

# 광섬유 케이블 제조 및 포설 보고

대한전선(주) 전선 기술부

■ 차

1. 개요
2. 소개
3. 광섬유 케이블 제조
  - 3.1 설계 개념
  - 3.2 광섬유 케이블 제조공정
4. 광섬유 케이블 공정별 손실변화
5. 광섬유 케이블 포설

■ 례

- 5.1 포설 개요
- 5.2 포설 공법
6. 광섬유 케이블 접속
  - 6.1 광섬유 접속손실의 분류
  - 6.2 광섬유 접속방법 및 순서
7. 결론
- 참고문헌

## 1. 개 요

광섬유의 유용성이 세계적으로 크게 확대되고 있는 가운데 금번 KETRI(한국전기통신연구소) 광통신 연구실, 금성전선, 대한전선, 금성전기 및 광진전자가 공동으로 광통신 방식의 상용화 시험을 위해 구로-시흥-안양 간에 광통신 system을 설치하여 시험에 착수케 되었다. 본 보고서에서는 대한전선에서 담당한 구로-시흥 구간의 광섬유 케이블 제조, 포설 및 접속에 대하여 피력코자 한다.

## 2. 소 개

이 보고서는 0.85 $\mu$ m 파장에서 운용되는 광섬유 케이블 제조, 포설 및 접속에 대하여 논하였다. KAIST(한국과학기술원) 응용광학연구실에서 제조한 평균손실 3.4dB/km( $\lambda=0.85\mu$ m)인 Graded-Index Fiber로 Cabling하여 평균손실 3.9dB/km인 케이블을 제조하였다. 구로-시흥간 총 4.5km 길이의 관로에 케이블을 포설하고 44.7Mb/s의 transmission test가 성공적으로 수행되었다. 포설공법으로는 관로내에 8자 형태의 pulling방법을 이용하였다.

## 3. 광섬유 케이블 제조

### 3.1 설계 개념

#### 1) Basic Consideration

(1) 케이블은 저손실 특성을 유지해야 한다. 즉 케이블 제조공정중 손실 변화가 적어야 한다.

(2) 기계적 화학적 damage로부터 충분히 광섬유를 보호할 수 있어야 한다.

(3) Field에서 장기간 사용 가능하고 설치중 기계적 특성과 전송특성이 매우 안정되어야 한다.

(4) 경량, 소규격, 취급이 용이해야 한다.

### 2) 광섬유

0.85 $\mu$ m 파장 Graded-Index Fiber는 Core/Clad Dia. 50/125 $\mu$ m, Refractive Index 0.015를 표준으로 하고 있으며 Index profile parameter 값이 2.06( $\lambda=0.85\mu$ m)일때 최적치로 알려져 있다.<sup>(1)</sup>

Cabling에 사용된 광섬유 특성은 표 1과 같다.

표 1. 광섬유 제원

항목	Core Dia [ $\mu$ m]	Clad Dia [ $\mu$ m]	Index Diff	Loss ( $\lambda=0.85\mu$ m) [dB/km]	3dB Bandwidth [MHz.km]	NA
수치	50 $\pm$ 3	125 $\pm$ 3	0.018 $\pm$ 0.002	3.4	520	0.17 0.20

### 3) Coated Fiber

primary coating은 2 layer로 구성되어 있다. 그림 1에서 silicone resin 1은 Fiber와 접착력이 안 좋고 soft한 재료를 택하여 탈피가 용이하고 외력으로 부터 Fiber에 가해지는 stress를 방지하는 cushion 역할을 하도록 한다. secondary coating material은 loose tube시 작업성이 좋은 polypropylene을 사용하였다. loose tube 외경은 외력으로부터 받는 stress를 고려할 때 2mm가 적절한 것으로 알려져 있다.<sup>(2)</sup>

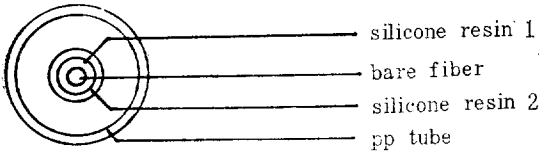


그림 1. 피복 광섬유 구조

4) 광섬유 케이블

광섬유 케이블은 cabling 공정중 또는 포설시 광특성이 안정되도록 설계되어야 한다. 그림 2는 광섬유 케이블 구조를 나타낸 것이다. Tension Member는 케이블이 받는 tensile stress를 거의 담당할 수 있도록 케이블의 중앙에 위치시키고 이 주위에 광섬유 6심, order wire 2심을 stranding하여 flexible한 특성을 갖도록 하였다. order wire는 케이블 포설 및 고장 수리시 연락용으로, 침수시 경보용으로 사용하기 위하여 추가시켰다. 집합된 케이블은 열에 의한 damage로부터 광섬유를 보호하기 위하여 ALPETH를 하였다. 또한 케이블이 포설될 판로 사정을 고려하여 소형이면서 Flexible한 특성을 갖는 STALPETH를 하였다.

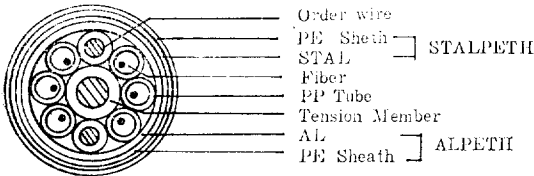


그림 2. 광섬유 cable구조

5) 광섬유 및 케이블 제조시 Pulling Force계산

Silica glass의 이론강도<sup>(3)</sup>는 18,000N/mm<sup>2</sup>으로 매우 높지만 실제적으로 Fiber 강도는 surface flaw에 의해 결정되는 최소 strength point에 좌우된다. Cabling process중 fiber breakage가 발생될 수 있는 factor는 다음과 같다.

(1) Tensile Load

Fiber의 최소 breakage tension  $\sigma_b$ 를 찾아 safe limit value인 tensile load를 알아야 한다.

(2) Bending Stress

$$\sigma_b = Eb/2r$$

$\sigma_b$  : 광섬유 breakage tension

$E$  : 유리영률 (70,000N/mm<sup>2</sup>)

$b$  : 광섬유 외경

$r$  : 광섬유 곡률반경

따라서 제조시 광섬유 곡률반경은  $Eb/2\sigma_b$  이상으로 유지시켜야 한다.

(3) Torsion Stress

$$\sigma_\tau = G(\theta/L) \cdot b/2$$

$$G = E/(2+2\gamma)$$

$\sigma_\tau$  : torsion stress

$\gamma$  : poisson's ratio (0.28 for glass)

$\theta$  : torsion angle

$L$  : 광섬유 twist length

따라서  $\sigma_s > 74p/\pi b^2 + Eb/2r + G(\theta/L) \cdot b/2$  가 되도록 pulling force  $p$ 를 선택해야 한다.<sup>(4)</sup>

$\sigma_s$  : safe limit tension (N/mm<sup>2</sup>)

$p$  : pulling force [N]

3.2 광섬유 케이블 제조공정

1) Preform

MCVD(Modified Chemical Vapour Deposition) 방법에 의해 외경이 약 11mm인 preform rod를 만든다.

2) Drawing and Primary Coating

Furnace에 의한 drawing으로 silicone resin을 double coating하고 curing furnace를 통과시킨다. coating 외경은 0.34mm이다.

3) Secondary Coating

30 $\phi$  extruder에서 polypropylene으로 2차 coating을 하고 cooling trough를 통과시킨다. loose tube 외경은 2mm이다.

4) Cabling and Sheath

Cabling중 fiber는 tensile stress를 거의 받지 말아야 한다. fiber pay-off시 bobbin에 적당한 back tension을 주어 fiber breakage 및 PP tube가 늘어나지 않도록 하였다. 또한 stranding시 torsion을 방지하기 위하여 fiber pay-off의 reverse drive에 의해 100% back-twist를 부여하였다. stranding pitch는 케이블총심경의 약 20배 정도로 하였다.

케이블 stranding시 secondary coated fiber의 곡률반경은 stranded diameter와 stranding pitch에 좌우된다.<sup>(5)</sup>

$$R = D/2 + P^2/2\pi^2 D$$

$D$  : pitch diameter

$P$  : pitch 길이

그림 3은 케이블 단면의 stranded diameter를 표시한 것이다. 위와 같이 stranded된 광섬유는 ALPETH 및 STALPETH를 하여 케이블이 완성된다. 케이블 외경은 17.3mm이고 중량은 300kg/km이다.

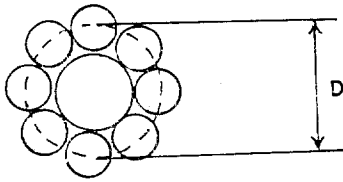


그림 3. 광섬유 케이블 단면

4. 광섬유 케이블 공정별 손실변화

그림 4는 광섬유 공정별 손실변화를 나타낸 것이다.

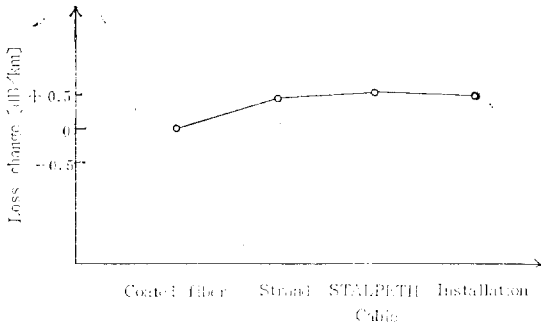


그림 4. 광섬유 케이블 공정별 손실변화

구로 전화국

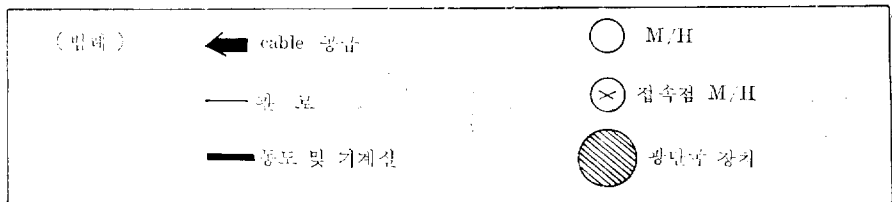
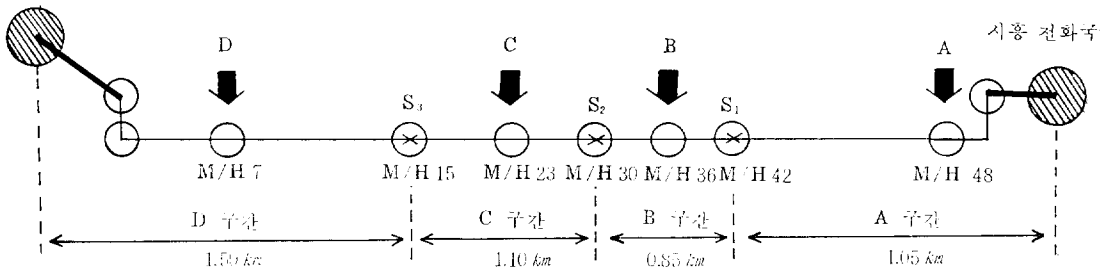


그림 5. 광섬유 케이블 포설도

평균손실 3.4dB/km( $\lambda=0.85\mu\text{m}$ ) coated fiber를 cabling하여 평균 3.9dB/km인 케이블을 제조하였다. 케이블을 포설한 후의 손실은 3.8dB/km이었다. 이것은 케이블이 drum에 감긴 상태에서 일직선으로 풀어놓았기 때문에 fiber에 가해지던 Stress가 제거된 것으로 판단된다.

5. 광섬유 케이블 포설

5.1 포설 개요

광섬유 케이블 포설은 KETRI 주관으로 체신부의 협조를 얻어 1981. 11. 19부터 1981. 11. 26까지 구로전화국에서부터 케이블을 포설하기 시작하여 시흥전화국까지 완료하였다.

표 2는 케이블 포설현황을 나타내며 그림 5는 각 구간에 대한 케이블 포설도이다.

표 2. 광섬유 케이블 포설현황

구간명칭	A	B	C	D	계
구분					
구간길이 (km)	1.05	0.85	1.10	1.50	4.50
M/H 수	14	13	15	15	57
복선구간수	2	0	0	2	4
구간내용	동도 및 관	—	—	동도 및 관	

5.2 포설공법

포설할 자 케이블 구간의 중간 부근 M/H 위에 그림

6, 그림 7과 같이 8자로 풀어놓은 후 반대 쪽으로 pulling하여 포설하였다. 그림 8은 케이블을 8자로 구성하기 이전의 중단쪽으로의 pulling 모습이다.

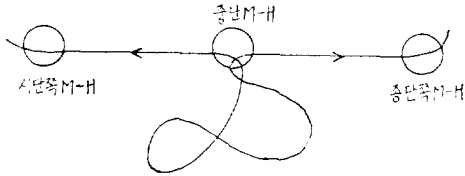


그림 6. 광섬유 케이블 8자구성



그림 7. 케이블 8자구성

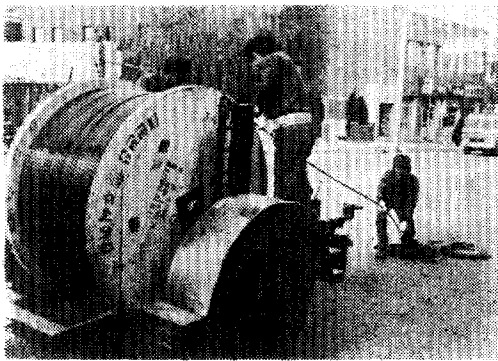


그림 8. 케이블 풀링

## 6. 광섬유 케이블 접속

### 6.1 광섬유 접속손실의 분류<sup>(6)</sup>

#### 1) 광섬유 자체 성질에 의한 손실

- 광섬유 직경차이에 의한 손실
- 광섬유 NA차이에 의한 손실
- 광섬유의 비원형성에 의한 손실
- 광섬유의 비동심성에 의한 손실

#### 2) 접속 미숙에 의한 손실

- 광섬유 축의 불일치
- 광섬유 각도의 불일치
- 광섬유 접속점의 기포형성
- 광섬유 접속점에 붙은 불순물

### 6.2 광섬유 접속방법 및 순서

#### 1) 광섬유 접속을 위한 준비작업

접속시키하고자 하는 케이블 양쪽에 Raychem제 열 수축관을 끼우고 KETRI 제작 알미늄 접속함을 끼운 다음 케이블 양쪽을 50cm정도 탈피시킨다.

선택한 심선에 보강재를 끼우고 secondary coating을 10cm 정도씩 제거시킨다. primary coating材를 불로 태워 알콜로 잘 닦아낸 후 적당한 길이 만큼 절단하여 광섬유 접속기에 setting한다.

#### 2) 광섬유 접속

광섬유 접속은 Arc 방전<sup>(7)</sup>을 이용한 용착 접속법을 채택하였다. 접속기에 setting된 광섬유는 현미경을 보면서 미세 조정장치를 사용하여 X-Y축을 맞추고 전

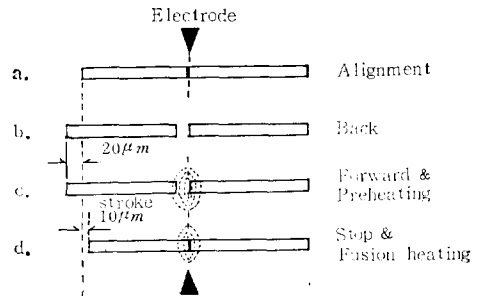


그림 9. 광섬유 접속과정



그림 10. 광섬유 접속장면

극밀에 설치된 반사경으로 Z축을 맞춘다. 이렇게 align 이 끝나면 그림 9와 같은 순서로 접속하게 된다. 그림 10은 현장에서 광섬유를 접속하는 모습이다.

광섬유 접속이 끝나면 먼저 끼워 두었던 보강재를 접속지점에 옮긴 후 광섬유를 수용하고 EPOXY(DYNA BRON BOND 942)로써 molding한다. 이와같이 반복 작업으로 6심을 모두 접속하여 molding한다.

접속관에 맞도록 Tension Member를 탈피시키고 Sleeve를 사용하여 연결시킨다. 이후 order wire를 연결시키고 Taping한 다음 접속된 광섬유 여장을 S자 형으로 구부러 접속관에 고정시킨다. 접속함을 접속관 위에 씌운 후 양쪽을 열수축관으로 접착시키고 접속함의 이음새 부분도 열수축관을 씌운다.

수분 침투를 막기 위해 자기 용착성 고무 Tape(3M product No. 23)로써 2회 감는다. 그 위에 외부 온도 변화의 영향을 방지하기 위하여 석면 Tape(3M No. 33 Size 25×55mm)로써 1회 감는다. 외부 부식 및 습기 침투를 방지하기 위하여 PVC Tape(3M No. 33 size 19×20mm)로써 2회 감아준다.

이와같이 완성된 접속함은 M/H 내부에 움직이지 않도록 고정시켜 둔다.

6.3 접속손실 측정 및 결과

접속손실은 OTDR을 이용하여 oscilloscope에 나타난 back scattering power를 비교하여 측정하였다. 그 결과 A와 B구간 사이는 비틀림성과 NA 차이 및 직경차의 복합적인 요소로서 약 1.2dB의 높은 손실이 발생되었다. 이것은 A구간 케이블중 세 심선이 동일한 preform에서 제조한 것으로 광섬유 자체 특성때문이라고 추정된다. 또 케이블 C와 D는 약 15%의 Nt 차 때문에 0.6dB의 비교적 높은 손실이 발생되었다. 그러나 NA차가 적은 나머지 접속지점 거의 무시될 수 있는 약 0.15dB의 만족할 만한 결과를 얻었다. 따라서 광섬유 자체 특성인 NA, 직경차, 비원형성 및 비동심성이 접속손실에 큰 영향을 주었다.

7. 결 론

금번 구로-시흥간 광섬유 케이블 제조, 포설 및 접속을 성공적으로 수행하였다. 케이블 제조작업중 광섬유 breakage가 발생할 수 있는 모든 요소를 사전에 배제하였다. 즉 pay-off와 take-up시 광섬유에 Tension이 가해지지 않도록 하였으며 Cabling전 기계 및 투입자재의 모든 상태를 철저히 확인하여 그 신뢰도를 높였다.

케이블 포설은 8자 형의 pulling 방법을 이용하여 구부림 및 꼬임을 방지하였다.

광통신 system의 실용화에 있어서 광 케이블의 장기 신뢰성은 매우 중요한 문제이다. 케이블 포설후 전송특성과 기계적 특성을 측정하여 문제점에 대한 대책을 마련해야 한다. 또한 광섬유 케이블의 열화 요인을 명확히 하고 심선 및 접속부의 신뢰성을 검토하되 다음과 같은 점에 중점을 둔다.

- 1) 심선의 전송특성 및 기계적 특성은 포설환경을 고려하여 장기적인 특성 열화를 추정한다.
- 2) 심선의 정피로 수명치를 추정하여 광섬유 케이블의 수명을 추정한다.

참 고 문 헌

- [1] "Optimization of multimode graded-index fiber parameter: design consideration," Appl. Opt., 19, pp.2860~2865 (15. Aug. 1980)
- [2] Wire Industry 9, Sep. 1977 p.663.
- [3] D.G. Holloway, Physical properties of glass (Wykeham Publishing Ltd. London 1973) pp. 150~196.
- [4] Philips Telecommunication Review Vol. 37, No. 4 pp.232~233 (sep. 1979)
- [5] Philips Telecommunication Review Vol. 37, No.4 p.253.
- [6] Mark. L. Dakss; "Splicing optical fibers" LASER FOCUS 66 (May. 1978)
- [7] Y. Kohanzadeh Appl. Opt. 15, 793 (1976)