

주파수 찢이 다른 WDM 신호의 효율적 왜곡 보상

Effective Compensation of Distorted WDM Signals Related with Frequency Chirp

이성렬*, 임항빈**

Seong-Real Lee*, Hwang-Bin Yim**

요 약

광 변조기에 의해 광 신호에 본질적으로 인가되어 전송 품질에 영향을 미치는 주파수 찢 (frequency chirp)에 관계하여 광 위상 공액기 (OPC ; optical phase conjugator)의 최적 위치와 광섬유 구간의 최적 분산 계수를 도출하였다. 본 논문에서는 다양한 주파수 찢과 최적 파라미터의 관계를 살펴보고자 전송 성능 면에서 최악의 경우인 10 dB 소광비를 갖는 NRZ 형식의 40 Gbps × 16 채널 WDM 전송 시스템에서 음(negative 또는 down)의 찢, chirp-free, 양(positive 또는 up)의 찢을 모두 가정하였다. 주파수 찢 값이 커질수록 WDM 채널 신호들의 최적의 보상을 위한 OPC의 위치 오프셋이나 광섬유 구간의 분산 계수 오프셋을 크게 하여야 한다는 것을 확인하였다. 그리고 도출된 최적 값들의 효과는 초기 주파수 찢 값이 양인 WDM 채널의 보상에서보다 음인 WDM 채널의 보상에서 더욱 크다는 것을 확인하였다.

Abstract

We induced the optimal values of optical phase conjugator (OPC) position and dispersion coefficients of fiber sections depending on frequency chirp, which is substantially generated in optical signal by optical modulator and affects the transmission performances. In order to investigate the relation of optimal parameters with various frequency chirp, in this paper, positive(down) chirp, chirp-free and positive(up) chirp are assumed in 40 Gbps × 16 channels WDM transmission system of NRZ format with extinction ratio of 10 dB, which are the worst system parameters in the factor affecting system performance. It is confirmed that the OPC position offset and dispersion offsets between both fiber sections are more increased as frequency chirp become larger. It is also confirmed that the effect of the induced values on the compensation of WDM channels with negative frequency chirp is better than WDM channels with positive frequency chirp.

Key words : frequency chirp, optical phase conjugator, optimal parameter, WDM, EOP

I. 서 론

강도 변조 직접 검파(IM/DD ; Intensity Modulation / Direct Detection) 시스템에서 신호에 의해 직접 변

조되는 반도체 레이저는 변조기의 본질적 특성 때문에 광 펄스의 순시 주파수가 시간에 따라 변하는 주파수 찢(chirp)을 만든다[1]. 즉 광 펄스 포락선(envelope)을 구성하는 신호 성분들의 주파수가 광 펄스 지속 시간 내내 일정하지 않고 (일정한 경우를

* 목포해양대학교 해양전자통신공학부 (Div. of Marine Electro. & Comm. Eng., Mokpo National Maritime University)

** 강원도립대학 정보통신과 (Dept. of Information & Comm., Gangwon Provincial College)

· 제1저자 (First Author) : 이성렬

· 접수일자 : 2007년 8월 2일

free-chirp이라고 한다) 지속 시간이 뒤로 갈수록 주파수 성분이 점점 낮아지거나 (이를 down-chirp, 또는 negative chirp이라고 한다), 빨라지게 된다 (이를 up-chirp, 또는 positive chirp이라고 한다). 광변조 과정에서 발생된 이러한 주파수 쉼에 의해 광 펄스는 본질적으로 위상 변화를 가지고 전송되기 때문에 이 위상 변화와 광 펄스가 광섬유를 전파하면서 겪게 되는 비선형 효과에 의한 위상 변화의 상호 관계는 고속 비트율의 광 전송의 성능에 영향을 준다.

채널의 비트율이 40 Gbps인 경우 이들을 다른 파장에 할당하여 동시에 보내는 WDM 전송 시스템에서 총 전송률이 640 Gbps 이상, 즉 16 채널 전송 이상이 되면 광섬유에 본질적으로 나타나는 색 분산과 비선형 효과에 의한 왜곡을 보상하기 위해 전체 광 전송로 중간에 광 위상 공액기 (OPC ; optical phase conjugator)를 사용하는 MSSI(mid-span spectral inversion) 기술을 광전송 링크에 그대로 적용하는 것에는 성능 개선 면에서 한계가 있다는 것을 확인하였다.

이러한 대용량 WDM 전송 시스템에서의 MSSI 기술의 한계를 극복하기 위하여 앞선 연구들을 통하여 40 Gbps WDM 채널의 수, 변조 파형 형식, 광변조 파형의 소광비 등에 관계하여 OPC의 최적 위치와 OPC를 중심으로 한 전반 전송 구간의 광섬유 분산 계수와 후반 구간 광섬유 분산 계수의 최적 오프셋(offset)을 도출하고 이를 적용하여 WDM 채널들의 전송 성능이 향상되는 것을 보였다 [2]~[4]. 지난 연구들을 통해 제안된 WDM 채널들을 효과적으로 보상하여 전송 성능을 개선할 수 있는 최적 파라미터 등은 전송 채널수, 변조 파형 형식, 소광비 등에 관계하여 결정되어야 하는 것을 확인하였다.

앞부분에서 언급했듯이, 광섬유의 색 분산과 비선형 효과가 광전송 품질에 영향을 미치는 주요 원인인 경우 신호의 성능에 변화를 주는 중요 시스템 파라미터 중 하나로 광변조기에 의해 결정되는 펄스의 주파수 쉼도 고려되어야 한다. 그리고 선행 연구에서 제안한 OPC의 최적 파라미터의 구체적인 값들이 비선형 효과 중 자기 위상 변조 (SPM ; self phase modulation)가 지배적인 WDM 전송 시스템에서 주파수 쉼을 갖는 광 펄스가 전송하게 되면 SPM과 주파

수 쉼의 상호 반응이 WDM 전송에 영향을 미치게 되어 결국 최적 파라미터들이 주파수 쉼에 의존하여 변화될 것이라고 예상된다.

따라서 본 연구에서는 지난 연구에서 제안한 OPC의 최적 파라미터 값들을 광 펄스 주파수 쉼에 따라 도출하고, 이 값들을 WDM 전송 시스템에 적용한 경우 성능 개선 정도를 서로 비교해 보고자 한다. 본 연구에서 가정한 시스템 구조와 이의 시스템 파라미터들은 참고 문헌 [3]과 동일하게 설정하였다. 선행 연구를 통해 변조 파형 형식에 있어 RZ보다는 NRZ, 소광비에 있어서는 20 dB보다 10 dB에서 성능 개선 정도가 다소 떨어지는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 최악의 환경에서 주파수 쉼을 고려하고자 한다. 즉 본 연구에서 고려한 WDM 채널의 전송 파형은 소광비 10 dB의 NRZ 형식으로 가정하였다.

II. WDM 시스템의 모델링과 성능 분석

손실, 분산 및 비선형 특성이 존재하는 매질을 전파하는 광 신호의 전송은 비선형 쉬뢰딩거 방정식에 의해 표현되는데 이의 수치적 해석은 단계 분할 푸리에 (SSF ; split-step Fourier) 방법에 의해 수행된다 [5]. 본 논문에서도 참고 문헌 [3]에서 모델링한 1,000 km의 비 영 분산 천이 광섬유 (NZ-DSF ; non zero - dispersion shifted fiber)로 구성된 40 Gbps × 16 채널 WDM 전송 시스템에 주파수 쉼이 다르게 가정된 NRZ 신호를 전송시키는 경우를 SSF를 가지고 수치적 분석을 수행하였다. 수신된 각 채널의 NRZ 파형의 성능 분석은 아래 식으로 정의되는 눈 열림 페널티 (EOP ; eye opening penalty)를 통해 이루어졌다[6].

$$EOP[dB] = 10\log_{10}(EO_{rec}/EO_{b-t-b}) \quad (1)$$

여기서 EO_{rec} 는 수신 신호의 눈 열림(EO ; eye opening)이고 EO_{b-t-b} 는 광 신호가 전송로에 입사되기 전 측정된 EO이다. 각각에서 EO는 아래와 같다.

$$EO = 2P_{av}/(P_{1,min} - P_{0,max}) \quad (2)$$

여기서 P_{av} 는 광 신호의 평균 전력이고, $P_{1,\min}$ 는 '1' 펄스의 최소 수신 전력, $P_{0,\max}$ 는 '0' 펄스의 최대 전력이다.

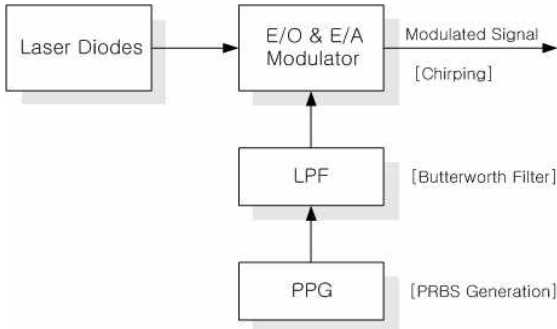


그림 1. WDM 전송 시스템의 송신부 구조
Fig. 1. Configuration of transmitter in WDM transmission system.

WDM 송신부는 그림 1의 구조의 IM 방식의 송신기 16개가 병렬로 구성된 것으로 가정하였다. 그림 1에서 레이저는 분포 궤환 레이저로 하였고 각 레이저별 파장은 각각 1,500 nm부터 100 GHz 간격으로 1,562 nm까지 할당하였다. 그림 1에서 PPG(pseudo random pulse generator)는 서로 독립적으로 40 Gbps의 $128(=2^7)$ PRBS(pseudo random bit sequence)를 발생시키고 PRBS에 따라 변조기는 아래 식으로 표현되는 소광비 10 dB의 NRZ 형식의 2차 수퍼 가우시안 펄스를 생성시킨다.

$$A(0,t) = \sqrt{P_0} \left[-\frac{(1+iC)}{2} \left(\frac{t}{t_0} \right)^{2m} \right] \quad (3)$$

여기서 P_0 는 입사 광 전력, m 은 펄스의 차수, t_0 는 반치폭($1/e$ 강도점)으로 $1/(1.825 \times \text{비트율})$ 로 가정하였다. 또한 C 는 식 (4)로 정의되는 초기 주파수 절파 파라미터[1]로 본 논문에서는 이 값을 -1, 0(chirp-free), +1로 가정하여 각 경우에 대한 최적 파라미터 값들과 이들 값들이 적용된 경우의 성능 개선 정도를 살펴보고자 한다.

$$C = \frac{dArg(A_0)}{dt} \bigg/ \left(\frac{1}{|A_0|} \frac{d|A_0|}{dt} \right) \quad (4)$$

16개의 채널들은 배열 도파로 격자 다중화 장치

(arrayed-waveguide grating multiplexer)에서 다중화되어 50 km 간격의 NZ-DSF를 EDFA(erbium-doped fiber amplifier)로 연결한 500 km의 전송 링크로 보내어진다. 500 km를 전파한 WDM 채널들은 OPC를 통해 공액 변환되어 나머지 50 km 간격의 NZ-DSF 10개 span, 즉 500 km를 전송한 후 역다중화된 후 각 채널마다 직접 검파 방식으로 수신 처리된다. NZ-DSF의 파라미터 값들, OPC의 구조 및 파라미터 값들, 수신기의 구조 및 파라미터 값들은 참고 문헌 [3]에서 사용한 것들과 동일하게 가정하고 모델링하였다.

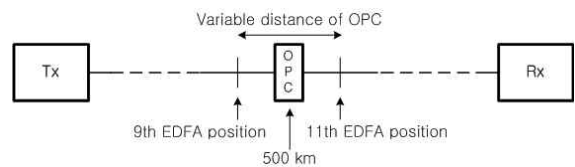


그림 2. 최적 OPC 위치 도출 개념도
Fig. 2. Schemes of inducing optimal OPC position.

그림 2는 본 논문에서 살펴볼 최적 파라미터 중 OPC의 최적 위치 도출 방법을 설명한 것으로 전체 전송 거리 1,000 km인 경우 기존 MSSI 기술에서의 OPC 위치인 500 km를 중심으로 EDFA의 9번째와 11번째 사이에서, 즉 450~550 km에서 OPC의 위치를 변화시키면서 파장이 가장 작은 채널 1과 파장이 가장 큰 채널 16 사이의 $\Delta EOP = |EOP_{ch1} - EOP_{ch16}|$ 가 가장 적은 위치를 찾고 이 값을 WDM 전송 시스템에 적용한 경우 모든 채널들의 전송 성능 개선 정도를 분석하여 최적 위치를 도출한다.

그리고 OPC를 중심으로 한 두 전송 구간의 최적 분산 계수 오프셋은 한 쪽 구간의 분산 계수를 3.5 ps/nm/km로 고정한 상태에서 나머지 구간의 분산 계수를 이 값의 10% 내에서 변화를 주었을 때 ΔEOP 를 최소로 만드는 값을 찾고 이를 WDM 전송 시스템에 적용하고 분석하여 도출한다. 여기서, 도출된 파라미터 값, 즉 OPC 위치와 분산 계수 오프셋은 서로 상관시켜 결정한다.

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 3은 전통적 MSSI 기술이 적용된 WDM 전송

시스템에서 본 논문에서 고려한 모든 C에서 EOP 특성이 가장 좋게 나타나는 채널 (C=-1과 0에서 채널 6, C=+1에서 채널 1)과 가장 나쁘게 나타나는 채널 (C의 모든 값에서 채널 16)의 EOP 특성을 비교한 것이다. 광 펄스의 C 값이 작을수록 채널 간 EOP 특성이 현격히 차이가 나타나기 때문에 전체 채널의 전송 면에서 WDM 채널 신호의 C 값이 클수록 유리한 것을 알 수 있다. 하지만 1 dB EOP를 수신 성능의 기준으로 한다면 WDM 채널 신호가 어떤 C 값을 갖더라도 채널 간 전력 페널티가 규정할 수 없을 정도로 매우 커서 MSSI 기술의 직접 적용을 통해서 모든 채널의 양호한 전송이 어려운 것을 확인할 수 있다.

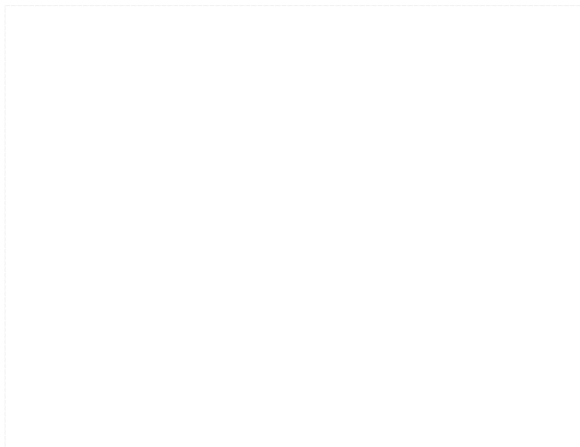
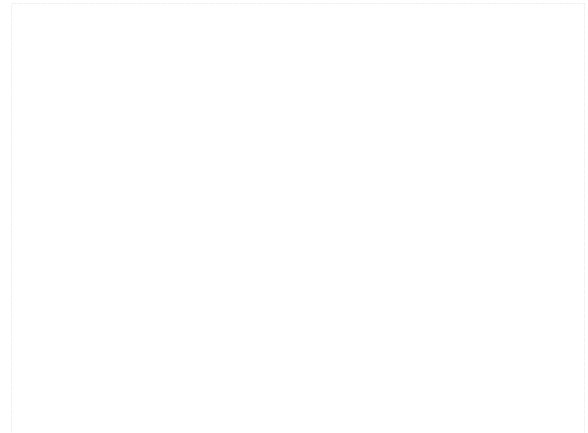


그림 3. 전통적 MSSI 기술에서 입사 전력에 따른 최상의 채널과 최악의 채널의 EOP

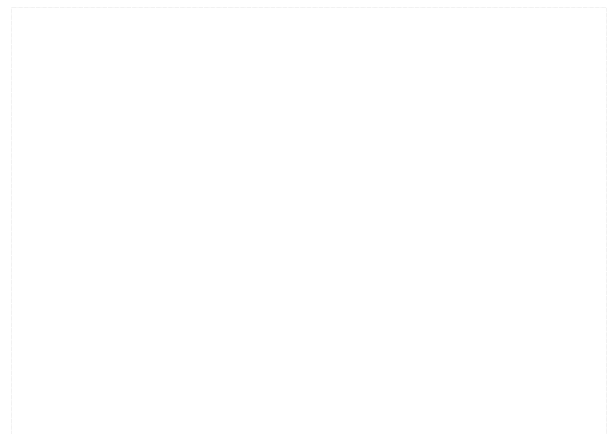
Fig. 3. EOP of the best channel and the worst channel as a function of launching power in the conventional MSSI techniques.

그림 4(a)는 두 광섬유 구간의 분산 계수가 모두 3.5ps/nm/km로 고정되었을 때 OPC 위치에 따른 ΔEOP 를 C 값에 따라 나타낸 것으로, 채널 1과 16 사이의 ΔEOP 를 최소로 하는 최적 OPC 위치는 C가 -1인 경우 498 km, 0인 경우 496 km, 그리고 +1인 경우 494 km인 것을 알 수 있다. 즉 C가 1씩 증가할 때 마다 최적 OPC 위치가 2 km씩 송신기 쪽으로 가까워져야 하는 것을 알 수 있다.

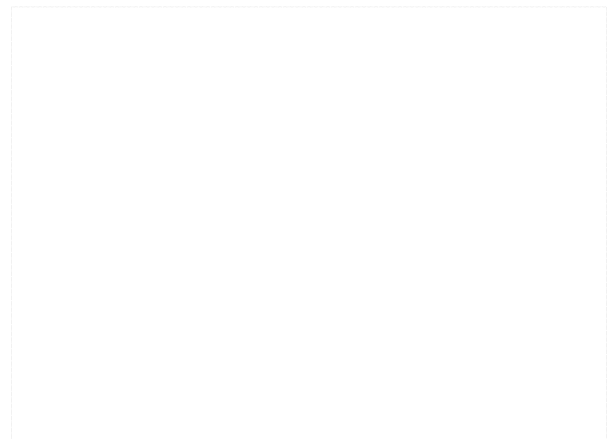
그림 4(b)는 그림 4(a)에서 구한 C에 따른 최적의 OPC 위치에서 OPC 이후의 전송 구간의 분산 계수 D_{12} 가 3.5 ps/nm/km로 고정되었을 때 OPC 이전까지의 전송 구간의 분산 계수 D_{11} 에 따른 ΔEOP 를 나타



(a) z_{OPC} v.s. $\Delta EOP @ D_{11} = D_{12} = 3.5 \text{ ps/nm/km}$



(b) 그림 (a)의 결과 하에서 D_{11} v.s. ΔEOP



(c) 그림 (a)의 결과 하에서 D_{12} v.s. ΔEOP

그림 4. ΔEOP 특성

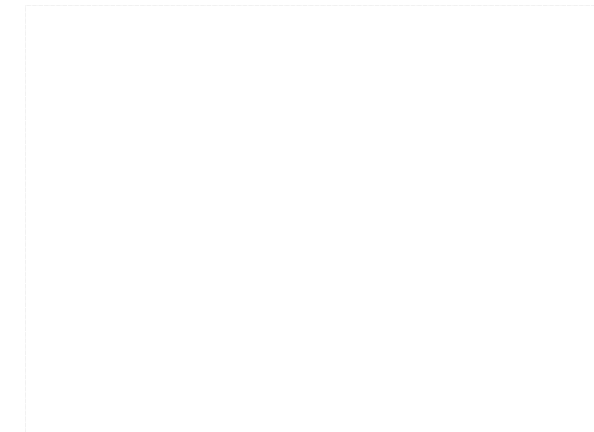
Fig. 4. ΔEOP characteristics.

낸 것이고, 그림 5(c)는 그림 5(a)에서 구한 C에 따른 최적의 OPC 위치에서 D_{11} 이 3.5 ps/nm/km로 고정되었을 때 D_{12} 에 따른 ΔEOP 를 나타낸 것이다. 그림 4(b)와 (c)를 비교해보면, C=0인 경우 OPC가 496 km

에 위치할 때 ΔEOP 를 최소로 만드는 두 전송 구간의 분산 계수는 3.5 ps/nm/km로 서로 동일해야 한다는 것을 알 수 있다. 그러나 C 가 0이 아닌 경우는 OPC가 최적의 위치에 있다고 하더라도 두 전송 구간의 분산 계수는 차이가 있어야 한다. 즉 $C=-1$ 로 음의 주파수 쉐어를 갖는 경우 후반 전송 구간의 최적 분산 계수가 전반 전송 구간의 분산 계수보다 0.005 ps/nm/km 커야하는 반면 C 가 크기는 같지만 부호가 반대인 경우 (즉 $C=+1$)는 두 전송 구간의 최적 분산 계수 관계가 반대로 나타나야 하는 것을 알 수 있다. 이는 그림 4(b)와 (c)에 나타난 ΔEOP 의 곡선이 서로 반대로 나타나는 것으로 알 수 있다. 주파수 쉐어의 부호가 반대인 경우에서의 이러한 대칭 특성은 광 펄스의 주파수 쉐어 특성에 따라 WDM 전송 시스템의 최적화 설계는 상반되게 이루어져야 하는 것을 의미한다.



(a) D_{1x} v.s. ΔEOP @ $z_{OPC} = 3.5$ ps/nm/km



(b) 그림 (a)의 결과 하에서 z_{OPC} v.s. ΔEOP

그림 5. ΔEOP 특성

Fig. 5. ΔEOP characteristics.

그림 5는 앞서 구한 최적 파라미터의 상관성을 알아보기 위해 그림 4의 반대 과정으로 살펴본 ΔEOP 특성이다. D_{1x} 와 z_{OPC} 에 대한 두 채널의 Q-factor 차이이다. 즉 그림 5(a)는 OPC가 500 km에 위치한 경우 C 가 -1, 0, 1인 경우 한 쪽 전송 구간의 분산 계수가 3.5 ps/nm/km일 때 나머지 전송 구간의 분산 계수에 따른 ΔEOP 를 나타낸 것으로 최소의 ΔEOP 를 만드는 광섬유의 분산 계수는 모든 C 에서 후반 전송 구간의 분산 계수가 C 값에 관계하여 커야 하는 것을 알 수 있다. 그리고 전반 구간의 최적 분산 계수는 같은 값만큼 작아야 한다. 두 전송 구간 사이의 최적 분산 계수 차이 값은 C 가 증가할수록 커져야 한다는 것을 알 수 있다. 즉 한쪽 전송 구간의 분산 계수가 3.5 ps/nm/km로 고정되었을 때 이에 대한 나머지 전송 구간의 최적 분산 계수 오프셋은 $C=-1$ 인 경우 0.035 ps/nm/km, $C=0$ 인 경우 0.055 ps/nm/km, $C=+1$ 인 경우 0.08 ps/nm/km로 얻어졌다. 그리고 그림 5(b)는 각 구간의 분산 계수가 그림 5(a)의 결과에 따라 설정되었을 때 OPC 위치에 따른 ΔEOP 를 나타낸 것으로 모든 경우 ΔEOP 를 최소로 만드는 OPC 위치는 500 km인 것을 알 수 있다. 그림 5(a)와 (b)의 결과가 의미하는 것은 단지 OPC를 중심으로 한 두 전송 구간 사이의 분산 계수 오프셋만이 C 값에 따라 최적화되면 OPC의 추가적인 위치 제어 없이 모든 WDM 채널의 효율적 보상과 이에 의한 성능 개선이 가능하다는 것을 의미한다.

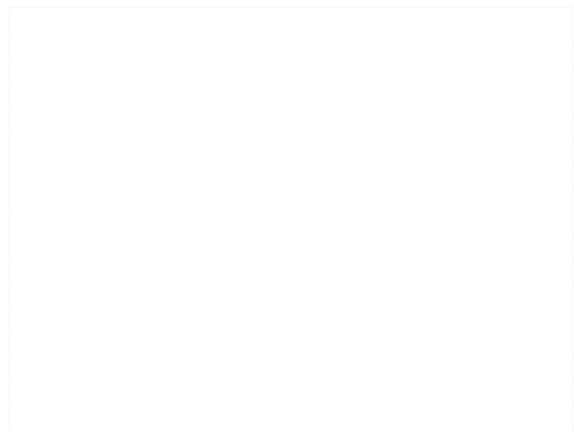


그림 6. 최적 파라미터 적용 시 전송 성능

Fig. 6. Transmission performances in the case of using optimal parameters.

그림 6은 그림 4와 5의 결과가 실제 WDM 전송 시스템에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각각에서 얻은 최적 파라미터들을 적용한 경우 1 dB EOP가 되는 최대 채널 전력 (최상 채널의 입사 전력)과 최소 채널 전력 (최악 채널의 입사 전력)을, 그리고 이들의 차인 전력 페널티를 나타낸 것이다. 그림 6의 x축에 나타낸 case는 그림 4와 5로부터 얻은 각 C에서의 최적 파라미터가 적용된 경우의 값들이다. 즉 case 1~4는 C=-1인 경우로 case 1과 case 2는 각각 그림 4에서 얻은 OPC가 498 km에 위치하고 $D_{11}=3.495$, $D_{12}=3.5$ ps/nm/km이고 $D_{11}=3.5$, $D_{12}=3.505$ ps/nm/km에서의 값들이고, case 3와 case 4는 그림 5에서 얻은 각각 OPC가 500 km에 위치하고 $D_{11}=3.465$, $D_{12}=3.5$ ps/nm/km이고 $D_{11}=3.5$, $D_{12}=3.535$ ps/nm/km에서의 값들이다. case 5~7은 C=0인 경우로 case 5는 그림 4에서 얻은 OPC가 496 km에 위치하고 $D_{11}=D_{12}=3.5$ ps/nm/km에서의 값이고, case 6과 7은 그림 5에서 얻은 각각 OPC가 500 km에 위치하고 $D_{11}=3.445$, $D_{12}=3.5$ ps/nm/km이고 $D_{11}=3.5$, $D_{12}=3.555$ ps/nm/km에서의 값들이다. case 8~11은 C=+1인 경우로 case 8과 case 9는 각각 그림 4에서 얻은 OPC가 494 km에 위치하고 $D_{11}=3.505$, $D_{12}=3.5$ ps/nm/km이고 $D_{12}=3.5$, $D_{12}=3.495$ ps/nm/km에서의 값들이고, case 10과 case 11은 그림 5에서 얻은 각각 OPC가 500 km에 위치하고 $D_{11}=3.42$, $D_{12}=3.5$ ps/nm/km이고 $D_{11}=3.5$, $D_{12}=3.58$ ps/nm/km에서의 값들이다.

우선 최적 파라미터가 적용되지 않은 전통적 MSSSI 기술만 적용된 경우의 EOP 특성인 그림 3과 비교해 보면 모든 C에서 전력 페널티를 2.5 dB 이하로 감소시킬 만큼 전송 성능이 크게 개선되는 것을 확인할 수 있다. 가장 큰 전력 페널티의 개선은 주파수 쉼이 없는 (C=0) NRZ 펄스 전송에서 일어나고 그 다음은 C=-1인 것을 알 수 있다. 그러나 그림 3에 나타낸 전통적 MSSSI에서의 EOP 특성을 보면 C=-1에서 최상과 최악의 EOP 차이, 즉 전력 페널티가 가장 크다 (그림 3에서 최악 채널의 1 dB EOP 값들이 표현되지 않았지만 C=0에 비해 전력 페널티가 3배 이상 된다). 하지만 최적 파라미터들이 적용된 경우 (그림 6의 결과)에서는 C=-1인 경우의 전력 페널티

가 C=0에 비해 약 1 dB 정도 크다. 즉 이들의 성능 개선 효과 차이가 매우 크지 않다. 따라서 최적 파라미터들에 의한 가장 큰 성능 개선 효과는 C=-1의 NRZ 펄스 전송에서 얻을 수 있는 것을 알 수 있다.

그림 6을 통해 주목해야 할 또 다른 사실은 주파수 쉼을 갖는 WDM 신호의 보상을 위한 최적 파라미터들은 최적 OPC 위치를 먼저 도출하고 그 값에서 최적 분산 계수 오프셋을 도출하여 적용하는 것 (case 1 2, 8, 9)이 이와 반대 순서로 구한 최적 파라미터들을 적용하는 것 (case 3, 4, 10, 11)에 비해 전송 품질을 좀 더 개선할 수 있다는 것이다.

IV. 결 론

OPC의 최적 위치와 두 전송 구간의 분산 계수 오프셋을 이용한 16 채널 WDM 전송 시스템의 성능 개선은 변조 파형 형식, 소광비와 더불어 광 펄스가 주파수 쉼을 갖는 경우에도 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. 위의 두 최적 파라미터를 구하는 순서의 간편성 면에서 보면 주파수 쉼에 따라 분산 계수 오프셋을 먼저 구하는 것이 최적 OPC 위치를 구하지 않아도 되기 때문에 유리하다는 것을 알 수 있었다. 그러나 성능 개선 효과면에서 보면 OPC의 최적 위치를 구하고난 후 두 전송 구간의 분산 계수 오프셋을 구해 시스템에 적용하는 것이 더 바람직한 것을 알았다.

본 논문에서 고려한 WDM 전송 시스템은 그간의 연구 결과로부터 얻은 최악의 조건을 갖는 시스템이다. 즉 변조 파형 형식은 RZ가 아닌 NRZ, 소광비는 20 dB가 아닌 10 dB의 WDM 채널 신호에 광섬유에서 발생하는 비선형 현상과의 복잡한 상호 작용으로 시스템 품질 저하를 부가적으로 일으킬 수 있는 주파수 쉼까지 고려하여 최적 파라미터들의 도출과 이의 적용에 따른 성능 개선을 살펴보았다. 최악의 조건을 갖는 WDM 전송 시스템이지만 OPC와 관련된 최적 파라미터 값들을 도출하고 적용하면 전송 성능을 매우 크게 개선된다는 것을 확인하였다. 이러한 사실은 WDM 전송 시스템이 광전송 환경에 맞게 최상으로 설계된 경우, 즉 소광비 20 dB 이상이고 주파수 쉼이 없는 RZ 전송이라면 본 논문에서 살펴본

OPC 관련한 최적 파라미터들을 통해 모든 채널의 전송 품질을 더욱 개선시킬 수 있고, 따라서 전송 거리를 수 천 km로 증가시키거나 총 전송률을 1 Tbps 급 이상으로 증가시키는 것이 가능하다는 것을 의미한다.

참 고 문 헌

- [1] G. P. Agrawal, and N. K. Dutta, *Semiconductor Lasers*, Chap. 6, van Nostrand-Reinhold Press, 1993.
- [2] 이성렬, 정재필, “WDM 채널 수에 따른 최적의 OPC 위치 및 광섬유 분산 계수”, *한국항행학회 논문지*, 제 11권 2호, pp. 177~186, 2007.
- [3] 이성렬, 이영교, “WDM 채널 신호의 소광비에 따른 광 위상 공액기의 최적 파라미터 값”, *한국항행학회논문지*, 제 11권 2호, pp. 187~195, 2007.
- [4] 이성렬, 도규봉, “광 위상 공액기의 최적 파라미터를 이용한 1,000 km NZ-DSF를 갖는 0.96 Tbps WDM 시스템의 유연한 설계”, *한국통신학회논문지*, 제 32권 7호, pp. 657~665, 2007.
- [5] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, Academic Press, 2001.
- [6] B. Konrad and K. Petermann, “Optimum Fiber Dispersion in High-Speed TDM Systems” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, no. 4, pp 299~301, 2001.

이 성 렬 (李成烈)



1990년 2월 : 한국항공대학교 통신정보공학과 (공학사)

1992년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)

2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사)

1996년 1월~2002년 5월 : (주)세영통신 전파기술연구소 책임연구원

2002년 6월~2004년 2월 : (주)에이티엔 기술연구소장

2004년 3월~현재 국립목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수

관심분야 : WDM 시스템, 광의 비선형 현상 분석, 광솔리톤 전송

임 황 빈 (任黃彬)



1983년 2월 : 명지대학교 전자공학과 (공학사)

1985년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 2월 : 순천향대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2003년 3월~현재 : 강원도립대학

정보통신과 교수

관심분야 : 정보 보호, 광통신