

Micro-Nano 시스템 제조를 위한 소형 차세대 사출기 개발과 이를 위한 Micro mold의 개발

황교일*, 류경주*, 김훈모**

* 성균관대학교 기계공학부 대학원 ** 성균관대 기계공학부

Development of micro-mold for New Injecton Molder to fabricate Micro-Nano system

Kyoil Hwang*, Ryu Kyung Joo*, and Hunmo Kim**

* Dept. of Mechanical Eng. graduate school , Sungkyunkwan university

** Dept. of Mechanical Eng. Sungkyunkwan university

ABSTRACT

Recently, the sensor and actuator are developed with EAP(Electro Active Polymer). Common used of they is close at hand, the bio chip and Lab on a chip are researched. For developed bio and micro system, a researcher applies semiconductor fabrication or make it by his hand. But, this method takes long time and a tolerance is large. So they are problem of common used. So In this paper we propose the new injection molder and micro mold. The micro mold is different from existing mold.

In this paper, the fabration of micro mold is introduced to inject.

Key Words : Injecton molder, Micro-molding, EAP

1. 서론

최근 인체 친화적인 기능성 고분자를 이용한 센서 및 액츄에이터의 개발이 이루어지고 있다. 이러한 센서와 액츄에이터 중 바이오 시스템 즉 바이오 칩, Lab on a chip 등은 상용화를 앞두고 연구가 진행 중에 있다. 이러한 바이오 시스템 및 마이크로 시스템을 개발하기 위해서 현재 반도체 공정을 응용하여서 제조를 하거나 혹은 연구자의 손으로 직접 제작을 하고 있다. 하지만 이러한 방식은 시간 및 공정 오차가 굉장히 크므로 상용화에 문제점이 있다. 또한 현재 나노 가공을 하기 위해서 전자빔을 이용하여 원자 하나하나를 절삭하는 방식이 사용되고 있지만 이는 시간적 경제적으로 상용화하기에는 많은 문제가 있다. 상용화를 위해서 가장 큰 문제는 대량 생산이다 따라서 현재 개발되고 있는 이러한 방식을 탈피한 새로운 개념의 공정 방식이 개발 되어야 한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 차세대 소형 사출을 개발하여 향후 마이크로 및 나노 시스템의 대량생산을 추구하도록 하는데 그 목적이 있다. 이를 위한 첫 번째 단계로서 micro-mold를 개발하고자 한다.

현재 개발되어진 가공 방법은 모세관 현상을 통한 마이크로 채널 성형이 있다[1][2]. 또한 단백질 칩 기판에 마이크로 채널을 만들기 위해 사출 성형을 통해 개발을 수행하였다[3]. 하지만 이러한 성형은 마이크로 채널의 개발에 한정되어 있음을 알 수가 있다.

또한 현재 개발되어 있는 mold는 마이크로 3차원 성형을 하는데 있어서 몇 가지 문제점이 있다. 그 이유는 재료의 점도로 인한 gate 및 core 내부에서 원하는 형상으로 충분히 재료가 전달이 되지 않기 때문이다. 또한 정밀한 표면 조도 및 모서리 부분의 가공의 한계점도 있다. 이로 인하여 크리스탈을 이용한 mold를 개발한 경우가 있지만 적용된 바는 현재 없다.

또한 사출 성형을 위한 micro-mold는 기존의 mold와는 기계적, 열적 강성이 우수해야 한다. 따라서 공정 단계에서부터 시뮬레이션을 수행을 하여 사출 압력 및 온도에 대응할 수 있는 micro-mold가 개발되어야 한다.

본 논문에서 이를 위해서 micro-mold의 제작 공정 및 향후 진행 방향에 대해서 소개하고자 한다.

2. Micro 개발 공정

기존 사출 방식을 Micro 시스템에 적용 시키는데 있어서 문제점은 높은 세장비의 시스템을 개발할 수 없다는 점에 있다. 이를 위해서 본 연구에서는 2가지 방식의 Mold 개발 방식을 소개한다.

2.1 알루미늄 형상에 니켈 도금 방식

Micro mold의 3차원 형상을 제조하기 위하여 DEEP RIE 방식을 사용하기로 한다. DEEP RIE 방식은 기존의 에칭 방법과는 달리 수백 마이크로 단위까지 식각이 가능한 장점이 있다. 따라서 micro mold 개발에 적합한 방식이라고 할 수 있다. 본 방식의 진행 방식은 Fig. 1과 같다.

본 공정 시 중요한 요소는 에칭의 aspect ratio와 니켈 도금 시 알루미늄과 니켈의 접합면의 접합력의 크기이다.

이와 같은 Mold 개발 방식은 기존의 높은 세장비의 시스템을 개발할 수 없는 단점을 보완할 수 있다. 그 이유는 알루미늄 형상 위에 니켈을 도금하여 표면조도를 향상 시켰기 때문에 사출 재료 및 mold 내부의 마찰력이 줄어들었기 때문이다.

또한 알루미늄 형상에 니켈을 도금하였으므로 사출 시 발생하는 높은 압력과 온도에 대한 내구성을 가질 수 있으므로 기존의 mold와는 그 차이가 있다고 할 수 있다.

2.2 알루미늄 형상에 PMMA 도포

본 공정은 mold 자체를 PMMA로 만들어서 mold의 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 본 micro mold 제조 공정은 Fig. 2에 나타나 있다.

먼저 일반 금속 및 실리콘 substrate에 DEEP RIE 방법을 사용하여 형상을 제조한다. 그 위에 PMMA를 도포하고 온도를 높여서 PMMA를 고형화 시킨다. 그 후 알루미늄 형상을 제거하여 PMMA Mold를 제조한다.

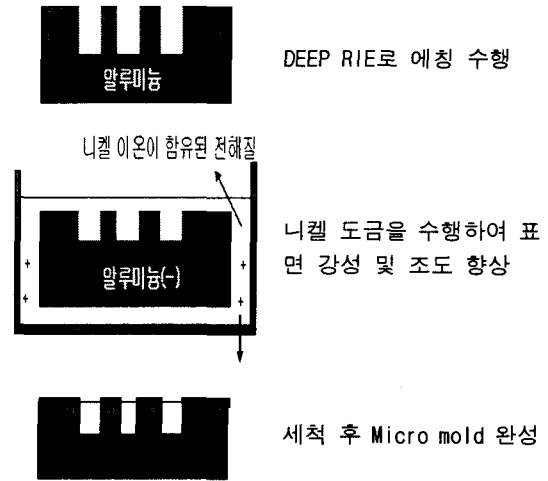


Fig 1. Mold 제작 공정(알루미늄-니켈 mold)

본 공정은 기존의 LIGA 방식에서 벗어나 새로운 형태의 polymer mold를 제조하는 것이므로 개발 공정의 단가가 낮은 장점이 있다.

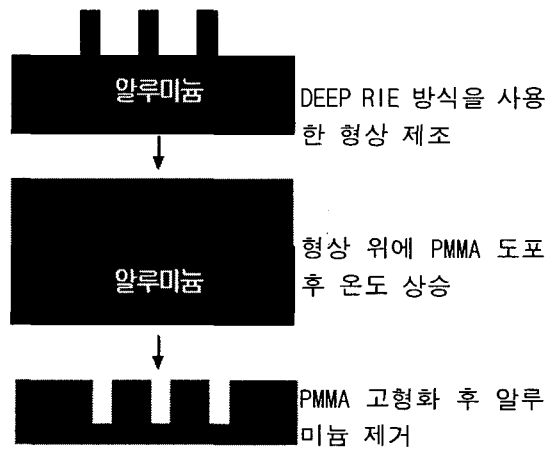


Fig. 2 Mold 제작 공정(알루미늄위에 PMMA 도포)

3. 결과

2장에서 소개한 바와 같이 2가지 mold 공정을 사용하여서 그 시작단계로 먼저 기능성 고분자의 얇은 막을 제조하고자 한다.

이 얇은 막은 잠자리형 마이크로 비행체의 인공 근육으로 사용될 수 있다. Fig. 3은 본 연구실에서 제조하고 있는 잠자리형 마이크로 비행체의 모습이다. 사용되고 있는 인공 근육은 기능성 고분자의 일종인 Electrostrictive polymer이며 이 중 아크릴 계열인

VHB4905와 NUSIL 사의 실리콘을 사용을 하고 있다.
 본 인공 근육은 기능성 고분자의 두께 및 두께의 일정한 정도에 따라서 그 성능의 차이가 크기 때문에 얇고 두께가 균일하게 제조 해야 한다. 현재 제조 방식은 spin coater를 사용하고 있지만 이는 두께의 균일성에 한계점이 있다.
 이러한 얇은 막을 제조하기 위해서 먼저 재료 및 dimension에 대한 spec을 결정하였다.

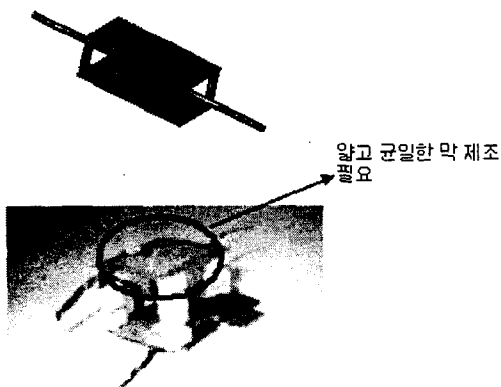


Fig. 3 잠자리형 마이크로 비행체의 개념도

현재 이러한 얇은 막을 제조하기 위해 알루미늄 위에 니켈 도금 방식을 사용한 mold 수행하고 있다. 먼저 알루미늄 위에 에칭을 수행하였고 니켈 도금을 위한 준비 단계에 있다.
 또한 현재 개발 중에 있는 micro mold의 FEM을 수행하여 열적, 기계적 강성에 대한 시뮬레이션을 수행 중에 있다.

4. 향후 계획

본 논문에서는 현재 사출 성형 방식을 사용하여 향후 마이크로 및 나노 단위를 대량생산이 가능하도록 micro mold를 제조하고 있다.
 하지만 궁극적으로는 사출기의 개발이 필요하다. 사출기는 기존의 사출 개념이 차세대 소형의 전동식 사출 개념이 필요하다. 이를 위해서 개발되어야 할 요건에 대해서 소개를 한다.
 사출기 개발에 있어서 중요한 사항은 크게 3가지로 구분될 수가 있다. 먼저 사출기 내에서 mold의 위치 및 속도의 제어가 기존의 제어방식이 아닌 보다 정

밀한 제어가 필요하므로 이를 위한 고급제어 알고리즘이 필요하다. 두 번째로 사출 시 온도, 압력, 속도, 거리에 대한 제어를 기존의 불연속적인 제어 방식에서 벗어나 고급의 sequence 제어 알고리즘이 필요하다. 또한 사출기의 크기가 작아져야 하므로 이를 위해서 충분한 압력 발생이 가능한 소형의 전동기 개발이 필요하다. 이에 대한 개념이 Fig. 4에 나타나 있다.

사출기의 제어를 위해서는 크게 2가지 부분으로 나눌 수 있다. 먼저 Injector 부의 제어를 보면 다음과 같다.

- Mold의 gate 부분과 Injector의 결합
 --> Gate와 injector 부가 마이크로 및 나노 단위이므로 이 부분의 접합을 위해서는 고도의 정밀한 제어 알고리즘이 필요하다.
 - Injector 내부의 사출 온도 제어
 --> 마이크로 및 나노 단위에서는 온도에 따라서 미세한 재료의 성질의 변화에도 시스템 성능에는 큰 영향을 주므로 정밀한 온도 제어가 필요하다.
 - Injector 내부의 압력 및 속도 제어
 --> 마이크로 및 나노 단위 시스템 제조에 맞추어 사출 압력 및 속도 제어가 필요하다.
- 두 번째 부분은 Mold 부분의 제어 알고리즘이 필요하다.
- 2개의 mold를 결합하는 압력 및 속도에 따라서 마이크로 및 나노 단위의 형상이 마모가 될 수 있으므로 고도의 정밀한 제어 알고리즘이 필요하다.
 - mold 접합 시 마이크로 및 나노 단위의 형상을 결합해야 하므로 고도의 정밀한 위치 제어 알고리즘이 필요하다.

또한 나노 단위 시스템을 대량생산 하기 위해서는 본 논문에서 소개한 micro 단위의 mold 제조 방식으로는 최소 선폭 등 한계점이 많아서 다른 공정이 필요하다.

이를 위한 공정 개념도는 Fig. 5와 같다. 나노 단위 mold는 기존의 에칭 방식으로는 한계가 있으므로 전자 빔을 이용한 2차원 및 3차원 형상 가공을 수행한다. 그 후 mold 자체의 기계적, 열적 강성을 높일 수 있도록 sputtering을 수행하여 mold 내부의 강성을 높이는 방식으로 수행한다.

5. 결론

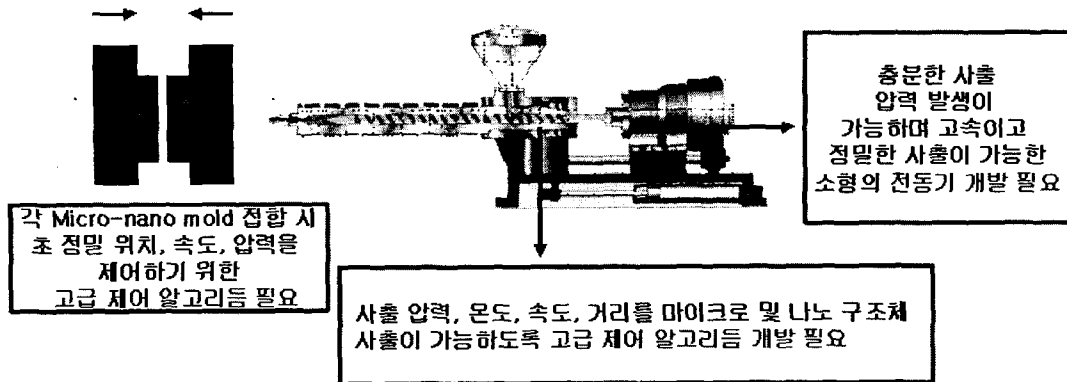


Fig. 4 차세대 소형 사출 개발 개념도

본 논문에서는 마이크로 및 나노 시스템의 대량생산이 가능하도록 차세대 사출기 개발에 앞서 micro mold 개발을 수행하였다.

사출을 위한 micro mold는 기존의 mold와는 달리 열적, 기계적 강성이 우수해야 하므로 이를 위해서 2가지 공정을 소개하였다.

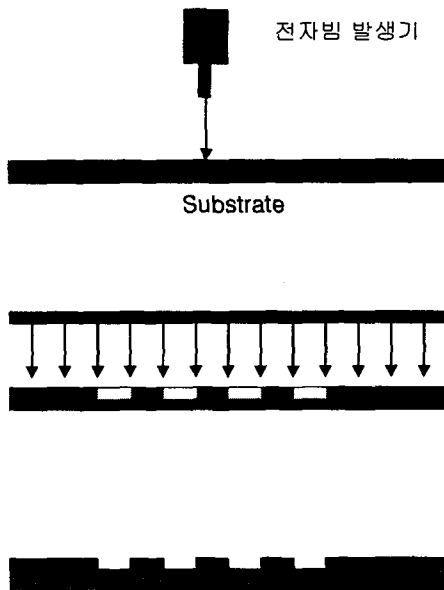


Fig. 5 Nano Mold 제조 공정

또한 기존의 사출에 있어서 문제점인 높은 세장비가공을 할 수 있도록 알루미늄 mold 위에 니켈을 도금하여 표면 조도를 낮추어서 mold를 제조하고 있다.

또한 본 연구를 바탕으로 하여 nano mold를 제조할 것이며 동시에 마이크로 및 나노 단위의 시스템을

성형할 수 있는 차세대 소형의 사출기를 개발을 할 것이다. 이러한 공정 시스템을 개발한다면 다음과 같은 장점이 있을 것이다.

1. 마이크로 및 나노 시스템 생산의 정밀도 향상 및 대량생산이 가능
2. 마이크로 및 나노의 3차원 평면 가공을 수행할 수 있다.
3. 3차원 복합적인 입체 형상을 제조할 수 있다.
4. 신개념의 사출 제어 알고리즘 개발을 통해서 고급 위치, 온도, 속도, 압력 제어를 할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Enoch Kim, Younan Xia, and George M. Whitesides*, "Micromolding in Capillaries: Applications in Materials Science" *J. Am. Chem. Soc.* 1996, 118, 5722-5731
2. Younan Xia, Enoch Kim, and George M. Whitesides*, "Micromolding of Polymers in Capillaries: Applications in Microfabrication" *Chem. Mater.* 1996, 8, 1558-1567
3. Randy M. McCormick, Robert J. Nelson, M. Goretty Alonso-Amigo, Dominic J. Benvegnu, and Herbert H. Hooper*, "Microchannel Electrophoretic Separations of DNA3. in Injection-Molded Plastic Substrates" *Anal. Chem.* 1997, 69, 2626-2630