

◆ 특집 ◆ 첨단레이저 응용 미세가공기술

## 피코초 레이저 어블레이션을 이용한 미세 가공 연구

### The Study of Micro Fabrication using Picosecond Laser Ablation

노지환<sup>1</sup>, 손현기<sup>1</sup>, 서정<sup>1</sup>, 이재훈<sup>1,✉</sup>  
Jiwhan Noh<sup>1</sup>, Hyonkee Sohn<sup>1</sup>, Jeong Suh<sup>1</sup> and Jaehoon Lee<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 (KIMM; Korea Institute of Machinery & Materials)

✉ Corresponding author: jaholee@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7471

Manuscript received: 2009.10.30 / Revised: 2009.11.27 / Accepted: 2009.12.17

*The micro fabrication on the mold material using picosecond laser ablation processing has been studied. We used the two kind of system with picosecond laser. First one is two mirror type scanner and telecentric f-theta lens. Second one is X-Y stage and objective lens. By using these system, the 100 $\mu$ m size chess patterning and 2 $\mu$ m size patterning was fabricated. Especially 2 $\mu$ m size patterning on the mold material can be used as the decorative rainbow color logo for industrial field. In this paper, it is proved the picosecond laser is effective tool for the laser ablation processing.*

Key Words: Picosecond Laser Ablation (피코초 레이저 어블레이션), Micro Fabrication (미세 가공), Galvano Scanner (갈바노 스캐너), Diffraction Grating (회절 격자)

#### 1. 서론

레이저 어블레이션(ablation) 공정을 미세 가공에 적용하여는 연구가 많이 진행 중이다. 펄스 레이저의 높은 피크 파워를 이용해서 재료에 직접 포커스 된 레이저를 조사함으로써 재료의 미세 제거가 가능하다. 기존의 대표적 미세 가공 방법은 MEMS(microelectromechanical systems) 공정이었다. 포토 레지스터를 재료에 도포하고 이를 노광 공정과 에칭 공정을 이용해서 미세 가공을 구현한다. 그러나 이 MEMS 공정은 소재의 제약성을 가지고 있고, 에칭 공정으로 인한 환경 문제와 마스크를 제작 해야 하는 단점이 있다. 특히 고 정밀화를 위해서 마스크를 제작해야 하는데, 이 마스크 제작 비용이 기하급수적으로 증가한다. 그리고 드라이 에칭을 위해서 진공이 필요한 경우가 있는데,

이는 넓은 면적의 가공에 매우 어려움이 있다. 넓은 면적에 진공을 유지하기 위해서 비용이 많이 소요된다. 특히 여러 단계의 공정을 거쳐야 하기 때문에 가공 시간이 오래 걸린다.<sup>1</sup>

이에 비해서 레이저 어블레이션을 이용한 미세 가공 공정은 단일 공정으로서 가공 공정이 간단하다. 그리고 레이저 어블레이션을 이용한 미세가공 공정은 마스크가 필요없는 공정이며 건식 공정이므로 환경 저해 요소가 존재하지 않는다. 재료에 다양한 레이저 파장과 파워를 선택할 수 있기 때문에 다양한 재료에 미세 가공이 가능하다. 보통 대기 상태에서 가공하기 때문에 기존의 공정에서 필요했던 진공 장비도 필요없다. 오토 포커스 장치를 이용하면 3 차원 곡면 위에도 미세 가공이 가능하다.

이런 장점에도 불구하고 레이저 어블레이션 공

정이 미세 가공 공정에 제한적으로 적용되었던 이유는 열영향부과 회절한계 때문이었다. 레이저 발진기(source)가 일종의 열원이므로 재료에 조사되었을 때 가공면 주위에 열영향부가 존재하게 된다. 이 열영향부는 가공 정밀도를 떨어뜨리는 주요 원인이 된다. 특히 이 열영향부는 펄스 레이저의 펄스 폭(pulse duration)에 큰 영향을 받는다. 다시 말해 레이저 펄스 폭이 짧을수록 열영향부가 줄어든다.<sup>2,3</sup> 두 번째 문제로 회절 한계 문제가 존재한다. 이는 포커싱(focusing) 렌즈로 레이저 빔을 포커싱할 경우 피할 수 없는 문제로서, 이를 해결하기 위한 광학 부품이 개발 중에 있다.<sup>4,9</sup>

본 논문에서는 피코초 레이저 어블레이션을 이용한 미세 가공 결과와 실험 조건 대해 논하고자 한다.

## 2. 실험 방법

Fig. 1 은 실험장치의 대략적인 구성도를 보여준다. 피코초 레이저(LUMERA LASER GmbH)는 12ps의 펄스 폭을 가지고 있으며, 최대 반복율은 640kHz, 기본 파장은 1064nm 이다. Fig. 1 에서 보듯이 harmonic generator 를 이용하여 532nm 와 355nm 의 파장을 만들어 낸다.

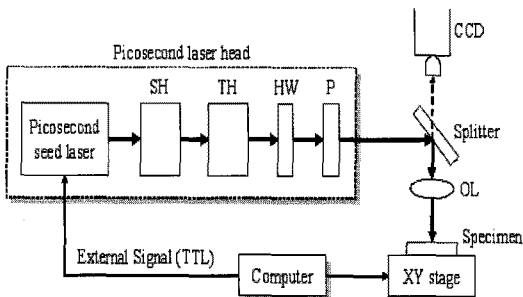


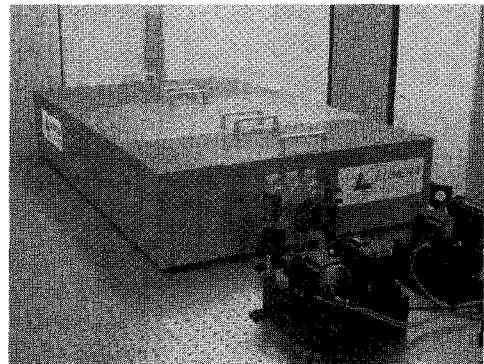
Fig. 1 Block diagram of experimental setup (SH: Second Harmonic generator, TH: Third Harmonic generator, HW: Half Wave plate, P: Polarizer, OL: Objective Lens)

본 실험에서는 가공 선평을 최소로 줄이기 위하여 355nm 의 파장을 사용하였다. 위상 지연판과 편광판을 사용하여 레이저 파워를 조절하였다. 위상 지연판의 각도에 따라서 레이저 출력(power)이 조절된다. 빔스플리터를 통해서 레이저 빔은 반사 되고 CCD 를 위한 조명용 광원 빔은 투과된다. 따라서

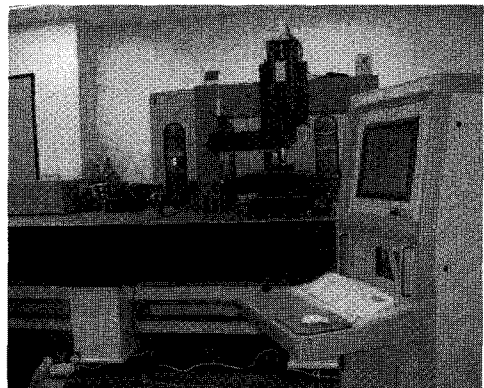
가공 중의 현상과 가공 후의 표면을 CCD 를 통해서 확대해서 측정할 수 있다. 오브젝티브(objective) 렌즈는 고정되어 있고, XY 스테이지(stage)를 이용하여 시편을 움직여서 가공이 수행된다.

이 실험 장치 이외에도 갈바노 스캐너와 텔레센트릭 f-theta 렌즈를 이용하여 가공하기도 하였다. 오브젝티브 렌즈와 XY 스테이지를 대신해서 갈바노 스캐너와 텔레센트릭 f-theta 렌즈를 사용한다. 이 경우 스캐너는 SCANLAB 사의 Hurry SCAN 14 를 사용하였고, 텔레센트릭 f-theta 렌즈는 Sill Optics 사의 S4LFT4100/075 를 사용하였다. 최대 스캔 영역은 64mm x 64mm 이다. 텔레센트릭 f-theta 렌즈의 유효초점 거리는 105.9mm 이다. 이 경우 포커스 빔의 대략적인 초점의 지름은 35µm 이다.

Fig. 2 는 실험 장치의 사진을 보여 주고 있다. 피코초 레이저는 1064nm, 532nm 그리고 355nm 를 선택하여 쓸 수 있으며 이를 스캐너 또는 오브젝티브 렌즈와 X Y 스테이지를 사용하여 가공할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 2 photography of experimental setup

본 논문에서 사용된 재료는 NAK80 이라는 금형 재료이다. NAK80 은 40HRc 의 균일한 표면 강도를 가지고 있고, 기계가공 후에도 stress relieving 이 필요없는 우수한 성질을 가지고 있다. 이런 이유로 NAK80 은 플라스틱 렌즈의 금형 소재로 많이 쓰인다.

### 3. 실험 결과 및 토의

#### 3.1 마이크로 금형 제작

펄스 폭이 보통 수 펨토초에서 피코초 사이의 레이저를 극초단파 펄스 레이저라고 한다. 이 극초단파 펄스 레이저가 개발되어 미세 가공분야에 널리 사용되고 있다. 그 이유로서는 극초단파 펄스 레이저의 짧은 펄스 폭이 열영향부를 줄이므로써 기존의 나노초 레이저보다 미세가공에 더 유리하기 때문이다. 극초단파 펄스 레이저에는 펨토초 레이저와 피코초 레이저로 나눌 수 있다. 열영향부를 짧게 하기 위해서 펨토초 레이저가 피코초 레이저보다 더 유리하지만, 가격이나 펄스 반복율 면에서는 피코초 레이저가 더 유리하다. 현재 피코초 레이저의 최고 펄스 반복율은 640kHz 로서 펨토초 레이저에 비해 매우 높다. 이는 가공 시에 고속 가공이 가능하다는 의미로서 해석될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 피코초 레이저를 이용한 미세 가공에 대해서 논하고자 한다.

Fig. 3 은 스캐너와 텔레센트릭 렌즈를 이용하여 가공한 마이크로 패턴의 예이다. 체스판 모양의 정사각형 마이크로 패턴으로 한 면의 길이는 100 $\mu$ m 이다. Fig. 3(a)는 전체 체스판 모양의 마이크로 패

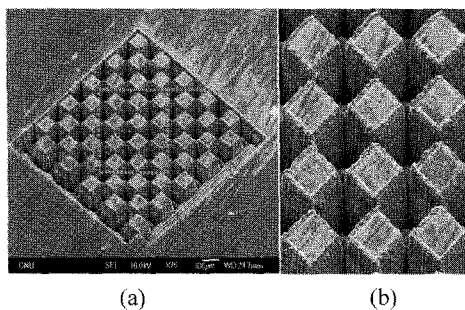


Fig. 3 SEM image of micro pattern mold using scanner (fabrication condition: repetition rate: 500kHz, average power: 200mW, scan speed: 0.46m/sec, laser wavelength: 355nm, scan times: 500, material: NAK80)

턴을 보여 주고 있고, Fig. 3(b)는 Fig. 3(a) 의 확대 SEM 이미지를 보여 주고 있다. Fig. 3(b)를 보면 열영향부는 5 $\mu$ m 이하임을 알 수 있다. 그리고 가공 단면에 깊이 방향으로 줄무늬가 생긴 것을 확인할 수 있다. 이는 레이저의 On/Off 시에 발생하는 첫 펄스의 에너지가 상대적으로 커서 생기는 것으로 사료된다. 재료는 NAK80 이라는 금형 소재를 사용하였다. 펄스 반복율은 500kHz, 출력은 200mW, 레이저 빔의 스캔 속도는 0.46m/sec, 레이저 파장은 355nm, 스캔 횟수는 500 회였다.

#### 3.2 회절 격자 금형 제작

레이저 어블레이션 공정을 이용하여 회절 격자의 금형을 제작하였다. 회절 격자는 보통 수백 나노 미터나 수 마이크로 미터의 패턴을 통해 빛을 회절을 유도하는 옵틱 디바이스이다.

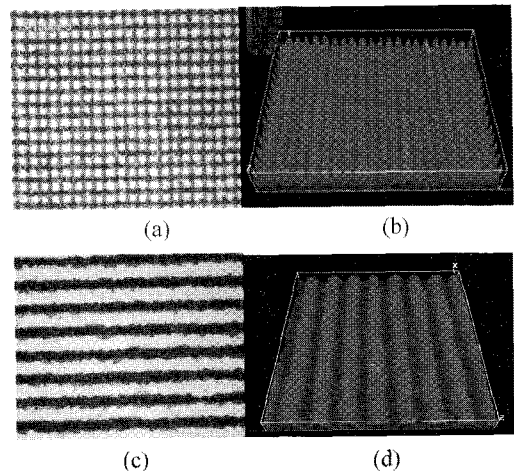


Fig. 4 Microscope image ((a), (c)) and interferometer measurement image ((b), (d)) of micro pattern

기존의 회절 격자를 제작하는 방법은 MEMS 공정을 이용하며, 수 마이크로 미터 이하의 패턴을 하기 위해서는 MEMS 공정이 필수적이었다. 열영향부 때문에 나노초 레이저를 이용해서는 수 마이크로 이하의 패턴을 제작하기 매우 힘들었다. 그러나 극초단파 펄스 레이저를 이용하여 열영향부를 획기적으로 줄여 수 마이크로 미터 이하의 패턴을 제작하여 회절 격자를 제작하려는 연구가 진행 중이다.<sup>10</sup> 특히 마이크로 패턴을 금형 재료에 바로 제작할 수 있으면 이 회절 격자 금형에 사출 성형하여 저비용의 회절 격자를 제작할 수 있다. 이 회절 격자는

무지개 색을 반사하는 로고로서 사용될 수 있다.

Fig. 4 는 오브젝티브 렌즈와 XY 스테이지를 사용하여 가공한 결과이다. 재료는 금형 소재인 NAK80 을 사용하였다. 가공 선폭이 2 $\mu$ m 를 구현하였다. Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 X 방향과 Y 방향 모두 가공한 결과이고, Fig. 4(c)와 Fig. 4(d)는 Y 방향으로만 가공한 결과이다. 펄스 반복율은 50kHz, 출력은 10mW, 스테이지 속도는 0.01m/sec, 레이저 파장은 355nm, 스캔 횟수는 10 회였다.

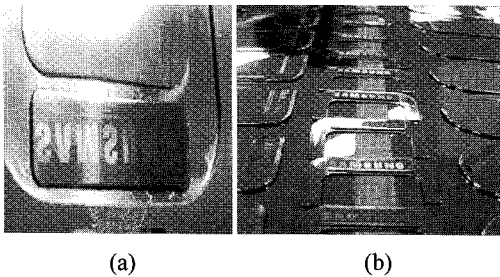


Fig. 5 (a) photography of rainbow color diffraction grating mold, (b) plastic rainbow color diffraction grating produced by injection molding

Fig. 5(a)는 Fig. 4 의 가공 조건을 이용한 실제 무지개 색 로고에 쓰이는 회절 격자 몰드를 제작한 사진이다. Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)의 몰드를 이용하여 사출 성형한 플라스틱 무지개 색 로고의 사진을 보여 주고 있다. 이로서 핸드폰 케이스의 무지개 색 로고에 제작할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 피코초 레이저의 어블레이션을 이용해서 NAK80 금형 소재에 마이크로 구조물을 제작하였다. 나노초 레이저에 비해서 열영향부가 작은 마이크로 구조물을 피코초 레이저를 이용해서 가공할 수 있었다. 펨토초 레이저에 비해 피코초 레이저의 열영향부는 크지만, 가공 속도 측면에서는 피코초 레이저의 펄스 반복율이 커서 피코초 레이저가 펨토초 레이저에 비해 산업적으로 확대될 것으로 기대된다.

#### 후 기

본 논문은 지식경제부 “첨단레이저 응용 미세 가공기술 개발” 과제(산업원천기술개발사업, 과제

번호: 10030266)의 지원으로 작성되었음.

#### 참고문헌

1. Lee, J. H., Sohn, H. K., Kim, J. G. and Shin, D. S., “Advanced Laser Micromachining Technology,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 13-22, 2006.
2. Spence, D. E., Kean, P. N. and Sibbett, W., “60-fsec pulse generation from a self mode-locked Ti:Sapphire laser,” Opt. Lett., Vol. 16, No. 1, pp. 42-44, 1991.
3. Breiting, D., Ruf, A. and Dausinger, F., “Fundamental aspects in machining of metals with short and ultra short laser pulses,” Proc. of SPIE, Vol. 5339, pp. 49-63, 2004.
4. Matsuoka, Y., Kizuka, Y. and Inoue, T., “The characteristics of laser micro drilling using a Bessel beam,” Appl. Phys. A., Vol. 84, No. 4, pp. 423-430, 2006.
5. Kohno, M. and Matsuoka, Y., “Microfabrication and Drilling Using Diffraction-Free Pulsed Laser Beam Generated with Axicon Lens,” JSME Int. J. Series B, Vol. 47, No. 3, pp. 497-500, 2004.
6. Marcinkevicius, A., Juodkasis, S., Matsuo, S., Mizeikis, V. and Misawa, H., “Application of Bessel Beams for Microfabrication of Dielectrics by Femtosecond Laser,” Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, Vol. 40, No. 11A, pp. L1197-L1199, 2001.
7. Amako, J., Yoshimura, K., Sawaki, D. and Shimoda, T., “Laser-based microprocesses using diffraction-free beams generated by diffractive axicons,” Proc. of SPIE, Vol. 5713, pp. 490-507, 2005.
8. Amako, J., Sawaki, D. and Fujii, E., “Microstructuring transparent materials by use of nondiffracting ultra short pulse beams generated by diffractive optics,” J. Opt. Soc. Am., Vol. 20, No. 12, pp. 2562-2568, 2003.
9. Zambon, V., McCarthy, N. and Piché, M., “Fabrication of photonic Devices Directly Written in Glass Using Ultrafast Bessel Beams,” Proc. of SPIE, Vol. 7099, Paper No. 70992J, 2008.
10. Noh, J. W., Lee, J. H., Sohn, H. K. and Suh, J., “Practical application of picoseconds laser micromachining to the direct fabrication of a diffraction grating mold,” Key Engineering Materials, Vol. 326-328, pp. 103-106, 2006.