JANT 한국항행학회논문지
Journal of Advanced Navigation Technology

기반 기술

J. Adv. Navig. Technol. 27(4): 457-462, Aug. 2023

랜덤-반전 분산 맵으로 설계된 분산 제어 링크를 갖는 MSSI 시스템

MSSI System with Dispersion-managed Link Configured with Random-inverse Dispersion Maps

이 성 렬
목포해양대학교 항해정보시스템학부

Seong-Real Lee
Division of Navigational Information System, Mokpo National Maritime University, Jeollanam-do, 58628, Korea

[요 약]

파장 분할 다중 신호와 같은 대용량 광 신호를 장거리 전송하기 위하여 사용되는 MSSI (mid-span spectral inversion)와 분산 제어가 결합된 시스템에서의 융통적인 링크 구성을 제안하고 색 분산과 비선형 왜곡 보상 효과를 높일 수 있는 구체적 방법을 살펴보았다. 분산 제어 링크 구성의 융통성을 높이기 위해 제안된 분산 맵은 'random-inverse' 구조를 갖는다. 즉 광 위상 공액기까지의 전반 구획의 각 광성유 스팬의 RDPS는 랜덤하게 분포되고 후반 구획의 RDPS 분포는 전반 구획의 분포 패턴을 반전하는 구성의 분산 맵이다. 제안된 분산 맵은 RDPS의 랜덤 분포를 가지기는 하지만 결과적으로 광 위상 공액기를 중심으로 분산 프로파일이 대칭이 되는 점에 기인하여 왜곡 보상 효과가 개선되는 것을 확인하였다. 'random-inverse' 구조의 분산 맵에서 각 광섬유 스팬에 할당되는 RDPS의 크기가 큰 경우에서 왜곡된 파장 분할 다중 신호의 보상 효과가 더욱 커지는 것도 동시에 확인하였다.

[Abstract]

We proposed a flexible link configuration in a system combining mid-span spectral inversion (MSSI) and dispersion management used for long-distance transmission of high-capacity optical signals such as wavelength division multiplexing signals, and examined specific methods to increase chromatic dispersion and nonlinear distortion compensation effects. The dispersion map proposed to increase the flexibility of dispersion-managed link configuration has a 'random-inverse' structure. That is, in the proposed dispersion map, the residual dispersion per span (RDPS) of each fiber span in the first half section up to the optical phase conjugator is randomly distributed, and the RDPS distribution in the second half section reverses the distribution pattern of the first section. Although the proposed dispersion map has a random distribution of RDPS, it was confirmed that the distortion compensation effect is improved due to the fact that the dispersion profile is symmetrical with respect to the optical phase conjugator. In the dispersion map of the 'random-inverse' configuration, it was also confirmed that the compensation effect of the distorted wavelength division multiplexing signal becomes improved when the magnitude of the RDPS allocated to each fiber span is large.

Key word : Dispersion map, Random-inverse distribution, Optical phase conjugation, Residual dispersion per span, WDM transmission.

http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.4.457

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(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 30 July 2023; **Revised** 10 August 2023
Accepted (Publication) 27 August 2023 (30 August 2023)

***Corresponding Author; Seong-Real Lee**

Tel: +82-61-240-7264
E-mail: reallee@mmu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

분산 제어 (DM; dispersion management) 기술은 광 솔리톤 (optical soliton) 전송에서 여러 시스템 페널티를 감소시키고 파장 분할 다중화 (WDM; wavelength division multiplexed)와 같은 대용량 광 신호의 장거리 전송을 가능하게 한다 [1]. DM 전송 시스템의 물리적 링크는 정상(normal) 그룹 속도 분산 (GVD; group velocity dispersion)을 갖는 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)와 비정상(anomalous) GVD를 갖는 분산 보상 광섬유 (DCF; dispersion-compensating fiber) 세그먼트를 연속적으로 배열시켜 구성된다 [2]. 이렇게 하면 이 두 세그먼트로 구성된 각 광섬유 스팬 (fiber span)의 총 분산량을 정상 GVD보다 낮추어서 색 분산 (chromatic dispersion)에 의한 광 신호 왜곡을 없애거나 줄일 수 있다. 광섬유 스팬마다 누적된 분산을 전체 전송 라인을 따라 나타낸 프로파일을 분산 맵 (dispersion map)이라고 한다 [3].

SMF 기반 광전송 시스템에서의 장거리 전송은 에르븀 첨가 광섬유 증폭기 (EDFA; erbium-doped fiber amplifier)와 같은 광섬유 증폭기를 전송 라인의 적당한 위치에 부가하기 때문에 가능하다 [4]. 하지만 EDFA의 사용에 따라 광 신호의 강도가 증가하게 되어 강도 의존 비선형 효과에 의해 광 신호 왜곡이 부가적으로 발생하게 된다. 이러한 광 신호의 비선형 왜곡을 보상하는 다양한 기술이 소개되었고, 그 중 가장 대표적인 것으로 전송 라인 중간에서 왜곡된 신호에 대해 광 위상 공액 (optical phase conjugation) 변환한 후 나머지 구간을 전송시키면 원래 신호와 흡사한 수신 신호를 얻을 수 있는 기술이 있다 [5],[6]. 하지만 이 방법은 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)가 전체 전송 라인 중간에 위치해야 효과적인 보상이 이루어진다는 제약을 가지고 있다. 이러한 시스템을 midway- OPC 시스템이라고 부른다.

하지만 다행스럽게도 DM과 midway-OPC를 결합하면 광 위상 공액이 갖는 이론적 한계를 극복할 수 있고, 더 나아가 WDM과 같은 다중 신호 전송에 있어 채널별 보상 차이 없이 고품질 전송이 가능하다. 본 논문의 저자는 960 Gb/s (= 40 Gb/s × 24채널) WDM의 고품질 전송을 위한 다양한 형태의 DM 링크를 갖는 midway-OPC 시스템을 제안하고 색 분산과 비선형 왜곡 보상 정도를 분석해 보았다 [7]-[10]. 그동안의 연구 결과를 종합해보면 DM 링크의 기본 설계 요소인 분산 맵이 WDM 채널 특성, 전송 라인의 세부 구성 등과 관련하여 최적화되어야 한다. 하지만 분산 맵의 최적화는 광섬유 스팬을 구성하는 각 세그먼트에서의 잉여 분산의 결정, 이들 각 잉여 분산의 전체적 배치를 통한 전체 전송 라인에 걸친 분산 프로파일의 결정과 변경 등 많은 시행착오를 거쳐야 한다.

분산 맵 구성에 있어 가장 간단한 방법은 분산 맵 설계에서 가장 기초가 되는 광섬유 스팬 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)을 의도적이고 작위적으로 결정하는 방식이 아닌 랜덤하게 설정하는 방식이다. 저자는 RDPS가 랜덤 분포하는 DM 링크에서의 960 Gb/s WDM 신호에 대한 보상 성능도 분석하였다. 그 결과 랜덤 분포의 DM 링크를 통해서도 WDM 신호의 왜곡 보상을 얻을 수 있지만 모든 광섬유 스팬에서의 RDPS를 랜덤하게 분포시킨 분산 맵에서의 보상 정도는 저자의 다른 논문에서 살펴본 최적화된 인위적 분포의 분산 맵에서의 왜곡 보상 정도에 미치지 못하고, 특정한 랜덤 분포 패턴에서만 우수한 보상이 얻어지는 것을 확인하였다 [9].

RDPS의 랜덤 분포뿐만 아니라 인위적 분포의 분산 맵 각각이 적용된 링크에서의 960 Gb/s WDM 신호에 대한 보상 결과를 통해 얻을 수 있는 것은 왜곡된 광 신호의 보상 효과를 제고할 수 있는 RDPS의 의도적인 분포와 DM 링크 설계의 간편함을 갖는 RDPS의 랜덤 분포를 결합한 분산 맵이 효과적일 수 있다는 것이다.

이러한 아이디어가 반영되어 설계된 분산 맵이 midway-OPC를 중심으로 전반 전송 구획에서의 각 광섬유 스팬의 RDPS는 랜덤하게 결정되어 할당되는 반면 후반 전송 구획에서의 각 광섬유 스팬의 RDPS는 전반 전송 구획 전체의 분산 프로파일에 의존해 결정되는 구조의 분산 맵이었다 [10]. 좀 더 구체적으로 설명하면 후반 전송 구획에서의 각 광섬유 스팬의 RDPS는 전반 전송 구획 전체의 분산 프로파일과 대칭되도록 선택된 구조 (이를 ‘random-inverse’ 구조라 부름)와 전반 전송 구획 전체의 분산 프로파일을 그대로 따르도록 선택된 구조 (이를 ‘random-follow’ 구조라 부름) 각각에 대해 설계하여 저자의 다른 논문들과 동일한 WDM 전송 조건과 링크 구성에 적용하여 시뮬레이션을 통해 보상 성능을 분석해 보았다. 그 결과 random-inverse’ 구조의 분산 맵이 ‘random-follow’ 구조의 분산 맵보다 960 Gb/s WDM 신호에 대한 보상 효과를 늘리는데 더 적합하다는 것을 확인하였다 [10].

본 논문은 앞선 연구에서 얻은 결과를 좀 더 심층적으로 분석하기 위해 ‘random-inverse’ 구조의 분산 맵에서 랜덤하게 선택되는 RDPS의 값을 크기별로 세 그룹으로 나누어 설계된 경우 각각이 960 Gb/s WDM 신호 보상에 미치는 효과를 살펴보고자 한다.

Ⅱ. 분산 제어 링크

그림 1은 앞서 발표한 논문에서 고려한 것과 동일한 960 Gb/s WDM 전송을 위한 송신기, 수신기, OPC 및 분산 제어 링크 구조를 나타낸 것이다 [10]. 분산 제어 링크는 총 54개의 광섬유 스팬으로 구성된다. 그림 1의 전송 링크에서 모든 광섬유 스팬을 구성하는 SMF 길이는 80 km로 동일하다.

앞서 언급했듯이 참고문헌 [10]에서 midway-OPC 앞쪽의 전반 전송 구획의 각 광섬유 스팬의 잉여 분산인 RDPS는 랜덤하게 선택되고 midway-OPC 다음의 후반 전송 구획에서의 각 RDPS는 전반 전송 구획의 RDPS 랜덤 배열 순서와 반대로 선택되는 구조인 ‘random-inverse’와 전반 전송 구획의 RDPS 랜

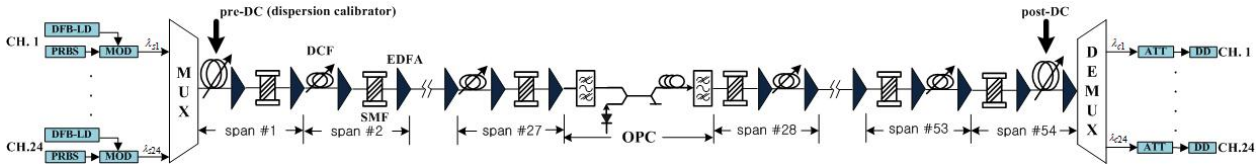


그림 1. 분산 제어 링크와 WDM 시스템의 구조
Fig. 1. Configuration of dispersion-managed link and WDM system [10].

덤 배열 순서를 그대로 따르는 구조인 'random-follow' 분산 맵을 각각 설계해 그림 1의 전송 링크에 적용하였다. 전반 전송 구획의 RDPS의 랜덤 상태를 50번 달리하여 각각에 대하여 960 Gb/s WDM 신호의 성능을 분석한 결과 'random-follow'보다 'random-inverse' 분산 맵을 적용한 경우에서 우수한 보상이 이루어지는 것을 확인했다. 참고문헌 [10]에서 각 광섬유 스팬의 RDPS는 100 ps/nm 간격으로 −1300 ps/nm부터 +1300 ps/nm까지 총 27개 값 중 하나가 랜덤하게 선택되도록 하였다.

본 논문에서는 보다 우수한 보상 특성이 나타나는 'random-inverse' 분산 맵만을 분석 대상으로 한다. 참고문헌 [10]과의 차이는 랜덤하게 선택되는 각 광섬유 스팬의 RDPS 값이 3가지 범위로 제한되어 있다는 것이다. 구체적으로 설명하면 우선 첫 번째는 랜덤하게 선택되는 RDPS의 절대 값이 큰 경우로, 30 ps/nm 간격으로 ±970 ps/nm부터 ±1330 ps/nm까지의 값 중 하나가 선택되어 분산 맵을 구성한다. 이를 'large RDPS values'라고 부르도록 한다. 두 번째는 첫 번째 경우와는 반대로 랜덤하게 선택되는 RDPS의 절대 값이 작은 경우로, 30 ps/nm 간격으로 ±390 ps/nm부터 ±390 ps/nm까지의 값 중 하나가 선택되어 분산 맵을 구성한다. 이를 'small RDPS values'라고 부르도록 한다. 마지막은 RDPS의 절대 값이 50 ps/nm 간격의 ±50 ps/nm부터 ±300 ps/nm까지의 범위와 ±1170 ps/nm부터 ±1350 ps/nm까지의 범위로 제한된 값들 중에서 랜덤하게 선택되어 분산 맵을 구성한다. 이를 'mixed'라고 부르도록 한다. 3가지 경우 모두 랜덤 발생은 50번으로 하였다.

각 광섬유 스팬마다 할당되는 RDPS는 아래 식 (1)에 따라 DCF의 길이 변화를 통해 얻도록 하였다.

$$l_{DCF} = \frac{(l_{SMF} \times D_{SMF}) - RDPS}{|D_{DCF}|} \quad (1)$$

여기서, l_{SMF}는 SMF의 길이로 앞서 언급했듯이 모든 광섬유 스팬에서 80 km로 설정하였고, D_{SMF}는 SSMF의 분산 계수로 17 ps/nm/km로 하였고, D_{DCF}는 DCF의 분산 계수로 −100 ps/nm/km로 하였다. 식 (1)에 표현되어 있지는 않지만 SMF의 비선형 계수는 1.35 $W^{-1}km^{-1}$로, DCF의 비선형 계수는 5.06 $W^{-1}km^{-1}$로 설정하였다.

전체 전송 링크에서의 누적 분산량인 TRD (total residual dispersion)는 RDPS에 의존한다. 본 논문에서 설정한 27개의 RDPS는 각 광섬유 스팬에서 각각 다른 값으로 랜덤하게 선택된다. 따라서 앞서 설명한 3가지 분산 맵 구성 방법 모두 27개의 RDPS를 더하면 TRD는 0 ps/nm가 된다. 하지만 최상의 왜곡 보상을 얻을 수 있는 TRD는 0 ps/nm가 아닌 그 근처의 다른 값으로 설정되어야 한다 [11]. 이것은 TRD를 0 ps/nm을 포함한 다른 값으로 설정해 주어야 한다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 첫 번째 광섬유 스팬의 DCF와 마지막 광섬유 스팬의 DCF가 이러한 역할을 수행하도록 하였다. 첫 번째 광섬유 스팬과 마지막 광섬유 스팬의 DCF 길이 조정으로 TRD를 결정하는 것을 각각 pre-DC (dispersion calibration)와 post-DC라고 부른다. 본 연구에서는 우선 post-DC에 의해 후반 링크에서의 TRD를 0 ps/nm가 되도록 한 상태에서 pre-DC에 의해서만 전체 전송 링크의 TRD가 변화하도록 하였다.

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 가정하였고, 그 광원은 분포 궤환 레이저 다이오드 (DFB-LD; distributed feedback laser diode)로 가정하였다. 각 DFB-LD는 서로 독립적인 128(=2^7) 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 발생시키는 것으로 모델링하였다.

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 x 비트율로 가정하였다. 전체 전송로 중간에 위치한 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 [7]-[10].

Ⅲ. 시뮬레이션 방법 및 성능 평가

광 전송 링크를 통해 손실과 비선형 효과의 영향을 겪으면서 전파하는 각 채널들은 비선형 쉬뢰딩거 방정식 (NLSE; nonlinear Schrödiger equation)에 의해 표현된다[12]. 본 논문에서 40 Gb/s의 24 채널 WDM 전송을 위한 NLSE의 수치적 시뮬레이션은 단계 분할 퓨리에 (SSF; split-step Fourier) 기법[12]에 따라 Matlab으로 구현하여 수행되었다.

그림 1의 각 수신기에서 수신되는 WDM 각 채널의 광 신호의 품질은 눈 열림 패널티 (EOP; eye opening penalty)와 타이밍

지터 (timing jitter)를 통해 평가된다. 또한 수신 신호의 보상 품질을 평가하는 기준 값은 EOP에 대해서는 1-dB, 타이밍 지터에 대해서는 2.5 ps로 설정하였다. 여기서 1-dB EOP는 10^{-12}의 비트 에러율 (BER; bit error rate)에 상응하는 값이고, 2.5 ps는 WDM 한 채널 데이터율인 40 Gb/s 신호 주기의 1/10에 해당하는 값이다.

Ⅳ. 시뮬레이션 결과 및 검토

우선 살펴보고자 하는 3가지의 'random-inverse' 분산 맵에서 보상 특성이 가장 양호하게 나타나는 TRD를 확인한 결과 - 10 ps/nm와 10 ps/nm이었다. 이 결과는 저자의 선행 연구 결과와 동일한 결과이다. 총 150번 (각각 50번의 랜덤 분포)의 시뮬레이션 결과 중 TRD가 - 10 ps/nm보다 10 ps/nm로 설정된 경우에서 보상 효과가 더 우수했다. 따라서 시뮬레이션과 분석을 간편하게 하기 위해 3가지의 'random-inverse' 분산 맵에서의 TRD는 또 다른 언급이 없는 한 10 ps/nm로 고정시켜서 보상 특성을 분석한다.

그림 1의 전송 링크에 적용되는 분산 맵을 설계하는 방법 중 가장 전통적인 방법은 모든 광섬유 스팬의 RDPS를 일정하게 하는 것이다. 앞서 언급했지만 본 논문에서 살펴보는 3가지의 'random-inverse' 분산 맵 구성에 있어 각 광섬유 스팬의 RDPS는 서로 다른 값을 갖게 되지만 이들의 총합은 0 ps/nm가 된다. 3가지의 'random-inverse' 분산 맵을 통한 보상 특성을 비교하기 위해 모든 광섬유 스팬의 RDPS가 0 ps/nm로 일정한 전통적 분산 맵이 적용된 분산 제어 링크에서의 성능도 얻었다. 그 결과 1-dB EOP를 얻을 수 있는 최악 채널의 입사 전력은 4.13 dBm이고, 2.5 ps 타이밍 지터를 얻을 수 있는 최악 채널의 입사 전력은 - 0.13 dBm으로 얻어졌다.

그림 2는 3가지의 'random-inverse' 분산 맵을 그림 1의 분산 제어 링크에 적용한 경우의 1-dB EOP와 2.5 ps 타이밍 지터를 얻을 수 있는 최악 채널의 입사 전력을 나타낸 것이다. RDPS 값의 범위에 따라 3가지로 구분되는 'random-inverse' 분산 맵 각각은 서로 다른 랜덤 분포를 갖는 50개의 경우에 대한 시뮬레이션을 통해 그림 2의 결과를 얻었다. 그림 2에서 'Descending order number'는 분석의 편이성을 위해 50개의 랜덤 분포 각각에서 얻어지는 최대 입사 전력의 크기를 큰 순서로부터 작아지는 순서로 정렬했다는 것을 의미한다. 즉 그림 2에서 'Descending order number'가 동일하더라도 해당 결과를 얻은 전반 전송 구획의 RDPS 랜덤 배열은 같지 않을 수 있다.

그림 2를 통해 얻을 수 있는 중요한 결과는 분산 제어 링크가 'random-inverse' 분산 맵에 의해 설계되었다하더라도 각 광섬유 스팬이 갖는 RDPS의 절대 값이 큰 경우가 다른 경우에 비해 보상 특성이 우수하다는 것이다. 광섬유 스팬이 갖는 RDPS의 절대 값이 작은 경우에도 전반 전송 구획의 RDPS 랜덤 배열 패턴에 의존은 하지만 전통적 분산 맵에 비해 보상 성능을 개선할 수 있다는 것도 알 수 있다. 특히 타이밍 지터는 3

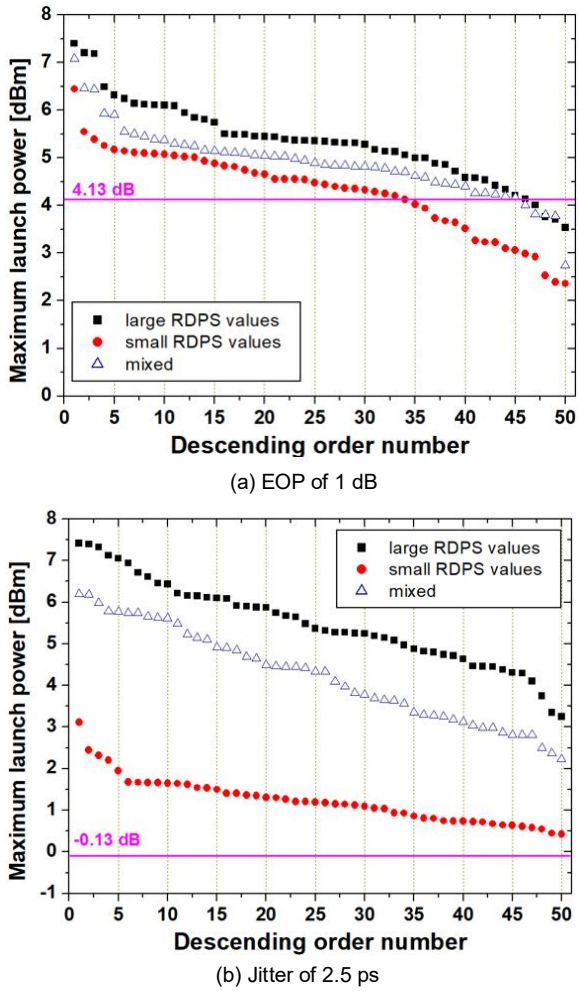
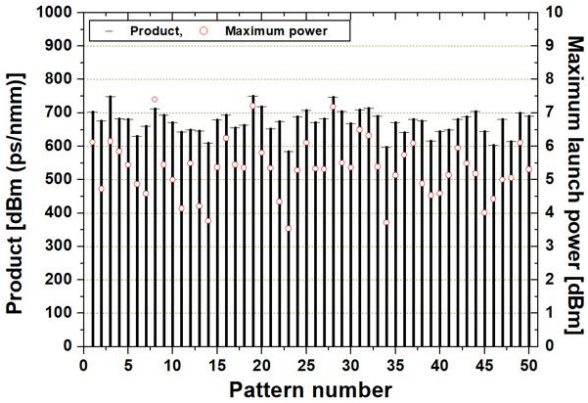


그림 2. 최악 채널의 최대 입사 전력
Fig. 2. Maximum launch power of the worst channel.

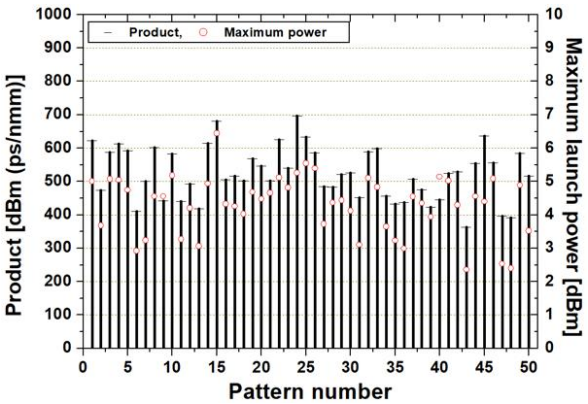
가지의 'random-inverse' 분산 맵 모두 전통적 분산 맵보다 우수한 보상이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

그림 2의 결과는 분산 제어 링크의 TRD를 10 ps/nm로 설정한 상태에서 얻어진 것이다. 하지만 그 외의 TRD에서도 WDM 채널의 EOP를 1-dB, 타이밍 지터를 2.5 ps 이하로 얻을 수 있다. EOP와 타이밍 지터의 성능 기준치 이하를 얻을 수 있는 TRD의 최소값부터 최대값 범위를 유효 TRD 범위로 정의하여 입사 전력에 대해 구하면 이 두 요소가 만드는 결과는 폐곡선의 형태를 갖는다. 이 폐곡선의 면적이 넓을수록 분산 제어 링크 설계 시 TRD와 입사 전력의 마진(margin)을 높일 수 있다. 이 폐곡선의 면적을 정량적 지표로 사용하여 모든 경우에 대한 보상 성능을 분석할 수 있다. 이 면적은 성능 관점에서 입사 전력과 유효 TRD의 곱 (product of launch power and effective TRD)이 된다. 이를 간단히 곱(product)라고 칭하겠다.

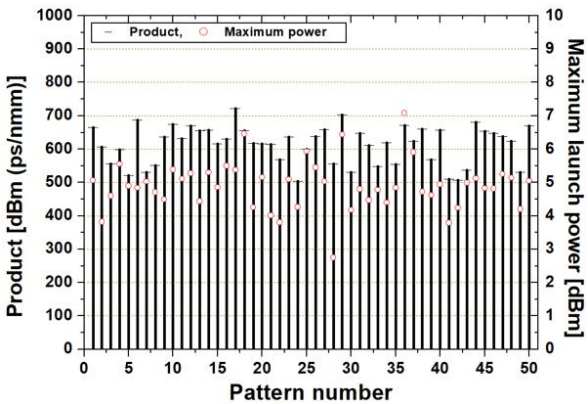
그림 3과 4는 각각 1-dB EOP 기준과 2.5 ps 타이밍 지터 기준 입사 전력과 유효 TRD의 곱을 나타낸 것이다. 우선 입사 전력과 유효 TRD의 곱 특성도 그림 2와 같은 결과가 나타나는 것을 알 수 있다. 즉 각 광섬유 스팬이 갖는 RDPS의 절대 값이 큰 경



(a) large RDPS values

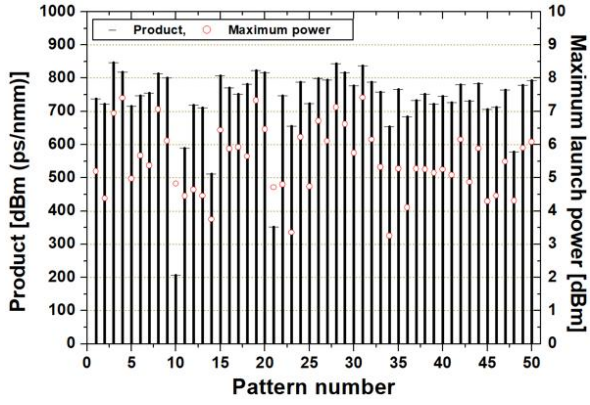


(b) small RDPS values

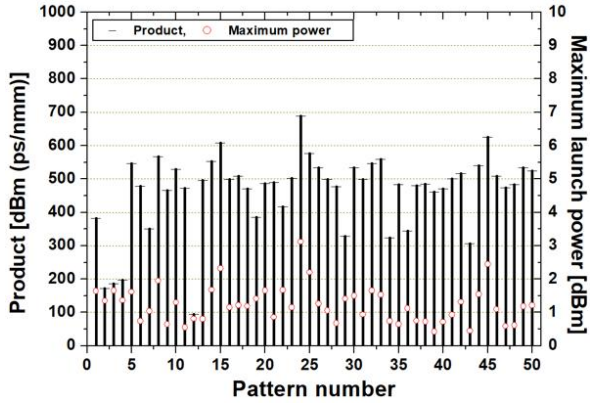


(c) mixed

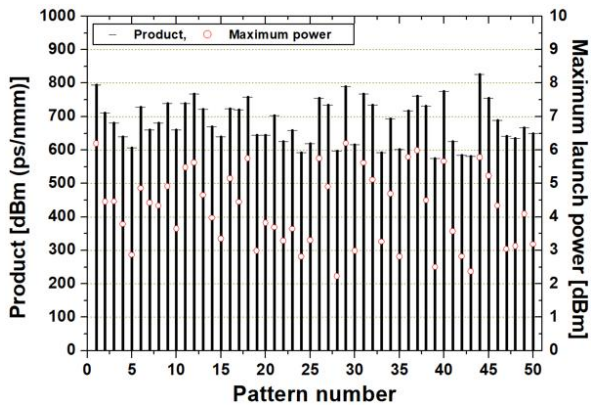
그림 3. 1 dB EOP 기준 입사 전력과 유효 TRD의 곱
Fig. 3. Product of launch power and effective TRD based on EOP of 1 dB.



(a) large RDPS values



(b) small RDPS values



(c) mixed

그림 4. 2.5 ps 지터 기준 입사 전력과 유효 TRD의 곱
Fig. 4. Product of launch power and effective TRD based on jitter of 2.5 ps.

우 (large RDPS values), mixed, RDPS의 절대 값이 작은 경우 (small RDPS values) 순으로 곱 특성이 양호하고, RDPS 랜덤 패턴에 대한 비의존성도 같은 순서대로 나타나는 것을 알 수 있다.

입사 전력과 유효 TRD의 곱이 시사하는 바는 그 값이 크면 클수록 분산 제어 링크의 TRD 범위와 그 링크를 통해 전송할 수 있는 WDM 채널의 입사 전력 범위가 커진다는 것이다. 즉 분산 제어 링크 설계의 융통성과 WDM 전송의 가용성을 늘릴 수 있다는 것이다. 입사 전력과 유효 TRD의 곱의 정량적 기준치를 고정할 수 없지만 본 연구에서 얻은 결과를 바탕으로 600 dBm(ps/nm)를 기준으로 그림 3과 4를 분석해 보면 우선 1-dB EOP의 입사 전력과 유효 TRD의 곱에 있어서는 large RDPS values를 갖는 'random-inverse' 분산 맵이 RDPS의 랜덤 분포 패턴에 상관없이 골고루 600 dBm(ps/nm)에 준하거나 그 이상을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 반면 2.5 ps 타이밍 지터 기반의 입사 전력과 유효 TRD의 곱에 있어서는 large RDPS values보다 오히려 mixed values를 갖는 'random-inverse' 분산

맵이 50개의 랜덤 배열 전반에 걸쳐 양호한 곱 특성이 얻어지는 것을 알 수 있다.

즉 분산 제어 링크의 융통적 설계와 운용 면에서 'random-inverse' 분산 맵을 적용하여 광 강도를 어느 정도 유지하여 전송 거리를 더욱 늘리고자 한다면 전반 전송 구획에 랜덤하게 배정하는 RDPS의 절대 값을 크게 하는 경우가 유리하고, 반면 광 펄스 주기를 줄여 채널 당 비트율을 늘리려면 RDPS의 절대 값이 큰 것과 작은 것들을 혼합하여 분산 맵을 설계하는 것이 유리하다고 판단할 수 있다.

Ⅴ. 결 론

SMF의 장거리 전송 한계를 극복하기 위해 필요한 색 분산과 비선형 왜곡을 보상하기 위해 광 위상 공액과 결합된 분산 제어 링크 구성에 필수적인 분산 맵을 융통적으로 설계하는 방안을 모색해 보았다. 본 논문에서 살펴본 분산 맵은 전반 구획의 각 광섬유 스팬의 RDPS는 랜덤하게 분포되는 반면 후반 구획에서의 RDPS는 전반 구획의 분포를 반대로 하여 결과적으로 midway-OPC를 중심으로 분산 프로파일이 대칭이 되는 구조이다. 이러한 구성은 RDPS의 일부분 랜덤 분포에 의해 분산 맵 설계의 간편함을 높일 수 있고 동시에 midway-OPC를 중심으로 한 분산 프로파일의 대칭성에 의해 보상 효과를 제고할 수 있다는 것을 확인하였다.

그리고 전반 구획의 RDPS 랜덤 분포 시 선택되는 RDPS의 크기(절대값)가 큰 경우에서 제안된 분산 맵을 통한 보상 효과가 더욱 좋아지는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안하고 분석한 전반 구획의 랜덤 구조의 분산 맵과 후반 구획의 반전 분산 맵 (random-inverse 구조)은 WDM과 같은 대용량 신호의 장거리 전송 시스템의 구현에 기여할 것으로 기대된다.

References

[1] F. J. D-Otero and P. C-Posada, "Effects of the amplifier location in interchannel soliton collisions in periodic dispersion maps in the presence of third order dispersion," *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 82, pp. 1093-1101, 2012.

[2] W. Cao, "Improved compensation of intrachannel four-wave mixing in dispersion-managed transmission links with mid-span optical phase conjugation", *Optics Communications*, Vol. 530, Online publication, Paper number 129185, Mar. 2023.

[3] H. J. Abd, S. A. Gitaffa, and M. G. Al-Hamiri, "Impact of optimized pulse shaping on optical transmission performance in the availability of different dispersion maps," *Optik*, Vol. 241, Online publication, Paper number 167006, Sept. 2021.

[4] M. Suzuki, "Dispersion managed solitons and their application to high-capacity optical submarine cable systems," *Optik*, Vol. 280, Online publication, Paper number 170771, June 2023.

[5] W. Shieh, H. Bao, and Y. Tang, "Coherent optical OFDM: theory and design," *Optics Express*, Vol. 16, Issue 2, pp. 841-859, 2008.

[6] X. Liua, H. Luanb, X. Linc, B. Lana, and B. Dai, "SPM compensation for long-haul CO-OFDM systems with midlink optical phase conjugation," *Optik*, Vol. 124, Issue 14, pp. 1892-1896, July 2013.

[7] J. P. Chung and S. R. Lee, "Symmetric-type dispersion maps in dispersion-managed optical link with mid-span spectral inversion," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 20, No. 1, pp. 222-230, Oct. 2020.

[8] S. R. Lee, "Optical phase conjugation combined with dispersion maps configured with sine-wave profile, *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 26, No. 6, pp. 474-480, Dec. 2022.

[9] S. R. Lee, "Compensation of the distorted WDM channels depending on the control position of net residual dispersion in dispersion-managed optical link with the randomly distributed SMF lengths and RDPS," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 21, No. 2, pp. 187-192, Apr. 2017.

[10] J. P. Chung and S. R. Lee, "MSSI-based dispersion-managed link configured by randomly-distributed RDPS only in former half section", *Applied Science*s, Vol. 12, Online publication, Paper number 8970, Sept. 2022.

[11] R. I. Killey, H. J. Thiele, V. Mikhailov, and P. Bayvel, "Reduction of intrachannel nonlinear distortion in 40-Gb/s-based WDM transmission over standard fiber," *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 12, No. 12, pp. 1624-1626, 2000.

[12] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, 3rd ed. San Francisco:CA, Academic Press, 2001.

이 성 렬 (Seong-Real Lee)

1990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사), 1992년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)
2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사), 2002년 6월~2004년 2월 : (주)에이티엔 기술연구소장
2004년 3월~현재 : 국립목포해양대학교 항해정보시스템학부 교수
※관심분야 : WDM 전송 시스템, 광의 비선형 현상 분석, 광 솔리톤 전송