


## 10장. 조명과 음영

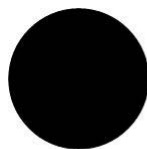
### 학습목표

- 조명과 음영의 차이점을 이해한다.
- 지역 조명모델과 전역 조명모델의 차이점을 이해한다.
- 광원의 특성과 종류를 이해한다.
- 주변광, 확산광, 경면광 등 지역 조명모델의 요소를 이해한다.
- 플랫 셰이딩, 구로 셰이딩, 폰 셰이딩 등 음영방법의 차이를 이해한다.
- 프로그램에 의해 지엘에서 조명 및 음영을 가하는 방법을 이해한다.

1

## 10.1 조명-빛

 하나님이 가라사대 빛이 있으라 하시매 빛이 있었고 그 빛이 하나님이 보시기에 좋았더라 하나님이 빛과 어두움을 나누사 빛을 낮이라 칭하시고 어두움을 밤이라 칭하시니라 저녁이 되며 아침이 되니 이는 첫째 날이니라 - 창세기 1:3-1:5



(a)



(b)

[그림 10-2] 빛

2

## 조명과 음영

### 렌더링(Rendering)

- 조명(Lighting, Illumination): 물체 점점의 색상을 부여, 물체공간(Object Space)
- 음영(Shading, Surface Rendering): 조명 결과를 이용하여 물체 면의 색상을 부여: 영상공간(Image Space)



[그림 10-1] 지엘 파이프라인에서의 조명과 음영 시기

3

## 빛의 진행

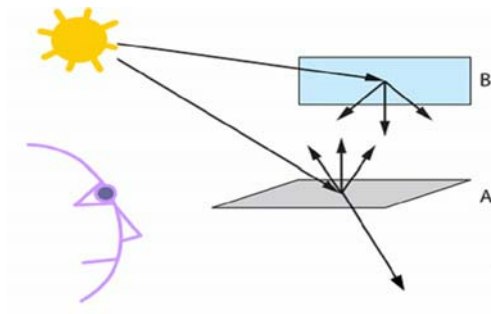
### 광원에서 출발

### 물체 표면에서

- 흡수 (Absorption)
- 반사 (Reflection)
- 투과(Transmission) 또는 굴절(Refraction)

### 물체를 본다는 것은 우리 눈으로 입사하는 빛에 의함

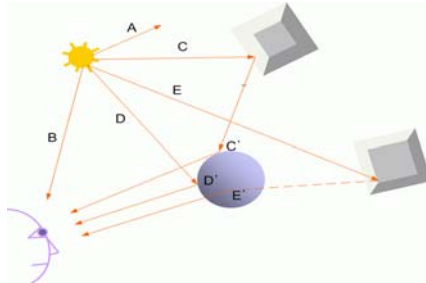
물체색: 광원, 물체, 관찰자 위치, 광원과 물체의 특성에 의해 결정



[그림 10-3] 빛의 진행 I

4

## 조명모델(Illumination Model)



[그림 10-4] 빛의 진행 II



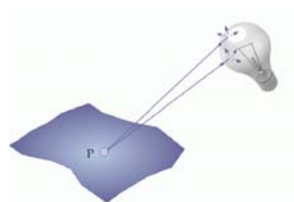
[그림 10-5] 전역 조명모델 예시

- 👤 **전역 조명 모델(Global Illumination Model):** 다른 물체면에서 반사되어 입사되는 빛까지 고려한 조명모델
- 👤 **지역 조명 모델(Local Illumination Model):** 광원으로부터 직접 물체면으로 입사되는 빛만을 고려한 모델

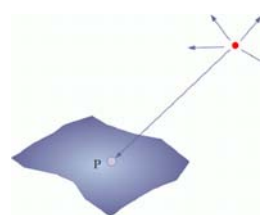
5

## 광원(Light Source)

- 👤 **면적광원(Area Light Source)과 점광원(Point Light Source)**

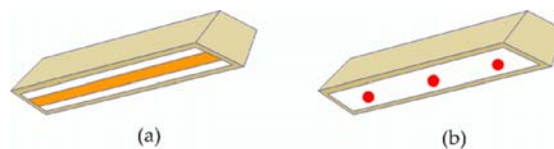


[그림 10-6] 면적광원



[그림 10-7] 점광원

- 👤 **면적광원을 분산 점광원(Distributed Point Light Source)으로 근사화**



[그림 10-8] 면적광원을 분산 점광원으로

6

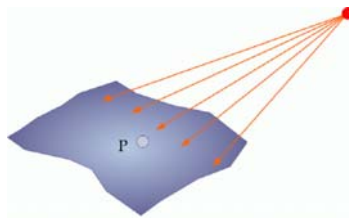
## 광원(Light Source)

### 👤 위치성 광원(Positional Light Source)

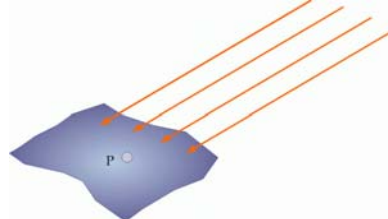
- 옴니라이트(Omni Light), 빛이 모든(Omni) 방향으로 방사형(Radial Direction)으로 진행
- 광원의 위치가 중시됨. 근거리 광원

### 👤 방향성 광원(Directional Light Source)

- 빛이 물체면을 향하여 일정한 방향으로 진행
- 빛의 방향이 중심됨. 원거리 광원



[그림 10-9] 위치성 광원



[그림 10-10] 방향성 광원

7

## 스포트라이트(Spot Light)

### 👤 위치성 광원과 유사

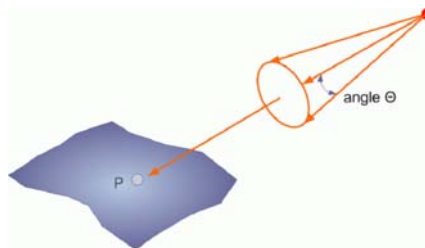
- 빛이 방사형으로 진행
- 광원이 유한 거리에 존재

### 👤 방향성 광원과 유사

- 하나의 방향을 향해서만 진행

### 👤 차이점

- 일정한 각 범위 내로만 진행. 포로수용소의 탐조등



[그림 10-11] 스포트라이트

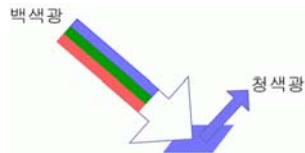


[그림 10-12] 스포트라이트

8

## 8.2 지역 조명모델-조명관련 벡터

- ☞ 물체의 색: R, G, B 별로 빛의 세기를 별도 추적. 최종적으로 합성

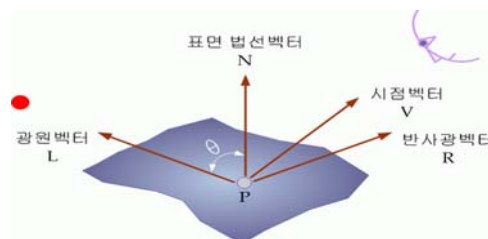


[그림 10-13] 청색광 반사

$$N \cdot L = |N| |L| \cos\theta = (1)(1)\cos\theta = \cos\theta \quad (10.1)$$

- ☞ 조명 관련 벡터

- 입사각: 광원벡터와 법선벡터가 이루는 각

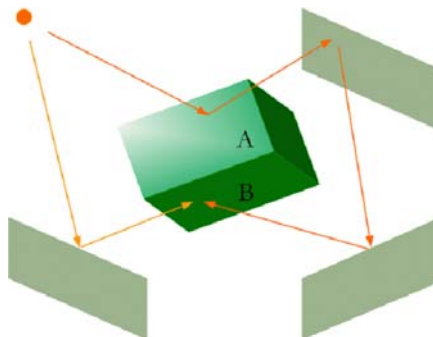


[그림 10-14] 조명관련 벡터

9

## 주변반사(Ambient Reflection)

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

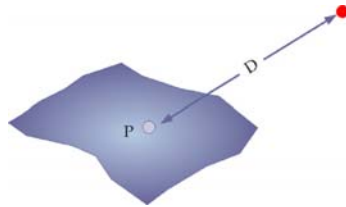


[그림 10-15] 주변 반사

10

## 거리에 따른 빛의 약화

👤 거리 제곱에 반비례



[그림 10-16] 광원과의 거리

$$\text{Ambient Reflection} = K_a I_a / D^2 \quad (10.2)$$

👤 **Ia:** 광원의 주변광 세기

👤 **Ka:** 주변광 계수

11

## 주변광 계수 변화

👤 주변광만 부여



[그림 10-17] 주변광 계수 증가

👤 여타 반사광 + 주변광



[그림 10-18] 여타 반사광 + 주변광 계수 증가

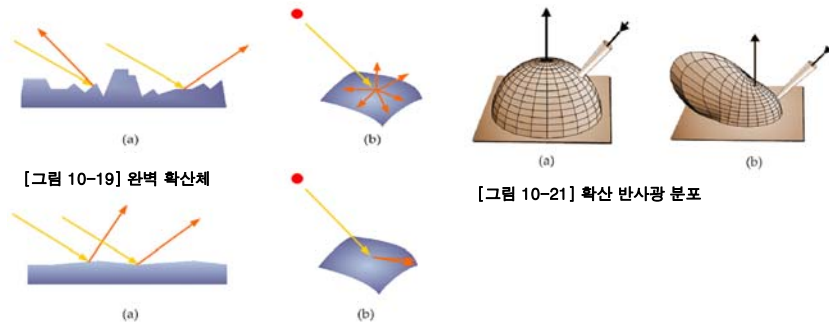
12

## 확산반사(Diffusive 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



[그림 10-19] 완벽 확산체

[그림 10-21] 확산 반사광 분포

[그림 10-20] 방향성 확산체

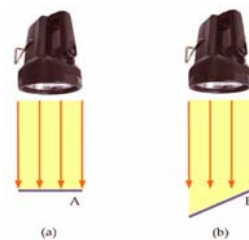
13

## 확산광의 세기

### 물체면이 서 있는 방향에 따라 다름

- 람베르트 법칙(Lambertian Law)
  - 입사각: 광원벡터, 법선벡터 사이각
  - 면의 밝기는 입사각의 코사인에 정비례.

$$\text{Diffusive Reflection} \propto \cos \theta \quad (10.3)$$



[그림 10-22] 확산광

### 확산광의 세기

- $I_d$ : 광원의 확산광 세기
- $K_d$ : 확산광 계수

$$\begin{aligned} \text{Diffusive Reflection} &= K_d I_d \cos \theta / D^2 \\ &= K_d I_d (N \cdot L) / D^2 \quad (10.4) \end{aligned}$$

14

## 확산광 효과

👤 면이 서 있는 방향에 따라 차등적 밝기

- 입체감 부여
- cf. 주변광

👤 우상단, 우측 중앙, 정중앙



[그림 10-23] 우상단, 우측, 정중앙 광원의 확산광

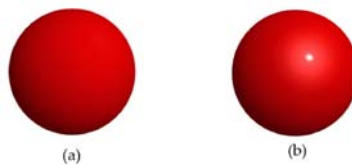
15

## 경면반사(Specular Reflection)

👤 반질 반질한 표면에서 반사되는 빛

- 정반사에 의함
- 물체의 색이 아니라 광원의 색
- cf. 주변광, 확산광: 광원의 색이 물체의 색과 상호작용

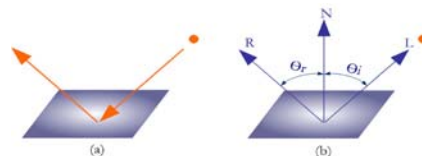
👤 Ex. 확산, 확산+경면



[그림 10-24] 확산, 확산+경면

👤 기본적으로 입사각과 반사각이 동일

- 시점이 정확히 반대방향일 때 보임



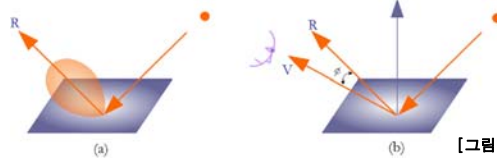
[그림 10-25] 경면반사

16



## 경면광 분포와 Phong 반사모델

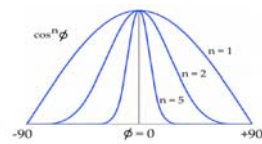
실제적으로는 Lobe 모습



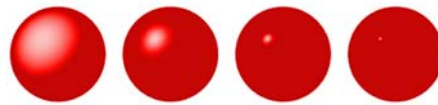
[그림 10-26] 경면광 분포

Phong 반사모델(Phong Illumination Model)

• 광택계수(Shininess Coefficient)



[그림 10-27] 코사인 법칙



[그림 10-28] 광택계수 증가에 따른 효과

경면광의 세기

$$\begin{aligned} \text{Specular Reflection} &= K_s I_s (\cos \phi)^n / D^2 \\ &= K_s I_s (R \cdot V)^n / D^2 \end{aligned} \quad (10.5)$$

17

## 약화함수(Attenuation Function)

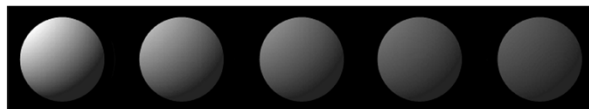
지엘에서는 거리에 따른 약화를 수식으로 표현

$$f_{\text{attenuation}} = \frac{1}{a + bD + cD^2} \quad (10.6)$$

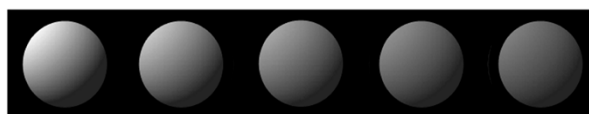
$a = b = 0, c = 1$ ,  $a = b = .25, c = .5$ ,  $a = c = 0, b = 1$



[그림 10-29]  $a = b = 0, c = 1$



[그림 10-30]  $a = b = .25, c = .5$

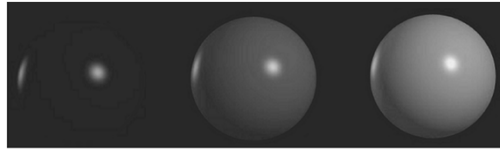


[그림 10-31]  $a = c = 0, b = 1$

18

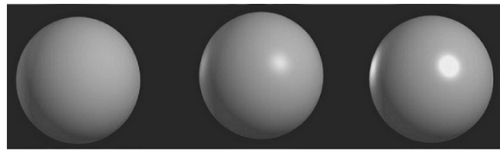
## 확산계수, 경면계수, 광택계수

확산계수 0.01, 0.3, 0.7



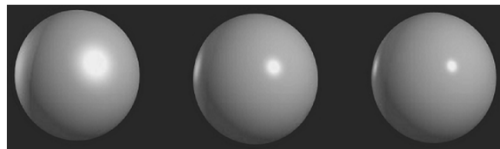
[그림 10-32] 확산계수 0.01, 0.3, 0.7

경면계수 0.0, 0.4, 0.8



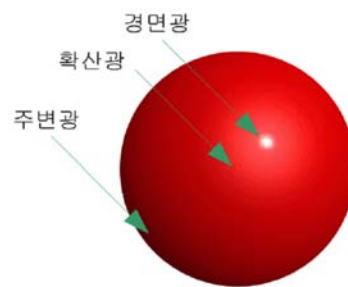
[그림 10-33] 경면계수 0.0, 0.4, 0.8

광택계수 5, 40, 100



[그림 10-34] 광택계수 5, 40, 100 19

## 지역반사 모델



[그림 10-35] 성분 분포

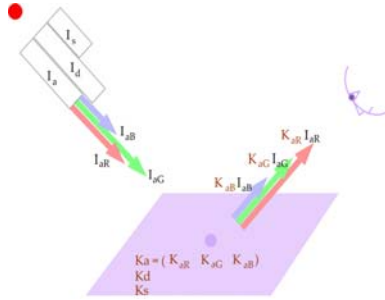
$$I = \text{Ambient Reflection} + \text{Diffuse Reflection} + \text{Specular Reflection}$$

$$= \frac{1}{a + bD + cD^2} (K_a I_a + K_d I_d (N \cdot L) + K_s I_s (R \cdot V)^n)$$

(10.7)

## 지엘의 조명

1. 광원이 여러 개인 경우는 각각의 광원에서 나오는 빛을 모두 합산
2. R, G, B 색에 대해 별도로 적용하여 합산
3. 광원특성은 반사광 종류별로  $I_a, I_d, I_s$
4. 물체특성은 반사광 종류별로  $K_a, K_d, K_s$



[그림 10-37] 지엘의 조명 파라미터

$$\begin{pmatrix} K_{aR} & K_{aG} & K_{aB} \\ K_{dR} & K_{dG} & K_{dB} \\ K_{sR} & K_{sG} & K_{sB} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{aR} & I_{dR} & I_{sR} \\ I_{aG} & I_{dG} & I_{sG} \\ I_{aB} & I_{dB} & I_{sB} \end{pmatrix}$$

[그림 10-38] 물체 파라미터, 광원 파라미터

21

## 지역 조명모델 알고리즘

```

For Each Object of the Scene {
    For Each Polygon Mesh of the Object {
        Calculate N, L, V, R, D;
        For Each Light Source {
            For Ambient Reflection
                Calculate R, G, B Reflection Separately;
            For Diffuse Reflection
                Calculate R, G, B Reflection Separately;
            For Specular Reflection
                Calculate R, G, B Reflection Separately;
            Add R, G, B Colors Separately;
        }
        Add R, G, B Colors Separately;
    }
}
    
```

모든 물체에 대해  
모든 다각형에 대해  
벡터 및 거리 계산  
모든 광원에 대해  
주변반사에 대해  
색별로 계산  
확산반사에 대해  
색별로 계산  
경면반사에 대해  
색별로 계산  
주변광, 확산광, 경면광을 합산  
모든 광원의 영향을 합산

22

## 10.3 음영-음영(Shading)

### 음영 또는 표면 렌더링(Surface Rendering)

- 물체 면의 색을 부여

### 플랫 셰이딩(Flat Shading)

- 주어진 하나의 다각형 전체를 동일한 색으로 칠함. 빠르고 간단
- 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.

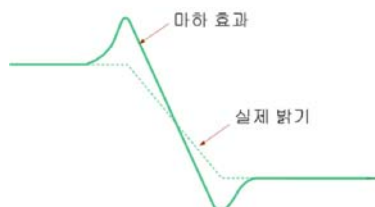
23

## 플랫 셰이딩

### 마하밴드 효과(Mach Band Effect)



[그림 10-39] 마하밴드 효과



[그림 10-40] 인식된 밝기



[그림 10-41] 마하 밴드

24

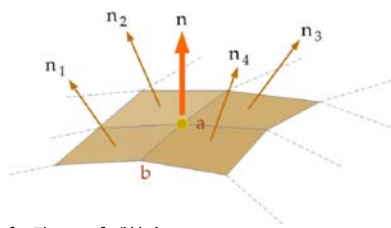
## 구로 셰이딩(Gouraud Shading)

다각형 내부를 서로 다른 색으로 채우는 방법

정점의 색을 보간

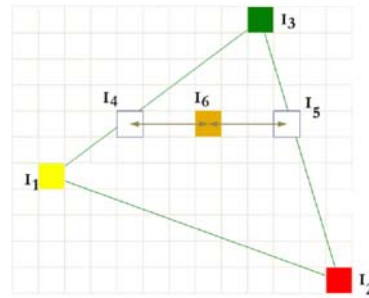
- 정점의 법선벡터를 요함. 인접면의 법선벡터를 평균하여 구함
- 정점의 색으로부터 내부면의 색을 선형보간

경면광을 감안하지 않음: 실제적인 정점의 법선벡터와 근사적으로 계산된 법선벡터가 완전히 일치하지 않기 때문



[그림 10-42] 내부점

$$n = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4}{|n_1 + n_2 + n_3 + n_4|} \quad (10.9)$$



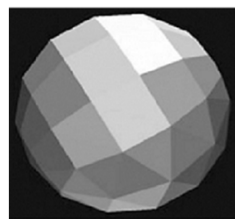
[그림 10-44] 구로셰이딩의 보간

25

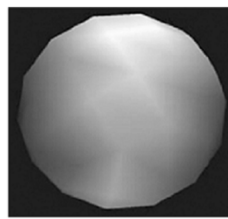
## 구로 셰이딩

플랫 셰이딩보다는 부드러움

- 마하 밴드 효과는 그대로 남아있음.



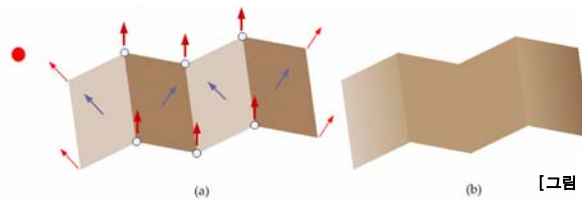
(a)



(b)

[그림 10-45] 플랫 셰이딩, 구로 셰이딩

경우에 따라서 오류



(a)

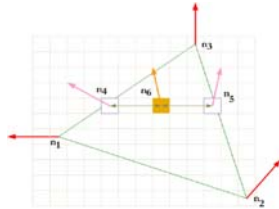
(b)

[그림 10-46] 구로 셰이딩 오류

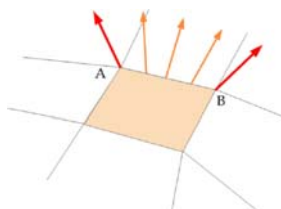
26

## 퐁 셰이딩(Phong Shading)

👤 정점의 색 대신 정점의 법선벡터를 보간

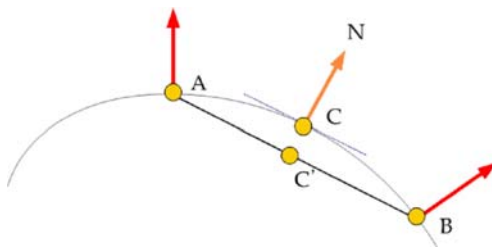


[그림 10-47] 법선벡터 보간



[그림 10-48] 경계선 법선벡터

👤 곡면의 기울기가 복원됨: 경면광을 부여할 수 있음.



[그림 10-49] 퐁 셰이딩의 곡면 복원

27

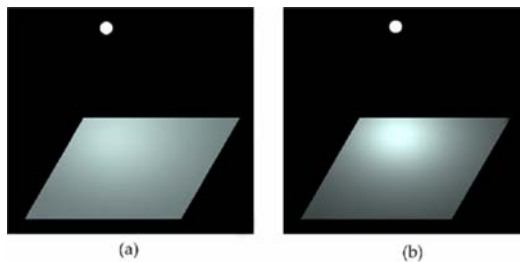
## 음영결과 비교

👤 플랫, 구로, 퐁



[그림 10-50] 플랫, 구로, 퐁

👤 구로, 퐁



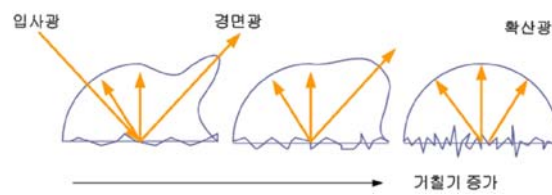
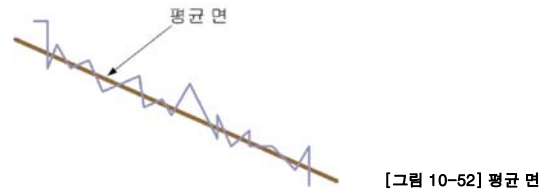
[그림 10-51] 구로 셰이딩과 퐁 셰이딩

28

## 미세면 모델(Microfacet Model)

### 표면의 거칠기(Roughness)를 모델링

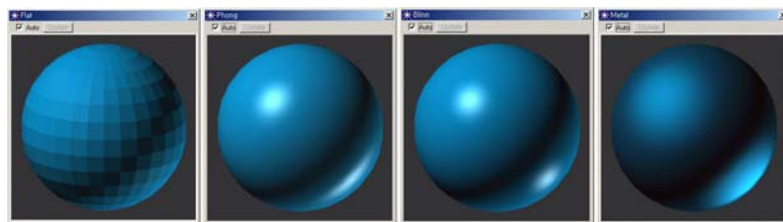
- 평균면의 방향을 기준으로
- 표면의 거칠기라는 매개변수를 사용해서 미세면의 굴곡이나 모양을 조절



29

## 미세면 모델(Microfacet Model)

### 플랫, 폼, 블린, 쿡/토렌스



### 블린 셰이딩

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

### 쿡/토렌스 셰이딩(메탈 셰이딩)

- 금속표면의 은은한 경면광 처리에 유리
- cf. 폼 모델: 플라스틱 재질 처리에 유리

30