

---

# 비파괴 검사를 이용한 세라믹 재료의 결함 검출

김광백\* · 우영운\*\*

Detection of Flaws in Ceramic Materials Using Non-Destructive Testing

Kwang-Baek Kim\* · Young-Woon Woo\*\*

## 요 약

본 논문에서는 세라믹을 비파괴 검사를 통하여 얻어진 영상에서, 조직의 이상이나 결함의 정도를 자동으로 확인하는 방법을 제안한다. 비파괴 검사를 통하여 얻어진 영상에서 소벨 마스크를 적용하여 윤곽선을 추출하고, 추출된 윤곽선의 방향 정보를  $9 \times 9$  마스크에 적용하여 영역을 분류한다. 그리고 분류된 각 영역을 히스토그램 스트레칭을 적용하여 영상을 보정하고, 4-방향 윤곽선 알고리즘을 적용하여 객체를 추출한다. 그리고 추출된 객체의 영역에 대해 형태학적 정보를 이용하여 잡음을 제거한 후, 손상된 영역을 추출한다. 본 논문에서 제안한 방법을 비파괴검사를 통하여 얻어진 영상을 대상으로 실험한 결과, 손상된 영역이 정확히 검출되는 것을 확인하였다.

## ABSTRACT

A method that can decide the existence and the severeness of flaws in ceramic materials through the use of non-destructive testing by image processing techniques, is proposed in this paper. The edges of the acquired image are first extracted using Sobel mask and the regions of the image are clustered using another mask after that. Histogram stretching is applied to each of the regions to enhance the image region-wise and objects are extracted by an edge following algorithm. Morphological information is incorporated to remove noise and detect flawed regions. The proposed method can detect flaws in the acquired images and the experimental results also supports that.

## 키워드

비파괴 검사(Non-destructive testing), 소벨 마스크(Sobel mask), 결함 검출(Detection of flaw), 세라믹 재료(Ceramic material)

## 1. 서론

최근 비파괴 검사 분야는 미국, 일본 등 여러 선진국에서 하나의 전문기술 분야로써 인정을 받으며, 급속하게 변하는 산업사회의 발전과 함께 기업의 경영

효율 향상과 안정된 제품의 생산, 품질관리 등에 기여하고 있다[1]. 비파괴 검사는 제품의 원형과 기능을 전혀 변화 시키지 않고 물리적 에너지를 투과하여 그 조직의 이상이나 결함을 검사하는 방법이다[2]. 비파괴 검사 방법으로는 방사선비파괴 검사, 초음파탐상 검

---

\* 신라대학교 컴퓨터정보공학부(gbkim@silla.ac.kr)  
접수일자 : 2010. 04. 17

\*\* 교신저자, 동의대학교 멀티미디어공학과(ywwoo@deu.ac.kr)  
심사(수정)일자 : 2010. 05. 20      게재확정일자 : 2010. 06. 14

사, 자분탐상 검사 등이 있다. 이 중 방사선비파괴검사는 방사선을 투과하여 물질 내부의 결함을 알아내는 방법이다.

방사선 비파괴 검사를 통하여 확인하는 물질 중에 세라믹은 고내열성, 저비중, 고경도 등의 특징 때문에 항공기, 자동차, 기계 구조물 부품 등으로 광범위하게 응용되어지고 있다[3]. 그러나 세라믹의 이러한 장점 외에 재료내부의 결함상태 또는 기공률, 기공의 형상 등의 고유인자들로 인해 재료의 강도 및 신뢰성에 많은 어려움이 따른다.

따라서 본 논문에서는 세라믹을 방사선 비파괴 검사를 통하여 얻어진 영상에서, 조직의 이상이나 결함의 정도를 자동으로 확인하는 방법을 제안한다. 비파괴 검사를 통하여 얻어진 영상에 소벨(Sobel) 마스크 [4]를 적용하여 윤곽선을 추출하고, 추출된 윤곽선의 방향정보를 9 x 9 마스크에 적용하여 영역을 분류한다. 그리고 분류된 각 영역을 히스토그램 스트레칭으로 영상을 보정하고, 4방향 윤곽선 알고리즘을 적용하여 객체를 추출한다. 그리고 추출된 객체의 영역에 대해 형태학적 정보를 이용하여 잡음을 제거한 후, 최종적인 손상된 영역을 추출한다[5].

## II. 마스크를 이용한 윤곽선 추출

비파괴 검사 영상에는 윤곽선이 존재하기 때문에 결함을 검출하는데 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 비파괴 검사 영상에서 각 영역을 구분하기 위해 9 x 9 마스크를 이용하여 윤곽선을 추출한다.

### 2.1 감마 상관계 변환

비파괴 검사를 통하여 얻어진 영상에서 영상이 너무 밝거나, 어두운 단점을 보완하기 위하여 영상을 감마 조절한다. 그림 1은 입력 영상을 감마 조절한 결과 영상을 나타내었다.

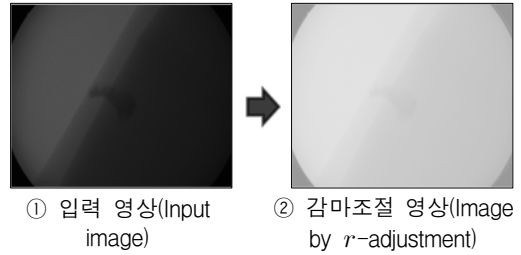


그림 1. 감마조절 변환 영상  
Fig. 1 Transformed image by  $r$ -adjustment

감마 상관계 변환 함수는 식 (1)과 같으며  $x$ 는 영상에서 명암도 값이고,  $r$ 은 감마값을 나타낸다. 본 논문에서는 감마값을 9.5로 정의하였다.

$$f(x) = 255.0 \times \left( \frac{x}{255.0} \right)^{\frac{1}{r}} \quad (1)$$

### 2.2 소벨 마스크를 이용한 윤곽선 추출

소벨 마스크는 수직, 수평 방향 에지보다 대각선 방향 에지에 더 민감하게 반응한다. 따라서 비파괴 검사를 통하여 얻어진 영상에서는 대각선 방향으로 윤곽선이 존재하므로 본 논문에서는 소벨 마스크를 적용한다. 소벨 마스크에 사용하는 수직 마스크와 수평 마스크는 그림 2와 같다.

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

① 수직마스크(Vertival mask)      ② 수평 마스크(Horizontal mask)

그림 2. 7 x 7 소벨 마스크  
Fig. 2 7 x 7 Sobel mask

윤곽선을 추출하기 위해 감마 조절을 한 영상에서 모든 방향의 에지를 추출하는 소벨 마스크를 적용한 후, 윤곽선을 추출한다. 윤곽선을 추출하는 과정은 그림 4와 같다.

소벨 마스크를 적용하여 이진화 된 영상에서 윤곽선에 해당하는 부분의 방향성 정보를 9 x 9 마스크에 적용한다. 그림 3의 ①은 9 x 9 마스크의 윤곽선에 해당하는 방향성 정보와 영상의 Gray 정보값을 의미하며, ②는 마스크의 방향성 정보를 이용하여 윤곽선을 탐색하기 위한 우선순위를 정하는 과정이다. 그림 4는 윤곽선을 추출하는 과정이다. 결함과 윤곽선을 구분하기 위해 정해진 마스크 우선순위에 따라 윤곽선에 해당하는 위치를 탐색하여 윤곽선을 추출한다.

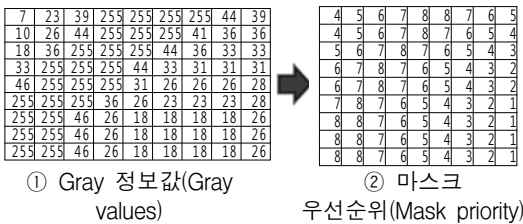


그림 3. 9 x 9 마스크  
Fig. 3 9 x 9 mask

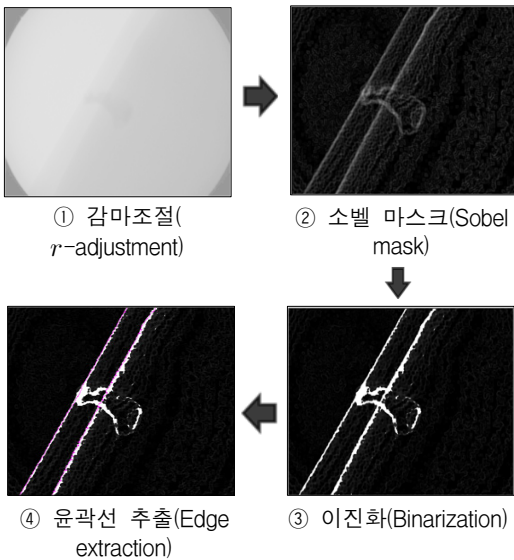


그림 4. 윤곽선 추출 과정  
Fig. 4 Process of edge extraction

### 2.3 윤곽선을 이용한 영역 분류

추출한 윤곽선을 이용하여 각 영역을 분류한다. 추출한 윤곽선에서는 윤곽선의 방향이 고르지 않기 때

문에 추출한 윤곽선을 팽창 연산 후, 세션화하여 윤곽선을 보정한다. 그림 5는 윤곽선을 이용하여 각 영역을 분류하는 과정으로 추출된 윤곽선들의 차이를 이용하여 각 영역을 분류하여 라벨링한다.

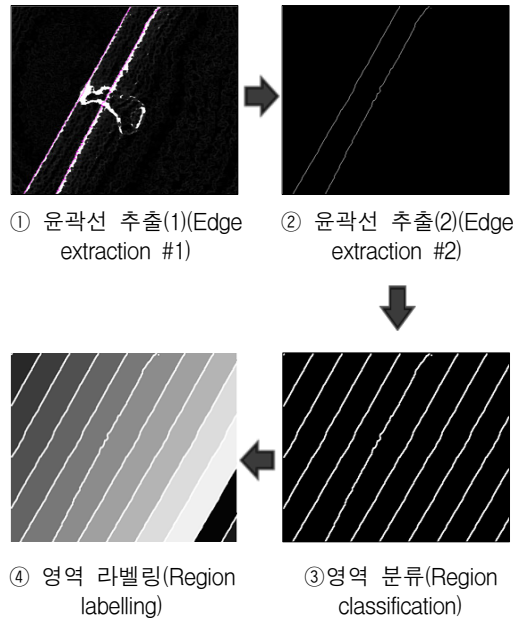


그림 5. 영역 분류 과정  
Fig. 5 Process of region classification

### III. 손상된 영역 검출

본 논문에서는 결함을 검출하기 위해 추출한 윤곽선을 이용하여 영역을 분류한다. 각 영역에 대해 히스토그램 스트레칭을 적용한 후, 4-방향 윤곽선 알고리즘을 적용하여 결함을 검출한다.

#### 3.1 히스토그램 스트레칭으로 영상 보정

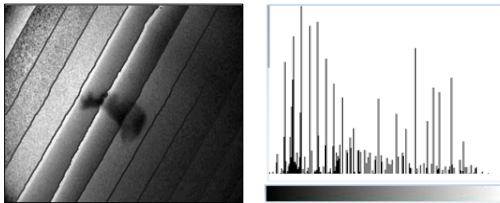
비파괴 검사를 통하여 얻어진 영상에서 나타나는 결함의 특징은 전체적으로 밝아 보이거나 어두워 보이는 명암도 차이가 나타난다. 이 경우에는 특정 부분의 히스토그램이 편중되어 있고 영상의 가시도가 좋지 않게 나타난다.

따라서 추출한 윤곽선을 이용하여 분류한 각 영역

을 히스토그램 스트레칭을 적용하여 영상을 보정한다. 그림 6과 그림 7은 감마 조절한 영상에서 윤곽선을 이용하여 분류한 각 영역에 히스토그램 스트레칭을 적용하는 과정이다.



① 감마 조절 영상과 히스토그램( $r$ -adjusted image and its histogram)

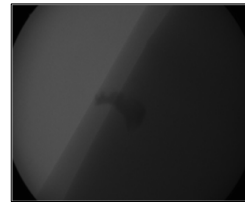


② 히스토그램 스트레치 영상과 히스토그램(Histogram stretched image and its histogram)

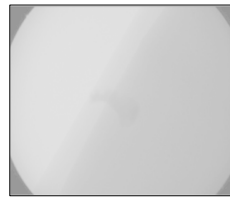
그림 6. 각 영역의 히스토그램 스트레칭  
Fig. 6 Histogram stretching of each region

### 3.2 결합 검출

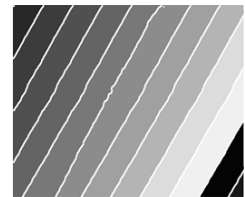
각 영역별로 히스토그램 스트레칭을 적용한 영상에서 추출된 윤곽선을 이용하여 각 영역 별로 이진화를 한다. 이진화의 임계치는 추출한 윤곽선 범위의 평균값이다. 이진화 된 영상에서 4방향 윤곽선 추적 알고리즘을 각 영역마다 적용하고, 형태학적 정보를 이용하여 잡음을 제거한 후, 결합이 있는 객체를 검출한다. 그림 8은 각 영역을 히스토그램 스트레칭을 적용한 영상에서 결합 있는 객체를 추출하는 과정이다.



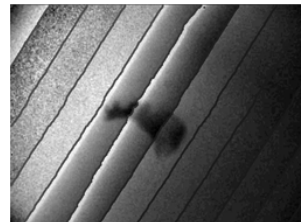
① 입력 검사 영상(Input test image)



② 감마 조절( $r$ -adjustment)



③ 영역 라벨링(Region labelling)



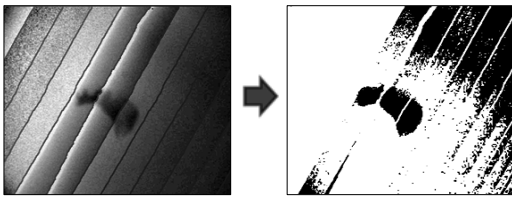
(4) 영역 간 히스토그램 스트레칭 영상(Image by histogram stretching between regions)

그림 7. 히스토그램 스트레칭 영상 보정  
Fig. 7 Corrected image by histogram stretching

## IV. 실험 및 결과 분석

실험 환경은 Intel Pentium-IV 3GHz CPU와 1GB RAM이 장착된 IBM 호환 PC에서 Microsoft Visual Studio 6.0으로 구현하였고, 실험 영상은 세라믹을 비파괴 검사하여 얻은 영상들을 이용하여 실험하였다.

그림 9와 같은 영상에서는 결합의 특징이 뚜렷하게 나타나서 결합 검출 과정에서 손실이 적어 비교적 정확하게 검출되었다.



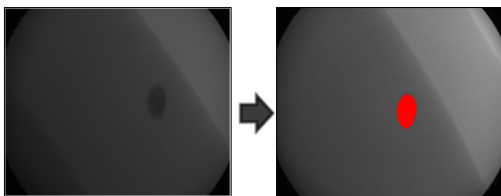
① 각 영역 히스토그램 스트레칭(Histogram stretching of each region)  
② 이진화 영상(binairized image)



④ 결함 검출(Flaw detection)  
③ 4-방향 윤곽선 추적 알고리즘 적용 영상(Image by 4-directional edge tracking algorithm)

그림 8. 4-방향 윤곽선 추적 방법을 이용한 결함 추출 과정

Fig. 8 Process of flaw detection using 4-directional edge tracking method



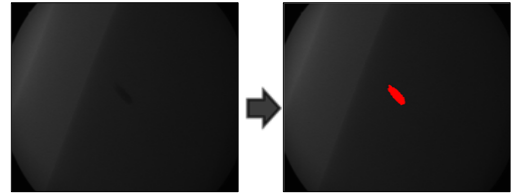
① 입력 영상(Input image)  
② 결함 검출(Flaw detection)

그림 9. 자동 결함 검출 결과 1  
Fig. 9 Result #1 of Automatic flaw detection

그림 10과 같은 영상에서는 결함의 특징이 비교적 희미하게 나타났지만 결함의 위치와 크기가 비교적 정확히 검출되었다.

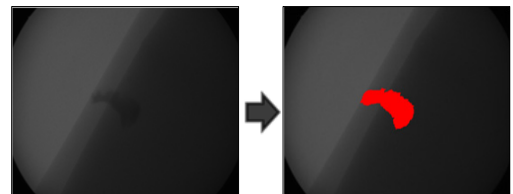
그러나 그림 11과 같은 영상은 결함의 위치가 윤곽선의 영역에 위치한 경우이다. 따라서 결함의 위치와 크기가 비교적 정확하지 않아 검출이 정확하지 않았

다. 윤곽선을 이용하여 각 영역을 분류하여 영상을 보정한 후에 윤곽선 각 영역별로 이진화하는 과정에서 결함의 정보가 손실되는 경우가 발생한 경우이다.



① 입력 영상(Input image)  
② 결함 검출(Flaw detection)

그림 10. 자동 결함 검출 결과 2  
Fig. 10 Result #2 of Automatic flaw detection



① 입력 영상(Input image)  
② 결함 검출(Flaw detection)

그림 11. 자동 결함 검출 결과 3  
Fig. 11 Result #3 of Automatic flaw detection

## V. 결론

본 논문에서는 세라믹을 비파괴 검사를 통하여 얻은 영상에서 자동으로 결함을 검출하는 방법을 제안하였다. 윤곽선을 추출하기 위해 소벨 마스크를 적용하여 에지를 추출하고, 에지의 방향성 정보를 이용하여 윤곽선을 추출하여 각 영역을 분류하였다. 분류된 영역별로 히스토그램 스트레칭을 적용하여 영상을 보정하였고, 4-방향 윤곽선 알고리즘을 적용하여 결함 객체를 추출하였다. 하지만 비파괴 검사 영상에서 결함이 윤곽선 위에 위치하는 경우에는 결함의 크기를 정확히 검출할 수 없는 경우가 발생하였다.

향후 연구 과제로는 결함이 윤곽선과 겹쳐져 있는 경우에 대해서도 정확히 검출하는 방법과 결함의 원인과 특징에 대해서 연구할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] 안영식, 박상기, 박병철, 이영호, "디지털 방사선을 이용한 용접부 비파괴검사 기술," 대한용접학회 2005년도 추계 학술발표대회 개요집, 제45권, pp. 12-14, 2005. 11.
- [2] Shull, P.J., Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques, and Applications, Marcel Dekker Inc., 2002.
- [3] 장병국, 이상호, 오희갑, "비파괴 검사에 의한 세라믹스의 결합 검출 및 신뢰성 평가," 한국세라믹학회 세라미스트 요업기술, 제10권, 제4호, pp. 358-371, 1995..
- [4] Rafael C. Gonzalez and Rafael C. Gonzalez, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993.
- [5] 임병수, 배시연, 정찬서 "초음파를 이용한 구조물 내부의 균열 및 미소 결합 검출," 한국자동차공학회 2004년 춘계학술대회 논문집, 제3권, pp. 1652-1656, 2004..

## 저자 소개



### 김광백(Kwang-Baek Kim)

1999년 부산대학교 전자계산학과  
(이학박사)

1997년~현재 : 신라대학교 컴퓨터  
정보공학부 교수

한국멀티미디어학회 이사 및 논문지 편집위원

※ 주 관심분야 : Image Processing, Fuzzy Logic,  
Neural Networks, Medical Imaging and Biomedical  
System, Support Vector Machines



### 우영운(Young-Woon Woo)

1991년 8월 연세대학교 본대학원 전  
자공학과(공학석사)

1997년 8월 연세대학교 본대학원 전  
자공학과(공학박사)

동의대학교 멀티미디어공학과 교수

※ 주 관심분야: 지능시스템, 패턴인식, 퍼지이론, 의  
료정보