

위빙 속도와 심선 송급 속도를 고려한 아크 센서에 관한 연구

A study of arc sensor considering weaving speed and wire feed rate

김용재*, 이세현**, 엄기원**

* 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

** 한양대학교 정밀기계공학과

1. 서론

위빙 주기 1Hz 이상에서는 아크의 자기 제어(self-regulation) 효과가 비교적 작다. 따라서 아크 길이 변화폭과 전류 변화폭이 크게 된다. 이는 전류값을 이용한 아크 센서에서 용접선 정보를 얻는 데에 도움이 되지만, 위빙 끝단에서 오버랩 또는 언더컷의 용접 결합이 생길 수 있음을 나타낸다. 따라서 용접선 정보를 얻으면서, 팁-모재간 거리(CTWD) 변화에 따라 심선 송급 속도를 제어하여 용접 결합을 방지하는 알고리즘을 개발할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 위빙 조건과 용접 속도에 따라 변하게 되는 CTWD를 고려하여 위빙시 전류 변화 패턴을 해석하고, 용접선 추적에 위빙 끝단의 전류값의 변화에도 용접선 정보를 얻을 수 있는 전류 면적차를 이용한 아크 센서를 적용하였다. 아울러 안정된 아크와 오버랩(overlap), 언더컷(undercut)이 없는 양호한 용접비드를 얻기 위하여 위빙 끝단에서 심선 송급 속도를 줄여 아크 길이 회복을 돕고 위빙 끝단에서의 최고 전류값을 줄이는 심선 송급 속도 제어 알고리즘을 제안하였다.

2. 전류 변화와 위빙 운동

아크 길이는 아크 특성식, 전력 특성식과 아크 평형식을 통하여 결정된다. 여기에 용융 속도식을 더한 후 CTWD의 변화를 입력으로하여 용접전류값의 출력을 전개하면 다음의 식(1)^[1]로 정리된다.

$$K_0 \frac{d^2 I}{dt^2} + (b K_0 I^2 - K_1) \frac{dI}{dt} + aI + b(L - K_2 - K_1 I) I^2 = Fr - \frac{dL}{dt} \quad (1)$$

where, $K_0 = \frac{H}{\beta}$, $K_1 = -\frac{R + \alpha}{\beta}$, $K_2 = \frac{V_{oc} - V_0}{\beta}$

여기에 $V_0=14(\text{Volt})$, $\alpha=1/45(\text{Volt/Amp})^{[2]}$, $\beta=0.7(\text{Volt/mm})^{[2]}$, $V_{oc}=30(\text{Volt})$, $R=1/75(\text{Ohm})$, $a=0.3^{[3]}$, $b=0.00005^{[3]}$, $H=0.0005(\text{H})$ 를 상수로 결정하면, 전류변화는 CTWD(L)와 심선 송급 속도(Fr)의 함수가 된다. 여기서 심선 송급 속도가 일정할 때 L과 dL/dt는 위빙 조건과 용접 속도에 따라 변하게 된다.

용접 로봇의 움직임에 의해 생기는 토치의 위빙 속도는 시간에 따라 변한다. 본 연구에서는 토치가 V-그루브(groove)에서 직선 위빙 운동을 할 때 위빙 위치와 시간에 따라 변하는 CTWD를 실험(Fig. 1)으로 구해, 직선 위빙 운동이 진자 운동임을 검증하였고, 이를 U-그루브에 적용하여 시간에 따른 팁-모재간 거리와 CTWD변화율 식(2)를 얻어 전류 변화 패턴을 구하였다.

$$L = 22 - \frac{W+4}{2} \sin^2 2\pi ft \quad (\text{mm}), \quad \frac{dL}{dt} = -(W+4)\pi f \sin 4\pi ft \quad (\text{mm/sec}) \quad (2)$$

where, L=CTWD, W=weaving width, f=weaving frequency

위빙 1/4주기마다 전류값을 적분하여 구하는 전류 면적은 위빙 중심선과 용접선이 좌우로 차이가 생겼을 경우 면적차가 생기게 되고(Fig. 2), 이는 용접선 추적 정보가 된다.

3. 심선 송급 속도 조절

그림 2를 살펴보면 위빙 끝단에서 용접 전류값이 커짐을 알 수 있다. 이는 용접선에서 토치 중

심선이 벗어났을 경우 오버랩이나 언더컷의 결함 발생 원인이 된다. 따라서 위빙 끝단에서 심선 송급 속도를 변화시킬 필요가 있고, 심선 송급 속도의 제어는 용접선 추적을 위한 전류 면적차는 유지하면서 양끝단의 전류값을 줄이는 형태의 것이 되어야 한다. 따라서 시뮬레이션을 통해 심선 송급 속도 제어 함수와 제어폭를 결정하였고(Fig. 3), 이 때 위빙 끝단의 용접 전류를 줄이면서 용접선 정보를 얻을 수 있었다(Fig. 4).

4. 입열량 변화

심선 송급 속도가 달라졌을 경우 그루브 면의 입열 분포를 알아 보는 시뮬레이션 해석을 하였다. 열원은 2차원 가우시안 분포(Gaussian distribution)로 가정하였고, 분포의 99% 영역까지를 입열 지름으로 하는 입열 분포식은 식 (3)^[6]과 같으며, 위빙 도중 입열지름은 아크 길이와 1차 선형 비례 관계에 있다고 가정하였다. 여기서 $q(r)$ 은 입열 중심으로부터 r 만큼의 거리에 있는 점들의 입열량값이다.

$$q(r) = \eta \frac{Q}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3)$$

where, η =아크 효율, $Q=VI$, r =입열 중심까지 거리, $\sigma = \sqrt{-\frac{R^2}{2\ln 0.01}}$, R =입열반경

다음으로 그루브 형태를 U 그루브로 하여 1주기 위빙 용접을 가정할 때, 그루브 단위 면적당 입열량을 심선 송급 속도를 조절하지 않았을 경우와 조절했을 경우를 계산하여 비교하였다(Fig. 5, Fig. 6). 이 때 심선 송급 속도를 조절했을 경우 입열 피크값이 위빙 끝단이 아닌 위빙 중간에 생기는 것을 볼 수 있었고, 최대값과 평균값이 심선 송급 속도를 제어하지 않았을 때와 비교하여 모두 줄어들었음을 알 수 있었다. 이는 위빙 끝단에서 전류값이 작아지고, 총입열량이 줄어들었기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 위빙 끝단에서 언더컷을 효과적으로 줄일 수 있으리라 기대된다.

5. 결론

본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접전원, 아크전압, 전극의 용융 속도, 심선의 송급 속도 등을 고려한 아크 센서의 동적 모델을 유도하였고, U-그루브 위의 토치 이동 속도를 구하여 CTWD와 CTWD변화율을 나타내는 수식을 얻었다.
- 2) 아래 보기 필릿 용접의 경우에 위빙 끝단에서 용접 전류값이 작아지도록 심선 송급 속도를 조절하면서, 전류 면적차를 이용한 아크 센서를 적용하여 용접선 정보를 얻을 수 있음을 보였다.
- 3) 심선 송급 속도를 조절하여 용접 전류 변화폭, 아크 길이 변화폭, 용융 속도 변화폭 및 입열량 변화폭을 줄이는 알고리즘을 제안하였다.
- 4) 열원을 2차원으로 가정한 단위 면적당 입열량 해석에서 심선 송급 속도를 조절하여 위빙 끝단의 피크값을 효과적으로 줄일 수 있음을 알았다.

Reference

- (1) E. Murakami, K. Kugai and H. Yamamoto : Dynamic analysis of arc length and its application to arc sensing, Sensors and Control Systems in Arc Welding, (1994), pp 216-226
- (2) M. E. Shepard, and G. E. Cook : A nonlinear time-domain simulation of self-regulation in gas-metal arc welding, International trends in welding science and technology, (1993), pp 905-910

- (3) J. Norrish : Advanced welding processes
- (4) K. C. Tsao, and C. S. Wu : Fluid flow and heat transfer in GMA weld pools, Welding Journal, Vol. 67, No. 3, (1988), pp. 70s-75s
- (5) J. F. Lancaster : The physics of welding, (1984)
- (6) 김용재, 이세현, 엄기원 : 전류면적차를 이용한 아크센서의 용접선 추적에 관한 연구, 대한용접학회, (1996), 제14권, 제6호, pp 131-139

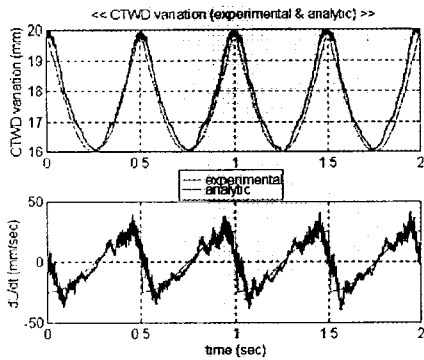


Fig. 1 L & dL/dt variation

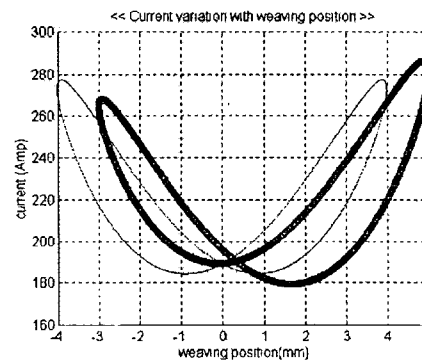


Fig. 2 current on 1mm right shift

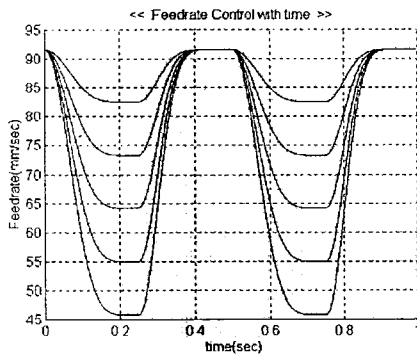


Fig. 3 wire feedrate control

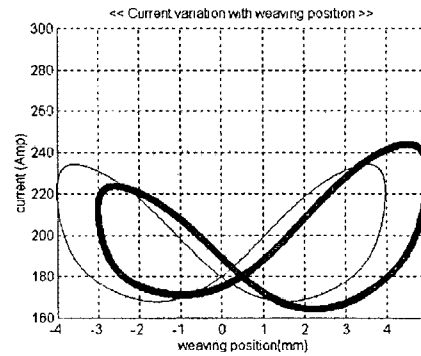


Fig. 4 current with Fr control (40%)

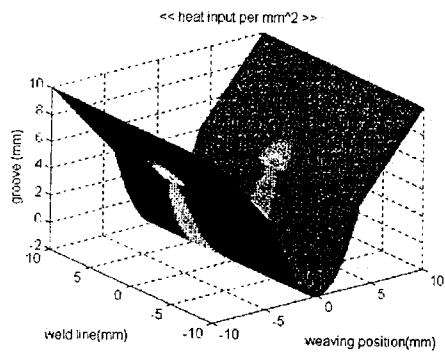


Fig. 5 heat distribution on U-groove without Fr control

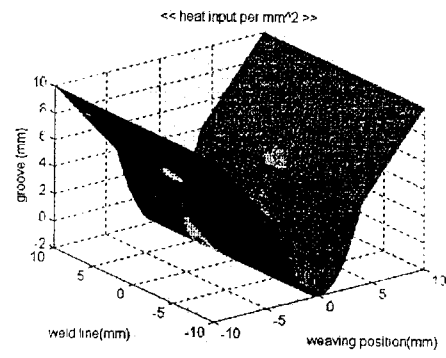


Fig. 6 heat distribution on U-groove with Fr control