

## 마이크로채널 전사성 향상을 위한 사출성형공정 최적화 기초연구

김종선<sup>1</sup>· 고영배<sup>1</sup>· 민인기<sup>2</sup>· 유재원<sup>2</sup>· 김종덕<sup>1</sup>· 윤경환<sup>2</sup>· 황철진<sup>#</sup>

### An Experimental Study on the Transcription Characteristics of Injection-Molded Micro Channel

J. S. Kim, Y. B. Ko, I. K. Min, J. W. Yu, J. D. Kim, K. H. Yoon, C. J. Hwang

(Received November 16, 2006)

#### Abstract

Micro fabrication of polymeric materials becomes increasingly important. And it is considered as a low-cost alternative to the silicon or glass-based Micro Electro-Mechanical System(MEMS) technologies. In the present study, micro channels were fabricated via LiGA(Lithographie, Galvanoformung, Abformung) process used for Capillary Electrophoresis(CE) chip. Taguchi method was applied to investigate the effects of process conditions in injection molding(melt temperature, injection speed, mold temperature and packing pressure) on the transcription characteristics of the micro channel. It was found that the skin layer disturbs a formation of micro channel. Furthermore, mold temperature and injection speed were two important factors to affect the replication characteristics of micro channel.

**Key Words :** Micro-Channel, Injection Molding, Transcription Characteristic

#### 1. 서 론

미세채널(microchannel)은 바이오칩 내에서 미세 유동 및 시약들의 혼합 등이 일어날 수 있는 역할을 하며 바이오칩을 구성하는 기관 내에 포함되어 있다. 여기서 말하는 바이오칩이란 생물학적 진단을 하는 기능을 가진 칩으로써 DNA 검사 미세채널(microchannel)은 바이오칩 내에서 미세 유동 및 시약들의 혼합 등이 일어날 수 있는 역할을 하며 바이오칩을 구성하는 기관 내에 포함되어 있다. 또한, 생물학적 진단을 하는 기능을 가진 칩으로써 DNA 검사, 혈액검사, 유전자 검사용 칩 등을 말하며 기존에 커다란 실험실에서 이루어지던 여러 가지 공정들, 즉, 샘플링, 진단, 분석,

데이터 처리 등의 공정들이 수 mm 에서 수 cm 크기의 칩 위에서 실행되는 랩 온 어 칩(Lab-on-a-chip)의 일종이다. 이러한 칩들의 구성을 보면 크게 유동을 만들어 내는 마이크로 펌프, 검사용 광학 장치, 미세 채널을 포함한 기관 등으로 구성되어 있다. 이 중, 미세유동의 역할을 담당하는 기관의 기존 제작 방법으로는 실리콘 기관이나 유리 기관 위에 식각공정을 수행하거나 또는 레이저가공을 이용하여 제작, 또는, 리소그래피 작업 후 PDMS 복제 기술을 이용하여 제작하고 있다. 하지만 이러한 가공방법들은 가공시간이 오래 걸리며 바이오칩의 특성상 이러한 칩들은 사용횟수가 일회성에 그치기 때문에 대량 생산에는 비효율적인 제작 방법이라고 할 수 있다.

1. 한국생산기술연구원, 정밀금형팀  
2. 단국대학교 대학원, 기계공학화  
# 교신저자: 한국생산기술연구원, 정밀금형팀  
E-mail: cjhwang@kitech.re.kr

본 연구에서는 LIGA공정을 이용하여 금형을 제작하고 이를 사출성형공정으로 성형, 전사성에 영향을 미치는 인자들을 고찰하고 성형품 내 마이크로채널의 전사성 향상에 초점을 두었다. 또한 사출성형 시뮬레이션 프로그램을 이용한 전사성에 미치는 성형인자의 파악을 성형 병행하였다.

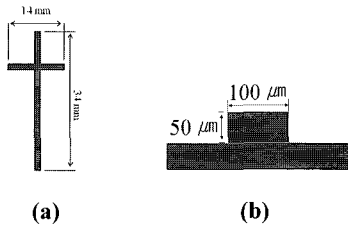


Fig. 1 The shape of micro channel (a) and section view of the channel(width 100 $\mu$ m, height 50 $\mu$ m (b))

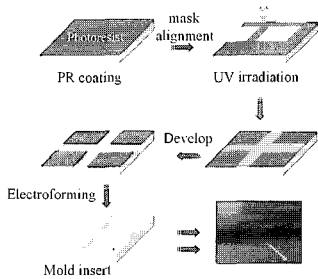


Fig. 2 Fabrication processes of a stamper

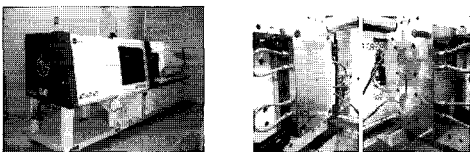


Fig. 3 Injection molding machine(LGE-110D) and a mold

## 2. 마이크로채널 금형 제작

기존의 미세 채널은 PDMS공정을 이용하여 제작하거나 유리 기판에 식각공정을 이용하여 마이크로 채널을 제작하고 있다. 본 실험에서는 사출성형을 이용하여 마이크로 채널을 제작하기 위해 Fig. 1의 형상 및 치수를 가지는 금형을 제작하고 성형을 하였다. 스탬퍼의 제작은 LiGA 공정 중에서 Lithography 공정 및 전주공정을 이용하여 제작

하였다. 제작 과정은 웨이퍼 기판 위에 spin coating을 이용하여 PR을 균일한 두께로 도포한다. 그리고 십자 형태가 새겨진 마스크를 맞추고 그 위에 UV를 조사하면 마스크를 통과하여 UV가 반응한 PR부분은 분자구조가 분해되어 현상을 하게 되면 음각의 십자 형태의 구조물을 얻을 수 있다. 이 구조물에 전주공정을 수행하면 양각의 십자 형태를 가지는 스탬퍼 금형을 얻을 수 있다. 이 과정을 Fig. 2에 도시하였다.

## 3. 사출 성형

### 3.1 사용 수지 및 실험장치

본 실험에서는 Ticona社의 COC(cyclic olefin copolymer, grade: Topas TKX-0001)수지를 사용하였다. 이 수지의 유리전이온도는 136 $^{\circ}$ C 이며 굴절률은 1.53이다. 최근, COC는 고투명성 및 성형 후 낮은 복굴절, 낮은 흡수성 및 수분 차단성을 가지고 있으며 우수한 혈액 친화성 및 생체에 적합한 특성을 갖고 있어, 바이오 부품 생산에 많이 적용하고 있다. 또한 실험에 사용된 사출기로는 Fig. 3의 형체력(clamping force) 110ton, 최대 사출압력은 2600kgf/cm $^2$ , 최대 사출 속도는 350mm/s 인 LS 전선의 LGE-110D 모델을 사용하였다.

### 3.2 조건설정 및 실험방법

미세 채널을 가지는 복제된 성형품의 전사성에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 대표적인 성형 인자로는 수지온도(melt temperature), 사출속도(injection speed), 금형온도(mold temperature) 그리고 보압(packing pressure)등 네 가지 인자를 선정하였으며 각각의 경우에 대하여 하나의 인자를 고정하고 다른 인자들을 변경시켜가면서 일차적으로 실험하여 성형 윈도우를 결정하였다. 성형실험은 아래와 같이 성형 윈도우 내에서 직교 배열표를 작성하고 다구짜 실험 계획법을 이용하였다.

각 인자에 대하여 수지온도는 노즐 부분에서의 온도를 285 $^{\circ}$ C, 295 $^{\circ}$ C, 305 $^{\circ}$ C로, 사출속도는 유동선단의 속도를 100mm/s, 250mm/s, 400mm/s 로, 금형온도는 100 $^{\circ}$ C, 115 $^{\circ}$ C, 130 $^{\circ}$ C로 설정하고 마지막으로 보압에 대하여 250kgf/cm $^2$ , 400kgf/cm $^2$ , 550kgf/cm $^2$ 으로 각 인자에 대하여 3수준으로 정하였으며 결과에 대한 분석은 통계프로그램인 미니탭(Minitab)을 이용하였다. 위의 조건들 및 직교 배열표를 Table 1, 2에 정리하였다. 실험순서에 따른 오차를

최소화 하기 위하여 직교 배열표의 실험조건에서 각 조건당 20개를 sampling 하였으며 최초 15개의 성형품을 제외한 5개의 성형품을 사용하여 전사성을 평가하였다. 또한, 전사성을 정의 하기로는 금형에서 채널의 높이 H 와 너비 W 는 고정된 값이지만 성형 품에서의 깊이 h 와 너비 w 는 성형조건(수지온도, 금형온도, 사출속도 및 보압)에 따라 영향을 받는다. 따라서, 스탬퍼와 성형품 사이의 치수를 상대오차(Relative error)를 이용하여 오차율이 0% 에 가까울수록 전사성이 양호함을 표현하였다. 금형의 너비와 관련하여 식 (1)로 나타내고,

$$R_w = \frac{w(\text{sample}) - W(\text{stamper})}{W(\text{stamper})} \times 100 \quad (1)$$

금형의 높이 및 성형품의 깊이와 관련하여 다음의 식 (2) 와 같이

$$R_h = \frac{h(\text{sample}) - H(\text{stamper})}{H(\text{stamper})} \times 100 \quad (2)$$

라 정의를 하고 전사성을 평가하였다.

### 3.3 측정방법

스탬퍼 금형의 경우 중심 및 끝에서 상하 좌우 방향으로 8개의 위치를 정하여 460 $\mu\text{m}$ ~540 $\mu\text{m}$ 까지 20 $\mu\text{m}$  간격으로 5지점을 측정하여 평균값을 이용하고 성형품의 경우는 5개의 sample을 같은 위치(중심 및 끝에서 500 $\mu\text{m}$ )에서 측정하여 평균값을 이용하였다. 스탬퍼 금형의 채널 각 위치에서 측정 결과를 Table 3 및 Fig. 4에 나타내었다.

## 4. 결 과

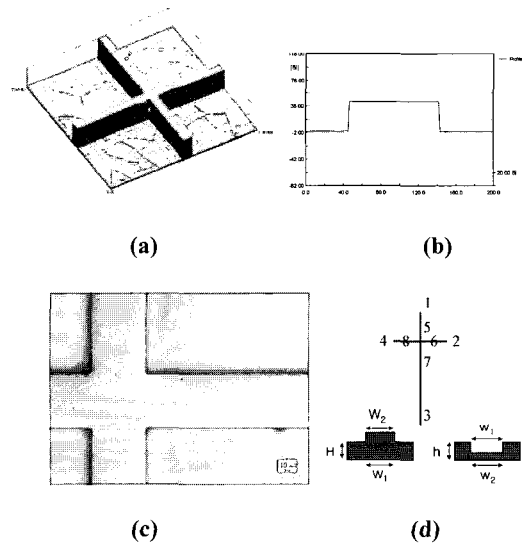
본 실험을 통하여 Fig. 5 과 같은 미세 채널을 가지는 사출 성형품이 만들어 졌으며, 성형인자에 따른 전사성의 경향을 파악하고 분석하였다. 조건은 금형과 성형품의 값이 최소가 되도록 망소특성을 선택하였으며 이에 따라 S/N 비를 이용한 결과를 Fig. 6 에 나타내었다. 전사성에 가장 민감한 인자는 순서대로 금형온도, 사출속도, 보압, 사출 온도 순으로 나타났다. 마이크로 채널의 치수오차는 대부분 윗부분의 폭에서 차이가 큰 것을 볼 수 있다. 금형온도 및 사출 속도가 낮은 1 번 실험

**Table 1 Molding conditions**

	Level 1	Level 2	Level 3
Melt temp. (°C)	285	295	305
Injection speed (mm/s)	100	250	400
Mold temp. (°C)	100	115	130
Packing pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	250	400	550

**Table 2 Orthogonal arrays for molding conditions**

Exp. #	Packing Pressure	Mold temp.	Melt temp.	Injection speed
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

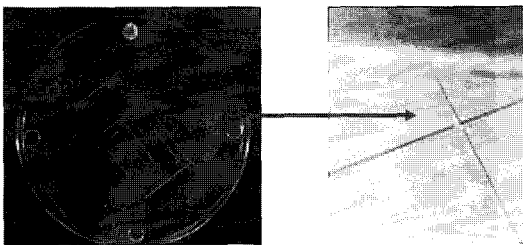


**Fig. 4 Measurement image of stamper by 3D profiler (a), (b), microscope (c) and measuring position**

험 조건에서는 Fig. 7에 보이듯이 채널 윗부분의 치수 값은 203.9 $\mu\text{m}$ 이며 금형과의 치수 편차는 94.6 $\mu\text{m}$  (상대오차: 0.946)에 이른다. 이는 수지가 캐비티 내를 유동하면서 생기는 고화층의 영향으로 인한 미성형으로 판단된다. 고화층의 두께가 채널의 높이보다 크게 되면 보압과정에서 더 이 상 충전이

**Table 3 measurement value of stamper**

Measurement position	W <sub>1</sub> (μm)	W <sub>2</sub> (μm)	H (μm)
1	104.8	97.8	45.233
2	101.0	94.8	44.607
3	104.9	96.7	44.713
4	101.2	94.7	44.736
5	104.8	98.2	44.763
6	102.3	93.2	44.847
7	105.5	96.5	44.846
8	102.1	94.3	44.752

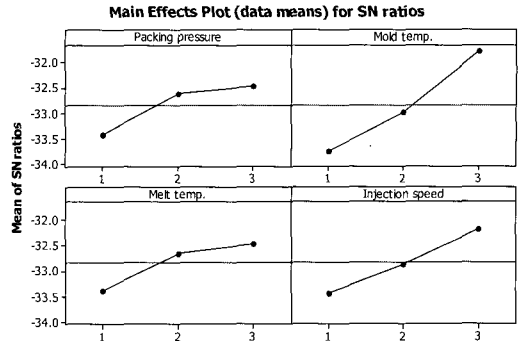


**Fig. 5 Image of the product**

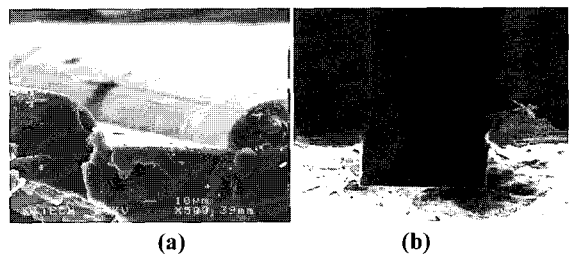
되지 않으며 더 이상 전사성을 높일 수 없다. 이와는 달리 다구짜 실험계획법을 통하여 얻은 최적 조건에서 성형한 경우 금형과 채널의 치수 편차가 치수 편차가 1.5μm(상대오차: 0.029)로 좀 더 양호한 결과를 얻을 양호한 수 있었다. 성형조건 수준이 모두 1인 경우와 다구짜 실험계획법을 통해 얻은 최적조건으로 실험한 결과의 SEM사진을 Fig. 7에 비교하였다. 이 조건들을 이용하여 성형해석을 수행한 결과 Fig. 8과 같이 성형 실험과 유사한 결과를 얻었다. 이와 같이 전사성을 높이기 위해서는 금형 벽면과 캐비티 내를 유동하는 수지의 온도 차를 줄일 수 있도록 금형온도를 충분히 높게 설정하여 성형하거나, 고화층이 생기는 시간을 늘릴 수 있도록 사출속도를 빠르게 하면 전사성을 높일 수 있다.

**5. 결론**

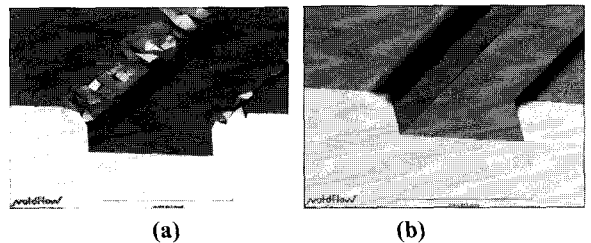
본 연구에서는 기존에 유리 기관이나 웨이퍼상에 채널을 직접 제작하거나 PDMS 공정으로 제작하던 마이크로 채널을 사출성형 공정을 이용하여 제작할 수 있음을 보였다. 사출 성형 공정에 있어서 기존 채널의 형상을 그대로 유지하기 위해서는 복제된 성형품에서 전사성이 중요한 요소인데



**Fig. 6 Signal to noise ratio of molding conditions**



**Fig. 7 SEM image of micro channel(exp. number 1 (a), and exp. Optimum condition (b))**



**Fig. 8 Results of CAE analysis((a)Exp #1, and (b)Exp. optimized process condition from Taguchi's DOE)**

전사성에 영향을 미치는 요소는 금형온도 및 사출속도가 지배적인 것을 확인하였다. 또한 채널의 윗부분에서 미성형이 일어나는 부분을 해결하기 위해서는 성형 시 고화층의 크기를 줄일 수 있는 연구방법이나 제품 전체에 압력을 균일하게 가할 수 있는 사출/압축의 실험 등 추가 실험이 요구된다.

**후 기**

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업 중

기능성고분자소재 성형용 마이크로금형 과제 및 한국생산기술연구원의 생산기술연구사업/주요목적 과제의 지원으로 연구되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] L. Ceriotti, K. Weible, N. F. Rooij, E. Verpoorte, 2003, *Rectangular channels for lab-on-a-chip applications*, *Microelectronic Engineering* Vol. 67, No. 68, pp 865~871.
- [2] H. C. Chang, W. B. Young, 2005, *Experimental study on the filling of a micro injection molding with cylindrical dot patterns*, *Internal Polymer Processing XX*, pp. 249~245.
- [3] J. C. Viana, 2004, *Development of the skin layer in injection moulding: phenomenological model*, *polymer* 45, pp 993~1005.