

개선된 영상 처리기법을 이용한 콘크리트 표면 균열 추출 및 분석

이재언, 김광백

Division of Computer and Information Engineering, Silla University

신라대학교 컴퓨터정보공학부

Abstract

본 논문에서는 콘크리트 표면 균열 영상에서 균열의 특징들을 추출하기 위하여, 영상 처리 기법을 개선하여 균열의 특징(길이, 폭, 방향)들을 자동으로 추출 및 분석 할 수 있는 기법을 제안한다. 기존의 영상 처리 기법에서는 비교적 잡음이 적고 균열이 적은 영상을 대상으로 균열을 추출하는 알고리즘을 제시하였기 때문에 많은 잡음과 균열을 가지는 영상에 대해서는 균열 검출 성능이 떨어지는 경향이 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 균열 추출 및 분석 알고리즘은 컬러 영상에서 Histogram Stretching 기법을 적용하여 영상의 콘트라스트 특성을 향상시킨 후, Robert 연산자를 다시 적용해 균열을 강조하고, 강조된 균열을 Multiple 연산을 이용하여 밝기 차이를 크게 한 후, 개선된 적응 이진화기법을 이용하여 균열의 후보 영역을 추출한다. 추출된 균열 후보 영역을 형상분석과 위치 및 방향 분석을 이용하여 잡음을 제거하고 균열의 특징을 분석한다. 실제 콘크리트 표면 균열 영상을 대상으로 실험한 결과, 균열 검출 성능이 기존의 방법보다 본 논문에서 제안한 방법이 더 우수함을 확인하였다.

Keywords:

콘크리트 표면 균열 영상, 균열의 특징, Histogram Stretching, Robert 연산자, 개선된 적응 이진화 기법

1. 서론

콘크리트는 성질이 다른 여러 재료로 이루어진 복합체이며 재료의 성질, 시공방법, 환경 및 외력, 설계등에 의하여 균열이 발생하게 된다. 콘크리트 구조물에 균열이 발생하면, 구조적 결함, 내구성 저하, 외관손상 및 철근 부식 및 방수성능 저하 등으로 치명적인 손실을 초래할 수 있다[1]. 이러한 균열은 구조물의 현재 상태를 파악 하는데 가장 기본이 되는 인자 중의 하나일뿐만 아니라 이후 구조물의 상태를 예측할 수 있는 인자 중의

하나이다[2,3]. 균열에 대한 분석은 전문가의 육안 조사를 통해 이루어 지는데 이런 과정에서 전문가 개인의 주관적인 입장이 포함될 수 있다. 그렇기 때문에 컴퓨터를 이용하여 객관적으로 분석할 수 있는 기법을 필요로 한다[4,5].

영상 처리 기법을 이용한 균열 검출 기법은 컴퓨터가 균열을 자동으로 인식하는 검출 기법과, 검출된 균열의 특징들(폭, 길이, 방향)을 계산하는 분석 기법으로 구분할 수 있다. 전자의 경우, 콘크리트 구조물에서 발생하는 균열은 형상이 랜덤하여 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 균열 추출 방법은 획득된 영상의 균열이 비교적 적은 영상에 대해 처리하였기 때문에 복잡한 균열을 가지는 영상에 대해서는 균열 검출 성능이 떨어지는 문제가 발생한다.

따라서 본 논문에서는 기존의 균열 추출 방법에서 발생하는 문제점을 보완하여 균열이 끊어져 추출되는 경우를 방지하고, 콘크리트 표면에 거친 잡음이 많이 내포된 영상에 대해서도 효율적으로 균열을 추출하여 균열의 길이, 방향, 폭을 측정하여 표면 균열을 자동으로 처리 및 분석하는 기법을 제안한다.

2. 제안된 균열 검출 방법

2.1 Histogram Stretching을 이용한 콘트라스트 향상

본 논문에서는 영상 획득시 발생하는 빛에 의한 영상의 손실 즉, 어둡거나 밝은 정도를 보정하기 위해 Histogram Stretching 기법을 적용한다. HIS 컬러 모델은 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Intensity) 등으로 이루어져 있다. 여기서 영상의 명도를

이용하여 영상 안의 픽셀을 재분배하여 콘트라스트 특성을 향상시킨다. 명도는 흔히 빛의 세기라고 하며 이로 인해 색의 밝고 어두움을 느끼게한다. 따라서 식 (1)을 적용하여 영상의 콘트라스트를 향상시킨다.

$$X' = \begin{cases} 0 & \text{for } X \leq low \\ \frac{X - low}{high - low} * 255 & \text{for } low < X < high \\ 255 & \text{for } high \leq X \end{cases} \quad (1)$$

식 1에서 X는 기존의 명암값이고 low와 high는 각각 최소 픽셀과 최대 픽셀을 의미한다.

2.2 Robert 연산자를 이용한 영상 및 균열 강조

콘크리트 균열의 검출 성능을 개선하기 위해 미분 연산자를 이용하여 영상 및 균열을 강조한다. 미분 연산자는 1차 미분 연산자와 2차 미분 연산자로 분류된다. 1차 미분 연산자는 일반적으로 영상의 분명한 윤곽선 만을 추출한다. 반면에 2차 미분 연산자는 얇은 선이나, 고립 점과 같은 미세한 세부 사항에 더 강한 응답을 가진다. 일반적으로 윤곽선 추출을 위해서는 1차 미분 연산자를 이용하고, 전반적인 영상 향상을 위해서는 2차 미분 연산자를 이용한다[6]. 본 논문에서는 1차 미분 연산자 중에 하나인 Robert 연산자를 이용한다. Robert 연산자는 계산 속도가 빠르며, 매우 분명한 윤곽선만 검출하는 특징이 있다. 따라서 Robert 연산자를 이용하여 Histogram Stretching된 영상과 윤곽선이 검출된 영상에 대해서 식 (2)를 적용하여 영상 및 균열을 강조한다. 그림 2의 (a)는 Histogram Stretching된 영상에 Robert 연산자를 적용한 영상이고 (b)는 그레이 영상에서 Robert 연산자를 적용한 영상이다.

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y|$$

$$g(x, y) = f(x, y) - \nabla f(x, y) \quad (2)$$

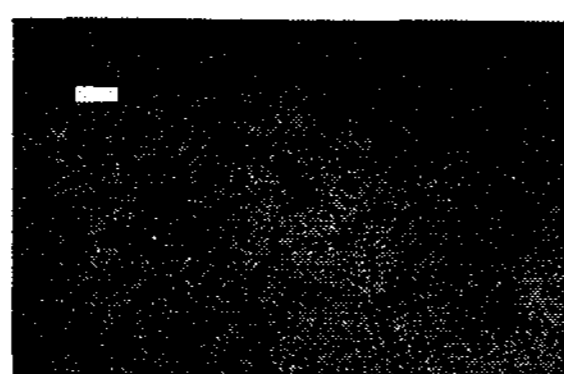
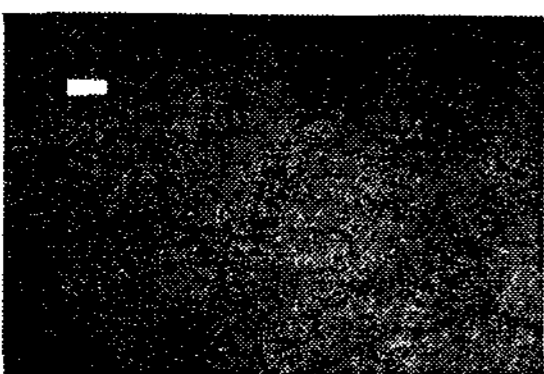
0	0	-1
0	1	0
0	0	0

<Gx 미분 연산자>

-1	0	0
0	1	0
0	0	0

<Gy 미분 연산자>

그림 1- Robert 연산자



(a)Histogram Stretching 영상 Robert 적용 (b)Gray 영상 Robert 적용

그림 2- Robert 마스크를 이용한 균열 강조

2.3 Multiple 연산을 이용한 균열 강조

콘크리트 균열 영상에서 어두운 영역에 존재하는 낮은 밝기값을 가지는 균열과 밝은 영역에 존재하는 높은 밝기값을 가지는 균열의 경우에는 균열 및 배경간의 밝기 차이가 크게 나타나지 않아 히스토그램을 이용하여 최적의 임계치를 결정하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이진화를 수행하기에 앞서 Multiple 연산자를 적용하여 균열을 강조한 콘크리트 영상에 대하여 픽셀 단위 사칙 연산 중 하나인 Multiple 연산을 적용하여 균열과 배경간의 밝기 차를 크게한다.

Multiple 연산은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$g(x, y) = f(x, y) * C \quad (3)$$

여기서 f(x,y)는 Robert 연산자를 적용하여 균열이 강조된 영상의 밝기 값이고, g(x,y)는 Multiple 연산에 의한 결과 영상의 밝기 값이다. C는 상수 계수로 본 논문에서는 실험을 기반으로 1.8로 설정하였다.

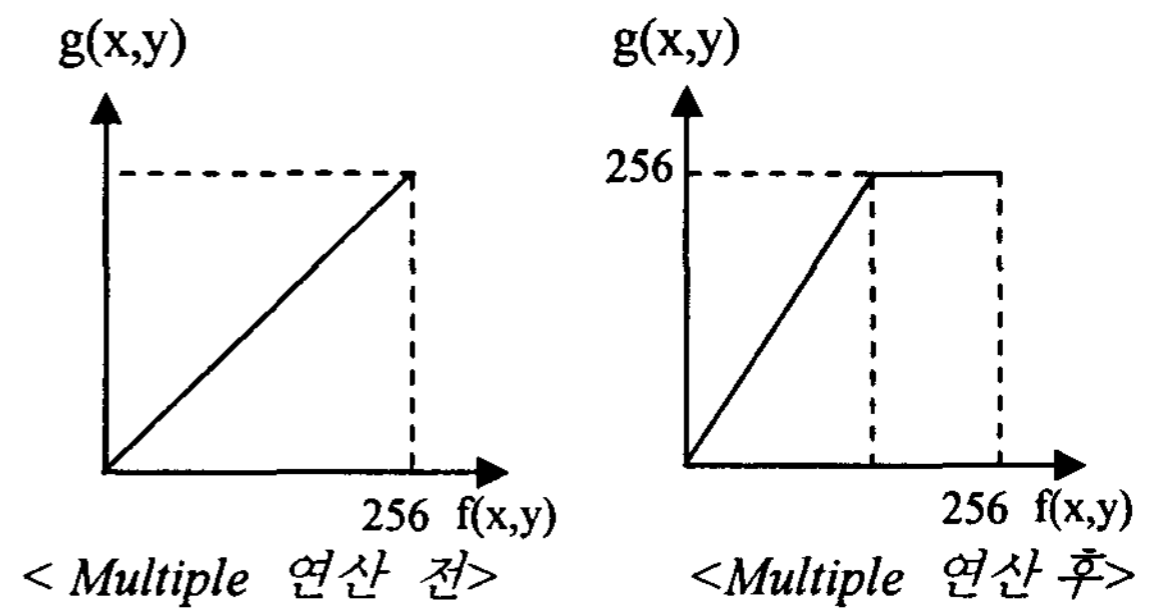


그림 3- Multiple 연산에 의한 히스토그램 변화

그림 3에서 Multiple 연산을 적용하면 낮은 명암 값일수록 상승폭이 적고, 높은 명암 값일수록 상승폭이 크다는 것을 확인할 수 있다.그림 4는 Multiple 연산을 수행한 결과 영상으로 그림 2(b)와 비교하면 균열과 배경 간의 밝기 차이가 큰것을 확인할 수 있다.

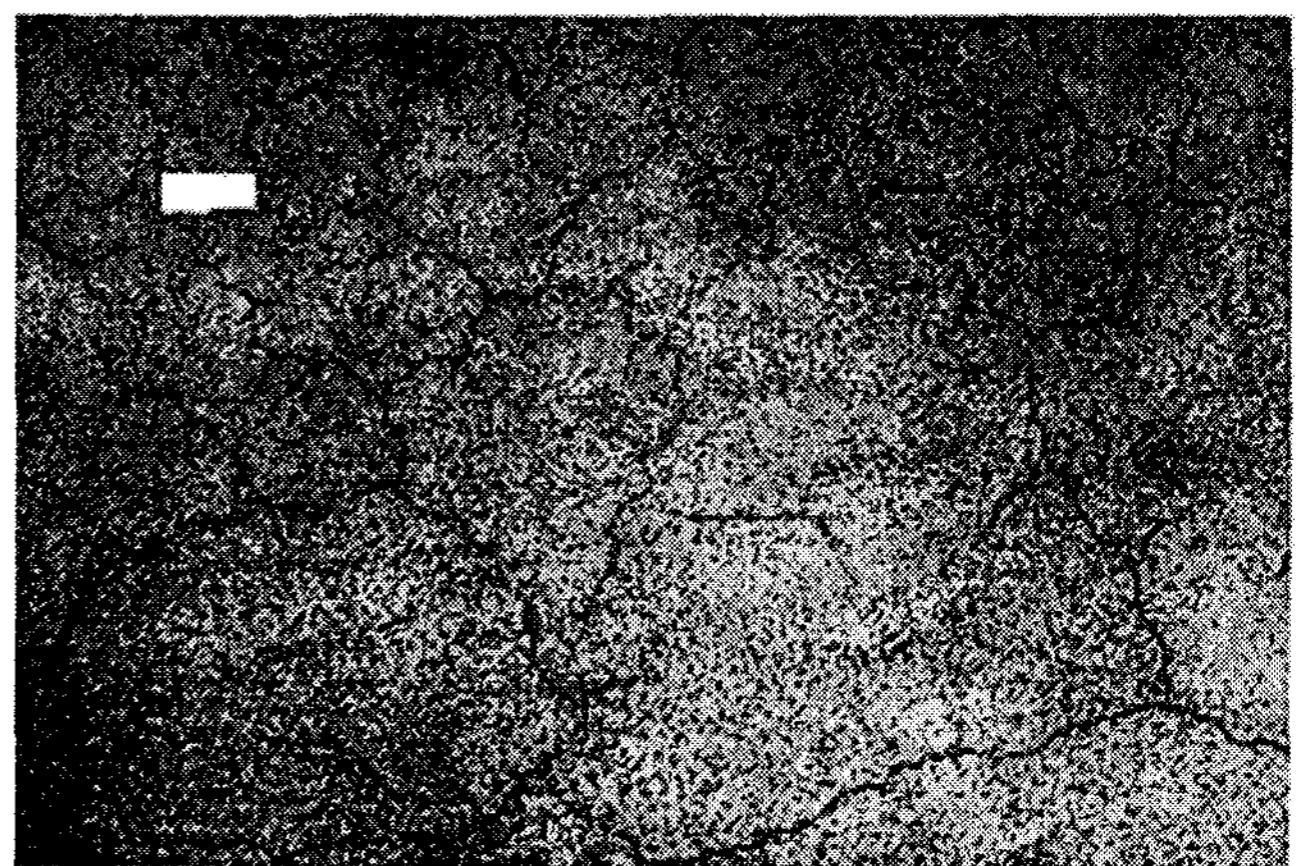


그림 4- Mutiple 연산을 수행한 결과 영상

2.4 지역적 이진화를 이용한 균열 검출

Multiple 연산을 적용하여 균열과 배경 및 잡음 영역 간의 명암차가 커진 영상에 대하여 이진화 기법을 수행하여 균열과 배경을 분리한다. 여기서 최적의 임계치를 결정하는 것이 이진화 성능을 좌우하게 된다. 콘크리트 균열 영상은 명암 값의 분포가 불규칙하여 단일 임계치만으로 균열과 배경을 분리할 수 없다. 단일 임계치로 전역 이진화를 수행할 경우, 영상의 명암도에 따라 일부 영역에서는 균열이 잡음과 함께 추출되어 균열 추출에 어려움이 따른다. 그림 5은 단일 임계치로 전역 이진화를 수행한 결과이다.

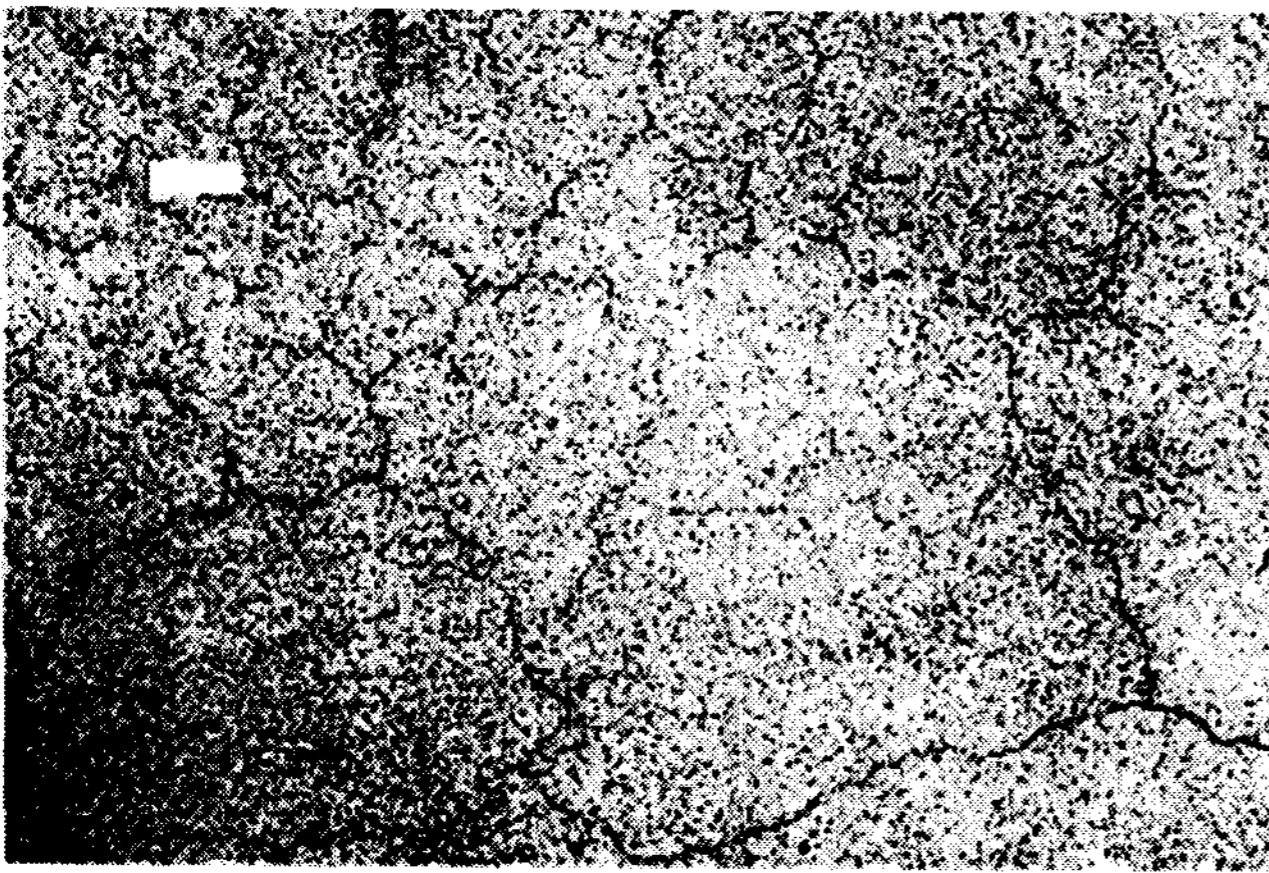


그림 5- 단일 임계치로 이진화를 수행한 결과

본 논문에서는 영상을 소영상으로 분할하여 각 소영상에서 균열과 배경을 분리할 수 있는 최적의 임계치를 결정하는 개선된 적응 이진화 기법을 적용하여 균열 후보 영역을 추출한다. 각 소영상에서 최적의 임계치는 다음과 같은 균열의 특징을 이용하여 결정한다.

- ① 어두운 영역에 존재하는 낮은 밝기값을 가지는 균열
- ② 밝은 영역에 존재하는 높은 밝기값을 가지는 균열
- ③ 밝은 영역에 존재하는 낮은 밝기값을 가지는 균열

위 균열의 특징 중 ①은 외부 물리적인 힘에 의해 표면이 훼손된 경우, 이물질이 나타나는 경우, 거친 표면에 그림자가 존재하여 잡음 영역 안에서 균열이 있는 경우이다. ②는 영상 획득시 빛이나 카메라 센서 능력의 한계로 미세 균열의 밝기 값이 높게 나타나거나 Salt 잡음이 포함된 경우이고 ③은

잡음이 미세하게 나타나는 경우이다. 개선된 적응 이진화 알고리즘은 그림 6과 같다.

단계 1. 영상 전체의 평균값 $T1$ 을 선정한다.

$$T1 = \frac{\sum_{a=1}^X \sum_{b=1}^Y f(a,b)}{X * Y}$$

단계 2. $K * K$ 크기의 영상을 $m * n$ 개의 소영상 $W_{mn}(i,j)$ 로 분할한다.

단계 3. 각 소영상 W_{mn} 에 대하여 평균값 T_{mn} 을 선정하고 히스토그램 H 을 조사하여 모든 골짜기(Valley) 즉, 국부 최소점 $V_{mn}(c)$ 를 구한다.

$$T_{mn} = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K W_{mn}(i,j)}{K * K}$$

$$\text{if } (H(z+1) > H(z)) \text{ then } V_{mn}(c) = z$$

단계 4. If $T_{mn} > T1$ then $T2 = T_{mn}$

$$\text{Else } T2 = T_{mn} * C$$

단계 5. 국부 최소점 $V_{mn}(c)$ 중에서 $T2$ 보다 적으면서 가장 높은 밝기 값을 가진 $V_{mn}(c)$ 을 선택하여 소영상 W_{mn} 에 대한 최종 임계치 TH_{mn} 으로 결정한다.

단계 6. $m * n$ 개의 소영역에 대한 TH_{mn} 을 모두 찾을 때 까지 단계 3부터 단계 5까지 반복한다.

그림 6- 개선된 적응 이진화 알고리즘

그림 6에서 X 와 Y 는 영상의 Width와 Height이며, $f(a,b)$ 는 입력 영상의 픽셀값, C 는 소영역 내의 국부 최소점의 개수이다. 실험에 의해 소영역 마스크 크기인 K 는 실제 길이의 약 0.5cm에 해당하는 31픽셀로 설정하였고, 상수 계수 C 는 0.9로 설정하였다. 단계 4에서 소영역내의 밝기 평균 값이 전체 영상 평균 밝기 값보다 큰 경우는 콘크리트

균열 특징 ②와 ③에 해당하는 경우이다. 따라서, 최대 임계 영역을 소영역의 평균 밝기 값 T_{mn} 으로 설정하여 미세한 균열까지 검출할 수 있도록 하고 소영상의 평균 밝기 값이 전체 영상 평균 밝기 값의 밝기 값보다 작을 경우에는 콘크리트 균열 특징 ①에 해당하는 경우로 잡음과 균열을 정확히 분리할 수 있는 최적의 임계 영역을 소영역 평균 밝기 값의 90%에 해당하는 구간으로 설정하여 잡음 영역이 균열에 연결되어 검출 되는것을 방지한다.

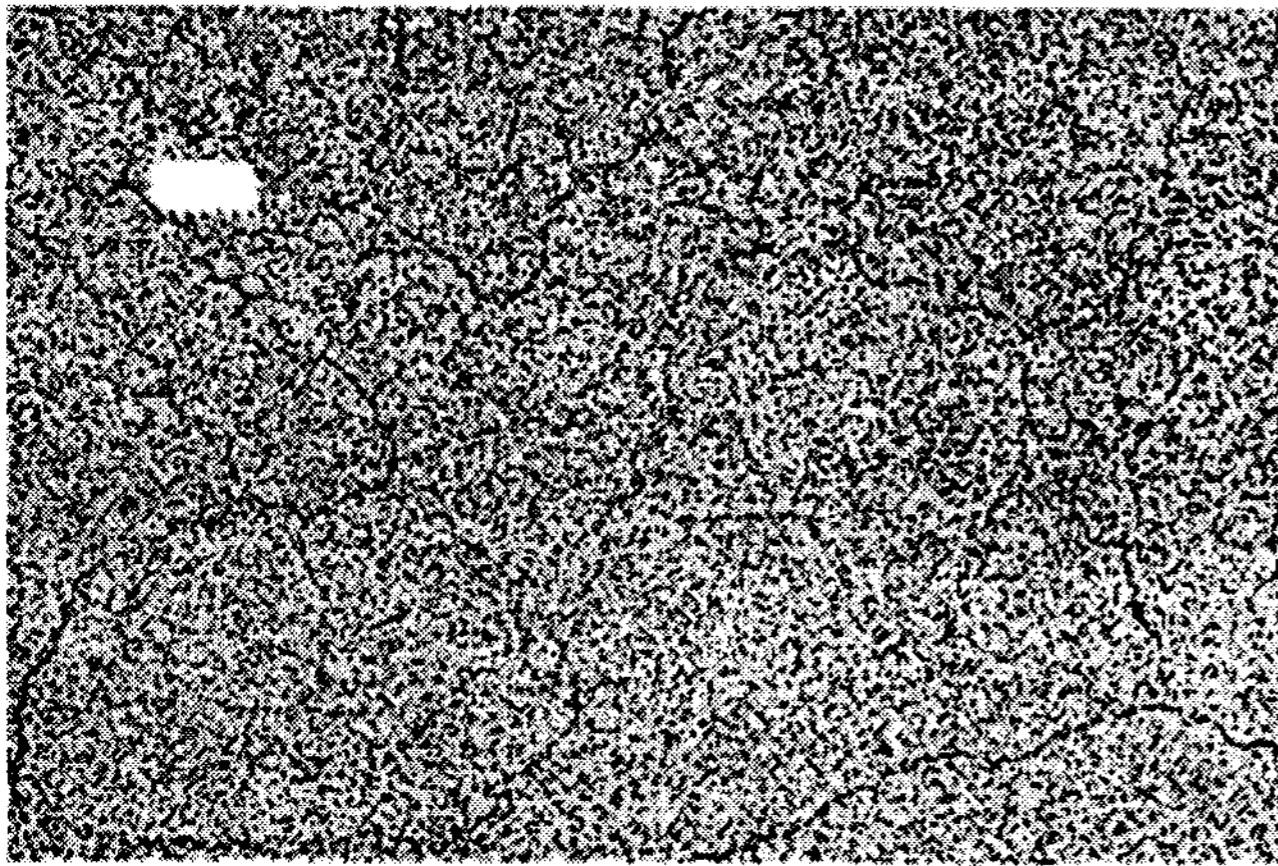


그림 7- 개선된 적응 이진화를 수행한 결과 영상

그림 7은 개선된 적응 이진화를 수행한 결과이다. 개선된 적응 이진화는 균열뿐만 아니라 많은 잡음까지 추출된다. 그러나 그림 5와 비교하면 개선된 적응 이진화 기법이 어두운 영역과 밝은 영역 모두에서 균열이 보다 상세히 나타나는 것을 확인할 수 있다.

2.5 잡음제거

제안된 적응 이진화 기법은 영상을 소영역으로 분할한다. 그리고 균열의 특징을 이용하여 임계치를 설정한 후, 설정된 임계치를 적용하여 균열과 배경을 분리한다. 그러나 이 과정에서 균열은 효과적으로 추출되지만 많은 잡음이 내포된다. 본 논문에서는 이러한 잡음 영역을 다음과 같이 제거한다.

2.5.1 임의 줄눈(Control Joint) 제거

본 논문에서는 픽셀 하나의 실제 길이를 측정하기 위해 임의의 줄눈을 표기한다. 그러나 이 줄눈은 영상의 잡음과는 무관하므로 영상의 줄눈을 이용하여 균열 영상에서 픽셀의 실제 길이를 구한 후에는 균열 영상에서 제거한다. 영상에 줄눈을 제거하기 위해 영상의 히스토그램을 분석한다. 히스토그램을 기반으로 줄눈의 밝기 값 정보를 분석하여 전체 영상에서 줄눈이 존재하는

히스토그램의 구간과 배경 히스토그램 구간을 구분하고 구분된 지점을 임계치 th 로 설정하여 식 (4)와 같이 영상을 이진화 한다.

$$h(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{if } (f(x, y) > th) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $f(x, y)$ 는 콘크리트 균열 영상의 밝기 값이고, $h(x, y)$ 는 줄눈을 나타내기 위해 이진화한 영상이다. 이진화된 영상에서 침식 및 팽창을 적용하여 줄눈 영역과 배경 영역으로 구분한다. 그 후, 줄눈의 최초 시작점과 끝점을 계산하여 $cm/pixel$ 을 구한다. 줄눈의 길이를 구한 후에는 줄눈의 위치를 이용하여 원 영상에서 임의의 줄눈을 제거한다. 그림 8는 원 영상에서 $cm/pixel$ 획득 및 줄눈을 제거한 영상을 나타내었다.

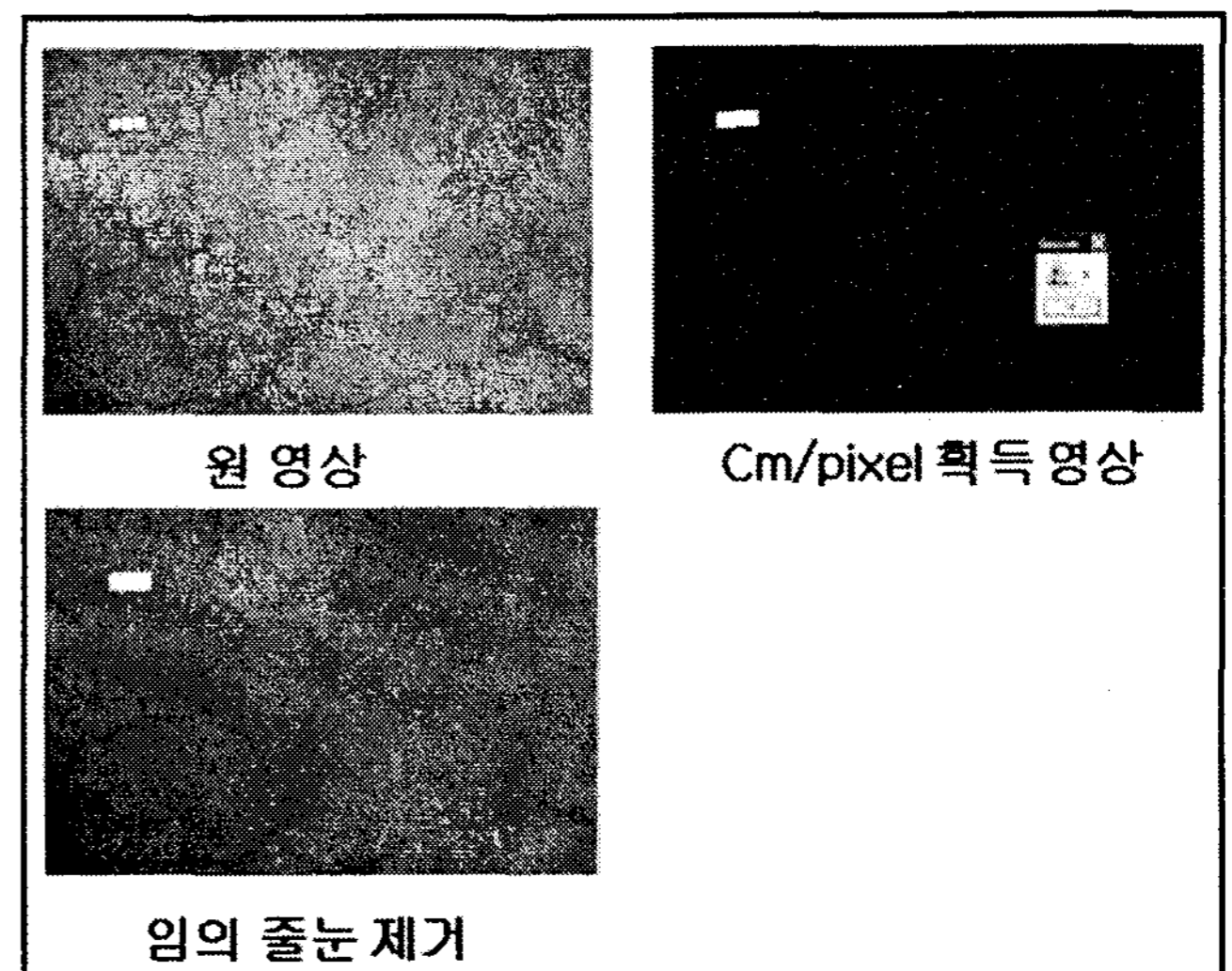


그림 8- 임의의 줄눈 제거 및 분석 영상

2.5.2 Mask Remove 기법

콘크리트 균열 영상 획득 시 빛이나 카메라의 센서 능력의 한계로 미세한 Salt 잡음이 나타나는 경우가 발생한다. Salt 잡음 중 하나의 픽셀로써 존재하는 잡음 즉, 균열과는 관계가 없는 잡음을 제거하기 위해 Mask Remove 기법을 적용한다. 이 기법은 이진화된 균열 영상을 소영역으로 나누어 그 영역에서의 픽셀 빈도수를 계산하여 일정 픽셀 수가 아니면 잡음으로 간주하여 제거한다. 여기서 소영역의 가로, 세로 길이는 0.05cm에 해당하는 3픽셀로 설정하였다.

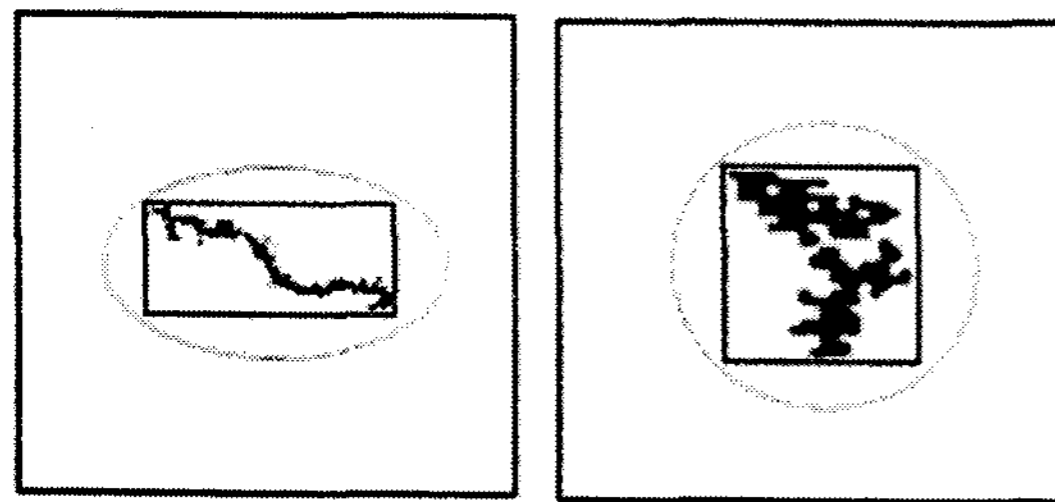
2.5.3 Diagonal Remove 기법

Salt 잡음을 제거하기 위한 또 다른 단계의 하나로서, Diagonal Remove 기법을 적용한다. 이 기법은 영상 분석 기법 중 객체의 대각선 길이를

이용하여 임계치 이하의 객체를 제거하는 기법이다. 본 논문에서는 이진화된 콘크리트 균열 영상을 Glass Labeling 기법을 적용하여 후보 영역을 검출하여 검출된 각 후보 영역의 대각선 길이가 임계치보다 작으면 잡음으로 간주하여 제거한다. 여기서 임계치는 각각의 실험에 의하여 실제 길이의 0.3cm, 0.5cm에 해당하는 20픽셀, 30픽셀로 설정하였다.

2.5.4 Circumscription Remove 기법

균열의 형상은 폭에 비하여 길이가 긴 특성을 가진다. Circumscription Remove 기법은 Packing density를 이용하여 잡음을 제거한다. Packing density는 물체의 면적을 물체의 외접원에 해당하는 면적으로 나눈 값이다[7]. 그림 9은 균열과 잡음의 특징이다.



a) 균열 부분 b) 잡음 부분

그림 9- 균열과 잡음의 특징

본 논문에서 물체의 외접원 면적은 균열 후보 영역을 외접하는 직사각형의 외접원의 면적을 사용하고 물체의 면적은 균열 후보 영역의 픽셀수로 한다[8]. 이를 수식으로 나타내면 식(5)와 같다.

$$F_{cr} = \frac{A_{ob}}{A_{moc}} \quad (5)$$

여기서 A_{ob} 는 균열의 면적이고, A_{moc} 는 균열을 외접하는 직사각형의 외접원에 해당하는 면적이다.

2.5.5 Direction Remove 기법

본 논문에서는 사용한 잡음 제거 과정을 통해 형상적 특징으로 분류된 잡음은 제거되었으나 추출된 균열 후보 영역 중에서 균열과 형상적 특징이 거의 동일한 잡음은 제거되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 이러한 잡음을 제거하기 위하여 균열 후보 영역의 가로 및 세로 비율과 끝점의 위치를 이용하여 균열의 방향을 가로 및 세로, 대각선으로 구분하여 판별한다. 판별한 방향의 끝점에 임계 영역을 설정하여 임계 영역 내에 다른 균열 후보 영역이 존재하지 않으면 잡음으로 간주하고 제거한다. 임계 영역은 실제 길이의

6x6cm에 해당하는 600x600 영역으로 설정한다. 그림 10은 각 단계별로 잡음을 제거하는 과정을 나타내었다.

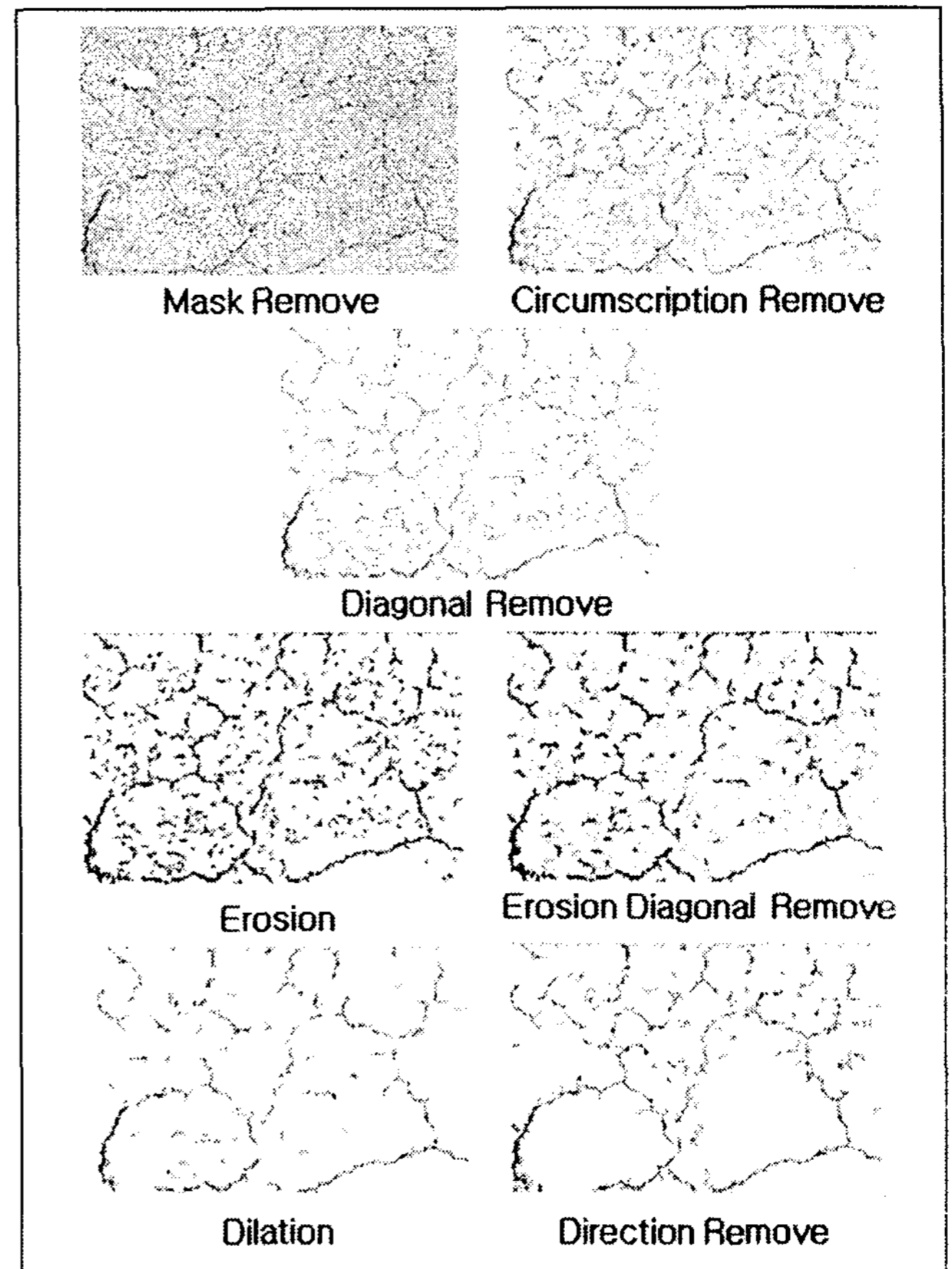


그림 10- 각 단계별 잡음제거 결과 영상

3. 균열 추출 영상 비교 및 통합

균열을 추출하는 과정에서 균열이지만 잡음으로 간주되어 제거되거나 잡음이지만 균열로 간주되는 경우가 발생한다. 그리고 원 영상에서 선명하지 않게 나타나는 균열은 잡음으로 간주하는 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 정확한 균열을 추출하기 위하여 하나의 균열 영상을 그림 11과 같이 각각 5가지 방법을 적용한 후, 5개의 영상을 통합하여 균열의 추출을 개선한다.

4. 균열 분석

본 논문에서는 균열의 특징을 분석하기 위해 균열의 특정부분을 선택하고 선택되어진 균열을 대상으로 길이, 방향, 폭을 계산한다.

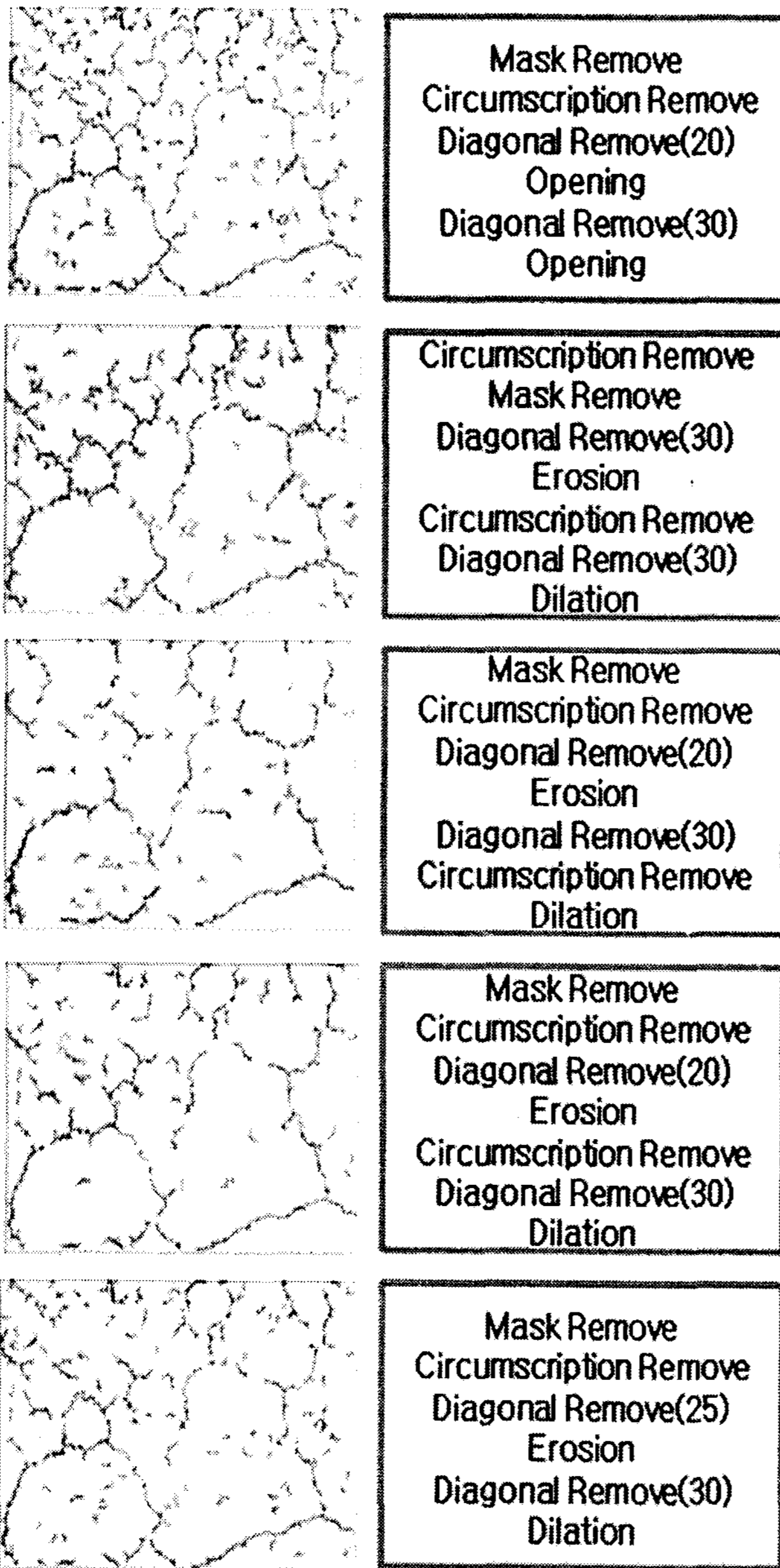


그림 11-각각 5가지 방법을 적용한 균열 추출 과정

4.1 균열의 길이

균열의 길이는 선택된 균열의 시작 점을 찾아 화소를 이동하면서 끝점에 해당하는 화소까지 수직, 수평 방향은 1, 대각선 방향은 $\sqrt{2}$ 를 곱한 값들을 모두 더하여 하나의 픽셀이 나타내는 실제 길이를 곱하여 최종적으로 균열의 길이를 계산한다. 그림 12는 균열의 길이를 나타낸 영상이다.

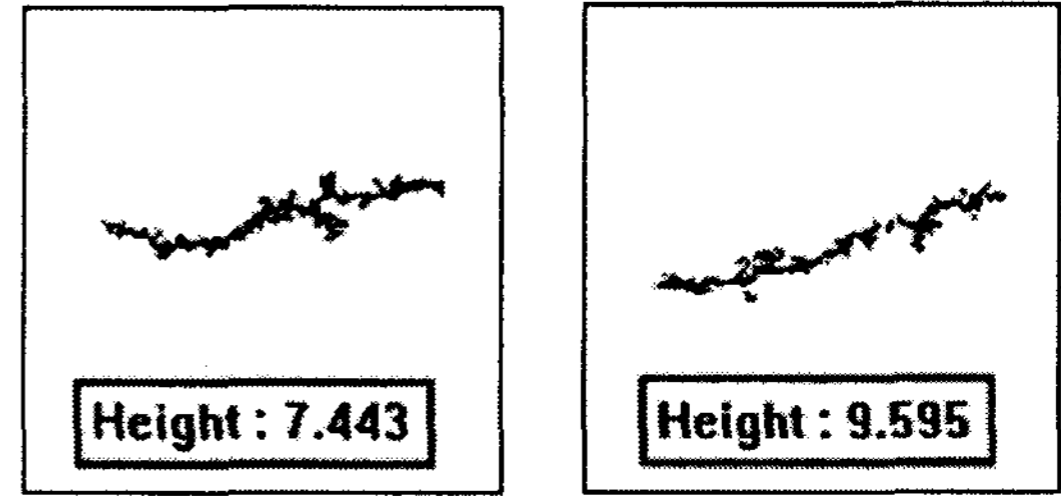


그림 12- 균의 길이

4.2 균열의 방향

균열의 방향은 각 균열의 시작점 (x,y) 과 끝점 (x',y') 의 좌표를 이용하여 식 (6)과 같이 계산한다.

$$\angle(i) = \frac{180}{x} \times \tan^{-1} \frac{y'(i) - y(i)}{x'(i) - x(i)} \quad (6)$$

그림 13는 추출된 균열의 방향을 나타낸 것이다.

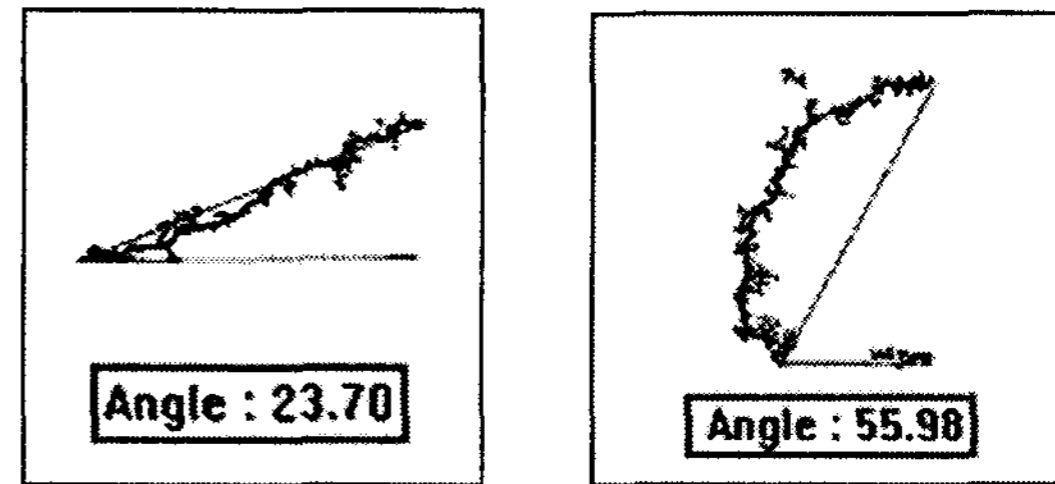


그림 13- 균열의 방향 계산

4.3 균열의 폭

추출한 균열의 길이와 방향을 이용하여 균열의 폭을 구한다. 구해진 균열의 방향을 특정 균열 영상의 기울기 값으로 적용하여 균열 영상의 기울기를 보정한다. 기울기 보정은 식 (7)과 같이 계산한다.

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

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

기울기 보정을 수행한 영상에서 수직 방향으로 모든 화소수를 구하여 그 평균을 균열의 폭으로 계산한다. 기울기 보정을 이용하여 계산한 균열의 폭은 그림 14와 같다.

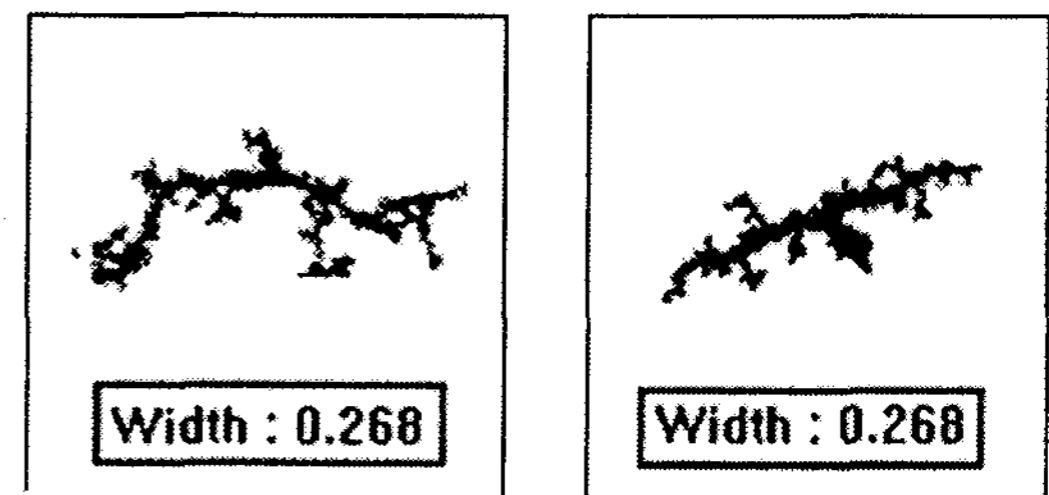


그림 14- 균의 폭

5. 실험 및 결과 분석

실험 환경은 Intel Core Duo 1.60GHZ CPU와 512MB RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0으로 구현하였다. 실험에 적용된 균열 영상은 Cannon사의 350-D 디지털 카메라를 사용하여 2496 * 1664 크기를 가진 영상이다. 실험 영상에서 특정 균열이 발견된 곳의 위치를 선정하여 균열의 길이, 방향, 폭을 계산하였다. 그림 15는 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법 간의 균열을 추출한 결과 영상을 나타내었다. 그림 15와 같이 본 논문에서 제시한 방법이 더 효율적임을 확인할 수 있다. 표 1에서는 균열 영상에서 추출된 특정 균열을 선택하여 각각의 균열들에 대한 길이, 방향, 폭을 계산한 결과이다. 각각의 길이와 폭은 균열의 화소의 수와 하나의 화소에 대한 실제 거리를 곱한 값이다. 그림 16은 각각의 균열을 추출한 영상이다. 본 논문에서 제시한 균열 추출 방법은 특정 균열의 특징을 비교적 정확히 계산할 수 있다. 그러나 콘크리트 균열 영상에서 희미하게 나타나는 균열과 잡음이 균열과 붙어 있는 경우에는 잡음이 균열에 속하게 되어 균열의 특징을 정확히 계산할 수 없었다.

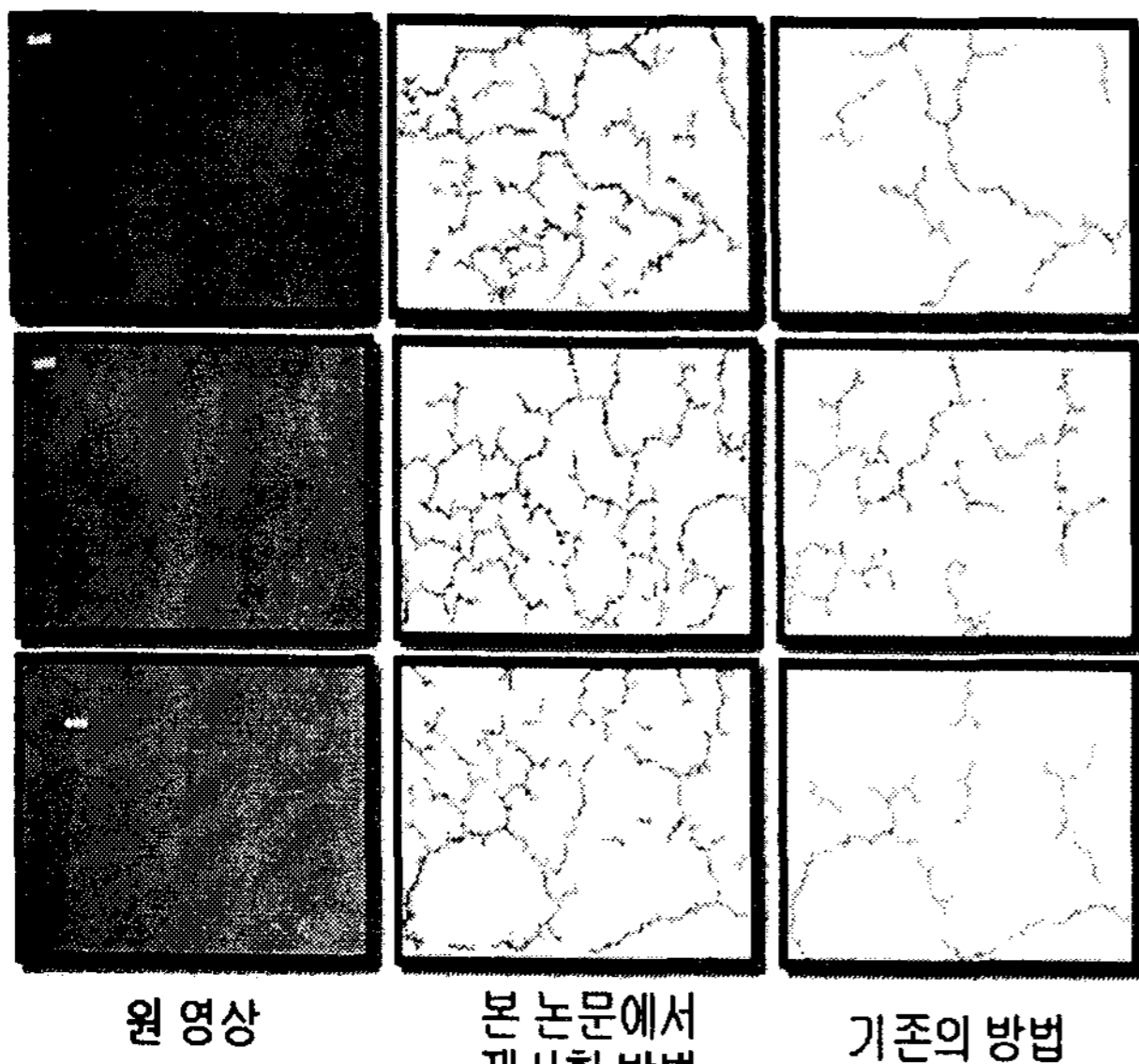


그림 15- 기존의 방법과 제안된 방법간의 균열 추출 영상 비교

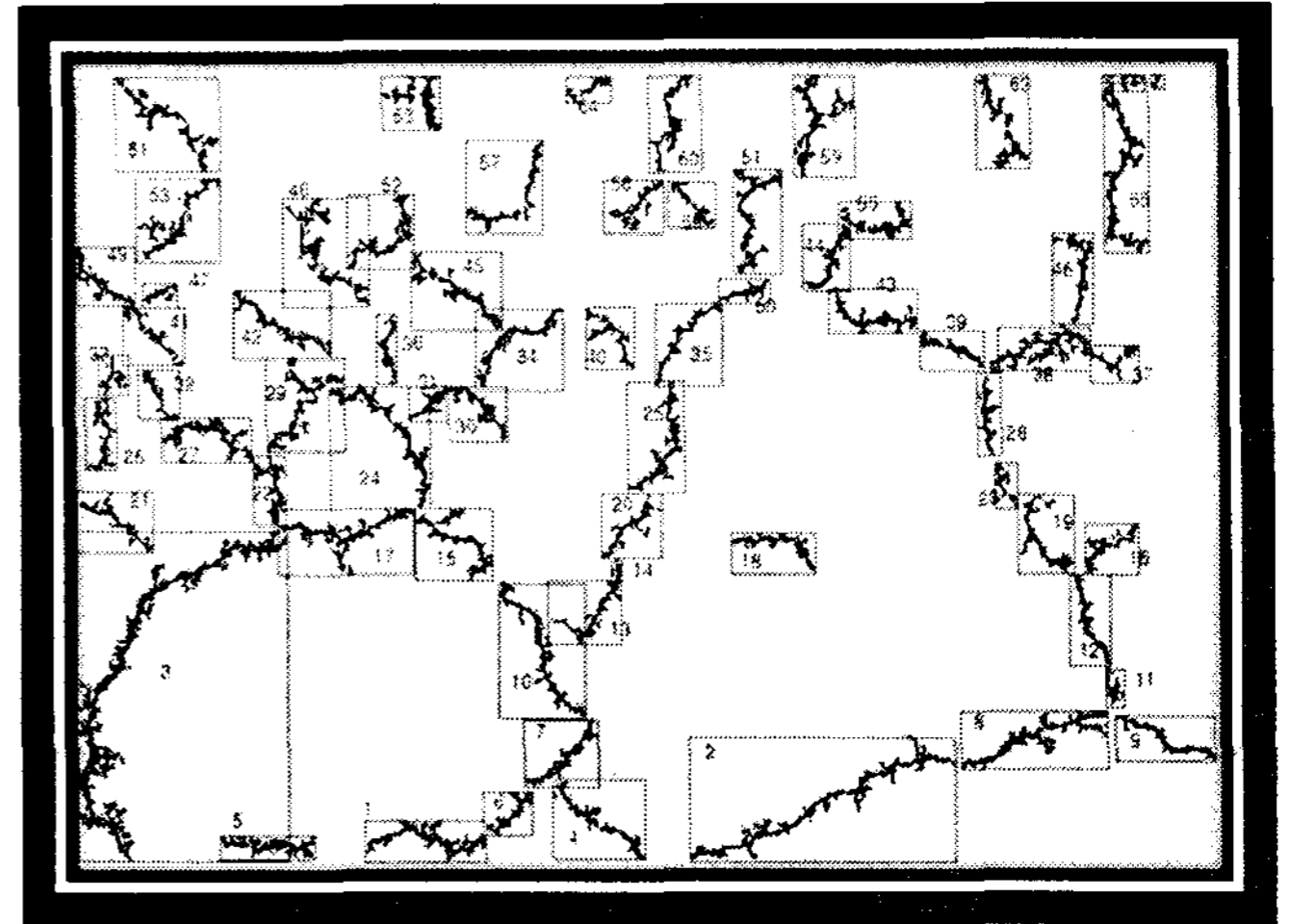


그림 16- 균열 추출 영상

표 1- 균열 특징 계산

	길이(cm)	폭(cm)	방향 °
2균열	11.357	0.286	24.23
3균열	14.754	0.754	56.25
5균열	3.738	0.321	12.97
8균열	6.203	0.321	20.21
9균열	4.225	0.22	22.88
10균열	6.047	0.357	56.08
12균열	3.738	0.232	64.54
19균열	3.661	0.357	53.13
20균열	3.297	0.25	46.54
21균열	3.721	0.411	37.20
24균열	5.964	0.411	49.25
25균열	4.658	0.339	61.86
27균열	3.883	0.411	25.03
29균열	4.505	0.411	48.01
31균열	1.925	0.268	40.49
35균열	3.965	0.214	49.57
40균열	2.906	0.304	50.74
44균열	4.518	0.5	39.23
46균열	1.620	0.250	31.94
49균열	2.167	0.232	23.82
50균열	4.328	0.375	63.54
54균열	3.147	0.375	25.55
55균열	3.002	0.321	40.42

58균열	4.458	0.429	57.26
63균열	3.0	0.518	40.90
64균열	1.990	0.232	28.41

6. 결론

본 논문에서는 디지털 카메라로 획득한 콘크리트 영상을 자동으로 검출하여 균열의 길이, 방향 및 폭을 계산하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 균열의 추출을 개선하기 위하여 하나의 영상에 본 논문에서 제시한 5가지 형태의 균열 처리 기법을 각각 수행한 후, 통합하여 기존의 균열 추출 방법을 개선하였다. 제시된 균열 추출 방법은 콘크리트 균열의 검출 성능을 향상 시키기 위해 Histogram Stretching 및 Robert 연산자를 이용하여 칼러 균열 영상의 밝기를 보정한 후에 균열을 강조하였다. 그 다음에는 균열 영상을 그레이 영상으로 변환한 후, Robert 연산자를 적용하여 다시 균열을 강조하였고, 균열과 배경간의 밝기 차이가 크게 나지 않는 것을 보정하기 위해 Multiple 연산을 적용하였다. 그리고 개선된 적응 이진화를 적용하여 어두운 영역의 균열과 밝은 영역의 균열도 효과적으로 추출하였다. 또한 균열의 특징을 분석하기 위해 각각 5가지 형태의 균열 처리 기법을 수행한 결과를 통합한 후, 균열의 특정 부분을 추출하고 균열의 특징(길이, 방향, 폭)을 계산하였다.

실험 결과에서 알수 있듯이 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 균열 추출 방법에 비해 균열이 비교적 정확히 추출되었다. 그러나 균열에 잡음이 포함되어 있거나 희미하게 나타나는 균열에 대해서 추출할 수 없는 경우가 발생하였다. 또한 균열의 특징을 측정하는 과정에서 실제 균열의 폭이 잡음 제거 과정에서 변형되어 실제 폭과 오차가 발생하였다. 향후 연구 방향은 퍼지 기법을 연구하여 희미하게 나타나는 균열도 추출할 수 있도록 개선할 것이다.

References

- [1] 金鎮根, "콘크리트 균열의 원인," 한국콘크리트학회학회지, 제6권4호, 1994.8
- [2] 시설안전기술공단, 콘크리트 구조물의 균열평가기법 및 보수 보강 전문시방서의 개발 1999.
- [3] 강준목, 오영철, 엄대용, "수치영상처리에 의한 콘크리트 구조물의 균열 정보 획득," 대한토목학회논문집, 22권, 5-D호, pp.1001-1010, 2002.
- [4] 한국콘크리트학회, 최신 콘크리트 공학, 기문당, 1992.

- [5] 이방연, 박연동, 김진근, "콘크리트 표면 균열 패턴 인식 기법 개발," 한국콘크리트학회 논문집, 17권, 3호, pp369-374, 2005.
- [6] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., Digital Image Processing, 2nd ed., Addison Wesley, New York, 1992.
- [7] Ammouche, A. Breysse, D., Homain, H, Didry, o., and Marchand, j., "A New Image Analysis Technique for The Quantitative Assessment of Micro-cracks in Cement-Based Materials, Cement and Concrete Research, Vol.30, No 1, pp.25~35, 2000.
- [8] 윤경호, 최병재, 김광백, "영상 처리 기법을 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 추출 및 분석," 2006년 추계 지능 정보 학회 논문집, pp.327-335, 2006.