

광학섬유 제조 기술 및 그 현황

김 기 순

한국과학기술연구소, 전자요업연구소

1. 서 론

광섬유 통신 및 그 응용 기술은 광선을 유리나 석영유리 섬유를 통과시켜 정보를 전달하는 기술과 이러한 정보 전달 능력을 산업, 군사용으로 이용하는 기술이다.

광섬유의 정보 전달 능력은 일찌기 의학용으로 이용되어 왔으나 흡수와 산란에 의한 손실이 적은 광섬유의 개발이 따르지 못하여 큰 관심을 끌지 못하였다. 그러나 1970년대에 이르러 손실이 적은 광섬유의 개발과 광신호를 보낼수 있는 Laser 기술의 급격한 발달로 상업성의 가능성이 확립되어 새로운 통신 방법으로 대두 하게 되었다. 실제로 선진 외국에서는 이미 현장 실험을 끝내고 상업용의 문턱에 이르렀고 80년대에는 동선을 대신하여 일반적으로 사용 될 추세에 있다.

광섬유를 이용한 광통신 방법은 재래식 동선을 이용한 통신 방법에 비하여 다음과 같이 우수성이 입증되고 있다. 즉,

- 1) 다른 외부의 전자파에 의한 간섭과 혼신이 없고 도청이 힘들다.
- 2) 소형이고 가벼우며 굴곡등이 용이하다.
- 3) 접지의 필요성이 없고 합선의 위험성이 없으며 안전하다.
- 4) 한 케이블에 훨씬 많은 통신 회선을 수용

할 수 있으며 가격이 저렴하다.

- 5) 외부의 기온변화나 기후, 산화 부식에 따르는 문제점이 없다.
- 6) 무진장한 광섬유(규석)자원이 있다.
- 7) 현재 사용되는 system과 연결이 가능하다 이러한 광섬유 통신방법을 효과적으로 응용할 수 있는 분야로는
 - 1) 가정용, 산업용, 일반 통신망.
 - 2) 통신위성과 지상 관제소에서의 응용.
 - 3) 폐회로 텔레비존(CATV)
 - 4) 산업용 automation system의 data 전송.
 - 5) computer system에서 unit간의 communication.
 - 6) 군사용

광섬유 통신과 그 응용의 상업성을 결정하는 요소는 손실이 적고 가격이 싼 광섬유를 개발하는 것으로 초기단계에서 부터 현재까지 연구의 가장 중요한 부분이 되고 있다.

2. 역사적 배경

광섬유를 이용하여 통신의 가능성을 조사한 사람은 당시 영국의 Standard Telecommunication Lab.의 Kao 이다. 1966년 Kao와 Hockham¹⁾에 의하여 그 이론이 처음으로 발표되었고, 1968년 Kao와 Davies²⁾는 당시의 유리

섬유의 손실은 1,000dB/km 이상으로 실제로 사용할 수 없었으나 용융석영에서는 손실이 200 dB/Km 정도이고 이론적으로 잘 정제된 원료와 유리를 사용하면 20dB/km 일 것이라고 예측하였고, 실제로 1969년 Jones와 Kao³⁾는 상용 용융석영에서는 10dB/Km(800-900nm 파장범위)인 것을 발견하였다.

이 발표에 힘입어 정제된 원료를 사용하면 유리섬유의 손실도 이들 값에 도달 하리라는 생각 아래 영국의 체신청연구소, 미국의 Bell 연구소와 Corning 유리회사, 일본의 전기초자와 일본 판초자회사, 독일에서 AEG-Telefunken 과 Siemens, 화란의 Philips 회사, 프랑스의 국립중앙통신연구소 등에서 손실이 이들 값에 도달하는 섬유를 만들기 위한 연구가 집중적으로 이루어졌다. 그 결과 1970년에 Corning 유리회사에

서 처음으로 수백 meter에 달하는 20dB/km의 광섬유를 제조하는데 성공하여⁴⁾, 광섬유 통신 기술에 전기를 마련하였고 이에 뒤이어 Bell 연구소에서의 CVD 방법⁵⁾을 이용한 고순도 용융 석영광섬유, 영국의 체신청 연구소의 graded index⁶⁾ 광섬유 및 일본판초자의 소위 Selfoc 광섬유⁷⁾등이 개발되어 실용화의 길을 터 놓았다.

3. 광학섬유의 특성

가. 광학섬유의 종류

그림 1은 여러가지 섬유의 단면과 단면내의 굴절률의 변화를 횡수와 함께 보여 주고 있다. 이들은 현재 연구의 중점이 되고 있는 것으로

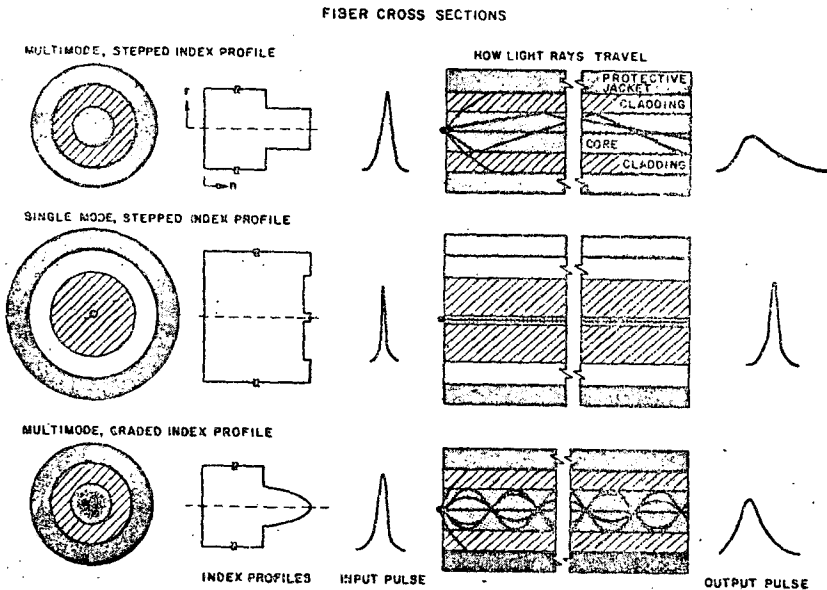


그림 1. Basic types of glass fiber optical waveguides of greatest current interest.

single 혹은 multi-mode, step index fiber와 multi-mode, graded index fiber 이다.

step index fiber 에서는 그 굴절률이 N_1 인 반경 a 의 core가 있고 이것을 굴절률이 N_1 보다 약간 적은 $N_2=N_1(1-\Delta)$ $\Delta \ll 1$ 인 cladding 재료로 둘러싸여 있다. single mode step index fiber 에서는 $a=5\mu\text{m}$ 로서 coherent source(Laser)를 사용하여 pulse dispersion을 최소로 할 수 있으나 신호를 전송 할 때 incoherent light를 사용해야 할 필요성이 있을때는 multi-mode fiber 가 요구된다.

한편 graded index, multi-mode fiber 는 core의 축 방향에 따라 그 굴절율이, $N=N_1 \left[1-\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right]$ $0 \leq r \leq a$ 로 표시되는 분포를 가지고 있는 것으로 $N_1 \approx 1.5$ 정도이고 이러한 굴절률을 가지고 있는 fiber는 광학적 상을 그대로 전달 할 수 있고 또 multi-mode 의 pulse dispersion 도 step index에 비해서 훨씬 더 적다. 일본 판초자 회사의 Selfoc fiber⁷⁾는 이러한 포물선 분포의 굴절율을 가지고 있는 것이다.

나. 광학특성

광섬유에서 기본이 되는 광학특성은 numerical aperture 와 광손실(attenuation)이다.

numerical aperture는 $NA = \sin \theta = (N_1^2 - N_2^2)^{1/2} \approx N_1 \sqrt{2\Delta}$ 로 표시되는데

θ 는 광섬유가 광파를 받아 드릴수 있는 최대 각도로 광파가 core와 cladding 의 경계에서 전 반사 될수 있는 각도를 나타낸다.

광손실은 광학통신자체를 가능하게 하는 광학 특성으로 어떤 파장에서의 손실은 $\text{loss in dB/Km} = -10 \log(W/W_0)/L$ 로 표시된다. 여기서 $W_0 = \text{input optical power}$, $W = \text{output optical}$

$\text{power } L = \text{광학 섬유의 길이 (km)}$ 이다.

그림 2는 비교적 손실이 적은 fiber 에서의 대표적인 광손실 spectrum을 보여주고 있다.

이들 손실의 기구를 조사하여 보면 먼저 Rayleigh 산란 손실이 있다. 이 손실은 광학적으로 완전한 광학유리에서도 성분과 밀도가 미세적으로 불균일하기 때문에 나타나는 것으로 파장이 길어짐에 따라 λ^{-4} 의 관계로 급격히 감소한다.

다음으로 가장 문제가 되고 까다로운 것으로는 극미량의 불순물의 영향이다. 광학적으로 거의 완전한 유리에도 수분(OH 기)이나 Fe^{2+} , Cu^{2+} ion등이 있는데 ppm 혹은 ppb 단위의 이들 불순물이 광손실에 얼마나 영향을 끼치는가가 그림 2에 잘 나타나 있다.

그림 2를 보면 약 940nanometer에 가장 큰 광손실이 있는데 이것은 1730nm 에 나타나는 O-H 진동 흡수액의 두번째 harmonic 이고, 세 번째 over-tone이 720nm에 나타나고 있다.

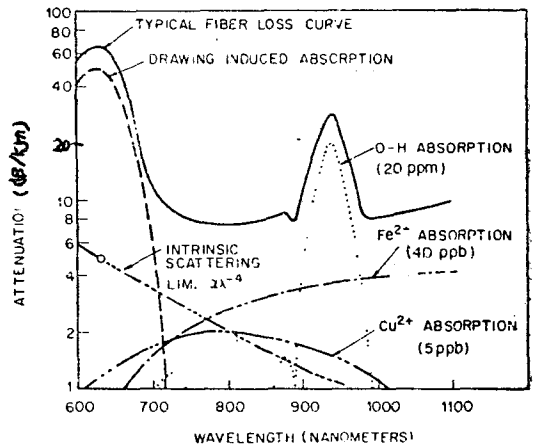


그림 2. Origin of loss in glass fiber waveguides.

다음 표 1은 실제로 20dB/Km의 손실을 얻기 위하여 sodalime glass에서 control 해야 할 불순물의 농도를 표시한 것으로 원료 정제가 얼마나 중요하며 또 섬유를 제조할때 불순물이 들어

가지 않도록 얼마나 주의하여야 하는가를 말해 주고 있다.

다음으로는 fiber를 drawing 할때 불규칙적으로 나타나는 손실이 620nm 근처에 있는데 이것은 SiO₂ 유리에서 수분함량과 관계되어 있으나 그 이유는 잘 알려져 있지 않다.

실제로 광섬유에서의 광손실은 위에 설명한 것 이외 core와 cladding의 경계간의 결합이나 초미세 기공이나 밀도의 변화 stree 분포등 제조 과정에서 야기되는 결합과 fiber의 단면의 모양 치수의 변화등 waveguide에 의한 손실이 있는데, 이들을 material에 의한 손실과 합하면 실제로 fiber 나타나는 손실과 거의 비슷한 손실 spectrum을 얻을 수 있다.

그러나 다행히도 800-900nm와 1,000-1,100nm 범위에서 그 손실이 가장 적는데 이 파장 범위는 GaAs LED나 Laser, Nd-YAG Laser 등의 광원체의 파장과 일치 하므로 실용에 커다란 도움을 주고 있다.

表 1. Attenuation due to representative impurities in soda-lime glasses

ion	absorption peak (nm)	concentration for 20dB/Km	
		absorption at the peak (ppb)	absorption at 800nm (ppb)
Cu ²⁺	800	9	9
Fe ³⁺	1,100	8	15
Ni ²⁺	650	4	26
V ³⁺	475	18	36
Cr ³⁺	675	8	83
Mn ³⁺	500	18	1,800

다. 기계적 강도

광학섬유 기술에 있어서는 광학섬유의 광투성에 못지않게 섬유의 기계적 강도는 응용에 있어

서 중요한 문제가 된다. 광섬유는 금속에 비하여 연성이나 굴곡성등이 훨씬 나빠서 load가 너무 절리거나 너무 적은 반경으로 구부리면 쉽게 절단되고 또 충격에 극히 민감한 것이 단점이다.

Core와 cladding으로 된 low-loss 섬유에서 최대 장력은 약 50,000psi/Km gauge length 이나 bending 반경에 의하여 제한을 받으므로 상용으로 얻어지는 섬유의 직경은 대개 2-8mil이다. 예를 들어 3.5mil의 섬유는 반경이 약 0.5mm 정도까지 원형으로 굽힐 수 있어 실제로 큰 문제는 되지 않는다. 유리 섬유의 강도는 처음으로 뽑을 때는 거의 이론치에 가까운 값을 가지나 대기중에 노출되면 즉시 그 강도가 떨어지므로 곧 적절한 coating 제로 피복하여야 한다. 따라서 광학 섬유를 만들때는 동시에 plastic coating을 하게 된다. 이렇게 하면 강도를 상당히 증가시킬 수 있어 직경 0.1mm 정도의 single fiber도 cable 화 하면 약 200kg 정도의 장력에 견딜 수 있다.

한편 섬유의 단면적과 최대 안전 bending 각으로 부터 cable 화 하지 않은 광학섬유의 최대 허용 stress를 계산할수 있다. 섬유의 반경 r을 증가시켜서 그 단면적이 증가되면 강도는 증가하나 최대 안전 bending 반경 R_{min} 이 감소하므로 절단이 되는 Stress $S_t = E \left(\frac{r}{R_{min}} \right)$ E = Young's Modulus $\approx 10^7$ p.s.i.로 표지된다.

4. 광학섬유의 제조

가. 용융석영 유리섬유

고순도의 용융석영유리 SiO₂는 그 굴절율이 n=1.458(na-황색 평균치)로 단일 성분유리로

서 가장 적고 이보다 더 낮은 굴절율을 가지는 유리로는 Borosilicate($B_2O_3-SiO_2$) 유리와 Phospho-silicate($P_2O_5-SiO_2$) 유리 정도이다.

따라서 현재 알려진 유리 조성중에서 가장 바람직한 것은 SiO_2 core에 이원계 $B_2O_3-SiO_2$ 유리로 cladding 된 것(8~14)이 가장 우수한 것으로 알려져 있고, 이와 비슷한 것으로는 GeO_2 나 P_2O_5 로 doping된 SiO core(15~18) 와 순수한 SiO_2 로 cladding 된 유리섬유가 또 많이 이용되고 있다. 실제로는 이들 고순도 석영에 다른 소량의 산화물을 넣어서 열 팽창 계수, softening point점도, 굴절율등을 조절하여 광섬유 제조시에 필요한 공정상의 문제점을 해결하고 있다.

SiO_2 유리섬유를 제조하는때는 기술적으로 어려운 점이 많은데 첫째로는 우선 SiO_2 의 용융점이 아주 높아서 ($1710^\circ C$)이에 필요한 고온을 획득하고 제어하는 데 힘들다는 것이고 둘째로는 용융된 SiO_2 가 점도가 아주 커서 많은 기포와 유동성의 불량으로 인한 불균일한 유리가 된다는 것으로 이점이 SiO_2 유리가 그 열적, 기계적, 광학적 특성이 우수함에도 불구하고 일반적으로 잘 사용되지 못한 이유가 되어 왔다. 따라서 응용 석영유리 섬유를 얻기 위하여는 직접 용융해서 섬유를 뽑는 기술은 아직 개발이 요원하여 그 대신 소위 "preform"을 만들어 이로 부터 다시 섬유를 얻는 2 단계 과정으로 얻어지고 있다.

다행히 반도체 기술의 발달에 따라 고순도의 SiO_2 의 필요성이 일찍 생겨나서 실제로 고순도의 SiO_2 제품, tube 나 crucible 들을 얻는 기술은 이미 완성되어 상용으로 쓰이고 있으므로 이들을 적절히 처리하여 섬유를 얻는 연구만이 필요하였고 급격한 발달도 이에 힘입은 바 크다.

(1) Silica Preform의 제조

위에서 설명한 바와 같이 석영유리 섬유를 얻기 위하여는 먼저 preform을 만드는 과정이 필요하다. preform을 제조하는 방법중 현재 사용되는 것은 soot deposition process (혹은 pitsode CVD process)와 modified CVD process(inside CVD process)로 대별된다. 그러나 최근의 경향은 직접 MCVD 방법을 택하고 있다. 한편 아직 일반적으로 사용되지 않으나 개발이 진행되고 또 그 potential이 큰 vapor phase Vernuil의 방법이 있다.

Soot deposition process는 Corning glass work에서 1972년 Shultz가 처음 개발한 방법으로 ^{4,8,19} 그림 3에 그 원리가 그려져 있다. 이 방법은 적절한 부착봉 graphite나 ceramic 혹은 유리질 봉이나 관)을 축방향으로 회전시키면서 이위에 적절히 doping 된 SiO_2 를 먼저 부착시키고 다음에 순수한 SiO_2 를 차례로 부착시키는 것인데 SiO_2 의 부착은 다음과 같은 flame hydrolysis 반응에 의한 것이다.

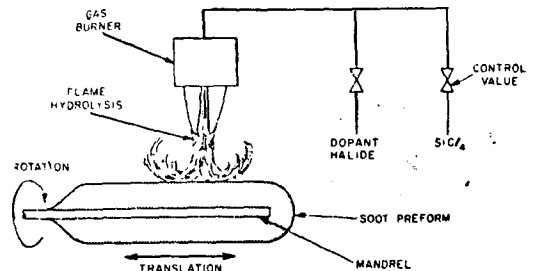
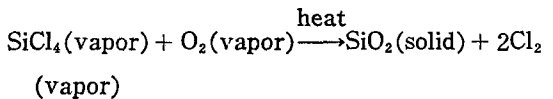
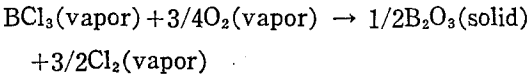
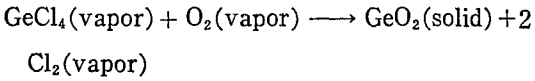


그림 3. Schematic of soot deposition process for making high silica preforms.





이때 얻어지는 SiO₂는 SiCl₄가 아주 순수하므로 고순도의 석영유리 형태로 아주 적은(100Å) 구형상을 하고 있다.

한편 hydrolysis를 진행시키면서 burner를 부착봉의 길이 방향으로 이동하여 전체에 고루 열이 가열되고 SiO₂가 부착되도록 수십회 반복하면(2-4시간) 이들 부착물이 상당히 두꺼워지면서 강도를 가진다.

다음에 부착봉을 뽑아내고 이들 soot를 온도 1,400-1,700°C 정도의 고온도에 서서히 이동시키면 soot는 수축하여 섬유를 뽑을 수 있는 preform이 된다. 이것은 건조된 He 분위기에서 하면 기포가 없는 광학 특성을 가진 유리봉이 되고⁸⁾ 이로 부터 cladding 선 섬유를 뽑을 수 있다.

또한 만약 GeCl₄ doping 되는 양을 조심스럽게 조절하면 GeO₂의 양에 따라 굴절율이 달라지므로 graded index fiber를 얻기 위한 preform도 얻을 수 있게 된다.

이렇게 outside process에 의하여 얻어지는 preform으로 부터 2-10dB/Km의 손실과 Δn = 0.007-0.018 정도의 광섬유를 얻을 수 있다.

Modified CVD^{13,14,16)} 방법은 그 개념상 soot deposition 방법과 마찬가지로 그 실시 과정이 다를 뿐으로 그림 4에 그 원리를 보여주고 있다. 즉, inside process에서는 용융석영유리나 Vycor(Corning glass code 7913 glass) 유리관을 회전시키면서 약 1,600°C 정도로 가열한다. burner는 동시에 길이 방향으로 좌우로 이동하고 이들 관속으로 SiCl₄, GeCl₄, BCl₃ 혹은

다른 gas를 고순도 O₂와 함께 통과 시키면서 반응시키면 hot zone에서 반응이 일어나면서 산화물이 유리관 내벽에 부착하면서 동시에 용융된다.

특히 다행인 것은 용융이 동시에 일어나기 때문에 보통 반도체 기술에서 사용되는 CVD의 반응속도 보다 그 반응속도가 10배 이상 빨라서 2-3시간의 반응과 약 50회쯤 burner를 왕복시키면 2Km 정도의 multimode fiber를 얻을 수 있는 preform을 얻을 수 있다.

마지막 단계에서 burner의 온도를 약 100-200°C 정도 상승시키면 석영유리관은 수축되어 봉상이 되고 이로부터 fiber를 뽑을 수 있다. 따라서 inside process에서 얻은 preform에서는 석영유리관 자체가 cladding 역할을 하게 되고, CVD에서 얻어지는 core는 굴절율이 약간 높게 된다. 이 process에서도 역시 gas의 유량을 burner의 왕복때 마다 잘 조절하면 graded index의 fiber를 위한 preform를 얻을 수 있게 된다.

근본적으로 inside process와 같은 방법이 phosphosilicate core fiber에서도 사용되고 있는데 고순도의 SiO₂관에 furnace 가열에 의하여 CVD를 일으키고, preform 수축과 drawing을 동시에 수행한다는 점이 조금 상이할 뿐이다.

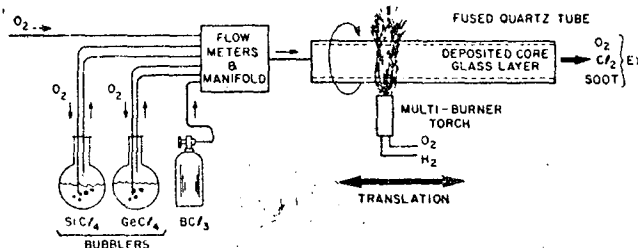


그림 4. Schematic of MCVD process for making high silica preforms.

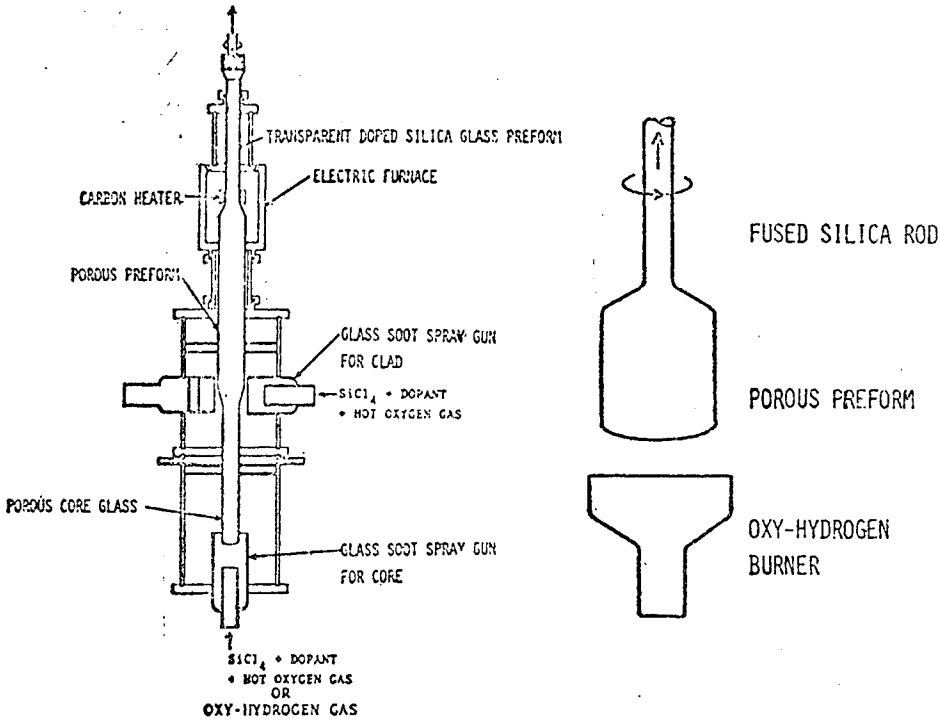


그림 5. Schematic of vapor phase vernuil method.

vapor phase vernuil 방법²⁰⁾은 가장 최근에 발표된 것으로 그 장치의 원리가 그림 5에 그려져 있고 이 방법은 freme hydrolysis를 이용하면서 동시에 porous한 deposit을 수축시키면서 위로 끌어올려 마치 루비나 spinel 등 단결정을 성장시키는 Vernuil 방법과 비슷한 것으로 이렇게 얻어진 preform은 연속 작업으로 얻어지기 때문에 그 특성이 균일하고 또 아주 긴 섬유를 얻을 수 있다는 이점이 있으나 아직도 refractive index profile 등을 control하는 문제 등이 있어 개발이 진행되어야 실용화할 수 있을 것으로 보인다. 한편 CVD를 위한 hydrolysis는 통상 Oxygen-Hydrogen gas torch를 사용하는데 이들은 비교적 간단하고 융통성이 많다는 장점이 있으나 온도의 제어와 균일성등에 문제가 있으며, 또 furnace heating을 하게 되면 온도 제어나 균일성은 좋으나 분위기가 깨끗하

지 못하여 fiber의 특성에 나쁜 영향을 주는 경향이 있고 또 장치가 복잡하다는 단점이 있다.

한편 cold plasma를 사용하는 방법²¹⁾이 있으나 deposition 온도가 낮으므로 cracking의 경향이 있어 문제가 있다. 따라서 CVD 용로의 선정은 경험에 따라 각각 다른 방법을 택하고 있는 경향이 있다

(2) Fiber Drawing

Preform 으로부터 fiber를 뽑는 것은 보통의 glass fiber를 drawing하는 것과 다름이 없고 이미 잘 알려져 있다.

그림 6은 preform과 furnace 가열에 의하여 섬유를 뽑는 원리를 나타내는 그림으로서 위에서 기술한 preform 이 연화되면서 섬유가 직경 약 30cm 정도의 회전하는 통에 의하여 그림 7

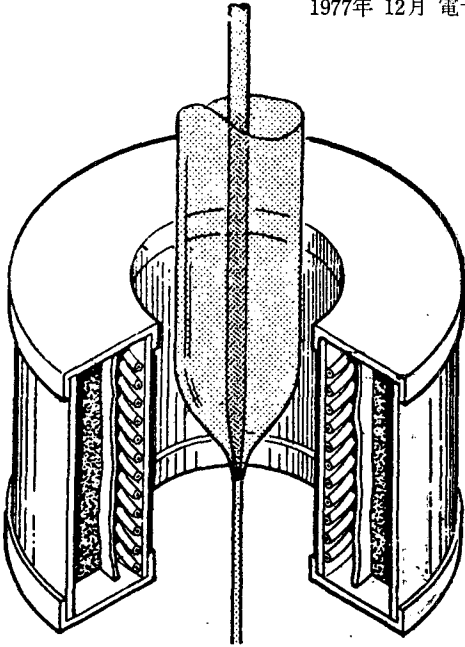


그림 6. Schematic of drawing of fibers from a preform using furnace heating.

에 보이는 바와 같이 감아서 뽑아지게 된다. 통상 뽑는 속도는 1m/sec 정도의 빠른속도이다. 여기서 특별히 다행한 사실은 이렇게 뽑아진 fiber의 단면은 preform의 단면과 똑같은 형태를 유지한다는 것으로, 따라서 graded index의 preform이 만들어지면 여기에서 얻어지는 섬유도 역시 graded index의 fiber가 된다.

SiO₂ 유리 광섬유를 뽑을 때 특히 주의하여야 할 사항은 분위기가 아주 정결하여야 하고 온도가 균일하여야 한다는 것이다. 산-수소 염은 이러한 의미에서 결코 적절하지 못하나 가장 융통성이 있고 고온도를 쉽게 얻을 수 있다는 점 때문에 지금까지 사용되어 왔다. 그러나 현재는 고온을 다른 방법 즉, R.F. 유도로나 graphite 저항로, Laser 가열등으로 얻고 있다. 이 중에서도 CO₂ laser 가열방법은^{22, 23)} 정결하고 분위기 조절, 칫수, 형태등을 조절하는데 가장 좋은 방법으로 믿어지고 실제로 core 지름, clad-

ding 지름 원형성등을 ±2% 이내로 정확히 조절할 수 있다. 그러나 process가 복잡하고 광학 system 등에 비싼 것이 흠이다.

RF 유도로는 조작성은 쉬우나 정결을 유지하기 힘들고 무엇보다도 RF 유도 발전기 자체가 너무나 고가이기 때문에 문제가 있다.

이러한 의미에서 비교적 compact 하고 값이 싼 graphite 저항로가 최근에 개발되어²⁴⁾ 실제로 사용되고 있다.

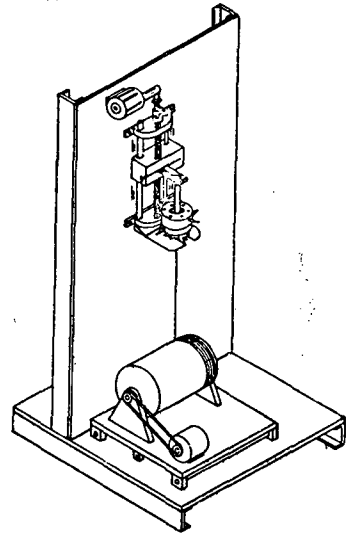


그림 7. Schematic of fiber drawing apparatus.

나. 다성분계 유리 섬유

재래식 유리 섬유에 사용되어 온 다 성분계 유리도 역시 광섬유 신호 전달용으로 비록 그 손실은 크지만 많이 이용되고 있다. 다 성분계 유리가 아직도 연구 대상이 된 것은 우선 가격이 훨씬 떨어질 가능성이 크기 때문이고 두께로 응용온도가 낮아서 장거리를 연속적으로 쉽게 만들 수 있고 세제로 짧은 구간이나 혹은 중간 정도의 구간에서는 별 불편 없이 사용할 수 있기 때문이다.

다 성분계 유리의 대표적인 조성은 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ (soda-lime silicate 유리)와 $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (soda-borosilicate 유리)^{25, 26)}이고, 또 최근에 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ²⁷⁾나 $\text{PbO}-\text{R}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ²⁸⁾ 유리들이 사용되고 있다. 한편 실험적으로 $\text{P}_2\text{O}_5-\text{GeO}_2-\text{Ga}_2\text{O}_3$ 유리²⁹⁾도 이들이 SiO_2 용기와 반응이 없기 때문에 고려의 대상이 되고 있다. 저 용융 유리질 광섬유를 만드는 방법은 장성된 원료(고순도 Na_2CO_3 , CaCO_3 , H_3BO_3 , SiO_2 등)를 백금 용기에 넣고 RF 유도도로 가열하여 용융시킨후 잘저어 청정을 하고 기포를 제거 한 다음 섬유를 뽑게된다.

이 방법의 한가지 큰 제약은 유리질의 용기로 인하여 생기는 contamination 인데 실제로도 청정을 하기 위하여 오프라인 동안 가열하여야 하기 때문에 문제가 복잡해 지게 된다. 따라서 현재로는 용융 SiO_2 용기에 넣어서 RF유도도로 용융하는 방법등이 고려 대상으로 연구되고 있다.

이 경우 SiO_2 는 용융 유리의 한 성분이기 때문에 문제가 없게 된다. 실제로 용융 SiO_2 용기에 넣어서 용융시킨 $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 유리질로 만든 섬유는 백금용기에 담아서 용융시킨 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 유리보다 손실이 훨씬 적은 것이 발견되었다.

또 다 성분계 유리에서는 불순물의 산화 환원 상태가 중요한 사항인데 예를들어 철 이온은 Fe^{3+} 상태로 또, 동 이온은 Cu^+ 로 되는 것이 바람직 하다. 실제로 $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 유리에서는 환원 분위기에서 용융시키면 이러한 상태를 얻을 수 있고 손실도 적어지게 된다.³⁰⁾

일반적으로 저온 용융 다 성분계 유리를 cladding 하는 가장 좋은 방법은 소위 이중용기(double crucible) 방법인데 그 원리가 그림 8에 그려져 있다. 이 방법은 로의 용기 및 밑바닥에

동심으로 된 작은 구멍이 있어서 섬유가 뽑혀 나오면서 바깥용기의 성분은 cladding으로 중심 부분 용기의 유리는 core로 된다, 또 이때 바깥용기의 nozzle 을 비교적 길게 하면 유리성분의 이온 확산이 일어나서 graded index의 분포를 가지게 된다. 이때 정확히 포물선 분포는 얻기 힘들지만 거의 비슷한 분포를 얻을수 있다.

이방법에 의하여 얻어진 대표적인섬유가 일본 관초자의 Selfoc 광섬유⁷⁾로서 굴절을 분포는 core 유리의 Tl이온과 확산시켜 cladding의 Na 이온을 교환시켜 얻은 것으로 광선이 이를 통과 할때 group delay 가 적어서 wide band width 가 가능하고 또 섬유가 굴곡되어 있어도 광로가 core 중심부에 유지할 수 있게 되는 특성이 있다.

다. State-of-the Arts

그림 9는 현재까지 발표된 대표적인 조성과 제조 방법에 따른 손실 spectrum을 표시하고 있다. 이중 한가지는 $\text{GeO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ CVD에 의한 것으로 step index multi-mode fiber로

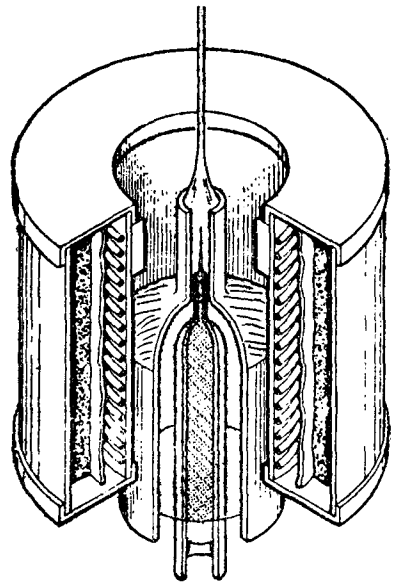


그림 8. Schematic of double crucible technique for making low melting glass fibers.

GeO₂가 doping된 core(NA=0.235)이고 1974년 5월에 Bell-Lab.의 과학자들이 발표 하였다¹⁹⁾ 손실은 가장 적은 두 파장범위에서 4dB/Km와 2dB/Km 이고 만약 같은 조성의 섬유를 graded index로 만들었을 때의 spectrum은 그림에¹⁰⁾ 나타나 있다. 이 섬유의 mode dispersion은 2n sec/Km(r.m.s 값)이다. 그림 9 에는 역시 phosphosilicate¹⁸⁾섬유도 동시에 나타내고 있는데 NA≈0.16이고 손실은 다른 두가지와 비슷하다. 여기서 한가지 흥미 있는 사실은 그림 9 에 나타난 바와 같이 3가지 다른 조성의 섬유가

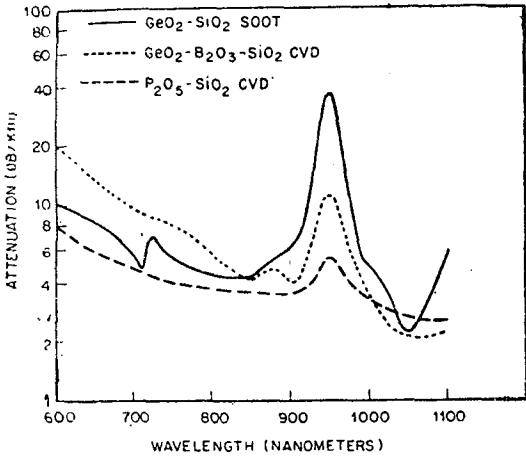


그림 9. Loss spectra for stepped index multi-mode GeO₂-and P₂O₅-doped fibers made by soot deposition and CVD processes.

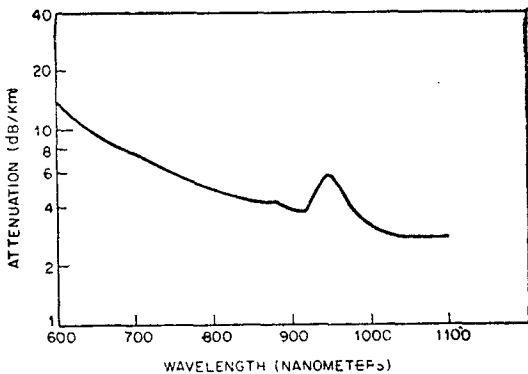


그림 10. Loss spectrum for graded index multi-mode GeO₂-doped fiber made by CVD process.

각각 다른 방법으로 얻어진 것에도 불구하고 그 손실이 거의 같다는 것으로 이것은 아마 3가지 경우 모두가 어떤 극한치에 도달해 가고 있다는 것을 암시하며, 이 이상의 발전은 점점 더 어려울 것 이라는 것이다.

그림 11은 B₂O₃-SiO₂ 섬유로 이 경우 core와 cladding 간의 굴절율 차이는 최대 Δ≈0.002의 아주 적은 경우인데 single mode인 경우 최소 손실은 파장 900nm에서 약 2.1dB/Km이다.

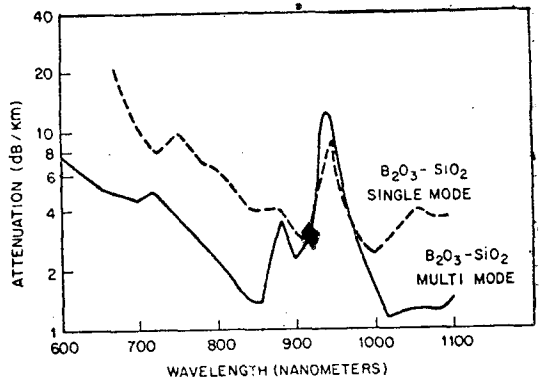


그림 11. Loss spectra for single mode and multimode B₂O₃-SiO₂ fibers made by CVD process.

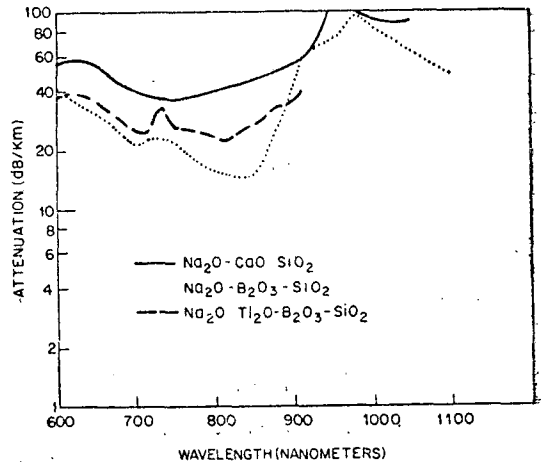


그림 12. Loss spectra for Na₂O-CaO-SiO₂ and Na₂O-B₂O₃-SiO₂ fibers made by double crucible technique.

Multi-mode 섬유에서는 이 보다 더 적은 손실 1.2dB/Km(1060nm)을 가지고 있고 이 섬유에서 0.90±0.25dB/km의 기록을 가지고 있다⁹⁾.

가장 최근의 기록은 일본의 NTT에서 OH 기를 50ppb이하로 줄여서 얻어진 결과로 0.47dB/Km를 1.2 μ m 파장에서 얻었다.³¹⁾ 실제로 광학섬유의 개발이 얼마나 빠른 속도인가 하는 것은 현재까지 발표된 광학섬유의 손실을 보면 쉽게 알 수 있다 즉. 1968년의 200dB/Km 정도에서 시작하여 1970년에 11월 20 dB/Km⁴⁾, 1972년 8월 4dB/Km⁵⁾ 그리고 1973년 4월에 2dB/Km, 1976년 0.90±0.25dB/Km⁹⁾ 그리고 1977년 7월에 0.47dB/Km³¹⁾가 발표 되었다.

그림 12는 soda-lime-silicate fiber²⁵⁾와 Sodium borosilicate³²⁾ 유리의 광손실 spectrum을 나타낸 것으로 손실은 SiO₂의 경우에 비해서 훨씬 크나 궁극적으로는 5dB/Km까지 내려 갈 것으로 기대되고 있다.

그러나 여러가지 광특성 즉 pulse dispersion 등이 SiO₂유리보다는 절대로 나아지지 않는 것으로 예측된다.

5. 결 론

광섬유 통신과 그 응용기술은 최근에 급격히 발달하여 상업화에 이르고 있다. 이들 실용화의 가장 큰 원인은 손실이 적고 dispersion이 적은 광섬유의 개발에 의한 것이다.

본문에서는 여러가지 조성의 유리와 이들로 부터 광섬유를 제조하기 위한 방법을 기술하였고 또 현재까지 얻어진 결과를 그 광특성과 함께 기술하였다.

실제로 광통신 방법과 그 응용에 있어서는 기술적으로 해결하기 어려운 문제는 거의 없을 것 같고 상업화의 시간만이 남아 있다.

參 考 文 獻

- (1) K. C. Kao and G. A. Hockham, "Dielectric-Fiber Surface Waveguides for Optical Frequencies," Proc. Inst. Elec. Eng., 113 (7) 1151~58(1966).
- (2) K.C. Kao and T.W. Davies, "Spectrophotometric Studies of Ultra Low Loss Optical Glasses, I : Single Beam Method," J. Sci. Instrum., 1 (ser.2) 1063~1068(1968)
- (3) M.W. Jones and K.C. Kao, "Spectrophotometric Studies of Ultra Low Loss Optical Glasses, II : Double Beam Method," J. Sci. Instrum., 2(4), 331~35 (1969).
- (4) P.C. Schultz "Preparation of Very Low Loss Optical Waveguides" for Abstract See Am. Ceram. Bull., 52(4), 38(1973).
- (5) J.B. Mac Chesney, P.B. O'connor and H. M. Presby, "A New Technique for the Preparation of Low Loss and Graded Index Fibers," Proc. IEEE, 62(9) 1278~79(1974).
- (6) G.R. Newns, K. J. Beals, W. J. Duncan, "Low Loss Glasses for Optical Transmission," Electron. Lett., 10(10), 201~02 (1974).
- (7) I. Kitano, K.Koizumi, H. Matsumura, T.Uchida and M. Furukawa, "A Light-Focusing Fiber Guide Prepared by Ion-Exchange Techniques," Proc. IST Conference on Solid State Devices, Tokyo,

- 26~27 September., 1969 Suppl. to J. Japan Soc. Appl. phys, 39, 63 (1969).
- (8) P.C. Schultz, "Optical Absorption of the Transition Elements in Vitreous Silica," J. Am. Ceram. Soc., 57(7), 309~13(1974)
- (9) W.G. French and G.W. Tasker, "Fabrication of Graded Index and Single Mode Fibers With Silica Cores" Cited in Proc. Topical Meeting on Optical Fiber Transmission, Williamsburg, Va, Jan. 1975.
- (10) L.G. Van Uiters, D.A. Pinnow, J.C. Williams, T.C. Rich, R.E. Jaeger and W.H. Grodkiewicz, "Borosilicate Glasses for Fiber Optical Waveguides, Mat. Res. Bull., 8(4), 469-76(1973).
- (11) W.G. French, A.D. Pearson, G.W. Tasker and J.B. MacChesney, "Low Loss Fused Silica Optical Waveguide with Borosilicate Cladding," Appl. phys. Lett., 23(6), 338-39(1973).
- (12) J.B. MacChesney, R.E. Jaeger, D.A. Pinnow, F. W. Ostermayer, T.C. Rich and L.G. Van Uitert, "Low Loss Silica Core-Borosilicate Clad Fiber Optical Waveguide," Appl. phys. Lett., 23(6), 340-41 (1973).
- (13) G.W. Tasker and W. G. French, "Low Loss Optical Waveguides with Pure Fused Silica Cores," Proc. IEEE 62(9) 1281~82(1974).
- (14) W.G. French, "Low Loss Optical Fibers with pure SiO₂ Cores Produced by Chemical Vapor Deposition" Paper 6-46, in proc. X. Int. Congress on Glass, Kyoto, Japan 1974.
- (15) R. D. Maurer, "Fibers of High Silica Compositions for Optical Communications," paper 6-59, *ibid*.
- (16) J.B. MacChesney, P.B. O'connor, F.V. DiMarcello, J.R. Simpson and P.D. Lazay, "Preparation of Low Loss Optical Fibers Using Simultaneous Vapor phase Deposition and Fusion," paper 6-40, "ibid"
- (17) P.W. Black, J. Irvin, K. Byron, I.S. Few and R. Worthington "Measurements on Waveguide Properties of GeO₂-SiO₂ Cored Optical Fibers, "Electron. Lett., 10(12), 239-40(1974).
- (18) D.N. Payne and W.A. Gambling, "New Silica Based Low Loss Optical Fiber," Electron Lett., 10(15), 289-90(1974).
- (19) J.S. Flamenbaum, P.C. Schultz and F. W. Vocroees, "Method for Producing High Quality Fused Silica Fibers" U.S. Patent 3,806,570, April 23, 1974.
- (20) T. Izawa, S. Kobayashi, S.Sudo and F. Hanawa "Continuous Fabrication of High Silica Fiber Preform" paper C1-1, IOOC-77, July 18-20, Tokyo, Japan, 1977.
- (21) D. Küppers, M. Lydtin and F. Meijer, "Preparation Methods for Optical Fibers Applied in Philips Research," paper B9-1, *ibid*.
- (22) U.C. Paek, "Laser Drawing of Optical Fibers" Appl. Opt., 13(6) 1383-86(1974).
- (23) R.E. Jaeger, "Laser Drawing of Glass Fiber Optical Waveguides" Am. Ceram.

- Soc. Bull., 55(3) 270-73(1976).
- (24) D. N. Payne and W. Alec Gambling, "A Resistance Heated High Temperature Furnace for Drawing Silica Based Fibers for Optical Communications" Am Ceram. Soc. Bull., 55(2) 195-97(1976).
- (25) A.D. Pearson, "Progress in Compound Glass Optical Waveguides" paper 6-31, Proc. X. Intern. Congress on Glass, Kyoto, Japan, 1974.
- (26) C.E.E. Stewart and P.W. Black, "Optical Losses in Soda Lime Silica Cladded Fibers Produced from Composite Rods," Electron. Lett., 10(5), 53-54(1974).
- (27) C.R. Day, J.E. Midwinter, G.R. Newns, R.W.J. Uffen and R. Worthington "Optical Properties of Sodium Borosilicate Glass Fibers," Electron Lett., 10(22) 450-51(1974).
- (28) D.A. Pinnow, L.G. Van Uitert, T.C. Rich, F.W. Ostermayer and W.H. Grodkiewicz," Investigation of the Soda Alu-
mino-Silicate Glass System for Application to Fiber Optical Waveguides" paper TuA₃ in Proc. of Topical Meeting on Optical Fiber Transmission, Williamsburg, Va., January 1975.
- (29) K. Inoue, J. Goto, T. Arima, O. Nakamura and T. Akamatsu, "P₂O₅-GeO₂ Glass Fibers for Optical Communication" paper C1-4, IOOC 77, July 18-20, Tokyo, Japan, 1977.
- (30) C.E.E Stewart, D. Tyldesley, B. Scott, M. Rawson and G.R. Newns, "High Purity Glasses for Optical Fiber Communication," Electron. Lett, 9(21), 482-38(1973).
- (31) Bun-ichi Oguchi. "Light in Telecommunications-Present Status and Future Prospect-Keynote Address, IOOC 77, July 18, Tokyo. Japan, 1977.
- (32) G.R. Newns, K.J. Beales, W.J. Duncan, "Low Loss Glasses for Optical Transmission," Electron. Lett. 10(10), 201~02(1974).