

碩士學位論文

# 차영상기법을 이용한 균열검출시스템의 설계 및 구현



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

邊 泰 保

2002 年 6 月

# 차영상기법을 이용한 균열검출시스템의 설계 및 구현

指導教授 金壯亨

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2002 年 6 月



電子電氣工學科  
(컴퓨터工學)

邊 泰 保

邊泰保의 工學碩士學位 論文을 確認함

2002 年 6 月 日

審査委員長 郭 鎬 榮 印  
委 員 李 尙 俊 印  
委 員 金 壯 亨 印

# 목 차

## Abstract

I. 서 론 .....	1
II. 콘크리트 구조물의 균열 .....	3
1. 균열의 원인 및 현황 .....	3
2. 균열의 특성 및 적용기술 .....	6
2.1 균열의 특성 .....	6
2.2 윤곽선 검출 .....	7
2.3 기울기 연산자에 의한 윤곽선 검출 .....	8
III. 균열 영상의 분석 .....	15
1. 균열 영상의 전처리 .....	17
1.1 화소값 분포조사 .....	18
1.2 임계값 설정 .....	19
1.3 모폴로지 .....	20
2. 균열 영상의 분할 .....	21
2.1 차영상 .....	21
2.2 영역 확장 .....	22
3. 균열 영상의 특징 추출 .....	23
IV. 실험 평가 및 고찰 .....	24
1. 실험 환경 .....	24
2. 균열 검출 및 측정 .....	25
V. 결 론 .....	33
참고문헌 .....	35

# The Design and Implementation of Crack Detection System Using Difference Image Analysis Method

**Tae-Bo Byun**

Department of Electrical and Electronic Engineering  
Graduate School of Industry  
Cheju National University

**Supervised by professor Jang-Hyung Kim**



## Summary

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.

# I. 서 론

콘크리트 구조물의 유지 관리는 구조물의 존속기간 동안 사용성과 내구성을 유지하고 향상시키는데 필요한 과정이다[1]. 콘크리트 구조물은 여러 요인에 의해 손상을 입거나 노후화 되며 특히, 균열은 내력, 내구성, 방수성 등 모든 기능을 저하시키는 주된 요인으로 작용하므로 이에 대한 조기진단과 이에 따른 적절한 대책은 콘크리트 구조물의 유지관리에 있어 중요한 비중을 차지한다[2].

콘크리트 구조물의 정기점검단계와 균열진단의 초기단계에서는 증상에 대한 피상적이고 불완전한 데이터를 확보하는 정도이다. 이러한 자료만으로는 균열의 세부원인을 진단하기 어렵기 때문에 활용 가능한 데이터로부터 각 부재에 나타나는 대략적인 범주로 균열원인을 분류하고 통합하여 구조물에 나타나는 전반적인 균열경향을 추정한다. 이 결과를 바탕으로 정밀점검 또는 균열의 상세 진단 단계에서 범위를 좁혀 균열의 세부적인 원인을 용이하게 판별할 수 있다[3].

현재 국내에는 콘크리트 구조물에 대한 안전진단 전문인력이 크게 부족한 실정이다. 진단과정에 있어서도 주관적이고 경험적인 판단에 많이 의존하고 있어 체계적인 안전진단시스템은 정립되지 않은 상태이다[4].

이에 본 논문에서는 신뢰성을 가지고 효율적으로 안전진단을 수행할 수 있는 기초를 마련하기 위하여 ‘차영상기법을 이용한 균열검출시스템의 설계 및 구현’을 제안하였다.

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[5]. 마스크 연산을 이용한 윤곽선

검출 기법은 그 특성에 따라 원영상의 윤곽선에 해당하는 데이터가 다양하게 변화한다[6]. 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 정확히 측정하기 위해 본 논문에서는 모폴로지를 적용한 차영상 기법을 제안하였다. 제안된 모폴로지를 이용한 차영상 기법은 원영상 내의 윤곽선 즉, 오브젝트는 부각시키고 배경은 제거됨으로써 윤곽선에 해당되는 데이터에는 기존의 윤곽선 검출 기법 보다 적은 손실로 이를 측정 할 수 있었다. 따라서 콘크리트 구조물에 발생한 균열에 대하여 기존의 영상처리기법보다 적은 오차율로 균열 부위를 검출할 수 있었다.

본 논문은 모두 5장으로 구성하였다. 1장 서론에서는 본 논문의 연구동향 및 필요성에 대해서 서술하였고, 2장에서는 콘크리트 구조물에 발생하는 균열들의 요인과 종류에 대해서 분석하고, 균열을 검출하기 위해 영상처리 기술에서 적용 가능한 기법들에 대하여 서술하였다. 3장에서는 균열 검출을 위하여 기존의 적용 가능한 기법들의 문제점을 실험을 통하여 분석하고, 이를 개선하기 위하여 모폴로지를 이용한 차영상 기법을 제안하여 균열검출을 위한 효율적인 방법을 모색하였다. 4장에서는 제안한 알고리즘을 실험을 통하여 그 효용성을 확인하였으며, 끝으로 5장 결론에서는 본 논문에서 제안한 모폴로지를 이용한 차영상 기법의 효용성과 적용범위 및 향후연구 방향을 모색하였다.

## II. 콘크리트 구조물의 균열

본 장에서는 콘크리트 구조물에 발생하는 균열의 검출을 위하여 균열의 원인 및 현황과 그 특성에 대하여 분석하고 균열의 특성에 적용 가능한 영상처리 기술에 대하여 고찰하였다.

### 1. 균열의 원인 및 현황

콘크리트 구조물에는 콘크리트라는 재료의 특성에 따른 내적인 요인과 하중이나 외부환경 등에 따른 외적인 요인으로 인장력이 작용한다. 그러나 콘크리트는 압축강도에 비해서 인장강도가 극히 적어서 압축강도의  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{13}$  만이 있을 뿐이다. 또한, 인장강도가 적은 데 비해서 탄성계수가 크고 단단하며 깨지기 쉬운 재료이므로 약간의 인장힘으로 큰 인장력이 작용하여 쉽게 균열이 발생한다.

콘크리트 구조물이 균열되지 않을 조건은, 응력적으로

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

또한, 변위면에서는

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

이 되는 것이다. 그러나 콘크리트의 성질상 현재의 기술로 균열을 완벽히 차단하는 것은 쉬운 일이 아니어서 앞으로의 과제로 남아 있다. 앞으로 혼합재료의 개발 등으로 콘크리트의 성질이 개선될 수 있지만, 단가가 높아지는

것은 피할 수 없을 것이다[7].

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.

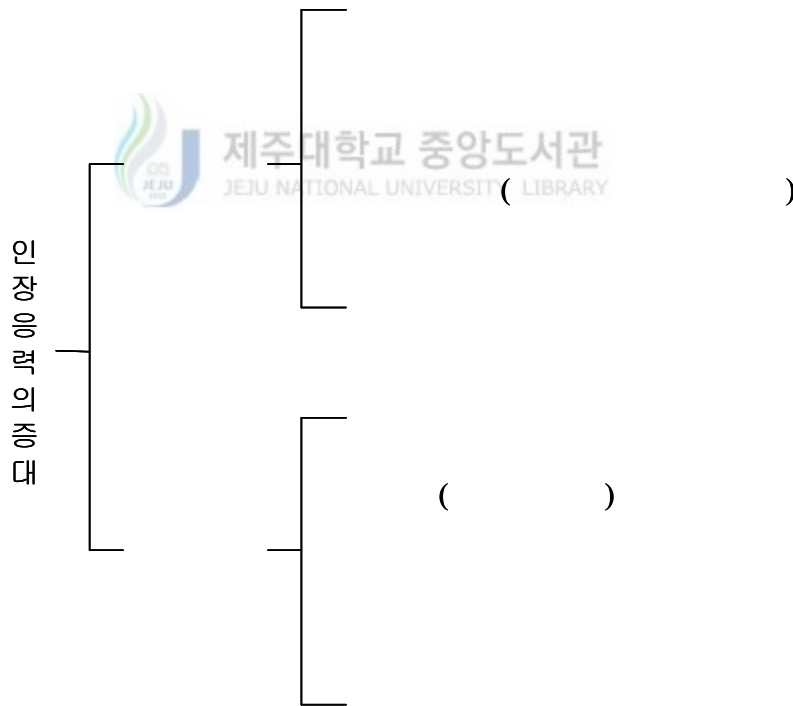


Fig.1 콘크리트균열의 원인

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[8].

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+클리프신장)은  $3\sim 4 \times 10^{-4}$  정도이다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

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

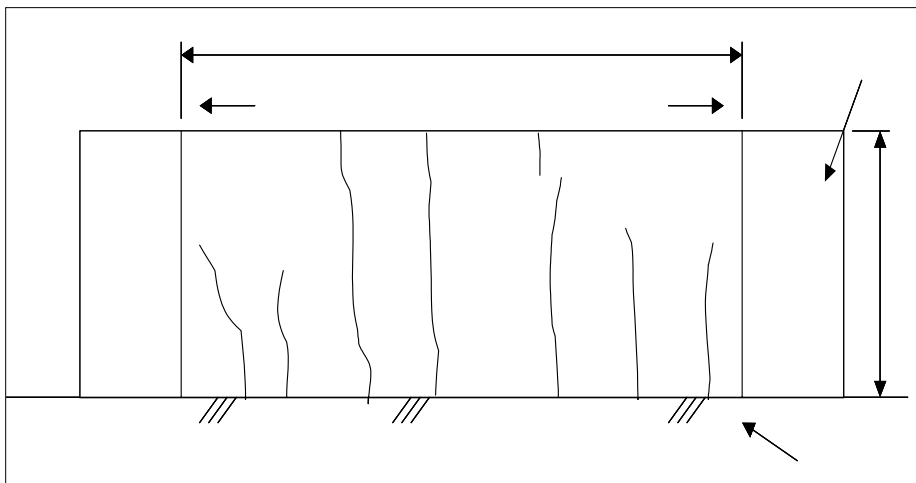


Fig.2 건조 수축 균열

여기서 구속계수는 건물의 규모, 형상, 부재의 단면, 기타 부위에 따라 다르

며, 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. 균열의 특성 및 적용기술

이 장에서는 콘크리트 구조물에 발생한 균열을 검출하기 위하여 균열의 특성과 이 특성을 이용하여 균열을 검출하기 위한 영상처리기술의 적용 가능한 기법들을 알아보고 실험을 통하여 적용 가능한 기법들의 문제점을 분석하고 개선방안을 모색하였다.

### 1) 균열의 특성

구조물에 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 픽셀밝기의 불연속점에 존재하는 특징을 갖고 있다. 따라서 윤곽선을 검출하기 위해서는 기울기의 특성을 이용한 윤곽선 검출기법을 적용할 수 있다.

## 2) 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 픽셀값의 불연속이나 픽셀 미분 값의 불연속점에 존재한다[9][19].

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 픽셀값의 변화가 둔화된다. 즉, 픽셀값의 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 달라지게 되는데 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[10][16].

3) 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 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[11].

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

1)



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.

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

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.

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

(식 3)

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

(식 4)

윤곽선 검출 알고리즘은 여러 가지 종류가 있으며, 윤곽선 검출은 미분 연산자에 의한 밝기값의 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[12].

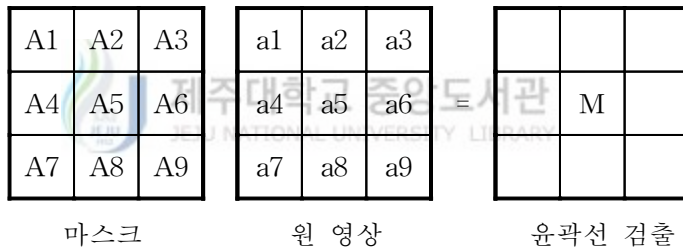


Fig.3 윤곽선 검출을 위한 마스크 연산

$$M = A1 \times a1 + A2 \times a2 + A3 \times a3 + \dots + A9 \times a9$$

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 윤곽선 검출 마스크에는 소벨(Sobel), 프르윗(Prewitt), 로버트(Robert), 라플라시안(Laplacian) 마스크 등이 있다.

(1) 소벨 마스크 (Sobel Mask)

윤곽선 검출의 가장 대표적인 미분 연산자인 소벨 마스크는 2차 미분연산

자이며 기울기의 크기는  $G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$  (단,  $G_x$ 는  $x$ 축의 편미분,  $G_y$ 는  $y$ 축 편미분)이다.

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

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

Fig.4 소벨 마스크

소벨 마스크는 연산속도가 비교적 느리며 잡음 부분도 윤곽선으로 인식할 만큼 밝기 정도에 매우 민감한 특성이 있다.

아래의 그림은 소벨 마스크를 이용하여 균열 부위를 검출한 모습이다.

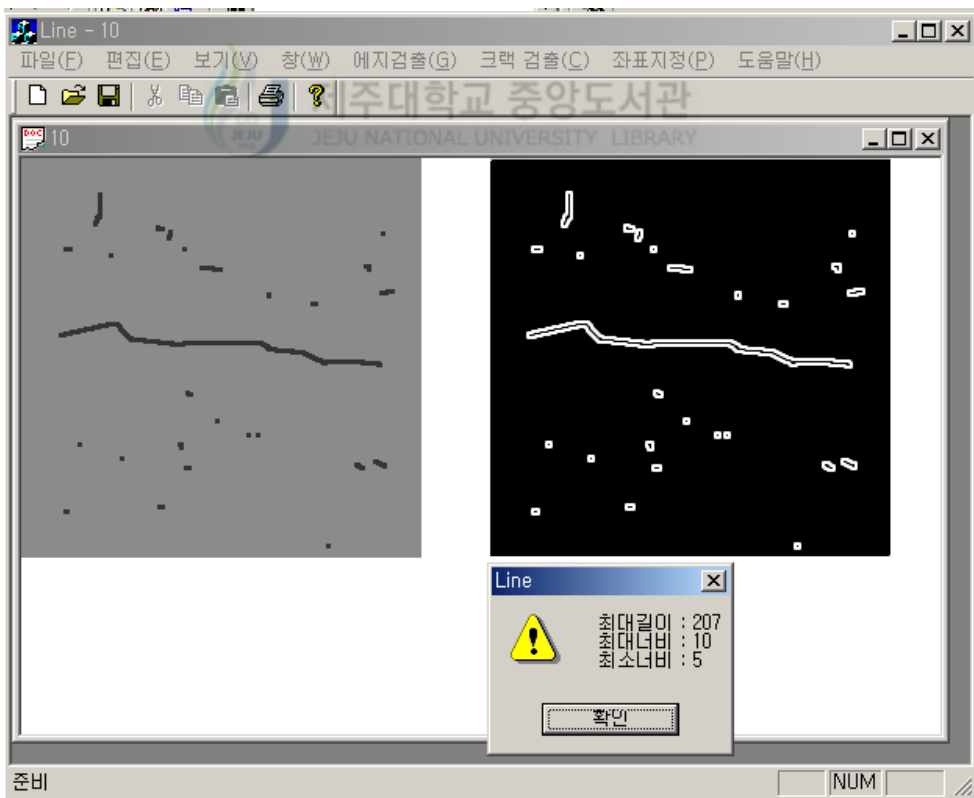


Fig.5 소벨 마스크를 이용한 균열 검출

(2) 프르윗 마스크 (Prewitt Mask)

소벨 마스크의 결과와 거의 같은 결과값을 나타내며, 처리시간이 소벨 마스크에 비하여 조금 빠르다. 마스크의 형태는 비슷하나 밝기의 경계에 대해 비중을 약간 다르게 준 것이 특징이다.

마스크의 비중 값을 다르게 하면 윤곽선이 덜 부각되어 나타난다.

-1	0	1	1	1	1
-1	0	1	0	0	0
-1	0	1	-1	-1	-1

Fig.6 프르윗 마스크

아래의 그림은 프르윗 마스크의 형태와 이를 이용하여 균열 부위를 검출한 모습이다.

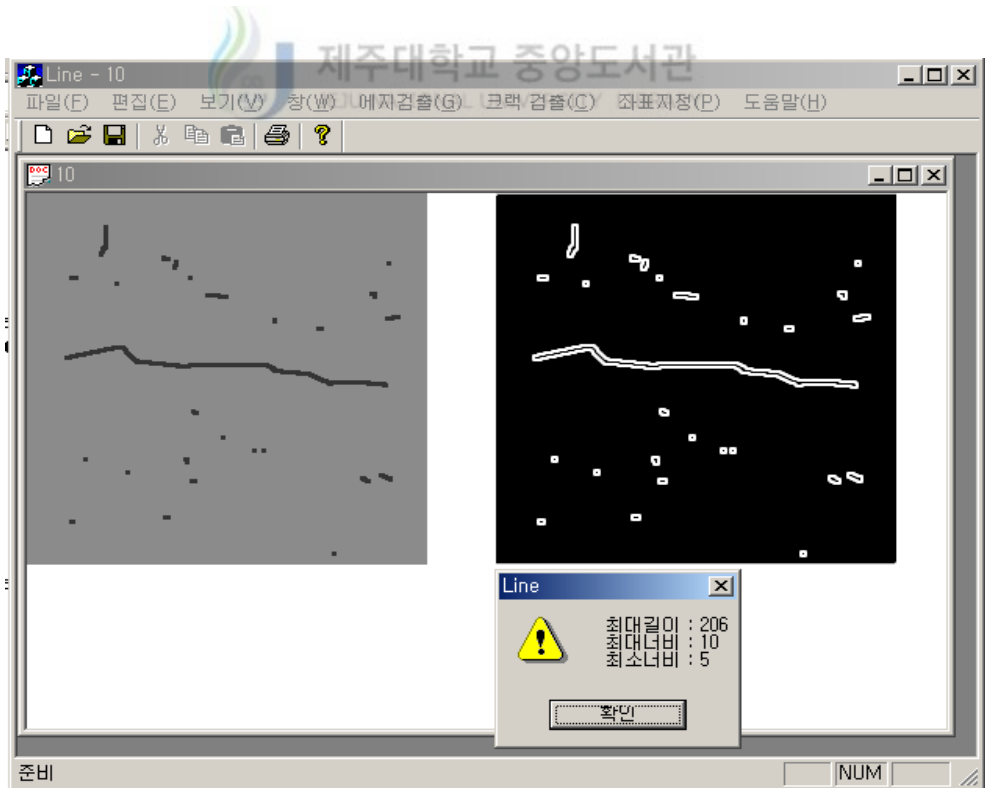


Fig.7 프르윗 마스크를 이용한 균열 검출

### (3) 로버트 마스크 (Robert Mask)

로버트 마스크는 윤곽선 검출 마스크 중 기본적인 것으로 처리 속도가 매우 빠르며 작은 커널을 사용하기 때문에 잡음에 매우 민감하다. 또한 매우 민감한 에지만을 검출해 내며 마스크의 모양은 45°의 기울기를 갖는다.

0	0	-1	-1	0	0
0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0

Fig.8 로버트 마스크

아래의 그림은 로버트 마스크를 이용하여 균열 부위를 검출한 모습이다.

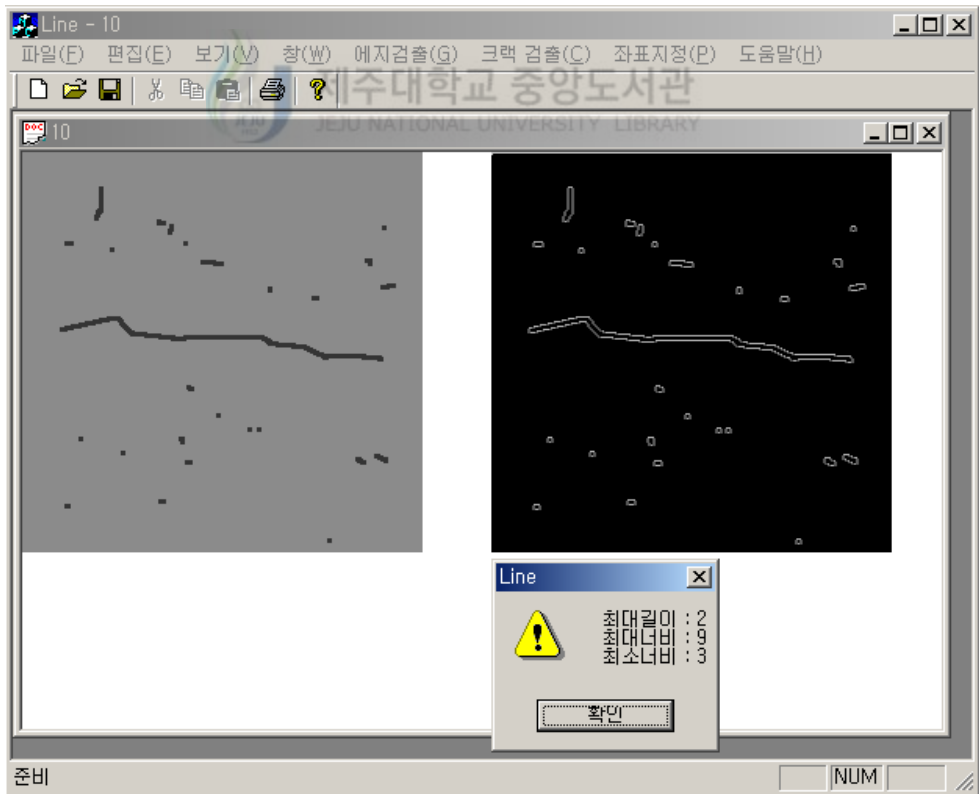



Fig.9 로버트 마스크를 이용한 균열 검출



#### (4) 라플라시안 마스크 (Laplacian Mask)

위의 윤곽선 검출방법은 너무 많은 윤곽선을 검출하는 단점이 있다. 2차 미분 값을 이용한 라플라시안 윤곽선 검출은 국지적으로 최대한 점만을 윤곽선으로 인정하는 특징을 보인다. 이상적인 윤곽선 검출은 윤곽선의 중심에 존재하는 윤곽선만을 표시해야 하는데 라플라시안 연산자는 이러한 윤곽선의 국한성을 잘 보여준다. 라플라시안 마스크는 연산 속도가 매우 빠르며 2차 미분 연산자를 이용하여 모든 방향의 윤곽선을 검출해 낸다. 그리고 다른 연산자와 비교하여 날카로운 윤곽선을 검출하고, 하나의 마스크로 윤곽선 검출을 수행하는 특징이 있다[13].

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1


 제주대학교 중앙도서관  
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY  
 Fig.10 라플라시안 마스크

아래의 그림은 라플라시안 마스크를 이용하여 균열 부위를 검출한 모습이다.

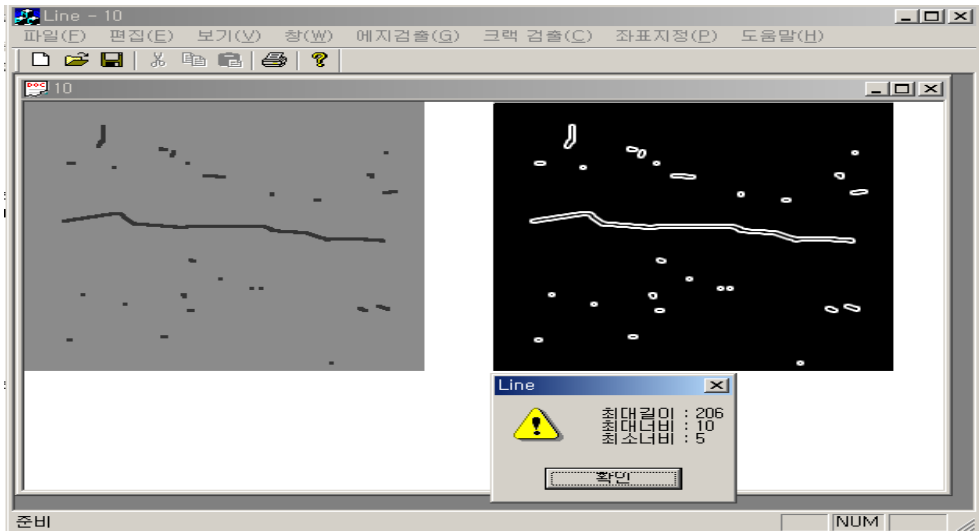


Fig.11 라플라시안 마스크를 이용한 균열 검출

지금까지 콘크리트 구조물에 발생하는 균열을 효율적으로 검출하기 위하여 콘크리트 구조물의 균열 원인과 현황에 대해서 알아보았다. 콘크리트 구조물의 균열은 건조수축, 수화열응력 등 다각도의 원인으로 발생한다. 그러나 여러 원인에 의하여 발생하는 균열은 하나의 선형으로 이루어진 공통적인 특성을 갖고 있다. 이러한 특성은 영상의 윤곽선 영역에 해당하며 이는 영상처리 기술에서 픽셀값의 불연속이나 픽셀 미분값의 불연속점에 존재한다. 따라서 영상처리기술의 윤곽선검출기법을 적용함으로써 콘크리트 구조물에 발생한 균열을 검출할 수 있다.

본 논문에서는 위와 같이 콘크리트 구조물의 균열영상에서 나타나는 특성을 이용하여 기존 영상처리기술의 마스크 연산을 이용한 윤곽선검출기법을 선행하였다. 실험결과 기존의 마스크를 이용한 윤곽선검출기법은 윤곽선을 찾아내는 데는 효율적이었으나 윤곽선을 검출하는 과정에서 마스크 연산으로 인한 결과영상과 원영상의 윤곽선검출 결과 비교에서 각 마스크의 특징에 따라 다소의 오차가 발생하였다. 이는 윤곽선 검출기법의 필터링 과정을 거치면서 잡음 제거 등으로 인하여 윤곽선 정보가 적은 즉, 윤곽선이 희미하게 나타나는 부분은 삭제되거나 또는 미세한 부분까지 검출하여 윤곽선으로 잘못인식 함으로서 나타난 결과이다.

따라서 본 논문에서는 원영상의 윤곽선정보를 최대한 보존할 수 있는 균열 검출 기법을 제안하여 콘크리트 구조물에서의 균열을 체계적이고 정확하게 검출할 수 있도록 하였다.

### Ⅲ. 균열 영상의 분석

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 균열영역검출기법을 제안하였다.

균열영상에서 균열영역을 검출하기 위한 선행연구로 먼저 균열의 원인과 현황 및 균열의 특성에 대해서 분석하였다. 그 결과 균열의 원인은 다양하게 발생할 수 있으나 하나의 선분형태로 특정한 패턴이 없이 연장되고 있는 공통적인 특성이 나타남을 알 수 있었다. 이는 영상처리기술의 윤곽선 영역과 유사함을 들어 마스크를 이용한 윤곽선 검출 기법을 적용하여 실험하였다. 미분의 특성을 갖고있는 대표적인 4개의 마스크를 이용한 균열 검출은 검출 수행 연산을 단순화하여 빠른 수행속도를 보였으나 마스크 연산으로 인한 원영상과 결과 영상에서의 오차가 발생하였고 균열의 특성인 하나의 선분 형태를 잃어버리는 결과를 실험을 통하여 발견하였다.

따라서 본 논문에서는 기존 영상처리기술의 마스크 연산을 이용한 윤곽선 검출기법의 문제점을 보완하여 콘크리트 구조물에 발생한 균열을 검출하기 위하여 먼저 원영상과 결과영상에서의 균열영역에 대한 데이터의 오차를 줄이기 위하여 감지시스템이나 공장자동화라인에서의 불량품 검출 등에 사용되는 차영상기법을 적용하였다. 차영상기법을 적용하기 위하여 원영상과 비교할 비교영상을 생성하였다. 비교영상을 생성하기 위하여 화소값 분포 히스토그램

에서 능동적인 임계값을 설정하고 해당 임계값을 배경 영역으로 갖는 배경영상을 생성하여 원영상과 차연산한 결과를 이진화함으로써 균열영상에서의 균열영역에 해당할 수 있는 오브젝트만을 부각시킴으로 균열검출을 좀더 쉽게 할 수 있고 또한 차연산만을 이용함으로써 원영상과 결과 영상과의 오차를 줄일 수 있는 균열 검출 기법을 제안하였다.

Fig.12는 본 논문에서 제안한 균열 검출을 위한 전체적인 검출시스템이다.

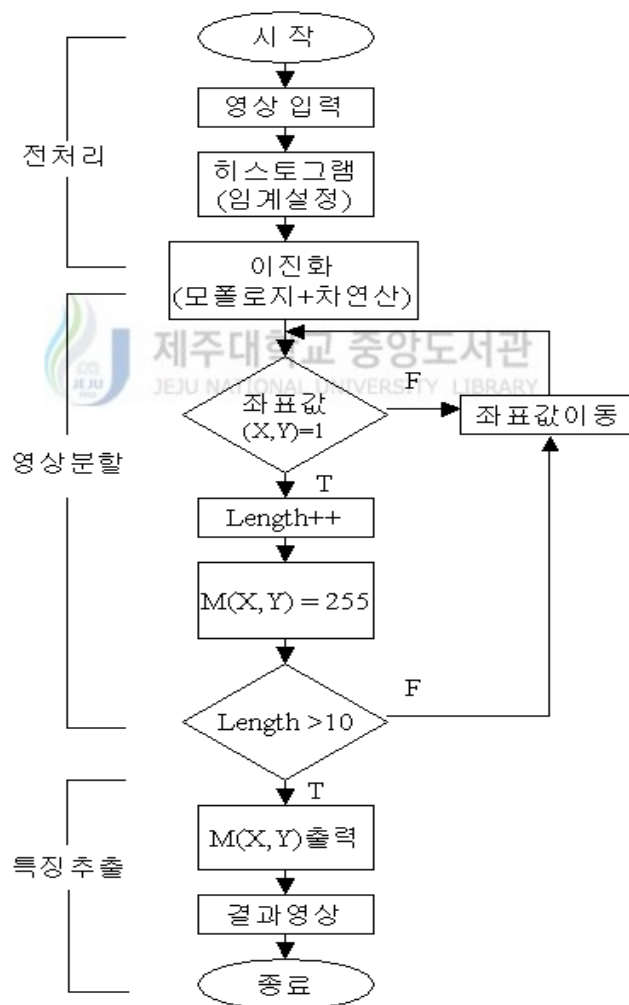


Fig.12 검출 시스템

본 논문의 전체적인 시스템의 구성은 단순 균열 검출을 위하여 입력된 영상의 화소값 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 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.

이러한 차영상기법을 이용한 균열영상에서의 균열을 검출하기 위한 시스템을 구성하기 위하여 본 논문에서는 전처리와 영상분할, 특징추출의 3단계로 구분 지어 균열 영상에서 균열을 검출할 수 있는 시스템을 제안하였다.

## 1. 균열 영상의 전처리

차영상기법을 이용한 균열 검출 시스템을 구현하기 위해서 먼저 입력된 균열영상의 전처리 과정을 수행한다. 균열 영상의 전처리 과정에서는 배경영역과 균열영역에 해당하는 오브젝트영역으로 영상을 2분할하기 위하여 히스토그램분석을 이용하였다. 히스토그램을 이용하여 화소값의 분포를 조사하고 히스토그램의 배경영역과 오브젝트영역의 two peak 사이의 최소값에서 배경영역으로의 평균값을 이용하여 능동적인 임계값을 설정하였다. 설정된 임계값을 모폴로지의 채움 연산으로 하나의 비교영상을 생성한다.

1) 화소값 분포조사

본 논문에서는 입력 영상의 화소값 분포를 조사하기 위하여 영상처리 기술에서 일반적으로 사용하는 영상 히스토그램을 이용하여 화소값의 분포를 조사하였다. 영상 히스토그램은 영상의 화소값 프로필을 보여주기 위해 사용되는 매우 유용한 방법이다. 이는 영상의 구성 즉, 명암 대비 및 명암값 분포에 대한 정보를 제공한다[14][18].

디지털 영상에서 히스토그램은 영상의 그레이레벨들의 발생 빈도를 의미하며, 이산 함수의 막대 분포도로 표현된다.

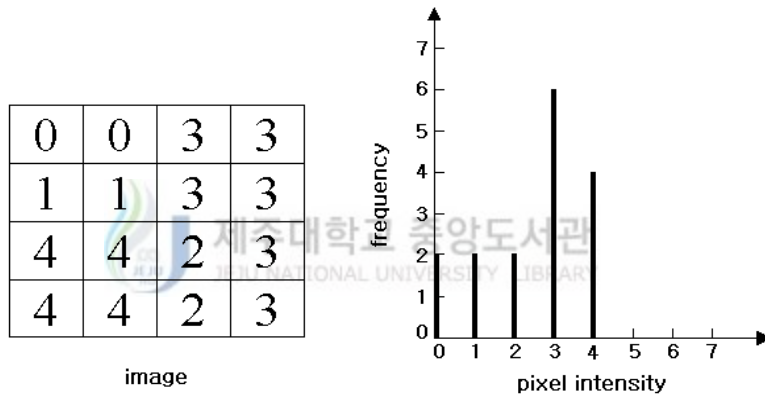


Fig.13 샘플 영상 및 히스토그램

히스토그램은 영상에 대한 전체적인 특징을 나타낸다. 예를 들면 공간해상도가  $N \times N$  인 영상이  $L$ 개의 그레이 레벨(gray level)을 가지고 있고, 그 값을 각각  $[x_0, x_1, x_2, \dots, x_{L-1}]$  라 하면 특정 그레이 레벨  $x_k$ 가 발생할 확률은 (식 5) 와 같이 표현된다.

$$P(x_k) = \frac{n_k}{n} \dots\dots\dots (식 5)$$

5)

(식 5)에서  $n_k$ 는 영상에서 특정 그레이 레벨  $x_k$ 를 가지고 있는 화소의 수를 의미하며,  $n$ 은 영상에 있는 전체 화소의 수이다. 히스토그램은 영상 내에서 특정 화소값이 발생할 확률  $P(x_k)$ 대  $x_k$ 의 도표를 의미한다[15].

본 논문에서는 위와 같은 히스토그램의 특성을 이용하여 영상내의 화소값 분포를 조사하였다. 히스토그램의 분포에서 나타나는 배경영역의 피크와 오브젝트영역의 피크사이의 화소값 분포 특성을 이용하여 배경영역에 해당하는 영상을 생성하기 위해서는 임계값 설정이 필요함을 알 수 있다. 본 논문에서는 배경영역에 대한 영상을 생성하기 위한 임계값을 결정하기 위하여 고정적인 임계값을 적용하지 않고 영상의 특성에 따라 임계값이 능동적으로 변할 수 있도록 하는 two peak 알고리즘을 이용하여 자동적으로 영상에서 배경영역을 포함하는 임계값을 설정할 수 있도록 하였다.

## 2) 임계값 설정



본 논문에서는 차영상기법을 적용하기 위하여 원영상에 대한 영상의 배경영역에 해당하는 비교영상을 생성하였다. 이러한 비교영상을 생성하기 위해서는 히스토그램의 화소값 분포조사를 통하여 얻어진 결과에서 배경영역의 화소값을 포함하는 적정 임계값을 설정하여야 한다. 그러나 임계값은 균열영상의 특성에 따라 배경영역을 포함하는 임계값의 범위가 변할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 영상의 특성에 따라 배경영역에 해당하는 임계값설정을 능동적으로 취할 수 있는 two peak 알고리즘을 2회 연속적으로 적용하여 배경영역의 화소값을 최대한 포함할 수 있는 임계값을 설정하였다.

two peak 알고리즘은 균열영상에 대한 히스토그램의 화소값 분포의 특성을 이용한다. 영상 히스토그램의 화소값 분포의 특성은 배경영역과 오브젝트영역에 해당하는 두 개의 피크가 형성되고 두 피크사이에 골이 생긴다. 이 골의 최소값에서 배경영역에 해당하는 화소분포의 평균값을 임계값으로 이용함으

로써 입력영상에 따라 임계값을 능동적으로 설정할 수 있다. 설정된 임계값을 갖고 모폴로지의 채움연산을 적용하여 배경 영역의 화소값을 갖는 하나의 영상을 생성한다.

### 3) 모폴로지(Morphology)

모폴로지 기법은 영상의 형태적인 면을 조작함으로써 영상의 경계, 골격, 블록과 같은 영역 형태를 표현하거나 서술하는데 있어서 유용한 영상 요소들을 추출하기 위한 도구로써 수학적 형태론의 개념으로 사용한다[20].

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[21].

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 화소값 분포 조사에서 인식된 배경영역에 해당하는 화소값을 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.



## 2. 균열영상의 분할

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

### 1) 차영상

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[22].

두 영상  $f(x, y)$  와  $h(x, y)$  의 차는

$$g(x, y) = f(x, y) - h(x, y) \dots\dots\dots$$

(식 6)

와 같이  $f$  와  $h$  로 부터 서로 대응되는 화소들의 모든 쌍들 사이의 차를 계산함으로써 얻어진다.

영상 향상을 위한 (식 6)의 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 반대편에 위치하고 있는 TV 카메라(전통적인 X-선 필름 대신에)로부터 얻어진

다. 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 데이터에의 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 전과하는지를 보여주는 영화를 제공한다.

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

$$Output(x, y) = Image(x, y) - C \quad (\text{단, } C = \text{임의의 상수 값}) \dots (\text{식 7})$$

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.

$$Output(x, y) = |Image 1(x, y) - Image 2(x, y)| \dots \dots \dots (\text{식 8})$$

$$Output(x, y) = Image 1(x, y) - Image 2(x, y) \dots \dots \dots (\text{식 9})$$

## 2) 영역 확장

검출된  $(x, y)$ 좌표에서 그 좌표를 중심으로 순서적으로 영역을 확장하면서

화소값을 검색하여 (x, y)좌표값이 1인 경우 (x, y)의 현재좌표를 저장하고 영역을 확장해 나간다. 만일 확장된 영역의 최종 픽셀의 길이가 10이하인 경우에는 확장된 좌표의 좌표값을 0으로 변경하여 저장된 좌표의 다음 좌표로 이동한다. 확장된 픽셀의 길이가 10이상의 경우에는 현재 좌표값들을 그레이 레벨 255로 변경하여 메모리에 저장한다. 영역확장을 위한 화소값의 검색순서는 다음과 같은 방식으로 검색한다.

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



### 3. 균열 영상의 특징추출

균열 영상 내에 존재하는 균열 정보를 배경과 분할하기 위한 과정의 수행이 필요하며, 다양한 에지 검출 연산자들을 사용할 수 있다. 에지는 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 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 균열영역의 길이로, Y축으로 확장된 픽셀 수의 최대, 최소 값을 균열영역의 최대, 최소폭으로 결정하여 균열영상의 균열영역에 대한 특징으로 추출한다.



## IV. 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.

### 1. 실험 환경



본 논문에서 제안된 콘크리트 구조물의 균열 검출 시스템의 프레임 영상은 디지털카메라를 통하여 얻어진 256×256의 크기를 가지는 그레이(gray) 영상이다. 전체 시스템을 관리하는 컴퓨터 시스템은 Pentium-II 128MB를 사용하였다. 이 컴퓨터는 디지털 카메라로부터 영상을 입력받아 화소값 분석을 통한 모폴로지기법을 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..

Table.1은 균열 검출 시스템의 실험에 사용된 실험 환경과 영상에 대하여 요약한 것이다.

Table.1 실험환경

시스템 사양	Pentium II processor, 128MB RAM
운영체제	Windows 98 second edition
입력장치	디지털 카메라
프로그램 언어	Visual C++ 6.0
비교 영상 수	100개
입력영상의 해상도	256×256, Gray Scale
입력영상 파일 포맷	RAW



## 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.

Fig.14는 소벨 마스크 연산을 적용하여 균열 부위를 검출하여 측정한 결과 영상이다.

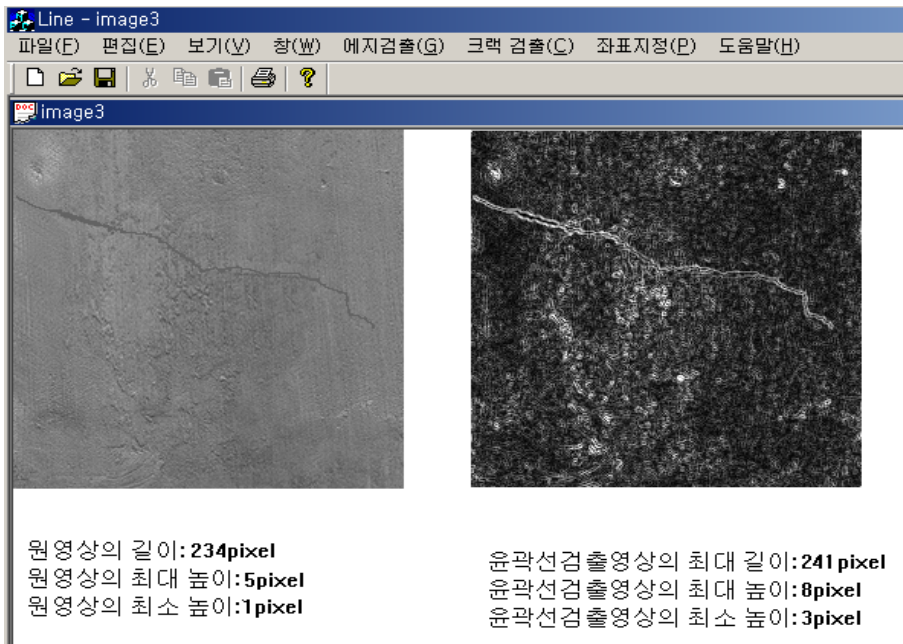


Fig.14 소벨 마스크를 적용한 결과영상

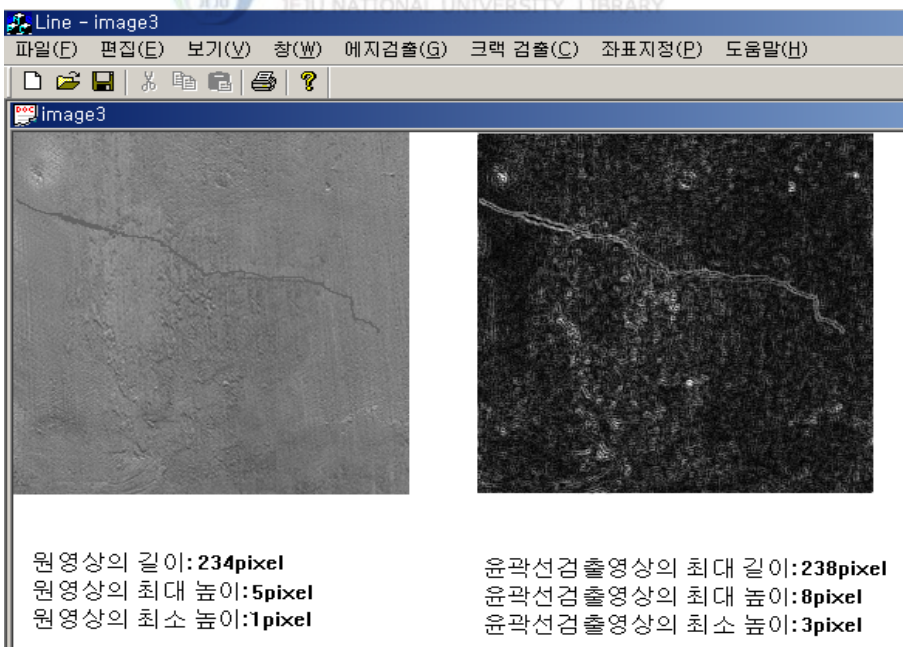


Fig.15 프르윗 마스크를 적용한 결과영상

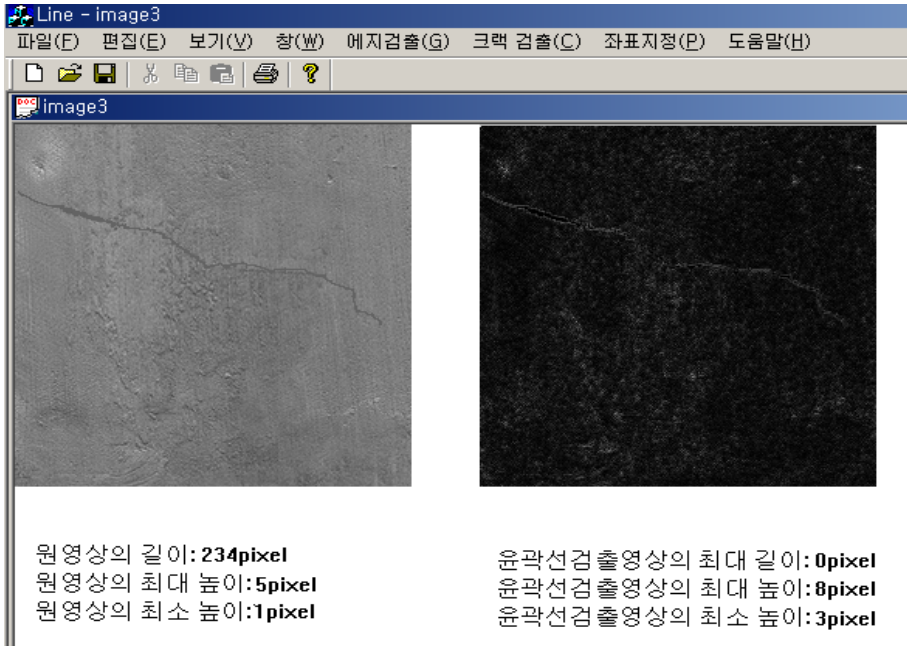


Fig.16 로버트 마스크를 적용한 결과영상

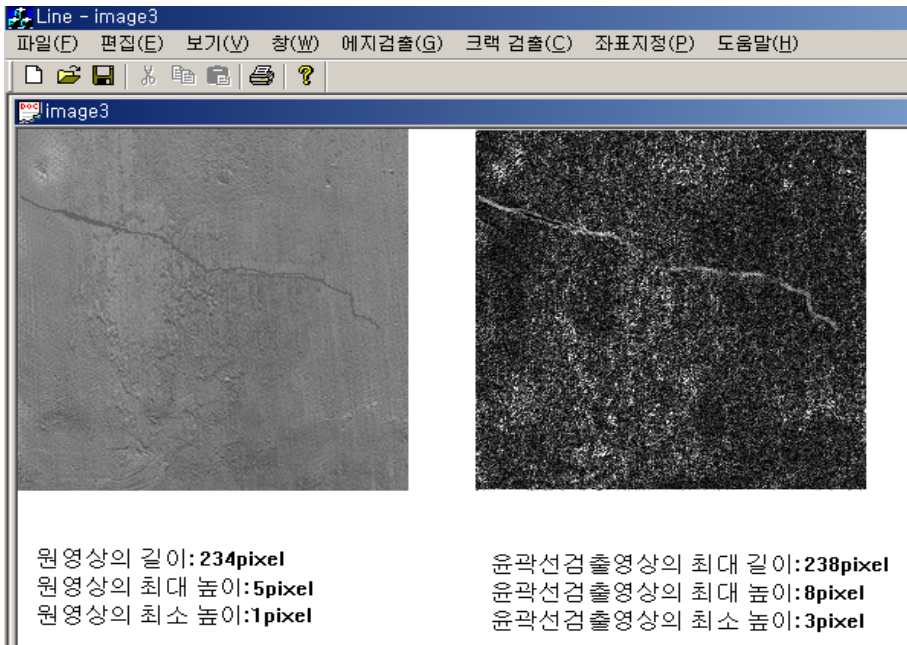


Fig.17 라플라시안 마스크를 적용한 결과영상



마스크의 특성상 원영상 균열 부위 측정값보다 결과값이 크게 나타나고 있다.

Fig.15는 프르윗 마스크 연산을 이용하여 균열 부위를 검출하고 측정한 결과영상이다.

프르윗 마스크 연산을 이용한 결과영상의 측정값은 소벨 마스크 연산의 결과값과 크게 차이는 없지만 윤곽선의 길이에서 원영상의 결과값보다 픽셀 수가 증가했음을 알 수 있다.

Fig.16은 로버트 마스크 연산을 적용하여 균열 부위를 검출하여 측정한 결과영상이다.

로버트 마스크 연산을 이용한 결과는 그 특성상 민감한 윤곽선만을 검출함으로써 윤곽선은 희미하게 보이지만 균열의 특징인 연결성이 이루어지지 않아 그 결과를 정확하게 측정할 수가 없었다.

Fig.17은 라플라시안 마스크 연산을 적용하여 균열 부위를 검출하고 측정한 결과영상이다.

2차 미분 연산자를 이용하여 모든 방향의 윤곽선을 검출할 수 있고, 하나의 마스크만을 이용함으로써 비교적 다른 마스크 연산 보다 빠른 속도로 윤곽선을 검출할 수 있는 라플라시안 마스크 연산을 이용하여 균열 부위를 검출한 결과 또한 원영상의 결과값과 차이를 보이고 있다.

다음의 Fig.18은 본 논문에서 제안한 모폴로지 기법과 차연산을 적용하여 균열 부위를 검출한 결과영상이다.

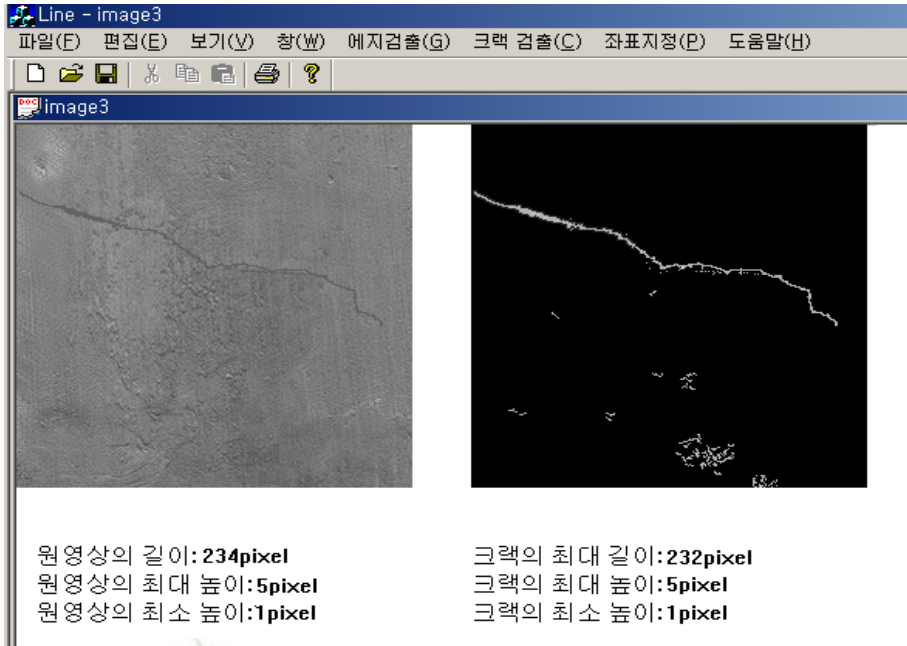


Fig.18 제안기법을 적용한 결과 영상

모폴로지 기법과 차연산을 이용한 균열 부위의 검출 및 측정 결과에서는 원영상의 균열 부위의 측정 결과값이 기존 마스크를 이용한 결과값 보다 오차가 적게 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 마스크 연산을 통한 윤곽선검출에서 이용되는 특정 값을 적용하지 않고 원영상에서 화소값 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.

Fig.19는 원영상과 제안 기법, 마스크 연산을 적용한 윤곽선 검출의 결과영상을 보여주고 있다.

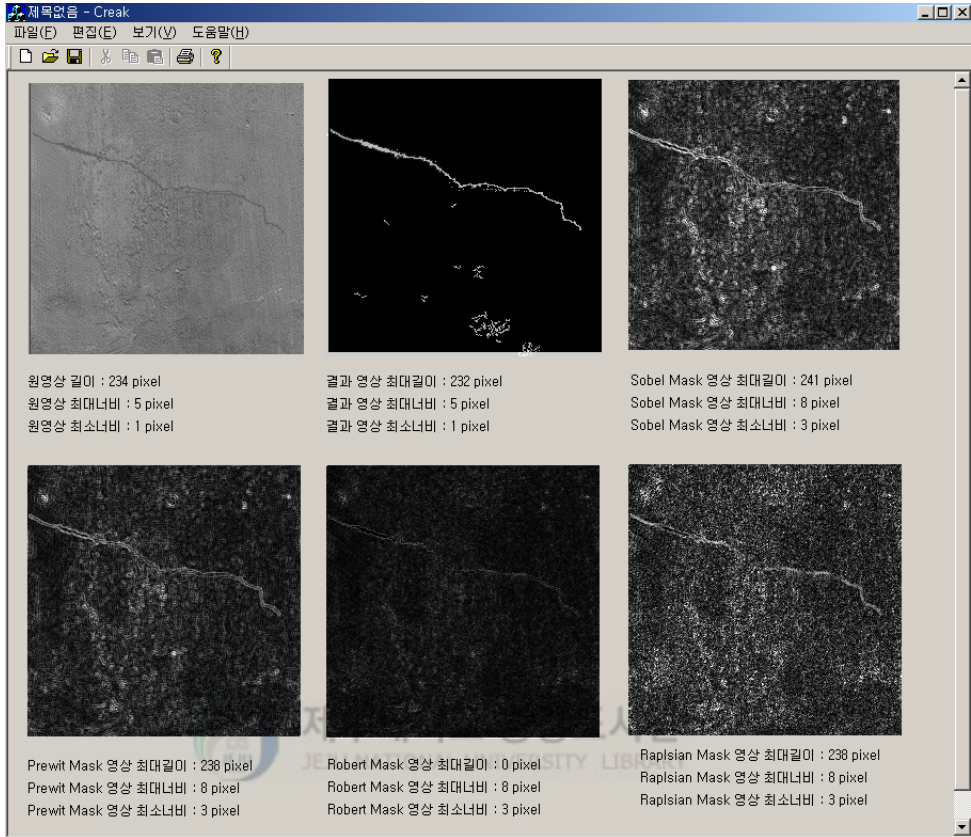


Fig.19 결과 영상

위의 Fig.19와 같이 제안기법을 적용한 결과영상의 윤곽선검출 및 측정 결과값이 기존 마스크 연산을 이용한 결과값들 보다 원영상과 오차가 적게 발생하고 있음을 알 수 있다.

다음의 Table.2는 100개의 실험 영상에서 샘플링한 영상의 균열 검출 비교 분석표이다.

Table.2 균열 검출 비교 분석

(단위 : pixel)

번호	원영상	소벨	프르윗	로버트	라플라시안	제안기법
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

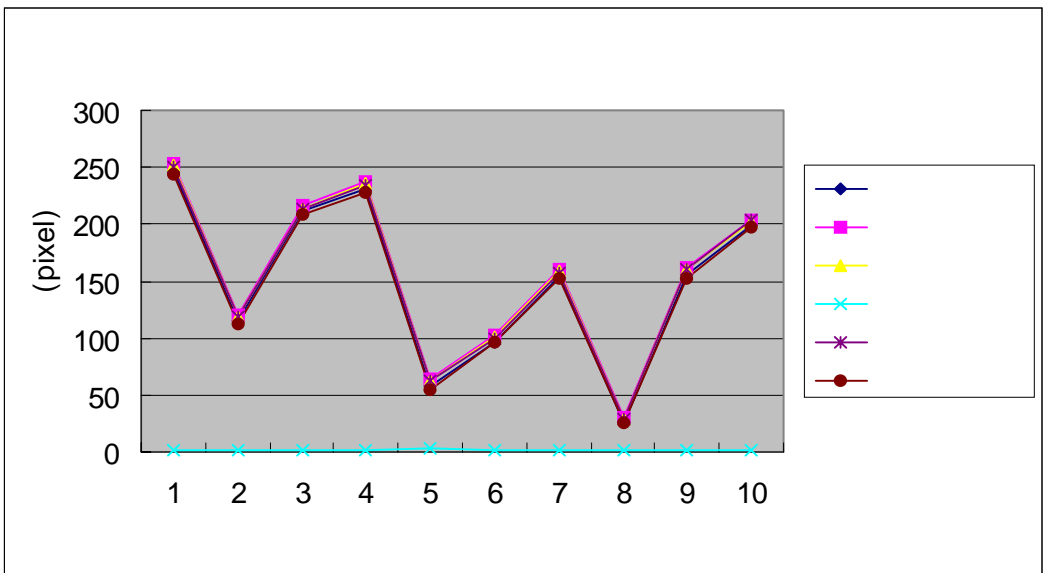


Fig.20 균열 검출 비교 분석

Table.3 균열 검출 평균 오차 (단위 : pixel)

소벨	프르윗	라플라시안	제안기법
5.8	4.3	3.8	2.0

Table.2와 Table.3 그리고 Fig.27의 결과에서와 같이 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 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 모폴로지기법과 차연산을 적용한 윤곽선검출에서는 오차가 거의 없음을 실험을 통하여 확인하였다.

## V. 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. 콘크리트구조물의 건조수축에 의한 균열은 일정 크기의 선분 형태로 되어 있고 이는 영상처리기술에서 윤곽선영역과 유사함을 알 수 있었다.

윤곽선검출을 위하여 기존 영상처리기술의 마스크를 이용한 윤곽선검출기법을 적용한 결과 입력영상에 대한 윤곽선을 찾는다는 효율적이었으나 마스크 연산으로 인하여 입력영상의 윤곽선에 대한 정확한 데이터를 얻을 수 없었다. 따라서 콘크리트구조물에 발생한 균열의 정확한 검출을 위해서 기존 영상처리기술의 윤곽선 검출 기법의 적용으로는 정확한 정보를 얻을 수 없음을 실험을 통해 확인하고, 이를 개선하기 위하여 입력영상에 모폴로지를 이용한 차영상기법을 적용함으로써 입력영상에 대한 데이터는 그대로 유지하고 윤곽선영역만을 부각시켜줌으로서 윤곽선검출 및 측정을 기존의 기법 보다 정확히 할 수 있었고 이를 실험을 통하여 입증하였다.

콘크리트구조물의 안전도 검사 중 구조물에 발생한 균열을 효율적으로 검출함으로써 구조물의 안정도 정밀진단 여부, 보수대책의 기초자료 등을 마련할 수 있다. 이러한 구조물의 균열을 육안으로 검증하는 것은 객관적인 면에서 가치를 두기가 어렵다. 따라서 영상처리기법을 이용하여 균열부위를 검출하고 그 효용성을 증명함으로써 하나의 객관적인 지표를 마련할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 콘크리트구조물의 건조수축에 의한 단순한 균열만을 한정적

으로 적용함으로써 제한된 부분에서의 효용성을 증명할 수 있었으나 균열의 요인과 그 종류는 매우 다양하고 특징 또한 많은 변수를 지니고 있다. 따라서 콘크리트 구조물에 발생하는 균열의 요인과 종류에 대한 데이터베이스를 구축하여 범용적인 균열 검출 및 자동인식 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서 제안한 모폴로지를 이용한 윤곽선검출 방법은 콘크리트 구조물에 발생한 균열을 검출하고 정보를 자동인식하기 위한 기반 기술로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



## [참고문헌]

- [1] 대한건축학회, “콘크리트 구조물의 보수 보강”, 1997.
- [2] 김영민, 김치경, 홍건호, 홍성걸, “퍼지집합 이론을 이용한 콘크리트 구조물의 균열진단시스템”, 대한건축학회논문집, 17권 4호, 2001
- [3] 김영민, 김치경, 홍건호, 홍성걸, “러프집합 이론을 이용한 콘크리트 구조물의 균열원인 범주 판별을 위한 의사결정 알고리즘”, 대한건축학회논문집 v.17 n.10, 2001.
- [4] 홍갑표, 정병주, 이재홍, 전호민 “콘크리트 건축물의 안전진단시스템 개발”, 대학건축학회논문집 14권6호(통권116회), 1998년 6월.
- [5] Marr, D., and Hildreth, E.[1985]. "Theory of Edge Detection." Proc. R Soc. Lon., vol.B207, pp. 187-217.
- [6] D.j. Fleet and K. Langley, "Recursive Filters for optical flow" IEEE Trans. PAMI, vol. 17, no. 1, pp 61, jan. 1995.
- [7] 콘크리트건물의 균열, 탐구문화사,1998.
- [8] 전광우, 최영화, 정재동 “철근 콘크리트 구조물의 균열 발생 실태에 관한 조사연구”, 대한건축학회 학술 발표 논문집 제17권 제2호, 1997. 10. 25.



- [9] A. K. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice-Hall, 1989.
- [10] A. Papoulis, "probability, Random Variables, and Stochastic Processes", 3rd., McGraw-hill, 1991.
- [11] K. Aizawa, T. Komastu, and T. Satio, "A Scheme for Acquiring Very High Resolution Images Using Multiple Cameras", Proc. 1992 Int. Conf. Acoust, Speech, Signal Processing, vol. 3, pp. 289-292, 1992.
- [12] A.M. Tekalp, Digital Video Processing, Prentice Hall PTR, 1995.
- [13] 김희승. "영상인식", 1993.
- [14] A.Pugh. 'Robot vision" IFS press. UD. 1983.
- [15] T. Ando, "Trend of High-Resolution and High-Performance Solid State Imaging Technology", Journal. ITE Japan, vol. 44., no. 2, pp. 105-109, February 1992.
- [16] RANDY CRANE. "영상처리 이론과 실제", 1997.
- [17] B. C. Tom and A. K. Katsaggelos, "reconstruction of a High Resolution Image From Multiple Degraded Mis-Registered Low Resolution Image", Proc. 1994 Visual Comm, Image Processing, vol. 2308, no. 3, pp. 971-981, May 1994.

- [18] R. R. Schultz and R. L. Stevenson, "A Bayesian Approach to Image Expansion for Improved Definition", IEEE Trans. Image Processing, vol. 3, no 3, pp. 233-242, May 1994.
- [19] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. "Digital Image Processing", 1992.)
- [20] 김상희, 문영식, "그레이스케일 모폴로지 알고리즘의 성능에 관한 연구," 공학기술연구소 논문지, 1997.8.
- [21] 김상희, 문영식, "에지정보를 이용한 잡음 제거용 적응적 모폴로지 알고리즘," 정보과학회 추계학술대회, 1996.
- [22] 양영수, "개선된 차영상 분석기법을 이용한 움직임검출", 제주대학교 석사학위논문, 2001.

## 감사의 글

대학원 문을 두드릴 때 공과대 앞 가로수가 햇볕은 모습으로 서 있었는데 오늘 보니 초록없이 무성하여 성장미가 넘쳐납니다. 들고 날 때 제 모습하고 참으로 비슷하군요. 벌써 2년 6개월의 시간이 흘러, 이제 막 학문에 대한 눈이 트이려는데 아쉬움과 부족함만이 남습니다.

저에게 학문적 가르침과 격려를 아끼지 않으신 김장형 지도교수님의 지도에 먼저 깊은 감사 드립니다. 아울러 논문의 심사를 맡아 세심한 배려를 아끼지 않으시고 학문 연구의 진정한 의미를 알게 해주신 곽호영 교수님과 이상준 교수님께 감사 드리며, 재학기간 동안 아낌없는 지도와 격려를 해주신 안기중 교수님, 변상용 교수님, 송왕철 교수님께 감사 드립니다.

언제나 따뜻한 격려로 고비고비 이끌어 주신 멀리미디어 연구실 선후배님들 특히 박사과정 강진석 선생님, 강영도 선생님, 박창희 선생님, 박재필 선생님, 김정효 선생님, 강길봉 선생님, 강명화 선생님, 김영민 선생님, 석사과정 후배 김선희씨, 이정하씨, 홍유기씨, 문일남씨, 강진영씨, 김남식씨, 고봉수씨, 그리고 양영수 선생님께도 감사 드립니다.

또한 언제나 관심과 격려를 아끼지 않으셨던 제주한라대학 김형수 교수님과 제주산업정보대학 김대영 교수님, 박창희 교수님, 김정희 교수님 께도 깊은 감사를 드립니다.

본업에 부실함에도 묵묵히 지켜봐 주신 고성호 사장님, 신명식 전무이사님, 항상 격려해주고 빈자리를 대신해 준 동료 현창엽씨, 김현정씨, 주제에 대해 도움을 주신 품질관리실 허정문 과장님께도 감사 드립니다.

어려운 길목에 있을 때마다 한마음으로 언제나 옆에서 고민의 상대가 되어준 우리의 동기 허동진 선생님, 이아나 선생님 두 분께도 감사 드립니다.

말이를 믿고 지켜봐 주신 부모님과 만사위에게 믿음 하나로 한결같이 응원을 보내 주신 장인, 장모님께도 큰절 올립니다.

가족이라는 울타리를 만든 지 10년이 지나고 있습니다. 이제 가정이 안정되고 한창 따뜻한 행복이 깃들 시기에 직장과 학업을 위한 연구를 한다는 미명 아래 많은 밤을 지새우고 귀가 시간이 늦을 때마다 쓴 소리하면서도 늘 격려를 아끼지 않은 아내 현미자에게 이 작은 논문을 빌어 고맙다는 말과 사랑한다는 말을 전합니다. 아빠의 욕심을 채우느라 함께 해주지 못해도 씩씩하고 똑똑하게 자라는 아들 광범, 딸 유진, 은영 세 자녀들에게도 험난한 인생의 항로에 언제나 밝은 등대가 될 수 있도록 노력하겠습니다.

너무나 소중하고도 값진 공부, 이제 이 논문 한 권으로 엮어 갈무리하고 내 앞길에 디딤돌 삼으렵니다. 감사합니다.