

ART2 알고리즘을 이용한 세라믹 영상에서의 결함 검출

김광백*

Fault Detection of Ceramic Imaging using ART2 Algorithm

Kwang Baek Kim*

Division of Computer and Information Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

요 약

세라믹 소재 영상은 사람의 육안으로 판단하기 힘든 내부 기공이나 균열, 이물질 등의 결함들이 존재한다. 본 논문에서는 사람의 육안으로 검출하기 힘든 세라믹 소재로 이루어진 파이프 용접부에 있는 결함을 확인하기 위해 ART2 알고리즘을 이용하여 세라믹 영상에서 결함을 검출하는 방법을 제안한다. 비파괴 검사는 본질에 손상이 전혀 가지 않는 검사 방법이기 때문에 소재의 결함 검출에 대해서는 적절한 방법이다. 따라서 본 논문에서는 Ends-In Search Stretching 기법을 적용하여 명암 대비를 강조하고, 명암 대비가 강조된 영상에서 삼각형 타입의 소속 함수를 이용한 퍼지 이진화 기법을 적용한 후, 임의의 패턴 입력에 대해서도 효과적으로 특징을 분류하는 개선된 ART2 알고리즘을 적용하여 결함 영역을 검출한다. 제안된 방법을 세라믹 소재 영상을 대상으로 실험한 결과, 기존의 방법보다 효율적으로 결함이 검출되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

There are invisible defects by naked eyes in ceramic material images such as internal stomata, cracks and foreign substances. In this paper we propose a method to detect and extract such defects from ceramic pipe weld zone by applying ART2 learning. In pre-processing, we apply Ends-in Search Stretching to enhance the intensity and then perform fuzzy binarization with triangle type membership function followed by enhanced ART2 that interacts with random input patterns to extract such invisible defects. The experiment verifies that this proposed method is sufficiently effective.

키워드 : 세라믹 소재 영상, 엔드인 스트레칭, 퍼지 이진화, 개선된 ART2

Key word : Ceramic Material Images, End_in Stretching, Fuzzy Binarization, Enhanced ART2

접수일자 : 2013. 10. 01 심사완료일자 : 2013. 10. 25 게재확정일자 : 2013. 11. 06

* **Corresponding Author** Kwang-Baek Kim(E-mail:gbkim@silla.ac.kr, Tel:+82-51-999-5052)

Division of Computer and Information Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2013.17.11.2486>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

비파괴 검사란 재료나 제품을 원형과 기능에 변화를 주지 않고 실시하여 원하는 정보를 획득 할 수 있는 검사를 의미한다. 재료나 제품에 대하여 물리적 현상을 이용한 특수 방법으로 검사 대상물을 파괴, 분리 또는 손상을 입히지 않고 결함의 유무와 상태 또는 그것의 성질, 상태, 내부구조 등을 알아내는 모든 검사를 말한다.

비파괴 검사의 방법 중에는 방사선 비파괴검사, 초음파 비파괴검사, 자기(磁氣) 비파괴검사, 침투 비파괴검사, 와전류(渦電流) 비파괴검사, 누설 비파괴검사, 음향 방출 비파괴검사, 육안 비파괴검사, 열화상(熱畫像) 비파괴검사, 중성자 비파괴검사, 응력측정 비파괴검사 등이 있으며, 세라믹 비파괴 검사에는 침투 비파괴 검사 방법이 이용된다[1].

침투 비파괴 검사란 시험체 표면에 침투제를 적용하여 침투제가 표면에 열려있는 불연속부에 침투할 수 있는 충분한 시간이 경과 한 후, 불연속부에 침투하지 못하고 시험체 표면에 남아 있는 과잉의 침투제를 제거하고, 그 위에 현상제를 도포하여 불연속부에 들어있는 침투제를 빨아올림으로서 불연속의 위치, 크기 및 지시 모양을 검출하는 검사 방법이다.

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. 적절한 비파괴 검사를 각각의 목적에 맞게 적용함으로써 건전성을 확인하고, 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 그리고 비파괴 검사의 결과를 분석 및 검토하여 제조조건을 수정 보완함으로써 제조기술의 개선이 가능하며 제조기술을 향상시킬 수 있다. 제조 공정에서 적당한 시기에 적절한 비파괴 검사를 적용하여 불량품을 조기에 발견하고 조치함으로써 시간과 재료의 절감 또한 가능하게 된다[2].

하지만 비파괴검사는 점검자의 육안 조사를 통한 수작업으로 이루어지고 있기 때문에 점검의 수행속도와 자료의 저장에 많은 시간과 인력이 요구되며, 이러한 육안 조사는 점검자의 주관에 개입되며, 점검자에 따라 검사 결과의 차이가 있을 수 있으므로 신뢰도에 문제가 발생한다.

따라서 비파괴 검사를 통해 얻어진 영상에서 결함을 추출하는 연구를 통하여 검사의 신뢰도를 향상시키고, 검사에 필요한 인력과 시간을 절약함으로써 검사의 질을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 개선된 ART2 알고리즘을 적용하여 영상의 결함을 추출하는 방법을 제안한다.

II. 명암 대비 강조

본 논문에서는 명암도 차이에 따른 영역을 구분하기 위해 Ends-In Search Stretching 기법을 세라믹 영상에 적용한다.

비파괴 검사를 이용하여 획득한 세라믹 영상에 Ends-In Search Stretching 기법을 식 (1)과 같이 적용하여 영상의 명암대비를 강조한다. Ends-In Search Stretching 기법은 식 (1)과 같다. X 는 원본 영상의 현재 픽셀 명암도 값이고, Low 와 $High$ 는 Ends-In Search Stretching 기법[2]이 유지해야 할 어두운 영역의 명암도 비율과 밝은 영역의 명암도 비율이다.

$$outImg[x][y] = \begin{cases} 0, & \text{for } X \leq Low \\ \frac{X - Low}{High - Low} \times 255, & \text{for } Low < X < High \\ 255, & \text{for } High \leq X \end{cases} \quad (1)$$

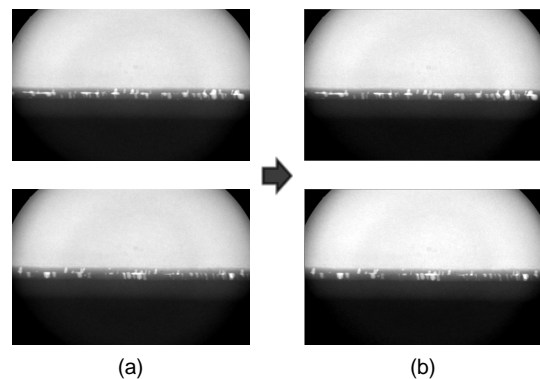


그림 1. Ends-In Search Stretching 적용 (a) 원본 영상 (b) Ends-In Search Stretching
 Fig. 1 Applying Ends-In Search Stretching (a) Original Image (b) Ends-In Search Stretching

그림 1의 (a)는 세라믹 원본 영상이며, 그림 1의 (b)는 세라믹 원본 영상에 Ends-In Search Stretching 기법을 적용한 결과 영상이다.

III. 결함 영역 추출

Ends-In Search Stretching 기법을 적용하여 명암 대비의 차이를 명확하게 한 후, 가장 밝은 값을 *Max*로 어두운 값을 *Min*으로 설정하고, *Max*와 *Min*의 1/2 값을 *Mid*, 1/4의 값을 α 로 정의하며, 삼각형 소속 함수의 구간을 [*Low*, *High*]로 설정한다. 소속 함수의 구간은 다음과 같이 구한다[3].

단계 1:
 If $Mid > 128$ Then $\alpha = 255 - Mid$
 Else $\alpha = Mid$

단계 2:
 $Low = Mid - \alpha$
 $High = Max$

제안된 퍼지 이진화 방법에서 소속 함수 구간 [*Low*, *High*]에 대한 소속도는 다음과 같이 계산한다.

If ($Low > P$ AND $Mid = 0$)
 Then $u(P) = 0$
 If ($Low \leq P \leq Mid$)
 Then $u(P) = \frac{P - Low}{Mid - Low}$
 If ($Mid < P$)
 Then $u(P) = 1$

소속 함수에서 구해진 소속도 $u(P)$ 를 0.5로 설정하였으며 소속도가 0.5이상이면 픽셀 값을 255로 설정 0.5 미만이면 0으로 설정하여 Ends-In Search Stretching 기법이 적용된 세라믹 영상을 이진화 한다. 그림 2는 퍼지 이진화에 적용되는 소속 함수이다.

그림 3은 Ends-In Search Stretching 기법으로 명암 대비를 강조한 영상에 퍼지 이진화 기법이 적용한 결과 영상이다.

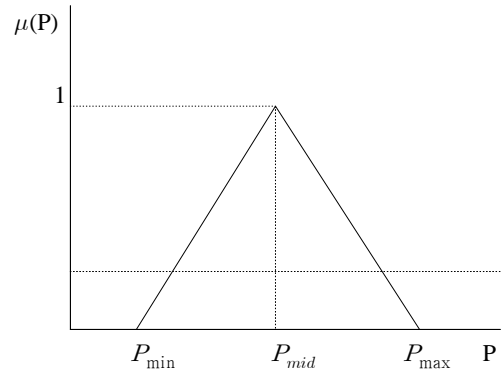


그림 2. 소속 함수
 Fig. 2 Membership Function

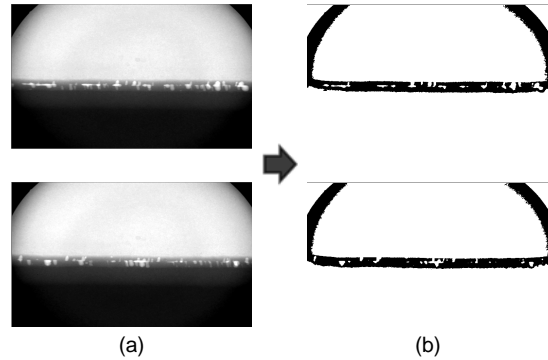


그림 3. 퍼지 이진화 결과 (a) Ends-In Search Stretching 영상 (b) 퍼지 이진화
 Fig. 3 Result of Fuzzy Binarization (a) Ends-In Search Stretching Image (b) Fuzzy Binarization

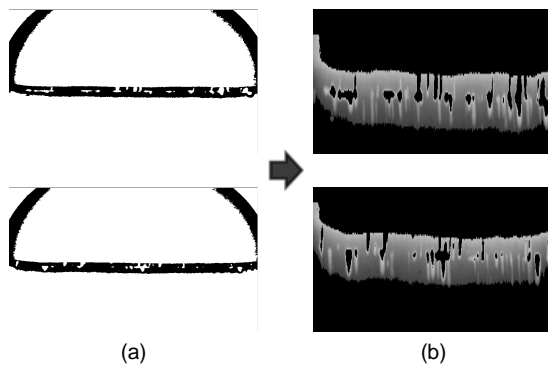


그림 4. 결함 구간 (a) 퍼지 이진화 (b) 결함 구간 추출
 Fig. 4 Defect Interval (a) Fuzzy Binarization (b) Extracting Defect Interval

퍼지 이진화 기법을 적용한 영상에 탐색 알고리즘을 적용하여 경계선을 추출한 후, 상단에서 가장 많이 분포된 경계선의 높이 값을 Max, 하단에서 가장 많이 분포된 경계선의 높이 값을 Min으로 설정한다. 그리고 Max+20 값과 Min-20 값을 이용하여 그림 4와 같이 결합 구간을 추출한다.

IV. 결합 검출

ART2 학습 알고리즘은 입력 패턴에 대하여 목표값 없이 자율 학습을 통해 군집화하는 클러스터링 방법이다. ART2 모델은 임의의 입력 패턴에 대해 이미 학습된 패턴들을 잊지 않고 새로운 패턴들을 학습할 수 있는 안정성(stability)과 적응성(plasticity)을 가지면서 실시간 학습이 가능하여 저속 및 고속을 지원할 뿐만 아니라 지역 최소화(local minima) 문제가 발생하지 않는 장점을 갖는다[4]. ART2의 연결 가중치 변화는 모든 입력 패턴의 평균값을 취함으로써 클러스터 생성에 고르게 반응하게 된다. 그러나 ART2 알고리즘은 경계 변수 설정에 따라 클러스터의 수가 달라진다는 단점이 있다. ART2 알고리즘에서 경계 변수는 패턴들을 클러스터링하기 위한 반지름 값으로서 임의의 패턴과 저장된 패턴과의 불일치 허용도를 결정하는 정적인 값이다. 그러나 ART2 알고리즘에서 경계 변수는 경험적으로 설정해야 하므로 어려운 점이 많다[5].

따라서 본 논문에서는 ART2의 단점인 경계 변수를 동적으로 조정하기 위해 총체화 된 값이 모든 입력 중 가장 작은 값보다 크지 않은 성질을 갖는 퍼지 교 접속 연산자 중에서 식 2와 같은 Yager의 교 접속 연산자[6]를 적용하여 경계 변수를 동적으로 조정하는 개선된 ART2 학습 방법을 제안하여 결합 영역을 검출하는데 적용한다.

$$\mu_{x1 \cap x2} = 1 - \min(1, ((1 - \mu_{x1})^p + (1 - \mu_{x2})^p)^{\frac{1}{p}}) \quad (2)$$

여기서, 식 2는 $p \in (0, \infty)$ 값에 따라 단조 감소하는 함수이다.

본 논문에서 적용할 개선된 ART2 알고리즘의 학습 과정은 그림 5와 같다.

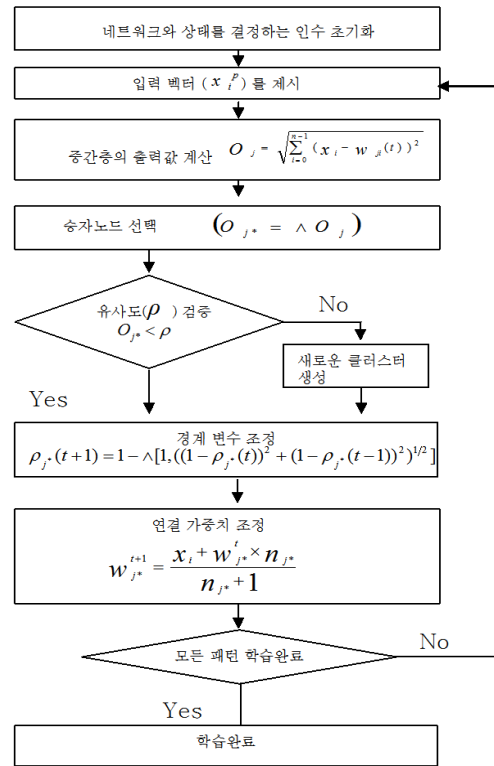


그림 5. 개선된 ART2 알고리즘의 학습과정
Fig. 5 Learning Process of Enhanced ART2

개선된 ART2 알고리즘을 적용한 결과 영상은 그림 6과 같다.

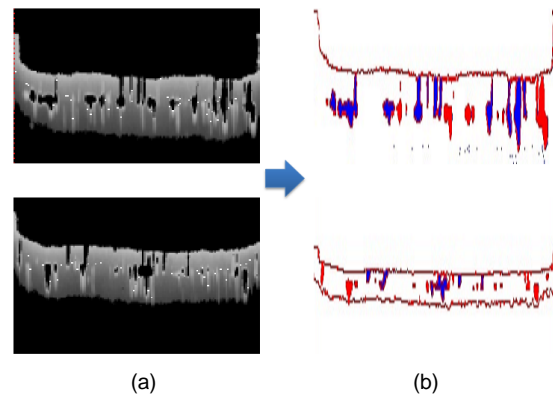


그림 6. ART2를 이용한 결함 검출 (a) 검출된 결함 구간 (b) ART2 적용
Fig. 6 Extraction of Defect using ART2 (a) Extracted Defect Interval (b) Applying ART2

V. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 방법은 Intel Core(TM) i7-2630 QM 2.00GHz CPU와 4GB RAM이 장착된 PC상에서 Visual Studio 2010(C#)으로 구현하여 실험하였다. 실험 표본은 세라믹 소재로 얻어진 16mm 크기의 영상을 대상으로 실험하였다.

세라믹 결함의 종류에는 기공, 텅스텐, 융합 불량, 균열 등의 결함이 존재하는데 본 논문에서 제안된 방법은 영상에서 텅스텐과 융합 불량 결함을 검출하였다.

기존 방법[7]은 결함을 검출할 경우에는 텅스텐과 융합 불량이 구분되지 않은 상태로 그림 7(a)와 같이 검출되었다. 그러나 본 논문에서 제안된 방법은 ART2 기법을 적용하여 텅스텐과 융합 불량을 명확히 구분하여 검출되는 것을 그림 7(b)에서 확인할 수 있다.

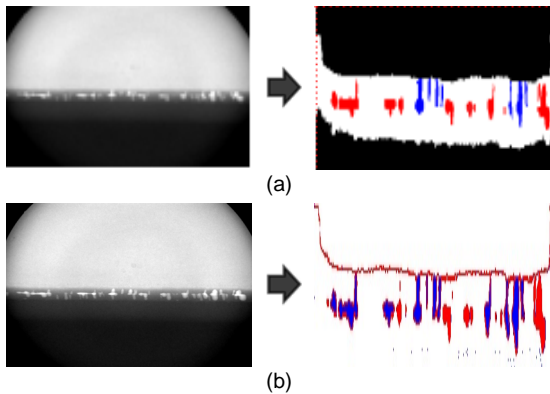


그림 7. 결함 검출 결과 비교 (a) 기존 논문방법의 결함 검출 결과 (b) 제안된 방법의 결함 검출 결과

Fig. 7 Comparison of Detect Extraction (a) Defect Extraction Results from Previous Study (b) Defect Extraction Result from Proposed Method

제안된 방법은 신경망 기법을 적용하기 때문에 학습 과정이 필요하므로 결함의 검출 속도가 기존의 결함 검출 방법보다 많이 소요되는 문제점이 있으나 결함 검출 성능은 개선되었다. 표 1은 본 논문에서 검출한 결함의 종류를 나타내었다. 그림 7은 기존의 결함 검출 방법과 제안된 결함 검출 방법의 결과를 나타내었다.

표 2는 제안된 결함 검출 방법의 추출 개수를 나타내었다. 표 2에서와 같이 1개의 영상에서 결함 영역이 정확히 추출되지 않았다. 즉 텅스텐 결함과 융합 불량 결

함이 정확히 구분되지 않은 상태로 결함이 검출되었다. 그 원인은 개선된 ART2 알고리즘으로 텅스텐의 명암도와 융합 불량량의 명암도가 거의 차이가 나지 않아 같은 클러스터로 분류되었기 때문이다.

표 1. 결함의 종류

Table. 1 Taxonomy of Defects

색상	결함 종류
빨강색	텅스텐
파랑색	융합불량

표 2. 결함 추출 성공률

Table. 2 Success Rate for Defect Extraction

실험영상	텅스텐 추출 개수	융합 불량 개수
1	3/3	6/6
2	7/7	11/11
3	10/10	6/6
4	5/5	8/15

VI. 결 론

기존의 결함 검출 방법에서는 텅스텐의 결함만이 검출되었으나, 본 논문에서는 텅스텐과 융합 불량 결함을 함께 검출하는 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 비파괴 세라믹 검사를 통해 얻어진 영상에서 Ends-In Search Stretching 기법을 적용하여 명암 대비를 향상시키고 향상된 세라믹 소재 영상에 퍼지 이진화 기법을 적용한 후에 탐색 알고리즘을 적용하여 결함 구간을 설정하였다. 설정된 구간 내에 개선된 ART2 알고리즘 기법을 적용하여 다양한 결함을 검출하였다. 제안된 방법을 비파괴 세라믹 영상에 실험한 결과, 텅스텐 결함뿐만 아니라 융합 불량량의 다양한 결함이 검출되었다. 그러나 신경망 기법을 적용하였기에 결함의 검출 속도가 많이 소요되는 문제점이 발생하였다.

따라서 향후 연구 방향은 검출 속도를 감소시킬 수 있도록 개선된 ART2 알고리즘의 학습 구에 대해 연구할 것이고 거리 기반 승자 뉴런 방식 대신에 무게 중심 기반 승자 뉴런 방식을 연구하여 세밀한 명암도에 대해서도 정확히 분류할 수 있도록 할 것이다.

REFERENCES

- [1] Korea Society for Nondestructive Testing [Internet]. Available: <http://www.kandt.or.kr>.
- [2] S. W. Hwang, S. M. Lee, K. B. Kim, Y. W. Woo, "Analysis of Non-Destructive Flaws in Ceramic Images", *The Korean Institute of Information and Communication Sciences*, vol. 17, no. 1, pp. 361, 2013.
- [3] K. B. Kim, Y. W. Woo, "Detection of Flaws in Ceramic Materials Using Non-Destructive Testing," *The Institute of Electronic Communication and Sciences*, vol.5, no.3, pp. 321-326, 2010.
- [4] G. A. Capenter, S. Grossberg. "ART2: self-organization of stable category recognition for analog input patterns," *OPTICS*, vol. 26, no. 23, pp. 4919-4930, 1897.
- [5] K. B. Kim, S. Park, "Passport Recognition Using Enhanced ART2-based RBF Neural Networks," *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 6, no. 7A, pp. 12-17, 2006.
- [6] H. J. Zimmerman, *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [7] J. H. Kim, M. S. Han, Y. W. Woo, K. B Kim, "Various Fault Detection of Ceramic Image using ART2," *Proceedings of ISCI Summer Conference*, vol. 21, no. 2, pp. 271-273, 2013.



김광백(Kwang Baek Kim)

1999년 부산대학교 전자계산학과 이학박사
 1997년~현재 : 신라대학교 컴퓨터 정보공학부 교수
 현재 : 한국지능정보시스템학회 논문지 편집위원 및 이사
 현재 : 한국컴퓨터정보학회 영문지편집위원장 및 상임이사
 현재 : 한국정보통신학회 총무부회장
 2009년 : Journal of Digital Imaging (SCI), Guest Editor
 2009년~현재 : The Open Artificial Intelligence Journal, Editor
 2013년~현재 : International Journal of Intelligent Information Processing(SCOPUS), Editor
 2013년~현재 : International Journal of Computational Vision and Robotics(SCOPUS), Guest Editor
 2013년~현재 : International Journal of Information and Communication Technology(SCOPUS), Guest Editor
 ※관심분야 : Image Processing, Fuzzy Logic, Neural Networks, Medical Imaging and Biomedical System, Support Vector Machines