

절대거리 측정에 최적화된 단색광 광섬유 레이저의 개발 Development of monochromatic fiber laser optimized for absolute distance measurement

***천병재, 김영진, 현상엽, 김윤서, 최민아, 장희숙, #김승우**

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

KAIST 극초단광학 초정밀기술 연구단

Key words : Optical frequency generator (OFG), Distance measurement, Frequency stabilization

1. 서론

현대 산업은 가공 기술의 발전과 더불어 고도화, 집적화 되었으며, 결과적으로 정밀공학의 필요성이 커지게 되었다. 이에 따라 길이 측정의 중요성이 더욱 대두되었으며, 보다 정밀한 측정을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 이중 빛을 이용한 길이 측정법은 크게 절대거리측정과 상대거리측정으로 구분된다. 절대거리측정은 상대거리측정과 달리 측정면의 움직임 없이도 원하는 길이를 측정할 수 있어서, 측정 시 오차의 누적을 방지할 수 있다는 장점을 가진다. 절대거리측정을 위한 여러 방식 중 다파장 간섭계(multi wavelength interferometer)는 둘 이상의 광 파장을 사용하여 측정하는 방식으로서, 높은 주파수 안정도를 지닌 광원을 필요로 한다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 광주파수 발생기(optical frequency generator)가 개발되었다.

광주파수 발생기는 원자시계에 주파수 안정화 된 펄스 레이저 광 빔(optical frequency comb)을 이용하여 수백 THz 의 광 주파수 대역내의 원하는 주파수를 원자시계와 동일한 안정도로 획득할 수 있는 장치를 말한다. 최근 광주파수 발생기에 대한 여러 선행 연구들이 지속적으로 수행되어 왔으며, 그 중 본 실험실에서는 광섬유 펄스 레이저를 이용한 다채널 외부광원형 광주파수 발생기 및 모드추출형 광주파수 발생기가 개발되었다. 광주파수 발생기는 단색광 레이저를 보조 광원으로 사용, 펄스 레이저 광 빔에 주파수 잠금하는 방식으로 구성된다. 이 때 단색광 레이저로 상용화된 제품을 사용하게 되면 파장 선정, 선폭, 광량 등에 대한 제한을 받게 된다. 이는 광주파수 발생기의 성능의 제한을 가져오게 되며, 본 논문에서는 이러한 제한을 극복하기 위하여 좁은

선폭 및 높은 광량을 갖는 단색광 광섬유 레이저를 개발하였다.

2. 단색광 광섬유 레이저의 개발

단색광 광섬유 레이저의 개발을 위하여, 우리는 광섬유 페브리 페롯 필터(fiber Fabry-Perot filter) 및 광섬유 브래그 격자 필터(fiber Bragg grating filter)를 이용하였다. 이 두 종류의 필터는 레이저 공진기의 길이에 의해 결정되는 수없이 많은 공진주파수 중 원하는 파장만을 선택적으로 필터링 및 공진하게 만들며, 높은 예리도(finesse)를 가지고 있어 좁은 선폭의 단색광 레이저를 구현 가능하다. 단색광 레이저가 생성되는 과정이 Fig. 1 에 나타나 있다.

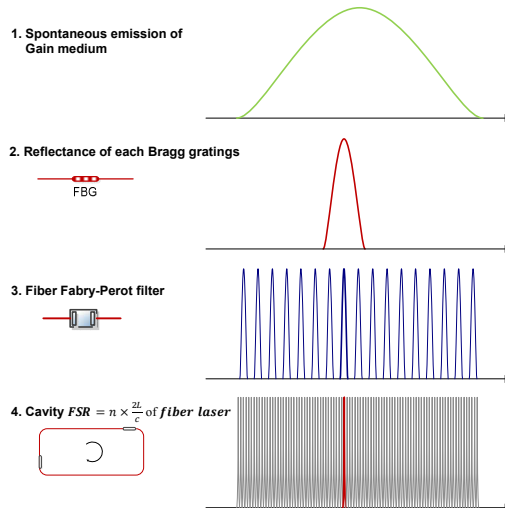


Fig. 1 Procedure of single mode frequency generation from monochromatic fiber laser

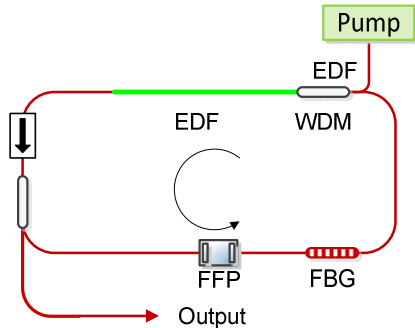


Fig. 2 Optical scheme of monochromatic fiber laser

Fig. 2 는 실제로 구성된 단색광 광섬유 레이저의 광학계 구성이다. 전체 공진기는 링형 공동기(ring cavity)형식으로 구성되었으며, 증폭 매질로는 어븀 첨가된 광섬유(erbium doped fiber)가 사용되었다. 전체 공진기의 길이는 약 3 m 이며, 이에 따른 레이저의 자유스펙트럼 영역(free spectral range)은 약 70 MHz 이다. 페브리 페롯 필터는 50 GHz 의 자유스펙트럼영역을 가지며, 투과 대역폭은 반치폭 기준으로 250 MHz 이다. 광섬유 브래그 격자는 1550.1 nm 중심으로 100 GHz 의 투과 대역폭을 갖는다.

최종적으로 생성된 단색광 광섬유 레이저는 1550.15 nm 의 발진파장을 가지며, 24 kHz 의 좁은 선폭 및 mW 수준의 광량을 구현하였다. 광주파수 대역에서 측정된 신호 대 잡음비(S/N ratio)는 65 dB 이다. 광량은 어븀 첨가된 광섬유의 첨가율(doping ratio) 증가 및 펄프레이저의 광량 증가를 통하여 추후 원하는 만큼 증폭 가능하다.

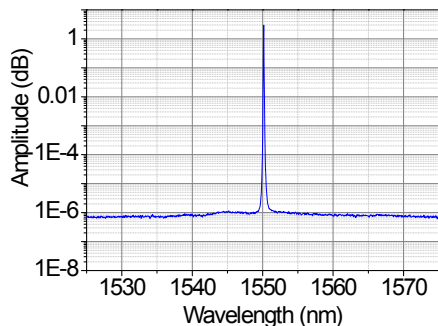


Fig. 3 Optical spectrum of monochromatic fiber laser

3. 결론

본 연구에서는 절대거리측정에 필요한 광섬유 단색광 광원의 개발을 완료하였으며, 개발된 광원은 좁은 선폭 및 높은 신호 대 잡음비를 가지는 우수한 광원이다. 광섬유 단색광 레이저의 개발은 선폭, 광량, 온도 안정도 등 여러 특성을 쉽게 조절할 수 있다는 장점을 가지며, 기존에 상용화된 제품의 성능에 광주파수 발생기의 성능자체가 제한되었던 문제점을 해결할 수 있다. 또한 필요 파장 수의 증가에 따른 파장 선정에 있어서도 기존의 광주파수 발생기가 가졌던 제한을 극복하고, 최종적으로 임의의 원하는 주파수를 획득 가능하게 만들 수 있다. 이는 절대거리측정에서 다파장 간섭계에 필요한 임의의 파장을 보다 쉽고 편하게 획득 가능함을 의미하며, 이를 통해 기존의 절대거리측정을 한 단계 진보시킬 수 있는 계기가 될 것이라 예상된다.

후기

본 연구는 교육과학기술부 도약연구지원사업의 지원을 받아 한국과학기술원 극초단광학 초정밀기술 연구단에서 수행되었습니다.

참고문헌

1. Y. J. Kim, J. Jin, Y. Kim, S. Hyun, S. W. Kim, "A Wide-range Optical Frequency Generator Based on the Frequency Comb of a Femtosecond Laser," *Optics Express*, 16(1), 258-264, 2008
2. Y.-J. Kim, B.J. Chun, Y. Kim, S. Hyun, and S.-W. Kim, "Generation of optical frequencies out of the frequency comb of a femtosecond laser for DWDM telecommunication," *Laser Physics Letters*, 7(7), 522-527, 2010
3. S. Hyun, Y.-J. Kim, Y. Kim, J. Jin and S.-W. Kim, "Absolute length measurement with the frequency comb of a femtosecond laser," *Measurement Science and Technology*, 20, 2009