

# 광섬유 전송을 이용한 두 Ti:S 펄초 레이저의 동기

## Synchronization of two femtosecond Ti:S lasers over an optical fiber network

김억봉, 이원규, 이대수, 박창용, 권택용, 이호성, 조혁\*

한국표준과학연구원, \*충남대학교

[ubkim@kriss.re.kr](mailto:ubkim@kriss.re.kr)

광통신 기술이 발달함에 따라 안정도가 높은 광신호 및 표준 마이크로파 신호를 작은 잡음으로 원거리를 전송할 수 있는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 펄초 레이저의 광빔(comb)을 이용한 기술이 발달하면서 Erbium이 첨가된 파이버 펄초 레이저를 기반으로 하여 높은 안정도를 갖는 광신호 및 RF 신호를 파이버 시스템으로 원거리 전송을 하는 연구가 많이 진행되고 있다<sup>(1,2,3)</sup>. 하지만 원거리 전송에 사용되는 파이버 시스템은 1.5  $\mu\text{m}$  영역을 제외한 다른 영역에서는 많은 전송 손실과 전송 시 발생하는 위상 잡음 등의 문제 때문에 많은 연구가 진행되지 못하고 있다.

본 논문에서는 두 대의 Ti:Sapphire(Ti:S) 펄초 레이저와 파이버 시스템을 이용하여 표준 마이크로파에 안정화된 광빔 신호 및 RF 신호의 전송과 전송된 RF 신호를 이용한 두 대의 펄초 레이저의 위상 동기 실험 결과를 보여주고자 한다.

그림 1은 파이버 시스템을 통하여 두 펄초 레이저를 연결하기 위한 실험 장치를 보여주고 있다. 기준 레이저는 수소 메이저(H-maser)를 기준 주파수로 사용하여 반복률이 202 MHz가 유지 되도록 안정화하였다. 안정화된 펄초 레이저의 신호 중 약 800 nm의 광빔의 일부를 800 nm의 단일 모드 파이버를 통하여 250 m떨어진 곳에 위치한 펄초 레이저 시스템으로 전송하였다. 원거리에 위치한 펄초 레이저의 반복률은 100 MHz이고, 파이버를 통하여 전송된 RF 신호는 202 MHz이기 때문에 전송된 RF 신호를 이용하여 반복률이 100 MHz 레이저를 안정화하기 위하여 그림 1에서와 같이 두 신호를 모두 하나의 검출기로 입사 시켰다. 검출기는 100MHz의 2차 하모닉 신호와 202 MHz의 신호 사이의 주파수 차이를 발생시킨다. 이때의 신호는 약 2 MHz이고 이 신호와 수소 메이저에 위상 동기된 신호발생기와의 주파수 비교를 통하여 오차 신호를 발생시킨다. 이 오차 신호를 이용하여 100 MHz 레이저의 공진기를 조절하여 두 대의 펄초 레이저를 위상 동기시켰다.

파이버를 통하여 전송된 광빔의 RF 안정도를 측정한 결과는 그림2에서와 같이 1초에서  $6 \times 10^{-13}$ 의 Allan 분산을 갖는다. 이는 파이버를 통하여 전송된 광빔의 안정도의 한계가 파이버의 분산, 손실등의 영향을 고려할지라도  $10^{-13}$  이하임을 보여주고 있다. 또한 전송된 광신호 및 RF 신호를 이용하여  $10^{-13}$  이하의 안정도를 갖는 원거리 광주파수 표준 측정 및 광주파수 합성기를 구성할 수 있음을 보여주고 있다. 특히 파이버 전송 중에 발생하는 편광의 변화, 위상 잡음의 발생, 분산 효과 등의 저해 요소를 AOM(acousto-optic modulator)과 PZT를 사용하여 보상한다면 안정도가 높은 광원파 RF 표준 신호를 전달 할 수 있다.

파이버 시스템으로 전송된 광빔의 RF 신호를 이용하여 안정화한 100 MHz 시스템의 반복률의 안정도는 그림 3에서와 같이 1초에서  $1 \times 10^{-12}$ 이다. 1초에서의 안정도가 기준 RF 신

호의 안정도보다 낮은 이유는 100 MHz 시스템의 안정화 시스템의 문제로 생각되며 현재 이를 개선하고 있다.

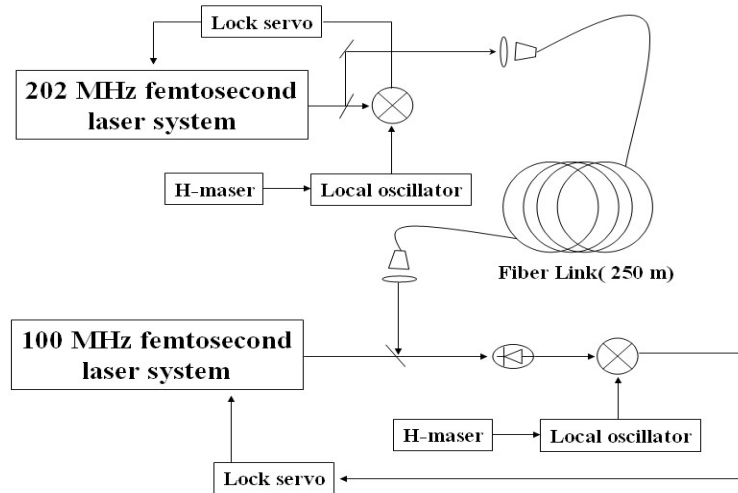


그림 1 파이버 시스템을 통하여 두 펨토초 레이저를 연결하기 위한 실험 장치도.

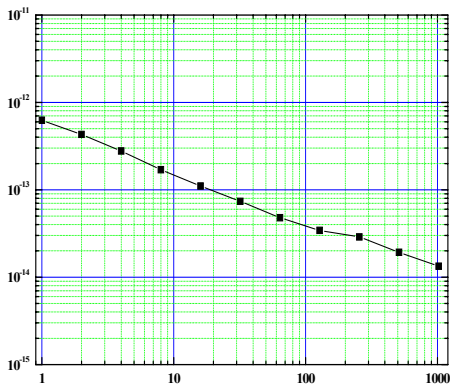


그림 2 단일 모드 파이버 시스템을 통하여 전송된 800nm 파장 대역의 광빔 안정도.

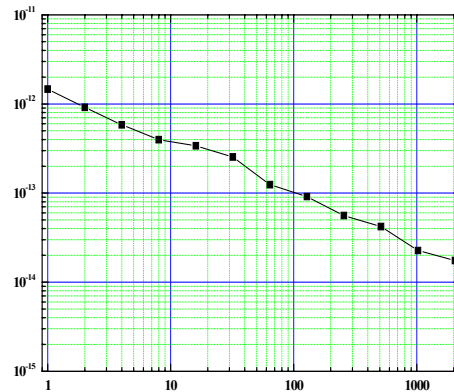


그림 3 전송된 광빔의 RF 신호를 기준 주파수로 안정화된 100 MHz 시스템의 안정도.

참 고 문 헌

(1) R. K. Shelton, L.-S. Ma, et al., *Science*, **17**, 1286-1289 (2001).  
 (2) J. Ye, S. A. Diddams, et al., *J. Opt. Soc. Am. B*, **20**, 1459-1467 (2003).  
 (3) K. W. Holman, D. J. Jones, et al., *Opt. Lett.*, **29**, 1554-1556 (2004).