

단일 모드 광섬유와 다중 모드 광섬유 혼합 라인으로 구성된 FTTx 시스템의 전송 성능 평가

준회원 박승현*, 정회원 김경헌**, 이일항*

Transmission Performance Evaluation of Hybrid Lines Composed of SMF and MMF for FTTx Systems

Seung Hyeon Park* *Associate Member*, Kyong Hon Kim**, El Hang Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문은 채널을 파장별로 할당하는 방식인 WDM-PON을 각각의 채널당 단일광원을 사용하는 방식을 이용하여 기가비트 전송이 가능한 GPON 표준에 맞춰 단일 모드 광섬유와 다중 모드 광섬유로 혼합 구성된 망을 제안하고, 제안된 시스템의 전송 특성을 실험을 통해 고찰하였다. 본 시스템은 고속의 하향전송을 위해 직접변조가 가능한 DFB-LD를 사용하였고, 상향전송을 위해서는 저가의 ONU구성을 위해 SFP 타입의 Transceiver모듈을 사용하였다. 광 선로구간에서의 파장다중화를 위해서 채널 결합 및 분기기능을 갖는 MUX/DEMUX를 이용하였으며, SMF로 이루어진 WDM-PON망의 ONU단에 추가로 1km이내의 MMF를 연결시켜 두 라인을 혼합시킨 시스템을 구성하였다. 시스템의 타당성을 입증하기 위해 ITU-T G.984.2에서 권고하는 하향 2.5 Gbit/s, 1.25 Gbit/s, 상향 1.25 Gbit/s, 622 Mbit/s 속도의 전송실험을 하였으며, 표준안을 근거로 비교분석하여 상·하향 전송에서 적합성과 여유도를 확인하였다.

Key Words : FTTH, WDM-PON, SMF, MMF, DFB-LD

ABSTRACT

This paper proposes a hybrid optical lines composed of single-mode fiber(SMF) and multi-mode fiber(MMF) for gigabit-capable Passive Optical Network(GPON) using a WDM method with a single light source per each channel, and reports the results of transmission performance the proposed lines. The transmission link uses a direct modulated DFB-LD for high speed downstreams at the optical line terminal(OLT) of central office(CO) and a low cost SFP type transceiver for low-speed upstream in optical network unit(ONU). To split or combine the transmission channels, wavelength MUX/DEMUX are used in the optical line section, and MMFs not longer than 1 km are attached to the SMF lines at the ONU side of the WDM-PON links. We have performed the transmission experiment on the downstream of 2.5 Gbit/s, and 1.25 Gbit/s, and the upstream of 1.25 Gbit/s, and 622 Mbit/s which are recommended by ITU-T G.984.2. The transmission margin and feasibility of the proposed links have been tested to be suitable up to 2.5 Gbit/s transmission.

* 인하대학교 정보통신대학원 통신네트워크 연구실(pshtech@korea.com), ** 인하대학교 물리학과
논문번호 : KICS2005-05-211, 접수일자 : 2005년 5월 24일

※본 연구는 한국과학재단의 집적형광자기술연구센터 지원사업(R11-2003-022)과 산업자원부 표준화기술개발사업(과제번호 10016905)의 지원으로 수행되었습니다.

I. 서론

미래의 정보통신 환경은 기존의 유선, 무선, 데이터, 방송 등 다양한 종류의 서비스를 하나로 통합하고, 이를 보다 더 빠르고 편리하며 또한 안정적으로 제공함을 목표로 변화될것으로 예상된다. 이러한 통합 서비스의 제공을 지향하는 NGcN(Next Generation Convergence Network)에서 유비쿼터스 개념이 포함되어 보다 진화된 네트워크인 BCN(Broadband Convergence Network)에서는 기존의 유선망 대역폭보다 수 배 이상의 광대역화가 요구된다. 이러한 충분한 대역폭의 유선망 네트워크를 구현하기 위한 다양한 접근방식들이 있으며 이들 중 FTTx(Fiber to the Home, Curb, Building)기술을 이용한 유선망 네트워크의 구현이 가장 주목받고 있다. FTTH가 주목받고 있는 이유는 이전의 구리선(Coaxial Cable)을 이용한 유선망과는 비교할 수 없을 정도의 빠른 속도와 넓은 대역폭을 제공하는 광섬유를 기본으로 이용한다는 장점 뿐 아니라, ATM PON(Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network), Ethernet PON, WDM PON(Wavelength Division Multiplexing-PON)과 같이 저가의 수동형 광통신망(PON: Passive Optical Network)을 활용하여 네트워크를 구축할 수 있다는 장점도 가지고 있기 때문이다. [1,2]

그림 1에서의 같이 PON은 광분기점(RN: Remote Node)에 능동소자인 스위치나 증폭기를 사용하지 않고 저가의 수동소자를 이용하여 20 km이내의 거리를 전송하고, 수 km 이내에서 분배하는 방식이다. VDSL(Very high bit rate Digital Subscriber Line)의 1 km 이하인 짧은 전송거리를 보완하여 거리가 먼 CO(Central Office)와 ONU(Optical Network Units)사이에는 PON방식을 이용하고 ONU에서 최종 가입자까지는 VDSL을 이용하여 복합망을 구성할 수 있다. 또한 PON방식은 CO에서 ONU까지 광섬유를 매설하기 때문에 FTTH로 발전시 ONU에서 최종 가입자까지만 광섬유를 포설하면 구현이 가능하여 경제성과 확장성을 갖는 방식이다. 채널당 다른 파장을 이용하여 분기하는 WDM-PON방식은 시간에 따라 채널을 할당하는 TDM-PON(Time Division Multiplexing-PON)방식에 비해 전송 용량이 파장수에 비례하여 수십 배 이상이다. CO에서 보내는 하향데이터는 수동광분기소자를 이용한 RN을 지나 파장별로 분리되어 다수의 ONU에 전송되고, ONU에서 각각의 파장에 변조된 상향데이터는 RN

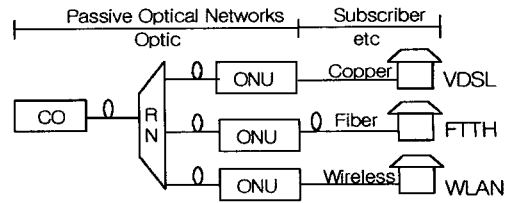


그림 1. PON의 구조 및 확장성

에서 합쳐져 CO로 전송되는 양방향 전송으로 이루어져 있다. [3]

광섬유로 포설되어있는 전송거리가 1 km 내외의 근거리 전송망의 경우 SMF보다는 MMF로 구성되어 있는 경우가 많다. 이는 단거리 전송일 경우 비용적인 측면과 효율성면에서 단파장광원과 MMF로 구성하는 것이 훨씬 유리하기 때문이다. 또한 최근에는 홈네트워크의 발전으로 인해 대내 앞까지의 광섬유연결을 넘어 대내에서도 높은 전송속도를 요구함에 따라, FTTH에서 보다 확장된 의미인 FTID (Fiber to the Desk)개념까지 진행되고 있다.[4] 즉, CO에서 보내지는 광원이 RN을 지나 ONU에서 전기적신호로 바뀌어 개인에게 전달되는 것이 아니라, ONU에서도 광의 형태로 광섬유를 통해 컴퓨터나 디지털 TV 등과 같은 홈네트워크를 구성하는 전자기기의 바로 앞단까지 보내지는 형태로 발전되어가고 있다. 이러한 경우 기존에 포설되어 있는 MMF를 FTTH를 구성하는 SMF와 연결하여 시스템을 구축한다면, 보다 경제적인 면에서 유리할 것이다. 그러나 이러한 시스템을 구성하기 위해서는 광가입자망을 구성하고 있는 SMF와 근거리망을 구성하고 있는 MMF와의 호환성에 대해 분석해보아야 한다. [5,6]

본 논문에서는 기가비트 전송이 가능한 가입자망을 구성하기 위해 채널당 단일광원을 사용한 기가급 WDM-PON(GWPON: gigabit-capable WDM-PON)의 장단점을 분석하고, SMF로 구성된 PON망과 MMF로 구성된 LAN망의 연결 구조를 제안하며, 하향 2.5 Gbit/s, 1.25 Gbit/s, 상향 1.25 Gbit/s, 622 Mbit/s의 전송속도로 전송실험을 한 결과를 디지털 파형분석기(DCA)와 비트율 검출기(BERT)를 이용하여 국제표준규격인 ITU-T G.984.2에서 권고하는 수치와 비교하여 제안된 시스템의 신뢰성과 기술적 타당성을 고찰하였다. [7]

II. 시스템 구성 및 구조 분석

시스템은 그림 2와 같이 상하향 각각 8개의 채널

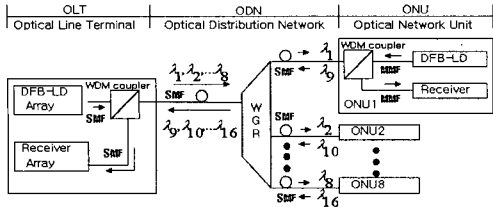


그림 2. 전송 시스템 구조

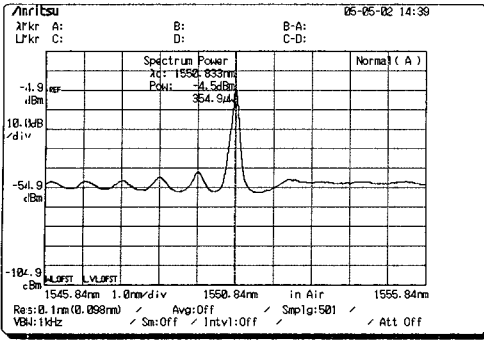
로 이루어지게 구성하였다. OLT(Optical Line Terminal)는 서로 다른 파장의 DFB-LD 8개를 배열하여 광원으로 사용하였으며, 각각의 광원은 직접변조 방식으로 최고속도 2.5 Gbit/s까지 가능하다. ODN(Optical Distribution Network)은 전송용 광파이버 구간과 RN, 분배용 광파이버구간으로 구성되었다. OLT와 RN사이의 거리는 표준안에서 옵션으로 규정한 10 km이며 RN에서 ONU까지의 거리는 1 km로 각각 0.186 dB/km, 0.189 dB/km의 손실을 가지는 단일모드광섬유(SMF : Single Mode Fiber)로 이루어져 있다. RN에서 파장분기 및 결합을 위한 소자로 1x8 MUX/DEMUX를 이용하였으며, FSR(Free Spectral Range)은 12.8 nm이며 채널간의 간격은 0.8nm이다. 8개의 ONU는 각각 다른 파장의 DFB-LD와 PIN 다이오드로 구성되었고, 상·하향 신호는 OLT에서와 같이 WDM coupler를 사용하여 분리하였다. ONU의 LD와 PD는 SFP(Small Form Factor) 타입으로 ONU 구성시 하나의 모듈로만 구성되어 간편하다. WDM coupler와 Transceiver사이의 광섬유 코어의 지름이 50 μm, 62.5 μm인 다중모드광섬유(MMF : Multi Mode Fiber)로 연결하였으며 각각 0.70 dB/km, 0.80 dB/km의 손실을 가진다. MMF의 길이는 각각 100 m, 200 m, 300 m, 500 m, 800 m, 1 km로 구성하였다.

광원의 흐름은 하향의 경우 DFB-LD를 통해 파장 1번부터 8번까지의 채널이 10 km SMF를 지난 후 RN에서 파장별로 분기되어 1 km의 SMF를 지나게되고 WDM coupler를 통해 Receiver로 들어가게 된다. 또한 상향의 경우 SFP Transceiver의 DFB-LD에서 파장 9번부터 16번까지의 채널이 WDM coupler를 통해 1 km의 SMF를 지나게되고 RN에서 결합되어 10 km SMF를 지난 후 OLT의 WDM coupler를 통해 Receiver로 들어가게 된다. 여기서 주목해야할 부분은 ONU에서의 WDM coupler에서 Receiver까지의 광섬유 구간으로. 시스템 구성을 SMF 5m로 즉 MMF가 없는 경우와 코어직경이 50 μm인 MMF 100 m, 200 m, 300 m, 500 m, 1 km,

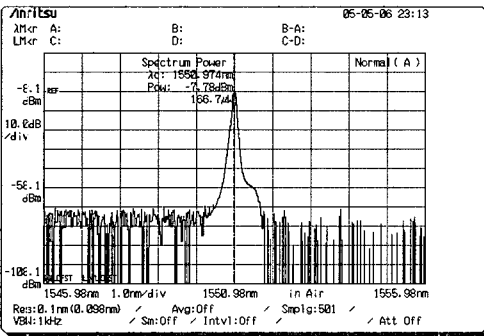
그리고 코어직경이 62.5 μm인 MMF 100 m, 200 m, 300 m, 500 m, 1 km로 하여, SMF와 MMF, MMF의 각기 다른 코어직경에 따른 전송특성을 측정할 수 있게 하였다.

III. 전송실험 및 결과 분석

ITU-T G.984.1에 의하면 GPON의 전송속도로 하향 2488.32 Mbit/s, 1244.16 Mbit/s, 상향 2488.32 Mbit/s, 1244.16 Mbit/s, 622.08 Mbit/s, 155.52 Mbit/s를 표준안으로 규정하고 있다. 이전의 ATM-PON의 표준안인 G.983.1이 하향 622.08 Mbit/s, 상향 155.52 Mbit/s인 점을 감안하면 전송속도가 상당히 증가되었다. WDM-PON에 관한 표준안은 아직 제정되지 않았으나 전송속도가 더 낮아지지 않을 것을 감안하면 최대 속도는 2.5Gbit/s 이상이 될 것이다. 본 시스템에서는 하향전송속도는 2.5 Gbit/s, 1.25 Gbit/s이며 2³¹-1 PRBS(Pseudo-Random Binary Sequence)로 직접변조 하였으며, 상향전송시 1.25 Gbit/s일 때는 2²³-1 PRBS, 622 Mbit/s일 때는 2¹⁵-1 PRBS로 직접변조 하였다. GPON은 하향채널의 광파장대역을 1.55 μm대역으로, 상향채널은 1.3 μm대역으로 권고하였으나 다파장 WDM방식으로 구현할 것을 고려하여 상·하향 모두 1.55 μm대역으로 구성하였다. 파장대역은 하향채널은 1546.92 nm(1번 채널)부터 0.8 nm(100 GHz)간격으로 1552.52 nm(8번 채널)까지이며, 상향채널은 1534.2 nm(9번 채널)부터 동일한 0.8 nm 간격으로 1539.8 nm(16번 채널)까지 8채널이다. 그림 3은 전송에 사용된 광원들 중 6번채널의 광학적 스펙트럼을 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 통해 나타낸 그림으로서 (a)는 RN통과하기 전, (b)는 ONU에서의 스펙트럼이다. 즉, 그림 (a)는 CO에서 10.5 km 길이의 SMF를 통과한 후 측정된 스펙트럼이고, 그림 (b)는 CO에서 RN까지 10.5 km 길이의 SMF를 통과한 후 DEMUX를 지나 1.5 km 길이의 SMF를 지난 후 측정된 스펙트럼이며, 둘 사이에서 약 3.28dB의 손실이 있음을 알 수 있다. 2.5 Gbit/s 하향전송시 광원의 평균출력은 2.3 dBm이고, 1.25 Gbit/s 상향전송시 광원의 평균출력은 -2.5 dBm이다. ONU에서 추가로 연결한 MMF는 길이는 각각 100 m, 200 m, 300 m, 500 m, 800 m, 1 km이며, 각각의 길이별 전력손실값은 접속손실을 포함하여 core지름이 50 μm일때 1.1 dB, 1.3 dB, 1.5 dB, 1.6 dB, 1.8 dB, 1.9 dB 이고, core지름이

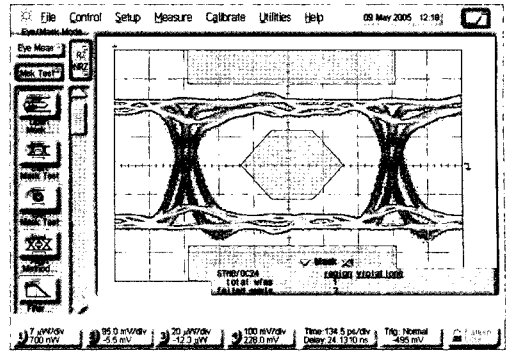


(a) CO에서 RN까지의 스펙트럼

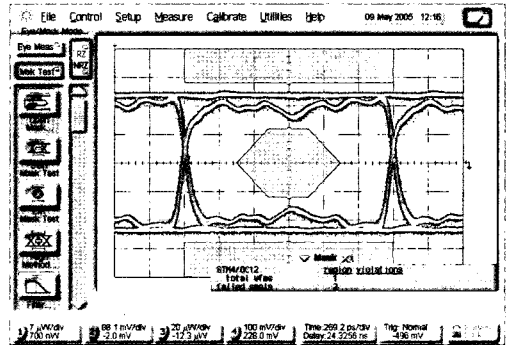


(b) ONU에서의 스펙트럼

그림 3. 2.5Gbit/s 하향전송 DFB-LD 채널6번의 광학 스펙트럼

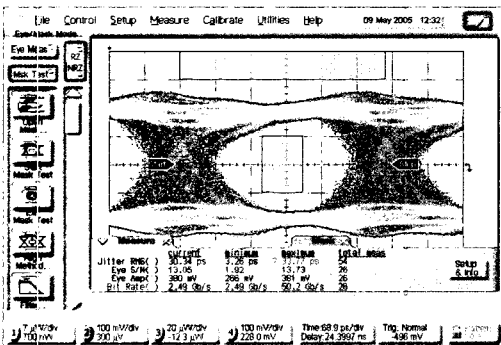


(a) 1.25Gbit/s 상향전송

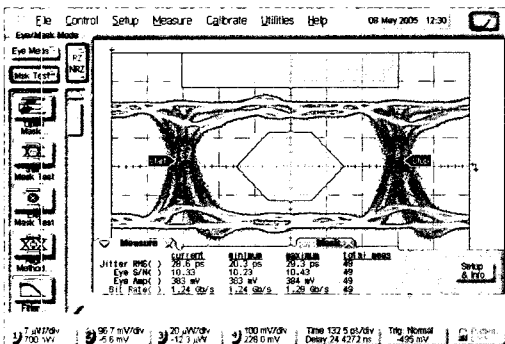


(b) 622Mbit/s 상향전송

그림 5. 상향 전송시 Eye Diagram의 Mask Test



(a) 2.5Gbit/s 하향전송



(b) 1.25Gbit/s 하향전송

그림 4. 하향 전송시 Eye Diagram의 Mask Test

62.5 μm 일때 0.8 dB, 0.9 dB, 1.0 dB, 1.1 dB, 1.3 dB, 1.4 dB 이다.

그림 4, 5는 SMF로 WDM-PON을 구성한 후 ONU단에 core지름이 50 μm 이고 길이가 1 km인 MMF를 연결한 시스템의 전송속도에 따른 신호 감쇠와 Jitter를 측정하기 위한 eye diagram이며 패턴 주위의 다각형은 eye mask로 각각의 전송속도에 맞게 표준화된 mask이다. 그림 4의 (a)는 STM-16/OC48, (b)는 STM-8/OC24 속도의 마스크 규격을 하향신호에 맞추어 DCA(Digital Communication Analyzer)를 통해 본 것이며, 그림 5의 (a)는 STM-8/OC24, (b)는 STM-4/OC12 속도의 마스크 규격을 상향신호에 맞추어 DCA를 통해 본 그림이다.

EO(Eye Opening)정도는 식 1을 이용하여 0과 1의 평균과 표준편차를 대입하여 구할 수 있다.

$$EO = (\mu_1 - 3\sigma_1) - (\mu_0 - 3\sigma_0) \quad (1)$$

식 1로부터 구한 값을 이용하여 eye margin을 계산하면 eye mask안의 신호가 침범하지 않아 전송에 문제가 없었으며 하향 2.5 Gbit/s 전송시 22 %, 1.25 Gbit/s 전송시 38 %, 상향 1.25 Gbit/s 전송시 37 %, 622 Mbit/s 전송시 43 %의 여유도가 있었

다. eye diagram 테스트 결과 jitter의 영향을 나타내는 eye diagram 수평축은 상대적으로 많은 여유가 있으나 수직축, 즉 신호감쇠에 의한 여유도가 작다. period jitter는 한 주기의 변동폭으로 주기의 최대치와 최소치의 차이를 의미하며 GPON에서는 ONU에서 발생한 신호만을 고려한다. 상향 662 Mbit/s에서 period jitter는 28.3 ps로 권고된 0.2 UI(Unit Interval)보다 작고 1.25 Gbit/s에서는 17.1 ps로 0.33 UI보다 작아 period jitter도 요구치보다 수치가 낮아 여유도를 갖는다. [1]

$$BER = \frac{n_0}{n_0 + n_1} \int_{-INF}^D W_1(x) dx + \frac{n_1}{n_1 + n_0} \int_D^{\infty} W_0(x) dx \quad (2)$$

다음으로 SMF와 MMF의 결합으로 구성된 WDM-PON의 특성을 분석하기 위해서 망내부의 손실을 계산하고 BER(Bit Error Rate)을 구하여 전력 여유도를 분석하였다. 전송실험을 수행한 시스템은 증폭기를 사용하지 않으므로 가우시안 모델을 이용하였으며 전체 여러 확률은 다음 식 과 같다.

$$\sigma_i^2 = [N_{th}^2 + 2q(\mu_k + i_d)] B_e \quad (3)$$

noise에 대한 영향을 고려하기 위해 dark current를 얻어진 평균과 합하고 온도잡음, 산탄잡음은 구한 분산에 합하였다. 전체 잡음 분산은 식과 같은 형태로 표현되며 N_{th} 는 noise spectral density이며, μ_k 는 데이터 표본의 평균값, B_e 는 전기적인 잡음폭, i_d 는 수신기의 dark current를 의미한다. 확률밀도

함수인 W_0 , W_1 는 모두 가우시안 분포를 따른다. [8,9]

그림 6의 (a)는 2.5 Gbit/s로 하향전송한 BER 특성을 나타낸 그림이고 (b)는 1.25 Gbit/s로 하향전송한 BER 특성을 나타낸 그림이다. 각각 두 가지 속도의 하향전송은 back-to-back과 SMF로만 구성된 WDM-PON시스템 그리고 core지름이 50 μ m와 62.5 μ m인 MMF가 ONU단에 추가로 구성된 총 4가지의 BER을 측정하였다. 전송성능 측정장치로는 PPG(Pulse Pattern Generator)와 Error Detector로 구성된 Anritsu사의 BERT(Bit Error Ratio Tester)를 이용하였다. 실험결과 2.5 Gbit/s 하향 전송시 10^{-10} 의 BER을 만족하기 위해서는 -22.8 dBm이상의 수신전력이 필요하였으며, ITU-T G.984.2에서의 표준권고안의 최소 수신전력은 -23 dBm으로서 표준안에 만족하였다. 전력여유도를 분석하기 위해서 하향전송시 망의 손실을 계산하면, MUX/DEMUX, WDM coupler, SMF, MMF(core radius : 50 μ m, 62.5 μ m)에 의한 손실은 각각 3.5 dB, 0.5 dB, 0.2 dB/Km, 1.9 dB/Km, 1.4 dB/Km이고 DFB-LD, PD 접속손실, 변조 손실이 약 4 dB이므로 전체 손실은 MMF 1 km로 전송 하였을 때 12.6 dB(4+0.5x2+0.2x11+3.5+1.9x1), 12.1dB(4+0.5x2+0.2x11+3.5+1.4x1)으로 class A (5~20 dB)에 해당하며, 최소 출력은 1.7dBm으로 권고된 출력범위 (0~4 dBm)를 만족한다. 따라서 2.5 Gbit/s 하향전송시 최소 11.7 dB(1.5-(-22.8)-12.6), 12.2 dB(1.5-(22.8)-12.1)의 전력 여유도를 갖는다. 또한 1.25 Gbit/s 일때는 최소 14.1 dB(1.7-(-25)-12.6), 14.6 dB(1.7-(-25)-12.1)의 전력 여유도를 가짐으로서, 기가비트 속도로 전송을 하면서도 보다 많은 ONU를

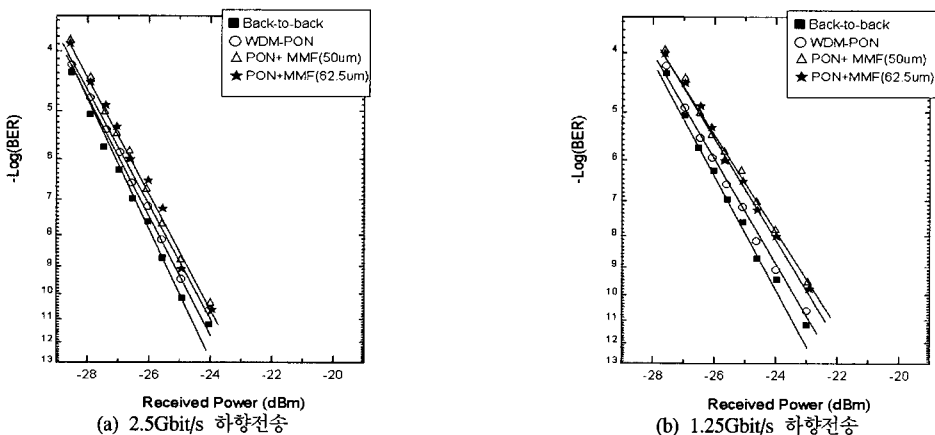


그림 6. 하향전송 BER 곡선

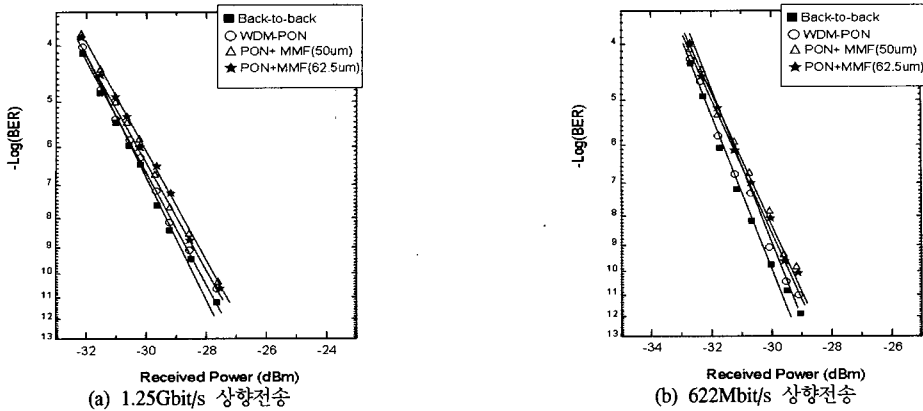


그림 7. 상향 전송 BER 곡선

구성하거나 더욱 긴 거리의 MMF망으로 확장할 경우에도 안정적인 전송을 가능케 한다.

그림 7의 (a)는 1.25 Gbit/s로 상향전송한 BER 특성을 나타낸 그림이고 (b)는 622 Mbit/s로 상향전송한 BER 특성을 나타낸 그림이다. 상향전송시 표준안에 권고된 10^{-10} 의 BER을 만족하기 위해서는 1.25 Gbit/s일때는 -27.8 dBm, 622 Mbit/s일때는 -29.1 dBm이상의 수신전력이 필요하다. 상향전송시 전체 손실은 하향전송보다 접속손실이 보다 커진다. 이는 ONU의 DFB-LD에서 MMF로 접속되는 손실이 SMF에서 MMF 접속되는 손실보다 약 1.3 dB 정도 큰 값을 가짐을 측정을 통해 알 수 있었다. 이를 고려한 전체 손실은 $13.9 \text{ dB}(4+1.3+0.5 \times 2+1.9 \times 1+3.5+0.2 \times 11)$, $13.4 \text{ dB}(4+1.3+0.5 \times 2+1.4 \times 1+3.5+0.2 \times 11)$ 으로 하향전송과 동일하게 class A에 해당하며, 1.25 Gbit/s의 최소출력은 -2.4 dBm으로 권고된 출력범위(-3~-2 dBm)를 만족하여 최소 11.5 dB(-2.4-(-27.8))-13.9), 12 dB(-2.4-(-27.8))-13.9)의 전력 여유도를 갖는다. 622 Mbit/s의 최소 출력은 -3.5 dBm으로 권고된 출력범위(-6~-1 dBm)를 만족하여 최소 12.8 dB(-2.4-(-29.1))-13.9), 13.3 dB(-2.4-(-29.1))-13.4)의 전력 여유도를 갖는다. 전력 여유도가 일반적인 여유도(3~6 dB)보다 크기 때문에 망을 구성하는 데 있어서 전송거리나 분기수를 더 확장시킬 수 있고 10^{-10} 보다 향상된 BER로 망을 구성할 수 있다.

위의 전송실험 결과들로부터 DFB-LD를 광원으로 채널당 단일파장을 사용하며 SMF로 구성되는 WDM-PON 시스템에 MMF를 ONU에 추가로 구성하여 최장 1 km까지 연결하여 gigabit-capable PON 표준화에 적용하였을 때, 망구조가 가진 저손실 특성으로 13 dB 이상의 전력 여유도를 얻을 수 있어

망의 확장이나 광원 array 추가에 의한 손실의 증가에도 유연성을 갖는 망을 구성할 수 있다. 다채널 전송시 인접채널에 의한 영향이 작고, eye diagram에 eye mask test를 하였을 때 mask를 침범하지 않았고 최소 22 %이상의 여유도를 갖는다. periode jitter는 상·하향 모두에서 요구치보다 작다. 망 전체의 전송거리가 최대 12 km로 비교적 짧은 가입자망이기 때문에 jitter보다는 신호감쇠에 의한 여유도가 더 적었다.

IV. 결론

FTTH의 구현을 위해서는 무엇보다 경제적이고 확장성이 뛰어난 광 가입자망의 개발이 필요하다. 연구되는 여러 가입자망들 중 WDM-PON방식이 FTTH 실현을 위한 가장 주도적인 방식이며 이러한 SMF로 구성된 가입자망에, 저가로 구성되는 MMF 근거리망을 결합함으로써 비용적인 측면과 확장성면에서 큰 장점을 가짐을 알 수 있다. 이는 다중모드 광섬유는 시장 수요가 많으면 단일모드 광섬유와 같이 공정상 측면에서 가격이 높을 이유가 없으며, 아울러 향후 홈네트워크 등에서 사용될 수 있는 다중모드 광섬유와의 확장성이 용이하기 때문이다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 다른 종류의 광라인을 결합하여 Gigabit-capable WDM-PON망에 적용하여 MMF의 길이를 100 m에서 최대 1 km 길이까지 연결하여 하향 2.5 Gbit/s, 1.25 Gbit/s, 상향 1.25 Gbit/s, 622 Mbit/s로 전송하였을 때의 특성과 여유도를 Eye Diagram Mask Test, Jitter, BER 전송결과와 표준안을 통해 적합성을 얻을 수 있었다. 최소 11.5 dB이상의 큰 전력 여유도를 통해 광원추

가나 전송거리 확장이 이루어질 경우에도 안정적으로 시스템이 구현됨을 검증할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S. S. Wagner and H. L. Lemberg, "Technology and system issues for a WDM-based fiber loop architecture," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 7, No. 11, pp. 1759-1768, November 1989.
- [2] L. Altwegg, A. Azzizi, P. Vogel, Y. Wang, and F. Wyler, "LOCNET: a fiber in the loop system with no light source at the subscriber end," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 12, No. 3, pp. 71-79, March 1994.
- [3] 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-share components," *IEEE Photonic Technology Letter*, Vol. 6, pp. 1365-1367, 1994.
- [4] R. D. Feldman, E. E. Harstead, S. Jiang, T. H. Wood, and M. Zirngibl, "An evaluation of architectures incorporating wavelength division multiplexing for broad-band fiber access," *Journal of Lightwave Technology*, Vol.16, Issue 9, pp. 1546-1559, September 1998.
- [5] A. Risteski, E. Borisch, J. Ewen, J. Tierno, and P. Pepeljugoski, "DMD Measurements and Equalization Simulations for 62.5- and 50- μ m Legacy Multimode Fibers at 1300nm," *IEEE PTL*, Vol.16, No.8, pp. 1960-1962, August 2004.
- [6] A. Shen, B. Rich, "FTTH Passive Optical Networks and Fiber Plant Design," *Proc. SPIE*, Vol. 4583, pp. 1-12, 2001.
- [7] ITU-T recommendation G.983.1, G.984.1, G.984.2
- [8] G. P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems 3rd edition," Wiley Interscience, 2002.
- [9] D. Derickson, "Fiber Optic Test and Measurement," *Hewlett-Packard Professional Books*, 1998.

박 승 현 (Seung Hyeon Park)

준회원



2003년 인하대학교 전자공학과 (학사)

2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 석사과정

김 경 현 (Kyong Hon Kim)

정회원



1979년 경북대학교 물리학과 (학사)

1986년 State Univ. of New York at Buffalo(박사)/물리학
1986년~1989년 미국 Hampton University 물리학과 연구 조교수(겸직)

1986년~1989년 NASA Langley Research Center/ 상임주재연구원

1989년~2003년 한국전자통신연구원 광통신소재연구부/ 팀장, 부장

2003년 9월~현재 인하대학교 물리학과 교수

이 일 항 (El Hang Lee)

정회원



1970년 서울대학교(학사-전기공학)

1973년 미국, YALE 대학교(이학석사-응용물리학)

1977년 미국, YALE 대학교(이학박사-응용물리학)

1978년~1980년 미국, YALE/PRINCETON 대학교(펠로우/FELLOW) 연구, 교육
1980년~1984년 미국, MONSANTO 반도체중양연구소(연구 과학자)

1984년~1984년 미국, NORTH CAROLINA 주립대학교수초빙

1984년~1990년 미국, AT&T사 BELL 연구소(연구팀장)

1992년~1992년 한국, KAIST 초빙교수

1990년~1998년 한국, 한국전자통신연구원(연구단장, 연구소장)

1999년~현재 한국, 인하대학교 정보통신대학원/공학부 교수, 인하대학교 집적형광자기술연구센터(ERC) 연구소장