

# 다구찌법을 이용한 미세사출 성형 인자에 대한 고찰

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

## Investigation on the Injection Molding Characteristics Using Taguchi Method

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

### Abstract

In recent industry, according to pursuit the miniaturization and high-precision of machine part with development of new technology as IT, BT the development of mold manufacturing technology for mass production is accompanied. In this study, the spiral type injection mold with a 200  $\mu\text{m}$  thickness shape is made for investigation of influence for injection molding process variables and the flow length is measured through an experiment. Beside, the result of each experiment is compared with the analysis result of CAE. Taguchi method is used in this experiment and the obtained data are analyzed using ANOVA method.

**Key Words** : Micro Injection Mold (미세사출금형), CAE(사출성형해석), Taguchi Method (다구찌법), ANOVA (분산분석)

### 1. 서 론

현대 산업에서는 기계부품의 소형화, 고정밀화가 추구됨에 따라 제작을 위한 가공기술 또한 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 확보를 위해서는 대량 생산용 틀인 금형 기술의 확보 없이는 위 분야의 발전 또한 제약을 받을 수 밖에 없는 실정이다.[1] 더욱이 마이크로 금형의 제작 및 이를 이용한 성형기술을 동시에 개발하지 않고서는 마이크로 제품 및 부품의 대량 생

산을 위한 공정을 완성 할 수 없다.

겐이찌 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/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-better), 크면 클수록 좋은 값인 망대특성(larger-the-better)으로 정의 한다.[2]-[5]

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

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

으로 하는 망대특성의 S/N 비와 분산분석을 이용  
인자별 영향력과 유동거리와의 관계를 규명하였  
다. 또한 각각의 미세사출 실험에 앞서 CAE 를  
이용한 유동거리를 예측하였고, 이를 실험결과와  
비교하였다.

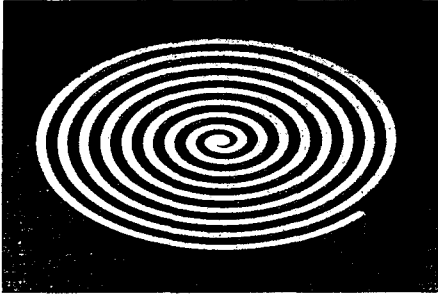


Fig. 1 Product Design

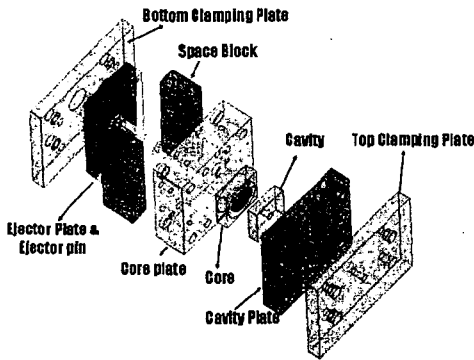


Fig. 2 Micro Mold System Design

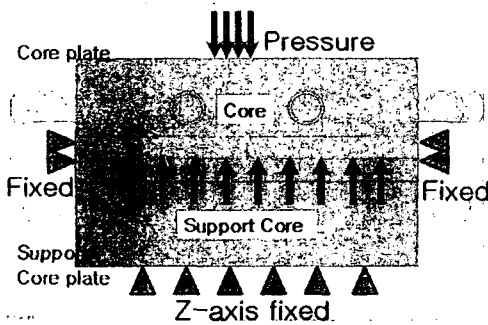


Fig. 3 Boundary & Loading conditions

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. 설계

### 2.1 성형품 설계

본 연구에서 적용한 미세 사출 성형품의 설계  
는 Fig. 1 에서와 같이 스파이럴 형태로 제작 하였  
고, 두께  $t=200 \mu\text{m}$ 로 설계하였다. 스파이럴 금형을  
이용하여 제품을 성형한 후 유동길이를 측정하면,  
그 수치로 제품의 성형성과 성형 작업 구조의 안  
정도를 간접적으로 측정 할 수 있다. 또한 스파이  
럴 금형을 이용한 시험은 유로의 형상, 치수와 유  
동길이 사이에 일정한 수식 관계를 가지고 있기  
때문에 유동도를 일원화 할 수 있는 장점을 가지  
고 있다.

### 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. 3 과 같이 경계조건을 결정하  
였다. 사출 성형시 수지에 의한 압력을 받는 부분  
은 스파이럴 형상부에 수지의 최대압력인  
120 MPa 이 작용하며, 코어 바닥면의 금형 구조에  
서 알 수 있듯이 코어의 바닥면은 서포트 플레  
이트에 고정된 서포트 코어에 의해 지지되므로 z  
축을 고정하였다. 또한 금형의 플레이트와 닿는 옆  
면은 회전을 방지하는 면이 있기 때문에 3 축을  
모두 고정하여 코어 부분의 회전 방향을 고정하  
였다.

금형 재료인 NAK80 의 물성치는 Table.1 과 같

다.

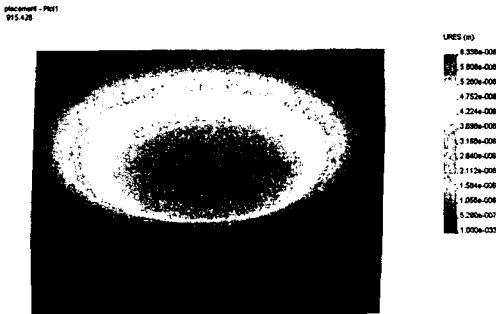


Fig. 4 Displacement

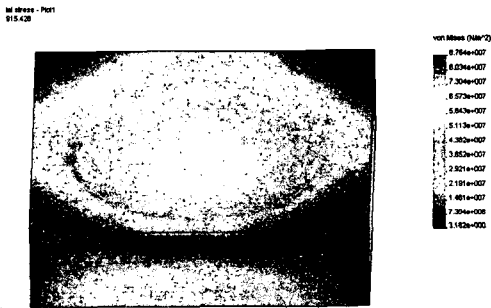


Fig. 5 Effective Stress(Von-Mises Stress)



Fig. 6 Bottom Mold and Heating System

### 3.2 구조해석 결과

#### 3.2.1 변형해석 결과

변형량을 예측한 해석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 변형이 가장 크게 발생한 곳은 코어의 중심부이며, 최대 변형량이  $6.36 \mu\text{m}$ 가 되는 것으로 예측되었다. 마이크로 금형 성형품의 크기를 감안하면 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 비해 감소할 것이며, 변형 또한 비례적으로 감소할 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 응력해석 결과

응력 해석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 최대 응력은 금형 코어의 윗면과 바닥면의 중앙부분에 나타났으며, 이는 코어의 중앙부에 응력이 집중되는 것으로 판단된다. 코어의 중앙부의 최대 유효응력은 87MPa로 금형 재료인 NAK80의 항복응력에 비해 작기 때문에 설계된 금형은 사출에 있어 구조적으로 문제가 없음을 확인하였다.

#### 3.2.3 금형제작

제작된 금형을 Fig. 6에 나타내었으며, 금형에는 22개의 이젝터 핀을 교체 삽입형으로 제작 설치하였다. 몰드 베이스는 상측 클램핑 플레이트, 케비티 플레이트, 코어 플레이트, 이젝터 플레이트, 하측 플레이트 등으로 구성되어 있다. 금형온도 조절을 위하여 히팅 카트리지 및 열전대를 설치하여 제어부에 연결하였다.

### 4. 직교배열표 및 설계 변수의 선정

#### 4.1 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.[6] 본 연구에서 선정한 제어 인자는 사출압력(A), 수지의 온도(B), 금형온도(C), 유동률(D)를 선정하였다. Table 2는 본 연구에서 사용한 인자와 각 인자의 수준을 나타낸다.

#### 4.2 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.[6] 본 연구에서는  $L_9(3^4)$  직교 배열표를 사용하였으며 Table 3에 나타내었다.

#### 4.3 실험장치 및 방법

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

**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

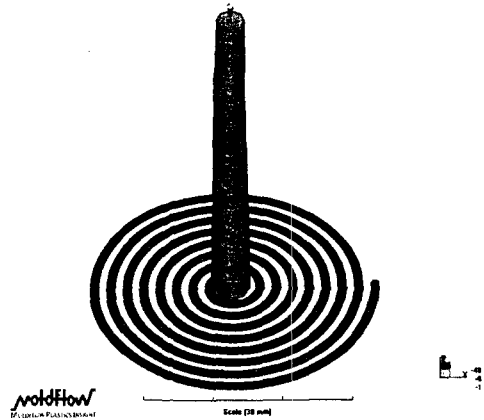
**Table 3 Orthogonal Array Table of L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)**

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

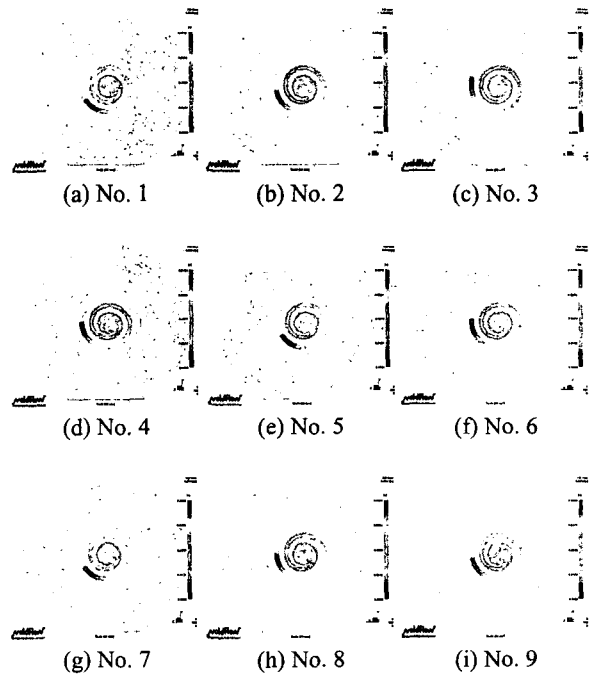
## 5. 사출성형 CAE 해석

### 5.1 유한요소 모델 생성 및 해석조건

본 연구는 미세 스파이럴 사출품의 유동길이 예측을 위해 성형품을 3D 모델링 하였으며, 이를 이용하여 유한요소 모델(fusion mesh)을 생성하였다. (Fig. 7)



**Fig. 7 Mesh Shape**



**Fig. 8 Analysis Result**

CAE 성형 해석을 위해서 사출성형 해석 전용 프로그램인 MoldFolw 社의 MPI 5.0 을 사용하여 Table 2 와 Table 3 에 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, 휨해석의 각 단계별 해석결과를 분석하였고 전체적으로 사출 성형품의 충전패턴과 변위, 시간에 따른 유동선단의 진행모습을 집중적으로 검토하였다.

Fig. 8의 (a) ~ (i)는 사출성형 CAE를 이용한 미세 스파이럴 모델의 충전패턴의 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이, 똑같은 금형, 같은 재료로 성형하더라도 Table 3에 제시된 사출압력, 수지 온도, 금형온도, 사출률 등의 선정된 인자의 변화에 따라 충전패턴 결과가 서로 다르다는 것을 확인할 수 있다.

## 6. 실험 결과 및 분산분석

### 6.1 실험결과 및 S/N 비

본 연구에서는 당대특성의 S/N 비를 식(1)과 같이 계산하고 이 S/N 비에 따라 인자들의 영향력을 확인하였다.

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

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 측정한 평균값이고 S/N 비는 식(1)을 이용하여 계산된 값이다. CAE 해석 결과와 각 실험결과인 유동거리를 비교하여 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 실험결과와 CAE 해석 결과의 경향의 유사성을 확인할 수 있었으며, 유동거리 량의 차이는 해석에 의해 과대평가 됨을 알 수 있다.

### 6.2 분산분석(ANOVA)

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

Table 5에서는 각각의 인자들이 유동거리에 미치는 영향을 나타내주는 분산 분석표이며, 여기서

F의 크기는 수행특성에 관한 인자의 중요성의 정도를 나타내므로 크기가 클수록 오차의 분산에 비하여 인자가 크다는 것을 의미한다.

Table 4 Result and S/N ratio

No.	Column					
	A	B	C	D	L(mm)	S/N ratio
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 (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

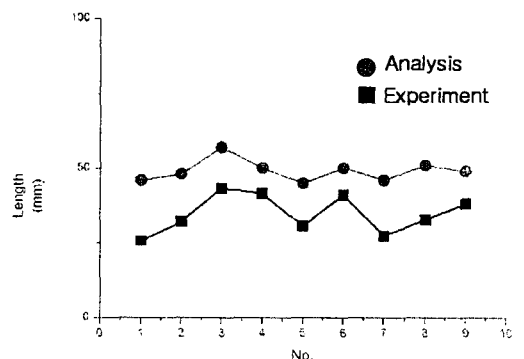


Fig. 9 Comparison Experiment Result

## & Analysis Result

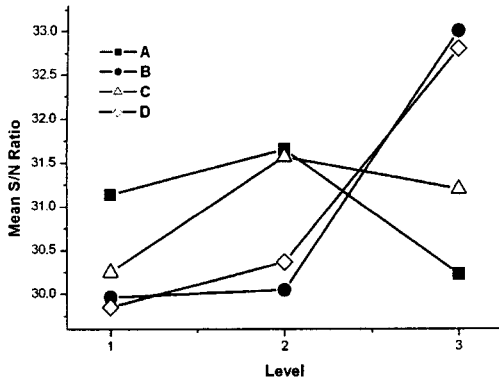


Fig. 10 S/N Graph

### 6.3 성형변수 영향

Fig. 10 에 제어인자의 수준별 기여율을 나타내었다. 여기에서 S/N 값이 가장 큰 값이 각 인자별 최적조건이다. 본 연구에서 수행한 실험에서의 최적 조건은 사출압력은 2 수준인 2020 kgf/cm<sup>2</sup>, 수지의 온도는 3 수준인 290°C, 금형 온도는 2 수준인 80°C, 유동률은 3 수준인 41.4 cm<sup>2</sup>/sec 로 결정된다. 위 수준의 예측 S/N 비는 34.82 로 평균 S/N 비 30.8 보다 약 13.5% 향상됨을 알 수 있다.

### 6.4 검증

각 인자별 S/N 비를 이용하여 도출된 조건인 A2B3C2D3 에 대하여 CAE 해석 및 확인 실험을 통하여 검증 하였다. 검증 실험 결과 사출품의 평균 유동거리는 50.23 mm로 Table 4 에서의 최대 유동거리인 43.35 mm보다 유동거리가 10.4% 증가 하였으며, Fig.11은 검증 실험 결과를 나타내고 있다.

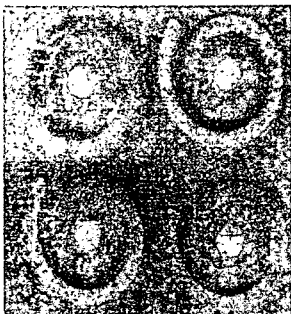


Fig. 11 Verification Experiment Result

## 7. 결론

- (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% 증가 하였다.

## 후 기

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

## 참 고 문 헌

- [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 statistical 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.