
단일 모드 광섬유 전송 링크에 축적된 분산의 precompensation을 통한 40 Gbps의 RZ 전송

이성렬*

*목포해양대학교

Transmission of 40 Gbps RZ through Precompensation of Dispersion Accumulated in Transmission Links of Single Mode Fibers

Seong-Real Lee*

*Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

요 약

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)로 구성된 960 km의 전체 전송 링크에 축적된 분산을 보상하기 위해 inline 분산 제어 (DM; dispersion management)이 적용된 경우에 precompensation만의 조절로 24개의 각기 다른 파장을 갖는 RZ 형식의 신호를 양호하게 전송할 수 있는 전체 잉여 분산량 (NRD; net residual dispersion)을 RZ 형식의 충격 계수와 전송 링크의 중계 거리 당 잉여 분산량 (RDPS; residual dispersion per span)에 따라 도출하였다. 전송 링크의 RDPS가 적을수록 24개 파장 모두의 유효 NRD 범위를 늘릴 수 있고, 동일한 RDPS에서는 RZ 형식의 충격 계수가 증가될수록 유효 NRD 범위가 증가되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Net residual dispersion (NRD) available to transmit RZ formats with different 24 wavelength as a function of duty cycles of RZ format and residual dispersion per span (RDPS) is induced by controlling precompensation only in 960 km optical transmission links of single mode fiber (SMF) with inline dispersion management (DM) for compensating of accumulated dispersion. It is confirmed that effective NRD range for different 24 wavelengths is gradually broadening as RDPS is more smaller, and as duty cycle of RZ format is more larger in the same RDPS.

키워드

Dispersion Management, Precompensation, Net Residual Dispersion, Residual dispersion per span, Optical Phase Conjugator, Duty cycle, RZ format

1. 서 론

광섬유, 특히 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)의 그룹 속도 분산 (GVD; group velocity dispersion)과 비선형 효과 (nonlinear effects)에 의한 광 신호 왜곡은 파장 분할 다중 (WDM; wavelength division multiplexing)과 같은 대용량 정보의 전송과 장거리 전송에 제한을 준다[1],[2]. 저자는 그동안의 연구를 통해 광전송 링크 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 두고, 전송 링크를 구성하는 각 중계 간격마다 SMF에서 축적된 분산을 제어하는

분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 추가하는 inline 분산 제어 (DM; dispersion management)를 적용하면 신호 왜곡이 크게 보상되어 장거리 및 960 Gbps급 이상의 대용량 WDM 전송이 가능하다는 것을 확인하였다 [3]-[6].

그러나 앞선 연구들에서의 전송 링크 구조는 중계 거리 당 잉여 분산량 (RDPS; residual dispersion per span)을 고정해 놓고 precompensation(또는 postcompensation)을 OPC를 중심으로 한쪽 반 전송 구간 (half section)의 잉여 분산량이 0 ps/nm가 되도록 하고 postcompensation

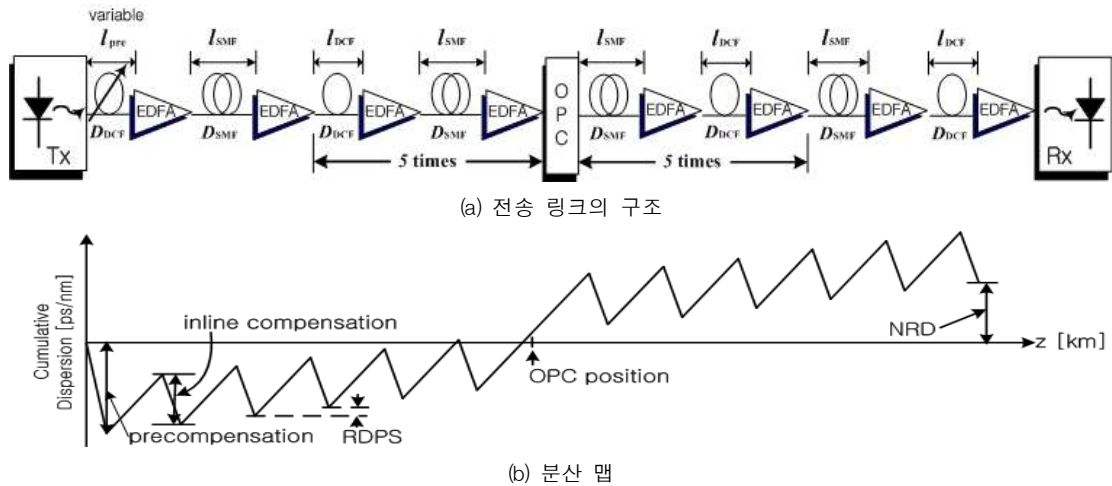


그림 1. 전송 링크의 구조와 분산 맵

sation(또는 precompensation)의 조절로 WDM 채널들을 양호하게 전송할 수 있는 최적의 전체 잉여 분산량 (NRD; net residual dispersion)을 결정하는 방식으로 이루어졌다. 지금까지 사용하였던 전송 링크의 구조를 통해 전송 용량 면이나 전송 거리 면에서 매우 효과적인 전송을 얻을 수 있었지만 precompensation과 postcompensation을 위한 DCF의 길이의 변화를 모두 고려하여야 하기 때문에 전송 링크의 설계가 복잡해진다는 단점을 가지고 있다.

DM을 이용한 분산 왜곡 보상을 위한 비교적 간단한 전송 링크 설계는 precompensation을 위한 DCF나 postcompensation을 위한 DCF 중 하나를 다른 증계 구간에서의 RDPS와 같게 고정하고 나머지의 DCF 길이로 전체 NRD를 결정하는 구조를 들 수 있다.

본 논문에서는 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)로 구성된 960 km의 전체 전송 링크의 중간에 OPC를 두고 80 km의 SMF 링크마다 DCF를 추가시킨 구조에서 postcompensation은 RDPS와 같은 값으로 고정하고 precompensation만의 조절을 통해 각기 다른 파장과 충격 계수 (duty cycle)의 RZ 신호를 효과적으로 전송할 수 있는 설계 기준을 살펴보고자 한다. RZ 파형의 충격 계수는 0.2, 0.3, 0.4와 0.5를 고려하였고, 전송 링크의 RDPS는 50 ps/nm, 200 ps/nm와 400 ps/nm를 고려하였다.

II. 광전송 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.

SMF 구획의 길이 l_{SMF} 는 모두 80 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 $1.41 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1} (@1,550 \text{ nm})$ 로 가정하였다. 따라서 각 SMF 구획에서 축적된 총 분산량은 850 ps/nm (= 17 ps/nm/km \times 50 km)이다. 그리고 모든 DCF의 분산 계수 D_{DCF} 는 -100 ps/nm/km로, 손실 계수 α_{DCF} 는 0.4 dB/km, 비선형 계수 γ_{DCF} 는 $4.83 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1} (@1,550 \text{ nm})$ 로 가정하였다.

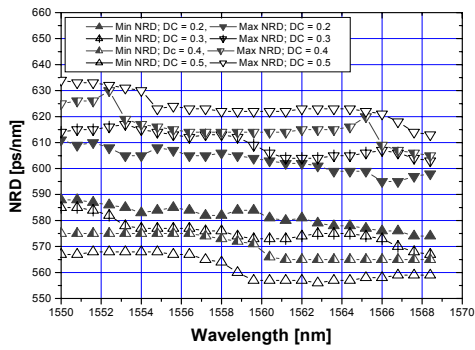
본 논문에서 고려하는 inline DM은 전체적 구조를 간단하게 하기 위해 postcompensation을 결정하는 수신기 바로 전에 있는 DCF 구획의 길이 l_{post} 는 두 번째 증계 구간부터 11번째 증계 구간의 RDPS를 결정하는 l_{DCF} 와 같은 길이로 고정하였고, NRD의 조절을 위한 precompensation을 결정하도록 l_{pre} 에 변화를 주도록 설계하였다.

본 논문에서 가정한 RDPS는 50 ps/nm, 200 ps/nm, 400 ps/nm로 각각의 값이 되기 위한 l_{DCF} 와 l_{post} 는 13.1 km, 11.6 km와 9.6 km이 되어야 한다.

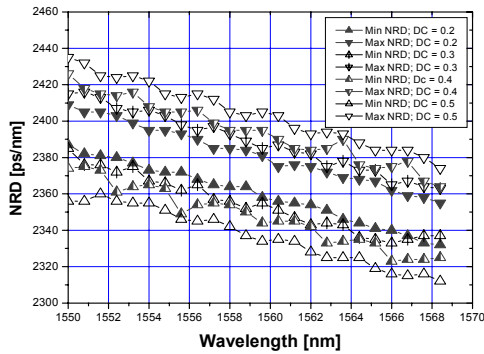
그림 1에서 전송 링크 파라미터를 제외한 송신부, 수신부와 OPC의 파라미터 값들은 참고 문헌 [6]과 동일하게 하였다.

III. 시뮬레이션 결과 검토

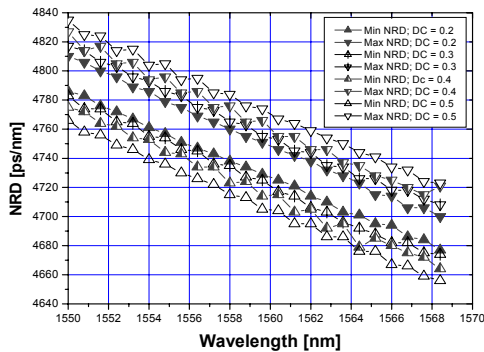
그림 2는 RDPS가 각각 50 ps/nm, 200 ps/nm와 400 ps/nm인 전송 링크에 RZ 파형의 충격 계수가 0.2, 0.3, 0.4와 0.5인 RZ 파형을 전송시킨 경우 1 dB의 눈열림 페널티 (EOP; eye opening penalty)를 만드는 최대 NRD와 최소 NRD를 파장별로 나타낸 것이다. 우선 모든 경우에 있어 파장이 증가할수록 최대와 최소 NRD가 감소하는 것을 알 수 있고, 파장의 증가에 따른 NRD의 감소가 RDPS가 크게 설계된 링크일수록 커지는 것을 알 수 있다.



(a) RDPS = 50 ps/nm : precompensation



(b) RDPS = 200 ps/nm : precompensation



(c) RDPS = 400 ps/nm : precompensation

그림 2. 파장에 따른 최소 NRD와 최대 NRD

실제의 전송 링크 설계에 있어 유효한 NRD는 최소 NRD와 최대 NRD 사이의 값으로 결정되어야 한다. 이러한 유효 NRD의 관점에서 살펴보면, RDPS가 50 ps/nm인 경우에는 RZ의 충격 계수에 따라 유효 NRD 범위가 변화되기는 하지만 충격 계수가 0.2인 RZ는 유효 NRD가 588 ~ 595 ps/nm로 설계된 경우, 충격 계수가 0.3인 RZ는 유효 NRD가 585 ~ 603 ps/nm로 설계된 경우, 충격 계수가 0.4인 RZ는 유효 NRD가 575 ~ 605

ps/nm로 설계된 경우, 충격 계수가 0.5인 RZ는 유효 NRD가 567 ~ 613 ps/nm로 설계된 경우에서 고려한 24개 파장 모두를 전송할 수 있는 것을 알 수 있다.

반면 RDPS가 늘어나게 되면 RDPS = 200 ps/nm에서 충격 계수가 0.5인 경우를 제외하고 24개 파장 모두를 전송할 수 있는 유효 NRD의 설정이 불가능하며 특정 NRD의 결정으로 특정한 파장에 대해서만 전송이 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 즉 예를 들어, 그림 2(c)의 RDPS = 400 ps/nm에서 충격 계수가 0.2의 RZ 전송에서 NRD가 4,700 ps/nm로 설계된 경우에는 1564.4 ~ 1568.4 nm의 6개 파장, NRD가 4,750 ps/nm로 설계된 경우에는 1555.6 ~ 1559.6 nm의 6개 파장, NRD가 4,760 ps/nm로 설계된 경우에는 1554.0 ~ 1558.0 nm의 6개 파장만이 전송되는 것을 알 수 있다. 전송 링크의 RDPS가 200 ps/nm와 400 ps/nm인 경우에서 NRD에 따른 전송 파장 범위를 표 1에 정리하였다.

표 1. NRD에 따른 전송 파장 범위

RDPS [ps/nm]	충격 계수	precompensation				
		NRD [ps/nm]		wavelength [nm]		
		최소	최대	from	to	파장 수
50	0.2	588	595	1550.0	1568.4	24
	0.3	585	603	1550.0	1568.4	24
	0.4	575	605	1550.0	1568.4	24
	0.5	567	613	1550.0	1568.4	24
200	0.2	2380		1552.4	1559.6	10
	0.3	2360		1557.2	1568.4	15
		2370		1554.0	1565.2	15
	0.4	2380		1550.8	1562.0	15
	0.5	2360	2374	1550.0	1568.4	24
400	0.2	4700		1564.4	1568.4	6
		4750		1555.6	1559.6	6
		4760		1554.0	1558.0	6
	0.3	4710		1562.0	1567.6	8
	0.4	4720		1559.6	1566.8	10
	0.5	4730		1555.6	1566.8	15
		4740		1554.0	1565.2	15
		4750		1552.4	1563.6	15
4760		1550.8	1562.0	15		

IV. 결 론

전체 전송 링크 중간에 OPC를 두고 precompensation만의 조절을 통해 NRD를 결정하는 구조가 매우 간단한 inline DM의 적용으로 충격 계수가 다른 RZ 펄스를 이용한 40 Gbps × 24 채널의 WDM 전송이 가능한 것을 확인하였다.

RDPS와 같은 값으로 고정된 postcompensation이 적용된 전송 링크에 precompensation만으로 NRD를 결정하는 경우 RDPS가 가능한 한 적은 값으로 선택되어야 하고, RZ 신호의 충격 계수가 크게 선택되어야 실제 전송 링크 설계에 있어 24개 파장의 유효 NRD 범위를 증가시킬 수 있는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] N. Shibata, K. Nosu, K. Iwashita and Y. Azuma, "Transmission limitations due to fiber nonlinearities in optical FDM systems," *IEEE J. Select. Areas in Comm.*, Vol.8, No.6, pp.1068-1077, 1990.
- [2] A. R. Chraplyvy, "Limitations on lightwave communications imposed by optical-fiber nonlinearities," *J. Lightwave Technol.*, Vol.8, No.10, pp.1548-1557, 1990.
- [3] 이성렬, "집중형 분산 제어 WDM 전송 시스템에서 Mid-span spectral inversion 기술", *한국통신학회논문지*, 제 33권 1호, pp. 7~15, 2008.
- [4] 이성렬, 조성언, "집중형 분산 제어 시스템에서 NRZ 변조 형식 대 RZ 변조 형식", *한국해양정보통신학회논문지*, 제 12권 제 2호, pp. 327~335, 2008. 2. 28
- [5] 이성렬, "Inline 분산 제어 광전송 링크에서 전체 잉여 분산", *한국항행학회논문지*, 제 12권 4호, pp. 311~316, 2008.
- [6] 이성렬, "분산 제어와 OPC를 갖는 광 전송 링크를 이용한 WDM 신호의 Q-factor 개선", *한국항행학회논문지*, 제 13권 1호, pp. 27~34, 2009. 2. 28