

# 0.7 kHz 선폭의 단일 주파수 어븀첨가 광섬유 레이저

## Single-Frequency Er<sup>3+</sup>-Doped Fiber Ring Laser

### with 0.7 kHz Linewidth

이정찬, 김명욱, 전영민, 김봉규, 고성윤, 이상배, 김상국, 최상삼, 이상선\*  
 한국과학기술연구원 광기술연구센터, \*한양대학교 전자/전기공학부 전파공학과  
 e-mail : jyung@kistmail.kist.re.kr

#### Abstract

0.7 kHz linewidth, single-frequency operation was achieved in a polarization-maintaining Er<sup>3+</sup>-doped fiber ring laser at 1547.7 nm with a compact structure using a fiber Bragg grating (FBG) and a circulator. The single-frequency operation output power was 3 mW.

좁은 파장 선폭을 갖는 단일 주파수(single-frequency) 발진 레이저 기술은 수신 단의 수신 감도 향상과 광섬유의 사용 대역의 확산이라는 점에서 코헤런트 광통신에의 응용과 광센서의 응용, 분광기, 그리고 CATV(community antenna television) 시스템<sup>(1)</sup> 등에 활용될 수 있는 중요한 기술이다. 좁은 선폭을 얻기 위한 여러 연구 결과들은 Stimulated Brillouin 광섬유 레이저를 이용하는 방법<sup>(2)</sup>, 브래그 격자를 이용한 어븀첨가 분산 격환(DFB) 레이저를 이용한 방법<sup>(3)</sup>, 단일 방향 편광 유지 어븀첨가 광섬유 고리형 레이저를 이용한 방법<sup>(4)</sup> 등이 보고 되었다. 앞선 연구에서 브래그 격자와 서큘레이터를 이용하여 간단한 구조의 광섬유 고리형 레이저를 단일모드 광섬유로 구성하여 5 kHz의 선폭을 발표했었다<sup>(5)</sup>. 본 연구에서는 공진기내에서의 편광 요동에 의한 레이저 출력의 불안정성을 제거하기 위하여 레이저 공진기를 편광 유지 광섬유로 구성하여 더욱 안정되고 좁은 0.7 kHz의 선폭을 얻어냈다.

그림 1은 편광 유지 어븀첨가 광섬유 레이저와 좁은 선폭을 측정하는 장치의 실험 구성도이다. 980 nm의 LD(SDLO-2100-125)를 펌핑 광원으로 하고 980/1550 nm WDM 광결합기로 12 m 어븀첨가 광섬유와 결합하였다. 서큘레이터를 이용하여 한쪽 방향으로 진행되는 고리형 공진기가 이루어지도록 하여 spatial hole burning이 일어나지 않도록 하였다. 사용된 광섬유 격자의 중심 파장은 1547.7 nm, 반사율은 96%, 3 dB 투과 대역 폭은 0.2 nm(~25 GHz)이다. 레이저 공진기 전체의 길이는 24 m이다. 불필요한 반사에 의한 lasing frequency hopping은 발진 파장의 요동을 주므로 광섬유 격자와 선폭 측정 장치 사이에 편광 무관 아이솔레이터를 삽입하였다. 그림 2는 레이저의 출력 특성으로 펌프 광원의 출력 대 레이저의 출력 효율은 8.7%이고, 레이저 출력의 3 mW까지는 단일 주파수 발진을 한다. 레이저의 발진을 광스펙트럼 분석기로 측정된 결과, 중심 파장은 1547.7 nm이고, 반치폭(FWHM)은 0.05 nm로 관측되었다. 결과적으로 레이저의 실제 선폭은 광스펙트럼 분석기의 분해능 한계인 0.05 nm 이하로 판단된다. 레이저의 좁은 선폭을 좀더 세밀하게 측정하기 위하여 그림 1의 단일 주파수 발진 광섬유 레이저에 연결한 마하 쥘너 광섬유 간섭계를 이용한 Delayed self-heterodyne<sup>(6)</sup> 방법을 사용하였다. 구성된 마하 쥘너 간섭계는 지연선으로 140 km의 광섬유를 사용하였으며, 다른 한쪽 경로에는 브래그셀을 삽입하여 55 MHz 주파수 변환이 되도록 하고, 지연선에서의 광손실과 균형을 맞추기 위하여 조절 가능한 감쇄기를 삽입하여, 0.7 kHz의 분해능을 가지고 있다.

그림 3에서 보여진 바와 같이 광섬유 간섭계의 출력을 RF 스펙트럼 분석기로 측정된 결과, 단일 주파수 발진 광섬유 레이저의 선폭이 0.7 kHz로 관측되었다. 이는 레이저 공진기를 편광 유지 광섬유로

구성하였을 시 단일 모드 광섬유로 구성하여 얻어진 5 kHz의 선폭 측정 결과와 비교할 때 더욱 안정되고 좁은 선폭을 얻을 수 있음을 보여준다.

참고문헌

1. C. C. Lee, Y. K. Chen, S. K. Liaw, "Single-Longitudinal-Mode Fiber Laser with a Passive Multiple-Ring Cavity and its Application for Video Transmission", *Opt. Lett.*, 23(5), pp. 358-360 (1998).
2. S. P. Smith F. Zarinetchi, and S. Ezekiel, "Narrow-linewidth stimulated Brillouin fiber laser and applications", *Opt. Lett.*, 16(6), pp. 393-395, (1991).
3. M. Sejka, P. Varming, J. Hubner, and M. Kristensen, "Distributed Feedback Er<sup>3+</sup>-Doped Fiber Laser", *Electron. Lett.*, 31(17), pp. 1445-1446 (1995).
4. K. Iwatsuki, H. Okamura, and M. Saruwatari, "Wavelength Tunable Single Frequency and Single Polarization Er<sup>3+</sup>-Doped Fibre Ring Laser with 1.4 kHz Linewidth", *Electron. Lett.*, 26(24), pp. 2033-2035 (1990).
5. 이정찬, 김명욱, 전영민, 김봉규, 이상배, 김상국, 최상삼, 이상선, "5 kHz의 선폭을 갖는 단일모드 어븀 첨가 광섬유 레이저", 제5회 광전자공학 학술회의, pp. 79-80 (1998).
6. A. Yariv, *Optical Electronics* (fourth edition), Ch. 10, (Saunders College Publishing, 1991).

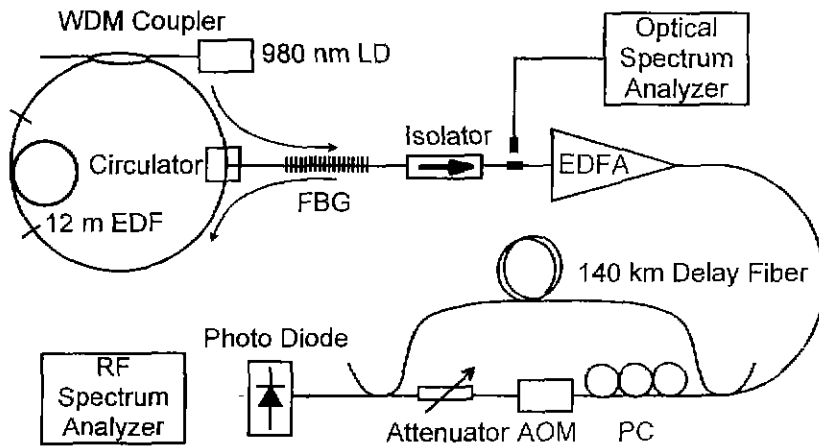


그림 1. 편광 유지 광섬유 레이저와 선폭 측정 장치의 실험 구성도.

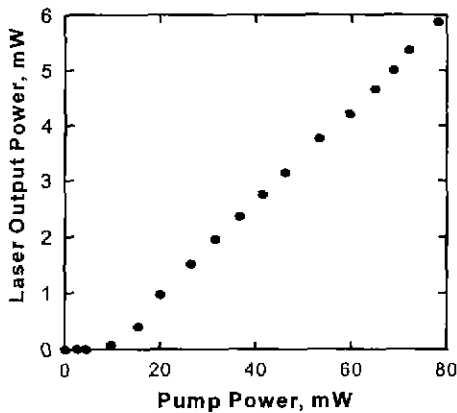


그림 2. 광섬유 레이저의 출력 특성.

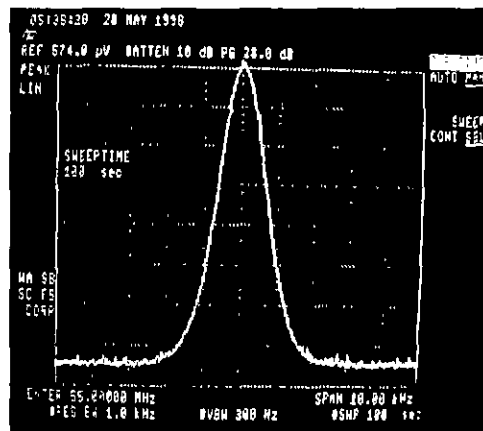


그림 3. 단일 주파수 발진 광섬유 레이저의 0.7 kHz 선폭 측정 결과.