

DMD™를 이용한 마이크로 광 조형 시스템에서 다이내믹 패턴 생성 및 구동에 관한 연구

김현수*, 최재원, 하영명, 권번호, 원명호 (부산대원), 이석희(부산대 기계공학부)

A Study on Generation and Operation of Dynamic Pattern at Micro-stereolithography using DMD™

H. S. Kim*, J. W. Choi, Y. M. Ha, B. H. Kwon, M. H. Won(Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Eng., PNU), S. H. Lee(School of Mechanical Engineering, PNU)

ABSTRACT

As demands for precision parts are increased, existing methods to fabricate them such as MEMS, LIGA technology have the technical limitations like high precision, high functionality and ultra miniaturization. A micro-stereolithography technology based on DMD™(Digital Micromirror Device) can meet these demands. In this technology, STL file is the standard format as the same of conventional rapid prototyping system, and 3D part is fabricated by stacking layers that are sliced as 2D section from STL file. Whereas in conventional method, the resin surface is cured as scanning laser beam spot according to the section shape, but in this research, we use integral process which enables to cure the resin surface at one time.

In this paper, we deal with the dynamic pattern generation and DMD™ operation to fabricate micro structures. Firstly, we address effective slicing method of STL file, conversion to bitmap, and dynamic pattern generation. Secondly, we suggest DMD™ operation and optimal support manufacturing for DMD™ mounting. Thirdly, we examine the problems on continuous stacking layers, and their improvements in software aspects.

Key Words : Stereolithography, Dynamic patterning, Bitmap Image, DMD™(Digital Micromirror Device)

1. 서론

현재 생명 의료기술 및 정보 통신 등에 사용되는 초정밀 부품에 대한 수요가 늘어감에 따라 미소 크기의 부품을 제작하기 위한 여러 가지 공정들이 개발되었다. 반도체 제작공정을 기반으로 하는 MEMS (Micro Electric Mechanical System)나 LIGA (Lithography Galvanoforming Abforming) 공정 등이 많이 이용되고 있다. 이러한 기술들은 식각과 노광 등의 공정을 이용하여 3차원의 형상을 가진 제품을 제작할 수 있다[1]. 하지만 높은 세장비를 가지거나 매우 복잡하게 얽혀 있는 3차원 형상등과 같은 경우에는 제작이 거의 불가능하다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위하여 광 조형 기술을 응용한 마이크로 광 조형 기술이 연구되고 있다.

기존의 마이크로 광 조형 기술은 가공하고자 하

는 형상을 3차원으로 모델링하고 층간간격에 따라 수평으로 슬라이싱 하여 모델링 파일의 단면에 대한 정보를 생성한다. 생성된 2차원 단면 정보에 따라 경화를 시킨다. 이들을 한층 씩 적층하여 최종적인 형상을 제작한다. 마이크로 광 조형 기술은 크게 스캐닝 방식과 프로젝션 방식이 있다. 스캐닝 방식의 경우 기존의 광 조형 기술과 마찬가지로 레이저의 주사경로에 따라서 단면을 경화시키고, 프로젝션 방식은 다이내믹 패턴을 형성하여 한 층을 한 번에 가공한다[2-7].

본 연구에서는 프로젝션 방식의 마이크로 광 조형 시스템을 제안하고, 다이내믹 패턴 생성에 관한 알고리즘과 패턴의 구동에 대한 연구를 다룬다.

2. 마이크로 광 조형 시스템의 구성

본 연구에서 제안하는 마이크로 광 조형 시스템은 Fig. 1과 같이 구성되어 있다. Xenon-Mercury Lamp, Optic 장치, DMD™, 수지 저장부, 측정 장치, 통합 컨트롤러로 구성되어 있다.

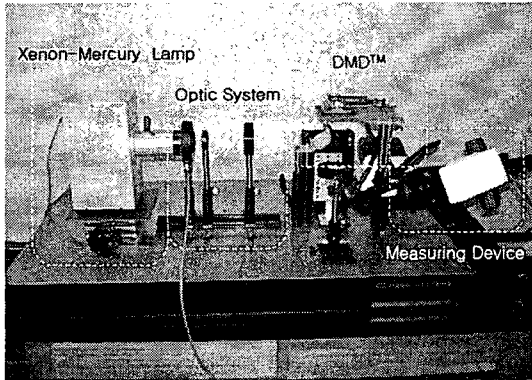


Fig. 1 Micro-stereolithography System

광원은 Xenon-Mercury Lamp이고, UV filter를 사용하여 353nm 정도의 UV 광을 추출하였다. 램프를 사용하였으므로 광원에서 방사된 UV 광은 일정한 방향성이 없이 넓게 퍼지는 성질을 갖는다. UV 광이 일정한 방향성을 갖게 하기 위해 여러 optic 장치를 사용하였다. 일정한 방향성을 가진 UV 광은 다이내믹 패턴 형성기에 반사됨으로써 경화에 필요한 부분과 그렇지 않은 부분으로 나누어지게 되고, 다이내믹 패턴 형성기에 반사된 경화 될 단면의 형상은 포커싱 렌즈에 의해 마이크로 수준으로 작아진다. 포커싱 된 상은 수지저장부의 광경화성 수지 표면에 맺혀 광 경화 반응이 일어나 경화가 시작된다. z축 stage는 한 층에 대한 적층 후 다음 층 적층을 위해 z축으로 이송시켜주는 역할을 한다.

3. 다이내믹 패턴 생성

3.1 DMD™를 이용한 다이내믹 패턴 생성

마이크로 광 조형 시스템에서 다이내믹 패턴 형성기는 핵심적인 역할을 한다. 제작할 형상의 단면에 대한 정보를 다이내믹 패턴으로 생성하여 한 번에 한 층씩 가공이 가능하게 함으로써 시간을 단축시킬 수 있다. 다이내믹 패턴은 패턴 생성기에 입사되는 UV 광을 가공을 위한 형상이 존재하는 부분과 존재하지 않는 부분으로 분리함으로써 일종의 마스크를 생성하게 된다. 본 연구에서는 다이내믹 패턴을 생성하기 위해서 미국의 Texas Instrument, INC.社에서 제조된 DMD™ (Digital Micro-mirror Device)를 이용하였다.[8] DMD™는 Fig. 2와 같이 1024x768개의 아주 작은 마이크로 미러로 구성되어 있다. 각 마

이크로 미러의 피치는 13.68 μ m이며, 디지털 신호에 의해 2로 틸팅함으로써 선택적으로 광을 반사시킬 수 있다. 즉 사용하고자 하는 부분은 +12로 틸팅하고 그렇지 않은 부분은 -12로 틸팅하여 경화시킬 형상만을 초점렌즈로 반사시킨다.

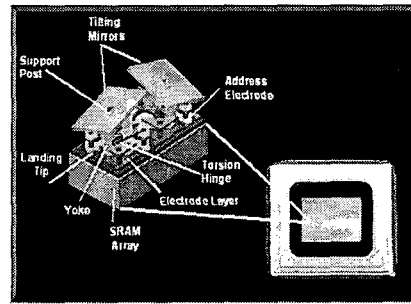


Fig. 2 Schematic of two DMD™ mirror pixel

이때 DMD™의 입력 신호는 제작할 형상의 2차원 단면에 대한 비트맵 이미지 정보이며, 적층이 이루어짐에 따라 단면은 계속 변하게 된다.

3.2 다이내믹 패턴 생성 알고리즘

3.2.1 STL 파일의 구성

STL 포맷은 급속조형에 필요한 입력 데이터로 사용하고 있는데 미국의 3D System社가 Albert Consulting Group에 의뢰하여 개발되었다[9]. STL 파일은 3차원 형상의 모델을 삼각형 facet으로 근사화 시킴으로써 모든 CAD시스템과의 인터페이스를 쉽게 하기 위해서 설계되었다. STL 포맷은 아스키코드

```

solid ascii
facet normal 0 1 -6.45644e-086
  outer loop
    vertex 4.32185 4.90511 0.688499
    vertex 4.33444 4.90511 0.624884
    vertex 4.35362 4.90511 0.59051
  endloop
endfacet
facet normal -0.024636 0.0047046 0.368824
  outer loop
    vertex 4.2787 2.48937 0.584919
    vertex 4.2785 2.39166 0.577927
    vertex 4.2787 2.39166 0.508118
  endloop
endfacet

...

facet normal 0.001985 0.040470 -0.22706
  outer loop
    vertex 2.78996 5.06456 0.712282
    vertex 2.74823 5.03579 0.688824
    vertex 2.78277 5.06456 0.696616
  endloop
endfacet
end solid
  
```

Fig. 3 STL file format

와 바이너리코드의 두 가지의 형식이 있다. STL 포맷은 형상을 이루는 삼각형 facet의 정보들로 구성되어 있는데 이는 facet의 법선벡터와 facet을 이루는 세

개의 vertex로 구성되어 있다[9][10]. Fig. 3에는 아스키 형식으로 된 STL 파일의 구성을 보여주고 있다. 본 연구의 마이크로 광 조형 시스템에서도 기본적인 형상정보를 STL 형식을 사용하였다.

3.2.2 STL 파일 슬라이싱

다이나믹 패턴을 형성하기 위해서는 제작할 형상에 대한 각 층간의 단면의 정보가 필요하다. 먼저 3차원으로 모델링된 정보를 STL 포맷으로 변환하고 이를 다시 층간 간격에 따라 슬라이싱 하여 각 단면에 대한 정보를 추출한다. STL 파일 슬라이싱 알고리즘은 Fig. 4와 같다.

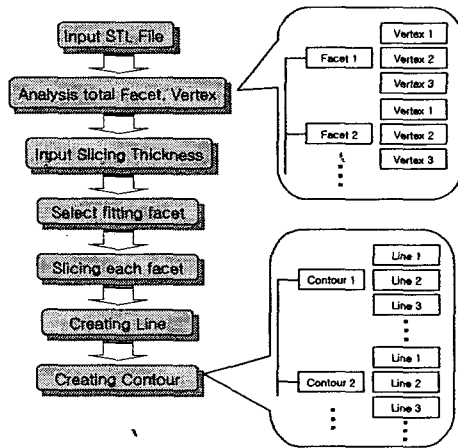


Fig. 4 STL file Slicing algorithm

STL파일의 facet 정보를 입력받아서 각각의 facet과 facet의 vertex를 구조체로 저장한다. 슬라이싱 높이에 따라 해당 facet을 선택하고 선택된 facet을 슬라이싱 하여 라인의 정보를 얻어 낸다. 이들 각각의 라인을 연결하여 Contour 정보로 저장한다. Contour 정보는 연속된 라인이 반시계방향으로 연결되어 있음을 의미하며, 연속된 점들의 순서에 대한 집합을 나타낸다. 여러 개의 Contour가 존재할 경우 Contour의 포함관계에 따라 Contour number를 지정하여 저장한다.

3.2.3 비트맵 이미지 변환

슬라이싱 단면은 Contour와 Contour number에 대한 정보로 이루어져 있으며 이들을 DMD™로 전송하기 위한 디지털 신호로 만들기 위해서는 이들을 단색 비트맵으로 변환 시키는 알고리즘이 사용된다. 비트맵 정보의 한 픽셀은 DMD™를 구성하고 있는 하나의 마이크로 미러에 대응한다. 생성된 슬라이싱 단면의 크기를 DMD™의 마이크로 미러의 1024 768크기의 사이즈에 맞게 축소 및 확대 변환을 한다.

슬라이싱 단면에 포함된 각각의 Contour를 이루고 있는 라인들을 x, y축을 기준으로 1024 768크기로 분할하여 점들의 집합으로 만들고 각각의 점들을 정수화 하여 저장한다. 비트맵 이미지의 생성을 위한 1024 768크기의 비트맵 배열을 생성하고 각각 점들의 존재 여부에 따라 0과 1로 저장한다. 즉 슬라이싱된 단면에서 분할된 점의 좌표가 (i, j)이면 배열의 [i][j]번째 항은 1로 저장한다. 점이 할당이 되지 않은 부분은 0으로 저장한다.

단면에 대한 비트맵 정보가 저장되었지만 각각 Contour 내부는 채워지지 않았다. 제작할 형상의 슬라이싱 단면을 나타내기 위해서는 Contour 내부의 채워야 할 부분과 채워지지 않는 부분을 선별해야 한다. Contour 내부를 채우기 위한 알고리즘은 다음과 같다. 비트맵 배열 항목 중에서 1로 저장된 항목은 실제 점이 존재 하는 부분 이므로 건너뛰고, 0으로 입력된 항목만 판별한다. 0으로 입력된 점에 대해 Contour를 이루는 모든 라인과의 관계를 판단한다. 임의의 점이 Contour를 이루는 모든 라인의 좌측에 존재한다면 이 점은 Contour의 내부에 존재하는 것으로 인식되어 0에서 1로 바꾸어 입력한다. 그렇지 않을 경우에는 Contour의 외부에 존재 하는 것으로 판단하여 0을 계속 유지 한다. 여러 개의 Contour가 있을 경우에는 각각의 Contour를 동시에 판별한다. 임의의 점을 둘러싸고 있는 Contour가 2n (n=1,2,3,...)개일 경우 채워지지 않는 부분으로 판별하여 0으로 입력하고, 자신을 둘러싸고 있는 Contour가 2n+1 (n=1,2,3,...)개일 경우 채워져 있는 부분으로 판별하여 1로 입력한다.

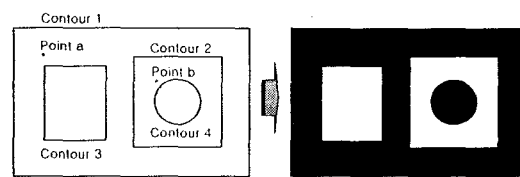


Fig. 5 Creating Bitmap Image

Fig. 5에서 Point a는 Contour1의 내부에 존재하지만 Contour 2,3,4의 내부에는 존재하지 않는다. Point b의 경우 Contour 1과 2의 내부에는 존재하지만 Contour 3,4의 외부에 존재한다. 슬라이싱 단면의 Contour 내부를 채우고 난 후 생성된 비트맵 배열을 기반으로 하여 DMD™로 전송하기 위한 단색 비트맵 이미지 파일을 생성한다.

Fig. 6 은 제작할 형상의 3차원 모델링 정보를 슬라이싱 하여 비트맵 이미지 변환 알고리즘을 적용한 후의 결과를 보여준다.

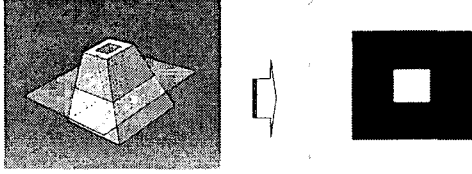


Fig. 6 Converting Bitmap Image from STL file

4. UV 광의 경로 및 DMD™ support 제작

마이크로 광 조형 시스템에서 광 경화성 수지의 표면에서 UV 광이 광 경화 반응을 일으켜 가공되는 단면은 DMD™에 전송된 비트맵 이미지와 일치한다. DMD™에 전송된 비트맵 이미지와 같은 형상을 가공하기 위해서는 경화가 되는 면과 DMD™가 평행을 이루어야 한다. DMD™에 표시된 비트맵 이미지가 정사영 된 형상이 수지 표면에 맺히기 때문에 Fig. 7 에서처럼 DMD™가 45°의 각도를 가지고 비스듬히 설치된 경우는 실제 전송된 비트맵 이미지와 다른 변형된 상이 맺히게 되므로 형상이 바르게 생성되지 않는다. 형상에 왜곡이 생기지 않고 바르게 나오기 위해서는 Fig. 8에서와 같이 UV 광의 경로에 대한 검증 후에 최적의 위치를 찾아야 한다.

Fig. 8은 UV 광이 램프로부터 방사되어 수지 표

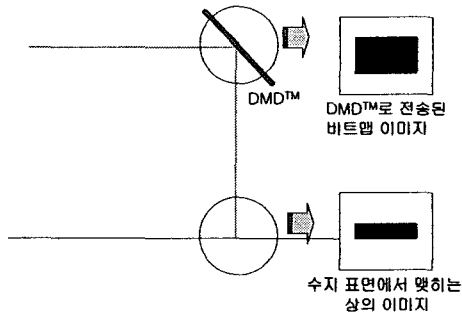


Fig. 7 Difference between original and projection image

면까지 이르기까지의 경로를 나타낸다. DMD™ 내부의 마이크로 미러는 정면에서 θ_a 기울어진 축을 중심으로 tilting이 된다. 그러므로 DMD™에 표시되는 패턴의 형상과 수지표면에 맺히는 상이 같아지기 위해서 Fig. 8에서와 같이 입사되는 UV 광이 Tilting axis에 수직으로 입사되어야 한다.

UV 광의 경로에 따른 DMD™의 최적의 위치를 산출하기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다. Point 0을 원점으로 하여 Point 1, 2, 3, 4, 5를 UV 광 경로의 기준점으로 설정 하였다. z는 UV 광원이 위

치한 높이, L은 경화위치로부터 UV 광원까지의 거리, θ_T 는 Tilting angle, θ_a 는 Tilting axis angle이다. H는 DMD™와 UV 광을 반사하여 DMD™에 입사시키기 위한 미러와의 거리이며, DMD™에 입사한 UV 광이 패턴을 형성하여 수지표면으로 정사영 될 때 미러가 간섭을 일으키지 높이를 설정 하여야 한다.

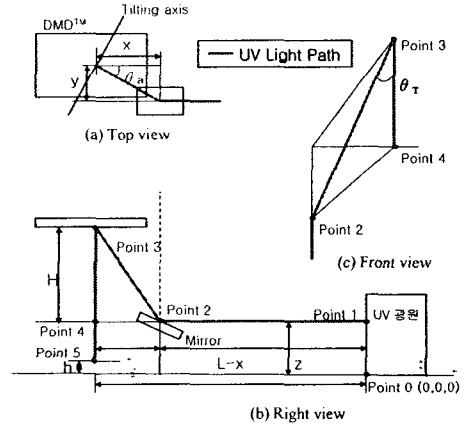


Fig. 8 UV Light path

$$\begin{cases} Point\ 1 = (0, 0, z) \\ Point\ 2 = (L - x, 0, z) \\ Point\ 3 = (L, y, z + H) \\ Point\ 4 = (L, y, z) \\ Point\ 5 = (L, y, z + h) \end{cases} \quad (1)$$

z = UV광원의 높이
 L = 경화지점으로부터 광원까지의 거리
 H = DMD™와 mirror 간의 높이
 h = 경화지점의 높이
 θ_T = Tilting angle
 θ_a = Tilting axis angle

$$\begin{cases} x = \cos\theta_a \cdot H \cdot \tan\theta_T \\ y = \sin\theta_a \cdot H \cdot \tan\theta_T \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} Point\ 0 = (0, 0, 0) \\ Point\ 1 = (0, 0, z) \\ Point\ 2 = (L - H\cos\theta_a\tan\theta_T, 0, z) \\ Point\ 3 = (L, H\sin\theta_a\tan\theta_T, z + H) \\ Point\ 4 = (L, H\sin\theta_a\tan\theta_T, z) \\ Point\ 5 = (L, H\sin\theta_a\tan\theta_T, h) \end{cases} \quad (4)$$

식 (1)은 UV 광이 지나는 경로를 표시한 각 지점의 3차원 좌표이다. 이 점들의 좌표는 주어진 변수 (2)를 식 (3)에 대입함으로써 주어진 변수로만 구성 되어 있는 점들의 식 (4)를 얻을 수 있다. 식 (4)에서 얻어진 UV 광의 경로에 따라 최적의 DMD™의 위치를 선정하였고, DMD™를 지지할 수 있는 support를

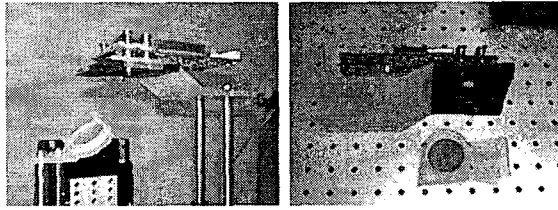


Fig. 9 DMD™ support for optimum position

제작하였다. Fig. 9 는 DMD™ support를 SLA 장비를 사용하여 제작한 결과물이다.

5. 결론

본 연구에서는 3차원 마이크로 형상을 제작하는 마이크로 광 조형 시스템에서 다이내믹 패턴의 생성 및 구동에 관해 논하였다. 제작할 구조물에 대한 3차원 모델링 데이터를 층간 간격에 맞게 슬라이싱 하여 각 단면 정보를 산출 하였고 이를 다시 DMD™에서 다이내믹 패턴을 형성하기 위한 비트맵 이미지로 변환하였다. UV 광의 경로를 분석하여 DMD™를 설치하기 위한 support를 제작 하였으며 이를 마이크로 광 조형 시스템에 적용하였다. 향후에는 마이크로 광 조형 시스템의 전체적인 시스템 통합에 관한 연구가 진행 되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Nadim Maluf, "An introduction to Microelectromechanical systems Engineering" Artech House Publishers, 2000.
2. 이인환, 조윤형, 조동우, 이응숙, ? 차원 형상의 미세제품 제작을 위한 마이크로 광 조형 시스템의 개발,? 한국정밀공학회지 제21권, 제2호, pp. 186-194, 2004.
3. Paul. F. Jacobs, "Rapid Prototyping & Manufacturing", 1st edition, SME, pp. 71-76, 1992
4. C. Vogt, A. Bertsch, P. Renaud, P. Bernhard, "Methods and algorithms for the slicing process in microstereolithography," Rapid Prototyping Journal, Volume 8 , Number 3, pp. 190 -199, 2002
5. Arnaud Bertsch, Paul Bernhard, Christian Vogt and ,Philippe Renaud, ublished rapid prototyping of small size objects,ublished Rapid Prototyping Journal, Volume 6. Number 4 . 2000 . pp. 259-266
6. A. Bertsch, J. Y. Jezequel, and J. C. Andre, "Study of the spatial resolution of a new 3D micro fabrication process : the microstereolithography using

a dynamic mask-generator technique", Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry 107, pp. 275-282. 1997

- 7 C. Vogt, A. Bertsch, P. Renaud, and P. Bernhard, "Methods and algorithms for the slicing process in microstereolithography", Rapid Prototyping Journal, Vol. 8, No. 3, pp. 190-199, 2002

8. <http://www.tyrexsales.com/dlp/>

9. 김호찬, 급속조형을 위한 데이터 변환 및 최적 지지대 자동생성 시스템 개발, 공학석사 학위논문, 부산대학교 대학원1998
10. 손영지, 박정보, 김순경, 김중완, 전연찬, 빛TL 포맷의 오류수정을 위한 DB 구축과 형상복구에 의한 효율성 연구,? 한국정밀공학회지 제15권, 제12호, pp 21-27.