ART2 기반 양자화와 명암도 변화를 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 검출

이훈석* · 노대경** · 우영운*** · 김광백*

*신라대학교 컴퓨터정보공학부, **신라대학교 컴퓨터공학과, ***동의대학교 멀티미디어공학과

Cracks Detection of Concrete Slab Surface Using ART2-based Quantization and Gary Brightness Variation

Hoon-Seok Lee* · Dae-Kyeung No** · Young Woon Woo*** · Kwang-Beak Kim*

*Division of Computer and Information Engineering, Silla University
**Dept. of Computer Engineering, Silla University
***Dept. of Multimedia Eng., Dongeui University

요 약

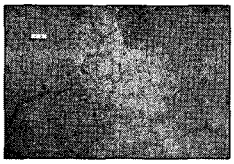
콘크리트 건물의 보수 작업은 표면에 발생하는 균열을 정확하게 계측함으로써 비용적인 측면과 안전성이 결정된다. 하지만 표면에 발생한 균열은 대부분 점검자에 의해 수작업으로 계측되기 때문에 시간적 측면에서 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 콘크리트 슬래브 표면에 발생한 균열의 밝기와 밀도 그리고 면적 특징을 이용한 균열 검출 기법을 제안한다. 제안된 균열 검출 방법은 콘크리트 슬래브 표면의 명암도와 위치 정보를 ART2 기반 양자화에 적용한 후, 균열과 인접한 배경 간의 명암도 차이를 이용하여 균열과 인접한 배경을 분리한다. 균열과 인접한 배경이 분리된 영상에서 형태학적인 정보를 이용하여 세부적인 잡음을 제거한 후에 최종적으로 균열 영역을 검출한다. 실제 콘크리트 균열 영상을 대상으로 실험한 결과, 다양한 콘크리트 균열 영상에서 기존의 방법보다 균열 검출 성능이 개선되었음을 확인하였다.

키워드(ART2, 양자화, 모폴로지, 메디안 필터)

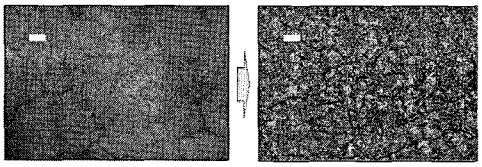
Ⅰ. 서 론

콘크리트 구조물에 발생한 균열은 구조물의 내력, 내구성, 방수성 및 미관 등에 악영향을 미치기 때문에 빠르고 정확한 계측이 필요하다. 대부분 균열이 점검자에 의해 수작업으로 계측되기 때문에 시간적 측면이 비효율적이므로 컴퓨터를 통해 객관적으로 계측할 수 있는 기법의 필요성이 더욱 확대되고 있다[1,2]. 영상 처리 기법을 이용한 균열 계측 기법은 컴퓨터가 균열을 자동으로 인식하는 검출 기법과, 검출된 균열의 특징들(폭, 길이, 방향)을 계산하는 분석 기법으로 구분할 수 있다[3]. 전자의 경우, 콘크리트 구조물에서 발생하는 균열은 형상이 랜덤 하여 수학적 모델링이 불가능할 뿐만 아니라 콘크리트 구조물은 시공을 한 후, 바로 외부 환경에 노출되기 때문에 균열만을 완벽히 검출할 수 있는 기법은 아직 소개되어 있지 않다.

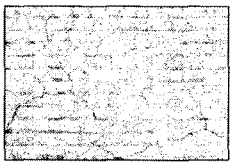
기존의 콘크리트 균열 검출 방법은 콘크리트 표면이 빛에 의해 명암도가 변하거나, 균열과 콘크리트 표면의 명암도의 차이가 거의 없는 경우에는 효과적으로 균열을 검출할 수 없는 문제점



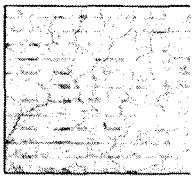
(1) 콘크리트 영상



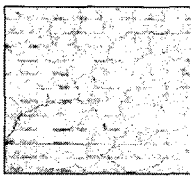
(2) 눈금자 제거 (3) 명암도 평균화



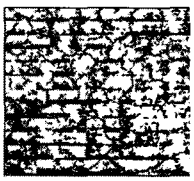
(4) ART2 기반 양자화를 이용한 잡음 제거



(5) 미디언 필터와 평균 명암도 이용한 잡음 제거

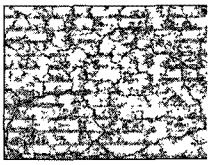


(6) 밀도와 객체 크기 기반 잡음 제거

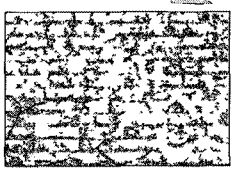


(7) 모폴로지 이용한 잡음 제거

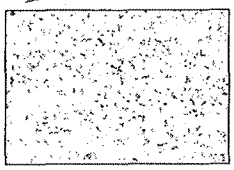
(3)에서 (7)의 명암도가 255인 영역을 제거



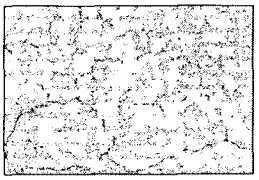
(8) 명암도 보정 영상



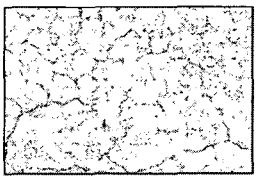
(9) 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역



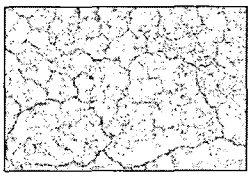
(10) 균열에 인접한 잡음이 존재하지 않는 영역



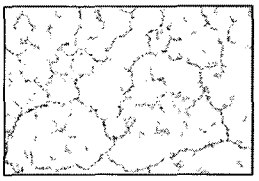
(11) ART2 기반 양자화에 의한 잡음영역 제거



(12) (4)부터 (7)를 이용한 잡음 제거



(13) (10)와 (12)를 OR 연산



(14) 최종 균열 검출

그림 1 균열 검출 과정

이 있다[4,5]. 그리고 다양한 영상에 적용 하였을 때 균열 검출이 어려운 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 균열과 인접한 배경 간의 명암도가 변하는 특징을 ART2 기반 양자화를 이용하여 효과적으로 균열을 검출한다.

II. ART2 기반 양자화와 명암도 변화를 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 검출

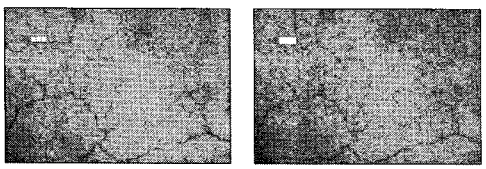
제안된 콘크리트 균열 검출 방법의 개요도는 그림 1과 같다.

2.1 눈금자 제거

콘크리트 영상에는 균열 이외에 측정을 위한 눈금자가 존재한다. 눈금자 영역의 제거 과정은 식(1)과 같이 이진화를 적용하고 눈금자의 크기 정보를 이용하여 눈금자를 제거한다.

$$h(x,y)=\begin{cases}255, \text{if}(f(x,y) > \text{임계치}) \\ 0, \quad otherwise\end{cases} \quad (1)$$

그림 2는 눈금자를 제거한 영상이다.

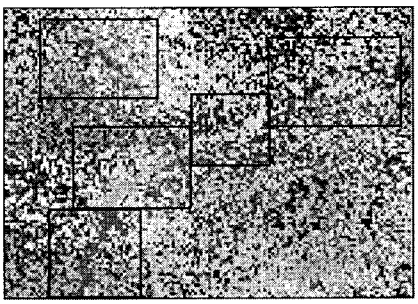


(a) 원 영상 (b) 눈금자 제거된 영상

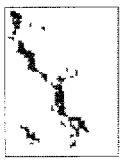
그림 2. 눈금자 제거

2.2 ART2기반 양자화

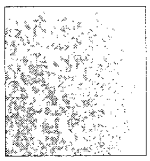
콘크리트 영상은 저 대비 영상이며 명암도 스펙트럼에서 균열 영역과 인접 잡음 영역이 유사한 범위를 형성하고 있다. 따라서 본 논문에서는 ART2 알고리즘의 입력패턴을 x좌표(x_{i1}), y좌표(x_{i2}), 명암도 값(x_{i3})으로 한 양자화를 수행하여 그림 3과 같이 밀도와 명암도 값으로 균열 영역과 잡음 영역을 구분한다.



(a) ART2를 이용한 양자화



(b) 균 열



(c) 잡 음

그림 3. ART2 기반 양자화에 의한 균열과 잡음 영역 구분

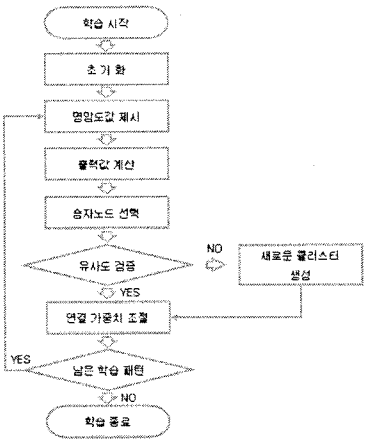


그림 4. ART2 알고리즘

본 논문에서 적용한 ART2 알고리즘은 그림 4와 같다. 출력 값은 식(2)와 같이 계산하고 연결 가중치 조정은 식(3)과 같이 계산한다.

$$O_j = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1}(x_i - w_{ji})^2} \quad (2)$$

$$w_{i*}^{t+1} = \frac{x_i + w_{j*}^{t} \times n_{j*}}{n_{j*} + 1} \quad (3)$$

식(2)와 (3)에서 x_i는 입력 패턴이고, w_{j*}^{t}는 승자 노드의 연결 가중치이다. n_{j*}는 승자 노드에 갱신된 패턴의 수이다.

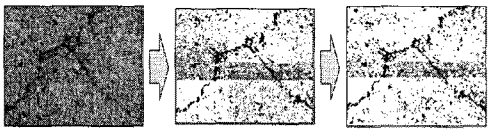
2.2.1 밀도와 명암도를 이용한 잡음제거

그림 3과 같이 균열영역은 낮은 밀도와 낮은 명암도를 가지며, 잡음영역은 높은 밀도와 높은 명암도를 가진다.

따라서 각 영역에 대하여 밀도와 평균 명암도의 정보를 이용하여 잡음을 제거한다. 밀도 측정은 식(4)와 같다.

$$f_{cr} = \frac{A_{ob}}{MAX(A_x, A_y)^2} \quad (4)$$

식(4)에서 A_x, A_y는 각각 객체를 외접하는 직사각형의 폭과 높이를 의미하고, A_{ob}는 객체의 면적을 의미한다. 그림 5는 밀도와 명암도를 이용한 잡음 제거 과정이다.



(a) 원 영상 (b) 밀도를 이용한 잡음제거 (c) 밝기를 이용한 잡음제거

그림 5. 밀도와 명암도를 이용한 잡음제거

2.3 잡음 제거

밀도와 명암도를 이용하여 잡음이 제거된 영상은 균열과 인접한 배경이 분리되지만, 균열이 끊어져 있다. 따라서 본 논문에서는 미디언 필터를 적용하여 균열을 연결시킨 후, 형태학적 정보를 이용하여 잡음을 제거한다. 잡음이 제거된 영상에서 모폴로지 기법을 이용하여 아직 연결되지 않은 균열을 연결시킨 뒤 형태학적 정보를 이용하여 잡음을 제거한다.

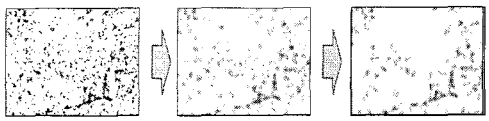
2.3.1 미디언 필터와 평균명암도 이용한 잡음제거

모폴로지 기법을 적용하여 잡음을 제거할 경우에는 균열에 인접한 잡음을 제거하지 못한다. 따라서 전처리 과정으로 다음과 같은 과정을 수행하여 균열에 인접한 잡음을 제거한다. 그림 5와 같이 잡음이 제거된 영상에서 균열을 연결시키기 위하여 미디언 필터를 적용한 후 평균 명암도 보다 높은 명암도 값을 가지는 영역을 제거한다. 균열이 연결된 영상에서 4 방향 윤곽선 추적 기법을 이용하여 객체를 추출한다. 식 (5)와 같이 추출된 객체들의 형태학적 정보인 밀도와 크기를 이용하여 잡음을 제거한다.

$$\text{if}(A_{g(avg)} > th_g \;\&\&\; A_{cr} > th_d) \quad Result = 255; \quad (5)$$

식 (5)에서 $A_{g(avg)}$는 객체의 평균 명암도이고 A_{cr}는 객체의 밀도이다.

그림 6은 미디언 필터와 평균 명암도를 이용하여 잡음을 제거하는 과정을 나타낸 것이다.



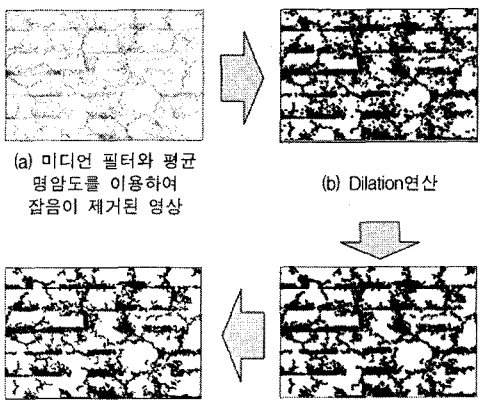
(a) 원 영상 (b) 미디언 필터와 평균 명암도를 이용한 잡음 제거 (c) 형태학적 정보를 이용하여 잡음 제거

그림 6. 미디언 필터와 평균 명암도를 이용한 잡음제거 과정

2.3.2 모폴로지 기법 이용

Dilation연산을 이용하여 균열을 연결시킨 후, 식 (5)와 같은 방법으로 형태학적 정보인 밀도와 크기를 이용하여 잡음을 제거한다. 잡음이 제거된 영상에서 Erosion을 수행한다.

그림 7은 모폴로지 기법을 이용한 잡음제거 과정이다.



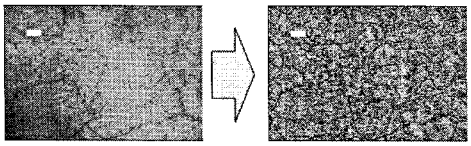
(a) 미디언 필터와 평균 명암도를 이용하여 잡음이 제거된 영상 (b) Dilation연산 (c) 밀도와 크기를 이용한 잡음 제거 (d) Erosion연산

그림 7. 모폴로지 기법을 이용한 잡음제거 과정

2.4 균열 후보 영역 추출

콘크리트 영상은 빛에 의해 명암도가 변하기 때문에 임의의 명암도 값으로 균열을 판단하기 어렵다.

따라서 지역적 히스토그램 균등화를 수행하여 명암도 값을 평균화 시킨다. 그림 8은 명암도 값이 평균화 된 영상이다.



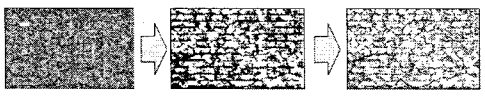
(a) 원 영상 (b) 명암도 값이 평균화 된 영상

그림 8. 명암도 값이 평균화 된 영상

그림 7과 같이 모폴로지 기법을 이용하여 잡음을 제거한 영상과 명암도 값이 평균화된 영상을 식(6)에 적용하여, 균열 후보 영역을 추출한다.

$$\begin{aligned} &\text{if}(h(x,y)==0)\ \ h(x,y)=f(x,y); \\ &\quad else\ \ h(x,y)=255; \end{aligned} \tag{6}$$

식(6)의 $h(x,y)$ 모폴로지 기법을 이용하여 잡음이 제거된 영상의 명암도이고 $f(x,y)$는 명암도 값이 평균화된 영상의 명암도이다. 그림 9는 균열의 후보 영역을 추출하는 과정이다.

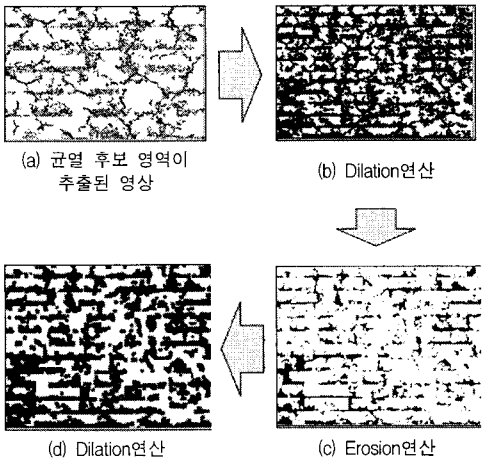


(a) 명암도 값이 평균화 된 영상 (b) 모폴로지 기법을 이용한 잡음 제거 (c) 균열 후보 영역 추출

그림 9. 균열 후보 영역 추출 과정

그림 9와 같이 균열 후보의 영역이 추출되었지만, 일부 균열 영역에서는 균열에 인접한 잡음이 존재한다. 따라서 모폴로지 기법인 Dilation연산과 Erosion연산을 반복 수행하여 균열에 인접한 잡음 영역을 추출한다.

그림 10은 모폴로지 기법을 이용하여 균열에 인접한 잡음 영역을 추출하는 과정이다.



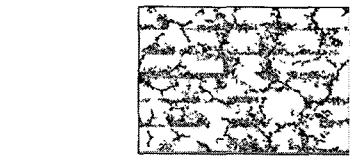
(a) 균열 후보 영역이 추출된 영상 (b) Dilation연산 (d) Dilation연산 (c) Erosion연산

그림 10. 모폴로지를 이용하여 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역 추출 과정

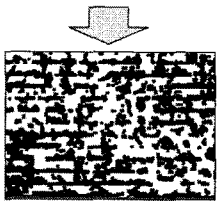
그림 10의 (a)와 같이 균열의 후보 영역이 추출된 영상과 그림 10의 (d)와 같이 모폴로지를 이용하여 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역에 대해서 식 (7)을 적용하여, 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역과 존재하지 않는 영역을 구분한다.

$$\begin{aligned} &\text{if}(h(x,y)==0)\ \ h(x,y)=f(x,y); \\ &\quad else\ \ d(x,y)=h(x,y); \end{aligned} \tag{7}$$

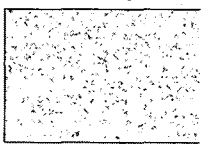
식 (7)의 $h(x,y)$는 모폴로지를 이용하여 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역을 추출한 영상의 명암도이고, $f(x,y)$는 균열의 후보 영역이 추출된 영상의 명암도이다. 그리고 $d(x,y)$는 균열에 인접한 잡음이 존재지 않는 영상의 명암도이다.



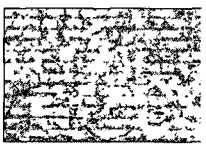
(a) 균열 후보 영역이 추출된 영상



(b) 모폴로지를 이용하여 잡음이 존재하는 영역을 추출



(c) 균열에 인접한 잡음이 존재하지 않는 영역

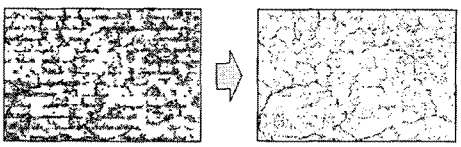


(d) 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역

그림 11. 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역과 균열에 인접한 잡음이 존재하지 않는 영역 구분 과정

그림 11의 (d)와 같이 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역은 균열과 인접한 배경 간에는 명암도 차이가 적다. 그래서 평활화를 수행하여 명암도 차이를 크게 한다. 평활화가 수행된 영상에서 그림 3, 5, 6, 7을 수행하여 잡음을 제거한다.

평활화가 수행된 영상에서 잡음을 제거한 영상은 그림 12와 같다.



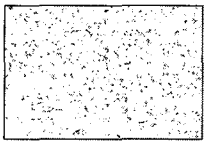
(a) 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역

(b) 평활화를 적용한 후 잡음을 제거한 영상

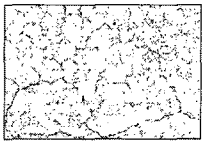
그림 12. 균열에 인접한 잡음이 존재하는 영역에서 균열 추출

그림 11의 (c)와 같이 균열에 인접한 잡음이 존재하지 않는 영역과 그림 12의 (b)와 같이 평활화를 적용한 후에 잡음을 제거한 영역에 대해 *OR* 연산을 수행하여 최종적인 균열의 후보 영역을 추출한다.

최종 균열 후보 영역에 대해서 그림 6과 그림 7의 과정을 수행하여 잡음을 제거한다. 잡음이 제거된 최종적인 균열 영상은 그림 13과 같다.

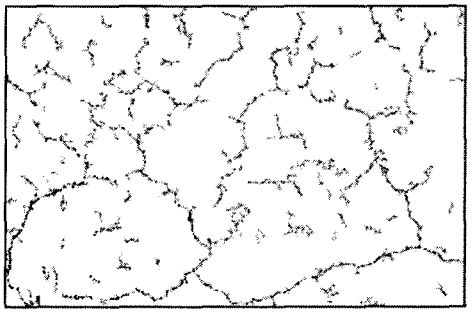


(a) 잡음이 존재하지 않는 영역



(b) 잡음이 존재하는 영역에서 균열 추출 영역

OR 연산



(c) 최종 균열 검출

그림 13. 최종 균열 검출 과정

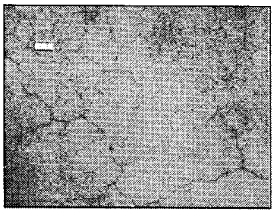
III. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 방법을 Intel Pentium-IV 3.0GHz CPU와 2GB RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0을 구현하여 실험하였다. 실험에 적용된 균열 영상은 CANON사의 350D디지털카메라를 사용하여 2496×1664 크기를 가진 영상을 획득하여 실험에 적용하였다.

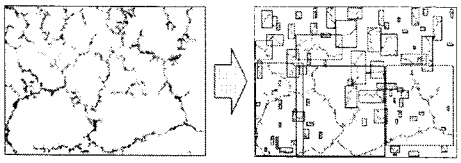
기존의 콘크리트 균열 검출 방법[4]은 콘크리트 표면이 빛에 의해 명암도가 변하거나, 콘크리트 표면의 명암도의 차이가 거의 없는 경우에는 효과적으로 균열을 검출할 수 없는 문제점이 있다. 그리고 다양한 영상에 적용 하였을 때 균열 검출이 어려운 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 균열에 인접한 배경 간의 명암도가 변하는 특징을 ART2를 기반 양자화를 적용하여 효과적으로 균열을 검출 하였다.

그림 14는 기존의 콘크리트 균열 추출 방법[4]과 제안된 콘크리트 균열 추출 방법 간의 결과를 비교한 영상이다.



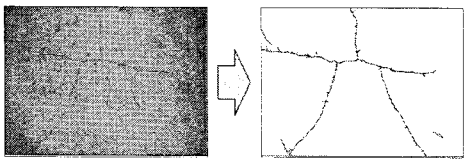
(a) 원 영상



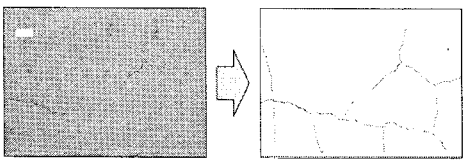
(b) 기존 균열 검출 (c) 제안된 균열 검출

그림 14. 기존의 콘크리트 검출 방법과
제안된 콘크리트 균열 검출방법의 결과비교

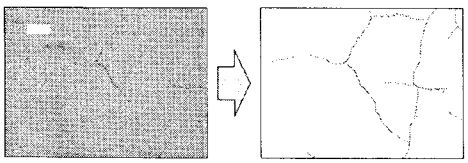
그림 15는 여러 영상에 대해 제안된 방법으로 균열을 검출 한 결과 영상이다.



(a) 원 영상 (b) 제안된 균열 검출



(c) 원 영상 (d) 제안된 균열 검출



(e) 원 영상 (f) 제안된 균열 검출

그림 15. 다양한 영상에 대한 제안된 균열 검출 결과

IV. 결 론

본 논문에서는 콘크리트 슬래브 표면 영상에서 콘크리트 균열을 검출할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 콘크리트 균열 검출 방법은 콘크리트 슬래브 표면의 명암도와 위치 정보를 ART2 기반 양자화에 적용한 후, 균열과 인접한 배경 간의 명함도 변화를 이용하여 균열과 인접한 배경을 분리하였다. 균열과 인접한 배경이 분리된 영상에서 형태학적인 정보를 이용하여 세분적인 잡음을 제거한 후에 최종적으로 균열 영역을 검출하였다.

향후 연구 과제로 콘크리트 표면에 존재하는 균열의 진행도와 진행 방향을 정확히 분석하여 균열이 발생할 위치와 균열의 형태에 따른 균열의 원인을 파악하고 미리 대처 할 수 있는 지능적인 균열 검출 및 분석 방법에 대해 연구할 것이다.

[참고문헌]

[1] 金鎭根, "콘크리트 균열의 원인," 한국콘크리트학회학 회지, 제6권4호, 1994.

[2] 시설안전기술공단, 콘크리트 구조물의 균열 평가기법 및 보수 보강 전문시방서의 개발 1999.

[3] 강준묵, 오영철, 엄대용, "수치영상처리에 의한 콘크리트 구조물의 균열 정보 획득,"대한 토목학회논문집, 22권, 5-D호, pp.1001-1010, 2002.

[4] K. B. Kim, K. B. Sim, S. H. Ahn, "Recognition of Concrete Surface Cracks using The ART1-based RBF Network," Lecture Notes in Computer Science, LNCS 3972, Springer, pp.669-675, 2006.

[5] 성원구, 김광백, "ART2 기반 양자화를 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 검출," 한국멀티미디어학회 추계학술발표논문집, 10권 2호, pp.28-32, 2007.