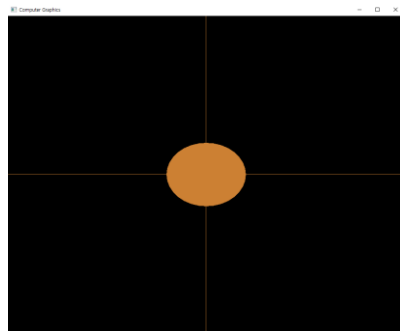


# OpenGL 조명 1

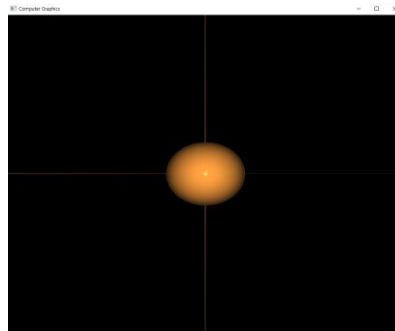
2024년 2학기

# 조명

- 광원은 색(color)과 강도(intensity)를 가지고 있다.
  - 기본 색은 백색
  - 우리가 보는 객체의 색은 빛의 색 (light color)과 객체의 재질의 색 (material color)의 합성으로 정해진다.
    - 빛의 색: 조명의 RGB 값
    - 재질의 색: 객체의 표면에서 RGB 값
  - 예)
    - 하얀색 조명과 빨간색 재질:  $(1.0, 1.0, 1.0) * (1.0, 0.0, 0.0) \rightarrow (1.0, 0.0, 0.0)$  객체의 색은 빨간색
    - 빨간색 조명과 하얀색 재질:  $(1.0, 0.0, 0.0) * (1.0, 1.0, 1.0) \rightarrow (1.0, 0.0, 0.0)$  객체의 색은 빨간색
    - 빨간색 조명과 파란색 재질:  $(1.0, 0.0, 0.0) * (0.0, 0.0, 1.0) \rightarrow (0.0, 0.0, 0.0)$  객체의 색은 검정색
    - 노란색 조명과 청록색 재질:  $(1.0, 1.0, 0.0) * (0.0, 1.0, 1.0) \rightarrow (0.0, 1.0, 0.0)$  객체의 색은 초록색
- $(0.8, 0.5, 0.2)$  재질의 색과 백색 조명  $(1.0, 1.0, 1.0)$ 인 경우



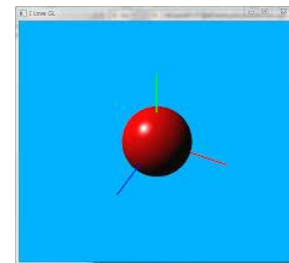
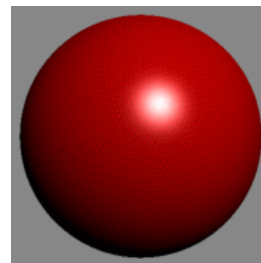
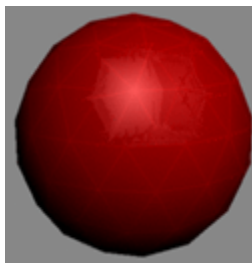
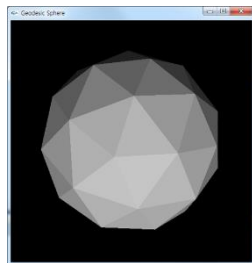
재질의 색:  $(0.8, 0.5, 0.2)$



조명의 색:  $(1.0, 1.0, 1.0)$

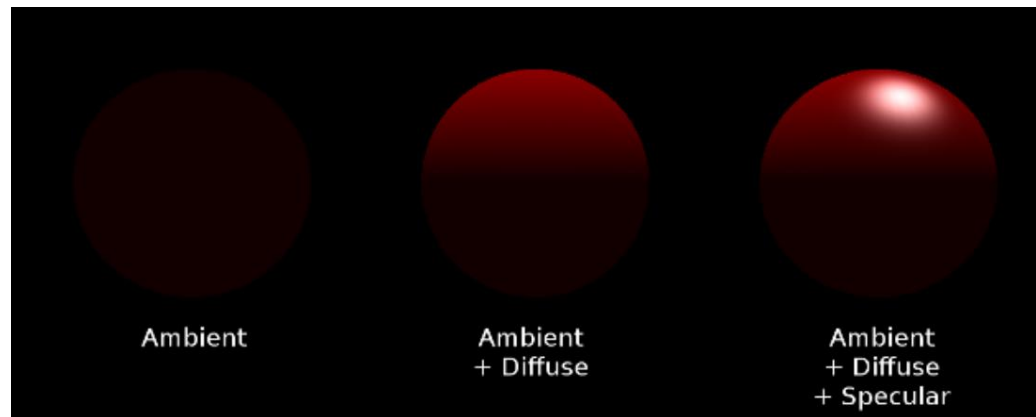
# 조명

- OpenGL에서 빛 (조명)은
  - openGL의 조명은 **광원 (Lights)과 재질(Materials), 그리고 면의 법선벡터(Normal)**에 의해서 결정된다.
    - **광원**: 위치 (position), 색 (color)
      - 광원의 강도는 색(Red, Green, Blue)의 강도에 의해 결정
      - 광원은 객체와 같이 변환 행렬에 의해 움직일 수 있다.
    - **재질**: 표면이 빛을 어떻게 반사하는지 나타냄
      - 기본적으로 표면의 색, 반사계수
    - **법선 벡터**: 표면에 수직을 이루는 법선벡터는 표면의 방향
      - 법선 벡터는 단위벡터이어야 한다.
      - 법선 벡터는 버텍스의 속성으로 전달할 수 있다.
  - 조명 효과 설정
    - 색과 법선 벡터, 반사 계수: 응용 프로그램에서 설정
    - 버텍스 셰이더 또는 프래그먼트 셰이더에서 객체의 색과 법선 벡터, 반사 계수 등을 사용하여 조명 효과 설정



# Phong Lighting Model

- Phong 라이팅 모델: 가장 일반적인 라이팅 모델로 주변 조명, 산란반사 조명, 거울반사 조명 등 세 가지 요소로 조명 모델 설정
  - 주변 조명 (ambient light)
    - 배경 조명, 전역 조명
    - 특정 방향을 갖지 않고 모든 방향으로 고루 비춰지는 조명
  - 산란 반사 조명 (diffuse light)
    - 방향과 위치를 가지고 있는 조명으로 빛이 비치는 물체의 면이 밝아진다.
    - 빛을 받는 표면은 그렇지 않은 부분에 비해 밝게 보인다.
  - 거울 반사 조명 (specular light)
    - 특정한 방향으로 들어와서 한 방향으로 완전히 반사되는 조명
    - 반짝이는 표면을 모델링할 때 사용됨



# 주변 조명 (Ambient light)

- 주변 조명 (전역 조명)
  - 간접적으로 들어오는 빛을 나타내는 조명으로 특정 방향을 갖지 않음
  - 객체의 위치나 방향과 관계없이 일정한 밝기의 빛이 고르게 퍼져있다고 정함
  - 주변 조명 효과는 조명색과 주변조명 계수, 객체의 색으로 결정함
    - 조명의 색상과 주변조명 계수를 곱해서 주변 조명값으로 정한다.
    - 또는 특정 상수값으로 설정한다.
- $I = K_a \cdot I_a$ ,  $0 \leq K_a \leq 1$ 
  - $I_a$ : 광원의 색
  - $K_a$ : 주변조명 계수 (물체의 표면이 입사된 빛을 반사하는 정도로 표면을 이루는 고유 물질에 따라 다르다)

# 산란반사조명 (Diffuse light)

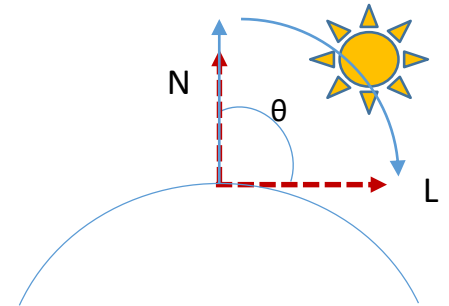
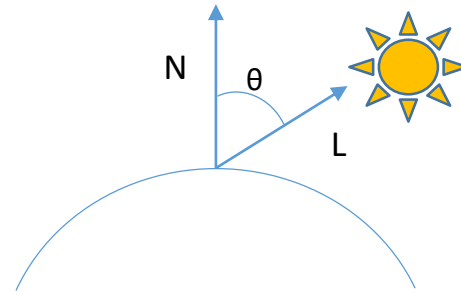
- 산란반사조명

- 특정 방향으로 진행하다가 표면에 닿으면 모든 방향으로 동일하게 반사된다.
- 관찰자의 위치와 무관하며 가장 일반적인 조명으로 조명을 받는 부분은 안 받는 부분보다 환하게 보인다.
- 객체의 표면과 광원과의 각도에 따라 조명 값이 달라진다.

- 산란반사 조명값:

$$I = \frac{I_p}{d} \cdot K_d \cdot \cos\theta = \frac{I_p}{d} \cdot K_d \cdot (N \cdot L)$$

- $I_p$ : 광원의 색
- $K_d$ : 표면의 산란반사 계수
- $N$ : 표면의 법선 벡터 (단위벡터)
- $L$ : 광원의 방향 벡터 (단위벡터)
- $\theta$ :  $N$ 과  $L$  사이의 각도
- $d$ : 표면에서 광원까지의 거리



$$0 \leq \theta \leq 90$$

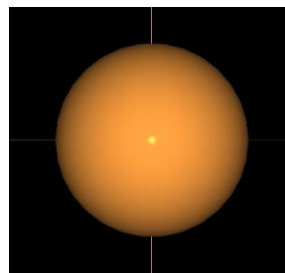
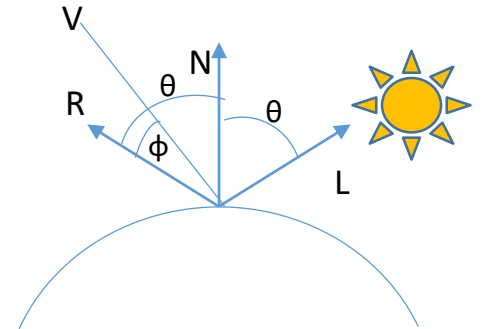
# 거울반사조명 (Specular light)

- 거울반사조명 (정반사 조명)
  - 반짝이는 하이라이트를 생성한다.
  - 관찰자가 빛의 입사각과 거의 같은 반사각 부근에 위치할 경우 입사된 빛의 전부를 인식하며 하이라이트가 생긴다.
    - 거울 반사 조명은 재질의 shininess (광택 계수) 정도를 추가: shininess 가 높으면 작은 면적의 하이라이트가 생성된다.

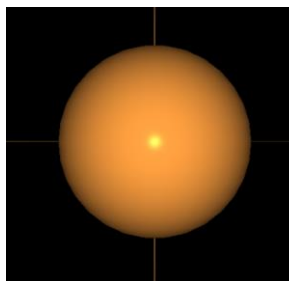
- 거울반사조명값:

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

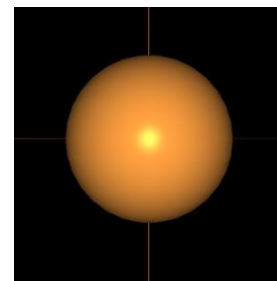
- $I_p$ : 광원의 색
- $K_s$ : 표면 물질의 거울반사계수
- $V$ : 관찰자에 대한 벡터
- $R$ : 빛의 반사 방향 벡터
- $n$  (shininess 광택 계수): 표면의 광택 정도에 따라 정해지는 값
- $d$ : 표면에서 광원까지의 거리



shininess = 256



shininess = 128



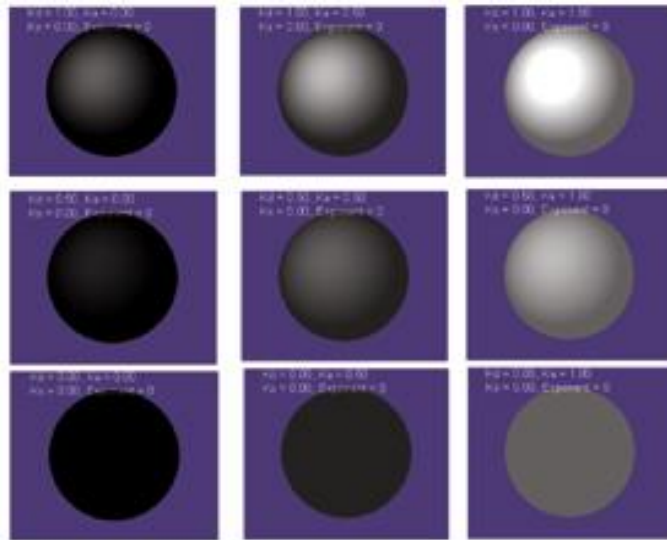
shininess = 16

N: normal vector  
L: 조명을 가리키는 벡터  
R: 빛의 반사 방향  
V: 관찰자 위치  
 $\Phi$ : V와 R 사이의 각도

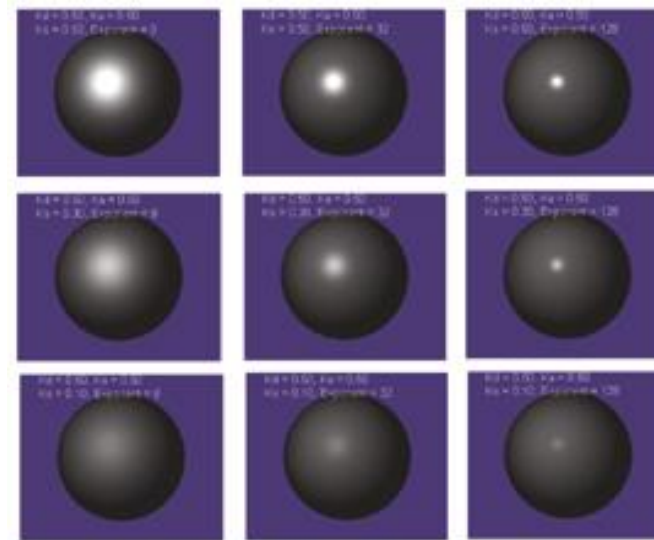
# 최종 조명 효과

- 표면에 조명 효과를 모델링할 수 있는 공식

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



산란반사

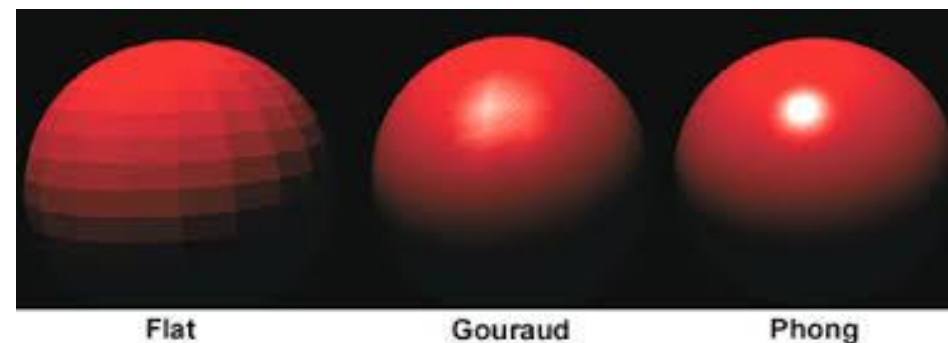


산란반사 + 거울반사



# 셰이딩 (Shading)

- 셰이딩 (Shading):
  - 3차원 객체의 표면을 처리할 때 조명이 위치와 물체의 방향, 색, 밝기에 따라 객체에 음영을 주는 것
- Flat shading (플랫 셰이딩)
  - 하나의 다각형 전체를 동일한 색으로 적용
- Gouraud shading (고라우드 셰이딩)
  - 버텍스 간 결과 **색상들을 보간하여 셰이딩에 사용**
  - 전체 라이팅 공식을 **버텍스 셰이더에서 구현**
  - 각 프래그먼트의 최종 색상은 프래그먼트 셰이더로 전달
    - 각 프래그먼트 색상은 프래그먼트 셰이더로 전달되기 전에 보간
    - 프래그먼트 셰이더는 단순히 입력 색상을 프레임버퍼에 쓰는 역할
    - 스페큘러 하이라이트 부분에 별 모양의 패턴
      - 삼각형 간의 불일치, 즉 색상 공간 내에서 선형적으로 보간되기 때문
- Phong shading (퐁 셰이딩)
  - 버텍스간에 색상값을 보간하는 것이 아니라 **버텍스 간의 표면 법선벡터를 보간**
  - 그 결과 법선값을 사용하여 버텍스가 아닌 **프래그먼트 셰이더에서 픽셀에 대해 전체 라이팅 계산을 수행**
    - 고라우드 셰이딩 같은 별 모양이 없고 훨씬 좋은 결과물
    - 프래그먼트 셰이더에서 많은 작업을 수행한다.



# 폰 셰이딩: 1) 주변조명 (Ambient light) 적용

- 프래그먼트 셰이더에 조명값을 적용한다.

//--- 프래그먼트 셰이더

#version 330 core

out vec4 FragColor;

uniform vec3 objectColor;

uniform vec3 lightColor;

void main ()

{

float ambientLight = 0.5;

vec3 **ambient = ambientLight \* lightColor;**

**vec3 result = ambient \* objectColor;**

FragColor = vec4 (result, 1.0);

}

//--- 응용 프로그램에서 설정한 객체의 색상

//--- 응용 프로그램에서 설정한 조명 색상

//--- 주변 조명 계수:  $0.0 \leq \text{ambientLight} \leq 1.0$

//--- 주변 조명값

//--- 객체의 색과 주변조명값을 곱하여 최종 객체 색상 설정

# 폰 셰이딩: 1) 주변조명 (Ambient light) 적용

- 응용 프로그램

```
void InitBuffer ()
{
    unsigned int VBO, VAO;

    glGenVertexArrays(1, &VAO);
    glGenBuffers(1, &VBO);

    glBindVertexArray(VAO);
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
    glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertices), vertices, GL_STATIC_DRAW);

    glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)0);
    glEnableVertexAttribArray(0);
    glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));
    glEnableVertexAttribArray(1);

    glUseProgram(shaderProgram);
    int lightColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "lightColor");
    glUniform3f (lightColorLocation, 1.0, 1.0, 1.0);
    int objColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "objectColor");
    glUniform3f (objColorLocation, 1.0, 0.5, 0.3);
}
```

//--- 위치 속성

//--- 노말 속성

//--- lightColor 값 전달: (1.0, 1.0, 1.0) 백색

//--- object Color값 전달: (1.0, 0.5, 0.3)의 색

# 폰 셰이딩: 2) 주변조명 + 산란반사조명 (Diffuse light) 적용

- 산란반사 조명 설정

- 응용 프로그램

```
float vertices[] = {           //--- 버텍스 속성: 좌표값(FragPos), 노말값 (Normal)
    -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,    0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,    0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,
    0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,    -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,    -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,

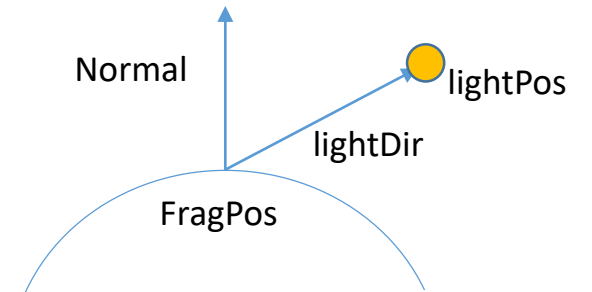
    -0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,      0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,      0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,
    0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,      -0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,      -0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,

    -0.5f, 0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,      -0.5f, 0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,      -0.5f, -0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,
    -0.5f, -0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,      -0.5f, -0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,      -0.5f, 0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,

    0.5f, 0.5f, 0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,        0.5f, 0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,        0.5f, -0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,
    0.5f, -0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,      0.5f, -0.5f, 0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,        0.5f, 0.5f, 0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,

    -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,    0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,    0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,
    0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,      -0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,      -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,

    -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,      0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,      0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,
    0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,      -0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,      -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f
};
```



# 폰 셰이딩: 2) 주변조명 + 산란반사조명 (Diffuse light) 적용

- 응용 프로그램

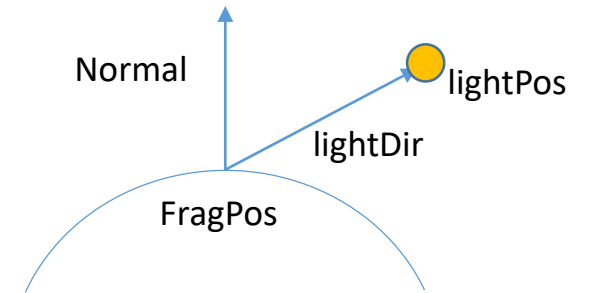
```
void InitBuffer ()
{
    unsigned int VBO, VAO;

    glGenVertexArrays(1, &VAO);
    glGenBuffers(1, &VBO);

    glBindVertexArray(VAO);
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
    glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertices), vertices, GL_STATIC_DRAW);

    glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)0);
    glEnableVertexAttribArray(0);
    glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));
    glEnableVertexAttribArray(1);

    glUseProgram(shaderProgram);
    unsigned int lightPosLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "lightPos");
    glUniform3f (lightPosLocation, 0.0, 0.0, 5.0);
    unsigned int lightColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "lightColor");
    glUniform3f (lightColorLocation, 1.0, 1.0, 1.0);
    unsigned int objColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "objectColor");
    glUniform3f (objColorLocation, 1.0, 0.5, 0.3);
}
```



//--- 위치 속성

//--- 노말 속성

//--- lightPos 값 전달: (0.0, 0.0, 5.0);

//--- lightColor 값 전달: (1.0, 1.0, 1.0) 백색

//--- object Color값 전달: (1.0, 0.5, 0.3)의 색

# 폰 셰이딩: 2) 주변조명 + 산란반사조명 (Diffuse light) 적용

- 버텍스 셰이더

```
#version 330 core
layout (location = 0) in vec3 vPos;
layout (location = 1) in vec3 vNormal;
```

```
out vec3 FragPos;
out vec3 Normal;
```

```
uniform mat4 model;
uniform mat4 view;
uniform mat4 projection;
```

```
void main()
{
```

```
    gl_Position = projection * view * model * vec4(vPos, 1.0);
```

```
    FragPos = vec3(model * vec4(vPos, 1.0));
```

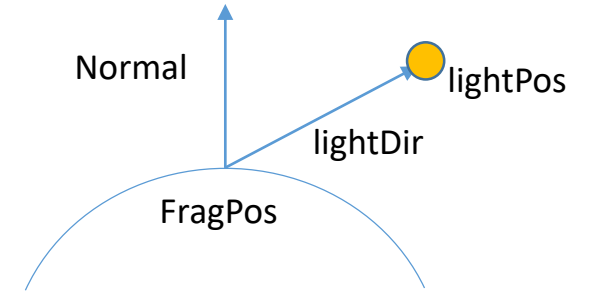
```
    Normal = vNormal;
```

```
}
```

```
//--- 객체의 위치값을 프래그먼트 셰이더로 보낸다.
//--- 노멀값을 프래그먼트 셰이더로 보낸다.
```

```
//--- 모델링 변환값
//--- 뷰잉 변환값
//--- 투영 변환값
```

```
//--- 객체에 대한 조명 계산을 프래그먼트 셰이더에서 한다.
//--- 따라서 월드공간에 있는 버텍스 값을 프래그먼트 셰이더로 보낸다.
//--- 노멀값을 프래그먼트 셰이더로 보낸다.
```



# 폰 셰이딩: 2) 주변조명 + 산란반사조명 (Diffuse light) 적용

- 프래그먼트 셰이더

```
#version 330 core
in vec4 FragPos;
in vec3 Normal;

out vec4 FragColor;

uniform vec3 lightPos;
uniform vec3 lightColor;
uniform vec3 objectColor;

void main ()
{
    vec3 ambientLight = 0.3;
    vec3 ambient = ambientLight * lightColor;

    vec3 normalVector = normalize (Normal);
    vec3 lightDir = normalize (lightPos - FragPos);
    float diffuseLight = max (dot (norm, lightDir), 0.0);
    float diffuse = diffuseLight * lightColor;

    vec3 result = (ambient + diffuse) * objectColor;

    FragColor = vec4 (result, 1.0);
}
```

```
//--- 위치값
//--- 버텍스 셰이더에서 받은 노멀값

//--- 최종 객체의 색 저장

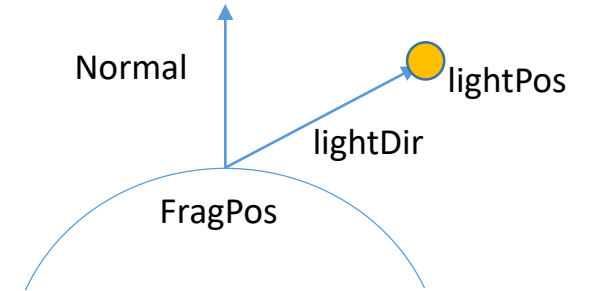
//--- 조명의 위치
//--- 조명의 색
//--- 객체의 색
```

```
//--- 주변 조명 계수
//--- 주변 조명 값

//--- 노말값을 정규화한다.
//--- 표면과 조명의 위치로 조명의 방향을 결정한다.
//--- N과 L의 내적 값으로 강도 조절 (음의 값을 가질 수 없게 한다.)
//--- 산란반사조명값=산란반사값*조명색상값

//--- 최종 조명 설정된 픽셀 색상=(주변조명+산란반사조명)*객체 색상

//--- 픽셀 색을 출력
```



# 퐁 셰이딩: 3) 주변, 산란반사 + 거울반사 조명 (Specular light) 적용

- 거울반사 조명 설정

- 응용 프로그램

```
float vertices[] = {           //--- 버텍스 속성: 좌표값(FragPos), 노말값 (Normal)
```

```
-0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,    0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,    0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,
 0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,    -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,    -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f,

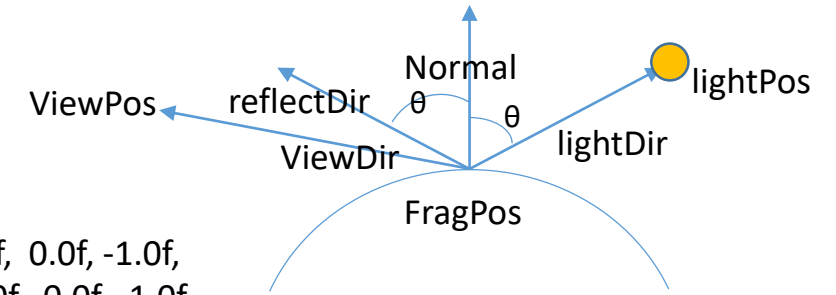
-0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,      0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,      0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,
 0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,      -0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,      -0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,

-0.5f, 0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,      -0.5f, 0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,      -0.5f, -0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,
-0.5f, -0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,    -0.5f, -0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,      -0.5f, 0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,

0.5f, 0.5f, 0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,         0.5f, 0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,         0.5f, -0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,
0.5f, -0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,      0.5f, -0.5f, 0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,         0.5f, 0.5f, 0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,

-0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,     0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,     0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,
0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,      -0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,     -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f,

-0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,        0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,        0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,
0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,        -0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,        -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,
};
```





# 폰 셰이딩: 3) 주변, 산란반사 + 거울반사 조명 (Specular light) 적용

## • 응용 프로그램

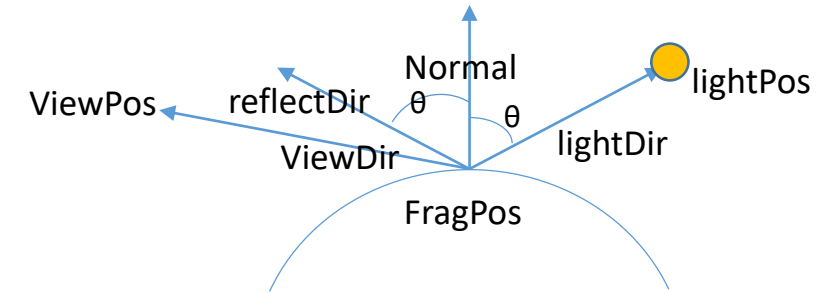
```
void InitBuffer ()
{
    unsigned int VBO, VAO;

    glGenVertexArrays(1, &VAO);
    glGenBuffers(1, &VBO);

    glBindVertexArray(VAO);
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
    glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertices), vertices, GL_STATIC_DRAW);

    glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)0);
    glEnableVertexAttribArray(0);
    glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));
    glEnableVertexAttribArray(1);

    glUseProgram (shaderProgram);
    unsigned int lightPosLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "lightPos");
    glUniform3f (lightPosLocation, 0.0, 0.0, 5.0);
    unsigned int lightColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "lightColor");
    glUniform3f (lightColorLocation, 1.0, 1.0, 1.0);
    unsigned int objColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "objectColor");
    glUniform3f (objColorLocation, 1.0, 0.5, 0.3);
    unsigned int viewPosLocation = glGetUniformLocation(s_program, "viewPos");
    glUniform3f(viewPosLocation, cameraPos.x, cameraPos.y, cameraPos.z);
}
```



//--- 위치 속성

//--- 노말 속성

//--- lightPos 값 전달: (0.0, 0.0, 5.0);

//--- lightColor 값 전달: (1.0, 1.0, 1.0) 백색

//--- object Color값 전달: (1.0, 0.5, 0.3)의 색

//--- viewPos 값 전달: 카메라 위치

# 폰 셰이딩: 3) 주변, 산란반사 + 거울반사 조명 (Specular light) 적용

- 버텍스 셰이더

```
#version 330 core
```

```
layout (location = 0) in vec3 vPos;  
layout (location = 1) in vec3 vNormal;
```

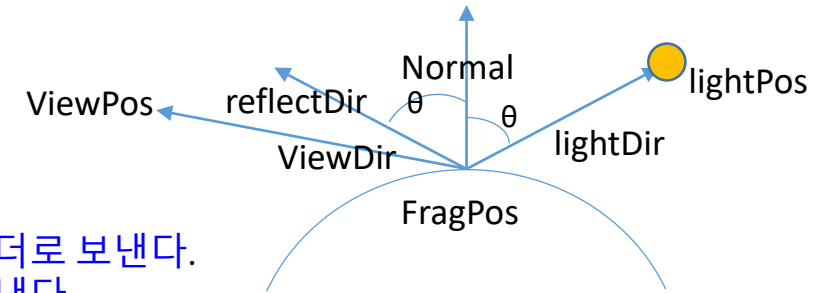
```
out vec3 FragPos;  
out vec3 Normal;
```

```
uniform mat4 model;  
uniform mat4 view;  
uniform mat4 projection;
```

```
void main()  
{  
    gl_Position = projection * view * model * vec4(vPos, 1.0);  
    FragPos = vec3(model * vec4(vPos, 1.0));  
    Normal = vNormal;  
}
```

```
//--- 객체의 위치값을 프래그먼트 셰이더로 보낸다.  
//--- 노멀값을 프래그먼트 셰이더로 보낸다.
```

```
//--- 모델링 변환값  
//--- 뷰잉 변환값  
//--- 투영 변환값
```



# 퐁 셰이딩: 3) 주변, 산란반사 + 거울반사 조명 (Specular light) 적용

- 프래그먼트 셰이더

```
#version 330 core
in vec4 FragPos;
in vec3 Normal;
out vec4 FragColor
```

```
void main ()
{
```

```
    vec3 ambientLight = 0.3;
    vec3 ambient = ambientLight * lightColor;
```

```
    vec3 normalVector = normalize (Normal);
    vec3 lightDir = normalize (lightPos - FragPos);
    float diffuseLight = max (dot (norm, lightDir), 0.0);
    float diffuse = diffuseLight * lightColor;
```

```
    int shininess = 128; 2
    vec3 viewDir = normalize (viewPos - FragPos);
    vec3 reflectDir = reflect (-lightDir, normVector);
    float specularLight = max (dot (viewDir, reflectDir), 0.0);
    specularLight = pow(specularLight, shininess);
    vec3 specular = specularLight * lightColor;
```

```
    vec3 result = (ambient + diffuse + specular) * objectColor; //--- 최종 조명 설정된 픽셀 색상: (주변+산란반사+거울반사조명)*객체 색상
```

```
    FragColor = vec4 (result, 1.0);
```

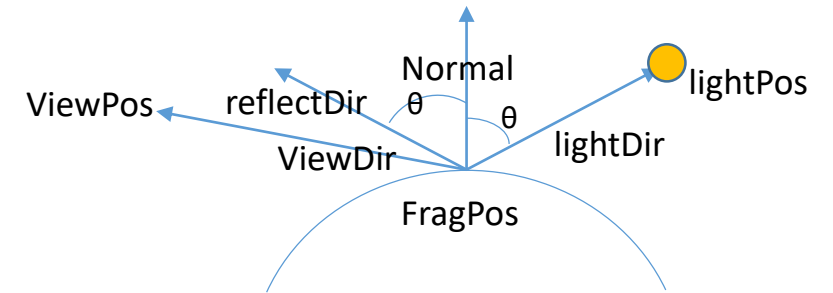
```
}
```

//--- 노멀값을 계산하기 위해 객체의 위치값을 버텍스 셰이더에서 받아온다.

//--- 주변 조명 세기  
//--- 주변 조명 값

//--- 표면과 조명의 위치로 조명의 방향을 결정한다.  
//--- N과 L의 내적 값으로 강도 조절: 음수 방지  
//--- 산란 반사 조명값: 산란반사값 \* 조명색상값

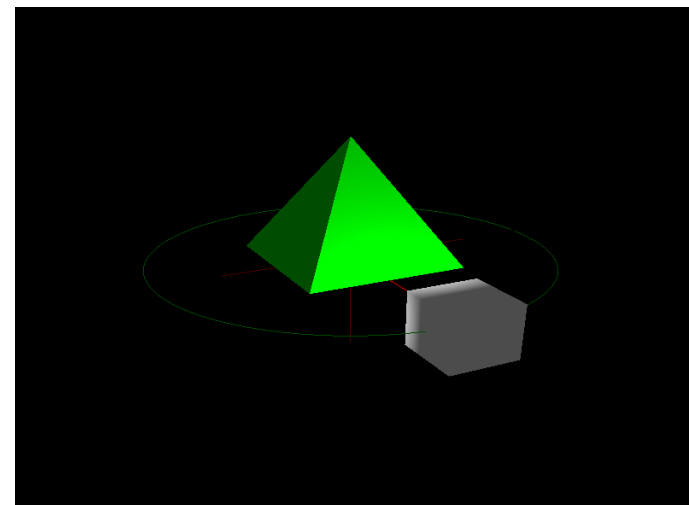
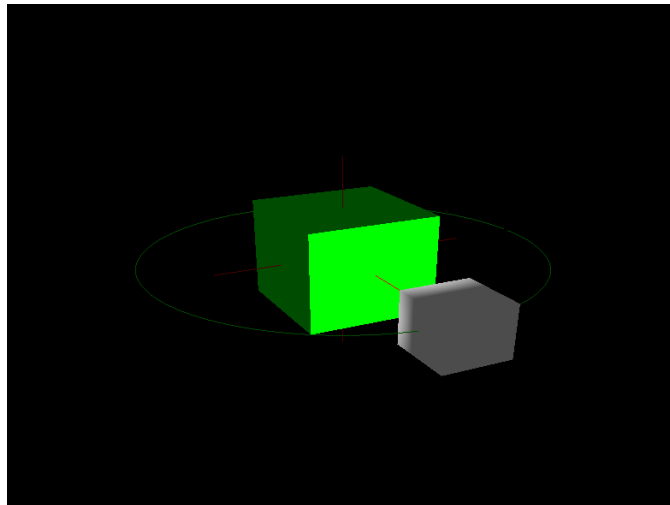
//--- 광택 계수  
//--- 관찰자의 방향  
//--- 반사 방향: reflect 함수 - 입사 벡터의 반사 방향 계산  
//--- V와 R의 내적값으로 강도 조절: 음수 방지  
//--- shininess 승을 해주어 하이라이트를 만들어준다.  
//--- 거울 반사 조명값: 거울반사값 \* 조명색상값



// --- 픽셀 색을 출력

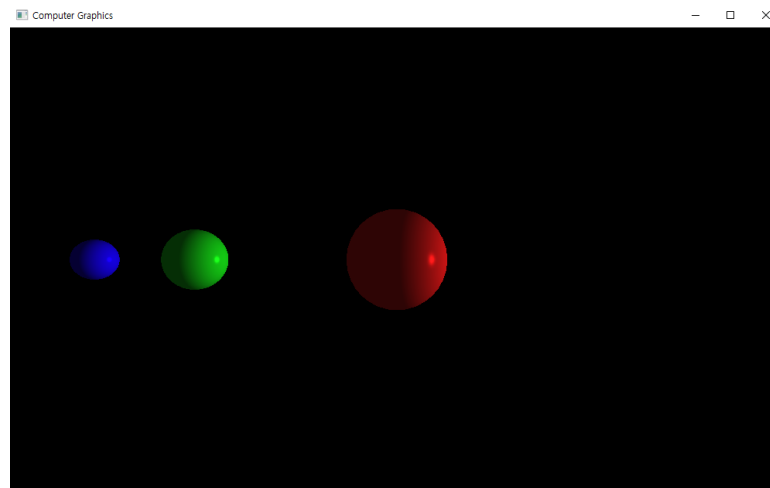
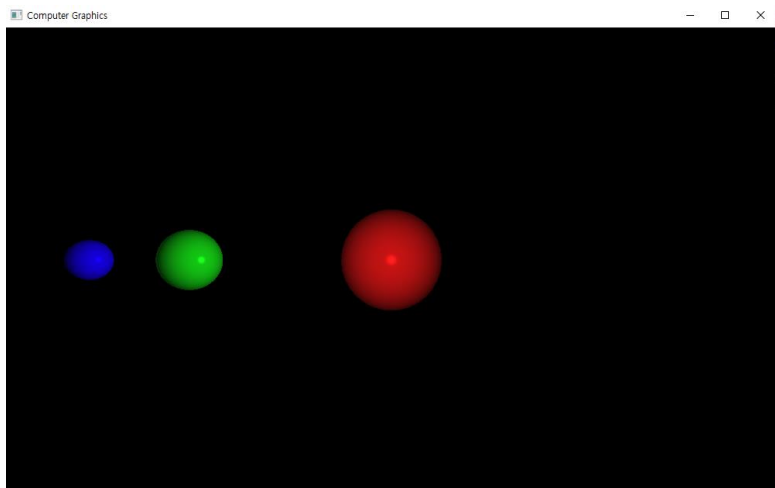
# 실습 24

- 조명 넣기
  - 육면체, 사각뿔 그리기 실습 (실습 14)을 변형하여 조명을 적용한다.
    - 조명을 객체의 앞 쪽에 놓는다.
      - 조명 위치에 작은 도형을 그려 표시한다.
    - 키보드 명령에 따라 조명을 조정한다
      - n: 육면체/사각뿔 그리기
      - m: 조명 켜기/끄기
      - y: 객체를 y축에 대하여 회전 (제자리에서 자전)
      - r: 조명을 객체의 중심 y축에 대하여 양/음 방향으로 공전시키기
        - 조명의 공전 궤도를 원으로 그린다.
      - z/Z: 조명을 객체에 가깝게/멀게 이동하기
        - 조명의 위치가 바뀌게 되면 공전 궤도의 크기도 같이 바뀐다.
      - q: 프로그램 종료



# 실습 25

- 조명 넣기
  - 태양계 실습 (실습 18) 에 조명을 적용한다.
    - 행성들은 회전하지 않고 멈춰있다.
    - 조명이 화면 앞쪽에 놓여있다. 조명의 위치에 작은 객체를 그려 조명의 위치를 확인할 수 있게 한다.
  - 키보드 명령
    - c: 조명 색을 다른 색으로 바뀌도록 한다. 3종류의 다른 색을 적용해본다.
    - r/R: 조명의 위치를 중심의 구의 y축에 대하여 양/음 방향으로 회전한다.
    - q: 프로그램 종료



# 이번 주에는

- 조명 모델
  - 주변 조명
  - 산란반사 조명
  - 거울반사 조명
- 다음에는
  - 조명 추가 실습