

광 펄스 왜곡의 보상을 위해 Mid-Span Spectral Inversion 기법을 채택한 120 Gbps WDM 시스템에서 채널간 상호 위상 변조 현상의 영향

Cross Phase Modulation Effects on 120 Gbps WDM Transmission Systems with Mid-Span Spectral Inversion for Compensation of Distorted Optical Pulse

이 성 렬 · 권 순 녀* · 이 윤 현*

Seong-Real Lee · Sun-Nyeo Kwoen* · Yun-Hyun Lee*

요 약

광섬유의 색 분산과 자기 위상 변조 외에 상호 위상 변조 효과에 의해 왜곡된 WDM 채널 신호가 MSSl (Mid-Span Spectral Inversion) 기법을 통해 보상되는 정도를 다양한 광섬유 분산 계수를 고려하여 분석해 보았다. 본 연구에서 고려된 시스템은 120 Gbps (3×40 Gbps) 강도 변조 직접 검파 방식의 WDM 시스템이다. 또한 전체 전송로의 중간에 비선형 매질로 HNL-DSF(Highly nonlinear dispersion shifted fiber)를 갖는 광 위상 공액기를 두고, 광 위상 공액기를 중심으로 첫 번째 전송 구간에서의 평균 강도와 두 번째 전송 구간에서의 평균 강도를 같게 하는 PAIA(Path Averaged Intensity Approximation) 방식의 MSSl 기법을 채택한 시스템이다. 채널 별 보상 특성의 분석은 1 dB 기준 눈 열림 페널티(Eye Opening Penalty)를 이용했다. 색 분산과 비선형 효과에 의한 채널 신호 왜곡이 유도될 수 있는 장거리 WDM 시스템에 MSSl 기법을 적용하면 전송 거리와 전송 품질을 단일 채널 전송 이상으로 개선시킬 수 있고, 상호 위상 변조에 의한 왜곡의 보상 측면에서 MSSl 기법은 광섬유의 분산 계수가 비교적 큰 WDM 시스템에 더욱 유효하다는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we investigated the degree of compensation for WDM channel signal distortion due to chromatic dispersion, self phase modulation(SPM) and cross phase modulation(XPM). The considered system is 120 Gbps (3×40 Gbps) intensity modulation direct detection(IM/DD) WDM transmission system with path-averaged intensity approximation(PAIA) mid-span spectral inversion(MSSl) as compensation method. This system have highly nonlinear dispersion shifted fiber(HNL-DSF) as nonlinear medium in optical phase conjugator(OPC). We use 1 dB eye opening peralty(EOP) in order to evaluate the characteristics of compensation for distorted WDM channels. We confirmed that improvement of transmission distance and performance is achieved by MSSl method to distorted long-haul IM/DD WDM channels due to chromatic dispersion, SPM and XPM. And in the aspect of compensation for distorted pulse due to XPM, the MSSl method is effective to IM/DD WDM transmission system with high fiber dispersion coefficient.

Key words : Cross Phase Modulation (XPM), Self Phase Modulation (SPM), Chromatic Dispersion, Highly Nonlinear Dispersion Shifed Fiber (HNL-DSF), Mid-Span Spectral Inversion (MSSl)

(주)에이티엔 기술연구소(Advanced Traffic Network Co., Ltd.)

*한국항공대학교 대학원 통신정보공학과(Dept. of Telecomm. and Inform. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.)

· 논문 번호 : 20030404-056

· 수정완료일자 : 2003년 5월 15일

I. 서 론

광섬유에 존재하는 비선형 효과(Kerr effect)는 광 전송 시스템의 전송 거리와 전송 용량을 제한하는 주요 원인이다^[1]. 강도 변조 직접 검파(IM/DD: Intensity Modulation/Direct Detection) 파장 분할 다중(WDM: Wavelength Division Multiplexing) 시스템에서의 상호 위상 변조(XPM: Cross Phase Modulation) 효과는 인접한 WDM 채널 신호에 의해 발생되고 광섬유의 색 분산 효과가 이렇게 발생된 XPM을 강도 변조, 즉 파형 왜곡으로 변환시키기 때문에 WDM 시스템의 채널 용량이 클수록 시스템 성능을 더욱 저하시킨다.

따라서 장거리 대용량 WDM 시스템의 설계와 구현을 위해서는 XPM이 채널 왜곡에 미치는 영향과 이를 보상하는 방법이 반드시 고찰되어야 한다. 그러나 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 가정한 2-채널 IM/DD WDM 시스템에서의 XPM에 의한 성능 저하에 대해서만 연구되고 있는 실정이다^{[2]-[4]}.

대용량 WDM의 장거리 전송을 위해서는 광섬유에 존재하는 비선형 효과와 색 분산에 의한 광 펄스의 왜곡을 보상하는 기법이 적용되어야 한다. 색 분산과 비선형 효과 중 자기 위상 변조(SPM: Self Phase Modulation)에 의해 왜곡된 WDM 채널의 보상 기법으로 전체 전송로 중간에 HNL-DSF(Highly Nonlinear Dispersion Shifted Fiber) 광 위상 공액기(OPC: Optical Phase Conjugator)를 이용한 PAIA(Path-Averaged Intensity Approximation) MSSI(Mid-Span Spectral Inversion)를 적용하여 WDM 채널의 고품질 대용량 전송이 가능하다는 것을 앞선 연구를 통해 확인하였다^[5]. 즉 OPC의 비선형 매질로써 HNL-DSF를 선택하고, OPC를 중심으로 한 두 광 전송 링크에서의 신호파 경로 평균 전력과 공액파 경로 평균 전력이 같아지도록 펌프 광 전력을 선택(예를 들어, 1,000 km WDM 전송인 경우 18.5 dBm)하면 WDM 채널의 대용량 장거리 전송이 가능하다는 것을 확인하였다.

본 논문에서는 광섬유에 존재하는 색 분산과

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

PAIA MSSI의 구현을 위한 OPC 펌프 전력 등의 기본적 파라미터는 참고문헌 [5]와 같이 하였고, WDM 시스템은 전송 거리 1,000 km의 120 Gbps(3 × 40 Gbps)로 모델링 하였다. 또한 3-채널 WDM 신호는 모두 실제 WDM 전송 시스템에서와 같이 '0'과 '1'의 정보에 의해 직접 변조된 형태의 프로브 채널로 모델링 하였다. 그러나 수치적 분석을 간단히 하고 MSSI에서의 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^[6]을 사용하였다. 채널별 XPM 영향 분석은 1 dB 눈 열림 패널티(EOP: Eye Opening Penalty)를 기준으로 하였다.

II. WDM 시스템에서 XPM의 영향

XPM은 광섬유에 존재하는 비선형 효과로부터 발생한다. 즉 광 전송 링크를 전파하는 임의 채널 신호의 강도 변화는 동시에 전파하는 다른 채널의 위상에 변화를 주고, 광섬유에 존재하는 색 분산 효과는 이 위상 변조 현상을 강도 변조 현상으로 바꾸어 XPM의 영향을 받은 채널 신호 파형에 왜곡을 발생시킨다.

광섬유를 통해 동시에 전파하는 동일한 편광(polarization)을 갖는 3-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^[7].

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

여기서 $j, k, l = 1, 2, 3(j \neq k \neq l)$ 이고, α 는 감쇄 정수, v_j 는 군 속도(group velocity), $\gamma_j = n_2 \omega_j / c A_{eff}$ 는 비선형 계수, m_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.

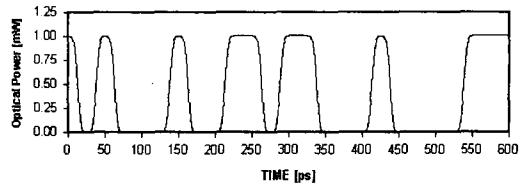
$$d_{jk} = \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_k}, \quad d_{jl} = \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_l} \quad (3)$$

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

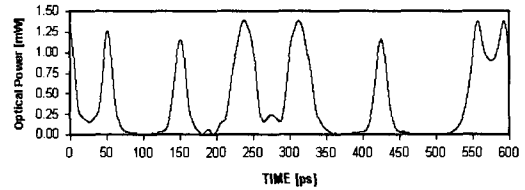
그림 1은 3×40 Gbps WDM 시스템에서의 전송 거리에 따른 광 펄스 열을 나타낸 것이다. 그림 1(a)는 송신단에서의 초기 광 펄스 열이고, 그림 1(b)는 색 분산과 SPM 영향만 존재하는 광섬유를 1,000 km 전송한 후 수신된 광 펄스의 파형이다. 그리고 그림 1(c)와 (d)는 나머지 두 채널에 의한 XPM 영향까지 인가되어 수신된 광 펄스의 파형이다. 그림 1(c)와 (d)는 동일한 입력 전력의 WDM 채널을 동시에 전파시켜 각각 70 km와 1,000 km에서 얻은 파형이다. 장거리 전송일수록 축적된 XPM에 의한 채널 간 간섭이 매우 심각한 왜곡을 발생시키는 것을 확인할 수 있다.

III. PAIA MSSSI 기법을 채택한 3×40 Gbps WDM 시스템 모델

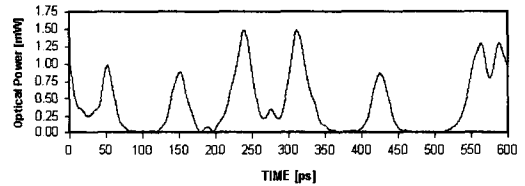
그림 2는 비트율이 40 Gbps인 채널을 송신부에서 각각 다른 반송파 파장으로 강도 변조 후 하나의 전송선로로 전송시키는 3 채널 WDM 전송 시스템의 전체적인 구조를 나타낸 것이다. 광섬유에 존재하는 색 분산과 비선형 효과에 의한 WDM 채널 신호의



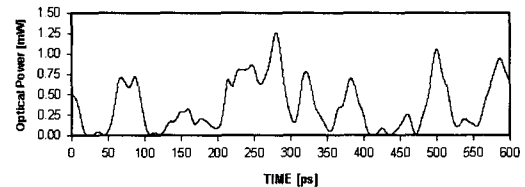
(a) $z = 0$ km
(a) Optical pulse sequence at $z = 0$



(b) $z = 1,000$ km ; 색 분산, SPM 영향만 존재
(b) Optical pulse sequence is affected by chromatic dispersion and SPM at $z = 1,000$ km



(c) $z = 70$ km ; 색 분산, SPM, XPM 영향 존재
(c) Optical pulse sequence is affected by chromatic dispersion, SPM and XPM at $z = 70$ km



(d) $z = 1,000$ km ; 색 분산, SPM, XPM 영향 존재
(d) Optical pulse sequence is affected by chromatic dispersion, SPM and XPM at $z = 1,000$ km

그림 1. 채널 1의 광 펄스 열
Fig. 1. Optical Pulse Sequence of Channel 1.

왜곡을 보상하기 위하여 전송 링크 중간에 OPC를 사용하는 MSSSI 기법을 채택하였다. 이 방법에서 OPC는 광 송신단부터 OPC까지의 첫 번째 전송 링크를 전파해 온 색 분산과 비선형 효과의 영향을 받아 왜곡된 광 신호파를 위상 공액파로 변환시킨다. 이렇게 변환된 공액파를 나머지 전송 링크의 반을 통해 수신시키면 광 신호의 왜곡을 보상할 수 있다^{[8]-[10]}.

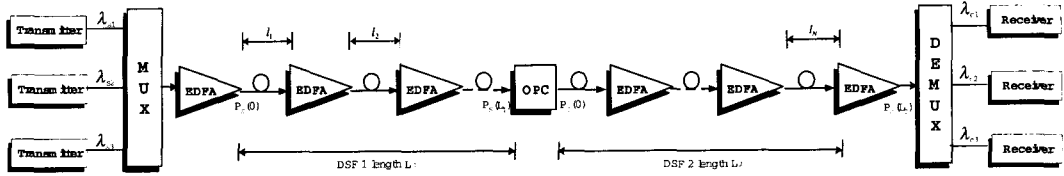


그림 2. 3×40 Gbps WDM 시스템 시뮬레이션 모델
Fig. 2. Simulation model of 3×40 Gbps WDM system.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

파라미터		기호 및 파라미터 값
송신부	비트율	$R_b = 120 \text{ Gbps } (=3 \times 40 \text{ Gbps})$
	파형	NRZ super-Gaussian($m=2$)
	비트 패턴	PRBS $2^7(128 \text{ bits})$
	주파수 칩(Chirp)	0
광섬유	형태	conventional DSF
	손실 계수	$\alpha_1 = \alpha_2 = 0.2 \text{ dB/km}$
	전체 전송 길이	1,000 km($L_1 = L_2 = 500 \text{ km}$)
	분산 계수	0.1, 0.4, 0.8, 1.6 ps/nm/km
	비선형 굴절 계수	$n_2 = 2.36 \times 10^{-26} \text{ km}^2/\text{W}$
	유효 코어 직경	$A_{eff} = 50 \mu\text{m}^2$
	EDFA의 개수	20
	EDFA 간격	$l = 50 \text{ km}$
수신부	형태	PIN-PD with EDFA pre-amp
	EDFA 잡음 지수	5 dB
	광학적 대역폭	1 nm
	수신 대역폭	$0.65 \times R_b$

표 2. HNL-DSF OPC 파라미터
Table 2. HNL-DSF OPC parameters.

파라미터	기호	파라미터 값
HNL-DSF 손실	α_0	0.61 dB/km
HNL-DSF 비선형 계수	γ_0	$20.4 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$
펌프 광 전력	P_p	18.5 dBm
HNL-DSF 길이	z_0	0.75 km
HNL-DSF 영 분산 파장	λ_0	1550 nm
펌프 광 파장	λ_p	1548.3 nm
HNL-DSF 분산 기울기	$\frac{dD_0}{d\lambda}$	0.032 ps/nm ² /km

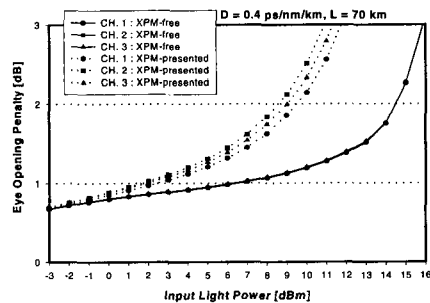


그림 3. MSSl를 채택한 단거리 WDM 시스템에서 입력 신호와 전력 변화에 따른 눈 열림 패널티

Fig. 3. Eye opening penalty as a function of input channel light power in short-haul WDM transmission system with MSSl.

표 1의 시스템 파라미터와 표 2의 HNL-DSF의 파라미터가 적용된 식 (2)의 비선형 파동 방정식을 단계 분할 푸리에(SSF: Split-Step Fourier) 방법^[7]을 이용하여 수치적으로 분석·고찰하였다.

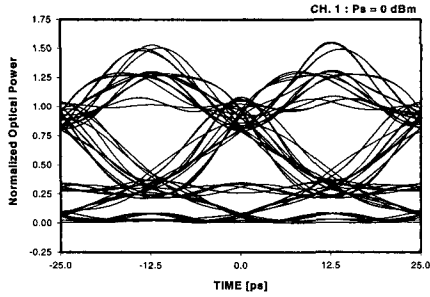
IV. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 3은 분산 계수가 0.4 ps/nm/km인 전송 거리 70 km의 MSSl 기법이 적용된 3-채널 WDM 시스템에서의 입력 신호와 전력 변화에 따른 각 채널별 눈 열림 패널티 특성을 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 그림 1(c)의 펄스 열, 즉 색 분산, SPM, XPM에 의해 왜곡되었지만 보상을 하지 않은 광 펄스의 아이 다이어그램이다. 그리고 그림 4(b)는 광섬유의 색 분

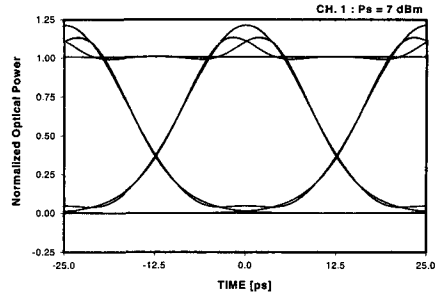
산과 SPM에 의해 왜곡된 광 신호를 MSSl 기법을 통해 보상시킨 파형의 아이 다이어그램이고, 그림 4(c)와 (d)는 광섬유의 색 분산, SPM, XPM에 의해 왜곡된 광 신호를 MSSl 기법을 통해 보상시킨 파형의 아이 다이어그램이다.

MSSl 기법에 미치는 XPM의 영향을 고려하고, MSSl 기법을 통한 XPM에 의한 광 신호 왜곡의

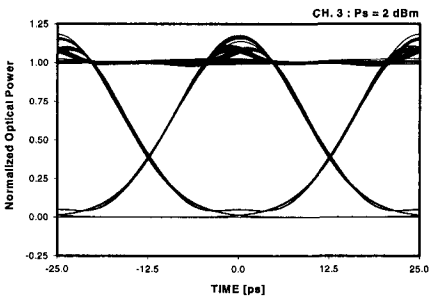
광 펄스 왜곡의 보상을 위해 Mid-Span Spectral Inversion 기법을 채택한 120 Gbps WDM 시스템에서 채널간 상호 위상 변조 현상의 영향



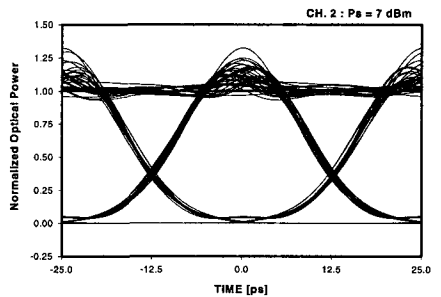
(a) MSSI가 적용되지 않은 경우
(입력 전력 0 dBm인 채널 1)
(a) CH. 1 signal without MSSI



(b) 색 분산과 SPM에 의한 왜곡을 보상한 경우
(b) Compensated CH. 1 signal, which is distorted
due to chromatic dispersion and SPM



(c) 색 분산, SPM, XPM에 의한 왜곡을 보상한 경우
(입력 전력 2 dBm인 채널 3)
(c) Compensated CH. 3 signal, which is distorted
due to chromatic dispersion, SPM and XPM



(d) 색 분산, SPM, XPM에 의한 왜곡을 보상한 경우
(입력 전력 7 dBm인 채널 2)
(d) Compensated CH. 2 signal, which is distorted
due to chromatic dispersion, SPM and XPM

그림 4. 단거리 WDM 시스템에서의 수신 광 펄스 아이 다이어그램

Fig. 4. Eye diagram of received optical pulse in short-haul WDM transmission system.

보상 정도를 분석하기 위하여 광섬유 내 비선형 현상이 SPM만 존재하는 경우(XPM-free)와 SPM 외에 XPM도 존재하는 경우(XPM-presented)로 가정하여 시뮬레이션 하였다. 그림 3으로부터 1 dB EOP를 기준으로 색 분산과 SPM에 의한 채널 신호 왜곡을 보상한 경우에 비해 XPM에 의한 왜곡이 추가된 광펄스를 보상한 경우의 채널별 송신 전력이 4.5~5.5dB 정도 감소(파워 페널티 약 1 dB)하는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 4(a)와 (c), (d)의 비교를 통해 알 수 있듯이 채널에 인가된 XPM에 의한 파형의 왜곡은 MSSI 기법을 통해 양호한 품질의 파형으로 보상되는 것을 알 수 있다.

그림 3에서 XPM의 영향까지 보상한 경우의 수신 EOP가 각 채널별로 차이가 나는 것은 인접한 두 채널에서 비롯된 XPM에 의한 강도 변동의 정도가 다르기 때문이다. 즉, 예를 들어 한 주기 펄스를 기

준으로 신호 파형이 '1'인 경우, XPM을 통해 신호 채널에 영향을 미치는 인접한 두 채널의 파형이 모두 '1'이면 신호 파형이 원래의 레벨에서 증가된 형태로, 인접한 두 채널의 파형이 모두 '0'이면 신호 파형이 원래의 레벨에서 감소된 형태로 나타나는데 WDM 각 채널의 비트 열이 랜덤하고 채널의 각기 다른 파장에 의한 전송 속도 차이로 인한 인접한 채널 전력에 의해 발생하는 신호 채널의 강도 변조가 더욱 불규칙적이기 때문이다.

그림 5는 전송 거리 1,000 km의 MSSI 기법이 적용된 3-채널 WDM 시스템에서의 입력 신호파 전력 변화에 따른 각 채널별 눈 열림 페널티 특성을 다양한 분산 계수에 따라 나타낸 것이다. 그리고 그림 6은 광섬유의 색 분산과 SPM에 의해 왜곡된 광 신호를 MSSI 기법을 통해 보상시킨 파형의 아이 다이어그램이고, 그림 7은 광섬유의 색 분산, SPM, XPM

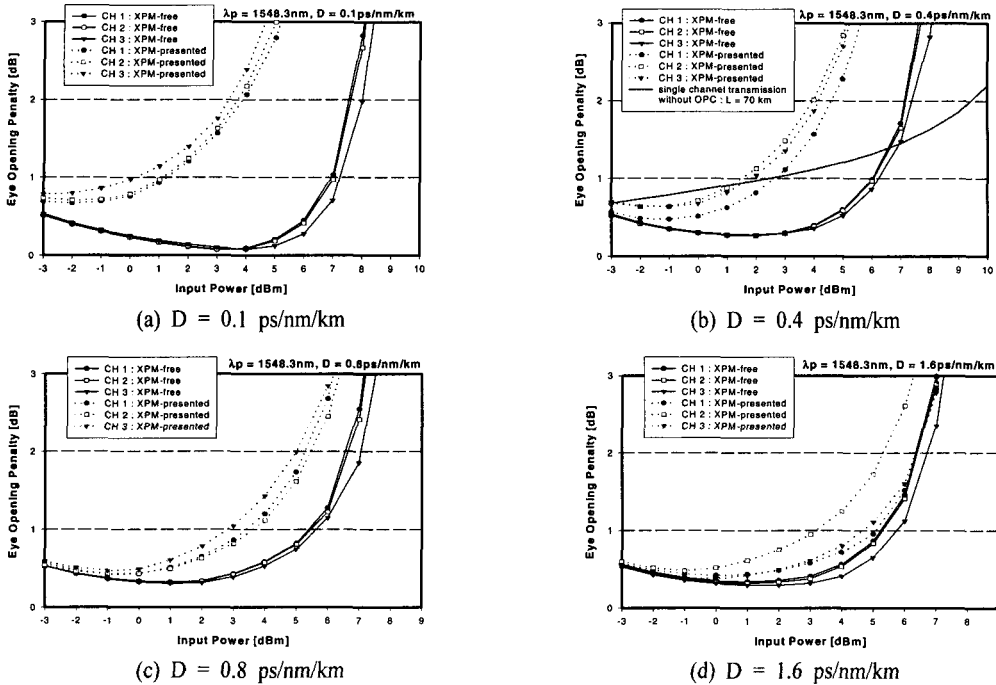


그림 5. MSSI를 채택한 다양한 분산 계수의 1,000 km WDM 시스템에서 입력 신호와 전력 변화에 따른 눈 열림 페널티

Fig. 5. Eye opening penalty as a function of the input channel light power in 1,000 km WDM transmission system with MSSI for the various fiber dispersion coefficient.

에 의해 왜곡된 광 신호를 MSSI 기법을 통해 보상 시킨 파형의 아이 다이어그램이다.

우선 그림 5(b)의 MSSI 기법이 적용되지 않은 70 km의 단일 채널 전송 시스템에서의 수신 EOP와의 비교를 통해 알 수 있듯이 광섬유의 색 분산, SPM 외에 XPM 영향까지 존재하는 장거리 WDM 시스템에 MSSI 기법을 적용하면 비교적 낮은 채널 전력 (3 dBm 이하)에서 매우 양호한 보상을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 즉 WDM 광 전송로에 존재하는 XPM 현상이 채널 왜곡을 유도한다고 해도 MSSI 기법의 적용으로 단일 채널 전송 시의 품질을 유지 하면서 전송 거리를 10배 이상으로 신장시킬 수 있는 것을 알 수 있다.

또한 그림 5를 통해 광섬유의 분산 계수가 비교적 적은 WDM 시스템에서 MSSI 기법의 적용으로 1 dB EOP가 되는 채널 간 파워 페널티가 약 1 dB 정도로 얻어지는 것을 알 수 있다. 이는 MSSI 기법이 모든 WDM 채널에 큰 차이 없이 양호한 보상을 제공한다는 것을 의미한다. 그러나 광섬유의 분산

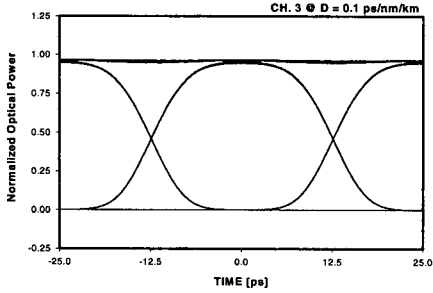
계수가 비교적 큰 경우(그림 5(d)) 파워 페널티가 2 dB 정도로 증가된다. 이는 엄밀히 말하면 특정 채널의 보상 정도가 다른 채널에 비해 현저히 달라진 것으로, 이것은 MSSI 기법에 의한 XPM의 보상이 광섬유의 분산 계수가 커질수록 인접 채널의 비트 패턴에 쉽게 영향을 받을 수 있다는 것을 의미한다.

또한 그림 5와 그림 7의 분석을 통해 즉 광섬유의 분산 계수가 클수록 임의의 채널에 왜곡을 유도하는 XPM의 영향이 감소한다. 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.

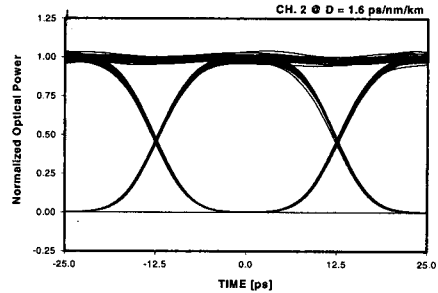
V. 결 론

지금까지 광섬유의 색 분산과 SPM 외에 XPM 효과에 의해 왜곡된 채널 신호를 보상하기 위한 방

광 펄스 왜곡의 보상을 위해 Mid-Span Spectral Inversion 기법을 채택한 120 Gbps WDM 시스템에서 채널간 상호 위상 변조 현상의 영향

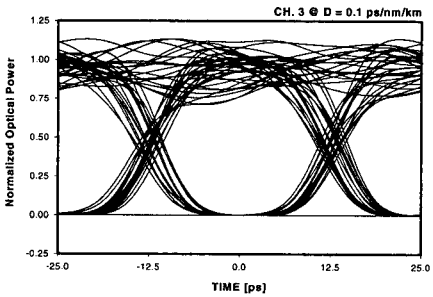


(a) $D = 0.1$ ps/nm/km

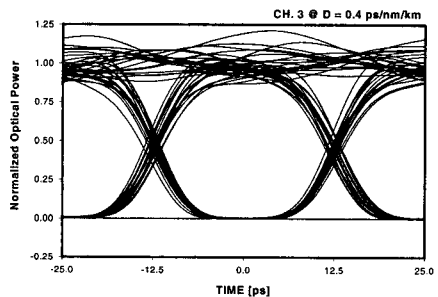


(b) $D = 1.6$ ps/nm/km

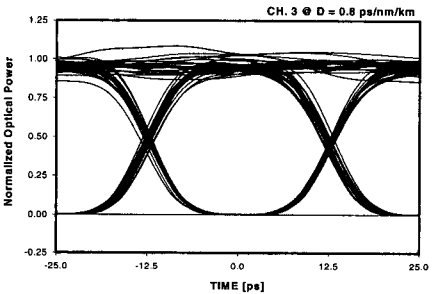
그림 6. 색 분산과 SPM에 의한 왜곡이 보상된 수신 광 펄스의 아이 다이어그램 (입력 전력 3 dBm)
Fig. 6. Eye diagram of compensated optical pulse that was distorted due to both chromatic dispersion and SPM(input power is 3 dBm).



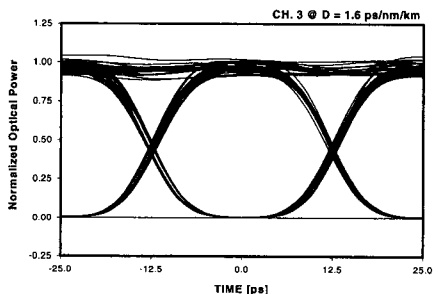
(a) $D = 0.1$ ps/nm/km



(b) $D = 0.4$ ps/nm/km



(c) $D = 0.8$ ps/nm/km



(d) $D = 1.6$ ps/nm/km

그림 7. 색 분산, SPM, XPM에 의한 왜곡이 보상된 수신 광 펄스의 아이 다이어그램(입력 전력 3 dBm)
Fig. 7. Eye diagram of compensated optical pulse that was distorted due to chromatic dispersion, SPM and XPM(input power is 3 dBm).

법으로 OPC의 비선형 매질로 HNL-DSF를 이용한 PAIA MSSI가 채택된 40 Gbps의 3-채널 프로브 채널의 IM/DD WDM 시스템에서 MSSI 기법에 미치는 XPM의 영향과 XPM에 의해 왜곡된 채널 신호의 보상 정도를 다양한 광섬유 분산 계수를 고려하여 분석해 보았다.

지금까지의 분석을 종합적으로 검토해 보면, 색

분산과 비선형 효과에 의한 채널 신호 왜곡이 유도될 수 있는 장거리 WDM 시스템에 MSSI 기법을 적용하면 전송 거리와 전송 품질을 단일 채널 전송 이상으로 개선시킬 수 있지만 XPM에 의한 왜곡의 보상 측면에서 MSSI 기법은 광섬유의 분산 계수가 비교적 큰 WDM 시스템에 더욱 유효하다는 것을 알 수 있었다.

앞으로의 연구에서는 SPM과 XPM 뿐만 아니라 FWM에 의한 채널 간섭, EDFA의 축적 자연 방출 (ASE : Accumulated Spontaneous Emission) 잡음 고려된 장거리 대용량 WDM 전송 시스템의 성능 분석과 성능 향상 기법에 대해 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

[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] 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.

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

[4] 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.

[4] S. Watanabe, 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.

[5] Seong-Real Lee, 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.*

[6] 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.

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

[8] A. Yariv, D. Fekete, and D. M. Pepper, "Compensation for channel dispersion by nonlinear optical phase conjugation", *Opt. Lett.*, vol. 4, pp. 52-54, 1979.

[9] S. Watanabe, 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.

[10] K. Kikuchi, C. Lorattanasene, "Compensation for pulse waveform distortion in ultra-long distance optical communication systems by using midway optical phase conjugator", *IEEE Photon. Techno. Lett.*, vol. 6, pp. 1499-1501, 1994.

이 성 렬



1967년 1월 11일생
 1990년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)
 1992년 8월: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)
 1992년 8월 ~ 1994년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 조교
 1996년 1월 ~ 2002년 5월: (주)세영통신 전파기술연구소 책임연구원
 2002년 2월: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학박사)
 2002년 6월 ~ 현재: (주)에이티엔 기술연구소 연구소장
 [주 관심분야] 솔리톤 전송 시스템, 광 파장 분할 다중화, 광의 비선형 현상 분석

이 윤 현



1941년 8월 24일생
 1965년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
 1979년 9월: 정보 통신 기술사
 1985년 2월: 경희대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1988년 7월: New York State University at Buffalo 교환교수
 1980년 ~ 현재: 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부 교수
 [주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 마이크로파 및 광통신, 안테나 및 전파 전파, EMI/EMC

권 순 녀



1991년 2월: 서울산업대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 1월 ~ 1995년 1월: (주)맥슨 전자 소프트웨어팀 연구원
 1995년 8월: 숭실대학교 정보산업대학원 공업교육학과 전자전공 (공학석사)
 1995년 5월 ~ 1998년 12월: 한국직업능력개발원 연구원
 1999년 1월 ~ 2002년 8월: 블루버드시스템 개발실장
 현재: 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 박사과정 수료
 2002년 9월 ~ 현재: (주)제논테크놀로지 선임연구원
 [주 관심분야] LED Control, EMI/EMC, OFDM System에서 반송파 동기분석