

차영상기법을 이용한 균열검출시스템의 구현

변 태 보* · 김 형 수** · 김 장 형***

The Implementation of Crack Detection System Using Difference Image Analysis Method

Tae-Bo Byun* · Hyung-Soo Kim** · Jang-Hyung Kim***

ABSTRACT

In this paper, it was studied about edge detection and recognition in order to detect the crack of the concrete structure and to measure it using the adaptive image processing technology. Existing edge detection process has a good efficiency in finding out edge of input image using mask, but mask operation makes it difficult to get exact edge data. It was proved through experiments that the characteristics of cracks on concrete structure are very similar to edge of the image processing and it is hard to detect cracks clearly through existing edge-detection method. In this paper, to improve this problem, it was suggested that by applying the difference image with morphology method to get the accurate detection and measurement of cracks and maintaining the original input data, highlighting the edge area. Finally it was presented by experiments.

Key words : Concrete Crack Detection, Digital Image Processing

1. 서 론

산업이 발달한 국가일수록 콘크리트 구조물의 안전성이 높으며, 이러한 국가에서는 콘크리트 구조물을 새롭게 설계하기 보다는 기존 구조의 유지관리가 보다 중요시되고 있다. 종래에는 콘크리트 구조물의 균열을

신뢰성 있게 측정할 수 있는 방안이 강구되지 못하여, 균열 검사 분야에 경험이 뛰어난 특정 조사자가 콘크리트 구조물을 육안으로 확인한 후, 해당 구조물의 '양호한 상태', '보통상태', '파손된 상태' 등으로 구별하는 방식을 취하였다. 그러나 이러한 방식은 균열 검출의 객관성이 결여될 수밖에 없어서, 콘크리트 구조물을 체계적으로 통합관리하기에는 한계가 있었다.

본 논문은 콘크리트 구조물의 균열을 검출하는 방법으로 이진 영상을 균열 선 성분 검출 영상으로 이용하고, 이를 마스크 연산을 적용한 진물의 균열을 검출하는 방법에 관한 것으로, 특히 검출 데이터의 신뢰도가 적절하게 유지되면서 원 영상으로부터의 균열 검출 작업 속도가 보다 향상되고 균열 선 성분의 편

* 제주대학교 일반대학원 박사과정
Ph-student., Cheju Nat'l Univ.

** 제주한라대학 컴퓨터정보계열
Dept. Computer & Information., Cheju Halla College

*** 제주대학교 통신컴퓨터공학부
Telecommunication & Computer Eng., Cheju Nat'l Univ.

집 작업이 보다 편리성에 이루어지도록 된 콘크리트 구조물의 균열 검출 방법에 관해 연구하였다.

콘크리트 구조물 균열은 일반적으로 하나의 선분형태로 이어진다. 이러한 균열의 특징은 영상처리 기술에서 윤곽선에 해당한다. 따라서 윤곽선 검출 기법을 이용하여 균열을 검출할 수 있으며, 이러한 윤곽선 검출 기법에는 마스크 연산을 이용한 검출기법이 대표적이다[1]. 윤곽선검출을 위한 마스크 연산은 저비용으로 빠른 시간에 윤곽선을 검출할 수는 있지만, 이는 콘크리트 구조물에 발생한 균열부위를 정확히 측정할 수 없으며, 실험을 통하여 부정확한 면을 증명하였다. 정확한 윤곽선영역 검출을 위하여 원영상의 윤곽선에 해당되는 데이터를 보존하고 이를 보다 정확히 측정하기 위해 서 모폴로지를 적용한 차영상 기법을 제안하였으며, 이는 원영상 내의 윤곽선 즉, 오브젝트는 부각시키고 배경은 제거됨으로써 윤곽선에 해당되는 데이터에는 기존의 윤곽선 검출 기법 보다 적은 손실로 이를 측정 할 수 있었다.

II. 콘크리트 구조물의 균열

2.1 균열의 원인 및 현황

콘크리트 구조물은 재료의 특성에 따른 내적인 요인과 하중이나 외부환경 등에 따른 외적인 요인으로 인장력이 작용한다. 그러나 콘크리트는 압축강도에 비해서 인장강도가 극히 적고 (1/10~1/13) 탄성계수는 크고 단단하며 깨지기 쉬운 재료이므로 약간의 인장 힘으로 큰 인장력이 작용하여 쉽게 균열이 발생한다.

콘크리트 구조물이 균열되지 않을 조건으로 응력적으로는

$$\text{콘크리트에 작용하는 인장력} \leq \text{콘크리트의 인장강도}$$

또한, 변위면에서는

$$\text{인장방향의 변위} \leq \text{콘크리트의 신장력}$$

이 되는 것이다. 그러나 콘크리트의 성질상 현재의 기술로 균열을 완벽히 차단하는 것은 쉬운 일이 아니며 앞으로의 과제로 남아 있다. 혼합재료의 개발 등으로 콘크리트의 성질이 개선될 수 있지만, 단가가 높아지는 것은 피할 수 없을 것이다[2].

따라서 콘크리트 구조물의 균열 발생은 초기에 진단하여 대처하는 것이 바람직하다. 콘크리트 구조물에 균열이 발생하는 요인은 Fig.1과 같이 크게 콘크리트에 작용하는 인장력을 증대시키는 요인, 콘크리트의 인장강도를 저하시키는 요인, 콘크리트에 인장방향의 변위를 부여하는 요인, 콘크리트의 신장능력을 저하시키는 요인 등으로 대별할 수 있다.

그러나 그룹간의 관련성이 강하기 때문에 하나의 요인이라도 판단하는 방법에 따라 여러 가지 그룹에 포함될 수 있으며, 명확히 그룹으로 분리하기란 어려운 일이므로 보통 그림과 같이 2개의 그룹으로 분리한다.

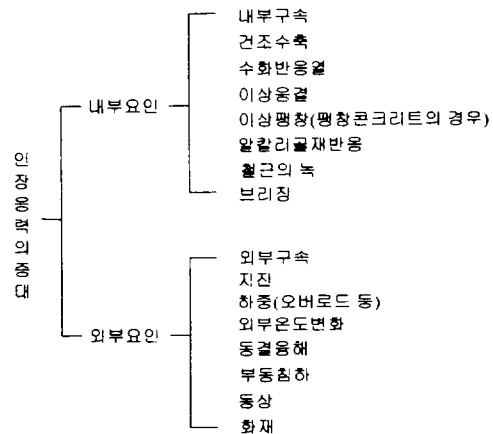


Fig. 1. The Cause of Concrete Cracked

실제적인 균열 발생의 원인은 2가지 이상의 요인이 겹쳐 있을 때가 많지만, 여러 가지 균열의 원인 중에서도 콘크리트의 건조 수축의 경우 초기 재령에 있어서 급격한 건조에 의한 표면 균열 발생이 23%로 가장 많이 나타나고 있다[3].

콘크리트 구조물의 경우 이 건조 수축 균열을 제어할 수 있다면, 아마도 현재 균열에 의한 클레임의 상당한 부분을 해결할 수 있을 것이다.

건조 수축에 의한 균열은 예를 들어 슬럼프 18cm 정도의 콘크리트 건조 수축률은 $6\sim 8 \times 10^{-4}$ 정도이다. 건물이 자유롭게 수축될 수 있다고 가정한다면, 10m에 대해 6~8mm 정도가 건조하면서 짧게 되지만, 균열은 발생하지 않는다. 그러나 실제로는 건물 내부의 철근이나 부재마다의 건조상태에 대한 차이 등으로, 콘크리트가 자유롭게 수축되는 것을 방해하는 구속력이 작용한다. 한편, 신장능력(탄성신장+크리프신장)은 $3\sim 4 \times 10^{-4}$ 정도이다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{건조 수축률}(6\sim 8 \times 10^{-4}) \times \text{구속계수} > \text{신장능력}(3\sim 4 \times 10^{-4})$$

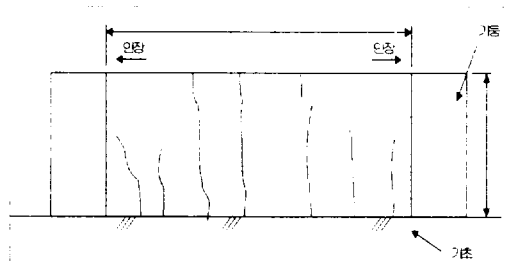


Fig. 2. Drying Shrinkage a Crack

여기서 구속계수는 건물의 규모, 형상, 부재의 단면, 기타 부위에 따라 다르며, 구속계수가 적은 것일수록 균열이 적게 발생한다.

위의 식은 콘크리트와 부재를 조합해서 사용할 경우, 건축에서 시공할 수 있을 정도의 슬럼프 범위에서 건조 수축률과 신장능력의 관계는 한쪽을 적게 하면 다른 쪽도 적게 되고 크게 하면 역시 다른 쪽도 크게 된다는 것을 의미한다.

따라서 본 논문에서는 콘크리트 구조물에서 발생한 균열에 대하여 기존의 주관적이고 경험적인 관찰에 의하여 발생 균열의 평가 및 대책을 마련하던 것을 디지털영상처리기술을 이용하여 진단 평가에 객관성을 부여하고 균열의 효율적인 검출 기법에 대하여 고찰하였다.

2.2. 균열의 특성

콘크리트에 발생하는 균열의 일반적인 특성은 균열 원인에 따라 다양하게 나타날 수 있으나 특정한 패턴이 없이 하나의 선분형태로 연장되고 있는 공통적인 특징을 갖고 있다. 이는 영상처리 기술에서 물체의 위치, 모양, 크기 등의 정보를 갖고 있는 윤곽선 영역과 유사하며 이러한 윤곽선은 픽셀 밝기의 불연속점에 존재하는 특징을 갖고 있다. 따라서 윤곽선을 검출하기 위해서는 기울기의 특성을 이용한 윤곽선 검출기법을 적용할 수 있다.

III. 콘크리트 구조물의 균열검출을 위한 전처리

3.1. 윤곽선 검출(Edge Detection)

윤곽선은 영상 안에서 영역의 경계를 나타내는 특징으로 픽셀 밝기의 불연속점을 나타낸다. 이러한 윤곽선은 영상 안에 있는 물체의 윤곽에 대응되며 많은 정보를 가지고 있고, 물체의 위치·모양·크기·표면의 무늬 등에 대한 정보를 알려준다. 윤곽선은 영상 안에서 상당한 밝기의 차이가 있는 곳이고, 이것은 대개 물체의 경계에 해당하는 곳이므로 픽셀 값의 불연속이나 픽셀 미분 값의 불연속점에 존재한다[4][8].

영상에서의 불연속점은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 스텝 불연속점 : 영상의 밝기가 갑자기 변하는 곳
- ② 라인 불연속점 : 영상의 밝기가 갑자기 변화하나 조금 지나면 다시 돌아오는 곳

스텝 불연속점에 해당하는 윤곽선을 스텝 에지(step edge)라고 하고, 라인 불연속점에 해당하는 연산을 라인 에지(line edge)라고 한다.

보통 윤곽선 검출 연산을 하기 전에 잡음을 제거하기 위하여 그에 따른 연산을 시행하는 경우가 많은데 이럴 경우 잡음 제거 연산의 영향으로 픽셀 값의 변화가 둔화된다. 즉, 픽셀 값의 급격한 변화가 완만한 변화로 바뀌게 되는데 이러한 경우 스텝 에지는 램프 에지(ramp edge)로 변하고 라인 에지는 루프 에지

(roof edge)로 변한다.

윤곽선에 해당하는 픽셀을 구하는 방법을 윤곽선 검출이라고 하며, 현재 여러 가지 방법이 제안되어 있다. 윤곽선 검출 기법도 윤곽선의 종류에 따라 달라지는데, 각 윤곽선 검출 방법은 나름대로의 장단점을 가지고 있다. 어떤 윤곽선 검출 기법은 특정 응용 분야에서는 좋은 결과를 나타내지만 다른 응용에서는 좋지 않은 결과를 나타내는 경우도 있다[5][7].

3.2. 기울기 연산자에 의한 윤곽선 검출

에지의 점들을 연결하기 위한 가장 간단한 방법 중 하나는 에지 검출이 수행된 영상의 모든 점(x, y)에 대한 작은 영역의 이웃 점들 (즉, 3×3 또는 5×5)에서의 화소 특성을 분석하는 것이다. 특성이 비슷한 모든 점들을 연결하여 어떤 공통의 성질을 가진 화소들의 경계를 형성한다. 이런 종류의 해석에서 에지 화소들의 유사성을 입증하기 위해 사용하는 두 가지 주요한 성질은 에지 화소를 찾기 위해 사용된 기울기 연산자의 응답 크기와 기울기의 방향이다.

에지를 검출하는 방법을 1차원 신호에서 2차원 신호로 확장하면 기울기 연산자(∇)를 이용하여 나타낼 수 있다. 2차원 신호에 대한 에지의 기울기는 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다[11].

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \vec{i}_x + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \vec{i}_y$$

식(1)에서 \vec{i}_x, \vec{i}_y 는 이차원 좌표평면에서 각각

x 방향과 y 방향에 대한 단위벡터를 의미한다. 편미분 연산자에 의해 계산된 위의 식에 대한 크기는 아래의 식을 이용하여 계산한다.

$$|\nabla f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2}$$

연속 신호에 대한 에지를 검출하는 방법을 이산 신호로 사용하기 위해 편미분 연산자는 차분 연산자를 이용하여 근사화 될 수 있다. 편미분 연산자를 차분(difference) 연산자로 근사화한 식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx G_x = f(x, y) - f(x-1, y)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx G_y = f(x, y) - f(x, y-1)$$

윤곽선 검출 알고리즘은 여러 가지 종류가 있으며, 윤곽선 검출은 미분 연산자에 의한 밝기 값의 변화를 이용하여 찾아내는 것이다. 하지만 직접적인 계산보다는 미분연산자의 역할을 해주는 마스크를 이용하여 빠른 계산을 하는 것이 더욱 효과적이다. 연산 방법은 그림과 같이 원 영상 안의 픽셀들을 마스크의 동일 위치에 해당하는 픽셀들과 곱하고 모든 픽셀을 더하여 중심 픽셀에 할당한다[6].

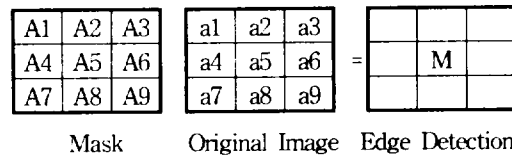


Fig. 3. The Operation of Mask for Edge Detection
 $M = A1 \times a1 + A2 \times a2 + A3 \times a3 + \dots + A9 \times a9$

미분 연산자에 따른 마스크의 형태는 각각 다를 수 있지만 모든 픽셀의 합은 0이 되는 특징이 있다. 즉 어떤 종류의 마스크이든지 마스크를 이루는 픽셀의 합은 0이 되어야 한다. 이러한 마스크의 특징을 이용한 대표적인 윤곽선검출 마스크에는 소벨(Sobel), 프르윗(Prewitt), 로버트(Robert), 라플라시안(Laplacian) 마스크 등이 있으나, 본 논문에서는 차영상 기법을 적용하여 콘크리트 구조물의 균열 검출의 객관성을 높여하고자 한다.

3.3. 차영상 기법

차영상 기법은 전형적으로 두 영상 사이의 차이를 결정하기 위하여 사용한다. 이러한 기법은 고정된 공간에서 입력되는 영상의 차이를 분석하는 움직임 감지시스템이나 공장 자동화 라인에서 제품의 에러율 검사, 의료영상의 향상 등 다양한 영상처리기술과 혼합되어 매우 유용하게 사용되고 있다.

두 영상 $f(x, y)$ 와 $h(x, y)$ 의 차는 $g(x, y) = f(x, y) - h(x, y)$ 와 같이 f 와 h 로부터 서로 대응되는 화소들의 모든 쌍들 사이의 차를

계산함으로써 얻어진다.

영상 향상을 위한 위 식의 한 고전적인 응용 분야는 마스크 방식 방사선학(mask mode radiography)이라 부르는 의료 영상의 영역이다. 마스크인 $h(x, y)$ 는 환자 몸의 한 영역의 X-선 영상으로 증폭 장치와 X-선 발생기 반대에 위치하고 있는 TV 카메라(전통적인 X-선 필름 대신에)로부터 얻어진다. 영상 $f(x, y)$ 는 같은 해부학적 영역이 비슷한 TV 영상들의 연속 장면들 중에서 한 영역의 혈류 속에 염료가 주입된 후에 얻어진 것이다. TV 영상 입력 데이터의 각 영역으로부터 마스크를 제거하면 그 본질적인 효과는 $f(x, y)$ 와 $h(x, y)$ 사이에서 서로 다른 영역이 개선된 세부사항으로 출력 영상에 나타난다. 영상들은 TV 프레임률로 획득되기 때문에, 이 과정은 본질적으로 어떻게 염료가 다양한 동맥을 통하여 전파하는지를 보여주는 영화를 제공한다.

또한 픽셀 단위의 명암값을 낮춰주는 역할을 하는 빼기 연산은 이미지 전체의 밝기값을 낮춰주는 역할을 한다. 만약 빼 값이 음수 값이면 이미지의 반전이 일어나기도 한다.

$$Output(x, y) = Image(x, y) - C$$

(단, C=임의의 상수 값)

두 이미지간의 빼기 연산은 절대값을 취하여 차이 값을 구하는 연산방법을 취하거나 또는 절대값을 취하지 않고 이미지에서 원하지 않는 값을 제거하는 방법이 있다. 이러한 차영상 기법은 영상처리 중 전처리 부분에서 많이 사용되고 있으며, 원하는 정보만을 추출하기 위한 처리 방법이다.

$$Output(x, y) = Image 1(x, y) - Image 2(x, y)$$

IV. 균열 영상 분석 시스템

콘크리트 구조물의 존속성 및 내구성 유지를 위해서는 정기진단 및 안전진단이 계속적으로 이루어져야 한다. 그 중 구조물에 발생한 균열의 검출은 안전진단 수행의 기초적인 역할을 수행한다. 그러나 기존의 균열 검출은 주관적이고 경험적인 판단에 의존함으로써 그 신뢰성이 저하되었다. 따라서 본 논문에서는 균열 영상에 영상처리기술을 적용하여 균열영역을 검출함

으로써 기존에 주관적 판단에 객관성을 부여하여 효율적인 안전진단 수행의 기초 마련을 위한 콘크리트 구조물의 균열영상에서의 차 영상기법을 제안하였다.

본 논문은 차영상 기법을 적용하기 위하여 원영상과 비교할 비교영상을 생성하였다. 비교영상을 생성하기 위하여 화소 값 분포 히스토그램에서 능동적인 임계값을 설정하고 해당 임계값을 배경 영역으로 갖는 배경영상을 생성하여 원영상과 차연산한 결과를 이진화 함으로써 균열영상에서의 균열영역에 해당할 수 있는 오브젝트만을 부각시킴으로 균열검출을 더 쉽게 할 수 있고 또한 차연산만을 이용함으로써 원영상과 결과 영상과의 오차를 줄일 수 있는 균열 검출 기법을 제안하였다. Fig.4는 본 논문에서 제안한 균열 검출을 위한 전체적인 검출시스템이다.

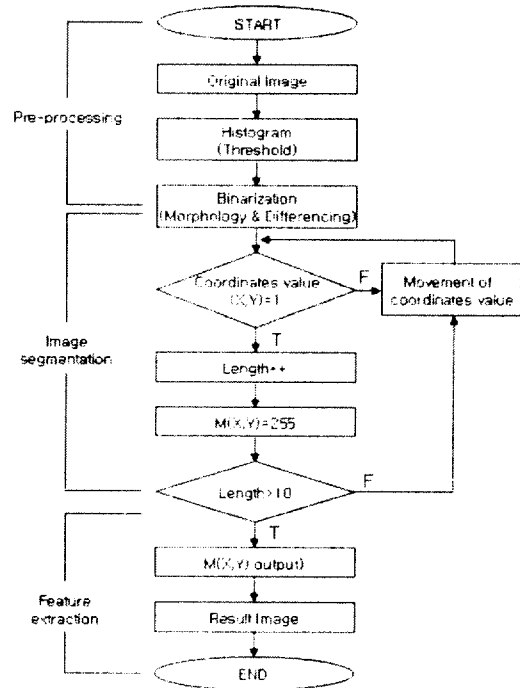


Fig. 4. Suggested Algorithm

본 논문의 전체적인 시스템의 구성은 단순 균열 검출을 위하여 입력된 영상의 화소 값 분포를 히스토그램을 이용하여 조사하고 히스토그램의 배경영역과 오브젝트 영역에 해당하는 two peak 사이의 평균값을 이용하여 임계값을 능동적으로 설정할 수 있도록 하

였다. 설정된 임계값을 모폴로지 기법의 채움 연산으로 하나의 전체 영상을 구성하였다. 원영상과 모폴로지 적용 영상에 차영상 기법을 이용하여 배경영역과 오브젝트 영역을 분리함으로써 오브젝트 영역에 해당하는 균열의 검출을 용이하게 할 수 있도록 영상을 형성한 후 영역을 확장하면서 픽셀길이가 10픽셀 이상의 길이를 갖고 있는 오브젝트들을 메모리에 저장하고 픽셀길이가 가장 긴 오브젝트가 저장된 메모리의 값을 총 길이 픽셀 수, 최대높이 픽셀 수, 최소높이 픽셀 수로 계산하여 출력함으로써 균열을 검출할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

4.1. 모폴로지(Morphology)

모폴로지기법은 영상의 형태적인 면을 조작함으로써 영상의 경계, 골격, 블록과 같은 영역 형태를 표현하거나 서술하는데 있어서 유용한 영상 요소들을 추출하기 위한 도구로써 수학적 형태론의 개념으로 사용한다[9].

이 기법은 영상처리의 전처리 작업이나 초기 객체 분류 또는 이러한 처리 후에 물체의 내재된 구조를 명확히 하는데 이용된다. 이것은 물체의 외곽선을 1 픽셀 두께의 외곽선이나 골격선으로 간단하게 함으로써 이루어진다. 즉, 외곽선의 한 픽셀을 빼거나 더하는 작업을 통하여 한 픽셀의 잡음은 제거될 수도 있고, 두 픽셀로 확장시킬 수도 있다. 이러한 모폴로지 기법은 물체와 배경과의 사이에서 물체의 축소나 확장의 결과를 볼 수 있다[10].

다양한 모폴로지 기법들을 알맞게 혼합하여 응용하면 더욱 다양한 곳에 사용될 수 있다.

모폴로지 기법에는 이진 영상에서의 모폴로지 기법과 그레이 영상에서의 모폴로지 기법이 있다. 모폴로지 알고리즘에서는 침식 연산·팽창 연산·열림 연산·닫힘 연산의 방법으로 분류된다. 각 연산들은 독립적으로 사용되지만 일반적으로 원하는 결과 영상을 얻기 위해 몇 개의 연산을 병행하여 수행하는 경우가 많다.

본 논문에서는 이러한 모폴로지의 조합연산을 이용한 영상의 형태처리 보다는 히스토그램을 이용한 화소 값 분포 조사에서 인식된 배경영역에 해당하는 화

소 값을 적용한 하나의 새로운 영상을 만들어내기 위하여 모폴로지 기법을 적용하였다.

이렇게 모폴로지 기법을 이용하여 생성된 영상과 원영상에 차영상 기법을 적용하여 두 영상의 차연산을 통한 실험 영상을 생성하였다.

4.2. 균열영상의 분할

본 논문에서 제안한 균열검출 시스템의 영상분할단계에서는 전처리단계에서 모폴로지를 적용하여 생성한 비교영상과 원영상과의 차연산을 이용하여 이진화된 차영상을 생성함으로써 배경영역과 오브젝트영역을 분리한다. 차영상의 좌표 값을 검색하여 (x,y)의 좌표 값이 1이고 영역확장을 통한 픽셀의 길이가 10 픽셀 이상인 오브젝트들의 (x,y)의 화소 값을 그레이레벨 255로 변경하여 메모리에 저장한다.

4.3. 영역 확장

검출된 (x, y)좌표에서 그 좌표를 중심으로 순서적으로 영역을 확장하면서 화소 값을 검색하여 (x, y)좌표 값이 1인 경우 (x, y)의 현재좌표를 저장하고 영역을 확장해 나간다. 만일 확장된 영역의 최종 픽셀의 길이가 10이하인 경우에는 확장된 좌표의 좌표 값을 0으로 변경하여 저장된 좌표의 다음 좌표로 이동한다. 확장된 픽셀의 길이가 10이상의 경우에는 현재 좌표값들을 그레이레벨 255로 변경하여 메모리에 저장한다. 영역확장을 위한 화소값의 검색순서는 다음과 같은 방식으로 검색한다.

x, y좌표에서 위쪽에 픽셀 값이 1이면
: $x = x, y = y - 1$
x, y좌표에서 아래쪽에 픽셀 값이 1이면
: $x = x, y = y + 1$
x, y좌표에서 오른쪽 위에 픽셀 값이 1이면
: $x = x - 1, y = y - 1$
x, y좌표에서 오른쪽 아래에 픽셀 값이 1이면
: $x = x + 1, y = y + 1$
x, y좌표에서 오른쪽 픽셀 값이 1이면
: $x = x + 1, y = y$

4.4. 균열 영상의 특징추출

균열 영상 내에 존재하는 균열 정보를 배경과 분할하기 위한 과정의 수행이 필요하며, 다양한 에지 검출 연산자들을 사용할 수 있다. 예지는 영상의 화소값 사이에 국소적인 변화가 있는 상태를 말하는데, 일반적으로 물체와 배경의 경계부에서 나타난다. 분할된 영상으로부터 원하는 균열을 인식하기 위한 준비과정으로서 정지 입력 영상을 분석 과정에 적합하게 자료구조화 하는 과정이다. 영역 분석에 따른 추출정보는 해당 영역 노드의 특징 값으로 저장된다. 본 시스템에서는 생성된 영역별 추출 특징과 영역들 간의 공간적인 관계를 기반으로 영상을 분석하고 정량화한다. 균열의 분석방법은 노드들간의 집합연산에 의한다. 균열 검출 시스템구성의 마지막단계로서 전처리과정과 영상분할 과정을 거쳐 최종적으로 메모리에 저장된 픽셀 값들 중에서 가장 많은 255 화소 값을 갖는 메모리에 값을 균열영역으로 결정하고, X축으로 확장된 픽셀 수를 $Output(x, y) = |Image 1(x, y) - Image 2(x, y)|$ 균열영역의 길이로, Y축으로 확장된 픽셀 수의 최대, 최소값을 균열영역의 최대, 최소폭으로 결정하여 균열영상의 균열영역에 대한 특징으로 추출한다.

V. 실험 평가 및 고찰

본 논문에서 제안한 차영상기법을 이용한 콘크리트 구조물의 효율적인 균열 검출은 정확한 윤곽선의 검출과 그 측정을 목표로 한다.

이 장에서는 3장에서 제안한 콘크리트 구조물에 발생한 균열을 영상처리 기술을 적용하여 효율적으로 검출하기 위해서 모폴로지 기법과 차영상 분석 기법의 처리를 통하여 얻어진 균열 부위의 윤곽선 검출 방법에 대한 효용성을 보인다. 이를 위하여 시스템을 구성하고 알고리즘을 구현하여 기존의 마스크 연산을 이용한 윤곽선 검출 기법과 제안 기법에 대하여 실험적 평가 및 분석을 하였다.

5.1. 실험 환경

본 논문에서 제안된 콘크리트 구조물의 균열 검출 시스템의 프레임 영상은 디지털카메라를 통하여 얻어진 256×256의 크기를 가지는 그레이(gray) 영상이다. 전

체 시스템을 관리하는 컴퓨터 시스템은 Pentium-II 128MB를 사용하였다. 이 컴퓨터는 디지털 카메라로부터 영상을 입력받아 화소값 분석을 통한 모폴로지 기법을 이용하여 배경 영역만을 가지는 새로운 영상을 생성하고 입력영상과의 차연산을 통하여 균열 부위를 검출한다.

입력된 영상의 윤곽선을 검출하고 처리하기 위하여 Visual C++ 6.0 프로그래밍 언어를 이용하여 구현하였다.

5.2. 균열 검출 및 측정

본 논문에서 제안한 모폴로지를 적용한 차영상 기법의 실험적 성능평가를 위하여 기존의 마스크 연산을 이용한 윤곽선 검출 기법 실험과 비교하였다.

또한 윤곽선 검출 결과의 비교 평가를 하기 위하여 입력영상에서의 균열부위 윤곽선을 측정하여 제안 기법과 기존 마스크 연산기법의 오차를 계산하였다.

다음의 Fig.5은 본 논문에서 제안한 모폴로지 기법과 차연산을 적용하여 균열 부위를 검출한 결과영상이다.

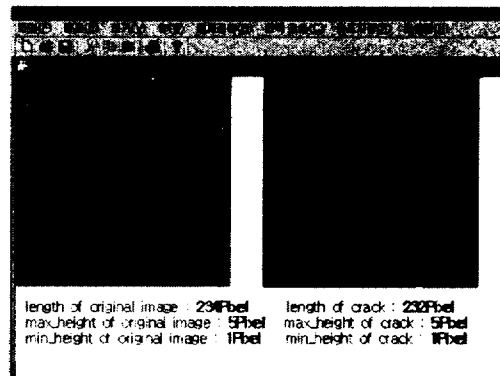


Fig. 5. Result image

Fig.6은 원영상과 제안 기법, 마스크 연산을 적용한 윤곽선 검출의 결과영상을 보여주고 있다.

제안기법을 적용한 결과영상의 윤곽선검출 및 측정 결과 값이 기존마스크 연산을 이용한 결과값들 보다 원영상과 오차가 적게 발생하고 있음을 알 수 있다.

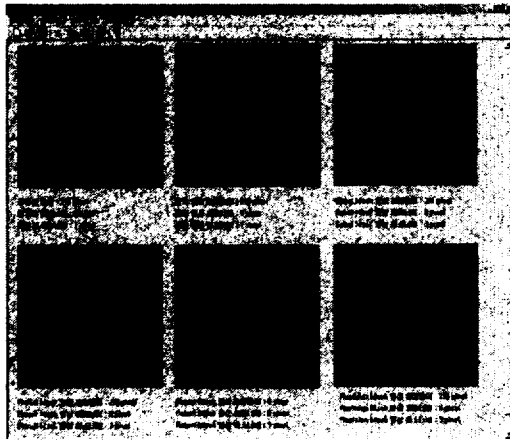


Fig. 6. Result image

이는 마스크 연산을 통한 윤곽선검출에서 이용되는 특정 값을 적용하지 않고 원영상에서 화소 값 분석을 통한 모폴로지 기법과 차연산을 적용함으로써 윤곽선 부위를 뚜렷하게 나타낼 수 있었고, 윤곽선에 대한 데이터는 보존할 수 있었기 때문에 원영상과의 오차가 작게 발생하는 윤곽선을 검출하고 이를 측정할 수 있었다.

콘크리트 구조물의 균열 검출에서 균열에 해당하는 윤곽선을 기존의 기법보다 오차가 적게 발생하고 있음을 실험을 통하여 증명하였다.

다음의 Table.1은 100개의 실험 영상에서 샘플링한 영상의 균열 검출 비교분석표이다.

Table. 1. Comparison and Analysis of Crack Detection (The Unit : pixel)

No	Original Image	Sobel	Prewitt	Roberts	Laplacian	Suggestion Technique
1	247	253	252	2	251	244
2	115	120	119	1	118	113
3	211	216	214	1	213	208
4	231	238	236	2	235	228
5	57	64	63	3	62	55
6	97	103	101	1	100	96
7	154	160	159	1	158	152
8	26	30	29	2	29	25
9	155	162	160	1	161	153
10	199	204	202	1	203	198

Table.1과 Table.2 그리고 Fig.6의 결과에서와 같이

Table. 2. An Average error of Crack Detection (The unit : pixel)

Sobel	Prewitt	Laplacian	Suggestion Technique
5.8	4.3	3.8	2.0

로버트 마스크 연산 결과값을 제외하고는 원영상의 결과값과 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 콘크리트 구조물에서의 균열 검출에 있어 오차 발생은 예기치 않은 결과를 초래할 수 있으므로 오차 범위를 최대한 줄여야 한다. 다양한 외부적 요인 즉, 콘크리트 구조물의 노면상태, 촬영위치 등에서부터 오차가 발생하므로, 입력된 영상에서 균열 부위를 인식하고 측정하는 과정에서의 오차를 줄이는 것이 본 연구의 목적이다.

실험결과와 같이 일반적인 영상처리에서 사용되는 마스크 연산을 이용한 윤곽선 검출은 다소의 오차가 발생하고 있음을 알 수 있다. 반면, 본 연구에서 제안한 모폴로지 기법과 차연산을 적용한 윤곽선검출에서는 오차가 거의 없음을 실험을 통하여 확인하였다.

VI. 결 론

본 연구는 영상처리기법을 이용하여 콘크리트 구조물의 균열을 검출하고 이를 측정하기 위한 윤곽선검출 및 인식에 관한 것이다.

기반연구로서 콘크리트 구조물에 발생한 균열의 요인에 대하여 분석하고 그중 가장 많은 비중을 차지하는 건조수축에 의한 균열에 대하여 영상처리기술을 적용하여 균열을 검출하였다.

마스크 연산은 효율적이기는 하나 입력영상의 윤곽선에 대한 정확한 데이터를 얻을 수 없었으며, 이를 개선하기 위하여 입력영상에 모폴로지를 이용한 차영상 기법을 적용함으로써 입력영상에 대한 데이터는 그대로 유지하고 윤곽선영역만을 부각시켜줌으로서 윤곽선검출 및 측정을 보다 정확히 할 수 있었다.

콘크리트구조물의 안전도 검사 중 구조물에 발생한 균열을 효율적으로 검출함으로써 구조물의 안전도 정밀진단 여부, 보수대책의 기초자료 등을 마련할 수 있다. 영상처리기법을 이용하여 균열부위를 검출하고 그

효용성을 증명함으로써 하나의 객관적인 지표를 마련할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 콘크리트구조물의 건조수축에 의한 단순한 균열만을 한정적으로 적용함으로써 제한된 부분에서의 효용성을 증명할 수 있었으나 균열의 요인과 그 종류는 매우 다양하고 특징 또한 많은 변수를 지니고 있다. 따라서 구조물에 발생하는 균열의 요인과 종류에 대한 데이터베이스를 구축함과 더불어 범용적인 균열 검출 및 자동인식 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- 1) D. Marr, and Hildreth, E. 1985. Theory of Edge Detection, Proc. R Soc. Lon., vol.B207, pp. 187-217.
- 2) 편집부 엮음, 1998, 콘크리트건물의 균열, 탐구문화사.
- 3) 전광우, 최영화, 정재동, 1997, 철근 콘크리트구조물의 균열 발생 실태에 관한 조사연구, 대한건축학회 학술 발표 논문집, 17권 2호.
- 4) A. K. Jain, 1989, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall.
- 5) A. Papoulis, 1991, Probability of Random Variables and Stochastic Processes, 3rd, McGraw-hill.
- 6) A. M. Tekalp, 1995, Digital Video Processing. Prentice Hall PTR.
- 7) RANDY CRANE, 1997, 영상처리 이론과 실제.
- 8) C. Rafael, Gonzalez & Richard E. Woods, 1992, Digital Image Processing, 3rd, Prentice Hall.
- 9) 김상희, 문영식, 1997, 그레이스케일 모폴로지 알고리즘의 성능에 관한 연구, 공학기술연구소 논문지.
- 10) 김상희, 문영식, 1996, 에지정보를 이용한 잡음 제거용 적응적 모폴로지 알고리즘, 정보과학회 추계 학술대회.