

# SMF 길이와 RDPS가 랜덤하게 분포하는 분산 제어 링크에서 평균 RDPS 값에 따른 왜곡된 WDM 채널의 보상

이성렬

목포해양대학교

## Compensation of Distorted WDM Channels Depending on Averaged RDPS in Dispersion-managed Link with Random Distribution of SMF Lengths and RDPS

Seong-Real Lee

Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

### 요 약

본 연구에서는 분산 제어와 광 위상 공액이 적용된 링크에서 단일 모드 광섬유 길이와 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)의 크기가 랜덤하게 분포하는 분산 제어 링크에서 전반과 후반 전송 구획에서의 평균 RDPS 각기 다르게 갖는 경우의 파장 분할 다중 채널의 왜곡 보상 정보를 분석하였다.

### ABSTRACT

The compensation characteristics are investigated as a function of the averaged residual dispersion per span (RDPS), which is different in each half transmission section, in dispersion-managed optical transmission links with a randomly distributed single mode fiber lengths and RDPS.

### 키워드

Dispersion-managed optical link, Midway optical phase conjugator, Residual dispersion per span, Net residual dispersion, Random distribution

### 1. 서 론

저자는 그 동안의 연구를 통해 광전송 링크 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 두고[1], 전송 링크를 구성하는 각 중계 간격마다 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)에서 축적된 분산을 제어하는 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 추가하는 분산 제어 (DM; dispersion management)[2]를 적용하면 신호 왜곡이 크게 보상되어 장거리 및 960 Gbps급 이상의 대용량 WDM 전송이 가능하다는 것을 확인하였다[3],[4].

또한 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)을 랜덤하게 분포시킨 링크를

WDM 채널 전송에 적용하여도 보상 효과가 우수하여 결과적으로 RDPS에 제한을 받지 않는 융통적인 광 네트워크 구현이 가능한 것을 확인하였다 [5].

그러나 RDPS가 랜덤하게 분포하는 DM 링크와 관련한 선행 연구에서는 OPC를 중심으로 한 전반 전송 구획 (송신단부터 OPC까지)과 후반 전송 구획 (OPC부터 수신단까지)의 평균 RDPS 값이 동일하게 한 비교적 간단한 구조였다. 분산과 비선형에 의해 왜곡된 WDM 채널 신호를 보상하기 위해 DM과 OPC가 적용된 링크의 설계 및 구축에서 좀 더 완벽한 유연성이 확보되기 위해서는 전반과 후반 전송 구획의 평균 RDPS 값에 제한이 없어야

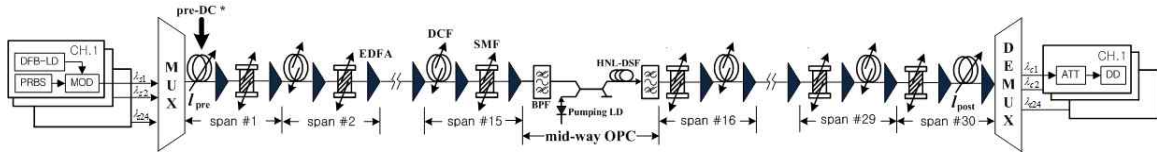


그림 1. WDM 전송 링크 구조

한다.

따라서 본 논문에서는 전반과 후반의 평균 RDPS가 다르게 설정된 경우 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS가 랜덤하게 분포하는 DM 링크에서 40 Gbps × 24 채널의 WDM 신호의 보상 특성을 분석해보고자 한다.

## II. WDM 전송 링크의 모델링

본 연구에서 살펴보고자 하는 광전송 시스템의 기본 구조와 전송 링크의 구조는 저자의 선행 연구인 참고 문헌 [3]과 동일하게 하였다. 하지만 OPC는 총 14개의 중계 구간으로 이루어진 전체 전송 링크에서 7가지 위치 중 하나에 있도록 설계하였다. 모든 중계 구간의 주 전송로인 SMF의 손실 계수  $\alpha_{SMF}$ 는 0.2 dB/km, 비선형 계수  $\gamma_{SMF}$ 는  $1.41 W^{-1}km^{-1}(@1,550 \text{ nm})$ , 분산 계수  $D_{SMF}$ 는 17 ps/nm /km(@ 1,550 nm)로 하였다.

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  $4.83 W^{-1}km^{-1}(@1,550 \text{ nm})$ , 분산 계수  $D_{DCF}$ 는 -100 ps/nm/km로 모두 동일하게 가정하였다.

각 전송 반 구획을 구성하는 15개 중계 구간의 SMF 길이는 이들 평균치가 90 km가 되면서 60 km 부터 120 km 사이에 하나의 값을 랜덤하게 갖도록 설정하였다. 또한 그림 1에서 첫 번째와 마지막 중계 구간을 제외한 각 전송 반 구획을 구성하는 14개 중계 구간의 RDPS 값은 각 전송 반 구획의 평균값에 관계하여 하나의 값을 랜덤하게 갖도록 설정하였다.

본 연구의 목적인 DM 링크에서 전반과 후반 전송 구획의 평균 RDPS를 다르게 설정하기 위해서 다음의 4가지를 각각 모델링하였다. 1) 전반 전송 구획의 RDPS 평균값 : 후반 전송 구획의 RDPS 평균값 = 0 ps/nm : 400 ps/nm, 2) 400 ps/nm : 0 ps/nm, 3) -100 ps/nm : 500 ps/nm, 4) 500 ps/nm : -100 ps/nm.

본 연구에서 살펴보는 전반과 후반 전송 구획의 평균 RDPS 값인 각기 다른 랜덤 분포에서의 WDM 채널 보상의 개선 정도를 알아보기 위하여 두 가지 기본 DM 구조에서의 결과와 비교해 보도록 한다. 그 중 하나는 모든 중계 구간에서의 SMF 길이는 90 km 이고 RDPS는 각 전송 반 구획별로 위에서 언급한 4 가지 값으로 고정된 균일 분포 (uniform distribution) 이고, 나머지 하나는 전반과 후반 전송 구획 모두에

서 RDPS 평균 값이 200 ps/nm로 동일한 구조이다.

전송 링크의 평균 RDPS가 0 ps/nm가 아니기 때문에 첫 번째 중계 구간을 제외한 전반 전송 구획과 마지막 중계 구간을 제외한 후반 전송 구획에서의 총 분산 (NRD; net residual dispersion)은 0 ps/nm 이상이 된다. 이 NRD는 매우 크기 때문에 링크 구조에 상관 없이 WDM 채널 보상에 어떠한 효과도 제공하지 않는다. 따라서 WDM 채널들을 최상으로 보상할 수 있는 NRD를 제어할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 그림 1에 나타냈듯이 NRD 조절은 전반 전송 구획에서는 첫 번째 중계 구간의 DCF 길이 조절 (이를 pre-DC (dispersion calibrator)라 함)을 통해 이루어지도록 하였다.

## III. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 2는 전반과 후반 전송 구획 모두 평균 RDPS가 200 ps/nm를 유지하면서 RDPS가 랜덤하게, 그리고 SMF 길이도 랜덤하게 분포시킨 링크에서 24개 채널 중 최악 채널의 눈 열림 패널티 (EOP; eye opening penalty)를 입사 전력에 따라 나타낸 것이다. 보상 성능의 비교 분석을 위하여 전반과 후반 전송 구획 모두 SMF 길이는 90 km로, RDPS는 200 ps/nm 로 고정된 균일 분포의 EOP도 동시에 나타냈다.

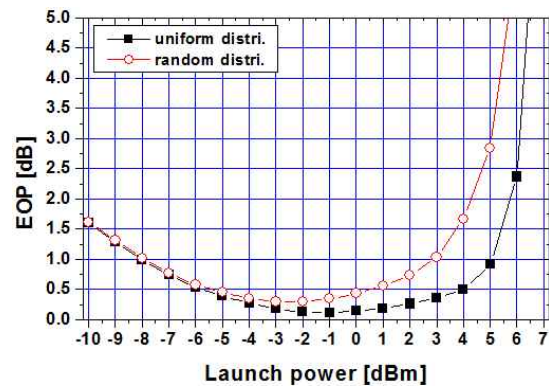


그림 2. 입사 전력에 따른 최악 채널의 눈열림 패널티 (200 ps/nm : 200 ps/nm)

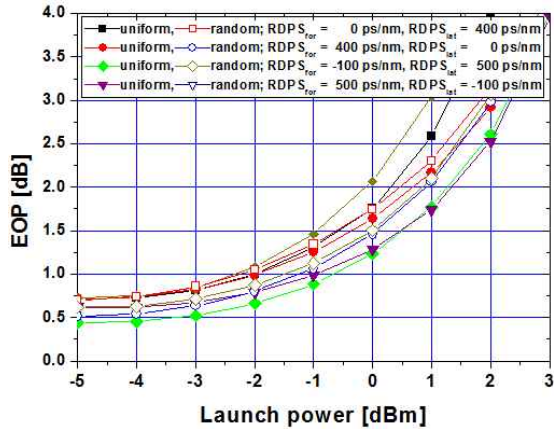


그림 3. 입사 전력에 따른 최악 채널의 눈열림 패널티 (전반과 후반 평균 RDPS가 각기 다른 경우)

그림 3은 본 연구에서 살펴보고자 하는 전반과 후반 전송 구획의 평균 RDPS가 다른 4가지 경우 각각에서 SMF 길이와 RDPS가 랜덤하게 분포하는 링크에서 최악 채널의 EOP를 입사 전력에 따라 나타낸 것이다. 아울러 보상 성능의 비교 분석을 위하여 전반과 후반 전송 구획 모두 SMF 길이는 90 km로, RDPS는 위에서 언급한 4가지의 값으로 각각 고정된 균일 분포의 EOP도 동시에 나타냈다.

그림 3의 결과를 보면 SMF 길이와 RDPS가 랜덤하게 분포한 링크에서의 보상 특성이 균일 분포보다 4가지 경우 모두 좋지 못한 것을 알 수 있다. 하지만 그림 2와 비교해 보면, 전반과 후반 전송 구획에서의 평균 RDPS를 달리하여 RDPS를 랜덤하게 분포시킨 경우가 전반과 후반 모두 평균 RDPS가 200 ps/nm로 동일하면서 랜덤한 경우보다 균일 분포에 대한 EOP 오차가 많이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

## References

- [1] A. Chowdhury and R.-J. Essiambre, "Optical phase conjugation and pseudolinear transmission," *Optics Letters*, Vol. 29, No. 10, pp. 1105-1107, 2004.
- [2] S. Sekhon, Jyotsana and J. Malhotra, "Investigation of 40 Gbps DWDM optical system by using hybrid optical amplifier with different modulation formats," *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, Vol. 8, No. 5, pp. 43-48, 2015.
- [3] Chung, J. P. and Lee, S. R, "Pseudo-Symmetric Link Configuration in Dispersion-Managed WDM Transmission System with Optical Phase Conjugator", *Information*, Vol. 17, pp. 5963~5968, 2014.

- [4] H. B. Yim and S. R. Lee, "Compensation Characteristics of Optical Signal Distortions in Dispersion-managed Optical Links with Randomly Distributed RDPS," *International Journal of Information and Communication Technology*, Vol. 8, No. 1, pp. 37-49, Jan. 2016.
- [5] S. R. Lee, "Dispersion Management and Optical Phase Conjugation in Optical Transmission Links with a Randomly Distributed Single-Mode Fiber Length," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, Vol. 11, No. 1, pp. 1~6, 2013.