

송 관 호 ,    마 영 찬 ,    이 원 승  
금성전선(주)    기술연구소    통신연구부

A study on the design of optical fiber cable

KWAN HO SONG,                    YOUNG CHAN MA,                    WON SEUNG LEE  
GOLD STAR CABLE CO., LTD. R & D Lab,  
COMMUNICATION SECTION

(ABSTRACT)

본 논문은 광섬유 케이블의 설계에 있어, 케이블공정에 따른 광손실의 증가를 최소화 하는 케이블의 구조 및 광케이블의 포설에 따른 잔류 응력의 억제 등, 장기간 동안 케이블의 전송특성을 유지하며, 광섬유의 파단 방식을 목표로 고려해야 할 사항을 논하였다.

광섬유의 특성을 유지하기 위해서는 광섬유 제조시 사용되는 재질 및 적정 DIMENSION 설정이 필요하며 광섬유 파단방지를 위해 CABLE내에 TENSION MEMBER를 수용하는 구조를 검토, 광섬유 CABLE 포설시 광섬유의 파단 확률을 감소시키며, 광섬유의 잔류응력을 억제하는 관점에서 케이블 구조를 설계 하였다.

1. 서    론

최근, 광섬유의 저손실화, 광대역화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 통신회선용 전송 매체로서 상용화 단계에 있다.

광섬유는 세경, 경량, 무유도 등 우수한 점이 많으나, 취급의 용이성, 파단강도의 개선, 장기 신뢰성을 확보하기 위해 CLAD층 (외경 125 um)위에 수 um의 1차피복 및 완충층을 두며, 그위에 외경이 0.5-1.2 mm정도 되도록 2차 피복을 하고 있다.

이러한 광섬유를 이용한 광섬유CABLE의 구조 설계는 적용하는 광통신 전송방식을 충분히 고려하여 진행 하여야 하며, 중요한 고려사항은 다음과 같다.

- (1) 광섬유 고유의 전송특성을 살려 케이블공정 및 온도변화에 따른 손실 변화가 실용상 문제가 없어야 한다.
- (2) 광섬유의 기계적인 보호에 따른 장기 신뢰성 문제

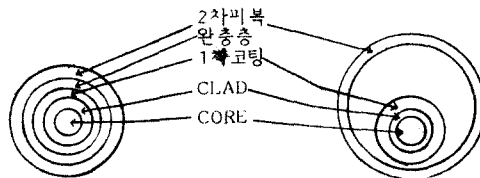
- (3) 전송 SYSTEM 보수, 감시 및 급전을 위한 Cu-WIRE의 삽입여부와 케이블 구조문제
- (4) 광섬유 UNIT의 적정 구조 결정
- (5) 장거리 포설을 위한 적정구조의 선정
- (6) 관로사정에 따른 적절한 외피구조의 결정 등이 있다.

2. 광섬유 심선의 설계

광섬유CABLE 설계에 있어 중요사항은 MICRO-BENDING에 의한 광섬유 손실 증가 및 포설시나 포설후 광섬유 심선의 파단 방지에 있다.

MICRO-BENDING 손실 발생요인으로는 (1) 광섬유 내 경방향 축압 하중 (2) 2차 피복 재질의 길이 방향 수축등이 있으며 상기 (1)의 요인에 대해서는 피복 재질의 탄성 변형 및 소성 변형 영역 검토 (2)의 요인에 대해서는 저온 환경 하에서 광섬유의 BUCKLING 현상파악 등을 통한 피복 재질 및 DIMENSION의 결정 이 중요사항이다.

광섬유 심선의 구조는 그림 1과 같이 LOOSE TUBE 방식과 TIGHT FITTING방식 2가지가 있다.



i) TIGHT FITTING TYPE                    ii) LOOSE TUBE TYPE

그림 1. 광섬유 심선의 구조

TIGHT TYPE의 경우 측압에 대해 2차 피복이 탄성 변형하는 영역에서는 광섬유에 작용하는 CORE경 방향 응력을 최소로 하는 완충 층경이 존재한다.

따라서 표 1과 같은 TIGHT TYPE의 구조에서 측압 과 광손실의 증가를 실험한 결과 그림 2와 같았다.

표 1. 광섬유 심선의 구조 단위:  $\mu\text{m}$

종류	구조	CORE	CLAD	1차코팅 (완충층)	2차코팅
A		50	125	400	900
B		50	125	400	730
C		50	125	250	600

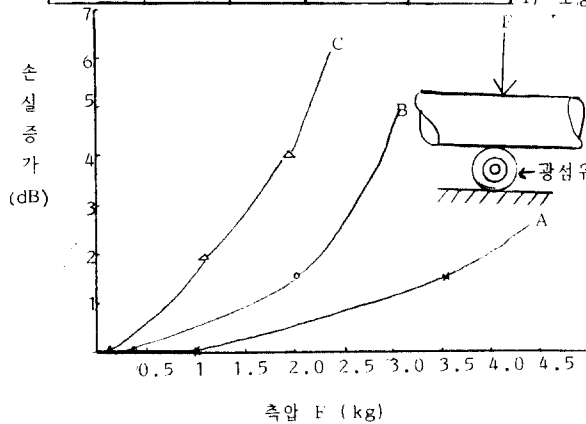


그림 2. 광섬유 심선에서 측압과 광손실 증가 위의 결과로 부터 A구조의 광섬유 심선은  $1 \text{ kg/mm}^2$  정도의 측압까지는 광손실의 증가는 없었으나 B 구조는  $0.4 \text{ kg/mm}^2$  이상의 측압에서 광손실이 증가하며 C 구조는  $0.2 \text{ kg/mm}^2$  이상의 측압에서 광손실이 증가 하였다.

따라서 광섬유 케이블의 구조 설계에 있어서 광섬유의 구조에 따라 설계 및 제조 조건의 적절한 선정이 무엇보다 중요하게 된다.

2차 피복재질의 길이 방향의 수축에 대해서는 광섬유의 코팅 재질과 구조를 결정 할 필요가 있으며 코팅 재질의 수축 원인은 다음과 같다.

- (1) COATING 작업시에 COATING 물질을 짧은 시간에 냉각 시킴으로 해서 발생
- (2) COATING 재질의 장시간에 걸친 이완 효과
- (3) 환경에 따른 온도의 변화 등이다.

따라서 2차 코팅재질은 (1) 매우 높은 인장율을 갖고 (2) 표면이 매우 부드러우며, (3) 압출 후 냉각에 의해서 적은 수축을 해야 하며, (4) 장기적인 안정성을 갖는 재질을 선택하여야 한다.

코팅 재질의 특성은 그림 3 과 같다.

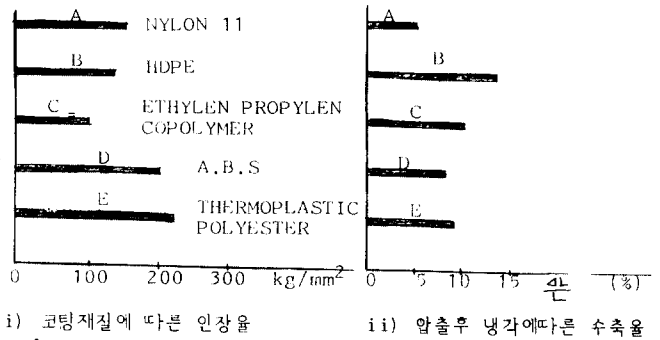


그림 3. 코팅 재질에 따른 성능

광섬유 심선에 작용하는 길이 방향의 응력은 광섬유 심선의 단면적, YOUNG율, 2차 피복의 단면적, 광섬유 및 2차 피복의 열 팽창계수 등과 함수관계에 있으며 광섬유 심선이 일정한 경우 완충층경을 크게 하는 것이 광섬유의 길이 방향에 의한 응력의 영향을 최소화 시킬 수 있다.

심선경과 완충층경의 범위는 표 2와 같다.

표 2. 심선경과 완충층경의 범위

심선경 ( $\mu\text{m}$ )	완충층경 ( $\mu\text{m}$ )
700	250-380
900	300-450
1200	300-600

### 3. 광섬유 케이블의 설계

광섬유 케이블을 설계하기 위해서는 광섬유 심선에 영향을 줄수있는 측압, TENSION 등에 상당한 고려를 해야 한다.

광섬유 케이블 24심 TIGHT FITTING TYPE의 경우 구조는 그림 4와 같은 6심 UNIT를 만들어 이것을 다시 적당하게 연합한 것이다.

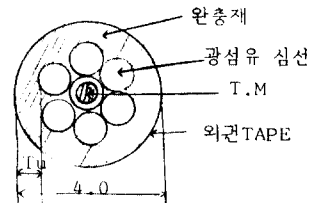


그림 4. 광섬유 UNIT (6심)

여기서 광섬유 심선에 측압을 최소화 할 수 있는 PARAMETER는 광섬유 심선경 (d), 완충층두께(Tu) 그리고 광섬유 유니트 경으로 결정된다. 광섬유 심선을 UNIT 집합할 경우 완충층 두께(Tu)가 작은 영역에서는 심선경이 크면 광섬유 심선에 응력이 작아지며, 완충층 두께 Tu가 0.5 mm 이상이 되면 광섬유 심선에 미치는 응력은 매우 작게 된다.

또한 광섬유의 파단 신율이 0.2% 이하로 극히 작기 때문에 케이블 공정과 포설시에 길이의 늘어남이 충분히 작도록 케이블 구조를 하여야 한다.

따라서 광섬유 심선을 항장력체위에 배열하여 적당한 PITCH를 주어 고아야 한다.

광섬유 심선을 항장력체 주위에 PITCH를 200 mm 이상하여 고면 장력 20 kg이하의 영역에서 광섬유의 신율에 영향을 미치지 때문에 PITCH를 짧게 할수록 신율에 대한 영향이 덜 미치게 된다.

그러나 PITCH가 너무 짧을 경우 광섬유의 BENDING LOSS에 의한 광손실의 증가가 예상된다.

따라서 PITCH의 설정은 광섬유 특성 및 장기 신뢰성에 상당한 영향을 주게 된다.

또한 광섬유 심선을 연합하여 1차 시스 등으로 외피구조를 할 경우 압출시의 온도에 따라 광섬유 심선에 열적 변형이 오지 않도록 설계하는 것도 중요하다.

이러한 관점에서 설계한 광섬유 심선의 구조는 그림 5와 같다.

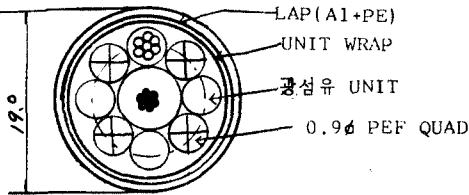


그림 5. 24심 광통신 케이블 구조 (TIGHT FITTING TYPE)

이와 같이 제조된 24심 광섬유 케이블의 공정간 손실 변화는 그림 6과 같다.

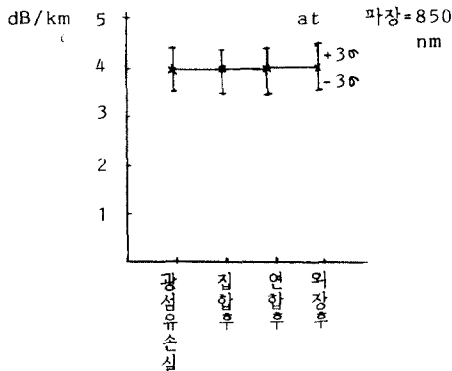


그림 6. 공정간 광손실

그림 6에서 처럼 광섬유 케이블 공정중 LOSS증가는 최대 0.5 dB/km이고 평균 0.2 dB/km정도가 되어 비교적 안정 되었으나 케이블 제조 공정중의 여러요인에 의해 광손실의 증대를 예측하기 어렵기 때문에 많은 주의를 하여야 한다.

#### 4. 광섬유 케이블 현장시험

국내에서도 국간중계 전송선로로서 광통신 케이블의 상용화를 추진하고 있으며 공중통신망에 사용되는 광섬유의 전송특성은 매우 중요하기 때문에 PRE-STANDARD로서 1981년 12월에 KETRI PROJECT로서 금성전선(주)에서는 LOOSE TUBE TYPE 6심 광통신 케이블을 제조하여 포설 하였다.

구로 - 시흥 - 안양 구간 중 시흥-안양간의 7.5 km에 포설된 6심 광통신 케이블의 구조는 그림 7과 같다.

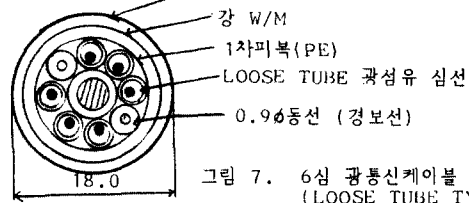


그림 7. 6심 광통신케이블 구조 (LOOSE TUBE TYPE)

7.5 km에 걸쳐 포설한 광섬유 케이블의 연중환경 변화에 따른 광손실을 매월 한번씩 측정하여 광섬유의 장기 신뢰성을 확인 하였다.

광섬유 심선에서는 COATING재질과 광섬유와는 THERMAL COEFFICIENT가 다르기 때문에 온도 변화에 따른 광손실이 증대하게 되는데 그 증가 폭을 최소화 하는 연구가 계속 진행되어 왔다.

표 3은 안양에 광 SOURCE를 두고 시흥에서 측정 한 7.5 km의 광섬유의 광손실을 월별로 측정한 DATA이며 그림 8에서는 표 3을 그래프로 표시한 것이다.

표 3. 안양(S) → 시흥 간 광섬유손실(평균)

		at 850 nm									
측정 일자		'81 12/5	'82 1/30	2/25	4/9	5/12	6/3	7/1	8/4	8/27	10/5
LOSS (dB/km)		3.4	3.5	3.3	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1

\*단, 접속손실 불포함.

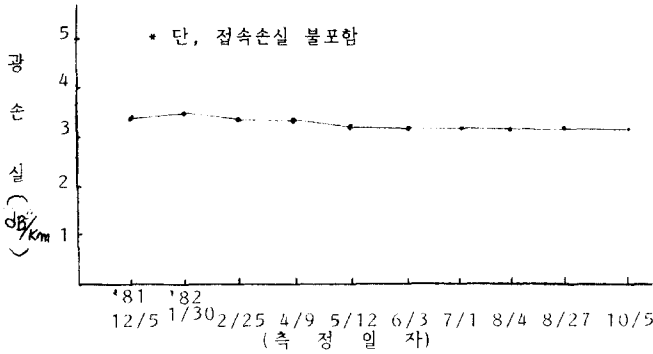


그림 8. 안양 - 시흥 간 포설 광케이블 연중손실

그림 8에 년중 광섬유 심선의 LOSS증가는 최대 0.4 dB/km이내 임을 확인 하였으며  $\pm 0.2$  dB/km 이하의 설계 목표와 같은 결과를 얻었다.

그러나 광섬유 손실이 환경변화에 따라 변화하는 요인을 철저히 분석하여 안정된 광섬유 케이블을 제조하기 위한 연구를 계속할 필요가 있다.

#### 5. 결 론

이상과 같이 광섬유 케이블의 설계에 대하여 논하였지만 이외에도 케이블 공정중에 발생하는 여러가지 문제를 해결하여야 한다.

특히 광섬유 케이블의 제조시 PITCH와 연반문제, PAY OFF TENSION, 인입각도, TAPING TENSION, TAKE-UP TENSION등의 문제를 광손실과 신뢰성의 측면에서 보완해야 한다.

또한 세계적으로 광통신이 장파장 (1.3  $\mu\text{m}$ ) SYSTEM으로 가는 경향이 있기 때문에 장파장 SYSTEM에 맞는 광섬유 케이블의 설계 및 제조와 단일모드 광섬유 케이블의 설계 및 제조에 대해서도 연구를 계속 진행 하고 있다.

#### (참고문헌)

1. ISHIDA ET ALL "DESIGN AND CHARACTERISTICS OF G.I OPTICAL CABLES FOR USE IN MEDIUM/SMALL CAPACITY OPTICAL FIBER TRANSMISSION SYSTEM" REVIEW OF THE ELECTRICAL COM. LAB. VOL 29, NO 11-12, NOV.-DEC., 1981, P1118-P1128
2. GRASSO, PIZZORONO ET ALL "HIGH QUALITY OPTICAL FIBER CABLE FOR TELE COMMUNICATION" IWCS 2P P393-P403.
3. ANTONIO PORTINARI ET ALL "METAL FREE, FULLY FILLED OPTICAL CABLE FOR TELE

COMMUNICATION USE" IWCS 30, 1981, P161-P173.

4. "DETERMINATION OF OPTIMUM STRUCTURE IN COATED OPTICAL FIBER AND CABLE UNIT.

5. "광 FIBER케이블의 구조 설계법"

연구 실용화 보고 제 27권 제11호 1978, P169-P184.

6. "DESIGN AND PERFORMANCE OF G.I MULTI-MODE OPTICAL FIBER" 전자통신학회 논문지 VOL J65-B, NO. 1, JAN. 1982.