

# 비전을 이용한 B/STUD 검사 시스템에 관한 연구

## A Study of the B/STUD Inspection System Using the Vision System

장 영훈(한양대 대학원), 한 창수(한양대 공대)

Younghun Jang(Graduate Hanyang Univ), Changsoo Han(Hanyang Univ)

### Abstract

In this paper, an automatic B/STUD inspection system has been developed using the computer aided vision system. Index Table has been used to get the rapid measurement and multi-camera has been used to get the high resolution in mechanical system. Camera calibration was suggested to perform the reliable Inspection. Image processing and data analysis algorithms for B/STUD inspection system has been investigated and were performed quickly with high accuracy. As a result, Inspection system of a B/STUD can be measured with a high resolution in real time.

**Key Words :** B/STUD(측정물체), Camera calibration(카메라 보정), Least Square Method(최소자승법), Polygonal Approximation(다각 근사법)

### 1.서론

현재 제조공장에서는 작업 능률을 높이기 위하여 많은 부분에서 공장 자동화에 관심을 보이고 있다. 특히 검사 조정 과정에서는 비접촉식 검사 조정 시스템의 자동화를 통하여 생산성 향상, 경비 절감, 생산라인의 무인화 및 모니터링을 실현함으로써 안전 사고 예방, 신뢰성 증가 및 측정 정밀도를 향상시키고 있다. 본 연구는 3차원 물체인 B/STUD를 실시간 및 허용 공차를 감안한 검사 시스템으로 측정하여 불량품 검사시 그 판정을 정확히 수행하고 불량품 발생시에 그에 관한 정보를 분석 감지하여 불량률을 최소화하기 위한 목적이다. 이를 위해서 물체 구동부로서 Index Table을 제안하였고 B/STUD의 검사 항목에 따른 허용 공차를 극복하기 위해 각 검사 부위에 CCD 카메라를 사용하고, 이미지 획득부인 비전보드는 640×480 resolution으로 8bit gray level의 처리가 되며, PCI 방식의 32bit 처리가 가능하다. 원과 직선 해석 알고리즘을 이용하여 B/STUD를 검사하였고, 측정시 신뢰성을 높이기 위하여 Camera Calibration을 고려하였다.

측정을 위해 각 검사 Part에는 CCD 카메라 2대씩을 사용하여 검사 항목의 허용공차를 만족시킨다. 삽입부 자체가 접촉식으로 Taper 각도를 검사하며, B/STUD의 자세가 Index Table과 직각을 이루도록 하기 위하여 Clamp을 사용한다.

이미지 획득부는 여러 B/STUD을 측정할 수 있도록 3 자유도 선형 변환이 가능하도록 시스템을 제안하였다. 난반사가 심한 금속성인 물체에 대해서 선명한 이미지를 얻기 위하여 Back lighting 기법을 이용하였다.

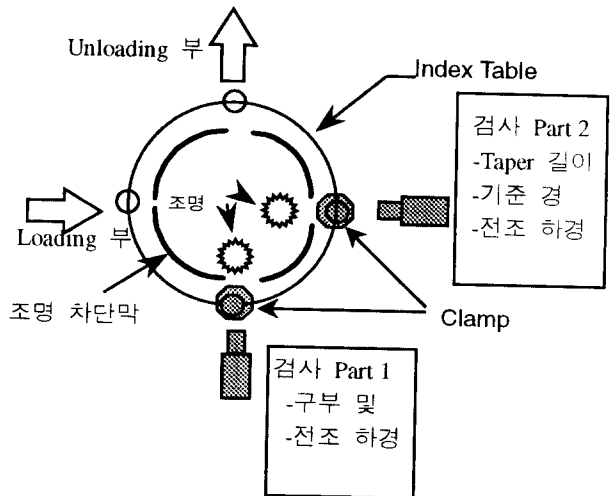


Fig. 1 시스템 개념도

### 2. 시스템 구성

본 연구를 위한 시스템 구성은 Fig.1에 나타나 있는 시스템 개념도에 있는 바와 같이 이미지 획득부, 조명부, B/STUD 구동부 등 크게 3가지로 나눌 수 있다. 기계적인 실시간 처리를 위하여 한 개의 Index Table 안에 검사 Part를 2곳으로 나누었고, 정밀한

### 3. 전처리 및 Calibration

#### 3.1 Otsu Threshold

입력된 이미지의 Histogram 을 살펴 보면 Bimodal 형태를 이룬다. 어두운 쪽의 mode 는 배경(background)이고, 밝은 쪽의 mode 는 물체(object)이다. 이 두 mode 를 가장 잘 분리할 수 있는 값, 즉 threshold 값을 구하는 것이다. 이 값을 구하기 위해 확률적인 계산이 필요하게 된다. 식(1)으로부터 Threshold 값을 구할 수 있다.

$$\sigma^2(T) = \sum_{i=0}^T [i - u_1(T)]^2 \cdot P(i) + \sum_{i=T+1}^{255} [i - u_2(T)]^2 \cdot P(i) \quad (1)$$

$u_{1,2}$ 는 각 modal 의 mean 값이고,  $P(i)$ 는 확률을 나타낸다.  $\sigma^2(T)$ 을 최소로 하는  $T$ 를 구한다.

#### 3.2 Camera calibration

CCD 카메라를 이용한 검사 장치에서는 고정밀도를 요구하기에 획득한 이미지와 실제 물체와의 크기 보정이 필요하다. 이 보정을 위한 알고리즘으로 T'sai 가 제안한 Geometry Calibration 을 사용한다.

다음과 같이 이미지 좌표를 정의한다.

$(x_a, y_a, z_a)$  : Absolute coordinate

$(x', y', z')$  : corrected camera coordinate

$(x_c, y_c, z_c)$  : uncorrected camera coordinate

$(i, j)$  : pixel coordinate

식(2)을 이용하여 획득한 pixel 값을 이미지 좌표로 전환한다.

$$x_c = \tau_x d_x (j - C_x) \quad y_c = -d_y (i - C_y) \quad (2)$$

$d_x, d_y$  는  $x, y$  pixel 사이의 거리이며,  $\tau_x$ 는 Scale factor 이며, H/W timing error 이며,  $C_x, C_y$  는 pixel 좌표에서의 중심의 위치이다. Fig. 2로부터 다음과 같은

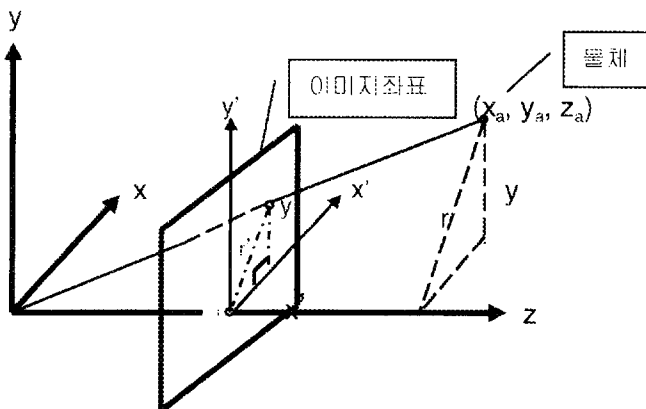


Fig. 2 Image Geometry

식들을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{xx} & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & r_{yy} & r_{yz} \\ r_{zx} & r_{zy} & r_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\frac{x'}{f} = \frac{x_c}{z_c} \quad \frac{y'}{f} = \frac{y_c}{z_c} \quad (4)$$

식(3)과 식(4)로부터 식 (5)를 구할 수 있고, distortion factor  $k_1$ 을 얻을 수 있다.

$$y_{cl}(1 + k_1 r^2) = f \frac{r_{yx} x_{a,i} + r_{yy} y_{a,i} + r_{yz} z_{a,i} + p_y}{r_{zx} x_{a,i} + r_{zy} y_{a,i} + r_{zz} z_{a,i} + p_z}$$

(5)

$i=1,2,3...$ 이다.

### 4. 알고리즘 및 검사 부위별 결과

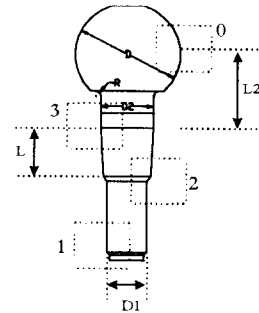


Fig. 3 검사 물체 및 검사 항목

#### 4.1 구부의 측정

##### 4.1.1 측정 알고리즘

원의 중심 및 반지름을 구하기 위하여 식(6)과 같은 원의 방정식과 Fig. 4와 같은 기하학적 모델을 이용한다.

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = r^2 \quad (6)$$

원의 중심을  $P_0(x_0, y_0)$ , 반경을  $r$ , 경계상의 측정 값을  $P_i(x_i, y_i)$ 이고,  $i$ 는 측정점의 개수를 나타낸다. 식(6)에서 실제 측정이 오차를 포함한다고 가정한다면 다음과 같은 error function 으로 정의 할 수 있다.

$$E = \sum_{i=1}^n [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 - r^2]^2 \quad (7)$$

$$z = x_0^2 + y_0^2 - r^2 \quad (8)$$

식(8)를 식(7)에 대입하면

$$E = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)^2 \quad (9)$$

으로 변환된다.

E는 오차를 나타내며,  $x_0, y_0, z$ 를 변수로 정의한다. 오차의 최소값을 구하기 위해서 식(9)를 3개의 변수로 편미분을 하면 식(10)과 같이 된다. 식(10)으로부터  $x_0, y_0$ 과  $z$  값 및  $r$ 을 구할 수 있다.

$$\frac{\partial E}{\partial x_0} = 2 \sum (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)(-2x_i) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial y_0} = 2 \sum (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)(-2y_i) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial z} = 2 \sum (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) = 0$$

$$r = (x_0^2 + y_0^2 - z)^{1/2} \quad (10)$$

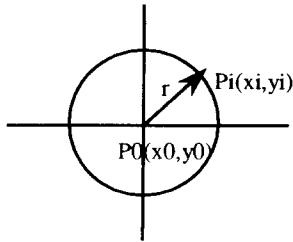


Fig. 4 The geometry of a circle

#### 4.1.2 검사 결과

구의 중심은 (-1474, 295) pixel, 반지름은 1687 pixel 이고, 검사 소요시간은 거의 0~30 ms 이다.

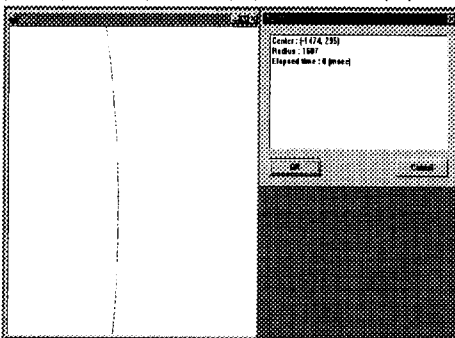


Fig. 5 구부의 측정 결과 이미지

## 4.2 직선 추출

### 4.2.1 알고리즘

Polygonal approximation 은 보통 Boundary approximation 을 수행하며, 곡선이나 선의 원형을 추출하거나 복원하는데 널리 쓰인다.

$$(x_i - d_i)^T (x_N - x_1) = 0 \quad (11)$$

$x_1, x_N$ 은 직선을 이루는 점이라 정의한다.

$x_i (i=2, \dots, N-1)$ 는 곡선 위의 점이고,  $d_i$ 는 직선 위의 점이다.

$$E_{\max} = \max_{2 \leq i \leq N-1} |x_i - d_i| \quad (12)$$

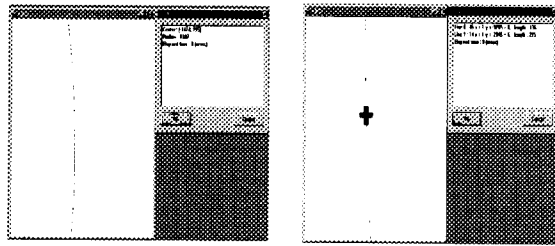
$E_{\max}$ 는 maximal error 라 정의한다.

$E_{\max}$ 가 가장 큰  $x_i$ 를 구하여 새로운 두 직선  $x_1 x_i$

과  $x_N x_i$ 으로 Line segments 를 수행한다. 임의의 임

계 값을 정하여  $E_{\max}$ 가 그 임계 값보다 클 때까지 반복 작업을 행한다.

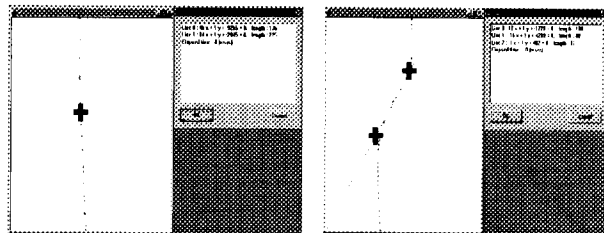
### 4.2.2 구 중심에서 기준경까지 길이 검사 결과



(a) 구의 중심 (b) Taper 기준경

Fig. 6 구 중심에서 기준경까지 결과 이미지

### 4.2.3 Taper 길이 검사 결과



(a) 기준경 (b) Taper 하단부

Fig. 7 Taper 부위에 대한 측정 결과 이미지

#### 4.2.4 전조하경 길이 검사 결과

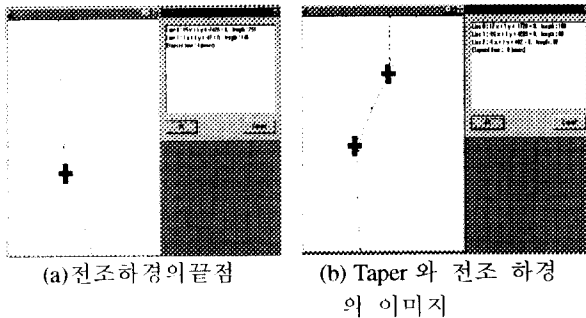


Fig. 8 전조 하경 부위의 측정 결과 이미지

#### 5. B/STUD 이미지 결과 분석

여러 측정 부위를 한 대의 검사 시스템으로 측정하여야 함으로써 통합적인 알고리즘 환경에서도 그 타당성 여부를 측정하여야 한다. 그러한 검사 결과가 Fig. 9에서 볼 수 있다. 각각에 대한 결과 값들은 pixel 값들로 표현한다. 4 개의 이미지의 특성들을 검사하는데 소요된 시간은 약 110ms 이다. Fig. 9에서 구한 각 이미지의 특징점들을 기준 Sample 데이터와 비교하여 허용 공차 범위에 만족하는가를 조사하여 물체의 양·불량을 판단할 수 있다.

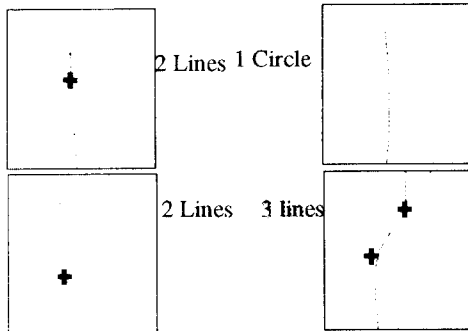


Fig. 9 전 검사 부위에 대한 이미지 처리 결과

이미지 획득시 소요되는 시간은 800ms 이며, 이미지 검사 및 Index Table 구동 시간은 700ms 으으로써 총 검사 시간은 1500ms 이 소요된다. 시험결과에 의하여 검사 시간을 만족할 수 있다.

#### 6. 결론

본 연구에서는 3 차원 물체인 B/STUD 에 대한 검사 시스템 설계를 제안 하였다. 측정 물체가 기계 부품인 점을 고려하여 고정밀도 즉, 검사 허용 공차가 0.05 mm ~ 0.2mm 을 측정 가능하게 하였고, 또한 고속 처리 즉, 처리 시간 1.5sec 이내에 검사를 가능하게 하였다. 또한 원 해석과 직선 추출 알고리즘을

구현하였고, 사용자가 이용하기 쉽도록 윈도우 환경에서 처리하도록 하였다. B/STUD 측정할 때 특징점을 이용하는 방법을 제안하여 길이 및 거리를 판정할 수 있도록 하였다.

#### 참고 문헌

- [1] A.D.Marshall and R.R.Martin, Computer vision ,models and inspection , World Scientific , pp18~25, pp32~36, pp350~355.
- [2] Ramesh Jain and Rangachar Kasturi and Brian G. Schunck, Machine Vision , McGraw Hill pp189~191, pp309~ 362, pp196 ~ 198.
- [3] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing , Addison Wesley,pp51~70. Pp484~ 486, pp486~ 488, pp443~457
- [4] N.Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms," IEEE Trans.SMC, vol. SMC-9, pp.62~66, 1979.
- [5] 이 상룡, 김 채상, 시각센서를 이용한 축대칭 물체 측정 시스템 개발, 한국정밀공학회지 제 14 권 제 5 호 pp34~41.
- [6] 이 일환, 박 회재, 비전을 이용한 기어 형상 측정 시스템 개발, 한국정밀공학회 96년도 추계학술대회 논문집 pp485~489.
- [7] 박 재성, 박 회재, 김 구영, 3 차원 측정기용 비전프로브 운용시스템 개발, 한국정밀공학회 추계 학술대회 논문집 pp501~505.