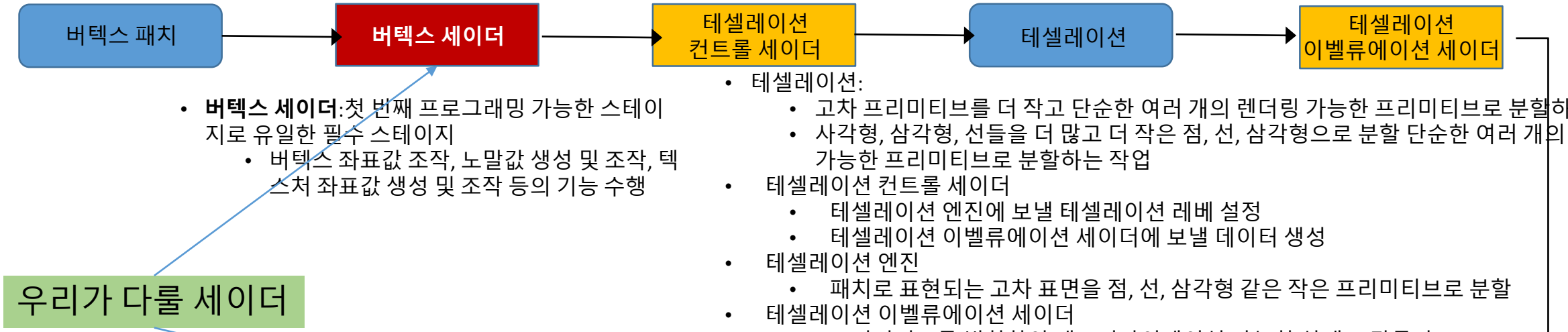
openGL 세이더 만들기

2019-2 컴퓨터 그래픽스

그래픽스 파이프라인

GLSL 사용하기

openGL 그래픽스 파이프라인



- **버텍스 세이더**:첫 번째 프로그래밍 가능한 스테이지로 유일한 필수 스테이지
  - 버텍스 좌표값 조작, 노말값 생성 및 조작, 텍스처 좌표값 생성 및 조작 등의 기능 수행

- 테셀레이션:
  - 고차 프리미티브를 더 작고 단순한 여러 개의 렌더링 가능한 프리미티브로 분할하는 작업
  - 사각형, 삼각형, 선들을 더 많고 더 작은 점, 선, 삼각형으로 분할 단순한 여러 개의 렌더링 가능한 프리미티브로 분할하는 작업
- 테셀레이션 컨트롤 세이더
  - 테셀레이션 엔진에 보낼 테셀레이션 레베 설정
  - 테셀레이션 이벨류에이션 세이더에 보낼 데이터 생성
- 테셀레이션 엔진
  - 패치로 표현되는 고차 표면을 점, 선, 삼각형 같은 작은 프리미티브로 분할
- 테셀레이션 이벨류에이션 세이더
  - 프리미티브를 변환하여 래스터라이제이션 가능한 상태로 만든다.

- **프레그먼트 세이더**: 프래그먼트의 색상을 결정, 프레임 버퍼로 전달
  - 라이팅, 재질, 프래그먼트 깊이 결정하는 일을 수행

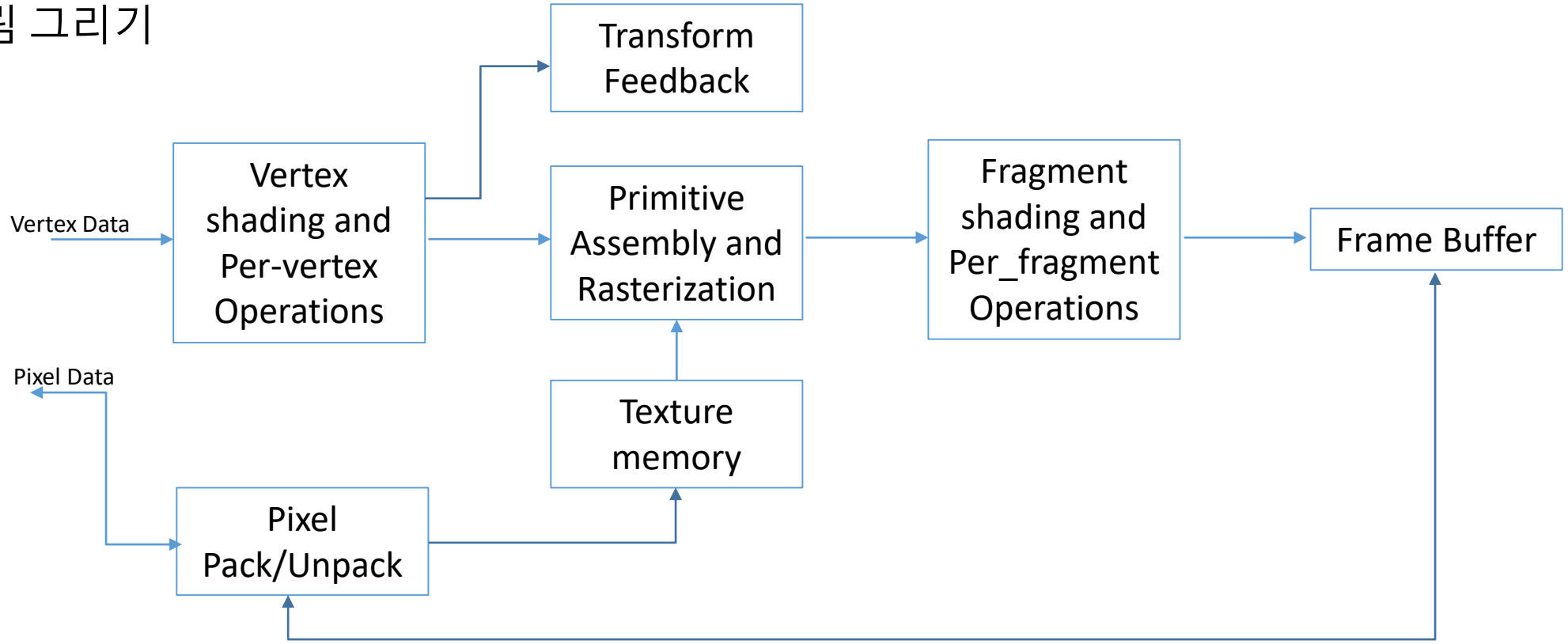
- 지오메트리 세이더:
  - 기본 도형을 이루는 버텍스들의 모음을 입력받아 다음 세이더 단계에 보내기 전에 적절한 형태로 변환

- 프레임버퍼 동작: 화면에 출력
- 프레임버퍼: 화면에 보이는 영역, 색상 이외에도 픽셀당 값을 저장

- 래스터라이제이션: 프래그먼트들이 어떤 선이나 삼각형에 의해 채워지는지 결정

openGL 프로그램 작성하기

- 그림 그리기

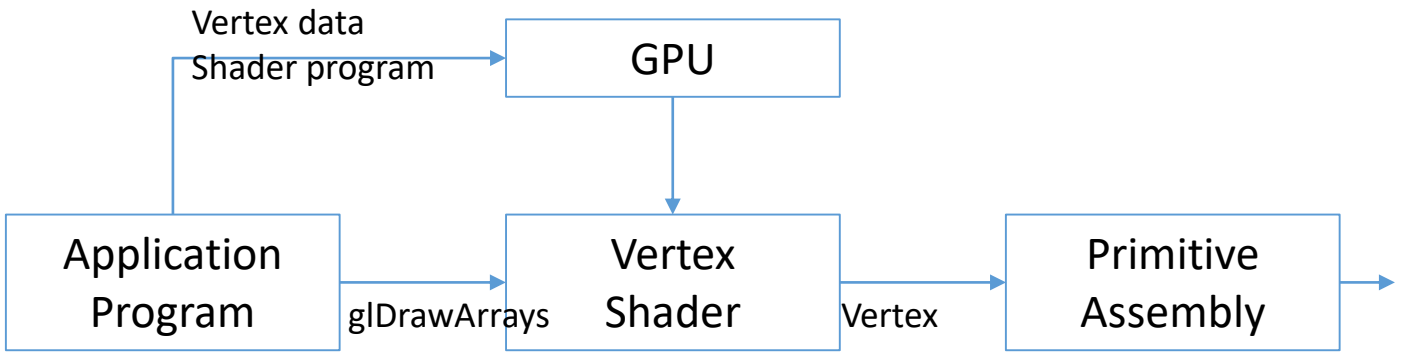


- 모던 openGL (openGL 3.1 이상) 프로그래밍은
  - 모든 정점 (vertex)와 속성 (attribute) 정보를 배열(array)로 지정한다.
    - Vertex buffer Object와 Vertex Array Object 사용
  - 이 배열을 GPU에 보내어 저장하고 렌더링에 사용한다.

세이더 기본 형태

- 버텍스 세이더
  - 그리기 명령어에 의해 vertex array object로부터 버텍스 속성을 설정
  - 버텍스 변환
  - 텍스처 좌표 설정

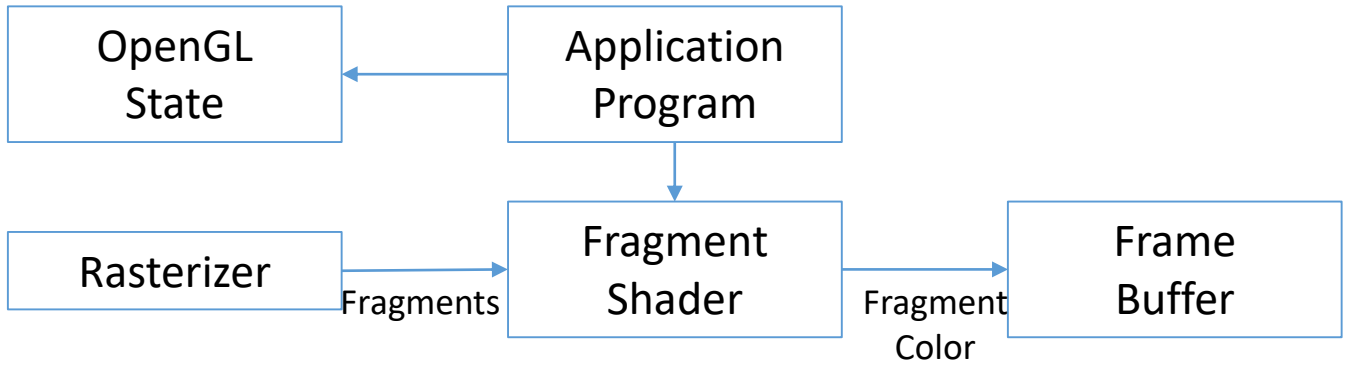
```
#version 330 core

in vec3 vPos;

void main ()
{
        gl_Position = vec4 (vPos.x, vPos.y, vPos.z, 1.0);
}
```



세이더 기본 형태

- 프래그먼트 세이더
  - 래스터라이제이션에서 생성된 프래그먼트를 일련의 색상과 깊이 값으로 처리
  - 색상 설정
  - 조명 설정

```
#version 330 core

out vec4 FragColor;

void main ()
{
        FragColor = vec4 (1.0, 0.0, 0.0, 1.0);
}
```



GLSL 기본 문법

- 문법의 특징
  - C와 비슷한 기본 문법으로 세이더를 작성할 때 사용한다.
  - GLSL에는 포인터 개념이 없음
    - 동적 할당이 없음
  - C언어의 구조체 사용 가능
  - Matrices나 Vectors는 기본 형으로 함수에서 파라미터 입력이나 반환형 출력으로 사용 가능

- 프로그램 구조

```
#version version_number                          //--- 사용 버전 선언

in type in_variable_name;                        //--- 변수 선언
out type out_variable_name;
uniform type uniform_variable_name;

void main(void)                                  //--- 메인 함수: 인자값 없음
{
        // 입력 값을 처리
        // 필요한 그래픽 작업 수행
        ...
        // 출력 변수 저장
        out_variable_name =  output data;
}
```

GLSL 기본 문법

- 데이터 타입
  - 기본 C언어 타입
    - **int, float, double, uint, bool**
  - 벡터 타입 (2 <= *n* <= 4)
    - **vec*n* / dvec*n* / bvec*n* / ivec*n* / uvec*n***
    - 벡터 요소들 필드로 대응되는 구조체로 접근 가능
      - x, y, z, w (좌표값) 또는 r, g, b, a (색상) 또는 s, t, p, q (텍스처 좌표)
    - 벡터의 요소들은 배열처럼 접근 가능
      - vec4 foo; float x = foo[0]; float y = foo[1];…
    - 스위즐링 (swizzling)
      - 특정 필드들을 묶어 벡터로 표현하는 것
  - 매트릭스 타입 (2 <= *n* <= 4, 2 <= m <= 4)
    - **mat*n* / mat*mxn* / dmat*n* / dmat*mxn***
    - 열 우선으로 구성
  - 텍스처 샘플러
    - 텍스처 값 (texel)에 접근이 가능한 샘플러 타입
    - **sampler1D, sampler2D, sampler3D**

GLSL 기본 문법

- 한정자 (qualifier)
  - 한정자는 변수나 함수의 형식 인자의 앞에 붙여 해당 변수나 인자의 특성을 결정짓는다.
    - Storage 한정자
      - const, in, out (varying), uniform
    - Layout 한정자
      - layout
        - 버텍스 세이더: layout(location = attribute index) in vec3 position;
        - 프레그먼트 세이더: layout(location = output index) out vec4 outColor;
  - 세이더로 정보를 주고 받을 때는 변수를 사용:
    - Built-in 변수
    - 사용자 정의 변수
      - 선언할 때 가장 앞에 한정자를 붙여 변수의 종류를 결정한다.

- 한정자 (qualifier)
  - const
    - 상수
    - 세이더에 의해 실행 중에 변수가 변경되는 것을 방지
    - 사용 예)
      - const float one = 1.0;
      - const vec3 origin = vec3 (1.0, 2.0, 3.0);

GLSL 기본 문법

- 한정자 (qualifier)
  - layout
    - 세이더 간에 연결되고 CPU코드와도 통신이 필요할 때 사용
    - 1개 이상의 속성을 가진 데이터들이 저장된 버퍼의 속성 순서를 설정
    - 형태: layout (qualifier, qualifier2 = value, …) variable definition
      - 버텍스 세이더:
        - layout (location = 1) in vec3 vColor; // 버텍스 세이더 입력 1번 위치에 vColor 값 지정
        - layout (location = 2) in vec4 values[4]; // 버텍스 세이더 입력 2, 3, 4, 5번 위치에 values[0]~values[3] 지정
        - glBindAttribLocation 함수를 사용하여 layout으로 설정된 변수의 입력 위치 사용
      - 프래그먼트 세이더:
        - layout (location = 6) out vec4 outColor; // 프래그먼트 세이더에서 출력할 데이터 6번에 outColor 지정
        - glBindFragDataLocation 함수를 사용하여 layout으로 설정된 변수 사용
      - location 크기: 일반적으로 1 location 사용, double, dvec2 1 location 사용, dvec3, dvec4 2 location 사용
  - attribute
    - 버텍스 세이더에서만 사용할 수 있고, 버텍스 세이더에 각 정점 입력을 지정하기 위해 사용
    - openGL 응용 프로그램으로부터 값을 전달받을 수 있다.
    - Position, normal, texture coordinate, color 등의 정보가 전달
    - 내장형 vertex attribute: gl_Position
    - 사용자 정의 vertex attribute: in vec3 velocity

GLSL 기본 문법

- 한정자 (qualifier)
  - in/out (varying)
    - vertex shader에서 fragment shader로 전달되는 변수
    - vertex shader에서는 쓰기 허용, fragment shader에서는 읽기 전용
    - 3.0 이상의 버전에서는 varying 대신 vertex shader에서는 out으로, fragment shader에서는 in으로 사용
      - in: 함수 내부에서 읽기만 가능, 기본 한정자
      - out: 함수 시작 시점에는 정의되지 않은 값을 가지며, 함수 종료 시점에 가진 값을 호출자에게 전달함 (함수 내부에서 호출자로의 쓰기만 가능)
    - 사용 예)
      - //--- vertex shader

```
const vec4 red = vec4 (1.0, 0.0, 0.0, 0.0);
out vec3 color;              // 프래그먼트 세이더로 보내기
void main ()
{
        color = red;
}
```

      - //--- fragment shader

```
in vec3 color;                    // 버텍스 세이더에서 받기
out vec4 outColor;
void main ()
{
        outColor = vec4 (color, 1.0);
}
```

GLSL 기본 문법

- 한정자 (qualifier)
  - 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.
    - 리셋을 하거나 업데이트를 하기 전까지 그 값을 계속 유지

  - 사용 방법:
    - 변수 선언
      - 변수 선언 시 타입, 이름과 함께 uniform을 추가한다.
        - 예) uniform vec4 outColor;
      - 사용되지 않는 uniform 변수는 오류를 발생시킬 수 있다.
    - 값 가져오기
      - uniform 변수의 이름을 사용하여 index를 가져와서 값을 수정 가능
      - GLuint **glGetUniformLocation** (GLuint program, const GLchar *name);
        - uniform 변수의 위치를 가져온다.
        - program: 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});
        - 현재 프로그램에서 uniform 변수의 값을 명시
        - location: 수정할 uniform 변수의 위치
        - vo, v1, v2, v3: 사용될 uniform 변수 값

GLSL 기본 문법

- 사용 예) uniform 변수를 사용하여 색상 설정하기
  - 프래그먼트 세이더에서 uniform 변수 선언

```
#version 330 core
out vec4 FragColor;

uniform vec4 outColor;                    //--- 메인 프로그램에서 변수 설정

void main()
{
   FragColor = outColor;
}
```

  - 메인 프로그램에서 변수에 값 지정

```
float r=0.2, g=0.3, b=0.7;

//--- shaderProgram에서 “outColor”라는 이름의 uniform 변수의 위치를 가져온다.
int vColorLocation = glGetUniformLocation (shaderProgram, “outColor”);

glUseProgram (shaderProgram);                                    //--- 사용 세이더 프로그램 설정

//--- vColorLocation에 (outColor) 이름의 uniform 변수의 값에 r, g, b, 1.0값을 저장
glUniform4f (vColorLocation,  r, g, b, 1.0);
```

GLSL 기본 문법

- 생성자 (Constructor)
  - 변수의 초기화는 C++ 생성자 방식 이용
    - vec3 aPos = vec3 (0.0f, 0.5f, 0.0f);
  - 벡터 생성자는 저장할 값의 숫자를 지정한다.
    - vec3 position (1.0); // vec3 position (1.0, 1.0, 1.0);
  - 벡터에 하나의 스칼라값을 지정하면 벡터의 모든 요소에 할당
    - vec4 whiteColor = vec4 (1.0f); // vec4 whiteColor (1.0, 1.0, 1.0, 1.0);
  - 스칼라와 벡터, 행렬을 생성자 내에서 혼합해 사용할 수 있다.
    - vec4 aColor = vec4 (r, vec2(g, b), a); // vec4 aColor (r, g, b, a)
  - 배열 생성자는 다음의 문법에 따라 생성자를 호출한다.
    - const float array[3] = float[3] (2.5, 7.0, 1.5);
    - const vec4 vertex[3] = vec4[3] (vec4(0.25, -0.25, 0.5, 1.0), vec4(-0.25, -0.25, 0.5, 1.0), vec4(0.25, 0.25, 0.5, 1.0));
  - 행렬은 열 우선으로 구성되고, 단일 스칼라 값을 지정하는 경우 대각 행렬이 됨 (대각 요소 외에는 0으로 채워짐)
    - mat2 m = mat2 (1.0, 2.0, 3.0, 4.0);
    - mat2 m = mat2 (1.0);

GLSL 기본 문법

- 연산자
  - 대부분의 연산자는 C언어의 우선순위 규칙과 동일
  - 비트 연산은 허용되지 않음
  - 스위즐(swizzling) 연산자 (C의 선택 연산자(.))
    - 행렬 및 벡터형으로부터 복수의 구성 요소들을 선택
    - [] 또는 . 을 이용하여 벡터 및 행렬 요소에 접근 가능
      - vec4 타입의 변수는 각각
      - x, y, z, w -> 좌표값으로 사용할 때
      - 또는 r, g, b, a -> 색상으로 사용할 때
      - 또는 s, t, p, q -> 텍스처 좌표값으로 사용할 때
      - 의 요소로 사용가능하다
        - vec3 a = vec3 (1.0f, 2.0f, 3.0f); // a[2] == a.z == a.b == a.p → 아무 요소로나 사용 가능
      - 요소 선택자를 이용하여 재배치 및 복제, 일부 요소 수정 가능
        - vec4 a;
        - vec4 b = a.xyxx;
        - vec3 c = b.zwx;
        - vec4 d = a.xxyy + b.yxzy;

GLSL 기본 문법

- GLSL에 이미 지정되어 있는 built-in 변수들
  - 버텍스 세이더:
    - int gl_VertexID: 현재 프로세스되고 있는 버텍스의 인덱스값
    - vec4 gl_Position: 현 버텍스의 위치
    - float gl_PointSize: 점의 크기값
  - 프래그먼트 세이더
    - vec4 gl_FragCoord: 윈도우 공간에서 프래그먼트의 좌표값
    - vec2 gl_PointCoord: 화면의 좌표값
    - float gl_FragDepth: 프래그먼트 깊이 값

GLSL 기본 문법

- GLSL에 저장되어 있는 built-in 함수들
  - 삼각함수
    - sin, cos, tan
  - 역삼각함수
    - asin, acos, atan
  - 수학함수
    - pow, log, exp, sqrt, abs, max, min, round, mod, clamp, mix, step, smoothstep
      - mix (a, b, t): a + t(b-a)
      - step (limit, a): 0 when a < limit, 1 when a > limit
      - smoothstep (a0, a1, b): 0 when b < a0, 1 when b > a1
  - 기하학 계산 함수
    - length, distance, dot product, cross product, normalize

- 사용자 정의 함수를 만들 수 있다.
  - C 문법과 거의 동일, 함수 overloading이 가능
  - 재귀 호출 할 수 없다.
  - 포인터 타입이 없어 인자는 모두 call-by-value형태로 전달
  - 입력과 출력
    - in: 함수 내부에서 읽기만 가능, 기본 한정자
    - out: 함수 시작 시점에는 정의되지 않은 값을 가지며, 함수 종료시점에 가진 값을 호출자에게 전달함

세이더 프로그램 만들기

- OpenGL 세이딩 언어 GLSL을 사용하여 세이더 작성
  - GLSL의 컴파일러는 openGL에 내장되어 있음
  - 세이더 프로그램을 만들려면
    - 세이더 코드 작성 ➔ 세이더 객체로 바뀌어 컴파일 ➔ 여러 세이더 객체들이 하나의 프로그램 객체로 링크

    - 세이더 코드 작성 → 버텍스 세이더, 프래그먼트 세이더
    - 세이더 객체 만들기 → glCreateShader
    - 세이더 객체에 세이더 코드 붙이기 → glShaderSource
    - 세이더 객체 컴파일하기 → glCompileShader

    - 세이더 프로그램 만들기 → glCreateProgram

    - 세이더 프로그램에 세이더 객체들을 붙이기 → glAttachShader
    - 세이더 프로그램 링크 → glLinkProgram

    - 세이더 프로그램 사용하기 → glUseProgram

함수 프로토타입

- 작성된 세이더 코드를 응용 프로그램에서 읽어와 런타임시에 세이더 소스코드를 동적으로 컴파일
  - 세이더 객체 생성
    - GLuint glCreateShader (GLenum shaderType);
      - 빈 세이더 객체를 생성하여 리턴한다.
        - shaderType: 생성할 세이더 타입
          - GL_VERTEX_SHADER, GL_FRAGMENT_SHADER, GL_COMPUTE_SHADER, GL_TESS_CONTROL_SHADER, GL_TESS_EVALUATION_SHADER, GL_GEOMETRY_SHADER
  - 세이더 코드 읽어오기
    - void glShaderSource (GLuint shader, GLsizei count, const GLchar **string, const GLint *length);
      - 세이더 소스코드를 세이더 객체로 전달해서 복사본을 유지한다.
        - Shader: 세이더 오브젝트
        - Count: string과 length 배열의 개수
        - String: 소스코드가 저장되어 객체 이름
        - Length: 소스코드 크기
  - 세이더 컴파일
    - void glCompileShader (GLuint shader);
      - 세이더 객체에 포함된 소스코드를 컴파일한다.
        - Shader: 컴파일 할 세이더 객체

함수 프로토타입

- 여러 세이더를 결합하여 한 개의 세이더 프로그램으로 링크
  - 세이더 프로그램 만들기
    - GLuint glCreateProgram ();
      - 세이더 객체에 붙일 프로그램 객체를 생성한다.
  - 세이더 객체들을 프로그램에 첨부
    - void glAttachShader (GLuint program, GLuint shader);
      - 세이더 객체를 프로그램 객체에 붙인다.
        - Program: 세이더를 붙일 프로그램 객체
        - Shader: 세이더 객체
  - 세이더 프로그램 링크
    - void glLinkProgram (GLuint program);
      - 프로그램 객체에 붙인 모든 세이더 객체를 링크한다.
        - Program: 링크할 프로그램 객체
  - 세이더 객체 삭제하기
    - void glDeletShader (GLuint shader);
      - 세이더 객체를 삭제한다. 세이더가 프로그램 객체에 링크되면, 프로그램이 바이너리 코드를 보관하며 쉐이더는 더 이상 필요없게 된다.
        - Shader: 삭제 할 세이더
  - 프로그램 활성화
    - void glUseProgram (GLuint program);
      - 현재 렌더링 상태에 프로그램 객체를 활성화한다.
        - Program: 실행 할 프로그램

세이더 코드

- 세이더 코드 작성하기
  - 버텍스 세이더

```
#version 330 core
void main ()
{
        gl_Position = vec4 (0.0, 0.0, 0.5, 1.0);
}
```

  - 프래그먼트 세이더

```
#version 330 core
out vec4 color;
void main ()
{
        color = vec4 (1.0, 0.0, 0.0, 1.0);
}
```

세이더 객체만들기

- Vertex shader

```
GLuint complie_shaders ()
{
    const GLchar* vertexShaderSource =
            "#version 330 core\n"
            "void main()\n"
            "{\n"
            "gl_Position = vec4(0.0, 0.0, 0.5, 1.0); \n"
            "} \0";

    //--- 버텍스 세이더 읽어 저장하고 컴파일 하기
    GLuint vertexShader = glCreateShader (GL_VERTEX_SHADER);
    glShaderSource (vertexShader, 1, &vertexShaderSource, NULL);
    glCompileShader (vertexShader);

    GLint result;
    GLchar errorLog[512];
    glGetShaderiv (vertexShader, GL_COMPILE_STATUS, &result);
    if (!result)
    {
       glGetShaderInfoLog (vertexShader, 512, NULL, errorLog);
       cerr << "ERROR: vertex shader 컴파일 실패\n" << errorLog << endl;
       return false;
    }
```

- Fragment shader

```
const GLchar* fragmentShaderSource =
            "#version 330 core\n"
            "out vec4 fragmentColor; \n"
            "void main() \n"
            "{\n"
            "fragmentColor = vec4(1.0, 0.0, 0.0, 1.0);//Red color\n"
            "} \0";

//--- 프래그먼트 세이더 읽어 저장하고 컴파일하기
GLuint fragmentShader = glCreateShader (GL_FRAGMENT_SHADER);
glShaderSource (fragmentShader, 1, &fragmentShaderSource, NULL);
glCompileShader (fragmentShader);

glGetShaderiv (fragmentShader, GL_COMPILE_STATUS, &result);
if (!result)
{
   glGetShaderInfoLog (fragmentShader, 512, NULL, errorLog);
   cerr << "ERROR: fragment shader 컴파일 실패\n" << errorLog << endl;
   return false;
}
```

세이더 프로그램 만들기

- 세이더 프로그램 만들기

```
GLuint ShaderProgramID = glCreateProgram();                    //--- 세이더 프로그램 만들기

glAttachShader (ShaderProgramID, vertexShader);                // 세이더 프로그램에 버텍스 세이더 붙이기
glAttachShader (ShaderProgramID, fragmentShader);              // 세이더 프로그램에 프래그먼트 세이더 붙이기

glLinkProgram (ShaderProgramID);                               // 세이더 프로그램 링크하기

glDeleteShader (vertexShader);                                 // 세이더 프로그램에 링크하여 세이더 객체 자체는 삭제 가능
glDeleteShader (fragmentShader);

glGetProgramiv (ShaderProgramID, GL_LINK_STATUS, &result);     // 세이더가 잘 연결되었는지 체크하기
if (!result) {
  glGetProgramInfoLog (triangleShaderProgramID, 512, NULL, errorLog);
  cerr << "ERROR: shader program 연결 실패\n" << errorLog << endl;
  return false;
}

glUseProgram (ShaderProgramID);                                //--- 만들어진 세이더 프로그램 사용하기
                                                               // 여러 개의 프로그램 만들 수 있고, 특정 프로그램을 사용하려면
                                                               // glUseProgram 함수를 호출하여 사용 할 특정 프로그램을 지정한다.
                                                               // 사용하기 직전에 호출할 수 있다.
return ShaderProgramID;
}
```

함수 프로토타입

- 세이더 및 프로그램 상태 가져오기
  - void glGetShaderiv (GLuint shader, GLenum pname, GLint *params);
    - 세이더 정보 가져오기
      - Shader: 세이더 객체
      - Pname: 객체 파라미터
        - GL_SHADER_TYPE, GL_DELETE_STATUS, GL_COMPILE_STATUS, GL_INFO_LOG_LENGTH, GL_SHADER_SOURCE_LENGTH)
      - Params: 리턴 값
        - GL_SHADER_TYPE: 세이더 타입 리턴 (GL_VERTEX_SHADER / GL_FRAGMENT_SHADER)
        - GL_DELETE_STATUS: 세이더가 삭제됐으면 GL_TRUE, 아니면 GL_FALSE
        - GL_COMPILE_STATUS: 컴파일이 성공했으면 GL_TRUE, 아니면 GL_FALSE
        - GL_INFO_LOG_LENGTH: 세이더의 INFORMATION LOG 크기
        - GL_SHADER_SOURCE_LENGTH: 세이더 소스 크기
      - 에러 발생 시, GL_INVALID_VALUE, GL_INVALID_OPERATON, GL_INVALID_ENUM
  - void glGetShaderInfoLog (GLuint shader, GLsizei maxLength, GLsizei *length, GLchar *infoLog);
    - 세이더 객체의 information log 가져오기
      - Shader: 세이더 객체
      - maxLength: information log 크기
      - Length: infoLog 길이
      - infoLog: information log

함수 프로토타입

- 세이더 및 프로그램 상태 가져오기
  - void glGetProgramiv (GLuint program, GLenum pname, GLint *params);
    - 프로그램 객체 정보 가져오기
      - Program: 프로그램
      - Pname: 객체 파라미터
        - GL_DELETE_STATUS, GL_LINK_STATUS, GL_VALIDATE_STATUS, GL_INFO_LOG_LENGTH, GL_ATTACHED_SHADERS, GL_ACTIVE_ATOMIC_COUNTER_BUFFERS, GL_ACTIVE_ATTRIBUTES, GL_ACTIVE_ATTRIBUTE_MAX_LENGTH, GL_ACTIVE_UNIFORMS, GL_ACTIVE_UNIFORM_BLOCKS, GL_ACTIVE_UNIFORM_BLOCK_MAX_NAME_LENGTH, GL_ACTIVE_UNIFORM_MAX_LENGTH, GL_COMPUTE_WORK_GROUP_SIZE GL_PROGRAM_BINARY_LENGTH, GL_TRANSFORM_FEEDBACK_BUFFER_MODE, GL_TRANSFORM_FEEDBACK_VARYINGS, GL_TRANSFORM_FEEDBACK_VARYING_MAX_LENGTH, GL_GEOMETRY_VERTICES_OUT, GL_GEOMETRY_INPUT_TYPE, and GL_GEOMETRY_OUTPUT_TYPE.
      - Params: 리턴 값
        - GL_DELETE_STATUS, GL_LINK_STATUS, GL_VALIDATE_STATUS, GL_ATTACHED_SHADERS…
  - void glGetProgramInfoLog (GLuint program, GLsizei maxLength, GLsizei *length, GLchar infoLog);
    - 프로그램 객체 information log 가져오기
      - Program: 프로그램
      - maxLength: information log 크기
      - Length: infoLog 길이
      - infoLog: information log
  - 이 함수들은 GL 2.0 이상에서 지원됨

세이더 사용하여 삼각형 그리기 (1)

- 버텍스 세이더에 삼각형의 좌표값을 직접 저장

```
#version 330 core

void main()
{
        const vec4 vertex[3] = vec4[3]    (vec4(0.25, -0.25, 0.5, 1.0),
                                           vec4(-0.25, -0.25, 0.5, 1.0),
                                           vec4(0.25, 0.25, 0.5, 1.0));

        gl_Position = vertex [gl_VertexID];
}
```

  - gl_VertexID: 내장 변수로 해당 시점에 처리될 버텍스의 인덱스
    - gl_VertexID 입력값은 glDrawArrays()에 입력으로 들어간 첫 번째 인자값부터 시작해서 세 번째 인자인 count만큼의 버텍스까지 한 버텍스에 대해 한 번에 하나씩 증가한다.
    - gl_VertexID의 값에 기반하여 각 버텍스에 다른 위치를 할당할 수 있다.

  - gl_Position: 버텍스의 출력위치를 나타낸다.
    - vec4 (0.0, 0.0, 0.5, 1.0)을 할당하면 화면의 중앙에 위치한다.

세이더 사용하여 삼각형 그리기

- 응용 프로그램의 삼각형 그리기 함수

```
void DrawScene ()                    //--- glutDisplayFunc()함수로 등록한 그리기 콜백 함수
{
        glClearColor (1.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f);
        glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);

        glUseProgram (ShaderProgramID);

        glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3);

        glutSwapBuffers();

}
```

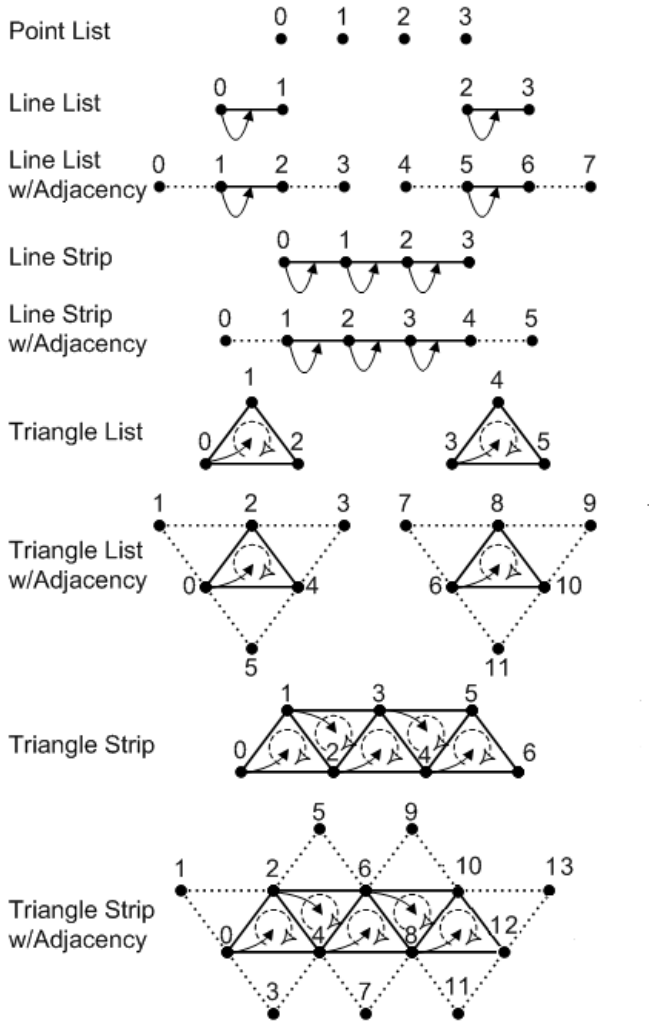
함수 프로토타입

- 배열 데이터로부터 프리미티브 렌더링
  - void glDrawArrays (GLenum mode, GLint first, Glsizei count);
    - 배열 데이터로부터 프리미티브 렌더링 하기
    - Mode: 렌더링 할 도형 종류
      - GL_POINTS, GL_LINE_STRIP, GL_LINE_LOOP, GL_LINES, GL_TRIANGLE_STRIP, GL_TRIANGLE_FAN, GL_TRIANGLES,
    - First: 배열에서 도형의 시작 인덱스
    - Count: 렌더링 할 인덱스 개수

  - void glDrawElements (Glenum mode, Glsizei count, Glenum type, const Glvoid *indices);
    - 배열 데이터로부터 프리미티브 렌더링 하기, 배열 데이터의 인덱스를 사용
    - mode: 렌더링 할 프리미티브의 종류
      - GL_POINTS, GL_LINE_STRIP, GL_LINE_LOOP, GL_LINES, GL_LINE_STRIP_ADJACENCY, GL_LINES_ADJACENCY, GL_TRIANGLE_STRIP, GL_TRIANGLE_FAN, GL_TRIANGLES, GL_TRIANGLE_STRIP_ADJACENCY, GL_TRIANGLES_ADJACENCY and GL_PATCHE
    - count: 렌더링할 요소의 개수
    - type: indices 값의 타입
      - GL_UNSIGNED_BYTE, GL_UNSIGNED_SHORT, or GL_UNSIGNED_INT.
    - indices: indices 가르키는 포인터

Primitive types

- GL에서 그리기
  - glDrawArrays, glDrawElements 함수 등에서 수행됨
    - Points, lines, polygons들이 이 함수에 의해 그려진다.
  - Primitive types
    - Points:
    - Line strips
    - Line loops
    - Lines
    - Triangle strips
    - Triangle fans
    - Triangles
    - Geometry shader:
      - Adjacency:
        - Geometry shader에서 사용됨
        - 각 끝점이 대응하는 adjacent 버텍스를 가지고 있는 독립적인 조각
      - Lines with adjacency
      - Line strips with adjacency
      - Triangles with adjacency
      - Triangle strips with adjacency



함수 프로토타입

- 기본 속성 바꾸기
  - void glPointSize (GLfloat size);
    - 점 크기 설정
    - Size: 점의 크기 (초기값: 1)
  - void glLineWidth (GLfloat width);
    - 선의 굵기 조정
    - Width: 선의 굵기 (초기값: 1)
  - void glPolygonMode (GLenum face, GLenum mode);
    - 폴리곤 모드 설정
    - Face: 모드를 설정할 면 (GL_FRONT_AND_BACK)
    - Mode: 모드
      - GL_POINT, GL_LINE, GL_FILL

삼각형 그리기 (1)

- **버텍스 세이더와 프래그먼트 세이더 이용하여 화면의 중앙에 빨간색 삼각형 그려보기**

1) 메인 프로그램에 세이더 코드를 추가하여 삼각형을 그릴 경우

- **21페이지의 코드에서 버텍스 세이더를 아래의 코드로 변경**

```
// 버텍스 세이더
#version 330 core

void main()
{
        const vec4 vertex[3] = vec4[3]    (vec4(0.25, -0.25, 0.5, 1.0),
                                           vec4(-0.25, -0.25, 0.5, 1.0),
                                           vec4(0.25, 0.25, 0.5, 1.0));

        gl_Position = vertex [gl_VertexID];
}
```

- 21, 22 페이지의 함수 추가
- 26 페이지의 그리기 콜백 함수를 추가하여 실행해본다.

삼각형 그리기 (2)

2) 세이더 코드를 분리된 파일로 저장하여 삼각형을 그릴 경우

- 앞의 compile_shader 함수 (21, 22페이지)를 다음과 같이 수정하고, 필요한 함수들 (filetobuf 등)을 추가하여 실행
- 세이더 코드 파일: vertex.glsl 과 fragment.glsl로 저장하여 사용

- Vertex shader

```
GLchar * vertexsource, * fragmentsource;   //--const 형일 수도 있음
vertexsource = filetobuf ("vertex.glsl");          // 버텍스세이더 읽어오기
fragmentsource = filetobuf ("fragment.glsl");    // 프래그세이더 읽어오기

//--- 버텍스 세이더 읽어 저장하고 컴파일 하기
GLuint vertexShader = glCreateShader (GL_VERTEX_SHADER);
glShaderSource (vertexShader, 1, &vertexShaderSource, NULL);
glCompileShader (vertexShader);

GLint result;
GLchar errorLog[512];
glGetShaderiv (vertexShader, GL_COMPILE_STATUS, &result);
if (!result)
{
    glGetShaderInfoLog (vertexShader, 512, NULL, errorLog);
    cerr << "ERROR: vertex shader 컴파일 실패\n" << errorLog << endl;
    return false;
}
```

- Fragment shader

```
//--- 프래그먼트 세이더 읽어 저장하고 컴파일하기
GLuint fragmentShader = glCreateShader (GL_FRAGMENT_SHADER);
glShaderSource (fragmentShader, 1, &fragmentShaderSource, NULL);
glCompileShader (fragmentShader);

glGetShaderiv (fragmentShader, GL_COMPILE_STATUS, &result);
if (!result)
{
    glGetShaderInfoLog (fragmentShader, 512, NULL, errorLog);
    cerr << "ERROR: fragment shader 컴파일 실패\n" << errorLog << endl;
    return false;
}
```

삼각형 그리기

- 일반적으로 객체를 렌더링하기 위해서 객체의 속성을 버퍼에 저장하여 세이더로 보내 그린다.
  - 메인 프로그램: 속성을 저장하는 버퍼 설정하기, 세이더 호출하기
    - 윈도우 띄우기 → freeGLUT 사용하여 윈도우 설정
    - 삼각형을 그릴 좌표값 정하기 → 좌표값을 설정하고 그 좌표값을 사용하여 VBO, VAO 값 정하기
    - 세이더 읽고 프로그램 만들기 → 세이더 읽기, 컴파일, 링크, 프로그램 만들기
    - 화면에 그리기 → 세이더 프로그램 사용하여 화면에 삼각형 그리기
      → glDrawArrays () 함수 호출

세이더 사용하여 삼각형 그리기 (2)

- 도형 그리기
  - 좌표값을 받아 색이 입혀진 화면의 픽셀로 변환한다.
  - 그래픽스 파이프라인의 첫 단계로 삼각형을 그릴 수 있는 정점 데이터를 입력 받아 삼각형을 구성하는 위치값, 색상 등 정점 속성을 설정하고 화면의 픽셀 값으로 변환하여 그릴 수 있다.
    - 정점 속성: 위치값, 색상값, 노멀값, 텍스처값 등

  - 버텍스 세이더:
    - 정점 데이터가 정의되면 버텍스 세이더로 전달한 후, GPU에 정점 데이터를 저장할 공간의 메모리를 할당
    - 저장한 데이터의 속성 설정
      - Vertex Buffer Object
      - Vertex Array Object
  - 프래그먼트 세이더:
    - 삼각형의 색상 값을 설정하여 화면에 그려질 수 있도록 한다.

  - 메인 프로그램
    - 버텍스 세이더와 프래그먼트 세이더의 코드를 openGL 메인 프로그램에서 입력받아 화면에 그리도록 한다.
      - 세이더 코드 컴파일 , 세이더 프로그램 생성하고 세이더 코드 붙이기
      - 화면에 그리기

Vertex Specification

- 버텍스 세이더
  - 4요소를 가지고 있는 vertex attributes의 배열을 사용한다.
  - 배열의 인덱스: 0부터 시작, 최대값: GL_MAX_VERTEX_ATTRIBS
    - GL_MAX_VERTEX_ATTRIBS: 하드웨어에 따라 다름
    - glGetIntegerv (GL_MAX_VERTEX_ATTRIBS, &n) 함수로 확인할 수 있음

  - 버텍스 속성 (vertex attributes) 변경하기
    - void glVertexAttrib{1234}{sfd} (GLuint index, T values);
    - void glVertexAttrib{123}{sfd}v (GLuint index, const T values);
      - Index: 버텍스 속성 배열의 인덱스
      - Values: 버텍스 속성 값

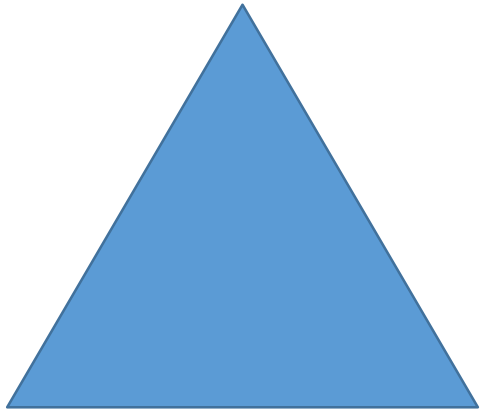
- Vertex Array
  - 버텍스 데이터가 배열에 저장된다.
    - 이 배열의 데이터들은 GL명령어가 수행될 동안 다수의 geometric primitives를 사용할 수 있게 한다.

- Buffer Objects
  - 버텍스 배열이 메모리에 저장된다.
  - GL buffer object는 이 버텍스 배열을 저장, 초기화, 렌더링을 할 수 있게 한다.

Vertex Specifications

- 정점의 속성들
  - 위치 (position)
  - 색상 (color)
  - 텍스처 좌표 (texture coordinates)
  - 그 외 데이터 들

좌표값(0.5, 1.0, 0.0, 1.0)
색상값(1.0, 0.0, 0.0, 1.0)



좌표값(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)
색상값(0.0, 1.0, 0.0, 1.0)

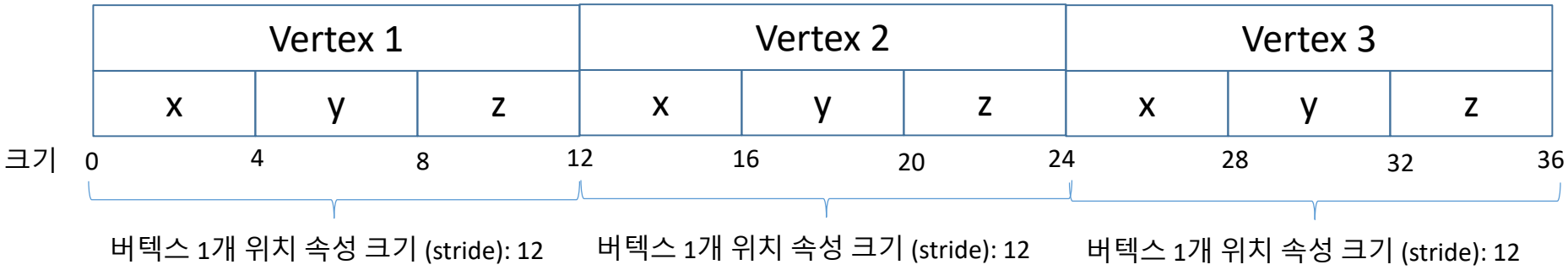
좌표값(1.0, 0.0, 0.0, 1.0)
색상값(0.0, 0.0, 1.0, 1.0)

```
const float vertexPosition [] =
{
        0.5, 1.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 0.0,
        1.0, 0.0, 0.0
};
const float vertexColor [] =
{
        1.0, 0.0, 0.0,
        0.0, 1.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 1.0
};

// 위치와 색상을 한 개의 데이터로 저장
const float vertexData [] =
{
        0.5, 1.0, 0.0,          1.0, 0.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 0.0,          0.0, 1.0, 0.0,
        1.0, 0.0, 0.0,          0.0, 0.0, 1.0
};
```

Vertex Attribute

- 정점 속성 연결
  - 입력 데이터의 어느 부분이 vertex shader의 어떠한 정점 속성과 맞는지 직접 지정해야 함

  - 예) 삼각형의 위치 값
    - 한 개의 버텍스는 3개의 실수 값으로 구성
    - 각 실수값은 4바이트로 구성
    - 즉, 한 개의 버텍스 속성 값(위치)은 12 바이트로 구성



  - 위의 속성 값을 설정해야 함

Vertex Buffer Object

- Vertex Buffer Object (VBO)
  - 버텍스 데이터를 저장하기 위한 메모리 버퍼
    - 버텍스의 다양한 속성들을 저장한다.
    - Position, Normal, Vector, Color 등
    - VBO당 한 개의 속성을 저장, 또는 하나의 VBO에 여러가지 속성 저장도 가능
  - 대용량 자료를 GPU에 보내줄 수 있음
  - 버퍼를 생성하고 바인드하고 실제 데이터를 넣어줌

```
GLuint VBO;
glGenBuffers (1, &VBO);                                  //--- 버퍼 id를 생성
glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO);                     //--- 버퍼 객체에 저장할 데이터 타입 지정
                                                         //--- 바인드 후에 호출하는 모든 버퍼는 바인딩 된 버퍼를 사용한다.
glBufferData (GL_ARRAY_BUFFER, sizeof (vertexPosition), vertexPosition, GL_STATIC_DRAW);
                                                         //--- 사용자가 정의한 데이터를 현재 바인딩된 버퍼에 복사한다.
```

  - 현재 바인드된 버퍼가 몇 번째 attribute 버퍼인지 어떤 속성을 갖는지 알려주기위해 속성 포인터 설정하고 사용

```
glVertexAttribPointer (0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);
glEnableVertexAttribArray (0);
```

Vertex Array Object

- Vertex Array Object (VAO)
  - 한 개 또는 그 이상의 VBO를 포함하는 오브젝트로 렌더링할 완전한 객체의 정보들을 저장한다.
    - 하나의 오브젝트를 구성하는 위치, 색상같은 vertex 속성들을 개별 Vertex Buffer Object(VBO)에 저장하고 하나의 VAO로 묶는다.
    - 하나의 VAO에 여러 개의 VBO를 가질 수 있다.
  - VAO에는 버텍스 데이터가 직접 저장되는게 아니라 연결 정보만 저장
    - VAO는 VBO에 저장된 데이터 타입과 어떤 속성 변수가 데이터를 가져가게 되는지 저장
  - 보통 하나의 매쉬마다 하나의 VAO를 사용함

  - VAO를 생성하고 바인드 함

```
GLuint VAO;
glGenVertexArrays (1, & VAO);          //--- 버텍스 array 생성
glBindVertexArray (VAO);               //--- VAO를 가진다는 의미이고 아직 실제 데이터는 없음
```

함수 프로토타입

- Vertex Array Object, Vertex Buffer Object 생성 및 바인딩 함수
  - void glGenBuffers (GLizei n, GLuint *buffers);
    - 버퍼 오브젝트 이름 생성
      - N: 생성할 이름 개수
      - Buffers: 버퍼 오브젝트 이름을 가리키는 배열
  - void glBindBuffer (GLenum target, GLuint buffer);
    - 버퍼 오브젝트 이름을 바인드 한다.
      - Target: 바인드할 버퍼 타겟 타입
        - GL_ARRAY_BUFFER: 버텍스 속성
        - GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER: 버텍스 배열 인덱스
        - GL_TEXTURE_BUFFER: 텍스처 데이터 버퍼
      - Buffer: 버퍼 오브젝트 이름
  - void glBufferData (GLenum target, GLsizeiptr size, const GLvoid *data, GLenum usage);
    - 버퍼 오브젝트의 데이터를 생성
      - Target: 바인드할 버퍼 타겟 타입
        - GL_ARRAY_BUFFER, GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, GL_TEXTURE_BUFFER…
      - Size: 버퍼 오브젝트의 크기
      - Data: 저장할 데이터를 가리키는 포인터
      - Usage: 저장한 데이터를 사용할 패턴
        - GL_STATIC_DRAW: 한번 버텍스 데이터 업데이트 후 변경이 없는 경우 사용
        - GL_STREAM_DRAW: 데이터가 그려질 때마다 변경
        - GL_DYNAMIC_DRAW: 버텍스 데이터가 자주 바뀌는 경우 (애니메이션), 버텍스 데이터가 바뀔 때마다 다시 업로드 된다

함수 프로토타입

- void glBufferSubData (GLenum target, GLintptr offset, GLsizeptr size, const GLvoid *data);
  - 버퍼 오브젝트 데이터의 일부분을 업데이트
    - Target: 바인딩할 데이터 타깃
    - Offset: 대체할 데이터 위치의 오프셋 위치
    - Size: 대체할 데이터 크기
    - Data: 저장할 새로운 데이터
- void glGenVertexArrays (GLsizei n, GLuint *arrays);
  - 버텍스 배열 오브젝트 (VAO) 이름 생성
    - N: 생성할 VAO 개수
    - Arrays: VAO 저장할 배열 이름
- void glBindVertexArray (GLuint array);
  - VAO를 바인드한다.
    - Array: 바인드할 버텍스 배열의 이름

함수 프로토타입

- 정점 속성 설정 함수
  - void glVertexAttribPointer (GLuint index, GLint size, GLenum type, GLboolean normalized, GLsizei stride, const GLvoid *pointer)
    - 버텍스 속성 데이터의 배열을 정의
      - Index: 설정할 vertex 속성을 지정. (layout (location = 0) 를 사용하여 속성의 위치를 0번째로 설정)
      - Size: 버텍스 속성의 크기 (버텍스 속성이 vec3라면 3)
      - Type: 데이터 타입 (vec3 라면 GL_FLOAT)
      - Normalized: 데이터를 정규화할지 (GL_TRUE: [0, 1] 사이의 값으로 정규화, GL_FALSE: 그대로 사용)
      - Stride: 연이은 vertex 속성 세트들 사이의 공백 (값이 공백없이 채워져 있다면 0, 1개 이상의 속성들이 저장되어 있다면 크기를 설정. 예) 버텍스 vec3라면 다음 버텍스 위치는 12바이트)
      - Pointer: 데이터가 시작하는 위치의 오프셋 값
    - 각 vertex 속성은 VBO에 의해 관리되는 메모리로부터 데이터를 받는다.
    - 데이터를 받을 VBO (하나가 여러 VBO를 가질수도 있음)는 glVertexAttribPointer 함수를 호출할 때 GL_ARRAY_BUFFER에 현재 바인딩된 VBO로 결정
    - 사용 예) glVertexAttribPointer (0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 3 * sizeof(float), (void*)0);
  - void glEnableVertexAttribArray (GLuint index);
    - 버텍스 속성 배열을 사용하도록 한다.
      - Index: 버텍스 속성 인덱스
    - 사용 예) glEnableVertexAttribArray (0);

Vertex Attribute

- 한 개의 VBO와 한 개의 VAO 사용하기 예)

- Vertex shader

```
#version 330 core

layout (location = 0) in vec3 vPos;              // attribute로 설정된 위치 속성: 인덱스 0

void main()
{
        gl_Position = vec4 (vPos.x, vPos.y, vPos.z, 1.0);

}
```

- Fragment shader

```
#version 330 core

out vec4 FragColor;              // 출력할 객체의 색상

void main()
{
        FragColor = vec4 (1.0f, 0.5f, 0.3f, 1.0f);
}
```

Vertex Attribute

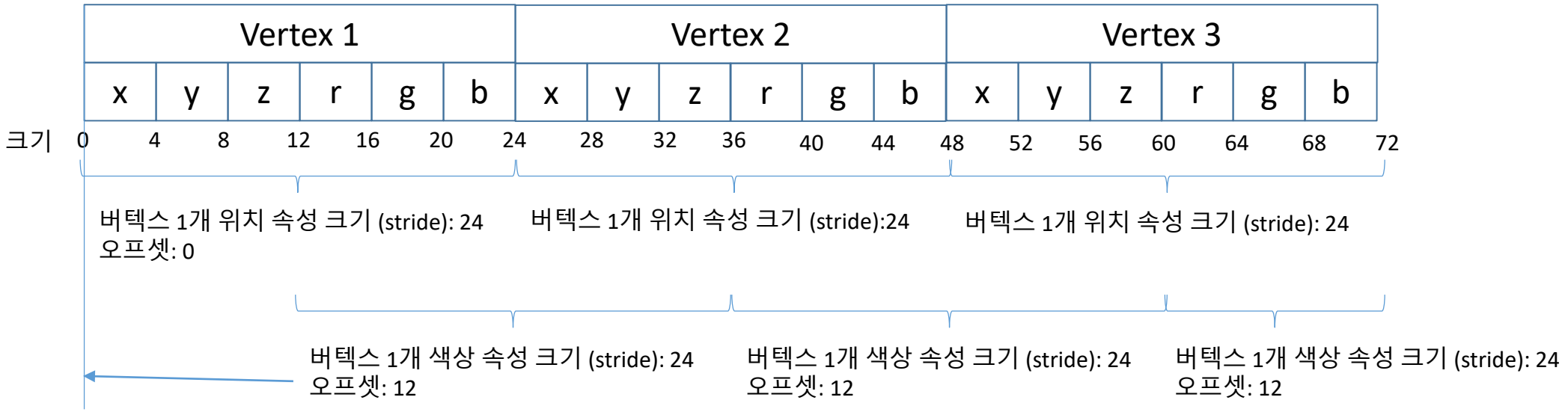
- 버텍스 위치 속성 설정하기 응용 프로그램 예)

```
//--- 변수 선언
GLuint VAO, VBO_position;

//--- VAO와 VBO 객체 생성
glGenVertexArrays (1, &VAO);
glGenBuffers (1, &VBO_position);

//--- 사용할 VAO 바인딩
glBindVertexArray (VAO);

//--- vertex positions 저장을 위한 VBO 바인딩.
glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO_position);

// vertex positions 데이터 입력.
glBufferData (GL_ARRAY_BUFFER, sizeof (vertexPosition), vertexPosition, GL_STATIC_DRAW);

//--- 현재 바인딩되어있는 VBO를 shader program과 연결: 0번째 attribute
glVertexAttribPointer (0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 3*sizeof(float), 0);
glEnableVertexAttribArray (0);
```

```
const float vertexPosition [] =
{
        0.5, 1.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 0.0,
        1.0, 0.0, 0.0
};
const float vertexColor [] =
{
        1.0, 0.0, 0.0,
        0.0, 1.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 1.0
};

// 위치와 색상을 한 개의 데이터로 저장
const float vertexData [] =
{
        0.5, 1.0, 0.0,          1.0, 0.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 0.0,          0.0, 1.0, 0.0,
        1.0, 0.0, 0.0,          0.0, 0.0, 1.0
};
```

Vertex Attribute: 2개

- 버텍스 포맷에 속성 추가
  - 좌표값 외에 색상 값을 속성으로 추가하는 경우



Vertex Attribute: 2개 --- 속성을 따로 저장할 때

- VBO를 2개 생성
  - 각 VBO에 속성값 (위치, 색상) 저장
  - 세이더에 위치와 색상 저장하기
- VAO를 생성
  - VAO에 2개의 속성을 바인드하기

- Vertex Shader

```
#version 330 core

in vec3 vPos;                   // 메인 프로그램에서 입력 받음
in vec3 vColor;                 // 메인 프로그램에서 입력 받음
out vec3 passColor;             // fragment shader로 전달

void main()
{
        gl_Position = vec4 (vPos.x, vPos.y, vPos.z, 1.0);
        passColor = aColor;
}
```

- Fragment Shader

```
#version 330 core

in vec3 passColor;              // vertex shader에서 입력받음
out vec4 FragColor;             // 프레임 버퍼로 출력

void main()
{
        FragColor = vec4 (passColor, 1.0);
}
```

Vertex Attribute: 2개 --- 속성을 따로 저장할 때

- 응용 프로그램

```
//--- 변수 선언
Gluint VAO, VBO_position, VBO_color;

//--- Vertex Array Object 생성
glGenVertexArrays (1, &VAO);
glBindVertexArray (VAO);

//--- 위치 속성
glGenBuffers (1, &VBO_position);
glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO_position);
glBufferData (GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertex_list), vertex_list, GL_STATIC_DRAW);

//--- 색상 속성
glGenBuffers (1, &VBO_color);
glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO_color);
glBufferData (GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(color_list), color_list, GL_STATIC_DRAW);

//--- aPos 속성 변수에 값을 저장
GLint pAttribute = glGetAttribLocation (s_program_id, “vPos");
glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO_position);
glVertexAttribPointer (pAttribute, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 3 * sizeof(float), 0);
glEnableVertexAttribArray (pAttribute);

//--- aColor 속성 변수에 값을 저장
GLint cAttribute = glGetAttribLocation (s_program_id, “vColor");
glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO_color);
glVertexAttribPointer (cAttribute, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 3 * sizeof(float), 0);
glEnableVertexAttribArray (cAttribute);
```

```
const float vertexPosition [] =
{
        0.5, 1.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 0.0,
        1.0, 0.0, 0.0
};
const float vertexColor [] =
{
        1.0, 0.0, 0.0,
        0.0, 1.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 1.0
};

// 위치와 색상을 한 개의 데이터로 저장
const float vertexData [] =
{
        0.5, 1.0, 0.0,          1.0, 0.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 0.0,          0.0, 1.0, 0.0,
        1.0, 0.0, 0.0,          0.0, 0.0, 1.0
};
```

함수 프로토타입

- 위치 가져오기 함수
  - GLint glGetAttribLocation (GLuint program, const GLchar *name);
    - Attribute 변수의 위치를 가져온다.
      - 리턴값: 속성 변수의 위치
        - 위치를 찾지 못하면 음수값을 리턴한다.
      - Program: 프로그램 이름
      - Name: 위치를 찾으려는 attribute 변수 이름

Vertex Attribute: 2개 --- 속성을 한 변수로 저장

- 속성 추가하여 1개 이상의 속성을 사용 하는 경우 (VertexData 변수 사용)
  - Vertex Shader

```
#version 330 core
layout (location = 0) in vec3 vPos;       // 위치 변수: attribute position 0
layout (location = 1) in vec3 vColor;     // 컬러 변수: attribute position 1

out vec3 outColor;                        // 컬러를 fragment shader로 출력

void main()
{
   gl_Position = vec4 (vPos, 1.0);
   outColor = vColor;                     // vertex data로부터 가져온 컬러 입력을 ourColor에 설정
}
```

  - Fragment Shader

```
#version 330 core
out vec4 FragColor;
in vec3 outColor;

void main()
{
   FragColor = vec4 (outColor, 1.0);
}
```

Vertex Attribute: 2개 --- 속성을 한 변수로 저장

- 응용 프로그램

```
//--- 변수 선언
GLuint VAO, VBO;

//--- VAO 객체 생성 및 바인딩
glGenVertexArrays (1, &VAO);
glBindVertexArray (VAO);

//--- vertex data 저장을 위한 VBO 생성 및 바인딩.
glGenBuffers (1, &VBO);
glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO);

//--- vertex data 데이터 입력.
glBufferData (GL_ARRAY_BUFFER, sizeof (vertexData), vertexData, GL_STATIC_DRAW);

//--- 위치 속성: 속성 인덱스 0
glVertexAttribPointer (0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)0);
glEnableVertexAttribArray (0);

//--- 색상 속성: 속성 인덱스 1
glVertexAttribPointer (1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(float), (void*)(3* sizeof(float)));
glEnableVertexAttribArray (1);
```

```
const float vertexPosition [] =
{
        0.5, 1.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 0.0,
        1.0, 0.0, 0.0
};
const float vertexColor [] =
{
        1.0, 0.0, 0.0,
        0.0, 1.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 1.0
};

// 위치와 색상을 한 개의 데이터로 저장
const float vertexData [] =
{
        0.5, 1.0, 0.0,          1.0, 0.0, 0.0,
        0.0, 0.0, 0.0,          0.0, 1.0, 0.0,
        1.0, 0.0, 0.0,          0.0, 0.0, 1.0
};
```

파일에서 코드 읽어오기 샘플

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

char* filetobuf (char *file)
{
	FILE *fptr;
	long length;
	char *buf;

	fptr = fopen (file, "rb");			// Open file for reading
	if (!fptr)					// Return NULL on failure
		return NULL;
	fseek (fptr, 0, SEEK_END);			// Seek to the end of the file
	length = ftell (fptr);				// Find out how many bytes into the file we are
	buf = (char*) malloc (length+1);		// Allocate a buffer for the entire length of the file and a null terminator
	fseek (fptr, 0, SEEK_SET);			// Go back to the beginning of the file
	fread (buf, length, 1, fptr);			// Read the contents of the file in to the buffer
	fclose (fptr);					// Close the file
	buf[length] = 0;				// Null terminator

	return buf;					// Return the buffer
}
```

최종 예) vertex shader와 fragment shader 만들기

```
//---  vertex shader: vertex.glvs

#version 330
// in_Position was bound to attribute index 0 and
// in_Color was bound to attribute index 1

in  vec3 in_Position;          // 위치 속성
in  vec3 in_Color;             // 색상 속성

out vec3 ex_Color;             // 프래그먼트 세이더에게 전달

void main(void)
{
    gl_Position = vec4 (in_Position.x, in_Position.y, in_Position.z, 1.0);

    ex_Color = in_Color;
}
```

```
//--- fragment shader: fragment.glfs

#version 330
// ex_Color: 버텍스 세이더에서 입력받는 색상 값
// gl_FragColor: 출력할 색상의 값으로 응용 프로그램으로 전달 됨.

in  vec3 ex_Color;             // 버텍스 세이더에게서 전달 받음
out vec4 gl_FragColor;         // 색상 출력

void main(void)
{
    gl_FragColor = vec4(ex_Color,1.0);
}
```

최종 예) VBO와 VAO 사용하여 데이터 저장하기

```
//--- 그리기 함수

void drawScene ()
{
    const GLfloat triShape[3][3] = {
                    {  0.0,  1.0, 0.0  },              // top
                    {  -1.0,  0.0 , 0.0 },             // left
                    {  1.0, 0.0 . 0.0 }};              // right
    const GLfloat colors[3][3] = {
                     {  1.0,  0.0,  0.0  },            // Red
                     {  0.0,  1.0,  0.0  },            // Green
                     {  0.0,  0.0,  1.0  }};           // Blue

    Gluint vao, vbo[2];
    GLchar *vertexsource, *fragmentsource; // 소스코드 저장 변수

    GLuint vertexshader, fragmentshader;     // 세이더

    GLuint shaderprogram;     // 세이더 프로그램

    // VAO 를 지정하고 할당하기
   glGenVertexArrays (1, &vao);

    // VAO를 바인드하기
   glBindVertexArray (vao);

    // 2개의 VBO를 지정하고 할당하기
   glGenBuffers (2, vbo);
```

```
//--- 1번째 VBO를 활성화하여 바인드하고, 버텍스 속성 (좌표값)을 저장
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vbo[0]);

    // 변수 diamond 에서 버텍스 데이터 값을 버퍼에 복사한다.
    // triShape 배열의 사이즈: 9 * float
   glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, 9 * sizeof(GLfloat), triShape, GL_STATIC_DRAW);

    // 좌표값을 attribute 인덱스 0번에 명시한다: 버텍스 당 3* float
   glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);

    // attribute 인덱스 0번을 사용가능하게 함
    glEnableVertexAttribArray(0);

//--- 2번째 VBO를 활성화 하여 바인드 하고, 버텍스 속성 (색상)을 저장
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vbo[1]);

    // 변수 colors에서 버텍스 색상을 복사한다.
    // colors 배열의 사이즈: 9 *float
   glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, 9 * sizeof(GLfloat), colors, GL_STATIC_DRAW);

    // 색상값을 attribute 인덱스 1번에 명시한다: 버텍스 당 3*float
   glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);

    // attribute 인덱스 1번을 사용 가능하게 함.
   glEnableVertexAttribArray(1);
```

최종 예) vertex shader, fragment shader 프로그램 만들기

```
//--- 세이더 프로그램 만들기

 vertexsource = filetobuf (“vertex.glvs");
 fragmentsource = filetobuf (“fragment.glfs”);

 //--- 버텍스 세이더 객체 만들기
 vertexshader = glCreateShader (GL_VERTEX_SHADER);

// 세이더 코드를 세이더 객체에 넣기: GL로 보내진다. (소스코드: 문자열)
 glShaderSource(vertexshader, 1, (const GLchar**)&vertexsource, 0);

 // 버텍스 세이더 컴파일하기
 glCompileShader(vertexshader);

// 컴파일이 제대로 되지 않은 경우: 에러 체크
 glGetShaderiv(vertexshader, GL_COMPILE_STATUS, &IsCompiled_VS);
if(IsCompiled_VS == FALSE)
 {
       glGetShaderiv(vertexshader, GL_INFO_LOG_LENGTH, &maxLength);
       vertexInfoLog = (char *)malloc(maxLength);
       glGetShaderInfoLog (vertexshader, maxLength, &maxLength, vertexInfoLog);
       free (vertexInfoLog);
       return;
 }
```

```
//--- 프래그먼트 세이더 객체 만들기
   fragmentshader = glCreateShader(GL_FRAGMENT_SHADER);

// 세이더 코드를 세이더 객체에 넣기: GL로 보내진다.
   glShaderSource(fragmentshader, 1, (const GLchar**)&fragmentsource, 0);

   // 프래그먼트 세이더 컴파일
   glCompileShader(fragmentshader);

    // 컴파일이 제대로 되지 않은 경우: 컴파일 에러 체크
   glGetShaderiv(fragmentshader, GL_COMPILE_STATUS, &IsCompiled_FS);
   if(IsCompiled_FS == FALSE)
   {
       glGetShaderiv(fragmentshader, GL_INFO_LOG_LENGTH, &maxLength);
       fragmentInfoLog = (char *)malloc(maxLength);
       glGetShaderInfoLog(fragmentshader, maxLength, &maxLength, fragmentInfoLog);
       free(fragmentInfoLog);
       return;
   }
```

최종 예) 세이더 객체 만들기

```
// 버텍스 세이더와 프래그먼트 세이더가 컴파일 됐고, 에러가 없는 경우
// GL 세이더 객체를 만들어 두 세이더를 링크한다.
// 세이더 프로그램 객체 만들기
shaderprogram = glCreateProgram();

// 세이더를 세이더 프로그램 객체에 붙인다.
glAttachShader (shaderprogram, vertexshader);
glAttachShader (shaderprogram, fragmentshader);

// in_Position: 인덱스 0,
// in_Color: 인덱스 1 으로 속성 인덱스를 바인드한다.
// 속성 위치는 프로그램 링크 전에 수행한다.
glBindAttribLocation (shaderprogram, 0, "in_Position");
glBindAttribLocation (shaderprogram, 1, "in_Color");

// 프로그램 링크
// 이 때, 세이더 프로그램은 에러 없이 바이너리 코드가 세이더를 위하여
// 생성되고 그 코드가 GPU에 업로드 됨 (에러가 없다면)
glLinkProgram (shaderprogram);
```

```
// 링크가 되었는지 체크하기
glGetProgramiv (shaderprogram, GL_LINK_STATUS, (int *)&IsLinked);
if(IsLinked == FALSE)
{
    glGetProgramiv (shaderprogram, GL_INFO_LOG_LENGTH, &maxLength);
    shaderProgramInfoLog = (char *)malloc(maxLength);
    glGetProgramInfoLog (shaderprogram, maxLength, &maxLength,
            shaderProgramInfoLog);

    free (shaderProgramInfoLog);
     return;
}

// 렌더링 파이프라인에 세이더 불러오기
  glUseProgram (shaderprogram);
// 사용할 VAO 불러오기
  glBindVertexArray (vao);

// 삼각형 그리기
  glDrawArrays ( GL_TRIANGLES, 0, 3);
```

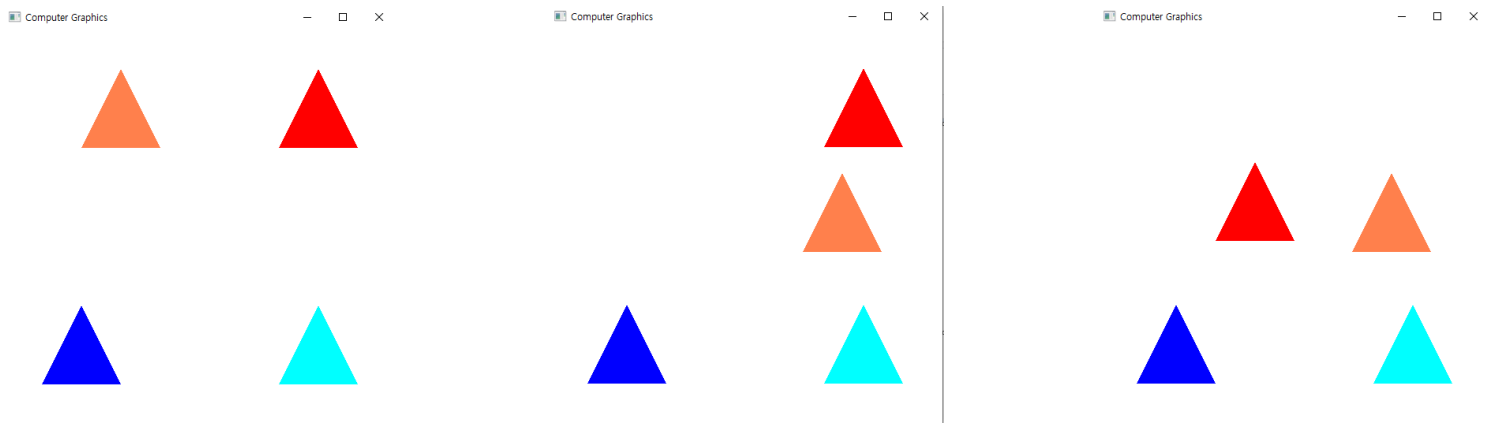
프로그램 구조

- 세이더 사용하는 프로그램 일반적인 구조
  - Main (): 관련 콜백 함수 지정
    - 윈도우 띄우기
    - 필요한 콜백 함수 지정
    - 이벤트 루프 시작
  - InitBuffer ():
    - VAO, VBO 만들기
    - 속성 (attributes) 설정하기
  - InitShader ():
    - 세이더 읽기, 컴파일 하기, 링크하기
  - 콜백 함수들
    - 각종 이벤트 처리하기
    - 출력 함수: display 콜백 함수
      - 화면에 출력하기 (glDrawArrays 또는 glDrawElements)
  - 세이더 만들기
    - Vertex shader, fragment shader 파일 작성

실습 3

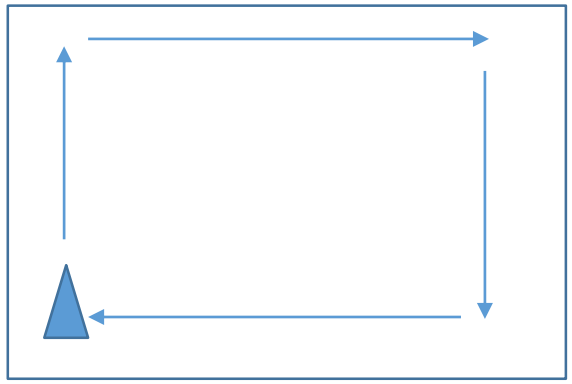
- 화면에 삼각형 그리기
  - 화면에 삼각형 사사분면에 4개 그리기
    - 삼각형 혹은 사각형을 그리기
    - 삼각형은 각각 다른 색상 설정

  - 마우스를 누르면 그 위치에 새로운 삼각형 을 그린다.
    - 순서대로 이전에 그린 사각형을 삭제된다.
      - 마우스 클릭 -> 첫번째 삭제되고 삭제되고 마우스 위치에 삼각형
      - 마우스 클릭 -> 두번째 삼각형 삭제되고 마우스 위치에 삼각형
      - …
    - 화면에는 항상 4개의 삼각형 만이 그려진다.



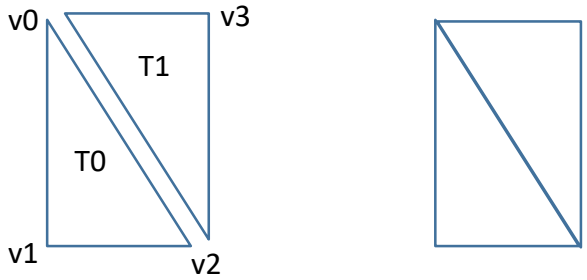
실습 4

- 실습 3의 삼각형 이동하기
  - 키보드 명령 입력받기
    - F: 도형 그리기 모드 변경 (GL_FILL or GL_LINE)
    - M: 4개의 사각형이 시계 반대방향으로 이동하기 (단 화면 밖으로 나가지 않는다)
    - S: 멈추기
    - C: 사각형의 색상 바꾸기
    - Q: 프로그램 종료하기



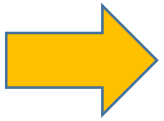
Element Buffer Object

- Element Buffer Object (EBO)
  - EBO는 VBO와 같은 버퍼인데, 버텍스 좌표값 대신 인덱스를 저장한다.
  - 사각형을 그린다면,
    - 사각형 -> 삼각형 2개 -> 6개의 정점 -> 2개의 정점이 중복, 즉 4개의 정점으로 생성 가능




```
float vPosition[] = {
   // 첫 번째 삼각형
    0.5f,  0.5f, 0.0f,  // 우측 상단
    0.5f, -0.5f, 0.0f,  // 우측 하단
   -0.5f,  0.5f, 0.0f,  // 좌측 상단
   // 두 번째 삼각형
    0.5f, -0.5f, 0.0f,  // 우측 하단
   -0.5f, -0.5f, 0.0f,  // 좌측 하단
   -0.5f,  0.5f, 0.0f   // 좌측 상단
};
```

2개가 같은 값



```
float vPositionList[] = {
    0.5f,  0.5f, 0.0f,  // 우측 상단
    0.5f, -0.5f, 0.0f,  // 우측 하단
   -0.5f, -0.5f, 0.0f,  // 좌측 하단
   -0.5f,  0.5f, 0.0f   // 좌측 상단
};
unsigned int index[] = {
   0, 1, 3,   // 첫 번째 삼각형
   1, 2, 3    // 두 번째 삼각형
};
```

Element Buffer Object

- 정점들을 저장하고, 그 정점을 사용하여 인덱스 리스트를 만든다.

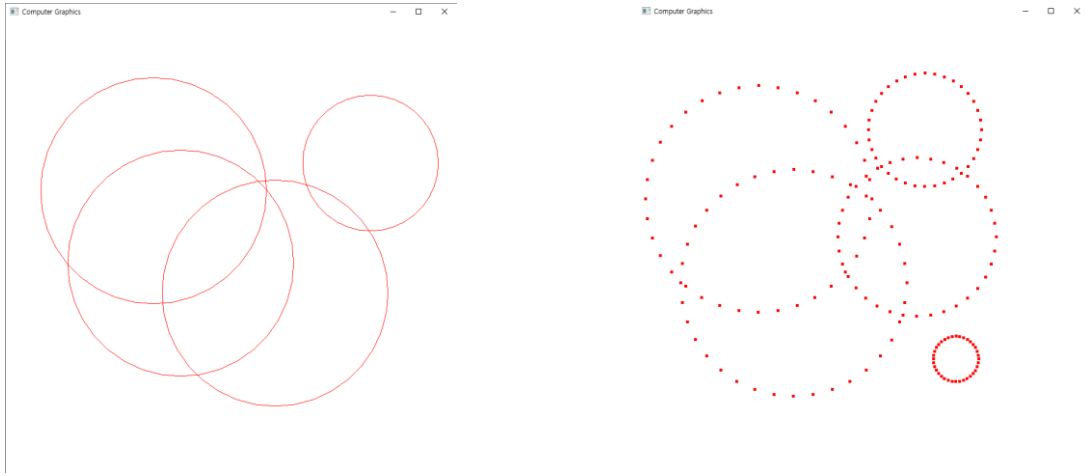
```
void InitBuffer ()
{
    Gluint VAO, VBO_pos, EBO;

    glGenVertexArrays (1, &VAO);
    glGenBuggers (1, &VBO_pos);

    glBindVertexArray (VAO);
    glBindBuffer (GL_ARRAY_BUFFER, VBO_pos);
    glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vPositionList), vPositionList, GL_STATIC_DRAW);

    glGenBuffers (1, &EBO);
    glBindBuffer (GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, EBO);    // GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER 버퍼 유형으로 바인딩
    glBufferData (GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, sizeof(index), index, GL_STATIC_DRAW);
    glVertexAttribPointer (0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 3 * sizeof(float), 0);
    glEnableVertexAttribArray (0);
}

void drawScene ()
{
    glUseProgram (s_program);
    glBindVertexArray (VAO);
    glDrawElements (GL_TRIANG
```

함수 프로토타입

- 함수 프로토타입
  - void glDrawElements (GLenum mode, GLsizei count, GLenum type, const GLvoid *indices);
    - Mode: GL_POINTS, GL_LINE_STRIP, GL_LINE_LOOP, GL_LINES, GL_LINE_STRIP_ADJACENCY, GL_LINES_ADJACENCY, GL_TRIANGLE_STRIP, GL_TRIANGLE_FAN, GL_TRIANGLES, GL_TRIANGLE_STRIP_ADJACENCY, GL_TRIANGLES_ADJACENCY
    - Count: 렌더링할 요소의 개수
    - Type: indices 값의 타입, GL_UNSIGNED_BYTE, GL_UNSIGNED_SHORT, or GL_UNSIGNED_INT 중 1개
    - Indices: 인덱스가 저장된 값

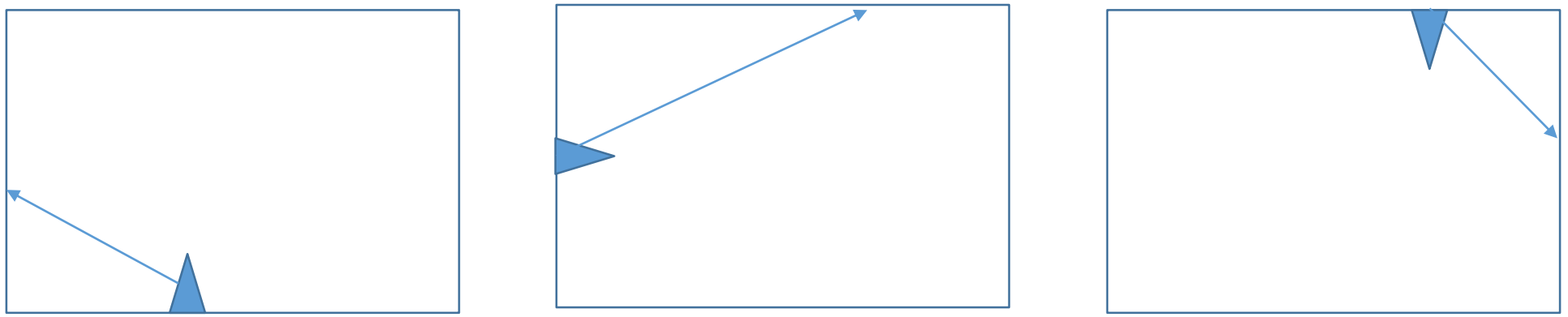
실습 5

- 원형 애니메이션 만들기
  - 마우스를 클릭하면 그 위치를 중심으로 원형으로 도형이 그려지고, 점점 밖으로 퍼져나가고, 특정 반지름이 되면 다시 시작 점부터 밖으로 퍼져나가는 애니메이션이 진행된다. 1개 이상의 원을 그릴 수 있도록 한다.
    - 최대 10개의 원을 그릴 수 있도록 한다.
    - 키보드 명령:
      - 1: 점으로 그리기
      - 2: 선으로 그리기
  - 여러 개의 원 중 임의의 원은 계속 밖으로 퍼져나가며 사라지도록 한다.



실습 6

- 삼각형 튀기기
  - 최대 10개의 삼각형이 임의의 위치에서 시작하여 각각 다른 방향 또는 속도로 이동한다.
    - 삼각형은 정삼각형이 아니다.
  - 벽을 만나면 다른 방향으로 이동한다.
    - 벽을 만나게 되면 삼각형의 방향이 바뀌게 된다.
    - 바뀐채로 계속 이동한다.



실습 7

실습 8

- KPU G-star 참석하기
  - 10월 16일 진행하는 KPU G-star에 참석하기 (대체 수업 진행)
  - 특강 1개, 게임대회 1종목, 과제전을 참석하고 보고서 작성하기
    - 위의 3 항목 별 참가한 후 소감과 인증샷을 추가하여 **다음 시간에 출력하여 제출하기**
    - **보고서는 3페이지 이상 작성하기**