

---

광 위상 공액기를 중심으로 각 전송 구획에서 하나의 단일 모드  
광섬유 증계 구간에만 RDPS를 갖는 광전송 링크의 최적 설계 조건

이성렬\*

\*목포해양대학교

Optimal Design Condition of Optical Links with Residual Dispersion Per Span  
(RDPS) Presented in Only One Single Mode Fiber Span in Each Transmission  
Session Respect with Optical Phase Conjugator

Seong-Real Lee\*

\*Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

요 약

전체 전송로 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 둔 광전송 링크에서 과장 분할 다중 (WDM; wavelength division multiplexed) 송신기부터 OPC까지의 전반 전송 구획과 OPC 부터 WDM 수신부까지의 후반 전송 구획 각각을 구성하는 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)의 증계 구간 (span)들 중 단지 하나의 증계 구간에서만 RDPS(residual dispersion per span)만 갖고 나머지 증계 구간에서는 RDPS가 0 ps/nm로 설계된 전송 링크에서 WDM 신호를 최상의 성능으로 전송하기 위한 최적의 링크 구조를 도출하였다.

ABSTRACT

Optimal link configuration in optical link with concentrated residual dispersion per span (RDPS) in only one fiber span and 0 ps/nm of RDPS in other fiber spans of each half transmission section with respect to optical phase conjugator (OPC) placed at middle of total transmission length is induced in this paper.

키워드

Residual dispersion per span (RDPS), Concentrated RDPS, Dispersion Management, Net Residual Dispersion, Optical Phase Conjugator, GVD, Kerr effects

1. 서 론

WDM 광전송 시스템에서 대용량 정보의 전송과 장거리 전송에 제한을 주는 주요 요소는 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)를 전파하는 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 왜곡이다 [1],[2]. 저자는 그동안의 연구를 통해 광전송 링크 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 두고, 전송 링크를 구성하는 각 증계 간격마다 SMF에서 축적된 분산을 제어하는 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensa-

ting fiber)를 추가하는 분산 제어 (DM; dispersion management)를 적용하면 신호 왜곡이 크게 보상되어 장거리 및 960 Gbps급 이상의 대용량 WDM 전송이 가능하다는 것을 확인하였다[3]-[6].

DM이 적용된 링크 구조에서 모든 증계 간격마다 일정한 증계 구간 당 잉여 분산량 (RDPS; residual dispersion per span)을 설정하고 이들의 총 축적 분산량으로 NRD를 결정하는 구조가 일반적이다. 저자가 아는 한 전송 링크를 구성하는 모든 증계 구간 중 특정한 몇 개의 증계 구간의 RDPS를 다른 증계 구간의 RDPS보다 크게 집중적으로 갖게 한 전송 링크에 대한 연구는 아직까지 보고되지 않았다. 만일 이 방식으로 설계된 전송 링크를 통해 전달된 광 신호의 수신 성능이

크게 개선된다면 WDM 전송 링크로써 매우 유리하다고 할 수 있다. 또한 이 방식은 모든 중계 구간의 RDPS를 다양하게 설정하는 것이 아닌 단지 소수의 중계 구간의 구조만 달라지기 때문에 링크 설계의 측면에서도 크게 복잡하지 않다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 전체 전송 링크 중간에 OPC가 적용되고, OPC를 중심으로 송신부부터 OPC까지의 전반 전송 구획 (former half section)과 OPC부터 수신부까지의 후반 전송 구획 (latter half section) 각각의 한 중계 구간에서만 집중적으로 RDPS를 갖도록 설계된 전송 링크에서 WDM 채널들을 최상으로 보상하는 최적의 링크 설계 조건을 도출하고자 한다.

## II. 광전송 링크와 시스템의 모델링

그림 1은 본 연구에서 살펴보고자 하는 WDM 전송 시스템의 구조를 나타낸 것이다. 전송 링크는 전체 전송 거리의 중간에 있는 OPC를 중심으로 전반 전송 구획과 후반 전송 구획 각각 7개의 중계 구간 (span)으로 구성된다. 그림 1의 전반과 후반 전송 구획에서의 모든 중계 구간의 주 전송로인 SMF의 손실 계수  $\alpha_{SMF}$ 는 0.2 dB/km, 비선형 계수  $\gamma_{SMF}$ 는  $1.41 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$  (@1,550 nm), 분산 계수  $D_{SMF}$ 는 17 ps/nm /km (@1,550 nm)로 하였다. 그리고 14개의 모든 SMF의 길이  $l_{SMF}$ 는 80 km로 설정하였다. 따라서 한 중계 구간의 SMF에서 축적되는 분산량은 1,360 ps/nm이다. 각 중계 구간의 SMF에서 축적되는 분산량을 제거하거나 줄여주기 위해 추가되는 DCF의 손실 계수  $\alpha_{DCF}$ 는 0.4 dB/km, 비선형 계수  $\gamma_{DCF}$ 는  $4.83 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$  (@1,550 nm), 분산 계수  $D_{DCF}$ 는 -100 ps/nm/km로 모두 동일하게 가정하였다.

전반 전송 구획에서는 첫 번째와 임의로 선택된 하나의 중계 구간을 제외한 나머지 전송 구간의 RDPS는 모두 0 ps/nm, 즉  $l_{DCF,n} = 13.6 \text{ km}$  ( $n = 2, 3, \dots, 7$ )로 설정하였다. 그리고 후반 전송 구획에서는 14번째와 임의로 선택된 하나의 중계 구간을 제외한 나머지 전송 구간의 RDPS는 모두 0 ps/nm, 즉  $l_{DCF,n} = 13.6 \text{ km}$  ( $n = 8, 9, \dots, 13$ )로 설정하였다. 그리고 집중 RDPS의 크기를 1,320 ps/nm로 하였는데 이를 위해 전반과 후반 전송 구획에서 각각 선택된 하나의 중계 구간에서의 DCF 길이  $l_{DCF}$ 는 0.4 km로 설정하여 구성시켰다.

만일 집중 RDPS가 2번째 구간에 적용되면 후반

전송 구획에서의 6개 중계 구간 중 하나의 구간에 집중 RDPS를 적용하였다. 즉 전반 (또는 후반) 전송 구획에서 선택된 하나의 중계 구간에 대해 후반 (또는 전반) 전송 구획에서 선택될 수 있는 중계 구간의 경우의 수는 6이기 때문에 각 전송 구획에서 각각 하나의 중계 구간에 집중 RDPS가 적용될 수 있는 총 경우의 수는 36이다. 본 논문에서 36가지의 집중 RDPS 조합을 '#중계구간번호-#중계구간번호'로 표현한다. 즉 '#3-#12'는 나머지 10개의 중계 구간의 RDPS는 0 ps/nm이고, 전반 전송 구획의 3번째 중계 구간과 후반 전송 구획의 12번째 중계 구간에만 1,320 ps/nm가 적용된 전송 링크를 의미한다.

본 연구에서의 시스템 성능 평가는 최종 수신단에 축적된 NRD에 따른 24개 WDM 채널 중 최악 채널의 눈 열림 페널티 (EOP; eye opening penalty)를 분석하여 이루어진다. NRD는 그림 1의 MUX 바로 다음에 있는, 즉 첫 번째 DCF의 길이  $l_{pre}$ 에 변화를 주어 얻어지는 precompensation과 DEMUX 바로 전에 있는, 즉 14번째 DCF의 길이  $l_{post}$ 에 변화를 주어 얻어지는 postcompensation에 의해 결정되도록 설계하였다.

또한 집중 RDPS가 적용된 전송 링크의 시스템 성능은 RDPS가 모든 중계 구간에서 균일하게 적용된 전송 링크에서의 성능과의 비교를 통해 분석하였다. 즉 첫 번째와 14번째 전송 구간을 제외한 모든 전송 구간의 RDPS가 220 ps/nm로 설정된 전송 링크에서 얻어진 EOP와 비교하였다.

그림 1의 송신기 Tx는 분포 캐환 레이저 다이오드 (DFB-LD; distributed feedback laser diode)로 DFB-LD의 중심 파장은 1,550 nm부터 100 GHz (즉 0.8 nm) 간격으로 1568.4 nm까지 채널별로 24개를 할당하였고, 각각의 채널은 외부 변조기에 의해 소광비 (ER; extinction ratio)가 10 dB 인 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 회로로 구성된 직접 검파 (direct detection) 방식의 수신기로 모델링하였다. 수신 대역폭은 0.65 x 비트율로 가정하였다.

## III. 시뮬레이션 결과 검토

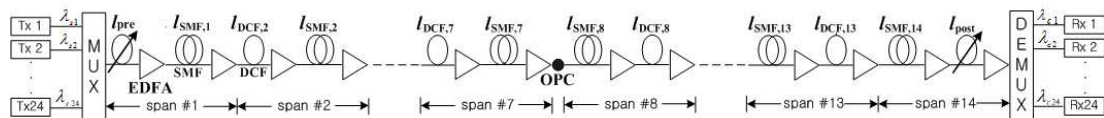


그림 1. 광전송 링크의 구성

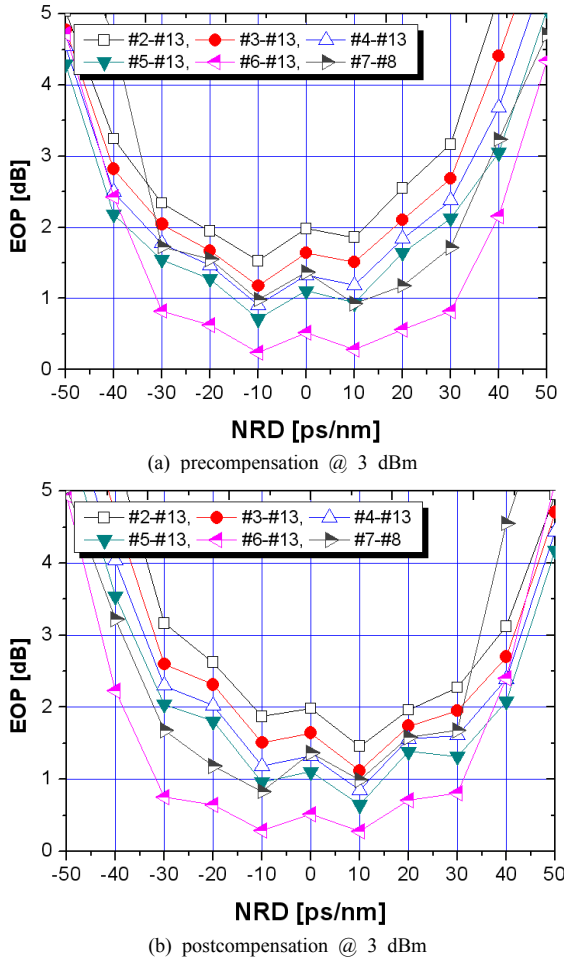


그림 2. NRD 변화에 따른 최악 채널의 EOP

그림 2(a)는 전반 전송 구획에서 첫 번째 중계 구간을 제외한 나머지 6개 중계 구간 중 하나의 중계 구간 각각에 집중 RDPS를 적용하고 후반 전송 구획에서 14번째 중계 구간을 제외한 나머지 6개 중계 구간 중에서 선택된 한 중계 구간에 집중 RDPS가 적용되었을 때의 6가지 경우 중 입사 전력이 3 dBm인 24개 채널 중 가장 시스템 성능이 나쁜 최악 채널의 전송 성능이 가장 우수하게 얻어지는 조합의 precompensation에 의한 NRD 변화에 따른 EOP를 나타낸 것이다. 반면 그림 1(b)는 동일한 조건에서 postcompensation에 의한 NRD 변화에 따른 EOP를 나타낸 것이다. 그림 2를 통해 전반 전송 구획에서는 6번째 중계 구간에 동시에 후반 전송 구획에서는 13번째 중계 구간 (즉 #6-#13)에 집중 RDPS를 적용하는 경우가 전체 36가지 경우에 비해 NRD 변화에 따른 EOP 특성을 가장 좋게 하는 것을 확인하였다. 또한 pre-compensation으로 NRD를 조절하는 경우에는 NRD가 +10 ps/nm로, postcompensation으로 NRD를 조절하는 경우에는 NRD가 -10 ps/nm로 설정되는 것이 집중 RDPS가 적용된 중

계 구간의 모든 조합에 대해 EOP 특성을 가장 양호하게 만드는 것을 알 수 있다.

그림 3은 그림 2의 결과에 따라 집중 RDPS가 #6-#13의 중계 구간에 적용된 링크에서 precompensation으로 조절되는 NRD가 +10 ps/nm로, postcompensation으로 조절되는 NRD가 -10 ps/nm로 설정된 경우 입사 전력 변화에 따른 EOP와 동일한 조건에서 각 중계 구간의 RDPS가 220 ps/nm로 균일하게 설정된 링크에서의 EOP를 비교해 나타낸 것이다.

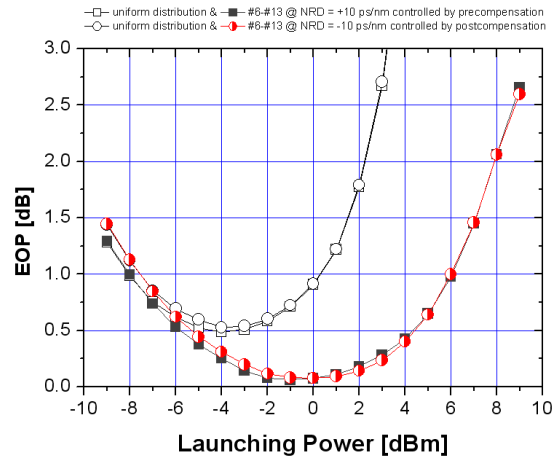


그림 3. 최적 NRD에서 입사 전력에 따른 EOP

집중 RDPS와 균일한 RDPS의 두 가지 경우 모두 WDM 채널의 입사 전력이 -6 dBm 이하의 비교적 낮은 전력에서의 수신 성능은 큰 차이 없이 비슷하게 나타나지만 입사 전력이 커질수록 집중 RDPS가 적용된 링크에서의 시스템 성능이 더욱 크게 개선되는 것을 확인할 수 있다. 만일 1 dB EOP를 수신 성능의 기준으로 하는 시스템이면 RDPS가 균일하고 NRD가 최적화 되어 있는 전송 링크에서 유효 입사 허용 전력 범위는 -8 ~ 0 dBm인 반면, RDPS가 #6-#13에 집중적으로 적용되고 NRD가 최적화된 전송 링크에서의 유효 입사 허용 전력 범위는 -8 ~ 6 dBm으로 6 dBm 정도 개선되는 것을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

RDPS가 소수의 중계 구간에만 집중적으로 분포하는 전송 링크에서 WDM 채널을 최상으로 보상할 수 있는 최적의 중계 구간 조합은 전반 전송 구획에서는 6번째 중계 구간, 후반 전송 구획에서는 13번째 중계 구간의 조합인 것을 확인하였다. 그리고 이 조합에서 최적 NRD는 precompensation과 postcompensation에 의해 NRD가 조절되는 경우 각각 +10 ps/nm와 -10 ps/nm인 것을 확인하였다.

동시에 NRD가 최적으로 설계되고 #6-#13에

집중 RDPS가 적용된 링크를 통해 WDM 채널을 전송하는 경우의 입사 허용 전력 범위는 RDPS가 모든 중계 구간에서 균일하게 분포된 경우에 비해 6 dBm 정도로 매우 크게 개선되는 것을 확인하였다. 즉 RDPS를 모든 중계 구간에 균일하게 적용하는 경우보다는 시스템 링크 구조를 다소 복잡하게는 만들지만 특정 중계 구간의 RDPS를 다른 중계 구간보다 크게 갖도록 설계한 링크 구조가 WDM 성능 개선면에서 더욱 우수한 링크라는 것을 확인할 수 있었다.

## 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", *한국항행학회논문지*, 제 12권 4호, pp. 311~316, 2008.
- [6] 이성렬, "분산 제어와 OPC를 갖는 광 전송 링크를 이용한 WDM 신호의 Q-factor 개선", *한국항행학회논문지*, 제 13권 1호, pp. 27~34, 2009. 2. 28