

# 전류면적법을 이용한 아크센서의 용접선 추적에 관한 연구

## A Study of Seam Tracking by Arc Sensor using Current Area Difference Method

김용재\*, 이세현\*\*, 엄기원\*\*

\* 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 한양대학교 정밀기계공학과

### 1. 서론

용접전류나 용접전압을 이용하여 용접선을 추적하는 아크센서의 응답성은 주로 정적인 모델에 기초하여 행해져왔다. 그러나 위빙시 일어나는 아크 현상은 정적인 거동만으로 해석하기에는 매우 복잡한 양상을 가지고 있고, 특히 CO<sub>2</sub> 아크용접처럼 아크 상태가 불안하여 스파터가 발생하고 용접전류값의 변동도 심한 경우에는 침두치방식이나 단순한 적분방식으로는 아크센서를 적용하기에 한계가 있다고 판단하여, 본 연구에서는 용접전원, 아크전압, 전극의 용융속도, 심선의 송급속도 등을 고려한 아크센서의 동적 모델을 유도하였고, 이 모델을 이용하여 CTWD의 변화량에 대한 용접전류값의 변화량을 시뮬레이션하였다. 또 이 시뮬레이션과 탄산가스아크용접 실험결과를 통해 위빙중심선과 용접선과의 거리차이는 전류면적차이와 선형적인 관계가 있음을 알 수 있었다. 마지막으로 이 전류면적차이를 이용하여 용접선을 추적하는 아크센서가 현장적용이 가능하도록 용접로봇과 결합하여 용접선추적시스템을 구성하였으며, 용접선 중심오차가 5° 인 경우의 실험결과 양호한 추적성능을 보였다.

### 2. 아크센서의 원리

용접과정에서 아크 길이의 변화는 용접전류값을 결정하는 가장 주요한 요소이다. 따라서 CTWD의 변화에 따른 아크 길이의 변화를 해석하는 것이 용접전류값의 동적 거동을 이해하는데 필수적이다. 아크 길이는 아크 특성식, 전력 특성식과 아크 평형식을 통하여 결정된다. 여기에 용융 속도식을 더한 후 정해진 용접조건에서 위빙했을 때 생기는 CTWD의 변화를 입력으로하여 용접전류값의 출력을 전개하면 다음의 식(1)로 정리된다.

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

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

개선각이 90° 인 V 그루브에서 용융지가 생성됨을 고려할 때, joint type은 이차포물선으로 표현할 수 있고, 식(1)의 상수값을  $V_0=10$ ,  $\alpha=1/30$ ,  $\beta=1.5$ ,  $V_{oc}=40$ ,  $R=1/20$ ,  $Fr=7600/60$ ,  $a=0.311$ ,  $b=0.0000463$ 으로 결정하고 위빙주기를 1Hz로하여 식(1)을 수치해석으로 풀었을 때, 위빙중 CTWD 변화에 따른 아크길이와 용접전류값의 변화를 시뮬레이션한 결과는 Fig. 1과 같다. 이를 살펴보면 위빙 끝단에서 전류값이 가장 높고, 위빙 반 주기 동안에는 토치가 그루브 벽쪽으로 접근할 때 용접 전류는 심선의 돌출 길이가 짧아지면서 서서히 증가하고, 반대로 그루브 벽쪽에서 멀어질 때는 아크의 길이가 늘어나면서 전류값이 갑작스럽게 감소한다는 것을 알 수 있다. 다음은 용접중심선과 토치위빙중심선이 1mm의 차이를 가정했을 때의 시뮬레이션 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 이 때는 전류면적차이가 생기며 1/4주기 간격으로 그 구간의 전류값을 더해 이를 계산할 수 있다. 실제의 실험에서는 구간마다의 전류값을 2차 최소자승법(least square method)을 통해 커브피팅(curve fitting)하게되며, 이 결과를 실선으로 나타내었다. 여기서 ①과 ②의 적분값의 차이에서 ③과 ④의 적분값 차이를 뺀 값이 전류면적차이이며, 「+」는 오른쪽 전류면적을 그리고 「-」는 왼쪽 전류면적을 나타낸다. 여기서 전류면적값의 차이( $\Delta A$ )를 구하면 용접선과 토치위빙중심선 사이의 치우침 정도를 알 수 있다.

$$\Delta A = A_R - A_L \quad (2)$$

$$\text{where, } A_R = \int_0^{\frac{1}{4}T} I \delta t - \int_{\frac{1}{4}T}^{\frac{1}{2}T} I \delta t, \quad A_L = \int_{\frac{1}{2}T}^{\frac{3}{4}T} I \delta t - \int_{\frac{3}{4}T}^T I \delta t$$

### 3. 추적 실험 및 결과

용접기는 CO<sub>2</sub>아크용접기로서 보호가스는 100% CO<sub>2</sub>가스를 사용하였고, 유량은 20 l/min로 하였다.  $\phi 1.2\text{mm}$ 의 솔리드와이어를 사용했으며, 용접전원으로는 정전압방식의 전원공급장치로 되어있는 최대 정격 2차전류 350A의 용접기를 사용하였다. 산업용 6축 로봇(Nacchi : model 7603AR)을 사용하였으며, 용접시편은 두께 9.0mm, 가로 80mm, 세로 180mm의 연강 2장을 사용하였다. 지그에 설치후 용접전압을 27 V, 심선 송급 속도를 7.6 m/min, 용접속도를 4mm/sec, 위빙폭을 8mm, 위빙주기를 1sec로하여 flat 필릿용접을 실시하였다.

우선 이론의 검증을 위해 용접선과 토치의 위빙중심선이 X자 형태로 틀어져 있을 때, 토치의 위치보정없이 용접하여 전류면적차이를 구하였다. 실험결과 토치의 위빙중심선과 용접선과의 거리차이는 전류면적차이와 선형비례관계에 있음을 알 수 있었다.(Fig. 3)

다음으로 시험편을 약 5° 정도 용접선에서 기울어지도록 지그에 설치시킨 후, 이동평균법의 가중치를 0.1, 0.2, 0.3, 0.4로 바뀌가면서 실험하였다(Fig 4, Fig 5). 가중치가 0.1과 0.2인 경우에 표준편차, 평균오차 및 최대오차가 모두  $\pm 1\text{mm}$ 안에 들었고, 비드모양도 비교적 양호하였다. 이는 심선의 지름이 1.2mm인 것을 고려할 때 우수한 추적성능을 보인 것으로 판단할 수 있었고, 따라서 주어진 용접조건에서는 0.1과 0.2의 가중치가 추적에 알맞은 값을 알 수 있었다.

### 4. 결론

아크센서를 이용한 flat 필릿 용접선 추적장치를 용접로봇에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접전원, 아크전압, 전극의 용융속도, 심선의 송급속도 등을 고려한 아크센서의 동적 모델을 유도하였고, 이 모델을 이용하여 CTWD의 변화량에 대한 용접전류값의 변화량을 시뮬레이션하였다.
- 2) 위빙시 아크전류값의 동적 거동에 기초한 센싱방법인 전류면적차이법을 이용하여 토치의 위빙중심선과 용접선과의 거리에 따른 전류면적의 차이를 나타내는 실험식을 도출하였다.
- 3) 현장 적용력을 높이기 위해 별도의 제어기 설계 없이 로봇의 기존 기능중 진행중 이동 기능을 사용한 아크센서 모델을 제시하였다.
- 4) CO<sub>2</sub>아크용접에서 용접선 중심오차가 5° 인 경우에 대해 여러 값의 가중치를 적용해 실험하였을 때 0.1과 0.2의 가중치에서 양호한 추적성능을 보였다.

### Reference

- (1) 엄기원, 최신용접공학, 1992
- (2) H. Fujimura et al., "Robot welding with arc sensing", Sensors and Control Systems in Arc Welding, pp 228-237
- (3) S. Iwaki, "Application of arc sensors to robotic seam tracking", Sensors and Control Systems in Arc Welding, pp 209-215
- (4) M. Otaguro, "Groove tracking control by arc-welding current", Sensors and Control Systems in Arc Welding, pp 257-265
- (5) 이승영, 문형순, "소모성 전극을 사용하는 아크용접 로봇을 위한 아크센서 개발에 관한 연구", 대한용접학회지, 제11권, 제3호, 1993, pp 22-33
- (6) J. F. Lancaster, The Physics of Welding, 1984

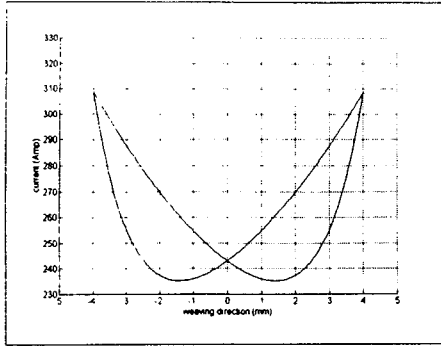


Fig. 1 Relationship between weaving position and welding current

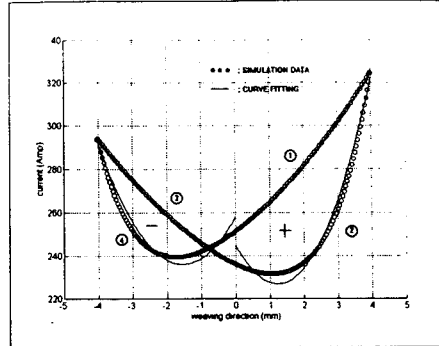


Fig. 2 Difference of current area (1mm right-shift)

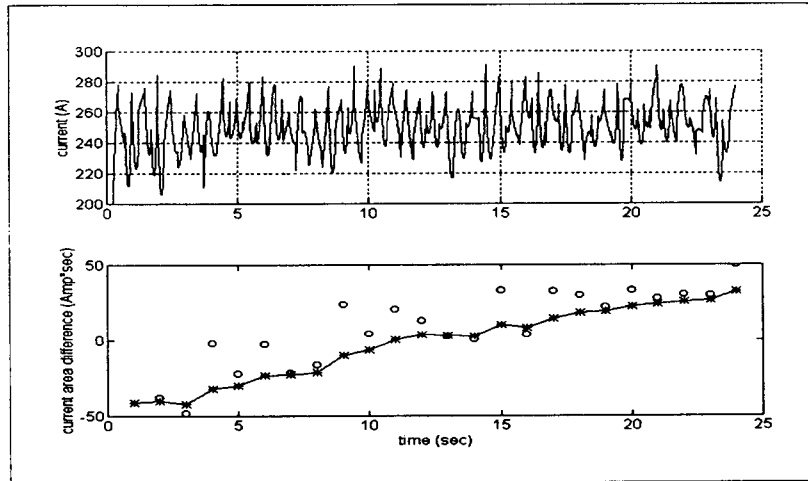


Fig. 3 Experimental results of the relationship between current area difference and weaving center deviation from weld line

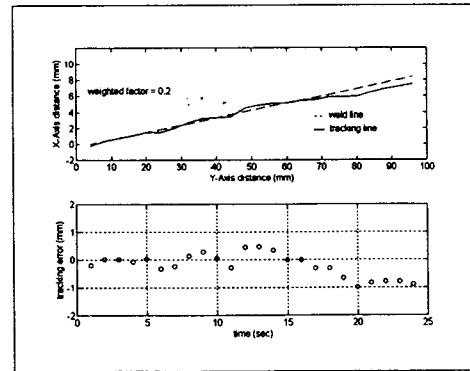
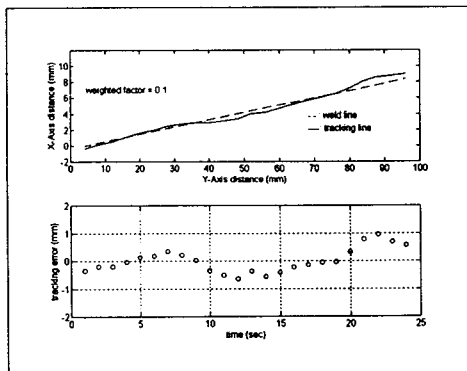


Fig. 4 Experimental results of 5 degree deviation with weighted factor 0.1 and 0.2