
모폴로지 기반의 차영상 분석기법을 이용한 균열검출의 인식

변태보* · 김장형* · 김형수**

The Recognition of Crack Detection Using Difference Image Analysis Method based on Morphology

Tae-bo Byun* · Jang-hyung Kim* · Hyung-soo Kim**

요 약

본 논문에서는 비전 시스템을 이용하여 이동 물체를 추적하는 방법을 제안하였다. 이동 물체를 계속적으로 추적하기 위해서는 이동 물체의 영상이 화상의 중심점 부근에 위치하도록 해야 한다. 따라서 이동 물체의 영상이 화상의 중심점의 부근에 위치하도록 하기 위하여 팬/틸트(Pan/Tilt)구조의 카메라 모듈을 제어하는 퍼지 제어를 구현하였다. 향후, 시스템을 이동로봇에 적용하기 위하여 비전 시스템을 위한 영상처리보드를 설계 제작하였고, 대상물체의 색상과 형태를 파악한 후 퍼지 제어를 이용하여 카메라모듈이 물체를 추적할 수 있도록 StrongArm 보드를 이용하여 구성하였다. 그리고, 실험에 의해서 제안된 퍼지 제어가 실시간 이동물체 추적 시스템에 적용 가능함을 확인 하였다.

ABSTRACT

This paper presents the moving object tracking method using vision system. In order to track object in real time, the image of moving object have to be located the origin of the image coordinate axes. Accordingly, Fuzzy Control System is investigated for tracking the moving object, which control the camera module with Pan/Tilt mechanism. Hereafter, so the this system is applied to mobile robot, we design and implement image processing board for vision system. Also fuzzy controller is implemented to the StrongArm board. Finally, the proposed fuzzy controller is useful for the real-time moving object tracking system by experiment.

키워드

Object tracking, Fuzzy controller, Image processing, Camera, StrongArm,

I. 서 론

콘크리트는 다른 건설재료에 비해 내구성 및 내열성이 우수하고 여러 형상의 구조물을 용이하게 시공할 수 있다는 장점 때문에 건설산업분야에 널리 이용되고 있다. 그러나 콘크리트 구조물은 시간이 지남에 따라 노후화가 심

각해지고 있어, 콘크리트 구조물의 안전진단 및 평가에 대한 필요성이 날로 증가하고 있다.

과거에는 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', '파

* 제주대학교
** 제주한라대학

손된 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 건물의 균열을 검출하는 방법에 관한 것으로, 특히 검출 데이터의 신뢰도가 적절하게 유지되면서 원영상으로부터의 균열 검출 작업 속도가 보다 향상되고 균열 선 성분의 편집 작업이 보다 편리하게 이루어지도록 된 콘크리트 구조물의 균열 검출 방법에 관해 연구하였다.

콘크리트 구조물의 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]. 마스크 연산을 이용한 윤곽선 검출 기법은 그 특성에 따라 원영상의 윤곽선에 해당하는 데이터가 다양하게 변화한다.

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 윤곽선 영역 검출을 위하여 원영상의 윤곽선에 해당되는 데이터를 보존하고 이를 보다 정확히 측정하기 위해서 모폴로지를 적용한 차영상 기법을 제안하였으며, 이는 원영상 내의 윤곽선 즉, 오브젝트는 부각시키고 배경은 제거됨으로써 윤곽선에 해당되는 데이터에는 기존의 윤곽선 검출 기법보다 적은 손실로 이를 측정할 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 조건으로서 응력적으로는

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

또한, 변위면에서는

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

으로 표현할 수 있다.

그러나 콘크리트의 특성상 현재의 기술로 균열을 완벽히 차단하는 것은 쉬운 일이 아니며 앞으로의 과제라 남아 있다. 혼합재료의 개발 등으로 콘크리트의 성질이 개선될 수 있지만, 단가가 높아지는 것은 피할 수 없을 것이다.

따라서 콘크리트 구조물의 균열 발생은 초기에 진단하여 대처하는 것이 바람직하다. 콘크리트 구조물에 균열이 발생하는 요인은 그림 1에서와 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 그림 1과 같이 2개의 그룹으로 분리한다.

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.

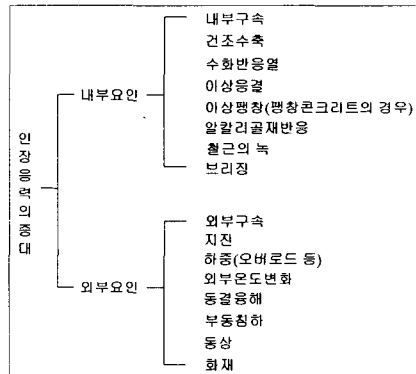


그림 1. 콘크리트 균열원인
Fig. 1 The Cause of Concrete Cracked

건조 수축에 의한 균열의 경우 예를 들면 슬럼프 18cm 정도의 콘크리트 건조 수축률은 $6\sim 8 \times 10^{-4}$ 정도이다. 건물이 자유롭게 수축될 수 있다고 가정한다면, 10m에 대해 6~8mm정도가 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+클립프신장)은 $3\sim 4 \times 10^{-4}$ 정도이다. 이를 식으로 표현하면 아래의 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

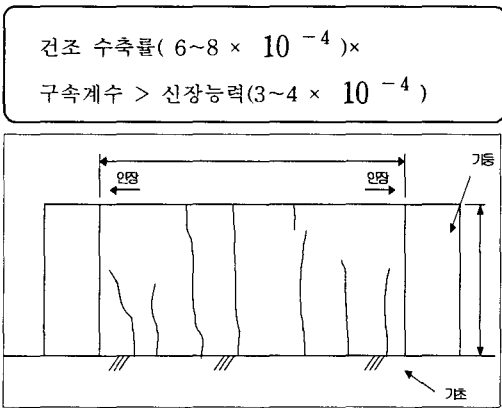


그림 2 건조수축균열
Fig.2 Drying Shrinkage Crack

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 균열 특성

콘크리트에 발생하는 균열의 일반적인 특성은 균열원인에 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

윤곽선(edge)은 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 있어 물체의 경계에 해당하는 곳이므로 픽셀 값의 불연속이나 픽셀 미분 값의 불연속점에 존재한다[2,3].

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[4,5].

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[6,9].

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

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.

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

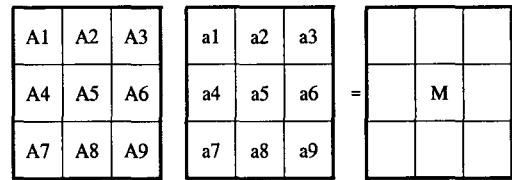
$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx G_y = f(x, y) - f(x, y-1)$$

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 그림 3과 같이 원영상 안의 픽셀들을 마스크의 동일 위치에 해당하는 픽셀들과 곱하고 모든 픽셀을 합하여 중심 픽셀에 할당하는 형식을 취한다.

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 부여하고자 한다.

3.3 차영상 기법

차영상 기법(difference image method)은 전형적으로 두 영상 사이의 차이를 결정하기 위하여 사용한다. 이러한 기법은 고정된 공간에서 입력되는 영상의 차이를 분석하는 움직임 감지시스템이나 공장 자동화 라인에서 제품의 에러를 검사, 의료영상의 향상 등 다양한 영상처리기술과 혼합되어 매우 유용하게 사용되고 있다.



Mask Original Image Edge Detection
(단, M = A1×a1+ A2×a2 + A3×a3 + ... + A9×a9)

그림 3. 윤곽선 검출 마스크 연산
Fig.3 The Operation of Mask for Edge Detection

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 속 에 염료가 주입된 후에 얻어진 것이다. TV 영상 입력 데이터에의 각 영역으로부터 마스크를 제거하면 그 본질적인 효과는 $f(x, y)$ 와 $h(x, y)$ 사이에 서로 다른 영역이 개선된 세부사항으로 출력 영상에 나타난다. 영상들은 TV 프레임률로 획득되기 때문에, 이 과정은 본질적으로 어떻게 염료가 다양한 동맥을 통하여 전파하는지를 보여주는 영상을 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.

$$Output(x, y) = Image(x, y) - C \quad (\text{단, } C = \text{임의의 상수})$$

값)[7,8].

두 이미지간의 빼기 연산은 절대값을 취하여 차이값을 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. 균열영상 검출 알고리즘 설계

4.1 모폴로지 기법

모폴로지 기법(morphology method)은 영상의 형태적인 면을 조작함으로써 영상의 경계, 골격, 블록과 같은 영역 형태를 표현하거나 서술하는데 있어서 유용한 영상 요소들을 추출하기 위한 도구로써 수학적 형태론의 개념으로 사용한다[9,10].

이 기법은 영상처리의 전처리 작업이나 초기 객체 분류 또는 이러한 처리 후에 물체의 내재된 구조를 명확히 하는데 이용되며, 물체의 외곽선을 1 픽셀 두께의 외곽선이나 골격선으로 간단하게 함으로써 이루어진다. 이러한 모폴로지 기법은 물체와 배경과의 사이에서 물체의 축소나 확장의 결과를 볼 수 있어 다양한 모폴로지 기법들을 알맞게 혼합하여 응용하면 더욱 다양한 곳에 사용될 수 있다.

모폴로지 기법에는 이진 영상에서의 모폴로지 기법과 그레이 영상에서의 모폴로지 기법이 있으며, 알고리즘에서는 침식 연산 · 팽창 연산 · 열림 연산 · 닫힘 연산의 방법으로 분류된다.

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

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

4.3 영역 확장

검출된 (x,y)좌표에서 그 좌표를 중심으로 순서적으로 영역을 확장하면서 화소 값을 검색하여 (x, y)좌표 값이 1 인 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 좌표 값들을 그레이레벨 255값으로 변경하여 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. 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

정량화 하였으며, 균열의 분석방법은 노드들간의 집합연산에 의하고 있다. 균열 검출시스템구성의 마지막단계로서 전처리과정과 영상분할과정을 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.

4.5 균열영상의 특징추출 로직 설계

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 균열영상에 영상처리기술을 적용하여 균열영역을 검출함으로써 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 생성하였으며, 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 영상의 오차를 줄일 수 있는 균열 검출 기법을 제안하였다. 그림.4는 본 논문에서 제안한 균열 검출을 위한 로직처리 순서도이다.

본 논문의 제안 알고리즘에 대한 시스템상에서의 로직처리는 우선 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 하였다. 설정된 임계값을 모폴로지 기법의 채움 연산으로 하나의 전체 영상을 구성하였다. 원영상과

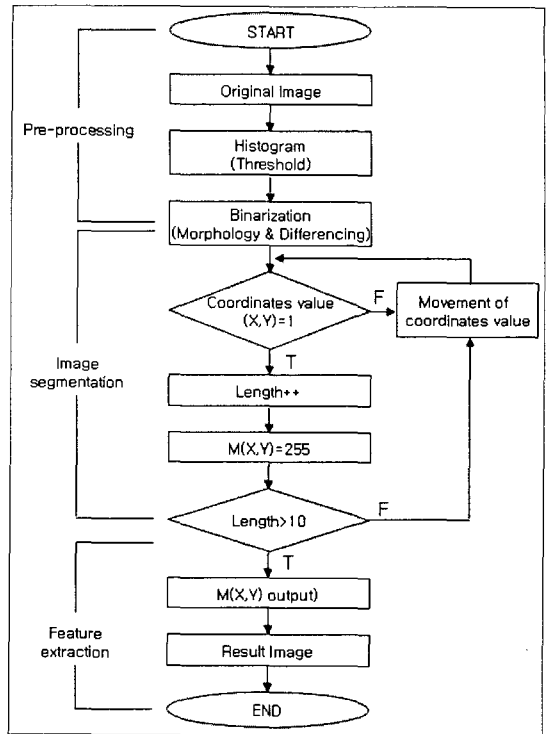


그림 4. 균열검출을 위한 제안알고리즘
Fig.4 Suggested Algorithm for Crack detection

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 구축 처리하였다.

V. 실험 평가 및 고찰

본 논문에서 제안한 차영상 기법을 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 검출하

기 위해서 모폴로지 기법과 차영상 분석 기법의 처리를 통하여 얻어진 균열 부위의 윤곽선 검출 방법에 대한 효율성을 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 256x256의 크기를 가지는 그레이(gray) 영상이다. 전체 시스템을 관리하는 컴퓨터 시스템은 펜티엄4(3.0 Ghz)를 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 제안기법과 기존 마스크 연산기법의 오차율을 계산하였다. 그림 5는 본 논문에서 제안한 모폴로지 기법과 차연산을 적용하여 균열 부위를 검출한 결과영상이다.

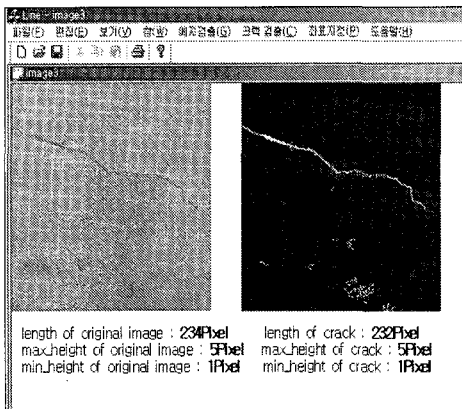


그림 5. 제안 검출기법의 결과 영상
Fig.5 Result image of suggested detection method

그림 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.

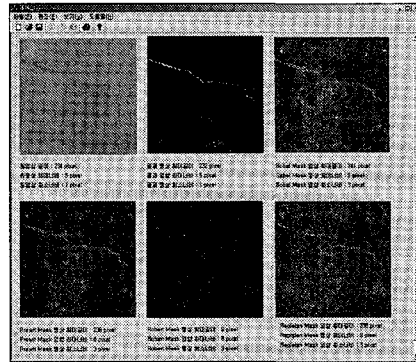


그림 6. 결과 영상의 비교
Fig.6 Comparison of result image

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 있었으며, 이는 기존의 기법보다 오차가 적게 발생하고 있음을 실험을 통하여 증명하였다.

다음의 표1은 100개의 실험 영상에서 샘플링한 영상의 균열 검출 비교분석표이다.

표 1. 균열검출의 비교분석
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

표 2. 균열 검출의 평균에러
Table.2 An Average error of crack Detection
(The unit : pixel)

Sobel	Prewitt	Laplacian	Roberts	Suggestion Technique
5.8	4.3	3.8	147.7	2.0

표 1과 표 2 그리고 그림 6의 결과에서와 같이 로버트 마스크 연산 결과 값을 제외하고는 원영상의 결과 값과 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 발생함으로, 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 안정도 정밀 진단 여부, 보수대책의 기초자료 등을 마련할 수 있다. 영

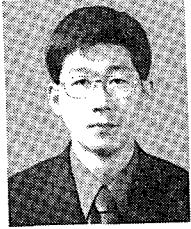
상처리기법을 이용하여 균열부위를 검출하고 그 효율성을 증명함으로써 하나의 객관적인 지표를 마련할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 콘크리트구조물의 건조수축에 의한 단순한 균열만을 한정적으로 적용함으로써 제한된 부분에서의 효율성을 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] Marr, D., and Hildreth, E. "Theory of Edge Detection", Proc. R Soc. Lon., vol.B207, pp. 187-217,1985.
- [2] A. K. Jain, Fundamentals of Digital ImageProcessing, Prentice-Hall,1989.
- [3] Rafael C. Gonzalez & Richard E. Woods,Digital Image Processing, 3rd. Prentice Hall,1992.
- [4] A. Papoulis, Probability of Random Variables and Stochastic Processes. 3rd. McGraw-hill, 1991.
- [5] R. CRANE. A Simplified Approach to Image Processing: Classical and Modern Techniques in C, 1997.
- [6] A.M. Tekalp, Digital Video Processing, Prentice Hall PTR,1995.
- [7] K. Mase and A."Pentland. Lipreading by optical flow Systems and Computers". 22(6) : 67-76. 1991.ans
- [8] Y.Z. Hsu, H.H. Nagel, G. Rekers, "New Likelihood test method for change detection image in image sequences. Computer vision, Graphics, and Image Processing", vol.26, pp.73-106, 1984.
- [9] J.Serra,"Image Analysis and Mathematical Morphology," vol.2, Academic press, 1998
- [10] S.Sternberg,"Grayscale morphology" CVGIP, vol. 35, pp.333-355, 1986.

저자소개



변 테 보(Tae-bo Byun)

1989년 제주대학교 무역학과
2003년 동 대학교 대학원 전기전자
통신공학 (공학석사)
2003년 동 대학교 대학원 컴퓨터 공
학과 (대학원 박사과정)

※ 관심분야: 인공지능, 가상현실, 영상처리



김 장 형(Jang-hyung Kim)

1981년 홍익대학교 정밀기계공학과
(공학사)
1983년 연세대학교 대학원 기계공학
과(공학석사)
1990년 홍익대학교 대학원 기계공학
과(공학박사)

1998년~2000년 제주대학교 전자계산소장
1984년~현재 제주대학교 통신컴퓨터공학부 교수
※ 관심분야: CAD · CAM, 멀티미디어, 인공지능