

## 나노 시스템 사출을 위한 차세대 전동식 사출기 개발 및 이를 위한 나노 몰드 개발

황교일\*(성균관대 대학원), 류경주(성균관대 대학원), 김훈모(성균관대)

### Development of Nano Mold and Injection molder for Nano system

Kyoil Hwang(Mech. Eng. Dept., SKKU), Kyungju Ryu(Mech. Eng. Dept., SKKU), Hunmo Kim(SKKU)

#### ABSTRACT

Recently, micro-nano system is fabricated by photolithograph method. This method can not have mass production, so this method wastes time and human effort. accordingly, the aim of this paper is to research on injection molding of micro-nano system. For injection molding process, development of micro-nano mold is required. Mold for injection mold process is maintained its shape in high pressure and temperature.

So in this paper, we studied the simulation of mold for injection molding and then we consider a result of injection molding simulation.

**Key Words :** Micro mold (마이크로 몰드), Nano mold (나노 몰드), Injection molder (사출기)

#### 1. 서론

최근 나노 기술에 대한 인식이 높아지면서 많은 연구원들이 새로운 나노 기술 개발에 많은 연구를 수행하고 있다. 이는 새로운 나노 소재 및 소자, 나노 머시닝등 다양한 분야로 연구가 추진되고 있다. 특히 나노 머시닝 부분에서는 보다 정밀하고 빠른 나노 시스템 제조를 위한 연구가 추진되고 있다. 이를 위해서 전자빔 식각이나 e-beam을 이용한 식각이 많이 사용이 되고 있으나 이는 너무 많은 시간과 노력이 투자가 되므로 향후 대량 생산을 위한 상용화에 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 나노 시스템의 대량 생산을 위한 나노 사출 시스템의 개발에 그 목적이 있다. 나노 사출을 위해서는 나노 몰드 개발 및 나노 시스템 사출 용 사출기 개발이 필요하므로 이를 위한 기반 연구에 대해서 소개를 한다.

나노 시스템의 대량 생산을 위해서 hot embossing을 이용한 방법이 스위스 국립과학연구소에서 제시된 바가 있다.[1] 하지만 공정 후 정밀도등의 문제에 있어서는 완전한 결과를 얻지 못하였다. 이는 나노 몰드의 경우 고온 및 고압에서 그 형상의 변화 유무에 그 문제가 있으므로 나노 몰드의 개발이 절실히 필요하다는 것을 알 수가 있다.

마이크로 시스템 사출을 위한 몰드 개발은 일본의 도쿄 대학에서 사파이어 및 다이아 몬드로 개발을 수행한 경우가 있다.[2] 하지만 몰드 자체의 재료가 너무 고가이므로 고온 및 고압에서 형상은 유지할 수 있지만 향후 실제 적용 시 문제점이 있다.

사출기의 개발은 보다 정밀한 사출 조건의 제어를 위한 제어 알고리즘이 장착된 나노 사출기의 개발이 필요하다. 정밀한 나노 사출을 위해서는 극 미세 사출이며 온도, 압력에 따른 재료 특성 변화가 발생할 수 있으므로 이를 최적의 조건으로 제어할 수 있는 사출기가 필요하다. 현재 사출 시 발생하는 다양한 조건에 대한 형상의 예측에 대한 연구는 수행되고 있다.[3] 하지만 이를 근본적으로 극복할 수 있는 사출기에 대한 개발은 미진한 상황이다.

따라서 본 논문에서는 나노 시스템 사출을 위한 정밀한 몰드의 개발에 대해서 소개를 하고 사출 조건에 따른 시뮬레이션 결과를 제시한다. 또한 현재 개발하고 있는 전동식 사출기 및 사출 제어기에 대한 소개를 한다.

#### 2. 나노 몰드의 개발

##### 2.1 공정

본 논문에서는 사출 시 발생하는 고온 및 고압에서 몰드의 형상이 유지되는 것에 중점을 두어서 연구를 수행하였다. 따라서 나노 몰드에 앞서 마이크로 몰드를 개발을 수행하여 본 몰드가 사출에 가능성을 제시하면 나노 몰드로 적용하는 방식을 채택하였다.

먼저 적용한 방식은 알루미늄 에칭 후 니켈을 도금하는 방법이다. 공정은 Fig. 1에 소개가 되어 있다.

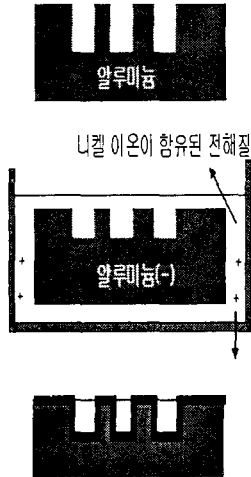


그림 1. 알루미늄-니켈 몰드 공정

먼저 알루미늄을 에칭한 후 seed layer을 흡착하여 니켈을 도금하는 방식이다. 본 방식에서 기저 물질로 알루미늄을 사용한 이유는 적당한 연성 및 취성을 가진 물질이며 니켈을 도금한 이유는 몰드 자체의 강성을 높이기 위해서이다.

## 2.2 시뮬레이션

본 연구의 목적은 고온 고압의 사출 조건에서 몰드 자체의 변형이 발생하지 않는 몰드의 개발에 있다. 따라서 2.1장에서 언급한 몰드에 대한 공정 및 사출 조건을 부여하였을 경우 몰드의 변형에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 사용한 tool은 MEMCAD를 사용하였다.

● 몰드의 크기는 다음과 같다.

1. 몰드 전체 크기: 60×60×2.5mm
2. 니켈 도금 두께: 0.004mm
3. 에칭된 부분의 크기: 20×20×0.004mm

위와 같은 크기의 몰드에 다음과 같은 조건을 부여하였다.

● 몰드의 조건은 다음과 같다.

1. 온도: 100도, 200도
2. 인가한 압력: 80, 100, 150기압

## 2.3 시뮬레이션 결과

먼저 온도를 100도를 유지하고 압력을 80기압 인가하였다. Fig 2에는 전체 변형 형태가 나타나 있다.

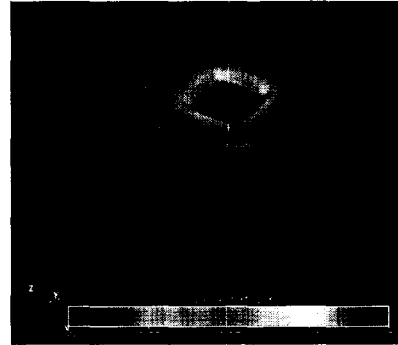


Fig.2 Strain in case of 100 degree and 80bar

전체 몰드의 변형율은 최대 약 1.34  $\mu\text{m}$ 로 결론이 도출되었다. 이는 전체 20mm에서 0.5%이내의 변형을 가진다고 할 수가 있다. 따라서 몰드로서의 가능성은 확인할 수가 있다. 하지만 100도에서 80기압의 입력은 형상 자체의 제약을 가지므로 보다 보다 높은 온도 및 압력에 대한 시뮬레이션이 필요하다. Fig. 3에서는 온도가 200도, 압력은 100기압을 작용시킨 결과이다.

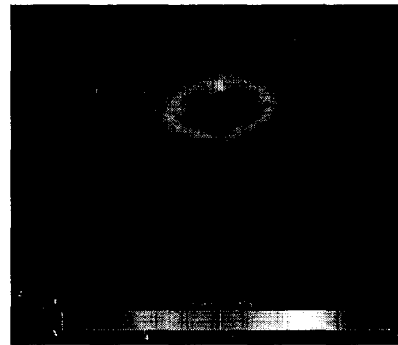


Fig. 3 Strain in case of 200 degree and 100bar

위 결과를 고찰하면 최대 변형이 발생한 지점에서의 변형된 양이 약 1.71  $\mu\text{m}$ 로 나왔다. 이 경우 역시 몰드로서의 가능성을 확인할 수 있음을 알 수가 있다. 하지만 사출 시 보다 정밀한 형상을 위해서는 온도는 약 200도 이상이 필요하며 압력도 약 200bar 정도가 공급이 된다. 따라서 이러한 환경에서의 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과는 Fig. 4에 나타내

었다.

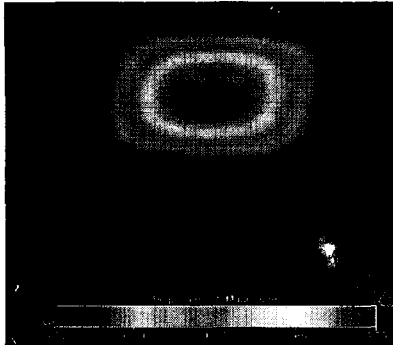


Fig. 4 Strain in case of 200 degree and 200bar

위 결과를 고찰하면 변형된 양이 약  $3.55 \mu\text{m}$ 가 발생을 하였다. 이때 발생된 응력을 살펴보면 Fig. 5와 같다.

여기서 최대 발생되는 응력은  $1715\text{MPa}$ 이 발생을 한다. 이는 알루미늄 및 니켈의 항복강도를 훨씬 웃도는 것으로 파손이 발생한 것으로 생각할 수가 있다. 따라서 본 모델에서는 200도 및 200기압을 인가할 수 없음을 알 수가 있다.

보다 높은 온도 및 압력에서 몰드가 견딜 수 있기 위해서는 니켈 도금을 증착하는 방법을 생각할 수가 있다. 따라서 향후에는 이 방법을 적용 시킬 것이다. 또한 알루미늄 에칭 시 표면의 조도에 문제가 있으므로 향후에는 UV LIGA를 통한 형상을 만들고 그 위에 seed layer를 증착 시킨 후 니켈 합금을 도금하는 방식을 취할 것이다.

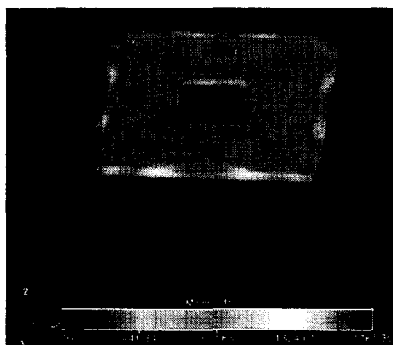


Fig. 5 Stress in case of 200 degree and 200bar

### 3. 나노 사출기 개발

마이크로 및 나노 시스템을 사출하기 위해서는 기존의 매크로한 시스템의 사출 보다 보다 정밀한 온도, 압력, 속도의 제어가 필요하다. 또한 보다 다양한 형상의 제조 즉 보다 높은 aspect ratio를 가지는

형상을 가공하기 위해서는 기존의 사출 방식이 아닌 다른 방식의 사출이 필요하다. 현재 높은 aspect ratio를 가지는 형상 즉 얇은 막의 사출의 경우를 위해서 기존의 사출 속도 보다 높여서 사출을 수행한 경우가 있다. 이때 사출 속도를  $12\text{mm/sec}$ ,  $25.4\text{mm/sec}$ ,  $50.8\text{mm/sec}$ ,  $101.6\text{mm/sec}$ 로 나누어 사출 성능을 테스트 해 본 결과 높은 속도에서 비교적 정확한 aspect ratio 형상을 사출할 수 있는 결과를 제기한 바가 있다.[4] 그리고 사출 온도의 경우 사출 재료인 고분자의 녹는 점 이상으로 몰드에 채워 넣고 또한 잔류 응력이 최소한 남도록 온도를 낮추어야 한다. 이 경우 마이크로-나노 시스템의 경우 온도를 너무 높이거나 빨리 낮추게 되면 재료의 성질에 변형이 발생할 수가 있으며 결과물에서도 잔류 응력이 존재하여 성능 저하를 유발 할 수가 있다.

이러한 조건을 만족 시키기 위해서 나노 사출기가 가져야 할 조건은 Fig. 6에 소개되어 있다. 향후 개발될 마이크로-나노 사출기는 크게 3가지 부분으로 나뉘어 진다. 먼저 몰드의 결합 부분이다. 몰드의 결합 시 너무 빠른 속도 및 압력을 인가 할 경우 미세한 패턴이 형성되어 있는 부분에 파손이 발생할 수 있으므로 정밀한 속도, 압력, 위치 제어가 필요하다. 그리고 사출 부분에서 앞에서 언급한 바와 같이 사출 온도, 압력, 속도의 연속적인 제어 알고리즘이 필요하다. 그리고 전동기의 경우 aspect ratio의 경우 높은 압력 및 속도를 요구하므로 이를 충족시킬 수 있는 전동기의 개발이 필요하다.

Fig. 6에서와 같은 조건의 사출기를 개발하기 위해서 본 논문에서는 먼저 전동식 사출기를 제안한다. 전동식 사출기는 사출 압력 및 속도의 연속 제어가 간단히 수행할 수가 있으며 전체적인 크기도 줄어들어 소형으로 사출기를 제작할 수가 있다. 이를 위한 기본적인 소형의 전동 사출기의 모습은 Fig. 7에 나타나 있다. Fig. 7에 나타나 있는 전동식 사출기는 먼저 전동기와 injector 부분을 간단히 구성해 본 것이다. 이를 이용하여 나노 시스템 사출 시 중요한 요소인 압력, 온도, 속도를 연속 제어 하기 위한 제어 알고리즘을 개발하여 실험을 수행할 것이다. 또한 본 연구에서는 먼저 범용 사출기 제어를 개발하였다. 이는 Fig. 8에 나타나 있다. 본 제어기는 기존의 불연속 제어 방식에서 벗어나서 마이크로-나노 사출 조건의 연속 제어 알고리즘을 적용한 것이다. 사출 조건의 연속 제어를 수행할 경우 보다 높은 aspect ratio를 얻을 수 있으며 사출 재료 자체의 변형을 최소화 하여 사출된 마이크로-나노 시스템의 성능이 최대한 유지할 수가 있으며 사출 후 남는 잔류 응력을 최소한으로 줄일 수 있는 장점이 있다.

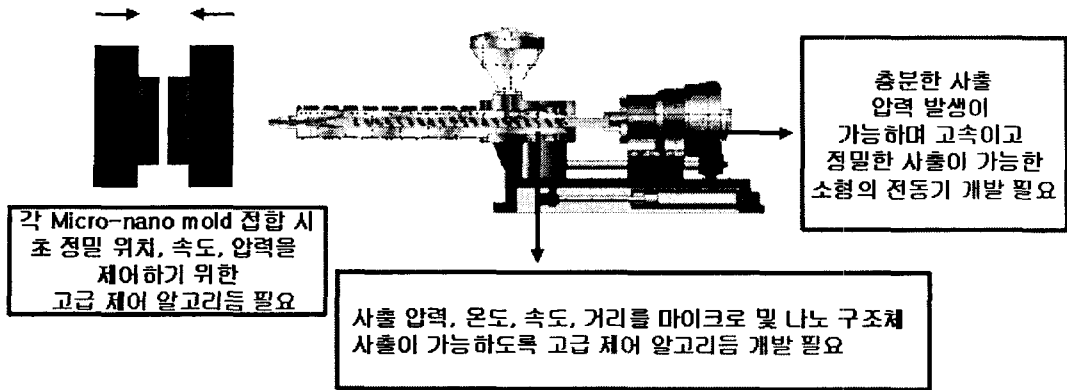


Fig. 6 Injection molder for nano system

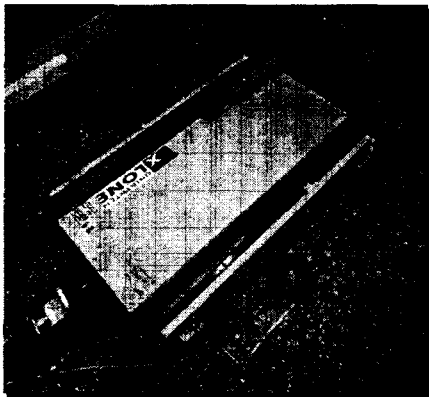


Fig. 7 The proto type of injection molder for nano system

술 개발에 그 목적이 있었다. 먼저 나노 몰드를 개발 하기에 앞서 마이크로 몰드를 개발을 수행하여 가능성을 제시하였으며 향후 마이크로 몰드 자체로 상용화를 수행할 것이다. 마이크로 및 나노 몰드는 기존의 몰드와는 다르게 사출 시 발생하는 고압 및 고온 서 견딜 수 있어야 하므로 개발하기에 앞서 먼저 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 지켜 보았다.

또한 나노 사출기 개발을 위한 기반 기술로서 간단한 proto type의 전동식 사출기와 사출 조건을 연속적으로 제어를 할 수 있는 제어기를 개발하여 현재 실험 중에 있다.

따라서 향후 위의 결과를 이용하여 나노시스템을 대량 생산 할 수 있는 나노 사출 시스템을 개발할 것이다.

#### 후기

본 연구는 성균관대학교 마이크로 시스템 연구소의 지원을 받아 수행을 하였습니다.

#### 참고문헌

1. <http://www.psi.ch/>
2. Y. Tokano, J Taniguchi, T. Kawaski, etc, "Imprvement of Imprinted Pattern Uniformity using Sapphire Mold", IEEE, 2000
3. Huamin Zhou, Dequn Li, " A Numerical Simulation of the Filling Stage in Injection Molding Based on a Surface Model", advances in Polymer Technology, Vol 20. No 2, pp 125~131, 2001
4. Marc J. Madou, "Fundamentals of Microfabracatio n" CRC, Second edition, pp 361~365

#### 4. 결론

본 논문에서는 나노 시스템 사출을 위한 기반 기술인 나노 몰드 제작 및 나노 사출기 개발의 기반 기