단면형상 분할을 이용한 3 차원 마이크로구조물 가공

Three-dimensional Microstructure Fabrication using Partitioned Cross-section

*하영명 [1], 박인백 [1], #이석희 [2], 김호찬 [3]
*Y. M. Ha[1], I. B. Park[1], #S. H. Lee(sehlee@pusan.ac.kr)[2], H. C. Kim[3]
[1] 부산대학교 대학원, [2] 부산대학교 기계공학부, [3] 안동대학교 기계공학부

Key words : Microstereolithography, Partitioned Cross-section

1. 서론

마이크로광조형(Microstereolithography, μSL)은 기존의 광조형 기술에서 발전된 가공 공정으로 마이크로 스케일의 복잡한 3 차원 구조물의 가공에 유용한 기술이다[1]. 이 기술은 일반적으로 수지 표면에 집광된 레이저의 위치를 제어하여 단면을 가공하는 주사방식(vector-by-vector method)과 단면 형상을 갖는 광의 조사로 한 번에 한 층을 가공하는 전사방식(integral method)으로 나뉘어진다[2]. 전사방식에서 단면 형상을 생성하기 위한 동적 마스크로 초기에는 LCD 가 사용되었으나 구현할 수 있는 분해능에 한계가 있어 최근에는 Digital Micromirror Device (DMD)를 사용한 연구가 활발하다.

지금까지 이 기술은 가공 분해능을 향상시키기 위해 가공 재료에 집광되는 빔의 크기를 줄이거나 단면 이미지를 줄이려는 연구가 주를 이루었다. 그러나 분해능이 향상될수록 가공 시간이 증가하거나, 전사방식의 경우 가공 가능한 단면 크기가 감소하는 단점이 있다. 본 연구에서는 수 마이크로미터의 가공 분해능을 가지면서 가공 단면적을 확장할 수 있는 전사방식의 마이크로광조형 시스템을 구성하였다. 또한 이를 위해 분할된 단면 형상을 이용하여 3 차원 마이크로구조물을 가공하였다.

2. 전사방식 마이크로광조형 시스템

2.1 시스템 구성

전사방식 마이크로광조형 시스템의 경우 단면 형상에 해당하는 광 패턴을 생성하기 위해 LCD 나 DMD 와 같은 디스플레이 장치를 사용한다. 그러나 이 장치들은 표현할 수 있는 이미지의 크기가 정해져 있기 때문에 시스템을 통해 가공될 수 있는 단면의 크기도 제한적이다. 이를 극복하기 위해 Fig. 1 과 같이 수지 표면에 조사되는 광 패턴이 이동될 수 있도록 100 nm 분해능을 갖는 XY-스테이지를 사용하였고 광의 이송 및 단면 이미지 생성과 관련된 장치들은 스테이지 위에 설치하였다[3].

가공 공정을 제어하는 소프트웨어는 Visual C++를 이용하여 작성되었다. 이 소프트웨어를 이용하여 전체 가공 공정뿐만 아니라 셔터, 스테이지들의 개별 구동의 제어가 가능하다.

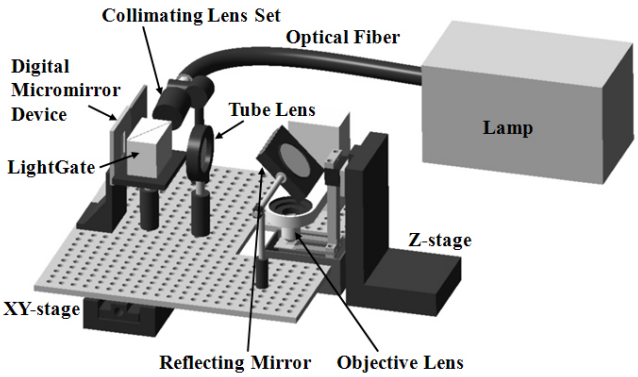

Fig. 1 Schematic of projection microstereolithography system

2.2 단면형상 분할

기존의 전사방식 시스템에서는 일반적으로 한 층을 가공하기 위해 하나의 단면 이미지를 사용한다. 그러나 본 연구에서는 가공할 수 있는 단면적을 확장하기 위해 한 층의 가공에 단면 이미지를 분할하여 사용하였다. 분할된 이미지들은 배열형태로 수지표면에 조사되어 완전한 하나의 단면 형상을 이루게 된다.

본 시스템에서 사용 중인 DMD 는 1024 × 768 픽셀의 단색 이미지 파일을 입력으로 받아 픽셀 값(0 또는 1)에 의하여 개별 마이크로미러가 ±12 도 회전하여 입사된 광을 패터닝한다. 슬라이싱 데이터로부터 이미지 파일로 변환시 1 μm 는 1 pixel 로 맵핑되는데 단면 형상의 바운딩 박스(bounding box) 크기가 1024 × 768 pixels 을 넘어설 경우 사용자에 의해 입력되는 크기를 기준으로 분할된다. Fig. 2 는 체스의 Rook 모델의 한 단면 형상을 4 개의 이미지로 분할한 경우이다. 분할된 각 이미지는 수지 표면에 결상되는 것을 고려하여 각각 180 도 회전 되었다[4].

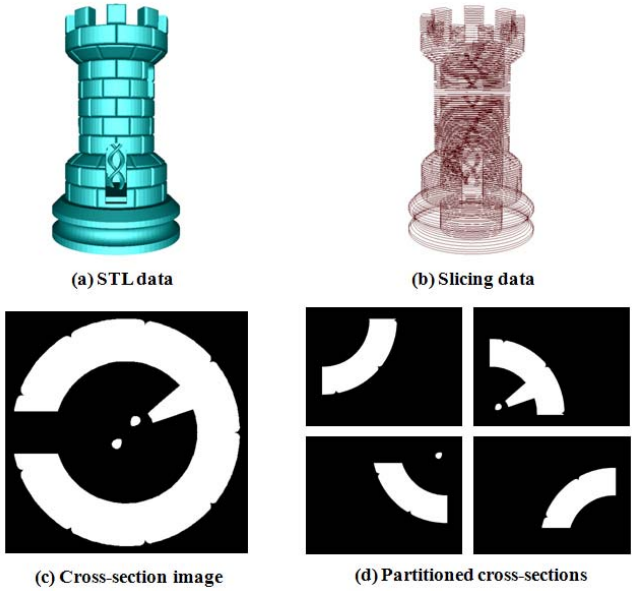

Fig. 2 Partition of cross-sectional image

2.3 가공 공정

3 차원 마이크로구조물 가공을 위한 절차는 Fig. 3 과 같다. 우선 STL 포맷의 모델을 준비하여 슬라이싱을 수행한다. 이 슬라이싱 데이터로부터 각 층의 단면 이미지를 생성하고 사용자가 이미지 분할 개수를 배열 형태로 입력하면 이에 따라 분할된 이미지 파일들이 생성된다.

가공 시스템은 초기화를 통하여 제어부와 통신상태를 점검하고, 가공에 필요한 여러 파라미터를 입력 받는다. 가공 명령이 실행되면 z-스테이지의 이동에 의해 새로운 액상 수지 층을 생성하고, 분할 가공 시 xy-스테이지는 해당 이미지가 조사될 위치로 이동하게 된다. 이후 가공될 이미지가 DMD 로 전송되고 패터닝된 광이 수지 표면에 결상되어 가공이 이루어진다. 이 과정은 한 층이 완성될 때까지

반복되며, 한 층이 가공된 후 다시 새로운 수지 층을 생성하고 위의 과정이 반복된다. 모든 층이 가공되면 세척 후 후경화하여 완성된 구조물을 얻는다.

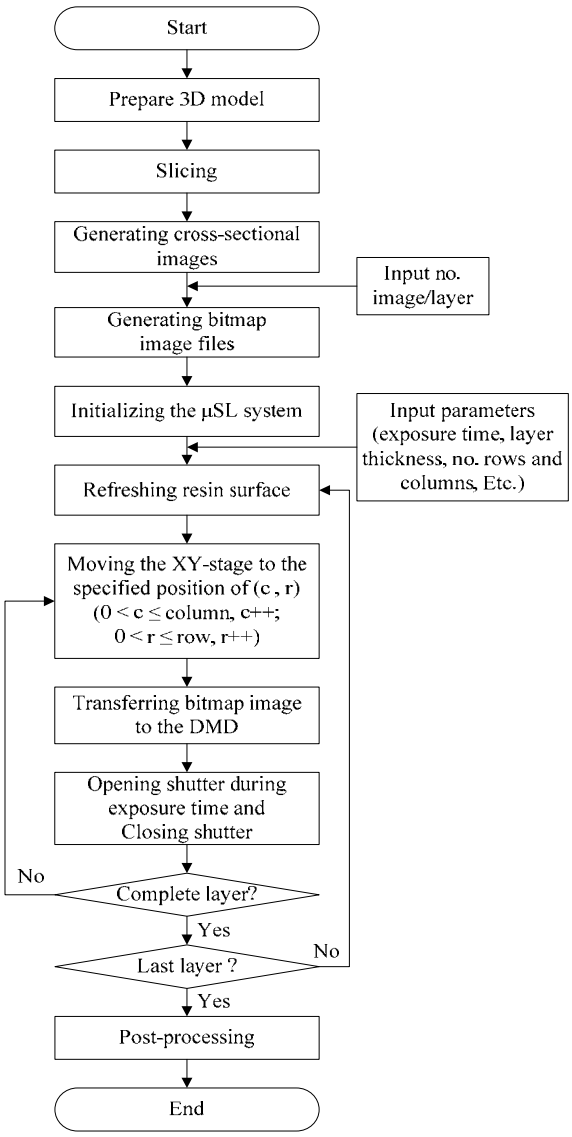

Fig. 3 Overall fabrication process

3. 가공 예

전사방식 마이크로광조형 시스템에서 분할된 단면형상을 이용하여 Fig. 4, Fig. 5 와 같은 3 차원 마이크로구조물을 가공하였다. 가공 조건은 Table 1 과 같다.

Table 1 Fabrication condition

Model	Rook	Teeth
Layer thickness (μm)	16	25
Layers	265	64
Size (mm^3)	2.7×2.7×4.2	4.8×3.9×1.6
Time (h)	8.6	2.9

Fig. 4 Fabricated Rook model (2×2 type)

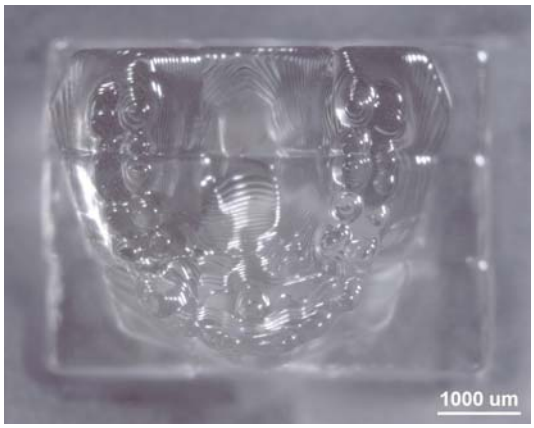

Fig. 5 Fabricated Teeth model (3×3 type)

4. 결론

본 연구에서는 분할된 단면 이미지로 광을 패터닝하고 조사 위치를 이동할 수 있게 함으로써 대면적에서 미세형상 가공이 가능함을 보였다. 이것은 기존의 전사방식 시스템에 비해 확장된 가공 범위를 제공하여 적용 범위가 넓을 거라 기대된다. 분할된 이미지들의 경계 범위에서 생기는 불연속적 현상은 일정 범위의 이미지를 겹쳐 가공하면 해결할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Varadan, V.K., Jiang, X., and Varadan, V.V., “Microstereolithography and other Fabrication Techniques for 3D MEMS,” John Wiley & Sons, pp. 103-138, 2001.
2. Bertsch, A., Jiguet, S., Bernhard, P., and Renaud, P., “Microstereolithography: a Review,” Proc. of Materials Research Society Symposium, Vol. 758, pp. LL1.1.1-LL1.1.13, 2003.
3. Ha, Y. M., “Partitioned Cross-section Method for Projection Microstereolithography,” Ph. D. Dissertation, Pusan National University, 2008.
4. Ha, Y. M., Choi, J. W., Lee, S. H., and Kim, H. C., “Fabrication of 3D Micro-structure on Large Surface using Projection Type Microstereolithography,” ASPEN 2007, pp. 492-495, 2007