

# 技 術 報 告

## 光 纖 維 通 信 Cable 開 發 現 況

李 原 昇 宋 官 浩

<金星電線(株)技術開發部長> <金星電線(株)技術研究所>

### 目 次

- 1. 서 론
- 2. 광섬유 통신 시스템
- 3. 광섬유의 제도
- 4. Cable 구조 및 설계
- 5. 광섬유 Cable의 특성
- 6. 결 론

### 1. 서 론

인간이 최초로 생겨나면서부터 통신수단은 강구되어 왔으며 보다 빠르고, 정확하고 명료하게 전송하기 위하여 많은 사람이 꾸준히 노력하여 왔다.

특히 방대한 정보전송을 필요로 하는 현대 사회에서는 대용량의 정보 혹은 신호를 값이 저렴하면서 무게도 가볍고 정보 전송량이 많은 System을 요구하게 되었으며 이러한 목적을 달성하기 위하여 무수한 과학자들이 대중화 통신에 대한 연구를 계속하여 왔다. 방대한 정보를 전송하기 위해서는 대단히 큰 대역폭을 갖는 선로가 요구되므로 공중통신, 화상전송, Data 전송 등에 특히 광통신이 유리하며, 광 Fiber의 무유도성(無誘導性)을 활용하여 전력계통, 교통관계통신등 고신뢰성을 요구하는 분야에 유효하게 사용할 수 있다. 광섬유 대역폭은 수 GHz 이상으로 대단히 크므로 방대한 정보량을 전송하기에 충분하다. 1966년 영국 STC사의 연구원 Kao에 의해 무한한 대역폭을 갖는 광을 매개로 신호를 전송하는 방법이 제의되었으며 그 후 여러 연구기관의 많은 연구와 투자로 1970년 미국 Corning Glass 회사에서 처음으로 20db/km의 저손실 화이버 개발에 성공하여 광통신 연구가 활발하여졌으며 최근에는 Second Window 대역(1.2~1.6 $\mu$ m 파장)에서 0.5db/km 이하의 화이버까지 실현실적으

로 제조되고 있다. 그러나 현재 공중통신용으로 실용화 되고 있는 광섬유의 손실은 5db/km (0.9 $\mu$ m 파장) 부근이며 최근에는 3db/km 이하까지 제조가 가능해지고 있다. 광섬유의 이점은 무엇보다도 전기도체가 아니므로 외부유도가 없어 누화를 배제할 수 있으며 작은 공간안에 많은 회선을 설치할 수 있다는 점이다. 자원의 고갈로 동이나 알루미늄선의 사용은 제한되어 있으나 유리섬유의 주원료인 실리콘은 무한정 있다는 장점과 소형이며 무게가 적고 Flexibility가 좋으며 큰 대역폭을 갖으므로 대용량의 전송은 물론 전송손실이 적어 수십키로 미터까지 무중계로 전송할 수 있는 것도 장점이라 하겠다. 또한 광원으로서의 고휘력 LED와 Laser Diode와 광검출 소자로서 Pin Photo Diode와 APD가 꾸준히 개발 발전하고 있으며 광원 및 광검출소자와 광섬유간의 Coupling, 광섬유간의 Splicing 또는 Connector 제작기술들이 괄목할 만한 발전을 보여 주고 있다.

### 2. 광섬유 통신시스템

광통신은 Analog 전송과 Digital 전송에 모두 적용할 수 있으나 대용량의 신호 전송에는 광섬유와 레이저등이 Digital 전송에 잘 부합되기 때문에 PCM 방식을 이용한 Digital 통신에 많이 사용하고 있다.

PCM 방식은 1962년 미국 Ohio주 Akron에서 처음으로 실용화 되었는데 처음 실용화 될시기는 D<sub>1</sub> Channel bank로서 7bit의 Cord 변환과 1bit의 신호를 구성하여 24회선 인테 반하여 D<sub>2</sub>는 94회선이다. 그리고 Sampling Sequence, Alarm 및 보수유지방법이 약간 상이한 D<sub>3</sub> Channel Bank가 개발되었다. Multiplex 장치에서도 D<sub>1</sub> 또는 D<sub>2</sub>등 T<sub>1</sub> level을 7개 Multiplex 한 M<sub>23</sub>, T<sub>3</sub> level을 6개 Multiplex 한 M<sub>34</sub> 등

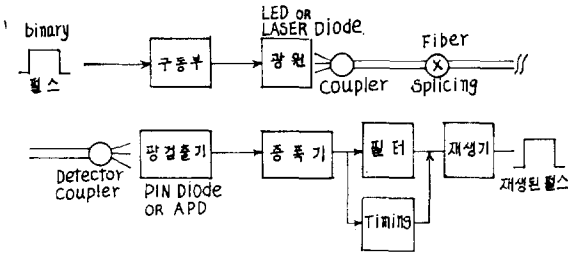


그림 1. 광통신 시스템

표 1. 광통신 시스템 손실

Laser power	4dBm
APD receiver sensitivity	-56dBm
Link margin	60dB
Splicing loss(1개소당 0.3dB).....	3dB(10개소)
Connector loss(1개당 2dB) .....	4dB(2개소)
Detector coupling loss .....	2dB
온도 허용 loss .....	3dB
경년에 의한 허용 loss.....	3dB
LSI나 trackingerror 허용 loss.....	3dB
Total loss	18dB
loss 여유 Margin	42dB

이 개발되었다. 최근, 국내에서도 672음성회로(44.7 Mb/s)을 전송할 수 있는 광통신 시스템의 개발연구가 진행되고 있다.

그림 1은 광통신 시스템의 일반적인 계통도이며 Binary인 펄스신호를 LED 혹은 Laser Diode를 사용한 광원절환방법에 의해 광신호로 변환되어 광섬유를 통하여 전송된다. 전송된 광신호는 PIN Diode 또는 APD를 사용한 광전압 변환기에서 다시 전기신호로 변환되어 Binary인 펄스신호가 출력에 나오게 된다. 최근에 상용화된 광통신 시스템의 개개별 손실은 표 1과 같으며 Splicing개소가 10개라 하면, 온도 및 경년에 따른 손실도 보상되어 손실이 42dB만큼의 여유가 있으므로 광섬유의 손실이 3.5dB/km일 때는 10km까지 증계기 없이 전송을 하여도 7dB 이상의 여유가 있음을 보여 주고 있다.

### 3. 광섬유의 제조

굴절율이 큰 매질에서 굴절율이 작은 매질로 광이 입사할 때 입사각이 임계각보다 더 커지면 입사된 광은 경계면에서 전반사를 일으킨다. 광섬유는 이 전반사의 원리를 이용하여, Core의 굴절율이 Clad의 굴절율보다 약 1% 정도 크게 하여 광이 광섬유의 Core 부분을 통하여 수십 km까지 거의 손실없이 전달될 수 있게 만드는 것이다.

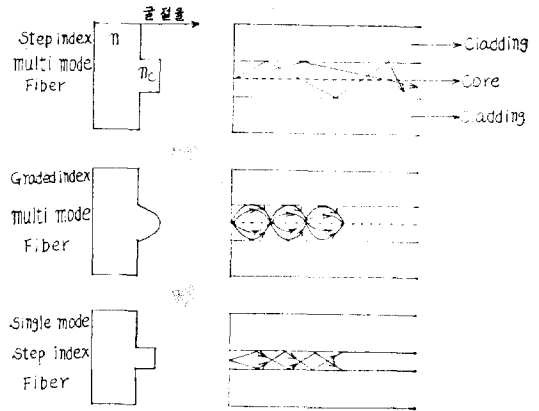


그림 2. 광 Fiber 굴절율분포 및 빛전파모양

광섬유는 Single mode step index fiber와 Multi-mode step index fiber, Multimode graded index fiber로 나눌 수 있으며 그림 2에서 굴절율과 빛의 전파 경로를 나타내었다. Single mode step index fiber는 HE<sub>11</sub> mode는 Core가 아무리 작더라도 cut-off되지 않는 것을 이용하여 HE<sub>11</sub> mode만 광섬유로 진행하도록 하는 fiber로써

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda_0} \sqrt{(n_c^2 - n^2)} = \frac{2\pi a}{\lambda_0} NA < 2.405 \quad (1)$$

{단 V=normalized freq. a=core 경  
n<sub>c</sub>: core 굴절율 n: Clad 굴절율}

V가 2.405이하가 되도록 Δn과 a를 작게 하여 제조하는 Fiber이다. 따라서, Single mode fiber는 Core 경이 1.5~1.8μm 정도이며 Multimode는 25μm~150μm 정도의 여러가지가 있는데 Core의 굴절율은 1.45~1.6 정도이다. 그림 3은 광섬유내에 포함된 불순물의 흡수 영역이며 이온을 제외한 불순물은 잘 정제되어 상용화되어 나오므로 문제가 되지 않으나 OH 이온이 Peak를 이루는 파장은 750, 940, 1240, 1390nm이므로 손실이 많은 이영역을 피하여 광시스템을 이용하고 있다 현재 개발된 LED와 Laser Diode는 출력광 파장이 800

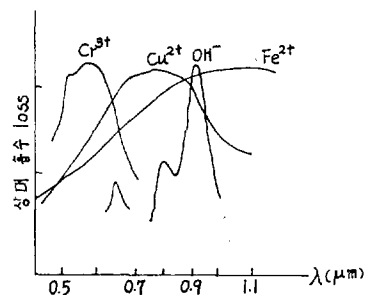


그림 3. 광섬유 내부에 포함된 불순물의 흡수영역

~900nm이기 때문에 이과장 영역에서 광섬유 통신을 하고 있다. 그러나 레이저 Diode의 활발한 개발로 RCA社에서 1300nm 레이저 Diode (C86023E)가 상품화 되었으며 Rayleigh Scattering이 적은 장파장의 광통신 시스템으로 손실을 줄이는 연구도 진행되고 있다.

광섬유를 제조하는 방법에는 여러가지가 있는데 현재 가장 많이 사용되는 것은 MCVD 방법으로서 Preform, 광섬유의 Drawing, Primary coating 및 Secondary coating의 순으로 진행되어 광섬유의 기계적인 강도를 보장하여 준다.

MCVD에 의한 Preform의 제작은 석영관의 외벽을  $H_2-O_2$  불꽃으로 가열하여 석영관 내부의 온도를 1,400°C 이상으로 가열한 후 여기에  $SiCl_4, GeCl_4, POCl_3, BCl_3$  등을  $O_2$ 와 반응시켜 석영관 내벽에 부착, 투명화시켜 원하는 크기의 Core 층을 만들면 반응물질의 Flow를 중단시키고 석영관을 1,900°C 이상으로 가열하여 표면장력에 의해 수축시켜 완전한 봉형태의 Preform을 만든다. 그림 4는 Drawing 장치이다. Preform으로부터 광섬유를 뽑는 과정을 Drawing이라 하며 Furnace의 온도가 2,000°C 이상이 되면 Preform은 섬유로 뽑을 수 있을 만큼 연화된다. 이것을 뽑아내어 직경측정장치를 지나면 이때 직경의 정보가 Drawing 및 Feeding Motor에 Feed back 되어 Drawing 속도를 조절함으로써 외경을 조절한다. 직경측정장치를 지나

면 Coating 장치를 지나면서 Silicon resin으로 1차피복이 되고 1차피복이 경화되도록 Curing furnace를 지난 후 Drum에 감겨진다. 이러한 광섬유는 외경이 작으며 취급하기에 불편함으로 Nylon 등의 피복물을 사용하여 2차피복을 하여 Cable을 제조한다. 2차피복에는 Solid type (Loose fitting type)과 Tube type (Tight fitting type)의 두가지가 있다.

지금까지 우리는 광섬유를 보장하는데 있어 Loose fitting type을 택하였으며 앞으로 Tight type에 대하여 개발하려 하고 있다. Tube type의 광섬유 보장시 어려운 점은 광섬유가 2차피복재료의 열수축에 의해 Micro-bending이 발생하는 것이다. 그러나 작업조건, 작업방법, 기계의 개선등으로 Bending을 제거하였다.

#### 4. Cable 구조 및 설계

현재 각국에서 제조하고 있는 케이블은 여러 형태가 있다. 그림 5는 Cable 구조의 종류를 나타내었다. 케이블의 구조설계에는 다음과 같은 문제점을 검토할 필요가 있다.

- ① 급전선 및 감시선의 굵속선문제
- ② 수용심선의 문제
- ③ 케이블 길이의 문제
- ④ 항장력체 및 외피구조의 문제
- ⑤ 보수 문제

광섬유 케이블 구조로서 총형이나 유니트형의 장점은 종래의 기계를 사용하여 제조할 수 있으며 외부층격으로 보호될 수 있다는 점이지만 광섬유를 2차피복하여야 하므로 Space factor가 나쁘기 때문에 케이블 밀도가 4~40심/10mmφ인데 반하여 리본형 케이블은 144심/10mmφ여서 케이블의 심선수밀도가 크고 1차피복만하기 때문에 제조시간을 단축할 수 있으며 Splicing

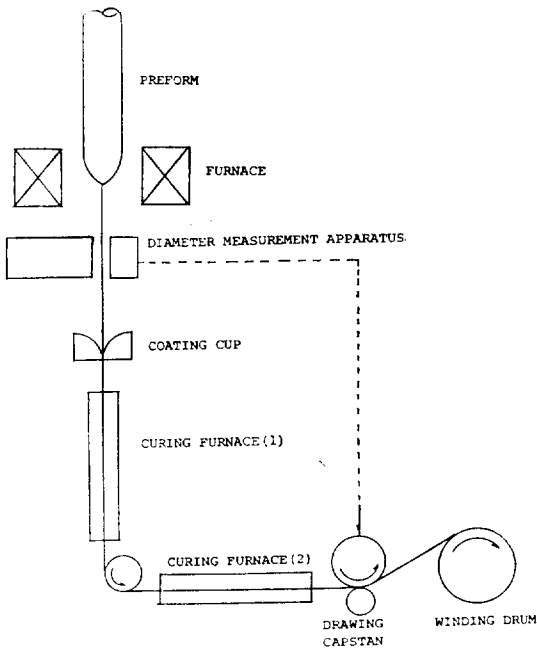


그림 4. Optical Fiber Drawing 장치

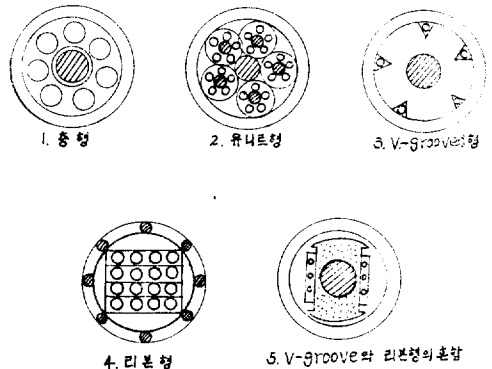


그림 5. 광케이블 구조

표 2. 각종 외피의 비교

평가항목	외피종별	외피종별					
		LAP	PE	W/M	Stal-pass	Al	외장
길	이	△	○	×	×	×	×
내 외 력		△	×	○	△	△	○
방 수 효 과		○	×	○	○	△	○
경 량		○	○	△	△	○	×

○ : 양호 △ : 보통 × : 불량

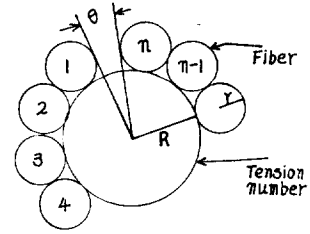


그림 6. 심선의 집합

서 크게 힘이 좋은 반면 심선을 당길 때 및 Bending의 경우에는 작은 것이 좋다. 이를 고려하여 최적연합 Pitch를 결정하는 것도 과제중의 하나이다.

5. 광섬유 Cable의 특성

광섬유의 전송특성을 좌우하는 것으로는 1. 감쇄량, 2. Pulse Dispersion 3. Numerical Aperture 등이다. 감쇄량은 광섬유내부의 불순물에 의한 흡수 및 Scattering, Micro-bending 등에 의하여 발생하며 단위길이당 매질을 통과하는 광의 손실로써 dB/km로 나타낸다. 온도가 떨어지면 Core보다 보호 Coating이 더 수축하여 Core에 Stress를 주기 때문에 Micro-bending이 발생된다. Pulse dispersion은 광신호의 Broadening을 나타내며 단위는 ns-km이다. Pulse dispersion은 광원의 Spectral band width 때문에 발생하는 Material dispersion과 각광 Mode간의 속도차로 발생하는 Model dispersion에 기인한다. NA는 광 Fiber의 빛수광 능력을 나타내며 Core와 Clad간의 굴절율의 차의 함수로 나타낸다. 즉,  $NA = \sqrt{n_c^2 - n^2}$ 이다. NA가 커지면 Scattering이 증가하여 감쇄량이 증가하며 High order mode가 증가하기 때문에 Pulse broadening이 커져서 Band width가 작아진다.

광섬유 케이블의 제조공정중의 손실의 변화는 광섬유를 피복할 때 발생하는 부분적인 Micro-bending 및 응력에 의해 약간 증가하며 피복된 광섬유를 집합할 때 받는 응력으로 손실이 증가하게 된다. 그 후의 공정은 과격한 장력이 걸려 광섬유가 파손되지 않는다면 손실의 증가는 크게 발생하지 않을 것이다. 현재 케이블화에 대한 연구도 집중적으로 이루어지고 있어 적절한 구조의 경우 제조 공경간 광손실의 증가는 약 0.5 db/km 정도로서 억제 가능하다고 생각된다.

6. 결 론

광섬유는 그 성질상 소형, 경량이며 대역폭이 무한하고 전기적 간섭현상이 없어 잡음 및 통신보안의 면에

할 때 일괄접속이 가능하다. 그러나, 새로운 제조설비가 필요하며 케이블화 과정에서 Micro-bending이 발생하며 온도에 따른 특성변화가 큰 것이 단점이다. V-Groove형구조는 2차피복을한 광섬유를 미리 단들어진 V-Groove에 삽입하는 형태로 Micro-bending이 없으며 Splicing 하는때도 편한 반면 Cable의 부피가 커지며 새로운 제조설비가 필요한 것이 흠이다. 그밖에 외피구조는 포설작업이나 보수작업에 따라 가장 경제적인 구조가 필요하다. 광섬유의 특성이 경량이면서 길이도 길어야 하므로 이것을 만족시켜 주어야 한다. 각종 외피구조에 대한 정성적인 관계를 표 2에 표시하였다. 따라서 일반적인 육내배선 케이블은 LAP형이 비교적 양호하며 직매용이나 사용장소의 분위기가 가혹한 곳에는 웰만텔 피복(Well-mantel)등 금속외피 방식이 필요하다.

특히 층형이나 유니트형의 구조에서 검토한 결과 축압과 손실증가에 따른 관계는 다음식과 같다(그림 6 참조)

$$\Delta \alpha = K \frac{6\sqrt{1+a^2b^2}}{a+1} \sigma_r \quad (2)$$

(K는 심선구조 및 2차 피복재질에 대한 상수)

또한

$$\sigma_r = \frac{2n\sqrt{1+a^2b^2}}{(a+1)\sqrt{a^2+2a}} \cdot \frac{\sigma_R}{r} \quad (3)$$

의 관계를 갖는다.

여기서

$$a = \text{cosec}(\pi/n) - 1 \quad (4)$$

$$b = \sigma_r / \sigma_R \quad (5)$$

(단  $\sigma_\theta$ : 개각의 표준 편차  $\sigma_r$ : Fiber경의 표준편차  
 $\sigma_R$ : Tension number 경의 표준편차  
 $n$ : 심선수)

따라서, 이식으로 심선수에 따른 손실증가를 계산하여 보면  $n=3$ 의 값을 기준으로 상대손실 증가를 가져온다 따라서 Cable 구조에서 손실 증가를 억제하는 구조는 강선 주위에 심선을 집합하는 층형케이블이지만 심선이 증가하여 10개 이상이 되는 경우에는 작은 심선의 수로 유니트를 하여 연합하는 방식의 유니트형 방식이 좋다. 또한 연합 Pitch는 전송특성, 집합속도의 점에

서도 많은 장점을 갖으므로 전화망 뿐 아니라, 화상통신, 컴퓨터시스템에서의 데이터 통신, 항공기나 선박의 기내통신, 그리고 각종 군용통신에도 유용하게 사용되어질 것이다. 따라서 한국내 광통신 케이블 개발연구는 지난 3년간 착실히 진행되어 왔고 현재 서울과 부산에 국산 광통신시스템이 체신부와 한국전력에 의해 운용시험중에 있다. 광섬유의 개발은 KIST, 금성전선, 대한전선 3자간의 공동연구가 3차년도에 접어들어 Multimode step index 광섬유개발은 완료하였으며 Multimode Graded index 광섬유의 저손실화 및 2차피복 방법의 연구를 진행하고 있다. 또한 광섬유 측정장치의 제작연구는 한국통신기술연구소와 전선제조업체와의 수탁연구를 진행하고 있다.

앞으로 광섬유 케이블을 종래의 동선처럼 손쉽게 다룰 수 있도록 케이블화 및 외장기술을 개발 발전시켜야 하며 한국전력 부산지점과 남부산 변전소간의 광통신

시스템과 한국통신기술연구소와 중앙전파국 사이에 포설 운용중인 광통신시스템의 데이터를 수집 분석하여 환경변화에 대한 특성을 연구 보완하며 광통신 케이블의 양산체제에 대비하여 측정계의 표준화를 포함한 관련 주변기술에 대한 표준화와 제품의 신뢰성증진에 노력을 경주해야 하겠다.

參 考 文 獻

1. FOC '80
2. Optical Fiber Telecommunication
3. IOOC '77
4. 研究實用化報告 1980
5. 光 Fiber 전송; 野田健一
6. 1978 IEEE

原 稿 募 集

아래와 같이 會員여러분의 玉稿를 기다립니다.

아            때

內 容: 論文, 技術解説, 技術展望, 技術情報, 技術資料, 技術報告, 講座, 國內外動靜,

國內外旅行記, 現場經驗談等

要 領: 200字 原稿用紙 30枚~50枚 內外

送付處: 大韓電氣學會(編輯委員會) 內

서울시 중구 수표동 11-4 電氣會館 306號    260-2253    267-0213

전기자재, 기계부품, 중장비부품, 붓싱, 비철금속 주물일체

燐青銅·青銅·黃銅洋銀·鉛青銅·高力黃銅·Al青銅

新 昌 金 屬

공 장: 서울특별시 영등포구 당산동 3가 555

전화 (633) 8153