
광전송 링크에서 bi-end 구조의 inline 분산 제어를 이용한 WDM 전송

이성렬*

*목포해양대학교

WDM Transmission using Inline Dispersion Management of Bi-end Schemes in Optical Transmission Links

Seong-Real Lee*

*Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

요 약

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)의 중계 구간에서 축적된 분산을 보상하기 위해 SMF 앞과 뒤에 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 둔 bi-end 구조의 inline 분산 제어 (DM; dispersion management)의 WDM 전송 시스템에서의 구현 가능성을 살펴보았다. 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)이 ± 10 ps/nm로 결정되면 넓은 입사 전력 범위의 WDM 채널들 보상에 매우 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Implementation possibility of inline dispersion management (DM) using bi-end schemes, which consist of one single mode fiber (SMF) and two dispersion compensating fiber (DCF) placed at front and rear of SMF, respectively, is investigated for compensating total dispersion accumulated in a span of WDM transmission links. It is confirmed that if net residual dispersion (NRD) is decided to be ± 10 ps/nm then bi-end scheme is effective to compensate for WDM channels with wide launching power range.

키워드

Dispersion Management, Bi-end scheme, Net Residual Dispersion, Residual dispersion per span, Optical Phase Conjugator

1. 서 론

파장 분할 다중 (WDM; wavelength division multiplexing)과 같은 대용량 광 신호 전송을 위해서는 광섬유에서 발생하는 그룹 속도 분산 (GVD; group velocity dispersion)과 비선형 효과 (nonlinear effects)에 의한 광 신호 왜곡을 WDM 전송의 전 대역에 걸쳐 효과적으로 보상하여야 한다[1]. 우선 GVD에 의한 신호 왜곡은 주 전송로로 가장 많이 쓰이는 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)에서 축적되는 분산을 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 추가하여 전체나 중계 구간의 분산량을 제어하는 분산 제어 (DM; dispersion management)를 적용하는 방법이 가장

대표적이다[2]. DM은 GVD 뿐만 아니라 자기 위상 변조 (SPM; self phase modulation)과 같은 비선형성에 의한 신호 왜곡 보상에도 효과가 있다. 그러나 DM을 통한 비선형성 보상은 분산 맵 (dispersion map)의 설계가 신호 전력, 신호 형식 등 시스템 파라미터에 관련하여 정확하게 이루어져야 하는 단점이 있다. 반면 전체 광전송 링크 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 두는 광 위상 공액 기술은 광 전력 과 분산 분포가 OPC를 중심으로 대칭을 이룬다면 비선형 효과에 의한 신호 왜곡 보상에 큰 효과를 보이고 있다[3].

DM에서 전송 링크를 구성하는 각 중계 간격마다 SMF에서 축적된 분산을 DCF로 제어하는 inline DM은 시스템 설계 단계에서 DCF와 SMF

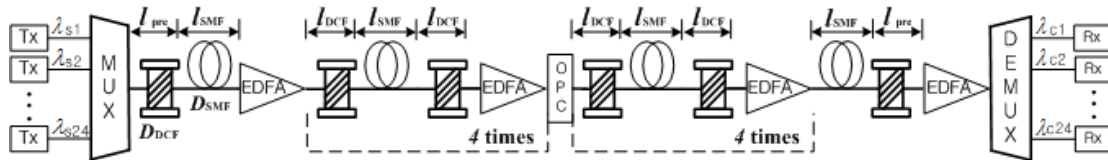


그림 1. 전송 링크의 구조

의 조합을 다양하게 할 수 있다는 장점을 갖는다. 그동안 본 논문의 저자는 전체 전송 링크 중간에 OPC를 두고 각 중계 간격에서의 inline DM을 위한 광섬유의 조합을 하나의 SMF의 분산 계수와 길이에 따라 결정되는 중계 구간에서의 축적 분산량에 상응하여 보상하도록 하나의 DCF만을 사용하는 SMF+DCF(또는 DCF+SMF)의 구조를 고려하여 WDM 전송 시스템에 적용하여 최적의 링크 구조와 DM 파라미터 등을 제안하였다.

본 연구에서는 inline DM에서 링크 구조의 다양성을 검증하고자 하나의 SMF에서 축적된 분산량을 두 개의 DCF로 보상하는 bi-end 구조, 즉 DCF+SMF+DCF 구조를 적용하였을 때의 24 채널 × 40 Gbps의 WDM 전송 시스템에서의 최적 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion) 등의 파라미터들을 도출하고 살펴보도록 한다. WDM 신호의 전송 형식은 충격 계수 (duty cycle)가 0.5인 RZ를 가정하였다.

II. bi-end 구조의 inline DM 전송 링크 구성

전체 광 전송 링크는 그림 1에서 보는 바와 같이 SMF를 주 전송로로 하여 10개의 중계 구간으로 구성된다. SMF의 길이 l_{SMF} 는 모든 구간에서 100 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 $1.35 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ (@1,550 nm)로 가정하였다. 따라서 각 SMF 구획에서 축적된 총 분산량은 1,700 ps/nm (= 17 ps/nm/km × 100 km)이다. 그리고 모든 구간에서 DCF의 분산 계수 D_{DCF} 는 -100 ps/nm/km로, 손실 계수 α_{DCF} 는 0.4 dB/km, 비선형 계수 γ_{DCF} 는 $5.06 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ (@1,550 nm)로 가정하였다.

OPC 전의 2번째부터 5번째 구간, OPC 후의 6번째 구간부터 9번째 구간까지는 1,700 ps/nm를 두 개의 DCF로 보상하고, 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)을 0 ps/nm로 하는 bi-end 구조로 하였기 때문에 이들 구간에서의 DCF 길이 l_{DCF} 는 8.5 km로 하였다. 반면 시스템의 NRD는 첫 번째 DCF의 길이 l_{pre} 에 의한 precompensation과 마지막 DCF의 길이 l_{post} 에 의한 postcompensation에 의해 조절되도록 하였기에 l_{pre} 와 l_{post} 는 가변하도록 설계되었

다.

그림 1에서 전송 링크 파라미터를 제외한 송신부, 수신부와 OPC의 파라미터 값들은 참고 문헌 [4]과 동일하게 하였다.

III. 시뮬레이션 결과 검토

그림 2는 채널의 입사 전력이 각각 -7 dBm, 0 dBm, 7 dBm에 대해 precompensation과 postcompensation으로 NRD가 결정되는 링크 구조에서 최악 채널의 눈 열림 패널티 (EOP; eye opening penalty)를 NRD에 따라 나타낸 것이다. 그림 2를 통해 우선 수신 품질, 즉 EOP가 채널의 입사 전력에 따라 변화한다는 것으로 채널의 입사 전력이 크면 수신 품질이 크게 떨어지고, precompensation에 의한 NRD에 따른 EOP 특성과 postcompensation에 의한 NRD에 따른 EOP 특성이 크게 달라질 수 있다는 것이다.

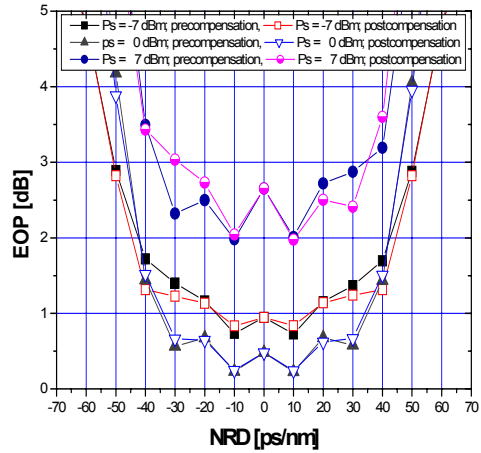


그림 2. 다양한 입사 전력에서 NRD에 따른 최악 채널의 EOP

그림 2를 통해 알 수 있는 중요한 결과로는 NRD가 0 ps/nm에서가 아닌 ± 10 ps/nm로 결정된 경우 고려한 입사 전력 모두에서 최악 채널의 수신 성능이 가장 좋게 나타난다는 것이다. 이는 RZ 전송에서의 최적 NRD는 비선형 보상을 포함하여야 하기 때문에 0 ps/nm가 아닌 0 ps/nm 근처에 있어야 한다는 연구 결과와 일치하는 결

파이다. 따라서 본 연구에서 고려한 bi-end 구조의 inline DM의 적용은 기술적으로 큰 제약이 없다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

그림 3은 그림 2의 결과인 $NRD = \pm 10$ ps/nm로 설계된 전송 링크에서의 유효 입사 전력 범위를 살펴보기 위해 precompensation에 의해 NRD가 +10 ps/nm로 설정되고, postcompensation에 의해 NRD가 -10 ps/nm로 설정되는 경우의 최악 채널의 EOP를 -11 ~ 7 dBm의 입사 전력에 대해 나타낸 것이다. 또한 이들 결과의 신호 보상 효과 정도를 비교하기 위해 $NRD = 0$ ps/nm로 설정된 경우에서의 EOP와 비교하였다.

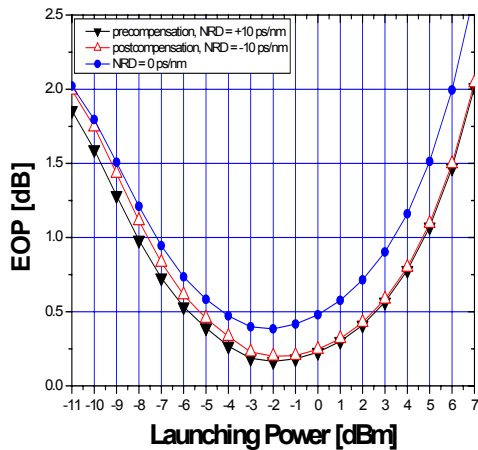


그림 3 precompensation에 의한 NRD가 +10 ps/nm로 고정되고 postcompensation에 의한 NRD가 -10 ps/nm로 고정된 경우에서 입사 전력에 따른 EOP

수신 성능의 기준을 1 dB EOP라고 한다면 $NRD = 0$ ps/nm로 설계된 경우에서의 유효 입사 전력 범위는 -7 ~ 3 dBm인 반면 precompensation에 의해 NRD가 +10 ps/nm로 설정된 경우에서의와 postcompensation에 의해 NRD가 -10 ps/nm로 설정되는 경우에는 -8 ~ 5 dBm으로 유효 전력 범위가 늘어나는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

각 중계 구간의 SMF에 축적된 분산을 DCF를 통해 보상하는 inline DM에 bi-end 구조를 적용한 경우의 WDM 채널의 보상 가능성을 살펴보았다. 우선 NRD가 ± 10 ps/nm로 결정되면 넓은 입사 전력 범위의 WDM 채널들 보상에 매우 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 본 연구에서는 bi-end 구조의 inline DM의 적용 가능성만을 살펴보았을 뿐 bi-end 구조를 통해 WDM 전송에서 어느 정도의 보상 효과가 있는지에 대한 고찰은 기본적인 inline DM이 적용된 WDM 전송 링크에서의 결과와의 비교

를 통해 이루어져야 한다. 따라서 향후 연구에서는 본 논문에서 제안한 bi-end 구조의 inline DM 전송 링크의 결과를 기본적인 inline DM 링크에서의 결과와 비교하여 살펴보고, bi-end 구조를 실제 WDM 전송 링크에 적용하고자 하는 경우의 최적 파라미터 등을 도출해보고자 한다.

참고문헌

- [1] A. R. Chraplyvy, "Limitations on lightwave communications imposed by optical-fiber nonlinearities," *J. Lightwave Technol.*, Vol.8, No.10, pp.1548-1557, 1990.
- [2] Xiaosheng Xiao, Shiming Gao, Yu Tian, and Changxi 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
- [3] S. Watanabe and M. Shirasaki, "Exact compensation for both chromatic dispersion and Kerr effect in a transmission fiber using optical phase conjugation", *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-14, no. 3, pp. 243~248, 1996.
- [4] 이성렬, 조성연, "집중형 분산 제어 시스템에서 NRZ 변조 형식 대 RZ 변조 형식", *한국해양정보통신학회논문지*, 제 12권 제 2호, pp. 327 ~ 335, 2008. 2. 28