

# CCD 와 Optical triangulation Technique 을 이용한 Laser Displacement Sensor 의 개발

박희재\*, 이동성\*, 유인상\*\*, 유명기\*\*\*

## The Development of Laser Displacement Sensor using CCD & Optical triangulation technique

Heui Jae Pakh\*, Dong Sung Lee\*, In Sang Yoo\*\*, and Young Kee Ryu\*\*\*

### ABSTRACT

Optical triangulation is one of the most common methods for acquiring range data. Using this method, We have developed a new type of Laser Displacement Sensor. We used Area CCD instead of linear CCD and PSD (Position Sensitive Detector) And we have developed the robust algorithm for increasing the accuracy and used USB instead of RS-232C for increasing speed. We present results that demonstrate the validity of our method using optical triangulation technique, Area CCD, and USB.

**Key Words :** Area CCD, USB, Laser Diode(레이저 다이오드), APC(Auto Power Control), Laser Displacement Sensor(레이저 변위 센서), Optical Triangulation.(삼각 측정법)

### 기호설명

- do = 측정표면과 수광렌즈사이의 거리
- di = 수광렌즈와 CCD 까지의 거리
- $\theta$  = 측정표면 전후의 레이저 경로사이 각도
- $\phi$  = 수광부와 그에 입사되는 레이저사이 각도

### 1. 서론

Laser Displacement Sensor 는 삼각측정법(Optical triangulation)에 기반을 둔 변위센서 시스템이다. 광원으로는 Circular laser 를 사용하며, 발광렌즈군을 통과한 빛은 측정 표면에서 반사되어 수광렌즈

를 거쳐 Area CCD 를 사용하는 수광부(Detector)에 결상 되어진다. 기존의 변위센서들은 수광부로 PSD(Position Sensitive Detector)나 1 차원 linear CCD 를 사용하였다. 그러나 2 차원 Area CCD 를 수광부로 사용한 본 시스템 Align 이 간편하고, A/D Converter 가 Sensor 내에 내장되어 있어 출력값이 디지털화 되어지므로 데이터의 사용이 보다 용이하다. 수광부가 2 차원이므로 광원의 일부를 임의로 추출할 수 있으며, APC(Automatic Power Control)을 개발하여 광량의 분포, 무게중심, 광량의 피크 값 등 다양한 데이터를 근간으로 하여 측정표면의 성질에 무관하게 물체의 단차를 측정할 수 있다.

---

\* 서울대학교 기계항공공학부  
 \*\* SNU Precision(정)  
 \*\*\* 선문대학교 전자정보통신공학부

## 2. 본론

### 2.1 측정원리

Laser Displacement Sensor 의 측정원리는 아래 Fig.1 에서 보여주듯이 삼각측정법 (Optical Triangulation)이다.

레이저 다이오드(Laser Diode)를 사용한 광원에서 발사된 레이저 빔은 측정표면(Target Surface)에서 반사되고 수광렌즈를 거쳐 Area CCD 를 사용한 Detector 에 결상되어진다.

이때 Target Surface 의 높이차에 따라 Detector 에 레이저가 결상되어지는 위치가 달라지게 된다. Vision System 을 이용하여 Detector 에 맺혀진 레이저 상의 위치를 측정하고, Scale 과 같은 Reference 시편을 사용하여 이미 측정해놓은 보정 자료들과의 상관관계를 통해 측정물체의 변위를 측정할 수 있다.

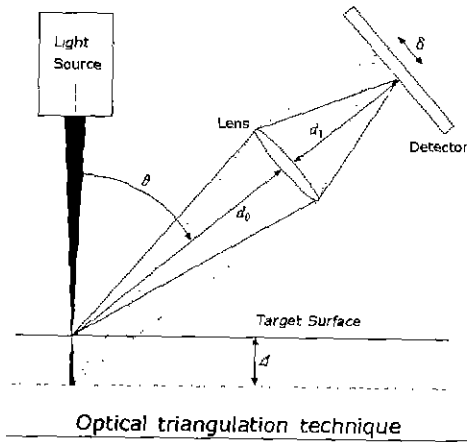


Fig 1 The principle of measurement  
(Optical Triangulation technique)

다음의 그림 Fig.2 에서 측정표면의 변위  $\Delta$  가 아주 작다고 가정하면 측정표면에서 변위  $\Delta$  에 대해 Detector 에 맺히는 이미지는 항상 초점이 맞는다고 할 수 있고, 다음과 같은 식이 성립한다

$$\tan \phi = \frac{do-f}{f} \tan \theta = \frac{1}{m} \tan \theta \quad (1)$$

$$\delta = \frac{f}{do-f} \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \Delta = m \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \Delta \quad (2)$$

하지만, 변위  $\Delta$  가 클 경우는 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\delta = \frac{di(\sin \theta)\Delta}{\Delta \sin(\theta + \phi) + do(\sin \phi)} = \frac{\Delta D_2}{\Delta + D_1} \quad (3)$$

$$D_1 = \frac{do(\sin \phi)}{\sin(\phi + \theta)} \quad (4)$$

$$D_2 = \frac{di(\sin \theta)}{\sin(\theta + \phi)} \quad (5)$$

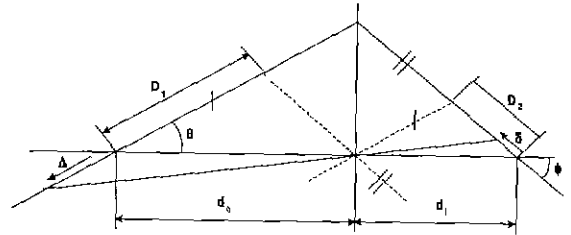


Fig 2 Relation between Surface Displacement and Image Displacement

## 2.2. 측정 시스템의 구성과 측정결과

### 2.2.1 광학부의 구성

레이저 다이오드(Laser Diode)는 670nm 의 원형빔(circular beam)을 사용하였고, 발광부에는 평행광을 만들어주는 렌즈와 집광렌즈를 사용하였다. 수광부는  $do, di$  에 따라 정밀도가 결정되므로, 변위센서자체의 부피가 컴팩트(compact)하면서도 고정밀도를 얻을 수 있는 초점거리  $f$  값을 가지는 렌즈를 사용하였다.

### 2.2.2 Area CCD 를 이용한 Detector(수광부)

기존의 레이저 변위 센서들은 PSD(Position Sensitive Detector)나 1차원 linear CCD 를 사용하여 왔다. 이러한 센서들은 1 line 만을 사용하므로 설

계나 조립시 Align 이 난해하고 측정시에도 약간의 기울어짐이 존재하면 광량 분포에 영향이 미치고, 따라서 정밀도가 떨어지는 원인이 되었다.

이에 본 센서에서는 2 차원 Area CCD 를 사용하여 2D CCD 영역 안에 광점(Beam Spot)이 멎히게 하는 것으로써 Align 을 완성할 수 있다. Align 이 완성되면 작업자(operator)가 상기 영역 중 자신이 취하고 싶은 영역을 선택한 뒤 가우시안 분포(Gaussian Distribution)를 이루는 광량분포 중에서 최고점(Peak Point)를 찾아 이를 근거로 하여 측정 물체의 변위를 측정할 수 있다.

다음의 Fig. 3.1 과 Fig 3.2 에서와 같이 Area CCD 를 사용하여 Align 을 하고 광점의 위치를 조절하여 가면서 작업자(Operator)가 원하는 곳에 광점(Beam Spot)을 위치시킨다



Fig 3.1 Live Image-1 on the Detector, Area CCD

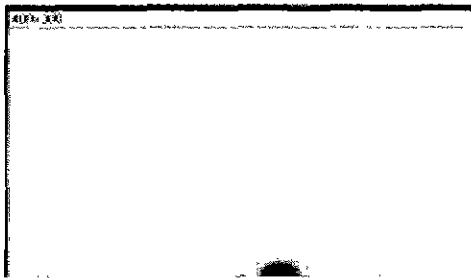


Fig. 3.2 Live Image-2 on the Detector, Area CCD

Fig 4.는 Area CCD 중에서 필요한 부분만을 선택한 그림으로 세로부분을 multi-line 으로 설정하여 보다 유연하고 신뢰성있는 데이터를 있다.



Fig. 4. Line Image on the Detector

Fig. 5 는 Fig. 4 의 광점의 광량분포를 X-Y 평면에 나타낸 것으로 레이저 빔 자체의 가우시안 분포(Gaussian Distribution)를 잘 보여주고 있다. 이 광량 중에서 최고값(Peak Value)를 찾고 이를 근거로 2um 의 분해능을 가지면서 측정물체의 변위를 측정할 수 있다.

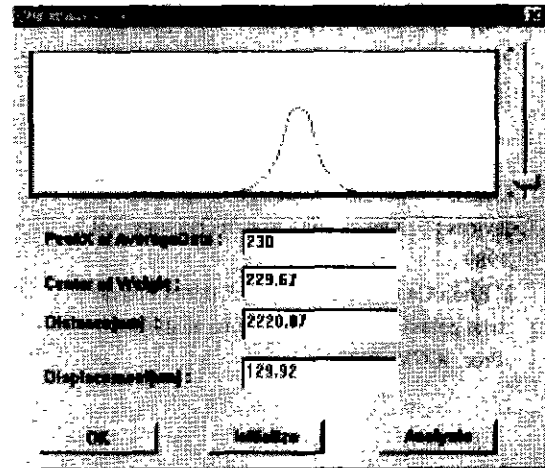


Fig 5 Projection Image & Displacement measurement

### 2.2.3 USB 를 사용한 Interface

기존 대부분의 레이저 변위 센서들은 데이터의 전송방식으로 RS-232C 방식을 채택하고 결과값들을 Indicator 를 사용하여 보여주었다. 하지만, 본 센서에서는 실시간 개념의 USB 방식의 인터페이스를 선택하여 데이터 전송을 하고 PC 기반의 측정시스템을 개발하였다.

## 3. 결론

삼각측정법을 이용하여 PC 기반의 실시간 개념 비접촉식 레이저 변위센서를 개발하였으며, 결론은 다음과 같다.

(1) 2 차원 Area CCD 를 수광부(Detector)로 하여

Align 을 간단하게 하고 데이터 선택의 폭을 넓혔다.

(2) 유연성 있는 데이터를 확보하여 다양하고도 강건한 알고리즘을 적용함으로써 2 $\mu$ m 의 분해능을 획득하였다.

(3) RS-232C 가 아닌 USB 를 인터페이스로 한 PC 기반의 측정기기로서 데이터 전송속도를 향상시켜 실시간 측정이 가능하게 하였다

### 후 기

이 제품은 서울대학교와 선문대학교 그리고 에스엔유 프리시전㈜의 산학협동의 결과로서 에스엔유 프리시전의 제품으로 출시될 예정이다.

### 참고문헌

1. Z.JI, M.C. LEU , "Design of optical triangulation devices ,” Optics and Laser Technology, Vol 21, NO 5 ,1989
2. Brain Curless, Marc Levoy," Better optical triangulation through spacetime analysis," Proc. ICCV ,1995.