

## 원형구멍 정밀 내경측정을 위한 영상처리 개선에 관한 연구

박창용\* · 권현규\*\*† · 이정화\* · 장화신\*

\*\*국립금오공과대학교 기계시스템공학과

### A Study on Improvement of Image Processing for Precision Inner Diameter Measurement of Circular Hole

ChangYong Park\*, HyunKyu Kweon\*\*†, JingHua Li\* and Hua Xin Zhang\*

\*\*†Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

#### ABSTRACT

In this paper, the measurement of the inner diameter dimension of the circular hole by using a machine vision system was studied. This paper was focused on the theory and key technologies of machine vision inspection technology for the improvement of measurement accuracy and speed of the micro circular holes. A new method was proposed and was verified through the experiments on Gray conversion, binarization, edge extraction and Hough transform in machine vision system processes. Firstly, the Hough transform was proposed in order to improve the speed increase and implementation ease, it demonstrated the superiority of Hough transform and improvement through a comparative experiment. Secondly, we propose a calibration method of the system in order to obtain exactly the inner diameter of the circular hole. Finally, we demonstrate the reliability of the entire system as a MATLAB-based implementation of the GUI program, measuring the inner diameter of the circular hole through the circular holes of different dimensions measuring experiment.

**Key Words** : Machine vision, Gray image conversion, Edge detection, Circular holes measurement

#### 1. 서 론

기계 설계 과정에서 여러 가지 종류의 기계부품을 사용하게 된다. 이런 기계부품의 정확한 치수를 측정하는 것은 아주 기본적인면서 중요한 작업이다. 그 중의 원형 부품은 기계 부품의 가장 기본적인 요소이며, 원주모양, 구, 원형구멍 등이 있다.

부품의 치수를 측정하는 방식에 따라 접촉방식과 비접촉방식으로 분류할 수 있다. 접촉방식은 일반적으로 사용되는 측정 방식이며, 직선자, 버니어 캘리퍼스, 마이크로미터 등의 공구를 이용하는 방식이 있다[1]. 이런 공구는 직접 측정대상과 접촉을 하면서 치수를 측정하는 방법이

므로 측정대상에 손상을 줄 수도 있다. 또한, 측정하는 사람의 숙련 정도에 따라 정밀도에 영향을 줄 수 있다. 그러므로 이런 측정방법은 기계부품의 정밀가공 중에 있어서 정밀측정에 어려움이 있으므로 정밀가공도 역시 실현하기 어렵게 된다.

산업 자동화에 따라서 기업체에서 생산되는 제품의 품질은 더욱더 높은 수준의 정밀도가 필요하게 되었다. 접촉식방법으로는 생산에 있어 필요한 정밀도를 달성하기에는 어렵다[2]. 따라서 비접촉식 측정방법이 점점 더 많이 사용되고 있다. 비접촉식 측정방법은 주로 적외선측정법, 레이저측정법, 초음파측정법 등이 있으며, 적외선 측정법은 가격이 싸고 조작방식도 간단하지만 가공할 작업 환경 및 온도의 영향을 많이 받아 오차가 크다. 레이저 측정법은 정밀도는 높지만, 안전성이 낮고, 조작방법이 불편하고 가격도 높다. 그리고 측정장비의 광학시스템은

†E-mail: bhkkweon@kumoh.ac.kr

높은 청결도를 유지하여야 한다. 초음파 측정법은 안정성이 높지만 가격이 높은 편이며, 초음파 매개 공기를 사용하기에 일정 이상의 작업 공간이 필요하다. 또한 공간 밀폐성이 낮으면 측정 결과에 영향을 준다. 이외에도 공구 현미경, 투영 측정기로 측정하는 방법은 정밀도가 높은 장점이 있지만 측정 환경과 장비를 필요하여 생산 자동화에 적합하지 않다.

본 논문은 머신비전 시스템을 이용하여 원형 구멍의 내경치수 측정에 관한 연구를 수행하였다. 미세 원형 구멍측정의 측정 정밀도와 측정 속도를 향상시키기 위해서 머신비전 검사 기술의 이론 및 핵심 기술에 대해 연구를 수행하였다. 머신비전 시스템 영상처리 과정의 그레이 변환, 이치화, 엣지 추출의 연산자, 허프 변환에 대한 새로운 적용방법을 제안하였고 이를 실험을 통해 검증하였다. 즉, 측정속도의 증가를 구현하기 위하여 개선된 허프 변환을 제안하여 기존 허프 변환의 결과와 비교 실험을 통하여 개선된 허프 변환의 우수함을 입증하였다.

## 2. 원형구멍 내경 측정시스템

### 2.1 머신비전 시스템의 구성

원형구멍의 내경측정시스템은 하드웨어와 소프트웨어 2가지 파트로 나뉜다. 하드웨어는 Fig. 1과 같이 카메라(CCD, CMOS), 렌즈, 조명계, 스테이지, 프레임 그래버(Frame Grabber)로 구성된다.

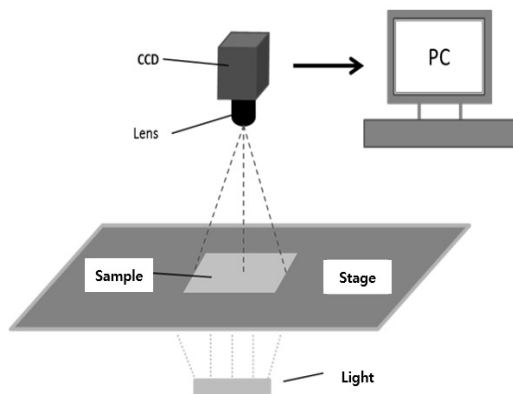


Fig. 1. Machine vision system.

카메라는 인간의 눈에 해당하는 가장 핵심적인 구성요소이다. 입력된 빛의 밝기를 전기적인 신호로 변환하여 프로세서에 전송해 주는 역할을 한다. 보통 CCD(Charge coupled device) 센서가 사용되며 센서의 배열 상태에 따라 Area Scan과 Line Scan 방식이 있다.

렌즈는 카메라의 센서에 빛을 모아 상이 형성되도록 하는 역할을 한다. CCD 카메라와 렌즈는 대상물체의 영상을 광학적으로 변환하여 카메라의 CCD에 전달하는 기능을 가지고 있으며 렌즈의 WD(Working Distance)와 FOV(Field Of View)를 결정짓는 역할을 하며 카메라의 CCD 셀의 크기를 고려하여 선택한다.

프레임 그래버(Frame Grabber)는 CCD로부터 얻은 아날로그 영상 데이터를 디지털 영상으로 변환하여 저장하는 역할을 한다.

머신비전 시스템을 구현하는 소프트웨어는 MATLAB을 사용하였다. MATLAB은 행렬을 기초로 하여 수학과 공학 계산을 수행하는 언어이다. 실험에서 MATLAB 기반으로 영상처리와 개선된 알고리즘을 구현하여 원형 구멍의 치수를 측정하였다.

### 2.2 머신비전 시스템의 측정과정

머신비전 시스템의 작업과정은 Fig.2와 같이 일정 조명 조건 하에서 렌즈와 CCD계를 통해 스테이지에 있는 측정할 물체의 영상 데이터를 획득한 후 컴퓨터로 전송하여 연속적인 아날로그 영상을 디지털 영상으로 변환한다. 다음 단계로 영상처리 소프트웨어를 이용하여 디지털 영상처리를 하고 검사나 치수 측정 등의 결과를 도출해 낸다. 도출해 낸 결과를 분석하고 이용하여 구체적으로 판단하여 필요한 정보를 취득하고 결과를 출력한다.

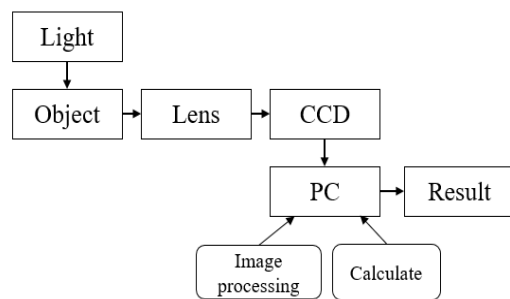


Fig. 2. Block diagram of Machine vision system.

## 3. 시스템의 영상처리

영상을 획득하는 과정에서 영상 검출 시스템과 전송과정에 노이즈가 발생하여 이미지 파일의 정확도를 낮추게 된다. 이러한 노이즈를 제거하고 획득한 영상을 머신비전 소프트웨어에 입력할 수 있게 바꾸어 주는 과정은 매우 중요하다.

### 3.1 그레이 이미지 변환

측정 시스템을 얻을 수 있는 측정물의 영상 파일은 컬러, RGB 영상파일이다. 그레이 이미지는 컬러가 없는 순수 이미지 파일로 아무런 컬러 데이터가 없으며 그레이 데이터만 갖고 있다. 이런 그레이 데이터는 256개의 명암도로 표현된다.

측정대상의 치수를 측정하기 위하여 컬러 이미지보다는 용량이 적은 그레이 이미지를 사용하여 계산시간을 단축하여 전체 시스템의 효율을 증가시킬 수 있다. 그러므로 Fig 3과 같이 일차적으로 얻은 RGB 이미지를 일정한 투영법을 통하여 그레이 이미지로 전환하여 측정하는 경우가 대부분이며, MATLAB 프로그램을 사용하여 이런 작업을 완성한다.

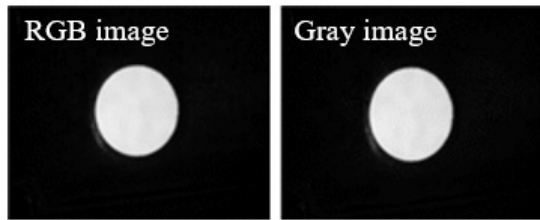


Fig. 3. RGB and gray image conversion.

### 3.2 엣지 추출(Edge detection)

디지털 영상의 기본적인 특징은 측정대상의 영상 엣지 부분이다. 한 개의 디지털 영상에서 항상 밝기변화가 뚜렷하게 나타내는 포인트들이 존재한다. 엣지 추출은 바로 이런 포인트들을 검출하여 엣지를 측정하고 그 데이터를 추출한다. 엣지 추출은 프로그램의 계산 양을 최소화 하는 것이 매우 중요한 부분이다. 또한, 영상의 중요한 데이터의 구성을 보류하고 필요 없는 데이터들을 제거할 수 있다.

### 3.3 개선된 허프 변환

윤곽데이터를 검출한 후 원형 구멍의 중심과 반경  $(x_0, y_0, r)$ 은 윤곽데이터를 이용하여 산출하여야 한다. 허프 변환(Hough Transform)은 디지털 이미지에서 직선, 원, 타원 등의 매개변수로 표현된 도형 형태의 특징을 추출하는 뛰어난 방법이다[3-5]. 기존의 허프 변환을 이용하여 직선, 원, 타원 등의 형태를 검출할 수 있지만 적은 수의 파라미터를 가진 곡선에만 실용적이다. 이미지에서 이미지의 크기 때문에 계산에 필요한 누적 배열이 기하급수적으로 증가하기 때문에 많은 계산 시간과 메모리를 필요로 하는 단점이 있고 구현하기가 힘들다. 이에 따라서 개선된 허프 변환이 많이 연구 되었으며, GIH (generalized

HT), RHT (randomized HT), ERHT (efficient HT) 등이 있다[6-9].

본 논문에서는 속도 증가와 구현을 쉽게 하기 위하여 개선된 허프 변환을 제시하였다. 원형의 기하학적 특징에 의하여 정확하게 원심 좌표와 반경을 산출하면서 계산의 복잡성을 줄였다.

원의 엣지들의 좌표를 정렬하고 첫 포인트부터 순차적 연속적인 엣지를 찾는다. 이러한 완전한 원형의 윤곽이면 Fig 4와 같이 랜덤 포인트부터 기점으로 균등하게 3 부분을 나누고 각각의 첫 번째 점을 선택하여  $A(x_a, y_a)$ ,  $B(x_b, y_b)$ ,  $C(x_c, y_c)$  이 세 점을 이용하여 중심 좌표와 반경을 계산한다.

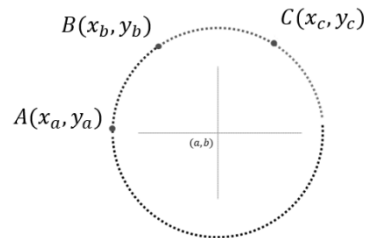


Fig. 4. Choose the 3 point for Improved Hough transform.

원의 방정식은

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

이며, 위의 3점의 좌표를 방정식에 대입하면 원의 원심 좌표와 픽셀 반경을 계산한다.

$$a = \frac{(y_c - y_a)(y_b^2 - y_a^2 + x_b^2 - x_a^2) + (y_b - y_a)(y_a^2 - y_c^2 + x_a^2 - x_c^2)}{2(x_b - x_a)(y_c - y_a) - 2(x_c - x_a)(y_b - y_a)}$$

$$b = \frac{(x_c - x_a)(x_b^2 - x_a^2 + y_b^2 - y_a^2) + (x_b - x_a)(x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2)}{2(x_c - x_a)(y_b - y_a) - 2(x_b - x_a)(y_c - y_a)}$$

$$r = \sqrt{(x_a - a)^2 + (y_a - b)^2}$$

개선된 허프 변환의 전체적인 순서는 Fig 5와 같이 진행된다.

1. Canny연산자를 이용하여 엣지를 추출한다.
2. 연속적인 엣지를 검출하고 엣지 상의 픽셀을 정렬한다.
3. 연속적인 엣지 중에서 하나를 선택하고 균일하게 세 부분으로 나눈다.
4. 세부분의 첫 픽셀로부터 세 점을 선택하여 원의 원심과 반경을 계산한다.
5. 계산한 원심과 반경을 비교하여 원의 반경이 너무 큰

것이나 작은 것의 값은 제거한다. 범위 내  $r_{min} < r < r_{max}$ 의 원심과 반경으로 정할 원은 선택한 엣지의 픽셀과 비교하고 원의 일부분이면 저장한다.

6. 선택한 엣지의 점들을 순서대로 계산하고 부분 원들이 검출된다.

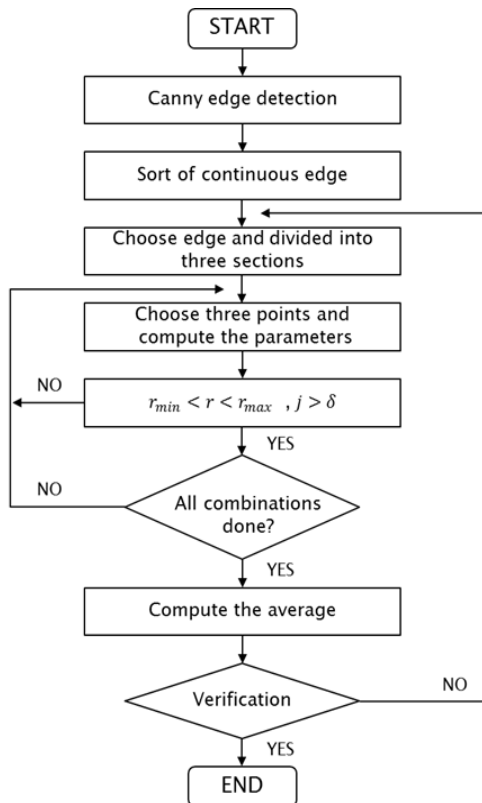


Fig. 5. Improved Hough transform.

7. 검출된 원심과 반경들에서 중복되는 것들을 병합하여 평균값을 계산하고 원심 좌표와 반경을 얻을 수 있다.

## 4. 실험방법 및 결과

### 4.1 시스템 K 값

머신비전 측정시스템을 통해 측정물의 기하학적 치수를 얻은 후 한 개의 픽셀이 대응하는 실제 크기를 찾아야 한다. 머신 비전 측정시스템에서 얻은 치수는 모두 픽셀 데이터이므로 이런 데이터를 길이 단위로 나타내려면 정규 값을 갖고 있는 샘플을 이용하여 하나의 픽셀이 대응하는 길이의 비  $K$  값을 구해야 한다. 이 실험은 전체 시스템의 측정 정도에 큰 영향을 주기 때문에 매우 중요한 과

정이다.

표준시편을 이용하여 실제 표준시편의 길이 데이터를 알고 머신비전 측정시스템을 통해 픽셀 반경을 구한 후 그 비를 이용하여 측정물의 픽셀 반경에 대입하여 실제 반경의 길이를 구한다.

사용한 표준시편은 현미경 교정용 슬라이드 글래스 마이크로미터(Calibration slide)이며 표준 원이 각각의 직경 0.01 mm, 0.05 mm, 0.10 mm, 1.00 mm, 5.00 mm, 10.00 mm 가 있다. 본 실험에서는 직경이 1.00 mm와 5.00 mm의 원을 이용하여 실험을 진행하였다[10].

- (1) 표준시편을 머신비전 측정시스템의 스테이지에 놓고 위치가 다른 10번의 표준시편의 영상을 얻는다.

- (2) 위에서 얻은 영상을 영상처리를 통하여 윤곽데이터를 얻고 그 원의 중심을 찾아 반경을 픽셀로 표시한다. 이렇게 10번 반복 측정하여 평균 픽셀반경을 구한다.

$$\bar{R}_p = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_p$$

- (3) 그리고 픽셀이 나타내는 실제길이를 표시할 수 있는  $K$  값을 구한다.

$$K = R_s / \bar{R}_p \text{ (}\mu\text{m/pixel)}$$

$$K_1 = \frac{R'_{s1}}{R'_{p1}} = \frac{2500}{130.83} = 19.109 \text{ (}\mu\text{m/pixel)}$$

$$K_2 = \frac{R'_{s2}}{R'_{p2}} = \frac{500}{26.16} = 19.116 \text{ (}\mu\text{m/pixel)}$$

$$K = 19.11 \mu\text{m/pixel}$$

- (4) MATLAB로 계산한  $K$  값을 저장하고 측정물의 픽셀 반경에 대입하여 실제 측정물의 반경을 출력한다.

$$R = KR_p$$

### 4.2 허프 변환의 비교

개선된 허프 변환의 성능을 확인하기 위하여 Microsoft Windows 7, 4GB RAM에서 MATLAB R2012a 환경에서 개선된 허프 변환과 기존 허프 변환을 이용하여 4가지 측정대상을 선정하여 각각 측정하였다. Fig. 6는 측정대상인 금속 프레임의 크기가 다른 4개 원형 구멍의 변환된 이미지를 나타내고 있다.

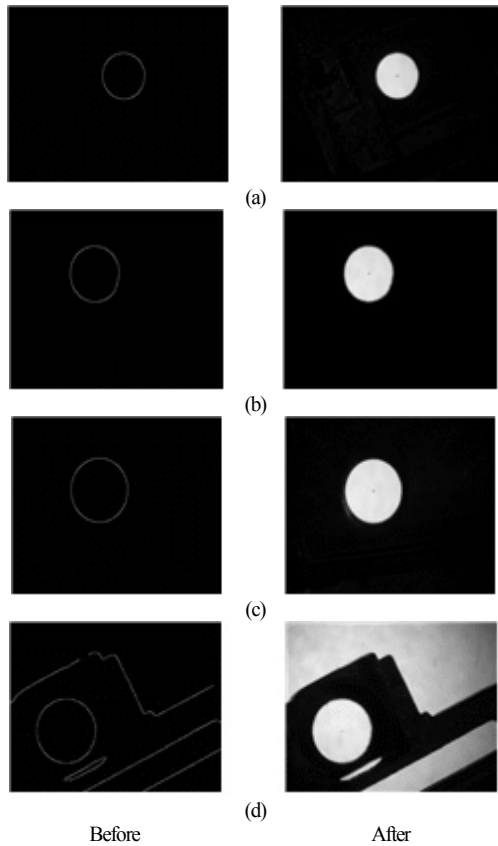


Fig. 6. Before and After Improvement of Hough Transform.

기존 허프 변환과 개선된 허프 변환의 비교 실험 결과를 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 두 개 변환을 비교하면, 원심 좌표와 픽셀 반경은 비슷하게 나타나고 있고, Fig 6(d)를 보면 원의 엣지이외에 직선 엣지나 다른 엣지가 있는 경우에서도 원의 원심 좌표와 픽셀 반경을 정확하게 검출하였다. 이를 통하여 개선된 허프 변환의 성능이 기존보다 우수하다는 것을 확인하였다. 또한 계산 시간을 보면 개선된 허프 변환은 기존 허프 변환보다 계산 속도가 더 빠른 것을 알 수 있다.

Table 1. Result of Hough Transform

	Center Coordinates	Pixel Radius	Time (ms)
a	357.1704 202.8021	65.4892	140
b	271.4241 182.2663	78.4718	156
c	286.0108 213.1264	91.4582	140
d	183.2241 327.431	96.2285	919

Table 2. Result of Improvement Hough Transform

	Center Coordinates	Pixel Radius	Time (ms)
a	356.2054 201.8009	64.857	32
b	271.0525 182.0467	78.0525	33
c	285.541 212.428	91.5732	33
d	182.2741 328.1909	95.8176	120

### 4.3 원형 구멍 내경측정

원형구멍 치수측정 시스템을 이용하여 금속 프레임의 원형 구멍의 반경을 측정기를 통해 그 신뢰도를 검토하였다. 실험은 Microsoft Windows 7, 4GB RAM에서 MATLAB R2012a 환경에서 구현되었다. 먼저 획득한 이미지를 프로그램에 입력하고 그레이 이미지 변환과 엣지 추출 후에 개선된 허프 변환을 통해 원형 구멍의 원심과 픽셀 반경을 계산한다. 그리고 교정 값을 대입하여 원형 구멍의 내경을 구한다. 마지막으로 구한 원심과 픽셀반경 값으로 기존에 있는 원형 구멍 이미지 파일에 그 원과 중심을 표시한다.

실험은 4개의 원형 구멍을 선택하고 측정하였다. Fig 8는 광학현미경으로 측정한 측정대상인 4개의 구멍의 반경을 나타내고 있으며 구멍의 반경은 각각 R1250.44 $\mu$ m, R1518.37 $\mu$ m, R1759.69 $\mu$ m, R1847.86 $\mu$ m 이다. 측정할 샘플을 머신비전 측정시스템의 스테이지에 놓고 위치를 달리하여 10개의 이미지를 얻는다. 그 이미지를 본문의 프로그램을 이용하여 치수를 측정한다.

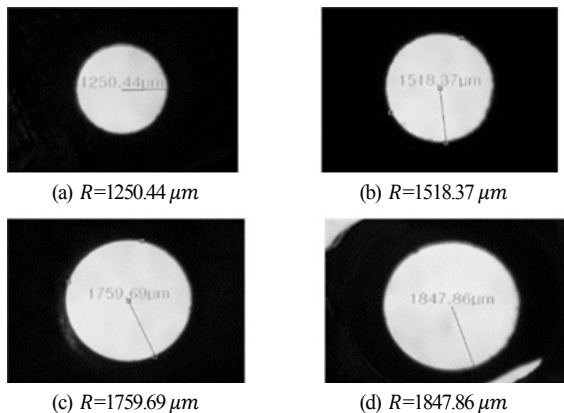


Fig. 7. Measured by Optical microscope



측정결과를 보면 원형 구멍 a, b, c, d의 측정 평균값은 R1239.45 $\mu$ m, R1509.59 $\mu$ m, R1744.62 $\mu$ m, R1837.97 $\mu$ m이다. Fig. 7은 4개의 구멍의 측정결과를 그래프로 나타내었으며 측정 오차 범위는  $\pm 23\mu$ m이다. 측정결의가 오차가 낮음을 확인하여 알고리즘의 신뢰성을 입증 할 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 머신비전은 이용하여 원형 구멍 내경 측정시스템에 관련하여 연구를 진행 하였다. 정밀도와 측정효율을 제고하기 위하여 프로그램 중의 영상처리 과정을 중점적으로 연구하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 원형 구멍의 내경 치수를 정확하게 얻기 위하여 표준원시편을 이용하여 측정시스템의 한 개의 픽셀이 대응하는 K값을 확인하여 측정방법의 유효성을 확인하였다.

(2) 디지털 영상처리의 방법을 연구하였고, 특히 허프 변환을 중점적으로 검토하였다. 개선된 허프 변환의 성능을 일반적으로 사용되고 있는 기존 허프 변환과 비교하는 실험을 수행하였다. 개선된 허프 변환은 기존 허프 변환보다 계산시간을 줄이고 측정효율을 향상시켰다. 또한 복잡한 경우에서도 원형을 정확하게 검출할 수 있음을 확인하였다.

(3) MATLAB으로 원형 구멍 내경측정 프로그램을 구현하고, 크기가 다른 4개 원형구멍을 현미경과의 비교측정 실험을 수행하였다. 측정결과 측정 오차 범위는  $\pm 23\mu$ m이고 전체 시스템의 신뢰도를 입증하였다.

## 감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 교내학술연구의 지원으로 수행된 연구임.

## 참고문헌

1. Wang, Z.H. and He, W.J., "Further Research on Image Processing of Micro-dimension Measurement," *Chinese Journal of Scientific Instrument*, pp. 235-236, (2001).
2. Han, J.H., and Zhao, S.S., "Research on subpixel detecting on-line system based on machine vision for inner diameter of bearings," *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, vol. 12(3), pp. 15-18, (2007).
3. T LI, and N Ning, "Study on circle locating technology based on machine vision," *Computer Engineering and Application*, vol. 48(9), pp. 153-156, (2012).
4. Xu, G.B., Zhou, M.J., and Xiong, Z.G., "An improved adaptive fusion edge detection algorithm for road images," *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, vol. 4(4), pp. 129-137, (2012).
5. Sun, W., Zhang, X.R., and Tang, H.Q., "Lane Coordination Detection Based on Hough Transformation and Least Square Fitting," *Opto-Electronic Engineering*, vol. 38(10), pp. 13-19, 2011.
6. Xu, L., Oja, E., and Kultanen, P., "A new curve detection method: randomized Hough transform(rth)," *Pattern Recognition Letters*, vol. 11. pp. 331-338, 1990.
7. Ballard, D.H., "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shape," *Pattern Recognition*, vol. 13, No.2, pp.111-122, (1981).
8. Zhao, G.X. and Huang, S., "An Improved Randomized Hough Method of Circle Detection," *Computer Technology and Developmrent*, 18(4): pp. 77-79, (2008).
9. Zhu, X.L., Gao, C.H., and He, B.W., "An Improved Method of Hough Transform Circle Detection Based on the Midpoint Circle-Producing Algorithm," *Journal of Engineering Graphics*, pp. 29-33, (2010).
10. Weiscope Optical Technology, Calibration slide, www.weiscope.com

접수일: 2017년 7월 26일, 심사일: 2017년 9월 18일,  
게재확정일: 2017년 9월 18일