

차체부품 개발을 위한 원격 CO₂ 레이저 용접에 관한 연구

송문종* · 이규현* · 이문용* · 김석원**,[†]

*(주)성우하이텍 기술연구소

**울산대학교 자연과학대학 물리학과

A Study on Remote CO₂ Laser Welding for the Development of Automobive Parts

Mun-Jong Song*, Gyu-Hyun Lee*, Mun-Yong Lee* and Sok-Won Kim**,[†]

*Technical Institute of Sungwoo Hitech Co., LTD, Busan 619-916, Korea

**University of Ulsan, Mugeo-dong, Nam-gu, Ulsan 680-749, Korea

[†]Corresponding author : sokkim@ulsan.ac.kr

(Received February 9, 2010 ; Revised April 8, 2010 ; Accepted June 21, 2010)

Abstract

The Remote welding system(RWS) using CO₂ laser equipment has focusable distance of laser beam longer than 800 mm from workpiece and can deflect the laser beam by the scanner mirrors very rapidly. In the case of normal welding system based on robot, there is a limit to move the shortest path in short time and this causes interference between robot and workpiece. On the other hand, RWS is the optimized equipment to get big merits with advanced sequence of welding and short cycle time. However, there is still a pending task such as the control of plasma in the welding process of thick sheets therefore, it requires high power laser beam because of the absence of assist gas equipment in itself. In this study, high-tensile steel plates were overlap welded with CO₂ RWS for the production of car body and the influence of penetration depth according to the existence of assist gas was analyzed. Excellent tensile strength with enough width of molten zone independent to penetration depth was observed under welding condition with 3.6 kW laser power and 2.8 m/min welding speed without assist gas. Finally, the proto-type automotive parts were produced by applying the deduced optimal welding condition.

Key Words : RWS, Scanner, assist gas, High-tensile steel plates

1. 서 론

레이저 용접시스템은 기존 점(Spot)용접 시스템 대비 45%의 용접시간 단축으로 생산성을 향상시키지만 6배 이상의 높은 투자비로 인해 생산라인 적용이 쉽게 확대 되지 못하고 있는 실정이다. 이러한 현실을 극복하기 위해 선진 레이저 장비 업체에서는 원격 CO₂ 레이저 용접시스템을 개발하였다. 이 시스템은 소재의 표면으로부터 약 800 mm이상의 초점거리를 가지는 레이저 빔을 스캐너(scanner)를 통해 특정 용접부로 급속하게

편향시킬 수 있다. 점용접 시스템의 경우 부품 전체용접 시간에서 로봇의 이동시간은 실제 용접시간의 대략 4배 임에 비해 원격 CO₂ 레이저 용접시스템은 이동시간이 전체 용접시간의 1/10이라는 점을 감안할 때 초기 고비용의 투자비 대비 생산성 한계가 극복된다. 또한 로봇이 구현하기 어려운 용접형상을 자유로이 구현할 수 있어 일반 스티치(stitch) 용접뿐만 아니라 다양한 형태의 패턴용접이 가능하다¹⁻⁶⁾. 본 연구에서는 원격 CO₂ 레이저 용접시스템을 이용하여 고장력강을 소재로 보조가스의 적용유무에 따른 용입특성을 분석하고 차체부품의 적용을 위한 최적 용접조건을 도출하고자 하였다.

Table 1 Chemical composition of specimen

	C	Mn	Si	N	Fe
(wt.%)	0.20	1.5	1.5	0.01	Bal

2. 실험내용

2.1 실험소재

실험에 사용된 소재는 자동차용 압연 고장력 강판 800Mpa급 1.2t를 사용하였고 KS B 0851 규격에 따라 100 × 30 mm로 시험편을 제작하였다. 모재의 화학조성비는 Table 1에 나타내었다.

2.2 실험장치

Fig. 1은 레이저 발진기로부터 스캐너에 이르는 빔 경로 도식화를 보여준다. 스캐너 미러 속도는 700 m/min으로 급속하게 편향되어 특정용접부에 도달되며 초점제어 축(Z축)이 해당되는 초점 값으로 60 m/min의 속도로 구동된다⁷⁻⁸⁾. 따라서 차체부품 중 소정의 곡률을 가지고 있는 범퍼 빔의 레이저 용접 적용에 적합하고 소재변형을 줄이기 위한 용접시퀀스를 제공한다⁹⁾. 그러므로 기존 로봇기반 레이저 용접시스템이 가지는 고비용의 투자비에 비하여 생산성을 극대화 하고 품질을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

2.3 실험방법 및 기초실험

본 연구에서는 플라즈마 영향을 받기 시작하는 출력 범위와 용입특성을 관찰하기 위해 3.0 kW에서 4.8 kW까지 0.6 kW(10%)씩 레이저 빔 출력을 증가시키고 2.4, 2.6, 2.8 m/min의 용접속도로 22 mm 용접을 실시하였다. 이때 보조가스는 He을 25 l/min으로 공급해 주었다. He은 Ar에 비하여 가볍고 플라즈마 발생을 감소시켜 실드효과가 우수하여 향상된 용입깊이를 얻는데 효과가 있다고 알려져 있다¹⁰⁾. Fig. 2는 사용된 보조가스의 툴(tool) 배치도를 보여준다.

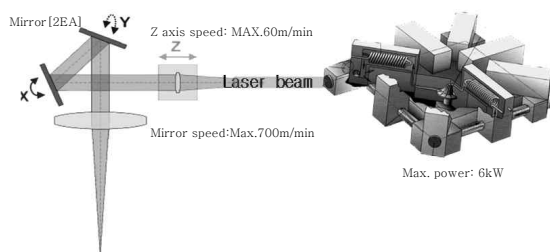


Fig. 1 The principle of remote welding system

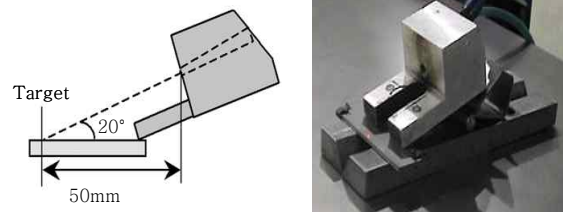


Fig. 2 The assist gas injection tool

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접부에 미치는 보조가스의 영향

Fig. 3은 2.4 m/min 용접속도에서 3.6 kW와 4.8 kW 출력의 비드외관과 용접단면을 각각 비교해서 보여주고 있다. 보조가스 적용유무에 따른 차이는 3.6 kW에서는 거의 관찰되지 않았으나 그 이상의 출력에서는 점차 차이를 보였다. 특히 보조가스가 없는 경우 4.8 kW에서는 3.6 kW 대비 25% 향상된 출력임에도 플라즈마의 영향으로 비드외관은 상당히 불규칙적이고 용접단면은 부분용입으로 넓게 퍼진 형상이 관찰되었다. 여기에서 이 실험에 사용된 원격 CO₂ 레이저 용접 시스템은 3.6 kW 이상의 출력에서는 보조가스가 필요하게 되며 그 이하에서는 보조가스를 사용하지 않아도 비교적 안정적인 용접결과를 가짐을 알 수 있었다.

3.2 용접속도에 따른 평균 용입깊이의 변화

본 시스템에서 플라즈마의 영향이 거의 관찰되지 않는 3.6 kW에서 용입특성을 좀 더 자세히 알아보기로 하였다. 용접속도는 2.4 m/min에서 부분용입이 관찰됨을 감안하여 관통용접조건이라 예상되는 2.2 m/min

Factor	3.6kW, 2.4m/min		4.8kW, 2.4m/min	
	Bead	Cross section	Bead	Cross section
Gas (x)	Front			
	Back			
Gas (o)	Front			
	Back			

Fig. 3 The results of a characteristic penetration depth at the equal weld travel speed which are depending on the assist gas or not

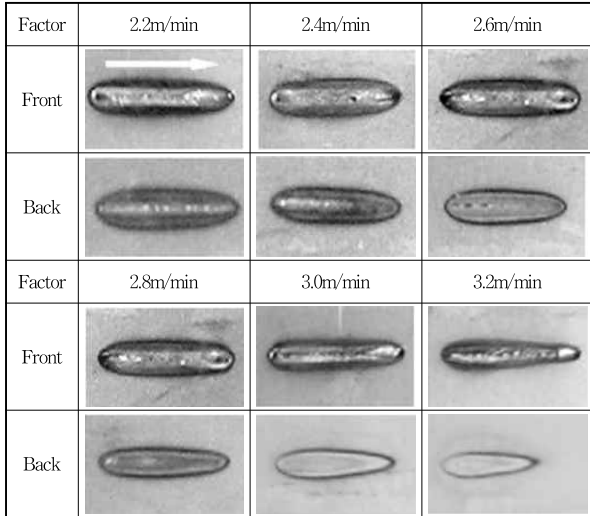


Fig. 4 It shows that each bead shape under 3.6 kW without assist gas

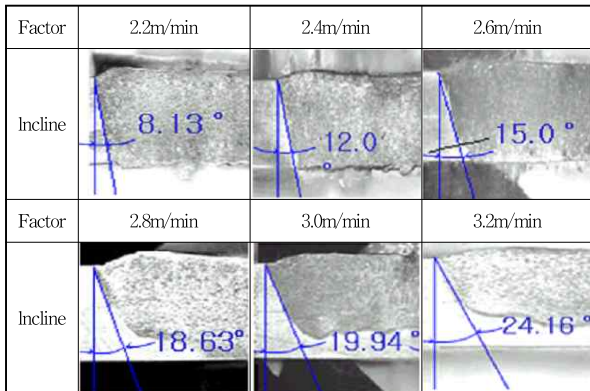


Fig. 5 Each angle of incidence of a longitudinal section under 3.6kW without assist gas

에서 0.2 m/min씩 속도를 증가시켜 3.2 m/min 까지 용접을 하였다. Fig. 4는 속도별 표면비드를 보여준다. 2.8 m/min 까지 비드는 대체로 안정된 형상을 보였으나 3.0 m/min 이상에서는 진행방향에 대해 폭이 점차 감소하였다. Fig. 5와 같이 종단면의 시작점에 용입경사각이 생성됨을 감안할 때 횡단면의 용입깊이를 하나의 용접조건을 대표하는 용입깊이로 단정하기는 어려운 점이 있다. 따라서 종단면을 관찰하여 전체적인 용입깊이의 변화를 알아보기로 하였다. Fig. 6은 출력 3.6 kW, 용접속도 2.2 m/min 조건의 대표적인 종단면 용입면적을 보여주고 있으며 Fig. 7의 그래프는 각 조건별 종단면 용입면적에 용접길이를 나눈 평균 용입깊이를 나타냈다. 용접속도에 대하여 용입 경사각은 비례적인 반면 용입면적은 반비례하는 경향을 나타냈다. 이는 킥홀 생성 시 용접속도가 증가하면 하부 강판에 입열이 가해져 수직방향으로 용융이 이행되기 전에 용접진행

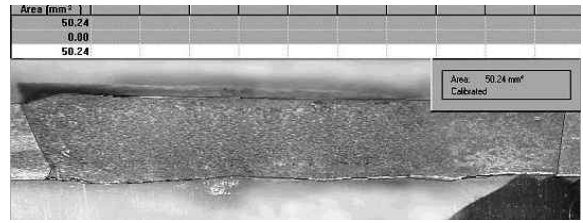


Fig. 6 The melting area of a longitudinal section under 3.6 kW power and 2.2 m/min travel speed

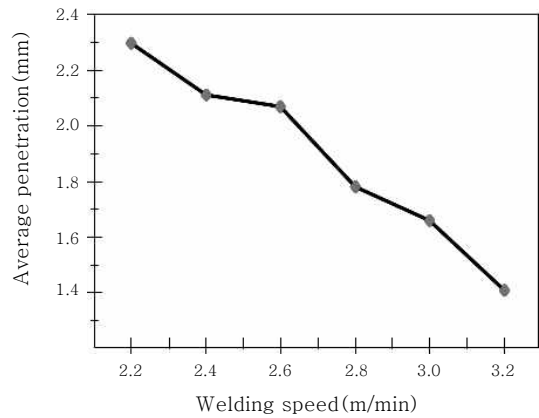


Fig. 7 The change of average penetration depth at each travel speed without assist gas

방향으로 용접이 이루어졌기 때문이라 생각된다. 3.6 kW, 2.2 m/min에서는 전 구간에 걸쳐 완전용입이 일어난 것처럼 육안 관찰되었으나 종단면의 용융면적에 나타난 용입 경사각으로 인하여 평균 용입깊이는 관통 용접길이 2.4 mm 보다 작게 나타났다. 즉, 표면비드 대비 이면비드는 용입경사각으로 인해 짧게 관찰되었고 이는 용접속도가 증가할수록 현저하게 나타났다. 용접속도가 증가하면 판재내부에 생성된 킥홀에 의한 침투 깊이가 얕아져 발생된 플라즈마가 위쪽으로 분출되어 플라즈마 세기가 강하게 측정된다는 점을 참고할 때 레이저 빔의 에너지 손실이 발생되었다고 생각된다. 또한 동일 용접속도에서는 용접진행 방향에 대해 종단면 용입깊이의 차이가 나타난 것은 최초 레이저 조사 후 플라즈마가 생성되어 레이저 빔이 간섭을 받기까지는 일정시간이 소요되기 때문이라 판단된다.

3.3 보조가스에 따른 평균 용융폭의 변화

Fig. 8은 3.6 kW 출력에서 2.2 m/min과 3.2 m/min의 용접속도에서 보조가스가 미 적용된 겹침부 용융면적을 각각 대표로 보여주고 있다. 겹침부 용융폭은 용접이 이행되는 과정에서 점차적으로 줄어드는 경

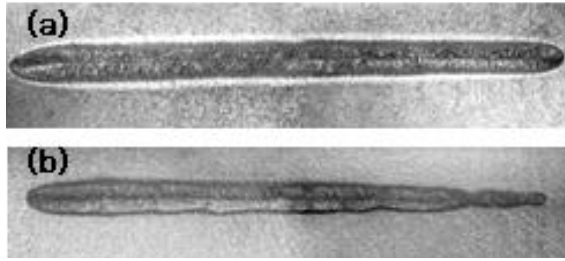


Fig. 8 The comparison of melting area in lap zone at 2.2 m/min(a) travel speed and 3.2 m/min(b)

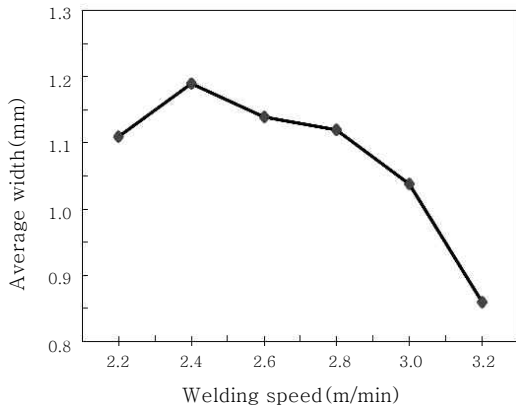


Fig. 9 The change of average weld width under 3.6 kW without assist gas

향을 보였으며 본 실험의 가장 빠른 용접속도인 3.2 m/min에서 그 경향이 현저하게 나타났다. 즉, 용접속도가 빠를수록 소재에 대한 입열량은 감소되고 단위면적당 조사되는 에너지밀도의 기복이 발생되어 비드형상이 불규칙적으로 나타난 결과라 판단된다. Fig. 9에서는 평균 용입깊이 산출방법과 동일하게 겹침부 용융면적을 구하고 조건별 용접길이를 나눈 겹침부 평균 용융폭을 보여준다. 그래프에서도 알 수 있듯이 용접속도 증가 시 평균 용융폭이 확보되는 구간이 존재하였다. 용접속도 2.4 m/min에서 가장 큰 평균 용융폭이, 그리고 2.2 m/min에서는 2.8 m/min보다 오히려 작은 값이 관찰되었다. 이는 보조가스가 적용되지 않은 조건에서는 용접속도 증가 시 단위시간당 조사되는 에너지가 감소하여 열전도용접이 일어나 겹침부의 용융폭이 보다 넓게 확보되었기 때문이라 생각된다. 즉, 출력이 낮고 용접속도가 증가하면 키포생성 전 열전도 및 열확산이 일어나 겹침부 용융폭이 넓어지는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

3.4 인장전단하중에 미치는 영향

보조가스를 사용하지 않았을 때 관찰된 각각의 평균

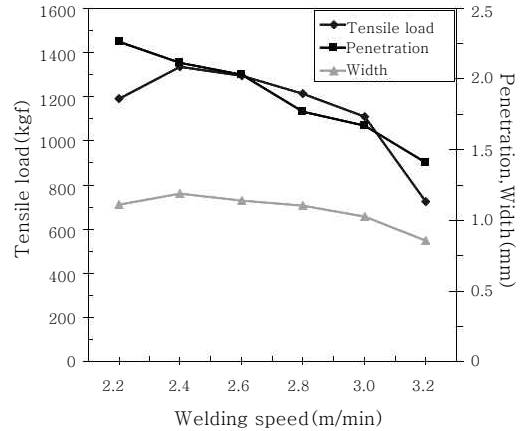


Fig. 10 The comparison of average weld width and penetration depth to know reasons which affect tensile load at each travel speed

Factor \ velocity	2.2m/min	2.8m/min
Tensile load	1189.995kgf	1219.06kgf
Back bead		
Penetration		
Width		

Fig. 11 The comparison of lap welding characteristics without assist gas at 2.2 m/min travel speed and 2.8 m/min

용입깊이와 용융폭이 인장전단하중에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기로 했다. Fig. 10의 그래프를 관찰하면 인장전단하중 값의 변화가 용입깊이 보다는 용융폭 변화와 상응하여 변화되는 결과를 보여준다. 이처럼 겹치기 용접에서 인장전단하중 값에 영향을 미치는 지배 인자는 용융폭이며 부분용입의 타당성이 이번실험을 통해 확인되었다. Fig. 11은 보조가스를 사용하지 않은 3.6 kW 출력에서 2.2 m/min과 2.8 m/min의 인장전단하중, 이면비드 및 각각의 단면을 보여준다. 이면비드만 두고 관찰할 때 2.2 m/min의 완전용입 조건이 용접상태가 양호하리라 판단되지만 오히려 부분용입이 일어난 2.8 m/min의 빠른 용접속도에서 용접품질은 우수하였다. 강중에 따라 용융폭이 넓게 확보되는 조건을 파악하기 위해서는 좀 더 많은 실험이 행해져야 할 것이다.

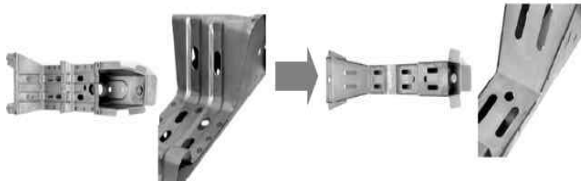


Fig. 12 The production of lightweight auto- motive parts through laser welding

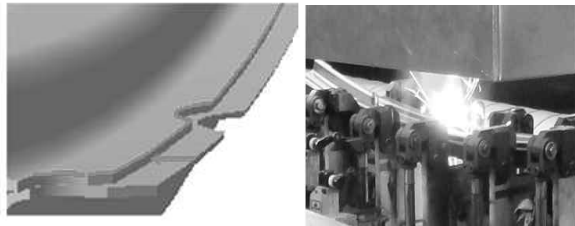


Fig. 13 The application of laser welding for the production of lightweight bumper

3.5 차체부품의 레이저 용접적용

차체부품 중 범퍼 빔은 주로 고장력강을 소재로 레일 (rail)과 같은 긴 형상을 가지고 있고, 강성을 위해 필요시 보강재가 부착되거나 혹은 두 개 이상의 레일이 결합되는 제품이다. 이러한 형상의 차체부품에 레이저 용접을 적용하면 기존의 저항 점용접과 대비하여 용접 부 플랜지 폭을 현저히 감소시킬 수 있고 재료의 국소 부에 단위면적당 고에너지를 조사하여 강도 역시 향상시킬 수 있는 효과가 있다. Fig. 12는 겹치기 용접에서 저항 점용접에 비하여 레이저용접 적용시 차체부품의 경량화가 어떻게 이뤄지는지에 대한 한 사례를 보여 준다. 그리고 앞선 실험결과를 바탕으로 부분용입 조건의 3.6 kW, 2.4 m/min에서 Fig. 13과 같이 플랜지 폭을 5 mm 축소시킨 경량화 범퍼 빔에 적용하여 기존 점용접 대비 용접품질 및 생산성이 향상된 차체부품을 개발할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서 얻은 결론을 아래와 같이 정리하였다.

- 1) 원격 CO₂ 레이저용접은 보조가스 미 적용시 3.6 kW 이하까지 플라즈마 영향이 억제되어 비드형상이 대체로 안정적인 출력범위가 존재함을 확인할 수 있었다.
- 2) 용접 진행방향에 따라 용입깊이와 용융폭의 변화가 관찰됨을 감안할 때 종단면의 용입면적과 횡단면의 용융면적을 용접길이로 나눈 평균 용입깊이와 용융폭이 하나의 용접조건을 대표하는 인자로 사료되었다.

3) 겹치기 용접에서 인장전단하중 값에 영향을 미치는 인자는 용융폭이며 완전용입조건 보다 빠른 특정 용접속도 구간에서 오히려 용융폭이 넓게 확보되는 용입 특성을 보였다.

4) 원격 CO₂ 레이저용접 시스템은 종래의 근거리 레이저와는 달리 사이클 타임 축소효과가 크고 패턴용접의 구현이 가능하여 국내에서도 점차 확대 적용되는 추세에 있다. 그러나 다양한 강재별 용접특성에 관한 연구는 미미한 상태이며 차체부품의 형상과 기능에 따른 최적 용접조건을 도출하기 위해서는 앞으로 많은 연구가 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

1. Z. Abemen : Doors and Hoods laser welding replace Gluing or spot Welding, 25th ISATA Symposium, No. 921025, Florence Italy, 1992
2. N. T. Williams and W. Waddell : High Speed Resistance Seam Welding of Uncoated and coated Steels, Technical Steel Research Commission of the European Communications, Report No. EUR 1150 EN, 1988
3. T. Eimermann : Hem Flange Laser Welding, 25th ISATA Symposium, No. 921089, Florence Italy, 1992
4. F. Coste et al : A Rapid Seam Tracking Device for YAG and CO₂ High Speed Laser Welding. Proc. ICALCO, 1988, 217-233
5. LIA Handbook of Laser Materials Processing, Laser Institute of America, Magnolia Publishing Inc., 162-166, 2001
6. B. H. Jung, M. R. Lee, J. Suh and H. S. Kang : Development of 3D Laser Welding Technology for Automobile Body, Proceedings of the 2005 Spring Annual Meeting of the KWS, 2005, 103-105 (in Korean)
7. H. S. Kang, J. Suh and T. D. Cho : Research on Industrial Robot Application Technology for Laser Welding Car Body, Proceedings of the 2008 Spring Annual Meeting of the KWJS, 2008, 23 (in Korean)
8. M. Grupp. T. Seefeld and F. Vollertsen : Laser Beam Welding with Scanner, (2003) 375-379 WLT 2003
9. Steffen Neumann, Claus Thomy, Thomas Seefeld and Frank Vollertsen : Distorsion Minimization and Shielding gas flow Optimization in CO₂ Laser Remote Welding of Steel, BIAS Bremen Institute, 2006
10. M. J. Song, B. H. Jung, M. Y. Lee, and J. Suh : High-speed Laser Welding Technology of RWS for development of Car bumper, Lasers In Manufacturing 2007 (2007) 63-66