

고정도 변위센서 개발

서만형, 유금표**, 민남기**
 *(주)오토닉스, **고려대학교

Development of Precision Optical Displacement Sensor

Man Hyoung Seo*, Kum-Pyo Yoo**, Nam Ki Min**
 *Autonics, **Korea University

Abstract - 비접촉 방식인 광 삼각측량법(optic triangulation method)에 의한 고정도 변위센서를 반도체 레이저 다이오드와 리니어 CCD를 이용하여 구현하였다. 개발한 고유의 알고리즘을 채용하여 측정 분해능 보다 적은 CCD pixel(256 pixel)로 고분해능(2,560분해능, 4 μ m)을 실현함으로써, 결과적으로 저가이며 소형의 고정도 변위센서를 개발하였다. 또 검출물체의 색상이나 재질에 따른 검출특성의 현저한 차이를 보상하기 위하여 LFTC(laser flash time control)과 AGC(auto gain control)을 적용하여 안정된 검출결과를 얻을 수 있었다. 개발된 변위센서의 특성은 다음과 같다. 측정거리:30mm, 유효측정범위: -5.09~5.10mm, 분해능:4 μ m, 직선성:±1%.

배경광의 분리가 어려워 고정도로 변위를 검출하는 데는 제약이 있어 보정수단이 필요하다. 주사형 CCD는 수백에서 수 천 개의 pixel을 가지고 위치를 파악하는 방법으로, 배경광이 존재하더라도 정확한 위치를 결정할 수 있다. 그러나 CCD의 단점은 PSD에 비해서 상대적으로 가격이 고가로 되고, 수광 spot의 위치를 파악하기 위해 수 백에서 수 천 개의 pixel을 모두 읽어야 하므로 상당한 시간이 소요되므로 고속응답에는 상당한 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위해서, CCD pixel을 최소화시키면서 고분해능을 실현할 수 있는 새로운 방안을 제시하고 이를 토대로 변위센서를 구현하였다.

1. 서 론

최근 가공중인 공작물의 형상 및 치수 측정, 그리고 각종 계측에 대한 자동화 기술의 필요성의 증가함에 따라 비접촉 방식에 의한 변위측정 기술이 더욱 중요성해지고 있다. 이러한 상황에서 현재 국내에서 사용되고 있는 광학식 변위센서는 대부분이 외국으로부터 공급되고 있는 실정이다. 현재 광학식 변위센서는 삼각측량법(optic triangulation method)에 의한 것, 정반사식, 기타 방법 등으로 나눌 수 있는데, 대부분 광원을 반도체 레이저를 사용해서 미소변위를 측정하고 있으며, 그 중에서도 삼각측량법에 의한 것이 주류를 이루고 있다. 한편 사용된 수광소자에 따라 반도체 위치검출소자(PSD)와 CCD 변위센서로 구분된다. 비주사형 PSD는 주사형 CCD보다 고속응답의 장점이 있지만, 신호광과

2. 변위센서의 측정원리와 설계

고정도 변위센서는 그림 1과 같이 10개 부분으로 구성된다. 레이저 다이오드를 feedback 제어 및 펄스 구동하기 위한 구동부, CCD 구동부, 수광광에 비례해서 발생하는 CCD 미세신호의 출력을 증폭하기 위한 증폭부, 증폭된 신호의 출력전압을 디지털로 변환시키는 8-bit ADC, 256개의 CCD pixel의 신호출력을 ADC에서 디지털로 변환시킨 값을 차례로 저장하는 SRAM, 이 값들 중 신호의 양이 최고인 것을 골라내는 peak detector, 그리고 위에 언급한 각 부분을 제어하는 peripheral hardware controller, 전체 시스템을 통제하며 신호의 정보로부터 검출물체의 변위를 결정하기 위해 연산을 수행하는 CPU, CPU에서 디지털로 출력된 검출물체의 변위정보를 아날로그 전압으로 변환하기 위한 16-bit DAC, 결과를 외부에 표시하는 display 등으로 구성된다.

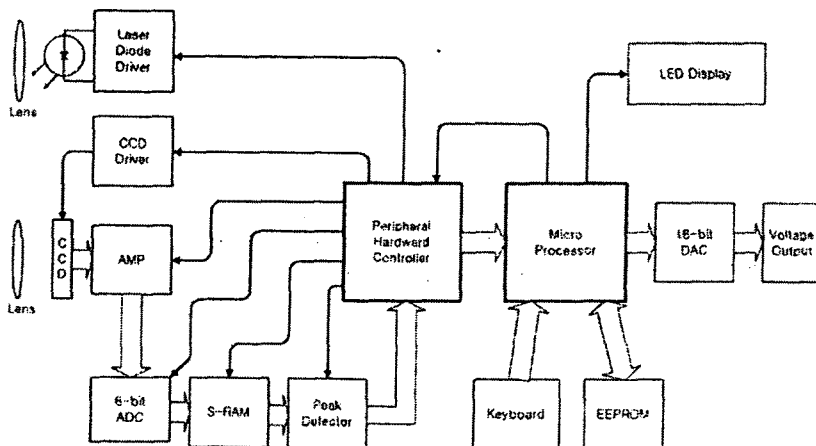


그림 1 제작된 고정도 변위센서

그림 2는 미소변위를 측정하기 위한 삼각측량법의 원리이다.

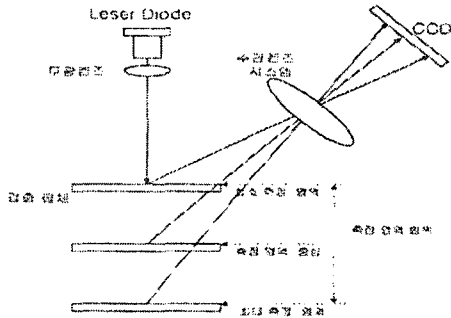
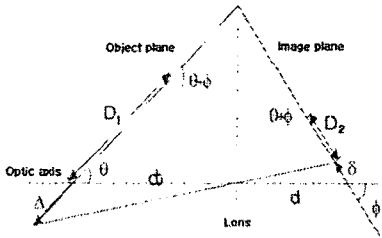


그림 2 미소변위 측정을 위한 기하학적 구조

그림 3은 레이저 광학계 설계시 Scheimpflug 조건을 이용한 물체평면과 상평면, 렌즈와의 관계도이다. 그림으로부터

$$D_1 = \frac{d_o \sin(\phi)}{\sin(\theta + \phi)} \quad D_2 = \frac{d_i \sin(\theta)}{\sin(\theta + \phi)} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{\Delta D_2}{D_1 + \Delta} \quad (2)$$



- 물체평면(object surface)에서의 변화량 : Δ
- 상평면(image plane)에서의 변화량 : δ
- 물체평면과 광축과의 각도 : θ
- 상평면과 광축과의 각도 : ϕ
- 물체와 렌즈 사이의 거리 : d_o
- 상과 렌즈 사이의 거리 : d_i
- Δ 이동시의 물체와 렌즈사이의 거리 : d_o'
- δ 이동시의 상과 렌즈사이의 거리 : d_i'

그림 3 Scheimpflug 조건을 이용한 물체평면과 상평면, 렌즈와의 관계도

사용될 수광 렌즈의 특성은 다음과 같다.

- 유효초점거리(EFL) : 19.64 mm
- 물체에서 상까지의 전체 거리 : 95.72 mm
- 물체에서 렌즈까지의 거리(d_o) : 56.60 mm
- 상에서 렌즈까지의 거리(d_i) : 39.12 mm
- 물체평면과 광축이 이루는 각도(θ) : 40.0°
- 상평면과 광축이 이루는 각도(ϕ) : 47.6°

식 (1)을 사용해서 계산하면, $D_1 = 36.4$, $D_2 = 26.2$ 이다. 이 값을 식 (2)에 대입하면 설계가 완료된 수광렌즈에 대한 Δ 와 δ 의 관계를 얻을 수 있으며, 표 1 및 그림 4에 나타내었다.

표 1 물체평면의 변위(Δ)와 상평면의 변위(δ)관계

Δ (mm)	δ (mm)	Δ (mm)	δ (mm)
-1	-0.713	1	0.692
-2	-1.465	2	1.312
-3	-2.283	3	1.919
-4	-3.111	4	2.495
-5	-4.013	5	3.043

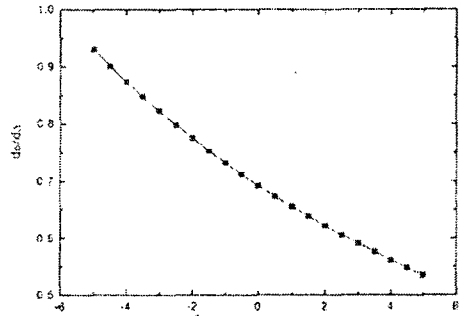
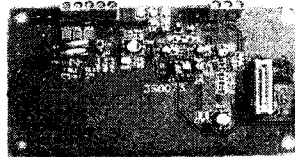


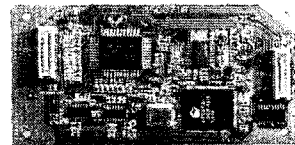
그림 4 물체평면의 변위 vs. $\frac{d\delta}{d\Delta}$

3. 시작품

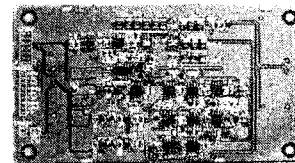
그림 5는 설계 제작된 변위센서의 시작품이다.



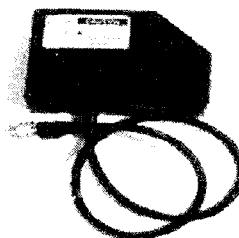
(a)입출력 PCB



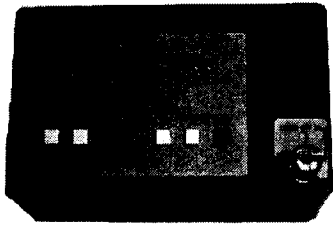
(b)디지털 PCB



(c)아날로그 PCB



(d) Sensor head



(e) Sensor controller

그림 5 제작된 고정도 변위센서

4. 특성평가 및 시험

그림 6은 제작된 변위센서의 검출영역을 10회 측정 한 결과를 나타낸 것으로, 그림으로부터 유효검출거리는 -5.09~5.10 mm로 결정되었다.

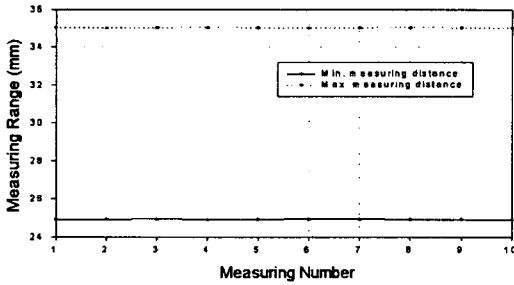


그림 6 10회 측정된 검출영역

그림 7은 기준거리를 10회 측정 한 결과를 나타낸 것으로, 기준거리는 30.02mm로 결정되었다.

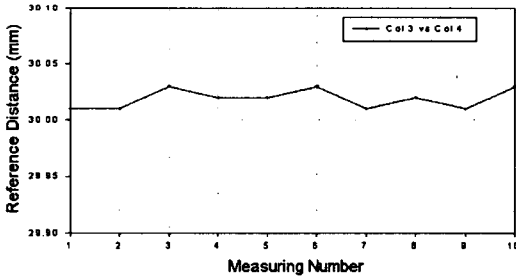


그림 7 10회 측정된 기준거리

그림 8은 검출영역 내에서 변위센서의 직선성을 평가한 결과를 나타낸 것으로, 계산된 직선성은 -0.42~0.87%이다.

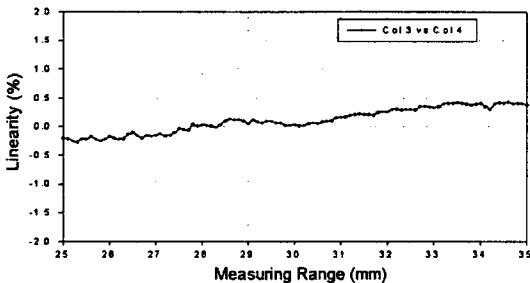


그림 8 10회 측정된 직선성

그림 9는 변위센서의 분해능을 측정 한 결과를 나타낸 것으로, 그림으로부터 결정된 값은 512 μ m 이었다.

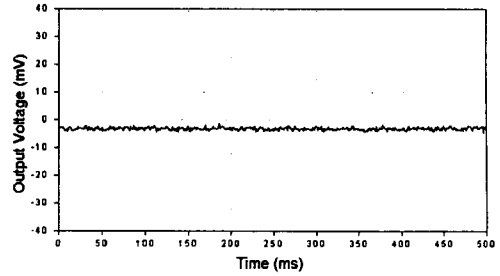


그림 9 분해능

개발된 변위센서의 특성을 요약 정리하면 표 2와 같 으며, 목표로 했던 모든 사양을 만족하였다.

표 2 고정도 변위센서의 특성시험 결과 요약

Effective measuring range	-5.09 ~ 5.10mm
Reference distance	30.02mm
Resolution	4 μ m
Linearity	-0.42 ~ 0.87%
Spot size	35 ~ 253 μ m
Optic power	0.9mW
Response time	512 μ s
Current consumption	0.388A
Noise immunity	\pm 1,000V
Temperature drift	0.027%/FS/°C
Ambient temperature	0 ~ 50°C
Ambient light	5,000lux

5. 결 론

비접촉방식인 광 삼각측량법에 의한 고정도 변위센서 를 반도체 레이저 다이오드와 리니어 CCD를 이용하여 구현하였다. CCD 변위센서의 단점인 긴 응답시간의 문제 를 극복하기 위해서, CCD pixel을 최소화시키면서 고분해능을 실현할 수 있는 새로운 방안을 제시하고 이를 토대로 개발한 고유의 알고리즘을 채용하여 적은 pixel의 CCD(256 pixel)로 고분해능(2,560분해능, 4 μ m)을 갖는 저가의 변위센서를 국산화하였다.

개발된 변위센서는 가공품의 치수를 자동으로 검사하 는 시스템에 적용되어 각종 검사공정의 자동화에 기여하 게 될 것이다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 산업기반기술개발사업 (공장 자동화 센서개발)의 기술개발결과입니다.