

컴퓨터 그래픽스

5. 조명 모델

2025년 2학기

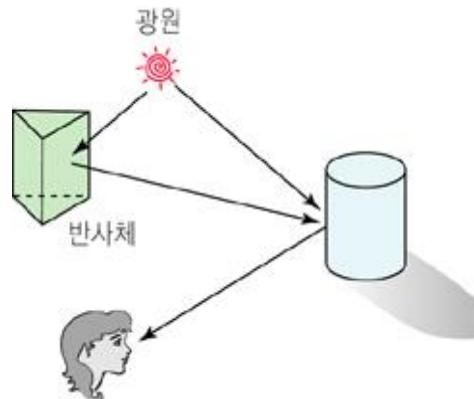
학습 내용

- 조명 모델
 - 산란 반사
 - 거울 반사
- 다각형 쉐이딩
 - 균일 쉐이딩
 - Gouraud 쉐이딩
 - Phong 쉐이딩

조명 모델

- 조명 모델, 밝기 모델 (Lighting Model)

- 한 점에서의 색상과 명암: 그 점의 위치, 방향, 면의 재질에 따라 결정
- 조명 모델: 한 점에서의 명암과 색상을 정하는 광학적 모델
- 실 세계에서 물체를 보려면
 - 광원(조명의 원천): 주변 조명, 점광원
 - 반사체: 빛을 반사하는 물체
- 물체 표면에서는
 - 흡수 (Absorption)
 - 반사 (Reflection): 객체 표면이 성질의 재질에 따라 산란반사, 거울반사 현상
 - 굴절(Refraction) 또는 투과 (Transmission): 투명한 물체
- 물체의 색은 광원, 물체, 관찰자 위치, 광원과 물체의 특성에 의해 결정된다.



조명 모델

- 조명의 종류

- 주변 조명, 배경 조명 (Ambient light, Background light)

- 물체가 놓인 위치에 상관 없이 모든 물체에 균일하게 비추어지는 조명

- 점 광원 (Point Light Source)

- 위치와 방향을 가진 광원, 산란반사와 거울반사를 동시에 발생

- 점광원에 노출되어 있는 객체는 더 많은 빛을 반사 → 어떤 면은 밝게 보이고 어떤 면은 어둡게 보인다.

- 점광원 종류: 태양, 전구, 플래시 라이트, 형광등 등...

- 빛이 반사될 표면과의 거리의 제곱에 비례하여 밝기 감쇠

- 점광원에 의해 발생되는 반사

- 산란반사 (Diffuse Reflection)

- » 반사된 빛을 모든 방향으로 고르게 산란

- » 관측자의 위치에 무관, 물체의 표면이 점광원을 향하고 있는 방향과 점광원까지의 거리에 의해서만 영향을 받는다.

- 거울반사 (Specular Reflection)

- » 한 방향으로 많은 빛을 반사

- » 관찰자의 눈이 반사 방향과 일치하게 되면 빛이 많이 반사된 부분은 매우 밝게 보인다. (하이라이트)

- 그림자 (Shadow)

조명 모델

- **표면의 성질**

- 물체 표면의 반사양은 광원의 밝기와 위치, 물체 표면이 놓인 방향에 영향을 받는다.
 - 또한, 표면의 고유 색상과 재질, 광택의 정도(Shining or Dull)에 따라서도 결정된다.
 - 그리고, 물체 표면의 투명도 및 빛의 반사도 같은 표면의 성질도 반사되는 빛에 영향을 준다.
 - 3차원 객체의 밝기나 색상 → 광원에 대한 정보, 객체 표면의 재질과 특성으로 결정
 - 광원에 대한 데이터:
 - 주변조명의 밝기, 산란반사와 거울반사를 만드는 점광원의 밝기
 - 객체 표면의 재질과 특성:
 - 주변조명과 산란반사의 반사계수, 거울반사를 일으키는 표면 물질의 특성 및 광택의 정도

산란 반사 (Diffuse Reflection)

- 산란반사
 - 주변조명에 의한 산란반사
 - 물체가 놓인 위치에 상관없이 모든 물체에 균일하게 비추어지는 조명
 - 점광원에 의한 산란반사
 - 총 산란 반사량 = (주변조명에 의한 산란반사량) + (점광원에 의한 산란반사량)
 - 산란반사의 특징
 - 광원에 의한 빛의 반사량이 관찰자의 위치에 관계없다.

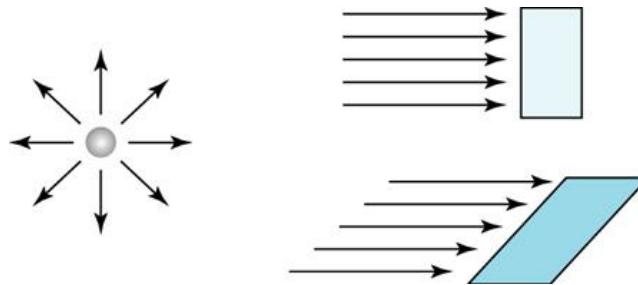
산란 반사 (Diffuse Reflection)

- 주변 조명에 의한 산란 반사
 - 물체가 놓인 위치에 상관없이 모든 물체에 균일하게 비추어지는 조명
 - $I = K_a I_a$, $0 < K_a < 1$
 - I_a : 주변 조명의 밝기
 - K_a : 주변조명 반사계수, 물체의 표면이 입사된 빛을 반사하는 정도. 표면을 이루는 고유 물질에 따라 다르다

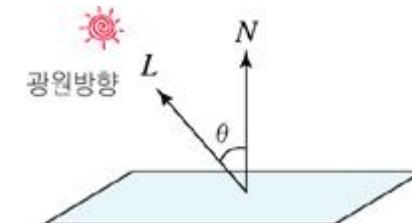
산란 반사 (Diffuse Reflection)

- 점광원에 의한 산란반사**

- 표면에서 점광원까지의 거리와 빛의 투사각에 영향을 받는다



- 물체의 표면이 광원을 향하여 정면으로 향하고 있을 때 가장 많은 빛을 받게 되고, 비스듬하게 놓인 경우에는 상대적으로 적은 양의 빛을 받게 된다.
 - 램버트의 코사인 법칙:
 - 표면이 받는 빛의 양은 $\cos\theta$ 에 비례한다.
 - $\cos\theta = \mathbf{N} \cdot \mathbf{L}$
 - » N: 표면의 법선벡터 (정규벡터)
 - » L: 광원의 방향벡터 (정규벡터)



산란 반사 (Diffuse Reflection)

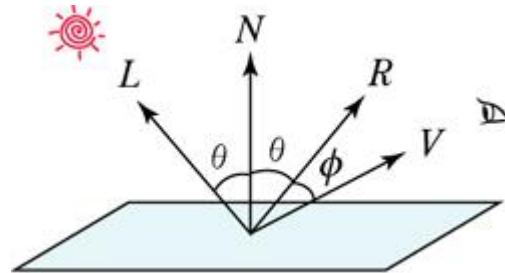
- 점광원에 의한 산란반사량: I
 - $I = \frac{I_p}{d} \cdot K_d \cdot \cos\theta = \frac{I_p}{d} \cdot K_d \cdot (N \cdot L)$
 - I_p : 광원의 밝기
 - K_d : 표면의 산란반사 계수
 - d : 표면에서 광원까지의 거리
 - N : 표면의 법선벡터
 - L : 광원의 방향벡터

- **Lambert 의 조명 모델**
 - 주변 조명의 산란반사 + 점광원의 산란반사
 - $I = K_a I_a + \frac{I_p}{d} \cdot K_d \cdot (N \cdot L)$

거울 반사 (Specular Reflection)

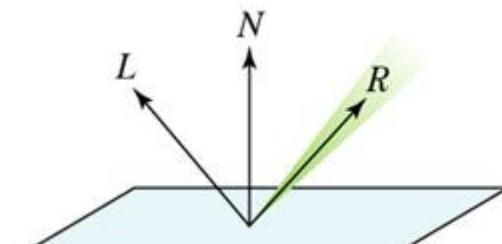
• 거울반사

- 점광원에 의해 발생하는 현상
- 빛이 광택이 나는 표면에 입사될 때 관찰자가 빛의 입사각과 거의 같은 반사각 부근에 위치할 경우, 입사된 빛의 전부를 인식

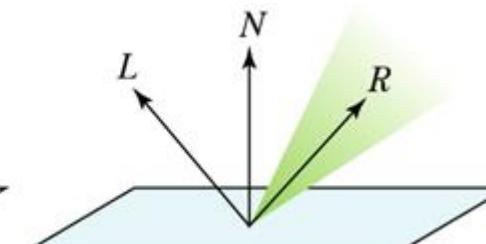


L: 빛의 입사 방향
N: 법선 벡터
R: 빛의 반사 방향
V: 관찰자 위치
 ϕ : V와 R 사이의 각도, ϕ 가 0도에 가까울수록 거울반사량이 증가

- 반짝이는 표면일수록 거울반사가 일어날 수 있는 반사의 범위가 좁다



반짝거리는 표면의 반사 범위



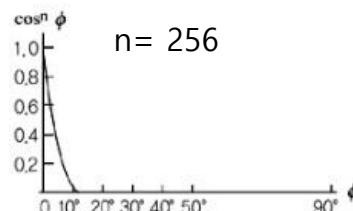
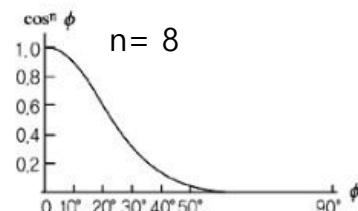
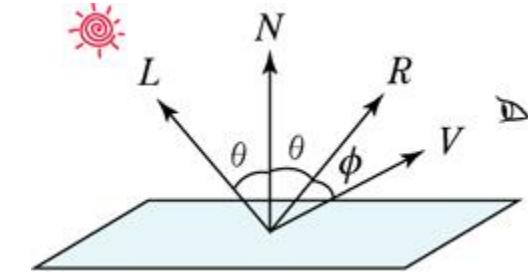
반짝거리지 않는 표면의 반사 범위

거울 반사 (Specular Reflection)

- Phong의 거울반사

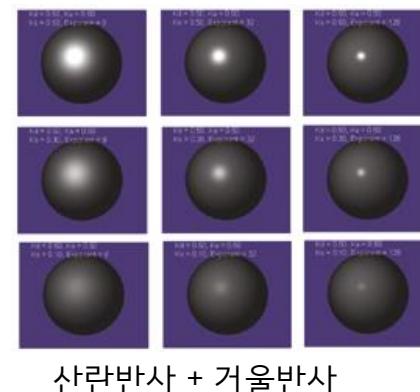
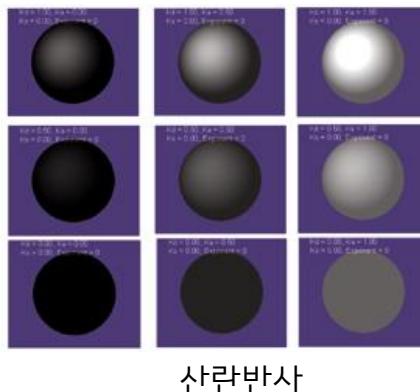
- $- I = \frac{I_p}{d} K_s \cdot \cos^n \Phi = \frac{I_p}{d} K_s \cdot (V \cdot R)^n$

- I_p : 광원의 밝기
- d : 광원에서 표면까지의 거리
- K_s : 표면 물질의 특성과 빛의 입사각 θ 에 의해 결정하는 거울반사계수
 - 반짝이는 물질일수록 거울반사 계수의 값이 크다
- V : 관찰자의 위치
- R : 빛의 반사 방향
- Φ : V 와 R 사이의 각도
- n : 표면의 광택 정도에 따라 정해지는 값
 - 광택이 많이 있는 표면: n 의 값이 크다
 - 광택이 전혀 없는 표면: n 의 값이 적다
 - $\cos^n \Phi$ 은 0과 1 사이의 값을 가지므로 n 의 값이 클 경우 $\cos^n \Phi$ 의 값은 급격히 줄어들게 된다.



거울 반사 (Specular Reflection)

- Phong의 조명 모델
 - 주변 조명과 점광원에 의한 산란반사와 거울 반사를 모두 합하면, 표면의 한 점에서의 총 밝기는
 - $I = K_a I_a + \frac{I_p}{d} [K_d (N \cdot L) + K_s (V \cdot R)^n]$
 - 광원까지의 거리가 멀면 $\rightarrow N \cdot L (= \cos\theta)$ 은 표면의 위치에 상관없이 일정한 값을 가진다.
 - 관측자의 위치가 멀면 $\rightarrow V \cdot R (= \cos\Phi)$ 은 일정값을 가지게 된다.

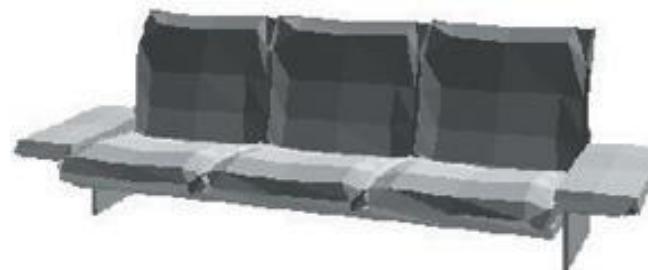
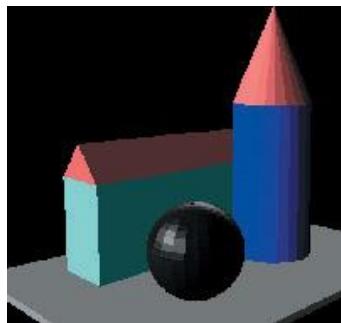


Phong
베트남 태생의 컴퓨터 그래픽스 연구원
(1942 ~ 1975)

다각형 쉐이딩 기법

- **균일 쉐이딩 (Constant Shading, Flat Shading)**

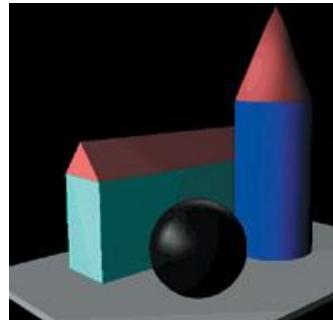
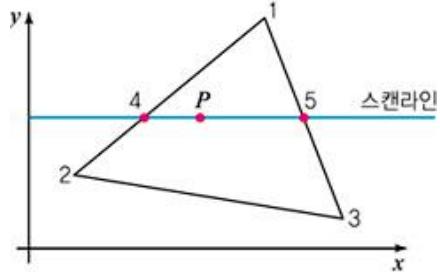
- 3차원 객체의 한 면을 일정한 색상이나 명암으로 표현
- 객체 자체가 다면체인 경우는 대체적으로 비교적 양호함
- 계산이 간단하지만 현실감이 떨어짐
 - 폴리곤의 경계에서 계단 효과



다각형 쉐이딩 기법

• Gouraud 쉐이딩

- 각 꼭지점의 밝기 값의 선형 보간
- Flat shading에서의 intensity discontinuity를 제거함
- 다각형의 정점에서의 명암/밝기 계산 → Linear interpolation



$$I_4 = \left(\frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} \right) * I_1 + \left(\frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2} \right) * I_2, \quad I_p = \left(\frac{x_5 - x_p}{x_5 - x_4} \right) * I_4 + \left(\frac{x_p - x_4}{x_5 - x_4} \right) * I_5$$

x: 각 점의 x 좌표, y: 각 점의 y 좌표

- 어떤 경우 Highlight가 변칙적인 모양으로 나타나는 경우가 있다.
 - Mach Band 효과

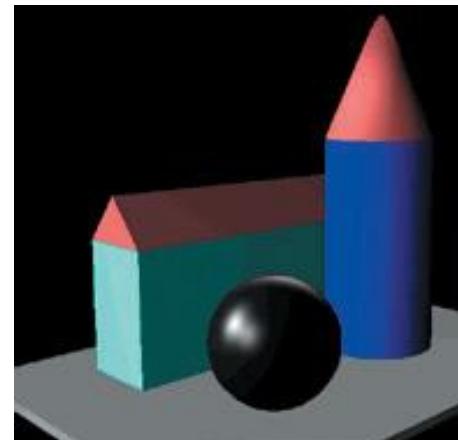
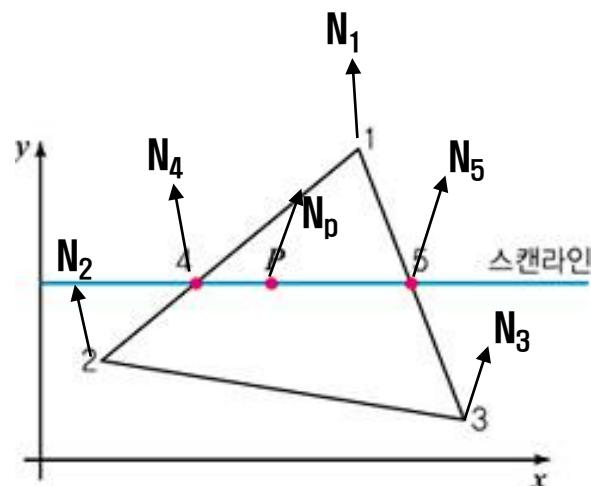


Gouraud
프랑스의 컴퓨터 과학자
(1944년)

다각형 쉐이딩 기법

- **Phong Shading**

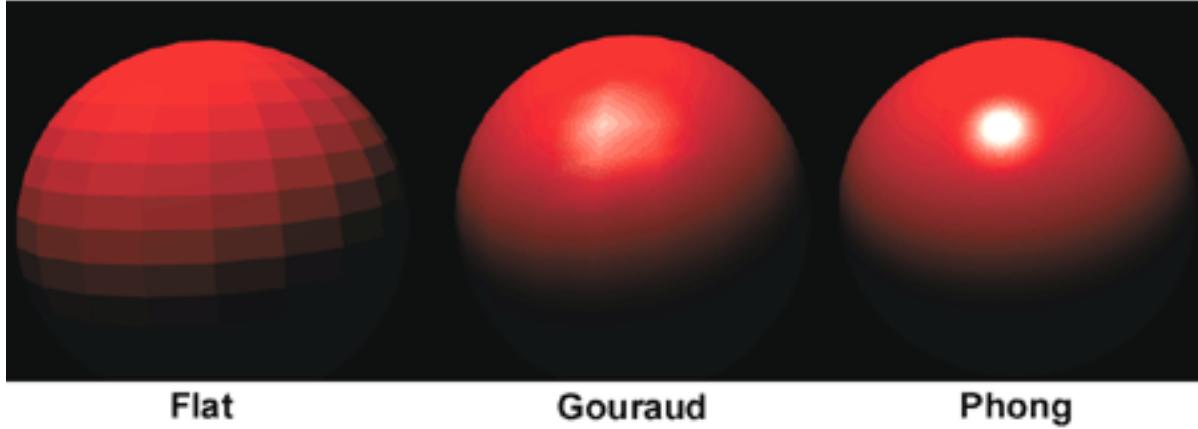
- 법선 벡터의 선형 보간
- 거울반사(Highlight)가 실감나게 보인다 (Mach Band 효과를 크게 줄임).
- 계산시간이 오래 걸림(각 점에서 법선 벡터의 근사치를 이용하여 명암/밝기를 계산)



$$N_p = \left(\frac{x_5 - xp}{x_5 - x_4} \right) * N_4 + \left(\frac{x_p - x_4}{x_5 - x_4} \right) * N_5$$

쉐이딩 예제

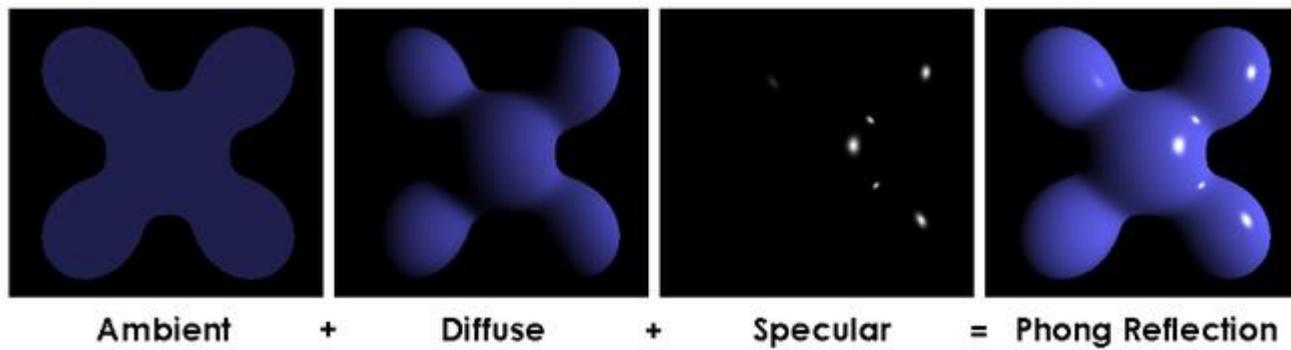
From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 2001 Intergraph Computer Systems



Flat

Gouraud

Phong



Ambient

+

Diffuse

+

Specular

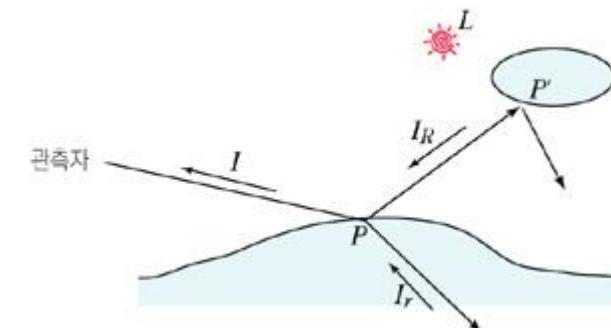
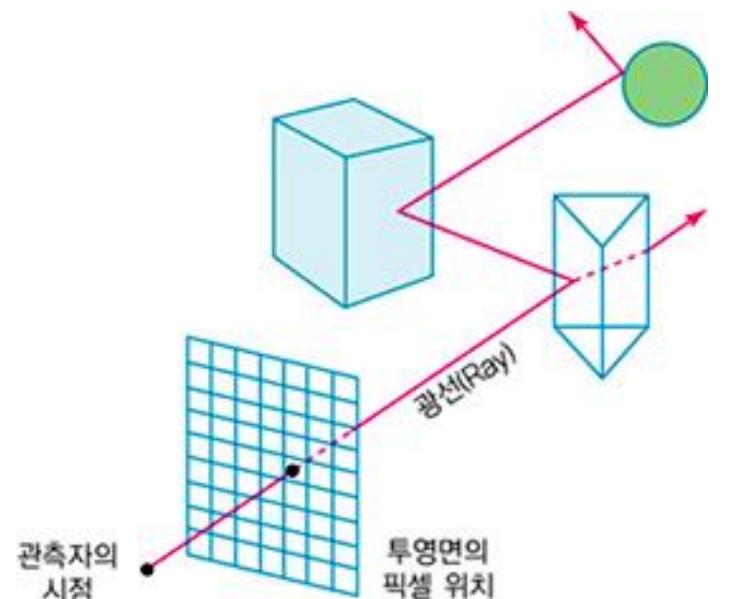
=

Phong Reflection

광선 추적법

- **광선 추적법 (Ray Tracing)**

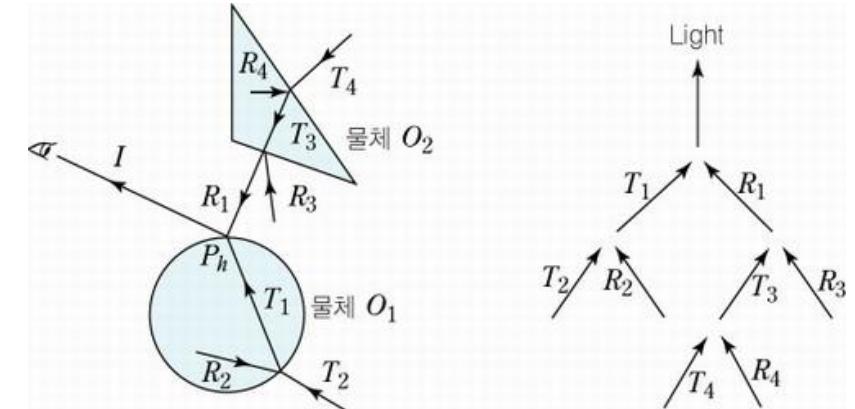
- 광원에서 나온 빛이 물체에 투사되면 일부는 반사되고 일부는 굴절된다.
- 반사된 빛은 다시 물체를 만나 반사, 굴절 과정을 거친다.
- 이러한 과정을 통해 투영면의 각 픽셀 위치에 도달하는 모든 빛이 합해져서 최종적인 빛의 밝기를 결정한다.
 - 주변 조명, 산란반사, 거울반사, 반사광, 굴절광 등을 합해서 결정
 - $I = I_{\text{amb}} + I_{\text{diff}} + I_{\text{spec}} + I_{\text{refl}} + I_{\text{refr}}$



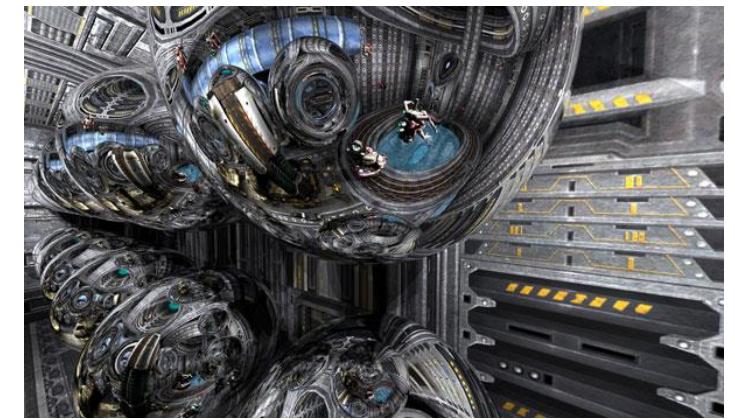
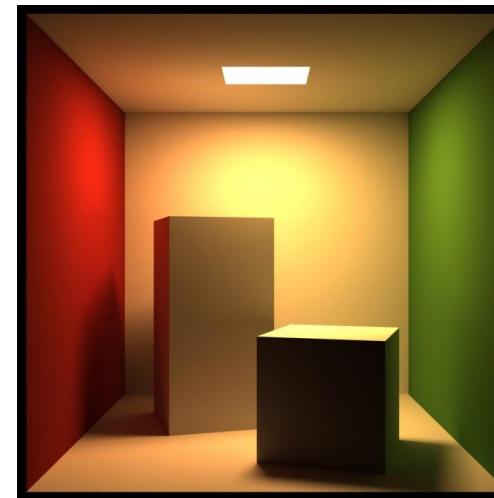
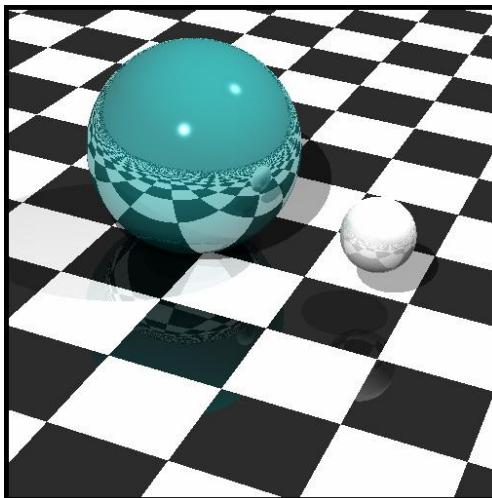
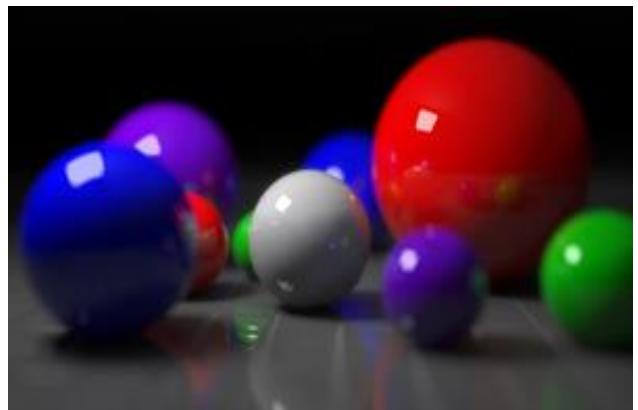
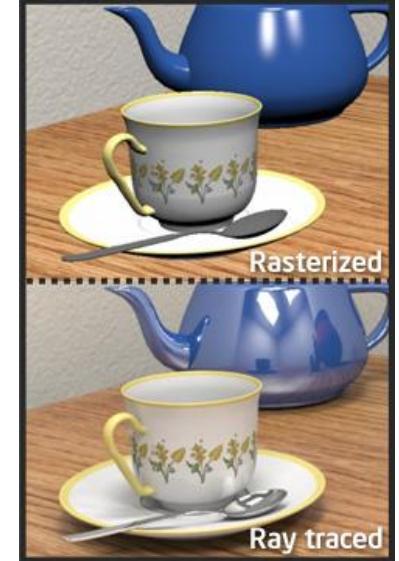
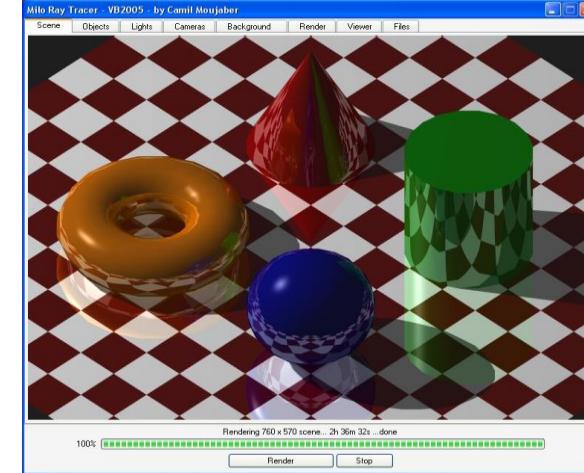
I_R, I_r : 2차 광선

광선 추적법

- 물체 O_1 상의 점 P_h 에서 빛의 밝기는
 - 주변 조명, 점광원에 의한 산란반사 및 거울반사의 합
 - 반사광 R_1 과 굴절광 T_1 에 의해 야기되는 빛의 성분
 - 빛 R_1 은 광선과 굴절광 T_3 에 의해 야기되는 빛의 합
- 광선 추적 과정의 종료 조건:
 - 광선이 어떤 물체와도 만나지 않는 경우
 - 광선이 광원과 만나는 경우
 - 반사와 굴절의 회수가 지정회수보다 많아질 경우
 - 반사 및 굴절에 의한 빛의 세기가 임계값 이하가 될 경우
- 은면 제거와 그림자 생성 등을 동시에 처리
- 광선 추적법은 매우 우수하고 현실감 있는 결과를 얻지만 많은 계산시간이 요구된다.



광선 추적법



광선 추적법 (Ray Tracing)을 적용하여 생성된 렌더링 효과

이번 주에는

- 조명 모델
- 다음에는
 - 3차원 기하변환
 - 3차원 투명 및 뷔잉