

## 용접선 추적을 위한 최적화 알고리즘 개발에 관한 연구

진병주\* · 이종표\* · 박민호\* · 김도형\* · 우치엔치엔\* · 김일수\*,† · 손준식\*\*

\*목포대학교 공과대학 기계공학과

\*\*중소조선연구원

### A Study on Development of the Optimization Algorithms to Find the Seam Tracking

Byeong-Ju Jin\*, Jong-Pyo Lee\*, Min-Ho Park\*, Do-Hyeong Kim\*, Qian-Qian Wu\*,  
Il-Soo Kim\*,† and Joon-Sik Son\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Mokpo National University, Mokpo 58579, Korea

\*\*Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Jeonnam 58457, Korea

†Corresponding author : ilsookim@mokpo.ac.kr

(Received September 22, 2015 ; Revised December 17, 2015 ; Accepted February 2, 2016)

#### Abstract

The Gas Metal Arc(GMA) welding, called Metal Inert Gas(MIG) welding, has been an important component in manufacturing industries. A key technology for robotic welding processes is seam tracking system, which is critical to improve the welding quality and welding capacities. The objectives of this study were to develop the intelligent and cost-effective algorithms for image processing in GMA welding which based on the laser vision sensor. Welding images were captured from the CCD camera and then processed by the proposed algorithm to track the weld joint location. The proposed algorithms that commonly used at the present stage were verified and compared to obtain the optimal one for each step in image processing. Finally, validity of the proposed algorithms was examined by using weld seam images obtained with different welding environments for image processing. The results proved that the proposed algorithm was quite excellent in getting rid of the variable noises to extract the feature points and centerline for seam tracking in GMA welding and could be employed for general industrial application.

Key Words : GMA welding process, Seam tracking, Image process, Laser vision sensor

#### 1. 서 론

용접은 산업계에 광범위하게 적용되고 있는 중요한 작업공정 중 하나이며, 용접 자동화와 연계하여 산업용 로봇을 현장에 이용하기 위하여 용접선 추적 기술개발이 시급하게 요구되고 있다<sup>1)</sup>. 일반적으로 용접선 추적을 위한 센서는 용접공정 자동화를 구현하는데 핵심부품으로 다양한 센서들이 개발되어 용접 현장에 이용되고 있다. 하지만 용접용 로봇 제어기는 열악한 작업환경에서 발생하는 노이즈를 제거하고 용접선이 기준경로를 이탈하면 보정하여 정확하게 센싱 및 제어를 요구한

다. 따라서 적절한 센서의 선정은 용접선 추적의 정밀도를 향상시키는 중요한 요인으로 고려하고 있다<sup>1)</sup>. 센서는 시스템이나 장치에 대한 상태를 감시하고 이상 검출시 발동신호를 획득하여 운전을 관리하는 핵심 기술이다<sup>2)</sup>. 최근에 센서 기술의 급격한 발전에 더불어, LVS(Laser Vision Sensor)는 정밀한 용접선의 정보를 제공하고, 전파방해 방지기능을 추가하여 용접선 추적을 위한 센서로 이용되고 있다. Huang과 Kovacevic<sup>3)</sup>은 LVS를 용접공정에 적용을 위한 선행 연구를 수행하였고, LVS가 용접품질 검사에 적합한 센서임을 증명하였다.

용접선 추적에 필요한 다른 핵심기술은 영상 처리(image

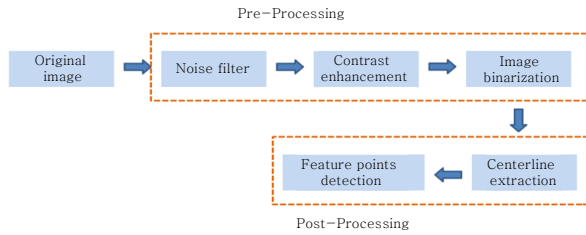


Fig. 1 Flow chart of image processing procedure

processing)기술이다. Fig. 1에서 나타낸 것과 같이, 초기 이미지에 노이즈 필터링<sup>4)</sup>, 그리고 영상 이진화를 포함하여 전처리 과정에서 진행하고, 특징점을 검출하는 후처리 과정을 통해 중심선을 추출한다.

각각의 영상 처리단계에서 모든 요구사항을 만족시키는 최적의 알고리즘을 개발하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한 추가적인 필터 설치 시에 영상에 생기는 임펄스와 비 임펄스를 이용하여 노이즈들을 제거하기 위한 다양한 알고리즘이 개발되었다<sup>5-7)</sup>. 평균값 필터와 중간값 필터는 산업에서 일반적으로 사용되는 노이즈 필터이다<sup>6)</sup>. Gil과 Hankowski는 영상의 대비증폭(contrast enhancement)을 통하여 용접 중 획득한 이미지에서 용접선을 보다 정확하게 표시하였다<sup>9-10)</sup>.

Ostu 방법 중에 자동 문턱값(threshold) 기술은 영상 이진화에 가장 광범위하게 사용하는 방법이다. 특히 중심선 추출기법은 일반적으로 Sun과 Bolson의 알고리즘이 잘 알려져 있지만, 최근 연구들은 Skeleton 방법의 개발에 집중되고 있다<sup>11-14)</sup>. 또한 보다 정확한 용접선 추적을 위하여 특징점 검출이 필수적으로 요구되며, 특징점에 대한 입력 데이터 제공이 필요하다고 주장하였다<sup>15)</sup>. 실시간(real-time)으로 GMA 용접공정을 모니터링하기 위하여 정확하고 신속한 영상처리 기술개발이 시급하게 요구되고 있다. 하지만 현재까지 영상처리 기술에 대한 연구는 단순히 특정 이미지 처리에만 집중되고 있다. 결론적으로 실시간으로 GMA 용접공정을 모니터링 및 제어하기 위하여 영상처리 알고리즘 개발 및 현장적용을 통하여 용접품질 확보가 시급하게 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 GMA용접에서의 실시간 용접선 추적을 위한 영상처리 최적화 알고리즘을 개발하고자 한다. 이러한 연구를 위하여 먼저 Table 1에 나타난 바와 같이 LVS(DST-G85)를 사용한 GMA 용접선 추적시스템을 사용하였다. 영상처리를 위한 일반적인 알고리즘을 기초로 용접선 추적에 최적 알고리즘을 개발하기 위해 단계별로 연구를 수행하였다. 개발한 알고리즘을 평가하기 위하여 평균 제곱 오차(MSE), 평균 제곱근 오차(RMSE), 최대 신호 대 잡음비(PSNR),

Table 1 Main specifications of DST-G85

Division		Characteristic
Principle		Optical triangulation
Light source		50mW Visible laser diode
Stand-off	Min.	5 mm
	Max.	90 mm
Depth of Field		85 mm
Field of View	Min.	48 mm
	Max.	96 mm
Resolution depth		0.087 mm
Resolution width		0.056 mm
Measurement speed		Max. 30 fps
Weight		1.00 kg

신호 대 잡음비(SNR)를 이용하였다. 마지막으로 GMA 용접법을 이용하여 V형 맞대기 용접에 적용하여 용접선 추적 시스템에 필요한 최적의 영상처리 알고리즘을 제안하고자 하였다.

## 2. 용접선 자동 추적 시스템

V형 맞대기 용접실험 장비 구성도는 Fig. 2와 같으며, 먼저 용접헤드를 용접 이음부 중앙으로 이동하여 좌표의 원점을 설정하였다. GMA 용접이 시작할 때, LVS 영상처리 시스템은 용접헤드에서 용접선의 이미지를 캡처하여 메인컴퓨터로 전송하며, 용접선 위치나 수정된 용접토치 위치는 로봇 제어부로 전송한다. 로봇 제어기는 용접 제어기로부터 토치를 이동하기 위해 명령을 전송받기 때문에 용접선 추적하기 위해 LVS는 GMA 용접공정을 실시간으로 이미지를 캡처한다. Fig. 3과 같이, 광학 헤드는 디지털카메라, 레이저, 광학필터로 구성되어 있다. 신뢰성 있는 실험결과를 위해서 일회용 광학렌즈를 설치하여 연기, 스펙터 및 다른 외부 환경으로부터 렌즈를 보호하였다. 다양한 용접작업

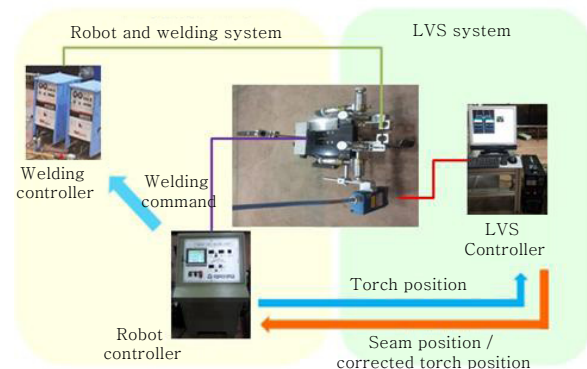


Fig. 2 Application of welding system

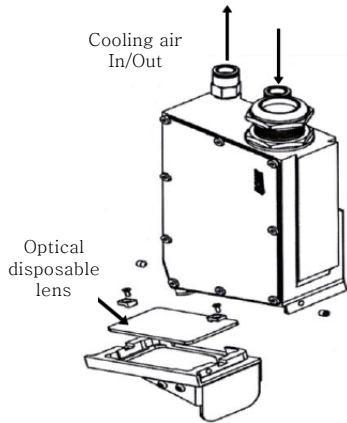
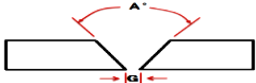


Fig. 3 Head for weld seam tracking

Table 2 The welding conditions based on WPS

Description	Details
Joint type	
Groove angle	70°
Base metal grade	SM490A
Thickness	9.5mm
Welding wire	CSF-71T
Shielding gas	CO <sub>2</sub> 100%
Root gap	2mm
Welding length	610mm
Evaluation item	Welding condition (Amp/Volt/Speed/Weaving)

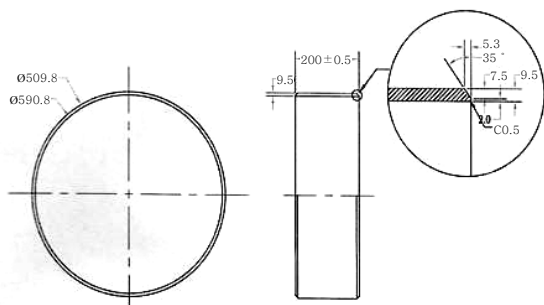


Fig. 4 Configuration of butt welding specimen

환경에서도 광학렌즈의 헤드를 보호하고 냉각하기 위해 기류를 분사하도록 구성하였다.

본 연구에서 사용된 모재는 해양 압력용기에 사용되는 SM490A를 선정하였다. Table 2은 적정한 비드영역에서 구동을 위한 표준 용접절차 사양서(WPS)와 예비실험에 기초하여 수동용접 세부 조건을 나타내며, V형 맞대기 용접 시험편을 위한 용접조건은 Fig. 4에 나타낸다.

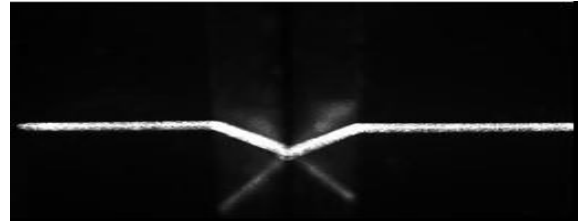


Fig. 5 Original image captured from LVS

### 3. 전처리 과정에서 최적화 알고리즘 개발

LVS로 용접선 추적 시스템을 개발하는데 먼저 최적의 알고리즘 선정을 통하여 영상처리를 수행하는 것이 핵심기술로, 일반적으로 영상처리 과정에서 알고리즘의 선택에 따라 정밀도가 달라진다.

본 연구에서 사용한 알고리즘을 이용하여 LVS로 캡처한 이미지는 Fig. 5와 같다. 영상 처리를 수행하기 위해, 먼저 용접 이미지에서 노이즈를 줄여야 한다. 이러한 노이즈는 실험결과에 영향을 끼치기 때문에 용접선 추적 실패에 주요 요인이 되고 있다. 따라서 영상처리에 적합한 노이즈 필터의 개발이 필요하며 다양한 용접 환경에서도 유연하게 대처할 수 있는 알고리즘 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는, 가우시안 필터와 중간값 필터를 사용하여 용접공정에서 발생하는 노이즈 제거에 대하여 연구를 수행했다.

가우시안 필터는 일반적으로 특성위치를 갖는 흐린 이미지와 가우스 노이즈를 제거하는데 사용된다<sup>6-7)</sup>. 그러나 가우시안 필터는 노이즈 진폭 분포의 평균값이 0인 정규분포이다. 즉, 가우시안은 획득한 이미지에서 “고주파수” 성분을 제거한다는 것을 의미한다. 따라서 가우시안 필터는 이미지를 선명하게 하는데 효과적이며 가우시안 필터의 가우시안 커널(gaussian kernel)이 화상을 흐리게 하는 경우 다음과 같은 식을 적용한다.

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

식 (1)에서 x는 수평축에서 원점까지 거리, y는 수직축에서 원점까지의 거리 그리고 σ는 가우시안 분포의 표준편차를 나타낸다. 만일, 화면상에 노이즈가 무작위로 백색과 흑색 점이 찍히게 되면, 중간값 필터가 선택된다. 중간값 필터 알고리즘은 픽셀 근처의 회색도 값으로 근방의 값을 대체한다. 즉, 필터 창 또는 주변은 사각형, 원, 십자가 또는 권곡(cirque)으로 선택 될 수 있다. 근접하는 픽셀 값은 시퀀스  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ 에 대입하고  $d_{i1} \leq d_{i2} \leq d_{i3} \dots \leq d_{in}$  과 같이 오름차순으로

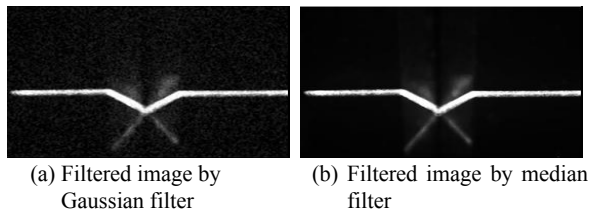


Fig. 6 Result of the noise filter process

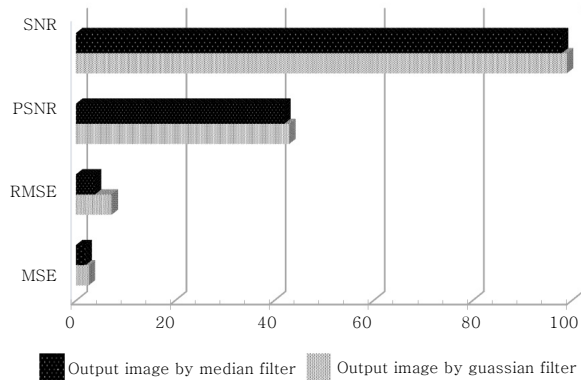


Fig. 7 Evaluation of noise filters' effect

정렬하거나  $d_{i1} \geq d_{i2} \geq d_{i3} \dots \geq d_{in}$  과 같이 내림차순으로 정렬하게 되었다고 가정하면, 그 중간 값은 다음과 같이 나타낸다.

$$D_{median} = Med\{d_i\} = \begin{cases} d_{i(n+1)/2}, & n \text{ is odd} \\ \frac{1}{2}[d_{i(n/2)} + d_{i(n/2+1)}], & n \text{ is even} \end{cases} \quad (2)$$

Fig. 6은 가우시안과 중간값 필터처리의 결과를 나타낸다. 가우시안 필터는 노이즈를 제거하는데 효과적이지 않고 이미지를 흐리게 한다. 그러나 중간값 필터는 더 적은 노이즈로 레이저 대역의 이미지를 가우시안 필터보다 더 선명한 영상 성능이 증명되었기 때문에 필터는 중간값 필터로 선정하였다.

필터의 정량적인 평가는 앞에서 나타낸 MSE, RMSE, PSNR, SNR를 이용하였다. 일반적으로 PSNR와 SNR의 값이 더 높고, MSE와 RMSE의 값이 더 작으면 특정 필터는 다른 필터들보다 성능이 우수함을 의미한다<sup>16-17</sup>. Fig. 7에 나타낸 바와 같이, 중간값 필터의 MSE와 RMSE 값이 가우시안 필터보다 더 적고 PSNR과 SNR 값은 더 높다는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 중간값 필터는 가우시안 필터보다 더 우수한 효과를 확인할 수 있었다.

노이즈 필터링을 통하여 점 노이즈 및 상대적으로 낮은 강도의 회선 노이즈(line noise)의 영역은 제거되었으며, 레이저 라인 직각방향으로 회선노이즈와 점 노이즈가 스페터의 영향으로 병합되었음을 확인하였다. 또한 레이저 대역배경이 불확실하면 개폐 필터를 사용하여 노이즈를 완전히 제거하고 레이저 라인을 강화하는데 사용하였다<sup>9</sup>.

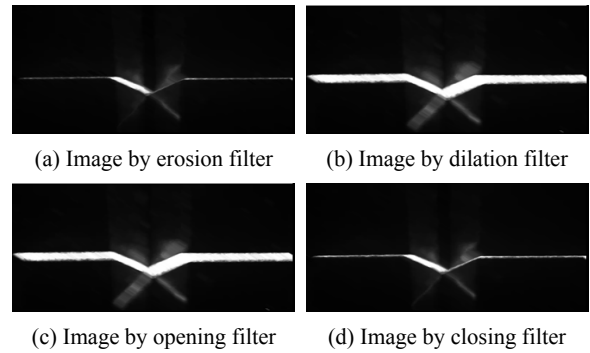
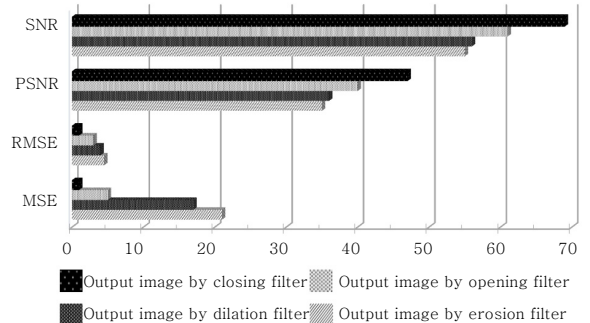


Fig. 8 Result of the contrast enhancement process



\* MSE, RMSE, PSNR and SNR for image after erosion, dilation, opening and closing operation

Fig. 9 Evaluation for image after contrast enhancement

또한 침식과 팽창필터를 사용한 경우에 반복적으로 이미지 멱등(idempotent) 변화가 발생하였다. 멱등 변환의 중요성은 이미지 분석 알고리즘의 완전한 폐쇄 단계를 포함한다는 의미이다. 따라서 개방 및 폐쇄필터를 사용함으로써 어떤 이미지 형상을 자연스럽게 정확하게 구현할 수 있음을 확인하였다. 결론적으로 개방 혹은 폐쇄필터를 사용하여 필터링된 이미지는 기존의 선형 필터에서 필터링이 불가능한 이상적인 대역을 통과한 이미지와 동일함을 확인하였다. 필터링된 이미지가 이상적인 대역을 통과하면, 다른 결과로 변경하지 않는다. 즉 개방과 폐쇄 필터에 의한 대비 강조 이미지 결과는



Fig. 8(c)와 (d)에 나타낸 바와 같이 개방필터는 레이저 대역이 향상되고, 잡음이 제거되지 않는 결과에도, 레이저의 밴드 폭을 확대됨을 확인할 수 있었다.

그러나, 폐쇄필터로 필터링된 이미지는 더 선명하고 얇은 레이저 대역을 나타내며, 이미지 대비증폭이 우수함을 알 수 있었다. 이들 4개의 알고리즘의 비교·분석한 결과에 따르면, 폐쇄필터의 MSE 값이 다른 필터에 비해 적고 PSNR과 SNR의 값은 더 크게 나타났다. 결과적으로 폐쇄 필터는 다른 필터에 비하여 성능이 우수하여, 대비증폭을 위하여 폐쇄필터를 선택되었다.

이미지에 대한 전 처리의 최종 목표는 실제 용접 정보를 얻는 것이며, 필터링된 이미지에서 레이저대역의 더 선명한 가장자리 선을 얻기 위하여, 일반적으로 영상 분할법이 사용된다. 영상 분할법은 영상 처리의 주요 방법 중 하나이고 단순하지만 배경으로부터 레이저 대역을 분리하는데 효과적이다. 이진화 전략은 우선 그 레이아웃을 구분하는 문턱값 T를 설정하는 것이다. 그 다음에 이미지 안의 픽셀의 회색도(gray level) 값들이 문턱값 보다 크거나 작으면 각각 "0"과 "1"로 설정한다. 또한 이진화 과정에서 적절한 문턱값을 설정하는 것은 매우 중요한 관계로, Sahoo가 연구한 문턱값 조사에 따르면 Nobuyuki Otsu가 제시한 방법이 아주 뛰어나고 영상분할 연구에 적합하다고 주장하였다<sup>18)</sup>. Otsu의 방법에 따르면, 화소의 변화가 최대값을 가질 때 문턱값을 결정한다고 정의했으며, 그 식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \sigma^2(\tau)}{\partial t} = \frac{\tau - \frac{1}{256} \sum_{i=0}^{\tau} f(i)(\tau - f(i))^2 + L - \frac{1}{256} \sum_{i=\tau}^L f(i)(f(i) - t)^2}{\partial t} = 0 \tag{3}$$

f(i)는 이미지안의 픽셀의 회색도이고, L은 회색도 t의 범위이다. 이미지 f(x,y)의 이진화된 결과 Y(x,y)는 다음 식을 나타낸다.

$$Y(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) \geq T \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \tag{4}$$

이진화 결과는 Fig. 10(c)에 나타내고 있는 Otsu의 방법에 따라, Fig. 10(c)의 임계 값 T는 0.4314이다. 이진화 결과로부터 문턱값의 영향을 분석하기 위해, 각각 0.35, 0.4, 0.45 문턱값을 Otsu방법과 비교하기 위하여 사용하였다. Fig. 11 결과는 Otsu의 방법의 MSE 값이 다른 방법보다 더 낮다는 것을 나타내고, PSNR과 SNR값이 더 높다는 것을 확인하여, Otsu의 방법을 이미지 이진화 하는데 사용하였다.

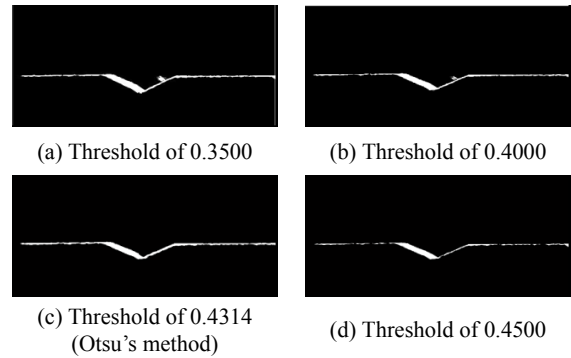
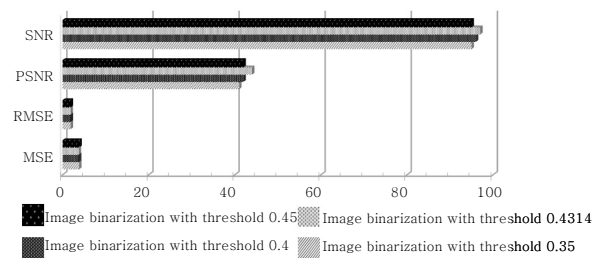


Fig. 10 Comparison of binarization result by different thresholds



\* MSE, RMSE, PSNR and SNR for image after image binarization with different thresholds

Fig. 11 Evaluation for image after image binarization

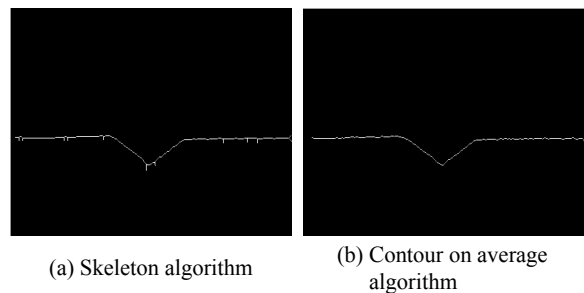
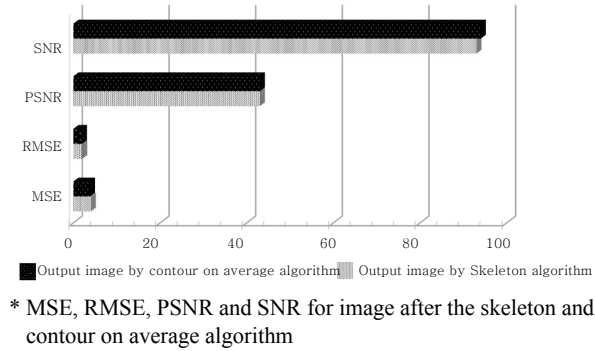


Fig. 12 Centerline extraction by skeleton and contour on average algorithms

#### 4. 후처리 과정에서 최적화 알고리즘 개발

중심선 추출에는 Skeleton과 윤곽평균(contour on average)방법<sup>18-19)</sup>이 많이 사용되고 있다. Skeleton은 2D상의 기본적인 위상 특성을 분석하기 위해 종종 사용된다. 또 다른 방법은 윤곽평균 방법으로써 두 알고리즘을 이용한 중심선 검출 결과는 Fig. 12에 나타났다. Skeleton은 중심선 추출 과정에서 진동이 발생하며, 윤곽평균 방법은 실험의 요구사항을 만족하는 부드러운 중심선을 나타낸다. Fig. 13은 윤곽평균 알고리즘이 Skeleton 알고리즘보다 더 우수하다는 것을 확인하였다.



**Fig. 13** Evaluation for image after the centerline extraction algorithm

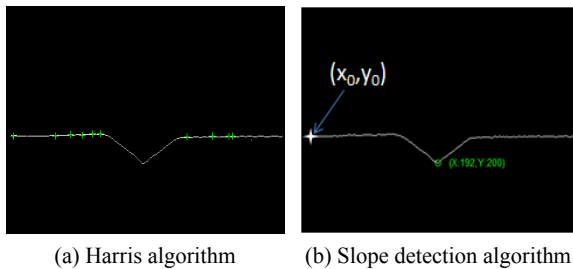
Harris는 자기상관방정식으로 위치파악 기능의 정확성을 향상시켜 불연속적인 이동 문제를 해결하기 위하여 알고리즘을 제안하였다<sup>15)</sup>. Harris 알고리즘은 감지선에는 매우 민감했지만, 추출된 선들이 수평을 이루지 않아 예상 검출결과를 달성할 수 없었다. 따라서 이 알고리즘을 용접선 추적 시스템으로 적용하기 위해서는 개선이 요구되며, 그 대안으로 기울기 검출 알고리즘 (slope detection algorithm)을 본 연구에서 제시하였다. 기울기 검출 알고리즘은 조인트 점에서  $f(x,y)$ 의  $y$ 의 최대값을 얻을 수 있으며, 결과적으로 조인트 점  $J(x,y)$ 는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$J(x, y) = \left\{ f(x, y) \mid k = \frac{y - y_0}{x - x_0} = k_{min} \right\} \quad (5)$$

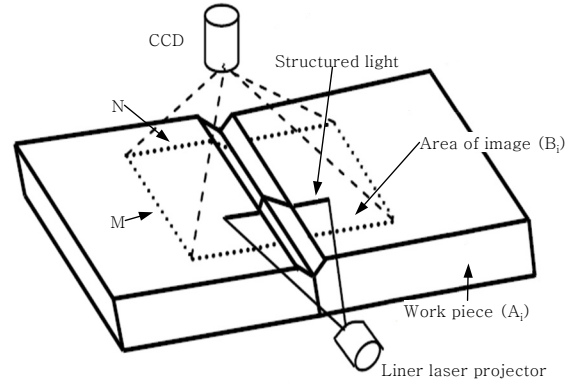
여기서,  $k_{min}$ 는 특징점 영상에서 화소의 최소 기울기를 의미한다. 따라서 두 알고리즘을 이용한 특징점 검출의 결과는 Fig. 14에 나타내었다.

### 5. 영상 처리 품질 평가

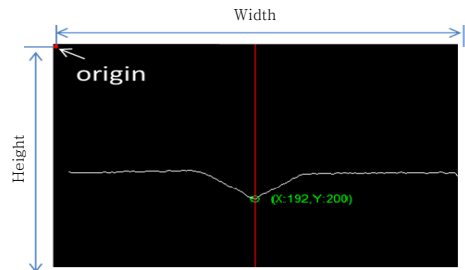
영상처리는 산업 응용 프로그램의 매핑을 이용하여 이미지를 변환하여 좌표를 나타내는 것이다. 화상에서 원점(0,0)은 화상의 좌상 좌표와 우하 좌표(폭-1, 높이-1)이며, 실제 이미지의 면적이  $59.92\text{mm}^2$ 인 반면, 본 연구



**Fig. 14** The result of feature point detection with harris and slope detection algorithms



(a) Schematic view of weld seam tracking model



(b) Illustration of image coordinates

**Fig. 15** Experimental setup included CCD camera

에서는 이미지의 폭이  $387\text{mm}$ 이고 높이가  $290\text{mm}$ 로 사용했다. 실험준비는 CCD카메라가 포함된 시스템으로 Fig. 15(a)에 나타낸다. 용접이 시작되면 용접선의 중심점은 Fig. 15(b)에 나타낸 바와 같이 이미지의 중앙에 위치한다. 이미지 내에서 점의 좌표  $(x,y)$ 를 가정하고, 중심으로부터 대응하는 오프셋  $\Delta Y$ 는 LVS 좌표에서 다음과 같이 나타낸다.

$$\Delta Y = \sqrt{\frac{A_i}{B_i}} \left( x - \frac{M}{2} \right) \quad (6)$$

$A_i$ 는 시험편의 실제 면적이며,  $B_i$ 는 Fig. 15 (a)의 점선 영역  $M \times N$ 인 화상사이즈이고  $M$ 과  $N$ 은 캡처된 이미지의 폭과 높이를 의미한다.

위 이미지는 용접공정 실험을 시작했을 때  $\Delta Y_0$ 가  $0.0000\text{mm}$ 에서 캡처된 것이고, 유사한 방법으로  $\Delta Y_1$  값은  $-0.0116\text{mm}$ 에서 캡처되었다. 영상처리 결과의 정확성은 다음과 같이 나타낸다.

$$\zeta = 1 - \frac{|\Delta Y_0 - \Delta Y_1|}{SG} \times 100\% \quad (7)$$

여기서, 각각  $\Delta Y_0$  및  $\Delta Y_1$ 는 실험에서 영상처리로 인한 오프셋을 나타내었으며,  $SG$ 는 용접선의 거리를 의미하고, 그 값은  $16.11\text{mm}$ 이다. 영상 처리의 정확도는

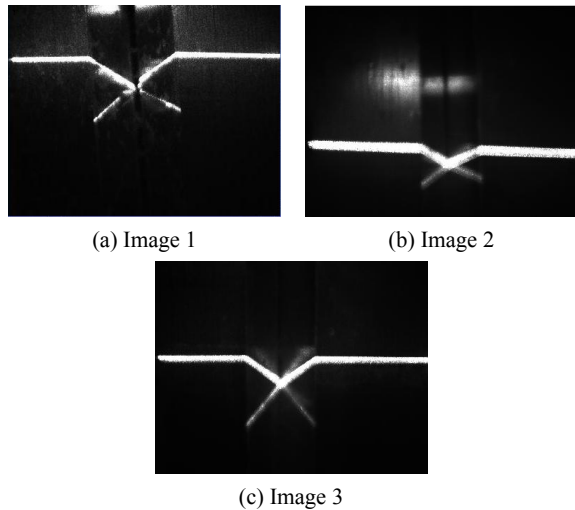


Fig. 16 Captured images for image processing

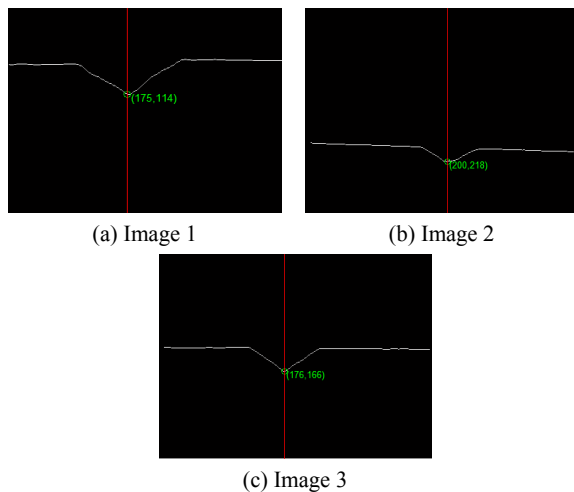


Fig. 17 Processed images by optimal algorithms

99.928%로 매우 높아 정밀한 용접선 추적에 가능 것으로 판단된다.

제안한 알고리즘의 신뢰성을 검증하기 위하여, 각기 다른 헤드위치로부터 용접선 이미지를 다양하게 캡처하여 영상처리를 진행하였고 캡처된 이미지 결과를 각각 Figs. 16~17에 나타내었다. 여기서 제안된 방법은 효율적으로 용접선 추적을 위해 정확한 특징점 검출 기능을 포함하였다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 다양한 영상 처리 알고리즘을 이용하여 최적의 용접선 추적 알고리즘 개발에 대한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) LVS를 이용하여, CCD 카메라에서 촬영된 이미지에 포함된 노이즈는 주로 임펄스 잡음 또는 점 잡음

이었다. 전처리 단계에서 캡처된 이미지에 포함된 노이즈를 제거하기 위해 중간값 필터를 선정하여 성능의 우수함을 확인하였다. 또한 대비증폭 과정을 위해서는 잔여 레이저 라인을 강화하고 노이즈를 완전히 제거하기 위하여 패쇄 필터 선정이 요구되었다.

2) 이미지 이진화에서 선명도를 향상시키고 문턱값을 자동으로 빠르게 추적이 가능한 Otsu의 방법을 선정하였다. 분석결과 다른 방법보다 MSE값이 낮고, PSNR과 SNR값이 더 높음을 확인하였다.

3) Skeleton 알고리즘은 윤곽을 가진 객체에 대해 민감하지만 용접 중심선 추출에는 부적합을 확인하였다. 하지만, 윤곽 평균 알고리즘(contour on average algorithm)은 실험의 요구 사항인 완전한 중심선 추적이 가능함을 확인할 수 있었다.

4) 품질평가 결과를 통해 용접 공정에서 용접선 추적에 대한 높은 정확도(99.928%)와 빠르고 정확한 영상처리를 하는 최적화 알고리즘을 개발하였다.

전반적으로, 영상처리를 위한 최적화 알고리즘은 LVS의 이미지 크기와 동일한 크기의 용접 조인트가 용접선 모서리 추적에 정확도와 안정성을 증가시키는 중요한 인자임을 확인하였다. 또한, 향후에 개발한 최적화 영상처리 알고리즘을 다양한 용접공정과 자동화 용접 모니터링 시스템과 연계하여 실질적인 실시간제어가 가능한 시스템구축이 가능할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.  
(No. 2013H1B8A2032082)

## References

1. S. Y. Liu, G. R. Wang, H. Zhang and J. P. Jia, Design of Robot Welding Seam Tracking System With Structured Light Vision, *Chinese Journal of Mechanical Engineer*, 23(4) (2010), 436-442
2. I. S. kim, B. Y. Kang, A Study on Development of Sensing System for Welding Automation, *Journal of KWJS*, 24(3), 2006.6, 9-14 (in Korean)
3. W. Huang and R. Kovacevic, A Laser-Based Vision System for Weld Quality Inspection, *Sensors*, 11 (2011), 506-521
4. H. H. Kim, I. S. Kim, C. U. Park, J. S. Son, J. H. Seo, J. W. Jung, G. S. Jeon, Development of Weld Automation Equipments Using the Infrared Temperature Sensor, *Proceedings of KWJS*, 46(2006), 301-303 (in Korean)
5. H. Hwang and R. A. Haddad, Adaptive Median Filters: New Algorithms and Results, *IEEE Transactions on Image Processing*, 4 (1995), 499-502
6. V. R. Vijaykumar, P. T. Vanathiand and P. Kanagasabapathy,

- Fast and Efficient Algorithm to Remove Gaussian Noise in Digital Images, *International Journal of Computer Science*, 37(2010), 122-125
7. G. Gupta, Algorithm for Image Processing Using Improved Median Filter and Comparison of Mean, Median and Improved Median Filter, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 1(2011), 304-311
  8. F. A. Dawood, R. W. Rahmat, S. B. Kadiman, L. N. Abdullah and M. D. Zamrin, Effect Comparison of Speckle Noise Reduction Filters on 2D-Echocardiographic Images, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 69 (2012), 425-430
  9. J. Gil and R. Kimmel, Efficient Dilation, Erosion, Opening and Closing Algorithms, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(12) (2002), 1606-1617
  10. M. Jankowski, Erosion, Dilation and Related Operators, *Proceeding of 8th International Mathematical Symposium*, 2006
  11. N. Otsu, A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-9(1) (1979), 62-66
  12. H. Greenspan, M. Laifenfeld, S. Einav and O. Barnea, Evaluation of Center-Line Extraction Algorithms in Quantitative Coronary Angiography, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 20(9) (2001), 928-941
  13. O. Aichholzer, F. Aurenhammer, D. Albers and B. Gätner, A Novel Type of Skeleton for Polygons, *Journal of Universal Computer Science*, 1(12) (1995), 752-761
  14. N. D. Cornea, D. Silver and P. Min, Curve-Skeleton Properties, Applications, and Algorithms, *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, 13(3) (2007), 530 - 548
  15. C. Harris and M. Stephens, A Combined Corner and Edge Detector, *Proceedings of 4th Alvey Vision Conference*, (1988), 147-151
  16. M. N. Nobi and M. A. Yousuf, A New Method to Remove Noise in Magnetic Resonance and Ultrasound Images. *Journal of Scientific Research*, 3(1) (2011), 81-89
  17. R. Maini and H. Aggarwal, Performance Evaluation of Various Speckle Noise Reduction Filters on Medical Images, *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 2(4) (2009), 22-25
  18. P. K. Sahoo, S. Soltani, A. K. C. Wong and Y. Chen, A Survey of Thresholding Techniques, *Comput. Graph. Image Process.* 41 (1988), 233-260, 1988
  19. J. Z. Shen, Research on Seam Image Processing for CO<sub>2</sub> Horizontal Position Welding Based on Laser Vision Sensing, *PhD thesis, Department of Materials Processing Engineering, Tianjin University*, 2010