

# 유리수차 조화 모드잠김 광섬유 링레이저로부터 발생된 교차 위상 RZ(return-to-zero) 신호의 분산 제어 전송

\*조현정, 황종규, 김백현, 백종현  
한국철도기술연구원 (KRRI)

## Dispersion tolerant transmission of the return-to-zero signal with alternate-phase generated from a rational harmonic mode-locked ring laser

\*Hyun-Jeong Jo, Jong-Gyu Hwang, Baek-Hyun Kim, Jong-Hyun Baek  
Korea Railroad Research Institute (KRRI)  
E-mail : \*hjj@krri.re.kr

### Abstract

We present and demonstrate a novel method of alternate-phase return-to-zero (RZ) signal generation and pulse-amplitude equalization simultaneously in a rational harmonic mode-locked fiber ring laser, using a dual-drive Mach-Zehnder (MZ) modulator. By adjusting the voltages applied to both arms of the modulator, the rational harmonic mode-locked pulse trains are equalized in their amplitudes. In addition to that, the amplitude-equalized pulse trains multiplying the repetition rate at ~10 GHz have alternate  $\pi$  phase difference between adjacent pulses. The alternate-phase RZ signal generated by the proposed method enhances transmission performance through the single-mode fiber (SMF) links without dispersion compensation.

### I. 서론

고속 데이터 전송에 대한 요구를 충족시킬 광시분할다중화(OTDM) 방식의 경우, return-to-zero(RZ) 신호가 단독위상변조 (SPM), 군속도분산(GVD)과 같은 비선형 효과에 강한 특성이 있어서 non-return-to-zero(NRZ) 신호보다 선호된다. 그러나 RZ 신호를 사용할 때 분산과 비선형성은 여전히 남아있어, 최근 교차 위상 RZ 신호가 일반 RZ 신호보다 광섬유의 비선형성에 영향을 적게 받아 향상된 전송 특성을 지닌다는 연구 결과가 발표되었다 [1]. 이는 인접 비트 간에 교차되는 위상이 펄스와 펄스 간의 상호 작용에 의한 비선형 전송 페널티와

ghost 펄스를 억제하기 때문이다. 본 연구에서는 유리수차 조화 모드잠김 광섬유 링레이저 자체의 간단한 구조 내에서 이중 구동 변조기를 이용하여 교차 위상 RZ 신호를 생성하는 새로운 방법을 제안하였다. 이 방법은 특히 4 차 유리수차 조화 모드잠김 레이저에서 이중 구동 마하-젠더 변조기 양쪽 단의 인가 전압을 조절함으로써 펄스 진폭을 균등화하는 동시에 교차 위상을 갖도록 하는 방법이다. 이 위상 교차 RZ 신호 생성 방법은 인접 펄스 간에  $\pi$  위상차를 가지는 고반복률의 펄스열을 생성할 수 있다.

### II. 본론

최근 변조기 대역폭의 제한을 극복하여, 고반복률의 펄스열을 생성하기 위한 유리수차 조화 모드 잠김 방법이 연구 발표되었다 [2]. 유리수차 조화 모드 잠김을 얻기 위해서, 변조 주파수가 조화 모드 잠김 조건으로부터  $f_{cav}/p$  만큼 조금 변화된다. 결국  $f_{cav}$  가 기본 공진 주파수이고,  $n$  과  $p$  가 정수일 때, 변조 주파수는  $f_{mod}=nf_{cav}+f_{cav}/p$  의 관계식으로 표현된다. 유리수차 조화 모드 잠김에 의해 반복률( $f_{rep}$ )이  $f_{rep}=pf_{mod}$  와 같이 RF 변조 주파수의  $p$  정수배가 되면, 각 펄스는 진폭이 서로 다른 특성을 지닌다. 이런 펄스 진폭 불균등을 없애기 위해, 비선형 광섬유 루프 거울(NOLM)을 포함한 다른

레이저를 사용하는 방법, 반도체 광증폭기(SOA)와 광피떡임을 이용하는 방법이 연구 발표되었다 [3]. 본 연구는 앞의 방법들에 비해서 간단한 구조만으로 펄스 진폭을 균등화하며 교차 위상을 갖도록 한다.

그림 1 은 마하-젠더 변조기에 인가되는 변조 전압에 의해 변조기의 전달 함수를 거쳐 생성되는 전송 커브의 관계를 나타낸다. 변조기에 인가하는 변조 전압을 변조기의 스위칭 전압보다 크게 하면, 전달 커브가 더 많은 최대, 최소값을 갖게 되어 유리수차 조화 모드잡김에 의해 불균등한 진폭을 가지는 펄스가 균일한 전달 상수로 인해 균등한 펄스로 변환될 수 있다. 아울러 변조기의 구동 전압이 전달 함수의 영점을 지날 때, 생성되는 전송 커브는  $0, \pi$  의 주기적인 위상을 갖게 된다. 그 결과, 인접 펄스 간에 상대적인 위상차가  $\pi$  로 유지된다.

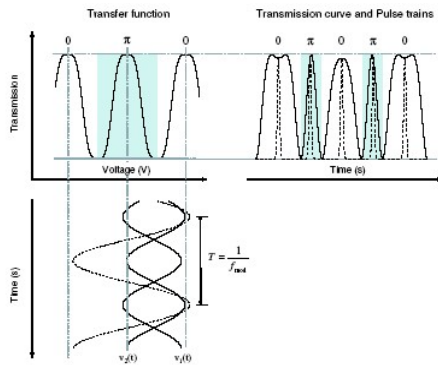


그림 1. 펄스 진폭 균등화와 교차 위상 발생 원리

### III. 구현

4 차 유리수차 조화 모드잡김 링레이저에서 펄스 진폭 균등화를 통해 생성된 10 GHz 의 출력 펄스열은 마하-젠더 변조기를 이용하여 변조되어, 광섬유를 전송한 후 Eye-diagram 과 bit-error-ratio(BER)을 측정하여 향상된 전송 특성을 파악한다. 그림 2 는 일반 RZ 신호, 즉 모든 펄스가 동일 위상을 가지는 RZ(In-phase RZ) 신호와 비교하여, 교차 위상 RZ 신호가 향상된 전송 특성을 지님을 보여준다. 그림 2(a)에서 교차 위상 RZ 신호의 경우, 인접 펄스 간의 위상차에 의한 상쇄 간섭으로 ISI 가 현저히 줄어 있음을 볼 수 있다. 그림 2(b)에서는 20 km 이내의 전송 지점에서 교차 위상 RZ 신호의 경우에 수신 감도가 1dB 향상되었음을 확인할 수 있다.

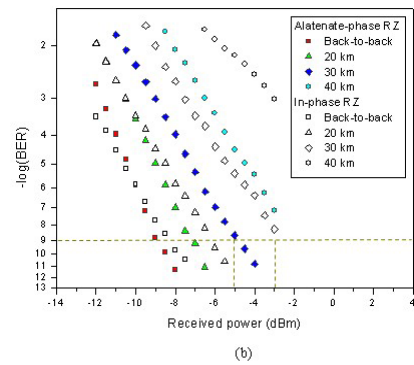
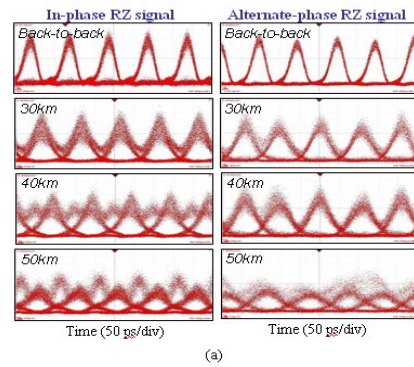


그림 2. 전송 후 측정된 (a) Eye-diagram, (b) BER 특성

### IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서 이중 구동 마하-젠더 변조기를 이용하여, 4 차 유리수차 조화 모드잡김 광섬유 링레이저에서 교차 위상 RZ 신호 생성을 제안하고 실험으로 입증하였다. 제안된 교차 위상 RZ 신호 생성 방법은 고반복율과 분산에 강한 특성을 지니므로, 초고속 광통신 시스템 구성을 위한 보다 안정적인 광 신호원을 만들기 위한 방법으로 사용될 수 있음을 증명하였다.

### 참고문헌

[1] K. S. Cheng, J. Conradi, "Reduction of pulse-to-pulse interaction using alternative RZ formats in 40-Gb/s systems," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 14, pp. 98-100, 2002.

[2] C. Wu and N. K. Dutta, "High-repetition-rate optical pulse generation using a rational harmonic mode-locked fiber laser," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 36, pp.145-150, 2000.

[3] C. G. Lee, Y. J. Kim, H. K. Choi, C. -S. Park, "Pulse-amplitude equalization in a rational harmonic mode-locked semiconductor ring laser using optical feedback," *Opt. Commun.*, Vol. 209, pp.417-425, 2002.