

자유곡면 측정을 위한 이중 광 빔 광원 개발

Development of dual- optical comb for free-formed surface measurement

*이주형, 김영식, 양호순, 이윤우, #이혁교

*J. Lee (jhl@kriss.re.kr), Y.-S Ghim, H.-S Yang, Y.-W Lee, #H.-G Rhee

한국표준과학연구원 산업측정보부 우주광학센터

Key words : Surface measurement, Free-form surface, Dual-comb, Femtosecond laser

1. 서론

이중 광 빔(dual-optical comb)은 두 대의 서로 다른 반복률을 갖는 펄스 레이저를 이용하여 간섭신호를 획득하는 원리를 의미하며 2002년 이론적으로 제안된 이후 광대역 초정밀분광, 정밀 절대거리 측정, 광학기반의 고속 아날로그-디지털변환(ADC), 광결맞음 단층촬영기술(OCT) 등 다양한 분야에 적용되었다[1][2]. 이중 광 빔은 시간영역에서 기계적 또는 전기적 장치 없이 펄스 레이저간의 반복률 차의 역수에 해당하는 주기로 고속 펄스 주사(pulse scanning) 및 간섭신호 획득이 가능하고 주사영역에 제한이 없으며 각각의 펄스 레이저의 높은 수준의 반복률 주파수 안정화를 통해 높은 정확도의 펄스 주사가 가능한 장점이 있다. 광 주파수 영역에서는 각각의 펄스 레이저의 광 빔을 이루고 있는 수백만개의 모드들의 간섭신호를 RF-주파수 영역에서 동시에 획득하기 때문에 각각의 모드들의 진폭 및 위상측정을 별도의 분광기 또는 마이켈슨 형태의 간섭계 구축 없이 측정할 수 있는 장점이 있다.

이러한 장점을 가진 이중 광 빔은 두 대의 펄스 레이저가 필수적이며 높은 정확도의 펄스 주사를 위해서는 각각의 펄스 레이저의 높은 수준의 반복률 주파수 및 오프셋 주파수(offset-frequency) 안정화 기술을 필요로 한다. 이를 위해 구조적으로 안정적인 광 공진기에 잠금된 두 대의 CW 레이저를 이용하거나 f-2f 간섭계 기반의 자가참조(self-referencing) 주파수 안정화 기법을 하는 기술이 이중 광 빔에 적용되었다[3]. 또한 직접적으로 주파수 안정화

없이 선폴이 좁은 CW 레이저와의 맥놀이 신호를 이용하거나, 반복률 차를 직접 측정 또는 적응 간섭신호 획득(adaptive sampling) 기법을 이용하여 후처리를 통해 정확한 이중 광 빔 신호를 획득하는 연구결과들도 발표되었다[4].

본 연구에서는 이러한 이중 광 빔 신호 획득을 위한 펄스 레이저 광원을 개발하고 기초실험을 수행하였으며 이중 광 빔이 가지는 고속, 정밀 펄스 주사 특성을 고단차, 고정사 그리고 고속 대역역 측정기술이 요구되는 자유곡면측정에 적용하고자 한다.

2. 기본원리 및 실험장치

본 연구에서는 자유곡면 정밀형상 측정 등의 산업측정분야에 적용하기 위해 레이저의 구성이 간결하고 외부웨어에 강인한 광섬유 레이저 기반의 이중 광 빔 광원을 개발하였다.

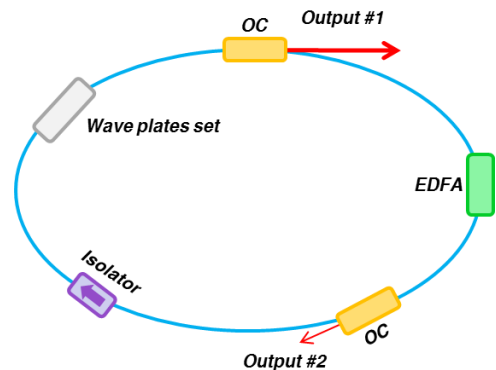


Fig. 1 Brief optical configuration of femtosecond fiber laser for generation of dual-comb signal

각각의 펄초 레이저는 어븀첨가광섬유 (erbium -doped fiber) 기반의 증폭매질을 이용하고 광섬유 내의 비선형편광회전 (nonlinear polarization evolution) 기반의 모드 잠금 (mode-locking) 기법을 적용하여 1560 nm 대역의 파장을 가지는 극초단 펄스가 방출되며 레이저의 광경로를 3 m 수준으로 설계하여 100 MHz 의 반복률을 갖도록 하였다. 이중 광 빛 신호검출을 위해 두 대의 레이저에서 방출되는 빛을 간섭시킨 후 푸리에변환을 통해 광스펙트럼 및 위상을 측정하였다. 이때 각각의 펄초 레이저는 나이퀴스트 (Nyquist) 임계주파수 이내에서 신호를 검출하기 위해 1560 nm 부근에서 0.8 nm (100 GHz) 수준의 반치폭을 갖는 광섬유 브래그격자필터(FBG filter) 에 통과시켰다.

3. 실험결과

광섬유 브래그격자필터를 통과한 두 레이저간의 간섭신호는 Fig.2(a) 와 같다. 이때 두 레이저 간의 반복률차는 200 Hz 수준이었으며 5 ms 마다 한번씩 간섭신호를 획득할 수 있었다. 이는 100 MHz 의 레이저 반복률을 고려하였을 때 600 m/s 수준의 매우 빠른 주사속도에 해당한다. 획득된 간섭신호를 푸리에 변환한 결과 측정된 위상과 광스펙트럼은 각각 Fig.2(b)(c)와 같으며 사용한 브래그격자필터의 사양과 같은 1560 nm 근처에서 중심파장이 위치하는 것을 확인할 수 있다. 자유곡면의 형상측정 시 이용되는 위상정보는 Fig.2(b)와 같이 스펙트럼이 존재하는 파장영역에서는 선형적으로 측정되는 것을 확인할 수 있으며 이는 현재 이중 광 빛 신호에 사용되는 두 레이저간의 초기위상차 및 두 레이저 간의 간섭에 사용되는 광섬유 브래그격자필터, 광커플러 등에 의한 광경로차에 의한 것이다.

4. 결론

본 연구를 통해 두 대의 펄초 레이저를 이용한 이중 광 빛 광원을 개발 하였으며 간섭신호 분석을 통해 추후 형상측정에 이용되는 광원의 스펙트럼과 위상을 성공적으로 측정하였다.

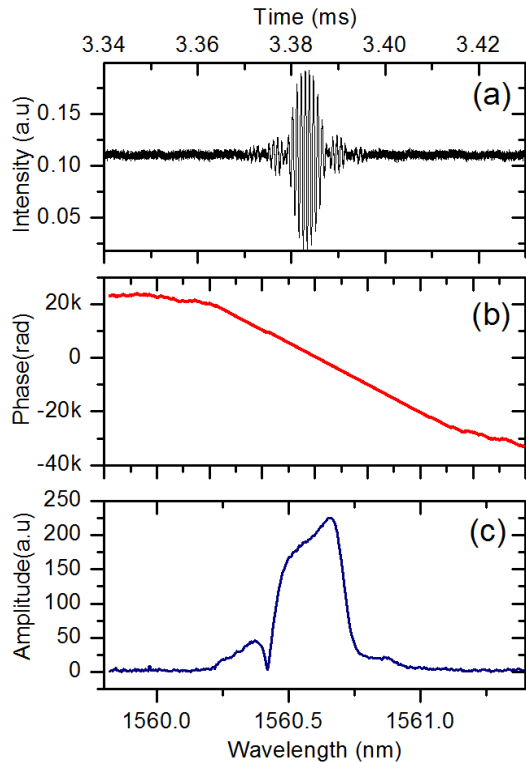


Fig. 2 Dual-optical comb signal by interference of two-femtosecond lasers.

개발된 이중 광 빛 광원은 기존의 절대거리측정기술과 접목하여 고단차, 고경사, 대영역 자유곡면형상측정에 이용될 예정이다.

참고문헌

1. S. Schiller, "Spectrometry with frequency combs", Opt. Lett. 27, 766-768 (2002)
2. I. Coddington, et. al, "Time-domain spectroscopy of molecular free-induction decay in the infrared," Opt. Lett. 35, 1395-1397 (2010)
3. Th. Udem, et. Al., "Optical frequency metrology", Nature 416, 233-237 (2002)
4. P. Giaccari, et. al. , "Active Fourier-transform spectroscopy combining the direct RF beating of two fiber-based mode-locked lasers with a novel referencing method," Opt. Express 16, 4347-4365 (2008)