

## 초고속 이송방식 Laser Cutting M/C 개발에 관한 연구

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

### A Study on the Development of High Speed Feeding Type Laser Cutting M/C

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

#### ABSTRACT

A high speed feeding type laser cutting M/C is developed for the precise cutting of sheet metal. The M/C is a flying optics type one with specified functions of movability and strength in order to increase workability. The gantry frame should be moved with a certain velocity within a relatively short time for the proper cutting of object materials. The gantry is actuated by rack and pinion. In this paper, modal and structural analysis for a laser cutting M/C, is carried out in development of the machine. The machine is modeled by placing proper shell and solid finite elements and fictitious mass properties to represent the real one.

**Key Words** : Laser cutting (레이저 절단), FEM (Finite element method : 유한요소법)

#### 1. 서론

재료가공분야에의 레이저의 적용은 1960년대 후반부터 시작되었고, 고출력 CO<sub>2</sub>와 Nd:YAG 레이저가 많은 사업 분야에서 보편화될 정도로 발전하여 왔다. 재료가공에서의 레이저의 적용분야는 금속의 절단, 용접 및 드릴링, 세라믹의 스크라이빙, 플라스틱과 복합재의 절단 및 여러 가지 재료의 마킹을 포함한다. 이 중에서 레이저 절단은 타 레이저 가공 즉 용접, 열처리에 비해 경제성이 높고 기술의 난이도가 낮아 비교적 빠른 속도로 보편화되었다. 현재 Laser Cutting M/C는 최근의 기술진보와 함께 초고속 이송을 통한 생산성의 향상과 광로장 재조정을 통한 고정밀 가공장비를 개발하는 쪽으로 발전을 거듭하고 있다. 본 연구의 목표는 초고속 이송방식 Laser Cutting M/C를 개발하는데 있다. 본 Laser Cutting M/C에서는 30~40 m/min에 그치고 있는 이송속도를 랙과 피니언(Rack & Pinion)방식을 도입하여 100 m/min에 도달하게 하였다. 그리하여 기존 장비의 이송속도보다 약 2.5배에서 3배가 되게 되었고, 국내 레이저 가공기의 생산성 향상과 이에 따른 원가 절감을 가져올 수 있게 되었다. 또 다른 하나의 핵심 기술은 광로장 재조정을 통한 고정밀 가공을 들 수

있다. 이것은 레이저 헤드가 움직임에 따른 빛의 경로의 길이를 일정하게 유지하여 이송 영역 전 부분에 걸쳐 레이저광 직경의 변화를 최소로 하여 절단 품질의 균일성 유지를 통한 고정밀 가공이 가능하게 하는 것이다. 본 연구에서 개발된 Flying optics방식의 Laser Cutting M/C가 소기의 목적을 달성하기 위해서는 주어진 시간 내에 특정 위치에 빠른 속도로 이동하여야 한다. 이로 인해 갠트리에는 큰 가속도가 발생되며 이 가속도에 의하여 갠트리의 고정축 부분에 상대변위가 발생하게 된다. 이 상대 변위는 Laser Cutting M/C의 허용오차 범위 내에 존재하여 가공물을 절단할 때에 허용 정확도를 만족시킬 수 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 본 연구에서는 유한요소해석에 의해 설계과정을 검증하였으며 광로장 일정방식을 이루기 위해 기구부적으로 해결을 하였다.

#### 2. Laser Cutting M/C 개발

요구되는 Laser Cutting M/C의 정확도 및 이동속도는 아래와 같다.

- 위치 결정정도 :  $\pm 0.05/500$  mm
- 반복 위치 결정정도 :  $\pm 0.01$  mm

- 가공 이송 속도 : 15 m/min
- 급속 이송 속도 : 100 m/min

본 논문에서는 목표 이동 속도가 200 msec 내에 도달할 수 있도록 하는 가속도가 발생하였을 경우에 Laser Cutting M/C의 상대 변위가 허용오차 범위 내에 존재하는가를 평가하는데 그 목적이 있다.

하중은 앞의 해석 기준에서 요구하는 속도와 시간으로부터 아래와 같이 구할 수 있다. 먼저 요구 속도를 mm-sec 로 변환한다.

Fig.1과 같이 속도의 변화로부터 가속도를 계산

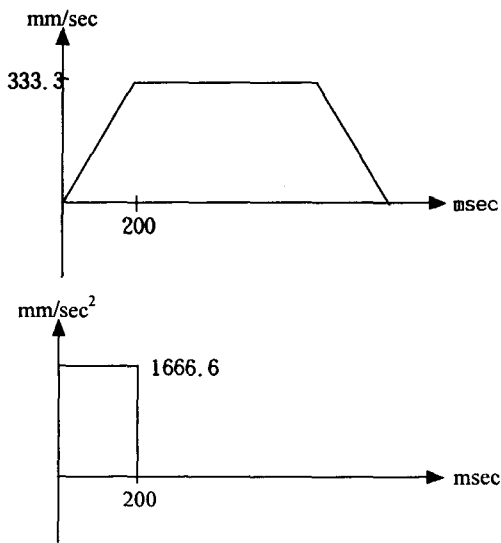


Fig.1 Velocity, acceleration w.r.t time

할 수 있으며 그 값은 1666.6 mm/sec<sup>2</sup> 이다. 초기의 운동이 관건이므로 속도의 변화는 선형으로 가정하였으며 0.2 sec 후의 운동은 어느 정도의 시간 동안에 일정한 속도를 유지하며 이동하기 때문에 고려하지 않았다. 한편 하중조건이 0.2sec 내에서 발생하는

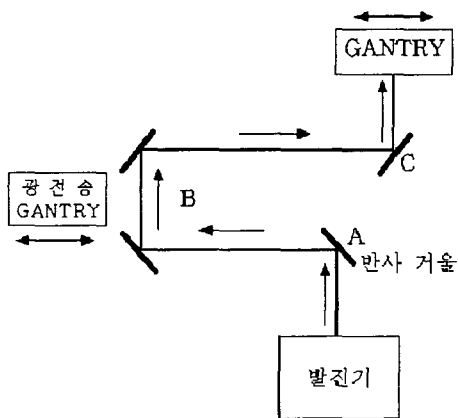


Fig.2 Principle of uniform beam length

이유로 하중을 충격하중으로 간주하는 것은 이상적이다. 또 다른 핵심 기술인 광로장 일정 방식을 위해 본 Laser Cutting M/C에서는 기구부 적으로 해결을 하였다. 여기서 광로장 일정이라 함은 레이저광의 확산을 보상하여 Beam을 균일하게 유지하기 위한 것을 말한다. Fig.2에서 A, B, C의 거리를 일정하게 유지하는 방법을 개략적인 설명도를 통해 간략하게 제시해 놓았다. 광로장 일정을 유지하기 위해 기어비가 2:1인 풀리를 사용하였고, 갠트리와 광전송 갠트리에 각각의 타이밍 벨트를 연결하여 서보 모터로 구동하였다.

### 3. 해석

#### 3.1 모델링

Fig.3은 Laser Cutting M/C의 모델링 전체를 보여 주고 있다. Laser Cutting M/C의 모델링은 CATIA V5에서 수행하였으며 주어진 도면에서 해석에 영향을 미치는 부분을 판단하여 모델링 한 것이다.

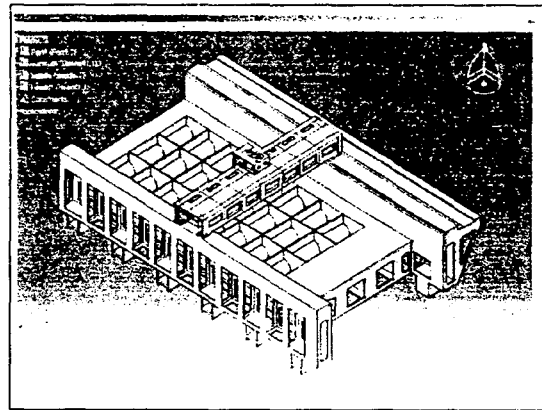


Fig.3 Modeling of laser cutting machine

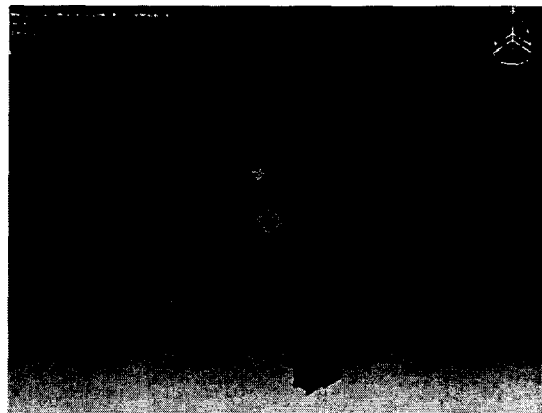


Fig.4 Mesh model of laser cutting machine

Fig.4에 나타난 바와 같이 Laser Cutting M/C의 베드는 솔리드 요소로 모델링 되었고, 이것은 갠트리와 새들 및 베이스 헤드에도 적용이 되었다. 베드와 베드에 위치한 랙과 피니언은 갠트리로부터 전달될 수 있는 모든 하중과 변형으로부터의 영향을 받지 않도록 설계되었기 때문에 Laser Cutting M/C에 하중으로는 작용할 수 있으나 구조 부재로서의 역할은 할 수 없다. 따라서 Y축의 랙과 피니언의 부분에 질량 요소를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 해석 모델에 사용된 요소의 개수는 66863개이고 결점 수는 22127개이다. 하중 조건은 앞의 2장에서 구한 가속도장을 정하중으로 Laser Cutting M/C에 분포 시켰다. 이와 같이 하중을 분포시킨 이유는 Laser Cutting M/C의 강성이 충분히 크기 때문에 동하중에 의한 동적 효과가 거의 발생되지 않기 때문이며 그에 대한 분석 결과는 각 해석 결과에서 언급하였다.

### 3.2 응력 및 처짐 해석

Fig.5와 Fig.6은 설계된 Laser Cutting M/C의 정적 응력 및 처짐을 해석한 결과이다.

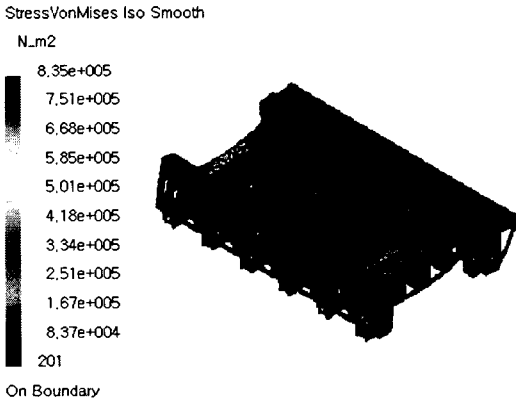


Fig.5 Static Von Mises stress of laser cutting M/C

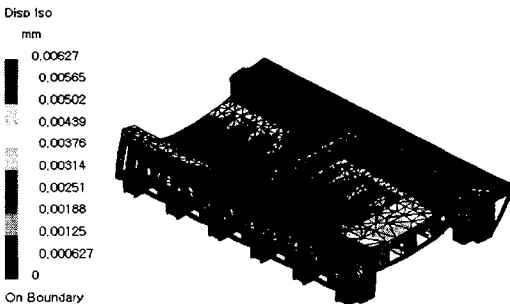


Fig.6 Static deformation of the laser cutting M/C

### 3.3 고유 진동 및 모드 해석

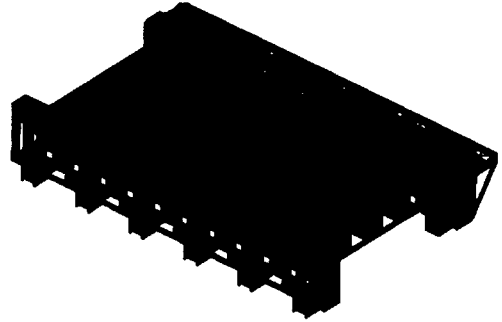


Fig.7 Mode shape (1st mode)

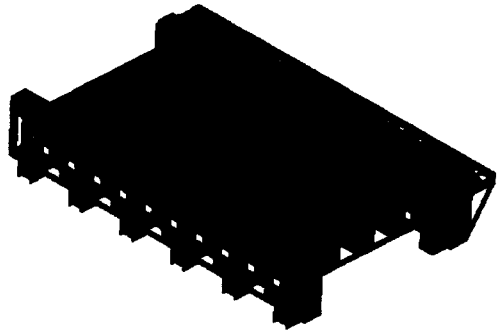


Fig.8 Mode shape (2nd mode)

Fig.7과 Fig.8은 Laser Cutting M/C의 고유진동 해석에 따른 각 모드 형태를 본래의 구조물과 함께

Table 1 Characteristics of natural mode shapes

mode number	진동수		주기 (SEC)	비 고
	(RAD/SEC)	Hz		
1	2.60E+02	4.14E+02	2.41E-02	X축 방향의 전체적인 모드형태
2	1.30E+03	2.07E+03	4.84E-03	Z축 방향의 전체적인 모드형태
3	1.37E+03	2.22E+03	4.52E-03	Z축 변형과 Y축 비틀림 형태
4	2.28E+03	3.64E+03	2.75E-03	Y축에 대한 비틀림 모드 형태
5	2.55E+03	4.40E+03	2.45E-03	Y축에 대한 비틀림 모드 형태
6	2.75E+03	4.40E+03	2.27E-03	복합모드
7	3.27E+03	5.22E+03	1.91E-03	복합모드
8	3.36E+03	5.34E+03	1.87E-03	복합모드
9	4.00E+03	6.37E+03	1.57E-03	복합모드
10	4.85E+03	7.22E+03	1.30E-03	복합모드

2차 모드까지만 보여 주고 있다. 여기에서 2차 모드까지만 제시한 이유는 구조물의 고유 진동 모드 해석에 있어서 가장 중요시되고 있기 때문이며, 그 이상의 차수에서는 별다른 영향을 발생시키지 않기 때문이다.

### 3.4 구조 해석

Laser Cutting M/C에서 갠트리의 가속도 하중과 중력가속도를 가속도로 분포 시켜 계산한 Laser Cutting M/C의 상대 변위는 베드를 지지하고 있는 다리를 고정단으로 보고 계산한 최대 변위라고 할 수 있다. 최대 변위가 발생하는 부분은 고정단에서 가장 멀리 떨어져있는 절점에서 발생한다. 고유 진동 해석 결과, Laser Cutting M/C가 가속도장에 의하여 상대 변위가 발생할 때의 변형 모습은 Laser Cutting M/C의 1차 모드 형태와 같다. 따라서 Laser Cutting M/C가 가정한 하중에 의하여 동적 효과가 발생하는가를 확인하기 위해서는 하중의 주기 특성과 Laser Cutting M/C의 1차 고유진동주기를 비교하여 예측할 수 있다.

하중의 특성을 살펴보면 Laser Cutting M/C의 최대속도는 갠트리가 이동하기 시작하여 0.2sec에 도달할 때 발생하며 그 후에는 어느 정도의 시간동안에 일정한 속도를 유지하며 이동한다. 따라서 하중의 주기는 적어도 0.2sec의 2배는 된다고 볼 수 있으며 이 진동주기의 역수인 진동수를 계산하면 2.5Hz가 된다. 이 하중의 진동수와 Laser Cutting M/C의 1차 고유진동수를 비교하면 다음과 같다.

$$\text{진동수비(Frequency ratio)} = \frac{2.5}{414} = 0.006$$

위와 같은 진동수비를 갖는 구조물에는 진동수에 따른 동적 효과를 기대할 수 없으며 따라서 구조 해석을 수행할 때 동적 해석 대신에 정적해석을 수행할 수 있다. 그 이유는 위와 같이 진동수비가 상당히 작은 경우에는 구조물의 동적 거동을 보이려는 특성에 비하여 하중이 상당히 느리게 변화하기 때문에 구조물의 관점에서는 하중의 변화가 정적하중으로 작용하는 것과 같기 때문이다.

### 4. 결과

정적해석을 수행한 결과 가정하중에 의한 최대 변형이 베드의 아래 가운데 부분에서 최대변위가 0.006mm가 발생하였음을 알 수 있다. 그러나 베드의 가운데 부분은 레이저 절단을 할 경우 정밀도에 직접적으로 영향을 미치는 부분이 아니다. 그보다 갠트리 부분을 더 주목하여 보아야 한다. 갠트리의 가운데 부분에서 일어나는 최대 변위는 0.00363mm가 발생함을 알 수 있다. 변위의 오차는 위치 결정 정도

에 영향을 미치는 것이므로 앞에서 얻은 결과는 만족되어지는 수준이다. 그리고, 광로장 일정 방식을 도입하여 레이저 발전기의 광원으로부터 나오는 빛을 일정하게 유지토록 하여 광의 흠어짐이 없게 하였다.

### 5. 결론

본 연구에서는 특정 구조물의 이상적인 유한요소 모델링 기법을 보여 주고 있으며, 간단명료한 외력 산정법과, 모드해석만을 통한 소모적인 동적 해석 불필요성 등을 확인하는 절차를 제시하였다. 그리고 일정한 광로장 이송 방식을 도입하기 위해 기구학적인 방법을 이용하였다. 이러한 연구를 통해 얻어진 결과를 이용하여 최대 이송 속도 100 m/min에 해당하는 초고속 이송방식의 Laser Cutting M/C를 설계 및 제작하였으며 현재 시험 가동 중에 있다.

### 후기

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

### 참고문헌

1. 윤경구, 이성국, 김재구, 신보성, 최두선, 황경현, 박진용, "레이저 빔 응용 기술", 한국 정밀 공학 회지, 제17권, 제7호, pp. 28-35, 2000.
2. 한유희, "레이저 가공 기술(I),(II),(III)", 대한 용접 학회지, 1989-1991.
3. 이재훈, 박정호, 김정오, 강범식, 고정밀 CO2-레이저 절단기 개발, "월간 기계기술", 10월호, pp. 18-22, 1999.
4. Clugh. R. W., Penzien. J., "Dynamics of Structures", McGraw Hill. 1975.
5. Dimarogonas, Andrew D., "Vibration for Engineers - Second Edition", Prentice Hall, 1996.
6. Daryl L. Logan, "A First Course in the Finite Element Method - Third Edition", Brooks/Cole, 2001.
7. (주)퓨전테크, CIES(주), "이론에서 실기까지 CATIA V5", 웅보출판사, 2001.
8. "초고속 이송방식 LASER CUTTING M/C 개발, 산업기술개발 사업 중간 요약 보고서, 2001.