

원격용접을 위한 고출력 Disk Laser의 특성평가

Feasibility Study for Remote Laser Welding using High Power Disk Laser

김정학*, 김철희*, 김준기*, 김정현*, 이세현**

* 한국생산기술연구원 정밀접합팀

** 한양대학교 기계공학과

1. 서 론

레이저 용접은 고밀도 열원 용접으로 빠른 용접속도, 깊은 용입, 적은 입열량을 가진 용접공정이다. 최근 여러 산업 분야에서 이러한 레이저 용접 공법을 실용화 하고 있고 특히 자동차 분야에선 중요한 생산 방식의 하나로 자리 잡아 가고 있다¹⁾.

현재 많은 고출력 레이저들이 산업 현장에서 용접공정에 이용되어 지고 있으며, 대표적인 발전장치는 Nd:YAG 레이저 와 CO₂ 레이저가 있다. Nd:YAG 레이저의 경우 1,064nm의 파장을 가지고 있어 파이버를 통한 빔의 전송이 가능하므로 많은 산업 분야에 이용되고 있으나 낮은 효율, 낮은 빔 품질 그리고 출력의 한계를 가지고 있다. CO₂ 레이저의 경우 비교적 높은 효율과 빔 품질을 가지고 있으나 10.6μm의 긴 파장으로 인하여 파이버를 통한 빔 전송이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

가장 최근 상용화 되어진 디스크 레이저(Disk laser)의 경우 Yb:YAG를 이용하면서 개선된 발전 방식으로 높은 효율 및 빔품질을 가지고 있어 파이버 레이저와 함께 레이저 원격 용접이 시도되고 있다. 또한 디스크 레이저는 1,030nm 파장으로 파이버를 통한 빔의 전송이 가능하고 기존의 Nd:YAG 레이저 장비에 비하여 시스템의 크기가 줄어 유연한 공간 활용이 가능한 장점을 가지고 있다²⁻⁵⁾.

이에 본 연구에서는 다이오드 펌핑 방식의 Nd:YAG 레이저와 디스크 레이저의 용입 특성을 평가하였으며, 이에 따른 원격 용접 가능 구간을 확인하여 향후 디스크 레이저를 이용한 원격용접의 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 4kW 디스크레이저와 4.4kW 다이오드 펌핑 Nd:YAG 레이저를 이용하였으며, 레이저시스템의 사양은 Table 1과 같다

Table. 1 Specification of laser systems

	Nd:YAG laser system	Disk laser system
Gain material	Nd:YAG Rod	Yb:YAG disk
Max power	4400W	4000W
Beam quality	12mm*mrad	8mm*mrad
Diameter of delivery fiber	300μm	200μm
Power consumption	56kW	21kW
Focal length	250mm	220mm, 560mm

6축 로봇을 이용하여 용접 헤드를 이송시켰으며, 디스크레이저와 Nd:YAG 레이저에 이용한 로봇은 각각 IRB2400과 IRB6400이었다. 용입 특성을 알아보려고 하는 비드용접(BOP, bead-on-plate welding)에서는 모재로 조선용 A그레이드 강을 이용하였다. 겹치기 용접에서는 1mm 두께의 SPCC 냉연강판을 겹치기 조성하였으며, 기계적 특성과 화학조성은 Table. 2와 같다.

Table. 2 Property of SPCC steel used in the study

Mechanical Property	T.S(MPa)		EL(%)	
	270		37	
Chemical Composition(%)	C	Mn	P	S
		0.12	0.5	0.04

3. 실험결과 및 고찰

3.1 디스크레이저와 Nd:YAG 레이저의 용입특성

레이저의 출력을 1~4kW까지, 용접속도를 0.5~4m/min까지 변화시키면서 디스크 레이저와 Nd:YAG레이저 용접시 용입특성을 조사하여 Fig. 1에 나타내었다. Fig 1의 실험에 사용한 레이저 헤드의 초점거리는 각각 220mm와 250mm이다.

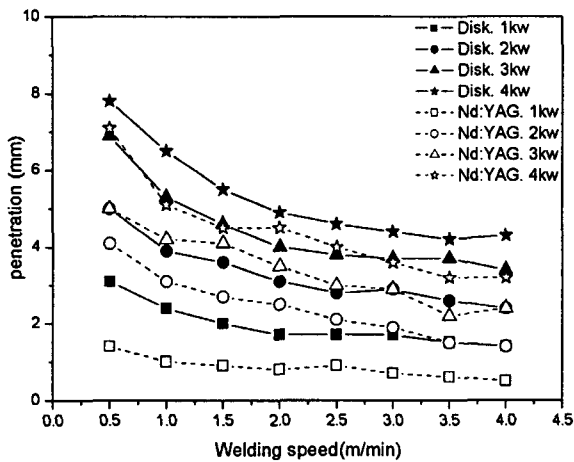
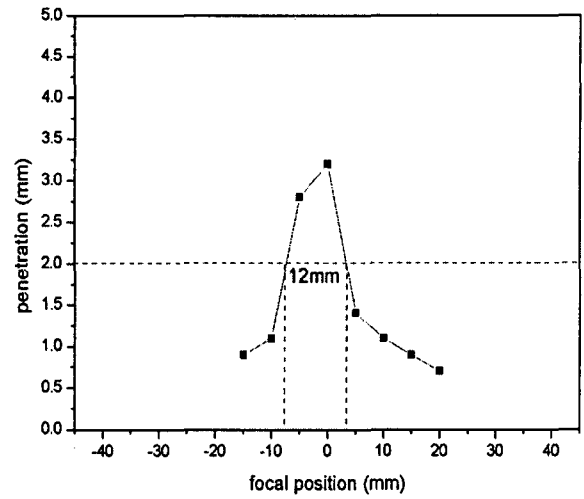


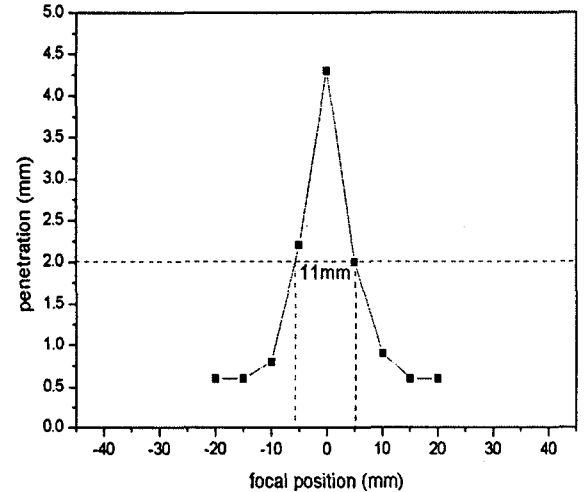
Fig. 1 Penetration depth for various welding speeds and laser powers

디스크레이저를 이용한 경우 Nd:YAG 레이저를 이용할 때보다 빔품질이 우수하여 더 깊은 용입의 확보가 가능하였다.

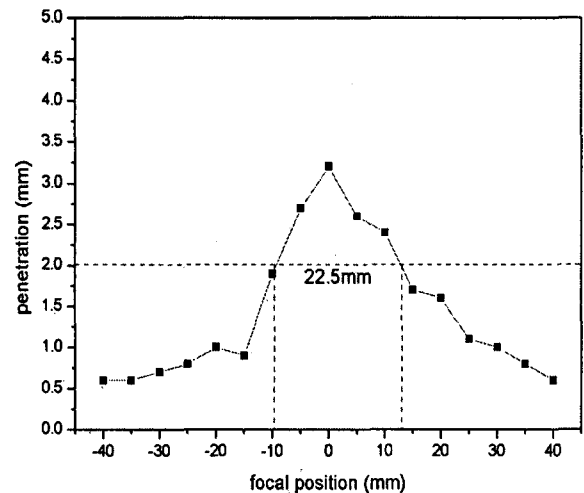
레이저 출력 4kW와 용접속도 4m/min의 조건에서 모재표면의 초점을 기준으로 아래쪽으로 15mm, 위쪽으로 20mm까지 레이저빔의 포커싱 위치를 변경시키면서 용입깊이를 조사하여 Fig. 3에 각각 나타내었다. 용입 2mm가 가능한 초점의 심도는 Nd:YAG레이저와 250mm 초점거리, Disk laser와 220mm 초점거리, Disk laser와 560mm 초점거리를 이용한 경우에 대해 각각 12mm, 11mm, 22.5mm 정도로 예측된다. 1mm 강판의 겹치기 용접을 위한 초점의 심도도 레이저의 종류 및 광학계의 초점거리에 따라 차이를 보임을 알 수 있다.



(a) Nd:YAG laser, 250mm focal length



(b) Disk laser, 220mm focal length

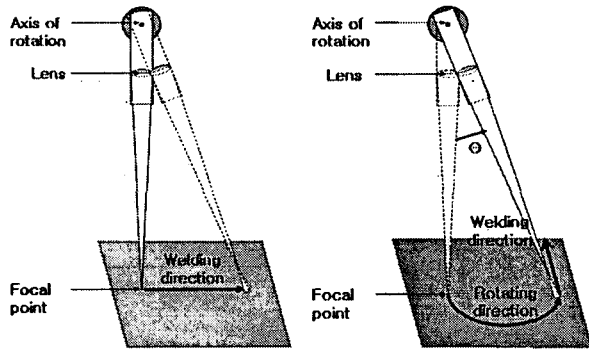


(c) Disk laser, 560mm focal length

Fig. 3 Penetration depth according to the focal position(laser power; 4kW, welding speed; 4m/min)

3.2 Disk laser의 원격용접 가능구역 확인

디스크레이저의 원격 용접 가능성 확인을 위하여 초점거리 560mm 헤드를 이용하여 Fig. 4와 같이 두 가지 방식으로 실험을 수행하여 원격용접이 가능한 범위를 조사하였다. Fig. 4 (a)는 로봇의 최종단 축의 회전방향이 용접방향과 일치하여 레이저 조사각이 변하는 경우, (b)는 축의 회전방향과 용접방향이 수직으로 조사각이 변하지 않는 경우이다.



(a) angle variation (b) fixed angle
Fig. 4 Methods for remote welding test

Fig. 5와 같이 레이저 출력 4kW와 560mm 헤드를 이용한 실험에서 두께 1mm시편의 겹치기 용접의 연속적인 용입확보가 가능한 용접속도는 5.5m/min으로 조사되었다.

welding speed		5.5m/min	6 m/min
angle variation	top		
	bottom		
angle		15° (5.5m/min)	20° (6m/min)
fixed angle	top		
	bottom		

Fig. 5 Top and bottom views of weld Beads for disk laser welding (laser power 4kW, \perp :10mm)

Fig. 4의 방법으로 구한 속도에서의 용접가능 영역과 Fig. 3 (c)의 심도를 이용하여 계산식에 의해 추정된 결과를 통한 용접가능영역을 Fig. 6에 도시하였고 이것이 원격용접이 가능한 영역이 된다.

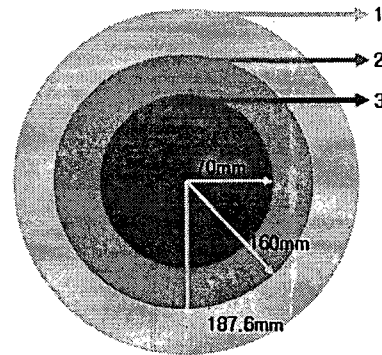


Fig. 6 Estimated welding regions for each method (4kW, 5.5m/min, 1: fixed angle, 2: calculation using DOF, 3; angle variation)

4. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 용접속도와 레이저 출력에 따른 디스크레이저와 Nd:YAG레이저의 용입특성을 평가하였다.
- 2) 560mm 헤드를 이용하여 1mm두께 시편을 겹치기 용접을 할 경우 최대 5.5m/min의 속도로 용접할 수 있음을 확인 하였다.
- 3) 디스크레이저를 이용하여 실험에 사용한 시편에 적용시 4kW출력, 5.5m/min용접속도에서는 최소 반경 70mm, 최대 반경 187mm 영역에서 적용이 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 대한용접학회편: 용접접합편람, 대한용접학회, 1998, 608
2. Akira Matsunawa, Jong-Do Kim: The Latest Trend of Laser Materials Processing, Journal of KWS, 24-2 (2006), 10-25
3. 이희범, 장인성, 정창호, 김기순, 김인호 : Development of remote welding system using fiber laser, 한국레이저 가공학회 춘계학술발표대회 논문집 (2005), 18-21
4. 염중환, 이희범, 정창호, 조용준, 박희규 : Car Body Welding by CO2 Remote Welding System, 한국 레이저 가공학회 춘계학술발표대회 논문집 (2005), 7-10
5. K. Petermann, D. Fagundes-Peters, J. Johannsen, M. Mond, V. Peters, J.J. Romero, S. Kutovoi, J. Speiser and A. Giesen: "Highly Yb-doped oxides for thin-disc lasers", Journal of Crystal Growth, 275-1 (2005), 135-140