

RDPS가 랜덤하게 분포하는 분산 제어 광전송 링크에서 전체 전송 거리에 따른 유효 전체 잉여 분산

Effective Net Residual Dispersion Depending on Total Transmission Length in Optical Transmission Links with a Randomly Distributed RDPS

이성렬*

Seong-Real Lee*

요 약

분산 제어 (DM; dispersion management)와 광 위상 공액 (optical phase conjugation)이 적용된 파장 다중 (WDM; wavelength division multiplexing) 시스템의 유연한 구성을 위하여 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)이 랜덤하게 분포하는 전송 링크에서 전체 전송 거리에 따른 설계 기준을 도출하였다. 설계 기준 분석에 사용된 DM 파라미터는 유효 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)과 유효 입사 전력이다. 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber) 기준 전체 전송 거리가 1,000 km 이하인 링크에 랜덤 분포의 RDPS가 적용되는 경우 일정 분포에 비해 시스템 성능이 크게 차이나지 않아 유연한 네트워크 구성이 가능하고, 넓은 범위에 걸쳐 있는 WDM 채널에 대해 하나의 값이 아닌 폭넓은 NRD를 링크에 적용할 수 있다는 것을 확인하였다.

Abstract

The design rule depending on total transmission length is induced in the optical links with residual dispersion per span (RDPS) of the random distribution, which is adopted for implementing the flexible systems of wavelength division multiplexing (WDM) transmission with dispersion management (DM) and optical phase conjugation. DM parameters used for the analysis of the design rule are the effective net residual dispersion (NRD) and the effective launch power. It is confirmed that the flexible optical network configuration with the total transmission length lower than 1,000 km is possible, because the system performance difference between the randomly distribution and the uniform distribution of RDPS is small. And, in the optical links with the randomly distributed RDPS, the wide NRD can be applied for transmitting WDM channels of the relatively wide launch power.

Key words : Dispersion management, Net residual dispersion, Residual dispersion per span, Optical phase conjugation, Total transmission length, Effective launch power.

I. 서 론

초고속 장거리 광전송 링크에서 신호의 성능을

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

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

· 접수일자 : 2013년 6월 24일 · 심사(수정)일자 : 2013년 6월 24일 (수정일자 : 2013년 8월 23일) · 게재일자 : 2013년 8월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.4.413>

저하시키는 주요 요인은 그룹 속도 분산 (GVD; group velocity dispersion)과 비선형성(nonlinearity)의 상호 작용에 의한 신호 왜곡이다[1]. 이러한 신호 왜곡을 보상하는 다양한 기술들 중에서 광 위상 공액 기술은 전체 전송로의 중간에 광 위상 공액기 (OPC ; optical phase conjugator)를 두어 전송되는 광 신호의 스펙트럼을 반전시켜 GVD에 의한 왜곡뿐만 아니라 비선형 효과에 의한 왜곡도 보상할 수 있다[2].

또한 분산 제어 (DM; dispersion management) 기술은 주 전송로로 사용되는 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)의 분산 계수와 다른 부호의 분산 계수를 갖는 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 SMF에 추가로 삽입하여 중계 구간 (fiber span)과 시스템 전체의 분산량을 조절하여 GVD에 의한 왜곡을 보상한다[3]. DM은 또한 전송 광섬유의 분산 외에 분산 기울기 (dispersion slope)도 동시에 보상할 수 있고, 라만 증폭 (Raman amplification) 매체로도 사용될 수 있다는 장점이 있다[4].

그러나 광 위상 공액 기술은 광섬유에 존재하는 손실과 에르븀 광섬유 증폭기 (EDFA; erbium-doped fiber amplifier) 등의 사용에 따른 집중 증폭 (lumped amplification) 때문에 OPC를 중심으로 두 전송 구간에서의 광 전력 분포와 분산량을 서로 대칭을 만들기가 힘들어 완벽한 보상을 얻기 어렵다[5]. 또한 DM은 광섬유의 비선형 효과가 존재하지 않거나 아주 미약한 링크에서만 적용된다는 한계를 갖는다.

다행스럽게도 GVD와 비선형 현상이 존재하는 광전송 링크에 이 두 기술을 동시에 적용하면 DM에 의해 광 위상 공액 기술에서의 광 전력 분포와 분산의 비대칭 문제가 완화될 수 있고 추가된 DCF에 의해 링크 구조를 다양하게 할 수 있는 이점이 있다[6].

본 논문의 저자도 그간의 연구를 통해 OPC와 DM을 결합한 링크에서 최적의 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)을 시스템 파라미터와 관련해 도출하여 적용하면 960 Gbps WDM 신호를 장거리에 걸쳐 고품질로 전송할 수 있다는 것을 살펴보고[7], NRZ(non-return to zero) 형식에 비해 RZ(return to zero) 형식의 전송에 더욱 유리하다는 것을 살펴보고[8]. 더욱이, DM 적용 링크를 최적

화시킴으로써 OPC의 위치가 전체 전송 링크의 중간이 아닌 다양한 위치에 있을 수 있으며[9], OPC가 중간에 위치한다고 하더라도 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)을 랜덤하게 분포시킨 시스템 파라미터에 따라 최적화시켜 DM을 적용함으로써 유연한 광 네트워크 구조 설계의 가능성을 보였다[10].

본 연구는 지난 연구 중 하나인 전체 전송로 중간에 OPC를 두고 중계 구간마다 랜덤하게 선택된 RDPS로 분산 제어를 하는 전송 링크에서의 설계 기준과 관련한 후속 연구로 연구 내용은 다음과 같다. 동일한 길이의 SMF로 구성된 중계 구간의 개수로 전체 전송 거리가 결정되는 링크에서 중계 구간 개수에 따른 40 Gbps의 비트율을 갖는 24개 파장 다중 (WDM; wavelength division multiplexing) 채널을 최적으로 보상하는 NRD를 도출하였고, 중계 구간 개수별로 1 dB 이하의 눈 열림 패널티 (EOP; eye opening penalty)를 얻을 수 있는 유효 입사 전력 범위를 도출하였다.

II. 광전송 링크의 모델링

본 논문에서 살펴볼 RDPS가 랜덤하게 분포하는 n 개의 중계 구간으로 구성된 전송 링크와 WDM 전송 시스템의 구조를 그림 1에 나타냈다. 전체 전송 거리를 결정하는 중계 구간의 개수 n 은 12, 14, 16, 18을 고려하였고, 각 경우 모두 SMF의 길이, 즉 l_{SMF} 은 80 km로 동일하게 가정하였다. 기타의 SMF의 파라미터는 다음과 같이 가정하였다. 손실 계수 $\alpha_{SMF} = 0.2$ dB/km, 분산 계수 $D_{SMF} = 17$ ps/nm/km(@1,550 nm), 비선형 계수 $\gamma_{SMF} = 1.41$ $W^{-1}km^{-1}$ (@1,550 nm).

각 중계 구간의 RDPS는 전체 전송 거리별로 표 1의 값 중 하나의 값으로 랜덤하게 선택된 후 전체 전송 링크를 구성하도록 하였다. 또한 표 1에서 각 중계 구간마다 할당된 RDPS들의 전체 전송 거리에 대한 평균은 150 ps/nm가 되도록 하였다. 즉 예를 들어, 12개의 중계 구간으로 구성된 링크에서 평균 RDPS는 (50+100+150+200+250 ps/nm)/5에 의해 150 ps/nm이다.

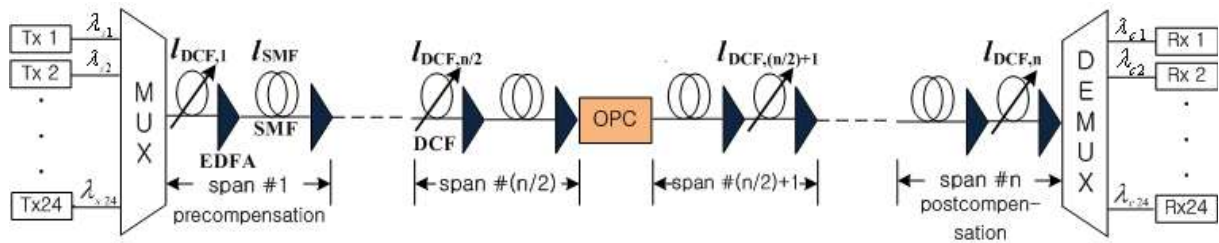


그림 1. RDPS 분포가 랜덤한 24x40 Gbps WDM 전송 시스템 구조.

Fig. 1. Configuration of 24x40 Gbps WDM transmission system with a randomly distributed RDPS.

표 1. 전송 반 구획의 각 중계 구간마다 랜덤하게 할당되는 RDPS.

Table 1. RDPSs randomly allocated in each fiber spans of half transmission section.

n	랜덤 분포를 위한 RDPS 종류 [단위 : ps/nm]							
12	50	100	150	200	250	-	-	-
14	0	50	100	150	200	400	-	-
16	0	50	100	150	200	250	300	-
18	-50	0	50	100	150	200	350	400

표 1에서 중계 구간의 개수별로 랜덤하게 결정되는 RDPS의 개수가 맞지 않는 것은 우선 그림 1의 MUX부터 OPC까지의 전반 전송 구획을 구성하는 중계 구간의 RDPS와 OPC부터 DEMUX까지의 후반 전송 구획을 구성하는 중계 구간의 RDPS가 각각 표 1의 동일한 값들을 랜덤하게 선택하기 때문이다. 또한 전반 전송 구획의 첫 번째 중계 구간의 DCF와 후반 전송 구획의 마지막 중계 구간의 DCF는 각각 전체 전송 링크의 NRD를 결정하는 precompensation과 postcompensation을 조절하는데 사용되기 때문이다.

각 중계 구간의 RDPS는 DCF의 길이 l_{DCF} 에 의해 조절되도록 하였다. 반면, 모든 중계 구간에서 DCF의 손실 계수 α_{DCF} 는 0.6 dB/km, 비선형 계수 γ_{DCF} 는 $4.83 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ (@1,550 nm)로 동일하게 가정하였다.

본 연구에서 WDM 채널 보상에 대한 영향을 분석하는데 이용되는 DM 파라미터는 NRD와 pre(post)-compensation이다. 본 논문에서 NRD는 첫 번째 중계 구간 (span 1)의 DCF 길이 (그림 1의 $l_{DCF,1}$)의 조절로 얻어지는 precompensation, 또는 마지막 중계 구간 (span n)의 DCF 길이(그림 1의 $l_{DCF,n}$)의 조절로 얻어지는 postcompensation을 통해 결정하도록 하였다. 즉 이렇게 제어되는 NRD에 따른 WDM 채널의 성능을 기초로 하여 전체 전송 거리의 영향을 분석하였다.

III. WDM 전송 시스템의 모델링과 성능 평가 방법

본 논문에서 고려한 24 채널 (채널 비트율 40 Gbps) 전송을 위한 WDM 시스템의 송신부, 수신부 및 전체 전송로 중간에 위치한 OPC의 세부 구성과 구체적인 파라미터는 저자의 DM 관련 논문들과 동일하게 모델링하였다 [7]-[10]. 즉 그림 1의 24개 송신기(Tx)는 분포 제환 레이저 다이오드 (DFB-LD; distributed feedback laser diode)로 가정하였고, 채널 1과 24의 DFB-LD의 중심 파장은 각각 1,550 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. 각 DFB-LB는 서로 독립적인 $128(=2^7)$ 의 사 랜덤 비트열 (PRBS; pseudo random bit sequence)에 의해 외부적으로 변조되는 것으로 모델링하였다. 이 때 외부 변조기로부터 발생하는 변조 파형 형식은 소광비 (ER; extinction ratio)가 10 dB인 2차 가우시안 펄스의 RZ로 모델링하였다.

OPC는 HNL-DSF(highly nonlinearity - dispersion shifted fiber)를 비선형 매질로 갖는 구조로 모델링하였고, 수신기는 5 dB의 잡음 지수를 갖는 전치 증폭기, 1 nm 대역폭의 광 필터, PIN 다이오드, 버터워스 형태의 펄스 정형 필터와 판별 회로로 구성된 직접 검파 (direct detection) 방식의 수신기로 모델링하였다. 수신 대역폭은 $0.65 \times$ 비트율로 가정하였다.

광전송 링크를 통해 손실과 비선형 효과의 영향을 겪으면서 전파하는 각 채널들은 비선형 슈뢰딩거 방정식 (NLSE; nonlinear Schrödinger equation)에 의해 표현된다. 본 논문에서 40 Gbps의 24 채널 WDM 전송을 위한 NLSE의 수치적 분석은 단계 분할 푸리에 (SSF; split-step Fourier) 기법[1]을 이용하여 Matlab으

로 구현하여 이루어졌다.

중계 구간의 RDPS가 랜덤하게 분포하는 광전송 링크를 전파한 WDM 채널의 수신 성능 평가는 EOP를 사용하였다. 또한 성능 비교를 위해 그림 1에서 모든 중계 구간의 RDPS가 150 ps/nm로 균일한 광전송 링크의 성능 평가도 동시에 수행하였다.

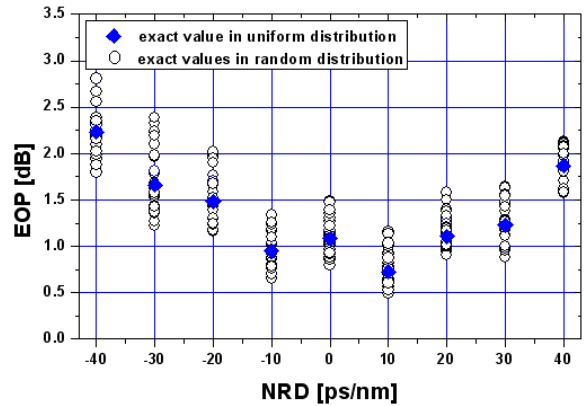
IV. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 연구에서 살펴보고자 하는 광전송 링크의 구조에서 전반 전송 구획의 첫 번째 중계 구간이나 후반 전송 구획의 마지막 중계 구간을 제외한 나머지 중계 구간의 RDPS는 랜덤하게 선택되어 조합되기 때문에 경우의 수가 매우 많아져 모든 랜덤 조합에 대한 시뮬레이션은 많은 시간을 필요로 한다. 시뮬레이션 시간을 줄이면서 수치적 분석을 비교적 정확하게 위하여 본 연구에서는 전체 전송 거리별 RDPS의 랜덤 조합을 30번 수행하여 성능을 분석하였다.

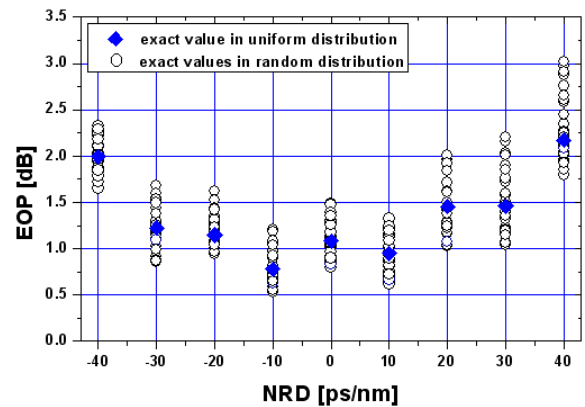
그림 2의 (a)와 (b)는 -3 dBm의 입사 전력으로 RDPS가 랜덤하게 분포하는 16개의 중계 구간 (16 fiber spans)의 광전송 링크를 전송한 24개 WDM 채널 중 EOP 특성이 가장 나쁘게 나타나는 최악 채널의 EOP를 각각 precompensation과 postcompensation에 의해 결정되는 NRD의 변화에 따라 나타낸 것이다. 또한 성능 비교를 위해 모든 중계 구간의 RDPS가 150 ps/nm로 일정하게 분포한 광전송 링크에서의 EOP도 동시에 나타냈다.

중계 구간의 RDPS가 랜덤하게 분포하는 패턴에 따라 성능이 달라져 각 NRD에서 다양한 EOP를 나타내지만 고려한 30가지의 패턴 전체적으로 precompensation와 postcompensation에 의해 NRD를 결정하는 경우 각각 10 ps/nm와 -10 ps/nm에서 EOP가 최소가 되는 것을 알 수 있다. 그리고 이 결과는 중계 구간의 RDPS 분포가 균일한 전송 링크에서의 결과와 동일함을 알 수 있다.

그림 3은 precompensation과 postcompensation에 의해 결정되는 최적의 NRD가 각각 10 ps/nm와 -10 ps/nm인 그림 2의 결과가 전체 전송 길이가 다른 광전송 링크에서도 동일한 지를 살펴보기 위해 나타



(a) NRD determined by precompensation, Ps = -3 dBm



(b) NRD determined by postcompensation, Ps = -3 dBm

그림 2. 랜덤한 RDPS 분포를 갖는 중계 구간이 16개로 구성된 광전송 링크에서 NRD 변동에 따른 최악 채널의 EOP

Fig. 2. The EOP of the worst channel as a function of the NRD variation in the optical links consisted of 16 fiber spans with the randomly distributed RDPS.

낸 것이다. 전체 전송 길이가 달라져도, 즉 중계 구간의 개수가 많아지더라도 RDPS 분포가 랜덤한 경우와 균일한 경우 모두 그림 3에서 얻은 결과와 동일하게 precompensation과 postcompensation에 의해 결정되는 최적의 NRD는 각각 10 ps/nm와 -10 ps/nm인 것을 확인할 수 있다. 즉 그림 2와 그림 3을 통해 중계 구간의 개수와 RDPS 분포 상태에 관계없이 최적의 NRD는 10 ps/nm와 -10 ps/nm라고 판단할 수 있다.

하지만 실제적으로 전송 링크의 NRD가 항상 고정된 이 값만을 갖도록 하는 것은 시스템 구성의 융통성을 제한하는 요소가 된다. 1 dB EOP를 성능 기준으로 그림 3을 다시 한 번 분석해 보면 다행히도

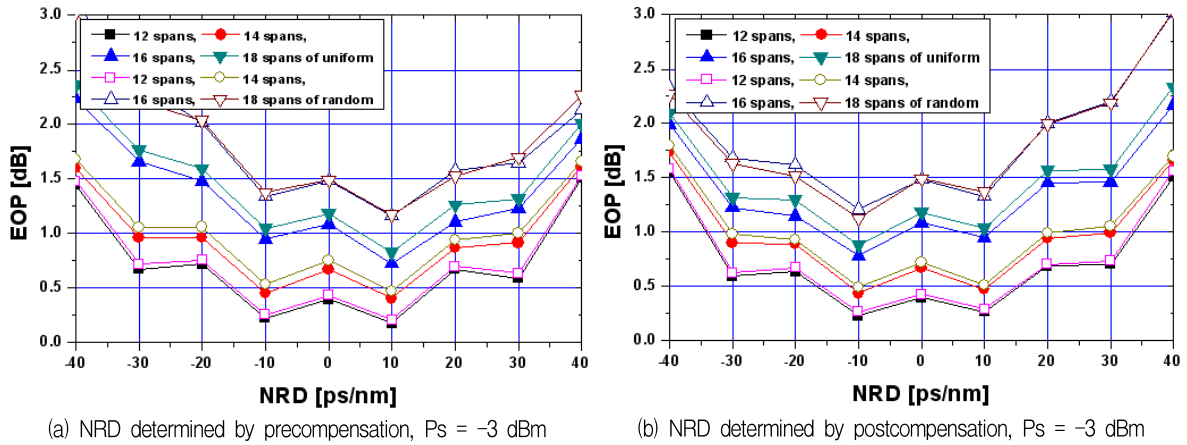


그림 3. 랜덤한 RDPS 분포를 갖는 중계 구간 개수별 NRD 변동에 따른 최악 채널의 EOP
 Fig. 3. The EOP of the worst channel as a function of the NRD variation for the number of fiber span with the randomly distributed RDPS.

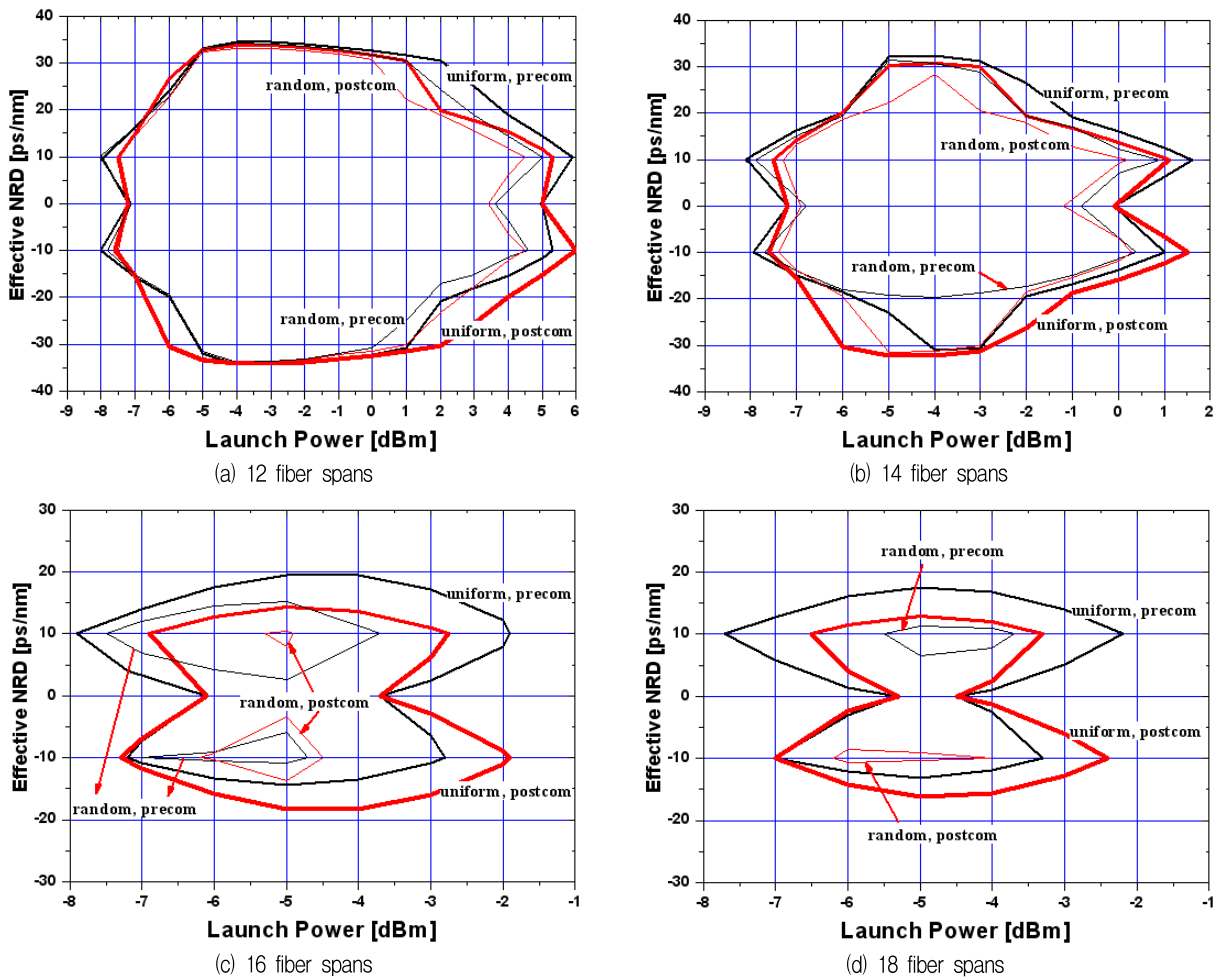


그림 4. 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위
 Fig. 4. The effective NRD ranges for the launch power.

10 ps/nm이나 -10 ps/nm 외에 이들 근처의 다른 NRD 값들을 링크에 적용해도 최악 채널의 EOP를 1 dB EOP 이하로 유지할 수 있는 것을 알 수 있다. 즉 1 dB EOP 기준 이하로 만드는 각 경우의 NRD 범위를 구할 수 있고 이 범위 내의 특정 값으로 NRD가 유지되도록 링크 구조를 설계하면 시스템 구조의 유연성을 높일 수 있다. EOP를 1 dB 이하가 되게 하는 NRD 범위를 유효 NRD라고 정의하여 이들을 전체 전송 거리 (즉 중계 구간의 개수)별로 입사 전력에 따라 구한 것이 그림 4이다. 즉 그림 4의 각각의 경우에 나타난 입사 전력에 따른 등고선 (contour) 내의 범위에서 NRD를 선택하고 해당 입사 전력으로 WDM 채널들을 전송하면 최악 채널의 EOP를 1 dB 이내로 얻을 수 있다.

그림 4를 살펴보면, 우선 중계 구간의 개수가 늘어날수록 RDPS 분포가 일정하거나 랜덤한 경우 모두 입사 전력과 유효 NRD 범위가 제한되는 것을 알 수 있다. 이것은 WDM 채널들의 전송 거리가 길어질수록 GVD와 비선형 현상의 상호 작용에 의한 왜곡이 더욱 심해지기 때문에 나타나는 결과라고 하겠다.

그림 4에서 얻을 수 있는 중요한 결과는 중계 구간의 개수가 늘어날수록 RDPS 분포가 균일한 경우와 랜덤한 경우 사이의 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위에 대한 편차가 증가한다는 것이다. 특히 중계 구간이 16개 이상으로 증가하게 되면 이 둘 사이의 편차가 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 표 1을 살펴보면 중계 구간이 14개인 경우 랜덤하게 선택되는 RDPS는 최소 0 ps/nm에서 최대 400 ps/nm인 반면 중계 구간이 16개인 경우는 최소 0 ps/nm에서 최대 300 ps/nm이기 때문에 특정한 한 중계 구간에서 랜덤하게 선택된 RDPS의 크기가 영향을 미쳤다고 보기는 어렵다. 이러한 이유로부터 그림 4의 결과를 통해 중계 구간의 RDPS를 랜덤하게 분포시켜 링크를 구성하는 경우 특정한 입사 전력 범위 내에서 유효 NRD 범위 내로 전송 링크를 설계하고자 하는 경우에 전체 전송 거리에 제약이 있을 수 있다는 것을 판단할 수 있다. 다만, 다행스러운 것은 중계 구간 개수의 증가에 의해 전체 전송 거리가 늘더라도 precompensation에 의해 NRD를 10 ps/nm로 설

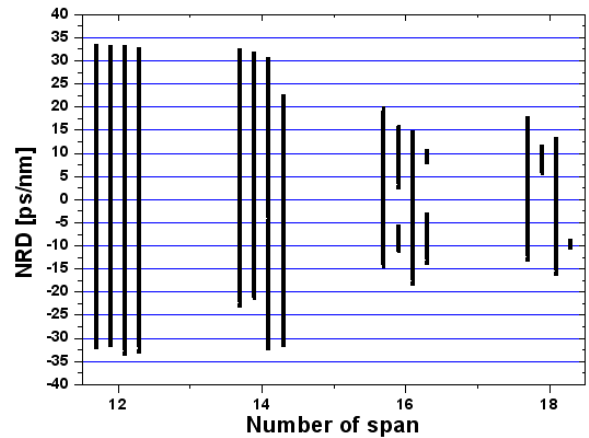


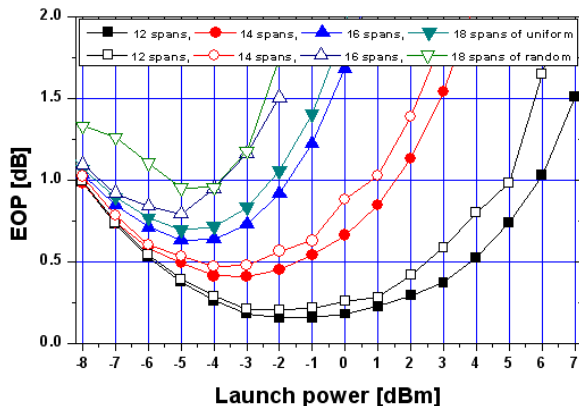
그림 5. -5 dBm에서 중계 구간에 따른 유효 NRD 범위
Fig. 5. The effective NRD ranges depending on the number of fiber span for -5 dBm.

정하면 비교적 작은 입사 전력의 WDM 채널들을 효과적으로 전송할 수 있다는 것이다.

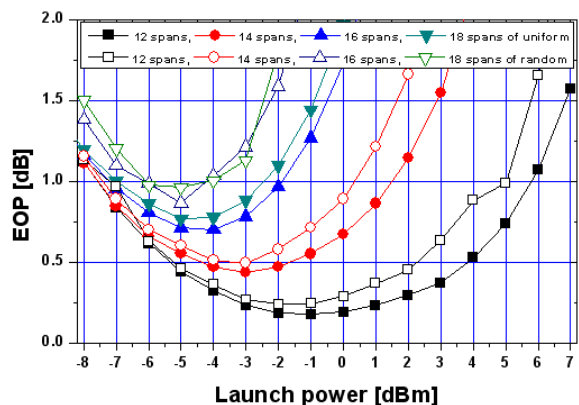
그림 5는 지금까지 살펴본 그림 4에 대한 분석을 조금 더 쉽게 이해하기 위해 모든 중계 구간 개수에 공통적으로 유효 NRD 값을 갖는 입사 전력 -5 dBm에서의 유효 NRD 범위를 중계 구간 개수별로 나타낸 것이다. 그림 5에서 각 중계 구간별 4개의 막대 중 첫 번째 막대와 두 번째 막대는 precompensation으로 NRD를 조절하는 경우 각각 RDPS 분포가 균일한 링크와 랜덤한 링크에서의 유효 NRD 범위이고, 세 번째 막대와 4번째 막대는 postcompensation으로 NRD를 조절하는 경우 각각 RDPS 분포가 균일한 링크와 랜덤한 링크에서의 유효 NRD 범위를 나타낸 것이다.

그림 6은 그림 2와 그림 3에서 얻은 결과인 precompensation과 postcompensation에 의해 설정된 최적 NRD가 각각 10 ps/nm와 -10 ps/nm인 링크에서 입사 전력에 따른 최악 채널의 EOP를 나타낸 것이다. 우선 그림 6(a)와 그림 6(b) 모두 중계 구간의 RDPS가 랜덤한 경우가 균일한 경우에 비해 입사 전력에 따른 수신 성능이 안 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 특히 입사 전력이 클수록 둘 사이의 차이가 더욱 심해진다.

1 dB 이하의 EOP를 얻을 수 있게 하는 입사 전력을 유효 입사 전력이라고 하면 유효 입사 전력은 중계 구간의 RDPS 분포가 랜덤한 경우보다 일정한 경우 중계 구간의 개수가 적을수록 증가하는 것을 알



(a) NRD = 10 ps/nm determined by precompensation



(b) NRD = -10 ps/nm determined by postcompensation

그림 6. 최적 NRD에서 입사 전력에 따른 EOP
Fig. 6. EOP as a function of the launch power at several optimal NRDs.

수 있다. 특히, 중계 구간의 개수가 16개 이상으로 증가한 장거리 링크에서 RDPS 분포에 따른 유효 입사 전력의 차이가 3 dB 이상이 되고, RDPS 분포가 랜덤한 중계 구간의 개수가 18개인 경우의 유효 입사 전력은 -5 dBm 근처로 크게 제약되는 것을 알 수 있다.

즉 그림 5와 그림 6의 결과를 통해 중계 구간의 개수가 14개 이하인 SMF만으로는 약 1,000 km 정도의 전송에서는 RDPS 분포를 랜덤하게 하여 전송 링크 구성에 유연성을 확보할 수 있지만 전송 거리가 그 이상으로 증가하면 RDPS의 분포를 고정하여 링크를 구성하여야 비교적 넓은 입사 전력 범위에 대해 탄력적인 NRD의 DM을 적용하여 효과적인 보상이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

광섬유가 갖는 GVD와 비선형 효과의 상호 작용에 의해 왜곡되는 WDM 신호들을 보상하기 위해 전체 전송로 중간에 OPC를 두고 중계 구간마다 랜덤하게 선택된 RDPS로 분산 제어를 하는 전송 링크에서 전체 전송 거리에 따른 40 Gbps의 비트율을 갖는 24개 파장 다중 (WDM; wavelength division multiplexing) 채널을 최적으로 보상하는 NRD를 도출하였고, 중계 구간 개수별로 유효 입사 전력 범위를 도출하였다.

중계 구간의 개수가 14개 이하인 SMF만으로는 약 1,000 km 정도의 전송에서는 RDPS 분포를 랜덤하게 하여 전송 링크 구성에 유연성을 확보할 수 있는 것을 확인하였다. 하지만 전송 거리가 1,000 km 이상으로 증가하면 RDPS의 분포를 고정하여야만 WDM 채널들의 보상이 이루어지기 때문에 향후 연구에서는 장거리 전송 시스템에서 링크를 유연하게 구성할 수 있도록 해주는 추가적인 기술들, 예를 들어 중계 구간의 RDPS 분포는 랜덤하지만 평균 RDPS를 제한하는 기술 등에 대하여 연구할 예정이다.

Reference

- [1] G. P. Agrawal, *Nonlinear fiber optics*, Academic Press, 2001.
- [2] A. Chowdhury and R.-J. Essiambre, "Optical phase conjugation and pseudolinear transmission," *Opt. Lett.*, Vol. 29, No. 10, pp. 1105~1107, 2004.
- [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, 2006.
- [4] J. D. Ania-Castañon, and S. K. Turitsyn, "Noise and gain optimization in bi-directionally pumped dispersion compensating amplifier modules," *Opt. Commun.*, Vol. 224, No. 1-3, pp. 107~111, 2003.

- [5] S. Watanabe and M. Shirasaki, "Exact compensation for both chromatic dispersion and Kerr effect in a transmission fiber using optical phase conjugation", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 14, No. 3, pp. 243~248, 1996.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] S. R. Lee, S. E. Cho, "NRZ versus RZ modulation format in lumped dispersion managed systems", *J. The Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences*, Vol. 12, No. 2, pp. 327~335, 2008.
- [9] S. R. Lee, "Performance improvement of WDM channels using inline dispersion management in transmission links with OPC placed at various position", *J.Korea Navigation Institut*, Vol. 14, No. 5, pp. 668~676, 2010.
- [10] S. R. Lee, "Performance improvement of WDM signals through precompensation and postcompensation in dispersion managed optical transmission links with artificial distribution of single mode fiber length and RDPS", *J. The Korea Institute of Information & Communication Sciences*, Vol. 16, No. 10, pp. 2293~2302, 2012.

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