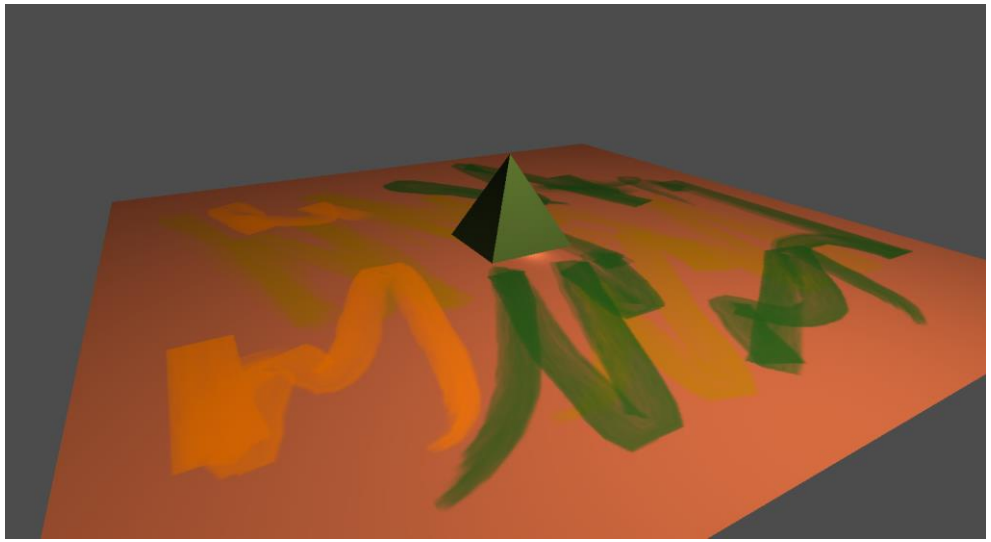
openGL 텍스처 매핑

2025년 2학기

텍스처 매핑

- 텍스처 (Texture)
  - 객체에 세부 정보를 추가하는데 사용되는 이미지. 대개 2차원 이미지
- 텍스처 매핑 (Texture mapping)
  - 물체의 표면에 텍스처를 입히는 것

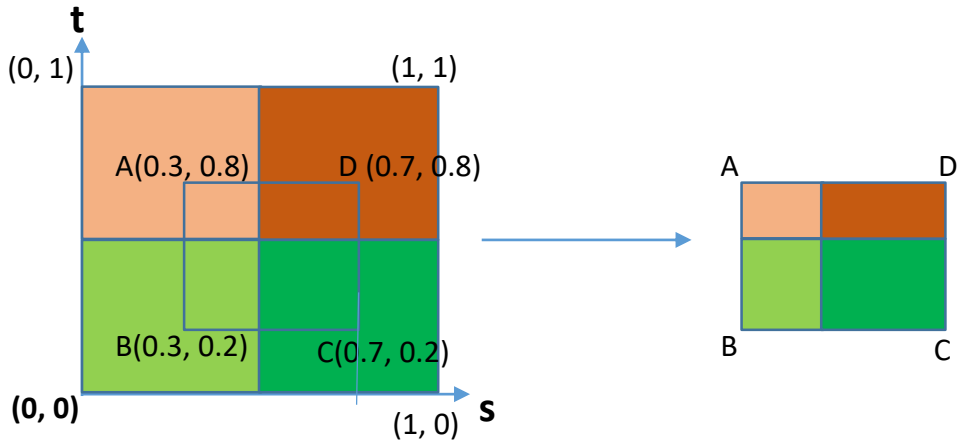
- 텍스처 매핑을 위해서
  1) 텍스처 생성
     - 이미지를 파일에서 읽기
     - 텍스처 생성
  2) 텍스처 정의
     - 랩핑, 필터링 방법 등 텍스처 파라미터 정의
     - 객체의 각 정점에 텍스처 좌표를 지정
     - 텍스처 정의
  3) 텍스처 매핑하기
     - 텍스처를 객체에 바인드하기
     - 객체 그리기



텍스처 매핑

- Modern openGL에서 텍스처 매핑은 프래그먼트 세이더에서 sampler로 구현됨
  - 샘플러 (sampler): 텍스처 값(texel)에 접근하는데 사용되는 텍스처 타입
    - 샘플러는 GLSL에서 접근 가능한 텍스처를 나타내는 변수로 uniform 타입으로 선언한다.
    - 샘플러는 텍스처 색을 반환한다.
    - 텍스쳐 샘플링을 위한 데이터 타입:
      - sampler1D : 1D 텍스처를 위한 샘플러
      - sampler2D : 2D 텍스처를 위한 샘플러
      - sampler3D : 3D 텍스처를 위한 샘플러
  - 샘플링 (sampling): 텍스처 좌표를 사용하여 텍스처 컬러를 가져오는 것

- 텍스처 좌표 범위:
  - 2차원 이미지: 각 x축(s축)과 y축(t축)에서 [0.0, 1.0]



텍스처 매핑

- 텍스처 매핑 구현하기
  - 응용 프로그램:
    - 텍스처로 사용할 이미지 읽어오기
    - 텍스처 생성 및 파라미터 설정
    - 각 꼭지점에 대응하는 텍스처 좌표값 설정 후 버텍스 속성 중 한 개로 버텍스 세이더에 전달
    - 텍스처 바인딩하고 객체 그리기
  - 버텍스 세이더:
    - 텍스처 좌표값을 프래그먼트 세이더에 전달
  - 프래그먼트 세이더:
    - 모든 텍스처 좌표를 각 프래그먼트에 보간하여 프레임 버퍼로 전달

함수 프로토타입

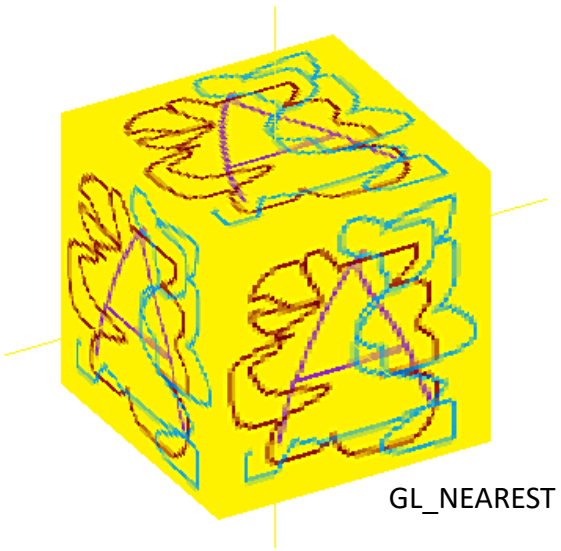
- 텍스처 생성
  - void glGenTextures (GLsizei n, GLuint *textures);
    - 텍스처 이름을 생성한다.
      - n: 생성할 텍스처 개수
      - textures: 텍스처 이름
- 텍스처 바인딩
  - Void glBindTexture (Glenum target, GLuint texture);
    - 텍스처 타깃에 텍스처를 붙인다.
      - target: 텍스처 타깃
        - GL_TEXTURE_1D, GL_TEXTURE_2D…
      - texture: 텍스처 이름

함수 프로토타입

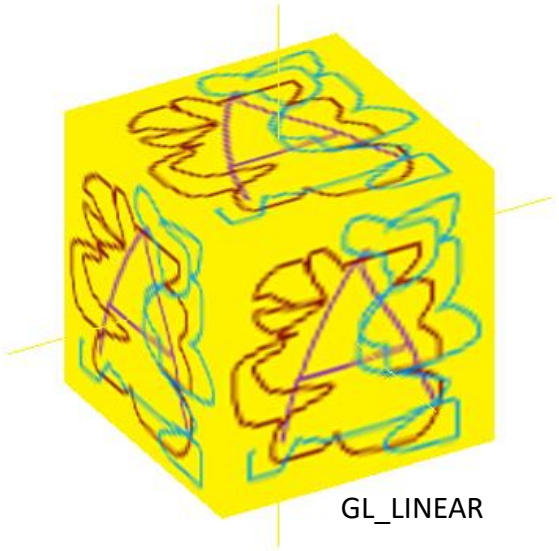
- 텍스처 이미지 정의
  - void glTexImage2D (GLenum target, GLint level, GLint internalformat, GLsizei width, GLsizei height, GLint border, GLenum format, GLenum type, const GLvoid * data);
    - 2차원 텍스처 이미지를 정의한다.
      - target: GL_TEXTURE_2D
      - level: 텍스처 이미지의 상세한 정도 (0으로 설정)
      - internalformat: 각 픽셀에 사용할 컬러 수 (1 ~ 4까지 중 RGB 이면 3, RGBA면 4)
      - width: 텍스처의 폭 (2의 지수승)
      - height: 텍스처 높이(2의 지수승)
      - border: 경계 픽셀 수 (0으로 설정)
      - format: 픽셀 데이터에 대한 포맷 (GL_RED, GL_GREEN, GL_BLUE, GL_RGB, GL_RGBA, GL_BGR, GL_BGRA…)
      - type: 각 픽셀 데이터에 대한 데이터 타입 (GL_UNSIGNED_BYTE, GL_BYTE, GL_UNSIGNED_SHORT, GL_SHORT, GL_UNSIGNED_INT…)
      - data: 메모리의 실제 픽셀 데이터 값

함수 프로토타입

- 텍스처 파라미터 설정
  - void glTexParameteri (GLenum target, GLenum pname, GLfloat param);
    - 텍스처 파라미터를 설정한다.
    - target: GL_TEXTURE_1D, GL_TEXTURE_2D
    - pname: 설정할 텍스처 파라미터
      - GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_TEXTURE_MAG_FILTER: 텍스처 필터링을 위한 파라미터 설정
      - GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_TEXTURE_WRAP_T: 텍스처 랩핑 파라미터 설정
    - param: pname의 스칼라 값
      - GL_TEXTURE_MIN_FILTER (축소 필터), GL_TEXTURE_MAG_FILTER (확대 필터)인 경우:
        - GL_NEAREST: 가장 가까운 nearest-neighbor 필터링 (픽셀의 근사치 사용) – 선명한 이미지 결과
        - GL_LINEAR: 이웃한 텍셀의 선형 보간값 – 더 부드러운 결과



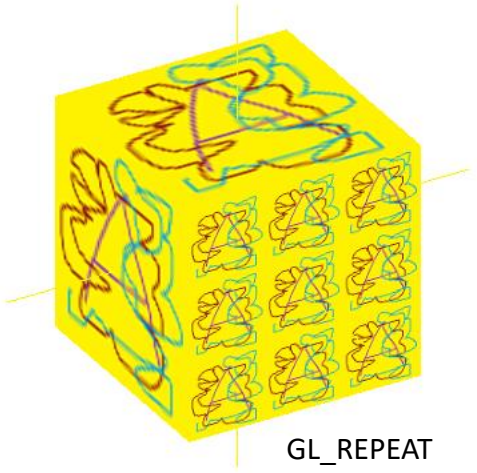
GL_NEAREST



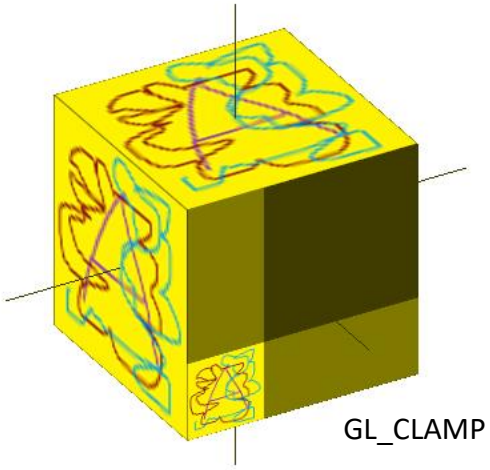
GL_LINEAR

함수 프로토타입

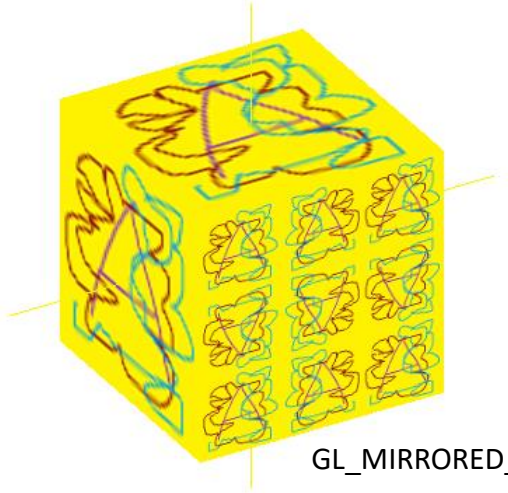
- void glTexParameteri (GLenum target, GLenum pname, GLfloat param);
  - param: pname의 스칼라 값
    - GL_TEXTURE_WRAP_S(S축 랩핑), GL_TEXTURE_WRAP_T(T축 랩핑)인 경우:
      - GL_REPEAT: 필요한 경우 텍스처 이미지가 반복
      - GL_CLAMP: 경계 픽셀이 나타난다
      - GL_MIRRORED_REPEAT: 이미지가 뒤집혀서 반복됨



GL_REPEAT



GL_CLAMP



GL_MIRRORED_REPEAT

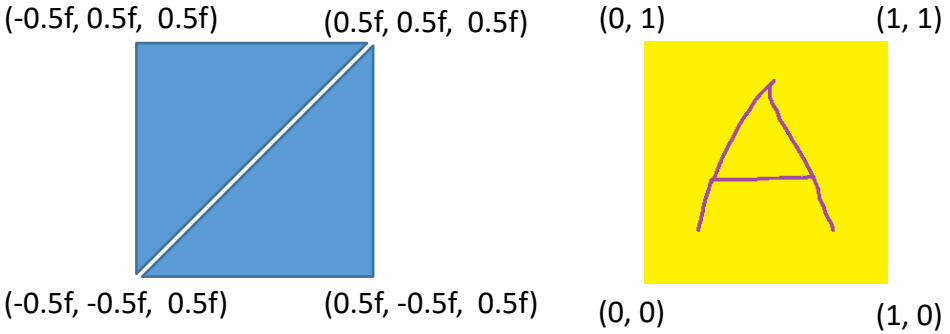
함수 프로토타입

- 텍스처 컬러 샘플링하기 (GLSL함수)
  - gvec4 **texture** (gsampler2D sampler, vec2 p);
    - 텍스처 좌표 p의 샘플러에 바인딩 된 텍스처의 텍셀을 샘플링한다.
      - sampler: 텍스처 샘플러
      - p: 텍스처 좌표
    - 텍셀 (texture pixel): 텍스처의 화소, 이미지에 있는 1화소
    - 프래그먼트 셰이더에서 사용

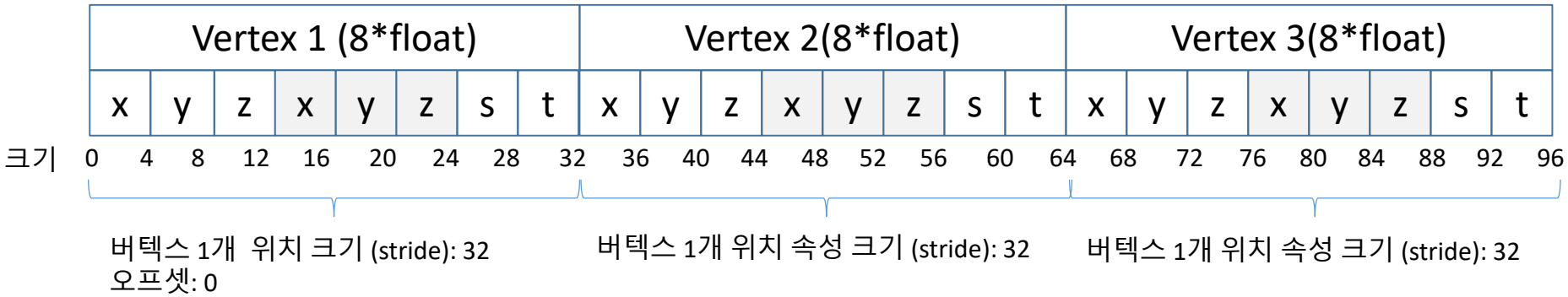
1) 텍스처 적용하기

- 좌표값

```
float vertexData[] = {
 //--- 위치              //--- 노말              //--- 텍스처 좌표
-0.5f, -0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        0.0, 0.0,
 0.5f, -0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        1.0, 0.0,
 0.5f,  0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        1.0, 1.0,

 0.5f,  0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        1.0, 1.0,
-0.5f,  0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        0.0, 1.0,
-0.5f, -0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        0.0, 0.0      };
```



  - 버텍스 포맷:



1) 텍스처 적용하기

- 메인 프로그램
  - 버텍스 속성 읽기: 위치, 노말값, 텍스처 좌표값
  - Vertex buffer에 속성 저장하기

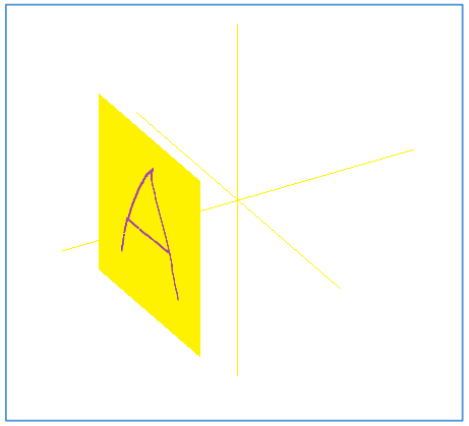
```
float vertexData[] = {
  //--- 위치              //--- 노말              //--- 텍스처 좌표
 -0.5f, -0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        0.0, 0.0,
  0.5f, -0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        1.0, 0.0,
  0.5f,  0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        1.0, 1.0,

  0.5f,  0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        1.0, 1.0,
 -0.5f,  0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        0.0, 1.0,
 -0.5f, -0.5f,  0.5f,     0.0, 0.0, 1.0,        0.0, 0.0        };
```

```
void initBuffer () {
    unsigned int VBO, VAO;
    glGenVertexArrays (1, &VAO);
    glGenBuffers (1, &VBO);

    glBindVertexArray (VAO);
    glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
    glBufferData (GL_ARRAY_BUFFER, sizeof (vertexData), vertexData, GL_STATIC_DRAW);

    glVertexAttribPointer (0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)0);                  //--- 위치 속성
    glEnableVertexAttribArray (0);
    glVertexAttribPointer (1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));  //--- 노말값 속성
    glEnableVertexAttribArray (1);
    glVertexAttribPointer (2, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)(6 * sizeof(float)));  //--- 텍스처 좌표 속성
    glEnableVertexAttribArray (2);
}
```

1) 텍스처 적용하기

- 메인 프로그램

```
void InitTexture ()
{
        unsigned int texture;
        BITMAP *bmp;

        glGenTextures (1, &texture);                                          //--- 텍스처 생성
        glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, texture);                               //--- 텍스처 바인딩
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);        //--- 현재 바인딩된 텍스처의 파라미터 설정하기
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
        unsigned char *data = LoadDIBitmap ( “texture.bmp”, &bmp);            //--- 텍스처로 사용할 비트맵 이미지 로드하기
        glTexImage2D (GL_TEXTURE_2D, 0, 3, width, height, 0, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, data); //---텍스처 이미지 정의

}

void DrawScene ()
{
        glUseProgram (shaderProgram);

        glBindVertexArray (VAO);
        glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, texture);
        glDrawArrays (GL_TRIANLES, 0, 6);
}
```



1) 텍스처 적용하기

- 버텍스 세이더

```
#version 330 core

layout (location = 0) in vec3 vPos;          //--- 위치
layout (location = 1) in vec3 vNormal;       //--- 노말값
layout (location = 2) in vec2 vTexCoord;     //--- 텍스처 좌표

out vec3 outNormal;
out vec2 TexCoord;

void main()
{
        gl_Position = vec4(aPos, 1.0);
        outNormal = vNormal;                 //--- 노말값 전달
        TexCoord = vTexCoord;                //--- 텍스처 좌표 전달
}
```

- 프래그먼트 세이더

```
#version 330 core

out vec4 FragColor;

in vec3 outNormal;
in vec2 TexCoord;

uniform sampler2D outTexture;          //--- 텍스처 샘플러

void main()
{
        FragColor = texture (outTexture, TexCoord);

        //--- 조명을 설정하는 경우:
        //--- FragColor = vec4 (result, 1.0f);
        //--- FragColor = texture(outTexture, TexCoord) * FragColor;
}
```

2) 여러 텍스처 사용하기

- 여러 텍스처 사용하기: 한 번에 한 개의 텍스처 사용하기
  - 메인 프로그램: 텍스처 속성 설정하기

```
void initBuffer () {
        unsigned int VBO[2], VAO[2];
        glGenVertexArrays(2, VAO);
        glGenBuffers(2, VBO);

        //--- 첫 번째 버텍스 데이터
        glBindVertexArray(VAO[0]);
        glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO[0]);
        glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertexData), vertexData, GL_STATIC_DRAW);

        glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)0);                    //--- 위치 속성
        glEnableVertexAttribArray(0);
        glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));  //--- 색상 속성
        glEnableVertexAttribArray(1);
        glVertexAttribPointer(2, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)(6 * sizeof(float)));  //--- 텍스처 좌표 속성
        glEnableVertexAttribArray(2);

        //--- 두 번째 버텍스 데이터
        glBindVertexArray(VAO[1]);
        glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO[1]);
        glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertexData2), vertexData2, GL_STATIC_DRAW);

        glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)0);                    //--- 위치 속성
        glEnableVertexAttribArray(0);
        glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));  //--- 색상 속성
        glEnableVertexAttribArray(1);
        glVertexAttribPointer(2, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)(6 * sizeof(float)));  //--- 텍스처 좌표 속성
        glEnableVertexAttribArray(2);
}
```

```
float vertexData[] = {
  //--- 위치              //--- 색상              //--- 텍스처 좌표
-0.5f, -0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0,          0.0, 0.0,
 0.5f, -0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0,          1.0, 0.0,
 0.5f,  0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0,          1.0, 1.0,
 0.5f,  0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0,          1.0, 1.0,
-0.5f,  0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0,          0.0, 1.0,
-0.5f, -0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0,          0.0, 0.0};
```

```
float vertexData2[] = {
  //--- 위치              //--- 색상              //--- 텍스처 좌표
-0.5f, -0.5f,  -0.5f,     0.0, 1.0, 0.0,          1.0, 0.0,
 0.5f, -0.5f,  -0.5f,     0.0, 1.0, 0.0,          0.0, 1.0,
 0.5f,  0.5f,  -0.5f,     0.0, 1.0, 0.0,          0.0, 0.0,
 0.5f,  0.5f,  -0.5f,     0.0, 1.0, 0.0,          0.0, 1.0,
-0.5f,  0.5f, - 0.5f,     0.0, 1.0, 0.0,          1.0, 0.0,
-0.5f, -0.5f,  -0.5f,     0.0, 1.0, 0.0,          1.0, 1.0};
```

2) 여러 텍스처 사용하기

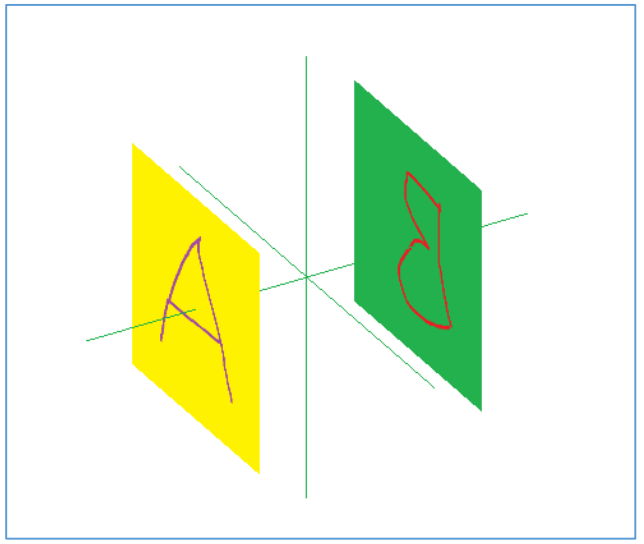
- 텍스처 속성 설정

```
void InitTexture ()
{
        unsigned int texture[2];

        //--- texture 1
        glGenTextures (2, &texture);
        glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, texture[0]);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
        unsigned char *data1 = loadDIBitmap (“A.bmp”, &bmp);
        glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, 3, width, height, 0, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, data);

        //--- texture 2
        glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, texture[1]);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
        unsigned char *data2 = loadDIBitmap (“B.bmp”, &bmp);
        glTexImage2D (GL_TEXTURE_2D, 0, 3, width, height, 0, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, data2);

}
```

2) 여러 텍스처 사용하기

- 텍스처 바인딩

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

    glBindVertexArray (VAO[0]);                  //--- 첫 번째 폴리곤
    glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, textures[0]);  //--- texture[0]을 사용하여 폴리곤을 그린다.
    glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 6);

    glBindVertexArray (VAO[1]);                  //--- 두 번째 폴리곤
    glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, textures[1]);  //--- texture[1]를 사용하여 폴리곤을 그린다.
    glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 6);
}
```



2) 여러 텍스처 사용하기

- 버텍스 세이더

```
#version 330 core

layout (location = 0) in vec3 vPos;
layout (location = 1) in vec3 vColor;
layout (location = 2) in vec2 vTexCoord;

out vec3 ourColor;
out vec2 TexCoord;

void main()
{
	gl_Position = vec4(vPos, 1.0);
	ourColor = vColor;
	TexCoord = vTexCoord;
}
```

- 프래그먼트 세이더

```
#version 330 core

out vec4 FragColor;

in vec3 ourColor;
in vec2 TexCoord;

uniform sampler2D outTexture;		//--- 텍스처 샘플러

void main()
{
	FragColor = texture (outTexture, TexCoord);
}
```

텍스처 유닛 (Texture Unit)

- 텍스처 유닛:
  - 텍스처 위치
    - 세이더에서 하나 이상의 텍스처를 사용할 수 있도록 해준다.
  - 기본 텍스처 유닛은 0
    - 0번이 텍스처 유닛 기본으로 활성화 되어있다.
    - 0번부터 순서대로 선언되어 있다.
      - GL_TEXTURE0, GL_TEXTURE1…
      - GL_TEXTURE0 + 5 같은 형식으로 접근 가능하다.
    - 사용 가능한 최대 개수: glGetIntegerv 함수를 사용하여 최대 사용 개수 확인 가능 (최소 16개의 유닛)

```
int num;
glGetIntegerv (GL_MAX_TEXTURE_IMAGE_UNITS, &num);
```

텍스처 유닛 (Texture Unit)

- 텍스처 유닛을 사용하여 하나의 세이더에서 여러 텍스처를 사용할 수 있다.
  - 여러 샘플러 유니폼을 만든다.
  - 각각의 샘플러는 다른 텍스처 유닛을 참조하도록 한다.
    - glActiveTexture 함수 사용: 인자로 텍스처 유닛을 전달하여 해당 텍스처 유닛을 활성화
  - 세이더에서 sampler uniform이 각각의 텍스처 유닛을 참조하도록 한다.
    - 유니폼 함수를 사용하여 응용 코드에서 직접 sampler uniform값을 설정할 수 있다.
      - 위치 찾기: glGetUniformLocation () 함수 사용하여 텍스처 유닛의 위치를 가져온다.
      - 값 설정: glUniform1i () 함수 사용하여 유닛 번호를 설정한다.
        - 샘플러 변수가 세이더 내에서 실제로 정수로 읽혀지는 값은 아니지만, 해당 텍스처 유닛을 설정하는 목적 하에 정수 유니폼처럼 다룰 수 있다.

- 텍스처 유닛 활성화
  - void glActiveTexture (GLenum texture);
    - 한 개 이상의 텍스처를 사용할 때, 사용할 텍스처를 활성화
      - texture: 활성화할 텍스처 유닛
    - 텍스처 유닛: 텍스처의 위치

3) 여러 텍스처를 동시에 사용하기

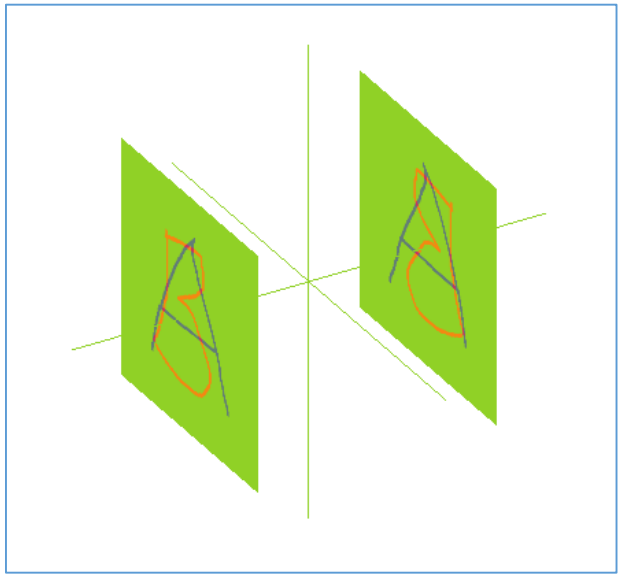
- 여러 텍스처를 한 개의 세이더에서 동시에 사용하기

```
void InitTexture ()
{
        unsigned int texture[2];
        glGenTextures (2, &texture);

        //--- texture[0]
        glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, texture[0]);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
        unsigned char *data1 = loadDIBitmap (“A.bmp”, &bmp);
        glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, 3, width, height, 0, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, data);

        //--- texture[1]
        glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, texture[1]);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
        glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
        unsigned char *data2 = loadDIBitmap (“B.bmp”, &bmp);
        glTexImage2D (GL_TEXTURE_2D, 0, 3, width, height, 0, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, data2);

        glUseProgram (shaderProgram);
        int tLocation1 = glGetUniformLocation (shaderProgram, “outTexture1”);      //--- outTexture1 유니폼 샘플러의 위치를 가져옴
        glUniform1i (tLocation1, 0);                                               //--- 샘플러를 0번 유닛으로 설정

        int tLocation2 = glGetUniformLocation (shaderProgram, “outTexture2”);      //--- outTexture2 유니폼 샘플러의 위치를 가져옴
        glUniform1i (tLocation2, 1);                                               //--- 샘플러를 1번 유닛으로 설정
}
```

3) 여러 텍스처를 동시에 사용하기

- 메인 프로그램

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

        glActiveTexture(GL_TEXTURE0);                  //--- 유닛 0을 활성화
        glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, texture[0]);      //--- texture[0]을 바인딩

        glActiveTexture(GL_TEXTURE1);                  //--- 유닛 0을 활성화
        glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, texture[1]);      //--- texture[1]을 바인딩


        glBindVertexArray(VAO[0]);
        glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 6);
        glBindVertexArray(VAO[1]);
        glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 6);

}
```



3) 여러 텍스처를 동시에 사용하기

- 프래그먼트 세이더

```
#version 330 core

out vec4 FragColor;

in vec3 outColor;
In vec2 TexCoord;

uniform sampler2D outTexture1;          //--- texture sampler outTexture1
uniform sampler2D outTexture2;          //--- texture sampler outTexture2

void main()
{
        FragColor = (texture (outTexture1, TexCoord) +  texture (outTexture2, TexCoord) ) / 2.0;   //--- 2개의 텍스처를 동시에 사용: 두 개의 텍스처 혼합

        //--- GLSL 지원 mix  함수
        //--- genType mix (genType x, genType y, genType a);
        //--- x와 y 값으로 선형보간한다.
        //--- 선형 보간 식: x * (1-a) + y*a
        //--- FragColor =  mix(texture(Texture1, TexCoord), texture(Texture2, TexCoord), 0.8);
}
```

이미지 파일 로드: bmp 이미지

```
GLubyte * LoadDIBitmap (const char *filename, BITMAPINFO **info)
{
    FILE *fp;
    GLubyte *bits;
    int bitsize, infosize;
    BITMAPFILEHEADER header;

//--- 바이너리 읽기 모드로 파일을 연다
    if ( (fp = fopen (filename, "rb")) == NULL )
                return NULL;

//--- 비트맵 파일 헤더를 읽는다.
    if ( fread (&header, sizeof(BITMAPFILEHEADER), 1, fp) < 1 ) {
                fclose(fp);                     return NULL;
    }

//--- 파일이 BMP 파일인지 확인한다.
    if ( header.bfType != 'MB' ) {
                fclose(fp);                     return NULL;
    }
//--- BITMAPINFOHEADER 위치로 간다.
    infosize = header.bfOffBits - sizeof (BITMAPFILEHEADER);

//--- 비트맵 이미지 데이터를 넣을 메모리 할당을 한다.
    if ( (*info = (BITMAPINFO *)malloc(infosize)) == NULL ) {
                fclose(fp);                     return NULL;
    }

//--- 비트맵 인포 헤더를 읽는다.
    if ( fread (*info, 1, infosize, fp) < (unsigned int)infosize ) {
                free (*info);
                fclose(fp);                     return NULL;
    }
//--- 비트맵의 크기 설정
    if ( (bitsize = (*info)->bmiHeader.biSizeImage) == 0 )
            bitsize = (  (*info)→bmiHeader.biWidth *
                         (*info)→bmiHeader.biBitCount+7)  / 8.0 *
                         abs((*info)->bmiHeader.biHeight);

//--- 비트맵의 크기만큼 메모리를 할당한다.
    if ( (bits = (unsigned char *)malloc(bitsize) ) == NULL ) {
                free (*info);
                fclose(fp);                     return NULL;
    }

//--- 비트맵 데이터를 bit(GLubyte 타입)에 저장한다.
    if ( fread(bits, 1, bitsize, fp) < (unsigned int)bitsize ) {
                free (*info); free (bits);
                fclose(fp);                     return NULL;
    }

    fclose (fp);
    return bits;
}
```

이미지 파일 로드

- Sean Barrett의 stb_image.h 라이브러리 사용 가능
  - 다운 받기: https://github.com/nothings/stb/blob/master/stb_image.h
    - bmp, png, jpg, tga 파일 등을 읽을 수 있음
  - 한 개의 헤더 파일 (stb_image.h)
  - 프로젝트가 있는 폴더에 저장

  - 메인 프로그램에 헤더파일 추가

```
#define STB_IMAGE_IMPLEMENTATION
#include "stb_image.h"
```

  - 이미지 파일 읽기

```
int widthImage, heightImage, numberOfChannel;

stbi_set_flip_vertically_on_load (true);       //--- 이미지가 거꾸로 읽힌다면 추가
unsigned char* data = stbi_load ("A.png", &widthImage, &heightImage, & numberOfChannel, 0);
…
stbi_image_free (data);
```

블렌딩

- Blending
  - 두 가지 색상을 섞어서 그리는 기능
  - 투명도 조절
    - 색상 속성에 알파값을 추가한다.
      - 기존의 RGB 값에 A값을 추가하여 RGBA 값으로 사용한다.
    - RGBA색상에서 A값을 조절하여 투명한 효과를 넣는다.
      - Alpha 값이 1.0: 완전 불투명, alpha 값이 0.0: 완전 투명

  - openGL의 블렌딩 방정식
    - 프레임 버퍼의 색과 물체의 색을 합성함.
    - 블렌딩 방정식:
      - $C_{result} = C_{source} * F_{source} + C_{destination} * F_{destination}$
      - Source 값
        - C_{source} : 소스 색 (물체의 색상)
        - F_{source} : 소스 컬러의 블렌딩 값으로 glBlenFunc 함수로 지정
      - Destination 값
        - $C_{destination}$: 프레임 버퍼에 있는 색
        - $F_{destination}$: 프레임 버퍼에 적용할 블렌딩 값으로 glBlendFunc 함수로 지정

블렌딩

- 기능 활성화:
  - **glEnable (GL_BLEND);**
    - 블렌딩 기능을 활성화한다.
  - **glDisable (GL_BLEND);**
    - 블렌딩 기능을 비활성화 한다.

- 블렌딩 함수
  - void glBlendFunc (GLenum sFactor, GLenum dFactor)
    - sFactor: 들어오는 픽셀 값 (소스값)에 적용하는 값
    - dFactor: 프레임 버퍼 내에 저장되어 있는 색상 값에 적용하는 값

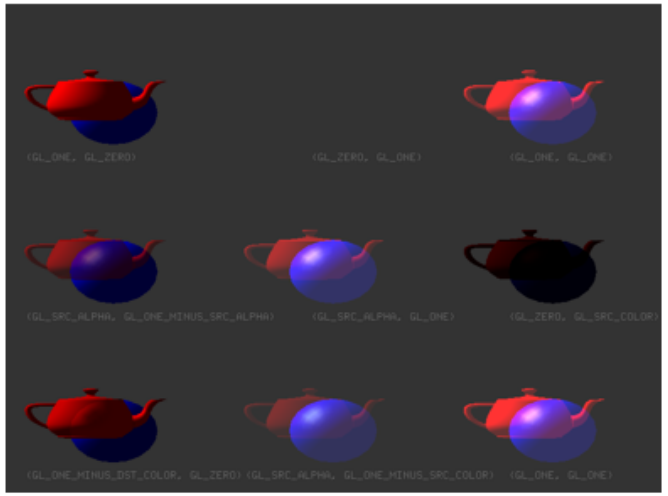
블렌딩

Factor	Blend Factor Value	설명	Alpha Blend Factor
GL_ZERO	(0,0,0)	지수를 0으로 설정	0
GL_ONE	(1,1,1)	지수를 1로 설정	1
GL_SRC_COLOR	(R_s, G_s, B_s)	지수의 원본컬러벡터 Csource로 설정	A_s
GL_ONE_MINUS_SRC_COLOR	$(1,1,1) - (R_s, G_s, B_s)$	지수를 1-Csource로 설정	$1 - A_s$
GL_DST_COLOR	(R_d, G_d, B_d)	지수를 목적 컬러벡트 Cdestination 로 설정	A_d
GL_ONE_MINUS_DST_COLOR	$(1,1,1) - (R_d, G_d, B_d)$	지수를 1-Cdestination 로 설정	$1 - A_d$
GL_SRC_ALPHA	(A_s, A_s, A_s)	지수를 원본 컬러 벡터 Csource의 알파값으로 설정	A_s
GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA	$(1,1,1) - (A_s, A_s, A_s)$	지수를 1-원본 컬러 벡터 Csource의 알파값으로 설정	$1 - A_s$
GL_DST_ALPHA	(A_d, A_d, A_d)	지수를 목적 컬러벡터 Cdestination 의 알파값으로 설정	A_d
GL_ONE_MINUS_DST_ALPHA	$(1,1,1) - (A_d, A_d, A_d)$	지수를 1-목적 컬러벡터 Cdestination 의 알파값으로 설정	$1 - A_d$
GL_CONSTANT_COLOR	(R_c, G_c, B_c)	지수를 상수 컬러벡터로 설정	A_c
GL_ONE_MINUS_CONSTANT_COLOR	$(1,1,1) - (R_c, G_c, B_c)$	지수를 1-상수 컬러벡터로 설정	$1 - A_c$
GL_CONSTANT_ALPHA	(A_c, A_c, A_c)	지수를 상수컬러벡터의 알파값으로 설정	A_c
GL_ONE_MINUS_CONSTANT_ALPHA	$(1,1,1) - (A_c, A_c, A_c)$	지수를 1-상수 컬러벡터 알파값으로 설정	$1 - A_c$

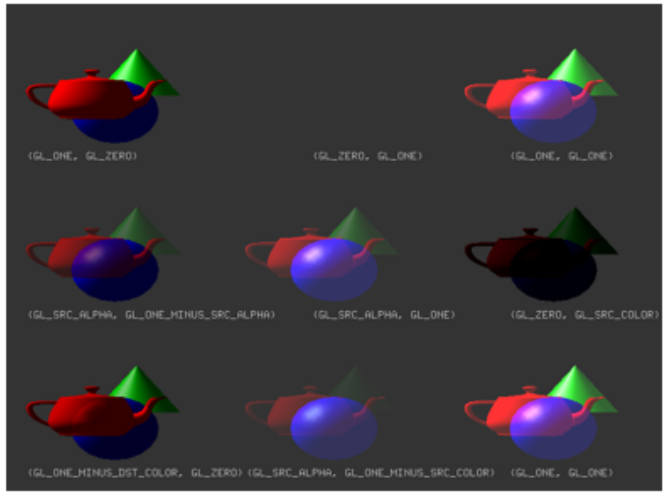
- (R_s, G_s, B_s, A_s): 물체의 원본 색상, (R_d, G_d, B_d, A_d): 프레임 버퍼에 있는 색상, (R_c, G_c, B_c, A_c): 상수 블렌딩 색상

블렌딩

- 다양한 factor 적용 예제



구의 alpha = 1.0,
주전자의 alpha = 0.5



구의 alpha = 1.0,
주전자의 alpha = 0.5
콘의 alpha = 0.25

사용 블렌딩 값:
1: (GL_ONE, GL_ZERO)
2: (GL_ZERO, GL_ONE)
3: (GL_ONE, GL_ONE)
4: (GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA)
5: (GL_SRC_ALPHA, GL_ONE)
6: (GL_ZERO, GL_SRC_COLOR)
7: (GL_ONE_MINUS_DST_COLOR, GL_ZERO)
8: (GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_COLOR)
9: (GL_ONE, GL_ONE)";

블렌딩

- 알파 블렌딩 효과 내기
  - glBlendFunc (GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA)로 설정
    - $R = A_s * R_s + (1 – A_s) * R_d$
    - $G = A_s * G_s + (1 – A_s) * G_d$
    - $B = A_s * B_s + (1 – A_s) * B_d$
    - $A = A_s * A_s + (1 – A_s) * A_d$
  - 예) 대상 색상값 $C_d = (0.5, 1.0, 1.0, 1.0)$이고 소스 색상값 $C_s = (1.0, 0.0, 1.0, 0.3)$
    - $R = 0.3 * R_s + (1 – 0.3) * R_d = 0.3*1.0 + 0.7*0.5 = 0.65$
    - $G = 0.3 * G_s +(1 – 0.3) * G_d = 0.3*0.0 + 0.7*1.0 = 0.7$
    - $B = 0.3 * B_s + (1 – 0.3) * B_d = 0.3*1.0 + 0.7*1.0 = 1.0$
    - $A = 0.3 * A_s + (1 – 0.3) * A_d = 0.3*0.3 + 0.7*1.0 = 0.79$
- 반투명 효과를 얻으려면
  - 불투명한 오브젝트를 먼저 그린다.
  - 투명한 오브젝트들을 정렬한다.
  - 투명한 오브젝트들을 정렬한 순서대로 (먼 순서대로) 그린다.

블렌딩

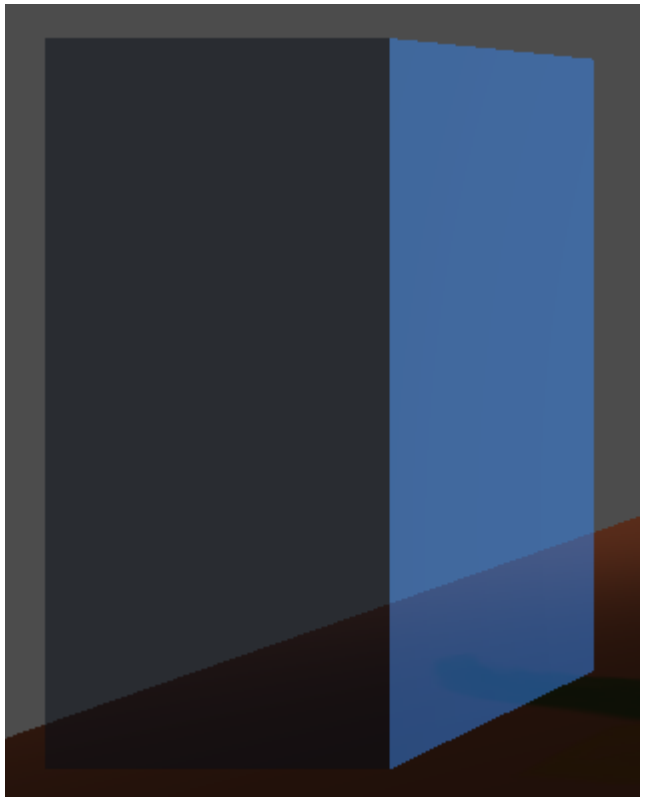
- 사용 예)

```
void drawScene ()
{
        glClearColor(0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f);
        glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

        //--- 필요한 불투명 객체 그리기
        …

        //--- 투명 객체 그리기
        glEnable (GL_BLEND);

        glBlendFunc (GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA);
        glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 6);

        //--- 블렌딩 해제
        glDisable (GL_BLEND);
}

void InitBuffer ()
{
        …
        glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertexData), vertexData, GL_STATIC_DRAW);
        glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 10 * sizeof(float), 0);                          //--- 위치
        glEnableVertexAttribArray(0);
        glVertexAttribPointer(1, 4, GL_FLOAT, GL_FALSE, 10 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));  //--- 색상: RGBA
        glEnableVertexAttribArray(1);
        glVertexAttribPointer(2, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 10 * sizeof(float), (void*)(7 * sizeof(float)));  //--- 노멀값
        glEnableVertexAttribArray(2);
}
```

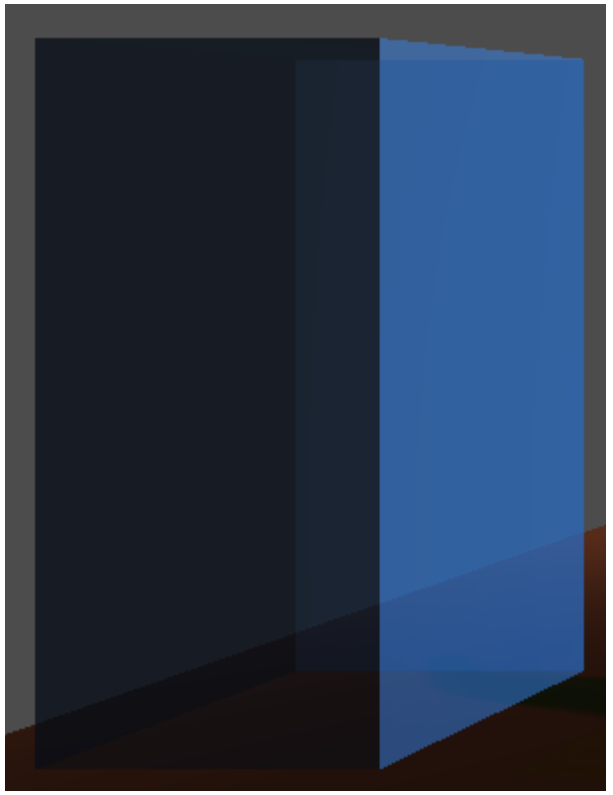
```
float vertexData[] = {
  //--- 위치              //--- 색상              //--- 노말값
-0.5f, -0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0, 0.5,     0.0, 0.0, 1.0,
0.5f, -0.5f,  0.5f,       0.0, 1.0, 0.0, 0.5,     1.0, 0.0, 1.0
 0.5f,  0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0, 0.5,     1.0, 1.0, 1.0

 0.5f,  0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0, 0.5,     1.0, 1.0, 1.0
-0.5f,  0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0, 0.5,     0.0, 1.0, 1.0
-0.5f, -0.5f,  0.5f,      0.0, 1.0, 0.0, 0.5,     0.0, 0.0, 1.0   };
```

블렌딩

- 뒷면 제거:
  - glEnable (GL_CULL_FACE) 사용/미 사용



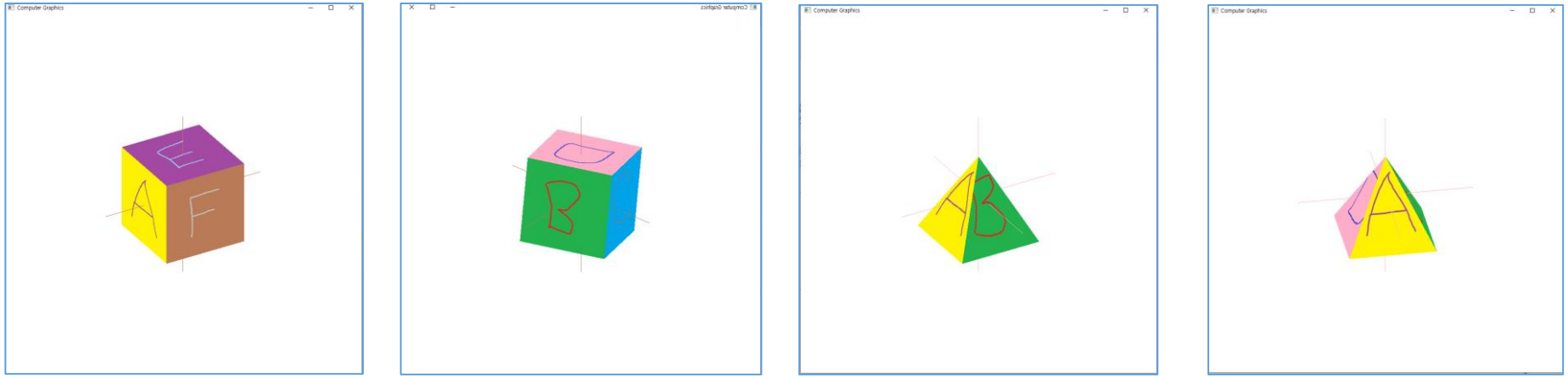
CULL_FACE 를 한 경우



CULL_FACE를 하지 않은 경우

실습 29

- 육면체와 사각뿔 (실습 16, 17 참고)에 텍스처 입히기
  - 육면체의 각 면과 사각뿔의 각 면에 다른 텍스처를 입혀본다.
  - 키보드 명령:
    - c: 육면체
    - p: 사각뿔
    - x/X: x축을 중심으로 회전
    - y/Y: y축을 중심으로 회전
    - s: 초기화



실습 30

- 육면체 실습 (실습 29)에 배경 이미지 넣기
  - 육면체를 그리고 육면체에 각각 다른 이미지를 넣는다.
  - 배경 이미지를 넣는다.
    - 배경 이미지 넣기:
      - **변환을 적용하지 않은 화면**에 **화면 크기의 평면**을 **화면 맨 뒤 (z축으로 맨 뒤쪽)**에 그리고 **평면에 배경을 넣는다.**
      - 배경 이미지에는 변환을 적용하지 않는다.
    - 실습 29의 키보드 명령어는 그대로 실행하도록 한다.

이번 주에는

- 이번주에는
  - 텍스처 매핑
  - 블렌딩