

◆ 특집 ◆ 직선 · 회전모터 구동 이송 · 회전체 연구 VII

## 레이저 보조 가공을 위한 2-축 틸팅의 회전각에 대한 연구

### Study on Angle Calculation of Two-axis Manipulator for Laser Assisted Machining

김동홍<sup>1</sup>, 정동원<sup>1,✉</sup>, 이춘만<sup>2</sup>  
Dong Hong Kim<sup>1</sup>, Dong Won Jung<sup>1,✉</sup>, and Choon Man Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 제주대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Jeju Univ.)

<sup>2</sup> 창원대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.)

✉ Corresponding author: jdwcheju@jejunu.ac.kr, Tel: +82-64-754-3620

Manuscript received: 2013.12.23 / Revised: 2013.12.30 / Accepted: 2014.1.6

*Laser Assisted Machining (LAM) was often used in process of difficulty-to-cut materials. In previous study, Laser assisted machining was a straight path processing using 1-axis manipulator in laser module. But 1-axis manipulator in laser module was able to process only straight path. So, in this study, laser module in laser assisted machining equipped to 2-axis manipulator. 2-axis manipulator has two motors. First motor is machining direction motor and second motor is Vertical Motor. Machining direction motor rotates in the direction of machining and vertical motor rotates vertical direction in the direction of machining. Machining path of laser assisted machining was considered diagonal path and curved path of laser heat source. This study calculated the 2-axis manipulator's rotation angle in diagonal path and curved path.*

Key Words: Laser Assisted Machining (레이저 보조 가공), Laser Heat Source (레이저 열원), 2-axis Manipulator (2-축 틸팅), Angle Calculation (각도 계산)

#### 기호설명

$\theta_1$  = Rotation angle of machining direction motor

$\theta_2$  = Rotation angle of vertical Motor

$\theta_c$  = Circle angle in curved path

$L_{PH}$  = Pre-heating distance of laser heat source

$L_{TT}$  = Distance between laser module axis and specimen

#### 1. 서론

난삭재 절삭가공에는 레이저보조가공법(LAM, Laser Assisted Machining)이 주로 쓰인다. 레이저보조가공법은 레이저로 인한 비접촉 가공 및 최소 열영향부를 가지는 장점과 가공 시 재료를 높은

온도로 연화시킬 수 있어, 선삭 또는 밀링가공 할 때 미리 재료를 예열을 하여 가공률의 수명을 연장, 가공 절삭력 감소, 가공품질 향상 등의 장점을 가진다. 레이저보조가공법은 현재 선삭가공에 주로 쓰여 사용이 되지만 선삭가공의 한계로 인하여 복잡한 형상 가공은 힘든 상황이다.

위와 같이 선삭가공의 한계를 벗어나기 위하여 최근에는 밀링가공할 때 Fig. 1과 같이 스핀들에 레이저 모듈을 장착하여 가공 및 성형성에 관한 연구가 진행이 되고 있다.<sup>1,4</sup> 하지만 위의 연구에서는 레이저 모듈에는 1-축 틸팅만 장착이 되어 있어 가공 시편이 고정되는 조건에서는 직선적인 가공만 되었다.<sup>5</sup> 하지만 가공 형상이 복잡해짐에 따라 1-축 틸팅을 이용한 레이저 보조가공은 한계가

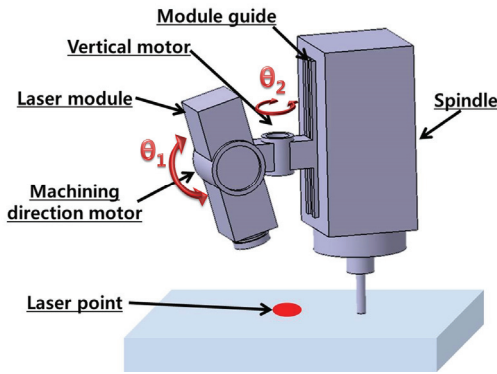


Fig. 1 Schematic diagram of 2-axis manipulator

있으며, 2-축 틸팅으로 이용한 레이저 보조가공의 필요성이 대두되고 있다.<sup>6</sup> 2-축 틸팅을 장착한 레이저 보조가공은 선삭 가공공정이나 밀링 가공공정에 대한 연구는 전무한 실정이다. 또한 레이저 모듈에 장착이 되어 스피들로부터 독립적으로 작동하는 2-축 틸팅을 부착하여 적용된 사례도 거의 없는 것으로 조사 되었다.

레이저 열원 가공에는 레이저의 성능 및 가공 조건에 따라 절삭 톨과 레이저 열원 사이의 거리 및 시편과 레이저 모듈간의 거리 등 가공조건이 바뀌므로 이를 고려하여 레이저 모듈에 설치되어 있는 틸팅에 대한 회전각에 계산이 필요하다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 레이저 모듈을 2-축 틸팅에 장착된 상태를 고려하였으며, 레이저 모듈에서의 2-축 틸팅이 직선가공이 방향이 아닐 때의 가공경로를 고려하여 2-축 틸팅의 회전각을 계산하였다.

## 2. 2-축 틸팅 원리 및 가공경로

### 2.1 2-축 틸팅의 원리

1-축 틸팅일 경우에는 직선적인 움직임만 고려가 되어 사선 경로의 가공이나 곡선가공을 할 때 레이저 열원의 가공경로와 절삭 가공경로와 일치 가 되지 않았다. 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 1-축 틸팅을 더 추가하여 2-축 틸팅인 경우를 고려를 하여, 레이저 열원의 이동경로와 가공 이동경로를 같도록 하였다.

Fig. 1은 레이저 모듈의 2-축 틸팅을 보여주고 있으며, 레이저 모듈에서의 2-축 틸팅은 2개의 모터의 작동으로 움직인다. 1번 모터(Machining direction motor)는 가공진행 방향과 일치하게 이동

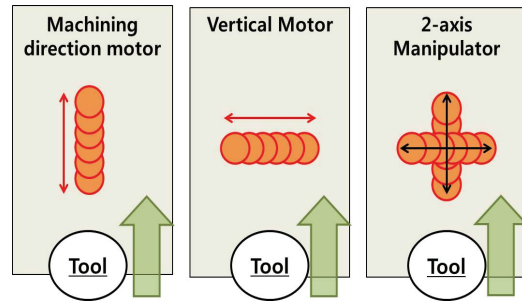


Fig. 2 Moving route of 2-axis manipulator

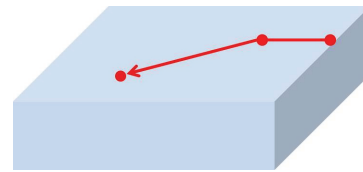


Fig. 3 Diagonal path of laser heat source

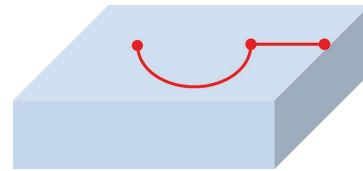


Fig. 4 Curved path of laser heat source

경로로 레이저의 열원을 전후로 이동이 가능하며, 2번 모터(Vertical motor)는 1번 모터의 가공진행 방향에서 수직으로 이동이 가능하다.

기존 연구에서 제시되었던 1-축 틸팅은 2번 모터가 없어 좌우 회전이 고려가 안 되었다.<sup>5</sup> 하지만 2-축 틸팅은 2개의 모터가 연동되어 작동하여, 가공 전 절삭 톨 앞에서 ZIG-ZAG 등의 다양한 이동 경로로 레이저 열원의 이동이 가능하다.

Fig. 2에서는 절삭 톨에 진행방향에서의 1, 2번 모터의 이동경로를 보여주고 있으며, 2개의 모터가 연동하여 2-축 틸팅이 다양한 이동경로로 레이저 열원이 이동하는 것을 보여준다.

### 2.2 레이저 열원의 이동경로

레이저 열원의 이동 경로는 절삭 톨의 이동 경로와 같으며, 레이저 열원은  $L_{PH}$  만큼 절삭 톨 앞에서 예열한다.

1-축 틸팅인 경우는 가공 경로가 직선 이었으나 2-축 틸팅은 사선 움직임을 비롯한 유연한 곡선 가공경로로 예열 후 가공이 가능하다.

그래서 본 연구에서 Fig. 3과 같이 직선적인 가공경로일 경우와 Fig. 4와 같은 곡선에서의 가공경로일 경우까지 2가지를 고려하여 2-축 틸팅의 회전각을 구하고자 한다.

### 3. 2-축 틸팅의 회전각 계산

#### 3.1 레이저 열원의 사선 경로

Fig. 5는 레이저 보조가공에서 사선 방향으로 가공을 할 경우 레이저 열원의 이동 경로를 보여준다. 점A는 절삭 톨의 위치이며, 점B는 레이저 열원의 위치이다. 점C는 가공방향이 선분AB이 아닌 선분AB에서 각  $\theta$  만큼 회전한 선분AC의 일때의 이동 경로를 고려하였다.

점A의 기준으로 선분AB의 거리는  $L_{PH}$ 이고, 선분 AC역시 거리는  $L_{PH}$ 가 된다. 선분 B'C의 길이는  $L_{PH} \sin\theta$ , 선분 AB'의 길이는  $L_{PH} \cos\theta$ 가 된다. 그러므로 점 A와 점 B를 좌표로 표현 하면 아래와 같다.

$$A = (0, L_{PH}) \tag{1}$$

$$B = (L_{PH} \cdot \sin\theta, L_{PH} \cdot \cos\theta) \tag{2}$$

선분 BB'를  $L_{\theta 1}$ , 선분 B'C를  $L_{\theta 2}$ 라고 정의의 하면, 아래와 같이  $L_{PH}$  대하여 나타낼 수 있다.

$$L_{\theta 1} = L_{PH} \cdot (1 - \cos\theta) \tag{3}$$

$$L_{\theta 2} = L_{PH} \cdot \sin\theta \tag{4}$$

2-축 틸팅의 회전각을 구하기 위하여 Fig. 6과 같이 점B 위에 위치하는 레이저 모듈의 틸팅의 축인 점D와 점B의 거리를  $L_{TT}$ 라고 하면, 2-축 틸팅의 회전각은 아래와 같이 식(5), 식(6)으로 표현 할 수 있다.

$$\tan\theta_1 = -\frac{L_{TT}}{L_{\theta 1}} \tag{5}$$

$$\tan\theta_2 = \frac{L_{TT}}{L_{\theta 2}} \tag{6}$$

그러므로 각  $\theta$  만큼 회전한 사선의 가공경로에 대하여 2-축 틸팅의 회전각  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 에 대하여 정리하면 아래의 식(7), 식(8)과 같다.

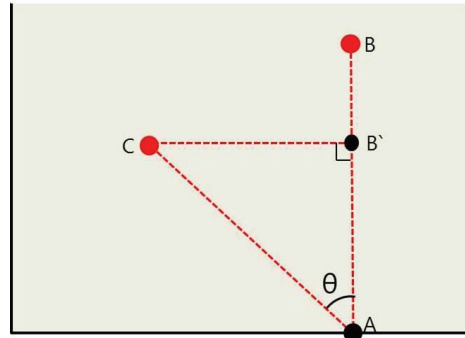


Fig. 5 Diagonal path of laser heat source

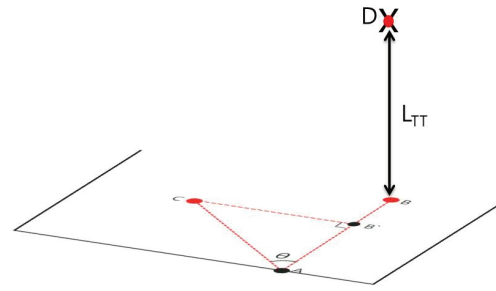


Fig. 6 Distance between laser module axis and specimen

$$\theta_1 = -\tan^{-1} \frac{L_{TT}}{L_{PH} \cdot (1 - \cos\theta)} \tag{7}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{L_{TT}}{L_{PH} \cdot \sin\theta} \tag{8}$$

#### 3.2 레이저 열원의 곡선 경로

Fig. 7은 레이저 보조가공에서 곡선 방향으로 가공을 할 경우 레이저 열원의 이동경로를 보여주고 있다. 사선 경로일 경우에 대한 점과 선분에 대한 내용은 같으며, 곡선AD가 추가되어 곡선에 대한 가공방향을 보여준다.

곡선 AD는 반지름 r인 곡선이며, 곡선 AD에 따라서 절삭 톨이  $\theta_c$  만큼 이동한다고 가정을 한다. 그리고 곡선 AC의 길이는 절삭 톨과 레이저 열원과의 거리를 의미 하므로  $L_{PH}$ 와 같다. 점 A는 가공할 때 마다 위치가 바뀌므로 A의 좌표를 (a, b), B의 좌표를 (c, d)라고 가정하면, 점C의 좌표는 좌표 변환 공식에 의하여 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$c = a \cos\theta_c + b \sin\theta_c \tag{9}$$

$$d = -a \sin\theta_c + b \cos\theta_c \tag{10}$$

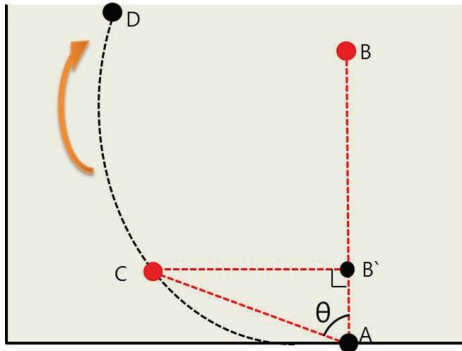


Fig. 7 Curved path of laser heat source

여기서 위와 같이 선분 BB'를  $L_{\theta_1}$ , 선분 B'C를  $L_{\theta_2}$ 라고 정의를 하면, 선분  $L_{\theta_1}$ 의 길이와 선분  $L_{\theta_2}$ 의 길이는 아래와 같이 식(11), 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{\theta_1} = L_{PH} - (-a \sin \theta_c + b \cos \theta_c - b) \quad (11)$$

$$L_{\theta_2} = -a \cos \theta_c + b \sin \theta_c - a \quad (12)$$

곡선 가공경로 일 때의 2-축 틸팅 회전각을 구하기 위해 Fig. 6과 같이  $L_{TT}$ 를 고려하면 식(5), 식(6)과 같다.

그리고  $\theta_c$ 는 곡선AD에 대한 반지름  $r$  과  $L_{PH}$ 에 대하여 나타내면 식(13)과 같다.

$$\theta_c = \frac{360 \cdot L_{PH}}{2\pi r} \quad (13)$$

식(5), 식(6)을 바탕으로 식(11), 식(12), 식(13)을 고려하면 아래와 같은 식으로 유도가 된다.

$$\theta_1 = -\tan^{-1} \frac{L_{TT}}{L_{PH} - \left( -a \sin \left( \frac{360 \cdot L_{PH}}{2\pi r} \right) + b \cos \left( \frac{360 \cdot L_{PH}}{2\pi r} \right) - b \right)} \quad (14)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{L_{TT}}{-a \cos \left( \frac{360 \cdot L_{PH}}{2\pi r} \right) + b \sin \left( \frac{360 \cdot L_{PH}}{2\pi r} \right) - a} \quad (15)$$

#### 4. 결론

본 연구에서는 레이저 모듈에 있는 2-축 틸팅 회전각 계산을 수행하였다. 1-축 틸팅 일 경우의 직선적인 가공경로가 아닌 사선 가공경로와 곡선

가공경로 일 때, 2-축 틸팅에 장착된 2개의 모터 (Machining direction motor, Vertical motor)의 회전각을 구하였으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 사선 가공경로는 레이저 열원 포인트와 절삭 포인트(선분 AB) 기준으로 각  $\theta$  만큼 기울어진 사선으로 정의가 되었으며, 절삭 톨과 레이저 예열 포인트가 가공경로에 따라 이동하여도, 일정한 사선의 경로에서는 2-축 틸팅의 회전각은 변화없이 일정하였다.

2) 곡선 가공경로는 사선 가공경로와 다르게 절삭툴이 움직임에 따라서 틸팅의 회전각이 연속적으로 바뀌며, 절삭 톨의 위치를 알고 있으므로 절삭툴의 좌표에 대하여 회전변환 공식을 이용하여 식을 유도하였다.

#### 후 기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013035186).

#### 참고문헌

1. Kim, K. S. and Lee, C. M., "Analysis of Moving Heat Source for Laser Assisted Machining of Plate by Feed Rate Control," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 28, No. 12, pp. 1341-1346, 2011.
2. Kim, J. H., Choi, J. Y., and Lee, C. M., "Thermal Analysis for Laser Assisted Turning of Square Bar using Laser Heat Source Projection Method," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 28, No. 12, pp. 1353-1358, 2011.
3. Jeon, Y. H. and Lee, C. M., "Current Research Trend on Laser Assisted Machining," Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 13, No. 2, pp. 311-317, 2012.
4. Kim, J. D., Lee, S. J., and Suh, J., "Characteristics of Laser Assisted Machining for Silicon Nitride Ceramic according to Machining Parameters," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 4, pp. 995-1001, 2011.
5. Jung, D. W., Kim, D. H., Kim, B. C., and Kim, D. H., "Angle Calculation Rotation Angle of One-axis Manipulator in Laser Module," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 29, No. 5, pp. 506-509, 2012.
6. Kim, D. H., Cha, N. H., Kim, T. W., and Lee, C. M., "A Fundamental Study on the Design of Two-axis

Drive Manipulator for Laser-assisted Machining,” J.  
Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 29, No. 8, pp. 813-817,  
2012.