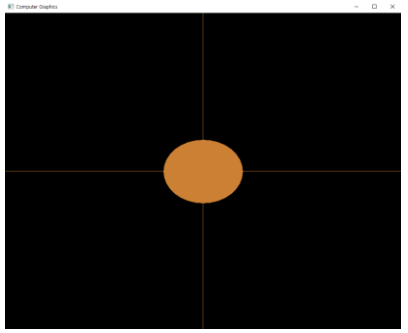
openGL 조명

2020년 2학기
조명모델

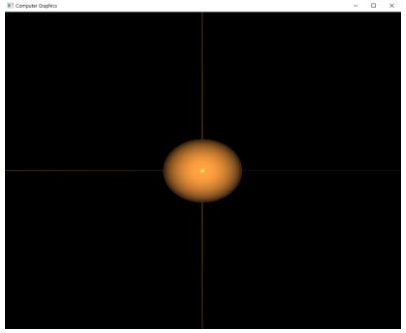
조명

- 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
    - 재질의 색: 객체의 표면에서 RGB 값
    - 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

      - (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)

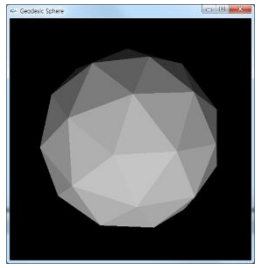
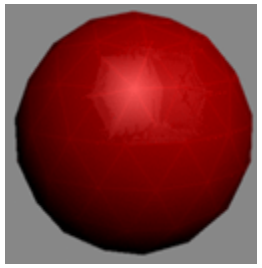
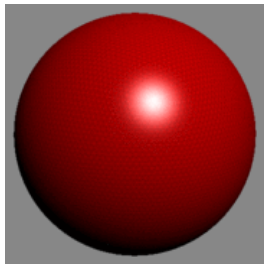
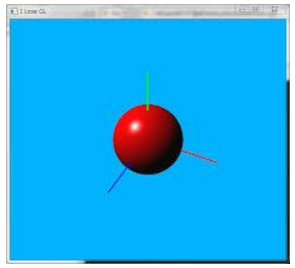


조명의 색: (1.0, 1.0, 1.0)

조명

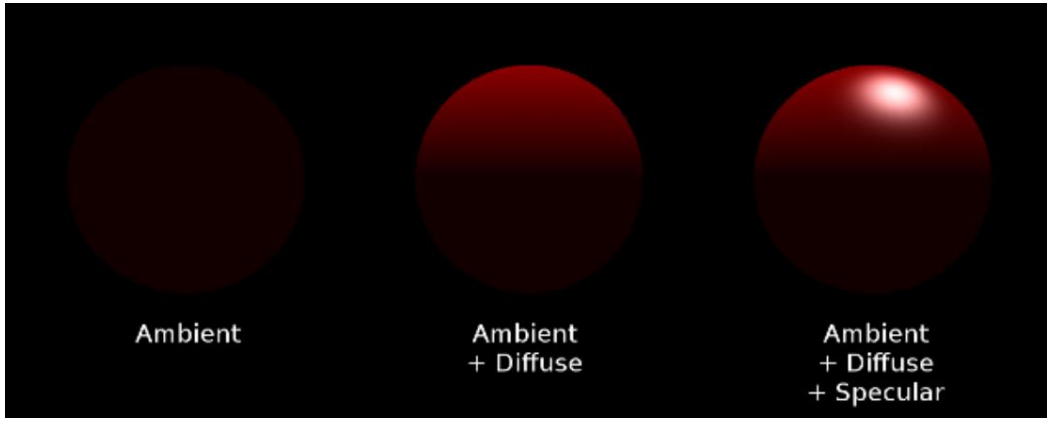
- OpenGL에서 빛 (조명)은
  - openGL의 조명은 **광원 (Lights)과 재질(Materials), 그리고 면의 법선벡터(Normal)**에 의해서 결정된다.
    - **광원**: 위치 (position), 색 (color)
      - 광원의 강도는 색(Red, Green, Blue)의 강도에 의해 결정
      - 광원은 객체와 같이 변환 행렬에 의해 움직일 수 있다.
    - **재질**: 표면이 빛을 어떻게 반사하는지 나타냄
      - 기본적으로 표면의 색, 반사계수
    - **법선 벡터**: 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 세이더 또는 프래그먼트 세이더에서 객체의 색과 법선 벡터, 반사 계수 등을 사용하여 조명 효과 설정

Phong Lighting Model

- 퐁 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



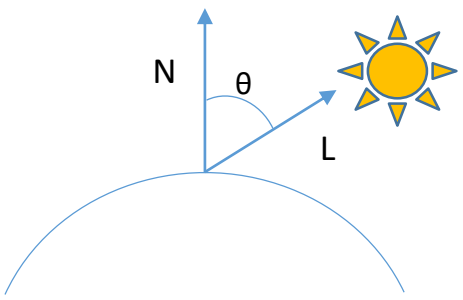
주변 조명 (Ambient light)

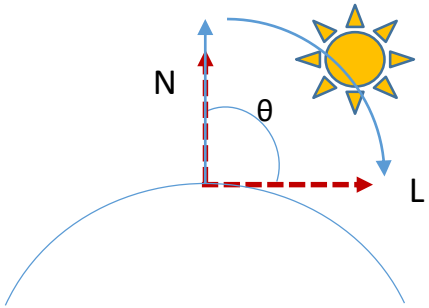
- 주변 조명 (전역 조명)
  - 간접적으로 들어오는 빛을 나타내는 조명으로 특정 방향을 갖지 않음
  - 객체의 위치나 방향과 관계없이 일정한 밝기의 빛이 고르게 퍼져있다고 정함
  - 주변 조명 효과는 조명색과 주변조명 계수, 객체의 색으로 결정함
    - 조명의 색상과 주변조명 계수를 곱해서 주변 조명값으로 정한다.
    - 또는 특정 상수값으로 설정한다.

    - **$I = K_a \cdot I_a$,** $0 \le K_a \le 1$
      - 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 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.
    - 램버트의 코사인 법칙: 표면에서 빛이 들어오는 각도에 따라 반사되는 빛의 세기가 다르다
      - $\cos\Theta = N \cdot L$
        - N: 표면의 법선벡터 (단위 벡터)
        - L: 광원의 방향벡터 (단위 벡터)
    - 표면이 받는 빛의 양은 광원과 법선 벡터의 내적에 비례한다.





$0 \le \Theta \le 90$

    - 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)
      - Θ: N과 L 사이의 각도
      - d: 표면에서 광원까지의 거리

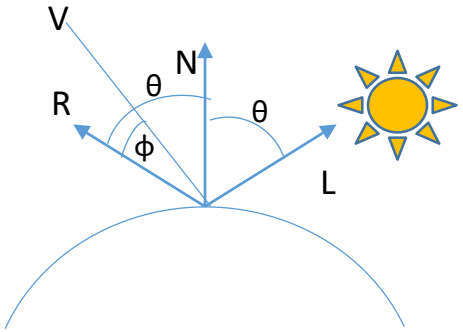
거울반사조명 (Specular light)

- 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 shines (광택 계수) 정도를 추가하여 shininess 가 높으면 작은 면적의 하이라이트가 생성된다.

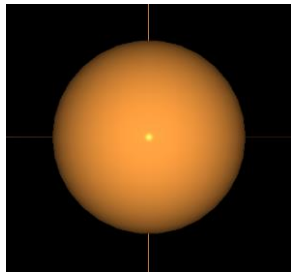
    - 거울반사조명값:

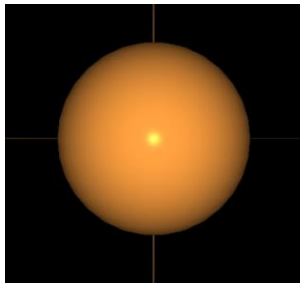
$$I = \frac{I_p}{d} \cdot K_s \cdot \cos^n \Phi = \frac{I_p}{d} \cdot K_s \cdot (V \cdot R)^n$$

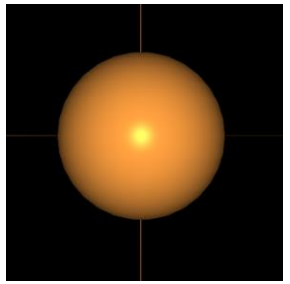
      - I_p: 광원의 색
      - K_s : 표면 물질의 거울반사계수
      - V: 관찰자에 대한 벡터
      - R: 빛의 반사 방향 벡터
      - n (shininess 광택 계수): 표면의 광택 정도에 따라 정해지는 값
      - d: 표면에서 광원까지의 거리



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

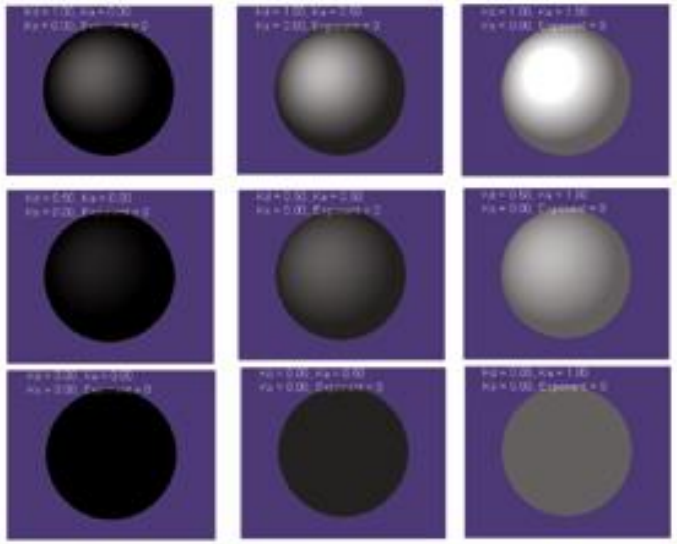

shininess = 256


shininess = 128

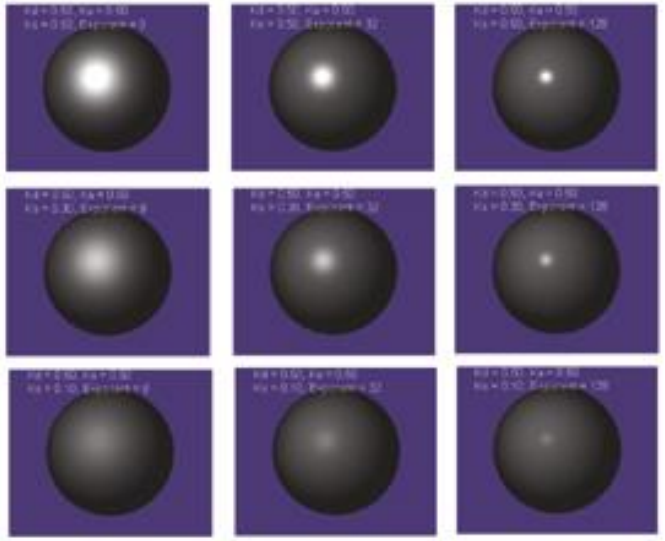

shininess = 16

최종 조명 효과

- 표면에 조명 효과를 모델링할 수 있는 공식
  - $I = K_a \cdot I_a + \frac{I_p}{d} \cdot (K_d \cdot (N \cdot L) + K_s \cdot (V \cdot R)^n)$



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 세이딩에 사용**
    - 전체 라이팅 공식을 **버텍스 세이더에서 구현**
    - 각 프래그먼트의 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 셰이딩)
    - 버텍스간에 색상값을 보간하는 것이 아니라 **버텍스 간의 표면 법선벡터를 보간**
    - 그 결과 법선값을 사용하여 버텍스가 아닌 **프래그먼트 세이더에서 픽셀에 대해 전체 라이팅 계산을 수행**
      - 고라우드 세이딩 같은 별 모양이 없고 훨씬 좋은 결과물
      - 프래그먼트 세이더에서 많은 작업을 수행한다.

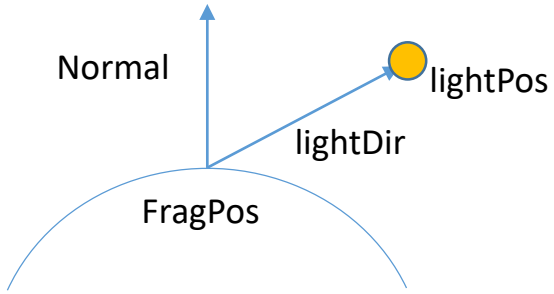
퐁 셰이딩: 주변조명 (Ambient light) 적용

- **프래그먼트 세이더에 조명값을 적용한다.**

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

uniform vec3 objectColor;                    //--- 응용 프로그램에서 설정한 객체의 색상
uniform vec3 lightColor;                     //--- 응용 프로그램에서 설정한 조명 색상

void main ()
{
        float ambientLight = 0.5;            //--- 주변 조명 계수: 0.0 ≤ ambientLight ≤ 1.0
        vec3 ambient = ambientLight * lightColor;   //--- 주변 조명값

        vec3 result = ambient * objectColor;        //--- 객체의 색과 주변조명값을 곱하여 최종 객체 색상 설정

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

퐁 셰이딩: 주변조명 + 산란반사조명 (Diffuse light) 적용

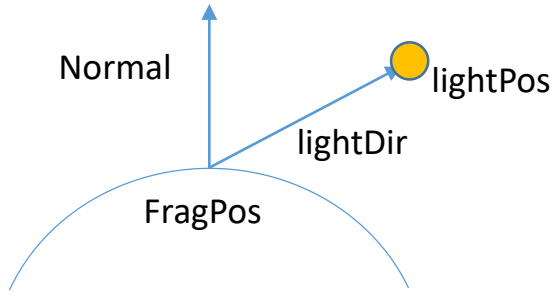
- 산란반사 조명 설정
  - 응용 프로그램




```
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
};
```

퐁 셰이딩: 주변조명 + 산란반사조명 (Diffuse light) 적용

- 응용 프로그램

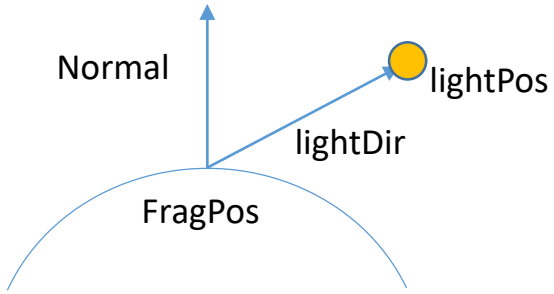



```
void InitBuffer ()
{
        unsigned int VBO, VAO;

        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);                  //--- 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: (0.0, 0.0, 5.0);
        glUniform3f (lightPosLocation, 0.0, 0.0, 5.0);
        int lightColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "lightColor");                     //--- lightColor 값 전달: (1.0, 1.0, 1.0) 백색
        glUniform3f (lightColorLocation, 1.0, 1.0, 1.0);
        int objColorLocation = glGetUniformLocation(shaderProgram, "objectColor");                      //--- object Color값 전달: (1.0, 0.5, 0.3)의 색
        glUniform3f (objColorLocation, 1.0, 0.5, 0.3);
}
```

퐁 셰이딩: 주변조명 + 산란반사조명 (Diffuse light) 적용

- 버텍스 세이더

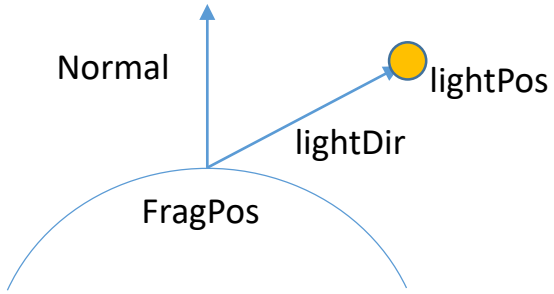
```
#version 330 core
layout (location = 0) in vec3 vPos;
layout (location = 1) in vec3 vNormal;

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

uniform mat4 model;                  //--- 모델링 변환값
uniform mat4 view;                   //--- 뷰잉 변환값
uniform mat4 projection;             //--- 투영 변환값

void main()
{
	gl_Position = projection * view * model * vec4(vPos, 1.0);

	FragPos = vec3(model * vec4(vPos, 1.0));     //--- 객체에 대한 조명 계산을 월드공간에서 한다.
                                                 //--- 따라서 월드공간에 있는 버텍스 값을 프래그먼트 셰이더로 보낸다.
	Normal = vNormal;                            //--- 노멀값을 프래그먼트 세이더로 보낸다.
}
```



퐁 셰이딩: 주변조명 + 산란반사 조명 (Diffuse light) 적용

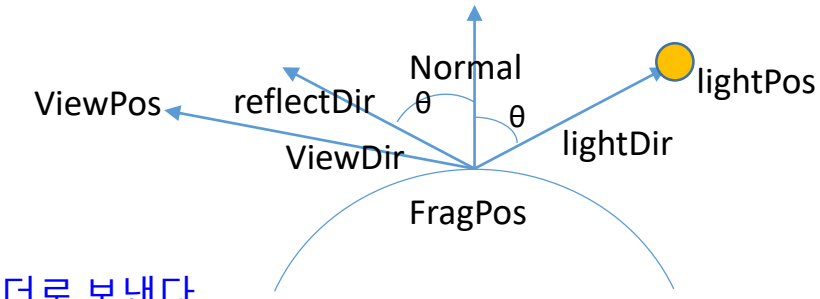
- 프래그먼트 세이더

```
#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 = 0.3;                    //--- 주변 조명 계수
      vec3 ambient = ambientLight * lightColor;   //--- 주변 조명 값

      vec3 normalVector  = normalize (Normal);    //--- 노말값을 정규화한다.
      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 조명 설정된 픽셀 색상=(주변조명+산란반사조명)*객체 색상

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



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

- 거울반사 조명 설정
  - 버텍스 세이더

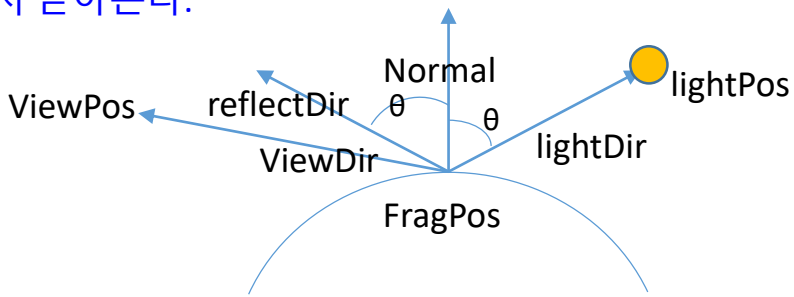



```
#version 330 core

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.

uniform mat4 model;                  //--- 모델링 변환값
uniform mat4 view;                   //--- 뷰잉 변환값
uniform mat4 projection;             //--- 투영 변환값

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

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

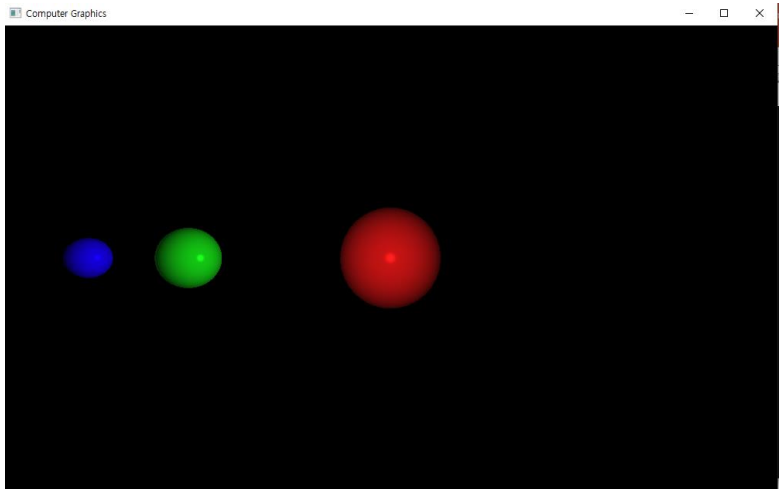
- 프래그먼트 세이더

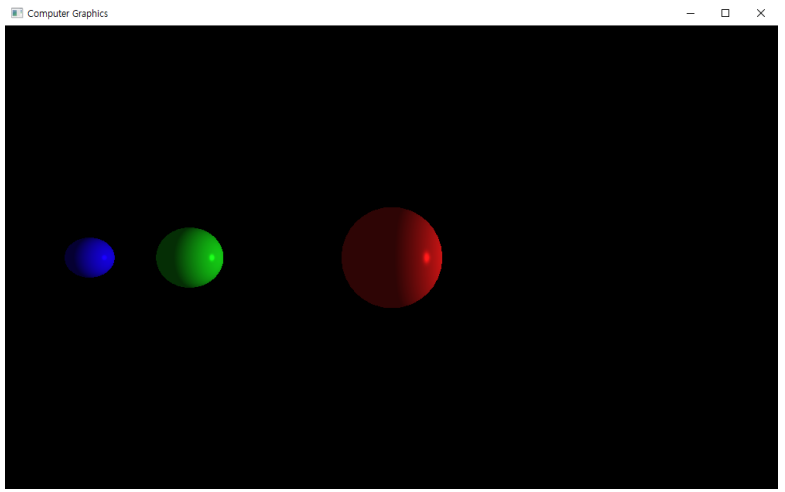
```
#version 330 core
in vec4 FragPos;          //--- 노멀값을 계산하기 위해 객체의 위치값을 버텍스 세이더에서 받아온다.
in vec3 Normal;
out vec4 FragColor

void main ()
{
    vec3 ambientLight = 0.3;                                  //--- 주변 조명 세기
    vec3 ambient = ambientLight * lightColor;                 //--- 주변 조명 값

    vec3 normalVector  = normalize (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: 음수 방지
    float diffuse = diffuseLight * lightColor;                //--- 산란 반사 조명값: 산란반사값 * 조명색상값

    int shininess = 128;                                      //--- 광택 계수
    vec3 viewDir = normalize (viewPos – FragPos);             //--- 관찰자의 방향
    vec3 reflectDir =  reflect (-lightDir, normVector);       //--- 반사 방향: reflect 함수 - 입사 벡터의 반사 방향 계산
    float specularLight = max (dot (viewDir, reflectDir), 0.0);  //--- V와 R의 내적값으로 강도 조절: 음수 방지
    specularLight = pow(specularLight, shininess);            //--- shininess 승을 해주어 하이라이트를 만들어준다.
    vec3 specular = specularLight * lightColor;               //--- 거울 반사 조명값: 거울반사값 * 조명색상값

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

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



실습 20

- 조명 넣기
  - 태양, 지구, 달 회전 실습 (실습 15) 에 조명을 적용한다.
    - 태양, 지구 달은 회전하지 않고 멈춰있다.
    - 조명이 화면 앞쪽에 놓여있다. 조명의 위치에 작은 객체를 그려 조명의 위치를 확인할 수 있게 한다.
    - 키보드 명령
      - c/C: 조명 색을 다른 색으로 바뀌도록 한다. 3종류의 다른 색을 적용해본다.
      - r/R: 조명의 위치를 중심의 구의 y축에 대하여 회전한다.

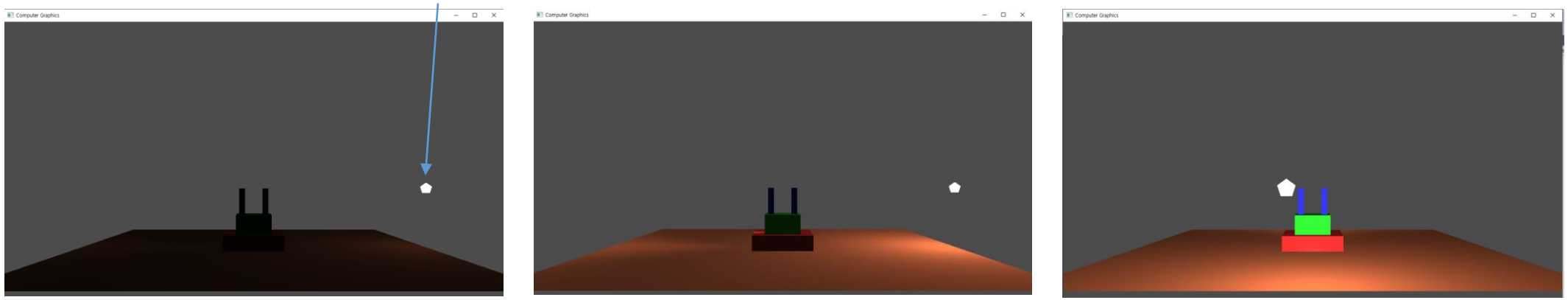




실습 21

- 조명 넣기
  - 크레인 실습(실습 17)에 조명을 적용한다.
    - 바닥에는 크레인이 이동
    - 화면의 우측 상단에 조명을 넣는다. 조명을 표시하는 작은 객체를 그린다.
    - 키보드 명령
      - m/M: 조명 켜기/끄기 (주변 조명만 적용)
      - c/C: 조명 색을 다른 색으로 바뀌도록 한다. 3종류의 다른 색을 적용해본다.
      - r/R: 조명이 화면 중심의 y축 기준으로 양/음 방향으로 회전하기 (공전)
      - s/S: 회전 멈추기
    - 실습 17에서의 카메라 이동/회전 명령어
    - 카메라가 화면 중심의 y축에 대해서 공전 적용

조명



이번 주에는

- 조명 모델
  - 주변 조명
  - 산란반사 조명
  - 거울반사 조명

- 실습
  - 20번, 21번
  - 22번: 수업 시간에 게시

- 다음주에는
  - 텍스처 매핑

- 실습시간에 만나요!