

3차원 레이저 용접시스템 개발

강희신*(한국기계연구원), 서정(한국기계연구원), 이제훈(한국기계연구원),
이문용((주)성우하이텍), 정병훈((주)성우하이텍)

Development of 3D Laser Welding System

H. S. Kang(KIMM), J. Suh(KIMM), J. H. Lee(KIMM),
M. Y. LEE(Sungwoo Hitech Co., LTD), B. H. Jung(Sungwoo Hitech Co., LTD)

ABSTRACT

Three dimensional laser welding technology for light car body is studied. A robot, a seam tracking system and 4kW CW Nd:YAG laser are used for three dimensional robot laser welding system. The Laser system is used 4kW Nd:YAG laser(HL4006D) of Trumpf and the Robot system is used IRB6400R of ABB. The Seam tracking system is SMRT-20LS of ServoRobot. The welding joint of steel plate are butt and lap joint. The 3-D welding for Non-linear Tailored blank is performed after the observation experiments of bead on plate. Finally, the welding process for non-linear tailored blank and front side member is developed.

Key Words : Laser welding (레이저용접), Non-linear welding (비선형용접), Seam-tracking (용접선추적), Welding quality (용접품질), Joint profile(접합부형상)

1. 서론

본 연구의 목표는 CW Nd:YAG 레이저를 이용하여 비선형의 3차원 자동차 차체 용접기술을 개발하는 것이다. 연구를 통해 주안점을 둔 기술개발은 3차원 용접기술 개발, 비선형 TB 용접기술 개발, 자동차 차체 용접시스템 설계 및 제작기술 개발, 자동차 차체 레이저용접 제품 성능향상 기술개발이다. 자동차 차체 용접에서 사용되고 있는 저항 점용접은 자동차 설계 및 생산방식이 점차 개발되면서 저항 점용접기의 기하학적 구조와 용접특성으로 인해 적용범위가 한정적이며, 용접효율이 낮음에 따라 경제적, 기술적 한계에 도달하였다. 따라서, 자동차의 경량화, 안전도 향상, 생산성 향상을 달성하기 위하여 차체 레이저 용접기술이 자동차업계의 핵심기술로 대두되고 있다.

선진국에서는 기존의 저항 점용접의 차체 조립 공정을 레이저 용접으로 대체하여 차체 경량화 및 생산성 향상을 달성하고 있으므로 국내 자동차 업계에서도 고효율 Nd:YAG 레이저와 6축 로봇을 접목한 3차원 대량 용접 생산기술 개발의 필요성이 요구되고

있다.

따라서, CW(Continuous Wave)형 Nd:YAG 레이저를 이용한 비선형 TB 레이저 용접 기술과 병행하여 3차원 차체 레이저 용접기술을 확보하면 기존의 저항 점용접의 한계성을 극복하고 그에 따른 핵심기술을 확보함으로써 일부 단순 TB 시작품 제작수준에 있는 레이저 용접기술이 선진국 수준으로 도달할 수 있을 것으로 판단된다.

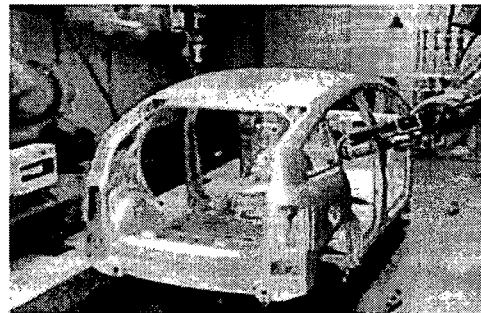


Fig. 1 3-dimensional laser welding in body welding

2. 실험방법

2.1 실험장치의 구성

실험방법은 초기에 4kW급 Nd:YAG 레이저 및 로봇과의 인터페이싱을 토대로 3차원 레이저 용접 시스템을 구축하고, 시제품 제작용 용접지그를 설계 제작하여 레이저 용접 시스템에 대한 기초 성능시험 및 평가를 실시하고자 하였다. 비선형 용접을 위해 Seam Tracker를 설치하여 이에 대한 제어기술을 개발하고자 하였다.

3차원 레이저 용접 시스템에서 레이저 빔의 위치 정밀도는 용접품질에 큰 영향을 미친다. 비선형 테일러드 블랭크(Non-linear Tailored Blank 또는 Non-linear TB)와 차체 부품의 용접부는 주로 맞대기(butt) 또는 겹치기(lap) 용접 조인트로 되어 있으며 레이저 빔의 초점크기가 수백 μ m 수준이므로 용접선과 레이저 빔 간의 위치 정밀도는 매우 중요하다. 일반적으로 위치 정밀도는 약 200 μ m 이내가 적합하다고 보고 되고 있다.

비선형 테일러드 블랭크 및 차체 부품 용접을 위한 3차원 레이저 용접시스템은 레이저와 로봇을 이용하여 구성될 수 있다. 레이저 발전기로부터 나온 레이저 빔은 광파이버를 통해 로봇 암(arm)의 끝단에 부착된 용접헤드까지 전송되므로 로봇의 각 축을 움직인 것으로서 3차원 용접을 수행하게 된다.

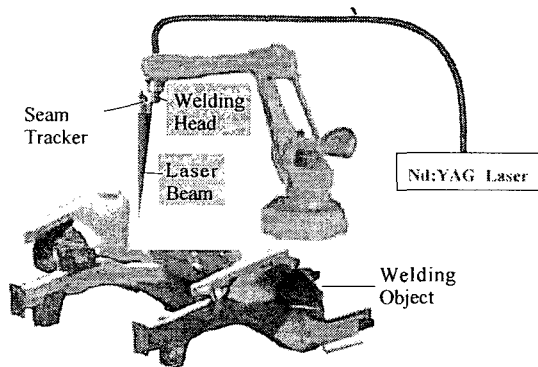


Fig. 2 Concept drawing of 3-dimensional laser welding system

기존의 자동차 용접라인에 로봇이 활용되고 있으므로 레이저를 이용한 3차원 용접 시스템은 기존의 저항접합용접 로봇 시스템을 대체하게 될 것이다. CO₂ 레이저의 경우 레이저 빔은 미러(mirror)의 반사를 통해 전달되므로 각 축이 자유로운 3차원 로봇보다는 gantry type의 장치가 선호된다. 일반적으로 로봇의 이동 정밀도나 부품 접합부의 가공 정밀도 등으로 인해 용접선과 레이저 빔 사이에서 발생하는

0.2mm 이하의 위치 정밀도를 만족하기가 어려우며, 특히 용접속도 및 이동속도가 빠른 경우 정밀도 문제는 더욱 중요하다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해 로봇의 끝단에 비전센서를 부착하여 용접헤드가 실제의 용접세트를 정확히 추적하도록 하는 용접선 추적 장치가 부가적으로 필요하게 된다.

그림 3은 본 연구를 통하여 구성된 3차원 레이저 용접시스템이다. 레이저 발전기는 TRUMPF사 4kW급 Nd:YAG(HL 4006D) 시스템이며, 로봇은 ABB사의 IRB 6400R을 활용하였다. 또한, 용접선 추적을 위한 장치는 ServoRobot사의 SMART-20LS를 사용하였다. 그림 3의 좌측 그림은 레이저 용접헤드와 시각센서가 일체화로 구성된 용접선 추적장치 헤드부를 나타내고 있다. 용접선 추적장치는 시각센서로부터 입력된 데이터로부터 용접헤드를 정밀하고 신속하게 용접선으로 이동시키게 된다. 이 시스템은 먼저 피조사면을 실시간 조사하여 반사된 화상 자료를 피드백(Feedback)하여 3D 데이터 처리 및 제어 공정을 수행하도록 초고속 이미지 처리기(image processor)와 모션 제어기(motion controller) 장치로 구성되었다. 레이저 비전 센서 원리를 이용하여 비전처리기(vision processor), 접합부 형상(joint profile), 추적점(tracking point) 및 토치의 위치를 보상하기 위한 축 수정 데이터 전송장치를 구비하였다. 갭(gap), 추적오차, 용접부 면적계산 및 주행속도 등이 포함된 여러 변수들을 축 수정데이터 전송장치와 실시간 조화시켜 사용자의 요구사항을 처리하도록 하였다.

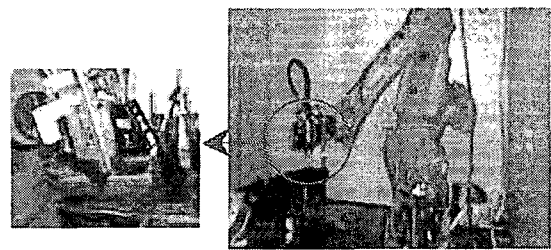
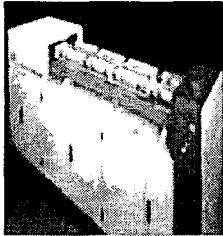


Fig. 3 3-dimensional laser welding system constructed in this study

표 1, 표 2, 표 3에 레이저 발전기, 용접선 추적 센서(seam tracking sensor) 및 용접용 로봇의 사양을 나타내었다.

로봇은 선택시 반복정도 및 용접 제품의 용접물 크기에 따라 선정하는 기준이 달라지는데 본 연구에서는 반복정도 오차를 고려하여 로봇을 선정하였다.

Table 1 Specification of laser source



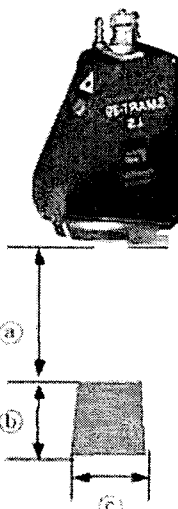
Manufacture, Model	TRUMPF HL4006D
Max. Power	4,000W
Beam Size	φ .6mm
Beam Quality	25 _m mrad

Table 2 Specification of welding robot



Manufacture, Model	ABB IRB6400R
Reach(mm)	2,400
Weight (kg)	150
Repetition error(mm)	±0.06

Table 3 Specification of seam tracking sensor



Manufacture, Model	ServoRobot, SMART-20LS	
Stand Off(a)	147.1 _m	
Depth Of Field(b)	20 _m	
Field Of View(c)	Close Plane	10.4 _m
	Far Plane	11.4 _m
Data Range	14,400 points per second	
Dimensions	173.2? 1? 13 (mm ³) (1.5kg)	

3. 실험결과

3.1 3차원 차체 용접시스템 기초 성능시험

시제품을 제작하기 전 용접 조건을 도출하기 위해 레이저 출력, 용접속도, 초점깊이 등을 변수로 하여 용접 시험을 실시하였다. 그림 4는 시험방법에 대한 개요이며 표 4는 용접변수에 대한 조건변화표이다. 최적 용접

조건 도출을 위해서 먼저 시편에 대한 육안 검사를 실시 하였으며, 최적조건이라 판단되는 3번, 14번 시편들에 대해 인장시험 및 조식을 관찰함으로써 기초 성능시험을 실시하였다.

위 시험 조건 중 백비드(back bead)의 양 및 속도 등을 주 변수로 설정하여, 14번 조건을 최적조건으로 도출 하였다. 그림 5는 14번 조건의 용접시편사진이다.

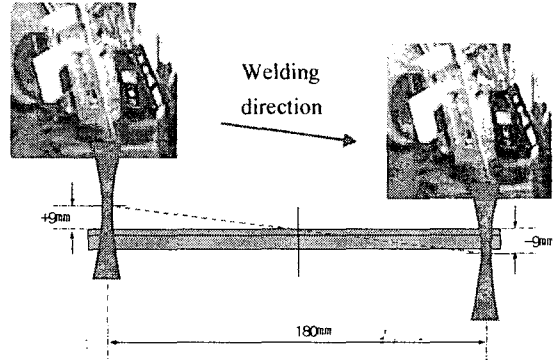


Fig. 4 Diagram of searching for welding conditions

Table 4 Conditions for laser welding test

No.	Power (kW)	Speed (m/min)	No.	Power (kW)	Speed (m/min)
1	3.0	0.9	9	3.5	2.5
2		1.5	10		3.0
3		2.1	11		0.9
4		2.5	12		1.5
5		3.0	13		2.1
6	3.5	0.9	14	3.8	2.5
7	1.5	15	3.0		
8	2.1				

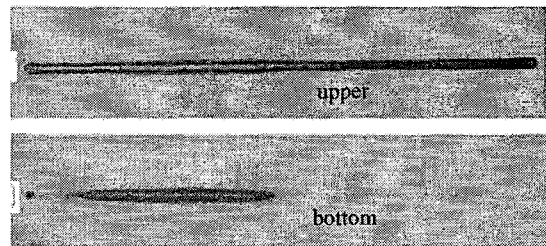


Fig. 5 Specification of laser welding (No 14)

그림 6은 3차원 레이저 용접한 시편의 조식사진이다. 그림에서 보는 것과 같이 본 레이저 용접시스템에서 실시한 레이저용접 결과의 양호하며, 침착된 부의 정도에 따라 용접품질이 좌우되는 것을 알 수 있다. 프레소중 사이의 간극이 0.2_m 이하로 레이저 용접은 가능

하지만 최적의 레이저용접 조건 도출을 위해서는 용접지그의 최적설계 및 개발을 위한 연구가 필요하다. 본래에 들어서는 고속력 레이저와 MIG (또는 TIG)용접을 결합한 하이브리드 용접을 적용함으로써 프레스품간의 간극을 극복하려는 노력이 이루어지고 있다.

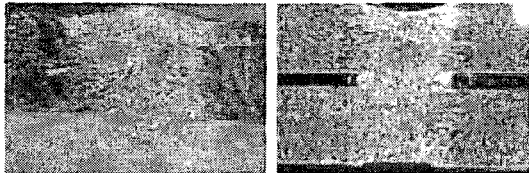


Fig. 6 Lap joint in laser welding

그림 7은 3차원 레이저 용접 시공전 및 시제품 개발을 위한 시험 결과이다. 구성된 레이저 용접시스템을 이용하여 프레스 품을 고정할 수 있도록 간단한 시험용 지그를 제작한 후 차체부품인 Front side member 및 Fender apron, Radiator support member에 대하여 시험을 실시하였다.

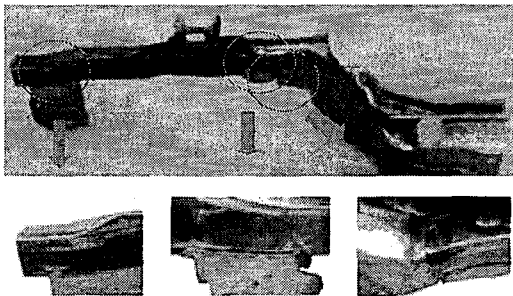


Fig. 7 Laser welding and prototype samples (Front Side Member)

아래 그림 8은 실제 구비된 용접 시스템과 이를 통해 용접된 비선형 TB이다. 용접선이 비선형이므로 용접선 추적장치를 활용하여 용접을 수행했고, 로봇 기구부에서 레적을 형성하는 것도 가능하다.

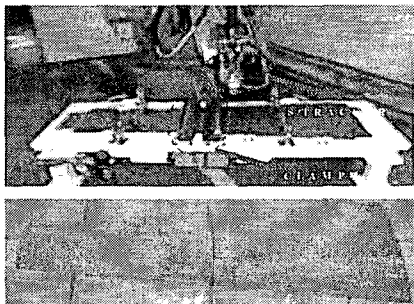


Fig. 8 Laser welding jig and sample for non-linear TB

4. 결론

4kW급 Nd:YAG 레이저 및 로봇과의 인터페이싱을 토대로 3차원 레이저 용접 시스템을 구축하고, 시제품 제작용 용접지그를 설계 제작하여 레이저 용접 시스템에 대한 기초 성능시험 및 평가를 실시하였다. 비선형 용접을 위해 Seam Tracker를 설치하여 이에 대한 제어기술을 개발하였다.

금속에 대한 접합연구를 실시하여 용접조인트 및 결함부를 분석하였으며, 비선형 TB용 지그를 설계하여 그 시제품을 제작하였다.

본 연구의 결과를 토대로 기대할 수 있는 것은 기술적, 경제적 효과를 들면 차량경량화 및 용접공정의 70% 레이저 대체 기술기반 구축, 3차원 레이저 용접용용 박판 구조물 생산기술 확립, 재료비 절감을 통한 자동차 차체 용접라인의 투자비 15% 절감 및 공정 80% 축소 등을 들 수 있다. 본 연구를 통해 개발된 기술을 적용할 수 있는 분야로는 경량화 및 고안전도가 요구되는 고속전철, 조선, 항공기 분야와 자동차 부품제작 및 조립공정 분야가 있다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 지원한 성장동력사업의 연구비로 수행되었습니다. 감사드립니다.

참고문헌

1. Williams N. T. and Waddell W., "High Speed Resistance Seam Welding of Uncoated and Coated Steels," Technical Steel Research Commission of the European Communications, Report No. EUR 1150 EN, 1988.
2. Eimermann T., "Hem Flange Laser Welding," 25th ISATA Symposium, No. 921089, Florence Italy, 1992.
3. Abermen Z., "Doors and Hoods Laser Welding Replace Gluing or Spot Welding," 25th ISATA Symposium, No. 921025, Florence Italy, 1992.
4. Gittos M. F. et. al., Heat-Affected Zone Cracking of Al-Mg-Si Alloys, Welding Journal, June, pp95s-103s, .1981.
5. Coste F. et al, "A Rapid Seam Tracking Device for YAG and CO₂ High Speed Laser Welding," Proc. ICALEO 85, F217-223, 1998.
6. LIA Handbook of laser materials processing, pp.162-166, Laser Institute of America, Magnolia Publishing Inc., 2001.