

3장. 그래픽 컬러처리

👤 학습목표

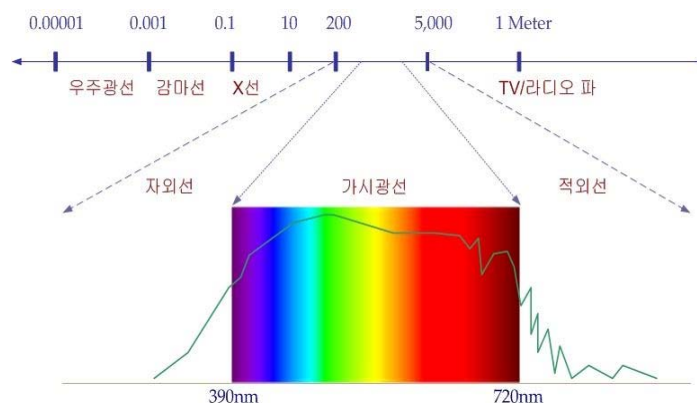
- 색상, 명도, 채도의 정의를 명확히 이해한다.
- RGB, CMY, HSV 컬러 모델의 차이점을 이해한다.
- 컬러 프로파일과 컬러처리 시스템의 필요성을 이해한다.
- RGB 컬러모드와 인덱스 컬러모드의 차이점을 이해한다.
- 하프 톤닝 기법과 디더링 기법을 이해한다.
- 감마수정이 필요한 이유와 수정방법을 이해한다.

1

3.1 컬러이론-그래픽 컬러처리

👤 전자기파

- 주파수, 파장
- 가시광선의 파장: 390nm – 720nm

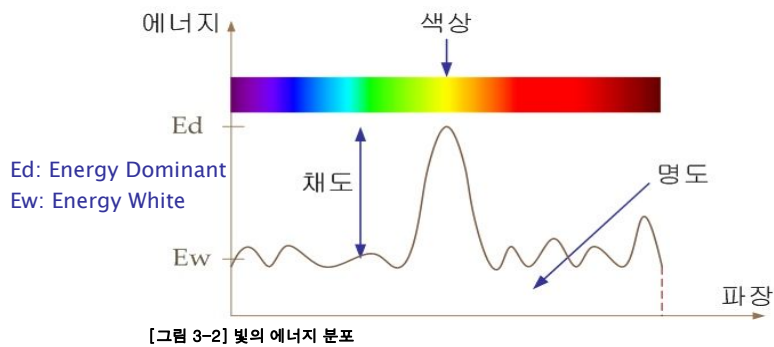


[그림 3-1] 전자기파의 파장

2

색상, 명도, 채도

- 👤 **색상:** 우세주파수의 색
- 👤 **명도:** 파형 아래의 면적
- 👤 **채도:** $E_d - E_w$
 - 채도 증가: E_d 증가 또는 E_w 감소
 - E_w 감소: 명도 저하, 색상 인식이 어려움



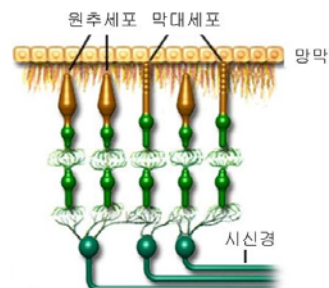
3

눈의 구조

- 👤 **홍채:** 빛의 양을 조절
- 👤 **수정체:** 초점거리 조절
- 👤 **막대세포:** 명암인식, 어두운 환경에 반응
- 👤 **원추세포:** 색상인식, 밝은 환경에 반응



[그림 3-3] 눈의 구조 I



[그림 3-4] 눈의 구조 II

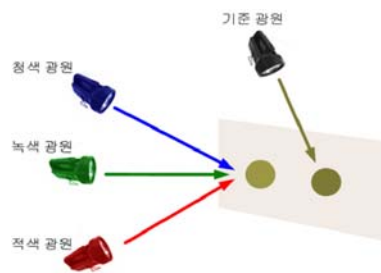
4

컬러 매칭

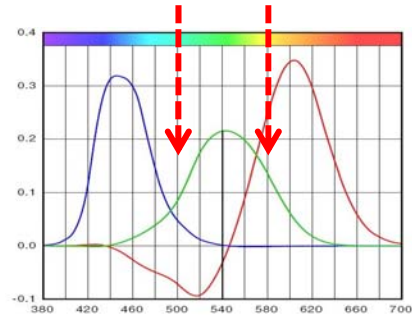
👤 580 nm 황색 = 적색 광원(0.25) + 녹색광원(0.13)
+ 청색광원(0.0)

👤 500nm 근처에서 적색광원은 음의 값

- G, B를 합성한 색상에서 적색 성분을 빼야 함.
- 현실적으로 불가능 → RGB로 모든 자연색 표현 불가



[그림 3-5] 컬러매칭



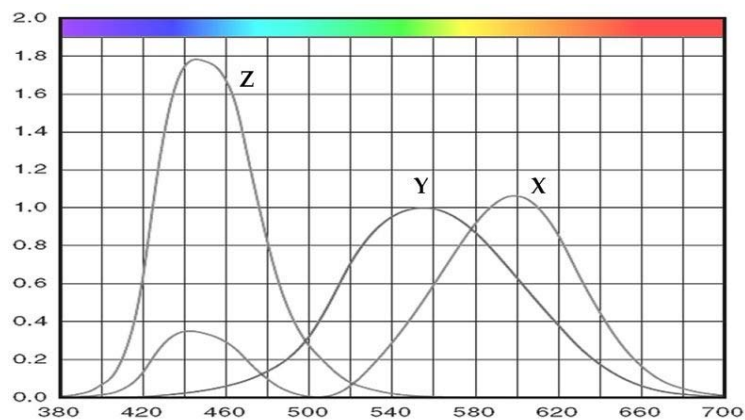
[그림 3-6] 컬러매칭 함수

5

CIE 컬러 모델

👤 Commission Internationale d'Eclairage (1931년)

- X,Y,Z: 가상의 삼원색, 수학적으로 유도, 모두 양의 함수
- Y = 명도. X, Z가 색을 결정



[그림 3-7] CIE 가상 삼원색

6

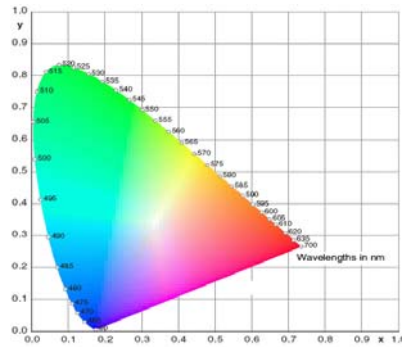
CIE 정규화

👤 $x+y+z = 1$ 이 되도록 x, y, z 를 설정

$$x = X / (X + Y + Z) \quad y = Y / (X + Y + Z) \quad z = Z / (X + Y + Z) \quad (3.2)$$

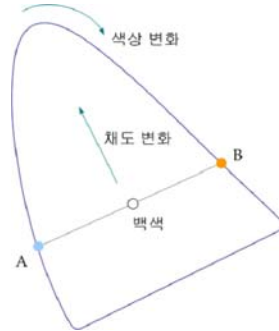
👤 x, y 가 결정되면 z 는 자동으로 결정됨: x, y 의 함수로서 색을 표현

- CIE 색 범위
- 순색(단일 파장): 경계선, 내부색: 순색의 혼합, 보색: 예. A와 B



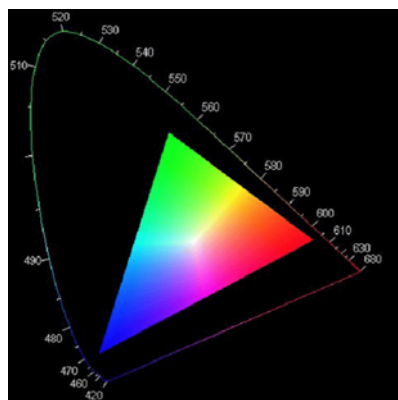
CIE Color Gamut

사람의 눈에 보이는 색

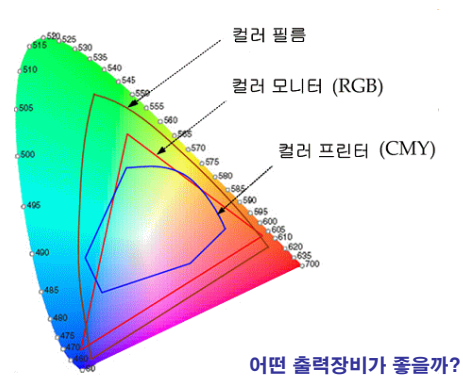


7

색 범위(Color Gamut)



[그림 3-10] 컬러 모니터 색 범주



[그림 3-11] 출력 장비별 색 범주

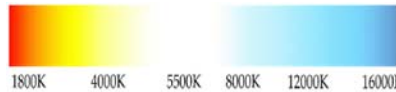
8

색 온도(Color Temperature)

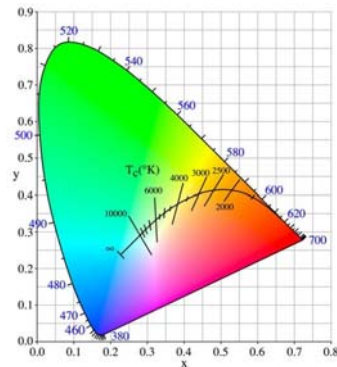
가열된 물체의 온도에 의한 색 표현

| | | | |
|--------|------------|----------|----------|
| 1200 K | 촛불 | 6000 K | 밝은 대낮 태양 |
| 2800 K | 전구, 일출과 일몰 | 7000 K | 약간 흐린 하늘 |
| 3000 K | 스튜디오 램프 | 8000 K | 흐린 하늘 |
| 5000 K | 평균 태양광 | 10,000 K | 매우 흐린 하늘 |

[표 3-1] 온도별 색



[그림 3-12] 색 온도 I



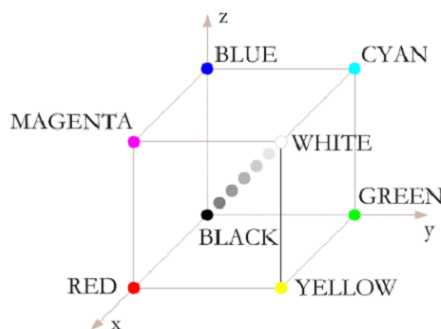
[그림 3-13] 색 온도 II

9

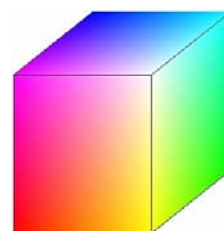
3.2 컬러모델-RGB 컬러모델

삼중 자극이론(Tri-Stimulus Theory)

- 원추세포는 파장 630nm(빨강), 530 nm(녹색), 450nm(청색)에 가장 민감하게 반응



[그림 3-14] RGB 모델의 좌표



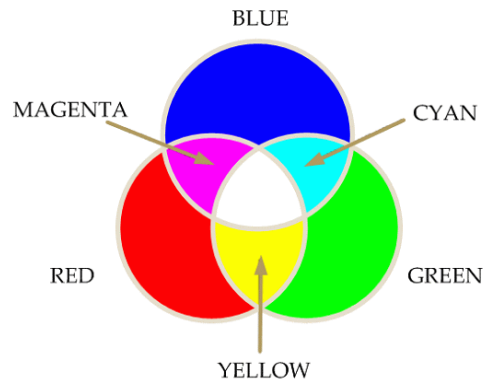
[그림 3-15] RGB 분포

10

RGB 컬러모델

가산모델

- 빛의 합성(예: 모니터)
- $R+G = Y$, $G+B = C$, $B+R = M$
- RGB의 보색은 CMY



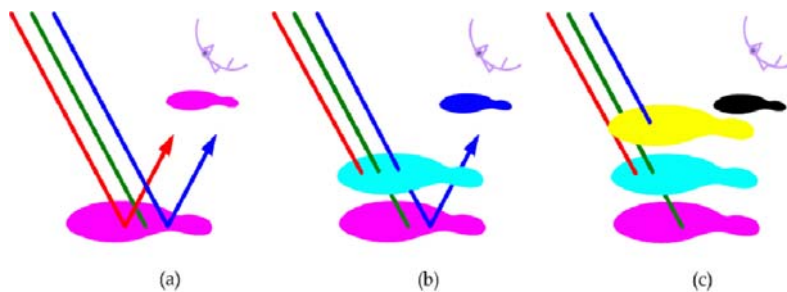
[그림 3-16] RGB 모델의 가산

11

CMY 컬러모델

감산모델

- 물감의 합성(예: 프린터)
- $W - G(\text{Complement of Magenta}) = R + B = \text{Magenta}$
- $(W - G) - R(\text{Complement of Cyan}) = \text{Blue}$
- $(W - G - R) - B(\text{Complement of Yellow}) = \text{Black}$

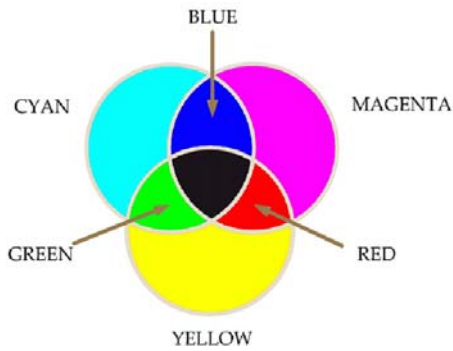


[그림 3-18] 감산모델

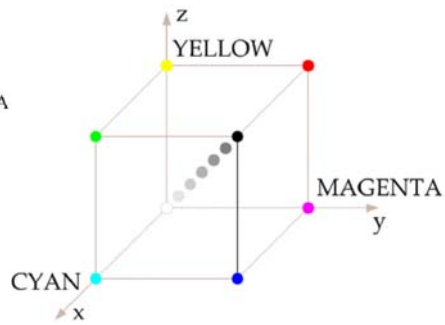
12

CMY 컬러모델

- RGB는 CMY의 합성으로 표현
- $C+M+Y = \text{Black}$ cf. $R+G+B$
- 물감의 삼원색은 CMY. 빨강노랑파랑이 아님.



[그림 3-19] CMY 컬러모델 I



[그림 3-20] CMY 컬러모델 II

13

CMYK 컬러모델

- **K for Chromatic (회색농도)**
 - $C = 120, M = 80, Y = 200$
 - $C = 40, M = 0, Y = 120, K = 80$
- **장점**
 - 잉크 건조시간, 잉크 비용
 - 정밀한 회색농도를 표현(완벽한 보색차단)

14

HSV 컬러모델

👤 RGB 모델의 단점

- 직관적이지 않다. 보라색 = R, G, B 각각 얼마?

👤 HSV(Hue, Saturation, Value)

- 또는 HSB(Hue, Saturation, Brightness)
- 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value, Brightness)
- 화가의 직관
 - 셰이드 = 어떤 색상에 흑색을 섞음. 채도와 명도를 동시에 낮춤.
 - 틸트 = 어떤 색상에 백색을 섞음. 채도는 낮추고 명도는 높임.

Blue Screen ?



[그림 3-21] 셰이드와 틸트

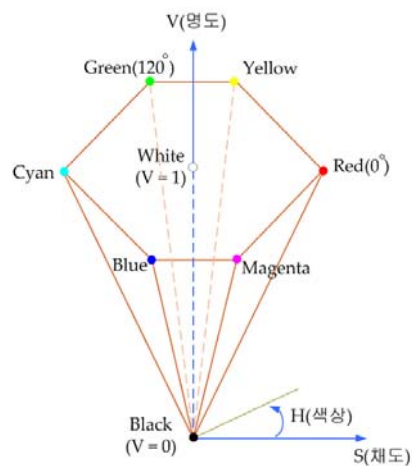
15

HSV 컬러모델

👤 육각별

| H | S | V | 색 |
|-----|-----|------|-------|
| 0 | 1.0 | 1.0 | Red |
| 120 | 1.0 | 1.0 | Green |
| 240 | 1.0 | 1.0 | Blue |
| | 0.0 | 1.0 | White |
| | | 0.0 | Black |
| 90 | 0.5 | 0.25 | |

[표 3-2] HSV 컬러 좌표

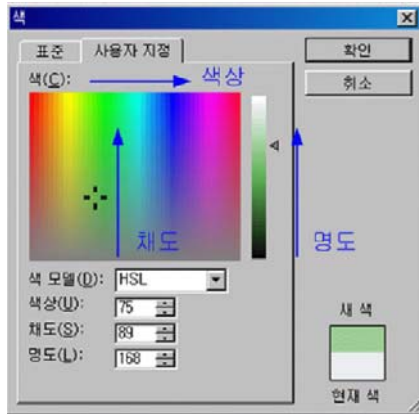


[그림 3-22] HSV 컬러모델

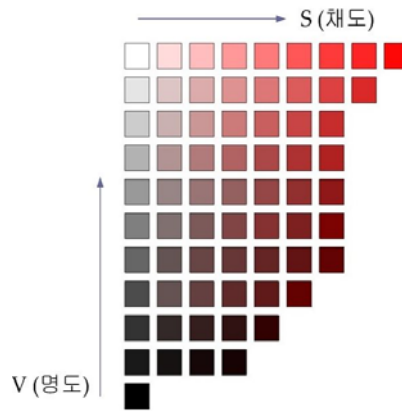
16

HSV 컬러모델

대화상자 예시, 적색 단면 예시



[그림 3-23] HSV 대화상자



[그림 3-24] HSV 단면

17

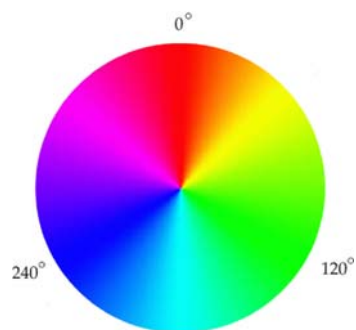
HSV 컬러모델의 변형

원뿔형 HSV

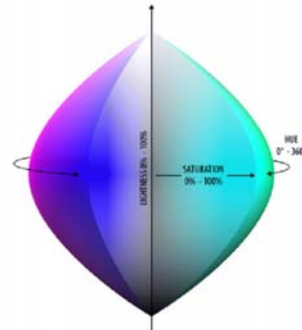
- 색상을 둥글게 배치

HLS

- 명도 범위를 2배로 확장



[그림 3-25] HSV 모델 I



[그림 3-26] HLS 모델 II

18

YUV

컬러 TV의 흑백 TV 호환성

- $Y = 0.213R + 0.715G + 0.072B$
- $Y' = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ 명도
- $U = 0.492 (B - Y') \quad V = 0.877 (R - Y')$ 색(색상, 채도)

디지털 TV

- $Y'CbCr$
- $Cb = (B - Y')/1.772 + 0.5 \quad Cr = (R - Y')/0.402 + 0.5$

NTSC TV 표준

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

- I는 주황-청색(Orange-Blue), Q는 자주-녹색(Purple-Green)축
- Y, I, Q 순서대로 민감도가 낮아짐

19

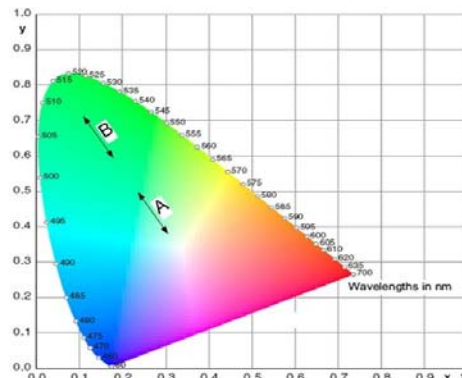
CIE L*a*b*

웨버의 법칙

- 자극이 강할수록 상대적 감도는 낮아짐
- 절대 명도 I일 때, 인지된 명도는 $\text{Log}(I)$ 에 비례

CIE 모델의 문제점

- 인지된 색차가 그림의 거리에 비례하지 않음



인간의 지각 능력을 반영 ?

[그림 3-29] CIE 모델에서의 색차

20

CIE L*a*b*

👤 CIE의 변형

- 인지 컬러모델(Perceptual Color Model)
- 인지된 색차가 맵상의 거리에 비례하도록

👤 CIE XYZ와 CIE L*a*b*와의 비교



[그림 3-30] CIE 모델과 CIE L*a*b* 모델

21

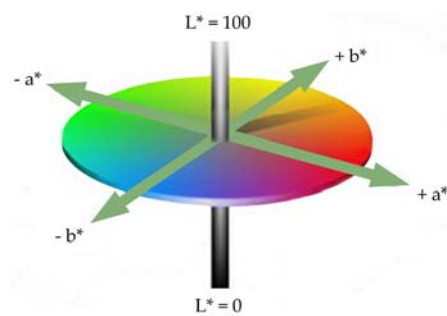
CIE L*a*b*

👤 CIE XYZ를 변형

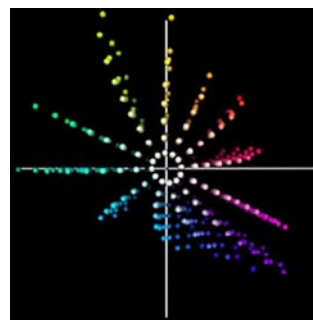
- L^* : 명도(Luminance)
- a^* : 녹색에서 적색, b^* : 청색에서 황색.
- a^*, b^* 합성에 의해 중간색 표현

👤 CIE L*a*b*

- 컬러인쇄, cf. CIE L*u*v*: 컬러모니터



[그림 3-31] CIE L*a*b* I



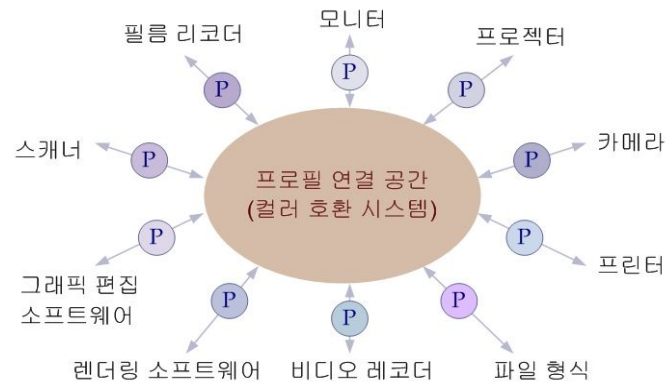
[그림 3-32] CIE L*a*b* II

22

CMS(Color Management System)

컬러 호환성

- 컬러모델, 장비특성에 따른 오차를 최소화
- 개별 장비의 컬러모델, 장비특성을 프로파일 형태로 나타냄
- 장비에 무관한 컬러공간으로 사상



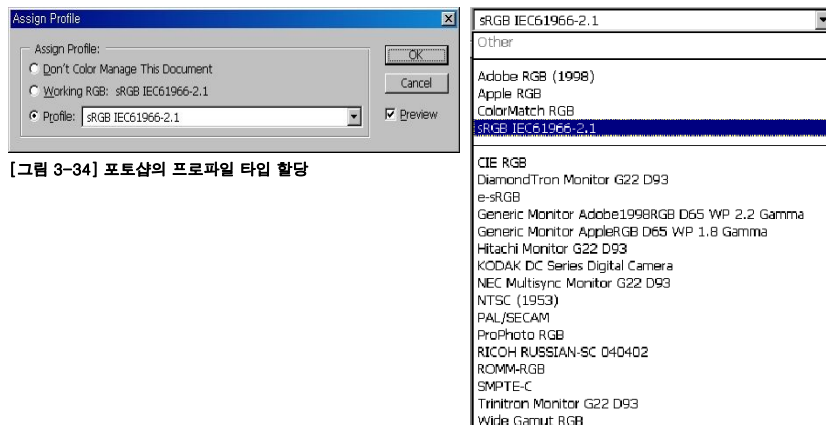
[그림 3-33] 컬러처리 시스템

23

프로파일 연결공간

일종의 세계어에 해당

- 장비 프로파일 정보를 감안
- sRGB(Standard RGB) 또는 CIE L*a*b*으로 사상



[그림 3-34] 포토샵의 프로파일 타입 할당

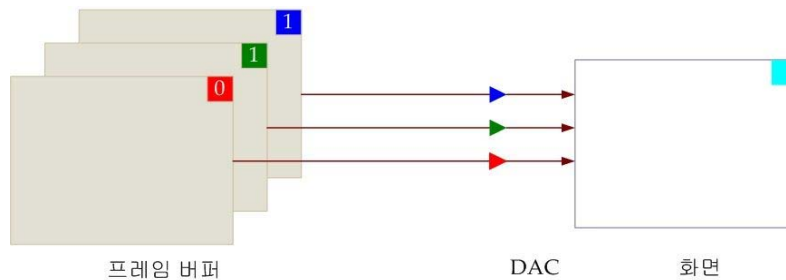
[그림3-35] 프로파일 타입

24

3.3 컬러모드-RGB 컬러모드

- 👤 프레임 버퍼 내용이 색을 결정
 - 용량에 따라 색 종류가 결정됨
 - 하이컬러, 풀컬러, 트루컬러, ...

👤 예: 3 비트 평면

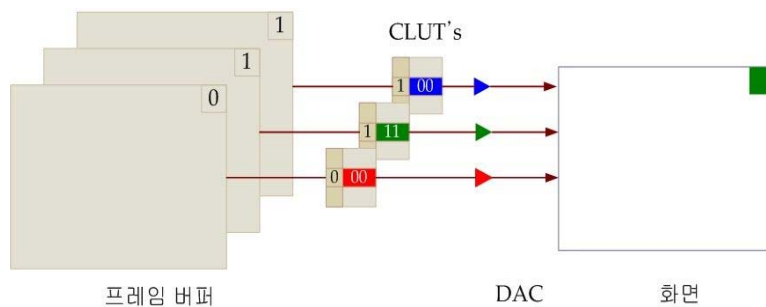


[그림 3-36] RGB 컬러모드

25

인덱스 컬러모드

- 👤 컬러 번역기
 - 프레임 버퍼 내용은 CLUT의 인덱스
 - 실제 컬러는 CLUT의 우측 칼럼에 의해 결정



[그림 3-37] 인덱스 컬러모드 I

26

컬러 보기표

- 한 화면에 보일 수 있는 컬러는 여전히 8가지
- 그 컬러가 어디서 왔는가의 문제

| 프레임버퍼(RGB) | 보기표(R) | 보기표(G) | 보기표(B) |
|------------|----------|----------|----------|
| 000(0) | 00011100 | 11000000 | 10010011 |
| 001(1) | 11001001 | 00010100 | 01011100 |
| 010(2) | 10010000 | 10010011 | 00010101 |
| 011(3) | 00110001 | 00111001 | 00110000 |
| 100(4) | 11110101 | 01010011 | 11001111 |
| 101(5) | 01011000 | 10110100 | 10110101 |
| 110(6) | 00100011 | 01010101 | 01011100 |
| 111(7) | 10111100 | 11111100 | 11111001 |

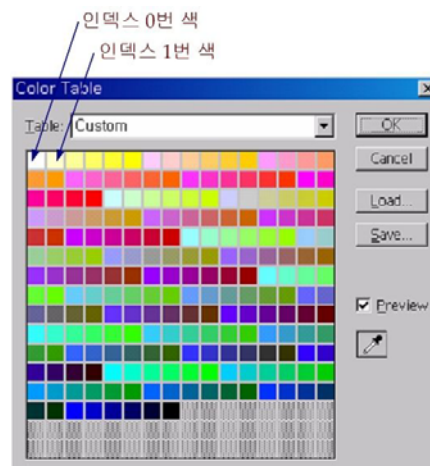
[표 3-3] 컬러 보기표의 예

27

팔레트



[그림 3-39] 인덱스 컬러모드



[그림 3-40] 팔레트

28

컬러 인덱스 모드

유사한 톤의 표현에 유리

PNG, BMP, TGA, TIFF

- 파일 내부에 팔레트 정보를 포함



[그림 3-43] 녹색 위주 팔레트



[그림 3-44] 금색 위주 팔레트

29

3.4 하프 톤닝과 디더링-하프 톤닝

우리 눈의 종합적 인식능력을 이용

인쇄물의 하프 톤닝

- 흑백이지만 회색처럼 보임
- 화면 화소에는 이것이 불가능



(a)



(b)

[그림 3-45] 인쇄물의 하프 톤닝

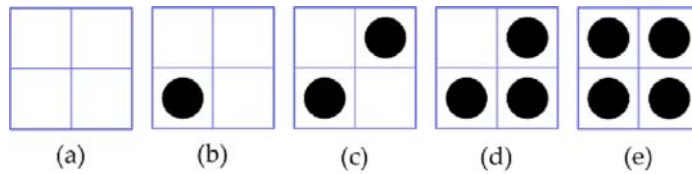
출력장치의 한계를 극복

30

디지털 하프 토크닝

점의 크기 대신 개수를 조절

- 우리 눈이 4개의 화소를 한 단위 평균적 밝기를 인식
- 실질적 해상도는 감소



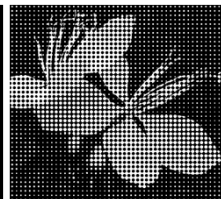
[그림 3-46] 흑백 모니터의 하프 토크닝



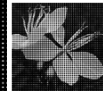
[그림 3-47] 원 영상



[그림 3-48] 흑백영상



[그림 3-49] 하프톤



31

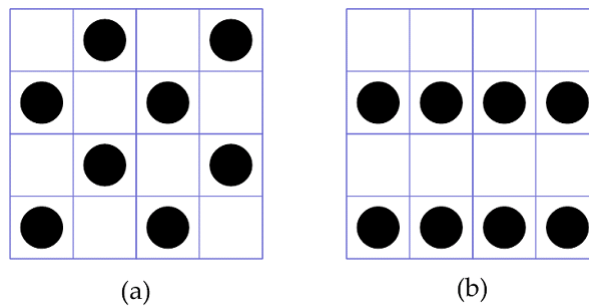
하프 토크닝

하프톤 행렬

$$\text{Halftone Pattern 1} = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$\text{Halftone Pattern 2} = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

줄 무늬에 유의



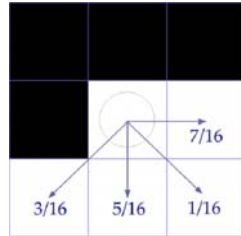
[그림 3-52] 하프 토크닝 패턴 적용

32

디더링

👤 해상도 감소 없음 (동일 해상도 유지)

- 화소에서 화소로의 사상
- Ex. 오류 확산(Error Diffusion Dither)



[그림 3-53] 오류 확산 방법

- Ex. 패턴 디더(Patterned Dither)
 - 모든 화소의 회색도를 최대 8로 정규화
 - 정규화 값이 행렬 값보다 크면 화소에 가장 가까운 색으로, 작으면 배경색으로

$$\text{Dither Pattern} = \begin{bmatrix} 6 & 8 & 4 \\ 1 & 0 & 3 \\ 5 & 2 & 7 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

33

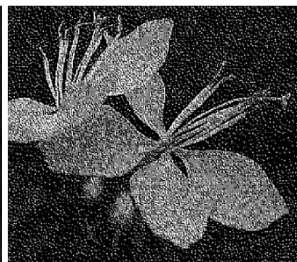
오류확산, 패턴 디더

👤 디더링

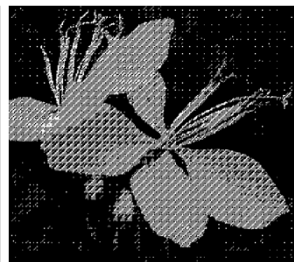
- 오류확산: 오류를 전파
- 패턴디더: 인위적인 잡음 삽입



[그림 3-54] 원영상



[그림 3-55] 오류확산



[그림 3-56] 패턴 디더링

34

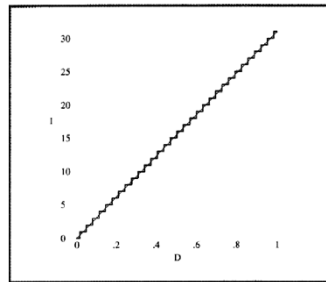
3.5 감마수정-감마수정

👤 인점의 밝기는 전자빔의 밝기에 비 선형적으로 반응

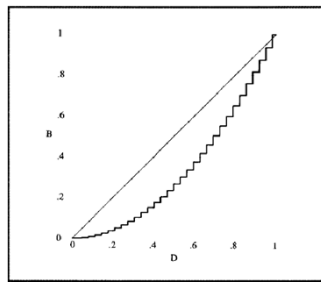
- (0..255)에서 128은 중간 회색도가 아님
- 인점 밝기와 회색도와의 관계

$$B = \alpha \delta^\gamma \quad (3.18)$$

- 알파: 비례상수, 델타: 정규화 회색도, 감마: 1이 아니고 (1.7-2.8)



[그림 3-57] 전자빔/회색도



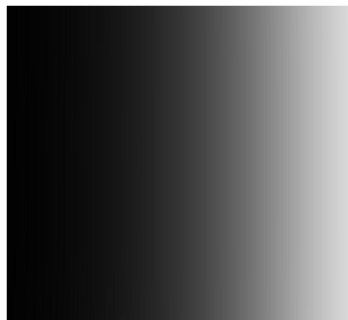
[그림 3-58] 밝기/전자빔

35

감마수정의 필요성

👤 프로그래머의 기대치 대 실제 밝기

- 회색도 128은 실제로 더욱 어둡게 나타남



[그림 3-59] 기대값



[그림 3-60] 실제값

$$\bullet V_C \sim V_S^{(1/\gamma)}$$

- 인간 시각의 비선형성
- CRT의 비선형성

36