

RDPS 분포가 랜덤한 분산 제어 광 링크에서 RDPS 편차에 따른 시스템 성능

이성렬*

*목포해양대학교

System Performance Depending on the Deviation of RDPS in Dispersion
Managed Optical Transmission Link with Random Distribution of RDPS

Seong-Real Lee*

*Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

요 약

광전송 링크의 유연한 구성을 위해 중계 구간의 RDPS(residual dispersion per span)가 랜덤하게 분포하는 광전송 링크에서 RDPS 편차에 따른 분산 특성과 시스템 성능을 살펴보았다. 전송 링크를 구성하는 중계 구간의 RDPS 편차가 적을수록 최적 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)에서 유효 입사 전력의 크기가 신장되는 것을 확인하였다. 또한 RDPS 편차가 적을수록 WDM 채널의 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위도 넓어지는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

The compensation characteristics are investigated as a function of the deviation of residual dispersion per span (RDPS) in the optical transmission links with a randomly distributed RDPS and optical phase conjugation (OPC). The simulation results show that the effective launch power are more increased and the effective net residual dispersions (NRDs) are more increased, as the deviation of RDPS is more narrow.

키워드

Dispersion Management, Residual Dispersion per Span, Net Residual Dispersion, Optical Phase Conjugator, Group velocity dispersion, Self phase modulation,

1. 서 론

채널 당 전송 용량이 40 Gbps 이상인 파장 분할 다중 (WDM; wavelength division multiplexing) 시스템의 전송 성능에 영향을 미치는 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)의 색 분산 (chromatic dispersion)과 자기 위상 변조 (SPM; self-phase modulation) 등의 비선형 Kerr 효과를 보상하는 기술로 SMF에 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 추가하는 분산 제어 (dispersion management)[1]와 전체 전송로 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugation)를 두는 기술[2], 그리고 이 두 기술을 결합한 기술[3],[4]은 가장 대표적이다.

본 논문의 저자도 그간의 연구를 통해 WDM 전송 링크에 OPC와 DM을 결합하여 시스템 성능

을 향상시킬 수 있다는 것을 알아보았다[5],[6]. 그러나 OPC를 전송 링크에 적용하는데 있어 OPC는 전체 전송로 중간에 두어야 하기 때문에 다양한 네트워크 형태를 만들 수 없다는 문제를 내포하고 있다.

이를 극복하기 위한 방법으로 광 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)을 랜덤하게 분포시킨 광 링크 구조를 제안하였고, 이러한 랜덤 분포 링크에 40 Gbps 채널들을 WDM으로 전송하는 경우 입사 전력은 어느 정도 손해를 보지만 효율적인 전송이 가능하다는 것을 확인하였다[6].

광 전송 링크의 RDPS를 랜덤하게 분포시킨 경우 RDPS 편차를 다양하게 설정할 수 있다. 하지만 저자가 아는 한 RDPS 편차에 따른 시스템 성능을 분석한 연구는 아직 보고되지 않았다.

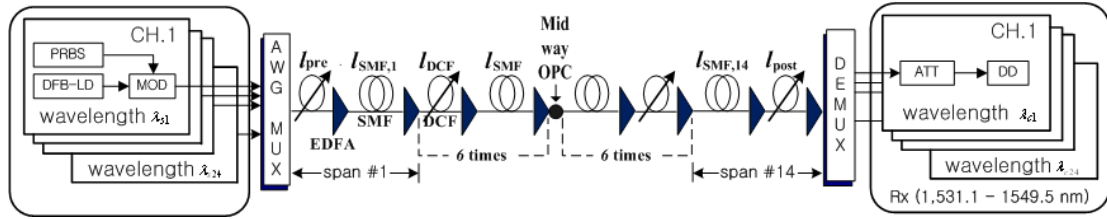


그림 1. 광전송 링크와 WDM 시스템의 구성

표 1. RDPS 편차별 랜덤 RDPS 값과 DCF 길이

deviation		values					
10	RDPS	120	130	140	160	170	180
	$l_{DCF,n}$	12.4	12.3	12.2	12.0	11.9	11.8
20	RDPS	90	110	130	170	190	210
	$l_{DCF,n}$	12.7	12.5	12.3	11.9	11.7	11.5
50	RDPS	0	50	100	200	250	300
	$l_{DCF,n}$	13.6	13.1	12.6	11.6	11.1	10.6
100	RDPS	-150	-50	50	250	350	450
	$l_{DCF,n}$	15.1	14.1	13.1	11.1	10.1	9.1

따라서 본 연구에서는 랜덤 분포 전송 링크의 RDPS 편차가 10, 20, 50, 100 ps/nm인 4가지로 각기 다른 WDM 전송 링크의 성능 해석을 통해 광 전송 링크의 유연한 구성을 위한 RDPS 랜덤 분포 조건을 도출해 보고자 한다.

II. 광전송 링크와 시스템의 모델링

그림 1은 본 연구에서 살펴보고자 하는 OPC와 DM이 적용된 광전송 링크와 WDM 전송 시스템의 구조를 나타낸 것이다. 전송 링크는 전체 전송 거리의 중간에 있는 OPC를 중심으로 전반 구획 (former half section)과 후반 구획 (latter half section) 각각 7개의 중계 구간으로 구성된다. 모든 중계 구간의 손실 계수 α_{SMF} 는 0.2 dB/km, 비선형 계수 γ_{SMF} 는 $1.35 W^{-1}km^{-1}$ (@1,550 nm), 분산 계수 D_{SMF} 는 17 ps/nm/km (@ 1,550 nm)로 동일하게 모델링하였다. DCF의 손실 계수 α_{DCF} 는 0.6 dB/km, 비선형 계수 γ_{DCF} 는 $5.06 W^{-1}km^{-1}$ (@1,550 nm)로 모든 중계 구간에 대해 동일하게 하였고, 분산 계수 D_{DCF} 는 -100 ps/nm/km로 고정하였다.

각 중계 구간의 랜덤한 RDPS는 DCF의 길이 $l_{DCF,n}$ 로 조절하도록 하였고, RDPS를 제한 없이 랜덤하게 분포시키면 무수히 많은 경우의 수가 생겨 시뮬레이션 수행에 어려움이 있기 때문에 전체 전송 링크 평균 RDPS가 150 ps/nm가 되도록 각 중계 구간의 RDPS가 랜덤하게 선택되도록 설계하였다.

본 연구에서 살펴보고자 하는 랜덤 분포의 경우 RDPS 편차의 종류를 4가지로 고려하였고, 각

각의 RDPS 값과 DCF의 길이는 표 1과 같다.

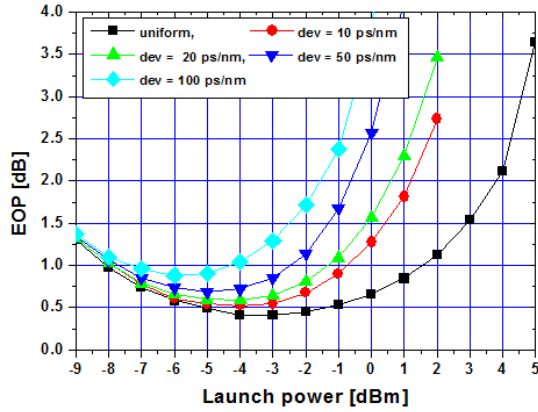
송신기는 소광비 (ER; extinction ratio)가 10 dB인 40 Gbps의 2차 가우시안 펄스 RZ 형식으로 광 신호를 생성하도록 모델링하였다. 또한 수신기는 5 dB의 잡음 지수를 갖는 전치 증폭기, 1 nm 대역폭의 광 필터, PIN 다이오드, 버터워스 형태의 펄스 정형 필터와 판별 회로로 구성된 직접 검파 (direct detection) 방식의 수신기로 모델링하였다.

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

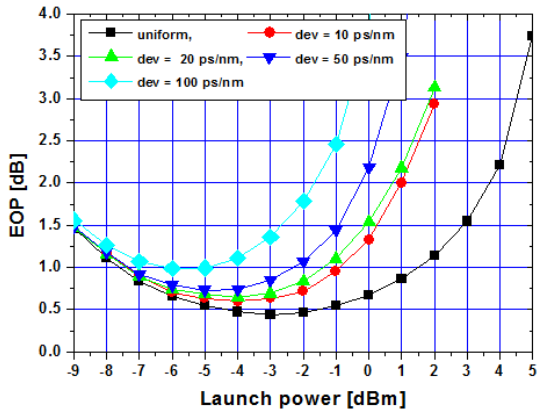
그림 2는 WDM 채널 중 전송 성능이 최악인 채널의 눈 열림 패널티 (EOP; eye opening penalty)를 입사 전력에 따라 나타낸 것이다. 중계 구간의 RDPS 분포가 균일한 경우에 비해 RDPS가 랜덤하게 분포하면 전송 성능이 저하되고 저하 정도는 RDPS 편차가 클수록 증가하는 것을 알 수 있다.

수신 EOP의 성능 기준을 1 dB로 한다면, RDPS 분포를 랜덤하게 하여 전송 링크를 구성한 경우 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)을 precompensation으로 조절하는 링크가 조금 더 시스템 성능을 신장시킬 수 있다는 것을 동시에 알 수 있다.

그림 3은 입사 전력에 따른 유효 NRD를 알아 보기 위하여 1 dB EOP 이하가 되는 NRD 범위를 나타낸 것이다. 앞선 그림 2의 결과와 마찬가지로 RDPS 랜덤 분포의 경우 RDPS 편차가 클수록 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위가 줄어드는 것을 알 수 있다.

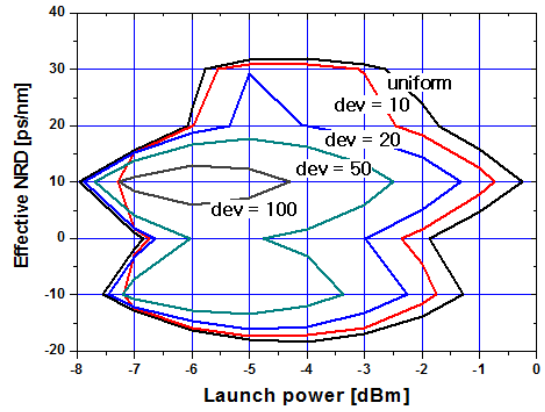


(a) precompensation

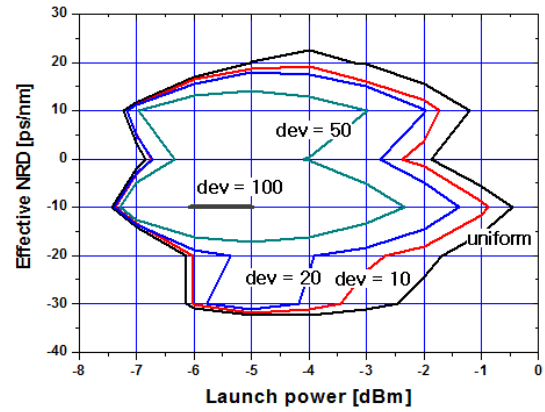


(b) postcompensation

그림 2. RDPS 편차에 따른 입사 전력 대 눈 열림 패널티



(a) precompensation



(b) postcompensation

그림 3. 1 dB EOP 등고선

그러나 RDPS를 랜덤하게 분포시키는 경우 RDPS 편차를 10 ps/nm로 적게 하면 어느 정도의 입사 전력 (-2 dBm 이하)에서는 유효 NRD 범위를 균일한 분포에서와 큰 차이 없이 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

지금까지 광전송 링크의 유연한 구성을 위해 중계 구간의 RDPS가 랜덤하게 분포하는 광전송 링크에서 RDPS 편차에 따른 분산 특성과 시스템 성능을 살펴보았다. 전송 링크를 구성하는 중계 구간의 RDPS 편차가 적을수록 최적 NRD에서 유효 입사 전력의 크기가 신장되는 것을 확인하였다. 또한 RDPS 편차가 적을수록 WDM 채널의 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위도 넓어지는 것을 확인하였다.

결론적으로 RDPS 편차를 10 ps/nm 정도로 적게 하고 이들을 랜덤하게 분포시킴으로써 초대용량 장거리 광 네트워크를 유연하게 구성시킬 수 있다는 가능성을 확인하였다.

참고문헌

- [1] F. Forghieri, R. W. Tkach, and A. R. Chraplyvy, "Dispersion Compensating Fiber: Is There Merit in the Figure of Merit?," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 9, No. 7, pp.907~972, 1997.
- [2] X. Xiao, S. Gao, Y. Tian, and C. Yang, "Analytical optimization of the net residual dispersion in SPM-limited dispersion-managed systems," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 24, No. 5, pp. 2038~2044, 2006.
- [3] P. Minzioni and A. Schiffrini, "Unifying theory of compensation techniques for intrachannel nonlinear effects," *Opt. Exp.*, Vol. 13, No. 21, pp. 8460-8468, 2005.
- [4] A. Chowdhury and R.-J. Essiambre, "Optical phase conjugation and pseudo-linear transmission," *Opt. Lett.*, Vol. 29,

- No. 10, pp. 1105~1107, 2004.
- [5] S. R. Lee, "Compensation characteristics of distorted WDM signals depending on distribution patterns of SMF length and RDPS," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 158~164, 2014.
- [6] S. R. Lee, "Dispersion Management and Optical Phase Conjugation in Optical Transmission Links with a Randomly Distributed Single-Mode Fiber Length," *J. of Inform. and Comm. Converg. Eng.*, Vol. 11, No. 1, pp. 1~6, 2013.
- [7] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, 3rd ed., Academic Press, 2001.