

OTDM/WDM 전송을 위한 40 Gbps RZ 형식의 최적 조건 도출

Induction of Optimal Condition of 40 Gbps RZ Format for OTDM/WDM Transmission

이성렬*

Seong-Real Lee*

요 약

광 시간 분할 다중/파장 분할 다중 (OTDM/WDM; optical time division multiplexing/wavelength division multiplexing) 전송 시스템의 구현을 위한 40 Gbps RZ 형식의 최적 조건을 충격 계수 (duty cycle)와 소광비 (ER; extinction ratio)에 따른 성능 분석과 비교를 통해 도출하였다. 광전송 링크에는 광섬유의 색 분산과 비선형에 의한 신호 왜곡을 보상하기 위해 광 위상 공액기 (OPC; optical phase conjugator)와 inline 분산 제어 (DM; dispersion management)가 적용되었다. ER에 따른 시스템 성능 변화의 영향이 적으면서 동시에 OTDM에 의한 160 Gbps 신호로의 다중화에 적합한 충격 계수는 0.25이라는 것을 확인하였다. 또한 DM의 적용에 있어 증계 거리 당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)을 크게 할수록 동일한 전체 잉여 분산 (NRD; net residual dispersion)에 의해 결정되는 RZ 형식의 성능 개선 정도를 증가시킬 수 있는 것을 알 수 있었다.

Abstract

Optimal conditions of 40 Gbps RZ format for implementation of optical time division multiplexing/wavelength division multiplexing (OTDM/WDM) transmission system are induced by analyzing and comparing performance depending on duty cycle and extinction ratio (ER). Optical phase conjugator (OPC) and inline dispersion management (DM) are applied into optical transmission links for compensating signal distortion due to chromatic dispersion and nonlinearity of fiber. It is confirmed that RZ format of 0.25 duty cycle is less effected by system performance change depending on ER and it is suitable for multiplexing to 160 Gbps signal through OTDM. Also, it is shown that performance improvement of RZ format determined by same net residual dispersion (NRD) is more increased as residual dispersion per span (RDPS) becomes large.

Key words : OTDM/WDM, RZ format, Duty cycle, Extinction ratio, Inline Dispersion management, Net residual dispersion, Residual dispersion per span, Optical phase conjugator

I. 서 론

광전송 시스템에서 전송 용량을 늘리기 위한 가장

대표적인 전송 방식은 40 Gbps 이상의 비트율을 갖는 채널들의 파장 분할 다중화 (WDM; wavelength division multiplexing)이다. 그러나 40 Gbps와 그 이상

* 목포해양대학교 해양전자통신공학부 (Div. of Marine Electro. & Comm. Eng., Mokpo National Maritime University)

- 제1저자 (First Author) : 이성렬
- 접수일자 : 2010년 10월 7일
- 심사(수정)일자 : 2010년 10월 8일 (수정일자 : 2010년 12월 20일)
- 게재일자 : 2010년 12월 30일

의 채널 비트율의 WDM 전송 시스템에서 무에러(error-free) 전송거리를 늘리기 위해서는 광섬유의 종류 및 규격의 올바른 선택, 분산(dispersion) 보상 소자의 최적화, 전송 파형의 형식 등의 최적화가 필요하다.

채널 비트율이 40 Gbps인 전송 시스템의 성능에 제한을 주는 근본적인 요소는 광 펄스를 시간 영역에서 퍼지게 하는(temporal broadening) 색 분산(chromatic dispersion) 외에 광섬유의 비선형성(Kerr effects)이다. 실리카 광섬유의 굴절 계수가 광 신호 강도에 의존하는 특성은 자기 위상 변조(SPM; self-phase modulation), 상호 위상 변조(XPM cross-phase modulation)와 4-광파 혼합(FWM; four-wave mixing) 등의 비선형 현상을 발생시켜 이웃하는 WDM 채널의 펄스와의 상호 반응을 통해 신호 파형에 왜곡을 유도하고 심각한 전송 페널티(penalty)를 발생시킨다. 또한 광섬유를 전파하는 동안 펄스 폭이 매우 좁은 광 펄스들은 시간 영역에서 퍼지게 되고, 결국 채널 내 XPM(IXPM; intrachannel XPM)과 채널 내 4-광파 혼합(IFWM; intrachannel FWM)을 통해 펄스끼리 겹쳐져 상호 반응하여 왜곡된다[1]-[3]. 따라서 채널 간과 채널 내 비선형 왜곡을 최소화하는데 있어, 전송 광섬유의 분산, 분산 보상, 신호 파형 형식의 최적화가 중요한 역할을 한다.

신호 파형의 최적화 관점에서 이러한 시스템의 전송 거리를 최대 늘리기 위해서는 시스템 성능이 $P_p \times T_{FWHM}^2$ 에 따라 결정되기 때문에 NRZ 펄스 대신에 RZ 펄스를 사용해야 한다. 여기서 P_p 는 펄스의 피크 전력이고, T_{FWHM} 은 펄스의 최대 전력의 반이 되는 전체 펄스 폭(full width at half maximum)이다[4]. 더욱이, 짧은 충격 계수(duty cycle)를 갖는 RZ 펄스를 사용하는 경우 광섬유의 비선형성에 의한 성능 저하가 크게 개선된다는 것을 여러 이론, 시뮬레이션, 실험을 통해 발표되었다[2],[5]-[8].

WDM 전송에서 이러한 색 분산과 비선형성에 의한 신호 왜곡의 한계를 해결하는데 많은 비용과 노력이 필요하기 때문에 경제적인 네트워크 구현을 위한 다른 방식으로 광 시간 분할 다중화(OTDM; optical time-division-multiplexing) 시스템이 제안되고 있다. OTDM 시스템은 160 Gbps와 그 이상의 속도로

전송하는 것을 기본으로 진화되고 있다. 즉 40 Gbps 전송이 빠른 시일 안에 구현될 수 있기 때문에 하나의 동일 파장을 사용하는 40 Gbps의 채널을 4개나 그 이상 각기 다른 타임슬롯에 할당하여 전송하는 것을 기본으로 하고 있다[9]. 이 경우 앞서 언급한 광섬유의 비선형성에 의한 성능 저하를 극복하고자 하는 목적으로 시스템을 설계한다면 각 채널의 신호 파형은 충격 계수가 0.125나 0.25인 RZ 펄스로 하고, 각기 다른 정보로 변조된 4개의 RZ 신호들을 다른 타임슬롯에 할당하면 하나의 파장으로 160 Gbps의 OTDM 전송이 가능하게 된다.

그러나 궁극적으로 광전송 시스템의 전송 용량을 극대화하는 방식은 여러 개의 OTDM 채널들을 각각 다른 파장으로 한번 더 다중화하는 OTDM/WDM 전송이 되어야 할 것이다. 그렇게 되면 최종 전송 용량은 할당된 파장 수에 따라 $n \times 160$ Gbps로 증가되기 때문이다.

광전송 시스템의 전송 파형 형식으로 RZ 파형을 적용하는 그 동안의 연구에서는 RZ 파형의 소광비(ER; extinction ratio)가 무한히 크다는 가정에서 이루어졌다. 그러나 이러한 가정은 광 신호의 '0' 타임슬롯에는 광 전력이 존재하지 않기 때문에 이 영역에서의 올바른 비선형 현상에 대한 분석에 한계를 갖게 하였고, 실제적으로 광 변조기들은 무한히 큰 소광비의 출력 신호를 만들지 못하기 때문에 현실적인 분석이 될 수 없었다.

본 논문의 저자는 그 동안의 연구를 통해 광전송 링크에 분산 제어(DM; dispersion management)를 적용하고 전체 전송로 중간에 광 위상 공액기(OPC; optical phase conjugator)를 적용하면 비선형성과 색 분산에 의해 왜곡된 WDM 채널들을 효과적으로 보상하여 전송 거리와 전송 용량을 늘릴 수 있는 것을 확인하였다[10]-[13]. 이를 위해서는 선치 보상(precompensation), 후치 보상(postcompensation)과 전체 잉여 분산(NRD; net residual dispersion)의 DM 설계에 필요한 파라미터들이 전체 전송 거리, 채널 용량 및 신호 파형 등에 따라 최적화되어야 하고, 이들이 최적화되면 SPM에 의한 신호 왜곡 보상에 큰 역할을 할 수 있는 광 위상 공액 기술의 이론적 한계인 광 전력과 국부 분산량이 OPC를 중심으로 대칭

되어야 하는 한계도 극복되는 것을 확인하였다.

본 논문에서는 OTDM/WDM 전송 시스템의 구현을 위해 DM과 OPC가 적용된 전송 링크에 40 Gbps의 RZ 파형을 전송하는 경우의 최적 코딩 조건을 RZ 파형의 충격 계수와 ER에 따른 분석을 통해 도출해보도록 한다. 160 Gbps의 OTDM을 위해 RZ 형식의 충격 계수는 0.1과 0.25로 하였고 이들의 최적 NRD 도출은 전통적 WDM 방식에서의 RZ 파형의 충격 계수인 0.5와 비교하도록 한다. 또한 각 경우 모두 ER은 이상적인 값인 30 dB와 실제 광 변조기로부터 만들 수 있는 값인 10 dB를 고려하였다.

또한 본 논문에서는 각 채널의 RZ 파형의 파장을 동일한 하나의 파장만을 고려하지 않고 OTDM 후 WDM 전송의 고품질 수신 가능성 높이기 위하여 ITU-T G.694.1에서 규정하는 1,550 nm부터 100 GHz 간격의 24개 파장을 고려하였다. 즉 0.8 nm 간격의 24개 채널의 RZ 파형 중 수신 성능이 가장 좋지 않은 채널 (이를 최악 채널 (worst channel))에 대한 최적 NRD를 도출하고 분석하였다. 전송 링크의 주 전송로는 분산 계수가 17 ps/nm인 단일 모드 광섬유 (SMF; single mode fiber)를 사용하였고, 전체 전송 거리는 960 km로 가정하였다.

II. 광전송 링크의 구조 및 광전송 시스템의 구성

그림 1(a)는 본 연구에서 살펴볼 광전송 링크 구성과 광전송 시스템의 구성을 나타낸 것이다. 우선 광전송 링크 구성을 살펴보면, 각 중계 구간 (span)의 SMF 길이 l_{SMF} 는 모두 80 km로 하였고, 이들의 수를 12개로 하여 전체 전송로의 총 길이는 960 km로 구성하였다. 여기서 SMF의 손실 계수 α_{SMF} 는 0.2 dB/km, 분산 계수 D_{SMF} 는 17 ps/nm/km(@1,550 nm), 비선형 계수 γ_{SMF} 는 1.41 W-1km-1(@1,550 nm)로 하였다.

그리고 각 중계 구간마다 DCF를 추가하여 SMF의 중계 구간에 축적된 분산을 제어하는 inline DM의 구조로 링크를 설계하고 비선형 왜곡을 보상하기 위해 전체 전송로 중간, 즉 6번째 중계 구간 다음에 OPC를 구조로 설계하였다. 여기서 DCF의 분산 계수 D_{DCF} 는 -100 ps/nm/km (@1,550 nm), 손실 계수 α_{DCF} 는 0.4 dB/km, 비선형 계수 γ_{DCF} 는 4.83 W-1km-1(@1,550 nm)를 갖도록 하였다.

그림 1(b)의 분산 맵과 같이 송신부(Tx) 바로 다음의 DCF는 길이 l_{pre} 의 변화를 통해 선치 보상을, 수신부(Rx) 바로 전의 DCF는 길이 l_{post} 의 변화를 통해 후치 보상을 동시에 조절하여 NRD를 결정하도록 하였고, 이들을 제외한 나머지 구간에서의 중계 구간

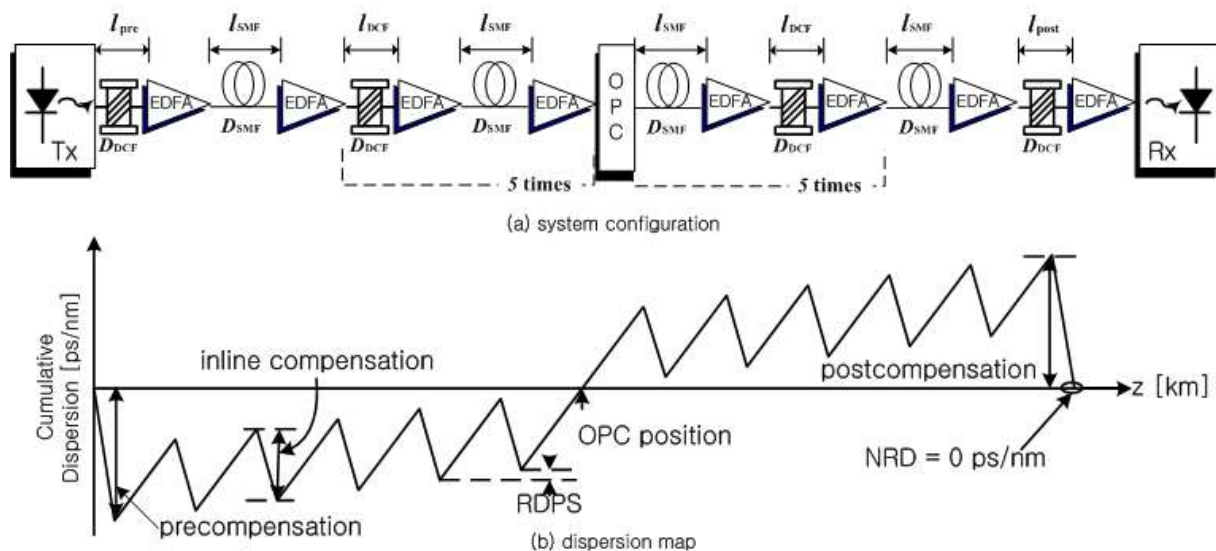


그림 1. 광전송 시스템 구조와 전송 링크의 분산 맵

Fig. 1. Configuration of optical transmission system and dispersion map of transmission links.

당 잉여 분산 (RDPS; residual dispersion per span)는 표 1과 같은 값을 갖도록 l_{DCF} 을 설정하였다. 즉 전송 링크의 RDPS가 표 1의 값으로 각각 설정된 경우 선치 보상과 후치 보상으로 최종 수신단에 축적되는 NRD를 조절하도록 설계하였다.

표 1. RDPS 값에 따른 l_{DCF}
Table 1. l_{DCF} for RDPS

RDPS [ps/nm]	50	100	150	200
l_{DCF} [km]	13.1	12.6	12.1	11.6

그림 1에서 송신기 Tx는 40 Gbps 속도의 분포 교환 레이저 다이오드 (DFB-LD; distributed feedback laser diode)로 가정하였고, 중심 파장은 OTDM/WDM 전송을 위해 ITU-T G.694.1의 권고에 따라 1,550 nm부터 1,568.4 nm까지 파장 간격을 100 GHz (즉 0.8 nm)로 달리 하여 모델링하였다. DFB-LB는 서로 독립적인 128(=27) 의사 랜덤 비트열 (PRBS; pseudo random bit sequence)에 의해 외부적으로 변조되는 것으로 모델링하였다. 이 때 외부 변조기로부터 발생하는 변조 파형 형식의 충격 계수는 0.1, 0.25와 0.5, 각각의 경우 모두 ER은 10 dB와 30 dB의 RZ 형식의 2차 가우시안 펄스로 모델링하였다.

전체 전송로 중간에 위치한 OPC는 참고 문헌 [10]-[13]에서와 동일한 파라미터를 갖는 HNL-DSF(highly nonlinearity - dispersion shifted fiber)를 비선형 매질로 갖는 구조로 모델링하였다. 그리고 수신기 Rx는 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.

광전송 링크를 통해 손실과 비선형 효과의 영향을 겪으면서 전파하는 각 채널들은 비선형 슈뢰딩거 방정식 (NLSE; nonlinear Schrödinger equation)에 의해 표현된다. NLSE를 단계 분할 푸리에 (SSF; split-step Fourier) 기법에 따라 시뮬레이션 하였다[14].

시스템의 성능 분석은 파장이 다른 24개의 신호 중 전송 성능이 가장 나쁘게 나타나는 최악 신호 (펄스)의 EOP를 가지고 수행한다. 여기서 EOP는

$$EOP[dB] = 10 \log_{10} (EO_{rec} / EO_{btb}) \quad (1)$$

으로 정의되고, 여기서 EOrec는 수신 신호의 눈 열림 (EO; eye opening) 정도이고 EObtb은 광섬유 전송 링크에 입사되기 전 송신 신호의 눈 열림 정도로 EO는 아래와 같이 정의된다.

$$2P_{av} / (P_{1,min} - P_{0,max}) \quad (2)$$

여기서 Pav는 광 신호의 평균 전력, P1,min은 펄스 '1'의 최소 전력이고 P0,max은 펄스 '0'의 최대 전력이다.

또한 본 논문에서는 선치 보상과 후치 보상의 조절을 통해 NRD를 결정하기 때문에 임의의 NRD 값을 만드는 선치 보상과 후치 보상, 즉 l_{pre} 와 l_{post} 은 다양하게 존재한다. 모든 경우에 대해 성능을 비교 분석하는 것이 복잡하고, 본 논문의 목적이 OTDM/WDM 전송을 위한 inline DM이 적용된 링크에서의 RZ 파형의 충격 계수와 ER의 최적화이기 때문에 최악 신호 (펄스)의 EOP를 최소로 만드는 NRD만을 가지고 성능을 비교 분석하도록 한다.

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

3-1 충격 계수와 RDPS의 상호 영향

그림 2는 ER이 10 dB와 30 dB이고 충격 계수가 각각에서 0.1, 0.25와 0.5인 RZ 파형의 NRD에 따른 최악 신호의 EOP를 전송 링크의 RDPS별로 나타낸 것이다. 우선 그림 2(a)의 RZ 파형의 충격 계수가 0.1인 경우를 제외한 나머지 모든 경우에서 본 연구에서 고려한 모든 NRD 범위 내에서 최악 신호의 EOP가 1.0 dB 이하가 되는 것을 알 수 있다. 즉 전체 전송 링크 중간에 OPC를 두고 inline DM을 적용하게 되면 광 신호의 왜곡 보상이 효과적으로 이루어져 매우 양호한 수신 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 2로부터 ER이 10 dB와 30 dB로 설정된 모든 경우에서 RZ 파형의 충격 계수가 달라지면 전송 링크의 RDPS의 영향도 달라지는 것을 알 수 있다. 즉 충격 계수가 0.1인 RZ 파형의 EOP는 그림 2(a)와 (b)

모두 RDPS 값의 변화에 영향을 받지 않지만, 충격 계수가 0.25, 0.5로 증가할수록 RDPS의 영향을 받고 DM을 위한 RDPS가 클수록 EOP 특성이 개선되는 것을 알 수 있다.

(a) ER = 10 dB

(b) ER = 30 dB

그림 2. RDPS별 NRD 대 최악 채널의 EOP
Fig. 2. NRD v.s. EOP of worst channel in various RDPS

3-2 충격 계수와 ER의 상호 영향

그림 3은 그림 2의 결과인 충격 계수가 큰 RZ 펄스의 EOP를 가장 나쁘게 하는 RDPS인 50 ps/nm와 가장 좋게 하는 RDPS인 200 ps/nm로 설정된 전송 링크에 RZ 파형을 전송하는 경우 NRD에 따른 최악 신호의 EOP를 RZ 파형의 충격 계수별로 나타낸 것이다.

(a) ER = 10 dB

(b) ER = 30 dB

그림 3. RDPS = 50 ps/nm와 200 ps/nm인 전송 링크에서 RZ 파형의 충격 계수별 NRD 대 최악 채널의 EOP
Fig. 3. NRD v.s. EOP of worst channel for various duty cycle of RZ format in transmission links with RDPS = 50 ps/nm and 200 ps/nm, respectively.

그림 3을 통해 ER이 10 dB인 RZ 파형은 충격 계수가 0.1인 경우와 ER이 30 dB인 RZ 파형은 충격 계수가 0.5인 경우에서 RDPS 값에 크게 상관없이 EOP 특성이 가장 좋지 않음을 알 수 있다. 또한 ER = 10 dB와 30 dB 모두, 그리고 RDPS = 50 ps/nm와 200 ps/nm 모두의 경우에서 충격 계수를 0.25로 갖는 RZ 파형을 전송하는 것이 전송 링크의 NRD 변화에도 안정되고 양호한 수신이 가능하다는 것을 알 수 있다.

링된 RZ 파형을 전송하는 경우 최악 신호의 EOP를 NRD에 따라 나타낸 것이다. 그림 4(a)의 RZ 파형의 충격 계수가 0.1인 경우에는 ER에 따라 파장별 성능의 차이가 크게 나타나는 반면, 그림 4(b)의 RZ 파형의 충격 계수가 0.25인 경우에는 ER이 채널 성능에 미치는 영향이 상당히 줄어들게 되고, 그림 4(c)의 RZ 파형의 충격 계수가 0.5인 경우에는 ER이 채널 성능에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 즉 RZ 파형의 충격 계수가 커질수록 성능에 미치는 영향면에서 ER에 독립적임을 알 수 있다.

(a) duty cycle 0.1

IV. 결 론

OTDM/WDM 전송 시스템의 구현을 위해 DM과 OPC가 적용된 전송 링크에 40 Gbps의 RZ 파형을 전송하는 경우의 최적 코딩 조건을 RZ 파형의 충격 계수와 ER에 따른 분석을 통해 살펴보았다. 색 분산과 비선형성에 의한 왜곡을 보상하기 위해 DM과 OPC가 적용된 장거리 광전송 링크를 통해 RZ 파형을 전송하고자 하는 경우 RZ 파형의 ER에 따른 시스템 성능 변화의 영향에 강하면서 동시에 OTDM에 의한 160 Gbps 채널로의 다중화에 용이한 충격 계수는 0.25이라고 할 수 있다. 또한 DM의 적용에 있어 RDPS를 크게 설정할수록 동일한 NRD에 의한 RZ 펄스의 성능 개선 효과를 증가시킬 수 있는 것을 알 수 있다.

(b) duty cycle 0.25

본 논문에서는 RZ 파형의 파장을 하나의 파장만을 고려하지 않고 WDM을 위한 ITU의 권고에 따라 100 GHz 간격의 24개 파장을 고려하고 이들 중 전송 성능이 가장 좋지 않은 최악 신호의 최대 보상이 이루어질 수 있는 조건을 도출하였기 때문에 OTDM/WDM 시스템을 통한 대용량 정보의 전송 시스템 구현에 필요한 코딩 조건의 도출이라고 판단된다.

(c) duty cycle 0.5

그림 4. RDPS = 100 ps/nm인 전송 링크에서 RZ 파형의 ER별 NRD 대 최악 채널의 EOP

Fig. 4. NRD v.s. EOP of worst channel for ER = 10 dB and 30 dB of RZ format in transmission links with RDPS = 100 ps/nm.

그림 4는 충격 계수와 ER의 영향을 살펴보기 위하여 RDPS = 100 ps/nm로 설계된 링크에 동일환 충격 계수를 갖지만 ER이 10 dB와 30 dB로 달리 모델

참 고 문 헌

- [1] P. V. Mamyshev and N. A. Mamysheva, "Pulse-overlapped dispersion managed data

transmission and intrachannel four-wave mixing,” *Opt. Lett.*, vol. 24, no. 21, pp. 1454-1456, 1999.

[2] R.-J. Essiambre, B. Mikkelsen, and G. Raybon, “Intra-channel cross phase modulation and four-wave mixing in high-speed TDM systems,” *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 18, 1999.

[3] 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 Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 12, pp. 1624-1626, Dec. 2000.

[4] D. Breuer and K. Petermann, “Comparison of NRZ- and RZ-modulation formats for 40 Gb/s TDM standard-fiber systems,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, no. 3, pp. 398-400, Mar. 1997.

[5] A. H. Gnauck, S. G. Park, J. M. Wiesenfeld, and L. D. Garrett, “Highly dispersed pulses for 2×40 Gbit/s over 800 km of conventional single-mode fiber,” *Electron. Lett.*, vol. 35, pp. 2218-2219, 1999.

[6] A. Mecozzi, C. Balslev Clausen, and M. Shtaif, “Analysis of intrachannel nonlinear effects in highly dispersive optical pulse transmission,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, pp. 392-394, 2000.

[7] A. Mecozzi, C. Balslev Clausen, M. Shtaif, S. G. Park, and A. H. Gnauck, “Cancellation of timing and amplitude jitter in symmetric links using highly dispersed pulses,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, pp. 445-447, 2001.

[8] S. G. Park, A. H. Gnauck, J. M. Wiesenfeld, and L. D. Garrett, “40 Gb/s transmission over multiple 120-km spans of conventional single-mode fiber using highly dispersed pulses,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, pp. 1085-1087, Aug. 2000.

[9] E. Ciaramella, G. Contestabile, A. D’Errico, C. Loiacono, and M. Presi, “High-Power Widely Tunable 40-GHz Pulse Source for 160-Gb/s OTDM Systems Based on Nonlinear Fiber Effects”, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16, no. 3, pp. 753-755, 2004.

[10] —, “집중형 분산 제어 WDM 전송 시스템에서 Mid-span spectral inversion 기술”, *한국통신학회 논문지*, 제 33 권 1호, pp. 7~15, 2008.

[11] —, “Inline 분산 제어 광전송 링크에서 전체 잉여 분산”, *한국향행학회논문지*, 제 12 권 4호, pp. 311~316, 2008.

[12] —, “분산 제어와 OPC를 갖는 광 전송 링크를 이용한 WDM 신호의 Q-factor 개선”, *한국향행학회 논문지*, 제 13 권 1호, pp. 27~34, 2009. 2. 28

[13] —, “분산 제어가 적용된 광전송 링크에서 광 위상 공액의 비대칭성”, *한국통신학회논문지*, 제 35 권 8호 게재 예정

[14] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, Academic Press, 2001.

이 성 렬 (李成烈)



1990년 2월 : 한국항공대학교
통신정보공학과 (공학사)
1992년 8월 : 한국항공대학교
대학원 통신정보공학과 (공학석사)
2002년 2월 : 한국항공대학교
대학원 통신정보공학과 (공학박사)
1996년 1월~2002년 5월 : (주)세영통신
전파기술연구소 책임연구원

2002년 6월~2004년 2월 : (주)에이티엔 기술연구소장
2004년 3월~현재 국립목포해양대학교 해양전자통신공학부 부교수
관심분야 : WDM 시스템, 광의 비선형 현상 분석,
광 솔리톤 전송