

대면적 레이저 가공을 위한 가감속 파라미터가 가공오차에 미치는 영향

Effects of Acceleration and Deceleration Parameters on the Machining Error for Large Area Laser Processing

이제훈^{1,✉}, 윤광호¹, 김경한¹
Jae Hoon Lee^{1,✉}, Kwang Ho Yoon¹, and Kyung Han Kim¹

¹ 한국기계연구원 광응용기계연구실 (Department of Laser & Electron-beam Application, Korea Institute of Machinery & Materials)
✉ Corresponding author: jaholee@kimm.re.kr, Tel: +82-42-868-7471

Manuscript received: 2014.1.14 / Revised: 2014.5.19 / Accepted: 2014.7.3

In this paper, it is proposed a method of optimizing path parameters for large-area laser processing. On-the-fly system is necessary for large-area laser processing of uniform quality. It is developed a MOTF(Marking On-The-Fly) board for synchronizing the stage and scanner. And it is introduced the change of the error due to the change of parameters and algorithm for large-area laser processing. This algorithm automatically generates stage path and a velocity profile using acceleration and deceleration parameters. Since this method doesn't use a G-code, even if without expert knowledge, it has an advantage that can be accessed easily. Angle of one of the square of 350x350mm was changed from 50° to 80° and analyzed the error corresponding to the value of Ta. It is calculated the value of Ta of the best with a precision of 20um through measurement of accuracy according to the Ta of each angle near the edge.

Key Words: Smoothing Path (스무딩 패스), Large-Area (대면적), Synchronization (동기화), Machining Error (가공오차)

1. 서론

최근 극 초단파 레이저의 상용화로 인하여 디스플레이, 태양전지, 반도체 장비 등 산업계 각 분야에 다양하게 적용되고 있다.^{1,2} 특히 레이저를 이용한 미세 형상 패턴이나 절단에서는 정밀하면서도 대면적 가공을 원하는 추세이다. 기존의 레이저 가공은 스캐너를 이용하여 스캔영역에서 빠르고 정밀하게 가공하거나, 오브젝티브(objective) 렌즈를 장착하여 스테이지를 이동하여 대면적을 가

공하는 방법이 있다. 스캐너를 이용하는 레이저 가공은 고속가공은 가능하지만 스캔 영역이 정해져 있는 단점이 있고, 스테이지를 이용하는 방법은 넓은 면적을 가공 할 수 있지만 가공속도가 스테이지 속도에 한정되어 있는 단점이 있다. 대면적의 레이저 가공을 위해서는 스캐너의 장점과 스테이지의 장점을 살린 동기화된 온더플라이(on-the-fly) 방법이 필요하다. 이 방법은 기존에 스캐너와 스테이지가 따로 동작하는 방법과는 달리 연속적으로 동작하며 가공하는 방식이다. 스캐너와

스테이지가 동기화 되어 전체 가공속도를 일정하게 유지할 수 있기 때문에 가공 결과물의 균일도가 일정하게 유지된다. 이것은 레이저를 이용한 대면적 가공이 가능하면서도 정밀도를 유지할 수 있는 장점이 있다.³⁻⁹

현재 언더플라이 시스템은 ESI, LPKF, AEROTECH 등의 회사에서 판매되는 제품이 있다. 이러한 제품들은 모두 각자의 소프트웨어를 제공하여 최적의 가공 경로를 생성하여 20%의 가공시간을 절감하는 효과를 보여주었다. 하지만 사용자가 G-code 입력을 입력해야 하므로 전공자가 아니면 쉽게 접근할 수 없고, 데이터 양이 많아지면 가공 준비 시간이 길어지게 되는 단점이 있다.¹⁰⁻¹²

본 논문에서는 대면적 레이저 가공을 위한 스테이지 가감속 파라미터가 실제 가공오차에 미치는 영향에 대하여 알아본다. 시스템은 스캐너와 스테이지를 연동하기 위한 MOTF(Marking on-the-fly) 보드와 스테이지 신호를 분배기를 통하여 스캐너와 모션제어보드에 위치신호를 전달하는 on-the-fly 시스템을 제작하였다. 또한 G-code 입력이 아닌 스테이지 가감속을 이용한 스테이지 패스와 속도 프로파일을 생성하는 방법을 소개한다. 이 방법은 가감속 시간(T_a), 샘플링 시간(T_s)을 파라미터(parameter)로 하여 스테이지가 에지(edge) 부근에서 부드러운 패스를 가질 수 있도록 하였고, 스테이지 속도 또한 자동적으로 생성 된다. 이 방법은 G-code를 사용하지 않아 전문가가 아니어도 쉽게 접근할 수 있는 장점이 있다. 또한 T_a 값과 엣지부근에 각도에 따라 스테이지의 패스와 스테이지 가속도가 달라진다. 그래서 이러한 파라미터들의 변화에 대해 실제 가공오차의 변화를 알아보았다. 제작한 시스템에서 가공속도 450mm/s로 하여 실제 350 x 350mm 사각형의 한쪽 각도를 50°~80°까지 변화시켜 T_a 값에 따른 오차를 분석하였다. 또한 스테이지 가속도가 어느 정도까지 요구되는지 알아보았으며, 최종적으로 20um 정밀도를 유지하기 위한 최적의 T_a 값을 도출하였다.

2. 시스템 구성

2.1 하드웨어 구성

레이저 스캐너와 스테이지를 이용하여 대면적을 연속적으로 가공하기 위해서는 스캐너와 스테이지를 실시간 연동시킬 수 있는 제어부가 필요하다. 실시간 연동을 위한 레이저 가공 시스템의 개

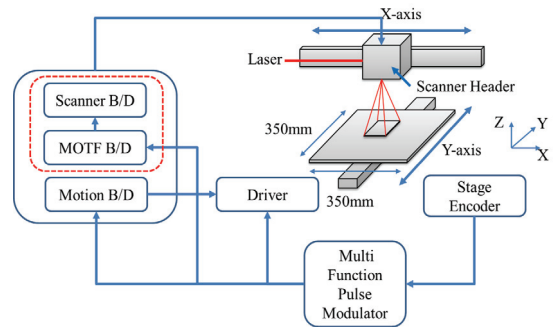


Fig. 1 Configuration of on-the-fly system

략도를 Fig. 1에서 보여주고 있다. 스캐너는 스캐너 제어보드에 연결되며 레이저의 온/오프(on/off) 기능과 2개의 갈바노 미터의 반사미러를 움직여 레이저 빔을 가공부위로 전송하여 레이저 가공이 가능하게 한다. 스테이지는 X, Y, Z의 3축으로 구성되며 X, Y축은 대면적의 평면을 가공하는데 쓰이고, Z축은 스캐너의 초점을 맞추는데 쓰인다. 스캐너는 X 축의 리니어모터에 장착되어 같이 움직인다. Y축엔 시편을 놓고 움직일 수 있도록 구성되어 있다. 제어부에는 스캐너와 스테이지를 실시간 동기 및 제어를 하기 위한 제어보드가 필요하다. 스캔보드는 스캐너 안에 있는 갈바노미터의 미러들의 움직임과 레이저를 제어하게 된다. 모션보드는 스테이지 제어를 담당하고 있으며, 스캐너와 스테이지를 동기화 시키기 위해 스테이지의 실시간 엔코더 신호를 받아 MOTF 보드에 전달해 준다.

2.2 시스템 연동

스캐너와 스테이지를 실시간으로 연동시키기 위해서는 스캐너와 스테이지의 실시간 위치 및 속도에 대한 정보를 서로 공유하여야 한다. Fig. 2는 실시간 연동 시스템을 구성하기 위한 제어부 블록 선도를 나타낸다. 가공 CAD 데이터를 읽어 와서 스무딩 패스 알고리즘을 거치게 된다. 이 알고리즘은 연속적인 레이저 가공을 하기 위해 필요한 스테이지 패스의 위치 정보와 속도를 자동적으로 만들 수 있는 스무딩 알고리즘이다. 여기서 생성된 데이터는 스캐너와 스테이지의 입력으로 각각 들어가게 된다. 자세한 내용은 다음 장에 설명하겠다.

스무딩 패스 알고리즘에서 나온 스테이지 입력 지령들은 모션보드에 전달되어 대면적 가공이 연속적으로 될 수 있도록 지령에 따라 이동하게 된다. 또한 스캐너와 스테이지를 동기화시키기 위해

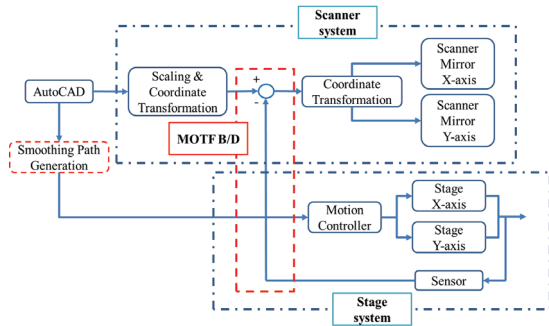


Fig. 2 Block diagram of on-the-fly system

이동중인 스테이지의 위치신호를 스캐너 쪽으로 전달해 준다. 이 신호는 스캐너쪽의 명령신호와 비교되어 좌표 변환 후 갈바노미터 미러들을 움직이게 한다. 결국 스테이지가 이동한 거리 만큼은 스캐너가 이동하지 않고 스캐너 제어보드에서 스테이지 패스와 가공 패스 사이의 오차를 보상해 주게 된다. 이때 스캐너 제어보드에 입력되는 스테이지의 실시간 위치 정보는 고속 가공이 가능한 스캐너 보드의 제어주기에 따라 새로운 위치 정보를 생성하게 된다. 따라서 스테이지 엔코더 분해능과 스캐너 제어주기가 실시간 연동 정밀도에 직접적인 영향을 미치게 된다.

3. Ta 값에 따른 가공 경로

3.1 Ta 값에 따른 패스 알고리즘의 기본 개념

본 장에서는 앞 장에서 잠시 언급한 Ta 값에 따른 패스 알고리즘의 기본적인 개념에 대하여 설명하겠다. 기존의 레이저 가공은 스캐너만 사용하여 작은 면적을 가공하거나 또는 스캐너를 사용하지 않고 스테이지를 사용하여 대면적에 가공을 하였다. 전자의 경우는 가공속도가 빠른 장점이 있고, 후자의 경우에는 가공속도는 느린 대신 대면적 가공이 가능하였다. 그래서 스캐너의 장점과 스테이지의 장점을 합쳐 고속 가공이 가능하고, 연속적인 대면적 가공이 가능하게 하기 위하여 두 시스템을 연동하였으며, 이를 위해서는 Ta 값에 따른 스테이지의 패스 알고리즘이 필요하다.

대면적에 연속적인 레이저 가공을 하기 위해서는 작은 영역에서는 고속가공이 가능한 스캐너가 작업을 많이 하고, 스캐너의 작업 공간을 넘어서는 대면적에서는 스테이지가 작업을 많이 하여야 한다. 결국 스캐너와 스테이지의 이동 패스 백터

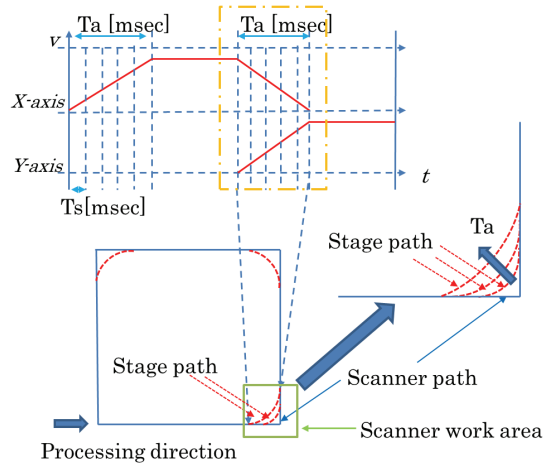


Fig. 3 Conditions for the smoothing path

값의 합은 가공 데이터의 값과 일치하여야 한다. 또한, 스캐너와 스테이지의 총 이동 시간은 일치하여야 하기 때문에 이를 충족시키기 위한 스테이지의 속도 프로파일은 패스 알고리즘에서 도출된다. Ta 값에 따른 패스 알고리즘에서 스테이지의 패스와 이에 매칭되는 속도 프로파일이 결정되면 스캐너의 패스와 속도는 실시간으로 연산되어 추적하게 된다.

Fig. 3을 보면 스테이지의 부드러운 패스는 X축의 감속과 Y축의 가속부분을 겹치게 되면 부드러워진다. 이때 가속과 감속의 시간(T_a)을 작게 할수록 스테이지의 패스는 도면의 패스를 근접해서 따라가게 되며 결국 급격한 가속으로 인하여 스테이지의 성능이 따라가지 못하게 된다.

또한 가속 시간을 늘리게 되면 스테이지 패스는 점점 부드러운 패스를 가지게 되지만 가공부가 스캔 가공영역을 벗어나게 되어 가공이 되지 않는 영역이 발생할 수 있다. 따라서 스캐너의 작업영역을 벗어나지 않는 범위 내에서 가속 시간 을 적절히 조절하여야 한다.

3.2 스테이지 위치 /속도 및 Ts 값 결정

스테이지의 위치와 속도는 가속 시간과 샘플 타임(T_s)에 의하여 구해진다. Fig. 4는 X축과 Y축의 가속 및 가속 하는 구간을 겹쳐 놓았다. 여기서 전체가공속도(V_t), T_a 와 T_s 를 사용자가 미리 지정하게 된다. Fig. 4는 T_a 와 T_s 를 보기 쉽게 표현하였다. T_s 에 의해 샘플링된 위치는 $X_1, \dots, X_6, Y_1, \dots, Y_6$ 이며, 좌표계로 나타내면 $(X_1, Y_1), \dots, (X_6, Y_6)$ 로 나타

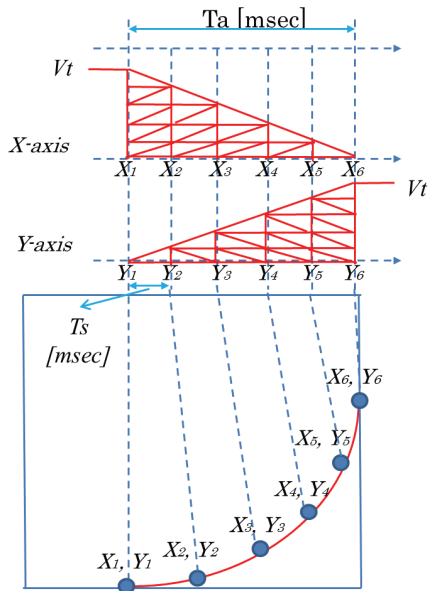


Fig. 4 Calculation of the velocity and position along the Ta and Ts

낼 수 있다. 이들 각각의 위치는 Fig. 4에서 보듯이 작은 삼각형의 면적을 구하면 알 수 있다. 삼각형 한 개의 면적(S_{tri})은 식(1)과 같다.

$$S_{tri} = \frac{1}{2} \times \frac{(V_i/T_s)}{T_s} \quad (1)$$

Fig. 4에서의 T_s 의 개수는 5개 이므로 각 구간의 삼각형의 면적(S_n)은 식(2)와 같다.

$$S_n = (2n + 1) \times S_{tri} \quad (2)$$

여기서 n 은 샘플링 구간의 개수이고, Fig. 4에서는 5개이므로, Y구간은 $n = 0, 1, 2, 3, 4$ 이다. X구간은 n 이 역순이다. 그리고 속도는 (X_1, Y_1) 에서 (X_6, Y_6) 까지 스캐너가 가공하는 시간이나 스테이지가 움직이는 시간이 같아야 한다. 그러므로 시간이 같다고 보면, 스테이지 패스구간 $(X_1, Y_1) \sim (X_6, Y_6)$ 의 스테이지 속도를 구할 수 있다.

Fig. 5는 T_s 를 결정하기 위한 최대 조건을 나타낸다. T_s 값을 크게 하면 Fig. 5(b)와 같이 부드러운 형태의 스테이지의 패스를 만들어 낼 수 있지만 너무 크게 되면 스캐너의 영역을 벗어나 가공영역을 벗어 날 수 있다. 즉 스캐너의 중심이 스테이지 패스를 따라 이동할 때 모든 가공부위가 스캐

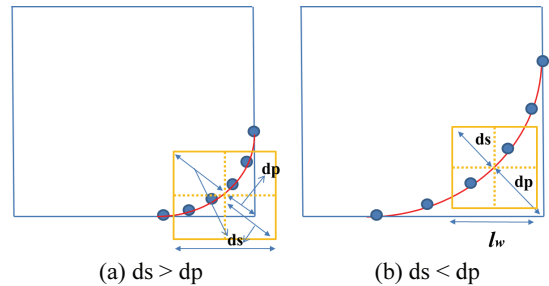


Fig. 5 Condition of Ts value

너의 가공 영역안에 들어 오도록 하여야 한다. 그렇기 때문에 조건식(3)과 같이 스테이지의 패스에서 법선 방향으로 선을 그어 스캐너의 패스가 만나는 지점의 거리(dp)는 Fig. (a)에서 처럼 ds의 길이 보다 작아야 한다. 여기서 l_w 는 스캐너의 작업 영역이다.

$$d_s > d_p \quad (3)$$

4. 실험

4.1 실험 장치

실험장치의 구동부는 스테이지 2축, 스캐너 갈바노미터 2축으로 구성되어 있으며 레이저 발진기와 비전 시스템이 탑재되어 있다. 레이저 발진기의 주요 사양은 출력이 5W, 파장은 355nm@30kHz, 반복율은 20~100kHz 그리고 빔 직경은 1mm 이다. 스캐너는 Scanlab사의 IntelliScan 10을 사용하였다. 스캐너의 초점거리는 100mm 이며 스캔 영역이 50mm x 50mm인 텔레센트릭 렌즈를 사용하였다. 실제 가공에 사용된 스캐너 유효영역은 40mm x 40mm 이다. 스테이지는 최대 속도가 1.2 m/s, 최대 가속도가 1.5G, 정밀도가 $\pm 3\mu\text{m}$, 반복정밀도가 $\pm 1\mu\text{m}$, 직진도가 $10\mu\text{m}$ 그리고 평탄도가 $10\mu\text{m}$ 인 리니어 모터를 사용하였다. 스테이지의 최대 가공 영역은 400 x 400mm이다. 가공 길이 및 형상측정은 정밀도가 0.1 μm 인 Mitutoyo 사의 QuickVision Stream 을 이용하였다.

4.2 실험 절차

본 논문에서는 제안한 스테이지 자동 패스 알고리즘을 평가하기 위해 Fig. 6과 같이 한 변이 350mm의 두 가지 타입의 사각형을 가지고 실험하였다. 대면적에 레이저 가공을 위해 하이브리드 타입의 XY 스테이지를 사용하였으며, X축에 스캐

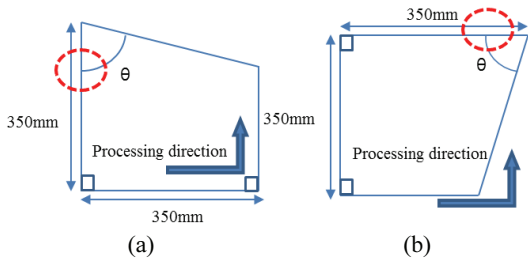


Fig. 6 Stage experimental paths (a) When the processing direction changes on the y-axis from the x-axis, (b) When the processing direction changes on the x-axis from the y-axis

너가 장착된 형태이다. 그래서 X축에서 Y축으로 변할 때와 Y축에서 X축으로 변할 때의 오차를 측정하였다. Fig. 6(a)의 사각형은 스테이지의 이동이 X축에서 Y축으로 변할 때 가공 상태를 다양한 각도별로 실험하였다. Fig. 6(b)의 사각형은 스테이지의 이동이 Y 축에서 X 축으로 방향이 전환될 경우를 나타내고 있다.

Fig. 6의 각도(θ)는 50°에서 80°까지 10°씩 증가시켰으며 가공속도는 각도 별로 오차를 측정할 수 있는 범위까지 가공속도를 증가시키면서 실험을 수행하였다.

5. 실험 결과

5.1 실험 조건 설정

위에서 제한한 방법에 따라 오차가 잘 표현될 수 있는 속도를 찾기 위해 Fig. 6(a)의 도면을 가지고 테스트를 하였다. 각도는 50°로 고정 하고, 가공경로를 생성하기 위한 Ta 값을 50ms와 90ms 로 각각 셋팅하였다. Fig. 7은 가공속도를 100 그리고 400mm/s 로 변화 시키면서 Fig. 6(a)에 원으로 점선된 부분의 마킹된 결과이다. 순서는 Ta 가 90ms 일때 먼저 마킹한 후 X축 방향으로 100um 이동후 Ta 가 50ms 일때 다시 마킹하였다. Fig. 7에서 보듯이 속도가 100~300mm/s 일때는 비교적 평행하게 마킹되었으며, 가공 속도가 400mm/s 일 때 부터 Fig. 6(a) 부근에서 정현파(sine) 형태로 마킹되어진다. Fig. 7(a)는 Fig. 6(a) 모서리를 부분 (θ)을 나타낸다. Fig. 7(b)~(d)는 속도를 각각 100mm/s~400mm/s일 때 Ta값이 50과 90일때를 실제로 마킹한 결과이다. 또한 이 그림들은 X축 오차가 가장 크게 나타나는 부분을 보여주고 있고, 그 위치는

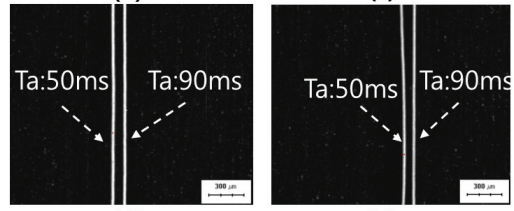
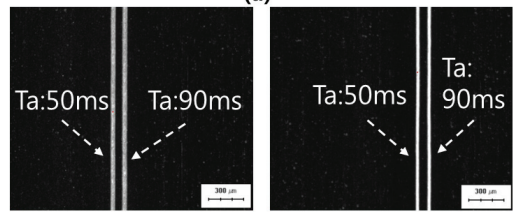
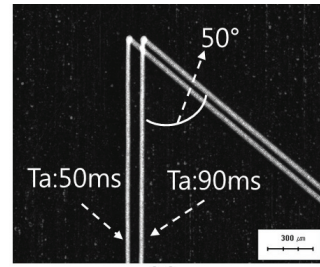


Fig. 7 Marking results according processing speed (Ta 50 and Ta 90) (a) Marking results near the corner (θ), (b) Processing speed : 100mm/s, (c) Processing speed : 200mm/s, (d) Processing speed : 300mm/s, (e) Processing speed : 400mm/s

Fig. 6(a)의 점선의 원표시 부분처럼 Fig. 7(a)의 그림의 아래 부분에 위치해 있다. Fig. 7(d)는 가장 오차가 많이 생기는 부분을 나타내었으며, 이때 약 ±13um 정도 오차가 발생하였다. 오차의 측정은 가공 시작점을 기준하였으며, 그 시작점으로 부터 비전이 장착된 정밀한 스테이지를 이동하여 기준 점과 현재 마킹된 점의 오차를 측정하게 된다. 정밀도가 0.1um인 Mitutoyo 사의 QuickVision Stream 을 사용하였으며, 세로방향으로 이동 후 X축 오차를 측정한다. 따라서 본 논문에서는 각도 및 Ta 값에 따라 오차들의 크기가 잘 표현 될 수 있도록 450mm/s로 가공속도를 정하였다.

5.2 실험 결과

가감속 시간 Ta 에 따른 오차의 크기를 나타내기 위해서 가공속도를 450mm/s로 설정하여 Fig. 6과 같은 도형을 가공 하여 각 각도별 오차를 측

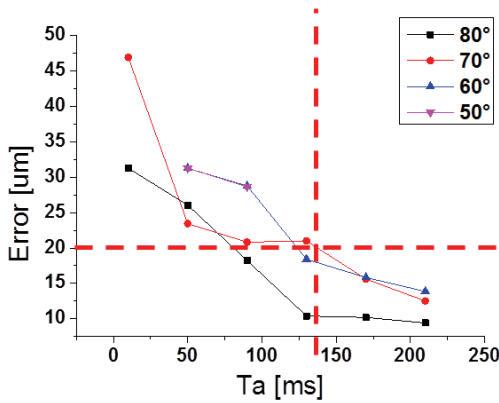


Fig. 8 Error of each angle according to Ta (Fig. 6(a) method)

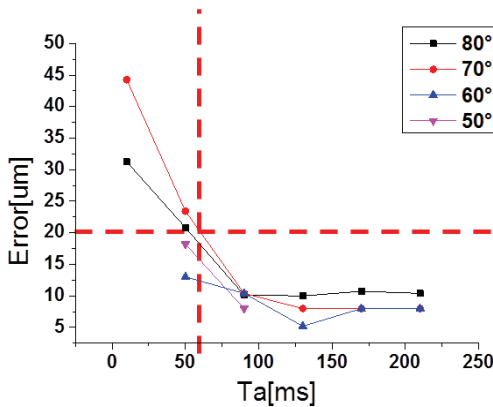


Fig. 9 Error of each angle according to Ta (Fig. 6(b) method)

정하여 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. X 축은 Ta 값, Y축은 450mm/s의 가공속도로 마킹시 입력된 도면과의 각도별 오차를 나타낸다. 여기서 없는 데이터들은 Ta 값에 증가에 따른 dp값이 ds값보다 커져서 스캔작업 영역을 벗어나 실제 마킹이 되지 않은 것들이다.

Fig. 8은 Fig. 6(a)의 형태에서 각도를 50°~ 80°까지 변화시키면서 Ta 값에 따른 오차를 나타낸 것이다. Fig. 6(a) 타원형의 점선으로 나타낸 부분의 X 축 오차이며, 주어진 각도에서 Ta값이 증가함에 따라 오차는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 Ta 값이 증가함에 따라 스테이지의 구동 패스가 완만해지기 때문에 방향 전환시에 나타나는 오차가 줄어들기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 8에서는 정밀도 20um 이하의 결과를 얻기 위해서는 Ta 값이 약135ms 이

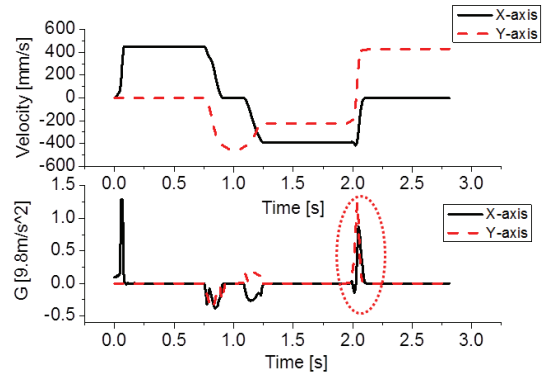


Fig. 10 Stage acceleration of 60 degree (When the processing direction changes on the y-axis from the x-axis)

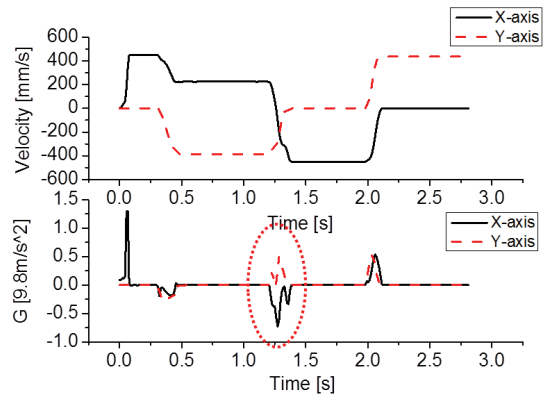


Fig. 11 Stage acceleration of 60 degree (When the processing direction changes on the x-axis from the y-axis)

상으로 되어야 한다는 결과를 얻을 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 6(b)의 형태를 마킹 실험하였다. 동일한 조건에서의 실험이지만 이번에는 Y축에서 X 축으로 이동할 때 Ta값에 따른 Y축 오차를 나타낸 것이다. Fig. 9에서 보면 마찬가지로 20um의 정밀도를 얻기 위해서는 Ta 값이 65ms 이상이어야 된다는 것을 알 수 있다. 또한 X 축 Y축 모두 20um 정밀도를 얻기 위해서는 Ta 값을 135ms 이상으로 해야 하는 것을 알 수 있다.

Fig. 10과 Fig. 11은 Fig. 8의 그래프에서 Ta값이 135ms 이상인 각도 중 가장 작은 각도인 60°일 때 가공속도를 450mm/s로 하여 스테이지의 속도와 가속도를 측정하였다.

Fig. 10과 Fig. 11은 그림 6형태를 450mm/s로 마

Table 1 The acceleration values corresponding to the angle at the Ta = 135ms

| Type | Axis | Angle (θ) | | | |
|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 50° | 60° | 70° | 80° |
| Fig. 6(a) | X-axis | X | 0.86 (G) | 0.78 (G) | 0.65 (G) |
| | Y-axis | X | 1.23 (G) | 1.08 (G) | 0.92 (G) |
| Fig. 6(b) | X-axis | X | -0.86 (G) | -0.77 (G) | -0.44 (G) |
| | Y-axis | X | 0.72 (G) | 0.57 (G) | 0.33 (G) |

킹할 때의 속도와 가속도 그래프이다. 시작점의 스테이지 가속시간은 35ms로 매우 빠르게 가속되므로 Fig. 10 및 Fig. 11과 같이 초반 가속도는 크게 나타난다.

Fig. 10에서 타원형의 부분은 Fig. 6(a)에서 각도를 나타낸 모서리 부분이다. X 축은 약 0.86G 이고, Y 축은 1.23G 이다. Fig. 11은 Fig. 6(b) 형태를 450mm/s로 마킹할 때의 속도와 가속도 그래프이다. X 축은 약 -0.86G 이고, Y 축은 0.72G 이다. Table 1은 Ta 값이 135ms 일때 각도별 스테이지 가속도 값을 정리해 놓았다. 50°일때는 실제로 서보 정지 및 레이저 가공이 되지 않아서 데이터를 나타내지 않았다. 각도가 커질수록 스테이지 가속도가 줄어들었다.

대면적 레이저 가공을 위한 스테이지는 하이브리드 타입의 구조로 X축에 스캐너 장비 등을 장착하고 있으므로 Y축에 비해 무거운 구조를 가졌다. 그 결과 Fig. 6(a) 형태의 움직임이 Fig. 6(b) 보다 더욱 빠르게 움직일 수 있는 구조로서 Y 축의 가속이 0.51G 크게 나타나는 것으로 판단된다.

그래서 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 450mm/s의 속도로 대면적 레이저 가공을 할 때 마킹 정밀도가 약 20um의 정밀도를 유지하기 위해서는 Ta 값이 135ms 이상이어야 하며, 스테이지 가속속이 약 1.23 G 이상이어야 한다.

6. 결론

본 논문에서는 대면적 레이저 가공을 위한 스테이지 가속속 파라미터가 실제 가공오차에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 사용자가 직접 G-code 입력하는 방식이 아닌 X축과 Y축의 가속속 (Ta)을 이용하여 자동으로 스테이지 패스를 만들고

속도를 계산하는 방법을 사용하였다. 실제 레이저 가공을 통하여 본 논문에서 제안한 패스 알고리즘의 가속속에 따른 오차를 비교하였다. 대면적에 450mm/s 가공속도로 약 20um의 마킹 정밀도를 얻기 위해서는 Ta 값이 135ms 이상되어야 하며, 스테이지는 약 1.23G 이상의 사양을 확보하여야 한다. 이것은 가공도면이 60°각으로 형상을 이루었을 때 조건이므로 그 이하의 각도의 도면들은 상기의 사양보다 낮아도 된다. 이런 오차 측정을 토대로 스캐너를 활용한 대면적 레이저 가공시 스테이지의 패스를 재구성 할 수 있다. 향후 본 논문에서 제안한 가공시스템의 구성과 알고리즘은 대면적의 미세가공 뿐만 아니라 고출력 절단시스템과 표면처리 분야 그리고 톨툴링 레이저 시스템에도 확대 적용 될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업원천기술개발사업인 “초정밀/초고속 레이저 가공시스템 핵심요소기술개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Kyeong, D., Gunasekaran, M., Kim, K., Kim, H., Kwon, T., et al., “Laser Edge Isolation for High-Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells,” Journal of Korean Physical Society, Vol. 55, No. 1, Paper No. 124, 2009.
2. Shin, D., Lee, J., Sohn, H., Noh, J., and Paik, B., “A FPCB Cutting Process using a Picosecond Laser,” Journal of Laser Micro/Nanoeng, Vol. 5, No. 1, pp. 48-52, 2010.
3. Kim, K. H., Lee, J. H., and Suh, J., “Laser Scanner Stage on the Fly Technique for High Precision/Ultra-Fast/Wide Area Fabrication,” Proc. of KSME Spring Conference, pp. 31-32, 2010.
4. 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 Conference, pp. 287-288, 2010.
5. 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 Conference, pp. 44-46, 2010.

6. 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.
7. Kim, K. H., Lee, J. H., and Yoon, K. H., "Path Generation Algorithm Development for Ultrafast/Wide Area Laser Processing," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 27, No. 10, pp. 34-39, 2010.
8. Yoon, K., Kim, K., and Lee, J., "Continuous Laser Fabrication Method using Adaptive Cell Decomposition," *Journal of Laser Micro/ Nanoengineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 226-230, 2012.
9. Kim, K., Yoon, K., Suh, J., and Lee, J., "Laser Scanner-Stage Synchronization Method for High-Speed and Wide-Area Fabrication," *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 231-235, 2012.
10. ESI, "Model 5335 Laser Processing System," <http://www.esi.com/Products/InterconnectMicrofabrication/Interconnect/5335/tabid/432/tid/230/Default.aspx> (Accessed 16 July 2014)
11. LDKF, "LDKF MicroLine 6000 P," <http://www.ldkf.com/products/pcb-processing/microline-6000p.htm> (Accessed 16 July 2014)
12. AEROTECH, "Laser Processing," <http://www.aerotech.com/industries-and-applications/laser-processing.aspx> (Accessed 16 July 2014)