

## UV 레이저 마이크로머시닝을 이용한 마이크로 채널 제작기술개발

양성빈\*, 장원석\*, 김재구\*, 신보성\*\*, 전병희\*\*\*

### Technology Development of Micro Channel Fabrication using UV Laser Micromachining

S. B. Yang, W. S. Chang, J. G. Kim, B. S. Shin and B. H. Jeon

#### Abstract

In this study, we have developed a new UV( $\lambda=355\text{nm}$ ) laser micromachining technology by direct ablation method without masks. This technology allows that 3D micro parts can be fabricated rapidly and efficiently with a low price. And it has a benefit of reducing fabricating process simply. Due to micro parts' fabrication, such technologies need the control of XYZ stages with high precision, the design of optical devices to maintain micron spot sizes of laser beam and the control technology of laser focus. Also, we have fabricated a micro-channel through the developed laser micromachining technology and verified it through the results.

**Key Words** : Laser Micromachining, UV Laser, Ablation, Micro Channel

#### 1. 서론

레이저 빔(laser beam)을 이용한 미세부품의 가공 기술은 현재 다양한 방면에서 연구가 활발하게 진행 중이다. 이러한 레이저 미세 가공 기술은 절단(cutting)이나 천공(punching)에서처럼 레이저 빔을 직접적으로 사용하는 방법과 포토리소그래피(photolithography)에서처럼 마스크(mask)를 사용하거나 집속된 빔을 광원으로 사용하여 가공물의 표면에 미세 패턴을 형성하는 방법, 또한 레이저 빔을 에너지 공급원으로 사용하면서 가공물에 첨가물(additive material)을 사용하여 열적·화학적 반응 현상을 유도하는 방법(laser-assisted process)등으

로 구분될 수 있다. 대부분 이러한 방법들은 미세 패턴 가공을 위주로 연구되어 왔고, 복잡한 형상을 가진 부품이나 다양한 설계변수를 가진 부품에 대해서는 유연성 있게 대처하기 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 최근 안정성과 고효율성으로 인하여 미세가공에 있어 응용이 활발히 이루어지고 있는 UV 파장( $\lambda=355\text{nm}$ )을 가진 Q-스위칭된 DPSS(Diode-Pumped Solid-State, Coherent Co.) 레이저를 이용하여 마스크 없이 직접적으로 어블레이션(ablation) 시키는 방법으로 마이크로머시닝(micromachining)하는 기술을 개발하였다.

이러한 방법은 기존의 마스크를 이용한 노광공

\* 한국기계연구원 나노공정그룹

\*\* 부산대학교 ERC/NSDM

\*\*\* 인덕대학 컴퓨터응용기계계열

정과는 달리 마스크 없이 빠르게 제작할 수 있으며, 제작 공정 또한 간략하게 축소할 수 있다. 또한, 단 펄스 레이저에 의한 어블레이션 가공은 연속 발진 레이저나 통상의 펄스 레이저에 의한 가공에 비해 가공부의 열영향부가 압도적으로 작기 때문에 정도가 높은 미세가공이 가능해진다.

이렇게 개발된 레이저 마이크로머시닝 기술을 이용하여 마이크로채널을 제작하였으며, 제품의 품질을 향상시키기 위해서 레이저의 가공경로 및 노광부분의 평면 조도에 관한 연구가 이루어졌다.

## 2. 레이저 마이크로머시닝 시스템의 개발

### 2.1 마이크로머시닝 시스템

본 연구의 UV 레이저 어블레이션에 의한 미세 구조물의 제작을 위해 구축된 레이저 마이크로머시닝 시스템은 Fig. 1 과 같다. 사용된 레이저의 주요 사양은 Table 1 과 같다.

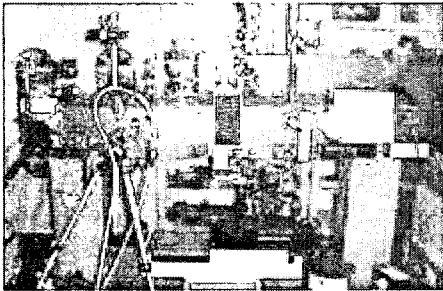


Fig. 1 A photograph of laser micromachining system

Table 1 Specifications of DPSSL

Laser source	Nd:YVO <sub>4</sub>
Wavelength	3 <sup>rd</sup> harmonic ( $\lambda_3=355\text{nm}$ )
Beam diameter	2.4mm
Beam mode	TEM <sub>00</sub> Gaussian

레이저 빔은 펄스의 안정성을 위해 연속 발진되는 상태에서 외부에 설치된 셔터(shutter)의 개폐를 통하여 on/off 된다. 또한, 레이저 빔은  $\lambda/4$  편광기(polarizer)를 통하여 원형 편광되며, 빔의 출력 안정성을 위하여 레이저 소스에서는 안정된 범위의 일정 출력을 조사시키고 출력 조절을 ND(neutral density)필터 세트를 이용하여 하였다. 이렇게 조절된 레이저 빔은 대물렌즈를 통하여

가공하고자 하는 재료에 조사하게 된다.

### 2.2 레이저 가공 프로그램

본 연구를 위해 제작된 레이저 가공용 프로그램은 Fig. 2 와 같이 LabVIEW 로 제작되었다. 먼저 CAD 로 제작된 도면 데이터 및 G-code 등의 형상 데이터를 읽어 드린다, 그리고 레이저 빔의 가공속도, 초점거리, 가공 중첩정도 등의 변수를 설정한 다음 레이저 빔 경로를 생성하여 컨트롤러에 전송한다. 개발된 프로그램은 기존의 NC 작업을 사용자가 프로그램작업을 할 수 있도록 PC 기반의 3 차원 마이크로 부품을 가공할 수 있는 3 축 제어 프로그램으로 구성되어 있다.

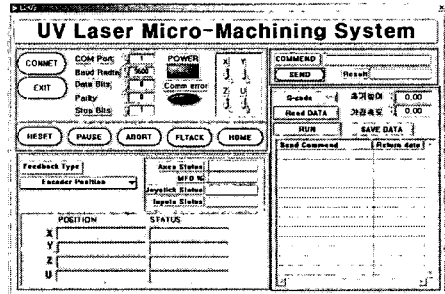


Fig. 2 A program for laser micromachining

## 3. 레이저 가공 공정 구조

### 3.1 레이저 마이크로머시닝 공정

마이크로 형상을 마스크 없이 직접 식으로 가공하는 레이저 마이크로머시닝 시스템을 위해 개발된 공정은 Fig. 3 의 흐름도와 같은 구조를 가지고 있다. 우선 제작하고자 하는 미세 형상을 CAD 모델러 통하여 제작한 다음 DXF 파일 형태로 저장한다. 여기서 필요한 부분의 도형으로부터 좌표 정보를 추출한 다음 레이저 빔 특성을 고려한 가공경로를 설정하여 NC 코드로 재생성 한다. 이러한 작업은 일반적인 절삭 가공과 유사한 방법이다. 그러나 레이저는 절삭 가공과 같이 공구의 진입/후퇴가 없고 이송과정과 패턴 연결 부위 등이 다르다. 즉, 레이저를 이용하여 가공 할 때는 레이저의 on/off 를 자동적으로 작동하게 하여 이러한 부분을 해결하였다.

이렇게 생성된 NC 코드를 이용하여 XYZ-조정 및 스테이지 컨트롤러에 이송 명령을 입력하여

순차적으로 작업을 하게 된다.

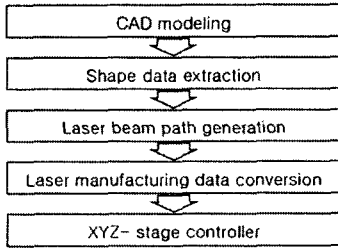


Fig. 3 A system flowchart for laser micromachining system

### 3.2 가공 경로 생성 및 중첩가공

본 연구에서는 마스크를 사용하지 않고 레이저가 노광 되는 부분만을 가공하기 때문에 가공 경로에 따라서 작업시간의 단축과 재료의 절감 및 제품의 품질에 직접적으로 많은 영향을 준다. 이에, 품질을 만족하면서 동시에 가장 짧은 경로를 탐색해야 한다.

따라서, 경로 생성 문제는 복잡한 조합문제에 탁월한 효율을 가지고, 힐 클라밍 능력(hill climbing ability)과 백 트래킹 능력(back tracking ability)이 뛰어난 유전알고리즘을 사용하여 최적의 레이저 빔 가공 경로를 생성하였다. 이때 유전자 알고리즘은 일반적인 방법과 마찬가지로 선택, 교배, 돌연변이의 기본적인 유전자 조작을 갖고 있으며 다음과 같다.

본 연구를 위해 사용한 유전연산자는 TPS 문제 해결에 사용 가능한 토너먼트선택(tournament selection), 부분 사상 교배(partially mapped crossover: PMX), 역치(inversion)를 사용되었다. 이와 함께 최적 개체의 생존을 보장해주는 엘리트 전략(elitist strategy)이 사용되었다. 제어 파라미터는 집단  $N = 200$ , 교배확률  $P_c = 0.7$ , 돌연변이 확률  $P_m = 0.05$  로 선택하였다. 레이저 가공의 최적 경로를 생성하기 위한 적합도 함수(fitness function)는 각 도형의 좌표(x, y)가 주어질 경우에 유클리드 거리의 합으로 최소거리가 되게 하였다.

또한, 레이저를 이용한 복잡한 마이크로 부품을 가공하기 위해서는 다양한 크기로 집속된 레이저 빔이 필요하다. 그러나 가공 중에는 빔의 크기를 유동적으로 변화하기에는 레이저의 특성상 어려운 실정이다. 이에 마이크로 부품의 표면 조도를 향상 시키기 위해서는 레이저 빔의 적절한

중첩을 통하여 가공 시켜야 한다.

레이저를 조사하였을 때 안정적인 가공 단면의 형상에 얻기 위하여 레이저 가공 중첩 정도를 변화 시켜 가면서 실험하였다. 가공 재질은 기능성 소재인 폴리카보네이트(PC: polycarbonate) 사용하였으며, 레이저 출력  $0.053 \text{ J/cm}^2$ , 가공 속도  $60 \text{ mm/min}$  의 조건으로 하였다.

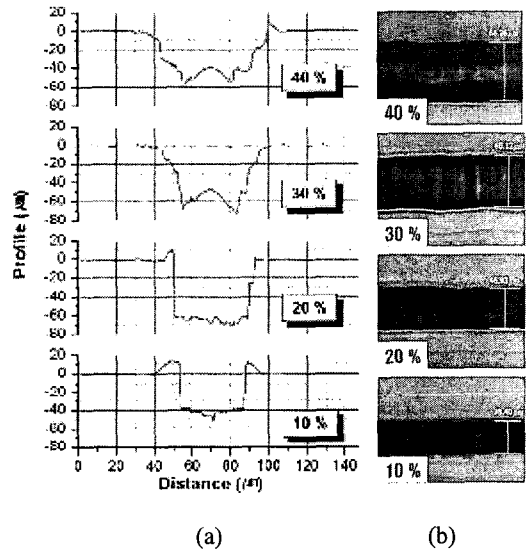


Fig. 4 (a) Line profile variation as a function of step over rate on PC at laser fluence  $0.053 \text{ J/cm}^2$ , scan speed  $60 \text{ mm/min}$ , (b) their optical microscope images

선의 패턴을 형성시킨 다음 일정한 단면적을 구하기 위해 중첩 정도를 변화시켜 가면서 실험하였다. 5 개 선의 중첩 정도를 0%에서 100%까지 10%씩 증가 시켜 가면서 실험을 하였고 그 결과는 Fig. 4와 같이 얻을 수 있었다. 이때, 20%의 중첩에서 평면 조도를 가장 안정적으로 확장 시킬 수 있었지만, 그 이상이나 이하로 하였을 때는 평면 조도가 나빠지는 것을 확인할 수 있었다.

## 4. 마이크로 채널 제작

이러한 연구결과를 토대로 일정한 평면을 지닌 마이크로 채널을 제작하였다. 이 부품형상은 매우 작고 얇으며 그 크기가 대략  $3000 \mu\text{m} \times 2000 \mu\text{m}$ , 두께가  $50 \mu\text{m}$ 이다. 이러한 부품을 빠른 시간 안에 직접적으로 제작하기는 매우 어렵고, 이 부품은

원형이며 성능 시험에 따라서 부품의 설계가 변할 수 있다.

우선 CAD 모델러를 통하여 원형 부품의 형상을 형성하였으며, 그 다음 형상에 대한 단면의 레이저 빔 경로를 20% 중첩 시켜가면서 생성하였다. 단면의 레이저 빔 경로를 이용하여 가공 깊이를 50  $\mu\text{m}$ 가 도달할 수 있도록 반복적으로 수행하였다.

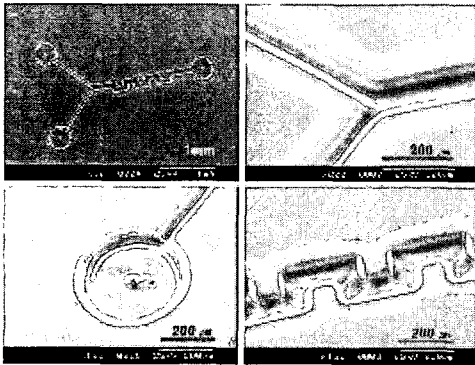


Fig. 5 A micro channel fabricated by DPSSL

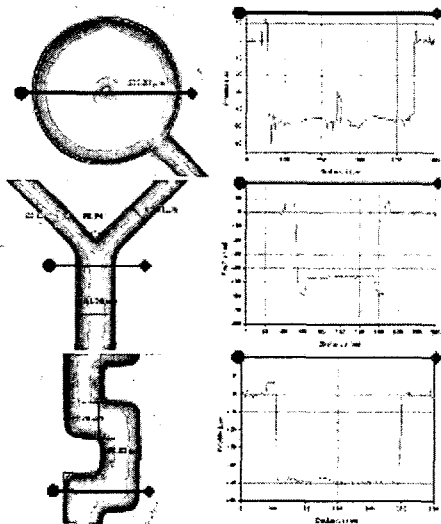


Fig. 6 The profile of cross section

마이크로 채널을 가공하기 위한 조건으로는 레이저 출력을 0.0636  $\text{J}/\text{cm}^2$ , 가공 속도를 60  $\text{mm}/\text{min}$ 으로 가공하였으며, 재료의 두께가 1 $\text{mm}$ 인 PC를 사용하였다. 이러한 조건으로 가공한 결과물의 사진은 Fig. 5와 같으며, 가공시간은 약 40  $\text{min}$ 이 소요되었다. 각 부분에 대하여 표면 조도를 측정하여 본 결과는 Fig. 6과 같으며, 각 부분의 표면조

도는 5  $\mu\text{m}$  이내로 측정되었다. 이러한 결과를 토대로 본 연구의 UV 레이저 마이크로머시닝 시스템과 개발된 공정을 통하여 마이크로급 부품의 제작 가능성을 알 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 마이크로 부품을 제작하기 위하여 구축된 레이저 마이크로머시닝 시스템은 UV 파장 ( $\lambda=355\text{nm}$ )을 가진 DPSS 레이저를 사용하였고, 마스크 없이 직접 어블레이션 하는 방법으로 마이크로머시닝 하였다.

(2) 레이저 출력을 0.0636  $\text{J}/\text{cm}^2$ , 가공 속도를 60  $\text{mm}/\text{min}$ 로 하여 마이크로 채널 제작을 할 수 있었으며, 마이크로급 부품이 제작 가능성을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 “차세대 신기술 개발사업” 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 “고기능 초미세 광·열유체 마이크로 부품 기술 개발 사업”의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) S. Dauer, A. Ehlert, S. Buttgenbach, 1999, “Rapid prototyping of micromechanical devices using a Q-switched Nd:YAG laser with optional frequency doubling,” *Sensor and Actuator* 76, pp.381~385.
- (2) M. Mullenborn, H. Dirac, J. Petersen, S. Bouwstra, 1996, “Fast three-dimensional laser micromachining of silicon for Microsystems,” *Sensors and Actuators A* 52, pp.121-125.
- (3) E. Shtcliffe, R. Srinivasan, 1986, *Dynamics of UV laser Ablation of organic polymer surface*, *J. Appl. Phys.*, 60(9).
- (4) Jackson, S.D. and Mittal, R.O., 1993, “Automatic Generation of 2-Axis Laser Cutter NC Machine Program and Path Planning from CAD,” *Computer in Industry*, Vol. 21, pp.223-231.