

반도체 레이저를 이용한 산업용 정밀 거리 측정 시스템

(The Precision Laser Range Finder Using Laser Diode for Industrial Applications)

우성훈 · 박정환 · 김영민 · 박동홍* · 박원주

(Sung-Hun Woo · Jung-Hwan Park · Young-Min Kim · Dong-Hong Park · Won-Zoo Park)
영남대학교, * (주)대림이앤지

Abstract

A measurement technique in an industry site is basis technique which is bringing a ripple effect on an increasing productivity. Recently, a measurement request is increasing in the industry field as well as the variety field such as leisure, research. Thus, it is in point of time to secure an internal technique about measurement using a laser. In this paper, we prepare to develop the industrial precision laser distance measure device that is available measuring in several hundred meters[m]. In other words, we are planning to measure a wide distance using a laser diode that has long life and is compact, inexpensive. Through this research, we'll secure the pulse laser control technique, a signal processing, technique for distance calculation about a laser distance measurement system. And hereafter, we'll plan to commercialize a laser distance device using this research.

1. 서론

산업현장에서 요구되는 계측기술의 확보는 생산성 증대에 큰 파급효과를 가져오는 기반기술이다. 최근에는 산업분야 뿐 아니라 레저, 연구 등 다양한 분야에서 계측 요구가 증가하고 있어 국내기술의 확보가 필요한 시점이다. 현재, 국내 업체는 소규모 시장으로 인해 개발보다는 자본과 기술을 갖춘 외국 업체를 통하여 광학기기를 수입하고 있는 실정이며, 산업현장의 용도에 맞게 레이저 거리 측정기술을 확보할 경우 상당한 경제적 이익이 예상된다.

레이저를 이용한 거리측정은 레이저 광의 단색성과 지향성을 이용한다. 레이저는 하나의 파장으로 되어 있어 굴절이나 반사에 따른 위상 차이가 일정하고, 1[km] 진행시 1[m] 이내로 확산되는 빔 확산각을 가지고 있어 높은 지향성을 나타낸다. 또한 대상 물체에 직접 접촉하지 않으므로 이동 물체, 고온 물체 등 기존의 방식으로 측정이 어려웠던 부분을 해결할 수 있고, 목표물을 확인하고 측정하여 바로 결과를 얻을 수 있는 편의성 등 여러 면에서 기존의 거리측정방식을 능가하고 있다.

레이저 거리 측정기술은 레이저를 발생시킨 후 목표물에서 되돌아오는 레이저의 파장을 측정하여 목표물까지의 거리를 원격으로 측정하는 기술이다.

직접적인 접촉 없이 목표물까지의 거리를 측정하는 원격계측기술은 과거에는 고가의 레이저 부품과 기술적인 난이도 때문에 군사용에 주로 사용되었다. 측정거리도 수[km]~수십[km] 정도, 측정오차도 수[m] 이내로 매우 정밀하다[1][2].

현재 레이저 간섭계를 이용한 정밀 거리 측정기술이 생산 현장 및 연구 분야에 응용되고 있으며, 이에 못지않게 국방장비, 항해, 지상주행, 건설, 연구, 레저 및 공장자동화 분야 활용을 위한 장거리 측정기술의 필요성도 증가하고 있는 추세이다.

사진 1과 같이 현재 국내 화력발전소 및 산업현장의 무인화 장소의 크레인에 설치되는 레이저 거리 측정기는 고가로 수입된 후, 국내에서 하우징 처리되어 현장에 설치되고 있다.

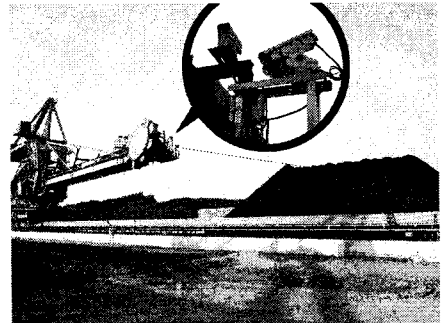


사진 1. 산업현장의 레이저 거리 측정기

이로 인해 시스템 전체의 단가를 상승하는 요인이 된다. 이러한 목적에 맞게 레이저 거리 측정기를 산업용으로 상용화하기 위해서는 정밀도와 신뢰도, 소형, 경량화가 필수적이다.

본 연구에서는 사진 1과 같이 수백[m]의 거리 측정에 유효한 산업용 정밀 레이저 거리 측정기 개발을 준비하고 있다. 즉, 가격이 저렴하고, 소형이면서 수명이 긴 반도체 레이저를 이용하여 원거리 측정을 하고자 한다. 본 연구를 통하여 레이저 거리 측정 시스템의 펄스 레이저 제어 기술, 신호 처리 및 거리 계산 알고리즘 기술을 확보함과 동시에, 향후 개발을 통해서 산업현장의 용도에 맞게 상품화하고자 한다.

2. 레이저 거리 측정

레이저 거리 측정은 여러 가지 방법으로 응용될 수 있으며[3], 대표적인 방법이 표 1에 나타나 있다.

표 1. 레이저 거리 측정 방법

방법	레이저	범위	정확도	응용
간섭계 거리 측정	He-Ne	≤10m (실내)	10 ⁻⁷	기계 제어 테이블 편평도 지진, 길이, 각도
레이저 도플러 변위	He-Ne	≤120m (실내)	10 ⁻⁷	기계 제어 테이블 편평도 진동, 각, 눈금
빔 변조 원거리 측정	He-Ne AlGaAs	≤ km	10 ⁻⁶	측량
반사 펄스 시간	Q-switched 고체 레이저	≥ 수 km	10 ⁻⁶	위성용 군사용

첫째, 보통 헬륨-네온 레이저를 쓰는 간섭계 거리 측정법(Interferometric Distance Measurement)은 10[m] 정도의 거리와 실내 환경의 정밀 측정에 적합하다.

둘째, 간섭거리 측정과 경쟁되는 방법이 레이저 도플러 변위(Laser Doppler Displacement)이며, 목표물에서 반사되는 빔의 도플러 변위에 대응하는 위상변환을 측정한다. 이 방법은 대략 120[m] 정도 이하의 거리에서 실내 사용이 적합하다.

셋째, 더 긴 거리와 야외에서의 사용을 위해서 자주 사용되는 방법이 빔 변조 원거리 측정법(Beam Modulation Telemetry)이다. 변조된 빔은 먼 물체로 전달되고, 반사되어 되돌아오는 신호가 감지된다. 되돌아오는 신호의 변조된 위상이 나가는 신호의 위상과 비교된다.

이 방법은 수백[m]의 거리 측정에 유효하며 측량술에서 사용된다. 이때의 광원으로는 He-Ne 레이저와 GaAs(gallium arsenide) 반도체 레이저가 흔히 사용되며 표적물은 난반사 시키는 표면, 수면, 잔디, 건물 등이 될 수 있다.

넷째, 또 다른 방법으로 특히 더 먼 거리에 대하여 고출력의 펄스 레이저 거리계(Pulsed Laser Range Finders)가 사용된다. 신호를 보내서 돌아 오기까지의 시간을 알면 이 시간의 1/2에 굴절률, 압력, 온도, 습도 등을 고려한 빛의 속도를 곱함으로써 표적물까지의 거리를 정확히 알 수 있다. 펄스가 짧을수록 거리가 정확히 측정되며 선폭이 좁을수록 S/N비가 커지므로 측정 가능한 거리도 늘어나게 된다.

본 연구에서 측정하고자 하는 거리는 수[m]~500[m] 정도이므로, 반도체 레이저를 이용한 빔 변조 방식이 적합하다고 할 수 있다. 거리 측정을 위해 레이저 빔의 진폭을 변조시켜 이 변조된 빔을 측정하고자 하는 거리에 있는 표적물로 보낸다. 광원으로는 GaAs 반도체 레이저를 사용한다. 반사경 없이 표적물에서 반사되어 돌아온 빛은 망원경으로 모아져서 검지기로 보내진다. 되돌아 온 빛의 진폭 변조 위상이 방출된 빛의 진폭 변조 위상과 비교된다. 위상차는 빛이 목표물까지 진행하여 망원경으로 되돌아오는 유한한 시간으로 인하여 생긴다. 그림 1에 빔 변조를 이용한 거리 측정 방법을 보이고 있다.

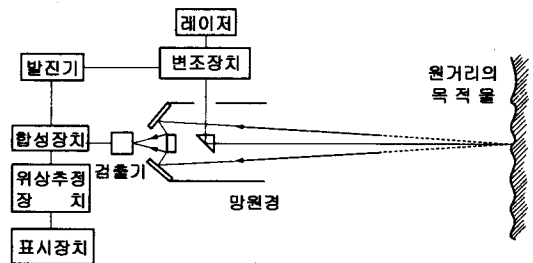


그림 1. 빔 변조 원거리 측정 방법

위상 변화 Φ 와 전체 길이 L 사이에 일정한 관계가 있으며, 거리를 결정하기 위하여 방출된 빛에 상대적으로 모아진 빛의 위상변환을 측정하기 위해 식(1)을 이용한다.

$$\Phi = 2\pi \left(\frac{n_g L}{\lambda_v} \right) \quad (1)$$

λ_v : 진공중에서의 레이저광의 파장

n_g : 매질의 굴절율

3. 반도체 레이저의 동작원리

기체나 고체레이저는 원자나 분자가 가지고 있는 에너지 상태에서의 전자 천이에 의해 레이저가 발생한다. 그러나 반도체 레이저는 원자 상태에서 발생하는 것이 아니라, 이들을 구성하는 전자의 에너지 상태에 대한 전자 천이로 발생한다. 이때의 반도체 레이저의 에너지 상태는 선의 형태가 아닌 가전자대, 전도대 및 금지대로 구성된 에너지 띠의 형태를 가지고 있다. 반도체 레이저의 발진은 가전자대에 존재하는 전자를 외부로부터 에너지적인 충격을 이용하여 전도대로 여기 시키면서 발생된다. 반도체 레이저의 발진을 위한 여기 방법은 전류 여기, 광 여기, 전자빔 여기 등으로 구분된다. 전류 여기방식은 반도체의 PN 접합부에 전류를 흘림으로써 전자와 정공을 주입하는 방식이며 일반적으로 많이 사용되고 있다.

광 여기법은 금지대가 가진 에너지보다 큰 에너지의 광자 조사방식을 이용하여 가전자대의 전자를 전도대로 여기 시키는 방식이다.

전자빔 여기법은 PN 접합이 되지 않은 반도체 레이저의 경우에 20~100[keV] 정도로 가속시킨 전자빔을 냉각된 반도체의 가전자대에 있는 전자에 충돌시켜 여기 하는 방식이다.

그림 2는 본 연구에서 사용되는 반도체 레이저의 기본 구조 및 전류 여기방식에 의한 개략적인 레이저 발생 원리를 나타내고 있다.

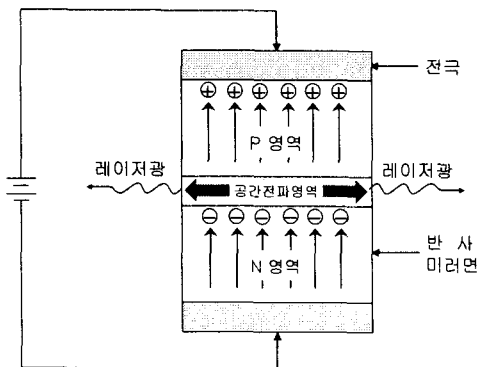


그림 2. 반도체 레이저의 발생원리

그림과 같이 PN접합 다이오드에 순방향 바이어

스 전압을 걸면 N형의 전자가 P형 영역으로 이동하며, P형 영역에서는 정공의 형태로 이동하면서 전자와 정공의 재결합이 발생한다. 이때 가전자대와 전도대의 에너지 간격만큼 레이저 광이 방출되며, 레이저 강도는 레이저가 발생될 때까지는 자연광을 방출하고 이를 넘어서부터는 전자와 정공의 재결합에 의한 유도방출이 발생되어 레이저광이 증폭된다. 이때의 PN 접합면의 양면은 평형상태의 거울 역할을 담당하여 광공진기 형태가 됨으로써 레이저를 발진하게 된다. 즉, 레이저 반도체의 PN 접합면에 전류를 흘리면 그림 3과 같이 레이저가 발생될 수 있는 문턱 전류값 이전까지는 자연광을 방출하다가 레이저 발진 개시전류(Threshold Current) 이상의 전류를 흘리면 레이저 광출력이 얻어진다. 또한 이때의 발진파장은 PN 접합의 에너지 준위 차이만큼 광자를 방출하며 식 (2)와 같이 표현할 수 있다. 여기전류를 증가하면 반도체 레이저의 온도가 올라가면서 에너지 간격이 줄어들고 발진파장이 길어진다.

$$\lambda [\mu\text{m}] = \frac{1.24}{E_g} [eV] \quad (2)$$

λ : 반도체 레이저 발진파장

E_g : 반도체 발광 재료에 따른 에너지갭

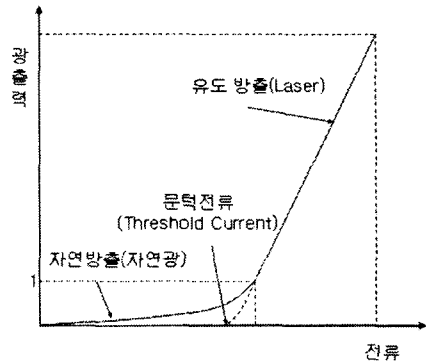


그림 3. 반도체 레이저의 광출력 특성

4. 시스템 구성 및 개발 내용

그림 4는 본 연구에서 제작하고자 하는 반도체 레이저의 개략적인 전기회로로서 전원으로부터 흐르는 전류를 가변저항에서 조정하고 레이저 발진 개시전류이상의 소량의 전류를 흘리면 수[mW]~수십[mW]의 레이저 광출력이 얻어진다. 이처럼 반도체 레이저는 기체 레이저나 고체 레이저와는 달리

전류를 바꾸면 레이저 광 출력이 전류에 비례하여 변화한다는 특징을 가지고 있어, 응용에 매우 유리하다.

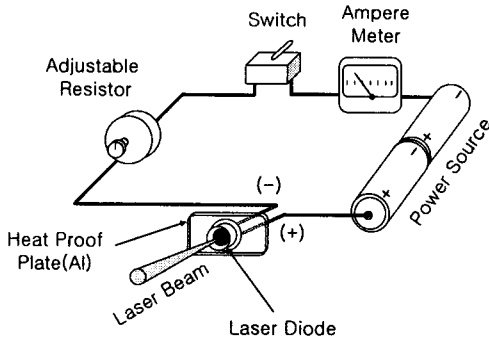


그림 4. 반도체 레이저 회로 개략도

그림 5는 빔변조 위상검출 광학계 개략도를 나타내고 있으며, 이와 같이 실험 장치를 구성하고 여러 가지 레이저의 송광 조건과 특성 및 사용 환경에 따른 변화 추이를 관찰하여 시제품 제작 준비를 하고자 한다.

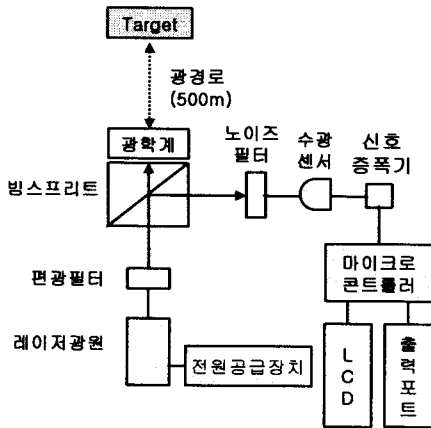


그림 5. 빔변조 위상검출 광학계 개략도

반도체 레이저를 이용한 산업용 정밀 레이저 거리 측정 시스템의 기술개발의 목표는 빔변조 방식에 의한 위상검출 거리측정 기술의 개발이다. 이를 위한 단계적인 연구는 표 2와 같다.

5. 결론

현재 국내 화력발전소 및 산업현장의 무인화 장소의 크레인에 설치되는 레이저 거리 측정기는 고가로 수입된 후, 국내에서 하우스링 처리되어 현장에 설치된다. 이로 인해 시스템 전체의 단가가 상승하는 요인이 된다. 이러한 목적에 맞게 레이저 거리

측정기를 산업용으로 상용화하기 위해서는 정밀도와 신뢰도, 소형, 경량화가 필수적이다.

본 연구에서는 수백[m]의 거리 측정에 유효한 산업용 정밀 레이저 거리 측정기 개발을 준비하고 있으며, 향후, 본 연구를 통하여 레이저 거리측정 시스템의 펄스 레이저 제어기술, 신호처리 및 거리 계산 알고리즘 기술을 확보함과 동시에, 산업현장의 용도에 맞게 상품화 하고자 한다.

표 2. 연구 및 기술 개발 내용

구성	세부사항	비고
레이저 광원	반도체 레이저	1~10[mW] 780~880[nm]
수광센서	온도, 전압, 파장에 따른 안정성	-30~50℃, ±0.1V
광학계	플라스틱 광학망원렌즈	f≤100mm
편광필터	polaroid 필터	
노이즈필터	적외선 필터	
신호증폭기	OP Amp	
MCU	ATmega 169	
LCD	6 digit	
출력포트	RS232, RS485, CAN, USB	
하우징	금속재	

참고 문헌

- [1] Erkki Ikonen, Viktor Krozer, "Pulsed time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement application," OULU university press, pp24-29, 2004.
- [2] David Dupuy, Marc Lescure, Helene tap-Beteille, "High frequency scanning response of an APD photocurrent for laser range finder," ENSEIHT Electronic Laboratory, 2003.
- [3] J. C. Owens, Laser Applications in Metrology and Geodesy, in Laser Applications I (M. Ross, ed.). Academic Press, New York, 1971.
- [4] 건설교통부, "The Development of the Data Acquisition System for Automated Vehicle Controller - Using laser", 건기연 99-081.
- [5] Greve and W. Harth, Laser-Diode Distance Meter in a KERN DKM 3A theodolite, Appl. Opt. 23, 2982 (1984).
- [6] J.Hawkes, I. Latimer, "Lasers-Theory and Practice", Prentice Hall, 1995.
- [7] 과학기술부, "Automatic Vehicle Classification System with a Laser Ranger", 98-N15-01-05-A-14.
- [8] F.J. Duarte, "Tunable Lasers Handbook", Optics and Photonics, 1995.
- [9] 平井紀光, "實用 레이저 技術", 共立出版株式會社, 1987.
- [10] 望月 仁 外 2人, "レー, "ゼの基礎と應用", 九善株式會社, 昭和 61年.
- [11] 櫻井建二郎, "實用 레이저 技術", 電子通信學會, 1983.