

# 스파이럴 형상 미세사출품의 성형 인자에 대한 실험적 연구

정우철<sup>#</sup> · 허영무<sup>1</sup> · 신광호<sup>1</sup> · 윤길상<sup>1</sup> · 장성호<sup>1</sup> · 김무연<sup>1</sup>

## An Experimental Study on Molding Factor for Spiral Type Micro Injection Product

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

(Received September 9, 2005)

### Abstract

In recent 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 technology such as IT and BT. In this study, the spiral type injection mold with a 200  $\mu\text{m}$  thickness is made for investigating the influence of injection molding parameter and the flow length is measured through an experiment. Besides, Taguchi method is used in this experiment and the obtained data are analyzed using ANOVA method.

**Key Words** : Micro Injection Mold, Molding Factor, Taguchi Method, ANOVA

## 1. 서 론

현대 산업에서는 기계부품의 소형화, 고정밀화가 추구됨에 따라 제작을 위한 가공기술도 발전되어 왔다. 또한, 세계시장 및 국내의 경우도 마찬가지로 IT, BT, NT 산업의 발달과 함께 새로운 형태의 제품군이 탄생하고 있으며, 초미세 형상을 포함한 기능성 제품의 수요가 급증하고 있는 추세이다. 이러한 수요에 발맞추어 필요한 부품의 확산을 위해서는 대량 생산용 틀인 금형 기술의 확보 없이는 위 분야의 발전에 제약을 받을 수밖에 없는 실정이다[1]. 더욱이 마이크로 금형의 제작 및 이를 이용한 성형기술을 동시에 개발하지 않고서는 마이크로 제품 및 부품의 대량 생산을 위한 공정을 완성할 수 없다.

본 연구에서는 미세 두께를 가지고 있는 스파이럴 금형의 제작과 사출성형시 성형성에 영향을 미치는 제어인자를 선정하여 유동거리를 특성값

으로 하는 망대특성의 S/N 비와 분산분석을 이용하여 인자별 영향력과 유동거리와의 관계를 규명하였다. 또한 각각의 미세사출 실험에 앞서 CAE를 이용한 유동거리를 예측하였고, 이를 실험결과와 비교하였다.

## 2. 설 계

### 2.1 성형품 설계

본 연구에서 적용한 미세 사출 성형품은 Fig. 1에서와 같이 스파이럴 형태로 설계하였고, 두께  $t=200\mu\text{m}$ 로 하였다. 스파이럴 금형을 이용하여 제품을 성형한 후 유동길이를 측정하면, 그 수치로 제품의 성형성과 성형 작업의 안정도를 간접적으로 측정할 수 있다. 또한 스파이럴 금형을 이용한 성형은 유로의 형상, 치수와 유동길이 사이에 일정한 수식관계를 가지고 있기 때문에 유동도를 일원화할 수 있는 장점을 가지고 있다.

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀  
# 교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀  
E-mail : bogus2@kitech.re.kr

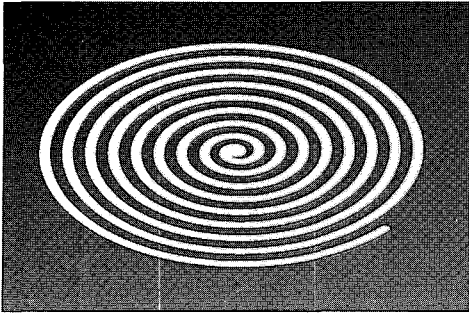


Fig. 1 Design of spiral-type product

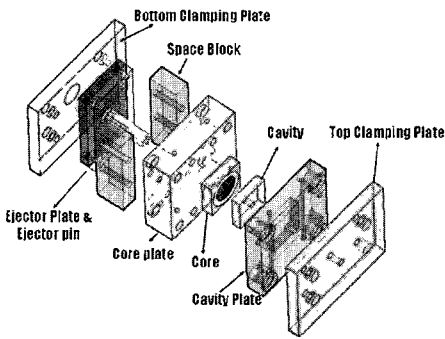


Fig. 2 Design of micro mold system

Table 1 Material Property of NAK80

E	200.58 GPa
$\nu$	0.2915
$\sigma_y$	980.6 ~ 1127.7 MPa
$\sigma_u$	1176 ~ 1323.8 MPa

## 2.2 마이크로 금형 설계

본 연구에서 제작한 마이크로 금형은 Fig. 2 에  
서와 같이 케비티, 코어, 클램핑 플레이트, 서포트  
플레이트, 이젝터 플레이트 등으로 구성되어 있다.  
또한, 성형성을 원활하게 하고자 히팅채널을 추가  
하여 금형의 온도를 제어 할 수 있도록 설계하였  
다.

## 3. 구조해석 및 금형제작

### 3.1 경계조건 및 물성치

설계된 마이크로 금형과 사출 성형기의 조건  
등을 감안하여 Fig. 3과 같이 구조해석을 위한 경  
계조건을 결정하였다. 사출 성형시 수지에 의한  
압력을 받는 부분은 스카이라일 형상부에 수지의

최대압력인 120MPa이 작용하며, 코어 바닥면의  
금형 구조에서 알 수 있듯이 코어의 바닥면은 서  
포트 플레이트에 고정된 서포트 코어에 의해 지  
지되므로 z 축을 고정하였다. 또한 금형의 플레이  
트와 닿는 옆면 3축을 모두 고정하여 코어 부분  
의 회전 방향을 고정하였다. 금형 재료인 NAK80  
의 물성치는 Table 1과 같다.

### 3.2 구조해석 결과

#### 3.2.1 변형해석 결과

변형 해석 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 그림에  
서 알 수 있듯이 변형이 가장 크게 발생한 곳은  
코어의 중심부분이며, 최대 변형량이  $6.36\mu\text{m}$ 가 되  
는 것으로 예측되었다. 마이크로 금형 성형품의  
크기를 감안하면( $t=200\mu\text{m}$ ) 상당히 큰 오차라 할  
수 있지만 마이크로 금형에 수지가 유입되면서  
작용하는 압력은 코어 형상의 전면적에 최대 응  
력이 작용하는 것이 아니기 때문에 실제 금형에  
가해지는 압력은 해석시 부여한 최대 압력에 비  
해 감소할 것이며, 변형 또한 비례적으로 감소 할  
것으로 판단된다.

#### 3.2.2 응력해석 결과

해석결과 최대 응력은 금형 코어의 윗면과 바  
다면의 중앙부분에 나타났으며, 이는 코어의 중앙  
부에 응력이 집중되는 것으로 판단된다. 코어의  
중앙부의 최대 유효응력은 87MPa 로 금형 재료인  
NAK80의 항복응력에 비해 작기 때문에 설계된  
금형은 사출에 있어 구조적으로 문제가 없음을  
확인하였다.

#### 3.2.3 금형제작

제작된 금형을 Fig. 5에 나타내었으며, 미세 크  
기인 사출품의 형상을 고려하여 원활한 취출을  
위하여 22개의 이젝터 핀을 설치하였다. 또한 금  
형온도 조절을 위하여 히팅 카트리지 및 열전대  
를 설치하여 제어부에 연결하였다.

## 4. 직교배열표 및 설계 변수의 선정

### 4.1 다구찌법

겐이찌 다구찌(genichi taguchi)에 의해 제안되어  
제품공정설계 및 성능 개선에 적용되고 있는 다  
구찌법은 기존의 실험 계획법과는 달리 어떤 실  
험의 최적조건을 결정하는 기준을 특성치의 산포

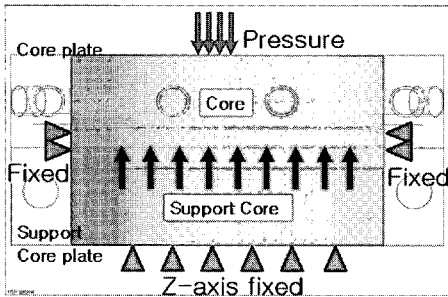


Fig. 3 Boundary & loading conditions

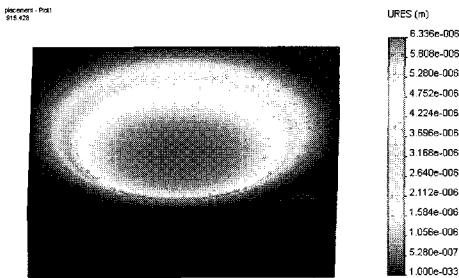


Fig. 4 Result of structural analysis(displacement)

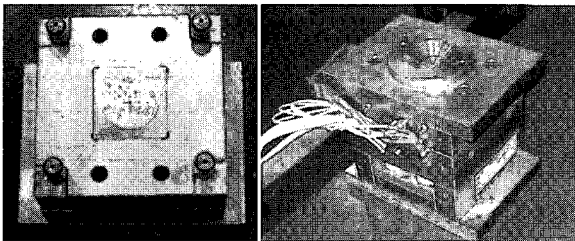


Fig. 5 Bottom mold and heating system

로 정의 하며, 특성치의 산포가 적은 실험 조건을 최적 조건으로 결정한다. 특성치의 산포는 제거가 어려운 잡음인자에 의해 발생하며 S/N 비(signal/noise ratio) 값에 의해 산포의 정도를 알 수 있다. S/N 비는 특성치에 따라 일정한 목표값을 갖는 망목특성(normal-the-best), 작으면 작을수록 좋은 값인 망소특성(smaller-the-batter), 크면 클수록 좋은 값인 망대특성(larger-the-batter)으로 정의 한다[2~5].

#### 4.2 인자와 수준의 결정

실험에 있어서 데이터 산포에 영향을 준다고

생각되는 여러가지 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 사출압력(A), 수지의 온도(B), 금형온도(C), 유동률(D)를 선정하였다. Table 2 는 본 연구에서 사용한 인자와 각 인자의 수준을 나타낸다.

#### 4.3 직교배열표

직교배열표는 실험계획법을 사용할 경우 인자의 수와 각 인자별 수준 수에 따라 적합한 실험회수와 조건을 배열한 표로서 적은 수의 실험으로 큰 효과를 얻을 수 있다[6]. 본 연구에서는  $L_9(3^4)$  직교 배열표를 사용하였으며, 이를 Table 3에 나타내었다.

#### 4.4 실험장치 및 방법

실험은 성형조건에 따른 유동거리의 차이를 확인하기 위하여 수행 하였으며, 사용된 수지는 GS-Caltex Hi-Prene M540(PP)이다. 사용된 사출기의 형체력(clamping force)은 55ton, 최대 사출압력은 2526 kgf/cm<sup>2</sup>, 최대 유동률 46cm<sup>3</sup>/sec인 대만의 Multiplas社의 장비를 이용하였다[7]. 또한 실험 순서에 따른 오차를 최소화 하기 위해 Table 3의 실험 조건에 대해서 실험 순서를 랜덤하게 선정하여 실행하였으며, 각 조건당 10번의 성형을 수행한 뒤, 최초 5회의 제품을 제외한 5가지의 성형품을 수거하여 유동거리를 측정하였다.

### 5. 사출성형 CAE 해석

#### 5.1 유한요소 모델 생성 및 해석조건

본 연구는 미세 스파이럴 사출품의 유동길이 예측을 위해 성형품을 3D모델링 하였으며, 이를 이용하여 유한요소 모델(fusion mesh)을 생성하였다(Fig. 7). CAE성형 해석을 위해서 사출성형 해석 전용 프로그램인 MoldFlow社의 MPI 5.0을 사용하여 Table 2와 Table 3에 제시된 인자와 수준 및 실험 조건을 그대로 해석 조건으로 반영하였다.

#### 5.2 해석 결과

사출성형 CAE 해석은 실제 사출성형 과정과 매우 흡사하게 이루어진다. 본 연구에서는 냉각해석, 유동해석, 보압해석, 휨해석을 각각의 성형조건별

Table 2 Factors and levels

Factor		Level		
		1	2	3
A	Injection Pressure(kgf/cm <sup>2</sup> )	1768	2020	2273
B	Polymer Temp.(°C)	270	280	290
C	Mold Temp. (°C)	70	80	90
D	Flow (cm <sup>3</sup> /sec)	32.2	36.8	41.4

Table 3 Orthogonal array table of L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)

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

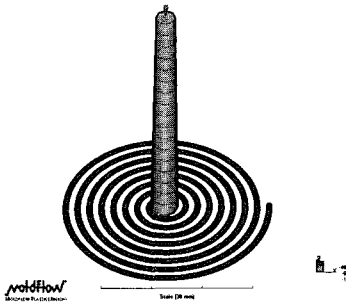


Fig. 6 Result of meshing for injection molding analysis

해석결과를 분석하였고 전체적으로 사출 성형품의 충전 패턴과 변위, 시간에 따른 유동선단의 진행모습을 집중적으로 검토하였다.

Fig. 7의 (a) ~ (i)는 사출성형 CAE를 이용한 미세 스파이럴 모델의 충전패턴의 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이, 동일 금형, 동일 재료로 성형하더라도 Table 3에 제시된 사출압력, 수지온도, 금형온도, 사출률 등의 선정된 인자의 변화에 따라 충전패턴 결과가 서로 다르다는 것을 확인할 수 있다.

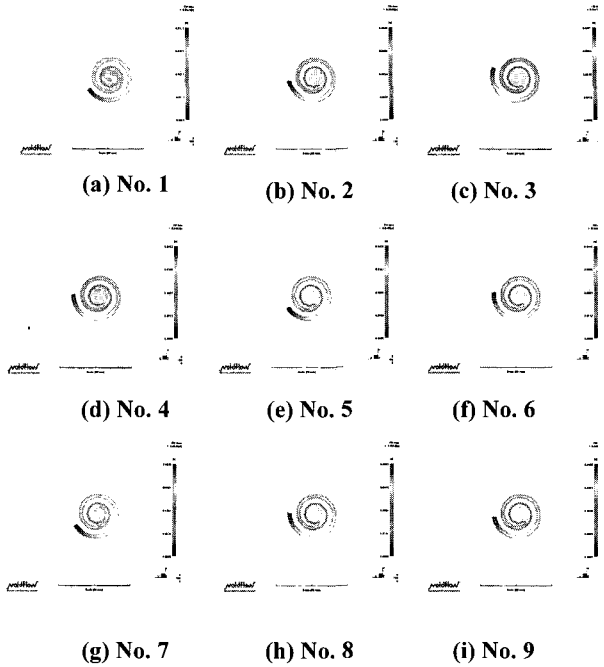


Fig. 7 Analysis result of filling shape

## 6. 실험 결과 및 분산분석

### 6.1 실험결과 및 S/N 비

본 연구에서는 망대특성의 S/N 비를 식(1)과 같이 계산하고 이 S/N 비에 따라 인자들의 영향력을 확인 하였다.

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

여기서  $i$ 는 특성치이며  $n$ 은 실험 반복회수이다. 특성치의 산포는 S/N 비의 값이 클수록 줄어들기 때문에 S/N 비의 값이 가장 큰 실험 조건을 최적 조건으로 결정하게 된다[3~5]. Table 4에 실험결과인 각 조건별 유동거리와 S/N 비를 나타내었으며, 유동거리  $L$ 은 각 조건당 5개의 성형품의 유동거리를 측정하여 평균값이고 S/N 비는 식(1)을 이용하여 계산된 값이다. CAE 해석결과와 각 실험결과인 유동거리를 비교하여 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 실험결과와 CAE 해석 결과의 경향의 유사성을 확인할 수 있었다.

Table 4 Result and S/N ratio

No.	Column					L(mm)	S/N ratio
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	25.66	28.18	
2	1	2	2	2	32	30.1	
3	1	3	3	3	43.35	32.76	
4	2	1	2	3	41.5	32.36	
5	2	2	3	1	30.66	29.73	
6	2	3	1	2	41	32.25	
7	3	1	3	2	27.33	28.73	
8	3	2	1	3	32.75	30.3	
9	3	3	2	1	31.63	31.63	

Table 5 Result of analysis of variable (ANOVA)

	Sum of squares	DOF	Mean square	F	Contribution (%)
A	3.14	2	1.57	1.13	8.1
B	17.98	2	8.99	6.48	46.41
C	2.77	2	1.39	-	7.16
D	14.85	2	7.43	5.36	38.33

6.2 분산분석(ANOVA)

분산분석이란 특성치의 산포를 제곱합으로 나타내고 이 제곱합을 실험과 관련된 인자마다의 제곱합으로 분해 하여 오차에 비하여 큰 영향을 주는 인자를 찾아내는 통계학적 방법이다[8].

Table 5 에서는 각각의 인자들이 유동거리에 미치는 영향을 나타내주는 분산 분석표이며, 여기서 F 의 크기는 수행특성에 관한 인자의 중요성의 정도를 나타내므로 크기가 클수록 오차의 분산에 비하여 인자가 크다는 것을 의미한다.

6.3 성형변수 영향

Fig. 9에 인자의 수준별 기여율을 나타내었다. 여기에서 S/N 값이 가장 큰 값이 각 인자별 최적 조건이다. 본 연구에서 수행한 실험에서의 최적 조건은 사출압력은 2수준인 2020kgf/cm<sup>2</sup>, 수지의 온도는 3수준인 290℃, 금형 온도는 2수준인 80℃, 유동률은 3수준인 41.4cm<sup>3</sup>/sec 로 결정된다. 위 수준의 예측 S/N 비는 34.82로 평균 S/N 비 30.8 보다 약13.5%향상됨을 알 수 있다.

6.4 검증

각 인자별 S/N 비를 이용하여 도출된 조건인 A2B3C2D3에 대하여 CAE 해석 및 확인 실험을

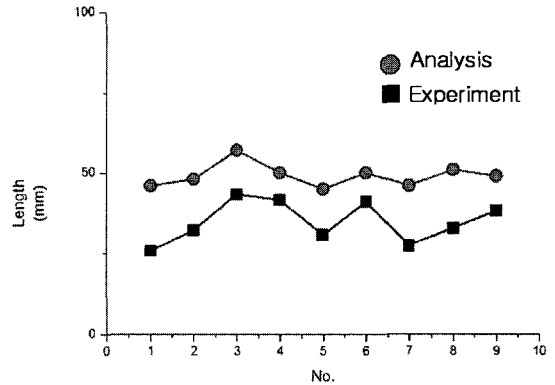


Fig. 8 Comparison experiment result & analysis result

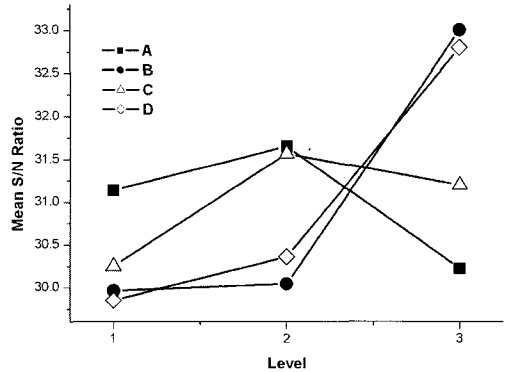


Fig. 9 S/N graph

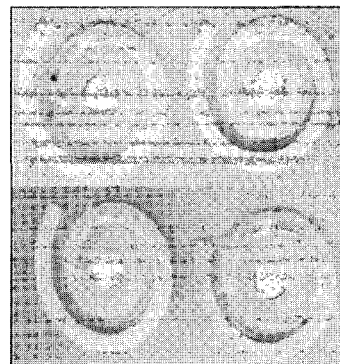


Fig.10 Verification of experiment result

통하여 검증 하였다. 검증 실험 결과 사출품의 평균 유동거리는 50.23mm로 Table 4에서의 최대 유동거리인 43.35mm보다 유동거리가 10.4% 증가 하였으며, Fig.10은 검증 실험 결과를 나타내고 있다.

## 7. 결 론

## 참 고 문 헌

- (1) 미세사출시 일반적인 성형 조건보다는 높은 수지온도, 사출압력 등을 필요로 하는 것을 확인할 수 있다.
- (2) 각 인자의 수준별 S/N 비를 통하여 미세사출을 위한 최적조건을 도출하였다.
- (3) 분산분석을 통하여 미세사출에서의 각 인자별 영향력을 정량적으로 계산하였다.
- (4) CAE 해석 결과와 각 조건별 실험 결과를 비교하여 상호간 유의성을 검증하였다.
- (5) 도출된 조건을 CAE 해석과 실험을 통하여 검증 하였으며, 그 결과 유동길이가 10.4% 증가하였다.

## 후 기

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업의 일환으로 수행중인 『기능성고분자소재 성형용 마이크로 금형시스템』의 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사 드립니다.

- [1] 허영무, 신광호, 윤길상, 정우철, 2004, 기능성 고분자 성형용 마이크로금형 시스템, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 267~270.
- [2] G. Charyssoulouris, M. Guillot, 1990, A comparison of statical and AI approaches to the selection of process parameters in intelligent machining, ASME J Eng. Ind. Vol. 112, pp. 122~131.
- [3] 박성현, 1998, 현대실험계획법, 민영사.
- [4] 박성현, 1990, 응용실험계획법, 영지문화사.
- [5] 백운봉, 1989, 실험계획법, 박영사.
- [6] J. Paulo Davim, 2003, Study of drilling metal matrix composites based on Taguchi technique, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 132, pp. 250~254.
- [7] <http://www.mitiplas.com>
- [8] 윤영민, 김재환, 최승복, 2003, 다구찌법을 이용한 소음저감용 ER 패널의 파라미터 설계, 한국소음진동공학회, 추계학술대회 논문집, pp. 638~642.