

# 스틸모션(Still-motion) 기법과 디더(Dither) 기법을 활용한 광 경화수지의 경화특성 제어

## Control of curing properties in photocurable-resin using still- motion method and dither method

\*박인백<sup>1</sup>, 하영명<sup>2</sup>, #이석희<sup>2</sup>

\*I. B. Park<sup>1</sup>, Y. M. Ha<sup>2</sup>, # S. H. Lee<sup>2</sup>(sehlee@pusan.ac.kr)

<sup>1</sup>동서대학교 정보시스템공학부, <sup>2</sup>부산대학교 기계공학부

Key words :Still-motion method, Dither method, Projection microstereolithography(PμSL)

### 1. 서론

전사방식의 광조형기법(Projection microstereolithography: PμSL)은 복잡하고 완전한 3 차원 미세구조물을 제작하는데 사용되는 기법 중 하나로 분류된다<sup>1</sup>. PμSL의 장점은 간단한 적층 시스템과 패턴 생성기를 통한 패턴 광으로 제작되므로 복잡한 가공공정이 필요 없다.

PμSL에서 일반적인 기법의 가공 방법은 우선 제작하고자 하는 미세 구조물을 3D - CAD(Computer Aided Design)를 통해 모델링하고, 이를 STL 파일로 변환해 적층 두께 간격만큼 높이방향으로 슬라이싱 시킨 후 1Bit의 비트맵 이미지(Bitmap image)인 단면이미지를 생성한다.

상기 과정을 통해 생성된 단면이미지들은 Liquid Crystal Display(LCD)나 Digital Micromirror Device(DMD)와 같은 패턴 생성기에 해당 적층 당 하나씩 순서대로 입력되어 광원에서 출발한 광을 통해 투영 또는 반사되어 패턴된 광이 생성된다. 패턴 광은 다양한 광학부품을 통해 축소되어 수지에 조사되어 광 경화되며 단면이미지의 개수에 따라 반복 적층을 통해 3 차원의 미세구조물로 제작된다. 그러나 일반 기법은 다양한 광학기기를 통과하고 축소된 패턴 광으로 수지를 경화함으로써 패턴 광 내 광 에너지 분포에 따라 수지 경화분포가 달라진다. 이러한 문제는 패턴 광 내 특정 부근의 광 에너지가 높을 경우 과경화를 유발하며, 경화에너지 즉 임계에너지보다 낮은 부근의 경우 불경화가 발생되어 가공오류 또는 형상오류를 초래할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구는 패턴된 광의 광 분포 에너지를 일정 수준에 유지하기 위한 방법으로 스틸 모션(Still-motion)을 적용한다. 또한 수지의 광경화 특성 중 경화 폭이나 경화 두께를 제어하기 위한 디더 기법(Dither method)를 적용한다.

### 2. 경화특성 제어기법

본 연구는 패턴 생성기로 1024x768 픽셀을 지닌 UV- DMD와 200W급의 UV-Lamp 광원, 10x의 축소배율을 지닌 대물렌즈를 장착한 PμSL에서 실시했다. 광 경화 수지는 빠른 경화속도와 점성이 낮은 1관능 모노머들과 황변현상이 적은 광 개시제를 사용했다. 1관능 모노머로 10cps 이하의 점성이 지닌 Isobornyl acrylate (IBOA, Miwon Co., Korea)와 1, 6-Hexanediol dimethacrylate (HDDA, Miwon Co., Korea) 그리고 경화 수축을 줄이기 위한 높은 분자량을 지닌 Bisphenol-A-ethoxylated (4) diacrylate (BP40, Aldrich Co., USA)를 8:1:1(w/w)의 비율로 혼합했다. 광 개시제는 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone (DMPA, Fisher Scientific Co., USA)를 혼합된 수지에 5%(w.t)의 비율로 첨가했다. 이를 상온에서 마그네틱 스트러로 암실에서 3시간 동안 혼합했으며, 이를 IHB5로 명했다. IHB5의 경화두께와 임계에너지를 구하기 위하여 경화시편 모델을 제작해 광 투과율은 236.21um, 임계에너지는 1.964mJ/cm<sup>2</sup>을 구했다. 이러한 값은 광 경화 수지의 경화특성으로 분류되며 가공조건으로

사용된다.

PμSL의 일반적인 기법에서 fig. 1의 (a)와 같이 광원부터 광 분포가 일정 하지 않고 DMD에 반사된 패턴 광의 광 분포는 더욱 증가된다. 더욱이 불 균일한 패턴 광에서 fig. 2의 광 중첩의 효과는 부분적인 과 경화를 유발시키거나 불 경화를 발생시켜 제작오류의 원인이 된다.

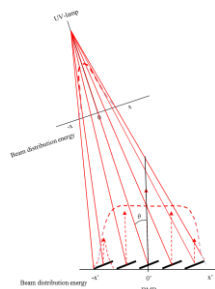


Fig. 1 Occur uniform energy of beam distribution energy in patterned beam process

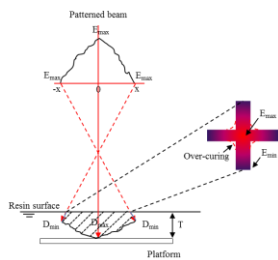


Fig. 2 Over-curing according to beam superposition in patterned beam

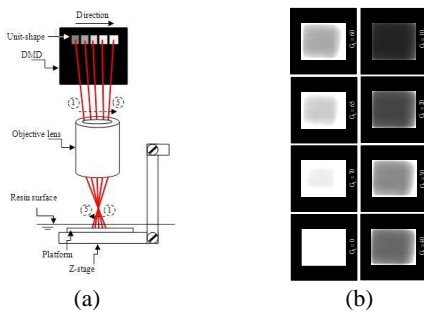
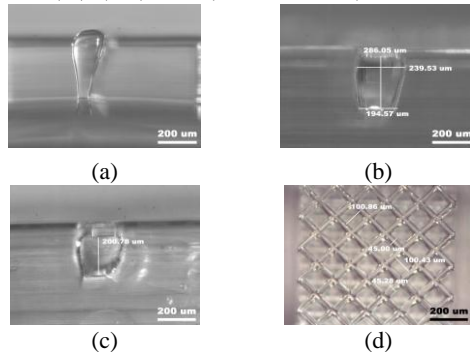


Fig. 3 Schematics of still-motion and dither method in PμSL (a) patterned beam according to movement of unit-shape (b) unit-shapes with 1bit grayscale according to graylevel

그러므로 패턴 광의 광 중첩을 해소시키기 위한 방법으로 단면이미지를 특정 픽셀의 단위 이미지로 나누고 이를 패턴 생성기에서 이동시켜 제작하는 방법인 스틸 모션과 경화깊이와 경화단면을 조절하기 위한 1bit grayscale의 디더 기법을 사용한다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4의 다양한 실험 결과는 광 흡수제가 첨가되지 않은 IHB5에 스틸 모션과 디더 기법을 활용한 예다. Fig. 4의 가공 조건은 (a)의 경우 광 조사 에너지 16.4 (mJ/cm<sup>2</sup>), 프레임 타임 100(msec), 쉬프트 픽셀 1(pixel)로 디더기법을 적용시키지 않아 경화 깊이 및 경화단면이 제어되지 않았음을 보인다. (b)는 3.8(mJ/cm<sup>2</sup>), 100ms, 1pixel로 디더기법을 이용해 graylevel을 80으로 가공했을 때 (a)에 비해 경화 깊이가 줄어들고 경화 단면이 균일해지기 시작함이 보인다. (c)는 3.8(mJ/cm<sup>2</sup>), 80ms, 1pixel, graylevel 80으로 가공한 (b)에 비해 경화깊이와 경화단면의 오차가 더욱 적어짐을 알 수 있다. (d)는 (c)의 가공조건을 사용해 격자구조를 제작한 것으로 광 중첩으로 인한 오차 없이 제작됨을 알 수 있다. 이러한 결과로 일반적인 기법에 비해 오버행 구조물과 격자구조물 등의 정밀 제작이 가능할 것으로 보인다.



### 참고문헌

1. In-Baek Park, Young-Myoung Ha, Seok-Hee Lee, "Still motion process for improving the accuracy of latticed microstructures in projection microstereolithography" Sensors and Actuators A 167 (2011)117-129