

CO₂ 레이저 아크 하이브리드 용접조건에 따른 용접부 기계·금속학적 특성 평가 A mechanical/metallographical estimation of CO₂ Laser Arc Hybrid welding

진형국*, 김 용*, 이보영**

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 대학원

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

1. 서 론

현재 우리나라의 조선 산업분야는 일본과 함께 전세계 수주량의 70%를 차지할 만큼, 국가의 기반 산업이며 고부가가치 산업이다. 또한 조선 산업에서 용접은 선박 제조공정의 80% 이상을 차지할 정도로 많은 비중을 차지하고 있으며, 이는 용접기술이 바로 선박 건조 기술과 즉결된다는 사실을 말하고 있다. 아크 용접 시 실질적으로 현장에서 가장 문제되는 과도 입열로 인한 뒤틀림의 완화, 작업속도의 향상 및 턴오버 공정의 삭제 등에 관한 끊임없는 연구가 이뤄져야 하며 이에 대한 해결방안은 고밀도의 에너지를 집속하여 사용하는 레이저 용접이 유일하다고 할 수 있다. 하지만 레이저 용접은 빠른 용접속도와 깊은 용입 깊이 및 적은 변형량을 기대할 수 있는 반면에 허용 gap tolerance가 작아 이음부 관리가 까다로우며, 시스템 도입에 따른 기술적인 한계점이 다수 존재한다. 이에 따라 본 연구에서는 레이저-아크 하이브리드 용접의 최적 조건 도출을 위한 기초 연구로 하이브리드 용접부의 기계/금속학적 평가를 수행하였다.

2. 실험 방법

하이브리드 용접부의 형상 분석을 위한 마크로 분석 및 조직 분석을 위한 마이크로 분석, 하이브리드 용접부의 기계적 특성 파악 및 용접 이음과 용접 결함과의 관계를 알아보기 위하여 Table 1과 같은 조건으로 용접하였다. 이 때, 레이저와 아크의 출력만 변화시킬 뿐 이송속도

1.5m/min, 보호가스 He 70%, Ar 18%, CO₂ 12%, CTWD 20mm의 조건은 일정하게 유지하였다. 본 연구에 사용된 시편은 조선 산업에서 많이 사용되는 선체 구조용 A grade 강재로서, 두께는 8mm이고 소재의 조성은 Table 2와 같다.

Table 1. welding condition

Laser	Arc	fit-up condition			
8kW & 12kW	220A, 20V	no gap	BOP	0.5mm	1.0mm
	300A, 25V				
	380A, 30V				

Laser	fit-up condition			
8kW	no gap	BOP	0.5mm	1.0mm
12kW				

Table 2. Chemical composition of base metal

성분	C	Si	Mn	P	S
%	≤0.21	≤0.50	≤0.55	≤0.035	≤0.035

용접부 조직의 마이크로 및 마크로 분석을 위하여 Table 1의 조건에 대하여 용접을 실시하고 #2000까지 Polishing한 후 60% HNO₃, 4ml + 에틸알콜 100ml의 etchant에서 7~15초간 etching하여 용접부 형상에 대한 마크로 분석을 실시하여 Fig 1~Fig 3에 나타내었고 Laser 8kW의 경우 no gap 인 3가지 조건에 대하여는 용접부의 상, 하부를 구분하여 광학현미경으로 200배 마이크로 분석을 실시하여 Fig 4~Fig 6. 에 나타내었다.

하이브리드 용접부의 기계적 특성 데이터 확보를 위해 위에 실시한 실험 중 마이크로 분석을

실시한 3가지 조건에 대하여 인장 시험, 충격 시험 및 경도측정을 하였고 비교 가능한 조건의 시험에 대해서는 추가적으로 경도 측정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

하이브리드 용접부의 마크로 분석 결과는 Fig 1.~Fig 3.과 같고 이를 통하여 동일한 아크 입열량에 대한 gap의 영향과 레이저 출력에 따른 하이브리드 용접부 형상의 차이점을 파악하여 적절한 입열 조건을 산정하는 기반을 마련하였다.

또한 상기한 3가지 조건에 대하여는 마이크로 분석을 실시하여 상, 하부를 구분하여 Fig 4.~Fig 6.에 나타내었다. 아크 용접부의 용착금속은 전체적으로 widmanstatten ferrite조직을 나타낸다. 열영향부(HAZ)는 입열량이 작을수록 ferrite 함량이 적어지며 Bainite 조직이 많아짐을 알 수 있다. 레이저 용접부의 용착금속은 열영향부(HAZ)와 비슷한 조직을 나타냈으며 열영향부에서는 입열량이 적을수록 상부 베이나이트 조직이 많이 존재하며 소량의 grain boundary ferrite 및 acicular ferrite로 형성된 조직을 관찰할 수 있었다.

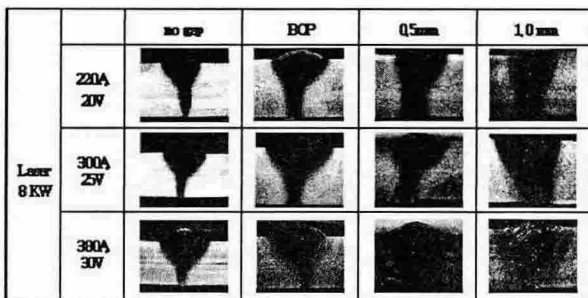


Fig 1. Macro structures when laser power is 8kW

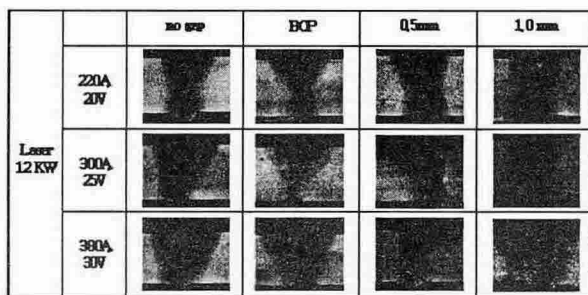


Fig 2. Macro structures when laser power is 12kW

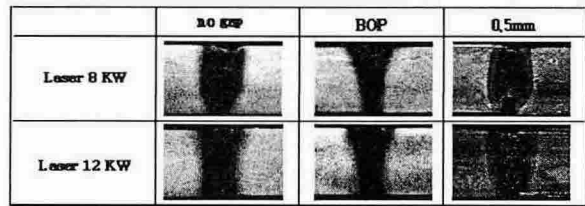


Fig 3. Macro structures when laser power are 8Kw & 12Kw

ASTM 규격에 따르면 SS400 강재는 항복점이 250MPa에 인장강도 400MPa, 충격치가 25J 이상 나오는 강재를 지칭하는데 인장 시험 결과(Table 3 참조) 최종적인 파단은 용접부에서 일어난 것이 아니라 모재부에서 모두 파단이 일어나며 인장강도 및 항복강도를 만족하였고 충격시험 결과(Table 4 참조)도 25J이상이므로 이는 용접부가 견전하게 접합되었다는 사실을 입증한다.

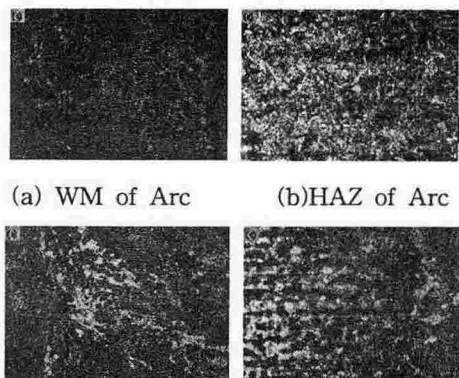
Table 3. Tension test results (MPa)

Laser 8Kw	Tensile strength	Yield strength
220A, 20V	469.9	328.9
300A, 25V	471.6	330.1
380A, 30V	470.4	323.9

Table 4. Impact test results

Base metal	60.8 (J)	
Laser 8Kw	HAZ (J)	Weld metal (J)
220A, 20V	56.2	52.0
300A, 25V	53.1	66.0
380A, 30V	52.1	101.1

또한 상기한 세 조건의 용접부에서 아크 영역과 레이저 영역을 구분하여 경도를 측정한 후 결과를 Fig 7.에 나타내었다.



(a) WM of Arc (b)HAZ of Arc
(c) WM of Laser part (d) HAZ of Laser part
Fig 4. Micro structures 8kW & 220A, 20V

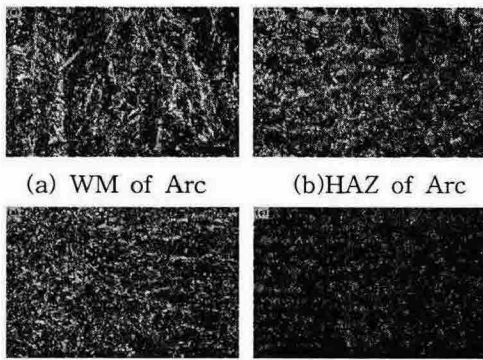


Fig 5. Micro structures 8kW & 300A,

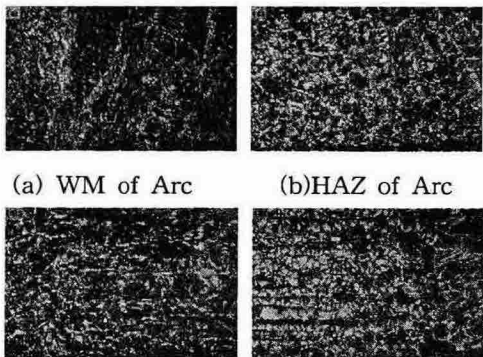


Fig 6. Micro structures 8kW & 380A, 30V

Table 5. Maximum hardness (HV)

Laser 8Kw	Upper section (Arc part)	Lower section (Laser part)
220A, 20V	270.5	254.9
300A, 25V	235.3	206.0
380A, 30V	223.8	196.6

3. 결 론

가. 충격 시험 결과 ASTM 기준인 25J이상의 충격치를 나타냈으며 이로써 용접부의 충분한 인성을 확인할 수 있었고 레이저 출력과 아크 출력을 적절히 조정하여 조직 조대화를 억제함으로써 인성값을 확보하는 것이 바람직하다.

나. 하이브리드 용접부의 특성 상 상, 하부를 구분하여 경도를 측정된 결과, 300Hv 이상의 경도는 측정되지 않았고 미세조직에서도 마르텐사이트는 없는 것으로 확인되었다. 대체적으로 상, 하부의 경도차가 20~30Hv로 안정적인 경도값으로 판단된다.

다. 1mm이하의 Gap에서는 과도한 Back Bead 형성이 발생하나 아크와 레이저 출력의 적절한 조합이 이루어진다면 1mm이하인 Gap에 대해서도 건전한 용접부를 얻을 수 있다고 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 2010 생산기반혁신 기술 개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Samuels L. E., Opticla Microscopy of Carbon Steel, ASM, Metals Park, Ohio, 1980, P247
- Sindo Kou, Welding Metallurgy, 2002, 2nd ed. P232-239

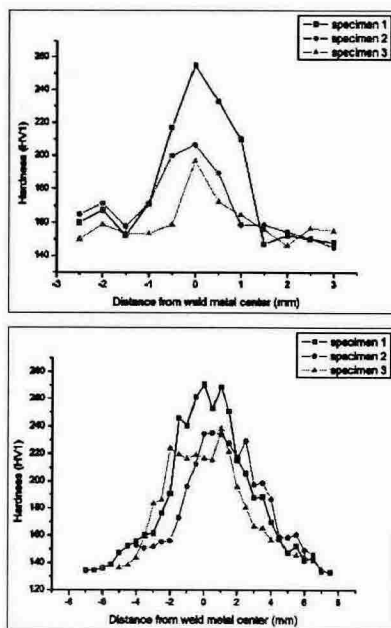


Fig 7. Hardness distribution

경도의 최고값을 용접부 상, 하부를 구분하여 Table 5.에 나타내었다. 입열량이 증가할수록 최고 경도는 냉각속도의 차이로 인하여 감소됨을 확인하였다.