

# Point Operation

Arithmetic Operation & Grayscale Transformation

김성영교수

금오공과대학교

컴퓨터공학과

## Section 01 화소 영역 처리의 개념

### 화소 영역 처리

- 화소의 원값이나 위치를 바탕으로 화소 값을 변경하는 화소의 점 처리과 달리 해당 입력 화소뿐만 아니라 그 주위의 화소 값도 함께 고려하는 공간 영역 연산
- 회선 기법(또는 컨벌루션 기법, Convolution Technique)으로 수행하므로, 화소의 영역 처리를 회선 처리(Convolution Processing) 또는 컨벌루션 처리라고 함.
- 원시 화소와 이웃한 각 화소에 가중치를 곱한 합을 출력 화소로 생성

$$Output\_pixel[x, y] = \sum_{m=(x-k)}^{x+k} \sum_{n=(y-k)}^{y+k} (I[m, n] \times M[m, n])$$

- Output\_pixel[x, y]: 회선 처리로 출력한 화소
- I[m, n]: 입력 영상의 화소
- M[m, n]: 입력 영상의 화소에 대응하는 가중치



## 화소 영역 처리의 개념(계속)

I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>
I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>	I <sub>9</sub>

(a) 입력 영상

M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>
M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>

(b) 회선 마스크 (kernel, filter)

출력 픽셀 값 :

$$I_1 \times M_1 + I_2 \times M_2 + I_3 \times M_3 + I_4 \times M_4 + I_5 \times M_5 + \\ I_6 \times M_6 + I_7 \times M_7 + I_8 \times M_8 + I_9 \times M_9$$

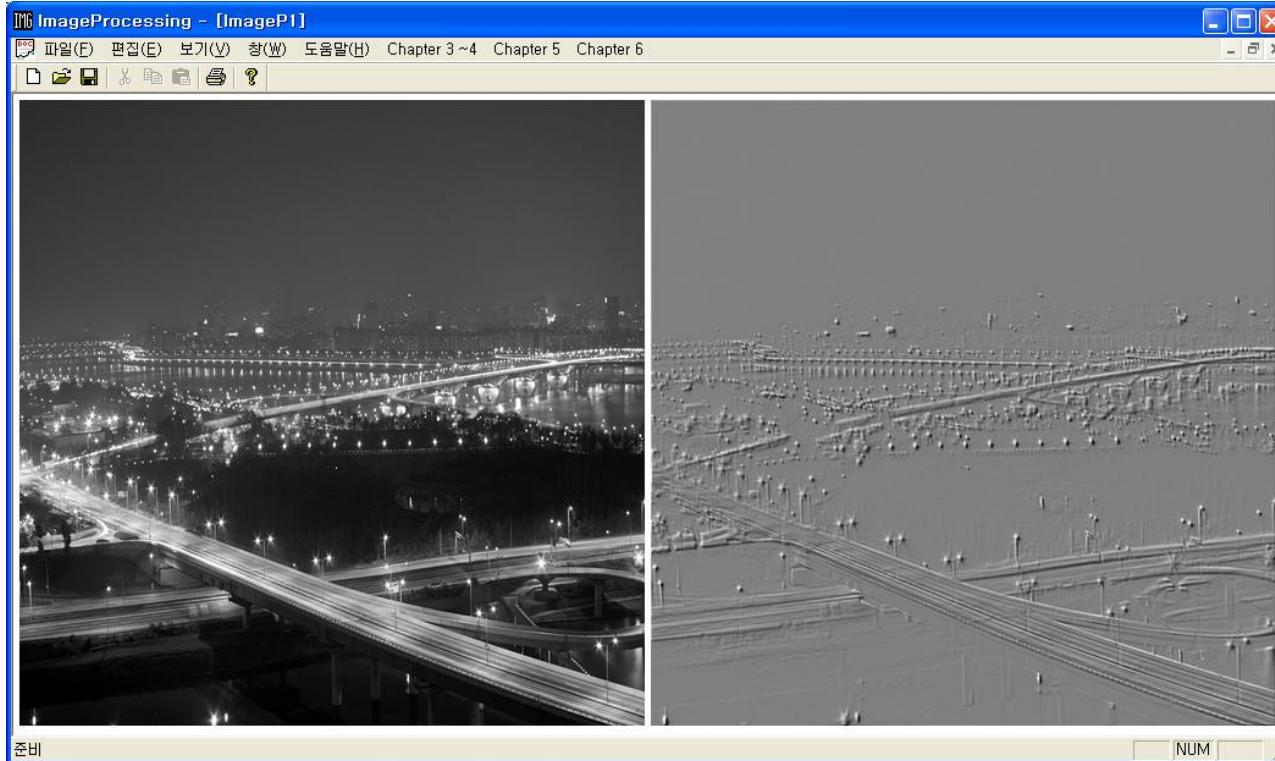
[그림 6-2] 회선 기법으로 출력 화소 생성

### 화소의 영역 기반 처리

- 엠보싱(Embossing) 효과, 블러링(Blurring), 샤프닝(Sharpening), 경계선 검출(Edge Detection), 잡음 제거 등의 기술이 있음.

# 엠보싱 효과

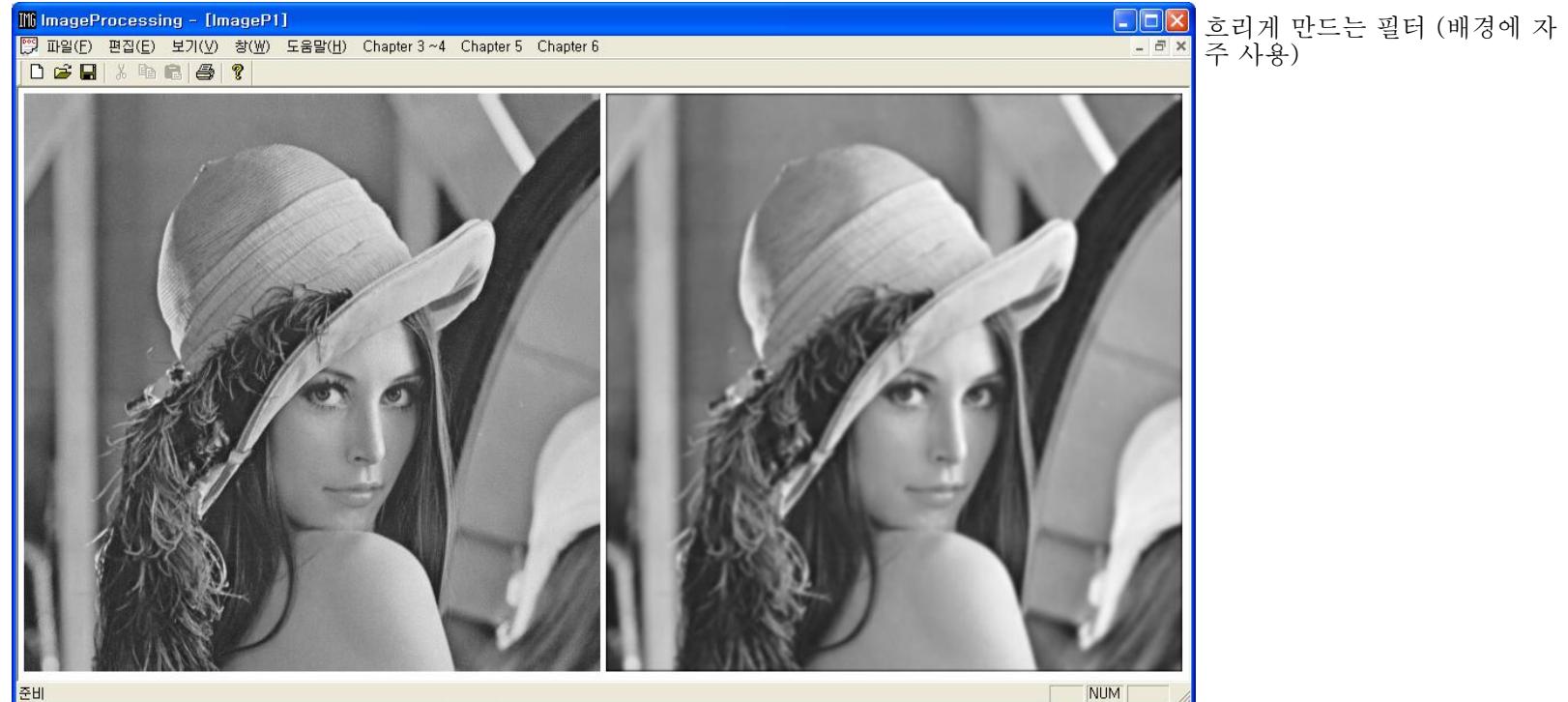
▶ 입력 영상을 양각 형태로 보이게 하는 기술



[그림 6-3] 입력 영상에 엠보싱 처리를 한 영상

# 블러링

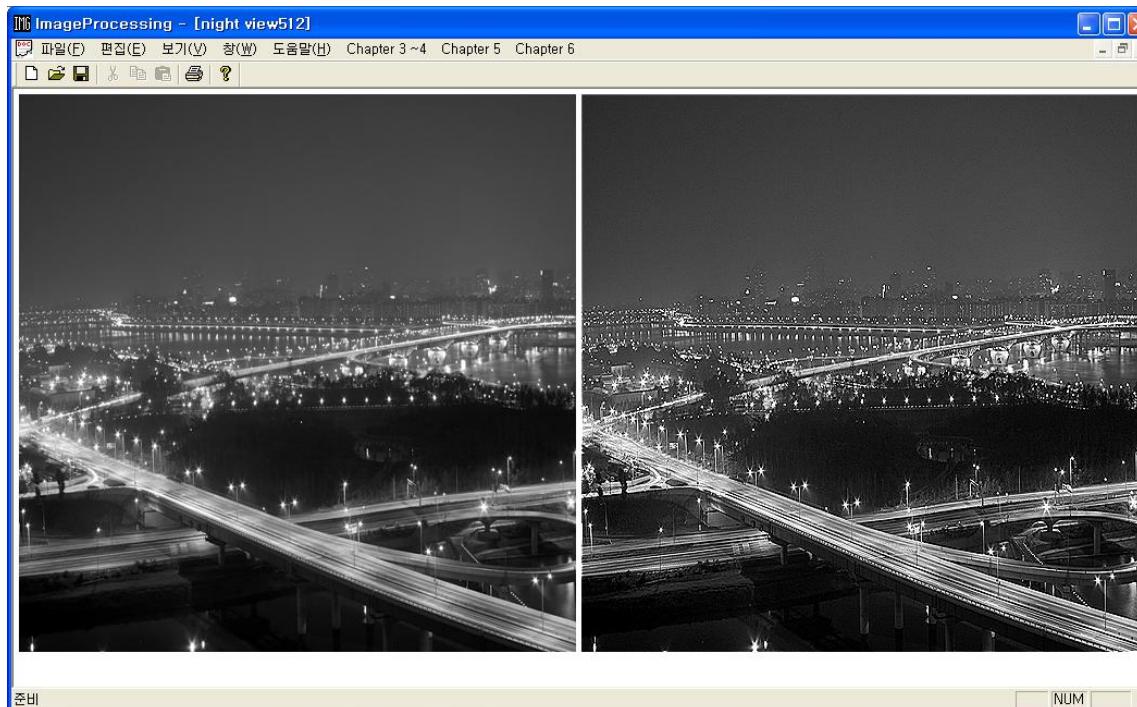
- ▶ 영상의 세밀한 부분을 제거하여 영상을 흐리게하거나 부드럽게 하는 기술
- ▶ 영상의 세밀한 부분은 주파수 축에서 보면 고주파 성분인데, 블러링은 이 고주파 성분을 제거해 줌.
- ▶ 사용하는 가중치의 회선 마스크는 저역통과 필터(Low Pass Filter)가 됨



[그림 6-4] 입력 영상에 블러링 처리를 한 영상

# 샤프닝

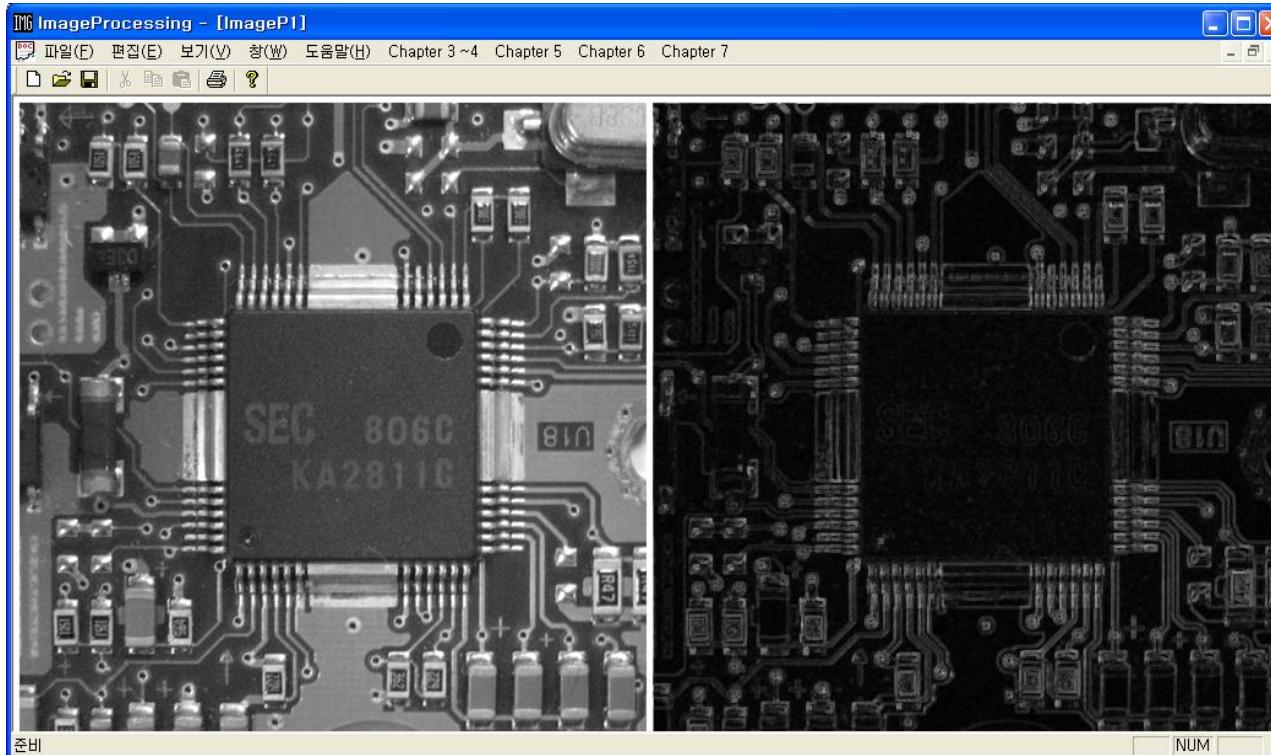
- ▶ 블러링과는 반대로 디지털 영상에서 상세한 부분을 더욱 강조하여 표현.
- ▶ 영상의 상세한 부분은 고주파 성분이므로 영상에서 저주파 성분만 제거하면 샤프닝 효과를 얻을 수 있음
- ▶ 사용되는 가중치의 회선 마스크는 **고역통과 필터(High Pass Filter)**가 됨.



[그림 6-5] 입력 영상에 샤프닝 처리를 한 영상

# 경계선 검출

- ▶ 디지털 영상의 경계선을 찾아내는 기술
- ▶ 경계선은 영상의 밝기가 낮은 값에서 높은 값으로 또는 높은 값에서 낮은 값으로 변하는 지점에 있으므로 입력한 영상의 정보가 많이 드는다.



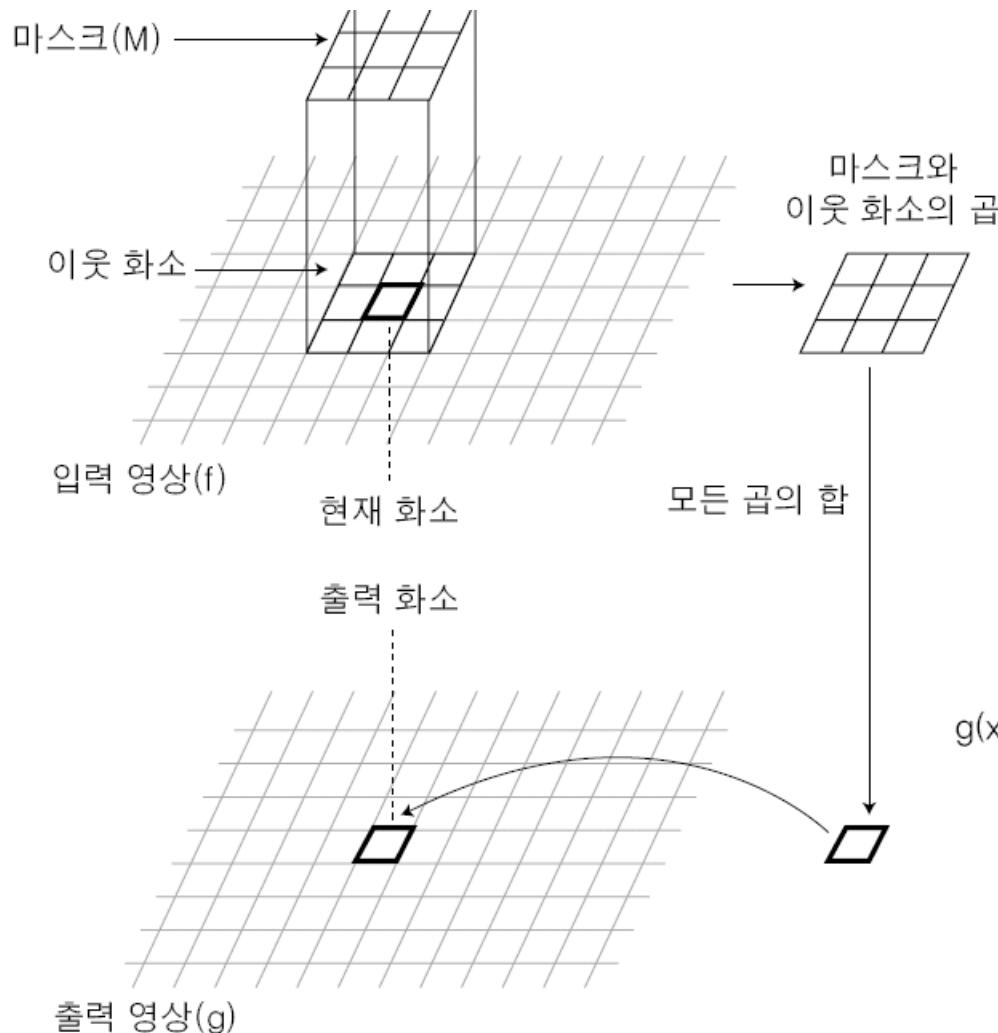
[그림 6-6] 입력 영상에 경계선 검출을 한 영상

## Section 02 회선 처리의 원리

### 화소의 영역 처리

- 디지털 영상처리 시스템은 선형 시불변 시스템  
→ 디지털 영상처리의 결과는 컨벌루션 또는 회선 기법으로 얻을 수 있음
- 회선 기법으로 생성되는 새로운 화소 값
  - 이웃한 화소 값과 이에 대응하는 회선 마스크의 가중치를 곱한 뒤 곱한 값을 더해서 얻음.
  - 가중치는 작은 행렬인 회선 마스크 또는 회선 커널로 구성됨.
- 디지털 영상에서 회선 기법
  - 가중치를 포함한 회선 마스크가 이동하면서 수행

## Section 02 회선 처리의 원리

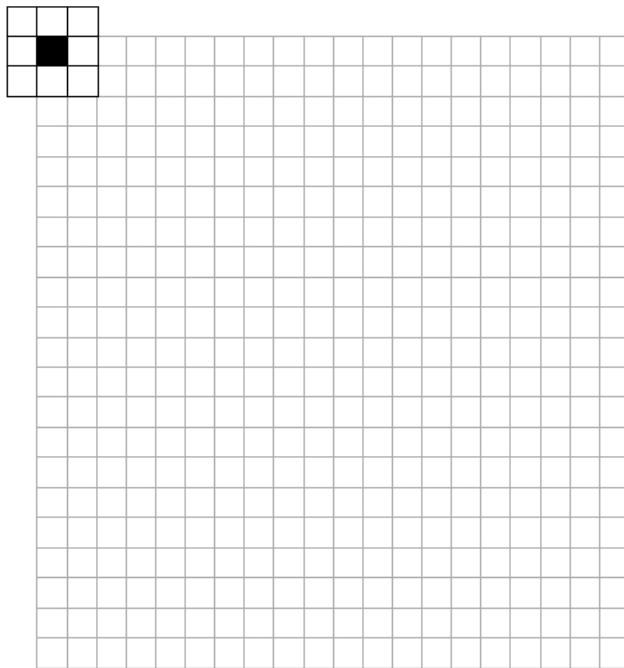


$$\begin{aligned} g(x, y) = & M(0, 0) \times f(x-1, y-1) + M(0, 1) \times f(x-1, y) \\ & + M(0, 2) \times f(x-1, y+1) + M(1, 0) \times f(x, y-1) \\ & + M(1, 1) \times f(x, y) + M(1, 2) \times f(x, y+1) \\ & + M(2, 0) \times f(x+1, y-1) + M(2, 1) \times f(x+1, y) \\ & + M(2, 2) \times f(x+1, y+1) \end{aligned}$$

[그림 6-7] 디지털 영상에서 회선을 처리하는 과정

## 회선 수행 방법

- ▶ 가중치를 포함한 회선 마스크가 이동하면서 수행
- ▶ 회선 마스크가 영상의 왼쪽 위 화소에서 오른쪽으로 한 화소씩 차례로 이동하면서 수행하여 새로운 화소를 만들어 냄.
- ▶ 한 줄에서의 회선 수행이 끝나면, 다음 줄로 이동하여 다시 한 화소씩 오른쪽으로 이동하면서 차례로 수행됨.



[그림 6-8] 회선 수행이 시작되는 위치

# 회선의 경계 부분 처리

## ➊ 회선의 경계 부분 처리

- 화소의 영역을 처리하려면 이웃 화소가 있어야 하지만 시작이나 끝부분에는 주변 화소가 없는 것처럼 회선 마스크에 대응할 요소가 없는 영상의 화소를 처리하는 방법을 경계 부분 처리라고 함.

## ➋ 0 삽입

- 회선 마스크에 대응되는 빈 영상의 화소 값을 모두 0으로 가정해서 회선을 수행하는 방법
- 0으로 설정해서 영상의 경계 부분에서 정확한 회선 처리가 불가능하므로 손실이 발생함.
- 프로그램을 단순하게 구현할 수 있다는 장점이 있음.

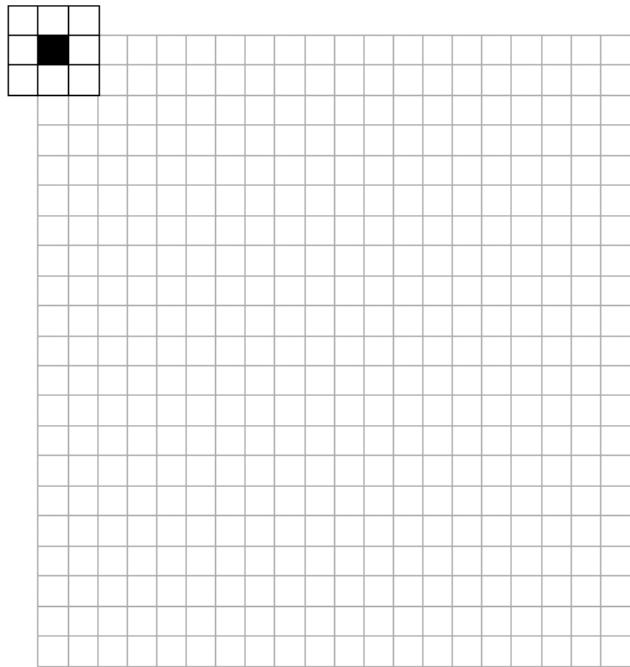
### ▶ 중첩 부분에서만 회선 수행

- 회선 마스크와 영상이 완전하게 중첩되는 위치에서 회선을 시작하도록 하는 방법
- 회선 마스크의 크기가  $3 \times 3$ 이면 모든 회선 마스크의 요소와 영상의 화소가 중첩되는 영상 위치 (1, 1)에서 회선을 시작함.
- 중첩 부분에서 회선 수행이 끝나면 경계 부분은 입력 영상과 같은 화소 값을 복사해서 사용
- 경계 부분은 회선 처리가 되지 않아 모든 영역이 회선 처리된 영상의 새로운 화소 값을 얻을 수는 없음.

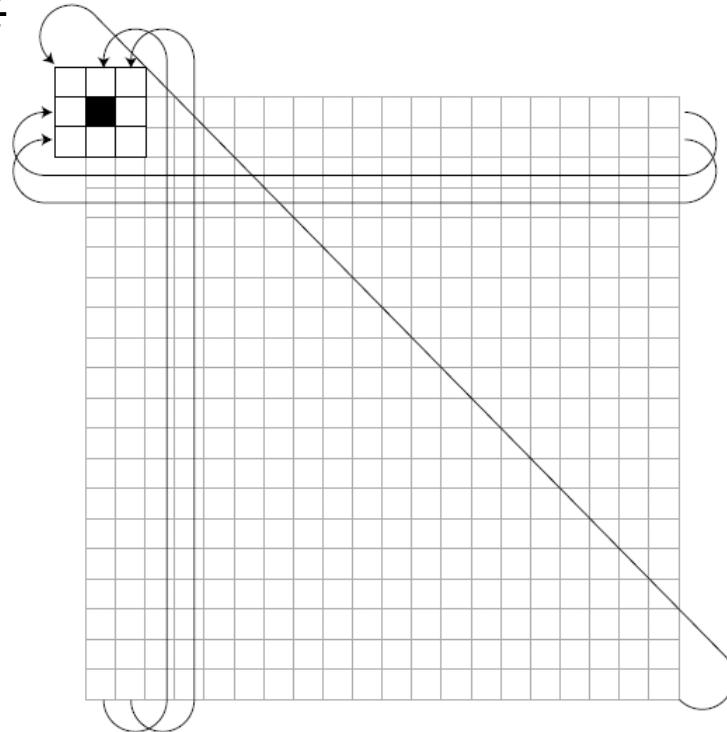
## 회선의 경계 부분 처리(계속)

### 영상의 크기를 조정하여 회선 수행

- 영상의 시작과 끝부분이 연결된 것으로 처리하는 방법
- 영상이 폐곡선을 형성해 영상의 경계 부분이 빈 영상의 화소 값을 대신
- 입력 영상의 첫 번째와 두 번째 행의 마지막 열에 있는 화소, 마지막 행의 첫 번째와 두 번째 열에 있는 화소, 마지막으로 대각선 방향으로 마지막 행의 마지막 열의 화소를 복사해 사용



[그림 6-8] 회선 수행이 시작되는 위치



[그림 6-9] 영상의 크기를 조정하여 회선 수행

## 회선 마스크의 특징

- 주변 화소의 값을 각 방향에서 대칭적으로 고려해야 함. 이것은 각 방향에 있는 같은 수의 이웃 화소에 기반을 두고 새로운 화소 값을 생성하기 때문
- 회선 마스크의 크기는 행과 열 모두 홀수의 크기를 사용하여  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$  등
- 회선 처리 기법으로 생성된 출력 영상은 밝기 에너지를 보존해야 하므로 영상의 평균 밝기를 원 영상과 똑같이 유지해야 함.
- 회선된 영상의 평균 밝기 값이 원본 영상과 같도록 많은 회선 마스크의 계수 합이 1이 되도록 함.
- 경계선 검출 등에서 사용되는 일부 회선 마스크에서는 음수의 계수를 포함하며, 계수 합이 0이 되도록 설계
- 음의 계수에서는 음의 화소 값이 생성될 수도 있으나 밝기는 항상 양의 값만 있으므로 생성된 화소 값에 일정한 상수(최대 밝기의  $1/2$ )를 더해서 양의 화소 값이 나오도록 함.

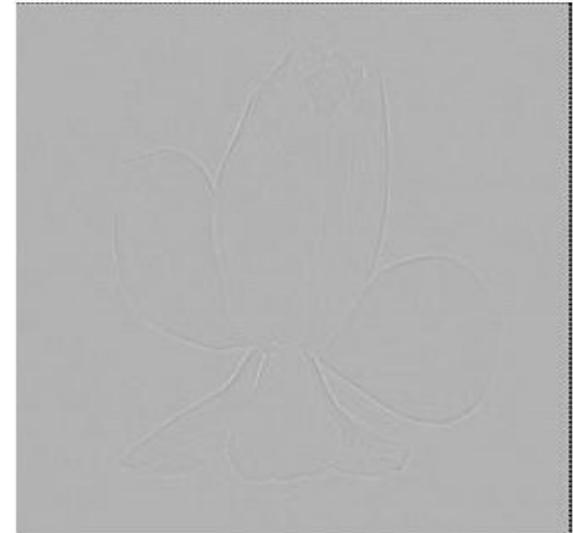
## 회선 마스크(계속)



원본 영상

0	0	0
0	1	0
0	0	0

Sum=1



1	1	1
1	-8	1
1	1	1

Sum=0

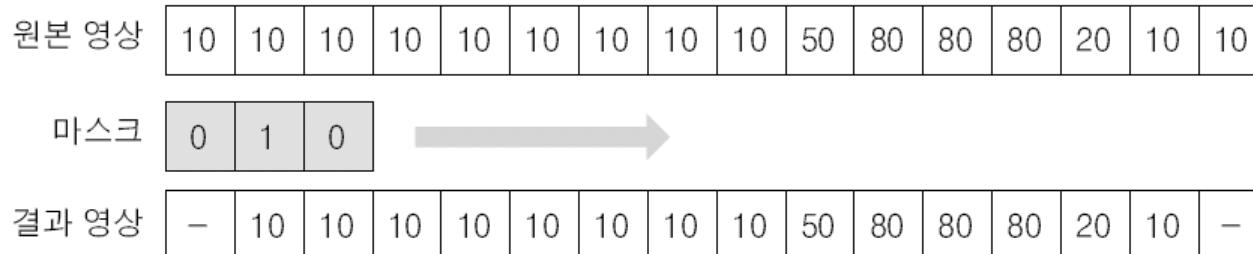
[그림 6-10] 회선 마스크에 따른 영상의 회선 처리

# 회선 마스크(계속)

## 회선 마스크에 따른 회선 처리 예

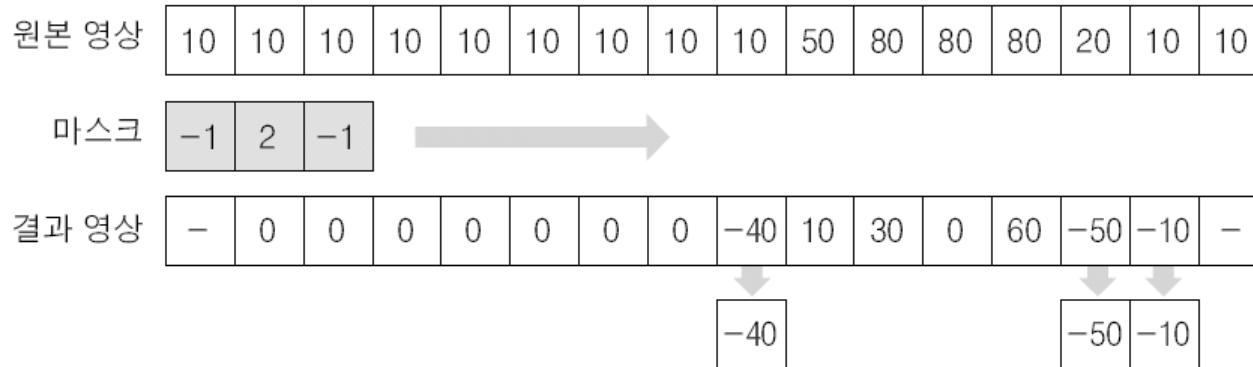
- 회선 마스크에 따른 결과를 간단히 확인할 수 있도록 1차원 데이터에서 1차원 회선 마스크를 사용하여 회선 처리

Case 1 : Sum = 1



(a) 회선된 영상의 평균 밝기 값은 원본 영상과 같다.

Case 2 : Sum = 0



(b) 경계 부분에서 급격한 값의 변화를 보인다( $\text{sum of result} = 0$ ).

[그림 6-11] 회선 마스크에 따른 회선 처리의 간단한 계산 예

# 엠보싱

- 회선 처리를 이용한 가장 기본적인 영상처리 방법
- 경계선 검출 기법에서 사용되는 회선 마스크와 같은 회선 마스크 사용
- 적절하게 구분된 경계선으로 영상이 볼록한 느낌을 갖게 됨(구리 판에 양각한 것 같은 효과)
- 가운데에 있는 계수가 다른 계수를 상쇄시키도록 구성해서 경계선을 검출. 이 경계선에서 양각한 효과를 얻을 수 있음.
- 마스크에는 음의 계수 값 -1이 있으므로 회선 처리로 생성된 영상의 화소 값은 음수

0	0	0	255	255	255
0	0	0	255	255	255
0	0	0	255	255	255
0	0	0	255	255	255
0	0	0	255	255	255
0	0	0	255	255	255

(a) 원본 영상

0	128	255	255	128	0
0	128	255	255	128	0
0	128	255	255	128	0
0	128	255	255	128	0
0	128	255	255	128	0

(b) 엠보싱 처리 영상

[그림 6-12] 간단한 엠보싱 처리

# 컬러 영상의 회선 처리

## ▶ 컬러 영상의 회선 처리

- 컬러 영상은 R, G, B 채널 세 개를 이용해 다양한 색을 표현하므로 이 채널을 응용하여 회선 처리 수행
- 독립 채널별 회선 수행과 HSI 컬러 모델로 변경한 뒤 회선을 처리하는 두 가지 방법이 있음

## ▶ 독립 채널별 회선 수행

- RGB 컬러 영상을 R, G, B 채널로 분리하여 채널별로 각각 회선을 수행한 뒤 회선 처리된 각 채널을 다시 조합해서 회선된 컬러 영상 생성
- RGB 컬러 영상은 채널 세 개를 조합해서 색을 표현하므로 회선 과정에서 아주 작은 오류만 발생해도 조합된 회선에서 정확한 결과를 만들지 못함.

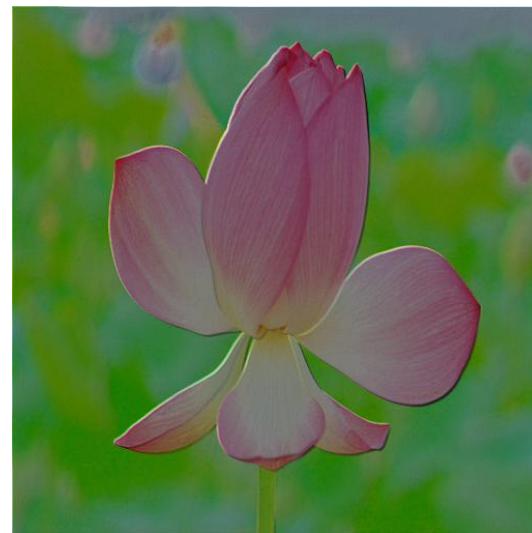
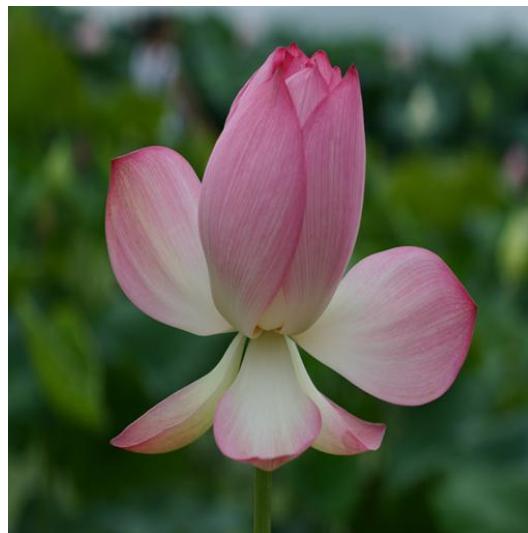
### ▣ HSI 컬러 모델로 변경 후 회선 처리

- RGB 컬러 영상을 우선으로 해서 HSI 컬러 모델로 변환하여 색상(H), 명도(I), 채도(S) 성분을 얻음
- 밝기 성분인 명도(I) 부분만 회선 처리를 수행하고 나머지 두 성분은 수행하지 않음. 마지막으로 HSI는 다시 RGB 컬러 영상으로 변환됨.
- 색상(H)에서 회선 처리를 하지 않아 원 영상의 색상 부분이 그대로 보존되므로 독립 채널별로 회선을 처리하는 방법보다 더 정확

## 컬러 영상의 회선 처리(계속)



[그림 6-13] 채널별 회선 수행 뒤 합성한 컬러 회선 영상



[그림 6-14] HSI 변환 뒤 밝기(I)만 회선 처리된 영상

## Section 03 블러링

### ▶ 블러링 회선 마스크

- 블러링 회선 마스크는 모든 계수가 양수로 전체 합은 1
- 디지털 영상에서 세세한 부분은 화소 값이 극단적인 값에 속함. 이 극단적 값을 제거하는 대표적인 방법이 바로 평준화로, 평균값으로 대체하는 것
- 블러링 회선 마스크의 계수는 평균을 구하는데 사용되므로 모두 값이 같음.

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25

[그림 6-15] 블러링 마스크의 회선 계수

## 블러링 회선 마스크(계속)

= 평균 필터

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

90	90	90	90	90	90	90
90	90	90	90	90	90	90
90	90	255	255	255	90	90
90	90	255	255	255	90	90
90	90	255	255	255	90	90
90	90	90	90	90	90	90
90	90	90	90	90	90	90

(a) 원본 영상

90	90	90	90	90	90	90
90	105	120	135	120	105	90
90	120	150	180	150	120	90
90	135	180	255	180	135	90
90	120	150	180	150	120	90
90	105	120	135	120	105	90
90	90	90	90	90	90	90

(b) 블러링 영상

[그림 6-16] 간단한 블러링 처리 예

## Section 04 샤프닝

- 블러링과는 반대되는 효과를 보이는 기법을 샤프닝(sharpening) 또는 영상 강화라고 함.
- 고주파에 해당하는 상세한 부분을 더욱 강조하여 대비 효과를 증가시킴
- 흐린 영상을 개선하여 선명한 영상을 생성하는데 주로 사용됨.

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

(a) 샤프닝 회선 마스크 1

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

(b) 샤프닝 회선 마스크 2

[그림 6-18] 크기가  $3 \times 3$ 인 샤프닝 회선 마스크

# 요약

## 화소의 영역 처리

- 출력 영상의 새로운 화소 값을 결정하려고 해당 입력 화소뿐만 아니라 그 주변의 화소도 함께 고려하는 공간 영역 연산
- 회선 기법(처리) 또는 컨벌루션 처리라고도 함.

## 회선 기법

- 주변 화소의 조합을 결정하여 새로운 화소를 출력해 줌.
- 원시 화소에 이웃한 각 화소에 가중치를 곱한 합을 출력 화소로 생성

## 화소의 영역 기반 처리

- 엠보싱 효과, 블러링, 샤프닝, 경계선 검출, 잡음 제거 등이 있음

## 엠보싱 효과

- 입력 영상을 양각 형태로 나타냄=영상의 특정 부분이 볼록해 보이도록 만듦.

## 블러링

- 영상의 세밀한 부분을 제거하여 영상을 흐리게하거나 부드럽게 나타내는 기술. 고주파 성분을 제거하는 기술(영상의 세밀한 부분은 고주파 성분).

## 경계선 검출

- 디지털 영상에 있는 경계선(Edge)을 찾아내는 기법

# 요약

- ☞ 화소의 영역 처리를 수행하는 디지털 영상처리 시스템은 선형 시불변 시스템을 만족시킴
  - 디지털 영상처리의 결과는 컨벌루션 또는 회선 처리로 얻을 수 있음
- ☞ 회선 기법으로 생성되는 새로운 화소 값
  - 이웃 화소 값과 이에 대응하는 회선 마스크의 가중치를 곱한 뒤 곱한 값을 더해서 얻음.
  - 여기서 가중치는 작은 행렬인 회선 마스크 또는 회선 커널로 구성됨.
- ☞ 디지털 영상에서 화소의 영역 처리를 수행하는 회선 기법
  - 가중치를 포함한 회선 마스크가 이동하면서 수행
- ☞ 경계 부분 처리
  - 회선 마스크에 대응할 요소가 없는 영상의 화소를 처리하는 방법
- ☞ 영상에서의 주파수 개념은 화소 값의 변화율을 나타냄.
- ☞ 블러링 처리나 스무딩 처리를 하려고 영상처리에서 사용하는 대표적인 저역 통과 필터로 가우시안 필터가 있음.

## 샤프닝(계속)

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

10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10
10	10	50	50	50	10	10
10	10	50	50	50	10	10
10	10	50	50	50	10	10
10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10

(a) 원본 영상

10	10	10	10	10	10	10
10	10	0	0	0	10	10
10	0	130	90	130	0	10
10	0	90	50	90	0	10
10	0	130	90	130	0	10
10	10	0	0	0	10	10
10	10	10	10	10	10	10

(b) 샤프닝 영상

[그림 6-19] 간단한 샤프닝 처리 예

## 가우시안 스무딩 필터링 처리

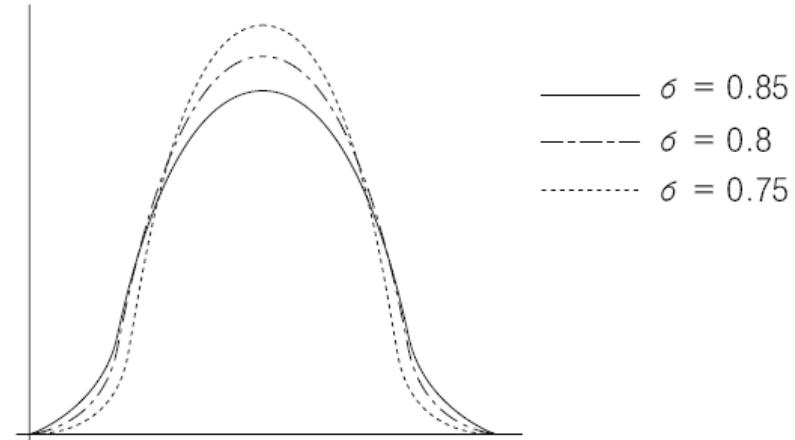
- ☞ 영상의 세세한 부분을 제거하여 부드럽게 하므로 스무딩(Smoothing) 처리라고도 함
- ☞ 스무딩 처리에 사용되는 대표적인 저역통과 필터로 가우시안 필터(Gaussian Filter)가 있음
- ☞ 이 필터는 수학적으로 잘 정의된 가우시안 함수에서 얻음.

$$G[x, y] = \frac{e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}}{2\pi\sigma^2}$$

# 가우시안 스무딩 필터링 처리(계속)

## • $\sigma$ 에 따른 가우시안 함수 그래프

- $\sigma$  값이 클수록 높이는 낮지만 폭은 넓어 지므로 많은 저주파 성분을 통과시킴.
- $\sigma$  값이 작을 수록 적은 저주파 성분만 통과시킴.



[그림 6-17]  $\sigma$  값에 따른 가우시안 그래프

## • 가우시안 필터

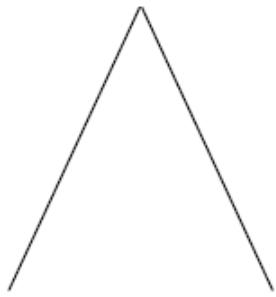
- 가우시안 함수를 표본화하여 마스크의 계수를 결정
- 오른쪽은  $3 \times 3$  가우시안 필터 계수. 모든 계수는 양의 값으로 그 합은 1

1/16	1/8	1/16
1/8	1/4	1/8
1/16	1/8	1/16

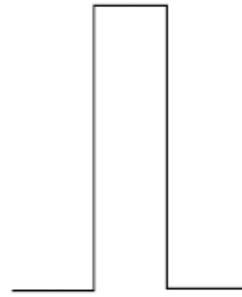
## Section 01 에지 검출의 개요

### ▶ 에지(edge)

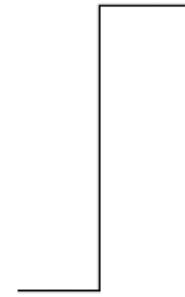
- 디지털 영상의 밝기가 낮은 값에서 높은 값으로 또는 높은 값에서 낮은 값으로 변하는 지점
- 디지털 영상을 구성하는 **객체 간의 경계(= 경계선)**
- 디지털 영상의 에지: 물체 식별, 위치/모양/크기 등을 인지하고 방향성을 탐지할 수 있는 정보 제공



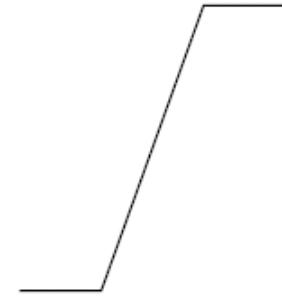
(a) 지붕형



(b) 선형



(c) 계단형



(d) 경사형

[그림 7-1] 다양한 에지 패턴

## ▶ 영역처리

- 에지를 검출하기 위한 방법으로 사용됨

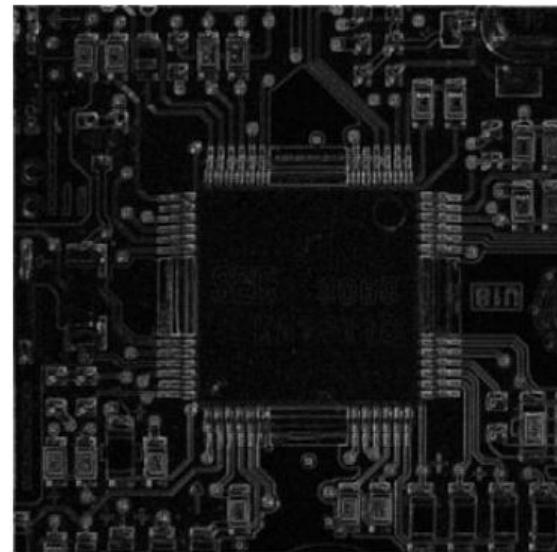
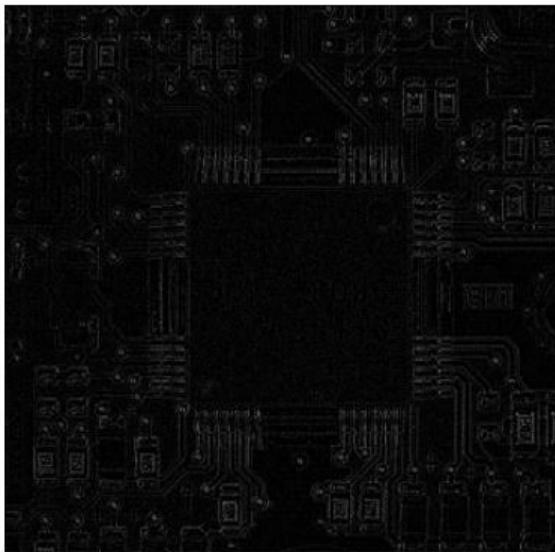
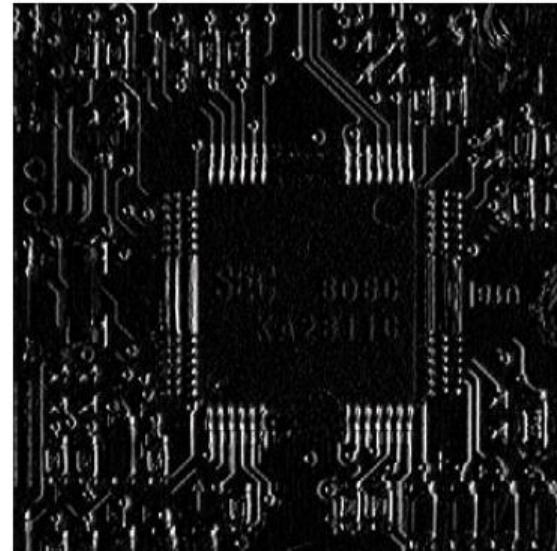
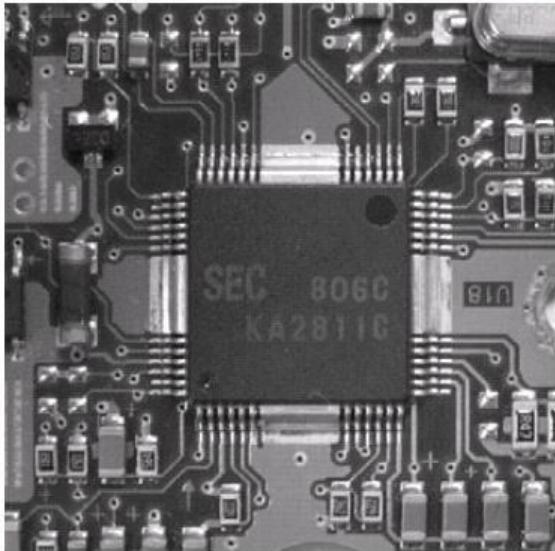
## ▶ 간단한 에지 추출 기법

- 연산 자체가 간단하고 빠름.
- 유사 연산자(Homogeneity Operator)와 차 연산자(Difference Operator)가 있음.
- 이 두 방법으로 얻은 에지를 강화하거나 약화시키는 추가적인 임계 값 (Threshold)을 처리하는 방법이 있음.

## ▶ 미분을 이용한 에지 검출 방법

- 에지가 화소의 밝기 변화율에 관여한다는 것
- 1차 미분을 이용한 검출 방법과 2차 미분을 이용한 검출 방법 있음
- 2차 미분을 이용한 검출 방법: 1차 미분으로 얻은 결과에 미분을 한 번 더 추가하여 에지 검출의 성능을 향상시킨 것

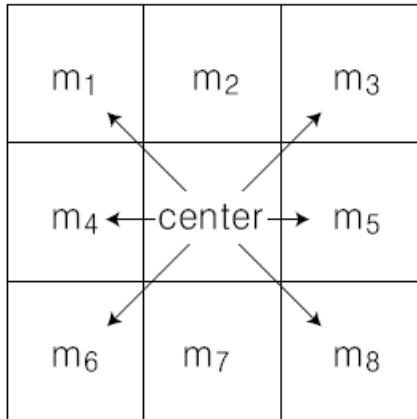
## 에지 검출의 개요(계속)



[그림 7-2] 다양한 1차 미분법으로 검출된 에지 영상

## 유사 연산자 기법

- 가장 단순한 에지 검출 방법으로 화소를 감산한 값에서 최대값을 결정하여 에지를 검출
- 뺄셈연산이 여러 번 수행되므로 계산 시간이 많이 소요됨



$$\text{New Pixel} = \max(|\text{center} - m_1|, |\text{center} - m_2|, |\text{center} - m_3|, |\text{center} - m_4|, |\text{center} - m_5|, |\text{center} - m_6|, |\text{center} - m_7|, |\text{center} - m_8|)$$

총 8번 계산

예

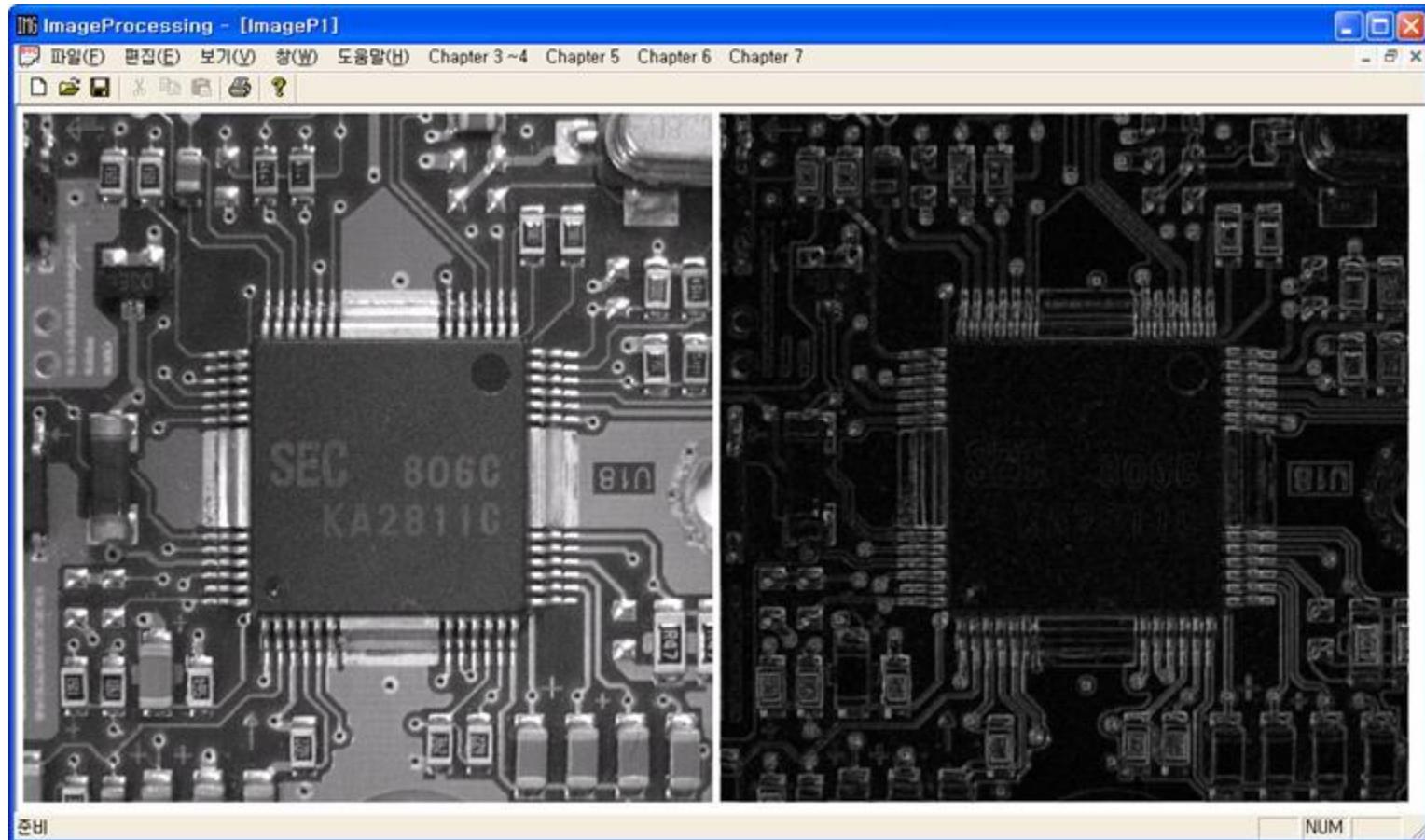
5	2	1
6	9	3
7	2	6

$$\begin{aligned}\text{New Pixel} &= \max(|9-5|, |9-2|, |9-1|, |9-6|, |9-3|, |9-7|, |9-2|, |9-6|) \\ &= 8\end{aligned}$$

[그림 7-4] 유사 연산자의 동작 원리

## [실습하기 7-2] 유사 연산자 에지 검출 처리 프로그램

### ⑤ 프로그램 실행 결과 영상



유사 연산자 기법으로 검출된 에지

## Section 02 에지 검출기

▶ 디지털 영상의 에지를 검출하는 가장 쉬운 방법은 화소 간의 차이를 이용하는 것

▶ 이동과 차분(Shift And Difference)

- 화소의 위치를 위쪽, 아래쪽, 왼쪽, 오른쪽으로 하나씩 이동시킨 뒤 원래 화소에서 이동 위치의 화소를 빼서 에지를 구함.
- 에지 검출기는 대부분 이 방법을 응용함.

0	0	0
-1	1	0
0	0	0

(a) 수직 에지 검출 마스크

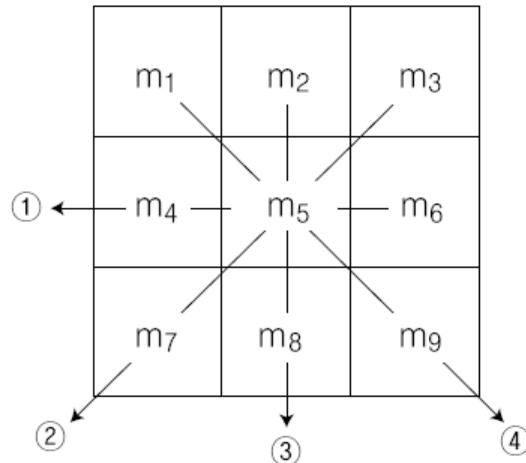
0	-1	0
0	1	0
0	0	0

(b) 수평 에지 검출 마스크

[그림 7-3] 이동과 차분 방법에서의 에지 검출 마스크

# 차 연산자 기법

- 유사 연산자의 계산 시간이 오래 걸리는 단점을 보안해 주는 방법
- 뺄셈 연산이 여덟 번 필요한 유사 연산자와는 달리 화소당 네 번만 사용되어 연산 시간이 빠름.



New Pixel =  $\max(|m_1 - m_9|, |m_3 - m_7|, |m_2 - m_8|, |m_6 - m_4|)$   
총 4번 계산

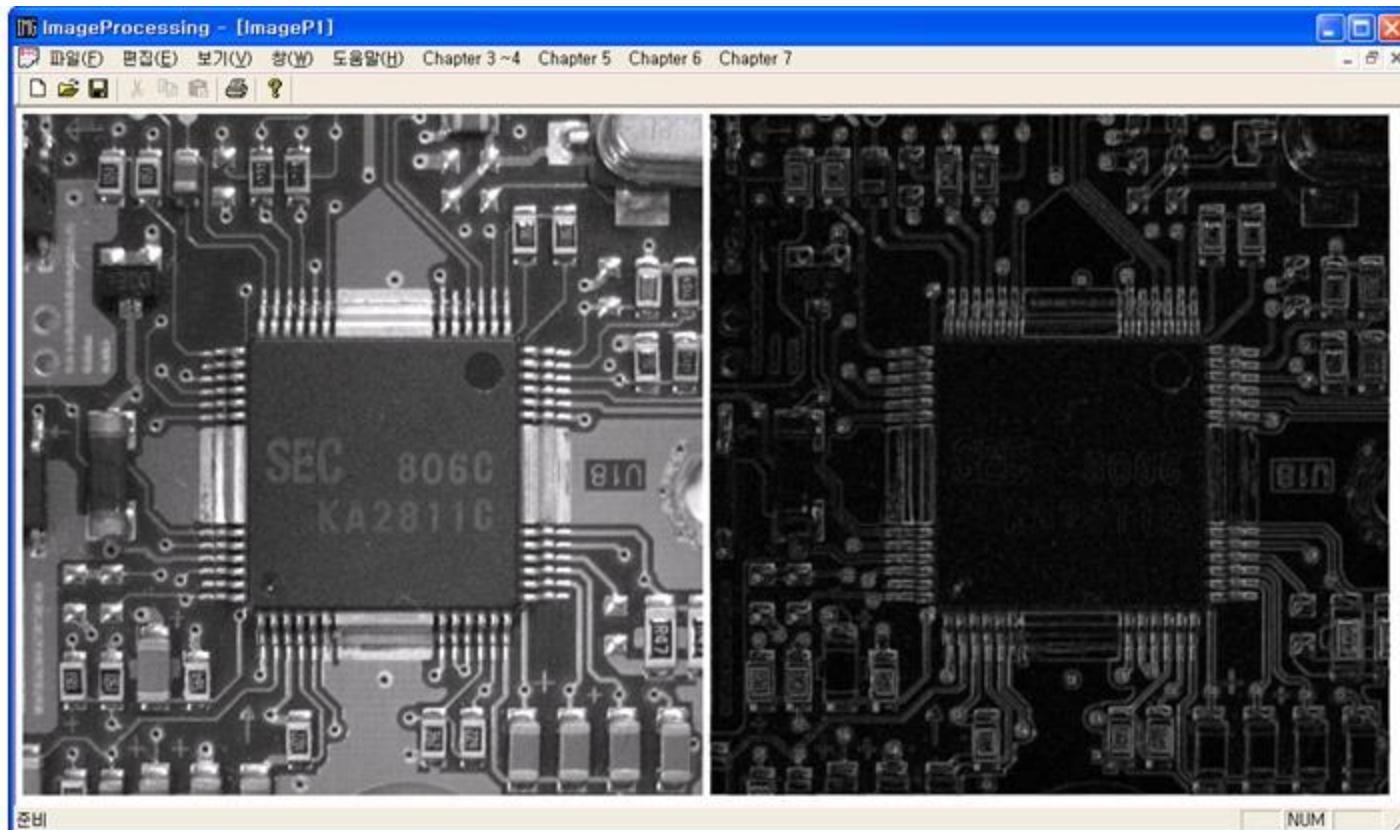
예

5	2	1
6	9	3
7	2	6

$$\begin{aligned}\text{New Pixel} &= \max(|1-9|, |2-8|, |3-7|, |6-4|) \\ &= 8\end{aligned}$$

[그림 7-5] 차 연산자의 동작 원리

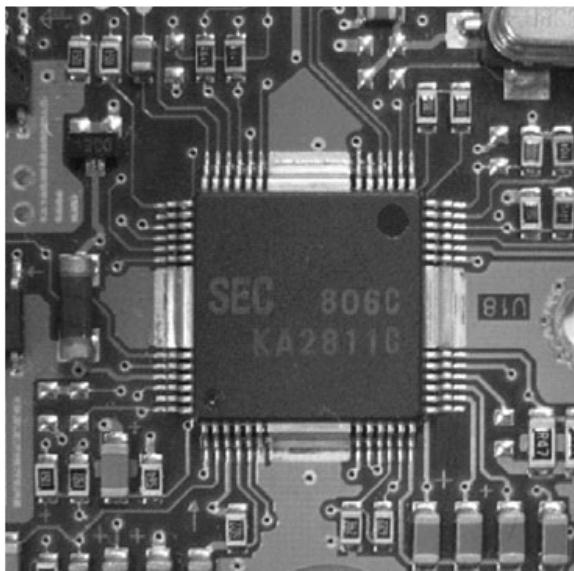
## 차 연산자 기법(계속)



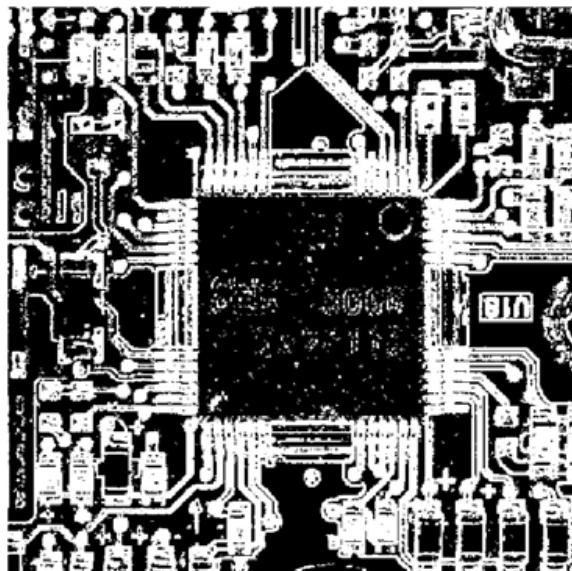
[그림 7-6] 차 연산자 기법으로 검출된 예지

## 임계 값을 이용한 에지 처리

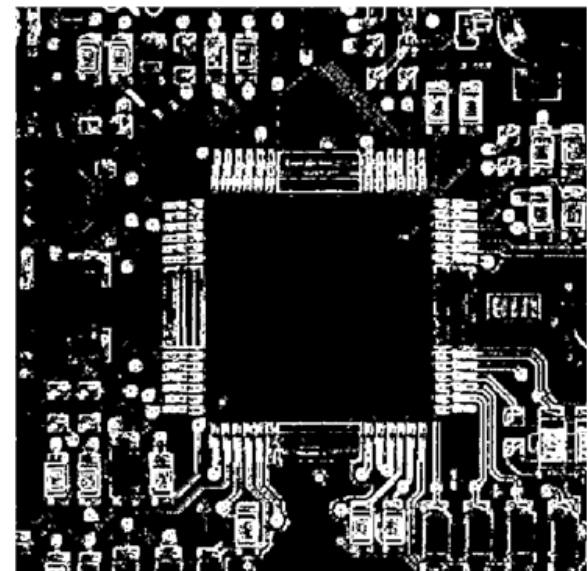
- 보통 에지 추출기와 함께 사용되어 강한 에지는 강하게, 약한 에지를 약화함.
  - 효율적으로 영상처리를 하기 위해서는 검출된 에지를 강조하거나 약화시킬 필요가 있음.



(a) 원본 영상



(b) 단일 임계 값 처리

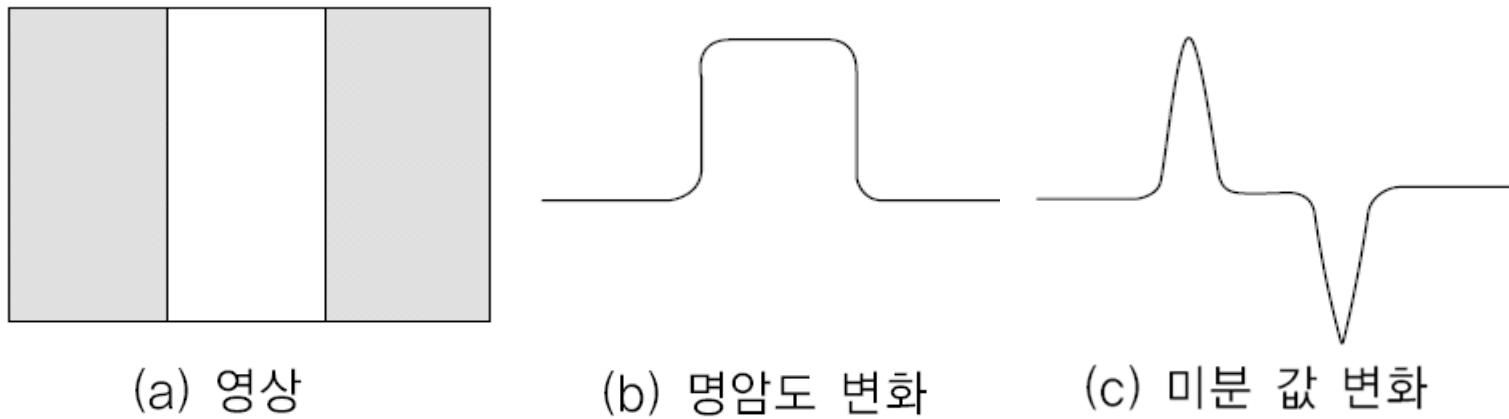


(c) 다중 임계 값 처리

[그림 7-7] 임계 값을 이용해 에지 처리한 영상

## Section 03 1차 미분을 이용한 예지 검출

- 💡 디지털 영상의 에지는 화소의 밝기 값이 급격히 변하는 부분이므로, 이 변화 부분을 탐지하는 연산을 이용해 에지 검출



[그림 7-8] 영상의 밝기 변화와 미분 값 변화

- ▶ 에지 추출에는 함수의 변화분을 찾는 미분 연산이 이용됨.

## 1차 미분을 이용한 예지 검출[계속]

### 좌표 (x, y)에서 각 방향으로의 편미분

$$\nabla H(x, y) = \begin{bmatrix} H_r(x, y) \\ H_c(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x+1, y) - f(x, y) \\ f(x, y+1) - f(x, y) \end{bmatrix}$$

- 이웃 데이터와의 차이 값으로 표현되므로, 디지털 영상의 미분은 각 방향의 변화율을 나타냄.
- $H_r$ 는 행 검출기,  $H_c$ 는 열 검출기

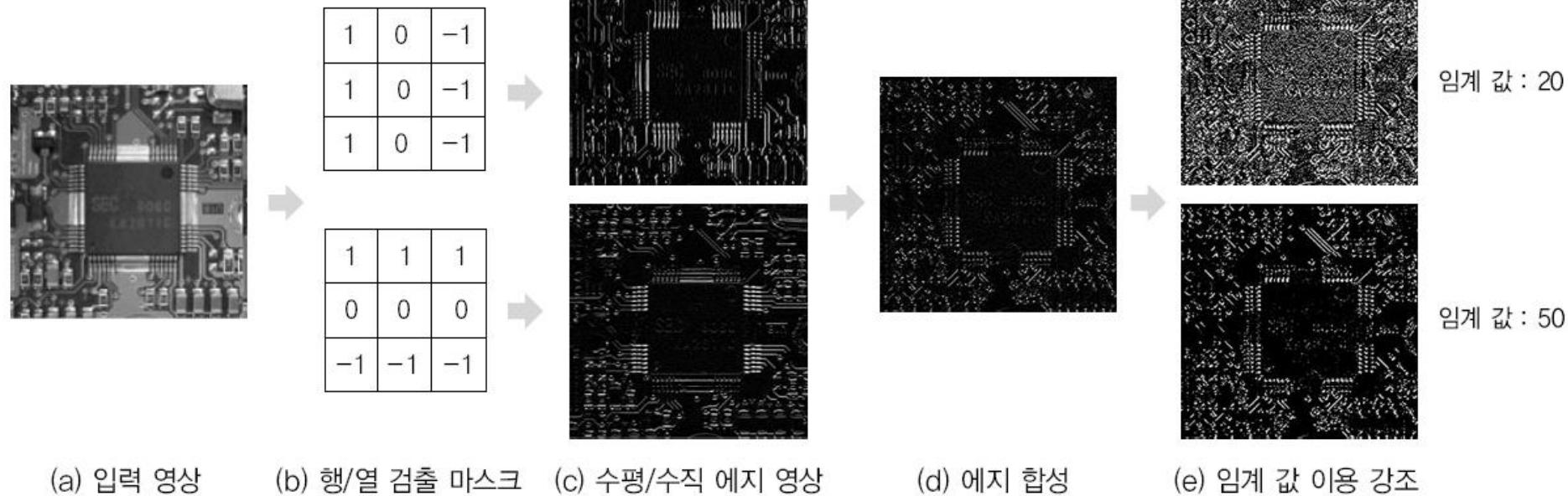
## 1차 미분을 이용한 에지 검출[계속]

### ▶ 영상의 전체 변화 분의 크기 계산

$$H(x, y) \approx |H_r(x, y)| + |H_c(x, y)| = \sqrt{H_r^2(x, y) + H_c^2(x, y)}$$

- 에지 검출을 위한 1차 미분 연산을 영역처리 기법의 회선 처리로 수행하려면 행 검출기  $H_r$ 과 열 검출기  $H_c$ 를 회선 마스크로 생성
- 편미분 식에서 제시된 이웃 데이터와의 차이를 표현하는 회선 마스크를 얻을 수 있음.
- 얻은 1차 미분 회선 마스크는 이동과 차분의 회선 마스크와 형태가 비슷함.
- 마스크의 크기가 클수록 상세한 에지를 검출하기 어렵고, 작으면 잡음에 민감하며, 회선 마스크의 합은 0이 됨

## 1차 미분을 이용한 에지 검출[계속]



[그림 7-9] 1차 미분 화선 마스크를 이용한 에지 검출 영상

# 1차 미분 회선 마스크의 종류

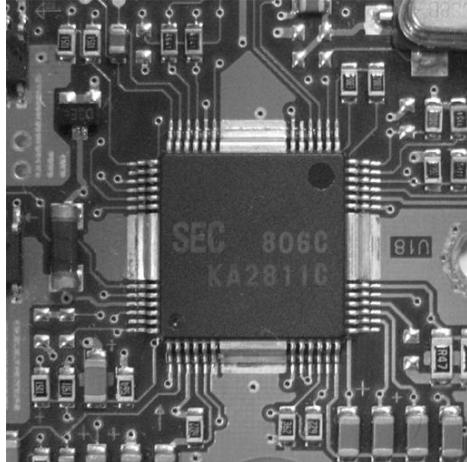
- 종류가 다양함.
- 로버츠(Roberts), 소벨(Sobel), 프리윗(Prewitt) 마스크가 대표적
- 행 검출 마스크와 열 검출 마스크가 있으며, 각 회선 마스크는 고유한 특징이 있음.

	행 검출 마스크	열 검출 마스크
로버츠	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
프리윗	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
소벨	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

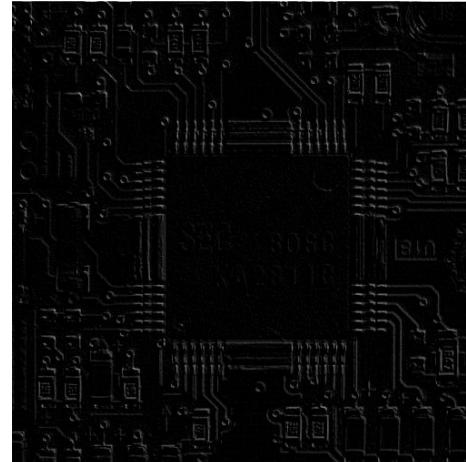
[그림 7-10] 다양한 1차 미분 회선 마스크

## 로버츠 마스크

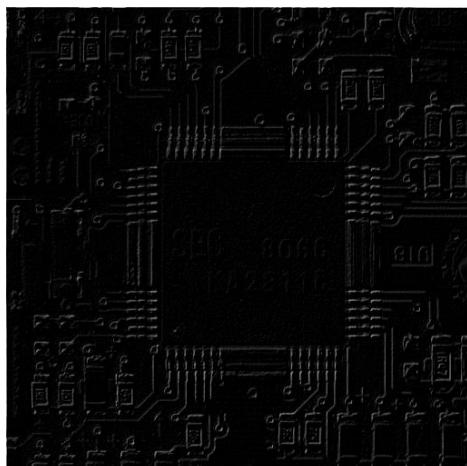
- 장점 : 크기가 작아 매우 빠른 속도로 동작하여 효과적으로 사용 가능.
- 단점 : 돌출된 값을 잘 평균할 수 없으며, 잡음에 민감함.



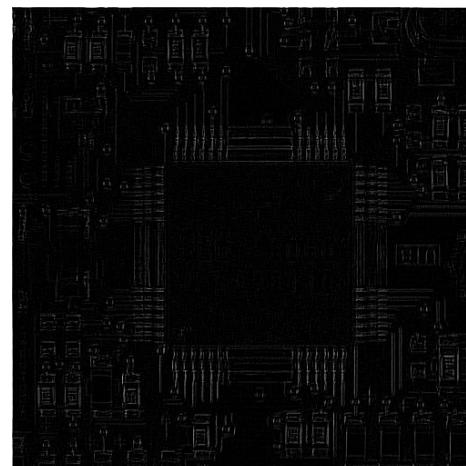
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 예지



(c) 수직 방향 예지

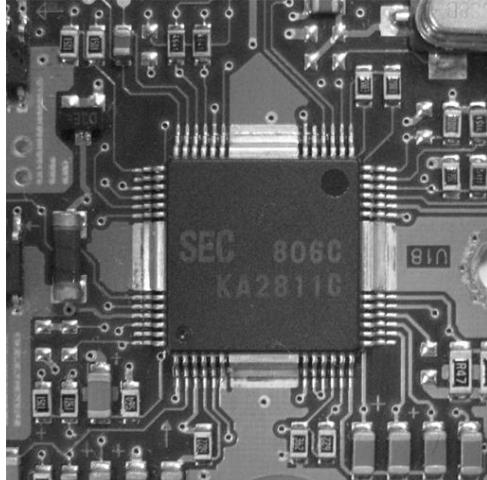


(d) 수평/수직 방향 예지

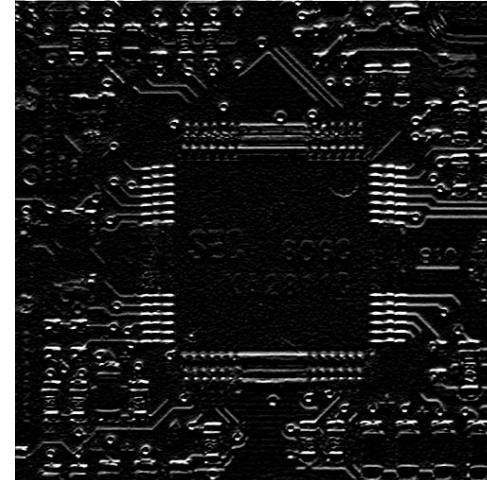
[그림 7-11] 로버츠 마스크를 이용한 예지 검출 영상

## 프리윗 마스크

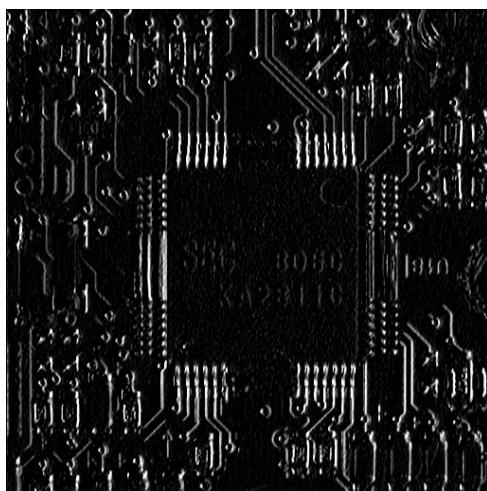
- 장점 : 돌출된 값을 비교적 잘 평균화함.
- 단점 : 대각선보다 수평과 수직에 놓인 에지에 더 민감하게 반응함.



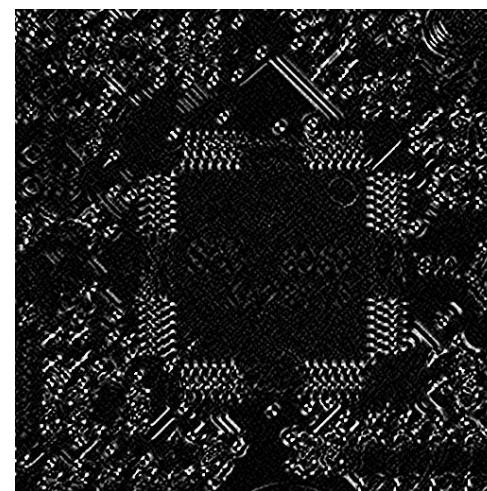
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 에지



(c) 수직 방향 에지

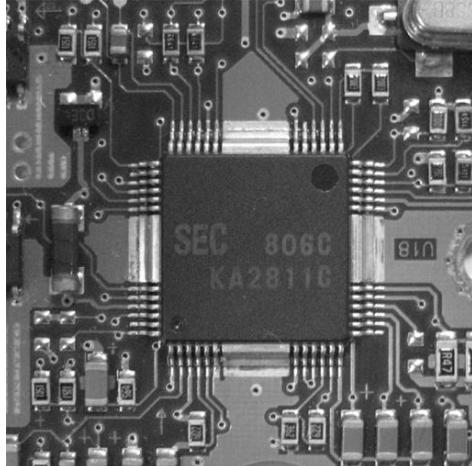


(d) 수평/수직 방향 에지

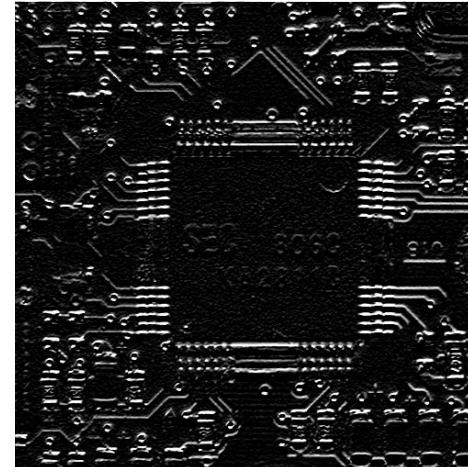
[그림 7-12] 프리윗 마스크를 이용한 에지 검출 영상

## 소벨 마스크

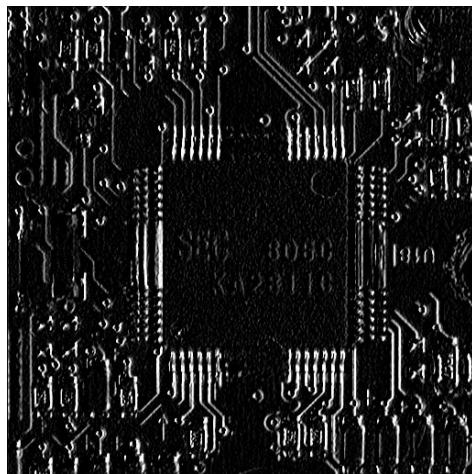
- 장점 : 돌출된 값을 비교적 잘 평균화함.
- 단점 : 대각선 방향에 놓인 에지에 더 민감하게 반응함.



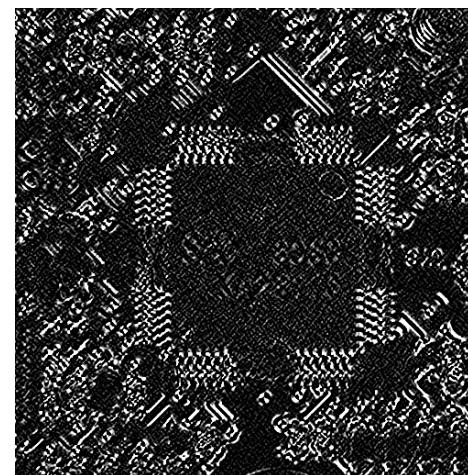
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 에지



(c) 수직 방향 에지



(d) 수평/수직 방향 에지

[그림 7-13] 소벨 마스크를 이용한 에지 검출 영상

## Compass Gradient Operator

- 예지를 좀더 정확하게 검출하려고 각기 다른 방향의 마스크 여덟 개를 이용하여 에지를 검출하는 방법
- 여덟 방향으로 수행한 연산의 결과 중 최대값을 최종 출력으로 결정함.
- 단점
  - 마스크의 크기가 작을수록 잡음에 민감하고,
  - 클수록 상세한 에지를 검출할 수 없음.

## Section 04 2차 미분을 이용한 에지 검출

☞ 임의의 이산 함수  $f(x)$ 에서의 1차 미분과 2차 미분 결과

$$f'(x) = \frac{df}{dx} = f(x+1) - f(x)$$

$$\begin{aligned} f''(x) &= \frac{d^2f}{dx^2} = \frac{df(x+1)}{dx} - \frac{df(x)}{dx} = (f(x+1) - f(x)) - (f(x) - f(x-1)) \\ &= f(x+1) - 2f(x) + f(x-1) \end{aligned}$$

☞ 2차 미분을 이용한 에지 검출기는 미분을 한 번 더 수행하므로, 1차 미분의 단점을 완화시켜 둔감하게 반응하도록 만듦.

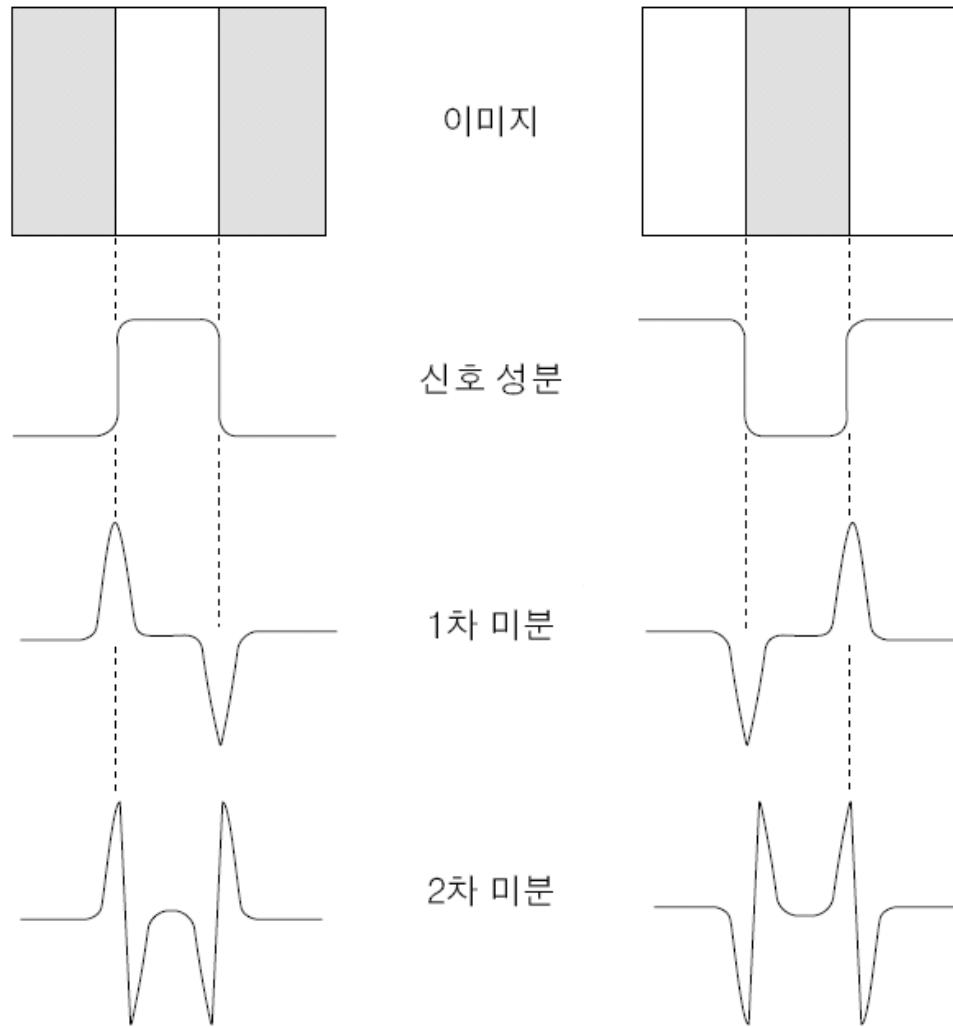
- 1차 미분을 이용한 에지 검출기의 단점: 에지가 있는 영역을 지날 때 민감하게 반응

☞ 2차 미분을 이용한 에지 검출기의 장점과 단점

- 장점: 검출된 에지를 끊거나 하지 않고 연결된 폐곡선을 형성함.
- 단점: 고립된 잡음에 민감하고, 윤곽의 강도만 검출하지 방향은 구하지 못함.

## 2차 미분을 이용한 에지 검출[계속]

- 2차 미분 연산은 에지 부분에서 부호가 바뀌는 영교차(Zero Crossing)의 특성이 있음.



[그림 7-15] 1차 미분과 2차 미분 검출기의 비교

## 라플라시안(Laplacian) 연산자

- 대표적인 2차 미분 연산자로, 모든 방향의 에지를 강조함.
- 라플라시안 연산자 공식

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

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y)$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} = f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1)$$

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) &= f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1) \\ &= f(x, y+1) + f(x-1, y) + f(x+1, y) + f(x, y-1) - 4f(x, y)\end{aligned}$$

## 라플라시안(Laplacian) 연산자(계속)

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

(a)

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(b)

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

(c)

[그림 7-16] 라플라시안 회선 마스크

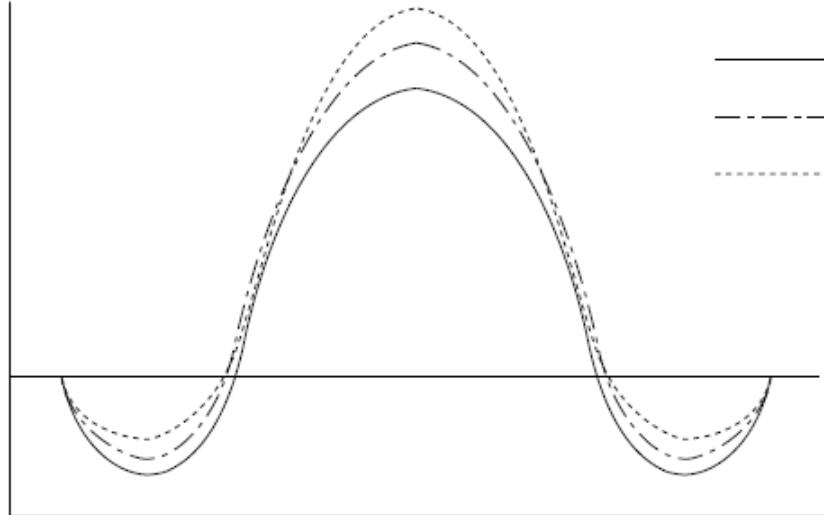
- ➊ 1차 미분의 회선 마스크에는 행과 열 방향의 회선 마스크가 있으나,
- ➋ 2차 미분의 라플라시안 회선 마스크에는 행과 열 방향이 합쳐져 한 개만 있음.
  - 회선 마스크의 합은 0

## LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자

- ▶ 잡음에 매우 민감한 라플라시안 마스크를 이용한 에지 검출기의 문제점을 해결하기 위해 만듦.
- ▶ 가우시안 스무딩을 수행하여 잡음 제거 과정을 거친 뒤 에지를 강조하려고 라플라시안을 이용함.
- ▶ LoG 연산자 공식

$$\text{LoG}(x, y) = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left[ 1 - \frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}}$$

## LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자(계속)



(a)

0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

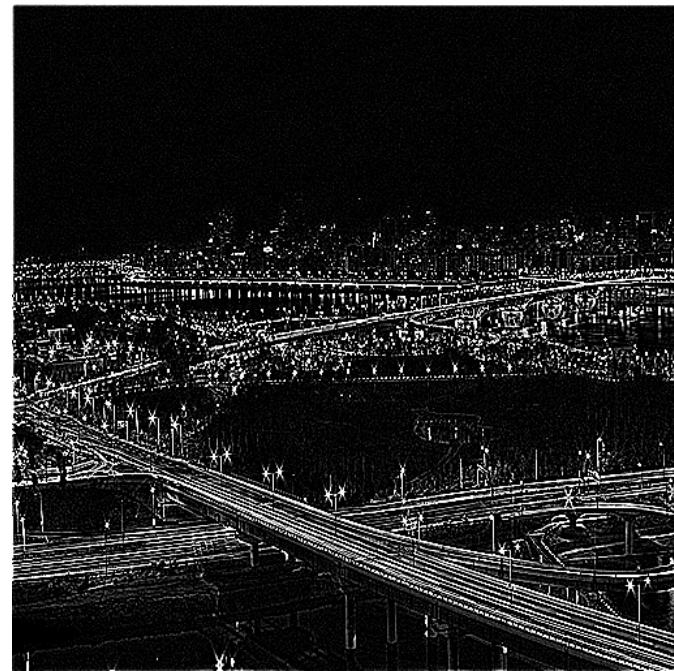
(b)

[그림 7-17] LoG의 멕시칸 모자 필터와 회선 마스크

## LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자(계속)

### ▣ LoG를 수행하는 두 가지 방법

- 가우시안 스무딩 필터링을 먼저 수행하고 그 결과 값에 라플라시안을 수행하는 방법
- LoG 필터에 해당하는 선형 필터링을 한꺼번에 수행하는 방법



[그림 7-18] LoG로 검출된 에지 영상

## DoG(Difference of Gaussians) 연산자

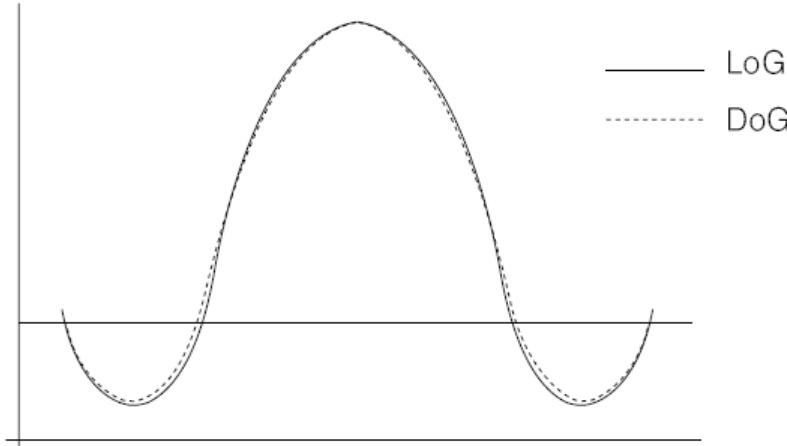
- 계산 시간이 많이 소요되는 LoG 연산자의 단점을 보완하기 위해 등장
- 각 가우시안 연산에 분산 값을 서로 다르게 주어 이 차를 이용해 에지 맵을 구함
- DoG 공식

$$DoG(x, y) = \frac{e^{\frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}}}{2\pi\sigma_1^2} - \frac{e^{\frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma_2^2}}}{2\pi\sigma_2^2}$$

### 장점

- $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 의 값을 변화시켜 검출할 에지의 넓이를 조절할 수 있음.
- $\sigma_1 / \sigma_2 = 1.6$ 의 값이 있는 비율이 LoG와 가장 비슷한 결과를 나타냄.

## DoG(Difference of Gaussians) 연산자[계속]



[그림 7-19] LoG와 DoG 그래프 비교

0	0	-1	-1	-1	0	0
0	-2	-3	-3	-3	-2	0
-1	-3	5	5	5	-3	-1
-1	-3	5	16	5	-3	-1
-1	-3	5	5	5	-3	-1
0	-2	-3	-3	-3	-2	0
0	0	-1	-1	-1	0	0

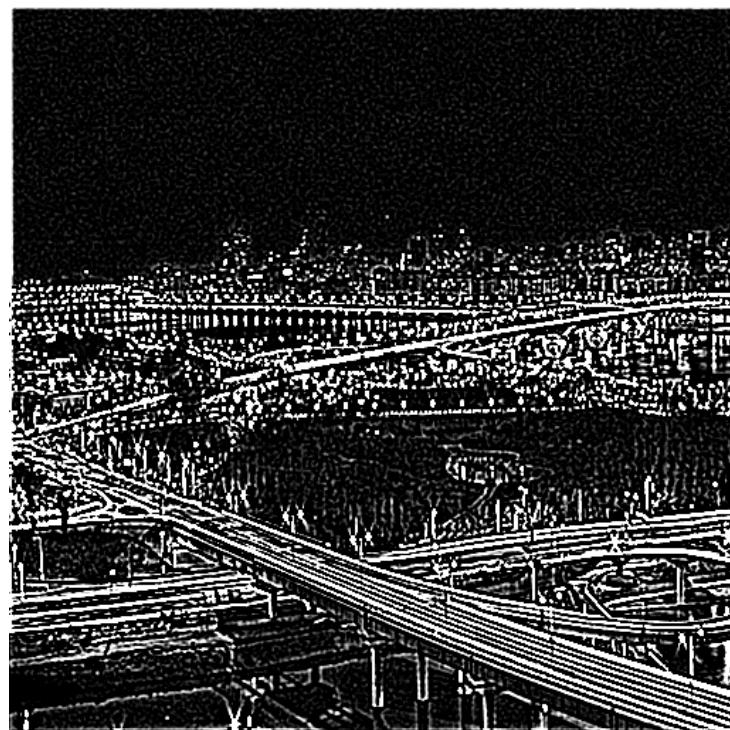
(a)  $7 \times 7$  DoG 마스크

0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
0	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-2	0
0	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-3	0
-1	-3	-1	9	9	9	-1	-3	-1
-1	-3	-1	9	19	9	-1	-3	-1
-1	-3	-1	9	9	9	-1	-3	-1
0	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-3	0
0	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-2	0
0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0

(b)  $9 \times 9$  DoG 마스크

[그림 7-20] DoG의 회선 마스크

## DoG(Difference of Gaussians) 연산자[계속]



[그림 7-21] DoG로 검출된 에지 영상

## 컬러 영상에서의 에지 검출

### ➊ RGB 컬러 모델을 사용할 경우

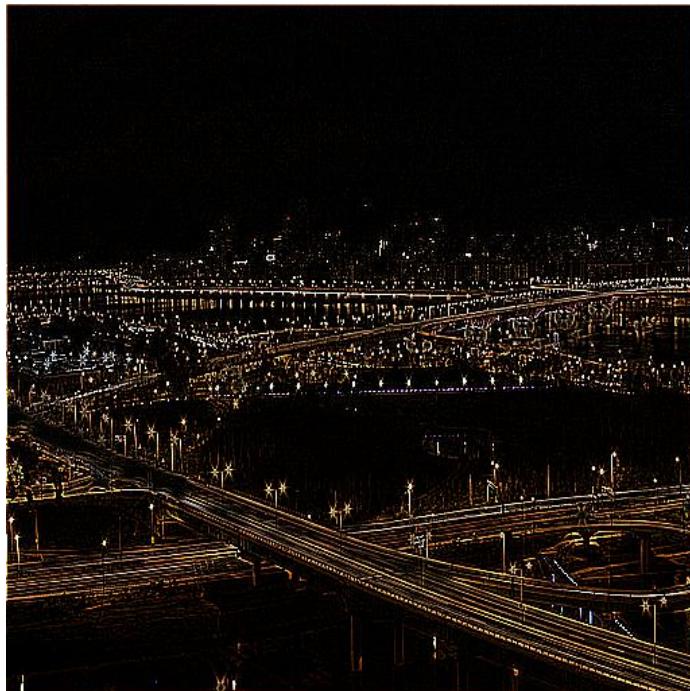
- R, G, B 각각에서 에지 검출을 위한 회선을 수행 후 검출된 에지를 다시 합해 컬러 영상의 에지를 얻음.
- 검출된 각 성분의 에지를 합치는 공식

$$E(x, y) = \sqrt{E_{red}^2(x, y) + E_{green}^2(x, y) + E_{blue}^2(x, y)}$$

### ➋ HSI 컬러 모델을 사용할 경우

- RGB 컬러 모델을 HSI 컬러 모델로 변환하여 명도값 (I)에서만 회선을 적용한 뒤 RGB 컬러 모델로 변경하여 컬러 영상의 에지를 얻음.

## 컬러 영상에서의 에지 검출(계속)



[그림 7-22] 컬러 영상에서의 에지 검출

# 요약

## ▣ 예지

- 디지털 영상의 밝기가 낮은 값에서 높은 값으로 또는 높은 값에서 낮은 값으로 변하는 지점(=경계선)

## ▣ 간단한 예지 추출 기법

- 연산 자체가 간단하고 빠름.
- 유사 연산자와 차 연산자, 임계 값 처리 방법이 대표적

## ▣ 유사 연산자

- 가장 단순한 방법으로, 일련의 화소를 감산한 값에서 최대값을 결정하여 예지를 검출

## ▣ 차 연산자

- 계산 시간이 오래 걸리는 유사 연산자의 단점 해결 위해 제시
- 화소당 뺄셈연산이 네 개만 사용되어서 빠른 연산 수행 가능

## ▣ 임계 값을 이용한 예지 처리

- 보통 예지 추출기와 함께 사용되어 강한 에지는 강하게, 약한 에지는 약화시키는 역할 수행

## ▣ 1차 미분 회선 마스크

- 종류가 다양
- 로버츠, 소벨, 프리윗 마스크가 대표적

## 📍 Compass Gradient Operator

- 에지를 좀더 정확하게 검출하려고 다른 방향의 마스크 여덟 개를 이용하여 에지를 검출하는 방법

## 📍 2차 미분 에지 검출기

- 라플라시안, LoG, DoG 등이 대표적

## 📍 라플라시안 에지 검출기

- 에지 검출 성능이 우수하여 다른 연산자보다 더욱 더 두드러지게 에지 추출
- 에지의 방향은 검출하지 못하고, 잡음 성분에 매우 민감하여 실제보다 많은 에지를 검출.

## 📍 LoG

- 잡음에 민감한 라플라시안의 문제를 해결하기 위해 만듦.
- 라플라시안을 적용하기 전에 가우시안 스무딩을 수행하여 잡음을 제거한 뒤 에지를 강조하는데 라플라시안을 이용
- 계산 시간이 많이 소요됨.

## 📍 LoG

- 계산 시간이 많이 소요되는 LoG의 단점 보완 위해 등장

# 요약

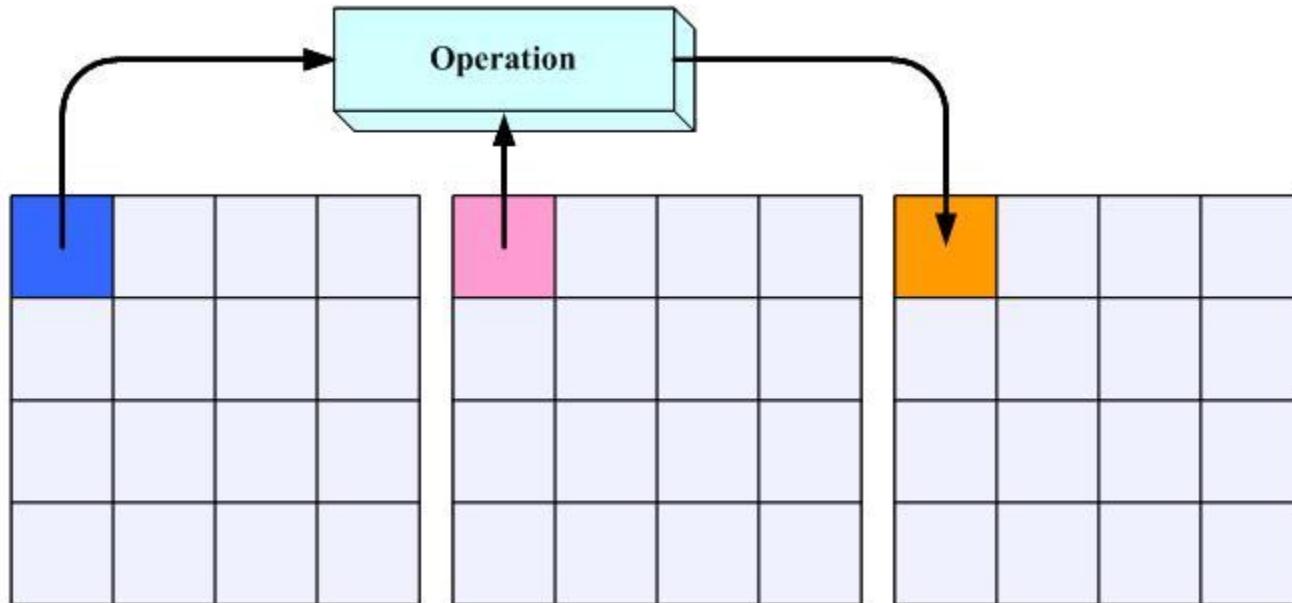
## ▣ 컬러 영상에서의 에지 검출

- **RGB** 컬러 모델 사용시: **R, G ,B** 각각에서 에지 검출을 위한 회선을 수행 → 검출된 에지를 다시 합침.
- **HSI** 컬러 모델 사용시: **RGB** 모델을 **HSI** 모델로 변환하여 명도값 (**I**)에만 회선을 적용 → **RGB** 모델로 변경해서 컬러 영상의 에지를 구함.

## Section 01 프레임 처리의 개념

### ▶ 프레임 처리(Frame Processing)

- 두 개 이상의 서로 다른 영상을 포함한 영상 간의 연산을 바탕으로 새로운 화소 값을 생성하는 것
- 생성된 결과 영상의 각 화소는 입력 영상과 같은 위치에 생성됨.



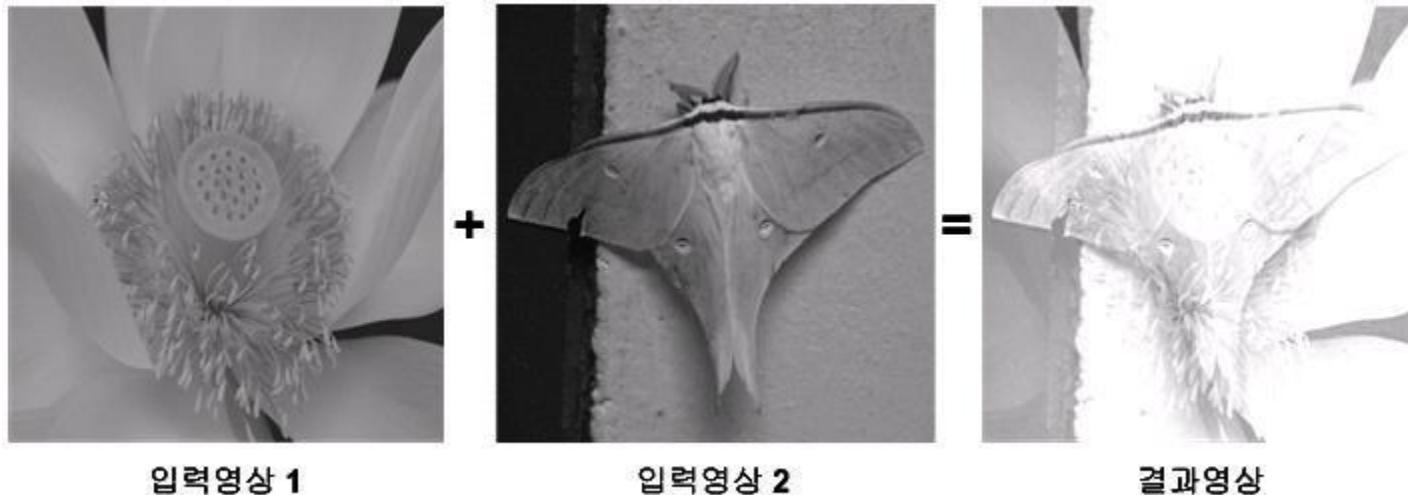
[그림 10-1] 프레임 처리의 개념

- 결합 처리(Combination Processing)와 합성 처리(Composition Processing)로 나뉨

## 결합 처리

- 서로 관련 있는 복수의 영상을 합성하여 향상된 품질의 영상을 만드는 것으로 주로 산술연산으로 수행
- 영상 간의 덧셈, 뺄셈, 평균연산 등이 대표적

$$O(x, y) = I1(x, y) + I2(x, y)$$



[그림 10-2] 덧셈연산을 이용해 프레임 처리한 결과 영상

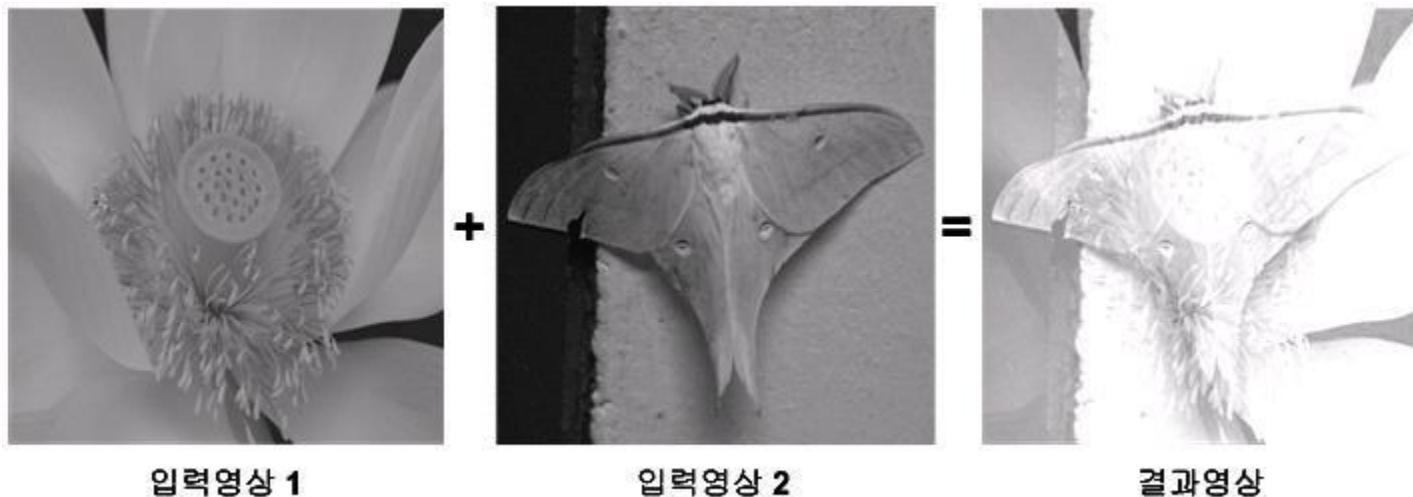
## Section 02 프레임 결합 처리-덧셈 연산을 이용한 프레임 처리

### 덧셈 연산을 이용한 프레임 처리

- ▶ 덧셈연산을 이용하여 프레임 처리한 결과 영상이 너무 밝아지는 것
- ▶ 오버플로를 방지하기 위해 프레임 처리에서  $\alpha$ 값을 이용한 공식

$$O(x, y) = \alpha I_1(x, y) + (1-\alpha) I_2(x, y)$$

- $\alpha$ 는 0~1 사이의 값



[그림 10-2] 덧셈연산을 이용해 프레임 처리한 결과 영상

## [실습하기 10-1] 덧셈을 이용한 프레임 처리 프로그램

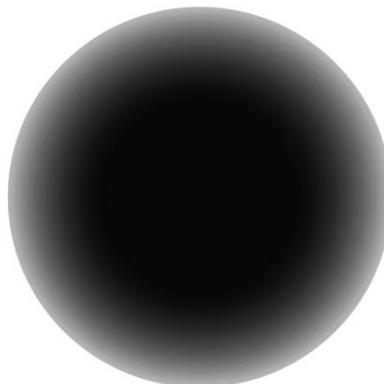
### ⑤ 프로그램 실행 결과 영상

- 밝기가 그대로 유지되면서 덧셈 프레임 처리가 수행된 결과 영상임
- 덧셈연산은 그림에서 보는 바와 같이 특정 부분을 강조 및 제거하거나 가장 쉽고 간단하게 두 영상을 합성하는데 응용 가능



입력영상 1

+



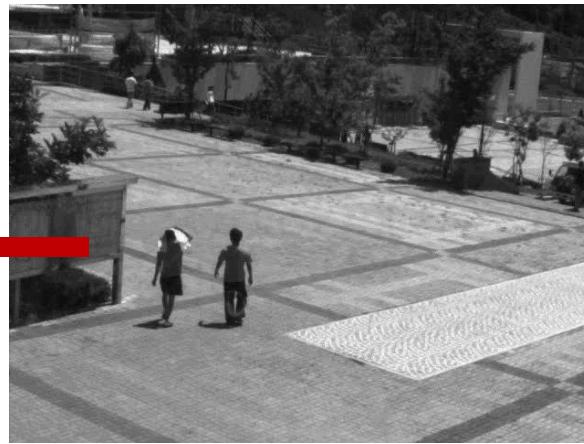
입력영상 2

=



결과영상

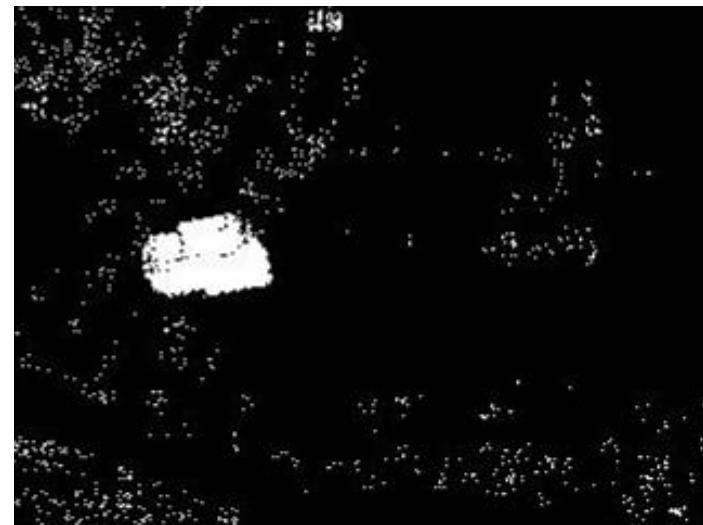
밝기가 같은 덧셈연산을 이용해 프레임 처리한 결과 영상



difference



after thresholding



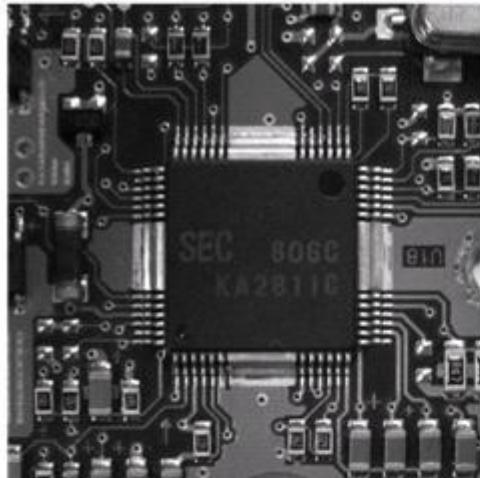
## 뺄셈연산을 이용한 프레임 처리

- ▶ 한 영상에서 다른 영상의 값을 빼서 두 영상 사이의 차이를 결정하는 프레임 처리
- ▶ 영상의 변화를 검출하는데 효율적
- ▶ 뺄셈 프레임 처리 공식

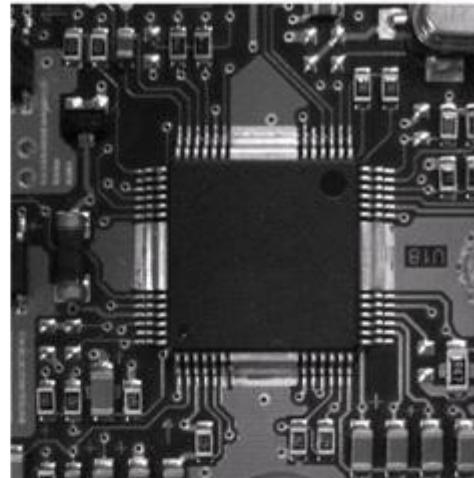
$$O(x, y) = I1(x, y) - I2(x, y)$$

- ▶ 똑같은 장면을 다른 시간대에서 촬영해 얻은 영상을 뺄셈 처리하여 대상체를 식별하는 방법으로, 배경제거, 감시 시스템, 조립 라인의 검사 시스템, 불필요하게 추가되는 잡음제거 등을 응용하는데 사용됨.

## 밸센연산을 이용한 프레임 처리(계속)



(a) 정상적인 영상



(b) 오류 영상



(c) 차 영상



(d) 차 영상의 이진화 영상

[그림 10-3] 밸센 프레임 처리를 이용한 검사 시스템 결과 영상

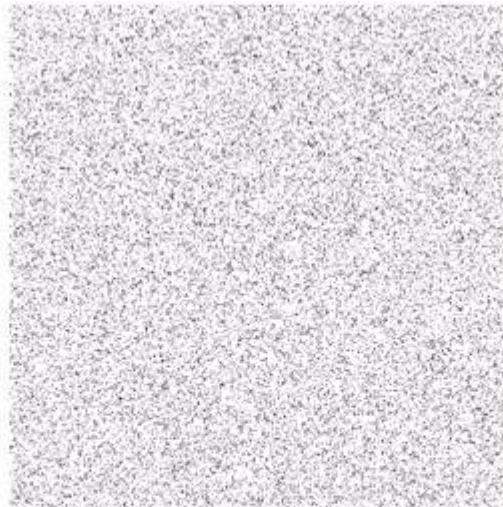
## [실습하기 10-2] 뺄셈을 이용한 프레임 처리 프로그램

### ⑤ 프로그램 실행 결과 영상

- 뺄셈 프레임 처리는 이미 아는 불필요한 잡음을 제거하는데 사용 가능
- (a)는 잡음이 첨가된 입력 영상이고, 이 잡음은 이미 알려진 형태
- 입력 영상에서 알려진 잡음을 뺄셈하면 잡음이 제거됨.



입력 영상



잡음



잡음제거 영상

잡음 형태를 알 때 차 영상을 이용하여 잡음제거

## 곱셈연산을 이용한 프레임 처리

- 서로 다른 두 영상을 곱하여 새로운 결과 영상을 얻는 프레임 처리 방법
- 덧셈처럼 영상을 합성하는 역할 수행
- 곱셈연산을 이용한 프레임 처리 공식

$$O(x, y) = I1(x, y) \times I2(x, y)$$

## [실습하기 10-3] 곱셈을 이용한 프레임 처리 프로그램

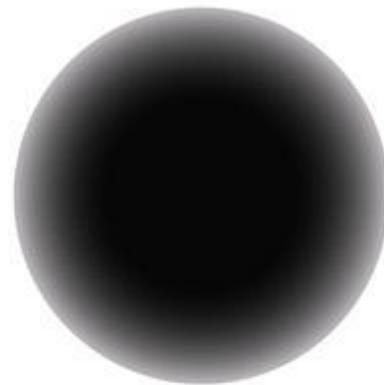
### ⑤ 프로그램 실행 결과 영상

- 결과 영상이 뒤에 소개될 AND 연산과 효과가 같음.



입력영상 1

×



입력영상 2

=



결과영상

곱셈 프레임 처리를 이용한 결과 영상

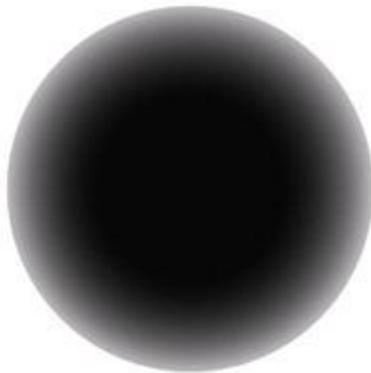
## [실습하기 10-4] 나눗셈을 이용한 프레임 처리 프로그램

### ⑤ 프로그램 실행 결과 영상



입력영상 1

÷



입력영상 2

=



결과영상

나눗셈 프레임 처리를 이용한 결과 영상

## 평균연산을 이용한 프레임 처리

- 같은 영상 여러 장을 다른 종류의 잡음으로 훼손하였다면 모두 영상의 평균을 구해서 자연스럽게 잡음을 제거하면 됨.
- 특정한 상황에서 잡음을 제거하는 방법으로 사용됨.
- 특정한 상황은 영상을 전송할 때 나타남.
- 전송 중에 생성되는 각기 다른 잡음의 형태를 평균화하여 제거 가능
- 전송 영상 두 개의 평균을 구하는 공식

$$O(x, y) = \frac{I_1(x, y) + I_2(x, y)}{2}$$



원영상



원영상 + 잡음



평균한 영상

[그림 10-4] 평균 프레임 처리를 이용한 결과 영상

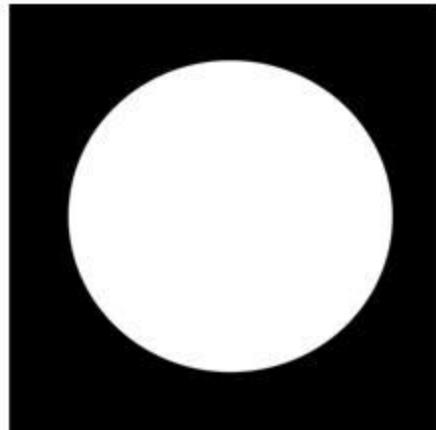
## [실습하기 10-5] AND 연산을 이용한 프레임 처리 프로그램

### ⑤ 프로그램 실행 결과 영상

- 실제 영상으로 AND 연산을 수행한 것으로, 특정 부분만 상쇄되고 원하는 부분은 그대로 유지됨.



AND



=



AND 연산으로 프레임 처리를 한 결과 영상

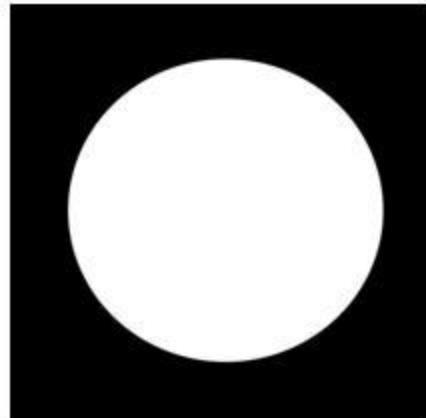
## [실습하기 10-6] OR 연산을 이용한 프레임 처리 프로그램

### ⑤ 프로그램 실행 결과 영상

- 실제 영상에 OR 연산을 이용한 프레임 처리를 수행하여 두 영상이 원하는 영역에서 서로 합성된 결과 영상



OR

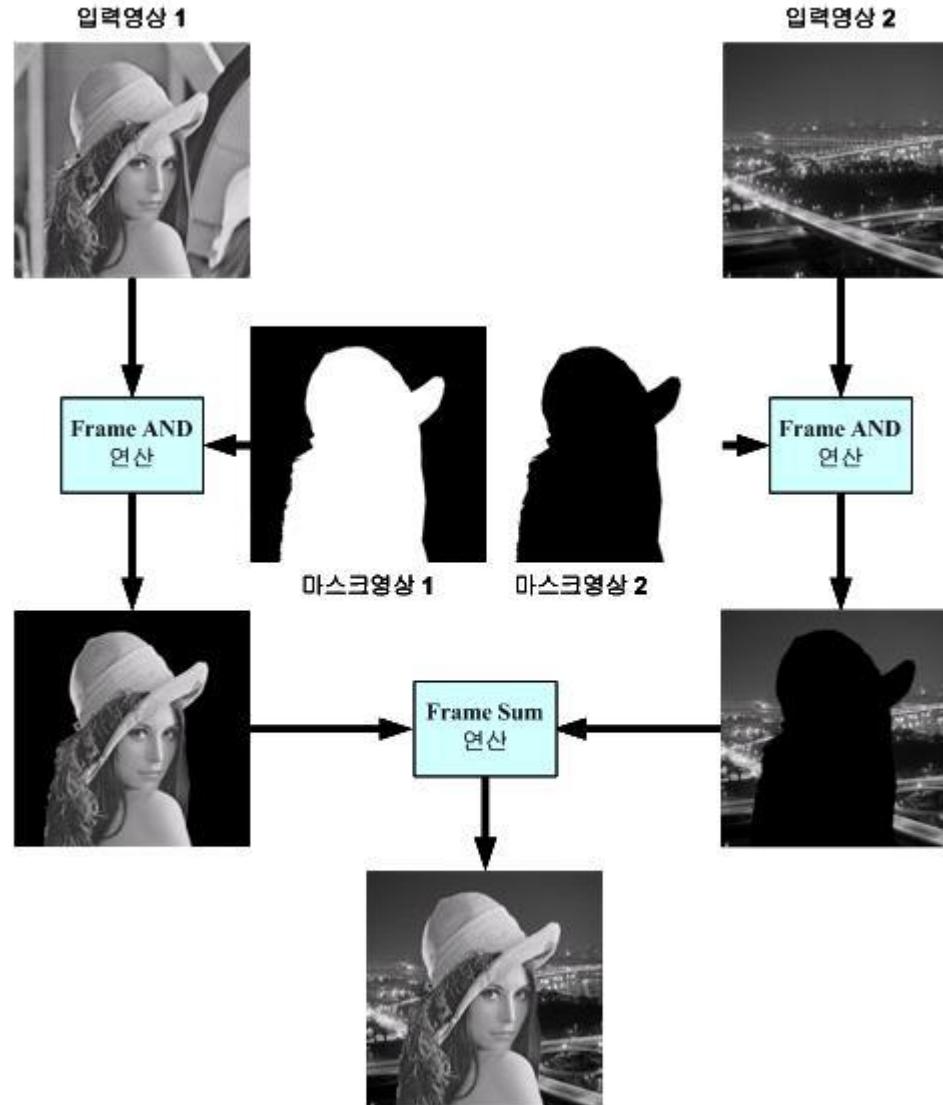


=



OR 연산으로 프레임 처리를 한 결과 영상

# 논리연산을 이용한 영상의 합성



[그림 10-7] 두 영상의 합성 과정

## Section 04 동영상의 개념

### ▶ 동영상

- 움직이는 순간적인 동작을 나타내는 정지영상을 순차적으로 보여주어 움직이는 것처럼 지각하게 한 것
- 정지영상이 모여 동영상을 만듦

### ▶ 프레임

- 동영상을 구성하는 개개의 정지영상



[그림 10-8] 동영상의 구성

# Reference

---

- 오일석, **Computer Vision**, 한빛 아카데미, 2014
- Scott E Umbaugh, **Computer Imaging**, CRC, 2005
- Mark Nixon and Alberto Aguado, **Feature Extraction & Image Processing**, ELSEVIER, 2008
- Frank SHIH, **Image Processing and Pattern Recognition**, IEEE Press, 2010



Thank you