

하이브리드 용접에서 용접부 형상 모델링

Modeling of Weld Bead Geometry in Hybrid Welding

채 현병*, 김 철희*, 강 남현*, 김 정한*, 이 세현**

* 한국생산기술연구원, 정밀접합팀

** 한양대학교, 기계공학과

1. 서 론

레이저-아크 하이브리드 용접은 1979년에 Steen에 의해 용접속도를 높이는 방법으로 제시된 이후로 최근 들어 활발한 연구가 진행되고 있는 분야이다¹⁾. 레이저-아크 하이브리드용접은 레이저와 아크 용접이 복합적으로 이용되기 때문에 모재가 레이저와 아크에 의해 동시에 가열되어 용접된다. 고출력 레이저의 경우 키홀이 형성되어 좁고 깊은 용접부 형상을 갖는데 반해 아크 용접은 표면에서 열전달이 발생하므로 하이브리드 용접부는 Wine glass 형태의 비드형상을 나타낸다. 그 동안 레이저와 아크용접의 공정변수에 따라 레이저-아크 하이브리드 용접부 형상에 대한 실험적인 접근은 많이 이루어 졌으나 공정변수간의 복잡한 상호작용 및 용융지에서의 복잡한 현상 때문에 이의 해석적인 시도는 많지 않았다.

최근 방한서 등은 다열원과 FEM모델을 이용하여 레이저-아크 하이브리드용접부에 대한 해석을 시도하였고²⁾, Zhou등은 droplet의 이행, 키홀의 형성 및 용융풀의 유동을 연관하여 해석하였다³⁾. 그러나 이러한 이론적인 접근의 경우, 해석모델의 난이도가 높아서 현실적인 공정변수 최적화에 적용하기 어렵다.

본 연구에서는 레이저-아크 하이브리드 용접에서 용접공정변수에 따른 용접비드 형상 최적화를 수행하기 위하여 용접비드형상의 모델링을 수행하고자 한다. 하이브리드 용접부를 두개의 이차 곡선으로 분리하여 아크열에 의한 용접부와 레이저에 의한 용접부로 분리하고자 하며 용접공정변수가 용접비드 형상에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 이용한 CO₂ 레이저는 최대출력 12kW급이며 초점에서의 빔 지름은 0.4mm이다. 초점은 모재표면에 두었으며 초점거리는 250mm이었다. GMA용접기는 500A급 인버터 용접기이며 본 연구에서 사용한 하이브리드 헤드를 Fig. 1에 나타내었다.

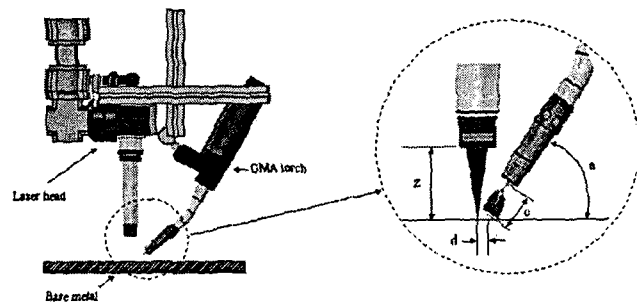


Fig. 1 Experimental setup and parameter definitions for CO₂ laser-GMA hybrid welding

본 연구에서 사용된 공통 변수조건을 Table 1에 나타내었으며 공통 변수조건은 선행연구에 의해 최적화된 조건을 사용하였다⁴⁾. 레이저는 모재에 수직으로 조사하였고, 레이저 헤드와 아크토치 사이의 각도는 31°로 설정하여 조선용 연강재 (A grade)에 비드용접을 수행하였다.

Table 1. Fixed Process Parameters.

| | | |
|--|-----------|--|
| Focal length, z | | 250mm |
| Torch angle, a | | 59 deg. |
| Contact tube to work distance, c | | 18 mm |
| Distance between laser spot and electrode, d | | 4 mm |
| Electrode diameter | | 1.2 mm |
| Shielding gas | Type | He:50%, Ar:38%, CO ₂ :12% |
| | Flow rate | 50 l/min |

본 연구에서는 레이저 출력, 용접전류 및 용접속도를 조정변수로 선택하여 하이브리드 용접부 형상과의 관계를 규명하기 위하여 Table 2에 나

타낸 것과 같이 전수실험을 수행하였다.

Table 2. Control Parameter and their Levels

| Control parameter | Level | | | | |
|-----------------------|-------|-----|-----|-----|----|
| Laser power (kW) | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Welding current (A) | 220 | 260 | 300 | 340 | - |
| Welding speed (m/min) | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | - |

3. 실험결과

3.1 하이브리드 용접부 형상 모델링

각각의 열원이 비드형상에 미치는 영향을 고려하기 위하여 Fig. 2와 같이 총 5개의 비드형상인자를 분리하였다.

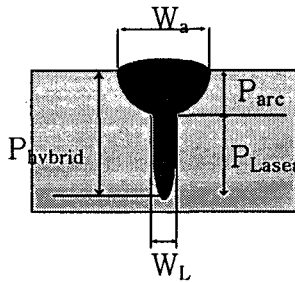


Fig. 2 Definition of indexes for bead characteristics.

본 연구에서 다루고 있는 GMA용접에서 용접 비드를 분리하여 모델링하기 위해서는 두 열원의 경계 선정이 중요하다. 이를 위하여 P1, P2를 구분할 수 있는 변곡점을 찾기 위하여 비드형상 함수의 1계도 함수와 2계도 함수를 구하였으나 미분함수만으로 경계를 선정하기에는 모델의 정확성을 판단하는데 어려움이 있었다.

따라서 Eq. 1과 같이 두 개의 이차함수로 각각의 용접부를 모델링 하고자 한다.

$$y = y_a + y_L$$

$$y_a = \begin{cases} a_1(x^2 - a_2^2) & y_a \geq 0 \\ 0 & y_a < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$y_L = \begin{cases} b_1(x^2 - b_2^2) & y_L \geq 0 \\ 0 & y_L < 0 \end{cases}$$

Fig. 3은 Eq. 1의 이차함수로 fitting한 결과의 예를

나타낸 것으로서 fitting한 결과와 실제 비드의 경계가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

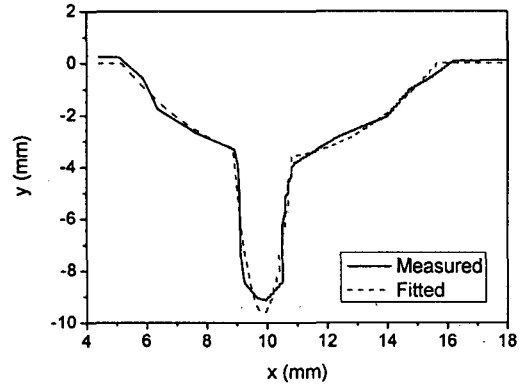
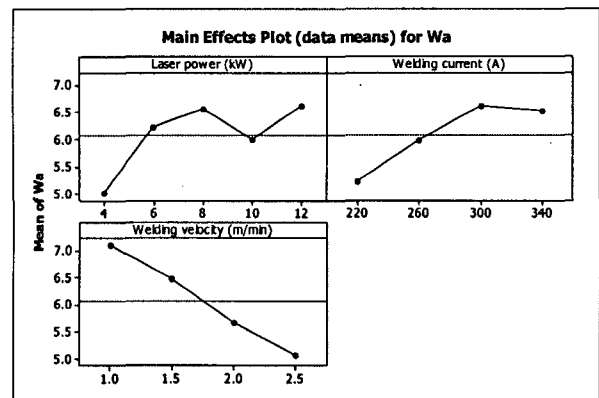


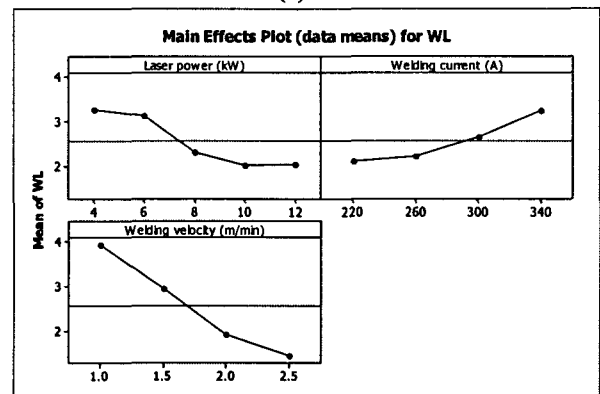
Fig. 3 Comparison between a fitted result and a measured contour of bead.

3.2 용접부 형상과 공정변수와의 관계

하이브리드 용접부의 비드폭에 대한 조정변수의 영향을 Fig. 4에 나타내었다. Wa는 레이저



(a) Wa

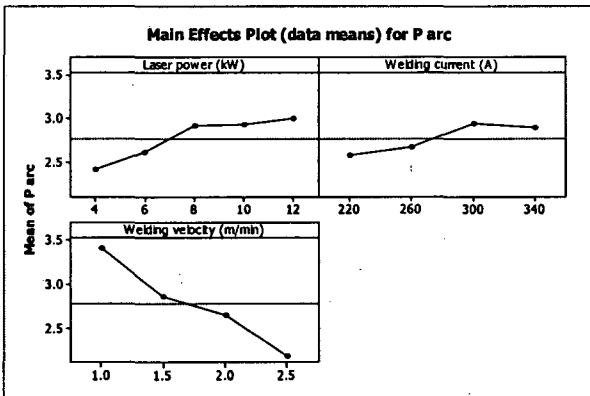


(b) WL

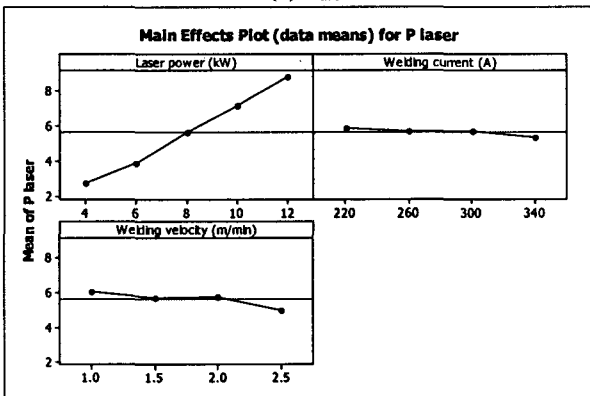
Fig. 4 Main effects of control parameters on bead width

출력 및 용접전류가 증가함에 따라 증가하고 용접속도에 반비례하는 것으로 나타났다. 이것은 W_a 의 크기가 레이저와 아크열이 용접부에 작용하는 총입열량의 크기에 의해 결정된다는 것을 의미한다. W_{Laser} 의 경향을 살펴보면 용접전류에는 비례하지만 레이저 출력과 용접속도에는 반비례하는 결과가 나타났다.

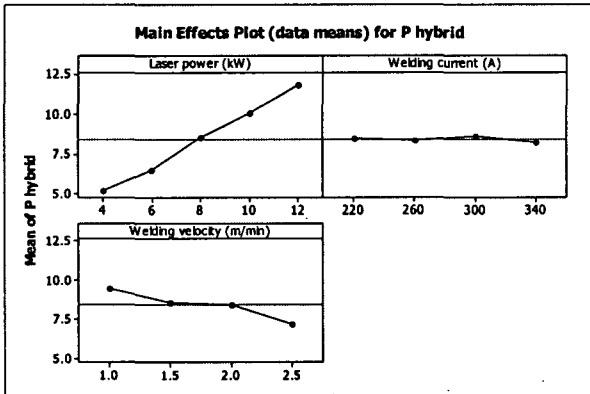
하이브리드 용접부의 용입깊이에 대한 조정변수의 영향을 Fig. 5에 도시하였다.



(a) P_{arc}



(b) P_{laser}



(c) P_{hybrid}

Fig. 5 Main effects of control parameters on penetration

P_{arc} 는 레이저 출력과 용접전류 증가에 비례하였고 용접속도에 반비례한 결과를 나타내었다. 따라서 P_{arc} 는 단위길이당 총입열량에 의해 결정된다는 것을 의미한다. P_{Laser} 는 레이저 출력이 증가함에 따라서 급격한 증가량을 보이는 반면 용접전류와 용접속도에 대해서는 둔감한 감소량을 나타내었다. 이는 P_{laser} 는 아크열의 영향은 적은 반면, 단위길이당 레이저 출력에 의한 입열량에 대한 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다. P_{hybrid} 는 레이저 출력에 비례하고 용접속도에 반비례하였으나 용접전류에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

하이브리드 용접부 형상 모델링 및 공정변수 영향평가에 대한 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 하이브리드 용접부를 아크 및 레이저에 의한 영역으로 분리하였으며 이를 두 개의 이차함수로 fitting한 결과, 실제 비드형상과 거의 일치하였다.
- 2) W_a 는 단위길이당 총입열량에 비례하였으나 W_L 은 레이저 출력에 반비례하는 경향을 확인하였다.
- 3) P_{arc} 는 단위길이당 총입열량에 대해 비례하였으나 P_{Laser} 는 단위길이당 레이저에 의한 입열량에 비례하였으며 결과적으로 P_{hybrid} 는 P_{Laser} 와 동일한 경향을 보임을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. N. Abe and H. Hayashi: Trends in Laser Arc Combination Welding Method, Welding International, 16-2 (2002), 94-98.
2. H. S. Bang and Y. P. Kim: Fundamental Study on the Heat Input Model of Hybrid Welding for the Finite Element Analysis, Proceeding of KWS, Nov. (2003), 36-38 (in Korean).
3. J. Zhou and H. L. Tsai: Modeling of Hybrid Laser-MIG Keyhole Welding Process (1001), 22nd International Congress on ICALEO (2003), 135-141 of Section A.
4. C. H. Kim, H. B. Chae, J. H. Kim and S. Rhee: Development of CO₂ Laser-Arc Hybrid Welding Technology in KITECH, KWS-JWS Joint Symposium of Yong Researchers, Seoul, (2005).