

# 용접 경로 생성을 위한 레이저 변위센서 이용 형상 인식 알고리즘 Shape recognition algorithm using laser distance sensor for welding path planning

\*장도영<sup>1</sup>, 손동훈<sup>1</sup>, 이정우<sup>2</sup>, 이동훈<sup>1</sup>, 이규열<sup>2</sup>, 김태완<sup>2</sup>, 김종원<sup>1</sup>

\*Doyoung Chang<sup>1</sup>, Donghoon Son<sup>1</sup>, Jungwoo Lee<sup>2</sup>, Donghoon Lee<sup>1</sup>, Kyu-Yeul Lee<sup>2</sup>, Taewan Kim<sup>2</sup>, and #Jongwon Kim<sup>1</sup>(jongkim@snu.ac.kr)

<sup>1</sup> 서울대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 서울대학교 조선공학과

Key words : Welding path planning, Shape recognition, laser distance sensor

## 1. 서론

일반적으로 선체의 블록이나 철골 구조물 등의 용접작업은 협소한 작업공간과 유해 가스가 많이 발생하는 열악한 작업 환경 하에서 수행된다. 이 때문에 생산 현장 작업자를 보호하고 용접 품질 및 생산성을 향상시키기 위하여 다양한 자동화 장치를 고안하여 생산현장에 적용하고 있는 실정이다.

이러한 자동화 장치의 기능은 크게 용접선 대상 인식, 용접 경로 생성, 용접의 3 단계로 볼 수 있다. 이때 계획된 경로로 용접을 올바르게 하기 위해서는 금속 등의 접합부가 녹아 서로 이은 자리에 생긴 줄인 용접선을 추적(seam tracking)하는 기능이 이뤄져야 하기 때문에 촉각 센서, 터치 센서, 프로브 센서, 비전 센서, 아크 센서, 전자기 센서, 초음파 센서, 레이저 센서를 이용한 연구가 진행되어 왔다. 이러한 다양한 노력에도 불구하고 용접 대상의 형상이 임의의 불규칙성이 강하면서 용접선 추적을 위한 기준선이나 기준면이 있지 않은 경우에는 자동화가 많이 이뤄지지 못하고 있다.

때문에 본 연구에서는 이러한 용접선 추적이 어려운 경우의 자동화의 한 방법으로 레이저 변위 센서를 이용하여 두 개의 평행한 철판간을 자동 용접하기 위한 형상 인식 알고리즘을 소개하고자 한다.

## 2. 작업 대상물 분석

본 연구에서 소개하는 알고리즘은 구체적으로는 이중선체 내에서 T-bar 와 T-Bar 의 맞대기 용접을 자동으로 수행하기 위하여 개발 되었다. 맞대기 용접은 작업 대상물이 어떻게 놓여 있는지를 나타내는 것으로 T-bar 와 같이 서로 수평으로 맞닿아 있는 대상물을 용접하는 것을 의미한다. 이때 용접 경로는 용접 단면(gap)이 넓은 관계로 위빙 용접을 하는데, 이는 용접 기법 중 하나로 지그재그 모양으로 토치(torch)를 움직이면서 용접을 하는 것을 의미한다. 그림 1의 좌측에서는 대상물의 전체적인 모습을 확인 할 수 있고, 우측에서는 용접해야 하는 단면을 확인 할 수 있다.

실제 현장에서 용접해야 하는 시편들은 기본적으로 이와 같은 형상을 지니고 있으면서도 아주 정밀하게 가공되어 있지는 않으며, 여러 횡수에 걸친 용접 중의 수축 및 비틀림, 재용접을 하기 위한 산소 절단 과정에서의 어긋남 등에 의하여 다양한 오차 요소를 지니고 있다. 때문에 그 형상을 정확하게 인식하여 용접 경로를 생성해야 한다.

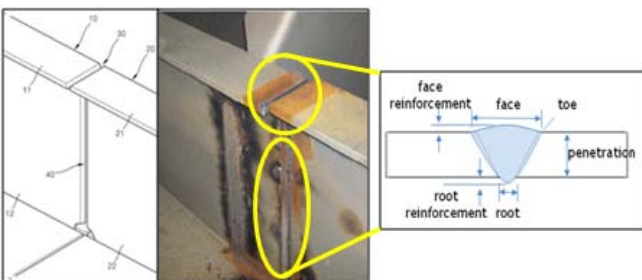


Fig. 1 Task object : Intersection of T-bar Joint

## 3. 알고리즘

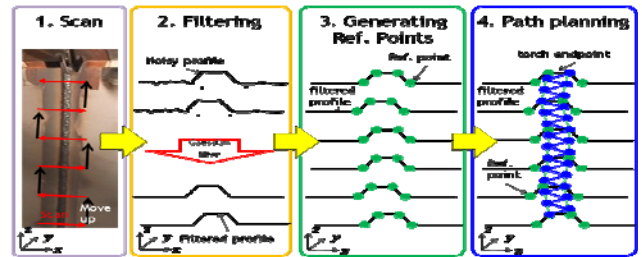


Fig. 2 Flow chart of the sensing & path planning algorithm

알고리즘은 그림 2에서 보는 것과 같이 크게 네 가지의 단계로 이뤄져 있다. 우선, 레이저 변위 센서를 이용하여 작업 대상물과 레이저 센서와의 거리를 측정하는 스캔(scan)작업을 한다. 다음으로는 스캔하여 얻은 데이터에 포함된 노이즈를 제거하는 필터링(filtering) 작업을 수행하고, 이를 바탕으로 필터링된 데이터로부터 용접대상물의 형상을 얻는 기준점 생성(generating ref. points)을 수행한다. 최종적으로 이들 기준점을 바탕으로 용접경로를 생성(path planning) 하게 된다.

스캔은 그림 3에서 보이는 것과 같이 주어진 단면에 대하여 레이저 변위 센서를 이용하여 거리 정보를 읽음으로써 이루어진다. 그러나 이때 획득하게 되는 정보(data)에는 유용하지 않은 많은 노이즈(noise)가 함께 측정된다.

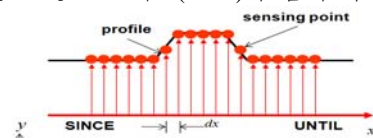


Fig. 3 2D scan profile

필터링 작업은 이러한 노이즈들을 제거하고 유용한 형태로 가공하기 위해서 필수적인 단계이다. 필터링은 크게 두 개의 단계로 이뤄지는데 우선은 에러(error) 제거 작업을 수행하게 된다. 우선, 스캔하여 얻은 점들의 y 값들의 평균값  $y_{avg}$  를 구한다. 그리고 필요에 따라 약간의 margin 을 주어, 에러인 점과 에러가 아닌 점을 판단하는 기준으로 삼는다. 즉 직선  $y = y_{avg} - margin$  보다 아래에 존재하는 점들은 에러로 간주하여 제거할 수 있다. 물론 margin 은 0 으로 설정할 수도 있고, 실제 레이저 센서와 용접 부위와의 거리를 감안하여 사용자가 적절한 값을 설정할 수 있다. 그림 4에서는 에러를 포함한 데이터와 이를 제거한 후의 데이터를 확인 할 수 있다.

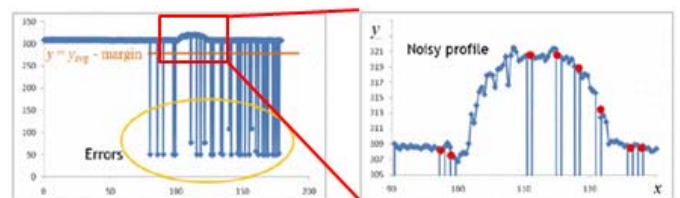


Fig. 4 Error Elimination

이렇게 일차적으로 필터링된 데이터에 대하여 다음으로 로우패스(low pass) 필터의 개념으로써 가우션(Gaussian) 필터링을 수행하여 데이터의 고주파 잡음을 제거한다. 여기서 가우션 필터란 각각의 데이터 값을 주변의 데이터를 이용하여 산술 평균 함에 있어서 다음과 같은 가우션 분포(Gaussian distribution)에 의해 결정되는 가중치(mask)를 사용하여 본래 값의 경향을 최대한 유지하도록 하는 것이다.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (\mu: \text{average} \quad \sigma: \text{standard derivative})$$

그림 5 에는 가우션 필터 이후의 데이터를 볼 수 있는데, 그림 1 의 용접 대상 단면과 대조 시 인식하고자 하는 대상의 형상과 매우 근접한 데이터를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 이때 표준편차 값이 커질수록, 필터링 된 프로파일(filtered profile)은 더 부드러워지지만, 동시에 폭도 넓어지게 되어, 그 값도 전체적으로 줄어들어 원래의 형상과는 달라지기 때문에 형상의 변화는 적게 하는 최적 표준편차 값을 실험을 통하여 도출한다.

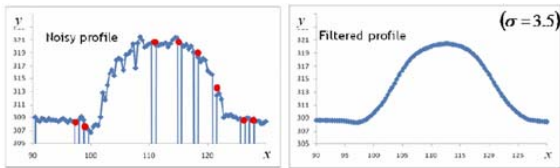


Fig. 5 Data normalization using Gaussian filter

이렇게 필터링이 완료가 되면 용접을 하기 위한 형상의 기준점들을 구해야 한다. 그림 6 에서 용접 경로를 생성하기 위하여 찾아야 하는 기준점들을 확인할 수 있다.

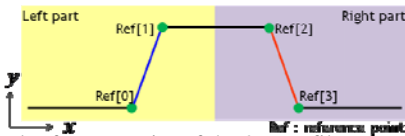


Fig. 6 Ideal reference point of the 2D profile

기준점들을 구하기 위하여 각 점이 형상의 기울기가 크게 변하는 변곡점들임에 착안하였다. 즉, 필터링 데이터들의 도함수 간의 관계들을 이용한다면 형상이 급격하게 변하는 각 기준 점을 찾을 수 있음을 이용한다. 기준점[0]과 기준점[3]은 기울기가 급격히 증가하는 점이고, 기준점[1]과 기준점 [2]는 기울기가 급격히 감소하는 점이다. 기준점[0]과 기준점[1] 사이의 직선의 기울기는 전체 profile 에서 최대값을 갖고, 기준점[2]와 기준점[3] 사이의 직선의 기울기는 최소값을 갖는다.

그림 7 과 그림 8 은 이와 같은 특성을 이용하여 기준점을 생성하는 과정을 나타낸다. 각 그림에는 위에서부터 순서대로 필터링된 원시함수, 1차 도함수, 2차 도함수가 도식되어있다. 우선, 그림 7 에서 프로파일의 1 계 미분계수가 최대인 점 p 와 최소인 점 q 를 찾는다. 다음으로는 그림 8 에서 2 계 미분계수에 대하여 p 와 q 를 기준으로, 좌측 및 우측의 최댓, 최솟값들을 구한다. 2 계 미분계수의 좌측 최대/최소점이 각각 기준점[0],[1]이고, 우측 최소/최대점이 각각 기준점[2],[3]이다.

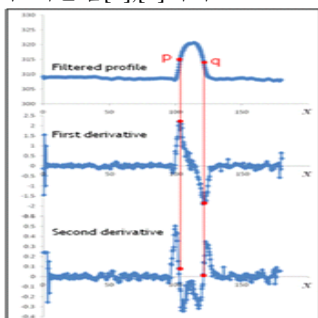


Fig. 7 Min/Max of first derivative

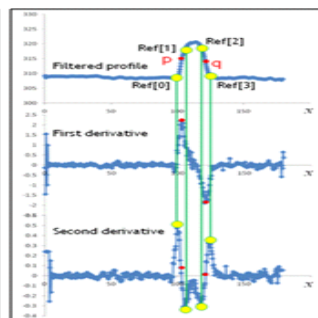


Fig. 8 Reference points

그런데 이와 같이 구한 기준점은 그림 6 의 이상적인 프로파일의 기준점과는 그 배치가 미묘하게 다르다. 즉, 기준점[0]과 기준점[3], 기준점[1]과 기준점[2]가 서로 나란하지 않고, 기준점[3]의 경우에는 실제 profile 보다 윗부분에 위치하였다. 이를 보정하기 위하여 우선 기준점[0]과 기준점 [3]의 평균값  $y_0$  을 구하고 기준점[1]과 기준점[2]의 평균값  $y_1$  을 구한 후, 기준점[0]과 점 p 를 지나는 직선 0 을 구하고, 기준점[3]과 기준점[2]를 지나는 직선 1 을 구한다. 다음으로  $y = y_0$ ,  $y = y_1$  과 직선 1, 직선 2 의 교점을 구하여 새로운 기준점으로 삼았다. 그림 9 의 녹색점이 이와 같은 과정으로 구한 새로운 기준점이다.

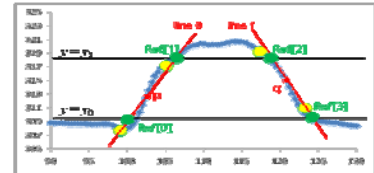


Fig. 9 Calibrated reference points of the 2D profile

#### 4. 결론

지금까지 두 개의 평행한 철관의 맞대기 용접을 하기 위하여 용접선의 한 단면의 형상을 인식하고, 용접 경로를 생성하기 위한 기준점들을 생성하는 알고리즘에 대하여 설명하였다. 알고리즘은 크게 스캔, 필터링, 기준점 생성, 용접 경로 생성으로 이뤄져 있다. 실험 시편에 대한 예비 실험 결과 기준점을 성공적으로 찾을 수 있음을 확인하였다. 추후 연구 과제로서 이와 같은 기준점들을 이용하여 그림 10 에서와 같이 용접 대상의 전체적인 형상을 파악하고 용접 경로를 생성하는 알고리즘이 완성되고, 이를 적용한 기구부를 제작한다면 맞대기 용접에 대한 자동화를 통하여 열악한 작업환경의 개선에 크게 기여할 수 있을 것이다.

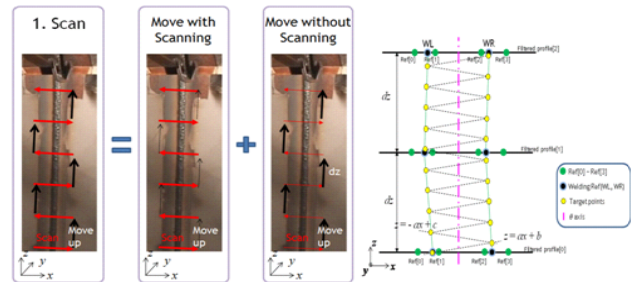


Fig. 10 Welding path planning based on 2D profile information

#### 후기

이 연구는 (주)대우 조선해양 산학연 협력산업 ‘이중 선체 조립 및 탑재용 지능형 로봇 개발’ 에 의해 지원되었습니다.

#### 참고문헌

1. 이정우, "1 차원 레이저 센서를 이용한 T bar 맞대기 용접용 위빙 용접 경로 생성 알고리즘 개발," 서울대학교 석사 학위 졸업 논문, 2009
2. 배강열, "용접선 자동추적용 전자기유도센서의 개발에 관한 연구," 대한용접학회, 제 23 권 제 4 호, pp. 66-72, 2005
3. 김창현, 최태용, 이주장, 서정, 박경택, 강희신, "용접 형상 측정용 시각 센서 모듈 개발," 한국정밀공학회 06 춘계학술대회 논문집, pp.285-286, 2006
4. 김진대, 신찬배, 이재원, "레이저범 수직투사 구조의 시각장치를 이용한 실시간용접선추적 시스템," 한국정밀공학회지 제 24 권 제 10 호, pp. 64 - 74, 2007