

160 Gbps OTDM 신호 전송을 위한 최적의 전체 잉여 분산

이성렬*

*목포해양대학교

Optimal Net Residual Dispersion for Transmission of Optical Time Division Multiplexed Signal of 160 Gbps

Seong-Real Lee*

*Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

요 약

색 분산과 자기 위상 변조 (SPM; self-phase modulation)를 보상하기 위해 분산 제어 (DM; dispersion management)와 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)가 적용된 전송 링크를 통해 160 Gbps OPDM 신호를 양호하게 전송할 수 있는 전체 잉여 분산량 (NRD; net residual dispersion)을 도출하였다. 160 Gbps OTDM 신호 전송을 위해서는 거의 완벽한 잉여 분산 제거가 필요한 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Net residual dispersion (NRD) available to transmit 160 Gbps OPDM signal is induced in optical transmission links with dispersion management (DM) and optical phase conjugator (OPC) for compensating of chromatic dispersion and self phase modulation (SPM). It is confirmed that the perfect cancellation of accumulated dispersion is necessary to transmit 160 Gbps OTDM signal.

키워드

OTDM, Dispersion Management, Pre(post)compensation, Net Residual Dispersion, Residual dispersion per span, Optical Phase Conjugator, Duty cycle, RZ format

1. 서 론

40 Gbps와 그 이상의 채널 비트율의 파장 분할 다중 (WDM; wavelength division multiplexing) 전송 시스템에서 무에러 (error-free) 전송 거리를 늘리기 위해서는 광섬유의 종류 및 규격의 올바른 선택, 분산(dispersion) 보상 소자의 최적화, 전송 파형의 형식 등의 최적화가 필요하다.

채널 비트율이 40 Gbps인 전송 시스템의 성능에 제한을 주는 근본적인 요소는 광 펄스를 시간 영역에서 퍼지게 하는 색 분산 (chromatic dispersion) 외에 자기 위상 변조 (SPM; self-phase modulation), 상호 위상 변조 (XPM cross-phase modulation)와 4-광파 혼합 (FWM; four-wave mixing) 등의 비선형성(Kerr effects)이다 [1].

WDM 전송에서 이러한 색 분산과 비선형성에 의한 신호 왜곡의 한계를 해결하는데 많은 비용

과 노력이 필요하기 때문에 경제적인 네트워크 구현을 위한 다른 방식으로 광 시간 분할 다중화 (OTDM; optical time-division-multiplexing) 시스템이 제안되고 있다. OTDM 시스템은 160 Gbps와 그 이상의 속도로 전송하는 것을 기본으로 진화되고 있다. 즉 40 Gbps 전송이 빠른 시일 안에 구현될 수 있기 때문에 하나의 동일 파장을 사용하는 40 Gbps의 채널을 4개나 그 이상 각기 다른 타임슬롯에 할당하여 전송하는 것을 기본으로 하고 있다[2]. 이 경우 앞서 언급한 광섬유의 비선형성에 의한 성능 저하를 극복하고자 하는 목적으로 시스템을 설계한다면 각 채널의 신호 파형은 충격 계수를 0.25 이하의 RZ 펄스로 하고, 각기 다른 정보로 변조된 4개의 RZ 신호들을 다른 타임슬롯에 할당하면 하나의 파장으로 160 Gbps의 OTDM 전송이 가능하게 된다.

본 논문의 저자는 그 동안의 연구를 통해 광전송 링크에 분산 제어 (DM; dispersion manage-

ment)를 적용하고 전체 전송로 중간에 광 위상 공액기(OPC; optical phase conjugator)를 적용하면 비선형성과 색 분산에 의해 왜곡된 WDM 채널들을 효과적으로 보상하여 전송 거리와 전송 용량을 늘릴 수 있는 것을 확인하였다[3]-[5]. 이를 위해서는 precompensation, postcompensation과 전체 잉여 분산(NRD; net residual dispersion)의 DM 설계에 필요한 파라미터들이 전체 전송 거리, 채널 용량 및 신호 파형 등에 따라 최적화되어야 하고, 이들이 최적화되면 SPM에 의한 신호 왜곡 보상에 큰 역할을 할 수 있는 광 위상 공액 기술의 이론적 한계인 광 전력과 극부 분산량이 OPC를 중심으로 대칭되어야 하는 한계도 극복되는 것을 확인하였다.

본 논문에서는 충격 계수가 0.1인 40 Gbps의 RZ 펄스 4개가 광 시분할 다중화된 160 Gbps 전송 시스템에서 이들 채널을 최상의 품질로 전송할 수 있는 최적의 NRD를 도출해 보고자 한다.

II. OTDM 전송 시스템의 모델링

그림 1은 본 논문에서 살펴볼 OTDM 전송 시스템의 전체적인 구조를 나타낸 것이다. 우선 송신부의 구성은 4개의 40 Gbps의 채널 각각은 1,550 nm의 동일한 파장의 광 변조기(MOD)에 의해 충격 계수가 0.1인 RZ 펄스가 되도록 모델링하였다. 이들 4개의 RZ 신호는 실제 출력이 40 Gbps로 설계된 OTDM MUX에서 160 Gbps로 다중화되는데, 이는 40 Gbps에 해당하는 타임슬롯의 길이인 25 ps의 1/4인 6.25 ps마다 각각의 펄스가 할당되도록 하였고, 각각의 펄스가 중첩되지 않도록 변조기에서 RZ의 충격 계수를 0.1로 하였고기 때문에 가능하다.

광전송 링크를 구성하는 SMF 구획의 길이 l_{SMF} 는 모두 80 km로 고정하였고, 분산 계수 D_{SMF} 는 17 ps/nm/km, 손실 계수 α_{SMF} 는 0.2 dB/km, 비선형 계수 γ_{SMF} 는 $1.41 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ (@1,550 nm)로 가정하였다. 따라서 각 SMF 구획에서 축적된 총 분산량은 $1,360 \text{ ps/nm}$ ($= 17 \text{ ps/nm/km} \times 80 \text{ km}$)이다. 그리고 각 증계 구간마다 DCF를 추가하여 SMF의 증계 구간에서 축적된 분산을 제어하는 inline DM의 구조로 링크를 설계하고 비선형 왜곡을 보상하기 위해 전체 전

송로 중간, 즉 5번째 증계 구간 다음에 OPC를 두는 구조로 설계하였다. 여기서 DCF의 분산 계수 D_{DCF} 는 -100 ps/nm/km (@1,550 nm), 손실 계수 α_{DCF} 는 0.4 dB/km , 비선형 계수 γ_{DCF} 는 $4.83 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ (@1,550 nm)를 갖도록 하였다.

MUX 바로 다음의 DCF는 길이 l_{pre} 의 변화를 통해 precompensation을, DEMUX 바로 전의 DCF는 길이 l_{post} 의 변화를 통해 postcompensation을 동시에 조절하여 NRD를 결정하도록 하였고, 이들을 제외한 나머지 구간에서의 증계 구간당 잉여 분산(RDPS; residual dispersion per span)은 0 ps/nm 를 l_{DCF} 를 13.6 km로 설정하였다.

전체 전송로 중간에 위치한 OPC는 참고 문헌[3]-[5]에서와 동일한 파라미터를 갖는 HNL-DSF(highly nonlinearity-dispersion shifted fiber)를 비선형 매질로 갖는 구조로 모델링하였다. 그리고 수신기 Rx는 5 dB의 잡음 지수를 갖는 전치 증폭기, 1 nm 대역폭의 광 필터, PIN 다이오드, 버터워스 형태의 펄스 정형 필터와 판별 회로로 구성된 직접 검파(direct detection) 방식의 수신기로 모델링하였다. 수신 대역폭은 $0.65 \times$ 비트율로 가정하였다.

시스템의 성능 분석은 4개의 신호 중 전송 성능이 가장 나쁘게 나타나는 최악 신호(펄스)의 EOP를 가지고 수행하였다.

III. 시뮬레이션 결과 검토

그림 2는 NRD가 각각 -10 ps/nm , 0 ps/nm 와 $+10 \text{ ps/nm}$ 인 전송 링크에 160 Gbps OTDM 신호 중 4번째 채널의 수신 신호의 EOP를 나타낸 것이다. 각 채널의 비트율이 40 Gbps인 WDM 시스템에서의 최악 채널의 EOP 특성 기준 최적의 NRD가 -10 ps/nm 와 $+10 \text{ ps/nm}$ 로 나타낸 결과[5]와는 달리 NRD가 -10 ps/nm 와 $+10 \text{ ps/nm}$ 에서는 색 분산과 SPM에 의한 보상이 제대로 이루어지지 않아서 '0'에 해당하는 광 전력이 '1'에 해당하는 광 펄스의 전력보다 크게 나타나 복소수 값을 갖는 것을 알 수 있다. 반면 NRD가 0 ps/nm 인 경우 고려한 채널의 모든 입사 전력에서 0.5 이하의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 그림

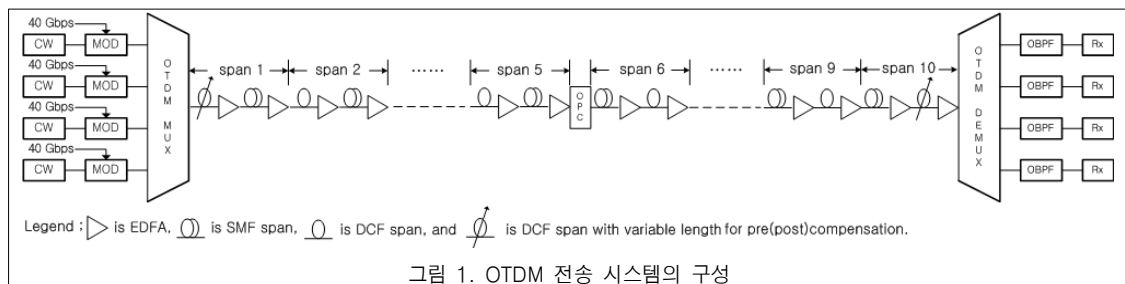


그림 1. OTDM 전송 시스템의 구성

2의 결과는 WDM 시스템과 달리 OTDM 전송을 위한 분산 제어는 0 ps/nm에 가깝게 완벽하게 이루어져야 하는 것을 의미한다.

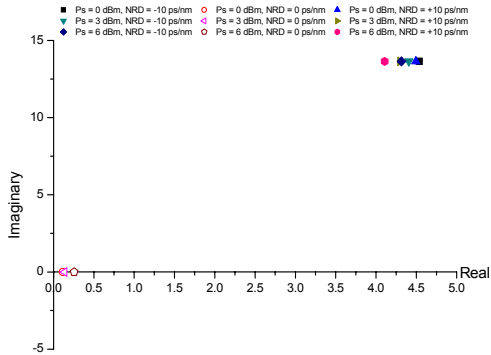


그림 2. 4번째 채널의 NRD별 EOP

그림 3은 그림 2의 결과에 기초하여 precompensation과 postcompensation에 의해 조절되는 NRD가 각각 -1 ps/nm, 0 ps/nm와 +1 ps/nm로 설계된 전송 링크를 통해 160 Gbps OTDM 신호를 전송한 경우 40 Gbps의 4개의 채널 중 최악 채널의 EOP를 채널의 입사 전력에 따라 나타낸 것이다. 입사 전력이 -3 dBm 이하의 비교적 작은 경우에는 최적 NRD가 +1 또는 -1 ps/nm로 완벽한 잉여 분산 제거에 대해 여유가 있어도 되지만 그 이상의 입사 전력을 갖는 신호의 전송을 위한 최적 NRD는 0 ps/nm로 완벽한 잉여 분산 제거가 필요한 것을 알 수 있다.

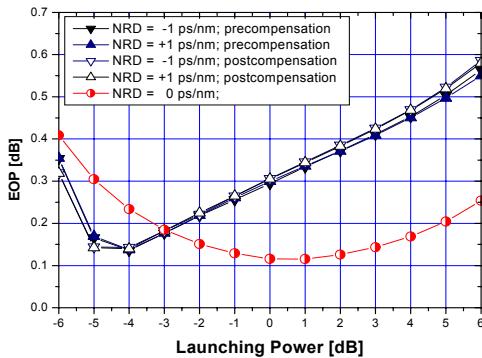


그림 3. 입사 전력에 따른 EOP

IV. 결 론

충격 계수가 0.1인 40 Gbps의 RZ 펄스 4개가 광 시분할 다중화된 160 Gbps 전송 시스템에서 전체 전송 링크 중간에 OPC를 두고 precompensation과 postcompensation의 조절을 통해 NRD

를 결정하는 광전송 링크를 통해 이들 채널을 최상의 품질로 전송할 수 있는 최적의 NRD를 도출해 보았다.

각 채널의 비트율이 40 Gbps인 WDM 시스템에서의 최악 채널의 EOP 특성 기준 최적의 NRD가 -10 ps/nm와 +10 ps/nm로 나타난 결과와는 달리 입사 전력이 -3 dB 이상의 OTDM 신호의 고품질 전송을 위한 최적 NRD는 0 ps/nm로 완벽한 잉여 분산 제거가 필요한 것을 알 수 있었다.

향후 연구에서는 본 논문의 결과를 바탕으로 하여 광전송 용량을 높일 수 있는 기술인 OTDM/WDM 전송 링크에 대해 연구해 보고자 한다.

참고문헌

- [1] N. Shibata, K. Nosu, K. Iwashita and Y. Azuma, "Transmission limitations due to fiber nonlinearities in optical FDM systems," *IEEE J. Select. Areas in Comm.*, Vol.8, No.6, pp.1068-1077, 1990.
- [2] E. Ciaramella, G. Contestabile, A. D'Errico, C. Loiacono, and M. Presi, "High-Power Widely Tunable 40-GHz Pulse Source for 160-Gb/s OTDM Systems Based on Nonlinear Fiber Effects", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16, no. 3, pp. 753-755, 2004.
- [3] 이성렬, "집중형 분산 제어 WDM 전송 시스템에서 Mid-span spectral inversion 기술", *한국통신학회논문지*, 제 33권 1호, pp. 7 ~15, 2008.
- [4] 이성렬, 조성연, "집중형 분산 제어 시스템에서 NRZ 변조 형식 대 RZ 변조 형식", *한국해양정보통신학회논문지*, 제 12권 제 2호, pp. 327~335, 2008. 2. 28
- [5] 이성렬, "분산 제어와 OPC를 갖는 광 전송 링크를 이용한 WDM 신호의 Q-factor 개선", *한국항행학회논문지*, 제 13권 1호, pp. 27~34, 2009. 2. 28