

변위측정을 위한 선형 CCD 센서와 PSD 센서의 성능 비교에 관한 연구

신명관, 박기환  
광주과학기술원

Study on Comparing the Performance of Linear CCD sensor with PSD sensor for Distance Measurement

MyungKwan Shin, KyilHwan Park  
GIST(Gwangju Institute of Science and Technology)

**Abstract** - The main concern for a displacement measurement is the performance of a sensor such as speed, resolution, accuracy and so on. The mainly used sensors are a linear CCD(charge coupled device) and a PSD(position sensitive detection) as a non-contact type. The output value of a linear CCD is so sensitive to a temperature change that it needs a cooling device. Additionally, because of its structural problem, there are some limits in resolution and speed, and it needs a complex image processing algorithm. Also, PSD has some disadvantages like sensitivity to environmental lights and nonlinearities. Like this, a linear CCD and PSD have their own characteristics and if we know them well, we can choose the one of the two sensors properly in some applications according to purposes. In this paper, I performed which one is superior to the other among the two sensors in terms of accuracy, resolution, measurement speed, signal to noise ratio.

용하였다.

2. 본 론

2.1 PSD 센서

빛이 PSD 센서에 투사되면, 광기전력이 발생하고 그것에 의해 광전류  $i_1$  과  $i_2$ 가 그림1.(a)와 같이 발생한다. 이상적인 경우, PSD 표면에서 발생된 광기전력에 의해 생성되는  $i_i$ 는 광원

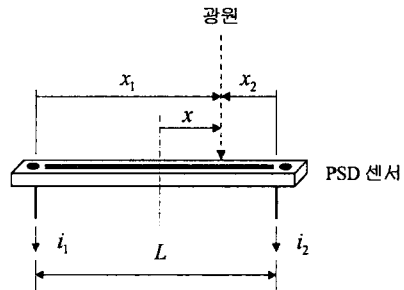


그림 1.(a) PSD 센서의 모습

1. 서 론

현재까지 비접촉식 변위 측정시스템에는 PSD(Position Sensitive Detector)센서와 CCD(Charge Coupled Detector)센서가 가장 많이 사용되고 있다. PSD센서는 Dark Current가 적고 온도변화에 민감하지 않아 적절한 신호 처리를 통해 Dark Current에 의한 노이즈를 제거할 수 있고, 외부 daylight나 형광등에 의한 노이즈는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)이나 AM(Amplitude Modulation)등의 신호처리를 통해 충분히 제거할 수 있다. 하지만 PSD센서는 정지상태에서 측정할 때는 정확도가 높지만 이동하면서 측정할 때는 굉장히 정확도가 떨어지게 된다.

반면에 CCD 센서는 PSD 센서에 비해 Dark Current가 크고 신호처리회로와 알고리즘이 복잡하지만, Pixel 단위의 데이터를 받기 때문에 수학적 연산을 통하여 PSD신호보다 정확한 변위 데이터를 획득할 수 있다. 특히 이동시 측정에서 CCD 센서의 픽셀단위의 데이터를 받아서 보정 알고리즘을 통하여 PSD 센서보다 정확한 변위를 구할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 변위 측정기로서 CCD 센서와 PSD 센서의 성능을 비교하기 위하여 각각의 소자를 구입하여 회로를 구성하였다. PSD센서의 신호처리 회로는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)방법으로 거리값을 환산하는 알고리즘을 구현하였으며, CCD 센서의 신호처리회로는 기존에 나와 있는 상용 Linear CCD 센서를 사

중심으로부터 전극까지의 거리  $x_i$ 에 반비례한다. 즉,

$$i_i = k \mu_s \frac{1}{x_i} \dots\dots\dots(1)$$

여기서,  $k_i$  및  $I_s$ 는 각각 비례상수, 광원의 강도이다. 광원의 중심 위치  $x$ 와  $x_i$ 의 관계는 다음과 같다.

$$x = \frac{L}{2} \frac{x_1 - x_2}{x_1 + x_2} \dots\dots\dots(2)$$

여기서,  $L$ 은 PSD 센서의 길이이다. 식 (1)과 (2)로부터 광전류와 광원의 위치간의 관계를 아래 식과 같이 얻을 수 있다.

$$x = -\frac{L}{2} \frac{i_1 - i_2}{i_1 + i_2} \dots\dots\dots(3)$$

광원의 출력변화에 의한 영향은 나눗셈 연산을 통한 표준화 작업에 의해 보상되고 이를 통해 센서의 중앙으로부터 위치  $x$ 를 얻을 수 있다. 위치를 얻기 위한 신호처리 방법은 PAM기법을 이용하였다. 입력으로 사각파의 광원을 발생시켜 on 일때의 출력전류 신호와 off 일때의 출력 전류신호를 획득하여 그 차이 전류를 이용하여 빛이 입사된 위치를 알 수 있다. on의 전류값은 광원에 의한 것과 형광등과 같은 외부 광원에 의한 전류를 포함하고 있으며, off때의 전류값은 단지 외부 광원에 의한 전

류값 만을 포함하고 있다. 따라서 이 둘의 차이는 순수 광원에 의한 전류값을 나타내게 된다. 이를 이용하여 정확한 빛의 위치를 알 수 있다.

## 2.2 Linear CCD 센서

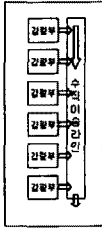


그림 1.(b) Linear CCD 센서의 모습

CCD 센서는 charge coupled device의 약자로, 전하결합소자라고 하며, 광전변화 디바이스의 하나로, 조사된 빛의 강약에 대한 광학상을 그 강약에 따른 신호전하로 변환하는 동작을 한다. 이 신호전하의 신호전압으로의 변환은 그림 1.(b)에서 보는 것과 같이, CCD 센서의 수직이송라인의 끝부분에서 행해지며, CCD 센서는 이와 같이 광전변화 디바이스이다. 신호의 출력 형태는 픽셀에 있는 전하량이 순차적으로 전압으로 바뀌어 CCD 센서의 출력단자로 나오게 된다. 출력형태는 아날로그 신호로 나오지만 Analog to Digital 변환을 통하여 디지털화된 출력형태를 가진다. 따라서 출력신호의 분해능은 A/D converter의 분해능과 동일하다. 즉 픽셀별로 8bit에서 12bit 분해능을 가지고 PSD 센서와는 달리 픽셀별 데이터를 활용하여 여러 가지 알고리즘을 적용할 수 있다. Linear CCD 센서를 구동하기 위해서는 센서별로 여러 종류의 입력 펄스가 필요하고, 출력된 신호를 활용하기 위해서 기본적으로 A/D converter, memory, cpu 등이 필요하게 된다. 본 연구는 고정밀 3차원 형상측정장치를 만들기 위한 기초 연구로서 향후 논문에서는 pulse generator 및 address generator를 포함하는 driving circuit을 FPGA(field programmable gate array)를 이용해 직접 설계하여 PSD 센서의 출력신호와 비교해 할 것이다. 본 논문에서는 PSD 센서와 성능을 비교하기 위하여 상업용 Linear CCD 센서인 마이크로 엡솔론사의 ILD1400 모델을 사용하였다.

## 2.3 실험 결과

### 2.3.1 Z축방향 위치 신호비교

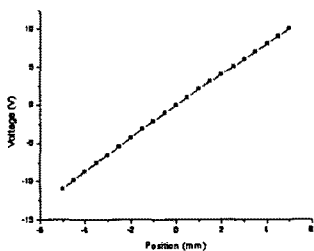
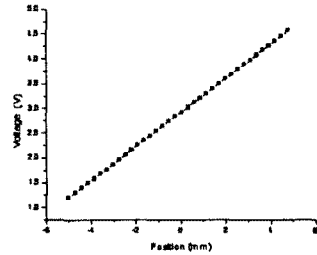
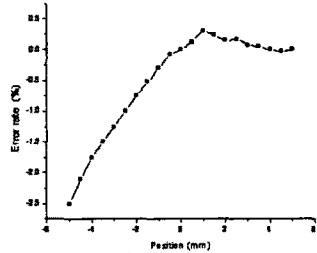


그림 2.(a) PSD 센서의 Z축 방향 위치 신호

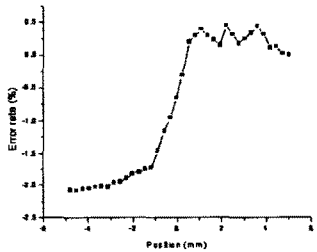


(b) CCD 센서의 Z축 방향 위치 신호

### 2.3.2 오차율 비교

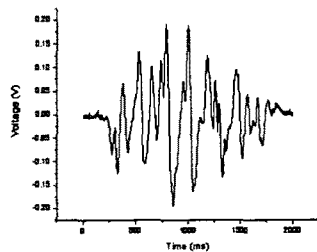


(c) PSD 센서의 위치 신호 Error rate

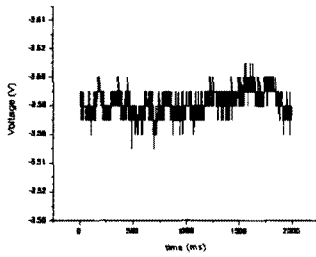


(d) CCD 센서의 위치 신호 Error rate

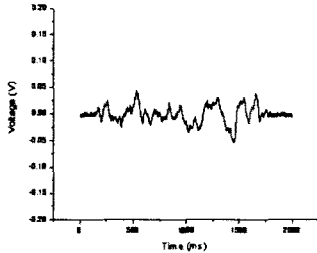
### 2.3.3 X축 방향 알루미늄 및 종이 표면 측정비교



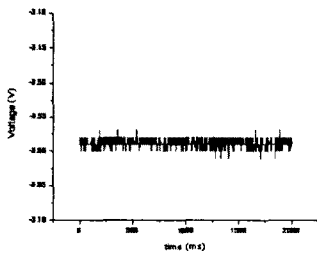
(e) PSD의 X축 방향 알루미늄 평판스캔신호



(f) CCD의 X축 방향 알루미늄 평판측정신호



(h) PSD의 X축 방향 종이평면 측정신호



(h) CCD의 X축 방향 종이평면 측정신호

## 2.4 결과 해석

### 2.4.1 위치신호해석

그림 2.(a)에서 나타난 것처럼 PSD에 의한 위치신호는 비교적 선형적으로 나타나지만, 정지상태에서 분해능은 전체 측정 범위의 1/10000 정도이고, 측정범위는  $\pm 10\text{mm}$ 이다. 그림 2.(b)에서 보는 바와같이 Linear CCD 센서의 위치신호 또한 선형적으로 나타난다. CCD 센서는 센서 표면의 픽셀크기에 따라 정밀도에 영향을 미치며, 픽셀이 클 경우, 광학계로 정밀도를 향상시킬 수 있다. 이 실험에서는 분해능은 1/10000이고, 측정범위는  $\pm 10\text{mm}$ 로 하였다.

### 2.4.2 오차율

그림 2.(c)와 (d) 모두에서 보는 바와같이 (+)방향보다 (-)방향 즉, 기준점에서 아래로 측정할수록 오차율이 증가하는데, 그 이유는 아래로 갈수록 빛의 이동경로가 길어지고 수광렌즈를 통과한 후의 빛의 형태가 타원형으로 일그러지기 때문에 실제위치와의 차이가 증가하게 된다. PSD는 아날로그 신호이므로 센서의 특성상 빛의 양과 거리의 평균값만을 나타내므로 센서에서 나온 신호처리를 할 수가 없다. 그러나 CCD의 경우 픽셀별 데이터

를 받을 수 있으므로 보정 알고리즘을 통하여 비선형성의 크기를 줄일 수가 있다.

### 2.4.3 재질에 따른 평판 측정비교

PSD 센서와 CCD 센서는 빛을 이용한 비접촉식 센서이므로 광량에 따라 데이터가 매우 달라진다. 따라서 재질의 표면 거칠기 및 빛반사율에 따라 변위 값이 다른데, 위의 그림 2.(f)와 (g)처럼 평면 알루미늄판을 X축 방향으로 측정했을 때, 전압값을 거리값으로 환산했을 때, 그 높이 변화가 PSD 센서의 경우 최대  $400\mu\text{m}$  정도이고, CCD 센서의 경우는  $100\mu\text{m}$  정도가 나온다. 반면에 종이의 표면을 측정했을 때는 PSD 센서의 경우,  $70\mu\text{m}$ 의 오차가 생기지만, CCD의 경우는  $20\mu\text{m}$ 의 오차가 발생한다. 따라서 재질에 따른 반사율과 거칠기에 따라 오차가 크게 차이 나며, 재질에 상관없이 일정한 데이터를 받을 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다. PSD 센서는 센서의 구조적 특성상 출력력이 평균값이 나오므로 빛의 일그러짐으로 인한 오차를 보정하기 어려우나, CCD 센서는 픽셀별 데이터를 가지므로 연산 알고리즘을 통하여 보정이 가능하다. 따라서 그림 2.(e),(f),(g),(h)에서처럼 CCD 센서의 peak to peak 값이 PSD 센서의 값보다 작게 나타난다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 Hamamatsu사에서 생산되는 일차원 PSD S1352가 사용되었고 PAM 신호처리를 위해 직접 신호처리회로를 제작하였으며, CCD 센서는 마이크로일렉트론사의 ILD1400 모델을 사용하였다. 본 논문에서는 PSD 센서와 CCD 센서의 성능비교를 하였다. Z축 방향의 변위측정에서는 정밀도에서 큰 차이가 없었지만, 동일평판의 X축 측정에서는 CCD 센서가 PSD 센서보다 뛰어난 성능을 보였다. 또한 재질의 표면거칠기와 빛 반사율에 따른 성능이 다르게 나타나는데, CCD의 구조적 특성상 이를 보상할 수 있으므로 보다 정밀한 데이터를 얻을 수 있다.

### [참고 문헌]

- [1] Jongpil La, Myungkwan Shin and Kyihwan Park, "Signal Processing Algorithm for a PSD Sensor using an Amplitude Modulation/Demodulation Algorithm," 3rd IFAC Symposium on Mechatronic Systems, September 6-8, 2004, Australia
- [2] Wanjun Wang, "Design of an Optically Based Sensing System for Magnetically Levitated Micro automation Systems", Dissertation for Ph.D., The University of Texas at Austin, 1989.
- [3] Dahong Qian, Wanjun Wang, Ilene J. Busch- Vishniac, and A. Bruce Buckman "A Method for Measurement of Multiple Light Spot Positions on One Position Sensitive Detector(PSD)", IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol.42, No.1, pp.14 18, Feb. 1993.
- [4] AD633, C00786a 0 12/00(rev. D), Analog Device Ltd. 2000, "User's Manual", www.analog.com