

자기장 센서를 이용한 갭간격이 없는 박판 맞대기 용접부의 용접선 추적 장치

Joint Tracking System for Butt Joint Welding Process Using Eddy Current Sensors with the Condition of No Gap Distance

°김영선*, 조형석*

* 한국과학기술원 기계공학과(Tel : +82-42-869-3253; Fax: +82-42-869-3210; E-mail: yskim@lca.kaist.ac.kr)

Abstracts In recent years, much progress has been made in the automation of welding coped with a variety of highly flexible sensors. Among these sensors, only the eddy current sensor can detect the center location of the butt joint whose gap distance is zero. Thus, in this study the eddy current sensor is used to develop a robust and useful joint tracking system. The developed system is tested to qualify the performance of the system and seam tracking algorithm is proposed and two simulation are executed to show the performance of the proposed tracking algorithm.

Keywords Welding process, Joint tracking, Eddy current sensor

1. 서론

용접선을 추적하기 위한 대표적인 센서로는 크게 접촉식과 비접촉식으로 구분할 수 있다. 접촉식 센서는 접촉부와 검출부로 구성되며 접촉부가 받는 힘 또는 용접토치에 대한 접촉부의 상대위치를 측정한다.

접촉식 센서는 구조가 비교적 간단하나 용접선의 모양 또는 그루브의 크기에 따라 접촉부의 모양과 크기를 달리해야 하고, 측정위치와 용접토치간에는 항상 거리차가 있으므로 이를 보상하는 방법이 고려되어야 한다. 접촉식에 있어서는 접촉부의 용접 위치에 대한 선단거리와 낮은 정확도, 모재 표면 여건으로 인하여 적용범위가 제한적이다. 반면 비접촉식은 대체로 아크 용접열 및 아크 광 또는 자화에 영향을 받으며 복잡한 하드웨어 구조를 가지고 있다.

비접촉식 센서의 대표적인 센서는 아크센서[1-3]와 시각센서[4-14], 와전류 센서[15]가 있다. 아크센서는 용접시의 텀-모재간 거리 변화에 따른 전압 또는 전류신호를 이용하여 용접선을 추적하는 것으로 토치에 부착되는 별도의 감지장치가 필요없고 주요기능이 아크특성을 이용하는 소프트웨어로 이루어져 제작비가 비교적 저렴하다. 또한 다른 센서에서는 통상 신호 감지위치가 용접이 진행중인 토치보다 앞선곳에 위치하므로 자유도 하나가 추가되며 용접 시작점과 끝점의 특별한 처리가 필요하지만, 아크 센서는 용접위치와 신호감지 위치가 동일하므로 이러한 문제를 포함하지 않는다. 그러나, 전류신호를 얻기 위해 토치가 반드시 용접선 주위를 좌우로 움직이는 위빙동작을 하여야 하므로 박판의 용접에 적용이 곤란하며 용접조건에 따라 다소 영향을 받는 단점을 지니고 있다. 이에 비해 시각센서는 영상 정보로부터 용접선의 위치 및 간극크기의 측정이 가능해 이들 정보로부터 용접선 추적을 필요한 위치 정보와 비드폭 제어등 용접품질 제어를 가능케 한다. 이 경우 사용되는 방법으로는 선행 측정법(preview sensing)[4-13]과 용접부 직시법(direct arc sensing)[14]이 있다. 선행 측정법은 용접토치의 선단에서 용접선의 위치, 모양 및 개선의 크기를 측정하는 방법으로 2차원 영상정보로부터 3차원 용접선 정보를 파악하기 위하여 보조 광원으로 He-Ne 레이저 또는 다이오드 레이저를 이용하는 방법이다. 점 형태를 출력되는 레이저를 선형광(structured light)으로 구조화하여 이를 용접물에 투사하여 얻어진 왜곡된 선형광으로부터 삼각측량의 원리에 근거하여 거리를 측정하는 방법으로 비교적 간단한 방법으로 용접선을 구할 수 있으나, 열변형에 대한 오차는 보상하기 어려운 단점이 있다. 이에비해 용접부 직시법은 아크가 발생하는 용접토치 주위를 직접측정하는 방법으로, 용접시에 발생하는 아크광을 직

접 조명광으로 사용하기 때문에 구조가 단순하지만, 스퍼터나 강한 아크광의 영향을 줄이는 데는 많은 어려움이 있다.

이와같은 시각센서는 많은 장점이 있지만, 본 연구의 대상인 간극이 없는 박판의 용접의 경우에는 적용할 수 없다는 단점이 있다. 간극이 존재하지 않을 경우 용접선에서 얻어지는 레이저파의 왜곡영상을 이용하는 시각센서로는 용접선의 위치를 측정할 수가 없기 때문이다. 반면에 와전류센서는 모재에 와전류를 발생시켜 투자율의 변동에 따른 자속밀도의 변화로 인하여 얻어지는 신호의 감쇄를 이용하여 용접선의 위치를 측정하기 때문에 간극의 유무에 무관하게 용접선의 위치를 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 본연구의 목적인 간극이 없는 맞대기 용접부의 용접선 추적을 위하여 본 연구에서는 와전류센서를 사용한다. 이때 아크의 영향을 최소화하고, 센서의 보호를 이용하여 센서는 모재의 전방을 주시하게 되면, 따라서, 시각센서에서와 같이 선행측정법을 사용하여 용접선의 위치를 미리 파악하고, 이를 이용하여 용접선을 추적하고자 한다.

2. 시스템의 구성 및 측정원리

2.1 시스템의 구성 및 신호특성

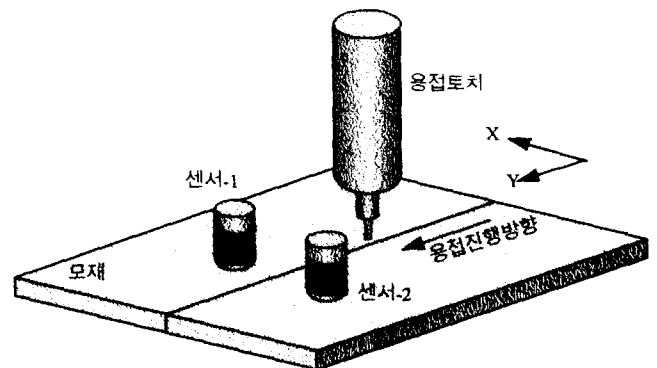


그림 1 시스템의 구성

본 연구의 시스템 구성을 그림 1에 나타내었다. 이전의 연구[15]에서는 와전류센서 1개만을 설치하여 용접선을 측정하는 방법을 사용하였기 때문에 미분에 의해 신호의 미분값이 zero가 되는 점을 찾아야 했으며, 따라서 반드시 좌우방향으로 위빙을 해서 신호변동을 측정해야하고 노이즈에 민감하다는 단점이 있었다. 이와같은 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 두개의 센

서를 용접토치 중심으로 대칭적으로 설치하고 이들간의 연관관계를 수식화하여 용접선의 측정에 이용한다. 여기서 사용한 센서는 유병희[15]의 연구에 근거하여 직경을 9.6mm로 제작하였다. 권선수를 70 회로 한 경우에 주파수변동에 대한 센서특성과 거리변동에 대한 센서특성을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 140kHz 내외의 주파수에서 간극에서의 신호차가 가장 크다. 따라서, 본 연구에서는 140kHz를 센서로 들어가는 입력주파수로 결정하였다. 센서에 가해진 주파수의 파형은 정현파를 사용하였고, Vp-p는 20 볼트로 하였다. 측정시 센서에서 모재까지의 감지거리가 가까울수록 센서의 감도는 향상되지만, 너무 가까이 설치하며 실제 용접 실험시에 간섭등의 문제가 발생할 수 있다. 여기서는 측정거리는 2mm로 하여 센서신호를 측정하였다.

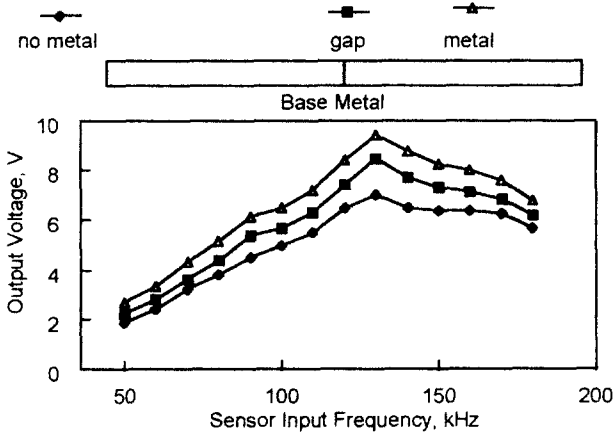


그림 2 센서의 입력 주파수 변동에 대한 출력신호

2.2 측정원리 및 센서의 교정

그림 1에 나타낸 것과 같은 센서를 용접선에 수직이 되도록 x 축상으로 이동시킬때 얻어지는 신호는 그림 3과 같다. 이와같은 센서신호는 식(1), (2)와 같은 가우시안 형태로 fitting시킬 수 있다.

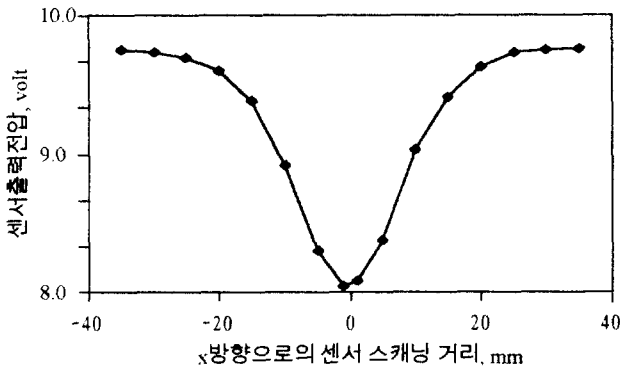


그림 3 용접선에 수직방향 스캐닝시 얻어지는 센서 출력신호에

$$v_1 = v_{1_0} + A_1 \exp[-(x+a)^2/B_1] \quad (1)$$

$$v_2 = v_{2_0} + A_2 \exp[-(x-a)^2/B_2] \quad (2)$$

위식에서 v_1, v_2 는 용접토치의 위치가 그림 1의 좌표상에서 x 의 위치에 있을때 얻어지는 센서 1, 2 각각의 출력신호를 나타내고, v_{1_0}, v_{2_0} 는 각 센서의 초기 오프셋으로써 실험으로부터 얻어지는 값이다. 또한, a 는 용접토치에서 센서까지의 거리이고, 초기에 셋팅해 주어야 하는 값이다. 그리고, A_1, A_2, B_1, B_2 는 각각 실험결과를 이용해서 결정한다. 모든 상수값이 결정되면 두식으로 부터 용접토치의 위치 x 의 유일해를 얻을 수 있다. 위 두식에 자연로그를 씌우면 아래식과 같은 형태로 나타낼 수

있다.

$$\frac{v_1 - v_{1_0}}{A_1} = -\frac{(x+a)^2}{B_1} \quad (3)$$

$$\frac{v_2 - v_{2_0}}{A_2} = -\frac{(x-a)^2}{B_2} \quad (4)$$

여기서, $C_1 = \frac{B_1}{A_1}(v_1 - v_{1_0}), C_2 = \frac{B_2}{A_2}(v_2 - v_{2_0})$ 라 놓고 식(3)을 정리하면, 용접선의 위치 x 는 다음의 식(5)와 같이 유일해로 얻어진다.

$$x = \frac{C_2 - C_1}{4a} \quad (5)$$

따라서, 이론적으로는 용접토치가 용접선에서 무한히 떨어진 경우에도 용접선의 위치를 알 수 있다. 그러나, 실제 센서시스템에서 용접선의 위치추적 정밀도는 센서값의 정확한 fitting과 이에 따라 센서를 용접토치와 적절한 거리에 배치하는데 좌우된다. 이러한 결과는 그림 4에 나타낸 교정결과로부터 알 수 있다.

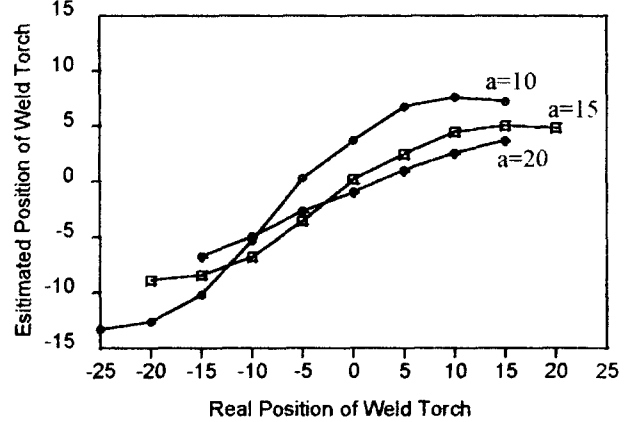


그림 4 용접토치-센서간 거리변동에 따른 교정신호의 변화

그림에서 토치-센서간 거리 a 가 작은 신호변동이 급격한 반면에 좌표값의 쉬프트 정도가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 반면에 a 거리가 큰 경우에는 신호감도는 가장 작지만 비교적 직선에 가까운 값이 얻어짐을 알 수 있었다. 그러나, 이 경우 용접토치가 용접선에서 상당히 벗어날 경우 되면, 용접토치의 위치값이 매우 부정확하게 얻어진다. 이와같이 실제로는 센서는 측정할 수 없는 영역이 존재하게 된다. 각각의 교정신호가 변동을 보이는 가장 큰 이유는 신호를 가우시안 fitting 할때의 오차때문이다. 아무리 센서의 측정신호를 이용하여 fitting 하더라도 센서신호가 완전한 가우시안 형태를 나타내지는 않는다. 따라서, 그에따른 오차는 교정시에 영향을 미치게 된다. 그밖에 용접토치의 위치결정 정밀도에 영향을 미치는 것으로 S/N 비가 있다. 노이즈 레벨이 작을 수록보다 센서는 넓은영역까지 용접선의 위치를 측정할 수 있다.

3. 시뮬레이션 실험

3.1 용접선 추적 알고리즘

본 연구에서 제안된 센서시스템은 그림 1에서 설명한 것과 같이 용접토치에 선행위치에 설치되어 있다. 따라서, 이와같은 경우에는 그림 5와같이 용접선의 정보가 미리 얻어지며, 이를 이용하여 현 용접부의 위치를 판별할 필요가 있다. 용접품질을 항상 일정하게 유지하기 위해서는 용접선의 추적뿐만아니라 용접속도를 일정하게 유지할 필요가 있다. 따라서, 선행센서에 의

해서 얻어지는 용접선의 위치좌표값과 현재의 용접토치의 위치 좌표로부터 용접토치의 위치이동 방향을 정확히 결정한 후 이 방향에 맞게 용접속도의 분속을 결정할 필요가 있다. 이와같은 선행측정법의 경우 초기점의 위치는 미리 주어지는 경우와 센서에 의해 측정하는 경우가 있으며, 본 연구에서는 용접토치의 초기점을 알고 있는것으로 가정하고 용접선을 추적한다. 또한, 용접토치와 센서간의 상대위치는 시스템에서 미리 정하여진 값을 사용하였다. 각 단계를 설명하면 다음과 같다

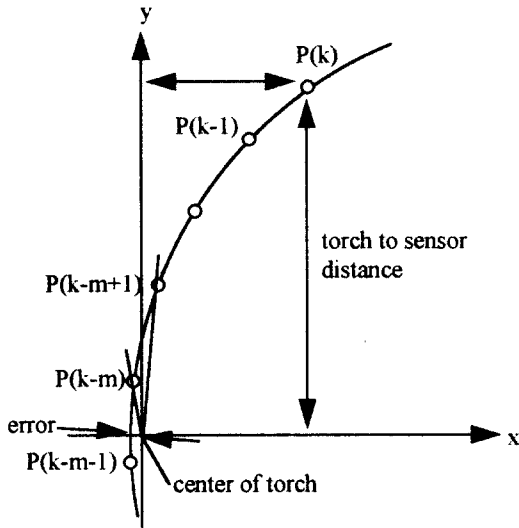


그림 5 용접선의 위치측정 및 용접방향 결정

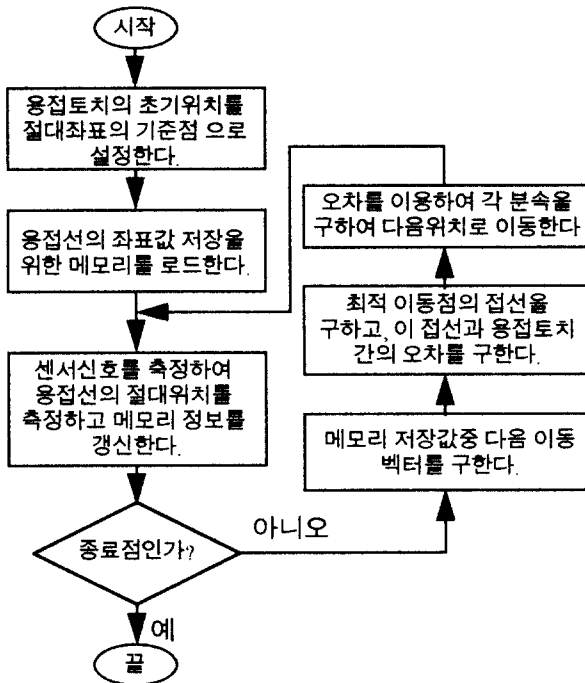


그림 6 용접선 추적 알고리즘 흐름도

앞서 가정에서 용접 토치의 초기점을 알고 있다고 가정하고, 이좌표를 기준으로 측정시 용접선의 좌표를 결정하였다. 용접선 추적 알고리즘이 시작되면, 1 단계는 N 개의 미리 측정된 용접선의 위치를 저장할 메모리를 초기화 하는 것이다. 2 단계에서는 현재의 위치에서 용접선의 위치를 측정하는 것이다. 이때 맨처음 측정된 용접선의 좌표값은 정해진 좌표값 $P(0, \text{토치-센서간 거리})$ 로 정해진다. 센서에 의해서 용접선의 위치가 측정되면 3 단계에서는 용접토치의 위치를 용접선의 위치로부터 쉽게 얻을 수 있다. 용접토치가 그림 5와같은 위치일때 측정되는 용접선의 위치

는 $P(k)$ 를 알 수 있다. 이를 이용하여 메모리의 위치좌표를 갱신한다. 이어서 현재의 용접토치의 위치에 대한 메모리상에 저장된 용접선의 위치정보를 비교하여, 최적의 위치를 결정한 후, 다음번 용접토치가 이동할 방향벡터를 계산한다. 이때 방향벡터는 가능한한 용접속도가 일정해야 한다는 조건을 만족하도록 선정한다. 특히, 용접선상에서의 용접속도는 용접품질이 되는 용접부의 크기형성과 밀접한 관계가 있으므로, 제어시 이점을 고려해야만 한다. 이때 오차를 최적의 이동 포인트의 접선과 현 용접토치와의 수직거리로 정의하여 제어에 이용하였다. 오차의 궤환에의해 속도로 용접토치를 이동시키고 다시 센서정보를 측정하여 메모리를 갱신하는일등을 반복적으로 행하여 용접 종료점이 될때까지 반복한다. 용접선 추적 알고리즘의 flow chart를 그림 6에 나타내었다.

3.2 시뮬레이션 실험

본 연구에서는 용접선 추적 알고리즘의 강건성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션시 용접패스는 직선으로 구성된 용접패스와 곡선으로 구성된 용접패스만을 고려하여 두경우의 추적성능을 비교하였다. 여기서 용접선 추적에 사용된 제어기는 PID 제어기를 사용하였다. 그림 7과 8에 용접선 추적결과를 보였다. 그림에서 보면 용접초기에는 많은 오차를 포함하고 있으며, 용접토치에서 센서까지의 거리만큼 용접선의 위치를 모르기 때문에 최초로 센싱된 용접선의 위치를 기준으로 용접선을 추적하는 모습을 보이는 것을 볼 수 있다. 그러나, 용접선의 위치와 용접토치의 위치가 가까워 졌을때는 제안된 알고리즘이 적절히 작용하여 용접선을 비교적 잘 추종함을 볼 수 있다.

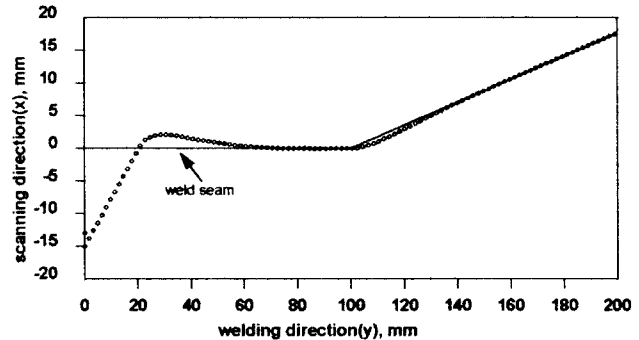


그림 7 두개의 직선으로 구성된 용접선의 추적

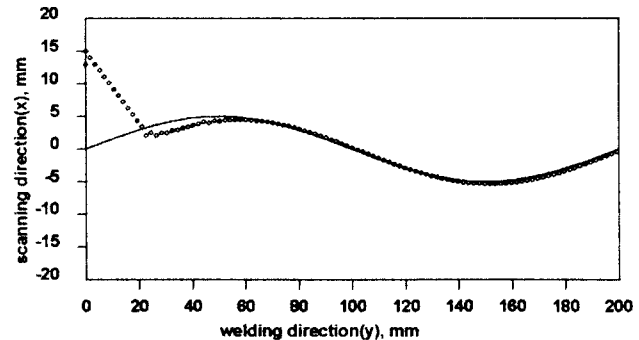


그림 8 곡선으로 구성된 용접선의 추적

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 두개의 와전류 센서를 용접토치에 대칭적으로 설치하여 얻어진 신호를 이용하여 용접선의 위치를 간단한 처리만으로 구할 수 있는 시스템을 제안하였고, 실제 시스템을 제작하여 그 성능을 확인하였다. 또한, 용접선 추적을 위한 기본적인 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 확인하였다. 시뮬레이션시 PID 제어기를 사용하였기 때문에 용접초기 오버슈트값이 크게 나타나는 것을 볼 수 있었는데, 이정도 오차는 이득을 적절히 조절하거나, 퍼지제어기를 사용할 경우 쉽게

고정할 수 있다. 향후 과제로는 개발된 시스템을 이용하여 실제 갭간격이 없는 박판 맞대기 용접시 적용하여 용접중의 성능을 확인하여야 하며, 여기서 파생되는 문제점들은 추후 해결해 나가 고자 한다.

참고문헌

- [1] K.J.Johnson, "Relationship Between Arc Light, Current and Arc Length in TIG Welding", Int. Conf. on Advances in Joining and Cutting Process, Oct.-Nov., pp.32-41, 1989
- [2] J.Hanright, "Robotic Arc Welding under Adaptive Control-A survey of Current Technology", Welding Journal, Vol. 65, No. 11, pp.19-24, 1986
- [3] H.Fujimura, E.Ide and H.Inoue, "Joint Tracking Control Sensor of GMAW", Trans. of the Japan Welding Society, Vol.18, No.1, pp.32-40, 1987
- [4] M. Kawahara, "Tracking Control System Using Image Sensor for Arc Welding", Automatica, Vol.19, No.4, pp.357-363, 1983
- [5] J.E.Agapakis, J.M.Katz, J.M.Friedman and G.N.Epstein, "Vision Aided Robotic Welding : An Approach and a Flexible Implementation", The Int. J. of Robotics Research, Vol.9, No.5, pp.17-34, 1990
- [6] P. Sicard and M.D.Levine, "Joint Recognition and Tracking for Robotic Arc Welding", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.19, No.4, pp.714-728, 1989
- [7] W.F.Clocksins, J.S.Bromley, P.G.Davey, A.R.Vidler and C.G.Morgan, "An Implementation of Model-Based Visual Feedback for Robot Arc Welding of Thin Sheet Steel", The Int. J. of Robotics Research, Vol.4, No.1, pp.13-26, 1985
- [8] J.E.Agapakis, "Approaches for Recognition and Interpretation of Workpiece Surface Feature Using Structured Lighting", The Int. J. of Robotics Research, Vol.9, No.5, pp.3-16, 1990
- [9] J.E.Agapakis, "Visual Sensing and Knowledge-based Processing for Automated Robotic Welding Fabrication", Proceedings of the Int. Computers in Engineering Conf., Vol.1, pp.225-231, 1985
- [10] D.P.Choi, "A Study on the Weld Seam Tracking and Selection of Welding Parameters in Thin Plate Welding Using Vision Sensor", M.S.thesis, KAIST, 1994
- [11] H.H.Kim, "A Vision System for Real-time Weld Seam Tracking in Arc Welding Processes", M.S.thesis, KAIST, 1989
- [12] 손영탁, 김재선, 조형석, 고광일, "로봇트 아크용접에서 접합부의 시각인식 및 추종을 위한 강건 알고리즘", '94 한국자동제어 학술회지, Vol.2, pp.1167-1172
- [13] 손영탁, 김재선, 조형석, "로봇트 아크용접에서 시각인식장치를 이용한 용접선의 추적", '94년도 추계 정밀공학 학술회지, pp.550-555, 1994
- [14] R.W.Richardson, D.A.Gutow, R.A.Anderson and D.F.Farson, "Coaxial Arc Weld Pool Viewing for Process Monitoring and Control", Welding J. Vol.63, No.3, pp.43-50, 1984
- [15] 유병희, "박판의 용접선 자동 추적 시스템에 관한 연구", 영남대학교 대학원, 기계공학과 석사학위논문, 1995