

영상 처리 기법을 이용한 콘크리트 표면 균열의 폭 및 길이 추출

허주용^{*} · 김경란^{*} · 임은경^{**} · 안상호^{***} · 김광백^{****}

^{*}신라대학교 컴퓨터정보공학부

^{**}부산대학교 컴퓨터공학과

^{***}신라대학교 건축학부

^{****}신라대학교 컴퓨터공학과

A Length and Width Extraction of Concrete Surface Cracks using Image Processing Technique

Joo-Yong Her^{*} · Kyung-Ran Kim^{*} · Eun-Kyung Lim^{**} · Sang-Ho Ahn^{***} · Kwang-Baek Kim^{****}

^{*}Division of Computer and Information Engineering, Silla University

^{**}Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

^{***}Division of Architecture, Silla University

^{****}Dept. of Computer Engineering, Silla University

요 약

본 논문은 콘크리트 표면 균열 영상에서 균열의 특징을 추출하기 위해, 영상 처리 기법을 적용하여 균열의 특징(길이, 폭, 방향)을 자동으로 추출 및 처리 할 수 있는 기법을 제안한다. 본 논문에서 적용된 영상 처리 기법으로는 균열 영상의 빛을 보정하기 위하여 모폴로지 기법인 채움(Closing)기법을 적용한다. 균열의 경계를 명확히 추출하기 위하여 고주파 강화 필터링을 적용한 후, 8가지 색상(검정, 빨강, 파랑, 초록, 노랑, 자주, 주황, 하늘)으로 명암 값을 분류하고 그 중 빈도수가 가장 높은 색상을 가진 명암 값을 제거한 후에 추출한 영상을 이진화한다. 이진화된 영상에서 콘크리트 표면 균열의 실거리 측정을 위한 임의의 선을 제거하기 위하여 위치 히스토그램을 적용하여 임의의 선을 제거한다. 임의의 선이 제거된 균열 영상에서 5x5 마스크를 적용하여 균열을 확대시키고, 3차레에 걸쳐 잡음을 제거 연산을 수행하여 균열의 후보 영역을 선택한 후, 후보 영역으로부터 특정 균열들을 추출한다. 추출된 특정 균열을 모폴로지 기법인 제거(Opening) 연산을 수행하여 균열의 특징이 일정하게 유지되게 하고 미세하게 끊어진 부분을 보정하여 균열의 특징(길이, 방향, 폭)을 측정한다. 실제 콘크리트 표면 균열 영상을 대상으로 실험한 결과, 특정 균열이 효율적으로 추출되었고, 특정 균열의 길이, 방향, 폭의 등이 정확히 추출 및 계산되었다.

키워드

Class Labeling, 히스토그램, 균열, 고주파 강화 필터

1. 서 론

콘크리트 구조물에 발생한 균열은 내구성, 사용성, 안전성과 관련된 구조물의 건전도를 판단하는데 가장 기본이 되는 인자이다. 대부분의 균열계측은 점검자의 육안 조사를 통한 수작업으로 수행되고 있기 때문에 계측뿐만 아니라 자료의 저장에 많은 시간과 인력이 요구되고 점검자의 주관에 개입될 수 있다[1,2].

따라서 본 논문에서는 콘크리트 구조물에 발생한 균열영상을 자동으로 검출하고 균열의 특징(길이, 폭, 방향)을 측정하는 기법을 제안한다. 제안된 방법은 빛의 영향을 보정하기 위해 모폴로지 기법인 채움(Closing) 연산을 적용하여 빛의 영향을 효율적으로 보정하고, 고주파 강화 필터링을 적용하여 균열의 경계를 뚜렷하게 한 균열 영상에서 8가지(검정, 파랑, 빨강, 초록, 노란,

자주, 주황 하늘)색상으로 명암 값을 분류하여 가장 빈도수가 높은 색상을 가진 명암 값을 제거한 후 이진화 한다. 이진화된 영상에서 균열의 길이와 폭을 계산하기 위한 잡음과 같은 임의의 선을 제거하기 위하여 가로와 세로 방향으로 화소수를 계산하여 위치 히스토그램을 생성한 후에 히스토그램의 평균값을 계산한다. 평균값보다 높은 구간의 위치 값을 균열영상에 적용하여 임의의 선을 제거하고 5x5 마스크를 적용하여 균열을 확대 시킨다. 확대 시킨 균열 영상에서 3회에 걸쳐 잡음을 제거하고 균열을 추출하기 위한 후보영역을 선택한다. 선택한 후보영역으로부터 균열을 추출하여 제거(Opening)연산을 수행하여 끊어진 균열을 연결한다. 연결된 균열의 방향 값을 계산하여 균열의 기울기를 보정하고 균열의 길이와 폭을 계산한다.

II. 콘크리트 표면 균열의 영상처리 기법

본 논문에서 제시한 균열 검출 및 분석 알고리즘은 그림 1과 같다. 먼저 원 영상에서 빛의 영향을 보정하고 고주파 강화 필터를 적용한 영상에서 8가지 색상으로 명암 값을 분류하여 빈도수가 가장 높은 색상의 명암 값을 제거한 후 이진화 한다. 위치 히스토그램을 적용하여 가로와 세로로 나타나는 잡음과 같은 임의의 선을 제거하고, 5x5 마스크를 적용하여 균열을 확대시킨다. 그리고 3회에 걸쳐 잡음을 제거한 후에 균열을 추출하기 위한 후보영역을 선택한다. 후보영역으로부터 균열을 추출하고 제거(Opening) 연산을 수행하여 균열의 길이, 폭, 방향을 계산한다.

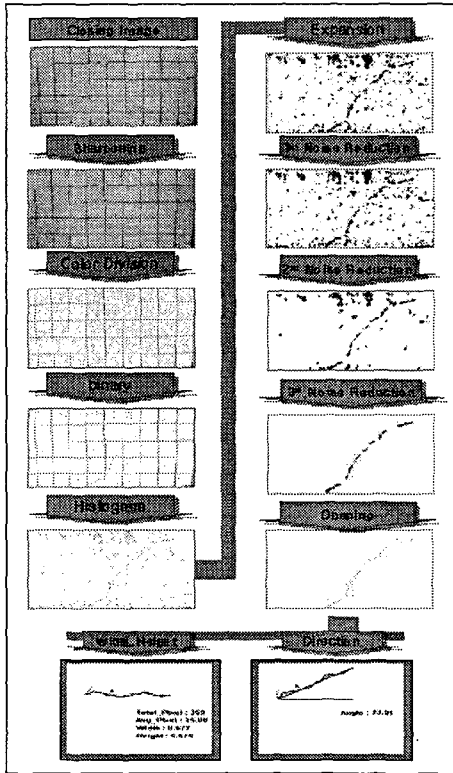


그림 1. 균열 검출 및 분석 알고리즘의 개요도

2.1 빛의 영향 보정

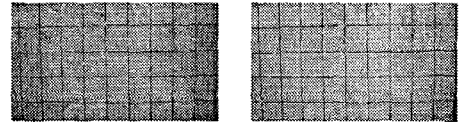
디지털 카메라에서 획득한 영상은 환경적인 요소에 의해 빛의 방향과 양에 따라 배경의 밝기가 달라진다. 이러한 빛의 영향 때문에 균열 영상의 어두운 부분에서는 균열을 추출할 수 없게 된다. 따라서 빛의 영향을 효율적으로 보정하기 위해 침식(Erosion) 연산을 수행한 후 팽창(Dilation) 연산을 수행하는 채움(Closing) 기법을

적용한다. 그레이 영상에서의 침식 연산과 팽창 연산은 다음과 같다[3].

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

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

그림 2의 (a)는 원 영상이고, (b)는 채움(Closing) 기법을 수행한 후의 영상이다. 그림 (b)와 같이 채움 연산을 수행한 후의 영상의 밝기가 효과적으로 보정되었음을 알 수 있다.



(a) 원 영상 (b) Closing 영상

그림 2. 균열의 원 영상과 Closing된 영상

2.2 고주파 강화 필터링

고주파 강화 필터는 저주파 성분은 차단하고 고주파 성분을 부각시키는 필터링으로 흐릿한 영상이나 블러링된 영상을 부각시키는데 주로 사용된다[4]. 본 논문에서는 균열 영상의 균열 경계를 선명하게 하기 위해 고주파 강화 필터링을 적용한다. 그림 3과 같이 고주파 강화 필터 마스크를 이용하여 균열 영상을 예리화(Sharpening)한다. 고주파 강화 필터 마스크를 이용하여 샤프닝된 영상은 그림 4와 같다.

| | | |
|----|----|----|
| 0 | -1 | 0 |
| -1 | 5 | -1 |
| 0 | -1 | 0 |

그림 3. 고주파 강화 필터 마스크

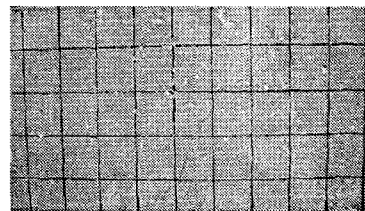
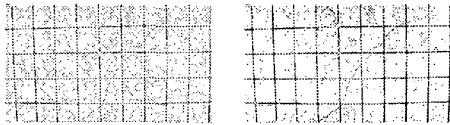


그림 4. 고주파 필터 마스크를 이용한 결과 영상

2.3 명도 값에 의한 색상 분류

균열 영상에서 균열을 제외한 배경을 효율적으로 제거하기 위하여 샤프닝된 균열 영상을

30×30 블록으로 설정하여 블록마다 평균값을 계산한 후, 각 블록의 평균 값 보다 작은 화소 값들을 8가지 색상(검정, 빨강, 파랑, 초록, 노랑, 주황, 자주, 하늘)으로 분류한다. 그리고 가장 높은 빈도수가 나타나는 화소는 제거한 후, 제거되지 않은 화소들은 검은색으로 설정 한다. 그림 5의 (a)는 명암 값을 8가지 색상으로 분류한 영상이고 (b)는 8가지 색상으로 분류하여 가장 빈도수가 높은 색상을 제거한 후 이진화한 영상이다.



(a) Color 영상 (b) 이진화 영상
그림 5. 명암 값을 8가지 색상으로 분류한 영상과 잡음 제거 영상

2.4 위치 히스토그램

균열 영상에서 균열의 실제 길이와 폭을 추출하기 위한 5cm 간격으로 그은 임의의 선은 균열 추출을 어렵게 만들기 때문에 임의의 선을 제거하여야 하고, 임의의 선의 위치 정보만을 남겨두어 균열의 특징을 추출하는데 적용한다. 위치 히스토그램을 적용하여 균열 영상에서 잡음과 같은 임의의 선은 제거한다. 위치 히스토그램은 이진화한 영상에서 가로와 세로의 방향으로 흑화소의 빈도수를 조사하여 그래프로 나타낸다. 위치 히스토그램의 평균값을 이용하여 평균값보다 높은 구간의 위치 값은 임의의 선으로 간주하여 균열 영상에서 제거한다. 그림 6의 (a)는 가로 위치 히스토그램이고 (b)는 세로 위치 히스토그램이다. 위치 히스토그램을 적용하여 임의의 선을 제거한 영상은 그림 7과 같다.



(a)가로위치히스토그램 (b)세로위치히스토그램
그림 6. 가로 및 세로 위치히스토그램

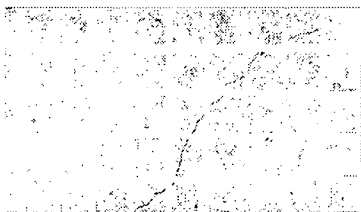
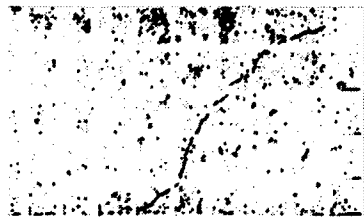


그림 7. 위치 히스토그램을 적용하여 임의의 선을 제거한 영상

2.5 균열의 후보영역 추출

균열 영상에서 균열 이외에 해당하는 배경을 제거하여 이진화하는 과정에서 균열에 미세한 틈이 발생하여 균열이 끊어진다. 균열 영상에서 화소 값이 255인 화소를 대상으로 5×5 마스크를 적용하여 25개의 화소들 중에 흑화소가 1/3이상이면 중심 화소를 0으로 설정하여 균열의 끊어진 부분을 복구하여 균열을 확대하고 후보영역으로 지정한다. 5×5 마스크를 적용하여 균열을 확대시킨 영상은 그림 8과 같다.



8. 균열을 확대한 영상

2.6 잡음 제거

균열과 배경 이외의 잡음을 제거하기 위하여 3회에 걸쳐 잡음 제거 연산을 수행한다. 먼저 균열 영상의 미세한 잡음을 제거하기 위하여 왼쪽에서 오른쪽으로 위에서 아랫방향으로 진행하면서 흑화소를 대상으로 하여 주변의 모든 인접 화소의 값이 255이면 잡음으로 간주하여 제거 한다. 1차적으로 잡음을 제거한 영상은 그림 9와 같다.

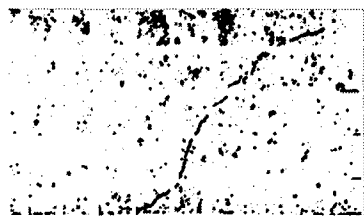


그림 9. 1차적 잡음 제거 영상

2차적으로 Glass Labeling기법을 적용하여 잡음을 제거한다. Glass Labeling기법은 현재 관심 화소의 주변 인접화소를 차례로 검사하면서 Labeling하는 방법이다[5][6]. 이렇게 Labeling된 영상에서 각각의 라벨영역의 첫 번째 화소와 마지막 화소를 이용하여 각 영역의 가로와 세로의 길이를 구한다. 본 논문에서는 실험을 통하여 가로와 세로의 길이의 기준 값을 15로 설정하여 가로와 세로가 15이하이면 잡음으로 간주하여 제거한다. 그림 10은 Labeling 기법을 적용하여 가로와 세로의 길이의 기준 값을 이용하여 잡음을 제거한 영상이다.

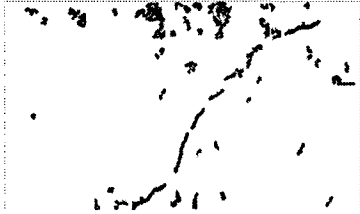
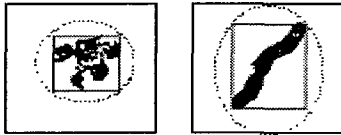


그림 10. 2차적 잡음 제거 영상

3차적으로 각 라벨영역을 이용해 균열의 특성을 갖지 않는 영역은 제거한다. 본 논문에서는 실험을 통하여 각 라벨 영역의 가로 및 세로의 비율이 2배 이상이고 흑화소의 비율이 65% 이하이면 균열로 간주하고, 그렇지 않으면 잡음으로 간주하여 제거한다. 그림 11의 (a)와 비슷한 형태일 경우에는 잡음으로 간주하고, (b)와 비슷한 형태일 경우에는 균열로 간주한다. 그림 12의 (a)는 각 라벨영역을 지정한 영상이고, (b)는 지정된 라벨영역을 분석하여 잡음을 제거한 영상이다.



(a) 잡음 (b) 균열
그림 11. 잡음영역과 균열영역



(a)영역 지정 영상 (b)잡음 제거 영상
그림 12. 3차적 잡음 제거 영상

2.7 후보 영역의 균열 추출

잡음이 제거된 특정 균열들은 전 처리 과정에서 끊어진 균열을 보정하기 위한 연산에 의하여 균열이 확대되어 균열의 특징을 정확히 계산할 수가 없다. 그러므로 3회에 걸쳐 잡음 제거를 수행하여 균열의 후보 영역으로 설정하고 위치히스토그램을 이용하여 잡음과 같은 임의의 선을 제거한 영상에서 후보영역으로부터 균열을 추출한다. 후보 영역에서 균열을 추출한 결과는 그림 13과 같다.

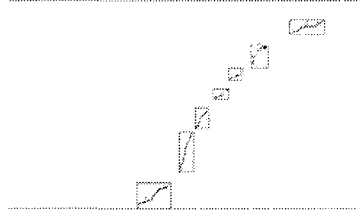


그림 13. 후보 영역에 대한 균열 추출 영상

2.8 균열의 특징 보정

후보 영역에서 추출한 특정 균열들은 빈도수의 색상 정보를 이용하여 잡음을 제거하는 전처리 과정에서 균열들이 미세하게 끊어진다. 따라서 본 논문에서는 미세하게 끊어진 특정 균열을 연결시키기 위하여 모폴로지 기법의 제거(Opening) 연산을 수행한다. 제거(Opening)연산은 균열 안의 홀과 같은 빈 공간을 메우는 역할을 하거나 서로 짧은 거리만큼 끊어진 균열 영역을 연결시키는 팽창(Dilation)연산을 수행한 후, 끊어진 균열들을 연결하고 균열의 크기를 축소하는 역할을 하는 침식(Erosion)연산[7]을 수행하여 균열의 길이와 폭의 변화 없이 끊어진 균열들을 연결한다. 이진화 영상에서 팽창 연산과 침식연산의 식은 다음과 같다.

$$A \oplus B = [A^c \ominus (-B)]^c \quad (3)$$

$$A \otimes B = \{X: B + X < A\} \quad (4)$$

그림 14는 제거(Opening)연산을 적용하여 미세하게 끊어진 균열들을 연결시킨 결과 영상이다.

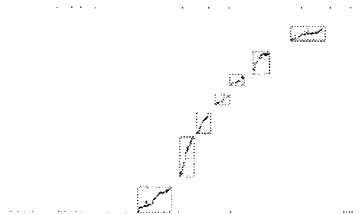


그림 14. 제거 연산을 수행한 결과영상

III. 균열의 특징 분석

3.1 균열의 길이

본 논문에서는 균열의 특징을 분석하기 위해 영상 전체의 균열을 분석하지 않고 특정 부분의 균열을 분석한다. 균열 영상에서 영상처리 기법을 적용하여 추출한 균열의 특징을 분석하기 위해, 균열의 특정부분을 선택하고 선택되어진 균열 영상을 대상으로 균열의 길이, 방향, 폭을 순차적으로 분석한다. 균열의 길이는 균열 별로 시

작점의 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.

3.2 균열의 방향

균열의 방향은 각 균열의 시작점 (x, y) 과 끝점 (x', y') 의 좌표를 이용하여 식(5)과 같이 계산된다.

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

균열의 방향을 계산하는 과정은 그림 15와 같다.

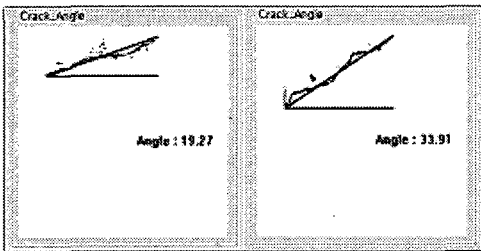


그림 15. 균열의 방향

3.3 균열의 폭

추출한 균열의 길이와 방향을 이용하여 균열의 폭을 구한다. 구해진 균열의 방향을 특정 균열 영상의 기울기로 값으로 적용하여 균열 영상의 기울기를 보정한다. 기울기 보정 수식은 다음과 같다.

$$x_2 = \cos(\theta) \times (x_1 - x_0) - \sin(\theta) \times (y_1 - y_0) + x_0 \quad (6)$$

$$y_2 = \sin(\theta) \times (x_1 - x_0) + \cos(\theta) \times (y_1 - y_0) + y_0 \quad (7)$$

기울기 보정이 수행된 영상에서 수직방향으로 모든 화소수를 구하여 그 평균을 균열의 폭으로 계산한다. 기울기 보정을 이용하여 균열의 길이와 폭을 구하는 과정은 그림 16과 같다.

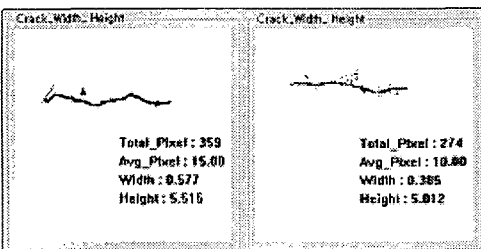


그림16. 특정 균열의 길이 및 폭 계산

IV. 실험 및 향후 과제

실험환경은 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 실험영상에서 특정 균열이 발견된 곳의 위치를 선정하여 균열의 길이, 방향, 폭을 계산하였다. 그림 17은 각 영상에서 특정 균열을 추출한 후, 균열의 특징이 계산되는 위치를 나타내었다. 2장의 영상에서 추출한 특정 부분의 균열의 12곳을 선택하여 각각의 균열들에 대한 길이, 방향, 폭을 계산한 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 길이와 폭은 균열의 화소의 수와 하나의 화소에 대한 실제 거리를 곱한 값을 의미한다. 본 논문에서 제시한 균열 추출 방법에서는 특정 균열의 특징은 정확히 계산이 되었다. 그러나 균열 영상의 잡음을 제거하는 과정에서 일부 균열도 잡음으로 간주되어 정확한 균열의 전체적인 길이는 계산할 수 없었다.

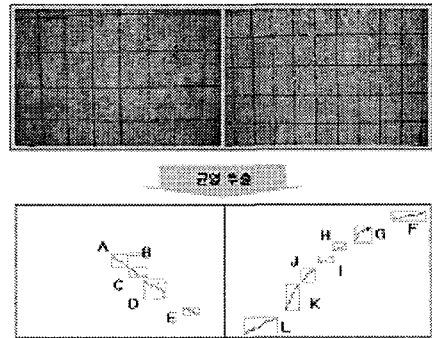


그림 17. 균열 추출 후 특정 균열 선택

표 1. 각 위치의 균열 특징 계산

| | Length | Width | Direction |
|-----|--------|-------|-----------|
| A균열 | 2.254 | 0.346 | 53.33 |
| B균열 | 2.200 | 0.192 | 36.47 |
| C균열 | 3.537 | 0.377 | 42.24 |
| D균열 | 5.612 | 0.454 | 48.33 |
| E균열 | 3.753 | 0.231 | 24.20 |
| F균열 | 5.012 | 0.385 | 19.27 |
| G균열 | 3.551 | 0.269 | 50.27 |
| H균열 | 2.285 | 0.269 | 36.10 |
| I균열 | 2.381 | 0.308 | 31.12 |
| J균열 | 3.070 | 0.423 | 52.13 |
| K균열 | 5.086 | 0.538 | 67.31 |
| L균열 | 5.515 | 0.577 | 33.91 |

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 카메라로 촬영한 콘크리트 표면의 균열영상을 획득하여 균열을 자동으로 검출하고 균열의 특징(길이, 방향, 폭)을 효율적으로 계산하는 방법을 제시하였다.

콘크리트 표면의 균열을 촬영할 때 빛의 양과 방향에 따라 균열 영상의 밝기가 달라지기 때문에 빛의 영향을 보정하기 위하여 채움(Closing) 연산을 적용하였고 고주파 강화 필터링을 적용하여 균열의 경계를 선명하게 하였다. 균열 영상에서 블록을 설정하여 각 블록 내의 평균값을 계산하여, 평균값보다 작은 화소들을 8가지 색상으로 분류하여 그 중 빈도수가 가장 높은 화소들은 제거하여 이진화 하였다. 이진화된 균열 영상에서 위치 히스토그램을 적용하여 균열의 실거리 측정을 위해 잡음과 같은 임의의 선은 제거하였고, 균열을 확대하여 끊어진 부분을 연결하였다. 3회에 걸쳐 잡음 제거 연산을 수행한 후에 균열의 후보 영역을 선택하고 후보영역으로부터 특정 균열을 추출하였다. 추출된 특정 균열을 제거(Opening) 연산을 수행하여 균열의 특징이 일정하게 유지되도록 하고 미세하게 끊긴 균열을 보정하여 균열의 특징을 계산하였다.

본 논문에서 제안한 균열 특징 계산 방법은 특정 부분의 균열 영상에서는 균열의 특징이 모두 계산되었다. 그러나 균열 영상의 잡음을 제거하는 과정에서 일부 균열도 잡음으로 간주되어 정확한 균열의 전체적인 길이는 계산 할 수 없었다. 이는 향후 연구에서 잡음과 같은 임의의 선에 포함된 균열도 추출 할 수 있는 알고리즘을 연구 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당, 1992.
- [2] 이방연, 박연동, 김진근, " 콘크리트 표면 균열 패턴 인식 기법 개발," 한국콘크리트학회 논문집, 17권, 3호, pp.369-374, 2005.
- [3] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, Image Processing, analysis and Machine Vision, Chapman & Hall Computing, 1993.
- [4] David A. Forsyth, J. Ponce, Computer Vision A Modern Appriach, Prentice Hall, 2003.
- [5] S. Marchand-Maillet, Y. M. Sharaiha, Academic Press, 2000.
- [6] 허주용, 김경관, 김광백, 안상호, 조재현, "콘크리트 표면 균열의 영상 처리 기법," 한국해양정보통신학회 인공지능 및 지능정보시스템학술대회논문집, pp.93-97, 2005.

- [7] Rafael C. gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall,2003.