openGL 좌표계 변환 1

2023년 2학기

GLM 라이브러리 사용하기

- GLM (GL Mathematics)
  - GLM (GL Mathematics)는 OpenGL Shading Language를 기반으로 하는 그래픽스 소프트웨어에서 사용할 수 있는 GLSL 기반의 header-only C++ 수학 라이브러리
  - 모던 openGL은 변환 관련 함수들과 카메라 함수 등이 더 이상 지원되지 않는다. 따라서 이런 작업들을 하기 위하여 glm 이 제공하는 함수들을 사용한다.
    - 함수들을 사용할 때 네임스페이스를 사용하지말고 "glm::" 문법을 사용하여 함수들을 호출하도록 한다.
    - 참조 사이트: https://glm.g-truc.net/0.9.9/index.html

  - GLM 라이브러리 사용하기
    - 헤더파일 포함하기

```
#include <gl/glm/glm.hpp>
#include <gl/glm/ext.hpp>
#include <gl/glm/gtc/matrix_transform.hpp>
```

  - 기본 데이터 타입
    - Vector type: vec{2|3|4}, bvec{2|3|4}, ivec{2|3|4}, uvec{2|3|4}
    - Matrix type: dmat{2|3|4}, dmat2x{2|3|4}, dmat3x{2|3|4}, dmat4x{2|3|4}, mat{2|3|4}, mat2x{2|3|4}, mat3x{2|3|4}, mat4x{2|3|4}

GLM 라이브러리 사용하기

- 생성자
  - glm::mat4(); //--- 4x4 행렬
  - Glm::vec4(); //--- 4-요소 벡터
  - glm::vec3(); //--- 3-요소 벡터

- 초기화
  - glm ::mat4 (1.0); //--- GLM 0.9.9 버전부터는 초기화된 기본 행렬이 단위 행렬이 아니라 0으로 초기화되어 있음
    //--- 사용하기 위해서는 glm::mat4 M = glm::mat4 (1.0f);와 같이 행렬을 초기화해야한다.
- 행렬 곱셈
  - glm::mat4() * glm::mat4();
  - glm::mat4() * glm::vec4;
  - glm::mat4() * glm::vec4 (glm::vec3, 1);

- 변환 함수
  - glm ::mat4 glm::rotate (glm::mat4 const&m, float angle, glm::vec3 const& axis);
  - glm ::mat4 glm::scale (glm::mat4 const&m, glm::vec3 const& factors);
  - glm ::mat4 glm::translate (glm::mat4 const&m, glm::vec3 const & translation);

GLM 라이브러리 사용하기

- 뷰잉 볼륨
  - glm::mat4 glm::ortho (float left, float right, float bottom, float top, float near, float far);
  - glm::mat4 glm::frustum (float left, float right, float bottom, float top, float near, float far);
  - glm::mat4 glm::perspective (float fovy, float aspect, float near, float far);

- 카메라 조정
  - glm::mat4 glm::lookAt (glm::vec3 const &eye, glm::vec3 const&look, glm::vec3 const &up);

- 수학 함수 (genType: float, integer, scalar 또는 vector types)
  - genType glm::abs (genType x);
  - vec4f glm::ceil (vec4f x);
  - genType glm::clamp (genType x, genType minVal, genType maxVal);
  - int glm::floatBitsToInt (float const &v);
  - vec4f glm::floor (vec4f const &x);
  - vec3f glm::cross (vec3f const &x, vec3f const &y);
  - float glm::distance (vec4f const &p0, vec4f const &p1);
  - float glm::dot (vec4f const &x, vec4f const &y);
  - float glm::length (vec4f const &x);
  - vec4f glm::normalize (vec4f const&x);

GLM 라이브러리 사용하기

- 삼각 함수
  - float glm::sin (float const &angle);
  - float glm::cos (float const &angle);
  - float glm::tan (float const &angle);
  - float glm::degrees (float const &radians);
  - float glm::radians (float const &degrees);

- Input 인자의 데이터 주소 가져오기
  - genType glm::value_ptr (genType const &vec);

    - #include <glm/gtc/type_ptr.hpp>
    - 사용 예)

```
void f () {
        glm::vec3 aVector( 3 );
        glm::mat4 someMatrix( 1.0f );
        glUniform3fv ( uniformLoc, 1, glm::value_ptr ( aVector ) );
        glUniformMatrix4fv ( uniformMatrixLoc, 1, GL_FALSE, glm::value_ptr (someMatrix ) );
        //--- 또는, glUniformMatrix4fv ( uniformMatrixLoc, 1, GL_FALSE, &someMatrix[0][0] );
}
```

동차 좌표

- 동차 좌표 (Homogeneous Coordinates)
  - 벡터 공간: 크기와 방향이 같으면 같은 벡터로 취급
  - 어파인 공간: 크기와 방향이 같아도 시작 위치가 다르면 다름
    - 점과 벡터를 동족으로 취급하여 벡터 공간을 확장: 점과 벡터와의 덧셈 추가됨
    - 그러나, 점과 벡터의 표현이 다름
      - v = (x, y, z)
      - p = (x, y, z, w)
  - 3차원을 하나 올려 4개의 요소로 표시해서 동일 방법으로 표시
    - (x, y, z) → (x, y, z, w)
      - w = 0 → 벡터
      - w = 1 → 점
    - 벡터와 점을 동일한 방법으로 표현
      - v = (x, y, z, 0) //--- 벡터
      - P = (x, y, z, 1) //--- 점
    - 모든 기하 변환 행렬을 곱셈으로 표시할 수 있음
    - 3차원 동차 좌표를 4차원 (x, y, z, w) 좌표로 표시하면 → 3차원 실제 좌표는 (x/w, y/w, z/w)

      (1, 2, 4, 1) == (2, 4, 8, 2) == (5, 10, 20, 5)

변환 행렬

- 변환 행렬
  - 3차원 변환 시, 동차 좌표계를 이용한 4x4 행렬 사용
  - 행렬 곱셈 순서: 행렬 x 좌표값 = 변형된 좌표값

$$\begin{bmatrix} a & b & c & d \\ e & f & g & h \\ i & j & k & l \\ m & n & o & p \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax + by + cz + dw \\ ef + fy + gz + hw \\ ix + jy + kz + lw \\ mx + ny + oz + pw \end{bmatrix}$$

  - 응용 프로그램에서

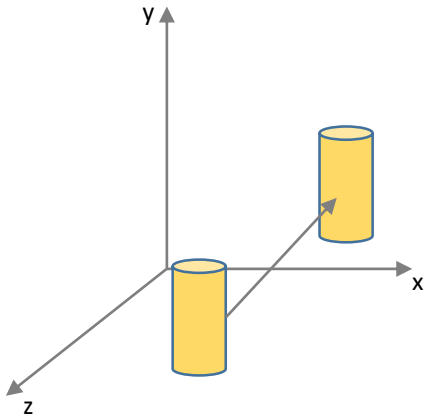
```
glm::mat4 myMatrix;
glm::vec4 myVector;
glm::vec4 transformedVector = myMatrix * myVector;
```

  - GLSL에서

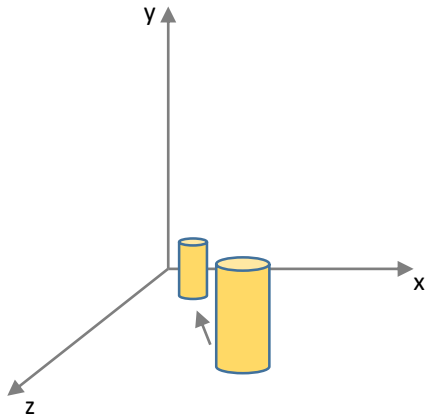
```
mat4 myMatrix;
vec4 myVector;
vec4 transformedVector = myMatrix * myVector;
```

기하 변환

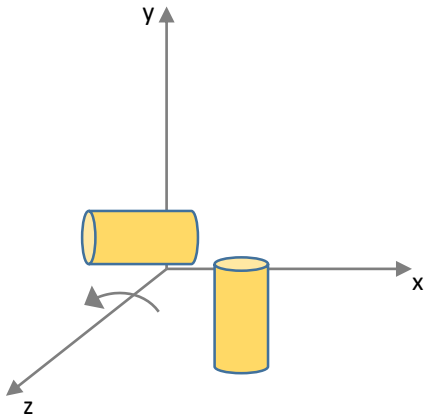
- 기하 변환 (Geometric Transformation)
  - 물체 또는 좌표계 변환의 기본으로 하나 또는 그 이상의 기하학적 객체를 나타내는 점들을 새로운 위치로 옮기는 것
  - 행렬로 표현됨
  - 기본 기하 변환
    - 이동 (Translation): $(x', y', z') = (x + dx, y + dy, z + dz)$
    - 회전 (Rotation): $(x', y', z') = (x\cos\theta - y\sin\theta, x\sin\theta + y\cos\theta, z)$
    - 신축 (Scale) : $(x', y', z') = (sx \cdot x, sy \cdot y, sz \cdot z)$



이동



신축



z축 회전

기하 변환

- 이동 (Translation): 물체를 구성하는 정점을 동일한 양만큼 움직이기→ (d_x, d_y, d_z): 이동 벡터 값

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x + x \\ d_y + y \\ d_z + z \\ 1 \end{bmatrix}$$

  - GLM 함수
    - glm::mat4 glm::**translate** (glm::mat4 const &M, glm::vec3 const & Translation);
      - M: 입력된 이동 행렬
      - Translation: 이동 변환 인자
      - 리턴값: 3 vector 요소 Translation 으로 생성된 4x4 행렬

    - 사용 예) (2.0, 1.0, 3.0)의 좌표를 x축으로 0.1, y축으로 0.2, z축으로 0.4 이동

```
glm::vec4 myVec(2.0, 1.0, 3.0, 1.0);
glm::mat4 transMatrix = glm::mat4 (1.0f);          //--- 단위 행렬로 초기화
transMatrix = glm::translate (transMatrix, glm::vec3 (0.1, 0.2, 0.4));
myVec = transMatrix * myVec;
```

  - GLSL
    - vec4 transMatrix = myMatrix * myVector

기하 변환

- 신축 (Scaling) 행렬: 한 점을 기준으로 물체에 크기 조절 변환 → (s_x, s_y, s_z): 신축률

$$\begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x * x \\ s_y * y \\ s_z * z \\ 1 \end{bmatrix}$$

  - GLM 함수
    - glm::mat4 glm::**scale** (glm::mat4 const &M, glm::vec3 const& Factors);
      - M: 신축 행렬
      - Factors: 신축률
      - 리턴값: 3 scalar 값 Factors로 생성된 4x4 행렬

    - 사용 예) (2.0, 1.0, 3.0)의 좌표를 x축으로 0.5, y축으로 1.5배 신축

```
glm::vec4 myVec(2.0, 1.0, 3.0, 1.0);
glm::mat4 scaleMatrix = glm::mat4 (1.0f);          //--- 단위 행렬로 초기화
scaleMatrix = glm::scale (scaleMatrix, glm::vec3 (0.5, 1.5, 1.0));
myVec = scaleMatrix * myVec;
```

  - GLSL
    - vec4 scaleMatrix = myMatrix * myVector

기하 변환

- 회전 (Rotation) 행렬: 기준축을 중심으로 객체가 놓여있는 방향을 변환 → θ: 회전각

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x\cos\theta - y\sin\theta \\ x\sin\theta + y\cos\theta \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

  - GLM 함수
    - glm::mat4 glm::**rotate** (glm::mat4 const &M, float Angle, glm::vec3 const& Axis);
      - M: 회전 행렬
      - Angle: 회전 각도 (라디안 값)
      - Axis: 회전 축 (normalize된 값으로 적용)
      - 리턴값: 축 벡터와 각도에서 생성된 4x4 행렬

    - 사용 예) (2.0, 1.0, 3.0)의 좌표를 y축에 대해 각도 30도만큼 회전

```
glm::vec4 myVec(2.0, 1.0, 3.0, 1.0);
glm::mat4 rotMatrix = glm::mat4 (1.0f);                    //--- 단위 행렬로 초기화
rotMatrix = glm::rotate (rotMatrix, glm::radians(30.0f), glm::vec3 (0.0f, 1.0f, 0.0f));
myVec = rotMatrix * myVec;
```

  - GLSL
    - vec4 rotateMatrix = myMatrix * myVector

함수 프로토타입

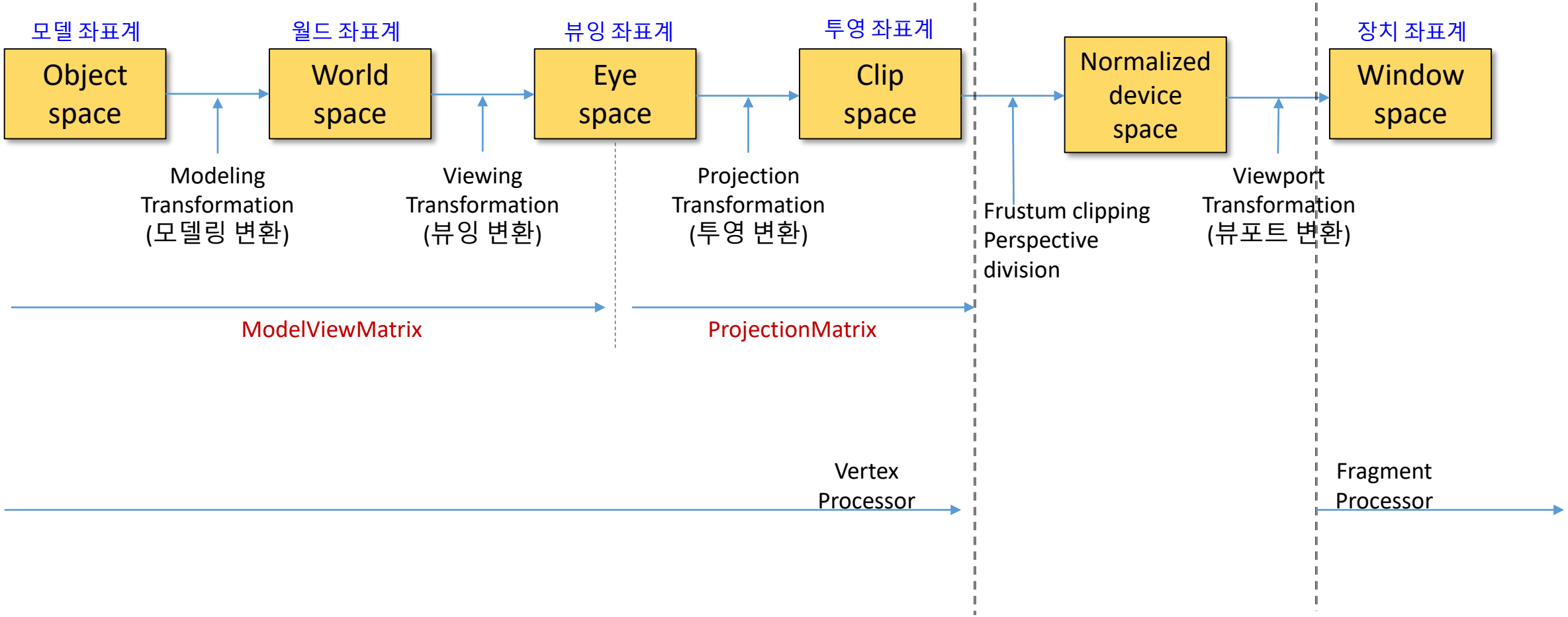
- 유니폼 변수 다루기
  - GLint glGetUniformLocation (GLuint program, const GLchar *name);
    - 프로그램에서 uniform 변수의 위치를 가져온다.
      - program: 세이더 프로그램 이름
      - name: uniform 변수 이름
    - 리턴값: uniform 변수 위치 (-1: 위치를 찾지 못함)

  - void glUniform{1|2|3|4}(f|i|ui} (GLuint location, {GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2, GLfloat v3});
    - glUniform1f, glUniform2f, glUniform3f, glUniform4f…
    - 현재 프로그램에서 uniform 변수의 값을 명시
      - location: 수정할 uniform 변수의 위치
      - vo, v1, v2, v3: 사용될 uniform 변수 값

  - Void glUniformMatrix4fv (GLuint location, GLsizei count, GLboolean transpose, const GLfloat *value);
      - location: 수정할 uniform 변수의 위치
      - count:수정할 행렬의 개수 (1: 수정할 유니폼 변수가 행렬의 배열이 아니면)
      - transpose: 전치 행렬이 적용될 지 여부 (아니라면 GL_FALSE)
      - value: 지정된 유니폼 변수를 수정할 때 사용할 배열에 대한 포인터 값

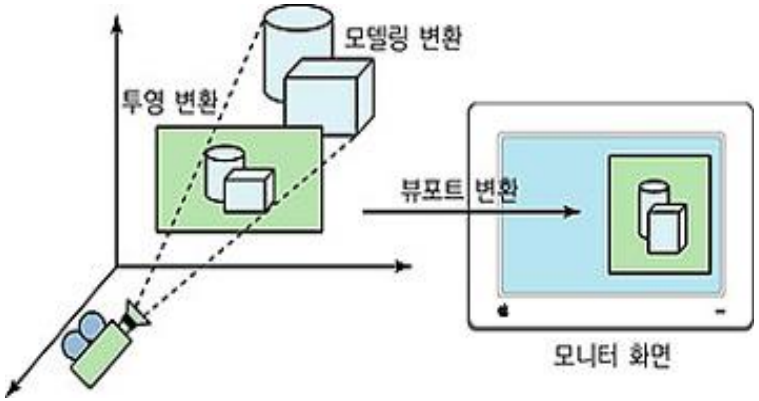
3차원 좌표계

- 좌표계 변환
  - 물체는 좌표계에 따라 새로운 좌표값으로 바뀌어 최종적으로 화면에 그려진다.



좌표계 변환

- 좌표계 변환
  - Modeling Transformation (모델링 변환):
    - 3차원 공간에서 그래픽스 객체를 이동, 신축, 회전 등의 기하 변환 하는 작업
    - 모델링 변환을 적용하는 순서에 따라 결과 값은 달라진다.
    - 물체를 뒤로 옮기는 것 = 좌표축을 앞으로 옮기는 것
  - Viewing Transformation (뷰잉 변환, 관측 변환):
    - 관측자의 시점(viewpoint)을 설정하는 변환 (장면을 보는 위치를 결정)
    - 카메라의 위치를 잡는 것과 같은 효과를 내는 변환
    - 원하는 곳에 원하는 방향으로 관측점을 놓을 수 있다.
    - 기본적으로 관측점은 (0, 0, 0)이다. (z축의 음의 방향은 모니터의 안쪽)
  - Projection Transformation (투영 변환):
    - 3차원 그래픽스 객체를 2차원 평면으로 투영시키는 투영 변환
  - Viewport Transformation (뷰포트 변환):
    - 투영된 그림이 출력될 위치와 크기를 정의하는 변환
    - 윈도우에 나타날 최종 화면의 크기 조절



좌표계 변환

- 각 단계에 필요한 변환 행렬들을 생성 →객체의 좌표값에 적용 → 변환 좌표값
  - **$V_{clip} = M_{projection} * M_{view} * M_{model} * V_{local}$**
    - V_{local} : 객체의 좌표값
    - M_{model} : 모델링 변환
    - M_{view} : 뷰잉 변환
    - $M_{projection}$: 투영 변환
    - V_{clip} : 클립 좌표값
  - 뷰포트 변환은 glViewport 함수를 사용하여 화면 좌표에 매핑한다.

- 변환 적용
  - 변환 함수 (glm 함수) 사용
  - 응용 프로그램에서 단계별로 필요한 모든 변환들을 각각 하나의 행렬로 만든다.
    - GLM 함수 사용: translate, rotate, scale 함수
    - 또는 직접 행렬 연산을 통하여 하나의 행렬로 결합한다.
  - 결합된 단계별 변환 행렬을 버텍스 세이더에 적용
    - 버텍스 세이더에서 좌표값에 변환 행렬을 적용
    - 변환 행렬값을 **uniform** 변수로 선언하여 응용 프로그램에서 세이더로 값 전송

좌표계 변환

- 변환 적용 예) x축으로 1.0, y축으로 1.0 만큼 이동하기
  - 응용 프로그램

```
//--- 변환 행렬 만들기
glUseProgram (shaderProgram]);

glm:: mat4   transformMatrix (1.0f);
transformMatrix = glm::translate (transformMatrix, glm::vec3 (1.0f, 1.0f, 0.0f));          //--- 이동

//--- 변환 행렬 값을 버텍스 세이더로 보내기
unsigned int transformLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "transform");
glUniformMatrix4fv (transformLocation, 1, GL_FALSE, glm::value_ptr (transformMatrix));
```

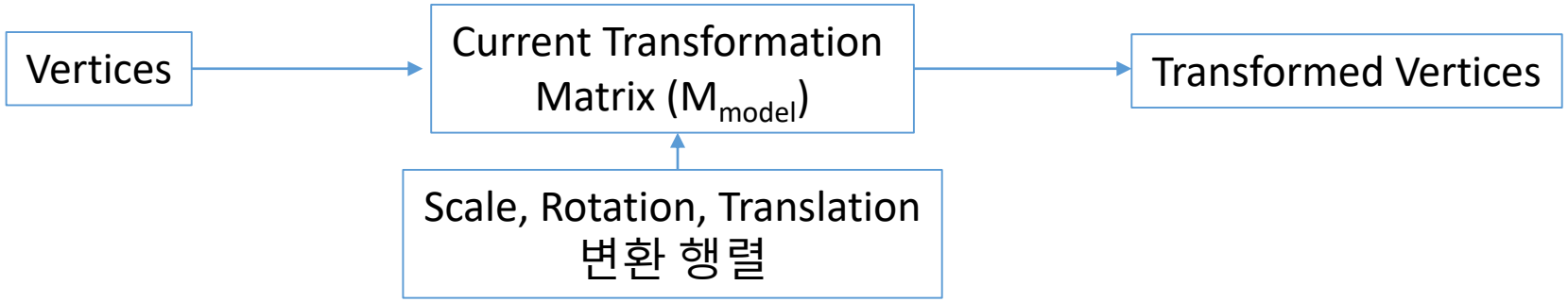
  - 버텍스 세이더

```
//--- 변환 행렬 적용하기
#version 330 core
layout (location = 0) in vec3 vPos;                    //--- 객체의 좌표값

uniform mat4 transform;                                // ---변환 행렬: uniform으로 선언하여 응용 프로그램에서 값을 저장한다.

void main()
{
   gl_Position = transform *vec4 (vPos, 1.0f);         //--- 객체의 좌표에 변환 행렬을 적용한다.
}
```

uniform: CPU위의 응용프로그램에서 GPU 위의 세이더로 데이터를 전달하는 한 방법
- 모든 단계의 모든 세이더에서 접근 가능한 전역 변수
- 필요한 세이더에서 전역 변수 형태로 선언한 후 사용
- 세이더가 아니라 응용 프로그램에서 값을 설정할 수 있고, 세이더에서는 디폴트 값으로 초기화할 수 있다

1) 모델링 변환

- 모델링 변환: 객체들을 월드 좌표계의 기준으로 배치하는 변환
  - **M_{model}** 행렬을 사용하여 모델링 변환을 적용
    - M_{model} 행렬: 객체의 위치와 방향을 월드에 배치하기 위해 이동, 스케일, 회전하는 변환 행렬



- **기하변환을 사용하여 필요한 변환 행렬을 적용하여 합성 변환 행렬을 만든 후, 그 행렬을 객체의 버텍스에 적용한다.**

1) 모델링 변환

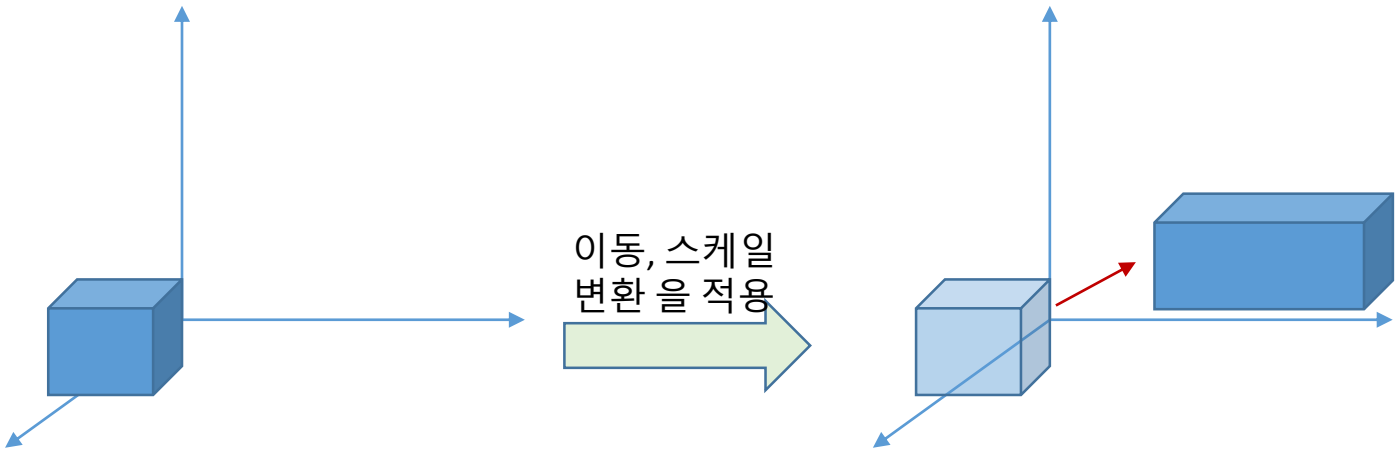
- openGL 에서 모델링 변환 행렬들은 적용 순서에 따라 좌표계 또는 좌표 변환이 적용된다.

좌표계 변환 →

$P' = S \cdot R \cdot T \cdot P$

← 물체 (좌표) 변환

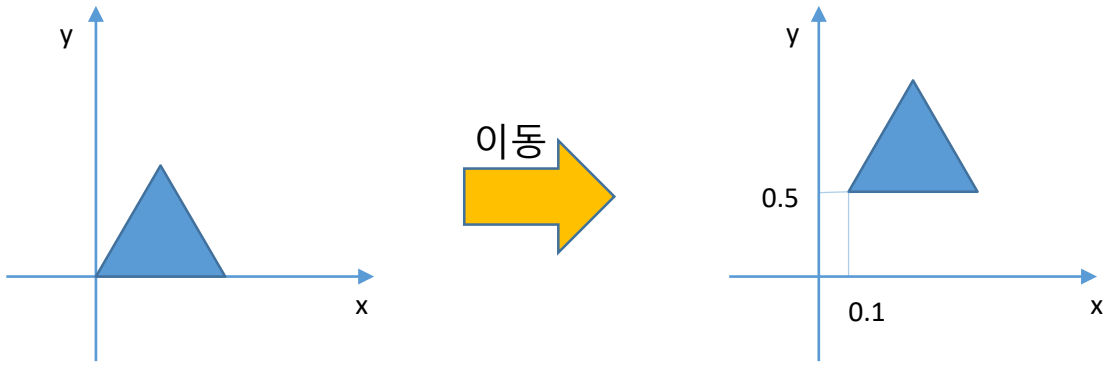
- 오픈지엘에서 모델링 변환 행렬은 객체에 설정된 반대 순서로 적용된다.
- 즉, 마지막 변환 (즉, 기하함수 호출 바로 전에 쓰인 것)이 정점 데이터에 적용된다.



1) 모델링 변환

- 모델링 변환 적용 예) 사각형을 x축으로 0.1, y축으로 0.5만큼 이동

```
//--- 응용 프로그램
void drawScene ()
{
	glUseProgram (shaderProgram);
	glm::mat4 model = glm::mat4(1.0f);

	//--- 적용할 모델링 변환 행렬 만들기
	model = glm::translate (model, glm::vec3(0.1f, 0.5f, 0.0f));		//--- model 행렬에 이동 변환 적용

	//--- 세이더 프로그램에서 modelTransform 변수 위치 가져오기
	unsigned int modelLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "modelTransform");

	//--- modelTransform 변수에 변환 값 적용하기
	glUniformMatrix4fv (modelLocation, 1, GL_FALSE, glm::value_ptr (model));

	//--- 도형 그리기
	glBindVertexArray (VAO);
	glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 6);
	glutSwapBuffers ();
}
```



1) 모델링 변환

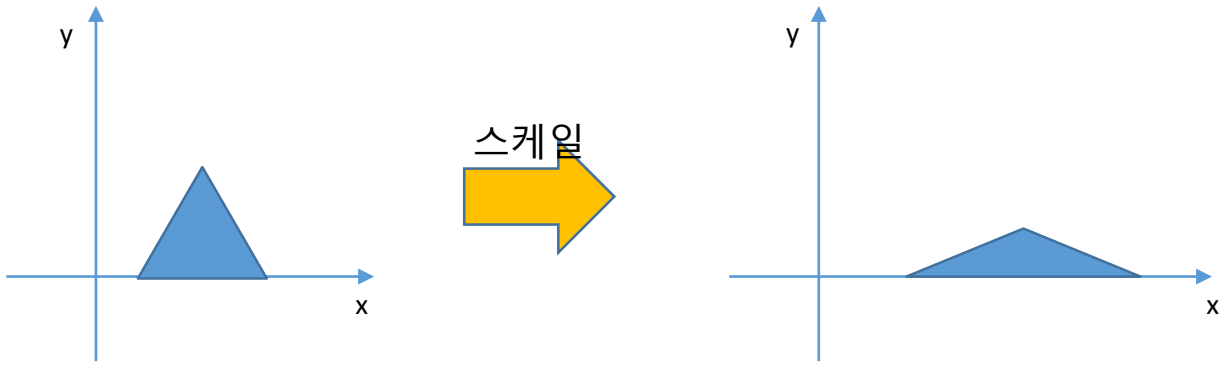
- 모델링 변환 적용 예)

```
//--- 버텍스 세이더
#version 330 core
layout (location = 0) in vec3 vPos;                    //--- 응용 프로그램에서 받아온 도형 좌표값

uniform mat4 modelTransform;                           //--- 모델링 변환 행렬: uniform 변수로 선언

void main()
{
        gl_Position = modelTransform * vec4(vPos, 1.0);    //--- 좌표값에 modelTransform 변환을 적용한다.
}
```

1) 모델링 변환

- 모델링 변환 적용 예) 사각형을 x축으로 0.5배, y축으로 2.0배 스케일

```
//--- 응용 프로그램
void drawScene ()
{
        glUseProgram (shaderProgram);
        glm::mat4 model = glm::mat4(1.0f);

        //--- 적용할 모델링 변환 행렬 만들기
        model = glm::scale (model, glm::vec3 (0.5, 2.0, 1.0));          //--- model 행렬에 스케일 변환 적용

        //--- 세이더 프로그램에서 modelTransform 변수 위치 가져오기
        unsigned int modelLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "modelTransform");

        //--- modelTransform 변수에 변환 값 적용하기
        glUniformMatrix4fv (modelLocation, 1, GL_FALSE, glm::value_ptr (model));

        //--- 도형 그리기
        glBindVertexArray (VAO);
        glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 6);
        glutSwapBuffers ();
}
```



1) 모델링 변환

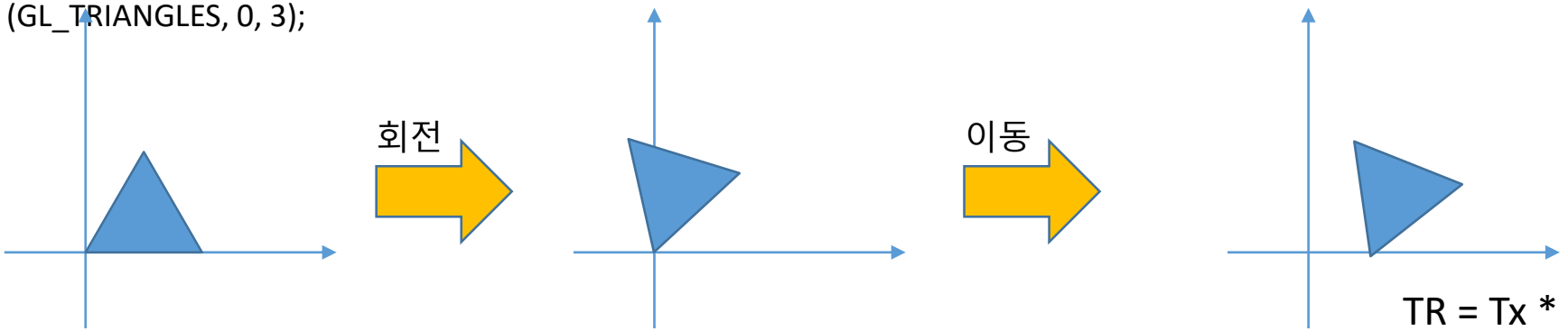
- 모델링 변환 적용 예)

```
//--- 버텍스 세이더
#version 330 core
layout (location = 0) in vec3 vPos;                    //--- 응용 프로그램에서 받아온 도형 좌표값

uniform mat4 modelTransform;                           //--- 모델링 변환 행렬: uniform 변수로 선언

void main()
{
        gl_Position = modelTransform * vec4(vPos, 1.0);    //--- 좌표값에 modelTransform 변환을 적용한다.
}
```

1) 모델링 변환

- 1개 이상의 변환을 적용하는 경우 예) z축에 대하여 45도 회전하고, x축으로 0.5 이동 (회전 후 이동)

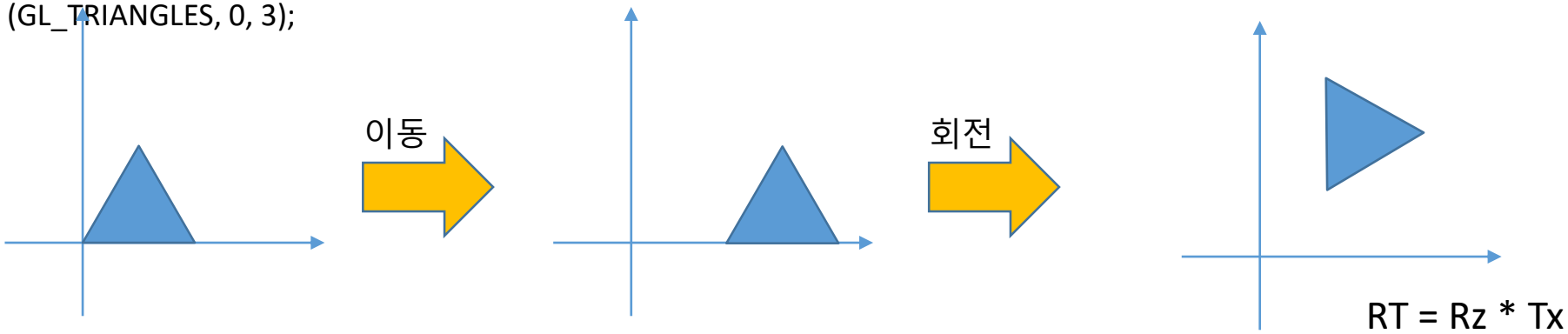
```
//--- 응용 프로그램
void drawScene ()
{
	glUseProgram (shaderProgram);
	glm::mat4 Tx = glm::mat4 (1.0f);                    //--- 이동 행렬 선언
	glm::mat4 Rz = glm::mat4 (1.0f);                    //--- 회전 행렬 선언
	glm::mat4 TR = glm::mat4 (1.0f);                    //--- 합성 변환 행렬

	Tx = glm::translate (Tx, glm::vec3 (0.5, 0.0, 0.0));          //--- x축으로 이동 행렬
	Rz = glm::rotate (Rz, glm::radians(45.0f), glm::vec3 (0.0, 0.0, 1.0));   //--- z축에 대하여 회전 행렬

	TR = Tx * Rz;                                       //--- 합성 변환 행렬: 회전 → 이동

	unsigned int modelLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "modelTransform");   //--- 버텍스 세이더에서 모델링 변환 위치 가져오기
	glUniformMatrix4fv (modelLocation, 1, GL_FALSE, glm::value_ptr (TR));      //--- modelTransform 변수에 변환 값 적용하기
	glBindVertexArray (VAO);
	glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);
}
```



1) 모델링 변환

- 변환 적용 시 순서에 따라 다른 결과가 나온다: 이동 후 회전

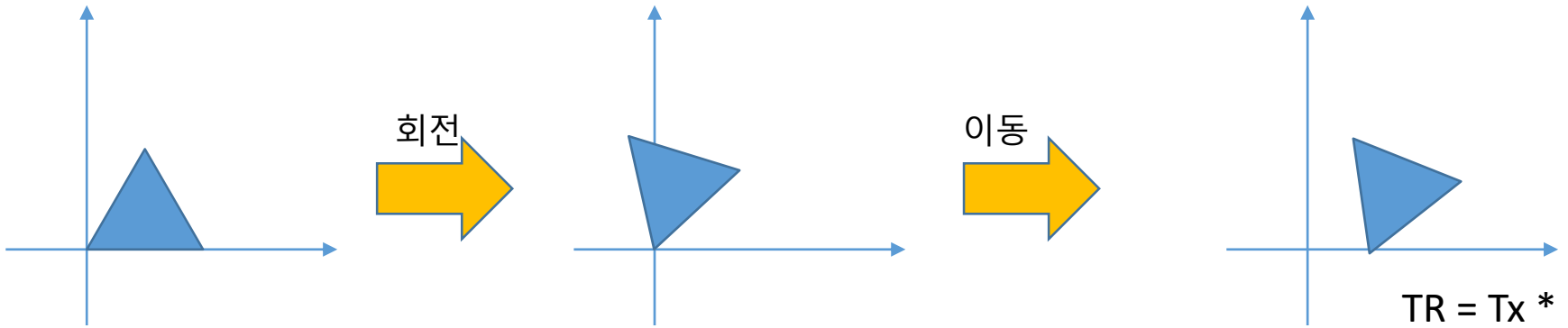
```
void drawScene ()
{
        glUseProgram (shaderProgram);
        glm::mat4 Rz = glm::mat4 (1.0f);                    //--- 회전 행렬 선언
        glm::mat4 Tx = glm::mat4 (1.0f);                    //--- 이동 행렬 선언
        glm::mat4 TR = glm::mat4 (1.0f);                    //--- 합성 변환 행렬

        Tx = glm::translate (Tx, glm::vec3 (0.5, 0.0, 0.0));    //--- x축으로 이동 행렬
        Rz = glm::rotate (Rz, glm::radians(45.0f), glm::vec3 (0.0, 0.0, 1.0));    //--- z축에 대하여 회전 행렬

        TR = Rz * Tx ;                                      //--- 합성 변환 행렬: 이동 → 회전

        unsigned int modelLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "modelTransform"); //--- 버텍스 세이더에서 모델링 변환 위치 가져오기
        glUniformMatrix4fv (modelLocation, 1, GL_FALSE, glm::value_ptr (TR));    //--- modelTransform 변수에 변환 값 적용하기
        glBindVertexArray (VAO);
        glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);
}
```



1) 모델링 변환

- 한 개의 행렬에 변환 행렬을 누적해서 만들 수도 있다.

```
void drawScene ()
{
        glUseProgram (shaderProgram);
        glm::mat4 TR = glm::mat4 (1.0f);                                  //--- 합성 변환 행렬: 변환 행렬을 한 개의 행렬에 누적한다.
        TR = glm::translate (TR, glm::vec3 (0.5, 0.0, 0.0));              //--- x축으로 이동 행렬
        TR = glm::rotate (TR, glm::radians(45.0f), glm::vec3 (0.0, 0.0, 1.0));   //--- z축에 대하여 회전 행렬

        //---위의 결과는 아래의 방식으로 적용해도 같은 변환 결과
        //--- glm::mat4 Rz = glm::rotate (Rz, glm::radians(45.0f), glm::vec3 (0.0, 0.0, 1.0));   //--- 회전 행렬
        //--- glm::mat4 Tx = glm::translate (Tx, glm::vec3 (0.5, 0.0, 0.0));                     //--- 이동 행렬
        //---TR = Tx * Rz ;                                                 //--- 합성 변환 행렬: 회전 → 이동

        unsigned int modelLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, "modelTransform"); //--- 버텍스 세이더에서 모델링 변환 위치 가져오기
        glUniformMatrix4fv (modelLocation, 1, GL_FALSE, glm::value_ptr (TR));   //--- modelTransform 변수에 변환 값 적용하기
        glBindVertexArray (VAO);
        glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);
}
```



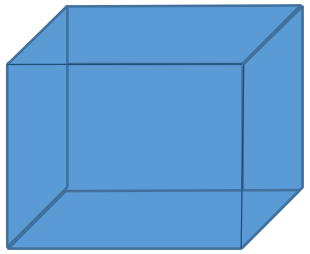
<openGL 상태 관리>

- OpenGL에서의 상태 및 상태 관리
  - 대부분의 상태들은 (라이팅, 텍스처링, 은면 제거, 안개 효과 등) 디폴트로 비활성화(disable)되어 있다.
  - 상태를 활성화(켜거나)하거나 비활성화(끄는)하는 명령어
    - void **glEnable** (GLenum cap);
      - 지정한 기능을 활성화한다.
    - void **glDisable** (GLenum cap);
      - 지정한 기능을 비활성화 한다.
  - 활성화 여부를 체크하는 명령어
    - GLboolean **glIsEnabled** (GLenum cap);
  - cap:
    - GL_BLEND: 픽셀 블렌딩 연산을 수행 (glBlendFunc)
    - GL_CULL_FACE: 앞면 혹은 뒷면을 향하는 폴리곤을 선별 (glCullFace)
    - GL_DEPTH_TEST: 깊이를 비교
    - GL_DITHER: 컬러의 디더링 수행
    - GL_LINE_SMOOTH: 선의 안티알리아싱 효과
    - GL_STENCIL_TEST: 스텐실 테스트
    - GL_LINE_SMOOTH, GL_POLYGON_SMOOTH: 선, 면 안티앨리어싱
    - …

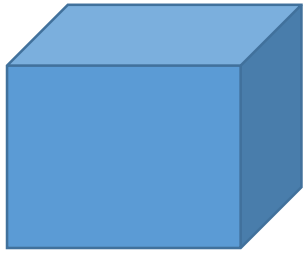
상태 관리: 은면 제거

- 은면 제거
  - 3차원 장면을 2차원 평면에 투영시키면 물체들이 중첩될 수 있다.
    - 은면제거를 하지 않으면 → 그려진 순서대로 보인다.
    - 은면제거를 하면 → 관측자의 시점에서 가까운 면이 보이고 가까운 면에 가려진 면은 안보이게 그린다.

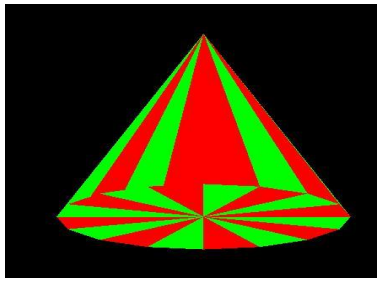
  - 응용 프로그램에서 깊이 검사 (depth test)를 설정한다.
    - 윈도우 초기화 시 깊이 검사 모드 설정
      - glutInitDisplayMode (GLUT_DOUBLE | GLUT_RGB | ***GLUT_DEPTH***)
    - 깊이 버퍼를 클리어한다
      - glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT | ***GL_DEPTH_BUFFER_BIT***);
    - 깊이 검사를 설정:
      - **glEnable** (***GL_DEPTH_TEST***);
    - 깊이 검사를 해제:
      - **glDisable** (***GL_DEPTH_TEST***);



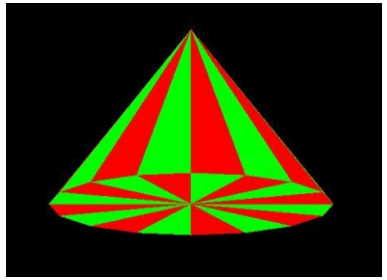
Depth test를 안 했을 때



Depth test를 했을 때



Depth test를 안 했을 때



Depth test를 했을 때

상태 관리: 은면 제거

- 사용 예)

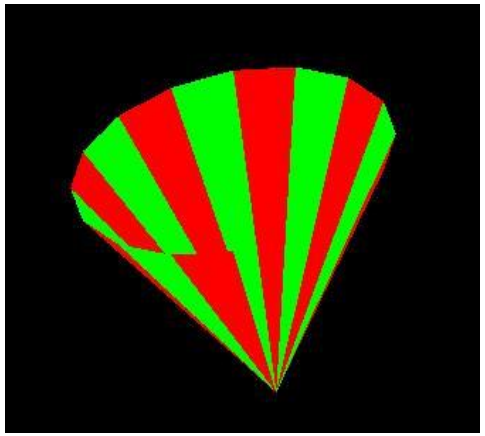
```
void main (int argc, char **argv)
{
        glutInit(&argc, argv);
        glutInitDisplayMode (GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA | GLUT_DEPTH);        //--- 깊이 검사 모드도 같이 설정
        …

        glEnable (GL_DEPTH_TEST);                                          //--- 상태 설정은 필요한 곳에서 하면 된다.
}

void drawScene ()
{
        glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 1.0f);
        glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);               //--- 깊이 버퍼를 클리어한다.
        …
}
```

상태 관리: 은면 제거

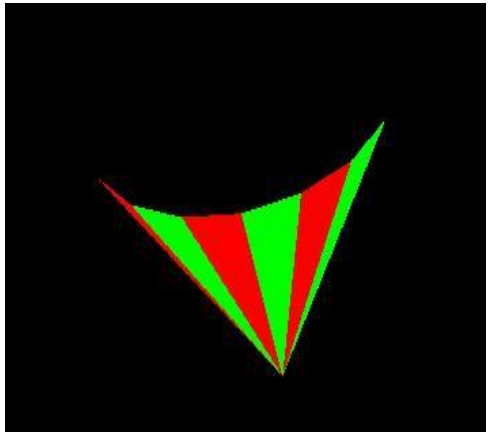
- 컬링 (culling)
  - 후면을 선별(backface culling)하여 **뒷면을 모두 제거**할 수 있다.
    - Winding (꼭짓점이 진행되는 방향)을 이용하여 폴리곤의 앞면과 뒷면을 구분한다.
    - 시계 반대방향으로 windin되는 폴리곤이 앞면이다.
      - 컬링 설정: glEnable (**GL_CULL_FACE**);
      - 컬링 해제: glDisable (**GL_CULL_FACE**);

      - void **glFrontFace** (Glenum mode);
        - 폴리곤의 어느 면이 앞면 또는 뒷면인지 정의한다.
        - 장면이 닫힌 객체로 구성되어 있을 때 그 객체의 내부 연산은 불필요한데, 폴리곤의 어느 면이 앞면인지를 결정할 수 있다.
        - GLenum mode: GL_CW – 시계방향, GL_CCW – 반시계 방향
        - glFrontFace (GL_CW): 시계 방향을 앞면으로
        - glFrontFace (GL_CCW): 반시계 방향을 앞면으로

- 사용 예)
  - 응용 프로그램의 필요한 부분에 아래 함수를 호출한다.
    - glEnable (GL_CULL_FACE);



Culling을 안 했을 때



Culling을 했을 때

<3차원 객체 그리기>

- GLU 라이브러리를 이용하여 모델링 하기
  - 2차 곡선 (Quadrics)을 이용한다.
    - GLUquadricObj * gluNewQuadric ();
      - Quadric Object 를 생성
    - void gluQuadricDrawStyle (GLUqadric *quadObject, GLenum drawStyle);
      - 도형의 스타일 지정하기: 솔리드 스타일 / 와이어 프레임 / 선으로 외부 모서리만 / 점
      - drawStyle: GLU_FILL / GLU_LINE / GLU_SILHOUETTE / GLU_POINT
    - void gluQuadricNormals (GLUqadric *quadObject, GLenum normals);
      - 법선 벡터 제어, 빛에 대한 영향 결정: 빛의 효과 없음 / 면이 깍인것처럼 보임 / 면이 부드럽게 보임
      - Normals: GLU_NONE / GLU_FLAT / GLU_SMOOTH
    - void gluquadricOrientation (GLUqadric *quadObject, GLenum orientation);
      - 법선 벡터의 방향 지정: 물체에 대해서 법선 벡터를 바깥쪽으로 지정 / 안쪽으로 지정
      - Orientation: GLU_OUTSIDE / GLU_INSIDE
    - void gluDeleteQuadric (GLUqadric *quadObject);
      - 객체 삭제하기

3차원 객체 그리기: GLU 모델

- GLU 라이브러리를 이용하여 모델링 하기
  - 구 생성하기
    - void gluSphere (GLUqudirc *qobj, GLdouble radius, GLint slices, GLint stacks);

void gluSphere (GLUquadric **qobj*, GLdouble *radius*, GLint *slices*, GLint *stacks*);		
Parameters Help	*qobj*	// gluNewQuadric으로 생성된 Quadric Object
	radius	// Sphere의 반지름(Radius)
	slices	// Z축을 중심으로 하는 Subdivisions의 개수(경도(Longitude)와 유사)
	stacks	// Z축을 따르는 Subdivisions의 개수(위도(Latitude)와 유사)

(A) gluSphere (oZbj, 1.0, 5, 5);

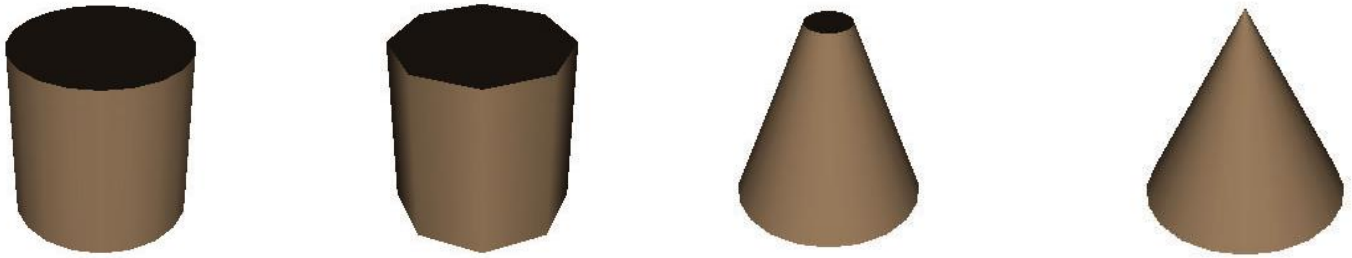
(B) gluSphere (obj, 1.0, 10, 10);

(C) gluSphere (obj, 1.0, 20, 20);

3차원 객체 그리기: GLU 모델

- 실린더 생성하기
  - void gluCylinder (GLUquadirc *qobj, GLdouble baseRadium, GLdouble topRadius, GLdouble height, GLint slices, GLint stack);

void gluCylinder (GLUquadric **qobj*, GLdouble *baseRadius*, GLdouble *topRadius*, GLdouble *height*, GLint *slices*, GLint *stacks*);		
Parameters Help	*qobj*	// gluNewQuadric로 생성되어진 Quadric Object
	baseRadius	// z=0에 있는 Cylinder의 반지름(Radius)
	topRadius	// z=height에 있는 Cylinder의 반지름(Radius)
	height	// Cylinder의 높이(Height)
	slices	// Z축을 중심으로 하는 회전 Subdivisions의 개수
	stacks	// Z축을 따르는 Subdivisions의 개수



(A) (B) (C) (D)

(A) gluCylinder (obj, 1.0, 1.0, 2.0, 20, 8);

(B) gluCylinder (obj, 1.0, 1.0, 2.0, 8, 8);

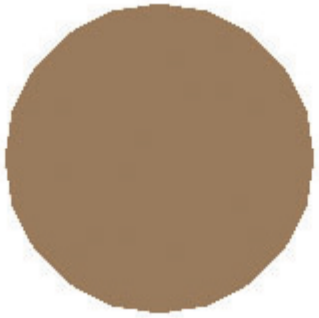
(C) gluCylinder (obj, 1.0, 0.3, 2.0, 20, 8);

(D) gluCylinder (obj, 1.0, 0.0, 2.0, 20, 8);

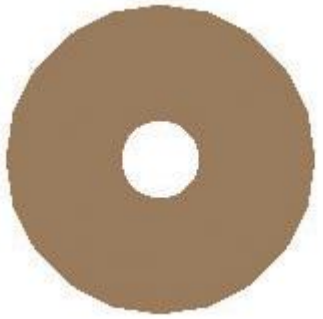
3차원 객체 그리기: GLU 모델

- 디스크 생성하기
  - void gluDisk (GLUquadirc *qobj, GLdouble innerRadius, GLdouble outerRadius, GLint slices, GLint loops);

void gluDisk (GLUquadric **qobj*, GLdouble *innerRadius*, GLdouble *outerRadius*, GLint *slices*, GLint *loops*);		
Parameters Help	*qobj*	// gluNewQuadric으로 생성된 Quadric Object
	innerRadius	// Disk의 안쪽 반지름(Radius)
	outerRadius	// Disk의 바깥쪽 반지름(Radius)
	slices	// Z축을 중심으로 하는 Subdivisions의 개수
	loops	// Disk가 세분화되는 동심원의 개수



(A) gluDisk(obj, 0.0, 2.0, 20, 3);

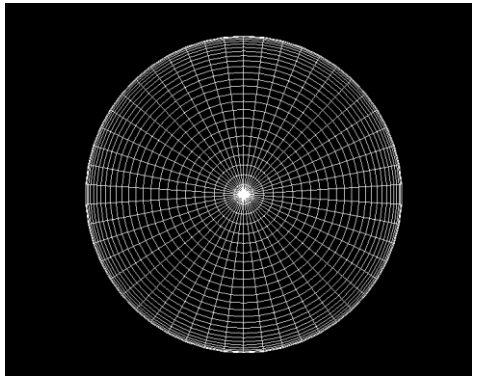


(B) gluDisk(obj, 0.5, 2.0, 20, 3);

3차원 객체 그리기: GLU 모델

- 모델 생성 예)

```
GLUquadricObj *qobj;

void drawScene ( ) {
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

   qobj = gluNewQuadric ();                          // 객체 생성하기
   gluQuadricDrawStyle( qobj, GLU_LINE );            // 도형 스타일
   gluQuadricNormals( qobj, GLU_SMOOTH );            //→ 생략 가능
   gluQuadricOrientation( qobj, GLU_OUTSIDE );       //→ 생략 가능
   gluSphere( qobj, 1.5, 50, 50 );                   // 객체 만들기

   glutSwapBuffers();
}
```



.obj 파일 다루기

- obj 파일
  - 3차원 그래픽 이미지가 저장된 파일의 형태 중 하나로 ”Wavefront Technologies”의 고유 파일 포맷
  - 가장 오래되고 기본적으로 사용되는 3차원 모델 표현 파일
    - 오브젝트의 좌표를 기록하고 각 버텍스의 정보를 포함
    - 코드 내에서 직접 입력했던 좌표 및 정보를 가지고 있는 하나의 파일
    - 확장자가 .obj
  - 파일 종류
    - obj 파일: 폴리곤을 구성하는 정보 저장
      - 각 버텍스의 좌표값
      - 텍스처 좌표값의 UV 값
      - 각 버텍스의 노말값
      - 폴리곤의 면을 구성하는 꼭지점과 텍스처 좌표값의 리스트
    - mtl (Material Template Library)파일: 재질과 텍스처에 관한 정보
  - 파일 만들기
    - 맥스나 3차원 모델링 제작 프로그램을 통해 만든다.
  - 파일 읽기
    - 전체 버텍스 개수 및 삼각형 개수 세기
    - 해당 개수만큼 메모리 할당
    - 할당된 메모리에 각 버텍스 및 면 정보 입력

.obj 파일 다루기

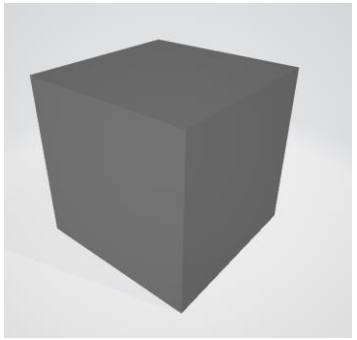
- 파일 포맷 (#으로 시작하는 줄은 주석)

```
# t
# v: List of geometric vertices, with (x, y, z [,w]) coordinates, w is optional and defaults to 1.0.
v 0.123 0.234 0.345 1.0
v ... ...
# vt: List of texture coordinates, in (u, [v ,w]) coordinates, these will vary between 0 and 1, v and w are optional and default to 0.
vt 0.500 1 [0]
vt ... ...
# vn: List of vertex normals in (x,y,z) form; normals might not be unit vectors.
vn 0.707 0.000 0.707
vn ... ...
# f: Polygonal face element (vertex/texture coordinate/vertex normal) (texture coord.가 생략되면 두 개의 슬래쉬 사용 (//))
f 1 2 3
f 3/1 4/2 5/3
f 6/4/1 3/5/3 7/6/5
f 7//1 8//2 9//3
f ... ...
g: group name
g cube
```

.obj 샘플 파일

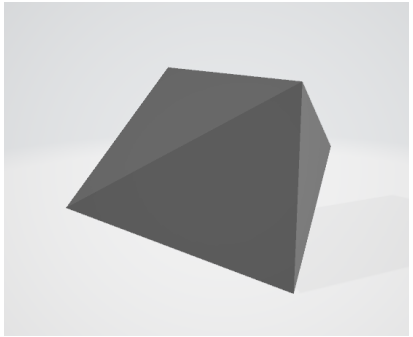
- 육면체

```
# cube.obj
#

g cube

v  0.0  0.0  0.0
v  0.0  0.0  1.0
v  0.0  1.0  0.0
v  0.0  1.0  1.0
v  1.0  0.0  0.0
v  1.0  0.0  1.0
v  1.0  1.0  0.0
v  1.0  1.0  1.0

vn  0.0  0.0  1.0
vn  0.0  0.0 -1.0
vn  0.0  1.0  0.0
vn  0.0 -1.0  0.0
vn  1.0  0.0  0.0
vn -1.0  0.0  0.0

f  1//2  7//2  5//2
f  1//2  3//2  7//2
f  1//6  4//6  3//6
f  1//6  2//6  4//6
f  3//3  8//3  7//3
f  3//3  4//3  8//3
f  5//5  7//5  8//5
f  5//5  8//5  6//5
f  1//4  5//4  6//4
f  1//4  6//4  2//4
f  2//1  6//1  8//1
f  2//1  8//1  4//1
```



- 다이아몬드

```
# diamond.obj

g Object001

v 0.000000E+00 0.000000E+00 78.0000
v 45.0000 45.0000 0.000000E+00
v 45.0000 -45.0000 0.000000E+00
v -45.0000 -45.0000 0.000000E+00
v -45.0000 45.0000 0.000000E+00
v 0.000000E+00 0.000000E+00 -78.0000

f    1 2 3
f    1 3 4
f    1 4 5
f    1 5 2
f    6 5 4
f    6 4 3
f    6 3 2
f    6 2 1
f    6 1 5
```



- 주전자

```
# OBJ file created by ply_to_obj.c
#
g Object001

v  40.6266  28.3457  -1.10804
v  40.0714  30.4443  -1.10804
v  40.7155  31.1438  -1.10804
v  42.0257  30.4443  -1.10804
v  43.4692  28.3457  -1.10804
v  37.5425  28.3457  14.5117
v  37.0303  30.4443  14.2938
…
vn  -0.966742  -0.255752  9.97231e-09
vn  -0.966824  0.255443  3.11149e-08
vn  -0.092052  0.995754  4.45989e-08
vn  0.68205  0.731305  0
vn  0.870301  0.492521  -4.87195e-09
vn  -0.893014  -0.256345  -0.369882
vn  -0.893437  0.255997  -0.369102
…
f  7  6  1
f  1  2  7
f  8  7  2
f  2  3  8
f  9  8  3
f  3  4  9
f  10  9  4
f  4  5  10
f  12  11  6
f  6  7  12
f  13  12  7
…
```

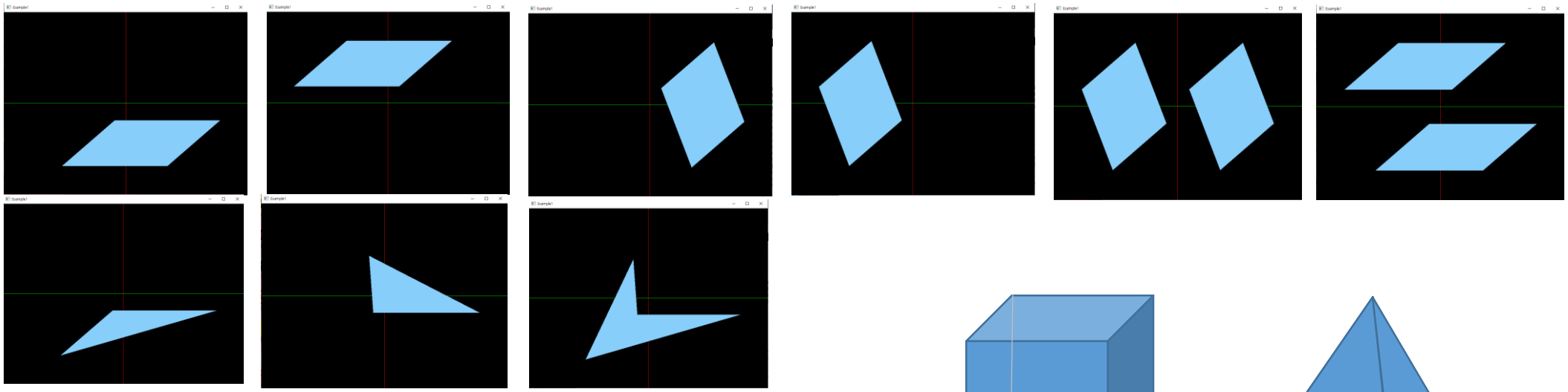
.obj 파일 읽기 샘플 (버전에 따라 수정 필요)

```
void ReadObj (FILE *path) {
	char count[128];
	int vertexnum = 0;
	int facenum = 0;
	int uvnum = 0;

	//--- 1. 전체 버텍스 개수 및 삼각형 개수 세기
	while (!feof(path)) {
		fscanf(path, "%s", count);
			if (count[0] == 'v' && count[1] == '\0')
				vertexnum++;
			else if (count[0] == 'f' && count[1] == '\0')
				facenum++;
			else if (count[0] == 'v' && count[1] == 't' && count[3] == '\0')
				uvnum++;
			memset(count, '\0', sizeof(count));
	}
	rewind(path);

	int vertIndex = 0;
	int faceIndex = 0;
	int uvIndex = 0;


	//--- 2. 메모리 할당
	glm::vec3* vertex = new glm::vec3[vertexnum];
	glm::vec3* face = new glm::vec3[facenum];
	glm::vec3* uvdata = new glm::vec3[facenum];
	glm::vec2* uv = new glm::vec2[uvnum];

	char bind[128];
```

```
	//--- 3. 할당된 메모리에 각 버텍스, 페이스, uv 정보 입력
	while (!feof(path)) {
			fscanf(path, "%s", bind);

			if (bind[0] == 'v' && bind[1] == '\0') {
				fscanf(path, "%f %f %f\n",
					&vertex[vertIndex].x, &vertex[vertIndex].y, &vertex[vertIndex].z);
				vertIndex++;
			}
			else if (bind[0] == 'f' && bind[1] == '\0') {
				unsigned int temp_face[3], temp_uv[3], temp_normal[3];

				fscanf(path, "%d/%d/%d %d/%d/%d %d/%d/%d\n",
					&temp_face[0], &temp_uv[0], &temp_normal[0],
					&temp_face[1], &temp_uv[1], &temp_normal[1],
					&temp_face[2], &temp_uv[2], &temp_normal[2]);
				face[faceIndex].x = temp_face[0];
				face[faceIndex].y = temp_face[1];
				face[faceIndex].z = temp_face[2];
				uvdata[faceIndex].x = temp_uv[0];
				uvdata[faceIndex].y = temp_uv[1];
				uvdata[faceIndex].z = temp_uv[2];
				faceIndex++;
			}
			else if (bind[0] == 'v' && bind[1] == 't' && bind[2] == '\0') {
				fscanf(path, "%f %f\n", &uv[uvIndex].x, &uv[uvIndex].y);
				uvIndex++;
			}
		}

	//--- 필요한 경우 읽어온 값을 전역 변수 등에 저장
	}
```

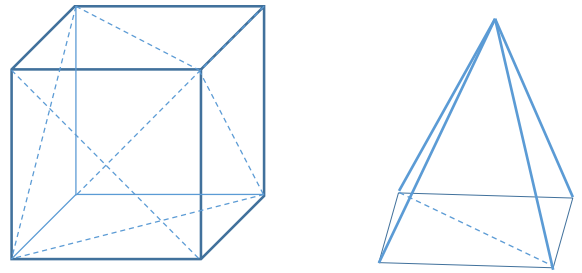
실습 14

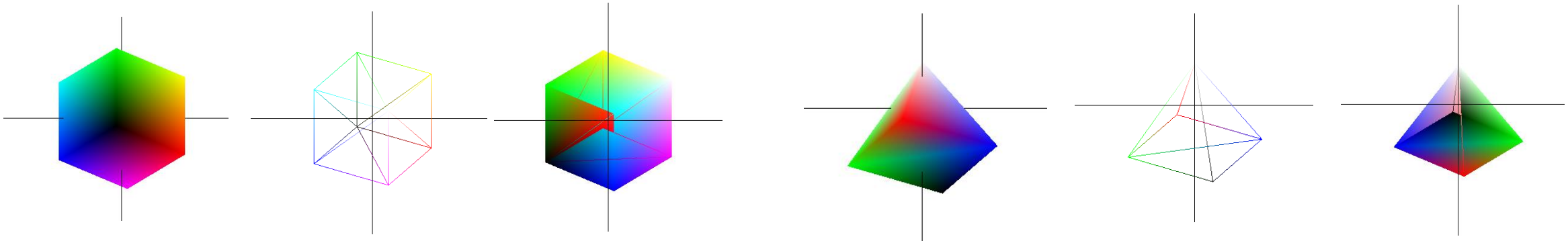
- 3차원 객체, 육면체 또는 사면체의 면을 명령어에 따라 그리기
  - 화면 중앙에 화면 좌표계 (x축, y축)을 그린다.
  - 모든 객체들은 X축으로 10도, y축으로 10도 회전해서 그린다. (3차원 도형이라 약간 기울어지게 그린다)
  - 다음의 키보드 명령어에 따라 도형을 구성하는 각 면을 그린다. 각 면마다 색상을 정해 해당 색상으로 그린다.
    - 1/2/3/4/5/6: 육면체의 각 면을 그린다.
    - 7/8/9/0 : 사면체의 각 면을 그린다.
    - c: 육면체에서 랜덤한 2개의 면을 그린다.
    - t: 사면체에서 랜덤한 2개의 면을 그린다.
    - 좌표계는 [-1.0, 1.0]이고, 크기는 원하는 크기로 설정



실습 15

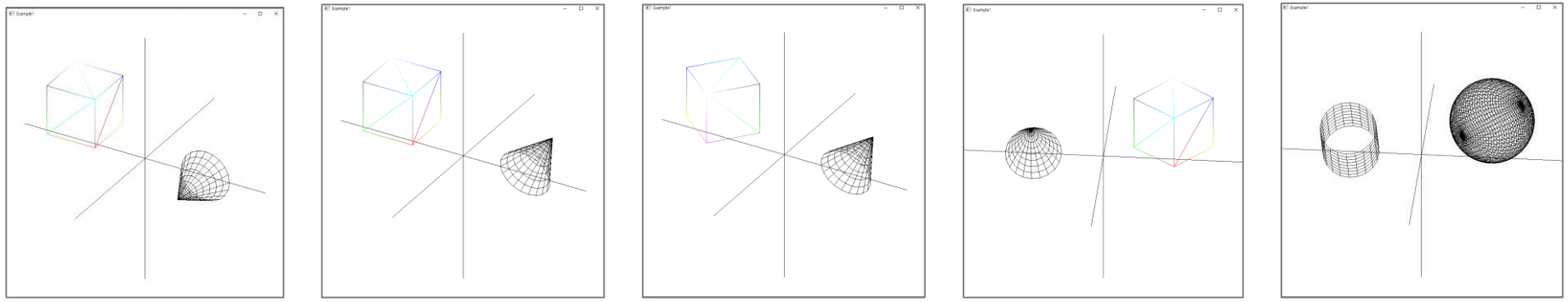
- 꼭지점을 이용하여 3차원 객체 그리기
  - 화면 중앙에 화면 좌표계 (x축, y축)을 그린다. 좌표계는 이동하지 않고 고정되어 있다.
  - 키보드 명령에 따라 육면체 혹은 사각뿔을 그린다. 각 꼭지점에 다른 색상 설정한다.
    - 객체는 X축으로 30도, y축으로 -30도 회전해 있다. (회전 각도는 변경 가능)
  - 키보드 명령
    - c: 육면체 ([-1.0, 1.0] 사이의 값으로 꼭지점 설정하여 그리기)
    - p: 사각 뿔 (피라미드 모양으로 바닥은 사각형, 옆면은 삼각형)
    - h: 은면제거 적용/해제
    - w/W: 와이어 객체/솔리드 객체
    - x/X: x축을 기준으로 양/음 방향으로 회전 애니메이션 (자전)
    - y/Y: y축을 기준으로 양/음 방향으로 회전 애니메이션 (자전)
    - ←/→/↑/↓: 좌/우/상/하로 객체를 이동한다. (x축, y축으로 이동)
    - s: 초기 위치로 리셋 (자전 애니메이션도 멈추기)





실습 16

- 모델링 변환하기
  - 화면의 중앙에 x, y, z축을 그린다. 좌표계와 3차원 객체들은 모두 x, y축에 대해 같은 각도로 기울어져 있다.
  - 화면의 좌, 우에 3차원 객체를 그리고, 키보드 명령으로 객체 변환 하기
    - 우: 육면체
    - 좌: 원뿔 (또는, 구)
  - 키보드 명령
    - x/X/y/Y: 객체의 x/y축에 대하여 각각 양/음 방향으로 회전하기 (두 객체가 모두 자전)
      - 1/2/3: 1을 누르면 좌측의 객체만, 2를 누르면 우측의 객체만, 3을 누르면 모두 자전한다.
    - r/R: 두 객체를 화면 중앙의 y축에 대하여 양/음 방향으로 회전하기 (공전)
    - c: 두 도형을 다른 도형으로 바꾼다.
    - s: 초기화 하기



이번 주에는

- 변환 적용하기
  - GLM 라이브러리
  - 모델링 변환
  - 상태 설정: 은면제거, 컬링

- 다음 시간에는
  - 뷰잉변환, 투영변환, 뷰포트 변환