광섬유 기술의 현황 및 향후 전망

• 송국현 •
기술표준원
광전자재료과 연구원

1. 서 론

광섬유는 물질의 굴절율을 이용하는 대표적인 소재부품으로 광통신, 광센서로는 물론 조명용 빛이나 영상 자체의 전송 목적으로 사용되고 있다. 광섬유의 종류도 다양하여 광통신 분야에서만도 광통신 선로용 외에도 광섬유 증폭기, 렌즈, 그레이티드 소자 등의 특수 광섬유가 있다.

광통신용 광섬유의 용도 및 그 소요량은 급격히 증가되고 있는데 이는 광섬유의 데이터의 전송용량이 크고 주파수 대역이 넓기 때문이다. 광섬유 한가닥의 정보전달 능력이 10Gbps이상인 반면 전화선은 64 kbps, home shopping용 통신선은 2Mbps 정도임을 생각하면 광섬유의 데이터의 전송용량의 우수성을 쉽게 알 수 있다. 이러한 큰 전송용량이라는 장점이외에도 전자유도나 정전유도가 전혀 발생하지 않아 누화나 잡음이 없고, 고전압에 의한 전력 유도 고장이 없다는 이점이 있다. 또한 광섬유 케이블의 가설이나 포설작업상 동선에 비해 4분의 1 정도로 가벼워 취급이 용이하고 운반, 보관 및 설치 작업이 간편하며, 내열성과 내 화학약품성이 우수하여 전송선의 수명이 길다는 장점도 있다.

광통신의 중요성은 인터넷 이용자의 폭발적 증가와 전자정부 구현, 전자 상거래 활성화 등으로 정보이용속도가 급속히 확산되고 있는데 기인한다. 즉 아날로그에서 디지털 기술로의 발전에 의한 화상정보 활용을 위한 디지털 카메라, 이미지 스케너, 광디스크, 컬러 프린터 등의 기기로 대표되는 지식정보화가 급진전되었기 때문이다. 지식정보화의 추세는 향후 상당기간 지속될 것으로 예측되는 바 이에 따라 광섬유 기술은 현재의 정보통신산업의 핵심 기술의 위치를 계속 유지 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 광통신용 광섬유를 중심으로 이의 원리, 종류, 주요 특성 및 광섬유용 모재의 제조법에 대하여 살펴보기로 한다. 아울러 특수 광섬유에 대하여 소개하고 최근의 기술 개발 동향에 대하여 간략히 기술하기로 한다.

2. 광섬유 구조 및 종류

잘 알려진 바와 같이 광섬유는 원통형 유전체 도파관으로 코어와 클래드, 아크릴 코팅층으로 구성되어 있으며, 코어와 클래드층의 굴절률차에 의해 빛의 전반사가 일어남으로서 코어층 만을 통하여 빛이 전달된다. 그림 1에 광섬유 구조 모식도를 수록하였고 표 1에는 광섬유의 분류를 나타내었다.

표 1에서와 같이 광섬유는 코어부의 전파모드의 수에 따라 단일모드와 다중모드로 구별된다. 다중모드 광섬유는 굴절율 분포, 코어 및 클래드의 재질, 코어직경 에 따라 구분된다. 단일모드 광섬유는 광섬유 손실은 적으나 코어경이 수 마이크론으로 작아서 광섬유 상호간의 접속이 어렵다는 단점이 있다. 이와 같은 이유로 단일모드 광섬유는 장거리 전송 및 대용량 통신에 다중모드보다 유리하다. 단일모드 광섬유에는 일반(분산비천이), 분산천이, 분산평활 광섬유로 구분된다. 이외에도 응용 파장에 따라 자외선, 가시광선, 근적외선, 적외선 광섬유로 사용재질에 따라 석영계유리, 다성분유리, 플라스틱, 복합재료(플라스틱,클래드,액체코어등), 적외재료 광섬유로 또한 코팅재료에 의해서 무기재료(탄소, SiC등), 금속재료(금, 동, 니켈 등), 플라스틱 코팅광섬유로 구분되는데 이에 대해서는 5절에서 설명한다.

그림 1에서 플라스틱 재질의 2차 코팅 후 항장력체나 케이블코어와 함께 외부 피복한 것이 광통신케이블로서 루즈튜부(Loose Tube) 형과 리본형이 있다. 광통신케이블은 적용 위치에 따라 가공용, 직매용, 관로용 및 난연형 등으로 구분되는데 본고에서는 광통신케이블에 대한 설명은 생략한다.

광통신용 광섬유의 개발 연혁을 살펴보면 1966년의 Kao에 의한 시도가 그 효시라고 할 수 있으나, 1960년대의 광섬유의 전송 손실은 100dB/km 이상이

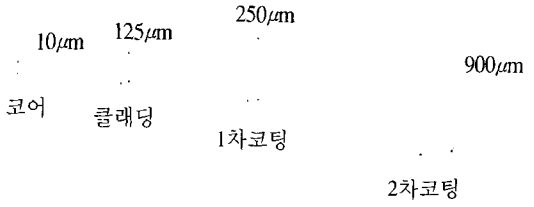


그림 1. 단일모드 광섬유의 모식도.

어서 실용화는 어려웠다. 1970년대에 들어서 약 20dB/km(@1μm) 수준으로 광섬유 제조기술이 발전하고, 동시에 실온에서 지속적으로 작동하는 GaAs 레이저의 시작품이 개발되었고 1980년대에 더욱 성능이 개선됨으로써 상용의 광전송 시스템이 가능하게 되었다. 그림 2에는 이러한 광섬유 특성의 발달과정과 광손실의 파장의존성을 보이고 있다.

그림 2에서 광섬유 특성의 변천에 따라 광손실의 가장 적은 최적의 사용파장대(window : 창)를 1, 2, 3으로 표기하였는데 첫 번째 창은 850nm, 두 번째창은 1300nm, 세 번째 창은 1550nm 주변에 위치한다. 사용파장대의 변화는 광섬유 특성 이외에 해당 파장에서 작동되는 광소자에서의 기술발전에 기인하는데 특히 최근의 광증폭기, 솔리톤, 파장분할 다중화기(WDM), 코히어런트 검파기 등의 새로운 장치의

표 1. EIA에서의 ,광섬유의 분류.

일반 분류	다중모드광섬유							다중모드광섬유		
EIA 분류	IA and IB				IC	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ A	Ⅳ B	Ⅳ C
굴절계수 프로파일	경사형과 의사(quasi)경사형				계단형	계단형	계단형	분산비천이	분산천이	분산평활
코어물질	유리				유리	유리	플라스틱	유리	유리	유리
클래딩물질	유리				유리	유리	플라스틱	유리	유리	유리
코어직경(μm)	50	62.5	85	100	50~100	200~600	484~980	8.7~10	7~8.7	7~8.7
클래딩 직경	125	125	125	125~140	125~140	230~650	500~1000	125	125	125
감쇠(dB/km) @1310nm	0.7~1.6	0.8~1.8	1.0~1.8	1.5~50				0.4~0.7	0.7~1.6	0.7~1.6
분산(ps/nm/km)@1310nm@1550nm	0.9~3.5	3.0~10	3.0~10	3.0~10				0.9~4.0 20	3.5	3.5 3.5

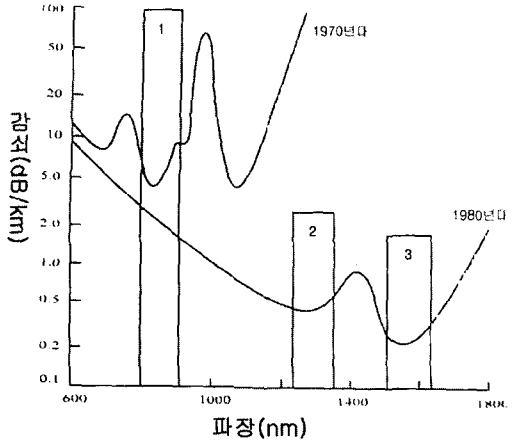


그림 2. 광섬유의 파장별 광손실 특성; 1: 첫 번째창(850nm), 2: 두 번째창(1300nm), 3: 세 번째창(1550nm).

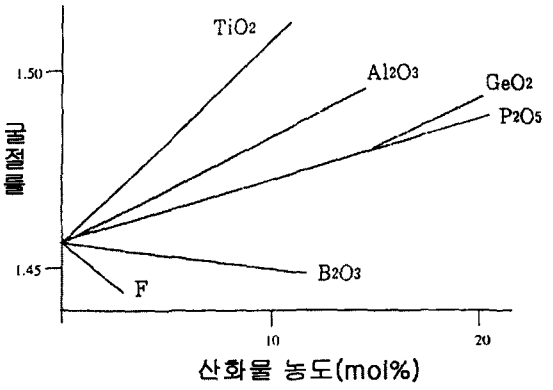


그림 3. 첨가물(dopant)의 양과 석영계 광섬유의 굴절율.

개발로 광통신의 확대가 가능하게 되었다.

3. 광섬유 모재의 제조법

광섬유는 직경이 수십에서 수백 mm의 원통형 모재(Preform 또는 Preform Rod)를 국부적으로 가열한 후 로드인치법 등의 방법으로 인발(drawing)하여 제조한다. 인발시의 온도제어 및 인발속도, 냉각속도, 1차 코팅기술 등이 광섬유의 칫수, 표면상태, 내부응력 및 내부결함 등의 품질을 좌우하는 중요 기술이지만, 모재의 제작 기술이 광섬유의 특성과 품질을 근본적으로 결정한다고 할 수 있다. 모재는 굴절율이 큰 코어 부분과 굴절율이 작은 클래드 부분의 2중 구조로 제작되는데 이를 위하여 실리카에 GeO_2나 P_2O_5를 첨가(Doping)하여 코어 부분을 만들고 경우에 따라서는 클래드 부분에 F나 B_2O_3를 첨가한다.

실리카에 첨가되는 원소에 따른 굴절율의 변화를 그림 3에 수록하였다. 그림 3에서의 물질들은 제조시 염화물 등의 화학물질로 공급되는데 GeCl4, $POCl_3$, $AlCl_3$, $TiCl_4$, BBr_3나 SiF_4가 사용된다. 최근에는 광섬유에 광증폭이나 비선형광학효과를 부여하기 위해 Er, Nd, Pr 등의 화합물이나 CdS도 사용된다.

첨가물(Dopant)의 선택시 고려해야할 점은 첨가물이 보통의 경우 광파의 감쇠량 즉 전송손실을 증가시킨다는 점이다. 특히 Cu, Ni, Fe, Mg, Co 등의 천이금속의 화합물은 감쇠 효과가 커서 주의해야 한다. 이들은 각기 고유한 파장에서 흡수를 일으키며 ppb의 정도의 양에도 많은 손실증가를 초래한다. 또한 광섬유내의 굴절률의 변화에 의해 생겨나는 레일레이산란 감쇠를 막기 위하여 제조시 농도변화가 적은 화합물형태가 선정되어야 한다. 아울러 코어와 첨가물이 첨가되지 않는 클래드의 열팽창률, 연화온도, 점성 등의 물성이 큰 차이가 없도록 해야 하며 첨가물 원료의 가격이 저렴해야 하는 조건도 있다.

3. 1 MCVD법

모재의 제작방법에는 MCVD, VAD, OVPO 법 등이 있는데 MCVD 법의 모식도를 그림 4에 나타냈다. MCVD(Modified CVD Method)법은 Inside Vapor Oxidation(IVPO) 라고도 불리우며 지지관이라고 하는 석영관 안으로 산소와 함께 $SiCl_4$ 나 $GeCl_4$ 등의 원료가스를 흘리고 석영관을 회전시키면서 외부에서 화염으로 가열하는 방법이다.

1974년 미국의 AT&T, BELL 연구소에서 제안된 방법으로 굴절률분포의 제어는 비교적 쉽지만, 얻어지는 프리폼의 크기가 지지관의 크기로 제한되므로, 대형의 유리막대를 제작할 수는 없다. 최근에는 희토류 첨가 광섬유나 사인파광섬유 등의 특수한 광섬유의 제작기술로서 이용되고 있다.

그림 4에서와 같이 가열부에서는 다음과 같은 산

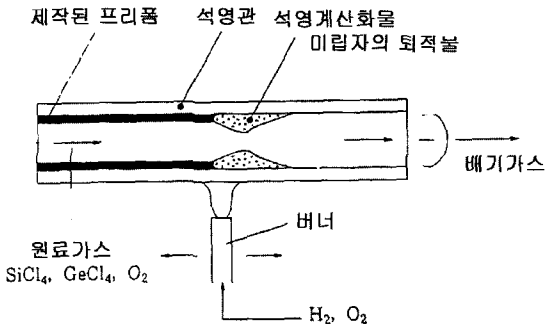


그림 4. MCVD법의 모식도.

화반응이 일어나고 불순물을 포함한 석영계 산화물의 미립자(soot)가 생성된다.

$$SiCl_4 + O_2 \rightarrow SiO_2 + 2SCl_2$$

$$GeCl_4 + O_2 \rightarrow GeO_2 + 2SCl_2$$

반응후 얻어진 속이 빈 석영관을 콜랩스(Collapse) 공정 즉 높은 온도로 가열 연화시킨 후, 내부의 공간을 완전히 밀착시켜 유리막대(모재)를 얻는다.

3.2 OVPO법(Outer Vapor Phase Oxidation Method)

OVPO법은 MCVD에서의 반응을 외부 심재에 진행시키는 방법이다. 원료물질을 천연가스 등의 연소용 가스와 함께 특수 버너로 산화시킨다. 산화반응에 의해 생성된 물은 원료물질과 가수분해반응을 일으켜서 석영계 산화물의 미립(soot)자를 생성하고, 각 층의 첨가물의 양을 제어하는 것에 의해, 언덕형 또는 계단형 등의 굴절률분포가 얻어진다. 생성된 다공질모재에서 심재를 끌어내고, 고온으로 가열해서 탈수 및 투명화를 진행시킨 후에 중공부를 밀착시켜 프리폼을 제작한다. 1974년 미국의 Corning Glass에서 개발된 다공질 모재의 제작방법으로서 대형의 프리폼의 제작이 가능한 방법이다.

3. 3. VAD(Vapor Phase Axial Deposition)법

원료물질을 특수 버너를 통하여 산소와 수소가 반응하는 불꽃에 주입하면 다음반응식과 같이 산화물 미립자가 생성된다.

$$SiCl_4 + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 4HCl$$

$$GeCl_4 + 2H_2O \rightarrow GeO_2 + 4HCl$$

이 미립자가 회전하는 출발재의 끝에 증착되고 성장되면 출발재를 위로 올리는 방법으로 연속적으로 백색의 막대기(다공질 모재)가 제작된다. 이어서 고온으로 가열후 탈수 및 투명화를 통하여 프리폼이 완성되는데, 1977년 NTT에서 개발되어 클래드 편심이 작고, 강도가 크며, 장파장 광감쇠량이 적은 대형의 프리폼을 양산 할 수 있는 방법으로 자리 잡고 있다.

이상의 방법으로 프리폼은 다음과 같은 특성이 만족되도록 적절하게 설계 제작되어야 한다. 즉 손실 및 분산이 작고, 케이블화가 용이하고, 사용환경변화에 대한 특성변화가 적어야 하며 제조가 쉽고 가격이 저렴해야 한다.

4. 광섬유의 주요 특성

광섬유 특성을 알기 위해서는 개구수, 결합효율, 대역 등 많은 개념에 대한 이해가 필요하다. 그러나 본 란에서는 구조 파라미터, 정규화주파수, 손실 특성, 분산에 대해서만 살피기로 한다.

(1) 구조 파라미터

광섬유의 코어, 클래드의 형태, 치수 및 굴절률분포(Refractive Index Profile)를 섬유의 구조 파라미터라고 한다. 광섬유 코어의 최대굴절률을 n1, 클래드의 굴절률을 n2라고 할때 코어 영역은 다음 식으로 표현된다.

$$n3 = n2 + k(n1 - n2)$$

즉 n3의 값을 연결한 폐곡선의 내측의 영역이 코어 영역이다. 이때 비례상수 k값은 다중모드광섬유에서는 보통 (k=) 0.05가 적용된다. 이 폐곡선을 최소

자승법으로 계산한 원의 지름을 코어지름, 이 원의 중심을 코어중심이라고 한다. 코어중심과 클래드의 중심의 어긋남을 코어와 클래드의 편심률이라 부른다. 다중모드광섬유에서는 굴절률에서 정해진 구조적인 코어지름과 실제로 광이 전파하는 영역의 지름이 거의 일치한다. 그러나, 단일모드에서는 k=0.5로 하는데 위의 코어지름과 실제로 광이 전파되는 구역의 지름은 같지 않다.

광섬유는 굴절률 분포에 있어 언덕형굴절률광섬유 (graded index optical fiber) 와 계단형굴절률광섬유 (step index optical fiber)로 구분되는데 코어의 굴절률 분포 n(r) 은 다음 식으로 나타난다.

$$n(r)=n_0[1-\Delta(r/a)\alpha]$$

단, no는 코어중심의 굴절률 Δ는 코어와 클래드간의 비굴절률차, a는 코어의 반지름, α는 굴절률분포 형상을 나타내는 지수이다. 언덕형굴절률광섬유는 계단형굴절률광섬유에 비교해 대용량의 광전송이 가능하다.

(2) 정규화주파수 (V 값)

규격화주파수 (Value)라고도 한다. 광섬유에서의 빛의 전달은 전자기장분포 Fm (r, θ) 및 전파상수 k로 정의되는 방식(도파모드)으로 이루어 진다. Fm (r, θ) 및 k 는 도파로의 직경, 굴절률분포, 파장 등의 요소에 의해 결정되는데 정규화 주파수라는 값에 반영된다. 광섬유에서는 정규화 주파수는 다음 식과 같이 표현된다.

$$V=2\frac{\pi}{\lambda}\cdot a\sqrt{n_1^2-n_2^2}$$

여기에서 λ은 파장, a는 코어지름, n1 및 n2는 각각 코어의 최대굴절률 및 클래드의 굴절률이다. V값은 계단형(스텝형)의 광섬유에 대해서 적용하기 위한 것이지만, 경사형(언덕형) 광섬유에 대해서도 널리 사용된다. 광섬유의 굴절률분포가 계단형의 경우에 V값이 =2.405 이하이면, 이론적으로는 전파가능한 전파모드가 LP01만인 단일모드로 동작이 된다.

(3) 광손실 (Optical Loss)

광섬유의 손실은 분산과 함께 광섬유의 우수성을 나타내는 특성으로 가장 널리 인식되고 있다. 광손실은 거리가 L(km)인 두 지점간에서의 광에너지가 각각 P1, P2 일때 다음 식과 같이 표현된다.

$$\alpha=-\left(\frac{10}{L}\right)\log(P2/P1)\ [dB/km]$$

그림 2에서와 같이 광손실은 파장에 따라 변화되는데 이는 다음 식으로 표현된다.

$\alpha(\lambda)=(A/\lambda^4)+B+C(\lambda)$

이는 제1항이 레일레이산란, 제2항이 도파로의 부정합에 의한 방사, 제3항이 물질에 의한 광의 손실이다. 첫째항인 Rayleigh 산란은 유리재료의 고유손실 요인으로 λ보다 작은 크기의 원자구조상의 국부적인 밀도변동 때문에 발생하는 산란으로 광섬유 제조시 형성되며 λ^{-4}에 비례하므로 파장이 길수록 작아진다. 세 번째 항은 원자의 전자천이에 의한 자외선 영역에 서의 흡수와 유리망 구조의 분자진동에 의한 적외선 영역에서의 흡수이다. 이외에도 불순물(천이)금속이온에 의한 전자 천이나 OH기에 진동에 의한 흡수가 재료적인 측면의 손실이다. 그러나 OH이온에 의한 흡수는 1300nm와 1550nm에서는 무시되어도 된다. 두 번째항은 기포 또는 미결정체에 의한 국소적인 굴절률의 변화, 코어/클래드 경계의 요철 등의 도파로의 칫수 불균일에 의한 손실이다. 두 번째항과 불순물 및 OH기는 광섬유 제조공정과 관계되는 요인이라고 할 수 있다.

(4) 분산

광펄스가 전파되며 펄스 파형이 변화되는 현상으로 재료의 굴절율이 파장에 따라 다른 재료적인 요인과 재료의 굴절율 분포나 광경로(길이)가 상이하여 동일 파장에서도 파형이 변화되는 도파로적인 요인 및 다중모드에서의 전파상수 k의 변화(모드분산)에 기인한다. 다중모드광섬유에서는 많은 수의 모드가 전파되지만, 전송대역은 모드분산에 의해 결정된다.

단일 모드에서는 기하광학의 모델을 사용하여 광

이 각 경로를 진행하는데, 필요한 시간이 대략 동등해지도록 설계함으로서 분산을 축소시키고 있다. 이를 위하여 디프레스드 클래드라는 2중 클래드 구조를 만든다. 코어에 인접하는 클래드는 그 외측의 클래드보다 굴절률이 낮게 만들어져 있다. 이외에도 Quadruple Cladding 광섬유는 4층의 클래드로 구성시킴으로써 분산을 제어한다. 세부적인 내용을 5절에서 살피기로 한다.

5. 특수 광섬유

본 절의 특수 광섬유로서 분산제어 광섬유, 적외선 광섬유, 플라스틱 광섬유 등에 대하여 살펴보기로 한다.

(1) 분산제어 광섬유

분산특성이 제어된 단일모드 실리카 광섬유의 분산 특성을 그림 5에 나타냈다.

그림 5에서 영분산 광섬유는 $\lambda=1.3\mu m$에서 분산 $D=0$ 이 되도록 구조 및 굴절율분포를 우측 그림과 같이 설계한 것이고, 천이분산 광섬유 (DSF : Dispersion -Shifted Fiber)는 영분산의 위치를 $1.55\mu m$이 되도록 이동시킨 것이다. 평탄분산 광섬유 (DFF : Dispersion-Flattened Fiber)는 $\lambda=1.55\mu m$ 근처에서 $dD/d\lambda=0$가 되도록 설계된 구조를 갖는다.

분산보상 광섬유 (DCF : Dispersion-Compensated Fiber)는 기존에 $\lambda=1.3\mu m$용으로 이미 설치된 광섬유(영분산)의 $1.55\mu m$의 사용에 따른 분산을 상쇄시키고자 하는 목적으로 설계된 광섬유이다. 즉 $1.3\mu m$용 광섬유를 $1.55\mu m$ 파장에서 그냥 사용하고 전송 끝단에서 분산보상을 해주는 방법이다. 그림 5에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.55\mu m$에서 $1.3\mu m$용(영분산)광섬유의 분산치는 17ps/nm · km정도이다. 따라서 전송로 L km의 끝단에 -136ps/nm · km를 갖는(분산보상) 광섬유를 L/8만큼 드럼에 감아 연결함으로써 분산보상이 가능하다. DCF는 영분산 광섬유보다 코어경은 작고, 굴절률 차이는 크게 설계되어 있다.

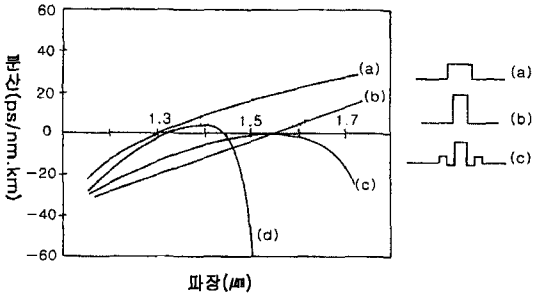


그림 5. 분산제어 광섬유의 특성; (a)영분산, (b) 분산천이, (c)평탄분산, (d)분산보상용

(2) 적외선 광섬유 (Infrared Optical Fiber)

광통신을 주된 응용분야로서 개발해온 석영계 광섬유의 사용 파장은 최대 $2\mu m$ 이다. 이에 비하여 더 긴파장의 적외선 영역에서 사용되는 광섬유가 적외선광섬유이다. 적외선광섬유는 광에너지의 전송로 (CO_2 레이저의 $10.6\mu m$의 에너지 전송용)로서 온도 등의 계측과 열화상전송, 레이저메스 등의 의학분야, 열에너지에 의한 가공분야 등에 있어서 에너지 전송로로서 적용하고자 활발히 연구 중이다. 적외선 광섬유용 재료를 표 2에 나타냈다.

적외선광섬유의 문제점으로는 기계적으로 약하고, 온도 안정성이 낮고, 광손실이 크다는 것이다. 또한 CVD법에 의한 대량생산으로 저가화가 요구되는데 현재 2중크루시블방법, 단결정인상에 의한 광섬유화, 결정의 밀어내기 등의 방법으로 제조되고 있다. 특히 ZBLAN은 이론적인 광손실이 10^{-2}~10^{-3}dB/km@$3\mu m$(석영광섬유 : 0.15dB~0.16dB/km@$1.55\mu m$)로서 초저손실의 광섬유의 가능성 때문에, 장거리통신용 광섬유로써 연구되고 있으나, 산란손실 등의

표 2. 적외선 광섬유의 주요 특성.

종 류	재 질	대표적 물질조성	저손실 파장대역	손 실
불화 유리	ZrF_4계 ZBLAN	$ZrF_4+BaF_2+LaF_3+AlF_3+NaF$	0.40~4.3	0.7(2.6㎛)
글리코겐화 유리	As-S계	As+S	0.92~6.6	35(2.4㎛)
	As-Ge-Se계	As+Ge+Se	1.3~1.55	182(2.1㎛)
할라이드 결정	단결정 다결정	CsBr	–	400(10.6㎛)
		TlBrI(KRS-5)	–	120(10.6㎛)
		AgBr	–	70(10.6㎛)

축소가 어려운 실정이다.

(3) 플라스틱 광섬유(Plastic Optical Fiber)

코어 및 클래드가 플라스틱 재료로 구성된 광섬유이다. 주로 라이트 가이드, 장식용으로 오래전부터 사용되어 왔으며, 단거리에서의 광통신 용도로서는 이용되고 있다. 최근 전송특성(저손실화 및 광대역화), 내열성 또는 증폭용도 등의 면에서 개발이 진전되어 자동차, 항공기에도 응용되고 있고 색소를 도핑한 증폭용 광섬유 등도 연구되고 있다.

재료로서는 PMMA, PS 또는 PC 등이 사용되는데 내열성의 향상(80°C → 120°C~150°C)을 위하여 PC와 아크릴 수지를 사용하기도 한다. 광손실은 플라스틱 고유의 C-H의 결합에 의한 요인으로 제한되어 수 10dB/km가 한계이나 불소계의 수지 또는 중수소화로 저손실화가 시현되고 있다. 광대역화의 측면에서는 GI형의 굴절률 프로파일의 POF 개발이 진전되고 있다.

(4) 다중 코어 광섬유 (Multi Core Fiber)

다중 코어 광섬유는 하나의 공통의 클래드 속에 여러개의 코어 영역이 존재한다. 상호간의 코어가 근접하여 광파의 간섭이 생기는 것과 생기지 않는 것의 2종류로 구분된다.

다중 코어 광섬유의 목적은 전송로의 단위 단면적당 집적밀도를 높이는 것으로 광 이미지용 광섬유에서, 수천에서 수만개의 코어가 설치된 것도 실용화되어 있다. 그러나 통신용으로는 수백개의 광섬유가 리본상에 배열되거나, 수개의 광섬유가 다발로 묶여진 것이 시험적으로 적용되고 있는 상황이다. 이외에 광파의 간섭이 생기도록 된 2코어 광섬유는 센서 및 광회로부품으로 응용된다. 이는 간섭량이 코어의 간격, 굴절률 등에 의해 민감하게 변화되므로 압력, 온도 등의 광섬유센서로서 연구되고 있다. 또, 광섬유형 광커플러 등, 광회로부품 소재로서 응용이 연구되었다.

(5) 내환경성 광섬유(Hard Condition Resistant Fiber)

내환경성 광섬유는 −40~+60°C를 벗어나는 저온/고온, 고압, 큰 외력이 가해지거나 방사선이 조사되는 환경에서 사용될 수 있는 광섬유로서 내열성 향상을 위하여 피복을 테프론이나 폴리아미드계의 수지를 사용하기도 한다. 보통 석영유리에 방사선을 노출시키면 유리속에 구조결함(색중심 : Colour Center)의 생성에 의해 0.4μm, 0.7μm의 파장에서 광손실이 증가된다. OH나 F를 첨가하여 석영유리 재질을 바꾸면, 방사선에 의한 결함의 발생을 억제할 수 있는 내방사선 광섬유 (Radiation Resistant Fiber)가 제조된다. 이 섬유는 원자력발전시설 등의 방사선에 노출되는 환경에서 사용되는 감시용 광섬유로 사용된다.

(6) 라만 광섬유 (Raman Fiber)

비선형 매체로서의 광섬유의 라만효과(스토크스 및 반스토크스)를 이용하여 신호파형의 분산을 줄임으로써 장거리 통신이 가능한 광섬유이다. 입력광이 강한 경우, 코히런스한 유도산란광이 얻어지며 이를 이용하여 광섬유 레이저(광증폭기)로도 응용된다. 광섬유 레이저는 분광계측기용의 광원, 광섬유 분산측정용의 광원 등으로도 이용된다.

최근 석영계 광섬유 대신 GeO_2를 코어로 한 광섬유가 개발되어, 석영계에 비교해 라만 이득(f_R)이 크며, 스토크스 광의 스펙트럼 폭이 좁고, 연속스펙트럼이 적다는 점에서 성능이 개선되었다.

(7) 복굴절 광섬유(Birefringent Fiber)

PANDA 광섬유(Polarization-maintaining AND Absorption-reducing Fiber)라고도 하는데 응력부여 형태와 코어형상을 타원으로 한 형태가 있는데 응력부여 형태가 실용화 되어있다. 타원형의 경우는 광경로의 차이에 의한 복굴절 효과를 이용한 것이고, 응력부여 모재형은 주원료인 실리카유리에 비교해서 열팽창률이 큰 재질을 사용함으로써 제조된다. 즉 높은 온도에서 인발된 광섬유가 냉각되어 식을 때, 응력부에 모재의 수축이 주위보다 크므로 결과적으로 코어를 y방향으로 당기면 이에 따라서 x방향으로 압축응력이 발생된다. 이때, 코어는 광탄성 효과에 의해 굴절률이 x방향과 y방향으로 달라지게 되어 복굴절 특성을 갖게된다.

(8) 기타

· 결정광섬유 (Crystal Fiber)

표 2의 KRS-5(Tl(Br,I), TlBr, AgBr, CsI 등의 적외선 광섬유이외에 사파이어, $BaTiO_3$ 단결정 등의 비선형광학의 분야에서의 광섬유가 있다.

· 금속 코팅 광섬유(Metal Coated Fiber)

광섬유의 유리 표면에 Ni, Cu, Au 등의 금속층을 코팅한 광섬유로 내열성(300°C 이상)이 크고 전기를 통하기 때문에, 내환경성 광섬유나 전자회로 부품, 전장이나 자기장에 반응하는 센서용으로 사용된다.

· 다성분 광섬유 (Compound Fiber)

SiO_2를 주성분으로 하고 Na_2O, B_2O_3, K_2O 등의 산화물을 첨가한 것으로, 낮은 연화점과 코어와 클래드의 굴절률차가 큰 특성이 있으므로, 의료분야 등의 광섬유 스코프로서 사용된다.

· 중공섬유 (Hollow Fiber)

원통내의 공간에 빛을 전파시키는 광섬유로서 주로 에너지 전송을 목적으로 연구되어서 X선, 자외선 및 원적외선 영역에서의 광전송에 사용된다.

6. 광섬유 분야의 시장상황 및 기술개발동향

2000년도 세계 광섬유의 수요는 9000만 fiber-km이였고 2001년도에는 1억5200만fkm로 신장되고 이후 연 20%정도의 증가율을 보일 것으로 예측되었다. 실제 2000년 하반기에는 광섬유의 품귀 현상까지도 발생하였다. 그러나 2001년 후반부터 급격한 수요 위축으로 2001년도의 실적은 2000년도 수준을 약간 상회하는 정도였다. 국내의 광섬유 생산능력도 2000년도에 약 900만 fkm에서 2001년말 1600만 fkm로 신장하였으나, 2001년 후반부터의 시장침체로 어려움을 겪고 있다. 광섬유관련 전문기관들에서는 세계 광섬유 시장은 2003년부터 회복되고 이후 연 20%에 가까운 성장세가 지속될 것으로 예상하고 있다.

최근 세계적으로 유수한 광섬유 생산업체인 코닝, 루슨트, 스미토모, 알카텔 등에서는 기구 축소를 하고 있으나 기술개발은 지속하고 있다. 전송용 광섬유 분야에서는 주로 분산보상 광섬유, 대용량 WDM 광전송과 관련된 성능개선, 대구경화 등의 연구 개발이 이루어 지고 있고, 광섬유 증폭기 분야에서는 EDFA, TDFA, PDFA의 밴드폭의 개선을 통한 10Tbit 수준의 성능 실현, 라만증폭기의 성능 개선 연구가 진행되고 있다. 기타의 특수 광섬유로는 광섬유 격자, 광결정 섬유, 비선형 광소자용, Ge 도핑 고감광성 광섬유의 연구개발이 이루어지고 있다. 또한 연구소를 중심으로 불화물유리 광섬유를 장거리통신용으로 이용하기 위한 주로 저손실화와 분산제어 연구와 불화물유리 모재의 CVD법에 의한 제작기술도 연구되고 있다.

시장침체를 겪고 있는 삼성전자, LG전선, 대한전선, 옵토매직, 머큐리 등의 국내 광섬유 업계에서는 기존의 단일모드 광섬유에서 탈피하여 10Giga bit급 다중모드 광섬유 등으로 대표되는, 신제품 개발 전략과 제품의 생산성 및 품질을 향상시키는 노력을 가속화하고 있다. 신제품 개발과 관련 저손실 재료를 이용한 플라스틱 광섬유, 강한 빛을 전송할 수 있는 대구경 광섬유, 번들형 광섬유, 영상 전송용 광섬유도 중요한 연구 대상이며 특히 40Gbps급 고속전송이 가능한 다심 영분산 광섬유 (NZDSF : Non-Zero Dispersion -Shifted Fiber)의 개발이 시급한 과제가 되고 있다. 한편 생산성 향상을 위하여 광섬유 모재 직경과 길이를 증대시키는 노력을 계속하고 있는데 이 경우 품질의 균일성 확보가 어려워지므로 이를 개선하기 위한 연구가 병행되고 있다. 또한 품질향상을 위하여 광섬유 인발시 광섬유의 잔류응력 측정을 병행하여 광섬유의 광학적, 기계적 특성을 제어 향상시키고 있다.

국내 여러 학교와 연구계에서는 불화물유리, 광감쇠용, 라만광섬유 및 광증폭기용, POF, 광섬유격자 등의 특수 광섬유에 대한 연구를 진행하고 있다. 불화물유리 광섬유의 경우에는 장거리통신용 보다는 광센서용으로 연구되고 있고 POF, 광감쇠용이나 광증폭기용 광섬유는 기초 연구와 함께 일부 중소 업체에서 상용화되고 있다. 또한 CVD법 원료의 화학적합성을 위한 실리콘화합물 등의 고순도 화학물질 제조 기술연구도 지속되고 있다.

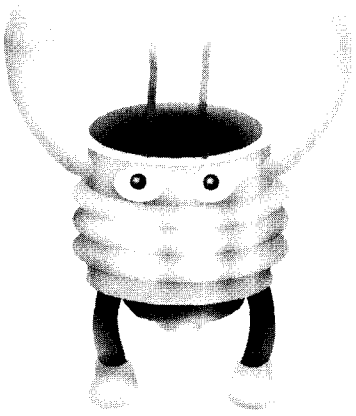
앞서 언급된 것과 같이 지식정보화의 추세는 돌이킬 수 없는 세계적인 동향이므로 광통신과 광섬유 기술은 향후에도 국가 핵심기술로 남을 것이다. 따라서 작금의 침체기로 인하여 외국기업의 기술투자가 다소 주춤하고 있는 기간을 선진국과의 기술 격차를 줄이는 기회로 활용하여야 할 것이다.

· 저 · 자 · 약 · 력 · · · · · · · · · · · · · · ·

성 명 : 송 국 현

❖ 학 력

· 1978년
서울대 무기재료공학과 공학사
· 1980년
한국과학기술원 재료공학과 공학석사
· 1993년
서울대 대학원 무기재료공학과 박사

❖ 경 력

· 1978년 1월 - 1988년 2월
대우자동차 기술연구소 근무
· 1995년 6월 - 현재
기술표준원 광전재료과 공업연구관
· 1998년 1월 - 현재
국제전기위원회(IEC) 광섬유위원회 (TC86) 국내간사