

광섬유 케이블 제조기술

李原昇*, 黃在翊**

金星光通信(株) 工場長*, 金星電線(株) 光通信部**

I. 序 論

Lightwave digital 전송 시스템에 사용되는 광섬유 cable은 제조·포설·운용중에 일어날 수 있는 피해로부터 fiber를 보호하여야 하는데, 특히 static fatigue와 전송특성을 고려하여 cabling시 fiber에 주는 응력을 최소화시켜야만 하며, cable의 물리적·기계적 특성 또한 최적화되어야만 한다. 이러한 제특성을 만족하기 위하여 여러 가지의 cable 구조가 고려되고 있는데 대표적으로 stranded core 및 ribbon core design이 채택되고 있다.

II. 광섬유 Cable의 제조

1. Stranded Core Design

Fiber는 2~12심의 sub-unit 또는 2~16심의 single unit를 구성하기 위하여 buffered fiberglass tension member를 중심으로 하여 fiber의 잔류응력을 최소화시켜 torsion이 없이 나선상으로 꼬여지며, 동시에 jelly filling되면서 plastic으로 tube 압출된다.

이러한 cable core는 넓은 온도범위에서 fiber의 기계적 보호와 우수한 전송특성이 유지되어야 하므로, 적절한 unit dimension, 사용재료 및 제조 설비가 택해진다.

Tension member를 사용하는 목적은 열팽창을 최소화시키면서 tensile load를 주기 위한 것이며, buffer 층은 fiber의 microbending을 감소시켜 attenuation의

증가를 완화시킨다.

Tube는 soft filling compound로 충전되는데 이것은 수분의 침투를 막아 주는 것이다. 이 filling compound는 $-40^{\circ}\text{C} \sim +75^{\circ}\text{C}$ 의 넓은 온도범위에서도 응고되거나 흘러 내리지 않아 cable 포설 환경조건의 변화에 따라 cable에 야기되는 microbending loss를 최소화시킨다. 광cable의 경우에 만일 fiber가 침수된다고 하더라도, fiber의 광학적 특성은 저하되지 않는다. 그러나 실제적인 면에서 water resistant 특성이 다음과 같은 이유로 요구되는데 이 목적을 위하여 flexgel형의 filling compound가 사용되고 있다.

첫째, fiber의 기계적 특성의 보호

둘째, 광cable에 종종 포함되어 있는 pair나 feeder의 전기적 특성의 유지

셋째, 침투된 수분에 의한 fiber의 freezing이나 손상 방지

이렇게 제조된 unit들은 tension member와 함께 unit stranding되는데 통상 3, 6unit로 구성되며 최대 수용 fiber수는 각 36, 72심이 된다.

2. Ribbon Core Design

Ribbon core는 높은 space factor를 가지며, cable 제조현장에서 preconnectorize되므로 포설·접속시의 man-hour를 절감시키고 loss변동을 억제시킨다.

이 design은, 점착성tape의 2층사이에 ribbon array로 놓여지는 12개의 fiber로 이루어진 ribbon unit를

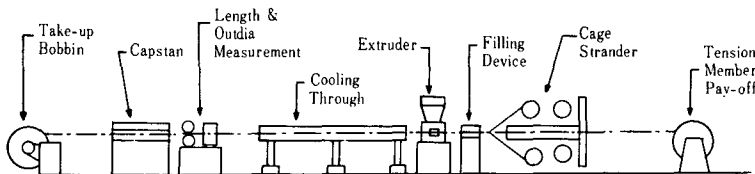


그림 1. Multifiber stranding line

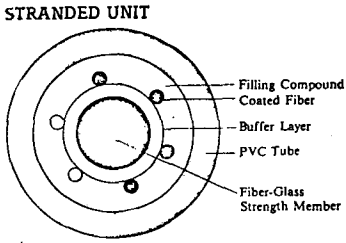


그림 2. Sub-unit, single unit

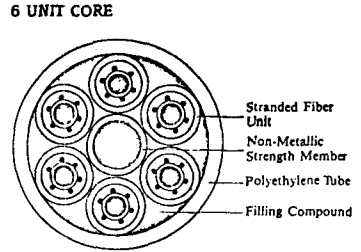
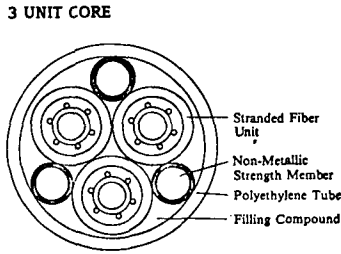


그림 3. Multi-unit

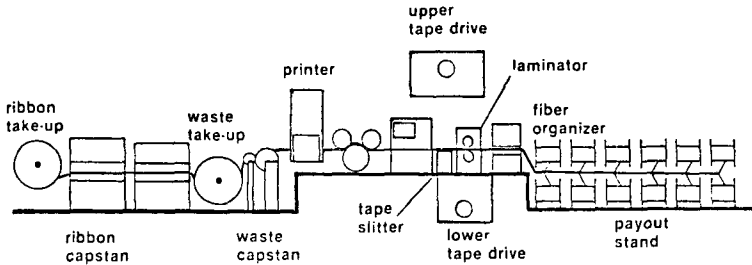


그림 4. Ribbon line

최대 12개까지 적층시키면서 stranding하는 것으로 최대 수용 fiber는 144섬이다.

Ribbon based cable도 water resistant 특성 향상을 위하여 stranding시 jelly filling된다.

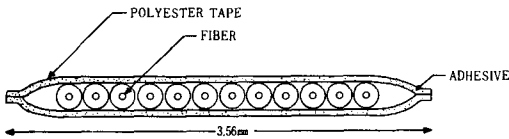


그림 5. Fiber ribbon

3. Sheath Design

장기간의 cable포설·운용 과정에서의 fiber의 신뢰성을 보장하고, 지하관로용, 직매용, 가공용, 옥내용, 해저용 등의 여러 가지 포설 환경조건을 만족하기 위하여는 적절한 sheath design의 선택이 필요해지는데 cable외경, 중량, 인장력 등을 고려하여 다음과 같은 sheath design이 있게 된다.

- i) Steel reinforced sheath
- ii) Fiberglass reinforced sheath
- iii) Rodent-lightning resistant sheath(RL)
- iv) Fiber resistant sheath
- v) Wire armored sheath

vi) Wellmantel sheath

vii) LAP sheath

1) Steel Reinforced

이러한 구조는 singleply 및 crossply에 모두 유용한데 일반적으로 singleply는 3, 6unit cable에 주로 채용되며 지하관로용이나 직매용으로 주로 쓰이게 된다. 그렇더라도 보다 높은 포설 인장력이 요구되는 곳에서는 3, 6 unit cable도 crossply를 하게 된다.

Single unit cable은 crossply로 구조가 된다. Crossply design은 BTL에서 개발한 것으로 이것은 cable에 high strength와 torque balance를 주고 포설중의 twist를 제거하기 위하여 2층의 reinforced wire가 cable sheath시 적절한 pitch로 서로 반대방향으로 stranding되면서 HDPE sheath를 하는 것이다. 이 crossply sheath는

첫째, 높은 인장력을 가지며

둘째, Torque balance가 이루어지며

셋째, Tensile creep가 완전히 제거되고

넷째, Kink, handling, bend, impact, twist 특성이 개선된다.

는 등의 특징으로 인하여 넓은 범위의 온도조건 및 용도에 사용된다.

2) Fiberglass Reinforced

Nonmetallic sheath design을 위하여 steel rein-

Crossply Construction

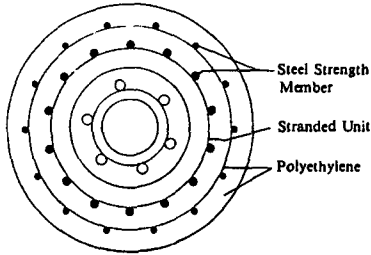


그림 6. Single unit steel crossply

Non-Metallic Crossply Construction
270kg Placing Tension

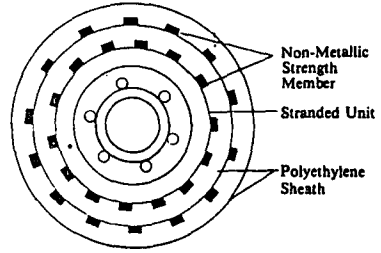


그림 7. Single unit fiberglass crossply

Non-Metallic Singleply Construction

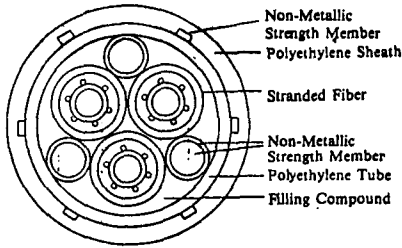


그림 8. 3unit fiberglass singleply

Singleply Construction

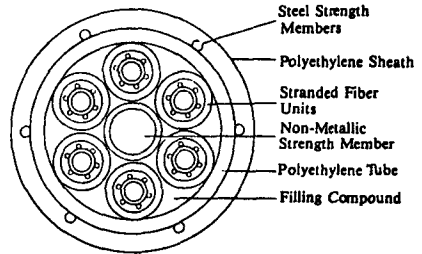


그림 9. 6unit steel singleply

forced design에서의 steel을 fiberglass로 대체한 것이다. 이러한 design은 lightning damage와 induction을 완전히 제거해 준다.

3) RL Protection

Rodent(설치류)나 Lightning의 피해를 방지하기 위한 목적으로 개발된 것으로서 이것은 copper corrugated tape와 coated stainless steel corrugated tape를 cable core에 동심원상으로 forming한 후에 polyethylene jacket를 한 구조로 되어 있다.

Rodent and Lightning Protection

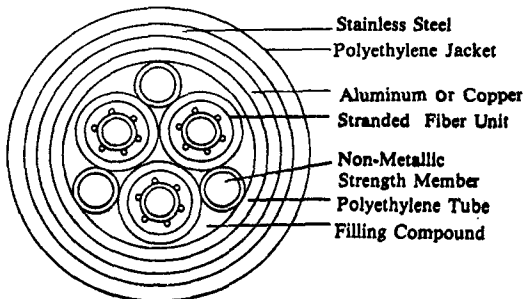


그림 10. 3 Unit RL sheath

Rodent and Lightning Protection

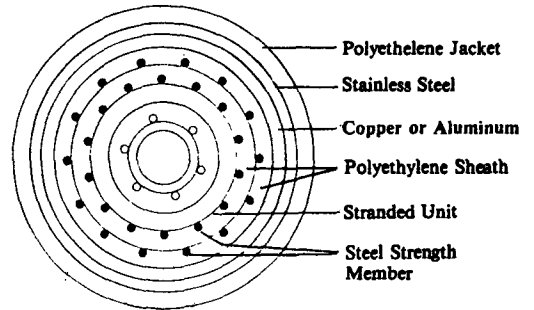


그림 11. Single unit RL sheath

이러한 sheath는 극히 견고하여, 반복되는 rodent의 피해를 방지하며, 우수한 lightning protection을 주며 직매용으로 사용시 우수한 내마멸, 내충격 특성이 있다. 단 single unit cable은 crossply후에 RL protection을 하게 된다.

4) Armored Oversheath

해저 cable용이나 기타 특별히 높은 인장력 및 내마멸성이 요구되는 곳에 사용되는 것으로서 이것은 cable

sheath에 상에 2층의 아연도강선을 서로 반대방향으로 stranding한 후에 jacketing을 한 것이며 인장력은 약 9000~18000kg에 달한다.

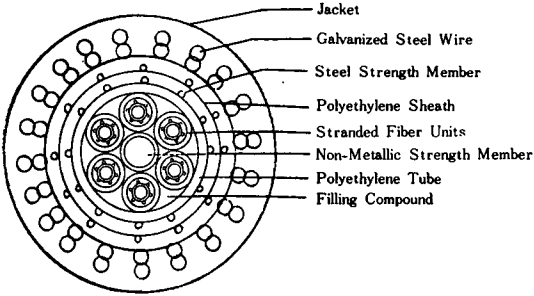


그림 12. Armored oversheath for submarine crossings

4. 물리적 특성

이렇게 design된 광cable의 unit별 외장구조별 물리적 특성은 다음과 같다.

표 1. Single unit cable (2 to 16 fibers)

Sheath Type	Diameter (mm)	Approx. Weight (kg/km)	Maximum Pulling Tension (kg)
Steel Reinforcement Crossply	10	75	270
Fiberglass Reinforcement Singleply	10	75	135
Fiberglass Reinforcement Crossply	10	75	270
Modified Rodent Protection	16.5	200	270
Fire Resistant Indoor(PVC)	10	105	135

표 2. Multi unit cable

Sheath Type	Diameter (mm)	Approx. Weight (kg/km)	Maximum Pulling Tension (kg)
Steel Reinforcement Singleply	16.5	210	270
Steel Reinforcement Crossply	19.0	330	900
Fiberglass Reinforcement Singleply	16.5	210	270
Fiberglass Reinforcement Crossply	19.0	278	900
RL Sheath	19.0	345	270
Fire Resistant Indoor(PVC)	16.5	255	270

표 3. 6 Unit cable (38 to 72 fibers)

Sheath Type	Diameter (mm)	Approx. Weight (kg/km)	Maximum Pulling Tension (kg)
Steel Reinforcement Singleply	21	315	450
Steel Reinforcement Crossply	23	490	1800
Fiberglass Reinforcement Singleply	21	315	450
Fiberglass Reinforcement Crossply	23	420	900
RL Sheath	24	460	450
Fire Resistant Indoor(PVC)	21	390	450

5. 광학적 특성의 변화

1) Cabling중의 Added Loss

이렇게 제조된 광cable은 제조과정중의 added loss가 파장 1300nm에서 0.05dB/km이하, 파장 1550nm에서 0.15dB/km이하로 억제되었다.

2) Heat Cycling Test에 의한 Added Loss

광cable은 또한 항온조에 넣어 heat cycling test를 거친 후 added loss가 측정되게 된다.

표 4. Heat cycling test

단 계	온 도(℃)	경과 시간(시간)
1	20	24
2	-40	24
3	-20	24
4	-10	24
5	20	24
6	80	120
7	20	24
8	-40	24
9	-20	24
10	-10	24
11	20	24

표 5. Added loss (dB/km)

온 도 / 파 장	-40℃	-20℃	-10℃ ~ 80℃
1300nm	0.15	0.05	0.03
1550nm	0.50	0.30	0.15

각 단계마다 파장 1310nm 및 파장 1550nm에서 측정된 loss가 상온상태(단계 1)에서의 loss와 비교되는

데 각 단계에서의 loss와 상온에서의 loss의 차이는 다음과 같은 변화치이내로 억제되었다.

Ⅲ. Single Fiber Cable

Single fiber cable은 central office equipment, cable과 regenerator 및 telephone switching system에서 data link로서 필요하게 된다.

Cable의 강도는 fiber의 신뢰성 보장에 직접적으로 관계되는 것으로서 single fiber cable의 가장 중요한 특성인데, 이것은 fiber의 prooftest에 의하여 어느 정도까지는 보장되나 기본적으로 cable 보강재료의 선택으로 보장된다.

Cable jacket에 사용되는 재료를 선택할 때의 주 고려사항은 fiber의 microbending인데, 이것을 억제하기 위하여 낮은 Young's modulus를 가진 plasticized PVC가 채택되었다. 이것은 약 30Ksi의 modulus를 가지며

또한 높은 내열성을 가지고 있다.

Cable jacket는 Kevlar filament로 보강되는데 이것은 cable의 load-bearing 특성을 향상시킨다.

Cable제조후에 single fiber cable의 강도가 direct tensile loading하에서 평가되고, 또한 cabling과 환경응력에 의한 optical loss도 평가된다.

Ⅳ. 結 論

이상에서 서술된 바와 같이 광cable은 fiber가 포설 및 운용과정에서 피해를 받지 않고 장기간의 신뢰성이 보장되도록 design이 되어야 한다.

Cabling중에 이러한 고려가 불충분하면 optical loss는 증가하고 신뢰성은 감소하게 될 것이다.

긴 역사를 갖는 종래의 동cable에 있어서도 신뢰성은 언제나 새로운 과제인 것과 같이 광cable에 있어서도 아직 예측할 수 없는 신뢰성의 새로운 열화가 생길 가능성이 있다.

그러므로 cable의 구조, 제조설비 및 사용재료 등에 대한 부단한 연구 개발이 필요하게 된다.

參 考 文 獻

- [1] AT & T Technical Journal, Winter 1980
- [2] Du Pont Catalogue, Kevlar Filament.
- [3] IEEE 1980, Morton J. Schwarz 외, Fiber Cable Design and Characterization.
- [4] OFC 1984, C.H. Gartside 외, Design and Performance of Commercially Manufactured Single-Mode Lightguide Cable.
- [5] C.H. Gartside, Single Mode Lightguide Cable
- [6] 28th IWCS, P.F. Gagen 외, Design and Performance of a Crossply Cable Sheath.
- [7] 31st IWCS, B.R. Eichenbaum 외, Design and Performance of a filled, High-Count Multimode Optical Cable.
- [8] ECOC 1983, C.H. Gartside 외, A Single mode Lightguide Cable Design for Long-haul Transmission.
- [9] H. Kumamaru 외, Jelly filled Optical Fiber Cables.
- [10] Wire Asia 1982, R. Yashiro 외, Design Concept of Fiber Optic Cable.
- [11] 7th ECOC, R. Yamauchi 외, Fiber Stresses Induced by Twisting a Fiber Tape and the Reduction by "Pre-twisting Method."*

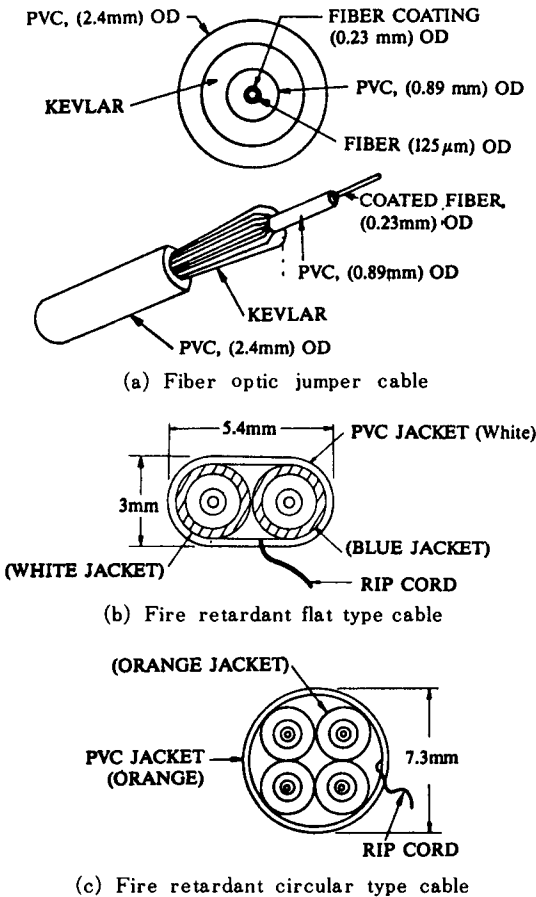


그림 13. Single fiber cable