

## 特輯: 용접자동화용 센서의 응용기술

# 용접선 추적 및 용접품질 평가를 위한 레이저 비전 센서의 적용

이 세 헌 · 이 정 익

## Application of Laser Vision Sensor for Welding Seam Tracking and Quality Estimation

Sehun Rhee and Jeong-ick Lee



이세헌/한양대학교/  
1955년생/용접자동화



이정익/한양대학교/  
1967년생/용접선 추적  
및 용접품질 검사

### 1. 서 론

최근 구조물의 안전에 대한 관심이 증가함에 따라 건축 및 기계 구조물에서 빼놓을 수 없는 공정 중의 하나인 용접에 있어서의 품질관리가 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한, 산업이 발달하여 여러 금속 및 비금속이 개발되었으며 이와 더불어 이들 재료의 제품화에 좀더 복잡하고 섬세한 제작기술 및 높은 신뢰성을 갖는 연결 부위의 품질이 요구되고 있는 것이 현대 산업의 현실이다. 특히, 금속 이음을 대표하는 용접의 경우는 수작업으로 수행될 경우의 문제점들 즉, 일정한 용접조건에서조차 동일한 용접품질을 얻을 수 없는 제품 품질의 비균일성, 아크 광과 고열, 스파터, 매연 등의 열악한 작업환경, 인건비 및 용접 결함의 발견, 보수에 따르는 비용의 상승 등의 해결에 필수적인 자동화를 위한 노력이 있었다. 이러한 용접 자동화 시스템에서도 용접 과정에서 발생하는 외란에 대한 보정을 하기는 어렵다. 따라서, 실제 공정 상에서의 용접선 추적과 용접품질 평가를 위한 용접 변수의 적응 제어가 연구되고 있다. 자동 용접에서 불

수 있는 대표적인 문제점은 용접 토치의 오프셋(off-set)과 비드 폭, 용융지의 크기, 용입 깊이 등으로 대표되는 용접 제품의 형상 변수이다.

이들 문제점을 해결하면서 효과적인 용접 자동화를 수행하기 위해 적절한 센서의 사용이 필요하다. 지금까지 용접선 추적 및 품질평가에 사용된 센서로는 기능면에서 크게 접촉식 센서와 비접촉식 센서가 있다. 접촉식 센서에는 tactile센서, touch센서 등이 있고, 비접촉식 센서에는 온도센서, 아크센서, 전자기력센서, 비전센서, 음향센서 등이 있다. 접촉식 센서는 저가인 반면, 추적은 가능하나 형상을 파악 못하거나 직선이 아니면 중간에 추적을 못하는 결점을 가지고 있다. 이에 반해 비접촉식 센서는 직접접촉을 않고도 용접부위에 정보를 얻을 수 있다. 비접촉식 가운데 가장 많이 사용되는 것으로는 점, 선, 면의 정보를 얻는 비전센서이다. 비전센서는 적응 용접제어, 공정제어가 가능할 뿐 아니라 고정밀도를 가지고 있다. 그러나 고가이므로 대량 생산 및 적재적소에 사용하여야 한다. 비전센서에는 광원의 사용에 따라 여러 가지로 사용될 수 있으나 최근 널리 사용되는 센서로는 레이저 비전센서가 있다.

레이저 비전센서는 다른 CCD 와 같은 센서에 비해 고가이나 각종 용접에 적용가능하며 아크광과 노이즈에 강하면서도 많은 용접선 정보를 실시간에 포착하여 처리할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 여기서는 용접 자동화에 이용되고 있는 비전 센서들의 원리와 종류, 센서에서 얻은 이미지 정보를 컴퓨터에게 전송하는 통신방법, 이를 화상처리하고 컴퓨터가 판단할 수 있는 특징점 추출, 분할화 방법을 설명하고, 레이저 비전센서를 이용한 다층 용접에서의 용접선 추적, 자유형상을 가진 용접물의 용접선 추적과 용접품질 평가에 레이저 비전의 적용에 관해 설명하고자 한다.

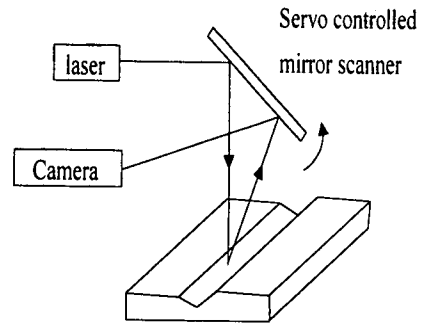


Fig. 1 Principle of scanning beam

## 2. 비전센서

### 2.1 비전센서의 원리

현재 용접 현장에서 적용되는 비전 센서는 대부분 아크, 스파터등의 노이즈에 대처하여 특별한 조명을 사용하는 능동식 비전 센서이고, 광원으로는 레이저등의 단색광을 이용한다. 능동식 비전센서는 레인지 이미지를 얻는 방법에 따라 광학 삼각법 (optical triangulation)을 이용한 방식과 광 위상차 (time of flight method)를 이용한 방식으로 구분할 수 있다. 광학 삼각법이란 광원과 이미지 센서를 기준선으로 하여 이미지 센서에 상이 맺히는 위치에 따라 삼각법에 의해 물체까지의 거리를 구하는 방식이고, 광 위상차 방식은 기준 광과 물체에 반사된 광의 위상 차를 이용하여 물체까지의 거리를 구하는 방식이다.

### 2.2 비전센서의 종류

용접에 적용되는 시각센서는 비접촉으로 3차원 정보를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 3차원 측정 및 거리 판정에는 주사빔 (scanning beam) 방식 (Fig. 1)과 구조화된 빛 (structured light)을 이용하는 방식 (Fig. 2)이 있다. 구조화된 빛에는 레이저 점광을 원통형 렌즈에 통과시킴으로써 평면 광을 얻는 경우와 그와 유사한 방법으로 원뿔형의 구조화된 빛의 패턴을 만드는 경우가 있다. 이렇게 구조화된 빛은 모재 표면에 조사되고 이 광평면과 모재 표면과의 교차선인 레이저 띠는 모재의 단면 형상을 나타내게 된다. 일반적으로 주사빔 방식의 센서는 구조화된 빛의 패턴을 이용한 센서에 비해 노이즈에 강하다는 장점이 있다.

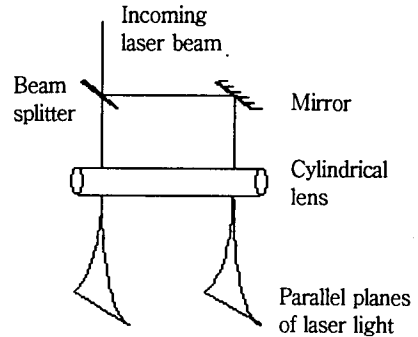


Fig. 2 Principle of structured light ranging system projection

## 3. 레이저 비전 시스템

용접의 자동화 즉, 여기에서 크게 다루고 있는 용접선 추적 및 용접성 품질평가에 사용되는 레이저 비전 시스템은 컨트롤 장치와 레이저 비전 카메라로 구성되어 있다. Fig. 3은 시스템 개략도이며 크게 비전 시스템, 개인용 컴퓨터, 모션 제어기, CO<sub>2</sub>용접기, 3축 직교 로봇으로 이루어져 있다.

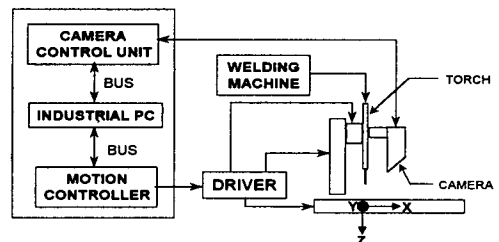


Fig. 3 System configuration of laser vision system

레이저 비전 시스템 제어기는 적정 작동 상태로 카메라를 유지시키고, 변화하는 물체 표면 상태에 적응하기 위해 실시간 파워, 감도(sensitivity) 등을 조절한다. 또한, 카메라 비디오 신호를 디지털화 하고, 그 기능을 제어하며, 이미지 처리를 수행한다. 이 시스템은 AMD 5x86 CPU를 장착한 산업용 컴퓨터, 비전 처리 및 레이저 파워와 스캐닝 제어 등을 위한 DSP가 내장된 카메라 제어 장치로 되어 있다.

레이저에서 발생한 광선은 실린더 렌즈를 통해 빛의 면을 형성하여 측정 물체에 투사되고, 빛의 진로와 비스듬하게 위치한 렌즈가 물체 표면에서 반사되는 광선을 수광부에 비치게 한다. 수광부는 2D의 CCD로 구성되어 있어서 물체의 단면이 CCD상에 형성된다. 측정된 프로파일은 소프트웨어가 분리하여 단면상의 각 점의 위치를 계산한다. 광원으로는 레이저 다이오드를 사용하며, 카메라의 렌즈 부에는 아크 용접시에 발생하는 아크 광, 스파터, 가스 등에 의한 노이즈를 줄이기 위한 대역 통과 필터를 설치하였다. 레이저 카메라는 한 개의 프로파일이 256개의 점으로 이루어져 있고, 초당 40개의 프로파일을 얻을 수 있다.

레이저 비전 센서는 앞서 기술한 노이즈, 스파터, 아크광 등에 강한 장점을 가지고 있으나, 원하는 용접의 종류, 조인트 형상 및 목적에 능동적으로 사용하면서 센서와 모션의 제어 및 소프트웨어를 편리하게 개발하기 위해서는 기존의 센서에는 한계를 가지고 있다. 궁극적으로는 사용자에게 친숙하면서 다방면에 적용할 수 있는 비전 센서의 제작이 필요하다. 다음은 제작 레이저 비전 센서에 대한 설명이다.

구조화된 빛을 이용하는 방법을 채택하여 센서를 제작하였다. 상용화된 소형 카메라와 다이오드 레이저를 사용하고 레이저 발진기로부터의 평형광을 원통형의 렌즈에 통과시켜 구조화된 빛의 한 형태인 레이저 슬릿을 만들어 낸다. 비전 센서에 있어, 기준선, 즉 레이저 광원과 카메라와의 거리, 레이저 슬릿과 카메라의 주축(principal axis) 사이의 각, 센서의 효과 계측 깊이(depth of view) 그리고 센서의 계측 시야(field of view)는 비전 설계시 고려되어야 할 중요한 변수들이다. 특히 기준선의 길이는 비전센서의 크기와 밀접한 관계가 있다. 이러한 이유로 비전 센서의 외형의 크기를 최대한 소형으로 만들 수 있고, 또한 실제의 레이저 광원

의 위치를 변경시키지 않고도 기준선의 길이를 변환시킬 수 있도록 두 개의 주사 거울(scanning mirror)을 사용한다. 그 결과, 카메라의 효과 초점 거리(focal length)의 한계 내에서 자유 자재로 레이저 슬릿의 위치를 변경할 수 있었다. 일반적으로 정밀도를 높이고자 프리즘 렌즈를 주사 거울(scanner)로 사용하나 두께 1mm의 일반거울을 사용한다.

그러나, 이러한 일반 거울을 스캐너로 사용할 경우에는 빛의 회절의 영향 때문에 모재에 투사되었을 경우 선명하고 폭이 좁은 레이저 띠가 아닌 중앙의 다소 센 밝기를 갖는 부분과 그 주변의 그보다 약한 밝기를 갖지만 화상 처리시 노이즈가 될 수 있는 부분으로 이루어진 보다 두꺼운 레이저 띠를 얻게 된다. 하드웨어로 처리할 수 없는 기타 문제점은 화상 처리시 알고리즘으로 해결하게 된다. 연구를 위한 실험용 레이저 비전센서의 개략도 및 6축 로봇에 부착된 상태가 Fig. 4, Fig. 5에 나타나 있다.

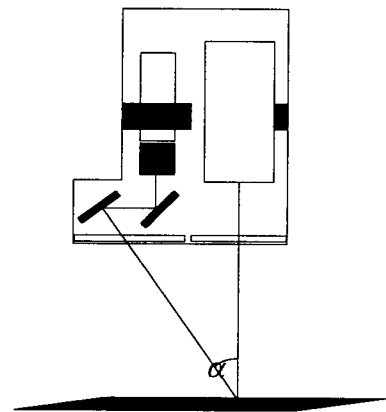


Fig. 4 Schematic diagram of vision sensor

## 4. 비전 처리

### 4.1 프로파일 추출과 세션화

강도 이미지로부터 레이저만을 분리해 내는 것이 프로파일 추출이고 레이저의 중심선을 찾는 것이 세션화이다. 프로파일 추출 및 세션화 방법은 레이저 강도를 이용하여 화소열(pixel column)내의 최대값을 추출하는 방법과 농도값 히스토그램으로부터 임계값(threshold)을 선정하는 방법, 레



Fig. 5 Vision sensor mounted to the welding robot

이저 강도와 레이저 프로파일 두께를 이용하여 레이저 선을 찾는 방법, 그리고 공간 여과(spatial filtering) 등이 있다.

그 중에서 레이저 강도, 프로파일 두께를 이용한 임계값 처리 방식은 계산 시간이 적게 걸리므로 실시간으로 처리할 수 있어 널리 사용되고 있다. 이 방법은 레이저 프로파일 두께에 해당하는 윈도우를 몇 개 설정하여 프로파일을 가로지르는 열에 대해 적용하고, 윈도우내의 값을 더하여 최대값을 갖는 곳을 레이저 프로파일로 생각한다.

#### 4.2 특징점 추출 및 분할화

레이저 프로파일 추출 및 세션화에서 얻은 정보로부터 홈의 양단, 단차 등에 해당하는 특징점 및 분할선을 추출해 내는 방법이다. 조인트의 형상에 따라 여러 발견적 방법이 개발되었는데 맞대기 조인트의 경우 레이저 중심선의 농도 값을 이차 차분하는 방법, 겹치기 조인트의 경우 중심선의 좌표 값을 미분하는 방법 등이 있다. 일반적인 조인트 형상을 인식하기 위한 방법으로는 미리 조인트 형상을 모델링하여 중심선 좌표와 관련시키는 방법, 적합한(fitting) 중심선 분할선의 기하학적 매개 변수와 모델의 기하학적 매개 변수를 비교하는 방법 등이 있다. 프로파일 상에는 큰 방향의 변화는 반드시 인식되어야 할 특징들에 해당된다. 이러한 변화의 검출에 2차 중앙 차분 연산자가 적용되며, 이 연산자의 출력값은 직선인 경우 0이 되고 두 직선 세그먼트사이의 급격한 기울기를 가지는 점을 평가할 때는 그 기울기 차이에 비례한다. 이 출력 값의 극값들이 곧 특징점이거나 특징점의 가능성을 가진다. 반복적 평균 기법, 분할법을 응용한 개발 알고

리즘 등을 이용하여 V홈의 양쪽 에지점을 추출하게 되고, 루트점은 간단한 식을 이용하여 구한다.

전체적 추출 결과로는 반복적 평균 기법보다 분할법을 응용한 개발 알고리즘이 성능면에서 우수함을 보이고, 같은 알고리즘을 맞대기 이음과 필릿 이음에 적용한 경우에는 레이저 띠가 수직으로 추출되는 필릿 이음에서 우수한 결과를 보인다. 다음 Fig. 6은 특징점 추출 알고리즘을 나타낸 것이다.

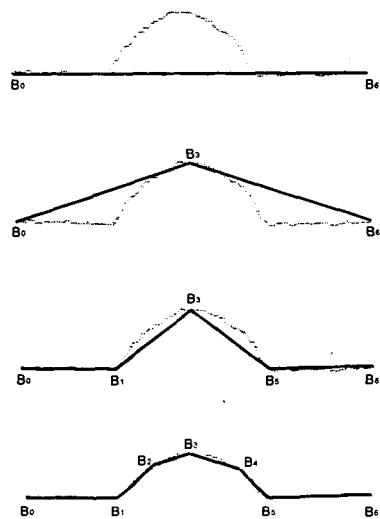


Fig. 6 Segment splitting method

### 5. 용접선 추적 및 품질검사 적용

#### 5.1 용접선 추적

용접선 추적에 레이저 비전 센서를 이용하여 다층용접에 적용하였다. 반복적 평균 기법을 이용하여 V홈 양 끝단의 에지 점들을 구하고 특징점들의 기울기 변화 식을 이용하여 루트 점과 다층용접에서 각층의 시작점을 구해서 시행하였다. 실시간 용접선 추적 시는 용접선 추적 오차처리가 필요하다. 본 연구에서는 용접선의 대략적인 방향을 예측하면서 과거의 추적위치의 경향을 따라 용접선의 정보를 얻을 수 있도록 현재의 데이터에 가중치를 부여하는 가중 이동 평균법을 사용한다. 또한, 사용자 환경(GUI)하에서 추적을 3차 패스까지 수행하였다. 추적오차는 각 패스 모두 최대오차가 0.8mm를 넘지 않음을 보여줌으로서 심선 지름(1.2 mm)을 고

려해볼 때 추적성능이 양호함을 보인다.

현재 다른 선진국들의 다층용접 적용사례는 수차 보고된 바 있다., 아래 Fig. 7은 최근 일본에서 L자형(베벨모양) 횡방향 용접에 CCD 카메라의 적용사례를 보여주고 있으나, 각 층을 적층시 적용된 구체적인 알고리즘이나 제어방식은 언급된바 없다. 이에 비해 추적알고리즘과 사용자 환경하에 구성된 다층용접이 아래에 예시되어 있다. Fig. 8은 용접선 추적에 적용한 알고리즘을 Fig. 9는 사용자 환경에서 수행중인 3차 용접의 추적 예를 보여준다.

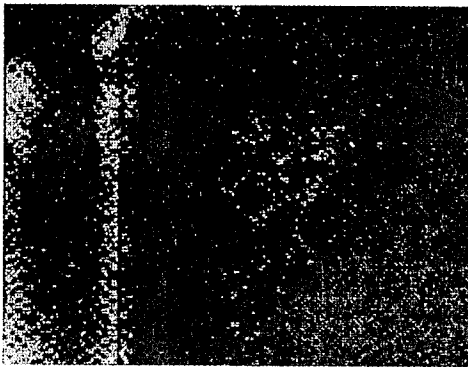


Fig. 7 Vision sensor application on multipass welding

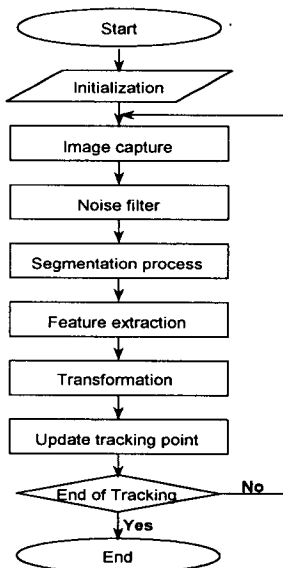


Fig. 8 Flow chart of joint tracking

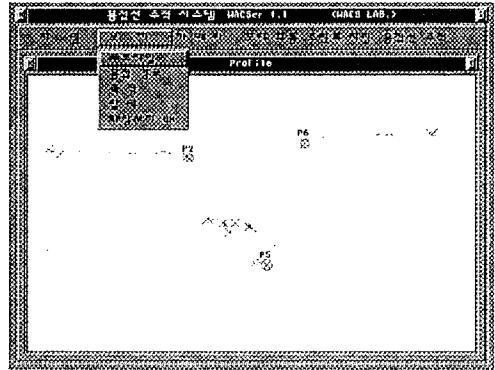


Fig. 9 The third pass on joint tracking program

### 5.2 용접로봇의 자유형상 용접선 추적

용접선 추적의 보다 진일보된 관점에서 자유로운 모재의 용접선 형상 추적에 레이저 비전 센서를 적용한다. 레이저 비전 센서에서 얻은 모재의 거리 데이터로부터 용접선의 경로를 찾아내어 용접로봇의 경로를 생성하는 방법을 제시하여 on-line 기능의 로봇에서 용접선을 추적할 수 있는 가능성을 제시한다. 기존의 레이저 비전을 이용한 용접선 추적, 자동 교시 시스템은 한 개의 스캔라인에서 얻은 이미지로부터 용접선을 인식하고 있어 로봇의 자세에 대한 정보를 얻는데 한계가 있다.

이 문제점을 해결하기 위해, 용접 대상의 기하학적 모델을 이용한 거리 데이터로 처리 방법을 이용하여 조인트, 용접선 등의 모델을 얻고, 이로부터 로봇의 위치와 자세를 결정하는 용접 로봇의 자동 교시방법이 제안된다. 아래 Fig. 10은 자유



Fig. 10 Seam tracking of

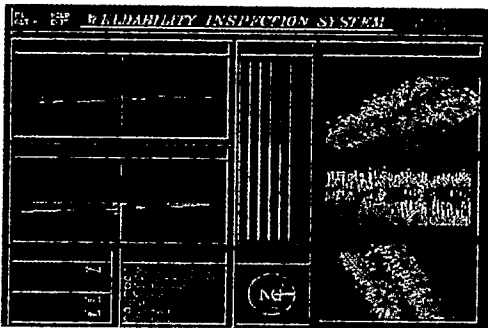


**Fig. 11** Robot path generation free body shape from geometric model

곡면 형상의 용접선 추적용접의 일례를 보여주며, Fig. 11은 기하학적 모델로부터 로봇의 경로 생성을 보여준다.

### 5.3 용접품질 검사

용접품질 평가의 추적에 의해 초층 용접 된 시편의 용접 품질 검사를 수행한다. 용접 비드가 외관상 요구되어지는 형상인지를 실시간으로 판단하는 소프트웨어를 개발하고, 실제로 실험 적용한다. 판단의 기준은 ISO 기준 가운데 탄산가스 아크 용접에 해당하는 ISO 6520과 ISO 5817의 용융 용접 결함 분류와 등급(3등급)을 나누어 프로그램 후 실시간적으로 판별한다. 또한, 결함의 각 종류에 의해 결함 밀집 부에 평균거리를 고려하고 결함의 분류를 미리 정해 실 시간적으로 사용자 환경에서 사용할 수 있다. 아래 Fig. 12는 초층 추적된 시편의 가장 엄격한 단계의 평가결과를 보여준다.



**Fig. 12** Weld quality inspection result (quality level: stringent)

## 6. 맺음말

- 1) 레이저 비전센서는 단층 뿐 아니라 다층의 용접선 추적에도 적용이 가능하며, 여러 가지 이음형상에 대한 적용 가능성을 제시하였다.
- 2) 레이저 비전센서를 자유형상의 용접선 추적에 적용하여 회전을 고려한 복잡한 용접선 추적에 적용 가능함을 보여주었다.
- 3) 레이저 비전 센서를 용접품질 평가에 적용하여 실시간 평가를 하였으며, 결함의 종류 및 결함의 집중도를 고려한 육안 검사(visual inspection)로서의 적용 가능성을 예시하였다.

## 참고 문헌

1. 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, (1990), pp. 3-16.
2. S. Nakata, and H. Jie: Construction of Visual Sensing System for In-process Control of Arc Welding Process and Application in Automatic Weld line Tracking, 일본 용접 학회지 논문집, Vol. 7, No. 4; (1989), pp. 467-472.
3. R. J. Barnett, G. E. Cook, A. M. Strauss, K. Andersen, and J. F. Springfield: A Vision-Based Weld Quality Evaluation System, Trends in Welding Research, Proceedings of the 4th international Conference, 5-8 June, Gatlinburg, Tennessee, USA, (1995), pp. 689-694.
4. 이보영: 용접 구조물 결함과 손상사례 및 그 방지책, 용접공학 하계대학 교재, (1997), pp. 249-295.
5. 이정익, 장인선, 이세현, 엄기원: 비전 센서를 이용한 다층 아크 용접에서 용접선 추적에 관한 연구, 대한용접학회지, 제16권 3호, (1998), pp. 85-94.
6. 김평현, 이세현, 엄기원: 자유형상을 갖는 용접선에서 레이저 센서를 이용한 용접로봇의 자동 교시, 대한용접학회 추계학술발표대회논문집, (1998), pp. 164-167.