

격자형 마이크로 구조물의 정밀 제작을 위한 Anti Stiction 장비 개발

Development The Anti-Stiction Equipment for More Precision Fabrication of Lattice Micro Structure

*김현태¹, 박인백¹, 김성현¹, 하영명¹, #이석희²

*H. T. Kim¹, I. B. Park¹, S. H. Kim¹, Y. M. Ha¹, #S. H. Lee(sehlee@pusan.ac.kr)²

¹ 부산대학교 대학원 기계공학부, ² 부산대학교 기계공학부

Key words : Stiction, Microstereolithography

1. 서론

마이크로 광조형 기술이 계속 진보함에 따라 더욱 정밀하고 세밀한 구조물을 제작하게 되었다. 하지만 미세한 구조물을 제작 하면서 여러 가지 현상들이 발견되고 문제점들이 생겨났다. 이러한 문제점 중 대표적인 것 중 하나가 stiction 현상이다. stiction 현상이란 미세 구조물 제작 시 경화되지 않은 공간에 채워졌던 레진이 빠져나오면서 구조물 사이의 접착 힘이 발생하여 구조물이 서로 붙으며 일그러지는 현상이다. 이 현상의 원인으로 모세관 힘, 수소 결합, 정전기 힘, van der Waals 힘 등을 들 수 있다. 이러한 힘들로 인해 미세 구조물들이 붙게 되었을 때 접착력이 원래 모양으로 복귀하려는 탄성 힘보다 강할 경우 그 상태를 유지하게 된다.[1]

Stiction 현상은 마이크로 장치의 기능을 상실하게 되는 대표적인 원인으로 MEMS, LIGA, μ SL 등에서 해결 방법을 찾기 위해 많은 연구를 하고 있다. 특히 μ SL의 경우 광경화를 통해 가공이 되므로 광개시제와 반응하는 모노머로 재료가 한정되어 stiction을 방지하기 위한 충분한 강성, 탄성력 등의 기계적 특성을 재료 자체에서 기대하기 어렵다. 게다가 μ SL의 경우 3D를 기반으로 하는 구조로 고세장비 구조물 제작에 유리한 반면 고세장비 구조물은 stiction 현상에 더욱 취약하기 때문에 anti-stiction에 대한 관심이 높다. 본 연구에서는 microstereolithography의 수준에 맞는 anti-stiction 장비를 개발하고 실험을 통한 측정으로 효과를 제시하고자 한다.

2. Stiction 현상과 제작형상

μ SL에서 stiction 현상은 구조물을 제작 하고 난 뒤 세척과정에서 주로 발생한다. 세척과정은 아세톤이나 알코올 등의 용매를 사용해 미세구조물 사이에 잔류되어진 수지를 제거하는데 목표를 둔다. 하지만 이러한 용매를 통해 잔류 레진이 구조물 사이를 빠져나올 때 구조물의 변형을 가져오게 된다. 이러한 현상을 stiction이라 하며 이를 개선하기 위해 격자형 마이크로 구조물을 제작하여 실험하였다.[2-3] 격자형 마이크로 구조물은 대표적으로 생체 재생을 위한 스케폴더와 마이크로 유체제어 등과 같이 그 기능이나 용도에 따라 다양한 사이즈와 모양을 가지고 있다. 따라서 격자형 구조물은 stiction 현상이 가장 잘 발생하는 구조물 형태중 하나이다.

미세 광조형으로 격자형 구조물의 제작은 제약이 따르고 복잡한 형태로 제작하기 힘든 구조물 중 하나로 손꼽힌다. 또한 정확한 제작이 되더라도 stiction이 미세구조물에 미치는 영향으로 변형이 쉽게 일어나기 때문에 정밀한 후처리 과정이 필요로 한다.

격자형 마이크로 구조물의 제작은 Fig 1. 과 같은 UV-DMD를 기반으로 하며 365nm UV 파장을 이용하여 자유수면 방식으로 적층하여 경화 제작하였다. 수지는 HDDA(1,6-Hexandiol Diacrylate)에 광개시제인 DMPA(2,2- Dimethoxy-2-phenylacetophenone)를 5wt.% 첨가하여 암실에서 3일 동안 magnetic stir를 사용해서 혼합하였다.

본 연구에서 stiction이 일어나기 쉬운 격자형 미세구조물 설계를 Fig 2. 과 같이 생체재생을 위한 스케폴더로 모델링 하였다. 설계 치수는 선폭이 100 μ m, 격자와 격자 사이를 100 μ m, 높이를 400 μ m, 가로와 세로의 길이는 2000 μ m로 제작하였다. 이러한 이유는 생체재생에 사용되는 대부분의 스케폴더의 pore는 정사각형, pore크기는 200x200um이며 공극비는 80% 이상이 요구되기 때문에 이를 고려하여 설계하였다.

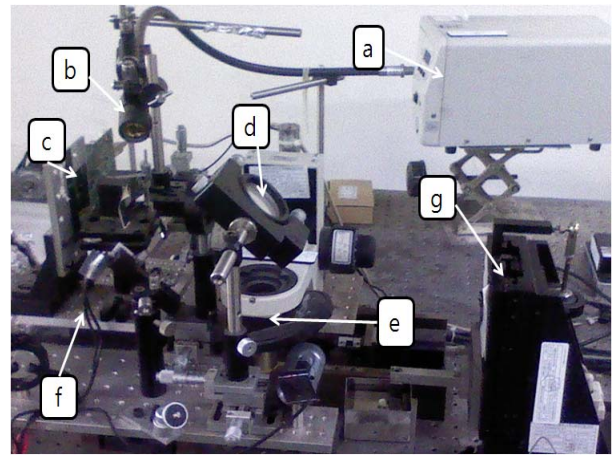


Fig 1. Schematic of Projection Microstereolithography (a)Lamp (b) Collimsting lens set (c) Digital Micromirror Device(DMD) (d) Reflecting mirror (e) Focusing lens (f) X-Y stage (g) Z-stage

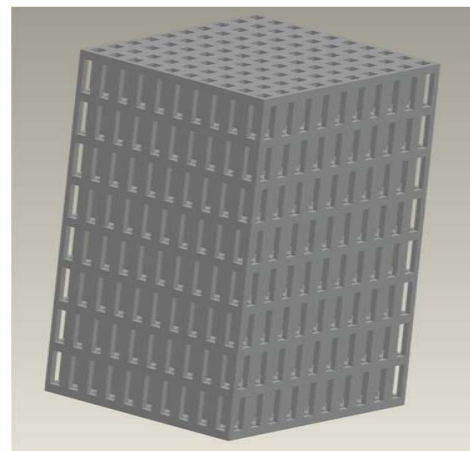


Fig 2. Modeling of scaffold

3. Anti Stiction 장비

Stiction의 발생을 막기 위한 방법으로 구조물의 표면 처리를 이용하거나 구조물 자체의 강성을 증가시키는 방법, 세척액의 개선 등 여러 가지 방법이 쓰이고 있지만 본 실험에서는 세척방법을 개선하는 방법을 선택하였다. 세척액이 빠져나오면서 모세관 현상에 의해 액체와 구조물 사이에 접착력이 발생하면서 구조물이 붕괴된다. 접착력을 제거하기 위해 세척액을 열려서 고체화한 후 승화시키는 방법을 이용하면 모세관 현상이 발생하지 않아 stiction에 취약한 마이크로구조물도 형태를 유지하면서 세척을 할 수 있다. 세척액을 고체화하기 위해서 Tert-Butyl alcohol을 사용하였다. Tert-Butyl alcohol은 어는점이 25.35℃이기 때문에 상온에서 약간의 온도변화만으로 고체 상태와 액체 상태로의 변화가 용이하다. Fig 3.은 anti-stiction 장비로 내부에 유리관을 그대로 옮겨 넣을 수 있도록 홈이 만들어져 있고 그 아래에 펠티어 소자를 이용하여 온도를 낮출 수 있도록 하였다. 덮개에는 공기를 빼낼 수 있도록 진공펌프와 연결할 수 있는 밸브를 달았고

진공상태를 유지하기 위해 승화장치와 덮개 사이에는 고무패킹을 이용하였다.[4]

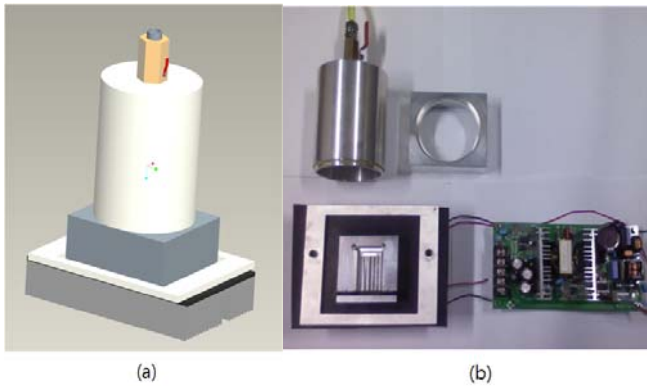


Fig 3. (a) 3D modeling of ani-stiction equipment using pro-e (b) Figure a component parts(controller, Peltier, vacuum device)

실험 순서는 광조형 장치에서 제작되어진 격자형 마이크로구조물을 유리판 그대로 옮겨와 anti-stiction 장비에 넣은 후 남은 수지의 세척을 위해 아세톤을 넣어 수지를 녹이면서 Tert-Butyl alcohol을 넣어 아세톤이 세척한 자리에 Tert-Butyl alcohol이 들어가 섞이도록 한다. 펠티어 소자를 작동시켜 온도를 떨어뜨리고 Tert-Butyl alcohol이 충분히 고체가 되었을 때 펌프와 연결된 덮개를 덮어 진공상태에서 승화를 시킨다. 이 과정의 전체적인 프로세스는 Fig 4.와 같다.

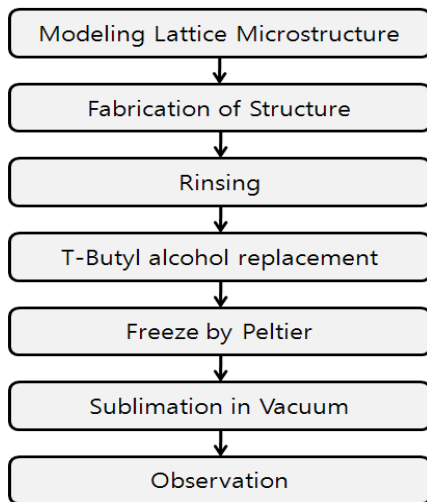


Fig 4. Overall processes in anti-stiction equipment

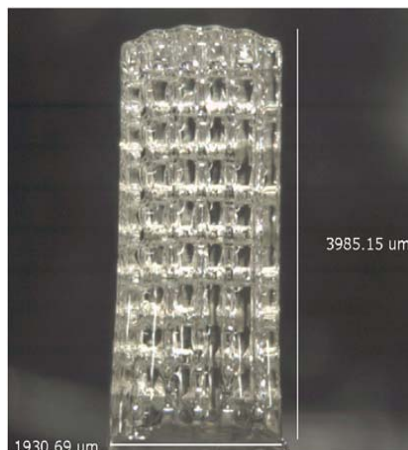


Fig 5. Structure after using the anti-stiction equipment

Fig. 5의 결과로 anti-stiction을 사용하지 않은 스케폴더에 비해 비교적 stiction이 적게 일어남이 보였다. 그러나 적층구조가 높을 수록 희생층 부근은 영향이 적으나 마지막 제작되어진 부근에서 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 이는 실험 시 승화과정에서 anti-stiction의 진공도가 일시에 떨어져기 때문이며, 용매의 양과 Tert-Butyl alcohol의 치환이 올바르게 이뤄지지 않았기 때문으로 사료된다.

4. 결론

마이크로구조물의 stiction은 격자형 구조뿐만 아니라 두 구조물 사이의 공간이 좁으면 항상 발생할 수 있다. 이는 점점 더 다양해지고 높은 정밀도가 요구되는 마이크로 구조물을 제작할 시 설계부터 영향을 받을 수 있다. 특히 DMD, LCD, LED 등 다양한 광원과 산업분야에서 바이오까지 폭넓은 분야로의 확장을 하고 있는 μ SL에서는 stiction 문제가 해결되지 않으면 특히 더 많은 제약을 받게 될 것이다. 본 실험에서는 펠티어 소자와 간단한 진공장치만을 통해서 세척액의 승화를 이용하여 stiction 문제를 완화시켜 더 높은 정밀도를 가지는 구조물을 제작할 수 있었다. 하지만 승화를 하기 위해 수지, 세척액, Tert-Butyl alcohol을 교환해야 하는 번거로운 과정과 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 승화를 빠르게 할 수 있는 적절한 온도를 유지하고, 세척액과 Tert-Butyl alcohol과 같은 승화를 위해 첨가해야 하는 물질들을 한 번에 섞을 수 있는 방법, 승화가 좀 더 빠르게 일어나게 할 수 있는 촉매제 등의 연구 등이 이루어야 할 것이다.

참고문헌

1. Niel Tasy, Tonny Sonnenberg, Henri jansen, rob Legtenberg and Miko Elwenspoek, " Stiction in Surface Micromachinning," J. Micromech. Microeng. 385-397. 6 (1996)
2. Tusty, J., Smith, S. and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," Annals of the CIRP, 39, 517-521, 1990.
3. C.H. Mastrangelo, C.H. Hsu, "Mechanical stability and adhesion of microstructure under capillary forces. Part II. Experiments," J. Microelectromech. Syst. 2, 44-55, 1993.
4. Dongmin Wu, Nicholas Fang, Cheng Sun, Xiang Zhang, "Stiction problems in releasing of 3D microstructures and its solution," Sensors and Actuators A 128, 109-115, 2006.