

레이저-회전 아크 하이브리드 용접공정의 개발

김철희* · 채현병* · 이창우* · 김정환* · 이세헌**

*한국생산기술연구원 정밀접합팀

**한양대학교 공과대학 기계공학부

Development of Laser-Rotating Arc Hybrid Welding Process

Cheol-Hee Kim*, Hyun-Byung Chae*, Chang-Woo Lee*, Jeong-Han Kim* and Se-Hun Rhee**

*Advanced Joining Technology Team, KITECH, Incheon 406-130, Korea

** School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract

Laser-rotating arc hybrid welding was introduced by combining CO₂ laser and rotating gas metal arc welding. While the arc rotation enhances the weld pool motion, it reduces the undercut formation which is one of most critical weld defects in the conventional laser-arc hybrid welding. This research investigated the bead characteristics according to the welding parameters such as frequency of rotation, welding voltage, shielding gas composition and interspacing distance between laser and arc. The welding parameters were selected to reduce spatter generation and ensure sound weld beads for bead welding and butt welding with various joint gaps. Gap bridging ability was improved, such that the sound weld beads were achieved for butt joint with up to 2mm joint gap, with no adjustment of CTWD(Contact tip-to-workpiece distance) and electrode diameter.

* Corresponding author : chkim@kitech.re.kr

(Received November 21, 2005)

Key Words : Laser-arc hybrid welding, CO₂ laser, Rotating arc, Bead shape

1. 서 론

1970년대 후반 W. M. Steen에 의해 소개된 레이저-아크 하이브리드 용접공정은 레이저와 아크를 동시에 사용하여 용접의 생산성을 향상시키는 용접방법이다^{1,2)}. 고출력 레이저-아크 하이브리드 용접에서는 CO₂ 레이저, Nd:YAG 레이저 및 파이버 레이저 등이 레이저 열원으로 사용된다. CO₂ 레이저의 경우 미러를 이용하여 레이저 빔 전송이 이루어져 유연성이 부족하지만, 우수한 빔품질, 고출력, 저렴한 출력대비 가격 등의 장점을 가지고 있어 후판의 하이브리드 용접에서 많이 이용되고 있다. GMA(Gas Metal Arc) 용접 전원을 하이브리드 용접에 이용하는 경우에는 간극 대응력이 우수하고, 용가재의 첨가로 인한 용접부의 개질이 가능한

장점을 가지고 있다³⁾.

CO₂-GMA 하이브리드 용접에 대한 저자들의 기존의 연구에서는 다양한 공정변수에 따른 용접현상을 관찰하고 간극 대응력을 평가하였다⁴⁻⁶⁾. 상판에 용접하는 비드(bead-on-plate, BOP) 용접과 간극이 존재하는 맞대기 용접부에 대한 평가를 통하여 양호한 용접품질을 가지는 공정변수의 선정이 가능하였으나 공정변수가 적절하지 않은 경우 아래와 같은 용접불량이 발생하였다.

- (1) He, Ar, CO₂를 혼합한 보호가스를 사용하면서 CO₂의 함량이 8%이하인 경우 젖음성(wetting)이 부족하여 비드의 경계에서 언더컷이 발생하였다⁴⁾.
- (2) 레이저-아크간 거리가 2mm 이하인 경우에는 레이저 키홀에서 발생한 플라즈마의 유동에 의하여 용접의 이행이 편향되어 비드의 비대칭성이 나타났

다. 또한 6mm이상인 경우에는 비드의 경계에서 용융이 충분하지 않아 언더컷이 발생하였다^{4,5)}.

- (3) 간극이 존재하는 맞대기 이음부의 용접에서 1mm 이하의 간극을 가진 경우에는 용접전류와 전압과 같은 아크 용접공정변수의 조절로 양호한 용접비드를 얻을 수 있었다. 그러나 간극이 1.5mm 이상이 되면 전류와 전압만을 조절하여 원하는 비드형상을 얻기가 어려우며 언더컷이 발생한다. 따라서 CTWD (Contact tip-to-workpiece distance)를 변화시키거나 와이어 직경을 1.4mm로 증가시켜서 비드형상을 조절한다⁶⁾.

아크의 고속 회전방법은 젖음성의 부족으로 인한 언더컷과 과도한 간극에서의 언더필을 방지할 수 있는 방법 중의 하나이다. 아크를 고속으로 회전시키는 방법은 기계적 장치를 이용하는 방법, 전자기력을 이용하는 방법, 꼬여져 있는 와이어를 이용하는 방법 등이 있으며, 이 중 모터를 이용하여 기계적으로 회전시키는 방법이 GMA용접에서 많이 이용되고 있다⁷⁻⁹⁾. 아크가 고속으로 회전하는 경우 넓고 평평한 비드가 형성되므로 V 그루브와 필릿 용접에 적용하여 간극에 대한 대응력을 향상시킨 연구 결과가 발표되어 있다¹⁰⁻¹¹⁾.

본 연구에서는 회전아크를 적용한 레이저-아크 하이브리드 용접공정에서 공정변수에 따른 용접비드 특성을 파악하였으며, 또한 다양한 간극의 맞대기 용접에 적용하였을 경우 간극 대응력을 검토하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서 사용한 CO₂레이저와 GMA용접과의 하이브리드용접에서 회전아크를 도입한 하이브리드 용접공정의 개념은 Fig. 1과 같다. 레이저는 모재에 수직으로 조사되고, 회전토치는 모재에 일정한 각도로 기울어

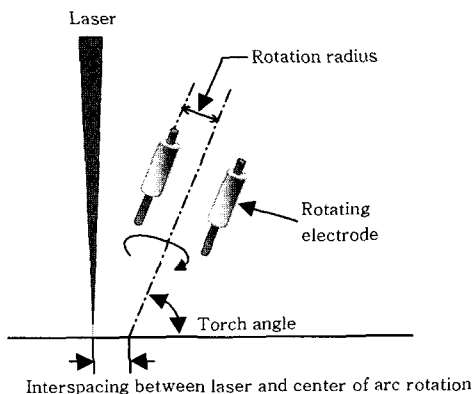


Fig. 1 Schematic diagram of laser-rotating arc hybrid welding process

져 장착되었다. 아크가 레이저에 일정한 거리로 진행하여 진행하고, 정해진 회전반경과 회전수로 GMA 전극이 회전하도록 장치되었다.

중공축형 모터를 이용한 아크회전 장치를 이용하였으며¹¹⁾, CO₂ 레이저헤드와 아크 회전장치를 조합한 하이브리드 용접헤드의 사진은 Fig. 2와 같다.

실험에서는 12kW급 CO₂ 레이저와 500A 급 인버터 용접기를 용접전원으로 이용하였으며, 두께 8mm의 조선용 A 그레이트 강재에 비드용접과 맞대기 용접을 수행하였다. 아크가 회전하지 않는 하이브리드 용접실험에서 선정된 공정변수를 기준으로 공정변수의 변화에 따른 용접비드 형상을 관찰하였으며⁴⁾, 본문에 별도로 언급되지 않은 경우의 용접조건은 Table 1과 같다.

3. 용접비드 형상

아크가 회전하는 경우 원심력으로 용적의 편향이 발

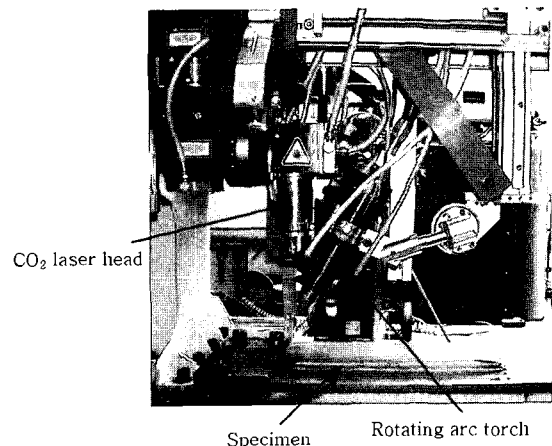


Fig. 2 Photo of laser-rotating arc hybrid welding head

Table 1 Welding conditions used in experiments

Electrode	1.2mm solid wire
Laser Power	8 kW
Shielding Gas	He50%+Ar38%+CO ₂ 12%
Gas Flow Rate	50 l /min
Wire Feed Rate	9.9 m/min
Welding Voltage	25 V
Travel Speed	1.5 m/min
Torch Angle	31 deg.
Interspacing Distance	6 mm
CTWD	20 mm
Rotation Diameter	3 mm
Rotation Frequency	8 Hz

생되므로 회전 주파수가 커짐에 따라 용입이 적고 폭이 넓은 비드를 형성한다¹¹⁾. 레이저-회전아크 하이브리드 용접에서 회전 주파수에 따른 용접비드의 형상을 관찰하기 위하여 회전 주파수를 5Hz에서 40Hz로 변화시면서 단면을 관찰하여 Fig. 3에 나타내었다. 비드 단면의 관찰 결과 회전 주파수에 따라 비드 폭이 넓어지는 현상은 발견되지 않았는데, 이는 회전 토치가 모재에 기울어져 있는 상태에서 회전수 증가에 따른 스패터의 발생 증가가 그 원인으로 생각된다. 회전수가 느린 경

우 회전으로 인한 원심력은 작지만 아크의 자기제어 (self-regulation) 현상이 잘 일어나 아크길이가 일정하게 유지되려는 경향을 가지므로 모재와 와이어가 가까운 경우에도 단락 발생률이 줄어든다. 반대로 회전수가 빠른 경우 회전으로 인한 원심력이 증가하지만 자기제어가 충분히 일어나지 못하고 단락발생률이 높아져 스패터의 발생이 증가한다. 이에 따라 Fig. 4와 같이 10Hz이상의 고속으로 아크가 회전하는 경우 덧살의 면적은 회전 주파수에 따라 감소한다.

용접 전압에 따른 비드 형상을 평가하여 Fig. 5에 나타내었다. 아크가 회전하는 경우에도 용접전압이 27V 이상에서는 과도한 전압에 의한 언더컷이 관찰된다.

Fig. 6은 보호가스 조성을 변화시키면서 실험을 수행한 결과이다. 레이저에 의한 플라즈마를 억제하기 위하여 He의 비율을 50%로 고정하고 CO₂를 4~20%까지 변화시킨 경우 모든 조건에서 언더컷이 제거되거나 감소한다. 이것은 아크가 회전하지 않은 하이브리드 용접시에 8% 이하로 CO₂를 사용한 경우 젖음성이 부족하여 상당한 언더컷이 발생한 것⁴⁾ 과 비교하여 아크의 회전이 젖음성을 향상시켜 용접불량을 감소시켰기 때문으

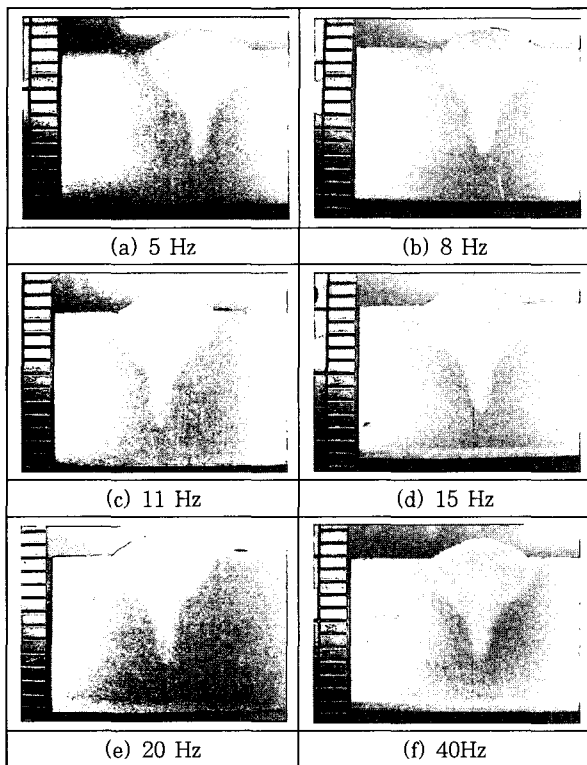


Fig. 3 Cross-sectional bead shapes for various rotation frequencies

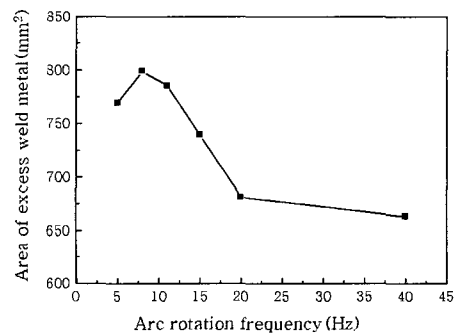


Fig. 4 Area of excess weld metal according to the rotation frequency

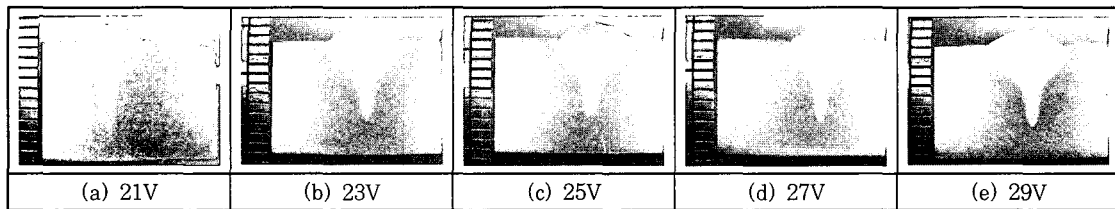


Fig. 5 Cross-sectional bead shapes for various weld voltages

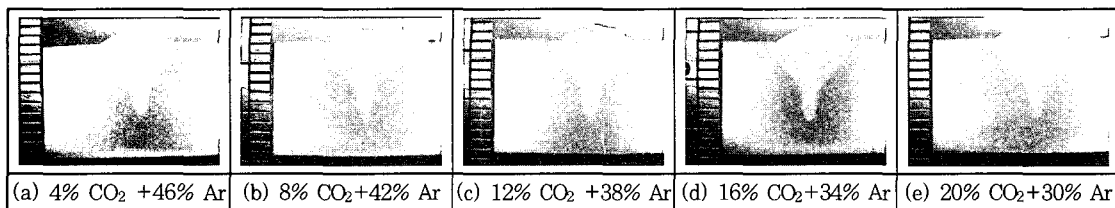


Fig. 6 Cross-sectional bead shapes for various shielding gas compositions (50% helium)

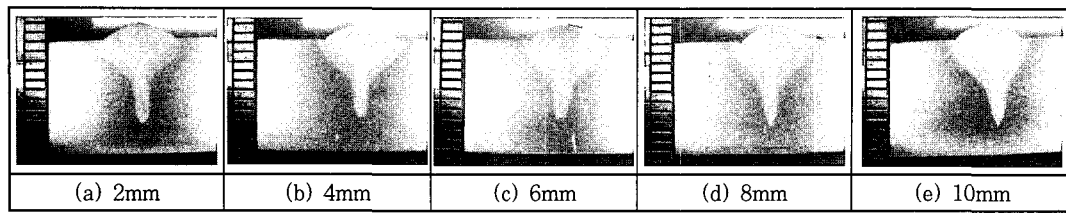


Fig. 7 Cross-sectional bead shapes for various interspacing between laser and center of arc

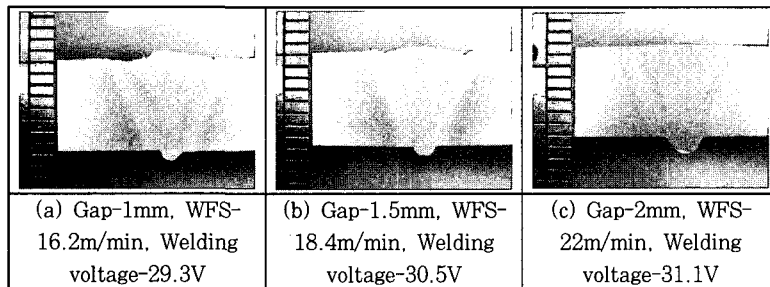


Fig. 8 Cross-sectional bead shapes for butt welding with various joint gaps

로 판단된다.

아크가 회전하지 않는 경우 레이저-아크간 거리도 용접품질에 큰 영향을 주는 인자이다. 레이저-아크간 거리가 2mm이하인 경우 레이저가 용적이행을 방해하고, 6mm이상인 경우에는 열원간의 거리가 멀어지므로 두 열원간 시너지 효과가 감소되어 용융풀에 충분한 입열이 공급되지 못하여 언더컷이 나타난다^{4,5)}. 그러나 Fig. 7에서 보는 것과 같이 회전아크를 사용하게 되면 용융풀의 유동이 충분히 일어나게 되므로 레이저-아크간 거리에 관계없이 언더컷의 발생이 감소한다.

회전아크 용접의 장점인 간극대응력을 확인 하기 위하여 간극이 2mm까지 존재하는 맞대기 용접부에 회전아크를 적용하였다. Fig. 8과 같이 고정된 CTWD와 1.2mm와이어를 이용해서도 언더필이 발생하지 않는 용접비드 형성이 가능함을 확인하였다.

5. 결 론

레이저-GMA하이브리드 용접에 회전아크를 도입한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 레이저를 모재에 수직으로 조사하고 아크회전장치를 기울인 형태의 레이저-회전 아크 용접공정을 비드용접과 맞대기 용접에 성공적으로 적용하였다.
- 2) 회전 토치를 모재에 기울여 아크 회전을 구현함에 따라 회전 주파수에 따른 비드 폭의 증가는 크게 나타나지 않았다. 이는 회전주파수 증가에 따른 원심력의 증가와 스패터량 증가가 상쇄되기 때문으로

사료된다.

- 3) 용접전압, 보호가스 조성, 레이저-아크 간 거리에 따른 용접 비드를 관찰하였다. 아크 회전에 불구하고 과도한 용접전압에 의한 용접결함은 개선되지 않았다. 보호가스조성에서 CO₂함량이 부족할 때, 그리고 레이저-아크간 거리가 과소하거나 과대할 때 나타났던 언더컷은 회전아크 적용에 따라 용융풀의 유동이 활발하게 이루어진 것에 의해 감소됨을 확인하였다.
- 4) 간극이 있는 맞대기 용접에서 레이저-회전아크 하이브리드 용접을 적용하면 간극에 대한 대응력이 크게 향상되어 2mm의 간극에서도 CTWD를 변화시키거나 와이어 지름을 크게 하지 않아도 양호한 용접부를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구의 저자는 레이저 하이브리드 용접 플라즈마 유동 현상에 대해 심도 있는 토론을 진행해 준 한국과학기술원 조영태박사께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. W. M. Steen, M. Eboo and J. Clarke: Arc Augmented Laser Welding, Advances in Welding Processes Proceedings, 4th International Conference, Harrogate, U. K., May 9-11, 1978
2. N. Abe and H. Hayashi: Trends in Laser Arc Combination Welding Methods, Welding International, 16-2 (2002), 94-98

3. C. Bagger and F. O. Olsen : Review of Laser Hybrid Welding, *Journal of Laser Applications*, 17-1 (2005), 2-14
4. H.-B. Chae, C.-H. Kim, J.-K. Kim, N.-H. Kang, J.-H. Kim and S. Rhee: The Effect of Shielding Gas Composition in CO₂ Laser-MIG Hybrid Welding, Autumn Annual Meeting of Korean Welding Society, 2004, 52-54 (in Korean)
5. C.-H. Kim, H.-B. Chae, J.-H. Kim, S. Rhee: Development of CO₂ Laser-Arc Hybrid Welding Technology in KITECH, 1st KWS-JWS Joint Symposium of Yong Researchers, Seoul, Korea, June 24, 2005, 380-383
6. H.-B. Chae, C.-H. Kim, J.-K. Kim, N.-H. Kang, J.-H. Kim and S. Rhee: Improvement of Gap Bridging Ability in CO₂ LASER GMA Hybrid Welding, Spring Annual Meeting of Korean Welding Society, 2005, 100-102 (in Korean)
7. Y. Sugitani, Y. Kobayashi and M. Murayama: Development and Application of Automatic High Speed Rotation Arc Welding, *Welding International*, 5-5 (1991), 577-583
8. Y. H. Kang: A Study on the Automatic Welding by Using Electromagnetic Arc Oscillation, Ph. D. Thesis, KAIST, 2001 (in Korean)
9. S. Kimura, I. Ichihara and Y. Nagai: Narrow Gap, Gas Metal Arc Welding Process in Flat position : *Welding Journal*, 58-7 (1979), 44 52
10. Y. Sugitani and W. Mao: Automatic Simultaneous Control of Bead Height and Back Bead Shape using an arc sensor in one sided welding with a backing plate, *Welding International*, 9-5 (1995), 366 374.
11. C.-H. Kim, S.-J. Na: A study on Horizontal Fillet Welding by Using Rotating Arc, *Journal of The Korean Welding Society*, 21-3 (2003), 296 301 (in Korean)