

UV 레이저 마이크로머시닝을 이용한 마이크로 채널 제작기술

양성빈* · 장원석* · 김재구* · 신보성** · 전병희***
(2004년 2월 10일 접수)

Micro Channel Fabrication Technology 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. The developed laser manufacturing process for laser micromachining is that, after extracting coordinates of shape data from CAD model data, a beam path considering manufacturing features of laser beam is created by using genetic algorithm. This generated manufacturing process is sent to stage controller. In order to improve the surface quality of micro parts, we have carried out experiments on iteration manufacturing and beam step-over by using a minimum focus size. Moreover, we have fabricated a micro-channel through the developed laser micromachining technology and verified it through the results.

Key Words : UV Laser Micromachining, Ablation, Beam Path, Beam Step-Over, Micro Channel

1. 서 론

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 첨

가물(additive material)을 사용하여 열적·화학적 반응 현상을 유도하는 방법(laser-assisted process)등으로 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.

따라서 설계 단계에서 빈번히 발생하는 설계변경에 유연성 있게 대처할 수 있는 공정기술개발의 필요성이 크게 대두되고 있는 실정이다. 또한, 제품(product)의 재질도 실리콘(silicon)을 기

* 한국기계연구원 나노공정그룹

** 부산대학교 ERC/NSDM

*** 인덕대학 컴퓨터응용기계계열

본으로 폴리머(polymer), 금속, 세라믹등 다양한 재질에 대하여 폭넓게 사용되고 있는 추세이다. 이러한 다양한 재질에 대한 주문 적응식(order-adaptive) 패속 제작(rapid manufacturing)을 위한 저가의 제작 기술이 요구된다. 또한, 환경 문제가 심각해짐에 따라 환경 저해공정인 화학적 공정을 환경 친화적인 청정공정으로 대체가 절실히 요구되고 있는 실정이다.⁽¹⁾

이러한 현실적인 요구사항을 충족시키기 위하여 미세부품 제조에 레이저 가공기술을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 레이저 미세가공은 적외선부터 자외선까지 다양한 파장(wavelength)의 레이저를 이용하여 다양한 재질을 가공하는데 사용되고 있다.⁽²⁻⁵⁾

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 노광공정과는 달리 마스크 없이 빠르게 제작할 수 있으며, 제작 공정 또한 간략하게 축소 할 수 있다.⁽⁶⁾ 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.⁽⁷⁻⁸⁾

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 레이저 어블레이션

레이저 어블레이션은 레이저를 이용한 직접식 제거방식에 의한 미세 부품을 제작하는 방법이 기본적인 원리이다. 좁은 영역에 조사된 레이저 빔은 수십 나노초(nanosecond)의 아주 짧은 시간 동안에 펄스 형태로 가공 재료에 열과 충격을 전달하게 된다. 이러한 짧은 시간 동안에 재료의 분자 결합부에 충격적 분리가 일어나게 된다. 즉,

레이저로부터 방출된 UV 광자는 재료의 분자에 전자적 여기, 결합파괴, 가열에 의한 화학적 분해, 제거, 증발 등의 여러 가지 프로세스(process)가 복합적으로 일어나게 한다.

이러한 UV 레이저에 의한 어블레이션은 광에 노출된 재질과 상호작용에 의해서 일어나며 재질의 흡수성질에 따라 다르지만⁽⁹⁾ 폴리머의 경우 내부분자결합이 Fig. 1 과 같이 광열반응(photothermal process) 과 광화학반응(photochemical process)이 일어나며 분해된다.

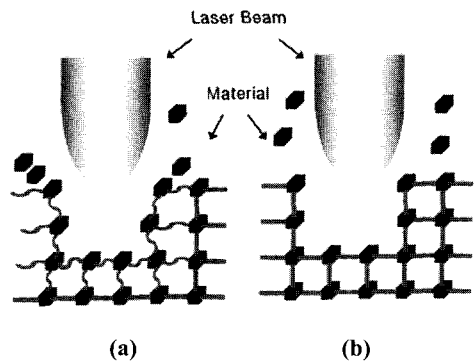


Fig. 1 Principle of ablation (a) photochemical, (b) photothermal

이를 위하여 기존의 연구자들은 레이저에 조사된 폴리머의 특성에 관하여 연구하였다. 폴리머와 레이저의 상호작용은 낮은 에너지 밀도에서 광화학반응이 가공 깊이에 많은 영향을 미치며 높은 에너지 밀도에서는 광열반응이 주요요소가 된다. 이러한 레이저 가공 깊이는 Srinivasan, Smrtic and Babu(SSB)에 의해 광흡수율로 표현되는 식 (1)과 같이 SSB 모델로 발표되었다.⁽¹⁰⁾

$$\begin{aligned}
 X &= X_{pc} + X_{th} \\
 &= \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{E}{E_T} \right) + A_1 \exp \left(\frac{-\varepsilon_1}{kT} \right) \\
 &= \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{E}{E_T} \right) + A_1 \exp \left(\frac{-\varepsilon_1 \rho C}{k\alpha(E - E_T)} \ln \left(\frac{E}{E_T} \right) \right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 레이저에 의한 가공 깊이 X 는 광화학 반응에 의한 가공 깊이 X_{pc} 와 광열반응의 가공 깊

이 X_{th} 의 함으로 이루어진다는 것을 알 수 있으며, a 는 흡수계수(absorption coefficient), E 는 에너지 밀도, E_T 는 임계에너지 밀도, ϵ 는 활성화 에너지, k 는 볼츠만(Boltzman) 상수, ρ 는 밀도 그리고 C 는 열용량을 나타낸다.

따라서 UV 광의 높은 흡수율과 짧은 펄스는 정밀하게 제한된 면적에 최소 열영향부를 갖고 에너지를 부여할 수 있는 특징이 있기 때문에, 조사하는 레이저 펄스에 따라서 분해 깊이가 일정하게 조절 가능하며 이는 재료의 광 흡수율에 따라 정해진다.⁽¹¹⁻¹²⁾

2.2 마이크로머시닝 시스템

본 연구의 UV 레이저 어블레이션에 의한 미세 구조물의 제작을 위해 구축된 레이저 마이크로머시닝 시스템은 Fig. 2와 같다. 사용된 레이저의 주요 사양은 Table 1과 같다. DPSSL은 고체 레이저이기 때문에 유독 가스를 사용하지 않아 사용하기에 안전하며 저가의 비용으로 크기를 작게 제작할 수 있는 장점이 있다.

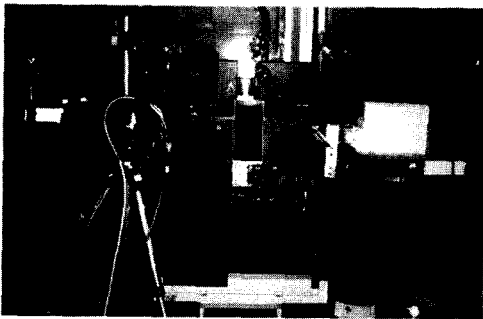


Fig. 2 A photograph of laser micromachining system

Table 1 Specifications of DPSSL

Laser source	Nd:YVO ₄
Wavelength	3 rd harmonic($\lambda_3=355\text{nm}$)
Pulse width	40ns
Average power	0.8W (at 60kHz)
Beam diameter	2.4mm
Beam mode	TEM ₀₀ Gaussian

레이저 빔은 펄스의 안정성을 위해 연속 발진되는 상태에서 Fig. 3과 같이 외부에 설치된 셔터(shutter)의 개폐를 통하여 on/off 된다. 또한, 레이

저 빔은 $\lambda/4$ 편광기(polarizer)를 통하여 원형 편광되며, 빔의 출력 안정성을 위하여 레이저 소에서는 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.

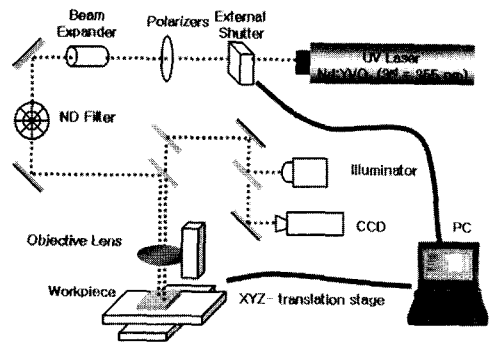


Fig.3 A schematic diagram of laser micromachining system

사용된 레이저의 소스(source)는 Nd:YVO₄로서 파장 1,064nm을 가지며 펄스 또는 연속적인 모드로 작동 가능하다. 발생된 레이저는 KH₂PO₄(KDP), KD₂PO₄(KD*P)와 같은 비선형 광학 크리스탈(nonlinear optical crystal)등을 사용하면 주파장 $\lambda_1 = 1,064\text{nm}$ 를 제 2 파장 $\lambda_2 = 532\text{nm}$ 로 변환되고 다시 $\lambda_3 = 355\text{nm}$ 로 변환된다.⁽¹³⁾ 즉, 레이저 빔은 적외선, 가시광선 그리고 여러 가지 재질을 가공하기 적합한 자외선으로 변환된다. 실질적으로 마이크로머시닝 공정에 사용하는 레이저 가공 선 폭(line width)은 레이저 빔의 파장과 광학 시스템의 NA (numerical aperture)에 의해 얼마만큼 더욱 미세 가공이 가능한가 결정된다.

Table 2 Specifications of 3-axis stage

	XY-Axis	Z-Axis
Travel Range	200mm×200mm	50 mm
Resolution	0.2 μm	0.5 μm
Repeatability	$\pm 0.5 \mu\text{m}$	$\pm 0.3 \mu\text{m}$
Position Accuracy	$\pm 1.0 \mu\text{m}$	$\pm 0.5 \mu\text{m}$
Maximum Speed	2000mm/min	1000mm/min

가공부의 스테이지는 초정밀 XYZ 3축 스테이지 (Aerotech Co.)를 사용하였으며 주요사양은 Table 2와 같다. 여기서, XY부분은 리니어 모터(linear motor)방식이고, Z축은 스텝모터(step motor)방식으로 정확도(accuracy)는 $\pm 1.0\mu\text{m}$ 이며, 반복정밀도(repeatability)는 $\pm 0.5\mu\text{m}$ 를 가지고 있어서 미세부품을 가공하기에 적합하다. 각 스테이지는 unidex 511 컨트롤러(Aerotech Co.)를 통하여 제어 되고 컨트롤러는 PC와 RS232C 통신을 하며 NC코드를 통하여 작동할 수가 있어서 가공 형상에 대한 프로그램을 구성하기에 용이하다.

2.3 레이저 가공 프로그램

본 연구를 위해 제작된 레이저 가공용 프로그램은 Fig. 4와 같이 LabVIEW로 제작되었다. 먼저 CAD로 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 NC작업을 사용자가 프로그램작업을 할 수 있도록 PC기반의 3차원 마이크로 부품을 가공할 수 있는 3축 제어 프로그램으로 구성되어 있으며, 한 명령씩 실행시킬 수 있는 기능과 3차원 마이크로 부품과 같은 대용량 명령을 실행시킬 수 있는 기능을 가지고 있다. 또한 대용량 명령을 수행할 경우 각 스테이지 상태의 응답(feedback) 신호 확인을 통하여 가공상태를 알 수 있다.

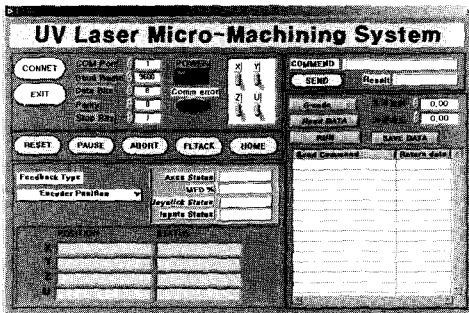


Fig. 4 A program for laser micromachining

3. 레이저 가공 공정 구조

3.1 레이저 마이크로머시닝 공정

마이크로 형상을 마스크 없이 직접 식으로 가

공하는 레이저 마이크로머시닝 시스템을 위해 개발된 공정은 Fig. 5의 흐름도와 같은 구조를 가지고 있다. 우선 제작하고자 하는 미세 형상을 CAD 모델러 통하여 제작한 다음 DXF파일 형태로 저장한다. 여기서 필요한 부분의 도형으로부터 좌표 정보를 추출한 다음 레이저 빔 특성을 고려한 가공경로를 설정하여 NC코드로 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/off를 자동적으로 작동하게 하여 이러한 부분을 해결하였다.

이렇게 생성된 NC코드를 이용하여 XYZ-초정밀 스테이지 컨트롤러에 이송 명령을 입력하여 순차적으로 작업을 하게 된다.⁽¹⁴⁾

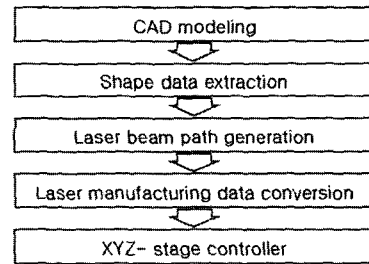


Fig. 5 A system flowchart for laser micromachining system

3.2 가공 경로 생성

본 연구에서는 마스크를 사용하지 않고 레이저가 노광되는 부분만을 가공하기 때문에 가공경로에 따라서 작업시간의 단축과 재료의 절감 및 제품의 품질에 직접적으로 많은 영향을 준다. 이러한 레이저와 같은 집중된 열원을 이용하는 레이저 마이크로머시닝 시스템은 과도한 입열 및 입열의 중첩등으로 인하여 예기치 않은 품질의 저하가 발생할 수 있으며, 이러한 이유 때문에 품질을 만족하면서 동시에 가장 짧은 경로를 탐색해야 한다.

따라서, 경로 생성 문제는 조합최적화 문제 중 하나인 순회판매원 문제(TSP: traveling salesman problem)와 경로 최소화를 목표를 바탕으로 레이저 마이크로 머시닝의 부분 고정 경로(partial fixed path) 제약 조건(constraint)를 만족하면서 경유해야 한다.⁽¹⁵⁾

경로 최적화 문제와 관련하여 많은 알고리즘들이 개발되어 왔는데, 현재에 성공적으로 적용되는 있는 것으로는 시물레이티 어닐링(simulated annealing), 신경회로망(neural networks), 타부 서치(tabu search), 유전 알고리즘(genetic algorithm)등을 들 수 있다. 이들은 실행시간이 길고, 항상 유용한 해를 제공한다는 보장은 없으나 확률론적(stochastic)인 방법을 채택하고 있기 때문에 많이 사용되고 있는 실정이다. 이 중에서 전역적인 탐색법으로 국소해(global solution)에 빠지는 오류를 최소화시키고 있으며, TSP와 같은 복잡한 조합문제에 탁월한 효율을 가지고, 힐 클라imbing 능력(hill climbing ability)과 백 트래킹 능력(back tracking ability)이 뛰어난 유전알고리즘을 사용하여 최적의 레이저 빔 가공 경로를 생성하였다.⁽¹⁶⁾ 이때 유전자 알고리즘은 Fig. 6과 같이 일반적인 방법과 마찬가지로 선택, 교배, 돌연변이의 기본적인 유전자 조작을 갖고 있으며 다음과 같다.

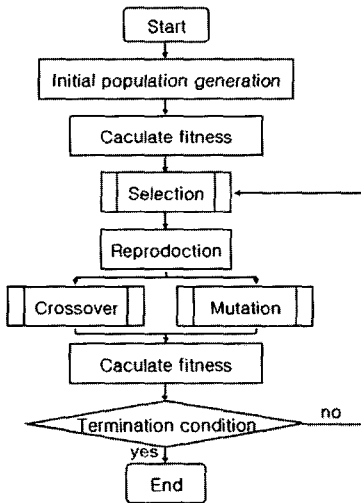


Fig. 6 Flowchart of genetic algorithm for laser micromachining

본 연구를 위해 사용한 유전연산자는 TPS문제 해결에 사용 가능한 토너먼트선택(tournament selection), 부분 사상 교배(partially mapped crossover : PMX), 역치(inversion)을 사용되었다. 이와 함께 최적 개체의 생존을 보장해주는 엘리트 전략(elitist strategy)이 사용되었다. 제어 파라미터는 집단 N = 200, 교배확률 Pc = 0.7, 돌연변이 확률 Pm = 0.05 로 선택하였다.

레이저 가공의 최적경로를 생성하기 위한 적합도 함수(fitness function)는 각 도형의 좌표(x, y)가 주어질 경우에 유클리드 거리의 합으로 최소거리가 되게 하였다.

이때 가공 순서는 각 라인의 고정된 부분을 지나가게 하기 위해서 시작되는 좌표와 종료되는 좌표를 묶는 형태로 이를 경로쌍(path pair)이라고 하며, 시작 좌표와 종료 좌표를 교환 가능한 형태가 되게 하면, 적합도 함수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$f = \min \sum l_i$$

$$\text{여기서, } l_i = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (2)$$

$$x_i, y_i = x_s, y_e \sim x_e, y_e, \quad i = 1, \dots, n$$

여기서, s, e는 시작 좌표와 종료 좌표를 나타내는 것으로 서로 교환은 가능하나 끊어져서는 안 된다.

이렇게 구성된 레이저 빔 가공경로를 생성하는 프로그램은 Fig. 7과 같이 구성되었다. CAD 파일의 좌표정보를 읽어드린 다음 유전 연산자의 변수를 조절한 다음 빔 경로를 생성하고 시물레이션을 통하여 가공형상을 미리 예측한 다음 최종적인 가공 경로를 생성한다.

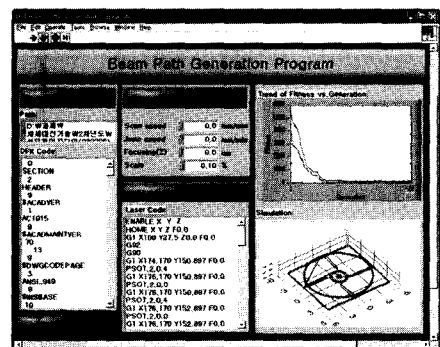


Fig. 7 A program for laser beam path generation

3.3 중첩정도에 따른 가공형상

레이저를 이용한 복잡한 마이크로 부품을 가공하기 위해서는 다양한 크기로 집속된 레이저 빔이 필요하다. 그러나 가공 중에는 빔의 크기를 유동적으로 변화하기에는 레이저의 특성상 어려운

실정이며, 가공 시간과 밀접한 관련이 있다. 이에 마이크로 부품의 표면 조도를 향상 시키기 위해서는 레이저 빔의 적절한 중첩을 통하여 가공 시켜야 한다.

우선 재료가 레이저빔에 노출 되었을 때 어블레이션 되는 상태를 예측하기 위해서 대물렌즈를 통과한 레이저빔의 상태를 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 8과 같이 TEM₀₀ 모드인 가우시안(Gaussian) 형태의 빔 모드를 나타내고 있다.

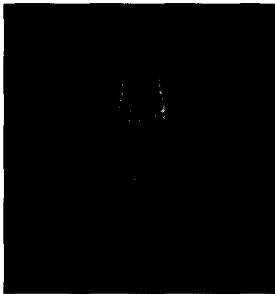


Fig. 8 Measured laser beam under microscope objective lens – Gaussian mode

이런 레이저 빔 모드를 이용하여 재료에 노출시켰을 때 가열, 응용, 증발 및 입자형태로 분출되며, 플라즈마의 생성 등을 고려한 물리적 현상을 수치적으로 모델링 하기는 매우 어려운 실정이나, 이러한 상호 관계를 규명하는 것은 가공 메커니즘의 이해 및 가공 공정의 최적을 위해 매우 중요하다. 따라서 마이크로 부품을 제작하기 위해서 이를 실험적으로 연구하였다.

우선 레이저 빔이 대물렌즈를 통하여 재료에 집속 되었을 때의 최소 초점 크기는 레이저 빔의 파장 λ , 초점거리(focal length) f , 입사되는 빔의 직경(beam diameter) $2a$, 대물렌즈의 특성인 개구수 NA (numerical aperture)를 사용하면 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$d = 1.22 \frac{\lambda f}{2a} = 1.22 \frac{\lambda}{NA} \quad (3)$$

이때 실험에 사용한 레이저의 파장은 $\lambda = 355\text{nm}$ 이고, 대물 렌즈의 개구수는 $NA = 0.04$ 이므로 계산상 레이저 빔의 최소 크기는 위의 식으로부터 약 $10.83\mu\text{m}$ 로 예측 할 수 있다.

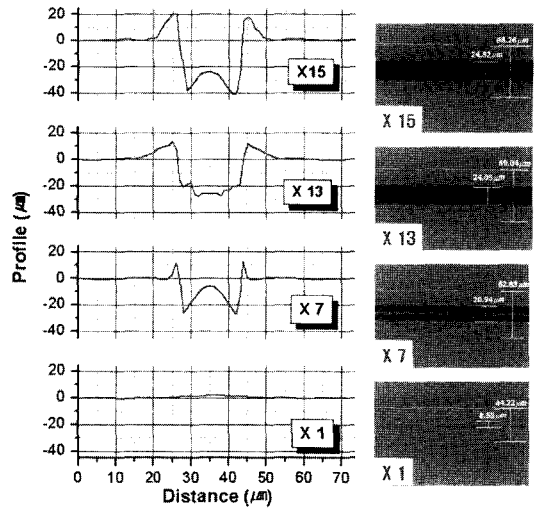


Fig. 9 (a) Line profile variation as a function of scan iteration on PC at laser fluence 0.053 J/cm^2 , scan speed 60 mm/min , (b) their optical microscope images

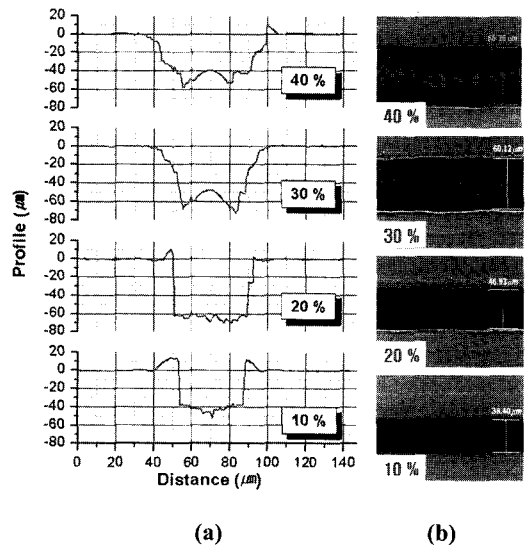


Fig. 10 (a) Line profile variation as a function of step over rate on PC at laser fluence 0.053 J/cm^2 , scan speed 60 mm/min , (b) their optical microscope images

레이저를 조사하였을 때 안정적인 가공 단면의 형상에 얻기 위하여 레이저 가공 횟수와 중첩

정도를 변화 시켜 가면서 실험하였다. 먼저 가공 회수에 따른 단면 형상의 변화는 Fig. 9와 같다.

레이저 가공을 1회 하였을 경우에는 노광된 부분이 부풀어 오르는 현상을 발견 할 수 있었으나, 가공 횟수를 증가시켜 가면 가공부위가 안정적으로 가공되는 것을 볼 수 있었다. 이때, 13회 가공 시 최적의 가공 형상을 얻을 수 있었으며, 예상했던 초점크기 보다 다소 큰 약 20.0 μ m의 선 폭을 얻을 수 있었다. 이것은 레이저 가공 중 열에 의하여 어블레이션 부분이 확장 되었기 때문이다. 가공 재질은 기능성 소재인 폴리카보네이트(PC: polycarbonate) 사용하였으며, 레이저 출력 0.053J/cm², 가공 속도 60mm/min의 조건으로 하였다.

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

4. 마이크로 채널 제작

이러한 연구결과를 토대로 일정한 평면을 지닌 마이크로 채널을 제작하였다. 이 부품형상은 매우 작고 얇으며 그 크기가 대략 3000 μ m \times 2000 μ m, 두께가 50 μ m이다. 이러한 부품을 빠른 시간 안에 직접적으로 제작하기는 매우 어렵고, 이 부품은 원형이며 성능 시험에 따라서 부품의 설계가 변할 수 있다.

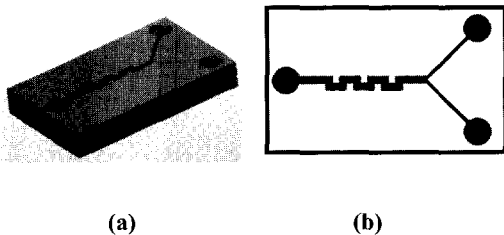


Fig. 11 (a) CAD modeling of micro channel, (b) laser beam path

따라서, 본 연구에서는 다음과 같은 공정 절차에 따라서 제작하였다. 우선 CAD 모델러를 통하

여 원형 부품의 형상을 Fig. 11(a)와 같이 형성하였으며, 그 다음 형상에 대한 단면의 레이저 빔 경로를 Fig. 11(b)와 같이 20% 중첩 시켜가면서 생성하였다. 단면의 레이저 빔 경로를 이용하여 가공 깊이를 50 μ m가 도달할 수 있도록 반복적으로 수행하였다.

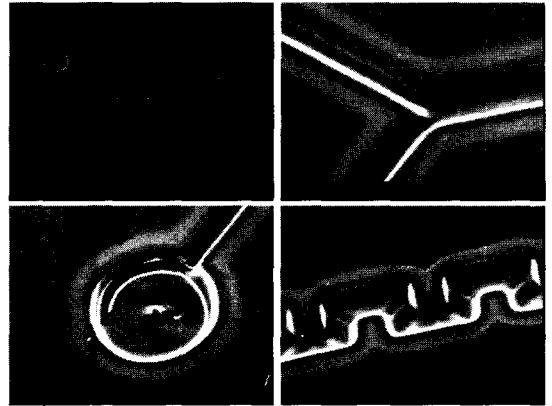


Fig. 12 A micro channel fabricated by DPSSL

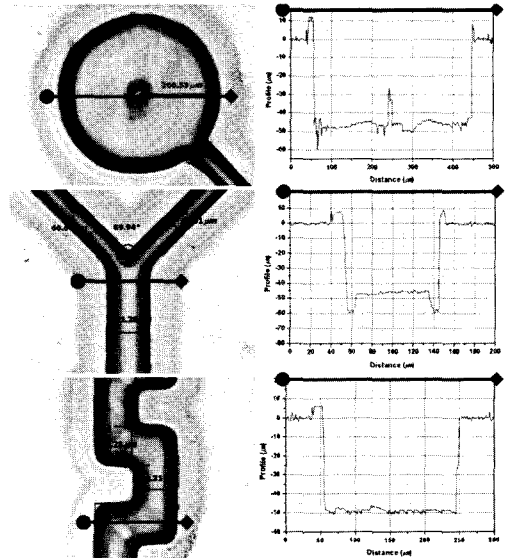


Fig. 13 The profile of cross section

마이크로 채널을 가공하기 위한 조건으로는 레이저 출력을 0.0636J/cm², 가공 속도를 60mm/min으로 가공하였으며, 재료의 두께가 1mm인 PC를 사용하였다. 이러한 조건으로 가공한 결과물의 사

진은 Fig. 12와 같으며, 가공시간은 약 40min이 소요 되었다. 각 부분에 대하여 표면 조도를 측정하여 본 결과는 Fig. 13과 같으며, 각 부분의 표면조도는 5 μ m 이내로 측정 되었다. 이러한 결과를 토대로 본 연구의 UV레이저 마이크로 머시닝 시스템과 개발된 공정을 통하여 마이크로급 부품의 제작 가능성을 알 수 있었다.

그러나, 원형의 외곽 부분은 레이저의 가공이 시작과 끝나는 부분으로 가공 속도가 가·감속하는 구간으로 노광량이 증가하여 다른 표면에 비해서 약 5 μ m 정도 더 깊이 가공 되었다. 이러한 문제점은 추후 세밀한 공정조건을 연구하여 최적화시킨다면 향상 될 것이며, 본 시스템과 공정을 응용하여 다양한 사례에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 마이크로 부품을 제작하기 위하여 UV 레이저 마이크로 머시닝 시스템과 공정을 개발하였다. 이러한 기술로 마이크로 채널을 제작 하였으며, 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 마이크로 부품을 제작하기 위하여 구축된 레이저 마이크로머시닝 시스템은 UV파장($\lambda = 355$ nm)을 가진 DPSS레이저를 사용하였고, 마스크 없이 직접 어블레이션 하는 방법으로 마이크로머시닝 하였다.

(2) 개발된 레이저 가공 공정은 CAD 모델의 데이터로부터 형상데이터의 좌표를 추출한 다음 유전알고리즘을 사용하여 레이저 빔 가공특성을 고려한 가공경로를 생성하였다. 이렇게 생성된 가공경로를 이용하여 마이크로 부품을 가공하였다.

(3) 마이크로 부품의 품질을 향상시키기 위하여 최소 초점크기를 이용하여 가공횟수와 중첩가공을 시켜가면서 가공 하였다. 이를 PC에 적용시켜본 결과 가공횟수는 13회, 중첩정도는 20%로 하였을 때 표면 조도가 5 μ m이내 이었다.

(4) 이러한 방법으로 레이저 출력을 0.0636 J/cm², 가공 속도를 60mm/min로 하여 마이크로 채널 제작을 할 수 있었으며, 마이크로급 부품이 제작 가능함을 알 수 있었다.

마지막으로, 레이저 가공 속도 및 레이저 빔 특성에 따른 추가적인 실험과 다양한 공정변수를 최적화 시킨다면 좀더 정밀한 마이크로 부품을

제작 가능하게 할 것으로 예상된다.

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) H. Fujita., 1994, “Recent progress in micromachining and applications to microactuators,” *Japan J. Appl. Phys.*, 33 (12B): pp.7163~7166.
- (3) MJ. Madou., 1997, “Fundamentals of Microfabrication,” Boca Raton, FL: CRC Press.
- (4) 윤경구, 이성국, 김재구, 장원식, 2000, “UV 레이저를 이용한 Cr 박막의 어블레이션,” *한국정밀공학학회지*, 제 17 권, 제 8 호, pp. 134~139.
- (5) 김정민, 신보성, 김재구, 장원식, 2003, “레이저 직접묘화방법을 이용한 광도파로 제작,” *한국정밀공학학회지*, 제 20 권, 제 12 호, pp. 42~47.
- (6) 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.
- (7) 정성호, J. H. Yoo, R. Greif, R. E. Russo, 2000, “고출력 레이저 어블레이션에 의한 실리콘 가공시 발생하는 상폭발 현상에 관한 연구,” *한국레이저가공학회지*, 제 3 권, 제 3 호, pp.39~45.
- (8) E. Shtcliffe, R. Srinivasan, 1986, Dynamics of UV laser Ablation of organic polymer surface, *J. Appl. Phys.*, 60(9).
- (9) G. Chryssolouris, 1991, *Laser Machining*, Springer, Berlin.
- (10) R. Sr̄nivasan, V. Smrtic., 1986, “Excimer laser Etching of polymers,” *June, J. Appl. Phys.* 59(11), pp.3861~3867.
- (11) E. Shtcliffe, R. Srinivasan, 1986, “Dynamics of UV laser Ablation of organic polymer surface,” *J. Appl.*

- Phys., 60(9).
- (12) John C. Miller, 1994, "Laser Ablation - principle and applications, Springer-Verlag.
- (13) Liming He, Yoshiharu Namba, Yuji Narita, 2000, "Wavelength optimization for machining metals with the harmonic generation of a short pulsed Nd:YAG laser," Precision Eng. J. Intl. Soc. for Precision Eng. And Nano technology 24, pp.245~250.
- (14) S. D. Jackson, and R. O. Mittal,, 1993, "Automatic Generation of 2-Axis Laser Cutter NC Machine Program and Path Planning from CAD," Computer in Industry, Vol. 21, pp.223~231.
- (15) Sangit Chatterjee, Cecilia Carrera, Lucy A. Lynch, 1996, "Genetic algorithms and traveling salesman problems," European Journal of Operational Research , Vol. 93, pp. 490~510.
- (16) 한국찬, 나석주, 1996, "레이저 절단공정에서 토치경로 생성에 관한 연구," 대한기계학회지, 제 20 권, 제 6 호, pp. 1827~1835.
- (17) X. Zhu, 2000, "A new method for determining critical pulse width in laser material processing," Applied Surface Science 167, pp.230~242.
- (18) W. Koehner, 1996, Solid-State Laser Engineering, Springer, Berlin.