

## 전력선을 이용한 광케이블 현장 실증 시험

신 건 약	한전 기술 연구원
이 원빈	한전 기술 연구원
조 용근	한전 기술 연구원

A field trial of helically wrapping fiber optic cable onto existing 154KV phase conductor.

Keonhak Shin, Wonbin Lee, Hongkeum Cho  
Research center, Korea Electric Power Corporation (KEPCO)

### Abstract

Fiber optics provide a solution to the problems of interference, capacity and reliability in communication. Approximately 20 kilometers of a six-fiber, multimode, longwave(1.3μm), graded index silica glass fiber optic cable was helically wrapped around a phase conductor of a Korea Electric Power Corporation(KEPCO) 154KV transmission line.

This paper presents an economic comparison of several fiber optic cable installation alternatives and discusses the characteristics of the helically wrapped fiber cable, as well as the entire installation, including high voltage phase-to-ground (PTG) end termination, and splicing.

The fiber link was installed for the field trial and practical use with overhead composite optical fiber cable which installation performed a few years earlier some other location and is intended to accommodate not only telephone but also supervisory Control and Data Acquisition(SCADA), protective relaying, and telemetry functions.

### 1. 서 론

강섬유 케이블은 전학선이나 마이크로웨이브 통신로에 비하여 전자기적인 장해에 훨씬 강하고 세정, 경량으로 최근이 용이할 뿐만 아니라 특히 전력회사에서는 지하관로나 가공 송전 선로(상도체 또는 가공지선)등의 기존 설비를 이용하여 어렵지 않게 설치 할 수 있기 때문에 유리한 통신 방식이라 할 수 있다.

따라서 전력 산업에 있어서 급증하는 고품질의 통신 소요와 경축, 제어를 만족하기 위하여 세계 각국의 전력 회사에서는 지난 수년 동안 종래의 회선 전용 방식이나 파일럿 와이어 통신 방식보다는 광통신 시스템

의 설치를 선호하게 되었다.

한전에 있어서는 지난 1985년 말에 기존 전력 설비를 이용하는 방식으로는 국내에서 처음으로 154KV 송전 선로의 가공 지선을 광복합 가공 지선으로 고체하여 광통신 링크를 구성한 이래, 점차적으로 간선 망을 중심으로하여 광복합 가공 지선을 신설 또는 고체화되고 있다.

한편 광통신 분야의 급속한 기술 발전에 따라 광복합 가공 지선 방식 외에도 전력선의 상도체나 가공 지선에, 유연성이 좋은 광케이블을 나선형으로 감아 나가는 비교적 새로운 방식의 기술이 개발되어, 전력회사의 기존 설비를 이용하는 광통신 링크 구성 방식의 하나로 경로가 필요하게 되었다.

이를 위하여 실증 사업을 거쳐 현장에 적용하기 위한 광통신 링크로서 154KV, 약 20km 의 두 전력소를 연결하는 240스퀘어 밀리미터 상도체에 위의 광케이블을 설치하고 그 특성 변화를 측정하였다.

### 2. 본 론

#### (1) 광통신 구성 방식에 따른 비교

한전에 주로 사용되고 있는 광통신 선로로서는 지중용 광케이블과 아직까지는 전력회사의 기존 송전 선로를 지지물로서 이용하는 대표적인 방식으로 간주되는 광복합 가공 지선이 있다.

광복합 가공지선 방식은 가공 지선의 내부에 광섬유를 내장하면서 기존의 가공 지선의 기능과 함께 광통신 선로를 구성하도록 하는 것으로서 송전 선로의 신설이나 계획된 가공 지선의 고체에 있어서는 유리한 방식이나, 기존 사용 중인 선로에 설치할 경우에는 아직 내용 낸수가 남은 기존의 가공 지선을 광복합 가공 지선으로 고체해야하는 번거로움이 있다.

그러나 최근 한전에서 시도한 송전선 상도체에 광케이블을 감아 나가는 방식은 기존의 송전선을 두 가지 목적으로 사용되도록, 즉 전기적으로는 도체로서, 광케이블로 보아서는 지지선으로 사용하게 함으로서 송전 선로의 이용도를 제고하였다.

일반적으로 한전에서 광통신 링크 구성을 고려할 수 있는 건설 방식에는 다음과 네 가지 방식이 고려될 수 있는데 그 방식은 다음과 같다.

- 가. 광케이블을 지중으로 구성하는 방식
- 나. 메신저 와이어에 광케이블을 배상하는 방식
- 다. 광복합 가공 지선 방식
- 라. 기선 송전 선로의 상도체 또는 가공 지선에 광케이블을 감는 방식

위의 방식들을 비교해보아기 위하여 -경우에 따라서는 정확한 비고가 되지 못할 수도 있겠으나- 한전의 전형적인 154KV 2개 건별소간 약 20km의 구간을 기준으로 하였다.

20km 구간의 루트에는 장애물로서 강, 아천, 고속도로 각 1개소, 철로 2개소, 일반도로 3개소, 22KV 배전선로 10개소, 66KV 송전 선로 4개소 등 총 22개소의 고차지점이 있었다.

첫 번째 방식인 지중 방식에서 는 위의 장애물 지점을 지나가기 위해서는 도관을 넓도록 설치하여야 하는 어려움이 있고, 철로, 고속도로 등을 통과할 경우에는 허가 및 사용료 지불 등의 문제점이 예상된다.

두 번째 방식은 첫 번째 방식에 비하여 초기 건설 비용의 면에서는 유리하나, 도로나 철로 또는 강 건너기 작업에 여러 가지 문제가 예상된다.

마지막 두 방식 즉 광복합 가공 지선과 관부형 광케이블 방식은 루트의 장애물에 대하여 특별한 문제점은 있으나, 광복합 가공 지선 방식의 경우에는 도로나 철도, 건별선이 가로지르는 장애물 구간에서는 건설시 발발침울을 만날 수 사용하여야 하는 불편한 점이 있다. 그러나 두 가지 방식 모두 기존 송전 선로에 넣다른 영향을 주지 않고 경제적으로 광통신 링크를 구성할 수 있다는 점에서 전력 회사에 유리한 방식이며, 특히 이전의 20km 구간의 광케이블 설치 공사에서 송전선 상도체에 광케이블을 감는 기술은 시공에 있어서 가장 편리하고 신속한 방식으로 평가되었다.

위에서 언급한 내용을 요약하여 보면 다음과 같다.

#### (2) 관부형 광케이블 개요

154KV ACSR 240 square millimeter 상도체에 나선형으로 감아 설치한 광케이블의 단면을 그림1에 나타낸다.

이 케이블은 중심에 있는 FRP 깨재심을 6심의 다중 모드 석영 광섬유가 둘러 싸고 있는 형태로 되어 있고, 내전압, 내트랙킹성을 가진 특수 재질의 자켓팅이 되어 있어 광섬유를 보호하도록 되어 있다.

이 광케이블은 그림2에서와 같이 송전 선로를 따라서 움직이도록 고안된 장치에 의해서 설치된다.

이 장치는 약 1mm의 광케이블을 감은 빛을 장착한 상태에서 지상의 작업자가 로프를 끌어 당기면 장치와 함께 광케이블 릴이 송전 선로를 속으로 하여 회전하면서 나선형 피치를 만들면서 광케이블이 풀설

된다.

광케이블이 송전 선로를 감싸면서 나선형으로 감기게 되므로 인하여 생기는 송전 선로 표면적 중 가로운 충격에 비하여 미미한정도 이므로, 전체적인 풍압 하중에는 큰 영향을 미치지 않고, 오이며 광케이블에 의한 스파이탈(Spiral)이 송전 선로의 진동이나 소음, 축빙설 등을 감소 시키는 작용을 한다.

표1. 광케이블 구성 방식별 비교

구 분	내 용
지중 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 아천, 도로, 철로등의 횡단 시설시 건설 비용 증가</li> <li>- 철로등의 통과시 이가 및 사용료 지불 관계 협의 필요</li> </ul>
메신저와이어에 광케이블을 묶는 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 설치공정이 복잡: 메신저와이어 및 광케이블 설치(2단계 공정 불가피)</li> <li>- 도로, 철로등을 가로건너는 경우 이크 거리 문제 고려 필요</li> </ul>
광복합 가공 지선	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 송전선로 신설의 경우에는 가장 유리</li> <li>- 기존선로에 설치시는 가공지선을 광복합 가공지선으로 교체하여야 함</li> <li>- 도로, 철로, 건별선과 차 계검등 장애물 구간에서의 시공시 발발침 필요</li> <li>- 국내기술로 제작 및 설치 가능</li> </ul>
관부형(종상형) 광케이블	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존의 가공지선 또는 상도체를 메신저로 사용함</li> <li>- 장애물구간에서의 설치에는 차체 추진 머신을 사용하여 문제 해결 (일반구간에서는 수동식인 Spinning machine 만 사용)</li> <li>- 위의 어느 방식보다도 설치 시공이 간단하고 신속함</li> <li>- 국산화가 아직 되어있지 않은 상태이나 설치 경험은 있음</li> </ul>

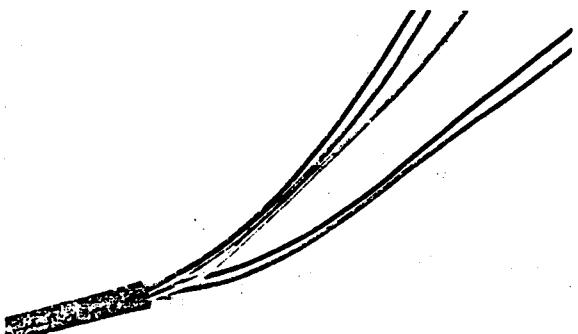


그림1. 154KV 상도체에 나선형으로 감은 관부형 광케이블

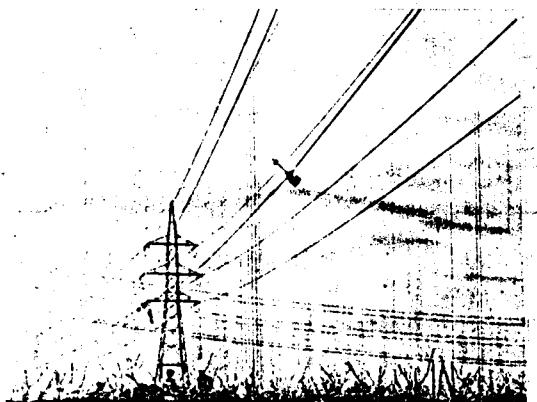


그림2. 154KV 상도 챠에 스핀ning 머신( Spinning machine)을 이용하여 광케이블을 포설하는 모양

설치된 광케이블의 사양은 다음의 표2와 같다.

표2. 광케이블 사양

구 분	항 목	내 용
광섬유	모우드	Graded Index
	손 실	1 dB/Km (1300nm)
	내외피	1 GHZ · Km ( min )
	코팅	실리콘 및 나일론 코팅 0.9 mm ( O.D )
케이블	외경	4.9 mm
	자켓 두께	0.91mm ~ 1.27mm
	심선수	6 fiber
	중량	30.3Kg/Km
	최소 국률 반경	30mm
	온도특성: 연속	-40°C ~ +100°C
	순간	+400°C
	인장강도	4.7N/mm <sup>2</sup>
	Elongation	548 %
구 성	6 optical fibers	
	1 strength member	
	1 binder aramid	
	Rayolin Jacket	

### (3) 케이블 스트레인(cable strain)

전부형 광케이블은 송전 선로가 설치되어 인장 토이 선로에 가해지고 있는 상태에서 포설되기 때문에, 큰 스트레인은 받지 않으나, 광케이블이 포설된 이후에 가해질 수 있는 어떠한 부가적인 스트레인에도 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.

이 광케이블은 설치하는 동안에 밸류를 0.025% (max) 의 스트레인 및 장기적으로는 풍압, 빙착설 등에 의한

하중과 온도변화에 의한 상도 챠 평창에 봐아이 밸류를 0.1% (max) 의 스트레인에 견디도록 되어 있다. 이 광케이블의 수명은 40년으로 예측된다.

### (4) 풍압 및 빙착설

송전 선로에 광케이블을 나선형으로 감는 방법은 세종의 광케이블이 비교적 긴 피치(800mm정도)를 가지면서 송전 선로에 감기기 때문에 횡축 풍에 대하여 약 5% 내외의 풍압 하중이 증가되나 전반적으로 볼때 풍압의 증가는 거의 없는 것으로 유효되어 가공 선로에 설치하는 방법으로서는 풍압 하중 증가를 최소화 할 수 있는 유익한 방식이다.

광복합 가공 지선의 경우에도 중심부에 광섬유 유니트를 내장하기 위해서는 일반 가공 지선보다 직경이 약간 커지는 것이 보통인데 이 경우에도 철탑 설치시의 안전을 위해 고려된 마진에 충분히 커버되는 것으로 경로되었다.

빙착설에 대한 영향을 조사한 것으로서는 노트웨이에 사용된 경우의 실제에서, 광케이블이 감긴 송전 선로가 일반 송전 선로 보다 착빙설이 특히 많이되는 사례는 관측되지 않았고, 착빙설의 직경이 15cm 이상인 경우에도 광케이블에 어떤 이상이나 광전송 손실 특성 변화는 없는 것으로 나타났다.

### (5) 설치

송전 선로에 광케이블을 설치할 경우에는 그림2에 보는 바와 같이 송전 선로를 축으로 하여 회전하면서 진행하는 장치를 사용한다.

#### 이방식의 장점은

- 가. 광케이블을 지지하기 위한 별도 시설 불필요
- 나. 장애물에 구애받지 않고 간단, 신속한 설치 가능
- 다. 투트 선팩의 유연성

등이 있다. 이방식에 사용되는 광케이블은 세종, 경량이어야 하며, 송전 선로에 포설할 경우에는 광섬유에 스트레인이 미치지 않도록 주의하여야 한다. 적당한 피치와 장력으로 포설하였을 경우 나선형으로 감기는 광케이블의 증가분은 전체로보아 1% 이내이다. 광케이블은 접속부를 줄이기 위하여 두 개의 펜을 이용하여 최대 2km의 광케이블을 각각의 펜에 1km씩 감아 카셋트 형태로 하여 양쪽 방향으로 설치해 나갈 수 있도록 하였다.

한전의 20km 구간의 설치에 있어서는 광케이블 포설에 설치 장치 2대 및 자체 추진 장치 1대가 동원되어 3개 작업팀으로 6일간이 소요되었다.

효율적인 팀구성은 한팀당 송전공 2명, 지상 작업자 2명으로 한 설치 장치당 2개팀으로서, 장치가 움직이기 시작하면 작업조가 고대로 다음 철탑에서 미리 기다리고 있다가 다음 구간으로 장치를 넘겨주고 그림3 및 그림4에서 보이는 바와 같은 작업을 하는 요령으로 하면 지연 시간없이 신속한 포설을 할 수 있다.

그림3은 154KV 현수 철탑, 그림4는 내장 철탑에서의 광케이블 처리를 보여주고 있다.

## 전력선을 이용한 광 케이블 현장 실증 시험

### (4) 접속

워의 시공에서는 양단의 터미네이션을 포함하여 모두 17개소에서 접속을 하였는데, 접속 작업은 지상에서 렌트를 치고 가능한 한 작업 조건을 좋게하여 시행하였다. 총 102회의 접속 작업 결과 최대 0.3dB 최소 약 0dB, 평균 0.08의 접속 손실로서 예상보다 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

지상에서의 접속 작업을 마친 후에는 도너즈 모양의 하우징에 여장을 처리하여 선로에 매달도록 하였다. (그림3 참조)

접속 팀은 2개조로 나누어 1개조는 현장에서의 접속 작업을 수행하고, 나머지 조는 전력소에 위치하면서 OTDR(Optical Time Domain Reflecto meter)을 사용하여 접속 손실을 측정하였는데, 접속 장소와 축정 장소간에는 VHP 무전기를 사용하여 통신을 유지하였다. 종합적으로 6심 광섬유의 20km에 대한 손실의 평균은 접속 손실을 포함하여 약 16dB였다.

### (5) 터미네이션

광케이블이 상도체에 설치되는 경우에는 선로의 154kV 전위의 대지 전위를 절연하여 연결해서 안전하게 취급할수 있도록 하여야 하는데, 그림5에서와 같은 Phase-to-Ground(PTG) 터미네이션이 이와 같은 목적으로 사용된다.

여기서 사용된 터미네이션의 특성은 표2와 같다.

표 2. 154 kV Phase To Ground Termination의 특성

구 분	내 용
정격 전압	160KV (PTG)
길 이	6 meter
Creepage Length	8.5 meter
차 질	non-tracking polymer cladding
내장 광섬유 수	8 fibers (여유 실선포함)
광섬유	Multimode, 50/125 $\mu$ m.

### (6) 시험 및 축정

이 광케이블은 154KV의 전력선 운용 및 Wheathering 등에 의한 광전송 특성 변화를 조사하기 위하여 광 케이스 장치 및 GPIB(General Purpose Interface Board)를 이용한 축정을 수행하였다. 6심의 광섬유 중 임의의 2심을 연결하여 약 40km로 한후 1개월간 계속 축정한 결과 광전송 손실 변화량은 최대, 최소값의 평차가 1.34dB로서 거의 변화가 없었다.

또한 시설후 약 6개월간의 주기적인 축정 결과 특별한 성능 저하 현상은 발견되지 않았다.

한편, 전력선 사고시 순간 은도 상승에 대한 영향을 조사하기 위하여 154KV 모선을 20mA 가량 연장하여 권부형 광케이블을 감고 상부에 설치한 광복합 가공지선으로부터 인공 지탁을 구성하여 사고시 화재에 의한 영향을 측정하였는데, 이경우에도 두 가지 광케이블은 성능 저하나 손상을 입지 않았다. (사고전류 10KA)

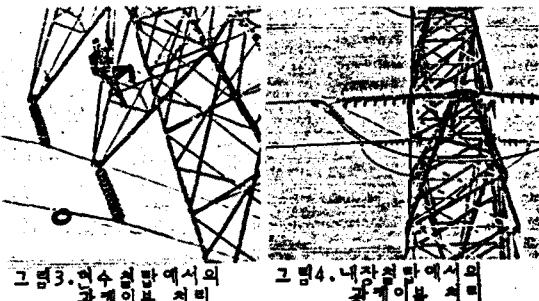


그림3. 연수철 밭에서의 광케이블 접속

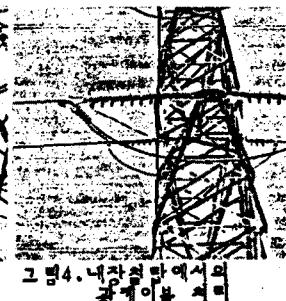


그림4. 내자철판에서의 광케이블 접속

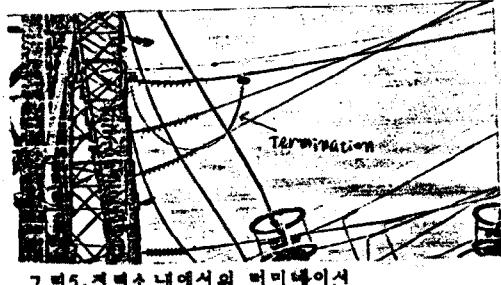


그림5. 전력소 내에서의 터미네이션



그림6. 인공지탁 시험 선로 구성

3. 결론  
향후 상당기간 동안은 전력 통신의 신뢰성과 다양성에 부합되는 통신 방식으로서 광통신기술이 점점 더 광범위하게 활용될 것이라는 관점에서 기존의 전력 설비를 이용하는 광통신 방식, 즉 광복합 가공 지선 방식과 권부형 광케이블 방식은 전력 회사에서 유용한 광통신 구성 방법이다. 광복합 가공 지선 방식은 특히 송전 선로의 신설시에 가장 경제적으로 확보 할 수 있는 광통신 방식이며 할 수 있고, 권부형 광케이블 방식은 기설 송 배전 선로에 부가하여 설치할 경우 시공을 간단하게 할 수 있어 유리한 방식이며 할 수 있다.

그러나 광복합 가공 지선은 국내 기술로 이미 제작되고 있으나 권부형 광케이블은 아직 외국 기술에 의존되고 있어 국산화가 요망된다.

### 참 고 문 헌

- Richard D.Sperduto, and Mike K. Mitchell Installation experience with a fiber optic cable helically wrapped around a RG & E 115KV phase conductor
- J.C.Baker The strain budget in the Rayfos system
- K.Yoshida, Winding of optical fiber cable onto existing ground wire.