

광삼각법을 이용한 레이저 변위 센서의 특성 연구

박종성*, 정규원**

Characteristics of the Laser Displacement Sensor Using Optical Triangulation Method

Jong Sung Park*, Kyuwon Jeong**

ABSTRACT

Recently, a laser displacement sensor is widely used for the manufacturing automation. The sensor is generally composed of a diode laser and a light receiving device. The diode laser emits a laser beam and the receiving device detects the light reflected from the measured object. The object position is obtained based upon triangulation method. As a light receiving device, a PSD is usually utilized since its structure is very simple and rugged and has a high accuracy. Although the theoretical relationship for this sensor had been developed, the characteristics of the sensor have not been much experimentally studied. In this paper, several experimental results will be presented. The measurement accuracy is affected by the surface conditions such as the reflectance characteristics, the angle of the object's surface and the laser intensity. In addition, it is found that the PSD and the signal processing circuit have nonlinearities and showed that those nonlinearities can be reduced by controlling the emitting laser intensity.

Key Words : Laser displacement sensor(레이저 변위 센서), Optical triangulation method(광삼각법), Non-contact measurement(비접촉식 측정), Position sensitive detector(위치감응소자), Light intensity(광 세기), Object surface condition(물체표면조건), Specular reflection(경면반사), Lambertian reflection(램버시안반사)

1. 서론

산업이 고도화함에 따라 비접촉식 변위 측정기술은 생산공정의 여러 가지 작업을 자동화하기 위하여 많이 응용되고 있다. 각종 작업물의 위치 파악, 로봇을 응용한 용접가공시 로봇과 물체의 상대 위치 파악 및 용접선 추적, 기계 가공의 기상 측정 등 그 수요가 급증하고 있다. 또한 기존의 와전류

를 이용한 유도형, 또는 용량형 변위 센서들은 측정을 위해서는 물체에 근접한 장소에 설치해야 하며, 또한 센서 헤드가 비교적 크기 때문에 설치에 따른 공간적 제한을 갖고 있다. 이러한 응용상의 문제점들을 해결하고자 연구가 활발히 진행되고 있다. 광학식의 비접촉식 측정 센서들은 렌즈를 사용하여 레이저 광점을 소형으로 할 수 있으며, 상당히 원거리에서 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라

* 충북대학교 기계공학과 대학원

** 충북대학교 기계공학부

서 이 방식의 센서에 대한 연구가 활발하다⁽¹⁻⁴⁾. 그러나 이들 연구는 이론적인 분야에 중점을 두고 있으며, 실제 응용할 때 발생하는 문제를 많이 다루지 않고 있다.

본 논문에서는 광삼각법을 이용한 비접촉식 변위 센서를 이론적인 설계방법에 따라 구성하였으며, 여러 가지 사용 조건에 따른 실험을 통해 센서의 특성을 조사하였다. 측정소자로 사용되는 PSD (Position sensitive detector)와 신호처리 회로가 갖는 비선형성에 대하여 실험으로 특성을 규명하였으며, 측정 대상물의 표면 조건에 따른 특성 실험과 주사되는 레이저의 광량 변화가 센서의 정밀도에 미치는 영향을 알기 위한 성능 실험을 수행하였으며, 측정 대상물의 표면 각도에 대한 특성 실험을 수행하여 이러한 조건이 비접촉식 변위 센서에 미치는 영향을 비교, 검증하였다. 마지막으로 실험을 통해 밝혀진 오차를 보정하는 방법을 제시하였다.

2. 광삼각법 이론

광삼각법의 원리는 Fig.1에 보인 바와 같이 기하광학의 원리(geometric optics)에 근거한 삼각법 변위 측정 기법이다. 광삼각법의 광학계는 한 평면 내에 존재하며, 서로 θ 의 각도를 이루며 교차하는 두 개의 광축(optical axis)을 중심으로 구성된다. 두 광축중 하나는 측정물의 표면에 광점을 형성하기 위해 사용된 집광렌즈(focusing lens)가 갖는 집광광축이며, 다른 하나는 측정물의 표면에 형성된 광점의 영상을 수광소자에 투영하기 위한 영상렌즈(condensing lens)가 갖는 영상광축이다.

측정물의 표면 P점에 형성된 광점은 물체의 표면 특성에 따라 광점주위에 가우시안(Gaussian) 형태로 모든 방향으로 반사되는 것으로 가정할 수 있는데, 이를 경면 반사성분과 램버시안 반사성분으로 나누어 볼 수 있다. 이와 같이 반사된 빛은 수광하기 위해 일정한 거리에 위치한 영상렌즈를 통하여 집광되어 수광소자 위의 점 Q에 집중된다. 이때 측정물이 집광렌즈로부터 집광광축 상에서 직선적으로 이동하면, 광점이 이동함에 따라 수광소자(detector)상의 영상점이 이동하게 되는데, 이를 영상궤적(image trajectory)이라 하고, 이는 영상광축의 수직방향과 각도 ϕ 를 이룬다. 일반적으로 렌즈는 구면 수차 (spherical aberration), 코마 (coma), 비

점 수차 (astigmatism), 시야 뒤틀림 (field curvature), 왜곡 (distortion)등의 단색 수차 (chromatic aberration)가 존재하는데, 이를 무시하고 근축광학의 원리와 기하광학의 원리에 의해 영상궤적은 수광소자 상을 직선적으로 움직인다고 간주한다⁽⁵⁾. Fig.1에서 광삼각법에 대한 기하학적인 원리를 세부적으로 도시하고 있다. 이에 대한 관계식은 얇은 렌즈에 대한 기하광학의 원리에서 물체궤적상의 광점의 이동거리 p 와 이에 대응되는 영상점의 이동거리 q 는 다음과 같이 주어진다⁽¹⁾.

$$q = \frac{pf \sin \theta}{(s - f) \cos \phi + p \cos \phi \cos \theta} \quad (1)$$

또한 영상광축의 수직방향과 PSD가 이루는 각도 ϕ 는 다음의 관계로 구해진다.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{f}{(s - f) \tan \theta} \right) \quad (2)$$

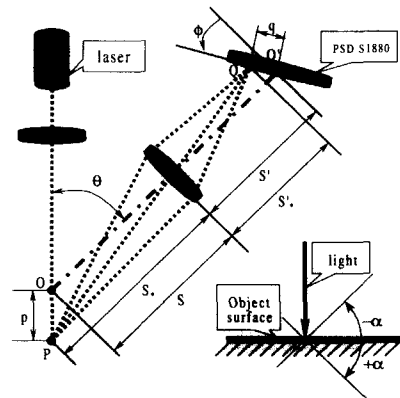


Fig. 1 The geometry of optical triangulation method

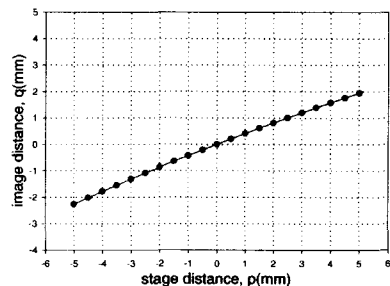


Fig. 2 Relationship between the object distance and the image distance

식 (1)에서 측정물의 O점에서 이동거리 p 와 수

광소자의 점 O'에서 영상점의 이동거리 q 의 관계를 알 수 있다. 주어진 기하학적인 조건에서 비선형적으로 나타나며, Fig.2에 그래프로 나타내었다.

일반적으로 p 가 양의 값을 가질 때, 즉 측정 대상물이 변위 센서로부터 멀어질 때 영상점의 민감도가 낮아지며, p 가 음의 방향으로 이동할 때 민감도가 높아지는 것을 볼 수 있다.

3. PSD의 원리

본 레이저 변위 센서에서 사용한 수광소자는 PSD (Position sensitive detector) 이며, Fig.3에 기본적인 원리를 보였다. 이 PSD는 광전자 센서로 광점이 표면에 맺힐 때 광에너지에 비례한 광전류 (photocurrent)가 입사점에서 발생하여 양단의 전극으로 흐른다. 그리고 이러한 소자는 CCD와 같은 불연속 검출기와 비교하여 높은 분해능과 고속의 응답속도를 가지며, CCD소자에 비하여 신호처리 회로가 단순하다.

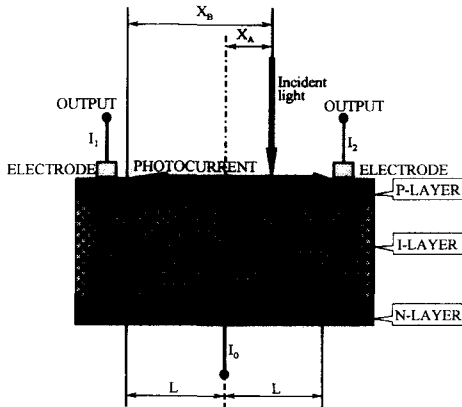


Fig. 3 Principle of Position-Sensitive Detector

Fig.3에서 입사광이 중심으로부터 임의의 거리 x_A 에 입사될 때 PSD의 양 전극에 수집된 광전류는 다음과 같이 나타내어진다.

$$I_1 = I_0 \frac{L - x_A}{2L}, \quad I_2 = I_0 \frac{L + x_A}{2L} \quad (3)$$

위의 식을 이용하여 다음과 같이 총광량에 무관한 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{I_2 - I_1}{I_1 + I_2} = \frac{x_A}{L} \quad (4)$$

여기서 I_0 는 총광전류이고, I_1, I_2 는 각 전극에 유도된 광전류이다.

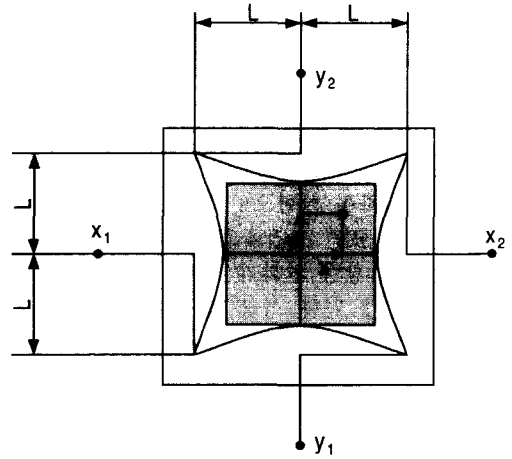


Fig. 4 Structure of 2-D PSD(S1880)

이러한 PSD는 여러 형태가 있지만 본 논문에서 사용한 PSD는 핀쿠션형 (pin-cushion type)으로, 그 구조를 Fig.4에 나타냈다. 이 형태는 광다이오드의 표면에 4개의 전극과 개선된 감지표면을 가지고 있다. 이러한 소자는 어두운 상황에서 PSD상에 역전압(reverse voltage)이 흐르는 것을 암전류 (dark current)라 하는데, 핀쿠션형은 암전류가 가장 적으며, 응답속도가 빠르고, 바이어스 (bias)를 쉽게 인가할 수 있는 특징을 갖고 있다. 또한 외곽부분에 왜곡이 상당히 감소된다. 이러한 형태의 출력에 대한 계산은 다음 식과 같이 주어진다⁽⁶⁾.

$$\frac{(X_2 + Y_1) - (X_1 + Y_2)}{X_1 + X_2 + Y_1 + Y_2} = \frac{x}{L} \quad (5)$$

$$\frac{(X_2 + Y_2) - (X_1 + Y_1)}{X_1 + X_2 + Y_1 + Y_2} = \frac{y}{L} \quad (6)$$

여기서 X_1, X_2, Y_1, Y_2 는 각 전극에서의 출력을 나타내고, x, y 는 PSD상의 광점의 위치, 그리고 L 은 PSD의 특성길이를 나타낸다. 또한 신호처리 회로의 y 방향의 출력인 V_1 과 총광량 V_3 는 다음식으로 각각 표현된다.

$$V_1 = (X_2 + Y_2) - (X_1 + Y_1) \quad (7)$$

$$V_3 = (X_1 + X_2 + Y_1 + Y_2) \quad (8)$$

4. 실험 및 결과

4.1 PSD S1880 Calibration

Fig.5에 PSD의 특성을 알아보기 위해 캘리브레이션에 사용한 실험장치를 도시하였으며, 이 장치의 구성요소들을 Table 1에 나타내었다. 다이오드 레이저로부터 발사된 빔은 편광을 조절할 수 있는 편광판 (polarizer)을 통과하여, 렌즈로 집광하고, 핀홀 (pin-hole)을 통과시켜 빔의 중심 부분을 선택하여 PSD에 입사되도록 하였다. PSD로부터 출력되는 신호는 신호처리 보드인 C4674로 입력되고, 이 회로에서 출력되는 식 (7), (8)의 V_1 , V_3 값을 12비트 AD변환기로 샘플링하여 PC로 입력하였다. 이때의 샘플링 주파수는 2 kHz로 설정하고, 이 데이터들을 1000회 평균하여 V_1 , V_3 의 값으로 하였다. PSD의 실제 이동거리 p 는 스테이지에 설치한 $1 \mu\text{m}$ 분해능의 마이크로미터의 눈금을 읽어서 사용하였다.

Fig.6에 실험결과를 보였으며, 편광판을 회전시켜서 편광판의 각도를 0° 에서 60° 까지 30° 간격으로 하여 광량이 변화되었을 때의 결과도 같이 도시하였다. 이 그림의 결과를 최소자승법으로 처리하여 얻은 식들이 (9) ~ (12)와 같다. 광량이 일정할 때는 PSD의 이동거리와 출력신호는 비례하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 레이저의 광량이 변화함에 따라 이들 관계식이 변화하고 있다. 편광판이 없을 때가 식 (9)이며, 편광판을 설치하고 광량이 가장 강할 때가 0° 일 때 식 (10)이다.

$$q_{no} = 6.950272\left(\frac{V_1}{V_3}\right) - 0.005711 \quad (9)$$

$$q_{0^\circ} = 6.957632\left(\frac{V_1}{V_3}\right) - 0.005038 \quad (10)$$

$$q_{30^\circ} = 6.976646\left(\frac{V_1}{V_3}\right) - 0.014491 \quad (11)$$

$$q_{60^\circ} = 7.169127\left(\frac{V_1}{V_3}\right) - 0.147748 \quad (12)$$

식에서 보듯이 광량이 감소함에 따라 기울기가 증가하고 오프셋이 음(-)으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 각각의 캘리브레이션 결과식과 스테이지로부터의 실제 이동거리의 오차는 다음 식으로 구해진다.

$$\epsilon_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p - q_{cal})^2} \quad (13)$$

식(13)에 의한 오차는 편광판이 없는 경우 $4.507 \mu\text{m}$ 이고, 0° 인 경우는 $2.598 \mu\text{m}$ 로 가장 적은 것으로 나타났으며, 30° 에서는 $2.912 \mu\text{m}$, 그리고 60° 에서 $6.588 \mu\text{m}$ 로 점차 광량이 감소함에 따라 오차가 증가하는 경향을 보이고 있다.

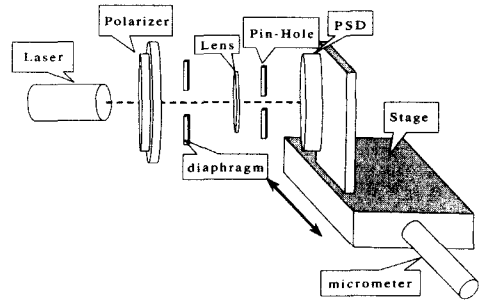


Fig. 5 PSD calibration setup

Table 1 Specifications for the PSD calibration setup

Comp.	Spec.
Laser	680 nm, 5 mW
Lens	f=14.8 mm, d=8 mm
Pin-hole	d=25 μm
Stage	1 μm micrometer

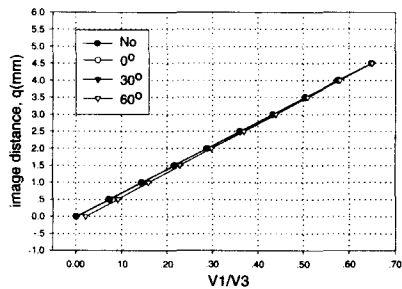


Fig. 6 Calibration results for the PSD S1880

4.2 레이저 변위 센서

4.2.1 실험 장치

본 실험에서 설계된 변위 센서에 사용된 구성요소의 기본적인 특성을 Table 2에 제시하였고, 센서의 설계에 필요한 변수값을 Table 3에 나타냈다. 실

험에 사용한 광원은 파장이 680 nm, 출력이 5 mW 인 다이오드 레이저 (diode laser)이고 집광렌즈는 $f=28.77$ mm인 볼록렌즈를 사용하였다. 또한 외부의 빛을 차단하고 파장 $\lambda = 680$ nm의 빛을 투과시키기 위한 광학필터 (filter)를 사용하였다. 필터의 특성은 Fig.7과 같다. 그리고 수광소자는 S1880을 사용하였고, 신호처리 보드는 제작사에서 제공하는 C4674를 사용하였다. 이 C4674보드는 자회사의 2-D PSD에 대해 특별히 고안된 신호처리 보드이다. 이 보드는 광의 세기에 무관하게 2-D PSD상에 입사되는 광점으로 2차원 위치 정보를 제공하도록 고안되었으며, 2-D PSD의 중심에 대하여 1 volt/mm의 값으로 위치 정보를 제공하도록 설계되어 있다. 이 보드의 블록 다이어그램이 Fig.8에 도시되어 있다⁽⁷⁾. 이 그림에서 각 전극에서의 출력 X_1, X_2, Y_1, Y_2 는 식(7), (8)을 아날로그적으로 구현한 가·감산회로에 의해 V_1, V_3 가 구해지며, 이 값이 승·제산 전용칩인 AD538AD를 이용하여 만든 나누기회로로 입력되어 센서의 출력 (V_4)이 얻어진다. 측정 시편으로는 회화용으로 사용되는 콘테 (conte)와 공업용으로 주로 사용되는 알루미늄판, 그리고 냉연강판을 사용하였다. 콘테는 주성분이 탄소가루이며, 이 탄소가루를 뭉쳐서 막대형태로 만든 제품으로, 특성은 표면이 부드러우며 경면 반사 성질은 거의 없고 주로 램버시안 반사 성질을 갖는다고 간주하여 선정했으며, 알루미늄판은 표면을 범용 밀링으로 가공하여 생산공정중의 조건과 유사하게 하였다. 또한 이러한 변위 센서는 냉연강판의 가공시 많이 사용되므로 생산공정 상태인 냉연강판을 측정 시편으로 선택하여 실험하였다^(8,9).

Table 2 Specifications of experimental setup for the laser displacement sensor

Comp.	Spec.
Laser	$\lambda = 680$ nm, 5 mW
Detector	Hamamatsu, S1880
Lens	Seoul optics $f=28.77$ mm
Filter	$\lambda = 680$ nm
Signal processing circuit	Hamamatsu, C4674
Specimen	white, black conte steel, aluminum plate

이들의 표면 조도는 비접촉 측정방식인 Rodenstock사의 RM-600으로 측정했을 때, 냉연강판의 경우 약 $Ra=0.7 \mu\text{m}$, 알루미늄판의 경우 약 $Ra=1.0 \mu\text{m}$, 백색콘테의 경우 약 $Ra=2.89 \mu\text{m}$ 를 나타내며, 흑색콘테의 경우 빛이 흡수되어 측정이 불가능하나, 백색콘테와 같은 수준으로 간주할 수 있다. Fig.9에 레이저 변위 센서 실험 장치의 구성을 보였다.

Table 3 Design parameter of the laser displacement sensor

Design parameter	Lens (Seoul optics)
s	80 mm
s'	39.403 mm
θ	40°
ϕ	30.4°

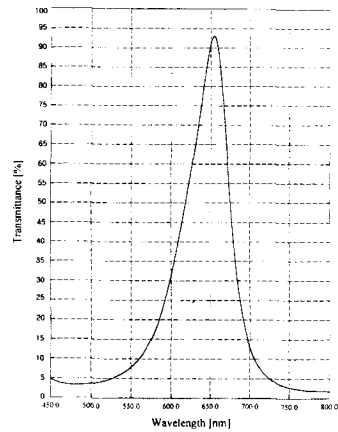


Fig. 7 Transmittance of optical filter

4.2.2 반사 성질 (측정 대상물)에 따른 실험

Fig.10과 Fig.11은 제작된 렌즈를 사용하여 측정한 결과를 나타내고 있다. 여기에서 p 는 측정 대상물의 실제 이동거리로, q 는 설계된 변위 센서로부터의 출력을 나타낸다. 데이터의 획득은 PSD 캘리브레이션과 마찬가지로 샘플링 주파수 2 kHz로 1000회 평균하여 구하였다. Fig.10은 제작회사에서 공급하는 신호처리 보드 C4674의 아날로그 나누기

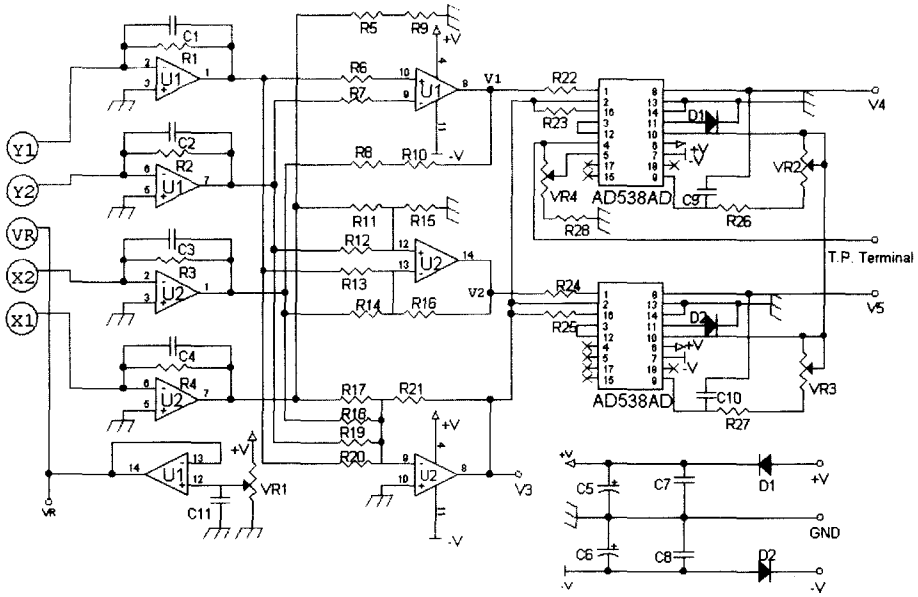


Fig. 8 Block diagram of the signal processing circuit



Fig. 9 Experimental setup of the laser displacement sensor

회로인 AD538AD를 사용하여 얻은 V_4 이다. 이 경우에는 PSD상의 영상 광점의 위치 q 는 $V_4(V) \cdot (mm/V)$ 에 의하여 계산된다.

Fig.11은 PSD 각 전극의 출력인 V_1, V_3 를 이용하여 수치적인 나누기로 계산된 결과를 나타낸다. 나누기 회로를 사용한 Fig.10을 보면, 4가지의 대상물 모두 위로 블록하며 단조 증가하는 비선형 곡선의 형태를 나타냈다. 이 그림은 Fig.2와 2가지

면에서 차이가 많다. 첫째는 Fig.2의 이론적인 값과 차이가 있는 것으로, Fig.2는 얇은 렌즈에 대한 이론식인데 비하여, Fig.10에 사용한 렌즈는 단일렌즈로 왜곡이 있으며, PSD의 설치 각도에 오차가 있기 때문이다. 두 번째는 대상물에 따라 출력된 영상 광점의 위치가 상당히 오차가 있는 것이다. Fig.2의 이론식과 식 (5), (6)의 PSD의 이론식에 의하면 대상물에 무관한 출력이 얻어져야 한다. 램버시안 반사 성질을 갖는 것으로 간주할 수 있는 백색콘테를

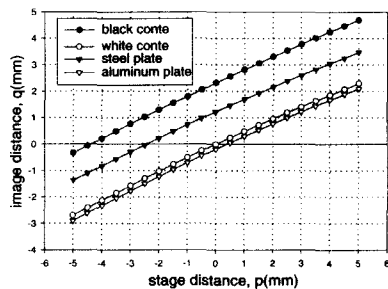


Fig. 10 Experimental results for the different surfaces using AD538AD

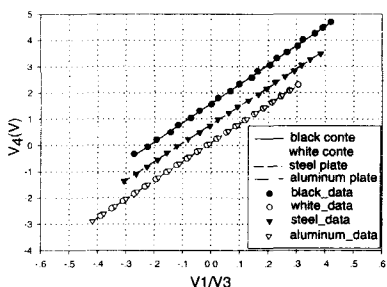


Fig. 11 Analog division characteristics of the signal processing circuit using AD538AD

기준으로, 검정콘테의 경우는 전체적으로 +2.39 mm, 가공되지 않은 냉연강판은 +1.33 mm만큼 출력이 크게 나오며, 반대로 알루미늄판은 -0.2 mm만큼 전체적으로 출력이 작게 나온다. 검정콘테의 표면은 백색콘테와 반사특성은 거의 같다고 볼 수 있으나, 빛의 흡수율이 매우 다르다. 따라서 반사되는 광량의 차이가 매우 클 것이며, PSD에서 발생하는 전류의 세기도 다를 것이다. PSD에서의 오차를 유발할 가능성은 Fig.6의 결과로 미루어 볼 때 Fig.10에서처럼 크지 않을 것으로 생각되므로, C4674보드의 아날로그 나누기 회로에 대하여 특성을 검토하였다. Fig.11은 Fig.10의 총광량 V_3 와 y방향의 출력 V_1 , 그리고 센서의 출력인 V_4 의 관계를 최소자승법에 의해 다음과 같이 관계식을 구하고 이 관계를 도기한 것이다.

$$V_{4(black)} = 7.32124901 \left(\frac{V_1}{V_3} \right) + 1.59110177 \quad (14)$$

$$V_{4(white)} = 7.18781996 \left(\frac{V_1}{V_3} \right) + 0.10574239 \quad (15)$$

$$V_{4(steel)} = 7.06155634 \left(\frac{V_1}{V_3} \right) + 0.79107416 \quad (16)$$

$$V_{4(alum)} = 7.17686462 \left(\frac{V_1}{V_3} \right) + 0.10307278 \quad (17)$$

식에서 보듯이 측정 대상물에 따라 출력의 관계가 다르게 나타났다. 완전한 램버시안 반사 특성으로 간주할 수 있는 백색콘테의 식 (15)와, 램버시안 반사와 경면 반사 특성을 동시에 갖는 알루미늄판의 식 (17)은 기울기와 오프셋이 약간의 차이를 보이는 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 검정콘테의 식

(14)와 냉연강판에 대한 식 (16)은 큰 차이를 보였다. 백색콘테와 검정콘테는 모두 반사 특성이 램버시안으로 간주할 수 있는데도 서로 다른 특성을 보이는 것은 아날로그 나누기 회로의 동작 특성 때문인 것으로 보인다. 아날로그 나누기 회로는 분모의 입력이 0V에 가까우면 출력이 거의 14V로 되는 매우 비정상적인 특성이 있다. 그러므로 PSD에 입사되는 총광량 V_3 가 감소함에 따라 나누기 회로의 출력이 증가하는 결과를 나타낸다. 검정콘테나 냉연강판의 경우 반사광의 급격한 감소로 인한 출력이 증가한다는 것을 알 수 있다. 이러한 아날로그 나누기 회로에서 유입되는 오차를 줄이기 위한 목적으로 수치적인 나누기를 이용하여 출력을 계산해 보았다.

Fig.12에 계산 결과를 도시하였다. 사용된 관계식은 PSD 캘리브레이션에서 얻어진 총광량 V_3 와 변위 센서에서 획득된 V_3 가 일치하는 식 (10)을 이용하였다. 이 그림과 Fig.10을 비교하면, 측정 대상물에 따른 변동폭이 매우 작아졌다. 이와 같이 측정 대상물에 따라 PSD에 입사되는 광량이 작아질 경우 아날로그 나누기 회로를 사용하지 않는 것이 오차를 줄일 수 있는 방법임을 알 수 있었다.

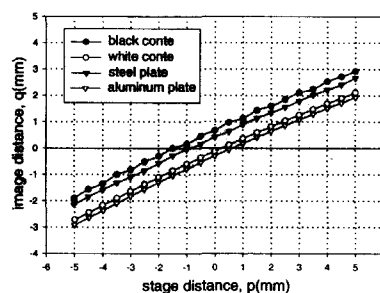


Fig. 12 Experimental results for the different surfaces using numerical division

Fig.12의 데이터에 대한 정확도를 알아보기 위하여 이들 데이터에 대한 표준편차를 구하여 Fig.13에 나타내었다. Fig.12의 각각의 측정 위치에서 다음 식 (18)을 이용하여 표준편차를 구하였다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - q_{ave})^2} \quad (18)$$

이 그림을 보면 검정콘테는 센서로부터 멀어질 때

편차가 커지며, 최대 219.8 μm 로 다른 시편보다 상대적으로 크다. 냉연강판은 155.8 μm 로 검정콘테의 경우보다 작으나 큰 편차를 나타냈다. 그러나 백색콘테의 경우는 최대 13.8 μm , 알루미늄판의 경우는 편차가 가장 적은 8.21 μm 를 나타냈다. 이러한 요인은 PSD에 입사되는 광량이 적을 경우 PSD와 신호처리 회로의 전기적, 광학적 잡음이 상대적으로 커지기 때문으로 생각된다.

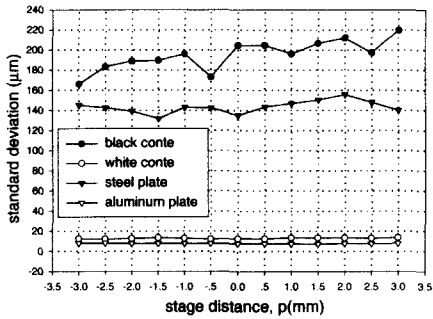


Fig.13 Standard deviation of the laser displacement sensor for the different surface using numerical division

4.2.3 레이저의 광량 변화에 대한 실험

측정대상물의 표면에 입사되는 광량의 변화가 정밀도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험을 하였다. Fig.14에 광학 편광판을 이용하여 레이저로부터 물체에 입사되는 광량을 조절하면서 측정한 결과를 나타냈다. 앞에서 본 바와 같이 아날로그 나누기 회로는 광량 변화에 따라 오차가 발생하므로 여기서는 수치적인 계산에 의해 산출한 결과만을 고려하였다. 편광판이 없는 경우와 0°에서 60°까지 30° 간격으로 측정하였다. 이 경우에 PSD에 입사되는 광량이 매우 작다고 볼 수 있으므로 식(12)를 사용하였다. (a) 백색콘테의 경우는 광량을 조절하여 감소시키면 전체적인 출력이 커지고 오차가 증가한다. 그러나 반사광의 변화가 작아 그 차이가 작다. (b) 검정콘테의 경우는 주사되는 광량을 조절함에 따라 백색콘테와는 달리 전체적인 출력이 감소하고 비직선성이 심하였다. (c) 알루미늄판일 경우는 광량 변화에 따른 오차가 작았고, (d) 냉연강판의 경우는 30° 회전시 전체적인 출력이

증가하고, 60° 회전시 다시 출력이 감소하는 현상을 보이며 매우 불규칙하였다. 이처럼 측정 대상물에 주사되는 광량이 감소함에 따라 반사율이 높은 백색콘테와 알루미늄판에 대하여는 측정오차가 적

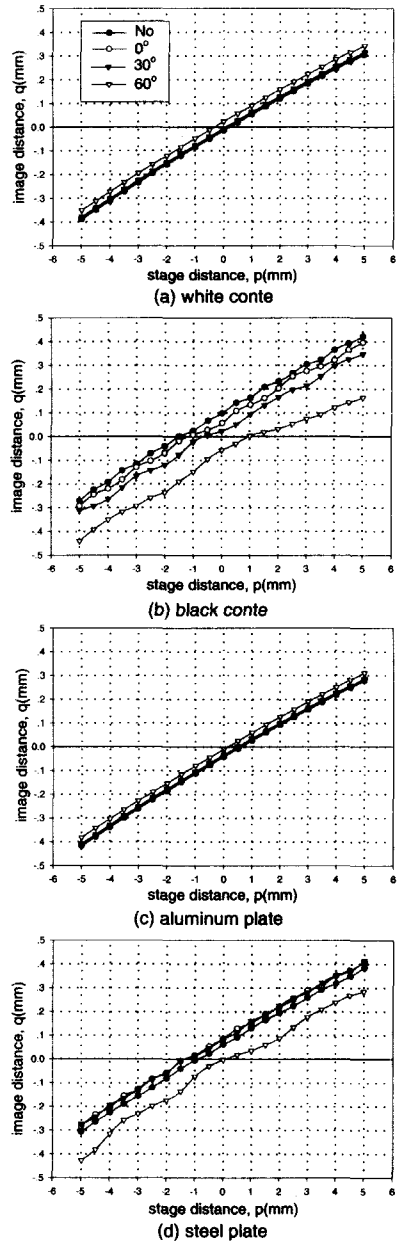


Fig. 14 Experimental results for the different light intensity using numerical division

으나, 반사율이 낮은 검정콘테와 냉연강판에 대해서는 오차가 크게 나타났다.

4.2.4 광량 조절에 의한 정밀도 향상 실험

앞의 실험결과로부터 측정 대상물에 따라 그리고 주사되는 레이저 광량의 변화에 따라 그 출력에 있어서 상당한 오차를 나타냄을 보았다. 이로부터 광량을 일정하게 조절하면 오차를 감소시킬 수 있을 것으로 기대할 수 있다. PSD의 원리로부터 광량은 PSD에서 발생시키는 총 전류의 크기와 직접적으로 관계가 있으므로, 식 (8)의 V_3 를 감시하여 측정 대상물에 무관하게 일정한 값을 설정하고, 센서의 출력을 관찰하였다. 아날로그 나누기 회로에 의한 오차를 배제하기 위해 식(12)를 이용한 수치적인 나누기를 이용하였다. 편광판과 조리개로 물체에 입사되는 광량을 조절하여 신호처리 보드의 V_3 가 모든 대상물에 일치하도록 하였다. 이와 같이 실험한 결과를 Fig.15에 결과를 나타냈다. 이 결과를 Fig.12나 Fig.14와 비교하면 그 오차의 폭이 상당히 감소됨을 볼 수 있다. 백색콘테와 검정콘테, 그리고 냉연강판일 경우들은 측정물에 따라 약간의 전체적인 오차를 나타내지만 기울기가 거의 일정하였다. 알루미늄판의 경우도 전체적인 오차는 같은 수준이나, 기울기가 약간 다르다. 이는 범용밀링으로 가공한 표면이지만 여타 물체와 달리 경면 반사 특성이 있기 때문인 것으로 볼 수 있다.

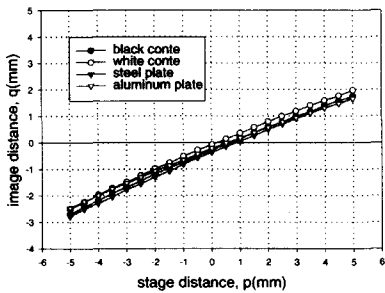


Fig. 15 Experimental results for the controlled light intensity using numerical division

이로부터 PSD에 입사되는 광량을 감시하여 측정물에 무관하도록 총광량의 세기를 조절하면 정밀도를 향상시킬 수 있음을 알았다.

4.2.5 측정물의 표면각도에 대한 실험

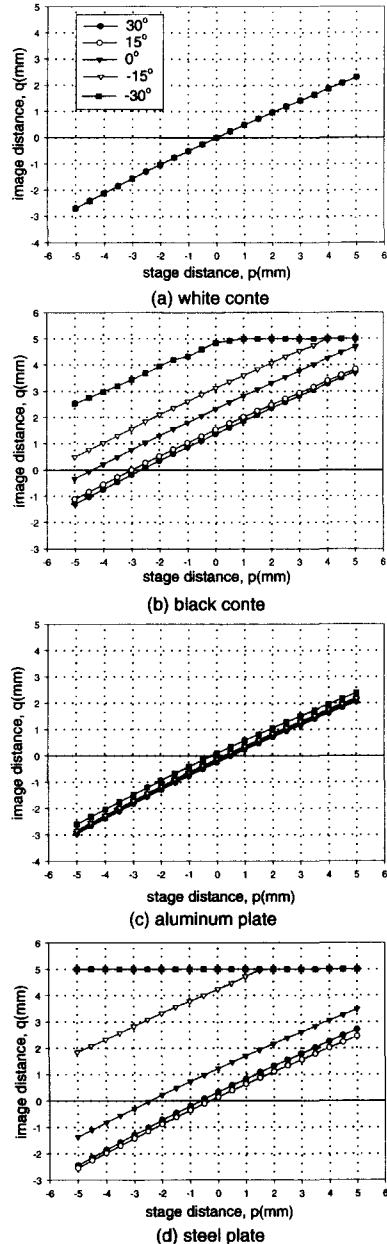


Fig. 16 Experimental results with the different surface object angles (α) using AD538AD

앞에서 언급한 결과는 물체의 측정 표면이 레이저 광선과 수직으로 놓여있는 경우이나, 생산공정에서 이와 같은 조건을 만족시키기는 용이하지 않

다. 따라서 측정표면이 입사광과 수직이 아닌 경우를 가정하여 실험하였다. Fig.1에 변위 센서와 측정 대상물의 표면 각도와 관계의 그래프를 제시하였다. 표면 각도를 $+30^\circ$ 에서 -30° 로 15° 의 간격으로 회전시키면서 측정하였다. 이 결과를 Fig.16에 나타냈다. 측정 대상물의 표면 각도가 0° 즉, 변위 센서와 측정 대상물이 90° 를 이룰 경우를 기준으로, 모든 시편에 있어서 양(+의) 각도, 즉 측정표면이 PSD를 향하도록 회전되었을 때, 전체적인 출력이 작아진다. 그러나 음(-)의 각도, 측정표면이 PSD와 반대로 향하도록 회전되었을 때, 출력이 증가한다. (a) 백색콘테의 경우는 표면 각도에 따라 정밀도에 영향이 적은 데, 이로부터 완전한 램버시안 반사 특성을 갖는 것으로 간주할 수 있다. 그러나 (b) 검정콘테의 경우는 표면 각도에 따라 오차가 매우 크다. 표면 각도가 양(+의) 방향일 때 출력이 감소하고, 음(-)의 방향일 때 출력이 증가하며, -15° 이상일 때 포화상태가 되어 측정이 불가능한 구간이 나타난다. 그 이상 회전하면 전 구간에서 측정이 불가능하다. (c) 알루미늄판의 경우도 양(+의) 각도에서는 전체적인 출력이 감소하고, 음(-)의 각도에서는 출력이 증가하는 경향이 있으나, 변동폭이 크지 않다. (d) 냉연강판의 경우도 전체적으로 (b)의 경우와 같으나, $+30^\circ$ 에서 보다 $+15^\circ$ 에서 출력이 더 감소하였다. 이는 냉연강판도 경면 반사특성이 있기 때문인 것으로 생각된다. 이처럼 램버시안 반사 특성을 갖는 표면과 반사율이 큰 표면은 표면각도에 따라 오차가 적고, 반사율이 낮은 표면은 PSD에 입사되는 광량이 급격히 변화하여 많은 측정 오차를 나타냄을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 광삼각법을 이용한 비접촉식 변위 센서를 이론적인 설계방법에 따라 구성하고, 이의 특성을 파악하기 위하여 여러 가지 사용조건에서 특성을 실험하였다. 이들 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

측정소자로 사용되는 PSD가 입사되는 광량의 세기에 따라서, PSD의 위치와 출력 위치의 관계가 이론적인 식과는 다르게 나타난다. 광량이 감소하면 비례 계인이 증가하고, 오프셋이 감소한다. 또한 측정신호의 오차도 증가한다.

신호처리에 사용되는 아날로그 나누기 회로는

많은 오차를 유발할 수 있으므로, 수치적인 처리를 사용하는 것이 더욱 바람직하다.

광삼각법의 이론과는 다르게, 측정 대상물의 반사특성과 PSD의 특성에 따라 많은 오차가 발생하며, PSD에 입사되는 광량을 일정하게 유지하면 오차를 감소시킬 수 있다.

측정 대상물의 표면각도는 램버시안 반사특성을 갖는 물체일 경우는 큰 영향을 주지 않으나, 일반적인 물체는 영향이 크다.

이로부터 광삼각법을 이용한 거리측정 센서를 사용할 경우 대상물체에 따라 상당한 주의를 요하며, 설치각도를 레이저 빔과 수직으로 정확히 하는 것이 중요하며, 대상물의 광학적, 기하학적 특성에 무관한 측정방법이 개발되어야 함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 충북대학교 국책 자유공모과제 (과제번호 96F-9)의 일부 지원으로 수행된 것임.

참고문헌

1. 이재운, 김승우, "광삼각법에 의한 비접촉식 변위 측정계의 설계," 대한기계학회 논문집, 제16권, 제6호, pp.1030~1035, 1992.
2. 유원상, 나석주, "용접 자동화를 위한 주사빔을 이용한 시각센서에 관한 연구," 대한기계학회 논문집(A), 제20권, 제3호, pp.891~900, 1996.
3. 이철원, 나석주, "물체의 반사성질이 능동형 광센서에 미치는 영향에 관한 연구," 대한기계학회 논문집, 제18권, 제11호, pp.2944~2953, 1994.
4. V. V. Vertoparkhov, "Influence of the shape of an object and the orientation of its surface on the accuracy of laser triangulation measurements," Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, No.6, pp.61~65, 1995.
5. E. Hecht, Optics, 3rd Ed., Ch. 6, Addison-Wesley, 1998.
6. Hamamatsu, Catalog of Position Sensitive Detector, 1990.
7. Hamamatsu, Instruction manual of signal processing circuit Type No. C4674 for improved Tetra-Lateral 2-Dimensional PSD, 1998.
8. B. K. P. Horn and R. W. Sjoberg, "Calculating the

reflectance map," *Applied Optics*, Vol. 18, No. 11, pp.1770~1779, June, 1979.

9. K. E. Torrance and E. M. Sparrow, "Theory for off-specular reflection from roughened surfaces," Vol. 57, No. 9, *J. of the Optical Society of America*, pp.1105~1114, 1967.