

# 미세채널 전사성 향상을 위한 사출성형 공정최적화 기초연구

고영배<sup>†</sup> · 김종선 · 유재원 · 민인기 · 김종덕 · 윤경환 · 황철진

한국생산기술원 · 단국대학교  
(2007. 11. 26. 접수 / 2008. 1. 30. 채택)

## A study on the process optimization of injection molding for replicability enhancement of micro channel

Young-Bae Go<sup>†</sup> · Jong-Sun Kim · Jae-Won Yu · In-Gi Min · Jong-Duck Kim ·

Kyung-Hwan Yoon · Cheul-Jin Hwang

Korea Institute of Merchinery Mertirials, Dan-kook university  
(Received November 26, 2007 / Accepted January 30, 2008)

**Abstract :** Micro channel is to fabricate desired pattern on the polymer substrate by pressing the patterned mold against the substrate which is heated above the glass transition temperature, and it is a high throughput fabrication method for bio chip, optical microstructure, etc. due to the simultaneous large area patterning. However, the bad pattern fidelity in large area patterning is one of the obstacles to applying the hot embossing technology for mass production. In the present study, stamper of cross channel with width 100 $\mu$ m and height 50 $\mu$ m was manufactured using UV-LiGA process. Micro channel was manufactured using stamper manufactured in this study. Also replicability appliance was evaluated for micro channel and factors affected replicability were investigated using Taguchi method.

**Key Words :** Micro channel, injection molding, relative error, injection speed, packing pressure

### 1. 서 론

최근 생명공학 기술에 반도체 기술과 나노 기술이 집적되어, 병원 실험실에서나 가능한 진단을 수 십 mm 크기의 작은 칩으로 처리하는 랩온어칩 (lab-on-a-chip)의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 초기의 랩온어칩은 간단한 시약의 분석이나 합성하는 정도였으나 현재는 세포 분석이나 암, 당뇨병 등의 의학 분야로 영역이 넓어지고 있다. 이처럼 극미량의 시료만으로도 실험, 연구과정을 신속하게 할 수 있는 랩온어칩 외에도 DNA칩 또는 단백질 칩 등이 있는데 이들을 통틀어 바이오칩 (bio-chip)이라고 하며, 앞으로 의학, 생명공학, 환경 등 다양한 분야의 차세대 진단 및 분석장치로 사용될 것이다. 2004년도 보고서에 의하면 랩온어칩의 세계시장은 연평균 성장률이 33.1%로 전망되고 2008년에는 7억 달러를 넘어설 것으로 예측하고 있다.

바이오칩은 실리콘이나 플라스틱 소재를 사용하여 미세채널을 만들고, 이를 통해 나노 리터 이하의 극미량 시료를 투입하여 화학적 또는 생물학적 반응을 검출하게 된다. 바이오칩에 사용되는 미세 채널을 성형하는 방법으로는, PDMS(polydimethylsiloxane)를 이용한 캐스팅과 PC나 PMMA(Poly Methyl Meta Acrylate) 수지를 이용한 핫엠보싱(hot embossing)공정 그리고 사출 성형공정 등이 있다. 바이오칩은 일회성이라는 특징과 더불어 앞으로 증가하는 수요에 대응하려면 낮은 가격에 대량으로의 구현성이 필연적이다. 이에 타 공정에 비해 짧은 성형사이클을 지닌 사출성형이 가장 적합한 성형방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 UV-LiGA공정을 이용하여 폭 100  $\mu$ m에 높이 50  $\mu$ m의 치수를 가지는 십자형 채널이 들어간 스탬퍼(stamper)를 제작하였으며, 이를 이용해 사출성형으로 채널을 제작하였다. 또한 스탬퍼에 대한 사출품의 미세채널 형성에 대하여 전사

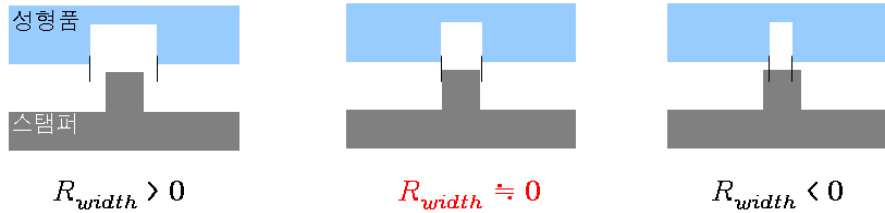


Fig. 1 Definition of replication characteristics using relative error.

성을 적용하여 평가하였고, 전사성의 향상을 위해 다구찌 실험계획법을 도입하여 전사성에 영향을 미치는 인자에 대하여 고찰하였다.

## 2. 이 론

### 2.1 전사성의 정의

금형의 채널의 높이(H)와 너비(W)는 고정된 값이지만 사출품의 깊이(h)와 너비(w)는 성형조건(수지온도, 금형온도, 사출속도 및 보압)에 따라 영향을 받는다. 일반적으로 전사성을 정의하기로는 제품이 충전되는 양만을 평가하기 때문에 금형과 성형품과의 치수 비로(w/W or h/H) 정의한다. 하지만 이러한 정의 방법은 성형품의 수축에 관한 정보는 포함하고 있지 않기 때문에 미세 채널의 경우에는 단순히 치수비로만 정의하기는 힘들다.

따라서 본 실험에서는 미세채널의 두께 방향 및 너비방향으로 충전되는 양과 수축에 대한 정보를 함께 포함하기 위하여 전사성에 대한 정의를 스탬퍼와 사출 성형된 미세 채널 사이의 치수에 대하여 상대오차(relative error)를 이용하여 오차율이 '0'에 가까울수록 전사성이 양호하다고 보았다.

스탬퍼의 패턴 폭과 사출품의 폭에 대한 전사성을 다음과 같이 정의하였다.

$$R_w = \frac{w - W}{W} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

또한, 스탬퍼의 패턴 높이 및 사출품의 깊이와 관련한 전사성을 식 (2)에

$$R_h = \frac{h - H}{H} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

라 정의하고 전사성을 평가하였다.

폭에 대한 전사성이 좋지 못한 경우와 양호한 경우에 대하여 Fig. 1에 간단히 나타내었다. Fig. 1(a)의 경우는 성형품이 미충전이 발생하여 성형품이 금형에 비해 치수가 큰것을 나타내고 Fig. 1(b)의 경우에는 전사성이 양호한 경우를 나타낸다. Fig. 1(c)와 같이 성형품이 금형보다 작은 경우는 충전이 된 후에 제품의 전체적인 수축으로 인하여 채널이 더 작게 나온 경우를 나타낸다. 이와 같은 이유는 제품이 수축할 때 적은 양이 수축하더라도 미세 채널의 입장에서는 큰 영향을 미치기 때문에 발생하는 것이다.

### 2.2 스탬퍼의 제작

사출성형 시 금형에 장착되는 스탬퍼의 제작을 위해 본 연구에서 적용된 금형 가공방법은 LiGA를 변형한 UV-LiGA 공정이며 금형 제작공정은 식각단계와 전주 단계로 구성된다. 먼저 식각단계는 수 μm에서 수백 μm의 두께를 갖는 PR(photo resist)을 노광시킨 후 현상액을 이용하여 현상하여 원하는 구조물을 만드는 단계이다. 이 단계는 노광 시 원하는 부위에 패턴의 형상을 얻기 위해서 UV를 잘 투과시키는 부분과 흡수하는 부분으로 되어 있는 마스크를 활용한다. 마스크를 투과하여 UV가 조사된 부분은 약품에 쉽게 용해되는데 이를 이용하여 원하는 PR 구조물을 얻는다. 이 구조물에 전주공정을 수행하면 양각의 십자 형태를 가지는 스탬퍼를 얻을 수 있다. 미세 패턴의 형상과 스탬퍼 가공 순서를 Fig. 1에 나타내었다

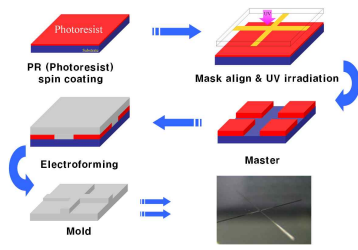


Fig. 1 Fabrication processes of a stamper.

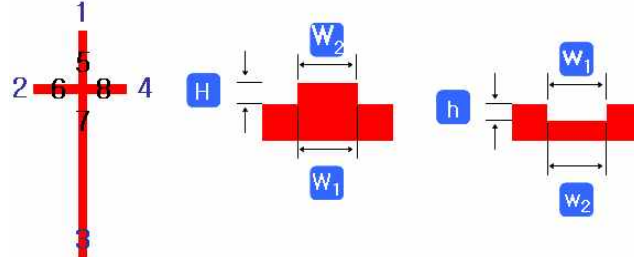
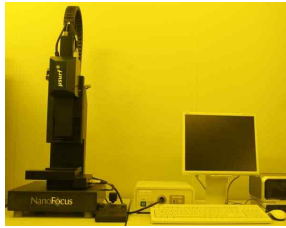
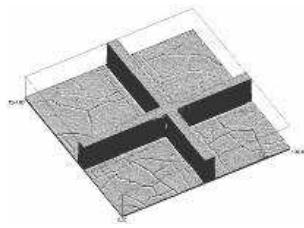


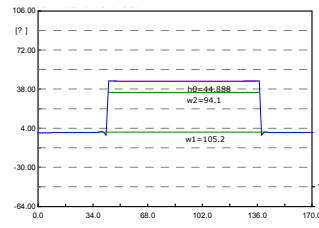
Fig. 2 Measurement position of microchannel.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 (a) Picture of  $\mu$ Surf, (b) 3-D image and (c) profile of microchannel.

Table 1 Measured dimensions of stamper.

Measurement Position	$W_1(\mu\text{m})$	$W_2(\mu\text{m})$	$H(\mu\text{m})$
1	104.8	97.8	45.2
2	101.0	94.8	44.6
3	104.9	96.7	44.7
4	101.2	94.7	44.7
5	104.8	98.2	44.7
6	102.3	93.2	44.8
7	105.5	96.5	44.8
8	102.1	94.3	44.7

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

### 2.3 측정 방법

측정 장비는 Nano Focus社(독일)의 'μSurf'를 사용하였으며 분해능은 최대 1.0 nm이다. 스탬퍼의 측정 시 중심 및 끝에서 상·하·좌·우 방향으로 8개의 위치를 정하여 460 μm ~ 540 μm 까지 20 μm 간격으로 5지점을 측정하여 평균값을 이용하고 사출품의 경우는 추출한 5개의 샘플을 모두 같은 위치(500 μm)에서 측정하여 평균값을 이용하였으며 이를 Fig. 2에 나타내었다. 그리고 정해진 위치에서 너비와 높이를  $w_1$ ,  $w_2$  및  $h$ 로 표현하였다. 장비 사진과 스탬퍼 각 위치에서의 측정 결과를 Fig. 3 및 Table 1에 나타내었다.

### 2.4 사출 성형

본 실험에서는 Ticona社의 COC(cyclic olefin copolymer, grade: Topas TKX0001) 수지를 사용하였다. 수지의 유리전이온도( $T_g$ )는 136°C 이다. COC는 고투명성 및 성형 후 낮은 복굴절, 낮은 흡수성 및 수분 차단성을 가지고 있으며 우수한 혈액 친화성 및 생체에 적합한 특성(bio-compatibility, FDA 승인)을 갖고 있어, 바이오 부품 생산에 많이 적용하고 있다. 또한 실험에 사용된 사출기로는 형체력(clamping force) 110 ton, 최대 사출압력은 2600 kgf/cm<sup>2</sup>, 최대 사출 속도는 350 mm/s 인 LS 전선의 LGE-110D 모델을 사용하였다. 사출 성형된 미세 채널의 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 실험하고 성형 윈도우를 결정하였다. 성형실험은 교호작용을 무시하고 아래와 같이 성형 윈도우 내에서 직교배열표를 작성하고 다구찌 실험 계획법을 이용하였다. 각 인자에 대하여 수지온도는 노즐 부분에서의 온도를 285°C, 295°C, 305°C로, 사출속도는 유동선단의 속도를 100 mm/s, 250 mm/s, 400 mm/s로, 금형온도는 100°C, 115°C, 130°C로 설정하고 마지막으로 보압에 대하여 250 kgf/cm<sup>2</sup>, 400 kgf/cm<sup>2</sup>, 550 kgf/cm<sup>2</sup>으로 각 인자에 대하여 3수준으로 정하였으며 조건들에 대한 직교배열표를 Table 2에 정리하였다. 실험순서에 따른 오차를 최소화하기 위하여 직교 배열표의 실험조건에서 각 실험 조건 당 20개를 sampling하였

으며 최초 15개의 성형품을 제외한 5개의 성형품을 사용하여 전사성을 평가하였다.

## 3. 실험

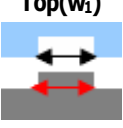
본 실험에서는 성형인자에 따른 전사성의 경향을 파악하고 분석하였다. 성형을 위한 실험 계획법으로는 다구찌 실험 방법을 택하였으며 성형 결과의 파악을 위하여 금형과 성형품의 값이 최소가 되도록 하여 망소특성을 선택하였다.

마이크로 채널의 치수오차는 채널의 높이나 아래쪽 부분 보다는 대부분 윗부분의 폭에서 차이가 큰 것을 볼 수 있다. 금형온도 및 사출 속도가 낮은 1번 실험 조건에서는 채널 윗부분의 치수 값은 203.9 μm이며 금형과의 치수 편차는 94.6 μm(상대오차: 0.946)에 이른다. 이는 수지가 캐비티 내를 유동하면서 생기는 고화층의 영향으로 인한 미성형으로 판단된다. 고화층의 두께가 채널의 높이보다 크게 되면 보압과정에서 더 이상 충전이 되지 않으며 더 이상 전사성을 높일 수 없다. 이와는 달리 다구찌 실험계획법을 통하여 얻은 최적 조건에서 성형한 경우 금형과 채널의 치수 편차가 1.5 μm(상대오차: 0.029)로 좀 더 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 상대오차, 즉, 전사성이 가장 좋지 않은 경우와 어느 정도 양호한 결과 및 다구찌 실험계획법을 이용한 결과를 Table 3에 정리하였다.

실험에서 사용한 직교 배열표와 측정결과를 바탕으로 계산한 신호대잡음비(Signal to noise ratio)의 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 전사성에 가장 민감한 인자는 순서대로 금형온도, 사출속도, 보압, 사출 온도 순으로 나타났다. 전사성이 가장 좋지 않은 실험결과와 다구찌 실험계획법을 통해 얻은 최적조건으로 실험한 결과의 SEM사진을 Fig. 5에 비교하였다. 양호한 전사성의 채널을 성형하기 위해서는 금형 벽면과 캐비티 내를 유동하는 수지의 온도차를 줄일 수 있도록 금형온도를 충분히 높게 설정하여 성형하거나, 고화층이 생기는 시간을 늘릴 수 있도록 사출속도를 빠르게 한다면 전사성을 높일 수 있을 것이다.

사출 성형한 성형품의 경향성을 평가하기 위하여 성형 해석을 병행하였다. 성형해석은 사출 성형 해석용 CAE 프로그램인 Moldflow<sup>TM</sup>를 사용하였으며, 마이크로 채널부분의 해석정확도를 위하여 성형품 전체를 해석한 후 해석결과를 경계조건으로 하

Table 3 Replication characteristics for different experimental conditions.

	position	relative error(%)		
		exp. #1	exp. #9	exp. #0
	1	0.946	0.088	0.029
	2	0.923	0.058	-0.024
	3	0.862	0.057	0.033
	4	0.914	0.069	-0.025

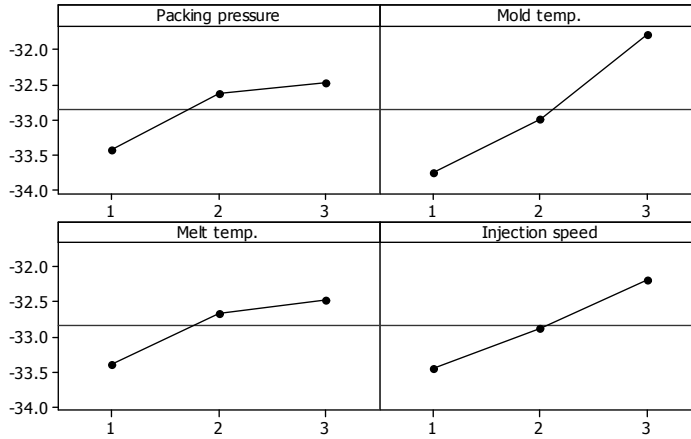
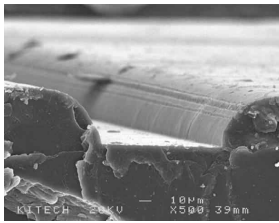
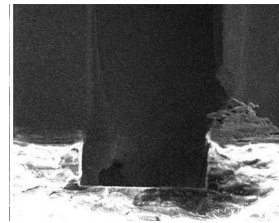


Fig. 4 Signal to noise ratios vs. molding conditions.



(a)

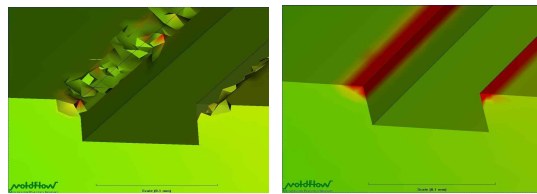


(b)

Fig. 5 SEM images of micro channel ((a) exp. #1 and (b) exp. optimized process condition from Taguchi's DOE).

여 마이크로 채널이 있는 부분만을 잘라내어 재해석 하였다. Fig. 6(a)의 경우 직교 배열표의 1번 실험 조건으로 해석한 결과이고 Fig. 6(b)는 다구찌 실험계획법에 의해 얻은 최적 조건의 해석 결과이며, Fig. 5의 SEM사진과 비교하여 볼 때 유사한 경향성을 보이고 있다.

#### 4. 결론



(a)

(b)

Fig. 7 The results of CAE analysis ((a) exp #1 and (b) exp. optimized process condition from Taguchi's DOE).

본 연구를 통해 바이오칩의 미세채널을 사출성형 공정을 이용하여 제작했으며 실험 계획법을 적용하여 최적의 성형 조건을 찾아낼 수 있는 가능성을 타진해 보았다. 사출공정에 있어서 채널형상의 전사성에 영향을 미치는 성형 인자로는 금형온도가 가장 큰 영향을 미치며 다음으로는 사출속도, 보압, 사출온도의 순으로 확인되었다. 또한 사출품의 일부분을 성형해석을 수행하였고 실제 성형품에서 미성형이 일어나는 것과 유사한 경향이 나타남을 확인하였다. 향후 인자간의 교호작용을 고려한 실험계획법을 적용할 예정이며, 금형과 수지 온도의 증가 시 성형 사이클 타임이 증가하게 되는 단점과 높은 보압 또는 사출속도의 증가로 인하여 잔류응력이 발생할 우려가 있으므로 이를 보완하기 위해 사출/압축 성형 방법을 적용할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 한국생산기술연구원의 <생산기술연구 사업/주요목적과제>의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Wu, M. H. and Whitesides, G. M., 2002, Fabrication of two-dimensional arrays of microlenses and their Applications in photolithography, *J. of Micro-mechanics and Micro engineering*, Vol. 12, 747-758.
- Chang, H. C. and Young, W. B., 2005, Experimental study on the filling of a micro injection molding with cylindrical dot patterns, *Internal Polymer Processing XX*, 249~245.