
Midway 광 위상 공액기 근처에서 분산 제어를 수행하는 광전송 링크

이성렬

목포해양대학교

Optical Transmission Link with Dispersion Management near-by Midway Optical Phase Conjugator

Seong-Real Lee

Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

요 약

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)의 길이와 증계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)이 랜덤하게 분포하는 광 위상 공액과 결합된 분산 제어 (DM; dispersion management)가 적용된 장거리 (50 fiber spans \times 80 km) 전송 링크에서 SMF와 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber) 배열과 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)을 조절하는 위치에 따른 왜곡된 WDM 채널의 보상 특성을 수치적으로 분석해 보았다.

ABSTRACT

The compensation characteristics of the distorted WDM channels compensated for by dispersion management (DM) and optical phase conjugation in the long-haul (50 fiber spans \times 80 km) transmission link with the randomly distributed single mode fiber (SMF) length and residual dispersion per spans (RDPS) are investigated as a function of the arrangement of SMF and dispersion compensating fiber (DCF) and the control position of net residual dispersion (NRD).

키워드

Dispersion Management, Optical Phase Conjugator, Residual dispersion per span, Net residual dispersion, WDM signal distortion

I. 서 론

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)가 갖는 색 분산 (chromatic dispersion)과 비선형성 (nonlinearity) 효과를 극복하는 기술들 중 대표적인 것으로 분산 제어 (DM; dispersion management) [1]와 광 위상 공액 (optical phase conjugation) [2], 또한 이 둘을 결합한 기술이 있다 [3]. DM 전송 링크에서 보상 특성에 영향을 미치는 요소는 한 증계 구간을 구성하는 SMF와 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)의 배열 순서와 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)를 조절하는 위치이다 [4]. 일반적으로 SMF와 DCF의 배열 순서와 NRD를 조절하는 위치는 서로 관계한다. 즉 증계 구간을 구성하는 SMF와 DCF의 배열 순서에 따라 NRD를 조절 위치가 달라질 수 있다. 그러나 랜덤 분포 DM 링크

에 대한 저자의 참고 문헌 [4]의 연구에서는 SMF와 DCF의 배열 순서와 NRD를 조절하는 위치와 관계하여 하나의 구조만을 제안하였다.

따라서 본 연구에서는 참고 문헌 [4]에서 제안한 SMF 길이와 RDPS가 랜덤하게 분포된 DM 링크에서와는 다른 전체 전송로 중간 (midway)에 위치한 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator) 근처에서 분산 제어를 수행하는 전송 링크를 제안하고, 이 링크에 0.96 Tbps (40 Gbps \times 24 채널) WDM 신호를 전송시킨 경우의 보상 특성을 분석해보고자 한다.

II. 광전송 링크와 시스템의 모델링

그림 1은 24 채널 \times 40 Gbps의 WDM 전송 시스템과 이를 위한 광전송 링크의 구조를 나타

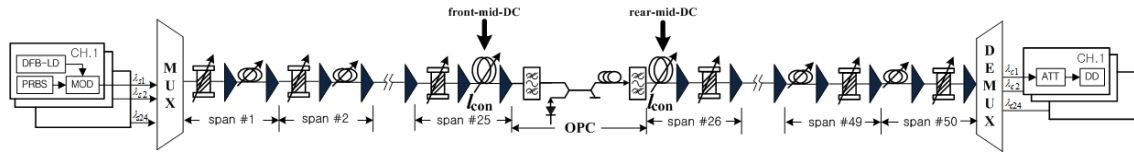


그림 1. 24×40 Gbps WDM 전송 시스템 구조
Fig. 1 Configuration of 24×40 Gbps WDM transmission system.

낸 것이다. 그림 1의 24개 송신기(Tx), 수신기(Rx), 그리고 전체 전송로 중간에 위치한 OPC는 저자의 선행 연구인 참고 문헌 [4]과 동일하게 모델링하였다.

전체 전송 링크는 OPC를 중심으로 각각 동일하게 25개의 중계 구간으로 구성된다. 각 중계 구간의 SMF에서 축적된 분산량과 DCF에서 축적된 분산량의 차이가 RDPS가 된다. 본 연구에서 제안하는 링크 구조는 SMF 길이와 RDPS가 모든 중계 구간마다 서로 다른 값을 랜덤하게 갖지만 전송 반 구획 (즉 FHTS와 LHTS) 전체에서의 평균 SMF 길이는 80 km로, 평균 RDPS는 200 ps/nm가 되도록 하였다. 즉 각 전송 반 구획을 구성하는 각 중계 구간의 SMF 길이는 전체 평균이 80 km가 되도록 44 km부터 116 km까지의 범위에서 3 km 간격으로 구분되는 25개 길이 중 하나의 값을 랜덤하게 가지도록 하였다. 또한 RDPS는 전체 평균이 200 ps/nm가 되도록 0 ps/nm부터 400 ps/nm까지 사이(RDPS 간격은 정하지 않음)의 24개 값 중 하나의 값을 랜덤하게 가지도록 하였다.

Midway OPC 전후 각 전송 구획에서의 평균 RDPS가 200 ps/nm이기 때문에 각 전송 반 구획에서의 NRD는 4,800 ps/nm로 매우 커서 왜곡된 WDM 채널의 보상을 제대로 수행할 수 없다. 따라서 24개 WDM 채널 모두를 최선으로 보상할 수 있는 값이 되도록 NRD를 조절하는 역할 (즉 4,800 ps/nm를 줄여주는 역할)을 특정 중계 구간이 수행하여야 한다. 지난 연구에서는 그림 1(a) 구조의 링크에서 NRD 조절 방법으로 첫 번째 중계 구간의 DCF를 통한 pre-DC (dispersion calibrator)만을 제안하였다. 하지만 그림 1(a)의 링크 구조를 살펴보면 DeMUX 바로 전에 50번째 중계 구간의 DCF가 연결되어 있기 때문에 이를 통한 전체 전송 링크의 NRD 조절도 가능하다.

그림 1의 링크 구조에서 MUX 다음과 DeMUX 전에 DCF가 아닌 SMF가 연결되어 있기 때문에 이러한 NRD 조절보다는 OPC 전과 후에 연결된 DCF를 통한 NRD 조절이 가능하고 간편할 수 있다. 즉 OPC 바로 앞에 있는 25번째 중계 구간의 DCF 길이의 가변을 통한 전체 링크에서의 NRD 조절 (이를 front-mid-DC라 칭함)과 OPC 바로 뒤에 있는 26번째 중계 구간의 DCF 길이의 가변을 통한 전체 링크에서의 NRD 조절(이를 rear-mid-DC라 칭함)이 가능하다.

즉 중계 구간에서의 SMF와 DCF 배열에 따라 가능한 각각 2개씩의 NRD 조절 위치에 따른 왜

곡된 WDM 채널의 보상 정도를 분석해보고자 하는 것이 본 연구의 목적이다. 그리고 본 연구에서 검토하는 전체 NRD 범위는 10 ps/nm 간격으로 -50 ps/nm부터 50 ps/nm이다. 이는 모든 DC의 경우 그림 1에서 l_{con} 를 0.1 km 간격으로 61.5 km부터 62.1 km까지 변화시켜 얻을 수 있다.

SMF의 기타 파라미터는 중계 구간에 상관없이 아래와 같은 하나의 동일한 값으로 그림 1의 링크에 적용하였다; 손실 계수 0.2 dB/km, 분산 계수 17 ps/nm /km(@1,550 nm), 비선형 계수 $1.35 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ (@1,550 nm). 또한 DCF의 고정 파라미터 값들은 다음과 같다; 손실 계수 0.6 dB/km, 분산 계수 -100 ps/nm/km (@ 1,550 nm), 비선형 계수 $5.06 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ (@1,550 nm).

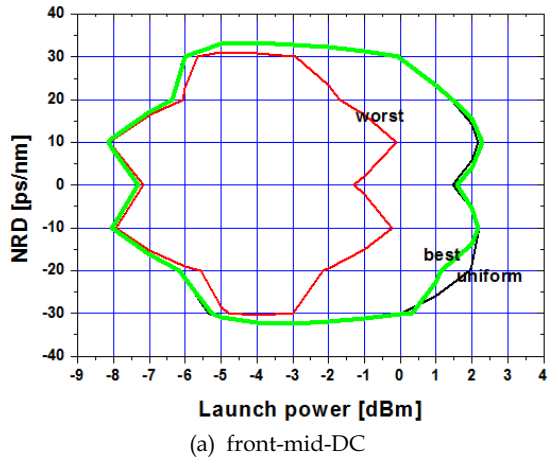
본 연구의 목적인 SMF 길이와 RDPS가 랜덤으로 분포하는 50개의 중계 구간으로 이루어진 전송 링크에서 NRD 조절 위치에 따른 보상 정도를 상대적으로 분석하기 위한 비교 대상으로 모든 중계 구간의 SMF 길이는 80 km, RDPS는 200 ps/nm로 균일하게 분포한 그림 1과 동일한 구조도 고려하였다. 각 경우 WDM 채널의 수신 성능 평가는 눈 열림 페널티 (EOP; eye opening penalty)를 통해 수행하였다.

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

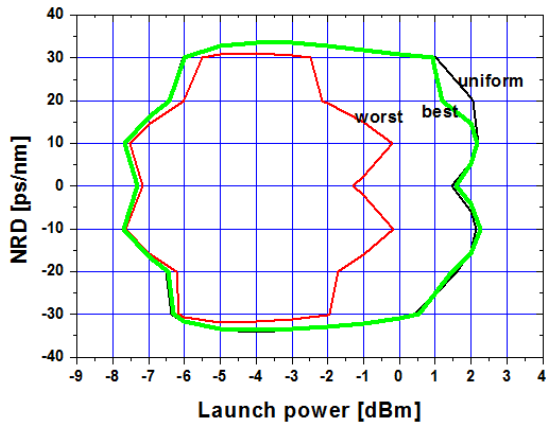
광통신 시스템에서 수신 성능 기준은 주로 1 dB EOP를 사용한다. 이는 10^{-12} 비트 에러율 (BER; bit error rate)에 상응하는 값이다. 따라서 본 연구에서도 1 dB EOP를 기준으로 성능을 분석하도록 한다.

그림 2 (a)와 (b) 각각은 front-mid-DC와 rear-mid-DC에 의해 NRD를 조절하는 링크에서 1 dB 이하의 EOP를 얻을 수 있는 NRD 범위 (이를 유효 NRD 범위라고 정의)를 WDM 채널의 입사 전력에 따라 나타낸 것이다. SMF 길이와 RDPS의 30가지 랜덤 분포 중 보상이 가장 우수하게 얻어지는 랜덤 분포 (best)에서의 유효 NRD 범위, 가장 최악으로 얻어지는 랜덤 분포 (worst)에서의 유효 NRD 범위, 그리고 균일 분포의 링크에서 얻은 유효 NRD 범위 (uniform)을 동시에 나타냈다. 그림 2를 통해 각 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS가 랜덤하게 분포하더라도 그 분포 패턴을 어떻게 하느냐에 따라 보상 특성이 달라지는 것을 알 수 있다. 즉 그림 2에서 best의 유효 NRD 범위가

uniform의 유효 NRD 범위와 유사하지만 worst의 유효 NRD 범위는 uniform에 비해 매우 협소해지는 것을 확인할 수 있다.



(a) front-mid-DC



(b) front-mid-DC

그림 2. 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위

참고문헌

- [1] 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.
- [2] S. L. Jansen, D. van den Borne, P. M. Krummrich, S. Spälter, G.-D. Khoe, "Long-haul DWDM transmission systems employing optical phase conjugation", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 12, No. 4, pp. 505 - 520, 2006.
- [3] P. Minzioni and A. Schiffrini, "Unifying theory of compensation techniques for intrachannel

nonlinear effects," *Optical Express*, Vol. 13, No. 21, pp. 8460-8468, 2005.

- [4] 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.