

154kV급 전력-광복합케이블의 개발

° *류재규, *유성중, *전승익, **조진철, **최봉남
* LG전선(주) 전력연구소, ** 대한전선(주)

Development of the 154kV optical fiber incorporated power cable

° *Jae-Kyu Ryu, *Sung-Jong Yoo, *Seung-Ik Jeon, **Jin-Chul Jo, **Bong-Nam Choi
* LG Cable & Machinery Ltd., ** Taihan Electric Wire Co., Ltd.

[Abstract]

In this study, We developed the 154kV optical fiber incorporated power cable which is combined optical fibers with conventional 154kV power cable. Also, we developed optical unit that optical fiber is inserted in stainless tube. The optical unit was tested, and we got good results enough to safe optical fibers. Also we put the optical fiber incorporated power cable to the test of electrical characteristics and optical characteristics, we knew that the electrical characteristics were the same characteristics as conventional 154kV power cable and the transmission loss change was almost zero. The method of optical unit connection was examined.

1. 서 론

급격한 전력수요의 증가로 송배전 선로의 초고압, 대용량화가 이루어지고 있으며 우수하고 안정된 품질의 전력공급을 위하여 전력회사는 송배전 선로의 감시에 많은 노력을 기울이고 있는 상황에서 본 연구에서는 광섬유를 통하여 전력케이블의 온도감시등의 기능을 가질 수 있는 154kV급의 초고압 지중 전력케이블의 내부에 광유니트를 삽입한 구조의 전력-광복합케이블을 개발하였다.

광유니트는 다양한 형태를 가질 수 있으며 진동삽입 방식을 이용하여 자체 개발한 제품에 대하여 기계적, 광학적 특성 시험을 실시하여 우수한 결과를 얻었다. 복합케이블은 광유니트를 도체중, 절연체와 알루미늄 시스 사이, 알루미늄 시스와 PVC시스 사이에 삽입하여 제조되었으며, 전력케이블의 자체 초도개발시험에 준하는 시험을 통하여 광유니트 삽입에 따른 전기적 영향이 없음을 확인하였고, 기계적 스트레스에 대한 광유니트의 성능도 우수함을 알았다. 광유니트를 비롯한 복합케이블의 접속함에 대한 구현방법도 기술한다. 다양한 형태의 복합케이블을 통해서 전력케이블의 효율적인 관리 등의 많은 발전들이 기대된다.

2. 국내의 기술 동향

해안과 굴곡지형의 여건으로 주로 일본과 유럽등지에서 해저케이블을 중심으로 다양한 복합 케이블이 개발되었다. 현재는 차츰 지중 고압 케이블에 대해서도 복합 케이블화 되어가고 있다. 대표적인 지중 복합 케이블로 일본의 275kV XLPE 복합 케이블을 들 수 있다. 이것은 본 연구에서 개발한 것과 유사한 형태의 것이다. 외국에서는 단거리 소전력 전송용, 크레인이나 로프 등에 전력과 제어신호를 보내기위한 이동체 전송용 등의 다양한 형태의 복합 케이블이 사용되고 있다.

국내에서는 본 연구에 선행하여 22.9kV 복합케이블이 개발되었고, 모 전선회사와 한전과의 공동연구로 FTR (Fiber Optic Temperature Laser Rader, 광섬유 온도측정장치)이 개발중에 있다. 복합 케이블의 접속함에 관련된 연구도 전선회사들을 중심으로 활발히 진행중에 있다. 한편에서도 복합 케이블에 대한 관심과 필요성을 많이 느끼고 있어서 앞으로 이 분야의 많은 연구와 기술적 발전이 기대된다.

3. 광유니트의 설계 및 제조

3.1 광유니트의 설계

22.9kV 급의 복합 케이블의 경우와 마찬가지로 154kV 급의 복합 케이블에 대해서도 금속관 보호재의 단심 광섬유를 가진 광유니트를 사용한다. 도체내부에 삽입하기 위하여 금속관 형태가 바람직하고, 알루미늄 시스의 위 아래에서도 강한 기계적 강도를 가지기 위하여 금속관 광유니트를 채택하게 되었다.

154kV 급의 복합 케이블에 사용되는 광유니트의 구조를 그림 1에 나타낸다.

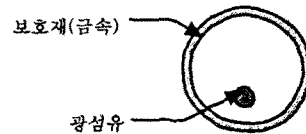


그림 1. 광유니트 구조

금속관의 재질은 인장강도와 신율, 측압에 대한 내변형성, 굴곡응력에 대한 내변형성, 내식성, 가공성, 경제성 등을 평가하여 스테인리스(STS 304)로 선정하였다. 금속관의 크기는 외경 1.6mm, 1.2mm, 1.0mm 의 세종류를 사용하였다.

3.2 광유니트의 제조

3.2.1 여러 가지 제조법

가. Welding 법 : 금속관 제작과 동시에 광섬유를 삽입하는 방법으로 비교적 크기가 큰 관에 대해서 많이 사용되고 있다. 장비가 고가이고 제조공정이 복잡하여 잘 쓰이지 않고 있다.

나. Air Blown 법 : 고압압축 공기를 이용하여 광섬유를 금속관내로 불어 넣는 방법으로 단조장에 주로 사용된다.

다. 진동법 : 금속관을 드럼에 감은 상태에서 진동을 주어 광섬유를 삽입하는 방법으로 작은 크기의 관에 대해서도 삽입이 가능하고 장조장에 대해서도 삽입성이 우수하다.

3.2.2 진동 삽입 장치

이 장치는 진동장치부, 삽입장치부, 권취장치부로 구성되어 있다.

가. 진동장치부

실질적인 삽입의 주체가 되는 부분으로 $\phi 1.2m$ 의 진동장치와 turn table 장치로 구성되어 있다. 진동을 통하여 대각선 방향의 힘을 발생시켜 광섬유를 금속관내로 삽입한다.

나. 삽입장치부

장치전체를 제어하는 제어부와 광섬유 송출부, powder 송출부로 구성되어 있다. Powder는 삽입성을 좋게 하기 위하여 광섬유 삽입전에 관내로 고르게 도포된다. 광섬유의 송출은 위치 감지 센서를 통하여 자동으로 ON, OFF 된다.

다. 권취장치부

금속관을 제품보빈에서 진동드럼으로 이동하고, 광섬유가 삽입된 후 진동드럼의 광유니트를 다시 제품보빈으로 이동하는데 사용된다.

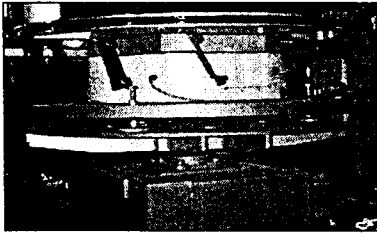


그림 2. 진동장치부

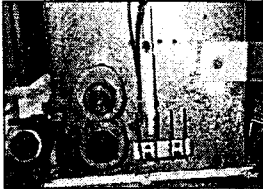


그림 3. 광섬유송출부

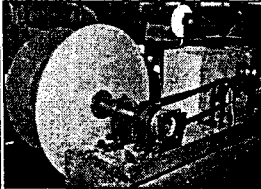


그림 4. 권취부

3.2.2 시작업

자체에서 생산한 광섬유와 일본과 국내에서 생산한 금속판을 사용하여 광유니트 제조 시작업을 하였다. 제조 전후의 광섬유의 전송손실 측정결과를 통하여 제조에 따른 전송손실의 증가가 없는 것을 확인하였다.

표 1. 시작업 내용

차수	금속판 크기	길이	평균 삽입속도
1	외경1.6mm/내경1.2mm	834m	4m/min
2	외경1.6mm/내경1.2mm	1088m	2m/min
3	외경1.2mm/내경0.8mm	480m	3m/min
4	외경1.6mm/내경1.2mm	1020m	7m/min

1, 2차는 일본의 금속판을 3, 4차는 국내의 금속판을 사용하여 작업하였다. 두제품에 삽입성에는 차이가 없었고, 차수가 거듭할수록 안정된 삽입을 보였다. 3차는 크기가 더 작은 금속판을 사용한 것으로 나머지 경우와 전체적으로 유사한 삽입성을 보였다.

4. 복합 케이블의 설계 및 제조

4.1 복합 케이블의 설계

복합 케이블은 4분할도체의 중심과 각 접합면, 절연체와 알루미늄 시스 사이, 알루미늄 시스와 방식층 사이에 삽입하는 구조로 설계하였다.

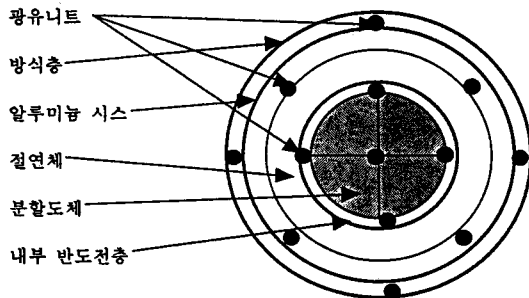


그림 5. 복합 케이블 구조

분할도체의 중심에 종이 계재물과 함께 삽입되고 분할의 접합면의 공간에도 종이 계재물과 함께 삽입된다. 절연체 위에는 cushion tape (ERP EMBOSSED TAPE)와 반도체 동선직입 tape가 감기는데 그 사이에 나선형으로 90°의 간격으로 삽입된다. 알루미늄 시스 위에도 직선으로 90°의 간격으로 삽입된다.

4.2 복합 케이블의 제조

4.2.1 공정 검토

다음과 같이 각공정별 검토를 위하여 공정별 시작업을 실시하여 문제 점을 개선하였다.

가. 도체연합 : 분할도체 중심과 접합면에 광유니트를 넣는 것은 공정상에 큰 문제점은 없으나 복합 케이블 접속의 방법이 고안 되어 있지 않다. 그러나, 향후 도체온도 측정 등의 활용의 측면을 고려하여 제조 공정을 검토하였다.

나. 절연 : 통전시 발열에 의한 절연체의 팽창으로 광유니트가 인장력을 받을 가능성이 있으나 cushion tape (ERP EMBOSSED TAPE)와 반도체 동선직입 tape 사이에 위치하므로써 충분한 완충작용을 통하여 문제가 없었다.

다. 시스 : 광유니트 삽입에 의한 방식층의 외관불량이 우려되나 Pressure type의 방식층 압출방식을 채택하여 개선할 수 있었다.

4.2.2 제조

각 공정별 시작업을 통한 문제점 검토 및 개선을 통하여 복합 케이블을 제조하였다. 제조된 복합 케이블을 그림 6에 나타낸다.



그림 6. 154kV 전력-광복합 케이블

5. 광유니트의 시험 및 평가

국내의 금속판을 사용하여 제작한 광유니트에 대해서 인장, 축압, 굴곡, 온도특성 시험을 하였다.

표 2. 광유니트 시험 결과

항 목	결 과
삽입전후 전송손실 변화	±0.03dB 이하
금속판 인장 (신율)	95.1kgf/mm ² (5.7%)
인 장	50kgf 까지 손실변화 0.1dB 이하
축 압	400kgf/50mm 까지 손실변화 없음
굴 곡	반경 15mm 까지 손실변화 없음
온 도	-30℃ ~ +80℃ 까지 손실변화 없음

표 2와 같이 자체 제작한 광유니트에 대하여 시험하여 우수한 결과를 얻었다.

6. 복합 케이블의 시험 및 평가

6.1 전기적 시험

광유니트의 삽입에 따른 전기적 특성에 대한 영향이 없도록 설계, 제조하였고 22.9kV 복합 케이블의 경우와 마찬가지로 154kV 복합 케이블에 대해서도 영향이 없음을 시험을 통하여 확인하였다. 대표적인 중요한 두가지 시험에 대한 결과를 표 3에 보인다.

표 3. 전기적 시험 결과

항 목	규격치	결과
충격 내전압(상온)	1135kV 3회	이상없음
교류 장시간 내전압	400kV 연속 3 시간	이상없음

6.2 광학적, 기계적 시험

각 전기적 시험중에 절연체위에 삽입된 광유니트에 대하여 전송손실을 측정하였다. 교류 장시간 내전압 시험중은

물론 550kV 까지 전압을 올린 상태에서도 전송손실의 증가가 없었다. 충격내전압 시험시에는 임펄스가 가해지는 순간에 약 0.3dB 정도의 전송손실의 증가가 나타났으나 수초 내에 원래의 값으로 돌아가서 문제가 되지는 않을 것으로 생각된다.

20D의 반경으로 3회 왕복 굴곡 시험에서도 절연체 위의 광유니트에 대하여 시험 중은 물론 시험후 에도 전송손실의 증가가 없었다.

7. 복합 케이블의 접속합의 검토

지중 복합 케이블에 대한 접속합은 아직 많이 연구가 되고 있지 못하다. 특히, 도체내에 삽입된 광유니트에 대한 접속은 거의 알려진 방법이 없다.

가. 분할 도체 사이의 광유니트 접속

광유니트를 분할 도체의 중앙에 삽입한 구조의 케이블은 단조장의 구간 포설시에 즉, 접속이 필요치 않는 구간에 적용할수 있으며, 접속이 필요한 경우 도체접속시 도체 SLEEVE 내에서 접속을 해야만 하는데, 도체와 도체사이의 공간이 너무 좁아서 기존의 접속합 구조에서는 접속이 어려울 것으로 판단되어 새로운 구조의 접속합이 필요할 것 같다.

나. 절연체 위 광유니트의 접속

절연체 위의 cushion tape (ERP EMBOSSSED TAPE) 와 반도전 동선직접 tape 사이에 삽입한 광유니트의 접속은 광유니트의 접속관이 들어갈수 있는 공간을 동 보호관내에 마련하여 전력케이블의 외부반도전층까지의 접속을 끝낸후 광유니트를 접속하는 방안이며, 중간접속합에서 가능할것으로 생각된다. 그러나, 현 중간접속재의 동 보호관내에 광유니트의 접속관이 삽입될 경우의 복합케이블 접속에 대한 전기적, 기계적 문제점의 검토가 이루어져야 하며, 전력케이블의 접속합에 광유니트용 접속관이 삽입될수 있도록 접속관이 개발되어야 할 것이다. 또한, 중단접속합의 경우에도 광유니트를 접속합의 외부로 빼내어 접속합의 외부에서 접속을 할수 있는 방안도 생각할수 있다.

다. 알루미늄 시스 위의 광유니트의 접속

알루미늄 시스와 방식층 사이에 삽입한 광유니트의 접속은 전력케이블 내에 집합도체중앙의 광유니트나 외도위의 광유니트의 접속보다 케이블의 최외층에 속해 있으므로 더 유리한 접속조건을 가지고 있다고 생각할수 있다. 이 접속방안은 전력케이블의 접속합 외부에서 접속할수 있는 큰 잇점을 가지고 있다고 생각할수 있다. 그러나, 전력케이블의 접속합과 광유니트의 접속합의 구성에 대하여 전력-광복합 케이블의 특성과 주위환경조건을 고려한 검토가 필요하다.

8. 결 론

본 연구에서는 154kV 전력 케이블의 내부에 광유니트를 삽입한 특수한 구조의 케이블로써 전력과 광 신호를 동시에 전송함으로써 설치 공간의 감소, 전송 노이즈 감소, 포설 공사비 절감 등을 도모한 새로운 개념의 복합 케이블을 개발하여, 광학적, 전기적 특성시험을 하여 우수한 결과를 얻었다. 자체 제작한 광유니트는 전력 케이블과 광섬유를 일체화 시키는데 아주 유리한 구조이고, 복합 케이블이 받을 수 있는 외부 환경으로부터 광특성을 그대로 유지할 수 있다는 것을 시험을 통해서 확인할 수 있었다. 이러한 복합 케이블은 해저 및 지중 케이블 분야에서 선진국에서는 이미 상당수준 상용화 또는 개발중에 있으며, 광신호의 전송, 케이블 시스템의 온도 감시 등에 적극 활용하여 전력 계통의 부하 조절 및 사고 예방을 실현하고 있다. 국내에서도 본 연구를 시작으로 많은 연구가 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 개발된 복합 케이블은 광섬유를 광온도 센서로 응용한 광섬유온도측정시스템(FTR)으로의 응용도 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 寺澤弘文 外, "北陸電力(株) 向 66 kV 光複合 ケーブル", 古河電力時報 第84號, pp. 31-38, 平成元年 7月
- [2] S. Ogata, K. Fujii and I. Nishino, "Development of Optical Fibers Incorporated Single-Core Submarine Power Cable", Sumitomo Electric Technical Review, No.

37, pp. 48-59, January 1994

- [3] H. Sano, K. Hayashi and Y. Terasawa, "Development of Optical Fiber Units for Air Blown Fiber (ABF) Cabling Systems", International Wire & Cable Symposium Proceedings, pp. 69-75, 1989
- [4] H. Tayama, O. Fukuda, K. Yamamoto, Y. Inoue and Y. Koike, "6.6kV XLPE Submarine Cable with Optical Fiber Sensors to Detect Anchor Damage and Defacement of Wire Armor", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 4, pp. 1718-1723, 1995
- [5] M. Asakawa, Y. Yoshida and Y. Ozawa, "Temperature monitoring system using optical fiber sensors for underground power cables", International Wire & Cable Symposium Proceedings, pp. 155-162, 1993

본 연구 결과는 한국전력공사 지원자금으로 시행한 기술개발 사업의 결과입니다.
(협약번호 : 생기 96-3)