
320 Gbps 강도 변조 직접 검파 WDM 시스템의 채널 보상에서 상호 위상 변조의 영향

이성렬* · 김지웅** · 손성찬***

Effect of Cross Phase Modulation on Channel Compensation in 320 Gbps Intensity Modulation / Direct Detection WDM Transmission Systems

Seong-Real Lee* · Ji-Woong Kim** · Sung-Chan Son***

요 약

320 Gbps WDM 시스템의 전송로에 색 분산과 자기 위상 변조 외에 상호 위상 변조 현상(XPM ; Cross Phase modulation)이 존재하는 경우 XPM 현상이 광 펄스 왜곡 보상에 미치는 영향을 광섬유 분산 계수와 변조 파형 형식에 따라 분석해 보았다. 본 논문에서 고찰한 WDM 시스템은 전체 전송 링크 중간에 HNL-DSF (Highly Nonlinear Dispersion Shifted Fiber)를 비선형 매질로 이용한 광 위상 공액기를 두어 보상하는 MSSI (Mid-Span Spectral Inversion) 기법에 기초를 두고 있다. MSSI가 적용된다고 하더라도 WDM 채널간 XPM의 영향이 존재하면 전체적인 보상 정도가 감소하여 최대 전송 채널 전력의 크기가 광섬유 분산 계수에 관계하여 줄어드는 것을 확인할 수 있었고, WDM 시스템의 광섬유 분산 계수가 클수록 임의의 채널에 왜곡을 유도하는 XPM의 영향을 크게 감소시킬 수 있는 것을 알 수 있었다. 아울러 XPM의 영향을 최소화하기 위해 WDM 시스템에 분산 계수가 큰 광섬유를 사용하는 경우 전송 펄스 형식을 RZ보다 오히려 NRZ로 하게 되면 모든 채널을 매우 비슷한 정도로 보상할 수 있다는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we investigated the effect of cross phase modulation(XPM) on compensation for WDM channel distortion due to chromatic dispersion, self phase modulation and XPM as a function of fiber dispersion coefficient and modulation format in 320 Gbps WDM systems. The considered WDM transmission system is based on mid-span spectral inversion(MSSI) compensation method, which has highly nonlinear dispersion shifted fiber(HNL-DSF) as nonlinear medium of optical phase conjugator(OPC) in the mid-way of total transmission line. We confirmed that the maximum channel input power resulting 1 dB eye opening penalty is reduced due to XPM effect on channel distortion, even if MSSI method was applied to WDM system. But, we confirmed that the effect of XPM on channel distortion becomes decrease as fiber dispersion coefficient of WDM system becomes larger. Futhermore, we confirmed that NRZ is better than RZ as a modulation format for similarly compensating overall WDM channels in WDM system with large fiber dispersion coefficient in order to minimize the effect of the XPM on channel distortion.

키워드

Optical Phase Conjugator (OPC), Highly Nonlinear Dispersion Shifted Fiber (HNL-DSF),
Cross Phase Modulation (XPM), Mid-Span Spectral Inversion (MSSI)

*목포해양대학교 해양전자통신공학부

***하나로통신(주)

** (주)휴메이트

접수일자 : 2004. 6. 10

1. 서 론

강도 변조 직접 검파 (IM/DD : Intensity Modulation / Direct Detection) 파장 분할 다중 (WDM : Wavelength Division Multiplexing) 시스템에서 상호 위상 변조 (XPM : Cross Phase Modulation) 현상은 WDM 시스템의 채널 용량이 클수록 시스템 성능을 더욱 저하시킨다[1]~[3]. 따라서 장거리 대용량 WDM 시스템의 설계와 구현을 위해서는 XPM이 채널 왜곡에 미치는 영향과 이를 보상하는 방법이 반드시 고찰되어야 한다. 그러나 XPM에 의한 시스템 성능 저하 메커니즘이 복잡하기 때문에 한 채널은 변조된 형태의 신호 채널 (probe channel)로, 나머지 한 채널은 신호 채널에 XPM을 인가시키는 연속파 (continuous wave) 형태의 펌프 채널로 가정된 2-채널 IM/DD WDM 시스템에서의 XPM에 의한 성능 저하에 대해서만 연구되고 있는 실정이다[4]~[5].

대용량 WDM의 장거리 전송을 위해서는 광섬유에 존재하는 비선형 효과와 색 분산에 의한 광 펄스의 왜곡을 보상하는 기법이 적용되어야 한다. 전체 전송로 중간에 위치한 광 위상 공액기 (OPC : Optical Phase Conjugator)의 비선형 매질로써 HNL-DSF (Highly Nonlinear Dispersion Shifted Fiber)를 선택하고, OPC를 중심으로 한 두 광 전송 링크에서의 신호파 경로 평균 전력과 공액파 경로 평균 전력이 같아지도록 펌프 광 전력을 설정한 PAIA (Path-Averaged Intensity Approximation) MSSSI (Mid-Span Spectral Inversion)를 적용하여 WDM 채널의 대용량 장거리 전송이 가능하다는 것을 확인하였다[6]~[7].

본 논문에서는 광섬유에 존재하는 색 분산과 SPM에 의한 광 펄스 왜곡을 보상할 수 있는 PAIA MSSSI 기법이 채택된 장거리 WDM 시스템의 전송로에 비선형 효과로써 SPM 외에 XPM이 존재하는 경우 MSSSI 기법에 의한 보상 정도와 XPM이 MSSSI 보상에 미치는 영향을 수치적 분석을 통해 고찰해 보고자 한다.

PAIA MSSSI의 구현을 위한 OPC 펌프 전력 등의 기본적 파라미터는 참고 문헌 [7]과 같이 하였고, WDM 시스템은 전송 거리 1,000 km의 320 Gbps (8×40 Gbps)로 모델링 하였다. 또한 8-채널 WDM 신호는 모두 실제 WDM 전송 시스템에서와 같이 '0'과 '1'의 정보에 의해 직접 변조된 NRZ 형식과 RZ 형식의 프로브 채널로 모델링 하였다. 그러나 수치적 분석을 간단히 하고 MSSSI에서의 XPM 영향만을 고찰하고자, 즉 4-광파 혼합 (FWM : Four Wave Mixing)에 의한 채널 간섭 영향을 무시하기

위하여 채널 간 파장 간격을 다르게 하는 방법[8]을 사용하였다. 채널별 XPM 영향 분석은 1 dB 눈 열림 패널티 (EOP : Eye Opening Penalty)를 기준으로 하였다.

II. WDM 시스템의 모델링

광섬유를 동시에 전파하는 동일한 편광 (polarization)을 갖는 8-채널 WDM 시스템에서 $A_j(z, t)$ 를 $|A_j|^2$ 의 순간 광 전력에 의해 정규화된 천천히 변하는 j -번째 복소 포락선이라 하면 $A_j(z, t)$ 는 아래의 비선형 슈뢰딩거 방정식을 만족하며 전파한다[9].

$$\begin{aligned} & \frac{\partial A_j(t, z)}{\partial z} + \frac{\alpha}{2} A_j(t, z) \\ & + \frac{1}{v_j} \frac{\partial A_j(t, z)}{\partial t} + \frac{i}{2} \beta_{2j} \frac{\partial^2 A_j(t, z)}{\partial t^2} \\ & = i\gamma_j P_j(t, z) A_j(t, z) \\ & + 2i\gamma_j \left[P_k(t - \frac{z}{v_k}, z) \right. \\ & \left. + P_l(t - \frac{z}{v_l}, z) \right] A_j(t, z) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $j, k, l = 1, 2, \dots, 8$ ($j \neq k \neq l$)이고, α 는 감쇄 계수, v_j 는 군 속도 (group velocity), $\gamma_j = n_2 \omega_j / c A_{eff}$ 는 비선형 계수, n_2 는 비선형 굴절 계수, ω_j 는 각 주파수, A_{eff} 는 유효 코어 직경이다. 식 (1)의 우변의 첫 번째 항은 SPM을, 두 번째 항은 XPM을 각각 초래한다. 식 (1)은 단순히 군 속도에 의해 광 신호가 광섬유를 통과하면서 걸리는 시간 지연만을 의미하므로 $T = t - z/v_j$ 로 식 (1)을 변환하면

$$\begin{aligned} & \frac{\partial A_j}{\partial z} + \frac{\alpha}{2} A_j + \frac{i}{2} \beta_{2j} \frac{\partial^2 A_j}{\partial T^2} \\ & = i\gamma_j P_j A_j + 2i\gamma_j [P_k(T - d_{jk}z, 0) \\ & + P_l(T - d_{jl}z, 0)] A_j \end{aligned} \quad (2)$$

으로 표현된다. 여기서 d_{jk} 와 d_{jl} 는 아래 식으로

정의되는 walk-off 파라미터이다.

$$d_{jk} = \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_k}, \quad d_{ji} = \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \quad (3)$$

영 분산이 아닌 영역에서 d_{jk} 와 d_{ji} 는 각각 $D \Delta \lambda_{jk}$, $D \Delta \lambda_{ji}$ 로 근사화된다. 여기서 D는 분산 계수, $\Delta \lambda_{jk}$ 와 $\Delta \lambda_{ji}$ 은 두 채널간 파장 간격이다.

그림 1은 색 분산과 비선형 효과에 의해 왜곡된 신호를 보상하기 위하여 MSSI 기법이 적용된 비트율이 40 Gbps인 채널을 송신부에서 각각 다른 반송파 파장으로 강도 변조한 후 하나의 전송로로 전송시키는 8-채널 WDM 시스템의 전체적인 구조를 나타낸 것이다.

그림 1에서 송신부는 128 비트의 PRBS (pseudo random bit sequence)를 아래 표 2의 8개의 중심 파장에서 2차 수퍼 가우시안 NRZ 형태로 출력하는 강도 변조기로 모델링 하였다. 그리고 수신부는 역다중화 장치에서 필터링되어 입력되는 채널 신호를 5 dB의 잡음 지수를 갖는 EDFA (erbium-doped fiber amplifier)를 통해 증폭한 후 PIN 다이오드로 광 신호 전력을 전류로 변환하고 펄스 정형 필터(pulse shaping filter), 클럭 재생기, 판별 회로(decision circuit)를 거쳐 '0'과 '1'의 전기

표 1. HNL-DSF OPC 파라미터
Table 1. HNL-DSF OPC parameters

파라미터	기호	파라미터 값
HNL-DSF 손실	α_o	0.61 dB/km
HNL-DSF 비선형 계수	γ_o	20.4 W ⁻¹ km ⁻¹
펌프 광 전력	P_p	18.5 dBm
HNL-DSF 길이	z_o	0.75 km
HNL-DSF 영 분산 파장	λ_0	1550 nm
펌프 광 파장	λ_p	1549.5 nm
HNL-DSF 분산 기울기	$\frac{dD_o}{d\lambda}$	0.032 ps/nm ² /km

적 신호를 검출하는 직접 검파 방식의 수신기로 모델링 하였다[10]. 광학적 대역폭(optical bandwidth)은 1 nm, 수신 대역폭은 0.65×비트율로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

광 전송로는 전통적 분산 천이 광섬유 (DSF : Dispersion Shifted Fiber)가 50 km 간격의 EDFA 선로 증폭기를 통해 연결된 구조로 모델링 하였다. DSF의 손실 계수는 0.2 dB/km로, 비선형 굴절 계수는 2.36×10⁻²⁶ km²/W, 유효 코어 직경은 50μm², 분산 계수는 0.1, 0.4, 1.6 ps/nm/km 등으로

표 2. WDM 신호 채널 파장과 공액파 파장
Table 2. WDM signal channel wavelengths and conjugated wave wavelengths

채널번호 파장	CH. 1	CH. 2	CH. 3	CH. 4	CH. 5	CH. 6	CH. 7	CH. 8
신호파	1550.2 nm	1551.2 nm	1553.2 nm	1554.4 nm	1556.0 nm	1557.8 nm	1560.0 nm	1561.4 nm
공액파	1548.8 nm	1547.8 nm	1545.8 nm	1544.6 nm	1543.0 nm	1541.3 nm	1539.1 nm	1537.8 nm

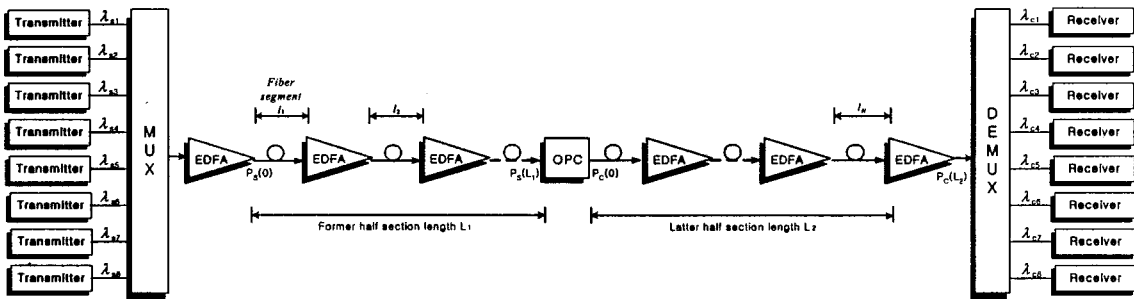


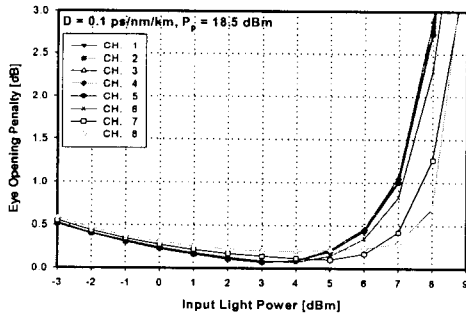
그림 1. 8×40 Gbps WDM 시스템 시뮬레이션 모델
Fig. 1. 8×40 Gbps WDM system simulation model

설정하였다.

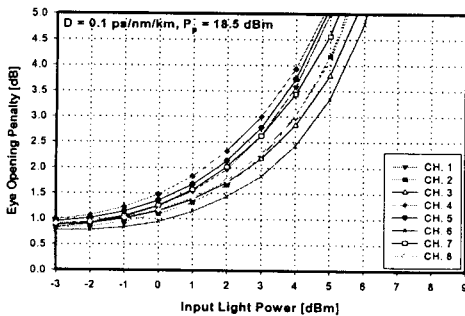
전체 전송로 중간에 위치한 HNL-DSF를 이용한 OPC의 파라미터는 표 1과 같이 하였다. 표 1의 파라미터를 사용하여 계산한 변환 효율 (conversion efficiency, $\eta = \text{FWM 광 전력} / \text{입력 신호 전력}$)을 계산해 보면, 최대 η 값은 0.18 dB이고, 3-dB 대역폭은 1532.5 ~ 1566.5 nm의 34 nm 이다.

FWM 효과에 의한 채널 간 누화를 억제하기 위하여 F. Forghieri 등에 의해 제안된 WDM 채널 간 파장 간격을 불균등하게 분할하는 방법[8]에 따라 본 연구에서 선택한 신호 파장과 이의 공액파 파장은 표 2와 같다. 따라서 HNL-DSF OPC 펌프 파장이 1549.5 nm로 선택된 경우 모든 채널의 신호 파장과 공액파 파장은 OPC의 3-dB 대역폭에 해당된다.

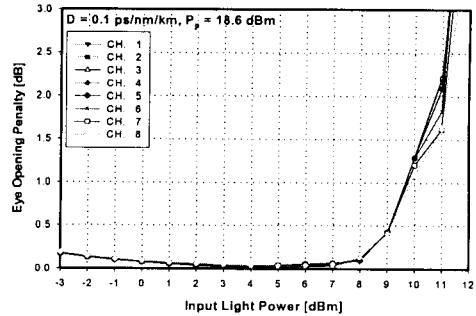
III. 시뮬레이션 결과 및 검토



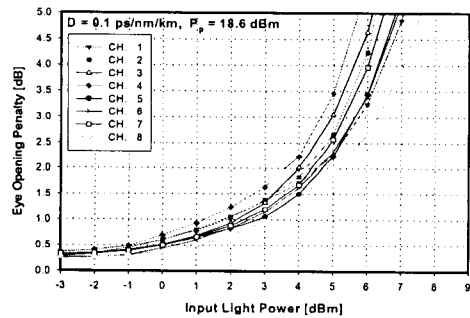
(a) NRZ : without XPM



(b) NRZ : with XPM



(c) RZ : without XPM



(d) RZ : with XPM

그림 2. $D = 0.1 \text{ ps/nm/km}$ 인 WDM 시스템에서 입력 신호파 전력 변화에 따른 눈 열림 페널티
Fig. 2. EOP as a function of input channel light power in WDM transmission system with $D = 0.1 \text{ ps/nm/km}$

그림 2는 채널간 XPM 영향을 받는 NRZ 형식과 RZ 형식의 변조 파형을 분산 계수가 0.1 ps/nm/km 인 MSSI가 적용된 WDM 시스템을 통해 전송시킨 경우의 채널 신호 전력에 따른 EOP (그림 (b)와 (d))를 XPM의 영향을 배제한 경우에서의 EOP (그림 (a)와 (c))와 같이 나타낸 것이다. 만일 허용 가능한 수신 성능의 기준을 1 dB EOP라고 한다면 NRZ 형식을 전송하는 경우 XPM 영향에 따라 허용 가능한 최대 입력 전력의 크기가 10 dB 이상으로 감소하고 채널간 파워 페널티는 약 3.5 dB가 된다. 반면 RZ 형식을 전송하는 경우 XPM 영향에 따른 허용 가능 최대 입력 전력의 크기가 9 dB 정도로 감소하지만 채널간 파워 페널티는 약 2 dB가 되는 것을 알 수 있다.

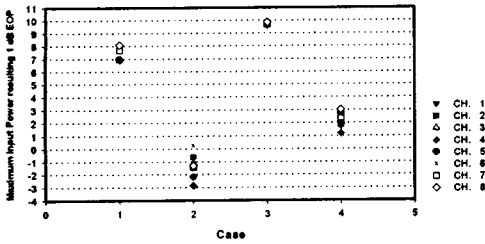


그림 3. $D = 0.1$ ps/nm/km인 WDM 시스템에서 1dB EOP를 나타내는 각 채널의 최대 입력 전력
 Fig. 3. Maximum input power of each channel resulting 1dB EOP in WDM transmission system with $D = 0.1$ ps/nm/km

그림 3은 그림 2의 결과에서 1 dB EOP가 되는 최대 입력 전력을 채널에 따라 나타낸 것으로 x축의 값은 그림 2의 4가지 경우를 나타낸 것이다. 즉 case 1, 2, 3, 4는 각각 XPM의 영향을 배제한 NRZ 전송, XPM 영향을 받은 NRZ 전송, XPM의 영향을 배제한 RZ 전송, XPM 영향을 받은 RZ 전송의 경우를 나타낸 것이다.

그림 4와 5는 WDM 전송 링크의 분산 계수가 각각 0.4 ps/nm/km와 1.6 ps/nm/km인 WDM 시스템의 4가지 경우에서의 1dB EOP가 되는 최대 입력 전력을 채널에 따라 나타낸 것이다.

XPM의 영향이 존재하는 광섬유 분산 계수가 0.4 ps/nm/km인 WDM 시스템에 NRZ 형식을 전송하는 경우 XPM 영향에 따라 허용 가능한 최대 입력 전력의 크기가 XPM의 영향이 배제된 경우에 비해 6 dB 이상 감소하고 채널간 파워 패널티는 1 dB에서 약 2.3 dB로 증가한다. 반면 RZ 형식을 전송하는 경우 XPM 영향에 따른 허용 가능한 최대 입력 전력의 크기는 XPM의 영향이 배제된 경우에 비해 약 7 dB 정도로 감소하지만 채널간 파워 패널티는 1.5 dB에서 약 3.4 dB로 증가하는 것을 알 수 있다.

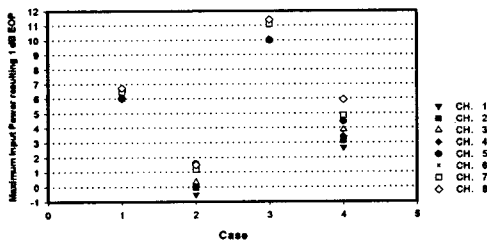


그림 4. $D = 0.4$ ps/nm/km인 WDM 시스템에서 1dB EOP를 나타내는 각 채널의 최대 입력 전력
 Fig. 4. Maximum input power of each channel resulting 1dB EOP in WDM transmission system with $D = 0.4$ ps/nm/km

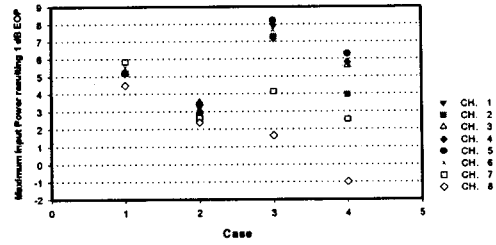


그림 5. $D = 1.6$ ps/nm/km인 WDM 시스템에서 1dB EOP를 나타내는 각 채널의 최대 입력 전력
 Fig. 5. Maximum input power of each channel resulting 1 dB EOP in WDM transmission system with $D = 1.6$ ps/nm/km

또한 XPM의 영향이 존재하는 광섬유 분산 계수가 1.6 ps/nm/km인 WDM 시스템에 NRZ 형식을 전송하는 경우 XPM 영향에 따라 허용 가능한 최대 입력 전력의 크기는 XPM의 영향이 배제된 경우에 비해 약 2 dB 정도 감소하지만 채널간 파워 패널티는 XPM의 영향이 배제된 경우와 거의 비슷하다는 것을, 그리고 RZ 형식을 전송하는 경우 XPM 영향에 따른 허용 가능한 최대 입력 전력의 크기가 XPM의 영향이 배제된 경우에 비해 약 2 dB 이상 감소하지만 채널간 파워 패널티는 XPM의 영향이 배제된 경우의 6.5 dB에서 약 7.3 dB 정도로 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 3~5를 종합적으로 검토해 보면, MSI가 적용된다고 하더라도 WDM 채널간 XPM의 영향이 존재하면 전체적인 보상 정도가 감소하여 최대 전송 채널 전력의 크기가 광섬유 분산 계수에 관계하여 줄어드는데, WDM 시스템의 광섬유 분산 계수가 클수록 임의의 채널에 왜곡을 유도하는 XPM의 영향은 크게 감소되는 것을 알 수 있다. 이것은 광섬유의 분산 계수가 커질수록 임의의 채널 펄스와 인접 채널 펄스의 전송 속도 차이가 전송 거리에 따라 증가됨으로써 신호 채널 펄스와 인접 채널 펄스의 중첩 부분이 점차 감소되고, 그 결과 채널 신호에 위상 변화와 강도 변화를 일으키는 인접 채널들의 강도 변동의 영향이 감소되었기 때문이다.

분산 계수가 1.6 ps/nm/km로 비교적 큰 WDM 시스템을 통해 RZ 전송을 하는 경우 XPM 영향이 고려된 경우와 그렇지 못한 경우 모두 채널간 파워 패널티가 다른 경우에 비해 매우 크게 나타나는데 이것은 광섬유를 전파하는 광 펄스의 왜곡 요인 중에 색 분산 효과가 가장 크게 영향을 미쳤기 때문이다. 즉 평균 순시 강도가 낮은 RZ 형식의 광 펄스 포락선이 분산 계수가 비교적 큰 광섬유를 전파하면서 다른 경우에 비해 빨리 퍼지고 그로 인해 더욱

감소된 광 펄스 순시 강도에 의한 위상 변화가 광 펄스가 전파되면서 겪는 색 분산에 의한 위상 변화를 다른 경우에 비해 적게 상쇄했기 때문이다.

본론은 필요에 따라 3-4 개의 장으로 편집할 수 있습니다.

IV. 결 론

지금까지 광섬유에 존재하는 색 분산과 SPM에 의한 광 펄스 왜곡을 보상할 수 있는 PAIA MSSl 기법이 채택된 장거리 WDM 시스템의 전송로에 비선형 효과로써 SPM 외에 XPM이 존재하는 경우 MSSl 기법에 의한 보상 정도와 XPM이 MSSl 보상에 미치는 영향을 광섬유 분산 계수와 변조 파형 형식에 따라 분석해 보았다.

MSSl가 적용된다고 하더라도 WDM 채널간 XPM의 영향이 존재하면 전체적인 보상 정도가 감소하여 최대 전송 채널 전력의 크기가 광섬유 분산 계수에 관계하여 줄어드는 것을 확인할 수 있었고, WDM 시스템의 광섬유 분산 계수가 클수록 임의의 채널에 왜곡을 유도하는 XPM의 영향은 크게 감소되는 것을 알 수 있었다.

아울러 XPM의 영향을 최소화하기 위해 WDM 시스템에 분산 계수가 큰 광섬유를 사용하는 경우 전송 펄스 형식을 RZ보다 오히려 NRZ로 하게 되면 모든 채널을 매우 비슷한 정도로 보상할 수 있다는 것을 확인하였다.

[4] N. Kikuchi, K. Sekine and S. Sasaki, "Analysis of cross-phase modulation effect on IM/DD WDM transmission performance", *Electro. Lett.*, vol. 33, no. 8, pp. 653~654, 1997

[5] R. Hui, K. R. Demarest and C. T. Allen, "Cross-phase modulation in Multispan WDM optical fiber systems", *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-17, no. 6, pp. 1018~1026, 1999

[6] Seong-Real Lee and Y. J. Lee and Y. H. Lee, "Investigation of pump light power of wideband optical phase conjugator using highly nonlinear dispersion shifted fiber in WDM systems with mid-span spectral inversion", submitted to *J. Lightwave Technol.*

[7] 이성렬, 권순녀, 이운현, "광 펄스 왜곡의 보상을 위해 Mid-Span Spectral Inversion 기법을 채택한 120 Gbps WDM 시스템에서 채널간 상호 위상 변조 현상의 영향", *한국전자과학회 논문지*, 제 14권 제 7호, pp 741~749, 2003

[8] F. Forghieri, R. W. Tkach and A. R. Chraplyvy, "WDM systems with unequally spaced channels", *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-13, no. 5, pp. 889~897, 1995

[9] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, Academic Press, pp 34~44, 1989

[10] G. P. Agrawal, *Fiber-optic communication systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1992

참고문헌

[1] N. Kikuchi, K. Sekine and S. Sasaki, "Analysis of cross-phase modulation effect on IM/DD WDM transmission performance", *Electro. Lett.*, vol. 33, no. 8, pp. 653~654, 1997

[2] R. Hui, K. R. Demarest and C. T. Allen, "Cross-phase modulation in Multispan WDM optical fiber systems", *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-17, no. 6, pp. 1018~1026, 1999

[3] T. Chiang, N. Kagi, T. k. Fong, M. E. Marhic and L. G. Kozovsky, "Cross-phase modulation in dispersive fibers : theoretical and experimental investigation of the impact of modulation frequency", *IEEE Photon. Techno. Lett.*, vol. 6, no. 6, pp. 733~736, 1994

저자소개

이성렬(Seong-Real Lee)



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 기술연구소 연구소장
 2004년 3월~현재 국립목포해양대학교 해양전자통신공학부 전임강사
 ※관심분야 : 솔리톤 전송 시스템, 광 파장 분할 다중화, 광의 비선형 현상 분석



김지웅(Ji-Woong Kim)

1997년 2월 동신대학교 전자공학
학과(공학사)
1998년 2월 동신대학교 대학원
전기전자공학과(공학석사)
2001년 2월 동신대학교 대학원
전기전자공학과(공학박사)

2003년 3월~현재 동신대학교 전자공학과 겸임교수
2003년 7월~현재 (주) 휴메이트 H/W 개발부
※관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스통신, 텔
레메틱스, 무선통신시스템



손성찬(Sung-Chan Son)

1979년 2월 한국항공대학교 통
신공학과(공학사)
1992년 8월 한양대학교 대학원
전자통신공학과(공학석사)
2000년 2월 한국항공대학교 대
학원 통신정보공학과(공학박사)

1994년 1월 전기통신 기술사
1985년 10월~1998년 5월 (주)데이콤 이사
1998년 5월~2003년 10월 하나로통신(주) 상무
2003년 11월~현재 하나로통신(주) 강동센터장(대
표이사)
※관심분야 : UWB, 초고속 광통신 시스템, 무선
통신 시스템