

# 초고속/초정밀/대면적의 레이저 가공시스템 설계

## Laser Processing System Design of Ultrafast/High Precision/large Area

이제훈<sup>1,✉</sup>, 윤광호<sup>1</sup>, 김경한<sup>1</sup>

Jae Hoon Lee<sup>1,✉</sup>, Kwang Ho Yoon<sup>1</sup>, and Kyung Han Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 (Korea Institute of Machinery and Materials)

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

Manuscript received: 2011.10.18 / Accepted: 2012.2.28

*Current electronic products are dominated by the laser processing and the application will be extended this time. Especially, demands for high precision laser processing with a large area has been increasing for a number of applications such as in solar cell battery, display parts, electronic component and automobile industry. In this paper we designed an on-the-fly system for ultrafast/high precision/large area laser processing. In addition, we have developed the path algorithm for large area. Expansion of the area in which laser processing is an important factor to handle the ultrafast/wide area processing, it will require a processing path. Processing path is path of 2-axis stage and stage of change in velocity can be smooth as possible. We proposed a path of the user concept using NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline)method. Through our experiment with the chopper, was to prove the continuity of edge parts. Through basic shape experiments, we proved that large area can be processed using laser. We developed a simulation tool using Visual C++.*

Key Words: Laser Processing (레이저 가공), Processing Path (가공 경로), NURBS (넵스), On-the-Fly (스캐너-스테이지 연동)

### 기호설명

$\dot{v}_t$  = Total processing velocity  
 $\dot{v}_{sc}$  = Scanner processing velocity  
 $\dot{v}_{st}$  = Stage processing velocity

### 1. 서론

최근 전자 부품들이 초소형화가 되는 것은 미세 공정기술이 발전하고 있기 때문이다. 특히 이러한 미세가공분야에서 레이저의 소스 개발과 짧은 펄스폭을 이용한 레이저 응용기술의 발달은 태양전지, 디스플레이, 전자부품, 자동차 산업에 그

게 기여하고 있다.<sup>1</sup> 이러한 산업에 레이저가 적용 가능한 예로 비아홀 천공(Via-hole drilling), FPCB 절단, 레이저 표면 패터닝 등이 있다.<sup>1-3</sup> 최근 레이저 미세가공의 경향은 초정밀 형상 정밀도를 요구하면서 또한 대면적의 고속가공을 원하는 추세이다. 하지만 기존의 레이저를 이용한 가공 방법은 가공면적이 한정되어왔다. 레이저 가공법의 시초는 스캐닝 영역 안에서만 가공하는 방법이었고, 그 다음은 “스텝과 스캐닝 연동(Step & Scanning)” 방법으로 스테이지가 정지하는 동안 스캐너가 가공하며, 가공 후 스테이지가 다시 스텝(Step) 이송을 하게 되는 방식이다. 이 방법은 연속 가공 방식이 아니라 피가공물의 이음매 등의 낮은 품질 발생가능성이

있으며 가공속도가 느리다. 이를 극복하기 위한 방법으로 리니어 스테이지와 스캐너의 연동을 통한 하이브리드 타입의 가공 방법이 개발되고 있다.<sup>5,6</sup>

이러한 스캐너-스테이지 연동 레이저 가공장비 업체는 ESI 사, LPKF 사, AEROTECH 사 등이 있다. 그 중에 ESI(Electro Scientific Industries)사는 마이크로급 비아홀 드릴링 및 PCB 절단에 스캐너-스테이지 연동기술을 적용하였다. ESI 사는 마이크로 엔지니어링 분야의 제품 제조를 위한 레이저 시스템을 공급하는 회사로서 스캐너-스테이지 하드웨어 동기 기술과 연동 알고리즘에 독보적인 기술을 보유하고 있다. ESI 사의 연동 가능 UV 레이저 드릴링 시스템인 HDI5330 는 전체 스테이지 533 mm × 635mm 영역에서 ±20 μm 정밀도를 보장하며 최고 500mm/s 로 가공이 가능하다.

독일 LPKF 사에서도 최근 MicroLine 6000 모델을 출시하여 Coverlayer, PCB 와 FPC 절단에 적용하였다. 작업 면적은 ESI 사 제품과 유사하게 533mm × 610mm 이고 정밀도 또한 ±20 μm 이내이다. LPKF 사에서 제공하는 연동 알고리즘 관련 소프트웨어는 LPKFCAM 이며 최적 가공 경로를 생성하여 20%의 절단 시간을 절감하는 효과를 보여 주었다.

최근에는 미국의 Aerotech 사에서 스캐너-스테이지 연동기술을 레이저가공에 도입했다. 가공 부위가 스캐너 영역을 넘어서는 경우도 가공이 가능한 시스템이다. 그리고, 가공경로를 미리 계산하여 최적화하는 알고리즘을 도입하였다.<sup>7-9</sup>

다수의 FPC/PCB 생산 업체들은 미국의 ESI 사 장비를 구입하여 공정에 사용하고 있으며 국내에서 개발 수요가 늘어나는 현실이나 본격적인 연구는 전무한 상태에 있다. 현재 논문에서 제안하는 방식은 스캐너-스테이지 연동(canner-stage on-the-fly) 방법으로써, 스캐너와 스테이지를 동기화 하여 연속 가공이 가능하다. 본 논문에서는 이를 연동하기 위한 시스템을 설계하였으며, 초고속/초정밀의 대면적 레이저 가공을 위한 스테이지의 사용자 패스 방법도 제안하였다. NURBS 보간을 이용하여 사용자가 직접 제어점(control point)를 입력함에 따라 유연한 패스를 얻을 수 있으며, 실제 산업현장에서 더 유연하게 사용할 수가 있었다.<sup>10</sup> 기계적 초퍼를 이용하여 저 반복율 펄스 실험을 통해 기존의 스텝과 스캐닝 연동 방식의 문제점인 스캐너 영역 사이의 이음매 부분에서 나타나는 낮은 품질

문제가 없음을 증명하였다. 또한 기본적인 도형을 테스트하여 초고속/초정밀/대면적의 레이저 가공이 가능함을 입증하였다. 본 논문에서 개발한 시스템을 적용 시 가공품질과 가공속도가 증대 될 것이라고 기대한다.

## 2. 초고속/초정밀/대면적을 위한 On-the-fly 하드웨어 구성

### 2.1 On-the-fly 시스템 구성

대면적/초고속/초정밀의 레이저 가공을 하기 위해서는 그림 1 과 같이 크게 3 가지 파트로 구성된다. 첫 번째는 스캐너 헤드 부분으로 리시버, 드라이버, 갈바노미터 모터로 구성된다. 스캔보드에서 신호를 받아 갈바노미터에 부착된 미러(mirror)를 이용하여 레이저를 조사하게 된다.

두 번째는 스테이지 부분으로, 온더플라이(on-the-fly)를 하기 위한 2 축의 스테이지와 레이저 초점 및 시작점등을 맞추기 위한 1 축의 z-모션으로 이루어져 있다. 이것은 스캐너부와 연동하여 대면적을 초고속, 초정밀로 가공하기 위하여 필요하다. 마지막으로 제어부 파트로서 가공 영역이 한정되어 있는 스캐너를 스테이지와 연동시키기 위한 제어보드들로 구성된다. 이런 제어보드는 레이저의 on/off 와 가공정보를 제공하는 스캔보드, 스테이지의 구동을 제어하는 모션보드, 그리고 스테이지의 위치정보를 미리 계산하여 스캔보드에 제공하는 인터페이스 모듈(MOTF)로 구성되어 있다.

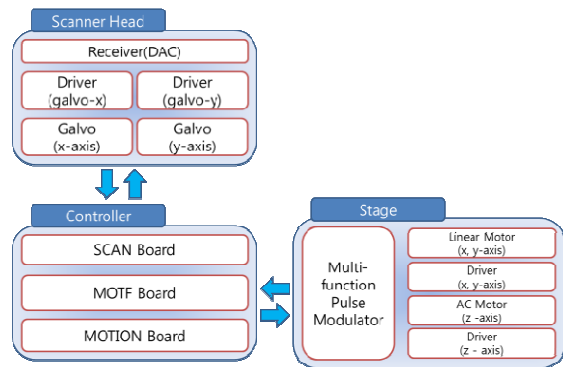


Fig. 1 On-the-fly system configuration

### 2.2 동기화 방법

대면적의 초고속/초정밀의 레이저 조사를 하기

위해서는 스테이지파트와 스캐너파트가 연동되어야만 한다. 그러기 위해서는 한쪽의 정보를 다른 한쪽이 공유하고 있어야 한다. 그림 2 는 대면적의 초고속/초정밀의 레이저 조사를 위하여 스캐너와 스테이지를 동기화시키기 위한 블록선도이다. 기존의 한정된 스캐너 영역을 대면적으로 확장시키기 위하여 스테이지의 위치정보를 스캐너로 전달한다. 그러므로 스테이지의 위치정보를 알고 있으므로 스캐너의 레이저 빔이 조사하게 될 위치를 알 수 있다. 그러기 위해서는 스캔범위를 벗어나지 않게 하기 위한 스테이지 경로와 속도계산이 필요하다. 이 과정들은 다음 장에서 소개할 것이다. 우리는 스캐너와 스테이지간의 동기화를 위하여 스캔보드와 인터페이스 모듈 보드를 개발하였다.

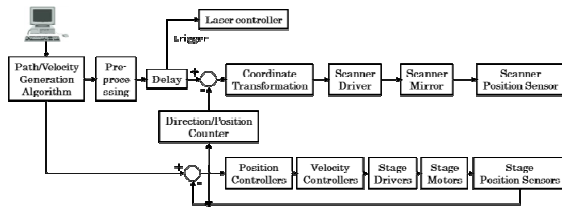


Fig. 2 System block diagram of the on-the-fly method

### 3. 초고속/초정밀/대면적을 위한 On-the-fly 소프트웨어

#### 3.1 가공속도 프로파일의 기본 개념

그림 3 은 대면적의 초고속/초정밀의 레이저 조사를 위한 스캐너와 스테이지 사이의 관계를 나타낸 것이다.<sup>11-15</sup> 레이저 조사 속도를 일정하게 하기 위해서는 식 (1)과 같이 전체 가공속도  $\dot{v}_t$  는 스테이지 속도  $\dot{v}_{st}$ 와 스캐너 속도  $\dot{v}_{sc}$ 의 벡터 합이 된다.

$$\dot{v}_t = \dot{v}_{st} + \dot{v}_{sc} \quad (1)$$

여기서  $\dot{v}_t$ : 일정

우리가 가공하고자 하는 속도는 주어져 있고, 이것은 스캐너 속도가 된다. 가공속도는 일정해야 하며, 스테이지와 스캐너가 연동되어 있기 때문에 스캐너의 영역 안에서 레이저가 조사 될 수 있도록 스테이지 경로와 속도를 구해야 한다.

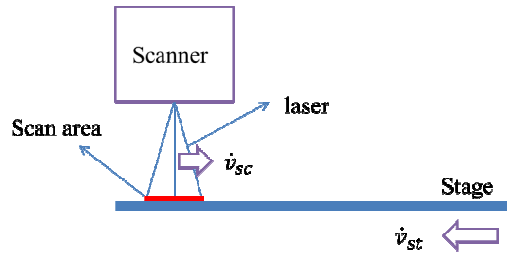


Fig. 3 The relationship between the scanner and the stage

#### 3.2 가공경로를 위한 NURBS 곡선의 표현

곡선의 형상을 표현하는 수학적 방법은 크게 2 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 비매개 변수식(nonparametric equation)의 형태이고, 둘째는 매개변수식(parametric equation)의 형태이다.

비매개 변수식은 직관적인 해석이 편리하다는 장점이 있지만, 좌표계의 종속성과 형상 경계 표현의 어려움, 3 차원 공간 상의 제약성 등으로 인하여 곡선의 표현에는 잘 사용되지 않는다. 매개변수식은 이와 같은 문제점들을 해결할 수 있으며, 각 축의 운동을 독립적으로 계산할 수 있기 때문에 공작기계나 로봇의 제어에 많이 적용된다.

식(2)은 곡선에 대한 매개변수식의 표현이다. 각각의 축은 모두 매개변수  $u$  에 대한 식으로 표현되며,  $u$  는  $[0,1]$  사이의 범위를 가지는 임의의 변수이다. 따라서 곡선  $R(u)$  를 직선 보간하기 위해서는 매개변수  $u$  를 일정량 만큼씩 증가시켜 가변 곡선  $R(u)$  에 근사한 직선 세그먼트의 데이터를 얻을 수 있다. 하지만 곡선의 곡률(curvature)을 전혀 고려하지 않으므로 곡률의 작은 부분과 큰 부분에서 곡선과의 오차가 다를 수 있다.

$$R(u) = [x(u), y(u), z(u), u \in [0,1] \quad (2)$$

#### 3.3 NURBS 곡선의 정의 및 예

곡선을 표현하는 방법은 여러 가지가 있지만, 그 중 NURBS 곡선은 복잡한 형상의 정의가 간편하고 적은 데이터로 매우 복잡한 형상의 표현이 가능하며, 매개변수의 변화에 따라 매우 다양한 형상의 표현이 가능하다. NURBS 는 Non-Uniform Rational B-Spline 의 약자로 규칙적이지 않는 유리 다항식 B-Spline 곡선이라는 뜻이다. 곡선을 표현 하는데 주어지는 너트(knot)간의 간격이 불규칙적으로 조정함으로써 각 제어점(control point)이 곡선에 영향을 미치는 범위를 결정하고, 각 제어점에

주어지는 가중치를 다르게 함으로써 각 제어점이 곡선에 미치는 양을 조종할 수 있다. 그리고 가장 중요한 B-Spline 은 차수(order)에 따라 결정되는 곡선의 제어점들이 위치가 바뀌더라도 전체적인 곡선의 연결성(continuity)이 보장된다는 것이다.

여기서 우리는 사용자로부터 제어점을 마우스로부터 입력을 받게 한다. 이는 사용자가 패스를 생성하기 위함이며, 실제 산업현장에서는 자동 경로 생성보다 이점이 더 많다. 식 (3)에서 NURBS 곡선의 일반식이다.  $u$  는 NURBS 곡선의 매개변수이고,  $i$  는  $i$  번째의 제어점,  $h_i$  는  $i$  제어점의 가중치,  $N_{i,k}(u)$  는  $i$  번째의 기저 함수(basic function)이며,  $k$  는 기저함수의 차수(order)이다.

$$R(u) = \frac{\sum_{i=0}^n h_i Q_i N_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n h_i N_{i,k}(u)} \quad (3)$$

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & \text{if } (t_i \leq u < t_{i+1}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{u - t_i}{t_{i+k-1} - t_i} N_{i,k-1}(u) + \frac{t_{i+k} - u}{t_{i+k} - t_{i+1}} N_{i,k-1}(u)$$

$$T = \{t_0, \dots, t_{k-1}, t_k, \dots, t_{m-k}, t_{m-k+1}, \dots, t_m\} \quad (5)$$

$$t_0 = \dots = t_{k-1} = a$$

$$t_{m-k+1} = \dots = t_m = b$$

$$m = n + k$$

NURBS 곡선을 이루는 기저 함수는 식(3)과 같다.  $k$  가 1 인 경우에 너트 벡터 상의 한 구간에서만 1 을 갖기 때문에 NURBS 곡선은 국소적인 곡선의 변형이 가능하다. 즉,  $k$  개의 제어점들 만이 곡선에 영향을 미치는 것이다.

너트값  $t_i$  들은 너트 벡터  $T$  를 이루는데, 본 논문에서 사용되는 NURBS 곡선은 반드시 시작점과 종료점을 제어점으로 사용해야 함으로 너트 벡터  $T$  의 시작과 끝에서 차수(order) 개수 만큼 반복되어야 한다. 식에서 너트 벡터  $T$  가  $a$  와  $b$  의 값으로 차수 개수 만큼 반복된다.

### 3.4 스테이지 경로/속도 프로파일 설계

이 장에서는 대면적의 초고속/초정밀의 레이저 조사를 위한 스테이지의 경로 및 속도 프로파일에 대하여 설명한다.

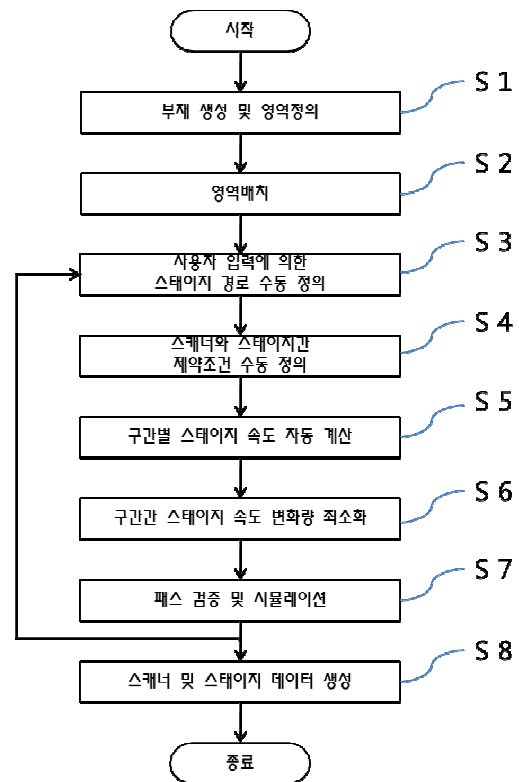


Fig. 4 Flowchart for the path and velocity of the stage

그림 4 에서 S1 은 부재 생성과 영역 정의에 대한 것이다. CAD 파일로부터 가공하고자 하는 부재를 생성하고, 부재를 배치할 영역을 정의 한다.

S2 는 영역 배치로 CAD 파일을 적정한 위치에 배치할 수 있다.

S3 은 스테이지 패스를 사용자가 만들 수 있다. 마우스의 입력을 통하여 그림 5 처럼 제어 점(control point)를 찍는다. 이 점들 사이를 부드러운 곡선을 가질 수 있는 3 절에서 소개된 넘스를 이용하여 부드러운 궤적이 생성 된다. 제어 점을 찍을 때 에는 사각형 모양의 스캔 영역이 마우스 포인트 주변에 표시됨으로써 스캔 영역을 벗어나 있는지에 대한 판단을 시각적으로 할 수 있다.

S4 는 가공속도에 맞는 스테이지 속도를 구하기 위하여 그림 6 처럼 제약조건을 만든다. 마우스를 이용하여 구간을 나누는 방식으로 속도변화가 있어야 할 부분에 구간을 나누어 준다. 구간에 대한 제약조건은 스테이지 패스에 마우스를 가져가면 패스 위에 포인트가 확대되며 이 포인트와 짝이 되는 CAD 상의 한 점을 찍을 수 있다.

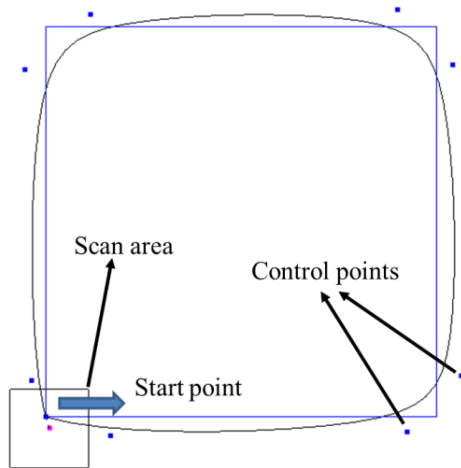


Fig. 5 Examples of control points with the click of mouse

이렇게 스테이지 패스상 한 점과 CAD 패스 상의 한 점이 한 쌍이 되며, 이러한 쌍을 여러 쌍을 만들어 속도를 구하기 위한 제약조건을 만든다.

S5 는 S4 에서 만든 제약조건을 가지고, 가공속도에 따른 스테이지 속도를 구하게 된다. 그림 6 에서 보듯이 제약 조건으로 만들어진 구간에서 스테이지 패스의 길이( $l_{st}$ )와 CAD 의 길이( $l_{sc}$ )는 정해져 있으므로, 가공속도를 사용자가 정해주면 가공속도는 일정하므로, 스테이지가 가야 할 속도가 자동 계산되어진다.

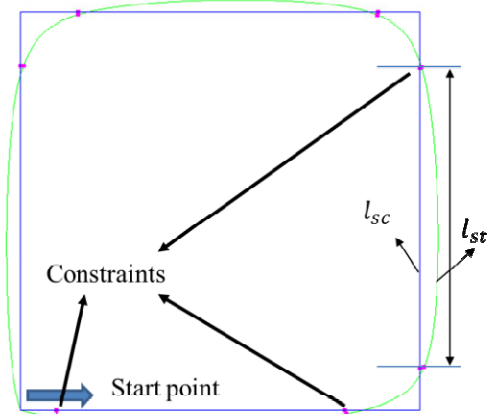


Fig. 6 An example of creating constraints

S6 은 제약조건을 가지고 만든 구간과 구간사이에 속도 변화량이 큰 경우에 그 속도를 완만하게

게 해주는 역할을 한다. 구간과 구간 사이에 가속도가 일정하게 될 수 있도록 속도를 점진적으로 증가하거나 감소할 수 있게 등분을 나누어 재정의 한다.

S7 은 이렇게 만들어진 속도 프로파일을 가지고, 스테이지 패스의 검증, 및 시뮬레이션을 한다. 패스가 스캔 영역을 벗어나 있으면, 알람 기능(색 변화)이 있어 다시 제어 점(control point)를 움직이거나 추가/삭제가 가능하여 올바른 패스를 만들 수 있다. 이는 패스는 정상이나, 사용자가 원하는 패스가 아닐 경우에도 수정 할 수 있어서 사용자 맞춤형 패스를 만들 수 있다. 이 과정이 끝나면 다시 패스의 검증 및 시뮬레이션을 하게 된다.

S8 은 스캐너 및 스테이지의 프로파일 데이터를 생성한다.

## 4 실험 및 고찰

### 4.1 실험장치

실험장치는 그림 7 과 같이 스테이지 2 축, 스캐너 갈바노미터 2 축으로 구성되어 있다. 레이저 발진기 사양은 파워는 5[w], 파장은 355@30kHz, 반복율은 20~100(kHz), 빔 크기는 1 mm 이다. 스캐너는 Scanlab 사의 IntelliScan 10 을 사용하였으며, 스테이지는 최대 속도가 1.2 m/s, 최대가속도가 15 m/s<sup>2</sup>, 정밀도(Accuracy)가 ±3 μm, 반복정밀도(Repeatability)가 ±1 μm, 직진도(Straightness)가 10 μm, 평탄도(Flatness)가 10 μm 인 리니어 모터를 사용하였다. 측정은 정밀도가 0.1 μm 인 Mitutoyo 사의 QuickVision Stream 을 이용하였다.

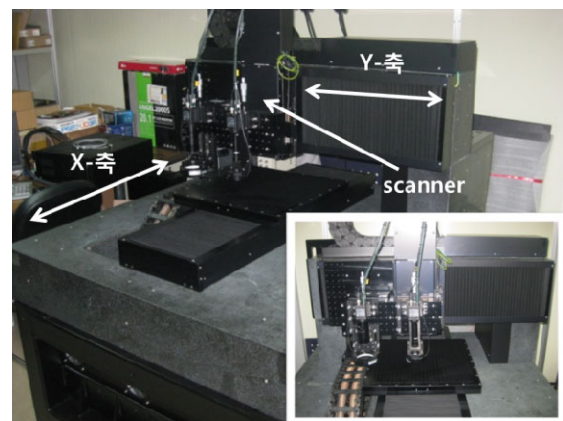


Fig. 7 Experimental equipment for on-the-fly

4.2 실험방법

실험은 두 가지 방법으로 진행하였다. 한가지는 기존의 스텝 & 스캔 방법으로 대면적 레이저 스캐너 조사를 할 때 생기는 문제점인 이음매 부분의 보장성을 확인하기 위해 기계적 초퍼를 설치하였다. 이 초퍼를 이용하여 저 반복을 펄스(1 kHz)를 발생시켜 이음매 부분의 정밀도를 확인하였다.

다른 한가지는 대면적의 도형을 레이저 조사한 후에 각 도형의 길이 및 각도를 측정하여 연동 정밀도를 알아보았다. 본 논문에서는 사각형 (100, 200, 350 mm), 삼각형 (100, 200, 300 mm), 원(100, 200, 300 mm)을 레이저로 조사한 후 Mitutoyo 사의 정밀 형상 측정기를 이용하여 정밀도를 측정하였다.

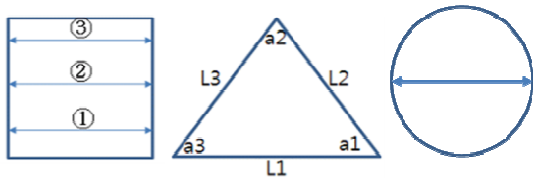


Fig. 8 Basic shapes used in the test

4.3 실험 결과 및 고찰

그림 9 는 초퍼를 이용하여 1khz 의 펄스를 발생시킨 후 가공속도를 100, 200, 350 mm/s 로 할 때의 결과이다. 스캐너 작업영역인 부근을 포함하여 임의의 점 10 군데를 각각의 속도에 따라 측정하였다. 그 결과를 표 1 에 나타내었다. 가공속도가 100 mm/s 일 때 평균정밀도가 0.55  $\mu\text{m}$  이고, 가공속도가 200 mm/s 일 때 평균정밀도가 0.88  $\mu\text{m}$  이었다. 350 mm/s 일 때 평균정밀도가 5.18  $\mu\text{m}$  로 가장 컸다. 이것은 속도가 빠를수록 오차가 증가함을 알 수 있다.

표 2 는 한 변의 길이가 100, 200, 350 mm 의 정사각형을 레이저로 조사한 후 정밀 형상 측정기를 이용하여 측정한 값이다. 100 mm 의 정사각형일 경우 오차가 11.91  $\mu\text{m}$ , 200 mm 의 정사각형일 경우 오차가 20  $\mu\text{m}$ , 350 mm 의 정사각형일 경우 오차가 25.14  $\mu\text{m}$  으로 나타났다. 대면적의 경우에 스테이지 움직임이 많아지기 때문에 그에 따른 누적오차가 생기므로 오차가 증가함을 알 수 있다.

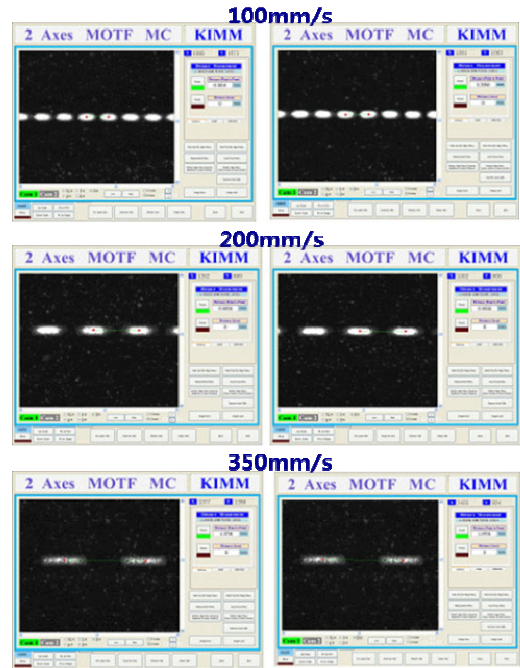


Fig. 9 Experiment results according to changes in processing velocity using mechanical chopper

Table 1 Measurement data according to processing velocity

Processing speed	100 mm/s	200 mm/s	350 mm/s
10 point average distance	100.88	200.55	355.18
Average accuracy ( $\mu\text{m}$ )	0.55	0.88	5.18

Table 2 Measurement data according to size of square

	100mm Unit[mm]	200mm Unit[mm]	350mm Unit[mm]
①	99.98238	199.97464	349.9719
②	99.98589	199.98372	349.97747
③	99.99600	199.98162	349.97521
Average	99.98809	199.979993	349.97486
Error	-11.91 $\mu\text{m}$	-20 $\mu\text{m}$	-25.14 $\mu\text{m}$

표 3~4 는 한 변의 길이가 100, 200, 300 mm 의 정삼각형을 레이저로 조사한 후 역시 정밀 형상 측정기를 이용하여 측정한 값이다. 정삼각형 마킹 실험인 경우 정삼각형의 크기와 무관하게 약



5.4 $\mu$ m 정도의 길이 오차를 보이고, 각도의 경우 0.039° 정도의 오차를 보여주고 있다. 이는 99.9% 이상의 형상 일치도를 보여주고 있다.

Table 3 Measurement data according to size of the equilateral triangle

	100mm Unit[mm]	200mm Unit[mm]	300mm Unit[mm]
L1	100.06704	200.1119	300.16525
L2	99.94538	199.89254	299.84076
L3	100.00391	200.01105	300.01027
Average	100.00544	200.00516	300.00543
Error	5.44 $\mu$ m	5.16 $\mu$ m	5.42 $\mu$ m

Table 4 Measured angle value according to size of the equilateral triangle

	100mm Unit[mm]	200mm Unit[mm]	300mm Unit[mm]
a1	59.9972°	59.9965°	59.9944°
a2	60.0624°	60.0593°	60.0600°
a3	60.0639°	60.0564°	60.0584°
Average	60.0412°	60.0374°	60.0376°
Error	0.041°	0.037°	0.038°

표 5 는 지름의 크기가 100, 200, 300mm 의 원을 레이저로 조사 한 후 그 직경을 측정하였다. 원의 직경을 측정한 결과 원의 크기가 증가할수록 오차가 증대됨을 알 수 있으나, 300mm 직경인 원인 경우도 24.75  $\mu$ m 정밀도를 유지하고 있음이 보여진다.

Table 5 Measurement data according to the diameter of the circle

	100mm	200mm	300mm
measurement diameter unit[mm]	99.981214	199.977315	299.97525
Error	18.79 $\mu$ m	22.68 $\mu$ m	24.75 $\mu$ m

## 5. 결론

기존의 레이저 스캐너는 작업영역이 한정되어 있었다. 이를 극복하기 위해 스텝 & 스캐닝 방식을 사용되어 왔지만, 스캐너 가공영역이 넘는 대

면적 레이저 가공시 이음매 부분이 불균일하는 단점을 가졌다. 본 논문에서는 초고속/초정밀의 대면적 레이저 가공을 할 수 있는 시스템을 설계하였고, 스캐너와 스테이지가 서로 연동 할 수 있는 알고리즘도 개발하였다. 이를 확인하기 위하여 초퍼 실험을 통하여 스캐너 경계면 영역에서 연속적이고 불균일한 부분이 나타나지 않음을 알 수 있었다. 또한 대면적의 기본 도형 실험을 통해 초고속/초정밀/대면적 레이저 가공이 가능함을 보였다. 본 연구의 결과로 기존보다 훨씬 정교하고, 빠른 생산성을 기대할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발 사업인 “초정밀/초고속 레이저 가공시스템 핵심요소기술개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Kyeong, D., Gunasekaran, M., Kim, K., and Yi, J., “Laser edge isolation for high-efficiency crystalline silicon solar cells,” Journal of Korean Physical Society, Vol. 55, No. 1, pp. 124-128, 2009.
2. Nikumb, S., Chen, Q., Li, C., Reshef, H., Zheng, H. Y., Qiu, H., and Low, D., “Precision glass machining, drilling and profile cutting by short pulse lasers,” Thin Solid Films, Vol. 477, No. 1-2, pp. 216-221, 2007.
3. Shin, D., Lee, J., Sohn, H., Noh, J., and Paik, B., “A FPCB cutting process using a pico-second laser,” J. of Laser Micro/Nanoengineering, Vol. 5, No. 1, pp. 48-52, 2010.
4. Kim, T., Park, S., Oh, H., and Shin, Y., “Analysis of the laser patterning inside light guide panel,” Optics & Laser Technology, Vol. 39, No. 7, pp. 1437-1442, 2007.
5. Schmidt, M. and Eber, G., “The future of lasers in electronics,” Proc. of ICALEO, pp. 112-113, 2003.
6. Suh, J., Lee, J. H., and Shin, D. S., “High speed laser processing and key technology trends,” Machinery and Materials, Vol. 21, No. 1, pp. 146-155, 2009.
7. ESI, <http://www.esi.com/>
8. LPKF, <http://www.lpkf.com/>
9. AEROTECH, <http://www.aerotech.com/>

10. Nam, J. H., "Construction of NURBS Model for Preliminary High-Speed Monohull Design Based on Parametric Approach," *J. of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 82-87, 2006.
11. Kim, K. H., Lee, J. H., and Suh, J., "Laser scanner stage on the fly technique for high precision/ultrafast/wide area fabrication," *Proc. of KSME Spring Conf.*, pp. 31-32, 2010.
12. Yoon, K. H., Lee, J. H., Kim K. H., and Suh, J., "Scanner-Stage Synchronization Control Method for Laser Fabrication of Large Aera," *Proc. of KSME Spring Conf.*, pp. 287-288, 2010.
13. Kim, K. H., Lee, J. H., Suh, J., and Yoon, K. H., "The scanner-stage on the fly technology for a ultra precision/ultrafast/wide area fabrication," *Proc. of KSLP Spring Conf.*, pp. 44-46, 2010.
14. Lee, J. H. and Kim, K. H., "Core technology for ultra fast/ wide area laser processing," *Machinery and Materials*, Vol. 22, No. 1, pp. 36-42, 2010.
15. Kim, K. H., Lee, J. H., and Yoon, K. H., "Path Generation Algorithm Development for Ultrafast/Wide Area Laser Processing," *Journal of the KSPE*, Vol. 27, No. 10, pp. 34-39, 2010.