

# 전광섬유 다채널 광주파수 발생기 기반 고속 절대거리 측정

## Real-time Absolute Distance Measurement using All-fiber Multi-channel Optical Frequency Generator

\*김영진, 현상원, 천병재, 김윤석 #김승우

\*Y.-J. Kim, S. Hyun, B. J. Chun, Y. Kim, #S.-W. Kim(swk@kaist.ac.kr)

KAIST 극초단광학 초정밀기술 연구단

Key words : absolute distance, optical frequency generator, frequency comb, femtosecond laser

### 1. 서론

현재의 첨단산업기술의 근간인 정밀공학에 있어서 레이저 간섭계는 초정밀 위치결정능 가능하게 하는 핵심기술의 하나로 자리잡고 있다. 범용적으로 사용되는 레이저 간섭계는 측정면의 초기위치와 최종위치 간의 상대적인 위상변화를 누적한 상대변위를 측정한다. 이러한 상대변위 간섭계는 위상 모호성(phase ambiguity) 문제로 인해 거리를 측정하고자 할 때 측정면의 이송이 필수적이며, 위상변화를 누적하는 과정에서 신호에 실려있는 여러 오차성분 또한 누적되는 한계점을 가진다. 이로 인해, 기존 레이저 간섭계의 표준에의 소급성과 높은 정밀도와 같은 장점을 살리면서, 측정면의 움직임 없이 원하는 거리를 한 번에 측정할 수 있는 절대거리 측정(absolute distance measurement)에 대한 필요성이 제기되었으며, 활발한 연구가 이루어지고 있다.

### 2. 광주파수 발생기 기반 절대거리 측정

2000년 이후 최근까지 펨토초 레이저의 고안정화 기술을 바탕으로 광주파수의 정밀 측정기술이 발전하면서, 광주파수 영역에서 원하는 임의의 주파수를 시간/주파수 표준에 소급하여 생성할 수 있는 ‘광주파수 발생기(optical frequency generator, OFG)’의 개념이 제안되었다. 이를 이용하여, 다파장 간섭계(multi-wavelength interferometer, MWI) 및 파장스weeping 간섭계(wavelength sweeping interferometer, WSI) 등의 절대거리 정밀측정 원리의 효과적 구현이

가능해졌다. 이를 통해, 최근 산업 길이표준의 하나인 게이지 블록(gauge block)의 절대보정과 다파장 간섭계와 및 파장천이 간섭계의 통합을 통한 장거리 절대거리 측정 및 우주에서의 편대비행을 위한 절대거리 측정원리 등이 활발히 연구/보고되고 있으나, 동시에 생성 가능한 파장의 개수 제한과 파장천이 속도의 한계 등으로 인해, 실질적인 응용에 있어서 어려움을 겪어왔다. 본 연구에서는 전광섬유(all-fiber)기반의 다채널 광주파수 발생기(multi-channel OFG)를 적용함으로써, 절대거리의 고속측정을 가능하게 하고자 한다.

### 3. 전광섬유 다채널 광주파수 발생기

절대거리의 고속측정을 위한 다채널 전광섬유 광주파수 발생기의 구성은 그림 1과 같다. 사용된 광섬유 펨토초 레이저는 반복률 100 MHz, 중심파장 1550 nm 에서 50 nm 의 대역폭을 가지며, 라디오 주파수 영역의 시간/주파수 표준의 하나인 Rb 시계에 안정화

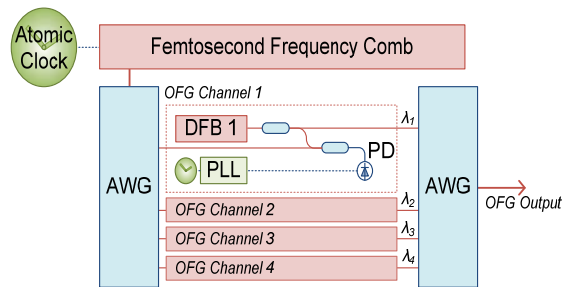


Fig. 1 Optical layout of the multi-channel OFG

되었다. 안정화된 펄스 레이저는 배열 도파로 격자(array waveguide grating, AWG)에서 100 GHz 에 해당하는 파장 대역별로 분리되어 각 광주파수 채널로 입사된다. 본 연구에서는 다파장 간섭계 기반 절대거리 측정을 위해 4 개의 분산 피드백 레이저(distributed feedback, DFB)를 광섬유 펄스 레이저에 잠금함으로써 다채널 광주파수 발생기를 구현하였다. 그림 2 와 같이, 각 채널별로 DFB 레이저와 펄스 레이저 사이의 맥놀이 주파수를 라디오 주파수 영역에서 측정할 후, 위상잠금회로(phase-locked loop, PLL)를 통해 Rb 시간/주파수 표준에 안정화 함으로써  $10^{-12}$  수준의 높은 안정도를 구현하였다. 이와 같이 생성된 4 개의 채널은 다시 AWG 에서 합쳐져서 간섭계로 공급된다.

#### 4. 고속 절대거리 측정의 구현

실시간 절대거리 측정을 위한 다채널 헤테로다인(heterodyne) 간섭계의 실험 구성은 그림 2 와 같다. 다채널 광주파수 발생기에서 도착한 빛의 일부는 헤테로다인 위상검출을 위해 음향광변조기(acousto optic modulator, AOM)에서 주파수가 천이된 후, 비선형 오차가 최소화 되도록 설계된 헤테로다인 간섭계로 향한다. 간섭계에서 생성된 기준신호 및 측정신호는 광섬유브래그격자(fiber Bragg grating, FBG)를 통해, 다시 각 파장으로 분리되어 각 채널에서의 위상을 검출하는데 사용되며, 이는

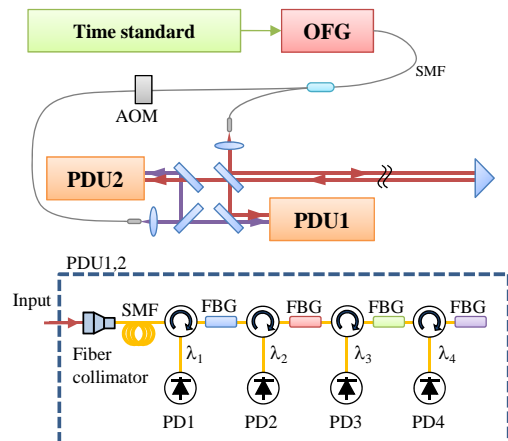


Fig. 2 Absolute distance measuring multi-channel interferometer

속도는 수십 kHz 수준이며, 이와 같이 취합된 4 개의 위상정보는 컴퓨터에서 다파장 간섭계 원리를 기반으로 고속으로 절대거리 정보로 변환된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 주파수 표준에 소급 가능한 광주파수 발생기의 우수한 특성을 다중채널로 확장하여, 다파장 간섭계 기반의 절대거리 측정에 적용함으로써, 절대거리의 측정속도를 ms 이하로 크게 향상시킬 수 있음을 제안하고 이를 실험적으로 검증하였다.

#### 후기

본 연구는 교육과학기술부 도약연구지원사업과 우주기초원천기술 사업의 지원을 받아 한국과학기술원 극초단광학 초정밀기술 연구단에서 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Jin, J., Kim, Y.-J., Kim, Y., Kang, C.-S., Kim, S.-W., "Absolute length calibration of gauge blocks using optical comb of a femtosecond pulse laser," *Opt. Exp.*, **14**, 5968-5974, 2006.
2. Kim, Y.-J., Jin, J., Kim, Y., Hyun, S., Kim, S.-W., "A Wide-range Optical Frequency Generator Based on the Frequency Comb of a Femtosecond Laser," *Optics Express*, **16**, 258-264, 2008.
3. Hyun, S., Kim, Y.-J., Kim, Y., Jin, J. and Kim, S.-W., "Absolute length measurement with the frequency comb of a femtosecond laser," *Meas. Sci. and Technol.*, **20**, 095302, 2009.
4. Kim, Y., Kim, S., Kim, Y.-J., Hussein, H. and Kim, S.-W., "Er-doped fiber frequency comb with mHz relative linewidth," *Opt. Express*, **17**, 11972-11977, 2009.
5. Kim, Y.-J., Kim, Y. Chun, B. J. Hyun, S. and Kim, S.-W., "All-fiber-based optical frequency generation from and Er-doped fiber femtosecond laser", *Opt. Express*, **17**, 10939-10945, 2009.