

영상 기반 머신툴 프리세터 개발[†]

(Development of a Vision Based Machine Tool Presetter)

정 하 형¹⁾, 김 태 연²⁾, 박 진 하³⁾, 유 준⁴⁾

(Ha-Hyoung Jung, Tae-Teon Kim, Jin-Ha Park, and Joon Lyou)

요 약 툴 프리세터는 수치제어 공작기계용 공구의 테이퍼부를 기준으로 하여 날끝 치수를 사전에 정렬하기 위한 장치로서 여기에는 접촉과 비접촉, 두 가지 방식이 있다. 광학센서 기반 비접촉 방식은 측정의 유연성과 편리함의 이점을 가지고 있다. 본 논문에서는 선형 스케일러와 머신 비전을 도입한 산업용 툴 프리세터 장비 개발을 다룬다. 측정 전에 대상 공구를 기구부에 고정시키고 광학부를 정렬한다. 공구 영상을 취득한 후 제시된 영상처리 알고리즘은 선형 스케일러로부터 광학부의 이동 거리를 조합하여 공구의 정밀한 치수를 계산해낸다. 실험 결과, 본 장비의 정밀도가 $\pm 20\mu m$ 범위내에 있음을 검증하였다.

핵심주제어 : 툴 프리세터, 머신 비전, 선형 스케일러

Abstract Generally, the tool presetter is utilized to align and measure some specific dimensions of a machine tool. It is classified into two types(contact and contactless) according to the measurement method, and the optical sensor based contactless scheme has the advantages of measurement flexibility and convenience. This paper describes the design and realization of an industrial tool presetter using machine vision and linear scaler. Before measurement, the objective tool is attached to the mechanical mount and is aligned with the optical apparatus. After capturing tool images, the suggested image processing algorithm calculates its dimensions accurately, combining the traversing distance from the linear scaler. Experimental results conforms that the present tool presetter system has the precision within $\pm 20\mu m$ error.

Key Words : Machine tool presetter, Machine vision, Linear scaler

1. 서 론

툴 프리세터(Tool presetter)는 주로 공작기계용 공구의 테이퍼 부를 기준으로 날끝 치수를 사전에 정렬하기 위한 측정 장치로써 대상의 정밀 가공에 앞서 반드시 필요한 장비이다. 이러한 툴 프리세터는 측정 방식에 따라 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있는데,

광학 기구와 영상처리 알고리즘으로 구성된 비접촉식 장치는 접촉식 장비에 비해 다양한 측정이 가능하고 편리한 운용 환경을 사용자에게 제공해주며 실제적 가공물의 확인 및 공구의 품질관리 측면에서 장점을 갖는다[1].

한편, 비접촉식 툴 프리세터는 언급한 필요성과 장점에도 불구하고 국내에서 아직까지 연구·개발된 사례가 없으며 산업 현장에서도 전량 수입에 의존하고 있고 레이저를 이용한 프리세터는 훨씬 정밀하지만 가격이 비싸기 때문에 사용이 용이치 못한 실정이다.

이에 본 논문에서는 비교적 저렴하게 현장에서 사용

1) 충남대학교 전자공학과, 제1저자

2) 충남대학교 전자공학과, 제2저자

3) 충남대학교 전자공학과, 제3저자

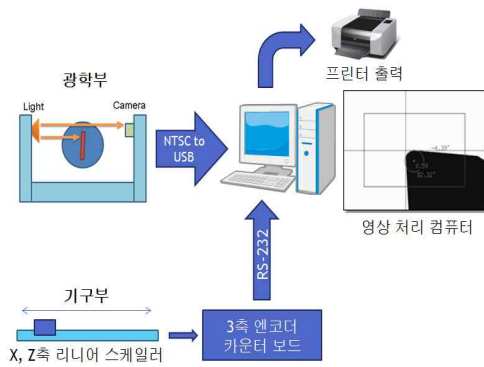
4) 충남대학교 전자공학과, 교신저자(kimhg@wsu.ac.kr)

할 수 있는 선형 스케일러(Linear scaler)와 머신 비전(Machine vision)을 이용한 산업용 툴 프리세터 개발에 관하여 기술한다. 측정에 앞서 대상을 기구부에 고정시키고 광학부를 정렬한다. 그리고 대상에 조명(평행)광을 조사하고 제안된 영상처리 기법에 의하여 대상의 다양한 치수를 측정한다. 결과적으로 개발된 툴 프리세터가 본 측정 장비를 사용하는 현장에서 요구한 $\pm 20\mu m$ 이내의 정밀도를 갖는다는 것을 실험을 통하여 입증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 툴 프리세터의 구성과 측정 방법에 대하여 언급하고, 3장에서 대상의 다양한 치수를 측정하기 위한 알고리즘을 설명한다. 그리고 4장에서 측정 실험 결과를 제시하며 5장에서 결론을 맺는다.

2. 툴 프리세터 시스템 구성

본 머신툴 프리세터 시스템은, 그림 1과 같이, 측정 대상을 고정시키고 광학부를 X, Z축으로 이동하여 대상에 사전 정렬하는 기구부, 조명 및 카메라가 부착되어 있는 광학부, 탑재된 영상처리 알고리즘에 의해 측정을 수행하는 컴퓨터 및 결과 출력 프린터로 구성된다.

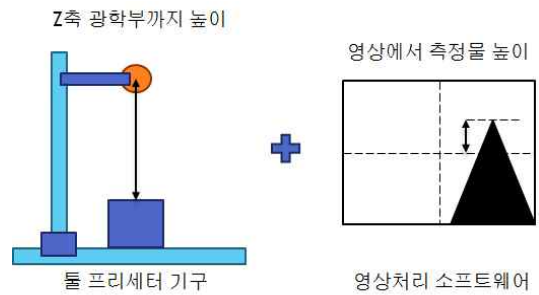


<Fig. 1> The tool presetter system

기구부의 각 축은 $2\mu m$ 정밀도를 갖는 선형 스케일러가 부착되어 대상 정렬시 이송 거리를 제공한다. 광학부는 U자 형태를 가지고 있으며 중앙에 측정 대상이 고정된다. 그리고 왼쪽 면은 빛을 조사하는 조명이

배치되고 오른쪽 면은 카메라가 배치됨으로써 조사된 빛에 의해 측정 대상의 음영 영상이 획득된다.

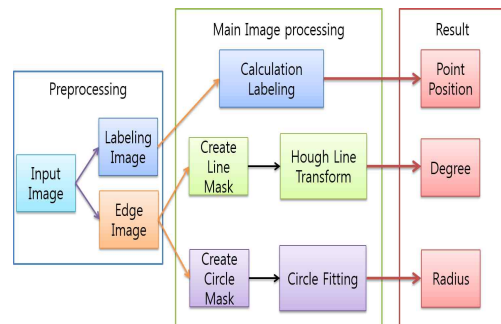
측정 대상을 촬영한 음영 영상은 확대된 영상으로 측정물의 일부 영역만을 표시한다. 따라서 전체 길이를 측정하기 위해서는 기구부의 X, Z축 스케일러를 기준으로 광학부의 이동거리를 구하고, 측정 영상의 화면상 중앙을 기준으로 측정물까지 거리와 기구부의 이동 거리를 더하여 측정물 전체 길이를 산출한다.



<Fig. 2> Measuring method of tool presetter

3. 정밀 치수 측정

측정 물체를 측정할 때 고려 사항은 3가지가 있다. 첫 번째로 영상에서 측정물의 X축과 Z축으로 최소 지점과 최대 지점을 구하고, 두 번째로 측정 물체의 기울기를 구하며, 마지막으로 측정 물체에서 동근 형태부분의 반지름과 중심점을 구한다. 그리고 위와 같은 조건을 만족하는 본 정밀 치수 측정 알고리즘의 구성도는 그림 3과 같다.



<Fig. 3> Configuration of the dimension measurement algorithm

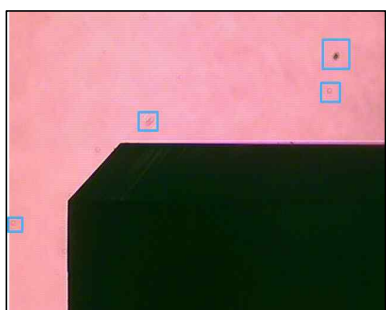
3.1 영상 잡음제거 전처리 과정

적외선 조명을 직접 카메라로 비추는 광학부의 특성상 그림 4와 같은 입력영상은 측정물외의 영역은 붉은빛의 컬러영상으로 먼지와 같은 이물질로 인한 잡음영역이 나타나므로 측정물체를 구분하기 위한 영상 전처리 과정을 필요로 한다.

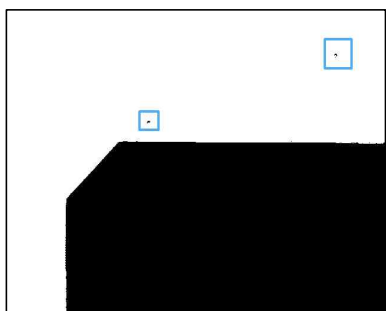
광학부의 카메라는 조명을 직접 바라보고 있지만 주변 환경의 변화에 따라서 영상의 질이 변하기 때문에 툴 프리세터가 설치된 환경에서 실험적으로 선정된 임계값을 기준으로 2진화 변환을 수행한다. 이렇게 변환된 2진화 영상에서도 입력영상의 잡음영역이 나타남을 그림 5에서 볼 수 있다.

다음으로 측정물 영상은 잡음영역을 제거하기 위해서 라벨링 알고리즘을 통하여 잡음 영역과 측정물체의 영역을 구분한다[2].

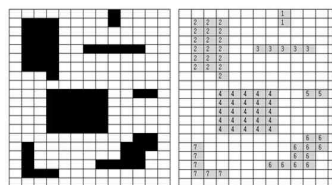
라벨링 알고리즘이란 영상에서 어떤 성분에서 인접한 화소에 모두 같은 번호를 붙이고 연결되지 않은 다른 성분은 다른 번호를 부여함으로써 영상속의 복수의 성분을 구분하는 과정으로 그림 6과 같다.



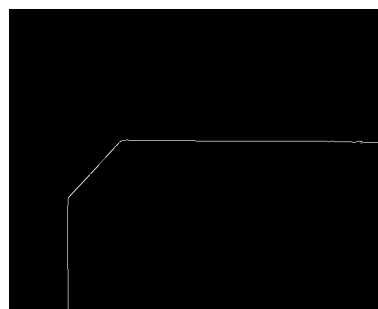
<Fig. 4> Input image and noise region



<Fig. 5> Converted binary image and noise region



<Fig. 6> Labeling of connected components

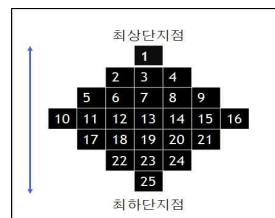


<Fig. 7> Canny edge image

라벨링 알고리즘을 수행한 이진화 영상은 일정 크기 이하의 성분은 제거하고 측정 물체만을 선별한다. 이후 잡음이 제거된 라벨링 영상에서 캐니 외곽선 검출기로 외곽선 영상을 추출함으로써 영상 잡음제거 전처리 과정을 마친다[4].

3.2 영상처리를 통한 치수측정

첫 번째로 영상에서 측정 물체의 최상단 지점과 최하단 지점을 찾기 위해서 측정 물체를 선별한 그림 8과 같은 라벨링 영상을 이용한다. 측정물의 라벨링 영상에서 X축과 Z축 방향의 최소 최대지점을 찾아내고 영상의 중앙부터 거리와 툴 프리세터 기구부의 이동 거리를 합하여 측정물의 길이를 구한다.



<Fig. 8> Top and bottom positions of object

두 번째로 측정 물체의 직선과 기울기를 구하기 위

해 외곽선을 영상을 사용한다. 외곽선 영상의 2차원 영상 좌표 (x, y) 에서 (r, θ) 매개변수 공간으로 사상시킨 후, 데이터를 누적하는 과정을 통해 교점을 찾아 직선 성분을 추출하는 방법인 허프 선 변환 알고리즘으로 직선을 구한다[3]. 직선의 방정식인 $y=ax+b$ 에서 기울기 a 가 영상의 y 축과 평행할 경우 무한대의 값을 가지기 때문에 직선을 표현하지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 허프 선 변환에서는 식 1과 같은 극좌표계 형태의 직선의 방정식을 사용한다.

$$x \sin \theta + y \cos \theta = \rho \quad (1)$$

ρ 는 원점에서 직선까지의 수직 거리이고, θ 는 원점에서 직선에 수직선을 그렸을 때 y 축과 이루는 각을 의미한다. 따라서 선별된 외곽선의 모든 점에 대하여 모든 직선을 구하고 이를 ρ 와 θ 평면의 그래프로 표시하며 이중 겹치는 지점은 외곽선 점집합에서 직선의 방정식 변수가 된다.

세 번째로 외곽선 영상에서 원의 반지름과 중심점인 변수를 구한다. 역시 외곽선 영상을 이용하고 외곽선으로부터 원 형상을 찾기 위해 최소자승법을 이용한 Circle fitting을 실시하여 가장 근접한 원을 찾아낸다[3,5]. 원을 찾는데 있어서 최소 3개의 계수를 가지고 원의 방정식을 추정한다. 최소 자승법을 위한 원 모델은 식 2와 같다.

$$Q = \sum (X_i^2 + Y_i^2 + 2AX_i + 2BY_i + C)^2 \quad (2)$$

X_i, Y_i 는 외곽선에서 원모양 점들의 집합이고 A, B, C 3개의 계수를 추정하기 위해서는 최소한 3개 이상의 점을 필요로 한다. 최소자승법을 위해서 식2을 A, B, C 각각의 계수로 미분하면 식 3과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial A} &= 2 \sum X_i (X_i^2 + Y_i^2 + 2AX_i + 2BY_i + C) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial B} &= 2 \sum Y_i (X_i^2 + Y_i^2 + 2AX_i + 2BY_i + C) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial C} &= 2 \sum (X_i^2 + Y_i^2 + 2AX_i + 2BY_i + C) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

식 3은 계수를 추정하기 위해 식4와 같은 행렬 형태로 변환한다.

$$\begin{bmatrix} \sum 2X_i & \sum 2Y_i & N \\ \sum 4X_i^2 & \sum 4X_i Y_i & \sum 2X_i \\ \sum 4X_i Y_i & \sum 4Y_i^2 & \sum 2X_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sum (X_i^2 + Y_i^2) \\ -\sum 2X_i (X_i^2 + Y_i^2) \\ -\sum 2Y_i (X_i^2 + Y_i^2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 N 은 원형상의 점집합 개수이다. 위 식으로부터 계수 A, B, C 를 추정하면 식 5와 같은 원의 중심과 반지름 변수를 추정한다.

$$X_0 = -A, \quad Y_0 = -B, \quad R = \sqrt{A^2 + B^2 - C} \quad (5)$$

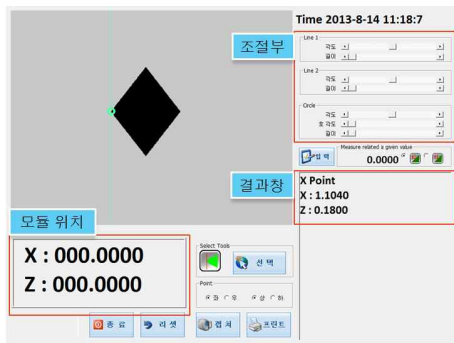
4. 구현 및 결과



<Fig. 9> Installed tool presetter and vision module

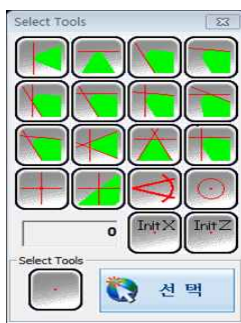
본 논문에서 툴 프리세터는 크게 $2\mu m$ 정밀도를 가지고 있는 2축 리니어 스케일러와 NTSC방식의 카메라를 가진 광학부, 그리고 3축 엔코더 카운터 보드와 카메라 영상을 실시간으로 PC로 전송하는 myVisionUSB 이미지 그래버 장비, 마지막으로 WindowsXP 운영체제의 Intel core i3-3220 CPU, 4GB ram의 소형 베어본PC로 그림 9로 구성되어 있다.

정밀 치수측정 알고리즘을 수행할 툴 프리세터의 소프트웨어는 MS사의 비주얼스튜디오2010의 MFC 기반으로 개발했고, 다양한 측정 방법을 선택하는 선택 창과 직선과 원 형상에서 사용자가 측정하고자 하는 위치와 크기를 조절하는 조절부, 광학부의 X축과 Z축의 물리적인 위치를 표시하는 모듈 위치부, 마지막으로 실측 결과를 보여주는 결과창과 프린트로 구성되어 있으며 그림10과 같다.



<Fig. 10> Dimension measurement software

그림 11은 치수측정방법 선택창이다. 기본적으로 측정물의 최상단 지점의 측정과 직선의 기울기 그리고 원형상의 원점과 반지름을 구할 수 있다. 그리고 위 세 가지 측정을 조합하여 직선과 직선사이의 끼임각과 교점 그리고 각축의 초기화 등 다양한 방법을 선택할 수 있다.



<Fig. 11> Selection window for dimension measurement mode

다음으로 선 성분과 원 형상을 측정하기 위해 실제 측정물의 영상에서 타원과 부채꼴 형상의 필터 영상을 생성 하였고, 이는 측정물의 외곽선 영상과 합 영

<Table 1> Fuction of circle parameter estimation.

```

FindCircleCenter(vector <sPointDataSet> vPData)
{
vector <sPointDataSet> vPData

double X1,Y1=0,X2=0,Y2=0,X3=0,Y3=0,
X1Y1=0,X1Y2=0,X2Y1=0;

vector<double> m_pointsX;
vector<double> m_pointsY;

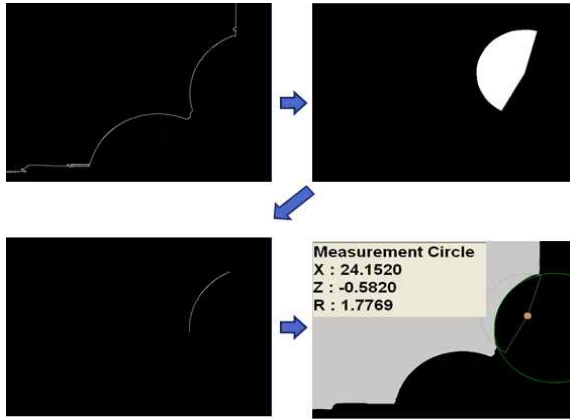
for (int j=0;j<vPData.size();j++){
double cx = vPData[j].width;
double cy = vPData[j].height;

m_pointsX.push_back(cx);
m_pointsY.push_back(cy);
}

for (int i=0;i<m_pointsX.size();i++){
X1 = X1 + m_pointsX[i];
Y1 = Y1 + m_pointsY[i];
X2 = X2 + m_pointsX[i]*m_pointsX[i];
Y2 = Y2 + m_pointsY[i]*m_pointsY[i];
X3 = X3 + m_pointsX[i]*m_pointsX[i]*m_pointsX[i];
Y3 = Y3 + m_pointsY[i]*m_pointsY[i]*m_pointsY[i];
X1Y1 = X1Y1 + m_pointsX[i]*m_pointsY[i];
X1Y2 = X1Y2 + m_pointsX[i]*m_pointsY[i]*m_pointsY[i];
X2Y1 = X2Y1 + m_pointsX[i]*m_pointsX[i]*m_pointsY[i];
}

double C,D,E,G,H,N;
double a,b,c;
N = m_pointsX.size();
C = N*X2 - X1*X1;
D = N*X1Y1 - X1*Y1;
E = N*X3 + N*X1Y2 - (X2+Y2)*X1;
G = N*Y2 - Y1*Y1;
H = N*X2Y1 + N*Y3 - (X2+Y2)*Y1;
a = (H*D-E*G)/(C*G-D*D);
b = (H*C-E*D)/(D*D-G*C);
c = -(a*X1 + b*Y1 + X2 + Y2)/N;
double A,B,R;
A = a/(double)(-2);
B = b/(double)(-2);
R = sqrt(a*a+b*b-4*c)/(double)2;
}
    
```

상을 수행하여 사용자가 원하는 부분만을 잘라낸 외곽선 영상은 정밀 치수측정 알고리즘에 사용된다. 원형상의 변수 추정 함수는 표 1과 같고, 외곽선 영상에서 직선 과 원 형상의 구분 과정과 결과는 그림 12와 같다.



<Fig. 12> Image processing steps of circle components

표 2는 두 직선의 교점을 찾는 함수이며, 그림 13은 영상에서 측정물의 직선부분의 각도와 두 직선의 끼인각과 교점을 계산한 결과를 보여준다.

<Table 2> Fuction of intersection calculation

```

GetIntersectPoint(Point AP1, Point AP2, Point BP1,
CvPoint BP2, Point IP)
{
double t;
double s;
double under = (BP2.y-BP1.y)*(AP2.x-AP1.x)-
(BP2.x-BP1.x)*(AP2.y-AP1.y);
if(under==0) return false;

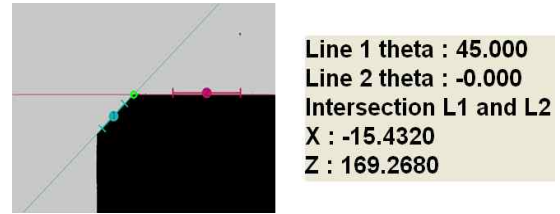
double _t = (BP2.x-BP1.x)*(AP1.y-BP1.y) -
(BP2.y-BP1.y)*(AP1.x-BP1.x);
double _s = (AP2.x-AP1.x)*(AP1.y-BP1.y) -
(AP2.y-AP1.y)*(AP1.x-BP1.x);

t = _t/under;
s = _s/under;

if(t<0.0 || t>1.0 || s<0.0 || s>1.0) return false;
if(_t==0 && _s==0) return false;

IP->x = AP1.x + t * (double)(AP2.x-AP1.x);
IP->y = AP1.y + t * (double)(AP2.y-AP1.y);
}
    
```

측정 영상은 640x480의 VGA급 해상도로 1픽셀당 정밀도는 약 12um를 가지고 있고 본 측정 장비를 사



<Fig. 13> Included angle and intersection point of object

용하는 현장에서 요구한 ±20um의 측정 허용오차 범위 내에 있음을 확인하였다. 광학부에서 더 높은 렌즈 배율과 HD급 이상의 해상도를 가진 CCD센서를 사용할 경우 측정 오차를 더욱 줄일 수 있을 것이다.

실제 툴 프리세터의 측정오차를 도출하기 위해 정밀하게 가공된 그림 14와 같은 초기정렬장치를 기준으로 삼아 측정을 시도하였다. 170mm, 200mm급 2가지 기구의 취득 영상으로부터 화면상 다양한 위치에서 측정치를 구하였다.



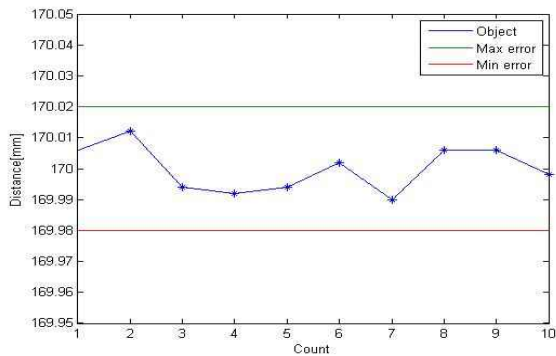
<Fig. 14> Standard initial alignment device

그림 15와 16은 개발한 툴 프리세터로 초기정렬 장치의 치수를 측정된 결과다. 각 장치에 대해 10회의 측정을 수행했고 약 ±20um 내외의 허용오차범위 내에서 측정이 이뤄지고 있음을 알 수 있다.

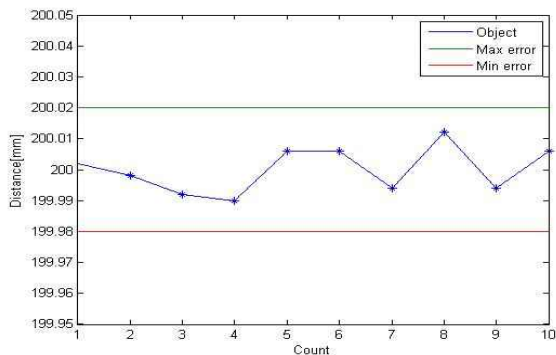
5. 결론

본 논문에서는 툴 프리세터의 기구부, 광학처리 H/W, 영상처리 S/W 및 사용자 운용 PC 프로그램을 개발하였으며, 정밀한 초기정렬 기구를 측정함으로써 본 측정 장비를 사용하는 현장에서 요구한 툴 프리세터의 정밀도가 ±20um 이내의 오차 범위 내에 있음을 검증하였다. 추후 본 논문의 측정기보다 정밀한 측정을 위해 현재보다 높은 배율의 카메라 렌즈와 고해상도 CCD로 교체하고, 사용자가 직접 기구부의 X, Z축

을 이동하며 직접 운용하는 방식에서 모터 제어와 자동측정 알고리즘을 구현하여 더욱 정밀한 측정 기술 개발을 진행할 예정이다.



<Fig. 15> Measurement results for 170 mm initial alignment device



<Fig. 16> Measurement results for 200 mm initial alignment device

References

[1] H. J. Pahk, Y. M. Hwang, "Dimensional Measurement Using the Machin Vision," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.18, No.3, pp. 10-17, 2001.

[2] D. Stefano, A. Bulgarlli, "A Simple and Efficient Connected Components Labeling Algorithm," Proc. of Image Analysis and Processing, pp.322-327, 1999.

[3] W. Gander, G. Golub, R. Strelbel, "Least-

Squares Fitting of Circles and Ellipses," Journal of BIT Numerical Mathematics, vol. 34, issue 4, pp.558-578, 1994.

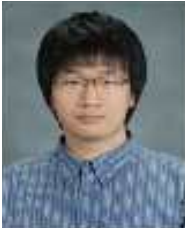
[4] S. J. Kim, S. C. Lee, G. E. Yang, S. J. Yang, M. W. Yoon, "Development of Auto Assembly and Inspection Machine for Automobile Wheel-cap," Proc. of KACC, pp.577-581, 2009.

[5] J. Y. Kim, H. S. Cho, "Vision-Based Part Shape and Misalignment Measurement in Cylindrical Peg-in-Hole Tasks," Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, vol. 11, no 7, pp. 615-620, 2005.

[6] Y. C Cho, B. J Choi, J, O Yoon, "A Study on the Development of Backlight Surface Defect Inspection System using Computer Vision" Journal of the Korea Industrial Information System Society, vol .12, no. 3, pp. 116-123, 2007.

[7] I. T Jang, D. W Kim, H. B Kwon, J. H Ahn, "Real time Object Tracking Method Using Multiple Cameras," Journal of the Korea Industrial Information System Society, vol. 17, no. 4, pp. 51-59, 2012.

[8] Y. H Choi, K. D Bu, B. H Koo, "Classification system of fruits by color image processing," Journal of the Korea Industrial Information System Society, vol. 5, no. 3, pp. 65-70, 2000.



정 하 형 (Ha-Hyoung Jung)

- 학생회원
- 충남대학교 전자공학과 학사
- 충남대학교 전자공학과 석박사 과정

• 관심분야 : 영상처리, 제어시스템, 자율이동로봇



김 태 연 (Tae-Yean Kim)

- 학생회원
- 충남대학교 전자공학과 학사
- 충남대학교 전자공학과 석박사 과정

• 관심분야 : 센서신호처리, 이동로봇, 무인헬리콥터, 실내항법



박 진 하 (Jin-Ha Park)

- 학생회원
- 충남대학교 전자공학과 학사
- 충남대학교 전자공학과 석사 과정

• 관심분야 : 센서신호처리, 이동로봇, 영상처리



유 준 (Joon Lyou)

- 정회원
- 서울대학교 전자공학과 학사
- 한국과학기술원 전기전자공학과 박사

• 충남대학교 전자공학과 교수

• 관심분야 : 산업공정제어, 센서신호처리, IT기반 로봇, 항법시스템

논문접수일 : 2014년 03월 25일
1차수정완료일 : 2014년 05월 07일
2차수정완료일 : 2014년 05월 16일
게재확정일 : 2014년 05월 30일