

RSOA기반 반송파 억제된 광변조를 이용한 양방향 WDM-PON 구현

정회원 김 동 현*, 이 대 원*, 원 용 욱*, 박 수 진**, 한 상 국*

Demonstration of RSOA based Bidirectional WDM-POM by using Suppressed Optical Carrier Modulation

Dong-Hyeon Kim*, Dae-Won Lee*, Young-Wuk Won*,
Soo-Jin Park**, Sang-Kook Han* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 중앙국(Central office)에서 반송파가 억제된 광원을 생성하여 파장에 무관한 RSOA기반 양방향 WDM-PON구조를 제안 하였다. 중앙국에 위치한 마흐젠더 모듈레이터 (LiNbO3 Mach Zehnder Modulator)를 이용하여 5 GHz 변조된 반송파가 억제된 광원(Suppressed Optical Carrier)을 만들어 상향 신호 광원으로 전송을 하고 이와 더불어 하향 신호용 광원은 반사형 광증폭기(Reflective Semi-conductor Optical Amplifier)를 이용해서 데이터 변조 후 전송을 하게 된다. 상향 신호는 반송파가 억제된 광원을 광망 전달 장치(Optical Network Unit)보내 다시 데이터 재변조를 하고 중앙국(Central Office)으로 재전송함으로써 파장에 무관한 새로운 양방향 WDM-PON 구조를 실험을 통해 검증하였다.

Key Words: Suppressed optical carrier, Reflective semi-conductor optical amplifier, WDM-PO

ABSTRACT

In this paper, we proposed new method of a bidirectional WDM-PON transmission using suppressed optical carrier(SOC) and reflective semi-conductor optical amplifier(RSOA) based on WDM-PON. while LiNbO3 mach zehnder modulator(LN-MZM) generates 5GHz modulated SOC for uplink at central office(CO), RSOA at CO modulates the downstream data. At optical network units(ONUs), Another RSOA modulates the SOC light source for uplink at ONU and uplink data are up-converted to the 5 GHz already modulated SOC using LN-MZM.

I. 서 론

인터넷의 급성장으로 데이터, 음성, 영상서비스가 복합화, 다양화 추세가 되어가고 있다. 근래에는 TV 도 IP망에 통합 이용됨에 따라 고용량의 데이터를 사용자들이 요구하고 있는 실정이다. 사용자의 데이터 요구는 현재 여기에 머무르지 않고 가까운 미래에는 고품질 VoD (Video on Demend), 홈쇼핑,

TPS (Triple Play Services), 그리고 재택근무 등의 영향으로 증가가 될 것이며, 또 노인인구의 증가에 따른 효율적 의료서비스로 떠오르고 있는 원격의료 서비스로 인하여 엄청난 양방향 데이터까지 요구하게 될 것이 자명하다. 이에 따라 최근에 많은 용량의 데이터를 전송할 수 있고 통신 포맷에 자유로울 뿐더러 보안성까지 좋은 WDM-PON에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1] 하지만 이러한 많은 장점

* 본 논문은 (주)KT의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

* 연세대학교 광대역 전송 네트워크 연구실 (skhan@yonsei.ac.kr), ** (주)KT미래기술 연구소

논문번호: KICS2007-08-348, 접수일자: 2007년 8월 3일, 최종논문접수일자: 2007년 11월 26일

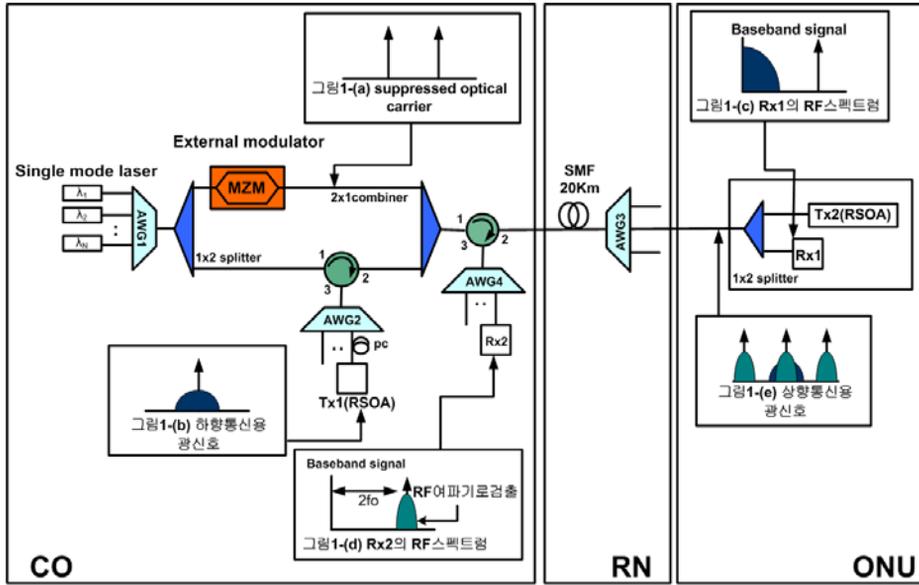


그림 1. 제안된 WDM-PON 구조

에도 불구하고 광파장 개수의 한계와 시스템 가격이 WDM-PON을 광범위 하게 적용하는 데에 어려움으로 여겨지고 있다.

광파장의 개수와 그리고 가격적인 면을 봤을 때, 반사형 광 증폭 변조기(RSOA)를 사용함으로써 기존에 사용되고 있는 상/하용 광원을 제각기 사용하는 WDM-PON과 비교 시 사용 되는 광파장의 개수를 반으로 줄 일 수는 장점이 있다. 하지만 반사형 광 증폭 변조기 기반 시스템에서는 광 증폭 변조기를 재변조기로 사용하게 되는데, 재변조를 하기 위해서는 입력되는 광원의 크기가 이득 포화되는 구간을 반드시 만족해야 하다는 단점이 있고 또한 상향 신호는 하향신호의 대역폭 보다 작아야 전송 최적화를 보인다는 단점이 있다.^{[2],[3]} 물론 이런 단점을 해결한 WDM/SCM-PON이 제안되었다.^[4]

이 논문에서는 양방향 넓은 대역을 제공해 주기 위해서 LN-MZM을 상향신호 광원 생성기로 그리고 반사형 광 증폭기를 하향 광원 생성기로 사용을 함으로써 새로운 WDM-PON구조를 제안하였다.

II. 제안된 시스템 설명

그림1은 제안된 구조를 나타내고 있다. 이 구조의 작동 원리는 다음과 같다. 중앙국(CO)에서는 분포 궤환형 레이저 다이오드(DFB-LD) 광원을 각각의 사용자에게 해당되는 광망 전달 장치(ONU)에 할

당을 한다. 각 할당 된 파장은 3 dB분배기 이후에 분배 된 하나의 파장은 LN-MZM (LiNbO₃ Mach-Zehnder-Modulator) 에 입력이 되고 나머지 하나는 반사형 광 증폭 변조기 (RSOA)에 입력이 되어 하향링크 신호를 변조하게 된다. 그림1-(a)는 LN-MZM이후에 반송파가 억제된 광원을 보여준다.

그림1-(b)는 CO에 있는 RSOA에 의해 광원이 기저대역 변조가 된 것을 보여준다. 변조가 된 두 광원은 다시 광 합성기를 통해 3개 모드의 광원으로 사용자에게 전송이 되어 진다. 전송된 광원은 3 dB 광 분배기를 통해 분배 된다. 분배된 광원은 사용자의 수신기에 그림 1-(c)와 같은 RF 스펙트럼으로 검출됨으로써 하향링크 신호가 사용자에게 전송된다. 또 하나의 분배된 광원은 반사형 광 증폭 변조기를 통해 그림 1-(e)와 같이 3개의 광원에 동시 변조가 이루어져 중앙국으로 상향전송이 이루어지게 된다. 상향전송 된 신호는 그림 1-(d)를 보는 것과 같이 양 쪽 2개의 변조된 광원을 통해 상향 데이터를 검출 하게 된다. 이렇게 함으로써 양방향 데이터 전송이 이루어진다.

이번에 제안된 구조는 다른 WDM-PON 구조에 비해 가격 효율적인 면과 확장성에서 장점을 가지고 있다. WDM 채널 수 가 증가함에 따라 CO 및 ONU의 RSOA를 채널 수 에 따라 간단히 증가 시키면 된다. 파장 특성에 민감하지 않은 광 반사형 증폭 변조기(RSOA) 를 사용함에 따라 colorless 한

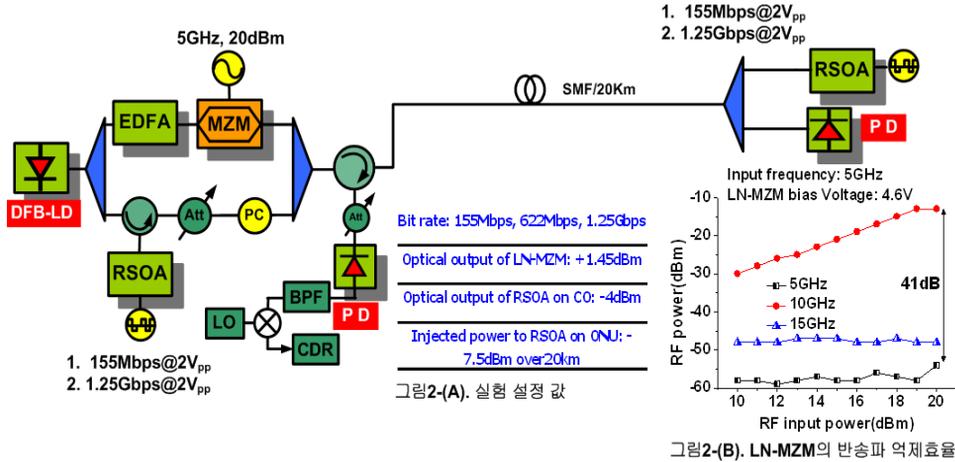


그림 2. 실험 구성도

ONU를 만들 수 있다. 또 그림 1에서 보는 것처럼 한 개의 LN-MZM을 사용할 경우 WDM에 사용되는 모든 파장에 대해 독립적으로 상향링크 광원들을 얻을 수 있게 된다.⁽⁴⁾ 이는 파장 별로 상향신호를 만들기 위해 LN-MZM을 각각 사용했을 때 보다 획기적으로 저렴한 WDM-PON구성을 할 수 있는 장점을 갖게 된다.

III. 실험 구성

그림 2는 제안된 구조를 토대로 구성한 실험 구성도이다. 한 채널의 광원으로는 C밴드 1550.12nm DFB-LD를 0 dBm으로 설정하고 사용을 하였다. 광원은 3 dB 광분배기로 상향신호를 위한 LN-MZM 부분과 하향링크를 위한 RSOA에 입력이 되어 진다. 위로 보내진 광원은 LN-MZM 입력이 되어 자기 전에 LN-MZM 외부변조기의 높은 삽입 손실과 상향신호용 광원에 크기를 고려해 20 dB의 이득을 가지는 광증폭기(EDFA)를 사용 하였다. 3 dB 광분배기 이후 아래로 보내진 또 다른 광원은 하향신호를 변조하는 RSOA에 입력이 되어지고 pattern pulse generator(PRBS 2²³-1)로 155 Mbps, 1.25 Gbps Vpp@2V 의해 광변조 되어 진다. 두 개가 합쳐진 후의 광파워는 -2 dBm이었다. 합쳐진 광원이 20Km 전송 되어진 후 다시 3 dB 광분배기로 나누어져 하나는 ONU에 있는 광 검출기(PD)에서 하향 신호를 검출하게 되고 나머지 하나는 ONU에 있는 RSOA에 입력되어져 상향신호용 데이터인 155 Mbps, 1.25 Gbps Vpp@2V 의해 재변조가 되

어 진다. 재변조된 광원은 다시 20 Km 재전송 되어 진다. 이때 광수신기에 수신된 광파워는 -14.35 dBm 이었다. 나머지 실험 설정 값은 그림2-(A)에 제시하였다. 반송파가 억제된 광원을 만들기 위해서 20 dBm의 5GHz RF신호를 LN-MZM의 V_π(6.5V) 지점에서 변조를 하였다. 이는 그림2-(B)를 보는 것과 같이 20 dBm의 5 GHz 성분은 인가 하였을 때, 5 GHz성분과 10 GHz 성분의 차이가 41 dB로 가장 큰 차이를 보여 반송파 억제 효율이 높았다.

IV. 실험 결과 및 고찰

이 구조는 기본적으로 하나의 광원을 둘로 나누고 다시 합치는 간섭계 구조이기 때문에 광 간섭 노이즈(optical beating interference noise)가 발생할 수 있다. 즉 CO에 있는 RSOA 출력광원과 MZM 출력 광원과의 OBI 노이즈가 LN-MZM에 인가된 주파수 대역에 생기게 된다. 그림3은 하향신호 RF 스펙트럼을 나타낸다. 그림3을 보면 5 GHz 주변에 노이즈가 생기는 것으로 확인할 수 있다. 이런 노이즈를 줄이기 위해서 광 편광 조절 장치(Polarization Controller)를 RSOA 뒷 단에 설치하고 두 광원의 편광을 직교하도록 설정하여 OBI 노이즈를 최소한으로 만들었다. OBI 노이즈를 최소한으로 만드는 방법으로 LN-MZM의 광 억제된 반송파 생성 효율이 중요하게 된다. 남아있는 광 억제 반송파와 하향 광원으로 인해서 기저대역에 OBI 노이즈가 생기는데 OBI노이즈의 크기는 간섭을 일으키는 두 광원의 크기가 증가함에 따라 비례적으로

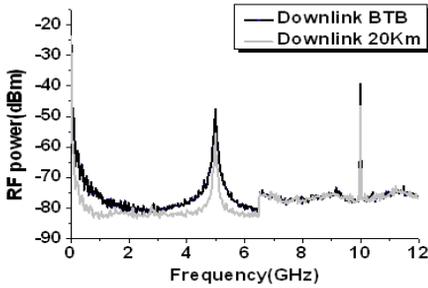


그림 3. 하향신호 BTB와 20 Km 전송 후 RF 스펙트럼

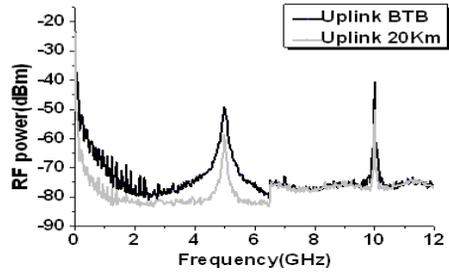


그림 5. 상향신호 BTB와 20 Km 전송 후 RF 스펙트럼

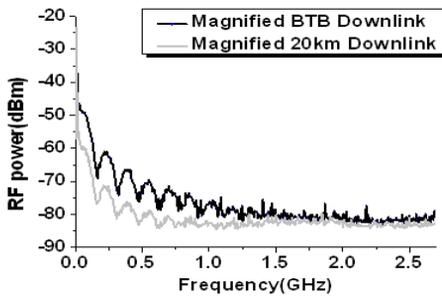


그림 4. 수신된 하향신호의 기저대역을 확대한 RF 스펙트럼

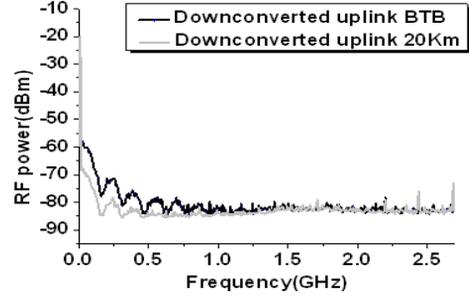


그림 6. Down-conversion된 상향신호 BTB, 20 Km 전송 신호

증가되기 때문이다. 무엇보다도 양방향 통신을 성공적으로 만들기 위해서는 상향전송을 위한 LN-MZM과 RSOA의 광파워의 비율을 효과적인 양방향 전송이 가능하도록 설정해주어야 한다. 만약 LN-MZM의 광출력이 RSOA의 광출력 비해 크다면 상향신호는 좋아질지는 모르나 하향신호의 질은 떨어지게 된다. 이와 반대로 RSOA의 광출력이 LN-MZM의 광출력보다 크다면 하향신호의 질은 좋아질지는 모르나 상향신호의 질은 떨어지게 된다.

그림 4는 하향신호 BTB, 20 Km 전송한 신호에서 기저대역을 확대한 것이다. 그림 5는 상향 신호가 BTB, 20 Km 전송 후 RF 스펙트럼을 보여준다. 이 그림에서 상향신호가 5 GHz의 두 배인 10 GHz에 실린 것을 볼 수 있다. 하향링크 신호는 기저대역 신호이기 때문에 별 다른 과정 없이 검출이 되지만 10 GHz 대역에 있는 상향신호는 RF mixer를 통해 down-conversion을 해주어야 된다. 그림 6은 10 GHz 대역에 있는 상향 신호를 기저대역으로 down-conversion RF 스펙트럼이다. 그림 7은 양방향 155 Mbps 링크 전송성능을 BTB 그리고 20 Km 전송한 것을 부호 비트 오류율(Bit Error Rate)로 나타내는 그림이다. 20 Km 전송 후에 측정된

BER은 하향신호는 수신감도($10^{-9} < BER$)는 -16 dBm 이고 상향신호는 -8 dBm 이고 BTB에서는 하향신호 -16 dBm 이고 상향신호는 -10 dBm으로 측정을 하였다. 하향 신호 BER은 BTB이나 20 Km 전송한 것이나 거의 차이가 없었다. 하지만 상향링크 전송성능 BER은 BTB와 20 Km 전송한 것이 2 dB 정도의 파워 페널티를 가지게 되었는데 이는 RSOA를 ONU에 사용함으로써 광원이 20 Km의 두 배인 40 Km의 경로를 겪게 되면서 생기는 광감쇄와 RSOA에서 생길 수 있는 동일 파장을 사용하게 됨으로써 생기는 역 산란 노이즈에 의해서 차이가 생겨 난 다고 할 수 있다. 그림 8은 양방향 기가급전송을 하였을 때 BER 곡선을 보여주고 있다. 양방향 1.25 Gbps를 변조 하였을 때, 하향 링크는 에러 없이 전송이 가능하였지만 상향 링크에서는 을 보면 수신파워가 -17 dBm이후에 BER곡선이 error floor 형태로 측정 된다는 것을 알 수 있다. 이는 10 GHz 대역에 실리 1.25 GHz의 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio)가 충분히 확보가 되지 않았기 때문이다. 신호의 스펙트럼의 크기는 155 Mbps 보다 1.25 Gbps이 작고 OBI 노이즈는 10 GHz 까지 널리 미치기 때문에 충분한 SNR을 확보

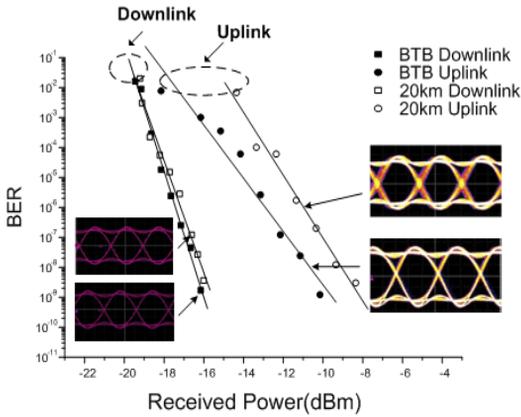


그림 7. BTB와 20 Km 전송 시 155Mbps 양방향 BER곡선

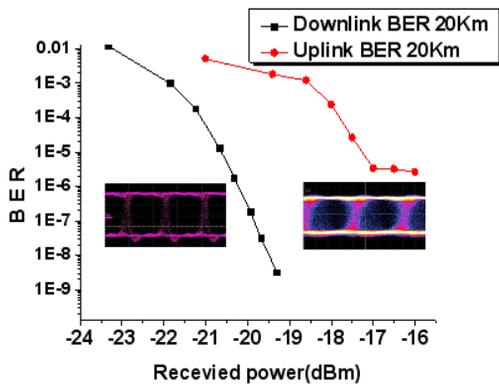


그림 8. 20 Km 전송 시 1.25Gbps 양방향 BER곡선

못한 것이 상향링크 20 Km 전송에서 -17 dBm 이후에 BER곡선이 Error floor 형태로 나오는 원인이다. 그럼으로써 기가급 양방향을 성공적으로 전송을 하기 위해서 신호의 스펙트럼 파워를 키우기 위한 연구와 더불어서 10 GHz 대역의 OBI 노이즈를 줄여 만족할 만한 SNR을 얻기 위한 연구를 추후에 연구 내용으로 남겨 두고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 마호젠터 모듈 레이터를 이용해서 광 억제 반송파를 중앙국(CO)에서 생성해 RSOA를 이용한 하향 링크 광원과 같이 전송함으로써 새로운 구조의 양방향 WDM-PON 구조를 제안하고 실험을 통해 그 성능을 측정을 하였다. 하나의 광 파장을 이용해 양방향 155 Mbps를 20 Km 전송 성공하였고 이에 수신감도는(10^{-9} < BER) BTB일 때

하향링크는 -16 dBm 그리고 상향 링크는 -8 dBm 을 얻었다. 본 연구는 향후의 차세대 양방향 기가급 WDM-PON 시스템 구현에 기본구조로써 역할을 기대해 본다.

참 고 문 헌

- [1] Olshansky R. et al., "subcarrier multiplexed lightwave system for broad-band distribution", *Journal of Lightwave Technology*, Vol.7, No.9 November 1989, pp.1329-1342.
- [2] Hiroki Takesue, Toshihiko Sugie, "Wavelength channel data rewrite using saturated SOA modulator for WDM networks with centralized light sources", *Journal of Lightwave Technology*, Vol.21, No.11, November 2003, pp.2564-2555.
- [3] Wooram Lee et al., "Bidirectional WDM-PON Based on Gain-Saturated Reflective Semiconductor Optical Amplifiers", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol.17, No.11, November, 2005, pp.2460-2462.
- [4] Jeung-Mo Kang, Sang-Kook Han, "A novel hybrid WDM/SCM-PON sharing wavelength for up-and down-link using reflective semiconductor optical amplifier", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol.18, No.3, February 2006, pp.502-504.
- [5] D. Penninckx, Ph. Delansay, E. Noucherez, C. Fortin and Le Gouezigou, "InP/GaInAsP Π -phase-shifted Mach-Zehnder modulator for wavelength-independent(1530nm-1560nm) propagation performance at 10Gbit/s transmission over standard dispersive fiber", *Electronics Letters*, Vol.33, No.8, April 1997, pp.687-698.

김 동 현 (Dong-Hyeon Kim)

정회원



2006년 2월 아주대학교 전자공 (학사)

2006년 3월~현재 연세대학교 전 기전자공학과 석사과정 재학 <관심분야> 광통신 시스템, Optoelectronics.

이 대 원 (Dae-Won Lee)

정회원



2003년 2월 해군 사관 학교 산업 공(학사)
2006년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정 재학
<관심분야> 광통신 시스템, RoF 링크 시스템

원 응 옥 (Young-Wuk Won)

정회원



1997년 2월 연세대학교 전파공학(공학사)
1999년 2월 동대학원(석사)
2002년 12월 삼성전자 광사업부 근무
2003년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정 재학

<관심분야> WDM/SCM-PON, WDM-PON

박 수 진 (Soo-Jin Park)

정회원



1983년 2월 서울대학교 금속 공학과 졸업
1985년 2월 한국과학기술원 재료공학과(석사)
1996년 8월 University of Texas at Austin 재료공학과(박사)
1985년~1988년 한국전기통신공사 품질보증단 근무

1996년~현재 KT 신사업부문 근무
<관심분야> 광통신 소자, 광통신망

한 상 국 (Sang-Kook Han)

정회원



1986년 2월 연세대학교 전자 공학과(공학사)
1988년12월 University of Florida 전자공학(석사)
1994년 8월 University Florida 전자공학(박사)
1994년~1996년 현대전자 시스템 IC 연구소 선임 연구원

1996년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
<관심분야> WDM optical transmission, Optoelectronics devices, Microwave Photonics, Optical access networks