

# 레이저 거리 측정기용 광 검출기 수신 감도 실시간 측정 시스템 구현

## Implementation of the Real-time Measurement System of Receiver Sensitivity for a Laser Range Finder

이 영 주\*  
(Young-Ju Lee)

**Abstract** - We propose the method for measuring sensitivity of optical receiver of a long-range laser range finder in real-time. The sensitivity of the detector can be calculated using the detected voltage of the reference sensor, the area of the reference sensor and the transmittance ratio of neutral density filters. To evaluate the performance of the proposed method, we implemented a system and performed experiments. As a result, this system can be measured from 2nW to 113 $\mu$ W. With this system, we measured the sensitivity of 37nW and 7nW with PIN PD and APD sample, respectively. This system has the advantage for the performance test of an optical sensor module in the long-range laser range finder.

**Key Words** : LRF, Sensitivity, Optical receiver, MDS

### 1. 서 론

군사용으로 사용되는 레이저 거리 측정기의 성능은 레이저의 출력과 수광 센서의 감도에 의존한다. 고정밀 장거리 측정을 위해 레이저의 출력을 높이거나 수신 광학계의 크기를 키우는 방법이 있다. 대부분의 휴대용 레이저 거리 측정기는 10mJ의 출력 에너지로 제한되고 대부분 50mm 이하의 직경을 갖는 수광 광학계로 구성된다[1]. 이러한 제한된 조건으로 레이저 거리 측정기의 성능을 향상하기 위해서 높은 수신 감도의 광 검출기를 사용하고 있다. 최근 군사용으로 사용되는 눈 안전 레이저 거리 측정기에 사용되는 광 검출기는 1550nm 대역에서 높은 수신 감도를 갖는다[2]. 미국 아날로그 모듈사(Analog Module Inc.)의 InGaAs APD 검출 모듈은 1.54 $\mu$ m 대역에서 3~8nW 수신 감도를 갖는다[3]. ㈜알림시스템에서 제작된 InGaAs APD 검출 모듈은 7nW, PIN PD로는 33nW의 수신 감도를 갖는다. 레이저 거리 측정기의 성능을 예상하기 위해서 수신 감도 항목이 필요하다. 통상, 검출기 제조사들은 센서의 수신 감도 보다는 파장별 반응도만을 제공하고 있어 성능을 예상하는데 한계가 있다. 대부분의 레이저 거리 측정기를 제작하는 제조사들은 수광 센서의 수신 감도를 이용하여 거리 측정기의 최소 검출 감도(minimum detectable sensitivity, MDS)를 산출하여 사용하고 있다[4]. 미국 국립 표준 기술연구소(NIST)에서는 1.06 $\mu$ m 대역에서 검교정

이 가능한 침투 파워와 에너지 측정이 가능한 시스템을 구현하였다[5]. NIST는 CW Nd:YAG 레이저와 음향 광학 변조기(acousto-optic modulator, AOM)를 이용하여 펄스 레이저를 만들고 썸뿔 모양의 빔 가르개(wedge beamsplitter)를 이용하여 침투 파워, 펄스 에너지를 측정하였으나 120ns 펄스로 제한되었다. 광 검출 모듈 제조사인 아날로그 모듈사에서는 레이저 다이오드 모듈과 빔 확산기를 이용하여 일정한 빔 분포를 전달하는 구조를 갖으며 레일위에 장착하여 광 검출기와 거리에 따른 광 감쇠를 조절할 수 있는 구조로 설계 되었다. 기존 센서를 이용하여 검출 확률을 설정하고 기존 센서와 시료를 교체하면서 수신 감도를 측정하는 방식이다. 그러나 기존 센서와 측정하고자 하는 시료를 번갈아 교체 및 측정할 때 기구 장착 오차가 발생하며 실시간 측정이 불가능한 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 장거리 레이저 거리 측정기에 사용되는 광 검출 모듈의 수신 감도를 평가하기 위하여 기존 센서와 측정 시료에 동시 입사 가능한 광학계를 구성하여 실시간으로 광 검출 모듈의 수신 감도를 측정하는 시스템을 제안하고 평가하였다. 성능을 평가하기 위한 신호 처리 보드를 구현하여 평가하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 광 검출 모듈 성능 평가 요구 사항 분석

군사용으로 사용되는 휴대용 레이저 거리 측정기의 광 검출 모듈 수신 감도를 검토하기 위해 측정 거리에 따른 수신 파워를 검토하였다. 표 1의 설계 자료를 참고하여 레이저 출력이 2mJ

\* Corresponding Author : R&D Center, Allimsystem Co., Ltd., Korea

E-mail : laserguy.young@gmail.com

Received : September 4, 2015; Accepted : December 8, 2015

일때 NATO 표준 목표물 기준으로 측정거리 300m 에서 검출되는 파워는 68μW, 측정거리 10km에서 검출파워는 21nW, 15km에서 검출 파워는 5.42nW로 계산된다[7]. 따라서, 측정 거리가 최소 300m에서 최대 15km 이상 측정 가능한 레이저 거의 측정기의 광 검출 모듈의 수신 감도를 평가하기 위한 시스템의 측정 범위는 5nW~100μW 로 설정하였다. 목표물 반사도 0.2는 NATO 표준에 따라 2.3 × 2.3 m<sup>2</sup> 의 면적에 해당하는 탱크로 부터 반사되는 양을 나타낸다.

표 1 레이저 거리 측정기 설계 규격

Table 1 Design specification for laser range finder

항목(단위)	값 @1540nm
레이저 출력(laser power)	2 mJ
레이저 펄스 폭(laser pulse width)	20 ns
레이저 발산각(laser divergence)	1 mrad
감쇠계수 (Clear Sky, visibility 23.5km)	0.055 / km
수광 렌즈 직경(lens diameter)	42 mm
수광 광학계 효율	0.9
송신 광학계 효율	0.8
목표물 표면 반사도	0.2

### 2.2 수신 감도 측정 방법 및 광학계 구성

광 검출 모듈의 수신 감도를 측정하기 위하여 그림 2와 같이 광학계를 구성하였다. 측정 시스템은 레이저소스, 정렬 광학계, 빔 가르개, 기준센서 및 오실로스코프로 구성된다. 기준 검출기는 트랜스 임피던스 이득(trans-impedance gain)을 갖으며 volt/watt 의 값을 갖는다[6]. 일정 비율을 갖는 빔 가르개를 이용하여 입력 광을 두 갈래로 나누어 기준 검출기(reference detector)와 측정 시료(device under test, DUT)에 입사한다.

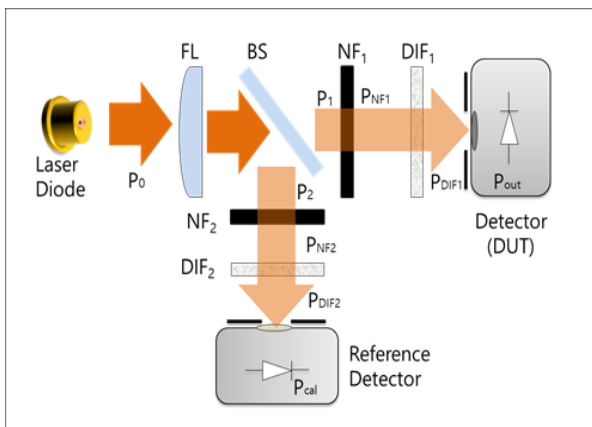


그림 2 광 수신 감도 측정을 위한 광학계 구성도  
Fig. 2 System configuration for measuring optical sensitivity.

레이저는 포인트 소스이며 Hemisphere 형태로 방사된다고 가정하고 측정 시료 DUT에서 검출되는 검출 파워는 다음과 같다[7].

$$P_{out} = \frac{A_{out} \cdot P_{DIF1}}{2\pi R_1^2} = \frac{A_{out} \cdot P_1 \cdot T_{NF1} \cdot T_{DIF1}}{2\pi R_1^2} \quad (1)$$

여기서 A<sub>out</sub>은 검출 시료의 검출 면적이며 R<sub>1</sub>은 빔 가르개로부터 검출기까지 거리이며 T<sub>NF1</sub>은 ND(neutral density) 필터 NF<sub>1</sub>의 투과도, T<sub>DIF1</sub>은 빔 확산기(diffuser DIF<sub>1</sub>)의 투과도이다.

마찬가지로 기준 센서에서 검출되는 검출 파워는 다음과 같다.

$$P_{cal} = \frac{A_{cal} \cdot P_{DIF2}}{2\pi R_2^2} = \frac{A_{cal} \cdot P_2 \cdot T_{NF2} \cdot T_{DIF2}}{2\pi R_2^2} \quad (2)$$

여기서 A<sub>cal</sub>은 기준 검출기의 검출 면적이며 R<sub>2</sub>는 빔 가르개로부터 기준 검출기까지의 거리이다. T<sub>NF2</sub>은 ND 필터 NF<sub>2</sub>의 투과도이며 T<sub>DIF2</sub>은 빔 확산기(diffuser DIF<sub>2</sub>)의 투과도이다.

기준 검출기의 이득 G<sub>cal</sub> = V<sub>cal</sub> / P<sub>cal</sub>로 표현되며 V<sub>cal</sub>은 기준 검출기의 첨두 전압이다.

만일 P<sub>1</sub> = P<sub>2</sub>, R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>, TDIF<sub>1</sub> = TDIF<sub>2</sub>라고 가정하고 수식 2와 수식 3을 수식 1에 적용하면 DUT에서의 첨두 파워는 다음과 같다.

$$P_{out} = \frac{A_{out} \cdot T_{NF1} \cdot V_{cal}}{A_{cal} \cdot T_{NF2} \cdot G_{cal}} \cdot N \quad (3)$$

여기서 N은 광학계 오차를 보상하기 위한 상수이다.

수식 3으로부터 시료 검출기의 수신 감도는 시료 검출 센서의 면적, 기준 검출기내 센서 면적, ND 필터 비율과 기준 검출기의 검출 전압을 이용하여 산출할 수 있다.

수신 감도 측정 시스템 구성품은 빔 가르개, 빔 확산기, 렌즈와 감쇠필터로 구성하였다. 빔 가르개는 45mm × 30mm × 3mm 크기로 적용하였다. 재질은 BK7를 사용하였으며 비율은 1550nm 대역에서 50.85 : 49.15 비율 값을 갖는다. 빔 확산기는 직경 25.4mm, 두께 3.0mm를 갖으며 재질은 BK7으로 제작되었다. ND 필터는 투과도 3.07% 부터 47.42%를 갖는 단계 별로 8가지 필터를 제작하였다. 기준 센서의 이득이 1.18V/μW 이며 평가 시료의 검출 직경이 300μm일때 평가 가능한 범위는 2nW~113μW로 계산되었다. 요구조건인 5nW~100μW 범위를 포함하고 있어 만족함을 알 수 있다.

### 2.3 측정 시스템 구현

수신 감도 측정 시스템은 레이저 다이오드 드라이버, 가변 감쇠기, 수신 감도 측정 시스템 및 임베디드 프로세서를 포함한 제어기로 구성된다. 레이저 다이오드 드라이버부는 측정하고자 하는 시료의 대역폭을 고려한 펄스폭과 에너지를 조사 가능한 구조로 설계하였다. 가변 감쇠기는 평가시스템 내 ND 필터의 비율을

설정된 후 검출 확률을 조절하기 위하여 적용하였다. 검출확률 50% 조건에서 1000개의 펄스를 조사하여 약 500개 펄스를 검출 가능한 조건을 만들기 위해 0.001dB 단계로 미세조절 가능한 광 감쇠기를 이용하였다. 임베디드 프로세서는 PC로부터 수신된 명령을 해석하고 수행하며 FPGA(field programmable gate array)를 외부 메모리 인터페이스와 같은 방식으로 펄스 개수 및 펄스 발생 여부를 전송하는 역할을 수행한다. 그림 3은 평가시스템 블록도를 나타내며 그림 4는 실험 장치도를 보여준다. 수신 감도 측정 시스템에서 기준 센서의 전압 출력은 오실로스코프로 측정하며 PC에서 USB 버스를 이용하여 데이터를 수신하였다. PC환경에서 전체 시스템 제어 및 수신 감도를 자동으로 계산하는 프로그램을 구현하였다.

임베디드 프로세서를 포함한 제어기에는 32비트 ARM 프로세서인 Cortex M3를 적용하였다. 펄스 발생과 펄스 카운터를 위하여 Xilinx사의 FPGA인 XC2S50E를 적용하여 구현하였으며 프로세서와 FPGA는 FMSC(flexible static memory controller)방식의 8비트 버스로 연결하여 제어하였다. 펄스 카운터는 오경보율(false alarm rate, FAR) 설정을 위해 1초에서 10초까지 1초 단위로 선택이 가능한 로직으로 설계하였다. 오경보율(FAR)은 광

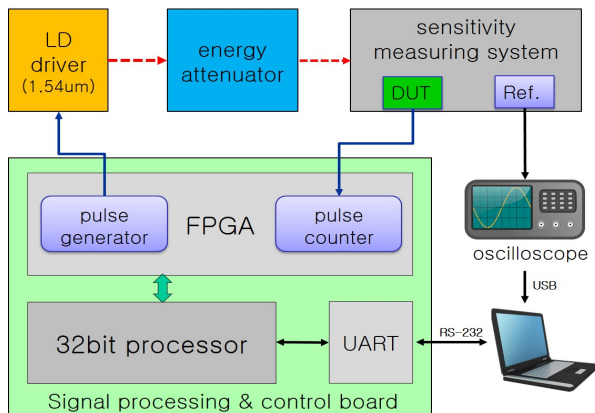


그림 3 수신 감도 평가 시스템 블록도  
Fig. 3 Block diagram of sensitivity evaluation system

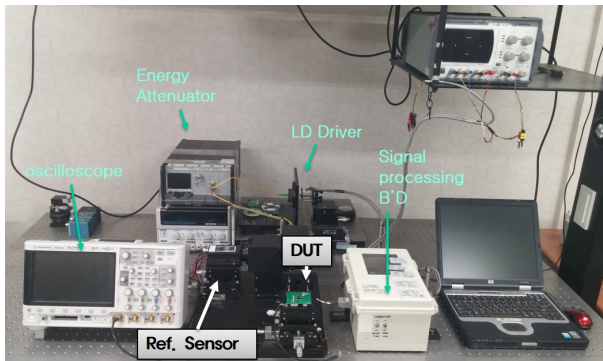


그림 4 수신 감도 평가시스템 실험 구성도  
Fig. 4 Experimental setup of sensitivity evaluation system

검출 모듈의 잡음 중 신호 검출가능 확률로써 임계치를 조절할 때 사용된다[8].

2.4 평가

광학계를 통과한 레이저의 에너지 분포를 고찰하기 위해 3축(XYZ)이동 장치에 기준 센서를 장착하여 광 세기를 측정하였다. 이동에 따른 기준 센서의 에너지 분포도는 그림 5와 같다. 중간 지점을 기준으로 좌우로 대칭적인 특징을 갖고 있다. 오차를 최소화하기 위해 일정 에너지 분포를 갖는 좌/우 300 $\mu$ m 영역을 설정하고 이 구간에서 수신 감도를 측정하였다.

광학계 오차에 따른 비율 상수 N은 기준 센서를 이용하여 검출 시료에서 측정된 값과 기준 센서 위치에서 측정된 값의 비율을 적용하였다. 레이저 발생 펄스는 500Hz로 동작하여 측정하였으며 측정값은 N = 0.8 로 측정되었다. 기준 센서 이득은 제조사의 성적서로부터 얻어진 값 1.18V/ $\mu$ W로 적용하였으며 이때 검출기 기준 센서 직경은 300 $\mu$ m이다.

오경보율(FAR)은 0.1%, 검출 확률 50% 조건에서 측정된 수신 감도는 표 2와 같다. 오차 발생원으로는 레이저 소스 입력을 위한 광섬유의 편광 영향으로 입사에너지의 흔들림으로 추정되며 향후 편광 성분을 제거 가능한 구조 연구가 필요할 것으로 판단된다. 레이저 입사 측정환경은 상온으로 제한하여 측정하였으며 온도 변화에 따른 환경 변수는 제외하였다.

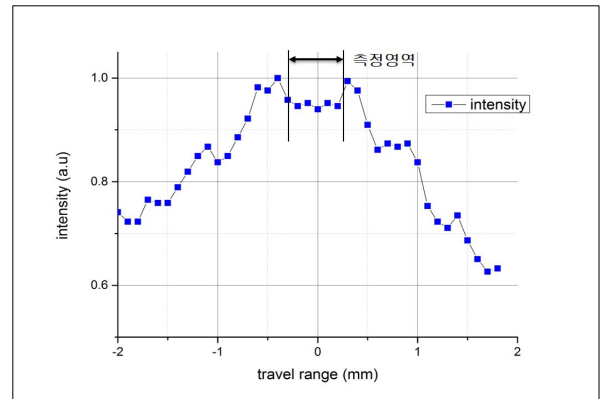


그림 5 기준 센서 위치에 따른 세기 분포도  
Fig. 5 Intensity distribution according to reference sensor position

표 2 수신 감도 측정 결과

Table 2 Measurement results of receiver sensitivity

측정항목	PIN PD	APD
측정 시료 개수	34	28
평균 수신 감도(nW)	37	7
표준편차(nW)	2.03	0.03

### 3. 결 론

본 논문에서는 기준 센서와 측정 시료에 동시 입사 가능한 광학계를 구성하여 실시간으로 광 검출 모듈의 수신 감도를 측정 가능한 시스템 구현하고 평가하였다. 검출기의 수신 감도는 시료 검출 센서의 면적, 기준 센서의 면적, ND 필터 비율과 기준 센서의 검출 전압을 이용하여 산출할 수 있다.

레이저 출력이 2mJ 이며 휴대가 가능한 레이저 거리 측정기 일 때 측정거리 300m 에서 검출되는 파워는 68 $\mu$ W, 측정거리 10km에서 검출파워는 21nW, 15km에서 검출 파워는 5.42nW로 산출되므로 평가 시스템의 측정 범위는 5nW~100 $\mu$ W로 요구사항을 설정하였으며 설계된 ND 필터의 조합, 기준 센서의 이득과 평가 시료의 검출 직경이 300 $\mu$ m 일 경우 평가 가능한 범위는 2nW~113 $\mu$ W로 계산되어 목표 규격을 만족함을 확인하였다.

광학계 오차에 따른 비율 상수  $N=0.8$  일 때, 기준센서 이득은 1.18V/ $\mu$ W, 검출기 기준 센서 직경 300 $\mu$ m, 검출 확률 50% 조건에서 PIN PD는 37nW, APD는 7nW의 수신 감도를 확인하였다. 이러한 시스템은 장거리 레이저 거리 측정기에 사용되는 광 검출 모듈의 성능 시험뿐만 아니라, 레이저 거리 측정기 또는 표적 지시기와 같은 시스템의 주요 성능 평가 항목인 최소 광 검출 신호를 측정하는데 적합할 것으로 판단된다.

### References

- [1] DATASHEET, Eyesafe, Hand-held Laser Rangefinder HALEM 2, Carl Zeiss.
- [2] American National Standard for safe use of lasers, ANSI Z136.1-2007.
- [3] DATASHEET, Hybrid Eyesafe Laser Rangefinder Receiver-755A, Analog Modules, Inc., 2013.
- [4] Zhang Yong, JIN Wei-qi, "Study to Testing Device of Pulse Laser Range Equipment", Proc. of SPIE vol. 7382, 2009.
- [5] R. W. Leonhardt, "Calibration service for low-level pulsed-laser radiometers at 1.06 $\mu$ m: pulse energy and peak power", National Institute of Standards and Technology, 1998.
- [6] DATASHEET, Low noise, High Gain, GaAs FET Photodetector-Amplifier module, Model 712A, Analog Modules, Inc.
- [7] S. Kruapech, J. Widjaja, "Laser range finder using Gaussian beam range equation", Optics & Laser Technology, vol. 42, pp. 749-754, 2010.
- [8] S. B. Campana, Passive Electro-Optical Systems, The infrared & electro-optical systems handbook, vol. 5, 1993.

## 저 자 소 개



### 이 영 주 (Young-Ju Lee)

1972년 3월 10일생. 2015년 경희대학교 전자공학과 박사졸업(공학박사). 현재 ㈜알림시스템 부설연구소 수석연구원

E-mail : laserguy.young@gmail.com