

2. 특집기사

레이저 하이브리드 용접 기술의 조선 적용

Study on the Laser Hybrid Welding Technology for Shipbuilding



김 형 식

Hyung-shik Kim

- 현대중공업 산업기술연구소
- e-mail : hskim@hhi.co.kr

1. 서 론

레이저 용접 기술은 종래의 기법에 비해 용접변형을 최소화하면서 고속용접이 가능하기 때문에 여러 분야에서 다양하게 적용되고 있다. 주로 전자, 자동차 부품 등의 용접 분야에 적용이 되고 있으나 고출력 레이저의 안정화, 와이어 첨가 레이저 용접, 레이저 아크 하이브리드 용접, 레이저 플라즈마 하이브리드 용접 등의 다양한 기술이 개발되면서 중공업, 조선 산업 분야 등에서도 적용이 확대되고 있다. 선박생산 분야에서 경량화와 생산성 증가 등의 목적으로 생산라인에 레이저 또는 레이저 하이브리드 용접을 적용하고 있다. 유럽, 미국의 자동차 업계는 물론 국내 자동차 업계도 레이저 용접을 일부 도입했으며 적용 분야를 확대하고 있다.

조선 산업분야에서는 경량화, 단위 용접 공정의 생산성 향상, 정도관리(열변형 방지)를 통한 공수

절감 등을 목적으로 유럽, 미국 등에서 적용하고 있다. 선박 건조에 레이저 용접 시스템을 적용하기 위해서는 부재의 두께에 따라 적절한 출력을 선정해야 하며, 긴 용접장에서 발생하는 부재간의 간격을 최소화하기 위한 정밀한 절단법 및 두 부재를 정확하게 맞추기 위한 fit-up방법도 검토되어야 하고 공정 중 자동화에 필요한 용접선 추적 시스템이나 높이조절 센서 적용 등 다양한 부분에서 연구가 필요하다.

레이저 용접을 적용하고자 하는 선박의 선실은 다른 구조물과는 달리 박판을 주로 사용하므로 레이저 적용 가능성이 상대적으로 높다. 선실의 대부분을 차지하는 박판(5~8mm) 부재의 관계는 SAW기법으로 부재의 양면을 용접하는데 이 때 고중량의 거대한 부재를 뒤집을(turn over) 때의 낙하위험 및 변형 문제가 제기된다. 보강재인 론지(longitudinal member) 용접에서도 각변형 및 길이방향의 굽힘 변형이 발생하여 후 공정 조

럽에 문제를 야기하므로 용접 후 추가로 교정 작업이 필요하다. 이러한 문제점들을 해결하고자 유럽의 선진 조선소에서는 레이저 절단, 용접을 도입하여 생산에 적용하고 있으며 이를 통해 생산성 및 품질향상과 더불어 선체 경량화를 통한 선박 성능 향상, 자동화를 통한 공수 절감 등의 목적을 이루고 있다¹⁾.

2. 레이저 하이브리드 용접기술

2.1 용접 특성과 적용효과

레이저 하이브리드 용접은 여러가지 장점들이 있겠지만 기존의 레이저 용접에 비해서 재브리징 능력을 향상시킴으로써 조인트 요구정도를 완화할 수 있다. 따라서 레이저 용접의 현장 제한성을 Fig. 1과 같이 아크용접으로 보완한 공정으로 중공업, 조선 등의 분야에서 적용성을 한차원 높은 프로세스로 평가된다. 맞대기 이음은 물론 필릿 이음에서 편면 완전 용입 특성에 의한 용접장의 축소는 물론 구조 강도상 요구되는 각장을 용접속도의 저하 없이 달성할 수 있으므로 론지 등의 보강재 용접 공정에 효과적으로 적용될 수 있다.

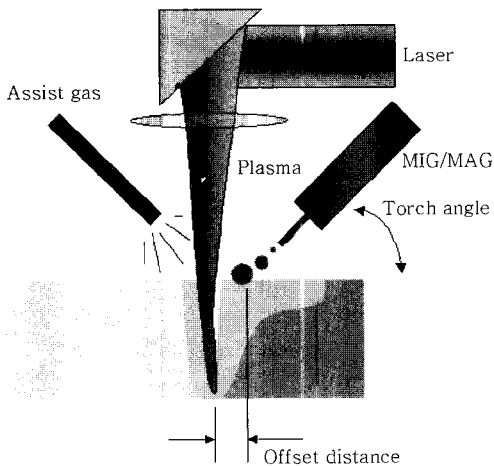


Fig. 1 하이브리드 레이저 용접

따라서 Fig. 2에서 보듯이 기존 레이저 용접이 제공하는 저입열 고속 편면 용접 특성을 제공하면

서 여성고와 필요 각장을 형성하므로 용접 변형 감소에 의한 후공정 조립공수 절감, 불록 정도 향상에 따른 탑재 공정 공수 절감, 도크 회전율 향상 등을 달성 할 수 있다. 또한 판재 사용의 범위가 확장됨에 따라서 최적 설계에 의한 선박 경량화도 달성할 수 있다. 따라서 하이브리드 레이저 용접 적용을 통해서 생산성 향상 및 품질향상, 원가 절감 등의 복합적인 효과를 달성할 수 있을 것으로 기대된다^{2,3)}.

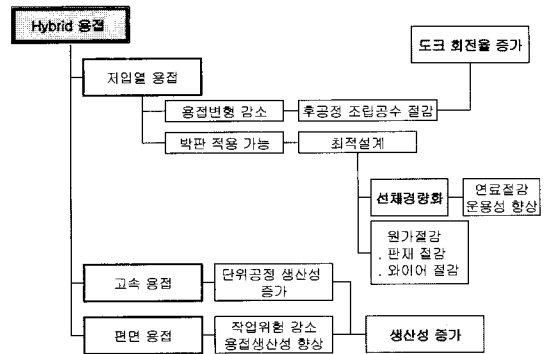


Fig. 2 하이브리드 레이저 용접 특성 및 효과

2.2 조선에서의 적용 현황

중공업 및 조선 분야에서 레이저 하이브리드 용접은 맞대기 이음과 필릿 이음에 적용할 수 있다. 특히 기존의 용접에 비해서 입열량이 적으므로 용접 변형이 문제가 되는 공정이나 생산성 증가 등이 필요할 경우에 효과적으로 적용이 가능하다. Fig. 3에서 보듯이 맞대기 이음의 적용은 변형 감소 외에도 편면 원런(one run) 용접이 가능하므로 턴오버에 따른 작업 위험 요인 제거와 용접 속도 향상으로 인한 생산성 및 생산량 증가 등의 효과를 볼 수 있다. 필릿 이음의 경우에는 다양한 형태로 적용이 가능하다. 레이저를 시분할(time sharing)함으로써 스티치 용접에 효과적으로 적용할 수 있다. 1대의 레이저를 이용하여 스티치 용접 구간 설정에 따라서 다수대의 캐리지를 운영하는 효과를 볼 수 있다. 또한 편면 용접 특성을 이용하여 연속 용접으로 처리할 수 있으므로 맞대기 용접에서와 같이 용접장을 반으로 감소한 효과

를 볼 수 있다. 분당 1m/min 이상의 용접속도와 용접장 감소효과로 인한 용접 생산성 향상을 기대할 수 있으며 용접 변형 감소에 의한 블록 정도 향상, 후공정 교정 공수 절감 등의 효과도 예상된다.

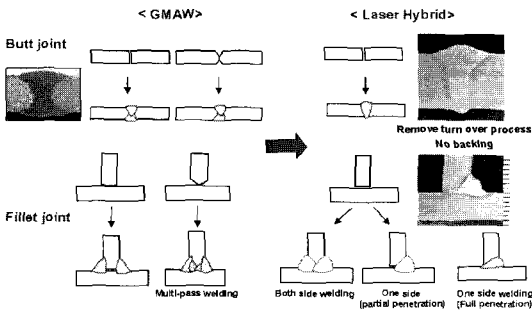


Fig. 3 맞대기/필릿 이음부의 하이브리드 레이저용접 적용

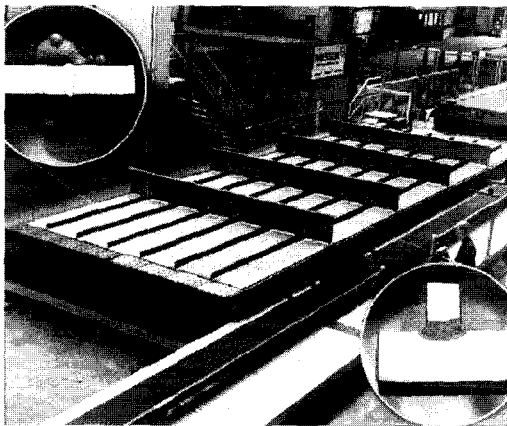


Fig. 4 조선 판넬의 레이저 용접

특히, T-바의 경우 길이 방향의 변형 (longitudinal bending distortion)이 문제가 되는 경우 후공정의 교정공수를 절감할 수 있을 것이다. 론지 용접에 있어서도 각 변형 (angular distortion)이 감소되므로 전체 블록의 정도향상에 기여할 것으로 보인다. 향후 로-팩스 (Ro-PAX)선과 같이 상부 데크의 규모가 커지는 선종의 경우 선체 경량화 차원에서 데크의 생산에 두께 6mm 이하의 박판 판재의 사용이 증가할 것으로 예상되므로 용접 열변형의 제어가 선박의 품질 및 생산성을 좌우하는 결정적인 요소로 작용할 것이다⁴⁾.

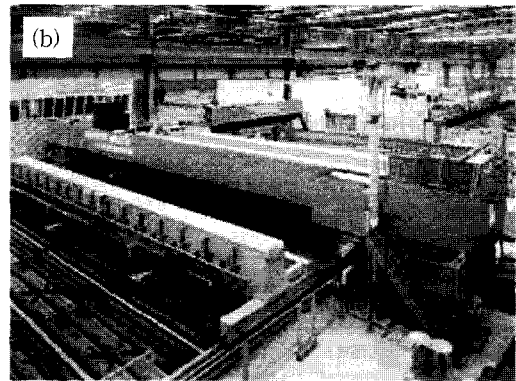
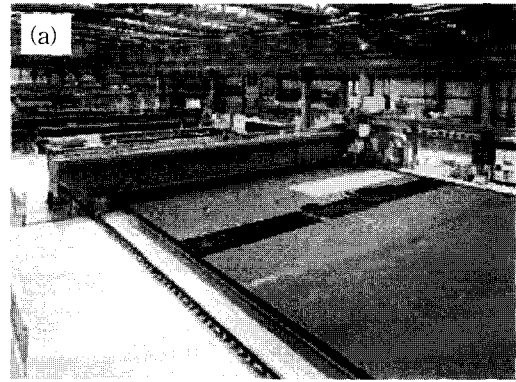


Fig. 5 마이어 조선 보강재 용접 장치 구성

레이저 용접은 주로 유럽 조선소를 중심으로 적용이 활발하게 진행되고 있다. 이태리 핀칸티에리, 독일 마이어, 블룸엔보스(Blohm & Voss), 크베너, 덴마크 오펜세조선소 등 거의 대부분의 유럽 조선소가 레이저 절단, 용접 등을 다양하게 적용하고 있다. 열변형 감소와 용접 생산성 향상 측면에서 도입을 하였으나, 최근에는 생산 공법의 개선 사항을 설계에 적용하여 선체 경량화와 연계하여 적용함으로써 선박의 운용성 측면에서도 기여하고 있다. 독일 마이어 조선소는 레이저 용접을 응용한 샌드위치 판넬, 최근의 CO₂ 하이브리드 레이저용접의 판넬 생산라인 적용을 통한 레고 원리의 생산 도입 등으로 도크 회전율을 40% 향상시킨다는 목표를 세우고 활발하게 적용하고 있다.

미국 조선소의 경우 90년대 중반까지 샌드위치 판넬의 일종인 라스코(LASer CORrugated panel)를 구축함 생산에 적용하여 선체 경량화와 방화성 강화 등의 성과를 거두었으나 이후 확대

적용은 되지 못하였다. 최근 유럽 조선소의 하이브리드 레이저용접 적용에 자극을 받아 조선 적용을 위한 활발한 연구를 진행하고 있다. 20kW급의 고출력 CO₂ 레이저를 이용하는 것으로 보아 적용 범위를 광범위하게 설정하고 있는 것으로 보인다. CO₂ 레이저용접 시스템 구성의 제한성으로 인하여 화이버 전송을 통한 Nd:YAG 레이저 용접 적용을 위한 연구가 진행되고 있으며 독일 크베너 조선소에 적용연구를 하고 있다.

3. 하이브리드 레이저 용접 공정

3.1 갭브리징 및 기공분석

레이저 용접과 달리 레이저 하이브리드 용접은 맞대기 이음에서의 갭이 어느 정도 존재하더라도 레이저 빔의 손실이 없이 Fig. 6에서와 같이 양호한 용접 비드를 형성할 수 있다. RT를 통한 용접부 기공 검사에서도 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 레이저 용접은 갭이 존재할 경우 레이저 빔의 손실과 키홀의 생성에 문제를 발생시키므로 정상적인 용접이 수행되지 못한다.

Gap	WFS (m/min)	비드형상	매크로	RT (AWS)
0	9.5			Acceptable
1	9.5			Acceptable
1	8.2			Acceptable

Fig. 6 갭에 따른 용접 비드 및 매크로 단면

3.2 레이저 하이브리드 용접 조직 분석

Fig. 7에서는 레이저 하이브리드 용접부와 레이저 용접부의 미세조직을 비교하였다. 우선 레이저 하이브리드 용접부 미세조직을 살펴보면 일반

탄소강 아크 용접부와 마찬가지로 입계 페라이트 (grain boundary ferrite)와 침상 페라이트 (accicular ferrite)가 혼재한 혼상조직을 보이고 있어 일반적으로 용가재를 사용해 용접된 아크 용접부와 별반 차이가 없다. 그러나, 레이저 용접부 미세조직은 레이저 열에 의해 모재가 용융되었다가 다시 응고한 형태로서 주강 조직과 유사한 조직 형태를 보여주고 있다. 즉 다시 말해, 입계에 초정 페라이트가 생성되어 있고, 입내에는 조대한 퍼얼라이트 조직이 생성되어 있어 상대적으로 탄소/탄소당량이 높은 강재의 응고조직과 동일하다.

기법	매크로	용접부	F. L.+1mm	경도
하이브리드				용접부: 200~230 열영향부: 167~235 모재: 161~169
레이저				용접부: 215~241 열영향부: 173~265

Fig. 7 하이브리드 레이저 용접부 조직

한편, 용접 열영향부의 미세조직은 레이저 열영향부 미세조직이 레이저 하이브리드 열영향부 미세조직 보다 훨씬 미세하다는 것을 알 수 있는데, 이는 레이저에 GMAW 기법의 용접 입열이 더해져 상대적으로 용접 입열이 높았던 레이저 하이브리드 용접부가 상온으로 냉각속도가 떨어지면서 레이저 열영향부 보다 조대한 미세조직을 형성하였다.

3.3 절단방법에 따른 용접적용

용접 적용에 있어서 개선면의 품질 정도가 용접성에 미치는 영향은 매우 크다. 기존의 레이저 용접은 개선면의 요구정도가 0.1mm 정도로 매우 엄격하게 관리되어야 하므로 현장 적용 조건을 맞추기가 어려웠다. 이에 반해 레이저 하이브리드 용접은 개선면의 형상에 민감하게 반응하지 않을

뿐만 아니라 일정정도의 갭의 존재는 용융풀의 유동성을 증가시켜 용입성을 증가시키는 역할을 하기도 한다.

따라서 레이저 절단면, 기계가공 면, 플라즈마 절단면 각각을 맞대기 이음면으로 구성하여 동일한 조건의 레이저 하이브리드 용접 조건을 적용하여 비드 형성의 차이를 비교하였다(Fig. 8). 레이저 절단이나 밀링가공은 가장자리 이음을 형성하고 개선 면 맞춤 정도도 비교적 높게 관리 되었으나 플라즈마 절단면은 상하부의 가장자리가 라운드를 형성함에 따라서 직선을 이루지 못한다. 그러나 각각의 용접 결과에서는 큰 차이를 보이지 않았으므로 개선면의 조도 차이는 직선부 형상이 어느 정도의 차이를 보이더라도 레이저 하이브리드 용접 적용에 있어서 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다. 동일한 용접 조건에 대한 실험을 8mm 두께의 강재에 대해서 실시하였다. 속도 저하 없는 동일 조건에서 유사한 결과를 얻을 수 있었다.


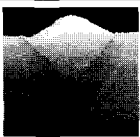
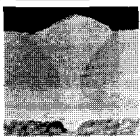
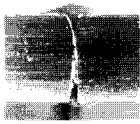
구분	레이저절단	밀링가공	플라즈마절단
용접부 매크로 단면			
비고	레이저 : 4.5kW, 1m/min 시편 : 탄소강 7t		

Fig. 8 절단방법에 따른 맞대기 이음용접

4. 결 론

국내 조선 산업은 후발 조선국에 대해서는 저임금을 무기로한 가격경쟁력에서 또한 일본, 유럽, 미국 등에 대해서는 품질 및 기술면에서 불리한 입장에 처해 있다. 이러한 국면을 타개하기 위해서 제품의 생산성과 품질 향상 등을 위한 기술의

개발이 선행되어 한다. 생산성 향상을 통해서 가격 경쟁력을 유지하고 품질 향상 등의 기술 경쟁력 강화를 통해서 고부가치선 건조시장의 진출, 확대 등을 이루어야 한다.

레이저 하이브리드 용접의 산업 적용을 위해서는 용접 기술, 용접 장치, 기계 구조, 품질 모니터링, 제어 시스템, 센서 응용 기술 등이 복합적으로 개발되어야 한다. 따라서 각각의 기술을 보유하고 있는 전문연구기관 들과 현장 적용을 주관할 수 있는 산업계의 협력이 요구된다. 또한 초기 설비 투자, 개발 기간, 개발 성공의 위험도 등으로 인하여 개별 투자가 어려운 사항이다. 개발 성공 시 용접 전 분야에 걸쳐서 그 파급효과가 상당할 것이다. 조선산업 만이 아니라 자동차, 해양, 중공업 분야로 그 사용이 확대 될 것으로 예상되며 그로 인한 전 산업의 경쟁력 향상을 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. P. Seyffarth, I.V. Krivtsun : Laser-Arc Processes and their Application in Welding and Material Treatment, Welding and Allied processes Volume I, 2002, pp. 145~160.
2. Walter W. Duley: Laser Welding, 1999, pp.137~143.
3. William H. Minnick : Gas Metal Arc Welding Handbook, The Goodheart-Willcox Company, Inc.
4. D. L. Downs, S. J. Mulligan: Hybrid CO₂ Laser- MAG Welding of Carbon Steel - A Literature Review and Initial Study, TWI Research Report, March 2002
5. Germanischer Lloyd Annual Report : Maritime Service, 2001, p16
6. Industrial Laser Solutions, Shipbuilding Experiences Revolution, December 2002