



# week5\_Camera Calibration

## 참고 자료

<https://darkpgmr.tistory.com/32>

## 1. 카메라 캘리브레이션

- 소개
  - 우리가 실제 눈으로 보는 세상은 3차원. 하지만, 카메라로 찍으면 2차원의 이미지로 변환됨.
  - 이때 3차원 점들이 이미지 상에서 어디에 맺히는지 기하학적으로 생각하면 찍을 순간의 카메라 위치와 방향에 의해 결정됨.
  - 실제 이미지는 사용된 렌즈, 렌즈와 이미지 센서와의 거리, 렌즈와 이미지 센서가 이루는 각 등 카메라 내부에 의해 영향을 많이 받음.
  - 따라서, 3차원 점들이 영상에 투영된 위치를 구하거나 역으로 영상좌표로부터 3차원 공간좌표를 복원할 때에는 내부 요인을 제거해야 정확한 계산이 가능해지며 이러한 내부 요인의 파라미터 값을 구하는 과정을 '카메라 캘리브레이션' 이라고 함.
- 개요(2D image to 3D point)

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & \text{skew\_}cf_x & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$
$$= A[R | t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

카메라 영상은 3차원 공간상의 점들을 2차원 이미지 평면에 투사하여 얻게 됨.

pixel point( $x, y, 1$ ) = camera matrix \* 회전/이동변환 행렬\* homogeneous world point( $X, Y, Z, 1$ )

여기서,

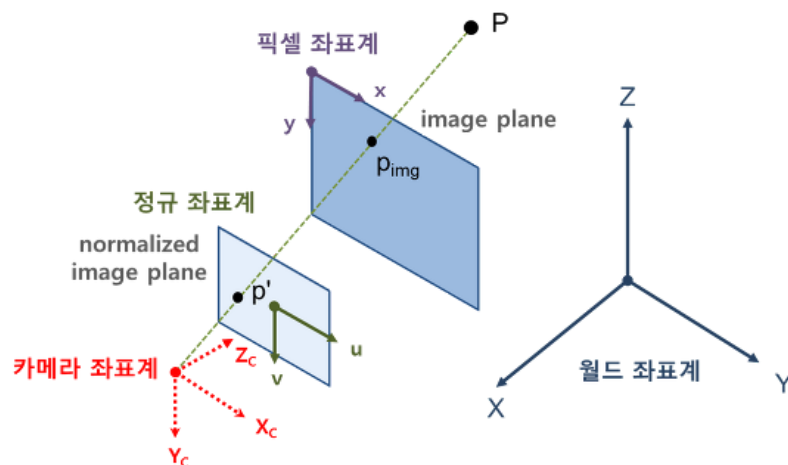
회전/이동변환 행렬 $[R|t]$ : **카메라 외부 파라미터(extrinsic parameter)**

→ 카메라와 외부 공간과의 기하학적 관계.

행렬 A: **카메라 내부 파라미터(intrinsic parameter)**

→ 카메라 초점거리, 중심점 등

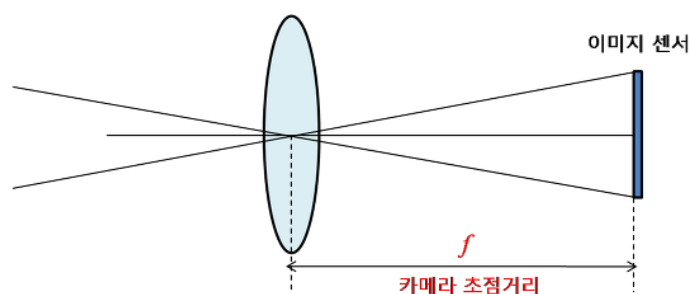
A와  $[R|t]$  합친 행렬: **camera matrix(=projection matrix)**



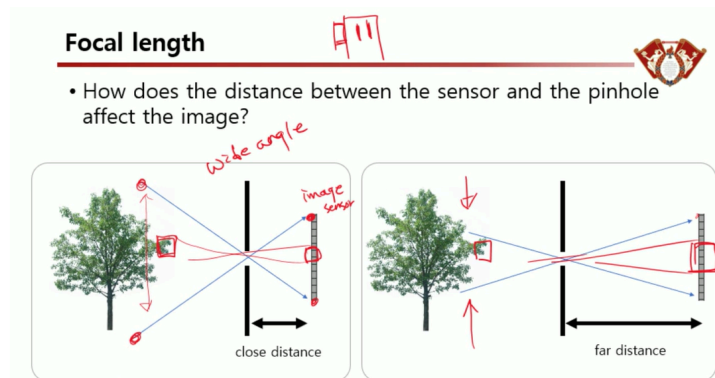
즉, 3D 공간좌표(월드 좌표계 기준) P와 2D 영상 좌표 p(픽셀 좌표계) 사이의 변환관계와 변환관계를 설명할 수 있는 파라미터를 찾는 과정 = **camera calibration**.

## 2. 카메라 내부 파라미터

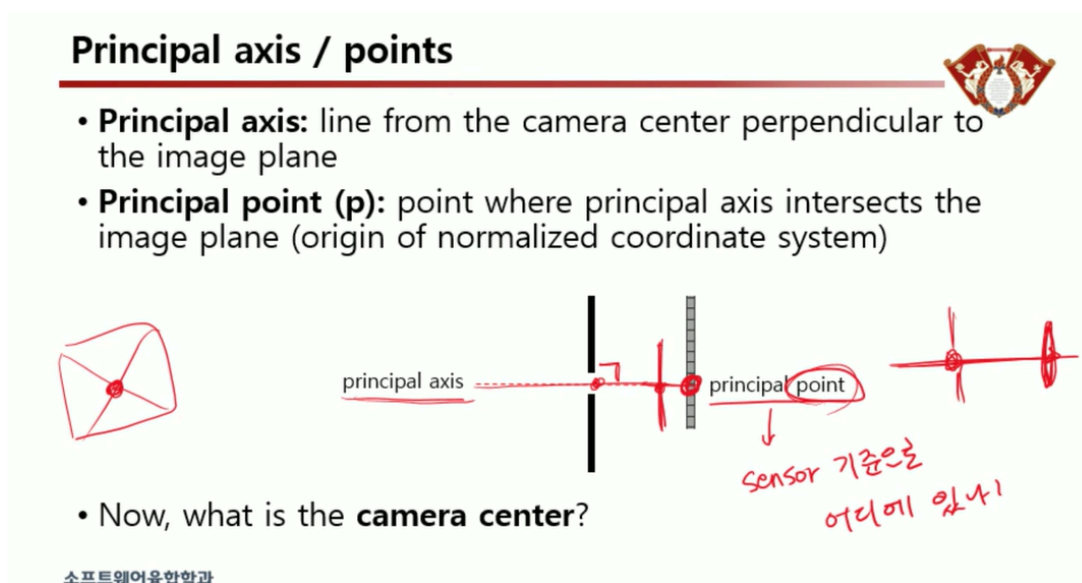
- 종류
  - 초점거리(focal length)



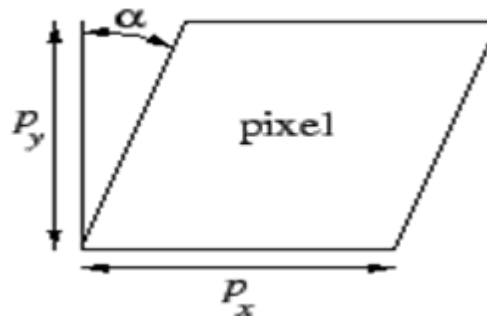
- 렌즈 중심과 이미지 센서와의 거리를 의미하며 pixel 단위로 표현됨.
- ex) 1pixel = 0.1mm → 500 pixel = 50mm



- 초점거리가 작아질수록 투영되는 물체의 크기가 작아보임(zoom-out 효과)
- 초점거리가 커질수록 투영되는 물체가 커보임(zoom-in 효과)
- principal point, principal axis



- principal point(p): 카메라 렌즈의 중심에서 이미지 센서에 내린 수선의 발의 영상 좌표.
- principal axis: 카메라 렌즈 중심으로부터 pinhole과 수직된 선.
- 비대칭 계수(skew coefficient)

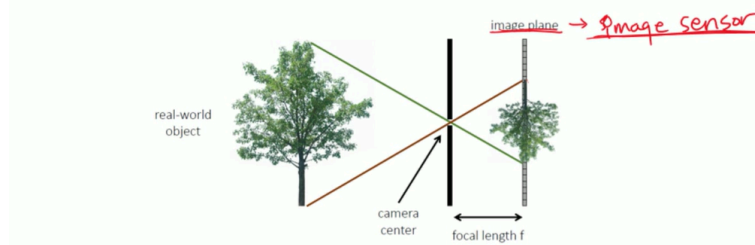


- 이미지 센서의 cell array의 y축이 기울어진 정도.
- 요즘 카메라에서는 skew 에러가 거의 없기에 보통은 고려 X

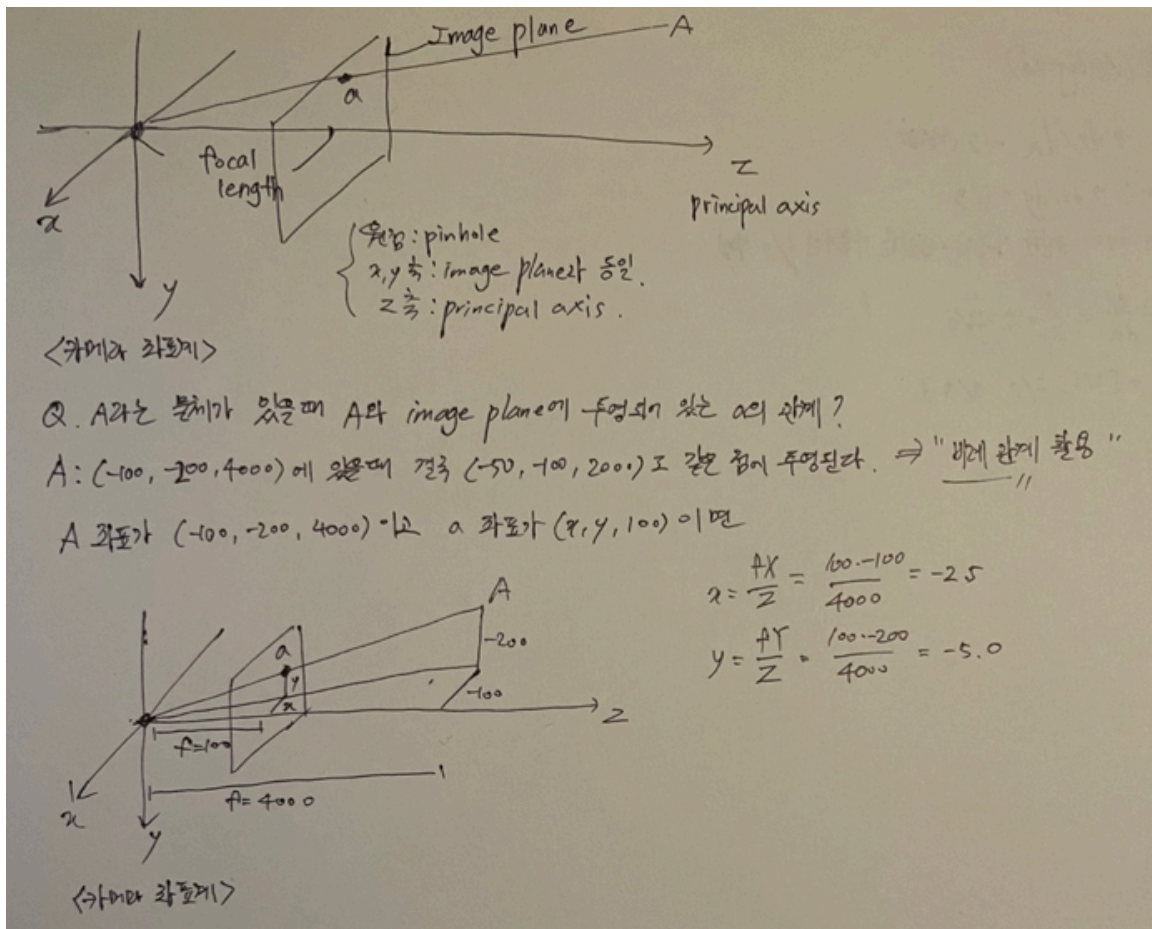
### 3. Camera coordinate(3D)

- image plane : 3차원 object에 반사된 빛이 투영된 평면. (=image sensor)
- object와 pinhole이 있고 projected point(투영) 되면 뒤집힌 상이 나옴.
- 핀홀 카메라에서 핀홀을 카메라 좌표계에 원점이라 가정하고 점 대칭 시켜서 계산을 진행.

- The image plane on the other side of the pinhole can be moved point-symmetrically around the pinhole.



- Camera coordinate(3D)
  1. Camera coordinate (3D) ( $\neq$  image coordinate)
    - 원점 : pinhole
    - x,y축 : image plane과 동일 / z축 : principal axis
    - A라는 물체가 앞에 있을 때 A와 image plane에 투영되어 있는 A인 a의 관계는?



- $x, y \rightarrow$  카메라 좌표계  $a(x, y)$ 를 기준으로 결정
- 카메라 좌표계를 통해 얻는 image plane 내 점을 어떻게 하면 이미지 좌표계로 변환할 수 있나?

- 원점(좌표 중심)의 위치 다름
- 카메라 좌표계 : m, mm 단위 사용
- 이미지 좌표계 : pixel 단위

$\Rightarrow$  단위변환!!

- Unit conversion(단위 변환)

mm당 pixel 값을 곱해줘야 함 (= s)

• Step 1: unit conversion

- Convert mm to pixel
- $(x, y) = (fX/Z, fY/Z)$
- $u' = s_x x, v' = s_y y$

$s_x$ : pixel per mm in x direction  
 $s_y$ : pixel per mm in y direction

1 mm

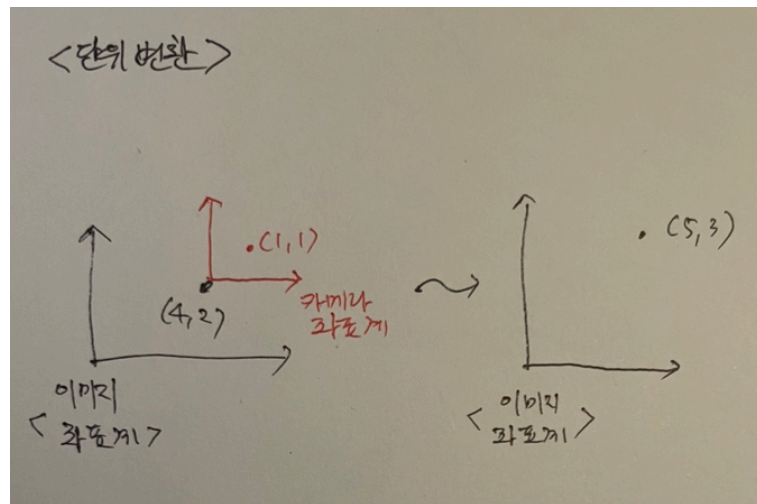
image plane unit: mm

Image unit: pixel

소프트웨어융합학과

## 2. Translation

= 더해준다. 기존 이미지 좌표계에 있는 값 + Camera coordinate까지 값



## 4. 카메라 외부 파라미터

- 의미: 카메라 좌표계와 월드 좌표계 사이 변환 관계를 설명하는 파라미터로써, 두 좌표계 사이 rotation, translation 변환으로 표현됨.
- 특징
  - 카메라 고유 파라미터 X → 카메라를 어떤 위치, 방향으로 설치했느냐 + 월드 좌표계를 어떻게 정의했느냐에 따라 달라짐.
- 월드 좌표계 → 카메라 좌표계로 변환
  - R : Rotation matrix(회전 행렬)
  - t : translation matrix(이동 행렬)
- 2D extrinsic parameter 예시



월드 좌표계 기준 (4,2)에 있으며 월드 좌표계의 원점은 카메라 좌표계 기준 (10,4)에 위치해 있다. 또한 월드 좌표계는 카메라 좌표계 기준에서 x축으로 30도 만큼 회전되어 있을 때 월드 좌표계 기준 (4,2)에 위치한 물체는 카메라 좌표계에서 좌표로 어떻게 표현할 수 있는가?

