

# 모의실험을 통한 역 RZ 부호로 코딩된 하향신호의 재변조를 이용한 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM 하이브리드 수동 광가입자 망의 성능분석

박 상 조\*

## Performance Analysis of 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM Hybrid Passive Optical Network with Inverse Return to Zero(RZ) coded Downstream and NRZ upstream re-modulation by Performing Simulation with MATLAB

SangJo Park \*

### 요 약

역 RZ 부호로 코딩된 하향신호의 재변조를 이용한 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM 하이브리드 PON 구조를 제안하고, 매트랩을 이용한 모의실험을 통하여 성능을 분석한다. 모의실험을 통하여 OLT와 ONU간 거리가 10km 이고 오차율이  $10^{-9}$ 일 경우 OLT에서의 광송신출력이 각각 -3.8, -0.9dBm이상이면 OLT에 있는 1개의 OLT가 각각 8, 16개의 ONU와 접속이 가능함을 알 수 있다. 제안된 WDM/TDM 하이브리드 PON 시스템은 일반적인 TDM PON에서 ONU 수에 비례하여 시분할로 다중된 상향채널의 속도가 증가하게 되어 가입자에서 송신하는 상향채널의 데이터 속도가 제한을 받을 수 있는 문제점을 해결할 수 있고, ONU에서 광원 및 OLT에서 광과장 제어회로를 제거 할 수 있어 비대칭 광가입자망에 유용한 방식임을 알 수 있다.

▶ Keywords : 수동광가입자망, 하이브리드, 역RZ 부호, 파장분할다중, 시분할다중, 재변조, 광선로 단국 장치, 광네트워크 유니트

Abstract

I propose the 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM hybrid Passive Optical Network(PON) with inverse RZ(Return to Zero) code coded downstream and NRZ(Non Return to Zero) upstream re-modulation and analyze its performance by performing simulation with MATLAB. The results have shown that an optical line termination (OLT) can be connected to 8, 16 optical network unit (ONU)s with the Bit Error Rate(BER) of  $10^{-9}$  when the distance between OLT and ONU is 10Km and transmitted optical powers are more than -3.8, -0.9dBm, respectively.

The proposed WDM/TDM hybrid PON system can solve the problem of data rate limit in upstream which happened in the conventional TDM PON because the upstream data rate is proportional to ONU and does not require a light source in ONU and its control circuits in OLT, thus can be a useful technology for asymmetric optical subscriber networks.

▶ Keywords : Passive Optical Network, Hybrid, Inverse return-to-Zero code, WDM, TDM, Re-modulation, Optical Line Termination, Optical Network Unit

1. 서론

현대의 가입자 망은 다양한 서비스 즉 전화, 고화질 주문형 비디오, 고속 데이터 등의 대화형 멀티 미디어의 요구와 대역폭의 증가수요 때문에 초고속 광대역 전송망이 도입되고 있다[1]-[5]. FTTH(Fiber To The Home)과 같은 광전송 장치가 전송특성을 향상시키기 위해 가입자 망에 도입되고 있다. 초고속 광가입자망은 크게 능동 광가입자망(AON:Active Optical Network)과 수동 광가입자망(PON:Passive Optical Network)으로 나눌 수 있고, 광분기기에 의한 수동 광가입자 망(PON:Passive Optical Network)이 단순한 망구조와 정보의 유연한 공유 구조를 제공하기 때문에 경제적인 가입자 망 구조로 인식되고 있다 [6]-[8].

PON 기반의 초고속 광가입자망은 크게 시분할 다중(TDM:Time Division Multiplexing), 파장분할 다중(WDM:Wavelength Division Multiplexing)으로 나뉘어진다. TDM PON은 (그림 1)과 같이 여러 개의 광네트워크 유니트(ONU:Optical Network Unit)가 광분기기(Splitter)를 통하여 1개의 광선로 단국장치 (OLT:Optical Line Termination)에 접속되어 있다. TDM PON은 ONU가 1개의 파장을 공유하는 구조이기 때문에, 상향채널에서 각각의 ONU가 시간적으로 다중되기 위하여 정확한 동기화, 복잡한 MAC(Media Access Control)제어가 필요하며, 상향

채널의 속도는 가입자 수만큼 증가하게 된다 [9][10].

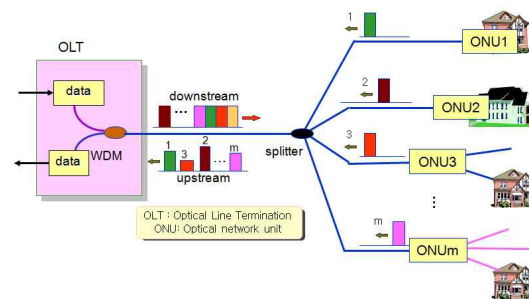
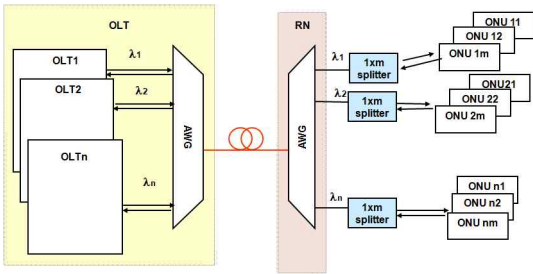


그림 1. 시분할 다중 기반의 수동 광가입자 망  
Fig. 1. TDM based Passive Optical Network(PON)

WDM PON은 OLT와 ONU간 상향채널에 AWG(Arrayed Waveguide Grating)를 이용하여 특정파장을 할당해주는 구조를 가지는 방식이다 [11]-[14]. 일반적인 WDM PON에서 쌍방향 신호의 송수신용으로 특정 광파장을 할당하기 위하여 광파장을 제어할 수 있는 별도의 광원이 OLT와 ONU에 필요하며, OLT와 ONU간 파장의 할당이 점대점(point to point)구조로 ONU 수에 비례하여 같은 수의 OLT가 존재하며, (그림 2)는 일반적인 WDM PON의 구조를 보여 주고 있다.

그림 2 파장분할 다중 기반의 수동 광가입자 망



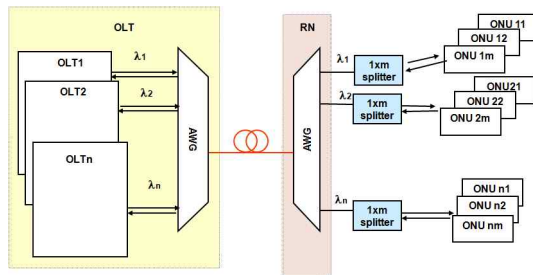
OLT: optical line termination, RN: remote node, ONU: optical network unit  
Fig. 2. WDM based Passive Optical Network(PON)

TDM PON 방식은 ONU의 수가 증가할 경우 ONU 수에 비례하여 시분할로 다중된 상향채널의 속도가 증가함으로, 가입자에서 송신하는 상향채널의 데이터 속도가 제한을 받을 수 있는 문제점이 있다 [9][10]. WDM PON 방식은 ONU의 수가 증가할 경우 OLT에서 고성능 광파장 다중 및 역다중 장치의 증가에 의한 경제성이 저하될 수 있다[15]~[19]. 따라서 WDM/SCM(Subcarrier Modulation), WDM/TDM 하이브리드 PON구조의 연구도 수행되고 있다[11]~[14]. 그리고 WDM PON 방식은 ONU에 TDM PON에 사용되는 광원에 비해 중심파장이 안정되고 제어가 가능한 광원이 필요하다. ONU에 별도의 광원장치가 불필요한 방식으로 ONU의 단가를 낮추고 기능을 단순화시키기 위하여 OLT에서 역 RZ(Return-to-Zero) 부호 또는 맨체스터 부호로 코딩하여 송신한 하향신호를 ONU에서 재변조하여 상향신호로 사용하는 방식의 연구가 국내외에서 수행되고 있다 [15]~[19]. 특히 참고문헌[16][17]은 역 RZ부호로 코딩하여 송신한 하향신호를 ONU에서 재변조하여 상향신호로 사용하는 WDM PON 방식으로 (그림 2)와 같이 OLT와 ONU간 파장의 할당이 점대점(point to point)구조로 ONU 수에 비례하여 같은 수의 OLT를 필요로 하기 때문에 경제성이 저하될 수 있다.

본 논문에서는 WDM PON 과 TDM PON 방식의 문제점을 해결하기 위하여 OLT에서 역 RZ 부호로 코딩하여 송신한 하향신호를 ONU에서 재변조하여 광신호로 송신하기 때문에 ONU에 광송신기가 불필요하고, ONU 수에 비례하여 같은 수의 광파장 다중 및 역다중장치를 OLT에 설치하지 않기 위하여 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM 하이브리드 PON을 제안하고, 매트랩을 이용한 모의실험을 통하여 성능을 분석하고자 한다.

## II. 제안된 역 RZ 부호로 코딩된 하향신호의 재변조를 이용한 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM PON 구조

기존의 WDM PON과 TDM PON시스템의 문제점 해결하기 위하여 역 RZ 부호로 코딩된 하향신호의 재변조를 이용한 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM PON 구조를 (그림 3)에서 보여 주고 있다.



OLT: optical line termination, RN: remote node, ONU: optical network unit

그림 3. 제안된 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM PON 구조  
Fig. 3. Proposed 10Gbps/2.5Gbps WDM/TDM passive optical network

모든 ONU가 1개의 OLT에 접속되어 있는 기존의 TDM PON 방식은 시분할로 다중된 상향채널의 속도가 증가로 가입자에서 송신하는 상향채널의 데이터 속도가 제한을 받을 수 있기 때문에 AWG를 사용하여 WDM 기능을 추가하여 WDM/TDM 하이브리드 형태로 제안되었다. m개의 ONU가 광분기기를 통하여 OLT에 접속되어 TDM방식으로 데이터를 송수신하게 된다[20][21]. ONU에는 별도의 광원장치가 불필요한 방식으로 ONU의 단가를 낮추고 기능을 단순화시키기 위하여 OLT에서 역 RZ(Return-to-Zero) 부호로 코딩하여 송신한 하향신호를 ONU에서 재변조하여 OLT 방향의 상향신호로 사용하는 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM PON의 구성도는 (그림 4)와 같다. OLT와 ONU간 상향 및 하향 채널은 동일 파장을 사용하며 서큘레이터(Circulator)를 통하여 접속되어 있다.

OLT에서 5Gbps의 하향 NRZ 신호는 (그림 5)의 역 RZ(IRZ: Inverse Return to Zero) 부호기에 의하여 역 RZ 부호로 변조된다. 이중 포트 마하젠더 간섭계(DMZI: Dual port Mach Zehnder Interferometric intensity modulator)에서 하향 NRZ 데이터가 '0'과 '1'이면

역 RZ 부호는 각각 '11'과 '01'로 각각 변조된다. 역 RZ 부호로 변조된 하향신호는 ONU에 있는 포토 다이오드 (PD:Photo Diode)에서 검파되며, 광분기에서 분기된 역 RZ 신호는 상향신호의 광원으로 사용된다. 즉 상향 NRZ 데이터가 '0'이면 신호가 없으며, '1'이면 역 RZ 부호인 하향신호가 상향신호로 재사용된다 [17].

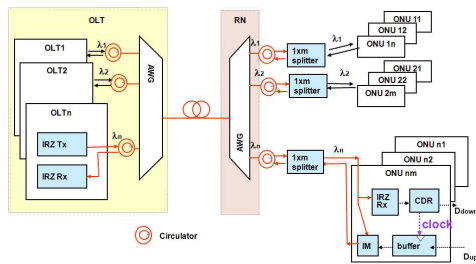


그림 4. 하향 역 RZ 부호의 재변조를 이용한 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM PON 구성도  
 Fig. 4. Block diagram of 10Gbps/2.5Gbps WDM/TDM passive optical network with inverse RZ coded downstream and upstream re-modulation

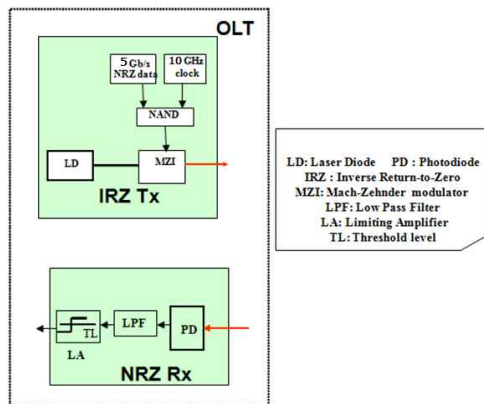


그림 5. OLT에 있는 역 RZ부호 생성기 및 수신단 구성도  
 Fig. 5. Block diagram of IRZ generator and receiver in OLT

역 RZ 부호로 코딩된 하향신호로 재변조한 상향신호는 OLT에 있는 광수신기에 의해 데이터와 클럭이 검파된다. 광수신기는 포토 다이오드(PDPD:Photo Diode), 저대역필터(LPF: Low Pass Filter), 리미팅 증폭기(LA: Limiting Amplifier)등으로 구성된다. 리미팅 증폭기에서 임계치(TL: Threshold level)를 오차율이 최소가 되도록 최적으로 제어한다[17].

### III. 제안된 WDM/TDM PON 구조에서의 광손실 및 평균 오차율

다이오드는 PIN(Positive Intrinsic Negative) 다이오드를 사용하고, 잡음성분은 정규랜덤변수이고 정규분포함수라고 가정한다. 상향 데이터가 '0'과 '1'이 될 확률을 각각 0.5로 가정하면 판정기에서 평균 오차율(BER:Bit Error Rate)은 다음과 같이 표시할 수가 있다 [22].

$$BER = \frac{1}{2}[P(1/0) + P(0/1)] \tag{1}$$

여기서  $P(1/0)$ 과  $P(0/1)$ 은 각각 데이터'0'과 '1'을 보낼 때 오차가 발생할 확률을 나타낸다.

상향 데이터'0'을 보낼 때 OLT에 있는 리미팅 증폭기의 출력단에서 오차가 발생할 확률을 다음과 같이 나타낸다.

$$P(1/0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{I_D - I_0}{\sigma_0 \sqrt{2}} \right) \tag{2}$$

여기서  $I_0$ ,  $I_D$ 과  $\sigma_0$ 는 각각 데이터가'0'일 때 전류, 임계치 제어기에서의 임계전류와 잡음전류의 표준편차이고  $I_0 = 0$ 이다. 잡음전류는 암전류를 무시하면 [22] 산탄잡음 (shot Noise),  $\sigma_{shot}^2$ 와 열잡음,  $\sigma_{th}^2$ 으로 구성되며, 각각 다음과 같다.

$$\sigma_{shot}^2 = 2e\alpha P_r \Delta f \tag{3}$$

$$\sigma_{th}^2 = \frac{4k_B T}{R_L} \Delta f \tag{4}$$

여기서  $e, \alpha, P_r, \Delta f, k_B, T$ 과  $R_L$ 는 각각 전하, PD의 광전 변환률, 수신광전력, 수신기 밴드폭, 볼츠만상수, 절대온도, 그리고 부하저항을 나타낸다.

그리고 데이터가'0'과 '1'일 때 잡음전류의 표준편차,  $\sigma_0$ 과  $\sigma_1$ 는 각각 다음과 같다 [15].

$$\sigma_0 = \sigma_{th} \tag{5}$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_{th}^2 + \sigma_{shot}^2} \quad (6)$$

상향 데이터로 '0'을 보낼 때 오차가 발생할 확률을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(1/0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{\alpha P_{r\_av} I_{th} - I_0}{\sigma_{th} \sqrt{2}} \right) \quad (7)$$

여기서  $I_{th}$ 는 정규화된 임계전류치이고,  $P_{r\_av}$ 는 OLT의 리미팅 증폭기의 출력단에서의 평균 수신전력이고,  $I_0 = 0$ 이다.

OLT에 있는 리미팅 증폭기의 출력단에서의 평균 수신전력,  $P_{r\_av}$ 은 다음과 같다.

$$P_{r\_av} = cP_t - P_{loss} \quad (8)$$

여기서  $P_t$ 는 OLT에서 송신 광전력이고,  $c$ 는 역 RZ부호를 재사용하고 상하향 데이터 속도비가 4:1일 경우의 평균치 [17],  $P_{loss}$ 는 OLT와 ONU간 광손실을 나타낸다.

상향 데이터로 '1'을 보낼 때 오차가 발생할 확률,  $P(0/1)$ 은 평균 수신전력,  $P_{r\_av}$ 을 고려하면 상하향 데이터 속도비가 4:1인 경우의 참고문헌[17]에서 구할 수 있다.

#### IV. 모의 실험을 통한 성능분석

역 RZ 부호로 코딩된 하향신호의 재변조를 이용한 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM 수동광가입자망을 제안하고, (표 1)의 상수를 적용하고 매트랩을 이용한 모의실험을 통하여 성능을 분석한다[23].

OLT에서 NRZ 데이터를 역 RZ부호로 코딩하여 송신한 하향신호는 AWG와 광분기기(Splitter)에 의하여 ONU에 전송되며, ONU에서 하향신호로 상향 NRZ데이터를 재변조하여 OLT에 송신하여 (그림 5)의 광수신단에서 임계치를 변화시키면서 평균오차율이 최소가 되도록 설정한다. (표 1)에 사용한 삽입손실은 4개 2dB를 적용하고, 그 외 광손실은 무시한다. 수신기 밴드폭은 상향 데이터속도의 50 ~70%에서 설정하는데 본 모의실험에서는 100%를 적용하여 더 나쁜 조건에서 수행하였다.

(그림 6)은 OLT에서 광송신출력이 -3dBm이고 OLT와 ONU간 거리가 5km이고 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8일 때, OLT 수신단에서 정규화된 임계치와 오차율과의 관계를 보여 주고 있다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 상수  
Table 1 Parameters used in simulation

PD 광전 변환률 $\alpha$	0.8A/W
수신단부하저항 $R_L$	50 $\Omega$
잡음온도 $T$	300 K
수신기 밴드폭 $\Delta f$	100% x 1.25GHz
광섬유손실	0.3dB/km
1:n 광분기기 손실	-10log <sub>10</sub> n dB
삽입손실	0.5dB

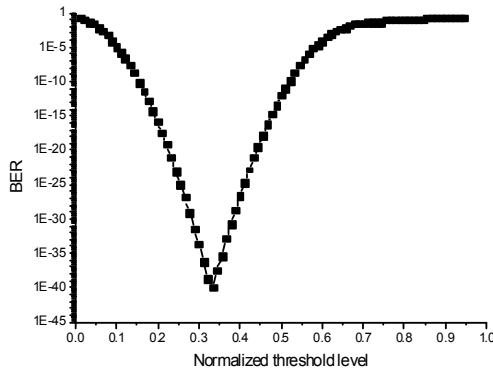


그림 6 OLT 수신단에서 정규화된 임계치와 오차율과의 관계(광송신출력이 -3dBm, OLT와 ONU간 거리가 5km, ONU의 수가 8)

Fig. 6. Relationship between the BER and the normalized threshold level (Pt is -4dBm, distance between OLT and ONU is 5km, number of ONU is 8)

일반 광수신기에서 오차율이 최소가 되는 최적 임계치는 0.5이지만 역RZ부호를 재변조하여 상향신호로 사용하는 경우 최적 임계치는 0.33 근방에서 설정되어 진다.

(그림 7)은 OLT에서 광송신출력이 -3.4dBm이고 OLT와 ONU간 거리가 5, 10km일 때, 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수와 OLT 수신단에서의 광수신전력과의 관계를 보여 주고 있다. 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8개

에서 16개로 증가하면 OLT 수신단에서의 광수신전력은 광 분기손실때문에 약 3dB정도 감소하게 된다.

OLT와 ONU간 거리가 5km에서 10km로, 상하향 총거리가 10km 증가할 경우 OLT 수신단에서의 광수신전력은 3dB 감소하게 된다.

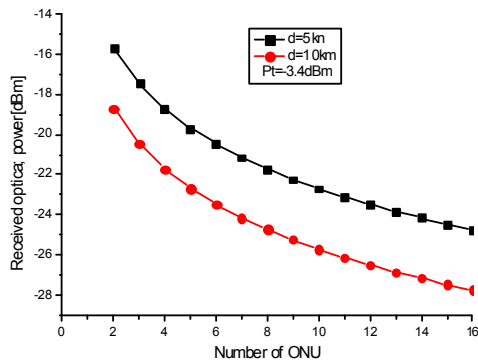


그림 7 ONU의 수와 OLT 광수신전력과의 관계(광송신출력이 -3.4dBm, OLT와 ONU간 거리가 5, 10km)  
 Fig. 7. Relationship between the number of ONU and the received optical power in OLT (Pt is -3.4dBm, distances between OLT and ONU are 5, 10km)

(그림 8)은 OLT에서 광송신출력이 -2.98dBm이고 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8개일 경우 OLT와 ONU간 거리와 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계를 보여 주고 있다.

OLT 광수신단에서의 오차율과 광수신전력은 OLT와 ONU간 거리가 증가할수록 감소하게 된다. 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8개이고 광송신출력이 -2.98dBm일 때 OLT와 ONU간 거리가 10km이면 OLT 광수신단에서의 오차율과 광수신전력은 각각  $6.610^{-13}$ , -24.27dBm이다. 광송신출력이 -2.98dBm일 때 OLT와 ONU간 거리가 10km이상 증가할 경우 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-11}$ 이하로 감소하는 것을 알 수 있다.

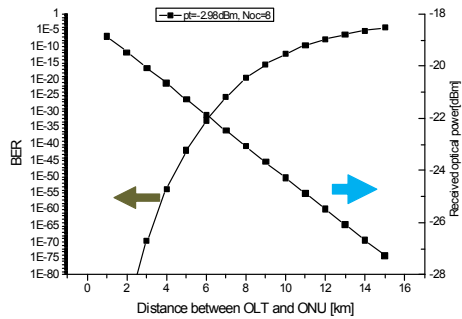


그림 8 OLT와 ONU간 거리와 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계(광송신출력이 -2.98dBm, ONU의 수가 8개)  
 Fig. 8. Relationship among the number of ONU , the BER and the received optical power in OLT (Pt is -2.98dBm, number of ONU is 8)

(그림 9)는 OLT에서 광송신출력이 0.5dBm이고 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 16개일 경우 OLT와 ONU간 거리와 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계를 보여 주고 있다.

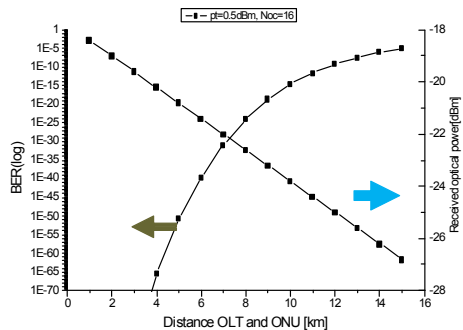


그림 9 OLT와 ONU간 거리와 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계(광송신출력이 0.5dBm, ONU의 수가 16개)  
 Fig. 9. Relationship among the number of ONU , the BER and the received optical power in OLT (Pt is -0.5dBm, number of ONU is 16)

광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 16개이고 광송신출력이 0.5dBm일 때 OLT와 ONU간 거리가 10km이면 OLT 광수신단에서의 오차율과 광수신전력은 각각  $2.710^{-11}$ , -24.4dBm이다. 광송신출력이 0.5dBm일 때 OLT와 ONU간 거리가 12km이상 증가할 경우 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-11}$ 이하로 감소하는 것을 알 수 있다.

(그림 10)은 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8,

16개이고, OLT와 ONU간 거리가 5km인 경우 광송신전력과 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계를 보여 주고 있다.

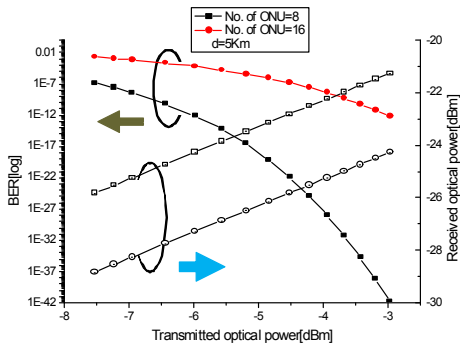


그림 10 광송신전력과 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계(ONU의 수가 8, 16개, OLT와 ONU간 거리가 5km)  
 Fig. 10. Relationship among the transmitted optical power, the BER and the received optical power in OLT ( distance between OLT and ONU is 5km, numbers of ONU are 8, 16)

광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8개인 경우 OLT에서의 광송신출력이 -6.4dBm이상이면 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-11}$ 이하인 것을 알 수 있다. 한편 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 16개인 경우 OLT에서의 광송신출력이 -3.4dBm이상이면 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-11}$ 이하가 됨을 알 수 있다.

(그림 11)은 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8, 16개이고, OLT와 ONU간 거리가 10km인 경우 광송신전력과 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계를 보여 주고 있다.

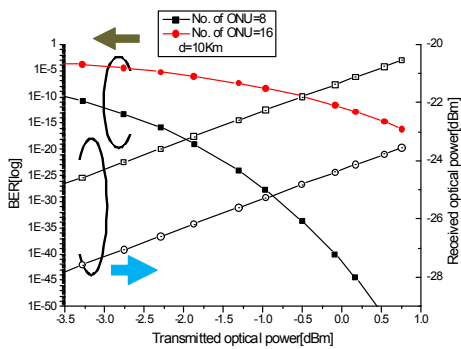


그림 11 광송신전력과 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계(ONU의 수가 8, 16개, OLT와 ONU간 거리가 10km)  
 Fig. 11. Relationship among the transmitted optical power,

the BER and the received optical power in OLT (distance between OLT and ONU is 10km, numbers of ONU are 8, 16)  
 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8개인 경우 OLT에서의 광송신출력이 -3.2dBm이상이면 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-11}$ 이하인 것을 알 수 있다. 한편 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 16개인 경우 OLT에서의 광송신출력이 -0.2dBm이상이면 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-11}$ 이하가 됨을 알 수 있다.

(그림 12)는 OLT와 ONU간 거리가 5, 10km이고, 광송신전력이 -3.4dBm인 경우 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수와 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계를 보여 주고 있다.

광송신전력이 -3.4dBm인 경우 OLT와 ONU간 거리가 10km이면, 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 8개까지 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-11}$ 이하로 설정될 수 있음을 알 수 있다. 그리고 OLT와 ONU간 거리가 5km이면, 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수가 16개까지 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-11}$ 이하로 설정될 수 있음을 알 수 있다. 그리고

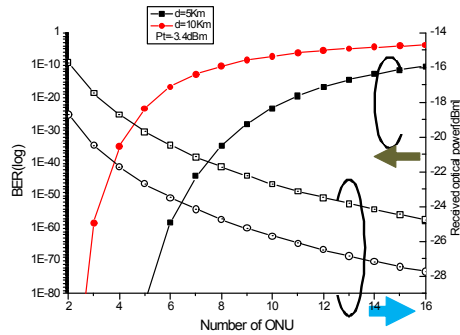


그림 12 광분기기에 접속되어 있는 ONU의 수와 OLT 광수신단에서의 오차율 및 광수신전력과의 관계(OLT와 ONU간 거리가 5, 10km이고, 광송신전력이 -3.4dBm)  
 Fig. 12. Relationship among the numbers of ONU, the BER and the received optical power in OLT (Pt is -3.4dBm, distances between OLT and ONU are 5, 10km)

(그림 13)은 OLT와 ONU간 거리가 5km이고 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ 인 경우 광송신전력과 광분기기에 접속가능한 ONU의 수와의 관계를 보여 주고 있다.

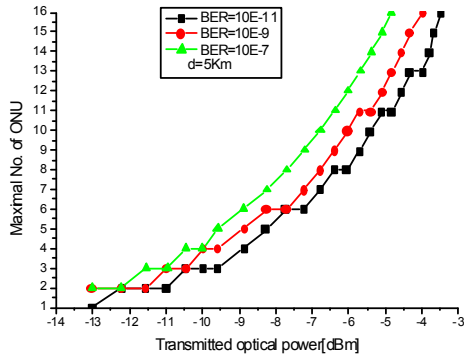


그림 13 광송신전력과 광분기기에 접속가능한 ONU의 수와의 관계(OLT와 ONU간 거리가 5km, 오차율이  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ )  
 Fig. 13. Relationship between the transmitted optical power and the maximal number of ONU(BERs are  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ , distance between OLT and ONU is 5km)

OLT와 ONU간 거리가 5km이고 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ 인 경우 광분기기에 접속가능한 ONU의 수가 8개가 될려면 OLT의 광송신전력은 각각 -7.6, -6.7, -6.3dBm이상 설정되어야 함을 알 수 있다. 그리고 광분기기에 접속가능한 ONU의 수가 16개가 될려면 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ 인 경우 OLT의 광송신전력은 각각 -4.8, -3.9, -3.4dBm이상 설정되어야 함을 알 수 있다.

(그림 14)는 OLT와 ONU간 거리가 10km이고 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ 인 경우 광송신전력과 광분기기에 접속가능한 ONU의 수와의 관계를 보여 주고 있다.

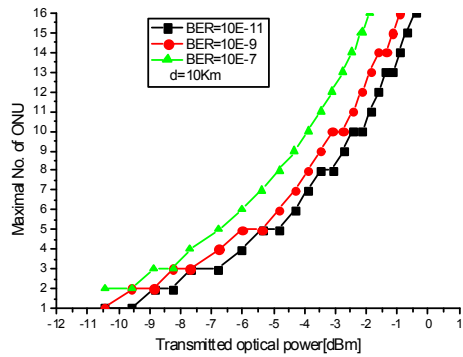


그림 14 광송신전력과 광분기기에 접속가능한 ONU의 수와의 관계(OLT와 ONU간 거리가 10km, 오차율이  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ )  
 Fig. 14. Relationship between the transmitted optical power and the maximal number of ONU(BERs are  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ , distance between OLT and ONU is 10km)

OLT와 ONU간 거리가 10km이고 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ 인 경우 광분기기에 접속가능한 ONU의 수가 8개가 될려면 OLT의 광송신전력은 각각 -4.8, -3.8 -3.4dBm이상 설정되어야 함을 알 수 있다. 그리고 광분기기에 접속가능한 ONU의 수가 16개가 될려면 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-11}$ 인 경우 OLT의 광송신전력은 각각 -1.8, -0.9, -0.4dBm이상 설정되어야 함을 알 수 있다.

### V. 결론

WDM PON과 TDM PON의 문제점 해결하기 위하여 역 RZ 부호로 코딩된 하향신호의 재변조를 이용한 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM 하이브리드 PON 구조를 제안 하고, 매트랩을 이용한 모의실험을 통하여 성능을 분석하였다.

OLT와 ONU간 거리가 5km인 경우 OLT에서의 광송신출력이 각각 -6.7, -3.9dBm이상이면 OLT에 있는 1개의 광파장 다중 및 역다중장치가 각각 8, 16개의 ONU와 접속이 가능하며 OLT 광수신단에서의 오차율이  $10^{-9}$ 가 확보됨을 알 수 있었다. 그리고 OLT와 ONU간 거리가 10km인 경우 OLT에서의 광송신출력이 각각 -3.8, -0.9dBm이상이면 1개의 OLT가 각각 8, 16개의 ONU와 접속이 가능함을 알 수 있었다.

역 RZ 부호로 코딩하여 송신한 하향신호를 ONU에서 재 변조하여 광신호로 송신하는 WDM/TDM 하이브리드 PON



이기 때문에 WDM PON과 비교하여 ONU에서 광원 및 OLT에서 광과장 제어회로가 불필요하게 된다. 그리고 제안 시스템에서는 광분기기에 ONU의 수를 8개 또는 16개로 접속할 경우 TDM PON에서 ONU 수에 비례하여 시분할로 다중된 상향채널의 속도가 증가하게 되어 가입자에서 송신하는 상향채널의 데이터 속도가 제한을 받을 수 있는 문제점을 해결할 수 있음을 알 수 있었다.

따라서 역 RZ 부호로 코딩된 하향신호의 재변조를 이용한 5Gbps/1.25Gbps WDM/TDM 하이브리드 PON 구조를 수동 광가입자 망에 적용할 경우 비대칭 쌍방향 데이터 전송에 유용한 방식을 알 수 있었다.

[감사의 글]

광분기기와 관련하여 많은 토의와 조언을 해준 한국전자통신연구원의 김봉규박사께 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] ITU-T Recommendation G.983.1, Broadband optical access systems based on PON, Oct. 1998.
- [2] M. D. Prycker, W. Verbiest and D. Mestdagh, "ATM passive optical networks: preparing the access network for BISDN", Proc. of ISS, pp.380-384, Oct. 1992.
- [3] T. Pfeiffer, B. Deppisch, M. Kaiser and R. Heidemann, "High speed optical network for asynchronous multiuser access applying periodic spectral coding of broadband sources", Electronics Letters, vol.33, no.25, pp.2141-2142, Dec. 1997.
- [4] J. Prat, V. Polo, C. Bock, C. Arellano, and J. J. V. Olmos, "Full-duplex single fiber transmission using FSK downstream and IM remote upstream modulators for fiber-to-the-home", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 17, no. 3, pp.702-704, Mar. 2005.
- [5] F. T. An et al., "Evolution, challenges and enabling technologies for future WDM-based optical networks", in Proc. of Joint Conf. on Information Sciences (JCIS 2003), Sept. 2003.
- [6] Soo-Jin Park, et. al, "Fiber-to-the-Home Services Based on Wavelength-Division-Multiplexing Passive Optical Network", IEEE J. Lightwave Technol, vol. 22, no. 11, Nov., 2004.
- [7] J. Lee, "Bandwidth requirements of FTTH for high speed communication and digital TV ", Journal of Korea Information and Communications Society, vol.29, no.12B , pp.1013-1021, 2004.
- [8] N. J. Frigo, P. P. Iannone, P. D. Magill, T. E. Darcie, M. M. Downs, B. N. Desai, U. Koren, T. L. Koch, C. Dragone, H. M. Presby, and G. E. Bodeep, "A wavelength-division multiplexed passive optical network with cost-shared component", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, no. 11, pp.1365-1367, Nov. 1994.
- [9] J. Chung, J. Park and Y. Park, "Improvement of TDM-PON Upstream Bandwidth Utilization Adopting Two Wavelengths", pp.10-11, Proceedings of Optoelec. and Comm. Conf., 2007.
- [10] J. Chung, J. Park, et al., "Improvement of Upstream Bandwidth Utilization Using Two-Upstream-Wavelengths TDM-PON System ", Journal of Korea Information and Communications Society, vol.33, no.8 , pp.609-614, Aug. 2008.
- [11] S. Narikawa, H. Sanjoh, N. Sakurai, and K. Kumozaki, "Gbit-class transmission using SOA data rewriter for WDM-PON", IEICE Trans. Commun., vol.E91-B, no. 2, pp.399-408, Feb. 2008.
- [12] W. Hung, et al., "An optical network unit for WDM access networks with downstream DPSK and upstream re-modulated OOK data using injection-locked FP laser", IEEE Photonics Technol. Lett., 15,(10),pp.1476-1478 2003.
- [13] N. Deng, et al., "Data remodulation on downstream OFSK signal for upstream transmission in WDM passive optical network", Electron. Lett., 39,(24), pp1741-1743 2003.
- [14] O. Akanbi, J. Yu, and G.-K. Chang, "A new scheme for bidirectional WDM-PON using upstream and downstream channels generated by optical carrier suppression and separation technique", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 18, no. 2, pp.340-342, Jan. 2006.
- [12] Y. Jeon, et al., "Overcoming OBI Problem by Means of Heterodyne Detection in Upstream

- Transmission of WDM/SCM-PON", Journal of Korea Information and Communications Society, vol.35, no.2A, pp.202-208, 2011.
- [13] Fu-Tai An, Kyeong Soo Kim, David Gutierrez, Scott Yam, Eric Hu, Kapil Shrikhande, Leonid G. Kazovsky, 'SUCCESS: A Next-Generation Hybrid WDM/TDM Optical Access Network Architecture', IEEE/OSA JLT, Vol. 22, No. 11, pp. 2557-2569, Nov., 2004.
- [14] J. Kim, et al., " Wavelength Integration Transmission Method for Hybrid-PON ", Journal of Korea Information and Communications Society, vol.34, no.11B, pp.1207-1215, 2009.
- [15] B. K. Kim, H. Park, S. Park, and K. Kim, "Optical access network scheme with downstream Manchester coding and upstream NRZ re-modulation", Electron. Lett., vol.42, no.8, pp.484-485, Apr. 2006.
- [16] S. J. Park, "Improvement of Received Optical Power Sensitivity in Asymmetric 2.5Gbps/1.2Gbps Passive Optical Network with Inverse Return to Zero(RZ) coded Downstream and NRZ upstream re-modulation", Journal of KSCI, vol. 15, no. 3, pp.65-72, March 2010.
- [17] S. J. Park and B. K. Kim, "Performance Analysis for Optimizing Threshold Level Control of a Receiver in Asymmetric Optical Subscriber Network with Inverse Return to Zero (RZ) Coded Re-modulation Scheme ", Telecommunications Review, vol. 21, No 1, pp. 118-131, Feb. 2011.
- [18] G.-W., Lu, et al.: 'Use of down stream inverse-RZ signal for upstream data re-modulation in a WDM passive optical network', OFC'05, Anaheim, CA, USA, 2005, OFI8.
- [19] H. Chung, B. K. Kim, and K. Kim, "Effects of upstream bit rate on a wavelength-remodulated WDM-PON based on Manchester or Inverse-Return-to-Zero coding", ETRI Journal, vol.30, no.2, pp.255-260, Apr. 2008.
- [20] J. J. Koponen and M. J. Soderlund, "A duplex WDM passive optical network with 1:16 power split using reflective SOA remodulator at ONU," in Proc. Opt. Fiber Commun. (OFC 2004), Vol. 1, Paper MF 99, Feb. 2004.
- [21] S.W. Kim et al., "Development of 1x16 thermo-optic MZI switch using multimode interface coupler, Journal of the Optical Society Korea, vol. 7, no. 5, pp.469-474, Oct. 2006.
- [22] G. P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems", 2nd ed., (John Wiley & Sons, Inc., 1997), pp. 170-173.
- [23] J. G. Proakis and M. Salehi, Contemporary communication systems using MATLAB, Thomson learning, 1998.

## 저자 소개



### 박 상 조

1983년 : 서울대학교 제어계측공학과 (학사)

1985년 : 서울대학교 대학원 제어계측공학과(공학석사)

1999년 : 일본 오사카대학 통신공학 (공학박사)

1984년~1991 : 삼성전자 종합연구소 선임연구원

1995년~1996년 : 오사카대학 연구생

1992년~2000년 : 한국전자통신연구원 선임연구원

2003년~2006년 : 한국전자통신연구원 초빙책임연구원

2007년 : 캐나다 University of Victoria 객원교수

2000년~현재 : 서원대학교 정보통신공학과 교수

관심분야 : 광무선 액세스 네트워크, 광 CDMA 방식, 센서네트워크

E-mail : parks@seowon.ac.kr