

# 컴퓨터 그래픽스

## 5. 조명 모델

2025년 2학기

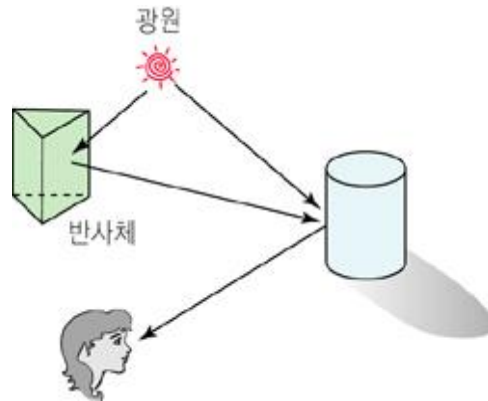
# 학습 내용

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

# 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 감소
- 점광원에 의해 발생하는 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 반사량은 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

- $I = K_a I_a$ ,  $0 < K_a < 1$

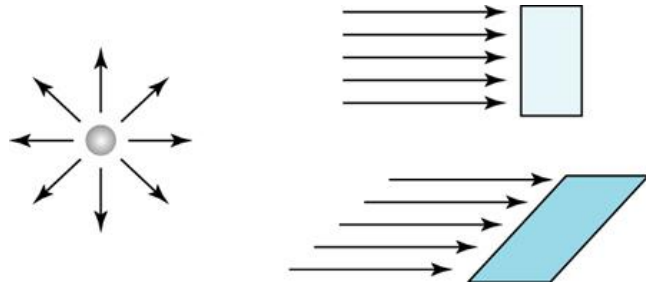
- $I_a$ : 주변 조명의 밝기

- $K_a$ : 주변조명 반사계수, 물체의 표면이 입사된 빛을 반사하는 정도. 표면을 이루는 고유 물질에 따라 다르다

# 산란 반사 (Diffuse Reflection)

## • 점광원에 의한 산란반사

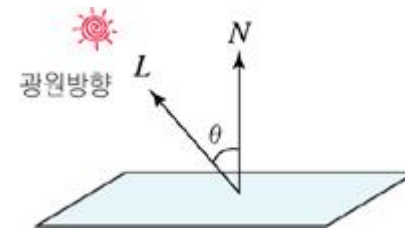
- 표면에서 점광원까지의 거리와 빛의 투사각에 영향을 받는다



- 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**

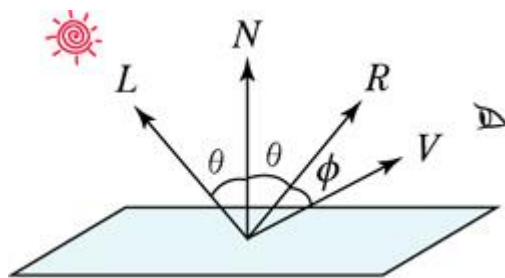
– 주변 조명의 산란반사 + 점광원의 산란반사

- $I = K_a I_a + \frac{I_p}{d} \cdot K_d \cdot (N \cdot L)$

# 거울 반사 (Specular Reflection)

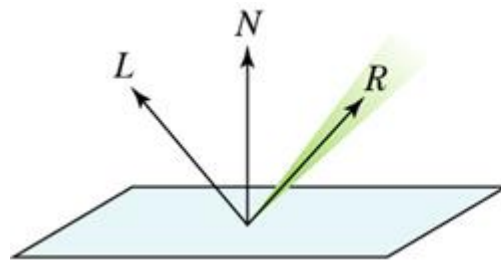
## • 거울반사

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

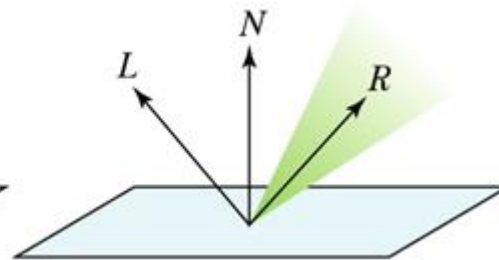


L: 빛의 입사 방향  
N: 법선 벡터  
R: 빛의 반사 방향  
V: 관찰자 위치  
 $\phi$ : V와 R 사이의 각도,  $\phi$ 가 0도에 가까울수록 거울반사량이 증가

- 반짝이는 표면일수록 거울반사가 일어날 수 있는 반사의 범위가 좁다



반짝거리는 표면의 반사 범위



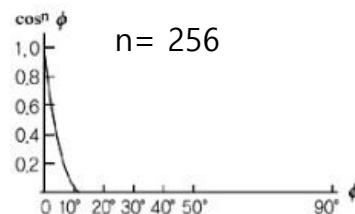
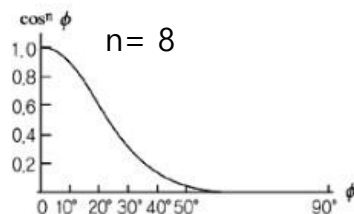
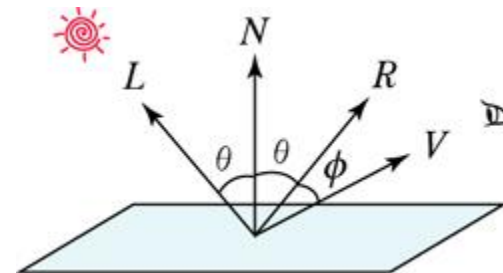
반짝거리지 않는 표면의 반사 범위

# 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  $\theta$ 에 의해 결정하는 거울반사계수
  - 반짝이는 물질일수록 거울반사 계수의 값이 크다
- $V$ : 관찰자의 위치
- $R$ : 빛의 반사 방향
- $\Phi$ :  $V$ 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)

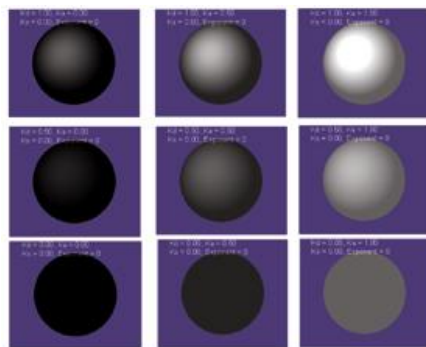
- Phong의 조명 모델

- 주변 조명과 점광원에 의한 산란반사와 거울 반사를 모두 합하면, 표면의 한 점에서의 총 밝기는

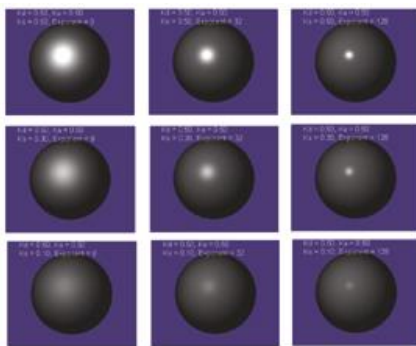
- $$I = K_a I_a + \frac{I_p}{d} [K_d (N \cdot L) + K_s (V \cdot R)^n]$$

- 광원까지의 거리가 멀면  $\rightarrow N \cdot L (= \cos\theta)$  은 표면의 위치에 상관없이 일정한 값을 가진다.

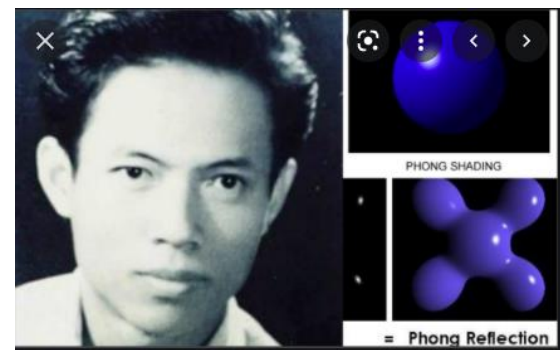
- 관측자의 위치가 멀면  $\rightarrow V \cdot R (= \cos\phi)$  은 일정값을 가지게 된다.



산란반사



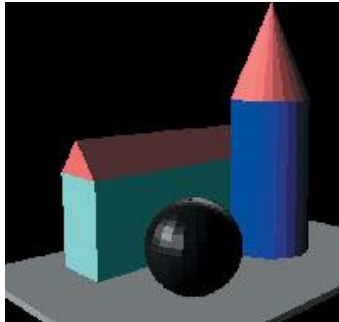
산란반사 + 거울반사



Phong  
베트남 태생의 컴퓨터 그래픽스 연구원  
(1942 ~ 1975)

# 다각형 셰이딩 기법

- **균일 셰이딩 (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



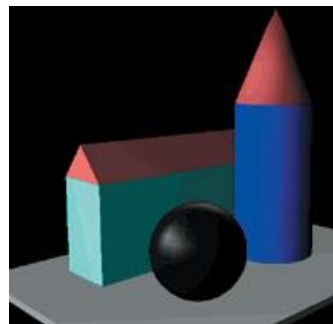
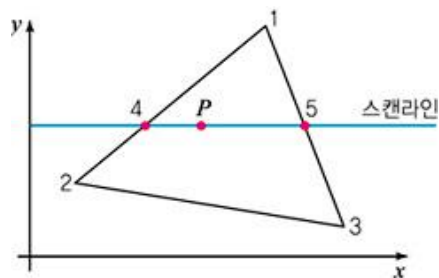
# 다각형 셰이딩 기법

- **Gouraud 셰이딩**

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



Gouraud  
프랑스의 컴퓨터 과학자  
(1944년)



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

x: 각 점의 x 좌표, y: 각 점의 y 좌표

- 어떤 경우 Highlight가 변칙적인 모양으로 나타나는 경우가 있다.

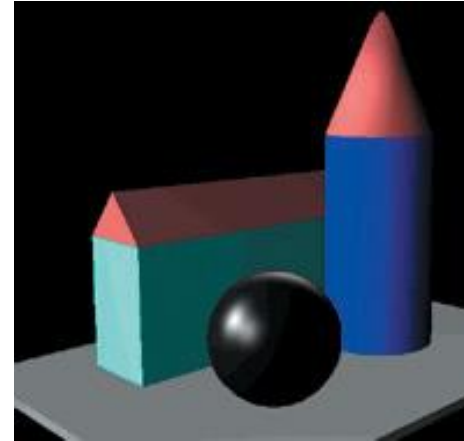
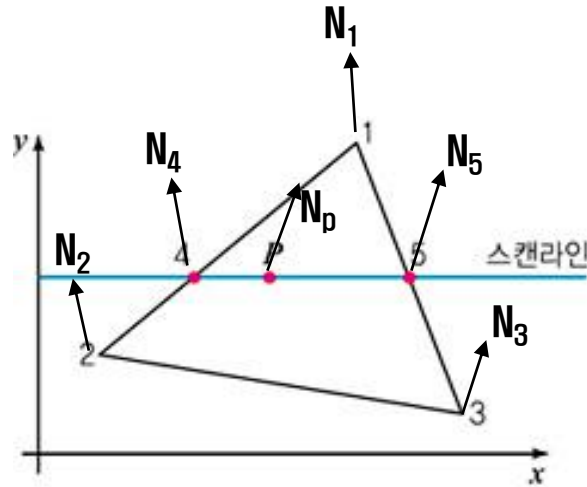
- Mach Band 효과



# 다각형 셰이딩 기법

- **Phong Shading**

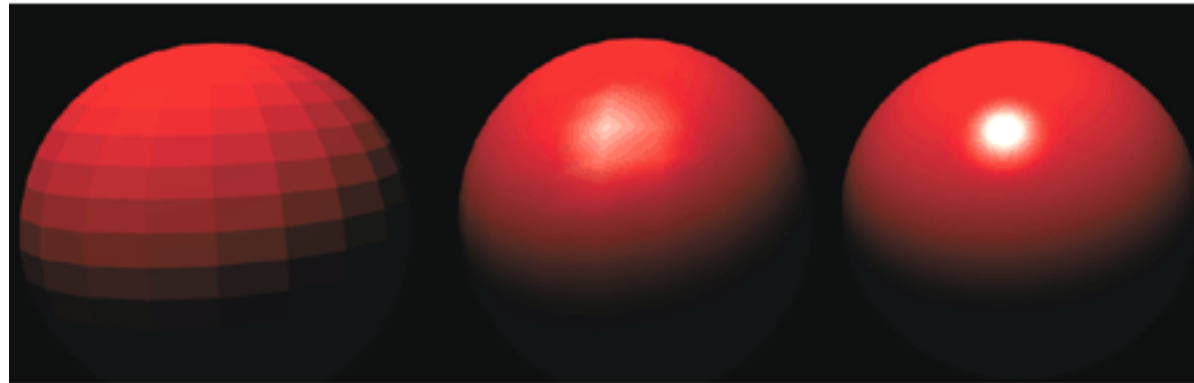
- 법선 벡터의 선형 보간
- 거울반사(Highlight)가 실감나게 보인다 (Mach Band 효과를 크게 줄임).
- 계산시간이 오래 걸림(각 점에서 법선 벡터의 근사치를 이용하여 명암/밝기를 계산)



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

# 쉐이딩 예제

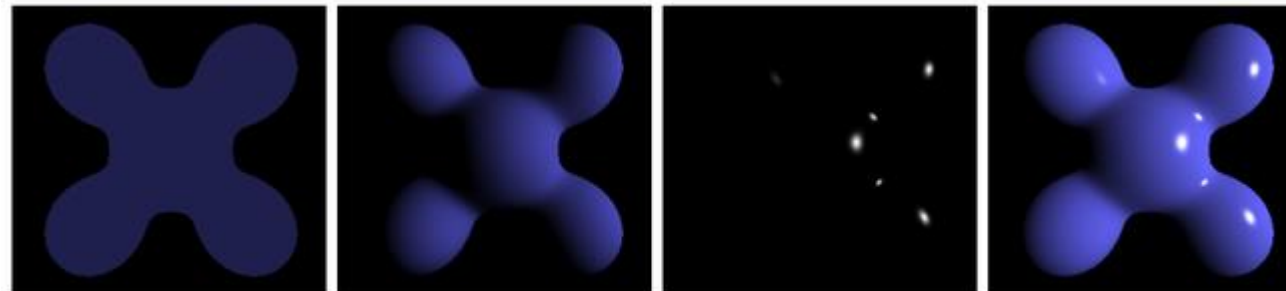
From Computer Desktop Encyclopedia  
Reproduced with permission.  
© 2001 Intergraph Computer Systems



Flat

Gouraud

Phong



Ambient

+

Diffuse

+

Specular

=

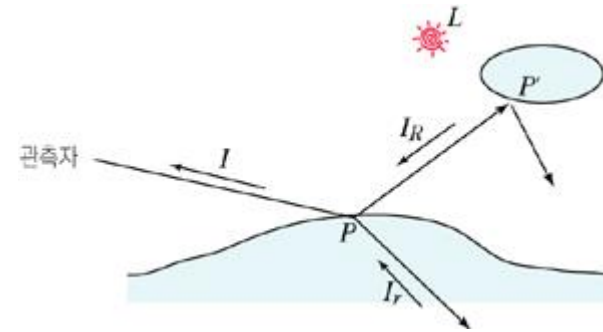
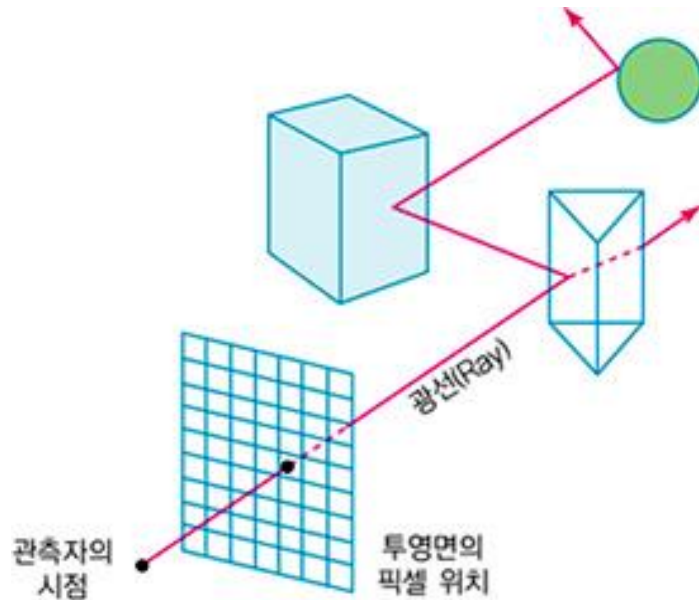
Phong Reflection



# 광선 추적법

## • 광선 추적법 (Ray Tracing)

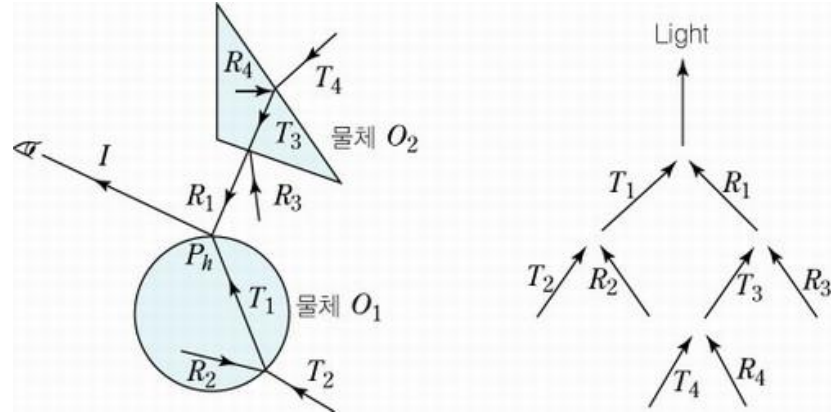
- 광원에서 나온 빛이 물체에 투사되면 일부는 반사되고 일부는 굴절된다.
- 반사된 빛은 다시 물체를 만나 반사, 굴절 과정을 거친다.
- 이러한 과정을 통해 투영면의 각 픽셀 위치에 도달하는 모든 빛이 합해져서 최종적인 빛의 밝기를 결정한다.
  - 주변 조명, 산란반사, 거울반사, 반사광, 굴절광 등을 합해서 결정
  - $I = I_{\text{amb}} + I_{\text{diff}} + I_{\text{spec}} + I_{\text{refl}} + I_{\text{refr}}$



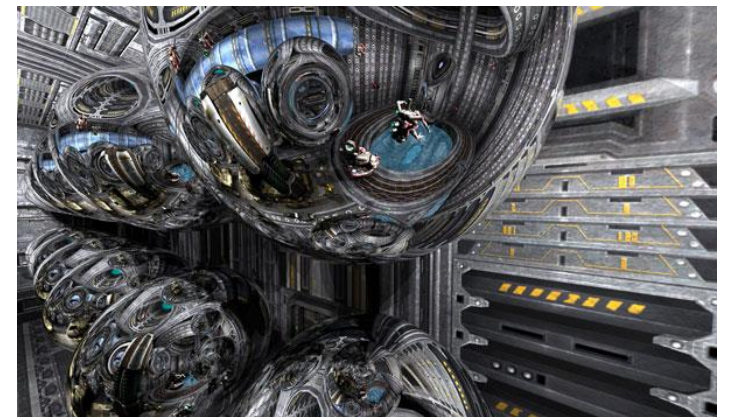
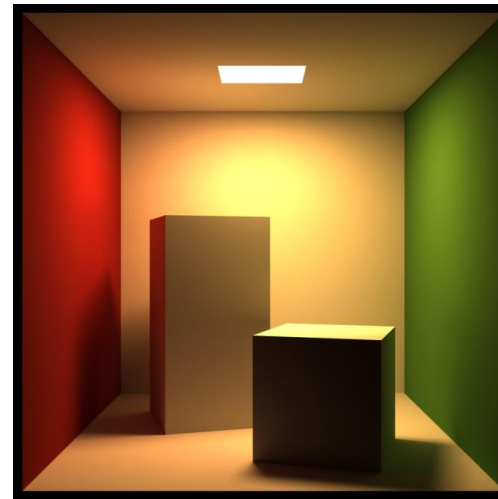
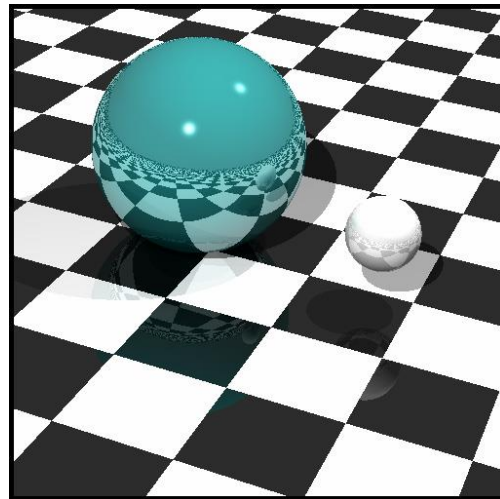
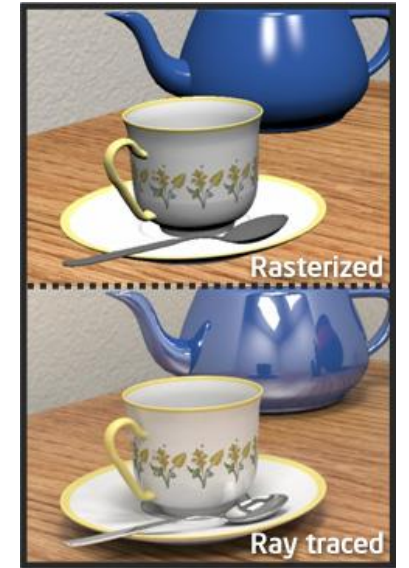
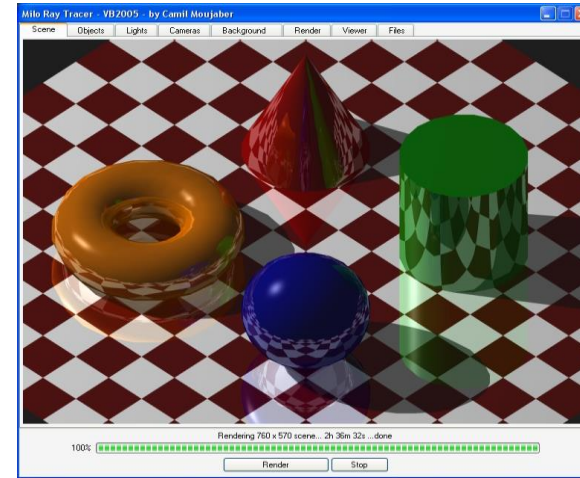
$I_R, I_r$ : 2차 광선

# 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 뷰잉