

144심용 초다심 SSLT OPGW 개발

백승엽, 김경민, 김성욱, 김도운, 이인호, 손광익\*, 이승찬\*  
 LG전선(주) 전력연구소, \*가공선팀

Development of Stainless Steel Loose Tube Optical Ground Wire with 144 Single Mode Fibers

S. Y. BAIK, K. M. KIM, S. W. KIM, D. W. KIM, I. H. LEE, K. I. SOHN\*, S. C. LEE\*  
 Electric Power Research & Technology Center, \*AI Wire & Cable Team, LG Cable Ltd.

**Abstract** - Recently, the increasing need for internet and the activation of hiring business of communication line makes the demand for OPGW cable which can construct the optical communication network in the basis of existing overhead power transmission line. Especially, the demand is focused on the high fiber count OPGW due to high capacity transmission. In step with the trend toward high fiber count cable, we have developed the Stainless Steel Loose Tube type OPGW within which have 144core firstly in KOREA. This paper describes the cable design and manufacturing process which gives the stable operation in very severe conditions and the long-term reliability test results conducted in according to dominant specification IEEE Std. 1138-1194

Macrobending이 일어나 광손실이 증가한다. 따라서, Fiber Strain-free Window를 구현할 수 있도록 설계하는 것이 통신 품질 고급화에 핵심 요소이다(2). 아래와 같이 제조공정에서부터 사용환경까지 Cable에 발생할 수 있는 각종 Strain을 항목별로 세분화하여 검토한 뒤, Optical Core를 설계하였다. 최악하중 인가시 0.6%의 Cable strain이 발생할 것으로 검토되어 목표 Tensile Window를 0.6%이상으로 설정하였다.

- ◇ 제조공정중 발생 Strain
  - Stainless Steel Tubing공정 신장
  - 연선공정 신장
- ◇ 가선중 발생Strain
  - 가선 장력 신장
  - 금차 통과 신장
  - 회전 신장
- ◇ 운용중 발생Strain
  - Creep 신장
  - 최악하중 신장(빙설, 풍압)
  - 온도변화신장(-50°C~90°C)

1. 서 론

OPGW(Optical Ground Wire)란 송전선로를 낙뢰 및 고장 전류로부터 보호하기 위하여 사용되는 가공지선(Ground Wire)에 광섬유를 내장하여 광통신 기능을 부가한 복합 Cable을 말한다. 이것은 기 설치된 철타를 이용하여 가공 송전 시스템을 보호하는 동시에 이를 거시 제어하기 위한 정보 전송을 경제적으로 구현할 수 있기 때문에, 70년대부터 각 국 전력청의 기간 통신망 구축에 사용되고 있다. 상용화 초기에 요구된 OPGW의 기능은 기설 Ground Wire 대체 시 철타 안전도 문제와 신규 철타 건설시 비용 절감을 고려하여 소형, 경량화와 30년 이상 품질을 보증할 수 있는 고신뢰성 등이었다. 그러나 최근에는 각 국 전력회사의 통신임대사업 활성화 및 Internet 열풍에 의하여 초고속 대용량 정보통신망 구축을 위한 72core이상의 다심화(High Fiber Count) 및 통신 품질 고급화가 요구되고 있다. 이에 따라 각 전선 Maker들은 대용량 장거리 통신망을 실현할 수 있는 다심 OPGW 개발에 집중하고 있으며, 그 구조는 표1에서처럼 다양한 형태로 설계되고 있다. 그러나 현재 SSLT Type이 다심화 측면과 가혹한 실사용 환경에서 광특성의 안정화에 가장 유리한 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 144core가 내장된 초다심 SSLT OPGW의 개발에 대하여 CAE를 통한 설계, 신뢰성 평가 항목 순으로 기술하였다.

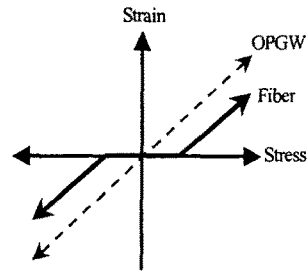


그림1. Stress에 따른 OPGW와 Fiber의 Strain

2. 본 론

2.1 Design of SSLT OPGW

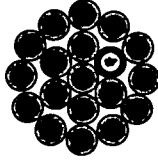
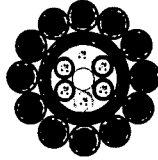
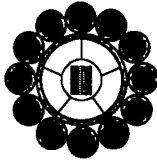
2.1.1 Tensile window design

가혹한 시공 환경과 극심한 기온차, 빙설, 그리고 풍압 등의 극한 환경에서 OPGW에 Strain이 발생할 경우, Stainless Steel Tube 내부에 내장된 광섬유에

2.1.2 High impact and crush resistance design

산간, 밀림지역과 같이 열악한 포설환경에서는 돌, 나무 그리고 공구 등의 낙하에 의해 Cable에 손상이 발생할 수 있고, 또한 Hardware(Clamp)의 고정에 의하여 상시 압축력이 가해질 수 있다(3). 외부 충격이나 압축력으로 부터 Cable을 보호하고, 통신 품질 고급화를 실현하기 위하여 Cable CAD를 이용하여 다양하게 응력 해석을 하였다. 그림 2에 나타난 것처럼 일정 수직 하중에서 변형을 해석한 결과, Optical Core가 중심에 위치하는 것보다는 Stranding 되는 형태가 Protector기능이 우수하며, 또한 2차층 소선의 coverage가 100%일 경우에 Bridge효과가 극대화되는 것으로 나타났다.

표1. OPGW구조

구분	Loose buffer Structure		Tight buffer Structure
OP unit	Stainless Steel tube	Plastic tube	Aluminum tube
구조도			
상대비교	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 과도인장시 Stress 흡수</li> <li>◇ Bending특성 우수</li> <li>◇ 외부충격, 하중에 우수</li> <li>◇ Small Cable Size</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 과도인장시 Stress 흡수</li> <li>◇ Bending특성 우수</li> <li>◇ 외부충격, 하중에 보통</li> <li>◇ Large Cable Size</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 과도인장시 fiber에 Stress 부과</li> <li>◇ Bending특성 보통</li> <li>◇ 외부충격, 하중에 우수</li> <li>◇ Small Cable Size</li> </ul>

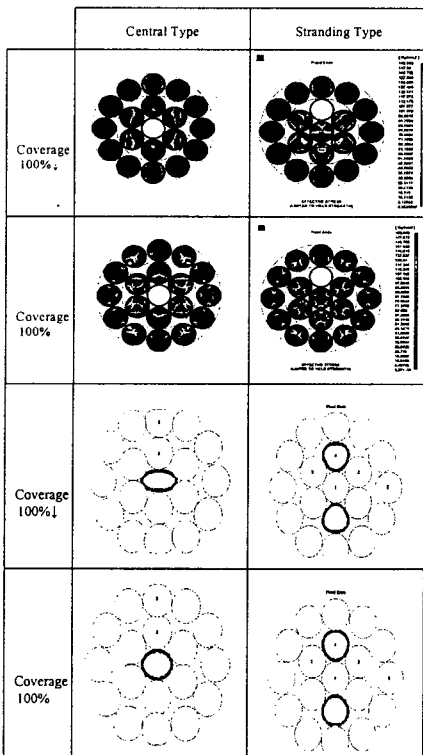


그림 2. Type과 Coverage에 따른 응력해석

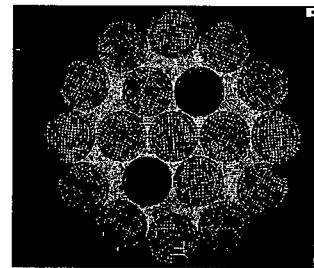


그림 3. 열해석 Model

구조를 선정하기 위해 그림 3과 같이 열해석 Model을 설정하여 대해 자사의 독자구조와 타사구조에 대한 열해석을 동시에 실시하였다. 해석결과 자사의 독자구조가 단락 시 OPGW의 허용 온도인 200℃보다 크게 낮은 153℃까지 상승하는 것으로 그림 4와 같이 분석되어 고열충격에 대해 안정된 구조로 설계되었음을 확인할 수 있었다.

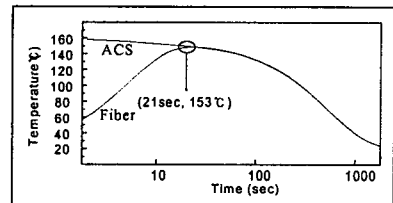


그림 4. 단락 시 OPGW의 열분포

### 2.1.3 Anti-corrosion design

염해, 공단 지역에서는 설치된 Cable에  $Cl^-$ ,  $S^{2-}$  등의 염들이 쉽게 부착되어 연선된 Stainless steel tube와 Al간의 Galvanic corrosion을 촉진하여 단기간에 Al의 도체 기능을 저하시킬 수 있다[4]. 본 설계에서는 현재 가장 폭 넓게 이용되는 내충 Grease 도유 방식을 채택하여 내식성을 향상시켰다.

### 2.1.4 Short circuit current design

가공 송전 시스템에서 단락사고 시 유입되는 고 에너지에 의해 Optical Core는 열충격을 받게 되어, 내장된 Fiber는 결국 광손실을 일으키므로 동일한 열에너지 유입시 Fiber에 열전달이 최소로 이루어질 수 있는 구조가 가장 바람직하다. 열전달이 최소로 이루어질 수 있는

## 2.2. 신뢰성 평가

### 2.2.1 Crush Test

Crush test는 Cable이 포설시 금차에 협착되거나, 포설후 Hardware(Clamps)의 고정에 의해 Lateral force를 받을 수 있는 환경을 모의한 평가이다. 본 평가는 IEEE Std. 1138-1994(EIA 455-41A-1985)에 따라서 실시되었으며, 100mm 평판에 Cable을 고정시킨 후, 하중을 인가하면서 Powermeter로 광손실 변화를 측정하였다. 일반적으로 Hardware에 의한 측압은 1000kg미만으로 알려져 있다. 그림 5의 본 시험 결과에서 볼 수 있듯이 초다심 SSLT OPGW는 Hardware에 의한 측압보다 2.2배 더 가혹한 하중인 2200kg에서 광손실 변화가 발생하여, 응력해석 결과에서 나타난

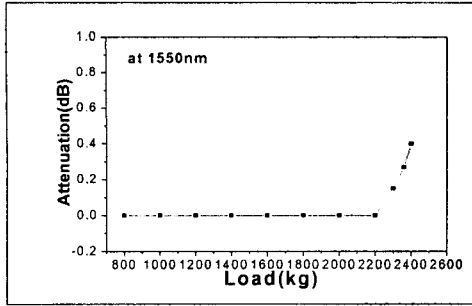


그림 5. Test result of Crush Test

### 3.2.2 Impact Test

Impact test는 산간, 밀림지역과 같이 열악한 포설 환경에서 돌, 나무, 그리고 공구 등의 낙하에 의해 Cable에 손상이 발생하는 것을 모의한 평가이다. 본 평가는 IEEE Std. 1138-1994(EIA 455-25B-1996)에 준하여 실시되었으며, 4.0kg의 추를 150mm 높이에서 동일 지점에 연속 20회 자유 낙하시키면서 Powermeter로 광손실 변화를 측정하였다. 돌, 나무, 그리고 공구등의 낙하에 의한 충격은 동일 지점에 2회 이상은 현실적으로 불가능함을 고려해 볼 때 본 시험은 가혹한 평가법이다. 그러나 그림 6의 본 시험 결과에서 보듯이 초다심 SSLT OPGW는 40회 까지 광손실 변화가 전혀 발생하지 않는 우수한 Impact resistance를 보유하고 있음을 확인할 수 있었다.

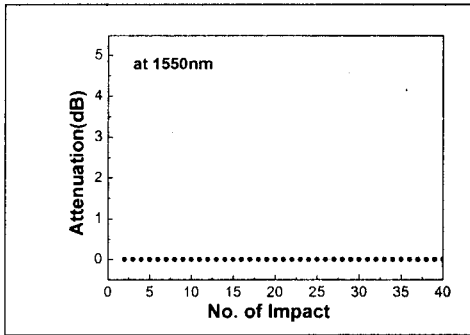


그림 6. Test result of Impact Test

### 2.2.3 Sheave Test

Sheave test는 가선 공사시 Cable의 반복 금차통과에 의한 Cable눌림, Pulling force에 의한 Cable 신장, 회전 등의 열악한 환경을 모의한 평가이다. 본 평가는 IEEE Std. 1138-1994에 준하여 실시되었으며, Cable은 금차에 대한 굽힘각이 30°로 유지되면서 RTS 25%의 장력으로 당겨진 상태에서, 직경이 600mm인 금차를 왕복 35회 통과하여야 한다. 이 때 Cable 변형과 광손실 변화는 각각 0.5mm와 0.1dB/km(at 1550nm)이하를 만족하여야 한다. 그림 7의 시험결과에서 나타나듯이 왕복 35회 금차 통과 후 Cable 변형과 광손실 변화가 없으므로 가선 공사시 눌림, 신장, 회전 등에 의한 Cable 손상은 없을 것으로 보인다.

### 2.2.4 Stress-Strain(S-S) Test

Stress-strain test는 운용 중 극심한 기온차, 빙설, 리고 풍압 등의 극한 환경으로 인하여 Cable의 길이 방향으로 인장력이 가해져 fiber가 연신되는 것을 모의한

평가이다. 본 평가는 IEEE Std. 1138-1994에 준하여 실시되었으며, Cable의 RTS 30%, 50%, 70%에서 Cable strain, Fiber strain, 그리고 광손실을 측정하였다. 그림 8과 9의 본 시험 결과에서 보듯이 RTS 70%까지 초다심 SSLT OPGW내 fiber의 신장과 광손실 변화는 관찰되지 않았다. 그러므로 운용중 fiber macrobending이 발생하지 않는 Cable 장기 품질신뢰성을 확인할 수 있었다.

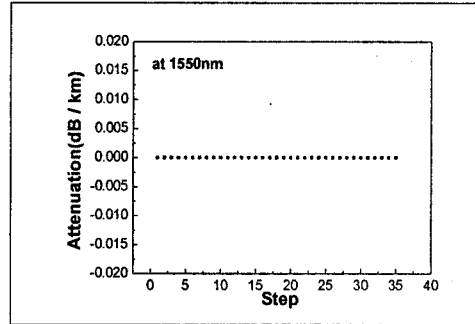


그림 7. The result of Sheave Test

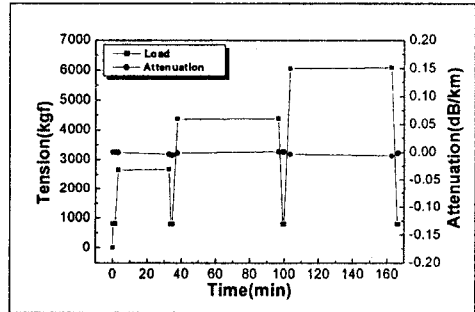


그림 8. Test result(1) of S-S Test

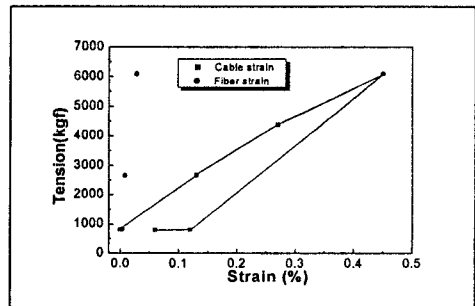


그림 9. Test result(2) of S-S Test

### 2.3.5 Strain-Margin(S-M) Test

Strain-margin test는 가선시 및 운용 중 발생하는 인장력 이외에 Creep 등과 같은 비정상적인 Cable 거동을 고려하여 Tensile window를 설정하였는지를 측정하는 평가이다. 본 평가는 IEEE Std. 1138-1994에 준하여 실시되었으며, 연속적으로 RTS 95%까지 인장력을 증가시키면서 Cable strain, Fiber strain, 그리고 광손실을 측정하였다. 그림 10의 시험결과에서 나타나듯이 설계에서 고려된 Tensile window 0.6%가 완제품에 반영되었음을 확인할 수 있었다.

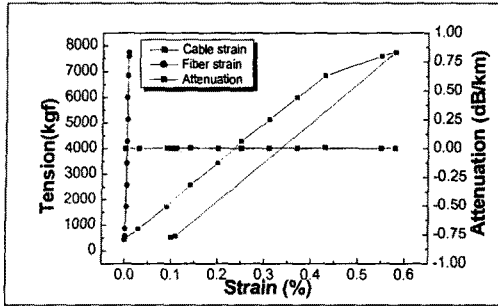


그림 10. Test result of S-M Test

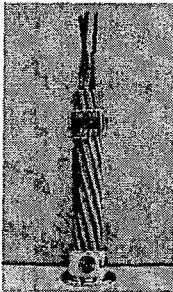


그림 11. 144심 SSLT OPGW 제품

### 3. 결 론

최근 요구되고 있는 OPGW의 다심화 추세에 맞추어, 144core가 내장된 SSLT OPGW를 국내 최초로 개발하였으며, 이상과 같이 가선 및 운용 중 발생할 수 있는 환경을 모의한 신뢰성 평가가 성공적으로 수행되어졌다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Amir Fargahi, Christoph Zender, Angelo Banfi, Daniel Schoepke and Chambas Thedossi, "Design and Test of a new metallic fibre-optic cable for aerial cable Ways", Proceedings of the 42th IWCS, 1993
- [2] Hani M Nassar, R. David Adamson, "Design and Qualification of fiber optic ground wires". Proceedings of the 35th IWCS, 1986
- [3] Richard D. Beggs, Lisa A. Diton, Paul E. Neveu x, Jr. and Michael D. Kinard, "Impact resistance requirements for Traditional and multi-environment fiber optic cables" Proceedings of the 49th IWCS, 2000
- [4] Kazuhiko Shimoda, Tatsuya Isomoto, Kotaro Hiramatsu, Taro Kimura, "Stainless Steel Tube Type Extra High fiber count OPGW", Fujikura Technical Review, 2001
- [5] T. Yokokawa, K. Yonezawa, Y. Suetsugu, K. Nagatomi, and S. Tanaka, "Development of small size and High performance central Stainless Tube optical Ground wire using colored thread binders for identification of fiber bundles", Proceedings of the 45th IWCS, 1996