

C-Scan 초음파 영상 컬러화 및 용접 품질 자동 평가 시스템

김태규[†], 권성근^{††}

Colorization of C-Scan Ultrasonic Image and Automatic Evaluation Algorithm of Welding Quality

Tae-Kyu Kim[†], Seong-Geun Kwon^{††}

ABSTRACT

The NDT using ultrasonic is largely divided into A-Scan and C-Scan methods. Since A-Scan method is subject to subjective judgement by trained personnel, C-Scan method has been introduced, which presents the weld area in two dimensions by placing the transducers two dimensionally used in the A-Scan method. Therefore, it is necessary to develop equipment that can provide weld quality without the help of a welding expert and the presentation of effective C-Scan images. Thus, in this paper, the algorithms that express a low resolution 2-dimensional gray image formed by C-Scan method as a high-resolution color C-Scan image and automatically determine the weld quality from the generated C-Scan color image. The high resolution color C-Scan images proposed in this paper allow the exact shape of the weld point to be expressed, and an objective algorithm to use this image to automatically determine weld quality.

Key words: NDT, Ultrasonic, C-Scan, Colorization, Welding Quality Evaluation

1. 서 론

저항 점용접 (spot welding)은 전극을 판재들 양단에 접촉시켜 압력 및 전류를 인가하고, 이로 발생하는 저항열을 이용하여 겹쳐진 판재들의 면을 용융시키는 용접 방식이다. 이와 같은 저항 점용접은 타 방식에 비하여 작업 속도가 빠르고 작업 난이도가 용이하므로 판재 용접 부분에서 높은 생산성을 보이고 있어 자동차 생산 공정에서 많이 활용되고 있다[1].

저항 점용접 과정에서 인가되는 공정 요소로는 압

력, 전류, 동작 주파수, 및 용접 시간 등을 들 수 있는데, 이들의 조합으로 인해 용접 품질이 좌우된다. 특히 자동차 생산 공정에서의 저항 점용접의 품질은 차량 운전자 및 탑승자의 생명과 직결하기 때문에 용접 품질은 매우 중요하다. 저항 점용접의 품질을 평가하기 위해 용접부의 단면을 분석하는 방법이 일반적이는데, 이는 용접부 너겟 (nugget)의 형태를 측정하여 용접부의 품질을 판단하는 방식이다. 저항 점용접 과정에서 생성된 너겟은 판재들의 내부에 존재하므로 품질 평가를 위해서는 용접부를 절단하거나 분

* Corresponding Author : Seong-Geun Kwon, Address: (38428) 50, Gamasil-gil, Buho-ri, Hayang-eup, Gyeongsang-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea, TEL : +82-10-3006-5659, FAX : +82-, E-mail : sgkwon@kiu.ac.kr

Receipt date : Sep. 13, 2018, Revision date : Oct. 17, 2018
Approval date : Oct. 23, 2018

[†] School of Electronics Engineering, Kyungpook National University (E-mail : neoncrom@ee.knu.ac.kr)

^{††} Department of Electronics Engineering, KyungIl University

* This research was supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE), Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) through the Encouragement Program for The Industries of Economic Cooperation Region

리하는 방법이 일반적으로 사용된다[2].

이와 같은 파괴 검사는 샘플링을 통해 검사가 진행되므로 전수 검사가 불가능하고, 검사를 받은 시편 혹은 완제품은 폐기해야 하는 단점이 있다. 따라서 용접 품질을 평가하기 위해 비파괴 검사 (non-destructive test, NDT)가 일반적으로 사용되는데, NDT 분야에서는 초음파 (ultrasonic)을 이용하는 방식이 보편화되고 있다.

초음파를 이용한 NDT는 트랜스듀서에서 시편으로 방사된 초음파 신호가 반사되어 다시 트랜스듀서로 수집된 에코 파형을 분석하여 시편 내부의 상태를 예측하는 방식으로서 크게 A-Scan 및 C-Scan 방식으로 구분된다. A-Scan 방식은 1차원 초음파 프로브를 이용하여 시간 축에 대하여 에코 신호의 파형을 표출하는 방식으로서, 휴대가 간편하고 장비의 가격이 상대적으로 저렴하여 산업 현장에서 많이 보급되어 있다. 하지만 초음파 신호의 파형을 분석할 수 있는 숙련된 비파괴 검사 요원이 필요하고 이들의 주관적인 판단에 의해 용접 품질이 판정되므로 신뢰성에도 문제가 있다[3].

A-Scan 방식의 단점을 보완하기 위해 C-Scan 방식이 도입되었는데, 이는 A-Scan 방식에서 사용되는 탐촉자를 가로 및 세로 배열 형태의 2차원으로 배치하여 용접 부위를 2차원 영상으로 표현하는 방식이다. C-Scan 방식의 NDT 장비는 고가이므로 생산 현장에서 보편화되지 않고 있는 실정이고, 용접부를 2차원 영상으로만 표현하는 수준에 그치고 있어 효과적인 C-Scan 영상의 표출과 용접 품질 평가 전문가의 도움 없이 용접 품질을 제공할 수 있는 장비의 개발이 요구되고 있다[4].

따라서 본 논문에서는 C-Scan 방식으로 형성된 저해상도의 2차원 그레이 영상을 고해상도 컬러 C-Scan 영상으로 표출하는 알고리즘과 생성된 고해상도 컬러 C-Scan 영상으로부터 용접 품질을 자동으로 판정하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하고 있는 고해상도 컬러 C-Scan 영상을 통해 용접부의 형태를 정확하게 표출할 수 있고, 본 영상을 활용하여 용접 품질을 자동으로 판정하는 알고리즘을 통해 용접 품질 평가자의 주관이 배제된 객관적인 용접 품질을 제공할 수 있다.

본 논문은 2장에서 초음파 NDT 분야에서 활용되고 있는 용접 품질 평가 방법을 소개하고, 3장에서는

제안한 C-Scan 컬러 영상 표출 방법 및 용접 품질 자동 평가 알고리즘을 설명하며, 4장에서는 제안한 방법에 대한 검증 및 성능 평가를 위한 실험 결과를 제시한다.

2. 초음파 신호를 이용한 용접 품질 평가 방법

비파괴 검사 분야에서 사용되고 있는 초음파 데이터의 표현 방법은 크게 A-Scan 및 C-Scan으로 구분된다. 본 장에서는 A-Scan 및 C-Scan 방식에 대하여 살펴보고자 한다.

2.1 A-Scan 방식

A-Scan 방식에서는 Fig. 1(a)에서와 같이 수신된 초음파 에코 신호의 크기를 시간에 대하여 표현하는데, 측정된 초음파 에코 신호의 에너지 크기를 세로축에 표현하고 경과된 시간은 수평축에 표현된다. 트랜스듀서에 의해 생성된 초기 펄스는 IP (initial pulse)로 표시되고 트랜스듀서의 시편의 표면을 따라 스캔하면서 생성된 4개의 신호가 Fig. 1(b)에서 표시되었는데, 이때 BW (back wall)은 트랜스듀서가 동작하는 표면과 반대쪽 표면에서 반사된 에코 신호를 의미한다. 즉 트랜스듀서가 가장 좌측에 위치할 때는 IP와 A 파형만 화면에 표시되고 가장 오른쪽에 위치했을 시에는 IP, C, 및 BW 파형이 시간 순서대로 표시됨을 알 수 있다[5].

2.2 C-Scan 방식

A-Scan 방식이 시간 축에 대한 초음파 에코 신호의 크기를 표현하는 반면, C-Scan 방식에서는 Fig.

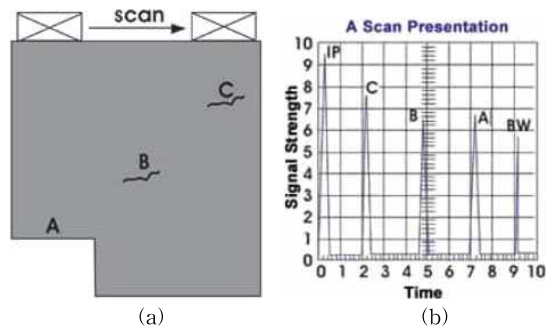


Fig. 1. (a) Measuring using ultrasonic probe and (b) echo signal presentation in A-Scan mode.

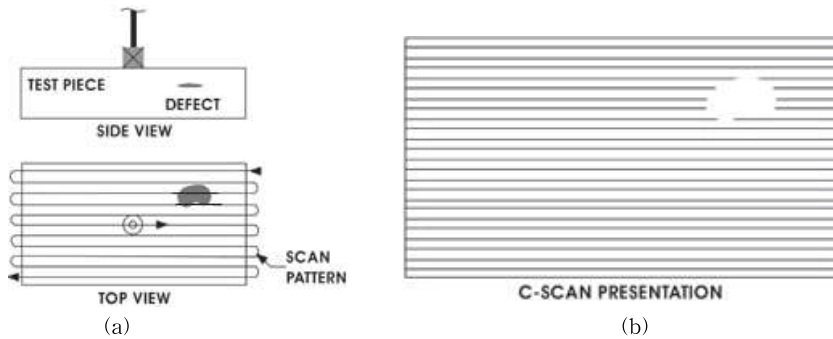


Fig. 2. (a) Measuring using ultrasonic probe and (b) echo signal presentation in C-Scan mode.

2에서와 같이 시편 내부의 특징들의 위치와 크기에 대한 평면형 정보를 제공한다. 일반적으로 C-Scan 프로브는 A-scan 방식의 평면 조합으로 구성되며 C-Scan 프로브가 테스트 작업물 위에서 스캔될 때 획득한 신호의 진폭 또는 시간을 기록한다[5].

C-Scan 영상의 해상도는 C-Scan 초음파 프로브의 분해능에 좌우되고, 에코 파형의 에너지를 분석하여 Fig. 3 (a)에서와 같이 전면만을 표현할 수 있고, 반대로 Fig. 3 (b)에서와 같이 전면과 후면을 같이 표현할 수도 있다[5].

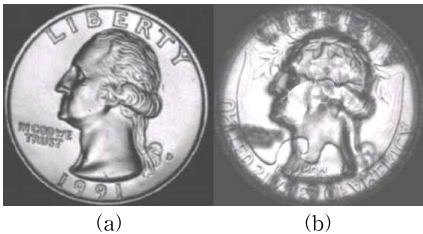


Fig. 3. (a) Front image and (b) both side expressed image by S-Scan probe

3. 제안한 C-Scan 초음파 용접 검사 시스템

두 판재 간 용접이 잘 되었다면 일반적으로 두 판

재의 용접부가 적절히 용융되어 원형의 너겟 (nugget)이 생성되므로 해당 부위에서는 매우 작은 크기의 에코 신호가 반사되게 된다. 반대로 용접이 제대로 수행되지 않았을 경우에는 용접 포인트에서 용융이 발생하지 않아 해당 부위에서 반사되는 에코 신호의 크기가 상대적으로 매우 크게 된다. 따라서 용접 부위에서 반사되는 에코 신호의 크기에 따라 Fig. 4에서와 같이 용접부에서 반사되는 에코 신호의 크기를 회색 준위로 분류할 수 있을 것이다[4].

본 논문에서는 Fig. 4에서와 같이 에코 신호의 크기에 따라 5단계 회색 준위로 분류된 C-Scan 회색 준위 영상을 구성하고, 이를 활용하여 용접부의 용접 상태를 컬러 영상으로 표출하는 방법 및 용접 품질을 자동으로 판정하는 알고리즘을 제안한다. 즉 1차원 초음파 신호를 다루는 A-Scan 트랜스듀서가 8×8 형태로 2차원 배열된 C-Scan 프로브로부터 획득된 2차원 C-Scan 영상을 컬러화하여 용접 품질의 상태를 표출하고, 본 영상으로부터 용접부의 형태 및 면적을 계산한 후 용접 품질을 자동 평가하는 알고리즘을 제안한다. 본 제안한 C-Scan 초음파 용접 검사 시스템은 Fig. 5에서와 같이 C-Scan 컬러 영상을 표출하는 방법과 용접 품질 자동 평가 알고리즘으로 구성되는데, 각각에 대하여 살펴보기로 한다.

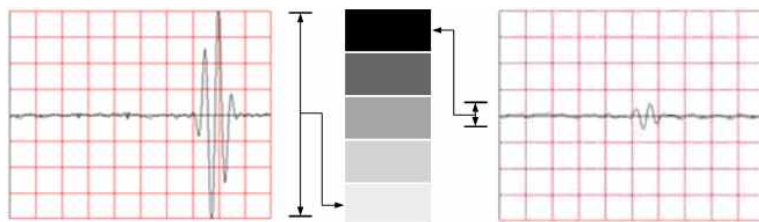


Fig. 4. Gray level matching according to echo signal reflected at the welding point.

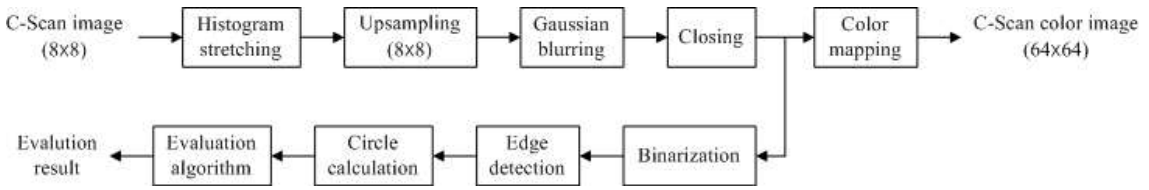


Fig. 5. Proposed block diagram consisting of C-Scan image colorization and automatic welding quality evaluation algorithm.

3.1 C-Scan 영상의 컬러화

8×8 형태의 C-Scan 프로브로부터 획득된 2차원 초음파 신호는 먼저 Fig. 4에서와 같이 5단계의 회색 준위를 갖는 영상으로 표현되는데, 이와 같은 영상은 8×8의 공간 해상도 및 5단계의 밝기 해상도를 갖는 저해상도 영상이다. 용접된 부위와 그렇지 않은 부위의 밝기를 최대한 대비시키기 위해서 밝기 다이내믹 레인지 (dynamic range)를 최대 설정하여 밝기 해상도를 향상시키는 것이 필요하다.

따라서 C-Scan 프로브로부터 획득된 영상을 히스토그램 스트레칭 (histogram stretching)을 통해 5단계로 분포하는 회색준위 값을 0~255영역으로 배치한다. 또한 공간 해상도를 향상시키기 위해서 가로 및 세로 방향으로 8배 업샘플링 (up-sampling)하여 64×64 공간 해상도를 갖는 영상을 Fig. 6 (a)에서와 같이 생성한다. Fig. 6 (a)에서 볼 수 있듯이, 공간 해상도가 증가된 영상에서는 고주파 성분들이 매우 많이 존재하게 되어 이를 통해 용접부를 자연스럽게 표현하기에는 어려움이 있다. 따라서 가우시안 (Gaussian) 필터를 통해 Fig. 6 (b)에서와 같은 부드러운 영상을 생성한다[6].

하지만 Fig. 6 (b)에서는 밝은 영역에서 어둡게 표시된 돌출 부위가 있어 용접부의 너겟을 부드럽게

표현하지 못할 것으로 예상된다. 따라서 언급한 돌출 부위를 제거하기 위해 형태학 (morphology)의 닫힘 (closing) 연산을 수행하여 Fig. 6 (c)에서와 같이 노이즈 즉 돌출 부위가 제거된 부드러운 영상을 획득한다. 돌출 부위가 제거된 결과는 Fig. 6 (b) 및 (c)의 붉은 원으로 표시된 영역에서 확인된다. 지금까지 일련의 과정을 통해 처리된 회색 준위 영상을 컬러 영상으로 표현하기 위해 회색준위 값에 가시광 영역의 색을 매핑하여 Fig. 6 (d)에서와 같은 컬러 영상을 최종적으로 획득한다[7].

3.2 용접 품질 자동 평가 알고리즘

본 절에서는 지금까지 설명한 C-Scan 영상을 통해 용접 품질을 자동으로 평가하는 알고리즘에 대하여 설명하고자 한다. 컬러 C-Scan 영상은 Fig. 6 (d)에서와 같이 표현된다. 하지만 용접 품질 평가 알고리즘에서는 형태학의 닫힘 처리된 영상에 대하여 용접 영역을 추출한 후 이들의 형태를 분석하여 용접 품질을 자동 평가한다.

먼저 Fig. 6 (c)의 영상에 대하여 이진화 (binarization)를 수행하여 Fig. 7 (a)에서와 같이 용접부 영역을 추출한 후, 에지 검출기 (edge detector)를 통해 용접부의 윤곽선을 Fig. 7 (b)에서와 같이 구한다. 이

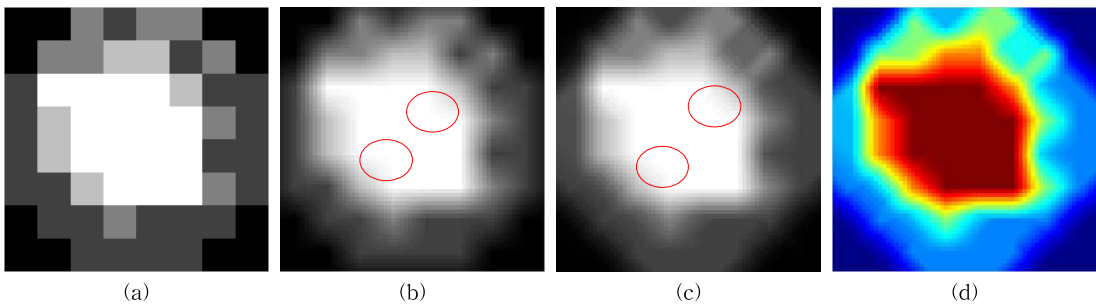


Fig. 6. C-Scan image (a) with improved brightness and spatial resolution, (b) filtered by Gaussian filter with variance of 8, (c) by closing operation of the morphology and (d) by color mapping.

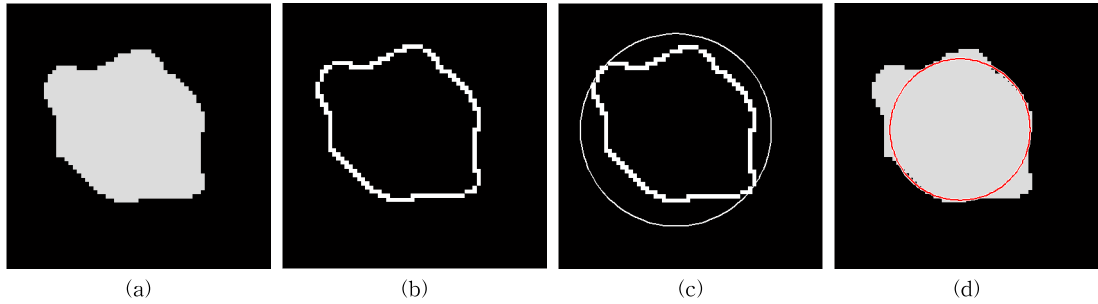


Fig. 7. C-Scan image of (a) binarization of closing image, (b) edge detection, (c) circumscribed circle, and (d) inscribed circle of welding point.

와 같은 용접부의 윤곽선 정보를 이용하여 최장축의 외접원을 Fig. 7 (c)에서와 같이 구하고, 이진화된 영상에서 8방향성 화소값을 이용하여 Fig. 7 (d)에서와 같이 내접원을 계산한다.

이와 같은 방법으로 구해진 용접부의 외접원 및 내접원을 Fig. 6 (d)에서와 같은 컬러 C-Scan 영상에 매칭한 결과는 Fig. 8 (a)에서와 같고, Fig. 7 (a)에서와 같은 용접부 영상에 매칭한 결과는 Fig. 8 (b)에서와 같다. 지금부터는 이들 내접원 및 외접원을 활용한 용접 품질 평가 알고리즘에 대하여 살펴보기로 한다. 먼저 내접원의 면적과 전체 영상의 면적 비율이 특정 문턱값보다 작으면 용접부가 매우 작은 것으로 판단되어 불량으로 판단한다. 반대로 내접원의 면적이 특정 문턱값보다 크지만 용접부의 면적과 외접원의 면적 비율이 특정 문턱값보다 작으면 일반적으로 용접 부위가 등글지 않고 길쭉한 형태이므로 모호라고 판단한다. 마지막으로 위 경우에 해당되지 않는 경우에는 용접 품질을 매우 양호라고 판단한다.

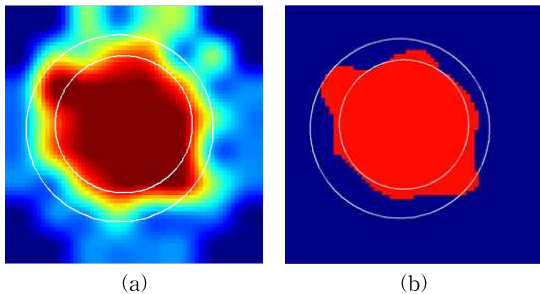


Fig. 8. Circumscribed circle and inscribed circle matched on (a) color C-Scan image and (b) welding image.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 실험 환경

지금까지 살펴본 본 논문에서 제안한 C-스캔 영상의 컬러화 및 용접 품질 자동 평가 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 다양한 과정으로 저항 점용접이 수행된 시편에 대하여 Fig. 9에서와 같이 설계된 64채널 2차원 초음파 트랜스듀서를 활용하여 8×8의 공간 해상도 및 5단계의 밝기 해상도를 갖는 저해상도 영상을 획득하였다.

이와 같이 획득된 8×8 공간 해상도의 5단계 밝기의 그레이 영상을 히스토그램 스트레칭, 영상 보간, 가우시안 블러링 필터, 및 단합 연산을 수행하여 용접부의 고해상도 영상을 획득하고 회색준위에 맞는 컬러 테이블을 매핑하여 컬러 영상을 획득한다. 이진화 및 윤곽선 검출을 통해 용접부를 추출하고 이에 대한 형상을 분석하여 용접 품질을 판단한다.

4.2 용접 품질 자동 평가 알고리즘

Fig. 9에서와 같은 2차원 초음파 프로브로부터 획득

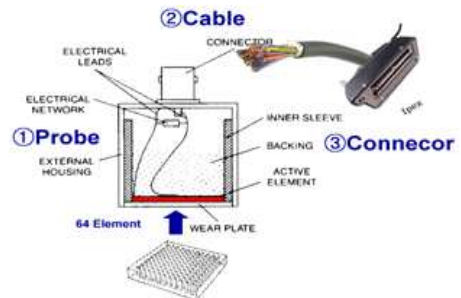


Fig. 9. Structure of 2D ultrasonic transducer with 64 channel.

득된 다양한 형태의 2차원 신호를 C-Scan 컬러 영상들로 표출한 결과는 Fig. 10 (a), Fig. 11 (a), 및 Fig. 12 (a)에서와 같고, 이로부터 실제 용접부는 붉은 패턴으로 표시되어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 이진화 및 윤곽선 검출에 의해 파악된 용접부는 Fig. 10 (b), Fig. 11 (b), 및 Fig. 12 (b)에 붉게 표시되어

있다.

이와 같이 구한 용접부 영상에 대하여 용접부의 형태를 파악하기 위해서 용접부와 외접 및 내접하고 있는 원을 구한 후 이를 C-Scan 컬러 영상 및 용접부 영상에 매칭하였다. 이를 통해 용접부의 형상이 어떤 형태인지 파악하기 용이하다.

불량으로 판정된 C-Scan 컬러 영상들 및 이들의 용접부 영상은 Fig. 10에서와 같다. 이와 같은 영상들에서 용접부의 크기가 매우 작고 형태도 원형이 아님을 Fig. 10으로부터 쉽게 확인할 수 있는데 이는 용접이 제대로 수행되지 않았음을 의미한다고 간주될 수 있다. 본 실험에서는 내접원의 면적이 전체 영상의 면적에서 15% 이하의 경우를 불량이라고 판정하였다.

용접부 형상에 대한 내접원의 면적이 전체 영상 면적의 15% 이상일 경우, 즉 불량일 아닐 경우에 대하여 살펴보기로 한다. Fig. 11 (b)에서 확인할 수 있듯이 내접원의 면적이 전체 영상 면적의 15% 이상일 경우이지만, 용접부의 형상이 둥근 형태가 아닌 경우에는 용접이 매우 잘되었다고 판단하기에는 무리가 있다. 따라서 이와 같은 경우를 판정하기 위하여 본 논문에서는 내접원과 외접원의 면적을 비교하고자 한다. 즉 용접부 내접원의 반경이 전체 영상의 면적에 15% 이상인 경우에 내접원의 면적이 외접원 면적의 70% 이하일 경우에는 양호라고 판단한다.

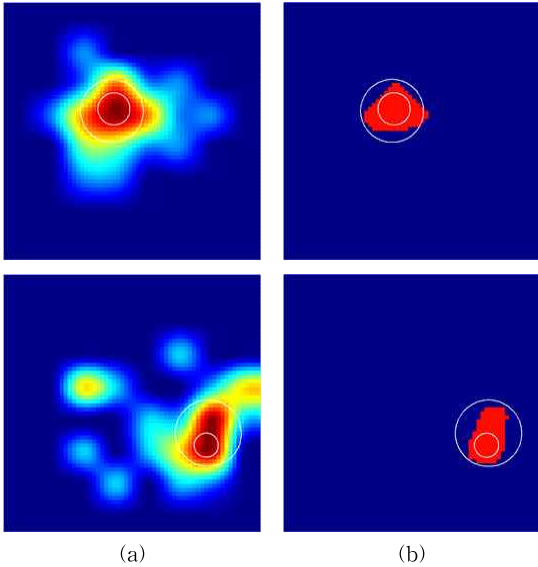


Fig. 10. (a) C scan color images and (b) welding images found to be "defective."

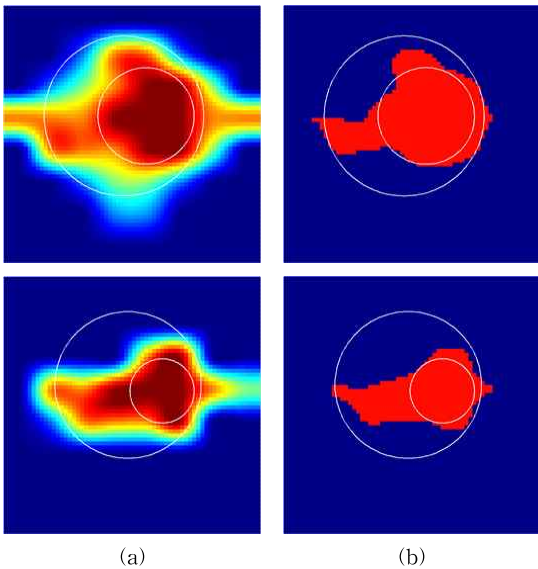


Fig. 11. (a) C scan color images and (b) welding images found to be "good."

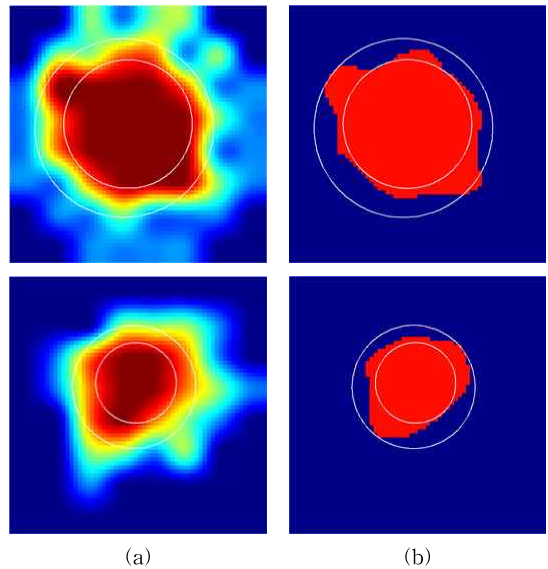


Fig. 12. (a) C scan color images and (b) welding images found to be "very good."

마지막으로 고려한 경우는 용접부의 크기가 전체 영상의 15% 이상이고 내접원의 면적이 외접원의 면적의 70% 이상을 차지하는 것인데, 본 논문에서는 이와 같은 경우를 양품이라고 판정한다. 이는 용접부의 크기도 일정 수준 이상이고 형태도 원형에 가까운 형상임을 Fig. 12에서 쉽게 확인할 수 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이, 본 논문에서는 2차원 초음파 프로브에서 획득된 파형을 분석하여 2차원 C-Scan 그레이 영상을 구성한 후 이를 고해상도의 C-scan 컬러 영상으로 변환하는 알고리즘과 생성된 고해상도의 C-Scan 컬러 영상을 토대로 용접 품질을 3가지로 분류하는 알고리즘을 제안하였고, 이의 성능을 모의실험을 통해 확인하였다.

5. 결 론

자동차 제조 현장을 비롯한 다양한 산업 현장에서 용접 기술이 활용되고 있고, 용접 품질은 제품의 완성도에 매우 중요한 역할을 한다. 하지만 현재까지도 현장에서는 용접 품질을 판정하는 비파괴 검사 전문가들이 1차원 A-Scan 신호의 파형을 분석함으로써 용접의 품질을 판단하는 실정이다. 따라서 휴먼 오류에 의해 용접 품질 판정에 문제가 있을 수 있기 때문에 용접 품질 자동 판정 알고리즘의 요구가 증대되고 있다.

본 논문에서는 A-Scan 프로브가 2차원으로 배열된 C-Scan 프로브로부터 획득된 초음파 신호를 이용하여 2차원 C-Scan 그레이 영상을 구성하고 이를 토대로 고해상도 C-Scan 컬러 영상을 획득한다. 이를 통해 시편의 용접 형상을 표출하여 작업자 혹은 관리자가 육안으로 용접의 형상을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 용접 형상을 표출하는 것에 그치지 않고 용접의 품질을 자동으로 판정하기 위한 알고리즘을 제안하였고, 이를 통해 용접의 결과를 실시간으로 파악할 수 있어 불량 출하를 근본적으로 방지할 수 있다.

REFERENCE

- [1] J.D. Lee, S.J. Lee, J.H. Bang, G.S. Yoon, M.S. Kim, and J.K. Kim, "Weld Quality Evaluation Method for the Resistance Spot Welds using X-Ray Transmission Inspection," *Journal of Welding and Joining*, Vol. 32, No. 6, pp. 1-7, 2014.
- [2] Y.S. Kim and S.C. Kil, "Latest Technology of Non Destructive Inspection for Welded Structure," *Journal of Welding and Joining*, Vol. 35, No. 2, pp. 63-70, 2017.
- [3] T.K. Kim, J.D. Seo, D.H. Lee, E.U. Kang, and S.G. Kwon, "Noise Reduction and C-Scan Image Shaping of Ultrasonic Signal for Welding Quality Inspection," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 20, No. 10, pp. 1662-1670, 2017.
- [4] S.G. Kwon and S.H. Lee, "Mobile NDT Inspection System Using Ultrasonic," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 2, pp. 105-111, 2016.
- [5] NDT Resource Center. https://www.nde-ed.org/index_flash.htm (accessed Jul., 16, 2018).
- [6] Y.Yu and S.T. Acton, "Speckle Reducing Anisotropic Diffusion," *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 11, No. 11, pp. 1260-1270, 2002.
- [7] C.Y. Lee and N.H. Kim, "A Study on Mask-based Edge Detection Algorithm using Morphology," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 10, pp. 2441-2449, 2015.



김 태 규

2003년 부산외국어대학교 전자공학과 학사
2005년 경북대학교 전자공학과 석사
2007년 경북대학교 전자공학과 박사수료

2009년~현재 경북대학교 IT대학 전자공학과 강의초빙교수

관심분야 : 멀티미디어 신호처리, 스테레오 비전



권 성 근

1996년 경북대학교 전자공학과 학사
1998년 경북대학교 전자공학과 석사
2002년 경북대학교 전자공학과 박사

2002년~2011년 삼성전자 무선사업부 책임연구원

2011년~현재 경일대학교 전자공학과 조교수

관심분야 : 멀티미디어 암호, 모바일 방송, 워터마킹