
스트레인 게이지를 이용한 접촉식 용접선 추적 센서에 관한 연구

안병원* · 배철오* · 김현수*

A Study on the Contact Seam Tracking Sensor by Using Strain Gauges

Byong-Won Ahn* · Cheri-O Bae* · Hyun-Soo Kim*

요 약

조선과 자동차 등의 금속 가공분야의 용접산업부분에서는 용접을 하기 위해 여러 종류의 용접선 추적 센서들이 사용되고 있다. 용접선을 검출하는 센서에는 용접모재와 센서의 접촉여부에 따라 접촉식과 비접촉식 센서로 크게 대별할 수 있고, 현 산업전반에서는 대부분 접촉식 센서를 사용하고 있다. 본 논문에서도 접촉식 센서의 일종인 스트레인 게이지를 응용하여 센서를 제작하여 용접부위를 얼마나 잘 추적하는지 실험하였다. 실험장치는 스트레인 게이지 센서, 스트레인 게이지 신호의 증폭회로, 삼각파 발생기, MOSFET 파워 드라이버 회로와 DC 모터로 구동되는 X-Y 슬라이더 등으로 구성되어 있다. 용접선의 추적범위는 상하좌우로 동작을 하고 스트레인 게이지의 저항변화가 X-Y 슬라이더에 연결된 DC 모터를 구동시키게 된다. 실험결과 용접부위를 센서가 잘 추적하는 것을 확인할 수 있었고, 실제 산업현장에 있어서 적용가능성에 대해서 알아 보았다.

ABSTRACT

There are many kinds of seam trackers in the industrial welding field. We are proposed the contact seam tracking sensor applying strain gauges kind of contact sensor that mostly used in welding part now. For this seam tracking experiment, we made the strain gauges sensor by ourselves and tested how well the sensor tracks the seam. The experiment device consist of strain gauges sensor, amplifier circuit of strain gauges signal, saw wave generator, MOSFET power diving circuit and X-Y slide by moved DC motor. The tracking areas are X-Y planes(left, right, up and down) and the change of strain gauge resistance causes to move DC motor that connected to X-Y slide. As a result of experiment, we confirmed that the strain gauges sensor tracks a seam well, and X-Y slide DC motor was controlled by PWM control.

키워드

Strain gauge(스트레인 게이지), contact seam tracking sensor(접촉식 용접선 추적 센서)

1. 서론

조선과 자동차와 같은 금속가공분야의 증가로 말미암아 금속을 가공하고 접합하는 용접의 활용 분야는 점점 더 증가하고 있으나, 용접작업 도중

발생하는 강한 빛과 전류, 유해가스등에 의한 열악한 환경으로 인해 용접 기술자들의 수는 줄어들고 그에 따라 인건비는 상승하고 있다. 게다가 부족한 기술자를 구하는 것도 쉽지 않은 상황이다. 이러한 인력수급의 어려움으로 용접작업을 자동

*목포해양대학교

화하려는 노력은 지속되고 있으나, 용접작업 자체가 강한 빛, 강 전류의 발생하고 있으며 다품종 소량 생산하는 작업특성상 규격화된 물건을 만들어 내는 제조업에 비해서는 그 자동화가 어려울 뿐만 아니라 매우 느린 편이다. 용접 자동화를 위한 중요한 요건 중 하나인 용접선을 추적하는 센서에 관한 연구도 많이 진행되고 있지만, 근래 다른 산업전반에 응용하고 있는 영상처리 관련 센서에 의한 용접의 경우에는 용접시 발생하는 강한 빛과의 간섭으로 정확한 용접선을 검출하기가 쉽지 않다. 따라서 아직도 증소 금속 가공업체들은 모재와 접촉하지 않고 용접선을 추적하는 비접촉식 센서보다는 모재와 센서가 접촉하여 용접선을 추적하는 접촉식 센서를 주로 활용하여 용접선을 추적함으로써 용접자동화에 이용하고 있다.[1][2] 접촉식 센서 중 가장 많이 사용하고 대표적인 것이 프로브(probe) 센서이고, 센싱방법에 있어서는 주로 점접촉과 차동변압기의 원리를 이용한 것들이 대부분이다. 본 논문에서는 현재 사용되고 있는 이들 센싱방법 대신 스트레인 게이지를 이용하여 용접선 추적센서를 제안하였고, 이를 실제 제작하여 센서의 동작 실험을 행하였다.

II. 실험장치

1. 접촉식 프로브 센서의 추적원리

그림 1에 접촉식 프로브 센서^{[3][4][5]}에 의한 용접선의 추적원리를 나타내고 있다. 센서는 용접 모재의 용접할 홈에 접촉한 상태로 진행을 하고 용접선의 좌우, 상하 위치변화를 아날로그 신호로써 출력하게 된다. 이 변화된 신호는 토치를 구동시키는 모터를 동작시켜 프로브 센서의 위치를 추적하도록 한다. 본 논문에서는 이 센서부분을 스트레인 게이지의 저항변화를 응용하여 아날로그 출력을 내어 위치변화를 검출하게 된다.

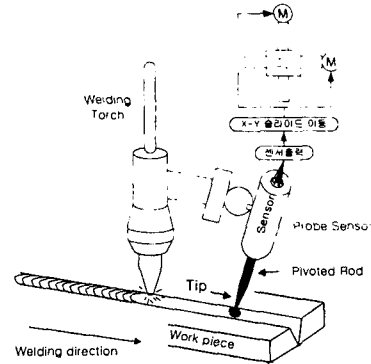


그림 1. 접촉식 프로브 센서의 용접선 추적 원리
Fig. 1 Principles of seam tracking by contact probe sensor

2. 스트레인 게이지를 이용한 센서신호의 증폭

스트레인 게이지는 저항체의 변화량에 따라 저항이 변화하는 성질을 이용하여 스트레인을 측정하는 게이지로 정적구조물의 응력측정 뿐만 아니라, 자동차, 비행기 등과 같은 동적물체의 응력 및 진동 측정등 여러 분야에 사용되고 있다. 물체의 고유저항을 이용한 센서로서 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 압축과 인장에 의해 면적 A 와 길이 l 의 변화가 저항의 변화를 가져오고 이로 인해 선압의 변화를 일으키게 된다.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (\text{단, } \rho: \text{고유저항}) \quad (1)$$

또한 측정하고자 하는 대상과 스트레인 게이지가 서로 일체가 되어 붙어 있으므로 측정대상이 변형을 일으키면 그만큼 스트레인 게이지도 변형을 일으키게 된다. 즉 측정대상의 변형값과 저항의 변화값과는 서로 비례를 하게 되고, 이는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} = K \epsilon \quad (2)$$

여기서, l 은 길이, ϵ 은 변형율, K 는 스트레인 게이지의 gage factor를 나타낸다.

그리고, 이러한 스트레인 게이지의 변형률에 의

한 저항변화율 $\Delta R/R$ 을 전압신호로 변환시켜 측정을 할 수 있게 하는 회로에는 대표적으로 휘스톤 브리지회로를 일반적으로 사용하고 있어 본 논문에서도 이를 이용하여 전압신호를 얻고 있다.

그림 2에는 스트레인 게이지를 이용하여 직접 제작한 센서를 나타내고 있다.

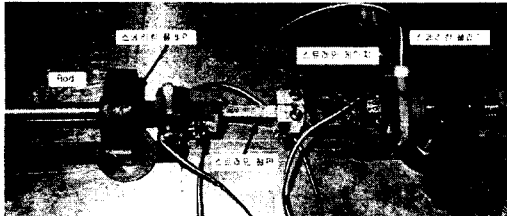


그림 2. 스트레인 게이지 센서
Fig. 2 Strain gauges sensor

스트레인 게이지는 길이가 5[mm]이고, 게이지 저항은 $120[\Omega] \pm 0.5[\%]$ 인 것을 사용하고 있다.

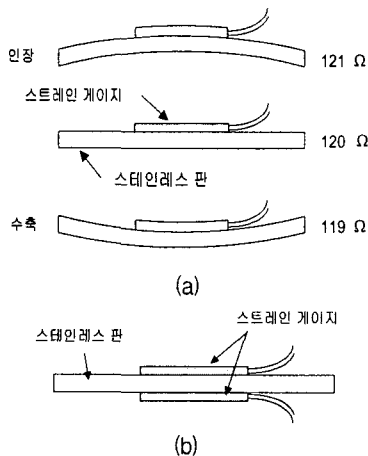


그림 3. 스트레인 게이지의 저항변화
Fig. 3 Resistance change of strain gauge

그림 3의 (a) 같이 저항 변화를 확인하기 위해, 하나의 스트레인 게이지를 철판에 부착하고, 인장시와 수축시 저항을 측정해 보았는데, 인장시 약 $121[\Omega]$, 수축시 $119[\Omega]$ 으로 최대 저항변화는 대략 $2[\Omega]$ 으로 매우 적은 변화를 나타내었다. 최대가 $2[\Omega]$ 이므로 실제 저항변화의 범위는 $1[\Omega]$ 정도로 매

우 작아 전용의 앰프를 사용하지 않고서는 이 신호를 센서의 입력신호로 사용하기에는 약하게 된다. 그래서 그림 (b)와 같이 저항의 변화를 크게 하기 위해 철판의 양면에 스트레인 게이지를 각각 부착하여 최대 $4[\Omega]$ 의 저항변화가 생기도록 함으로써, OP 앰프에서 충분한 출력전압신호가 얻어지도록 하였다.

그림 4에는 휘스톤 브리지회로를 이용한 스트레인 게이지 저항변화를 측정하기 위한 전압증폭 회로를 나타내고 있다. 탄성이 좋은 스테인레스 철판의 앞·뒤에 부착한 스트레인 게이지의 저항값이 철판의 휘어짐 정도에 따라 변화가 생기므로 이 신호를 차동증폭기를 이용하여 증폭하여 모터의 제어 신호로 사용한다.

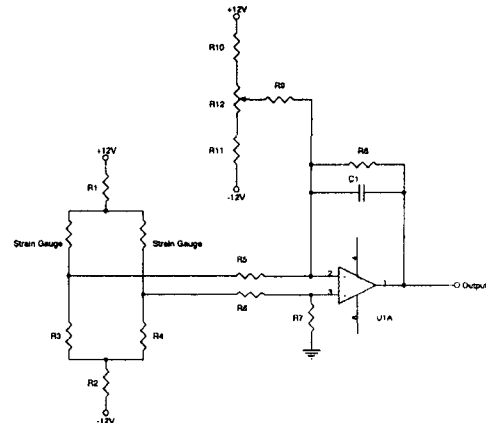


그림 4. 스트레인 게이지 신호의 증폭회로
Fig. 4 Amplifying circuit of strain gauges signal

3. X-Y평면의 검출

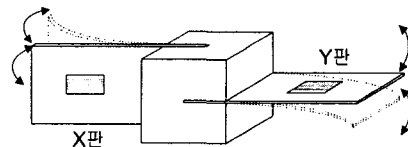


그림 5. 스트레인 게이지 센서
Fig. 5 The shape of strain gauges sensor

그림 5는 탄성이 좋은 0.5[mm] 두께의 스테인레스 철판을 서로 수직으로 직교시킨 것으로 상하

로 힘을 주면 Y판에서 상하로 휘어짐 응력이 생기고, 이때 X판의 경우는 Y판의 운동방향과 동일 방향으로 철판이 서있기 때문에 철판에 휘어짐 응력이 생기지 않아 스트레인게이지의 저항변화가 생기지 않게 된다. 반대로 좌우로 힘을 가하면 X판에는 휘어짐 응력이 발생하나, Y판의 경우는 아무런 응력이 발생하지 않는다. 물론 45도로 힘을 주면 X, Y철판 모두 휘어짐 응력이 발생하여 이 변형율에 해당하는 저항변화율이 전압신호로 출력된다.

4. DC 모터 구동회로

그림 6은 스트레인 게이지에서 나오는 신호를 증폭하여 그 전압신호와 삼각파를 비교하여 PWM파형을 만든 회로를 나타낸다. 파워드라이버 부분은 파워 MOSFET를 이용하여 제작하였고 직류전동기를 정역전이 가능한 회로를 구성하였다.

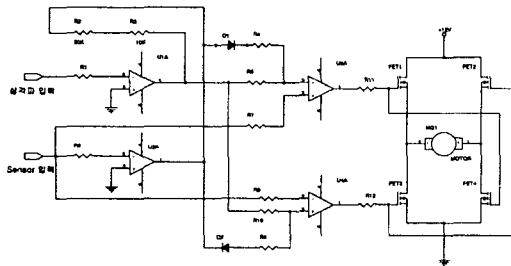


그림 6. DC 모터 구동회로
Fig. 6 DC motor driving circuit

5. 전체적인 실험장치의 구성

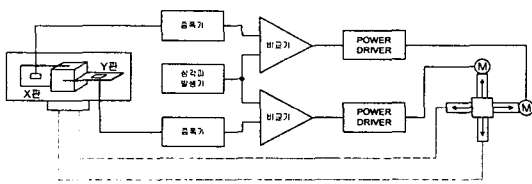
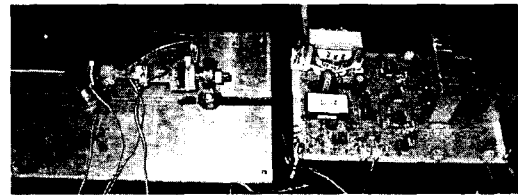


그림 7. 전체적인 실험장치의 개략도
Fig. 7 Schematic diagram of experiment

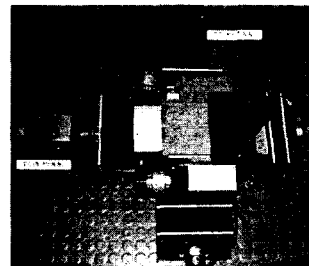
실험장치의 구성은 그림 7과 같이 X와 Y판의 2쌍의 스트레인 게이지에서 나온 신호를 각각 분리하여 증폭하고 이 증폭된 전압신호와 삼각파를 비

교하여 PWM파형을 만들었다. 모터를 구동하기 위한 파워드라이버 부분은 파워 MOSFET를 이용하여 제작하였고, 스트레인 게이지의 출력에 따라 직류전동기가 정·역전되도록 회로를 구성하였다. 직류전동기 두 대를 이용하여 X-Y슬라이드 제작하였고 센서가 이 슬라이드에 고정되어 있어 피드백 되도록 하였다.

그림 8에는 전체적인 실험장치들의 사진을 나타내고 있다. (a) 사진의 좌측은 스트레인 게이지 센서를 나타내고 우측은 센서 신호 증폭회로, 삼각파 발생기 및 모터 드라이버등의 제어부를 나타내고 있다. (b) 사진은 스트레인 게이지의 저항변화에 따라 구동되는 X-Y 슬라이드와 모터를 보여주고 있다.



(a) 센서 및 제어부



(b) X-Y 슬라이드 및 DC 모터
그림 8. 전체적인 실험장치의 사진
Fig. 8 Picture of overall experiment device

III. 실험 결과 및 고찰

1. 센서 로드의 변화에 따른 저항 및 전압변화

실험 결과 용접선과 벗어나는 오차에 따라 표 1과 같이 신호가 변화되는 것을 알 수 있었고, 이를 기준으로 그래프로 나타낸 것이 그림 9이며 신호의 오차는 피드백 되므로 오차가 적은 쪽으로

X-Y 모터가 움직이게 된다.

표 1. 센서의 이동 각도에 따른 저항과 전압변화
Table. 1 Resistance and voltage table caused by unbalanced angle of sensor rod

각도(°)	좌				우				
	4	3	2	1	0	1	2	3	4
저항(Ω)	120.	120.	120.	120.	120.	119.	119.	119.	119.
전압(V) (좌)	6.45	2.91	-1.5	-6.2	-10.	-11	-11	-11	-11
전압(V) (우)	-11	-11	-11	-11	-10.	-7.	-2.4	1.41	

※전압은 20,000배 증폭한 값임.

그림 9의 (a) 그림에서 x축의 0을 기준으로 rod를 오른쪽으로 움직이면 저항값이 줄어드는 것을 볼 수 있고, 반대방향으로 움직이면 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 오른쪽으로는 굽힘응력이 왼쪽으로 인장응력이 생기게 되고, 이들 저항의 증가나 감소 오차가 줄어드는 방향으로 모터가 구동되어 센서의 로드가 항상 일직선상의 위치에 놓이도록 된다. 그림 (b)는 rod 변화에 따른 전압변화를 나타내는 것으로 두 개의 그래프의 모양이 원칙적으로 대칭이 되어야 하지만 센서의 부착위치 및 대칭회로를 구성하는 부품들의 오차로 말미암아 정확한 대칭을 이루지 못한 것으로 생각된다.

좌, 우로 2~3°정도 rod가 이동하면 모터가 회전하는 것을 확인할 수 있었다.

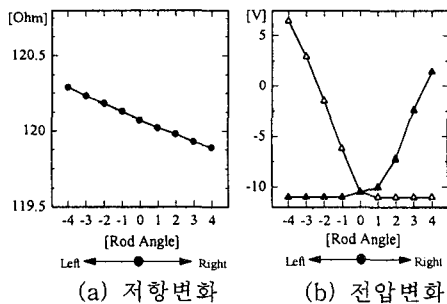


그림 9. Rod의 움직임에 따른 저항·전압변화
Fig. 9 Change of resistance and voltage by moving sensor rod

2. 센서의 동작실험

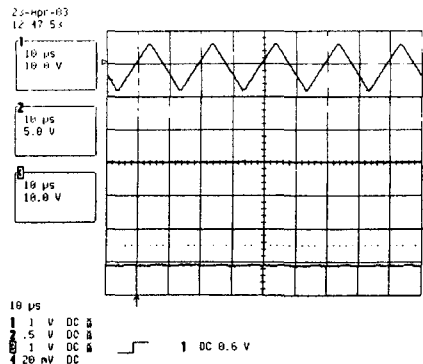


그림 10. 센서로드가 동작하지 않을 경우
Fig. 10 When the sensor rod doesn't move

그림 10은 센서로드가 아무런 동작을 하지 않을 경우의 파형을 나타낸다. 그림의 1번 파형은 50[kHz]로 발진하는 삼각파를 나타내고 있고, 2번 파형은 현재 스트레인 게이지의 저항값에 변화가 없는 즉, 스테인레스 판에 굽힘이나 인장응력이 발생하지 않은 파형을 나타내고 있다. 따라서 이는 용접선이 굴절되지 않고 반듯한 직선의 형태일 경우를 나타낸다. 3번 파형은 식류선동기의 MOSFET에 가해지는 게이트신호를 나타낸다. 현재의 파형은 -12[V]로 가해지는 신호가 없어 보터는 동작하지 않는다.

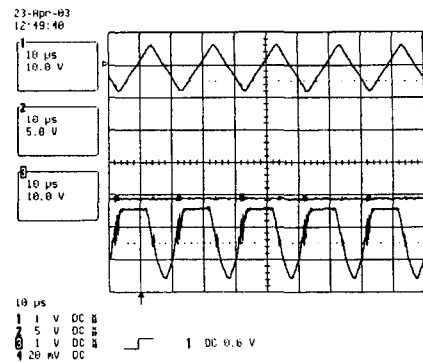


그림 11. 센서로드가 오른쪽으로 움직일 경우
Fig. 11 When the sensor rod moves to Right(CW)

그림 11은 센서로드가 오른쪽 방향으로 치우치고 용접진행방향으로는 왼쪽으로 굴곡이 생길 성

우의 파형을 나타낸다. 2번의 스트레인 게이지 저항에 변화가 생겨 그래프상으로는 -6[V] 정도의 (-)출력이 얻어지고 있다. 그래서 이 출력의 오차를 줄이기 위해 3번의 게이트 신호에 PWM 게이트 신호가 들어가 모터를 회전시키고 있음을 확인할 수 있다.

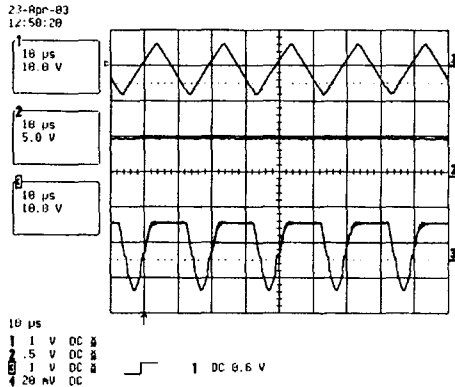


그림 12. 센서로드가 왼쪽으로 움직일 경우
Fig. 12 When the sensor rod moves to left(CCW)

그림 12는 그림 11과 반대방향으로 센서의 로드가 움직인 경우로 센서의 출력전압이 약 +5[V]인 (+)출력이 나오고 있으며, 이 전압 변화에 따른 게이트 입력신호 파형이 3번 파형과 같이 FET의 게이트 단자에 입력되게 된다. 따라서 모터의 회전방향은 그림 11과는 반대방향으로 동작하게 된다. 결국 휘어진 센서의 로드가 휘어지지 않는 일직선상을 이를 때까지, 즉 스트레인 게이지의 응력이 발생하지 않을 상태까지 모터가 회전하고 멈추게 된다.

IV. 결론

스트레인 게이지의 변형에 따른 저항의 변화를 이용하여 X-Y평면상의 용접선을 인식할 수 있는 센서를 제작하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 센서 로드와 각도에 따라 증폭 전압이 선형적으로 변하는 것을 확인하였다.
2. 스트레인 게이지의 저항변화를 증폭한 증폭

신호에 따라 X-Y슬라이드를 움직여 농작실 실험한 결과 피드백이 되어 잘 동작함을 알 수 있었다.

3. 센서로드의 민감한 움직임에도 모터를 구동시키기 위해서는 저항변화가 큰 스트레인 게이지를 사용하면 좀더 정밀하게 용접선을 추적할 수 있으리라 사료된다.

참고 문헌

- [1] Hirokazu Nomura : Sensors and Control Systems in Arc Welding, CHAPMAN & HALL.
- [2] J.D. Lane : ROBOTIC WELDING, IFS (Publications) Ltd. UK, 1987.
- [3] 이철원의, "용접 자동화를 위한 시각센서", 대한 용접학회지 제11권 제3호, pp. 10-21, 1993.
- [4] M. Aicault and J.P. Lalemand, "Joint tracking with a self-teaching system", Welding Journal, Vol. 69, No. 12, pp. 41-45, 1990
- [5] PowCon : Seam tracker system users manual, 1996

저자 소개



안병원(Byong-Won Ahn)

1986년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 학사

1991년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 석사

1996년 3월~현재 : 목포해양대학교 기관시스템공학부 전임강사, 조교수, 부교수

2002년 1월~2003년 1월 : 일본 큐슈대학 Post Doc.

※관심분야 : 로봇제어, FA 및 용접주변자동화



배철오(Cheri-O Bae)

1993년 2월 : 한국해양대학교 기관
공학과 학사

1997년 8월 : 한국해양대학교 기관
공학과 석사

2001년 8월 : 한국해양대학교 기관공학과 박사

2002년 3월~현재 : 목포해양대학교 전임강사

※관심분야 : FA 및 용접자동화, 영상처리



김현수(Hyun-Soo Kim)

1993년 2월 : 한국해양대학교 기관
공학과 학사

1999년 2월 : 목포해양대학교 기관
공학과 석사

2002년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 박사

2002년 3월~현재 : 목포해양대학교 전임강사

※관심분야 : 마이크로프로세서, 영상처리