, 성형된 제품을 소결하여 금속제품이나 세라믹스 제품을 제조하는 성형기술이다[3].

이는 난가공성 소재의 대량 생산 기술로 복합 3차원 형상 부품의 대량생산 가능하며, 분말유동의 제한이나 압력 전달의 어려움으로 인해 통상적인 분말야금 공정으로 얻을 수 없는 복잡형상 제품을 생산할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이러한 분말사출 성형은 사용 재료에 따라 금속 분말사출성형(metal powder injection molding), 세라믹 분말사출성형(ceramic powder injection molding) 등으로 분류 된다. 하지만 분말사출성형은 일반 플라스틱 사출성형과는 달리 고점도, 고마찰 특성 등 Feedstock 특성으로 인하여 성형 가능 범위가 매우 제한적인 특성을 갖고 있다[4]. 따라서 본 연구에서는 마이크로 MIM 유동특성 분석을 위해 미세두께를 포함하고 있는 마이크로 제품을 설계하였고, 이를 성형하기 위한 금형을 설계/제작 하였다.

1. 한국생산기술연구원 금형·성형기술연구부

교신저자: 한국생산기술연구원 금형·성형기술연구부,

E-mail: bogus2@kitech.re.kr

제작된 금형을 이용하여 성형 실험을 수행한 뒤, 다구찌법을 적용하여 성형 인자별 영향력과 Feedstock 재료에 따른 성형특성을 규명하는데 목적이 있다.

2. 성형품 설계 및 금형 설계/제작

2.1 성형품 설계

본 연구에서 제작한 MIM용 미세사출 성형 제품은 800 μ m의 두께를 갖도록 하였으며, 폭 5mm, 길이 120mm로 설계 하였다. 설계된 제품 형상은 Fig. 1에 나타내었다. 유동시스템의 설계는 일반 플라스틱 금형 설계 기준에 따라 설계를 수행하였다. 게이트의 두께는 제품 두께의 50%인 400 μ m가 되도록 설계하였고, 게이트 길이는 제품 두께와 동일한 800 μ m로 설계 하였다. 설계된 유동시스템(delivery system)의 형상은 Fig. 2에 도시하였다.

2.2 금형설계 및 제작

본 연구에서 설계한 금형은 L/T가 매우 큰 제품 형상을 고려하여 일반적인 금형에서 적용되는 취출 방식인 이젝터 핀(ejector pin)을 적용하지 않고, 제품 바닥면 전체가 플레이트(plate) 형태로 이젝터 핀 역할을 할 수 있도록 설계 하였다. MIM 성형 특성상 고온의 금형 온도를 필요로 하며, 이를 반영하기 위해 히팅채널(heating channel)을 코어 플레이트 및 캐비티 플레이트에 반영하였다. 설계된 금형의 조립도 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 설계된 내용으로 금형을 제작하였으며, 몰드베이스는 S55C를 적용하였고, 사출압력의 영향을 받는 금형 부품인 캐비티, 코어 등은 KAK80재질을 활용 하여 금형을 제작하였다.

3. 실험방법 및 실험

3.1 다구찌법

젠이찌 다구찌(genichi taguchi)에 의해 제안되어 제품공정설계 및 성능 개선에 적용되고 있는 다구찌법은 기존의 실험 계획법과는 달리 어떤 실험의 최적조건을 결정하는 기준을 특성치의 산포로 정의 하며, 특성치의 산포가 적은 실험 조건을 최적 조건으로 결정한다. 특성치의 산포는 제어가 어려운 잡음인자에 의해 발생하며 S/N비(signal/noise ratio) 값에 의해 산포의 정도를 알 수 있다. S/N비는 특성치에 따라 일정한 목표값을 갖

는 망목특성(normal-the-best), 작으면 작을수록 좋은 값인 망소특성(smaller-the-better), 크면 클수록 좋은 값인 망대특성(larger-the-better)으로 정의 한다[5-7].

3.2 인자 및 수준 선정

실험에 있어서 데이터 산포에 영향을 끼칠 수 있는 무수히 많은 원인들 중에 실험에 직접 취급되는 요인을 인자(factor)라고 하며, 실험을 하기 위한 인자의 여러 가지 조건을 인자의 수준(level)이라 한다. 본 연구에서 선정한 제어 인자는 사출 성형시 사출제품의 유동거리에 직접적인 영향을 미치는 사출속도(injection speed), 수지온도(melt temperature), 금형온도(mold temperature), 보압력(packing pressure) 등 총 4가지를 선정 하였다. 선정된 인자의 수준은 적용된 feedstock의 성형가능 구간을 고려하여 각 인자당 등 간격으로 3수준으로 선정하였다. Table 1에는 본 연구에서 적용한 인자와 각 인자의 수준을 보여주고 있다.

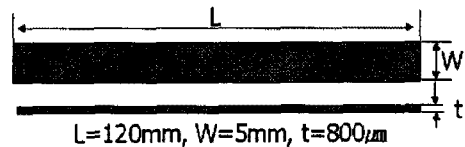


Fig. 1 Shape of experimental product

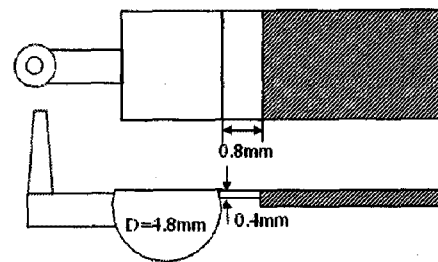


Fig. 2 Design of delivery system

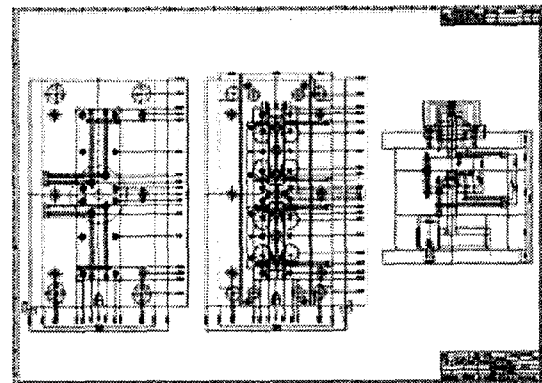


Fig. 3 Drawing of MIM test mold

Table 1 Determine of factor and level

Factor		Level		
		1	2	3
A	Injection Speed(mm/sec)	116.9	104.6	92.3
B	Melt Temp(℃)	170	180	190
C	Mold Temp(℃)	110	115	120
D	Packing Pressure(MPa)	214.7	192.1	169.5

Table 2 Orthogonal array table of L₉(3⁴)

No.	Column			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

3.3 직교배열표

직교배열표는 실험계획법을 사용할 경우 인자의 수와 각 인자별 수준 수에 따라 적합한 실험 회수와 조건을 배열한 표로서 적은 수의 실험으로 큰 효과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 L9(34) 직교 배열표를 사용하였으며, 이를 Table 2에 정리하였다.

3.4 실험장치 및 실험방법

실험은 Feedstock 재료 및 성형조건에 따른 유동거리의 차이를 확인하기 위하여 수행 하였으며, 사용된 Feedstock 은 스테인레스스틸계 BASF Catamold© 316LA 와 철계 FN08 을 사용하였다. 실험에 사용된 사출기는 형체력(clamping force)은 80ton, 최대 사출압력은 226 MPa, 최대 유동률 99 cm³/sec 인 일본 Nissei FN100-12A 사출성형기를 이용하였다. 또한 실험 순서에 따른 오차를 최소화하기 위해 Table 2의 실험 조건에 대해서 실험 순서를 무작위로 선정하여 실행하였으며, 각 조건당 15 회의 성형을 수행한 뒤, 최초 5 회의 제품은 폐기 하였고, 10 개의 제품을 수거 한 뒤 유동거리를 측정하였다.



Fig. 4 Experimental equipment and molding

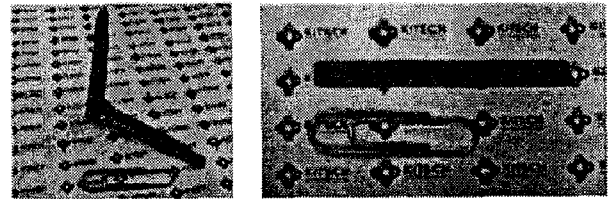


Fig. 5 Shape of green part

4. 실험결과

본 연구에서는 망대특성의 S/N 비를 식(1)과 같이 계산 하고 이 S/N 비에 따라 인자들의 영향력을 확인 하였다. 여기서 i 는 특성치이며 n 은 실험 반복횟수이다. 특성치의 산포는 S/N 비의 값이 클수록 줄어들기 때문에 S/N 비의 값이 가장 큰 실험 조건을 최적 조건으로 결정하게 된다. 본 연구에서는 다구찌법에 대한 실험 결과 분석은 Minitab R14 를 사용하였다.

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

4.1 316LA 실험결과 및 분석

Table 3 에는 실험결과인 각 조건별 유동거리와 SN 비를 나타내었다. L 은 각 조건당 10 개의 성형품 유동거리 평균값이고, S/N 비는 식(1)을 이용하여 계산된 결과이다.

Fig. 6 은 인자들의 각 수준 수에 대한 선택된 특성의 평균을 보여준다. 이 반응테이블은 영향의 관련된 크기를 비교하는 Delta 통계치에 기초를 둔 순위를 포함한다. 이 Delta 통계치는 각 인자에

대한 제일 큰 평균치에서 제일 작은 평균치를 뺀 값이다. 순위는 Delta 값에 기초하여 할당되는데, 순위 1은 가장 높은 Delta 값이 할당되며, 순위 2는 두 번째 높은 Delta 값이 할당 된다. Fig. 6에서 S/N 값이 가장 큰 값이 각 인자별의 최적 조건이 된다. 316LA를 사용하였을 경우 사출속도 104.6 mm/sec, 수지온도 190℃, 금형온도 120℃, 보압력 192.1MPa 일 경우 최대 유동거리를 예측 할 수 있다. 예측된 SN 비는 35.43, 유동거리는 57.78mm로 실험 최대 유동거리보다 4% 증가한 결과로 계산 되었다. Fig. 7은 S/N 비에 가장 큰 영향을 주는 인자를 구분하기 위해 S/N 비에 대한 반응 테이블과 주효과점들을 확인 할 수 있다. 316LA를 사용하여 사출성형을 하였을 경우 S/N 비에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 수지온도, 금형온도, 사출속도, 보압력 순으로 판단 할 수 있다.

Table 3 Experimental result of 316LA

No.	Column					
	A	B	C	D	L(mm)	S/N ratio
1	1	1	1	1	37.35	31.40
2	1	2	2	2	52.65	34.33
3	1	3	3	3	55.15	34.80
4	2	1	2	3	50.40	33.88
5	2	2	3	1	50.30	33.93
6	2	3	1	2	48.50	33.70
7	3	1	3	2	48.75	33.71
8	3	2	1	3	40.50	32.13
9	3	3	2	1	52.20	34.25

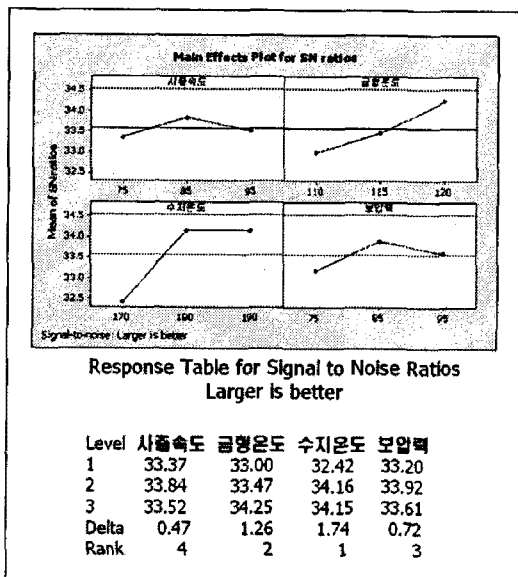


Fig. 6 Main effect plot for SN ratio(316LA)

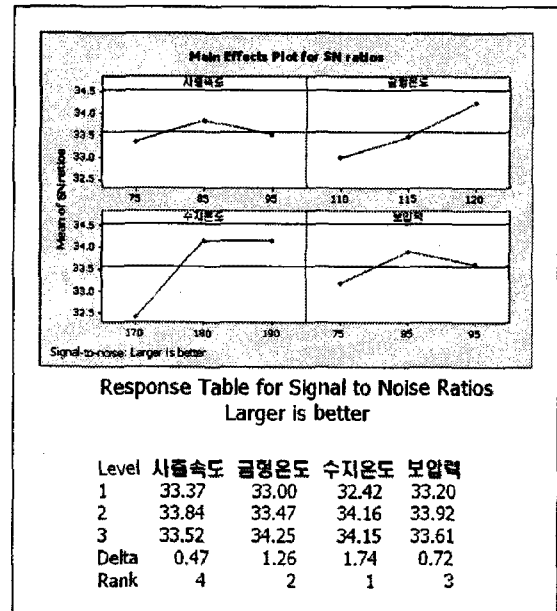


Fig. 7 Main effect plot for means(316LA)

4.2 FN08 실험결과 및 분석

Table 4에는 FN08 실험결과인 각 조건별 유동거리와 SN 비를 나타내었다. Fig. 8에서 확인 할 수 있듯이 FN08의 경우 사출속도 116.9mm/sec, 금형온도 120℃, 수지온도 190℃, 보압력 214.7MPa 인 경우 최대 유동거리를 예측 할 수 있다. 이는 실험 조건중 3번 조건에 해당하는 조건으로 SN 비 37.80, 유동거리 78.05mm로 계산되었다. Fig. 9에서는 FN08을 사용 하였을 경우 S/N 비에 가장 큰 영향을 끼치는 인자의 순서를 보여주고 있다. 실험결과 유동거리에 영향을 끼치는 인자의 영향력은 수지온도, 사출속도, 금형온도, 보압력의 순의 결과를 나타내었다.

Table 4 Experimental result of FN08

No.	Column					
	A	B	C	D	L(mm)	S/N ratio
1	1	1	1	1	45.50	33.11
2	1	2	2	2	66.90	36.44
3	1	3	3	3	78.05	37.80
4	2	1	2	3	60.40	35.59
5	2	2	3	1	69.95	36.85
6	2	3	1	2	47.60	33.3
7	3	1	3	2	65.70	36.33
8	3	2	1	3	45.55	33.07
9	3	3	2	1	60.25	35.56

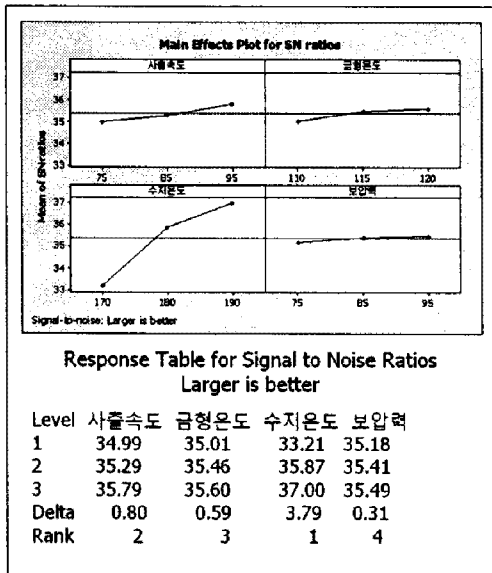


Fig. 8 Main effect plot for SN ratio(FN08)

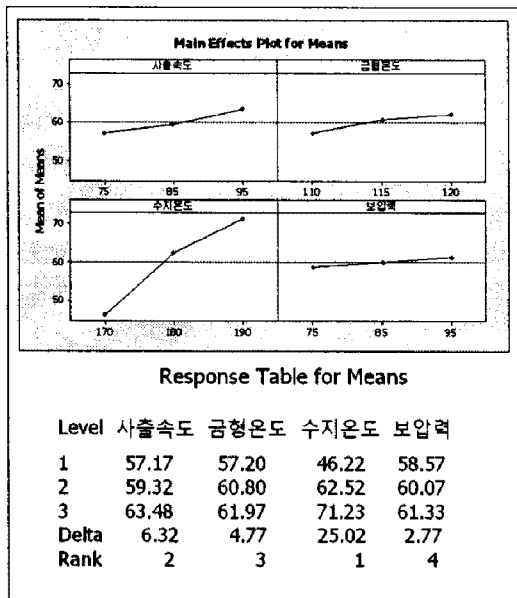


Fig. 9 Main effect plot for means 316LA

5. 결론

본 연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 사출성형 공정 인자에 따른 MIM유동 특성을 분석하기 위해 유동특성 분석용 시편 형상을 설계 하였고, 각 시편의 유동시스템을 설계 하였다.

(2) 설계된 제품을 성형하기 위한 MIM 시편 성형용 금형을 설계 제작 하였으며, 제작된 금형을 활용하여 실험을 수행하였다.

(3) 사출속도, 수지온도, 금형온도, 보압력 등을 인자로 선정하였으며, 각 인자에 대한 수준은 Feedstock의 성형가능 범위 내에서 등간격으로 각각 3수준으로 선정하였다.

(4) 316LA Feedstock의 경우 사출성형시 S/N비에 가장 큰 영향을 끼치는 인자는 수지온도, 금형온도, 보압력, 사출속도 순으로 결과를 나타내었다.

(5) FN08 Feedstock의 경우 사출성형시 S/N비에 가장 큰 영향을 끼치는 인자는 수지온도, 사출속도, 금형온도, 보압력 순의 결과를 보였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 주관 전략기술개발사업 “마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반 기술개발”의 결과로써 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 정우철, 허영무, 신광호, 윤길상, 장성호, 김무연, 2006, 스파이럴 형상 미세사출품의 성형 인자에 대한 실험적 연구, 한국소성가공학회지, 제15권, 제1호, pp. 65~70.
- [2] 허영무, 신광호, 윤길상, 정우철, 2004, 기능성 고분자 성형용 마이크로금형 시스템, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 267~270.
- [3] T. Barriere, J.C. Gelin and B. Liu, 2002, Improvin mould design and injection parameters in metal injection moulding by accurate 3D finite element simulation, Journal of materials processing technology, Vol 125~126, pp.518~524
- [4] 조영화, 2002, 금속분말사출성형, 한국과학기술정보원
- [5] 박성현, 1998, 현대실험계획법, 민영사.
- [6] 박성현, 1990, 응용실험계획법, 영지문화사.
- [7] 백운봉, 1989, 실험계획법, 박영사.