

중계 구간이 증가할수록 SMF 길이와 RDPS가 점진적으로 증가하거나 감소하는 분산 제어 광전송 링크

Dispersion-managed Optical Links with the Ascending or Descending of SMF Lengths and RDPS as the Fiber Span is Increased

이성렬

목포해양대학교 해양정보통신공학과

Seong-Real Lee

Department of Marine Information and Communication Engineering, Mokpo National Maritime University, Jeollanam-do 58628, Korea

[요 약]

MSSI (mid-span spectral inversion)와 결합된 분산 제어 (DM; dispersion management)는 광섬유가 갖는 색 분산과 비선형 효과에 기인하는 신호 왜곡을 줄일 수 있는 기술이다. 이러한 전송 링크의 융통적 구성을 위해 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)의 길이와 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)이 중계 구간이 증가할수록 점진적으로 증가되거나 감소되는 인위적 분포 링크에서 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion) 제어 위치에 따른 왜곡된 WDM 채널의 보상 특성을 살펴보았다. 각 전송 반 구획 중 WDM 채널의 광 펄스 폭이 가장 좁아지는 중계 구간이 NRD 조절 위치가 되도록 SMF 길이와 RDPS를 점진적 증가 또는 감소 분포 패턴으로 링크를 구성해야 최상의 보상 효과를 얻을 수 있는 것을 확인하였다.

[Abstract]

Dispersion management (DM) combining with mid-spans spectral inversion (MSSI) is one of the various techniques compensating for the distorted optical signals. For the flexible implementation of this configured link, the compensation characteristics in the optical link with artificial distribution of the gradually ascending and descending of single mode fiber (SMF)'s lengths and residual dispersion per span (RDPS) as the number of fiber spans are assessed as a function of the control positions of net residual dispersion (NRD). It is confirmed that the best compensation is obtained by distributing gradually ascending or descending of SMF's lengths and RDPS capable to place NRD control position at fiber span, in which optical pulse width is most narrow.

Key word : Artificial distribution of fiber span, Dispersion management, Mid-span spectral inversion, Residual dispersion per span, Net residual dispersion.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.5.462>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 11 August 2016 Revised 4 October 2016

Accepted (Publication) 19 October 2016 (30 October 2016)

*Corresponding Author; Seong-Real Lee

Tel: +82-61-240-7264

E-mail: reallee@mmu.ac.kr

1. 서론

단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)가 본질적으로 갖는 색 분산 (chromatic dispersion), 또한 EDFA (erbium-doped fiber amplifier)에서 증폭된 광 신호 전력에 의해 더욱 심화되는 비선형 왜곡은 광통신 시스템의 대역폭 길이 곱 (bandwidth length product)을 제한한다 [1]. 이러한 한계를 극복하거나 줄여 주기 위한 대표적인 기술로 분산 제어 (DM; dispersion management)와 MSSI (mid-span spectral inversion)가 있다.

DM은 양의 그룹 속도 분산 (normal GVD (group velocity dispersion))을 갖는 SMF에 음(anomalous)의 GVD를 갖는 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion compensating fiber)를 추가적으로 배열하여 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)이나 전체 분산량 (NRD; net residual dispersion)을 조절하여 광 펄스의 왜곡을 보상할 수 있다 [2],[3]. 하지만 비선형 효과에 의한 광 신호 왜곡의 보상에는 한계가 있다.

A. Yariv에 의해 제안된 MSSI는 전체 전송로의 중간에 광 위상 공액기 (OPC ; optical phase conjugator)를 두어 전송되는 광 신호의 스펙트럼을 반전시켜 신호 왜곡을 보상하는 기술이다 [4]. MSSI는 파장 분할 다중 (WDM; wavelength division multiplexing) 전송과 같은 대용량 전송에도 효과적이고, 특히 CO-OFDM (coherent optic - orthogonal frequency division multiplexing)과 같은 코리어런트 광 전송 시스템에도 보상 효과가 우수하다는 장점이 있다. 이 기술은 국부 분산 (local dispersion)과 광 신호 전력이 OPC를 중심으로 대칭적으로 분포하여야 GVD와 SPM의 상호 작용에 의한 신호 왜곡을 보상할 수 있다. 하지만 장거리 전송 시스템에서 광섬유의 본질적 손실과 EDFA에서의 증폭이 완벽한 대칭을 어렵게 한다는 단점을 갖는다 [5].

이러한 한계를 극복하기 위한 방법으로 OPC를 전체 전송로 중간이 아닌 최적의 위치로 이동시키는 기술이 제안되었고 [6], DM과 MSSI를 결합시키는 기술 [7] 등이 제안되었다. 본 논문의 저자도 시스템 성능 개선을 위한 다양한 형태의 DM과 MSSI를 결합 링크를 제안하였다 [8],[9].

DM과 OPC가 결합된 광전송 링크의 기본 구조는 SMF 길이와 중계 구간 (fiber span)마다 RDPS를 모든 중계 구간마다 균일하게 분포시키는 것이다. 이러한 구성 방법은 링크 구조를 간단히 할 수 있다는 장점이 있지만 동시에 링크 구조의 융통성 (reconfigurable)을 제약시킨다. 저자는 DM과 OPC가 적용된 링크 구성에서의 융통성을 높이기 위한 방법으로 SMF 길이와 RDPS를 중계 구간 수가 증가할수록 점진적으로 증가(ascending) 또는 점진적으로 감소(descending)하는 분포들을 서로 조합시키는 인위적 분포 (artificial distribution)를 제안하였다 [9]. 이 연구를 통해 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포 패턴에 따라 왜곡된 WDM 채널의 보상에 미치는 영향이 달라지는 것을 확인하였다. 즉 SMF 길이와 RDPS 모두 WDM 송신단부터 OPC까지의 전반 전송 구획 (FHTS; former half transmission section)에서 점진적으로 증가하는 구성으로 분포된다면 OPC부터 수신단까지의 후반 전송 구획

(LHTS; latter half transmission section)에서는 점진적으로 감소하는 구성으로 분포 (이 분포를 간략히 AD 분포라 함) 되어야 하고, 반면 FHTS에서 점진적으로 감소하는 구성으로 분포되면 LHTS에서는 점진적으로 증가하는 구성으로 분포 (이를 간략히 DA 분포라 함) 되어야 시스템 성능이 개선되는 것을 확인하였다.

이 결과를 바탕으로 보상 효과가 우수할 수 있는 인위적 분포 패턴은 4가지이다. 즉 AD-AD (SMF 길이 분포는 FHTS에서는 점진적 증가, LHTS에서는 점진적 감소, RDPS 분포는 FHTS에서는 점진적 증가, LHTS에서는 점진적 감소), AD-DA, DA-AD, DA-DA 분포 패턴이 있다.

WDM 채널의 왜곡 보상에 영향을 미치는 또 다른 DM 링크 파라미터로 NRD를 조절하는 위치도 고려될 수 있다. DM과 MSSI가 결합된 링크에서 기본적으로 고려할 수 있는 NRD 조절 위치는 링크 시작점, 링크 최종점, OPC 이전과 OPC 이후의 4곳을 뽑을 수 있다. 각각 4가지의 인위적 링크 분포와 NRD 조절 위치에 따라 동일 조건 아래에서의 보상효과가 달라질 수 있음을 예상할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 SMF 길이와 RDPS가 AD-AD, AD-DA, DA-AD, DA-DA로 분포하는 각각의 링크에서 상기에 언급된 4가지 NRD 조절 위치에 따른 보상 특성을 수치적 시뮬레이션을 통해 비교하여 최적의 링크 분포와 NRD 조절 위치를 도출해 보고자 한다. 본 연구에서 살펴보는 링크는 40 Gbps × 24 채널 WDM 전송을 위한 구조로 모델링 되었다.

II. WDM 시스템 모델링

그림 1은 24 채널 × 40 Gbps의 WDM 전송 시스템과 이를 위한 광전송 링크의 구조를 나타낸 것이다. 그림 1에 표현했듯이 전체 전송로는 50개의 중계 구간으로 구성된다. 각 중계 구간을 구성하는 SMF와 DCF의 배열은 NRD 조절 위치와 관련하여 2가지로 구분하였다. 즉 그림 1(a)에 보인 바와 같이 링크 시작점과 링크 최종점을 통해 NRD를 조절하는 링크에서는 전체 전송로 중간에 위치한 mid-way OPC 이전의 FHTS에서는 SMF 앞에 DCF를 삽입한 precompensation의 구조로, 반면 LHTS에서는 SMF 다음에 DCF를 삽입한 postcompensation의 구조로 구성하였다. 이에 반해 OPC 이전과 이후를 통해 NRD를 조절하는 링크에서는 FHTS는 postcompensation의 구조로, LHTS는 precompensation의 구조로 구성하였다. 이러한 구성들은 모두 두 전송 구획에서의 광섬유 배열이 mid-way OPC를 중심으로 대칭되는 구조이기 때문에 비선형 보상 효과를 다소 높일 수 있다.

AD 또는 DA 분포를 위하여 그림 1(a)와 1(b) 모두 중계 구간의 SMF 길이(l_{SMF})는 각 전송 반 구획에서 3 km 간격으로 44 km부터 116 km까지 점진적으로 증가하거나 감소하도록 하였다 (즉 각 전송 반 구획에서의 평균 길이는 80 km). SMF의 기타 파라미터는 다음과 같이 모델링하였다. 손실 계수: $\alpha_{SMF} = 0.2 \text{ dB/km}$, 분산 계수: $D_{SMF} = 17 \text{ ps/nm/km} (@1,550 \text{ nm})$, 비선형 계수: $\gamma_{SMF} = 1.35 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1} (@1,550 \text{ nm})$.

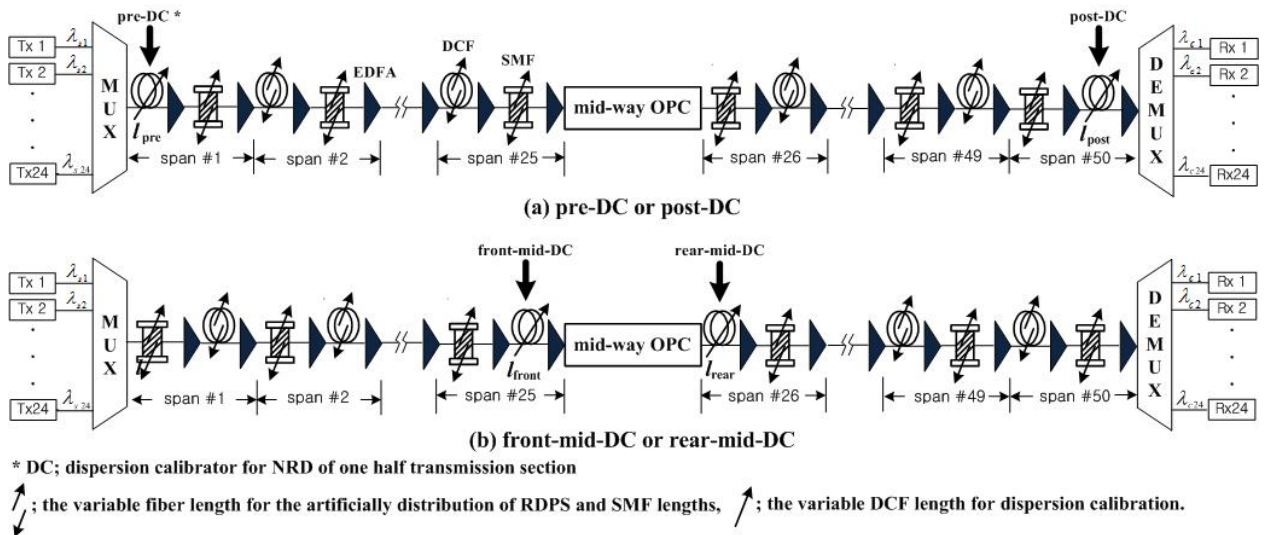


그림 1. 24x40 Gbps WDM 전송 시스템 구조
 Fig. 1. Configuration of 24x40 Gbps WDM transmission system.

그림 1에서 NRD를 조절하는 pre-DC, post-DC, front-mid-DC와 rear-mid-DC가 각각 위치한 중계 구간을 제외한 나머지 24개 중계 구간은 RDPS는 16 ps/nm 간격으로 8 ps/nm부터 392 ps/nm까지 점진적으로 증가하거나 감소하도록 하였다 (즉 평균 RDPS는 200 ps/nm). RDPS의 AD와 DA의 인위적 분포는 실제적으로 $l_{DCF} = [RDPS + (l_{SMF} \times D_{SMF})] / |D_{DCF}|$ 에 따라 결정되는 DCF의 길이에 의해 구현된다. DCF의 기타 파라미터는 다음과 같이 하였다. 손실 계수: $\alpha_{DCF} = 0.6$ dB/km, 분산 계수: $D_{DCF} = -100$ ps/nm/km (@1,550 nm), 비선형 계수: $\gamma_{DCF} = 5.06$ W⁻¹km⁻¹ (@1,550 nm).

각 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포 조합의 표현은 “SMF 길이 분포 - RDPS 분포” 순으로 하였다. 즉 AD-AD, AD-DA, DA-AD, DA-DA의 4가지 링크 구조를 분석한다. 예를 들면, DA-DA 분포는 FHTS에서는 SMF 길이와 RDPS는 점진적 감소하고 LHTS에서는 둘 다 점진적으로 증가하는 구조이다.

각 중계 구간마다 RDPS를 갖기 때문에 NRD는 매우 큰 값을 가질 수밖에 없고, WDM 채널의 효과적 보상을 위해서는 NRD를 없애거나 낮추어 주어야 한다. 본 연구에서는 그림 1에 보인 바와 같이 특정 한 중계 구간의 DCF를 통해 NRD를 조절하도록 하였고, 이를 DC (dispersion calibrator)라고 하였다. DC는 각 중계 구간을 구성하는 SMF와 DCF의 배열과 관계하여 2가지씩 총 4가지 방식으로 설정하였다. 즉 그림 1(a)의 precompensation - OPC - postcompensation 링크 구조에서는 마지막 중계 구간의 DCF 길이, 즉 l_{post} 는 LHTS의 NRD를 0 ps/nm가 되도록 고정된 상태에서 첫 번째 중계 구간 (span #1)의 DCF 길이, 즉 l_{pre} 만을 통해 전체 링크에서의 NRD를 조절하는 역할을 수행하는 pre-DC와 이와는 반대되는 역할 분담, 즉 span #1의 DCF 길이, 즉 l_{pre} 는 FHTS의 NRD를 0 ps/nm가 되도록 고정된 상태에서 span #50의 DCF 길이, 즉 l_{post} 만을 통해 전체 링크에서의 NRD를 조절하는 역할을 수행하는 post-DC의 2가지 방식으로 설계하였다. 반면 그

림 1(b)의 postcompensation-OPC-precompensation 링크 구조에서는 span #26의 DCF 길이, 즉 l_{rear} 는 LHTS의 NRD를 0 ps/nm가 되도록 고정된 상태에서 span #25의 DCF 길이, 즉 l_{front} 만을 통해 전체 링크에서의 NRD를 조절하는 역할을 수행하는 front-mid-DC와 이와는 반대되는 역할 분담, 즉 span #25의 DCF 길이, 즉 l_{front} 는 FHTS의 NRD를 0 ps/nm가 되도록 고정된 상태에서 span #26의 l_{rear} 만을 통해 전체 링크에서의 NRD를 조절하는 역할을 수행하는 rear-mid-DC의 2가지 방식으로 설계하였다.

그림 1의 24 채널 WDM 전송을 위한 송신기(Tx)들의 중심 파장은 100 GHz (즉 0.8 nm) 간격으로 1,550 nm부터 1,568.4 nm로 하였고, 그 광원은 분포 케환 레이저 다이오드 (DFB-LD; distributed feedback laser diode)로 모델링하였다. 각 DFB-LD는 서로 독립적인 128(=2⁷) 의사 랜덤 비트열 (PRBS; pseudo random bit sequence)에 의해 소광비 (ER; extinction ratio)가 10 dB인 2차 가우시안 펄스의 RZ (return-to-zero)를 발생시킨다. 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. mid-way OPC는 HNL-DSF (highly nonlinearity - dispersion shifted fiber)를 비선형 매질로 갖는 구조로 모델링하였고, 그 세부 구성과 파라미터 값은 저자의 DM 관련 논문과 동일하게 모델링하였다 [8],[9].

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 2는 4 dBm의 전력으로 입사된 WDM 채널 중 수신 품질이 가장 최악인 채널의 눈 열림 페널티 (EOP; eye opening penalty)를 그림 1의 4가지 DC로 조절되는 NRD에 따라 나타낸 것이다.

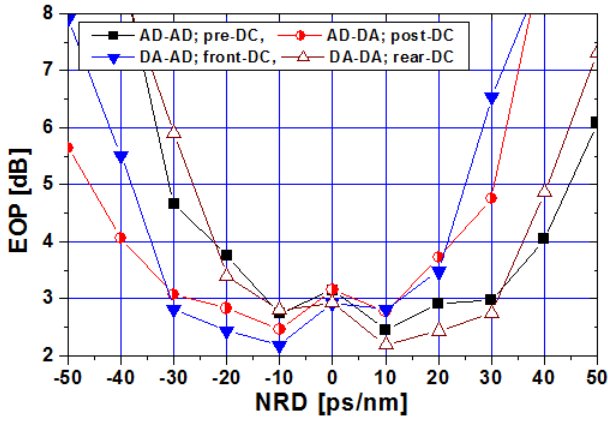


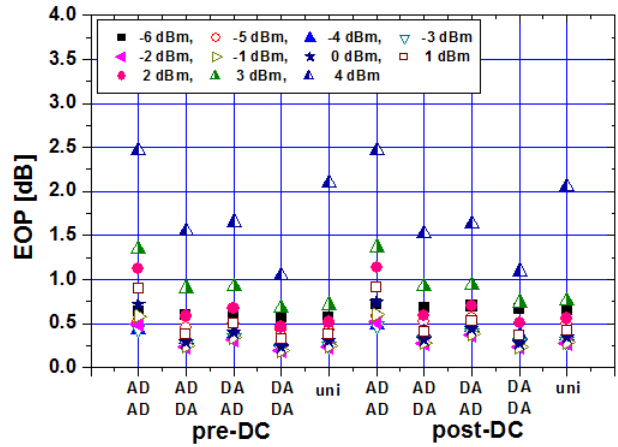
그림 2. NRD 대 최악 채널의 눈 열림 패널티
 Fig. 2. The eye opening penalty (EOP) of the worst channels versus NRD.

본 연구에서 분석하여야 할 각 DC에 따른 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포 패턴은 각각 4개이지만 논의의 간편성을 위하여 그림 2에서는 각 DC 당 하나의 인위적 패턴만을 나타냈다.

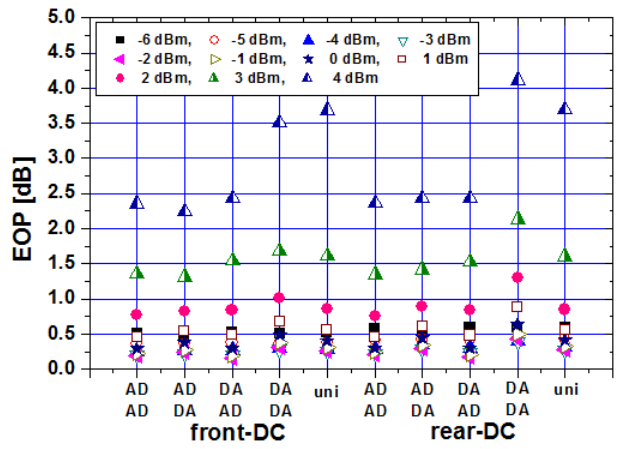
그림 2를 통해 EOP는 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포 패턴, DC의 영향을 받아 NRD에 따라 달라지지만, NRD가 10 ps/nm 또는 -10 ps/nm인 경우 최소의 EOP가 나타난다는 것을 알 수 있다. 최적의 NRD가 10 ps/nm가 되는지 -10 ps/nm가 되는지를 결정하는 중요한 요소는 인위적 분포 패턴이 아닌 DC, 즉 NRD 조절 위치라는 것을 그림 2에는 나타내지 않았지만, 각 DC 당 나머지 3개의 인위적 분포 패턴에 대한 결과의 추가 분석을 통해 확인하였다. 즉 그림 2를 통해 pre-DC와 rear-mid-DC로 NRD를 조절하는 링크에서는 NRD를 10 ps/nm로, 반면에 post-DC와 front-mid-DC로 NRD를 조절하는 링크에서는 -10 ps/nm로 설정한 경우에서 최상의 보상이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 SMF 길이와 RDPS가 AD-AD, AD-DA, DA-AD, DA-DA로 분포되고, 각각에서 그림 2로부터 얻은 결과에 따라 최적 NRD가 설정된 링크 (즉 pre-DC에 의한 NRD는 10 ps/nm로, post-DC에 의한 NRD는 -10 ps/nm로 설정, front-mid-DC에 의한 NRD는 -10 ps/nm로, rear-mid-DC에 의한 NRD는 10 ps/nm로 설정)에 -6 dBm부터 4 dBm까지의 입사 전력으로 WDM 채널들을 전송했을 때 얻은 최악 채널의 EOP를 나타낸 것이다. 수신 품질의 비교 분석을 위해 모든 중계 구간의 SMF 길이는 80 km로, RDPS는 200 ps/nm로 균일한 링크 (그림 3의 x 축 상에 'uni')에서 얻은 EOP도 동시에 나타냈다.

그림 3을 통해 우선 알 수 있는 결과는 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포 패턴에 관계없이 최적 NRD를 결정하는 위치, 즉 DC에 따라 수신 품질이 달라진다는 것이다. 즉 동일 조건에 대하여 pre-DC와 post-DC를 통해 NRD를 최적으로 설정한 링크가 front-mid-DC와 rear-mid-DC를 사용한 링크보다 보상 효과 면에서 유리하다는 것을 알 수 있다. 이를 다른 관점에서 설명하면, 각 중계 구간을 구성하는 SMF와 DCF의 배열은 precompensation-OPC-postcompensation 구조가 유리하고, 이 구조에



(a) pre-DC and post-DC



(a) pre-DC and post-DC

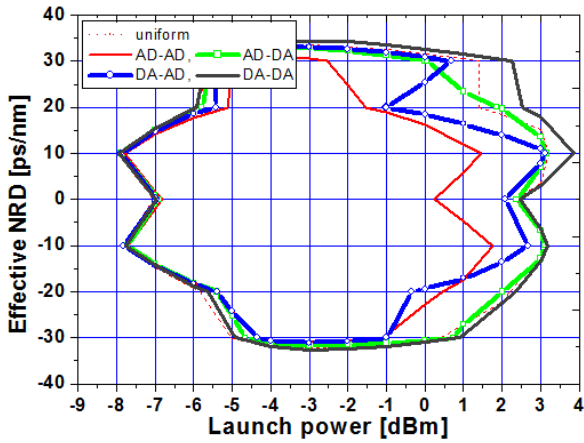
그림 3. 최적의 NRD로 설정된 링크에서 입사 전력에 따른 최악 채널의 눈 열림 패널티

Fig. 3. The EOP of the worst channels as a function of launch power in the optical links with the optimal NRD.

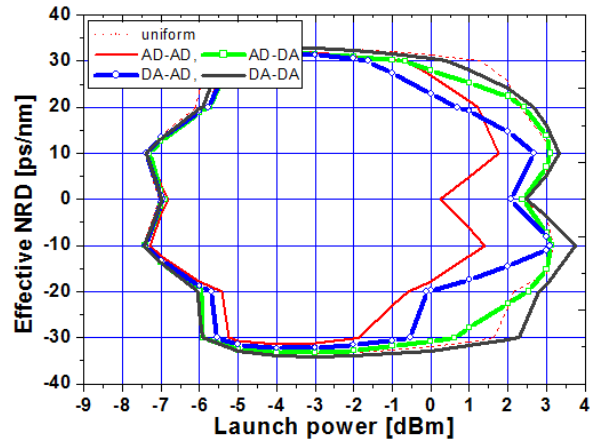
서 NRD 제어는 전송로 시작점과 최종점에서 수행하는 것이 유리하다는 것이다.

그림 3을 통해 얻을 수 있는 중요한 결과는 DC에 관계없이 고려한 모든 인위적 분포 패턴으로 링크가 구성되면 시스템 성능이 균일 분포에서의 성능보다 개선되거나 상응한다는 것이다. 즉 제안하는 인위적 분포 (정확히 RDPS 분포를 중심으로 xx-AD나 xx-DA 패턴) 구성이 왜곡된 WDM 채널의 보상에 효과가 있다는 것을 확인할 수 있다. 물론 그림 3의 결과를 통해 가장 보상 효과가 탁월한 인위적 분포는 pre-DC로 NRD가 10 ps/nm로 설정된 링크에서의 DA-DA인 것을 동시에 확인할 수 있다.

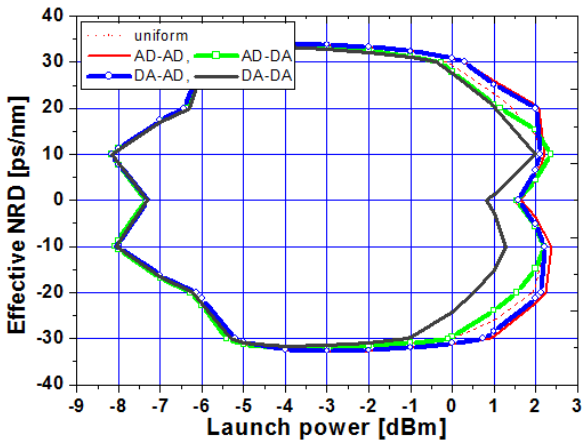
광전송 시스템의 수신 성능 판단을 EOP로 수행하는 경우 판단의 기준은 일반적으로 1 dB EOP이다. 이 값은 10^{-12} 의 비트 에러율 (BER; bit error rate)에 해당하고, 1.25의 펄스 폭 확장 비율 (pulse broadening factor)에 상응한다. 그림 3을 통한 성능 분석은 NRD가 최적 (즉 ± 10 ps/nm)으로 설정된 광전송 링크에서 이루어졌다. 하지만 실제로 전송 링크의 NRD를 항상 이



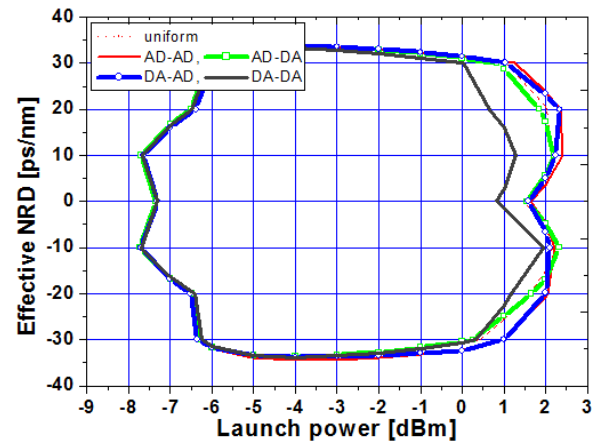
(a) pre-DC



(b) post-DC



(c) front-DC



(d) rear-DC

그림 4. 입사 전력에 따른 1 dB EOP 등고선

Fig. 4. The contour of 1 dB EOP as a function of the launch power.

값만을 갖도록 하는 것은 시스템 구성의 융통성을 제한하는 요소가 된다.

다행히도 그림 2의 결과를 살펴보면 10 ps/nm 외에 근처의 다른 NRD 값들을 링크에 적용해도 최악 채널의 최대 EOP를 1 dB EOP 이하로 유지할 수 있음을 알 수 있다. 즉 수신 성능을 1 dB EOP 이하로 만드는 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 NRD (effective NRD)라고 정의하여 이들을 WDM 채널의 입사 전력과 중계 구간 수에 따라 나타낸 것이 그림 4이다. 즉 그림 4 각각의 경우에 나타낸 입사 전력에 따른 등고선(contour)의 범위 내에서 NRD를 선택하고 해당 입사 전력으로 WDM 채널들을 전송하면 최악 채널의 최대 EOP를 1 dB 이내로 얻을 수 있다.

그림 4의 결과들을 살펴보면, 앞선 결과와 마찬가지로 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위가 가장 넓은 인위적 분포는 pre-DC로 NRD가 10 ps/nm로 설정된 링크에서의 DA-DA인 것을 알 수 있다. 그러나 그림 4에서 눈 여겨 보아야 할 결과는 pre/post-DC와 front/rear-mid-DC에서의 AD-AD와 DA-DA 패턴의

유효 NRD 범위 특성이 서로 반대되어 나타난다는 것이다. 즉 그림 4(a)와 (b)에서는 DA-DA 패턴에서의 유효 NRD 범위가 가장 양호하게 반면 AD-AD 패턴에서 가장 좋지 않게 나타났지만, 그림 4(c)와 (d)에서는 그 반대의 결과를 보인다는 것을 확인할 수 있다.

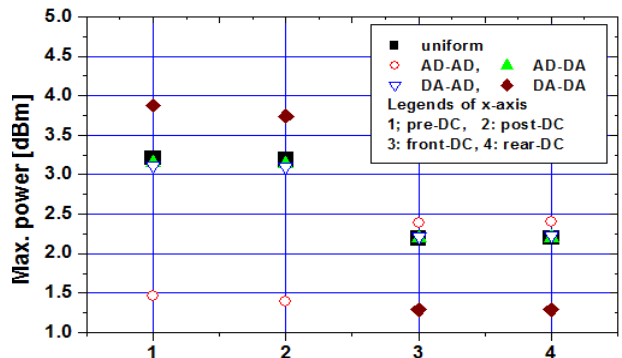


그림 5. 최대 허용 입사 전력

Fig. 5. The allowable maximum launch power.

그림 5를 통해서 이러한 상호 반대되는 특성을 다른 관점에 서 분석할 수 있다. 그림 5는 그림 3의 결과를 얻은 링크에서 최 약 채널의 EOP를 1 dB 이하로 얻을 수 있는 최대 허용 입사 전 력의 크기를 최적 NRD를 설정한 DC에 따라, 동시에 각 인위적 분포 패턴에 따라 나타낸 것이다. 앞서 그림 4의 분석을 통해 알 수 있었던 AD-AD 패턴과 DA-DA 패턴의 pre/post-DC와 front/rear-mid-DC에서의 상반되는 보상 특성이 그대로 나타나는 것 을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

지금까지 SMF 길이와 RDPS가 AD-AD, AD-DA, DA-AD, DA-DA로 인위적으로 분포하는 각각의 링크에서 NRD 조절 위 치, 즉 4가지 dispersion calibrator에 따른 보상 특성을 수치적 시물 레이션을 통해 살펴보았다. 시물레이션 결과를 정리하면 우선 왜 곡된 WDM 채널 보상에 가장 효과적인 NRD 조절 방법은 pre-DC 와 post-DC인 것을 확인하였다. 이 결과는 중계 구간을 구성하는 SMF와 DCF의 배열 구조로 precompensation-OPC-postcompensa-tion가 적합하다는 것을 동시에 의미하는 것이다.

또한 왜곡된 WDM 채널 보상에 가장 효과적인 SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포 패턴은 pre-DC와 post-DC를 통해 NRD가 최적으로 설정된 경우에는 DA-DA이며, 보상 효과가 아주 우수 하지는 않지만 front-mid-DC와 rear-mid-DC를 통해 NRD가 최적 으로 설정된 경우에는 AD-AD인 것을 확인하였다. 이 결과를 좀 더 자세하게 분석해보면, 우선 DA-DA 분포 패턴은 FHTS에서는 점진적으로 감소하는 SMF 길이와 점진적으로 증가하는 DCF 길 이 (즉 점진적으로 감소하는 RDPS)에 의해 중계 구간의 수가 늘 어날수록 WDM 채널들의 광 펄스의 시간적 폭을 점점 늘려가면 서(expanded) 분산 제어를 수행하는 구조인 반면 LHTS에서는 점 진적으로 증가하는 SMF 길이와 점진적으로 감소하는 DCF 길 이 에 의해 중계 구간의 수가 늘어날수록 광 펄스의 시간적 폭을 점 점 좁혀가면서(compressed) 분산 제어를 수행하는 구조이기 때문 에 pre-DC와 post-DC가 위치한 중계 구간, 즉 첫 번째와 마지막 중계 구간에서의 광 펄스의 폭이 가장 좁아지게 된다. 반면 AD-AD 분포 패턴으로 구성된 링크에서는 DA-DA 분포 패턴으로 구 성된 링크에서와는 반대되는 광 펄스 폭의 변화가 생기지만 front -mid-DC와 rear-mid-DC가 위치한 중계 구간이 OPC 바로 전과 후 인 25번째와 26번째 중계 구간이 되기 때문에 DA-DA 분포 패턴 과 마찬가지로 두 곳에서의 광 펄스의 폭이 가장 좁아지게 된다.

즉 SMF 길이와 RDPS를 인위적으로 분포시키는 경우 각 전송 반 구획 중 WDM 채널의 광 펄스 폭이 가장 좁아지는 중계 구간 이 NRD 조절 위치가 되는 분포 패턴으로 링크를 구성해야 최상 의 보상 효과를 얻을 수 있는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] G. P. Agrawal, *Nonlinear fiber optics*, 3rd ed. San Francisco:CA, Academic Press, 2001.
- [2] X. Xiao, S. Gao, Y. Tian, and C. Yang, "Analytical optimization of the net residual dispersion in SPM-limited dispersion-managed systems," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 24, No. 5, pp. 2038-2044, May 2006.
- [3] M. A. Talukder, and M. N. Islam, "Performance of bi-end compensation in a wavelength-division multiplexed system considering the effect of self phase modulation," *Optical Engineering*, Vol. 44, No. 11, pp. 115005-1-115055-6, 2005.
- [4] A. Yariv, D. Feketa, and D. M. pepper, "Compensation for channel dispersion by nonlinear optical phase conjugation," *Optics Letters*, vol. 4, pp. 52-54, 1979.
- [5] S. Watanabe and M. Shirasaki, "Exact compensation for both chromatic dispersion and Kerr effect in a transmission fiber using optical phase conjugation", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 14, No. 3, pp 243-248, 1996.
- [6] A. Chowdhury and R.-J.Essiambre, "Optical phase conjugation and pseudolinear transmission", *Optics Letter*, Vol. 29, No. 10, pp. 1105-1107, 2004.
- [7] P. Minzioni and A. Schiffrini, "Unifying theory of compensation techniques for intrachannel nonlinear effects," *Optical Express*, Vol. 13, No. 21, pp. 8460-8468, 2005.
- [8] J. P. Chung and S. R. Lee, "Pseudo-symmetric link configuration in dispersion-managed WDM transmission system with optical phase conjugator," *Information*, Vol. 17, No. 11B, pp. 5963-5968, Nov. 2014.
- [9] S. R. Lee, "Dispersion managed optical transmission links with an artificial distribution of the SMF length and residual dispersion per span," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 75-82, 2014.



이 성 렬 (Seong-Real Lee)

1990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사),

2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사),

2004년 3월 ~ 현재 : 국립목포해양대학교 해양정보통신공학과 교수

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

1992년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)

2002년 6월 ~ 2004년 2월 : (주)에이티엔 기술연구소장