

## 제 12 장 영상을 이용한 계측

### 12.1 개요

물체에 대하여 촬상소자를 사용한 카메라로 영상을 획득하고 컴퓨터로 처리하여 물체의 위치, 크기, 형상 등을 구하는 방법. 더 나아가 영상을 컴퓨터로 처리하고 인공지능 기술을 접목하여 글씨 인식, 얼굴 인식, 불량품 판정 등에 사용된다. Machine Vision이라고도 한다.

응용분야; 기계, 전자 분야; 물체의 위치, 크기 측정, 형상 파악, 품질관리 (양품, 불량품 판정)  
mobile robot guide - road map : stereo pair , 3D range  
글씨 인식, 얼굴 인식  
medical images - 진단  
satellite image analysis - forecasting, global change

사진 필름; spacing b.w. grains;  $5\ \mu\text{m}$   
size in cross section;  $0.5\ \mu\text{m}^2$

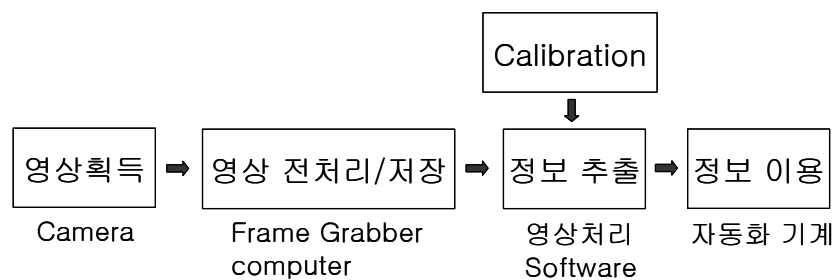
Human vision (eye); space b.w. cones in fovea; 30 arc seconds (  $1/120$  도 )  
resolution;  $1/60$ 도  $\rightarrow 0.3 \times 10^{-3}$  rad.

#### \* 영상처리 관련 문제

Modelling of the real world from images

3D information to 2D projection

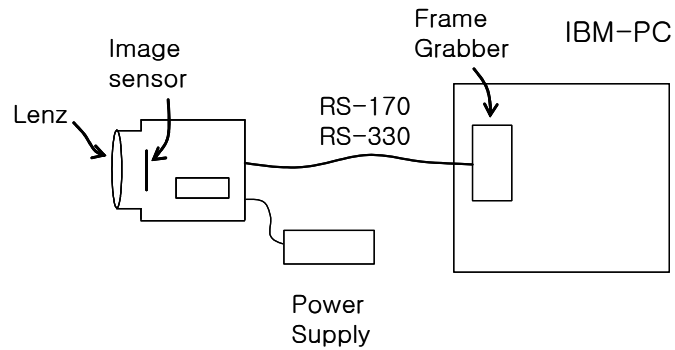
Recovering 3D information needs many to one mapping



영상을 이용한 계측 과정

## 12.2 영상처리 장치 (Hardware)

### 1) 2차원 영상 획득 장치



2차원 영상 계측 장치 hardware

### 2) Camera

image sensor: Vidicon, CCD, CMOS

CCD(Charge Coupled Device)

$\gamma$  parameter;

$$\gamma = \log(I/I_w) / \log(E/E_w)$$

$I_w$ ; signal reference,  $E_w$ ; illumination reference

카메라 출력 신호: 아날로그 카메라: 흑백; RS-170, 컬러; RS-330

RS-170 Standard Specification

출력 신호 크기: 1 Vpp

수평동기신호

수직동기신호

영상신호

RS-170 Composite Video Signal

Frame

Field

2:1 Interlace

Non-Interlace

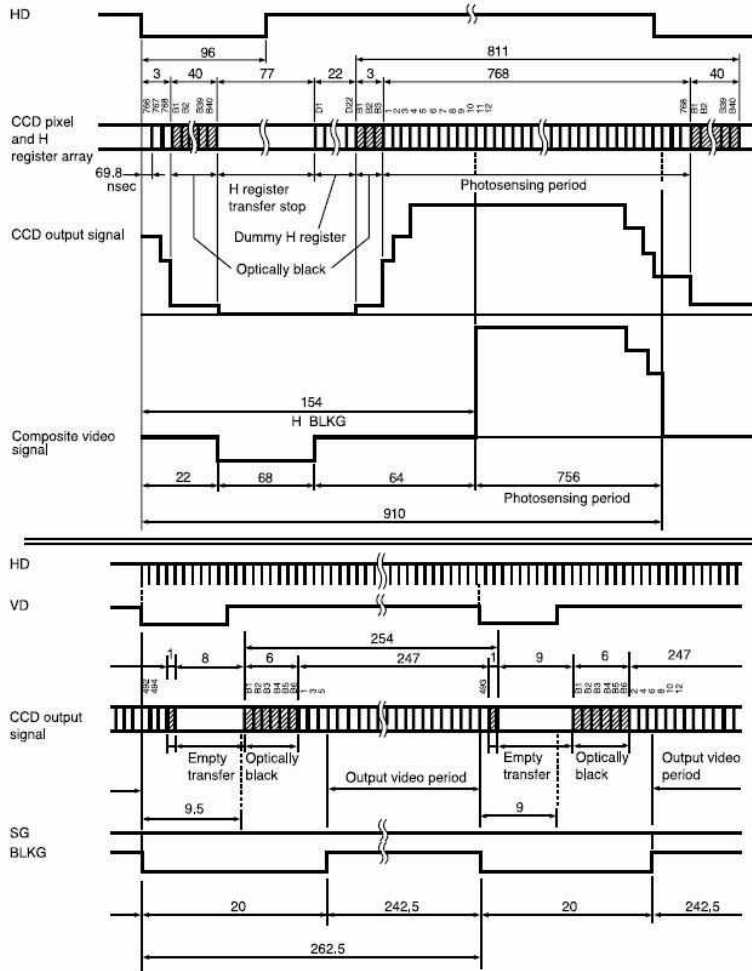


Sony XC-75

SONY CCD Camera XC-75

Item	Value
Optical size	1/2 inch format
Effective picture elements	768(H)x494(V)
Total No. of Pixel	811(H)x508(V)
Chip size	7.95 mm (H) x 6.45 mm (V)
Unit cell size	8.4 $\mu\text{m}$ (H) x 9.8 $\mu\text{m}$ (V)

EIA(XC-75/75L/73/73L)



Sony CCD camera timing diagram

### 3) Image Processing Board (Frame Grabber)

카메라에서 획득한 영상에 대한 신호를 컴퓨터가 처리 할 수 있도록, 영상 신호를 디지털로 변환하여 메모리에 저장한다.

Sampling; spatial digitization

Quantization ; gray level digitization -> gray level

pixel: one sample point

#### (1) Frame grabber의 구조

\* 구성품:

synchronization

A/D Converter

Look Up Table

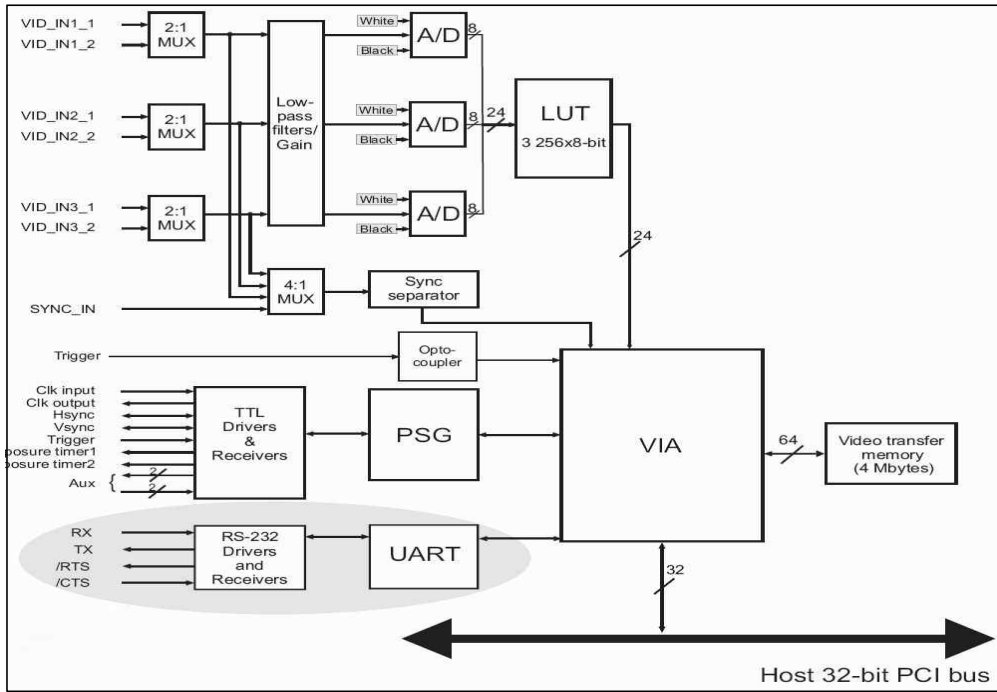
Memory

Processor; ALU, DSP

#### (2) Frame grabber의 예



Matrox meteor II frame grabber



Matrox meteor II frame grabber schematic diagram

### 12.3 Image Geometry

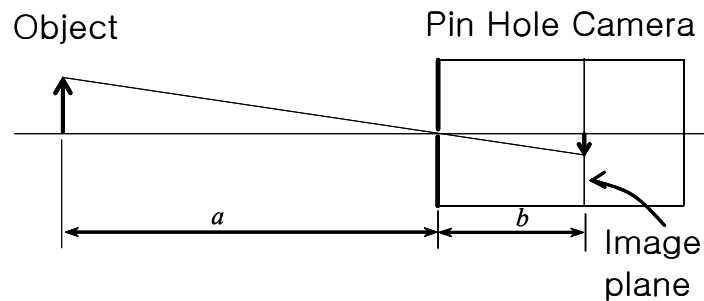
\* 물체 표면에서 빛의 반사 특성

- 난반사 (Lambertian reflection)  
모든 방향으로 uniform하게 반사
- 경면반사 (specular reflection)  
표면의 법선을 기준으로 같은 각도로 반사

물체상의 점의 좌표와 영상면상의 점의 좌표의 관계

#### 1) Pin hole camera

영상의 크기가 핀홀부터 물체까지 거리에 의하여 결정됨.



Pin hole camera

$$x' = -\frac{b}{a}x; \text{ 영상의 크기가 비례관계}$$

영상이 어둡다.

#### 2) Thin lens의 기하학

볼록렌즈 (convex lens)가 두께가 얇을 경우 (thin lens)에, 물체의 위치와 상의 위치가 핀홀 카메라와 같은 기하학적인 관계를 갖는 것으로 가정

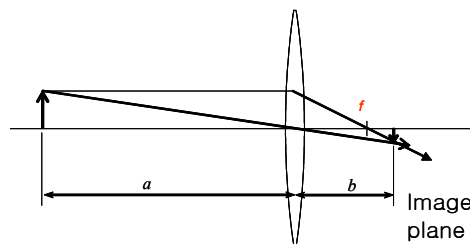


그림 13.8 볼록렌즈의 굴절

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \Rightarrow b = \frac{af}{a-f}$$

$$\frac{x}{a} = -\frac{x'}{b} \Rightarrow x' = -\frac{b}{a}x$$

$$x' = -\frac{f}{a-f}x$$

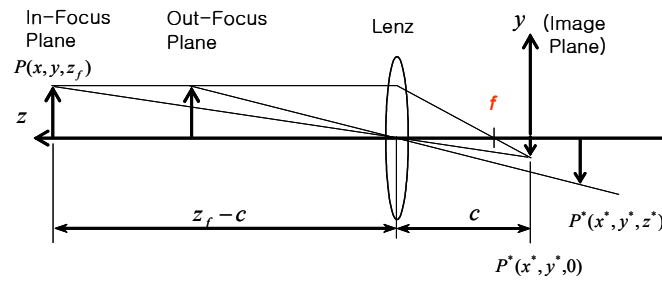
Image plane이 초점거리에 있을 경우

$$T_L = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 01 & 0 & 0 \\ 00 & 1 & 0 \\ 00 & \frac{-1}{f} & 1 \end{bmatrix} \quad p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad p' = T_L p \quad p' = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 01 & 0 & 0 \\ 00 & 1 & 0 \\ 00 & \frac{-1}{f} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 - \frac{z}{f} \end{bmatrix} \quad p' = \begin{bmatrix} \frac{f}{f-z}x \\ \frac{f}{f-z}y \\ \frac{f}{f-z}z \\ 1 \end{bmatrix}$$

\*무한대 거리에 있는 물체만 정확히 image가 형성된다.

### 3) CCTV 카메라 관계식

image plane  $z=0$  이고, lens가 이로부터  $z$  방향으로  $c$ 의 위치에 있고, 물체가 in-focus plane ( $x, y, z_f$ )에 있을 때, 상의 좌표 ( $x^*, y^*$ )는 다음과 같다.



렌즈 영상 관계로부터

$$\frac{1}{z_f - c} + \frac{1}{c} = \frac{1}{f}$$

위의 식으로부터  $c$  는 다음과 같다.

$$c = \frac{z_f \pm \sqrt{z_f^2 - 4fz_f}}{2} \quad c = \frac{z_f - \sqrt{z_f^2 - 4fz_f}}{2}$$

ex)  $f=25$  mm,  $z_f = 1000$ mm  $\Rightarrow c = 974.3416$ mm,  $25.65835$ mm

$$z_f - c : y = c : y^*$$

$$x^* = \frac{c}{z_f - c} x \quad y^* = \frac{c}{z_f - c} y$$

좌표계의 방향이 반대이므로

$$x^* = -\frac{1}{1 - \frac{z_f}{c}} x \quad y^* = -\frac{1}{1 - \frac{z_f}{c}} y$$

물체가 out-focus plane ( $x, y, z$ )에 있을 때, 상의 좌표 ( $x^*, y^*, z^*$ )는 다음과 같다.

$$x^* = -\frac{1}{1 - \frac{z_f}{c}} x \quad y^* = -\frac{1}{1 - \frac{z_f}{c}} y$$

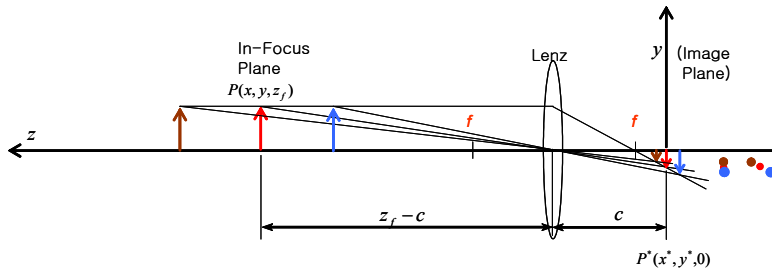
$$\frac{1}{z-c} + \frac{1}{z^*} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{z^*} = \frac{1}{f} - \frac{1}{z-c}$$

$$= \frac{\frac{z-c}{c} - 1 - \frac{f}{c}}{f(\frac{z-c}{c}-1)}$$

$$z^* = \frac{f}{1 - \frac{f}{z-c}}$$

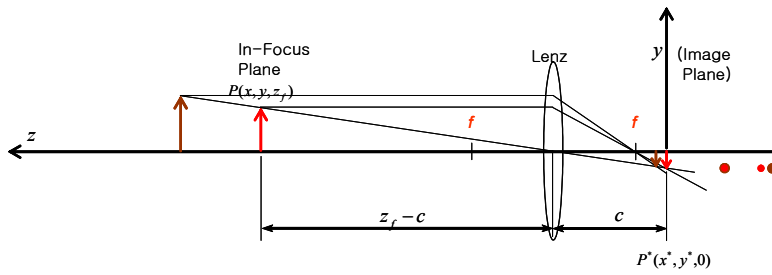
#### 4) 물체의 위치 변화 와 영상의 관계

(1)



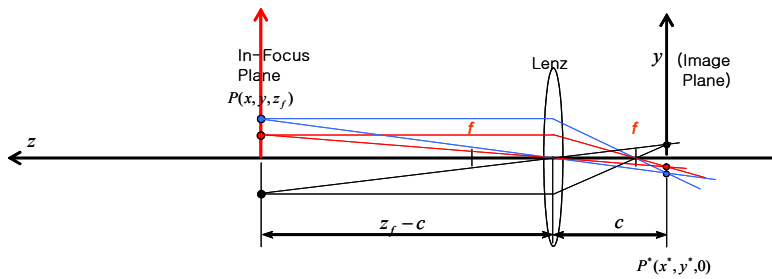
\* 물체가 렌즈에서 멀어질수록 영상은 광축을 기준으로 가까워진다.

(2)

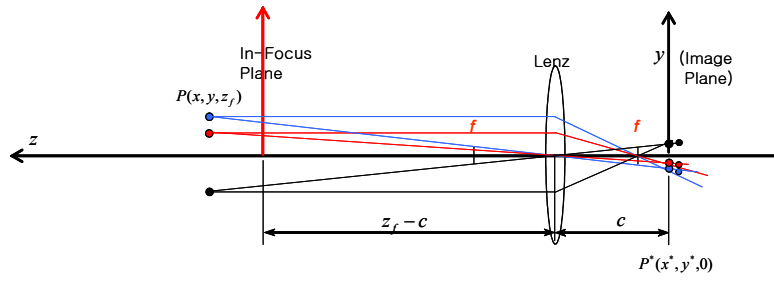


\* 영상 면에서 한 점은 그 점과 렌즈의 중심을 통과하는 직선 상의 모든 점과 대응된다. 따라서 한 점의 영상으로는 물체의 위치를 파악할 수 없다.

(3)







\* 3개의 점들을 관찰하면 in-focus plane에서 렌즈의 반대 방향으로 멀어질수록 광축으로 모이며 간격이 좁혀진다.

## 12.4 영상처리 (Image processing)

### 1) Coordinate System

World coordinate :  $(x, y, z)$

Camera coordinate:  $(x', y', z')$

Image coordinate:  $(i, j, 0)$

#### \* Image definitions

가정; origin of image plane coord. = center of array  
for  $m \times n$  image

$$x' = j - \frac{m-1}{2}$$

$$y' = -\left(i - \frac{n-1}{2}\right)$$

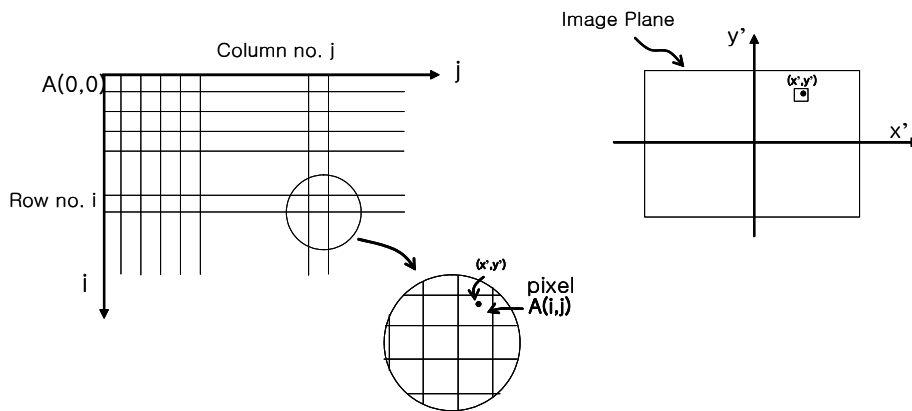


그림 13.14 영상 좌표

화소좌표  $(i, j)$ 는 방향과 중심화소좌표를 고려하면

$$i = d_{io} - \left(-\frac{y^*}{d_{cy}}\right) \quad j = -\frac{x^*}{d_{cx}} + d_{jo}$$

$$\begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{d_{cy}} \\ -\frac{1}{d_{cx}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^* \\ y^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{io} \\ d_{jo} \end{bmatrix}$$

## 2) Calibration

### (1) 캘리브레이션의 필요성

- 물체가 있는 좌표계와 카메라의 영상 좌표의 관계를 구함.
- calibration 의 필요성:
  - aspect ratio: x, y 방향에 따라 pixel간의 간격이 다름
  - lens distortion
  - camera mechanical error : CCD alignment error, lens alignment error, etc.

### (2) Calibration matrix

- Translation, Rotation, Perspective Projection

$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ k \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

- scale factor (aspect ratio)
- distortion factor

#### \* 캘리브레이션 지그를 사용

높은 정밀도를 갖도록 특징점들을 2차원 또는 3차원으로 배치한 지그.

\* 참고

광학식 측정방법에서 사용되는 렌즈가 갖는 오차(Seidel aberrations)

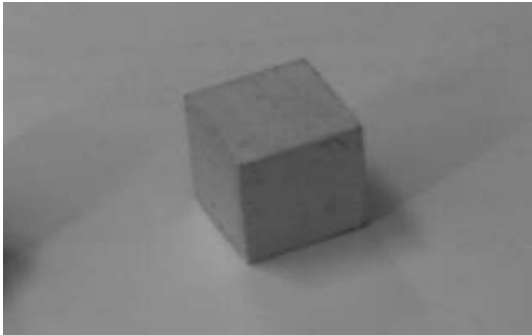
monochromatic aberrations: 구면수차, 코마(coma), 비점수차(非點收差), 상의 곡률, 일그러짐  
chromatic aberrations: 색수차

- spherical aberration (구면수차): 평행광선일 경우에도 근축광선은 굴절각이 적고, 광축에서 먼 광선의 굴절각이 크기 때문에 발생.
- coma (혜성형 수차): 빛이 렌즈 면에 수직이 아니고 비스듬히 입사될 때 (물체가 근축위에 있지 않을 경우) 상에 꼬리가 생김
- astigmatism (비점수차): 수평 평면과 수직평면상의 빛이 다르게 초점이 맺힘
- field curvature (상의 곡률): 근축상의 물체의 상과 광축에서 먼 물체의 상의 위치가 다름.
- distortion: pin cushion distortion (오목 일그러짐), barrel distortion (볼록 일그러짐)
- chromatic aberration: 색수차, 빛의 파장에 따라서 굴절율이 다르기 때문에 발생

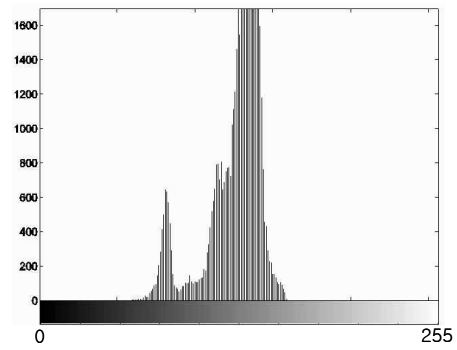
### 3) Image Data (Digital value)

- gray level image: image pixel (화소)의 값이 8bit gray level 0 ~ 255
- color image: R, G, B  
H, S, I  
기타  
하나의 화소는 3개의 성분으로 표시, 각 성분은 8bit gray level 0 ~ 255
- binary image: image pixel (화소)의 값이 0 또는 1

#### 4) 히스토그램(Histogram)



gray level image

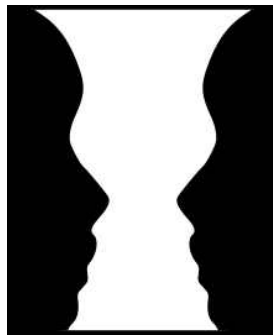


히스토그램

#### \* 영상 예



Color image: lenna



\* 인간은 판단하나, 컴퓨터는 판단력이 없다.

## 12.5 영상 계측 이용 예

### 1) 서론

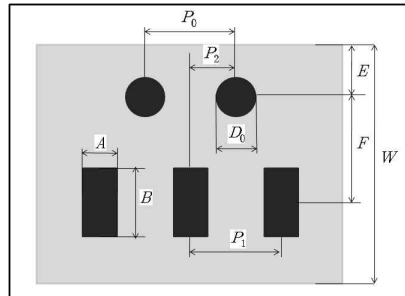
“영상처리를 이용한 캐리어 테이프 검사<sup>(1)</sup>”

반도체 부품을 포장하는 캐리어 테이프(Carrier tape)의 품질은 자동화 공정의 생산성과 밀접하게 관련되어 있다.

현재 캐리어 테이프는 롤 단위로 생산을 하며, 이때 처음 부분과 끝 부분을 작업자가 잘라서 품질 검사를 하고 있다. 이와 같은 이유로 중간 지점에서 발생하는 불량률 판별하는데 어려움이 있다. 이에 본 논문은 영상처리 기술을 이용한 품질 검사 방법을 개발하여 검사과정에서의 문제점을 해결하고 캐리어 테이프의 품질향상에 기여하고자 한다.

### 2) Carrier Tape 검사

생산된 캐리어 테이프의 검사는 Fig. 13-1에 표시된 부분의 치수를 측정하여 허용 치수와 비교하여 불량 여부를 판별하게 된다.

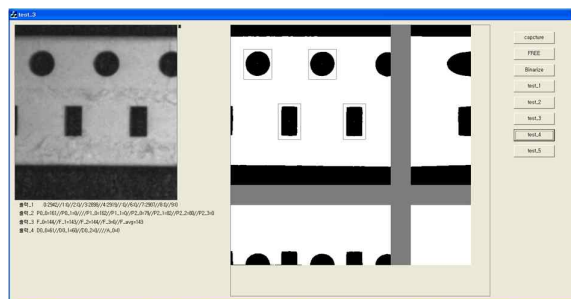


Carrier tape 검사 항목

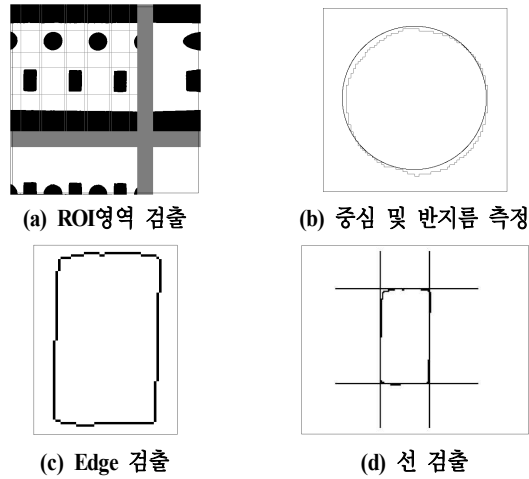
### 3) 프로그램 개발

본 논문에서는 Visual Studio 2006의 MFC와 Matrox 보드, SONY 사의 Camera를 이용하여 프로그램을 개발한다.

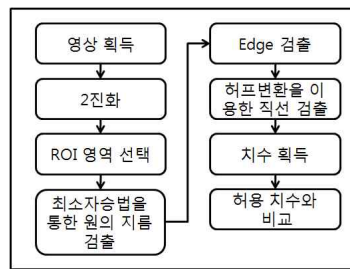
Fig. 13-2는 개발한 프로그램의 메인 창이며 ROI 영역을 선정하는 것을 보여주고 있다. 창의 좌측 영상은 입력 영상으로서 캐리어 테이프를 촬영한 영상이고, 이를 2진화 한 후 우측과 하단에 히스토그램을 작성하여 ROI 영역을 선정하게 된다.<sup>(2)</sup>



Main Window



주요 영상 처리 과정



프로그램 순서도

Fig. 13-3 (a)는 히스토그램 기법을 이용하여 ROI 영역을 선정하는 영상이고, (b)는 최소자승법을 이용하여 원의 중심과 반지름을 측정하는 영상이다.<sup>(3)</sup> (c)는 사각형의 폭과 높이를 구하기 위하여 Edge검출 영상이고, (d)는 허프 변환을 이용하여 Edge영상에서 선을 찾는 영상이다. Fig. 13-4는 전체 프로그램의 진행 순서도를 나타내고 있다. 이와 같은 방법을 통하여 원과 사각형의 중심을 찾고 지름 및 길이를 측정하여 캐리어 테이프의 검사 항목의 치수들을 모두 측정 할 수 있다.

#### 4) 결론

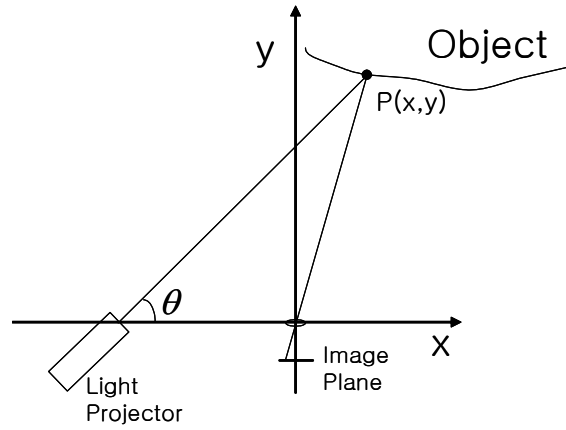
개발한 프로그램을 통해서 작업자가 진행하는 품질 검사를 대신하여 생산 속도를 높일 수 있으며, 생산 기기에 본 기술을 적용시키면 생산도중에도 품질 검사를 실시간으로 진행하여 높은 품질의 제품을 생산할 수 있다.

#### 참고 문헌

- (1) 정규원, 박석희, “영상처리를 이용한 캐리어테이프검사”, Proce. of 2013 KSMTE Fall conference, 2013, Oct. 17-18, p.302, 제주 KAL호텔,
- (2) 신종홍, 장선봉, 지인호, “디지털 영상처리 입문”, 한빛미디어, 2008
- (3) 박준호, “정밀측정시스템공학”, 야정문화사, 2001

1) 구조적 조명 이용 방법

물체에 구조화된 빛 (예: 일정한 각도를 갖는 평면 빔)을 조사하고 영상을 획득  
삼각법 (triangulation geometry)을 이용하여 물체 좌표와 영상좌표의 관계를 계산.

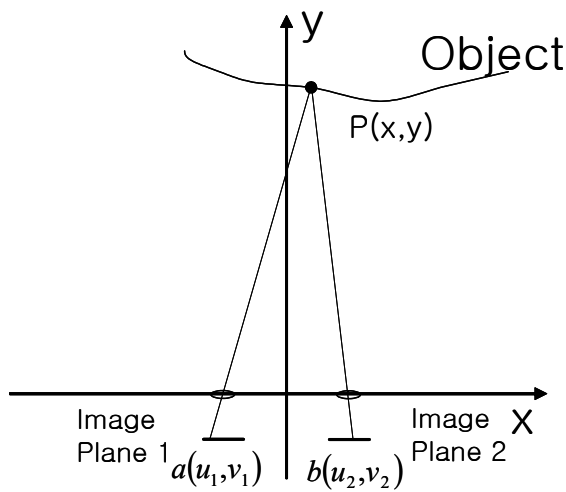


Structured light imaging system

2) 2대의 카메라를 이용한 방법

binocular (stereo) imaging system

2 대의 카메라를 이용하여 물체의 영상을 각각 획득하고, 물체상의 점  $P(x,y)$  에 대응하는 영상  
면상의 점  $a(u_1, v_1)$  과 점  $b(u_2, v_2)$  의 관계식을 이용하여 좌표  $(x,y)$  를 구함.



Stereo camera imaging system