

시각센서를 이용한 축대칭 물체 측정 시스템 개발

이 상 룡*, 김 채 상**

Development of a Measurement System for Axial-symmetric Objects Using Vision Sensor

Sang-Ryong Lee*, Chae-Sang Kim**

ABSTRACT

The dimension measurement problem of products has been a major concern in the quality control in the industrial fields. A non-contacting measurement system using the vision sensor is proposed in this paper. The system consists of a CCD camera for the image capture, a frame grabber for the acquired image processing, a laser unit for the illumination, scanning unit for the measurement, and a personal computer for the geometry computation. The slit beam which is generated by passing the laser beam through a cylindrical lens is fired to the axial-symmetric object on the rotating plate. The image of objects reflected by the laser slit beam, acquired by the CCD camera, becomes much brighter than the other parts of objects. After the histogram of brightness for the captured image is calculated, low intensity pixels are filtered out by threshold method. The performance of proposed measurement system is obtained for several different axial symmetric objects. The proposed system is verified as a good tool for measuring axial-symmetric parts in a limited condition with a minor investment cost.

Key Words: Three dimensional measurement(삼차원 측정), Vision sensor(시각 센서), Image processing(영상 처리), Laser slit beam(레이저 슬릿광)

1. 서 론

산업현장에 자동화 설비가 도입됨에 따라 완제품에 대한 검사 공정의 자동화에 대한 관심이 높아지고 있다. 검사 공정은 기능 검사와 형상 검사로 분류할 수 있으며, 형상 검사를 위해서는 물체의 삼차원 형상을 온라인으로 측정할 수 있는 측정 시스템의 개발이 요구된다.

물체 형상을 측정하는 방법은 크게 접촉식과 비접촉식

으로 나눌 수 있다.⁽¹⁾ 접촉식 계측방법은 계측대상 물체의 표면을 따라 계측시스템에 설치된 촉침(probe)을 이동시키면서 촉침의 좌표 변화를 관측하여 물체형상을 계측하는 방법이며, 측정 정밀도가 매우 우수하며 물체 형상에 관계없이 측정이 가능하나 촉침 선단부 형상에 의한 오차 보정이 필요하고 촉침의 접촉력에 의해 물체 변형이 유발될 수 있으므로 계측 대상물이 제한될 수 있으며 계측 작업에 시간 소요가 많고 측정 설비가 고가인 것이 단

* 경북대 기계공학부
** 대우기전(주) 기술연구소

점으로 지적되고 있다.

시각 센서를 이용한 비접촉식 형상 측정 방법은 측정 정밀도가 조명의 영향에 의해 좌우된다는 단점이 지적되어 산업현장에서 제한적으로 사용되어 왔으나 조명기술의 발전에 힘입어 정밀 계측 시스템의 개발에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이차원 시각 기술의 경우 시각센서에 맺힌 영상의 밝기에 기초한 시각 정보를 활용하여 형상 인식을 하는 반면에 삼차원 시각 기술은 시각센서와 계측물간의 거리 정보를 이용하여 물체 형상을 인식하는 기술을 사용한다.⁽²⁾

거리 정보를 추출하여 삼차원 형상을 측정하는 방법은 물체에서 반사되는 빛을 사용하는 수동적인 방법(passive ranging)과 센서에서 발사한 빛을 이용하는 적극적인 방법(active ranging)으로 크게 분류할 수 있다. Jarvis⁽³⁾가 3차원 측정에 반드시 필요한 거리 측정 방법들을 소개함으로써 이를 응용한 방법이 많이 연구되어지고 있다. Minoru Asada⁽⁴⁾ 등은 측정물에 구조광을 주사하여 영상을 획득한 후 처리하여 3차원 표면 굴곡 방향을 결정하는 방법을 제시하였다. 박 현구⁽⁵⁾ 등은 측정물에 슬릿광을 주사한 영상을 획득하여 3차원 굴곡을 측정하는 방법을 제시하였다. 최 이배⁽⁶⁾ 등은 다중 슬릿광을 측정물에 일정 피치로 이동시키면서 주사하면서 영상을 획득한 후 3차원 측정하는 방법을 제시하였다. 그러나 위에 제시된 방법들은 측정 대상물의 한 쪽 방향 형상 굴곡에 관심이 주어져 있기 때문에 측정물의 전체적인 측정을 할 수 없다. 윤 원수⁽⁷⁾ 등은 초음파 센서를 측정물 위쪽에 반원 형태로 배열하고 측정 대상물을 그 내부에서 회전시키면서 측정하여 삼차원 물체 윤곽을 재구성하는 방법을 시도하였다. 그러나, 이 시스템은 가격이 저렴하다는 장점을 가지고 있으나 계측 시스템으로 활용하기에는 계측 정밀도가 다소 낮다는 점이 단점으로 지적된다.

본 연구에서는 비교적 저렴한 비용으로 일반 산업 현장에 용이하게 설치하여 가공 정밀도를 계측할 수 있는 형상 계측 시스템의 개발에 관련된 연구를 수행하고자 한다. 측정 대상 물체는 축대칭 형상으로 제한하였으며, $\pm 0.5 \text{ mm}$ 의 측정 정밀도를 가지는 중간 수준의 시스템 개발을 목표로 하였다. 측정 작업을 위해 비접촉식 시각 센서를 사용하였으며, 계측대상 물체를 360° 회전시키면서 물체 표면에 레이저 슬릿빔을 투사하여 얻은 영상에 대한 명암 분석작업과 광삼각법을 적용하여 물체의 삼차원 형상을 인식하는 측정 방정식을 유도하였으며, 개발된 기술을 활용한 삼차원 형상 측정장치를 제작하여 제안된 알고

리즘의 성능을 검증하는 실험을 수행하였다.

2. 축대칭 물체 측정 시스템

2-1. 형상 계측 원리

본 연구에서 제안한 삼차원 형상 측정시스템은 임의 형상의 물체를 기준축을 중심으로 일정한 각속도로 회전시키기 위한 스테핑 모터 유니트, 물체 형상 인식을 위한 조명을 제공하게 되는 레이저 발생장치, 점 형태의 레이저를 슬릿광 형태로 변환시키는 역할을 하는 원통형 렌즈(cylindrical lens), 계측대상 물체의 영상을 획득하기 위한 시각센서, CCD 화소 상에 맺힌 영상 신호를 처리하여 물체 형상에 대한 영상 정보로 변환시키는 역할을 하는 영상신호 처리보드, 영상 정보의 획득, 변환, 물체 형상의 재현 등의 연산 기능을 수행하는 프로그램을 내장하고 있는 영상처리 프로그램 등으로 구성되어 있다. 그리고, 영상처리 프로그램의 실행을 위해 범용 PC를 사용한다. 본 계측 시스템은 기존 삼차원 계측 시스템이 계측 대상물을 고정시키고 센서 유니트를 회전시키는 방식을 사용한 것과 달리 제안된 계측 시스템은 센서 유니트를 고정된 채 계측 대상물을 기준축을 중심으로 회전하여 물체 표면을 스캐닝하는 방식을 채택하였다. 이 방식은 중소형 물체의 형상 계측에 적합하며, 기존 시스템에 비해 하드웨어 구조가 단순하며 계측 시간을 단축시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 일반적으로 레이저 슬릿광을 투사한 물체에 대한 영상을 잡아보면 레이저 슬릿광이 투사된 지점의 물체 영상은 다른 부분에 비해 월등히 밝게 나타나므로 그레이 영상 처리 기법을 적용하는 것보다 이진 영상 처리 알고리즘을 적용하여 영상정보를 해석하는 방법이 소요 시간의 단축에 유리하다.

제안된 계측 시스템을 사용하였을 경우 물체와 영상간의 기하학적 관계를 Fig. 1에서 보여주고 있다. 좌표계 XYZ는 물체 형상을 정의하기 위해 사용된 물체 좌표계이며, 좌표계 xyz는 영상 평면 좌표계이다. Fig. 1에서 표시된 각종 부호들의 정의를 Table 1에 표시하였다.

축대칭 물체의 임의점 P의 위치를 직각 좌표계를 사용하는 대신 원통 좌표계를 사용하면 (R, θ, H) 로 표시되며, 영상 평면상의 점 P'의 좌표값은 영상좌표계를 사용하여 (x, y) 로 표시된다. 시각센서의 출력신호로부터 구한 영상정보와 계측 대상물의 형상 정보간의 상관관계는 원근 변환법과 광삼각법⁽⁸⁻¹¹⁾을 적용하여 유도하면 다음과 같다.

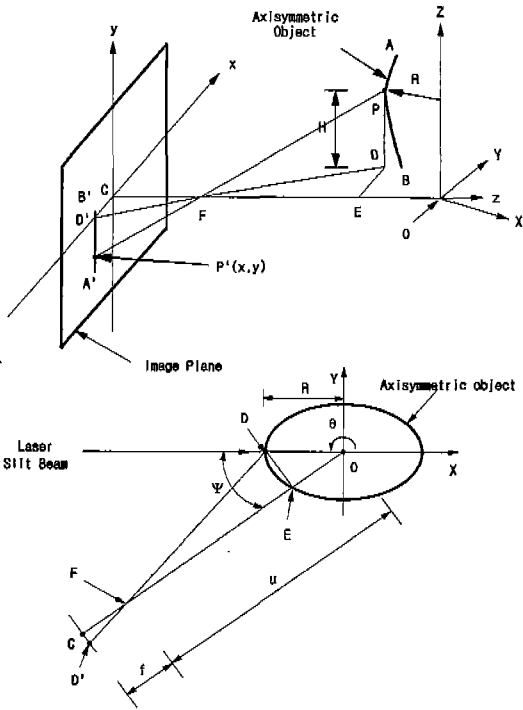


Fig. 1 Geometric configuration of the proposed measurement system

① 좌표값 R의 계산:

$\phi = \angle CFD' = \angle DFO$ 이므로 $\tan \phi = x/f$ 의 관계식이 성립한다. 그러므로 $\triangle DFO$ 에 대해 사인법칙을 적용하면

$$\frac{R}{\sin \phi} = \frac{u}{\sin(180^\circ - \phi - \Psi)} = \frac{u}{\sin(\phi + \Psi)} \quad (1)$$

$$\therefore R = u \frac{\sin \phi}{\sin(\phi + \Psi)} \quad (2)$$

계측 시스템을 설치할 때 변수 u 와 Ψ 는 일정한 값으로 설정되며, 카메라 초점거리 f 는 CCD 카메라의 기술 사양에서 결정되며, 변수 x 는 측정 대상 물체의 영상정보로부터 측정되는 값이므로 좌표값 R 은 식 (2)를 사용하여 계산된다.

② 좌표값 θ 의 계산:

제안된 형상 측정 시스템은 측정대상을 스테핑 모터를 사용하여 회전시키면서 형상을 인식하는 방법을 채택

하였기 때문에 레이저 슬릿광이 주사되는 지점의 회전각 θ 는 스테핑 모터의 회전 상태를 엔코더를 사용하여 계측한다.

③ 좌표값 H의 계산:

$\triangle PFD$ 와 $\triangle D'FP'$ 이 서로 닮은 꼴인 사실을 이용하면 $y/FD' = H/FD$ 의 관계가 성립되며, $\overline{FD'} = \sqrt{f^2 + x^2}$ 의 관계식을 유도할 수 있다.

그리고, $\triangle DFP$ 에 대해 사인법칙을 적용하면

$$\frac{\overline{FD}}{\sin \Psi} = \frac{u}{\sin(180^\circ - \phi - \Psi)} = \frac{u}{\sin(\phi + \Psi)} \quad (3)$$

의 관계가 성립하므로 $\overline{FD} = u \frac{\sin \Psi}{\sin(\phi + \Psi)}$ 관계식을 유도할 수 있다. 이러한 관계식들을 이용하면 좌표값 H는 식 (4)와 같이 구해질 수 있다.

$$H = \frac{y}{\sqrt{f^2 + x^2}} \frac{u \sin \Psi}{\sin(\phi + \Psi)} \quad (4)$$

스테핑 모터를 사용하여 물체를 $\Delta\theta$ 만큼 회전시키면서 레이저 슬릿광을 주사하여 좌표값 R과 H를 계측하는 과정을 되풀이하면 측대상 물체의 삼차원 형상에 대한 정보를 확보할 수 있다.

Table 1. Definition of parameters used for the shape measurement system

notation	Definition
arc AB	cross section of the axial-symmetric object
Point P	Arbitrary point on the object
line A'B'	Image of the arc AB
Point P'	Image of the point P
Point C	Origin of the image coordinate frame (The intersection point of the optical axis and the image plane)
Point D	Image of the point P reflected on the XY-plane
Point E	Image of the point D reflected in the z-axis
Point F	Center of the optical lens
f	Focal length
u	Distance between the optical axis and the Z-axis
R	Distance between the point P and the Z-axis
θ	Rotation angle of the line OD measured from the X-axis (positive angle for counterclockwise rotation)
H	Z-coordinates of the point P
Ψ	Angle between the laser slit beam and the optical axis

3. 실험 및 검토

3-1. 실험장치 및 실험방법

Fig. 2는 삼차원 물체의 형상을 인식하기 위해 사용된 측정 장치의 개요도를 표시하고 있으며, 레이저 발생기, 계측 대상물, CCD 카메라간의 상대 위치를 고정시키기 위해 견고한 베이스를 사용하였으며, 스테핑 모터의 중심축과 계측 대상물의 중심축은 폴렉서블 커플링을 사용하여 연결하였다. 식 (2)와 (4)에 사용된 계수값들은 실험 장치로부터 $u = 350 \text{ mm}$, $\psi = 60^\circ$ 가 된다.

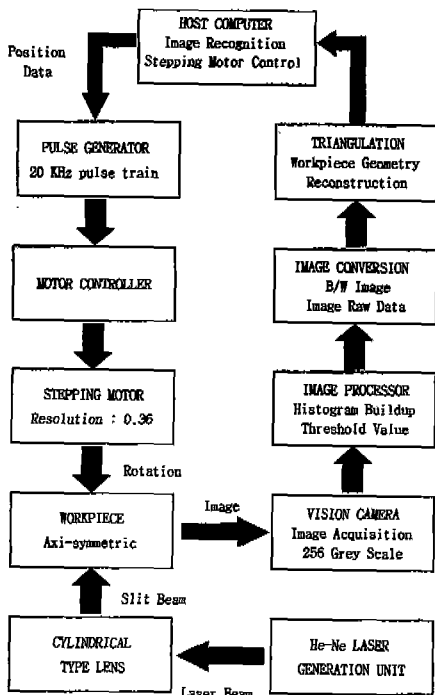


Fig. 2 Schematic diagram of the shape measurement system

스테핑 모터의 위치 제어, 영상 정보의 수집 및 처리 등 장치의 구동 및 영상 처리 작업은 C-언어를 사용하여 작성된 프로그램에 의해 실시간으로 수행될 수 있도록 실험 장치를 제작하였다.

① CCD 카메라

측정대상물의 영상을 획득하기 위해 사용된 흑백 CCD 카메라는 50 dB 이상의 S/N 비를 가지고 768(H) × 493(V) 개의 화소로 구성되었으며, 소자 크기는 8.8 mm × 6.6 mm 이

다. 그리고, 계측에 사용된 카메라 렌즈의 초점 거리는 16 mm, 시계각은 수평각 30.7°, 수직각 23.2° 이다.

② 레이저 조명장치

영상을 획득하기 위해 사용되는 조명 방식에는 후방 조명, 전방조명, 구조광, 스트로보 조명 등의 방법이 있다. 본 연구의 삼차원 형상 측정에서 적용되는 조명 방식은 구조광의 일종으로써 레이저를 이용하여 측정 대상물에 부채꼴 기준면을 조명하여 삼차원 형상을 부각시키는 방법이다. 슬릿빔 생성은 레이저에서 나오는 광선을 원통 렌즈를 이용하여 부채꼴 형태의 면으로 확산시킴으로써 이루어진다. 레이저에 의하여 생성된 슬릿빔은 밝기가 균일하면서 얇은 면을 유지하여서 물체에 주사되었을 때 아주 가는 선이 되도록 하여야 한다.⁽¹²⁾ 전체적인 조명은 완전한 암실 형태가 아니고 실내등을 소등한 후 외부 직사광선이 들어오는 것을 막아주는 정도로 하여 현장에서 쉽게 재현할 수 있도록 하였다. 만약 직사광선이 물체에 비추어진다면 시각 센서로 획득하는 영상내에서 레이저 슬릿빔보다 더 밝은 부분이 생겨서 일고자하는 영상에서 노이즈를 발생시켜 윤곽 패턴을 추출하는 것이 불가능해지므로 주의해야한다.

측정 대상물의 조명을 위해 사용된 레이저 광원은 He-Ne 형식이며, 출력 5 mW, 빔 직경 0.81 mm, 빔 확산도 1.0 mrad의 성능을 갖고 있다. 직경 4.2 mm의 원통형 렌즈를 레이저 장치 전방에 설치하고 레이저 광을 원통형 렌즈를 통과시켜 측정 대상물에 슬릿광을 주사한다.

③ 영상정보의 획득 장치

시각 센서의 CCD 소자에 맺힌 영상 정보를 처리하여 이진 영상 혹은 그레이 영상으로 변환하기 위해 사용된 영상 처리 보드는 흑백 영상 처리 보드인 DT3851-1을 사용하였다. 영상 처리 보드는 개인용 컴퓨터의 확장 슬롯에 장착하여 사용할 수 있으며, 실시간 영상 처리가 가능하다. 본 연구에서는 CCD 소자에 맺힌 영상 정보를 수평 분해능 640 픽셀, 수직 분해능 480 라인으로 분해하여 영상의 명암을 8비트 A/D 변환과정을 거친 뒤 256 그레이 레벨로 변환된다.

측정 대상물의 표면 형상을 스캐닝하기 위해 사용된 스테핑 모터 유니트는 2상 모터를 사용하였다. 스테핑 모터의 구동을 위해 외부에서 가해지는 단위 펄스당 회전 각도는 1.8°의 분해능을 가진다. 측정 대상물을 스테핑 모터 회전축에 고정하여 회전시키면 레이저 슬릿광이 주사되는 면이 달라지므로 계측 대상물을 360° 회전시키며 전체 형상에 대한 정보를 확보한다.

④ 영상 정보 해석

시각 센서에 수집된 영상 정보로부터 레이저 슬릿광이 조사된 부분의 영상 정보를 분리하여 형상 정보를 추출하여야 한다. 슬릿광이 조사된 부분의 영상은 다른 부분에 비해 월등히 밝기 때문에 해당 영상 정보를 추출하기 위해 영상 명암에 대한 히스토그램을 작성한 뒤 임계치를 설정하는 방법을 사용한다. 즉, 영상의 명암이 임계치보다 높은 픽셀만을 레이저 슬릿광이 조사된 부분으로 간주하여 영상 정보를 추출하는 방법이다. 히스토그램은 CCD 픽셀에 맺힌 영상을 256 등급의 그레이 레벨로 변환한 뒤 횡축을 그레이 레벨, 종축을 발생 빈도수로 나타낸 그래프이다. 이렇게 구한 히스토그램을 바탕으로 영상 정보를 분리하기 위한 명암 임계치를 설정하여 레이저 광이 조사된 부분의 영상을 추출한다.

레이저 슬릿광이 조사된 부분의 영상은 하나의 픽셀에 맺히는 것이 이상적이나 레이저 광선 자체의 광폭과 확산 현상에 의해 임계치를 초과하는 픽셀의 수가 하나 이상 나타나게 된다. 그러므로, 계측 대상물의 영상 좌표는 임계치를 초과하는 픽셀들의 좌표값들을 평균하여 설정하는 방법을 채택하였다.

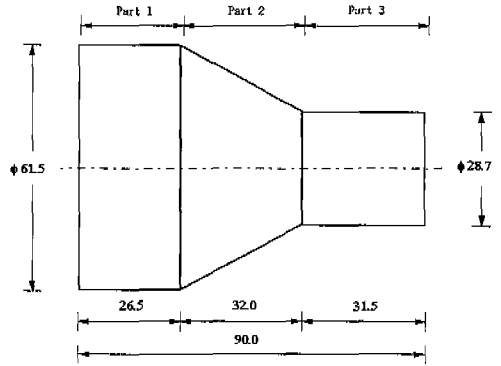
레이저 슬릿광이 조사된 부분의 영상 좌표를 결정한 뒤 식 (2)와 (4)를 적용하면 레이저 슬릿광이 조사된 부분의 삼차원 공간상의 위치를 계산할 수 있으며, 계측 대상물의 회전각, θ 를 변화시키면서 수집된 영상 정보로부터 슬릿광이 조사된 부분의 위치를 연속적으로 계산하면 계측 대상물의 전체 형상을 파악할 수 있다.

3-2. 영상 실험

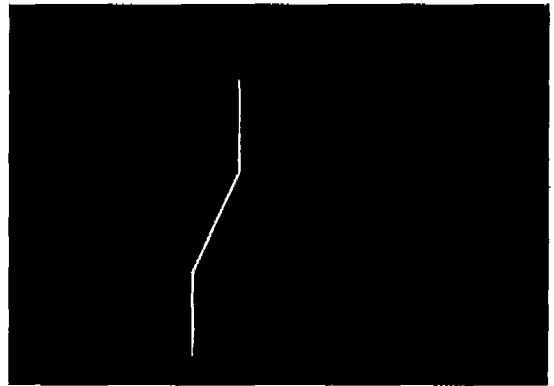
Fig. 3은 삼차원 형상 계측에 사용된 축대칭 물체 형상 (Fig. 3A)과 레이저 슬릿광을 조명하여 수집한 물체의 그레이 영상 (Fig. 3B)을 보여주고 있다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 레이저 슬릿광을 조명한 경우 슬릿광이 조사된 부분의 밝기는 조사되지 않은 부분에 비해 월등히 밝게 나타난다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 4는 축대칭 물체에 레이저 슬릿광을 조명하여 수집한 물체 영상의 밝기 강도를 히스토그램으로 작성한 결과 (Fig. 4A)와 히스토그램의 밝기 정보를 바탕으로 슬릿광이 조사된 부분의 영상만을 분리한 결과 (Fig. 4B)를 보여주고 있다.

영상 밝기에 대한 Fig. 4(A)는 CCD 소자의 각 픽셀에 맺힌 영상의 명암을 8비트 A/D 변환기를 사용하여 총 256 등급으로 분류하여 특정 밝기 강도를 가지는 픽셀의



(A) Geometry of the test object for the shape recognition



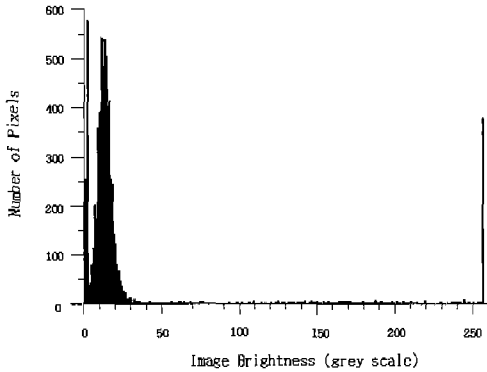
(B) Gray scale image of the test object captured from the CCD camera

Fig. 3 Test object details for shape recognition

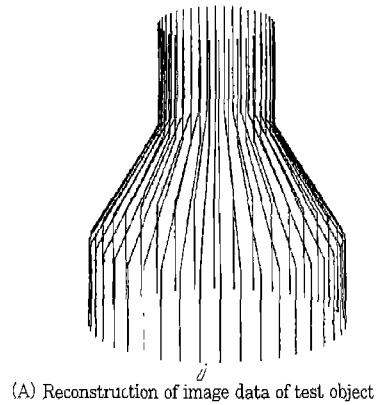
분포 특성을 보여주고 있다. Fig. 4(A)에서 보는 바와 같이 레이저 슬릿광이 조사된 곳과 조사되지 않은 곳이 확연하게 분리됨을 알 수 있다. 그러므로, 레이저 슬릿광이 조사된 부분의 영상을 분리하기 위해서는 히스토그램의 결과를 바탕으로 영상 명암에 대한 임계치를 설정하여 픽셀의 명암이 설정된 임계치보다 큰 부분에 해당하는 픽셀을 분리하는 방법을 사용한다. 레이저 슬릿광은 폭이 좁으면서 일정한 밝기 강도를 유지하는 것이 이상적이거나 실제로는 빔의 확산 현상에 의해 레이저 슬릿광이 조사된 부분의 영상이 몇 개의 픽셀에 걸쳐 형성된다. 이 경우 영상 중심은 각 픽셀의 위치를 평균하여 결정한다. Fig. 4(B)는 이러한 방법을 적용하여 Fig. 3(B)의 그레이 영상으로부터 윤곽선을 추출한 결과를 보여주고 있다.

3-3. 삼차원 형상 계측 실험

제안된 삼차원 계측 시스템의 성능을 조사하기 위해 사



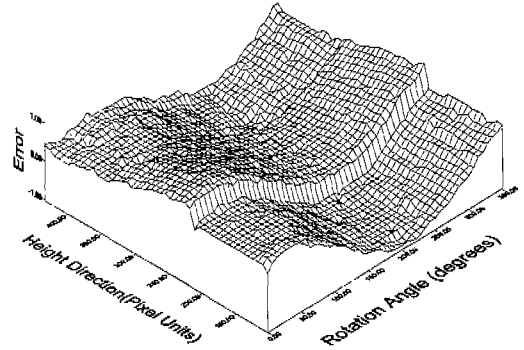
(A) Gray image histogram of test object



(A) Reconstruction of image data of test object



(B) Binary image of test object



(B) Measurement error distribution

Fig. 4 Image processing of test object

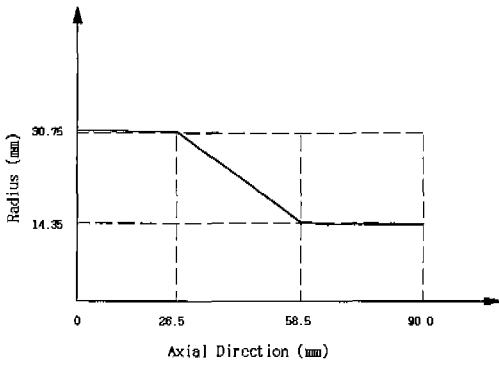
Fig. 5 Reconstruction of image data of test object

용된 시편은 Fig. 3(A)에 제시된 바와 같이 직경 61.5 mm의 원통부, 직경이 선형적으로 변화하는 원뿔부, 직경 28.7 mm의 원통부 등의 세 부분으로 구성되었다. 형상 계측에 사용된 축대칭 시편은 ± 0.01 mm의 가공 정밀도를 가지는 CNC 선반을 사용하여 제작하였으며, 완성된 시편에 대해 1/100 mm 정밀도를 가지는 다이얼 게이지를 사용하여 가공 치수를 확인하였다. Fig. 3(A)에 표시된 축대칭 물체를 본 연구를 통해 제안된 삼차원 형상 계측 시스템을 사용하여 측정한 결과를 Fig. 5에 제시하였다.

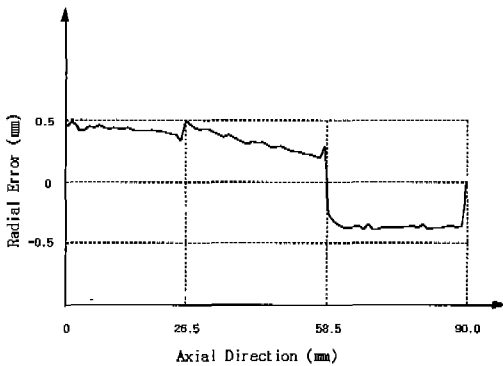
Fig. 5(A)에 제시된 실험 결과는 축대칭 물체를 9° 간격으로 회전시키면서 총 40개 부위에서 계측한 결과를 윤곽선 형태로 표현한 것이며, Fig. 5(B)는 측정 각도에 대한 형상 계측 오차 분포 상태를 표시한 것이다. Fig. 5(B)에 제시된 형상 오차 분포 곡선을 분석하면 계측 오차가 축대칭 물체의 회전각도에 따라 정현파 형태로 변화

한다는 사실을 알 수 있으며, 이것은 계측실험시 축대칭 물체를 스테핑 모터 회전축에 설치하는 단계에서 기하학적 중심과 회전 중심축을 정확하게 일치시키지 못하였기 때문에 계통적 오차(systematic error)가 발생한 것으로 판단된다. 이러한 형태의 계통적 오차의 영향을 줄이기 위해 측정 데이터에 대해 통계학적 방법을 적용하여 측정 정밀도를 조사하였다. Fig. 6(A)는 축대칭 단면의 높이 변화량과 반경 변화량에 대한 계측 결과를 보여주고 있으며, Fig. 6(B)는 반경 방향의 계측 오차 분포를 보여주고 있다. Table 2는 계측 대상물의 형상 변화에 대한 측정 오차를 분석한 결과이다.

Table 2의 세 번째 열에 표시된 선형적으로 변화하는 직경을 가지는 원통부에 대한 반경 계산식을 이용하면 $H = 31.5$ mm일 때 $R = 14.35$ mm, $H = 63.5$ mm일 때 $R = 30.75$ mm가 됨을 알 수 있다. 그리고, 이 부분에 대한 계측 결과는 측정 데이터에 대해 최소자승법을

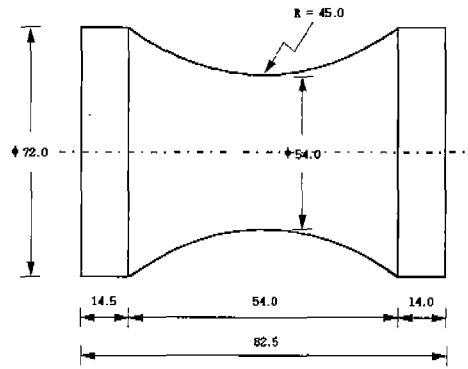


(A) Measured geometry of test object

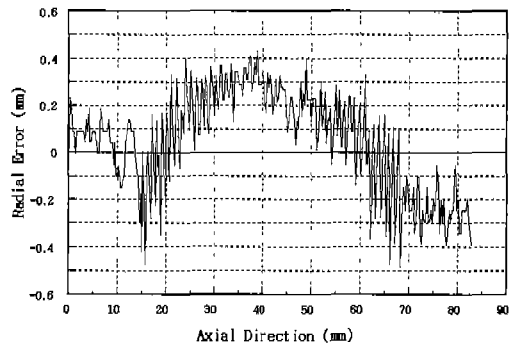


(B) Distribution of average radial error

Fig. 6 Measurement and radial error of the test object



(A) Geometry of the test object used for experiment



(B) Measurement error distribution

Fig. 7 Experimental results of measurement error distribution

Table 2. Measurement results of test object

	Part 1	Part 2	Part 3
Actual Dimension (mm)	R = 14.35 ± 0.01 H = 31.5 ± 0.01	R = 0.5126 H - 1.79375 H = 32.0 ± 0.01	R = 30.75 ± 0.01 H = 26.5 ± 0.01
Measured Dimension (mm)	R _{avg} = 13.99 R _{max} = 14.12 R _{min} = 13.96 σ = 0.02 H _{avg} = 31.26	R = 0.5126 H - 1.79451 H _{avg} = 31.54	R _{avg} = 31.15 R _{max} = 31.24 R _{min} = 31.03 σ = 0.03 H _{avg} = 26.42

적용하여 높이 변화에 대한 반경 변화식을 선형식 $R = 0.5126 H - 1.79451$ (mm)으로 유도하였으며, 이 식에 대한 상관계수(correlation coefficient), R2 값은 0.99998로 유도된 관계식의 신뢰도가 매우 높다는 사실을 알 수 있다.

제안된 측정 시스템의 성능을 검증하기 위해 Fig. 3에 제시된 측정 대상물의 형상과 다른 물체에 대하여 측정 실험을 수행한 결과를 Fig. 7에 제시하였다. Fig. 7(A)

에서 보는 바와 같이 측정 대상물은 축대칭이며, 중앙부에 반경 45mm의 곡률부를 가지고 있다.

Fig. 6(B)와 Fig. 7(B)의 측정 결과로부터 본 연구에서 제안된 시가 센서를 이용한 삼차원 계측 시스템은 ± 0.5 mm 이내의 측정 정밀도를 가짐을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 축대칭 형상을 가지는 물체의 삼차원 형상을 측정하기 위해 비접촉식 측정 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 연구를 수행하였다. 제안된 삼차원 측정 시스템은 CCD 카메라, He-Ne 레이저, 원통형 렌즈, 영상처리 보드, 스테핑 모터, 영상 처리 프로그램 등으로 구성되어 있다. 본 장치는 레이저 광을 원통형 렌즈에 투과시켜 레이저 슬릿광을 발생시켜 물체에 조사하는 방법을 사용하여 이진 영상 처리 방법을 통한 영상 처리 속도

를 향상시켰으며, 레이저 광의 높은 조도를 이용하여 외부 조명의 간섭 현상을 해결하였다. 그리고, 축대칭 물체에 대한 형상 계측을 위해 스테핑 모터로 계측대상 물체를 일정한 속도로 회전시키는 방법을 사용하였다.

원통형 시편에 대해 제안된 삼차원 측정 시스템의 성능 시험을 수행한 결과 측정 대상물의 삼차원 형상에 대한 정보를 추출할 수 있었으며, $\pm 0.5 \text{ mm}$ 이내의 정밀도를 가지고 측정 대상물의 반경 및 높이를 측정할 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 계측 데이터에 제안된 측정 시스템의 설치과정에서 발생한 계통적 오차를 포함하고 있는 것을 고려하면 추후 연구를 통해 계통적 오차의 제거 알고리즘, 시각 센서 자체의 교정 방법 등에 대한 체계적 연구를 수행하여 계측 정밀도를 향상시키고자 한다.

본 연구 결과는 비교적 저렴한 비용으로 제작이 가능한 비접촉식 측정 시스템 개발에 활용될 수 있으며, 선반 작업을 통해 가공된 기계부품류의 정밀도 측정 작업에 응용될 수 있을 것이다.

5. 참고 문헌

1. 월간 자동화 기술, 1991, 1월호
2. "센서 핸드북", 세화 출판사, 1990.
3. R. A. Jarvis, "A perspective on range finding techniques for computer vision", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.PAMI-5, No. 2, march 1983.
4. Minoru Asada, Hidetoshi Ichikwa, and Saburo Tsuji, "Determining Surface Orientation by Projecting a Stripe Pattern", IEEE Transactions on Pattern Analysis and

Machine Intelligence, vol. 10, No. 5, september, 1988.

5. 박 현구, 김 승우, 박 준호, "슬릿광 주사방법에 의한 자유곡면의 삼차원형상 측정", 대한기계학회논문집 제17권 제5호, pp. 1202~1207, 1993.
6. 최 이배, 김 승우, 박 현구, 김 문상, "'93 대전 꿈돌이 조각가로보트의 인물형상 측정시스템", 대한기계학회 '94년도 춘계학술대회논문집(1) pp. 235~238.
7. 윤 원수, 조 동우, "초음파 센서를 이용한 물체 윤곽 재구성에 관한 연구", 대한기계학회 '94년도 춘계학술대회논문집(1) pp. 679~683.
8. Rafael C. Gonzalez, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1992.
9. 이 문호 편저, "퍼스컴을 이용한 화상처리", 가다리, 1992.
10. Louis J. Galbiati, Jr., "Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals", Prentice-Hall International Editions, 1990.
11. H.A.Martins, J.R.Birk, and R.B. Kelley, "Camera models based on data from two calibration planes", Computer graphics and image processing 17, 173~180, 1981.
12. Shinich Tamura, Eung-Kyeu Kim, Robert Close and Yoshinobu Sato, "Error correction in laser scanner three-dimensional measurement by two-axis model and coarse-fine parameter search", Pattern Recognition, vol.27, No.3, pp331~338, 1994.