

# 고정밀 CO<sub>2</sub>-레이저 절단기 개발

## Development of a high precision CO<sub>2</sub>-laser cutting system

한국기계연구원 레이저기술연구그룹 한유희, 이제훈, 박정호, 김정오  
결성공업고등학교 강범식

### I. 서론

레이저 절단은 타 레이저 가공 즉 용접, 열처리에 비해 경제성이 높고 기술의 난이도가 낮아 비교적 빠른 속도로 보편화되었다. 본 연구에서는 레이저 절단의 장점을 최대한 이용하며 동시에 경제성이 높은 절단기를 개발하고자 하였다. 절단기 개발에서 다음의 2가지 요구사항이 충족되어야 한다.

- 레이저 발전기의 성능과약
- 구동부의 최적 설계

### II. 사용된 CO<sub>2</sub> 레이저 Beam 특성

본 실험에 사용된 레이저는 확산냉각(Diffusion cooled)방식의 CO<sub>2</sub> 레이저이며 주요 사양은 Table 1 과 같다. 레이저를 가공기와 접목시키기 위해서는 우선 레이저에서 방출되는 레이저 빔의 특성을 파악하여야 가공기의 광학계를 최적화 할 수 있고 가공결과에 대한 예측이 가능하므로 본 연구에서는 Coherent사의 Beam Propagation Analyzer(Mode Master)와 Laserscope UFF 100을 사용하여 빔 특성을 분석하였다. Mode Master는 레이저빔의 특성을 파악할 수 있는 Beam Quality Factor, Divergence Angle, Pointing Stability, Power Stability, Beam Diameter, Astigmatism 등과 같은 변수 값을 측정할 수 있고, Laserscope UFF 100은 Raw 빔과 집속렌즈에 의해 집속된 빔의 3 차원 공간 분포를 측정하는 장비로 특히 집속 렌즈를 통과한 빔의 특성 즉, 초점 크기, 초점에서의 빔의 공간 분포, 출력 밀도, 초점 깊이(Rayleigh Range), 발산각을 측정할 수 있어 정확한 가공 변수를 설정 할 수 있다.

Table 1 Technical specification of the CO<sub>2</sub> laser

Max. power	700W	Wave length	10.6 $\mu$ m
Resonator length	10.8m	Polarization	linear
Operating position	horizontal	Pulse repetition	1kHz

#### 1. 레이저 빔 특성 측정 결과

표 1과 2에서 보는 바와 같이 본 연구에 사용된 레이저빔 허리 직경은 출력이 600W 일 경우 12.24mm이고 출력이 370W 일 경우 11.753mm임을 알 수 있다. Mode Master에서의 빔 직경의 측정 방식은 Knife-edge법을 사용하여 측정하며 Clip Level은 출력의 10%, 90%와 16, 84%를 선택할 수 있다. 본 연구의 측정 결과는 16%, 84%의 Clip Level에 대한 결과이다. 또한 레이저 가공에서 중요한 빔 특성 변수인 Beam Quality Factor K는 0.83으로 동 출력의 타 기종에 비하여 매우 우수한 특성을 갖고 있다. 특히 레이저 출력이 370W 일 경우는 가우시안(Gaussian) 빔과 유사한 빔 특성을 나타내는 K 값을 얻을 수 있었다.

레이저 빔 공간 분포의 찌그러짐 정도를 나타내는 변수 인 Astigmatism 값은 출력이 600W일 경우 0.6%로 레이저빔의 수직, 수평 방향 성분의 빔 허리 위치는 같은 점에 형성됨을 알 수 있고, 빔 허리에서의 레이저 빔 직경의 수직, 수평 성분의 찌그러짐을 나타내는 Waist Asymmetry 값은 1로 원형의 빔이 형성됨을 알 수 있다. Free Space에서의 빔이 진행 할 때 빔 직경의 대칭성 즉, Far Field에서의 빔 세정비(Aspect ratio)를 나타내는 Divergence Asymmetry 또한 1로 원형의 빔 형태로 전파됨을 알 수 있다. 레이저 출력이 370W 일 경우도 출력이 600W일 경우의 측정 결과와 같이 동 출력의 타 기종에 비해 우수한 빔 특성을 가짐을 알 수 있다.

레이저 빔의 Rayleigh Length는 출력이 600W일 경우 9.21m 이고 1.33mrad의 발산각을 가지면서 공간을 전파함을 Mode Master 측정 결과를 통해 확인 할 수 있다.

Table 2 The result of measurement for CO<sub>2</sub> laser beam quality at Power 600W

	X	Y	R	Dim.
K	0.842	0.820	0.830	
2W <sub>0</sub>	12.236	12.244	12.240	mm
2W <sub>e</sub>	12.706	12.717	12.711	mm
Z <sub>0</sub>	-2.611	-2.552	-2.580	m
Z <sub>r</sub>	9.328	9.095	9.210	m
θ	1.31	1.35	1.33	mr
Astigmatism (Z <sub>0y</sub> - Z <sub>0x</sub> ) / Z <sub>r</sub>				0.6%
Waist Asymmetry 2W <sub>0y</sub> / W <sub>0x</sub>				1.001
Divergence Asymmetry θ <sub>y</sub> / θ <sub>x</sub>				1.026
f = 408.10mm @ 10.61μm				

Table 3 The result of measurement for CO<sub>2</sub> laser beam quality at Power 370W

	X	Y	R	Dim
K	0.989	0.984	0.986	
2W <sub>0</sub>	11.712	11.792	11.753	mm
2W <sub>e</sub>	12.729	12.686	12.708	mm
Z <sub>0</sub>	-7.276	-4.018	-4.147	m
Z <sub>r</sub>	10.44	10.128	10.087	m
θ	1.17	1.16	1.17	mr
Astigmatism (Z <sub>0y</sub> - Z <sub>0x</sub> ) / Z <sub>r</sub>				2.6%
Waist Asymmetry 2W <sub>0y</sub> / W <sub>0x</sub>				1.007
Divergence Asymmetry θ <sub>y</sub> / θ <sub>x</sub>				0.999
f = 408.10mm @ 10.61μm				

레이저빔의 Pointing Stability는 가공품질의 직진도와 상관 있는 변수로 정밀레이저 가공에서는 중요한 변수로 작용한다. 본 연구에 사용된 레이저의 Pointing Stability는 그림 1과 같이 ± 0.04mrad의 진폭을 가짐을 알 수 있다.

또한 레이저 출력의 Stability측정 결과 2% 이내로 우수한 안정성을 가짐을 알 수 있었다.

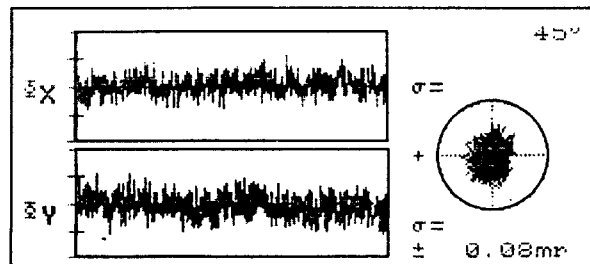
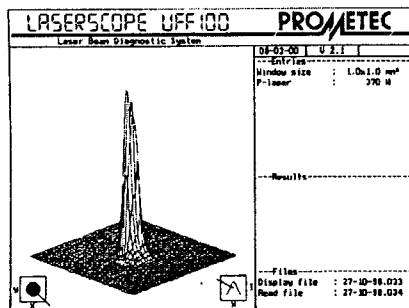


Fig. 1 The result of measurement of pointing stability

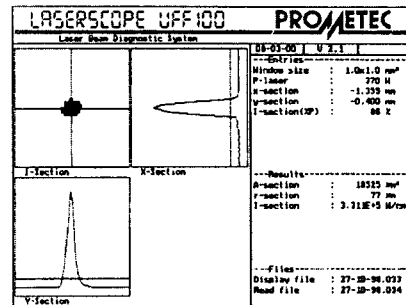
즉, 본 연구에서 사용된 레이저는 K 값이 0.83(통상 0.6 이하)으로 고출력 CO<sub>2</sub>레이저에서는 쉽게 얻을 수 없는 우수한 특징을 가지고 있을 뿐만 아니라 Free Space에서의 빔의 전파 특성은 수직, 수평 방향에서의 빔 Waist가 같은 점에 형성되고 원형의 빔이 왜곡 없이 전파됨을 알 수 있다.

## 2 집속 빔의 공간 분포 특성

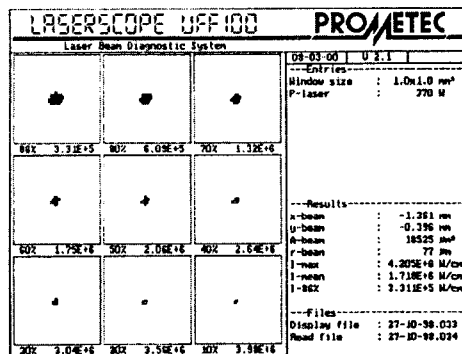
집속 렌즈( $f=76.2\text{mm}$ )를 사용하여 초점 주위의 빔 크기 변화와 출력밀도의 3 차원 공간 분포를 Laserscope UFF 100을 사용하여 측정하여 초점에서의 형성되는 빔의 3차원 분포 및 출력밀도를 측정하였다. 그림 2는 레이저(370W, CO<sub>2</sub> laser)에서 방출되는 빔을 직접 집속한 경우 초점 위치에서 형성되는 빔의 형태를 보여주고 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2: The spatial distribution of laser beam at focal point

그림 2 (a)는 초점에서 형성되는 빔의 공간 분포를 나타내고, (b)의 I-Section은 레이저 출력의 86% 점에서의 빔 단면을 나타낸다. X,Y-Section은 빔의 x, y 방향의 단면을 나타내는 결과로 빔이 왜곡 없이 대칭을 이루고 있음을 알 수 있다. 초점에서의 빔 반경 측정 결과는 그림 2(c)의 r-beam으로 표시된 값으로 약  $77\mu\text{m}$ 임을 알 수 있다. 또한 빔의 최대 출력 밀도는 I-max의 값은 약  $4.2\text{ MW/cm}^2$ 이고, 출력의 86%점의 출력밀도는  $3.3\text{ MW/cm}^2$ 임을 알 수 있다.

### III. 가공기

레이저의 빔특성의 우수성을 살리기 위하여 가공기 몸체재질은 진동감쇄특성이 우수하고 열변형이 최소인 석재를 선택하였다. 구동부는 초정밀급을 선택하였고, 조립시 석재를 부분연마 하였다.

Hybrid Type의 단점인 레이저와 가공면 간의 거리변화는 거리보상장치(Distance Compensation Device : DCD)를 고안하여 활용하였다.(특허출원 : 98-31506)

그림 3은 가공기 전면 그림 4는 가공기 측면을 나타낸다. 그림에서 보듯이 설치공간이 작고 취급하기가 용이한 장점이 있다.

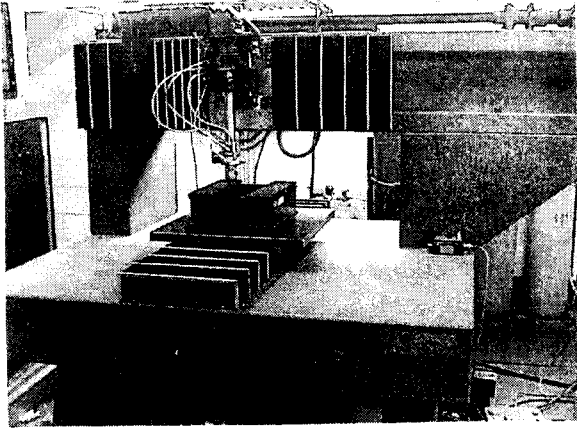


Fig. 3: Front-view of the system

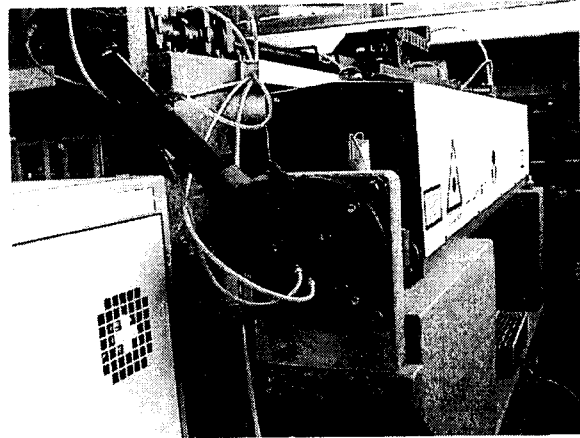


Fig. 4: Side-view of the system

### IV. 절단 성능

그림 5는 3mm 두께의 연강을 절단한 결과를 나타낸다. 특이한 사항으로 낮은 출력으로 고속절단이 가능하고 절단면의 거칠기가 작으며 최소 절단폭 또한 100 $\mu$ m 으로 정밀절단이 가능함을 알 수 있다.

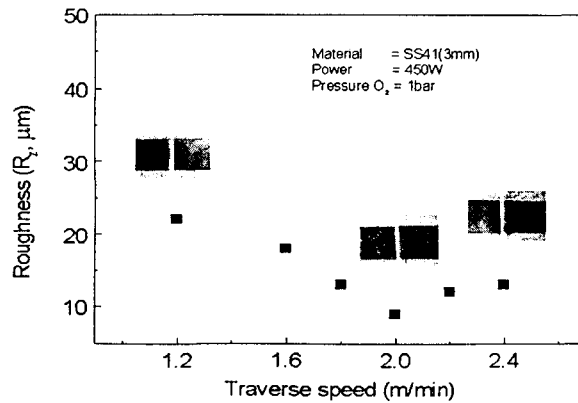


Fig. 5: Cut quality depending on cutting speed.

### V. 결론

K 값이 0.83인 양질의 빔특성을 보유한 CO<sub>2</sub> 레이저의 성능을 살리기에 적합한 가공기를 개발하였다. 가공기의 용도는 판금용 박판절단, 다이보드절단, 섬유제품절단등 양질의 레이저빔이 요구되는 제품가공으로 판단된다. 향후 절단대상물을 확대하여 본절단기의 성능과 내지 성능향상에 힘쓸예정이다.