# Rendering Pipeline

305890
2007년 봄학기
3/21/2007
박경신

## Rendering Pipeline

- 모델 표현
- 가상 카메라 (virtual camera)
- 렌더링 파이프라인 (rendering pipeline)
- 예제

## Modeling

- 장면(scene)은 물체나 모델의 모음
- 물체(object)는 triangle mesh의 묘사로 이루어짐
- Triangle은 세 개의 정점 (vertex)로 정의됨
- Direct3D에서의 모델 표현
  - Vertex format
  - Triangle
  - Index

## Vertex Format

- 정점 (Vertex)
  - 공간적 위치
  - 부가적 특성: normal, color, texture 좌표
- 1단계: Custom vertex format정의
  - 위치, 색상

```
struct ColorVertex {
    float _x, _y, _z;          // position
    DWORD _color;
};
```

  - 위치, 법선, 텍스쳐 좌표

```
struct NormalTexVertex {
    float _x, _y, _z;          // position
    float _nx, _ny, _nz;       // normal vector
    float _u, _v;              // texture coords
};
```

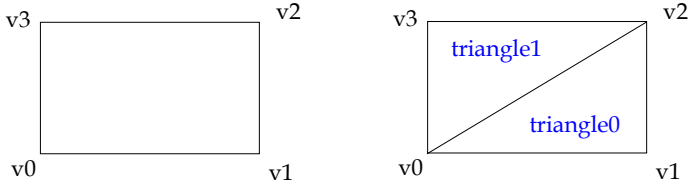
## Vertex Format

- 2단계: Vertex formatting 방법을 지정
  - FVF (Flexible vertex format) flag 조합을 이용
  - Struct에 정의된 데이터의 순서와 FVF의 정의된 순서가 반드시 일치해야 함

```
#define FVF_COLOR(D3DFVF_XYZ | D3DFVF_DIFFUSE)
#define FVF_NORMAL_TEX(D3DFVF_XYZ | D3DFVF_NORMAL
    | D3DFVF_TEX1)
```

## Triangle

- Triangle
  - 3D 물체의 기본 구성 요소
  - 예를 들어, 사각형은 두 개의 삼각형으로 표현할 수 있다.

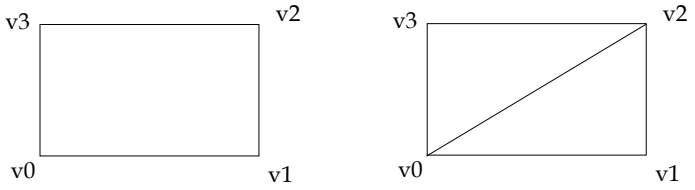



```
Vertex rect[6] = { v0, v1, v2,          // triangle 0
                   v0, v2, v3 };        // triangle 1
```

  - Vertex의 나열 순서(winding order)를 꼭 지켜야 함

## Index

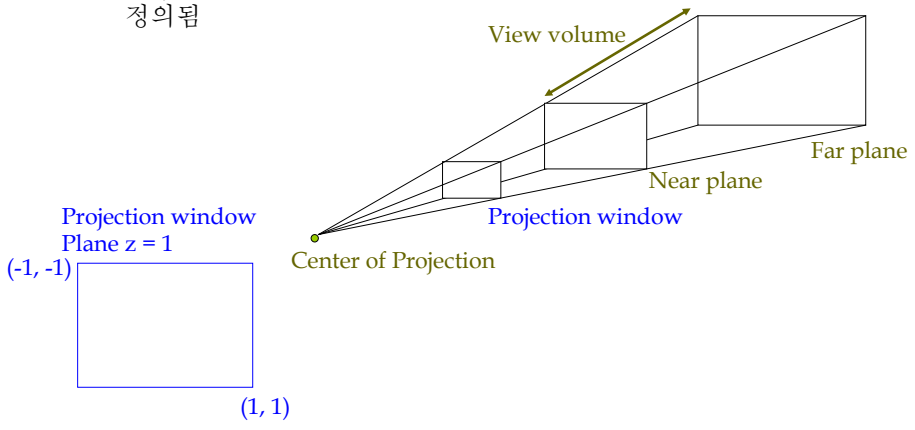
- Index의 필요성
  - 많은 vertex들이 중복으로 사용됨
  - 따라서 vertex list와 index list를 구성해서
    - Vertex list는 모든 vertex들
    - Index list는 vertex list로의 index값들




```
Vertex vertexList[4] = { v0, v1, v2, v3};      // vertex list
WORD indexLIST[6] = {0, 1, 2,                  // index list
                     0, 2, 3 };
```

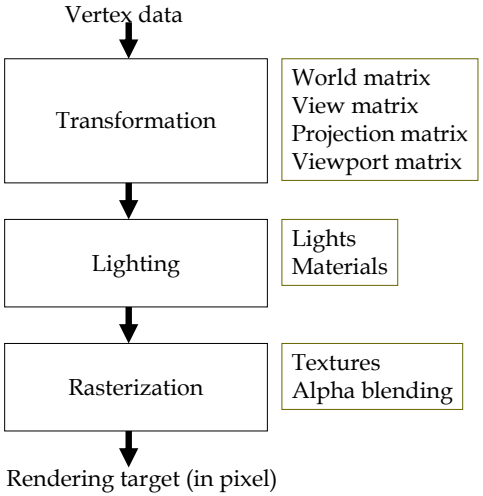
## Virtual Camera

- 가상 카메라
  - 관찰자가 볼 수 있는 세계의 부분을 결정함
  - Projection window: Direct3D에서는 plane z=1과 일치하도록 정의됨



## Rendering Pipeline

- 3차원 장면으로부터 2D 이미지를 만드는 과정

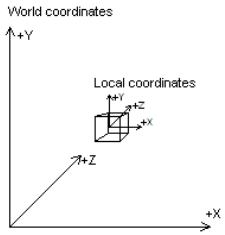



## Rendering Pipeline

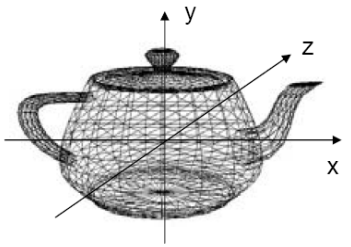
- Rendering pipeline
  - Local space
  - World space
  - View space
  - Backface culling
  - Lighting
  - Clipping
  - Projection
  - Viewport
  - Rasterize
- 이 변환 과정은 Direct3D가 책임 수행함
  - 해당 matrix를 구성하고 이를 IDirect3DDevice->SetTransform을 이용해 matrix를 Direct3D로 전달함

## Local Space & World Space

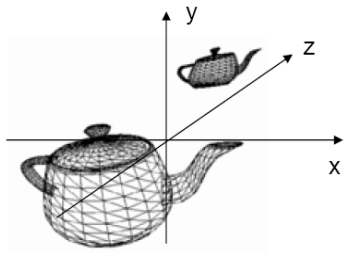
- Local space
  - 사용자가 물체를 정의하는 데 이용되는 물체 중심적 좌표계 (Modeling space)
  - 모델 구성의 편리성에 중점을 둠. World에서의 물체의 위치나 크기, world 내의 다른 물체와의 관계 등을 고려하지 않고도 모델을 구성할 수 있음.
- World space
  - 하나의 장면에 대한 좌표계로 여러 모델들을 포함함.
  - 각 물체의 관계를 정의함.




## Local Space & World Space




local space




world space

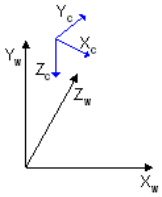
## Modeling Transformation

- Local space에서 World space로 변환
  - 하나의 행렬로 표현.
  - IDirect3DDevice::SetTransform(D3DTS_WORLD, &worldMatrix);

```
// cube를 (-3, 2, 6)에 배치하고, sphere를 (5, 0, -2)에 배치하라.
D3DXMATRIX cubeWorldMatrix;
D3DXMatrixTranslation(&cubeWorldMatrix, -3.0, 2.0, 6.0);
D3DXMATRIX sphereWorldMatrix;
D3DXMatrixTranslation(&sphereWorldMatrix, 5.0, 0.0, -2.0);
// set transform for cube
Device->SetTransform(D3DTS_WORLD, &cubeWorldMatrix);
drawCube();
// set transform for sphere
// 이전 world matrix에 적용됨
Device->SetTransform(D3DTS_WORLD, &sphereWorldMatrix);
drawSphere();
```

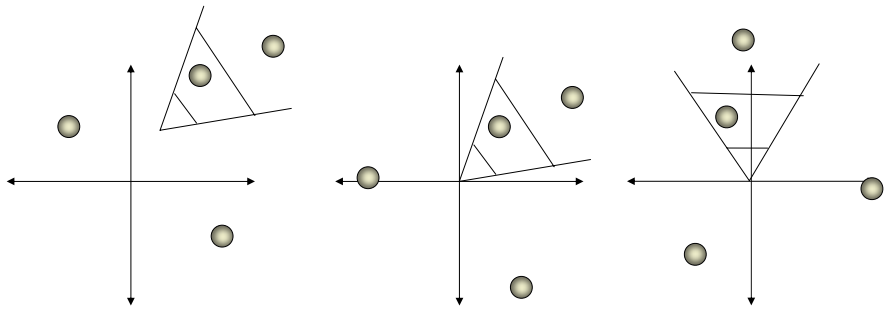
## View Space

- 기하 물체와 카메라는 world space에서 정의됨
  - Projection 등의 작업의 효율성을 위해서 view space로 변환함
- View space 변환
  - 카메라를 world space의 원점으로 이동하고 +z축을 보도록 회전시킴.
  - 다른 모든 기하 물체들도 동일하게 변환되어야 함.
- World space에서 view space 변환 행렬 계산
  - D3DXMatrixLookAtLH




```
D3DXMATRIX *D3DMatrixLookAtLH (
    D3DXMATRIX* pOut,
    CONST D3DXVECTOR3* pEye,   // camera position
    CONST D3DXVECTOR3* pAt,    // camera look-at position
    CONST D3DXVECTOR3* pUp     // world up 보통 y-축과 일치함 (0, 1, 0)
)
```

## View Space



World Space 내에서의 물체와 카메라

관찰점을 원점으로 변환.

Z-축에 맞게 관찰점을 회전. 물체들도 함께 회전.

## Viewing Transformation

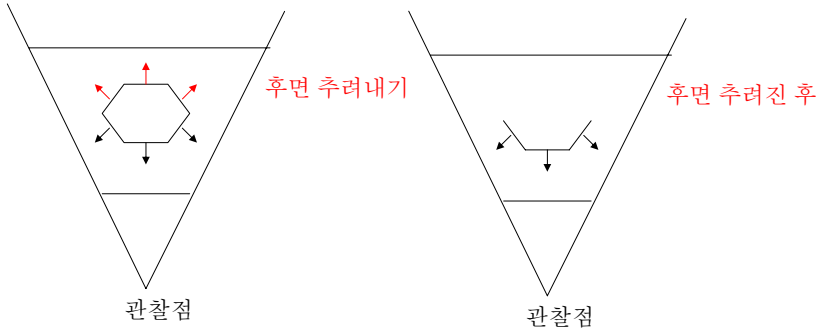
- World space에서 View space로 변환
  - IDirect3DDevice::SetTransform(D3DTS_VIEW, &viewMatrix);

```
// camera를 (5, 3, -10)에 위치하고, world의 중앙 (0, 0, 0)을 바라보도록 함.
// set camera
D3DXVECTOR3 position(5.0, 3.0, -10.0);
D3DXVECTOR3 lookat(0.0, 0.0, 0.0);
D3DXVECTOR3 worldup(0.0, 1.0, 0.0);
// set view matrix
D3DMATRIX viewMatrix;
D3DXMatrixLookAtLH(&viewMatrix, &position, &lookat, &worldup);
Device->SetTransform(D3DTS_VIEW, &viewMatrix);
```

## Backface culling

- Backface culling
  - 카메라에 후면을 향하고 있는 polgon은 화면에 그리지 않음.
  - 후면 polygon을 미리 추려내면 이후의 계산에 상당한 이득이 있음.
- 후면 polygon의 결정
  - View space에서의winding order가 시계(CW) 혹은 반시계(CCW) 방향일 경우
    - 전면/후면 polygon
    - Visibility test: planeNormal • viewVector > 0
- Culling 동작을 변경하기 원할 땐
  - Device->setRenderState(D3DRS_CULLMODE, Value);
  - Value
    - D3DCULL_NONE: backface culling을 사용 안함
    - D3DCULL_CW: 시계 방향 winding order를 가진 triangle들을 culling함
    - D3DCULL_CCW: 반시계 방향 winding order를 가진 triangle들을 culling함 (default)

## Backface culling

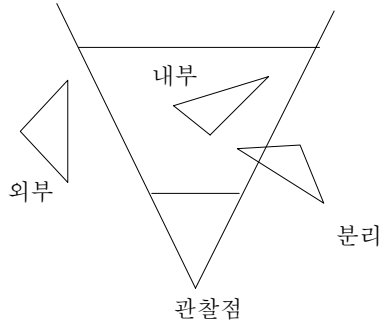



## Lighting

- Lighting
  - 물체에 명암을 추가하여 장면에 사실감을 더해줌

## Clipping

- Clipping
  - 시야 volume 외부의 기하 물체를 추려냄
  - Frustum에서의 triangle의 위치 분류
    - 완전한 내부: 보존
    - 완전한 외부: 추려냄
    - 부분적 내부: triangle을 두 부분으로 분리하여 내부의 부분만 보존



## Projection

- 투영 (Projection)
  - View space에서의 3차원 장면의 2차원 표현을 얻음
  - 원근 투영 (Perspective projection)은 원근법을 이용하여 기하 물체를 투사
- Projection matrix의 생성

```
D3DXMATRIX *D3DXMatrixPerspectiveFovLH(
    D3DXMATRIX *pOut,
    FLOAT fovY,      // field of view in y-axis (in radian)
    FLOAT Aspect,    // aspect  ratio (= screen width/screen height)
    FLOAT zn,        // z-value of near plane
    FLOAT zf         // z-value of far plane
)
```

Aspect ratio는 projection window(정사각형)을 screen window space(직사각형)으로 만드는 과정에서 왜곡을 보정하는 역할

## Perspective Projection

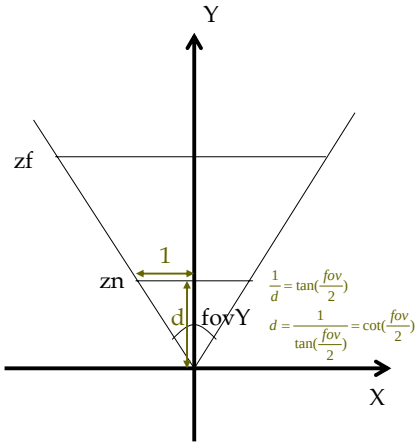
- Projection plane in front of the center of projection

$$\begin{pmatrix} xScale & 0 & 0 & 0 \\ 0 & yScale & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{zf}{zf-zn} & 1 \\ 0 & 0 & \frac{-zn*zf}{zf-zn} & 0 \end{pmatrix}$$

$where\ yScale = \cot(fovY/2)$

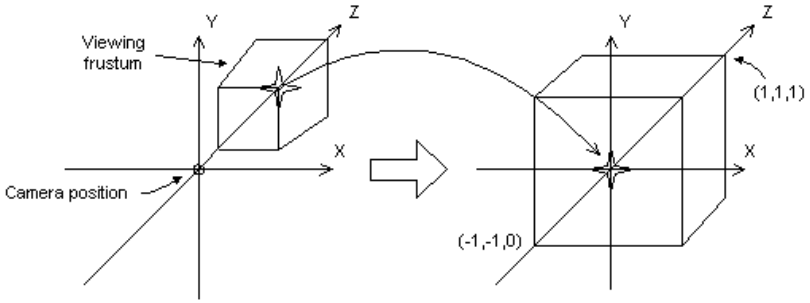
$xScale = yScale / Aspect$

$Aspect = weight / height$




## Perspective Projection

- Direct3D에서의 뷰볼륨 정규화
  - (-x, -y, zn) → (-1, -1, 0)
  - (x, y, zf) → (1, 1, 1)




## Projection Transformation

- 투영변환
  - IDirect3DDevice::SetTransform(D3DTS_PROJECTION, &projMatrix);

```
// 90 도의 시야각, 거리 1의 가까운 평면,
// 거리 1000의 먼 평면을 가지는 frustum에 맞는 projection matrix.
// set camera
D3DXMATRIX projMatrix;
D3DXMatrixPerspectiveFovLH(
    &projMatrix,
    PI*0.5f,
    (float)width/(float)height,
    1.0f, 100.0f);
Device->SetTransform(D3DTS_PROJECTION, &projMatrix);
```

## Viewport Transformation

- 뷰포트변환
  - Projection window를 viewport (on screen)
- Viewport의 표현

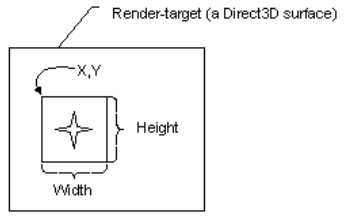
```
typedef struct _D3DVIEWPORT9 {
    DWORD X;        // pixel coords of the upper-left
    corner
    DWORD Y;        // pixel coords of the upper-left
    corner
    DWORD Width;  // width in pixels
    DWORD Height; // height in pixels
    float MinZ;     // range of depth values
    float MaxZ;     // range of depth values
} D3DViewPORT9;
```

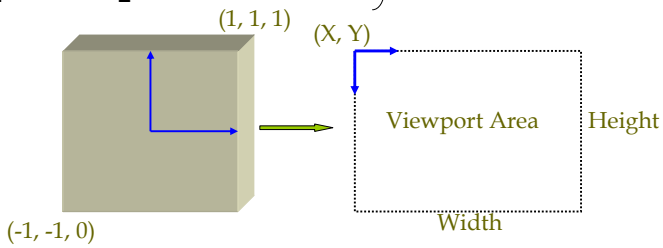
- Viewport matrix 생성
  - D3DVIEWPORT9 vp = {0, 0, 640, 480, 0, 1};
  - Device->SetViewport(&vp);

## Viewport

- 내부적으로 수행되는 Viewport행렬의 모습

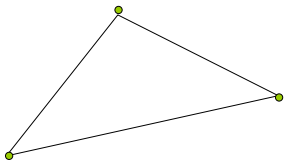
$$\begin{pmatrix} \frac{Width}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{Height}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & MaxZ-MinZ & 0 \\ X+\frac{Width}{2} & Y+\frac{Height}{2} & MinZ & 1 \end{pmatrix}$$

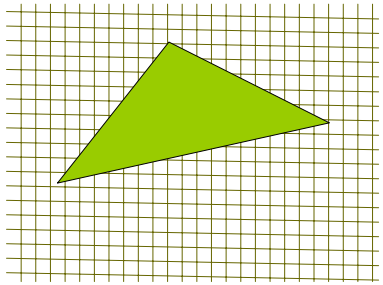



## Rasterization

- 래스터화 (rasterization)
  - Screen 좌표로 변환된 2D triangle들을 그리기 위한 pixel color값들을 계산
  - 엄청난 작업 양을 필요로 함. 따라서 전용 그래픽스 하드웨어에서 처리됨
  - 결과물은 바로 display될 수 있는 이미지 형태임 [그림 2.17 참고]





## Reference

- Direct3D Transformation Pipeline - http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/bb206260.aspx