

기포설된 광케이블 특성측정과 이 선로조건에 대한 SDH 및 DWDM 광전송장치 전송특성측정과 시뮬레이션

이 성 원*, 김 영 범**

* 건국대학원 전자정보통신공학과

** 건국대학교 전자공학부

Characteristic Measurement for Ready-Deployed Optical Cable and Simulation for SDH and WDM System Existing Conditions

SungWon Lee^{*}, YoungBeom Kim^{**}

* Department of Electronics, Information & Communication Engineering, KonKuk Graduate School

** Department of Electronics, Konkuk University

Abstract

Due to large demand for high speed and great capacity for data transfer, WDM, which uses the wavelength division multiplexing technique, is known as alternative way to satisfy those demand for its flexible network operation and management, easy network expansion with existing networks, and enhancement of efficient data transfer rate. For these reasons, a new high capacity WDM optical communication network plan was established. Therefore, the quality of currently deployed optical cables with 81.6 km in length should be assessed to ensure if high capacity WDM system could be implemented on existing optical cables. Two important characteristic parameters, Transfer Loss and PMD (Polarization Mode Dispersion), were measured to evaluate quality of existing optical cable. Transfer Loss was measured at 0.244 dB per kilometer, which is lower than the design standard value at 0.275 dB/km. The measured PMD value gave at $0.030ps/\sqrt{km}$, and it, therefore, satisfies the value recommended by ITU-T (International Telecommunication Union-T) of $0.5ps/\sqrt{km}$.

In addition, the transfer characteristic for existing 2.5 Gbps and 10 Gbps system were measured and evaluated, and the results showed that error-free transfer is very much feasible. Computer simulation for DWDM system, which is likely be a future backbone network in Korea, to assess the transfer characteristic using the same condition employed for 2.5 Gbps and 10 Gbps was carried out as well. The simulation verified that a stable network operation and reliable service could be provided.

1. 서론

현재까지의 통신망은 전화망을 위주로 설계되어 이로부터 진화 발전하였으나, 최근에는 이동전화 및 인터넷의 사용을 통한 데이터, 동영상 전송과 화상회의 및 HDTV등의 가시화 등으로 인해 초고속 정보통신기술에 대한 통신 수요가 급속히 팽창하고 있다. 또한, 가입자망 기술의 발전과 함께 가입자가 요구하는 대역폭 또한 증가하고 있으며 이로 인하여 통신망에 가해지는 전송용량의 요구량은 날로 증가하고 있어 이를 충족시키기 위한 통신망의 전송 용량 증대가 시급히 해결해야 할 문제로 대두되고 있다.

이러한 문제에 대처하기 위하여 초고속 전달을 가능하게 하는 광통신기술이 통신망의 요소에 적용되고있다. 지금까지는 주로 시내·외 국간에 적용되어 왔으나 최근에 와서는 일부 가입자 구간에까지 적용되어 광가입자망의 구축이 시작되고 있으며 [1], 특히 한정된 광케이블을 최대한 이용하기 위해 하나의 광케이블에 광파장이 다른 여러 채널의 광신호를 전송하는 파장분할방식(WDM : Wave Division Multiplexing) 기술이 등장하게 되었다.

따라서 정보통신의 발달과 다양한 서비스의 출현은 통신망의 고속/광대역화를 촉진시켰고, 이에 따라 세계 각국에서 통신망의 광대역화를 위한 시설투자가 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 하나의 광섬유로 수 Tbits/s의 신호를 전송하는 실험에 대한 결과 발표와 최소 수백 Gbps급의 전송용량을 갖는 제품들이 현재 시장에 속속 출현하고 있다.

광전송시스템에서 2.5Gbps이하의 저속에서는 광선로의 손실 특성만 만족하면 전송에 별 문제가 없었으나, 고속화가 전개되면서 광케이블에 대한 색분산, 편광모드분산 (PMD : Polarization Mode Dispersion), 커넥터 반사특성등이 중요한 변수로 대두되고 있다.

그러나 현재 효과적인 보상기법이 미진한 상태에서 볼 때 특히 PMD가 중요함에 따라 10Gbps를 종속신호로 하는 WDM 및 10Gbps이상의 TDM(Time Division Multiplexing : 시분할방식) 시스템의 경우 PMD상수는 $0.5ps/\sqrt{km}$ 로 ITU-T에서 권고하고 있다.

따라서 본 논문에서는 먼저 광통신망의 구조 및 동향에 대해 간략하게 살펴보고, 대용량 WDM 광전송장치 구축계획에 따라 현재 포설되어진 광케이블의 품질을 사전에 확인하여 안정된 전송로를 확보하기 위하여 광케이블 전송특성중 전송손실과 PMD를 측정후 2.5Gbps 및 10Gbps 동기식 광전송장치의 전송특성을 측정하였으며, 또한 동일한 선로조건을 적용하여 향후 기간망에 설치되어질 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 장치에 대한 전송특성을 시뮬레이션하였다.

2. 광통신망의 구조

가입자수의 증가와 점점 다양해져가는 통신서비스를 수용하기 위해 보다 빠르고 신뢰성있는 통신기술이 요구되고 이에 따라, 제 3세대 통신기술이라고 할 수 있는 광통신기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. [2]

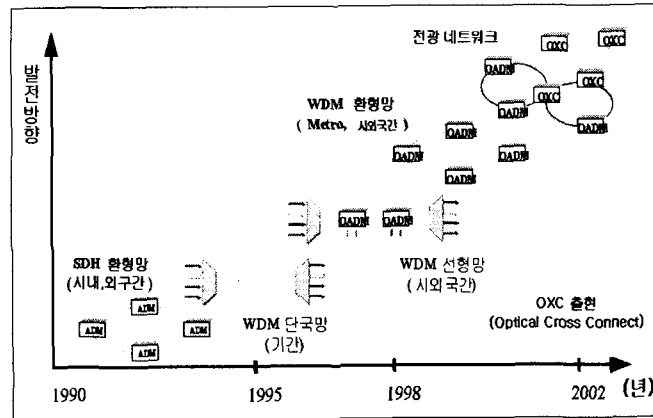
따라서 광통신(Optical Fiber Communication)은 종래의 동선을 이용한 유선통신이나 자유공간을 이용한 무선통신과는 달리 빛에 정보를 실어 광섬유를 통해 정보를 전송하는 통신방식으로, 정보전달의 속도를 향상시키기 위한 유일한 유선통신 수단으로서 1970년 이래 급속히 발전하여 왔으며, 대량의 정보를 적은 손실로 경제성 있게 고속으로 전송할 수 있는 통신망의 전송 매체로서는 저손실, 세경, 경량, 비전도성 및 광대역성 등의 특징을 가지고 있는 광섬유케이블을 이용한 광통신이 최적의 방법으로 알려져 있다.

2.1 TDM방식

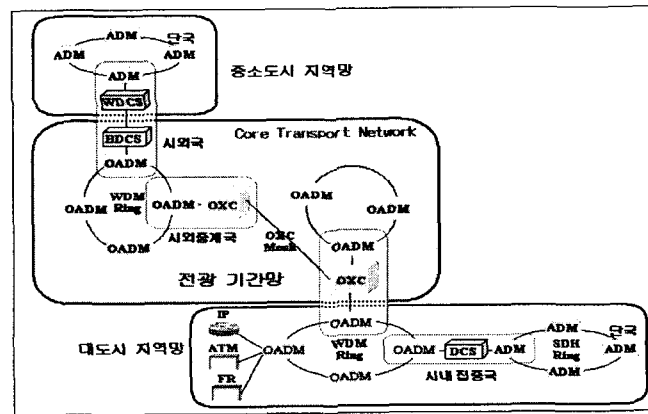
1990년대 이후, 통신망은 음성서비스에서 대량의 데이터 및 영상서비스로 이용자의 서비스 수요가 고속, 고도화되어지며, 국내에서 사용되는 국간 광전송시스템은 비동기식 FT-3에서 시작하여 2000년대 초고속/광대역통신망의 구현을 목표로 전송망의 동기식 디지털 전송계위(SDH : Synchronous Digital Hierarchy)방식으로 전환을 추진하였다.[3]

따라서 광전송시스템도 TDM 방식의 155Mbps (STM-1), 622Mbps (STM-4), 2.5Gbps (STM-16) 및 10Gbps (STM-64) 광전송시스템으로 발전하여 상용화되었으나, 그 이상의 전송속도를 갖는 장비개발은 전자부품의 대역폭 한계와 데이터 처리속도등 전기적, 광학적으로나 기술적으로 해결하기 어려운 문제점이 존재한다. 또한 광대역 서비스증가 및 신규사업자의 등장으로 인한 가격, 품질, 서비스 경쟁으로 통신사업자는 망의 효율성, 경제성, 유연성과 신뢰성있는 망구축이 필요하게 되었으며, WDM장치 사용으로 용량 확장 및 다양한 서비스를 광네트워크로 제공하는 것이 가능해짐으로써 <그림 1>과 같이 광네트워크 구조진화가 가능하게 되었다.

그러나 아직까지 광네트워크는 노드간의 광신호 교환개념이 포함되어 있지않지만 향후 OXC (Optical Cross Connect)의 출현으로 보다 효율적인 네트워크 구성이 가능하고 유연한 운용이 가능할 것으로 사료되며 <그림 2>와 같이 향후 기간 전송망 구조는 Core 노드(OADM,OXC)와 Edge 노드(ATM,FR,SDH등)로 구분되어 점점 계층구조가 단순화되어 질 것으로 사료된다.



<그림 1> 광네트워크 구조 진화단계

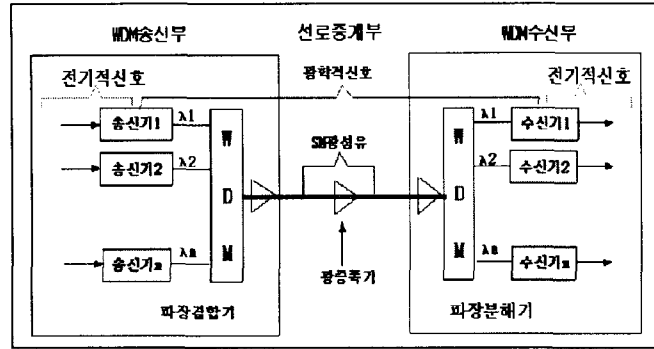


<그림 2> 기간전송망 발전방향

2.2 WDM방식

WDM 광전송 시스템이란 광섬유의 저손실 대역을 서로 다른 파장을 일정한 파장간격 (50GHz 또는 100GHz 채널간격)으로 다수의 채널로 분할하여 변조한 후, 하나의 광섬유에 다중화하여 전송하고, 수신단에서 광 필터와 같은 파장선택필터를 이용하여 역다중화하는 시스템으로 <그림 3>과 같이 WDM송신부, 선로중계부, WDM수신부로 크게 나눌수 있다.

따라서 WDM송신부는 파장이 각기 다른 N개의 광송신기와 다중화(Multiplexing) 기능을 수행하고, WDM수신부는 역다중화(Demultiplexing) 기능을 수행하는 한 개의 WDM과 동일한 N개의 광수신기로 구성되며 선로중계부는 광섬유 및 다수개의 광증폭기로 구성된다.

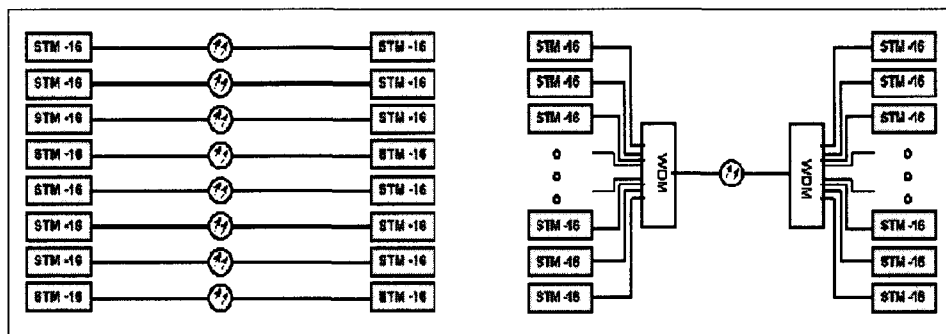


<그림-3> WDM전송계의 구성

2.3 TDM과 WDM방식 비교

WDM방식은 <그림 4>와 같이 기존에 포설된 광케이블을 이용하여 한 개의 광섬유에 여러개의 광신호를 전송함으로써 전송효율을 높일수 있는 전송방식으로써 유연한 망운영 및 망구성, 용이한 확장성을 보장하고 이미 포설되어있는 광선로에서도 적용이 가능하므로 경제적인 전송용량 증대를 원하는 통신사업자, 점진적인 전송용량 증대를 원하는 통신 사업자, 광선로 대여를 고려하는 통신사업자 및 동일한 광선로 상에서 다양한 망구성을 필요로 하는 통신 사업자에게 유리한 전송방식이다.

따라서 WDM광전송은 파장수에 따라 망의 규모 조절이 가능하며, 광 ADM(Optical Add and Drop Multiplexer)에서 특정 파장 분리 및 삽입이 용이하고, 광 DCS(digital cross connect system)에서 서로 다른 루트에서의 입력파장들을 서로 다른 루트로 재분배가 가능하며, 또한 망의 물리적, 논리적 토폴로지 수시 변경이 가능하므로 운용측면에서도 장애복구나 과부하시 우회회선의 제공이 용이하여 서비스에 영향없이 시설교체 및 전송노드 변경이 가능한 장점을 가지고 있다



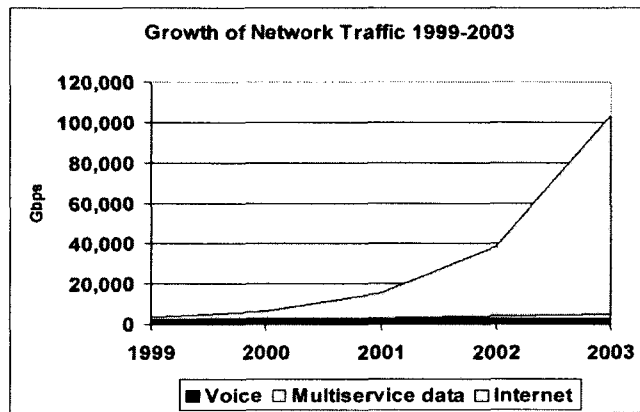
(a) TDM망 구조

(b) WDM망 구조

<그림 4> TDM과 WDM 망구조

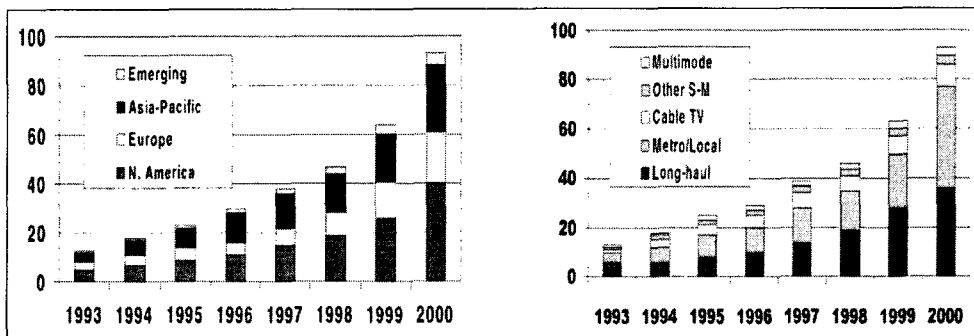
3. 국내외 동향

트래픽 동향에 대한 서비스별 트래픽량은 <그림 5>에서와 같이 음성 및 멀티미디어서비스의 증가추세는 1999년도부터 2003년도까지 거의 일정한 수준을 유지하지만 인터넷의 경우 2000년부터 2003년까지 급속한 증가추세로 2003년에는 100Tbps이상의 트래픽량을 가짐을 알수있다. [4]



<그림 5> Network Traffic 성장추세

따라서 인터넷 트래픽량의 급속한 증가로 인해 세계적으로 전송선로인 광케이블 포설현황은 <그림 6>과 같이 증가함을 알수 있으며 아시아, 유럽, 북미등 대륙별 광케이블 증가율은 거의 일정한 비율로 증가하며, 증설되는 광케이블은 대부분 Metro-WDM과 Long-haul용 WDM임을 알수 있다.[5]



<그림 6> 연도별 광케이블 포설현황 및 사용용도

3.1 국내외 개발 동향

10Gbps TDM 광전송 기술은 미국, 일본이 개발하여 1996부터 상용화 하였으며 국내에서는 HAN/B-ISDN 연구개발사업으로 ETRI, 삼성전자, 한화정보통신이 공동으로 개발하여 상용화를 실시하였으며, WDM의 경우 국내에서는 LG정보통신에서 20Gbps (2.5G×8CH) WDM광전송장치를 개발하여 상용화를 하였으며, 160Gbps WDM(10G×16 CH)을 HAN/B-ISDN 국책과제로 ETRI에서 2001년 개발을 완료하였다.

또한, 해외의 경우 Ciena는 최초로 1996년도 WDM 상용화를 실시한 이후 Lucent, Ciena(미국), NT(캐나다), Marconi(이탈리아), Huawei(중국), Hitachi(일본)등에서는 320Gbps WDM 광전송시스템을 상용화하여 자국 통신망에 설치하였으며, 또한 광과장 분배접속 및 과장의 재구성이 가능하며 융통성있는 망 구성이 가능하고 과장 라우팅에 의한 전송경로 효율화 가능한 OXC(Optical Cross Connect) 시스템 개발에 박차를 가하고 있다.

3.2 국내외 운용현황

국내 최대의 통신사업자인 한국통신은 LG정보통신의 20Gbps WDM 및 Lucent, Ciena, ONI, NT등 40Gbps WDM광전송장치를 운용중이며, 백본망으로 320Gbps시스템을 금년에 설치,운용할 계획으로 해외현지에서 Lucent등 6개 업체에 대한 BMT(Bench Marking Test)를 실시하여 장비선정을 완료하였다.

또한 하나로통신은 Lucent 40Gbps WDM(2.5G×16CH) 및 320Gbps 시스템을 도입 운용중에 있으며, 기타 통신사업자 및 회선임대사업자들도 광케이블의 부족과 활용도를 높이기 위해 WDM시스템을 도입하여 백본의 용량을 증가시키고 있다.

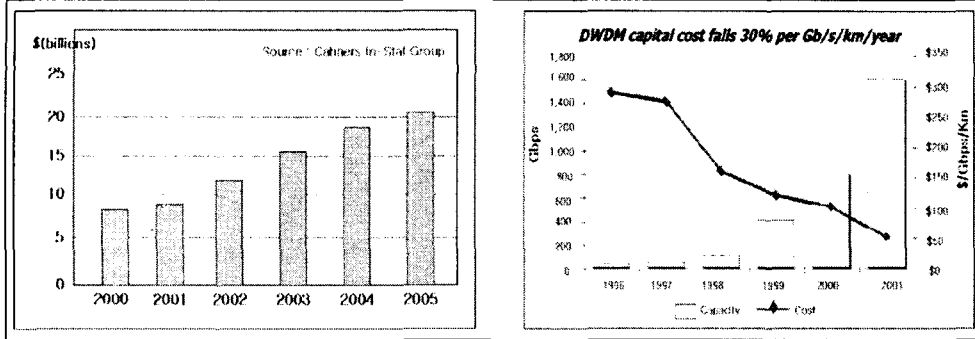
선진 외국 주요사업자의 전송망 구축 동향을 살펴보면 미국의 경우 AT&T는 Lucent 40Gbps WDM(2.5G×16CH), Sprint는 Ciena의 40Gbps WDM(2.5G×8,16CH)을 이용하고, 또한 MCI는 80Gbps WDM으로, Qwest는 80Gbps WDM장비로 망구축을 추진하였다.

또한 캐나다의 경우 장거리사업자인 스프린트캐나다는 Nortel 사의 80Gbps WDM을, 영국 BT는 Lucent의 40Gbps WDM과 Errison의 40Gbps WDM 장비를 설치 운용중에 있다.

3.3 시장동향

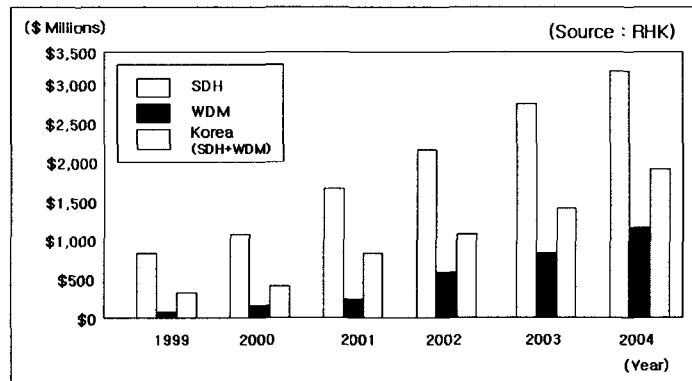
1998년도에는 세계적으로 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 시스템 시장 분포는 북미 80.0%, 유럽 14.0%, 아시아 5.5% 그리고 기타지역이 0.5%를 차지하고 있으며 [5], Cahners in-STAT Group에 따르면 <그림 7>과 같이 시장규모는 2000년도 78억 달러 정도를 기록하였으며, 2005년도에는 약 210억 달러정도를 예측하고 있다.[6]

DWDM 용량 대비 가격측면에서도 AT&T와 RHK의 분석결과에 따르면 DWDM시스템에 대하여 전송속도대비 가격분석결과 1996년도의 Km당 1.600Gbps전송속도비용은 약 \$300정도이었으나 2001년도는 약 50\$로 약 1/6정도로 감소함을 알수있다.[7]



(a) DWDM 시장규모 (b) DWDM용량대비 Km당 전송비용
 <그림 7> 연도별 DWDM시장규모 및 전송비용

또한 RHK의 보고자료에 따르면 일본과 중국을 제외한 Asia-Pacific지역에서 SDH 및 WDM전송장비의 시장규모는 2004년도에 약 45억(\$)에 달하며 이중 한국이 약 40(%) , 다음으로 Australia(19%), India(10%), Taiwan과 Hong Kong이 각각 약 8(%)와 7(%)의 점유율을 가지며, Malaysia, Singapore, Thailand, Indonesia, Philippines, New Zealand가 각각 약 2~4(%)의 시장규모를 예측하고 있다.[8]



<그림 8> Asia-Pacific지역 SDH/WDM전송장비 시장규모

구 분		연 도					
		1999	2000	2001	2002	2003	2004
Asia-Pacific 시장규모	SDH	\$818	\$1,143	\$1,715	\$2,213	\$2,793	\$3,340
	WDM	\$47	\$202	\$372	\$630	\$920	\$1,233
	총 계	\$865	\$1,345	\$2,087	\$2,843	\$3,713	\$4,573
한 국 시장규모	SDH+WDM	\$320	\$482	\$809	\$1,133	\$1,455	\$1,818
	비율 (%)	36.99	35.84	38.76	39.85	39.19	39.76

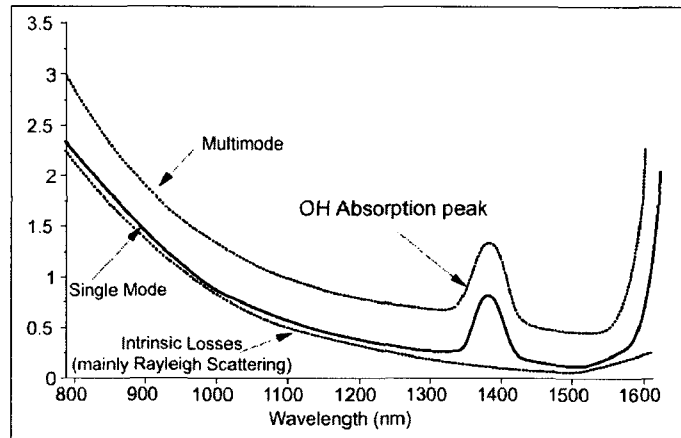
<표 1> Asia-Pacific 매출규모 (단위 : \$ Millions)

4. 측정결과

4.1 광케이블 측정결과

광섬유의 장점 중 하나는 매우 넓은 주파수 영역에 걸쳐 통신이 가능하다는 점이다.

2dB/km의 손실을 기준으로 한다면 약 130THz 구간(100nm)의 대역폭을 가지게 되며, 현재까지의 광통신 기술은 이 넓은 전송 가능 구간 중 1310nm 부근에서 단지 수백 MHz ~ 수 GHz 폭의 한 채널만 사용하였으나 <그림 9>에서와 같이 현재 이용되고 있는 단일모드 광섬유(SMF : Single Mode Fiber)의 손실은 1310nm 파장에서 0.3~0.4dB/km와 1550nm에서 0.15~0.25dB/km의 손실값을 가지므로[12], 최근 파장분할 다중화의 연구는 손실특성이 적은 1550nm 파장대에서 이루어지고 있다.



<그림 9> 단일모드 광섬유의 손실곡선

광전송시스템에서 전송속도가 2.5Gbps이하의 저속에서는 광선로의 손실 특성만 만족하면 전송에 별 문제가 없었으나 고속화가 전개되면서 색분산, 편광모드분산 (PMD), 커넥터 반사특성등이 중요한 변수로 대두되고 있으며 편광모드분산(PMD : Polarization Mode Dispersion)이 특히 중요하다. PMD는 가장 크게는 광선로 자체의 특성에 의해 발생하나 포설시 인장력이나 구부림 현상, 포설된후 매설지역의 여건 및 계절적 외부환경변화에 의해서도 영향을 받는다. 10Gbps를 종속신호로 하는 WDM 및 10Gbps이상의 TDM시스템의 경우 PMD상수는 $0.5ps/\sqrt{km}$ 로 ITU-T에서 권고하고 있다. [10,11,12]

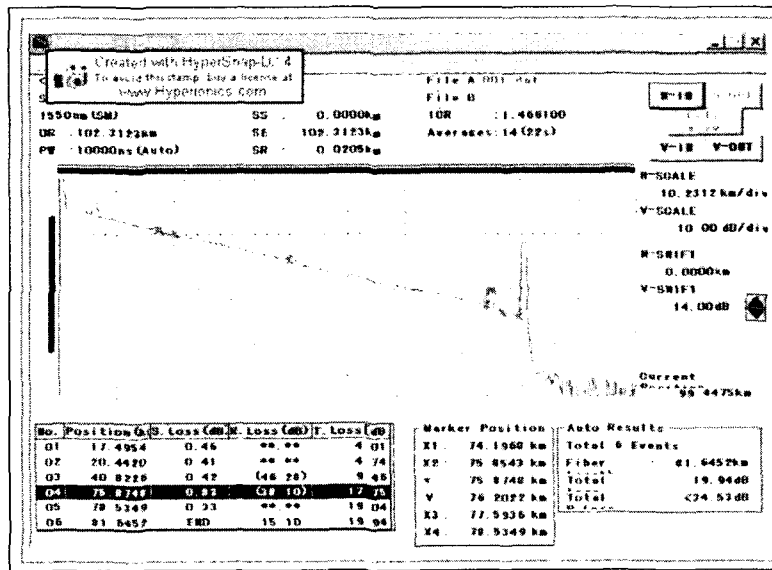
따라서 1550nm의 파장대역에서 분산이 없도록 설계된 분산천이광케이블(DSF:Dispersion Shifted Fiber)이 개발되어 있으나, 이미 포설된 광섬유의 대부분이 1550nm 대역에서 분산을 가지는 단일모드 광섬유(SMF : Single Mode Fiber) 이므로 초고속 장거리 광통신을 위해서는 광섬유 분산을 보상할수 있어야 한다.

광섬유의 분산을 보상하는 방법은 크게 송신단에서 보상하는 방법과 광섬유에서 보상하는 방법, 그리고 수신단에서 보상하는 방법 등으로 세가지로 분리할수 있으나 송,수신단의 분산

보상법은 복잡하고 구현하는데 어려움이 있다.

따라서 상대적으로 구현이 간단하고 대량 생산이 가능하며 수동소자를 이용할 수 있는 광섬유에서의 분산 보상법이 사용되며 분산 보상 광섬유(DCF : Dispersion Compensation Fiber)를 이용하는 것이다. 분산 보상 광섬유는 굴절을 분포를 바꾸어 도파로 분산을 크게 하여 단일모드 광섬유의 색분산을 보상함으로써 색분산을 해결할 수 있다.

측정대상인 단일모드 광섬유케이블의 선로길이는 81.6452Km로 손실측정결과 <그림 10>과 같이 19.94dB의 손실값이 측정되었으며 이는 Km당 0.244dB의 손실값을 가지며, 따라서 Km당 광케이블 손실 설계기준인 0.275dB보다 작게 측정되었다.



<그림 10> 광케이블 손실 측정결과

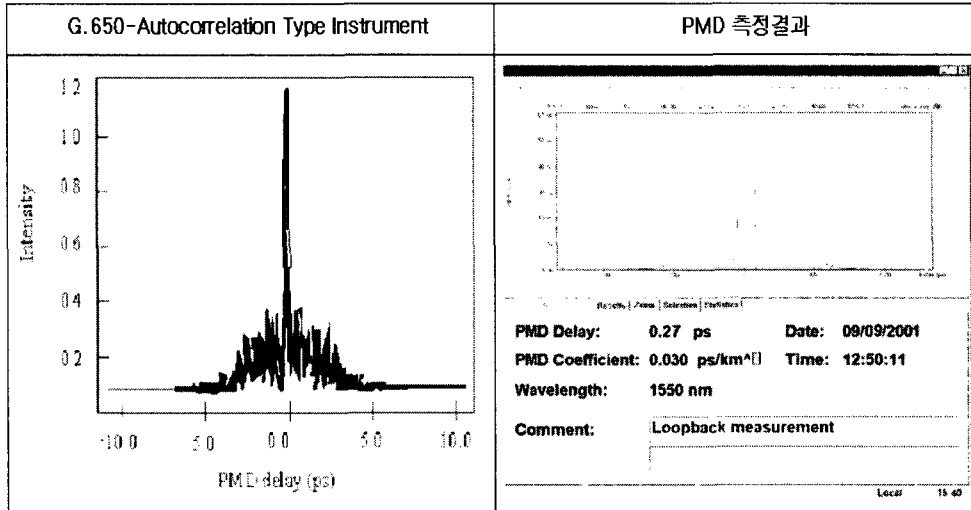
또한, 초고속 광통신에 있어서 광케이블의 전송특성을 결정하는 Parameter중 특히 중요한 편광모드분산(PMD : Polarization Mode Dispersion)에 대한 측정방법은 ITU-T G.650에서 정의된 Autocorrelation Type 계측기를 이용하여 동일선로에 대한 편광모드 측정결과 <그림 11>과 같이 파장 1550nm에서 $0.030ps/\sqrt{km}$ 로 측정되어졌으며 이는 ITU-T G.652에 권고되어진 PMD계수 $0.5ps/\sqrt{km}$ 이하조건에 만족함을 알 수 있다.

또한, PMD와 PMD Delay와의 관계는 다음과 같은 관계에 있으며

$$PMDc[ps/\sqrt{km}] = Ps/\sqrt{L}, Pm/\sqrt{L}, \text{ or } Pr/\sqrt{L} \text{ 로}$$

여기서 L은 선로길이, P_s 는PMD Delay이며, 측정되어진 PMD Delay P_s 는 0.27로 이값을 대입해보면

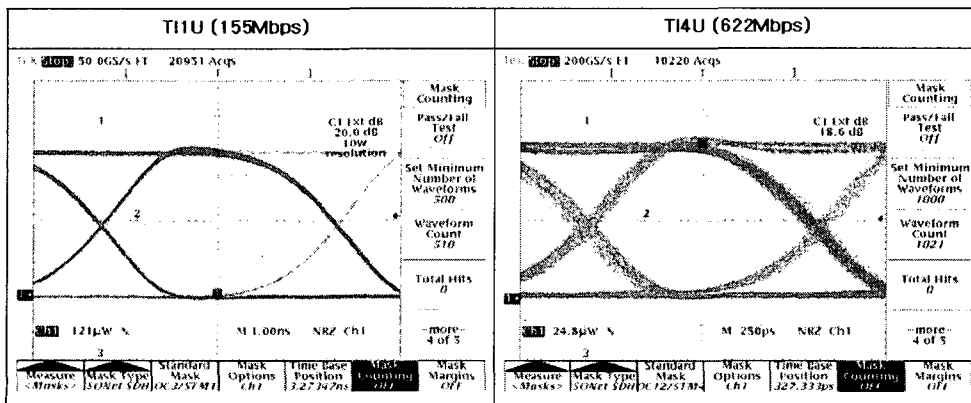
$$PMDc[ps/\sqrt{km}] = Ps/\sqrt{L} = 0.27/\sqrt{81.6452} = 0.02988 \text{과 같이 계산되며 이는 PMD 측정값 } 0.030ps/\sqrt{km} \text{와 동일한 값을 알 수 있다.}$$



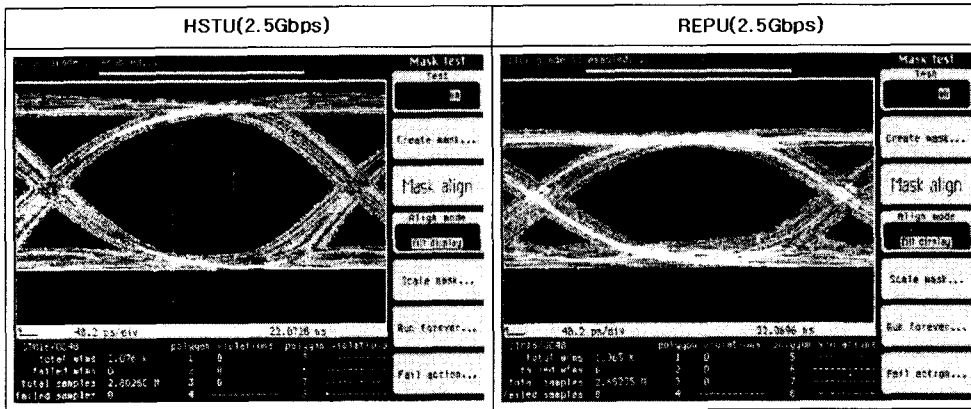
<그림 11> PMD 측정결과

4.2 동기식 광전송장치 측정결과

현재 기간망에 가장 많이 설치 운용되고 있는 2.5G SDH시스템은 DS-3 (44.736Kbps) 신호 또는 STM-1 (155,520Kbps) 및 STM-4 (622,080Kbps) 광신호를 종속신호로 사용하여 이들을 동기식 디지털 계위 16차군 신호(STM-16)로 다중 전송하고 그 역다중화 기능을 수행하는 다중장치 및 재생기능을 수행하는 중계장치로 구성되어지며 모델장비에서 감쇄기를 이용한 동일한 손실조건에서 측정결과 <그림 12>와 <그림 13>과 같이 종속부 및 고속부 유니트에 대한 Eye Pattern 측정시 기준치를 만족함을 알수있다.

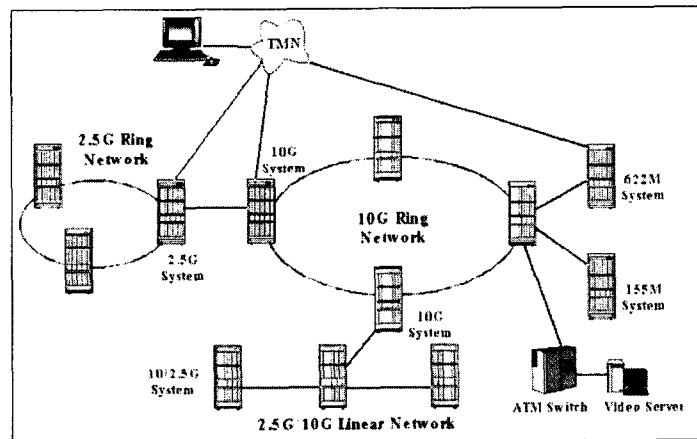


<그림 12> 종속부(TIU, TI4U) Eye Pattern 측정결과



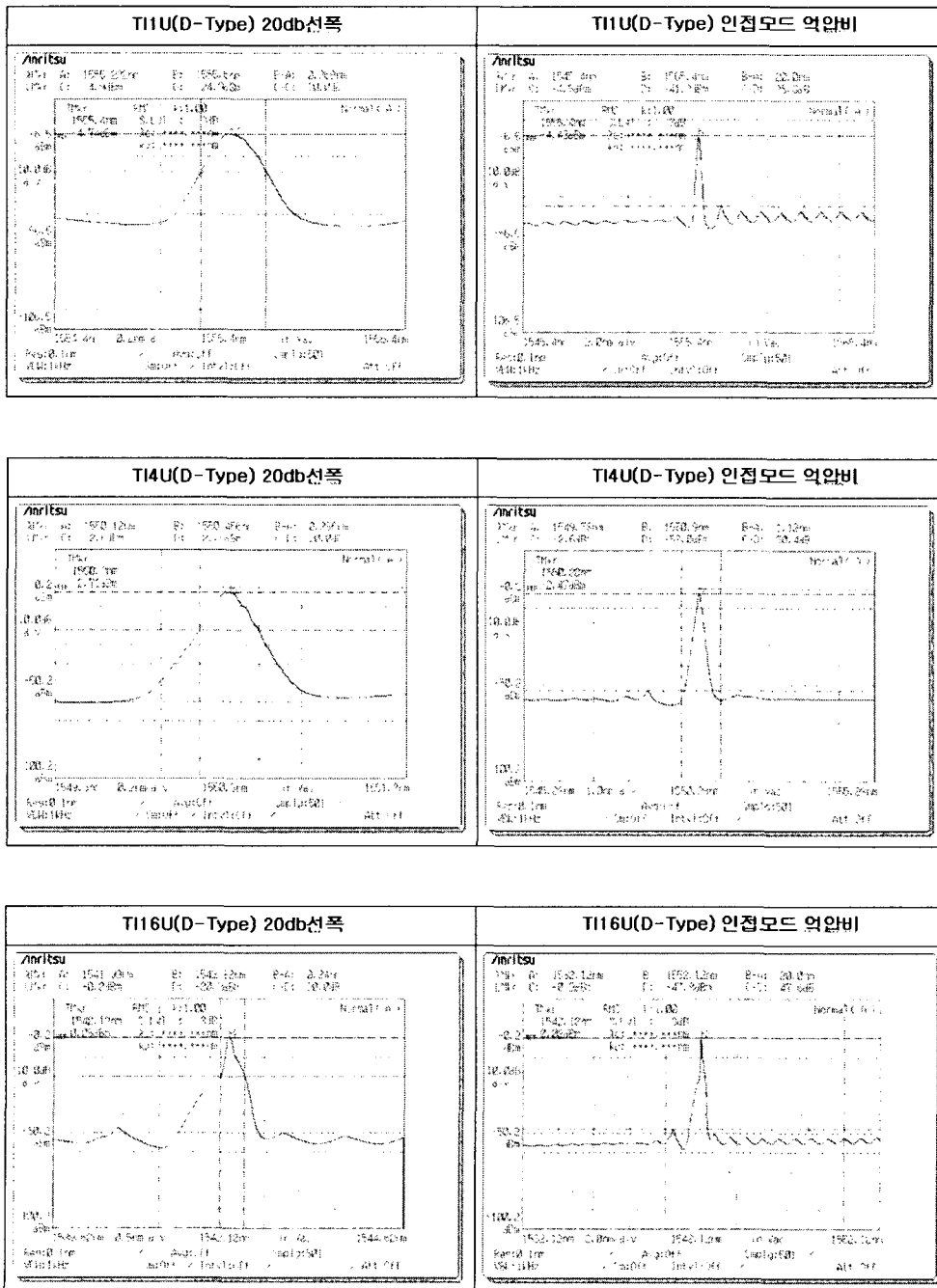
<그림 13> 고속부(HSTU) 및 중계기(REPU) Eye Pattern 측정결과

또한, 10G 동기식 광전송장치는 종속신호로 동기식 디지털 계위(SDH)인 광신호(STM-1, STM-4, STM-16)를 다중화하여 STM-64 신호로 광전송하고, 이의 역기능을 수행하며, 종속신호를 분기결합하거나, STM-64 광신호를 재생중계 또는 광증폭하는 기능을 수행하는 장치로 2.5Gbps 장치보다 4배의 전송용량을 가지며 <그림 14>와 같이 통신망에서 활용이 가능한 장비이다.

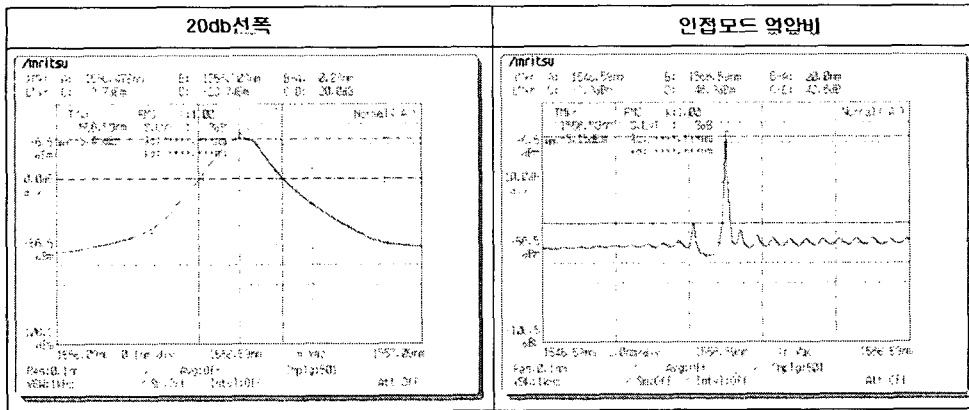


<그림 14> 10G SDH장치의 활용도

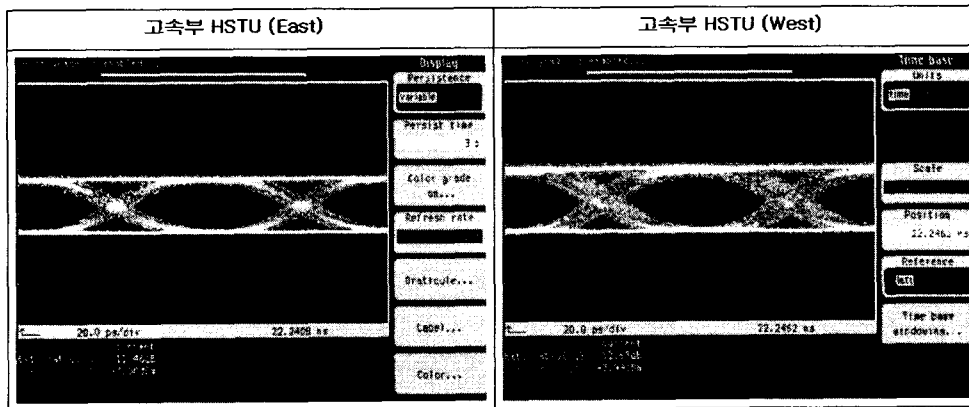
그러나 10Gbps이상의 TDM시스템의 경우 광선로특성중 PMD값에 따라 전송특성이 결정되어짐에 따라 <그림 15>, <그림 16>과 같이 10Gbps 전송장치의 종속신호별 해당 유니트에 대한 H/W특성인 20dB선폭과 인접노드 역압비를 측정후, 측정대상인 총전송거리가 81.6452Km로 손실이 19.94dB이며 PMD상수가 $0.3ps/\sqrt{km}$ 인 광케이블에 대한 전송특성시험 항목중 <그림 17>과 같이 Eye Pattern 측정결과 기준치를 만족하였으며, 또한 BER(Bit Error Rate) 측정결과 무에러전송으로 측정되어 안정된 통신망 운용 및 서비스를 제공할수 있음을 알수 있었다.



<그림 15> 10Gbps 광전송시스템 종속부 유니트별 측정결과



<그림 16> 10Gbps 광전송장치 고속부 유니트 측정결과



<그림 17> 고속부 양방향 Eye Pattern 측정결과

5. WDM시뮬레이션

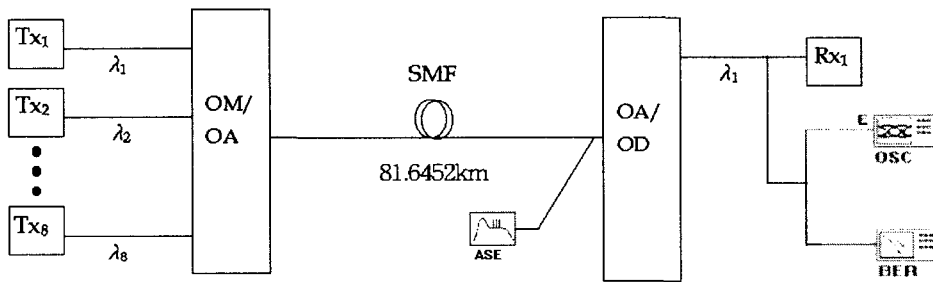
5.1 시뮬레이션 방법

WDM 전송특성을 시뮬레이션하기 위한 광케이블에 대한 선로길이 및 PMD계수는 측정결과인 81.6452km와 $0.030ps/\sqrt{km}$ 를 적용하였으며 색분산계수 D(chromatic dispersion coefficient)는 ITU-T G.654에 권고된 단일모드케이블(SMF : Single Mode Fiber)에 대해

1550nm에서 최대값인 20ps/(nm·km)를 적용하고, 또한 D slope값은 0.07ps/(nm²·km)를 적용하였다.

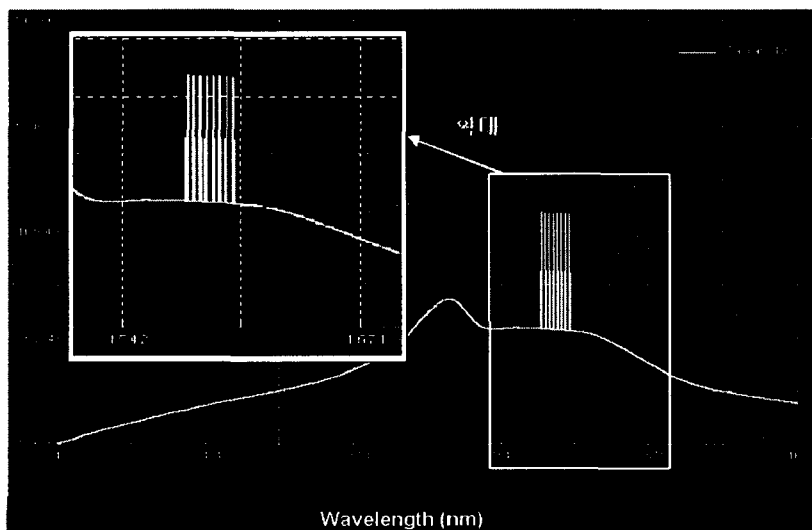
5.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 <그림 18>과 같이 점대점(Point-to-Point) 구조로 송신측에서 8채널을 다중화하여 광케이블 전송을 통해 수신측에서의 Noise Figure 및 역다중화한후 한 채널에서 BER (Bit Error Rate), Eye Pattern등을 시뮬레이션하였다.



<그림 18> 시뮬레이션 구성도

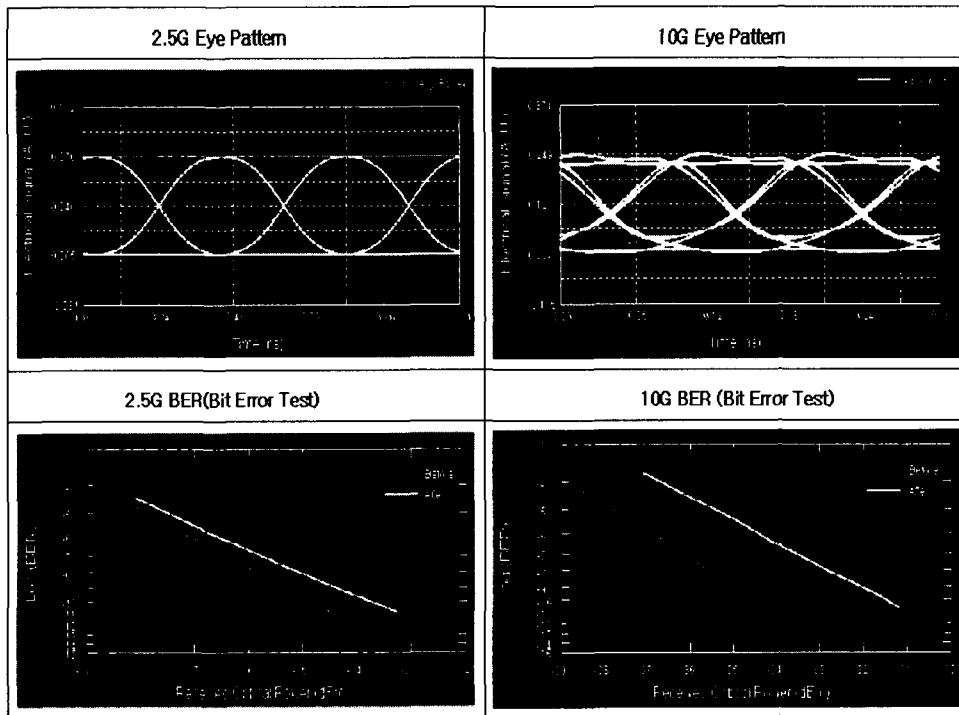
Noise Figure는 채널용량을 2.5Gbps로 첫 번째 채널은 1550nm로 설정하고 채널간격(Channel Spacing)은 100GHz단위로 총 8채널을 구성하여 이를 다중화하고 수신측에서 시뮬레이션 한 결과 <그림 19>와 같이 -10dB로 기준치인 7dB이하를 만족하였다.



<그림 19> Noise Figure 시뮬레이션 결과

또한 각 채널용량에 대해서 Eye Pattern과 Spectrum을 시뮬레이션 한 결과 <그림 20>과 같이 Eye Pattern에 대한 Extinction Rate $Ex = 10 \log(A/B)$ 와 같이 계산되어지는데[14], 채널용량이 2.5Gbps의 경우 $Ex = 10 \log(A/B) = 10 \log(0.076/0.05) = 11.82dB$ 로 계산되며, 또한 10Gbps의 경우 $Ex = 10 \log(A/B) = 10 \log(0.249/0.007) = 15.51dB$ 로 계산되어 각각의 기준치인 8dB와 10dB이상을 만족함을 알수있다.

또한 BER(Bit Error Rate)도 수신측에서 기준치인 최소입력레벨이 -28dB에서 10^{15} 이상을 보장하여 안정된 운용과 신뢰성있는 서비스제공이 가능함으로써 광케이블 선로특성 또한 만족함을 알 수 있다.



<그림 20> Eye Pattern과 BER 시뮬레이션 결과

6. 결론

현재까지 기간전송로는 TDM방식의 광전송장치로 구현되었으나 WDM 기술은 기존의 전자식 통신망과 신호처리 시스템을 완전히 광학적인 통신망과 신호처리 시스템으로 대체하려는 전광통신망 (All-optical transmission network, AOTN)으로 발전되어 향후 초고속 통

신망의 근간으로 자리잡을 것으로 예상된다.

기술성, 경제성 등 여러 측면을 살펴 볼 때 WDM 전송은 전 세계적으로 통신회선의 비용을 절감하는 가장 적절한 방법으로 인식되고 있으며, 이 외에도 비용, 망 고도화(upgradability) 등 여러 측면에서 WDM 전송 방법은 많은 장점들을 가지고 있기 때문에 세계의 통신 시장에서 많은 주목을 받고 있다

따라서 본 논문에서는 광통신망 구조 및 동향에 대해 간략하게 살펴보고 현재 포설된 81.6452km의 광케이블특성중 손실특성과 편광모드분산을 측정하였다.

측정 결과 손실은 19.94dB로 Km당 0.244dB의 손실값을 가지며, 이는 설계기준인 Km당 0.275dB보다 작게 측정되었으며, 편광모드분산(PMD)은 $0.030ps/\sqrt{km}$ 으로 측정되어 이는 ITU-T에서 권고한 $0.5ps/\sqrt{km}$ 이하 값을 만족하였다. 따라서 이 선로조건에서 10Gbps장치에 대한 전송특성을 측정한 결과 무에러전송이 가능하였으며, 또한 향후 기간망으로 설치되어질 DWDM에 대한 전송특성을 시뮬레이션한 결과 안정된 운용과 서비스제공이 가능함을 알았다.

향후 계획으로 DWDM 광전송시스템이 설치, 운용되기 이전에 구간별로 광케이블 선로특성과 각 선로조건에 대한 DWDM시스템의 전송특성을 측정하여 최적의 운용환경을 설계할 계획이며, 또한 WDM의 발전과 관련하여 광선로특성에 대한 지속적인 관리와 망구조별 경제성 분석, 최적 파장 할당방안, 망구조별 최적화 및 기본이론 정립을 통한 망설계자동화 등 망운용자 및 설계자가 용이하게 망구조를 결정하는 방법등에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 한원택(2000), 광통신과 광섬유 기술, SK Telecom Telecommunication Review, 10권, 1호
- [2] 오상철외 2명(1996), 어레이 파장 가변 광수신기를 갖는 WDM통신망의 성능분석에 관한 연구, 한국통신학회논문지, 21권, 9호
- [3] 윤문길외 1명(1999), SDH기반의 동기식 광전송망 설계체제에 관한 연구, SK Telecom-munication Review, 9권, 2호
- [4] <http://ww.stanford.edu/~dabm> "The photonics Revolution"
- [5] Richard Mark(2001), Fiberoptic cable : Market size and trends, *CLEO-LEAP Baltimore,MD*
- [6] <http://www.instat.com/rh/bbw/op0101sy.htm>
- [7] (1999), DWDM Market, *Optical Networks and WDM*, Volume 3 ,8 Gatekeepers INC.
- [8] Asia-Pacific Optical Transport Networks(2001), *Market Report : Market Forecast and Analysis*, RHK Inc
- [9] ITU-T G.650 Series G:TRANSMISSION SYSTEM AND MEDIA(1997). DIGITAL

- SYSTEM AND NETWORKS, Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres
- [10] ITU-T G.652 Series G:TRANSMISSION SYSTEM AND MEDIA, DIGITAL SYSTEM AND NETWORKS(1997), Characteristics of a single-mode optical fibre cable
- [11] ITU-T G.654 Series G:TRANSMISSION SYSTEM AND MEDIA, DIGITAL SYSTEM AND NETWORKS(1997), Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre cable
- [12] ITU-T Recommendation G.957 Series G:TRANSMISSION SYSTEM AND MEDIA, DIGITAL SYSTEM AND NETWORKS(1999), Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy
- [13] Yi Chen, Mohammad T, Fatehi, Humberto J. Lache, Jacob Z. Larsen, and Bruce L. Nelson (1999), Metro Optical Networking, *Bell Labs Technical Journal* 163-186 January-March
- [14] Itaru Nishioka와 3명(2000), Effect of Map Strength on Polarization Mode Dispersion in Dispersion -Managed Soliton System, *IEEE Photonics Technology Letters*, volume 12, 11
- [15] 정노선외 4명(2000), Mesh구조의 WDM 기간망 구조 설계, 한국통신학회논문지 25권, No.5B
- [16] 정노선외 5명(1999), 한국 실정에 맞는 트래픽 모델링 및 전광WDM 기간망의 설계, 한국통신학회논문지, 24권, No.6B