

# 슬리트형 레이저 투광기를 이용한 고정밀 3차원 물체계측

## High Precision 3-Dimensional Object Measurement using Slit Type of Laser Projector

김 태 효, 박 영 석, 이 취 중  
(Tae Hyo Kim, Young Seok Park, Chuy Joong Lee)

**Abstract** : In this paper, we designed a line CCD camera for a flying image, which is composed of a line CCD sensor(2048 cells) and a rotating mirror, and investigated its optical properties. We also made the 3-D image from the flying image which is made of 2-D image being juxtaposed to 1-D images obtained by the camera, and performed the calibration to acquire high precision 3-D data. As a result, we obtained the 3-D shape of a key image having 0.5 mm resolution by the designed system. It was shown that the 3-D measurement system using the slit type of laser projector is available to measure the high precision shape of objects.

**Keywords**: slit laser projector, flying image, line CCD sensor, high precision 3-D measurement, shape measurement, depth data, 3-D coordinate calibration

### I. 서론

최근 화상처리기술의 발전에 따라 대상물체의 2차원적인 위치나 형상계측으로부터 깊이 정보를 포함하는 3차원의 위치나 자세 및 그 3차원형상을 계측하고자 하는 요구가 산업의 각 분야에서 높아지고 있다[1]. 초기에는 생산공정의 조립이나 검사의 자동화, 3차원 물체의 CAD/CAM의 형상입력 및 이동로봇의 환경인식을 위한 시각센서로서 연구개발이 되어왔다[2][3]. 그 후에, 이렇게 개발된 수법이 문화재의 보존, 민속학이나 인류학에 대한 자료의 데이터베이스화 등의 연구에도 적극적으로 활용될 수 있으며, 또한 의료분야나 의상 디자인에서 인체의 체형계측 등 인간감각의 계측이나 평가에도 공헌할 것으로 기대되고 있다.

3차원 정보의 검출은, 수동적인 방법과 능동적인 방법으로 나눌 수 있고, 능동적 방법은 대상물체에 광을 투영하여 그 반사광을 검출하는 것으로서, 로봇의 시각이나 CAD의 3차원 입력 수단으로 적합하다.

수동적 방법은, 투영하는 광원이 없으므로 stereo vision을 이용한 컴퓨터비전의 환경인식에 대한 시각 센서로 이용되고 있으며, 그 대표적인 것은 2개 이상의 시점에 의한 계측과 카메라 이동에 의한 계측법 등이 있다. 이에 반하여, 능동적인 방법인 active stereo법 중에서 대표적인 것은 스폿(spot)광 투영법, 슬리트(slit)광 투영법 및 코드화된 광투영법이 있다[4].

그러나 3차원 계측은 더욱 높은 정밀도를 요구하게 되어 현재 수mm 또는 수 $\mu$ m에 이르고 있다. 고정밀도 계측의 연구는 이전부터 많이 진행되고 있지만, 본 논문은 일반 CCD(charge coupled device) 카메라로써 실현할 수 없는 고정밀 3-D 화상을 얻기 위하여 라인 CCD센서와 회전거울을 카메라에 내장하는 flying image용 카메라를 제작하고, 슬리트형 레이저 광투영법을 이용하여 고분해능의 화상을 취득한다. 또 이 카메라의 물체계측에 대한 렌즈 및 결상오차특성을 해석함과 아울러 3차원의 물체좌표계와 카메라좌

표계의 대응관계에 의한 위치좌표의 calibration을 정립한다. 실험에서 카메라 렌즈의 오차를 실측하고 레이저광의 불균일 반사 및 잡음에 오염된 화상을 2차화상, 세선화, 불연속부분의 연결처리 및 shape-from-texture법을 적용하여 고정밀 3차원 물체의 형상을 계측한다.

### II. Flying Image의 결상특성

#### 1. 라인 CCD센서의 이용

CCD 센서는 크게 수광소자를 2차원으로 배열한 영역형 센서와 1차원으로 배열한 라인형 센서로 분류할 수 있다. 영역형 센서는 제조기술의 향상으로 저가격으로 VTR카메라나 범용의 2차원 계측용으로 널리 사용되고 있다. 이에 비하여 라인형 센서는 1차원 화상만 취득할 수 있으므로 팩시밀리나 복사기 등과 같이 특수한 용도에 제한되어 왔다.

라인 CCD 센서는 수광소자를 1차원으로 배열하기 때문에 영역형에 비해 그 구조가 간단하며, 화소의 피치(pitch)를 적게할 수 있으므로 고분해능을 실현할 수 있다. 그러나 1차원의 화상밖에 취득할 수 없으므로 2차원 화상을 취득할 수 있는 장치가 필요하다. 따라서 2차원 화상을 얻기 위해 라인 CCD 센서로부터 얻은 1차원 화상을 기계적인 장치에 의해 순차적으로 합성하여 고분해능의 2차원 화상을 얻을 수 있다. 그림 1에 라인 CCD 센서의 구조를 보였다.

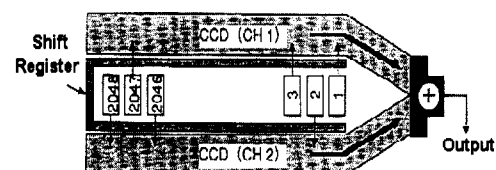


그림 1. 라인 CCD 센서의 구조.

Fig. 1. Structure of line CCD sensor.

라인 CCD센서를 이용하여 2차원 화상을 얻기 위하여 화상의 주사(수직)방향으로 평행 이동시키는 센서이동법이 있지만, 이 방법은 CCD센서를 정확히 평행 이동시키는 구동장치, 즉 모터나 기어 등의 정확성이 요구될 뿐만 아니라 센서가 이동할 때 생기는 기계적진동을 고려하지 않으면 안

된다. 센서이동법은 1매의 화상을 얻기 위해 결상면에 해당하는 거리만큼 평행이동을 해야하므로 이와 같은 기계적인 진동에 의한 오차가 생기는 것이 최대 결점이며, 또한 화상의 분해능은 센서의 평행 구동장치의 정밀도에 의존하여 진동이 멈출 때까지 기다려야 하므로 1매의 화면을 입력하는데 상당한 시간이 소요된다[2]. 이에 비하여 flying image법은 고정된 라인 CCD센서에 회전거울을 사용하여 물체의 선(line)화상을 취득하는 방식이다. 그림 2와 같이 CCD센서 위에 거울을 설치하여 회전시키기 때문에 센서이동법에 비해 기구가 간단하고 제어하기 쉬울 뿐만 아니라 진동을 줄일 수 있는 잇점이 있다.

2. Flying image 기하적 구조

그림 3은 그림 2의 기하적 결상원리를 나타낸 것이다. 이 그림에서 카메라 렌즈에 이상적인 바늘구멍사진기(pin-hole camera)의 모델을 적용할 경우, 초점을 맞출 때 렌즈가 전·후방향으로 이동하므로 h가 변화하는 것을 고려해야 한다.

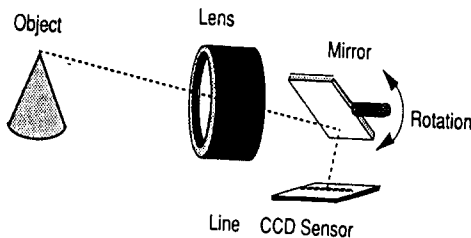


그림 2. Flying image의 결상원리.

Fig. 2. Image formation of flying image.

라인 CCD센서에 의한 2차원 화상을 얻기 위하여 회전거울을 이용하여 기계적인 주사를 한다. 그림 3에 flying image의 결상구조를 나타내었다. 가로축을 X, 세로축을 Y, 거울의 회전각을  $\beta$ 라고 하면, 이때 입사광이 렌즈의 중심을 통과하여 수평축과 이루는 각을  $\alpha$ 라 하면,  $\alpha$ 와  $\beta$ 와의 관계는 (1), (2), (3)으로 표현할 수 있다[3].

$$y = -\tan \beta \tag{1}$$

$$y = (h+x)\tan \alpha \tag{2}$$

$$x = \frac{-(d+y)}{\tan(\alpha+2\beta)} \tag{3}$$

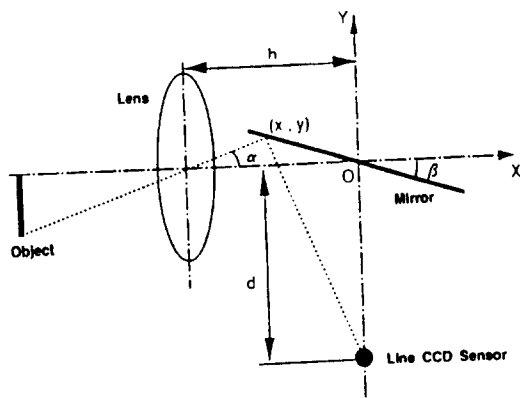


그림 3. Flying image의 기하구조.

Fig. 3. Geometric structure of flying image.

위 방정식들을 서로 연립하여 풀면, 변수  $\alpha$ ,  $\beta$ , h, d 간의 상호 관계식을 (4)와 같이 얻을 수 있다. (4)를 분해하

여 정리하면, (5)와 같이 각각  $\tan \beta$ 와  $\tan \alpha$ 에 관한 3차 및 2차식으로 표현된다.

$$\frac{-h \tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \beta} = \frac{-d}{\tan(\alpha + 2\beta) - \tan \beta} \tag{4}$$

$$(h\nu + d)\omega^3 + (h\nu^2 + 3d\nu)\omega^2 + (h\nu + 2\nu^2d - d)\omega + (h\nu^2 - d\nu) = 0 \tag{5}$$

여기서  $\nu = \tan \alpha$ 이고,  $\omega = \tan \beta$ 이며, (5)는 각각  $\tan \beta$ 에 관한 3차식과  $\tan \alpha$ 에 관한 2차식으로 구성된다. 이 식에서 거울의 회전축에서 CCD센서까지의 거리 d를 변수로 하고 이를 변화시키므로서  $\alpha-\beta$ 의 관계도 변화하게 되며, 그 모양은 그림 4와 같다. 그림 4에서 거울의 회전축과 라인 CCD센서 사이의 거리 d가 작은 값을 가질 경우에, 화상이 상하로 길쭉한 좁은 범위의 화상이 얻어지는 반면 해상도가 높으며, 이와 반대로 d가 큰 값일 경우에는 해상도가 낮고, 화상이 좌우로 퍼지는 현상이 나타나게 된다. 본 논문에서 사용된 flying image용 카메라는, stepping motor를 사용하여 거울을 회전시켰으며, 여기서 최대 0.00288 [°/pulse]의 분해능을 실현하였고, 계산에 의해서 얻어지는 화상의 최대 입사각의 분해능은 d=22 [mm]일 때  $4.4 \times 10^{-4}$  [°/pulse]였다.

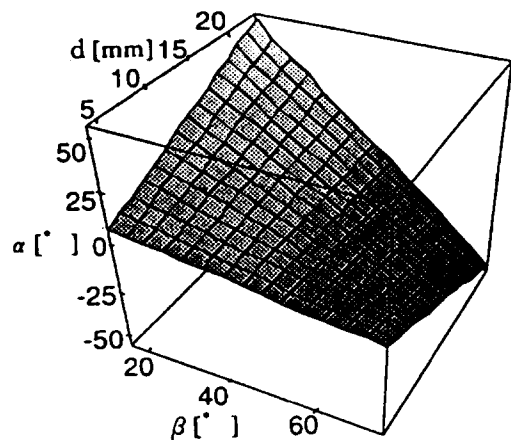


그림 4. d의 변화에 대한 회전각  $\alpha$ ,  $\beta$ 와의 관계

Fig. 4. Relation between  $\alpha$  and  $\beta$  for variable d.

3. 결상오차

일반 카메라의 결상구조를 그림 5에 보였다. 이 그림에서 렌즈의 중심축으로부터 입사각도  $\alpha$ 로서 결상면까지 광의 비행거리 di는 (6)으로 표현될 수 있다.

$$d_i = \sqrt{(f + \Delta f)^2 + \{(f + \Delta f) \tan \alpha\}^2} = \frac{f + \Delta f}{\cos \alpha} \tag{6}$$

그림 5에서  $\Delta f$ 는 렌즈의 초점거리 변위량이다. 렌즈는 그 기능상 렌즈에서 유한거리에는 있는 물체에 초점을 맞추기 위하여 수광소자에서 초점거리 f의 위치에 있는 렌즈를  $\Delta f$ 만큼 떨어지게 할 필요가 있다[3][5]. 이로부터 초점거리 변위량  $\Delta f$ 를 구할 수 있다. 그러나 flying image의 결상에서 회전거울을 렌즈와 라인 CCD센서 사이에 설치하는 경우,  $\alpha$ 의 각도로 입사한 광이 거울에서 반사되어 라인 CCD센서에 이르기까지 광의 총 비행거리 d는 그림 3으로부터 (7)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 x 및 y는  $\alpha$ ,  $\beta$ , d에 의하여 일의적으로 결정된다.

$$d_c = \sqrt{(h+x)^2 + y^2} + \sqrt{x^2 + (d+y)^2} \tag{7}$$

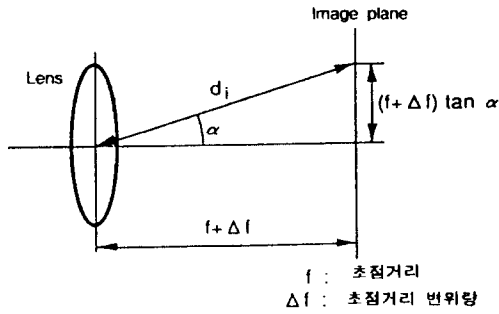


그림 5. 일반 카메라의 결상구조.  
Fig. 5. Image formation of typical camera.

렌즈의 중심에서 결상면까지의 거리  $d_i$ 와, flying image 결상에서 라인 CCD센서까지의 거리  $d_c$ 와의 오차성분을  $\epsilon$ 이라 하면, 그림 6에서 알 수 있듯이 (8)로 표현된다.

$$\epsilon = d_i - d_c \quad (8)$$

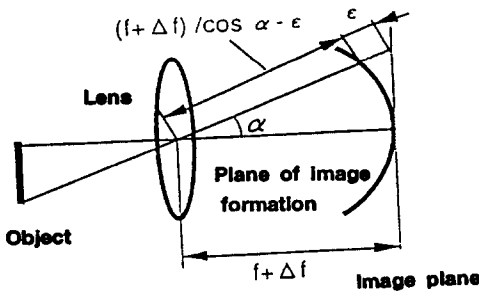


그림 6. Flying image 결상오차.  
Fig. 6. Image formation error of flying image.

$\epsilon$ 을  $\beta$ 와  $d$ 의 함수로서 그래프를 나타내면 그림 7과 같다. 이와 같은 결상오차로 인한 슬릿광의 퍼짐은, 형상복원시에 분해능에 영향을 미치게 되므로 III-3절에서 설명하는 2진화상의 세션화처리 과정에서 보정할 수 있다.

결상오차  $\epsilon$ 에 의한 초점흐림현상은, 그림 8과 같이 화면의 중심선 부근에서 광의 퍼짐이 적고 상·하로 갈수록 넓게 퍼지는 현상이 나타난다. 그림 9는 각각 다른  $\epsilon$  값에 대한 광의 강도분포를 나타낸 것이다. 화면의 중심부근으로 갈수록 결상오차  $\epsilon$ 이 적어지며, 이때 반사광의 세기가 커짐을 알 수 있다.

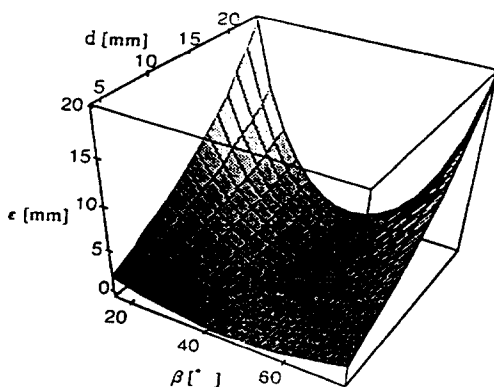


그림 7. 결상오차특성.  
Fig. 7. Characteristic of image formation error.

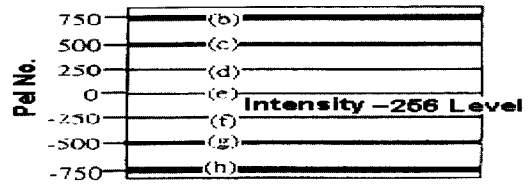


그림 8. 결상오차에 의한 광의 퍼짐.  
Fig. 8. Light scattering by image formation error.

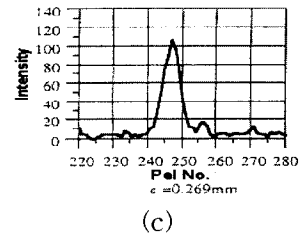
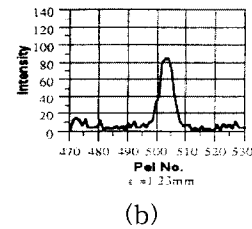
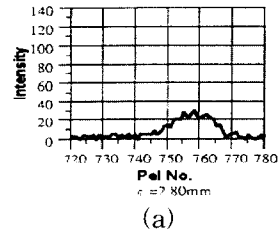


그림 9. 각  $\epsilon$ 에 대한 광의 세기분포.  
Fig. 9. Light strength distributions for each  $\epsilon$ .

### III. 슬릿 화상의 3차원 형상화

#### 1. 3차원 위치의 산출

슬릿 광투영법은 레이저 투광기를 물체의 수직상방에 고정하고 대상물체를 이동시키면서 계측하는 방법이 있다. 이는 물체가 이동할 때마다 새로운 선화상이 얻어지며, 이들을 조합하므로써 3차원 물체의 형상을 얻을 수 있다.

대상물체의 3차원 위치좌표의 계산은, 그림 10과 같이 「물체좌표계」와 이와 독립적인 「카메라좌표계」와의 관계를 유도할 수 있다. 렌즈의 투시변환에 의한 동차좌표변환을 이용하면 두 좌표계의 대응관계로부터 물체의 3차원 위치를 계산할 수 있다[2][6].

#### 2. 물체의 3차원 형상화

일반적으로 하나의 화상은 여러개의 부분화상들의 집합으로 표현될 수 있고, 부분화상들은 같은 속성을 가지는 영역으로 화소들을 그룹화한 것을 의미한다. 이와 같이 공통된 속성을 가진다는 것은 화소의 값이 균일한 광의 강도를 가진다는 것이지만, 그 응용에 있어서 매우 애매한 점을 가지므로 적절한 문턱치처리(thresholding)에 의한 2치화상이 널리 이용되고 있다[8][9][10]. 문턱치처리는 대상물체부분과 배경부분을 분리할 때 사용되며, 원화상  $F(i,j)$ 에 대하여 문턱값  $T$ 를 적용할 때 처리 후의 화상  $FT(i,j)$ 는, (9)와 같이, 2치화상  $B(i,j)$ 와 같다. 여기서 어두운 배경에 대한 밝은 물체부분은 (10)으로 표현할 수 있다.

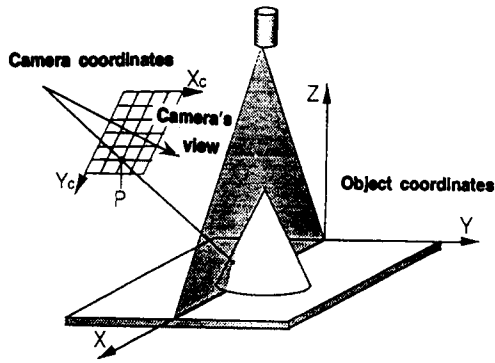


그림 10. 슬리트광 투영법.  
Fig. 10. Slit light projection.

$$B(i, j) = F_T(i, j) \quad (9)$$

$$F_T(i, j) = \begin{cases} 1, & T \leq F(i, j) \\ 0, & \text{그외} \end{cases} \quad (10)$$

입력된 슬리트 화상데이터는 반사광의 불균일 특성, 결상오차에 의한 광의 퍼짐현상 및 잡음성분 등으로 정밀한 형상계측에 어려움이 있으므로 세선화 과정이 필요하다. 이때 세선화처리는 선화상의 중심선으로 근사화한다. 한편, 슬리트광을 투광할 때 물체의 돌출부에 가려진 부분, 즉 불연속 부분과 세선화에 의한 불연속 부분을 연결하기 위하여 Euclidian법을 적용하여 연결화상을 얻을 수 있다. 이때 Euclid 거리는 (11)과 같다.

$$d_{Euclidian}([i_1, j_1], [i_2, j_2]) = \sqrt{(i_1 - i_2)^2 + (j_1 - j_2)^2} \quad (11)$$

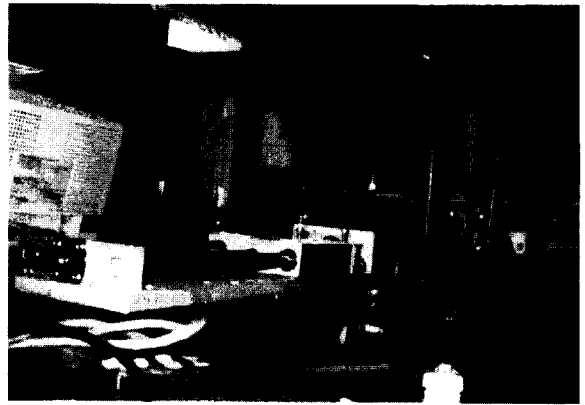
Euclid거리 계산법은 City-block거리나 Chess-board 거리 계산에 비해 실수값의 거리표현과 계산의 복잡성이 있지만, 연속화상처리에 가장 적합한 방법이다[6]. 이때 연결점의 탐색방향은 5가지의 경우로 제한할 수 있는데 우측, 상측, 하측 및 상하의 450 방향이다.

이와같이 2차원 연결화상을 얻은 후에 이들 선화상들을 순서대로 합성하여 3차원 물체의 형상을 얻게된다. 3차원 물체의 입체감을 강조하기 위하여, shape-from-texture법 [11]을 이용한다. 이때 카메라에 촬영되는 화상은, 물체가 부각(declining angle)으로 촬영되므로 화상의 상단부분으로 갈수록 텍스쳐밀도가 높고, 카메라의 광축이 평면에 평행하기 때문에 표면특성을 정확히 산출할 수 있다.

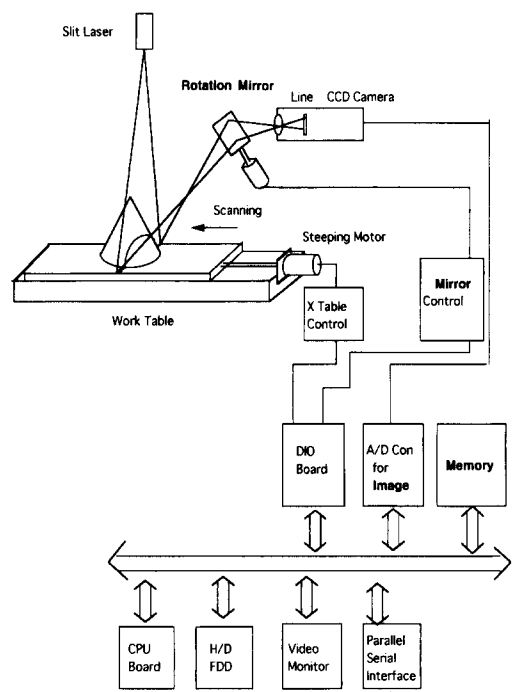
**IV. 실험 및 결과**

고정밀 3차원 물체의 형상계측을 실현하기 위하여, 지금까지 서술한 내용을 바탕으로 그림 10과 같이 측정시스템을 구축하였다[12]. 여기서 사용된 flying image용 카메라의 CCD센서는 2048개의 cell을 가진 것이고, 슬리트광 평면은 측정용 테이블과 카메라의 방향에 수직으로 설치되었으며 테이블의 이동방향은 카메라의 시선방향과 동일하게 하였다.

카메라좌표의 중심축과 테이블까지의 수직거리 및 물체의 아랫쪽 끝부분의 거리를 동일하게 150mm로 고정하였다. 또 슬리트광 투광기는 물체의 수직상방이 되게하고 광폭이 0.1mm로 하였다. 카메라 렌즈의 초점거리는 24mm였고, 본 시스템의 카메라파라미터들은 (16)에 의하여 계산되었다. calibration의 확도를 높이기 위하여 0mm에서 80mm까지 정규눈금을 가진 자(scale)를 사용하여 물체를 이동시키고, 이 과정을 3회 반복한 값을 평균하여 데이터로 취하였다. 이때 카메라렌즈는 55mm형을 사용하였고, 이에 대한 calibration 좌표는 표1과 같다.



(a) 실제 시스템



(b) 시스템 블록도

그림 11. 실험 시스템.  
Fig. 11. Experimental system.

표 1. Calibration 좌표값.  
Table 1. The coordinates for calibration.

좌표점	x점 좌표값	y점 좌표값
1	0.000000	20.000000
2	8.850000	20.000000
3	75.450000	20.000000
4	84.300000	20.000000
5	8.850000	30.000000
6	17.700000	30.000000
7	66.600000	30.000000
8	75.450000	30.000000
9	18.850000	28.000000
10	27.700000	28.000000
11	56.600000	28.000000
12	65.450000	28.000000

calibration에서, 카메라좌표의 하단을 이동 테이블표면의 가장자리에 일치시키고, 테이블표면의 네모서리에 표시된 기준점을 바탕으로 표준눈금자를 이용하여 그 주위를 카메라좌표에 사상하여 측정하였다.

이 calibration 조건으로부터 (14)을 이용하여 12개의 점에 대한 카메라좌표의 값을 55mm 렌즈를 사용하여 구하였다. 그림 12와 그림 13은 각각 calibration에서 측정된 카메라좌표의 세로 및 가로방향의 오차특성을 나타낸 것이다. 이때 렌즈의 조리개를 F8에 고정시켰다.

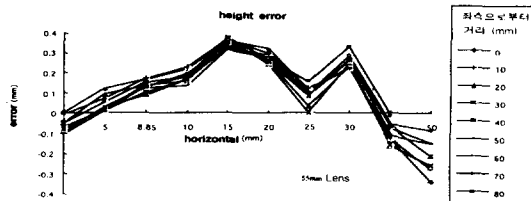


그림 12. 카메라좌표의 세로방향 오차특성.  
Fig. 12. Vertical error curve of camera coordinates.

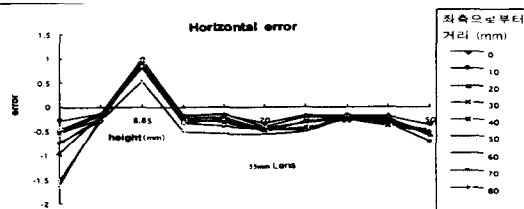


그림 13. 카메라좌표의 가로방향 오차특성.  
Fig. 13. Horizontal error curve of camera coordinates.

이러한 특성을 가진 3차원 물체계측 시스템으로부터 라 인간격을 0.5mm/step으로 주어진 키(key)의 화상데이터를 취득하고, 이들 선화상으로부터 불균일한 반사광 및 잡음을 제거하고 정밀계측을 위해 2치화처리, 세선화, 연결화상 및 texture처리에 의하여 선화상을 정형한 후 이들 선화상을 순서적으로 합성하여 3차원 입체화상을 그림 14와 같이 복원하였다.

복원화상을 화면에 표시할 때, 2048×2048 픽셀의 화상 전체를 모니터에 나타낼 수 없기 때문에 배경부분에 해당하는 불필요한 영역을 제외하고, 원하는 대상물체가 있는 영역만 정밀하게 표시하기 위하여 수직라인 수를 100, 즉 0.5mm×100line = 50mm 로 제한하였다.

여기서 얻은 화상은 그 분해능이 2048×2048 화소로 표시된 것으로서 일반적으로 사용되는 512×512 화소의 화상에 비해 16배의 고분해능을 가진다. 이에 따르는 데이터량의 증가로 계산시간이 늘어나는 단점도 있으나 정밀도를 요하는 계측에 적합한 방법이라 사료된다.

만일, 취득된 화상데이터를 512×512 픽셀의 크기로 표시하려면 2048×2048 픽셀의 화면을 1/4 크기로 축소해야 하므로 4×4 크기의 윈도우함수로서 그 평균값으로 대체할 수도 있다. 그러나 대상물체의 고정밀성을 고려하면 전체화면의 압축방식보다는 대상물체의 정밀계측에는 관심 영역만을 정밀하게 계측하는 편이 효과적이다. 따라서 슬릿광 투영법과 라인 CCD에 의한 flying image를 이용한 3차원 물체계측법이 일반적인 영역형 CCD카메라에 의한 계측보다는 더욱 정밀하게 실제물체의 3차원계측을 할 수 있다.

한편, 3차원 계측시스템의 구성에 관하여 고찰해 보면 슬릿광이 계측테이블에 수직으로 투영되고, 테이블의 이

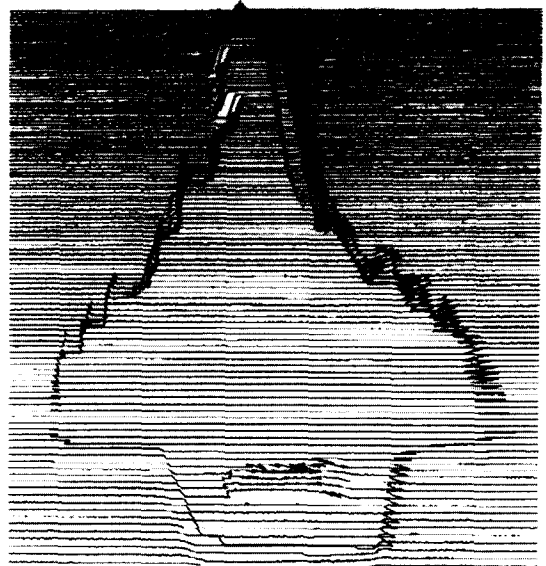


그림 14. 복원된 3차원 화상.  
Fig. 14. Reconstructed 3-D image.

동방향이 카메라의 시선방향과 평행한 조건에서 좌표변환에 약간의 오차가 생기게 되며, 3차원 공간에서 조명이 슬릿광의 투영위치검출에 영향을 미치는 것이 오차원인 중의 하나가 될 수 있다고 생각된다. 이러한 오차원인을 고려한 calibration 및 계측시스템이 요구된다. 그러나 본 실험에서 사용된 카메라 자체는 고분해능의 화상을 얻을 수 있으므로 고정밀 3차원 계측이 가능함을 보여주었다.

### V. 결론

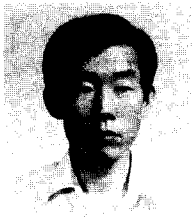
라인 CCD센서와 회전거울을 사용한 고분해능 화상을 취득할 수 있는 카메라를 제작하였다. 이 카메라는 라인 CCD 센서를 수평으로 이동시키는 센서이동법에 비해 그 구조가 간단하고 진동이 적은 장점이 있으므로 정밀계측에 적합하다. 따라서, 이 카메라를 슬릿광 투영법에 의한 3차원 화상계측에 이용하기 위하여 기하적특성과 그 오차특성을 해석하였다. 오차특성을 조사한 결과, 거울의 회전축과 CCD 센서 사이의 거리 d가 일정한 조건에서 회전각이 45°일때 오차가 가장 적게 나타났다.

3차원 물체계측 실험에서, 슬릿광 투영기는 물체의 이동 테이블에 수직으로 하고 카메라의 시선은 이동 테이블과 평행하게 설치하였다. 이 조건에서 규격화된 기지의 물체를 이용하여 calibration한 후 대상물체의 화상을 취득하였다. 얻어진 2차원 슬릿 화상을 후처리과정을 통해 화상데이터를 정형한 후에 3차원 위치좌표를 산출하고 대상물체의 형상을 복원하였다. 표시 과정에서 불필요한 배경부분을 제거하고 원하는 대상물체의 유효영역을 정밀하게 표현하기 위하여 화면의 수직라인당 0.5mm의 분해능으로 표시하였다. 본 시스템으로써 더욱 분해능을 향상시키려면, 슬릿광의 폭이 0.1mm 이므로 0.2mm의 분해능을 가지는 3-D의 화상을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] C. Torras, Computer Vision : Theory and Industrial Applications, Springer-Verlag, 1992.
- [2] 佐藤 宏介, 井口 征士, “三次元 画像計測,” 昭晃堂, 1990.
- [3] 高橋 友刀, “レンズ 設計, 収差係數から 自動 設計

- まで,” 東京大學出版會, 1994.
- [4] 佐藤 宏介, “距離畫像の計測と認識に關する研究,” 大阪大學博士論文, 1988.
- [5] Bernd Jane, “Digital image processing, concept algorithms and scientific applications,” *Springer-Verlag*, 1995.
- [6] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brain G. Schunck, *Machine Vision*, *McGraw Hill*, 1995.
- [7] Gregory A. Baxes, “Digital image processing,” John Wiley, 1994.
- [8] A. Murat Tekalp, *Digital Video Processing*, *Prentice-Hall*, 1995.
- [9] A. K. Jain, P. J. Flynn, *Three-Dimensional Object Recognition Systems*, *Elsevier*, 1993.
- [10] M. Cooper, *Visual Oclusion & the Interpretation of Ambiguous Pictures*, *Ellis Horwood*, 1992.
- [11] A. K. Jain, R. C. Jain, *Analysis & Interpretation of Range Images*, *Springer-Verlag*, 1990.
- [12] Tae H. Kim, Young S. Park, Cheon W. Shin, S. Inokuchi, “High precision shape measurement of 3-dimensional object using flying image,” *2nd Korea-Japan Joint Workshop on Computer Vision* pp. 127-133, Feb., 1996.



#### 김 태 효

1977년 영남대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1980). 동대학원 박사(1988) 1990-1991 Univ. of Penn. Post-Doc. 1983-현재 경남대학교 전자공학과 교수. 주 관심분야는 영상압축, 컴퓨터 비전.

#### 이 취 중

1973년 동아대학교 전자공학과 졸업. 동 대학원 석사(1980). 1994년 경남대학교 전자공학과 박사과정 수료. 현재 인천기능대학 전자기술학과 교수. 주 관심분야는 컴퓨터비전, 영상 신호처리 등.

#### 박 영 석

1979년 영남대학교 전자공학과 졸업. 1981년 한양대학교 대학원 전자공학과(석사). 동대학원 박사(1985). 1990-1991 일본 우정성 통신종합연구소 초빙과학자. 1985-현재 경남대학교 전자공학과 교수. 주 관심분야는 software engineering, neural and fuzzy system, pattern recognition 등.