

광케이블망 구축 기술

2002. 11
KT 통신망연구소
송길호



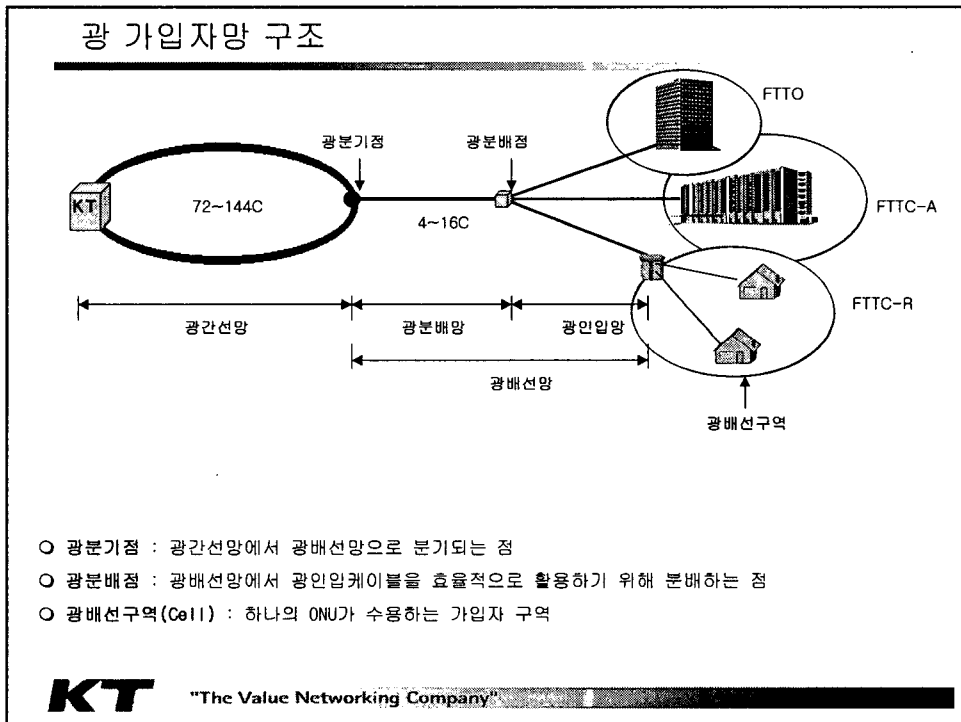
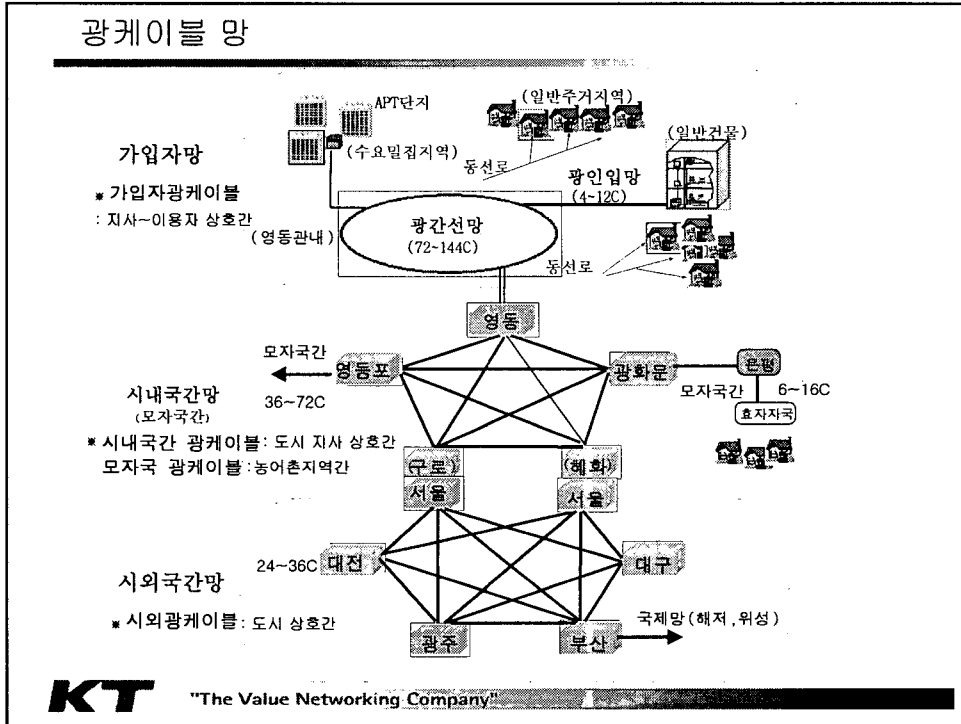
"The Value Networking Company"

목 차

- 광케이블 망
- 광케이블 설치 기술
- 광케이블 종류
- 광섬유 종류 및 구조
- KT 광섬유 규격 변천
- 광전송 제한 요인
- 차세대 광섬유

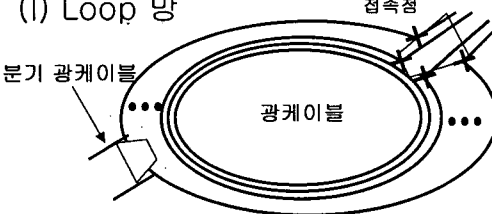


"The Value Networking Company"




가입자망 광케이블 배선법

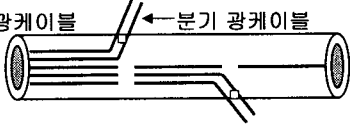
(I) Loop 망



(II) star 무체감



(III) star 체감



적용영역

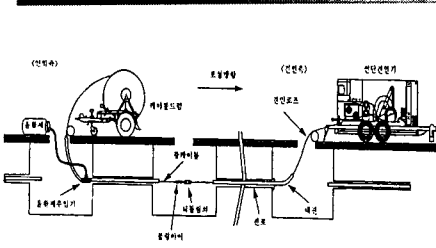
- 도심지역 간선망
- 수요 발생 예측이 어려운 지역
- 인구 밀집지역

- 대도시 분배망
- 수요 발생 예측이 어려운 지역
- 수요 증가에 유연하게 대처 가능

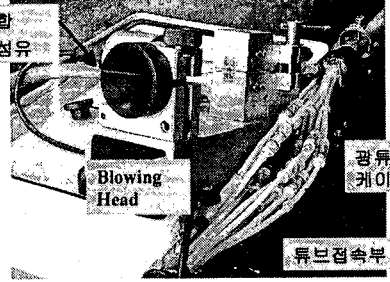
- 중소 도시 주거지
- 수요 발생 예측이 가능한 지역

KT "The Value Networking Company"

광케이블 설치 기술 - 포설



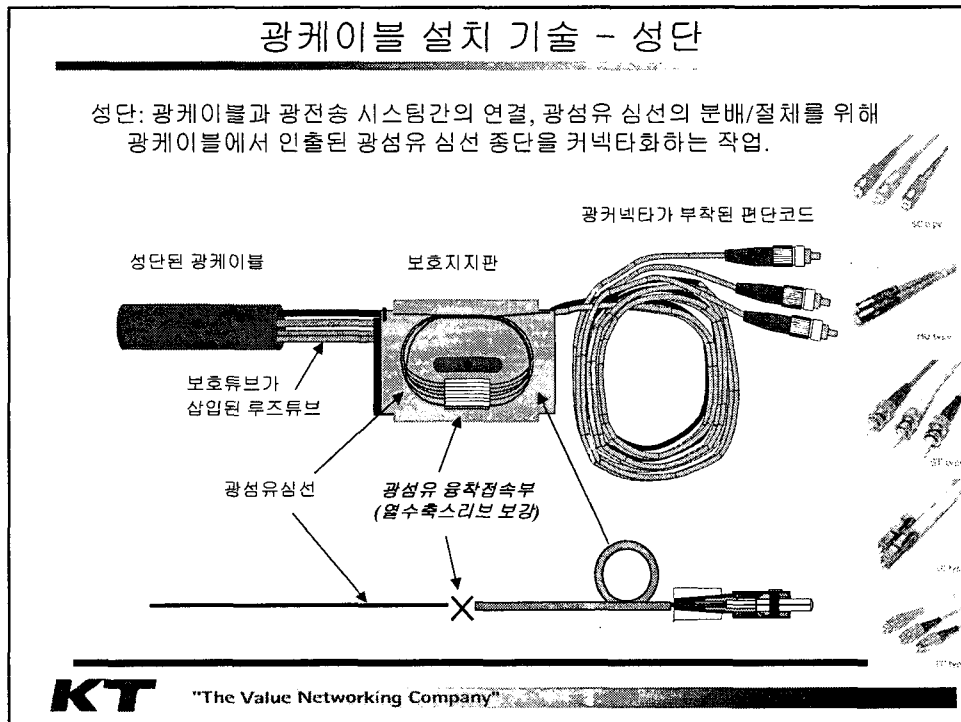
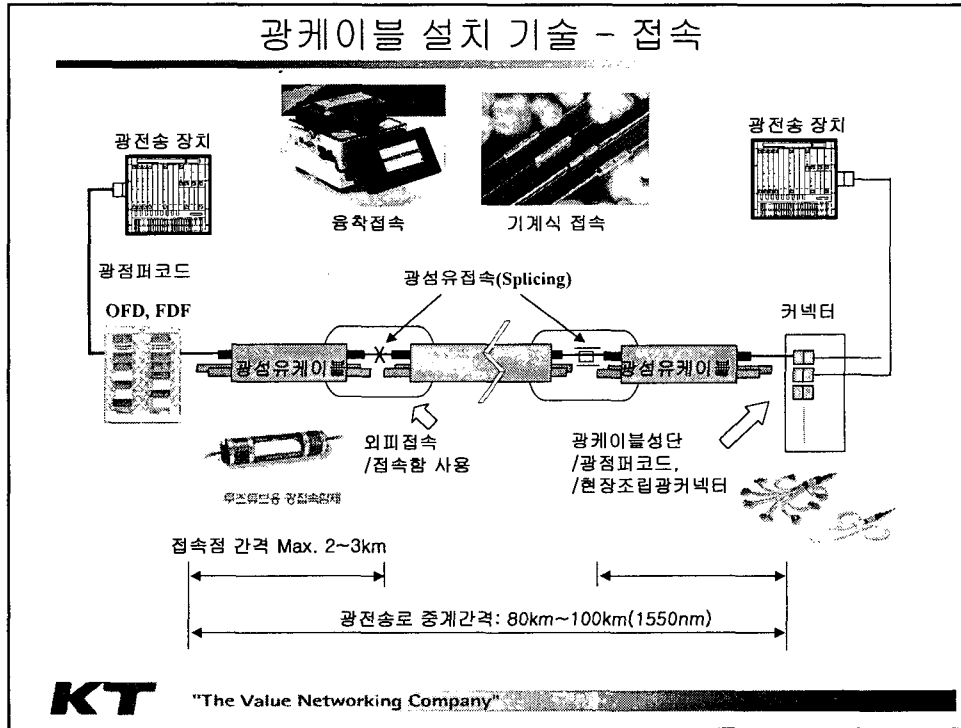
<견인포설 공법-선단견인 방식>



<공기압력포설 공법>


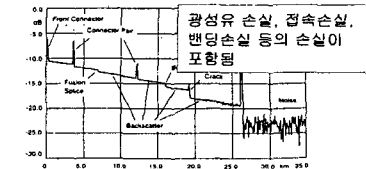
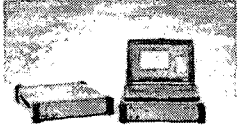
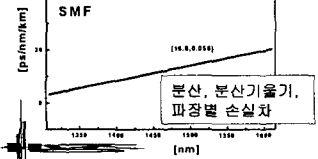

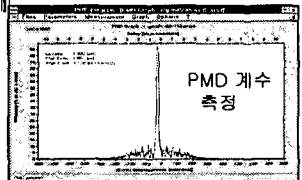
견인포설공법 (Pulling Method)	선단견인 방식	케이블의 선단을 견인하여 포설하는 방식
	선단중간견인 방식	케이블의 선단과 중앙을 동시에 견인하여 포설하는 방식
	인력견인 방식	견인의 시단점과 중간지점에 인력을 배치하고 케이블을 인력으로 견인하는 방식
공기압력포설공법		케이블을 관로내 공기압력으로 불어 넣어 포설하는 공법
적매포설공법		지하굴착하여 케이블을 직접 매설하는 공법
가설공법(Aerial, Lashed Method)		전주상에 가공으로 설치하는 공법

KT "The Value Networking Company"



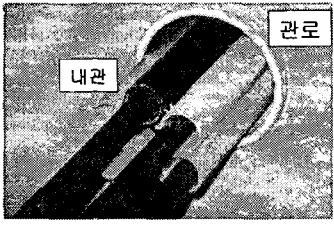
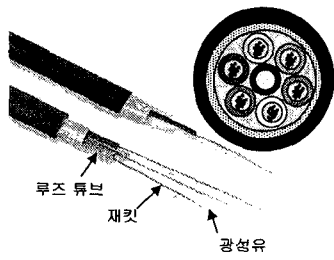

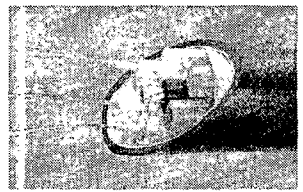
광케이블 설치 기술 - 측정

측정항목: 손실, 반사손실, 색분산, 편광모드 분산

측정도구	측정항목	측정결과
	손실, 반사손실	 광섬유 손실, 접속손실, 반영손실 등의 손실이 포함됨
	색분산	 분산, 분산기울기, 파장별 손실차
	편광모드 분산	 PMD 계수 측정




KT "The Value Networking Company"

광케이블 종류

	
Ribbon	Loose Tube (현재 포설된 광케이블)
	
Ribbon	ABF(Air Blown Fiber)

KT "The Value Networking Company"

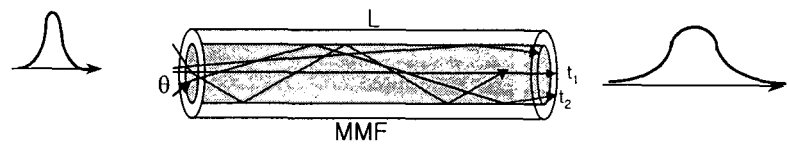
광섬유 종류

Silica 계열		Plastic 계열
멀티모드광섬유(MMF)	단일모드 광섬유(SMF)	플라스틱 광섬유(POF)
		
<ul style="list-style-type: none"> - 손실: 5dB/km@850nm 0.7dB/km@1310nm - 수 백 m 이내의 단거리 전송 - 50µm: 기가급 서비스 전송 - 62.5µm: Fast Ethernet, Ethernet, Token ring, FDDI, ATM(OC1, OC3) - 광원: 저가의 Edge-emitted LED, Surface-emitted LED, VCSEL, FP-LD 	<ul style="list-style-type: none"> - 손실: 0.4dB/km 이하@1310nm 0.25dB/km 이하 @ 1550nm - 장거리 대용량 전송에 적합 - 1550nm대역에서 분산문제 해결필요 - 광원: DFB-LD, FP-LD 	<ul style="list-style-type: none"> - 손실: 150dB/km@650nm (PMMA 계열) 65dB/km이하@650nm (플소계열) - 광원: 650nm의 가시광선 대역, 850nm

KT "The Value Networking Company"

MMF 광특성

□ Modal 분산: 서로 다른 모드들 간에 전파 속도차가 발생하여 펄스퍼짐을 유발



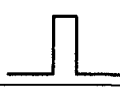
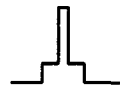
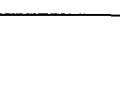

□ Modal 분산으로 인해 MMF의 대역폭·거리 제한됨

62.5/125µm GI = 500~1500MHz·km,

50/125 µm GI = 500~2200MHz·km, 예) 2200MHz·km의 경우, 880m@2.5G

KT "The Value Networking Company"

SMF 계열 광섬유- (I)

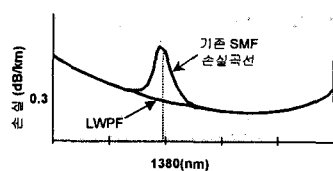
종류	굴절률 profile	분산값(@1550nm) [ps/nm/km]	특징	적용 가능 전송방식	표준화
단일모드 광섬유 (SMF)		-17	-분산값은 크지만 비선형 효과가 작음 - 10G 이상 고속 전송 시 분산보상 필요	1550nm 대역의 WDM 1310nm 대역의 TDM	G.652
분산천이 광섬유 (DSF)		< 2	- 분산값은 적지만 비선형 효과가 큼	1550nm 대역의 고속 TDM	G.653
차단파장천이 광섬유 (CSF)		18-19	- 장파장 영역에서 밴딩손실을 감소 - 저손실(0.18dB/km), 큰 분산	1500-1600nm 대역의 해저 장거리 WDM	G.654
비영 분산 광섬유 (NZ-DSF)		-4 (Type A) 8-13 (Type B)	- 고속 전송시 비선형 효과를 적절히 억제하면서 분산비용 절감	C/L 밴드 고속 WDM 전송	G.655

KT "The Value Networking Company"

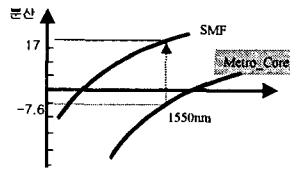
SMF 계열 광섬유- (II)

특정한 적용분야를 겨냥한 광섬유

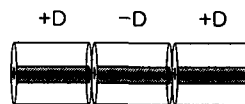
종류	특성	적용분야	상용제품
LWPF	-1380nm대역의 water peak 제거 (손실: < 0.35dB/km @1380nm) - 분산 특성은 G.652 SMF와 동일	CWDM	Allwave, SMF-28
메트로 적용 광섬유	- G.652계열의 광섬유 - 1550nm 대역에서 음의 분산값 가짐 (-7.6ps/nm/km@1550nm) - 직접변조된 신호의 negative 칩 특성을 이용 - 저가의 송신기를 사용한 시스템 구축 비용 절감	300km 미만의 Metro WDM	MetroCore
Hybrid형	- 양의 분산값을 갖는 광섬유와 음의 분산값을 갖는 광섬유를 주기적으로 연결함 - 비선형효과 억제	- 고속 장거리 WDM - 해저 고속전송 전용	Perfect cable



(a) LWPF



(b) 메트로 적용 광섬유



(b) Hybrid 형

KT "The Value Networking Company"

특수 광섬유

분산보상광섬유(DCF)

DCF 굴절률 profile:

Chirped Fiber Bragg Grating

- 색분산 및 분산기술이 보상에 사용됨
- 가장 성숙된 색분산 보상기술
- 넓은 분산보상 대역 가짐
- bulk, 손실이 큼, 비선형효과 유발

- 색분산 보상에 사용됨
- 다파장의 색분산 보상을 위해 다단 연결된 CFBG 필요
- 크기가 작음, 손실 적음, 낮은 비선형 효과

"The Value Networking Company"

특수 광섬유

어븀도핑 광섬유(EDF)

(a) EDFA 구조

편광유지광섬유(PMF)

- 1550nm 대역 광 증폭용 광섬유
- 어븀(Er)도핑: C/L 밴드 광증폭
- 트릴리움(Tm)도핑: S 밴드 광증폭

- 편광모드 분산 보상에 사용됨
- 송신기 pigtailling

"The Value Networking Company"

KT 광섬유 규격 변화

- 1985년도 : SMF 규격화
 - 1310 nm에 대한 손실만을 규정
- 1987년도 : 손실 외의 항목들이 규격에 포함됨
- 1991년도 : 1550 nm 대역에 대한 규격 제정
 - 1550 nm에서의 손실을 0.35 dB/km이하로 규정
- 1995년도 : MFD에 대한 규격을 일원화
- 1996년도 : DSF 규격 제정
- 1999년도 : PMD에 대한 규격 제정
 - 0.5 ps/km^{1/2}로 PMD를 제한
- 2002년도 : PMD 규격 강화 및 L 밴드 규격 제정
 - 0.4ps/km^{1/2}로 PMD 규격 제한
 - 1625nm 손실을 0.27dB/km로 제정



"The Value Networking Company"

광전송 링크의 주요 제한 요인

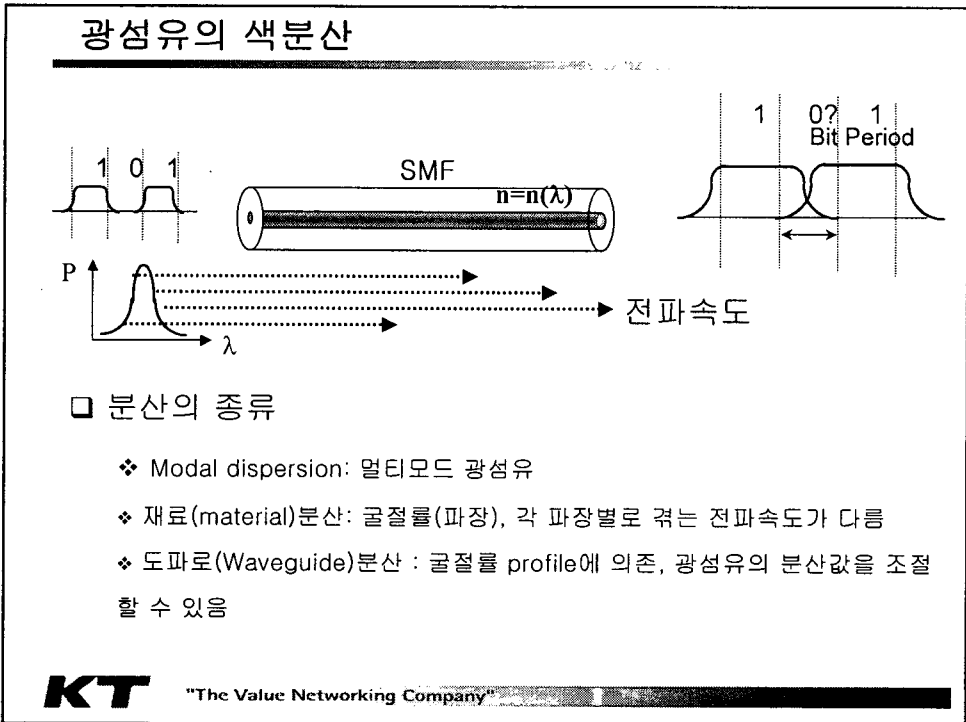
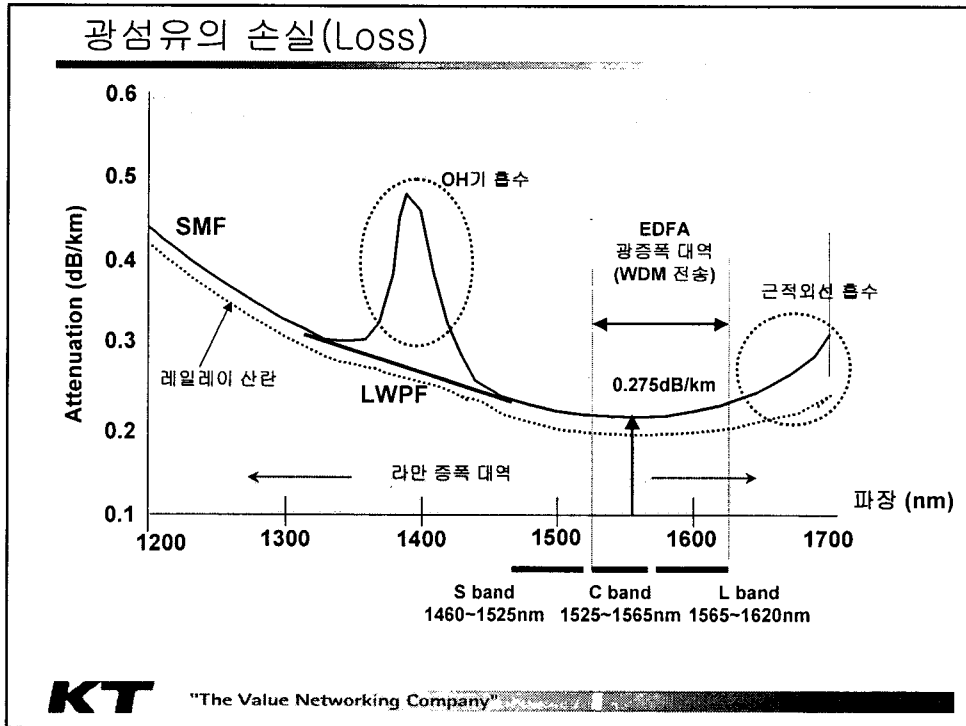
- 손실(Loss) : EDFA 사용으로 인해 제한 요인이 못됨
- 색분산(Chromatic Dispersion)
- 편광모드 분산(PMD)
- 비선형 효과(Nonlinearity)
- 광신호 대 잡음비(OSNR) : 광증폭기에 의한 제약

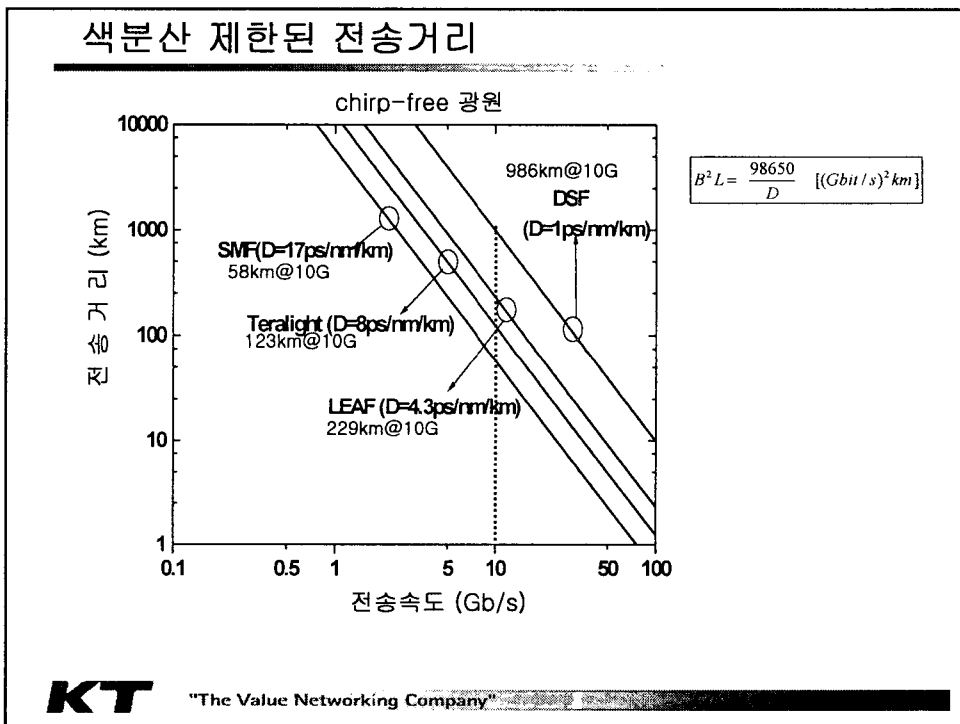
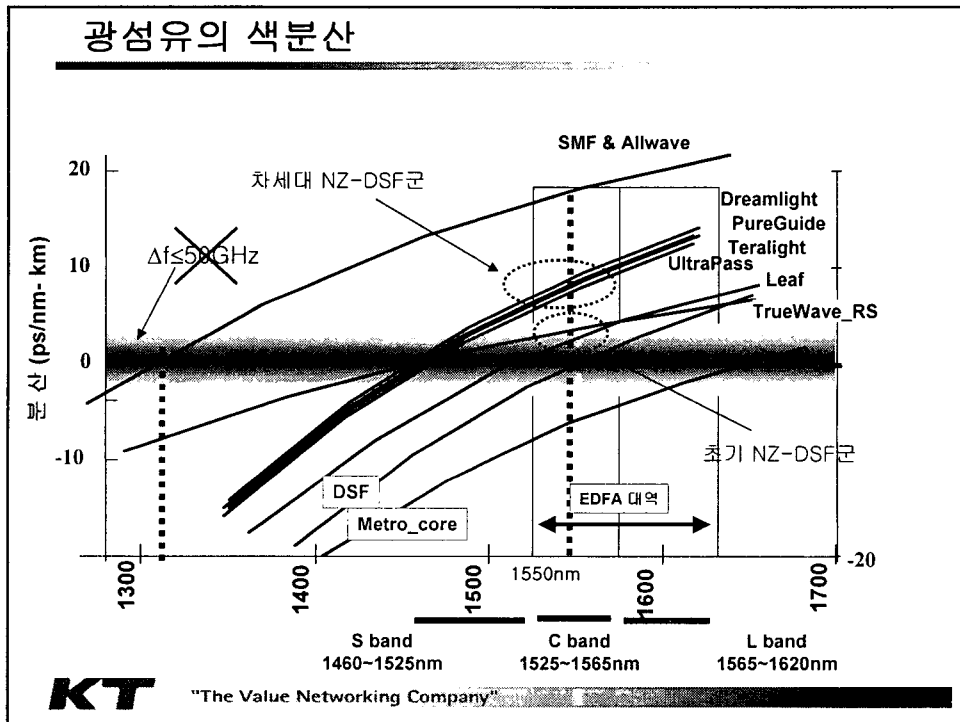
} 광선로에 의한 제약

	2.5Gb/s	10Gb/s	40Gb/s
색분산	큰 영향을 주지 못함	색분산 보상 필요	색분산 보상 필요 (분산기울기 보상 필요)
PMD	문제 없음	노후된 선로에 대해서만 문제	PMD 보상 반드시 필요
비선형 효과	문제 없음	주된 고려 사항	주된 고려 사항
OSNR	18~20dB	2.5G 보다 6dB 더 필요	10G 보다 6dB 더 필요

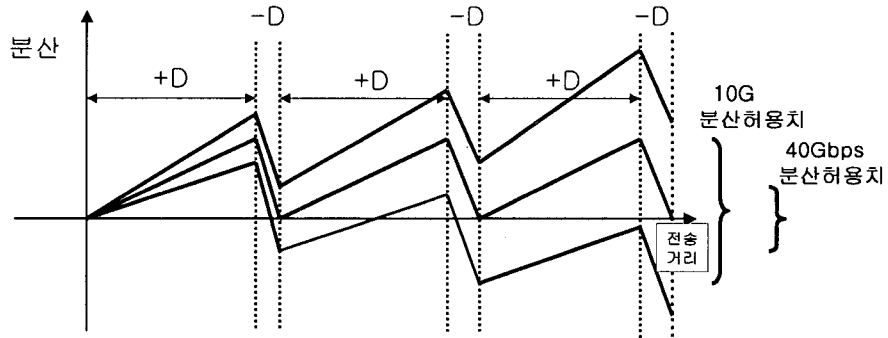


"The Value Networking Company"





색분산 기울기 영향

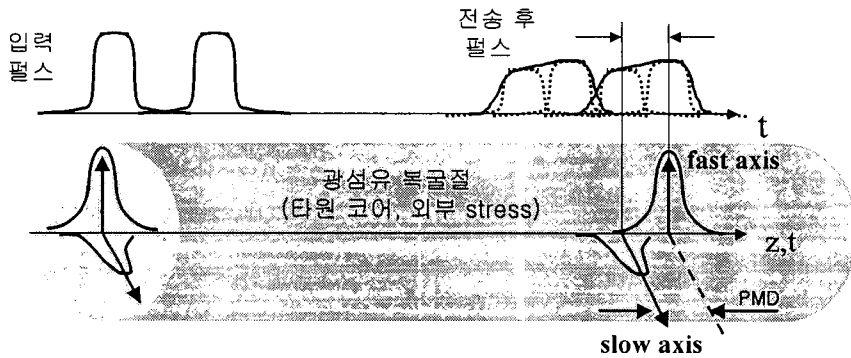


- 분산보상 거리가 증가함에 따라 채널 별 미 보상량이 누적됨
- WDM 고속 전송(40Gbps)시 반드시 분산기울기 보상 필요
- 40Gbps 전송 시 분산 허용치가 매우 적으므로 채널 별로 수 백 ps/nm의 분산을 보상할 수 있는 가변분산 보상기 필요



"The Value Networking Company"

편광모드 분산(PMD)

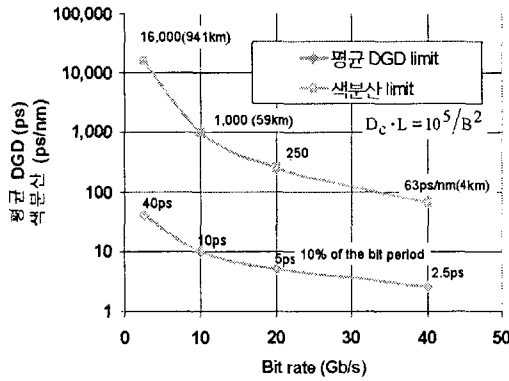


- PMD는 광섬유가 갖는 복굴절로 인해 광섬유에 입사하는 광신호의 두 수직 편광 사이에 속도차(DGD)가 발생되어 펄스 퍼짐을 유발하는 현상
- 40Gbps 전송속도에서는 전송거리를 제한하는 주된 요인
- PMD는 통계적인 현상이므로 PMD 계수 보다는 링크 PMD 값이 중요
- PMD 보상은 색분산 보상과 달리 채널 단위의 보상필요



"The Value Networking Company"

PMD 전송거리 제한



전송속도	PMD 디자인 목표	PMD limits [ps/km ^{1/2}]	
		400km	1000km
2.5Gbps	< 40ps	2.0	1.3
10Gbps	< 10ps	0.5	0.3
40Gbps	< 2.5	0.13	0.08

비고: 1dB 파워 페널티를 가정

- ITU-T는 PMD로 인한 군속도 지연 (DGD)이 비트 주기의 10% 미만이 되도록 규정
- 현 KT 기준은 PMD 계수값이 0.4ps/km^{1/2} 이므로 10G 전송은 가능하지만 PMD는 포설, 지장이전 과정에서 나빠질 수 있으므로 사후 관리가 중요
- 일반적으로 노후된 케이블은 PMD 특성이 나쁨



"The Value Networking Company"

광섬유의 비선형 효과

□ 굴절률 변화 :

- 자기위상변조(SPM)
- 상호위상변조(XPM) : SMF 또는 차세대 NZ-DSF을 이용한 WDM 전송 시 가장 주도적인 비선형 효과
- 4광파 혼합 (FWM) : 분산이 작을 수록 잘 일어나므로 DSF와 초기 NZ-DSF의 경우 전송성능을 제한하는 가장 주도적인 비선형 효과

□ 산란(Scattering):

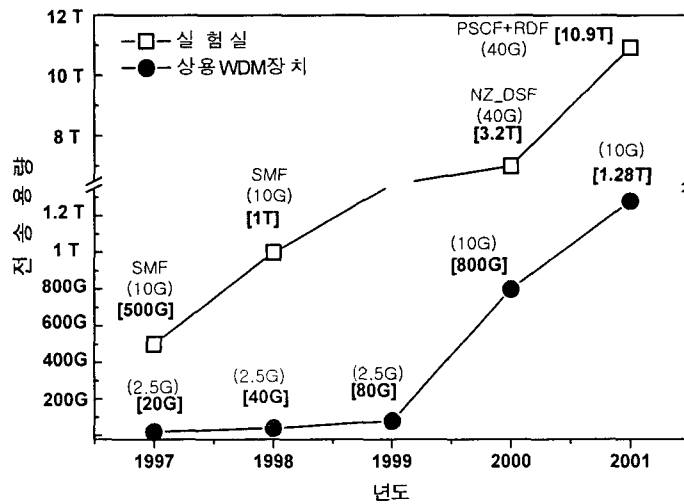
- 유도 브릴루이앙 산란(SBS)
- 유도 라만 산란(SRS)

❖ 비선형 효과는 입력 광세기, 광섬유 유효단면적, 분산값에 의해 결정됨



"The Value Networking Company"

전송 용량 발전 현황

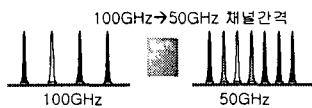


"The Value Networking Company"

전송용량 증대에 따른 광섬유 요구사항

전송용량 증가 방안

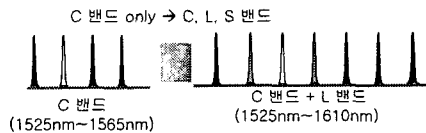
1. 채널 간격 좁힘(채널 수 증가)



비선형 효과

분산값과 유효단면적 증대

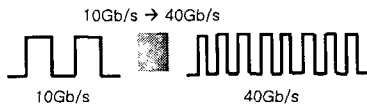
2. 증폭기 대역폭 증가(채널 수 증가)



S 밴드 분산값, 분산 기울기

S 밴드에서 일정 분산값과 작은 분산 기울기

3. 채널당 전송속도 증가



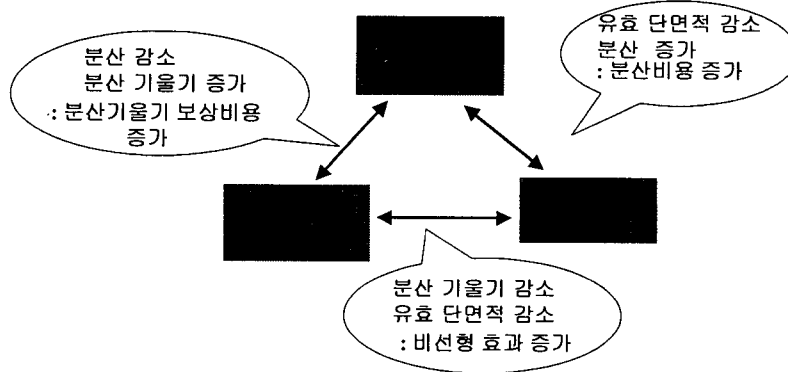
PMD와 분산기울기

PMD와 분산기울기 최소화



"The Value Networking Company"

광섬유 광특성 최적화



- 분산, 분산 기울기, 유효단면적은 서로 상충된 관계를 갖고 있음
- 최적화된 광섬유는 비선형 효과를 줄이면서 분산기울기를 최소로 할 수 있는 분산값을 갖는 광섬유

→ 차세대 NZ-DSF(비영분산 광섬유)

KT "The Value Networking Company"

차세대 NZ-DSF 특성

- 광섬유의 굴절을 분포와 코어 크기를 변경하여 WDM 고속 전송에 가장 적합한 광학적 특성 값을 갖도록 설계됨
- 차세대 NZ-DSF의 분산값은 초기 NZ-DSF(~4)와 SMF의 중간 정도의 값을 가짐
- 분산비용을 절감할 수 있지만 가격이 SMF에 비해 2배 이상 고가
이므로 경제성 검토가 필요
- 향후 S 밴드 O, E 밴드 활용에 대한 기술적 검토 필요
- SMF와 NZ-DSF 혼합 링크에 대한 광전송로 설계 및 관리 문제점

차세대 NZ-DSF 광학적 특성

분산 [ps/nm/km]	분산기울기 [ps/nm ² /km]	유효단면적 [μm ²]	PM [ps/km ^{1/2}]
~8	<0.065	60~70	0.1

KT "The Value Networking Company"

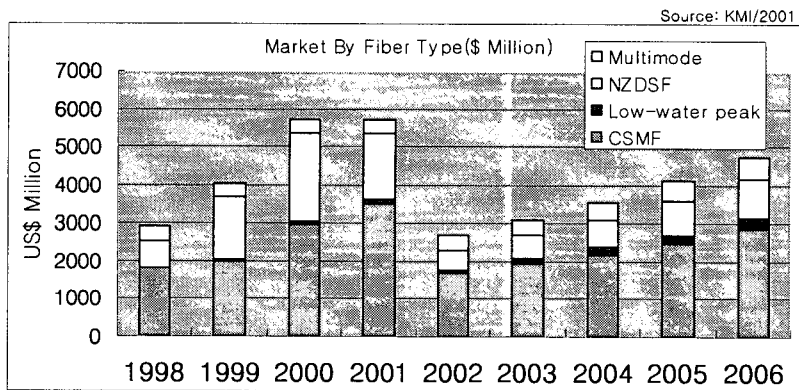
NZ-DSF 개발 동향

구분			Loss	Aeff	Dispersion	Dispersion Slope	PMD
SMF			0.22	82	18	0.095	
초기 NZ-DSF			0.2-0.25	55	1.5-4	0.07	
루슨트	SMF	Allwave	0.21	86.6	17	0.092	
	NZDSF	Truewave_RS	0.22	55	4.2	0.045	0.06
코닝	NZDSF	MetroCore	0.25	50	-7.6	0.12	
	NZDSF	Leaf	0.25	72	4.3	0.11	0.04
알카텔	NZDSF	Teralight	0.205	65	8	0.058	0.04
LG	NZDSF	DreamLight	<0.25	60	8	0.062	
삼성	NZDSF	UltraPass	0.2	70	6.0-10	0.06	0.04



"The Value Networking Company"

NZ-DSF 시장 동향



□ 통신시장 경기악화로 2002년 전체규모 감소 되었으나 2006년 까지 SMF/NZ-DSF 꾸준히 증가 추세를 보일 것으로 예상



"The Value Networking Company"

NZ-DSF 포설 현황

- 북미, 남미와 유럽 등 장거리 광 네트워크에 폭 넓게 적용되고 있음
- 북미는 주로 미국의 IMPSAT, AT&T Latin America, GigaRed, BellSouth, Movicom 등이 적용
- 유럽은 Level3, KPN Qwest, Carrier1, Interoute 등이 적용
- 아시아는 중국 China Telecom, 홍콩, 타이완 등이 적용
- SKT는 최근 백본망에 NZ-DSF 적용



"The Value Networking Company"

광섬유 선택 실패 사례

□ 분산천이광섬유(DSF)의 대량 포설

- 실패원인 :

C band를 이용한 전송에 있어서 분산 보상 없이 전송을 할 수 있다는 성급한 기대로 미국 MCI사와 NTT를 비롯한 많은 일본 통신 사업자들이 DSF를 장거리 전송용 선로로 포설하였지만, DSF는 TDM 방식의 전송에서는 효과적이지만 큰 비선형 효과 때문에 다채널 WDM 전송이 불가능하게 됨

- 주요 포설 국가 : 일본, 북미 일부, 멕시코 등의 장거리 구간



"The Value Networking Company"

SMF와 NZ-DSF 기술성 비교

SMF	NZ-DSF
- 동일한 전송속도에 대해 NZ-DSF에 비해 분산보상비용 증가	- 비선형 효과를 억제하면서 분산비용 절감 측면에서 최적화되어 있음
- 비선형 특성과 사용 파장 대역 확장을 고려할 경우는 SMF가 유리	- S, O, E 밴드 WDM 전송을 고려할 경우는 기술적 검토가 필요
- 유지보수 비용 절감 (단방향 OTDR 측정)	- SMF와 NZ-DSF 혼용일 경우 유지보수가 어려움 (양방향 OTDR 측정)
- 망 관리가 단순함	- SMF와 NZ-DSF가 혼용되어 사용될 경우 망 관리가 복잡(SMF와 NZ-DSF 하이브리드 광케이블 출시)
- 매 스패마다 높게 되는 DCF 삽입손실 보상을 위한 dual-stage 증폭기가 필요	- DCF를 사용하지 않은 구간에 대해서는 Single stage 증폭기도 가능
- DCF를 사용하여 분산기울기 보상이 가능하나 전송거리나 전송속도가 증가할 경우 추가적인 채널단위 분산보상 필요	- DCF가 SMF 분산보상 용이므로 분산기울기가 SMF와 차이가 많이 날 경우 NZ-DSF용 분산보상 광섬유가 필요

KT "The Value Networking Company"

광섬유 선택 시 고려사항

□ 기술적 측면

- 미래의 신기술 적용 가능성(Future - proof)
- 현재 기술의 성숙도(표준화 정도)
- 20년 이상의 활용 가능성
- 기존 기술에 대한 적응성

□ 경제적 측면

- 초기 투자비 및 유지 보수 비용
- 효과적인 투자시점



"The Value Networking Company"