
분산 제어가 적용된 광전송 링크에서 RDPS의 랜덤 분포 조건

이성렬*

*목포해양대학교

Condition of Random Distribution of Residual Dispersion Per Span (RDPS) in Optical Transmission Links with Dispersion Management

Seong-Real Lee*

*Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

요 약

축적된 분산(dispersion)과 비선형 효과에 의한 광 신호의 왜곡을 보상하기 위해 중계 구간의 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)이 랜덤하게 분포하는 분산 제어 (DM; dispersion management)가 적용되고 전체 전송로 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 둔 광전송 링크를 통해 40 Gbps 광 신호를 최상의 성능으로 전송하기 위한 RDPS 랜덤 분포 조건을 도출하였다.

ABSTRACT

Condition of random distribution of residual dispersion per span (RDPS) for transmission of 40 Gbps optical signal with good performance through optical transmission links with dispersion management (DM) of random RDPS distribution and optical phase conjugator (OPC) is induced in this paper.

키워드

Random distribution of residual dispersion per span (RDPS), Dispersion Management, Net Residual Dispersion, Optical Phase Conjugator, GVD, Kerr effects

1. 서 론

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)를 통과하는 광 신호가 겪게 되는 그룹 속도 분산 (GVD; group velocity dispersion)과 자기 위상 변조 (SPM; self phase modulation) 등의 비선형 효과 (nonlinear effects)에 의한 광 신호 왜곡은 대용량 정보의 전송과 장거리 전송에 제한을 준다[1],[2]. 저자는 그동안의 연구를 통해 광전송 링크 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 두고, 전송 링크를 구성하는 각 중계 간격마다 SMF에서 축적된 분산을 제어하는 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 추가하는 inline 분산 제어 (DM; dispersion management)를 적용하면 신호 왜곡이 크게 보상되어 장거리 및 960 Gbps급 이상의 대용량 WDM 전송이 가능하다는 것을 확인하였다 [3]-[6].

그러나 앞선 연구들에서의 전송 링크 구조는

중계 거리 당 잉여 분산량 (RDPS; residual dispersion per span)을 고정해 놓고 precompensation(또는 postcompensation)을 OPC를 중심으로 한쪽 반 전송 구간 (half section)의 잉여 분산량이 0 ps/nm가 되도록 하고 postcompensation(또는 precompensation)의 조절로 최적의 전체 잉여 분산량 (NRD; net residual dispersion)을 결정하는 방식으로 이루어졌다. 앞선 연구를 통해 전송 링크의 구체적인 구조에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 일반적으로 NRD의 최적 값은 +10 ps/nm인 것을 알 수 있었다.

그러나 지금까지 사용하였던 전송 링크의 구조를 통해 전송 용량 면이나 전송 거리 면에서 매우 효과적인 전송을 얻을 수 있었지만 RDPS를 고정시키는 구조는 다양한 형태의 광전송 네트워크를 위한 융통적인 링크 구조에 제한을 주는 단점을 동시에 갖게 한다.

따라서 본 논문에서는 SMF로 구성된 1,120 km의 전체 전송 링크의 중간에 OPC를 두고 80 km

의 SMF 링크마다 DCF를 추가시킨 구조에서 DCF의 길이의 조절로 RDPS가 매 광 증계 간격 (span)마다 랜덤하게 분포하는 구조에서 40 Gbps 광 신호를 양호하게 전송할 수 있는 조건을 도출해보고자 한다.

II. 광전송 링크와 시스템의 모델링

그림 1은 본 논문에서 살펴볼 RDPS의 분포가 랜덤한 광전송 시스템의 전체적인 구조를 나타낸 것이다. 우선 광전송 링크는 OPC를 중심으로 송신부(Tx)부터 OPC까지의 전반 전송 구간 (former half section)과 OPC부터 수신부(Rx)까지의 후반 전송 구간 (latter half section)으로 나뉜다.

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 ps/nm (= 17 ps/nm/km × 80 km)이다. 그리고 모든 DCF의 분산 계수 D_{DCF} 는 -100 ps/nm/km로, 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)로 가정하였다.

본 논문에서 살펴보고자 하는 RDPS의 분포를 랜덤하게 하기 위하여 총 14개의 span 중 13개의 각 span의 DCF의 길이 ($l_{DCF,n}, n = 1, 2, \dots, 14$)를 12.9 ~ 14.3 km (0.1 km 간격) 중 하나로 (즉 RDPS가 -70 ~ +70 ps/nm 중 하나) 선택되게 하였고, 나머지 한 span의 DCF의 길이는 선택된 13개의 DCF의 길이에 의한 모든 RDPS에 따라 NRD가 +10 ps/nm가 되도록 선택되도록 하였다. 즉 13개의 RDPS의 합이 -60 ps/nm이었다면 나머지 한 span의 RDPS는 +70 ps/nm가 되도록 DCF의 길이를 결정하였다.

그림 1의 송신기는 분포 케환 레이저 다이오드 (DFB-LD; distributed feedback laser diode)로 DFB-LD의 중심 파장은 1,550 nm로 하였고, 외부 변조기에 의해 소광비 (ER; extinction ratio)가 10 dB인 2차 가우시안 펄스 RZ 형식으로 광 신호를 생성하도록 모델링하였다.

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 회로

로 구성된 직접 검파 (direct detection) 방식의 수신기로 모델링하였다. 수신 대역폭은 0.65 x 비트율로 가정하였다.

III. 시뮬레이션 결과 검토

그림 2는 NRD가 +10 ps/nm가 되도록 14개 span의 RDPS가 랜덤하게 분포하는 다양한 경우 각각에서의 눈 열림 패널티 (EOP; eye opening penalty)의 수신 성능을 광 펄스의 입사 전력에 따라 나타낸 것이다. 전송 링크의 NRD가 +10 ps/nm를 유지하더라도 각 span의 RDPS 분포에 따라 EOP가 다양하게 수신되는 것을 알 수 있다. 즉 고려한 입사 전력의 대부분의 범위 내에서 EOP가 2 dB 이하로 얻어지는 경우 (저자는 이 경우를 ‘양호한 수신 성능’이라고 정의), 2 dB부터 측정 가능한 값 이하로 얻어지는 경우 (저자는 이 경우를 ‘나쁘지 않은 수신 성능’이라고 정의), 그리고 그림 2에는 나타낼 수 없었지만 ‘0’의 수신 레벨이 ‘1’의 수신 레벨을 초과하여 EOP가 복소수로 나타나는 경우 (저자는 이 경우를 ‘최악의 수신 성능’이라고 정의)의 3가지로 나타나는 것을 확인하였다.

그림 3은 그림 2의 결과의 원인을 알아보기 위해 각 span에서의 RDPS의 구체적 값과 이들 분포보다 송신부부터 OPC까지 구간의 NRD와 OPC부터 수신부까지 구간의 NRD를 3가지의 수신 성능에 따라 나타낸 것이다. ‘양호한 수신 성능’을 얻기 위해서는 RDPS가 랜덤하게 분포하더라도 OPC를 중심으로 각 구간의 NRD가 -10 ~ +20 ps/nm의 값을 가져야 한다는 것을 알 수 있었다. 즉 예를 들어, 각 span의 RDPS의 랜덤 분포에 의해 송신부부터 OPC까지 구간의 NRD가 -10 ps/nm 또는 +10 ps/nm가 되었다면 OPC부터 수신부까지 구간의 각 span의 RDPS 분포는 이 구간에서의 NRD가 각각 +20 ps/nm 또는 0 ps/nm가 될 수 있도록 분포하여야 하는 것을 알 수 있었다.

반면 ‘나쁘지 않은 수신 성능’은 각 구간의 NRD가 ‘양호한 수신 성능’이 얻어지는 조건을 제외한 -40 ~ +50 ps/nm (즉, -40, -30, -20, 30, 40, 50)의 값을 가져야 한다는 것을 알 수 있었고, 각 구간의 NRD가 그 이상의 값을 가지도록 각 span의 RDPS가 분포하면 ‘최악의 수신 성능’이 얻어지는 것을 확인하였다.

EOP가 측정 불가능할 정도로 수신 성능이 매우 나쁘게 나타나는 을 얻기 위해서는 RDPS가 랜덤하게 분포하더라도 OPC를 중심으로 각 구간

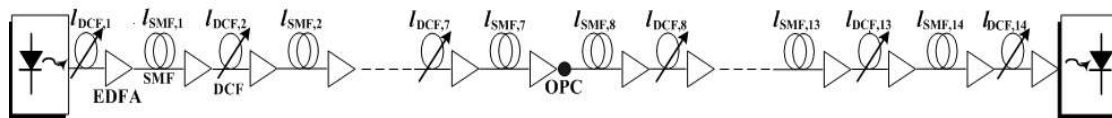


그림 1. 광전송 링크의 구성

의 NRD가 $-10 \sim +20$ ps/nm의 값을 가져야 한다는 것을 알 수 있었다.

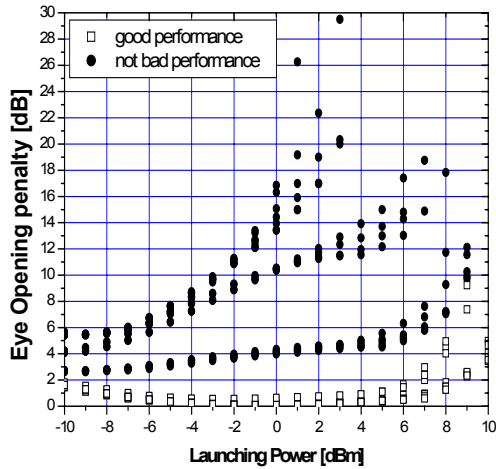


그림 2. 입사 전력에 따른 EOP

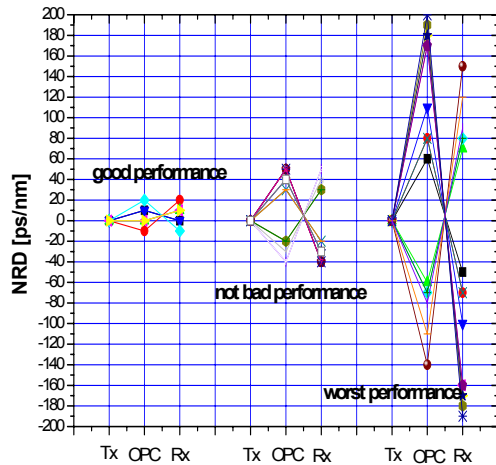


그림 3. 각 구간의 NRD 비교

IV. 결 론

RDPS가 랜덤하게 분포하는 DM이 적용되고 전체 전송로 중간에 OPC를 둔 광전송 링크를 통해 40 Gbps 광 신호를 최상의 성능으로 전송하기 위한 RDPS 랜덤 분포 조건을 도출하였다. NRD가 최적 값인 $+10$ ps/nm로 설정되었다고 하더라도 송신부부터 OPC까지의 NRD와 OPC부터 수신부까지의 NRD에 따라 수신 성능이 크게 달라지는 것을 확인하였다. 송신부부터 OPC까지의 NRD, 또는 OPC부터 수신부까지의 NRD가 $-10 \sim +20$ ps/nm이 되어야

만 양호한 보상이 얻어지는 것을 알 수 있었다.

향후 연구에서는 본 논문의 결과를 바탕으로 하여 다양한 광전송 네트워크 구조에 맞게 설계될 수 있도록 다양한 랜덤 분포의 RDPS를 갖는 광전송 링크가 적용된 WDM 전송 신호의 성능 개선 기술 등에 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] A. R. Chraplyvy, "Limitations on lightwave communications imposed by optical-fiber nonlinearities," *J. Lightwave Technol.*, Vol.8, No.10, pp.1548-1557, 1990.
- [3] 이성렬, "집중형 분산 제어 WDM 전송 시스템에서 Mid-span spectral inversion 기술", *한국통신학회논문지*, 제 33권 1호, pp. 7~15, 2008.
- [4] 이성렬, 조성언, "집중형 분산 제어 시스템에서 NRZ 변조 형식 대 RZ 변조 형식", *한국해양정보통신학회논문지*, 제 12권 제 2호, pp. 327~335, 2008. 2. 28
- [5] 이성렬, "Inline 분산 제어 광전송 링크에서 전체 잉여 분산", *한국향행학회논문지*, 제 12권 4호, pp. 311~316, 2008.
- [6] 이성렬, "분산 제어와 OPC를 갖는 광 전송 링크를 이용한 WDM 신호의 Q-factor 개선", *한국향행학회논문지*, 제 13권 1호, pp. 27~34, 2009. 2. 28