

## 광 위상 공액이 적용된 비대칭 구조의 분산 제어 링크

# Asymmetric-type Dispersion-managed Link with Optical Phase Conjugation

이성렬

목포해양대학교 항해정보시스템 학부

Seong-Real Lee

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

### [요 약]

표준 단일 모드 광섬유가 가지는 색 분산과 비선형 현상에 의한 광 신호 왜곡을 보상할 수 있는 분산 제어와 광 위상 공액이 결합된 링크의 한계인 대칭적 구조를 해결할 수 있는 방법을 제안하였다. 대칭적 구조는 전반 전송 구간과 후반 전송 구간의 중계 구간 수, 분산 분포 등등이 광 위상 공액기를 중심으로 대칭되어야 한다는 것을 의미한다. 본 연구에서 제안하는 분산 제어 링크는 광 위상 공액기가 전반의 6개 중계 구간과 후반의 14개 사이에 존재하고, 각 전송 반 구간에서의 평균 중계 구간 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)이 서로 동일한 구조이다. 제안된 분산 제어 링크에서의 광 신호 왜곡 보상 효과의 분석은 평균 RDPS가 각 전송 반 구간에서 서로 다르게 설정된 링크에서의 결과와의 비교를 통해 이루어졌다. 시뮬레이션 결과 전송 반 구간 사이의 RDPS 평균값의 동일 여부보다 인접한 중계 구간 간 RDPS 편차가 보상에 더 큰 영향을 미치는 것은 확인하였다.

### [Abstract]

The alternative method for symmetric configuration in optical link consisted of dispersion management and optical phase conjugation for compensating of the distorted optical signals due to chromatic dispersion and nonlinear effects of standard single mode fiber is proposed. The symmetric configuration means number of fiber spans, dispersion distribution in former half section and latter half section, etc should be symmetrical about optical phase conjugator. In dispersion-managed proposed in this research, optical phase conjugator is located after former half section consisted of 6 fiber spans and before latter half section of 14 fiber spans, and the averaged residual dispersion per span (RDPS) of each half section are consistence. The compensation effects of the distorted signals in the proposed link is analyzed by comparing with the results obtained in dispersion-managed link with the unequally averaged RDPS of each half section. From the simulation results, it is confirmed that RDPS deviation between adjacent fiber span has a grater effect on the compensation than the equivalent of the averaged RDPS.

**Key word** : Dispersion-managed link, Optical phase conjugation, Residual dispersion per span, Artificial distribution, RDPS deviation.

<https://doi.org/10.12673/jant.2021.25.1.84>



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 19 January; Revised 2 February 2021

Accepted (Publication) 26 February (28 February 2021)

\*Corresponding Author; Seong-Real Lee

Tel: +82-61-240-7264

E-mail: reallee@mmu.ac.kr

## I. 서론

인터넷으로 촉발되고 4차 산업혁명 기술로 가속화 되고 있는 초연결 시대는 초고속 광통신망 기반 위에서 기존의 시간과 공간적 제약을 벗어나게 해 줬다. 날로 발전하고 있는 초연결 사회를 위해서 광 네트워크 인프라는 기존의 고속, 대용량에 대한 요구사항뿐 아니라 초저지연, 고집적화, 저전력화와 같은 새로운 요구사항을 만족하여야 한다[1],[2]. 또한 5G 통신 등이 지향하는 초연결 사회를 구현하기 위해 광 전송망의 유연성도 보장하여야 한다. 이러한 추세를 따라 광 전달망 기술은 파장 분할 다중화(WDM; wavelength division multiplexing)과 ROADM(reconfigurable optical add/drop multiplexing)을 기반으로 보다 높은 대역폭의 신호를 신뢰성 있게 장거리 전송하는 방향으로 발전해 왔다[1].

광 전송망에서의 초저지연 실현은 주 전송로로 사용되고 있는 표준 단일 모드 광섬유(SSMF; standard single mode fiber)가 본질적으로 가지고 있는 색 분산(chromatic dispersion)에 의한 광 펄스의 시간적 퍼짐(temporal broadening)을 보상하는 기술이 필수적이다. 이의 대표적 기술은 중계 구간(fiber span) 구성 시 SSMF와는 반대의 분산 특성을 갖는 분산 보상 광섬유(DCF; dispersion compensating fiber)를 SSMF에 추가 구성하여 분산을 없애거나 줄여주는 분산 제어(DM; dispersion management)가 있다[3]-[5].

DM 링크 구성은 매 중계 구간(fiber span)마다 SSMF에 DCF를 추가하는 분포(distribution) 방식과 특정 구간에만 DCF로 구성하는 집중(concentration) 방식으로 나뉜다. 하지만 어떠한 방식으로 DM 링크를 구성한다고 하더라도 SSMF가 갖는 또 다른 본질적 특성인 비선형 효과(Kerr effect)에 의한 왜곡 보상에는 효과적이지 못하여 전송 거리를 제한한다[5].

SSMF를 통한 장거리 광전송은 중계 구간 수와 간격을 늘리는 것을 전제로 한다. 또한 전송 거리에 관계없는 수신 성능 보장을 위하여 광 신호 대 잡음비(OSNR; optical signal power to noise power ratio)를 어느 수준 이상 유지해야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 광 신호의 강도(intensity)를 높여주어야 하고, 이를 위해 중계 구간마다 에르븀 첨가 광섬유 증폭기(EDFA; erbium-doped fiber amplifier)와 같은 광 증폭기를 사용해야 한다. 하지만 EDFA를 가지는 링크를 전송하는 광 신호는 SSMF가 갖는 Kerr 효과에 의해 증가된 강도에 비례하여 자신의 주파수 성분에 변화가 생겨 왜곡되는 자기 위상 변조(SPM; self-phase modulation), 다른 채널 신호의 주파수 성분에 변화를 주는 상호 위상 변조(XPM; cross-phase modulation) 등의 왜곡을 발생시킨다[6].

이러한 Kerr 효과에 의한 신호 왜곡을 보상하는 기술 중 하나가 위상 공액(phase conjugation)이다[7]-[9]. 위상 공액은 전체 전송로 중간에 위치한 광 위상 공액기(OPC; optical phase conjugator)가 송신단부터 OPC까지의 전반 전송 구간(FHS; former half section)에서 SPM 등에 의해 왜곡된 신호를 OPC에

서 위상 공액시켜 OPC부터 수신단까지의 후반 전송 구간(LHS; latter half section)을 전송시키면 왜곡되기 이전의 신호와 흡사하게 만들 수 있다는 원리를 갖는다. 하지만 위상 공액을 통한 왜곡 보상을 위해서는 FHS와 LHS의 분산 분포와 전력이 OPC를 중심으로 대칭되어야 하는 조건을 유지시켜야 한다. 이 조건은 결국 광 네트워크를 위한 링크 구성의 다양성을 제한시킨다.

위상 공액의 한계와 DM이 갖는 한계를 극복하기 위한 다양한 방법들 중에 이 두 기술을 하나의 전송 링크에 결합하는 방법이 있다[10],[11]. 즉 WDM 채널 전송을 위한 DM 기술이 적용된 링크 중간에 OPC를 추가하여 분산과 Kerr 효과에 의한 광 펄스 왜곡 보상을 상호 보완하는 기술이 저자뿐만 아니라 많은 연구자들에 의해 제안되고 검증되었다[12]-[15]. 그러나 DM+OPC 링크에서 OPC의 위치가 전체 전송로 중간 부근에 있어야 하고, 그것으로 인해 광 네트워크 링크 구조를 다양하게 구성시키지 못하는 또 다른 한계를 갖게 한다. 저자는 이러한 한계를 극복하기 위한 다양한 방법을 제안하였다. 가장 최근에 제안한 구조는 FHS와 LHS을 구성하는 중계 구간의 수가 OPC를 중심으로 서로 다르고(명확하게 FHS에서의 중계 구간 수는 6개, LHS에서의 중계 구간 수는 14개), 동시에 각 전송 반 구간에서의 중계 구간 당 잉여 분산(RDPS; residual dispersion per span)의 평균값이 서로 다르게 설정된, 일명 비대칭 분산 제어 링크이다[16]. 이 구조에서 전송 반 구간의 각 중계 구간마다 설정된 RDPS는 중계 구간이 증가할수록 점진적으로 증가(ascending) 또는 감소(descending)하도록 하였다. 인접한 중계 구간 간의 RDPS 편차를 적게 하면서 FHS를 구성하는 각 중계 구간의 RDPS들을 점진적으로 감소시키는 반면 LHS를 구성하는 중계 구간의 RDPS들을 점진적으로 증가시킨 분포 패턴이 WDM 채널 왜곡 보상에 가장 효과적이라는 것을 지난 연구들 통해 확인하였다.

본 연구는 비대칭 분산 제어 링크를 제안한 지난 연구의 후속 연구로 각 전송 반 구간에서의 중계 구간 RDPS의 평균값이 서로 일정한 비대칭 분산 제어 링크에서의 WDM 채널 왜곡 보상 특성을 살펴보고자 한다. RDPS 평균값 분포 외에 모든 요소의 파라미터 값은 지난 연구에서와 동일하게 하였다. 즉 FHS에서의 중계 구간 수는 6개, LHS에서의 중계 구간 수는 14개인 DM 링크 구조에 40 Gbps × 24 채널 WDM 전송을 대상으로 하였다.

## II. 비대칭 DM 링크 모델링

그림 1은 40 Gbps × 24 채널 WDM 송신단과 수신단, 그리고 6번째 중계 구간과 7번째 중계 구간 사이에 OPC가 위치한 DM 전송 링크를 보이고 있다. 그림 1에서 전체 중계 구간의 수는 pre-DC(dispersion calibration)과 post-DC를 위한 구간까지 총 22개이다. 이들 pre-DC와 post-DC의 역할은 각 전송 구획, 즉

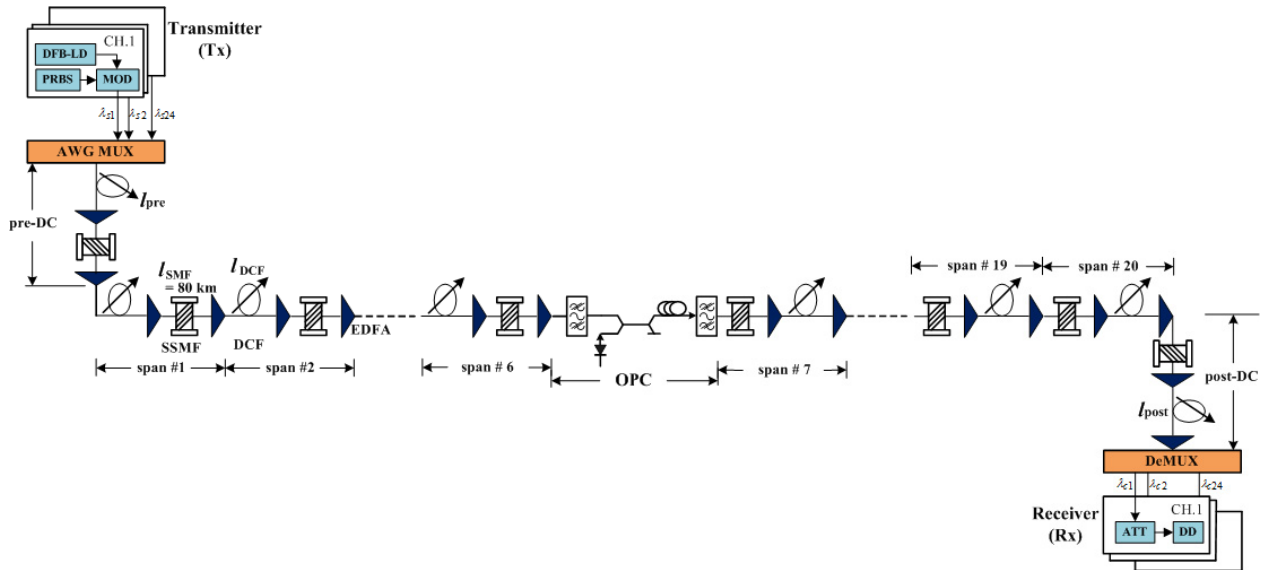


그림 1. 24×40 Gbps WDM 전송 시스템 구조 [16]  
 Fig. 1. Configuration of 24×40 Gbps WDM transmission system [16].

표 1. RDPS 편차에 따른 실제 RDPS 값 (점진적 증가 분포의 경우)

Table 1. The exact RDPSs were decided by deviations (in case of the ascending distribution).

(a) Unbalanced[16]			(b) Balanced		
span #	small	large	span #	small	large
1	40	-990	11	60	-360
2	70	-610	12	80	-200
3	110	-230	13	100	-40
4	190	530	14	140	280
5	230	910	15	160	440
6	270	1290	16	180	600
7	-20	-1000	17	200	760
8	0	-840	18	220	920
9	20	-680	19	240	1080
10	40	-520	20	260	1240

FHS와 LHS 각각에서 축적된 총 분산량을 임의의 값으로 조절하는 역할을 수행한다. 이들을 포함한 모든 중계 구간에서의 광섬유 배열은 OPC를 중심으로 분산 분포가 대칭되도록 FHS와 LHS에서 서로 반대가 되도록 구성하였다. 즉 그림 1에서 pre-DC span과 #1부터 #6의 중계 구간은 DCF 다음에 SSMF가 오도록 한 반면, #7부터 #20의 중계 구간과 post-DC span은 SSMF 다음에 DCF가 오도록 하였다.

선행 연구에 의하면 DM 링크에서의 왜곡 보상 정도는 RDPS와 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)에 영향을 받는다. 여기서 NRD는 전체 전송 링크에서 축적되는 분산량으로 정의된다. 그림 1에서 22개 중계 구간을 구성하는 SSMF의 길이는 80 km로 고정시켰다. 각 중계 구간마다 축적된 잉여 분산, 즉 RDPS는 DCF의 길이에 따라 달라지도록 하였다. 그리고 NRD는 각 전송 구획, 즉 FHS에서는 pre-DC 구간을 통해, LHS에서는 post-DC 구간을 통해 조절된다.

그림 1에서 SSMF는 0.2 dB/km의 손실 계수 ( $\alpha_{SMF}$ ), 17 ps/nm/km의 분산 계수 ( $D_{SMF}$ )와  $1.35 \text{ W}^1\text{km}^{-1}$ (@1,550 nm)의 비

선형 계수 ( $\gamma_{SMF}$ )를 갖는다. 그리고 DCF의 분산 계수 ( $D_{DCF}$ )는 -100 ps/nm/km, 손실 계수 ( $\alpha_{DCF}$ )는 0.6 dB/km로, 비선형 계수 ( $\gamma_{DCF}$ )는  $5.06 \text{ W}^1\text{km}^{-1}$ (@1,550 nm)로 설정하였다.

지난 연구[16]와 비교해 이번 연구의 차이점은 그림 1의 링크 구조에서, 즉 non-midway OPC에 의한 각기 다른 중계 구간 수를 갖는 FHS와 LHS 각각에서의 평균 RDPS를 서로 동일하게 설정한 점이다. 즉 본 연구에서는 6개의 FHS와 14개의 LHS의 중계 구간 각각의 RDPS들이 인접한 중계 구간의 RDPS와 인위적인 편차에 따라 달라지기는 하지만 FHS에서의 평균 RDPS 값과 LHS에서의 평균 RDPS 값이 모두 130 ps/nm로 동일하게 설정된 링크에서 왜곡된 WDM 채널들을 최상 특성을 살펴본다. 반면 지난 연구에서는 FHS에서의 평균 RDPS 값은 150 ps/nm로, LHS에서의 평균 RDPS 값은 120 ps/nm로 서로 다르게 설정한 링크를 대상으로 하였다.

FHS에서의 평균 RDPS 값과 LHS에서의 평균 RDPS 값은 동일하지만 임의의 중계 구간이 갖게 되는 RDPS는 앞서 언급했지만 인위적으로 설정된 편차에 따라 바로 앞에 위치한 중

계 구간의 RDPS와 차이를 갖도록 하였다. 인접한 중계 구간 사이의 RDPS 인위적 편차는 우선 FHS에서는 40 ps/nm (이를 small(S) 편차라고 칭함)과 370 ps/nm (이를 large(L) 편차라고 칭함), 그리고 LHS에서는 20 ps/nm (즉 S 편차)과 160 ps/nm (즉 L 편차)를 고려하였다. 각각의 편차에 따라 중계 구간 번호가 증가할수록 그 중계 구간이 갖게 되는 RDPS는 점진적으로 증가/감소 (ascending/ descending)하도록 하였다.

본 연구에서 분석해야 할 DM 링크의 구조는 총 16개이다. 우선 FHS와 LHS에서 각각의 편차를 모두 작게 한 경우 (이를 S:S라고 칭함), S:L, L:S와 L:L의 4가지로 한 경우이다. 그리고 이 각각의 편차로 각 중계 구간의 RDPS를 점진적으로 증가 또는 감소시키는 방법에 따라서는 우선 FHS와 LHS 모두에서 점진적으로 증가시키는 패턴 (이를 AA라고 칭함), FHS에서는 점진적으로 증가시키는 반면 LHS에서는 점진적으로 감소시키는 패턴 (이를 AD라고 칭함), FHS에서는 점진적으로 감소시키는 반면 LHS에서는 점진적으로 증가시키는 패턴 (이를 DA라고 칭함), 그리고 FHS와 LHS 모두에서 점진적으로 감소시키는 패턴 (이를DD라고 칭함)을 고려하였다. 표 1(b)는 편차 크기에 따라 점진적으로 증가하는 패턴에서의 각 중계 구간의 RDPS 값을 예를 들어 보인 것이다. 만일 중계 구간 번호가 증가함에 따라 점진적으로 RDPS가 감소하는 분포를 만들고자 한다면 표 1(b)에서 각 중계 구간이 갖는 RDPS 값의 순서를 반대로 하면 된다.

각 중계 구간마다 임의로 설정된 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 첫 번째와 마지막 중계 구간의 pre-DC와 post-DC를 통해 NRD를 조절하도록 하였다. 본 연구에서는 시뮬레이션 경우의 수를 줄이기 위해 post-DC 중계 구간의 DCF 길이, 즉  $l_{post}$ 는 LHS의 NRD를 0 ps/nm가 되도록 고정시키고 pre-DC 중계 구간의 DCF 길이, 즉  $l_{pre}$  만을 통해 전체 링크에서의 NRD를 조절하도록 하였다. 즉 NRD 조절은 pre-DC만 기여하도록 하였다.

그림 1에서 24 채널의 WDM 송신기와 수신기, 그리고 OPC의 구조는 참고 문헌 [16]과 동일하게 설정하였다. 또한 24개 채널 각각의 중심 파장도 참고 문헌 [16]과 동일하게 100 GHz (즉 0.8 nm) 간격으로 1,550 nm부터 1,568.4 nm로 설정하였다. 광 전송 링크를 통해 손실과 비선형 효과의 영향을 겪으면서 전파하는 각 채널들은 비선형 슈뢰딩거 방정식 (NLSE; nonlinear Schrödinger equation)에 의해 표현된다[6]. 본 논문에서 40 Gbps의 24 채널 WDM 전송을 위한 NLSE의 수치적 분석은 단계 분할 푸리에 (SSF; split-step Fourier) 기법[6]에 따라 Matlab으로 구현하여 이루어졌다.

### III. 시뮬레이션 결과 및 검토

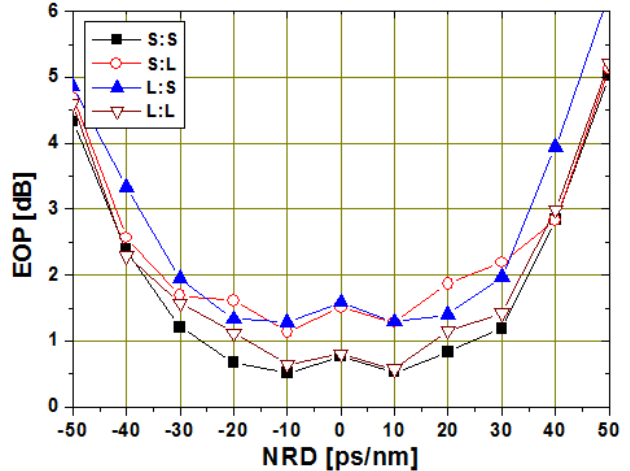


그림 2. 입사 전력이 0 dBm인 경우 최악 채널의 NRD에 따른 눈 열림 페널티

Fig. 2. The eye opening penalty (EOP) of the worst channel as a function of NRD in case of transmitting 0 dBm launch power.

지난 연구에서 RDPS의 분포가 DA인 경우, 즉 중계 구간 번호가 증가할수록 FHS에서는 RDPS가 점진적으로 감소하는 반면 LHS에서는 점진적으로 증가하는 패턴을 갖는 DM 링크에서 모든 RDPS 편차 조합에 대해 가장 우수한 보상 특성이 얻어지는 것을 확인하였다 [16]. 본 연구에서도 시뮬레이션 결과 동일한 결과가 나오음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 4가지의 RDPS 분포 패턴 중에서 DA 패턴에 집중하여 OPC를 중심으로 양쪽 전송 반 구간에서의 RDPS 평균값이 동일한 경우의 비대칭 DM 링크에서의 왜곡된 WDM 채널의 보상 특성을 지난 연구 결과와 비교해 분석해 보도록 한다.

우선 그림 2는 RDPS 분포 형태가 DA인 경우 각 채널의 입사 전력이 0 dBm인 24개의 WDM 채널을 전송시켰을 때 수신 성능이 최악인 채널의 눈 열림 페널티 (EOP; eye opening penalty)를 4가지 RDPS 편차 조합에 대해 NRD 변화에 따라 나타낸 것이다. NRD가 0 ps/nm가 아닌 그 근처, 즉 -10 ps/nm나 10 ps/nm에서 최상의 보상이 이루어지는 것을 그림 2를 통해 확인할 수 있다. 또한 RDPS 편차 조합 중 S:S, 즉 FHS와 LHS 모두 적은 편차로 RDPS가 선택되는 링크에서 보상 성능이 다소 좋아진다는 것도 아울러 알 수 있다. 이러한 결과는 앞선 연구, 즉 RDPS 평균값이 서로 다른 경우와 동일하다.

그림 3은 NRD가 -10 ps/nm 혹은 10 ps/nm로 설정된 비대칭 DM 링크에서 RDPS 편차 조합에 따른 최대 입사 전력을 보인 것이다. 그림 3의 최대 입사 전력은 최악 채널의 EOP가 1 dB가 되는 것으로 정의해서 얻은 결과이다. 또한 그림 3을 통해 지난 연구 결과, 즉 RDPS 평균값이 FHS와 LHS에서 서로 다른 경우 (그림 3에서 “unbalanced”)와 비교할 수 있다. 우선 그림 2의 결과를 통해 예측할 수 있듯이 RDPS 편차 조합이 S:S인 경우에서 가장 큰 입사 전력 전송이 가능한 것을 확인할 수 있다.

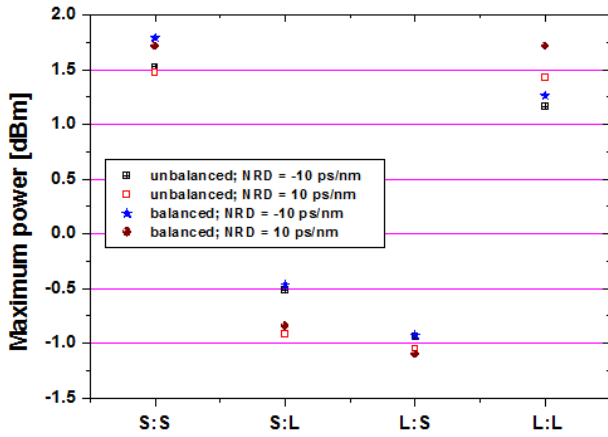


그림 3. DA 분포에서 RDPS 편차 조합에 따른 최대 입사 전력  
**Fig. 3.** Maximum launch power as a function of RDPS deviation combination in DA distribution.

또한 RDPS 편차 조합이 S:S인 경우에 대해 분석을 이어가면, 중계 구간 사이의 작은 편차로 FHS에서는 RDPS를 점진적으로 감소시키고 LHS에서는 점진적으로 증가시키는 구조에서 각 전송 구간의 RDPS 평균값을 동일하게 만드는 구조 (balanced)가 RDPS 평균값이 서로 다른 구조보다 최대 입사전력의 크기를 0.2에서 0.3 dBm 정도 개선시키는 것을 확인할 수 있다. 전반적인 RDPS 편차 조합에서 FHS와 LHS에서의 RDPS 평균값이 동일하면서 DM 링크 전체의 NRD가 -10 ps/nm로 설정된 경우가 전송 광 전력 면에서 바람직한 것을 아울러 알 수 있다.

그림 2에서 하나의 예로 S:S 편차 조합을 분석해보면, DM 링크의 NRD가 대략 -25 ps/nm부터 25 ps/nm 사이의 값을 가지면 0 dBm의 입사 전력을 갖는 WDM 채널은 보상을 통해 성능 기준인 1 dB EOP를 유지할 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉 WDM 채널의 입사 전력에 따라 1 dB EOP 이하를 얻을 수 있는 NRD 범위를 결정할 수 있다는 것을 파악할 수 있다. 이 범위를 “유효 NRD 범위”라고 정의하여 RDPS 편차 조합이 S:S이고 그 분포가 DA인 경우에 대하여 그림 4에 나타냈다. 그림 4에서 “conventional”은 중계 구간간의 RDPS가 같은 크기로 균일하게 분포한 링크를 의미한다.

그림 4의 결과들을 보면 입사 전력이 크지 않은 경우, 예를 들어 -1 dBm 이하인 경우에는 3가지 구조 모두 유효 NRD 범위가 거의 동일한 것을 알 수 있다. 반면 WDM 채널의 입사 전력을 그보다 크게 한 경우에는 유효 NRD 범위가 달라지기는 하지만 그 차이가 심하지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 즉 6:14 DM 링크의 RDPS 편차 조합을 S:S로 하고 그 분포를 DA로 설정하면 FHS와 LHS에서의 RDPS 평균값 동일 여부가 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위에 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있다.

그림 4에 보인 유효 NRD 범위는 폐곡선 모양을 띄는 것을 알 수 있다. 그렇기 때문에 입사 전력에 따른 유효 NRD 범위에 대한 또 다른 정량적 분석 방법으로 폐곡선의 면적을 구해 비교하는 것이 가능하다. 이 폐곡선 면적은 NRD와 (입사) 전력의 곱 (product of NRD and power)으로 정의될 수 있다.

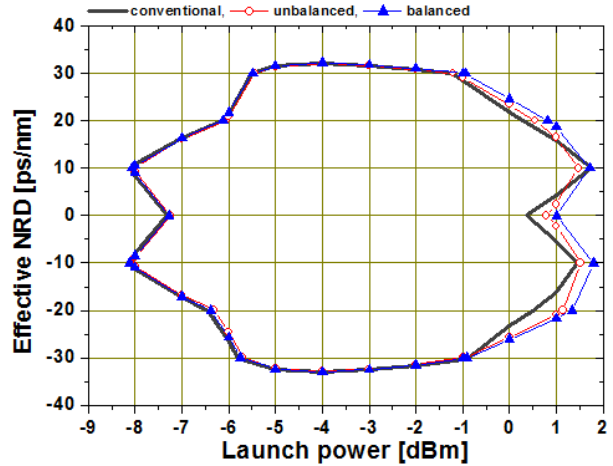


그림 4. DA 분포 구조에서의 유효 NRD  
**Fig. 4.** Effective NRDs in DM link configured with DA distribution pattern.

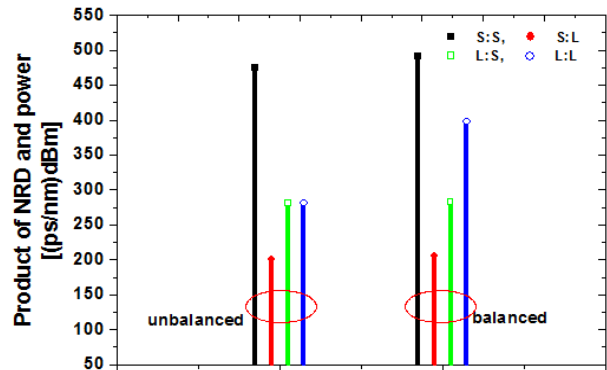


그림 5. NRD와 입사 전력의 곱  
**Fig. 5.** The product of NRD and launch power.

그림 5은 S:S의 RDPS 편차 조합 외의 3가지 편차 조합에 대해 FHS와 LHS에서의 RDPS 평균값이 동일한 경우와 동일하지 않은 경우에서의 NRD와 전력 곱을 비교한 것이다. 우선 앞선 결과들과 마찬가지로 FHS와 LHS에서의 RDPS 평균값이 동일 여부에 큰 상관없이 RDPS 편차 조합이 S:S인 경우가 다른 세 조합에 비해 NRD와 전력 곱이 월등하게 우수한 것을 그림 5를 통해 확인할 수 있다. 큰 차이는 아니지만, 4가지 RDPS 편차 조합 모두 FHS와 LHS에서의 RDPS 평균값을 동일하게 설정하는 경우가 다르게 하는 경우보다 NRD와 전력 곱이 조금은 개선되는 것을 알 수 있다. 특히 RDPS 편차를 L:L로 조합하는 경우에 있어 FHS와 LHS에서의 RDPS 평균값이 동일한 링크에서의 NRD와 전력 곱이 평균값이 다른 링크에 비해 크게 개선되는 것을 아울러 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

지금까지 OPC가 전체 전송로 중간이 아닌 6:14 구조에서

인접 중계 구간간의 RDPS 편차를 달리 하지만 FHS와 LHS에서의 RDPS 평균값은 서로 동일하게 한 DM 링크에서의 왜곡된 WDM 채널의 보상 특성을 지난 연구 결과인 RDPS 평균값을 서로 다르게 설정한 DM 링크에서의 보상 특성과의 비교를 통해 살펴 보았다.

시뮬레이션을 통한 분석 결과 OPC 위치에 따른 6:14 DM 링크에서 FHS와 LHS에서의 RDPS 평균값이 서로 동일해야 하는냐의 여부는 왜곡된 WDM 채널 보상 정도에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 각 중계 구간이 갖는 RDPS를 점진적으로 증가/감소시키는데 있어 인접 중계 구간 사이의 RDPS 편차를 어떻게 조합하느냐가 왜곡된 WDM 채널 보상에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 특히 FHS와 LHS 모두 RDPS 편차를 적게 하는 것이 가장 우수한 보상을 얻을 수 있는 방법인 것을 확인하였다.

## References

- [1] J. W. Yun, H. H. Lee et al, "Optical Network Infra Technology for Hyper-Connected Society," *Electronic and Telecommunications Trends*, Vol. 31, No. 1, pp. 99-110, Feb. 2016.
- [2] [internet] Available: [http://www.dt.co.kr/contents.html?article\\_no=2018051502102251607002&frommobile=1](http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2018051502102251607002&frommobile=1)
- [3] S. Waiyapot, S. K. Turitsyn, and V. K. Mezentsev, "Optical regeneration at 40 Gb/s in dispersion-managed transmission lines with in-line synchronous modulators," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 20, No. 12, pp. 2220-2228, Dec. 2002.
- [4] M. D. Pelusi, "WDM signal all-optical precompensation of Kerr nonlinearity in dispersion-managed fibers," *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 25, No. 1, pp. 71-74, 2013.
- [5] L. Zhu1, and G. Li, "Folded digital backward propagation for dispersion-managed fiber-optic transmission," *Optics Express*, Vol. 19, No. 7, pp. 5953-5959, Mar. 2011.
- [6] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, 3rd ed. San Francisco:CA, Academic Press, 2001.
- [7] M. Morshed, A. J. Lowery, and L. B. Du, "Improving performance of optical conjugation by splitting the nonlinear element," *Optics Express*, Vol. 21, pp. 4567-4577, 2013.
- [8] I. Sackey, F. D. Ros, J. K. Fischer, T. Richter, M. Jazayerifar, C. Peucheret, K. Petermann, and C. Schubert, "Kerr nonlinearity mitigation: mid-link spectral inversion versus digital backpropagation in 5×28-GBd PDM 16-QAM signal transmission," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 33, No. 9, pp. 1821-1827, May 2015.
- [9] M. Morshed, L. B. Du, and A. J. Lowery, "Mid-span spectral inversion for coherent optical OFDM systems: fundamental limits to performance," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 31, No. 1, pp. 58-66, Jan., 2013.
- [10] X. Xiao, C. Yang, S. Gao, and Y. Tian, "Partial compensation of Kerr nonlinearities by optical phase conjugation in optical fiber transmission systems without power symmetry," *Optical Communications*, Vol. 265, No. 1, pp. 326-330. 2016.
- [11] A. Chowdhury and R. J. Essiambre, "Optical phase conjugation and pseudolinear transmission," *Optics Letters*, Vol. 29, No. 10, pp. 1105-1107, 2014.
- [12] S. R. Lee, "Dispersion-managed links formed of SMFs and DCFs with irregular dispersion coefficients and span lengths," *Journal of Information Communication Convergence Engineering*, Vol.16, No.2, pp.67-71, June, 2018.
- [13] S. R. Lee, "Compensation for the distorted WDM channels in the long-haul transmission link with the randomly distributed SMF lengths and RDPS," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 19, No. 4, pp. 323-329, Aug. 2015.
- [14] S. R. Lee, "Dispersion-managed optical links combined with asymmetrical optical phase conjugation for compensating for distorted WDM signals," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 71-77, Jun. 2016.
- [15] H. B. Yim and S..R. Lee, "Compensation for the distorted WDM signals through dispersion-managed optical links combined with non-midway optical phase conjugation," *International Journal of Control and Automation*, Vol. 11, No. 9, pp.1-10, Nov. 2018.
- [16] S. H. Hong and S. R. Lee, "Dispersion-managed link with different numbers of fiber spans and asymmetric distribution of RDPS," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 23, No. 6, pp. 570-576, Dec. 2019.



### 이 성 렬 (Seong-Real Lee)

1990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)

2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사)

2004년 3월 ~ 현재 : 국립목포해양대학교 항해정보시스템학부 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