345kV 광복합 XLPE 케이블 시스템 뉴욕 프로젝트

김지환, 서성원, 허회덕, 고의곤, 김광수, 권영국
LS 전선

345kV Fiber Optic Embedded XLPE Cable System Project in New York

J,H. Kim, S,W. Suh, H.D. Heo, E.G. Ko, K.S. Kim, Y.G. Kwon
LS Cable

Abstract - 90년대 후반 부터의 초고압 XLPE 케이블 시스템의 연구개발 및 납품 성과에 힘입어 국내 업계 최초로 2006년 미국시에 345kV 광복합 XLPE 케이블 시스템을 수주하였다. 본 논문은 미국 뉴욕주 최대 전력시스템 운용 회사인 KeySpan사가 발주하여 LS전선이 Turn-Key 방식으로 수주, 뉴욕주 롱아일랜드에 성공적으로 준공하여 운전 중인 345kV XLPE 광복합 케이블 시스템 project에 대하여 기술하고 있다.

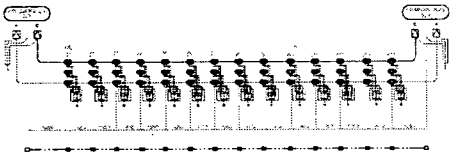
1. 서 론

전 세계 초고압 케이블 시스템 시장은 오일머니에 의한 중동의 사회간접인프라(SOC)망 확충 및 노후화된 기존 전력케이블 시스템을 초고압 케이블 시스템으로의 교체 수요 등으로 인하여 현재 호황세를 이어가고 있으며 향후 5년간 지속 될 가능성이 높다. 한편 대용량 송전 요구에 의해 345kV급 이상의 초고압 케이블 시스템은 지속적으로 성장하고 있으며, XLPE 케이블 송전 시스템은 OF 케이블 송전시스템 보다 환경 친화적이고 유지보수비용이 저렴하다는 장점 때문에 선호되고 있으며 지속적으로 우수한 절연성능 및 장기적인 내열 특성을 가지도록 성능이 개선되어 오고 있다. 또한 최근에는 효율적인 송전 시스템의 운용을 위해 실시간으로 모니터링 및 제어가 가능한 광복합 케이블 시스템의 요구가 증가 하고 있다. 현재 국내에서도 154kV 광복합 XLPE 케이블 시스템에 대하여 한전인정시험을 완료하였으며 345kV급에 대한 인정 시험을 준비하고 있다. 이러한 초고압 케이블 시스템의 기술 트렌드에 맞추어 LS전선은 지난 1997년부터 345~400kV급 초고압 XLPE 전력케이블 시스템의 연구 개발을 통하여 2002년 국내 전선업계 최초로 400kV XLPE 케이블 시스템의 KEMA 인증 획득 및 2003년 대만 345kV, 2004년 사우디 아라비아 380kV XLPE 케이블 시스템 납품 등 세계 초고압 케이블 시장에서 두각을 나타내고 있으며 이를 바탕으로 2006년 뉴욕주 롱아일랜드에 345kV 2000mm^2 광복합 케이블 시스템을 설치하는 PJT를 성공적으로 수행하였다.

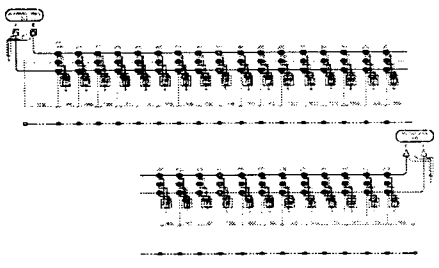
2. 본 론

2.1 PJT 개요

- Project title : Newbridge Road Connector Project
- Client : LIPA/KeySpan
- Route length : 12.3mile(19.75km)
- Number of circuit : 1 circuit
- Cable : 345kV Fiber Optic Embedded XLPE Cable 1x2000mm^2
- Accessories : Joint(135sets), GIS Termination(12sets)
  Outdoor Termination(6sets),
- Installation condition : Conduit
- Period : Jan. 2006~Dec. 2006
- Transmission Ampacity : 700MVA



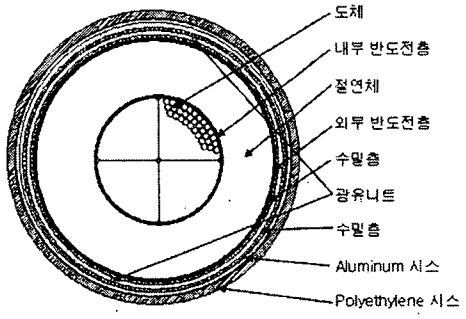
<그림 1> East Garden City S/S-New Bridge Road S/S(3.8mile)



<그림 2> New Bridge Road S/S-Ruland Road S/S(8.5mile)

2.2. Cable

케이블의 도체 사이즈는 용량을 만족시킬 수 있도록 2000mm^{2}로 설계하였고, 기존 국내 납품한 실적과 경험을 바탕으로 절연두께는 공칭두께 27mm로, aluminum 금속시스로 설계하였다.



<그림 1> 345kV Cable Construction

특히, 절연체와 금속시스 사이에 DTS(Distributed Temperature Sensor)용 광 unit를 내장한 케이블로 설계하여 관로 구간의 전력케이블도 DTS 시스템이 사용될 수 있도록 하였다. 광 unit는 stainless tube 구조 내에 장거리 선로용에 맞도록 single-mode 광 fiber를 삽입한 구조이다. 특히, 광 fiber를 내장한 케이블임에도 불구하고, 케이블 길이 방향으로 수밀 구조를 가질 수 있도록 하였다.

<표 1> 케이블 구조

구 분	특 성	단위	두 께
도체	Cu, 분할 도체	mm	54.3(외경)
내부 반도전층	반도전성 컴파운드	mm	2.0
절연층	XLPE	mm	27
외부 반도전층	반도전성 컴파운드	mm	1.5
수밀층	반도전선 부풀음 테이프	mm	1.5
광 unit	Single-mode 광 fiber	mm	2.0
수밀층	반도전선 부풀음 테이프	mm	0.7
Alumiunm 시스	파부형 Aluminum	mm	3.0
시스층	HDPE & 압출 반도전층	mm	5.0
케이블 외경	-	mm	157
무게	-	kg/m	34.7

2.3. Accessories

2.3.1 중간 접속함

중간 접속함은 케이블과 케이블의 중간 접속에 사용되는 접속함으로, 본 project에는 프리몰드 접속함(Premolded Joint : PMJ)을 적용하였으며 광복합 케이블에 내장된 광 섬유를 중간 접속할 수 있도록 광접속함체를 내장한 구조로 설계하였다.

초고압 XLPE 케이블용 PMJ는 기존의 접속함에 비하여 부품수가 적기 때문에 조립이 단순하여 시공 시간을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 주 절연부품인 고무 슬리브에 대하여 공장 내에서 실 조립 상태와 동일한 조건하에서 전수 검사가 가능하기 때문에 엄격한 품질 관리로 초고압 케이블 시스템에서의 신뢰성을 향상 시킬 수 있다.

PMJ의 전기적 특성 설계는 고무 슬리브의 절연두께 선정 및 전계 집중을 완화시켜주는 고압전극과 차폐 전극의 형상 설계가 중요하며, 케이블 절연체와의 계면에서의 절연 성능을 충분히 확보하기 위하여 계면 길이를 적절하게 선정하는 것 또한 중요한 항목이다. 이러한 주요 관리부에서 상용주파 전압 및 임펄스 전압에서 절연파괴가 발생하지 않도록 전계해석을 통하여 제품의 최적 형상을 설계하게 된다. 기계적 특성의 설계에 있어서는 고무 슬리브 내면과 케이블 절연체 사이의 계면 압력이 일정 수준으로 유지 되도록 설계하는 것이 중요하다. 계면압력이 상승하면 절연 내력이 우수하게 되지만 조립시 고무슬리브에 인가되는 응력의 증가로 인한 손상 및 조립의

어려움을 야기 할 수 있기 때문에 과도한 계면 압력 설정은 바람직하지 않다. 따라서 초기 조립시의 응력 및 장기간 사용시에도 충분한 절연 성능을 가지도록 초기 계면압을 설정해야 한다.

<그림 3> PMJ Electrical Field Distribution

계면 압력은 고무슬리브가 수축시에 케이블 절연체 외경과 고무슬리브 내경의 경차로부터 발생하며 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P = \frac{\varepsilon_0 \cdot \delta}{r_1\left((r_1^2+r_2^2)/(r_2^2-r_1^2)+\upsilon\right)}$$

여기서, P : 계면 압력, δ : 케이블 절연외경 - 고무 슬리브 내경,
ε_0 : Young's modulus, υ : Poission's ration (~ 0.49),
r_0 : 고무 슬리브 내경, r_1 : 케이블 절연체 외경,
r_2 : 고무 슬리브 외경이다.

2.3.2 가스중 종단 접속함

GIS(Gas insulated Switchgear)와 지중송전 케이블을 연결하는 가스중 종단 접속함(GIS Termination)은 GIS와의 Interface를 고려하여 접속함의 구조 치수가 IEC60859의 규격을 만족하는 Prefabricated type으로 적용하였으며 DTS시스템과 연결 될 수 있도록 광 섬유를 인출하여 외부에 광접속함체를 취부하는 구조로 설계하였다.
본 접속함은 내부에 절연유를 사용하지 않는 Dry type으로서 절연유를 사용하는 Fluid filled type에 비하여 설치 및 유지 보수가 용이한 장점이 있다.

2.3.3 기중 종단 접속함

가공 송전선과 시스템과 지중송전 케이블을 연결하는 기중 종단 접속함(Outdoor Termination)은 가볍고 기계적 특성이 우수한 고분자 애관을 사용 하였으며, 주 절연 설계는 기존의 345kV급 초고압 기중 종단 접속함에서 사용되는 Condenser Cone 방식이 아닌 Premolded Slip-on type을 적용하였다. Slip-on type의 장점은 PMJ와 마찬가지로 주 절연부품이 고무 슬리브 하나로 되어 있어 시공이 용이 하고 품질 신뢰성이 높으며, 고점도의 절연유를 적용하여 별도의 Pressure Tank가 필요 없는 장점이 있다.

2.3.4 링크 박스

링크박스는 지중 송전 케이블 시스템의 접지 계통을 구성하는 제품으로 고객의 요구 사항에 의해 링크박스의 외함을 개방 하지 않고도 외부에서 링크박스 내부를 감시할 수 있는 View port를 장착하였으며 설치 manhole의 침수를 고려하여 IP68 Class의 방수 성능을 가지도록 설계하였다.

2.4. 성능 시험

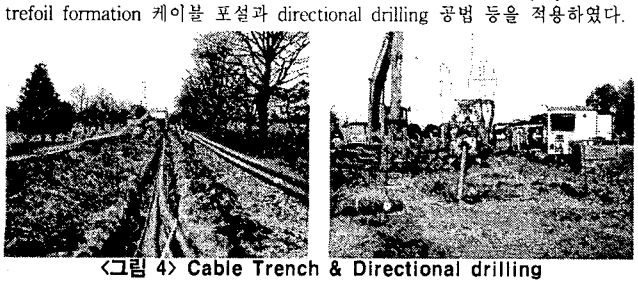
본 Project양산전 케이블 및 접속함 시제품 생산을 통하여 성능 확인 시험을 실시하였다. 시험은 IEC 62067의 400kV Type test 규격에 준하는 시험을 실시하였으며 그 결과를 표 2에 요약하여 나타내었다.

<표 2> 성능 시험 결과

시험 항목	시험 규격	시험 결과
Heating Cycle	20cycle/440kV	합격
Partial Discharge	330kV/5pC 이하	합격
Switching Impulse	±1050/10회	합격
Lightning Impulse	±1425kV/10회	합격
AC Voltage	440kV/15분	합격

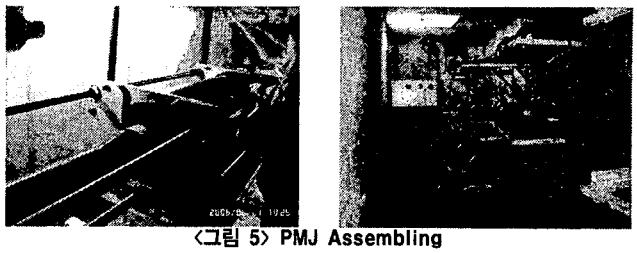
2.5. 포설

초고압 케이블 시스템 project의 비용에 있어 가장 많은 부분을 차지하는 분야는 토목 공사 이다. 따라서 이러한 토목공사 비용 절감을 위하여 최근에 다양한 방법들과 새로운 기술들이 도입되고 있다. 본 project에서는 trefoil formation 케이블 포설과 directional drilling 공법 등을 적용하였다.



<그림 4> Cable Trench & Directional drilling

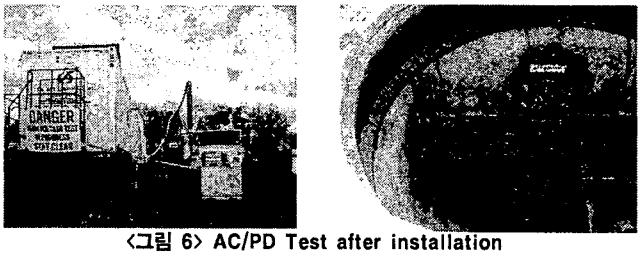
또한 맨홀 내에 중간 접속함의 정밀한 조립이 가능하도록 PMJ 조립 상비를 Compact하게 설계 적용하였다.



<그림 5> PMJ Assembling

2.6. 준공 시험

준공 후 IEC62067에 따라 AC 250kV(1.25 Uo) 1시간 내전압 시험을 실시하였으며 동시에 Link box bonding cable에 CT(Current Transformer)를 설치하여 부분방전(Partial Discharge)측정을 실시하였으며 성공적으로 완료하였다.



<그림 6> AC/PD Test after installation

3. 결 론

지난 10여년간의 345~400kV XLPE 케이블 시스템의 개발 및 납품 실적을 바탕으로 2006년 뉴욕주 롱아일랜드 345kV 2000mm^2 광복합 케이블 시스템을 project를 수주하였으며 2006년 12월 성공적으로 준공하였다. 이러한 성과에 힘입어 2006년 12월 미국 북동부 Connecticut Light and Power사로부터 5000만 달러 규모의 345kV XLPE 광복합 케이블을 Turn-Key 방식으로 수주하였으며 2008년까지 공사를 완료할 계획 이다. 초고압 케이블 시스템에 있어 345kV급 이상의 하이엔드 시장은 현재 몇몇 Global Leader 들이 진입 장벽을 구축하고 있어 후발 업체들의 참여가 힘든 실정이다. 이러한 상황에서 LS전선은 독자적인 기술 개발 능력을 바탕으로 잇따른 초고압 케이블 시스템 project 수주 그리고 성공적인 수행을 통하여 Global Leader와 어깨를 나란히 하게 되었으며 국내 초고압 XLPE 케이블 시스템의 기술 수준을 선진국과 대등한 수준으로 도달하게 하는 기반을 마련하였다.

[참 고 문 헌]

[1] IEC 62067, "Power cableswith extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150kV (Um=170kV) up to 500kV(Um=550kV) -Test methods and requirements", 2001
[2] M.K .Choi et. al., "Development of 400kV XLPE cable and accessories in Korea", CIGRE, 1998
[3] W.K. Park et. al, "Prequalification test of 400kV XLPE cable system", JICABLE, A24, 56~60p, 2003