

Cold Wire 송급 시스템을 이용한 자동 GTAW에서 용접Bead 형상 모델

박언영, 김준기, 김정한, 김희남*
한국생산기술연구원 정밀접합·용접팀
* 명지대학교 기계공학과

1. 서론

GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)는 다른 용접공정에 비하여 모재의 제약이 거의 없으며, spatter 발생률이 낮고 용접부 품질이 우수하여 최근 제품의 비철화, 경량화 및 고급화 추세에 따라 그 적용분야가 확대되고 있다. 그러나, 소모성 전극 아크 용접에 비하여 낮은 용착률에 따른 낮은 생산성과 높은 인건비 등의 단점이 GTAW 적용 확대의 저해 요인이 되고 있으며 생산성 증대를 위하여 용접 공정의 자동화가 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 일반적인 자동 GTAW공정의 용접조건에 적합하도록 자동 용접 와이어 송급 장치의 송급조건을 최적화하기 위하여 용접 와이어 송급속도와 용접 전류, 아크 전압, 용접 속도, 용접 와이어 송급각 및 torch각 등의 인자들이 용접 비드 형상에 미치는 영향에 대하여 조사하였으며, 이를 이용하여 용접조건에 따른 용접비드 예측 모델을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 용접비드 예측을 위한 모델

용접비드 형상에 미치는 영향 인자에 대하여 많은 연구자들이 연구를 수행하였다. 용접비드 형상에 영향을 미치는 인자중에 용접 전류, 아크 전압 및 용접 속도는 용접 입열량과 관계가 있는 인자로서 용접 입열량은 일반적으로 다음과 같이 표현된다.⁽¹⁾

$$\text{Heat Input} = \eta \frac{V \cdot I}{V_t} \text{ (J/mm)} \quad (1)$$

where, η : Arc efficiency

V: Arc voltage(V)

I: Arc current(A)

Vt: Welding speed(m/min)

용접공정 조건의 각 인자들의 영향을 평가하기 위해서는 다음과 같은 전제조건을 가정하였다.

1. 용접 와이어의 용융량과 비드를 형성하는 용착 금속의 양은 같다.
2. 용접비드의 형상은 타원이다.
이상의 전제조건으로부터 다음과 같은 등식을 나타낼 수 있다.

$$A_w \cdot V_w \cdot t = A_b \cdot V_t \cdot t \quad (2)$$

where, A_w : wire cross section area(mm²)

V_w : wire feeding speed(m/min)

t: time

A_b : bead cross section area(mm²)

V_t : travel speed(m/min)

식 2로부터 비드 형상(A_b)는 다음과 같이 표현된다.

$$A_b = \frac{A_w \cdot V_w}{V_t} \quad (3)$$

용접비드의 단면 형상은 용접비드의 폭(W), 높이(H) 길이 등의 parameter를 이용하여 그 형상을 측정하며, 각 parameter는 서로 유기적인 관계에 의하여 그 형상이 변화한다. 본 연구에서는 각 parameter를 독립적으로 예측하고자 하였다.

$$A_b = a W \times H \quad (4)$$

where, a: constant coefficient

용접비드의 폭에 대하여 식3과 식4를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W \cdot H = a \frac{Aw \cdot Vw}{Vt} \quad (5)$$

$$W = a \frac{I}{Vt} + bL + c \quad (6)$$

where, L: arc length(mm)
b, c: constant coefficient

용접 와이어의 송급속도와 용접 와이어의 단면적 및 용접 속도, 아크 길이의 parameter가 포함되어 있지 않기 때문에 이를 고려하여 다음과 같이 식 6을 표현 할 수 있다.

$$W = a \frac{I \cdot Aw \cdot Vw}{Vt} + bL + c \quad (7)$$

식 5를 이용하여 비드의 높이 H를 표현하면 다음과 같이 표현된다.

$$H = a \frac{Vw \cdot Aw}{I} + bL + c \quad (8)$$

2.2 실험장비 및 조건

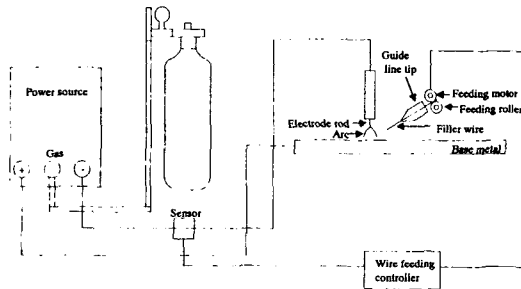


Fig. 1. Schematic drawing of wire feeding system for GTAW

Fig.1과 같이 실험장비를 구성하였으며, 용접 수행조건은 Table 2-1과 같다.

Table 2-1 Welding condition.

Welding current(A)	100 ~ 300
Arc voltage (V)	10 ~ 17
Travel speed(cm/min)	5 ~ 25
Wire feeding speed(m/min)	1.0 ~ 2.4
Feeding angle(°)	10 ~ 25
Torch angle(°)	90 ~ 75

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접전류의 영향

전류의 증가에 따른 일정한 용접 와이어 송급 속도에서 용접비드의 폭을 Fig.2에 나타내었다. 전류의 증가에 따라서 용접비드 폭이 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 용접 전류의 증가가 전류밀도의 증가와 함께 아크의 크기를 증가시키기 때문으로 알려져 있다.

3.2 용접전압의 영향

아크길이의 증가에 따른 용접비드 높이를 Fig.3에 나타내었다. 아크 길이가 증가함에 따라서 용접비드 높이도 증가하는 것으로 관찰되었다.

3.3 용접속도의 영향

용접 속도와 용접비드 폭의 관계를 Fig.4에 나타내었다. 용접속도가 증가함에 용접비드 폭이 감소하였음을 관찰할 수 있다.

3.4 용접 와이어 송급속도의 영향

용접 와이어 송급속도에 따른 용접비드 높이를 Fig.5에 나타내었다. 같은 용접 조건에서 용접 와이어 송급속도 증가는 용접비드 높이도 증가하는 경향을 볼 수 있었으며 용접비드 높이는 용접 와이어 송급속도에 따라서 선형적으로 증가하였다.

3.5 용접비드 폭 예측 모델

이상의 실험결과로부터 용접전류의 증가에 따라 용접비드 폭이 선형적으로 증가하였고, 용접 속도는 용접비드 폭과 반비례 관계가 있음을 알 수 있었다. 반면에 식 7에서 용접비드 폭에 미치는 아크 길이 및 용접 와이어 송급속도 영향은 미약하였기 때문에 식 7을 단순화하여 식 9로 나타낼 수 있었다.

$$W(mm) = a \frac{I \cdot Aw}{Vt} + bL + c \quad (9)$$

실험을 통해 측정된 결과를 선형 회귀 분석하여 각 상수를 구한 결과 용접비드 폭의 예측식을 식 10과 같이 간단한 수식으로 나타낼 수 있었다.

$$W = 5.9812 \frac{I \cdot Aw}{Vt} - 0.006L - 0.012 \quad (10)$$

용접비드의 폭을 계산되어진 결과와 실제 측정 결과를 비교하여 Fig.6에 나타내었다. 계산결과와 측정 결과의 상관계수는 0.9729이며 이는 용접비드 폭을 예측 가능하다고 할 수 있다.

3.6 용접비드 높이 예측 모델

용접비드 높이는 아크 길이 및 용접 와이어 송급속도 영향을 가장 많이 받는 것을 알 수 있었다. 용접비드 폭은 용접비드 증가에 따라서 약간의 변화가 있으나 용접 와이어 송급속도와 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다. 따라서 식 8을 단순화하여 식 11로 나타낼 수 있다.

$$H = a \frac{Aw \cdot Vw}{I} + bL + c \quad (11)$$

식 11식을 이용하여 실험에서 측정된 값을 선형 회귀분석을 이용하여 상수를 구하였다. 용접비드 높이는 식 12와 같이 간단하게 수식으로 나타낼 수 있었다.

$$H = 0.25 \frac{Aw \cdot Vw}{I} + 0.01L - 0.06 \quad (12)$$

용접비드 높이를 계산되어진 결과와 실제 측정 결과를 비교하여 Fig.7에 나타내었다. 계산결과와 측정 결과의 상관계수는 0.9504이며 이는 용접비드 높이를 예측 가능하다고 할 수 있다.

4. 결론

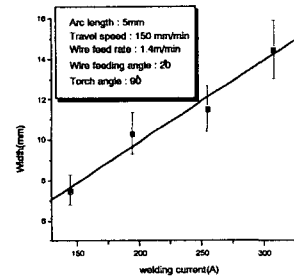
본 실험을 통하여 GTA용접 공정에서 용접 와이어 송급시에 나타나는 용접비드 형상에 대하여 관찰할 수 있었으며 이를 기반으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용접 전류와 용접와이어 송급속도 사이에는 일정한 관계가 있음을 알 수 있다.
2. 용접비드 폭은 용접전류 및 용접속도에 의한 영향을 가장 많이 받는 것을 알 수 있었다.
3. 용접비드 높이는 아크 길이 및 용접와이어 송급속도 영향을 가장 많이 받고 있음을 알 수 있었다.
4. 용접비드 폭과 높이를 예측함에 있어서 용접공정 변수를 이용하여 상관계수 0.95이상으로 예측이 가능하였다. 특히 용접비드 폭은 상관계수

0.9729로 용접비드 높이는 상관계수 0.9504로 예측할 수 있다.

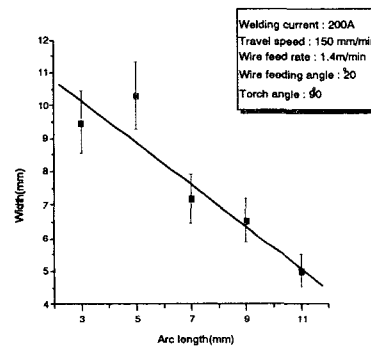
References

1. Welding handbook, vol. 2 eighth edition, AWS pp.72~95 1991



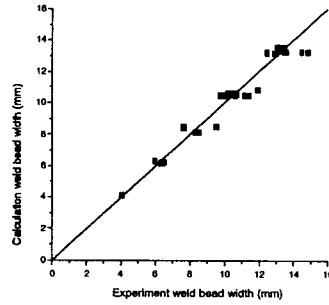
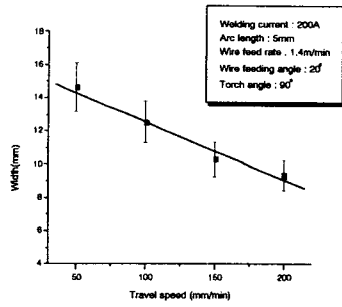
150A 200A 250A 300A

Fig. 3-1. The effect of welding current on weld bead width.



3mm 5mm 7mm 9mm 11mm

Fig. 3-2. The effect of arc length on weld bead width.



(a) 50mm/min (b) 100mm/min (c) 150mm/min (d) 200mm/min

Fig. 3-5. The compared calculation weld bead width with experiment weld bead width.

Fig.3-3. The effect of travel speed on weld bead width.

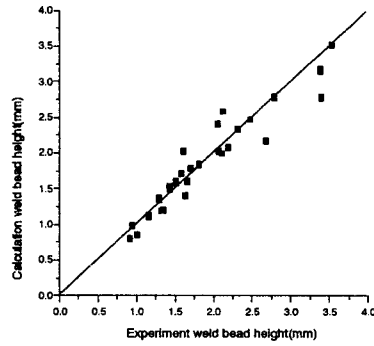
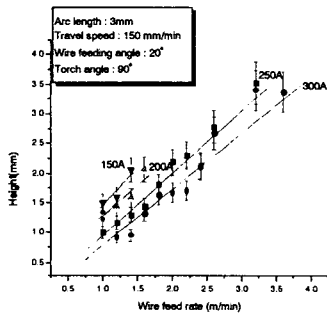


Fig. 3-4. The effect of wire feed rate on weld bead height(150A, 200A, 250A,300A)

Fig. 3-6. The compared calculation weld bead height with experiment weld bead height.