

〈논 문〉

He-Ne 레이저와 CCD 카메라를 이용한 비접촉 3차원 측정

김봉채* · 전병철* · 김재도*

(1997년 1월 20일 접수)

Noncontact 3-dimensional Measurement Using He-Ne Laser and CCD Camera

Bongchae Kim, Byungcheol Jeon and Jae-Do Kim

Key Words : Noncontact 3-dimensional Measurement(비접촉 3차원 측정법), Laser Slit Beam(레이저 슬릿 빔), Reflection Measurement Method(반사식 측정법) CCD Camera(CCD 카메라) Surface Modeling(곡면 모델링)

Abstract

A fast and precise technique to measure 3-dimensional coordinates of an object is proposed. It is essential to take the 3-dimensional measurements of the object in design and inspection. Using this developed system a surface model of a complex shape can be constructed. 3-dimensional world coordinates are projected onto a camera plane by the perspective transformation, which plays an important role in this measurement system. According to the shape of the object two measuring methods are proposed. One is rotation of an object and the other is translation of measuring unit. Measuring speed depending on image processing time is obtained as 200 points per second. Measurement resolution is experimented by two parameters among others; the angle between the laser beam plane and the camera, and the distance between the camera and the object. As a result of these experiments, it was found that measurement resolution ranges from 0.3 mm to 1.0 mm. This constructed surface model could be used in manufacturing tools such as rapid prototyping machine.

1. 서 론

가공된 제품의 형상과 치수가 설계 값에 얼마나 일치하는가는 제품의 품질에 있어서 매우 중요하다. 특히 금형 및 지그와 같은 제품은 금형 자체의 품질, 금형을 사용하는 생산공정의 생산성, 금형을 이용하여 만들어지는 제품의 품질에 커다란 영향을 준다.⁽¹⁾ 따라서 금형을 비롯한 가공이 끝난 제품은 그 치수가 설계 값에서 얼마나 벗어나는가를 신속

하고 정확하게 측정해야 한다.

컴퓨터가 널리 사용되면서 기계설계 및 제작에 획기적인 전기를 마련하게 되었다. CAD/CAM system의 이용으로 생산성이 높아졌으나 이 방법을 이용하는 데는 필수적으로 만들고자 하는 제품의 형상을 입력하는 과정이 필요하게 된다.^(1,3)

일반적으로 생산에 필요한 데이터를 얻기 위해서 접촉식 3차원 측정기(CMM)에서 접촉식 프로브를 이용하게 된다. 접촉식은 측정정밀도는 높으나 시간이 많이 걸리고 유연성이 있는 재료에서는 접촉 압력에 따른 오차가 발생하게 된다. 이러한 결과로 인하여 경제성이 높고 시간이 빠른 비접촉 3차원

*인하대학교 대학원 기계공학과

**회원, 인하대학교 기계공학과

측정기에 대한 개발이 요구되고 있다.

이와 같이 제품의 검사와 CAD/CAM 기술을 최대로 활용하여 고능률의 금형 및 제품 생산체제를 갖추기 위해서는 Fig. 1에서와 같이 3차원 측정기의 역할이 매우 중요하다.^(1,3) 제품의 형상은 거의 대부분이 자유곡면을 가지고 있으므로 3차원의 정확한 형상을 구현하는 것은 매우 어렵다. 접촉식 3차원 측정기는 측정정밀도가 높으나 측정에 많은 시간이 걸려 경제적으로 효율이 좋지 않고 유연성이 있는 재료를 측정할 경우 측정기의 접촉압력에 따라 측정오차가 발생하게 된다. 따라서, 측정속도를 향상시키고 3차원 형상측정의 자동화를 이룩하려는 연구가 진행되어 왔다.^(1,3,4-17)

레이저를 이용한 3차원 측정시스템은 기존의 장비에 레이저와 image processing 보드만을 이용하여 제작이 가능하므로 접촉식 장비를 구입하지 않아도 되는 장점이 있다.

본 연구는 제품 개발자의 비생산적인 수작업을 통한 좌표입력을 개선하고 자동으로 제품의 형상을 측정하여 3차원 모델을 구현하며, 최근 금형개발에 응용되기 시작한 쾌속조형법(rapid prototyping)의 하나인 레이저소결기를 비롯한 수치제어 가공기로 가공된 형상의 가공결과에 대한 정보를 제공할 수 있는 비접촉 3차원 측정기의 개발에 연구 목적을 두고 있으며, 개발되어진 3차원 측정기를 이용하여 추후 개발되어질 3차원 쾌속조형법 및 현재 진행되어지고 있는 3차원 FAX 시스템에 적용이 가능한 제품을 제작하는 것, 즉 생산자와 소비자 사이를 하나의 시스템을 이용하여 통합적으로 관리하는 것이 연구의 목적이다.

2. 측정이론

2.1 투영변환

측정하고자 하는 물체에 반사된 레이저 평면광은 카메라의 2차원 영상평면으로 투영된다. 2차원 영상평면에서 구하고자 하는 3차원 좌표값을 얻기 위해서는 3차원 좌표가 2차원 평면으로 투영변환되는 관계를 알아내야 한다.⁽¹⁸⁻²¹⁾ 투영변환행렬을 측정하고자 하는 대상과 카메라에 적용시키면 화면좌표계가 카메라좌표계가 되고, 공간절대좌표계는 측정하고자 하는 대상을 나타낸다. 공간절대좌표 $W(X, Y, Z)$ 와 카메라좌표 $C(x, y, z)$ 는 각각 독립적인데, 이 두 좌표를 일치시킬 수 있으면 투영변

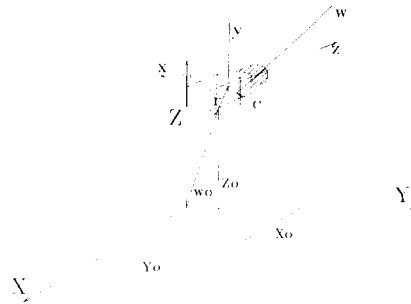


Fig. 1 Relation between world coordinate and camera plane

환을 적용할 수 있다. Fig. 1는 카메라좌표계와 공간절대좌표계를 보여 주고 있다. 측정점을 선정하는 광원은 평면광이므로 평면광의 식은

$$(X \ Y \ Z \ 1) \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix} = 0 \quad (1)$$

임의의 변환행렬 A 로 공간절대좌표와 카메라 화면 좌표의 변환관계를 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$(X \ Y \ Z \ 1) \begin{Bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} \end{Bmatrix} = (x_h \ y_h \ h) \quad (2)$$

평면광에 의하여 선정된 측정점이 영상평면으로 변환되고 측정점은 식 (1), (2)을 만족하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$(X \ Y \ Z \ 1)A = (x_h \ y_h \ 0 \ h) \quad (3)$$

x_h, y_h : 화면상의 x, y 좌표

h : 픽셀의 밝기

$$(X_H \ Y_H \ Z_H \ H) = (x \ y \ 0 \ 1)A^{-1} = (x \ y \ 1) m \quad (4)$$

$$A = \begin{Bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$m = \begin{Bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

동차 좌표계의 원리에 의하여 $X = X_H/H$, $Y = Y_H/H$, $Z = Z_H/H$ 이므로 식 (4)을 정리하면

$$\begin{aligned} m_{11}x + m_{21}y + m_{31} - X(m_{14}x + m_{24}y + m_{34}) &= 0 \\ m_{12}x + m_{22}y + m_{32} - Y(m_{14}x + m_{24}y + m_{34}) &= 0 \\ m_{13}x + m_{23}y + m_{33} - Z(m_{14}x + m_{24}y + m_{34}) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

행렬 m 의 미지수가 12개이므로 공간절대좌표값을 알고 있는 기준점이 최소한 4개가 있어야만 교정값 m_{ij} 를 구할 수 있으며, 교정값과 측정점의 화면 좌표를 알면 측정하고자 하는 물체의 좌표값을 구할 수 있다. 따라서 기준점을 주는 교정블록이 필요하다.

2.2 곡면 모델링

곡면의 형상을 컴퓨터에서 수치적인 정보로 표현하는 것을 곡면 모델링(surface modeling)이라 한다. 획득된 형상정보를 캐속조형에 의한 시작금형의 가공에만 이용하고자 할 경우에는 곡면의 형상을 fitting할 필요가 없으므로 매개변수 다항식을 이용하지 않고 곡면의 형상을 획득된 점좌표로 모델링하는 것이 유리하다. 본 연구에서는 근사모형법중 선형 정밀도 모형의 하나인 다면체 근사모형법을 이용하였다. 근사모형을 형성하는 방법에는 접평면 근사모형, 원판 근사모형 등도 있으나 다면체 근사모형방법이 다른 모형에 비해 근사공차에 대한 보장이 가장 확실하고 위치벡터만을 필요로 하는 장점이 있다.

다면체 근사모형법은 점 데이터를 삼각형 망으로 연결하므로써 곡면을 다수의 작은 삼각형 면으로 이루어진 다면체로 근사하는 방법이다. 다면체 근사모형은 접평면 근사모형과 원판 근사모형에 비해 자료구조가 다소 복잡하나 근사공차에 대한 보장이 가장 확실하고 위치벡터만을 필요로 하는 장점이 있다. 다면체 근사모형을 Fig. 2에 나타냈다.

삼각면 형성(triangulation)은 일정한 조건을 만족하도록 3개의 위치벡터 삼각면을 만드는 작업으로 입력된 점좌표의 형태에 따라 알고리즘이 결정된다. 측정된 점좌표는 측정오차를 포함하고 있다. 모든 점들을 사용하여 삼각면을 만들면 이러한 오차가 곡면의 형상에 포함되며, 곡률의 변화가 심한 곳에서는 삼각형의 각 내각의 크기가 크게 차이나는 삼각면이 만들어질 수 있다. 이러한 문제를 해

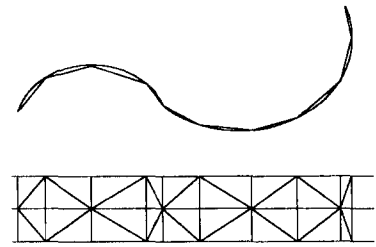


Fig. 2 Polyhedron model

결하기 위해 측정된 점좌표 중에서 일정조건으로 제거하여 정삼각면이 만들어지도록 하였다. 첫 번째로 각 scanning시 생성되어지는 그룹단위의 점중에서 대표할 수 있는 점을 구하여 삼각면의 꼭지점으로 사용해야 오차가 최소화 되지만 각 대표점을 결정할 수 없기 때문에 각 그룹의 평균값을 대표값으로 사용하였다. 두번째로 정삼각면을 만들기 위하여 각 scanning에서 사용할 점의 개수를 결정한 후 다음 scanning시에 이를 대입하여 각 점들을 결정하였다. 세번째로는 scanning에 의해서 얻어진 점 중 두점과 이웃하는 scanning의 한점을 이용하여 삼각면을 만들었으며, 이웃하는 점을 선택하는 기준은 최소각 최대화 기준과 평활도 기준을 이용하였다. 마지막으로 각 삼각면의 형상정보와 연결관계를 알기 위해 일정한 방향성을 가진 삼각면으로 생성하였다. 만들어진 각각의 삼각면간의 연결관계를 쉽게 표현하기 위하여 선정된 점좌표를 순서적으로 일정한 방향성을 갖도록 삼각면을 생성하였다. (22~24)

3. 실험장치

3.1 측정부와 회전테이블

측정부는 능동 광원으로 사용된 He-Ne 레이저와 CCD 카메라를 설치한 직선 이송장치이다. 스텝모터에 의하여 구동되며, 직선 이송장치와 스텝모터 드라이버는 직접 제작하였다. 측정부에서는 카메라의 각도조절을 통하여 측정대상물과 이루는 각도를 조정할 수 있다. Fig. 3에 측정시스템 구성도를 나타내었다. 10 mW He-Ne 레이저에 line generator를 사용하여 선모양의 빛을 만들었다.

회전테이블은 측정대상물을 올려놓고 최소 0.5° 단위로 움직일 수 있게 하였다. 측정부는 최소 1.0 mm 단위로 움직일 수 있도록 하였다. 측정의 정확성을 위하여 좀더 작은 단위로 측정을 할 수도

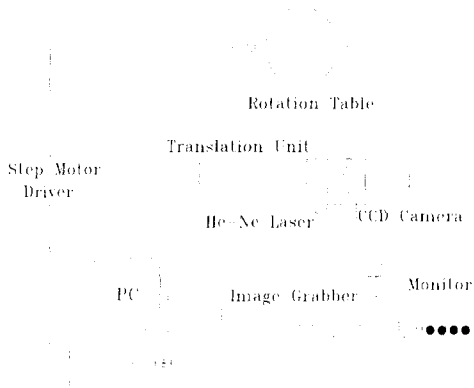


Fig. 3 Configuration of three dimensional measurement system

있으나 설정한 최소 단위로도 대상물에 대한 형상의 추이를 판단할 수 있기 때문에 최소 단위를 위와 같이 설정하였다. 대상물의 형태에 따라 측정 대상물 회전, 또는 측정부 이동 등의 측정방식을 택할 수 있다. 측정부와 회전테이블은 각각 스텝 모터에 의하여 구동된다. 스텝모터는 PC의 병렬 통신포트(parallel port)에 연결되어서 그 움직임을 제어된다.

3.2 영상 획득장치

영상 획득장치는 DT 2867/LC image grabbing board와 CCD 카메라, pentium PC를 사용하였다. 영상 획득장치는 Windows 3.1 환경 및 DOS 환경에서 흑백화면을 획득하여 모니터를 통해 볼 수 있고 파일의 형태로 저장할 수 있다. Table 1과 Table 2에 측정장치에 사용된 장치의 사양을 나타내었다.

3.3 좌표 측정프로그램

측정시스템을 운영하는 소프트웨어는 C language를 이용하여 제작하였다. 소프트웨어의 주요 기능은 다음과 같다.

3.3.1 초기화

측정시스템에서 사용할 주요 변수 - 측정방식(직선이동, 회전이동)과 카메라, 측정대상물의 절대위치, 획득된 화면에서의 threshold 기준값, 저장된 파일의 이름 등 - 를 설정한다.

3.3.2 카메라 교정

카메라 교정(camera calibration)은 공간절대좌표와 카메라 화면좌표간의 변환관계를 구하는 것으

Table 1 Vision board (DT 2867/LC)

Video input	RS-170/NTSC/RS-330
Memory	Two 8-bit buffers

Table 2 Specification of CCD camera

Resolution	570×485 pixels
Horizontal resolution	420 lines
Sensitivity (lux)	0.5 (F 1.4)
Signal to noise ratio (dB)	48
Sensing area (mm ²)	6.4×4.8
Auto iris Lense	WV-LA12B2
Focal length (mm)	12

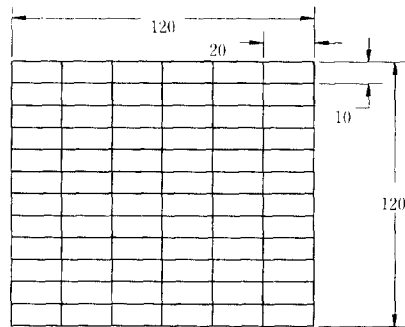


Fig. 4 Calibration block (mm)

로 미리 알고 있는 공간절대좌표를 이용하여 변환 행렬의 계수를 얻어내는 것이다. 이 변환계수가 측정정밀도를 좌우하므로 정밀하게 구해야만 한다. 또한 카메라와 레이저를 측정기에서 분리시킨 후 다시 설치하였을 경우에는 그 때마다 다시 카메라 교정을 해야 한다. Fig. 4에 교정블록을 나타내었다. 격자모양의 교정블록을 이용하여 레이저 빛이 맞는 곳에서의 절대좌표와 화면좌표를 얻는다. 교정점은 최소한 4개 이상이어야 하고 실험에서는 정밀도를 높이기 위해 25개의 점을 이용하였다. 기존의 방법은 치수를 알고 있는 일정 대상물중에서 몇 개의 점만을 가지고 교정을 하였지만 본 연구에서 사용한 교정방법은 치수를 알고 있는 격자블록(grid block)을 이용하여 세분화되어진 교정점을 이용하였다.

3.3.3 모터 구동

입력된 측정방식과 측정간격에 따라서 회전테이블과 측정부를 구동한다. 측정이 끝나면 다음 측정

을 위하여 원점으로 측정부를 옮기도록 하였다.

3.3.4 영상변환(thresholding and thinning)

레이저 빛이 측정대상물에 닿은 경우 측정위치만을 판단하여 구별해야 한다. 화면 2진화기법과 수평 세선화법을 이용하여 측정하고자 하는 부분만을 얻어낸다.

3.3.5 화면획득 및 실좌표계산

화면획득장치를 이용하여 카메라에서 찍은 대상물을 메모리와 파일로 저장할 수 있게 하였다. 화면에서 레이저가 닿은 부분을 앞에서 구한 교정계수를 이용하여 공간절대좌표를 계산, 파일에 저장한다.

3.3.6 곡면모델 형성

계산된 좌표를 이용하여 3차원 surface modeling을 하도록 하였다. 이는 앞으로 계속 연구해야 할 분야로 만들어진 곡면모델(surface model)에서 신속조형기(rapid prototyping machine)로 보내질 2차원 단면 가공정보를 만드는 기초가 된다.

4. 실험방법

4.1 측정정밀도 비교

개발된 측정기가 갖는 정밀도에 대한 실험을 한다. 실험장치의 특성상 카메라와 레이저광평면이 이루는 각도, 카메라와 측정대상물 사이의 거리, 카메라 해상도, 측정대상물과 레이저광 평면이 이루는 각도 등에 따라서 측정정밀도는 달라진다. 정밀도 측정은 측정대상물과 레이저광 평면이 이루는 각도에 따른 측정한계, 광원과 카메라의 각도에 따른 측정분해능, 측정대상물과 카메라 사이의 거리에 따른 측정분해능을 평가하였다.

4.2 측정부 직선이동

측정대상물의 모양에 따라 측정방식을 결정한다. 카메라와 레이저를 설치한 측정부를 일정한 단위로 움직이도록 하였다. 실험에서는 측정대상물을 1.0 mm 단위로 측정하였다.

4.3 측정대상물 회전

회전테이블을 이용할 경우에는 대상물이 측대칭인 경우에 보다 유리하다. 측정 대상물이 회전 테이블의 회전축을 벗어나지 않도록 설치하여야 한다. 측정간격은 작을수록 유리하나 측정 시간이 많이 걸린다. 측정대상물의 모양에 따라 2°, 5°, 10°

단위로 측정하였다. 측정대상물이 인형처럼 복잡할수록 정확성을 위하여 단위를 적게 하면서 측정하였다.

4.4 대상물의 측정시간

측정을 위한 카메라의 화면 픽셀단위는 640×480 이었기 때문에 획득되어진 하나의 화면을 전부 2진화하는 경우에는 최저 초당 9개의 점좌표를 측정하였다. 그러나 이와 같은 경우 측정하고자 하는 대상물이 화면 전체에 위치하는 것이 아니고 어떠한 일정부분에만 존재하기 때문에 전체적인 작업효율이 떨어지게 된다. 이를 보정하기 위하여 처음화면에서 대상물이 차지하는 최적의 가로, 세로 픽셀을 결정된 후, 이를 기준으로 설정되어진 화면에서만 측정작업을 실시하였다. 이결과 초당 약 200개이상의 점좌표를 측정할 수 있었다.

5. 결과 및 고찰

5.1 측정기의 측정한계

반사식 측정기의 측정한계는 대상물이 카메라 화면과 이루는 각도에 따라 레이저광이 반사되지 않는 한계가 있다. 이 보다 큰 각도를 이루고 있는 경우에는 측정이 불가능하다. Fig. 5는 화면과 대상물이 이루는 각도에 따른 반사광의 밝기변화이다. 대상물이 화면과 이루는 각도가 80°를 넘으면 주변과 구별을 할 수 없게 되어 측정점을 구할 수 없다. 세선화기법으로 대상물의 형상을 측정하려면 적어도 화면에 측정된 빛의 밝기가 200이상이어야 하는데 80°를 넘어서면 200미만의 값으로 떨어지게 되어 주변과 구분이 명확하지 못하게 된다. 따라서 기하학적으로 반사식 측정기의 측정 한계는 80°정도이다.

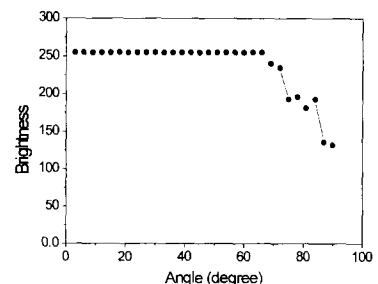


Fig. 5 Measurement limit experimented by the angle between camera and measuring object

5.2 광원과 카메라의 각도에 따른 분해능

카메라와 레이저광 평면이 이루는 각도는 측정 정밀도에 영향을 미치는 주요 인자이다. 카메라 화면과 레이저광 평면이 직각을 이루고 있는 경우에는 어떤 방법으로도 3차원 형상을 측정할 수 없다. 이는 레이저 평면이 직선으로 화면에 투영되기 때문이다. 가장 높은 정밀도를 주는 각도는 카메라 평면이 레이저광 평면과 나란한 경우이나 이 때에는 측정을 할 수 없게 된다. Fig. 6에 카메라 거리를 300.0 mm로 고정한 후에 카메라 평면과 레이저광 평면이 이루는 각도에 따른 분해능(resolution)을 나타내었다. 300.0 mm 이전과 이후에서의 분해능은 실험결과 정밀도가 0.5 mm 이상이 나오게 되어 사용하지 않았다. 각도가 커질수록 분해능(resolution)은 점점 좋아진다. 따라서 각도가 클수록 측정정밀도가 높아지나 측정한계를 고려하면 최적값이 있게 된다.

5.3 거리에 따른 분해능

화면과 측정대상물 사이의 거리에 비례하여 분해능이 낮아진다. 카메라각도를 40°로 고정한 채로 카메라와 측정대상물 사이의 거리에 따른 분해능을 Fig. 7에 나타내었다. 이는 실제길이를 나타내는

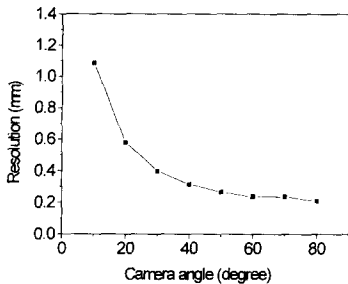


Fig. 6 Resolution according to camera angle

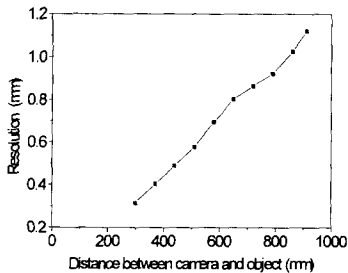


Fig. 7 Resolution according to distance

카메라 화소간의 길이가 측정대상물 사이의 거리가 멀어질수록 커지기 때문이다.

5.4 측정오차

측정오차는 치수를 알고 있는 원판의 지름을 측정한 결과를 비교하는 방법으로 평가하였다. 측정에 사용된 원판은 각각 지름이 27.77 mm, 60.0 mm, 120.0 mm이고, 높이가 30.0 mm이다. Table 3에 절대길이에 대한 퍼센트로 측정오차를 표시하였다.

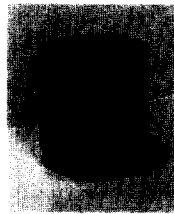
쾌속조형에 의한 가공에 있어서 가공정밀도가 중요하겠지만 시작금형에 있어서 3차원으로 측정된 형상의 제작은 정밀도보다는 형상의 추이에 있기 때문에 상대오차를 적용하였다.

5.5 대상물 측정결과

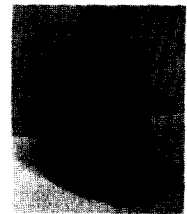
다양한 자유곡면을 측정하기 위하여 측정오차를 평가하기 위한 교정블록을 비롯하여 백열전구, 자동차용 엔진의 피스톤, 인형을 측정대상물로 하였

Table 3 Measurement error

Real size(mm)	Measured value (mm)	error(%)
27.77	27.35	1.25
60.0	59.30	1.16
120.0	119.24	0.63



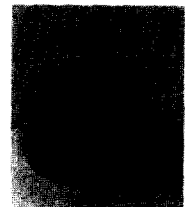
(a) Piston



(b) Doll



(c) Bulb



(d) Calibration block

Fig. 8 Photos of measuring objects

다. Fig. 8에 사진을 나타내었다. 측정방식은 측정부의 이동과 대상물의 회전 두가지로 하였다. 측정 대상물이 측대칭인 경우, 전구를 예로 보면 Fig. 9의 측정부 이동에 의하여 얻은 결과보다 Fig. 10의 대상물 회전에 의하여 얻은 결과가 더 좋게 나왔다. 인형의 경우에는 인형의 윤곽이 작아서 레이저 빛이 산란되어 얼굴의 윤곽이 뚜렷이 나타나지 않았고 대상물이 회전하면서 레이저 빛을 가려 측정할 수 없는 영역이 있었다.

5.5.1 측정부 이동

Table 4에 측정대상물의 크기와 측정간격을 표시하였다. Fig. 9에 각각 전구, 인형의 측정 결과를 나타내었다. 각 측정결과는 측정점을 직선으로 연결하여 나타내었다. 카메라의 측정각도는 20°, 대상물과 카메라 사이의 거리는 845.0 mm이다. 측정분해능은 1.02 mm이다. 측정의 대상이 곡면이 많고 작은 경우 레이저 빛이 산란되어 윤곽이 뚜렷이 나타나지는 않았으나 전체의 윤곽을 알아볼 수 있었다. 또한 반사율이 높은 표면을 가진 재료는 레이저가 반사되어 다른 부분에 닿게되어 오차가 크게 나타나기도 하였다. 이러한 재료는 표면의 반사율을 줄이기 위하여 검정도료를 도포하여 전체적으로 반사에 대한 오차의 정도를 줄였다.

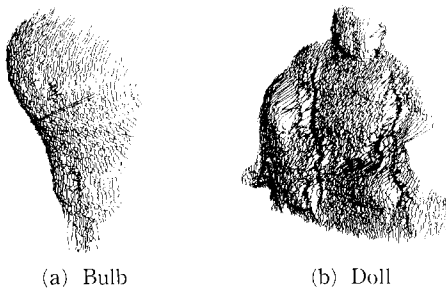


Fig. 9 Measurement result of object by translation of measuring unit

Table 4 Examples measured by translation

Measured object	size (mm)	Measured step (mm)
Bulb	60×60×112	1
Doll	70×110×135	1
Cup	72×72×85	1
Lemon	60×60×77	1

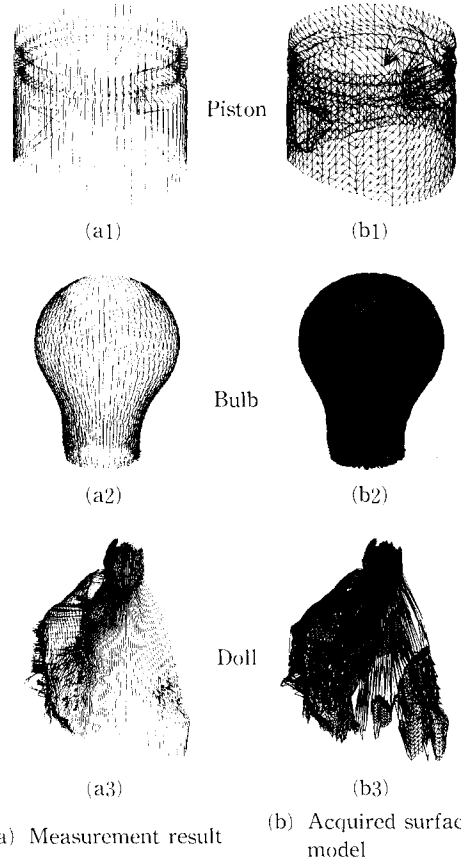


Fig. 10 Measurement result of object by rotation table

Table 5 Examples measured by rotation

Measured object	Size (mm)	Measured step angle (°)
Piston	77×77×71	5
Calibration block	∅27.77, 60, 120	10
Lemon	60×60×77	10
Doll	70×110×135	2
Bulb	60×60×112	5

5.5.2 측정대상물 회전

Fig. 10에 승용차용 엔진의 피스톤, 직경이 27.77mm, 60.0mm, 120.0mm 이고 높이가 각각 30.0mm 인 전구, 인형의 측정결과를 나타내었다. 각각의 (a)는 측정점을 선으로 연결한 것이고 (b)는 점좌표를 이용하여 다면체 근사모델을 만든 것이다. 카메라 각도는 52°, 거리는 646.0 mm이다. 측정 분해능은 0.32 mm이다. Table 5에 측정대상물의 크기와 측정간격을 표시하였다. 측정대상물의 모양이 축대칭인 경우에는 측정부 이동에 의하여 얻은 결과보다 대상물 회전에 의하여 얻은 결과가 더 좋게 나왔다. 이는 측정부가 이동하는 경우에 레이저 빛의 반사각도가 측정위치에 따라 변하여 카메라로 들어오는 빛의 양이 변하고 대상물이 회전하는 경우에는 일정한 값을 유지할 수 있기 때문이다.

6. 결 론

He-Ne 레이저와 CCD 카메라를 사용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 측정시간은 화면 2진화와 세선화 처리시간에 따라서 달라지기는 하나 획득된 화면을 전부 2진화하였을 경우에 측정결과 최저 초당 9개의 점좌표를 측정하였다. 화면 2진화에 시간이 많이 걸리므로 획득된 영상의 모습에 따라 부분 2진화를 할 경우 초당 200개 이상의 점좌표를 측정할 수 있었다.

(2) 형상 정보획득 분해능(resolution)은 카메라의 해상도에 가장 큰 영향을 받으나 이외에도 카메라와 대상물간의 거리 및 레이저광 평면과 카메라 평면이 이루는 각에 따라 영향을 받았다. 카메라의 각도를 40°, 측정대상물과의 거리 300 mm에서 약 1.0 mm에서 0.3 mm의 정도의 치수오차를 가지는 분해능을 얻었다.

(3) 측정기의 오차는 레이저 빛이 물체에서 난반사될 경우에 커진다. 난반사될 경우 획득된 영상에서 측정하고자 하는 점을 정확히 찾아내기 어려웠다. 이는 화면 2진화와 세선화과정에서 발생하였다. 반사된 레이저 빛이 물체의 일부분에 가려질 경우 측정할 수 없었다.

(4) 측정된 점 데이터로부터 다면체 근사곡면을 만들어 직접 곡면을 모델링하지 않고 가공정보를 얻는 기초를 마련하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 “쾌속시작 시스템 연구센터”의 연구비 지원에 의해서 연구되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 강부진, 1992, “금형의 3차원 측정 자동화 시스템 개발,” 한국과학기술연구원.
- (2) 최명규, 1992, “CAM 시스템과 CNC 절삭가공,” 정문각.
- (3) 박면웅, 1992, “치아 공동부의 자동설계 및 제작을 위한 치과용 전문 의료시스템 개발에 관한 연구,” 한국과학기술연구원.
- (4) 서일홍, 1991, “Laser를 이용한 3차원 Robot 시각센서의 개발,” 과학기술처.
- (5) 박현구, 김승우, 박준호, 1993, “슬릿광 주사 방법에 의한 자유곡면의 삼차원 형상 측정,” 대한기계학회논문집, 제17권, 제5호, pp. 1202~1207.
- (6) 광명만, 1990, “기하학적 형상의 자동입력 및 처리시스템의 개발 (I),” 한국과학기술원.
- (7) 박현구, 최이배, 김명철, 김승우, 1995, “자유곡면의 CAD 모델링을 위한 비접촉식 삼차원 형상측정,” 한국정밀공학회지, 제12권, 제1호, pp. 5~14.
- (8) Lee, H. C. and Fu, K. S., 1983, “3-D Shape from Contour and Selective Confirmation,” *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 22, pp. 177~193.
- (9) Wu, C. K., Wang, D. Q. and Bajcsy, R. K., 1986, “Acquiring 3-D Spatial Data of A Real Object,” *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 28, pp. 126~133.
- (10) Isaac Weiss, 1988, “3D Shape Representation by Contours,” *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 41, pp. 80~100.
- (11) Cheng Hsiung Liu and Wen-Hsiang Tsai, 1990, “3D Curved Object Recognition from Multiple 2D Camera Views,” *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 50, pp. 177~187.

- (12) 이병일, 신유식, 오상록, 임준홍, 변증남, 1988, "두 대의 카메라를 장착한 이동로봇의 주행," 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 98~102.
- (13) 이상용, 함민홍, 1990, "임의로 놓여진 다면체의 위치와 자세측정에 관한 연구," 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 613~617.
- (14) 박현구, 1994, "슬릿광을 이용한 3차원 자유곡면 형상의 비접촉식 자동측정 및 검사," 박사학위논문, 한국과학기술원
- (15) Heedong Ko, Moon-Sang Kim, Hyun-Goo Park and Seung-Soo Kim, 1994, "Face Sculpturing Robot with Recognition Capability," *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 11, pp. 814~821.
- (16) 成央, 野村 由司彦, 山本 俊雄, 1986, "スリット光投影法による高精度距離・姿勢計測," 電子通信學會論文誌, Vol. J69-D, No. 12, pp. 1888~1895.
- (17) 전병철, 1996, "CO₂ 레이저에 의한 선택적 소결법에 대한 연구," 석사학위논문, 인하대학교, 인천.
- (18) Gonzalez, Woods, 1992, *Digital Image Processing*, Addison Wesley.
- (19) Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, 1993, *Computer and Robot Vision*, Addison Wesley.
- (20) William K. Pratt, 1991, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, Inc.
- (21) Ronald N. Bracewell, 1995, *Two-dimensional Imaging*, Prentice Hall.
- (22) Faux, I. D. and Pratt, M. J. 1979, *Computational Geometry for Design and Manufacture*, Ellis Horwood Limited.
- (23) 전차수, 1989, "자유곡면 NC 가공에서의 공구간섭 방지," 박사학위논문, 한국과학기술원, 대전.
- (24) Choi. B. K., Shin. H. Y., Yoon. Y. I. and Lee. J. W., 1988, "Triangulation of Scattered Data in 3D Space," *Computer Aided Design*, Vol. 20, No. 5, pp. 239~248.