

광섬유 레이저 자이로스코프의 변조주파수에 따른 출력펄스 특성

Modulation Frequency Dependence of Output Pulse Characteristics in Fiber Laser Gyroscope

강명수, 여영배, 홍종범, 장순혁, 용재철, 김병윤
 한국과학기술원 물리학과
 kangms@bawi.org

모드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프(ML-FLaG)⁽¹⁾는 일반 거울과 Sagnac 루프 거울로 이루어진 공진기 안에 이득 매질이 포함된 광섬유 레이저의 형태를 가진다. Sagnac 루프 거울을 서로 반대 방향으로 진행하는 두 빛 사이의 위상차를 변조시키면 루프 거울의 반사율이 변조되는데, 여기서 위상 변조 주파수를 공진기의 종모드 간격과 일치시키면 공진기 왕복 주기에 두 개의 펄스가 들어가는 모드록킹된 펄스열을 얻을 수 있다. 이 두 펄스 사이의 시간 간격은 회전율에 따라서 변하기 때문에, 두 펄스 사이의 시간 간격 변화를 측정하면 회전 각속도를 알아낼 수 있다.

그림 1은 ML-FLaG의 구성도이다. 광섬유의 끝을 유전체로 코팅해서 만든 일반 거울과 약 200 m의 단일 모드 광섬유로 만든 Sagnac 루프 거울로 공진기를 구성하였고, 이득 매질로서 어븀 첨가 광섬유(EDF)를 약 3 m 사용하였다. EDF를 펌핑하기 위해서 980 nm 레이저 다이오드를 사용하였으며, 파장 분할 결합기를 통해 980 nm 펌핑광이 EDF에 입사하도록 하였다. 위상 변조기로는 압전 소자인 원통형 PZT에 광섬유를 수직 바퀴 감아서 만든 것을 사용하였다. 일반 거울과 EDF의 사이에 방향성 결합기를 두어 출력광을 광검출기를 통해 관측할 수 있도록 하였다.

위상 변조 주파수가 공진기의 종모드 간격과 동일한 경우, 펄스들 사이의 이득 경쟁으로 인하여 펄스열이 매우 불안정한 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 문제점은 종모드 간격에서 벗어난 주파수로 위상 변조를 함으로써 해결할 수 있다⁽²⁾. 그런데 이 경우 펄스의 형태가 비대칭적이고, ML-FLaG이 회전할 때 이웃하는 두 펄스의 크기가 서로 달라지는 것이 관찰되었으며, 이들은 지금까지 잘 이해되지 않았던 현상이었다. 이러한 현상을 이해하고 설명하기 위하여 모의실험을 하였다.

모의실험을 하면서 세운 중요한 가정은 EDF의 이득 특성에 관한 것이다. 일반적으로 EDF에의 입력광의 세기가 시간에 따라서 변하면, EDF에서의 이득 계수도 이에 따라서 변조된다. 그런데 ML-FLaG의 경우에는 EDF의 이득 회복 시간 및 이득 포화 시간(100 μ s ~ 1 ms)이 펄스의 시간 간격(약 1.1 μ s)보다 매우 길기 때문에, 펄스열이 EDF에서 겪는 이득 변조를 무시할 수 있고⁽³⁾ 평균 출력에 의해서 이득이 포화된다고 가정할 수 있다. 그리고 위상 변조 주파수가 공진기의 종모드 간격에서 벗어나 있는 것을 고려하기 위하여, 펄스열이 Sagnac 루프 거울에서 경험하는 반사율 변조 형태가 공진기를 왕복할 때마다 위상 변조 주기와 공진기 왕복 시간의 차이만큼 이동한다고 놓았다.

그림 2와 그림 3은 각각 위상 변조 주파수와 회전 각속도를 변화시키면서 실제로 관측되는 출력펄스와 모의실험을 통해 얻은 펄스를 비교해 놓은 것이다. 관측 결과와 모의실험의 결과가 매우 비슷함을 알 수 있고, 이는 모의실험이 ML-FLaG의 실제 출력 특성을 어느 정도 잘 설명할 수 있음을 의미한다. 또한 펄스의 형태가 비대칭적인 현상과 회전할 때 이웃하는 두 펄스의 크기가 서로 달라지는 현상이 모

의 실험을 통해서도 나타났으며, 이러한 현상들은 위상 변조 주파수가 공진기의 종모드 간격과 다르다는 사실에 기인하는 것으로서, Sagnac 루프 거울에서의 반사율 변조 형태를 통해 설명될 수 있다.

[참고문헌]

1. M. Y. Jeon, *et al.*, "Mode-locked fiber laser gyroscope", *Opt. Lett.*, 18, 320-322 (1995).
2. J. B. Hong, *et al.*, "Phase sensitive detection for mode-locked fiber laser gyroscope", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 11, 1030-1032 (1999)
3. E. Desurvire, "Analysis of transient gain saturation and recovery in erbium-doped fibre amplifiers", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1, 196-199 (1989)

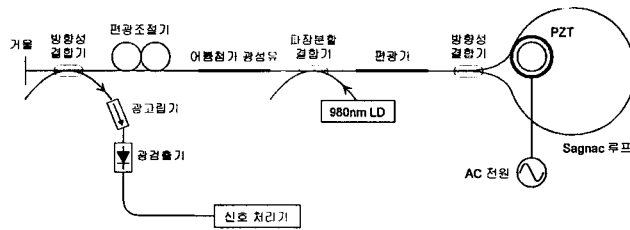


그림 1 ML-FLaG의 실제 구성도

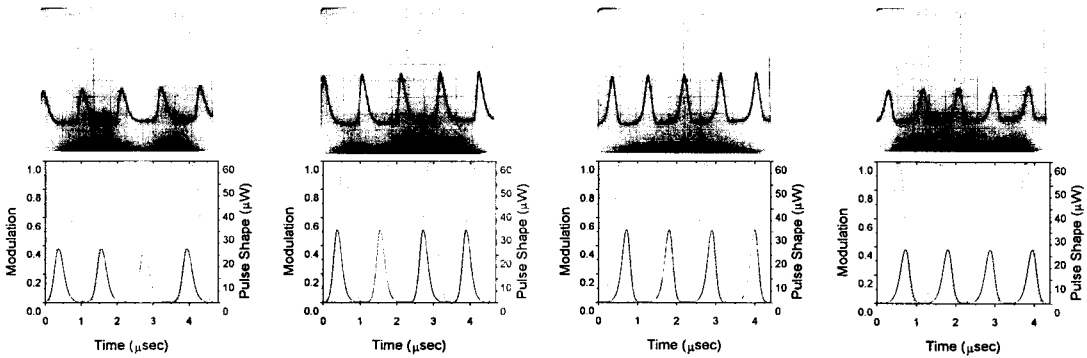


그림 2 위상 변조 주파수가 공진기의 종모드 간격에 대해서, (왼쪽에서부터) 각각 -22kHz, -15kHz, +15kHz, +22kHz 벗어나 있을 때, 실제로 관찰되는 펄스(윗줄)와 모의실험으로부터 얻은 펄스(아랫줄). 아랫줄에서 실선은 펄스 형태, 점선은 Sagnac 루프 거울에서의 반사율 변조 형태를 나타낸다.

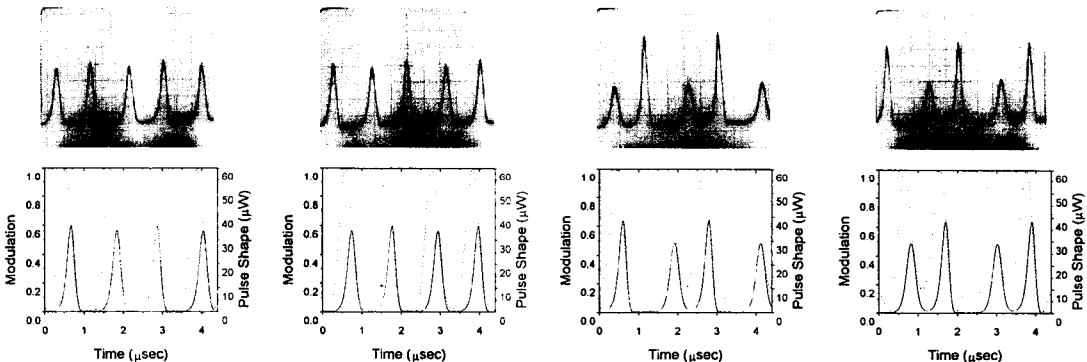


그림 3 회전 각속도가 (왼쪽에서부터) 각각 +50deg/sec, -50deg/sec, +150deg/sec, -150deg/sec 일 때, 실제로 관찰되는 펄스(윗줄)와 모의실험으로부터 얻은 펄스(아랫줄).