


# 10. Illumination Model



Basic illumination models

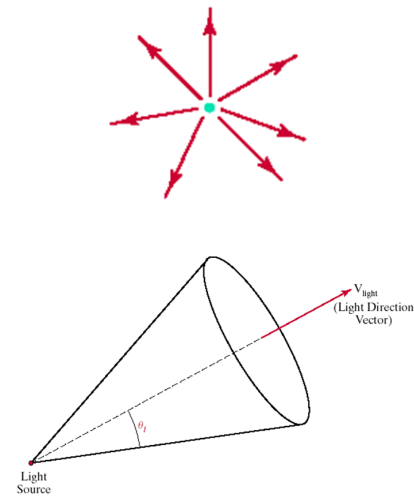
Polygon rendering methods

Global illumination methods

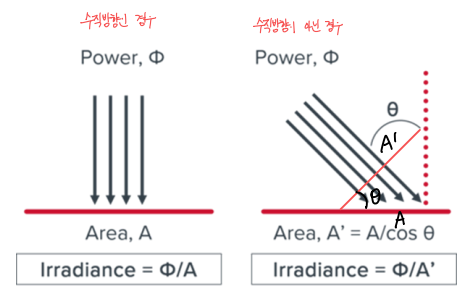
- Ray-tracing

## Basic

- Illumination model:** 픽셀의 색을 정하기 위한 모델
  - light sources
  - material property
  - camera
- Light sources**
  - Point light source
    - 공간 상의 한 점에서 빛이 뿔어져 나옴 = 점 광원
    - (가정) 빛이 같은 세기로 모든 방향으로 일정하게 뿔어져 나간다
    - 공간상의 위치(Position) 과 빛의 색(Color) 이 중요
  - Directional light source
    - 특정 방향으로 빛이 집중되어 비추어지는 형태
    - Light Source의 위치와 빛을 비추는 방향  $\mathbf{V}_{light}$  도 중요
    - 집중 방향을 벗어나면 빛의 세기가 줄어들다가 일정 각도 이상을 벗어나면 빛의 영향이 사라짐  
→ 영향 범위 각도  $\theta_l$ 도 중요
    - 예시: Spotlight, Headlight, Sunlight




- (Light) Intensity I**
  - 빛의 세기 = **Power/unit area** (W/m²)
  - 빛의 진행 방향의 수직 방향으로 센서를 두고 측정
  - 센서의 단위 면적당 단위 시간당 도착하는 에너지 = **irradiance**
  - 만약, 빛이 대각선 방향으로 진행하여 만나는 각이 수직이 아니라면  $\cos \theta$  를 곱해줘야 함 (Cos θ 에 비례해서, 도달하는 에너지가 줄어듦)



$$\cos \theta = \frac{A}{A'}$$

$$= \frac{\varphi}{A} \cos \theta$$



빛의 진행 방향에 수직일 때, 가장 밝음

수직에서 점점 각도가 뒤틀릴 수록, 단위 면적당 받게 되는 에너지도 적어짐

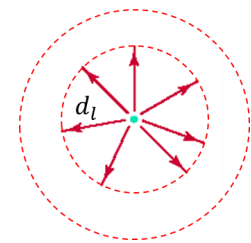
빛의 진행 방향에 평행할 때, 가장 어두움

- RGB color**
  - Intensity 값들로 이루어진 벡터
  - 빛의 3요소 r, g, b 의 Light Intensity 를 측정 → (I\_r, I\_g, I\_b)

## Attenuation

- Attenuation (감쇠): light intensity가 줄어드는 것
- Radial intensity attenuation** (거리)
  - Light source로부터 거리  $d_l$  에 반비례하여 light intensity 가 줄어든다.
  - Point light, directional light 모두에 해당

$$f_{radatten}(d_l) = \frac{1}{a_0 + a_1 d_l + a_2 d_l^2}$$



- Angular intensity attenuation** (각도)
  - Directional light 에만 해당
  - $\mathbf{V}_{light}$  = light 가 집중되는 방향 (Spotlight),  $\mathbf{V}_{obj}$  = light intensity 측정 방향,  $\alpha$  = 끼인각
  - $\alpha$  값이 커지면, light intensity 가 줄어든다.

$$f_{angatten}(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{if } \mathbf{V}_{obj} \cdot \mathbf{V}_{light} = \cos \alpha < \cos \theta_l \\ (\mathbf{V}_{obj} \cdot \mathbf{V}_{light})^{a_l} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$= \cos \alpha \quad (\mathbf{V}_{light}, \mathbf{V}_{obj} : \text{unit vector})$$

↓

크면 빠르게 감쇠  
작으면 느리게 감쇠


light intensity의 방향이 방향을 벗어나면 → 무조건 0

$$\cos \alpha < \cos \theta_l$$

10. Illumination Model

1

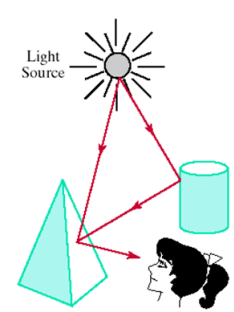
Basic Illumination Models



- Light source, camera, render 물체 3개를 고려해서 물체의 color 값을 결정
- 빛이 물체에 도달하는 방법 (매우 다양한 light path 가 존재)
  - 1. Direct illumination: 빛이 물체에 바로 도달
  - 2. Indirect illumination: 다른 물체에 반사, 굴절

⇒ Exact global illumination 은 매우 많은 계산 필요하므로, **local illumination model** 사용

- Indirect illumination 포기, **direct illumination** 만 고려



Phong model

- 3가지 컴포넌트
  - Ambient light
  - Diffuse reflection
  - Specular reflection

1. Ambient light (주변광):  $I_{amb}$

- Indirect illumination 완전히 포기 하지 않고 근사 사용
  - 가장 간단한 근사 상수값 사용
- 현재 scene 의 다른 surface 로부터 반사에서 만들어짐
- $I_{amb} = k_a I_a$ 
  - $k_a$  = 물체와 관련된 수 (반사도) → material dependent
  - $I_a$  = ambient light intensity (주변광의 색) → light dependent

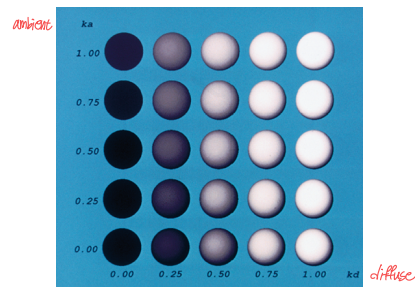
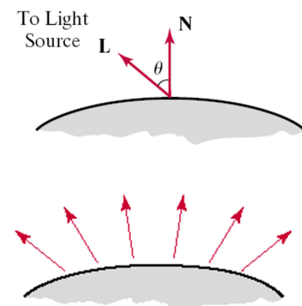
2. Diffuse reflection:  $I_{diff}$

- 물체의 고유색
- (1가지 가정) Lambertian reflector
  - 빛이 물체에 도달하고 반사될 때 모든 방향으로 일정한 세기로 반사된다 = ideal diffuse reflector

$$I_{diff} = \begin{cases} k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) & \text{if } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} > 0 \\ 0 & \text{if } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} \leq 0 \end{cases}$$

$k_d$  diffuse reflectivity (반사계수)  
 $I_l$  light source intensity  
 $\mathbf{N}$  surface normal  
 $\mathbf{L}$  light source direction

- 색을 정하려고 하는 지점의 surface 가 light 의 방향과 수직이 아닐 경우
  - 빛의 세기가  $\cos \theta$  에 비례하여 감소
  - $(\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) = \cos \theta$  가 식에 곱해짐
  - $(\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) = \cos \theta \leq 0 \rightarrow I_{diff} = 0$   
↳ 만약  $90^\circ$  보다 커지는 경우 ⇒ 음수는 빛이 없단 의미로 즉, 0  
( $\cos(90^\circ) = 0$  이하가)



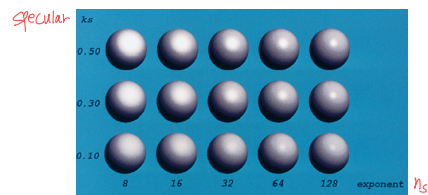
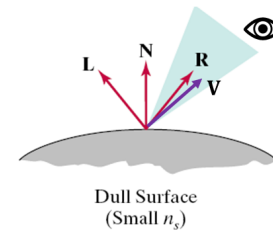
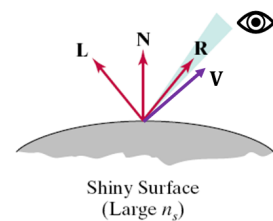
3. Specular reflection:  $I_{spec}$

- highlight 를 모델링
- 입사한 빛이 특정 방향으로 강하게 반사
- L: light 방향 / V: 사용자의 눈 방향 / R: 입사한 빛이 반사된 방향

$$I_{spec} = \begin{cases} k_s I_l (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})^{n_s}, & \text{if } \mathbf{V} \cdot \mathbf{R} > 0 \text{ and } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} > 0 \\ 0, & \text{if } \mathbf{V} \cdot \mathbf{R} < 0 \text{ or } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} \leq 0 \end{cases}$$

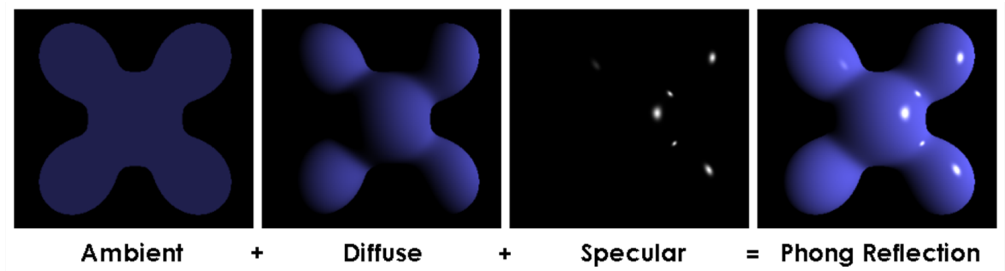
$k_s$  spec. refl. coeff.  
 $I_l$  light source intensity  
 $n_s$  spec. refl. exponent  
 $\mathbf{V}$  view direction  
 $\mathbf{R}$  reflected light direction

- $\mathbf{V}, \mathbf{R}$  사이의 끼인각이 작으면 highlight가 커지고, 끼인각이 크면 highlight 작아짐 ( $\mathbf{V} \cdot \mathbf{R} = \cos \theta$ )
- $n_s$  = dull surface, shiny surface 구분 (어떤 종류의 surface 밖에 대해서 달라짐)
  - $n_s$  가 크면, shiny surface 로  $\theta$  가 작아야 highlight 생김
  - $n_s$  가 작으면, dull surface 로  $\theta$  가 비교적 커도 highlight 생김
- $(\mathbf{V} \cdot \mathbf{R}) = \cos \theta < 0 \rightarrow I_{spec} = 0$  또는  $(\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) \leq 0 \rightarrow I_{spec} = 0$ 
  - 어두운 지역에는 highlight 가 생길 수 없기 때문



Phong Illumination Model

- Phong Model
- 3가지 컴포넌트(Ambient light, Diffuse reflection, Specular reflection) 를 적절하게 섞어서 rendering
- 경험적인 모델



$$k_a I_a + k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) + k_s I_l (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})^{n_s} = I$$

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>k_a</math> ambient reflectivity</li> <li>• <math>I_a</math> ambient light intensity</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>k_d</math> diffuse reflectivity</li> <li>• <math>I_l</math> light intensity</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>k_s</math> specular reflectivity</li> <li>• <math>I_l</math> light intensity</li> </ul>
---	---	--

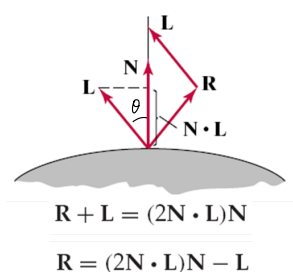
## Blinn Phong Illumination Model

$$k_a I_a + k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) + k_s I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^{n_s} = I$$



Phong model 의 **Specular reflection**  $\mathbf{V} \cdot \mathbf{R}$

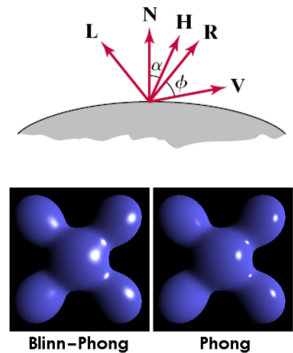
- Rendering surface 의 모든 점에 대해 R 을 계산해야 함 → 계산량 증가, expensive  
⇒  $\mathbf{V} \cdot \mathbf{R}$  대신, **halfway vector**  $\mathbf{H}$  를 사용



### • Blinn's halfway vector (H)

- $\mathbf{V} \cdot \mathbf{R}$  을  $\mathbf{N} \cdot \mathbf{H}$  로 대체
- $\mathbf{H} = (\mathbf{L} + \mathbf{V}) / \|\mathbf{L} + \mathbf{V}\|$
- R 과 V 의 끼인각 대신, N 과 H 의 끼인각  $\alpha$  사용
  - $\alpha$  와  $\Phi$  의 값이 일치한 것은 아니지만, 유사한 경향성 있음
- 사용 이유: L, V 가 변하지 않으면 H 는 변하지 않음
  - H 를 한 번만 계산하고 surface 모든 점에 대해 동일한 H 사용
  - 효율적인 계산과 괜찮은 결과

$$\mathbf{H} = \frac{\frac{\mathbf{L} + \mathbf{V}}{2}}{\|\frac{\mathbf{L} + \mathbf{V}}{2}\|}$$



### • Blinn-Phong Model

- $\mathbf{V} \cdot \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{N} \cdot \mathbf{H}$
- (가정) light source 하나만 있음
  - light source 가 여러 개라면, 각 light source 에 대해 식을 계산하고 합치면 됨

$$I = I_{amb} + I_{diff} + I_{spec} \\ = k_a I_a + k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) + k_s I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^{n_s}$$

$$I = \underbrace{I_{surfemission}}_{\text{소스 발광하는 물체의 강도}} + \underbrace{I_{ambdiff}}_{\text{상수}} + \sum_{l=1}^n \underbrace{f_{l,radatten} f_{l,angatten}}_{\text{각도 효과 상수}} (I_{l,diff} + I_{l,spec})$$

$$I_{l,diff} = \begin{cases} 0.0, & \text{if } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L}_l \leq 0.0 \text{ (light source behind object)} \\ k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}_l), & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{l,spec} = \begin{cases} 0.0, & \text{if } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L}_l \leq 0.0 \\ & \text{(light source behind object)} \\ k_s I_l \max\{0.0, (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H}_l)^{n_s}\}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

## Polygon Shading Methods



Blinn phong model → 물체 위 특정 점의 색 결정

- 점 하나하나에 대해 계산하려면 계산량이 너무 많음
- 무수히 많은 점으로 구성된 다각형 면 에 적용하기 위한 방법  
⇒ 몇 개의 점에 대해서만 illumination model 적용한 후, 적절히 interpolation 해서 나머지를 채움

- 3가지 방법: Flat shading, Gouraud shading, Phong shading

1. Flat shading

- 한 점의 N 으로 I 를 계산한 후, 내부에 모두 같은 색 적용
- 면들이 flat 하게 보임
- Interpolation 하지 않음



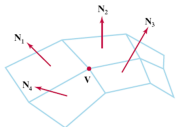
2. Gouraud shading

- Intensity interpolation
- 과정

1 각 꼭짓점에서의 Normal vector N 을 결정

- 사용자가 직접 알려줌
- 모른다면 추정 → 꼭짓점과 인접한 면들의 Normal vector 를 평균

$$\mathbf{N}_V = \frac{\sum_{k=1}^n \mathbf{N}_k}{\left| \sum_{k=1}^n \mathbf{N}_k \right|}$$



$$\mathbf{N}_V = \frac{\mathbf{N}_1 + \mathbf{N}_2 + \mathbf{N}_3 + \mathbf{N}_4}{\| \mathbf{N}_1 + \mathbf{N}_2 + \mathbf{N}_3 + \mathbf{N}_4 \|}$$

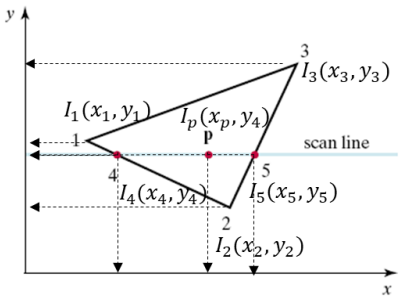
2 각 꼭짓점들에 illumination model 적용해서 intensity 계산 (I1, I2, I3)

3 삼각형 내부 intensity 를 interpolation (2 번의 interpolation, Bi-Linearly interpolate)

- y 축으로 수선을 내려 내분점 I4, I5 계산
- X 축으로 I4, I5 의 내분점 Ip 계산

$$I_4 = \frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} I_1 + \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2} I_2$$

$$I_p = \frac{x_5 - x_p}{x_5 - x_4} I_4 + \frac{x_p - x_4}{x_5 - x_4} I_5$$

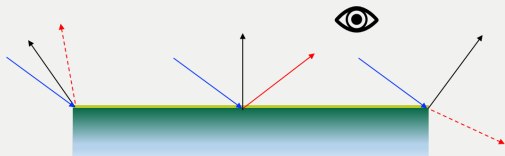


💡 단점

- mach bands: intensity 를 interpolation 하는 과정에서 수학적으로는 자연스럽게 변화하지만 사람의 눈에는 일정 부분에서 색이 잘 연결되지 않음



- highlight 가 묻개지거나 없어짐: 꼭짓점들에 highlight 가 없었던 경우, 꼭짓점을 interpolation 한 가운데의 점들에게도 highlight 가 정상적으로 생기지 않음



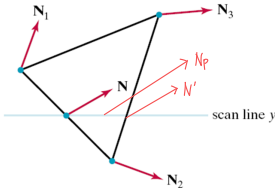
3. Phong shading

- Normal interpolation
- 과정

1 각 꼭짓점에서의 Normal vector N 을 결정

2 구하고자 하는 곳의 Normal vector N 을 interpolation 해서 찾아내기

3 Np 를 illumination model 에 넣어서 전체 다각형 계산

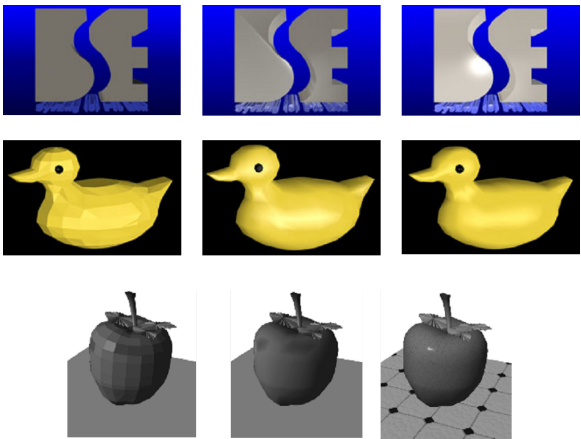


$$\mathbf{N} = \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} \mathbf{N}_1 + \frac{y_1 - y}{y_1 - y_2} \mathbf{N}_2$$

$$I = k_a I_a + k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) + k_s I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^{n_s}$$

💡 단점

- 내부 모든 점을 illumination model model에 대입해서 계산하기 때문에 계산량이 많음



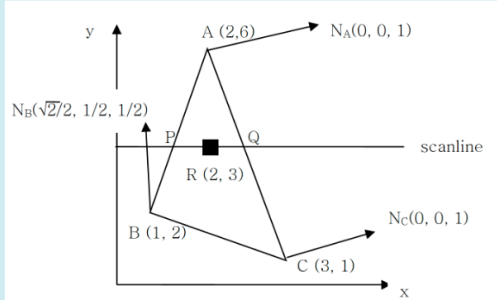
## Quiz) Polygon Shading

Consider the following, simplified Blinn-Phong illumination model:

$$I = \frac{1}{2}(N \cdot L) + \frac{\sqrt{2}}{2}(N \cdot H),$$

where  $N$  is the surface normal vector,  $L$  is the light direction vector,  $H$  is Blinn's half-way vector.

Then, a triangle ABC is given below and projected onto a 2D plane. The vertex normal vectors are given as  $N_A$ ,  $N_B$ ,  $N_C$  and the triangle is about to be rasterized.



A single, directional light is illuminated in the scene and its direction vector is  $L = (-\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$  and the viewing direction of a viewer is  $V = (\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ .

문제 1

정답

출 1.00 점에서

1.00 점 할당

문제 표시

Find Blinn's half-way vector  $H$ .

하나를 선택하세요.

- ☐ a.  $(0, 0, 1)$
- ☐ b.  $(0, -\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2})$
- ☐ c.  $(0, 1, 0)$
- ☒ d.  $(0, \frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2})$

✓

$$L + V = (0, 1, 1), H = \frac{L+V}{\|L+V\|}$$

정답 :  $(0, \frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2})$

$$H = \frac{L+V}{\|L+V\|}$$

$$L+V = (-\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}) + (\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$$

$$= (0, 1, 1)$$

$$\frac{(0, 1, 1)}{\sqrt{1+1}} = (0, \frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2})$$

We want to find the color intensity  $I(2,3)$  of the rasterized point  $R(2,3)$  using Gouraud shading. Since the RGB intensity  $(I_R, I_G, I_B)$  is the same in our simplified illumination model, just any color channel intensity would do.

문제 2

정답

출 1.00 점에서

1.00 점 할당

문제 표시

Find the color intensity  $I_A$  at vertex A.

하나를 선택하세요.

- ☐ a.  $\frac{1}{4}$
- ☐ b. 0
- ☒ c.  $\frac{3}{4}$
- ☐ d.  $\frac{1}{2}$

✓

$$I_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

정답 :  $\frac{3}{4}$

$$N_A = (0, 0, 1), H = (0, \frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2})$$

$$I = \frac{1}{2}(N \cdot L) + \frac{\sqrt{2}}{2}(N \cdot H)$$

$$= \frac{1}{2}(0, 0, 1) \cdot (-\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}) + \frac{\sqrt{2}}{2}(0, 0, 1) \cdot (0, \frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2})$$

$$= \frac{1}{2}(\frac{1}{2}) + \frac{\sqrt{2}}{2}(\frac{\sqrt{2}}{2})$$

$$= \frac{3}{4}$$

문제 3

정답

출 1.00 점에서

1.00 점 할당

문제 표시

Find the color intensity  $I_B$  at vertex B.

하나를 선택하세요.

- ☐ a. 1
- ☐ b.  $\frac{3}{4}$
- ☒ c.  $\frac{1}{2}$
- ☐ d.  $\frac{1}{4}$

✓

정답 :  $\frac{1}{2}$

$$N_B = (\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$$

$$I = \frac{1}{2}(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}) \cdot (-\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}) + \frac{\sqrt{2}}{2}(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}) \cdot (0, \frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2})$$

$$= \frac{1}{2}(0) + \frac{\sqrt{2}}{2}(\frac{\sqrt{2}}{4})$$

$$= \frac{1}{2}$$

문제 4

정답

총 1.00 점에서 1.00 점 할당

문제 표시

Find the color intensity  $I_C$  at vertex C.

하나를 선택하세요.

☐ a.  $\frac{1}{4}$ 
☒ b.  $\frac{3}{4}$ 
☐ c. 0
☐ d.  $\frac{1}{2}$

정답 :  $\frac{3}{4}$

$N_C = (0.0, 1)$   
 $N_A$ 와 같은 Intensity도 같은

문제 5

정답

총 1.00 점에서 1.00 점 할당

문제 표시

Find the point P intersecting the scan line and the edge AB.

하나를 선택하세요.

☐ a.  $(\frac{3}{4}, 3)$ 
☒ b.  $(\frac{5}{4}, 3)$ 
☐ c. (5, 3)
☐ d.  $(\frac{3}{4}, 2)$

$P = \frac{3}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} + \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{5}{4} \\ 3 \end{bmatrix}$   
정답 :  $(\frac{5}{4}, 3)$

$\begin{matrix} 6-y \\ 3 \\ 2 \end{matrix}$ 

A (2, 6)

P

R (2, 3)

X

B (1, 2)

$\frac{A의\ 전체\ 범위}{전체\ 범위} + \frac{B의\ 범위}{전체\ 범위}$   
 $\frac{6-3}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} + \frac{3-2}{4} \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \end{bmatrix}$   
 $= \frac{3}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} + \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \end{bmatrix}$   
 $= \begin{bmatrix} \frac{5}{4} \\ 3 \end{bmatrix}$

문제 6

정답

총 1.00 점에서 1.00 점 할당

문제 표시

Find the color intensity  $I_P$  at point P.

하나를 선택하세요.

☒ a.  $\frac{9}{16}$ 
☐ b. 1
☐ c.  $\frac{3}{4}$ 
☐ d.  $\frac{2}{3}$

$I_P = \frac{3}{4} I_B + \frac{1}{4} I_A = \frac{9}{16}$   
정답 :  $\frac{9}{16}$

$I_P = \frac{3}{4} I_B + \frac{1}{4} I_A$   
 $= \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$   
 $= \frac{3}{8} + \frac{3}{16} = \frac{9}{16}$

문제 7

정답

총 1.00 점에서 1.00 점 할당

문제 표시

Find the point Q intersecting the scan line and the edge AC.

하나를 선택하세요.

☐ a.  $(\frac{5}{4}, 3)$ 
☐ b.  $(\frac{5}{4}, 2)$ 
☒ c.  $(\frac{13}{5}, 3)$ 
☐ d.  $(\frac{13}{5}, 2)$

$Q = \frac{2}{5} \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{3}{5} \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{13}{5} \\ 3 \end{bmatrix}$   
정답 :  $(\frac{13}{5}, 3)$

$\begin{matrix} 6-y \\ 3 \\ 2 \end{matrix}$ 

A (2, 6)

Q

R (2, 3)

C (3, 1)

$\frac{6-3}{5} \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{3-1}{5} \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \end{bmatrix}$   
 $= \frac{2}{5} \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{2}{5} \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \end{bmatrix}$   
 $= \begin{bmatrix} \frac{13}{5} \\ 3 \end{bmatrix}$

문제 8

정답

총 1.00 점에서 1.00 점 할당

문제 표시

Find the color intensity  $I_Q$  of point Q.

하나를 선택하세요.

☐ a.  $\frac{2}{3}$ 
☒ b.  $\frac{3}{4}$ 
☐ c.  $\frac{1}{2}$ 
☐ d.  $\frac{9}{16}$

$I_Q = \frac{3}{5} I_C + \frac{2}{5} I_A = \frac{3}{4}$   
정답 :  $\frac{3}{4}$

$I_Q = \frac{3}{5} I_C + \frac{2}{5} I_A$   
 $= \frac{3}{5} \times \frac{3}{4} + \frac{2}{5} \times \frac{3}{4}$   
 $= \frac{3}{4}$

문제 9

정답

총 1.00 점에서 1.00 점 할당

문제 표시

Find the color intensity of point R(2,3) using  $I_P$ ,  $I_Q$ .

하나를 선택하세요.

☒ a.  $\frac{2}{3}$ 
☐ b.  $\frac{1}{3}$ 
☐ c. 1
☐ d.  $\frac{2}{5}$

$I(2, 3) = \frac{5}{9} I_Q + \frac{4}{9} I_P = \frac{2}{3}$   
정답 :  $\frac{2}{3}$

P

Q

R (2, 3)

( $\frac{5}{4}, 3$ )

( $\frac{13}{5}, 3$ )

$2 - \frac{5}{4} = \frac{3}{4}$ 
 $\frac{13}{5} - 2 = \frac{3}{5}$ 
 $\frac{13}{5} - \frac{5}{4} = \frac{27}{20}$

$\frac{\frac{3}{4}}{\frac{27}{20}} I_Q + \frac{\frac{3}{5}}{\frac{27}{20}} I_P$   
 $= \frac{5}{9} \times \frac{3}{4} + \frac{4}{9} \times \frac{9}{16}$   
 $= \frac{2}{3}$

10. Illumination Model

6