겹치기 이음부의 레이저용접 동축 모니터링

김정학†, 김철희*, 김정한*, 이세헌**

Coaxial Monitoring during Laser Lap Welding

Junghak Kim†, Cheolhee Kim *, Jeonghan Kim *, Sehun Rhee **

Key Words : laser welding, lap joint, coaxial monitoring, penetration

Abstract

Welding process monitoring is advantageous for maintaining weld quality and numerous sensing techniques have been developed for laser welding. Coaxial image monitoring enables direct monitoring of the weld pool shape and keyhole behavior, but requires the complex optical system and the image processing technique. In this study, we coaxially acquired the weld pool images during laser lap welding by using the camera and special illumination. The welding characteristics – pool width and length, keyhole shape, etc – were extracted by using image processing and the relationship between these characteristics and the penetration depth were investigated.

1. 서 론

레이저 용접은 고밀도 열원 용접으로 빠른 용접 속도, 깊은 용입, 적은 입열량을 가진 용접공정이다[1]. 최근 여러 산업 분야에서 이러한 레이저용접 공법을 실용화 하고 있다. 이러한 레이저 용접의 경우 용접시 빛의 강도 때문에 육안으로 관찰하기가 힘들고 높은 생산성을 유지 하기 위하여 정확한 용접 컨트롤이 필요하다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위한 모니터링 기법 중 동축 모니터링의 경우 레이저 용접의 중요 현상중 하나인 키홀의 관찰을 정확히 할 수 있고, 카메라의 위치와 레이저 조사 방향이 같기 때문에 이미지의 왜곡을 줄일 수 있고, 부가적인 센서가 필요없다는 장점을 가진다. 카메라를 이용한 영상모니터링은 직접적으로 용접현상을 관찰할 수 있고 또한 영상으로부터 키홀과 용융풀을 동시에 관찰함으로 시스템을 단순화할 수 있다.

기존에 많은 연구들이 광신호, 소리를 측정하거나 플라즈마, 용융풀 등을 카메라로 촬영하는 등의 간접적인 방법으로 수행되었으나 최근에는 용접시 용융풀과 키홀을 직접 관찰함으로써 보다 정확하게 용접부의 정보를 알고 이를 바탕으로 용접 변수들을 조절하여 용접 품질을 일정하게 유지시키는 연구가 계속되고 있다[3].

지금까지의 연구들에서는 아크용접시 아크의 광을 줄이기 위하여 부가의 광원을 사용하면서 용융풀 형상을 측정하여 용접 품질제어에 사용된 바 있다[4-6]. 레이저 용접시에도 용접에 사용된 레이저와 다른 파장의 레이저를 보조광으로 활용하고 이를 고속카메라로 관찰하여 용접현상을 모니터링하였다[7-10]. 선행 연구의 결과들은 광신호나 음향 신호 등을 계측하는 간접적인 방법이나 영상의 관찰을 동축이 아닌 옆이나 앞쪽에서 이루어져 정확한 용융풀과 키홀의 형상을 확인하기 힘들었다. 또 동축 모니터링이라 하더라도 키홀과 용융풀을 동시에 모니터링 하지 못하여 키홀과 용융풀의 이미지를 따로 얻어 이를 이미지 프로세싱을 통하여 수정하는 번거로움이 있었다.

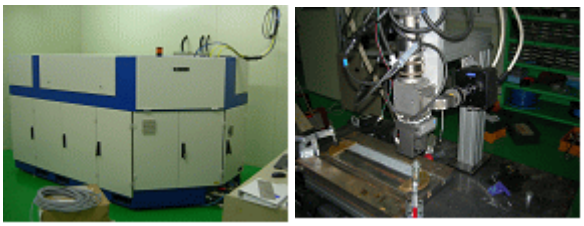
본 연구에서는 동축모니터링 시스템을 구축하였고 이를 이용하여 용융풀과 키홀을 동시에 관찰하였다. 또한 용접 현상(용융풀과 키홀의 거동)과 용입형상의 관계를 고찰하고자 하였다.

† 한국생산기술연구원 정밀접합팀
E-mail : hagi@kitech.re.kr
TEL : (32)850-0224 FAX : (032)580-0227
* 한국생산기술연구원 정밀접합팀
** 한양대학교 기계공학부

2. 실험 장치 및 방법

2.1 레이저 및 용접 시스템

본 연구에서는 레이저 용접을 위해 TRUMPF 사의 4kW 급 disk 레이저를 이용하였다. 초점거리 220mm 의 광학계를 사용하여 0.25mm 직경의 빔을 모재 표면에 초점을 두어 실험하였다. Fig. 1 (a)는 실험에 사용된 disk 레이저와 Fig. 1(b)는 용접용 1 축 이송 시스템을 보여주고 있다.

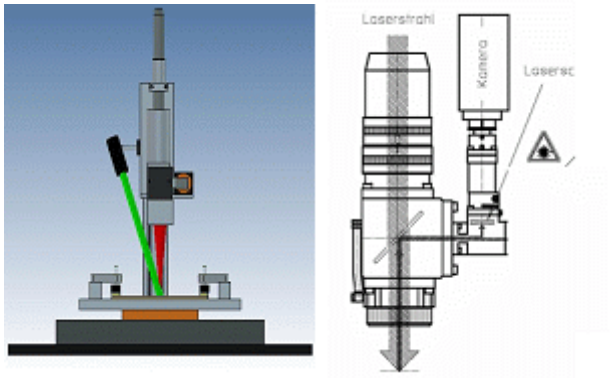


(a)Disk Laser (b) Traveling system

Fig. 1 Disk laser welding system

2.2 동축모니터링 시스템

본 연구를 위한 모니터링 시스템은 Fig. 2 와 같다. 이 시스템은 조명용 광원과 모니터링을 위한 CCD 카메라로 구성된다. 부가 조명으로 녹색광 펄스 레이저(파장: 532nm, 출력: 6mmJ)와 metal light(50,000lux)를 사용하였다. 또 이미지의 노이즈를 줄이기 위하여 밴드패스 필터를 사용하였다. 초당 60 프레임의 영상을 CCD 카메라를 이용하여 획득하였다.



(a)Coaxial monitoring system (b)Coaxial image sensor

Fig. 2 Coaxial monitoring system with external illumination

2.3 용접조건

실험에서 사용된 시편(specimen)은 1mm 두께의 JIS G 3310 규격에서 규정한 SPCC 강판으로 그 기계적 특성과 화학 조성을 Table 1 에 나타내었다. Fig. 3 과 같이 겹치기 용접부를 조성하고 용접을 구현하였으며 아르곤 가스를 15ℓ/min 로 공급하여 보호가스로 이용하였다.

실험에 있어서 용접속도와 레이저출력을 각각 4~10m/min, 2kW~3kW 로 변화시키면서 동축모니터링을 수행하였다.

Table 1 Properties of SPCC steel used

mechanical property		
YP(MPa)	TS(MPa)	EL(%)
137	270	37
chemical composition(%)		
C	Mn	P	S
0.12	0.50	0.04	0.045

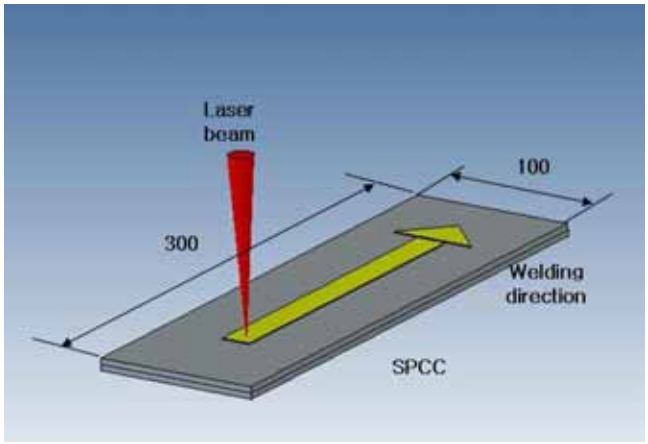


Fig. 3 Schematic diagram of lap joint welding

2.4 필터 선정 및 영상처리

키홀과 용융풀의 선명한 이미지를 얻고자 밴드패스 필터 및 ND 필터를 사용하여 레이저 출력 4kW, 용접속도 3m/min 의 조건에서 동축모니터링을 수행하였다. Fig. 4 은 조명과 필터 종류에 따른 동축모니터링된 영상들이다. Fig. 4 의 (a), (b), (c), (d)는 각각 532nm, 660nm, 810nm, ND16 필터를 사용하였으며 모두 metal light 조명을 사용한 경우이고, (e)는 532nm 밴드패스 필터와 녹색광 레이저 조명을 한 경우이다. metal light 조명과 532nm, 660nm 밴드패스 필터를 사용한 경우 키홀의 형상은 비교적 관찰이 가능하였으나 용융풀의 형상은 관찰되지 않았다. 810nm 밴드패스 필터를 사용한 경우 용접현상이 관찰되지 않았으며, ND16 필터를

사용하였을 경우 플라즈마의 모니터링은 가능하나 키홀 및 그 근처의 용융풀의 모니터링은 불가능하였다. 532nm 의 필터와 녹색광 레이저 조명을 이용하였을 경우 키홀과 용융풀의 모니터링이 가능하였으며, 이 후의 실험은 532nm 의 필터와 녹색광 레이저 조명을 사용하여 진행하였다.

키홀의 직경과 용융풀의 길이와 폭 등의 형상인자는 레이저 용접시 빠르게 가변되므로 이를 안정화하기 위하여 영상처리를 수행하였다. 0.5 초간의 영상, 즉 30 프레임 동안 획득한 영상들에서 평균값을 이용하여 영상처리를 하였으며, Fig. 5 는 영상처리 전후의 모습을 나타내고 있다.

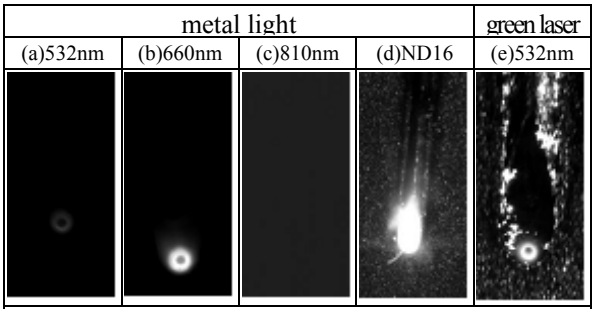


Fig. 4 Obtained image for laser welding

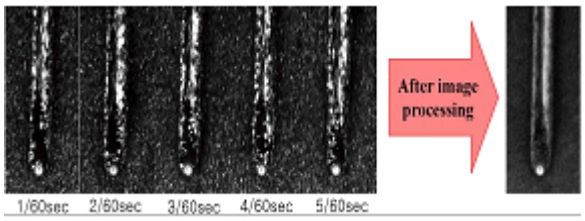


Fig. 5 The image processing for laser welding

2.5 계측 이미지의 특징인자

키홀과 용융풀 형상 인자를 특성화하기 위하여 Fig 6 에서 보여지는 것과 같이 키홀의 직경과 clear aperture, 용융풀의 폭과 길이를 특징인자로 설정하였다.

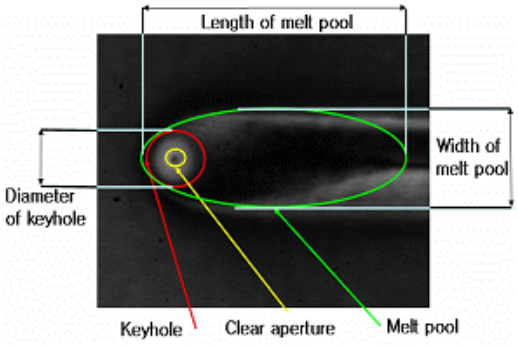


Fig. 6 Characteristic factor of obtained image

3. 실험 결과

3.1 용접속도에 따른 키홀 형상

Fig. 7 에서 보는 바와 같이 비교적 낮은 속도에서는 완전용입에 따른 clear aperture가 관찰되었으나 용접 속도가 증가하게 되면clear aperture가 용접 방향의 뒤쪽으로 이동하고 크기가 줄어 용접속도가 10m/min인 경우에는 완전용입이 형성되었으나 clear aperture가 동축으로 관찰되지 않는다. 이는 Fig. 8 에서 보이는 바와 같이 고속 용접시 전면 키홀에서 빛의 흡수가 증가하여 전면 키홀이 넓어지고 전면 키홀의 기울기는 줄어든다 이로 인하여 키홀이 휘어지게 되고 용입 또한 감소하게 된다[11].

이 결과는 용접속도가 적정수준이하로 선정될 경우 clear aperture 를 관찰할 경우 완전용입의 평가 인덱스로 사용될 수 있음을 시사한다.

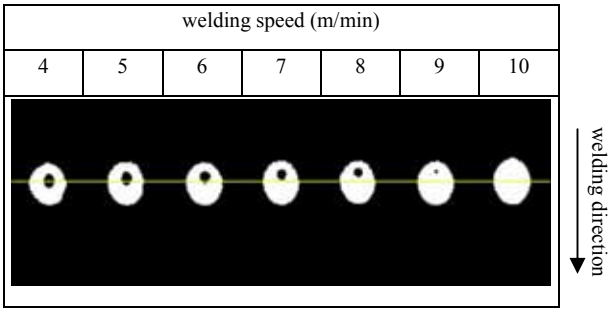


Fig. 7 Behavior of clear aperture according to welding speed (laser power: 3kW)

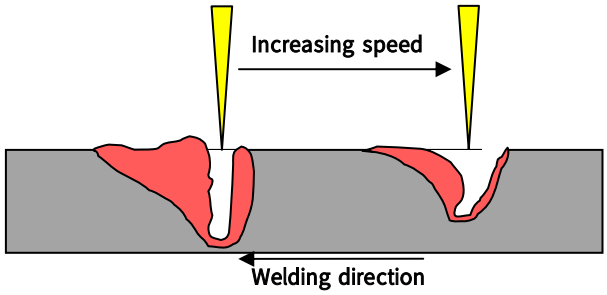


Fig. 8 Behavior of keyhole according to welding speed

3.2 용접입열에 따른 용융풀 형상

용접 속도 및 레이저 출력에 용융풀의 길이와 폭을 관찰하여 Fig. 9 에 도시하였다. 용접속도가 증가하면 용융풀의 길이는 길어지고 용융풀의 폭은 작아지는 경향을 보임을 알 수 있다. 레이저 출력 3kW에서는 그 경향성이 점진적이나 2kW와 2.5kW에서는 용접속도의 변화에 따라 형상인자들

의 급격한 변화가 발생하는 구간이 존재한다. 이 구간에서는 Fig. 10, Fig. 11 에서와 보는 것과 같이 완전용입에서 불완전용입으로의 천이가 발생한다. 완전용입시 키홀 하부를 통하여 방출되는 열이 불완전 용입시에는 방출되지 않고 다시 용융풀내에 흡수되어 용접부로의 입열을 증가시키기 때문으로 사료된다[12].

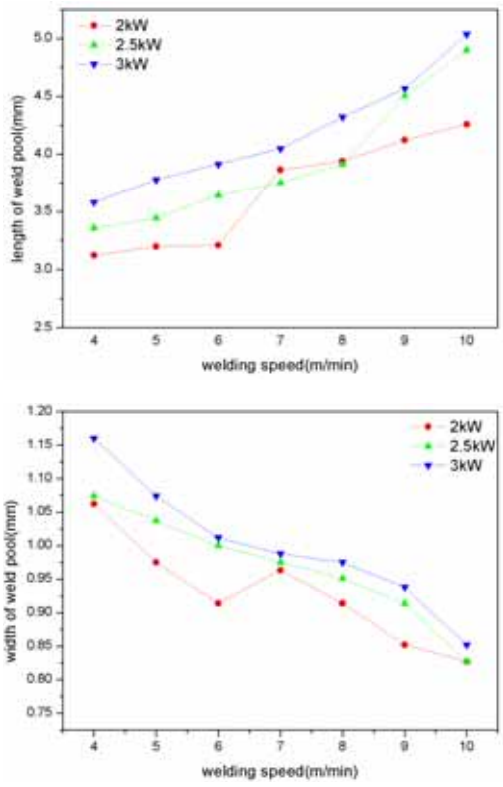


Fig. 9 Melt pool length and width according to welding speed and laser power(1.0t)

welding speed	6m/min	7m/min
top bead		
bottom bead		
cross section		

Fig. 10 Top and bottom bead, cross section for laser welding (laser power: 2kW)

welding speed	8m/min	9m/min
top bead		
bottom bead		
cross section		

Fig. 11 Top and bottom bead, cross section for laser welding (laser power: 2.5kW)

4. 결론

본 연구에서는 레이저 용접시 용접 현상을 관찰하기 위하여 동축모니터링 시스템을 구축하였고 이를 통하여 공정변수에 따른 키홀과 용융풀의 거동을 모니터링하였다.

1) 동축모니터링에서 건전한 이미지를 얻기 위하여 녹색광 레이저 조명과 532nm 의 필터를 사용하였고 영상을 안정화하기 위하여 평균값을 이용한 영상처리 기법을 사용하였다.

2) 레이저 출력 3kW 에서 용접속도에 따른 키홀 형상 측정결과 4~9m/min 에서 완전용입에 따른 clear aperture 가 관찰되었으나 10m/min 에서는 완전용입에도 불구하고 clear aperture 가 관찰되지 않는다. 용접속도가 증가함에 따라 clear aperture 가 뒤쪽으로 이동하는 현상이 발생한다.

3) 용접속도 및 레이저 출력에 따른 용융풀 형상인자의 모니터링 결과 일정한 레이저 출력에서 용접속도가 증가할 경우 용융풀의 길이는 증가하고 폭은 감소는 경향을 보인다. 특히 완전용입에서 불완전용입으로의 천이가 발생할 경우 용융풀의 길이 및 폭이 급격히 변화함을 알 수 있었다.

참고문헌

(1) 대한용접학회편: 용접접합편람, 1998, *대한용접학회*, pp. 608

(2) Lee, S. K. *et al.*, 1999, "A Study on Development of Laser Welding System for Bellows Outside Edge

Using Vision Sensor", *Jorunal of the Korea welding society* , Vol.17, pp. 219~226

(3) Sun, A. *et al.* , 1999, “Sensor Systems for Real-Time Monitoring of Laser Weld Quality”, *Journal of Laser Application*, Vol. 11, No. 4, pp. 153~168.

(4) Richardson, R. W. *et al.*, 1984, "Coaxial Arc Weld Pool Viewing for Process Monitoring and Control", *Welding Journal*, Vol. 63, No. 3, pp. 43~50

(5) Ohshima, K., 1989, "Observation and Control of Weld Pool Phenomena in Arc Welding", *J. of the Japan Welding Society*, Vol. 58, No. 4, pp. 44~49

(6) Pietrzak, K. A. *et al.*, 1994, "Vision-Based Weld Pool Width Control", *Trans. Of the ASME(J. of Engineering for Industry)*, Vol.116, February, pp. 86~92.

(7) Denney, P. E. *et al.*, 1991, "Synchronized Laser-Video Camera System study of High Power Laser Material interactions", *ICALEO 1991*, pp. 84~93.

(8) Schimon, R. W. *et al.*, 1993, "Monitoring of Interface Width during Laser Lap Welding through Visualization", *ICALEO 1993*, pp. 382~392.

(9) Mohanty, P. S. *et al.*, 1997, "Experimental Study on Keyhole and Melt pool Dynamics in Laser Welding", *ICALEO1997-Section G*, pp. 200~208.

(10) Holbert, R. K. *et al.*, 2000, "Image-Based Peneration Monitoring of CO2 Laser Beam Welding", *Welding journal*, Vol. 79, No. 4, pp. 89~96.

(11) Fabbro, R. *et al.*, 2006, "Experimental Study of the Dynamical Coupling between the Induced Vapour Plume and the Melt Pool for Nd-Yag CW Laser Welding*", J. of Physics D*, Vol. 39, pp. 394~400.

(12) Kaplan, A. F. H. *et al.*, 1997, "Laser Beam Welding of Aluminum Alloys", *International Conference Welding Technology, Materials and Materials Testing, Fracture Mechanics and Quality Management*, pp. 147~156.