분산 보상 광섬유의 분산 계수와 중계 구간 당 잉여 분산에 따른 WDM 신호의 보상 특성

Compensation Characteristics of WDM Signals Depending on Dispersion Coefficient of Dispersion Compensating Fiber and Residual Dispersion Per Span

이성렬*

Seong-Real Lee*

요 약

단일 모드 광섬유의 그룹 속도 분산과 비선형 효과에 의해 왜곡되는 960 Gbps 파장 분할 다중 신호의 보상을 위해 분산 제어 기술이 적용된 광전송 링크에서 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)의 분산 계수와 중계 구간 당 잉여 분산량 (RDPS; residual dispersion per span)이 왜곡 보상에 미치는 영향을 분석하였다. 우선 왜곡 보상에 큰 영향을 미치는 최적 전체 잉여 분산량 (NRD; net residual dispersion)은 고려한 모든 DCF의 분산 계수와 RDPS에 관계없이 큰 입사 전력에서 구해야 한다는 것을 확인하였다. 중계 구간의 RDPS는 매우 작게, 반면 DCF의 분산 계수는 크게 하여야 시스템 성능이 현저하게 개선되는 것을 확인하였다.

Abstract

The effects of dispersion coefficient of dispersion compensating fiber (DCF) and residual dispersion per span (RDPS) on in the dispersion managed optical links for compensating the distorted 960 Gbps wavelength division multiplexed (WDM) signals due to group velocity dispersion (GVD) and optical nonlinear effects of single mode fiber (SMF) are investigated. It is confirmed that optimal net residual dispersion (NRD), which greatly affects compensating for optical signals, should be induced under the large launch power condition, irrelevant on the considered dispersion coefficient of DCF and RDPS. It is also confirmed that system performances are greatly improved by selecting the very small RDPS and very large dispersion coefficient of DCF.

Key words : Dispersion management, Net residual dispersion, Residual dispersion per span, Dispersion coefficient of DCF, Optical Phase conjugator

I. 서 론

광전송 시스템에서 파장 분할 다중화 (WDM; wavelength division multiplexing)와 같은 대용량 정보의 전송과 장거리 전송에 제한을 주는 주요 요소는 광섬유가 갖는 그룹 속도 분산 (GVD; group

* 목포해양대학교 해양정보통신공학과 (Dept. of Marine Inform. & Comm. Eng., Mokpo National Maritime University)

· 제1저자 (First Author) : 이성렬(Seong-Real Lee, +82-61-240-7264, email : reallee@mmu.ac.kr)

· 접수일자 : 2012년 12월 20일 · 심사(수정)일자 : 2012년 12월 21일 (수정일자 : 2013년 2월 20일) · 게재일자 : 2013년 2월 28일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.01.016>

velocity dispersion)과 자기 위상 변조 (SPM; self phase modulation) 등의 비선형 효과 (nonlinear effects)에 의한 광 신호 왜곡이다[1]. 광 신호 왜곡을 보상하는 대표적인 기술로 분산 제어 (DM; dispersion management)와 광 위상 공액 (optical phase conjugation)이 있다.

DM은 주 전송로인 광섬유, 즉 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)나 비영 분산 천이 광섬유 (NZ-DSF; non zero - dispersion shifted fiber)의 분산 계수와 다른 부호의 분산 계수 (dispersion coefficient)를 갖는 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 추가로 삽입하여 광 중계 구간 (fiber span)의 분산량과 시스템 전체의 분산량을 조절하는 기술이다[2],[3]. DM이 적용된 광 전송 시스템에서 성능 향상을 결정하는 주요 파라미터들로 pre- 또는 postcompensation, 한 중계 구간에서 축적된 분산량으로 정의되는 중계 거리 당 잉여 분산량 (RDPS; residual dispersion per span), 전송 링크 최종단에서 축적된 총 분산량으로 정의되는 전체 잉여 분산량 (NRD; net residual dispersion) 등이 있다[3]. DM은 전송 광섬유의 분산 외에 분산 기울기 (dispersion slope)도 동시에 보상할 수 있어 광 솔리톤 (optical soliton) 전송에서도 채택하고 있다[4]. 하지만 이 기술은 비선형 효과가 광 신호 왜곡에 영향을 주지 않는 경우에만 적용된다는 한계를 갖는다.

반면 광 위상 공액 기술은 GVD에 의한 신호 왜곡뿐만 아니라 비선형 효과, 특히 SPM에 의한 신호 왜곡 보상에 효과가 있다. 이 기술은 전체 전송로 중간에 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)를 두어 송신단부터 OPC까지 전파되면서 겪은 왜곡된 신호파를 OPC에서 공액파로 변환하여 나머지 전송 구간을 전송시켜 왜곡을 보상한다[5],[6]. 그러나 완벽한 보상이 이루어지려면 분산 분포와 광 신호의 전력 분포가 OPC를 중심으로 대칭이 되어야 하는데 전송 링크를 구성하는 EDFA (erbium-doped fiber amplifier)에서의 신호 증폭과 광섬유 내에서의 손실 때문에 대칭을 만들기 가 매우 어렵다는 한계를 안고 있다. 광 위상 공액 기술의 이러한 문제점을 해결하기 위하여 OPC의 최적 위치를 도출하여 적용하거나[7], OPC와 DM 기술을 결합하여 링크에 적용하는 기술[8] 등의 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문의 저자

도 OPC와 DM을 결합한 링크에서 최적 NRD를 시스템 파라미터와 관련해 도출하여 적용하면 960 Gbps WDM 신호를 장거리에 걸쳐 고품질로 전송할 수 있다는 것을 보였다[9].

전체 전송 링크의 중간에 OPC를 두고 광 중계 구간마다 DM을 적용하는 링크에서 시스템 성능에 영향을 미치는 중요한 파라미터는 RDPS이고 DCF의 특성 중 가장 중요한 것은 분산 계수이다. 이는 우선 전체 전송 링크의 길이, 중계 구간의 길이, WDM 채널 수 등에 따라 RDPS가 최적화되어야 시스템 성능을 크게 개선할 수 있고, 최적화된 RDPS는 선택된 DCF의 분산 계수와 관련하여 DCF의 길이를 결정하여 얻어지기 때문이다. WDM 채널의 변조 파형으로 RZ 형식을 사용하는 전송에서 최적의 RDPS는 일반적으로 0 ~ 150 ps/nm로 비교적 낮아야 한다고 보고되었다[10]. 그러나 최적 RDPS를 구현하는데 있어 DCF의 분산 계수의 구체적 영향에 대한 연구는 저자가 아는 한 아직까지 보고되지 않았다. 현재 사용되는 DCF는 제조 공정에 따라 일반적으로 -50 ps/nm부터 -250 ps/nm의 값을 갖지만[11], 실제 DM 링크에서는 분산 계수가 -80 ~ -150 ps/nm인 DCF를 사용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 960 Gbps (40 Gbps × 24 채널) WDM 전송을 위해 RDPS가 각각 0 ps/nm와 160 ps/nm로 설계된 전송 링크에서 DCF의 분산 계수가 시스템 성능에 미치는 영향과 RDPS 구현에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구에서 고려한 DCF의 분산 계수는 -80 ps/nm/km과 -160 ps/nm/km이고, WDM 채널의 변조 형식은 RZ로 하였다. 우선 RDPS와 DCF 분산 계수에 따른 4가지 전송 링크 각각의 최적 NRD를 도출하였고, 이 최적 NRD에서 도출한 유효 입사 전력 범위를 통해 시스템 성능을 비교하여 RDPS에 미치는 DCF의 분산 계수 영향을 분석하였다.

II. WDM 전송 시스템의 구성

그림 1은 본 논문에서 살펴보는 40 Gbps × 24 채널 WDM 신호 전송을 위한 송신부, 전체 전송로 중간에 OPC가 위치하고 DM이 적용된 광전송 링크와 수신부로 구성된 시스템의 전체 구조를 나타낸 것이

그림 1. 40 Gbps × 24 채널 WDM 전송 시스템 구조

Fig. 1. Configuration of 40 Gbps × 24 channels WDM transmission system

다. 그림 2(a)는 24개 WDM 채널의 송신기(Tx)의 구조를 나타낸 것으로, 각 채널은 서로 독립적인 $128(=2^7)$ 의사 랜덤 비트열 (PRBS; pseudo random bit sequence)에 의해 분포 제환 레이저 다이오드 (DFB-LD; distributed feedback laser diode)가 발생하는 각기 다른 파장의 연속파 (continuous wave)를 아래 식으로 표현되는 출력 전계를 가지는 소광비 (ER; extinction ratio)가 10 dB인 RZ 형식의 2차 가우시안 펄스 (Gaussian pulse)로 변조하는 것으로 가정하였다.

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

여기서, P_0 는 초기 입사 광 신호의 침투 전력, m 은 펄스의 차수($=2$)이다. 그리고 t_0 는 펄스 폭과 관계된 값으로 $0.5/(1.825 \times \text{비트율})$ 로 하였고, 비트율은 40 Gbps로 하였다. 또한 채널 1과 24의 DFB-LD의 중심 파장은 각각 1,550.0 nm와 1,568.4 nm로 하고 각 채널의 파장 간격은 ITU-T G.694.1의 권고에 따라 100 GHz (즉 0.8 nm)로 모델링하였다.

RZ 형식의 24개의 WDM 채널 신호들은 다중화기 (MUX; multiplexer)에서 다중화된 후 광 링크로 전송된다. 전체 광전송 링크는 MUX부터 OPC까지의 전반 전송 구획과 OPC부터 역다중화기(DEMUX)까지의 후반 전송 구획으로 나누어진다. 다중화되어 전송되는 24개 채널 신호들은 전체 전송로 중간에 위치한 OPC에서 공액 변환되어 나머지 전송 구획을 전파한 후 DEMUX에서 각 채널별로 분리된 후 수신기(Rx)로 보내진다.

24개 채널별 수신기는 그림 2(b)의 구조를 갖는 $0.65 \times$ 비트율의 대역폭을 갖는 직접 검파 (DD; direct detection) 방식의 수신기로 모델링하였다. 본 연구에서 전치 증폭기는 5 dB의 잡음 지수를 갖는 EDFA로,

광 필터의 대역폭은 1 nm, 광 검출기 (PD; photodiode)는 PIN 다이오드로, 펄스 정형 필터는 버터워스 필터로 모델링하였다.

그림 2. 송신기와 수신기의 구조

Fig. 2. Configuration of transmitter (Tx) and receiver (Rx)

전체 전송 링크의 중간에 위치한 OPC는 참고 문헌 [9]에서와 동일한 파라미터를 갖는 HNL-DSF (highly nonlinearity - dispersion shifted fiber)를 비선형 매질로 갖는 구조로 모델링하였다.

광전송 링크를 통해 손실과 비선형 효과의 영향을 겪으면서 전파하는 각 채널들은 비선형 슈뢰딩거 방정식 (NLSE; nonlinear Schrödinger equation)에 의해 표현된다[1]. NLSE를 단계 분할 푸리에 (SSF; split-step Fourier) 기법에 따라 시뮬레이션 하였다.

III. 광전송 링크의 구조와 성능 평가

그림 1의 24 채널 WDM 전송 링크는 총 14개의 중계 구간으로 구성된다. 비선형 현상에 의한 신호 왜곡을 좀 더 효율적으로 수행하고자 OPC를 중심으로 전반 전송 구획의 7개 중계 구간 각각은 DCF+SMF의 구조로, 후반 전송 구획의 7개의 중계 구간 각각은 SMF+DCF의 구조로 하였다. 모든 중계 구간의 SMF 길이 l_{SMF} 는 80 km로 동일하게 하였고, 손실 계수 α_{SMF} 는 0.2 dB/km, 비선형 계수 γ_{SMF} 는 $1.41 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}(@1,550 \text{ nm})$, 분산 계수 D_{SMF} 는 17 ps/nm/km($@1,550 \text{ nm})$ 로 RDPS에 관계없이 일정하게 가정하였다. 또한 각 중계 구간의 SMF에서 축적되는 분산량을 제거하거나 줄여주기 위해 추가되는 모든 DCF의 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 동일하게 하였다.

그러나 본 논문의 연구 목적을 위해 DCF의 분산 계수 D_{DCF} 는 -80 ps/nm/km와 -160 ps/nm/km의 두 가지를 고려하였고, 각 중계 구간의 RDPS는 0 ps/nm와 160 ps/nm의 두 가지 경우를 고려하였다. 각 중계 구간의 DCF 길이 l_{DCF} 는 선택된 DCF의 분산 계수와 RDPS에 의해 표 1과 같이 결정된다.

표 1. RDPS와 DCF 분산 계수에 따른 DCF 길이

Table 1. DCF lengths depend on RDPS and dispersion coefficient of DCF

RDPS	D_{DCF}	l_{DCF}
0 ps/nm	-80 ps/nm/km	17.0 km
	-160 ps/nm/km	8.5 km
160 ps/nm	-80 ps/nm/km	15.0 km
	-160 ps/nm/km	7.5 km

표 2. 입사 전력별 최상의 NRD

Table 2. Best NRD for launch power

RDPS, ps/nm	D_{DCF} ps/nm/km	NRD 결정	Launch power, dBm														
			-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
0	-80	pre	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
		post	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	-160	pre	8	8	8	8	8	8	8	8	-16	-16	-16	8	8	8	8
		post	-8	-8	-8	-8	-8	-8	16	16	16	8	8	8	8	8	8
160	-80	pre	-4	0	-4	-4	-8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
		post	4	4	4	8	-16	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
	-160	pre	16	16	0	0	-8	-8	16	16	-8	-8	-8	16	16	16	16
		post	-16	-16	0	8	8	-16	8	8	8	8	8	8	-16	-16	-16

표 1에 나타난 DCF의 길이는 그림 1의 전송 링크에서 2번째부터 13번째 중계 구간에만 해당한다. 이는 첫 번째 중계 구간의 DCF 길이인 l_{pre} 에 변화를 주어 precompensation을 조절하거나, 14번째 중계 구간의 DCF 길이인 l_{post} 에 변화를 주어 postcompensation을 조절하여 전송 링크의 NRD를 제어되도록 했기 때문이다.

본 연구에서 사용한 시스템의 성능은 아래 식으로 정의된 눈 열림 페널티 (EOP; eye opening penalty)이다.

$$EOP[dB] = 10\log_{10}(EO_{rec}/EO_{btb}) \quad (2)$$

식 (2)에서 EO_{rec} 는 수신 신호의 눈 열림 (EO; eye opening) 정도이고 EO_{btb} 은 광섬유 전송 링크에 입사되기 전 송신 신호의 눈 열림 정도로 EO는 아래와 같이 정의된다.

$$2P_{av}/(P_{1,min} - P_{0,max}) \quad (3)$$

여기서 P_{av} 는 광 신호의 평균 전력, $P_{1,min}$ 은 펄스 '1'의 최소 전력이고 $P_{0,max}$ 은 펄스 '0'의 최대 전력이다.

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 3의 (a)와 (b)는 표 1의 4가지 경우로 설계된 전송 링크를 통해 입사 전력이 0 dBm인 24개의 WDM 채널을 전송하였을 때 EOP 특성이 가장 나쁘게 나타나는 최악 채널의 EOP를 각각 precompensation과 postcompensation에 의해 결정되는 NRD의 변화에 따라 나타낸 것이다. DCF의 분산 계수에 따라

NRD 간격을 다르게 한 것은 SSF 기법의 시뮬레이터 구현 시 DCF의 step 크기를 동일하게 하여야 하는데 본 연구에서는 모두 0.05 km로 하였기 때문이다.

precompensation와 postcompensation에 의해 NRD를 결정하는 전송 링크 모두 EOP를 최소로 만드는 최상의 NRD는 0 ps/nm가 아닌 DCF의 분산 계수와 RDPS에 따라 -16 ps/nm부터 +16 ps/nm 사이의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 그림 3은 WDM 채널의 입사 전력이 0 dBm인 경우만을 나타낸 것으로, 0 dBm을 포함한 기타 입사 전력에서의 RDPS와 DCF의 분산 계수에 따른 최악 채널의 EOP를 최소로 만드는 최상 NRD를 표 2에 정리하였다.

그림 3. NRD에 따른 최악 채널의 EOP

Fig. 3. EOP of worst channel as a function of NRD

표 2의 결과를 살펴보면 분산 계수가 -80 ps/nm/km인 DCF를 사용하여 RDPS를 0 ps/nm로 설정한

전송 링크를 제외한 모든 전송 링크에서의 최상 NRD는 WDM 채널의 입사 전력에 따라 변하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 WDM 입사 전력에 독립적인 최적의 NRD를 결정하는 것이 쉽지 않다는 것을 의미한다.

그림 4. 표 2의 NRD별 입사 전력에 따른 최악 채널의 EOP
Fig. 4. EOP of worst channel as a function of launch power in several NRDs listed in Table 2

그림 4는 표 2에 정리한 최상의 NRD 중 입사 전력에 독립적인 최적의 NRD를 알아보기 위하여 표 2의 8가지 경우의 전송 링크 중 최상의 NRD 값이 많은 RDPS가 160 ps/nm로 설계된 전송 링크에서 입사 전력에 따른 EOP를 나타낸 것이다. 그림 4(a)와 (b)는 각각 DCF의 분산 계수가 -80 ps/nm/km와 -160 ps/nm/km인 경우의 EOP를 나타낸 것이고, 두 경우 모두 표 2에 정리한 입사 전력별 최상 NRD 중 가장 빈도가 높은 두 가지의 최상 NRD에서의 EOP를 나타냈다. 우선 그림 4(a)를 통해 알 수 있듯이 분산 계수가 -80 ps/nm/km인 DCF가 사용된 링크에서 precompensation에 의해 NRD를 결정하는 경우와 postcompensation으로 NRD를 결정하는 경우 각각의 최

적 NRD는 +12 ps/nm와 -12 ps/nm인 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 4(b)에서, 즉 분산 계수가 -160 ps/nm/km인 DCF가 사용된 링크에서는 그림 4(a)와 달리 최상 NRD에 따른 EOP 특성이 거의 비슷하게 나타나지만 precompensation에 의해 NRD를 결정하는 경우와 postcompensation으로 NRD를 결정하는 경우 각각 NRD가 +16 ps/nm와 -16 ps/nm에서 입사 전력에 따른 EOP가 좀 더 개선되는 것을 확인할 수 있다. 분석해 보면 이 최적 NRD들은 모두 입사 전력이 비교적 큰 경우에서 얻은 최상의 NRD 값과 동일함을 알 수 있다.

즉 그림 4를 통해 얻을 수 있는 중요한 결과는 최상의 NRD는 표 2에 정리한 것과 같이 WDM 입사 전력에 따라 달라질 수 있지만 입사 전력에 독립적인 전송 링크의 최적 NRD는 입사 전력이 비교적 큰 경우에서 얻어진 최상 NRD로 결정하는 것이 바람직하다는 것이다. 각 경우 비교적 큰 입사 전력에

서의 최상 NRD로 결정되는 최적 NRD들을 표 3에 정리하였다.

표 3. RDPS와 DCF 분산 계수에 따른 최적 NRD

Table 3. Optimal NRD depend on RDPS and dispersion coefficient of DCF

RDPS	D_{DCF}	NRD 결정	최적 NRD
0 ps/nm	-80 ps/nm/km	pre	-12 ps/nm
		post	+12 ps/nm
	-160 ps/nm/km	pre	+8 ps/nm
		post	+8 ps/nm
160 ps/nm	-80 ps/nm/km	pre	+12 ps/nm
		post	-12 ps/nm
	-160 ps/nm/km	pre	+16 ps/nm
		post	-16 ps/nm

각 입사 전력에서 EOP는 WDM 파장에 의존한다. 그림 5는 표 3에 나타난 최적 NRD로 설정된 전송 링크에서 24개 WDM 채널 중 가장 양호(Min.)한 채

(a) $D_{DCF} = -80$ ps/nm/km in RDPS = 0 ps/nm

(b) $D_{DCF} = -160$ ps/nm/km in RDPS = 0 ps/nm

(c) $D_{DCF} = -80$ ps/nm/km in RDPS = 160 ps/nm

(d) $D_{DCF} = -160$ ps/nm/km in RDPS = 160 ps/nm

그림 5. 최적 NRD에서 최악 채널의 입사 전력에 따른 EOP 편차

Fig. 5. EOP deviations of worst channel as a function of launch power at optimal NRD

널과 최악(Max.)인 채널의 EOP를 입사 전력에 따라 나타낸 것이다. WDM 채널 파장에 따른 EOP 편차는 전체적으로 입사 전력이 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 분산 계수가 -160 ps/nm/km 인 DCF를 사용하여 RDPS를 0 ps/nm 으로 한 전송 링크에서 같은 입사 전력에 대한 EOP 편차가 가장 적게 나타나는 것을 동시에 알 수 있다. 또한 동일한 입사 전력에 대해 NRD를 결정하는 방식, 즉 precompensation 혹은 postcompensation에 따라 EOP 편차가 달라지는데 전송 링크의 RDPS가 0 ps/nm 인 경우에는 precompensation으로, 160 ps/nm 인 경우에는 postcompensation으로 NRD를 결정하는 구조가 EOP 편차가 줄어드는 것을 알 수 있다.

그림 6. 입사 전력에 따른 최악 채널의 EOP

Fig. 6. EOP of worst channel as a function of launching power

그림 6은 그림 5에서 분석된 결과를 바탕으로 RDPS가 0 ps/nm 인 전송 링크에서 최적 NRD를 precompensation으로, RDPS가 160 ps/nm 인 전송 링크에서 최적 NRD를 postcompensation으로 결정하는 경우 입사 전력에 따른 최악 채널의 EOP를 나타낸 것이다. 1 dB EOP 이하의 성능으로 수신되는 입사 전력의 범위를 유효 입사 전력 범위라고 정의하면, 분산 계수가 -160 ps/nm/km 인 DCF를 사용하여 RDPS를 0 ps/nm 로 설정하고, precompensation을 통해 NRD를 $+8 \text{ ps/nm}$ 로 설정한 전송 링크에서의 유효 입사 전력 범위는 $-8 \sim 5 \text{ dBm}$ 으로 분산 계수가 -80 ps/nm/km 인 DCF를 사용하여 RDPS를 160 ps/nm 로 설정하고, postcompensation을 통해 NRD를 -12 ps/nm 로 설정한 전송 링크에서의 유효 입사 전력 범위보다 8 dB 정

도로 크게 개선되는 것을 알 수 있다.

그림 6의 결과가 갖는 중요한 의미는 전체 전송 거리 중간에 OPC를 사용하고 중계 구간마다 DM을 적용하는 전송 링크에서의 설계 기준을 얻을 수 있다는 것이다. 즉 중계 구간의 RDPS는 0 ps/nm 에 가깝게 매우 작게 설정해야 하고, 비교적 큰 값의 분산 계수를 갖는 DCF를 사용하여 SMF에서 늘어난 펄스폭을 짧은 DCF 구간에서 집중적으로 보상하는 구조가 시스템 성능을 더욱 개선할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

지금까지 960 Gbps WDM 전송을 위해 전체 전송로 중간에 OPC가 위치하고, 중계 구간마다 DM이 적용된 전송 링크에서 RDPS와 DCF의 분산 계수가 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

우선 중계 구간의 RDPS가 160 ps/nm 인 링크보다 0 ps/nm 인 전송 링크에서의 시스템 성능이 더욱 개선되고, 분산 계수가 -80 ps/nm/km 인 DCF보다 -160 ps/nm/km 인 DCF를 사용하는 것이 시스템 성능 개선 면에서 더욱 효과적임을 확인하였다. 즉 본 연구에서 살펴본 4가지의 전송 링크 구조 중에 분산 계수가 -160 ps/nm.km 인 DCF를 사용하여 RDPS가 0 ps/nm 으로 설정된 전송 링크에서의 유효 입사 전력 범위가 가장 크게 신장되는 것을 확인하였다. 아울러 이 전송 링크에서의 최적 NRD는 이를 결정하는 precompensation과 postcompensation에 상관없이 동일하게 $+8 \text{ ps/nm}$ 인 것을 확인하였다.

결론적으로 전체 전송 거리 중간에 OPC를 사용하고 중계 구간마다 DM을 적용하는 전송 링크에서의 설계 기준은 중계 구간의 RDPS는 매우 작게 하여야 하고, DCF의 분산 계수는 크게 하여 SMF에서 왜곡된 광 펄스를 짧은 DCF 구간에서 집중적으로 보상하는 구조로 설계해야 한다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] G. P. Agrawal, *Nonlinear fiber optics*, Academic Press, 2001.
- [2] M.I. Hayee, A.E. Willner, "RZ versus RZ in 10-40-Gb/s dispersion-managed WDM transmission systems," *IEEE Photonics Technol. Lett.* Vol. 11, pp. 991~993, 1999.
- [3] X. Xiao, S. Gao, Y. Tian, and C. Yang, "Analytical optimization of the net residual dispersion in SPM-limited dispersion-managed systems," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 24, No. 5, pp. 2038~2044, May 2006.
- [4] J. H. B. Nijhof, N. J. Doran, W. Forgiak, and A. Berntson, "Energy enhancement of dispersion-managed solitons and WDM," *Electron. Lett.*, Vol. 34, No. 5, pp. 481~482, 1998.
- [5] 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.
- [6] S. L. Jansen, D. van den Borne, P. M. Krummrich, S. Späalter, G.-D. Khoe, and H. de Waardt, "Long-haul DWDM transmission systems employing optical phase conjugation," *IEEE J. Sel. Top. Quant.*, Vol. 12, No. 4, pp. 505~520, 2006.
- [7] X. Xiao *et al.*, "Partial compensation of Kerr nonlinearities by optical phase conjugation in optical fiber transmission systems without power symmetry," *Opt. Commun.*, Vol. 265, No. 1, pp. 326~330, 2006.
- [8] A. Chowdhury and R.-J.Essiambre, "Optical phase conjugation and pseudolinear transmission," *Opt. Lett.*, Vol. 29, No. 10, pp. 1105~1107, 2004.
- [9] S. R. Lee, "Dispersion managed optical transmission links with optimized optical phase conjugator", *International Journal of KIMICS*, Vol. 7, No. 3, pp. 372~376, 2009.
- [10] A. Färbert, C. Scheerer, J.-P. Elbers, C. Glingener, and G. Fischer, "Optimized dispersion management scheme for long-haul optical communication systems," *Electron. Lett.*, Vol. 35, No. 21, pp. 1865

~1866, Oct. 1999.

- [11] L. Grüner-Nielsen, M. Wandel, P. Kristensen, C. Jørgensen, L. V. Jørgensen, B. Edvold, B. Pálsdóttir, and D. Jakobsen, "Dispersion-compensating fibers", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 23, No. 11, pp. 3566~3579, 2005.

이 성 렬 (Seong-Real Lee)

1990년 2월 : 한국항공대학교 통신
정보공학과 (공학사)

1992년 8월 : 한국항공대학교 대학
원 통신정보공학과 (공학석사)

2002년 2월 : 한국항공대학교 대학
원 통신정보공학과 (공학박사)

1996년 1월~2002년 5월 : (주)세

영통신 전파기술연구소 책임연구원

2002년 6월~2004년 2월 : (주)에이티엔 기술연구소장

2004년 3월~현재 : 국립목포해양대학교 해양정보통신공
학과 부교수

관심분야 : WDM 시스템, 광의 비선형 현상 분석, 광
솔리톤 전송