

# 전사방식 마이크로광조형을 이용한 회전형 미세 구조물 제작 Fabrication of movable microstructure using DMD-based microstereolithography process

\*김재현<sup>1</sup>, 박인백<sup>1</sup>, #이석희<sup>2</sup>, 안대건<sup>3</sup>

\*J. H. Kim<sup>1</sup>, I. B. Park<sup>1</sup>, # S. H. Lee. (sehlee@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>, D. K. Ahn<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>부산대학교 대학원 기계공학부, <sup>2</sup>부산대학교 기계공학부 <sup>3</sup>창원대학교 메카트로닉스공학부

Key words : Microstereolithography, Movable microstructure, DMD

## 1. 서론

마이크로 구동기, 마이크로 펌프 같은 미세구조물 제작에 관한 연구는 MEMS (micro electro mechanical systems)와 LIGA (Lithographie Gavanoformung Abformung)같은 실리콘 기반의 마이크로 머시닝 기법들을 위주로 진행되어 왔다. 그러나 이 기술들은 가공할 수 있는 형상이 제한적이고 움직이거나 회전할 수 있는 것을 제작하기 위해 복잡한 가공공정을 필요로 한다. 기존의 패속조형 기술에서 발전한 마이크로광조형(Microstereolithography, 이하  $\mu$ SL)기술은 단순한 공정으로 3차원의 미세구조물을 가공할 수 있어 여러 분야에 응용되고 있다.  $\mu$ SL에서 물리적인 힘으로 인한 미세 구동체의 제작은 가공 시 support라는 지지대를 사용해 가공물 사이의 접촉을 피해 제작하고 린싱(rinsing)의 과정에서 지지대를 없애는 방법, 단품을 제작해 미세조립을 실시 하는 게 일반적인 방법으로 여겨져 왔다. 이러한 방법은 미세 구조물에 변형을 입힐 수 있고, 단품 조립에 고난도의 기술과 장비가 필요로 한다. 이와 달리 본 연구에서는 DMD(digital micromirror device)를 이용한 전사방식의  $\mu$ SL에서 one-step으로 마이크로 회전체를 제작할 수 있는 방안을 모색하고 미소 유체 제어를 목적으로 한 구동형 마이크로 기어를 제작하였다.

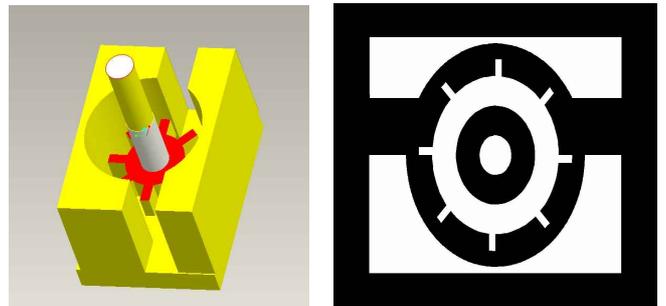
## 2. 전사방식 $\mu$ SL 을 이용한 마이크로 회전체 제작

### 2.1 설계 및 가공절차

미소 유체 제어를 목적으로 한 구동형 마이크로 기어의 3d 모델링은 fig. 1과 같으며 마이크로 기어를 감싼 블록의 크기는  $800\mu\text{m}$ (가로) x  $600\mu\text{m}$ (세로) x  $800\mu\text{m}$ (높이)이다. 이러한 블록은 유입(Inlet)된 유체가 이탈되지 않고 마이크로 기어를 통해 분사(Outlet)되기 위한 기능을 하며, 이후 마이크로 기어 어레이 제작 시 유체의 진행방향을 결정하는 요소로 사용된다. 마이크로 기어의 내경과 외경은 각각  $200\mu\text{m}$ 과  $400\mu\text{m}$ 으로 설계하였고 기어의 중심축에 비해 큰 내경을 두어 가공 시 중심축과 접촉이 일어나지 않게 고려했다. 가공방법은 Fig2와 같이 진행되며 요약하면 다음과 같다. 제작된 3D형상을 STL 파일로 변환하여 적층두께로 슬라이싱한 후 Fig.1(b)와 같이 각층의 단면형상과 동일한 이진 비트맵 이미지를 생성한다. 제작된 각 층의 비트맵 이미지를 DMD로 전송해 단면 형상의 패턴 형상으로 광을 반사시키고 여러 광학장치를 거친 후 대물렌즈에서 축소된다. 축소된 광은 수지 평면에서 결상되어 한 층을 경화 시키고 이 절차를 통해 마지막 층의 가공이 완료될 때까지 반복한다.

이러한 가공 방법은 광 조사 에너지, 조사 시간, 수지 재 도포(re coating)을 위한 대기시간, 적층을 위한 두께폭등의 여러 조건을 통해 제작되며, 올바른 가공조건을 구하기 위해선 기본적으로 레진의 경화실험, 점성 실험 등을 고려해야한다. 이중 점도는  $\mu$ SL에서 광 경화레진의 중요한 물성이며 100cps이하에서 제작이 가능하다. 만일 100cps~일 경우 레진에 온도를 가해 점성을 떨어 트리는 방법을 사용한다. 또한 높은 점성을 가진 레진은 적층 시 recoating시간을 늘려 가공시간을 늘려야 하는 단점도 가진다. 레진의 경화실험은 일반적으로 레진에 조사되는 광에너지에 따라 되는 경화 두께를 측정하며 이는 beerlambert의 수식에서

레진의 특성으로 분류된다. 이러한 경화 두께는 돌출형상(overhang)의 제작, 정밀한 가공 형상 등에 중요한 요소로서 광 억제제등을 사용해 조절할 수 있다.



(a) CAD Model (b) Cross-sectional bitmap image

Fig1. Design of micro gear & block

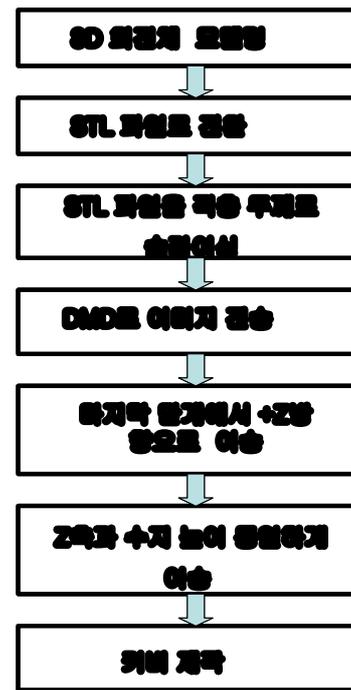


fig. 2 Flowchart of process for micro-gear fabrication

### 2.2 광 경화 수지 제작

본 연구에서는 기본 수지를 BED(Ethoxylated(4)bi-bisphenol a diacrylate), IBOA(Isobonyl acrylate), HDDA(1,6 Hexanediol dimet hacrylate)를 6:2:2weight비로 혼합하고, Oxygen Inhibition이 적은 장파장대 개시제인 Darocur TPO 3w.t%를 사용하였다<sup>3</sup>. 구조 강성을 높이기 위한 방안으로 TEOS를 6w.t%, 광 억제제인 Tinuvin을 0.1w.t%를 첨가하여 24시간동안 magnetic str을 사용해 상온에서 혼합했다. 이렇게 제작되어진 기본수지의 점성은 점성테스트기

인 SV-10(AND, Japan)을 사용해 상온에서 50도까지 열을 가해 fig. 3과 같이 측정하였다. 또한 광 조사에너지에 따른 광 경화 특성을 특정 3d 모델을 제작해 microscope(LEICA, German)를 사용해 fig.4와 같이 측정하였다

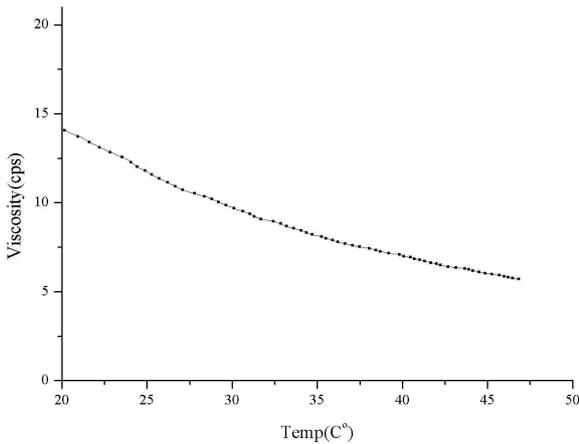


fig. 3 Measurement of viscosity according to temperature

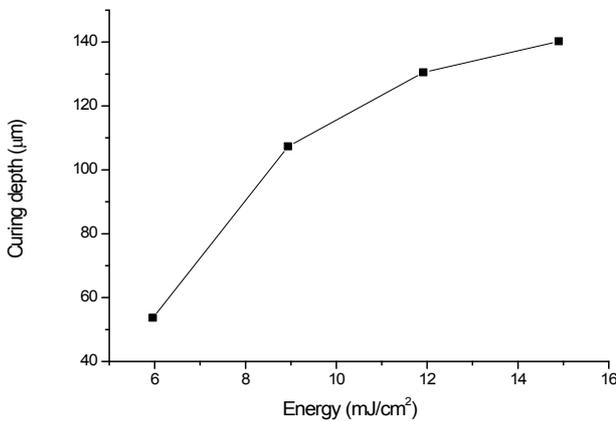


Fig. 4 Measurement of curing depth according to exposure energy

### 2.3 마이크로 회전체 제작

Fig. 1에서 회전체의 제작을 위해 fig. 2인 가공공정에서 적층 방향의 반대인 +z방향으로 이송시키는 이유는 적층방식으로 제작된 블록을 수지표면위로 들어 올려 블록 내 수지를 일정높이로 제거해 한 번의 회전체 패턴을 가공하기 위함이다. 한 번의 가공으로 회전체의 제작이 이뤄지므로 회전체의 두께는 광 에너지에 따른 fig.4의 그래프에 의해 전적으로 결정된다. 실 가공에 대한 자세한 방법은 커버를 제외한 블록의 제작 후 그 Z축 높이를 400µm로 높인다. 블록 내 수지가 inlet과 outlet을 통해 vat내 수지로 빠져나가 평탄해지는 시간을 실험적으로 10분의 대기시간을 두었으며, 그 위치에서 한 번의 가공으로 회전체를 제작하였다. 이 회전체의 두께는 142.24µm로 제작되어 레진의 표면장력과 부력에 의해 블록 내 수지표면과 동일한 높이를 가진다. 이후 초당 100µm의 속도로 블록의 최종 제작 높이인 크기로 z축을 낮추고, 한 번의 가공으로 블록 커버를 제작하였다. 블록의 inlet과 outlet을 통한 레진의 유입이 느린 반면 블록위의 recoating되는 레진의 유입은 급속히 진행됨으로 인해 회전체는 제작되어진 위치를 고수하게 되어 커버가 제작되어진다. 이후 이소프로필 알콜로 rinsing하고 진공 챔버에서 약 1torr의 감압을 10분간 실시하는 방법으로 총 3번의 반복을 거쳐 블록 내 레진을 제거하였다. 이렇게 제작되어진 회전체구동을 확인하기 위해 약 100µm마이크로의 지름을 가진 탐침봉을 사용해 접촉시켜본 결과 회전됨을 알 수 있었다.

### 3. 가공결과

본 연구의 목적인 support와 후처리가 필요하지 않은 회전체를 제작함에 있어 다른 지지체의 도움 없이도 충분한 가공을 수행할 수 있음을 확인했다. 그러나 가공 정도는 많은 실험에도 불구하고 원하는 형상의 회전체가 정확히 제작되지 않았으며 수동적인 가공방법을 내포하고 있음으로 가공변수가 존재함을 알 수 있었다. 원기둥과 블록의 제작은 설정한 가공조건으로 제작되었으나, 한 번의 가공으로 제작된 기어는 원기둥에 구속받지는 않지만 예상했던 가공 정도로 제작되지 않았다. 이후 이러한 결과를 토대로 수리학적 연구와 유체시뮬레이션을 통해 보다 정확한 회전체를 제작하여 미세 구동으로 인한 미소 유체 제어에 이뤄질 수 있는 배열구조를 연구할 계획에 있다.

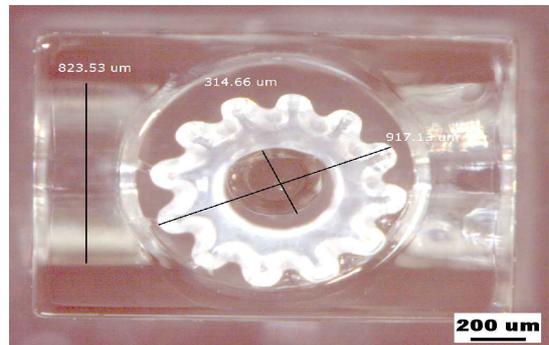


Fig.5 The fabricated micro-gear block

### 참고문헌

1. V. K. Varadan, X. Jiang and V. V. Varadan, "Microstereolithography and other fabrication techniques for 3D MEMS." John Wiley & Sons Ltd, 2001.
2. A. Bertsch, S. Jiquet, P. Bergard and P. Renaud, "microstereolithography: a review," Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol. 758, pp. LL1.1.1- LL1.1.13, 2003
3. 최 재원 "Development of projection-based microstereolithography apparatus adapted to large surface and microstructure fabrication for human body application" 부산대학교 박사학위 논문 2007.