

장파장 광섬유 케이블 설계 및 실제

林 鍾 晟

大韓電線(株) 光通信 部長

I. 개 요

1977년 '꿈의 통신'이라 불리우는 광통신을 국내에서 시작한지도 어언 7년이라는 기간이 지났다. 그동안 많은 연구 개발로 국내에서도 여섯 군데의 광섬유 케이블 제조 및 포설을 완료한 바 있다. 그 중에서도 1983년 12월에는 구로-간석간 38km의 단파장 멀티모우드 광통신 케이블 시스템 실용화 시험을 완료하였으며 급기야는 1984년 3월 KETRI(한국전기통신연구소)와 KTA(한국전기통신공사)가 공동으로 추진하는 전국 통신망의 광통신화 일환으로 대전지역 17.6km 구간에 장파장(1.3 μ m) 광섬유 케이블을 포설하게 되었다. 본 글에서는 KETRI에 납품한 장파장 광섬유 케이블을 중심으로 설명하고자 한다. 케이블 완료후 광특성은 평균 손실이 0.51dB/km(1.3 μ m), 대역폭이 1.7 GHz·km로 케이블 전후의 손실 변화가 거의 없었다.

II. 광섬유의 분류

1. 굴절율 형태에 따른 분류

- ① 계단형 광섬유(step index fiber)
- ② 언덕형 광섬유(graded index fiber)

2. 전파 모드(mode)수에 따른 분류

- ① 싱글 모드 광섬유
- ② 다중 모드 광섬유

3. 재료에 따른 분류

- ① Silica glass fiber
- ② Multi-compound glass fiber
- ③ Plastic cladding fiber
- ④ All plastic fiber

4. 제조 방법에 따른 분류

- ① VAD(vapor-phase axial deposition)
- ② CVD(chemical vapor deposition)

③ Rod-in-tube method

④ Double crucible method(2중 도가니 방법)

III. 광섬유 케이블 구조에 따른 분류

1. Cushionized 구조(그림 1)

중래의 동선 cable과 동일한 구조로, 기존의 기계로써 쉽게 제조할 수 있다.

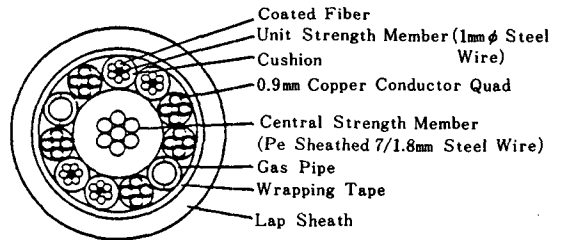


그림 1. Cushion type 24-fiber cable

2. Spacer 구조(그림 2)

이 구조에는 tape spacer type과 grooved spacer type의 두 가지가 있는데 전자는 cabling시 microbending을 피할 수 있는 장점이 있는 반면 후자의 경우는 cable의 flexibility가 양호하지 못하고 cable의 flexibility가 양호하지 못하다.

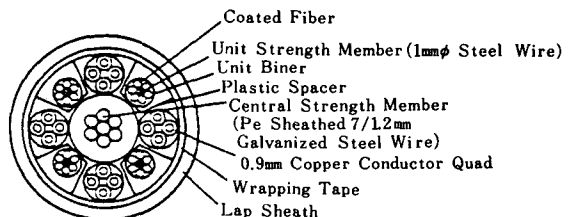


그림 2. Spacer type 24-fiber cable

3. Ribbon 구조(그림 3)

광섬유를 ribbon tape속에 수용한 후 그것을 적층하여 cabling하는 것이다.

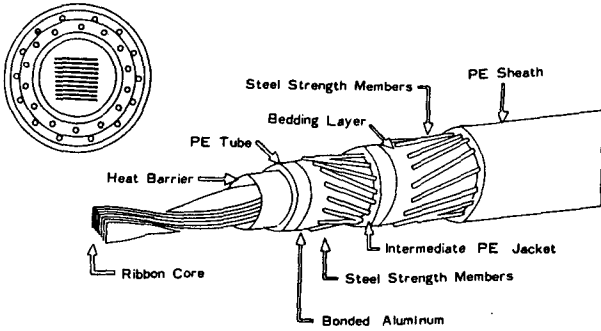


그림 3. Ribbon 구조

IV. 광섬유 케이블 제조(실제)

1. 광섬유의 규격 설계

광섬유의 코아·클래딩은 CCITT 추천 규격인 50 μ m, 125 μ m를 선택한다. 그림 4는 광섬유의 구조를 나타낸 것이다.

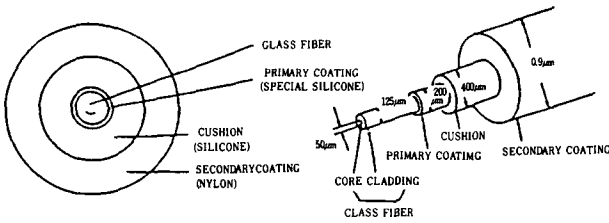


그림 4. 광섬유의 구조

Silicon resin으로 1차 coating된 광섬유 위에 silicon buffer층을 형성한 후 피복하여 3layer를 구성한다. 이 목적은 광섬유의 인장강도 및 축압에 대한 특성을 향상시켜 cabling 공정 및 접속등의 공정이 작업하기에 쉽게 하며, 선명한 색상으로 color coding을 하여 심선 식별을 용이하게 하기 위한 것이다. 그림 5는 3layer coated fiber에 대한 구조를 나타내고 있으며 그림 6의 (a)와 (b)는 silicon rubber를 coating한 경우와 하지 않는 경우의 온도 및 축압에 대한 광섬유의 특성을 나타내고 있다. 그림 7에서 보는 바와 같이 buffer layer 두께와 외경에 대한 최적값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_s = 0.125d$$

$$d_s = 0.15 + 0.25d$$

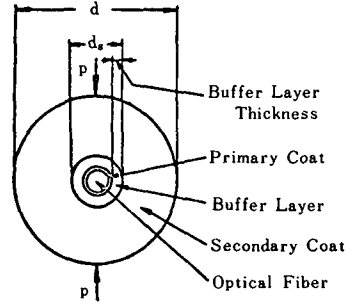
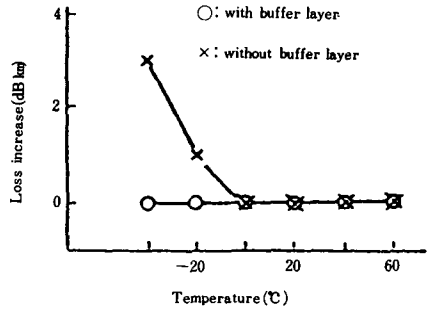
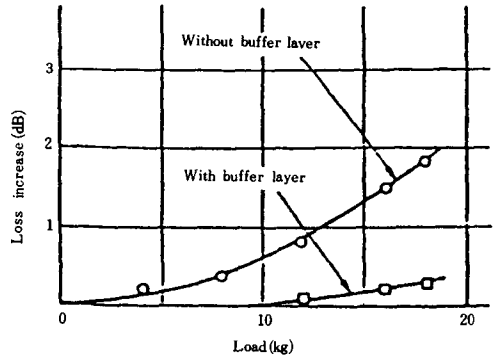


그림 5. Three-layer coated fiber structure



(a)



(b)

그림 6. (a) Optical loss temperature dependence

(b) Optical loss side stress dependence

위 결과를 종합하면 $d=0.9$, $d_s=0.4$ 개가 적당하다. 또한 식별 및 작업하기에 편리한 외경은 0.6mm 이상인 것으로 나타났다.

2. 광섬유 케이블의 설계시 고려사항

- ① 전송 특성이 안정될 것
- ② 광섬유가 파손되지 않도록 보호되어야 할 것
- ③ 경량·소구경일 것
- ④ 케이블 강도가 클 것
- ⑤ 취급이 용이할 것

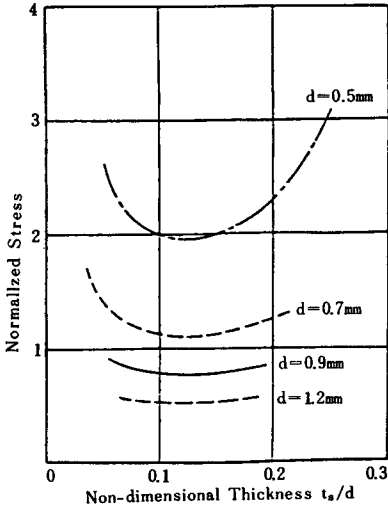


그림 7. Three layer-coated fiber optical loss

- ⑥ 제조하기가 쉬울 것
- ⑦ 유지 보수가 쉬울 것

3. 광섬유 케이블용 재료 선택

그림 8은 KETRI에 납품한 케이블로 이것을 중심으로 설명하고자 한다.

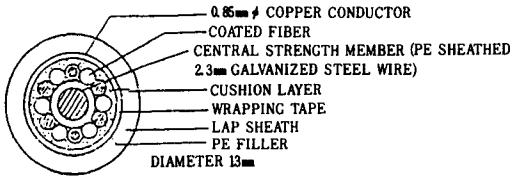


그림 8. 광섬유 케이블 제작에

1) 텐슨 멤버

광섬유는 텐슨 멤버 주위에 원통대칭으로 stranding 되어지는데 이때 사용되는 텐슨 멤버는 다음 사항을 고려하여 선택하여야 한다.

표 1.

재 질	비 중	영 물
Steel wire	7.9	20,000
Copper wire	8.9	12,000
Kevlar 49 [®]	1.4	13,000
Kevlar 29 [®]	1.4	6,000
FRP	2.0	3,000
Glass Fiber	2.5	9,000

첫째, Cable 포설시 cable 중량을 충분히 견딜 수 있어야 할 것

둘째, 장기 수명을 가질 것

셋째, 온도 변화에 따른 온도 특성을 만족할 것

넷째, 탄력성이 좋을 것 등이다.

표 1은 첫째 항목을 선택하는데 필요한 물리적 특성을 나타낸 것이다.

2) 쿠션(Cushion)용 재질

광섬유 cabling시 외부로 부터의 축압을 흡수하기 위한 cushion층을 두는데, 이때는 다음 사항을 고려해야 한다.

첫째, 광섬유의 광특성을 안정하게 유지시킬 수 있을 것.

둘째, 케이블의 기계적 강도를 증가시킬 수 있을 것.

셋째, 열에 의한 저항성이 클 것.

3) Wrapping Tape

텐슨 멤버를 중심으로 광섬유 및 cushion층을 안정되게 보호하기 위해서는 그것을 감싸는 corapping tape이 필요하다.

첫째, 열에 의한 저항성이 클 것.

둘째, cushion으로서의 역할을 할 수 있을 것.

4) Sheath

광섬유 cable 제조의 마지막 단계로 코아를 물리적으로 충분히 보호할 수 있고, 외부로 부터의 습기에 보호될 수 있는 재료를 선택해야 한다.

4. 광섬유 Stranding(연선)

광섬유는 영물이 큰 텐슨 멤버 주위에 감기게 된다. Cable을 구부렸을 경우 stress 집중현상을 stranding에 의하여 보상이 되기 때문에 fiber의 정파로(static fatigue)에 의한 breakage를 방지 할 수 있다.

즉 stranding하지 않은 경우는 한 지점에 stress가

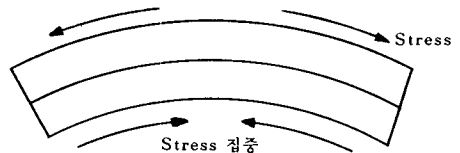


그림 9. Stranding하지 않은 경우

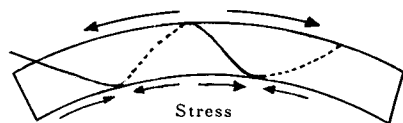
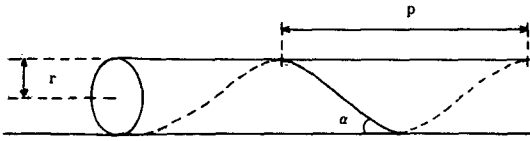


그림 10. Stranding한 경우

집중되지만, stranding한 경우는 stress의 집중, 분산이 연속적으로 행하여 지기 때문에 보상이 된다. Cable을 텐슨 멤버 주위에 stranding 하는 경우는 stranding 피치(pitch)를 결정해야 된다. 이때에는 광섬유의 곡률 반경에 의한 손실도 고려해야 한다.



곡률 $r = \sin^2 \alpha / r$ p: 피치
 곡률반경 $1/\rho$ r: 텐슨 멤버의 반경
 α : 연신시 광섬유와 이루는 각

그림 11. 텐슨 멤버

일반적으로 광섬유 cable의 pitch(피치)는 100~400 mm를 이용한다. Stranding시 광섬유의 공급 장력은 중요한 요소가 된다. 이 공급 장력은 광섬유의 수명, 광손실 증가, 대역폭의 변화 등에 영향을 준다.

광섬유가 텐슨 멤버 주위에 집합이 된 후 구조가 홀어지지 않도록 core wrapping을 하게 되는데 두 가지 방법이 있다. 즉 횡권과 중첩이다. 케이블의 flexibility면에서는 횡권이 유리하고, 생산 효율면에서는 중첩이 유리하다. Core wrapping 재료로서는 보통 폴리 에스터 테이프나 부직포 테이프를 쓰고 있다. 이 테이프를 사용할 때는 적당한 테이프 폭, 장력, 중첩도를 적용해야 한다. 이 조건을 만족하지 못할 때는 테이프가 우그러져 광손실을 유발하는 경우가 있다.

그림 1 및 그림 2 (a)에 도시한 광섬유 케이블 구조는 심선 배열 형태가 일정하고, 물리적으로 안정하며 cabling 공정시 손실 증가를 거의 zero로 유지할 수 있는 우수한 것이다. 외국의 경우 광섬유 케이블 제조시 측압에 의한 광섬유의 손실 증가때문에 일부러 NA(numerical aperture)를 크게 한 광섬유를 제조하는 경우가 있는데 이 경우 레일리히 스퀘터링 손실을 증가시켜 광섬유 상태에서의 손실이 높게 된다. 따라서 광섬유 상태에서 저 손실을 유지하면서 cabling후 손실 증가가 없는 형태의 케이블 구조를 선택하는 것이 가장 바람직하다.

5. 피복(Sheath)작업

연선(stranding)된 광섬유는 완전한 케이블을 형성하고 외부로부터의 습기 침투를 방지할 수 있는 구조인 LAP(laminated alminum polyethylene) sheath를 한다. 이 공정에서는 DDR(draw down ratio)를 고려

하여 니플(nipple)과 다이스(dies)를 설계해야 한다. 또한 폴리에틸렌 압출시 광섬유가 열에 의한 damage를 받지 않도록 고려해야 할 것이다.

6. 장파장 광섬유 케이블 공정별 손실 특성 분포 (KETRI 남품 케이블)

위의 설계 항목을 고려하여 제작한 광섬유 cable의 공정별 손실 특성은 그림 12, 13, 14와 같다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 측정오차(±0.05dB/km)를 고려한다면 광섬유의 손실 증가가 거의 무시할 정도이다. Cable후 평균 0.1dB/km 이상의 손실 변화가 있을 때에는 설계 및 제조에 문제가 있는 것이다.

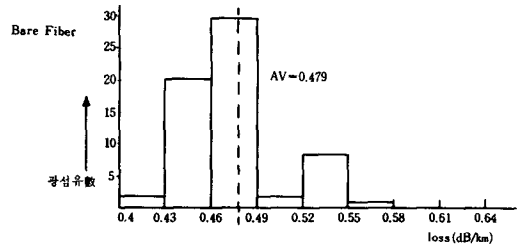


그림 12.

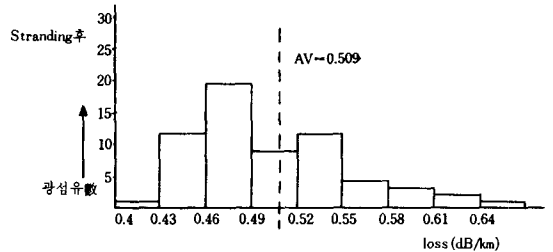


그림 13.

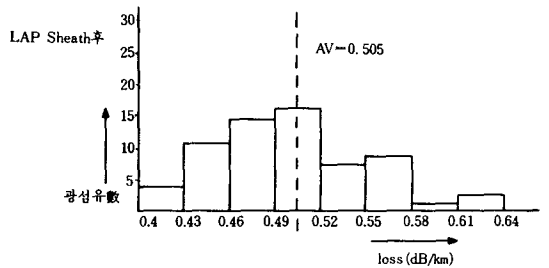


그림 14.

V. 광섬유 Cable의 장기 신뢰성

케이블에 있어서 가장 중요한 부분으로서 40년 이상

의 장기간 동안 광 cable의 특성을 어떤 방법으로 유지시킬 수 있는가 하는 것이다.

이 문제는 광섬유 심선의 제조에서 광섬유 케이블 제조까지의 전 공정에 대한 문제와 같다. 이중 광섬유

의 수명도 proof test로서 예측할 수 있는데 그 예는 그림15에 나타내었다. 신뢰성에 대한 문제는 각 공정에서의 사용재질, 공정상태 및 실제 케이블이 사용되는 환경등에 많이 영향을 받게 되므로 앞으로 국내의 사용 조건에 알맞는 최적의 광섬유 cable 개발을 위해 많은 연구가 뒤따라야 한다. 그림15에서 $\epsilon_p=0.78\%$ 는 proof test에서 700g에 해당된다.

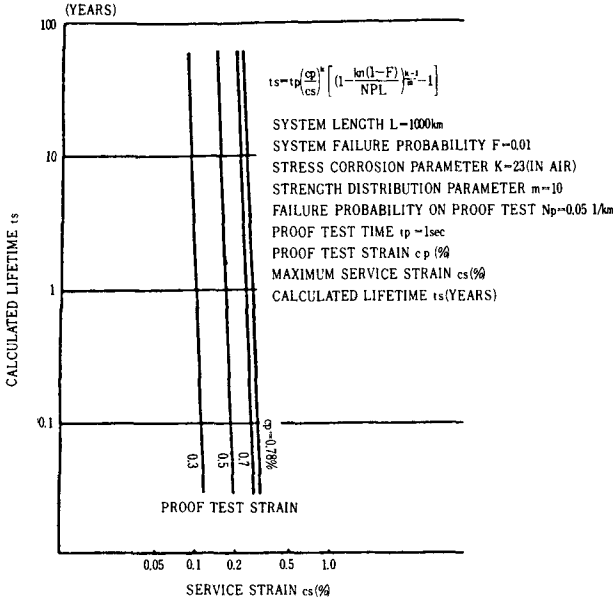


그림 15. Lifetime estimation of proof-tested fiber

VI. 광섬유 케이블의 유지 보전 방식

광섬유 케이블의 유지 보전 방식에는 크게 2가지가 있다.

- 1) Air 주입형
- 2) Jelly 충전형

이중 세계적으로 현재까지 안정된 기술로서 인정되고 있는 것이 기존의 동선 케이블에도 사용되고 있는 air 주입형이다. Jelly 충전형은 유지보전이 쉽다는 측면에서 많은 시도가 있고 활발한 연구가 진행되고 있다. 그러나, jelly 충전형인 경우 장기간에 걸쳐 케이블 내부로 습기가 침투할 염려가 있고 일단 침투한 습기는 케이블내에 남아 있는 기포를 통해 긴거리를 단 시간내에 침수시키게 된다. 주지하는 바와 같이 광섬유는 수분 침투에 의해 그 광학적, 기계적 특성이 급격히 저하되는 경향이 있기 때문에 jelly 충전형은 장기적 신뢰성 측면에서 계속 연구되어야 할 것이다.*

◆ 用語 解 說 ◆

共通線信號方式 (common channel signalling system)

電話網은各地에點在하는交換機와이들을잇는 많은回線으로구성되어있는데수시로발생하는다수의通話(通信)에대하여交換機와回線을동작접속시키기위한信號(始動, 裝置나回線의捕捉, 다이얼數字情報, 應答, 通話, 終話등)의送受信이필요하다. 이信號의送受信方式에중래부터의回線個別信號方式과共通線信號方式이있다.

回線個別信號方式이란通話에사용하는回線자체로信號의送受를하면서交換機와回線의接續이나

通話狀態의監視를하는方式이다.

共通線信號方式이란通話에사용하는回線과는별개로설치하는信號回線을통하여信號가送受되는것으로이信號回線은다수의通話回線의信號로공용하는方式이다.

이方式을채용하면通話回線을兩方向으로사용할수있어回線數의節約은물론信號의종류가 풍부해지기때문에각종의새로운서어비스에도적응할수있다. 各種局間情報의轉送에의한고도한網制御가가능하게되는등의이점이있다.