

조선강재의 CO₂레이저-GMA 하이브리드 용접에서 Gap Bridging 향상 기술 개발

Improvement of Gap Bridging Ability in CO₂ LASER-GMA Hybrid Welding

채현병*, 김철희*, 김준기*, 강남현*, 김정한*, 이세현**

* 한국생산기술연구원 정밀접합용접팀

** 한양대학교 정밀기계공학과

1. 서 론

조선산업에서 주판의 맞대기 용접시에는 부재가 공오차, fit-up오차 등에 의하여 불가피하게 이음부에 갭이 발생하므로 갭 대응력이 뛰어난 용접공정의 적용이 요구된다.

레이저-GMA 하이브리드 용접공정은 기존 SAW에 비하여 갭대응력이 다소 부족하지만, 레이저용접에 비해서는 월등한 갭대응력을 가지고 있다. 일반적으로 단독 레이저 용접은 0.1~0.2mm, 용가재를 이용한 레이저 용접은 0.4mm 이하, 그리고 레이저-아크 하이브리드 용접은 1.0mm 이하의 갭 대응력을 가지는 것으로 알려져 있다 [1].

TWI는 CO₂ 레이저-GMA 하이브리드 용접을 두께 8mm의 조선용 강재를 대상으로 와이어 송급속도와 용접속도를 조절하여 1.6mm의 갭 대응력을 확보한 것으로 보고되었다. 그러나 1.6mm의 갭에서는 ISO 13919-1:1997의 Class D에 해당하는 결과로서 언더필을 완전히 제거한 것은 1mm 정도이다 [2]. 또한 TWI는 Nd:YAG-MAG 하이브리드 용접에서 용접속도 조절을 이용한 적응제어를 통하여 1.2mm의 갭 대응력을 성취하였다 [3].

국내에서도 H. S. Kim은 조선에 하이브리드 용접을 적용하기 위한 연구에서 1mm의 갭에서 양호한 용접비드를 얻었으며 [4] J. B. Lee et. al의 연구에서 20mm 두께의 강재에 대한 CO₂ 레이저-GMA 하이브리드 용접에서 약 0.8mm의 갭에 대한 성공사례가 있다 [5]. 또한 K. D. Lee는 6000계열 알루미늄을 대상으로 한 Nd:YAG 레이저-GMA 하이브리드 용접에서 약 1mm의 갭 대응력을 가지는 것으로 조사하였다 [6].

H. Engstrom은 레이저, 플라즈마 절단 및 전 단가공법에 대한 레이저-GMA 하이브리드 용접성에 대하여 연구하였다 [7]. 맞대기용접에서는 절단방법에 따라서 절단면의 모양이 달라지므로 갭을 관리할 수 있는 한계가 정해진다. 따라서 조선산업에서 갭에 대한 허용치가 확대되면 경제적인 절단방법을 사용할 수 있고 생산원가를 낮출 수가 있다.

따라서 본 연구는 선박 상부구조의 데크 등에 사용되는 두께 8mm A grade 강재에 CO₂ 레이저-GMA 하이브리드 용접을 적용시 공정변수에 따른 갭대응력을 평가하였고, 갭 2mm에 대응하기 위한 공정변수를 선정하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 이용한 CO₂ 레이저는 최대출력 12kW급 (Trumpf TLF 12000)를 사용하였으며 레이저 빔의 지름은 0.6mm이다. 초점거리는 250mm이며 모재표면에 초점을 두어 실험하였다. GMA용접기는 500A급 인버터 용접기(Fronius TPS 5000)이며 와이어 송급성을 원활히 하기 위하여 수냉식 push-pull 토치를 사용하였으며 Fig. 1은 본 연구를 위해 셋업한 하이브리드 용접헤드를 보여주고 있다.

사용된 모재는 두께 8mm A grade 강재이며 조인트 형상은 개선을 치지 않은 I-butt형태이다. 절단면은 밀링가공을 하였으며 갭의 크기를 0~2mm로 변화시켜 용접을 수행하였다.

갭이 존재하는 경우에는 이음부의 공간을 채우기 위해 요구되는 최소용착량이 존재한다. 따라서 갭에 따른 와이어 송급량을 계산하였고 그에 따른 전류조건을 GMA용접시 기준조건으로 이용하였다. 실험에 사용된 공통 용접변수 조건은 Table 1과 같다.

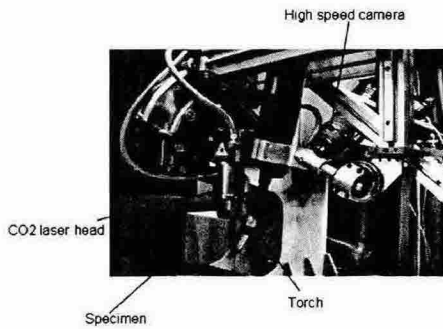


Fig. 1 Experimental setup for hybrid welding

Table 1 Welding conditions used in experiments

Focal length	250mm
Laser head angle	90 deg.
Torch angle	58 deg.
Travel speed	1.5 m/min
Distance between laser spot and electrode	4mm
Electrode diameter	1.2mm, 1.4mm
Shielding gas	Type He, Ar, CO2
	Flow rate 50 l/min

용접단면의 덧살, 이면비드, 언더컷을 실험결과의 평가지수로 선정하여 있으며 전자빔 및 레이저 용접의 용접불량 기준인 ISO 13919-1:1996을 기준으로 공정변수에 대한 영향을 평가하였다 [8].

3. 실험결과 및 고찰

3.1 갭이 없는 용접부의 하이브리드 용접부 특성

갭이 없는 조건에서는 본 연구에서 적용한 다양한 GMA 용접조건에서 Fig. 2와 같이 양호한 비드단면형상이 나타났으며 BOP 용접에서의 조건을 갭이 없는 맞대기 용접에 적용할 수 있음을 확인하였다.

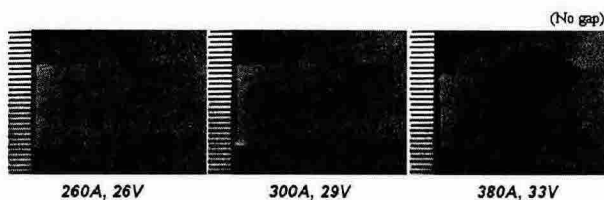


Fig. 2 Cross-sectional view of welds on butt joints with no gap.

3.2 0.5mm 갭에서 하이브리드 용접 특성

갭이 0.5mm일 때 하이브리드 용접부 특성을 Fig. 3에 나타내었다. 이면비드는 전체적으로 양

호하게 나타났으며 용접덧살부는 용접전압이 31V이상에서는 나타나지 않았다. 언더컷은 용접 전류와 전압의 영향을 동시에 받았는데 용접전류는 320A~440A, 용접전압은 23V~31V사이에서 언더컷이 나타나지 않았다.

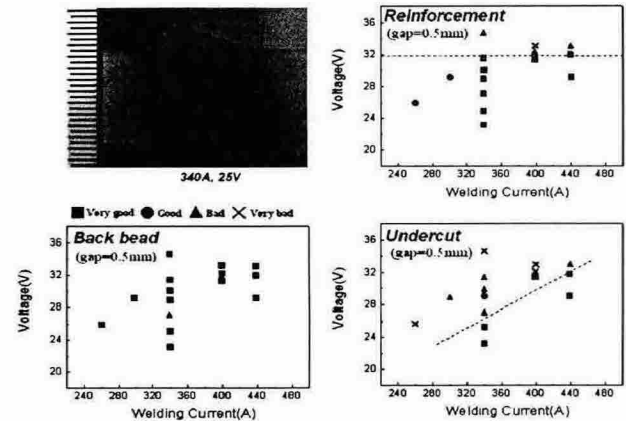


Fig. 3 Effects of process parameters on bead characteristics (0.5mm gap).

3.3 1mm 갭에서 하이브리드 용접 특성

갭이 1mm일 때 백비드는 전 조건에 걸쳐 가장 양호하였으며 용접덧살과 언더컷도 Fig. 4의 점선을 경계로 우변에서는 양호한 결과를 얻었다.

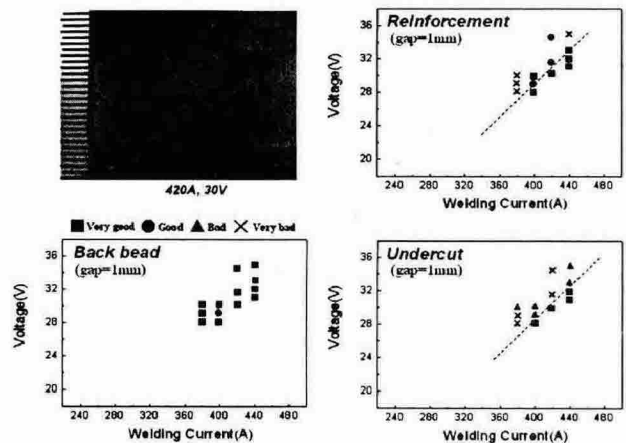


Fig. 4 Effects of process parameters on bead characteristics (1.0mm gap).

3.4 1.5mm 갭에서 하이브리드 용접 특성

갭이 1.5mm일 때는 GMA의 전류와 전압 및 용접속도의 조정만으로는 용접덧살을 얻을 수 없었고, 과도한 이면비드가 형성되었다. 따라서 CTWD를 18mm~32mm까지 조정하여 실험한 결과 CTWD가 28mm 이상인 경우 Fig. 5와 같이 양호한 비드단면을 획득할 수 있었다.

CTWD를 증가시키면 저항증가에 따른 용접전류 감소로 이어지고 아크압력이 감소되어 용융 풀을 밀어내는 힘이 작아지게 된다. 그러므로 용접덧살 확보와 함께 과도한 백비드도 방지할 수 있는 효과를 얻게 된다.

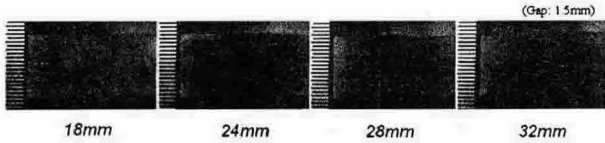


Fig. 5 Effect of CTWDs on bead characteristics with 1.5mm gap.

3.5 2mm 갭에서의 하이브리드 용접 특성

2mm 갭에서는 직경 1.2mm의 GMA 용접와이어로써는 갭 브리징이 불가능하였다. 갭의 크기가 와이어 직경보다 크기 때문에 모재표면에 아크가 형성되지 않고 갭 사이로 통과되는 현상이 나타났다. 따라서 직경 1.4mm 용접와이어를 사용하였다.

2mm 갭에서도 1.5mm 갭에서와 같이 과다 백비드와 용접덧살을 확보할 수 없는 등, 동일한 현상이 발생되었다. 따라서 2mm 갭에서도 CTWD를 증가시켜 용접비드 형상을 제어하는 기술을 사용하여야 하며 Fig. 6과 같이 CTWD를 34mm 정도까지 증가시켜야 용접덧살을 얻을 수 있었다.

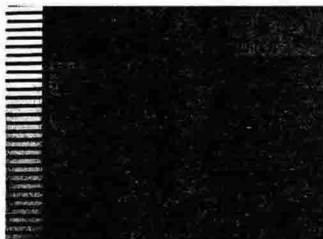


Fig. 6 Cross-sectional view of hybrid weld on butt joining with 2mm gap.

4. 결 론

1. 갭이 존재하는 맞대기 용접부에 CO2 레이저-GMA 하이브리드 용접을 적용하여 2mm 이하의 갭에 적용가능한 공정변수를 선정하였다.
2. 갭이 존재할 때 주로 발생하는 용접불량은 언더필로 인한 용접덧살의 부족과 언더컷이었다. 용접전류, 용접전압, CTWD, 용접와이어 직경이 이들 용접불량에 영향을 주는 공정변수임을 확인하였다.

3. 갭의 크기가 1mm이하에서는 CTWD 제어없이 용접전류, 전압의 조정만으로 양호한 비드를 확보가 가능하였다.
4. 갭의 크기가 1.5mm에서는 양호한 품질의 용접비드를 얻기 위해서는 용접전류, 용접전압 및 CTWD의 제어가 요구되며, 2mm 갭에서는 직경 1.4mm이상의 와이어 사용과 CTWD 제어가 동시에 필요함을 확인하였다.

참고문헌

1. S. Herbert: Laser-hybrid welding of ships, *Welding Journal*, June 2004, pp. 39-43.
2. S. G. Shi and P. A. Hilton: A comparison of the gap-bridging capability of CO2 laser and hybrid CO2 laser MAG welding on 8mm thickness C-Mn steel plate, *TWI Members Report 798/2004*.
3. S. G. Shi, P. A. Hilton, S. Mulligan and G. Verhaeghe: Hybrid Nd:YAG laser-MAG welding of thick section steel with adaptive control, *Proceedings of the 23th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2004*.
4. H. S. Kim: Study on the laser hybrid welding technology for shipbuilding, *Journal of Korean Welding Society*, 22(2), 2004, pp. 117-120.
5. J. B. Lee and S. K. Hong: 조선분야의 레이저-아크 하이브리드 용접기술, 제 1회 중공업 생산성 혁신을 위한 차세대 하이브리드 용접 기술 개발 과제 심포지엄, 한국생산기술연구원, 2004, pp. 13-28.
6. K. D. Lee: Laser-arc hybrid welding process of aluminium alloy, *Journal of Korean Welding Society*, 22(2), 2004, pp. 121-125.
7. H. Engstrom, K. Nilsson, J. Flinkfelt, T. Nilsson, A. Skirfors and B. Gustavsson: Laser hybrid welding of high strength steels, *Proceedings of the 19th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2000*.
8. ISO 13919-1: Welding-Electron and laser beam welded joints-Guidance on quality levels for imperfections- part 1: steel, 1996.