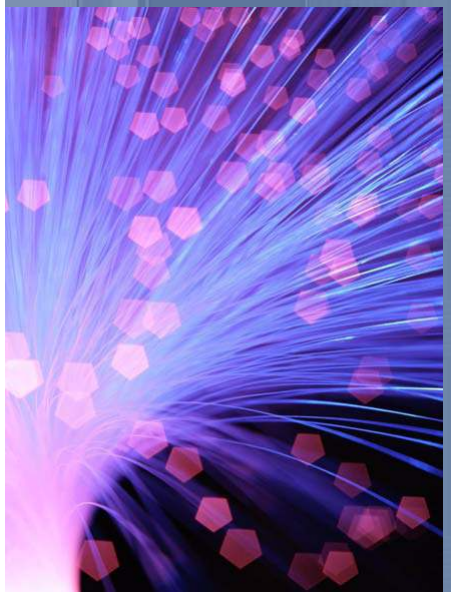
DWDM

(Dense Wavelength Division Multiplexing)



마케팅사업부

KTiCC

1. 서론

ㅇ 현재 세계의 통신 업계들은 인터넷, 멀티미디어 서비스 등의 발전에 따라 폭발적인 전송 속도의 증가를 예측하고 있다.

ㅇ 매년 12% 이상의 속도 증가를 예측하고 있으며, 우리나라의 경우도 2015년에 이르면 현재의 통신량에 비해 약 130배 정도의 통신량 증가를 예상하고 있다. 이러한 현실 속에서 여러 가지 통신속도 증가 방법들이 제시되어 왔었다.

ㅇ 이를 크게 세가지로 구분하자면
- 전자회로의 속도를 증가시키는 방법(TDM : Time Division Multiplexing)
- 광학적으로 짧은 펄스를 만들어 이를 다중화 하는 방법 (OTDM : Optical Time Division Multiplexing)
- 여러 가지 다른 파장을 묶어 한 개의 광섬유를 통해 전송하는 파장분할 다중화 방법 (WDM : Wavelength Division Multiplexing) 등이라 할 수 있다.

ㅇ 이 중 TDM의 경우 속도 증가에 대해서는 현재까지 2.5Gbps의 속도까지 송수신 장치를 상용화하는 데 성공하였고, 현재는 세계적으로 10Gbps의 송수신 장치를 상용화하기 위한 목적으로 개발 중에 있다.

ㅇ OTDM에 관해서는 그간 짧은 펄스를 만들고 다중화하는 부분에 많은 연구가 이루어져 왔고, 연구 결과로서는 수 fsec (10-15sec)의 단위까지 펄스 폭을 줄이는 데 성공함으로써, 거의 이론적인 한계까지 이르게 되었다. 그러나 이 전송 방법의 경우 다중화된 고속의 펄스로부터 클럭을 추출하는 기술이 극히 어렵기 때문에 앞으로 실용화 단계에 이르기까지는 많은 시간이 걸릴 것으로 보인다.

ㅇ 한편, WDM 전송 기술은 불과 수년 전 그 개념이 처음 나온 이후, 전세계적으로 연구가 되어왔고 현재는 상용 장비가 나올 정도로 빠른 진전이 있었다. 이 기술은 전송 속도에 상관없이 여러 채널을 각각 다른 파장에 실어줌으로써 한 개의 광섬유 코어를 이용해 전송해주는 방법으로 향후 초고속 정보통신망의 광통신 분야에서 핵심 기술로 이용될 것이다. 이에 따라 본 고에서는 WDM 전송 기술의 원리, 요구되는 기술들, 요소 부품 및 현재의 기술 수준, 연구 동향 등에 관해 소개하고자 한다.

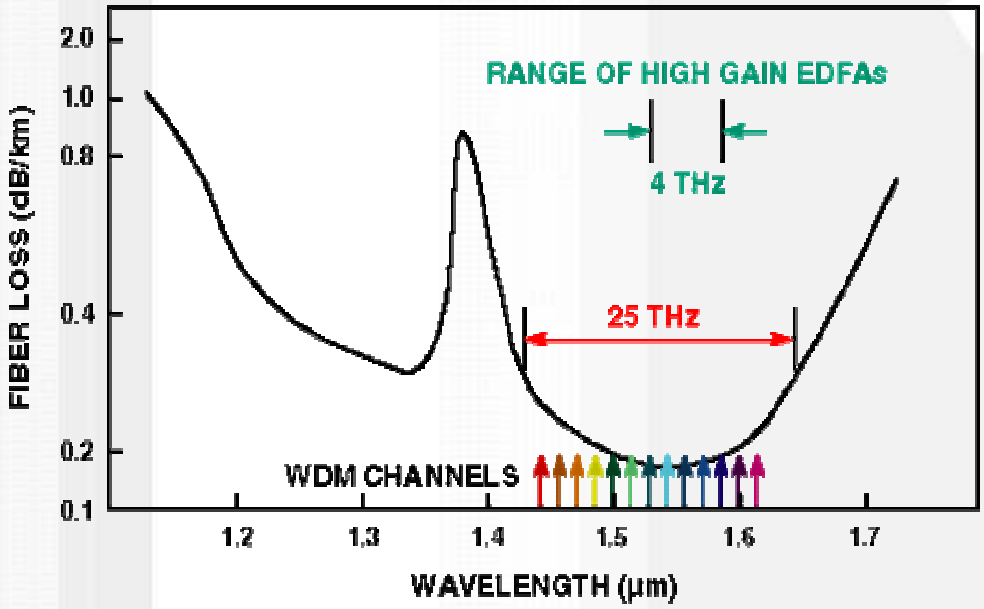
ㅇ 광섬유의 큰 매력 중 하나는 매우 넓은 주파수 영역에 걸쳐 통신이 가능하다는 점이다.

2dB/km의 손실을 기준으로 한다면 약 130THz 구간(100nm)의 대역폭을 가지게 된다.

(참고 : THz=1012Hz) 현재까지의 광통신 기술은 이 넓은 전송 가능 구간 중 1310nm 부근에서 단지 수백 MHz~수 GHz 폭의 한 채널만 사용해 왔었다.

WDM 전송은 이 넓은 대역을 최대한 활용해 보자는 생각에서 출발한 전송 방법이다.

(그림 1)에서는 현재 이용되고 있는 단일모드 광섬유의 손실 곡선을 보여주고 있다.

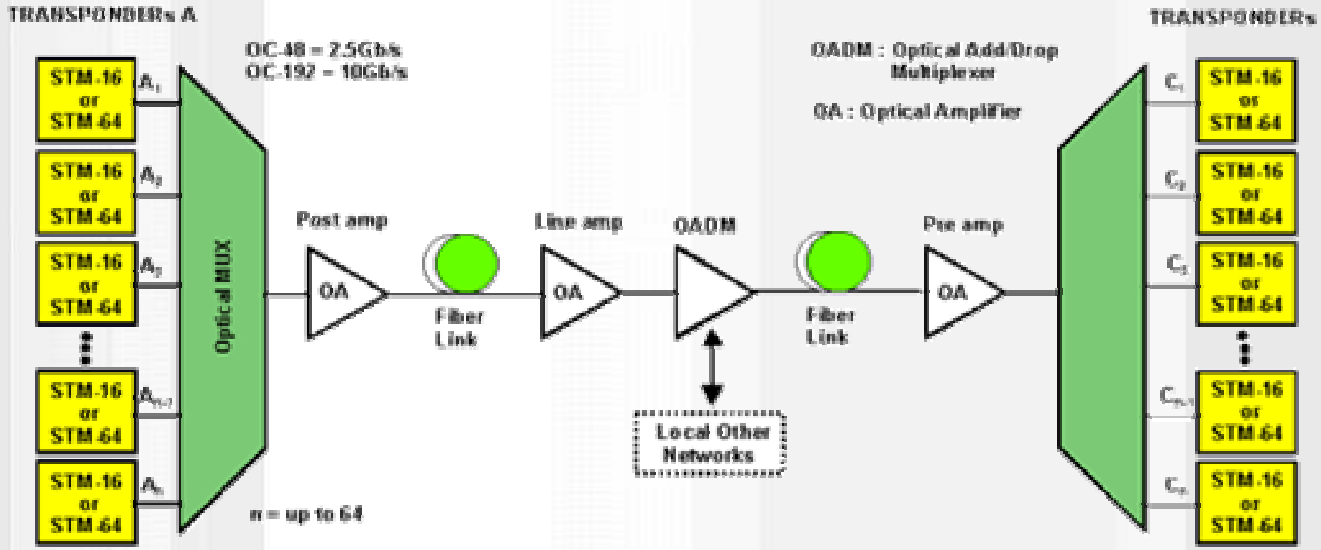


(그림 1) 단일모드 광섬유의 손실곡선

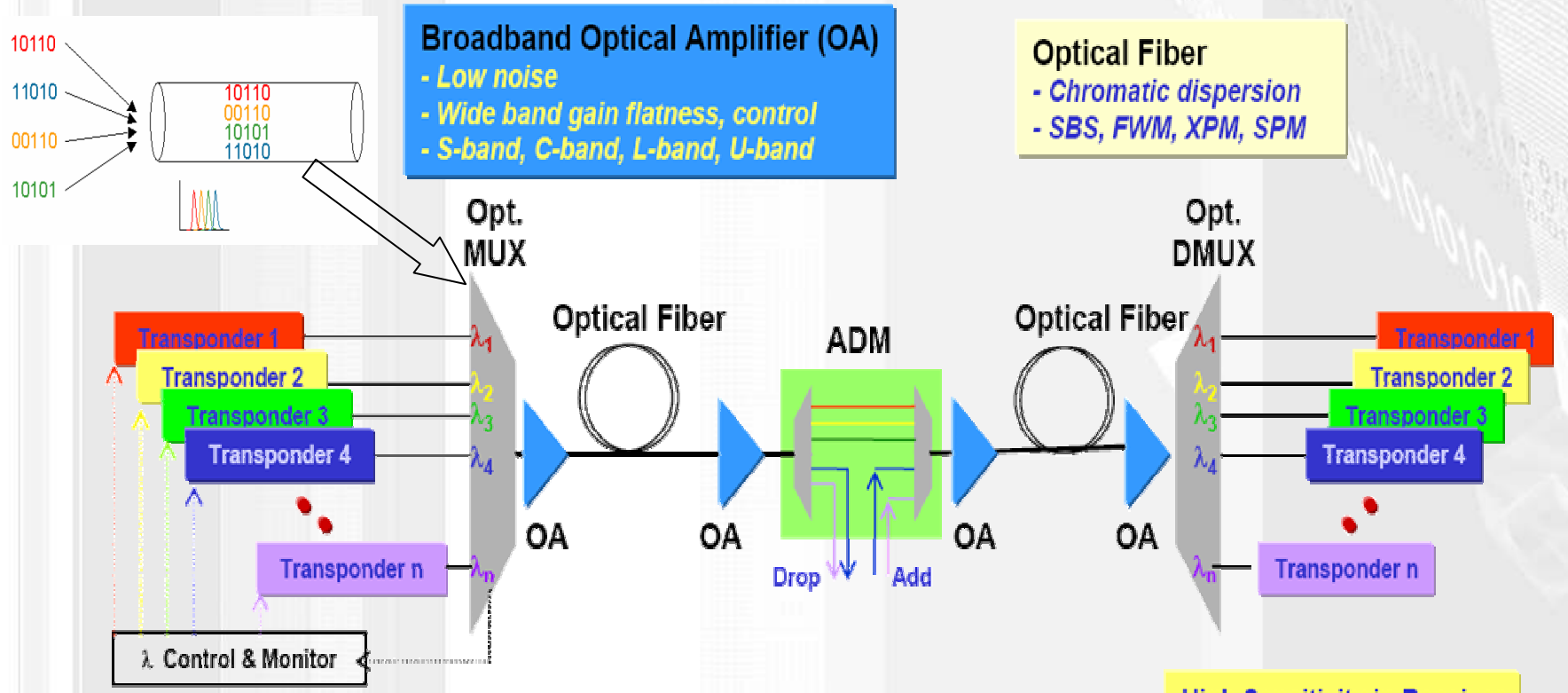
ㅇ 그림에서 현재 사용되고 있는 파장은 1310nm 영역과 1550nm 영역이다. 최근 <u>1550nm 영역에서 동작하는 에르븀 첨가 광 증폭기의 발전으로 말미암아 파장분할 다중화의 연구는 주로 이 파장 부근에서 이루어지고 있다</u>.

여기에서 일정한 파장 간격으로 채널을 배치하여 각 채널에 신호를 실은 후, 여러 채널을 광학적으로 다중화하여 한 개의 광섬유를 통해 전송하게 된다. (그림 2)는 이러한 과정을 도식적으로 보여주고 있다.

지금까지는 한 개의 광섬유 코어에 한 개의 파장만을 실어 보냈으나, WDM 전송에서는 이 그림에서 보는 바와 같이 여러 개의 파장을 하나로 묶어서 보내며, 수신 측에서는 각 채널을 파장별로 분해하여 각 채널을 별도로 활용한다.



(그림 2) 파장분할 다중화(WDM) 전송의 기본 개념



(그림 2-1) Wavelength Division Multiplexing

3. WDM 전송의 유용성

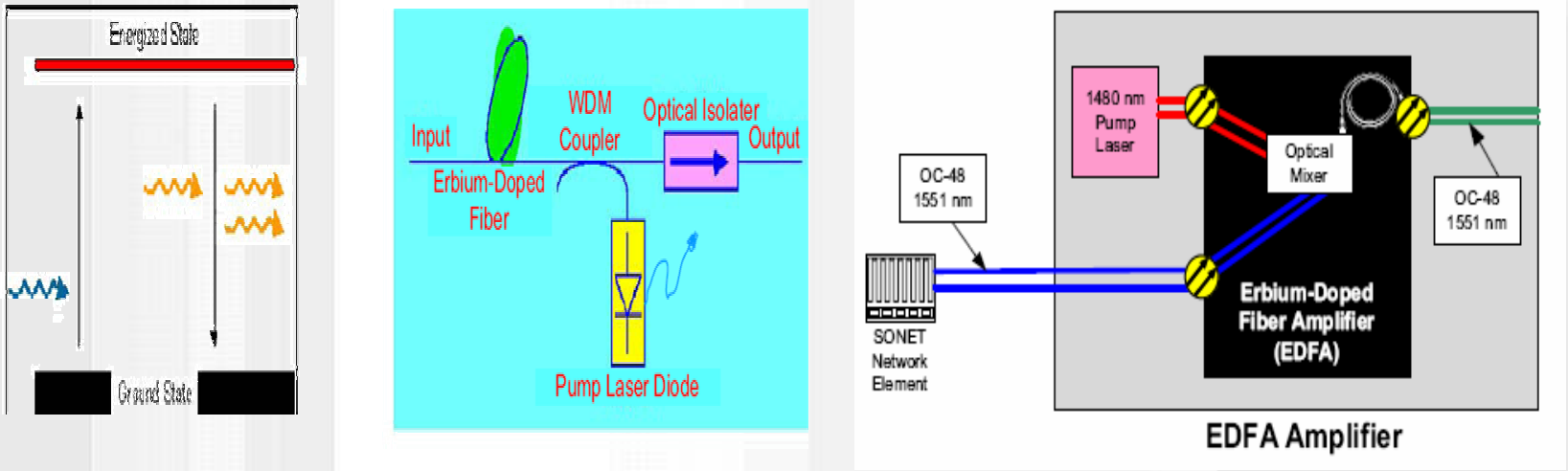
ㅇ 위의 WDM 전송 개념에서 알 수 있듯이, 이 전송 방법은 매우 경제적이며 손쉽게 전송 속도를 증가시키는 대단히 효과적인 방법이다.

특히 이 기술은 1550nm 에서 동작하는 에르븀 첨가 광 증폭기(EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier)기술과 합해지면서 가히 광통신의 개념을 바꾸어 놓는 역할을 하게 되었다.

EDFA란 에르븀이라는 원소를 광섬유에 도핑하고 이에 펌핑 광을 가함으로써, 입력되는 광 신호를 전기신호로 바꾸지 않고 직접 증폭시키는 장치이다.

한국통신 선로기술 연구소에서도 최근 EDF를 생산하기 시작하였다. 기존에도 1300nm에서 동작하는 반도체 증폭기가 있었는데 EDFA가 특히 중요하게 부각되는 것은, 후자의 경우 **광섬유 증폭기이기에 삽입 손실이 적을 뿐 아니라, 잡음 지수가 낮으며, 이득이 매우 크기(소신호 이득~30dB) 때문이다.**

광 증폭 기술이 발전되지 않았더라면 WDM 방식으로 전송되는 신호를 채널 수만큼 중계를 해야 하기 때문에, WDM의 효과는 반감되었을 것이다.



(그림 3) EDFA Model

3. WDM 전송의 유용성

ㅇ 기존의 광통신 방법으로는 새로운 광 케이블을 설치해야 하고, 30~40km 마다 손실된 신호를 복구해 주기 위하여 채널마다 중계기를 달아주어야 한다.

이 때의 중계기는 광 신호를 전기신호로 전환하여 신호를 복구한 후 다시 광 신호로 바꾸어주는 복잡한 과정을 수행하게 되며 많은 비용을 요구한다.

그러나 WDM 전송방식과 광 증폭기의 개념이 도입되면 선로를 새로 설치할 필요도 중계기를 채널 수대로 달아줄 필요도 없이, 한 개의 광 선로를 통해 전달되어 오는 여러 채널의 광 신호를 광 증폭기를 이용하여 동시에 증폭해서 계속 전송하기 때문에 매우 저렴하게 전송 속도를 증가시키는 방법이 된다.

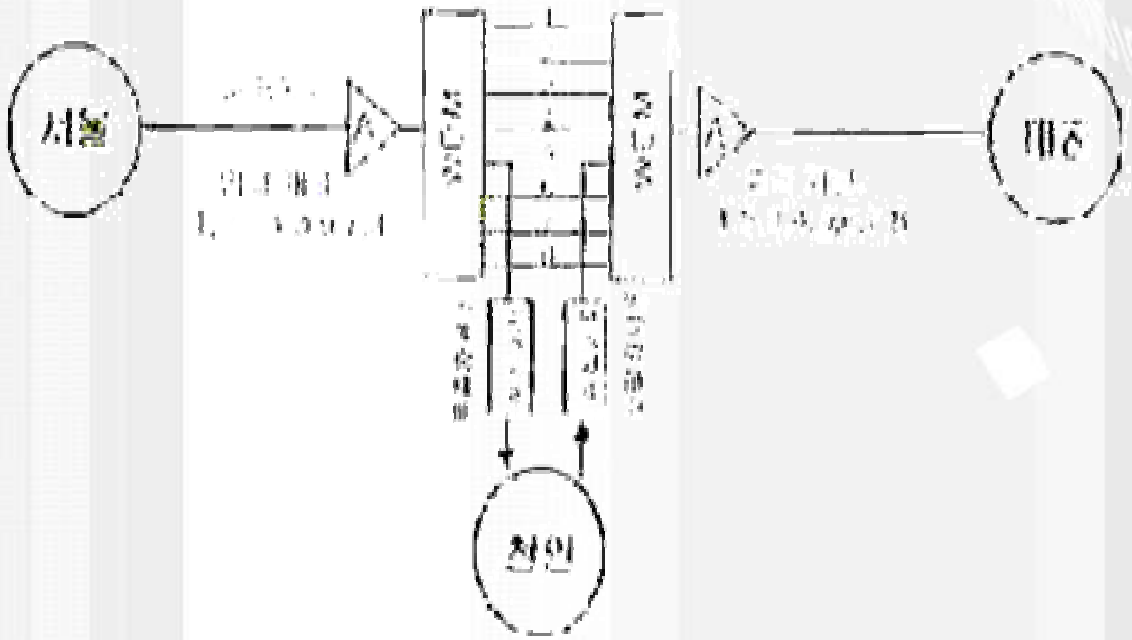
ㅇ WDM 전송과 광 증폭기를 사용하는 전송 방법의 또 하나의 장점은 이들이 전송하고자 하는 데이터의 형태에 상관없이 사용된다는 점이다.

즉, 전송 속도, 변조 방법, 디지털/아날로그 등의 전송 형태에 관계없이 어떠한 광신호의 전달에도 이용될 수 있다는 점이다. 이를 전송의 투명성(transparency)이라 부른다. 또한, WDM 전송은 네트워크의 구성을 대단히 용이하게 해준다.

이는 전송 도중 특정 파장을 손쉽게 분리해내거나 더해주는 기능이 가능하기 때문이다.

예를 들어 서울-대전 구간의 10Gbps 단일 채널 전송 중 천안에서 2.5Gbps를 분기해야 하는 경우, 도중에서 전송되어 오던 광 신호를 광-전 변환 후, 필요한 부분을 빼내고 추가할 신호와 함께 다시 전기적으로 다중화한 후 광 신호로 바꾸어 재전송을 해야 한다.

반면에, (그림 3)과 같이 2.5Gbps 속도의 8채널을 WDM 전송하고 있을 경우에는 그 중 한 채널만 광학적으로 분기/결합해주면 된다.



(그림 3) WDM전송의 채널 분기/결합 기능

ㅇ 따라서, 기존의 방법에 비하면 매우 간단하게 네트워크의 구성이 가능해지게 된다.
이 외에도 비용, 망 고도화(upgradability)등 여러 측면에서 WDM 전송 방법은 많은 장점들을 가지고 있기 때문에 세계의 통신 시장에서 많은 주목을 받고 있다.

4. WDM 전송 및 채널 고속화를 위해 요구되는 기술

ㅇ 위와 같이 WDM 전송을 가능케 하고, 그 기능을 충분히 활용하기 위해서는 여러가지 기술들이 요구된다. 이득이 크고 **평탄한 광증폭기, 정확한 파장을 유지하는 레이저, 여러 개의 파장을 합하거나 분리하는 multiplexer 및 demultiplexer, crosstalk가 적은 광 필터 등이 소자로서 요구되며**, 장거리 전송을 하기 위한 변조 기술, 단일 채널을 더욱 고속화 하기 위한 분산 보상 기술 등이 요구되고 있다. WDM 소자 및 요소 기술에 관해 설명한다.

ㅇ 앞에서도 광증폭기의 중요함은 여러 차례 언급되었듯이, **광-전 변화 없이 미약해진 신호를 증폭하여 원래의 신호 형태로 복구하는** 기능은 초고속 광통신에 없어서는 안될 필수 개념으로 등장하였다. 따라서 WDM 전송의 성능도 상당 부분 EDFA에 의존하게 되는데, **중요한 변수가 EDFA의 이득 평탄도(gain flatness) 및 출력이다**. 파장에 따른 이득의 차이가 있을 경우 여러 단 증폭을 하게 되면 채널간 파워의 차가 커지게 되고, 큰 신호에 의해 증폭기 출력이 포화됨으로써 다른 채널의 신호가 미약하게 된다. 따라서 증폭기의 이득이 평탄한 곳을 택하여 다중화할 채널을 선택하게 되며, 증폭기의 이득 평탄 영역을 넓히려는 연구가 부단히 진행되고 있다.

현재 상용화된 EDFA의 경우, 1dB 내에서 이득이 평탄한 영역은 1540~1570nm의 30nm 정도이며, 파장이 다른 두 펌핑 광을 사용하는 방법 또는 Fluoride, Tellurite 등을 광섬유 제조 원료로 사용하는 방법 등을 이용하여 평탄 영역을 계속 넓히는 시도가 이루어지고 있다.

ㅇ 특히 Tellurite 광섬유를 이용한 EDFA를 사용하여 이득 평탄 영역을 1535~1610nm의 75nm로 넓힌 연구 결과가 최근 보고되어[1] 향후 매우 많은 채널을 WDM 전송할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. **한편, ITU-T에서 제안하고 있는 파장 간격 100GHz(약 0.8nm)로 채널을 정한다면, 현재 상용화된 EDFA를 이용하여도 40채널 정도를 다중화할 수 있게 되며, 이 때 채널 당 전송 속도 2.5Gbps를 채용한다면 100Gbps 전송을 가능하게 해준다**. 한편, 다중화하는 채널 수가 늘어날수록, 증폭기간의 거리를 멀리할수록, 더 큰 출력을 갖는 EDFA가 필요하게 된다. 최근에는 양방 펌핑, Ytterbium 도핑 등을 통해 출력 24 dBm까지도 보이고 있다.

4. WDM 전송 및 채널 고속화를 위해 요구되는 기술

ㅇ 각 채널의 파장 간격을 일정하게 유지하며, WDM 네트워크를 운용하기 위해서는 원하는 파장에서 동작하는 LD가 있어야 하고, 각 LD의 파장을 계속 감시하고 변하지 않도록 제어하는 기술이 필요하게 된다. **현재 파장 안정성이 가장 우수하다고 보는 multi-quantumwell DFB LD의 경우 수년 전만 하더라도 파장을 선택하기가 무척 힘들었으나, 최근에는 0.8nm 간격으로 40채널 이상의 LD를 상용화하고** 있다. 한편, 이 LD들의 출력 파장을 감시하고 계속해서 같은 파장에서 동작하도록 하는 감시 제어기술도 여러가지로 개발되고 있으며, 주로 정해진 등 간격의 파장에 대해서만 투과를 하는 간섭계를 이용하여 투과되어 오는 광의 세기를 보고 LD의 현재 파장 위치를 판단하는 방법들을 채택하고 있다[2].

송신단에서 각각 변조된 여러 채널 파장을 광학적으로 하나로 묶는 multiplexing이나 전송되어온 여러 채널을 파장별로 따로 분리하는 **demultiplexing에는 최근 Arrayed Waveguide Grating(AWG)이라고 하는 Grating**을 PLC 회로로 구현하는 방법이 빠른 속도로 발전하고 있다[3].

ㅇ 지금까지의 **1310nm 부근에서의 광통신에서는 광 손실이 전송 거리를 제한하는** 주요요인이었으나, **EDFA가 적용되면서 손실보다는 LD의 첩(Chirp)과 분산이 전송 거리를 제한하는** 더 중요한 요인이 되었다.

첩이란 LD를 직접 변조하는 경우 입력 전류의 변화에 따라 파장이 순간적으로 변화하는 현상으로, 이로 말미암아 파장 폭이 넓어져 전송에 따라 **펄스가 왜곡되는 현상이 발생한다**. 최근에는 첩 상수를 많이 줄여서, 직접변조를 하더라도 2.5G 신호를 200km 이상까지 전송이 가능하도록 하는 제품들이 나오고 있다. 그러나 장거리 전송을 위해서는 LD를 직접 변조하지 않고 LD에서 나오는 광원을 외부에서 변조하는 방법이 많이 시도되었다. 이러한 방법을 이용할 때는 2.5G 전송의 경우 1,000km 까지는 무난히 전송하고 있다. 외부변조기로는 주로 LiNbO3를 이용한 마하젠더 형의 간섭계를 사용해오고 있다.

이 경우의 문제점은 간섭계의 특성상 주변 온도에 따라 동작점이 변화하는 등의 이유로 이를 고정하기 위한 별도의 회로가 있어야 하고, 삽입 손실이 크며, 변조 신호가 커야 한다는 점 등이다. 이러한 점을 극복하기 위해 전계흡수형 변조기를 집적한 LD(EML : Electro-absorption modulated Laser)가 연구되고 있는데, 이는 직접변조 방식과 외부변조 방식의 장점들을 취한 것이다.

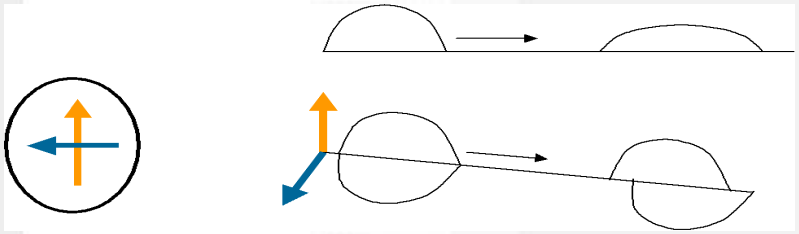
ㅇ 외부변조, EA변조 등의 방법을 채용하여 첩의 영향을 줄인다고 하더라도 전송 속도가 증가하면 **색 분산에 의한 영향으로 전송 거리가 제한된다**. 다음에 다룬 PMD(편광모드 분산)에서 여기에 대한 자세한 내용을 다루었다.

스펙트럼 반전법은 전송로의 가운데에서 파장을 바꾸어 줌으로써 진행되어 오던 것과는 반대 방향의 분산을 경험하게 하는 방법이다[5].

이 경우 반도체증폭기나 분산천이 광섬유를 사용하여 4광파 혼합이라는 비선형 현상을 일으킴으로써 새로운 파장을 만들어 주어야 하는데, 이의 효율이 낮고 전송로의 가운데 지점에서 해야 하는 등의 단점이 있다. 최근 광섬유격자의 기술이 급격히 발전하면서 이를 분산 보상에도 적용하는 시도가 이루어지고 있는데, 이 경우엔 아직 온도에 따른 변화가 있고 넓은 파장 영역에 적용할 수 없다는 어려움들이 있다.

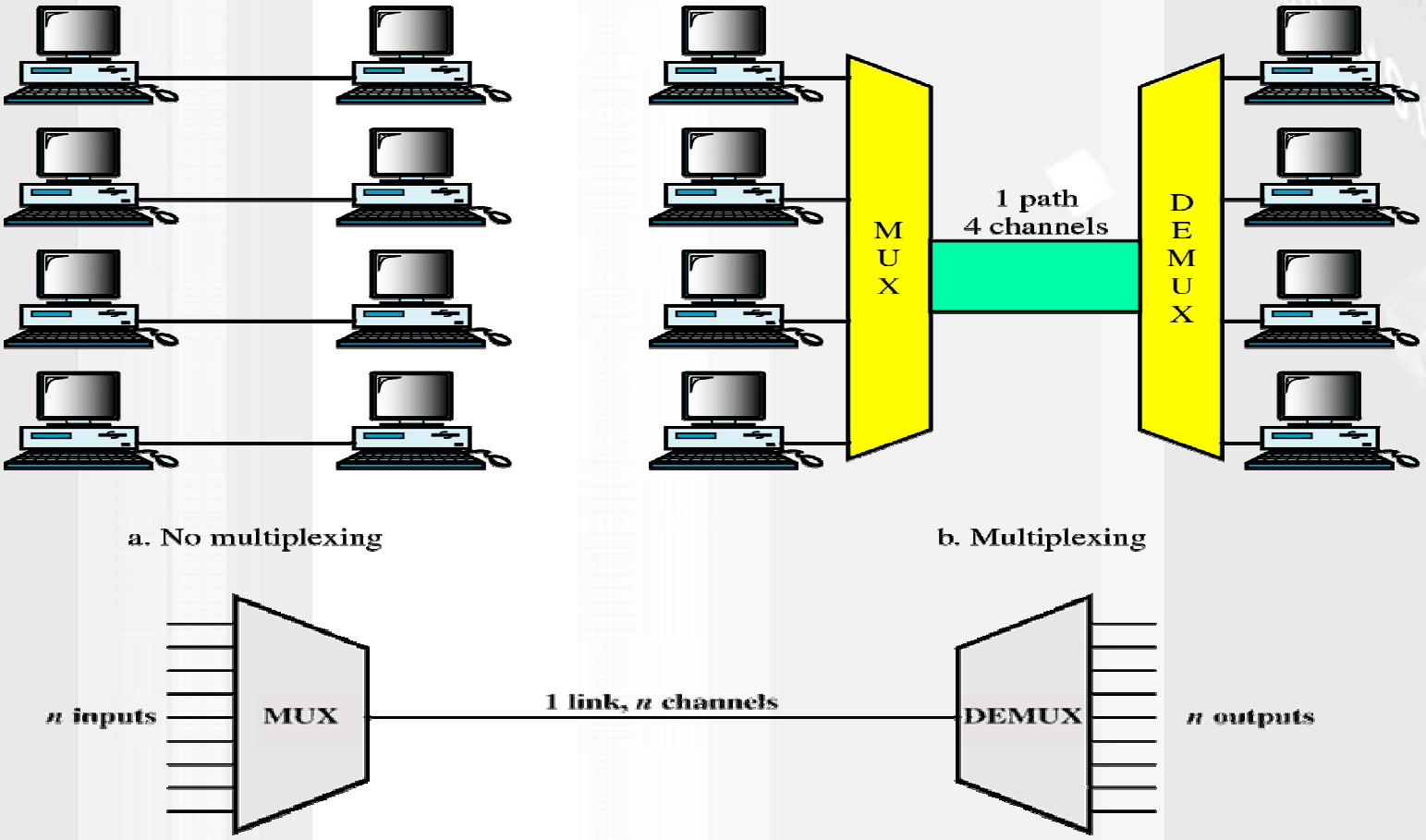
위의 방법 중 가장 **실용 가능성이 큰 것은 분산 보상 광섬유(DCF)를 사용하는 방법인데**, 이는 일반 광섬유와 반대의 분산 값을 갖는 **광섬유(DCF)를 전송로의 중간 중간에 배치함으로써 분산을 보상하는 방법으로**, 이의 단점은 코어의 크기가 작기 때문에 비선형 현상에 의해 특성이 열화될 우려가 있고, 가격에 있어서도 보상해야 할 거리에 드는 **광섬유 가격의 약 1.5배 비용이 들고, 손실이 커서 이를 보상하기 위한 추가의 광 증폭기가** 요구되며, 온도에 따른 손실의 변화가 존재하는 점 등이 있어서 현장에 사용되기까지는 위의 문제들이 해결되어야 할 것으로 보인다.

DCF의 경우 **최근에는 이 중 많은 문제점들이 해결되어서 현장에 적용하는 시도가 이루어 지고 있다**.



Polarization Mode Dispersion

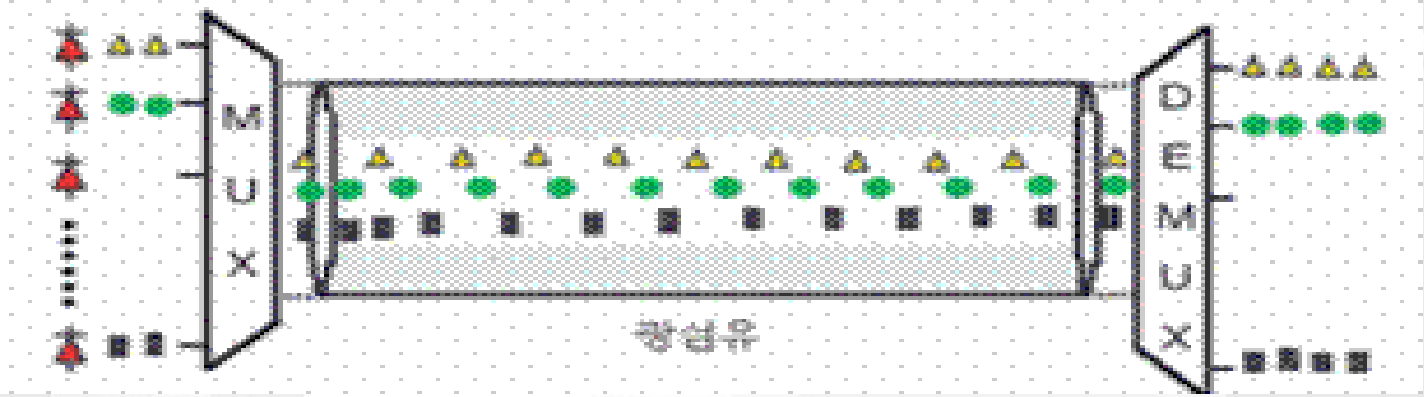
- Multiplexing이란?
  - 단일 링크를 통해 다중 신호를 동시에 전송하기 위한 기술



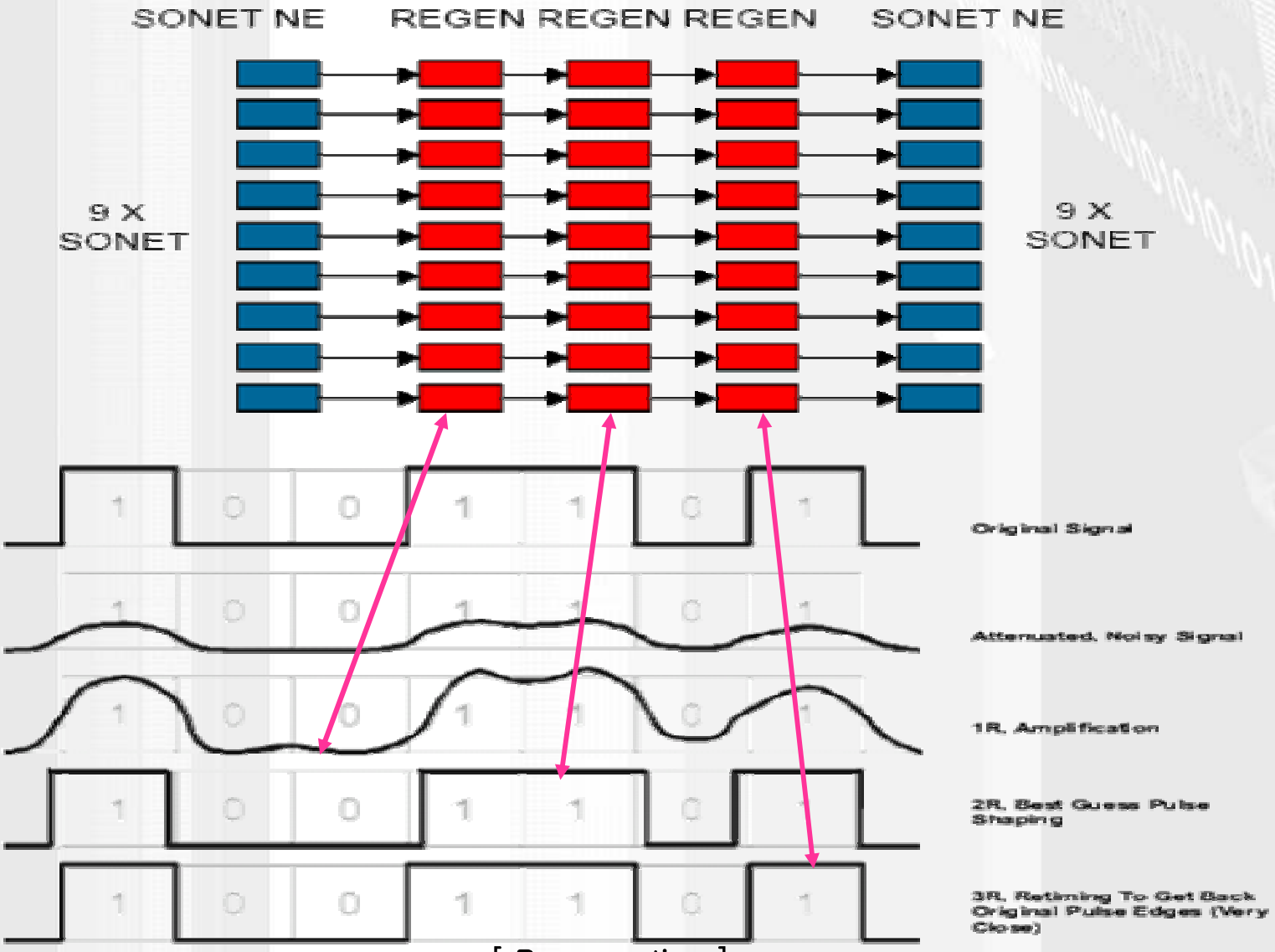
Wavelength Division Muntiplexing

ㅇ WDM(Wavelength Division Muntiplexing)

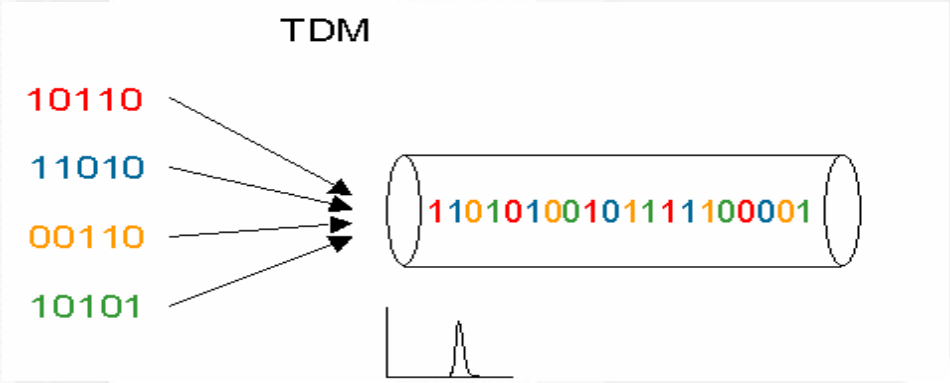
- 광섬유 선로를 통하여 전송되는 광신호에 대한 FDM (Frequency Division Multiplexing)
- Muntiplexing/ DEMuntiplexing은 프리즘으로 실현함



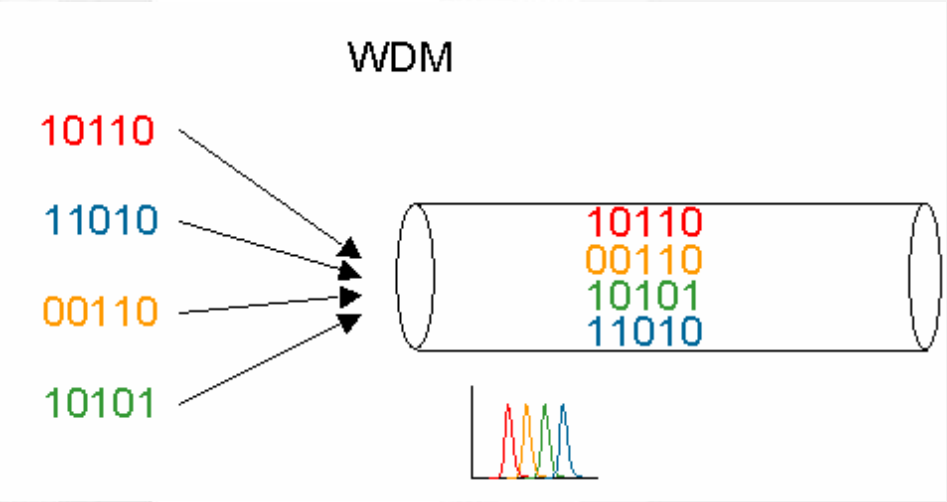
3R(Regeneration) 이란?



[Regeneration]



○ 한 개의 파장에 데이터가 순서대로 배열되어 전송



○ 한 개의 파이버에 각기 다른 데이터를 갖는 여러 개의 파장이 전송

DWDM TERMS

Acronym	Description/Explanation
1R	regenerator that reamplifies optical signal
2R	regenerator that reamplify and reshape
3R	regenerator that reamplify, reshape, and retime
4WM	four-wave mixing (also called FWM) (impairment)
APD	avalanche photodiodes
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	arrayed waveguide
BER	bit error rate
BG	Bragg grating
C-band	optical band from 1530 to 1570 nanometers long
CS-RZ	carrier suppressed-return to zero
CWDM	course wavelength division multiplex/multiplexing
dB	decibel (a unit for expressing the ratio of two amounts of electric or acoustic signal power equal to 10 times the common logarithm of this ratio)
dBm	decibel per milliwatt (power ratio referenced to 1 milliwatt)
DCF	dispersion compensation fiber
DCM	dispersion compensation module (lumped dispersion)
DCN	data communications network
DS	dispersion shifted
DSF	dispersion-shifted fiber
DWDM	dense wavelength division multiplex/multiplexing

DWDM TERMS

Acronym	Description/Explanation
EDFA	erbium-doped fiber amplifier
EDTFA	tellurite-based EDFA (Tellurium is the source rare-earth ele-ment.)
ELEAF	Corning Expanded Large Effective Area Fiber (NZ-DSF)
ESD	electrostatic discharge
FEC	forward error correction
FNC	Fujitsu Network Communications, Inc.
FWM	four-wave mixing (also called 4WM) (impairment)
Gb/s	gigabits per second
GHz	gigahertz
GW	symbol for gigawatt (one billion watts)
GS-EDFA	gain-shifted erbium-doped fiber amplifier
GUI	graphical user interface
ILA	intermediate line amplifier
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization of Standards
ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector
LAN	local area network
L-band	Optical band from 1570 to 1625 nanometers long
LEAF	Corning Large Effective Area Fiber (NZ-DSF)
LS	Corning NZ-DSF
MAC	media access control

DWDM TERMS

Acronym	Description/Explanation
MB/s	megabits per second
MMF	multimode fiber
mW	symbol for milliwatt power measurement
NDSF	non–dispersion–sifted fiber
NE	network element
NF	noise figure
nm	nanometer (unit of wavelength)
NRZ	non–return to zero coding
NVM	nonvolatile memory
NZ–DSF	non–zero dispersion–shifted fiber (offset from zero point)
OADM	optical add/drop multiplexer
OC	optical channel
OOB–FEC	out–of–band forward error control
OSI	Open Systems Interconnection (standard set of protocols)
OSNR	optical signal–to–noise ratio
OXC	optical cross–connect
PIN	simple photodiode
PMD	polarization mode dispersion
PMDC	polarization mode dispersion compensator
ps	picosecond(s)
ps/nm	picosecond(s) per nanometer

DWDM TERMS

Acronym	Description/Explanation
Q-factor	measure of noise in a pulse
RAM	random access memory
RFA	Raman fiber amplifier
ROM	read-only memory
RZ	return-to-zero (coding)
S-band	optical band from 1450 to 1500 nanometers
SBS	Stimulated Brillouin scattering (impairment)
SDCC	section data communications channel
SMF	single-mode fiber
SMF-28	Corning SMF
SNR	signal-to-noise ratio
SOA	silicon optical amplifier
SONET	Synchronous Optical Network
SPM	self-phase modulation (impairment)
SRS	stimulated Raman scattering (impairment)
SSMF	standard SMF
Tb/s	terabits per second
TCP	Transmission Control Protocol
TDFA	thallium-doped fluoride-based amplifier
TDM	time-division multiplex/multiplexing/multiplexer
TeraLight	Alcatel NZ-DSF

DWDM TERMS

Acronym	Description/Explanation
TFF	thin-film filter
TIB	Technical Information Bulletin
TrueWave Classic	Lucent non-zero dispersion-shifted fiber with offset
TrueWave Plus	Lucent non-zero dispersion-shifted fiber with offset
TrueWave RS	Lucent non-zero dispersion-shifted fiber with reduced slope
VIPA	virtual IP address (routers)
VIPA	virtual image phase array (compensator for dispersion)
VoIP	Voice-over-Internet Protocol
W	watt (symbol for watt power measurement)
WDM	wavelength division multiplex/multiplexing/multiplexer
XPM	cross-phase/modulation (impairment)