

# 펨토초 펄스 레이저를 이용한 장거리 고분해능 비행시간법 측정

## High-resolution time-of-flight measurement using a femtosecond pulse laser at long distances

\*이주형<sup>1</sup>, 김영진<sup>1</sup>, 이근우<sup>1</sup>, 이상현<sup>1</sup>, #김승우<sup>1</sup>

\*J. Lee<sup>1</sup>, Y.-J Kim<sup>1</sup>, K. Lee<sup>1</sup>, S. Lee<sup>1</sup>, #S.-W. Kim (swk@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>KAIST 극초단광학 초정밀기술연구단

Key words : Absolute distance measurement, Femtosecond lasers, Time-of-flight measurement

### 1. 서론

위성군 편대비행 운용(formation flying of multiple satellites)은 한 대의 대형위성 대비 낮은 비용과 기존에 구현이 어려웠던 다양한 프로젝트를 수행할 수 있는 장점으로 미항공우주국 (NASA) 과 유럽항공우주국 (ESA)에서 활발히 연구개발되고 있다 [1]. 위성간 거리측정은 위성군 편대비행 프로젝트의 핵심기술로 분류되고 있으며 최근 위성군의 기초기술검증을 위해 스웨덴에서 두 대의 위성으로 이루어진 PRISMA 위성군이 성공적으로 발사되었다 [2]. 또한 우주에서 상대성이론 검증을 위해 개발중인 LISA (Laser interferometer for satellite antenna) 의 경우 미국연구위원회(National Research Council) 선정 10 년 내 가장 우선 추진 되어야 할 거대우주프로젝트로 선정되어 활발한 연구를

진행 중에 있다 [3]. 이러한 위성군 프로젝트에서는 수  $\mu\text{m}$  에서 수  $\text{nm}$  수준의 분해능의 위성간 거리측정 기술을 요구하고 있으며 펨토초 레이저를 이용한 절대거리측정은 앞서 제시한 여러 거대우주프로젝트에서 요구하는 성능을 성공적으로 만족시키고 있다[1][4].

펨토초 레이저를 이용한 비행시간법 기반의 거리측정기의 경우 광원의 반복률 (pulse repetition rate) 조절을 통한 모호성 없이 장거리측정이 가능한 장점이 있으며 실험실환경의 근거리 성능검증을 통해 10 nm 수준의 분해능을 보였다[5][6]. 본 논문에서는 이러한 고분해능 비행시간법 기반의 거리측정기를 장거리 측정에 적용하고 성능을 검증하였다.

### 2. 기본이론 및 실험장치

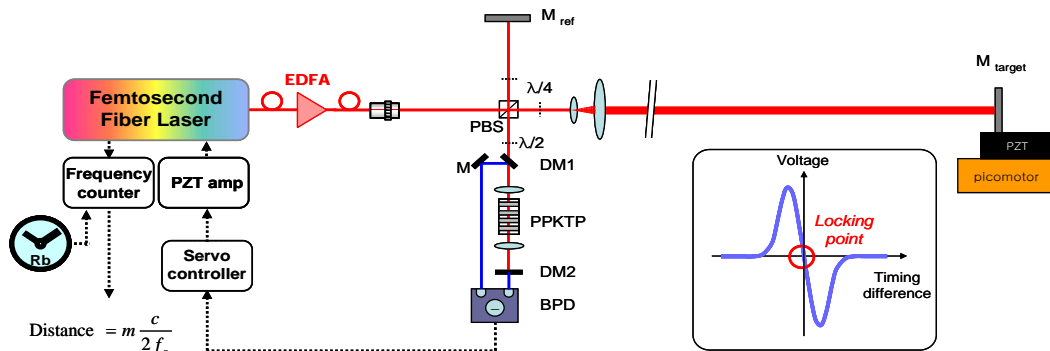


Fig. 1 (color online) The high-resolution TOF using a fiber femtosecond laser and a balanced optical cross-correlator. Abbreviations are; EDFA: Er-doped fiber amplifier, PBS: polarized beam splitter, DM: dichroic mirror1(2) , PPKTP: periodically poled potassium titanyl phosphate, BPD: balanced photodetector

고분해능 비행시간법 기반의 거리측정기는 Fig. 1 과 같이 펄스 레이저, 마이켈슨 형태의 간섭계 그리고 펄스의 시간차 측정을 위한 광상호상관기로 이루어져 있으며 대부분의 광학장치 및 광원의 반복률 제어부는 기존의 실험실환경에서 수행한 장치와 동일하다[5]. 장거리 측정을 위해 20 mW 수준의 펄스 레이저를 어븀광섬유증폭기 (EDFA)를 통해 200 mW 수준으로 증폭하였고 광원이 장거리 전파시 발산(divergence)으로 인한 광강도 손실을 최소화하기 위해 빔확장기 (beam expander) 를 사용하였다. 장거리 시험은 Fig. 2 (a)와 같이 KAIST 캠퍼스 내 0.7 km 거리에서 수행되었으며 분해능 검증을 위해 측정거울을 PZT 에 장착하여 700 nm 수준의 진폭과 10 Hz 의 주파수로 거리를 변조시켜주었다.

### 3. 실험결과 및 결론

변조시켜준 0.7 km 의 거리를 측정 한 결과는 Fig.2 (b) 와 같다. 4 초 동안 거리 값이 약 7.5  $\mu\text{m}$  수준으로 변화하였으며 이는 장거리 측정시 시간에 따라 변화하는 공기굴절률과 측정기와 측정대상물이 서로 다른 위치에 존재함에 따른 건물 진동 등에 의한 것으로 예상된다. 이때 변조시켜준 10 H 의 주파수 성분이 거리측정 결과에 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

기존의 실험실환경에서 구성된 시스템을 이용하여 10 nm 분해능 검증에 성공하였으며 이번 연구를 통해 장거리 측정에 적합한 시스템 구축 및 700 nm 수준의 분해능 검증을 수행하였다. 구현된 고분해능 비행시간법 기반의 거리 측정기는 공기굴절률과 같은 외부왜란에 의한 잠금신호의 높은 타이밍 지터 (timing jitter) 에 의해 분해능의 한계가 존재하므로 공기가 없는 우주환경에서 향상된 분해능을 보일 것으로 예상된다.

#### 후기

본 연구는 교육과학기술부의 도약사업과 우주원천기초기술개발 사업의 지원을 받아 KAIST 극초단광학 초정밀기술연구단에서 수행되었습니다.

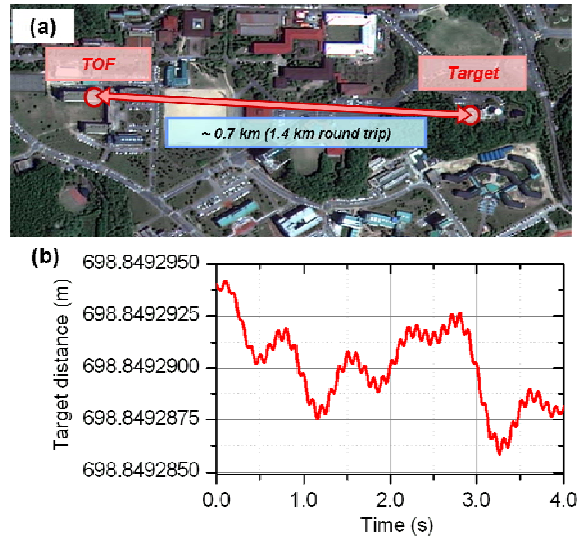


Fig. 2 Absolute distance measurement over ~0.7 km long distance. (a) Satellite image of KAIST in which high resolution TOF and target mirror are located (courtesy of KARI). (b) The target mirror was position-modulated at 10 Hz with amplitude of 700 nm. The modulation is clearly shown.

#### 참고문헌

1. B. Lafouasse, "Formation flying, A Technological Breakthrough For Near-Future Space Applications", *Technical paper*, Alcatel
2. S. Clark "Sweden's Prisma satellites go their separate ways", *spaceflightnow*, 2010
3. Webpage, <http://lisa.nasa.gov>
4. S.-W. Kim, "Combs rule", *Nature Photonics* **3**, 313 - 314, 2009
5. 이주형, 김영진, 이상현, 김승우 "펄스 레이저 기반 실시간 고분해능 시간비행법 거리 측정", 한국정밀공학회 추계학술대회, 2008
6. J. Lee, Y.-J Kim, K. Lee, S. Lee and S.-W Kim "Time-of-flight measurement with femtosecond light pulses", *Nature Photonics* **4**, 716 - 720, 2010