

적응형 광학 치수 측정 장치 개발

윤경환(전북대 대학원), 강영준(전북대 기계항공시스템공학부),
백성훈(한국원자력연구소), 감신재(전북대 기계항공시스템공학부, 메카트로닉스 센터)

The Development of adaptive optical dimension measuring system

K. H. Yun(Mech. Design. Dept., CBNU), Y. J. Kang(Mech. Eng. Dept., CBNU),
S. H. Baik(KAERI), S. J. Kang(Mech. Eng. Dept., CBNU, Mechatronics Center)

ABSTRACT

A new dimension measuring method for the measurement of diameter of an object has been developed using laser triangulation. The 3-D data of an object was calculated from the 2dimensional image information obtained by the laser stripe using the laser triangulation. The system can measure the diameter of hole not only in a normal plane but also in an incline plane. We can experiment with magnification that is optimized according to size of object using zoom lens. In this paper, the theoretical formula and calibration of the system were described. The measuring precision of the system was investigated by experiment.

Key Words : A laser stripe(선형레이저빔), Laser Triangulation(광삼각법), Non-contact measurement(비접촉측정), Measuring dimension(치수측정)

1. 서론

주어진 물체의 형태나 길이 등을 측정하는 기술은 제품 검사자동화 및 기계적 시각(machine vision) 시스템의 개발에서 중요한 문제중의 하나이다. 광학적인 방법을 이용한 길이 측정 장치는 원격 비접촉식의 고정밀 측정이 가능한 장점 이외에도 병렬측정이 가능하여 동시 신호처리가 용이하고 상대적으로 경제적이며 비교적 큰 대상체에도 이를 활용할 수 있는 등 실용성이 높다. 일정한 형태의 빛을 측정대상체에 조사하여 길이를 측정하는 광학적 방법중에서 선모양의 레이저빔을 이용한 삼각 측정 장치는 경제적이며, 설치가 간단하고 고속측정이 가능하여 많이 사용되고 있는 방법이다.

본 연구의 목적은 기존의 2차원검사 시스템에서 측정할 수 없었던, 측정 대상체가 경사진 면에 있는 경우 경사진 면에 대해 측정을 하기위해 선모양의 레이저빔을 조사하고, CCD카메라에 획득된 2차원적인 영상정보를 3차원화 하여 경사를 가지는 측정 대상체의 경우에도 측정이 가능하고 Variable focal length를 가지는 줌 렌즈를 사용하여 하나의 렌즈만

으로 측정 대상체가 큰 경우에는 전체적인 영역을 측정하고 측정 대상체가 작은 경우에는 측정하고자 하는 영역을 확대하여 원하는 정밀도를 얻고자 하는데 있다.

2. 원리

2.1 광 삼각측정법의 기본원리

레이저 삼각측정 방식의 기본원리는 Fig.1과 같다. Fig.1에서 레이저 입사각 n 과 CCD카메라의 관측각도 θ 및 배율 $m(m=f'/f)$ 은 알려진 변수이다. 영상삼각형의 y' 는 CCD카메라를 통하여 획득한 영상에서 추출한 높이 정보이다. 그러므로 영상삼각형의 높이정보 y' 와 대상체 삼각형의 기준선에 대한 상대적인 높이정보 z 는 식 (1)과같은 관계가 성립된다.

$$y' = mz \frac{\sin(n+\theta)}{\cos(n)} \quad (1)$$

Fig.2는 선모양의 레이저 빔을 측정 대상체에 조사할 때 기준면에 대한 물체 표면의 높이 정보에 따

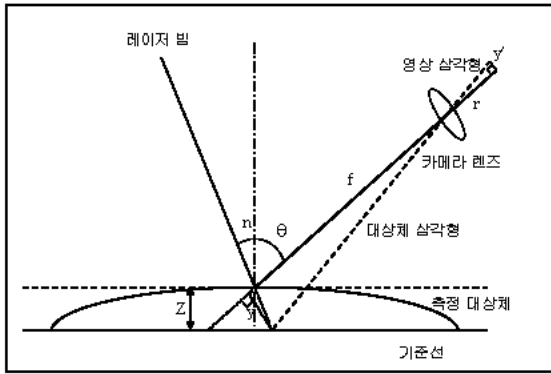


Fig.1 Triangulation principle

른 변형된 선 모양의 레이저빔 형태를 보여준다. 측정대상체에 조사된 선모양을 한 레이저 빔 영상의 각 점은 그 위치에서의 높이 정보량에 의해 기준면의 수직방향으로 변형이 된다. 높이의 변화에 의하여 변형된 이 선모양을 한 레이저빔의 영상을 CCD 카메라로 획득하여 높이정보를 추출하게 된다. 측정대상체 홀의 직경을 결정짓기 위해서는 측정대상체를 이동하거나, 레이저 빔을 이동함으로써 대상체 전체를 스캔하여 지름이 되는 빔을 선택하게 된다.

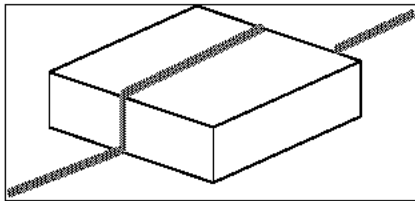


Fig.2 Laser stripe technique

2.2 시스템의 측정 원리

선형 레이저빔을 물체에 조사하고 CCD카메라는 2차원 영상을 얻게 된다. 평면의 물체에 대해서는 CCD카메라에 의해 얻어진 2차원 영상을 이용해 홀의 길이를 측정할 수 있지만, 측정대상체가 평면이 아닌 경사진 면을 가진 경우나 물체의 높이(CCD카메라부터의 거리)가 일정치 않은 경우에 단순히 2차원 화면에서 얻어진 결과로 측정을 하게 되면 많은 오차를 가지게 되고 신뢰성 있는 측정값이라고 할 수 없다. 물체와 카메라와의 거리에 따라 CCD카메라에서의 영상은 같은 길이를 놓고 봤을 때 확대 또는 축소되어 보이게 된다. 따라서 물체와 CCD 카메라와의 거리에 따라 달라지는 요소들에 대해서도 고려해야 한다.

이런 문제를 해결하기 위해 Fig.3처럼 측정대상체에 선형빔을 조사하고 CCD카메라에서 영상을 획득하여, 획득된 영상을 이미지 처리하여 측정대상

체의 양 끝점, CCD카메라상의 픽셀좌표 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 를 얻게 된다. 기준면과 CCD카메라와의 거리가 변할 경우 앞의 이론에서 살펴본 바와 같이 선형

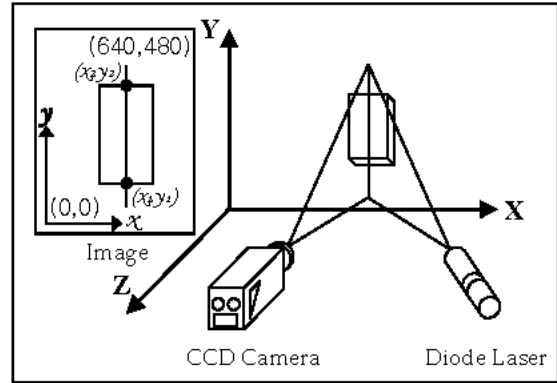


Fig.3 Configuration of basic optical system

레이저 빔은 CCD카메라상의 x 축 방향으로 이동을 하게 된다. 따라서 본 시스템에서의 CCD카메라 픽셀좌표 x 는 그 물체의 높이정보(Z)를 포함하게 된다. 물체의 높이 Z 와 x 축 픽셀 좌표간의 일반적인 관계식을 다음과 같이 설정할 수 있다. 여기에서 Z 값은 측정 기준면에 수직인 법선과 조사되는 Diode Laser의 각도에 의해 영향을 받는다.

$$Z = C_n x^n + C_{n-1} x^{n-1} + \dots + C_1 x + C_0 \quad (2)$$

위의 (2)식에서 n 값이 크면 클수록 정확도는 좋아지지만 차수가 높아져서 계산에 어려움이 있고, 반대로 n 값이 작으면 계산량은 적어지지만 정확도는 떨어지게 된다. 그러므로 적절한 n 값을 설정해야 한다.

이 x 좌표값으로부터 측정대상체의 측정 좌표를 공간좌표로 변환할 수 있도록 하기 위해서는 계수 C_n 값을 구해야 한다. CCD카메라와 기준면 사이의 거리를 계속 변화시켜가면서 각 거리에 해당하는 CCD 카메라의 픽셀 상의 x 좌표값을 이용하여 물체의 높이에 따른 선형 레이저빔의 x 좌표와의 관계를 통하여 C_n 값을 구할 수 있다.

CCD카메라와 측정대상체와의 거리에 따라 물체는 실제의 크기보다 확대 또는 축소되어 보이게 된다. 즉, 같은 길이의 물체라도 멀리 떨어져 있으면 작게, 가까이 있으면 크게 보인다. 이 말은 같은 길이의 물체더라도 CCD카메라와 물체와의 거리에 따라 CCD카메라에 대응하는 픽셀수의 차이를 갖게 된다는 것을 의미한다.

따라서 물체의 각 높이에 따라 한 픽셀이 공간상에서 실제로 어느 정도의 길이에 대응을 하는지에 대해 알 필요가 있다. 한 픽셀당 길이를 구하기 위해서는 측정기준면에 눈금자를 각 부분에 붙여놓고 측

정 기준면과 CCD카메라와의 거리 변화에 따른 단위 길이당 픽셀수를 먼저 구해야 한다. 단위 길이당 픽셀수를 a 라 하면 a 는 CCD카메라와 측정 기준면 사이의 거리 Z 에 관한 함수로 표현될 수 있다. 다음 식은 a 를 Z 에 관한 함수로 표현한 식이다. 이 식에서 D 는 배율과 관련이 있는 값이다. 또 1차가 아닌 것은 거리에 따라 비선형적으로 달라지기 때문이다.

$$a = D_n Z^n + D_{n-1} Z^{n-1} + \dots + D_1 Z + D_0 \quad (3)$$

카메라 좌표상의 한 픽셀길이를 실제 공간상에서의 거리로 환산하기 위해서 필요한 것이 한 픽셀이 측정할 수 있는 길이이다. 식 (3)에 역수를 취해 한 픽셀당 길이에 관한 식 (4)으로 나타내었다.

$$l = 1/a \quad (4)$$

측정 대상체를 스캔하여 측정하고자 하는 두 점을 잡고, 이 두 점 사이의 거리를 구하기 위해, CCD 카메라에서 얻어진 2차원 좌표를 공간상의 3차원 좌표 (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) 로 변환시켜야 한다. CCD카메라 상의 한 점 (x, y) 에서 l 은 x 좌표에 의해 결정되고, 측정면이 같은 높이라면 공간상의 좌표 X 축 방향과 Y 축 방향으로 같은 값을 가지게 되므로, 결과적으로 한 점 (x, y) 에서의 l 의 값은 X 축 방향이나 Y 축 방향 모두 같은 값을 갖게 된다.

CCD카메라에서서 획득된 2차원 좌표를 실제 공간상의 3차원 좌표로의 변환값은 CCD카메라에서 획득된 2차원 좌표와 식 (4)에서 구한 l 값으로 얻어질 수 있다. 실제공간상의 X 좌표는 CCD카메라의 픽셀 좌표에 공간으로의 좌표변환 시킬 수 있는 값인 l 을 곱하여 구할 수 있고, Y 좌표 역시 같은 방법으로 구할 수 있다. CCD 카메라에서의 픽셀 좌표값 (x, y) 을 사용하여 표현한 공간상에서의 X, Y 좌표값은 아래 식과 같이 표현될 수 있다.

$$X = lx \quad (5)$$

$$Y = ly \quad (6)$$

Z 좌표의 경우는 (2)식을 그대로 활용할 수 있다. 결과적으로 CCD카메라로부터 얻어진 픽셀 좌표 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 를 식 (2), (5), (6)을 이용하여 공간좌표 (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) 로 변환하고 이 공간좌표를 이용해 공간상의 두 점 사이구하는 식을 이용해 측정 대상체의 두 점 사이의 거리 L 을 구할 수 있다.

$$L = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}(\text{mm}) \quad (7)$$

3. 실험장치 구성 및 실험

3.1 실험장치 구성

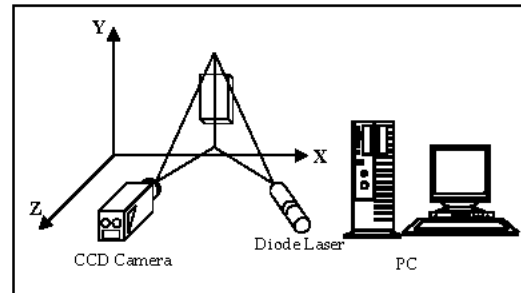


Fig.4 Configuration of dimension measuring system using a laser stripe

Fig.4는 선모양을 한 레이저빔을 이용하여 측정 대상체를 측정하는 시스템의 개략적인 구성도이다. 다이오드 레이저 빔은 측정 대상체의 표면에 선모양으로 집속되어 조사된다. 표면의 형상변화에 의해 변형된 선모양의 레이저빔은 CCD센서에 영상이 맺힌다. CCD센서의 영상은 영상신호처리 보드의 버퍼에 저장된다. 영상신호처리 보드에 획득된 영상은 640×480 픽셀 행렬에 256단계의 밝기 강도값으로 구성되어 있고 영상의 각 열에는 측정대상체의 높이 정보도 함께 가지고 있다. 본 시스템에서는 파장 670nm, 출력 5mW의 다이오드 레이저와 초점거리가 35-70mm인 줌 렌즈를 사용하여 서로 다른 두 초점거리에서 측정을 하였다. 레이저 빔 이외의 잡신호인 주변광을 차단하기 위해 필터링을 사용하였다. CCD카메라는 기준면에 대하여 수직이고, 800mm 떨어진 위치에서 영상을 획득하였다. 레이저 빔 방향으로의 분해능을 높이기 위해 CCD카메라를 90° 회전시켜 640픽셀방향을 빔의 방향과 평행하게 맞추었다.

3.2 기준면과의 높이에 따른 실험

분해능을 높이기 위해 빔의 방향을 x 축 방향과 평행하고 놓았기 때문에 CCD카메라와 물체와의 거리가 변함에 따라 CCD카메라의 y 축 픽셀 좌표값이 변한다. 초점거리가 35mm인 경우와 70mm인 경우에 각각 CCD카메라와 물체와의 거리를 일정한 간격으로 변화를 주고 이에 따른 y 축 방향의 픽셀 좌표 값의 변화를 Fig.5, Fig.6과 같이 구했다.

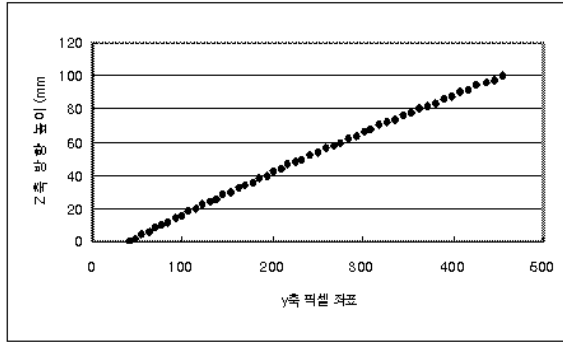


Fig.5 35mm : Z축 방향 높이의 y 축 픽셀 좌표값의 관계

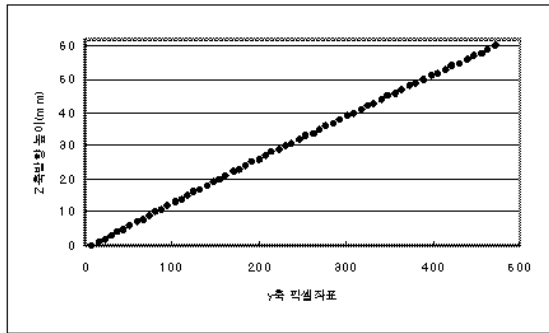


Fig.6 70mm : Z축 방향 높이의 y 축 픽셀 좌표값의 관계

위의 데이터를 바탕으로 Z축 방향 높이의 x 축 픽셀 좌표값의 관계를 이용하여 식 (2)의 계수값 C_n 값을 구한다.

3.3 단위 길이당 픽셀 측정 실험

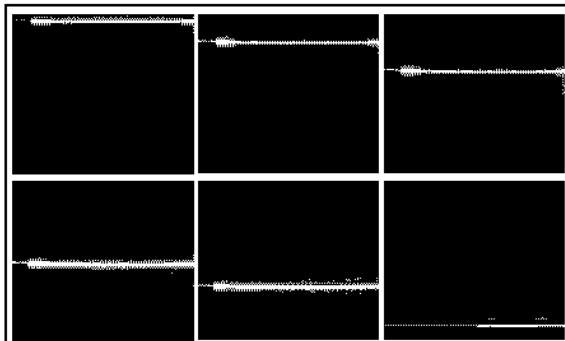


Fig.7 Z축 방향 높이에 따른 단위 길이당 픽셀수

Fig.7에서 나타낸 것처럼 기준면에 기준자를 부착한 후, 서로 다른 초점거리에 대해 각각 CCD카메라와 기준면 사이의 거리에 변화하면서 CCD카메라와 기준면 사이의 거리에 따른 단위 길이당 픽셀수를 구했다.

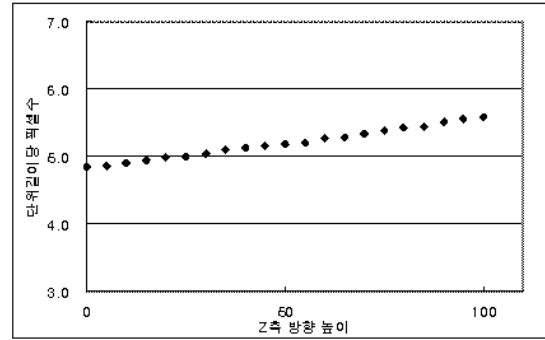


Fig.8 35mm : Z축 방향 높이에 따른 단위길이당 픽셀수

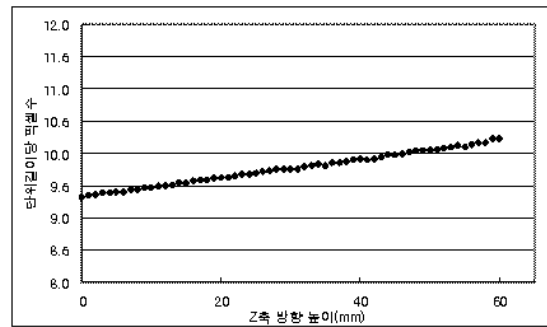


Fig.9 70mm : Z축 방향 높이에 따른 단위길이당 픽셀수

이 값을 기초로 하여 식(3)의 계수 D_n 값을 구한다.

3.4 길이 측정 실험

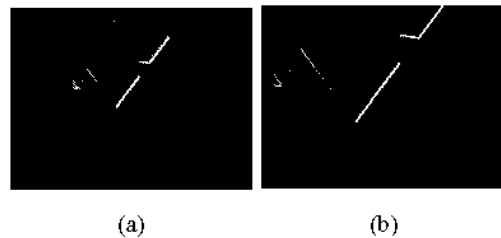


Fig.10 측정 시험편

다이오드 레이저 빔은 선모양으로 만들어져 측정 대상체의 기준면에 대하여 30° 각도로 조사되었으며, CCD카메라는 기준면에 대하여 수직이고, 800mm 떨어진 위치에서 영상을 획득하였다.

측정 대상체로는 자체 제작한 시험편을 사용하였다. Fig.10의 12mm지름의 홀을 가진 시험편을 사용하여 실험을 하였다. Fig.10의 (a)는 35mm 초점거리로 시험편을 측정할 때이고, (b)는 70mm 초점거리로 시

험편을 측정 할 때이다. 시험편을 초점거리에 따라 각각 측정하여 초점거리에 따라 Hole을 측정하였고, 또 식 (2)와 (3)의 차수를 서로 달리하여 차수가 측정에 미치는 영향을 살펴보았다.

4. 실험 결과 및 고찰

레이저의 선형빔을 이용해 측정 대상체의 길이 측정을 위해 Variable focal length를 가지는 렌즈를 이용하여 초점 거리에 따른 결과를 비교해 보았다. 또한 CCD카메라와 기준면 사이의 높이 변화에 따른 픽셀 좌표값의 변화나 단위 길이 당 픽셀수를 구함에 있어서 계수의 차수가 미치는 영향을 살펴보았다.

Fig.11과 Fig.12는 초점거리가 35mm인 경우에 식 (2), (3)의 계수의 차수를 각각 2차까지 계산한 결과이다.

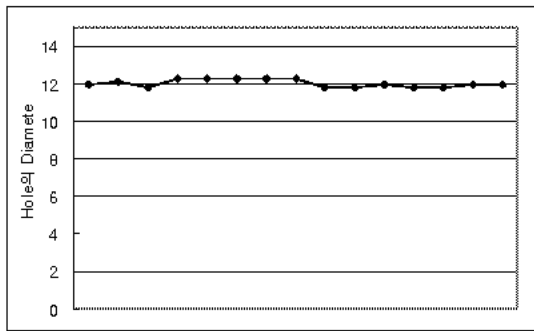


Fig.11 Measured Dimension of 12mm Hole using 35mm lens

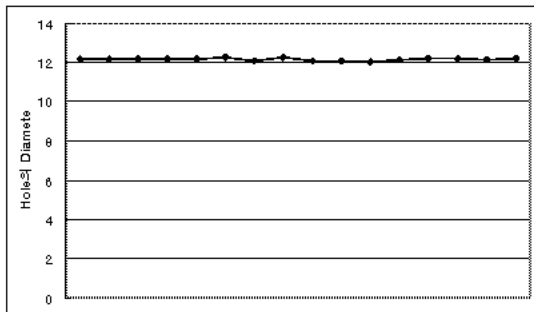


Fig.12 Measured Dimension 12mm Hole using 70mm lens

두 결과 모두 홀의 양 끝점의 한 픽셀씩의 오차를 갖는다면 오차 범위안에 들어오지만 Fig.11의 35mm 렌즈의 경우에는 픽셀당 길이가 약 0.2mm로 Fig.12의 70mm 렌즈의 약 0.1mm보다 크기 때문에 픽셀당 오차범위가 커서 측정값 각 픽셀의 영향을 크게 받는다.

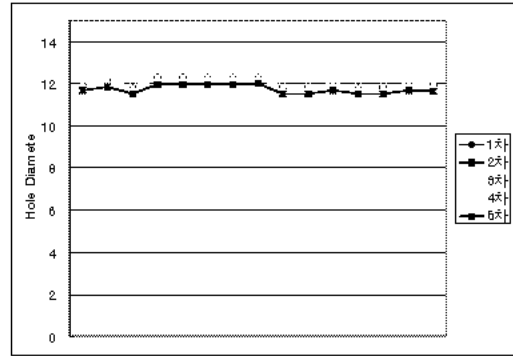


Fig.13 35mm : 단위 길이당 픽셀수의 각 차수에 대한 비교

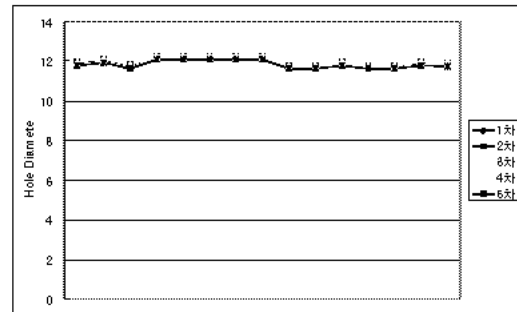


Fig.14 35mm : Z축 값의 각 차수에 대한 비교

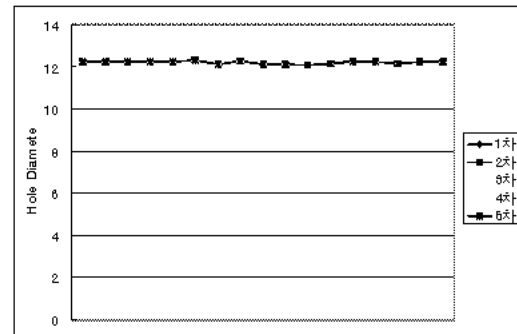


Fig.15 70mm : 단위 길이당 픽셀수의 각 차수에 대한 비교

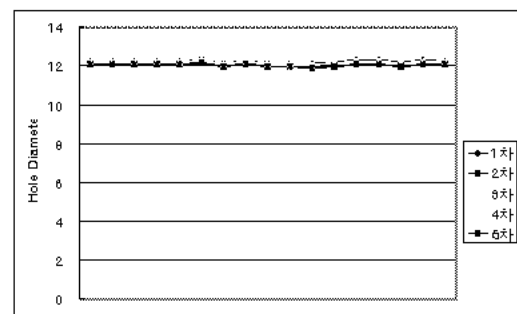


Fig.16 70mm : Z축 값의 각 차수에 대한 비교

대부분의 경우 차수가 커짐에 따라 측정값의 차이가 크게 나지 않았으나 차수가 너무 높으면 픽셀에 의한 오차보다 높은 차수의 계수에 의한 오차가 커진다. 특히, Fig.13에서 1차에서 4차까지는 측정값의 변동이 거의 없었으나 5차에서는 평균 0.33mm의 오차를 보였다.

본 시스템의 측정 분해능이 CCD카메라의 픽셀분해능에 의존하기 때문에, CCD카메라와 물체와의 거리가 멀어지면 분해능이 떨어지게 되고, 반대로 물체와의 거리가 가까워지게 되면 분해능이 향상된다. 이를 해결하기 위해 Variable focal length를 가지는 렌즈를 이용하면 CCD카메라와 측정 기준면의 거리는 일정하게 하면서 초점 거리가 짧을 때는 넓은 영역의 큰 물체를 측정 할 수 있고, 초점 거리를 길게 하면 좁은 영역을 같은 CCD에서 높은 분해능으로 측정할 수 있다.

또한 이 시스템의 최대 장점은 기존의 2차원 검사장치에서 불가능한 측정 대상체가 경사진 면에 있을 경우 CCD카메라의 2차원 픽셀 좌표를 측정 대상체의 3차원 공간 좌표로 변환 할 수 있다는 것이다. 그리고 하드웨어 구성이 용이하고 측정속도가 빨라 실제 현장활용 가능성이 큰 것 또한 그렇다 하겠다.

앞으로 오차율을 줄이기 위한 연구가 필요하고, 특히 반사율이 높은 물체의 측정에 있어 선형 레이저빔의 정확한 중심선 추출의 개선에 대한 연구가 필요하다고 생각한다.

방향성 배율 확대를 이용한 정밀 형상측정 시스템”, 한국정밀공학회지, 제14권, 제5호. 1997.

참고문헌

1. J. Lewandowski, L. Desjardins, "Light sectioning with improved depth resolution", Optical Engineering. 34. 2481-2486. 1995.
2. J. Klicker, "A very compact two-dimensional triangulation-based scanning system for robot vision", SPIE. 1822. 217-227. 1992.
3. D. Holm, "Identification and integrity verification of final disposal casks", SPIE. 2248. 1994.
4. Zhang Guoyu, An Zhiyong, Zhao Tiejun, Wang Xiaoman, "Research on a laser position and dimension on-line inspection system", SPIE. 2899. 348-353. 1996.
5. Manuel F. M. Costa, "Surface inspection by optical triangulation", SPIE, 2248. 151-159, 1994.
6. W. K. Pratt, "Digital image processing", a Wiley-Interscience Publication. 1991.
7. T. C. Strand, "Optical three-dimensional sensing for machine vision", Optical Engineering. 24. 33-40. 1985.
8. 박승규, 백성훈, 김철중, "선모양을 한 레이저빔의