

조선 판넬생산을 위한 하이브리드 레이저 용접에 대한 연구

이윤식 · 신정현 · 김하근 · 김지은

大韓熔接·接合學會誌 第27卷 第4號 別冊

2009. 8

조선 판넬생산을 위한 하이브리드 레이저 용접에 대한 연구

이윤식 · 신정현 · 김하근 · 김지은

Study on Hybrid Laser Welding for Panel Fabrication in Shipbuilding

Yun Sig Lee, Jung Hyun Shin, Ha Gun Kim and Ji On Kim

1. 서 론

조선에서 용접은 생산공정의 핵심적인 요소이며 용접 공정 기술에 따라서 전체 선박의 품질 및 생산성과 경쟁력을 좌우한다. 따라서 품질 및 생산성 향상을 위해서 여러 가지 용접기술들이 사용되고 있으며 새로운 기법들이 개발되고 있다. 고밀도 열원을 사용하는 레이저 용접의 적용도 오래도록 검토되어 왔으나 유럽 조선소와는 달리 국내 조선환경의 특성상 여러가지 제약요건으로 적용이 되고 있지 못한 실정이나 광파이버 전송용 레이저의 고출력화와 안정화에 힘입어 미래에는 활발하게 사용될 것으로 기대된다.

조선분야의 레이저는 주로 용접과 절단에 적용이 되고 있다. 레이저 용접은 일차적으로 기존의 가공 공정을 대체하는 개념에서 단위공정의 생산성 및 열변형 감소 등의 품질향상을 목적으로 사용되었다. 보다 발전된 단계로는 레이저 가공의 특성을 설계에 반영하여 샌드위치 판넬과 같은 구조강도 향상의 효과를 달성하였다. 또다른 유형은 레이저의 복합기능을 이용하여 장비 운영효율을 극대화하고자 절단, 용접, 마킹 등을 단일 작업장에서 수행할 수 있도록 하는 것이나 생산라인의 운영측면에서 유리한 방법은 아닌 것으로 평가된다. 유럽, 일본, 미국 시장 등에서의 레이저 가공 적용현황을 살펴보면 유럽에서 레이저 용접, 절단 등이 가장 활발하게 사용하고 있는 것으로 알려져 있다. 일본은 절단 품질의 향상을 통한 로봇 용접 효율 향상, 블록 조립 정도 향상 측면에서 적용이 되고 있다. 미국도 주로 정도 향상을 위해서 레이저 절단이 사용되고 있으며 군수 산업분야에서 클래딩, 표면 경화 등과 같은 표면처리 분야에 적용되고 있다. 90년대 중반에 고속 전투함의 경량화를 위해서 코루게이션 판넬 제작에 레이저 용접을 적용하였으나 활발하게 적용하고 있지는 않은 것으로 보인다. 용접분야에서의 레이저 적용은 핀칸티에리, 마이어, 크베너, 블룸 & 보스, 옌센 등의 유럽 조선소

에서 여러 형태로 활발하게 적용하고 있다. 독일 마이어조선소는 샌드위치 판넬에 레이저 용접을 적용하여 크루즈선의 공간활용 확대, 강도 및 방화성 향상, 경량화 등의 목적을 달성하였으며 최근에는 판넬 제작 라인에 하이브리드 레이저 용접을 적용하여 판넬 턴오버 제거, 열변형 감소 등을 통하여 블록 제작 정도 향상, 도크 회전을 향상 등의 목표를 달성하였다고 보고되고 있다. 이외에 블룸 & 보스 조선소가 판넬 제작 라인의 필렛 용접에 레이저를 적용하였다. 유럽 조선소의 활발한 레이저 도입에 자극을 받은 미국의 조선업계도 레이저 용접의 도입을 적극검토하고 있는 것으로 알려지고 있다¹⁻⁷⁾.

최근 수년 사이에 디스크 레이저, 파이버레이저와 같은 광파이버 전송이 가능한 레이저의 고출력화가 진행되면서 CO₂레이저의 빔 전송 한계성이 극복되고 있으며 하이브리드 레이저 용접 장치의 모바일화가 가능하게 되었다. 따라서 일반적으로 조선 판넬 생산라인에서 사용되는 캐리지 형태의 소형 용접장치에 하이브리드 레이저 헤드의 탑재가 가능하므로 전체 생산라인의 개조 작업 없이 손쉽게 하이브리드 레이저 용접을 판넬 생산 라인 등에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 조선에서의 절단작업은 대부분 NC 플라즈마를 사용하므로 기계 가공이나 레이저 절단면과 같은 정도를 기대하기 어렵다. 따라서 하이브리드 레이저 용접을 플라즈마 절단면에 적용하기 위해서는 조인트 갭의 크기에 대응할 수 있는 시스템의 구성 및 용접 변수 조절이 필수적이다^{8,9)}.

본 연구를 통해서 갭브리징에 영향을 미치는 용접변수를 도출하고 용접선 자동추적 기능을 갖는 소형의 하이브리드 용접용 시스템을 레일 주행과 레일에 탈착이 가능하도록 개발하였으며 기존의 현장 조건을 기준으로 용접실험을 수행하여 양호한 용접성을 확보하고자 하였으며, 판계용접 시편에 대한 좌굴 변형 해석 및 측정을

통해서 기존 용접대비 용접 변형 감소 정도를 파악하고자 하였다.

2. 연구 내용

2.1 하이브리드 용접 캐리지 장치

레이저 또는 하이브리드 레이저 용접은 용접 주행 시의 진동에 대한 안정성을 확보하고자 통상적으로 고정된 구조물이나 이동식 대형 갠트리 시스템을 이용하고 있다. 따라서 기존 생산공정에 적용하기 위해서는 생산라인의 전면적인 개조공사를 수반하게 되므로 과도한 시설투자 및 시간적인 손실을 유발한다. 이러한 제약사항 등을 극복하고자 2003년 당사 내부적으로 IK12(가스절단용 캐리지)를 이용하여 캐리지 주행 시의 하이브리드 레이저 용접 영향에 대한 실험을 실시한 바 있으며 긍정적인 실험 결과를 확보한 바 있다. 따라서 2007년 수동식 캐리지를 개발하여 하이브리드 레이저 용접의 적용에 대한 실험을 본격화 하였고 2008년 비전센서를 부착한 자동 하이브리드 레이저용접용 캐리지를 개발하였다¹⁰⁾.

하이브리드 레이저 용접 장치는 그림 1과 같이 주행이 가능한 직선 레일과 레일에 착탈할 수 있는 소형 캐리지로 구성하였다. 소형 캐리지는 직선 레일에 장착되어 주행 시 진동을 최소화 할 수 있는 구조로 설계되었으며 용접선 정렬을 위한 보조 지그와 용접선 추적용 비전센서를 갖추고 있다. 하이브리드 레이저 용접 시 조인트에 대한 레이저의 입사 위치가 용입의 균일성에 영향을 미치므로 안정된 용입을 확보하기 위하여 용접선 추적용 레이저 비전센서를 채용하였다. 레이저 비전센서는 조인트의 갭 또는 택비드(tack bead)가 시공된 상태에서도 정해진 궤적을 추적할 수 있도록 하여 궤적 이탈에 의한 용접 불량을 방지하도록 하였다.

제어시스템은 그림 2와 같이 아크용접 및 레이저 변수, 캐리지 속도, 위치추적 제어 등이 가능하도록 통합

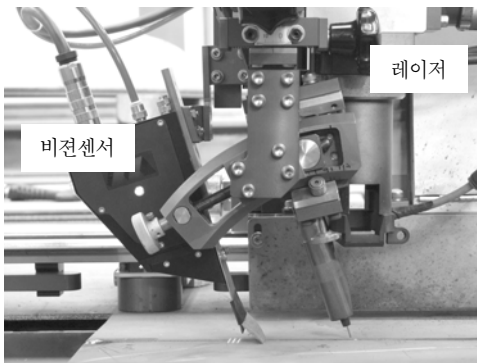


그림 1 하이브리드 레이저 용접캐리지

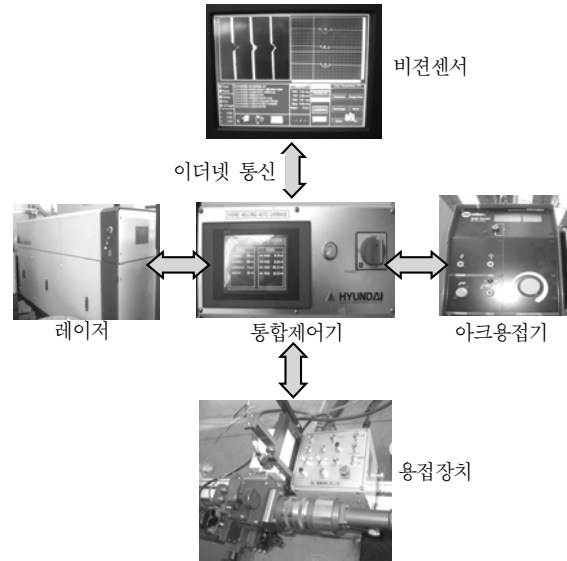


그림 2 제어시스템의 구성

제어장치를 구성하고 용접 작업의 조작성을 위해서 캐리지에 일체의 제어 버튼을 장치하여 작업자의 동선을 최소화하였다.

2.2 하이브리드 레이저 용접 실험

하이브리드 레이저 용접 실험은 박판 판넬의 맞대기 조인트를 대상으로 수행하였으며 그림 3과 같이 플라즈마 절단면에 대해서 별도의 전처리 작업을 거치지 않고 사용하여 기존 현장조건을 유지하도록 하였다. 하이브리드 레이저 용접은 주행속도, 레이저의 출력(4kW)과 초점거리(200mm), 레이저 빔과 아크 전극간의 간격(1~4mm), 아크 용접의 전압, 와이어의 송급속도 그리고 보호가스(CO₂, Ar 혼합가스) 종류 및 유량 등이 제어 변수가 된다. 레이저는 최대출력 4kW의 Nd:YAG 레이저를 광파이버로 50미터 전송하여 사용하였다. 각각의 변수를 조정하면서 상하면의 비드형상을 안정하게 확보될 수 있도록 하였다. 조인트의 갭은 약 1mm까지는 하부비드를 정상적으로 확보할 수 있었으나 그 이상에서는 용락으로 인하여 정상적인 용접부 형상을 확보할 수 없었다³⁾. 따라서 조인트의 갭은 1mm를 넘지 않는 범위 내에서 유지하도록 제한하였다. 표 1은 하이브리드 레이저 용접 캐리지를 이용한 용접 실험결과를 보여주고 있다¹⁰⁾.

2.3 하이브리드 용접부의 변형 해석

주판 두께가 6mm이하인 박판 판계 용접 시 직경 1.6mm의 용접봉과 SW101을 이용한 양면 SA 용접에

표 1 하이브리드 레이저 용접 실험결과

No	두께 (mm)	용접 속도 (m/min)	GM(선행) / 레이저(후행)	용접부 단면
1	4.5	1.2		
	Upper bead	Lower bead		
2	4.5	1.5		
	Upper bead	Lower bead		
3	6	1.0		
	Upper bead	Lower bead		
4	7	1.0		
	Upper bead	Lower bead		

의한 통상적인 용접 속도는 800mm/min이하 수준이다. 그러나 4kW 레이저 하이브리드 용접을 적용할 경우 용접 속도는 1000mm/min ~ 1500mm/min 수준까지 증가하며, 최대 7mm의 주판 두께까지 편면 용접의 적용이 가능하므로 생산성 향상 및 용접 입열량의 감소를 통한 변형 교정 공수를 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 박판 판계 용접부의 좌굴 변형 제어와 생산성 향상 방안으로 레이저 하이브리드 용접의 적용 방안을 검토하였다. 이를 위하여 먼저 소형 시편을 이용하여 용접 조건을 적정화하고 비선형 좌굴 해석(nonlinear buckling analysis)을 통하여 박판 판계 용접부의 좌굴 변형 거동을 평가하였다.

그림 3은 박판 판계 용접 시 비선형 좌굴 해석을 이용하여 용접 기법에 따른 주판의 좌굴 변형 양상을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 좌굴 변형은 그림 3과 같이 단위 용접부에 대한 변형 측정 결과를 바탕으로 주판 두께가 5mm 이고 폭과 길이가 각각 1450mm와 2500mm인 주판에 대해 용접 변형 해석을 수행하고 이를 초기 부정(initial imperfection)으로 가정하여 비선형 좌굴 변형 해석을 통해 평가하였다. 이때 적용된 하중은 용접선 방향의 수축 하중이다.

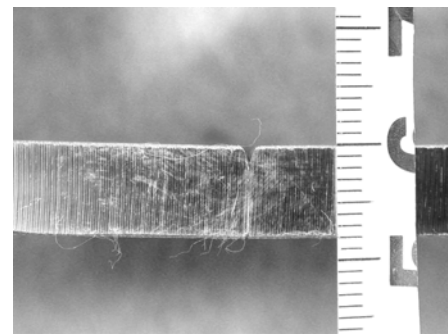


그림 3 맞대기 조인트(플라즈마 절단면 취부)

그림 4의 (a)와 같이 SA 양면 판계 용접 시 주판의 최대 변형은 -5.6mm ~ 11.8mm 수준으로 1파의 웨이브형 변형이 발생하고 있으나 그림 4의 (b)와 같이 레이저 하이브리드 용접이 적용된 주판에서 변형은 거의 발생하지 않아서 용접 수축 하중에 의한 좌굴 변형 발생 가능성을 배제할 수 있음을 알 수 있다. 이는 주판 두께가 5mm인 경우 레이저 하이브리드 용접에 의한 입열량은 103cal/mm이며, 이는 SW101을 이용하여 SA 양면 판계 용접 시 입열량인 427cal/mm의 25% 수준에 불과하기 때문이다.

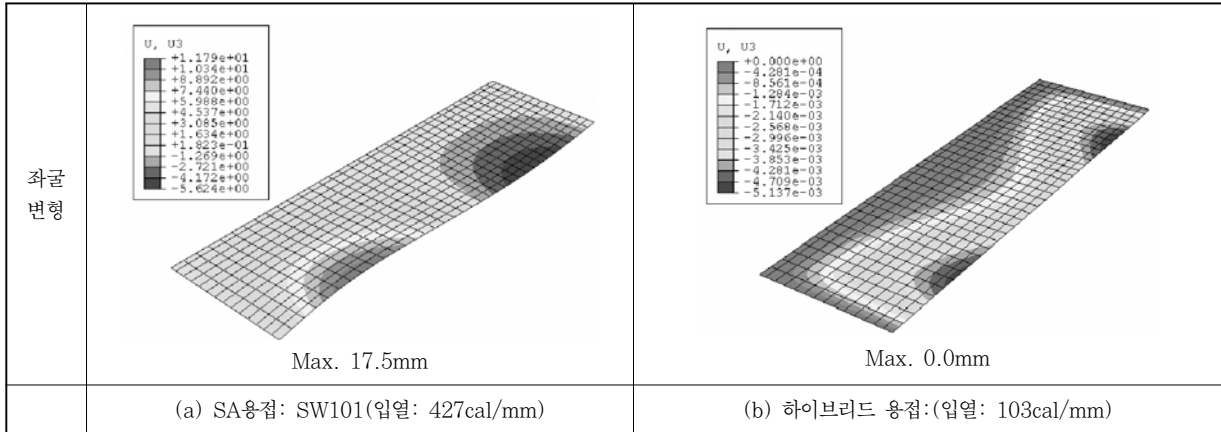
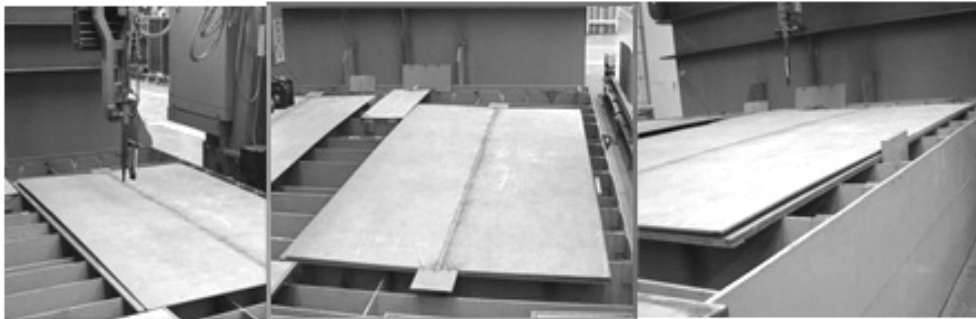
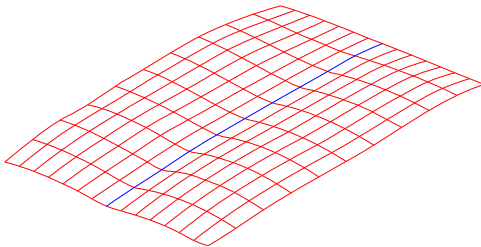


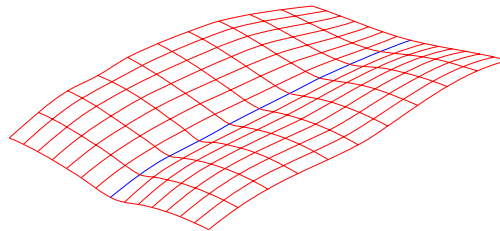
그림 4 판계 용접시 비선형 좌굴 해석을 이용한 주판의 좌굴 변형



(a) 주판의 최종 변형 양상



(b) 3차원 변형 계측에 의한 초기 변형 (× 10배)



(c) 3차원 변형 계측에 의한 최종 변형(× 10배)

그림 5 레이저 하이브리드 용접에 의한 주판의 변형 양상

그림 5는 레이저 하이브리드 용접에 의한 주판의 변형 양상을 나타낸 것이다. 그림 5의 (a)는 주판의 최종 변형 양상을 보여주고 (b)는 3차원 계측에 의한 초기 변형을 보여준다. 하이브리드 레이저 용접을 수행하였을 경우 그림 5의 (c)와 같이 주판의 변형 계측 결과를 10배 확대한 변형 양상에서 알 수 있듯이 용접선 길이 방향의 중 굽힘 변형만이 다소 발생하였음을 알 수 있다. 이상의 유한 요소 해석 결과로부터 박판 판계 용접시 레이저 하이브리드 용접에 의한 좌굴 변형 제어 효과를 평가하였으며, 레이저 하이브리드 용접에 의한 좌굴 변형 제어 효과를 확인하였다.

3. 결 론

하이브리드 레이저 용접을 위한 레일 주행형 소형 용접 장치를 개발함으로써 생산라인의 레이아웃 변경 없이도 하이브리드 레이저 용접을 손쉽게 적용할 수 있는 기반을 구축하였다. 즉 대형 갠트리형 장비구성 및 기존 생산라인의 변경에 필요한 시설투자 비용을 절감하고 용접 장치의 이동성을 구현함으로써 하이브리드 레이저 용접이 가지는 제약사항들을 일정 정도 극복했다고 할 수 있다.

하이브리드 레이저 자동용접용 시스템은 광파이버 전

송장치와 연결된 레이저 헤드와 아크 용접 토치를 장착하여 경량 알루미늄 레일 상을 주행하면서 용접선을 자동으로 추적할 수 있도록 하였다. 현재의 레이저 출력으로는 6~7mm 두께가 원런 원패스 용접의 한계이지만 파이버 레이저나 디스크 레이저를 채용하면 출력 상승에 따라 후판 용접까지 가능할 것으로 기대된다. 또한 레이저 자체도 소형, 경량화가 됨에 따라서 레이저 발생장치까지 포함한 이동형 장치로 구성할 수 있으므로 향후 조선 분야의 적용 확대가 기대된다. 또한 관계용접부에 대해서 선형 좌굴변형 해석과 용접 시편의 변형양을 측정 비교함으로써 하이브리드 레이저 용접 구조물의 변형해석 기반을 확립하였으며 하이브리드 레이저 용접으로 제작된 판넬이 블록 정도 향상에 미치는 영향에 대해서 확인하였다.

참 고 문 헌

1. V. Merchant, "Shipshape Laser Applications", Industrial Laser Solutions, August(2003)

2. Frank Roland, "LASER WELDING IN SHIPBUILDING-CHANCES AND OBSTACLES", Convergent Energy Focal Spot Seminar, Orlando FL, March 1998
 3. Frank Roland, "Trend, Problems and Experiences with Laser Welding in Shipbuilding", IIW Shipbuilding Seminar, Odense, DK, April 1996
 4. Paul A. Blomquist, "Lasers in US Shipbuilding", Industrial Laser Solutions, April 2002
 5. Konrad Wegener, "Shipbuilding Experience in Revolution", Industrial Laser Solutions, December 2002
 6. Paul Denney, "LASERS: The New Wave in Ship Construction", Welding Journal, March 2001
 7. Matsuoka Osamu, Kimoto Nobuyaki, "Application of Laser Cutting in Ship Building yard", *ザレ加工學會誌* **13-1**(2006)
 8. M. Wouters, J Powel, "The influence of joint gap on the strength of hybrid Nd:Yttrium-Aluminum Garnet laser-metal inert gas", *Journal of Laser Applications*, **18-3**(2006)
 9. Claus Bagger, Flemming O. Olsen, "Review of laser hybrid welding", *Journal of Laser Applications*, **17-1**(2005)
 10. 신정현, 이윤식의, "조선 적용을 위한 하이브리드 레이저 용접 캐리지 개발", *한국레이저가공학회지* **11-3**, 2008년 9월



- 이윤식
- 1966년생
- 현대중공업 산업기술연구소 자동화연구실
- 생산자동화 및 레이저 응용시스템 개발
- e-mail : mecha@hhi.co.krr



- 김하근
- 1971생
- 현대중공업 산업기술연구소 재료연구실
- 용접역학
- e-mail : hagun@hhi.co.krr



- 신정현
- 1966년생
- 현대중공업 산업기술연구소 자동화연구실
- 용접자동화 및 레이저 응용시스템 개발
- e-mail : shin7129@hhi.co.kr



- 김지은
- 1962년생
- 현대중공업 산업기술연구소 자동화연구실
- 조선 생산정보 및 생산자동화 시스템
- e-mail : kimjion@hhi.co.kr