

# Color

김성영교수  
금오공과대학교  
컴퓨터공학과

# 학습 목표

---

- Color란 무엇인지 설명할 수 있다.
- 눈의 구조와 빛의 흡수 과정에 대해 설명할 수 있다.
- 칼라 모델의 종류와 특성을 구분하여 설명할 수 있다.

# 색의 개념

---

- 색(color)

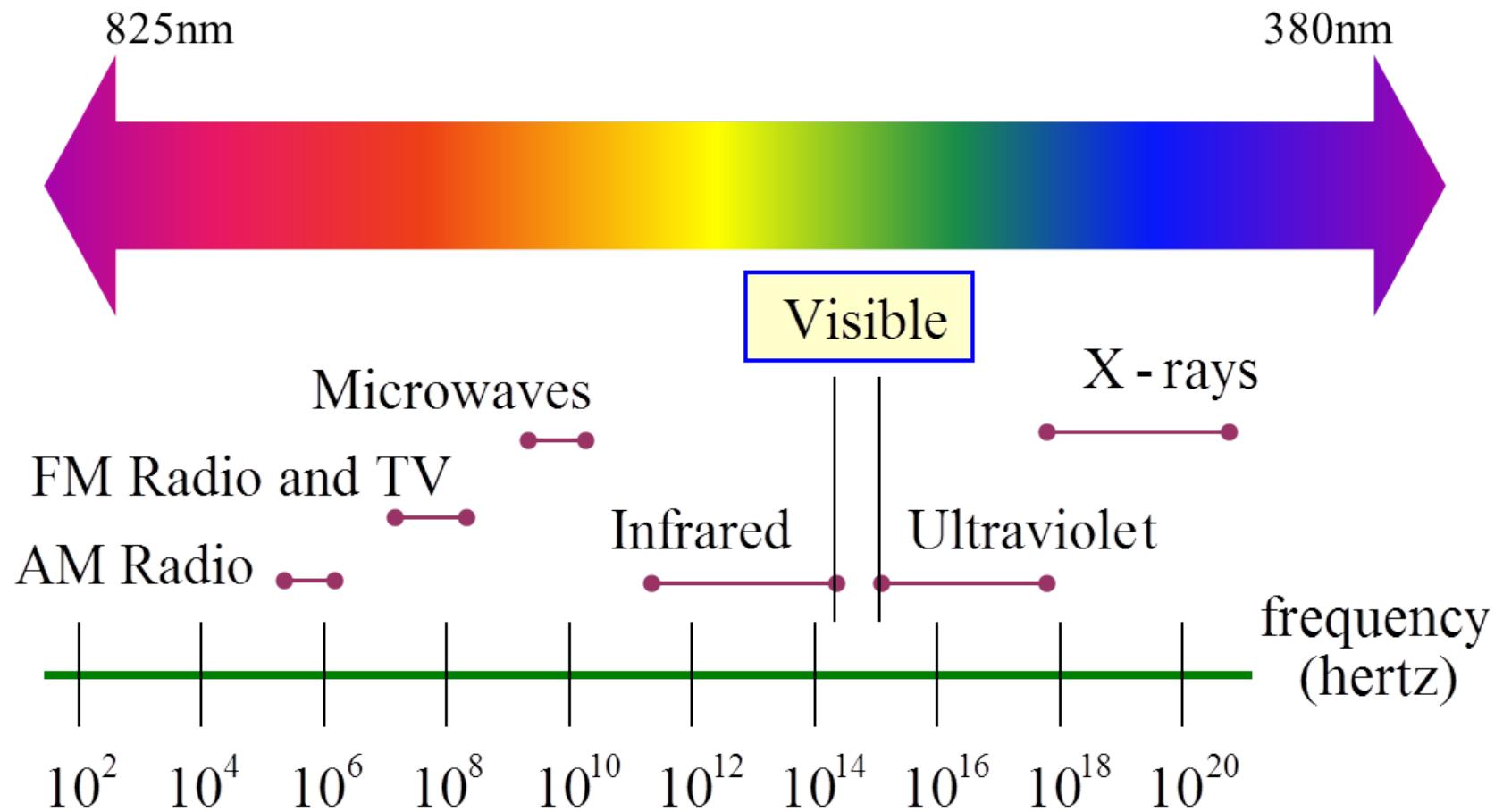
- 물체에서 반사되는 빛의 성질에 의해 결정

- 빛(light)

- 전자기파(electromagnetic wave)의 일종이며 매질이 필요 없는 파동으로 다양한 파장(wavelength)으로 구성

- 태양광은 파장에 따라 빛은 가시광선, 적외선, 적외선, 감마선 등으로 구분

- 가시광선은 약 380nm에서 780nm 파장의 빛에 해당



# 광원에 대한 용어 및 기본 단위

---

- 방사 휘도(radiance)

- 광원으로 나오는 총 에너지 양 (W)

- 휘도(luminance, intensity or gray-level)

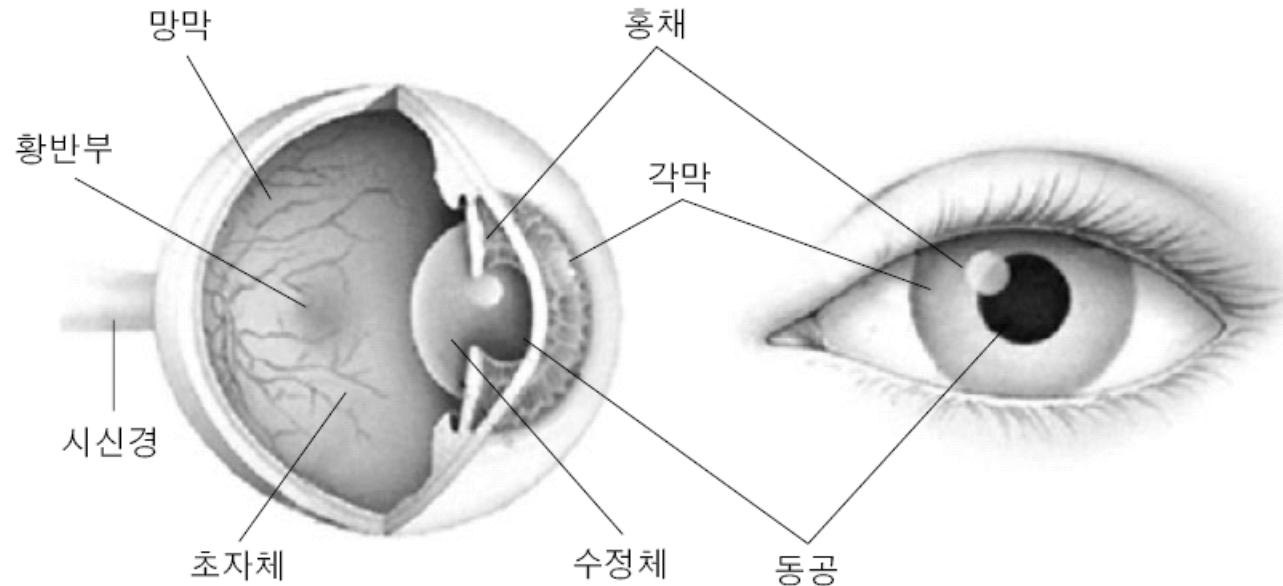
- 관찰자가 광원으로부터 인지하는 에너지의 양 ( $I_m$ )

- 명도(brightness)

- 관찰자의 주관적인 밝기 (측정 불가)

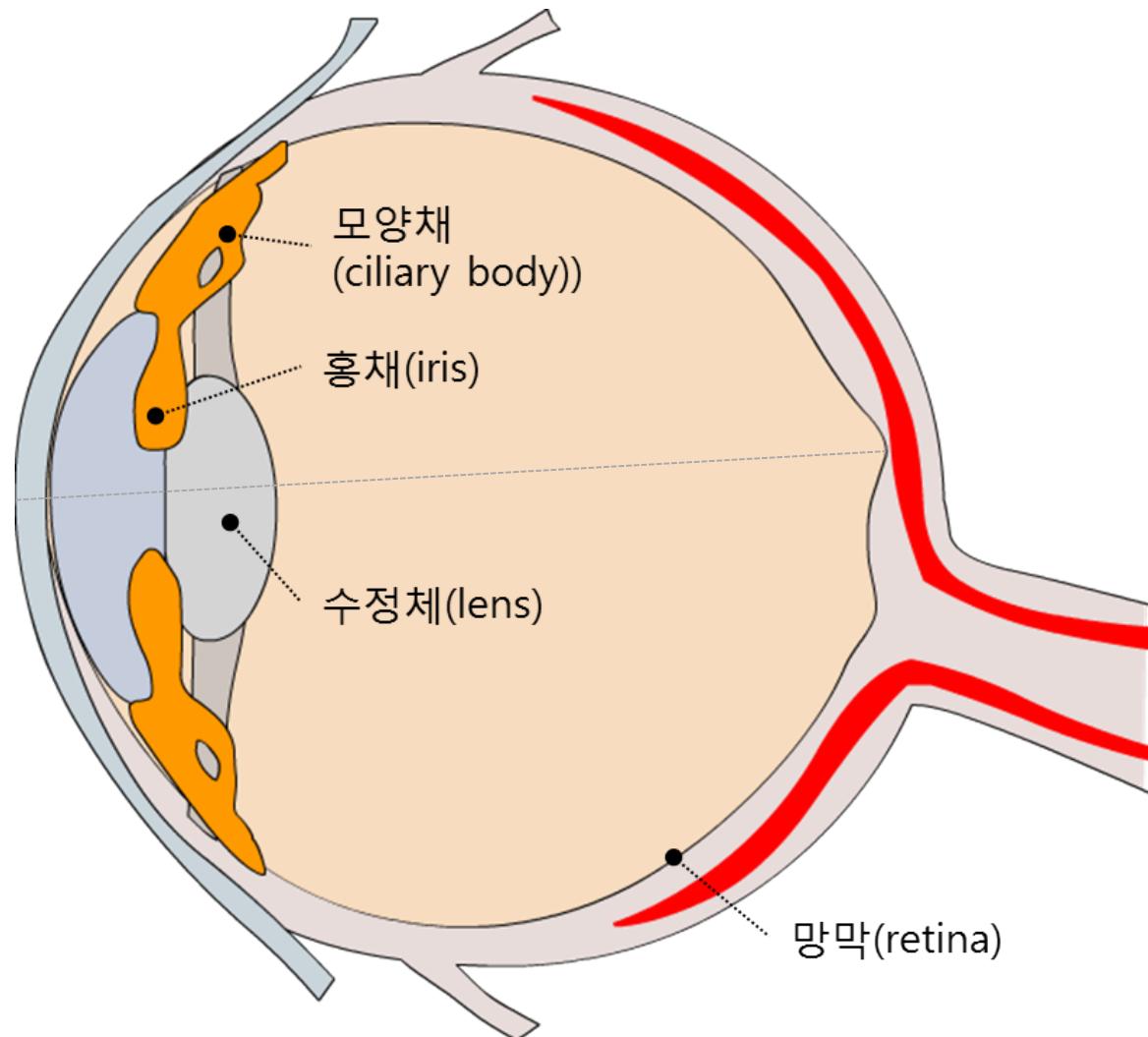
# 눈의 구조

- ▣ 각막 : 안구 보호. 눈으로 들어오는 광선의 초기 초점을 형성
- ▣ 홍채 : 들어오는 빛의 양 조절
- ▣ 수정체 : 상을 망막에 맷게 하는 볼록 렌즈 역할. 초점 길이 조절 기능
- ▣ 망막 : 영상을 감지하는 기관. 간상세포와 원추세포 분포
  - 간상세포 : 약 1억 개. 빛의 밝기에 민감하지만 색을 잘 구분하지 못함
  - 원추세포 : 약 600만 개. 세 종류의 시색소가 색에 따라 다르게 반응
- ▣ 황반 : 망막에서 가장 깊이 들어간 곳에 있음



[그림 2-2] 눈의 구조

# 눈의 구조



# 눈의 구조

- 빛은 망막을 통해 흡수되며 망막에는 원추세포(cone cell)와 간상세포(rod cell)가 존재

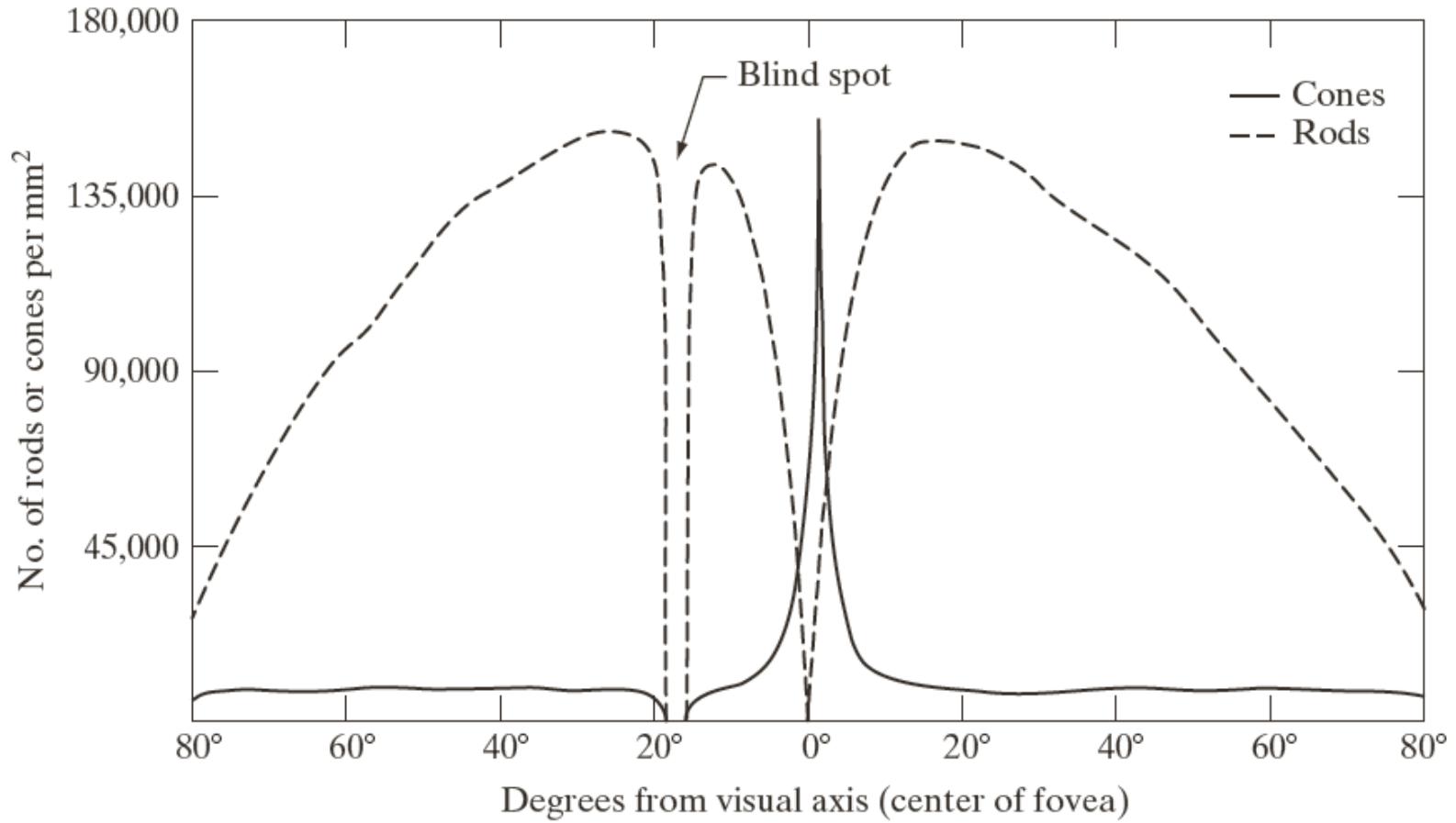
r, g, b

- 원추세포는 색상, 간상세포는 명암을 구분

□ 원추세포는 빨간색, 초록색, 파란색에 반응하는 세 가지 종류로 세포로 구분

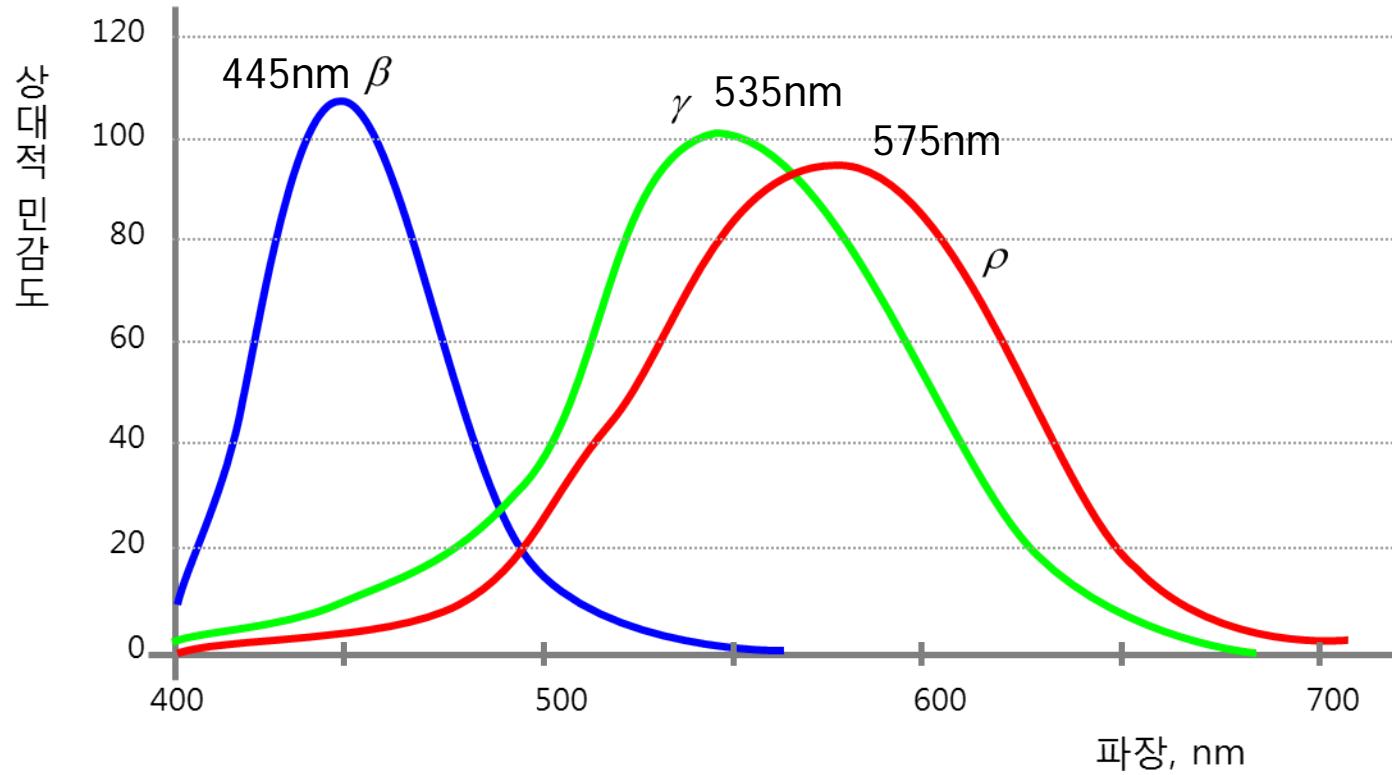
- **파랑** 원추세포( $\beta$ ): 445nm 주변 (300nm ~ 550nm) 파장 흡수 (2%)
- **초록** 원추세포( $\gamma$ ): 535nm 주변 (400nm ~ 680nm) 파장 흡수 (33%)
- **빨강** 원추세포( $\rho$ ): 575nm 주변 (450nm ~ 710nm) 파장 흡수 (65%)

# 망막에서의 원추 및 간상 세포의 분포



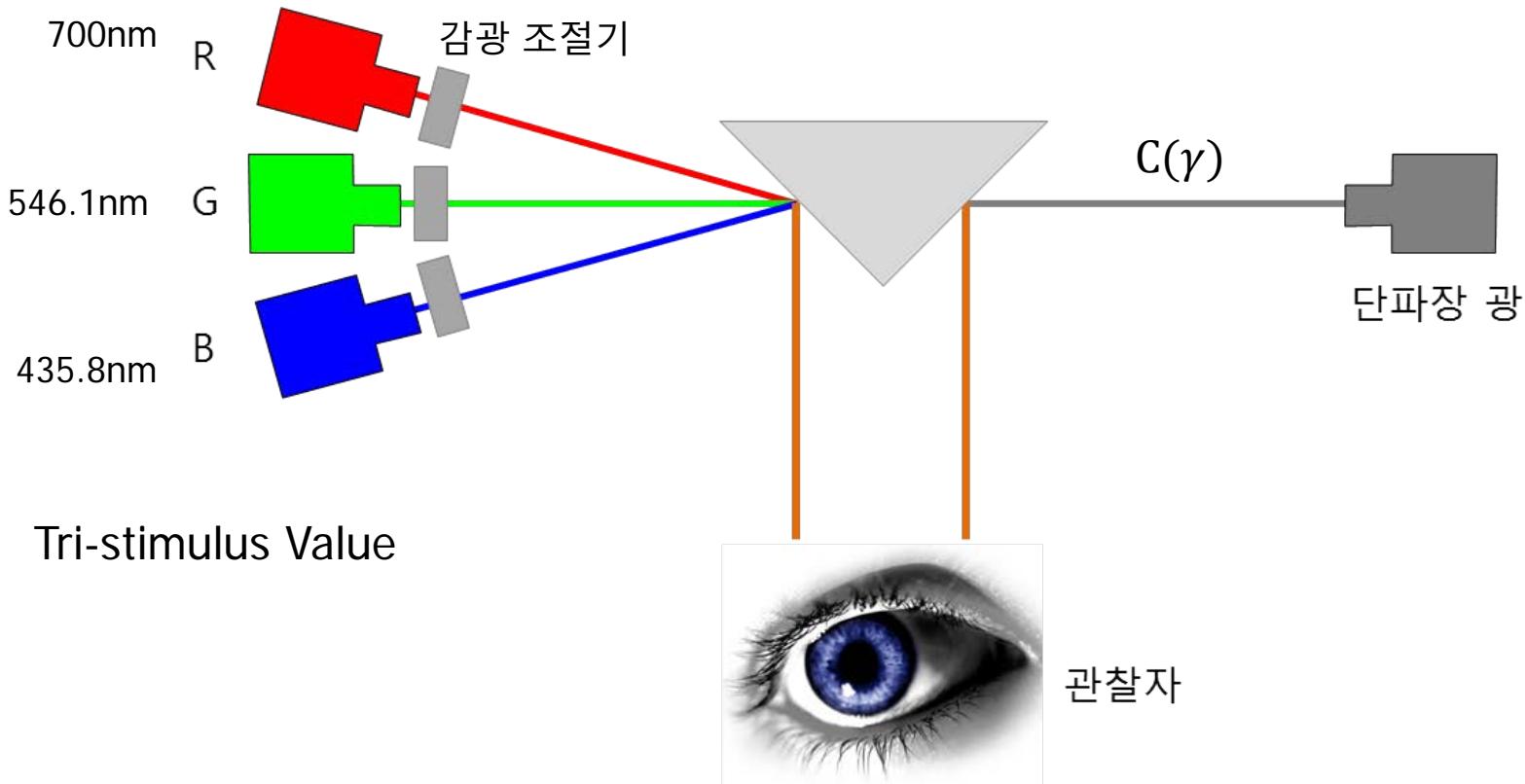
# 원추 세포에서의 빛의 수용 및 민감도

$$W(5.6508 \text{ cd/m}^2) = R(1.0000 \text{ cd/m}^2) + G(4.5907 \text{ cd/m}^2) + B(0.0601 \text{ cd/m}^2)$$

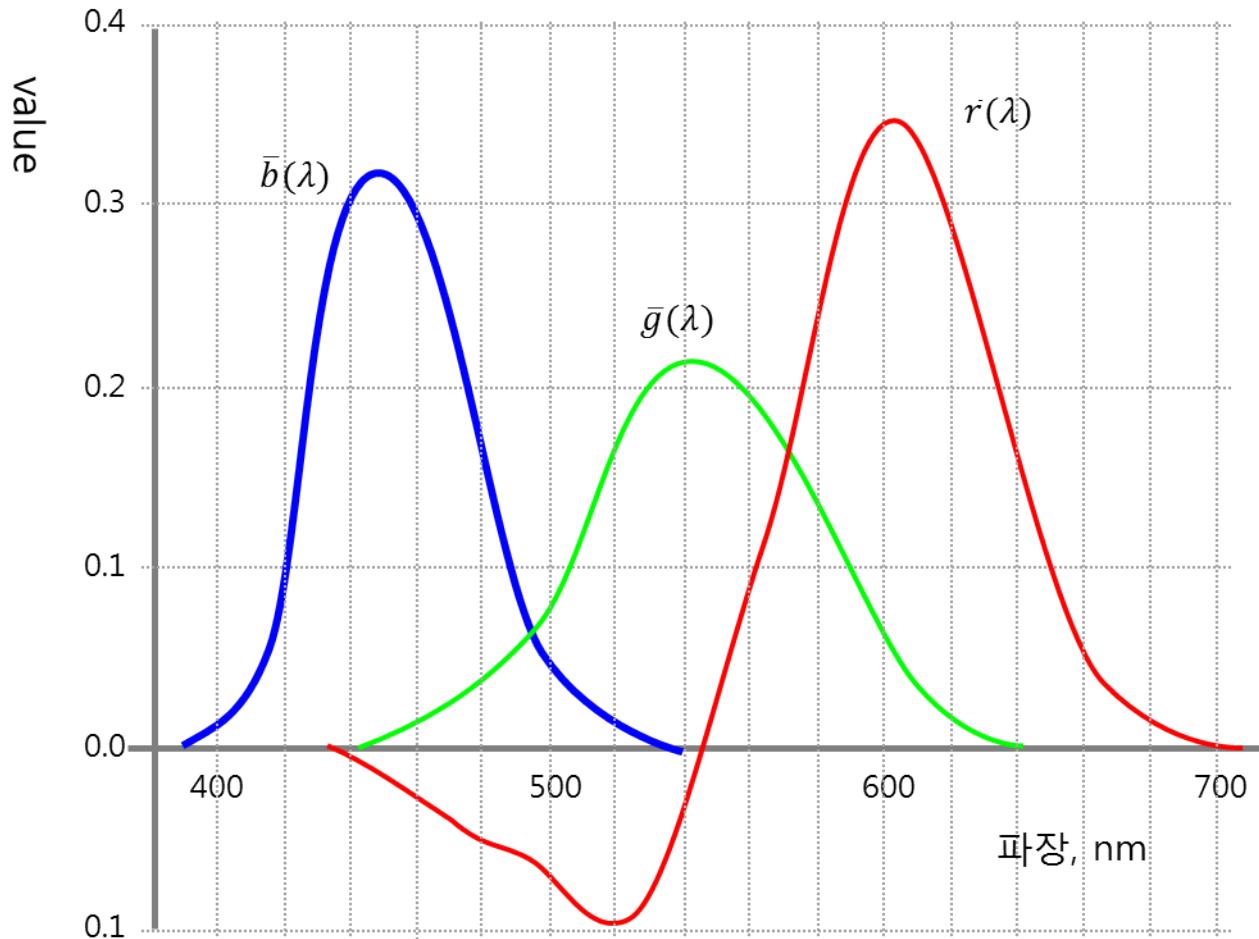


# 삼색 정합 (trichromatic matching)

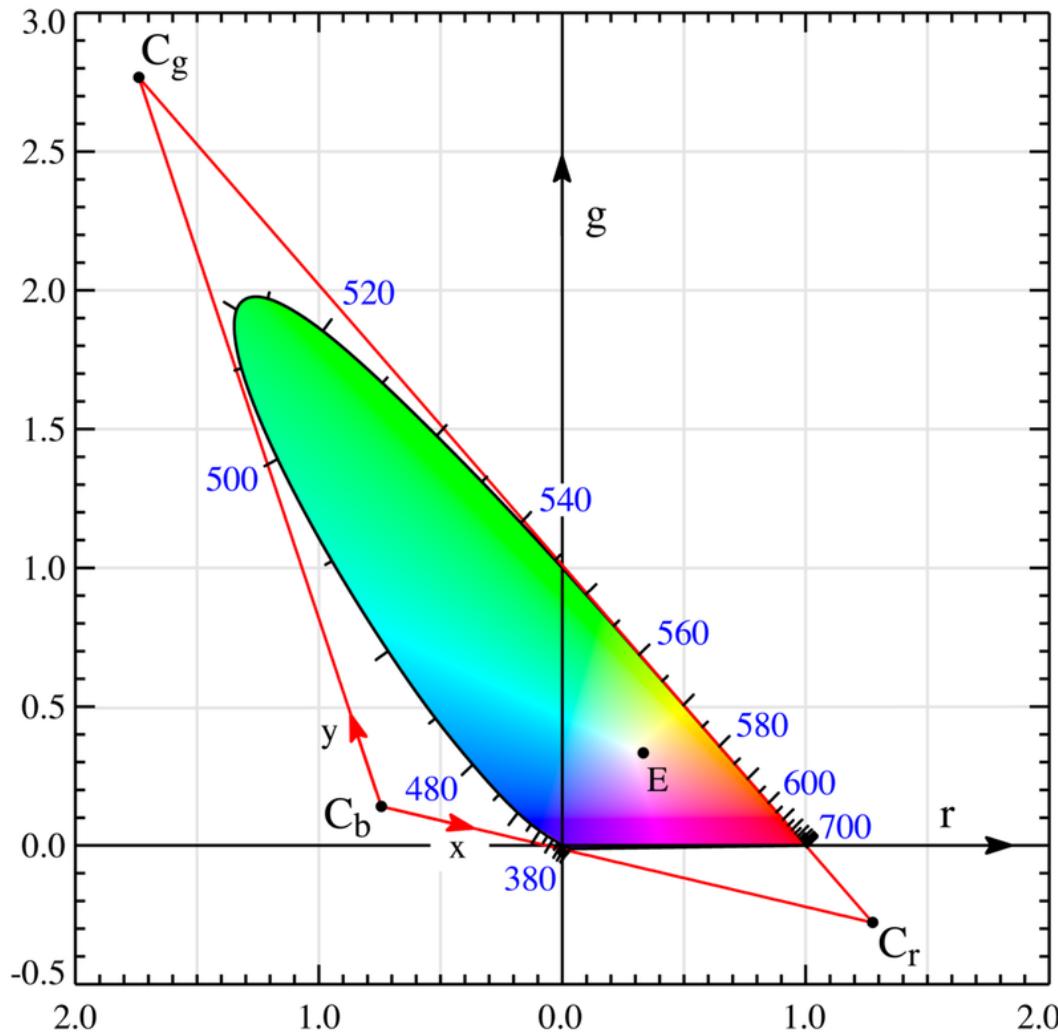
- 세 가지 빛(R, G, B)의 혼합 정도를 알 수 있으면 모든 색의 표현이 가능함
- 색 측정법(colorimetry)에서는 우리 눈으로 구분할 수 있는 색에 대해 세 가지 빛의 비율을 정의
- 빨간색, 초록색, 파란색의 세 가지 파장을 사용하여 표현 가능한 색을 조합하기 때문에 이 실험을 삼색 정합 (trichromatic matching)이라고 부름



# 색 정합 함수

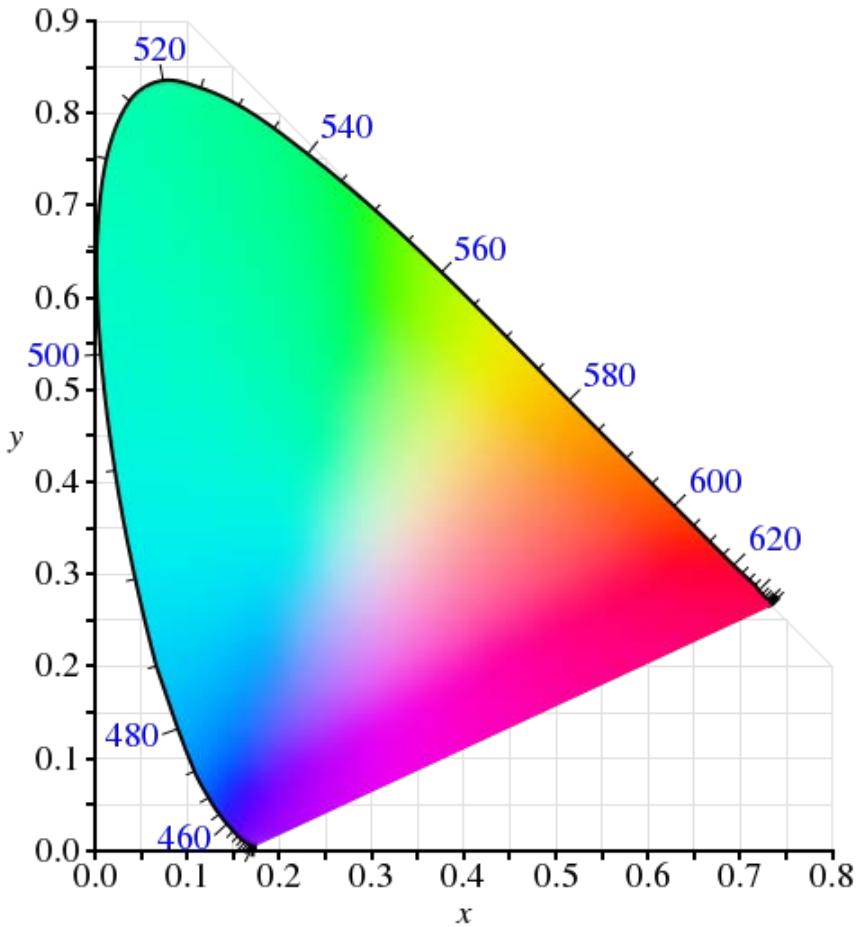


# Normalized tri-stimulus value (r, g, b)

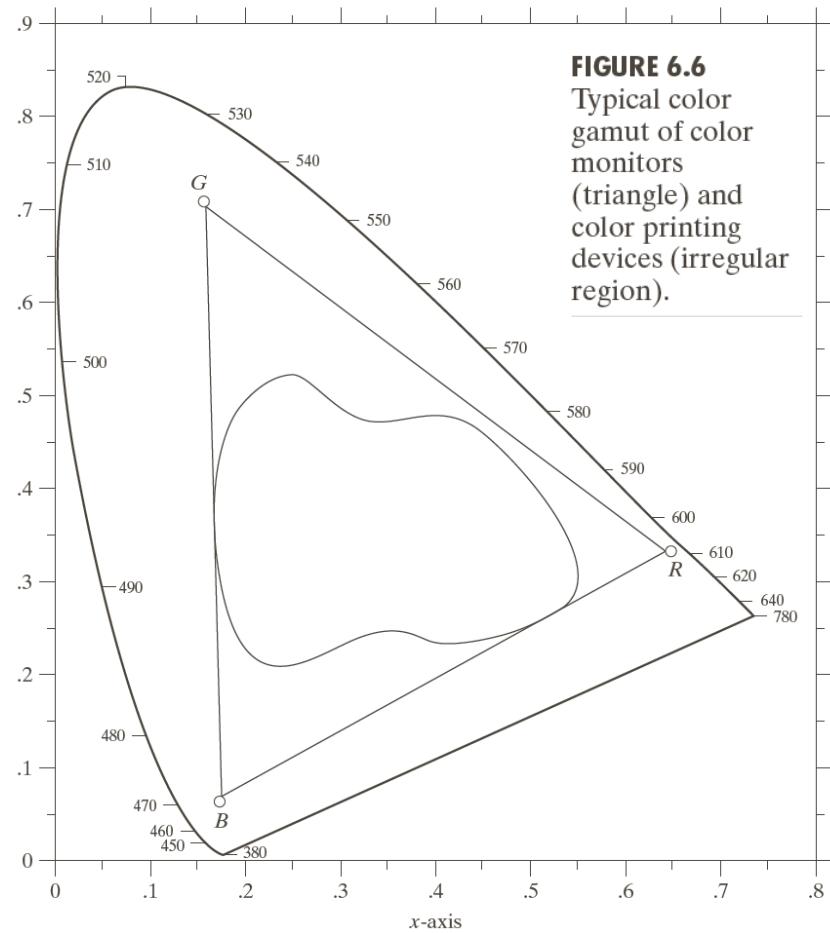


from Wikipedia.org

# Normalized tri-stimulus value (x, y, z)



from Wikipedia.org



- $(R, G, B) \rightarrow (X, Y, Z)$

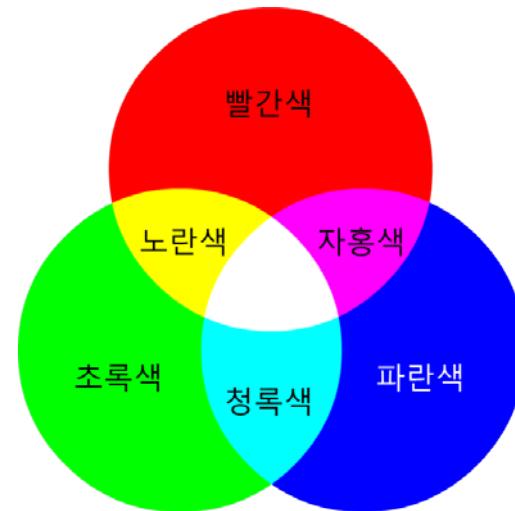
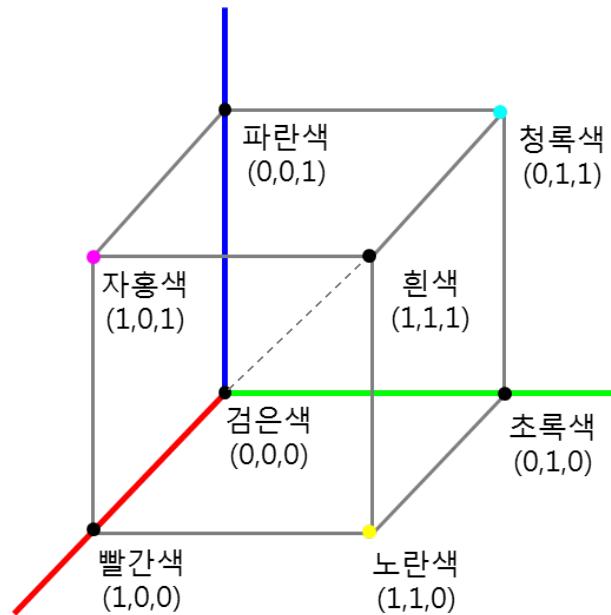
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- $X \geq 0, Y \geq 0, Z \geq 0$  for  $\forall C$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.365 & -0.897 & -0.468 \\ -0.515 & 1.426 & 0.089 \\ 0.005 & -0.014 & -1.009 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

# RGB 모델

- 빛의 삼원색인 빨간색, 초록색, 파란색을 기본 색(primary color)으로 사용
- 표현 가능한 모든 색은 단위 크기의 육면체(cube)를 사용하여 표현 가능



## RGB 컬러 모델(계속)

- ▣ 색을 혼합할수록 색이 밝아지는 가산체계(Additive System) 사용
- ▣ RGB를 같은 비율로 혼합 → 가장 밝은 흰색
  - $\text{Red}(1, 0, 0) + \text{Green}(0, 1, 0) + \text{Blue}(0, 0, 1) = \text{White}(1, 1, 1)$
  - 빨강색(R)과 초록색(G) 혼합 → 노란색(Yellow)
  - $\text{Red}(1, 0, 0) + \text{Green}(0, 1, 0) = \text{Yellow}(1, 1, 0)$
- ▣ 초록색(G)+ 파란색(B) → 청록색(Cyan)
  - $\text{Green}(0, 1, 0) + \text{Blue}(0, 0, 1) = \text{Cyan}(0, 1, 1)$
- ▣ 파란색(B)과 빨강색(R) 혼합 → 자홍색(Magenta)
  - $\text{Red}(1, 0, 0) + \text{Blue}(0, 0, 1) = \text{Magenta}(1, 0, 1)$



(a) RGB 컬러 영상



(b) Red 채널 영상



(c) Green 채널 영상



(d) Blue 채널 영상

[그림 2-6] 컬러 영상에서 R, G, B 채널 분리

## RGB to Gray-scale 변환

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

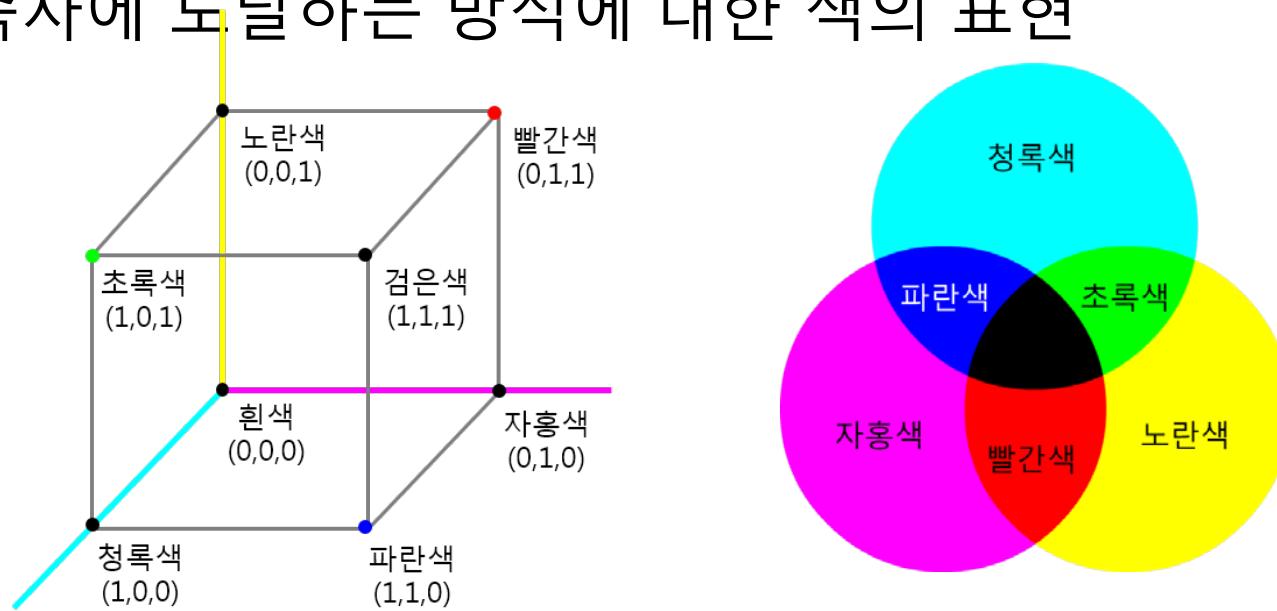
TV 또는 모니터 등에서 사용

$$Y = 0.333R + 0.333G + 0.333B$$

나머지 응용에서 사용

# CMY 모델

- 색의 삼원색인 청록색, 자홍색, 노란색을 기본 색으로 사용
- 표현 가능한 모든 색은 단위 크기의 육면체(cube)로 표현
- 물체에서 일부 파장이 흡수되고 나머지 파장은 반사되어 관측자에 도달하는 방식에 대한 색의 표현



## CMY 컬러 모델(계속)

- C, M, Y 세 가지 색을 더하면 검정색(1, 1, 1)이 되어 색의 밝기가 낮아지는 감산체계(Subtractive System) 사용



(a) CMY 컬러 영상



(b) Cyan 채널 영상



(c) Magenta 채널 영상



(d) Yellow 채널 영상

[그림 2-8] 컬러 영상에서 CMY 채널 분리

C



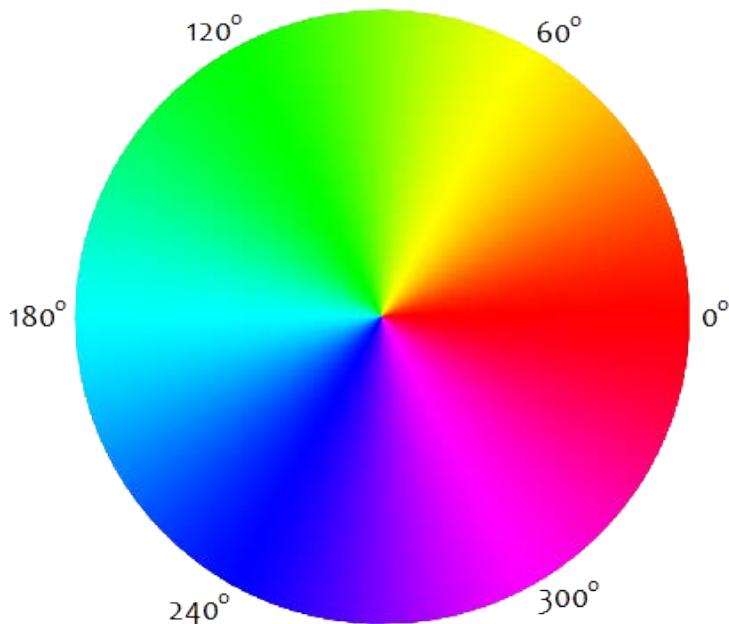
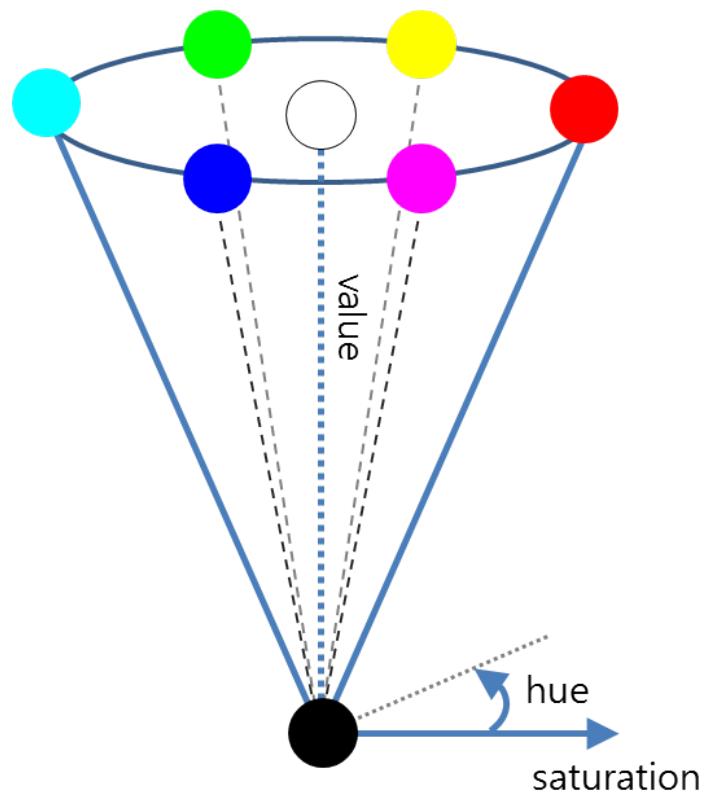
M

Y

# HSV 모델

- **색상(hue), 채도(saturation), 명도(value)**를 기본 색으로 사용
  - 색상은 색의 주 파장을 구분하는 특징
  - 채도는 색의 순수성(purity)을 구분하는 특징
    - 순색에 백색광이 혼합된 정도를 나타냄
    - 색상에 백색광이 혼합될수록 색의 순수성은 감소하여 채도는 낮아짐
  - 명도는 색의 밝고 어두운 정도를 구분하는 값
- **실린더 좌표(cylindrical coordinate)** 사용해 모든 색 표현

Color = Brightness + Chromaticity



H



S

V

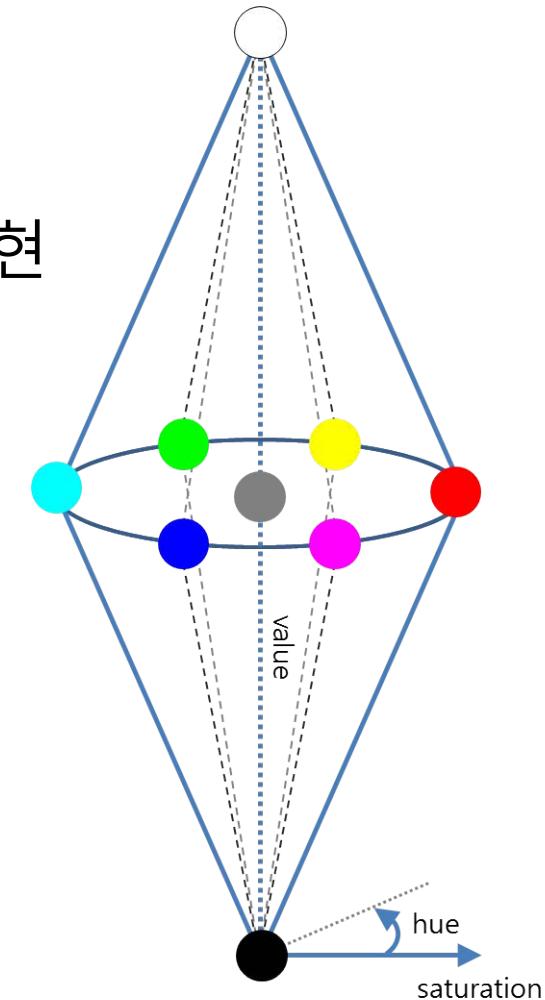
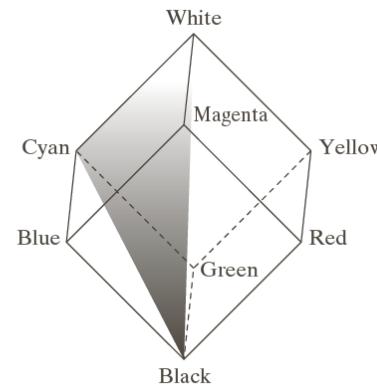
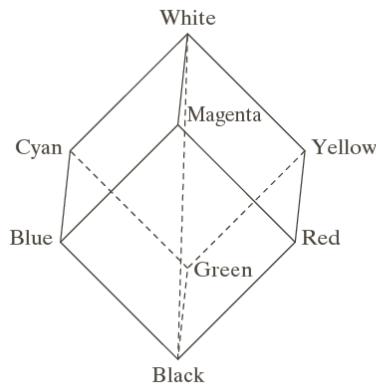
RGB to HSV	HSV to RGB
$C_{max} = \max(R, G, B)$ $C_{min} = \min(R, G, B)$ $\Delta = C_{max} - C_{min}$ $H = \begin{cases} \text{undefined}, & \Delta = 0 \\ \frac{G-B}{\Delta} \bmod 6, & C_{max} = R \\ \frac{B-R}{\Delta} + 2, & C_{max} = G \\ \frac{R-G}{\Delta} + 4, & C_{max} = B \end{cases}$ $H = 60 \times H$ $S = \begin{cases} 0, & \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, & \Delta \neq 0 \end{cases}$ $V = C_{max}$	$C = V \times S$ $H = \frac{H}{60}$ $X = C \times (1 -  H \bmod 2 - 1 )$ $(R, G, B) = \begin{cases} (0, 0, 0), & H \text{ is undefined} \\ (C, X, 0), & 0^\circ \leq H < 60^\circ \\ (X, C, 0), & 60^\circ \leq H < 120^\circ \\ (0, C, X), & 120^\circ \leq H < 180^\circ \\ (0, X, C), & 180^\circ \leq H < 240^\circ \\ (X, 0, C), & 240^\circ \leq H < 300^\circ \\ (C, 0, X), & 300^\circ \leq H < 360^\circ \end{cases}$

# HSL 모델

- H는 색상(hue), S는 채도(saturation),  
L은 밝기(lightness)를 기본 색으로 사용
- 두 개의 원뿔을 맞붙여 놓은 형태로 표현

a b

**FIGURE 6.12**  
Conceptual  
relationships  
between the RGB  
and HSI color  
models.



H



S

L

# YUV 및 YIQ 모델

---

- 아날로그 TV의 전송에 사용하는 색 모델
  - YIQ는 한국을 포함하여 미국, 캐나다 등의 NTSC 방식에서 사용
  - YUV는 주로 유럽의 PAL, SECAM 방식에서 사용
- 색에서 밝기 성분과 색도(chromaticity) 성분을 구분 가능
  - Y 성분: 휘도(luminance)
  - U&V 및 I&Q 성분: 색차(chrominance)

# YUV 및 YIQ 모델

- 색차는 색의 차이(color difference)를 의미

□ YCbCr 모델 참조

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.000 & 1.140 \\ 1.0 & -0.395 & -0.581 \\ 1.0 & 2.032 & 0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.211 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.956 & 0.621 \\ 1.0 & -0.272 & 0.647 \\ 1.0 & -1.107 & 1.705 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

or  $\begin{cases} I = D_R \cos 33^\circ - D_B \sin 33^\circ \\ Q = D_R \sin 33^\circ + D_B \cos 33^\circ \end{cases}$

where  $D_R = (R - Y) / 1.14$

$D_B = (B - Y) / 2.03$

I: Red 계열, Q: I의 보색 (덜 민감)

# YCbCr 모델

---

- Developed as part of ITU-R BT.601
  - YUV 모델의 디지털 형태 (scaled & offset version)
- 영상 및 비디오 압축(JPEG, MPEG 등)에서 주로 사용
- Y 성분: 휘도(luminance), Cb & Cr 성분: 색차(chrominance)
- 휘도
  - $Y = k_rR + k_gG + k_bB$
- 색차
  - 색도 성분은 R, G, B 성분과 Y 성분의 차이(color difference)로 표현
  - $Cb = B - Y, Cr = R - Y, Cg = G - Y$

## YCrCb 모델

- 명도에 더 민감한 인간 눈을 감안해 YCrCb 컬러 모델 개발
- 명도는 Y, 붉은색 정보를 Cr, 푸른색 정보를 Cb로 기호화
- 눈에 민감한 명도 정보 Y는 그대로 유지. 민감하지 않은 Cr과 Cb 색상 정보는 그 양을 줄여서 사용
- 정지영상 압축 표준 방식인 JPEG와 동영상 압축 표준 방식인 MPEG에서 사용

### RGB → YCrCb 공식

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$Cr = 0.500R - 0.419G - 0.0813B$$

$$Cb = -0.169R - 0.331G + 0.500B$$

### YCrCb → RGB 공식

$$R = 1.000Y + 1.402Cr + 0.000Cb$$

$$G = 1.000Y - 0.714Cr - 0.344Cb$$

$$B = 1.000Y + 0.000Cr + 1.772Cb$$

# YCbCr 모델

- Y는 다음과 같이 표현 가능

$$Y = k_R R + (1 - k_R - k_B) G + k_B B$$

$$C_r = \frac{0.5}{1 - k_r} (R - Y)$$

$$R = \frac{1 - k_r}{0.5} C_r + Y$$

$$C_g = \frac{0.5}{1 - k_g} (G - Y)$$

$$G = \frac{1 - k_g}{0.5} C_g + Y = Y - \frac{2(1 - k_r)k_r}{(1 - k_r - k_b)} C_r - \frac{2(1 - k_b)k_b}{(1 - k_r - k_b)} C_b$$

$$C_b = \frac{0.5}{1 - k_b} (B - Y)$$

$$B = \frac{1 - k_b}{0.5} C_b + Y$$

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$Cb = 0.564(B - Y)$$

$$Cr = 0.713(R - Y)$$

where

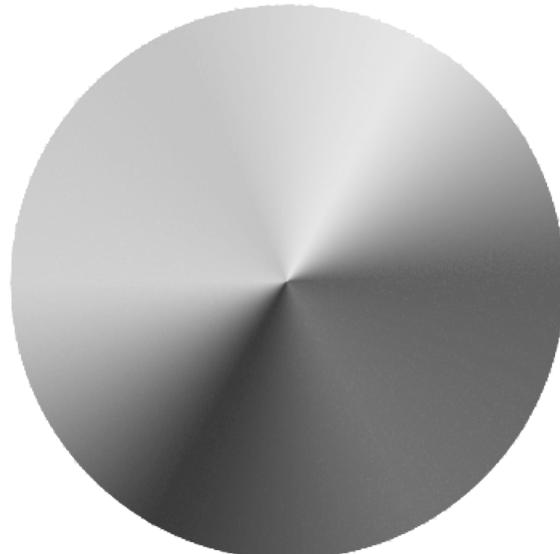
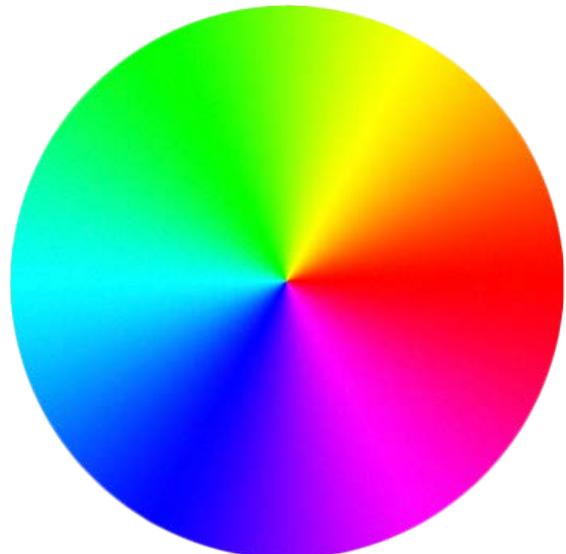
$$k_b = 0.114, k_r = 0.299$$

$$R = Y + 1.402Cr$$

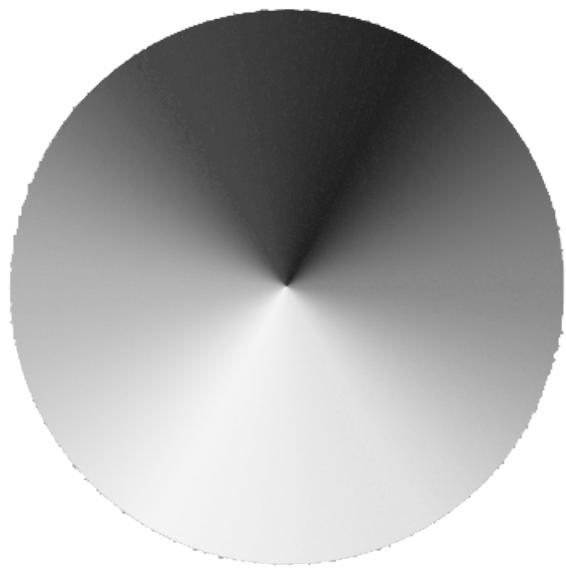
$$G = Y - 0.344Cb - 0.714Cr$$

$$B = Y + 1.772Cb$$

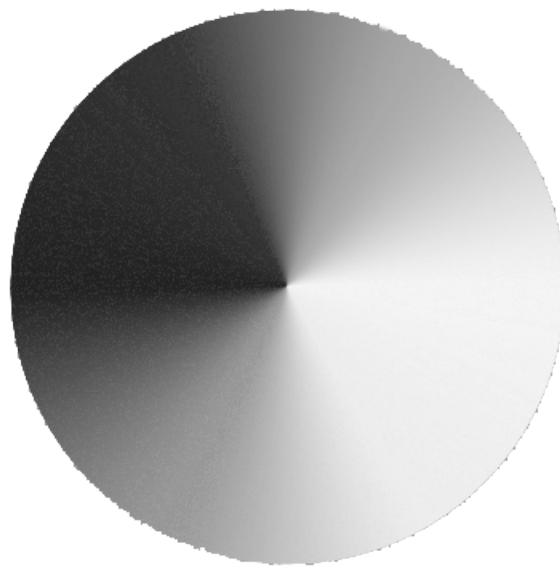
$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.000 & 1.371 \\ 1.000 & -0.337 & -0.698 \\ 1.000 & 1.732 & 0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



Y



Cb



Cr

Y



Cb

Cr

# Lab 모델

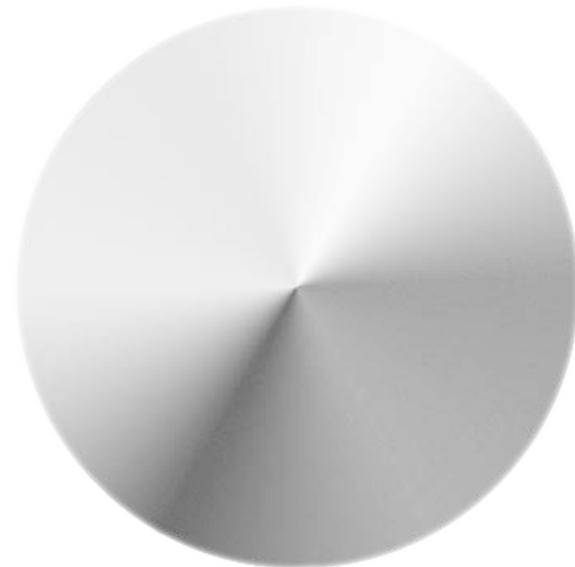
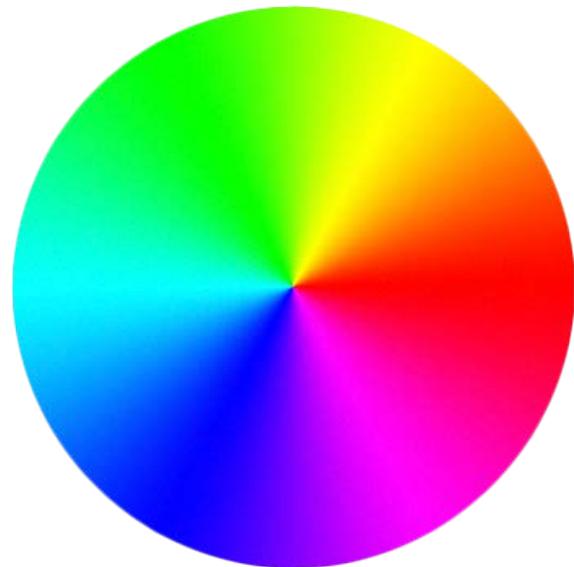
---

- 균일 색 모델(uniform color model)

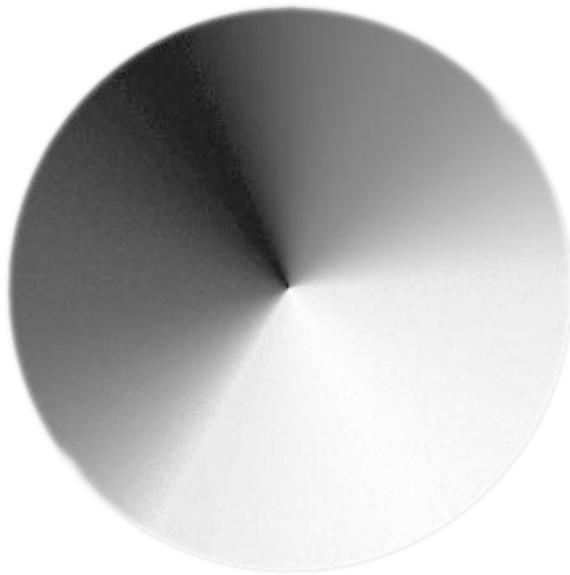
- 색의 차이를 수치적으로 계산할 경우 색 모델에서의 두 색 사이의 거리(distance)를 사용
- 이렇게 계산한 거리와 우리가 시각적으로 인지하는 색의 차이는 일치하지 않음 → 균일 색 모델 사용

- L은 밝기(lightness), a와 b는 색도(chromaticity) 성분

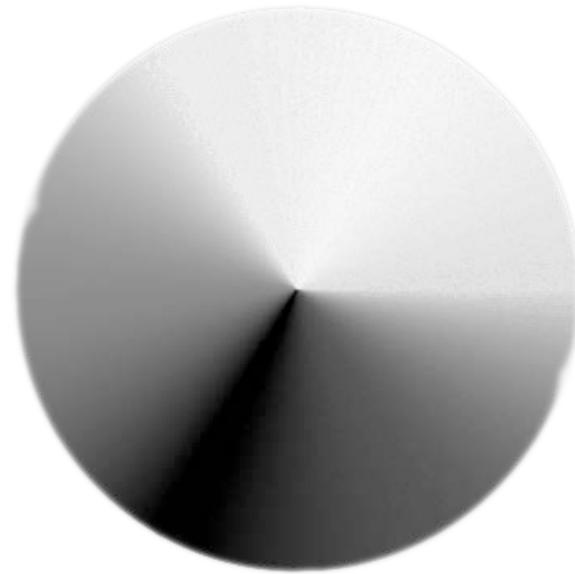
- L은 0에서 100사이의 값을 가지며 0은 검은색, 100은 흰색에 해당
- a는 초록색에서 자홍색 사이의 색을 나타내며 음수 값은 초록색, 양수 값은 자홍색에 해당
- b는 파란색에서 노란색 사이의 색을 나타내며 음수 값은 파란색, 양수 값은 노란색에 해당



L



a

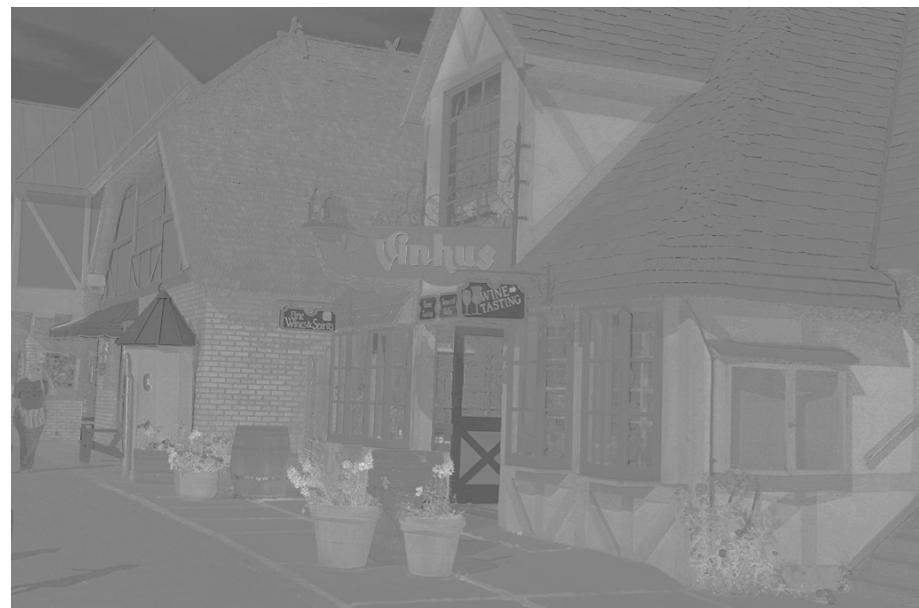


b

L



a



b

# 학습 정리 (1)

---

- 색(color)

- 물체에서 반사되는 빛의 성질에 의해 결정

- 빛(light)

- 전자기파(electromagnetic wave)의 일종이며 매질이 필요 없는 파동으로 다양한 파장(wavelength)으로 구성

- 태양광은 파장에 따라 빛은 가시광선, 적외선, 적외선, 감마선 등으로 구분

# 학습 정리 (2)

---

## ● 눈의 구조

- 모양체, 홍채, 수정체, 망막 등으로 구성
- 빛은 망막을 통해 흡수됨
- 망막에는 원추세포(cone cell)와 간상세포(rod cell)가 존재

## ● 칼라 모델

- 표준적인 방법으로 칼라를 규격화하여 표현하는 방법
- 좌표 체계 내에서 각 칼라가 단일 점으로 표현
- RGB, CMY, HSV, HSL(I), YIQ/YUV, YCbCr, Lab 등

# 참고 문헌

---

- 김성영, **멀티미디어 이론과 실습**, 카오스북, 2014
- R. Gonzalez, R. Woods, **Digital Image Processing (2nd Edition)**, Prentice Hall, 2002



Thank you