

그래픽스 강의노트 03 - OpenGL 소개

강영민

동명대학교

2016년 2학기

OpenGL

- OpenGL은 특정한 하드웨어나 운영체제에 의존하지 않고 다양한 시스템에 이식(移植)될 수 있는 개방형 라이브러리
- OpenGL을 통한 학습은 실시간 그래픽스에 대한 이해를 돋고, 다양한 시스템에 적용가능한 그래픽스 프로그래밍 기술을 습득하게 함

OpenGL을 사용하기 위한 준비

- Mac OS X, Linux - 특별한 준비가 필요 없음
- MS Windows - 플랫폼 독립적 윈도우 생성을 위해 glut를 따로 설치해야 함
- 수업에 사용할 glut 라이브러리
 - freeglut
 - 다운로드 - precompiled binary는 64비트
 - 32비트와 64비트 용으로 컴파일한 결과를 수업 홈페이지에 게시

MS Windows 환경에서 freeglut 설치

- 32비트
 - freeglutd.dll, freeglut.dll → C:\Windows\System32
 - 헤더 파일들 → (Windows SDK)\include\GL
 - 라이브러리 파일들 (freeglutd.lib, freeglut.lib) → (Windows SDK)\lib
- 64비트
 - freeglutd.dll, freeglut.dll → C:\Windows\SystemWOW64
 - 헤더 파일들 → (Windows SDK)\include\GL
 - 라이브러리 파일들 (freeglutd.lib, freeglut.lib) → (Windows SDK)\lib\x64
- 프로젝트의 플랫폼을 Win32가 아니라 64비트로 변경하여 생성하여야 함

간단한 OpenGL 프로그램 테스트

```
#include "headers.h"

void myDisplay() {
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    glFlush();
}

int main ( int argc , char * argv [] ) {
    glutInit(&argc , argv );
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE|GLUT_RGBA);
    glutInitWindowPosition(0 , 0 );
    glutInitWindowSize(512 , 512 );
    glutCreateWindow("A Triangle"); // 윈도우 생성

    glClearColor(1.0 , 0.0 , 0.0 , 1.0 );
    glutDisplayFunc(myDisplay); // 디스플레이 콜백 등록
    glutMainLoop(); // 이벤트 루프
    return 0;
}
```

OpenGL의 특징

- 실시간 그래픽 라이브러리로서 사실상의 (*de facto*) 산업 표준
- 플랫폼에 독립적
 - OpenGL을 이용하여 작성한 그래픽 프로그램은 여러 종류의 다른 운영체제를 가진 시스템에 쉽게 이식
- OpenGL은 상태 기계(state machine)
 - OpenGL의 동작은 현재의 상태에 의해 결정
 - 이 상태는 변경하지 않으면 계속해서 유지
 - OpenGL에는 많은 종류의 상태 변수가 있으며, 이 상태는 한 번 설정하면 다시 변경하지 않는 한 계속해서 설정된 상태를 유지
 - 예: 선의 두께를 결정했다면, 이후에 이 두께를 변경하지 않는 이상 모든 선이 설정된 두께로 그려짐

OpenGL의 관례

- OpenGL API의 명령들은 gl-Command-dimension-type의 꼴
 - glVertex3f는 정점(Vertex)의 위치를 설정하는 OpenGL 명령으로 3 차원 데이터이며, 각 차원의 값을 부동소수점(floating point)로 표현한다는 의미
- OpenGL 명령어의 뒤에 붙어 입력 파라미터의 자료형을 표시하는 접미사는 표와 같음

f	32 비트 부동소수점	float	GLfloat
d	64 비트 부동소수점	double	GLdouble
b	8 비트 정수	char	GLbyte
ub	8 비트 부호 없는 정수	unsigned char	GLubyte
i	32 비트 정수	int or long	GLint
ui	32 비트 부호 없는 정수	unsigned int long	GLuint, GLenum
s	16 비트 정수	short	GLshort

OpenGL의 관례

- OpenGL API의 명령들은 gl-Command-dimension-type의 꼴
 - glVertex3f는 정점(Vertex)의 위치를 설정하는 OpenGL 명령으로 3 차원 데이터이며, 각 차원의 값을 부동소수점으로 표현한다는 의미
- 입력 파라미터의 자료형을 표시하는 접미사는 표와 같음

f	32 비트 부동소수점	float	GLfloat
d	64 비트 부동소수점	double	GLdouble
b	8 비트 정수	char	GLbyte
ub	8 비트 부호 없는 정수	unsigned char	GLubyte
i	32 비트 정수	int or long	GLint
ui	32 비트 부호 없는 정수	unsigned int long	GLuint, GLenum
s	16 비트 정수	short	GLshort

GLU(GL Utility)와 GLUT(GL Utility Toolkit)

카메라 등을 다루는 OpenGL 유ти리티 라이브러리의 명령들은 glu로 시작한다. 또한 서로 다른 윈도 환경에 독립적인 윈도 관리를 지원하는 OpenGL 유ти리티 툴킷 (utility toolkit)을 사용하는데, 이 툴킷의 명령들은 glut로 시작한다.

OpenGL 프로그램의 기본 형태

```
#include <whatever you want>
callback_for_display() {
    for(그려질 모든 객체에 대해) {
        변환 설정;
        glBegin(그리기 프리미티브 지정);
        [[점점(vertex) 정보 제공;]]
        glEnd();
    }
    glFlush() 또는 glutSwapBuffers();
}

void main(int argc, char **argv) {
    [[윈도우 초기화;]]
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    [[투영 행렬 설정;]]
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
    [[카메라의 위치와 방향 잡기;]]
    [[콜백 함수의 등록;]]
    [[메인 루프로 들어가기;]]
}
```

간단한 OpenGL 프로그램의 예

Lines 1–25 / 50

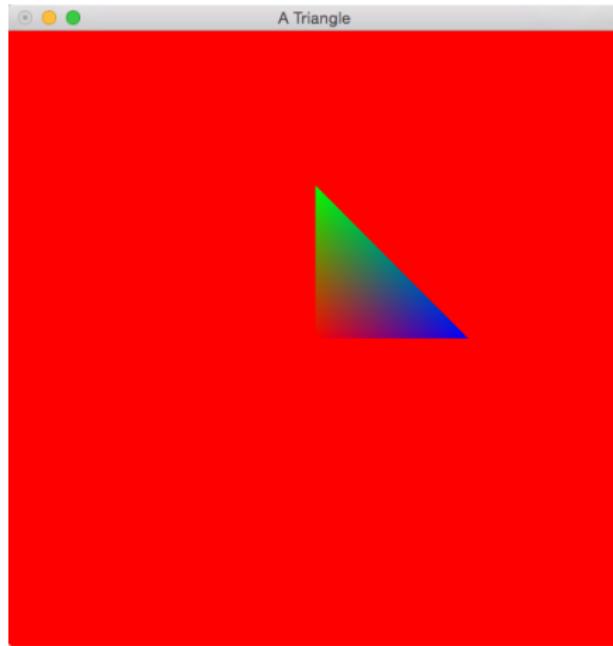
```
#ifdef WIN32 // window
#include <windows.h>
#include <gl/gl.h>
#include <gl/glut.h>
#else // mac
#include <OpenGL/OpenGL.h>
#include <GLUT/GLUT.h>
#endif
void myDisplay() {
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    glBegin(GL_POLYGON);
    glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);
    glVertex3f(0.0, 0.0, 0.0);
    glColor3f(0.0, 0.0, 1.0);
    glVertex3f(0.5, 0.0, 0.0);
    glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);
    glVertex3f(0.0, 0.5, 0.0);
    glEnd();
    glFlush();
}
int main ( int argc, char * argv [] ) {
    glutInit(&argc, argv);
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE|GLUT_RGBA);
    glutInitWindowPosition(0, 0);
    glutInitWindowSize(512, 512);
```

간단한 OpenGL 프로그램의 예

Lines 26–50 / 50

```
glutCreateWindow("A Triangle"); // 윈도우 생성  
glClearColor(1.0, 0.0, 0.0, 1.0);  
glutDisplayFunc(myDisplay); // 디스플레이 콜백 등록  
glutMainLoop();           // 이벤트 루프로  
return 0;  
}
```

간단한 OpenGL 프로그램의 예



프리미티브(primitives) - 1/3

- 그래픽 하드웨어는 프로그래머(programmer)가 지정한 프리미티브(primitive) 설정에 따라 정점의 리스트를 처리
- 프리미티브는 OpenGL이 제공하는 그리기 기본요소
- 입력 정점들을 어떻게 조합할 것인가를 결정
- 프리미티브를 사용하는 방법은 다음과 같다.

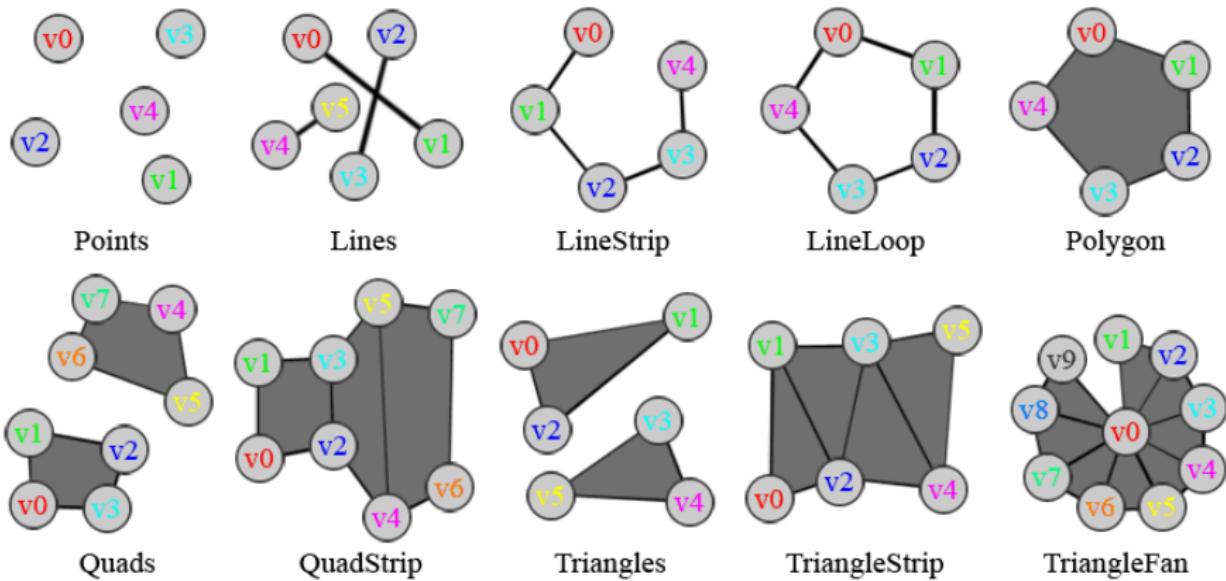
```
glBegin (drawing primitive);
    // vertex position , color , normal , etc
    setVertexInfo ();
glEnd ();
}
```

프리미티브(primitives) - 2/3

- GL_POINTS: 입력된 정점을 하나씩 점으로 가시화
- GL_LINES: 입력된 정점을 두 개씩 묶어 선분으로 표현
- GL_LINE_STRIP: 입력된 정점을 차례대로 연결하여 하나의 폴리라인 (polyline)을 구성
- GL_LINE_LOOP: 입력된 정점을 차례로 연결한 뒤에 마지막 점을 시작점으로 연결
- GL_TRIANGLES: 입력된 정점을 세 개씩 묶어 삼각형을 그림
- GL_TRIANGLE_STRIP: 처음 세 개 정점으로 삼각형을 그린 뒤, 정점이 추가될 때마다 삼각형을 직전 두 개 정점과 연결하여 삼각형 추가
- GL_TRIANGLE_FAN: 부채 모양으로 삼각형을 추가해 나감
- GL_QUADS: 정점 네 개씩을 묶어 사각형 그리기
- GL_QUAD_STRIP: 처음 네 개 정점으로 사각형 그리고, 이후 두 개씩 묶어 직전 두 개 정점과 함께 사각형 그리기
- GL_POLYGON: 입력된 모든 정점으로 다각형을 그림

프리미티브(primitives) - 3/3

Geometric Primitive Types in OpenTK.OpenGL (defined Clockwise)



정점 데이터 설정 방법

- 정점 데이터는 위치와 법선벡터, 색 등
- 정점의 위치만을 입력한다면 glVertex[dim-type]으로 입력
- 3 차원 정점의 각 성분을 부동소수점 표현으로 넣는다면,
glVertex3f(x,y,z)와 같이 입력
- 다음과 같은 같은 여러 표현이 가능하다.

```
float x, y, z;
double dx, dy, dz;
int ix, iy, iz;
float verts = {1.0f, 2.0f, 1.0f};
glBegin(drawing primitive);
    glVertex3f(x, y, z);
    glVertex3d(dx, dy, dz);
    glVertex3i(ix, iy, iz);
    glVertex3fv(verts);
glEnd();
```

다양한 프리미티브를 이용한 풍경 그리기

Lines 1–25 / 75

```
...
#include <math.h>
void myDisplay() {
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    // 색상의 지정
    glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);

    // 삼각형 그리기로 지정
    glBegin(GL_TRIANGLES);
    // mountain 1
    glVertex2f(-0.75, -0.25);
    glVertex2f(0.0, 0.25);
    glVertex2f(0.25, -0.25);
    // mountain 2 - 그리기 색상 변경
    glColor3f(0.5, 0.5, 0.1);
    glVertex2f(-0.25, -0.25);
    glVertex2f(0.75, 0.25);
    glVertex2f(1.0, -0.25);
    glEnd();

    // 사각형 그리기로 지정
    glBegin(GL_QUADS);
    // roof 파란색으로 색상 변경
    glColor3f(0.0, 0.0, 1.0);
    glVertex2f(-1.0, 0.25);
```

다양한 프리미티브를 이용한 풍경 그리기

Lines 26–50 / 75

```
glVertex2f( -0.75,  0.5);
glVertex2f( -0.25,  0.5);
glVertex2f( 0.0,   0.25);
// house 노란색으로 색상 변경
	glColor3f(1.0, 1.0, 0.0);
glVertex2f( -0.75,  0.25);
glVertex2f( -0.75, -0.25);
glVertex2f( -0.25, -0.25);
glVertex2f( -0.25,  0.25);
// tree 갈색으로 변경
	glColor3f(0.7, 0.5, 0.0);
glVertex2f( 0.5,  0.25);
glVertex2f( 0.75,  0.25);
glVertex2f( 0.75, -0.25);
glVertex2f( 0.5, -0.25);
glEnd();

// 입력된 정점을 모두 이용하는 다각형 그리기로 지정
glBegin(GL_POLYGON);
int n=20;
float radius=0.1;
	glColor3f(1.0, 1.0, 0.0);
float angle = 0.0; float step=(3.14159*2.0)/n;
// 반복문 내에서 여러 개의 정점 좌표를 계산한 뒤에 지정하는 방식
// 여기서는 원을 이루는 정점들을 계산하고 있음
```

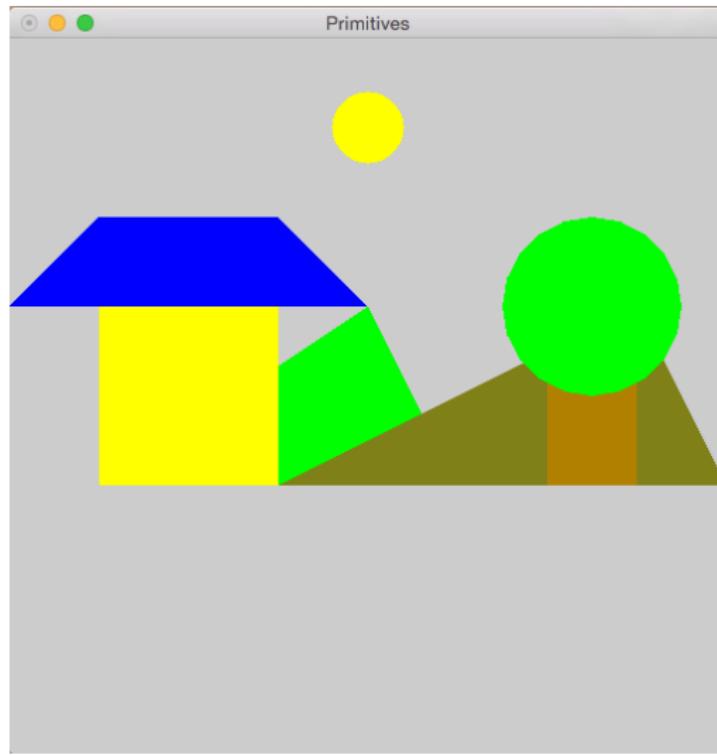
다양한 프리미티브를 이용한 풍경 그리기

Lines 51–75 / 75

```
while ( angle < 3.14159*2.0) {
    glVertex2f( radius*cos( angle ) ,  radius*sin( angle )+0.75 );
    angle += step ;
}
glEnd();

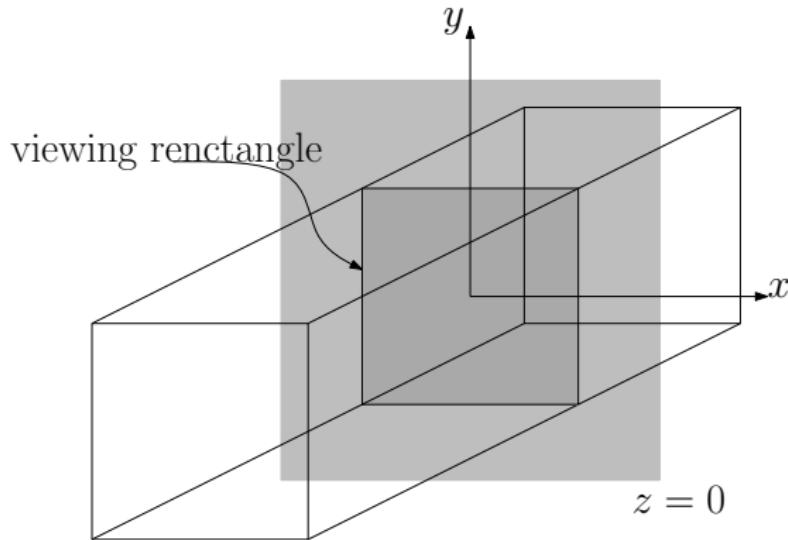
// 원의 중심을 옮기고 반지름을 바꾼 뒤에 다시 그림
glBegin(GL_POLYGON);
n=20;
radius=0.25;
	glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);
angle = 0.0; step=(3.14159*2.0)/n;
while (angle < 3.14159*2.0) {
    glVertex2f( radius*cos( angle )+0.625 ,  radius*sin( angle )+0.25 );
    angle += step ;
}
glEnd();
glFlush();
}
```

다양한 프리미티브를 이용한 풍경 그리기



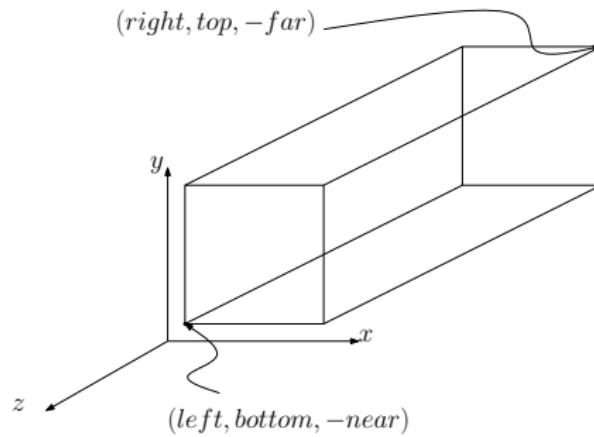
디폴트 카메라

- OpenGL의 디폴트 카메라는 원점 위치
- z축 음의 방향
- 원근 투영을 적용하지 않아 카메라에 잡히는 공간은 상자 형태



직교 투영 (orthographics projection) 설정

- 디폴트 카메라는 직교 투영 카메라
- 상자 모양의 가시화 공간내의 객체를 상자를 절단하는 면에 투영
- 이 상자의 위치와 길이를 변경하는 함수가 glOrtho



```
glOrtho(float left, float right, float bottom, float top, float near, float far);
```

- 결국 OpenGL의 디폴트 카메라는 다음과 같은 설정
 - glOrtho(-1,1, -1,1, -1,1);

원근 투영 (perspective projection) 설정

- 실제 카메라나 우리 눈은 원근이 없는 평행 투영이 불가능
- 멀리 있는 것은 작게 보이고 가까이 있는 것은 크게 보이는 이유는 원근투영
- 이러한 원근 투영을 설정하는 방법은 glFrustum과 gluPerspective
- glFrustum에 대한 이해는 뒤로 미루고 우선 직관적인 gluPerspective 함수를 먼저 이해

`gluPerspective(float fovy, float Aspect, float near, float far);`

- fovy는 y 축 방향으로의 시야각을 도(degree)로 나타낸 것
- Aspect는 가시화 볼륨의 종횡비(aspect ratio)
- near는 카메라에서 상이 맷히는 가까운 평면까지의 거리
- far는 가시화 공간을 결정하는 평면 중 카메라에서 가장 먼 쪽 평면과 카메라 사이의 거리
- 이 함수는 그리기 동작이 일어날 때마다 불리는 것이 아니라 초기에 한 번, 혹은 렌즈를 바꿀 필요가 있을 때에만 불린다.

행렬 모드(matrix mode)

- OpenGL은 세 종류의 행렬: 텍스처 행렬, 모델뷰 행렬, 투영행렬
- 모델뷰 행렬은 공간 내에서 가상 객체의 좌표를 변경
- 투영행렬은 가상 객체를 투영면에 옮겨 놓음

```
glMatrixMode(GL_PROJECTION);
glLoadIdentity();
gluPerspective(60, 1.0, 0.1, 100.0);

glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
gluLookAt(1.0, 1.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0);

[[draw something]]
```

- 여기서는 gluPerspective와 gluLookAt이 어떠한 행렬 모드를 변경하는가 하는 것이 관심
- gluPerspective 함수는 투영의 특성을 변경하는 것이므로 투영행렬 모드
- gluLookAt은 카메라의 위치를 옮기는 것이고, 이는 바꾸어 말해 물체의 위치를 카메라 기준에서 옮기는 것이므로 모델뷰 행렬을 변경

카메라 위치 변경

- 카메라를 원하는 곳으로 옮겨주는 함수: gluLookAt

```
gluLookAt(float eye_x, float eye_y, float eye_z,  
          float at_x, float at_y, float at_z,  
          float up_x, float up_y, float up_z);
```

- 카메라의 위치를 옮겨 놓는 역학
- 카메라 이동의 반대로 물체를 옮겨 놓는 것
- 카메라의 위치는 매 프레임마다 변경될 수 있으므로 이 함수는 그리기 함수 내에서 매번 불리는 것이 일반적

카메라를 설정하는 기본적인 프로그램

Lines 1–25 / 50

[[header 파일 포함하기...]]

```
void init( int argc, char **argv ) {
    // 윈도우 생성, 버퍼 설정
    glutInit(&argc, argv);
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE|GLUT_RGBA);
    glutInitWindowPosition(0,0);
    glutInitWindowSize(512,512);
    glutCreateWindow("Dr. Kang's Graphics Lecture");
    glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.0);
    // 카메라 투영 특성 설정 (glPerspective 사용). 이때는 GL_PROJECTION 행렬모드여야 한다.
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();
    gluPerspective(60, 1.0, 0.1, 100.0);
}
void drawScene() {
    [[앞서 사용한 코드 ??의 그리기 코드를 여기에 넣는다. (단, glFlush는 여기서 사용하지 않는다)]]
}
void drawAxes() {
    glBegin(GL_LINES);
    glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);
    glVertex3f(0.0, 0.0, 0.0);    glVertex3f(1.0, 0.0, 0.0);
    glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);
    glVertex3f(0.0, 0.0, 0.0);    glVertex3f(0.0, 1.0, 0.0);
    glColor3f(0.0, 0.0, 1.0);
}
```

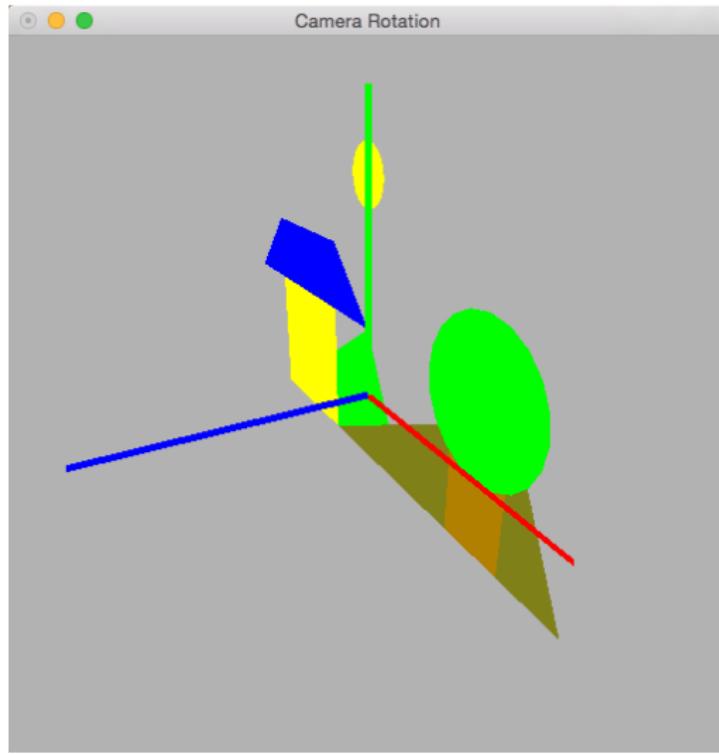
카메라를 설정하는 기본적인 프로그램

Lines 26–50 / 50

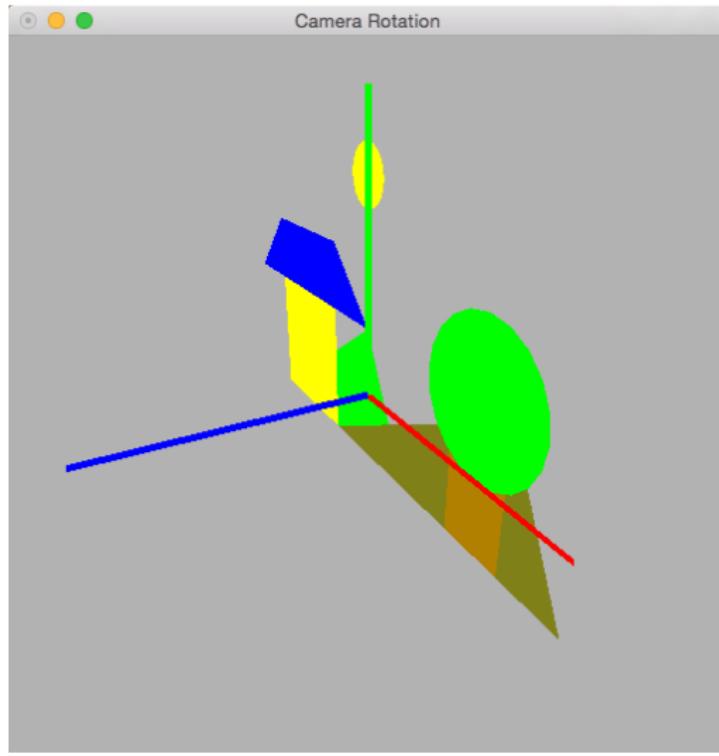
```
glVertex3f(0.0, 0.0, 0.0);    glVertex3f(0.0, 0.0, 1.0);
glEnd();
}
void display() {
    static float t=0.0;
    // 카메라의 위치와 방향을 설정한다. 이때는 GL_MODELVIEW 행렬 모드여야 한다.
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
    glLoadIdentity();
    gluLookAt( 2.0*sin(t), 1, 2.0*cos(t), 0, 0, 0, 0, 1, 0);
    t+=0.001;
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    drawScene();
    glLineWidth(5);
    drawAxes();
    glLineWidth(1);
    glFlush();
};

int main ( int argc, char **argv ) {
    init(argc, argv);
    glutDisplayFunc(display);
    glutIdleFunc(display);
    glutMainLoop();
}
```

카메라 조작 결과



카메라 조작 결과



(깊이버퍼 없이) 네 개의 면으로 상자 모양 그리기

Lines 1–25 / 50

```
void drawScene() {  
    // drawing code  
    glBegin(GL_QUADS);  
    // 천정  
    glColor3f(1.0, 1.0, 0.0);  
    glVertex3f(-0.5, 0.5, -0.5);  
    glVertex3f( 0.5, 0.5, -0.5);  
    glVertex3f( 0.5, 0.5, 0.5);  
    glVertex3f(-0.5, 0.5, 0.5);  
    // 바닥  
    glColor3f(0.0, 1.0, 1.0);  
    glVertex3f(-0.5, -0.5, -0.5);  
    glVertex3f( 0.5, -0.5, -0.5);  
    glVertex3f( 0.5, -0.5, 0.5);  
    glVertex3f(-0.5, -0.5, 0.5);  
    // 왼쪽 벽  
    glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);  
    glVertex3f(-0.5, 0.5, -0.5);  
    glVertex3f(-0.5, 0.5, 0.5);  
    glVertex3f(-0.5, -0.5, 0.5);  
    glVertex3f(-0.5, -0.5, -0.5);  
    // 오른쪽 벽  
    glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);  
    glVertex3f( 0.5, 0.5, -0.5);  
    glVertex3f( 0.5, 0.5, 0.5);
```

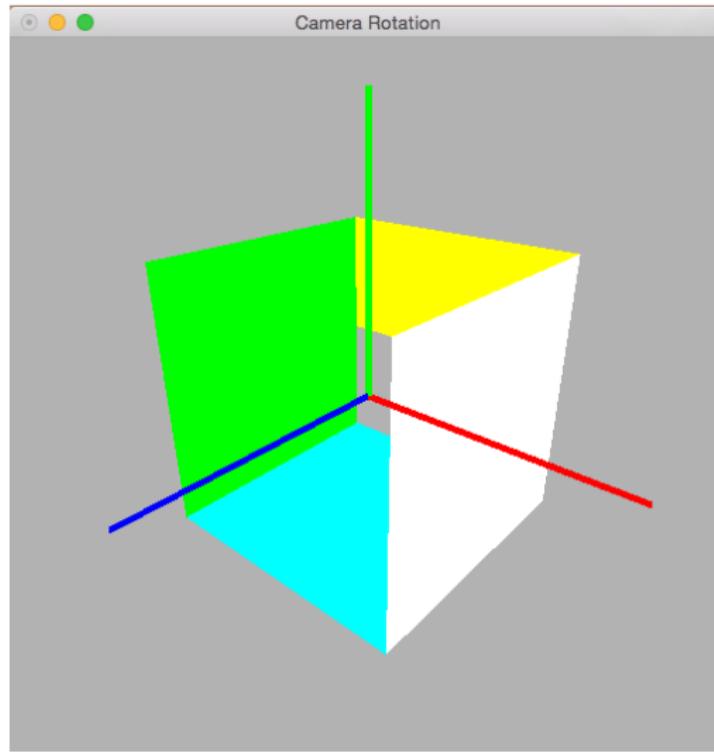
(깊이버퍼 없이) 네 개의 면으로 상자 모양 그리기

Lines 26–50 / 50

```
glVertex3f( 0.5, -0.5,  0.5);
glVertex3f( 0.5, -0.5, -0.5);
glEnd();
}

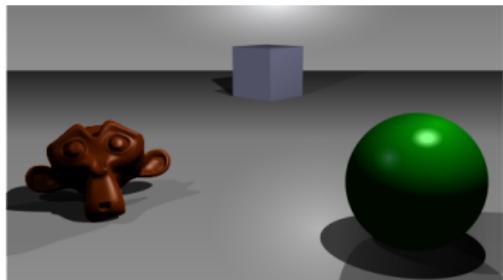
void draw() {
    drawScene();
    drawAxes(); // drawAxes 함수는 코드 ??에서 사용한 것을 그대로 쓴다.
}
```

(깊이버퍼 없이) 네 개의 면으로 상자 모양 그리기



깊이 버퍼 (depth buffer)

- 깊이 버퍼 혹은 z-버퍼
 - 색상 버퍼(color buffer)는 그려지는 영상의 각 화소별 색을 기록
 - 우리가 최종적으로 보게되는 것은 이 색상 버퍼의 내용
 - 색상 버퍼를 구성할 때 물체의 가려짐을 고려하여 가려진 물체를 그리지 않도록 하는 버퍼가 깊이 버퍼
 - 색상이 아니라 카메라에서 그려지는 픽셀까지의 거리를 저장하는 버퍼



A simple three-dimensional scene



Z-buffer representation

깊이 버퍼의 사용

- OpenGL에서는 이러한 깊이 버퍼를 쉽게 사용할 수 있도록 지원
 - `glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_DEPTH | GLUT_RGBA);`
- 기본적으로 “깊이 테스트” 작업을 수행하지 않는 것이 디폴트
- 깊이 테스트를 수행하기 위해서는 다음과 같이 상태를 변경
 - `glEnable(GL_DEPTH_TEST);`
- 또한 매번 그리기가 이뤄지면 그려진 내용에 따라 깊이 버퍼의 내용이 더러워져 있는 상태
- 새로운 그리기를 하기 전에 색상 버퍼를 깨끗하게 지우듯이 깊이 버퍼의 내용도 깨끗하게 지우는 다음과 같은 코드가 필요
 - `glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);`

깊이 버퍼와 이중 버퍼 사용 예제

- 지금까지 색상과 깊이 버퍼가 하나만 존재하는 단일 버퍼 환경
- 단일 버퍼 환경은 애니메이션 등이 있을 때 깜빡임 발생 가능
- 해결: 앞 버퍼(front buffer)와 뒷 버퍼(back buffer)의 이중 구조
 - `glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE|GLUT_DEPTH|GLUT_RGBA);`
- 디스플레이 장치로 프레임 버퍼를 보내는 것은 `glFlush`가 아니라 `glutSwapBuffers`를 이용
 - `glutSwapBuffers();`

깊이 버퍼와 이중 버퍼 사용 예제

Lines 1–25 / 50

[[헤더 파일 포함하기]]

```
void init( int argc , char **argv ) {
    // 윈도우 생성, 버퍼 설정
    glutInit(&argc , argv );
    // 이중 버퍼링, RGBA 색상 버퍼와 함께, 깊이 버퍼를 준비하도록 한다.
    glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE|GLUT_RGBA|GLUT_DEPTH) ;
    glutInitWindowPosition( 0 , 0 ) ;
    glutInitWindowSize( 512 , 512 ) ;
    glutCreateWindow("DEPTH BUFFER") ;
    glClearColor( 0.7 , 0.7 , 0.7 , 1.0 ) ;
    // 깊이 버퍼 검사를 활성화한다.
    glEnable(GL_DEPTH_TEST) ;
    // 카메라 투영 특성 설정 (glPerspective 사용). 이때는 GL_PROJECTION 행렬모드여야 한다.
    glMatrixMode(GL_PROJECTION) ;
    glLoadIdentity() ;
    gluPerspective( 60 , 1.0 , 0.1 , 100.0 ) ;
}
void drawScene() { [[코드 ??와 동일]] }
void drawAxes() { [[코드 ??와 동일]] }
void draw() { [[코드 ??와 동일]] }
void display() {
    static float t=0.0;
    // 카메라의 위치와 방향을 설정한다. 이때는 GL_MODELVIEW 행렬 모드여야 한다.
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW) ;
```

깊이 버퍼와 이중 버퍼 사용 예제

Lines 26–50 / 50

```
glLoadIdentity();
gluLookAt( 2.0*sin(t), 1, 2.0*cos(t), 0, 0, 0, 0, 1, 0);
t+=0.001;
// 컬러 버퍼 뿐만 아니라 깊이 버퍼도 매 프레임마다 지운다.
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
draw();
glutSwapBuffers();
};

};
```

깊이 버퍼와 이중 버퍼 사용 결과

