

# 전체 전송 링크의 중간이 아닌 위치에 있는 OPC를 통한 그룹 속도 분산과 비선형 효과에 의한 WDM 신호의 왜곡 보상

이성렬\*

\*목포해양대학교

Compensation of Distorted WDM Signals Due to Group Velocity Dispersion and Nonlinear Effects using OPC at Non-midway of Total Transmission Link

Seong-Real Lee\*

\*Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

## 요 약

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)로 구성된 1,000 km의 전체 전송 링크의 중간이 아닌 100 km와 900 km에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 위치시켰을 경우에 추가적으로 분산 제어 (DM; dispersion management)를 적용하여 왜곡된 40 Gbps × 24 채널의 WDM 신호를 보상하는 전송 링크 설계 기술을 연구하였다. OPC가 100 km와 900 km에 위치한 경우 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion) 값을 각각 800 ps/nm와 900 ps/nm로 결정하여 DM을 적용하면 이를 통한 분산 보상과 OPC를 통한 비선형 효과의 보상을 통해 WDM 채널들을 양호한 성능으로 전송할 수 있는 것을 확인하였다.

## ABSTRACT

Optical link design technique for compensating of distorted 40 Gbps × 24 channels WDM signals is researched. The considered optical link consists of optical phase conjugator (OPC) placed at 100 km and 900 km, which are non-midway of total transmission distance, and dispersion management (DM). It is confirmed that optimal net residual dispersions (NRD) are 800 ps/nm and 900 ps/nm when OPC placed at 100 km and 900 km, respectively.

## 키워드

Optical Phase Conjugator, Dispersion Management, Net Residual Dispersion, Non-midway, WDM

## 1. 서 론

광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 이용한 그룹 속도 분산 (GVD; group velocity dispersion)과 비선형 효과 (nonlinear effects)에 의한 광 신호 왜곡의 보상 기술의 한계는 광 전력 분포와 축적된 분산량의 분포가 OPC를 중심으로 대칭을 이루어야 한다는 것이다[1],[2]. 이러한 한계점은 OPC를 전체 전송로의 중간이나 그 근처에만 위치시켜야 하고, 결국 점대점 (point-to-point) 구조의 광 링크에서만 적용할 수 있다는 문제를 낳는다. 즉 광전송 시스

템 구현에 있어 전체 전송 링크 구조에서 OPC를 원하는 다양한 곳에 위치시킬 수 있는 기술이 개발되어야만 OPC가 갖는 우수한 보상 특성을 적용할 수 있다.

본 논문에서는 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)로 구성된 1,000 km의 전체 전송 링크의 중간이 아닌 100 km와 900 km에 OPC를 위치시켰을 경우에 추가적으로 분산 제어 (DM; dispersion management)를 적용하여 왜곡된 40 Gbps × 24 채널의 WDM 신호를 보상하는 전송 링크 설계 기술을 연구하였다.

본 논문에서 가정한 각 채널의 변조 파형 형식

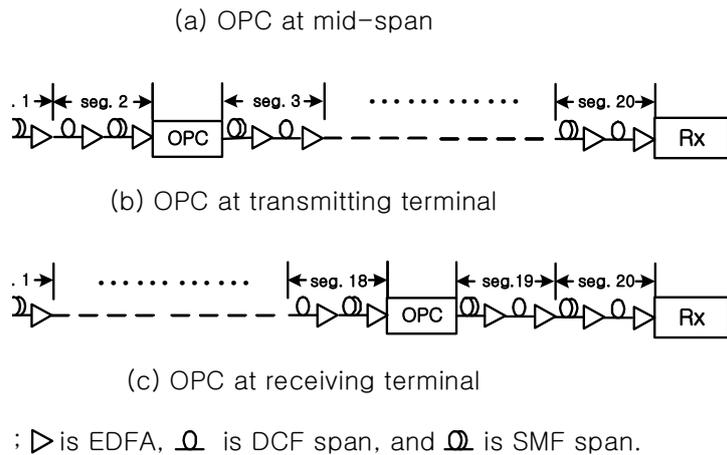


그림 1. WDM 전송 링크의 구조

은 RZ로 하였고, DM의 구조는 광섬유 전송 구획 (span)마다 DCF를 두어 분산을 보상하는 inline DM을 사용하였다. 또한 각 전송 구획을 구성하는 광섬유는 SMF이고, 수신 신호의 성능 평가는 눈 열림 패널티 (EOP; eye opening penalty)를 사용하였다.

## II. WDM 전송 링크의 구조

광 전송 링크는 OPC를 중심으로 송신부(Tx)부터 OPC까지의 전반 전송 구간 (former half section)과 OPC부터 수신부(Rx)까지의 후반 전송 구간 (latter half section)으로 나뉜다. 그림 1의 (a)는 OPC가 전체 전송로 중간에 위치한 경우의 링크 구조인 반면 (b)와 (c)는 각각 OPC가 송신부 쪽에 위치한 경우와 수신부 쪽에 위치한 경우의 링크 구조이다. 모든 경우에서 전체적인 분산 분포가 분산 맵 (dispersion map)이 OPC를 중심으로 대칭이 되도록 전반 전송 구간에서는 SMF 전송 span 전에, 반면 후반 전송 구간에서는 SMF 전송 span 다음에 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion comlensating fiber)를 두는 구조로 설계하였다.

SMF 구획의 길이  $l_{SMF}$ 는 모두 50 km로 고정하였고, 따라서 그림 1(a)는 500 km에, 그림 1(b)와 (c)는 각각 100 km와 900 km에 OPC가 위치한 것이다. SMF의 분산 계수  $D_{SMF}$ 는 17 ps/nm/km, 손실 계수  $\alpha_{SMF}$ 는 0.2 dB/km, 비선형 계수  $\gamma_{SMF}$ 는  $1.41 W^{-1} km^{-1} (@1,550 nm)$ 로 가정하였다. 따라서 각 SMF 구획에서 축적된 총 분산량은 850 ps/nm (= 17 ps/nm/km × 50 km)이다. 그리고 모든 DCF의 분산 계수  $D_{DCF}$ 는 -85 ps/nm/km로, 손실 계수  $\alpha_{DCF}$ 는 0.4 dB/km, 비선형 계수  $\gamma_{DCF}$ 는  $4.83 W^{-1} km^{-1} (@1,550 nm)$ 로 가정하였다.

본 논문에서 고려하는 inline DM은 전체적 구조를 간단하게 하기 위해 송신기 바로 다음에 있는 DCF 구획과 수신기 바로 전에 있는 DCF 구획을 제외한 나머지 DCF 구획의 길이  $l_{DCF}$ 는 한 SMF 구획에서의 축적 분산량을 0 ps/nm로 만드는 10 km로 고정하였다. 즉 모든 경우에서 inline 보상량이 -850 ps/nm가 되도록 10 km로 하였다. 하지만 OPC 위치에 따른 WDM 전송 링크의 시스템 성능을 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)에 따라 확인하기 위하여 NRD는 송신기 바로 다음에 있는 DCF의 길이  $l_{pre}$ 와 수신기 바로 전에 있는 DCF의 길이  $l_{post}$ 의 가변을 통해 결정하도록 설계하였다. 즉  $l_{pre}$ 와  $l_{post}$ 의 변화를 통해 전송 링크의 NRD를 결정하고 NRD에 따른 24개 채널 중 전송 성능이 가장 나쁘게 나타나는 최악(worst) 채널의 EOP를 OPC 위치에 따라 비교 분석하는 방법을 사용하였다.

그림 1에서 전송 링크 파라미터를 제외한 송신부, 수신부와 OPC의 파라미터 값들은 참고 문헌 [3]과 동일하게 하였다.

## III. 시뮬레이션 결과 검토

그림 2는 OPC가 각각 그림 1과 같이 전체 전송 링크의 중간 (500 km), 송신부 쪽 (100 km)와 수신부 쪽 (900 km)에 위치한 링크 구조에서 WDM 채널의 입사 전력이 0 dBm인 경우 최악 채널의 EOP가 1 dB 이하가 되는 NRD 값을 나타낸 것이다.

OPC가 전체 전송 링크 중간에 위치한 경우에는 본 논문에서 고려한 범위 내의 모든 NRD 값에서 최악 채널의 EOP를 1 dB 이하가 되지만 OPC가 100 km와 900 km에 위치한 경우에는 모두 특정한 NRD 범위에서만 최악 채널의 EOP를 1 dB 이하로 만드는 것을 알 수 있다.

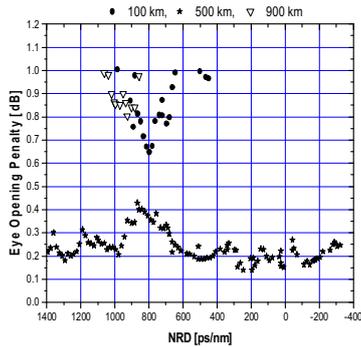


그림 2. NRD에 따른 최악 채널의 EOP

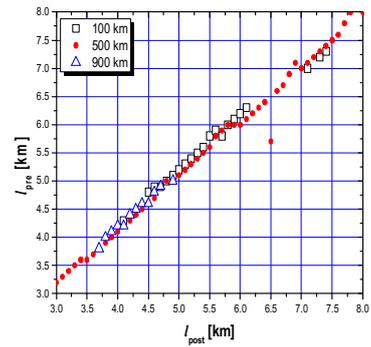


그림 3. 최적 NRD를 만드는  $l_{pre}$  와  $l_{post}$

하지만 OPC만 적용하고 DM을 적용하지 않은 전송 링크에서는 OPC가 전체 전송 링크의 중간에 있고 이를 중심으로 분산과 광 전력이 대칭이 되어야만 WDM 채널의 성능이 보상되기 때문에, 즉 OPC가 본 논문에서 살펴보는 경우와 같이 송신부와 수신부 쪽에 위치한 경우에는 OPC 중심의 분산과 전력의 대칭화를 전혀 얻을 수 없기 때문에 최선(best) 채널의 EOP도 매우 높게 나타나는 반면[4] OPC가 송신부와 수신부 쪽에 위치한 경우 OPC 위치에 따라 NRD 값을 갖도록 DM을 적용하면 이를 통한 분산 보상과 OPC를 통한 비선형 효과의 보상을 통해 WDM 채널들을 양호한 성능으로 전송할 수 있는 것을 알 수 있다.

아울러 그림 2로부터 OPC가 500 km에 위치한 경우 최적의 NRD는 0~300 ps/nm인 반면 OPC의 위치가 변한 경우 최적 NRD도 변해야 하는 것을 알 수 있다. 즉 OPC가 각각 100 km와 900 km인 경우 최적 NRD는 800 ps/nm와 900 ps/nm인 것을 알 수 있다.

그림 3은 그림 2로부터 얻은 최악 채널의 EOP가 1 dB 이하가 되는 OPC 위치별 NRD 값을 만드는  $l_{pre}$  와  $l_{post}$  의 구체적인 값들을 나타낸 것이다. 그림으로부터 OPC가 500 km에 위치한 경우에는 본 논문에서 고려한  $l_{pre}$  와  $l_{post}$  의 모든 범위인 1 km부터 12 km에 걸쳐 최악 채널의 EOP가 1 dB 이하로 나타나고, 반면 OPC가 100 km인 경우에는 4.5 km부터 6 km 사이에서, 900 km인 경우 4.3 km부터 5 km 사이에서만 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 3의 결과에서 중요한 사실은 OPC의 위치에 관계없이 WDM 채널의 최상의 보상을 위해서는 전반적으로  $l_{pre}$  가  $l_{post}$  보다 0.2 km 크게 결정되어야 한다는 것이다. 즉 예를 들어, OPC가 100 km에 위치하는 경우  $l_{post}$  가 5.0 km로 설정되면  $l_{pre}$  는 5.2 km로 결정되어야 WDM 채널들을 최상으로 보상할 수 있는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

40 Gbps × 24 채널의 WDM 전송을 위한 광 전송 링크에 OPC를 적용하는 경우 NRD를 OPC의 위치에 따라 최적화하여 DM을 적용하면 OPC를 전체 전송 거리의 중간이 아닌 송신부 쪽이나 수신부 쪽에 위치시키는 것이 가능하다는 것을 확인하였다.

본 논문에서 얻은 결과를 실제 WDM 전송 링크 설계에 적용하게 된다면 광전송 시스템의 접대점 링크 구조뿐만 아니라 광 메트로 망의 기본 구조인 링형 구조에서도 OPC와 DM을 이용하여 보다 효과적이고 고품질의 광 네트워크 구현이 가능할 것이라고 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] 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.
- [2] C. Lorattanasane and K. Kikuchi, "Design of long-distance optical transmission systems using midway optical phase conjugation", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 7, no. 11, pp 1375~1377, 1995.
- [3] Seong-Real Lee, "Dispersion Managed Optical Transmission Links with Optimized Optical Phase Conjugator", International J. of Maritime Inform. And Comm. Science, vol. 7, no. 3, 2009.
- [4] 이성렬, "광 위상 공액기를 이용한 최적화된 640 Gbps WDM 시스템의 보상 특성", 한국항해학회, 10권 2호, 2006.