

중계 구간의 누적 분산이 지속적으로 증가/감소하는 분산 제어 링크

김대중 · 이성렬*

목포해양대학교

Dispersion-managed Link with Growth/Decay Distribution of Accumulated Dispersion of Fiber Spans

Dae-Jung Kim · Seong-Real Lee*

Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

요 약

본 연구에서는 분산 제어와 광 위상 공액이 적용된 링크에서 누적 분산이 지속적으로 증가/감소하는 광전송 링크를 제안하고자 한다. 본 연구에서 제안한 광전송 링크에서 전체 잉여 분산이 -15 ps/nm나 15 ps/nm로 설정된 경우 왜곡된 파장 분할 다중 채널의 보상이 최상으로 이루어지는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, dispersion-managed optimal link configuration with the growth/decay distribution of accumulative dispersion as the fiber span is increased, in which optical phase conjugator placed at midway, is proposed. It is confirmed that if net residual dispersion set to be -15 ps/nm or 15 ps/nm in the proposed optical link configuration, the best compensation of the distorted wavelength division multiplexed channels will be obtained.

키워드

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

I. 서 론

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)가 갖는 색 분산 (chromatic dispersion)과 비선형 효과의 상호 작용에 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.

본 연구에서는 중계 구간 수가 증가할수록 누적되는 잉여 분산이 지속적으로 증가(growth) 또는 감소(decay)하는 분산 제어 링크에서의 960 Gbps 파장 분할 다중 (WDM; wavelength division multiplexed) 신호의 왜곡 보상 특성을 살펴보고자 한다.

II. WDM 전송 링크의 모델링

* corresponding author

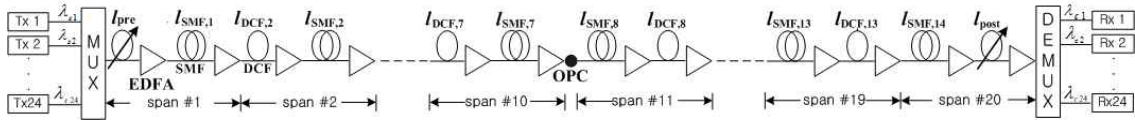


그림 1. WDM 전송 링크 구조

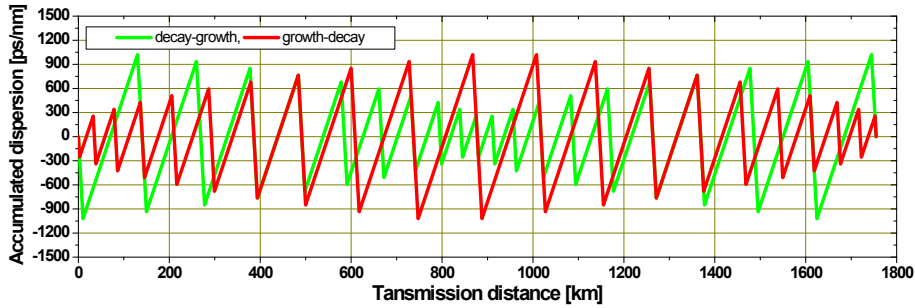


그림 2. WDM 전송 링크의 분산 맵

표 1. Decay-Growth 분포를 위한 중계 구간의 광섬유 길이

No. 길이	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	extra	
	SMF	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	
	DCF	10.2	19.55	17.85	16.15	14.45	12.75	11.05	9.35	7.65	5.95	2.55
No. 길이	extra	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	
	SMF		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	DCF	2.55	5.95	7.65	9.35	11.05	12.75	14.45	16.15	17.85	19.55	10.2

표 2. Growth-Decay 분포를 위한 중계 구간의 광섬유 길이

No. 길이	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	extra	
	SMF	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
	DCF	2.55	5.95	7.65	9.35	11.05	12.75	14.45	16.15	17.85	19.55	10.2
No. 길이	extra	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	
	SMF		120	110	100	90	80	70	60	50	40	30
	DCF	10.2	19.55	17.85	16.15	14.45	12.75	11.05	9.35	7.65	5.95	2.55

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.

전체 중계 구간 수는 20개로 광 위상 공액기

(OPC; optical phase conjugator)를 중심으로 전반 전송 구획과 후반 전송 구획 각각 10개로 구성하였다.

SMF의 기타 파라미터는 다음과 같이 모델링하였다. 손실 계수 : $\alpha_{SMF} = 0.2$ dB/km, 분산 계수 : $D_{SMF} = 17$ ps/nm/km(@1,550 nm), 비선형 계수 : $\gamma_{SMF} = 1.35$ W⁻¹km⁻¹(@1,550 nm). 또한 DCF의 기타 파라미

터는 다음과 같이 하였다. 손실 계수 : $\alpha_{DCF} = 0.6$ dB/km, 분산 계수 : $D_{DCF} = -100$ ps/nm/km(@ 1,550 nm), 비선형 계수 : $\gamma_{DCF} = 5.06$ W⁻¹km⁻¹ (@1,550 nm).

그림 1에서 OPC를 중심으로 각 10개 중계 구간이 증가할수록 누적되는 분산이 지속적으로 증가되거나 감소되기 위해서는 각 중계 구간을 구성하는 SMF와 DCF의 길이를 적절하게 조절하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서 설정한 누적 분산의 지속적 증가감소 분포는 그림 2의 분산 맵 (dispersion map)처럼 하였고, 이를 위한 각 전송 반 구획을 구성하는 중계 구간의 SMF와 DCF 길이를 표 1과 표 2의 값으로 설정하였다.

본 연구에서 시뮬레이션을 통해 분석하고자 하는 구조는 2가지로 구 중 하나는 송신단부터 OPC까지의 전반 전송 구획에서는 누적 분산이 지속적으로 감소하고 동시에 OPC부터 수신단까지의 후반 전송 구획에서는 누적 분산이 지속적으로 증가하는 구조이다 (이를 dc-gr이라고 표현함). 반면 나머지 하나는 고 전반 전송 구획에서는 누적 분산이 지속적으로 증가하고 동시에 후반 전송 구획에서는 누적 분산이 지속적으로 감소하는 구조이다 (이를 gr-dc이라고 표현함).

그림 2를 살펴보면 2가지 분포 구조 모두 각 중계 구간이 증가할수록 지속적으로 누적 분산이 증가하거나 감소하지만 수신단, 즉 최종 전송 지점에서의 분산이 0 ps/nm에 가까워지는 것을 알 수 있다. 즉 전체 전송 링크에서 축적된 분산 값을 표현하는 NRD (net residual dispersion)이 0 ps/nm에 가까워진다. 그러나 24개 WDM 채널의 양호한 보상을 위해서는 이 NRD가 0 ps/nm이 아닌 다른 값을 갖는다는 것을 앞선 연구들을 통해 확인하였다.

본 연구에서는 최적 NRD를 찾기 위해 첫 번째 중계 구간 (span #1)의 DCF 길이의 조절을 통해 NRD를 조절하는 방법 (이를 pre-DC (dispersion calibrator)라 함)을 사용하였다.

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 3은 중계 구간의 누적 분산 형태가 dc-gr인 링크에서와 gr-dc인 링크에서 pre-DC에 의해 NRD가 -45 ps/nm, -30 ps/nm, -15 ps/nm, 0 ps/nm, 15 ps/nm, 30 ps/nm와 45 ps/nm로 설정된 경우에서 입사 전력에 따른 최악 채널의 Q-factor를 나타낸 것이다.

그림 3의 결과로부터 NRD가 -15 ps/nm 15 ps/nm로 설정되면 중계 구간의 누적 분산 형태에 크게 영향 받지 않고 24개 WDM 채널의 보상을 최대한 얻을 수 있는 확인할 수 있다.

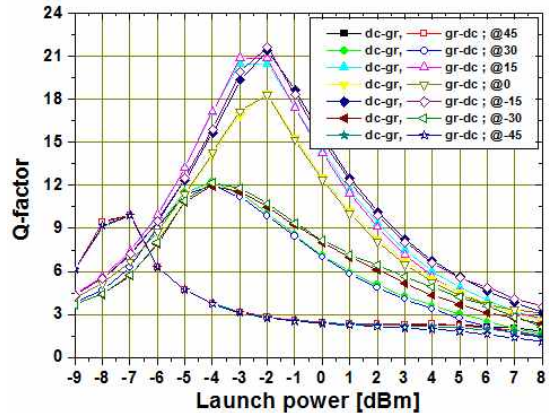


그림 3. 입사 전력에 따른 최악 채널의 Q-factor

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.