

# 사출 성형을 위한 니켈 도금을 수행한 마이크로 몰드의 개발

황교일\*, 김훈모#

## Development of Micro mold with Electroplating Ni for Injection molding

Kyoil Hwang\*, Hunmo Kim#

### ABSTRACT

An injection molding is necessary to mass-product for micro-nano system, so micro-nano mold must be developed for injection molding. The micro-nano mold has precision and strength to overcome a surround of injection. So in this paper, two methods were used. First, after etching the Al, Ni was electroplated in etched Al. The other, LIGA method was used. A temperature and thickness of Ni are important factors in these methods. So after fabrication, the simulation was processed to find optimal thickness of Ni and temperature.

Key Words : Micro mold (마이크로 몰드), Electroplating (전기도금), LIGA (리가), Injection molding (사출 성형)

### 1. 서론

마이크로-나노 시스템의 제조는 주로 석판인쇄법을 통해서 이루어지고 있다. 전자빔, UV, X-ray 등 각 형상의 크기 및 재료의 특성에 따라서 적용이 되고 있지만 공통적인 특징은 형상을 제조하는데 너무 많은 시간이 소요되고 빔의 파장에 따라서 제조할 수 있는 형상의 한계점이 있다. 또한 재료 자체가 가지는 특징으로 인하여 마이크로 시스템에서 중요한 중횡비에 한계점을 보이고 있는 것이 사실이다.<sup>1,3</sup>

위와 같은 문제점을 해결하기 위해서 현재 연구 중인 내용은 핫엠보싱이 있다.<sup>4,5</sup> 핫엠보싱을 할 경우 어느 정도의 대량 생산은 가능하다. 하지만 이것의 특성상 복합 형상의 제조에는 문제점이 있다. 그리고 형상 제조 후 물질에 남은 잔류 응력을 비교해 본 결과 사출 성형 결과물 보다 높은 잔류 응력을 나타내고 있음을 알 수가 있다.<sup>6</sup>

따라서 향후 마이크로-나노 시스템의 제조는 사출 성형 방식에 적용이 될 것이다. 사출 성형을 위해서는 먼저 이를 위한 몰드 개발이 필요하다. 기존의 몰드는 UV LIGA 및 LIGA 방식이 현재 많

접수일: 2005년 4월 27일; 게재승인일: 2006년 1월 13일

\* 성균관대학교 기계공학부 Microsystem Lab.

# 교신저자: 성균관대학교 기계공학부

E-mail kimhm@me.skku.ac.kr Tel. (031) 290-7450

이 사용되고 있지만 그 재료로 사용되는 것은 광화학반응 중합체 및 일반 금속 재료이다. 또한 이는 사출을 수행할 수 있는 몰드가 아닌 형상 제조 즉 복합적인 형상 개발을 위해서 연구가 추진되고 있는 실정이다.<sup>7,8</sup> 또한 높은 종횡비와 면의 수직성 그리고 최소한의 선포 개발에 치중이 되어 있다. 뿐만 아니라 몰드 강성을 높이기 위해서 니켈 도금을 수행하고 있지만 주로 니켈의 기계적 특성을 측정하는데 연구가 수행되고 있다.<sup>9,10</sup> 따라서 몰드가 높은 온도 및 압력에서 변형되는 양 및 개발 후 몰드가 가지는 잔류 응력에 대한 고려는 하지 못하고 있다. 이로 인해 이런 문제를 극복하면서 사출 시 발생하는 고온 고압에서도 정밀성이 유지가 되는 마이크로 및 나노 몰드 개발이 필요한 실정이다.

그리하여 본 논문에서는 사출 시 발생하는 고온 및 고압에서 몰드 형상을 유지시키기 위한 요소들에 중점을 두어서 연구를 수행하였다. 이를 위해 나노 몰드에 앞서 마이크로 몰드 개발을 수행하여 사출 제작 방식에 가능성을 보이면 점차적으로 보다 미세한 사이즈의 몰드로 적용하는 방식으로 진행할 것이다.

또한 몰드 개발을 알루미늄 바탕에 니켈을 도금하여 개발을 하였다. 이때 알루미늄을 사용한 이유는 몰드의 파손을 막을 수 있도록 연성이 있는 재료를 선정하였고 니켈을 도금 한 이유는 몰드 온도 및 사출 조건에서 정밀성을 유지할 수 있도록 하기 위해서이다. 이때 중요한 점은 니켈 도금의 두께와 온도이다. 그리고 니켈 몰드 온도에 대한 특성을 보다 정확하게 알아보기 위해서 LIGA 공정을 수행하였다고 가정하고 니켈 전해가 몰드인 경우 온도에 따른 특성을 찾아보았다. 따라서 이에 대한 시뮬레이션을 수행하여 몰드로서의 가능성을 검증하고자 한다.

## 2. 마이크로 몰드 개발 공정

먼저 Fig. 1에 도식화된 바와 같이 알루미늄을 에칭한 후 티타늄 시드층을 흡착하여 니켈을 도금하는 방식을 적용하였다. 이때 중요한 것은 니켈 도금 시 도금 후 니켈의 강성이다. 박막형태로 도금된 니켈 강성은 180 GPa이므로 이를 기준으로 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 시드층은 티타늄을 사용하였는데 두께는 니켈 도금 두께의 10%라고 가정하였다.

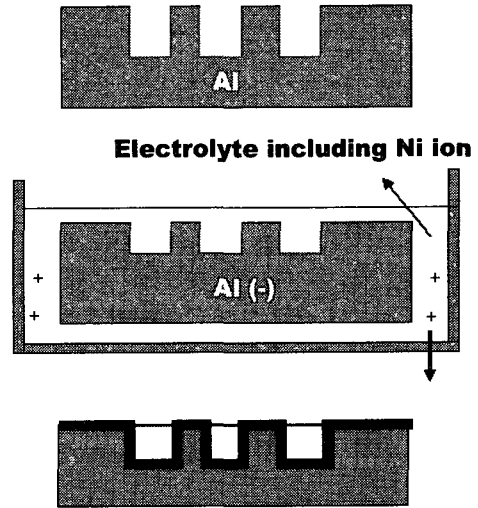


Fig. 1 Process of Al-Ni mold

또한 LIGA 공정을 수행하여 만든 고분자 몰드 위에 니켈을 도금하여 전체 형상을 제조하였다고 가정하였다. 이 시뮬레이션을 수행한 이유는 시뮬레이션 결과 온도에 따른 니켈 특성을 확인해 보기 위함이고 또한 LIGA 수행 시 발생할 니켈 몰드의 특성을 미연에 시뮬레이션을 수행해보기 위함이다.

## 3. 시뮬레이션

2장에서 제안하는 몰드에서는 강성 유지가 니켈 도금 두께에 있다고 할 수가 있다. 또한 사출 시 몰드 자체의 온도 제어가 중요하므로 온도에 따른 몰드 변형이 중요한 요소가 된다. 그리고 마지막으로 실제 사출 성형 시 제품을 위한 수지 변형도 몰드 변형에 중요 고려사항일 것이다. 따라서 이에 대한 시뮬레이션을 수행 하였다.

### 3.1 시뮬레이션 조건

시뮬레이션을 수행하기 위해서 다음과 같은 조건을 부여하였다.

Table 1, 2, 3은 온도, 니켈 도금의 두께 및 LIGA를 이용해 제작된 전체 니켈 몰드에 대한 시뮬레이션 시의 조건을 나타내었고, Table 4, 5는 알루미늄과 니켈 및 제작될 제품을 위한 일반적인 재료인 에폭시의 기계적, 열적 물성치에 대해서 나타내었다.

Table 1 Simulation by temperature

Properties	Condition
Dimension of mold	20×20×60 μm
Thickness of coated Ni	10 μm
Seed layer	1 μm
Dimension of etching part	2×2×5 μm
Applied pressure	800 MPa
Mold coherence	2500 MPa
Temperature of mold	100~500℃

Table 2 Simulation by coated thickness

Properties	Condition
Temperature	300℃
Thickness of coated Ni	8~20 μm

Table 3 Simulation of all Ni mold

Properties	Condition
Temperature	100~500℃
Thickness of electroplated Ni	50 μm

Table 4 Material properties of Al, Ni

	Al	Ni
Young's Modulus (MPa)	$7.7 \times 10^4$	$2.21 \times 10^5$
Poisson's ratio	0.3	0.3
Density (kg/μm <sup>3</sup> )	$2.3 \times 10^{-15}$	$8.9 \times 10^{-15}$
TCE (1/K)	$2.32 \times 10^{-5}$	$1.19 \times 10^{-5}$

\* TCE - Thermal Coefficient of Expansion

Table 5 Material Property of Epoxy

	Al
Young's Modulus (MPa)	$7.7 \times 10^4$
Poisson's ratio	0.3
Density (kg/μm <sup>3</sup> )	$2.3 \times 10^{-15}$
TCE (1/K)	$2.32 \times 10^{-5}$

### 3.2 온도에 대한 시뮬레이션

시뮬레이션은 다음 형상과 같이 수행이 되었다. Fig. 2와 Fig. 3은 300℃의 온도에서의 몰드의 변형 상태에 대한 모습을 나타낸 것이다.

몰드 온도를 300℃ 유지를 하고 사출 압력을 Fig. 3의 화살표와 같이 인가하였을 경우의 결과이다. 최대 변형되는 양은 전체 크기의 1% 미만이며 최대 발생 응력은 334 MPa가 나와서 항복 강도 이하로 발생하였다. 이는 몰드가 위의 사출 조건에서 변형을 1% 미만으로 견딜 수 있음을 보인다.

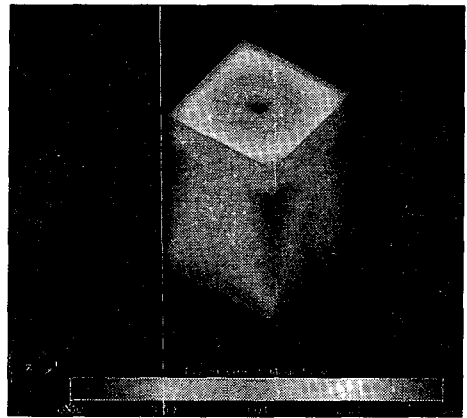


Fig. 2 Displacement in case of 300℃

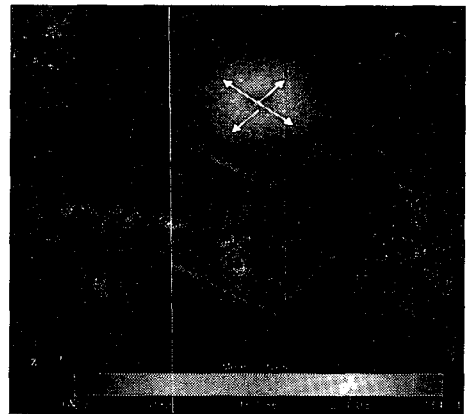


Fig. 3 Stress in case of 300℃

Fig. 4에서는 온도에 따른 변형량에 대한 결과를 조합하여 그래프로 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 5는 온도에 따른 응력에 대한 결과를 조합하여 나타낸 것이다. 각 수치는 해당 몰드에서 발생하는 최대치를 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 온도가 100에서 300℃로 증가 할 경우 변형량이 감소하는 것을 알 수가 있다. 하지만 300℃ 이상에서는 온도가 증가할수록 변형량이 증가하는 것을 알 수가 있다. Fig. 5에서도 마찬가지로 100에서 300℃까지는 발생 응력이 줄어들지만 300℃ 이상에서는 발생 응력이 높아지는 것을 알 수가 있다. 위 결과를 고찰한다면 몰드 환경 온도는 몰드 내부 응력을 줄여주는 최적의 온도가 있음을 알 수가 있고 니켈의 경우 300℃라는 결과를 알 수가 있다.

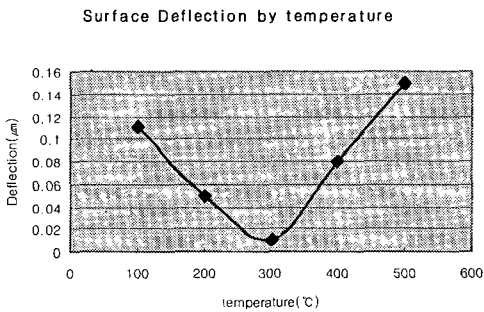


Fig. 4 Relationship between displacement and temperature

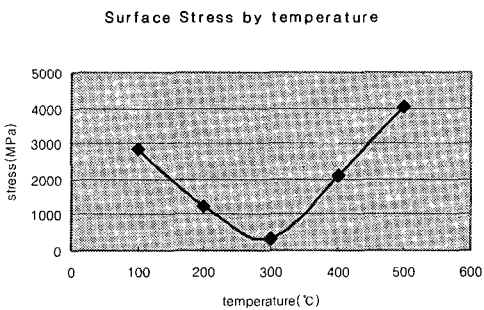


Fig. 5 Relationship between stress and temperature

### 3.3 니켈 두께에 대한 시뮬레이션

일반적인 상태의 니켈과 전기 도금 후의 얇은 막 형태의 니켈과는 강성 차이가 있으므로 몰드 강성을 유지시켜 주는 니켈의 도금 두께가 몰드 설계의 변수가 될 수가 있다. 물론 몰드 강성을 증대시키기 위해서는 도금 두께를 두껍게 할 수가 있을 것이다. 하지만 도금 특성 상 도금 두께에 한정이 있을 수가 있으며 알루미늄과 니켈의 도금을 위해서는 시드층인 티타늄이 알루미늄 위에 증착이 되어야 하므로 니켈 도금 두께를 결정해야 시드층 두께가 결정이 된다. 따라서 극한의 사출 조건을 극복할 수 있는 니켈 도금 두께를 결정하는 것은 중요하다 할 수가 있다.

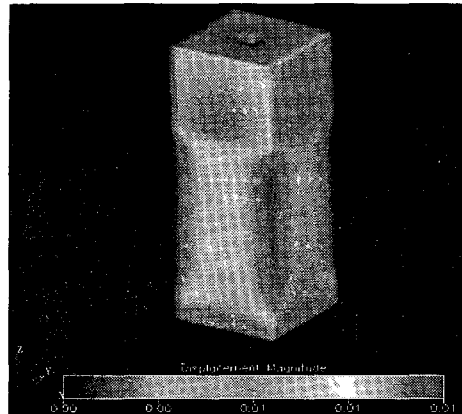


Fig. 6 Displacement in case of 15 μm

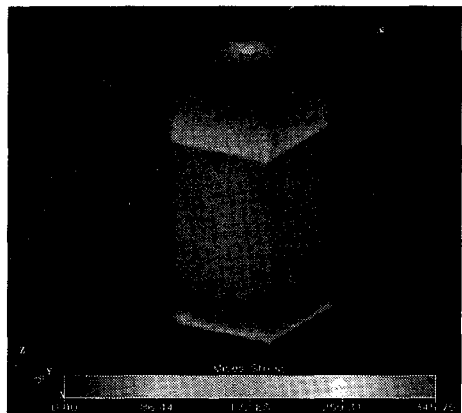


Fig. 7 Stress in case of 15 μm

니켈 도금 두께는 온도를 300℃로 고정하고 위에서 언급한 사양으로 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 6에서는 도금 두께를 15 μm로 했을 경우 발생 변형량에 대한 결과이다. Fig. 7에서는 발생 응력에 대한 결과이다.

Fig. 2, 3은 니켈 도금 두께를 10 μm로 한 것이고 Fig. 6, 7은 도금 두께를 15 μm로 한 것이고 온도는 300℃로 일정하므로 비교가 가능하다. Fig. 2에서는 니켈 도금 부분의 발생 변형량이 도금된 부분의 모서리 전 부분에서 고르게 발생하는 것을 볼 수가 있다. 하지만 Fig. 6에서는 도금 두께를 두껍게 할 경우에는 도금된 전 부분이 아니라 맨 위의 모서리 부분만 변형량이 많아지고 도금의 나머지 부분은 변형이 거의 없는 것을 알 수가 있다. 또한 Fig. 3과 Fig. 7에서의 응력을 비교 하면 응력 집중이 발생하는 부분은 시드층 부분과 니켈 도금 부분이 결합하는 곳이지만 두 경우 모두 니켈의 항복강도 이내이므로 몰드의 파손에는 문제가 없음을 알 수가 있다.

이제 이러한 결과를 조합하여 Fig. 8에서는 니켈 두께에 따른 변형율에 대한 그래프를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 9에서는 응력에 대한 그래프를 나타낸 것이다.

Fig. 8과 Fig. 9를 고찰하면 발생 변형량을 보면 도금 두께가 얇을 때 변형량이 많아지다가 두께가 10 μm 이상이 되면 거의 일정해지는 것을 알 수가 있다. 또한 응력을 보면 변형되는 양은 10 μm 이상 거의 일정하지만 발생 응력은 증가하는 것을 알 수가 있다. 또한 10 μm에서 최소의 응력이 발생하는 것을 알 수가 있다. 하지만 전체 발생 응력의 차이

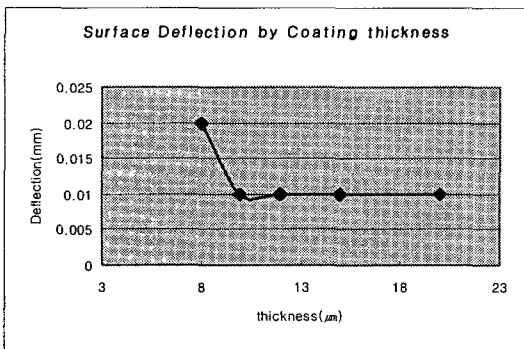


Fig. 8 Relationship between displacement and thickness

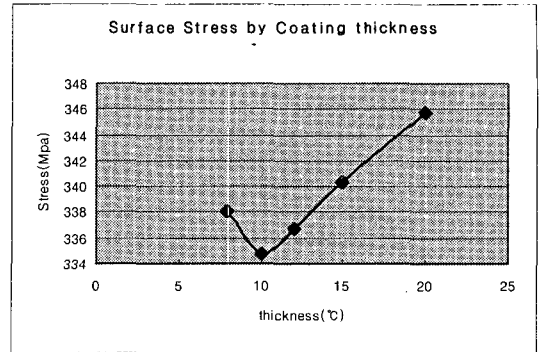


Fig. 9 Relationship between stress and thickness

가 도금 두께가 8~20 μm로 증가할 때 약 15MPa 정도가 되는 것을 알 수가 있다. 이는 온도에 대한 결과를 고찰한다면 미약하다고 할 수가 있지만 최소한의 응력 및 변형량을 가지는 두께가 존재하는 것을 알 수가 있다.

### 3.4 몰드 전체가 니켈인 경우 시뮬레이션

3.2 장에서 니켈 도금 부분의 온도를 바꾸어서 시뮬레이션을 해 본 결과 온도에 따른 몰드 변형량과 응력이 큰 차이가 있었다. 이는 알루미늄과 티타늄의 상관관계에서 나온 결과일 수가 있으므로 몰드 전체가 니켈이라고 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 10은 온도를 300℃로 하였을 경우 발생하는 변형량에 대한 결과이며 Fig. 11은 발생하는 응력에 대한 결과이다.

그 결과 에칭 후 니켈 도금한 것과는 다른 현상이 발생을 하였다. 먼저 변형량은 윗부분의 압력이 발생하는 부분에서 최대 변형이 발생하면서 아래로 내려오면서 단계적으로 변형되는 양이 줄어드는 것을 알 수가 있다. 이것은 앞의 알루미늄 부분에 보다 많은 변형을 보이는 것과는 차이가 있는 것을 알 수가 있다. 응력 발생도 앞의 니켈 도금 시 보다 훨씬 미약한 응력이 작용하는 것을 알 수가 있다. Fig. 12에서는 다양한 온도에 대한 몰드 변형량에 대한 그래프이며 Fig. 13은 응력에 대한 그래프이다.

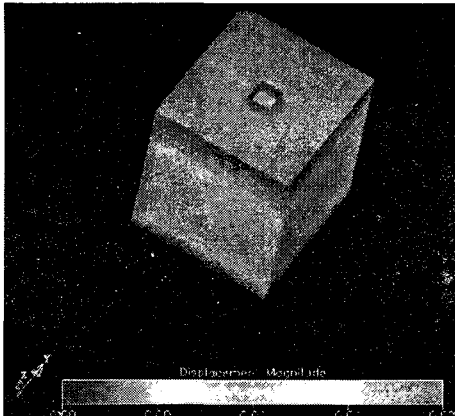


Fig. 10 Displacement in case of 300°C

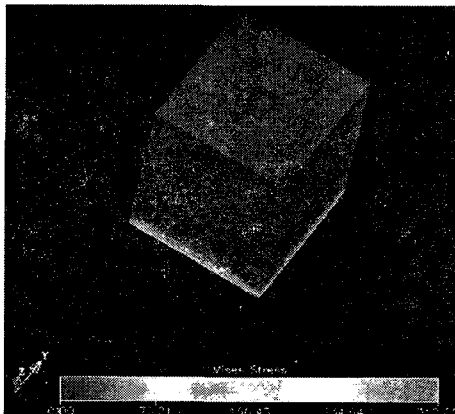


Fig. 11 Stress in case of 300°C

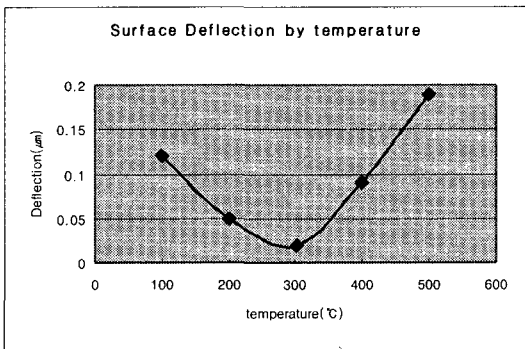


Fig. 12 Relationship between displacement and temperature

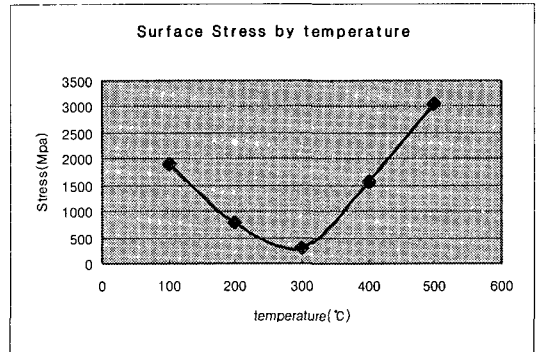


Fig. 13 Relationship between stress and temperature

위 결과를 고찰하면 역시 300°C에서 최소한의 변형량 및 응력을 가지는 것을 알 수가 있다. 이는 결국 앞의 알루미늄 에칭 후 니켈 도금 방식을 취한 경우와 같음을 알 수가 있으므로 최적의 온도 곡선은 니켈의 특성 때문인 것으로 파악이 된다.

또한 알루미늄 에칭 후 니켈 도금하는 방식과 LIGA 공정 결과로 만든 몰드를 비교하면 니켈 도금 방식은 최대 변형량이 1%이지만 LIGA 공정 후 발생하는 변형량은 2%인 것으로 나왔다. 또한 발생 응력은 니켈 도금 한 부분이 334 MPa이 나왔지만 LIGA 공정 결과는 312 MPa이 나왔다. 응력 부분은 LIGA 공정 결과가 낮게 나오는 것을 알 수가 있는데 이는 니켈 전체로 이루어진 몰드이기 때문에 응력 집중 현상이 없기 때문과 니켈 두께가 두겹기 때문에 발생하였다고 파악이 된다. 하지만 두 결과 모두 응력은 항복강도 이내이므로 충분히 몰드로서의 가능성을 검증할 수가 있었지만 알루미늄 에칭 후 니켈을 도금하는 방식이 변형량이 1% 작은 결과가 나왔고 공정이 편하기 때문에 향후 이와 같은 방식으로 몰드를 제작하여 실험 할 것이다.

### 3.5 니켈 도금 몰드에서 에폭시 수지를 성형할 경우 시뮬레이션

위의 시뮬레이션에서 우리는 300°C의 상태에서 몰드가 최상의 조건을 가진다는 것을 알 수 있었다. 하지만 실제 사출성형 제품의 수지가 그 온도에서 어떠한 열적 변형을 가지고 몰드에 영향을 미치는지도 중요한 고려사항이 될 것이다. 이에 니켈 도금 몰드와 동일한 조건에서 에폭시 수지를 성형했을 경우 발생하는 변화에 대해서 시뮬레이션을

수행하였다.

Fig. 14의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 볼 때 수지가 성형된 부분의 변형량은 극히 미미함을 알 수가 있다. 또한 Fig. 15에서 에폭시가 성형된 몰드의 표면의 변형량은 1% 이내로 미미하고 오히려 전체 변형량보다 더 작은 것을 볼 수가 있다. 이는 성형시의 수지의 몰드에 대한 열적, 물리적 영향이 크지 않은 것을 의미한다.

그러나 위 시뮬레이션은 마이크로 단위의 복잡한 형상 및 재료에 따른 중형비 등을 고려하지 않는 시뮬레이션이다. 따라서 향후 다양한 재료와 복잡한 형상에 대한 시뮬레이션을 수행하여 최적의 몰드를 결정하고 결정된 몰드에 공급하는 압력과 온도를 결정을 할 것이다. 그리고 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 몰드를 제작해 볼 것이며 사출기와 연동을 하여 실험을 수행할 것이다.

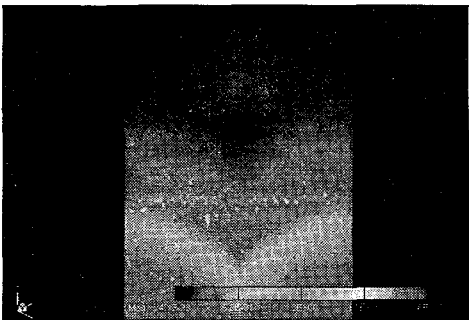


Fig. 14 Displacement in case of 300°C

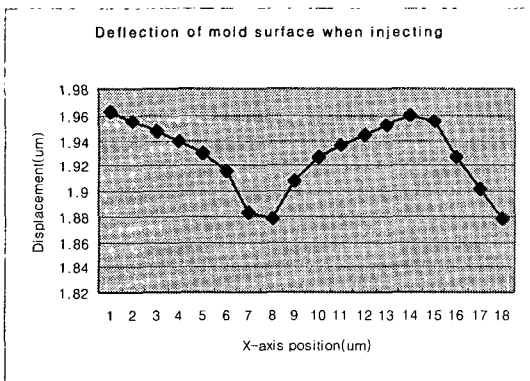


Fig. 15 Deflection of mold surface when injecting

#### 4. 결론

본 논문에서는 마이크로 및 나노 사출을 위한 몰드 개발을 위해서 몰드 조건에 대해 시뮬레이션을 수행해 본 것이다. 기존 몰드는 형상의 높은 중형비를 가지는 형상의 제조, 수직성 등에 중점이 되어서 개발하고 있지만 본 논문에서 제안하는 몰드는 사출 조건에서 충분한 정밀도를 유지할 수 있는지에 중점을 두었다.

이를 위해서 먼저 알루미늄 에칭 후 니켈을 도금하는 방식을 채택하였다. 위 방식은 기존에 사용하여 사출을 수행한 경우가 있지만 사출 조건에서의 충분한 정밀성에 대한 검증은 없었다. 따라서 본 논문에서 충분한 정밀성을 유지할 수 있도록 몰드 내의 온도 및 도금 두께에 대한 최적 조건을 유도하였다. 그 결과 몰드의 정밀도는 온도에 따라서 큰 영향을 받고 최적의 온도는 약 300°C에서 최소 변형량과 응력이 발생하는 것을 알 수가 있었다. 또한 니켈 도금 두께는 온도에 대한 경우 보다는 상대적으로 영향을 적게 받지만 최적의 두께가 정해진 것을 볼 수가 있었다. 본 시뮬레이션을 위한 사출 조건은 일반 고속 사출 속도의 약 2~3배 정도에서 두께가 10 μm이지만 실제 사출의 경우에는 이보다 두께가 작아도 충분한 정밀성을 유지할 수 있을 것이라고 판단이 된다.

또 다른 공정인 LIGA 공정으로 만든 니켈 몰드의 경우에도 현재 개발을 하고 있지만 사출을 위한 최적 조건을 찾지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 그에 대한 시뮬레이션을 수행하여 사출을 위한 최적 조건을 찾아보았다. 그 결과 몰드 온도를 300°C로 유지하는 것이 최상임을 알 수가 있었다. 그리고 사출을 위한 몰드로서 어떠한 몰드가 보다 정밀한 것인지를 파악해 본 결과 알루미늄 에칭 후 니켈을 도금하는 방식이 보다 응력은 많이 작용을 하지만 항복 응력 보다 낮고 변형량이 작으므로 향후 알루미늄을 에칭 후 니켈을 도금하는 몰드를 개발하여 실제 사출에 적용을 할 것이다.

#### 후 기

본 논문은 성균관대학교 마이크로 및 나노 시스템 연구소에서 지원하여 연구를 수행하였습니다.

## 참고문헌

1. Lorenz, H., Despont, M., Fahmi, N., "SU-8: A Low cost Negative Resist for MEMS," J. Micromech. Microeng. Vol. 7, pp. 121-124, 1997.
2. Lorenz, H., Despont, M., Vettiger, P., Renaud, P., "Fabrication of Photoplastic High-Aspect Ratio Microparts and Micromolds Using SU-8 UV Resist," Microsystem Technologies, Vol. 4, No. 8, pp. 143-146, 1998.
3. Becker, E. W., Ehrfeld, W., Hagmann, P., "Fabrication of Microstructures with High Aspect Ratios and Great Structural Heights by Synchrotron Radiation Lithography, Galvanofarming, and Plastic Moulding (LIGA process)," Microelectronic Engineering, Vol. 4, pp. 35-36, 1986.
4. Hecke, M., Bacher, W., Muller, K. D., "Hot embossing - The molding Technique for Plastic Microstructures," Microsystem Technologies, Vol. 4, pp. 122-124, 1998.
5. Roberts, K., Williamson, F., "The Fabrication of and Array of Microcavities Utilizing SU-8 Photoresist As an Alternative 'LIGA' Technology," University Government Industry Microelectronics Symposium, Proceedings of 13th Biennial, pp. 139-141, 1999.
6. Madou, M. J., "Fundamentals of Microfabrication, Second Edition," CRC, pp. 365-367, 2002.
7. Wenmin, Qu, Christian, wengel, Adreas, Jahn, "UV-LIGA:A Promising and Low-Cost Variant for Microsystem Technology," Conference on Optoelectronic and Microelectronic Materials and Devices Proceedings, pp. 380-383, 1999.
8. Noh, H. S., Huang, Y. and Hesketh, P. J., "Parylene micromolding, a rapid and low-cost fabrication method for parylene microchannel," Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 102, No. 1, pp. 78-85, 2004.
9. Ando, T., Shikido, M., Sato, K., "Tensile-mode fatigue testing of silicon films as structural materials for MEMS," Sensor and Actuators A, A93, pp. 70-75, 2001.
10. Kapels, H., Aigner, R., Binder, J., "Fracture strength and fatigue of polysilicon determined by a novel thermal actuator," Proceeding of the 29th European Solid-State Device Research Conference, IEEE, pp. 1522-1528, 1999.