

고속 이송 방식 Laser Cutting M/C의 절단성 평가에 관한 연구

이춘만(창원대학교 기계설계공학과), 임상현*(창원대학교 기계설계공학과 대학원)

A Study on Cutting Characteristics Evaluation 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

A high speed feeding type laser cutting M/C is developed for precise cutting of sheet metal. This paper has been carried out to obtain cutting characteristics and optimal cutting conditions of the developed high speed feeding type laser cutting M/C by a design of experiments. Cutting speed, laser power, laser duty and gas pressure are control factors for the surface roughness. The major factors affecting the surface roughness and the optimum cutting conditions are studied with minimum experiments using Taguchi method.

Key Words : Laser Cutting M/C (레이저 절단기), Cutting Characteristics (절단 특성), Design of Experiments (실험 계획법)

1. 서론

재료가공에서의 레이저의 적용분야는 금속의 절단, 용접 및 드릴링, 세라믹의 스크라이빙, 플라스틱과 복합재의 절단 및 여러 가지 재료의 마킹을 포함하고 있다. 이 중에서 레이저 절단은 타 레이저 가공 즉 용접, 열처리에 비해 경제성이 높고 기술의 난이도가 낮아 비교적 빠른 속도로 보편화되었다. 레이저 절단을 한 마디로 표현하면 레이저 발진기로부터 출력되는 레이저 빔을 렌즈나 거울을 사용하여 재료의 표면에 집광하고 적당한 가스를 분사시켜 재료나 레이저 빔을 이동하면서 판재를 용융, 증발시켜 분리하는 가공법이라고 말할 수 있다. 이러한 가공법은 레이저의 높은 출력으로 인해 고경도 재료 및 고용접 재료의 절단이 가능하고 레이저 빔과 동시에 보조가스를 사용하기 때문에 절단 성능을 향상시킬 수 있다. 이에 본 연구에서는 개발되어진 고속 이송 방식 CO₂ 레이저 절단기를 이용하여 그 절단 특성을 평가하고 최적화하는데 목적을 두고 있다. 이를 위해서 본 연구에서는 실험계획법 중 다구찌 방법을 적용하여 실험을 수행하였으며, 간단히 SN비(Signal

to noise ratio)의 비교, 분석을 통해 개발된 고속 이송 방식 CO₂ 레이저 절단기의 절단 특성을 평가하였고, 최적 절단 조건을 도출하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 레이저 절단 공정

레이저 절단은 레이저 조사에 의해 재료를 용융, 증발시키는 열적 메카니즘을 이용하고 가스의 분사

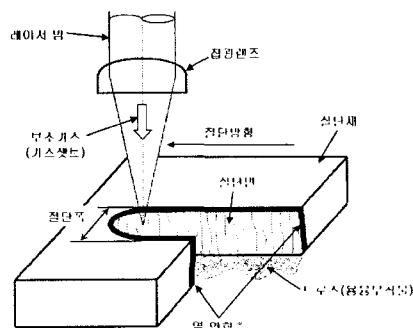


Fig. 1 Schematic of laser cutting process

에 의해 재료를 분리시키는 절단방법이다. 즉, 레이저 빔의 세기와 파장에 의해서 정해지는 직외선 레이저 영역의 레이저 광자들은 조사된 시편에 분자 및 격자진동을 여기(勦起)시켜 시편을 가공한다. 이러한 레이저 절단 공정의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 다구찌 방법

실험에 있어서 데이터에 신뢰를 준다고 생각되는 무수히 존재하는 원인들 중에서 실험에 직접 취급되는 원인을 인자(factor)라 하며, 실험을 하기 위한 인자의 조건을 인자의 수준(level)이라고 한다.

본 연구에서는 다구찌 방법을 선택하여 실험을 수행하였다. 다구찌 실험계획법은 “실험에 의하여 기술정보의 획득효율을 높여주기 위한 일반적인 기술의 전체”라고 정의한다. 이러한 다구찌 방법의 강점설계는 제어할 수 있는 영향력이 큰 인자를 찾아내어 이 인자들의 영향력을 최대로 하고 잡음의 영향력을 최소로 하는 것이다. 즉, 교란 인자의 영향으로부터 품질을 강건하게 유지하기 위하여 SN비를 사용하는 것이다.

SN비는 목적함수, 즉 특성치에 의해 그 정의가 달라지게 되는데 특성치는 망목(normal is best), 망소(lower is better), 망대(higher is better) 특성으로 나뉘어지며, 본 연구에서는 표면 거칠기 값이 작을수록 좋은 망소 특성이기 때문에 망소 특성에 준하여 실험을 실시하였다.

3. 실험

3.1 절단 시편 선정 및 실험 방법

본 연구에 사용된 시편은 레이저 가공시 가장 많이 사용되어지고 있는 SS41 강판을 이용하였다. 시험편의 규격은 $60 \times 30 \text{ mm}$ 이다. 그리고 강판의 두께는 2t, 3t 두 종류를 사용하여 실험하였다. 이렇게 두께를 두 종류만 선정한 이유는 개발된 레이저 절단기는 4 kW의 출력을 가지므로 2t 까지 충분히 절단이 가능하나 산업현장에서 가장 많이 사용하는 두께를 선정함으로써 본 연구에서 얻어진 결과를 현장에 적용할 수 있게 하기 위함이다.

절단 시편의 표면상태를 측정하기 위하여 촉침식 표면 조도계(Surftest SV-600, Mitutoyo)를 이용하였다. 본 연구에서는 개발된 레이저 절단기를 이용하여 절단속도, 레이저의 출력, 효율, 가스압 등을 인자로 설정하였으며 각각의 경우에 대해서 등 간격으로 수준을 배치하였다. 이렇게 선정된 인자와 수준을 Table 1에 나타내었다. 표면거칠기에 영향을 미친다고 생각되는 인자와 수준들을 $L_9(3^4)$ 의 직교 배열표를 이용하여 배치하였고 이를 Table 2에 나타내었다.

직교 배열표에 의한 가공 실험을 2회 실시하여 각 절단 시편의 중심선 평균 거칠기(R_a)를 측정한 후 상용 프로그램인 MINITAB을 이용하여 SN비를 계산하였고, 최적 절단 조건을 찾아내었다.

Table 1 Factors and levels for the experiment

Sign	Factor	Unit	Level		
			1	2	3
A	Cutting speed	mm/min	2000	2750	3500
B	Power	W	2000	2750	3500
C	Duty	%	80	90	100
D	Gas pressure	N/m ²	39227.6	68648.4	98069.1

Table 2 Orthogonal array table for $L_9(3^4)$

Experiment No.	Row No.			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1
Sign	A	B	C	D

3.2 실험결과 및 분석

Fig. 2는 SS41, 2t 강판을 절단했을 때의 표면거칠기(R_a)의 평균값을 나타낸 것이다. 이 결과를 토대로 MINITAB을 이용하여 SN비를 계산하여 Table 3에 나타내었다.

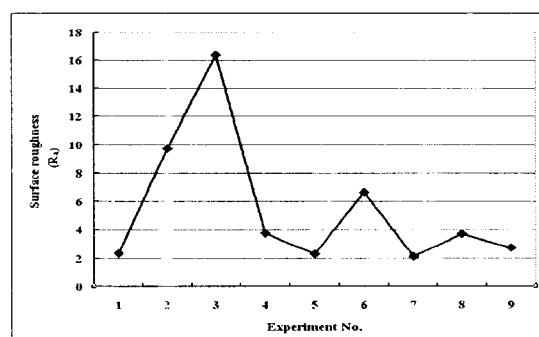


Fig. 2 Variation of surface roughness for experiment number (SS41, 2t)

Table 3 SN ratios (SS41, 2t)

Experiment No.	Surface roughness (R_a)		SN ratio
	1	2	
1	2.444	2.244	-7.3992
2	9.842	9.638	-19.7712
3	16.277	16.423	-24.2704
4	3.73	3.738	-11.4435
5	2.293	2.243	-7.1129
6	6.641	6.629	-16.4368
7	3.001	1.181	-6.4071
8	3.577	3.781	-11.3146
9	2.631	2.831	-8.7264

Table 4는 각 수준에 대한 SN비를 나타내고 있으며 Fig. 3에 그래프로 표시하였다.

Table 4 Response table of SN ratios (SS41, 2t)

Level	A	B	C	D
1	-17.1469	-8.4166	-11.7169	-7.7461
2	-11.6644	-12.7329	-13.3137	-14.205
3	-8.816	-16.4779	-12.5968	-15.6761
Delta	8.3309	8.0613	1.5968	7.93
Rank	1	2	4	3

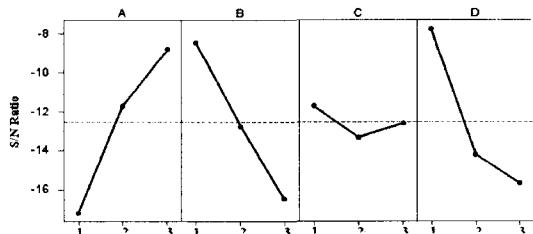


Fig. 3 Plot of SN ratios (SS41, 2t)

Table 4와 Fig. 3에서 알 수 있듯이 표면거칠기에게여하는 인자는 절단속도 - 레이저 출력 - 가스압력 - 효율의 순서로 나타났으며 표면거칠기의 영향에 C인자인 효율이 미치는 영향이 다른 요인에 비해 매우 작으며 A인자인 절단속도가 다른 인자에 비해 표면거칠기 값을 좌우할 수 있는 주요인자로 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 레이저광이 모체를 놓이고 지나갈 때 보조가스를 이용하여 불어내어 절단하는 원리를 가지고 있기 때문에 최대한 가스의 영향을 크게 받을 수 있는 것이 바로 이송속도가 증가하면서 되기 때문이라 할 수 있다. Fig. 3으로부터 최적 수준을 결정할 수 있는데 A3, B1, C1, D1이 SN비로부터 구할 수 있는 최적 수준이다. 현장에서 사용하고 있는 조건의 수준이 본 연구에서 이용한 수준에 포함되어 있는데 A2, B1, C1, D1이 그것이다. 이것을 Table 5에 상세하게 표현하여 나타내었다.

Table 5 Present condition and optimum condition (SS41, 2t)

	Present condition	Optimum condition
Cutting speed [mm/min]	2750	3500
Power [W]	2000	2000
Duty [%]	80	80
Gas Pressure [N/m ²]	39227.6	39227.6

현재와 최적조건에서의 SN비 추정값을 비교한 결과를 다음 Table 6에 나타내었다.

Table 6 SN ratios from present and optimum condition (SS41, 2t)

	Present condition	Optimum condition
SN비	-1.91665	0.931707

Table 6으로부터 최적조건일 때가 현재조건보다 SN비로 (0.931707) - (-1.91665) = 2.848357 만큼 개선되었음을 알 수 있다. 이를 금액으로 환산하면 $10^{0.2848357} = 1.926$ 배만큼 손실금액이 개선됨을 알 수 있다.

Fig. 3은 SS41, 3t 강판을 절단했을 때의 표면거칠기(R_a)의 평균값을 나타낸 것이다. 앞서와 동일한 실험 방법 및 분석을 거쳐 다음 결과들을 정리하였다.

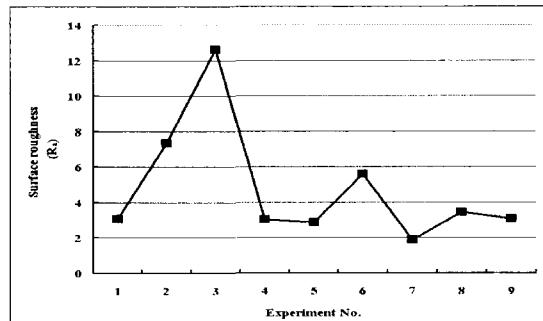


Fig. 4 Variation of surface roughness for experiment number (SS41, 3t)

Fig. 4를 보면 2t의 절단 성향과 비슷한 결과를 나타내는 것을 보여주고 있다. 이로 인해 앞선 결과값과 비슷하게 나올 것이라는 유추가 가능해진다.

이렇게 유추한 바와 같이 Table 8과 Fig. 5는 Table 4와 Fig. 3에서 보여 준 결과값과 비슷한 경향을 가짐을 알 수 있다. Fig. 5로부터 최적 수준을 결정할 수 있는데 A3, B1, C1, D1이 SN비로부터 구할 수 있는 최적 수준이다. 현장에서 사용하고 있는 조건의 수준이 본 연구에서 이용한 수준에 포함되어 있는데 A3, B1, C3, D1이 그것이다. 이것을 Table 9

에 상세하게 표현하였다.

Table 7 SN ratios (SS41, 3t)

Experiment No.	Surface roughness (R_a)		SN ratio
	1	2	
1	3.185	2.945	-9.7286
2	7.556	7.136	-17.3210
3	12.54	12.74	-22.0349
4	3.341	2.707	-9.6116
5	2.994	2.752	-9.1667
6	5.466	5.746	-14.9731
7	1.810	1.970	-5.5292
8	3.499	3.397	-10.7513
9	3.011	3.123	-9.7343

Table 8 Response table of SN ratios (SS41, 3t)

Level	A	B	C	D
1	-16.3615	-8.2898	-11.8177	-9.5432
2	-11.2505	-12.413	-12.2223	-12.6078
3	-8.6716	-15.5808	-12.2436	-14.1326
Delta	7.6899	7.2909	0.426	4.5894
Rank	1	2	4	3

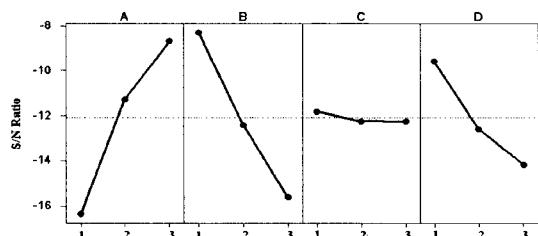


Fig. 5 Plot of SN ratios (SS41, 3t)

Table 9 Present condition and optimum condition (SS41, 3t)

	Present condition	Optimum condition
Cutting speed [mm/min]	3500	3500
Power [W]	2000	2000
Duty [%]	100	80
Gas Pressure [N/m^2]	39227.6	39227.6

현재와 최적조건에서의 SN비 추정값을 비교한 결과를 다음 Table 10에 나타내었으며 앞선 방법과 동일하게 계산을 수행하였다. 그 결과 최적조건일 때가 현재조건보다 SN비로 (-2.03871) - (-2.44334) = 0.40463 만큼 개선되었음을 알 수 있다. 이를 금액으

로 환산하면 $10^{0.40463} = 1.097$ 배만큼 손실금액이 개선됨을 알 수 있다.

Table 10 SN ratios from present and optimum condition (SS41, 3t)

	Present condition	Optimum condition
SN비	-2.44334	-2.03871

4. 결론

본 연구에서는 개발되어진 고속 이송 방식 CO_2 레이저 절단기를 이용하여 SS41강판을 절단할 때 표면거칠기에 영향을 미치는 주요인자들을 찾아내어 절단 특성을 평가하고자 하였으며, 다구찌 방법을 적용한 실험결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 다구찌 방법을 적용하여 실험을 실시한 결과, 표면거칠기에 영향을 미치는 주요인자는 절단속도, 레이저 출력, 보조가스의 압력임을 알 수 있었다.

2. 절단 속도가 표면거칠기에 영향을 많이 주고 있음을 알 수 있는데 이는 레이저광이 모세를 녹이고 지나갈 때 보조가스를 이용하여 불어내어 절단하는 원리를 가지고 있기 때문에 최대한 가스의 영향을 작게 받을 수 있는 것이 바로 이송속도가 증가하면 되기 때문이다.

후기

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

참고문헌

- G.V.S. Prasad, E. Siores, W.C.K. Wong, "Laser cutting of metallic coated sheet steels," Journal of Materials Processing Technology 74, pp. 234-242, 1998.
- 황경현, 이성국, "레이저 절단시 표면상태 향상을 위한 연구," 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 287-289, 1989.
- 이호준, 조용무, 유용재, 김재도, "STS304의 레이저 절단에서 보조가스의 압력이 미치는 영향," 한국정밀공학회지, 제12권, 제3호, pp. 15-22, 1995.
- 박성현, "현대 실험 계획법," 민영사, pp. 16-18, 2001.