

# 레이저 비전센서를 이용한 로봇 용접 시스템의 용접선 추적 알고리즘 개발을 위한 용접선 추적 시뮬레이션 시스템에 관한 연구

Seam tracking computer simulation system for seam tracking algorithm of robotic welding using laser vision sensor.

성기은\*, 이세현\*, 오영근\*\*

\*한양대학교 정밀기계공학과

\*\*기아자동차 생산기술연구소

## 1. 서론

용접선 추적을 위해서 많은 센서들이 사용되고 있으나 높은 정밀도와 복잡한 3차원 형태 및 박판 등에 대해서는 레이저 비전 센서가 많이 연구되고 있다.

Smati et al.<sup>1</sup>, Clocksin et al.<sup>2</sup>과 Agapakis<sup>3</sup>는 모재의 거리 정보로부터 용접점을 인식하고 이로부터 용접선을 찾아내어 이것을 추적하는 것을 제안하였다. Suga, Y.과 Ishii, A.<sup>4</sup>는 용접 공정 제어와 자동 용접 검사에 대해서 비전 센서를 사용하였으며 Kugai, K와 Muto, S.<sup>5</sup> 등은 레이저 비전 센서를 이용한 용접 로봇의 제어 기술과 적용에 대해서 연구하였다.

그러나 대부분의 연구가 화상처리와 용접선 추출에 주안점을 맞추고 있으며 연구 자체가 레이저 비전 센서부터 각 알고리즘의 개발과 소프트웨어 프로그래밍, 현장 적용까지 광범위하게 포함되어 있어 용접선 추적 알고리즘 분야는 많이 연구되어 있지 못하다. 용접선 추적의 관점에서 시뮬레이션 시스템을 개발 한 경우는 거의 없으며 대부분의 용접 자동화 시뮬레이션 시스템은 로봇 자체의 오프라인(Off-line) 프로그램에만 국한되고 있다. 따라서 본 논문에서는 용접 자동화 공정 중 용접선 자동 추적의 핵심이 되는 각 부분을 모델링하고 그 모델을 가지고 시뮬레이션 시스템을 구축하였다. 이 시뮬레이션 시스템을 통해서 사용자가 레이저 비전 센서를 이용한 로봇 용접 자동화 시스템의 용접선 추적 시스템을 쉽고 빠르게 인식하고 설계할 수 있도록 하고자 하였다.

## 2. 용접선 추적 시뮬레이션 시스템

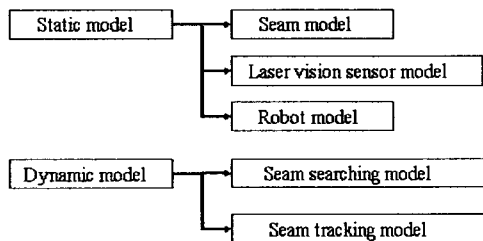


Fig. 1 system diagram

용접선 추적을 시뮬레이션 하기 위해서 실제 공정을 다음 Fig. 1과 같이 분할하고 모델링 하였다. 용접선을 찾아내는 것이 레이저 비전센서의 주된 목표이고 시뮬레이션 시스템에서는 이 용접선을 가상으로 재현해야 한다.

용접선은 실제와의 비율만 고려하면 간단하게 표현할 수 있다. 대부분의 경우 3차원 선으로 표현 가능하다. 이 3차원의 선을 표현하는 방법은 수학적으로 커브 피팅(curve-fitting)을 하여 수학적 식을 이용하는 방법과 단순히 순서를 갖는 점들의 집합으로 표현하는 방법이 있을 수 있다.

본 연구에서는 점들을 이용한 모델을 사용한다. 표현이 간단하며 계산하기 쉽고 또한 수학적으로 표현된 식도 쉽게 점 모델로의 변환이 가능하기 때문이다. 점 모델은 차후에 용접선을 CAD 데이터로 부터 직접 얻음으로써 자동화에 접근하는데 더 용이하다. 또한 로봇의 공간상에서의 자세 제어를 위해서는 각 점은 위치와 노말 벡터 정보를 가지고 있어야 하는데 이것 또한 가능하다. 그리고 점과 점 사이의 보간은 선형 보간 법을 사용하였다.

레이저 비전 센서는 로봇의 현재위치로부터 센서의 위치로부터 용접선과의 상대적인 위치를 계산한다. 이러한 비전 센서의 모델은 용접선 모델의 표현 방식에 따라 그 구현이 달라지며 실제의 경우 이 과정에서 가장 많은 외란이 발생하므로 그것을 고려하여 모델을 구해야 한다.

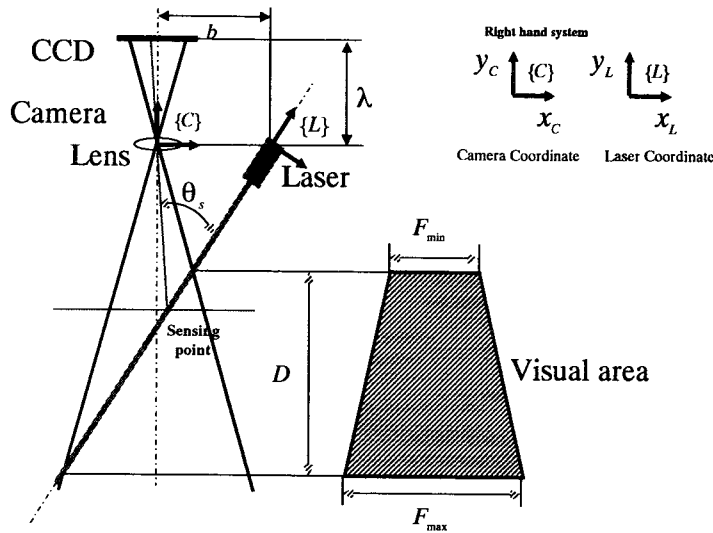


Fig.2 Geometry structure of laser vision sensor

레이저 비전 센서는 Fig. 2와 같이 레이저 구조광원과 CCD 카메라의 기하학적 배치에 의해서 거리 데이터를 얻게 된다.

물체에서 반사된 레이저 구조광이 CCD 카메라에 비치면 카메라의 좌표로부터 거리 데이터를 얻게 되는데 그 관계는 원근 변환과 구조광의 평면 방정식에 의해 결정이 된다. 레이저와 카메라가 Fig. 2와 같이 기하학적 관계를 가지면 거리 데이터는 구조광의 좌표계, {L}에 대해 결정된다.

레이저 비전 센서는 레이저와 카메라간의 기하학적 변수, CCD의 특성 등에 의해 센서의 시야, 분해능 등이 결정된다. 또한 센서의 보정 방법은 구조광의 평면 방정식을 얻기 위한 구조광의 보정, 구조광과 카메라간의 관계를 얻기 위한 보정으로 이루어진다.

여기서 레이저 비전 센서를 모델링하기위한 변수들은 Out Standing (A), Depth of view (D), Upper field of view( $F_{min}$ ), Lower field of view( $F_{max}$ ), Laser Camera Angle( $\theta_s$ ), Resolution( $R_D, R_L$ )등이다. 그리고 고려해야 하는 주된 인자는 센서의 위치와 용접선 사이의 관계와 외란이다. 외란의 영향은 측정 결과에 가장 큰 영향을 미치는 인자이다. 실험을 통해 다음 Table. 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 실험 결과 모재의 반사율이 가장 중요한 인자로 작용하였고 조명이나 용접 속도 등에는 민감하게 반응하지 않았다.

Table.1 Disturbance of laser vision sensing

surface	mild steel	aluminum	white surface	black surface
recognition rate	about 90%	about 80%	about 75%	about 50% lower

시뮬레이션 시스템에서는 용접선의 정보와 현재 센서의 위치에서 실제에서 추출되어야 할 용접선 정보가 어떤 것인지 찾는다. 용접선은 점들로 구성되어 진다. 그리고 레이저 비전 센서에서 사용되는 레이저는 CCD카메라와 일정한 각을 갖는 평면을 이룬다. 실제 센서는 이 레이저 평면과 대상이 만나 이루는 레이저 띠를 카메라로 잡아 띠의 모양과 위치를 분석함으로써 용접선의 위치를 찾아내게 된다. 시뮬레이션의 경우에는 용접선과 레이저 평면이 만나는 점을 찾는다. 이때 외란은 실험적인 결과에 따라 확률적으로 주어지게 된다.

로봇을 정확히 모델링하기 위해서는 로봇의 동역학적 해석이 필요하다. 이것을 위해서는 복잡한 측정과 계산 과정이 필요하다. 그러나 로봇들은 대부분 이미 제조 과정에서 그 운동학적 특성이 대부분 파악되어 출고된다. 이것을 이용하면 로봇의 동작을 정확히는 아니지만 간단하게 운동학적으로 모델링 할 수 있다.

3축 직교 로봇인 경우, 각축에 모터 하나씩이고 그 움직임들은 각각 독립적이다. 즉 하나의 운동이 다른 축의 운동에는 영향을 주지 않는다. 따라서 각 축의 결과는 선형적으로 중첩하는 것이 가능하다. 그 모델은 Fig. 4와 같다.

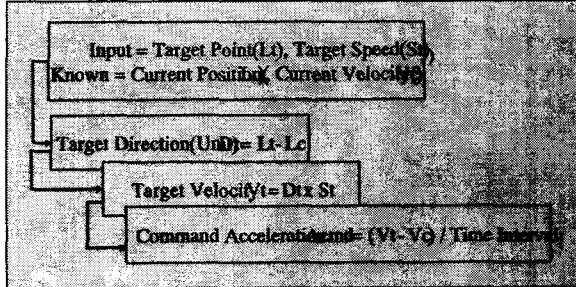


Fig. 4 Kinematic model of robot

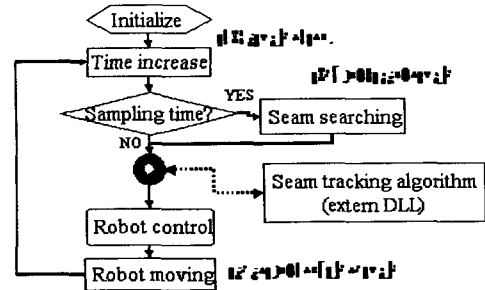


Fig. 5 Flow chart of simulation part

용접선 추적 알고리즘은 사용자가 개발하는 부분이므로 직접 프로그램이 가능해야 한다. 따라서 전체 프로그램에 상관없이 수정 및 교환 할 수 있는 기능을 가져야 한다. 본 논문에서는 사용자에게 많은 자유를 부여할 수 있도록 DLL(Dynamic link library)를 사용했다. 이것을 사용하면 C언어를 사용하여 함수를 외부에서 구현할 수 있다. 용접선 추적 알고리즘의 출력 값은 현재 시간에서의 추적점 정보와 추적 속력이다.

프로그램은 다음과 같은 두개의 Sequence 과 하나의 Cartridge로 구성되어 진다. 각 부분은 다음과 같은 작용을 한다.

Sequence I : Initialization and Setup

Sequence II : User interface, Display and Computation

Cartridge : Seam tracking algorithm

이중 가장 핵심이 되는 Sequence II의 Simulation Part는 Fig. 5의 Flow Chart와 같이 동작한다.

### 3. 실험 및 고찰

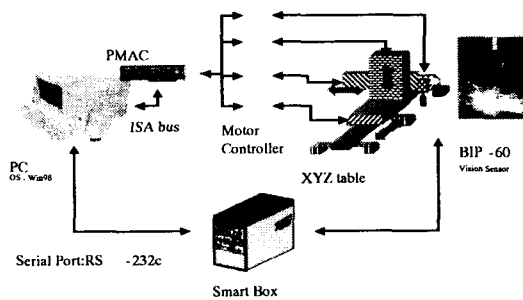


Fig.5 System configuration

Table. 2 Experiment model data

Seam model	$  \begin{aligned}  X &= 0 \sim 400 \\  Y &= 10 \cos\left(\frac{X \times \pi}{200}\right) \\  Z &= 10 \sin\left(\frac{X \times \pi}{200}\right)  \end{aligned}  $	단위 : mm 기준 좌표계 : Work Piece Coordinate
Laser Vision Sensor model	Stand-off : 46 Depth of field : 60 Field of view (close) : 18 Field of view (far) : 32 Average depth resolution : 0.06 Average lateral resolution : 0.1 Laser angle : 16.17	단위 : mm, degree 기준 좌표계 : Laser vision sensor Coord. & Laser Plane Coord.
Robot model	Transfer Matrix Robot kinetics character data	단위 : mm 기준 좌표계 : Work Piece Coordinate, Robot Coord.

본 실험을 위해서 사용된 장비는 Fig. 7에 보여지고 있다. 각 부분을 모델링 한 수치 값은 Table. 2에 나타내었다. 다음과 같은 용접선 추적 알고리즘을 적용하여 각각 시뮬레이션과 실제 로봇에 적용한 결과는 다음과 같다.

Fig. 8은 시뮬레이션 프로그램이 용접선을 추적한 결과를 보여주고 있다. 현재의 용접선 추적 알고리즘의 사용결과 약간의 오차는 있지만 용접선을 잘 추적 할 수 있다는 것을 보여주고 있다. Fig. 9은 실제로 로봇을 이용해서 용접선을 추적한 결과로 시뮬레이션에서와 동일하게 정상적으로 용접선을 추적하고 있다. 위의 결과로부터 본 논문에서 설계 된 시뮬

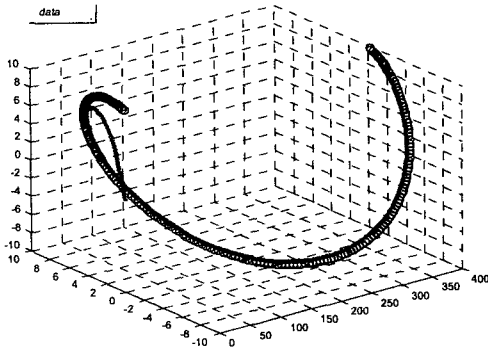


Fig. 7 Simulation result

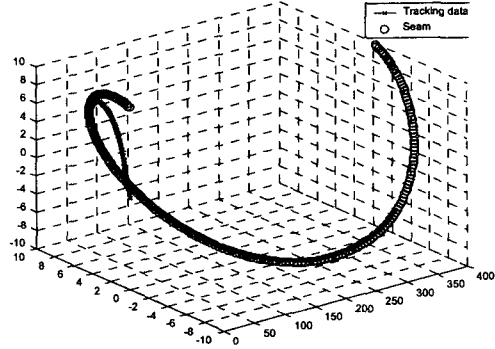


Fig. 8 Actual result

레이저 프로그램이 실제의 모델을 잘 반영하도록 적절히 설계되었다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 용접선 자동 추적 시스템을 모델링하고 그것을 컴퓨터에서 시뮬레이션 할 수 있도록 하였고 그것이 충분히 실제의 현상을 대표할 수 있음을 보였다. 레이저 비전 센서를 이용한 용접선 자동 추적 시스템의 시뮬레이션 프로그램을 개발하고 그것을 검증했다.

1. 레이저 비전 센서를 이용한 용접선 자동 추적 시스템의 각 부분을 모듈화하고 모델링함으로써 각 부분을 간단히 표현하지만 필요한 정확한 성능을 나타낼 수 있도록 하였다.

2. 레이저 비전 센서를 이용한 3축 직교 로봇의 용접선 추적 컴퓨터 시뮬레이션 시스템을 구축했다.

3. 본 시뮬레이션 시스템을 이용하여 추적 알고리즘 및 전체 시스템의 성능을 직관적으로 보여 줌으로써 설계 및 실험을 더 효율적으로 할 수 있도록 했다.

#### Reference

- [1] Z. Smati, D. Yapp, and C. J. Smith, Laser guidance system for robots , Robotic welding, Springer-Verlag, 19871.
- [2] W. F. Clocksin et al., An implementation of model-based visual feedback for robot arc welding of thin sheet metal , The international journal of robotics research , Vol. 4, No. 1, Spring 1985
- [3] J. E. Agapakis, Approaches for recognition and interpretation of workpiece surface features using structured lighting , The international journal of robotics research , Vol. 9, No. 5, October 1990
- [4] Suga, Y. and Ishii, A., 용접 공정 제어와 자동 용접 검사에 대한 화상 처리 응용, The international journal of japan SOC PREC ENG, Vol. 32, No. 2, 1998
- [5] Kugai, K., Muto, S. and Mouri, T., 레이저 센서를 이용한 용접 로봇 제어 기술의 개발과 적용, 溶接技術, Vol. 46, No. 5, 1998