

# 이중 전자기 센서를 이용한 박판 맞대기 용접선 자동추적 시스템에 관한 연구

## A study on the automatic weld-seam tracking system for butt-joint of sheet metal by using a dual-electromagnetic sensor

신 준 호 (영남대학교 대학원 기계공학과) 김 재 응 (영남대학교 기계공학부)

### 1. 서론

용접선을 실시간으로 감지하는 비접촉 센서에는 아크센서와 시각센서, 전자기식 센서가 있으며 아크센서는 용접시의 텀-모재간의 거리변화에 따른 전압 또는 전류신호를 이용하여 용접선을 추적하는 것으로 토치에 부착되는 별도의 감지장치가 필요 없고 주요기능이 아크특성을 이용하는 소프트웨어로 이루어져 제작비가 비교적 저렴하다는 장점이 있으나 전류신호를 얻기 위해 토치는 반드시 용접선 주위를 좌우로 움직이는 weaving 동작을 해야하므로 박판용접에는 적용이 곤란하다는 단점이 있고 아크 노이즈를 처리하기 위한 알고리즘이 복잡하고 용접조건에 영향을 많이 받는 단점이 있다. 시각센서는 2차원의 영상정보로부터 3차원 정보를 얻기 위하여 레이저 구조광을 사용해 용접선의 위치를 비교적 정확히 알 수 있으나 레이저, 카메라, 필터 등의 시스템 구성에 많은 비용이 소모되고 영상처리 알고리즘이 복잡하다는 단점이 있으며 또한, 아크광에 상당히 취약하고 틈새가 거의 없는 박판의 맞대기 이음부를 감지하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 반해 전자기식 센서는 장치가 간단하고 저렴하지만 감지높이가 시각센서에 비해 상대적으로 낮아 설치에 제한이 있고 시각센서에 비해 상대적으로 정밀도가 떨어진다는 단점은 있으나 틈새가 없는 박판 맞대기 이음부를 감지할 수 있고 아크광에 거의 영향을 받지 않는다는 장점을 지니고 있다. 본 연구는 교류전원을 인가한 코일을 금속체에 접근시켰을 때 코일에서 형성된 자속에 의해 금속(모재)표면에 링 모양의 와전류(eddy current)가 발생하고 이 와전류가 다시 코일의 자속을 방해하게 되므로 코일의 인덕턴스(inductance)에 변화가 일어나 결국은 코일에 흐르는 전압이 변하게 된다는 현상이론을 바탕으로 하고 있다. 바꾸어 말하면, 맞대기 이음부에서는 상대적으로 와전류 발생이 작기 때문에 전압신호가 틀려지므로 이 전압신호의 차이를 바탕으로 이음부의 위치를 추적할 수 있게된다.

### 2. 본론

#### 2.1 센서 및 회로의 설계

실험에 사용된 코어는 산화철 50%, 그밖의 무기재료를 50%정도 혼합해 프레스로 가압한후 소결시켜 만든 재료로써 고주파(수kHz ~ 수MHz)에 우수한 성질을 지닌다. 일반적인 연철등이 주파수가 올라갈수록 자체적으로 발생하는 와전류손실(eddy current loss)로 인해서 투자율이 급격히 감소함과 달리 고주파성능이 우수한 코어의 경우 1MHz이상의 주파수에서도 꾸준히 투자율이 증가하는 특성을 보인다. 저주파에서는 연철코어를 사용해도 무방하나 이는 전기적으로 도체인 관

계로 고주파로 갈수록 자속이 열로 발산할 뿐 아니라 와전류 손실이 생기게 마련이므로 전기적으로 저항이  $10^6 \sim 10^9 \Omega$  정도로 부도체적인 성격을 띄면서 자기적성질을 그대로 간직하는 페라이트 코어를 사용해 넓은 주파수 범위에서 전체적으로 우수하며 안정된 전압파형을 얻을수 있었다. **fig.1**은 센서형상을 보여주며 상부의 가진코일에 교류전원을 인가하면 자속이 발생하고 하부의 센서코일에는 유도기전력에 의한 자속과 모재의 와전류로 인한 반자속의 차이에 해당하는 전압신호만큼의 전압신호가 출력되게 된다. 다음으로 발진코일에서 교류자속을 발생시키기 위해서는 교류전원을 인가할수 있는 발진회로가 필요했다. 따라서 X-tal 발진방식의 발진회로를 제작했으며 사용한 진폭조정부와 주파수 조정부에 각각 가변저항을 사용해 전압신호의 주파수와 진폭을 조절하여 80kHz ~ 180kHz범위에서 안정된 sine wave 신호를 만들어 냈고 OP-amp 5개와 그밖의 수동소자를 결합해 센서로 들어오는 미약한 교류신호를 정류 및 증폭작용을 통하여 안정된 직류성분으로 나타낼 수 있도록 하였으며 말단출력부 직전에 cut-off frequency 15Hz인 low-pass filter을 사용해 전압신호의 리플(Ripple)을 최대한 억제하고자 했다. 증폭비는 약 9배로 했으며 이로인해 최종정류된 신호는 약 5V의 안정된 신호가 얻어졌다.

## 2.2 실험조건 선정

**fig. 2**는 주파수의 증가에 따른 센서의 P-P전압의 변화의 양상을 알아본 결과이며 그림에서 보면 주파수에 따라 출력전압이 꾸준히 증가하다가 180KHz정도 부터는 일정한 값에 수렴한다는 사실을 알 수 있다. 이는 센서에 사용된 코어의 특성, 회로부에서의 소자의 slew rate등 특성에 따라서 많이 좌우되며 위 결과를 바탕으로 변화폭이 큰 120KHz를 최적 가진주파수로 설정하였다..

**fig. 3**은 센서모재간의 거리변화에 따른 출력전압의 변화양상을 보여주고 있으며 2mm높이 부터는 비교적 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 높이가 낮을수록 센서의 민감도는 높게되지만 용접조건등을 고려해 2-3mm를 최적 높이로 설정했다.

## 2.3 용접선 추적방법

페라이트 재질의 코어에 발진코일과 센서코일을 감아 이중 전자기센서를 구성한다. 발진회로는 교류전류를 발진코일에 인가하고 이로 인해 발진코일에서는 자속이 발생하며 이중 일부가 센서코일과 쇄교하면서 금속체로 들어가면 금속체에서 와전류가 발생한다. 최종적으로 센서코일에는 발진코일에 의한 자속과 와전류에 의한 반(反)자속의 차이에 해당하는 값이 전압신호로 나타나게되며 이 미약한 전압신호를 각각 증폭, 정류, 필터링 등을 거친후 비교해 두 센서코일의 전압신호의 차이가 0 이 되는 지점을 이상적으로 용접선의 중심으로 인식한다는 원리이다. 용접선의 검출능력이 우수한 전자기식 센서를 만들기 위해서는 실험을 통해 가진코일과 센서코일의 권수, 가진주파수, 센서-모재 거리 등 설계변수들을 변화시켜 가면서 반복실험을 통해 최적 하드웨어 조건을 찾은 후 용접선 추적제어 알고리즘을 구성해 정확한 중심위치를 찾아가고자 하였다.

**fig. 4**는 이음새가 거의 없는 2mm 두께박판의 용접선을 가로질러 스캔했을 때의 두 개의 센서에서 각각 받아들여진 전압신호의 파형을 보여주고 있으며 **fig. 5**는 받아들여진 두 전압신호의 차이

값으로 나타내어진 파형이다.

두전압신호의 차이가 0가되는 점이 용접선이 되며 실험을 통해 센서전압신호의 차이값으로 용접선으로부터 센서가 벗어난 거리를 계산할수 있으며 센서는 그 차이를 보정하면서 실시간으로 용접선을 찾아가게된다. 그림 6은 각도가 5° 꺾어진 모재의 추적결과이며 상당히 우수한 트래킹 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 그림 7은 역시 같은 각도에서 중심부에서 2mm의 mismatch가 있을 때 추적결과를 보여주며 두모재간의 높이차에는 영향이 작은 것을 알 수 있다. 그림 8은 모재의 높이가 거리에따라 변하는경우이며 센서모재간의 거리가 가장 근접한 모재의 중심부근에서 fluctuation이 발생함을 알수있다.

### 3. 요약 및 결론

일반적으로 전자기 센서는 구조가 간단하고 아크광에 영향을 받지 않으며 특히 틈새가 거의 없는 박판의 맞대기 용접부의 인식에 있어서는 여타센서에 비해 탁월한 효과가 있는 등 여러 가지 장점이 있지만 다른 시각센서에 비해서 상대적으로 정밀도가 떨어진다는 단점이 있었기 때문에 기계적인 반복스캐닝에 의해 용접선을 추적하는 방법을 지양하고 기존의 전자기센서와는 다른 센서 구조와 알고리즘을 적용해 용접부 추적속도와 센서의 정밀도 향상에 초점을 맞추었다. 각 센서에서 받아들여진 전압신호의 차이를 토대로 용접선과의 거리를 파악해 연속적으로 용접선의 위치를 찾아가므로 기존에 비해 스캐닝속도의 향상을 꾀할수 있고 기계적인 스캐닝을 이용하는 기존의 방식보다 보다 작은 구간 내에서 많은 위치정보 데이터를 추출할수 있으므로 센서의 정도를 높일 수 있을 것이라 예상되며 기계적인 스캐닝이 불필요하므로 기존에 비해서 축이 하나 줄어들게 되어 센서제작비용 및 중량의 절감을 꾀할수 있게 했다.

### 참고문헌

- [1] M. P. Howarth and M. F. Guyote : Eddy current and ultrasonic sensors for robot arc welding, sensor review April 1983 90-93
- [2] Wakamatsu. k., et al (1984) Development of ultra heat-resistant electro-magnetic sensing device and its application to welding apparatuses. Mitsubishi Juko Giho, 21(5), pp. 48-54
- [3] E HANOVA : Magnetic arc blow, welding international 1991 5 (12) 995-999
- [4] ISMAIL Abu Baker Md, and katsunori SHIDA : Application of eddy current technique for the non-contact sensing of low concentration of electrolytic solution, KACC, October 1997, proceeding of the 12th 1310-1313
- [5] 유병희 : 박판의 용접선 자동추적 시스템에 관한 연구, 영남대학교 대학원, 기계공학과 석사학위논문 1995
- [6] 김영선, 조형석 : 자기장 센서를 이용한 갭간격이 없는 박판 맞대기 이음부의 용접선 추적장치 1997

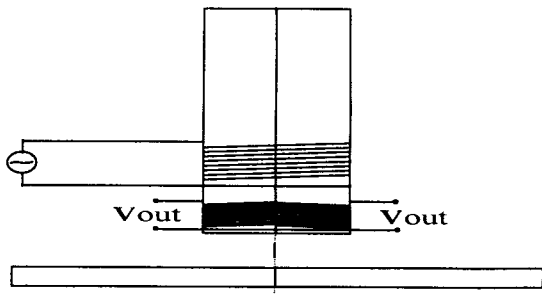


fig. 1

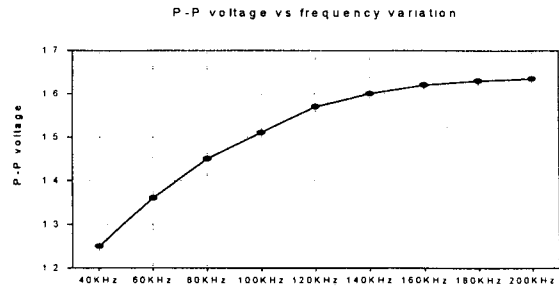


fig. 2

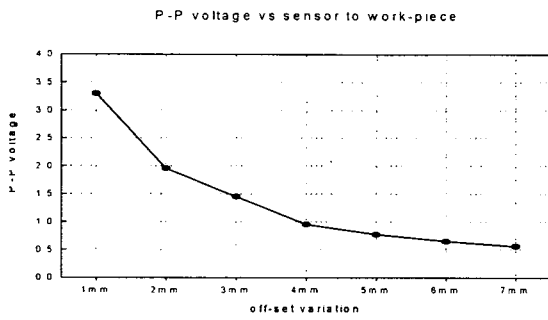


fig. 3

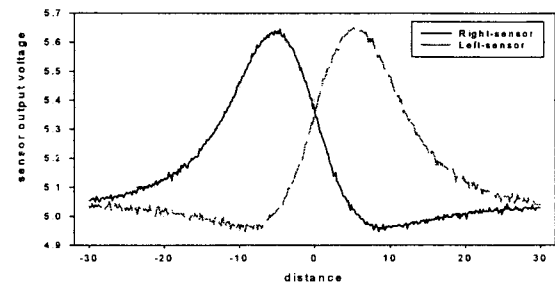


fig. 4

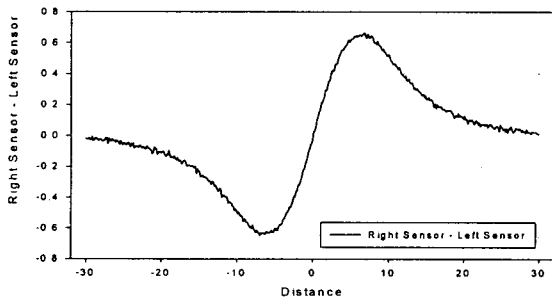


fig. 5

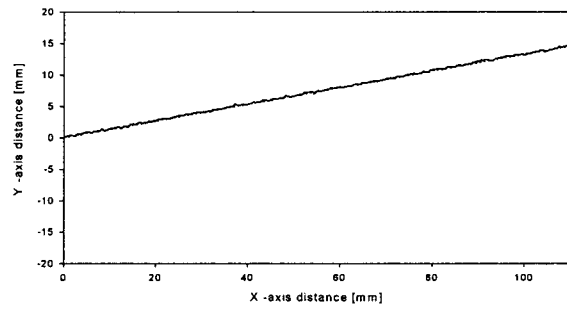


fig. 6 result of tracking control

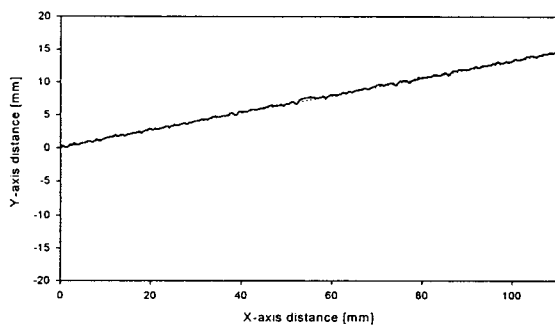


fig.7 tracking result with 2mm mis-match

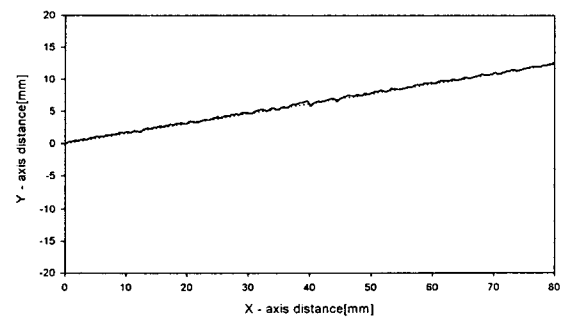


fig. 8 tracking result with sensor to work distance variation