

# 왜곡된 WDM 신호의 보상을 위한 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포가 반복하는 분산 제어 링크

이성렬\* · 홍성화

목포해양대학교

## Efficient Dispersion-managed Link with Repeting Artificial Distribution of SMF Lengths and RDPS for Compensation of Distorted WDM Signal

Seong-Real Lee\* · Seong-Hwa Hong

Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr / shhong@mmu.ac.kr

### 요 약

본 연구에서는 분산 제어와 광 위상 공액이 적용된 링크에서 단일 모드 광섬유 길이와 중계 중간 당 잉여 분산 (RDPS)의 크기가 인위적으로 분포하고 이들이 일정한 간격마다 반복하는 구조의 광 전송 링크를 제안하고자 한다. 본 연구에서 제안한 광 전송 링크의 구조가 양호한 성능을 얻으면서 전체 전송로의 길이를 늘릴 수 있다는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, dispersion-managed optimal link configuration with the repetitively artificial-distributed single mode fiber lengths and residual dispersion per span, in which optical phase conjugator placed at midway, is proposed. It is confirmed that the proposed optical link configuration is suitable for expanding transmission length capable to obtain the good performance.

### 키워드

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

### 1. 서 론

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)가 갖는 색 분산 (chromatic dispersion)과 비선형 효과의 상호작용에 의한 왜곡을 보상하는 기술들 중 대표적인 것으로 분산 제어 (DM; dispersion management)[1]와 광 위상 공액 (optical phase conjugation)[2], 그리고 이 둘을 결합한 기술[3] 등이 있다. 본 논문의 저자도 DM과 midway 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)의 결합을 통해 960 Gbps급 파장 분할 다중 (WDM; wavelength division multiplexing) 신호의 고품질 전송이 가능하다는 것을 보였다[4],[5].

제안한 DM과 midway OPC 결합 링크에서 SMF 길이와 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)를 일정하게 구성하는 전통적 링크 설계 방법보다 중계 구간 수가 증가할수록 점진적으로 이들을 증가시키거나 감소시키는 인위적 구성 방법이 왜곡 보상 효과를 더욱 증대시키는 것을 확인하였다.

그러나 광전송 링크를 구성하는 SMF 길이와 RDPS는 제한되기 때문에 중계 구간 (fiber span)의 수가 증가하게 되면 인위적 분포에 따른 인접 중계 구간 사이의 SMF 길이 편차와 RDPS 편차가 동시에 줄어들게 되어 초장거리 전송 링크 구성 시 인위적 분포의 효과를 볼 수 없게 된다. 즉 중계 구간 수가 매우 많으면 인접 중계 구간 사이의 SMF 길이와

\* corresponding author

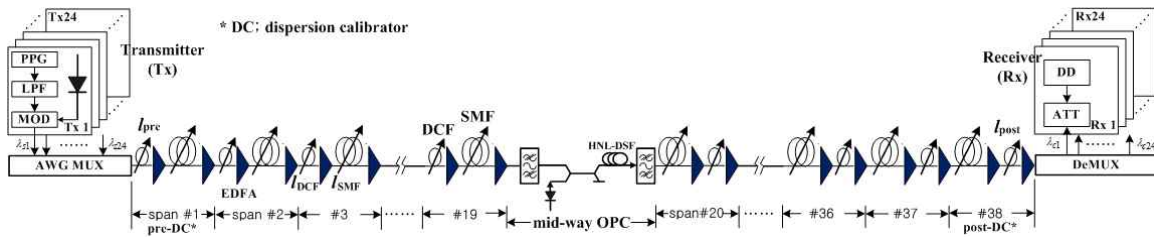


그림 1. WDM 전송 링크 구조[6]

RDPS 편차가 거의 없어 결국 전통적인 구성법인 균일 분포와 유사해지어 큰 보상 효과를 볼 수 없게 된다[6].

이를 극복하는 방법으로 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포를 일정한 중계 구간 간격마다 반복시켜 전체적인 전송 거리를 늘리는 방법을 고려해 볼 수 있다. 본 연구에서는 전체 중계 구간의 개수가 38개인 링크에서 전체 링크의 중간에 있는 mid-way OPC를 기준으로 송신단부터 mid-way OPC까지와 mid-way OPC부터 수신단까지 각각의 전송 반 구획 (half transmission section)을 구성하는 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포를 한번만 적용한 경우와 두 번을 적용한 경우 각각에 대하여 960 Gbps WDM 신호의 보상 효과를 살펴보고자 한다.

## II. WDM 전송 링크의 모델링

24 채널 × 40 Gbps의 WDM 전송 시스템과 이를 위한 광전송 링크의 구조를 그림 1에 나타냈다. 그림 1의 24개 송신기(Tx)와 수신기(Rx), 중간에 위치한 OPC의 구조와 파라미터들은 저자의 선행 연구 [4]와 [5]에서와 동일하게 모델링하였다.

본 연구의 대상인 전송 반 구획을 구성하는 각 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS들이 전송 거리가 증가할수록 점점 증가하거나 감소하도록 하는 인위적인 분포를 반복하는 주기가 2인 경우는 AA:AA-DD:DD, AA:DD-DD:AA, DD:AA-AA:DD와 DD:DD-AA:AA의 4가지의 반복 패턴을 고려하였다. 여기서 A(ascending)는 중계 구간 수가 증가할수록 SMF 길이나 RDPS의 크기를 점진적으로 증가시키는 것을 의미하고, D(descending)는 중계 구간 수가 증가할수록 SMF 길이나 RDPS의 크기를 점진적으로 증가시키는 것을 의미한다. 그리고 SMF 길이와 RDPS 크기의 분포에 대한 표현은 (전반 구획 중 2번 중계구간부터 10번 중계 구간까지의 SMF 길이의 분포)(전반 구획 중 2번 중계구간부터 10번 중계 구간까지의 RDPS 크기의 분포):(전반 구획 중 11번 중계구간부터 19번 중계 구간까지의 SMF 길이의 분포)(전반 구획 중 11번 중계구간부터 19번 중계 구간까지의 RDPS 크기의 분포)-(후반 구획 중 20번 중계구간부터 28번 중계 구간까지의 SMF 길이의 분포)(후반 구획 중 20번 중계구간부터 28번 중계 구간까지의

RDPS 크기의 분포):(후반 구획 중 29번 중계구간부터 37번 중계 구간까지의 SMF 길이의 분포)(전반 구획 중 29번 중계구간부터 37번 중계 구간까지의 RDPS 크기의 분포)를 나타낸 것이다. 즉, 예를 들어 AA:DD-DD:AA는 전반 구획 중 2번 중계구간부터 10번 중계 구간까지의 SMF 길이와 RDPS의 크기는 중계 구간 수가 증가할수록 점진적으로 증가시키고, 전반 구획 중 11번 중계구간부터 19번 중계 구간까지의 SMF 길이와 RDPS의 크기는 중계 구간 수가 증가할수록 점진적으로 감소시킨 반면, 후반 구획 중 20번 중계구간부터 28번 중계 구간까지의 SMF 길이와 RDPS 크기는 중계 구간 수가 증가할수록 점진적으로 감소시키고, 후반 구획 중 29번 중계구간부터 37번 중계 구간까지의 SMF 길이와 RDPS 크기는 중계 구간 수가 증가할수록 점진적으로 증가시킨 반복 구조를 나타낸다.

각 전송 반 구획의 인위적 분포가 반복하는 주기에 대하여 SMF 길이는 모든 경우에 대하여 64 km부터 96 km까지 4 km 간격으로 9 종류의 길이들이 중계 구간 수가 증가할수록 점진적으로 증가하거나 감소하도록 하였다 (평균 길이는 80 km 유지). 그러나 9개의 RDPS 크기는 인접 중계 구간과의 편차 (본 연구에서는 20 ps/nm부터 200 ps/nm까지)에 따라 점진적으로 증가하거나 감소하는 값이 달라지도록 하였다.

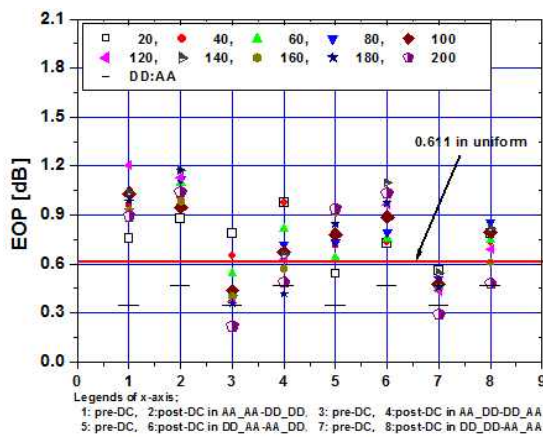
본 연구에서 제안하는 인위적 반복 구조에서의 WDM 채널 보상의 개선 정도를 알아보기 위하여 두 가지 기본 DM 구조에서의 결과와 비교해 보도록 한다. 그 중 하나는 모든 중계 구간에서의 SMF 길이는 80 km이고 RDPS는 200 ps/nm로 고정된 균일 분포 (uniform distribution)이고, 나머지 하나는 전송 반 구획에서 SMF 길이와 RDPS 크기가 반복 없이 인위적으로 분포하는 구조 중 D:D-A:A이다. 여기서 전반 구획의 SMF 길이는 98 km부터 2 km씩 감소하여 62 km까지로, RDPS는 1,000 ps/nm부터 100 ps/nm씩 감소하여 -600 ps/nm까지로 분포시켰고, 후반 구획에서는 SMF 길이와 RDPS가 전반 구획과 반대의 순서로 분포하도록 하였다.

전송 링크의 평균 RDPS가 200 ps/nm이기 때문에 첫 번째 중계 구간을 제외한 전반 전송 구획과 마지막 중계 구간을 제외한 후반 전송 구획에서의 총 분산 (NRD; net residual dispersion)은 4,000 ps/nm가 된다. 이 NRD는 매우 크기 때문에 링크 구조에 상관없

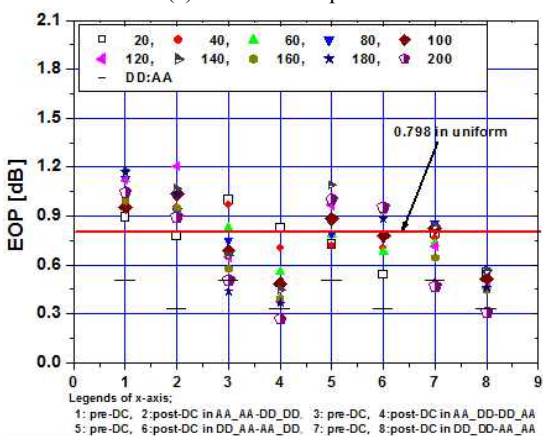
이 WDM 채널 보상에 어떠한 효과도 제공하지 않는다. 따라서 WDM 채널들을 최상으로 보상할 수 있는 NRD를 제어할 수 있어야 한다, 본 연구에서는 그림 1에 나타냈듯이 NRD 조절은 전반 전송 구획에서는 첫 번째 중계 구간과의 DCF 길이 조절 (이를 pre-DC (dispersion calibrator)라 함)을 통해, 후반 전송 구획에서는 마지막 중계 구간과의 DCF 길이 조절 (이를 post-DC라 함)을 통해 이루어지도록 하였다.

### III. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 2는 그림 1의 두 구조에서 pre-DC와 post-DC에 의해 최적의 NRD가 각각 10 ps/nm와 -10 ps/nm로 설정된 링크를 통해 전송된 24개 채널 중 최악 채널의 눈 열림 패널티 (EOP; eye opening penalty)를 RDPS의 편차에 따라 나타낸 것이다. 여기서 WDM 채널의 입사 전력은 4 dBm으로 하였다.



(a) NRD = 10 ps/nm



(b) NRD = -10 ps/nm

그림 2. RDPS 편차에 따른 최악 채널의 눈열림 패널티

NRD = 10 ps/nm로 설정된 링크에서는 이것을

pre-DC에 의해 결정하고, 인접 중계 구간과의 편차를 200 ps/nm로 하여 AA:DD-DD:AA 구조로 반복하는 것이 D:D-A:A 구조보다 우수하게 왜곡된 WDM 채널들을 보상하는 것을 그림 2(a)를 통해 확인할 수 있다. 반면에 NRD = -10 ps/nm로 설정된 링크에서는 이것을 pre-DC가 post-DC에 의해 결정하게 NRD = 10 ps/nm에서와 동일한 RDPS 편차와 반복 주고를 통해 D:D-A:A 구조보다 우수한 성능으로 왜곡된 WDM 채널들을 보상하는 것을 확인할 수 있다.

### References

- [1] 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.
- [2] A. Chowdhury and R.-J. Essiambre, "Optical phase conjugation and pseudolinear transmission," *Optics Letters*, Vol. 29, No. 10, pp. 1105-1107, 2004.
- [3] P. Minzioni and A. Schiffrini, "Unifying theory of compensation techniques for intrachannel nonlinear effects," *Optics Express*, Vol. 13, No. 21, pp. 8460-8468, 2005.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] S. R. Lee, "Dispersion-managed Link with the Repetitively Artificial-Distributed SMF Lengths and RDPSs and with Midway Optical Phase Conjugator," in *Conference of the Korea Navigation Institute 2016*, Seoul: Korea, pp. 134-136, 2016.