

Point Operation

Histogram Modification

김성영교수

금오공과대학교

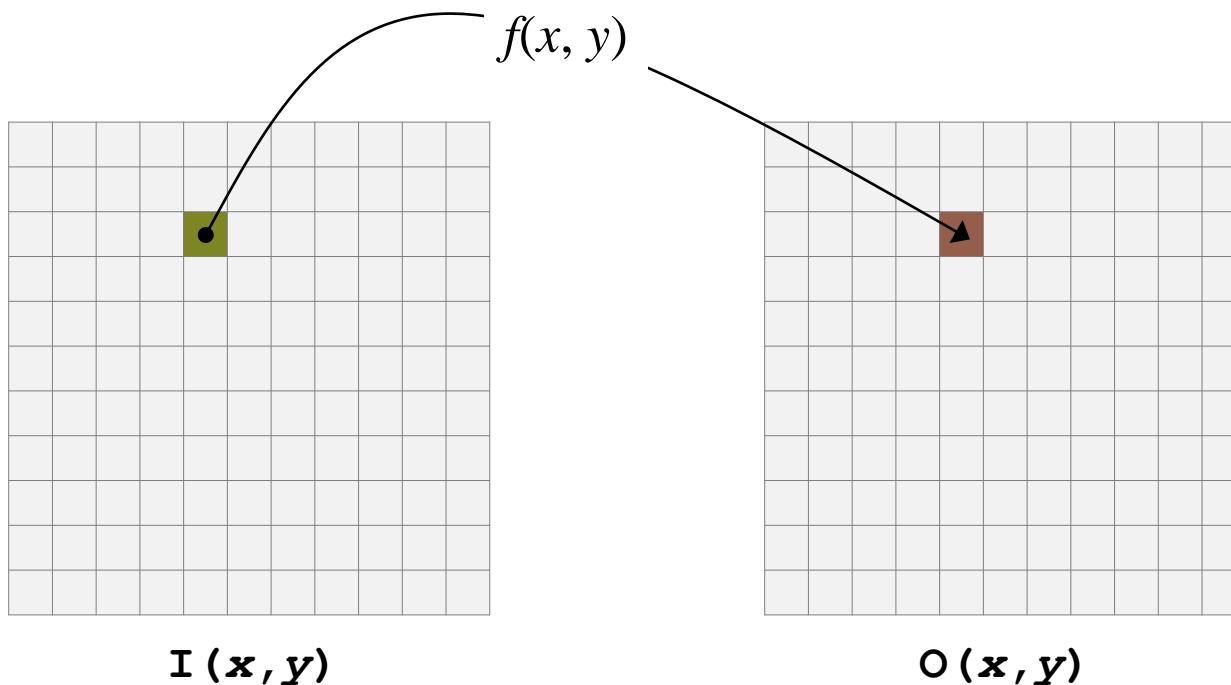
컴퓨터공학과

학습 내용

- POINT OPERATION 개요
- ARITHMETIC OPERATION
- GRayscale TRANSFORMATIONS
- PROCESSING FOR COLOR IMAGES

POINT OPERATION 개요

- Each pixel value is replaced with a new value obtained from the old one



$I = O$: in-place transformation

TECHNIQUES

ARITHMETIC OPERATION

GRAYSCALE TRANSFORMATION

HISTOGRAM MODIFICATION

OBJECTIVE

화소처리

대조도 : 선명하다

밝기 : 밝다

Improving image **contrast** and **brightness**

Image contrast: a measure of the distribution and range of the gray levels

the difference between the brightness and darkest pixel values, and
how the intermediate values are arranged

Image brightness: the overall average or mean pixel value in the image

Section 01 화소 점 처리의 개념

화소 점 처리

- 원 화소의 값이나 위치를 바탕으로 단일 화소 값을 변경하는 기술
- 다른 화소의 영향을 받지 않고 단순히 화소 점의 값만 변경하므로 포인트 처리(Point Processing)라고도 함.
- 산술연산, 논리연산, 반전, 광도 보정, 히스토그램 평활화, 명암 대비 스트레칭 등의 기법이 있음.
- 디지털 영상의 산술연산은 디지털 영상의 각 화소 값에서 임의의 상수 값으로 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈을 수행하는 것
- 그레이 레벨 영상에서 화소 값이 작으면 영상이 어둡고, 화소의 값이 크면 밝음.

산술연산과 논리연산

산술연산

- 밝기 조정과 관련된 작업 수행



[그림 4-2] 디지털 영상의 밝기 변화

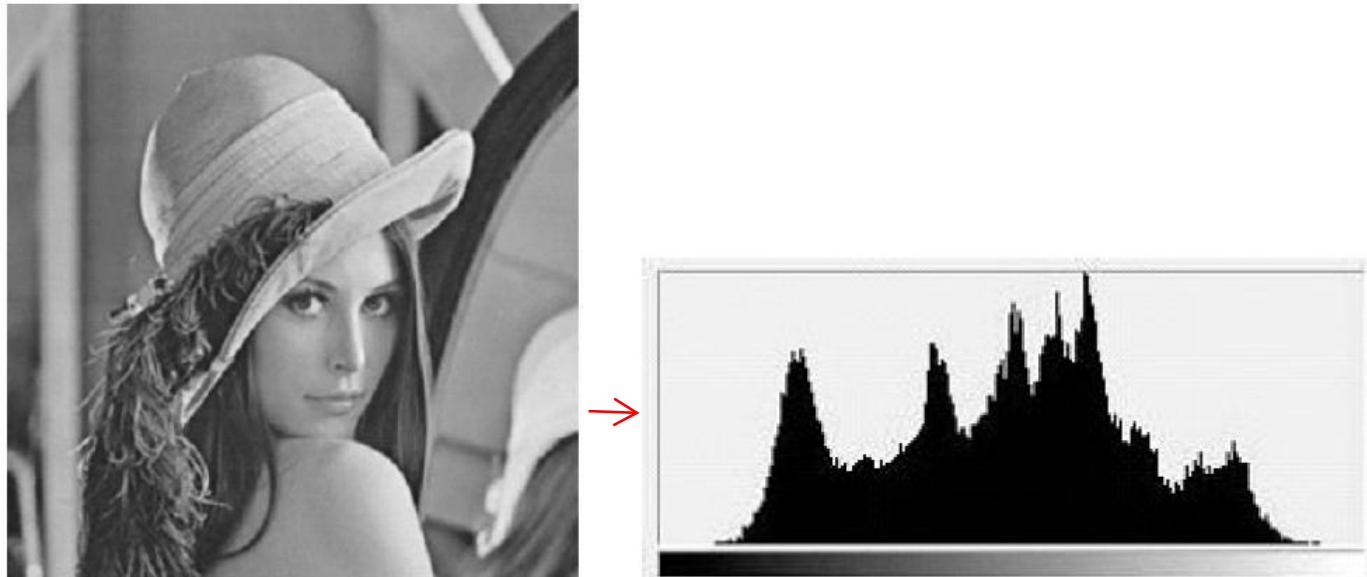
논리연산

- 참과 거짓을 판별하는 연산
- 화소의 상수 값에서 AND, OR, XOR, NOT 등의 연산을 수행하여 디지털 영상에서 차폐, 특징 추출, 형태 분석을 함.

히스토그램(Histogram)

▶ 히스토그램(Histogram)

- 기둥그래프나 기둥 모양 그림이라고도 하며, 관측한 데이터가 분포된 특징을 한눈에 볼 수 있도록 기둥 모양으로 나타낸 것.
- **가로축에는 레벨(Level)을, 세로축에는 각 레벨의 빈도수를 표시함.**
← 밝기
- 즉, 가로축은 영상의 밝기(Intensity) 값, 세로축은 가로축의 밝기 값에 대응하는 디지털 영상 내의 화소 수



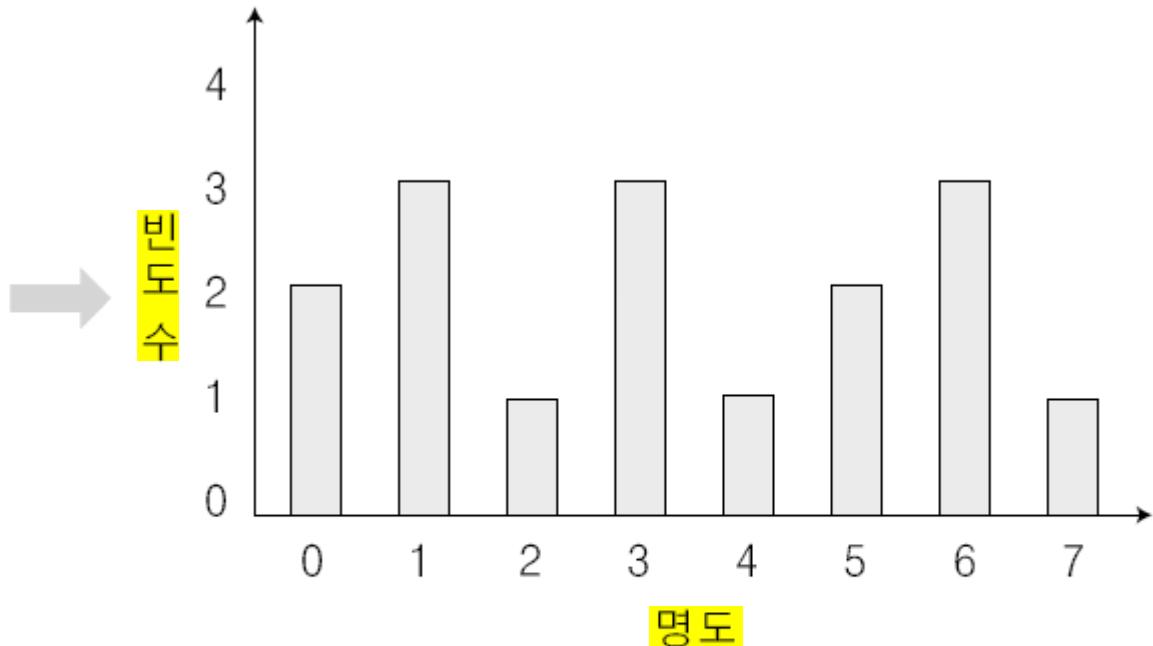
[그림 4-3] 디지털 영상의 밝기 히스토그램

Section 01 디지털 영상의 히스토그램

▣ 디지털 영상의 히스토그램

- 관찰한 데이터의 특징을 한눈에 알아볼 수 있도록 데이터를 막대그래프 모양으로 나타낸 것
- 디지털 영상에 대한 많은 정보를 제공함.

6	6	6	7
4	5	5	3
2	1	1	3
0	0	1	3



(a) 입력 영상

(b) 히스토그램

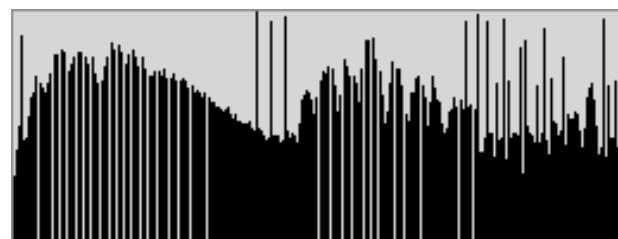
[그림 5-1] 이상적인 영상의 히스토그램

HISTOGRAM

- A simple datum that gives **the number of pixels that a given value in an image**
- Ex) a 8bit gray-scale image



number
of
pixels



Bin	Counts	Prob.	화률
0	163	0.005	
1	77	0.003	
...			
255	1561	0.051	

화소 값의 덧셈연산

- 화소의 밝기 값에 특정한 상수 값을 더해 화소의 밝기 값을 증가시켜 영상을 밝게 하는 처리 기술

화소 + α : 영상의 밝기 증가 = 밝아짐

- 화소의 값에 임의의 상수를 더할 때 화소의 최대값을 넘기도 함.
- 최대값인 255를 넘는 값은 모두 255로 처리 → Clipping

(화소 값 + α) > 255이면, (화소 값 + α) = 255

화소 값의 뺄셈연산

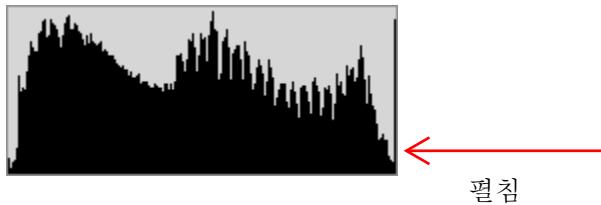
- 화소의 밝기 값에 특정한 상수 값을 빼 화소의 밝기 값을 감소시켜 영상의 밝기를 어둡게 하는 처리 기술

화소 $- \alpha$: 영상의 밝기 감소 = 어두워짐

- 화소의 값에 임의의 상수를 뺄 때 화소의 최소값 0보다도 작은 음수가 발생 할 수 있음.
- 화소의 최소값인 0보다 작은 음수 값은 모두 0으로 처리

(화소 값 $- \alpha$) < 0이면, (화소 값 + α) = 0

CONTRAST & BRIGHTNESS



디지털 영상의 산술연산[계속]



(a) 원본 영상



(b) 상수 값 10을 더한 영상



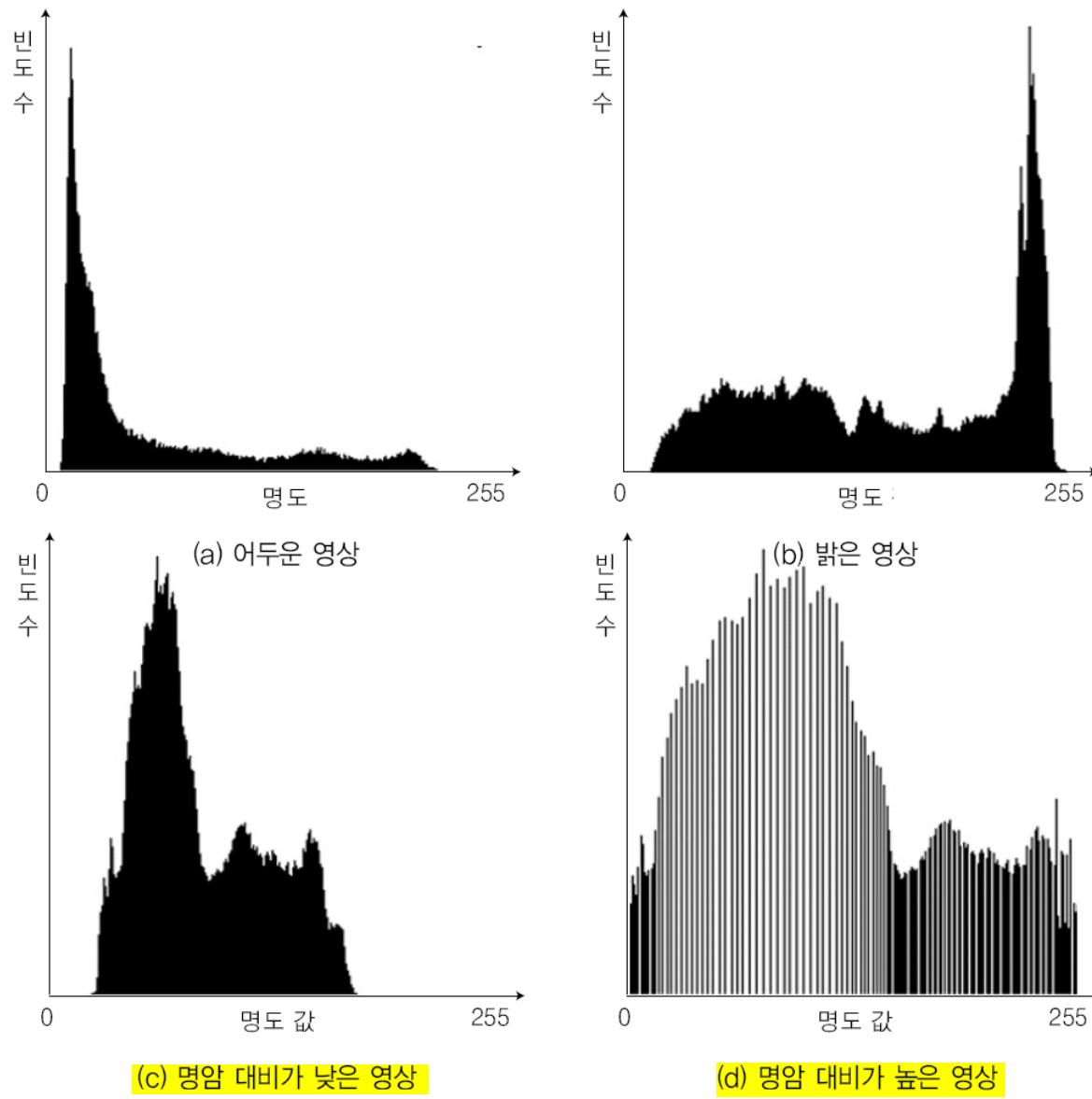
(c) 상수 값 50을 더한 영상



(d) 상수 값 100을 더한 영상

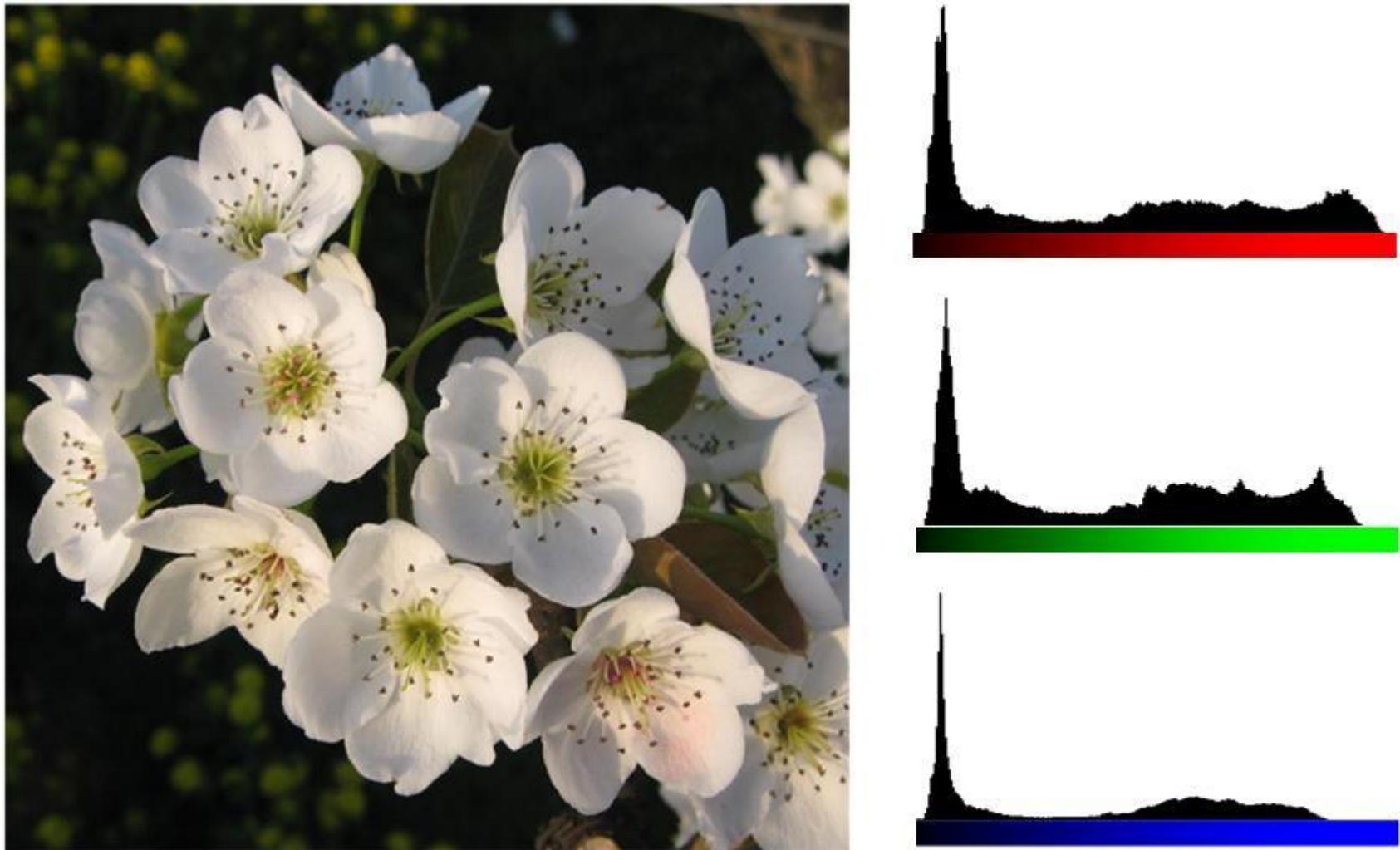
[그림 4-5] 덧셈 상수의 변화에 따른 디지털 영상의 밝기 증가

영상의 특성에 따른 히스토그램



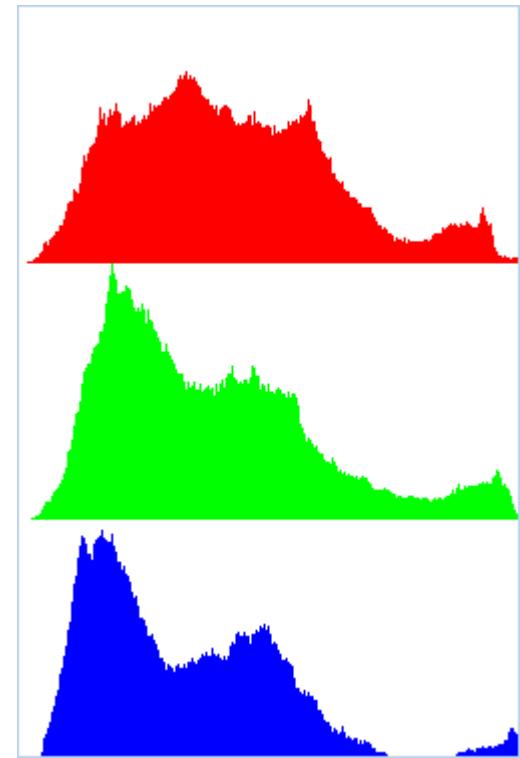
[그림 5-2] 영상의 특성에 따른 히스토그램

RGB 컬러 영상의 히스토그램

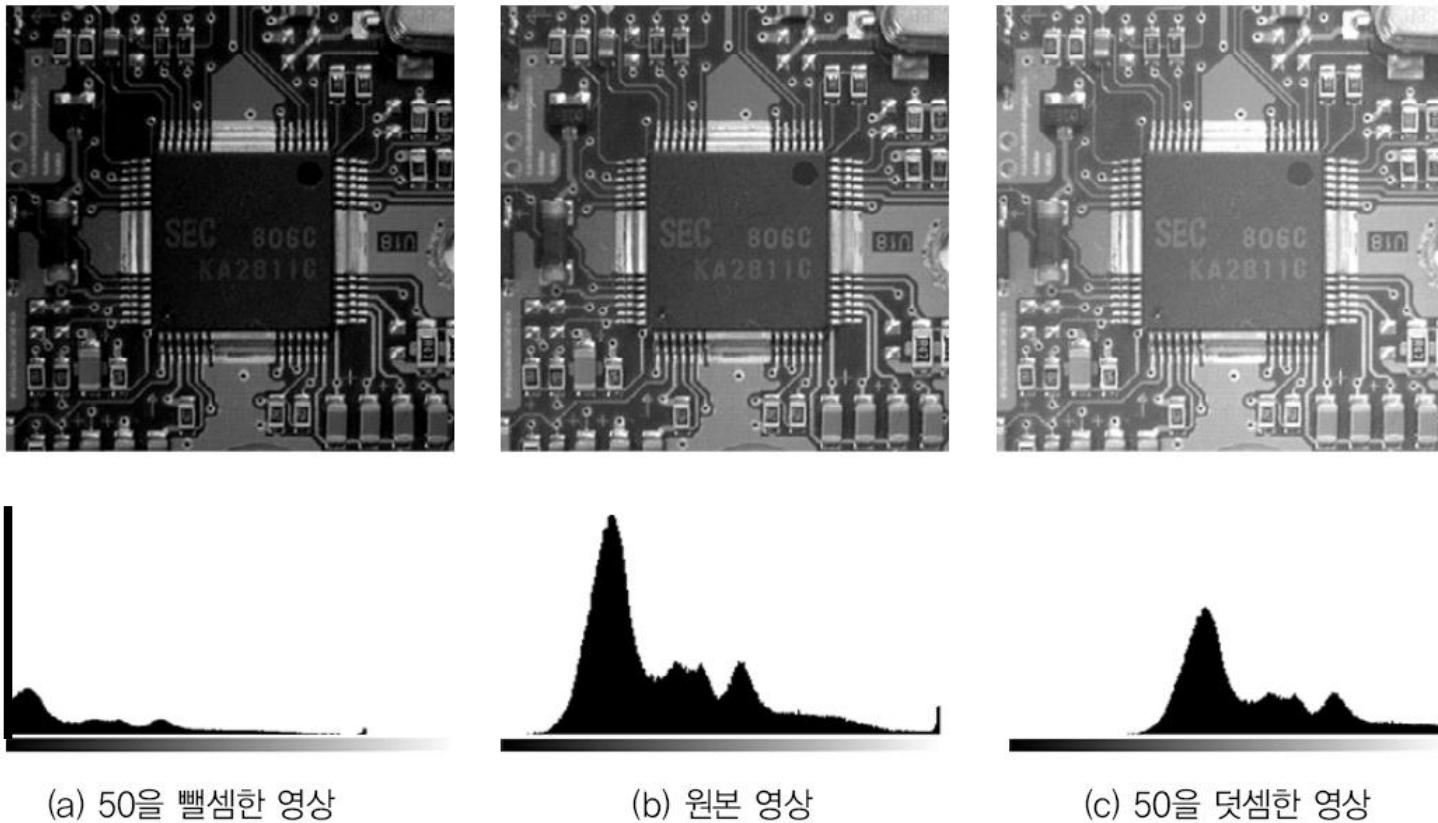


[그림 5-3] RGB 컬러 영상의 히스토그램

in color images



Section 02 산술 연산을 이용한 히스토그램 이동



[그림 5-4] 덧셈과 뺏셈연산으로 히스토그램 이동하기

- 덧셈연산: 명도 값을 증가시켜 밝게, 히스토그램의 기둥이 오른쪽으로 이동
- 뺏셈연산: 명도 값을 감소시켜 어둡게, 히스토그램의 기둥이 왼쪽으로 이동

Section 02 디지털 영상의 산술연산과 논리연산

화소의 밝기 값

- 밝기의 단계 수는 화소를 표현하는 양자화 비트 수가 결정
- 그레이 레벨 영상에서는 색은 없고 밝기만 있음.
- 보통, 화소는 밝기를 나타내는데, 주로 양자화 비트 수를 8비트로 표현

명암 대비

- 대비(Contrast): 영상 내에 있는 가장 밝은 값과 가장 어두운 값의 차이로, 영상의 품질을 결정하는 중요한 요소임.
- 높은 대비를 보이는 디지털 영상: 어두운 명도와 밝은 명도의 차이가 너무 커서 시각적으로 좀더 명확하게 보임.
- 낮은 대비를 보이는 디지털 영상: 밝기의 차이가 크지 않아 시각적으로 명확하지 못함.

화소 값의 곱셈연산

- 화소의 밝기 값에 특정 상수 값을 곱해 전체적으로 화소의 밝기 값이 증가해 더 밝아짐.

화소 * α : 영상의 밝기 차이 증가 = 뚜렷해짐

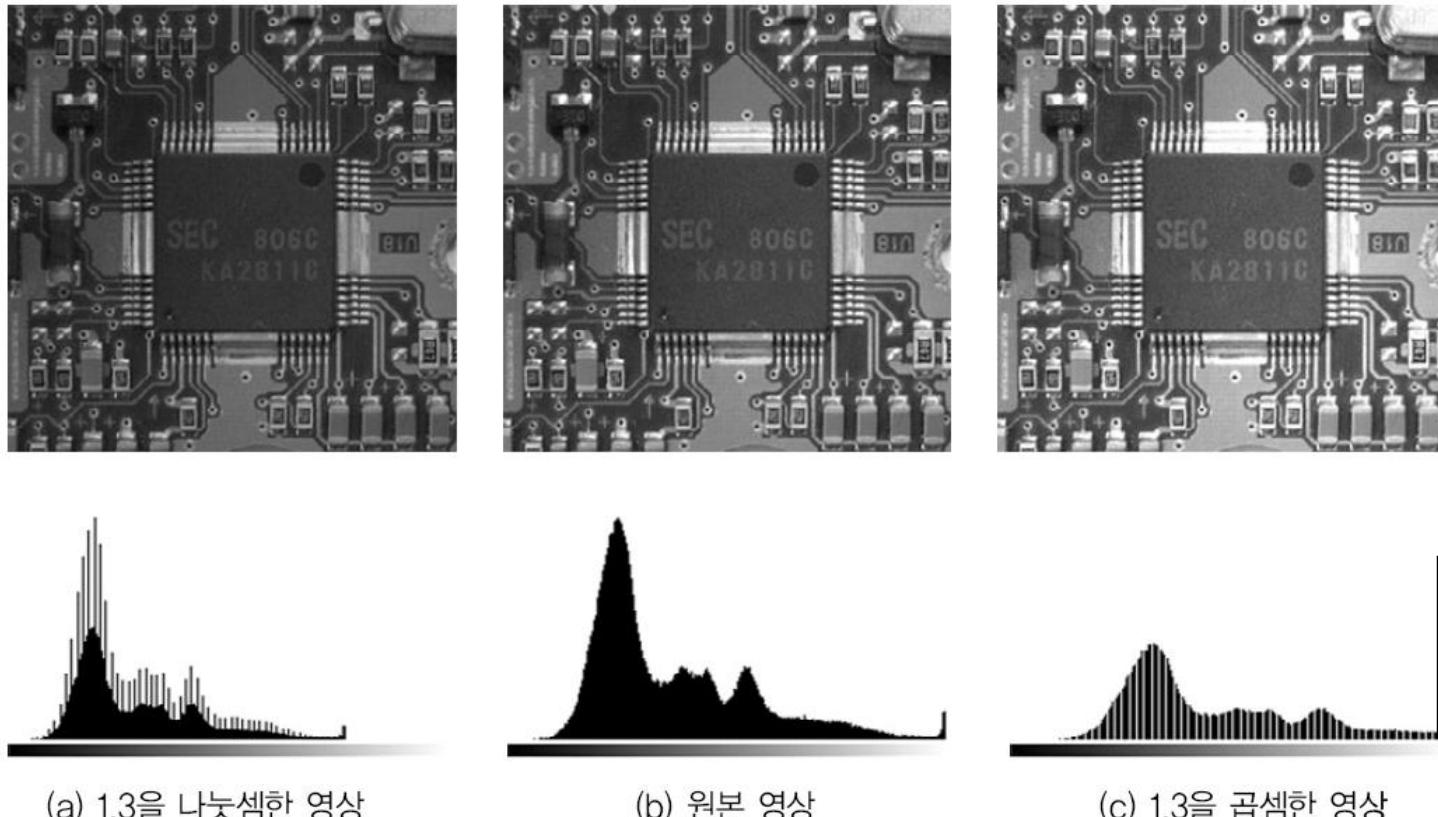
- 밝은 부분은 더욱 밝아지고, 어두운 부분은 약간 밝아져 영상 내의 밝기에 커다란 차이가 생기는 것
- 밝기의 차이가 커지므로 영상의 선명도 증가함.

화소 값의 나눗셈연산

- 화소 값을 임의의 상수 값으로 나누면 전체적으로 화소의 밝기 값은 감소하고, 최대 밝기와 최소 밝기의 차이는 작아짐.
- 밝은 부분은 많이 어두워지고, 어두운 부분은 약간 어두워짐.

화소 / α : 영상의 밝기 차이 감소 = 희미해짐

Section 02 산술 연산을 이용한 히스토그램 이동(계속)



[그림 5-5] 곱셈과 나눗셈연산으로 히스토그램 이동하기

- 곱셈연산: 명암 대비가 증가하여 히스토그램은 기둥의 분포 범위가 넓음.
- 나눗셈연산: 명암 대비가 감소하여 히스토그램의 분포 범위가 좁음.

디지털 영상의 산술연산[계속]



(a) 원본 영상



(b) 상수 1.3을 곱한 영상



(c) 상수 1.5를 곱한 영상



(d) 상수 1.7을 곱한 영상

[그림 4-7] 곱셈 상수 변화에 따른 디지털 영상의 명도 대비 향상

디지털 영상의 산술연산[계속]



(a) 원본 영상



(b) 상수 1.3으로 나눈 영상



(c) 상수 1.5로 나눈 영상



(d) 상수 1.7로 나눈 영상

[그림 4-8] 나눗셈 상수 변화에 따른 디지털 영상의 명도 대비 향상

GRAYSCALE TRANSFORMATION

Improving image contrast and brightness
by using **mapping function**

$$\mathbf{O}(x, y) = \mathbf{M}[\mathbf{I}(x, y)]$$

SCALAR ARITHMETIC OPERATION

$$\mathbf{O}(x, y) = k \times \mathbf{I}(x, y) + l$$

l : level, k : gain

❖ 클리핑(clipping) 처리

if ($\mathbf{O}(x, y) > 255$) $\mathbf{O}(x, y) = 255$;

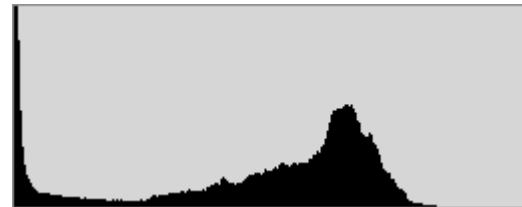
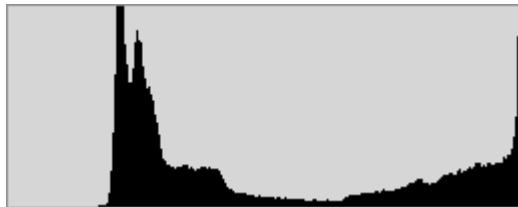
if ($\mathbf{O}(x, y) < 0$) $\mathbf{O}(x, y) = 0$;



$l = 50, k = 1$



$l = -50, k = 1$

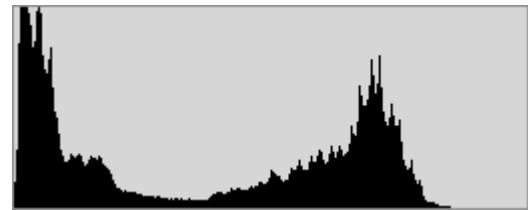
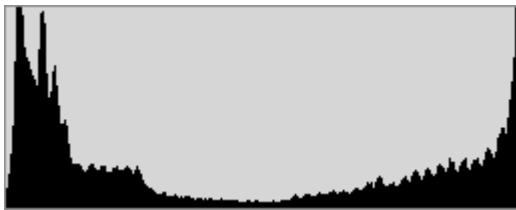




$$l = 0, k = 1.2$$



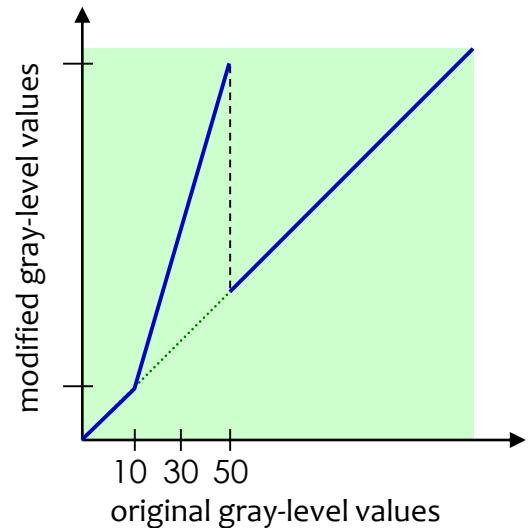
$$l = 0, k = 0.83$$

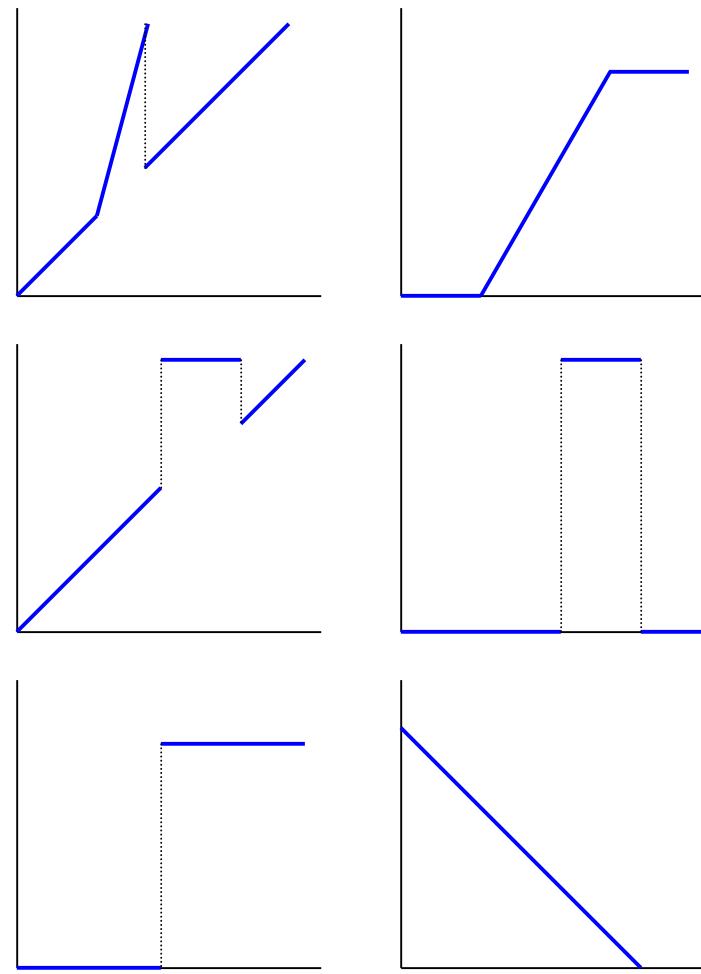
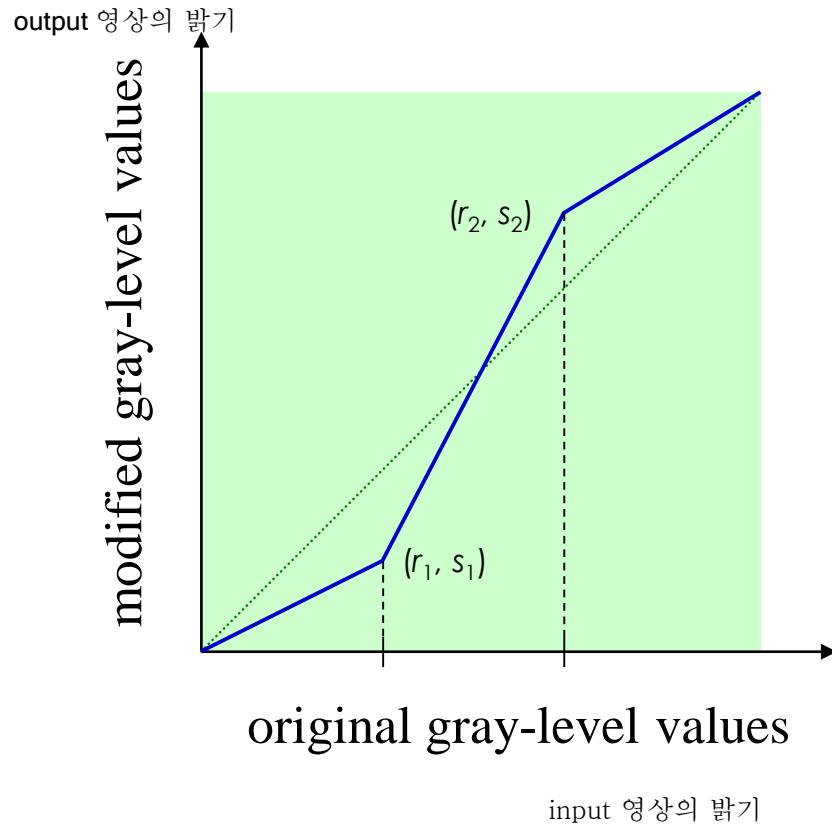


example

(10,50) 범위의 gray level을 (10,250) 범위로 변경

$$\mathbf{M}[\mathbf{I}(x,y)] = \begin{cases} \mathbf{I}(x,y) & 0 \leq \mathbf{I}(x,y) < 10 \\ 6[\mathbf{I}(x,y)] - 50 & 10 \leq \mathbf{I}(x,y) \leq 50 \\ \mathbf{I}(x,y) & 50 < \mathbf{I}(x,y) \leq 255 \end{cases}$$

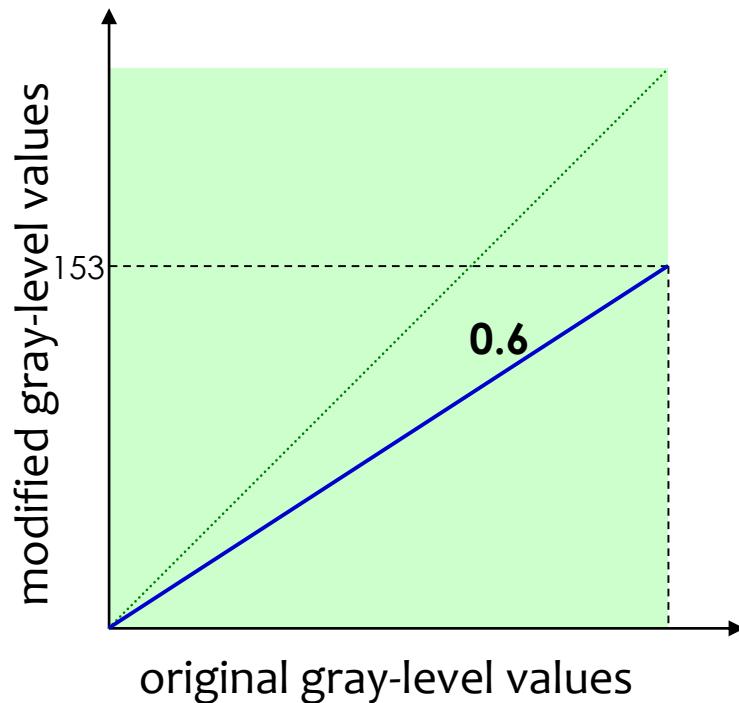




General Form of Gray-Scale Modification

BRIGHTNESS SCALING BY MULTIPLICATION

GRAYSCALE COMPRESSION

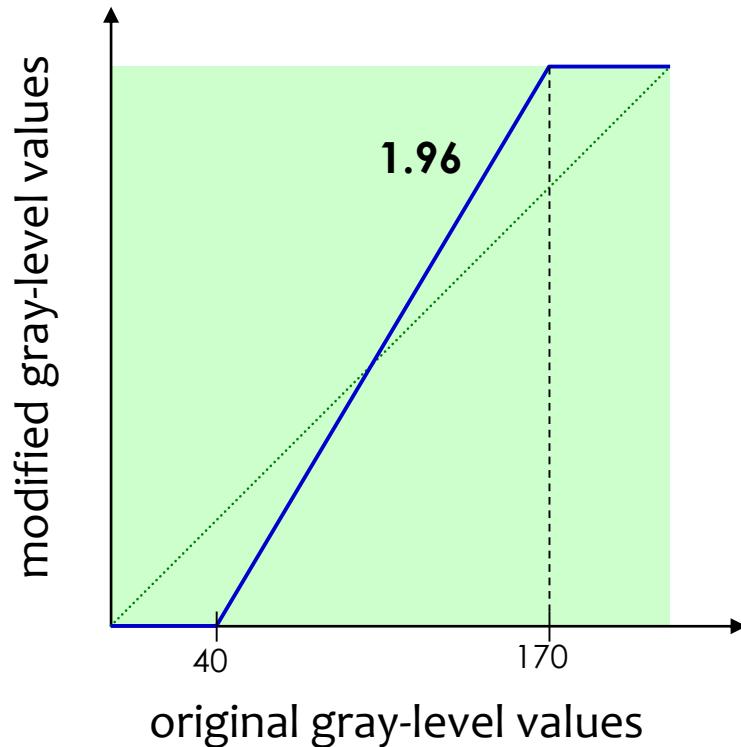


$$O(x, y) = 0.6[I(x, y)]$$

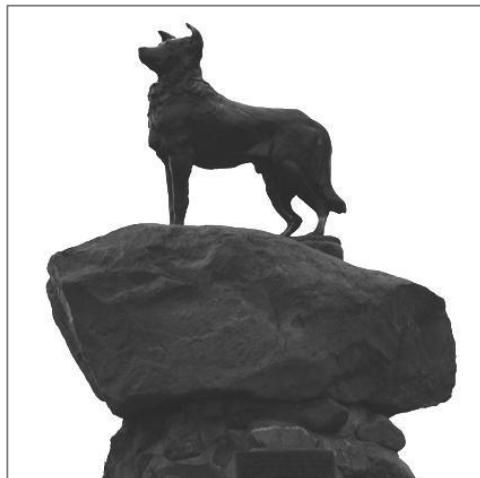


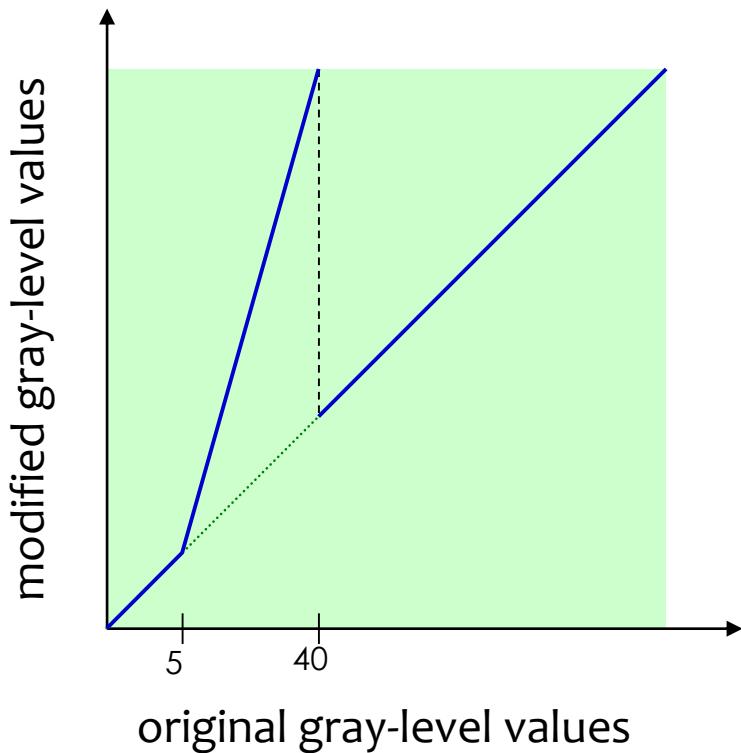
BRIGHTNESS SCALING BY MULTIPLICATION

GRAYSCALE STRETCHING



$$\mathbf{M}[\mathbf{I}(x,y)] = \begin{cases} 0 & 0 \leq \mathbf{I}(x,y) < 40 \\ 1.96[\mathbf{I}(x,y)] - 78.5 & 40 \leq \mathbf{I}(x,y) \leq 170 \\ 255 & 170 < \mathbf{I}(x,y) \leq 255 \end{cases}$$

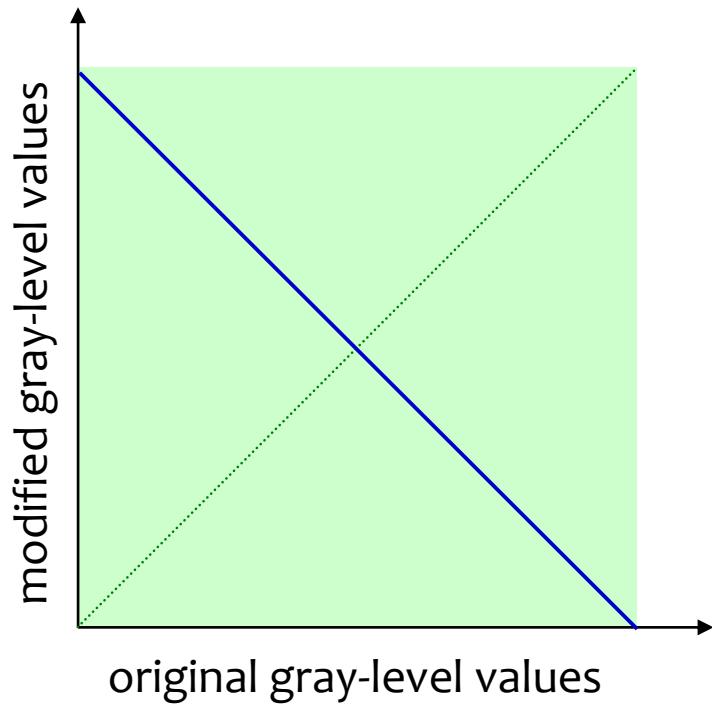




$$M[I(x,y)] = \begin{cases} I(x,y) & 0 \leq I(x,y) < 5 \\ 7.14[I(x,y)] - 30.7 & 5 \leq I(x,y) \leq 40 \\ I(x,y) & 40 < I(x,y) \leq 255 \end{cases}$$



GRAY-LEVEL NEGATIVE



▶ 문제점

- 결과 값이 화소의 최대값과 최소값을 넘을 수 있음.

▶ 해결 방법

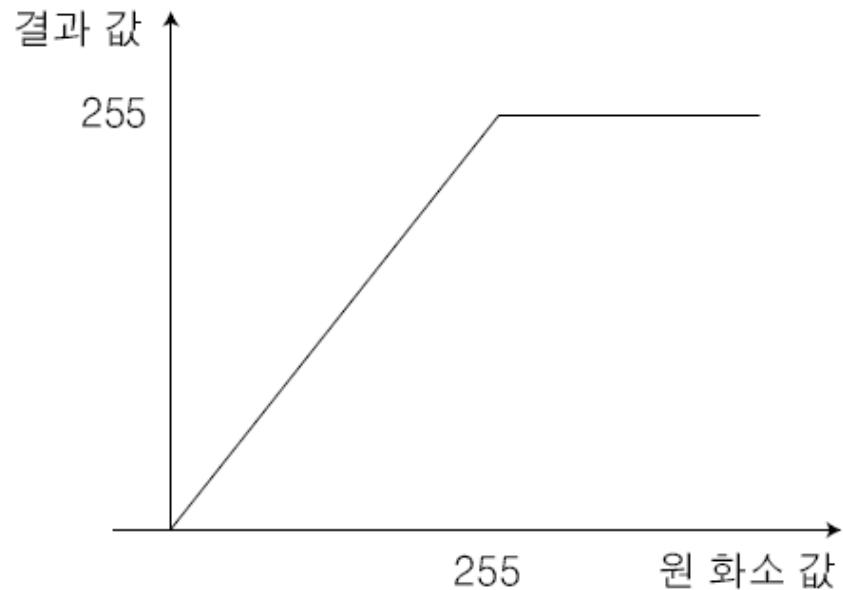
■ 클래핑(Clamping) 기법

- 연산의 결과 값이 최소값보다 작으면 그 결과 값을 최소값으로, 최대값보다 크면 결과 값을 최대값으로 하는 기법
- 8비트 그레이 영상의 최소값은 0, 최대값은 255
- 음수는 0으로 설정하고, 255보다 큰 값은 255로 설정함.

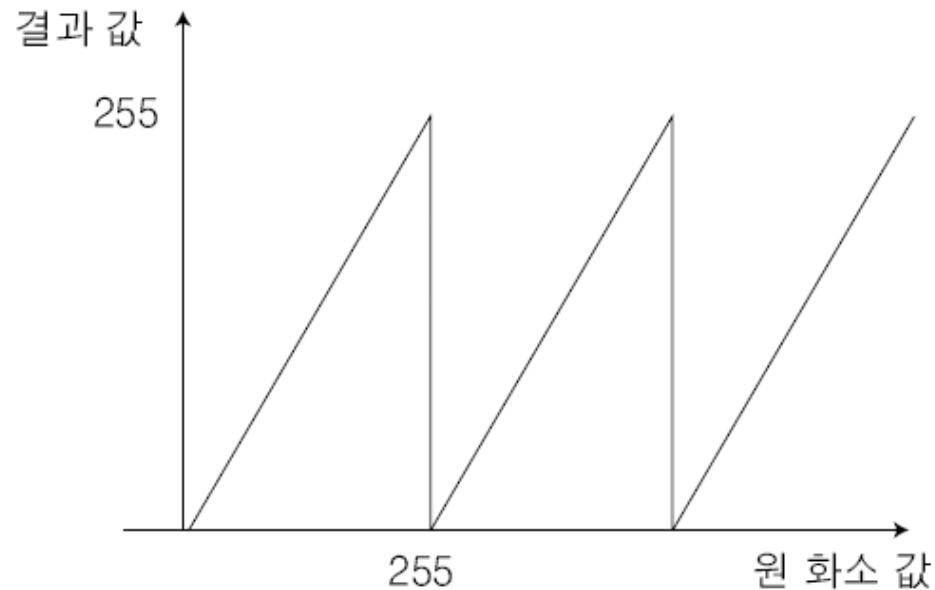
■ 랩핑(Wraping) 기법

- 연산의 결과 값이 최소값보다 작으면 그 결과 값을 최소값으로, 최대값보다 크면 최소값부터 최대값까지를 한 주기로 해서 이를 반복하는 기법
- 최대값+1은 최소값이 되고, 연산의 결과 값이 최대값+상수 값일 때는 계속 상수 값-1로 설정함.
- 8비트 그레이 영상의 최소값은 당연히 0이고, 최대값은 255
- 음수는 0으로, 255보다 큰 결과 값 256은 0으로, 257은 1로 설정한 후 이런 방식으로 주기를 계속 반복

산술연산의 문제점과 해결 방법(계속)



(a) 클래핑 기법



(b) 랩핑 기법

[그림 4-9] 산술연산의 문제점 해결 기법

학습 내용

- HISTOGRAM
- HISTOGRAM MODIFICATION

HISTOGRAM MODIFICATIONS

Improving image contrast and brightness
based on **histogram**

→ Focus on the histogram **shape** and **range**

Section 03 히스토그램 스트레칭

▶ 히스토그램 스트레칭(Histogram Stretching) range 변경

- 명암 대비를 향상시키는 연산으로, 낮은 명암 대비를 보이는 영상의 화질을 향상시키는 방법
- 명암 대비 스트레칭이라고도 함.
- 히스토그램이 모든 범위의 화소 값을 포함하도록 히스토그램의 분포를 넓힐 때.
- 기본 명암 대비 스트레칭과 앤드-인 탐색 기법이 대표적

기본 명암 대비 스트레칭

- 이상적이지 못한 히스토그램 분포 중에서 명암 대비가 낮은 디지털 영상의 품질을 향상시키는 기술
- 특정 부분이나 가운데에 집중된 히스토그램을 모든 영역으로 확장시켜서 디지털 영상이 모든 범위의 화소 값을 포함하게 함
- 기본 명암 대비 스트레칭 수행 공식

$$\text{new pixel} = \frac{\text{old pixel} - \text{low}}{\text{high} - \text{low}} \times 255$$

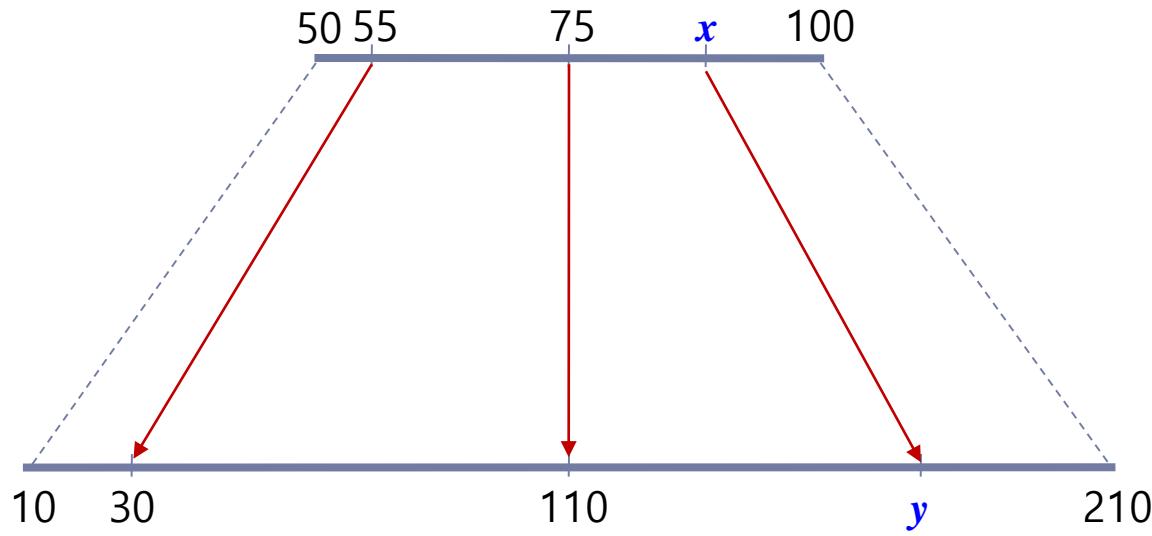
- old pixel은 원 영상 화소의 명도 값
- new pixel은 결과 영상 화소의 명도 값
- low는 히스토그램의 최저 명도 값
- high는 히스토그램의 최고 명도 값

앤드-인 탐색

- ▣ 일정한 양의 화소를 흰색이나 검정색으로 지정하여 히스토그램의 분포를 좀더 균일하게 만듦
- ▣ 앤드-인 탐색 수행 공식
 - 두 개의 임계 값(low, high) 사용

$$new\ pixel = \begin{cases} 0 & old\ pixel \leq low \\ \frac{old\ pixel - low}{high - low} \times 255 & low \leq old\ pixel \leq high \\ 255 & high \leq old\ pixel \end{cases}$$

Scaling



$$(100 - 50) : (x - 50) = (210 - 10) : (y - 10)$$

$$(y - 10) * (100 - 50) = (x - 50) * (210 - 10)$$

$$y = \frac{(x - 50) * (210 - 10)}{(100 - 50)} + 10 = \frac{(210 - 10)}{(100 - 50)}(x - 50) + 10$$

$$I'(x, y) = \frac{(S_{\max} - S_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})}(I(x, y) - I_{\min}) + S_{\min}$$

$$\mathbf{O}(x, y) = \left[\frac{S_{max} - S_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right] [\mathbf{I}(x, y) - I_{min}] + S_{min}$$

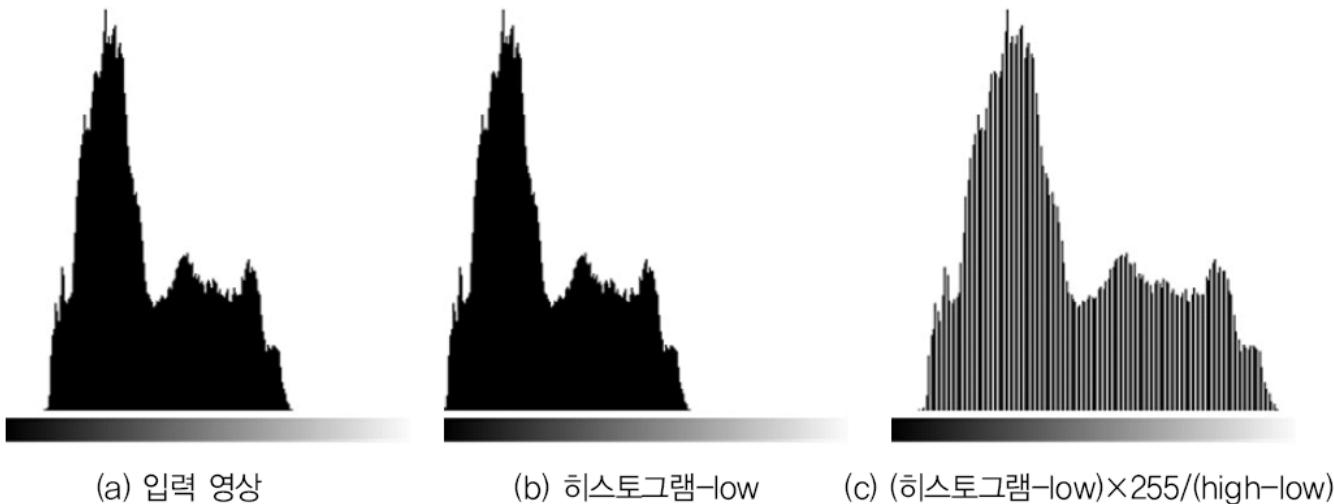
I_{max} : largest gray-level value in the image $\mathbf{I}(x, y)$

I_{min} : smallest gray-level value in $\mathbf{I}(x, y)$

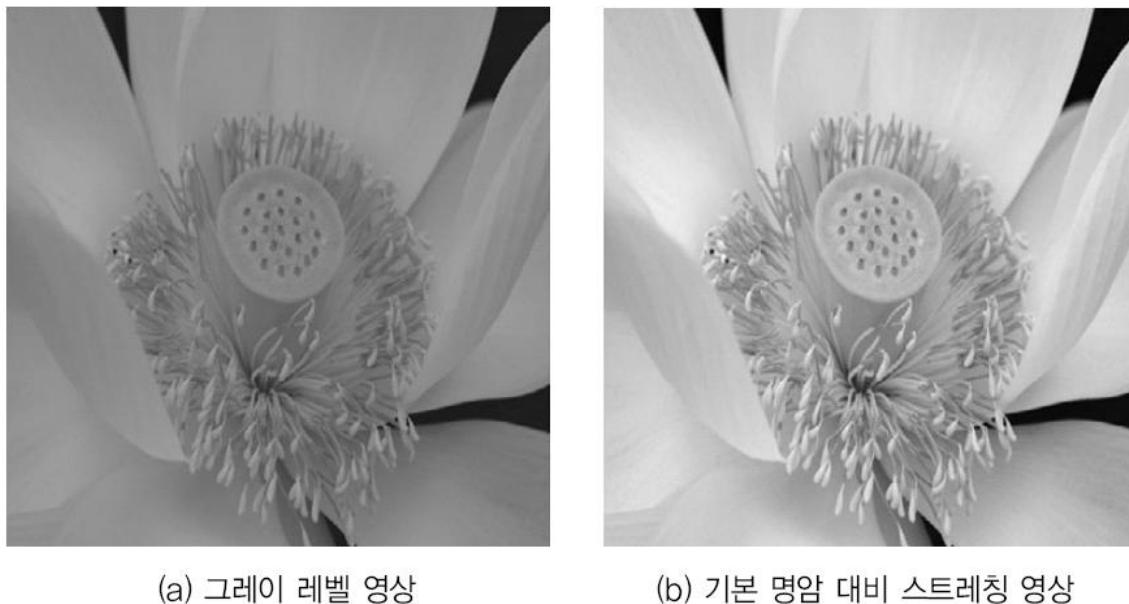
S_{max} : maximum gray-level values possible

S_{min} : minimum gray-level values possible

기본 명암 대비 스트레칭(계속)



[그림 5-7] 기본 명암 대비 스트레칭의 수행 과정



[그림 5-8] 영상에 기본 명암 대비 스트레칭을 적용한 결과 영상

엔드-인 탐색(계속)



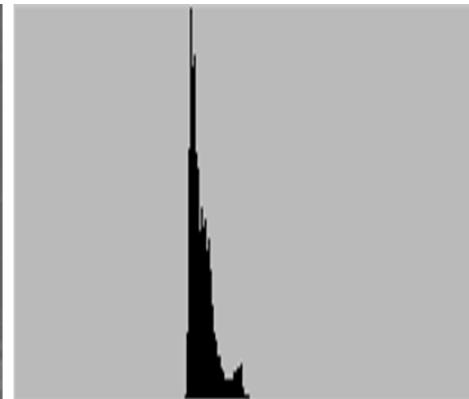
(a) 그레이 레벨 영상



(b) 엔드-인 탐색 영상

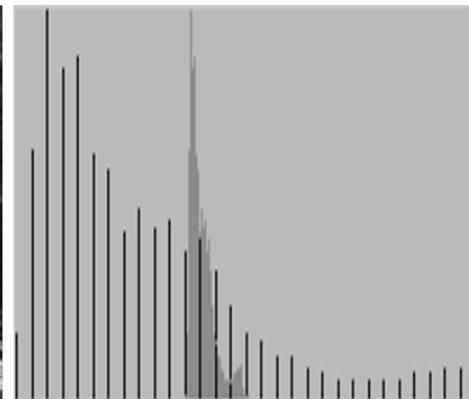
[그림 5-9] 엔드-인 탐색이 적용된 결과 영상

Low-contrast
image

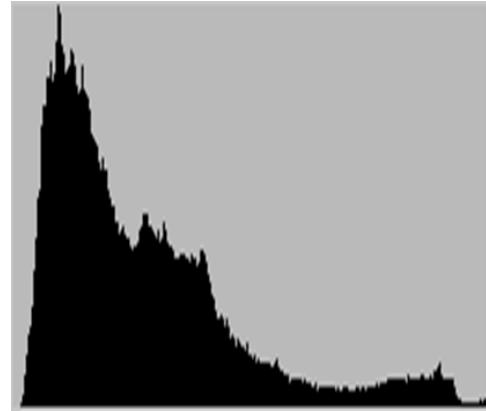


Histogram of
low-contrast
image

Image after
histogram
stretching



Histogram of
image after
stretching



Histogram
of original
image

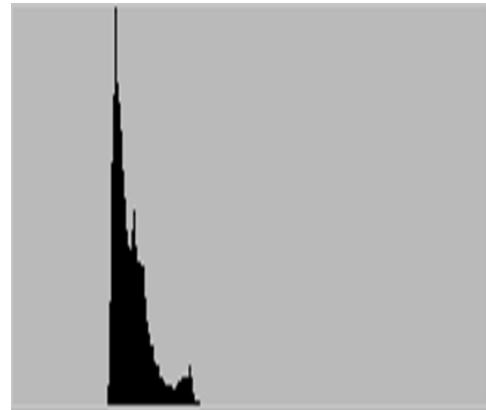


Image after
shrinking

Histogram
of shrunk
image

히스토그램 평활화와 명세화

▶ 히스토그램 평활화 기술

- 편중된 디지털 영상의 히스토그램을 골고루 분산시켜 영상 전체의 명암 대비를 높여줌.

▶ 히스토그램 명세화 기술

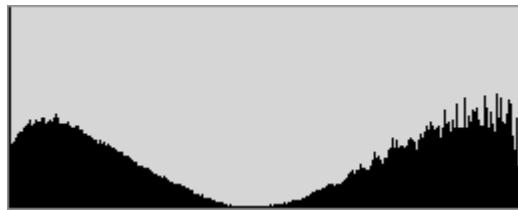
- 디지털 영상이 원하는 히스토그램을 갖게 해주는 기술.
- 특정 부분의 명암 대비를 높일 수 있음.



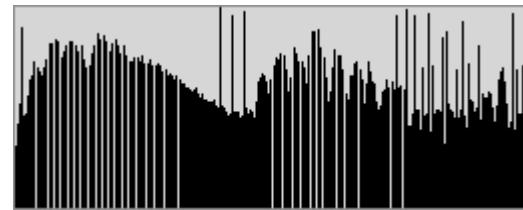
[그림 4-4] 디지털 영상의 명암 대비 변화

Equalization

평활화



높은 contrast

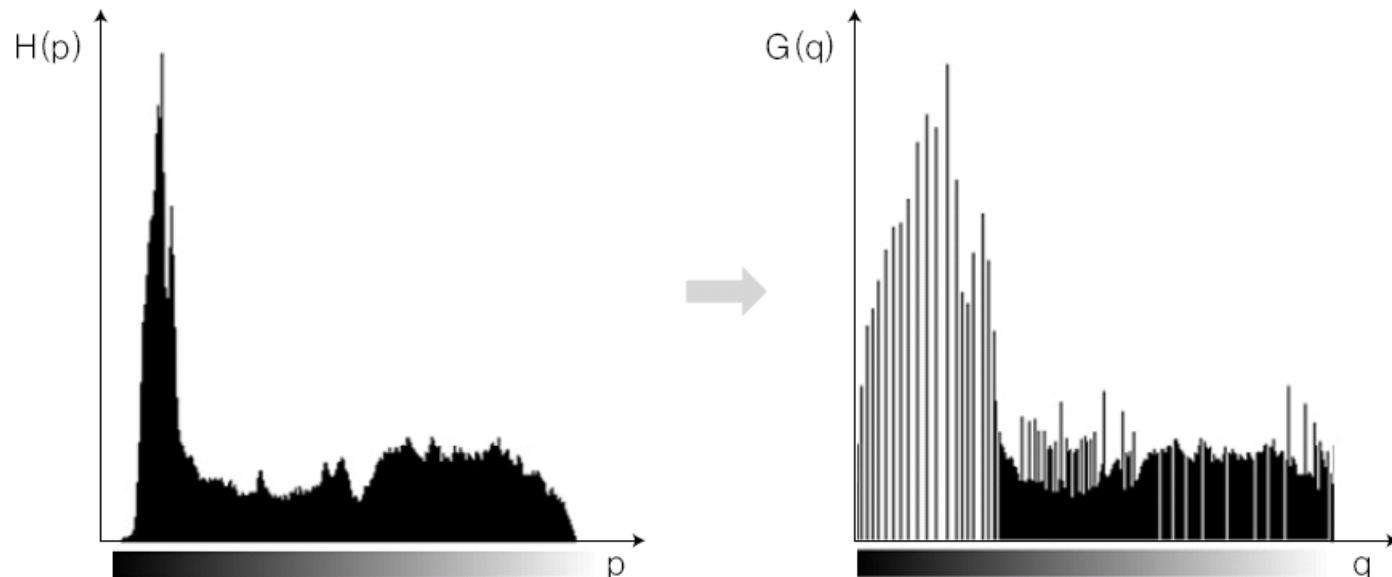


좋은 contrast

Section 04. 히스토그램 평활화

▶ 히스토그램 평활화 기법(Histogram Equalized)

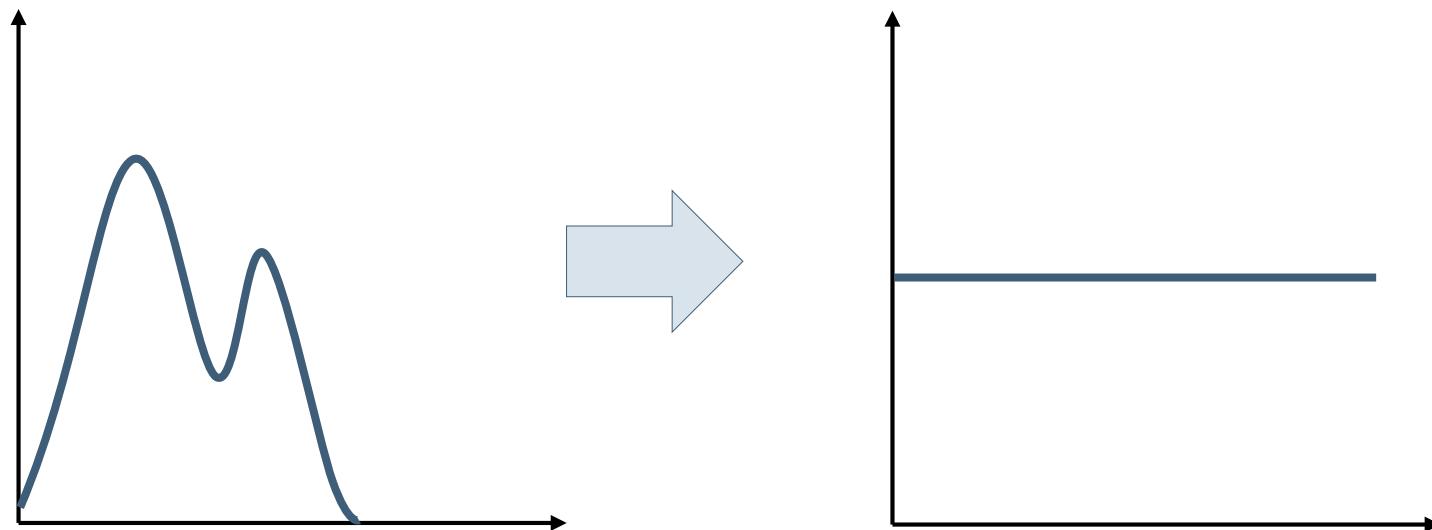
- 어둡게 촬영된 영상의 히스토그램을 조절하여 명암 **분포가 빈약한 영상을 균일하게 만들어 줌.**
- 영상의 **밝기 분포를 재분배하여 명암 대비를 최대화**
- 명암 대비 조정을 자동으로 수행
- 각 명암의 빈도는 변경하지 않음.
- 검출 특성이 좋은 영상만 출력하지는 않지만 영상의 검출 특성을 증가시킴



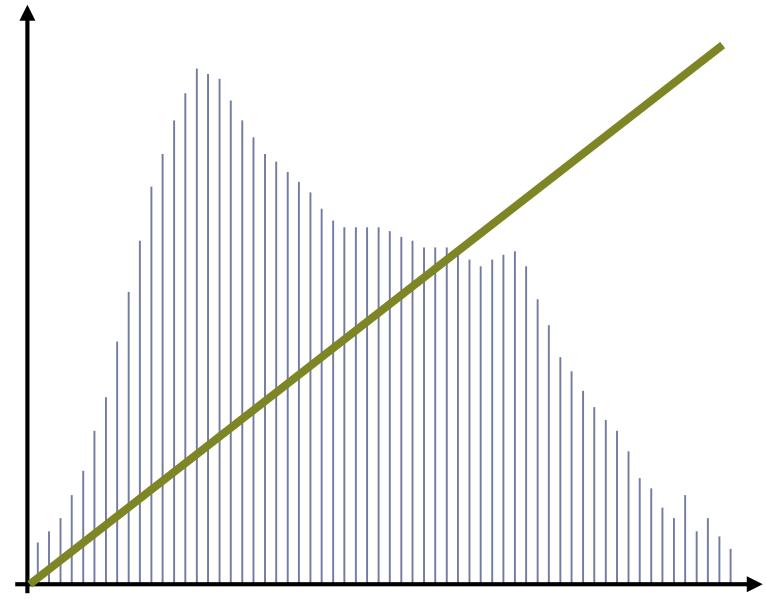
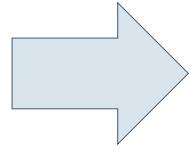
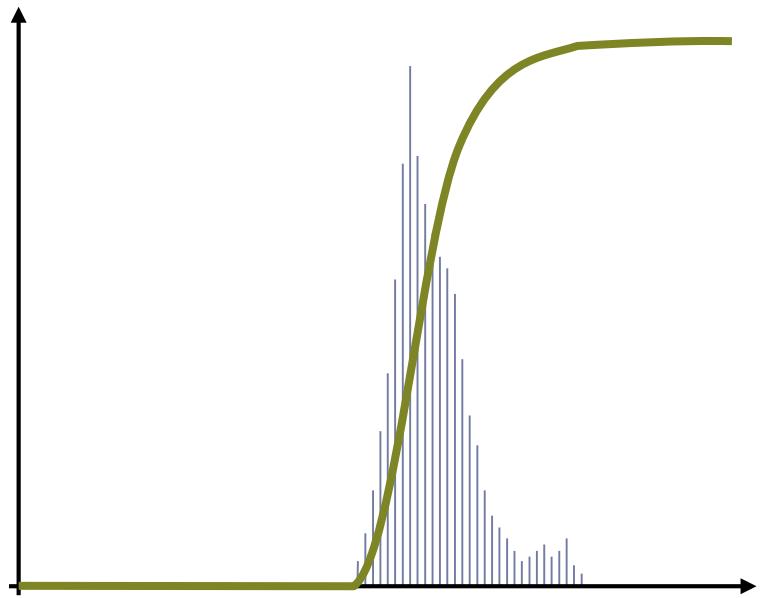
[그림 5-10] 히스토그램 평활화를 수행한 뒤 변화된 히스토그램 모습

Aim to change a picture in such a way as to produce a picture with *flatter* histogram, where all levels are equiprobable

교재 188p



CDF Cumulative Distribution Function



Deriving Algorithm (1)

$\mathbf{I}(l)$ and $\mathbf{O}(l)$ ($0 \leq l < L$):

for the input and output image, the number of pixels per level

$$\sum_{l=0}^{L-1} \mathbf{I}(l) = \sum_{l=0}^{L-1} \mathbf{O}(l)$$

for an arbitrarily chosen level p in the input image

$$\sum_{l=0}^p \mathbf{I}(l) = \sum_{l=0}^q \mathbf{O}(l)$$

Deriving Algorithm (2)

Since the output histogram is uniformly flat
(T : total number of pixels in the image)

$$\mathbf{O}(l) = \frac{T}{N_{\max} - N_{\min}}$$

총 픽셀의 값

↓

픽셀의 최댓값

픽셀의 최솟값

So the cumulative histogram of the output image

$$\sum_{l=0}^q \mathbf{O}(l) = q \times \frac{T}{N_{\max} - N_{\min}} = \sum_{l=0}^p \mathbf{I}(l)$$

Deriving Algorithm (3)

Output pixels at level q is given by

$$E(q, \mathbf{I}) = q = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{T} \times \sum_{l=0}^p \mathbf{I}(l)$$

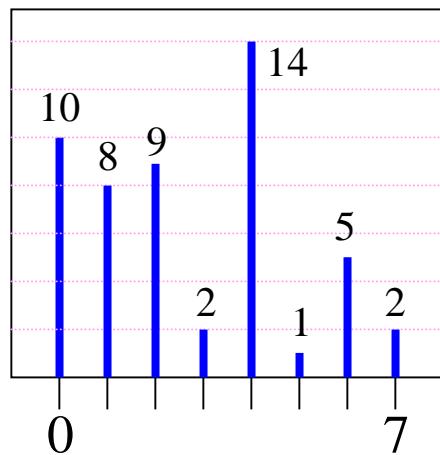
Equalizing function (E) of the level (q) and the image (I)

The output image is then

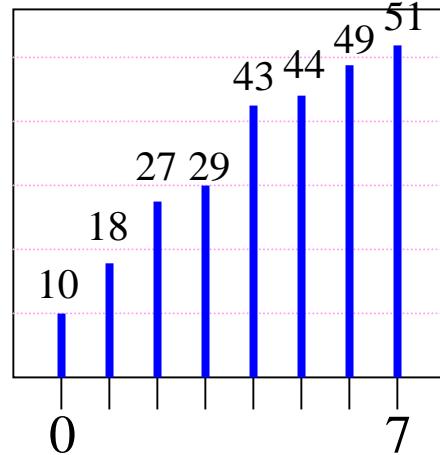
$$\mathbf{O}_{x,y} = E(\mathbf{I}_{x,y}, \mathbf{I})$$

algorithm

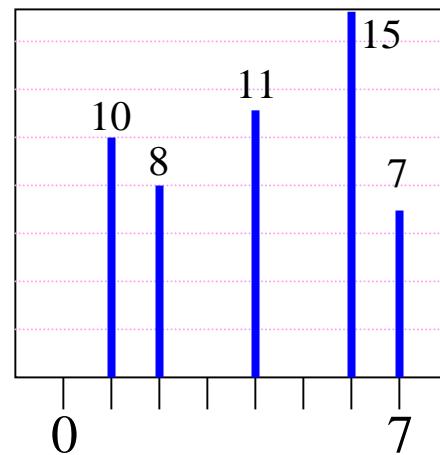
- ① 입력 영상의 히스토그램의 값을 누적시켜 각 레벨에서의 히스토그램 누적 합 계산
- ② 히스토그램의 누적 합을 전체 픽셀의 개수로 나누어 값을 정규화함
- ③ 정규화된 값에 최대 gray level 값을 곱한 후 반올림을 수행
- ④ 입력 영상의 각 gray level에 대해 변환 값으로 대응



히스토그램



누적값



균일화 결과

$$\frac{(10, 18, 27, 29, 43, 44, 49, 51)}{51} \times 7$$

$$\approx (1.37, 2.47, 3.71, 3.98, 5.90, 6.04, 6.73, 7.00)$$

$$\approx (1, 2, 4, 4, 6, 6, 7, 7)$$

LUT

4	5	3	6	7
4	2	2	4	6
0	2	2	5	7
0	0	2	3	5
0	1	2	4	4

입력레벨	개수	누적값	균일화	결과레벨
0	10	10	1.37	1
1	8	18	2.47	2
2	9	27	3.71	4
3	2	29	3.98	4
4	14	43	5.90	6
5	1	44	6.04	6
6	5	49	6.73	7
7	2	51	7.00	7

$$10/51 * (7-0)$$

6	6	4	7	7
6	4	4	6	7
1	4	4	6	7
1	1	4	4	6
1	2	4	6	6

히스토그램 평활화의 3단계

① 1단계

- 명암 값 j 의 빈도 수 $hist[j]$ 를 계산해 입력 영상의 히스토그램 생성

② 2단계

- 각 명암 값 i 에서 $0 \sim i$ 까지의 누적 빈도 수(누적합)를 계산

$$sum[i] = \sum_{j=0}^i hist[j]$$

③ 3단계

- 2단계에서 구한 누적 빈도 수를 정규화(정규화 누적합)

$$n[i] = sum[i] \times \frac{1}{N} \times I_{\max}$$

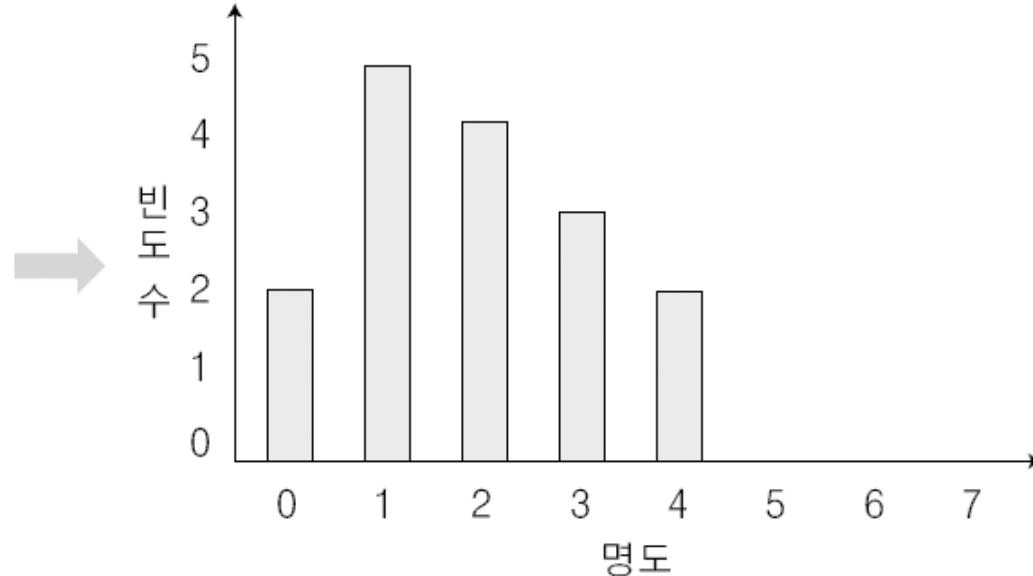
- N 은 화소의 총 수, I_{\max} 는 최대 명도 값
- 3단계에서 얻은 정규화된 값 $n[i]$ 로 입력 영상의 화소 값 i 를 변환하면 평활화된 결과 영상 생성

히스토그램 평활화_1단계

1단계

- 빈도 수 $hist[j]$ 에서의 히스토그램 생성

2	4	4	3
2	1	3	3
1	0	1	2
0	1	1	2



(a) 입력 영상

(b) 히스토그램

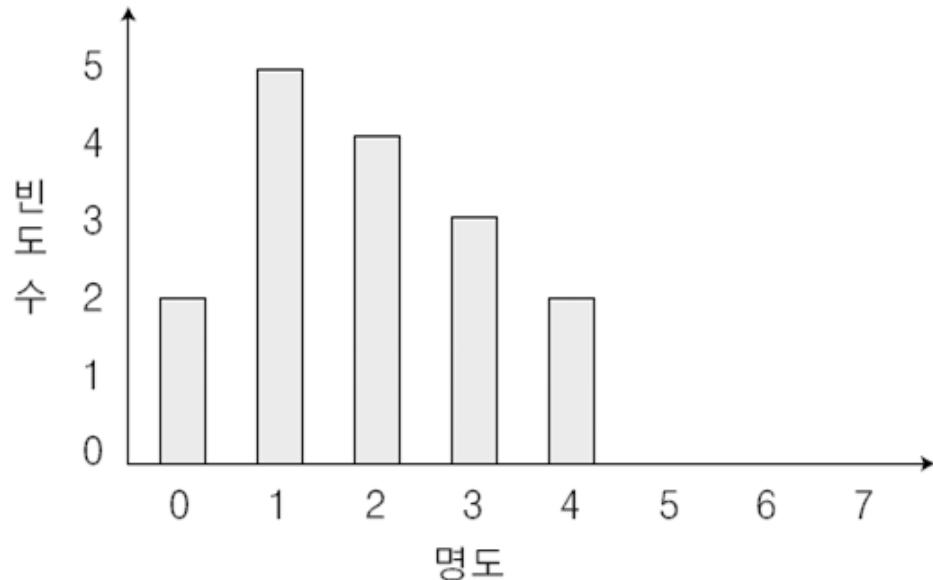
[그림 5-11] 히스토그램의 생성

- 화소의 명도 값 0은 2개, 1은 5개, 2는 4개, 3은 3개, 4는 2개
- 가장 큰 명도 값이 40이므로 전체적으로 왼쪽으로 치우침.

히스토그램 평활화_2단계

2단계

- 누적합 sum[i] 생성



(a) 히스토그램

명도	누적합
0	2
1	7
2	11
3	14
4	16
5	16
6	16
7	16

(b) 누적합

[그림 5-12] 히스토그램에서 누적합 계산

- 화소의 명도 0번까지의 누적합은 2, 1번까지는 $2+5=7$, 2번까지는 $2+5+4=11$, 3번까지는 $2+5+4+3=14$, 4번까지는 $2+5+4+3+2=16$
- 나머지 명도 값은 영상에는 없으므로 누적합은 16

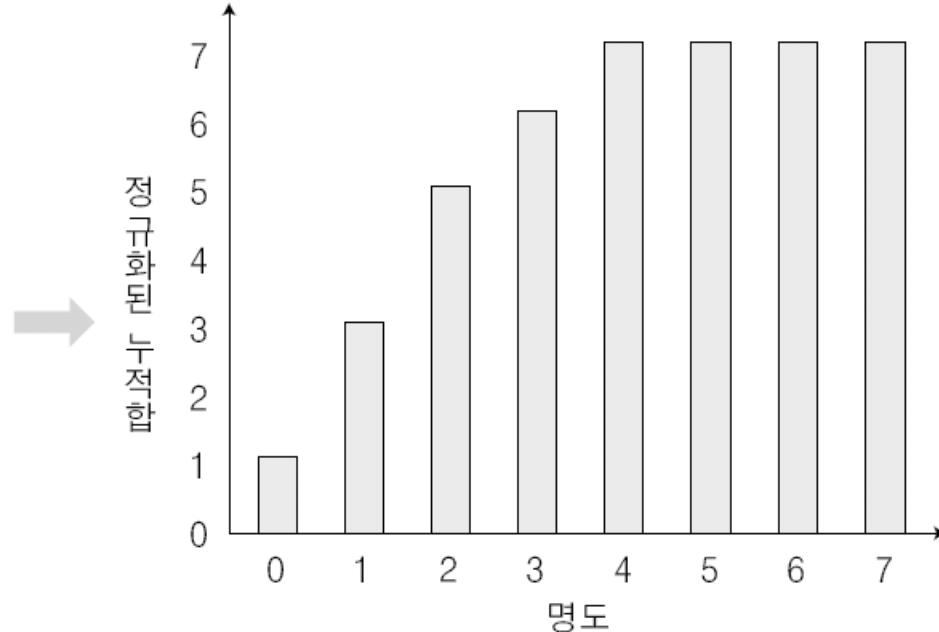
히스토그램 평활화_3단계

谤 3단계

■ $n[i] = \text{sum}[i] * (1/16) * 7$

명도 (i)	누적합 (sum [i])	정규화된 누적합 (n [i])
0	2	0.875
1	7	3.0625
2	11	4.8125
3	14	6.125
4	16	7
5	16	7
6	16	7
7	16	7

(a) 정규화

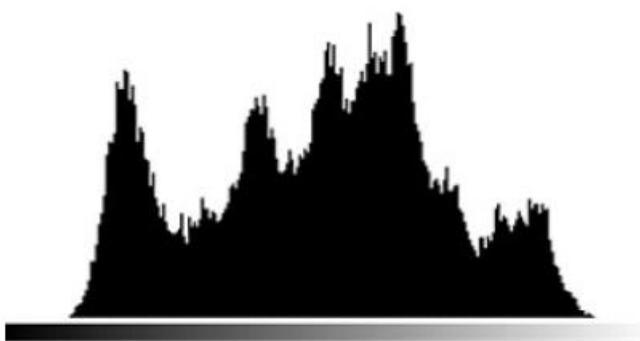


(b) 정규화된 히스토그램

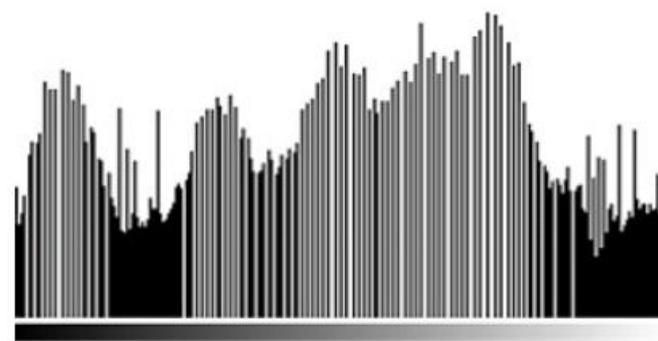
[그림 5-13] 누적합에서 정규화

- $n[0]$ 은 $2 * (1/16) * 7 = 0.875$, $n[1]$ 은 $7 * (1/16) * 7 = 3.0625$
- $n[2]$ 는 $11 * (1/16) * 7 = 4.8125$, $n[3]$ 은 $14 * (1/16) * 7 = 6.125$
- $n[4]$ 와 $n[5]$, $n[6]$, $n[7]$ 은 $16 * (1/16) * 7 = 7$

히스토그램 평활화를 적용한 영상



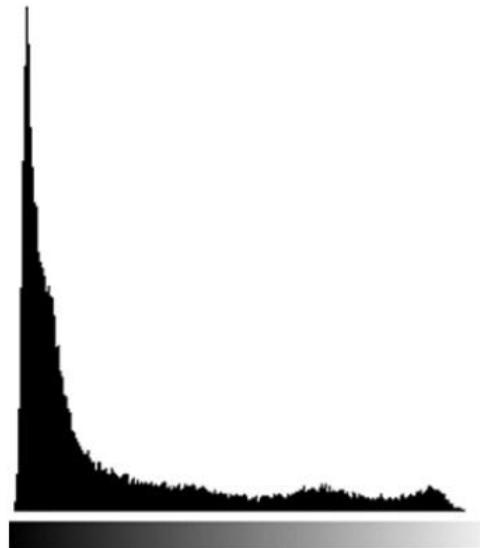
(a) 원본 영상



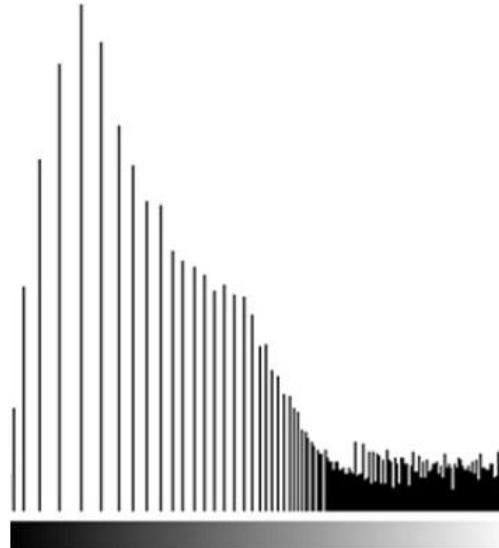
(b) 평활화 영상

[그림 5-15] 레나(Lenna) 영상의 평활화와 평활화한 영상의 히스토그램

히스토그램 평활화를 적용한 영상(계속)

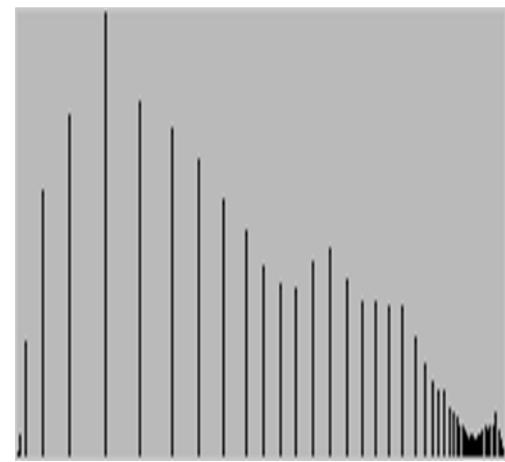
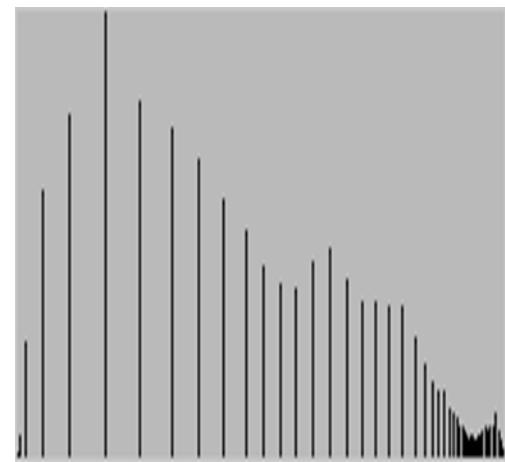


(a) 원본 영상

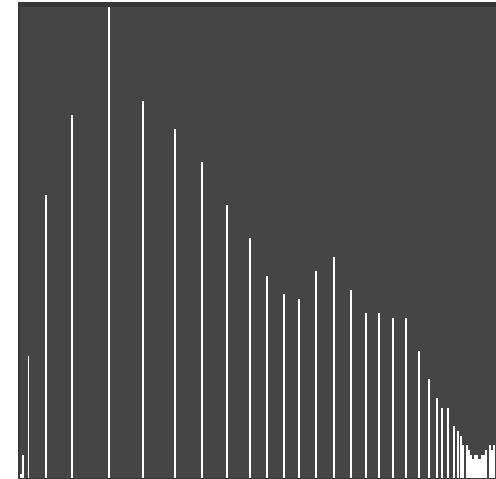


(b) 평활화 영상

[그림 5-16] 명암 대비가 낮은 영상의 평활화와 평활화한 영상의 히스토그램

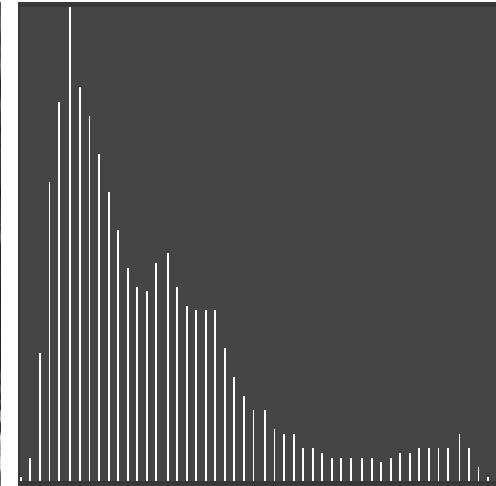


Histogram normalization vs. equalization



평활화는 shape이 변한다

equalization



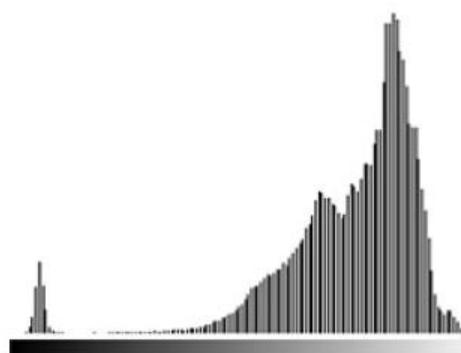
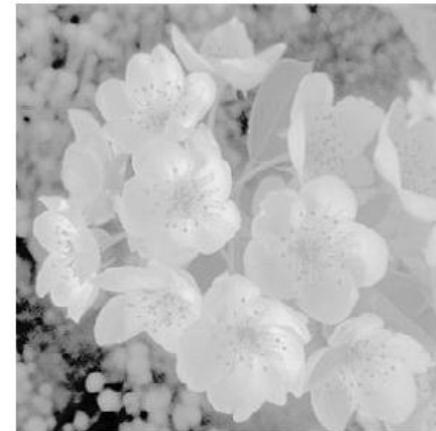
스트레칭은 shape이 변하지 않는다

normalization

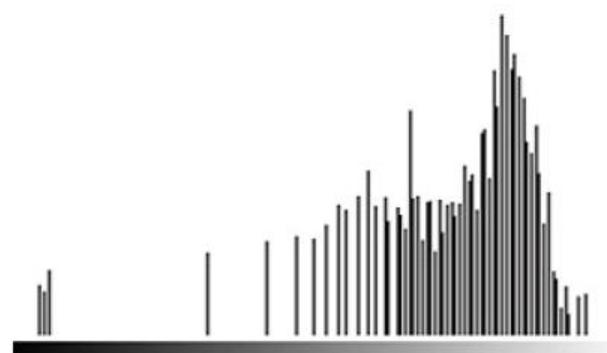
히스토그램 명세화 개념



(a) 원본 영상과 히스토그램



(b) 원하는 히스토그램

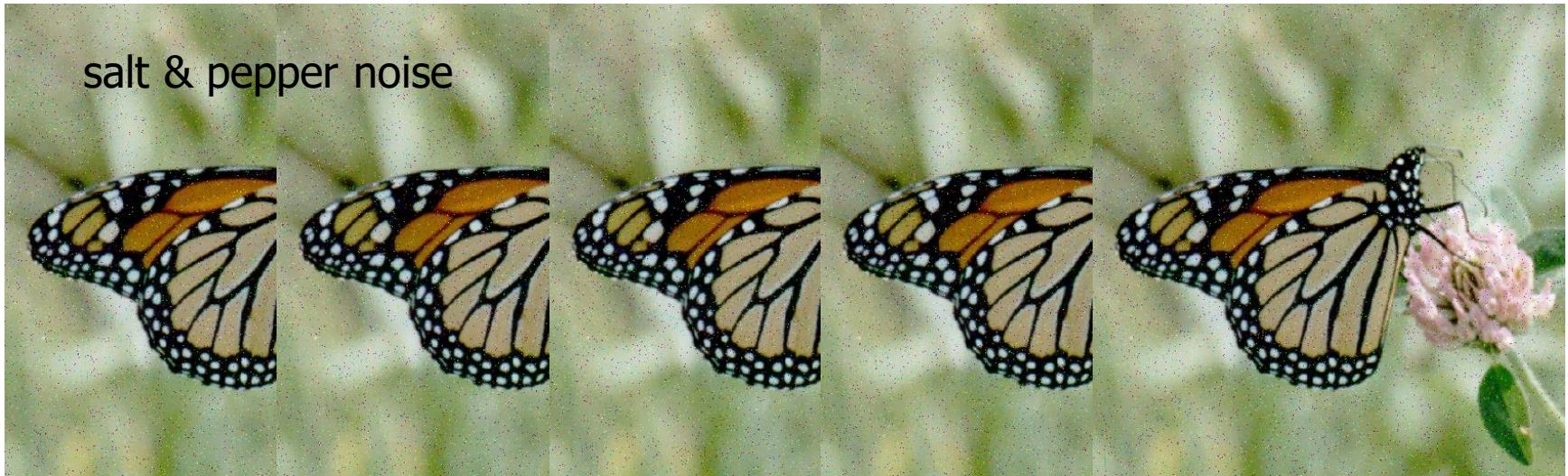


(c) 명세화된 영상과 히스토그램

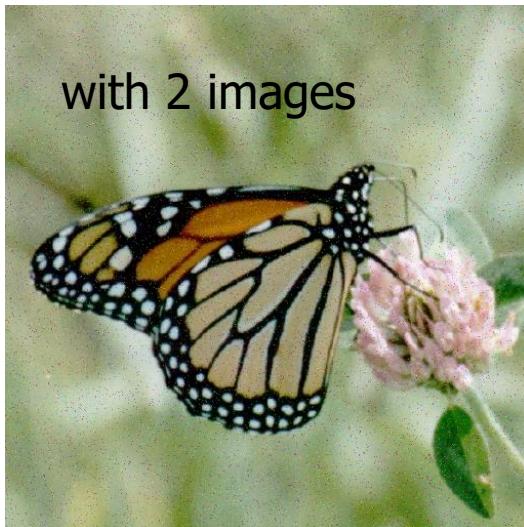
[그림 5-17] 히스토그램의 명세화 개념

IMAGE ARITHMETIC OPERATION

salt & pepper noise



with 2 images



averaging

with 5 images

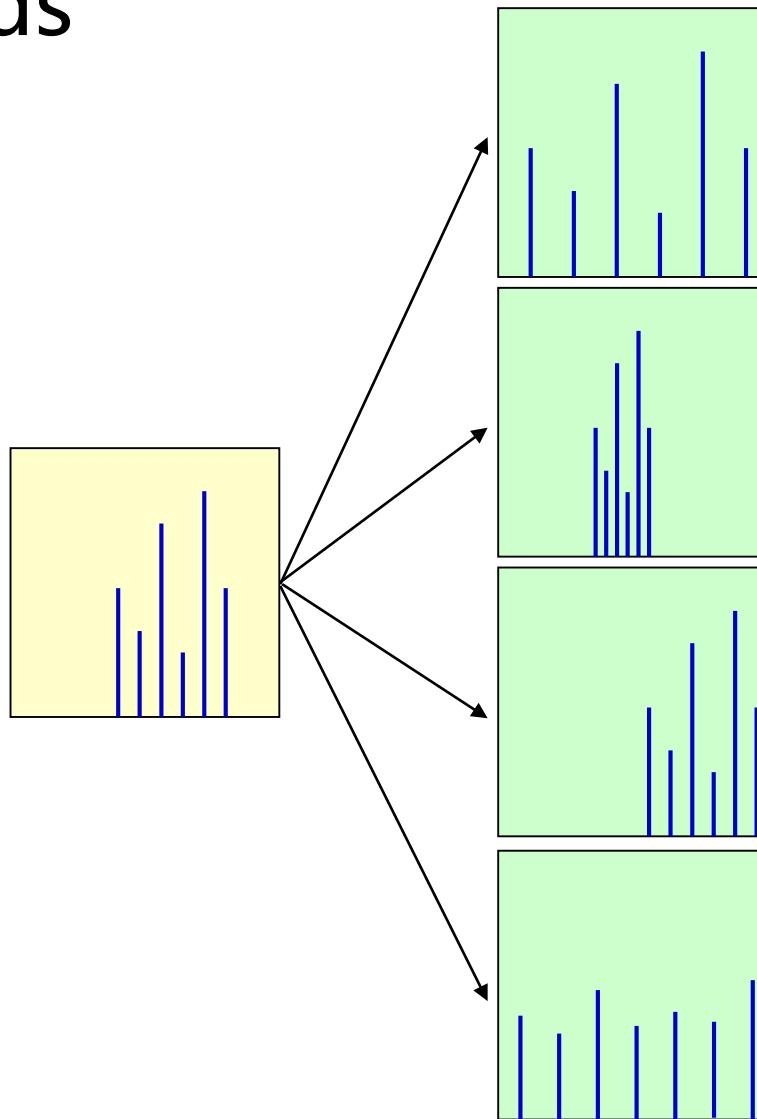


original image



영상은 CVIPTools로 부터 가져옴

fields



Histogram Scaling
(Histogram Stretching)

Histogram Scaling
(Histogram Shrinking)

Histogram Sliding

Histogram Equalization

DISADVANTAGE

- Background noise can be increased
- The image quality in a near-constant region may be degraded

REFERENCE

- R. Gonzalez, R. Woods, **Digital Image Processing (2nd Edition)**, Prentice Hall, 2002
- Scott E Umbaugh, **Computer Imaging**, CRC Press, 2005
- Mark Nixon and Alberto Aguado, **Feature Extraction & Image Processing**, ELSEVIER, 2008
- Frank SHIH, **Image Processing and Pattern Recognition**, IEEE Press, 2010



Thank you