Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 27:4 (2018) 363~370

https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.4.363

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

수직 GMA 용접부에서 화상처리를 위한 추출 알고리즘에 대한 연구

김창곤[a], 박민호[a], 손준식[b], 윤태종[a], 김일수[a*]

Study of Extraction Algorithm for Image Processing in Vertical GMA Welding

Chang-Gon Kim[a], Min-Ho Park[a], Joon-Sik Son[b], Tae-Jong Yun[a], Ill-Soo Kim[a*]

[a] *Department of Machanical Engineering, Mokpo National University, 1666, Yeongsan-ro, Chonggye-myon, Muan-gun, Jeonnam-do, 58579, Korea*
[b] *Research Institute of Medium& Small Shipbuilding, 55, Daebuljugeo 3-ro, Samho-eup, Yeongam-gun, Jeonnam-do, 58457, Korea.*

ARTICLE INFO

Article history:

Received	5	June	2018
Revised	20	July	2018
Accepted	28	July	2018

Keywords:
Vertical GMA welding
Welding arc
Image processing
Binarization
Feature points dectction

ABSTRACT

A welding monitoring system is indispensable for ensuring high-quality weldments in the vertical gas metal arc (GMA) process, and techniques for analyzing the arc characteristics by extracting welding arc lines from the welds are required. In this study, we have developed intelligent and effective algorithms for image processing in GMA welding based on thermal high-speed cameras. The proposed algorithms were verified and compared, to obtain the optimal one for each image-processing step. Finally, the validity of the proposed algorithms was examined using welding arc line images obtained under different welding environments. The results proved that the performance of the proposed algorithm was excellent in eliminating variable noise and extracting the feature points and centerline for vertical GMA welding, and can be employed for general industrial applications.

1. 서 론

최근에 산업발달과 더불어, 용접이 차지하고 있는 비중은 점점 증가하고 있으며, 모든 작업공정에서 용접은 핵심적인 공정으로 분류하고 있다. 가장 많이 사용되는 용접방법중의 하나인 GMA (Gas metal arc) 용접은 기계, 금속, 전기, 전자, 화학분야가 복합적으로 상호작용하고 있는 관계로 용접공정을 이론적으로 해석하는데 한계가 있을 뿐만 아니라, 변형 및 잔류응력 등에 의한 결함의 발생으로 용접 작업시 상당한 주의가 요구된다. 특히, 작업시 수반되는 아크빛(Arc light), 스패터(Spatter), 매연, 소음 등으로 인해 작업환경이 열악하여 자동화가 절실하게 요구되는 핵심기술 중의 하나이다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 광범위한 용접자동화에 관한 연구가 수행중이며, 산업용 로봇과 자동화 용접장비를 생산라인에 적용하기 위하여 용접용 신호처리 기술의 개발이 시급한 실정이다[1-3]. 하지만 용접용 로봇 모니터링 시스템은 열악한 작업환경에서 발생하는 노이즈를 제거하고 아크 용접시 발생되는 스패터를 제거하여 용접품질을 모니터링 하는 기술이 요구된다. 적절한 High-speed 열화상 선정 및 Image processing 기술을 개발하는 것 또한 중요한 요인으로 분석되고 있다. 최근에 High-speed 열화상 카메라의 기술의 급격한 발전에 따라 정밀한 아크용접의 화상데이터를 제공하고 전파방해 방지기능을 추가하여 용접 모니터링을 위한 카메라로 이용되고 있다. 화상처리의 절차는 먼저 용접 중 획득한 이미지에 노이즈 필터링을 수행하고 영상의 전처리 과정(Pre-processing)을 수행하여 특징점을 검출하여 용접 중심선을

* Corresponding author. Tel.: +82-61-454-3455
Fax: +82-61-452-6376
E-mail address: ilsookim@mokpo.ac.kr (Ill-Soo Kim).

추출한다[4].

영상 처리과정에서 단계별 모든 요구사항을 충족시키는 최적의 알고리즘 개발에 많은 문제점과 한계가 존재하기 때문에, 최근에는 추가적인 필터 설치 시에 영상에 생기는 노이즈를 임펄스와 비 임펄스를 이용하여 제거하기 위해 다양한 알고리즘이 개발되어 산업현장에 적용되고 있다[5-7]. 하지만 신호획득 및 분석 알고리즘에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

산업에서 일반적으로 사용되고 있는 노이즈 필터로 평균값 필터와 중간값 필터로 분류하고 있다[8]. 용접 중 획득한 이미지에서 용접선을 보다 정확하게 표시하기 위하여 용접부 열화상 영상의 대비증폭(Contrast enhancement)을 사용하였다[9,10].

영상 이진화에 가장 광범위하게 사용되는 방법으로 자동 문턱값(Threshold) 기술로 Ostu 방법이 광범위하게 사용되고 있다. 또한 중심선 추출기법으로 Sun과 Bolson의 알고리즘이 광범위하게 적용되고 있는 것으로 알려져 있지만, 최근에는 Skeleton 방법에 대한 관심이 집중되고 있다[11]. 특히 정확한 용접부 아크 라인을 추출하기 위하여 특징점 검출이 필수적으로 요구되며, 특징점에 대한 입력 데이터에 대한 자료 제공과 Database 개발이 시급하다고 주장하였다[12,13]. 현재까지의 영상처리 기술에 대한 연구는 단순히 특정 이미지 처리에만 집중되고 있는 관계로, 수직 GMA 용접공정을 실시간(Real-time)으로 모니터링하기 위하여 정확하고 신속한 영상처리 및 제어기술 개발이 미흡한 실정이다. 따라서 실시간으로 수직 GMA 용접공정을 모니터링 및 제어하기 위하여 영상처리 알고리즘 개발이 필요하다. 이러한 알고리즘은 아크라인 확인을 통하여 용접부의 품질 판단 미치는 악영향인자들을 분석하고 용접부 건전성을 확보하는 필수적으로 요구되며 관련기술 개발이 시급한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 수직 GMA 용접공정에서 실시간 용접시 아크 빛 및 스패터의 정확한 촬영을 위한 영상처리 최적화 알고리즘을 개발하고자 한다. 또한 개발한 알고리즘을 기반으로 현장에 적용하여 영상품질을 분석하기 위하여 최대 신호 대 잡음비(PSNR), 신호 대 잡음비(SNR), 평균 제곱오차(MSE), 평균 제곱근 오차(RMSE)를 산출하여 용접 모니터링에 필요한 최적의 영상처리 알고리즘을 개발하여 현장 적용성을 검토하였다.

2. 용접부 화상추출 실험

일반적으로 용접부 화상처리 및 모니터링 시스템을 개발하는데 High-speed 열화상 카메라를 적용하고 사용 환경에 적합한 알고리즘을 선정하여 영상처리를 수행하는 것이 핵심변수로, 영상처리 과정에서 알고리즘의 선택에 따라 정밀도가 크게 차이가 발생된다. 따라서 본 연구에서 개발한 화상처리 알고리즘을 적용하기 위하여 Table 1에 나타낸 바와 같이 NIT社의 High-speed 열화상 카메라를 사용하여 수직 GMA 용접공정시 발생되는 아크에 대한 이미지를 촬영하여 최적의 용접부 영상을 추출하고자 하였다. 최적의 용접부 영상 추출을 위한 High-speed 열화상 카메라는 용접부 토치에서 와이어 끝단을 촬영하도록 설치하였다. 수직 GMA 용접이 시작 될 때, High-speed 열화상 카메라의 화상 이미지는 실시간으로 용접 모니터링 시스템에 전송되며, 카메라에서는 용접아크에 대한 화상 데이터를 산출하여 초당 1,000 frame 값으로 저장한다. High-speed 열화상 카메라는 와이어 끝단에 맞춰서 토치와 같이 움직이도록 설치하였기 때문에 실시간으로 열화상 이미지를 전송한다. 카메라는 자체적으로 냉각을 진행하기 때문에 냉각시스템은 추가적으로 설치하지 않았으며, 용접시 발생되는 연기, 스패터 및 다른 외부환경으로부터 렌즈를 보호하기 위해 보호용 석영윈도우를 제작하여 카메라 렌즈를 보호하도록 구성하였다. Fig. 1는 용접부 추출을 위한 용접시스템과 토치부에 설치된 High-speed 열화상 카메라 및 보호용 석영 윈도우를 설치한 모습을 나타낸다.

용접모재는 일반 구조용 압연강재인 SS400 재질의 평판을 사용하였으며, 400 × 400 × 15 mm 규격의 평판 시험편을 제작하였으며, Fig. 2는 용접부 영상 추출을 위한 용접실험 개략도를 나타내고 있다. 본 실험의 경우 용접부에 발생되는 아크열원을 촬영하여 개선된 영상이미지를 추출하기 위한 목적으로 용접실험의 경우 일반적으로 사용되는 입력변수들을 선정하여 단일조건으로만 용접실험

Table 1 The capacities of thermal high-speed (Camera model)

Technical specifications TACHYON 1024 (32×32)	
Sensing material	VPD PbSe
Performance at room temperature	Uncooled
FPA resolution	1,024 (32×32)
Pixel size	130×130 Micrometer^2
Pixel pitch	135 Micrometer
FPA readout method	Snapshot

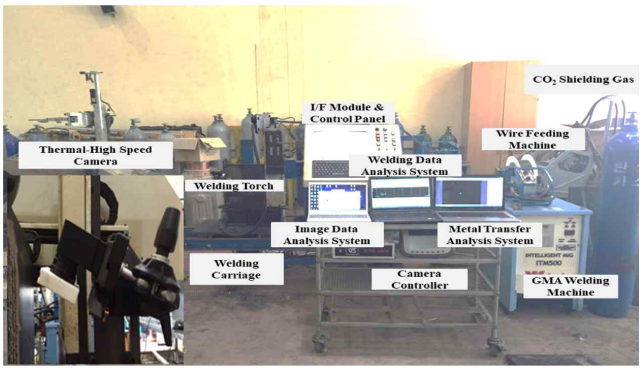


Fig. 1 Experimental setup for vertical GMA welding

Table 2 Welding parameters and their value

Parameter	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (cm/min)
Value	230	25	27
etc.	Torch angle: 0°, Shielding gas: 18 L/min CTWD: 15 mm		

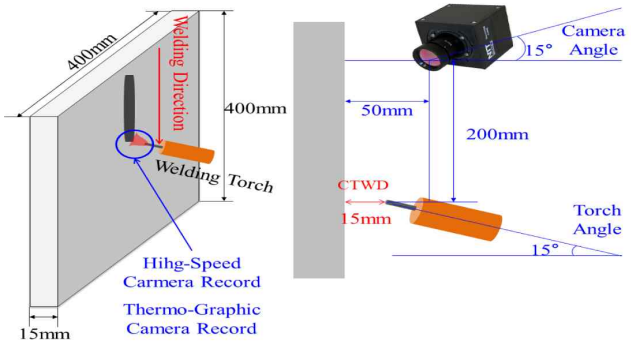


Fig. 2 A schematic diagram of welding process for extraction of thermal image

Fig. 3 Input and output variables of the welding experiment

을 수행하였다. 따라서 입력변수들은 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 230 A의 용접전류, 25 V의 아크전압 및 27 cm/min의 용접속도로 입력변수를 선정하였다. 또한 고정변수인 용접 토치 각도, 보호가스 유량, CTWD (Contact tip workpiece distance)는 각각 0°, 18 L/min, 15 mm로 Table 2와 같이 선정하여 Fig. 2에 나타낸 개략도를 기준으로 용접부 추출실험을 수행하였다. 용접실험의 입력 및 출력 변수는 Fig. 3에 나타내었으며, 용접부 화상이미지는 수직 GMA 용접시 발생되는 아크를 High-speed 열화상 카메라를 사용하여 용접시작 후 5초 간격으로 10회 촬영한 화상 이미지를 Fig. 4에 나타내었다.

3. 화상 전처리 알고리즘 개발

용접공정에서 발생하는 노이즈는 영상 획득하거나 전송하는 과정에서 발생되며, 영상의 화질을 떨어트릴 뿐만 아니라, 스케일링, 특징 추출, 초해상도 처리, 영상 분할 등 다른 영상처리의 효과를 감소시킨다. 따라서 본 연구에서는 노이즈를 제거하기 위해서 가우시안 필터(Gaussian filter)와 중간값 필터(Median filter)를 사용

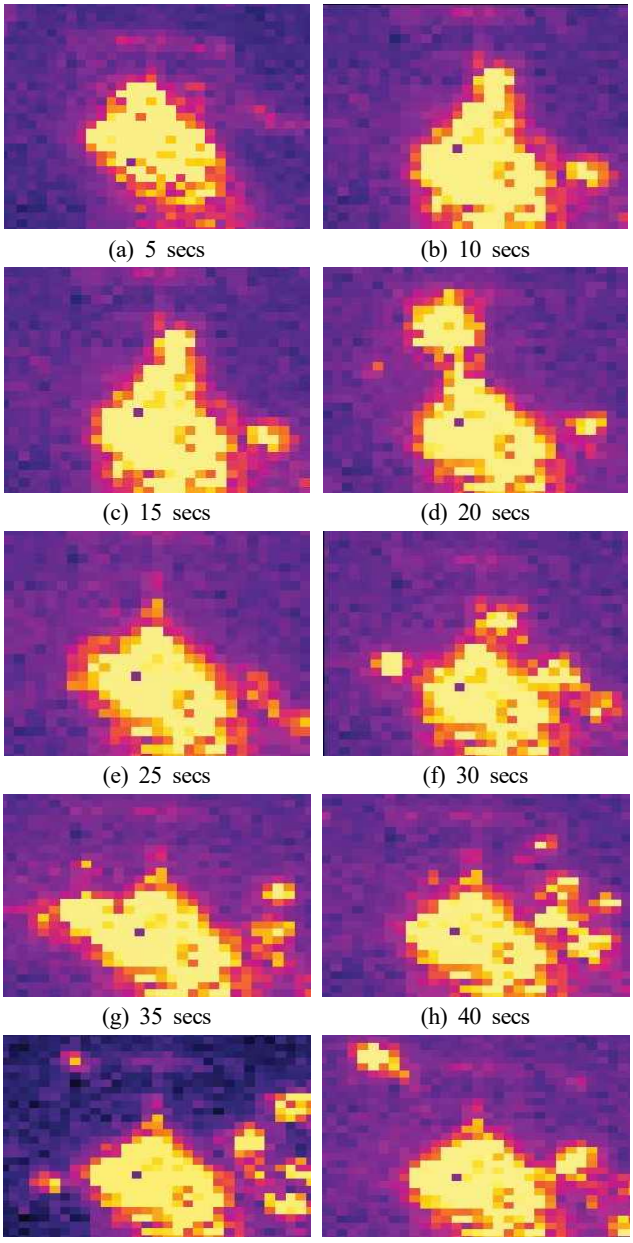


Fig. 4 Thermal image of weldment using high-speed camera

하였다. 일반적으로 가우시안 분포를 이미지 처리에 적용한 것인데 가우시안 평활화 연산자는 영상에서의 잡음을 효과적으로 제거하는 반면에 몽롱화 현상을 일으키게 되는 컨볼루션 연산자이다. 즉, 가우시안은 획득한 이미지에서 고주파수 성분을 제거한다는 것을 의미한다. 따라서 가우시안 필터는 윈도우의 가중치 값이 가우시안 함수 분포를 가짐으로써 윈도우의 중심에 더 큰 가중치를 주며, 다음과 같은 식을 적용한다.

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^4+y^4}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

여기서 x는 수평축에서 원점까지 거리, y는 수직축에서 원점까지의 거리 그리고 σ는 가우시안 분포의 표준편차를 나타낸다. 화면상에 노이즈가 무작위로 백색과 흑색점이 찍히게 되면 중간값 필터가 선택된다. 일반적으로 중간값 필터 알고리즘은 픽셀 근처의 회색도 값으로 정의하며 근방의 값으로 지정한다.

즉, 필터 창 또는 주변은 사각형, 원, 십자가 또는 권곡(Cirque)으로 선택하며, 근접하는 픽셀 값은 시퀀스 $d_1, d_2, d_3, \cdots d_n$에 대입하고 $d_{i1} \le d_{i2} \le d_{i3} \cdots \le d_{in}$과 같이 오름차순으로 정렬하거나 혹은 $d_{i1} \ge d_{i2} \ge d_{i3} \cdots \ge d_{in}$과 같이 내림차순으로 정렬한다고 가정하면, 그 중간 값은 다음과 같이 정의한다.

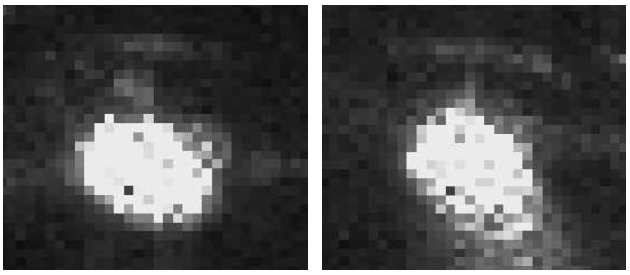
$$D_{median} = Med\{d_i\} = \begin{cases} d_{i(n+1)} & n\ is\ odd \\ \frac{1}{2}[d_{i(n/2)} + d_{n(\frac{1}{2}+1)}] & n\ is\ even \end{cases} \quad (2)$$

가우시안 필터와 중간값 필터를 사용하여 노이즈를 처리한 결과를 Fig. 5에 나타낸다. 가우시안 필터는 노이즈를 제거하는데 효과적이지 않고 이미지를 흐리게 함을 Fig. 5에서 알 수 있다. 하지만 중간값 필터를 사용하여 처리한 결과는 비교적 적은 노이즈로 레이저 대역의 이미지를 선명한 영상으로 나타내어, 본 연구에서는 필터를 중간값 필터로 선정하였다. 필터의 정량적인 평가를 위하여 영상품질에 대한 평균 최대신호 대 잡음비(PSNR), 신호 대 잡음비(SNR), 제곱오차(MSE), 평균 제곱근 오차(RMSE)를 선정하였다[14]. 특히 PSNR와 SNR 값은 높고, MSE와 RMSE 값은 낮은 결과는 성능이 우수함을 의미함으로 노이즈를 저감하기 위한 필터 선정 기준으로 적용하였다.

Fig. 6는 필터의 정량적인 평가 결과를 나타낸다. 중간값 필터의 MSE와 RMSE값이 가우시안 필터보다 더 낮고, 반면에 PSNR과 SNR값은 더 높다는 것을 Fig. 6에서 확인 할 수 있었다. 따라서 가우시안 필터보다 중간값 필터가 더 우수한 필터 효과를 확인 할 수 있었다. 또한 노이즈 필터링을 통하여 상대적으로 낮은 강도 및 점 노이즈의 회선 노이즈(Line noise) 영역은 제거되었으며, 아크에 의한 테두리 경계로 점 노이즈와 회선 노이즈가 스패터의 영향으로 병합되었음을 확인하였다. 또한 열화상 이미지의 아크 테두리가 불확실한 관계로 노이즈를 완전히 제거하고 레이저 라인을 명확하게 하기 위하여 개폐 필터를 사용하였다[15]. 앞서 언급한 다양한 필터를 이용하여 대비 증폭한 이미지를 Figs. 7과 8에 나타내었다. Fig. 7(a) 및 (b)는 침식(Erosion)과 팽창(Dilation)필터를 사용한 경우에 노이즈 제거 결과는 대부분의 열화상 이미지의 아크열에 의한 테두리에서 흐리거나 약화되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, Fig. 7(c) 및 (d)에 나타낸 바와 같이 개방(Opening)과 폐쇄(Closing)필터를 적용하였다. 또한 침식과 팽창필터를 사용한 경우에 반복적으로 이미지 멱등(Idempotent)현상이 발생함으로 실질적인 적용에 어려움이 존재함을 확인하였다[16].

결론적으로 특정 이미지 형상을 정확하고 자연스럽게 구현하기 위해 개방 및 폐쇄 필터를 선정하였다. 기존의 선형 필터에서 필터링이 불가능한 이상적인 대역을 통과한 이미지와 개방 및 폐쇄필터를 사용하여 필터링된 이미지는 동일함을 확인하였으며, 이상적인 대역을 통과하여도, 동일한 결과를 나타내었다.

즉 Fig. 7의 (c)와 (d)은 개방과 폐쇄 필터에 의한 대비 강조 이미지 결과를 나타내며, 개방 필터는 화상 대역이 향상되고 잡음이 제거되지 않았으나, 아크열에 대한 라인의 폭이 향상됨을 확인할 수 있었다. 하지만 폐쇄 필터로 필터링된 이미지는 더 얇고 선명한 아크열 테두리를 나타내며, 우수한 이미지 대비 증폭임을 나타내었다. Fig. 9에 나타낸 바와 같이 4개의 다른 필터 알고리즘의 비교·분석을 통하여, 폐쇄 필터는 다른 3개의 필터에 비교하여 PSNR과 SNR의 값은 더 크고, MSE 값이 적게 나타함을 알 수 있었다. 따라서 폐쇄 필터는 다른 필터들과 비교·분석하면 성능이 우수하여, 대비증폭을 위하여 폐쇄 필터를 선정하였다. 이미지에 대한 전 처리과정은 실질적인 용접 정보를 획득하는 것이며, 필터링된 이미지



(a) Filtered image by gaussian filter (b) Filtered image by median filter

Fig. 5 The results of thermal image with filter processing of noise

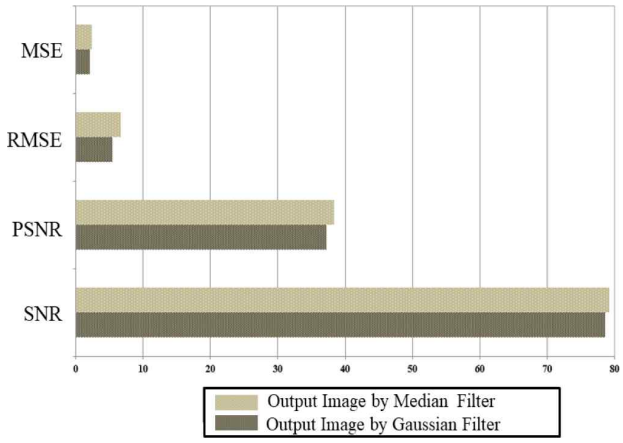
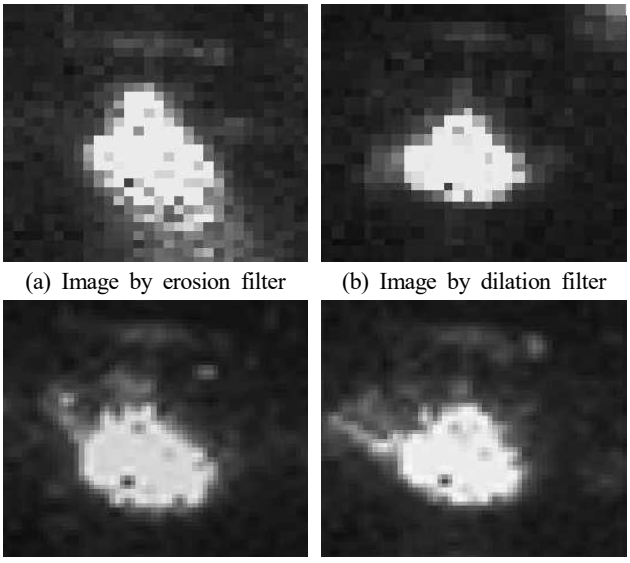


Fig. 6 Verification for the noise filter used

에서 아크열 테두리에 대한 선명한 선을 획득하기 위하여, 일반적으로 영상 분할법이 많아 이용되고 있다[16].

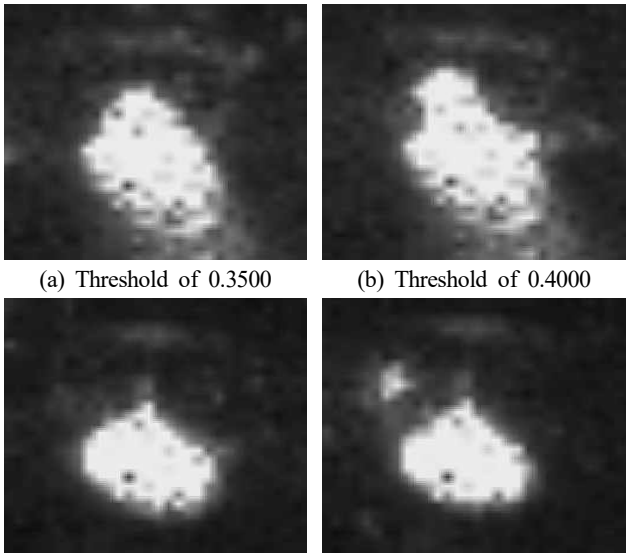
최근에 아크 용접공정에서 배경으로부터 아크열에 대한 라인을 분리하기 위하여, 단순하지만 효과적인 영상 분할법이 광범위하게 활용되고 있다. 이진화 법은 먼저 그 입열량을 구분하는 문턱값 T를 설정한 뒤 이미지 안의 픽셀의 회색도(Gray level) 값들이 문턱값 보다 크거나 작으면 각각 “0”과 “1”로 설정한다. 따라서 이진화 과정에서 최적의 문턱값 설정이 매우 중요한 문제이다.



(a) Image by erosion filter (b) Image by dilation filter

(c) Filtered image by opening filter (d) Filtered image by closing filter

Fig. 7 Thermal imaging with various filters to amplify contrast of images



(a) Threshold of 0.3500 (b) Threshold of 0.4000

(c) Threshold of 0.4248 (Otsu’ Method) (d) Threshold of 0.4500

Fig. 8 Comparison for binarization result with different thresholds

Sahoo는 다양한 문턱값들에 대한 연구를 수행하였으며, 최종적으로 Otsu가 제시한 방법이 아주 뛰어난 영상분할법 이라고 주장하였다[17].

Otsu의 방법에 따르면, 화소의 변화가 최대값을 가질 때 문턱값을 결정한다고 정의했으며, 다음과 같이 나타낸다.

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

여기서 $f(i)$는 이미지안의 픽셀의 회색도이고, L은 회색도 t의 범위이다. 이미지 $f(x,y)$의 이진화된 결과 $Y(x,y)$는 다음과 같다.

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

이진화 결과로부터 문턱값의 영향을 분석하기 위해, 각각 0.35, 0.4, 0.45 문턱값을 Otsu방법과 비교하기 위하여 선정하였다. Fig. 9는 다양한 문턱값들에 대한 이진화 결과를 나타내다. Fig. 8(c)는 Otsu의 방법에 따라 이진화 결과를 나타내며, 임계값 T로 0.4248 값을 구하였다. Fig. 10에 나타낸 결과에 따르면, Otsu의 방법의

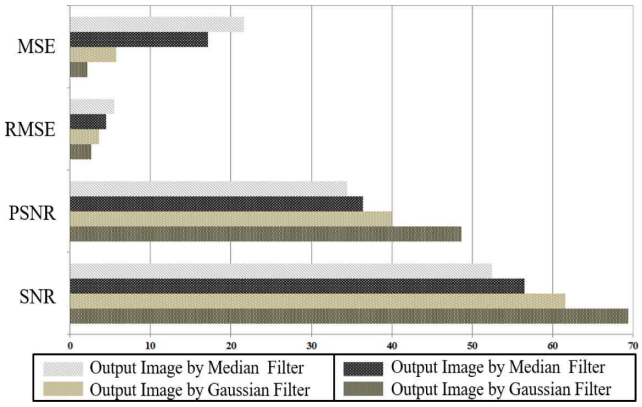


Fig. 9 Verification for thermal image with various filters

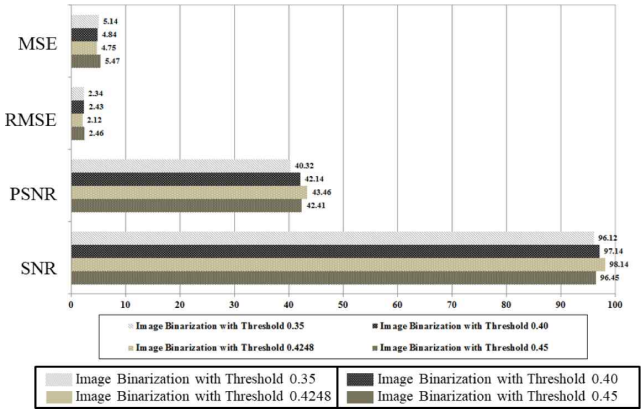


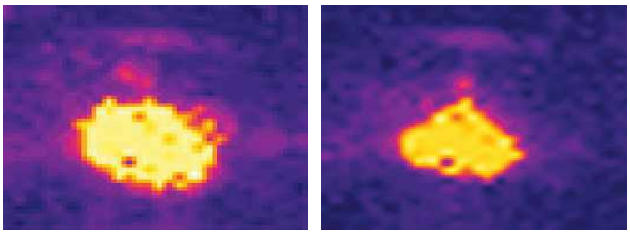
Fig. 10 Statistical comparison for image binarization with different thresholds

MSE값이 다른 방법들보다 낮음을 알 수 있었고, PSNR과 SNR값이 더 높다는 것을 확인하였으며, 궁극적으로 이미지 이진화에 Otsu의 방법을 사용하였다.

4. 화상 후처리 알고리즘 개발

일반적으로 영상처리 분야에서 아크용접 공정 자동화에 라인들의 중심선 추출에 윤곽평균(Contour on average)과 Skeleton 방법이 많이 사용되고 있다. 2D상의 기본적인 위상 특성을 분석하기 위해 Skeleton방법이 가끔 사용된다. Fig. 11은 윤곽평균 방법을 이용한 중심선 검출 결과를 나타낸다. Fig. 12는 윤곽평균(Contour on average)과 Skeleton 방법을 이용하여 분석한 정량적인 평가를 나타낸다. 윤곽평균 알고리즘이 Skeleton 알고리즘 보다 더 우수함을 Fig. 12에서 확인할 수 있다. 최근에는 Harris는 위치파악 기능의 정확성을 향상시켜 불연속적인 이동 문제를 해결하기 위하여 자기상관방정식으로 알고리즘을 제안하였지만, 감지선에는 매우 민감하지만 추출된 선들이 연속적으로 이어지지 않아 예상 검출 결과를 달성할 수 없었다[18]. 따라서 이 알고리즘을 용접 모니터링 시스템에 적용하기 위해서는 수정이 요구되며, 그 대안으로 KLT (Kanade lucas tomasi) 알고리즘을 적용하여 경계선 및 모서리와 같은 곳을 판독하여 효율적으로 경계선을 추출하고자 하였다[19].

특징점들이 가져야 할 조건으로는 특징성(Distinctness), 불변성



(a) Skeleton algorithm (b) Contour on average algorithm

Fig. 11 Results for edge extraction of arc light with contour on average and skeleton algorithm

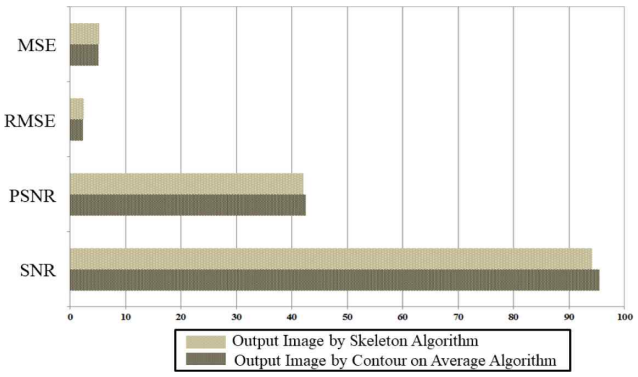


Fig. 12 Verification for image used the edge extraction algorithm

(Invariance), 안전성(Stability), 판독성(Interpretability) 등이 있다. KLT알고리즘은 특징점 추출에도 매우 뛰어난 성능을 포함하고 있어 자주 활용이 되는 알고리즘이다.

KLT에서 국부구조행렬은 식 (5)와 같이 정의한다[17].

$$C_{str} = w_G(r;\sigma) * \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \tag{5}$$

여기서, $w_{G(r;\sigma)}$는 가우시안(Gaussian) 필터를 나타내며 $I(x,y)$는 원 영상의 밝기값을 나타내고 $\partial I/\partial x, \partial I/\partial y$는 x축과 y축 방향으로의 1차 미분을 나타낸다. 가우시안 필터에 의해 결과를 $\hat{I}$로 두면 식 (5)는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

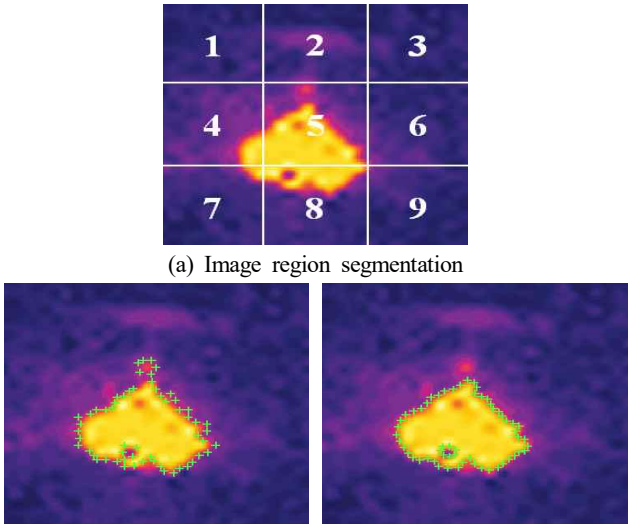
$$C_{str} = \begin{bmatrix} \hat{I}_x^2 & \hat{I}_x\hat{I}_y \\ \hat{I}_x\hat{I}_y & \hat{I}_y^2 \end{bmatrix} \tag{6}$$

식 (6)은 대칭행렬이기 때문에 좌표축을 회전하여 대각행렬로 만들 수 있고 대각행렬의 요소는 식 (7)과 같이 두 개의 고유값 λ_1, λ_2로 나타낼 수 있다.

$$C_{str} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \tag{7}$$

특징점 또는 모서리점의 경우는 인접 영상소와 비교할 때 명도(Contrast)가 높기 때문에 큰 고유값을 얻을 수 있다. 고유값은 경계선의 크기를 나타내고 고유벡터는 경계선의 방향을 나타낸다. KLT 알고리즘은 특징점을 추출하기 위해서 두 개의 매개변수 즉 λ_2에 대한 임계값인 λ_{th}와 탐색창의 1차원 크기 D를 사용한다. 일반적으로 탐색창의 크기가 커지면 커질수록 추출된 특징점의 위치가 실제 위치에서 멀어지는 경향이 있다. 특징점 추출을 위해 윤곽평균 알고리즘을 적용해 촬영한 용접부 영상을 이용하였으며, 영상의 크기는 128×128 (Columns×rows)이다. 용접부 화상 이미지의 특징점 분포특성을 분석하기 위해 9개의 세부영역으로 나누어 처리하였다. 특징점은 영상접합을 수행하기 위해 사전단계의 초기점으로 사용되며, 용접부 화상이미지에 대하여 특징점을 추출하였다.

영상조정광은 적절한 크기의 분할영역을 설정해야하며, 특징점의 연결이 매끄럽게 곡선형태가 아닌 직선의 형태의 뾰족한 형태의 아크열 테두리 발생을 없애기 위해 정렬되어진 특징점 추출이 가능해야 한다. 특징점은 화상 영역에서 고유한 특성을 가지며, 연결하는 요소를 나타내는 것으로 영상 처리과정에서 연결의 모



(a) Image region segmentation

(b) Harris algorithm (c) KLT algorithm

Fig. 13 Results for extraction of feature point by Harris and KLT algorithm

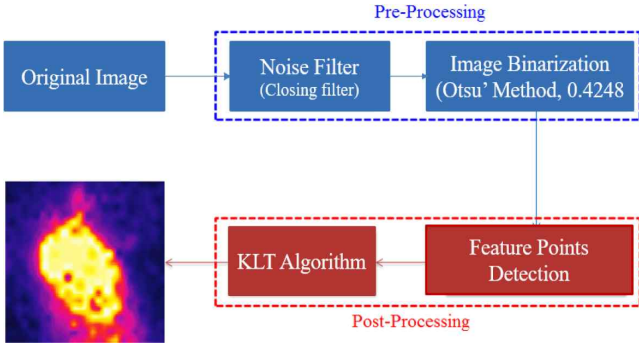
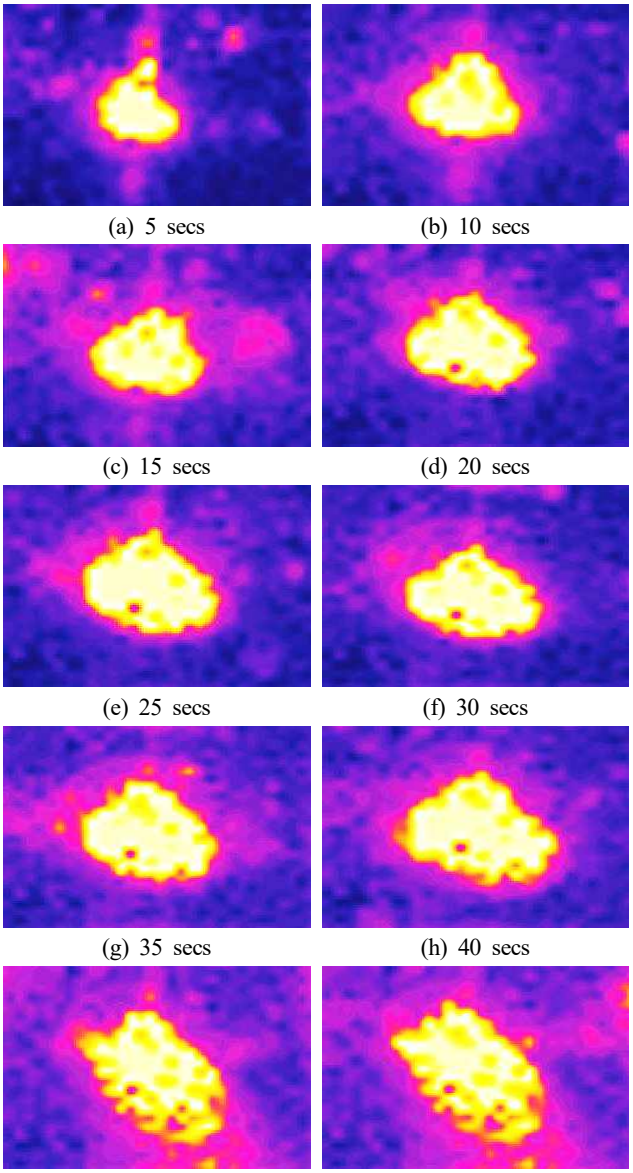


Fig. 14 Flow chart of image processing procedure for thermal image of arc light

호성을 줄일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 화상처리 필터와 알고리즘을 적용하여 최적의 용접부 화상 이미지를 확보하고자 하였으며, KLT 알고리즘을 적용하여 용접부 화상 이미지의 특징점 추출하고 아크열 테두리의 연결선을 곡선형태로 매끄럽게 하면서 Fig. 14와 같이 수직 GMA 용접부 분석을 위한 최적의 용접부 화상 이미지를 확보하였다. Fig. 15은 개발된 화상 이미지 처리 알고리즘을 적용하여 용접부를 촬영한 결과를 나타내고 있으며, 용접부 화상 이미지는 위에서 동일한 방법으로 용접 시작후 5초 간격으로 총 10회의 용접부 화상 이미지를 추출 하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 다양한 화상처리 방법들을 이용하여 최적의 용접부 화상을 추출하기 위한 전·후처리 알고리즘 개발에 대한 연구를 수행하였으며, 결론은 다음과 같다.



(a) 5 secs (b) 10 secs

(c) 15 secs (d) 20 secs

(e) 25 secs (f) 30 secs

(g) 35 secs (h) 40 secs

(i) 45 secs (j) 50 secs

Fig. 15 Thermal image of weldment with image processing procedure

1) Thermal high-speed camera를 이용하여, 촬영된 용접부 화상이미지에 포함된 노이즈는 주로 점 잡음 또는 임펄스 잡음으로 확인되었다. 전처리 단계에서 캡처된 이미지에 포함된 노이즈를 제거하기 위해 중간값 필터를 선정하여 중간값 필터의 성능이 우수함을 확인하였다. 또한 용접부에 의한 아크열원 라인을 선명하게 하기 위하여 노이즈를 완전히 제거하는 능력이 가장 우수한 폐쇄 필터를 선정하였다.

2) 이미지 이진화에서 선명도를 향상시키고 최적의 문턱값 산출로 용접부 화상을 선명하게 처리가 가능한 Otus의 방법을 선정하였으며, 정량적인 평가에 따르면 다른 처리방법들 보다 MSE값이

낮고, PSNR과 SNR값이 더 높음을 확인하였다.

3) Skeleton 알고리즘의 경우 실제 사물의 윤곽을 측정할 때 매우 우수한 성능을 나타내지만 화상이미지로 측정된 아크 열원의 가이드 라인을 추출하는데는 부적합함을 확인하였다. 하지만, 윤곽평균 알고리즘은 본 연구의 요구 사항인 용접부와 모재부를 구분하고 추출하는데 매우 뛰어남을 확인하였다.

4) 아크 열원의 테투리를 추출하기 위해 윤곽평균 알고리즘을 적용해 촬영한 용접부 영상을 이용하였으며, 용접부 화상이미지를 9개의 세부영역으로 나누어 특징점을 추출하였다. 그 결과, KLT 알고리즘을 적용한 용접부 화상이미지에서 특징점을 추출하면서 아크열 테두리의 연결선을 곡선형태로 매끄럽게 하는 최적의 용접부 화상을 확인하였다.

전반적으로, 용접부 화상이미지를 처리하기 위한 최적의 전·후처리 알고리즘은 아크 열원의 크기와 뚜렷한 아크열 테두리를 선명하게 추출함으로써, 추후 용접시 발생되는 스패터와 입열량에 의해 용융부가 경화되는 현상을 규명하고자 하였다. 또한 개발된 알고리즘은 다양한 산업의 용접공정과 모니터링 시스템과 연계하여 실시간으로 용접품질을 확인할 수 있는 현장중심 시스템 구축이 가능할 것으로 기대된다.

References

[1] Liu, S. Y., Wang, G. R., Zhang, H., Jia, J. P., 2010, Design of Robot Welding Seam Tracking System With Structured Light Vision, Chinese Journal of Mechanical Engineer, 23:4 436-442.

[2] Kim, I. S., Kang, B. Y., 2006, A Study on Development of Sensing System for Welding Automation, Journal of KWJS, 24:3 9-14.

[3] Huang, W., Kovacevic, R., 2011, A Laser-Based Vision System for Weld Quality Inspection, Sensors 11 506-521.

[4] Kim, H. H., Kim, I. S., Park, C. U., Son, J. S., Seo, J. H., Jung, J. W., Jeon, G. S., 2006, Development of Weld Automation Equipments Using the Infrared Temperature Sensor, Proceedings of KWJS, 46 301-303.

[5] Hwang, H., Haddad, R. A., 1995, Adaptive Median Filters:New Algorithms and Results, IEEE Transactions on Image Processing, 4 499-502.

[6] Vijaykumar, V. R., Vanathiand P. T., Kanagasabapathy, P., 2010, Fast and Efficient Algorithm to Remove Gaussian Noise in Digital Images, International Journal of Computer Science, 37 122-125.

[7] Gupta, G., 2011, Algorithm for Image Processing Using Improved Median Filter and Comparison of Mean, Median and Improved Median Filter, International Journal of Soft Computing and Engineering, 1 304-311.

[8] Dawood, F. A., Rahmat, R. W., Kadiman, S. B., Abdullah L. N., Zamrin, M. D., 2012, Effect Comparison of Speckle Noise Reduction Filters on 2D-Echocardigraphic Images, World Academy of Science, Engineering and Technology, 69 425-430.

[9] Gil, J., Kimmel, R., 2002, Efficient Dilation, Erosion, Opening and Closing Algorithms, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24:12 1606-1617.

[10] Jankowski, M., 2006, Dilation and Related Operators, Proceeding of 8th International Mathematical Symposium.

[11] Otsu, N., 1979, A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC, 9:1 62-66.

[12] Greenspan, H., Laifenfeld, M., Einav, S., Barnea, O., 2001, Evaluation of Center-Line Extraction Algorithms in Quantitative Coronary Angiography, IEEE Transactions on Medical Imaging, 20:9 928-941.

[13] Aichholzer, O., Aurenhammer, F., Alberts, D., Gätner, B., 1995, A Novel Type of Skeleton for Polygons, Journal of Universal Computer Science, 1:12 752-761.

[14] Nobi, M. N., Yousuf, M. A., 2011, A New Method to Remove Noise in Magnetic Resonance and Ultrasound Images, Journal of Scientific Research, 3:1 81-89.

[15] Gil, J., Kimmel R., 2002, Efficient Dilation, Erosion, Opening and Closing Algorithms, IEEE Transactions on PatternAnalysis and Machine Intelligence, 24:12 1606-1617.

[16] Jin, B. J., Lee, J. P., Park, M. H., Kim, D. H., Wu, Q. Q., Kim, I. S., Son, J. S., 2016, A Study on Development of the Optimization Algorithms to Find the Seam Tracking, Journal of Welding and Joining 34:2 59-66.

[17] Sahoo, P. K., Soltani, S., Wongand A. K. C., Chen, Y., 1988, A Survey of Thresholding Techniques, Comput. Graph Image Process 41 233-260.

[18] Harris. C., Stephens, M., 1988, A Combined Corner and Edge Detector, Fourth Alvey Vision Conference, 147-152.

[19] Tomasi, C., Kanade, T., 1991, Detection and Tracking of Point Features, Carnegie Mellon University Technizal Report CMU-CS, 91-132.