

# 광통신용 광섬유의 기술동향과 응용

강 희 전 / 옵토매직 상무

## 서 론

인간이 고대에서부터 연기신호, 거울의 이용 또는 등불 등의 정보 전달 수단으로 빛을 이용한 이래 현재는 광섬유가 전송 매체가 되어 세계인들에게 통신 수단뿐만 아니라 화상전송 등 관련 부가서비스 영역이 확대되고 있다. 근래에는 수요자의 정보 사용량이 기하급수적으로 늘어남에 따라 세계적으로 음성과 동영상 등의 대용량을 빠르고 정확하게 전달할 수 있는 광섬유의 사용량이 급증하고 있다. 국내에서도 초고속 정보통신망 구축 계획에 따라 정부 및 민간기업 주도하에 이러한 수요자의 욕구를 충족시키기 위하여 광섬유 통신망 사업을 가속화하고 있다. 광섬유의 기술 발전은 현재 단거리 LAN 등에 사용되고 있는 다중모드 광섬유의 개발을 시초로 현재 가장 많이 사용하고 있는 일반 단일모드 광섬유, WDM 용 및 장거리 전송용으로 전파장저손실 광섬유 및 비영분산천이 광섬유 등이 상용화되어 사용되고 있다. 또한 정보의 속도 및 용량을 확대할 수 있는 광섬유 및 시스템 적용 기술 개발 진행이 계속되고 있다. 본 논문에서는 현재 광통신용으로 사용되

고 있는 광섬유의 과거부터 최근까지의 기술 동향 및 그 응용에 대하여 기술하고자 한다.

## 광섬유

### 광기술

광기술은 빛의 고유특성인 주파수가 높고, 공간정보를 처리할 수 있으며, 위상정보의 처리가 가능하다는 장점을 유용하게 이용하는 것을 목표로 하는 기술이다. 광기술은 레이저 및 광섬유의 기술이 중요한 역할을 하고 있다. 이 기본 기술은 응용 기술과 밀접하게 양자각서로 영향을 주어 21세기의 새로운 기술이 탄생한 것이라고 볼 수 있다. 광기술의 용도는 크게 정보관련과 에

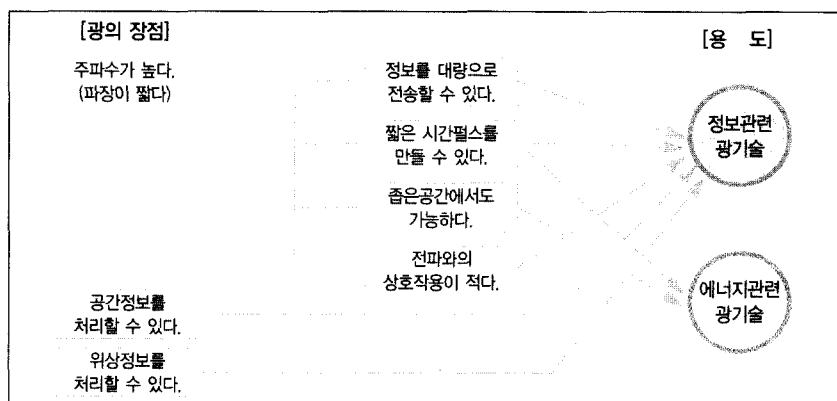


그림 1 광기술의 용도 구분

너지관련 기술로 구분할 수 있으며, 그림 1은 광의 장 점과 그 특성에 따른 용도를 보여준다. 또한 빛의 특성을 이용한 방법에 따라 광기술 분야를 열거하면 다음과 같다.

- 1) 빛으로 전달한다 : 광통신, 영상전송
- 2) 빛으로 측정한다 : 광응용 센싱
- 3) 빛으로 읽는다 : 광디스크, 홀로그래프 스캐너
- 4) 빛으로 쓴다 : 광프린터
- 5) 빛으로 자르고 녹인다 : 레이저 가공, 레이저 치료
- 6) 빛을 전달한다 : 조명, 급광 (광섬유에 의한 태양광 전송)
- 7) 빛으로 발전한다 : 태양전지

여기에서 1)~4)를 정보에 의한 광기술, 5)~7)을 에너지에 관련된 기술의 2가지로 대별할 수 있으며, 표 1은 광기술 응용 분야에 따른 산업계의 실질적인 적용 예를 보여준다.

표 1 광기술의 응용 예

정보관련		에너지관련	
광 기술	적용 분야	광 기술	적용 분야
광섬유 센싱	진류, 자체센서 전압, 전계센서 온도센서 레이저 자이로	레이저 가공	절단, 용접, 드릴링
이미지 전송	이미지광섬유 의료용 광섬유스코프	의료용 레이저	레이저메스 레이저 Coagulate
광응용기기	광비디오디스크 광오디오디스크 레이저프린터 LED프린터 홀로그래프스캐너	전력	태양 전지
광통신	광섬유 전송 광공간 전송	조명, 급광	실내채광, 해저급광 광합성, 광화학

### 광의 성질

광은 열, 화학반응 혹은 그 외의 수단에 따라서 원자

가 자극될 때 그 원자에서 에너지를 방출함으로써 발생한다. 이 광은 어떤 때에는 입자와 같이 직진성을 나타내고 어떤 때에는 간섭 및 회절 등의 파동의 성질을 나타내기 때문에 광은 입자인지 파인지를 둘러싸고 오랫동안 논쟁이 계속되어 왔다. 이것은 20세기에 들어오면서 「광은 입자이기도 하고 파동이기도 하다」라는 양자론이 확립되어 처음으로 광의 실체가 밝혀지게 되었다.

광은 동일 물질 예를 들면 공간을 전파할 때에는 직진하는 것과 거울 등에 의해 반사가 일어난다. 그리고 또 하나는 굴절이라고 하는 중요한 성질이 있다. 이것은 1개의 막대를 어떤 각도로 물속에 세우면 막대가 꺾여서 보이는 예로서 나타낼 수 있다. 광이 직진을 한다면 왜 막대는 구부러져 보일까? 이 해답은 1621년 네덜란드의 스텔에 의하여 「광은 동일 매질을 지나갈 때에는 직진하지만 다른 물질과 만나면 그 경계면에서 일부가 반사되고, 나머지는 굴절하여 다른 물질로 들어간다. 그리고 그 굴절의 정도(굴절률)는 각 매질에 따라서 다르다」라고 발표되었다. 그리고 같은 네덜란드의 호이

헨스에 의해 광의 굴절은 매질 중의 광속도 및 밀도에 관계된다는 것이 밝혀졌다. 굴절율이 큰 매질(예를 들면 물)에서 굴절율이 작은 매질(예를 들면 공기)로 광이 도파되는 것을 생각해 보면 2개의 매질(물과 공기)의 경계면에서 굴절되어 반사되는 현상을 볼 수 있다. 광은 파의 성질을 가지고 있고, 그것에도 음파, 수면파 등 여러 가지가 있지만 그것을 다시 크게 나누면 종파와 횡파가 있다. 소리는 공기의 진동이다. 사람이 소리를 내면 그 진동은 공기를 압축하여 소리의 높고 낮음에 따라서 소밀파를 만든다. 이 때 음의 진행방

향과 매질의 파동방향은 일치한다. 이와 같은 파가 종파이다. 이에 반하여 수면의 진동과 같이 파의 진행방

향과 직각으로 매질이 진동하는 것을 횡파라 한다. 따라서 광의 파동은 횡파이다. 전파와 같이 전자파의 일종이지만 파의 산과 같이 즉 파장이 어떤 범위인 것을 가리켜 광이라고 부르고 있다. 표 2는 광 매체에 따른 광이 통과되는 손실과 50% 빛의 투과 거리에 대한 비교이다. 표에서 보는 바와 같이 통신용 광섬유는 다른 매체와 비교하여 빛의 전송이 50% 투과되는 거리가 약 16,500m(1550nm 파장 기준) 정도로 매우 높다.

표 2 광 매체에 따른 손실과 빛의 투과 거리 비교






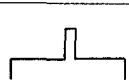
매 체	손실(dB/km)	50% 빛의 투과 거리
물	100,000	33mm
창유리	50,000	66mm
광학 유리	3,000	1m
안개, 먼지	500	6.6m
공기	10	330m
광섬유	0.2	16,500m

### 광섬유의 종류

다중모드 광섬유는 초기 광섬유의 간단한 형태로 근거리통신용(LAN)으로 사용되고 있으며, 850nm와 1300nm의 단파장을 이용한다. 이 다중모드 광섬유는 광섬유 내에 빛이 전파될 때 많은 수의 경로를 갖는 모드를 갖게 되는데 이러한 종류의 광섬유를 다중모드 광섬유라 부른다. 이런 다중모드 광섬유는 코어경이 커 값이 저렴한 LED 광원에너지의 입력이 쉽고, 광원과 검출기의 배치가 용이하여 시스템 구성 비용이 적게 드는 반면, 다수의 경로 모드의 차에 의해 검출기까지 도달시간의 차이를 발생시켜 장거리 통신용으로는 부적합하다. 코어경에 따라 50 $\mu$ m와 62.5 $\mu$ m의 두 종류가 널리 사용되고 있다.

일반 단일모드 광섬유는 오늘날 소비되는 대부분의

표 3 ITU-T에 따른 광섬유의 분류

구분 항목	ITU-T G.651	ITU-T G.652	ITU-T G.653	ITU-T G.654	ITU-T G.655	ITU-T G.652 C
광섬유 명칭	MM (다중모드)	SM (단일모드)	DSF (분산천이)	CSF (파단파장천이)	NZ-DSF (비영분산천이)	Anywave (전파장 저손실)
사용 파장 (nm)	850 & 1300	1310 & 1550	1550	1550	1530~1565	1280~1620
손실 (dB/km)	0.50	0.35 / 0.25	0.25	0.18 ~ 0.25	0.25	0.35 / 0.25
전송 방식	TDM WDM	40km × 2.5Gb/s ~80km × 20Gb/s	80km × 10Gb/s 80km × 40Gb/s	80km × 2.5Gb/s 80km × 20Gb/s	- 80km × 320Gb/s	40km × 2.5Gb/s 80km × 40Gb/s
MFD ( $\mu$ m)	50 / 62.5	9~10 ± 10%	7~8.3 ± 10%	10.5 ± 10%	8~11 ± 10%	9.3 ± 0.5
영분산 (nm)	-	1310	1550	1310	≤ 1530	1310
분산 (ps/nm.km)	-	≤ 3.5 / ≤ 18	≤ 3.0	≤ 20	≤ 10	≤ 3.5 / ≤ 18
굴절률 분포						
특 성	· LAN용 케이블에 사용	· 현재 가장 많이 사용중인 광섬유 · 80Gb/s(WDM) 가능	· WDM 전송시 문제점 발생(FWM) · 해저 & 장거리 사용	· 전송 용량은 작더라도 중계 거리를 길게 사용 · WDM 80Gb/s 가능	· WDM 광섬유 해저케이블 사용 · 수백 Gb/s 가능	· SM 광섬유에서 OH 이온을 완전 제거 전파장 사용 · 1380nm에서 저손실(0.31dB/km)

광통신용 광섬유의 기술동향과 응용

장거리통신용 광섬유로 그 구조는 다중모드에서 변환되어 모드들 중 오직 하나만이 전송되도록 설계된다. 따라서 모드에 의한 분산(펄스의 퍼짐 현상)이 제거되어 광대역 전송이 가능하다. 단일모드 광섬유는 코어경이 약 8.3 $\mu\text{m}$ , 클래딩경이 125 $\mu\text{m}$ 의 구조를 갖는다. 현재 상용화된 표준 단일모드 광섬유 손실특성은 1310nm 파장에서 0.33dB/km, 1550nm 파장에서 0.20dB/km 수준까지 도달하였다.

기존 단일모드 광섬유의 경우 영분산은 1310nm 영역이고, 최저손실은 1550nm 파장대에서 일어난다. 최저 손실 파장인 1550nm대에서 광증폭기(EDFA)를 이용하여 전송시 손실에 의한 전송 거리 한계의 극복은 가능하지만 분산에 의해 전송 속도를 향상시키기는 어렵다. 따라서, 최저 손실 영역인 1550nm 파장대를 시스템에 적용하기 위하여 최저 손실 파장인 1550nm에서 영분산이 일어나도록 영분산점을 1310nm에서 1550nm로 이동시킨 광섬유가 분산천이 광섬유이며, 일반 광섬유의 분산값이 1550nm에서 18ps/nm.km인 반면 분산천이 광섬유의 경우 1550nm에서 3.0ps/nm.km 이하로 일반 광섬유에 비하여 1550nm에서 분산값이 작은 1550nm 전용 광섬유이다. 그러나, 이러한 분산천이 광섬유는 WDM 적용시 작은 코어와 작은 분산 특성 때문에 FWM(Four Wave Mixing)의 비선형 효과가 발생하여 수신단에서 신호의 왜곡이 생기는 문제점이 있어 근래에는 거의 사용하지 않고 있다.

전세계를 연결하는 광통신망은 주로 단일모드 광섬유로 연결되어 있으며, 광손실이 최소인 1550nm 파장대역에서 여러 개의 좁은 광채널을 통해 전송하는 다중 파장분할 전송방식인 DWDM(Dense-WDM) 기술로 발전하고 있다. 각 채널의 파장은 서로 독립적으로 동작하기 때문에 동일한 광전송로를 이용하여 아날로그와 디지털신호 및 저속과 고속신호 등을 동시에 처리,

많은 정보를 전송할 수 있다. 영분산 파장을 1310nm 파장에서 1550nm 파장으로 이동시켜 개발된 분산천이 광섬유(DSF)는 위에서 언급한 것처럼 WDM 적용시 파장간의 혼합(FWM)으로 비선형 현상이 발생하여 전송에 어려움이 있었다. 이러한 비선형 효과를 피하기

위해서는 전송파장대역에서 약간의 분산이 존재(최소 2ps/nm.km)하여야 하며, 많은 양의 광을 수광할 수 있도록 유효 단면적이 커야 한다. 이를 위해 개발된 광섬유가 비영분산천이 광섬유이며 1530-1565nm 파장대역에서 6ps/nm.km 이하 정도의 분산치를 갖도록 설계하고 있다. 표 3은 ITU-T(International Telecommunication Union)에서 규정한 광섬유의 사용 및 특성에 따른 광섬유 분류표이다.

## 차세대 광섬유

### 전파장저손실 광섬유

기존의 단일모드 광섬유는 코어에 잔존하는 수 ppb(parts per billion)의 OH<sup>-</sup> 이온 때문에 1385nm(water peak)에서 1310nm 파장대에서의 손실보다 약 300% 높은 손실을 가지고 있다. 따라서 1350~1450nm에서의 1dB/km 이상의 높은 손실로 인해 이 영역에서는 시스템 적용이 어려웠다. 그러나 새로운 탈수 공정의 도입으로 전파장저손실 광섬유는 광섬유에 존재하고 있는 OH<sup>-</sup> 이온을 완전히 제거하여 지금까지 사용 불가능한 영역으로 인식하고 있는 1350~1450nm 파장을 포함한 전체 파장(1280~1620nm)에서 사용할 수 있게 된 광섬유이다. 따라서 기존의 단일모드 광섬유보다 사용 파장 영역이 50% 확대되어 Metro(도시계) WDM에서는 120개 이상의 채널 증가가 가능하며,

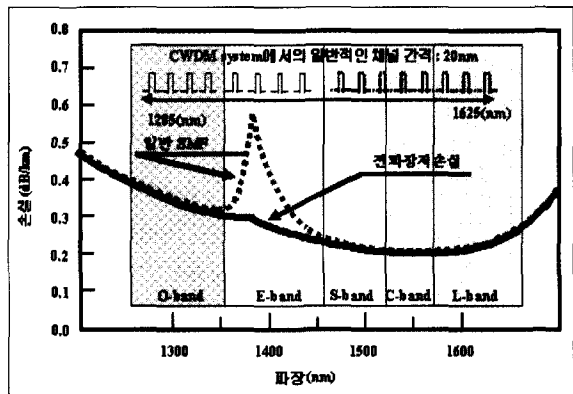


그림 2 전파장저손실 광섬유의 손실 그래프 및 사용 파장 영역

또한 1350~1450nm 파장대인 제5 window는 제2 window보다 손실이 낮고 제3 window보다 분산이 작기 때문에 사용하며, 10Gbps 전송의 경우 제3 window보다 분산 보상없이 2배 이상의 전송거리를 확장시킬 수 있다. 또한, 전파장저손실 광섬유는 이러한 사용 파장의 확대와 함께 기존 단일모드 광섬유의 손실과 분산 특성이 유사하기 때문에 현행 장비를 그대로 사용할 수 있으며 향후 용량 증대시 스위칭 등의 시스템만 변경하여 사용할 수 있어 현재 유망한 통신용 광섬유로 각광을 받고 있다. 그림 2는 전파장저손실 광섬유의 손실 특성 그래프와 1285~1625nm까지의 파장대에서 CWDW 시스템 적용시 채널 간격을 20nm로 하였을 때 가능한 16-채널의 분할 예를 도식화한 그림이다.

### New NZ-DSF

현재 개발 상용화되고 있는 NZ-DSF는 전송속도 2.5~10Gbps 및 100GHz(0.8nm) 채널 간격에 적합한 DWDM 광섬유이다. 그러나 최근 들어 40Gbps의 전송속도에 채널 간격이 50GHz(0.4nm)로 대용량화되면서 이를 만족시키기 위해서 1550nm에서 약 8ps/nm.km의 분산 특성을 갖는 새로운 NZ-DSF 광섬유 개발이 상용화하는 추세이다(그림3). 또한, DWDM용 광섬유인 NZ-DSF 설계시 채널 수를 증가시키기 위한 두가지 중요한 factor가 있다. 첫째는 High power signal을 수용하더라도 비선형 효과를 억제시키기 위하여 코어의 유효 단면적(Aeff)를 크게 하여야 하는 것과,

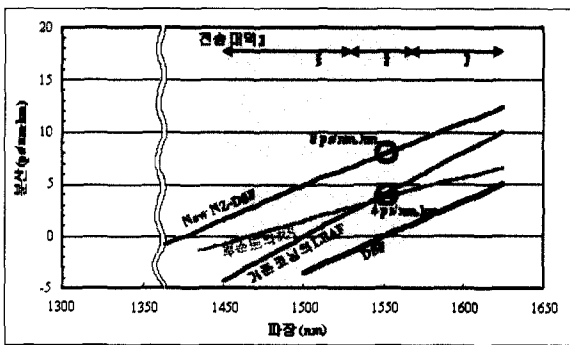


그림 3 New NZ-DSF의 분산 영역

둘째로 광대역 전송을 위하여 낮은 분산기울기를 갖도록 제조하여야 하는 점이다. 즉 C+L-Band에서는 40Gbps, 50GHz(0.4nm)의 초대용량 서비스를, S-Band에서는 10Gbps, 100GHz(0.8nm)의 대용량 통신이 동시에 가능하게 된다.

## 광기술의 응용

### 전력산업에 이용되는 광섬유 (OPGW)

전력 분야에서는 광섬유 통신이 가장 빨리 도입되었다. 이것은 광섬유가 전자 유도를 거의 받지 않기 때문에 발전시설 및 송전선 등 노이즈가 발생하기 쉬운 환경 하에서 대단히 고품질의 신호를 전송할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 현재 광섬유 통신에 의하여 발전기, 송전선, 변압기 등의 각종 설비의 감시제어 및 계통제어의 종합 네트워크화가 이루어지고 있다. 이 케이블은 원래 송전선로를 낙뢰로부터 보호하기 위하여 송전철탑 상부에 설치한 가공지선으로 사용되었으나, 광섬유의 무전자 유도 특성을 이용해 광섬유를 이 가공지선에 실장하여 정보통신 기능을 갖도록 한 광섬유복합가공지선(OPGW : Composite Fiber Optic Overhead Ground Wire)이다(그림 4). OPGW 케이블은 전자유도의 장애에 대한 영향을 거의 받지 않아 높은 신뢰도의 장거리 통신루트가 확보되는 장점과 함께 송전 설비와 통신망이 동시에 구축되므로 타 통신망보다 훨씬 저렴한 비용에 대규모 통신망을 건설할 수 있는 장점을 갖고 있다.

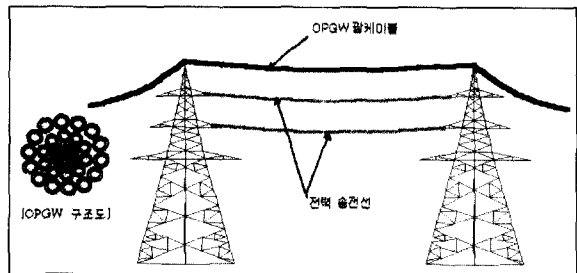


그림 4 OPGW 케이블 구조도 및 적용 예

### 공중통신

공중통신의 대표적인 예로는 일반 전화가 있다. 현재는 전화 외에 팩시밀리 및 데이터통신도 하고 있어 부가가치통신망에까지 그 서비스가 다양화되고 있다. 이러한 서비스의 다양화에 대비하여 공중통신은 디지털 통신망과 컴퓨터를 결합시킨 고도 정보통신 시스템의 구축을 목표로 하고 있다. 여기에서 중요한 역할을 담당하고 있는 것이 광섬유에 의한 대용량 통신 시스템이다. 전화국과 가정 또는 사업소간을 광섬유로 연결하여 동화상 및 고속 데이터의 서비스를 구축하고 있다.

### 화상전송 시스템

광섬유 통신의 장점을 최대한 응용한 것이 화상전송 시스템 분야이다. 화상신호는 음성신호에 비하여 1000 배정도의 정보량(신호대역)을 필요로 하기 때문에 종래의 동케이블에서는 전송거리 및 화질의 면에서 상당히 제한을 받고 있었다. 광섬유 통신은 이러한 문제를 해결하여 화상전송의 활용 범위를 크게 넓히고 있다. 철도 및 도로에서는 광섬유 통신을 사용하여 역구내의 혼잡 상황 및 도로상의 교통상황을 집중 감시하는 시스템이 많이 도입되고 있다. 광섬유 통신에 의해 장거리 전송이 가능하므로 수십km에 걸쳐서 고속도로상의 상황을 1개소에서 감시하는 대규모 시스템도 이미 상용화되어 있다. 광섬유 통신에 의한 화상전송 시스템은 그 외에도 원격회의 및 강의 또는 호텔, 역구내 및 백화점 등의 공공장소의 영상서비스에도 도입되고 있다.

### 광섬유 센서

센서란 「어떤 대상의 상태를 처리 가능한 신호로 변환하는 소자, 혹은 장치」를 말한다. 광섬유 센서는 대상의 상태를 광신호로 추출하는 광학 기술을 기반으로 하고 있어 광섬유 및 센서가 갖는 우수한 특성을 이용하여 지금까지 없었던 센서가 생겨나고 있다. 광섬유를 사용한 센서의 장점을 살펴보면 첫째는 광섬유가 전자유도를 받지 않으므로 지극히 신뢰성이 높은 센싱이 가능한 것, 둘째는 대단히 가는 유전체이기 때문에 대상

에 영향을 주지 않는다는 것, 그리고 세제는 저손실이 기 때문에 대상과 계측기기 간의 상대 위치가 길어질 수 있다는 것이다. 이러한 특성을 이용하여 자계, 온도, 압력, 진동 등 여러 가지의 물리량을 측정하는 광센서가 개발되고 있다. 발열체의 온도를 감지하는 데는 그 발열체의 발광 스펙트럼(광의 주파수 분포)를 조사하는 방법이 있지만 발열체의 광을 광섬유로 멀리까지 전송화한다면 원격 측정이 가능해진다.

### 광자이로

광자이로(스코프)란 회전을 검출하는 장치로 동체의 속도 및 위치를 알 수가 있다. 종래에는 성운이 그 축을 항상 일정한 방향으로 유지하려고 하는 원리를 이용한 기계식이었지만 크고 비싼 문제가 있었다. 항공기와 같은 회전체의 속도 위치 감지, 광섬유에 투입된 빛의 위상차 감지로 각속도를 측정하므로 기계적 오동작 방지 및 고신뢰성 확보로 항공기의 정밀 항법 장치에 사용되고 있다.

## 결 론

작년 전 세계의 통신용 광섬유 소비량은 약 1억Fkm 정도이며, 대략 일반 단일모드광섬유 88%, 비영분산천이광섬유 9%, 다중모드광섬유 2%, 기타 1% 비율로 생산·소비되고 있다. 21세기에 들어서면서 궁극적으로 광섬유가 최종 수요자에게까지 도달하는 FTTH(Fiber To The Home) 구축 및 대용량의 통신 수요를 수용할 수 있는 차세대 광섬유의 개발로 부가가치를 높일 수 있는 방안이 강구되고 있다. 그 대체 광섬유로 장거리 DWDM 전송용 비영분산천이 광섬유의 사용뿐만 아니라 기존 통신라인과의 전송장비 호환성 견비와 향후 upgrade의 용이함 때문에 OH- 이온을 제거하여 전파장에 걸쳐 저손실이 확보된 도시계의 CWDM 전송용 전파장저손실 광섬유의 사용이 확대될 것으로 예상되고 있다.