

---

# 분산 제어와 광 위상 공액이 적용된 광 전송 링크에서 인위적인 분포의 SMF 길이와 RDPS를 통한 WDM 신호의 보상

이성렬\*

\*목포해양대학교

Compensation for WDM Signals through Artificial Distribution of SMF Length and  
RDPS in Optical Links with Dispersion Management and Optical Phase Conjugation

Seong-Real Lee\*

\*Mokpo National Maritime University

E-mail : reallee@mmu.ac.kr

## 요 약

광섬유의 그룹 속도 분산(GVD; group velocity dispersion)과 비선형 효과의 상호 작용에 의해 왜곡되는 960 Gbps 신호의 보상을 위해 분산 제어(DM; dispersion management) 기술이 적용된 광전송 링크의 유연한 구성에 필요한 중계 구간(fiber span)을 구성하는 단일 모드 광섬유(SMF; single mode fiber)의 길이와 중계 구간 당 잉여 분산(RDPS; residual dispersion per span)을 인위적으로 분포시킨 구조에서의 전체 잉여 분산(NRD; net residual dispersion)의 최적치와 최상의 시스템 성능을 얻을 수 있는 분포 패턴을 도출하였다.

## ABSTRACT

Optimal net residual dispersion (NRD) and distribution pattern of (SMF) length and residual dispersion per span (RDPS) in optical transmission links with artificial distribution of SMF length and RDPS required to flexibly design of optical links in dispersion management (DM) technique for compensating the distorted 960 Gbps optical signals due to interaction of group velocity dispersion (GVD) and optical nonlinear effects are induced.

## 키워드

Dispersion management, Net residual dispersion, Residual dispersion per span, Random distribution of SMF length and RDPS, Effective launching power

## 1. 서 론

저자는 그 동안의 연구를 통해 광 전송 링크 중간에 광 위상 공액기(OPC; optical phase conjugator)를 두고, 전송 링크를 구성하는 각 중계 간격마다 단일 모드 광섬유(SMF; single mode fiber)에서 축적된 분산을 제어하는 분산 보상 광섬유(DCF; dispersion compensating fiber)를 추가하는 분산 제어(DM; dispersion management)를 적용하면 신호 왜곡이 크게 보상되어 장거리 및 960 Gbps급 이상의 대용량 WDM 전송이 가능하다는 것을 확인하였다[1],[2].

이는 단순히 OPC와 DM을 결합하는 것이 아니라 시스템의 전송 용량 변조 파형 형식, 광섬

유의 형태 등에 관계하여 precompensation, post-compensation, 중계 간격 당 잉여 분산(RDPS; residual dispersion per span), 전체 잉여 분산량(NRD; net residual dispersion) 등을 최적화시킴으로써 가능하였다.

DM의 가장 일반적인 구조는 시스템 전체의 복잡성을 줄여주기 위해 주 전송로인 SMF의 길이와 RDPS를 일정하게 하고 전송 링크의 precompensation과 postcompensation, 그리고 중계 간격마다 일정한 RDPS를 통해 결정되는 NRD를 최적화하는 것이다. 하지만 전체적인 구조가 복잡하다고 하더라도 중계 구간의 RDPS에 변화를 주어 시스템 성능이 크게 향상된다면 대용량 정보 전송 측면에서 바람직하다고 할 수 있다. 저자가 아

는 한 모든 중계 구간의 RDPS의 분포를 포함하여 SMF 길이 분포를 비균일, 좀 더 정확히 인위적인 분포 (artificial distribution)로 구성된 전송 링크에 대한 연구는 아직까지 보고되지 않았다

따라서 본 논문에서는 전체 전송 링크 중간에 OPC가 적용되고, OPC를 중심으로 송신단부터 OPC까지의 전반 전송 구획 (former half section)과 OPC부터 수신단까지의 후반 전송 구획 (latter half section)에서의 모든 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS가 인위적으로 분포하는 전송 링크의 시스템 성능을 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS가 모두 균일하게 고정된 전송 링크에서의 시스템 성능과 비교하여 각 경우의 최적 NRD의 도출과 최상의 성능을 얻을 수 있는 분포 조건을 도출해 보고자 한다.

## II. 광전송 링크와 WDM 시스템의 모델링

WDM 전송 시스템과 전송 링크의 구조는 본 학술대회에 발표한 논문 “중계 구간의 SMF 길이와 RDPS의 분포가 랜덤한 분산 제어 광 전송 링크에서의 WDM 신호의 보상을 위한 최적 전체 잉여 분산”(이하 참고 문헌 [3])의 그림 1과 동일하게 하였고, 주 전송로인 SMF의 손실 계수, 비선형 계수, 분산 계수, DCF의 손실 계수, 비선형 계수, 분산 계수도 동일하게 가정하였다

본 논문에서 고려한 SMF 길이와 RDPS를 인위적으로 분포시킨 구조는 예를 들어 [3]의 그림 1의 전반 전송 구획의 SMF 길이와 RDPS는 중계 구간 번호가 증가할수록 증가시키고 즉  $l_{SMF,1}$ 는 50 km로 시작하여  $l_{SMF,7}$ 는 110 km가 되도록 중계 구간마다 10 km 간격으로 늘리면서 동시에 2번째 중계 구간의 RDPS부터 7번째 중계 구간의

표 1. 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS의 인위적인 분포

기호	구분	former half section							latter half section						
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14
AA	$l_{SMF}$ [km]	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110
AA	RDPS [ps/nm]		0	100	200	300	400	800	0	100	200	300	400	800	
AA	$l_{SMF}$ [km]	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110
DD	RDPS [ps/nm]		800	400	300	200	100	0	800	400	300	200	100	0	
AA	$l_{SMF}$ [km]	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110
AD	RDPS [ps/nm]		0	100	200	300	400	800	800	400	300	200	100	0	
AA	$l_{SMF}$ [km]	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110
DA	RDPS [ps/nm]		800	400	300	200	100	0	0	100	200	300	400	800	
DD	$l_{SMF}$ [km]	110	100	90	80	790	60	50	110	100	90	80	70	60	50
AA	RDPS [ps/nm]		0	100	200	300	400	800	0	100	200	300	400	800	
DD	$l_{SMF}$ [km]	110	100	90	80	790	60	50	110	100	90	80	70	60	50
DD	RDPS [ps/nm]		800	400	300	200	100	0	800	400	300	200	100	0	
DD	$l_{SMF}$ [km]	110	100	90	80	790	60	50	110	100	90	80	70	60	50
AD	RDPS [ps/nm]		0	100	200	300	400	800	800	400	300	200	100	0	
DD	$l_{SMF}$ [km]	110	100	90	80	790	60	50	110	100	90	80	70	60	50
DA	RDPS [ps/nm]		800	400	300	200	100	0	0	100	200	300	400	800	
AD	$l_{SMF}$ [km]	50	60	70	80	90	100	110	110	100	90	80	70	60	50
AA	RDPS [ps/nm]		0	100	200	300	400	800	0	100	200	300	400	800	
AD	$l_{SMF}$ [km]	50	60	70	80	90	100	110	110	100	90	80	70	60	50
DD	RDPS [ps/nm]		800	400	300	200	100	0	800	400	300	200	100	0	
AD	$l_{SMF}$ [km]	50	60	70	80	90	100	110	110	100	90	80	70	60	50
AD	RDPS [ps/nm]		0	100	200	300	400	800	800	400	300	200	100	0	
AD	$l_{SMF}$ [km]	50	60	70	80	90	100	110	110	100	90	80	70	60	50
DA	RDPS [ps/nm]		800	400	300	200	100	0	0	100	200	300	400	800	
DA	$l_{SMF}$ [km]	110	100	90	80	70	60	50	50	60	70	80	90	100	110
AA	RDPS [ps/nm]		0	100	200	300	400	800	0	100	200	300	400	800	
DA	$l_{SMF}$ [km]	110	100	90	80	70	60	50	50	60	70	80	90	100	110
DD	RDPS [ps/nm]		800	400	300	200	100	0	800	400	300	200	100	0	
DA	$l_{SMF}$ [km]	110	100	90	80	70	60	50	50	60	70	80	90	100	110
AD	RDPS [ps/nm]		0	100	200	300	400	800	800	400	300	200	100	0	
DA	$l_{SMF}$ [km]	110	100	90	80	70	60	50	50	60	70	80	90	100	110
DA	RDPS [ps/nm]		800	400	300	200	100	0	0	100	200	300	400	800	

RDPS를 각각 0, 100, 200, 300, 400, 800 ps/nm로 순차적으로 증가시키고, 후반 전송 구획의 SMF 길이와 RDPS도 같은 방법으로 중계 구간 번호가 증가할수록 증가시키는 구조 등이 있다. 이러한 인위적인 분포로 얻을 수 있는 전송 링크의 구조는 고려해야 할 파라미터가 4개이고 분포 방식이 각각 4개이기 때문에 표 1에 나타냈듯이 총 16가지이다. 표 1에서 사용한 기호 중 A는 중계 구간이 증가할수록 SMF 길이 또는 RDPS가 증가(ascending)한다는 것을 의미하고, D는 중계 구간이 증가할수록 SMF 길이 또는 RDPS가 감소(descending)한다는 것을 의미한다.

[3]의 그림 1에서 NRD는 SMF 길이와 RDPS 분포가 인위적인 경우 14번째 중계 구간의 DCF 길이를 후반 전송 구획에서의 축적 분산량이 0 ps/nm가 되도록 31.6 km로 고정시켜 놓고 첫 번째 중계 구간의 DCF 길이  $l_{pre}$ 에 의해 결정되는 precompensation, 또는 첫 번째 중계 구간의 DCF 길이를 전반 전송 구획에서의 축적 분산량이 0 ps/nm가 되도록 31.6 km로 고정시켜 놓고 14번째 중계 구간의 DCF 길이  $l_{post}$ 에 의해 결정되는 postcompensation에 의해 결정되도록 하였다.

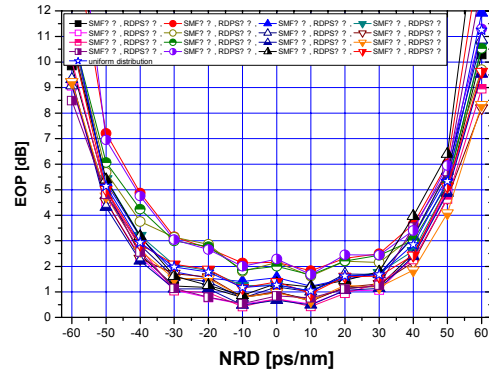
본 연구에서 고려한 각 전송 반 구획의 7개 중계 구간의 SMF 길이의 평균은 80 km이고, precompensation과 postcompensation을 위한 중계 구간을 제외한 12개 중계 구간의 RDPS 평균은 300 ps/nm이다. 따라서 본 연구에서 살펴보는 SMF 길이와 RDPS 분포가 일정하지 않은 전송 링크에서의 시스템 성능의 비교 대상인 균일 분포 전송 링크의 14개 SMF 길이는 모두 80 km로 동일하게 하고, 2번째부터 13번째 중계 구간의 RDPS를 300 ps/nm로 모두 균일하게 하기 위하여 이들 중계 구간의 DCF 길이를 모두 10.6 km로 동일하게 하여 얻을 수 있다.

WDM 전송 시스템의 송신부, 수신부, OPC 등의 구조와 파라미터는 발표 논문 1과 동일하게 가정하였다.

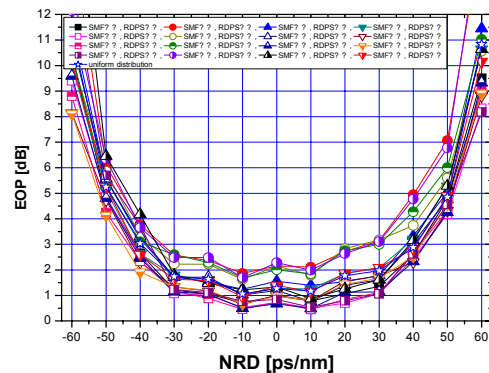
### III. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 1의 (a)와 (b)는 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS가 인위적으로 분포하는 표 1의 16가지 경우에서 입사 전력 0 dBm인 24개의 WDM 채널 중 EOP 특성이 가장 나쁘게 나타나는 최악 채널의 EOP를 각각 precompensation과 postcompensation에 의해 결정되는 NRD의 변화에 따라 나타낸 것이다. 그림 1의 (a)와 (b)에서 확인할 수 있듯이 인위적 분포 패턴에 따라 NRD에 따른 EOP가 달라지지만, precompensation으로 NRD를 결정하는 구조에서는 NRD가 +10 ps/nm로 설정된 경우, postcompensation으로 NRD를 결정하는 구조에서는 -10 ps/nm로 설정된 경우 EOP 편차가 비교적 적게 나타나고, 동시에 다른 NRD

에 비해 EOP도 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉 SMF 길이와 RDPS 분포가 인위적인 링크에서 precompensation과 postcompensation에 의한 최적 NRD는 각각 +10 ps/nm 또는 -10 ps/nm라고 판단할 수 있다.



(a) precompensation



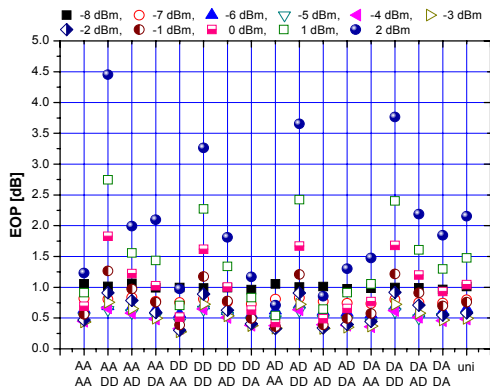
(b) postcompensation

그림 1. SMF 길이와 RDPS가 인위적으로 분포하는 전송 링크에서 NRD에 따른 최악 채널의 EOP

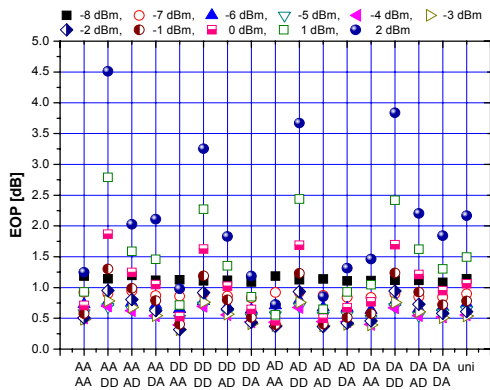
그림 2(a)와 (b)는 각각 precompensation에 의한 NRD를 +10 ps/nm로, postcompensation에 의한 NRD를 -10 ps/nm로 설정한 전송 링크에서 중계 구간의 SMF 길이와 RDPS를 인위적으로 분포시킨 표 1의 16가지의 경우 각각에서의 입사 전력별 EOP를 SMF의 길이가 80 km로 균일하고 RDPS가 300 ps/nm로 일정한 (그림 4의 x축에서 "uni") 경우의 입사 전력별 EOP와 비교한 그래프로, 우선 전반과 후반 전송 구획 모두에서 중계 구간이 증가할수록 RDPS가 증가되는 4가지 경우 (즉 그래프 x축에서 xxAA인 4가지 경우) 모두 -8 ~ 2 dBm의 전력 범위에서의 EOP가 SMF의 길이와 RDPS가 균일한 전송 링크의 경우보다 입사 전력 변화에 따른 EOP의 편차가 적은 것을 확인할 수 있다.

특히, 4가지 경우 중에서도 전반과 후반 전송 구획 모두에서 SMF의 길이는 감소하고 중계 구간의 RDPS는 점점 증가하는 경우 (그래프의 x축에서 DD AA)가 고려한 입사 전력 변화에 따른 EOP 변동이 가장 적은 것을 알 수 있다 즉 SMF의 길이와 각 중계 구간의 RDPS를 인위적으로 하고자하는 경우에 전반과 후반 전송 구획 모두 SMF의 길이는 중계 구간이 증가할수록 감소시키고 RDPS는 증가시키는 구조가 비교적 넓은 입사 전력 범위에 대해 고품질의 안정된 수신 성능을 얻게 할 수 있게 하는 구조라고 판단할 수 있다

간을 구성하는 SMF의 길이와 RDPS를 인위적으로 분포시키는 구조에서의 최적NRD를 통한 수신 성능 개선 정도를 SMF 길이와 RDPS가 균일하게 분포된 링크에서의 성능과 비교하여 살펴보고, 최상의 시스템 성능을 얻을 수 있는 분포 패턴을 도출하였다 우선 SMF의 길이와 RDPS가 인위적으로 분포하는 구조에서 precompensation으로 NRD를 조절하는 경우에는 +10 ps/nm, postcompensation으로 NRD를 조절하는 경우에는 -10 ps/nm이 최적 NRD라는 것을 알 수 있었다. 또한 SMF 길이와 RDPS를 인위적으로 분포시킨 경우 중에서 중계 구간이 증가할수록 RDPS를 증가시키는 xxAA의 분포에서의 수신 성능은 균일 분포의 전송 링크에서의 성능에 준하거나 그 이상으로 얻어지는 것을 확인하였다



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



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

그림 2. SMF 길이와 RDPS의 인위적 분포에 따른 WDM 채널의 입사 전력별 EOP

#### IV. 결 론

광섬유가 갖는 GVD와 비선형 효과의 상호 작용에 의해 왜곡되는 WDM 신호들을 보상하기 위해 광 위상 공액과 DM이 적용된 전송 링크를 이용한 광 네트워크의 유연한 구성을 위해 중계 구

#### 참고문헌

- [1] 이성렬, "집중형 분산 제어 WDM 전송 시스템에서 Mid-span spectral inversion 기술", 한국통신학회논문지, 제 33권 1호, pp. 7~15, 2008.
- [2] 이성렬, "분산 제어가 적용된 광전송 링크에서 광 위상 공액의 비대칭성", 한국통신학회 논문지, 제 35권 8호, pp. 801~809, 2010.
- [3] 이성렬, "중계 구간의 SMF 길이와 RDPS의 분포가 랜덤한 분산 제어 광 전송 링크에서의 WDM 신호의 보상을 위한 최적 전체 잉여 분산" 한국정보통신학회2012년도추계학술 발표대회논문집, 제 16권 2호, 2012.
- [4] 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.
- [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.