

패쇄형 채널 구조 기판의 사출성형

*김태훈¹, 유영은², 최두선², 김성곤², 서영호³, 박영우¹

¹ 충남대학교 메카트로닉스공학과, ²한국기계연구원, ³강원대학교 기계메카트로닉스학부

Injection molding of a substrate with closed channels

*T. H. Kim¹, Y. E. Yoo², D. S. Choi², S. K. Kim², Y. H. Seo³, Y. W. Park¹

¹ Dept. of Mech. Chungnam National Univ., ² Korea Institute Machinery & Materials., ³ Dept. of Mech. and Eng., Kangwon National Univ.

Key words : Injection-molding, Closed Channels, Micro-pattern

1. 서론

최근 마이크로 혹은 나노 기술을 이용하여 기존에 비해 정밀도, 필요 인원이나 공간의 효율성 등의 측면에서 혁신을 가능하게 하는 LOC(Lab-on-a-Chip)등을 포함한 다양한 새로운 개념의 디바이스 개발이 진행되고 있다. 이러한 제품들은 일반적으로 실리콘, 유리 혹은 플라스틱 소재 등의 기판 위에 수십 나노에서 수백 마이크로 크기의 패널이나 pillar 혹은 다양한 형태의 구조물을 제작하고 이러한 구조물을 이용하거나, 바이오 분야에서 유전 발현 양상, 유전자 결합, 단백질 분포 등의 생물학적 정보를 얻거나 생화학적 공정 및 반응 속도 또는 정보처리 속도를 높이는 기능을 수행한다. 이러한 MEMS 혹은 NEMS 기술은 현재 펌프, 채널, 반응기, 믹서 등과 같은 기본소자, 센서 등의 핵심 부품을 개발하는 방향으로 많은 연구들이 진행되고 있으며 이를 통합화하는 디바이스 설계 기술과 관련하여서도 상당한 진척을 이루고 있어 제품화를 위한 소자 기술 및 설계 기술은 비교적 상당한 발전을 이루었다고 할 수 있다. 또한 일부 연구소나 기업에서는 이러한 MEMS/NEMS 소자의 통합화를 통한 제품화 기술과 시제품의 개발을 서두르고 있으며, 점차 상용화에 근접해 가고 있는 기술이나 제품이 증가하고 있다. 현재 MEMS/NEMS 디바이스의 실질적인 산업 및 경제의 확장을 위해서는 디바이스의 대량 생산 공정 개발, 생산성 향상, 원가 절감 등을 통한 보다 빠른 실용화 및 상용화가 매우 필요하며, 플라스틱 소재 및 이에 대응되는 사출 성형 등의 전통적인 플라스틱 소재 가공 공정 기술의 적용이 그 하나의 유력한 방안이 될 것으로 판단된다. 또한 이와 더불어 개별적으로 제작된 플라스틱 부품의 효율적인 통합 혹은 패키징 기술의 개발 역시 MEMS/NEMS 디바이스의 상용화에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서 MEMS/NEMS 디바이스의 기본 소자인 채널, 챔버, 리액터 구조 등을 구현하기 위하여 소자 기판 상에 마스크, 노광, 에칭 등의 여러 공정에 의한 미소 전극 구조 구현이나 별도 장비 및 공정에 의한 가열, 초음파 혹은 화학적 적합의 방법으로 덮개를 접합하는 방법에서 탈피하여 단일 금형 및 단일 공정에 의해 디바이스를 제작하는 새로운 개념의 공정기술 및 공정조건을 개발을 위한 기초 기술을 연구 하였다.

2. 미세채널 사출성형 장비

앞에서 언급한 바와 같이 패쇄형 채널 구조물의 성형을 위해서는 미세 채널 성형과 덮개를 성형 할 수 있는 금형 설계와 금형에 장착 할 수 있는 Stamper 설계를 하였다. Fig. 1은 본 연구를 진행하는 동안 미세채널을 성형하기 위해 사용된 사출성형기이며, 스미토모사의 전동식 사출기 SE50D 이다. Fig. 2는 미세채널을 사출성형하기 위해 제작된 금형의 모습을 보여주었고, 4개의 Cavity중 2개를 미세 채널과 덮개를 성형할 수 있도록 금형 구조로 설계 하였으며, 동일 금형 내에서 미세 채널 기판 성형 및 덮개 판의 성형이 이루어지도록 했다. 한쪽 Cavity에는 미세 패턴이 생성되어 있는 Stamper를 장착 할 수 있도록 설계하였고, 또 다른 한쪽 Cavity에는 성형된 미세 패턴 기판이 장착하여 덮개 성형 할 수 있도록 고안하여 설계 하였다. 미세채널 Stamper 설계는 직경 15mm×15mm 안에 20 μ m, 30 μ m, 50 μ m, 80 μ m, 100 μ m, 150 μ m, 200 μ m, 250 μ m의 다양한 채널 폭을 가지고 있으며, 채널 Land



Fig. 1 Injection Molding Machine(Sumitomo SE50D)

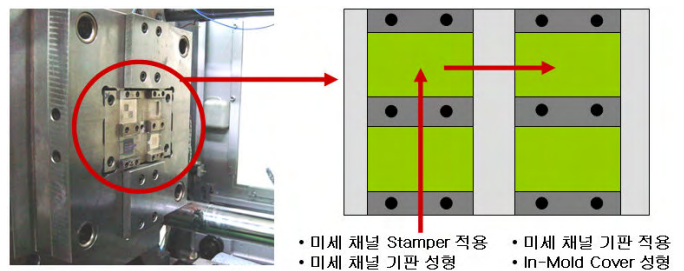


Fig. 2 Micro Channel of Injection mold

부 또한 50 μ m, 100 μ m, 150 μ m, 200 μ m 다양한 Pitch를 가지고 있다. 채널의 깊이는 100 μ m로 동일하게 설계하였고, Stamper 상에 존재하는 미세채널은 두 가지의 형상으로 설계하였다. Fig. 3에서 보듯이 첫 번째 채널 부는 채널의 폭이 각각 다른 형상을 취하고 있으며, 채널 Land 부는 일정한 간격을 가지도록 설계 제작하였고, 두 번째 채널 부는 채널의 폭은 사이즈별로 같지만 채널 Land 부의 Pitch가 각각 다른 형상으로 설계 제작 된 것을 알 수가 있다. Fig. 4은 완성된 미세 채널 Stamper 제작 결과를 나타낸 것이다.

3. In-Mold Covering 성형 실험

In-Mold Covering 공정 실험을 하기 위해서는 미세채널 Stamper를 이용하여 미세채널 기판 성형이 먼저 이루어져야 한다. 미세

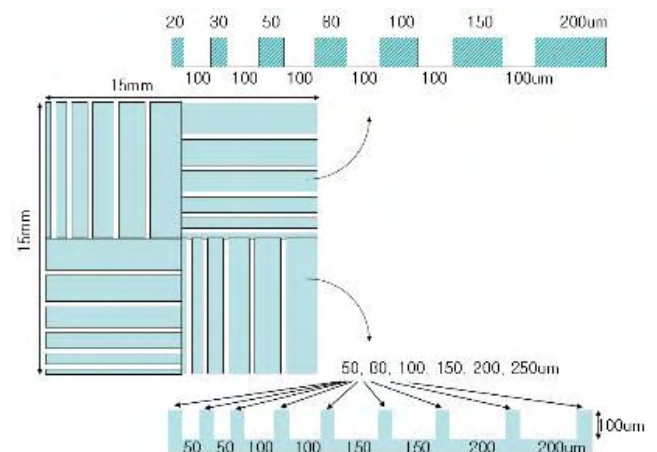


Fig. 3 Micro Channel Stamper

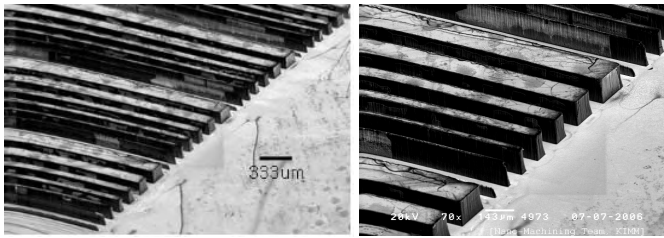


Fig. 4 SEM image of Micro Channel Stamper

채널 기관 성형에 적용된 소재는 Polycarbonate와 Polypropylene 주 소재로 사용하여 성형 실험을 진행하였다. 미세채널 기관 성형 실험은 금형온도, 성형 압력에 의한 미세채널 성형성 및 이형성 대해 실험이 진행되었다. 먼저 두 소재중 Polycarbonate를 금형온도 70℃, 90℃, 100℃의 조건으로 성형 실험을 진행하였으며, 성형압력의 조건은 성형성에 따라 설정하여, 성형성 및 이형성에 대해 분석하였다. 금형온도가 70℃인 경우에는 적절한 성형 압력으로 시편의 성형이 잘 이루어지고, 시편의 이형 또한 금형의 분리면을 통해 잘 이루어지는 것을 알 수 있었으며, 적절한 Cooling Time을 통해 적절한 Cycle Time을 가지는 것을 알 수가 있었다. 하지만, 금형온도 70℃인 경우 미세채널의 전사가 잘 이루어지지 않았으며, Fig. 5에서 보듯이 금형온도가 70℃인 경우 Polycarbonate의 수지 특성상 전사가 잘 이루어지지 않는 것을 확인 할 수 있었으며, 특히 내면부의 모서리 부분의 성형이 잘 이루어지지 않음을 알 수 있었다. Polycarbonate 수지의 특성을 착안하여 금형온도가 높을수록 전사가 잘 되는 것을 착안하여 금형온도를 90℃와 100℃ 각각 설정한 뒤에 성형실험을 하였으며, 미세채널 성형시에 성형압력을 가하지 않았을 경우, 90℃와 100℃ 모두 시편이 금형의 분리면을 통해 이형이 잘 되어지는 것을 알 수 있었으나, 성형압력을 가하면서 시편을 성형 하였을 경우에는 완전한 시편의 성형 되더라도 Stamper와 성형된 시편이 끼어 성형된 시편의 이형이 잘 이루어지지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 시편을 성형하는 동안 미세채널 부분의 손상으로 성형된 시편과 Stamper간 사이에 Bur 형성되어 이형이 안 되어지는 것으로 예상 할 수 있다. 또한 금형온도가 높아지면 높아질수록 Cooling Time이 길어져 Cycle Time이 길어지는 것을 알 수 있었다. 이런 실험을 통해 본 연구에서 사용된 시편의 제작은 3조건에서 가장 시편이 성형되고 이형이 잘 되었었던 금형온도 70℃를 기준으로 실험을 진행 하였다. 또한 Polypropylene의 수지를 이용하여 미세채널 성형을 진행하였으며, Polypropylene을 이용한 시편 성형인 경우도 기준으로 삼은 성형온도 70℃를 적용하였다. Polypropylene의 시편은 Polypropylene의 소재 특성상 Polycarbonate의 시편과는 달리 적절한 성형압력으로 Fig. 5에서 보듯이 미세채널의 전사는 물론 성형과 이형에서도 시편성형 잘 되어진 것을 볼 수가 있었다.

In-Mold Covering 성형은 앞에서 성형한 Polycarbonate 시편과 Polypropylene 시편의 두 가지의 미세채널 기관을 이용하여 성형 실험을 진행하였으며, 성형된 미세 채널 기관을 금형 Cavity에 장착한 후 사출 성형을 수행하였다. 사출시의 금형온도는 상온에서 진행하였고, 성형압력을 가해주지 않고 사출 속도와 성형 온도를 조절하여 덮개 성형을 진행했다. Covering에 사용한 소재는 Polypropylene과 Polycarbonate 그리고 Polycarbonate+GF의 3가지 소재를 사용하였으며, 소재간의 유동성은 Polypropylene이 가장 좋으며, Polycarbonate+GF가 가장 좋지 않다. 3가지 소재 사용한 것은 덮개의 성형시에 3가지 소재의 차이점을 알아보기 위함이다. 먼저 Polypropylene의 시편을 가지고 덮개 성형을 했을 경우에서 동종소재의 성형에서는 유동성이 좋은 Polypropylene이 미세채널을 채우면서 패쇄형 채널 구조가 성형되지 않았으며 나머지 두 소재의 성형에서는 Polypropylene과 Polycarbonate의 소재 특성상 덮개 성형을 하더라도 두 소재간의 접합이 이루어지지 않는다는 것을 알 수가 있었다. 두 번째로 Polycarbonate의 시편을 가지고 덮개 성형을 진행하였으며, Polypropylene보다

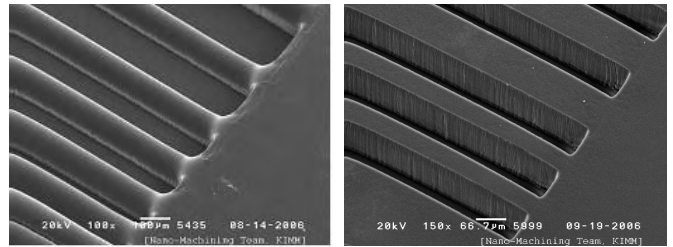


Fig. 5 SEM image of Micro Channel(Left : PC, Right : PP)

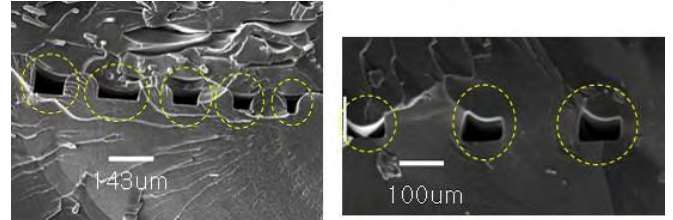


Fig. 6 SEM image of Closed Channel(Left : Different material, Right : Same material)

유동성이 떨어지는 Polycarbonate와 Polycarbonate+GF의 소재 모두 패쇄형 채널 구조가 형성 되었으며, Fig. 6에서 보듯이 이중소재 성형인 경우에는 소재간의 접합부의 성형이 잘 이루어 지지 않았으며, 동종소재인 경우 접합부의 성형이 잘 되어진 것을 볼 수가 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 MEMS/NEMS 디바이스의 상용화 및 실용화를 위해서 미세채널 성형과 In-Mold Covering 성형 실험을 통해 주요 성형 변수 및 금형설계 변수를 확인하였으며, In-Mold Covering 공정기술의 가능성을 확인 할 수 있었다. 본 연구에서 볼 수 있듯이 상용화 및 실용화를 위해서는 접합부의 미세 채널이 보다 더 성형이 잘 되어야 한다. 이를 위해서는 이형의 문제점 파악이 필요하며, 성형 공정 조건의 최적화와 사출 성형 금형의 최적설계가 이루어 져야 한다. 플라스틱 미세 부품에 대한 새로운 개념의 접합 기술인 In-Mold Covering 기술의 개발은 향후 보다 정확한 패쇄형 채널 구조의 구현을 위해서는 지속적은 연구가 필요 할 것으로 보인다.

후기

본 연구는 한국기계연구원 자체 연구 사업의 지원으로 이루어진 것입니다.

참고문헌

1. S. I. Park., K. J. Kim., J. Y. Park., B. H. Lee., Y. H. Bae., J. H. Lee., D. I. Lee., "MEMS & Sensor Systems : Fabrication of Thick Silicon Dioxide Air - Bridge and Coplanar Waveguide for RF Application Using Complex Oxidation Process and MEMS Technology," KSS, 11-3, 163~170, 2002.
2. J. K. Kim., C. I. Ching., J. Y. Park., J. K. Chang., Y. H. Bae., J. Y. Yoo., "Analysis of Fully Developed Multilayer Flow in Microchannel With a Rectangular Cross Section," KSME, 27-5, 644~654, 2003.
3. 서주환, 이일형, 배국진, 김기범 "나노기술 개발동향 : 상변화 메모리 기술 연구개발 동향 및 정보분석" 한국공업화학회, 9권, 3호, 48~55, 2006.