

## 레이저-회전 아크 하이브리드 용접공정 개발

### Development of Laser-Rotating Arc Hybrid Welding Process

채 현병\*, 김 철희\*, 김 준기\*, 김 정한\*, 이 세헌\*\*

\* Advanced Welding and Joining Team, KITECH, Incheon 406-130, Korea

\*\* Department of Precision Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

#### 1. 서 론

1970년대 후반 W. M. Steen에 의해 소개된 레이저-아크 하이브리드 용접공정은 기존 레이저 단독 용접과 아크 용접을 혼합하여 용접의 생산성을 향상시키기 위한 방법으로 응용되어 다양한 레이저와 아크의 조합으로 사용되고 있다<sup>1,2)</sup>. 고출력 레이저-아크 하이브리드 용접에서는 주로 CO<sub>2</sub>레이저와 야그 레이저, 파이버 레이저 등이 레이저 소스로 이용되는데 CO<sub>2</sub>레이저의 경우 레이저 빔의 전송에서 불리함에도 불구하고 높은 빔품질과 고출력, 상대적으로 저렴한 kW당 가격으로 인하여 후판의 하이브리드 용접에서 장점을 가지고 있다. 하이브리드 용접을 위한 아크 용접 전원의 경우에 다양한 용접전원의 사용이 가능하나 이중 GMA용접을 이용한 경우 정밀한 와이어의 제어 및 스패터 방지를 위한 주의가 필요함에도 가장 좋은 간극 대응력의 확보가 가능하고 와이어의 첨가로 인한 용접부의 개질이 가능한 장점을 가지고 있다<sup>3)</sup>.

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 있는데<sup>4-6)</sup>, 아크가 고속으로 회전하는 경우 넓고 평평한 비드가 형성되므로 V 그루브와 필릿 용접에 적용하여 간극에 대한 대응력이 향상시킨 연구 결과가 발표되어 있다<sup>7-8)</sup>. 또한 고속 회전 아크를 이용하는 경우 아크 센서 적용시 민감도(sensitivity)와 응답성(responsiveness)이 향상되어 아크센서의 성능이 향상되며, 강의 용접뿐 아니라 알루미늄 합금의 용접에서도 적용이 가능한 장점을 가지고 있다<sup>9)</sup>.

본 연구에서는 레이저-아크 하이브리드 용접 공정에 모터를 이용한 회전아크를 적용하여 공정 변수에 따른 용접비드의 특성을 파악하였으며,

아크센서 적용가능성을 검토하고자 하였다.

#### 2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서 사용한 CO<sub>2</sub>레이저와 GMA용접의 하이브리드용접에 회전아크를 도입한 하이브리드 용접공정의 개념은 Fig. 1과 같다. 아크를 회전시키기 위하여 중공축형 모터를 이용한 아크회전 장치를 이용하였다<sup>8)</sup>. 모재에 수직으로 조사되는 레이저와 일정한 각도로 기울어진 회전 토치를 조합하였으며, 레이저의 조사점과 일정한 거리를 두고 정해진 회전반경과 회전수로 GMA 전극이 회전하도록 장치하였다.

실험에서는 12kW급 CO<sub>2</sub> 레이저와 500A 급 인버터용접기를 용접전원으로 이용하였으며, 모재는 조선용 A grade 강재를 이용하여 BOP용접과 8mm 두께의 부재에 대하여 맞대기 용접을 수행하였다. 아크가 회전하지 않은 하이브리드 용접실험에서 선정한 공정변수를 기준으로 공정변수의 변화에 따른 용접비드 형상을 관찰하였으며<sup>10)</sup>, 별도의 언급이 없는 한 실험에서 사용된 용접조건은 Table 1과 같다.

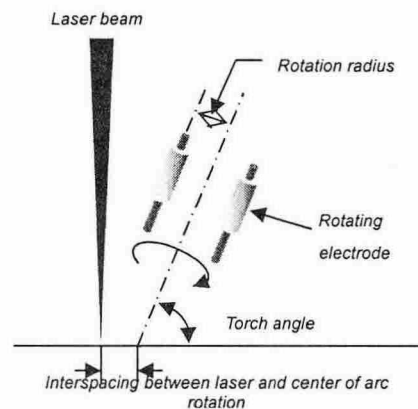


Fig. 1 Schematic diagram of laser-rotating arc hybrid welding process

Table 1. Welding conditions used in experiments

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

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 용접부 형상

아크가 회전하는 경우 원심력으로 용적의 편향이 발생되어 회전 주파수에 커짐에 따라 용입이 작고 평평한 비드를 형성한다<sup>8)</sup>. 레이저-회전아크 하이브리드 용접에서 회전 주파수에 따른 용접비드의 형상을 관찰하기 위하여 회전주파수를 2Hz에서 40Hz로 변화되면서 비드형상을 관찰하였다. 회전주파수가 5Hz 이하와 같이 낮은 경우 용접속도가 상당히 빠르므로 균일한 비드를 형성하지 못하였다. 비드 단면의 관찰 결과 회전주파수에 따라 비드 폭이 넓어지는 현상은 발견되지 않았는데 이는 회전 토치가 모재에 수직으로 설치되지 않고 기울어져 있는 상태에서 고속으로 회전하는 경우 스파터의 발생이 그 원인으로 생각된다. 회전수가 느린 경우 회전으로 인한 원심력은 작지만 아크의 자기제어(self-regulation)이 잘 일어나 아크길이가 일정하게 유지되려는 경향을 가지므로 모재와 토치가 가까운 경우에도 단락 발생률이 줄어든다. 반대로 회전수가 빠른 경우 회전으로 인한 원심력이 증가하지만 자기제어가 충분히 일어나지 못하고 단락발생률이 높아져 스파터의 발생이 증가한다.

용접 전압에 따른 비드형상을 평가하였는데 아크가 회전하는 경우에도 용접전압이 27V이상인 경우에는 과도한 아크 압력으로 언더컷이 발생하였다. 또한 보호가스 구성에 따른 비드형상 변화를 관찰한 결과, 레이저 유기 플라즈마를 억제하기 위하여 He의 비율을 50%로 고정하고 CO<sub>2</sub>를 4~20%까지 변화시킨 경우 모든 조건에서 언더

컷이 발생하지 않았다. 이것은 아크가 회전하지 않은 하이브리드 용접시에 8% 이하로 CO<sub>2</sub>를 사용한 경우 젖음성이 부족하여 언더컷이 발생했<sup>10)</sup>과 비교하여 아크의 회전이 젖음성을 향상시켜 용접불량을 감소시키는 역할을 한 것을 알 수 있다.

아크가 회전하지 않는 경우 레이저-아크간 거리 또한 용접품질에 큰 영향을 주는 인자이다. 레이저-아크간 거리가 2mm이하인 경우 레이저가 용적이행을 방해하고, 8mm이상인 경우에는 열원간의 거리가 멀어지면서 젖지 않는 영역이 발생하여 언더컷이 발생하였는데<sup>10-12)</sup>, 회전아크를 적용한 경우에는 다양한 레이저-아크간 거리에서도 언더컷이 발생하지 않는 양호한 용접비드를 형성하였다.

회전아크 용접의 장점이 간극대응력을 확인하기 위하여 간극이 2mm인 맞대기 용접부에 회전아크를 적용하였으며 비드단면을 Fig. 2에 나타내었다. 고정된 CTWD와 1.2mm와이어를 이용해서도 언더필이 발생하지 않는 용접비드 형성이 가능함을 확인하였다.

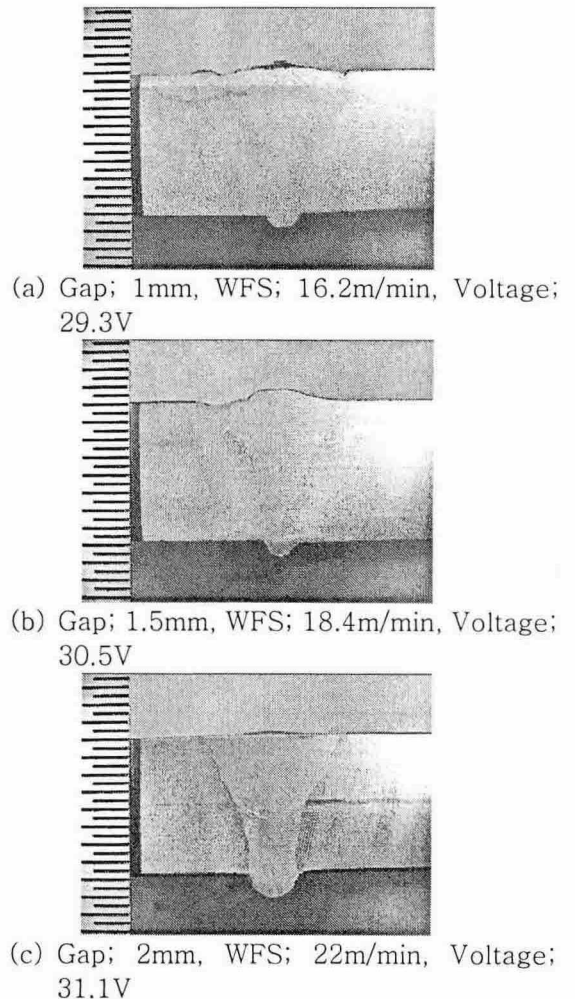


Fig. 2 Cross-sectional bead shapes for butt

welding with various joints gaps

### 3.2 아크센서 적용가능성 조사

V-그룹부 조인트 형상에서 용접선 중심으로부터 벗어난 편차량을 변화시키면서 10초간 측정 한 전류 파형에서 용접선 중심의 양쪽 면적의 차를 구하여 이의 평균과 99.7% 오차 구간을 Fig. 3에 나타내었다. 이 때, 좌우면적차는 5회 이동 평균값을 을 이용하여 소프트웨어 필터링 효과를 주었다. 결과에서 편차량과 좌우 면적의 차는 선형적인 관계를 가지고 있고 99.7% 오차 구간도 충분히 작게 나타남을 알 수 있다.

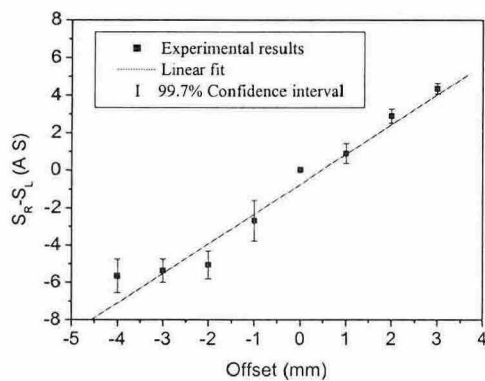


Fig. 3 Correlation between offset distance and area difference

## 4. 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 용접 공정을 BOP용접과 맞대기 용접, V 그룹부 용접을 성공적으로 수행하였다.
- (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 관찰한 결과 용접전압 변화에 따른 용접결합의 개선은 크게 이루어지지 않았지만 회전아크 적용에 따라 용융풀의 유동이 활발하게 이루어진 것에 의해 보호가스조성에서 CO<sub>2</sub>함량의 부족할 때, 그리고 레이저-아크간 거리가 과소하거나 과대할 때 나타났던 언더컷이 제거됨을 확인하였다.

- (4) 간극이 있는 맞대기 용접부에 레이저-회전아크 하이브리드 용접을 적용시 간극에 대한 대응력은 크게 향상되어 간극이 2mm까지 존재한 경우에도 CTWD제어나 와이어의 교체없이 양호한 용접부를 얻을 수 있었다.
- (5) V 그룹부 용접부에서 용접전류 신호를 분석하여 용접선 추적을 위한 아크센서 성능을 평가한 결과 아크 단독 용접에서와 같이 우수한 아크센싱 능력을 확인하였다.

## 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., 9-11 May 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. Y. Sugitani, Y. Kobayashi and M. Murayama: Development and Application of Automatic High Speed Rotation Arc Welding, Welding International, 5-5 (1991), 577-583
5. 강윤희: A Study on the Automatic Welding by Using Electromagnetic Arc Oscillation, 한국과학기술원 박사학위논문, 2001 (in Korean)
6. S. Kimura, I. Ichihara and Y. Nagai: Narrow-Gap, Gas Metal Arc Welding Process in Flat position : Welding Journal, 58-7 (1979), 44-52
7. 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.
8. 김철희, 나석주: 회전아크를 이용한 수평필릿 용접에 관한 연구, 대한용접학회지, 21-3 (2003), 296-301 (in Korean)
9. H. Kim and S.-J. Na: Development of Rotating GMA Welding System and Its Application to Arc Sensors, Society of Manufacturing Engineers, Technical Paper AD02-277, 2002
10. 채현병, 김철희, 김준기, 강남현, 김정한, 이세현: CO<sub>2</sub> 레이저-MIG 하이브리드 용접에 미치는 보호가스 조성의 영향, 대한용접학회 추계학술발표대회, 2004, 52-54 (in Korean)
11. 채현병, 김철희, 김준기, 강남현, 김정한, 이세현: 조선 강재의 CO<sub>2</sub> 레이저-GMA 하이브리드용접에서 Gap Bridging 향상기술개발, 대한용접학회 춘계학술발표대회, 2005, 100-102 (in Korean)
12. C.-H. Kim, H.-C. Chae, J.-H. Kim, S. Rhee: Development of CO<sub>2</sub> Laser-Arc Hybrid Welding Technology in KITECH, 1st KWS-JWS Joint Symposium of Yong Researchers, Seoul, Korea, June 24 2005, 380-383