

## 고속 이송방식 Laser Cutting M/C의 성능 및 신뢰성 평가에 관한 연구

이춘만(창원대 기계설계공학과), 임상현\*(창원대 대학원 기계설계공학과)

### A Study on Performance and Reliability Test of High Speed Feeding Type Laser Cutting M/C

C. M. Lee(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept. , Changwon National University), S. H. Lim(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept. , Changwon National University)

#### ABSTRACT

The accuracy of high speed feeding type laser cutting M/C is the major factor directly concerned with the accuracy of the processed work, and the feed errors of feed system make the machining errors of work directly on processing. In this point, this study focused on the generative elements in feed errors of laser cutting M/C when operating its laser head. In order to improve the accuracy of this machining center, feed errors are measured by a laser interferometer.

**Key Words** : Laser cutter (레이저 절단기), Laser-Interferometer (레이저 간섭계), Feed Error (이송 오차), Positioning accuracy (위치정밀도), Repeatability (반복정밀도), Calibration (오차 보정), Compensation (보상)

#### 1. 서론

공작기계의 성능이 날로 가속화되어 가고 그 영향에 의해 반도체 및 광학 기술은 눈부실 정도로 빠르게 발전되어가고 있다. 이와 같은 발전은 수요자의 정밀도에 대한 높은 욕구를 충족시킬 수 있는 측정 기술의 급속한 발전에 기인한다. 공작기계 및 측정 기계에는 기하학적 관계에 의한 오차, 온도와 같은 환경적 요인에 의한 오차, 자중이나 외부 부하 같은 물리력에 의한 오차 등이 존재한다. 이들 요인에 의한 영향으로 시스템의 정밀도는 제한되지만 단지 이들만으로는 결정되어지지 않는다. 이는 측정 및 보정 기술을 통하여 시스템 상에 존재하는 보정 가능한 오차를 보정하여 사용되고 있기 때문이다. 이와 같은 측정은 시스템의 성능 향상을 위해서 중요한 역할을 담당한다. 시스템에 대한 오차 측정은 정밀도를 평가할 수 있는 근거가 되고, 오차 요인에 대한 분석 가능한 데이터를 제공하여 주므로 설계시에는 오차 요인을 개선할 수 있게 해준다. 결국 오차의

측정 및 보정기술은 보다 높은 정밀도를 갖는 시스템의 개발을 가능하게 하므로, 공작기계는 부품 및 제품의 정밀도를 향상시킬 수 있게 하고, 높은 정밀도를 갖는 측정 기계를 만들 수 있게 한다. 본 연구에서는 고속 이송 방식의 Laser Cutting M/C에서 여러 가지 측정을 통하여 그 성능과 신뢰성을 평가하고, 여기서 발생한 오차를 보정을 통해 줄여서 성능 및 신뢰성을 향상시키는데 목적을 두고 있다.

#### 2. 본론

##### 2.1 레이저 간섭계

본 연구에서는 고속 이송 방식 Laser Cutting M/C의 신뢰성을 평가하기 위해서 레이저 간섭계를 이용하여 측정을 실시하였다. 레이저 간섭계는 광 간섭을 이용하여 매우 정밀한 운동을 측정하는 시스템으로서 표준기의 길이측정, 공작기계 및 측정기의 오차 측정을 위해 사용될 뿐만 아니라, 정밀기계에서는 내장되어 위치검출을 위한 표준기로 사용되고 있

다. 이것은 비접촉 측정기로서 다른 종류의 길이 측정 검출기 보다 넓은 측정 범위와 높은 측정 분해능과 정밀도를 가지는 장점을 가지고 있다. 정밀도가 높은 레이저 간섭계는 현재 공작 기계 및 측정기계의 정밀도 평가 및 오차 보정을 위한 표준기로서 많이 사용되고 있다.

## 2.2 레이저 간섭계의 측정 원리

본 연구에 사용된 레이저 간섭계는 헤테로다인 간섭계 방식을 취하고 있다.

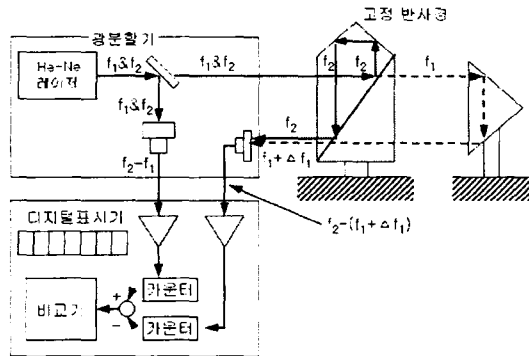


Fig. 1 Schematic diagram of laser interferometer

헤테로다인 레이저 간섭계는 두 주파수를 갖는 편광레이저의 도플러효과를 이용한다. 사용된 He-Ne 레이저의 두 주파수  $f_1, f_2$ 는  $5 \times 10^{14} \text{Hz}$ 에 인접한 주파수이다.  $f_1, f_2$ 의 차는 2MHz 정도이며 반대방향으로 편광 되어 있다. 이 시스템의 길이 측정 원리는 Fig.1과 같다. 레이저에서 나온 광속이 광 분할기에 의해 둘로 나누어진다. 한쪽 반은 기준신호로서 바로 편광기와 수광 소자에 들어가서 전기적 신호를 생성한다. 기준 수광 소자의 반은 2MHz로 점멸하고, 그 주파수의 전기적 신호를 생성한다. 나머지 반은 측정을 위해 외부 광학으로 입사된다. 외부광학으로 나온 광속은 고정된 편광 빔 분할기를 통과하게 된다. 기준광속  $f_2$ 는 코너큐브로 반사하고, 측정 광속  $f_1$  성분은 측정코너큐브에 보낸다. 측정코너큐브가 운동을 하게되면 반사된 광속은 도플러효과에 의해 운동속도에 비례하는 주파수 변화가 발생된다. 이  $f_1 + \Delta f_1$ 의 광속은 고정된 빔 분할기에서 재결합되어 수광 소자에 입사된다. 여기에서도 속도에 비례하는 0.5~3.5MHz의 간섭 효과를 얻을 수 있고 이에 상당하는 전기적 신호를 얻는다. 기준 신호와 측정 신호는 AC 증폭되고, 두 신호에 대한 카운터의 차가 출력회로에서 계산된다. 만약 운동이 없으면 출력은 0으로 나타나고 운동이 있으면 거리에 비례하는 값을 출력한다. 이것의 분해능은 5~10nm 정도이다.

### 3. 오차 측정

## 3.1 실험 장치

Laser Cutting M/C는 공구에 의한 절단이 아니고 비접촉 가공법을 이용한 절단을 수행한다. 따라서 레이저 헤드 부분의 정확한 위치 이동과 이송을 반복할 때 동일한 위치로 이송이 가능한가의 여부가 Laser Cutting M/C의 신뢰성을 평가하는 기준이 될 수 있다. 본 연구에서는 헤테로다인 레이저 간섭계를 이용하여 Laser Cutting M/C의 위치정밀도 및 반복정밀도를 측정하고 보정을 통해 그 신뢰성을 향상시키는데 목적이 있다.

본 실험의 실험장치는 Fig.2에 나타난 바와 같다.

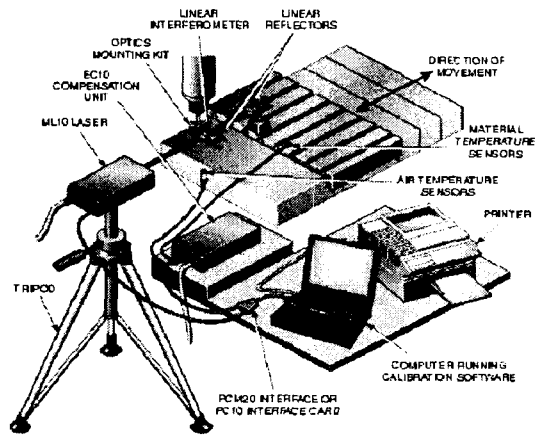


Fig. 2 Schematic of measurement system

그리고, 실험에 사용된 Laser cutting M/C에 대한 제원은 Table 1에 나타내었고, 측정 레이저의 성능은 Table 2에 나타내었다.

Table 1 The Spec. of Laser cutting M/C

Item	Spec
Type of feed	Rack and Pinion
Stroke of X axis	3100
Stroke of Y axis	1550
Positioning accuracy	$\pm 0.05/500$
Repeatability	$\pm 0.01$

Table 2 The displacement of laser interferometer

Item	Displacement
Resolution	$0.001 \mu\text{m}$
Accuracy	$\pm 1.1 \text{ ppm in air}$
Range	40m (standard)
Max velocity	$\pm 1.0 \text{ m/s}$

### 3.2 위치정밀도 및 반복정밀도 측정 결과

### 3.2.1 위치정밀도 측정 결과

본 연구에 사용된 Laser Cutting M/C는 고속으로 이송하기 위해 랙과 피니언을 이용한 구동방식을 채택하고 있다. 이러한 구동 방식은 일반적인 공작 기계에서 사용되어지고 있는 볼 스크류와는 다르게 백래쉬가 매우 크게 작용되어진다. 따라서 위치정밀도가 얼마나 정확한지가 Laser Cutting M/C의 성능 요소에 크게 영향을 미치는 것이다.

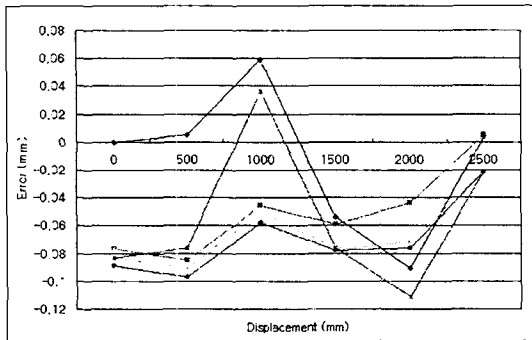


Fig. 3 Measurement before correction

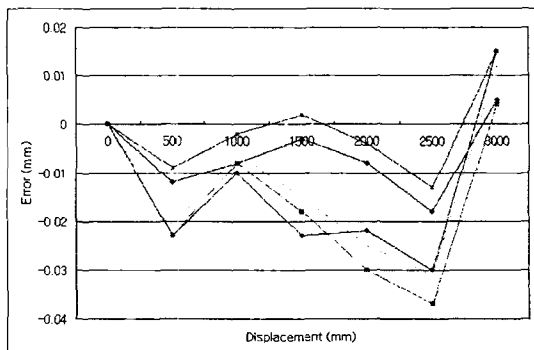


Fig. 4 Measurement after correction

Fig. 3과 Fig. 4는 Laser Cutting M/C의 위치결정 정밀도를 측정하기 위해 레이저 간섭계를 사용하여 측정한 결과를 나타내고 있다. 측정은 500mm 간격으로 3000mm 구간에서 실시하였다. 컨트롤러에 오차보정 값이 입력되지 않은 경우에는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 최대 오차가 0.1 mm/500 mm를 넘는 경우도 발생하였다. 이것은 랙과 피니언에 의한 백래쉬가 가장 크게 작용을 하였기 때문이라고 볼 수 있다. 따라서 이 데이터로부터 Table 3과 같이 보정을 위한 오차표를 작성하여 CNC 컨트롤러에 입력하고 다시 위치정밀도를 측정하였다. Fig. 4는 보정치를 컨트롤러에 입력한 후에 측정한 결과를 보여준다. 이때 Laser Cutting M/C의 위치정밀도는 0.04

mm/500 mm로 측정이 되어 전자의 경우보다 정밀도가 향상됨을 보여 주고 있다.

Table 3 Translate of input data for correction

No.	오차량	Input data
1	0.0866	-1
2	0.0944	-2
3	0.0542	1
4	0.0764	-1
5	0.1088	-3
6	0.0191	1

### 3.2.2 반복정밀도 측정 결과

Laser Cutting M/C에 있어서 반복정밀도 또한 중요한 신뢰성평가항목에 포함된다. Laser Cutting M/C의 컨트롤러로부터 동일한 NC data가 넘어올 때 얼마만큼의 오차를 가지고 위치하는지 검토해 보았다.

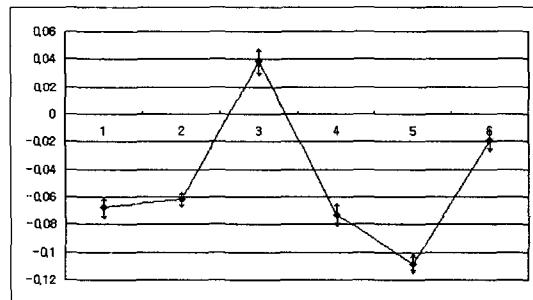


Fig. 5 Repeatability of forward-direct before correction

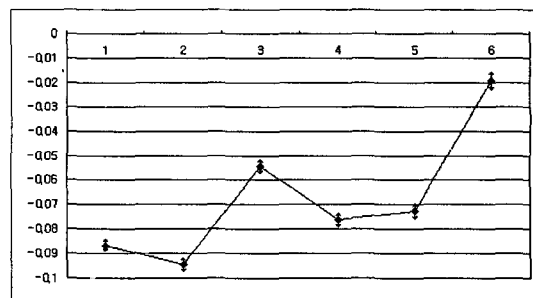


Fig. 6 Repeatability of backward-direct before correction

Fig. 6과 Fig. 7은 보정하기 전의 반복정밀도를 측정하여 그래프로 나타낸 것이고 Fig. 7과 Fig. 8은 보정을 하고 나서 반복정밀도를 측정한 결과값이다.

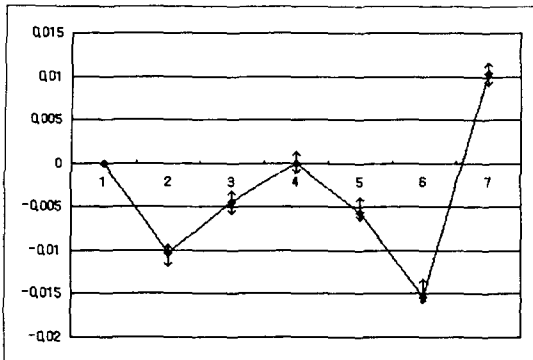


Fig. 7 Repeatability of forward-direct after correction

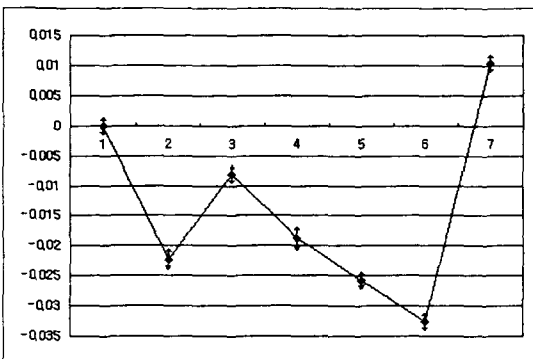


Fig. 8 Repeatability of backward-direct after correction

그래프에서도 보여지듯이 반복 정밀도는 보정을 하기 전에는  $\pm 0.015\text{mm}$ 내에서 측정되었다. 그러나 보정을 하고서는  $\pm 0.01\text{mm}$ 로 더 우수한 성능을 보여주었다.

#### 4. 결론

공작기계 및 본 연구에 사용된 Laser Cutting M/C와 측정기계 등은 여러 가지 요인에 의해서 오차를 갖게 되지만, 이들이 갖는 계통오차는 정밀한 측정과 보정 알고리즘에 의해 보정이 가능하다. 보정을 위한 측정방법은 여러 가지가 있지만 측정 정밀도가 높은 헤테로다인 레이저 간섭계가 가장 많이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 헤테로다인 레이저 간섭계인 Renishaw사의 ML 10 레이저간섭계를 이용하여 Laser Cutting M/C의 성능 신뢰성 평가를 수행하였다. 처음 측정시에 발생했던 오차를 보정하여 CNC 컨트롤러에 입력한 결과 Laser Cutting M/C가 요구하는 정밀도인  $0.05\text{ mm} / 500\text{ mm}$  내에 포함되는 것을 보여 주었다. 그리고 반복정밀도는  $\pm 0.005\text{ mm}$  정도 더 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

또한 주변기기에 포함되는 EC 10을 이용하여 온

도와 습도 및 압력에 의해 결정되는 파장변화에 대한 보정을 해 주었기 때문에 얻어진 데이터는 신뢰할 수 있는 수준이다.

이번 연구에서는 Laser Cutting M/C의 성능을 측정하고 그 측정 데이터로부터 보정값을 계산한 후 다시 CNC 컨트롤러에 보정값을 입력하는 몇 번의 시행착오를 거쳐야 원하는 성능을 발휘할 수 있었다. 향후 과제로 이 모든 과정을 보정 알고리즘을 이용하여 PC와 연동하여 자동화를 이룬다면 더욱 정밀한 고속 이송방식 Laser Cutting M/C를 구축할 수 있다.

#### 후기

본 연구는 과학기술부-한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. Shyh-Tsong Lin., "A laser interferometer for measuring straightness", *Optics & Laser Technology*, Volume 33, Issue 3, pp. 195-199, 2001.
2. 김진상, 김승철, 정성중, "광간섭법을 이용한 변위/길이 측정시스템의 설계 및 해석", *한국정밀공학회지*, 제14권, 제10호, pp. 151-156, 1997.
3. 이승수, 김민주, 김순경, 박정보, 전연찬, "레이저 간섭계에 의한 테이블의 처짐측정과 FEA에 의한 이의 검증", *한국공작기계학회 추계학술대회 논문집*, pp. 204-209, 1998.
4. 유영훈, "레이저를 이용한 계측기술", *기계저널*, 제38권, 제10호, pp. 28-35, 1998.
5. 김승우, "길이와 변위측정", *KAIST 산학 협동 단기 강좌 교재*, 2002
6. 大澤 信之, "레이저 간섭 측정기에 의한 위치 결정 정밀도 실험", *월간기계기술*, 3월호, pp. 69-73, 2001.
7. Renishaw, *ML 10 Laser Interferometer User's Guide*
8. FANUC, *FANUC16iLA CNC Controller User Manual*