

Flaw Detection in Ceramics using Hough transform and Least squares

Dong-Jin Hong*, Eui-Young Cha**

Abstract

In this paper, we suggest a method of detecting defects by applying Hough transform and least squares on ceramic images obtained from non-destructive testing. In the ceramic images obtained from non-destructive testing, the background area, where the defect does not exist, commonly show gradual change of luminosity in vertical direction. In order to extract the background area which is going to be used in the detection of defects, Hough transform is performed to rotate the ceramic image in a way that the direction of overall luminosity change lies in the vertical direction as much as possible. Least squares are then applied on the rotated image to approximate the contrast value of the background area. The extracted background area is used for extracting defects from the ceramic images. In this paper we applied this method on ceramic images acquired from non-destructive testing. It was confirmed that extracted background area could be effectively applied for searching the section where the defect exists and detecting the defect.

▶ Keyword : Non-destructive testing, Hough transform, Least squares

I. Introduction

세라믹은 열과 침식에 강하고 가벼워서 예로부터 공학의 여러 분야에서 재료로 사용되고 있다. 전도성을 가진 세라믹이나 파인 세라믹과 같은 기존의 단점들을 보완한 세라믹 재료, 의치로 사용되는 지르코니아 등 다양한 세라믹이 개발되어 더욱 사용되는 분야의 범위가 넓어지고 있다. 또한 3D 프린터의 발전으로 인해 세라믹을 재료로 이용하거나 만드는 산업 또한 발전하고 있다. 이미 여러 분야에서 사용되고 있으며 앞으로도 발전 가능성이 높은 세라믹 재료들의 내부 결함이나 기공 등을 간편하고 자동으로 검출하여 제품의 신뢰성을 보장할 수 있는 장치를 구현할 필요가 있다.

비파괴 검사(Non-destructing test)는 사물이나 제품을 변형시키거나 손상시키지 않고 검사하는 방법이며 피검사체의 재질이나 특징, 검사하고자 하는 위치 등에 따라 다양한 방법이 존재한다. 비파괴 검사에는 육안 비파괴검사, 초음파 비파괴검사, 자기 비파괴검사, 중성자 비파괴검사, 침투 비파괴검사, 응

력측정 비파괴검사, 음향방출 비파괴검사, 방사능 비파괴검사 등이 있다. [1] 세라믹 비파괴 검사에서는 주로 침투 비파괴 검사 방법을 이용하여 검사한다.

비파괴 검사를 통해 품질 관리와 제품의 안전성과 신뢰성을 도모할 수 있으나 비파괴 검사의 결과를 최종적으로 점검자의 육안 조사를 통해 점검 결과가 정해지므로 점검의 속도가 떨어져, 표본 집단이 커짐에 따라 많은 인력과 시간이 필요하고 검사 결과에도 검사자의 주관적인 평가가 개입되었을 수 있다는 불완전성이 존재한다.

따라서 본 논문에서는 세라믹 제품의 품질을 보장하고, 비파괴 검사를 수행하기 위해 필요한 각종 자원들을 절약하기 위해 허프 변환과 최소제곱법을 이용하여 세라믹 비파괴 영상에서 결함을 검출하는 방법을 제안한다.

• First Author: Dong-Jin Hong, Corresponding Author: Eui-Young Cha
*Dong-Jin Hong(ssstarforharmony@gmail.com), Dept. of Computer Engineering, Pusan National University
**Eui-Young Cha (eycha@pusan.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Pusan National University
• Received: 2015. 08. 21, Revised: 2015. 09. 14, Accepted: 2015. 10. 05.
• This work was supported by BK21PLUS, Creative Human Resource Development Program for IT Convergence.

II. Preliminaries

1. Related works

기존의 방법[2]에서는 결함이 존재하는 구간과 결함을 추출하기 위해 전역적인 방법으로 퍼지 스트레칭을 적용하여 명암 대비를 증가시킨 후, 퍼지 이진화를 이용하여 결함을 추출하였다. 하지만 미시적으로는 명암 값이 점진적으로 변화하며, 거시적으로는 중간 값이 많이 존재하지 않고 크게 상반된 명암 값이 영상 전체에 걸쳐 존재하는 경우에는 임계 값을 전역에 걸쳐 적용하는 방법을 사용하는 것은 평균값에 가까운 결함을 잘 검출하지 못하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 영상의 전체의 밝기 변화를 탐색하여 근사한 배경 영상을 이용하여 결함이 존재하는 구간을 탐색한다.

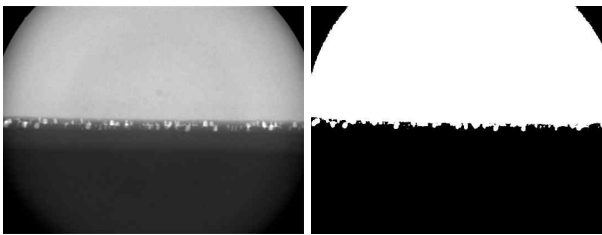
III. The Proposed Scheme

1. 허프 변환을 이용한 밝기 변화 측정 및 회전

세라믹 비파괴 영상에서는 일정한 방향으로 밝기 값이 점진적으로 변하는 특징이 있다. 본 논문에서는 밝기 값이 변하는 방향을 탐색하여 밝기 변화가 수직으로 일어나는 형태가 되도록 영상을 회전하여 사용한다.

1.1 영상의 밝기 변화 방향 측정

밝기 변화가 일어나는 방향을 측정할 기준선을 추출한다. 영상의 전역에 걸쳐서 밝기 변화가 거의 균일한 차이로 변하기 때문에 너무 작거나 큰 임계 값을 이용하는 것이 아니라면 영상의 밝기 변화를 측정할 수 있는 기준선을 추출할 객체를 얻을 수 있다. 제안한 방법에서는 전역 평균 이진화를 이용하여 기준선을 얻기 위한 객체를 추출하였다. 그림 1은 입력된 영상에 평균 이진화를 적용한 그림이다.



(a) Input Image (b) Threshold Image

Fig. 1. Average Thresholding Image

입력 영상에서 세라믹이 아닌 영역은 밝기 값이 0으로 나타나며 세라믹 영역에 밝기 값이 0인 화소가 존재하더라도 비중이 크지 않기 때문에 밝기 값이 0인 화소 정보는 고려하지 않는 평균 이진화를 적용한다. 식 (1)은 임계 값을 구하는 과정을 나타낸 식이다. $histo[k]$ 는 입력 영상의 히스토그램 정보이다. L 은 입력 영상 내에서 밝기 값이 0이 아닌 화소 수이며

acc 는 밝기 값이 0이 아닌 화소의 합을 나타낸다. T 는 최종 임계 값을 나타낸다.

$$\sum_{k=1}^{255} histo[k] = L$$

$$acc = \sum_{k=1}^{255} k * histo[k]$$

$$T = acc / L$$
(1)

평균 이진화를 적용한 영상에 3*3 소벨 마스크[3]를 적용하여 윤곽선을 얻는다. 그림 2는 윤곽선을 얻기 위하여 적용한 소벨 마스크 정보이고 그림 3은 소벨 마스크를 적용하여 윤곽선을 추출한 영상을 나타낸다.

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	2

(a) Vertical Mask (b) Horizontal Mask

Fig. 2. 3*3 Sobel Operator

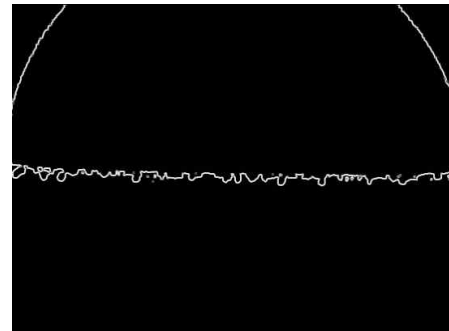


Fig. 3. Edge Detection using Sobel Mask

추출한 윤곽선 정보에 허프 변환을 이용하여 직선을 검출한다. 세라믹 영상에서 결함이 없는 부분은 밝기 변화가 균일함에 따라 적절한 임계 값을 구하여 이진화를 적용한 후 윤곽선을 추출하고, 추출한 윤곽선 정보에 대해 직선 성분을 추출하면 영상의 밝기 변화의 방향을 추정할 수 있는 기준선을 얻을 수 있다. 그림 3에서는 결함의 형태가 경계선에 포함되어 돌출된 형태를 나타내고 있지만 스케일 정보를 달리하면 직선과 흡사한 형태를 나타내기 때문에 이러한 경우에도 허프 변환을 통해 밝기 변화가 일어나는 방향을 추정할 수 있는 기준선을 추출할 수 있다.

허프 변환[4]은 2차원 영상 좌표에서의 직선의 방정식을 파라미터(parameter) 공간으로 변환하여 직선을 찾는 알고리즘이다. 일반적으로 직선의 방정식은 가로 축이 x 이고 세로 축이 y 인 2차원 공간에서 식 (2)와 같이 표현한다.

$$y = ax + b \tag{2}$$

a 는 기울기, b 는 y 절편 값을 나타내는 파라미터이며 a 와 b 에 따라 직선의 모양이 결정된다. 그리고 식 (2)의 직선의 방정식을 변형하면 식 (3)과 같이 가로 축이 a 이고 세로 축이 b 인 공간에서 x, y 가 파라미터가 되는 직선의 방정식을 구할 수 있다.

$$b = -xa + y \tag{3}$$

xy 공간에서의 정보를 ab 공간으로 표현하면 xy 공간에서의 한 점은 ab 공간에서 직선으로 나타나고, xy 공간에서 하나의 직선을 ab 공간에서 표현하면 무수한 직선이 교차하는 하나의 점으로 표현된다. 그림 4는 xy 공간의 정보를 ab 공간으로 표현했을 때의 차이를 나타내는 그림이다.

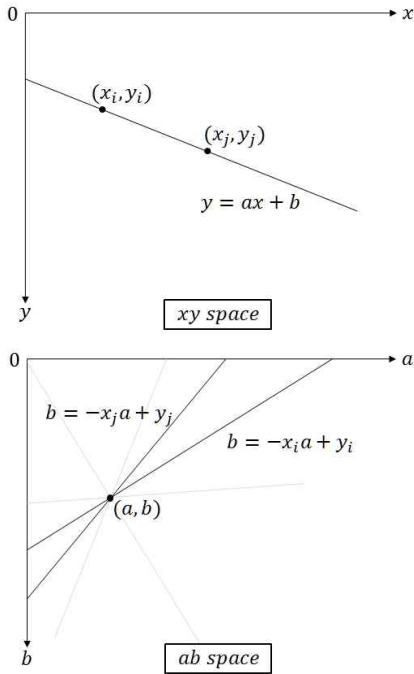


Fig. 4. Convert xy space to ab space

기존의 좌표 공간의 정보를 파라미터 공간에서 표현할 때, 기존의 좌표 공간에 직선의 정보가 존재하는 경우 무수한 직선이 교차하는 점이 존재한다. 따라서 기존의 좌표 공간의 정보를 파라미터 공간에서 표현할 때 특정 좌표에서 정보가 표현된 횟수를 저장하는 누적 배열을 생성하면 누적 배열의 원소 값이 클수록 해당 파라미터의 정보를 갖는 직선이 기존의 좌표 공간에 존재할 가능성이 높다는 것을 알 수 있다. 누적 배열의 원소 값이 가장 크게 나타나는 파라미터를 기존의 공간에서 표현하면 기존의 공간에서 가장 강하게 나타나는 직선 성분이 투영된다. 임계 값을 결정하는 방법에 따라 어느 정도 강하게 나타나는 복수 개의 직선 성분들을 표현할 수도 있다. 제안된 방법에서는 이러한 원리를 통해 직선 성분을 찾아내는 허프 변환을

이용하여 허프 변환을 통해 밝기 변화가 일어나는 방향을 추정할 수 있는 직선 형태의 기준선을 추출한다.

하지만 식 (2)와 같은 일반적인 직선의 방정식은 y 축과 평행한 직선을 표현하지 못한다는 문제점이 있다. 수직선의 경우 기울기 a 값이 무한대를 가지기 때문이다. 따라서 허프 변환을 구현할 때에는 식 (4)와 같은 극좌표계 형태의 직선의 방정식을 사용한다.

$$x \sin \theta + y \cos \theta = \rho \tag{4}$$

극좌표계 형태의 직선의 방정식을 사용하면 기존의 xy 공간에서 파라미터는 ρ 와 θ 가 된다. ρ 는 원점 $(0,0)$ 에서 직선까지의 수직 거리를 의미하고 θ 는 원점과 직선 사이의 수직선을 그렸을 때 y 축과 이루는 각도의 크기를 의미한다. 그림 5는 소벨 마스크를 적용하여 추출한 윤곽선을 $\rho\theta$ 공간에서 표현한 그림이다. θ 는 0.1° 단위로 표현하였다. xy 공간에서 ab 파라미터 공간으로 표현할 때 xy 공간에서의 한 점이 ab 공간에서는 직선으로 나타나는 것과 달리 $p\theta$ 파라미터 공간에서는 주기함수의 영향으로 xy 공간에서의 한 점이 진동하는 선의 형태로 나타난다.

추출한 윤곽선을 $p\theta$ 공간에서 표현할 때 정보가 표현된 횟수를 저장한 누적 배열에서 가장 큰 값을 가진 $\rho\theta$ 좌표를 탐색하여 밝기가 변화하는 방향을 나타내는 기준선으로 추출한다. 그림 5는 누적 배열에서 가장 큰 값을 가진 $p\theta$ 좌표를 탐색하여 xy 공간에서 나타낸 그림이다.

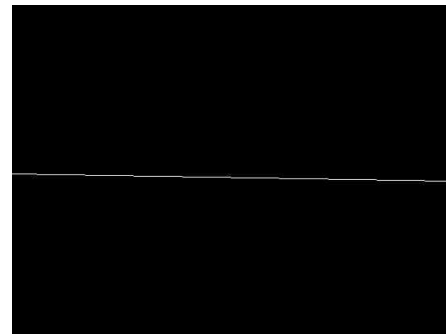


Fig. 5. The line which is perpendicular to the direction of change of brightness

추출한 기준선은 밝기 변화 방향에 수직인 선으로 나타나기 때문에 기준선이 $p\theta$ 공간에서 θ 값이 0° 또는 180° 이면 밝기 변화 방향이 y 축에 평행한 방향이 된다. $p\theta$ 공간에서 추출한 기준선의 정보가 θ 값이 0° 또는 180° 이 아닌 경우, θ 값이 180° 가 되도록 영상을 회전한다.

1.2 영상의 밝기 변화 방향이 수직이 되도록 회전

영상을 회전하는 것은 일반적으로 원점 $(0,0)$ 을 기준으로 주어진 각도만큼 회전하는 것을 의미한다. 2차원 좌표계에서

벡터 (x, y) 를 θ 만큼 회전한 벡터 (x', y') 는 식 (5)와 같은 방법으로 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (5)$$

일반적으로 영상을 회전하여 새롭게 얻는 영상의 크기는 기존의 영상보다 크다. 따라서 영상을 회전할 때에는 영상을 회전한 영상의 정보를 저장하기 위한 새로운 영상의 크기를 구하여 기존의 영상 정보를 담을 수 있는 충분한 크기의 영상에 저장해야한다.[5] 그림 6은 영상을 회전하였을 때 화소(벡터)의 위치가 변화는 과정과 기존의 영상과 회전한 영상의 크기 차이를 나타낸다.

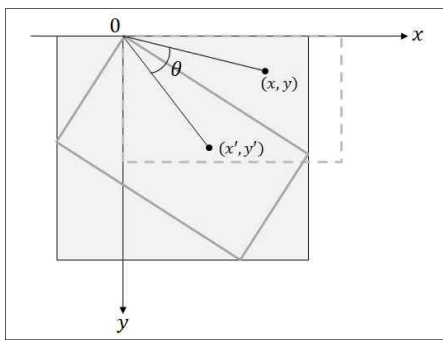


Fig. 6. Rotating vector and image

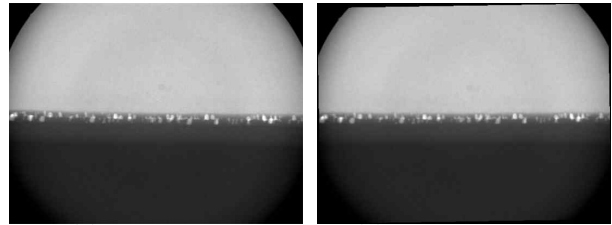
화소 단위로 저장된 영상의 경우 기존의 영상에서 회전한 영상으로 영상 정보를 매핑하면 높은 확률로 화소의 위치 정보가 정수(integer) 위치 정보에서 실수(real number) 위치 정보로 변환되고, 회전한 영상에서는 실수 위치 정보를 받아들일 수 못하고 정수 위치 정보로 근사하여 기록하면서 빈 공간(hole)이 발생하게 된다. 따라서 회전한 영상의 화소 위치로부터 기존의 영상의 정보를 가져오는 역방향 매핑을 통해 영상의 정보를 가져와야 빈 공간이 생기지 않는다. 역방향 매핑은 식 (6)과 같이 식 (5)의 양변에 θ 파라미터 행렬의 역행렬을 곱하여 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (6)$$

역방향 매핑을 통해 발생하는 화질 감소를 해소하기 위해 양선형 보간법을 이용하여 화소 값을 계산한다. 식 (7)은 양선형 보간법을 이용하여 화소 값을 계산하는 과정을 나타낸다. p 와 q 는 매핑할 실수 형태의 화소 위치 정보에서 x 축과 y 축에 대한 소수점 위치 정보이다. O 는 원 영상을 나타내며 v 는 양선형 보간법을 통해 얻은 화소 값을 나타낸다.

$$v = (1-p)(1-q)O[y,x] + p(1-q)O[y,x+1] + (1-p)qO[y+1,x] + pqO[y+1,x+1] \quad (7)$$

그림 7은 $p\theta$ 공간에서 추출한 기준선의 θ 값이 0° 또는 180° 이 아닌 경우, θ 값이 180° 가 되도록 입력 영상을 회전하고 양선형 보간법을 통해 화소 값을 보정한 영상이다.

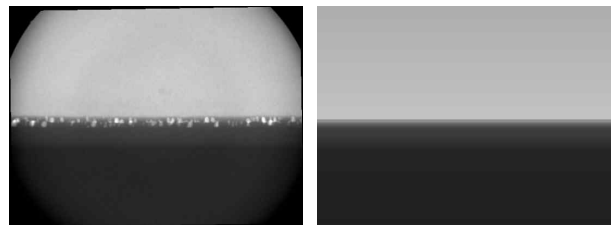


(a) Input Image (b) Rotated Image

Fig. 7. Rotating input image by angle degrees of line which is perpendicular to the direction of change of brightness

2. 배경 밝기 근사 및 결함 추출

입력 영상에서 이진화 기법과 히프 변환을 이용하여 영상의 밝기 변화 방향에 수직인 선을 찾아 x 축에 수평이 되도록 회전하면 배경 영상의 밝기가 수직 방향으로 점차 변화하는 형태가 된다. 회전한 영상에서 각 행에 존재하는 화소 값 평균에 대한 표준편차가 입력 영상에서 각 행에 존재하는 화소 값의 평균에 대한 표준편차보다 작다.



(a) Rotated Image (b) Image about average brightness of each row

Fig. 8. Average brightness of each row in Rotated image

그림 8은 회전한 영상에서 각 행의 평균 화소 값을 나타낸 영상이다. 히프 변환을 이용하여 원 영상의 밝기 변화 방향을 수직이 되도록 회전하였지만 각 열의 평균 화소 값을 이용한 전역적인 화소 값 비교만으로는 영상 내의 잡음 등으로 인해 배경 영역에서 결함이 잘못 추출될 가능성이 높다. 그러므로 결함이 위치하는 구간을 세부적으로 설정하여 정확성을 높일 필요가 있다.

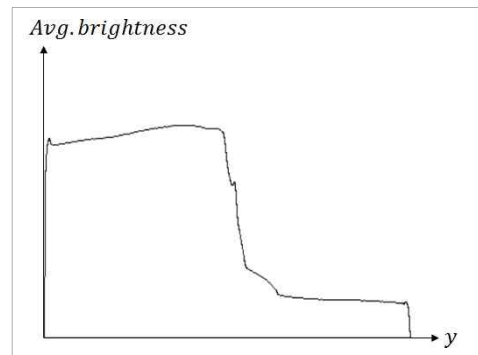


Fig. 9. The Graph about average brightness of each row in Rotated image

그림 9는 그림 8(b)에서 표현한 각 행에 따른 평균 화소 값

을 나타낸 그래프이다. 큰 화소 값을 가진 구간이 일정 구간 존재하다 중반부에서 화소 값이 급격하게 내려간 이후에 작은 화소 값을 가진 구간이 나타난다. 세라믹 비파괴 영상에서 결함이 나타나는 구간은 y 축 방향을 전후로 큰 밝기 변화가 존재하며 그림 9에서 화소 값이 급격하게 내려가는 구간이 이에 해당한다. 제안하는 방법에서는 화소 값이 급격하게 변하는 구간을 탐색하기 위해 그림 8(b)에서 평균 화소 값이 존재하는 열을 기준으로 상단과 하단을 나누고 각각 최소제곱법[6, 7]을 이용하여 그래프의 변화를 직선으로 근사한다.

최소제곱법은 주어진 데이터 모델과 데이터 사이의 오차의 제곱(residual²)의 합 또는 평균을 최소화하도록 모델의 파라미터를 결정하는 방법이다. n 차 함수의 모델에 대한 최소제곱법의 과정을 대수적 방법으로 표현하면 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_m & x_m^2 & \cdots & x_m^n \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$$

식 (8)에서 A 는 m 개의 데이터에 대한 n 제곱에 대한 값을 배열로 나타낸 것이고 X 는 n 차 함수의 모델에 존재하는 파라미터에 대한 배열이다. Y 는 입력 데이터 x 에 대한 n 차 함수의 모델의 결과이다.

주어진 데이터 정보를 데이터 모델에 따라 식 (8)과 같이 나타냈을 때 주어진 데이터 모델과 데이터 사이의 오차의 제곱(residual²)의 합을 최소화하는 파라미터 배열 X^* 는 식 (9)을 이용하여 구할 수 있다.

$$X^* = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (9)$$

그림 10은 회전한 영상에서 평균 화소 값이 존재하는 열을 기준으로 상단과 하단을 나누고 그림 9의 그래프에 각각 일차 함수, 이차 함수, 삼차 함수 형태의 데이터 모델을 이용하여 얻은 최소제곱법의 결과를 덧붙인 그림이다. n 은 차수이다.

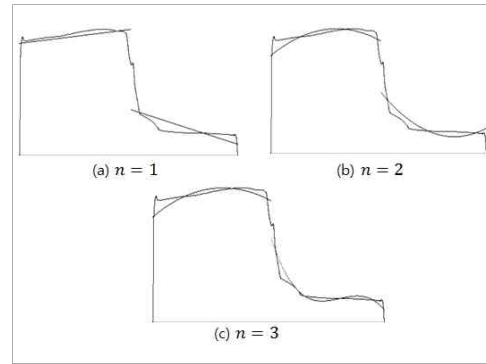


Fig. 10. Overlap graph by result of Least Squares

평균 화소 값이 급격하게 변하는 구간에 결함이 존재할 가능성이 크므로 제안하는 방법에서는 최소제곱법을 이용하여 완전한 구간을 근사한 결과가 평균 화소 값이 급격하게 변하는 구간을 덜 침범하는 일차 함수 모델의 결과 값을 이용하여 결함이 존재하는 구간을 결정한다.

결함이 존재하는 구간을 결정하기 위해 평균 화소 값이 존재하는 열을 기준으로 양방향으로 탐색하여 그림 9의 그래프와 최소제곱법을 이용하여 완전한 구간을 근사한 결과가 교차하는 가장 가까운 점을 탐색한 후 탐색한 두 점 사이의 구간을 결함이 존재할 수 있는 후보 영역으로 결정한다. 그림 11은 기준으로부터 가장 가까운 교차점이 탐색될 때까지 최소제곱법의 그래프를 제거하고, 탐색된 교차점을 각각 결함이 존재하는 구간의 상단 경계선과 하단 경계선으로 설정한 후 경계선 사이의 구간에 해당하는 회전한 영상과 각 열의 평균 화소 값을 나타내는 과정을 나타내는 그림이다.

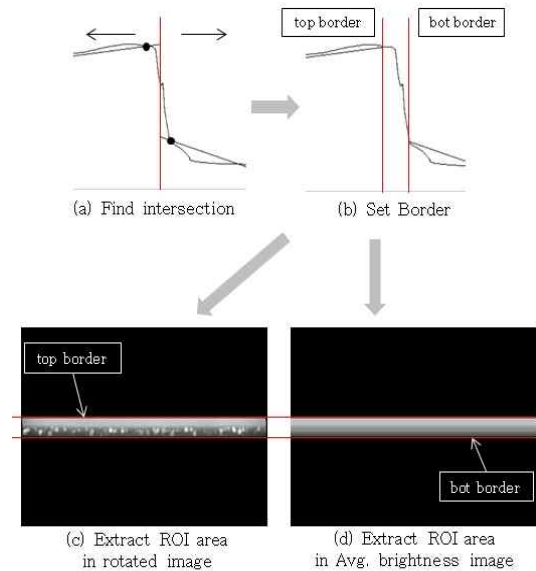


Fig. 11. Process of Extract ROI

최소제곱법을 이용하여 추출한 결함 후보 영역에서 배경 영역을 더욱 섬세하게 제거하기 위해 레이블링 알고리즘을 응용

하여 결함이 존재하는 구간의 경계선 주변에 존재하는 가까운 배경 영역과 비슷한 화소들을 추출한다. 세라믹 비파괴 영상에서 나타나는 결함은 주변의 화소보다 큰 값을 갖는 특징이 있어 결함 구간 경계선과 가까운 배경 영역과 비슷한 값을 가진 화소들을 추출하여 관심 영역에서 제거하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 배경 화소를 탐색하기 위한 레이블링 탐색 조건은 식 (10) 과 같다.

$$\begin{aligned}
 & sx_n = bgPoint[n].x \\
 & sy_n = bgPoint[n].y \\
 & mx, my = \neq \text{ighborhood of } (x,y) \\
 & \text{if } \begin{aligned} & abs(img[my,mx] - img[y,x]) \leq \alpha \\ & \text{and} \\ & abs(img[my,mx] - img[sy_n, sx_n]) \leq \beta \end{aligned} \quad (10) \\
 & \text{then } bg \ni img[my,mx]
 \end{aligned}$$

*bgPoint*는 결함 구간 경계선 주변에 존재하는 배경 화소의 위치 정보를 저장한 배열이다. sy_n 과 sx_n 는 각각 *bgPoint*[*n*]의 *x*축 값과 *y*축 값을 뜻한다. *mx*, *my*는 레이블링 알고리즘에서 탐색의 중심이 되는 *x*,*y*의 이웃 화소이다. α 는 배경 화소에 포함하기 위한 탐색의 중심이 되는 화소와 이웃 화소 값의 차이의 한계 값을 뜻하며 β 는 레이블링 과정이 시작하는 배경 화소 값과 이웃 화소 값의 차이의 한계 값을 의미한다. 결함이 입력 영상 전체의 평균 화소 값과 비슷하거나 더 밝게 나타나기 때문에 레이블링 과정이 시작하는 배경 화소가 어두운 영역에서 β 값을 크게 지정하면 결함 구간 내에 존재하는 많은 배경 화소를 추출할 수 있다. 제안하는 방법에서는 결함 구간 경계선에서 거리가 5 화소 떨어진 화소들을 *bgPoint*의 원소로 입력하고 α 값은 5, β 값은 밝은 배경 영역에 대해서는 20, 어두운 배경 영역에 대해서는 40으로 설정하였다. 그림 12는 결함 구간이 아닌 배경 화소와 결함 구간 경계선 내에서 배경 화소로 추출한 화소를 함께 나타낸 그림이다.

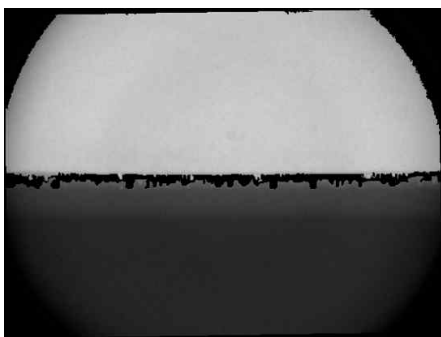


Fig. 12. Extracted background image using labeling algorithm with ROI borders

점진적인 밝기 변화가 일어나는 방향을 수직 방향이 되도록 회전한 영상에서 배경 영역이 결함으로 추출되지 않도록 레이

블링 알고리즘을 이용하여 추출한 배경 화소를 제거한 후, 남아 있는 결함 구간의 화소 값에 각 열의 평균 화소 값과 차 연산을 수행하여 최종적으로 세라믹 비파괴 영상 내에 존재하는 결함을 추출한다.



Fig. 13. Subtract background image and Avg. brightness from Rotated image

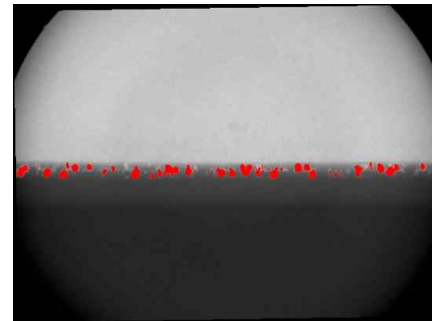


Fig. 14. Result #1 of flaw detection

3. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안된 방법을 실험하기 위해 14장의 세라믹 영상에 대해 결함 영역을 검출한 결과 14장 모두 기존의 방법보다 정확하게 결함이 존재하는 구간 정보를 추출하고 주변의 화소 값과 차이가 크게 나지 않는 결함 영역을 더 효과적으로 검출할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

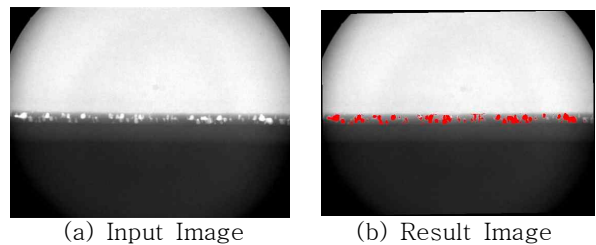


Fig. 15. Result #2 of flaw detection

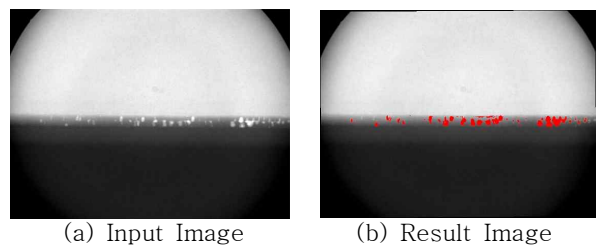


Fig. 16. Result #3 of flaw detection

하지만 그림 17과 같이 결함의 크기가 매우 작고 주변의 화소 값과 흡사한 결함이나 결함의 일부분이 밝은 값을 갖는 배경 영역에 닿아있는 경우 배경 화소로 인식되어 추출되지 않는 경우가 발생하였다. 그림 17의 좌측 그림은 결함이 존재하는 세라믹 영상의 일부를 나타낸 그림이다. 중간 그림은 결함 구간 경계선에서 배경 화소를 추출한 그림인데 결함 영역의 일부 화소가 배경 화소 값과 비슷하고 배경 영역과 연결되어있어 배경 화소로 추출되었다. 그 결과 우측 그림과 같이 결함의 일부가 검출되지 않았다.

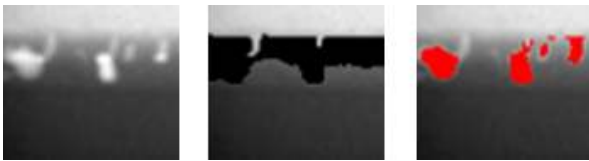


Fig. 17. The problem of suggested method

IV. Conclusions

본 논문에서는 세라믹 비파괴 영상에서 배경 영역을 추출하고 추출한 배경 영상을 이용하여 결함을 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 비파괴 검사를 통해 얻은 세라믹 영상에서 배경 영역에 해당하는 화소 값들은 일정한 방향으로 점진적인 밝기 변화가 나타나는 특징을 이용하여 배경 영역을 추출한다. 입력된 영상에 평균 이진화와 소벨 마스크를 적용하여 밝기 변화가 나타나는 방향의 정보가 담긴 윤곽선을 추출한 후, 허프 변환을 이용하여 가장 큰 직선 성분을 추출하여 밝기 변화가 나타나는 방향과 수직인 선을 추출하였다. 추출한 기준선의 정보를 이용하여 밝기 변화가 y 축과 수평하는 방향으로 나타나는 형태가 되도록 영상을 회전하고 최소제곱법을 이용하여 결함이 존재하는 구간을 탐색하였다. 회전된 영상에서 레이블링 알고리즘을 이용하여 추출한 배경 영역을 최대한 제거한 후, 남아있는 결함 구간에 대해 각 열에 대한 평균 화소 값과 차연산을 수행하여 결함을 추출하였다. 본 논문에서 제안된 방법으로 실험한 결과, 기존의 방법보다 정확하게 결함이 존재하는 구간을 탐색하고 결함 주변의 화소 값과 차이가 크게 나지 않는 결함을 더 효과적으로 검출할 수 있음을 확인하였다. 향후 연구 과제로는 결함이 가지는 화소 값과 비슷한 배경 영역의 경계선에 위치하는 경우에도 정확히 검출하는 방법에 대해 연구할 것이다.

REFERENCES

[1] Korea Society for Nondestructive Testing, <http://www.kandt.or.kr>
 [2] jhkim, mshan, ywwoo and gbkim, "Various Fault Detection of Ceramic Image using ART2," Journal

of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 271-273, July 2013.
 [3] Canny and John, "A Computational Approach to Edge Detection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No. 3, pp. 679-698, Nov. 1986.
 [4] isoh., "IT Cookbook, Computer Vision" Hanbit Academy, pp.145-149, 2014.
 [5] skhwang., "IT Cookbook, Image process programming by Visual C++" Hanbit Media, pp.453-456, 2007.
 [6] A. Charnes, E. L. Frome and P. L. Yu, "The Equivalence of Generalized Least Squares and Maximum Likelihood Estimates in the Exponential Family," Journal of the American Statistical Association, Vol. 71, No. 353, pp. 169-171, Nov. 1976.
 [7] J. Steven, "The method of least squares," Mathematics Department Brown University, pp. 1-7, 2006.

Authors



He is on a graduate course(M.S.) in Computer Science and Engineering at Pusan National University, Korea. He is currently on a graduate course(M.S.) in Computer Science and Engineering at Pusan National University. He is interested in neural network and image processing.



He received the B.S. degree in Electronic Engineering from Kyungpook National University, Korea, in 1979, the M.S. degree in Computer Science from Seoul National University, Korea, in 1982, the Ph.D degree in Computer Engineering from Seoul National University, Seoul, Korea, in 1998. he was a researcher of ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute), Korea from 1981 to 1985. He was a Visiting Professor with the Faculty of Engineering, University of London, U.K. from 1995 to 1996. He is currently a professor in Computer Engineering, Pusan National University, Korea.