

## 장파장 레이저를 이용한 거리 측정기 개발

유병현\*, 신보성, 장원석, 김재구, 황경현(한국기계연구원)

### Development of range finder using long wavelength laser

Byung Heon Yoo\*, Bo Sung Shin, Won Seok Chang, Jae Gu Kim, Kyung Hyun Whang(KIMM)

#### ABSTRACT

As the application area of range finder initially developed for military purpose has been extended, the necessity of precision measurement for long distance and its miniaturization is being presented. Recently, LRF(Laser Range Finder) is widely used because it shows more accurate results of range finding. However, most of LRFs use laser source which have wavelength ranges harmful to the human eyes. In this study, we developed the LRF using OPO(Optical Parametric Oscillator) which can stretch laser wavelength to safe region and realized more compact one using solid state laser

**Key Words** : Laser Range Finder(LRF, 레이저 거리측정기), Long wavelength(장파장), Eye-Safe(눈에 안전한), OPO(Optical Parametric Oscillator), Nd:YAG

#### 1. 서론

레이저의 발견 이후 레이저의 독특한 특성으로 인해 다양한 분야에서 응용이 이루어지고 있다. 레이저의 에너지 집중도 및 고휘도성(Brightness)을 레이저 가공에 이용하고 있으며, 특히 정밀가공 분야에서 위력을 발휘하고 있다. 레이저를 이용한 거리 측정은 레이저 광의 단색성(Monochromatic)과 지향성(Directivity)을 이용한다. 레이저는 한 가지 파장으로 되어있어 굴절이나 반사에 따른 위상차이가 일정하다. 또 레이저 빔 디버전스(Divergence)는 1km 진행시 1m 정도로서 일반적인 빛이 발광 후 사방으로 흩어지는 것에 비하여 월등히 높은 지향성을 보여준다. 이러한 요소들이 모두 거리측정에 필요한 필수 요건을 충족시키고 있다.

레이저 빔을 이용한 거리 측정은 정확성과 속도 측면에서 만족 할 수 있는 최적의 방법으로 각광 받고 있다. 빛을 매체로 하여 매우 빠른 측정이 가능하며 측정 대상 물체에 직접 접촉하지 않고 측정이 가능하다. 따라서 이동물체, 고온 물체 등 기존의 측정 방식으로는 어려웠던 부분을 단순히 뛰어 넘고 있다.

현재 레이저 거리측정기(Laser Range Finder, LRF)는

수 마이크로 미터의 정밀거리 측정용부터 20km 이상의 장거리 측정용까지 용도에 따라 다양하게 개발되어 사용되고 있다. 특히 Nd:YAG LRF는 비교적 소형으로 제작이 가능하고 고출력을 얻을 수 있다는 장점 때문에 거리측정에 가장 보편적으로 사용되고 있다. 하지만 출력과장이 사람의 망막에 손상을 주는 영역에 있기 때문에 사용에 제한이 따를 수 밖에 없었다. 따라서 최근에는 눈에 안전한 파장범위에 있는 10.6  $\mu\text{m}$  파장의 CO<sub>2</sub> 레이저와 1.54  $\mu\text{m}$  파장의 라만(Raman shifted Nd:YAG) 레이저, 어븀(Erbium)레이저를 이용한 LRF가 개발되고 있다.<sup>5</sup>

본 논문의 연구 목표는 단파장 영역의 Nd:YAG 레이저 파장을 OPO(Optical Parametric Oscillator)를 통하여 눈에 안전한 1.5  $\mu\text{m}$ 의 장파장 레이저로 변환하는 기술과 보다 작고 가벼운 LRF 제작기술을 확보하는 것이다.

#### 2. Eye-Safe 레이저

최초의 LRF는 군사적 목적으로 탄생하였으며, 사용한 광원은 루비(Ruby) 레이저였다. 하지만 출력과장이 0.69  $\mu\text{m}$ 로서 가시광선 영역에 있기 때문에 군사적 목적으로 사용하기에는 제약이 따를 수 밖

에 없었다.

초기의 LRF 가 가지는 가시광선이면서 효율이 낮은 단점을 극복하기 위해 근적외선 영역의 Nd:YAG 레이저가 사용되었다.<sup>6</sup> 이로부터 고반복, 소형화가 가능한 LRF 가 제작이 가능해졌다. 하지만 Nd:YAG 레이저는 눈에 손상을 주는 단점이 있어 최근 미국, 프랑스, 독일 등 주요 선진국에서는 라만 레이저, 어븀 레이저를 이용하여 눈에 안전한(Eye-safe) 거리측정기를 제작하고 있다.

Fig. 1 의 그래프(1)은 망막에 전달되는 파장대를 보여주며 그래프(2)는 파장에 따른 망막에서의 흡수 에너지를 나타내고 있다. 파장이 0.4~1.3  $\mu\text{m}$  사이에 있을 때 망막에서 흡수가 일어나고 높은 파장대로 갈수록 흡수 강도가 약해지는 것을 알 수 있다. 즉 눈에 안전 하려면 1.4  $\mu\text{m}$  이상의 파장을 갖는 레이저를 사용해야 한다.<sup>4</sup>

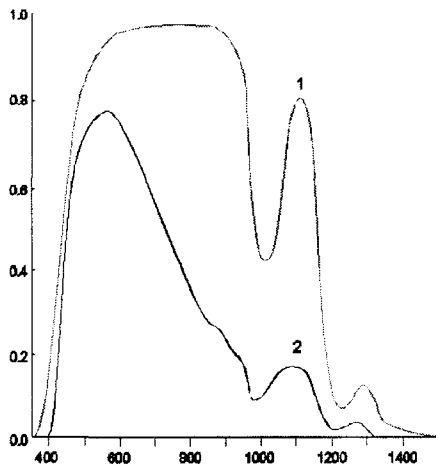


Fig. 1 Penetration of the eye by the radiation

Fig. 2 는 레이저 파장에 따른 대기 투과성을 나타내는 그래프이며 1.5  $\mu\text{m}$  영역에서 높은 투과율을 보이고 있다. Fig. 3 은 레이저 종류와 대기 특성에 따른 최대측정 거리를 보여준다. 테스트된 레이저는 현재 거리측정기에 쓰이고 있는 라만, Nd:YAG, CO<sub>2</sub> 레이저 이다. 출력에너지(Output Energy)는 40mJ 로 동일하며 펄스 폭(Pulse width)은 각각 14ns, 20ns, 40ns 였다. 측정거리는 대기조건이 안개상태일 때는 CO<sub>2</sub> 레이저가 우수한 결과를 보여주었으나 전반적으로 1.5  $\mu\text{m}$  파장의 레이저가 다른 파장에 비해 우월한 성능을 보여주고 있다. 레이저를 이용한 거리측정은 시정거리(대기조건)에 따라 크게 영향을 받을 수 있다.<sup>1</sup>

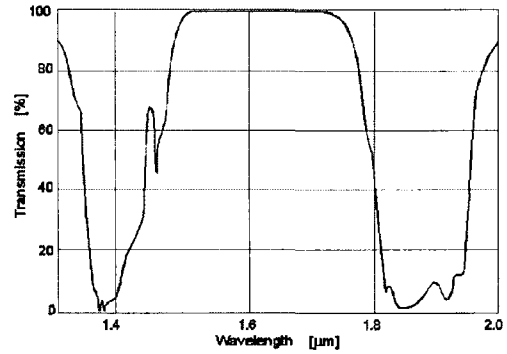


Fig. 2 Transmission of the atmosphere

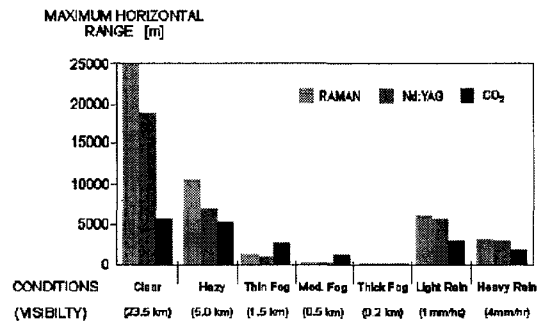


Fig. 3 A comparison of similar laser rangefinders for different wavelengths and different weather conditions

### 3. Eye-Safe LRF 의 구성

#### 3.1 광학부분의 설계

LRF 제작시 고려해야 할 중요한 인자는 사용거리, 정밀도, 분해능, 샘플링 수 등이다. 본 연구에서는 시제품의 목표 성능을 측정거리 1.5km 이상, 최소거리 25m, 해상도(Resolution)  $\pm 1.0\text{m}$  로 설정하였다. 또한 분당 4 번의 반복측정이 가능하고 무게를 600g 이하로 함으로써 휴대용으로 사용 가능하도록 하였다.

레이저 매질은 소형으로 제작이 가능하면서 고출력을 낼 수 있는 고체레이저인 Nd:YAG 를 사용하였으며 플래시 펌핑(Flash Pumping)을 통하여 레이저를 발전시킨다. 플래시와 레이저 로드(Laser Rod)는 마운트에 일체형으로 고정하고 금도금된 리플렉터(Reflector)를 썬워 펌핑 효율을 높게 하였다. 플래시의 양 끝에는 전원부와 연결되어 펌핑에 필요

한 전원을 공급 받는다. 레이저 로드 끝에는 거울(Full Mirror)과 큐 스위치(Q-Switch)가 위치하고 있다. LRF 에 쓰이는 레이저는 지속적인 방출이 아닌 순간의 방출이 필요하기 때문에 Q-Switch 를 이용하여 매우 짧고 강력한 펄스를 생성한다. Q-Switch 는 패시브(Passive) 방식과 액티브(Active) 방식이 있으며, 본 연구에서는 장거리 측정에 적합하도록 순간출력(peak power)값이 큰 액티브 방식을 적용하였다.

발생한 레이저는 1.064  $\mu\text{m}$  파장으로써 눈에 손상을 주는 레이저라는 단점이 있다. 때문에 OPO (Optical Parametric Oscillator)를 통해 1.5  $\mu\text{m}$ 의 눈에 안전한(Eye-Safe)파장대로 변환하여 거리측정에 이용한다. OPO 는 비선형 광학 효과를 갖는 결정(nonlinear crystal)을 이용하여 파장을 가변 시키는 광원으로써 비선형 결정의 각도를 회전시켜 출력광의 파장을 변화시킨다. OPO 는 1960 년대에 그 원리가 밝혀진 이후 BBO(Beta-Barium Borate)나 LBO (Lithium Borate)와 같은 결정이 개발되면서 본격적인 연구의 대상이 되었다. 파장가변형 레이저(wavelength tunable laser)를 영구적으로 사용 가능한 비선형 결정을 이용하여 생성하면서 기존의 색소 레이저가 갖는 단점을 극복하게 되었다. BBO 는 투과영역이 자외선과 적외선에 걸쳐 매우 넓어 많은 분야에서 응용이 가능하다.<sup>3</sup> 본 연구의 LRF 역시 BBO 를 OPO 용 결정으로 사용하여 1.5  $\mu\text{m}$  파장의 눈에 안전한 파장으로 출력하도록 제작하였다.

Fig 4 는 1.064  $\mu\text{m}$  Nd:YAG 레이저가 OPO 를 통하여 1.5  $\mu\text{m}$ 로 출력되는 모습을 그린 개념도 이다.<sup>2</sup>

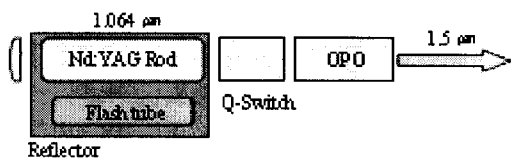


Fig. 4 Schematic diagram of OPO Laser

### 3.2 신호처리

거리측정을 위해서는 외부로 방사된 레이저와 타깃에 맞고 되돌아온 레이저의 신호의 시간차이를 측정해야 한다. 레이저의 진행속도는 이미 알고 있는 상수이므로 거리계산을 위한 기본 이론은 단순하다.

방사 신호는 빔 익스펜더 옆에 고정된 PIN 다이오드를 통해서 산란된 레이저 빛을 감지하여 얻을 수 있다. 사용되는 다이오드는 1.54  $\mu\text{m}$  파장에 최적의 감지기로 알려진 InGaAs PIN Photodiode 를 사용

하였다. 방사되는 레이저는 출력 파워가 높으므로 산란되는 빛으로도 충분한 신호값을 얻을 수 있다. 수광 렌즈를 통과한 수신광은 또 하나의 PIN 다이오드를 통해서 검출된다. 타깃에 반사되어 돌아온 레이저는 방사된 신호에 비해 상당히 미약하기 때문에 증폭회로를 거치도록 하였다.

측정된 두 신호의 시간차이는 펄스발생기로부터 계산된다. 즉 송, 수광 신호의 시간차 동안 발생한 펄스 수를 펄스당 진행거리와의 곱으로 계산함으로써 거리정보를 얻을 수 있다. 따라서 펄스발생기로는 가능한 한 출력 주파수가 높은 부품을 사용하는 것이 오차를 줄일 수 있다. 이번 연구에서는 150MHz 의 펄스발생기를 사용하여 보다 정밀한 측정이 가능하도록 하였다. 펄스 한 주기 동안 레이저의 진행거리는 2m 이므로 1m 의 해상도가 가능하다.

신호처리는 무수히 많은 노이즈(Noise)와 측정시 온도, 날씨 등의 변수에 의해서 복잡성이 증가한다. 즉 노이즈와 송수광 신호를 분리하는 것이 회로제작의 일차적인 목표가 되며, 실험을 통해서 정확한 측정값을 찾도록 보정해주는 작업이 필요하다.

### 3.3 LRF 시제품 제작

LRF 의 성능은 얼마나 정밀한 조립이 이루어지는가에 따라 달라진다. 레이저 로드에서 발생된 에너지는 대략 10mJ 이지만 파장변환 등 광학계를 거치면서 1mJ 정도로 줄어들게 된다. 목표한 성능을 위해서는 정밀한 정렬을 통해 출력 에너지(Output Energy)를 높일 필요가 있다.

Fig. 5 와 같이 전체적인 광학부를 구성하였으며, 회로부와 망원경을 제외한 크기는 60×42×170(mm)이다. 레이저와 타깃의 조준은 레이저의 측면에 나란히 장착된 망원경을 통해서 이루어진다. 망원경은 1.5km 거리에서 2.3m×2.3m 의 타깃을 확인할 수 있는 제품으로 선정하였다.

현재까지 제작된 LRF 는 Fig. 6 과 같다. 광학부의 설계를 마친 상태로써 타깃을 잡기 위한 망원경과 거리계산을 위한 회로를 추가하여 거리측정기가 완성된다. 시제품이 완성되면 실제의 거리와 측정된 거리를 비교 분석하는 현장 테스트를 실시하고, 결과를 최종 제품에 반영하여 보다 신뢰성 있는 기기를 제작할 수 있다. 특히 광학부는 온도에 따라 특성을 달리하기 때문에 대기조건에 따른 거리측정 테스트 이외에 온도변화에 따른 테스트 역시 거리측정기의 신뢰성을 위해 고려해야 할 필수 요소이다.

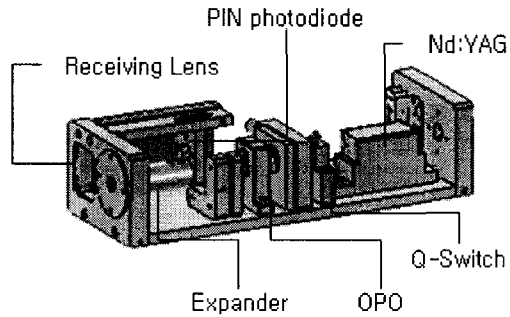


Fig. 5 LRF system layout

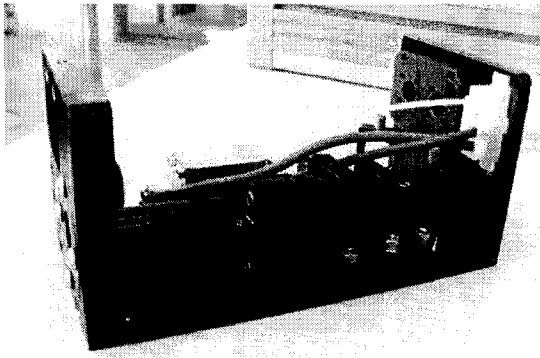


Fig. 6 Photography of LRF

#### 4. 결론 및 향후 연구

레이저 거리측정기(LRF)는 이미 개발되어 국방, 산업분야 등 다양한 목적으로 사용되고 있으며 점차 경량화, 고속화 및 정밀 측정이 요구되고 있다. 본 연구에서는 OPO 를 통한 파장가변 원리를 이용하여 눈에 안전한 거리측정기를 제작한 것으로써 이 원리는 기초과학 및 산업분야에 응용 될 수 있다. 또한 작고 가벼운 LRF 를 제작함으로써 다양한 분야에 활용이 가능하다.

제작된 LRF 는 현재 광학부의 설계를 완성한 단계이다. 금속 케이스에 레이저 로드, Q-Switch, OPO, Beam Expander 를 일직선으로 배열하여 고정하였다. 사용된 레이저는 Nd:YAG 이며, 레이저 생성을 위한 펌핑은 플래시 램프를 사용한다. 발사된 레이저와 수신된 레이저는 각각의 PIN 다이오드를 통해 검출되어 거리계산을 위한 데이터로 사용된다. 거리측정을 위한 타깃 확인은 측면에 장착된 망원경을 통해서 이루어 진다.

본 연구의 LRF 는 측정거리 1.5km 이상, 해상도

1m 이내, 분당 4 회 이상 측정가능하고, OPO 를 통해 눈에 안전한 1.5  $\mu$ m 파장을 사용하여 측정하도록 제작 되었다. 앞으로의 연구는 회로 모듈을 완성 후 필드에서 실거리 측정테스트를 실시하게 된다. 사용 환경이 다양하고 여러 변수가 발생하는 거리측정기 특성상 필드테스트 결과가 반영되어야 보다 정밀한 측정 결과를 얻을 수 있기 때문이다. 현재 제작된 LRF 는 광학부와 회로부가 각각의 전원을 사용하고 있어 효율적이지 못한 측면이 있다. 전체적으로 다소 부피가 크고 무거운 상태이기 때문에 보완하여 휴대용으로 사용 가능하고 보다 정밀한 LRF 를 제작하는 것이 향후 연구과제이다.

#### 후 기

본 연구는 폴란드와의 국제공동연구사업으로서 과학기술부의 지원을 받아 한국기계연구원에서 진행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Roman Ostrowski , M. Strzelec, "EYE - SAFE LASERS", Military University of Technology(Poland), 2002
2. John Nettleton, Dallas Barr, Brad Schilling, Jonathan Lei, "Micro-Laser Range Finder Development", <http://www.repairfaq.org/sam/lr/>, 1999
3. Kim D. W., Lim C. S., Oh K. J., "Characteristics of optical parametric oscillator and its output properties"
4. Osama Bader, Harvey Lui, "Laser Safety and the Eye", <http://www.dermatology.org/laser/eyesafety.html>, Vancouver Hospital & Health Sciences Centre and University of British Columbia, Presented at the American Academy of Dermatology Annual Meeting Poster Session, 1996
5. 최영수, 박용찬, 강용철, "펄스형 고반복 레이저를 이용한 거리측정", The Journal of Optical Society of Korea (Korean Edition) Volume 6, Number 1, March 1995, 국방과학연구소
6. 구연덕, "Aerosol 투과특성에 따른 적외선 레이저 거리측정기의 최대 거리측정 능력분석", Ungyong Mulli(The Korean Physical Society) Vol 11, No 2, pp.123~127, 1998
7. Laser & Physics, <http://www.laser-physics.co.kr/>
8. 한꿈엔지니어링, <http://www.powerlighttronix.com/>