

박판 맞대기 용접선의 자동 추적을 위한 전자기식 센서시스템에 관한 연구
A Study on Electro-magnetic Sensor System for
Butt Weld Joint Tracking in Sheet Metal Arc Welding

유 병 희 (효성중공업 전력사업부 용접기팀) · 김 재 응 (영남대학교 기계공학부)

1. 서론

산업의 발달과 더불어 각 분야에 대한 자동화가 적극적으로 추진되고 있다. 특히, 용접공정의 자동화는 작업환경의 열악성, 품질의 균일성 유지, 생산성 향상이라는 측면에서 그 필요성이 제기되고 있다. 용접자동화에는 임의의 용접 경로를 추적하는 용접선 추적, 용접변수 제어, 전문가 시스템의 개발과 같은 분야가 있으며 이중 용접선 추적 시스템은 가장 기본적인 것이라 생각된다^[1-2]. 이러한 용접선 추적 시스템은 다양한 모양의 용접선에 적용할 수 있었어야 하며 고정치구로 부터의 오차를 보정할 수 있었어야 한다. 이상과 같은 시스템을 구축하기 위해서는 용접선을 감지하여 조인트의 상태와 정확한 위치정보를 추출할 수 있는 용접선 검출용 센서의 개발이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 박판의 맞대기 이음을 검출하기 위하여 전자기식 센서를 설계, 제작하여 용접선 검출 능력을 확인하고 박판 맞대기 용접선을 자동추적할 수 있는 용접선 자동 추적 시스템을 구축하였다. 시스템은 용접선 감지를 위한 센서부와 토치를 이동하는 구동부 그리고, 이를 제어하기 위한 퍼스널 컴퓨터로 구성된다. 용접선 정보를 얻기 위한 전자기식 센서의 출력 신호를 평활시키기 위해 이동평균법(moving average)^[3-5]을 적용하였으며, 신호처리된 데이터로 부터 용접선 위치에 해당하는 변곡점을 인식하기 위하여 1차 미분법^[6]을 사용하였다. 이렇게 구한 용접접합부 위치 데이터를 이용하여 용접토치가 추적해야 할 경로를 생성시키고, 시스템 구동부를 제어함으로써 용접선 추적을 수행한다.

2. 전자기식 센서의 원리

Fig.1의 (a)와 같이 코일의 단자간에 교류 전압을 가하면 자속 ϕ_1 이 발생되고 코일이 금속체에 근접하게 되면 금속체 표면에 Fig.1의 (b)와 같은 동심원 모양의 와전류^[7]가 발생한다. 와전류는 Fig.1의 (c)와 같은 자속 ϕ_2 를 금속체 표면에 생기게 하여 자속 ϕ_2 가 근접한 코일 본래의 자속 ϕ_1 에 영향을 주어 결국 코일에서의 자속은 $\phi_1 - \phi_2 = \phi_3$ 가 된다[Fig.1 (d)]. 센서 코일의 미세한 인덕턴스 변화량을 검출하기 위해 브릿지 회로(bridge circuit)를 이용할 수 있다. 센서코일인 L_2 를 금속체에 근접시키면 금속표면에 와전류가 발생하여 이것이 인덕턴스 L_2 를 $L_2 - \Delta L_2$ 로 변화시킨다[Fig. 2]. 전원 전압이 E일 때 단자 CD간의 전압 V는 다음과 같다.

$$V = \frac{R_1 R_3 (\Delta L_2)}{L_2 (R_1 + R_3)^2} E$$

$$V \propto \frac{\Delta L_2}{L_2} E$$

결국, 전자기식 센서의 출력 전압은 $\Delta L_2/L_2$ 에 비례하게 된다.

3. 센서의 설계 및 출력신호

용접공정중에는 용접전류에 의해 형성된 자기장(magnetic field)으로 인해 센서 출력 신호에 노이즈가 포함될 수 있다. 이것은 센서의 조인트에 대한 정확한 위치 정보 인식에 영향을 미친다. 그러므로, 전자기식 센서를 용접자동화에 적용 가능한지의 여부를 확인하여야 하며 이를 위해 다음과 같은 실험을 하였다. 맞대기 이음의 용접접합부에 대해 실험 조건은 샘플링 주파수 200Hz, 주사속도(scanning speed) 7mm/s로 하여 센서를 모재로부터 4mm높이에 고정시키고 단지 용접선을 가로지르는 방향으로만 주사속도로 이동시키면서 용접선을 검출하였다. Fig.3에서 (a)는 맞대기 이음의 아크가 없는 상태에서 용접선을 검출한 것이고 (b)는 아크가 있는 상태에서 측정된 출력신호이다. 그림에서 출력전압이 가

장 낮은 곳이 용접선의 위치에 해당된다. Fig.3에서 전자기식 센서는 실제 용접공정중에 발생하는 용접 전류로 인한 노이즈에 거의 영향 받지 않는 것을 알 수 있다.

4. 용접접합부의 위치결정 및 용접선 검출

전자기식 센서로 부터 얻은 신호는 저역통과필터를 통해 고주파성분의 잡음은 제거되지만 센서 구동축 및 토치 구동축의 진동, 용접전류등에 의한 요동(fluctuation)성분을 포함하고 있다. 이동평균법을 이용하여 측정된 신호에서 잡음이나 요동을 제거하고 신호의 신뢰도를 높였다. 센서에서 출력된 한주기의 신호를 이동 평균법을 이용하여 평활을 시켰을 때 조인트 주변에서의 출력신호는 포물선 형태로 나타난다. 이러한 포물선에서 조인트의 위치는 변곡점의 위치에 해당되며 변곡점을 추출하기 위하여 선을 이루는 각 거리 데이터에 대해 1차 미분을 취하였다. 여기서, 변곡점은 미분값이 음에서 양으로 바뀌는 점이 된다. 이때 변곡점을 찾는 성능은 이동 평균식에서의 가중치와 1차 미분에서의 미분구간의 크기에 따라 달라진다. 즉 가중치의 크기에 따라 신호평활의 정도가 달라지며, 미분구간이 작을 경우 선의 국부적인 기울기 변화에 민감하고, 미분구간이 클 경우 선의 전반적인 기울기 변화를 얻을 수 있다. Fig.4는 아크가 없는 상태에서 같은 위치를 20번 반복 측정하여 이동평균법과 1차 미분법을 적용하였을 때 평활의 정도와 미분구간의 크기에 따른 조인트 검출성능을 표준편차(standard deviation)와 평균값(mean value), 최대값(maximum value), 최소값(minimum value)으로 나타낸 것이다. 여기서, 조인트 검출성능은 이동 평균법의 가중치(w)가 0.9이고 1차 미분법에서 미분구간의 크기가 35-40일 때 조인트 검출성능이 가장 좋을 수 있는데 조인트 검출성능은 데이터 평활을 위해 적용되는 이동 평균식의 가중치와 변곡점 인식을 위한 1차 미분법의 미분구간의 크기에 따라 크게 달라진다. 그림에서와 같이 이동평균식의 가중치와 미분구간의 크기가 작을 경우 데이터 평활의 정도가 떨어져서 선의 국부적인 기울기에 민감해져서 인식되는 변곡점의 위치가 일정하지 않게되어 검출성능이 저하된다. 반대로, 가중치와 미분구간의 크기가 커지면 검출성능은 좋아진다. 그러나, 이 때에는 과도한 가중치로 인해 데이터에 시간지연이 발생하는 것을 보정해야 하며 미분구간이 커짐에 따라 검색거리가 작아진다는 문제가 발생된다. 본 연구에서는 용접조인트의 위치결정을 위해 1차 미분법을 적용하는데 있어서 이동평균법의 가중치를 0.9, 1차 미분구간을 35로 설정하였다. Fig.5는 시스템이 용접선 추적을 수행하지 않고 토치를 X축으로만, 일정 속도로 움직이면서 8.5°의 기울기로 벗어난 용접선을 검출하고 검출된 용접선의 위치 데이터에 대해 이동평균법의 가중치(w)를 달리하면서 용접선 위치의 재생성 결과를 검토한 것이다. 여기서 재생성된 용접선의 위치는 가중치에 따라 달라지는 것을 볼 수 있으며 가중치가 0.3일 때 검출된 용접선과 실제 용접선이 가장 잘 일치하며 가중치가 0.3보다 작을 때는 직선부와 경사각이 만나는 코너(corner) 부분에서 오차가 존재한다. 가중치가 0.3보다 클 경우 용접선의 직선 부분은 잘 일치 하지만 경사각에서 많은 오차가 발생한다. 이것은 이동평균법의 가중치가 클 경우에 생기는 시간지연의 효과에 기인한 것이다. Fig.5에서 부분적으로 나타나는 실제 용접선과 검출된 용접선의 오차는 센서 구동축 구동시 발생하는 주사속도의 미소한 오차에 기인한 것으로 사료된다.

5. 추적 결과

본 시스템에서는 센서와 토치사이의 거리와 센서의 이동범위 등으로 인해 그 추적 한계가 약 25° 이내로 제한된다. Fig.6의 (a)는 접합부 위치에 대한 이동평균의 가중치를 0.3으로 하여 경사각이 10°인 용접선을 실시간으로 추적하면서 용접을 수행한 결과이다. 그림에서 실선으로 표시된 선이 실제의 용접 경로를 나타내고, 점선으로 표시된 선이 용접선 추적 결과를 나타낸다. Fig.5와 비교하여 볼때 부분적으로 오차(deviation)가 다소 크게 나타난다. 이것은 실제 용접선 추적을 수행할 경우 센서 구동축 및 토치 구동축의 진동, 센서 주사속도의 미소한 오차가 용접선 검출시 요동성분으로 작용하기 때문인 것으로 사료된다. 경사각의 추적 정도와 직선부와 경사각이 만나는 코너(corner)부분에서 용접 결과를 볼 때, 전체적인 추적 성능은 상당히 양호하다. 그리고, Fig.6의 (b)는 실제 사진으로 용접비드가 균일하며 양호한 용접결과를 볼 수 있다. 사진의 오른쪽 끝부분에 발생한 틈은 용접중 열변형에 의한 것이며 이것으로 본 용접선 자동 추적 시스템은 용접공정중 열변형에 의해 발생하는 용접경로 변화를 검출하여 보정할 수 있음을 알 수 있다. 또한 용접조건(용접전류, 전압)제어를 동시에 수행할 경우 열변형 부분에서도 양호한 용접품질 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

6. 결론

1. 와전류를 이용한 전자기식 센서의 중요 설계변수중 코일의 권수, 직경, 전원주파수 등이 용접선 검출능력에 끼치는 영향을 실험을 통하여 확인하였으며, 이들 설계변수를 결정하여 제작하였다.
2. 용접자동화에 대한 전자기식 센서의 적용가능성을 검토한 결과 전자기식 센서는 용접공정에서 발생되는 용접전류 및 스파터와 같은 외란에 거의 영향을 받지않고 용접선을 인식할 수 있음을 확인하였다.
3. 용접선 인식을 위해 센서 신호를 디지털 필터링하므로써 용접선 감지 정밀도 향상 효과를 볼 수 있었으며 1차 미분법에 의한 용접선 위치 결정에서 적정 미분구간의 존재함을 알 수 있었다.
4. 본 용접선 자동 추적 시스템은 박판의 맞대기 이음에서 뛰어난 추적성능을 나타내므로 컨테이너(container) 및 파이프(pipe) 제작과 같은 산업현장에 적용할 경우 좋은 품질과 높은 생산성이 기대된다.

7. 참고문헌

- [1] T. Araya, and S. Saikawa:Recent Activities on Sensing and Adaptive Control of Arc Welding, 3rd Int'l Conf. on Trends in Welding Research, Gatlinburg, USA, June (1992), pp. 833-842.
- [2] H. Nomura and John E.Middle:Sensors and Control Systems in Arc Welding, CHAPMAN & HALL, 1994, pp.1-17.
- [3] 박 용환, 김 재응:레이저 변위센서를 이용한 용접선 검출에서 신호처리에 관한 연구, 대한용접학회지, 제13권, 제4호, 1995, pp.65-74.
- [4] 허 명희:탐색적 방법에 의한 통계 자료 분석론, 자유아카데미, 1993, pp.VII-VIII.
- [5] 박 선호:디지털 신호처리의 기초와 DSP응용실무, 국제테크노정보연구소, 1994, pp.41-47.
- [6] NHK 방송기술연구원 화상연구부:C언어에 의한 화상처리 실무, 국제테크노정보연구소, 1994, pp.78-79.
- [7] 김 상진:자동화를 위한 센서, 연학사, 1991, pp.117-119.

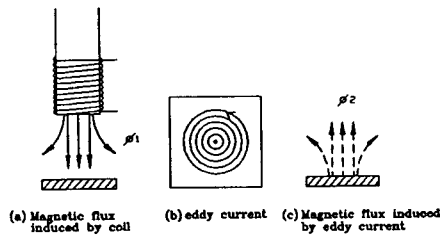


Fig. 1 Principle of eddy current

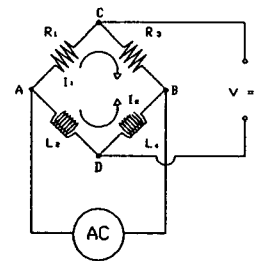
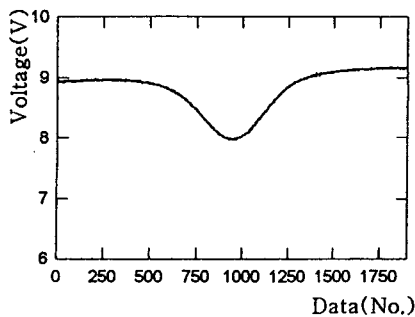
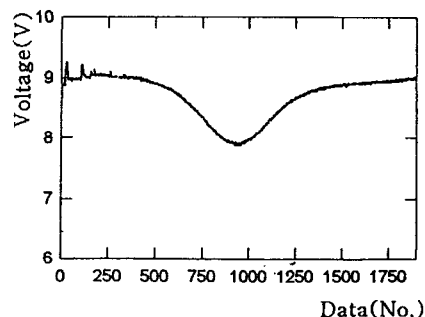


Fig. 2 Bridge circuit



(a) arc off



(b) arc on

Fig. 3 Sensor performance in butt joint

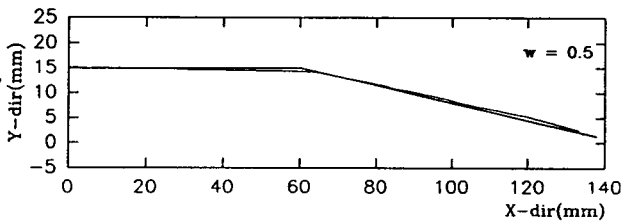
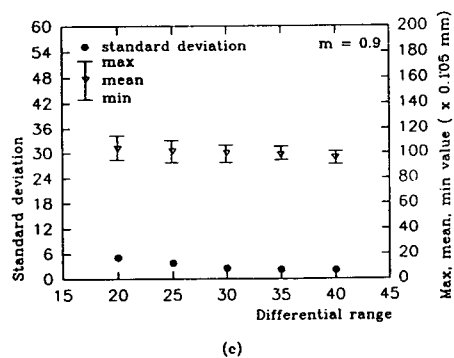
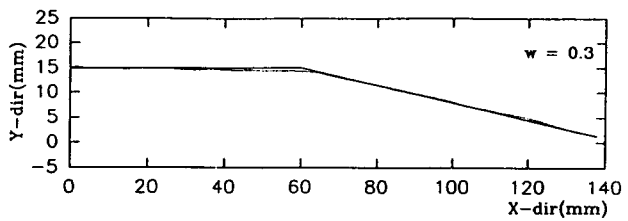
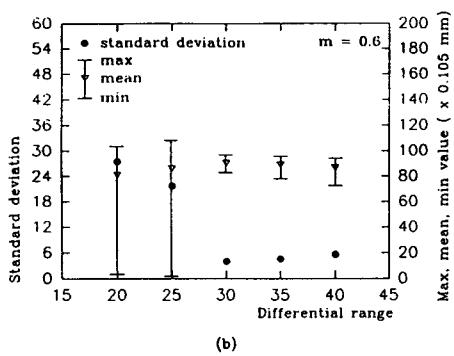
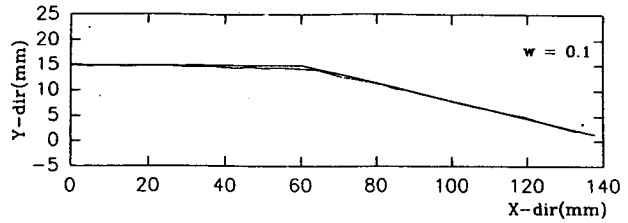
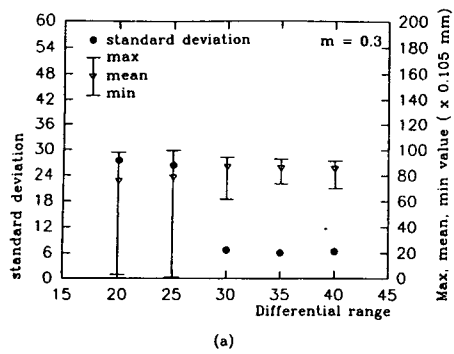
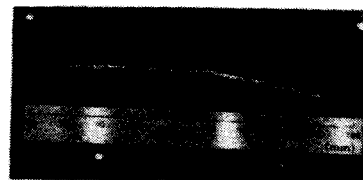
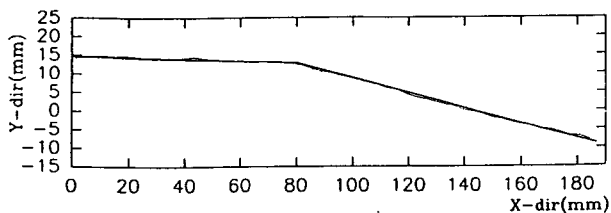


Fig. 5 Sensing result relative to factor of moving averaging

Fig. 4 Joint position by 1st order differential method



(a)

(b)

Fig. 6 Result of seam tracking during welding