

# 퍼지 클러스터링 기반 개선된 Fuzzy Binarization 기법을 이용한 세라믹 영상에서의 결함 추출

최철호<sup>0</sup>, 이진유<sup>\*</sup>, 박헌성<sup>\*</sup>, 김광백<sup>\*</sup>

<sup>0</sup>신라대학교 컴퓨터공학과

e-mail: emqhd338@naver.com<sup>0</sup>, 22yuu@naver.com<sup>\*</sup>, hopo55@naver.com<sup>\*</sup>, gbkim@silla.ac.kr<sup>\*</sup>

## Defect Extraction of Ceramic Image using Fuzzy Clustering Based Enhanced Fuzzy Binarization

Cheol Ho Choi<sup>0</sup>, Jin Yu Lee<sup>\*</sup>, Heon Sung Park<sup>\*</sup>, Kwang Baek Kim<sup>\*</sup>

<sup>0</sup>Division of Computer Software Engineering, Silla University

### ● 요약 ●

본 논문에서는 X-Ray 영상에서 용접한 부분의 기공이나 균열 등의 결함 영역을 추출하는 새로운 방법을 제안한다. 제안된 방법은 세라믹 X-Ray 영상에서 비등방성 확산 필터를 적용하여 영상의 잡음을 제거하고, 수직 및 수평 히스토그램을 각각 적용하여 용접 영역을 추출한 후, 최소 지승법을 적용하여 배경 밝기를 제거하고, 사다리꼴 형태의 Fuzzy Stretching 기법을 적용하여 명암 값을 강조하여 결함 영역과 그 외의 영역간의 명암 대비를 강조한다. 그리고 Fuzzy C\_Means 알고리즘을 적용하여 결함 영역을 세분화한 후, Fuzzy C\_Means를 적용하여 생성된 클러스터들의 중심 명암 값을 이용하여  $\alpha\_cut$ 을 설정한 후에 임계 구간을 구하고 영상을 이진화하여 최종적으로 결함 영역을 추출한다.

제안된 방법의 결함 추출 성능을 확인하기 위하여 세라믹 X-Ray 영상을 대상으로 실험한 결과, 기존의 방법보다 결함 영역이 정확히 추출되는 것을 확인할 수 있었다.

**키워드:** Anisotropic Filter, Detect, Trapezoid Fuzzy Stretching, Fuzzy C\_Means, Enhanced Fuzzy Binarization

## I. 서론

비파괴 검사는 공업재료 또는 제품을 파괴시키지 않고 내부의 상태를 검사할 수 있다는 이점이 있기 때문에 산업안전, 토목/건설, 기계공학, 원자력공학, 전기/전자공학, 철도, 금속공학등의 분야에서 다양하게 이용되고 있다. 또한 용접 부위의 검사와 단조(forging) 후 검사에도 비파괴검사가 자주 사용된다[1].

이러한 비파괴 검사의 목적은 제품의 신뢰성의 향상과 제조 기술의 개선, 제조 원가의 절감이다. 구조물의 안전성을 확보하기 위하여 구조물을 구성하고 있는 재료 및 부품의 신뢰성을 향상시키고, 이러한 신뢰성 향상을 통해 철저한 품질관리가 가능해지며, 구조물을 믿고 사용할 수 있게 하는데 목적이 있다. 비파괴 검사를 통해 얻어진 영상에서 결함을 자동으로 추출하는 연구를 통하여 검사의 신뢰도의 향상과 인력 및 시간을 절약함으로써 검사의 질을 향상시킬 수 있다[2].

기존의 세라믹 소재 영상에서 결함을 검출하는 방법은 전체영상을 세분화하여, 각 세분화된 영역의 명암도 값 정보로 결함의 후보 객체를 추출하였다[3]. 하지만 기존의 방법에서는 전체 영상에서 세분화된 명암도 값과 결함 영역의 명암도 값의 차이가 적은 경우에는 결함 영역과 결함 이외의 영역까지 추출되거나 결함 영역이 추출되지 않는 문제점이 발생하였다.

이러한 문제점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 전체 영상의 세분화된 명암도 값의 차이를 이용하여 결함 영역을 추출하는 방법 대신에 영상에서 결함영역을 추출한 후, 추출된 결함 영역의 명암도 값 정보를 이용하여 개선된 Fuzzy Binarization 기법을 적용하여 결함의 후보 객체를 추출하는 방법을 제안한다.

## II. 영상 보정

기존의 방법에서는 세라믹 영상에서 미세 잡음을 제거하기 위해 가우시안 필터를 적용하였으나 영상의 에지 부분 또한 부드럽게 되기 때문에 영상이 흐려 보이는 단점이 있다. 이 부분을 보완하기 위해 비등방성 확산 필터를 사용하여 영상의 모든 정보를 분석하여 여러 방향의 필터링 정도를 다르게 설정한다. 비등방성 확산 필터의 식은 식(1)과 같다.

$$I_t = \text{div}(c(x,y,t)\nabla I) \quad (1)$$

$$= c(x,y,t)\Delta I + \nabla c \cdot \nabla I$$

식 (1)에서  $\text{div}$ 는 발산(divergence) 연산자이고,  $\nabla$  와  $\Delta$  는 각각 그라디언트(gradient)와 라플라시안(Laplacian) 연산자이다. 라플라시안 연산자  $\Delta$  는  $\nabla^2$ 의 형태로 쓰기도 한다. 함수  $c(x,y,t)$ 는 전달 계수를 의미한다.

세라믹 X-Ray 영상에서 용접 영역을 추출하기 위해서 영상의 명암도 정보를 이용하여 수직 및 수평 히스토그램을 각각 적용한 후, ROI 영역을 추출한다. 추출된 ROI 영역에서 결합 영역의 명암도 값과 결합 영역 외의 배경 밝기 명암도 값이 유사한 특성을 가지기 때문에 결합 영역의 명암도 강조를 위해 배경 영역을 제거하는 방법인 최소자승법을 적용한다[4].

최소 자승법이 적용된 ROI 영역에서 결합 부분이 뚜렷하게 나타나지 않는 경우가 대부분이다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해 스트레칭 기법을 적용한다. 본 논문에서는 결합 영역과 비 결합영역 간의 명암 대비가 매우 낮은 경우가 대부분이기 때문에 결합 영역의 추출 성능을 높이기 위하여 사다리꼴 형태의 소속 함수를 적용한 퍼지 스트레칭 기법을 적용한다.

사다리꼴 형태의 퍼지 스트레칭 방법은 추출된 ROI영상에서 식(2)를 적용하여 평균 밝기 값을 계산한다.

$$X_m = \sum_{i=0}^{M \times N} \frac{X_i}{M \times N} \quad (2)$$

식(2)에서  $X_i$ 은 현재 픽셀의 명암도 값이고,  $M$ 와  $N$ 은 각각 영상의 가로와 세로의 크기이다. 영상의 평균 명암 값  $X_m$ , 최대 명암 값  $X_{max}$ , 최소 명암 값  $X_{min}$ 을 이용하여 밝기 값에 대한 거리 값  $D_{max}$ 과  $D_{min}$ 을 식(3)을 적용하여 구한다.

$$D_{min} = |X_{max} - X_m| \quad (3)$$

$$D_{max} = |X_m - X_{min}|$$

식(3)에서 구한 거리 값을 이용하여 식(4)과 같이 조정률( $\delta$ )을 결정한다.

$$\begin{aligned} &\text{if}(X_m > 128) \text{ then } \delta = 255 - X_m \\ &\text{else if}(X_m \leq D_{min}) \text{ then } \delta = D_{min} \\ &\text{else if}(X_m \geq D_{max}) \text{ then } \delta = D_{max} \\ &\text{else } \delta = X_m \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 구한 밝기 조정률( $\delta$ )을 이용하여 명암도 소속 함수의 최대, 최소, 중간 밝기 값 및 새로운 중간 밝기 값을 식(5)을 적용하여 각각 설정한다.

$$I_{max} = X_m + \delta \quad (5)$$

$$I_{min} = X_m - \delta$$

$$I_{mid} = \frac{I_{max} + I_{min}}{2}$$

$$I_{mid1} = \frac{I_{mid} + I_{min}}{2}$$

$$I_{mid2} = \frac{I_{mid} + I_{max}}{2}$$

그림 1과 2와 같은 하한과 상한 소속 함수에 대하여 표 1과 같은 퍼지 추론 규칙을 적용한다.

Table 1. 상한과 하한에 대한 Fuzzy 추론 규칙

상한과 하한에 대한 Fuzzy 추론 규칙	
R1	If I is L and I is L Then is A
R2	If I is L and I is M Then is B
R3	If I is M and I is L Then is A
R4	If I is M and I is M Then is B
R5	If I is M and I is H Then is C
R6	If I is H and I is M Then is B
R7	If I is H and I is H Then is C

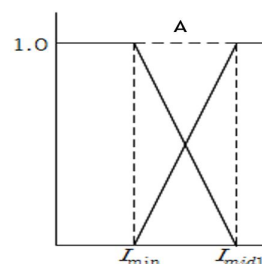


Fig. 1. 하한에 대한 소속도

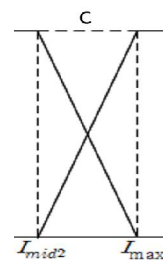


Fig. 2. 상한에 대한 소속도

추론된 각각의 하한과 상한의 각 최종 소속도 값을 무게중심법을 이용한 하한과 상한의 비퍼지화를 한후 식(6)에 적용하여 영상을 스트레칭 한다[5,6].

$$f(I) = \frac{I - \alpha}{\beta - \alpha} \times 255 \quad (6)$$

식(6)에서  $f(I)$ 는 현재 픽셀에서 스트레칭된 명암도 값이다.

### III. 개선된 퍼지 이진화를 이용한 결함 영역 추출

세라믹 영상에서 결함 영역을 추출하는 과정에서 기존의 방법에서는 퍼지 이진화를 적용하는 과정에서 임계 구간을 설정하는 방법으로 경험적으로 설정하기 때문에 세라믹 영상과 같이 결함 영역과 비결함 영역의 명암 대비가 다양하기 때문에 효과적으로 이진화가 되지 않아 결함 영역이 부정확하게 추출되거나 추출되지 않는 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 임계 구간을 효과적으로 설정하기 위해 FCM 클러스터링 기법을 적용하여 생성된 클러스터의 중심 값에 해당하는 명암도 정보들을 이용하여 임계 구간을 동적으로 설정하는 방법을 적용한다.

FCM을 적용하여 생성된 각 클러스터의 중심 명암도 값을 그림 3과 같은 Fuzzy 소속 함수에 적용하기 위해  $\alpha\_cut$ 을 식(7)에 적용하여 구한다.

$$\alpha\_cut = \left( \frac{\sum_{i=1}^c \eta_i}{c} \right) / 255 \quad (7)$$

식(7)에서  $c$ 는 클러스터의 개수이고,  $\eta$ 은 각 클러스터의 중심 픽셀 값을 의미한다.

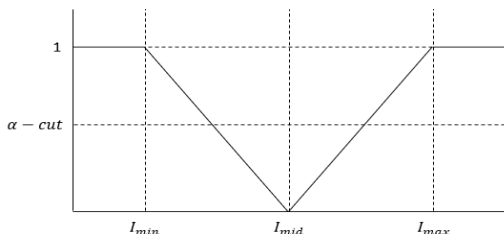


Fig. 3. Fuzzy이진화속도

그림 3에서 소속 함수 구간  $[I_{min}, I_{mid}, I_{max}]$ 는 다음과 같이 식(8)에 적용한다[7].

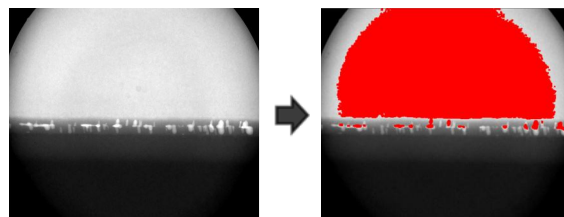
$$\begin{aligned} I_{max} &= X_m + \alpha \\ I_{min} &= X_m - \alpha \\ I_{mid} &= \frac{I_{max} + I_{min}}{2} \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)에서  $X_m$ 은 영상의 중간 밝기 값을 의미한다.

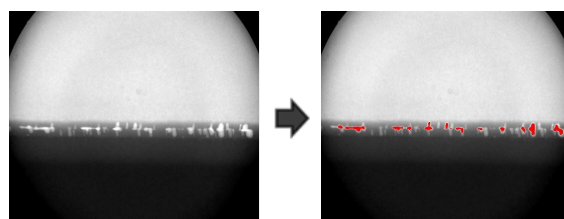
### IV. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 방법을 Intel(R) Core(TM) i5-8400 CPU, 8.00GB RAM이 장착된 PC 상에서 Visual Studio 2017으로 구현하여 실험하였다. 실험 표본은 세라믹 X-Ray영상인 8mm, 10mm, 11mm, 16mm, 22mm 크기의 영상을 대상으로 실험하였다.

그림 4의 (a)는 기존의 방법을 적용하여 결함 영역을 추출한 결과이고 그림 4의 (b)는 제안된 방법을 적용하여 결함 영역을 추출한 결과이다.



(a) 기존 방법의 결함 검출 결과



(b) 제안된 방법의 결함 검출 결과

Fig. 4. 결함 검출 결과 비교

그림 4(a)에서와 같이 기존의 방법으로 결함 영역을 추출할 경우에는 결함 후보 영역과 비결함 영역까지 결함으로 추출되는 경우와 결함 영역을 추출하지 못하는 경우가 발생하였다. 그러나 그림 4(b)와 같이 제안된 방법에서는 비결함 영역이 추출되는 경우가 거의 발생하지 않았고 기존의 방법 보다 결함 영역이 비교적 정확히 추출되는 것을 확인 할 수 있다.

표 2는 비파괴 검사로 얻어진 33장의 세라믹 X-Ray영상에서 기존의 방법과 제안된 방법으로 각각 8mm, 10mm, 11mm, 16mm, 22mm 크기의 영상에서 결함 영역 추출 결과 비교를 나타내었다.

Table 2. 결함 영역 추출 결과 비교

	8mm	10mm	11mm	16mm	22mm
기존의 방법	0/9	1/3	2/2	0/4	1/16
제안된 방법	7/9	2/3	2/2	4/4	15/16

### IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 세라믹 비파괴 검사로 얻어진 X-Ray 영상에서 자동으로 결함을 추출하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 추출 성능을 분석하기 위해 기존의 방법과 세라믹 X-Ray 영상에서 결함 영역의 추출 성능을 비교한 결과, 기존의 추출 방법에서는 11mm 크기의 영상에서만 결함 영역의 추출률이 높게 나타났지만 제안된 방법에서는 8mm, 10mm, 11mm, 16mm, 22mm 크기의 영상에서 모두 결함 영역의 추출률이 높게 나타났다. 따라서 기존의 방법보다 결함 영역 추출에 효과적인 것을 확인 할 수 있었다.

그러나 제안된 방법을 적용할 경우에는 결함 영역 추출하는 과정에서 Fuzzy C Means 알고리즘을 적용하므로 클러스터의 수가 정적으로 설정되어 효율적으로 이진화가 되지 않아 결함 영역이 일부 추출되

거나 추출되지 않는 경우도 발생하였다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 FCM 알고리즘에서 클러스터의 수를 동적으로 설정하는 방법이나 Deep FCM 방법을 연구하여 현재의 문제점을 개선할 것이다.

## REFERENCES

- [1] “Nondestructive Testing”, Wikipedia [https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B9%84%ED%8C%8C%EA%B4%B4\\_%EA%B2%80%EC%82%AC](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B9%84%ED%8C%8C%EA%B4%B4_%EA%B2%80%EC%82%AC)
- [2] Korea Society for Nondestructive Testing <http://www.kandt.or.kr>
- [3] K. B. Kim, Y. W. Woo, “Fault Detection of Ceramic Imaging Using Nondestructive Testing,” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 21, No. 11, pp.2121-2127, 2017.
- [4] H. D. Jin, Flaw Detection Method in Air Deck Using Watershed Algorithm, The Graduate School Pusan National University, 2016.
- [5] H. S. Woo, K. B. Kim, “Improved Fuzzy Binarization Method with Trapezoid type Membership Function and Adaptive a\_cut,” Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 20, No. 10, pp.1852-1859, 2016.
- [6] D. M. Ha, K. B. Kim, “Contour Extraction of Hand Skeleton Bone from X-Ray Images using Fuzzy Image Processing,” Proceedings of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 21, No. 01, pp.0531-0533, 2017.
- [7] Y. W. Woo, “Navigational Path Detection Using Fuzzy Binarization and Hough Transform,” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 19, No. 2, pp.31-37, 2014.