

이미지 프로세싱을 이용한 가공 물체의 동심도와 진원도 자동 측정 알고리즘 개발

The Development of Automatic Measurement Algorithm of Concentricity and Roundness using Image Processing Technique

허 경 무, 문 형 욱
(Kyung-Moo Huh and Hyung-Wook Moon)

Abstract : We propose an algorithm for the automatic measurement of concentricity and roundness using image processing technique. The proposed measuring method consists of the preprocessing process and the measuring process. In the measuring process, two types of concentricity measurement algorithm and one type of roundness measurement algorithm are proposed. We could measure the concentricity and roundness using input image from CCD camera, without using special measurement equipment. From the experimental results, we could find that the required measurement accuracy specification is sufficiently satisfied using our proposed method.

Keywords : image processing, concentricity, roundness, camera

I. 서론

원형 나이프, 고속 드릴, 모터와 같은 동축 원형 물체의 가공에 있어서, 동심도와 진원도는 중요한 사양이다. 기존에는 동심도와 진원도를 측정하기 위하여 수동 다이얼 인디케이터 혹은 진원도-동심도 검사기와 같은 특수한 장비를 이용하였다. 그러나 진원도-동심도 검사기와 같은 정밀 장비는 μm 의 정밀도를 가지는 반면에 고가의 장비에 속한다. 다이얼 인디케이터와 같은 장비는 저가의 장비에 속하나 사람의 수작업에 의존할 수 밖에 없고, 정확도가 부족하며, 시간이 오래 걸린다. 본 논문에서는 이미지 프로세싱의 기술 중 영상개선과 특징추출분야의 기술을 이용하여 진원도와 동심도의 자동 측정 알고리즘을 제안하였다. 동심도란 기준이 되는 축심과 동일한 직선 위에 축심을 가져야 한 원통 부분에 있어서 그 원통 부분의 축심과 기준축심의 오차의 크기를 말하며, 진원도란 표면상의 모든 점이 중심과 수직인 반경상의 제한된 공차역 범위내에서 진원이어야 한다는 것으로 공차역의 크기를 진원도라고 한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 수동 다이얼 인디케이터와 같은 장비에 비하여 정확성면에서 더 뛰어나면서 진원도-동심도 검사기와 같은 장비없이 개인용 컴퓨터와 CCD 카메라를 이용하여 동심과 진원 오차추출을 할 수 있는 새로운 방법이다. 또한, 별도의 장비를 갖추지 못하는 곳에서 유용하게 쓰일 수 있도록 조명 조건을 일반적인 환경으로 설정하고 실험을 진행하였으므로 별도의 조명이 필요치 않다. 동심도와 진원도는 제품의 특성을 좌우할 수 있는 중요한 요소이다. 원형 나이프, 고속 드릴, 모터 등의 경우를 예로 들 수 있다. 원형 나이프의 경우 중심으로부터 정확한 동심도와 진원도의

를 나타내야만이 회전하면서 절단시 흔들림이 적고 원하는 절단물을 얻을 수 있으며, 공구의 수명이 길다. 또한 모터의 경우 샤프트의 진원도, 직진도, 단면동심도 등이 모터의 특성을 좌우하는 요소 중의 하나이다. 본 논문에서는 동심도의 경우 입력이미지에서 원에 대한 에지만 추출한 후 보정작업을 거쳐 제안하는 임의의 3점법과 각도자법을 이용해 2개의 원의 중심을 구하는 알고리즘을 이용하여 중심을 비교하여 동심도를 얻을 수 있었으며, 진원도의 경우 이미지에서 원의 윤곽선을 얻은 후 제안된 외접원과 내접원을 이용한 알고리즘으로 진원도를 구할 수 있었다. 기존 수동 인디케이터가 0.5mm의 측정단위 한계를 갖는데 비하여, 본 제안한 알고리즘에 의해 구현한 실험결과는 훨씬 더 정밀한 측정결과를 얻을 수 있었으며, 약 0.2초안에 실험결과를 얻을 수 있었다.

II. 입력 영상의 전처리 과정

그림 1은 동심도와 진원도 측정을 위한 실험의 대략적인 흐름도를 나타내고 있다. 본 장에서는 입력 이미지를 고주파 필터를 이용해 더 날카로운 영상으로 보정하고, 입력 이미지의 다양한 밝기에 적응하기 위한 문턱값을 결정하고 기존 마스크 기법을 변형하여 기존 소벨 마스크 보다 나은 에지를 추출한 후 세선화하는 동심도-진원도 알고리즘을 적용하기 위한 전처리 과정을 보여준다.

1. 고주파 필터

본 실험에서 쓰인 가공 물체를 세워놓고 위에서 이미지를 입력받은 경우 잘못된 초점으로 인해 물체의 아랫부분의 영상이 흐리게 나오게 된다. 이를 표 1의 고주파 강화 필터를 이용하여 보정하였다.

2. 문턱값 결정

입력 이미지가 조명상태에 따른 영향을 적게 받게 하기 위해, 먼저 이미지 입력 과정에서 얻은 이미지로부터 조명상태를 파악한다. 그레이 레벨로 변환하여 색상 성분을 없

논문접수 : 2002. 9. 15., 채택확정 : 2002. 12. 10.

허경무, 문형욱 : 단국대학교 전자컴퓨터학부

(huhkm@dku.edu/hyungwook.moon@hynix.com)

※ 이 연구는 2002학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

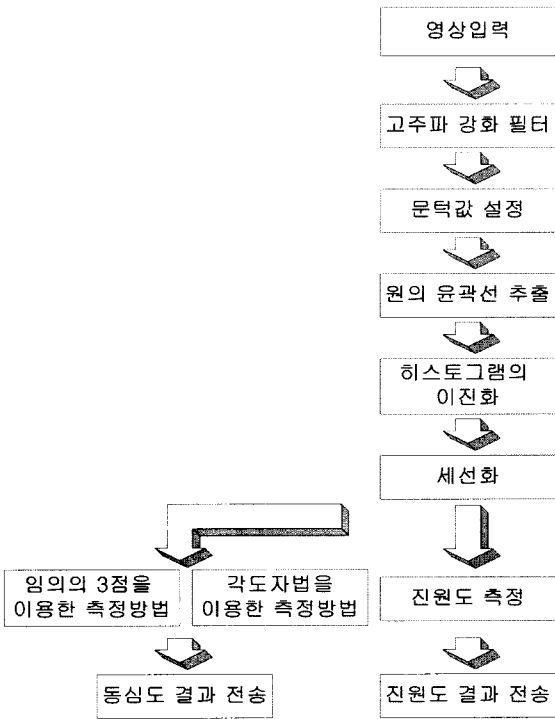


그림 1. 동심도와 진원도 측정 알고리즘의 흐름도.

Fig. 1. Flowchart of measurement algorithm of roundness and concentricity.

표 1. 고주파 강화 마스크.

Table 1. High Pass filter.

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

표 2. Level 값에 대한 문턱값.

Table 2. Threshold value for various gray level.

레벨 값	문턱 값
90 이하	60
90 ~ 100	65
100 ~ 110	70
110 ~ 120	75
120 ~ 140	80
140 ~ 160	85
160 이상	90

애고 조명의 휘도 정보를 찾아낸다[2].

$$Level = \frac{1}{i} \sum_{k=1}^i \frac{R+G+B}{3} \quad (1)$$

여기에서 Level은 이미지상의 물체의 평균 그레이 레벨 [0~255]을 나타내고, 가공물체의 보다 정확한 윤곽선 검출을 위해 필요하다. 그리고 i 는 가공 물체의 픽셀의 수, R, G, B 는 가공 물체의 픽셀들의 R, G, B 레벨값을 나타낸다.

3. 편미분 연산자

영상에서 그래디언트의 크기를 구하면 윤곽선을 구할 수 있게 된다. 그래디언트의 크기는 (2), (3)에 의해 구하거나,

또는 (4)와 같이 간단히 하여 구하기도 한다. 여기서 영상 $f(x,y)$ 의 위치 (x,y) 점이다.

$$\nabla F = \begin{vmatrix} G_x \\ G_y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{vmatrix} \quad (2)$$

$$\nabla f = mag(\nabla F) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3)$$

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (4)$$

다음으로 그래디언트의 방향 역시 중요한 값인데, 방향 값은 영상 안의 여러개의 윤곽선들 중에서 윤곽선을 구분하는 기준이 된다. 즉 방향값이 서로 같은 윤곽선은 하나의 윤곽선으로 구분되어진다. 그래디언트의 방향값은 다음 (5)에 의해서 구한다.

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (5)$$

4. 에지 검출에 있어서 기존 마스크기법의 변형

소벨 마스크는 연산 후 문턱값을 이용하여 잡음을 제거할 수는 있으나, 잡음에 민감한 특성은 해결하면서, 원하는 윤곽선은 정확히 얻어내야만 한다. 본 논문에서는 소벨 마스크를 기반으로 캐니 마스크를 변형한 마스크 기법을 사용하였다. 즉, 기존의 에지 추출방법은 소벨마스크나 캐니 검출필터를 그대로 사용하였으나, 본 연구에서는 기본적으로 canny 에지검출 방법을 사용하되 이미지의 그레이레벨 값을 고려한 문턱값을 적용하여 노이즈를 억제하고 에지검출의 효율성을 높였다.

소벨 에지 검출기는 비선형 에지 검출 기법이다. 소스 이미지로 $a \in R$ 이 주어지고 a_0, a_1, \dots, a_7 은 (i,j) 의 8개의 이웃한 픽셀 값을 뜻하며 다음과 같다. 소벨 에지의 크기 $m \in \vec{R}^x$ 는 $m(i,j) = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$ 으로 주어진다. 여기서 (6), (7)에 의해 그래디언트 디렉션 이미지 d 는 (8)로 주어진다.

$$u = (a_5 + 2a_6 + a_7) - (a_1 + 2a_2 + a_3) \quad (6)$$

$$v = (2a_0 + a_1 + a_7) - (a_3 + 2a_4 + a_5) \quad (7)$$

$$\vec{d}(i, j) = \arctan \left(\frac{u}{v} \right) \quad (8)$$

소벨 마스크를 기반으로 John Canny는 에지 검출을 위한 방법들을 정의하였고, 그 방법들을 달성하기 위한 최적의 방법을 설명하였다[3]. 위치측정값(localization)은 실제 에지로부터 위치된 에지까지의 거리의 역수이며, 이 값은 가능한 한 커야 하는데, 그것은 거리가 가능한 작아야 한다는 것을 의미한다[4]. 그림 2의 실험 결과에서 알 수 있듯이 계산적인 접근을 채택한 캐니 에지 검출방법을 변형한 제안된 방법에서는 단일 에지에 대해서 중복 응답을 보이지 않기 때문에 false-positive 현상이 나타나지 않음을 알 수 있다. 본 연구에서는 소벨 마스크를 기반으로한 canny의 에지 검출 방법을 변형시켜 사용하였다. 그림 2에 기존의 소벨 마스크 기법과 본 논문에서 제안한 문턱값을 이용한

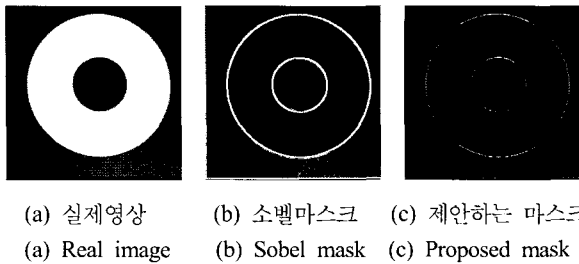


그림 2. 소벨 마스크와 제안된 마스크 기법과의 비교.

Fig 2. Comparison between sobel mask and the proposed mask.

변형된 마스크 기법을 비교하였다. 그림 2의 (a)는 카메라에서 입력받은 그레이 스케일의 480x480 픽셀 사이즈의 실제영상이며, 우측의 (b)는 소벨 마스크 기법을 사용하여 얻은 영상이고, 맨 우측의 (c)는 실험에서 사용된 논문에서 제안하는 변형된 마스크 기법이다.

5. 세션화

본 연구에서는 원의 중심을 알아내어 동심 오차를 자동 측정하는데 목적이 있다. 그러나 히스토그램 이진화 기법까지 적용한 원의 윤곽선은 두껍고, 가공 물체가 세로로 길다란 특성상 그림자에 의한 윤곽선이 원의 윤곽보다 두껍게 나타나는 등 실험 결과 측정에 어려움이 있다. 또한 진원도와 달리 동심도는 정확한 중심만 측정해내면 동심오차를 구해 낼 수 있으므로, 세션화 기법을 사용하여 두꺼운 선을 하나로 표현하여 영상 처리의 편리함과 결과 오차를 줄일 수 있다. 또한 진원도의 경우도 세션화한 영상으로 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서 사용한 세션화 알고리즘은 첫째, 한 픽셀 두께의 영역으로 되어 있어야 하고 둘째, 영역의 단면의 중심에 위치해야하며 셋째로 세션을 이루고 있는 픽셀들은 서로 서로 연결되어 있어야 한다는 3가지의 제약이 있다. 즉 원래 영상에 있었던 영역의 갯수와 세션화 연산후의 갯수가 달라지면 안된다[6]. 본 연구에서는 주로 많이 쓰이는 Zhang-Suen 알고리즘을 사용하였으며 그 조건은 표 3과 같다.

표 3. Zhang-suen 의 알고리즘.

Table 3. Algorithm of Zhang-suen.

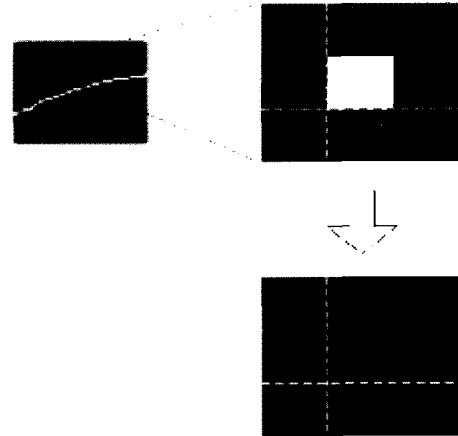
Zhang-Suen 알고리즘의 2가지 조건
[1] 2개 이상, 6개 이하의 이웃 픽셀이 있어야 한다. 이 조건은 끝점이나 영역 내부의 점은 지위서는 안된다는 것을 의미한다.
[2] 두 개 영역을 연결하는 픽셀은 지위서는 안된다. 이 픽셀을 지운다면 영역 개수가 달라지게 된다.

6. 블록검사를 이용한 잡음 제거 알고리즘

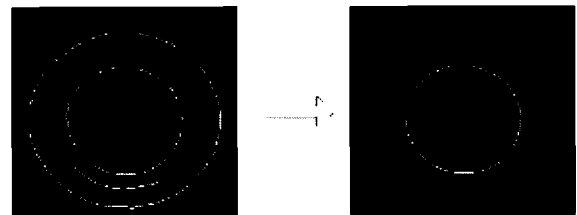
본 연구에서는 그림 3(a)에 보이는 바와 같이 3X3 블록을 이용한 잡음 제거 알고리즘을 사용하였다.

7. 에지 추적을 이용한 외측원과 잡음 제거

본 방법에서 내측원의 중심을 얻기 위해서는 내측원과



a) 블록검사를 이용한 잡음 제거.
a) Noise removal using block examination.



b) 세션화 및 외측원 제거.
b) Thinning and removal of outer circle.

그림 3. 잡음 및 외측원 제거후 영상.

Fig. 3. Images after removal of noise and outer circle.

외측원 사이의 잡음과 그림자로 인한 불필요한 잡음 에지와 외측원의 윤곽선을 제거할 필요가 있다. 그림 3(b)에 보이는 바와 같이 실험에서 외측원의 윤곽선을 이용해서 얻어진 중심을 기준으로 360도 탐색하여 처음 검색된 그레이 레벨값 255의 픽셀을 제외하고 이후 레벨값 255가 검색되면 3X3블록을 이용하여 시계방향으로 에지를 추적하여 검색되는 레벨값 255를 레벨 0으로 변환한다. 원의 윤곽선 손실로 인해 외측원이 처음 검색된 레벨값 255일 경우가 있으므로, 처음 검색된 픽셀들의 평균과 외측원의 원주와 비교하여 외측원에 가까운 픽셀들을 모두 제거하면 내측원을 얻을 수 있다.

III. 동심도와 진원도 측정 알고리즘

본 장에서는 동심도를 측정하기 위한 임의의 3점을 이용한 동심도 측정방법과 각도자법을 이용한 동심도 측정 방법을 제안하고, 또한 진원도 측정 방법을 제안한다.

1. 동심도 측정을 위한 알고리즘

기존의 방법의 경우 그림 4와 같이 물체를 회전시키면서 측면에 위치한 다이얼 인디케이터에 측정된 값의 변화를 그래프로 그린 후 투명 템플릿 위에 사람이 직접 다시 그려서, 계산해 내야만 하는 어려움이 있었다[7]. 본 논문에서 제안하는 방법은 사용자가 카메라를 이용해이미지만을 입력하면 모든 작업이 자동으로 이루어질 수 있는 방법이다.

그림 5는 동심도를 측정하는 기본 원리를 보여주고 있다. 기본적으로 외곽 윤곽선간의 최대길이 즉, 원의 지름을

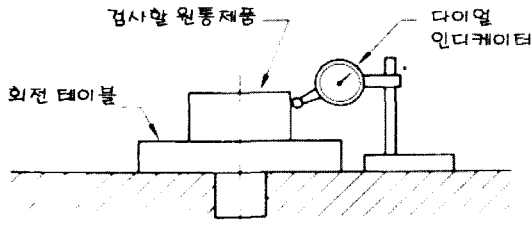


그림 4. 수동 다이얼 인디케이터를 이용한 방법.
Fig. 4. Method using manual dial indicator.

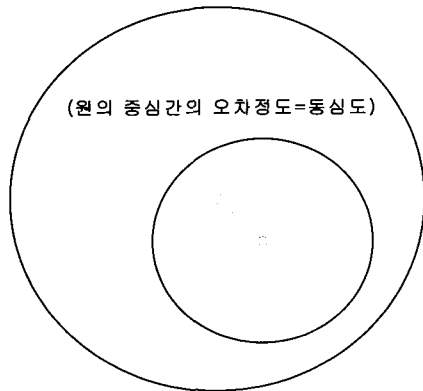


그림 5. 동심도 측정 기본 개념.
Fig. 5. Basic concept of concentricity measurement.

알 수 있다면 원의 중심을 알 수 있다. 그러나 일반적으로 카메라에 의해 입력된 영상은 윤곽선이 불명확하므로 이 같은 기본원리가 아닌 다른 방법을 사용해야 한다. 본 논문에서는 동심도를 측정하기 위한 2가지 방법을 제안한다.

물론 기존의 영상처리기법중 통계적 모멘트를 사용한 방법은 어느 정도 예지가 보장되어 있는 경우는 매우 유용한 방법이라 할 수 있다. 그러나 노이즈가 많은 경우와 예지의 누실이 비교적 큰 본 실험의 경우에서처럼, 일반적인 조명 조건하에서 생기는 예지의 부분적 누실로 인해 이 방법은 본 논문에서 제안한 방법의 실험결과보다 좋지 않았다.

1.1. 임의의 3점을 이용한 동심도 측정방법

불확실한 원의 윤곽선에서 중심을 알아내기 위해서는 윤곽선의 보정과 더불어 다음에 제안하는 방법으로 명확한 원의 윤곽을 생성할 수 있다. 우선 이미지상에서 그림 6과 같이 3개의 지역에서 각각 임의의 점을 한 개씩 총 3개를 선택한 후 각각의 점마다 (9)를 이용하고 얻어진 식을 연립하게 풀어낸 후, (10)으로 변환하여 간단하게 중심과 반지름을 얻을 수 있었으며, 이렇게 얻어진 확실하지 않은 중심값과 반지름의 빈도수가 가장 높은 점을 실제 중심과 반지름으로 정하였다. 만일 3개의 지역중에 이미지가 없는 부분이 있다면 이미지가 존재하는 다른 부분에서 임의의 점을 다시 추출하도록 하였다. 이 알고리즘의 장점은 (9)와 (10)에 의해 얻어진 중심과 반지름을 이용하여 명확한 원의 윤곽선을 재구성해 볼 수 있다는 점이다. 실험을 통해 영상에서 정확한 외측원의 중심을 얻기위해 임의의 3점을 100회 선정하여 중심값과 반지름을 얻어내어 비교하였다. 그리고 내측원의 중심을 얻기 위해서는 외측원의 윤곽선을

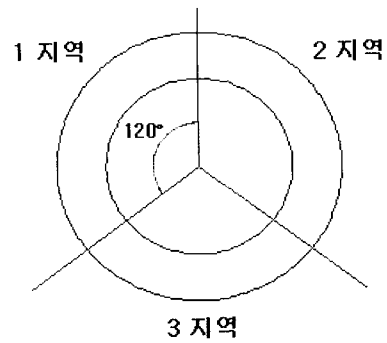


그림 6. 임의의 3점 선택 영역.
Fig. 6. Three area corresponding to each three selected point.

삭제하여 내측원만 남겨두고 다시 임의의 3점을 이용한 동심도 측정방법을 다시 사용하였으며, 얻어진 2개의 중심의 거리가 동심도 결과가 된다.

$$x^2 + y^2 + ax + by + c = 0 \tag{9}$$

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \tag{10}$$

1.2. 각도자법을 이용한 동심도 측정방법

본 논문에서 제안한 임의의 3점을 이용한 동심도 측정방법은 영상의 윤곽선의 누실이 큰 경우에는 각도자법에 비해 원의 중심을 찾는 데 보다 나은 정확성을 보였다. 본 절에서는 원의 윤곽선의 누실이 아주 크지는 않은 경우에 적용될 수 있는 각도자법을 제안한다. 명확한 원의 윤곽이 아닌 불확실한 원의 윤곽선에서 중심을 알아내기 위해서는 우선 윤곽선 보정에서 세선화 작업후의 이미지상에서 그림 7과 같이 90°의 격자를 임의로 윤곽선에 외접하게 가져다 대고, 90°를 양분하는 선을 긋는다. 그리고 같은 방법으로 선을 긋게 되면 교차되는 점이 생긴다. 그 점을 원의 중심이라 할 수 있다. 하지만 한번의 실험을 통해 얻어진 원의 윤곽선은 불확실하므로 한번의 교차점을 중심으로 선정할 수는 없다. 그러므로 본 논문의 실험에서는 총 40개의 교차점을 얻어내어 빈도수가 가장 높은 교차점을 중심으로 선택하는 방법을 제안한다.

2. 진원도 측정을 위한 알고리즘

본 실험에서는 진원도 공차에서는 표면상의 모든 점이 중심과 수직한 반경상의 제한된 공차역 범위내에서 진원이어야 한다[7,9]는 것에 착안하여, 그림 8에 보이는 바와 같이 윤곽선에 내접하는 최대 크기인 원을 얻은 후 그 원의 중심이 일치되는 윤곽선에 외접하는 최소 크기인 원을 얻어내어, 규정된 공차역 범위내에서 진원인지 규명할 수 있었으며, 이상적인 진원과 어느 정도 오차가 있는지 계산해 낼 수 있었다. 진원도 실험에서 우선 이미지에서 최대 크기인 원을 얻기위해 지정된 레벨 이상의 문턱값을 넘는 최외곽에 있는 픽셀을 외측원의 시작이라고 가정하고 최외곽의 점을 무작위로 선정하여, 선정된 픽셀을 중심으로 놓고 3X3 박스의 픽셀을 조사하여 박스안에 3개 이상의 픽셀이

중심

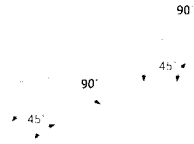


그림 7. 제안한 각도자법 알고리즘의 원리.

Fig. 7. Principle of proposed 90°angle matching algorithm.

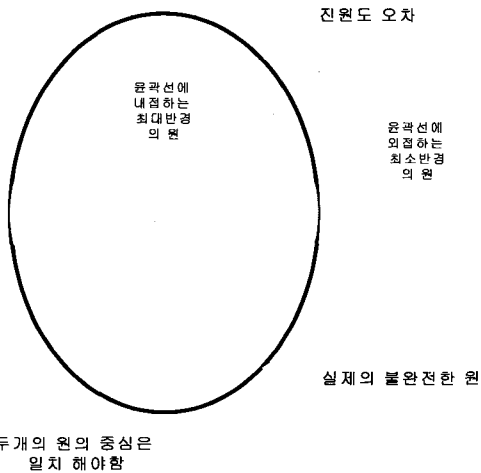


그림 8. 진원도 측정 개념.

Fig. 8. Measurement concept of roundness.

존재할때만 최외곽의 점으로 선정하도록 하여, 노이즈를 이미지에서 외접하는 최대원의 최외곽의 점으로 오판하지 않도록 하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

1. 실험 영상의 측정한계치

본 실험에서는 카메라와 가공 물체 사이의 거리를 20cm로 고정하고 실험을 진행하였다. 가공 물체의 영상으로부터 얻은 픽셀단위의 동심도와 진원도의 측정 결과를 거리의 단위인 mm나 cm로 표현하기 위해서는 첫째, 거리는 고정시키고 가공물체를 측정하거나, 둘째, 가공물체의 크기를 알되 거리를 자유롭게 움직일 수 있는[9] 전제를 만족해야 한다. 본 실험에서는 다양한 가공물체의 동심도 진원도 측정을 고속-자동화 하기 위하여 전자의 방법을 선택하였다. 실험에서 쓰인 이미지의 해상도는 480x480 픽셀을 사용하였다. 그림 9와 같이 20cm에 카메라를 고정시킨 후 입력받은 이미지의 가로와 세로의 최대 길이는 10cm였다. 그러므로 한 픽셀당 0.2083mm를 해당하게 된다. 동심도와 진원도

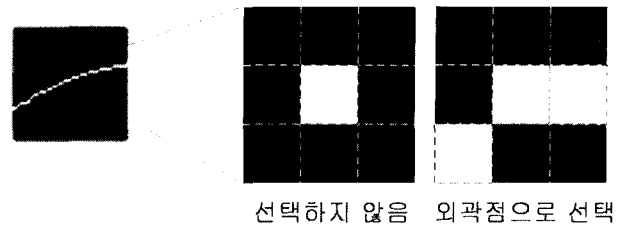


그림 9. 외곽점 선택 방법.

Fig. 9. Selection of outer points.

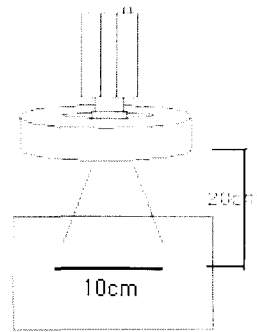


그림 10. 한계크기.

Fig. 10. Limit of size.

를 픽셀단위의 결과를 얻은 후 (11)을 통해 환산할 수 있으며, 기존의 인디케이터를 이용한 결과값과 실험에서 얻어진 결과를 비교하였다.

$$\text{픽셀의 개수} \times 0.2083 \text{ mm} = \text{실제거리} \quad (11)$$

2. 동심도와 진원도를 위한 전처리 과정 실험결과

가공물체 1과 2에 대하여 주위환경에 의하여 카메라로부터 입력받은 영상이 밝게 입력된 경우[Case A]와 중간정도의 밝기인 경우[Case B] 그리고 어둡게 입력된 경우[Case C]로 나누어서 실험영상을 각각 3회씩 입력받아 실험을 진행하였다. 본 논문에서 제안한 레벨값에 의한 문턱값 결정 방법으로 전처리과정에서 밝기에 따른 큰 차이점 없이 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

3. 동심도 측정 실험 결과

제안한 임의의 3점을 이용하여 얻은 결과와 각도자법으로 얻은 동심도 결과를 비교하여 보았다[표 5, 6]. 기존의 수동 인디케이터 방법으로 측정한 결과는 가공물체 1의 경우 1mm, 가공물체 2의 경우 0.5mm였다[표 4]. 수동 인디케이터 방법으로는 0.5mm 이상의 측정단위를 얻기 힘든 반면에, 본 논문에서 제안하는 방법으로는 더욱 개선된 결과를 빠른 시간에 얻어낼 수 있었다. 즉 0.1μm의 정밀도를 갖는 정밀측정장비인 HOMMEL-KOREA사의 FMS-5310를 사용하여 측정한 결과는 가공물체 1의 경우 0.8364mm, 가공물체 2의 경우 0.8238mm의 동심도를 얻었는데, 이 결과와 우리의 실험결과를 비교해 볼 때 그 오차범위는 각각 0.04mm와 0.03mm 이내로 나타남을 알 수 있다. 그리고 이로부터 우리의 실험결과가 표 4의 수동 인디케이터에 의한

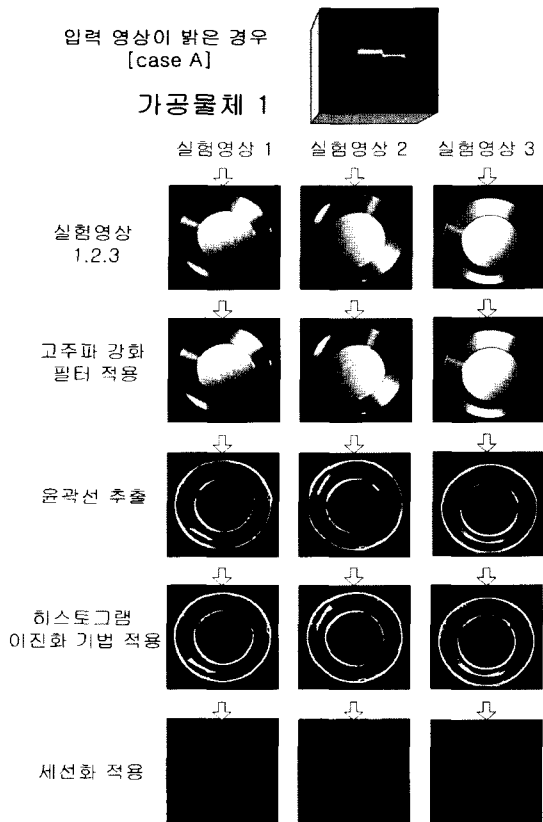


그림 11. 가공물체 1의 전처리 과정 [Case A].
Fig. 11. Preprocessing result of object 1 [Case A].

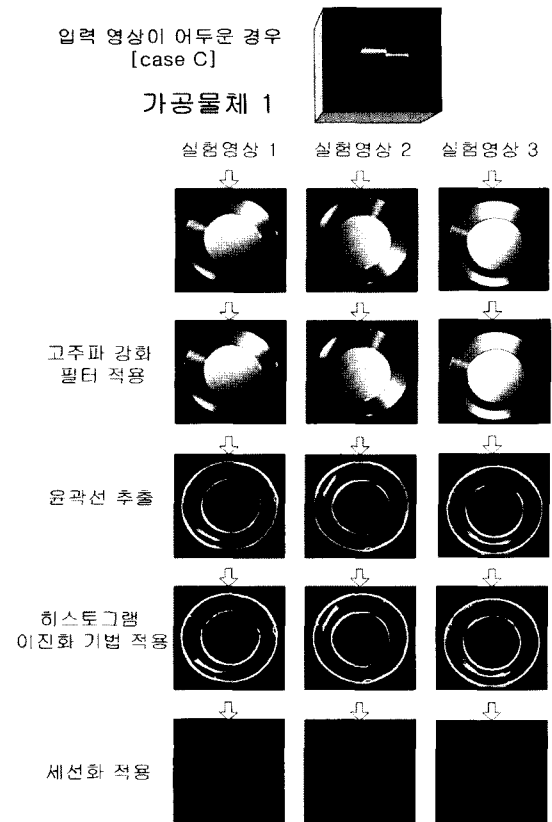


그림 13. 가공물체 1의 전처리 과정 [Case C].
Fig. 13. Preprocessing result of object 1 [Case C].

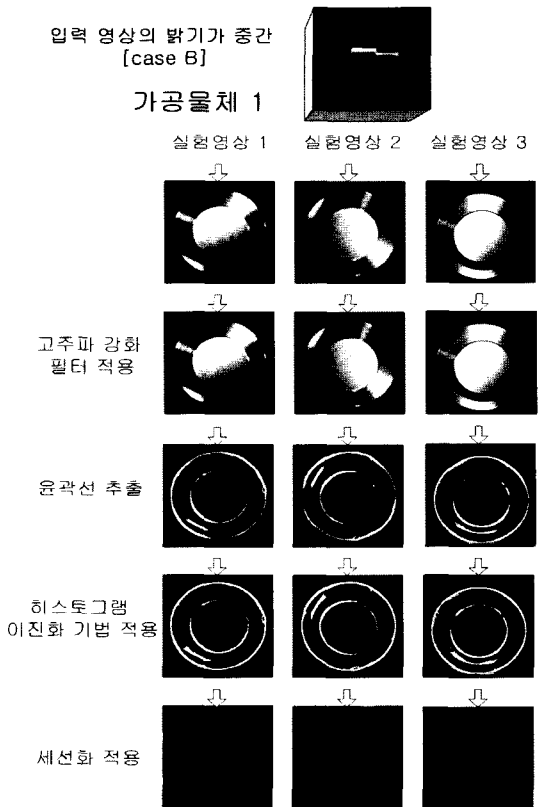


그림 12. 가공물체 1의 전처리 과정 [Case B].
Fig. 12. Preprocessing result of object 1 [Case B].

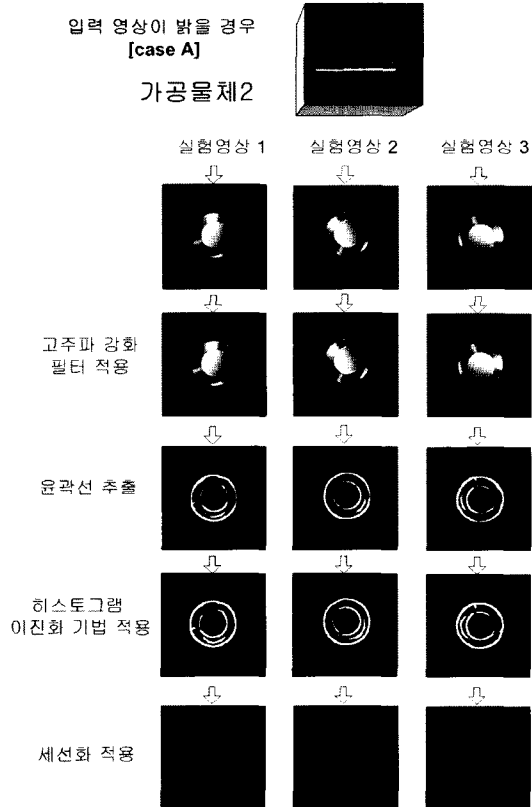


그림 14. 가공물체 2의 전처리 과정 [Case A].
Fig. 14. Preprocessing result of object 2 [Case A].

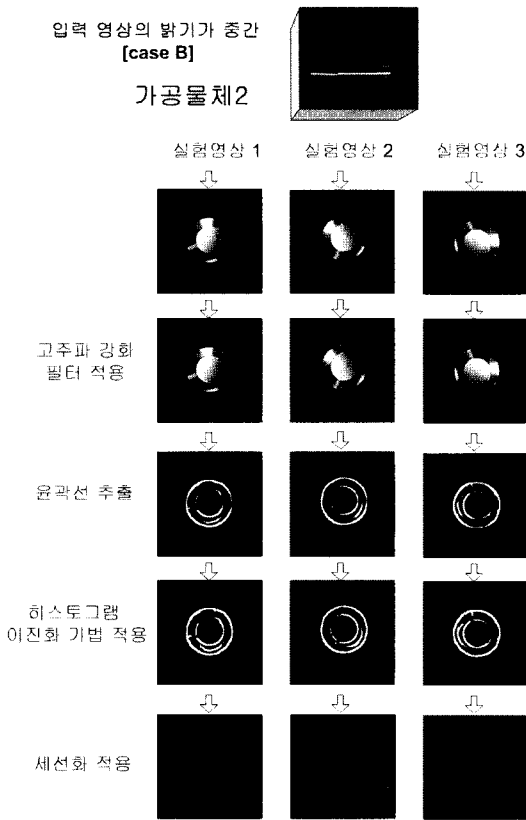


그림 15. 가공물체 2의 전처리 과정 [Case B].
Fig. 15. Preprocessing result of object 2 [Case B].

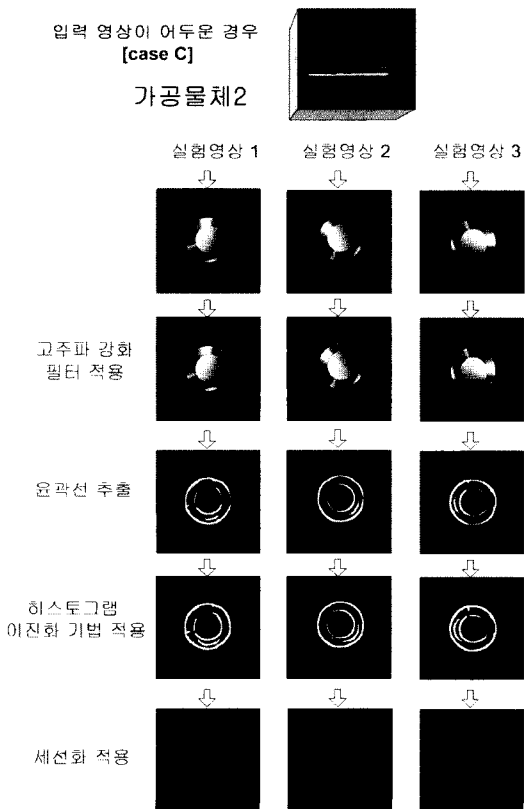


그림 16. 가공물체 2의 전처리 과정 [Case C].
Fig. 16. Preprocessing result of object 2 [Case C].

표 4. 수동 인디케이터에 의한 동심도 측정결과.

Table 4. Concentricity measurement result by manual indicator.

	동심도
가공물체 1	1mm
가공물체 2	0.5mm

측정결과보다 훨씬 더 정밀함을 금방 알 수 있다.

동심도의 실험결과에서는 입력 이미지가 밝을 때[Case A]와 어두울 때[Case C], 그리고 그 중간 밝기일 때[Case B]로 나누어 실험을 하였는데 전처리과정에서 그림자 영역에 대한 윤곽선이 약간의 차이를 보였으나 윤곽선이 손실되지 않았으므로 세션화 후 결과는 거의 같았으며, 입력 이미지가 밝을 때의 실험결과가 좋고 어두울 때가 가장 안 좋은 결과가 나왔으므로 가장 악조건인 입력 이미지가 어두운 경우[Case C]에 대한 실험결과를 보였다.

3.1. 가공물체 1에 대한 동심도 실험결과

표 5. 가공물체 1의 실험결과.

Table 5. Experimental result of object 1.

[단위:mm]

실험 회수	실험영상 1		실험영상 2		실험영상 3	
	임의3점	각도자법	임의3점	각도자법	임의3점	각도자법
1	0.84	0.84	0.84	0.83	0.84	0.82
2	0.84	0.84	0.83	0.84	0.83	0.84
3	0.84	0.83	0.84	0.84	0.84	0.83
4	0.84	0.84	0.81	0.84	0.84	0.84
5	0.83	0.84	0.83	0.84	0.84	0.84
6	0.84	0.84	0.84	0.83	0.84	0.84
7	0.84	0.87	0.84	0.84	0.83	0.82
8	0.84	0.84	0.84	0.82	0.84	0.84
9	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
10	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.8

3.2. 가공물체 2에 대한 동심도 실험결과

표 6. 가공물체 2의 실험결과.

Table 6. Experimental result of object 2.

[단위:mm]

실험 회수	실험영상 1		실험영상 2		실험영상 3	
	임의3점	각도자법	임의3점	각도자법	임의3점	각도자법
1	0.81	0.84	0.81	0.84	0.84	0.84
2	0.84	0.84	0.84	0.84	0.82	0.82
3	0.84	0.82	0.84	0.82	0.84	0.84
4	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.82
5	0.83	0.84	0.83	0.84	0.84	0.84
6	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
7	0.84	0.84	0.84	0.84	0.82	0.84
8	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.81
9	0.82	0.8	0.82	0.8	0.84	0.84
10	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84

4. 진원도 측정 실험 결과

일반적으로 기존의 수동 인디케이터로는 0.5mm 이내의 측정단위를 얻을 수가 없기 때문에 인디케이터로 얻은 가공물체 1, 2의 결과가 똑같이 0.5mm였다[표 7]. 반면에 본

논문에서 제안하는 방법으로는 더욱 개선된 진원도를 얻을 수 있었다[표 8,9]. 즉 0.1 μ m의 정밀도를 갖는 정밀 측정장비인 HOMMEL-KOREA사의 FMS-5310를 사용하여 측정된 결과는 가공물체 1의 경우 0.2586mm, 가공물체 2의 경우 0.2117mm의 진원도를 얻었는데, 이 결과와 우리의 실험결과를 비교해 볼 때 그 오차범위는 각각 0.06mm와 0.04mm 이내로 나타남을 알 수 있다. 그리고 이로부터 우리의 실험결과가 표 7의 수동 인디케이터에 의한 측정결과보다 훨씬 더 정밀함을 금방 알 수 있다.

여기에서 실시한 진원도 실험도 동심도와 같이 입력 이미지가 어두운 경우[Case C]에 대한 실험 결과이다.

표 7. 수동 인디케이터에 의한 진원도 측정결과.

Table 7. Roundness measurement result by manual indicator.

	진원도
가공물체 1	0.5mm
가공물체 2	0.5mm

4.1. 가공물체 1에 대한 진원도 실험결과

표 8. 가공물체 1의 실험결과.

Table 8. Experimental result of object 1.

[단위:mm]

실험회수	실험영상 1	실험영상 2	실험영상 3
1	0.2	0.2	0.2
2	0.21	0.2	0.2
3	0.2	0.24	0.24
4	0.2	0.2	0.24
5	0.2	0.2	0.2
6	0.2	0.2	0.2
7	0.23	0.23	0.22
8	0.2	0.2	0.2
9	0.23	0.21	0.2
10	0.2	0.2	0.2

4.2. 가공물체 2에 대한 진원도 실험결과

표 9. 가공물체 2의 실험결과.

Table 9. Experimental result of object 2.

[단위:mm]

실험회수	실험영상 1	실험영상 2	실험영상 3
1	0.2	0.2	0.24
2	0.25	0.2	0.2
3	0.2	0.2	0.22
4	0.2	0.23	0.2
5	0.23	0.2	0.2
6	0.2	0.2	0.21
7	0.2	0.21	0.2
8	0.18	0.2	0.2
9	0.2	0.2	0.22
10	0.2	0.22	0.2

V. 결 론

본 논문에서 제안한 동심도와 진원도 자동측정을 위한 알고리즘은 크게 전처리 과정과 동심도와 진원도 측정으로 나뉘는데, 전처리과정에서는 히스토그램의 이진화 기법과 세선화를 이용해 보다 정확한 측정이 될 수 있도록 하였으

며, 동심도와 진원도 측정 과정에서는 본 논문에서 3가지 방법이 새로이 제안되었다. 본 논문에서 제안한 문턱값 자동 선택을 이용한 마스크 기법으로 일반적인 마스크 기법에 비해 보다 나은 윤곽선 검출을 시행할 수 있었으며, 동심도와 진원도를 수작업으로 측정하는 방법에 비해 이미지 한 장만으로 제안한 측정방법을 이용해 평균 0.2초 이내로 결과를 얻을 수 있었고, 실험결과와 측정단위가 0.01mm로서 수동에 비해 훨씬 더 정밀한 측정결과를 얻을 수 있었으므로, 기존 방법에 비해 자동화, 고속화 효과를 기대할 수 있다.

또한, 기존 영상처리기법중 통계적 모멘트를 사용한 경우 어느 정도 예지가 보장되어 있는 경우는 매우 유용한 방법이라 할 수 있으나, 그러나 노이즈가 많은 경우와 예지의 누설이 비교적 큰 본 실험의 경우에는 본 논문에서 제안한 진원도와 동심도 측정 방법보다 결과가 좋지 않았다. 그러나, 측정부위에 일정한 조명을 주지 않았으므로 생기기 되는 예지 누설이 50%이상일 경우 이미지 보정작업의 한계가 있었다.

참고문헌

- [1] E. Fink and M. Heath, "Image-Processing Projects for an Algorithms Course" International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, vol. 15, Issue 5, August 2001, pp. 859-868.
- [2] G. D. Finlayson and S. D. Hordley, "Color constancy at a pixel" Journal of the Optical Society of America. vol. 18, Issue 2, February 2001, pp. 253-264.
- [3] L. Ding and A. Goshtasby, "On the Canny edge detector" Pattern Recognition, vol. 34, Issue 3, March 2001, pp. 721-725.
- [4] A. G. and H. L. Shyu "Edge detection by curve fitting, Image and Vision Computing" Science Direct vol. 13, Issue 3, April 1995, pp. 169-177.
- [5] L. Middleton and J. Sivaswamy, "Edge detection in a hexagonal-image processing framework" Image and Vision Computing, vol. 19, Issue 14, 1 December 2001, pp. 1071-1081.
- [6] T. Y. Zhang, C. Y. Suen, "A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns", Communications of the ACM vol. 27, no. 3, March 1984, Page 236-239.
- [7] 이재호, "레이저 변위센서를 이용한 진원도 측정 및 평가 시스템 개발에 관한 연구", 충남대 대학원 1998년 석사학위논문.
- [8] 이상겸, "레이저와 CT법을 이용한 머시닝 센터의 진원도 측정법에 관한 연구", 동아대 교육대학원 1999년 석사학위논문.
- [9] 이현철, "고속 엔드밀링에 의한 치수 오차와 진원도의 영향에 관한 실험적 연구", 서울산업대 산업대학원 2001년 학위논문(석사).



허경무

1956년 9월 1일생. 1979년 서울대학교 전자공학과 졸업, 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사(1981), 동대학 박사(1989). 현재 단국대학교 전자컴퓨터학부 전자공학전공 부교수. 주요 연구분야는 3차원 디스플레이, 로봇트

제어, 검사 자동화, 시스템 제어, 학습 제어, Servo Motor 제어, 디지털제어기 설계 및 시뮬레이션.



문형욱

1976년 8월 3일생. 2000년 단국대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(2002). 2002년~현재 하이닉스 반도체 메모리 연구소 ASM설계팀 연구원. 관심분야는 머신비전, 영상처리, 영상 인식/보안.