

# 컴퓨터 그래픽스

## OpenGL 좌표계 변환

2018년 2학기

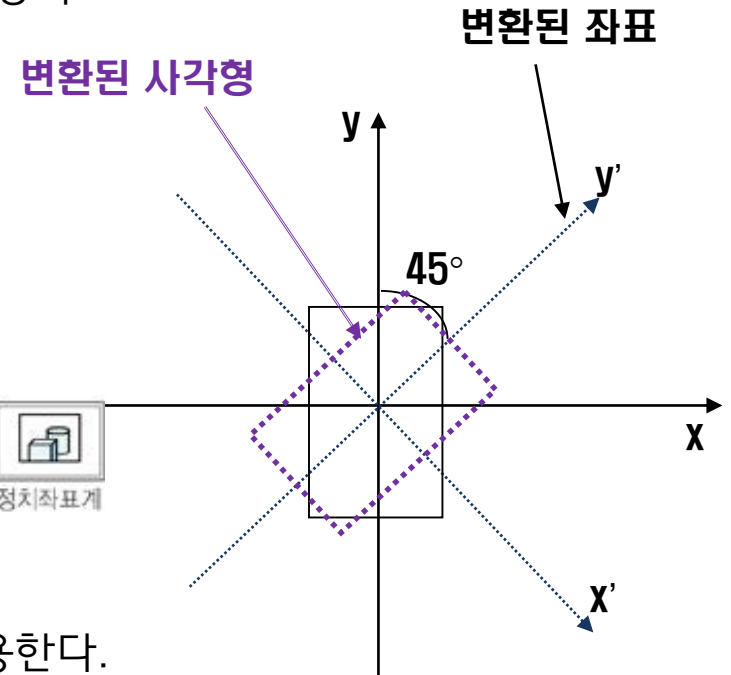
# 1. OpenGL 좌표계 변환 내용

- 좌표계 변환
  - 좌표계
  - 변환
  - 모델링 변환
  - 행렬 스택 사용하기
  - 더블 버퍼링
  - 3차원 객체 만들기 (glut 라이브러리)
  - 관측 (뷰잉) 변환
  - 투영 변환
  - 뷰포트 변환
  - 3차원 객체 만들기 (glu 라이브러리)

# 좌표계

## 좌표계 변환

- 그래픽 파이프라인에서 가장 중요한 개념
- 물체는 좌표계에 따라 새로운 좌표 값으로 바뀌어 최종적으로 화면에 그려진다.
- 좌표계:
  - 모델 좌표계 (지역 좌표계)
  - 월드 좌표계 (전역 좌표계)
  - 뷰잉 좌표계 (시점 좌표계)
  - 장치 좌표계 (화면 좌표계)



## OpenGL에서는

- 직교 좌표계 (Cartesian Coordinate System)를 사용한다.
- 어떠한 변환도 사용하지 않을 때:
  - 사용하는 좌표계는 시점 좌표계와 동일하다
- 여러 가지 변환을 사용할 때:
  - 시점 좌표계의 관점으로 볼 때, 현재 좌표계가 변한다.
  - 시점 좌표계를 기준으로 **좌표계를 이동, 회전시킨다.**

# 변환

## • OpenGL의 변환

### – 모델링 (Modeling) 변환:

- 3차원 공간에서 **그래픽스 객체를 이동, 신축, 회전시켜주는 변환**
- 모델링 변환을 적용하는 순서에 따라 결과 값은 달라진다.
- 물체를 뒤로 옮기는 것 = 좌표축을 앞으로 옮기는 것
  - 모델뷰 변환

### – 관측 (viewing) 변환 (뷰잉 변환):

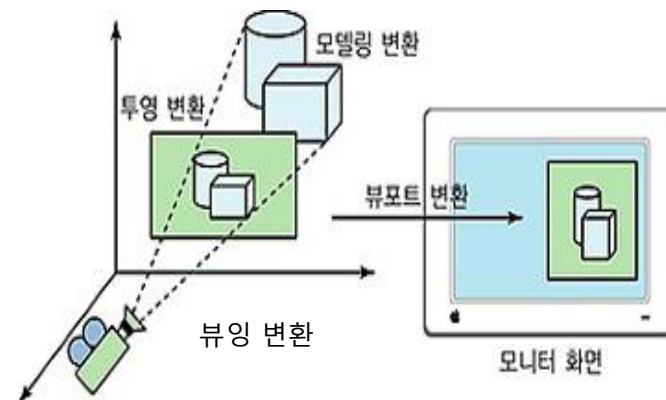
- **관측자의 시점(viewpoint)을 설정하는 변환** (장면을 보는 위치를 결정)
- 카메라의 위치를 잡는 것과 같은 효과를 내는 변환
- 원하는 곳에 원하는 방향으로 관측점을 놓을 수 있다.
- 기본적으로 관측점은 (0, 0, 0)이다. (z축의 음의 방향은 모니터의 안쪽)

### – 투영 (Projection) 변환:

- **3차원 그래픽스 객체를 2차원 평면으로 투영시키는 투영 변환**

### – 뷰포트 (Viewport) 변환

- **투영된 그림이 출력될 위치와 크기를 정의하는 변환**
- 윈도우에 나타날 최종 화면의 크기 조절



- OpenGL에서 변환은

- 기본적으로 모든 변환은 현재의 행렬에 변환 행렬이 적용되어 최종 결과로 출력된다.
  - 4 \* 4 행렬을 사용한다.
    - 그리고자 하는 객체의 좌표에 변환 행렬이 적용된다.
    - 모든 변환은 변환 행렬로 대신한다 (모델 변환은 모델 행렬을, 시점 변환은 뷰 행렬을, 투영 변환은 투영 행렬을 사용)
    - 변환을 위하여 행렬을 지정해준다.

- 행렬 모드 설정

- 변환을 적용할 때 변환 행렬의 모드를 설정
  - void **glMatrixMode** (GLenum **mode**): 현재의 행렬 모드를 설정
    - GL\_MODELVIEW: 모델링 및 뷰잉 변환 모드 (물체 이동 시)
      - » 디폴트 모드로 GL\_MODELVIEW 로 설정되어 있다.
    - GL\_PROJECTION: 투영 변환 모드 (클리핑 공간 정의)
    - GL\_TEXTURE: 텍스처 매핑 모드 (텍스처 매핑 정의)
  - 변환 함수를 부를 때마다 현재의 모델 관측 행렬에 변환행렬이 곱해진다.

# 변환

- 선택된 변환 행렬의 값을 설정하고 조작을 수행하는 GL 함수들
  - void **glLoadIdentity**(): 현재의 변환 행렬을 단위행렬로 설정.
    - 시각 좌표계를 원점으로 초기화 한다
    - 행렬 변환을 수행하기 전에 좌표계를 초기화한다.
    - 초기화 결과: 모델 좌표계 = 전역 좌표계 = 시점 좌표계
  - void **glLoadMatrixd** ( const GLdouble \**m*);
  - void **glLoadMatrixf** ( const GLfloat \**m*);
    - *m*: 4\*4 행렬 값 (16개의 연속된 값)
    - 현재의 행렬 (CTM, Current Transformation Matrix)을 *m*의 값으로 바꾼다.
      - 행렬은 열 우선 벡터를 사용한다.
  - void **glMultMatrixf** (const GLfloat \**m*);
  - void **glMultMatrixd** (const GLdouble \**m*);
    - 현재 행렬에 행렬 *m*을 곱한다.

사용 예)

GLdouble identity[16] = {

1.0, 0.0, 0.0, 0.0,  
0.0, 1.0, 0.0, 0.0,  
0.0, 0.0, 1.0, 0.0,  
0.0, 0.0, 0.0, 1.0  
};

$$\begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

glMatrixMode(GL\_MODELVIEW);

glLoadIdentity();

glLoadMatrix(identity);

GLdouble translate[16] = {

1.0, 0.0, 0.0, 0.0,  
0.0, 1.0, 0.0, 0.0,  
0.0, 0.0, 1.0, 0.0,  
3.0, 0.0, 0.0, 1.0  
};

$$\begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

//---x축으로 3.0만큼 이동 glTranslated(3.0, 0.0, 0.0);

glMultMatrixd(translate);

//---y축으로 2.0배 확대, glScaled(1.0, 2.0, 1.0);

glMultMatrixd(scaling);

GLdouble scaling[16] = {

1.0, 0.0, 0.0, 0.0,  
0.0, 2.0, 0.0, 0.0,  
0.0, 0.0, 1.0, 0.0,  
0.0, 0.0, 0.0, 1.0  
};

$$\begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 2.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

//--- (0, 0, 1)방향을 회전축으로 30도 회전 glRotated(30.0, 0.0, 0.0, 1.0);

glMultMatrixd(rotate);

// 그리기 진행.

GLdouble rotate[16] = {

cos(30), sin(30), 0.0, 0.0,  
-sin(30), cos(30), 0.0, 0.0,  
0.0, 0.0, 1.0, 0.0,  
0.0, 0.0, 0.0, 1.0  
};

$$\begin{bmatrix} \cos(30) & -\sin(30) & 0.0 & 0.0 \\ \sin(30) & \cos(30) & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

# 변환





# 변환: 모델링 변환

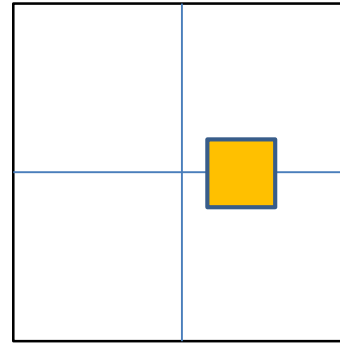
- 모델링 변환하기

- 모델을 제어하는 과정으로 **이동, 회전, 신축**을 할 수 있다.
- **glMatrixMode (GL\_MODELVIEW)** 인자 설정
- 이동: **glTranslate**
  - glTranslated (GLdouble x, GLdouble y, GLdouble z);
  - glTranslatef (GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z);
    - x, y, z: 각 축의 이동 벡터값
  - 예) y축의 양의 방향으로 10만큼 이동: glTranslatef (0.0f, 10.0f, 0.0f);
- 회전: **glRotate**
  - glRotated (GLdouble angle, GLdouble x, GLdouble y, GLdouble z);
  - glRotatef (GLfloat angle, GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z);
    - angle: 도 (degree)단위로 나타낸다.
    - x, y, z: x, y, z 축 벡터 값
    - 원점과 (x, y, z)을 지나는 선을 축으로 angle만큼 회전시킨다.
  - 예) x축에 대하여 45도만큼 회전: glRotatef (45.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f);
  - 예) 원점과 (1, 1, 1)을 연결한 직선에 대하여 30도 회전: glRotatef (30.0, 1.0, 1.0, 1.0);
- 신축: **glScale**
  - glScaled (GLdouble x, GLdouble y, GLdouble z);
  - glScalef (GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z);
    - x, y, z: 각 축의 신축률
  - 예) x축으로 2배, y축으로 0.5배만큼 신축: glScalef (2.0f, 0.5f, 1.0f);

# 변환: 모델링 변환

- 예) 육면체 그리기

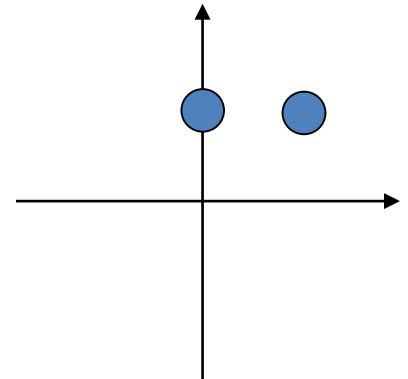
```
void DrawScene () {  
    glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);  
    glMatrixMode (GL_MODELVIEW);  
  
    // x축과 y축 그리기  
    glBegin (GL_LINES);  
        glVertex2f (-1.0, 0.0);  
        glVertex2f (1.0, 0.0);  
        glVertex2f (0.0, -1.0);  
        glVertex2f (0.0, 1.0);  
    glEnd ();  
  
    glLoadIdentity ();  
    glTranslatef (0.3, 0.0, 0.0);    // x축으로 0.3 이동  
    glutSolidCube (0.3);  
    glFlush ();  
}
```



# 변환: 모델링 변환

- 변환 함수는 누적 방식으로 수행된다.

```
glTranslatef (0.0f, 10.0f, 0.0f);  
glutSolidSphere (1.0f, 15, 15);  
glTranslatef (10.0f, 0.0f, 0.0f);  
glutSolidSphere (1.0f, 15, 15);
```



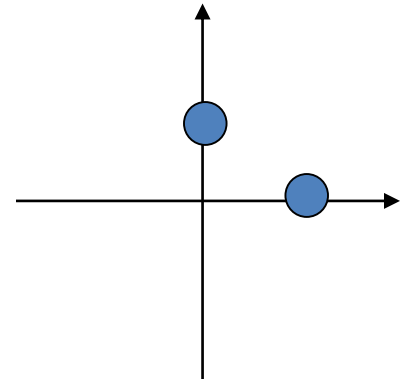
- 우측과 같은 결과를 얻으려면

// 사용하는 행렬을 모델관측행렬로 설정하고 초기화한다.

```
glMatrixMode (GL_MODELVIEW);  
glLoadIdentity ();  
glTranslatef (0.0f, 10.0f, 0.0f);  
glutSolidSphere (1.0f, 15, 15);
```

// 모델관측행렬을 다시 초기화한다.

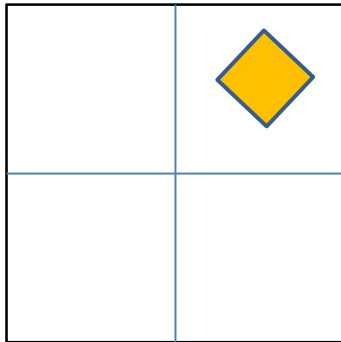
```
glLoadIdentity ();  
glTranslatef (10.0f, 0.0f, 0.0f);  
glutSolidSphere (1.0f, 15, 15);
```



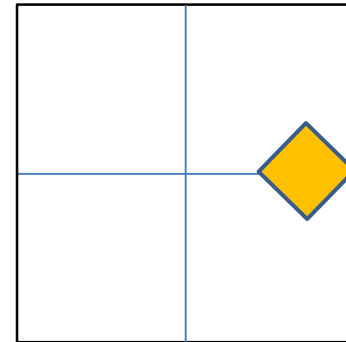
# 변환: 모델링 변환

- 예) 육면체에 회전, 이동 모델링 변환 적용

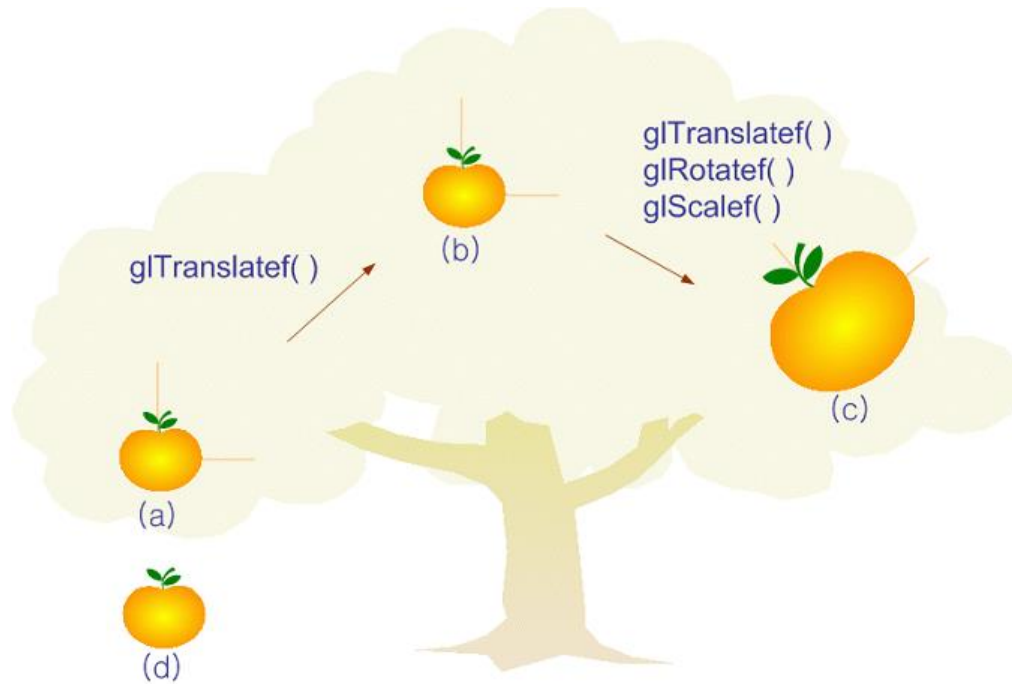
```
void DrawScene () {  
    glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);  
    glMatrixMode (GL_MODELVIEW);  
    glBegin (GL_LINES);  
        glVertex2f (-1.0, 0.0);  
        glVertex2f (1.0, 0.0);  
        glVertex2f (0.0, -1.0);  
        glVertex2f (0.0, 1.0);  
    glEnd ();  
    glLoadIdentity ();  
    glRotatef (45.0, 0.0, 0.0, 1.0);  
    glTranslatef (0.6, 0.0, 0.0);  
    glutSolidCube (0.3);  
    glFlush ()  
}
```



```
void DrawScene () {  
    glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);  
    glMatrixMode (GL_MODELVIEW);  
    glBegin (GL_LINES);  
        glVertex2f (-1.0, 0.0);  
        glVertex2f (1.0, 0.0);  
        glVertex2f (0.0, -1.0);  
        glVertex2f (0.0, 1.0);  
    glEnd ();  
    glLoadIdentity ();  
    glTranslatef (0.6, 0.0, 0.0);  
    glRotatef (45.0, 0.0, 0.0, 1.0);  
    glutSolidCube (0.3);  
    glFlush ()  
}
```



**\*\* 변환은 교환 법칙이 성립하지 않는다.**

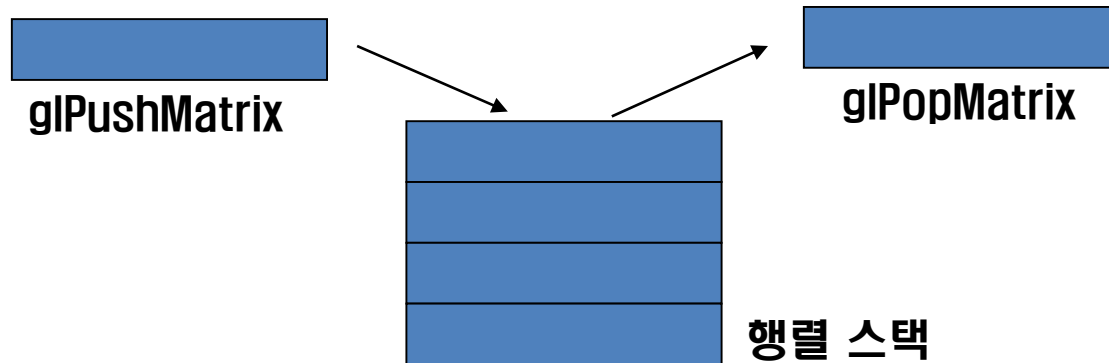


- A부터 그리기 시작하여, 이동 후 B를 그리고, 이동과 회전, 신축 후 C를 그린다.
  - 마지막으로 a로 이동하여 d를 그리려면 좌표계를 어떻게 하는가

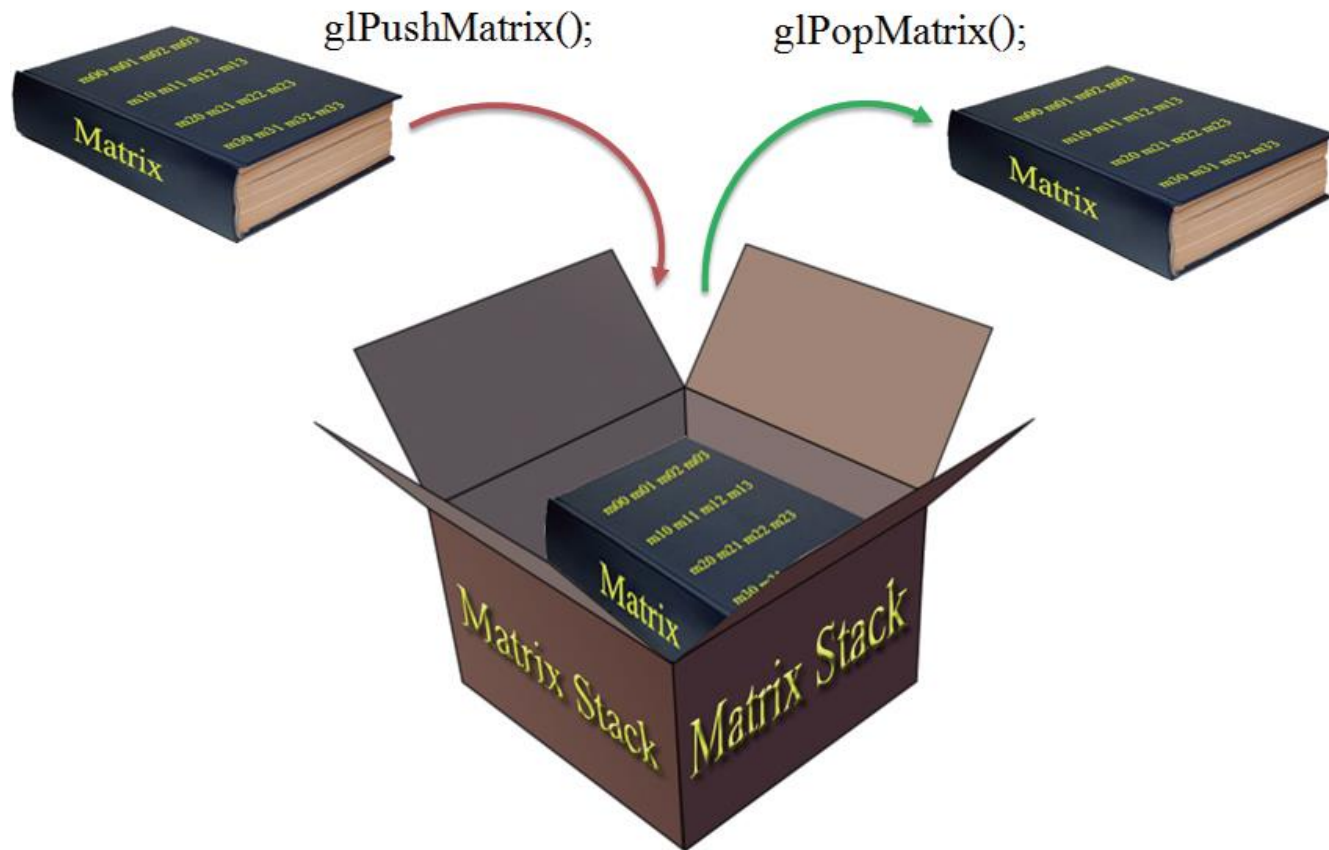
# 행렬 스택

- 행렬 스택 사용하기

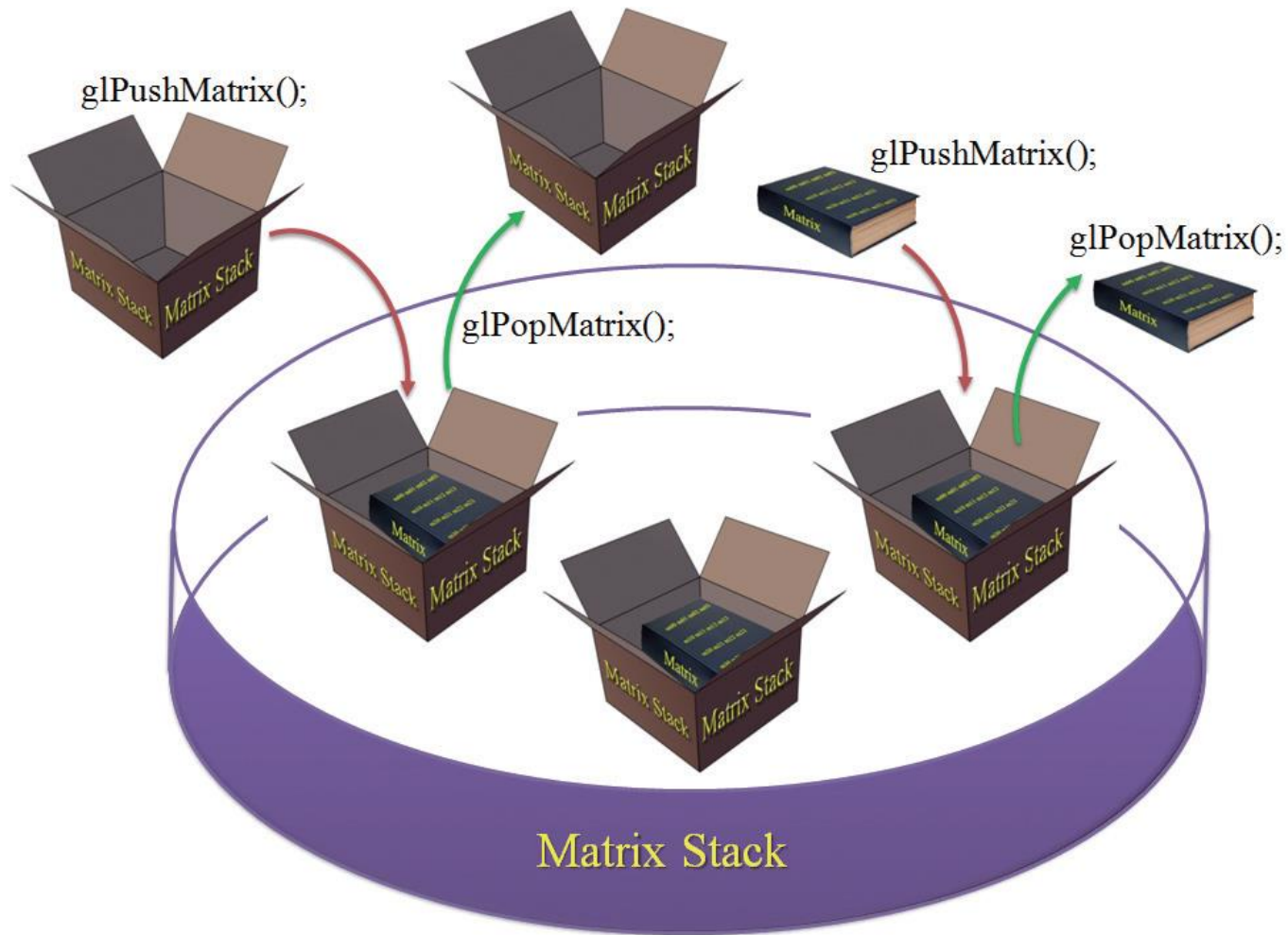
- 매번 모델관측행렬을 초기화하는 것은 바람직하지 않다.
- 현재 변환상태를 저장하고 특정물체를 지정한 후 다시 복구하는 기능이 필요하다.
  - 모델뷰 행렬과 투영 행렬 모드에는 행렬을 저장하는 스택이 있는데, 현재 행렬이 스택의 맨 위에 저장되어 있다.
- 행렬 스택(matrix stack)을 사용한다.
  - void **glPushMatrix ()**: 스택에 행렬을 저장한다.
  - void **glPopMatrix ()**: 스택의 행렬을 꺼낸다.



# 행렬 스택



# 행렬 스택





- 일반적 형태

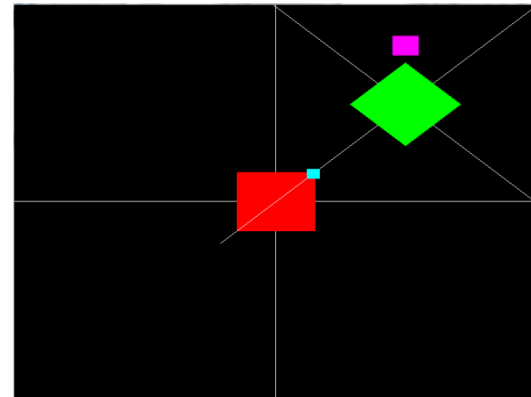
```
glPushMatrix( );  
    glTranslatef( );  
    glRotatef( );  
    glScalef( );  
    ...  
    Draw_Transformed_Object1 ( );  
glPushMatrix( );  
    glTranslatef( );  
    glRotatef( );  
    glScalef( );  
    ...  
    Draw_Transformed_Object2 ( );  
glPopMatrix( );  
glPopMatrix( );
```

# 행렬 스택

- Push/pop 사용 코드 예제

```
Void DrawScene () {  
    glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);  
    glMatrixMode (GL_MODELVIEW);  
  
    glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);  
    glBegin(GL_LINES);  
        glVertex3f(-1.0, 0.0, 0.0);  
        glVertex3f (1.0, 0.0, 0.0);  
        glVertex3f(0.0, -1.0, 0.0);  
        glVertex3f(0.0, 1.0, 0.0);  
    glEnd();  
  
    glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);    // 빨강색  
    glutSolidCube(0.3);  
    glPushMatrix();  
        glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);  
        glRotatef(45.0, 0.0, 0.0, 1.0);  
        glTranslatef(0.7, 0.0, 0.0);  
        glBegin(GL_LINES);  
            glVertex3f(-1.0, 0.0, 0.0);  
            glVertex3f(1.0, 0.0, 0.0);  
            glVertex3f(0.0, -1.0, 0.0);  
            glVertex3f(0.0, 1.0, 0.0);  
        glEnd();  
        glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);    // 초록색  
        glutSolidCube(0.3);  
        glPopMatrix();  
    }
```

```
glPushMatrix();  
    glRotatef(45.0, 0.0, 0.0, 1.0);  
    glTranslatef(0.3, 0.0, 0.0);  
    glColor3f(1.0, 0.0, 1.0);    // 보라색  
    glutSolidCube(0.1);  
    glPopMatrix();  
    glPushMatrix();  
        glTranslatef(-0.5, 0.0, 0.0);  
        glRotatef(45.0, 0.0, 0.0, 1.0);  
        glColor3f(0.0, 1.0, 1.0);    // 청록색  
        glutSolidCube(0.05);  
        glPopMatrix();  
    glPopMatrix();  
    glFlush ();  
}
```



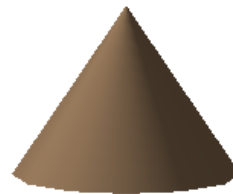
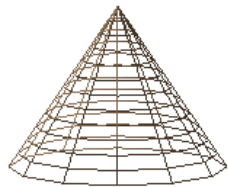
# 더블 버퍼링

- 더블 버퍼링 (double-buffering)

- 그리기를 실행하는 동시에 화면에 나타나지 않는 버퍼(off screen)에 렌더링을 할 수 있다.
- 스왑(swap) 명령으로 버퍼에 렌더링한 그림을 스크린 상에 즉시 나타낼 수 있다.
- 더블 버퍼 사용
  - 시간이 오래 걸리는 복잡한 그림을 그린 후 완성된 그림을 화면에 보여줄 수 있다.
  - 애니메이션에서 사용할 수 있다.
- 사용 방법
  - 출력 모드를 더블 버퍼링을 위해 설정한다.
    - `glutInitDisplayMode (GLUT_DOUBLE | GLUT_RGB);`
  - 그리기 함수에서 드로잉 명령을 실행하고 버퍼 교체를 설정한다.
    - `glutSwapBuffers ();` // 그리기 함수에서 `glFlush` 대신 사용
      - » `glFlush` 효과가 있으므로 `glFlush`를 사용할 필요가 없다.

# 객체 만들기: GLUT 모델

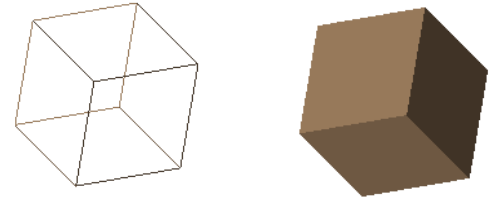
- 솔리드 혹은 와이어프레임 원뿔 그리기
  - void **glutSolidCone** (GLdouble base, GLdouble height, GLint slices, GLint stacks);
  - void **glutWireCone** (GLdouble base, GLdouble height, GLint slices, GLint stacks);
    - base: 원뿔의 밑면의 반지름
    - height: 원뿔의 높이
    - slices: z축 주위의 분할 개수
    - stacks: z축 방향의 분할 개수
    - 솔리드 혹은 와이어프레임 원뿔을 z축에 따라 그린다. 베이스는  $z=0$ 에, 원뿔의 제일 꼭대기는  $z=height$ 에 그리고, z축 주위로 slices갯수만큼 z축따라 stacks로 분할한다.



# 객체 만들기: GLUT 모델

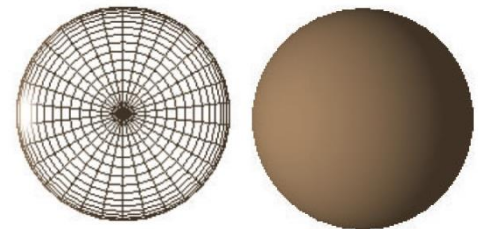
- 솔리드 혹은 와이어프레임 육면체 그리기

- void **glutSolidCube** (GLdouble size);
- void **glutWireCube** (GLdouble size);
  - 원점을 중심으로 육면체를 그린다.
    - Size: 육면체의 각 모서리의 길이
    - 현재 좌표계의 중앙에 그린다.



- 솔리드 혹은 와이어 프레임 구 그리기

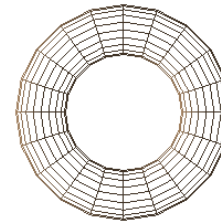
- void **glutWireSphere** (GLdouble radius, GLint slices, GLint stacks);
- void **glutSolidSphere** (GLdouble radius, GLint slices, GLint stacks);
  - 구를 원점을 기준으로 그리며 반지름은 1.0이다
    - Radius: 구의 반지름
    - Slices: 구의 z축 둘레의 분할 개수 (경도와 비슷)
    - Stacks: 구의 z축따라 분할 개수 (위도와 비슷)
    - 현재 좌표계의 중앙에 radius 반지름으로 구를 그린다.



# 객체 만들기: GLUT 모델

- 솔리드 혹은 와이어프레임 토러스를 그린다.

- void **glutSolidTorus** (GLdouble innerRadius, GLdouble outerRadius, GLint nSides, GLint nRings);
- void **glutWireTorus** (GLdouble innerRadius, GLdouble outerRadius, GLint nSides, GLint nRings);
  - 도넛 형태의 입체 도형
    - innerRadius: 내부 원의 반지름
    - OuterRadius: 외부 원의 반지름
    - nSides: 각 radial section에 대한 분할의 개수
    - nRings: radial section의 수



- 솔리드 혹은 와이어프레임 주전자를 그린다.

- void **glutSolidTeapot** (GLdouble size);
- void **glutWireTeapot** (GLdouble size);
  - Size: 주전자 반지름의 근사값



# 실습 11

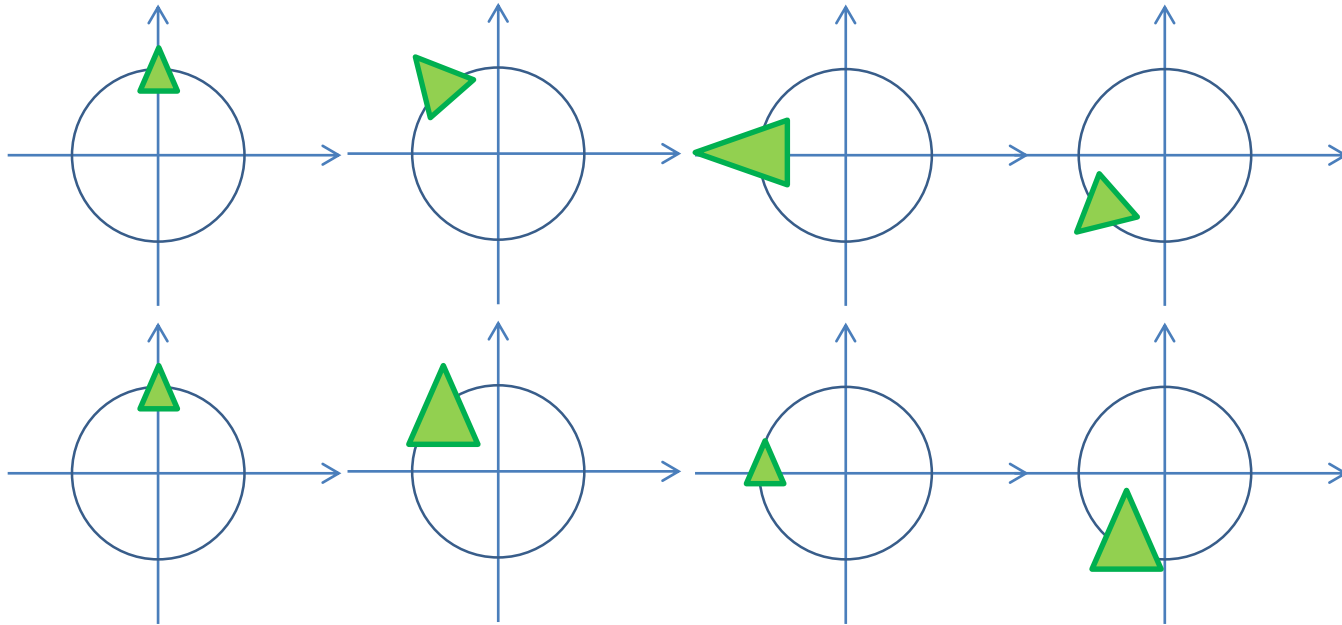
- 키보드 명령에 따라 도형 그리고 변환 적용하기
  - 화면 중앙에 가로선과 세로선을 그린다.
  - 도형 그리기
    - 1: 사인 곡선
    - 2: 스프링
    - 3: 리본
    - 4: 사각형
  - 변환
    - x/X: x축을 따라 양/음 방향으로 이동
    - y/Y: y축을 따라 양/음 방향으로 이동
    - s/S: x축을 기준으로 확대/축소
    - r/R: x축을 따라 양/음 방향으로 특정 값만큼 이동
    - a/A: x축을 따라 양/음 방향으로 이동 애니메이션
    - T: 애니메이션 멈추기
    - Q: 프로그램 종료
- 앞으로의 모든 실습은 `glOrtho` 함수에서 z축에 공간을 주도록 한다!
  - 예) `glOrtho (0.0, 800.0, 0.0, 600.0, -400.0, 400.0);`

# 실습 12

- 원의 경로를 따라 이동/회전하는 애니메이션 구현하기
  - 오픈지엘 변환 함수를 사용한다.
  - 화면 중앙에 좌표축이 그려진다.
  - 좌표축의 원점을 중심으로 **xy 평면**에 경로로 사용될 원이 그려진다.
  - 키보드 명령에 따라 선택된 도형이 원의 경로를 따라 회전 또는 이동하고 크기가 확대→축소→확대 → ...된다.
    - 도형 종류: 삼각형, 사각형
    - 도형 위치 변환: 이동, 회전 (회전은 원에만 적용하도록 한다.)
    - 도형 크기 변환: 확대와 축소가 번갈아 진행
  - 키보드 명령어에 따라 경로 바꾸기
    - 0: 원 곡선
    - 1: 사인 곡선
    - 2: 회오리
    - 3: 지그재그
    - 4: 경로 그리기 (4번을 선택하면 왼쪽 마우스 클릭을 이용하여 직선 경로를 그리고, 오른쪽 마우스를 클릭하면 경로 그리기가 끝나고 삼각형이 경로를 따라 이동한다. 왼쪽 마우스는 최대 5번까지 클릭할 수 있다.)
  - 키보드 명령
    - y/Y: 전체 그림을 y축에 대하여 양/음의 방향으로 회전



# 실습 12



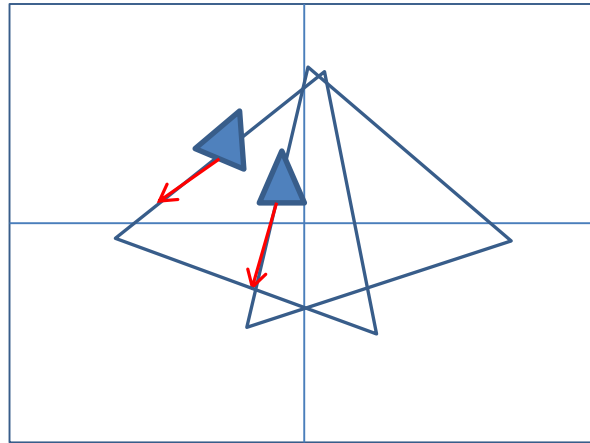
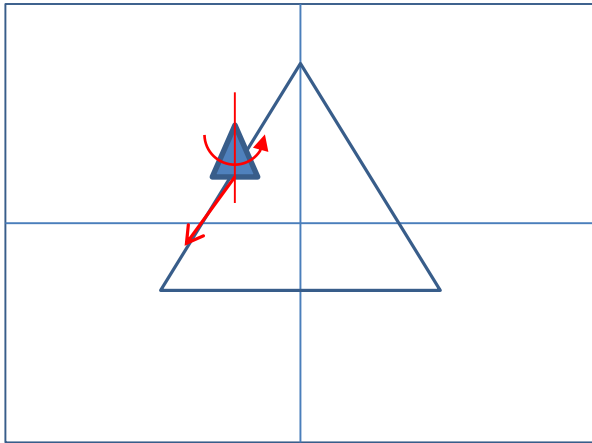
원점에 대  
해 회전

원 주위를  
이동

# 실습 13

## 삼각형 애니메이션 만들기

- 화면의  $xy$  평면과  $yz$  평면에 삼각형을 그린다.
- 두 삼각형의 테두리를 따라 작은 삼각형이 이동한다.
- 키보드 명령어:
  - $y/Y$ : 두 개의 큰 삼각형이  $y$ 축을 기준으로 양/음 방향으로 회전한다.
    - 안의 작은 삼각형은 본인 삼각형의  $y$ 축 기준으로 회전한다.
  - $s/S$ : 두 개의 큰 삼각형이 중점을 기준으로 확대/축소 한다.
    - 안의 작은 삼각형의 크기는 그대로 위치만 바뀐다.



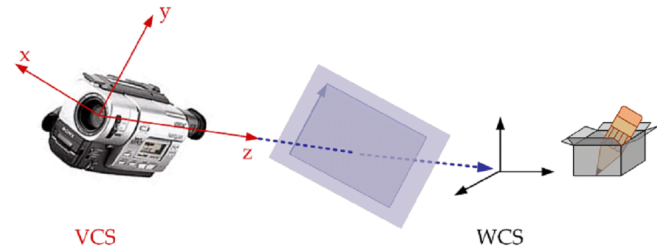
# 실습 14



# 변환: 관측 (뷰잉) 변환

- 관측 변환하기

- 카메라 위치 = 시점 좌표계 원점
  - 전역 좌표계 원점을 향한 방향이 시점 좌표계의 z축
  - z축에 수직으로 서 있는 면 = 투상면
  - 투상면 내부에 뷰 윈도우 = 카메라 필름
  - 시점 좌표계 y 축 = 뷰 윈도우의 y축과 평행
  - y-z 평면에 수직인 방향으로 x축

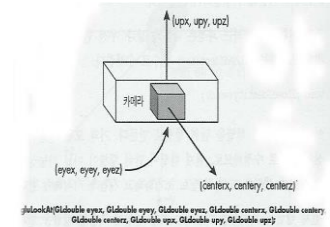


- 관측 변환과 모델링 변환은 같이 생각할 수 있다.
  - 카메라를 오른쪽으로 이동 -> 객체를 왼쪽으로 이동
  - `glMatrixMode (GL_MODELVIEW)`로 인자 설정
  - 모델링 변환 함수들을 사용하여 카메라의 위치를 바꿀 수도 있다.
    - `glTranslate` 나 `glRotate`를 사용할 수 있다.

# 변환: 관측 (뷰잉) 변환

– void **gluLookAt** ( GLdouble eyeX, GLdouble eyeY, GLdouble eyeZ,  
GLdouble centerX, GLdouble centerY, GLdouble centerZ,  
GLdouble upX, GLdouble upY, GLdouble upZ);

- 카메라의 위치와 방향 (카메라가 바라보는 방향)을 변경시킨다.
  - 파라미터: 카메라의 위치, 카메라가 바라보는 점, 카메라의 기울임
    - » eyeX, eyeY, eyeZ: 눈의 위치
    - » centerX, centerY, centerZ: 주시하고 있는 카메라의 주시점
    - » upX, upY, upZ: up-vector 방향



- glTranslated (-eyeX, -eyeY, -eyeZ)과 마찬가지로 결과이다.

- 카메라의 디폴트 값:

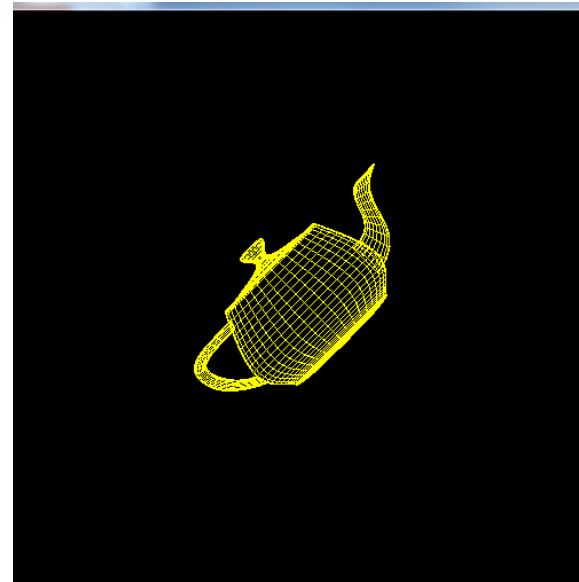
- 위치: 원점.
- 방향: z축의 음의 방향.
- 위쪽 방향: y축의 양의 방향

gluLookAt (0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, -100.0, 0.0, 1.0, 0.0);

# 변환: 관측 (뷰잉) 변환

- 관측 변환 예

```
void DrawScene () {  
    glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);  
    glMatrixMode (GL_MODELVIEW);  
    glLoadIdentity ();  
  
    gluLookAt (0.0, 0.0, 0.0,    0.0, 0.0, -1.0,    1.0, 1.0, 0.0); // 카메라의 up 벡터 방향이 (0, 0, 0)과 (1, 1, 0)을  
                                                                    // 연결한 선과 같은 방향으로 놓인다.  
  
    glutWireTeapot (1.0);  
  
    // 위의 두 줄은 아래의 두 줄과 같은 결과이다.  
    // glRotatef (45.0, 0.0, 0.0, 1.0);과 같은 결과  
    // glutWireTeapot (1.0);  
  
}
```



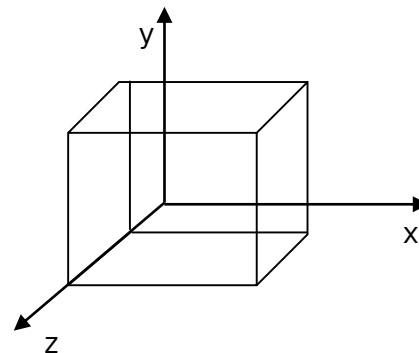
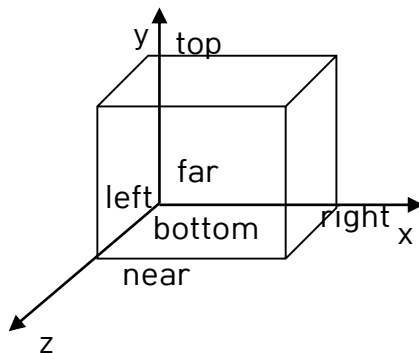
# 변환: 투영 변환

- 투영 모드 설정

- 투영 변환을 위해서 모드 설정
  - glMatrixMode (GL\_PROJECTION)

- 직각 투영

- 직각 투영을 사용하여 뷰포트의 공간을 설정한다.
  - void **glOrtho** (GLdouble left, GLdouble right, GLdouble bottom, GLdouble top, GLdouble near, GLdouble far);
    - 3D 좌표계 영역과 범위를 설정한다.
    - left, right: 투영 영역의 x축 좌측/우측 좌표
    - bottom, top: 투영 영역의 y축 아래측/위측 좌표
    - near, far: 투영 영역에서 가까운/먼 z축 거리
- 직각 투영인 경우에 z값은 객체의 위치에 영향을 주지 않는다.





# 변환: 투영 변환

- 원근 투영 (Perspective Projection)

- Z값을 이용하여 거리감이 있는 객체 표현을 한다.

- void **gluPerspective** ( GLdouble fovy, GLdouble aspect, GLdouble zNear, GLdouble zFar);

- 뷰잉 프러스텀을 월드 좌표계 시스템으로 지정한다.

- **fovy**: 수직 방향의 보이는 각도 (y축 방향)

- **aspect**: 종횡비 (앞쪽의 클리핑 평면의 폭(w)을 높이(h)로 나눈 값)

- » 종횡비: 화면의 가로방향에 대한 단위 길이를 나타내는 픽셀수에 대한 세로방향의 단위 길이를 나타내는 픽셀 수의 비율.

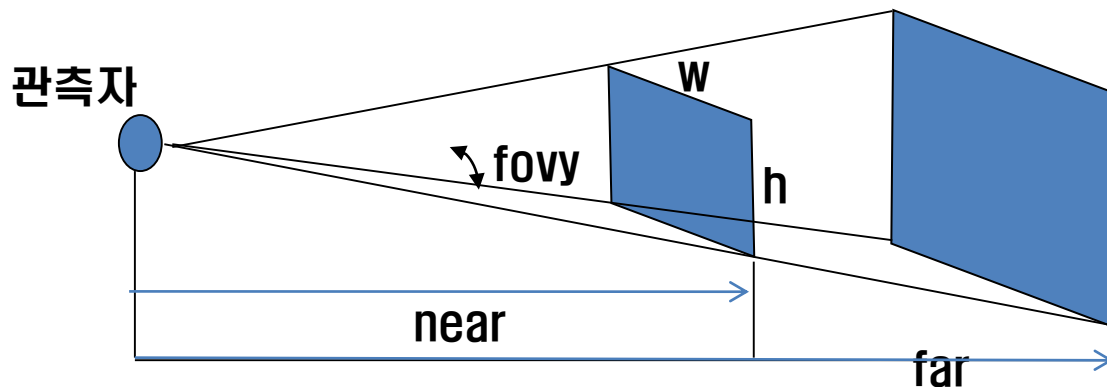
- » 예) “종횡비가 0.5”: 가로길이의 두 픽셀이 세로길이의 한 픽셀에 대응한다.

- **zNear**: 관측자에서부터 가까운 클리핑 평면까지의 거리 (항상 양의 값)

- **zFar**: 관측자에서 먼 클리핑 평면까지의 거리 (항상 양의 값)

- 예) gluPerspective (60.0f, w/h, 1.0, 400.0);

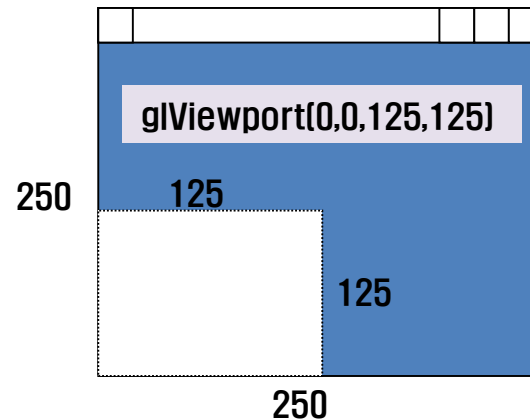
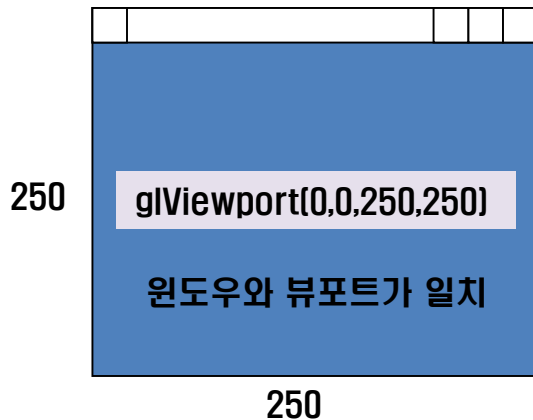
- void glFrustum (left, right, bottom, top, near, far);



# 변환: 뷰포트 변환

- 뷰포트

- 3차원 모델에서 2차원 평면으로 투영된 그림이 화면에서 최종적으로 출력될 영역 (사용할 영역)
- 뷰포트 정하기:
  - 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



# 변환: reshape 함수에서 투영 변환, 뷰포트 변환 적용

- 투영 변환/뷰포트 변환 예제

- void Reshape (int w, int h) {  
    GLfloat nRange = 800.0f;

- //--- 뷰포트 변환 설정

- glViewport(0, 0, w, h);

- // 투영 행렬 스택 재설정

- glMatrixMode (GL\_PROJECTION);

- glLoadIdentity();

- //-- 투영은 직각 투영 또는 원근 투영 중 한 개를 설정한다.

- // 1. 클리핑 공간 설정: 원근 투영인 경우

- gluPerspective (60.0f, w/h, 1.0, 1000.0);

- glTranslatef (0.0, 0.0, -300.0);   // 투영 공간을 화면 안쪽으로 이동하여 시야를 확보한다.

- // 2. 클리핑 공간 설정: 직각 투영인 경우

- // glOrtho (0, 800.0, 0.0, 600.0, -1.0, 200.0);

- // 모델 뷰 행렬 스택 재설정

- glMatrixMode(GL\_MODELVIEW);

- glLoadIdentity();

- }

# OpenGL 프로그램 작성하기

- 프로그램 기본 형태

```
#include <gl/glut.h>                // 헤더 파일
                                   // 필요한 전역 변수 선언

void main (int argc, char *argv[])
{
    // 윈도우 초기화 및 생성
    glutInit (&argc, argv);
    glutInitDisplayMode (GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA | GLUT_DEPTH);    // 더블 버퍼링과 3차원으로 그린다.
    glutInitWindowSize ( 500, 500 );
    glutCreateWindow ("Points Drawing");

    // 상태 변수 초기화 함수
    SetupRC ()

    // 필요한 콜백 함수 설정
    glutDisplayFunc (DrawScene);    // 출력 콜백 함수
    glutReshapeFunc (Reshape);    // 다시 그리기 콜백 함수
    glutKeyboardFunc (Keyboard);    // 키보드 입력 콜백 함수
    glutTimerFunc (100, TimerFunction, 1);    // 타이머 콜백 함수

    glutMainLoop();                // 이벤트 루프 실행하기
}
```

# OpenGL 프로그램 작성하기

// 초기화 함수 (Optional): 필요한 경우에 작성, 초기화해야 할 변수들이 많을 때는 만드는 것이 유리

```
void SetupRC ( )  
{  
    // 필요한 변수들, 좌표값 등의 초기화  
    // 기능 설정 초기화  
}
```

//-----

// 렌더링을 위한 디스플레이 콜백 함수: 모든 그리기 명령은 이 함수에서 대부분 처리 함

```
void DrawScene ( )  
{  
    glClearColor(0.0f,0.0f,1.0f,1.0f);  
    glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);           // 윈도우, 깊이 버퍼 클리어 하기  
  
    // 필요한 변환 적용 및 그리기  
    //--- 변환을 적용하기 위해서  
    //      glPushMatrix 함수를 호출하여 기존의 좌표 시스템을 저장  
    //      필요한 경우 행렬 초기화 ( glLoadIdentity ( ); )  
    //      변환 적용: 이동, 회전, 신축 등 모델에 적용 할 변환 함수를 호출한다.  
    //      변환이 끝난 후에는 원래의 좌표시스템을 다시 저장하기 위하여 glPopMatrix 함수 호출  
    //      필요한 그리기 작업을 수행한다.  
  
    glutSwapBuffers ( );           // 결과 출력  
}
```

# OpenGL 프로그램 작성하기

// 다시그리기 콜백 함수

// 처음 윈도우를 열 때, 윈도우 위치를 옮기거나 크기를 조절할 때 호출

// 뷰포트 설정, 투영 좌표계 설정, 관측 좌표 설정 등을 한다.

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

```
{
```

```
    // 뷰포트 변환 설정: 출력 화면 결정
```

```
    glViewport (0, 0, w, h);
```

```
    // 클리핑 변환 설정: 출력하고자 하는 공간 결정
```

```
    // 아래 3줄은 투영을 설정하는 함수
```

```
    glMatrixMode (GL_PROJECTION);
```

```
    glLoadIdentity ( );
```

```
    // 원근 투영을 사용하는 경우:
```

```
    gluPerspective (60.0, 1.0, 1.0, 1000.0);
```

```
    glTranslatef (0.0, 0.0, -300.0);
```

```
    // glOrtho (0.0, 800.0, 0.0, 600.0, -1.0, 1.0);
```

```
    // 모델링 변환 설정: 디스플레이 콜백 함수에서 모델 변환 적용하기 위하여 Matrix mode 저장
```

```
    glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
```

```
    // 관측 변환: 카메라의 위치 설정 (필요한 경우, 다른 곳에 설정 가능)
```

```
    gluLookAt (0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 1.0, 0.0);
```

```
}
```

# OpenGL 프로그램 작성하기

// 필요한 콜백 함수 구현: 키보드 입력, 마우스 입력, 타이머 등

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

```
{
```

```
    ...
```

```
    glutPostRedisplay ( );
```

```
// 화면 재출력을 위하여 디스플레이 콜백 함수 호출
```

```
}
```

```
void TimerFunction (int value)
```

```
{
```

```
    glutPostRedisplay ();
```

```
// 화면 재출력을 위하여 디스플레이 콜백 함수 호출
```

```
    glutTimerFunc (100, TimerFunction, 1);
```

```
}
```

# OpenGL 프로그램 작성하기

- 변환

- 클리핑 영역 설정    // 다시 그리기 함수에서 처리
  - glMatrixMode (GL\_PROJECTION); 설정 후
  - glOrtho (...) 또는 gluPerspective (...)
- 카메라 위치 설정
  - gluLookAt (...);
- 출력 영역 설정
  - glViewport (...);
- 객체 위치 이동    // 그리기 함수에서 처리
  - glMatrixMode (GL\_MODELVIEW); 설정 후
  - glTranslatef (...) / glRotatef (...) / glScalef (...);



# 객체 만들기: GLU 모델

- 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
      - drawStyle: GLU\_FILL / GLU\_LINE / GLU\_SILHOUETTE / GLU\_POINT
    - `void gluQuadricNormals (GLUqadric *quadObject, GLenum normals);`
      - 법선 벡터 제어, 빛에 대한 영향 결정
      - Normals: GLU\_NONE / GLU\_FLAT / GLU\_SMOOTH
    - `void gluquadricOrientation (GLUqadric *quadObject, GLenum orientation);`
      - 법선 벡터의 내부 및 외부 등과 같은 방향 지정
      - Orientation: GLU\_OUTSIDE / GLU\_INSIDE
    - `void gluDeleteQuadric (GLUqadric *quadObject);`
      - 객체 삭제하기

# 객체 만들기: GLU 모델

- GLU 라이브러리를 이용하여 모델링 하기

- 모델 생성

- void gluSphere (GLUquadric \*qobj, GLdouble radius, GLint slices, GLint stacks);
      - 구 생성하기

```
void gluSphere ( GLUquadric *qobj, GLdouble radius, GLint slices, GLint stacks );
```

Parameters Help	<i>qobj</i>	// gluNewQuadric으로 생성된 Quadric Object
	<i>radius</i>	// Sphere의 반지름(Radius)
	<i>slices</i>	// Z축을 중심으로 하는 Subdivisions의 개수(경도(Longitude)와 유사)
	<i>stacks</i>	// Z축을 따르는 Subdivisions의 개수(위도(Latitude)와 유사)



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



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



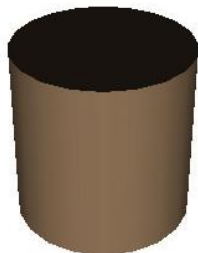
(C) gluSphere(obj, 1.0, 20, 20);

# 객체 만들기: GLU 모델

- void gluCylinder (GLUquadric \*qobj, GLdouble baseRadius, GLdouble topRadius, GLdouble height, GLint slices, GLint stack);
  - 실린더 생성하기

```
void gluCylinder ( GLUquadric *qobj, GLdouble baseRadius, GLdouble topRadius,  
                  GLdouble height, GLint slices, GLint stacks );
```

Parameters Help	<i>qobj</i>	// gluNewQuadric로 생성되어진 Quadric Object
	<i>baseRadius</i>	// z=0에 있는 Cylinder의 반지름(Radius)
	<i>topRadius</i>	// z=height에 있는 Cylinder의 반지름(Radius)
	<i>height</i>	// Cylinder의 높이(Height)
	<i>slices</i>	// Z축을 중심으로 하는 회전 Subdivisions의 개수
	<i>stacks</i>	// Z축을 따르는 Subdivisions의 개수



(A)

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



(B)

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



(C)

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



(D)

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

# 객체 만들기: GLU 모델

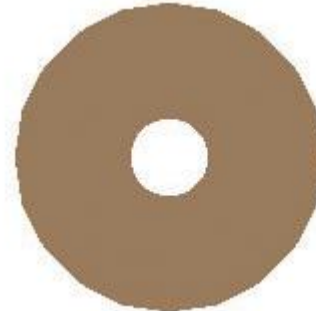
- void gluDisk (GLUquadric \*qobj, GLdouble innerRadius, GLdouble outerRadius, GLint slices, GLint loops);
  - 디스크 생성하기

```
void gluDisk ( GLUquadric *qobj, GLdouble innerRadius, GLdouble outerRadius, GLint slices,  
              GLint loops );
```

Parameters Help	<i>qobj</i>	// gluNewQuadric으로 생성된 Quadric Object
	<i>innerRadius</i>	// Disk의 안쪽 반지름(Radius)
	<i>outerRadius</i>	// Disk의 바깥쪽 반지름(Radius)
	<i>slices</i>	// Z축을 중심으로 하는 Subdivisions의 개수
	<i>loops</i>	// Disk가 세분화되는 동심원의 개수



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



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

# 객체 만들기: GLU 모델

## - 모델 생성 예)

GLUquadricObj \*qobj;

```
void drawScene ( ) {
```

```
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
```

```
    glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
```

```
    glLoadIdentity();
```

```
    qobj = gluNewQuadric ();
```

// 객체 생성하기

```
    gluQuadricDrawStyle( qobj, GLU_LINE );
```

```
    gluQuadricNormals( qobj, GLU_SMOOTH );
```

// 생략 가능

```
    gluQuadricOrientation( qobj, GLU_OUTSIDE );
```

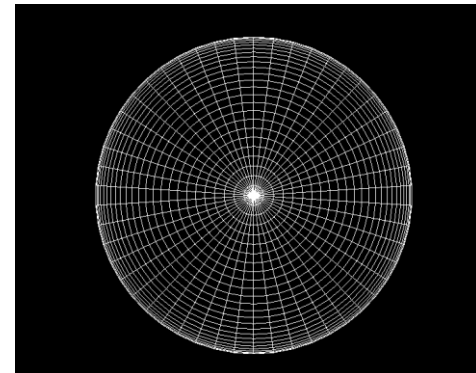
// 생략 가능

```
    gluSphere( qobj, 1.5, 50, 50 );
```

// 객체 만들기

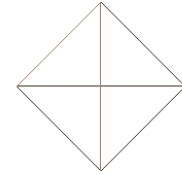
```
    glutSwapBuffers();
```

```
}
```

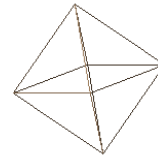


# 객체 만들기: GLUT 모델

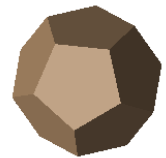
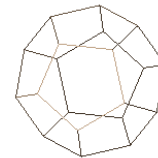
- `void glutWireTetrahedron ();` // radius: 1
- `void glutSolidTetrahedron ();`



- `void glutWireOctahedron ();` // radius: 1
- `void glutSolidOctahedron ();`



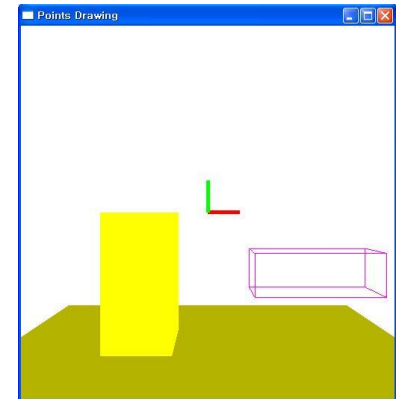
- `void glutWireDodecahedron ();` // radius:  $\sqrt{3}$
- `void glutSolidDodecahedron ();`



# 실습 16

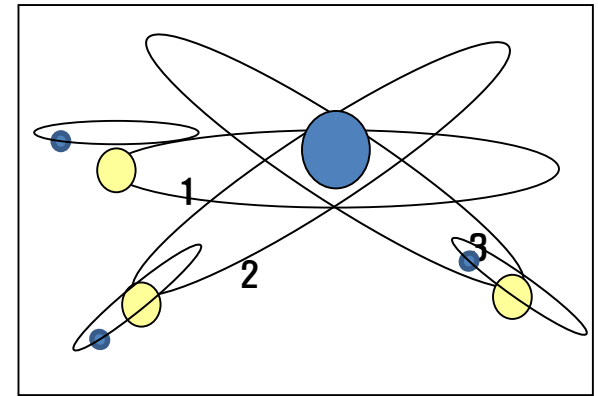
- 도형 2개 그리고 변환 하기

- 화면의 중앙에 좌표계를 그린다. (원근 투영 적용)
- 화면에 도형을 좌우로 그린다.
  - 메뉴 또는 키보드 명령에 의해 도형을 선택하면, 좌측에는 솔리드 모델이, 우측에는 와이어 모델이 그려진다.
  - 선택 모델: 구 / 육면체 / 원뿔 / 주전자
- 키보드를 이용하여 회전한다.
  - 전체 좌표계에 대한 회전
    - X: x축에 대하여 회전
    - Y: y축에 대하여 회전
    - Z: z축에 대하여 회전
    - 좌표계 전체가 회전하면서 두 개의 도형도 함께 회전한다.
  - 도형 회전
    - L: 왼쪽 도형이 제자리에서 y축에 대하여 회전
    - R: 오른쪽 도형이 제자리에서 y축에 대하여 회전
    - O: 2개의 도형이 좌표계의 y축을 기준으로 회전 (바닥과 좌표계는 회전X)
  - 도형 바꾸기
    - C: 좌우의 도형이 다른 도형으로 바뀐다.



# 실습 17

- 중심의 구를 중심으로 3개의 구가 다른 방향의 경로를 따라 회전하는 애니메이션 제작, 각 구에는 그 구를 중심으로 달이 공전한다. 이때, 회전 경로도 그리도록 한다.
  - 경로 1: xz 평면
  - 경로 2: xz 평면이 반시계방향으로 45도 기울어져 있다.
  - 경로 3: xz 평면이 시계방향으로 45도 기울어져 있다.
- 3개의 구는 다른 속도로 중심의 구를 공전한다.
- 3개의 구에는 각각 공전하는 달을 가지고 있다.
  - 달의 궤도는 공전 궤도와 평행하다.
- 메뉴를 이용하여 구의 모델을 선택할 수 있게 한다.
  - 솔리드 모델 / 와이어 모델
- 원근 투영을 적용한다.
  - 키보드 명령에 의해 직각 투영으로 변경하게 한다.
- 다음의 키보드 명령을 수행한다.
  - x/X: x축 기준으로 카메라의 위치가 양/음의 방향으로 카메라 회전
  - y/Y: y축 기준으로 카메라의 위치가 양/음의 방향으로 카메라 회전
  - z/Z: z축 기준으로 카메라의 위치가 양/음의 방향으로 카메라 회전
  - w/a/s/d: x축과 y축으로 각각 양/음 이동
  - +/-: z축 방향으로 양/음 이동
  - i: 초기화



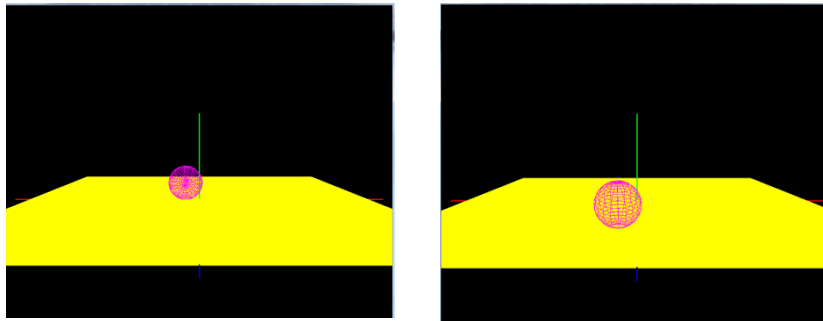
좌측의 명령어는  
앞으로  
모든 실습에  
추가한다.





# 실습 19

- 구르는 공 그리기
  - 화면에 바닥을 그린다.
  - 중심에 구를 그린다.
  - 구가 회전한다
    - $l/L$ : x축 따라 공이 회전하면서 회전 방향으로 이동한다.
    - $m/M$ : y축 따라 공이 회전한다.
    - $n/N$ : z축 따라 공이 회전하면서 회전 방향으로 이동한다.
    - 구가 가장자리에 도달하면 회전만 한다.
  - i: 초기화



## 실습 20

- 계층적으로 움직이는 크레인 만들기
  - 육면체 몸체 위에 중간 크기의 몸체를 올리고 그 위에 긴 팔을 만든다.
    - 맨 아래의 몸체는 좌우로 자동 이동하고 있다.
      - y축에 대하여 회전 가능
      - 위의 몸체와 팔도 같이 회전
    - 중간작은 몸체는 x축 회전, y축 회전 (양/음 방향으로)
      - 회전 중심은 몸체의 아래 부분
      - 맨 위의 긴 팔도 같이 회전된다.
    - 맨 위의 긴 팔은 x축 회전, z 축 회전 (양/음 방향으로)
      - 회전 중심은 긴 팔의 아래 부분
  - 위의 몸체와 긴 팔의 회전은 양, 음 방향으로 최대 90도까지 회전한다.
  - 모든 객체는 솔리드와 와이어 모델을 같이 사용하여 그린다.

