

성형안정성을 고려한 바이오칩용 측벽 이동형 금형설계 및 제작

고영배* · 김종선* · 민인기** · 유재원*** · 김종덕* · 윤경환**

이성호*** · 김경민*** · 김병일*** · 황철진*

*한국생산기술연구원 · **단국대학교 · ***나노종합팹센터

(2007. 11. 30. 접수 / 2008. 2. 28. 채택)

Design and fabrication of molds moved wall thickness for biochip considering molding stability

Young-Bae Go[†] · Jong-Sun Kim · In-Gi Min · Jae-Won Yu · Jong-Duck Kim ·

Kyung-Hwan Yoon · Sung-Ho Lee · Kyung-Min Kim · Byung-Il Kim · Chul-Jin Hwang

Technical R&D center, JMP, Inc.

(Received November 30, 2007 / Accepted February 28, 2008)

Abstract : Micro fabrication of biochip such like lab-on-a-chip becomes increasingly important. In this study, we designed and manufactured of new molds which were main factors for forming process in order to mass produce of biochip using forming process. Forming analysis of biochip was performed by Moldflow software. Results of this study are able to design and manufacture the mold which can be easy to eject the workpiece by using the slide mechanism for biochip.
Key Words : Biochip, Forming analysis, LIGA process, Stamper, Electroforming

1. 서 론

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System)를 기반기술로 한 다양한 랩 온 어 칩(lab-on-a-chip)들이 개발되고 있다. 그 중 대표적인 칩 중 하나가 바이오칩이다. 바이오칩에는 극미량으로 혈액형을 판별하거나 유전자 식별등의 기능을 하고, 이외에도 목적에 따라 여러 가지 칩들이 개발되고 있으며, 이러한 바이오칩의 구성을 보면 크게 미세 유동 및 혼합이 일어나는 마이크로 채널과 마이크로 채널의 유동을 만들어 내는 마이크로 펌프, 검사용 광학장치 등으로 구성되며 그 중 미세유동의 역할을 담당하는 기판의 제작방법은 유리기판 위에 RIE공정을 이용하여 직접 가공을 하거나, 실리콘 기판 위에 레이어 가공, 건식 식각, 습식 식각, 또는 노광 공정 후 PDMS로 복제하는 방법을 이용하고 있다. 하지만 이러한 가공방법들은 가공시간이 오래 걸리고 사용횟수에 비해서 비효율적인 방법이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 사출 성형공정을 이용하여 바이오칩을 대량 생산하기 위하여, 성형 공정에 주요요소가 되는 새로운 형태의 금형 설계와 금형을 제작하였고, 금형 설계에 있어 성형 안정성에 주요한 점을 둔 연구를 진행하였다.

2. 성형 안정성을 고려한 금형설계

금형의 제작은 LiGA 공정 중에서 노광 공정 및 전주공정(Electroforming)을 이용하여 제작하였으며 제작 과정을 Fig. 1에 나타내었다. 웨이퍼 기판 위에 spin coating을 하여 감광제(Photo resist, 이하 PR)를 균일한 두께로 도포한다. 그리고 패턴이 새겨진 마스크를 맞추고 그 위에 자외선(UV)를 이용하여 노광공정을 거치면 음각패턴을 가진 구조물을 얻을 수 있다. 이 구조물에 전주공정을 수행하면 양각패턴을 가지는 스탬퍼 금형을 얻을 수 있으며 이를 성형하면 바이오칩의 기판이 되는 채널을 제작할 수 있다. 이렇게 해서 만들어진 금형(stamper)은 Fig. 2

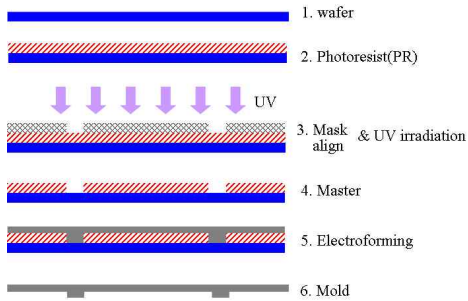
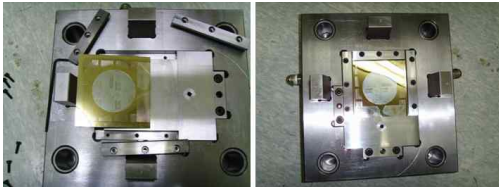
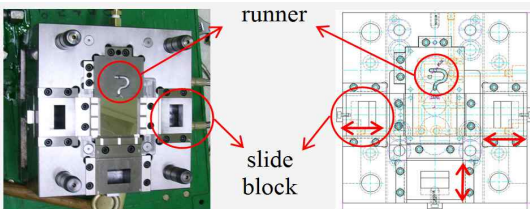


Fig. 1 Sequential processes of fabricating a stamper.



(a) (b)
Fig. 2 Stationary part of the mold (a) before assembling and (b) after assembling the stamper.



(a) (b)
Fig. 3 (a) Movable part of the mold and (b) design.

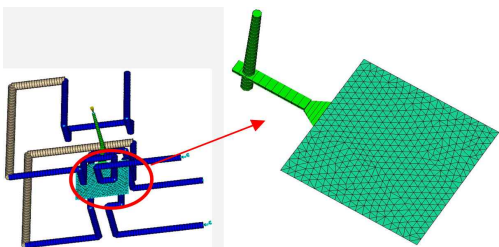


Fig. 4 Finite element model of thebio-chip substrate.

에 보이는 바와 같이 금형(mold base)에 직접 가공하지 않고 stamper 형태로 되어있기 때문에 채널의 형상이 바뀌더라도 mold base 전체를 새로 가공하지 않고 스탬퍼만 새로 제작하여 교체하면 다양한 형상을 가진 바이오 칩 기판을 제작할 수 있다

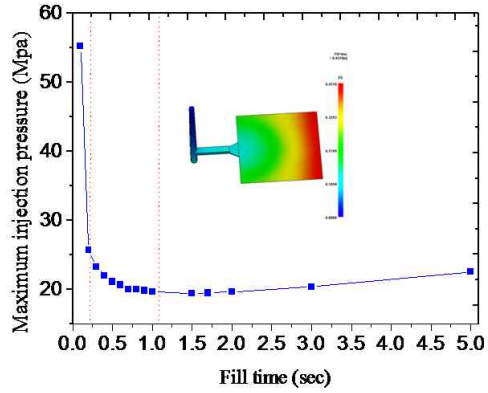


Fig. 5 Fill time vs. maximum profile injection pressure.

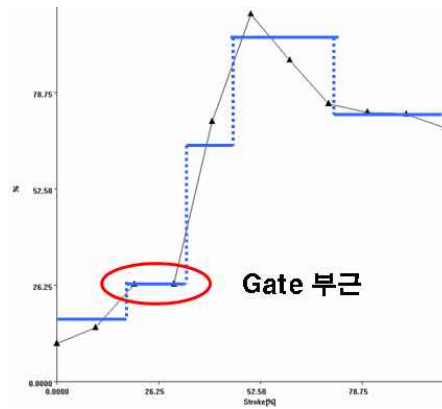


Fig. 6 recommended injection speed by CAE.

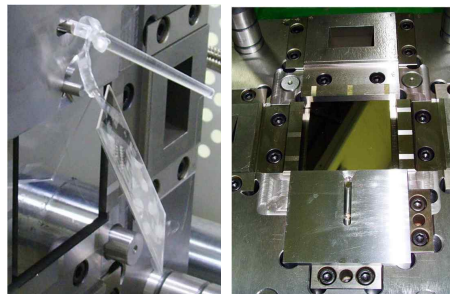


Fig. 7 (a) Curved type and (b) straight type of the runner.

본 실험에서는 제품의 성형안정성에 중점을 두었다. 성형 안정성을 고려하여 Fig. 3과 같이 슬라이드 방식의 금형 구조와 이젝터 핀(ejector pin)이 없는 금형 구조를 채택하였으며, 게이트(gate) 부위에서 발생하는 제팅(jetting) 현상 등을 방지하기 위하여

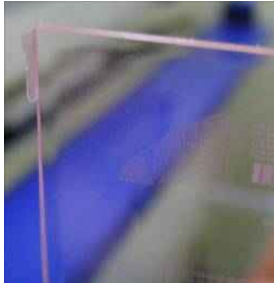


Fig. 8 Flash occurred by the short of clamping force transference.

러너의 형상을 곡선 형태로 제작하였다. 일반적인 금형에서는 성형 시 제품 내에서 발생하는 불규칙한 휨이나 수축 등으로 인해 취출 시 제품을 캐비티 밖으로 밀어낼 수 있는 이젝터 핀을 사용하지만, 본 연구에서 제작한 금형은 금형 열림과 동시에 캐비티를 구성하는 측벽(side-wall)부분이 좌우 방향 및 아래방향으로 sliding 되면서 demolding이 쉽게 될 수 있도록 설계하였다. 또한, 금형이 열릴 때 slide block에 의해 side-wall이 분리되기 때문에 성형품에 이젝터 핀 흔적이 남지 않으므로 제품의 모든 면적이 사용 가능한 장점이 있다.

3. 성형해석

본 연구에서는 시 성형의 조건을 설정하기 위하여 사출 성형공정해석에 널리 사용되고 있는 CAE 프로그램인 Moldflow™를 사용하였으며 Fig. 4는 유한요소 모델을 보여주고 있다. 유한요소 모델은 수지를 이송시키기 위한 delivery system(sprue, runner)은 일차원 요소(1D-element)로 모델링 하였으며 제품의 모델은 mid-plane 요소로 모델링 하였다. Mid-plane 요소의 특징은 수지의 유동을 두께방향으로는 계산하지 않고 평판 방향으로만 계산하는 것이다. 유한요소 모델에서 전체적으로 사용한 유한요소(element)의 수는 1630개 이며 절점(node)의 수는 1211개 이다. Fig. 5는 충전시간(filling time)을 변수로 하여 제품이 완전히 충전될 때 발생하는 최대 압력의 값을 보여주고 있다. 충전 시 발생하는 최대 사출압력은 충전시간 약 1.5초 부근에서 최소가 되며 이 경우의 압력은 19.44 MPa로 이때의 충전시간을 적정 사출시간으로 선정할 수 있다. 하지만 본 실험에서는 미세 패턴의 충진율을 고려하여 0.4초로 사출 속도를 선정하였다. 이때의 CAE 해석 프로그

램에서 추천하는 사출속도 프로파일은 Fig. 6과 같으며 5단으로 속도조절이 가능한 사출기의 경우 계단형태의 사출속도 profile을 적용할 수 있다. 이 해석 결과를 바탕으로 하여 수지 용융온도는 300℃, 금형온도 110℃, 사출 속도는 Fig. 6에 보이는 100% 일 때의 속도를 75.8 mm/s로 설정하여 성형 실험에 적용하였다.

4. 사출성형

본 실험에서 사용한 수지는Ticona社의 COC (Cyclic Olefin Copolymer, grade: Topas TKX-0001)를 사용하였다. COC는 부분적 결정성 폴리올레핀인 PE, PP에 비해 사이클로 올레핀 및 선형 올레핀에 기초한 비결정성, 투명수지이다. COC는 중합반응 중에 그 성질을 다양하게 변화시킬 수 있는 새로운 계통의 고분자 물질이며, 이것의 화학적 구조를 변화시킴으로써 요구하는 다양한 물성, 특히, 유리전이온도를 조절할 수 있다고 알려져 있다. 또한, 높은 투명성 및 성형 후 낮은 부굴절, 낮은 흡수성, 수분 차단성을 가지고 있으며 우수한 혈액 친화성 및 생체에 적합한 특성(bio-compatibility)을 가지고 있어, 최근에는 바이오 부품 생산에 많이 적용되고 있다. 한편, 실험에 사용된 사출기로는 형체력(clamping force) 110 ton, 최대 사출압력은 2600 kgf/cm², 최대 사출 속도 350 mm/s 인 LS 전선의 LGE-110D 모델을 사용하였다.

5. 실험 결과

초기 시성형 결과 금형 설계안에 중점을 둔 곡선 형태의 러너 부위에서 Fig. 7에서 보는 것처럼 제품을 취출하는 과정에서 러너(runner)부분이 부러지는 현상이 발생하였다. 이는 초기에 금형을 가공하는 과정에서 러너부위의 표면 거칠기가 좋지 않아 발생한 것으로 추측된다. 또한 Fig. 8에 보는 것처럼 슬라이드 코어를 이용한 금형구조의 특성상 제품 말단에서 플래시가 발생하는 현상을 볼 수 있었다. 이 현상은 사출압에 의해 슬라이드 코어가 가이드 방향으로 밀리는, 즉, 형 체결력 전달의 부족으로 발생하는 현상이다.

첫 번째 경우 러너(runner)부위가 부러지는 현상은 초기에 금형 설계의 관점에서 수지의 유동특성에 기인하여 곡선 형태로 설계를 하였지만 실험에

사용한 COC 수지의 물성이 타 수지에 비해 양호하고 바이오칩에 쓰이는 재료는 COC로 일반화 되는 추세이며 또한 재료절감을 위하여 직선형 리너 모양으로 금형을 수정 하였다. 그리고 두 번째 경우 제품 말단에서 발생하는 플래시(Flash)는 금형 수정 시 가공 공차 및 조립 공차에 의해 발생한 것으로 슬라이드 코어(slide core)의 공차를 좀 더 적게 하여 해결하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 사출 성형공정을 통해 바이오 칩을 생산할 수 있는 금형을 설계 및 제작하였다. 슬라이드 방식의 메커니즘을 이용하여 제품을 취출이 용이하게 하였으며 이로 인해 이젝터 핀 없이 제품 추출을 가능하게 하였다. 또한 제품 부위에 이젝터 핀을 사용하지 않음으로 해서 제품의 전 면적을 사용할 수 있었다.

후 기

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

참고문헌

- 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, 2001, “사출성형 CAE 설계지침,” *문운당*
- J. P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman, 2005, “Successful Injection Molding,” *HANSER Publishing Co.*