
콘크리트 표면 균열의 영상 처리 기법

김광백* · 조재현** · 안상호***

A Technique for Image Processing of Concrete Surface Cracks

Kwang-Baek Kim* · Jae-Hyun Cho** · Sang-Ho Ahn***

요 약

최근에 콘크리트 구조물에 발생한 균열의 영향에 대한 관심이 커져 과거와 다르게 발생한 균열을 방지하기보다 보수를 통해 그 영향을 최소화시키고자 노력하고 있다. 본 논문에서는 콘크리트 표면 균열의 효율적인 측정을 위하여 점검자의 육안조사를 통한 수작업 대신 컴퓨터가 균열의 길이, 방향, 폭등의 특징을 자동으로 처리하는 화상처리 기법을 제안한다. 정확한 균열의 특징 추출을 위하여 빛의 영향을 보정할 수 있는 모폴로지 기법인 채움(Closing)연산을 적용하여 영상의 빛의 영향을 보정하고 Sobel 마스크를 적용하여 균열 영상의 에지를 추출한 후, 반복 이진화를 적용하여 균열 영상을 이진화한다. 그리고 이진화된 영상에서 잡음을 제거하기 위해 3×3 마스크를 이용하여 인접화소의 평균을 이용한 잡음 제거와 Glassfire Labeling 알고리즘을 이용한 잡음 제거를 각각 수행하여 균열의 에지를 추출하게 된다. 그리고 본 논문에서는 추출된 균열의 에지를 이용하여 균열의 특정부분의 길이, 방향, 폭을 자동으로 측정하는 표면 균열의 자동 처리 기법을 제안한다. 실험 결과에서는 제시된 방법이 균열의 검출에 효율적임을 나타내었고 검사자의 주관이 개입될 수 있는 가능성을 제거할 수 있는 가능성을 나타내었다.

ABSTRACT

Recently, further study is being done on the affect of cracks on concrete structure and many people have made every endeavor not to leave it unsettled but to minimize it by repair works. In this paper we propose the image processing method that do not remain manual but automatically process the length, the direction and the width of cracks on concrete surface. First, we calibrate light's affect from image by using closing operation, one of morphology methods that can extract the feature of cracks and we extract the edge of crack image by sobel mask. After it, crack image is binarized by iteration binarization. And we extract the edge of cracks using noise elimination method that use an average of adjacent pixels by 3×3 mask and Glassfire Labeling algorithm. Thus, in this paper we propose an image processing method which can automatically measure the length, the direction and the width of cracks using the extracted edges of cracks. The results of experiment showed that the proposed method works better on the extraction of concrete cracks. Also our method showed the possibility that inspector's decision is unnecessary.

키워드

콘크리트 표면균열, Closing, Sobel 마스크, Glassfire Labeling

* 신라대학교 컴퓨터공학과

** 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학과

*** 신라대학교 건축공학과

I. 서론

최근에 콘크리트 구조물에 발생한 균열의 영향에 대한 관심이 커져 과거와 다르게 발생한 균열을 방지하기보다 보수를 통해 그 영향을 최소화시키고자 노력하고 있다. 콘크리트 구조물에 발생한 균열은 내구성, 사용성, 안전성과 관련된 구조물의 현재 상태를 판단하는데 가장 기본이 되는 인자 중의 하나일 뿐만 아니라 이 후 구조물의 상태를 예측할 수 있는 인자 중의 하나이다[1]. 대부분의 균열 계측은 점검자의 육안 조사를 통한 수작업으로 수행되고 있기 때문에 계측뿐만 아니라 자료의 저장에 많은 시간과 인력이 요구되고 점검자의 주관이 개입될 수 있다[2,3,4].

따라서 본 논문에서는 디지털 카메라로 획득된 표면 균열 영상에서 자동으로 균열을 검출하고 균열의 특정 부분의 길이, 방향, 폭을 자동으로 측정하는 방법을 제시한다. 콘크리트 표면의 균열 추출 시 콘크리트 표면의 밝기는 위치에 따라 다르므로 빛의 보정 없이는 균열 추출에 많은 어려움이 따른다. 본 논문에서는 효율적인 빛의 보정을 위하여 모폴로지 기법인 채움(Closing)연산을 수행하여 콘크리트 표면의 균열을 촬영할 때 발생하는 빛의 영향을 보정하고, 균열과 배경과의 밝기 차이가 많이 나타나는 특징을 이용하여 영상 내의 밝기 값의 차이가 두드러진 부분을 강조하는 Sobel 마스크를 이용하여 균열의 에지를 검출하고, 반복 이진화 기법을 적용하여 영상을 이진화 한다. Sobel 마스크는 균열 에지 검출에는 효과적인 방법이지만 잡음까지 에지로 인식할 만큼 밝기 정도에 매우 민감하다[5]. 따라서 본 논문에서는 이진화된 영상에서 효율적으로 잡음을 제거하기 위하여 2회에 걸쳐 잡음을 제거한다. 먼저 3x3 마스크를 사용하여 인접화소의 평균을 구하여 미세한 잡음을 제거 후 Glassfire Labeling 알고리즘을 이용하여 가로 및 세로의 일정한 비율을 분석하여 잡음을 제거한다. 잡음이 제거된 균열 이진화 영상에서 균열의 특징을 분석한다. 균열의 길이와 방향을 계산한 후 균열의 방향 값을 이용하여 수평방향으로 균열 영상의 기울기를 보정하고 균열 영상의 수직방향의 화소 평균값을 이용하여 균열의 폭을 계산한다.

II. 콘크리트 표면 균열의 영상 처리 기법

본 논문에서의 균열 검출 및 분석 알고리즘의 개요도는 그림 1과 같다. 먼저 균열 영상에서 빛의 영향을 제거하고 Sobel 마스크로 에지를 추출한 후 반복 이진화를 적용하여 영상을 이진화한다. 이진화된 영상에서 잡음을 제거한 후에 균열을 검출한다. 검출된 균열로부터 균열의 길이, 방향, 폭을 계산한다.

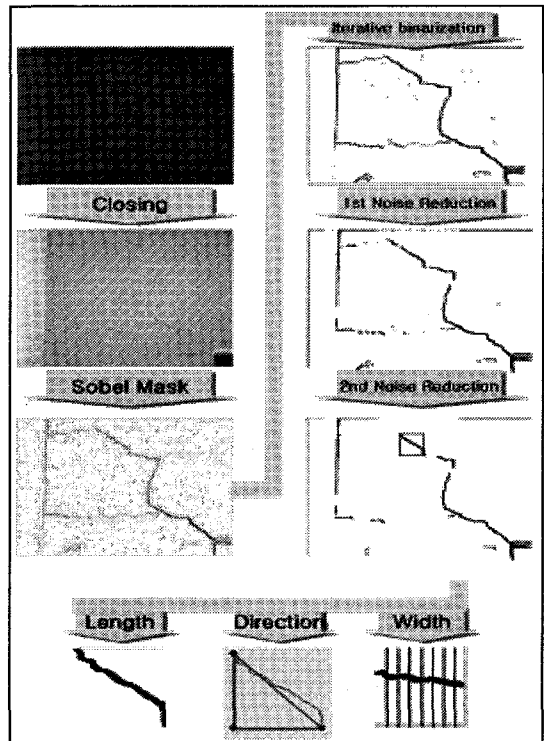


그림 1. 균열 검출 및 분석 알고리즘의 개요도
Fig. 1 Outline of crack detection and analysis algorithm

2.1 빛의 영향 보정

콘크리트 표면 촬영 시 주위에서 발생하는 환경적인 요소로 인하여 빛의 방향과 양에 따라 배경의 밝기가 달라진다. 이러한 빛의 영향 때문에 밝기 값에 민감하게 반응하는 Sobel 마스크를 적용하여 균열의 에지를 추출할 경우에는 어두운 부분에서는 에지를 추출할 수 없게 된다.

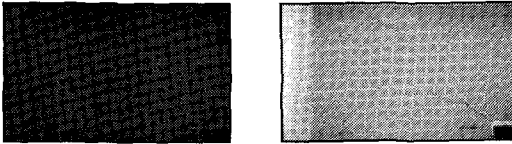
따라서 빛의 영향을 효과적으로 보정하기 위하여

모폴로지 기법 중의 하나인 채움(Closing)기법을 사용한다. 채움(Closing)기법은 침식(erosion)연산을 수행 후에 팽창(dilation)연산을 수행하는 기법이다. 그레이 영상에서의 침식연산과 팽창 연산은 다음과 같다.

$$(f \ominus g)(x) = \max \{ y: g(z-x) + y \ll f(z) \} \quad (1)$$

$$(f \oplus g)(x) = \min \{ y: -g(-(z-x)) + y \gg f(z) \} \quad (2)$$

그림 2에서 (a)는 원 영상이고 (b)는 Closing 연산을 수행한 후의 영상이다. 그림 (b)에서와 같이 채움 연산을 수행한 후의 영상이 효과적으로 밝기가 보정되어 균열 영상이 뚜렷이 나타남을 알 수 있다.



(a) 원 영상 (b) Closing 영상
그림 2. 균열의 원 영상과 Closing된 영상
Fig. 2 Original and Closing crack image

2.2 균열 검출

콘크리트 표면 균열 영상은 균열과 배경사이에 명도 차이가 나타나는 특징을 이용하여 균열의 에지를 추출한다. 에지는 영상 내에서 영역의 경계로서 화소의 밝기가 갑작스럽게 변하는 부분이다. 본 논문에서는 콘크리트 표면의 균열과 표면간의 급격한 밝기 차를 이용하여 균열 검출의 성능을 향상시키기 위해 Sobel 마스크를 이용하여 에지를 추출한다. 에지 검출은 미분 연산자에 의한 밝기 값의 변화를 이용하여 찾아내는 것이며 빠른 연산을 위해 그림 3과 같은 두개의 마스크를 이용한다. Sobel 마스크를 이용하여 에지를 추출한 결과는 그림 4와 같다.

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

Sobel-X

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

Sobel-Y

그림 3. Sobel 마스크
Fig. 3 Sobel mask

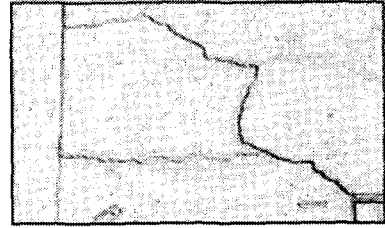


그림 4. Sobel 마스크를 이용한 균열 추출
Fig. 4 Crack extraction by Sobel mask

2.3 균열 영상의 이진화

반복 이진화 방법은 대략의 임계값을 설정한 뒤, 나누어진 두 영역의 평균값을 구하고 이 두 평균값의 평균으로 다시 임계값을 설정한다. 이와 같은 방식으로 임계값의 변동이 없을 때까지 반복하여 최종 임계값을 설정한다. 반복 이진화 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1. 임계값의 처음 추정치 T' 를 선정한다.

단계 2. 추정 임계값 T' 를 이용하여 영상을 2개의 영역 R_1 과 R_2 로 구분한다.

단계 3. 각 영역의 평균 그레이 값 u_1 과 u_2 를 구한다.

$$u_1 = \frac{\sum f(i,j)}{N_1} \quad u_2 = \frac{\sum f(i,j)}{N_2} \quad (3)$$

여기서 N_1 과 N_2 은 각 영역의 화소 개수이다.

단계 4. 새로운 임계값을 다음 식을 이용하여 결정한다.

$$T^{(t+1)} = \frac{u_1 + u_2}{2} \quad (4)$$

단계 5. u_1 과 u_2 가 더 이상 변하지 않을 때까지 단계 2에서 단계 4의 과정을 반복한다.

그림 5는 반복 이진화 알고리즘에 의해 이진화된 영상이다.

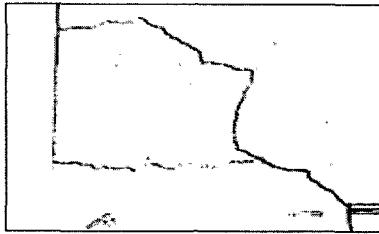


그림 5. 콘크리트 표면 균열 영상 이진화
Fig. 5 Crack image's binarization of Concrete surface

2.4 잡음 제거

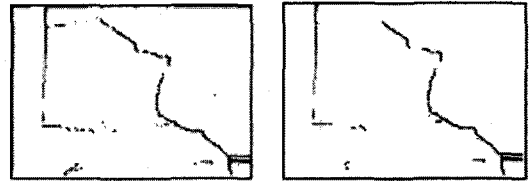
균열과 배경 이외의 잡음을 제거하기 위하여 2회에 걸쳐 잡음 제거 연산을 수행한다. 먼저 이진화된 영상에 3×3 마스크를 이용하여 왼쪽부터 오른쪽으로 위에서 아래 방향으로 진행하면서 인접화소 9개의 화소값들 중에 그림 6.에서와 같이 1을 가진 화소들이 더 많으면 중심 화소의 값을 1로 설정하고 0을 가진 화소들이 더 많으면 0으로 설정하여 미세한 잡음을 먼저 제거한다.

0	0	0
0	0	1
0	1	0

1	1	1
1	1	1
1	0	0

그림 6. 잡음제거를 위한 마스크
Fig. 6 Mask for noise elimination

1차 잡음제거에서 제거되지 않은 잡음은 Glassfire Labeling 기법을 적용하여 2차적으로 잡음을 제거한다. Labeling이란 인접하여 연결되어 있는 모든 화소에 동일한 Label를 붙이고 다른 연결 성분에는 또 다른 Label를 붙이는 방법으로서 여러 종류의 알고리즘[6]이 있으나 본 논문에서는 Glassfire Labeling 알고리즘을 적용한다. Glassfire Labeling은 자기호출을 이용하여 모든 인접화소가 Labeling될 때까지 현재 관심화소의 주변 인접화소를 차례로 검사하면서 Labeling하는 방법이다. 이렇게 Labeling된 영상에서 각각의 라벨영역의 첫 번째 화소와 마지막 화소를 이용하여 각 영역의 면적을 구한다. 본 논문에서는 실험을 통하여 면적의 기준 값을 1.7로 설정하여 가로 및 세로 비율이 1.7이하가 되면 잡음으로 간주하여 제거한다.

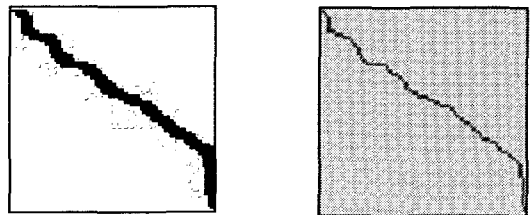


(a) 1차 잡음제거 영상 (b) 2차 잡음제거 영상
그림 7. 잡음 제거한 균열 영상
Fig. 7 Crack image after noise elimination

2.5 균열의 특징 분석

2.5.1 균열의 길이

본 논문에서는 균열의 특징을 분석하기 위해 영상 전체의 균열을 분석하지 않고 특정 부분의 균열을 검사한다. 이진화된 후 잡음이 제거된 균열 영상에서 특징을 분석하고자 하는 특정부분을 선택하여 선택되어진 균열 영상을 대상으로 균열의 길이, 방향, 폭을 차례로 분석한다. 균열의 길이는 균열 별로 시작점의 조건을 만족하는 점을 찾아 화소를 이동하면서 끝점에 해당하는 화소까지 수직, 수평 방향은 1을 대각선 방향은 $\sqrt{2}$ 를 곱한 값들을 모두 더하여 균열의 길이를 계산한다. 균열의 특정 부분의 길이를 계산하는 진행 과정은 그림 8과 같다.



(a) 균열의 특정 부분 (b) 균열 길이 계산
그림 8. 균열 특정 부분의 길이 계산
Fig. 8 Length computation of special part on cracks

2.5.2 균열의 방향

균열의 방향은 각 균열의 시작점 (x, y)과 끝점(x', y')의 좌표를 이용하여 식5와 같이 계산된다.

$$\angle(i) = \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \frac{y'(i) - y(i)}{x'(i) - x(i)} \quad (5)$$

균열의 방향을 계산하는 과정은 그림 9와 같다.

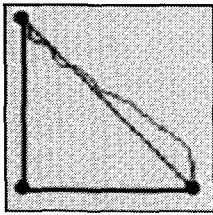


그림 9. 균열의 방향
Fig. 9 Direction of a crack

2.5.3 균열의 폭

추출한 균열의 길이와 방향을 이용하여 균열의 폭을 구한다. 구해진 균열의 방향을 영상의 기울기 값으로 사용하여 균열 영상의 기울기를 보정한다. 기울기 보정이 수행된 영상에서 영상의 정 가운데를 중심으로 설정하고 좌우로 각각 3개의 선을 수직방향으로 나타내어 총 7군데의 화소의 수를 구하여 그 평균을 균열의 폭으로 계산한다. 기울기 보정을 이용하여 균열의 폭을 구하는 과정은 그림 10과 같다.



(a) 기울기 보정된 영상 (b) 균열의 폭 계산
그림 10. 기울기 보정을 이용한 균열 폭 계산
Fig. 10 Crack width computation for slope compensation

III. 실험 및 결과 분석

실험 환경은 Intel Pentium-IV 2GHz CPU와 256MB RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0으로 구현하였다. 실험에 사용한 균열 영상은 Sony사의 Cyber-Shot 5.0 디지털 카메라를 사용하여 2장의 균열 영상을 촬영하여 실험에 사용하였다. 2장의 각각 실험 영상에서 4곳의 위치를 선정하여 균열의 길이, 방향, 폭을 계산하였다. 그림 11은 각 영상에서 균열을 추출한 후에 계산된 위치를 나타내었다.

2장의 영상에서 추출한 균열에서 8곳의 특정부분의 균열들을 선택하여 각각의 균열들에 대한 길이, 방

향, 폭을 계산한 결과는 표 1과 같다.

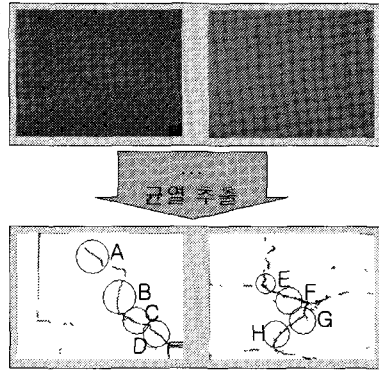


그림 11. 균열 추출 후 특정 균열 선택
Fig. 11 Special crack selection after crack extraction

표 1. 각 위치의 균열 특징 계산
Table 2. Crack feature computation of each position

	Length	Direction	Width
A 균열	109.05	45.86	3
B 균열	131.74	84.13	2.42
C 균열	131.15	21.26	3.85
D 균열	92.05	46.49	3.14
E 균열	131.22	57.94	5.71
F 균열	110.56	19.99	3.85
G 균열	115.12	49.82	3.57
H 균열	125.19	54.04	5.42

표 1에서 길이와 폭은 균열의 화소의 수를 더한 값을 의미한다. 본 논문에서 제시한 균열 추출 방법에서 균열 추출 후의 특징은 계산이 되었지만 균열 추출 과정에서 일부가 잡음으로 처리되어 정확한 균열의 특징들을 계산할 수 없었다. 이는 채움(Closing)기법을 사용하여 효과적으로 빛의 영향이 제거되어 명도가 균등하지 못한 영상을 효과적으로 보정하였지만 균열 추출을 위한 Sobel 마스크 적용과 영상의 이진화를 위한 반복이진화 기법 적용에서 일부분의 균열이 끊어진 상태로 이진화가 되어 잡음 처리 과정에서 잡음으로 간주되었기 때문이다. 이는 향후 연구에서 균열의 미세한 영역까지 효과적으로 추출할 수 있는 알고리즘을 연구할 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 콘크리트 표면의 균열을 디지털 카메라로 촬영한 영상을 컴퓨터로 읽어 들여 균열을 검출하고 그 균열의 길이, 방향, 폭을 계산하여 보다 정확한 균열의 특징을 추출하는 알고리즘 제시하였다.

균열이 일어난 콘크리트 표면을 촬영할 때 주위의 환경적인 요소에 의해 빛의 방향과 양이 변화기때문에 이러한 빛의 영향을 보정하기 위하여 모폴로지 기법인 채움(Closing) 연산을 적용하여 빛의 영향을 보정하였다. 보정된 영상에서 균열을 추출하기 위해 Sobel 마스크를 이용하여 균열의 에지를 검출하였다. 그리고 반복 이진화 방법을 적용하여 균열 영상을 이진화 하였다. Sobel 마스크를 적용하는 과정에서 잡음까지 에지로 인식할 수 있음을 고려하여 2회에 걸쳐 잡음 제거를 수행하였다. 먼저 이진화된 영상의 각 화소 주위의 3x3 크기의 마스크를 사용하여 주위화소의 평균값을 이용하여 미세한 잡음을 제거 하였으며, Glassfire labeling 기법을 사용하여 가로와 세로 비율이 1.7이하인 영상을 잡음으로 간주하여 효과적으로 잡음을 처리하였다.

본 논문에서 제시한 균열 특징 계산은 균열추출과정에서 균열의 일부분이 잡음으로 처리되어 결과 영상에서 제거 되었지만 특정 부분의 균열영상에서 균열의 특징이 모두 계산되었음을 알 수 있었다.

향후 연구 과제에서는 균열의 미세한 영역까지 효과적으로 추출할 수 있는 알고리즘에 대해 연구할 것이고 실제 조사자의 수작업을 통한 결과와 비교 분석할 것이다.

참고문헌

[1] 시설안전기술공단, 콘크리트 구조물의 균열평가 기법 및 보수 보강 전문시방서의 개발, 1999.
 [2] 강준목, 오영철, 엄대용, "수치영상처리에 의한 콘크리트 구조물의 균열 정보 획득," 대한토목학회논문집, 22권, 5-D호, pp.1001-1010, 2002.
 [3] 이방연, 박연동, 김진근, "콘크리트 표면 균열 패턴 인식 기법 개발," 한국콘크리트학회 논문집, 17권, 3호, pp.369-374, 2005.

[4] Schutter, G.D., "Advanced Monitoring of Cracked Structures Using Video Microscope and Automated Image Analysis," NDT & International : Independent Nondestructive Testing and Evaluation, Vol.35, No.4, pp.209-212, 2002.
 [5] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins, Digital Image Processing, Pearson Prentice Hall, 2004.
 [6] S. Marchand-Maillet, Y. M. Sharaiha, Academic Press, 2000.

저자소개

김광백(Kwang-Baek Kim)



1993년 부산대학교 전자계산학과 (이학석사)
 1999년 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)
 1996년~1997년 동의공업대학 사무 자동화과 전임강사
 1997년~현재 신라대학교 컴퓨터공학과 부교수
 2005년~현재 한국지능정보시스템학회 이사 및 운영 위원
 2005년~현재 한국해양정보통신학회 인공지능 및 지능정보시스템 분과위원장, 논문지 편집위원
 ※ 관심분야 : Neural Networks, Image Processing, Fuzzy Logic, Biological Signal Processing and Biomedical System, Support Vector Machines

조재현(Jae-Hyun Cho)



1989년 숭실대학교 전자계산학과 (공학석사)
 1998년 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)
 2001년~현재 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 부교수
 2005년~현재 한국해양정보통신학회 논문지 편집위원
 ※ 관심분야 : Neural Networks, Artificial Vision System, Image Processing



안상호(Sang-Ho Ahn)

- 1983년 부산대학교 건축공학과
(공학사)
- 1985년 부산대학교 건축공학과
(공학석사)
- 1997년 부산대학교 건축공학과
(공학박사)

1997년~현재신라대학교 건축학부 부교수

※ 관심분야 : Image Analysis, Image Processing, Structural Analysis, Reinforced Concrete