openGL 조명

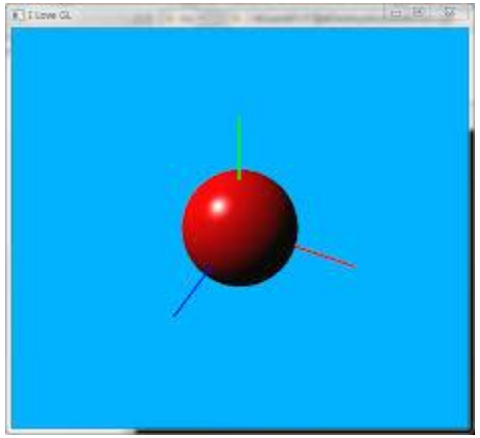
전역 조명, 산란반사 조명, 거울 조명

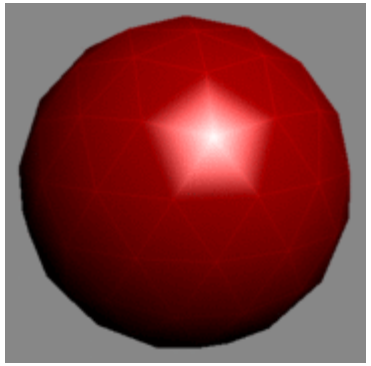
조명

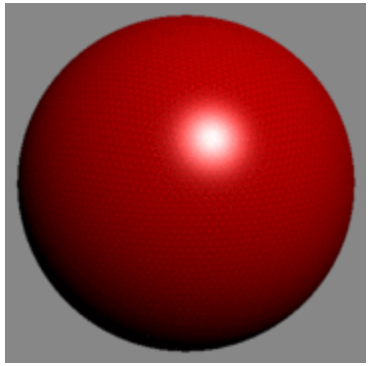
- 광원은 색(color)과 강도(intensity)를 가지고 있다.
  - 기본색은 백색
  - 우리가 보는 객체의 색은 빛의 색 (light color)과 객체의 재질의 색 (material color)의 합성으로 정해진다.
    - 빛의 색: 조명의 RGB 값
    - 재질이 색: 객체의 표면에서 RGB 값이 얼마나 반사되는지
    - 예)
      - 백색 조명과 빨간색 재질: (1.0, 1.0, 1.0) * (1.0, 0.0, 0.0) → (1.0, 0.0, 0.0) 객체의 색은 빨간색
      - 빨간색 조명과 흰색 재질: (1.0, 0.0, 0.0) * (1.0, 1.0, 1.0) → (1.0, 0.0, 0.0) 객체의 색은 빨간색
      - 빨간색 조명과 파랑색 재질: (1.0, 0.0, 0.0) * (0.0, 0.0, 1.0) → (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) → (0.0, 1.0, 0.0) 객체의 색은 초록색

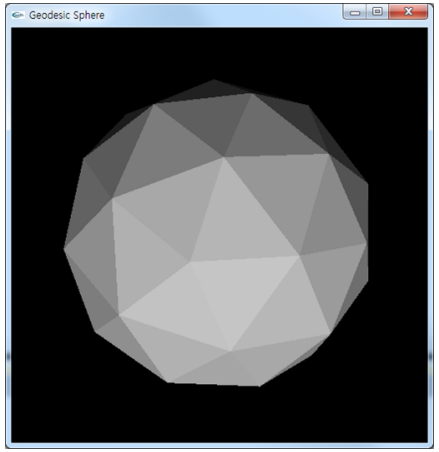
조명

- OpenGL에서 빛 (조명)은
  - 빛의 3원색인 빨간색, 초록색, 파란색의 성분
    - 광원의 색은 광원에서 방출하는 R, G, B 성분의 양에 따라 결정
  - 표면의 재질은 표면에 들어왔다가 다양한 방향으로 반사되는 빛의 RGB 성분의 비율로 결정
  - 따라서, openGL의 조명은 **광원 (Lights)과 재질(Materials), 그리고 면의 법선벡터(Normal)**에 의해서 결정된다.
  - 광원의 위치는 현재 변환에 영향을 받는다.
    - 광원은 객체와 같이 변환 행렬에 의해 움직일 수 있다.
    - 버텍스 세이더 또는 프래그먼트 세이더에서 객체의 색에 관련된 설정을 정하여 조명 효과를 추가한다.



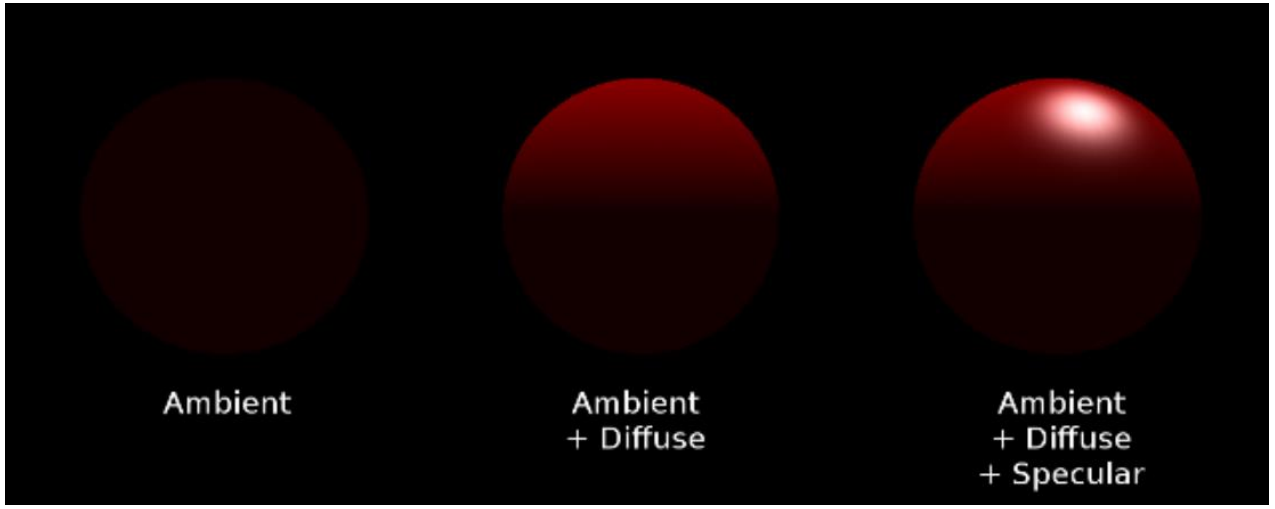






조명

- 조명
  - 주변 조명 (ambient light)
    - 배경 조명, 전역 조명
    - 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.
  - 거울반사 조명 (specular light)
    - 특정한 방향으로 들어와서 한 방향으로 완전히 반사되는 조명
    - 반짝이는 표면을 모델링할 때 사용됨



주변 조명 (Ambient light)

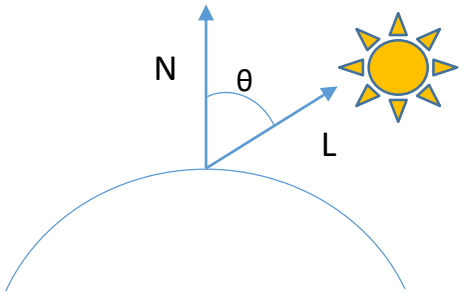
- 주변 조명 (전역 조명)
  - 간접적으로 들어오는 빛을 나타내는 조명
  - 객체의 위치나 방향과 관계없이 일정한 밝기의 빛이 고르게 퍼져있다고 정함
  - 주변 조명 효과는 광원의 주변조명색과 객체의 색으로 결정함
    - 조명의 컬러와 주변 조명의 세기를 곱해서 주변 조명값으로 정한다.
    - 또는 특정 상수값으로 설정한다.

  - 설정

```
uniform vec3 objectColor;
uniform vec3 ambientLightColor;

vec3 ambientLight = ambientLightColor;
vec3 result = ambientLight * objectColor;          //--- 객체의 색과 조명의 색상을 곱하여 최종 객체 색상 설정
```

산란반사조명 (Diffuse light)

- 산란반사조명
  - 특정 방향으로 진행하다가 표면에 닿으면 모든 방향으로 동일하게 반사된다.
  - 관찰자의 위치와 무관하며 가장 일반적인 조명
  - 조명을 받는 부분은 안 받는 부분보다 환하게 보인다.
  - 객체의 표면과 광원 과의 각도에 따라 조명 값이 달라진다.
    - 물체의 표면이 광원을 향하여 정면으로 향하고 있을 때 가장 많은 빛을 받고,
      비스듬하게 놓인 경우에는 상대적으로 적은 양의 빛을 받게 된다.
    - 표면이 받는 빛의 양은 광원과 법선 벡터의 내적에 비례한다.
      - 램버트의 코사인 법칙
      - cosΘ = N●L
        - N: 표면의 법선벡터 (정규벡터)
        - L: 광원의 방향벡터 (정규벡터)
      - N과 L 사이의 각도가 클수록 산란반사조명의 값은 어두워진다.



  - 설정

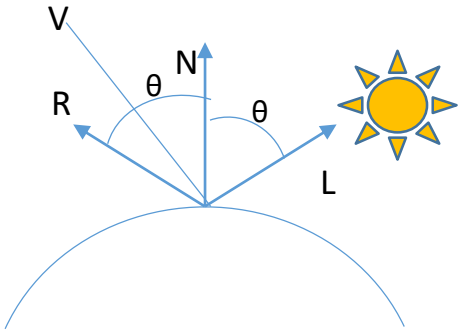
```
vec3 normalVector  = Normal;
vec3 lightDir = normalize (lightPos – FragPos);          //--- 표면과 조명의 위치로 조명의 방향을 결정한다.
float diffuseLight = max (dot (norm, lightDir), 0.0);    //--- N과 L의 내적 값으로 강도 조절 (음의 값을 가질 수 없게 한다.)

float diffuse = diffuseLight * lightColor;               //--- 산란반사조명값=산란반사값*조명색상값
```

거울반사조명 (Specular light)

- 거울반사조명 (정반사 조명)
  - 반짝이는 하이라이트를 생성함
  - 관찰자가 빛의 입사각과 거의 같은 반사각 부근에 위치할 경우 입사된 빛의 전부를 인식하며 하이라이트가 생긴다.
    - 거울반사조명의 반사각과 관찰자의 각도가 작을수록 많은 빛을 반사한다.
    - 거울 반사 조명은 조명의 색, 객체의 색 외에 재질의 shininess 정도를 추가하여 shininess 가 높으면 작은 면적의 하이라이트가 생성된다.

- 설정

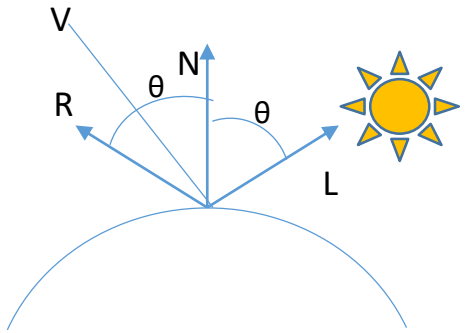
```
int shininess = 32;
vec3 normVector = Normal;                          // Normal: 표면의 법선 벡터
vec3 lightDir = normalize (lightPos – FragPos);    // 조명의 방향
vec3 viewDir = normalize (FragPos – viewPos);      // ViewPos: 관찰자의 위치값, FragPos: 객체의 위치값
vec3 reflectDir =  reflect (lightDir, normVector); // reflect 함수: 입사 벡터의 반사 방향 계산
float specularColor = max (dot (viewDir, reflectDir), 0.0);  // 거울반사 값 설정: 음수 방지

specularColor = pow(specularColor, shininess);     // shininess 승을 해주어 하이라이트를 만들어준다.
```



N: normal vector
L: 조명을 가리키는 벡터
R: 빛의 반사 방향
V: 관찰자 위치

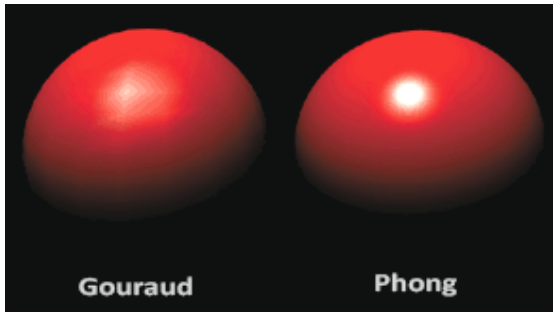
최종 조명 효과

- 표면에 조명 효과를 모델링할 수 있는 공식
  - $I = K_a I_a + K_d (N \cdot L) I_d + K_s (V \cdot R)^n I_s$



N: normal vector
L: 조명을 가리키는 벡터
R: 빛의 반사 방향
V: 관찰자 위치

- Gouraud shading (고라우드 쉐이딩)
  - 버텍스 당 라이팅 값을 계산
  - 버텍스 간 결과 색상들을 보간하여 세이딩에 사용
  - 전체 라이팅 공식을 버텍스 세이더에서 구현
  - 각 프래그먼트의 최종 색상은 최종 색상은 프래그먼트 세이더로 전달
    - 각 프래그먼트 색상은 프래그먼트 세이더로 전달되기 전에 보간
    - 프래그먼트 세이더는 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 세이딩)
  - 버텍스간에 색상값을 보간하는 것이 아니라
  - 버텍스 간의 표면 법선벡터를 보간
  - 그 결과 법선값을 사용하여 버텍스가 아닌 픽셀에 대해 전체 라이팅 계산을 수행
    - 고라우드 세이딩 같은 별 모양이 없고 훨씬 좋은 결과물
    - 프래그먼트 세이더에서 많은 작업을 수행한다.

주변 조명 (Ambient light)

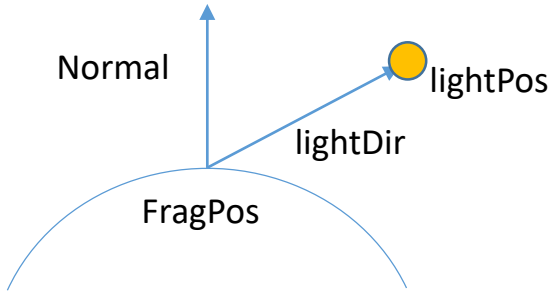
- **프래그먼트 세이더에 조명값을 적용한다.**

```
//--- 프래그먼트 세이더
#version 330 core
out vec4 FragColor;

uniform vec3 objectColor;
uniform vec3 ambientLightColor;

void main ()
{
	vec3 ambientLight = ambientLightColor;
	vec3 result = ambientLight * objectColor;		//--- 객체의 색과 조명의 색상을 곱하여 최종 객체 색상 설정
	FragColor = vec4 (result, 1.0);
}
```

산란 반사 조명 (Diffuse light)

- 산란반사 조명 설정
  - 응용 프로그램

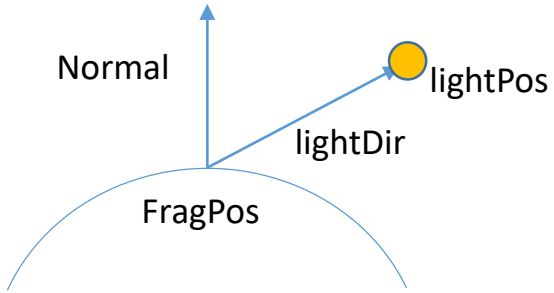
```
float vertices[] = {          // 꼭지점 속성: x, y, z, normalX, normalY, normalZ
-0.5f, -0.5f, -0.5f,  0.0f,  0.0f, -1.0f,      0.5f, -0.5f, -0.5f,  0.0f,  0.0f, -1.0f,      0.5f,  0.5f, -0.5f,  0.0f,  0.0f, -1.0f,
 0.5f,  0.5f, -0.5f,  0.0f,  0.0f, -1.0f,      -0.5f,  0.5f, -0.5f,  0.0f,  0.0f, -1.0f,     -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
};
```



산란 반사 조명 (Diffuse light)

- 응용 프로그램

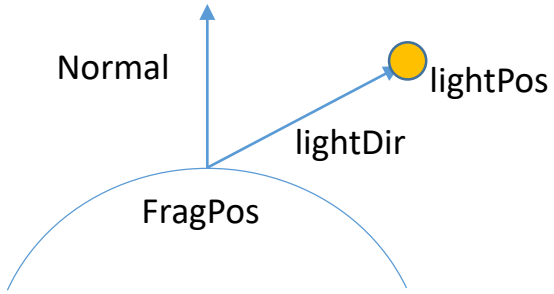
```
unsigned int VBO, VAO;

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);                  //--- 위치 속성
glEnableVertexAttribArray(0);
glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));  //--- 노말 속성
glEnableVertexAttribArray(1);

glUseProgram (shaderProgram);
int lightPosLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, “lightPos”);                        //--- lightPos 값 전달
glUniform3f (lightPosLocation, 1.0, 0.5, 0.0);
int lightColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, “lightColor”);                    //--- lightColor 값 전달
glUniform3f (lightColorLocation, 1.0, 0.0, 1.0);
int objColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, “objectColor”);                     //--- object Color값 전달
glUniform3f (objColorLocation, 0.5, 0.5, 0.5);
```



산란 반사 조명 (Diffuse light)

- 세이더

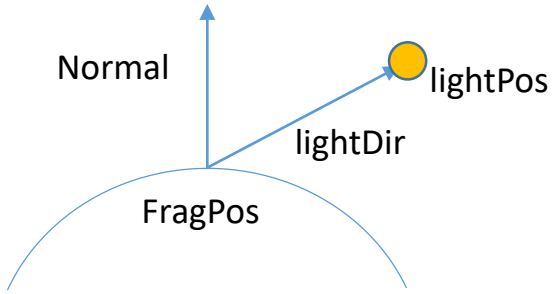
```
//--- 버텍스 세이더
layout (location = 0) in vec3 vPos;
layout (location = 1) in vec3 vNormal;
out vec3 FragPos;                          //--- 객체의 위치값을 프래그먼트 세이더로 보낸다.
out vec3 Normal;                           //--- 노멀값을 프래그먼트 세이더로 보낸다.

//--- projection, view, model 값은 uniform으로 설정한다.
uniform mat4 model;
uniform mat4 view;
uniform mat4 projection;

Void main()
{
	FragPos = vec3(model * vec4(vPos, 1.0));
	gl_Position = projection * view * model * vec4(vPos, 1.0);
	Normal = normalize (vNormal);          //--- 노멀값을 정규화 하고, 프래그먼트 세이더로 보낸다.
}
```



산란 반사 조명 (Diffuse light)

- 세이더

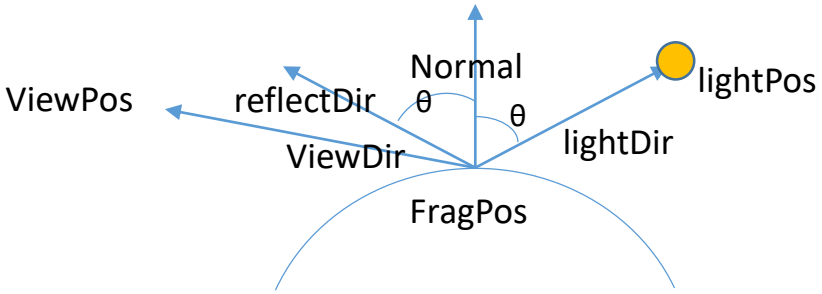
```
//--- 프래그먼트 세이더
#version 330 core
in vec4 FragPos;                                        //--- 위치값
in vec3 Normal;                                         //--- 버텍스 세이더에서 받은 노멀값
out vec4 FragColor;                                     //--- 최종 객체의 색 저장
uniform vec3 lightPos;                                  //--- 조명의 위치
uniform vec3 lightColor;                                //--- 조명의 색
uniform vec3 objectColor;                               //--- 객체의 색
void main ()
{
      vec3 ambientLight = 0.2;                          //--- 전역 조명 세기
      vec3 ambient = ambientLight * lightColor;         //--- 전역 조명 값

      vec3 normalVector  = Normal;
      vec3 lightDir = normalize (lightPos – FragPos);   //--- 표면과 조명의 위치로 조명의 방향을 결정한다.
      float diffuseLight = max (dot (norm, lightDir), 0.0);   //--- N과 L의 내적 값으로 강도 조절 (음의 값을 가질 수 없게 한다.)

      float diffuse = diffuseLight * lightColor;        //--- 산란반사조명값=산란반사값*조명색상값
      vec3 result = (ambient + diffuse) * objectColor;  //--- 최종 산란반사조명값 =전역 조명+산란 반사 조명
      FragColor = vec4 (result, 1.0);                   //--- 픽셀 색을 출력
}
```



거울 반사 조명 (Specular light)

- 세이더

```
//--- 버텍스 세이더
out vec3 FragPos;          // 객체의 위치값을 프래그먼트 세이더로 보낸다.
out vec3 Normal;           // 노멀값을 프래그먼트 세이더로 보낸다.

//--- projection, view, model 값은 uniform으로 설정한다.
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 = normalize (vNormal);
}
```



거울 반사 조명 (Specular light)

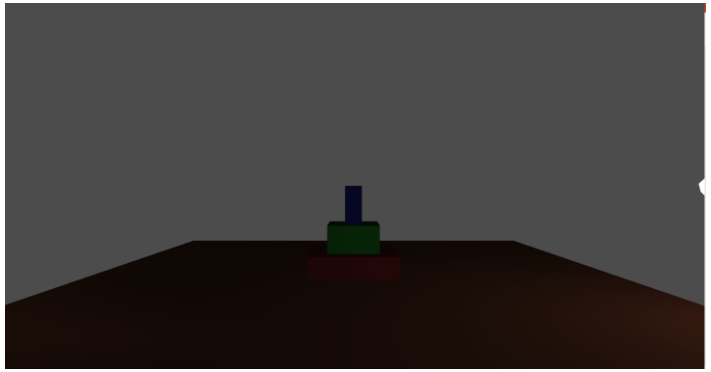
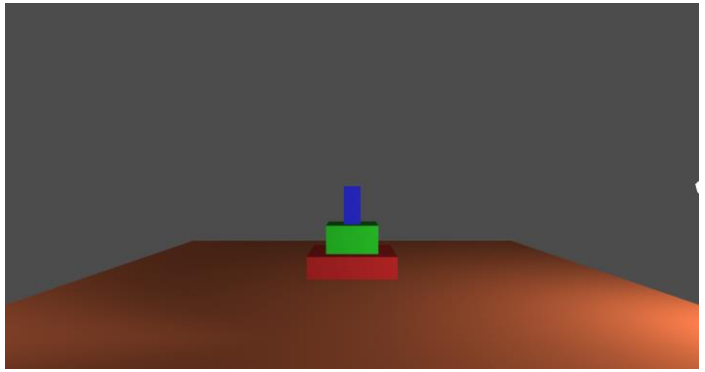
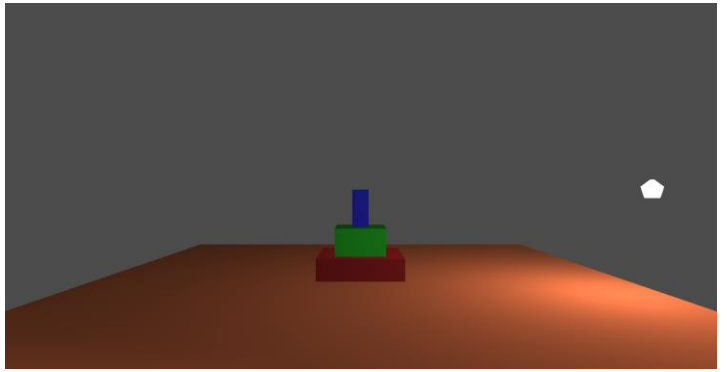
- 세이더

//--- 프래그먼트 세이더

```
#version 330 core
in vec4 FragPos;            // 노멀값을 계산하기 위해 객체의 위치값을 버텍스 세이더에서 받아온다.
in vec3 Normal;
out vec4 FragColor

void main ()
{
    vec3 ambientLight = 0.2;                                    //--- 전역 조명 세기
    vec3 ambient = ambientLight * lightColor;                   //--- 전역 조명 값

    vec3 normalVector  = Normal;
    vec3 lightDir = normalize (lightPos – FragPos);             //--- 표면과 조명의 위치로 조명의 방향을 결정한다.
    float diffuseLight = max (dot (norm, lightDir), 0.0);       //--- N과 L의 내적 값으로 강도 조절 (음의 값을 가질 수 없게 한다.)
    float diffuse = diffuseLight * lightColor;                  //--- 산란반사조명값=산란반사값*조명색상값

    int shininess = 32;
    vec3 normVector = Normal;                                   // Normal: 표면의 법선 벡터
    vec3 lightDir = normalize (lightPos – FragPos);             // 조명의 방향
    vec3 viewDir = normalize (FragPos – viewPos);               // ViewPos: 관찰자의 위치값, FragPos: 객체의 위치값
    vec3 reflectDir =  reflect (lightDir, normVector);          // reflect 함수: 입사 벡터의 반사 방향 계산
    float specularColor = max (dot (viewDir, reflectDir), 0.0); // 거울반사 값 설정: 음수 방지
    specularColor = pow(specularColor, shininess);              // shininess 승을 해주어 하이라이트를 만들어준다.
    vec3 specular = specularColor * lightColor;                 // 거울 반사 조명의 색을 결정
    vec3 result = (ambient + diffuse + specular) * objectColor; // 전역 조명,  산란 반사 조명, 거울 반사 조명을 함께 적용

    FragColor = vec4 (result, 1.0);                     /     / 픽셀 색을 출력
}
```

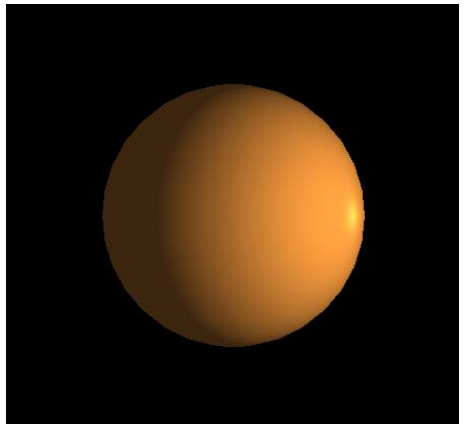
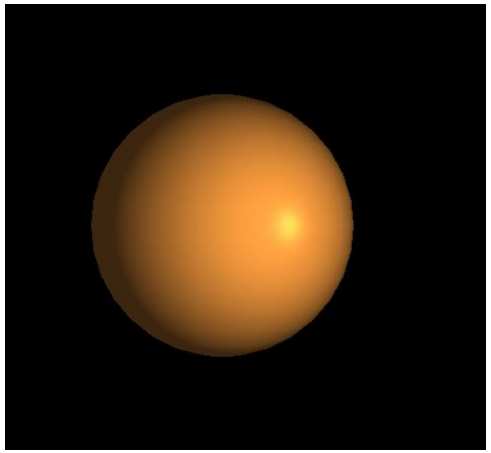
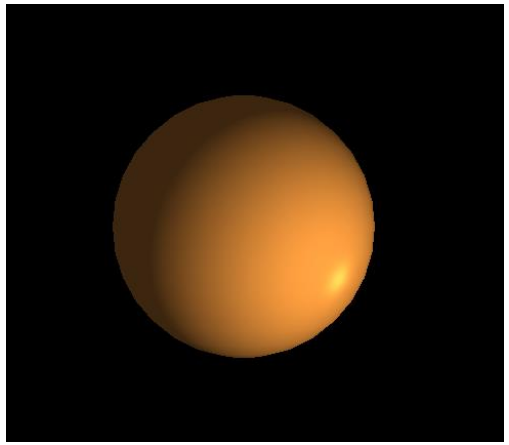
실습 19

- 조명 넣기
  - 크레인 실습(실습 16)에 조명을 적용한다.
    - 바닥에는 크레인이 이동
      - 크레인의 몸체는 각각 다른 색상 (조명)으로 설정한다.
    - 화면의 좌 상단에 조명을 넣는다
    - 키보드 명령
      - m/M: 조명 켜기/끄기
      - r/R: 조명이 중심의 y축 기준으로 양/음 방향으로 회전하기
      - s/S: 회전 멈추기

실습 20

- 조명 넣기
  - 태양, 지구, 달 회전 실습 (실습 13) 에 조명을 적용한다.
    - 조명이 화면 우측에 놓여있다.
    - 키보드 명령
      - 조명 색 바꾸기: 조명 색을 다른 색으로 바뀌도록 한다. 3종류의 다른 색을 적용해본다.
      - 조명 켜기/끄기: 조명 켜기/끄기.
      - 조명 회전하기: 조명의 위치에 따라 다양하게 적용해본다.

실습 21