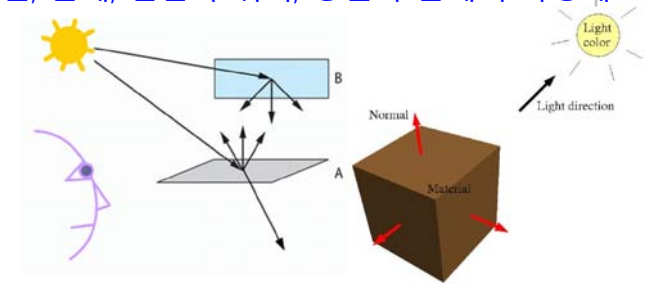


# Lighting & Shading

514780  
2017년 가을학기  
11/9/2017  
단국대학교 박경신

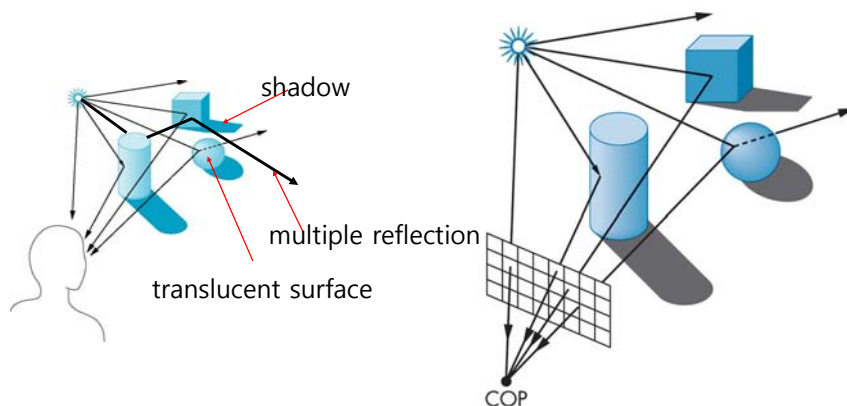
## Lighting

- 광원 (Lighting source)에서 출발
- 물체 표면에서
  - 흡수 (Absorption)
  - 반사 (Reflection)
  - 투과 (Transmission) 또는 굴절 (Refraction)
- 물체를 본다는 것은 우리 눈으로 입사하는 빛에 의함
- 물체색: 광원, 물체, 관찰자 위치, 광원과 물체의 특성에 의해 결정



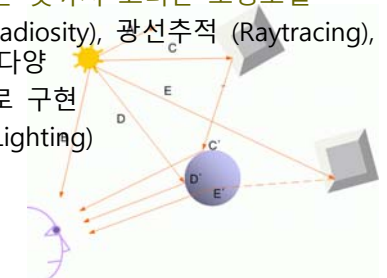
## Lighting Model

- 물리학에 기반을 둔 렌더링 방정식 - 매우 복잡함.



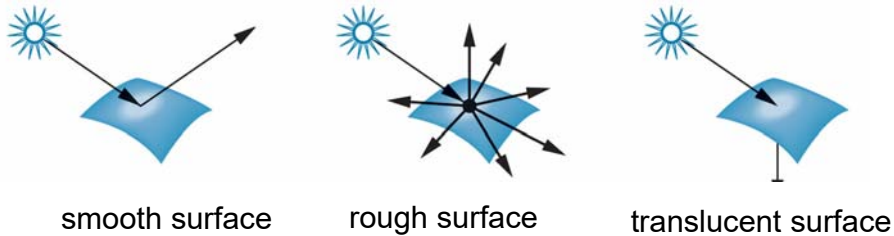
## Lighting Model

- 직접 조명 모델 (Direct Illumination Model)
  - 물체 표면의 점들이 장면 내의 모든 광원 들로부터 직접적으로 받는 빛을 다루는 조명모델
  - 계산량이 적기 때문에 주로 전통적인 실시간 렌더링 기법에 사용됨
  - Phong reflection model
- 전역 조명 모델 (Global Illumination Model)
  - 다른 물체에서 반사되어 입사되는 빛까지 고려한 조명모델
  - 전역 조명 기법은 라디오시티 (Radiosity), 광선추적 (Raytracing), 포톤 맵핑 (Photon mapping)등 다양
  - 최근 실시간 GPU 프로그래밍으로 구현 가능한 반구 조명 (Hemisphere Lighting)



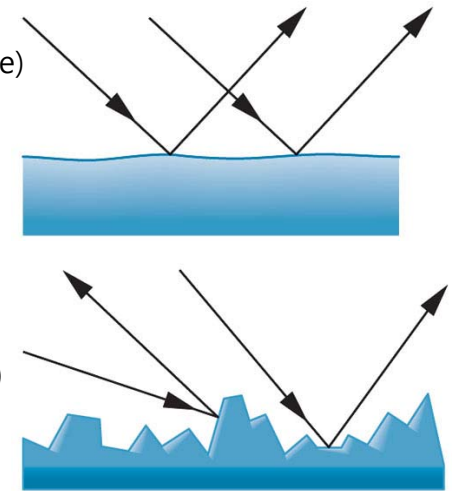
## Light-Material Interactions

- 정반사면 (Specular surface)
  - Smooth surface에서는 반사광의 대부분이 반사각에 가까운 좁은 범위로 산란되기 때문에 반짝임. 거울은 완전 정반사면임.
- 난반사면 (Diffuse surface)
  - Rough surface에서는 반사광이 모든 방향으로 산란되는 특징을 가짐
- 반투명면 (Translucent surface)
  - Translucent surface에서는 일부의 빛이 표면을 관통하여 객체의 다른 위치로 나옴. 굴절 (refraction) 과정은 유리나 물과 같은 특성을 가짐.



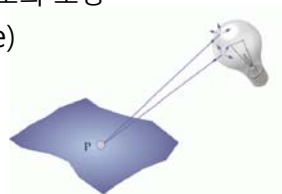
## Light-Material Interactions

- 완전 정반사면 (Perfectly Specular surface)  
= very smooth surface
- 완전 난반사면 (Perfectly Diffuse surface)  
= very rough surface



## Light Source

- 환경/주변광원 (Ambient Light Source)
  - 장면의 모든 점에서 균일한 광도의 조명
- 면적광원 (Area Light Source)



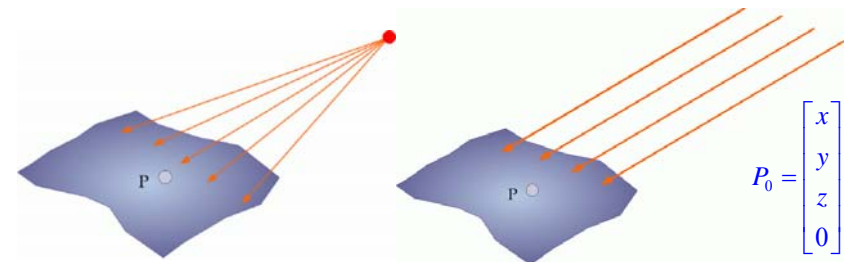
- 점광원 (Point Light Source)
  - 한 점을 중심으로 주변으로 퍼져나가는 빛
  - 빛이 반사될 표면과의 거리의 제곱에 비례하여 밝기가 감소

$$I(P) \propto \frac{I(P_0)}{|P - P_0|^2}$$

$$P_0 = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

## Light Source

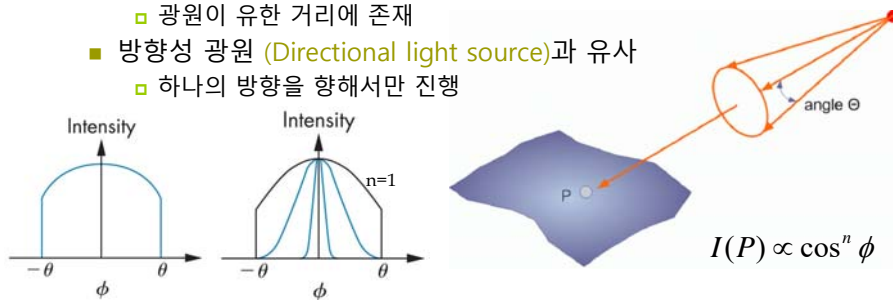
- 위치성 광원 (Positional Light Source)
  - 옴니라이트 (Omni Light), 빛이 모든 (Omni) 방향으로 방사형 (Radial Direction)으로 진행
  - 광원의 위치가 중시됨. 근거리 광원
- 방향성 광원 (Directional Light Source)
  - 빛이 물체면을 향하여 일정한 방향으로 진행
  - 거리에 상관없이 빛의 방향이 중시됨. 원거리 광원. 평행광원.



## Light Source

### □ 점적광원 (Spot Light Source)

- 점광원의 특수한 형태로 원뿔과 같이 일정한 범위로 빛을 발하는 광원. **집중광원**.
- 광원의 위치, 빛을 발하는 중심 방향과 범위의 설정이 필요함
- 만약  $\theta=180$ 도이면 점광원 (Point light source)이 됨
- 위치성 광원 (Positional light source)과 유사
  - 빛이 방사형으로 진행
  - 광원이 유한 거리에 존재
- 방향성 광원 (Directional light source)과 유사
  - 하나의 방향을 향해서만 진행



## Lighting Model

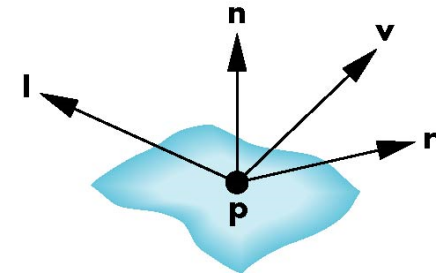
### □ Phong Reflection Model

#### □ 다음 3가지 광-재질 상호작용을 지원함

- 주변광반사 (Ambient reflection)
- 난반사 (Diffuse reflection)
- 정반사 (Specular reflection)

#### □ 다음 4가지 벡터를 사용함

- Source (P)
- Viewer (V)
- Normal (N)
- Perfect reflector (R)

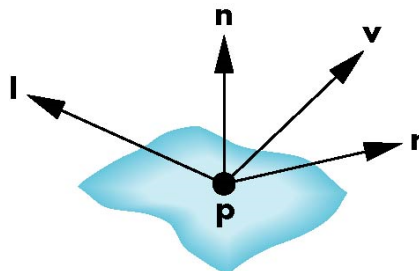


## Angle of Incidence

### □ 입사각 (Angle of Incidence)

- 광원벡터(L)와 법선벡터(N)가 이루는 각

$$N \cdot L = \|N\| \|L\| \cos \theta = (1)(1) \cos \theta = \cos \theta$$



## Angle of Reflection

### □ 반사각 (Angle of Reflection)

- 법선과 빛이 반사되는 방향 사이의 각도

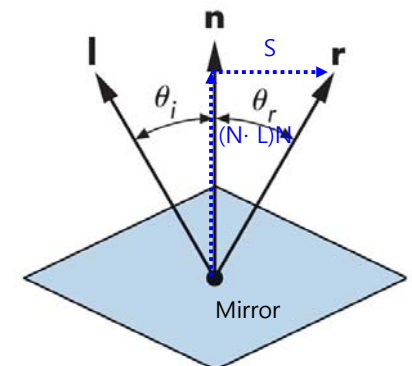
$$\theta_i = \theta_r$$

$$R = (N \cdot L)N + S$$

$$L = (N \cdot L)N - S$$

$$\Rightarrow S = (N \cdot L)N - L$$

$$\Rightarrow R = 2(L \cdot N)N - L$$



Projecting  $L$  onto  $N = (L \cdot N)N$  when  $\|N\| = 1$

## Indices of Refraction

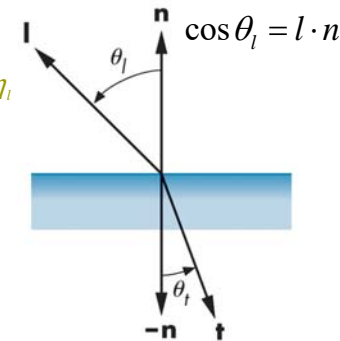
### 굴절 (Refraction)

- 빛이 반투명 재질을 투과하는 표면
- 두 개의 다른 재질에서 빛은 굴절 (refraction)
- $\eta_i, \eta_t$  = 굴절률 (the indices of refraction of two materials)

Snell's law:  $\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{\eta_t}{\eta_i} = \eta$

$$\cos \theta_t = \sqrt{1 - \frac{1}{\eta^2} (1 - \cos^2 \theta_i)}$$

$$T = -\frac{1}{\eta} L - \left( \cos \theta_t - \frac{1}{\eta} \cos \theta_i \right) N$$



Perfect light transmission

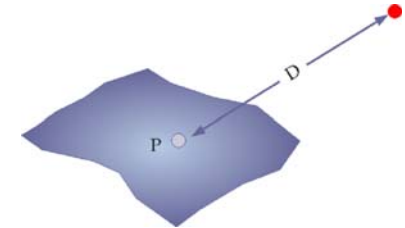
## Ambient Reflection

- 광원에 직접 노출되지 않는 면에 밝기를 부여
- 모든 빛의 경로를 추적하기 어려움
  - 면마다 상수 크기의 밝기를 추가
  - 전역 조명모델 효과를 근사적으로 부여

$$\text{Ambient Reflection} = K_a I_a$$

$I_a$ : 광원의 주변광 세기

$K_a$ : 주변광 계수 ( $0 \leq K_a \leq 1$ )

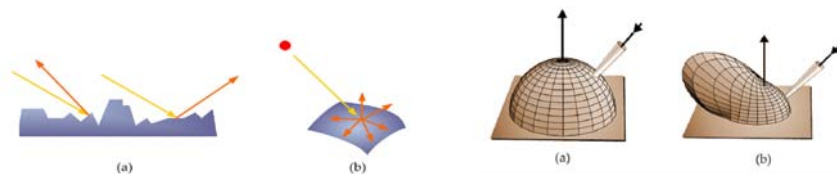


## Diffuse Reflection

### 난반사에 해당

### 완벽 확산체 (Perfect diffuser)와 방향성 확산체 (Directional diffuser)

- 방향성 확산체
  - 확산 방향에 시점이 있다면 물체가 더욱 밝게 보여야 함.
- 완벽 확산체
  - 지역조명 모델의 그래픽 처리를 단순화하기 위해서 완벽 확산체를 가정



## Diffuse Reflection

### 물체면이 서 있는 방향에 따라 다름

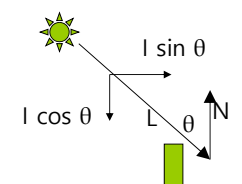
- 랬버트 법칙 (Lambertian Law)
  - 입사각: 광원벡터와 법선벡터의 사이각
  - 면의 밝기는 입사각의 코사인에 정비례

$I_d$ : 광원의 확산광 세기

$K_d$ : 확산광 계수

$$\text{Diffuse Reflection} \propto \cos \theta$$

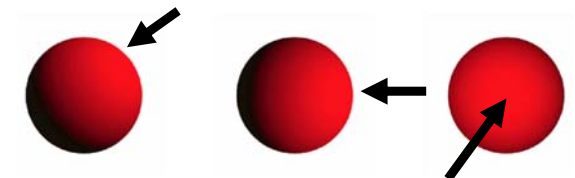
$$\text{Diffuse Reflection} = K_d I_d \cos \theta = K_d I_d (N \cdot L)$$



Light vector  
Surface normal vector

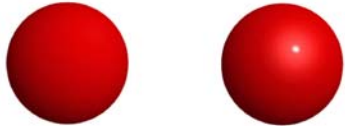
### 면이 서 있는 방향에 따라 차등적 밝기

- 입체감 부여

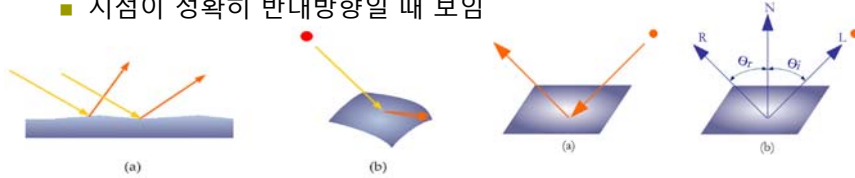


## Specular Reflection

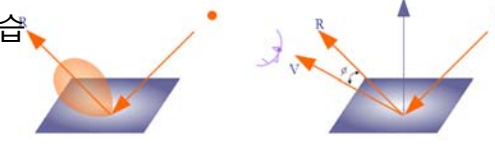
- 경면광: 반질반질한 표면에서 반사되는 빛
  - 정반사(Specular reflection)에 의함
  - 물체의 색이 아니라 광원의 색
  - 주변광과 확산광: 광원의 색이 물체의 색과 상호작용
  - 확산광      확산광+경면광

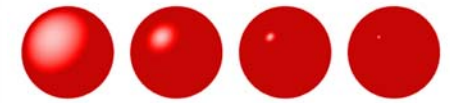
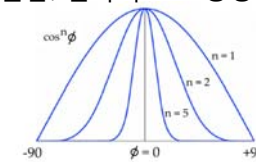


- 기본적으로 입사각과 반사각이 동일
  - 시점이 정확히 반대방향일 때 보임



## Specular Reflection

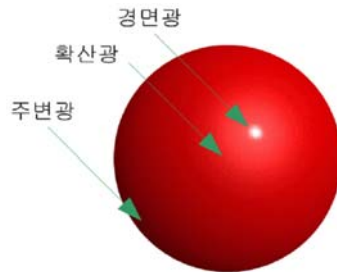
- 실제로는 Lobe 모습
 
- 쏜 반사모델
  - 광택계수 (shininess coefficient)를 통하여 시점 방향이 정반사 방향에서 벗어남에 따라 반사되는 빛의 세기가 약해지는 속도를 조절함. 결과적으로 생성되는 하이라이트 크기를 결정.



$$\text{Specular Reflection} = K_s I_s (\cos \phi)^n = K_s I_s (R \cdot V)^n$$

Shininess  
View vector  
Reflection vector

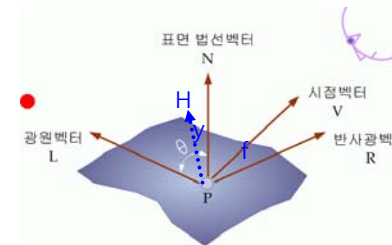
## Direct Illumination Model



$$I = \boxed{K_a I_a} + \boxed{K_d I_d (N \cdot L)} + \boxed{K_s I_s (R \cdot V)^n}$$

Ambient reflection      Diffuse reflection      Specular reflection

## Halfway Vector [Blinn]



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

$$\text{Specular Reflection} = K_s I_s (\cos \psi)^n = K_s I_s (N \cdot H)^n$$

Shininess  
Halfway vector  
Normal vector

where  $2\psi = \phi$

When  $N \cdot L > 0, H = 1$

When  $N \cdot L \leq 0, H = 0$

## Light Attenuation

- 광원과 물체간의 거리에 따른 밝기 조절을 원할 경우

$$I = K_a I_a + f_{att}(d) \{ K_d I_d (N \cdot L) + K_s I_s (N \cdot H)^n \}$$

$$f_{att}(d) = \frac{1}{d^2}$$

$$f_{att}(d) = \frac{1}{k_0 + k_1 d + k_2 d^2}$$

$$f_{att}(d) = \min \left( \frac{1}{k_0 + k_1 d + k_2 d^2}, 1 \right)$$

## Multiple Light Sources

- 광원이 여러 개 있을 경우

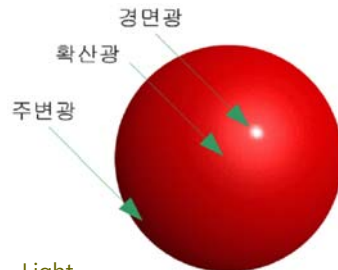
$$I = K_a I_a + \sum_{i=0}^{m-1} f_{att}(d) \{ K_d I_d (N \cdot L) + K_s I_s (N \cdot H)^n \}$$

- 방출조명 (Emissive illumination)  $I_e = E$

- 특정한 물체들은 빛을 반사할 뿐만 아니라 빛을 뿜기도 하는데 이를 방출 조명이라 한다. 단순히 방출 조명의 색을 더해주면 된다.

$$I = K_a I_a + \sum_{i=0}^{m-1} f_{att}(d) \{ K_d I_d (N \cdot L) + K_s I_s (N \cdot H)^n \} + E$$

## Direct Illumination Model



$$I = K_a I_a + \sum_{i=0}^{m-1} f_{att}(d) \{ K_d I_d (N \cdot L) + K_s I_s (N \cdot H)^n \} + E$$

Ambient reflection      Diffuse reflection      Specular reflection      Emissive light

OpenGL에서는 H를 사용하는 modified Phong model (또는 Blinn model) 사용

## Shading

- 셰이딩(Shading)이란 음영 또는 표면 렌더링 (Surface rendering) - 물체 면의 색을 부여하는 것으로 래스터 과정에서 이루어짐
- Flat shading - 주어진 하나의 다각형 전체를 동일한 색으로 칠함
- Gouraud shading - 정점의 색을 보간
- Phong shading - 정점의 색 대신 정점의 법선벡터를 보간 OpenGL에서 제공하지 않음

## Flat Shading

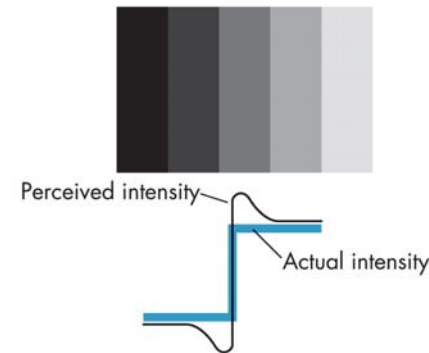
- 주어진 하나의 다각형 전체를 동일한 색으로 칠함. 빠르고 간단함.
- 상수 셰이딩 (Constant shading), 깎은 면 셰이딩 (facet shading)
- 다각형을 구성하는 다각형 정점의 위치를 평균하여 중심점 (Centroid)를 구함
- 중심점에서의 법선벡터, 광원벡터, 시점벡터를 기준으로 조명모델이 가해지며 그 결과 색이 면 내부를 모두 채움

glShadeModel (GL\_FLAT);



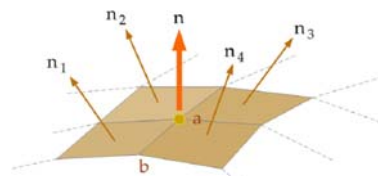
## Mach Band Effect in Flat Shading

- 마하 밴드 효과 (Mach Band Effect)
  - 경계선 부근에서 명암이 대조를 이루어 어둡고 밝은 띠(Band)가 형성
  - 메쉬 사이의 경계선이 필요 이상으로 뚜렷해짐
  - 일종의 착시현상



## Gouraud Shading

- 다각형 내부를 서로 다른 색으로 채우는 방법
- 정점의 색을 보간
  - 정점의 법선벡터를 요함 - 인접면의 법선벡터를 평균하여 구함
  - 정점의 색으로부터 내부면의 색을 선형보간
- 경면광을 감안하지 않음
  - 실제적인 정점의 법선벡터와 근사적으로 계산된 법선벡터가 완전히 일치하지 않기 때문

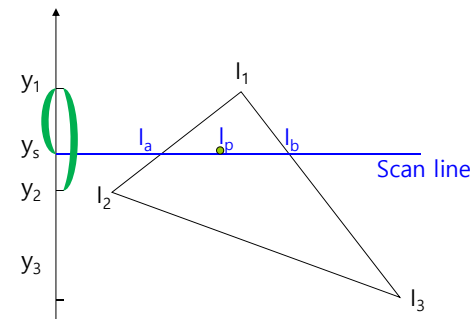


glShadeModel (GL\_SMOOTH);

$$n = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4}{|n_1 + n_2 + n_3 + n_4|}$$

## Gouraud Shading

- Gouraud shading에서 보간된(interpolated) color값 계산
  - 시작점과 끝점의 밝기를 미리 계산해 두고, 그 사이의 밝기를 두 밝기의 가중평균으로 구한다



$$I_a = I_1 - (I_1 - I_2) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_2}$$

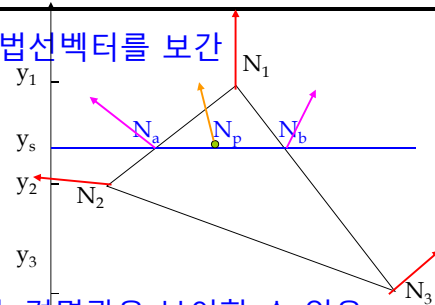
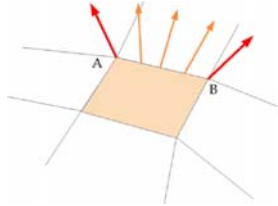
$$I_b = I_1 - (I_1 - I_3) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_3}$$

$$I_p = I_b - (I_b - I_a) \frac{x_b - x_p}{x_b - x_a}$$

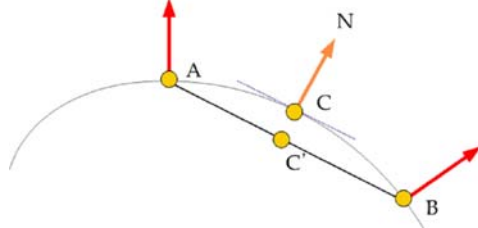


## Phong Shading

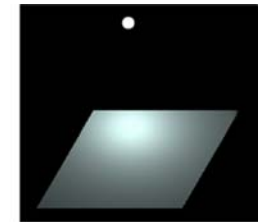
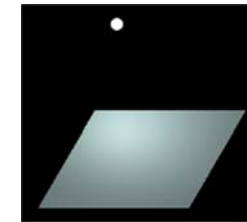
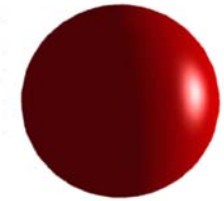
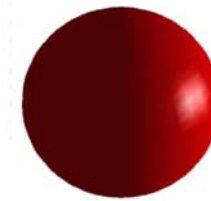
- 정점의 색 대신 정점의 법선벡터를 보관



- 곡면의 기울기가 복원됨. 경면광을 부여할 수 있음.



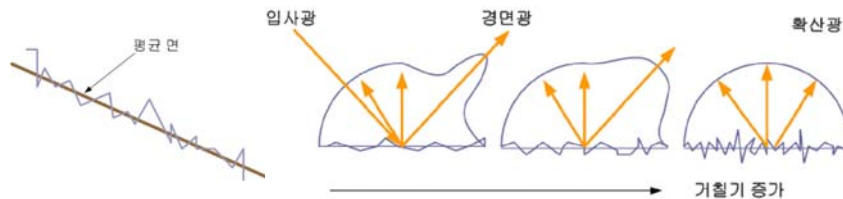
## Flat, Gouraud, and Phong Shading



## Microfacet Model

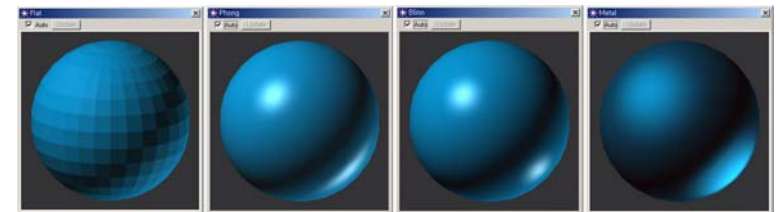
- 표면의 거칠기(roughness)를 모델링

- 평균면의 방향을 기준으로
- 표면의 거칠기라는 매개변수를 사용해서 미세표면의 굴곡이나 모양을 조절



## Microfacet Model

- Flat, Phong, Blinn, Cook-Torrance Shading



- Blinn

- Phong과 유사. 경면광 성분이 더욱 부드럽게 퍼져나감. 광원이 거의 물체면과 나란히 예각으로 입사한 것과 유사

- Cook-Torrance (메탈 셰이딩)

- 금속표면의 은은한 경면광 처리에 유리
- 풍 모델: 플라스틱 재질 처리에 유리  $I_{specular} = K_s I_s (\hat{N} \cdot \hat{H})^\beta$