

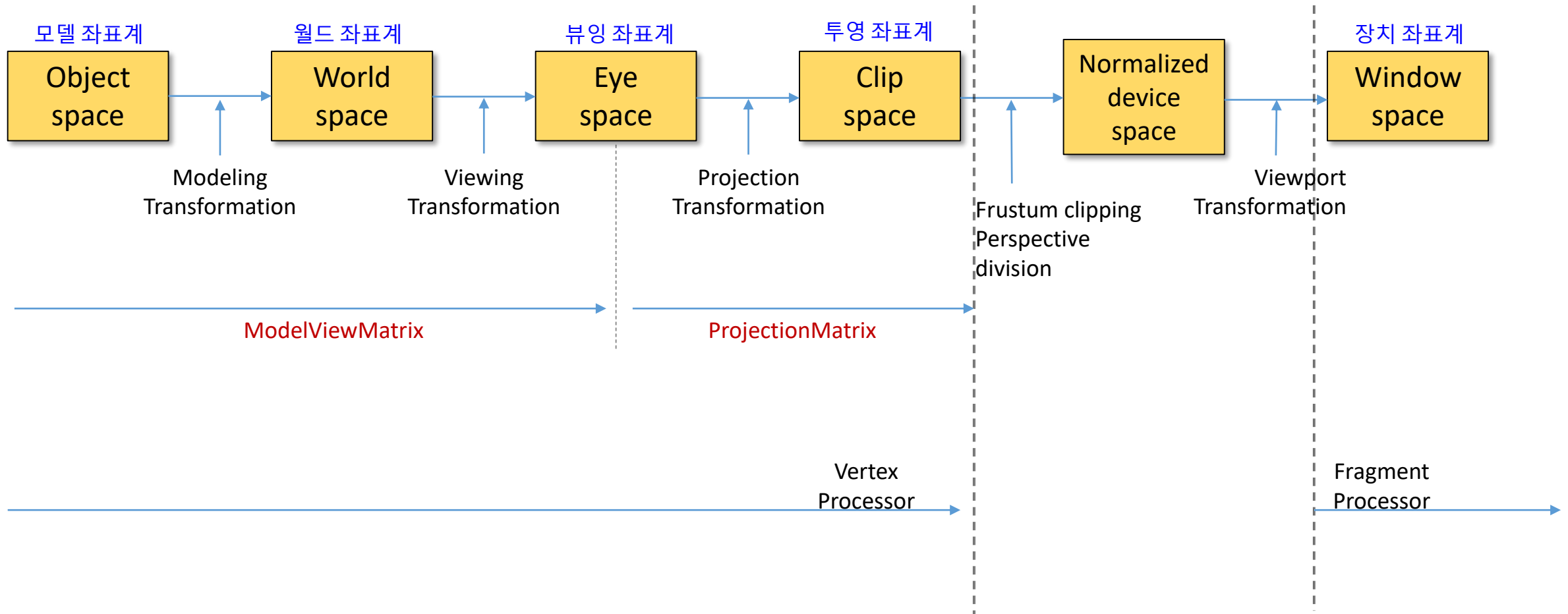
OpenGL 좌표계 변환 2

2023년 2학기

3차원 좌표계

- 좌표계 변환

- 물체는 좌표계에 따라 새로운 좌표값으로 바뀌어 최종적으로 화면에 그려진다.



2) 뷰잉 변환

- 뷰잉 변환: 월드 좌표계를 유저의 시점인 view space (뷰 공간)로 변환
 - View space: 월드 좌표를 유저의 시점 앞에 있는 좌표로 변환한 결과
 - 즉, 카메라의 관점에서 바라보는 공간
 - 카메라 초기값: 좌표계의 원점에 위치
- 카메라 위치 지정 방법
 - 1) 모델링 변환 함수들을 사용하여 카메라의 위치를 바꿀 수 있다
 - 카메라의 위치 변환은 객체들의 위치 변환과 반대로 변환하는 것과 같다.
 - 카메라를 오른쪽으로 이동 = 객체를 왼쪽으로 이동
 - 연속된 회전과 이동으로 카메라 위치를 지정할 수 있다.
 - 2) 카메라 설정 함수로 카메라 위치를 바꿀 수 있다.

2) 뷰잉 변환

- 뷰잉 변환 적용하기

- 뷰잉 변환 행렬 M_{view} 행렬 값을 설정하여 버텍스 셰이더에 적용한다.
- 변환 함수를 적용하여 카메라의 위치를 바꾼다.

//--- 응용 프로그램

```
void drawScene ()
```

```
{
```

```
    glUseProgram (shaderProgram);
```

```
    glm::mat4 view = glm::mat4(1.0f);
```

```
    view = glm::translate (view, glm::vec3(0.0f, 0.0f, -3.0f));
```

```
    unsigned int viewLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram,
```

```
    glUniformMatrix4fv (viewLocation, 1, GL_FALSE, &view[0][0]);
```

```
    glBindVertexArray (VAO);
```

```
    glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);
```

```
    glutSwapBuffers ();
```

```
}
```

//--- 버텍스 셰이더

```
#version 330 core
```

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

```
uniform mat4 modelTransform;
```

```
uniform mat4 viewTransform;
```

```
void main()
```

```
{
```

```
    gl_Position = viewTransform * modelTransform * vec4(vPos, 1.0);
```

```
}
```

//--- z축으로 -3만큼 이동 → 카메라를 z축으로 3만큼 이동한 효과
viewTransform"; //--- 버텍스 셰이더에서 viewTransform 변수위치
//--- viewTransform 변수에 변환값 적용하기

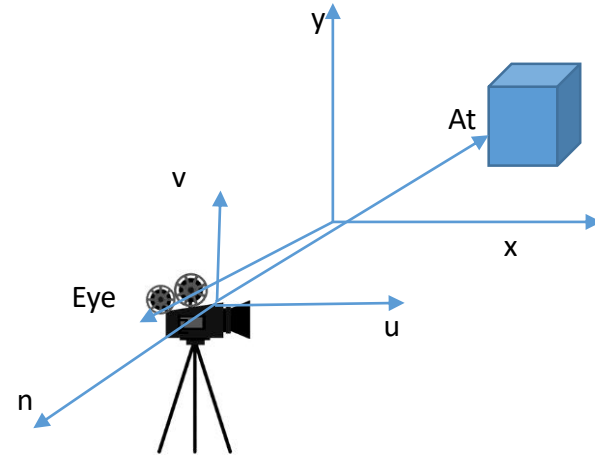
2) 뷰잉 변환

- 카메라 공간
 - 다음의 세 가지 파라미터를 가진다.
 - Eye: 월드 공간에서의 카메라의 위치 $\rightarrow (t_x, t_y, t_z)$
 - At: 월드 공간에서 카메라가 바라보는 기준점 $\rightarrow (n_x, n_y, n_z)$
 - Up: 카메라의 상단이 가리키는 방향 $\rightarrow (v_x, v_y, v_z)$
 - 대부분의 경우 Up은 월드 공간의 y축
- 카메라 공간 설정을 위한 3차원 뷰잉 변환 행렬은

$$\bullet \quad T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -tx \\ 0 & 1 & 0 & -ty \\ 0 & 0 & 1 & -tz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & 0 \\ v_x & v_y & v_z & 0 \\ n_x & n_y & n_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bullet \quad M_{\text{view}} = R \cdot T = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & -t \cdot u \\ v_x & v_y & v_z & -t \cdot v \\ n_x & n_y & n_z & -t \cdot n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

u: 오른쪽 벡터
v: 윗쪽 벡터
n: 방향 벡터
t: 카메라의 위치 벡터



2) 뷰잉 변환

- 카메라 공간

- 다음의 세 가지 파라미터를 가진다.

- Eye: 월드 공간에서의 카메라의 위치
 - At: 월드 공간에서 카메라가 바라보는 기준점
 - Up: 카메라의 상단이 가리키는 방향,
 - 대부분의 경우 Up은 월드 공간의 y축

- 단위 벡터, 외적 등을 이용하여 카메라의 파라미터를 설정한다.

- 카메라 객체 좌표계 설정

- 카메라 위치:

- `glm::vec3 cameraPos = glm::vec3 (0.0f, 0.0f, 5.0f);`

- 카메라 방향: 카메라가 바라보는 방향 (n)

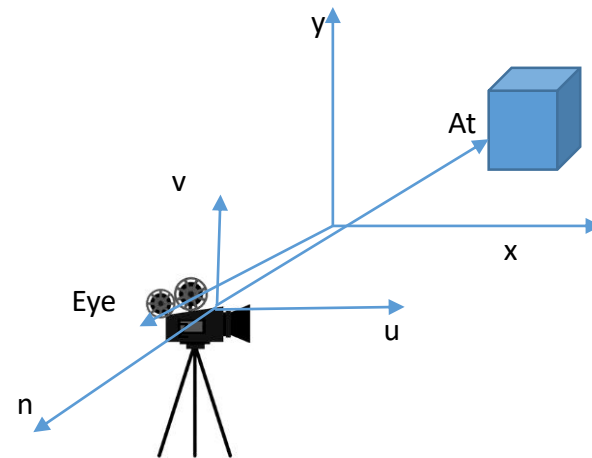
- `glm::vec3 cameraTarget = glm::vec3 (0.0f, 0.0f, 0.0f);`
 - `glm::vec3 cameraDirection = glm::normalize (cameraPos-cameraTarget);`

- 카메라의 오른쪽 축 (u)

- 위쪽 벡터와 카메라 방향 벡터와의 외적
 - `glm::vec3 up = glm::vec3 (0.0f, 1.0f, 0.0f);`
 - `glm::vec3 cameraRight = glm::normalize (glm::cross (up, cameraDirection));`

- 카메라의 위쪽 축 (v)

- `glm::vec3 cameraUp = glm::cross (cameraDirection, cameraRight);`



//--- (0.0, 0.0, 5.0)위치에 카메라를 놓음

//--- 카메라가 바라보는 곳

//--- 카메라 방향 벡터: z축 양의 방향

//--- 카메라의 위쪽 방향

2) 뷰잉 변환

- 카메라 설정 함수 프로토타입
 - `glm::mat4 glm::lookAt (vec3 const &cameraPos, vec3 const &cameraDirection, vec3 const &cameraUp);`
 - cameraPos: 카메라의 위치
 - cameraDirection: 카메라가 바라보는 기준점
 - cameraUp: 카메라의 상단이 가리키는 방향
- 카메라 변환 위해서는
 - 위의 세 인자값 변경
 - 변환 함수를 적용하여 카메라 위치 및 방향 변경 가능
- 사용 예)
 - 카메라를 (0, 0, 3) 위치에 두고 z축의 음의 방향으로 카메라를 놓는다.
 - `glm::lookat (glm::vec3 (0.0f, 0.0f, 3.0f), glm::vec3 (0.0f, 0.0f, 0.0f), glm::vec3 (0.0f, 1.0f, 0.0f));`

2) 뷰잉 변환

- 카메라의 위치 설정 예)

//--- 응용 프로그램

```
void drawScene ()  
{
```

```
    glUseProgram (shaderProgram);  
    glm::vec3 cameraPos  = glm::vec3(0.0f, 0.0f, 5.0f);  
    glm::vec3 cameraDirection = glm::vec3(0.0f, 0.0f, 0.0f);  
    glm::vec3 cameraUp    = glm::vec3(0.0f, 1.0f, 0.0f);  
    glm::mat4 view = glm::mat4 (1.0f);
```

//--- 카메라 위치
//--- 카메라 바라보는 방향
//--- 카메라 위쪽 방향

```
    view = glm::lookAt (cameraPos, cameraDirection, cameraUp);  
    unsigned int viewLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "viewTransform");  
    glUniformMatrix4fv (viewLocation, 1, GL_FALSE, &view[0][0]);
```

//--- 뷰잉 변환 설정

```
    glBindVertexArray (VAO);  
    glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);  
    glutSwapBuffers ();
```

//--- 도형 그리기

//--- 버텍스 셰이더

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

```
uniform mat4 modelTransform;  
uniform mat4 viewTransform;
```

```
void main()
```

```
{  
    gl_Position = viewTransform * modelTransform * vec4(vPos, 1.0);  
}
```


2) 뷰잉 변환

- 카메라 위치 바꾸기 예) z/z 키를 누르면 카메라가 조금씩 뒤로/앞으로 이동

//--- 응용 프로그램

```
void drawScene ()
```

```
{
```

```
    glUseProgram (shaderProgram);
```

```
    glm::vec3 cameraPos  = glm::vec3(0.0f, 0.0f, 5.0f);
```

//--- 카메라 위치

```
    glm::vec3 cameraDirection = glm::vec3(0.0f, 0.0f, 0.0f);
```

//--- 카메라 바라보는 방향

```
    glm::vec3 cameraUp    = glm::vec3(0.0f, 1.0f, 0.0f);
```

//--- 카메라 위쪽 방향

```
    glm::mat4 view = glm::mat4 (1.0f);
```

```
    view = glm::lookAt (cameraPos, cameraDirection, cameraUp);
```

```
    unsigned int viewLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "viewTransform");
```

//--- 뷰잉 변환 설정

```
    glUniformMatrix4fv (viewLocation, 1, GL_FALSE, &view[0][0]);
```

```
    glBindVertexArray (VAO);
```

```
    glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);
```

//--- 도형 그리기

```
    glutSwapBuffers ();
```

```
}
```

```
void Keyboard(unsigned char key, int x, int y)
```

```
{
```

```
    if (key == 'z')
```

```
        cameraPos.z += 0.1;
```

//--- 더하는 값은 변경될 수 있음

```
    else if ( key == 'Z')
```

```
        cameraPos.z -= 0.1;
```

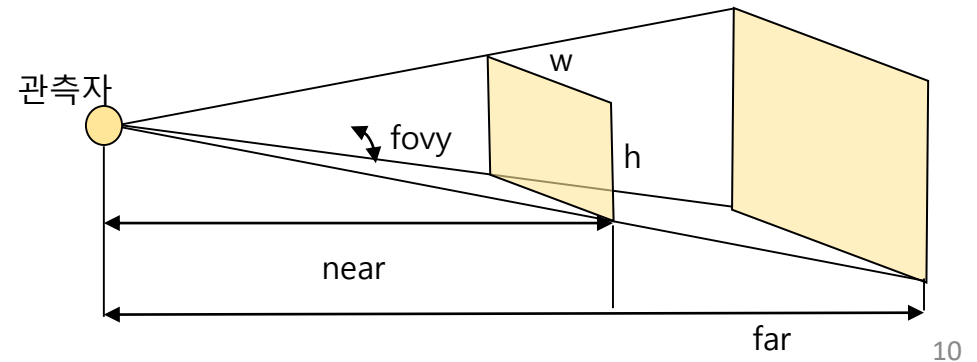
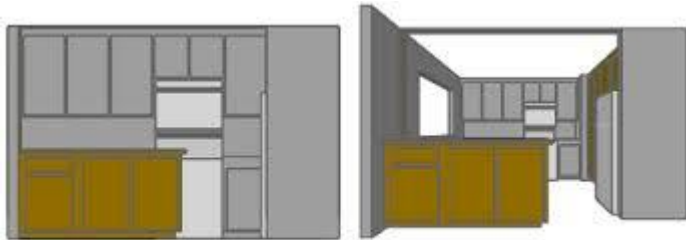
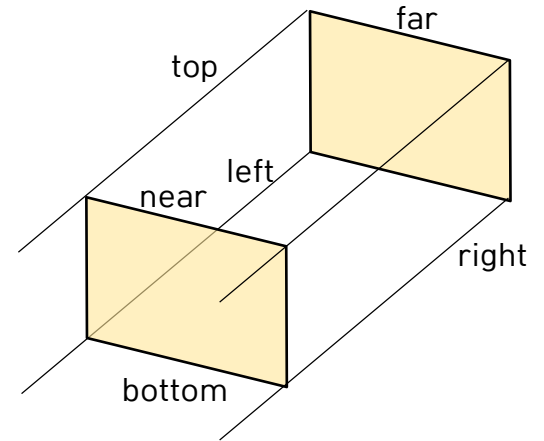
```
    ...
```

```
    glutPostRedisplay ();
```

```
}
```

3) 투영 변환

- 투영 변환: 객체가 놓이는 공간 설정
 - $M_{\text{projection}}$ 행렬: 투영 공간을 설정하는 변환 행렬
 - 절두체 (frustum)의 투영 공간: 직육면체 또는 피라미드 형태의 절두체
 - 공간 설정은 대개 바뀌지 않으므로 초기화 함수에서 한 번 적용하는 것이 좋음
- 직각 투영
 - 투영 공간이 직육면체: orthographic projection 행렬이 적용된다.
 - 공간 외에 있는 객체들은 clip된다.
 - 2D 평면에 똑바로 매핑 되고 원근감이 없다.
- 원근 투영
 - 투영 공간이 피라미드 형태: perspective projection 행렬이 적용된다.
 - 원근감을 가진다.

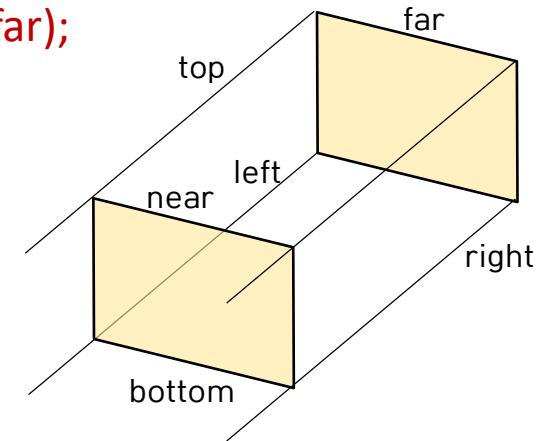


3) 투영 변환

- 직각 투영 볼륨 함수 프로토타입

- `glm::mat4 glm::ortho (float left, float right, float bottom, float top, float near, float far);`

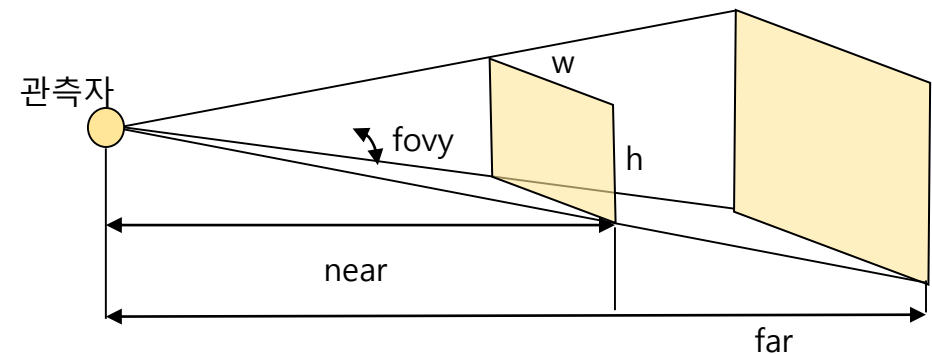
- left, right: 절두체의 왼쪽, 오른쪽 좌표
- bottom, top: 절두체의 맨 밑과 맨 위의 좌표
- near, far: 가까운 평면과 먼 평면



- 원근 투영 볼륨 함수 프로토타입

- `glm::mat4 glm::perspective (float fovy, float aspect, float near, float far);`

- fovy: 뷰잉 각도(라디언), 뷰잉 공간이 얼마나 큰지를 설정
- aspect: 종횡비 (앞쪽의 클리핑 평면의 폭(w)을 높이(h)로 나눈 값)
 - 종횡비: 화면의 가로방향에 대한 단위 길이를 나타내는 픽셀수에 대한 세로방향의 단위길이를 나타내는 픽셀 수의 비율.
예) 종횡비가 0.5: 가로길이의 두 픽셀이 세로길이의 한 픽셀에 대응한다.
- near: 관측자에서부터 가까운 클리핑 평면까지의 거리 (항상 양의 값)
- far: 관측자에서 먼 클리핑 평면까지의 거리 (항상 양의 값)



3) 투영 변환

- 직각 투영 변환 예)

//--- 응용 프로그램

```
void drawScene ()
```

```
{  
    glUseProgram (shaderProgram);  
    glm::mat4 projection = glm::mat4(1.0f);  
    projection = glm::ortho (-100.0f, 100.0f, -100.0f, 100.0f, -100.0f, 100.0f);  
  
    unsigned int projectionLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "projectionTransform");  
    glUniformMatrix4fv (projectionLocation, 1, GL_FALSE, &projection[0][0]);  
  
    glBindVertexArray (VAO);  
    glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);  
    glutSwapBuffers ();  
}
```

//--- 투영 공간 설정: [-100.0, 100.0]

//--- 투영 변환 값 설정

//--- 도형 그리기

//--- 버텍스 셰이더

```
#version 330 core
```

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

```
uniform mat4 modelTransform;
```

```
uniform mat4 viewTransform;
```

```
uniform mat4 projectionTransform;
```

```
void main()
```

```
{  
    gl_Position = projectionTransform * viewTransform * modelTransform * vec4(vPos, 1.0);  
}
```

3) 투영 변환

- 원근 투영 변환 예)

//--- 응용 프로그램

```
void drawScene ()
```

```
{
    glUseProgram (shaderProgram);
    glm::mat4 projection = glm::mat4(1.0f);
    projection = glm::perspective (glm::radians(45.0f), 1.0f, 0.1f, 100.0f);
    projection = glm::translate (projection, glm::vec3 (0.0, 0.0, -2.0);

    unsigned int projectionLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "projectionTransform");
    glUniformMatrix4fv (projectionLocation, 1, GL_FALSE, &projection[0][0]);

    glBindVertexArray (VAO);
    glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);
    glutSwapBuffers ();
}
```

//--- 투영 공간 설정: fovy, aspect, near, far
//--- 공간을 z축 이동

//--- 투영 변환 값 설정

//--- 도형 그리기

//--- 버텍스 셰이더

```
#version 330 core
```

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

```
uniform mat4 modelTransform;
```

```
uniform mat4 viewTransform;
```

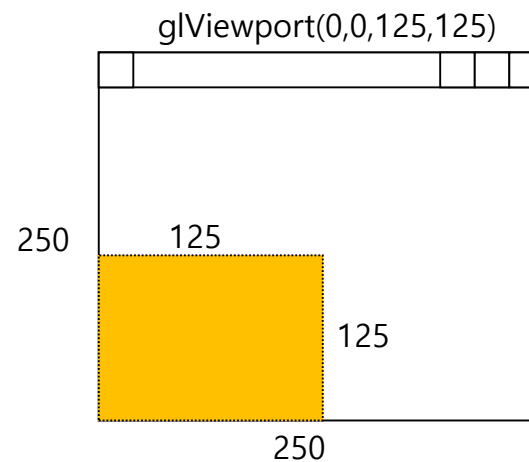
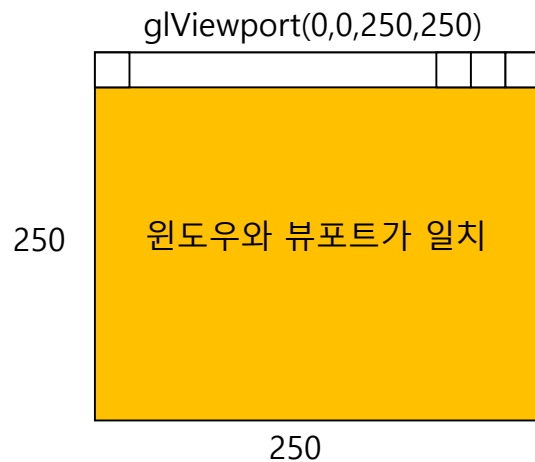
```
uniform mat4 projectionTransform;
```

```
void main()
```

```
{
    gl_Position = projectionTransform * viewTransform * modelTransform * vec4(vPos, 1.0);
}
```

4) 뷰포트 변환

- 화면의 최종적으로 출력될 영역 설정
- void **glViewport** (GLint x, GLint y, GLsizei width, GLsizei height);
 - 윈도우의 영역을 설정한다.
 - x, y: 뷰포트 사각형의 왼쪽 아래 좌표
 - width, height: 뷰포트의 너비와 높이



- Reshape 함수가 있을 때, 대개 그 함수에 포함시킨다.
 - 한 개 이상의 뷰포트를 설정해야 할 때는 그리기 함수에서 그리기 전에 뷰포트를 설정한다.

변환 적용하기

- 버텍스 셰이더에 변환 행렬을 적용
 - 응용 프로그램에서 변환 행렬 설정

- **M_{model}** 행렬

- glm::mat4 model;

- model = glm::rotate(model, glm::radians(30.0f), glm::vec3(1.0f, 0.0f, 0.0f));

//--- x축에 대하여 30도 회전

- **M_{view}** 행렬

- glm::mat4 view;

- view = glm::translate(view, glm::vec3(0.0f, 0.0f, -3.0f));

//--- 카메라를 z축으로 3만큼 이동, 카메라와 객체 변환은 반대

- **M_{projection}** 행렬

- glm::mat4 projection;

- projection = glm::perspective(glm::radians(45.0f), screenWidth / screenHeight, 0.1f, 100.0f);

//--- 원근 투영 적용

변환 적용하기

- 버텍스 셰이더에서 변환 행렬 적용

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

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

out vec3 passColor;

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

//--- 객체의 원래 버텍스 좌표값
//--- 객체의 색상값

//--- 모델링 변환값: 응용 프로그램에서 전달 → uniform 변수로 선언: 변수 이름 "model"로 받아옴
//--- 뷰잉 변환값: 응용 프로그램에서 전달 → uniform 변수로 선언: 변수 이름 "view"로 받아옴
//--- 투영 변환값: 응용 프로그램에서 전달 → uniform 변수로 선언: 변수 이름 "projection"로 받아옴

//--- 변환은 ← 방향으로 적용
//--- vPos: 객체의 원래 좌표값

변환 적용하기

- 응용 프로그램의 그리기 함수에서 버텍스 셰이더에 uniform으로 선언되어 있는 변환 행렬 값을 전달

```
void drawScene ()
{
    glUseProgram (shaderProgram);
    glBindVertexArray (VAO);

    int modelLoc = glGetUniformLocation (shaderProgram, "model");           //--- 버텍스 셰이더에서 모델링 변환 행렬 변수값을 받아온다.
    int viewLoc = glGetUniformLocation (shaderProgram, "view");           //--- 버텍스 셰이더에서 뷰잉 변환 행렬 변수값을 받아온다.
    int projLoc = glGetUniformLocation (shaderProgram, "projection");       //--- 버텍스 셰이더에서 투영 변환 행렬 변수값을 받아온다.

    //--- 모델링 변환, 뷰잉 변환, 투영 변환 행렬을 설정한 후, 버텍스 셰이더에 저장한다.
    glm::mat4 mTransform = glm::mat4 (1.0f);
    transform = glm::rotate (mTransform, glm::radians(yAngle), glm::vec3(0.0f, 1.0, 0.0f));
    glUniformMatrix4fv (modelLoc, 1, GL_FALSE, & mTransform[0][0]);

    glm::mat4 vTransform = glm::mat4 (1.0f);
    vTransform = glm::lookAt (cameraPos, cameraDirection, cameraUp);
    glUniformMatrix4fv (viewLoc, 1, GL_FALSE, & vTransform[0][0]);

    glm::mat4 pTransform = glm::mat4 (1.0f);
    pTransform = glm::perspective (glm::radians(60.0f), (float>window_w / (float>window_h, 0.1f, 200.0f));
    glUniformMatrix4fv (projLoc, 1, GL_FALSE, & pTransform[0][0]);

    //--- 객체를 그린다.
    glBindVertexArray (VAO);
    glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 12);
}
```

변환 적용하기

- 뷰포트 변환 적용

```
void Reshape (int w, int h)
```

```
{
```

```
    // w : window width  h : window height
```

```
    g_window_w = w;
```

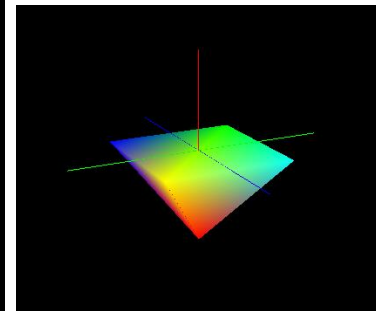
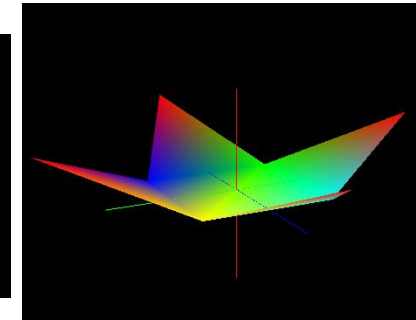
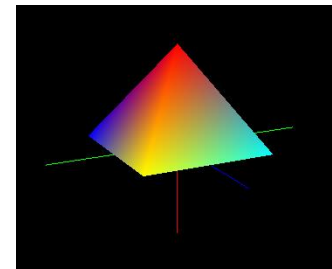
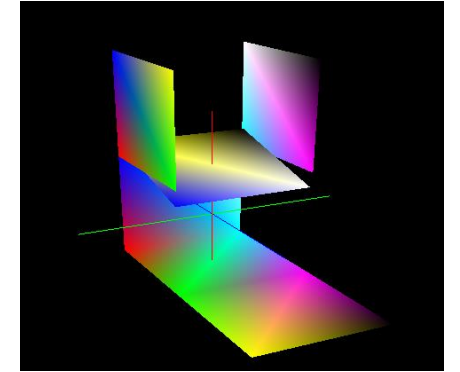
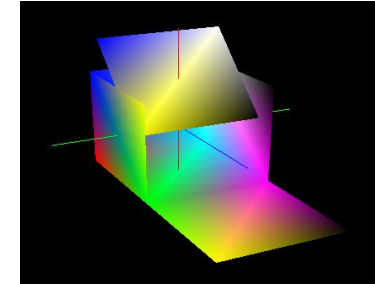
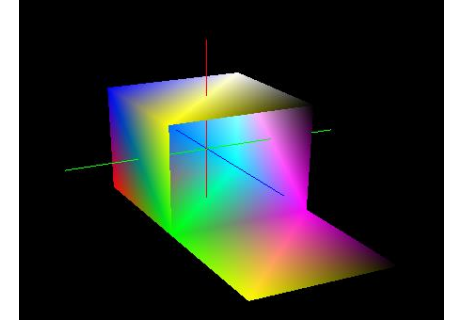
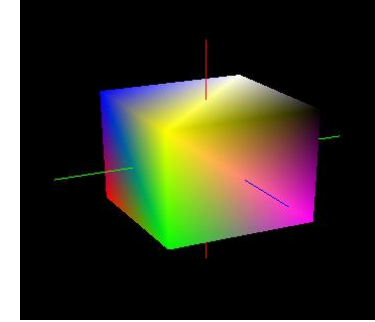
```
    g_window_h = h;
```

```
    glViewport (0, 0, w, h);    //-- 전체 윈도우를 사용해서 출력
```

```
}
```

실습 18

- 육면체와 사각뿔 애니메이션
 - 육면체와 사각뿔은 각 면에 다른 색을 배정한다.
 - 두 객체는 초기에 x축과 y축으로 약간 기울어져 있다.
 - 키보드 명령을 추가하여 다음의 명령을 수행한다.
 - h: 은면제거 설정/해제
 - y: y축에 대하여 자전한다/멈춘다.
 - 육면체 애니메이션
 - t: 육면체의 윗면 애니메이션 시작/정지
 - 윗면의 가운데 축을 중심으로 회전한다.
 - f: 육면체의 앞면을 연다/앞면을 닫는다.
 - 앞면이 아래축을 기준으로 애니메이션으로 열린다.
 - s:육면체의 옆면을 연다/닫는다.
 - 옆면을 위로 슬라이드하여 열거나 아래로 슬라이드하여 닫는다.
 - b:육면체의 뒷면을 연다/닫는다.
 - 뒷면이 작아지면서 없어진다/다시 커지면서 원래 크기가 된다.
 - 사각뿔 애니메이션
 - o: 사각뿔의 모든 면들이 함께 열린다/닫는다.
 - 사각뿔의 아래 면을 기준으로 애니메이션으로 열린다.
 - 180도까지 열려서 네 개의 옆면이 아래에서 만난다.
 - R: 사각뿔의 각 면이 한 개씩 열린다/닫는다.
 - 사각뿔의 한 면 씩 번갈아 가며 열린다.
 - 열리는 각도는 평면 까지만 (90도) 열린다.
 - p: 직각 투영/원근 투영
 - 투영 공간 예)
 - 직각 투영 크기: [-2.0, 2.0]
 - 원근 투영: fovy – 45.0도, near – 0.1, far – 50.0
 - 투영 공간을 z축으로 -5.0 정도 이동시킨다



실습 19

- 중심의 구를 중심으로 3개의 구가 다른 방향의 경로를 따라 회전하는 애니메이션 만들기
 - 은면제거, 투영을 적용한다.
 - 모든 구는 다른 색으로 설정한다.
 - 세개의 행성이 중심의 구를 중심으로 다른 속도, 다른 경로로 공전한다.
 - 경로 1: xz 평면
 - 경로 2: xz 평면이 반시계방향으로 45도 기울어져 있다.
 - 경로 3: xz 평면이 시계방향으로 45도 기울어져 있다.
 - 3개의 행성에는 각각 공전하는 달을 가지고 있다.
 - 달은 부모 행성 공전 궤도와 평행하게 행성 주위를 공전한다.
 - 모든 공전 경로를 원으로 화면에 그린다.
- 키보드 명령
 - p/P: 직각 투영/원근 투영
 - m/M: 솔리드 모델/와이어 모델
 - w/a/s/d: 위의 도형들을 좌/우/상/하로 이동 (x축과 y축 값 이동 - 객체 이동)
 - +/-: 위의 도형들을 앞/뒤로 이동 (z축 값 이동 - 객체 이동)
 - y/Y: 전체 객체들을 y축으로 양/음 방향으로 회전 (중앙의 구의 y축에 대하여 회전)
 - z/Z: 중심의 구를 제외하고 행성, 달, 궤도가 z축에 대하여 양/음 방향으로 일제히 회전

