

## 275kV O.F 케이블 및 부속재 인증시험 완료

권병일 남정세 오응중 김희종 최봉남 이승렬  
대한전선 주식회사

### DEVELOPMENT OF 275kV OIL FILLED CABLE & ITS ACCESSORIES

B.I. KWON J.S. NAM E.J. OH H.J. KIM B.N. CHOI S.R. LEE  
TAIHAN ELECTRIC WIRE CO., LTD

#### Abstract -

The underground transmission system has been internationally developing the voltage class of which increase to realizing high reliability and efficiency. Under this situation, if a company don't do much labor to elevating one's technology, the company will be hard to compete against other companies in trade. Our company has successfully developed 275kV oil-filled cable and its accessory in 1999 for Malaysia project, which was based on accumulated technological know-how, which is the highest voltage level among awarded oversea underground transmission networks in Korea. The power cable and its accessories were subjected to type approval test in accordance with IEC 60141-1 and TNB tender documents. This paper describes the main features of the type approval tests of the cable and its accessories.

#### 1. 서 론

신뢰성과 효율을 높이기 위한 지중 송전체통의 초고압화는 전세계적으로 해마다 그 발전을 더해가고 있다. 이러한 상황에서 기술향상을 위한 꾸준한 연구개발없이 해외시장에서 살아남기란 점점 더 어려워지는 것이 냉혹한 현실이다. 실제로 각국마다 입찰에 참가하는 업체의 증명된 기술력(예, 동등 전압이상의 공사실적 등)을 요구하고 있어, 선진 기술력을 보유하지 않고는 자연도태 될 수밖에 없다. 당사는 그 동안 축적된 기술력을 바탕으로 국내에서 수주한 해외 지중 송전 프로젝트중 가장 높은 전압인 275kV O.F(Oil Filled) 케이블 송전시스템을 말레이시아에서 수주하는데 성공하였다. 더욱이 시스템을 구성하는 케이블은 물론 부속재까지도 순수 당사의 기술로써 설계, 제작, 시공에 이르기까지 완전한 송전시스템을 구축함에 따라 해외 고객으로부터 당사의 기술력을 인정 받는 계기가 되었다.

따라서, 본고에서는 성공적으로 완료된 말레이시아 프로젝트를 위한 275kV 케이블 및 부속재의 구조와 특성에 대해 인증시험 결과를 중심으로 소개하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 설계기준 및 요구특성

케이블 및 부속재의 기본설계는 말레이시아 전력청(Tenaga National Berhad)사양인 TNB347596 spec.을 표준으로 하였으며, IEC 60141-1(1993) amendment 1 (1995), amendment 2 (1998)를 인증시험의 기준으로 하여 1999년 12월 7일부터 12월 23일까지 약 22일 동안 국제공인기관인 KEMA로부터 인증시험을 완료하였다.

Test Program은 IEC 60141-1에 언급된 모든 Type Test 항목과 말레이시아 전력청(TNB) 사양에 언급된 항목을 추가하여 Test Program을 작성하였다. 본 프로젝트에서 요구하는 케이블과 부속재의 전기적특성은 다음 표1과 같다.

Item	Particulars
System voltage	275kV r.m.s
Highest system voltage	300kV r.m.s
Lightening impulse withstand voltage level	1,050kV
Transmission capacity	500MVA: 1,050A
Short circuit current rating	40kA for 1sec

Table1. Required electrical ratings

##### 2.2 케이블 설계(Cable Design)



- A six-segment copper conductor
- Kraft paper insulation
- Corrugated seamless aluminum sheath
- MDPE outer-covering
- Completed cable
- overall dia : approx. 135mm
- weight per meter : approx. 33kg

Fig.1 Appearance of 275kV oil-filled cable

위의 그림1은 275kV 1Cx2,000mm<sup>2</sup> Oil-filled 케이블을 보여주고 있다. 케이블 설계시 절연두께는 뇌충격 파괴 전압 기준으로 결정되는 데, 그 값은 BIL(Basic Impulse Insulation level)의 112%가 채용되었다.

##### 2.2.1 도체(Conductor)

도체는 선로의 송전용량 500(MVA)를 만족시키기 위해 2,000mm<sup>2</sup>의 도체단면적을 갖는 6분할압축도체로 설계하였으며, 도체의경은 Nom. 57.9mm로 하였다.

##### 2.2.2 절연체(Insulation)

절연체의 제조공정인 지권은, 전기적특성 및 기계적특성에 가장 중요한 영향을 미치는 공정으로서, 규정된 온도 및 습도의 철저한 관리 및 지권층의 구성시 각 층간의 일정한 장력을 유지시켜 제품의 성능을 극대화하였다.

초고압 케이블용 절연지는 우수한 전기적 특성을 가지는 동시에 제조/설치시 및 운전중에 받는 여러 종류의 응력에 충분히 견딜 수 있는 기계적 강도가 요구되는데,

유전체 손실을 경감시킬 수 있는, 저손실 절연지로서 성능이 우수한 Kraft paper를 절연지로 채택하였으며, 절연두께는 Ave. 19.5mm로 설계하였다.

### 2.2.3 함침 (Impregnation)

현재 사용되고 있는 절연유는 어느 것이나 충분히 우수한 특성을 갖고 있지만 특히, 장기 안정성면에서 우수하다고 판단되는 알킬벤젠(Hard-Alkylbenzene)계 합성유를 절연유로 택하였다. 또한, 절연유내에 포함되어있는 Air나 이물등의 제거를 위해 함침공정에서 진공 및 가열 등의 방법으로 절연유의 특성을 향상시켰다.

### 2.2.4 금속시스(Metallic Sheath)

금속시스는 절연체를 보호하고 내부의 절연유에 의한 압력을 견디며, 대기중의 습기가 절연체에 도달하지 않도록 하는 기능 및 전기적 차폐기능, 고장전류의 귀로기능을 갖추도록 설계되어야 한다. 본 프로젝트는 기계적 특성도 우수하고 경량인 알루미늄 시스를 금속시스로 택하였으며, 케이블의 열신축, 허용 곡률반경 그리고 축압 등에 의한 금속시스의 왜(歪)를 경감시키기 위한 목적으로 시스를 파부형(corrugated seamless type)으로 설계하였다. 또한, 제조시에는 철저한 품질관리와 진공 압출공정을 적용하여 시스 내부에 Air나 이물등의 유해성분이 없도록 하였다. 계통의 고장전류인 40kA 1sec를 만족하도록 금속시스의 두께는 Nom. 2.7mm로 하였다.

### 2.2.5 방식층(Outer Protective Covering)

금속시스의 외상과 부식을 방지하기 위한 목적으로 사용되는 방식층은 재질을 MDPE (Medium-density polyethylene)을 선택하였으며, Anti-termite의 목적으로 Metal Naphthanate를 증량비로 방식층에 첨가하여 Nom.8.0mm로 설계하였다.

## 2.3 부속제 설계(Accessories Design)

Malaysia의 수도 K/L(Kuala Lumpur)의 대동맥이 될 275kV 지중송전 시스템은 고 신뢰성이 요구되어진다. 특히, 부속제의 성능은 선로의 품질을 좌우하는 핵심요소이다. 따라서, 당사는 선로의 중요성을 감안하여, 그동안 당사가 쌓아온 기술과 경험을 바탕으로, 설치 후 유지보수의 편리성과 고 신뢰성의 구현이라는 측면에서 설계하였다.

### 2.3.1 기중종단접속함 (Outdoor Termination)

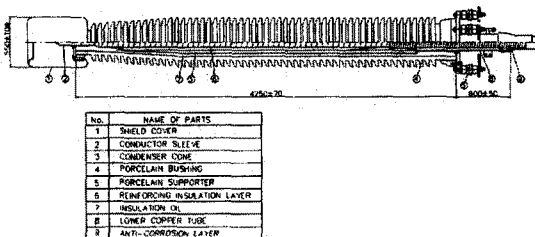


Fig.2 Outdoor Termination for 275kV oil-filled cable

그림2는 기중 종단 접속함의 형상과 개략적인 치수를 보여준다. 여기서, 에판은 IEC 71-2의 Very heavy pollution level인 60mm/kV이상이므로 택하였으며 내부절연은 에판 연면의 전계를 균등화하여 절연내력을 높이기 위해 V형의 콘센서 콘방식으로 설계하였다.

### 2.3.2 보통접속함 (Straight Through Joint)

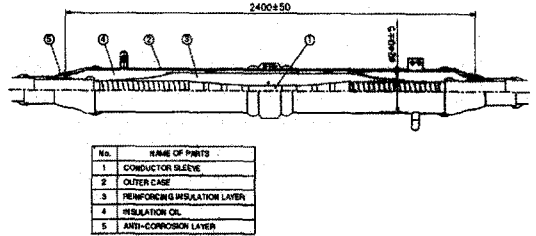


Fig.3 Straight Through Joint for 275kV oil-filled cable

그림3은 보통접속함의 형상 및 치수를 보여주고 있다. 케이블의 전기적인 연결을 위해 사용되는 보통접속함의 도체접속은 전체외경을 최소화 할 수 있는 Compression type의 슬리브를 택하였고, 내부보강절연은 케이블절연과 동일재질의 절연 유침지를 사용하여 전체크기를 고려한 최적설계를 하였다.

### 2.3.3 절연접속함 (Insulated Joint)

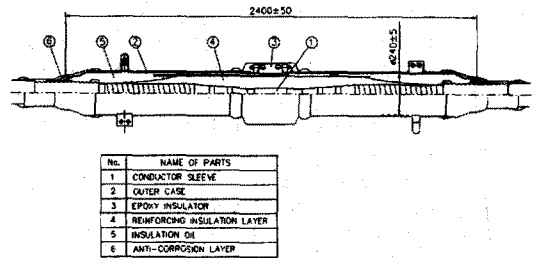


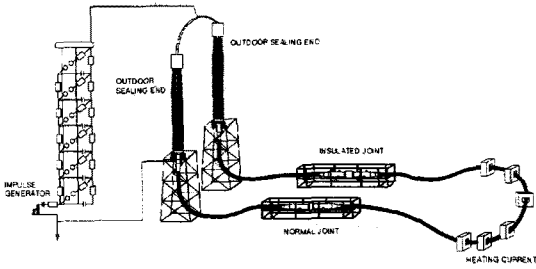
Fig.4 Insulated Joint for 275kV oil-filled cable

절연접속함의 형상 및 치수는 그림4에서 보는 바와 같다. 내부절연구성은 보통접속함과 동일하며 IMP.60kV이상 견디는 차폐구조를 가지도록 설계하였다. 또한, 외부 금속시스에 유기되는 전압을 제어하기 위해 IMP. 60kV를 견디며 외부 연면 전계강도가 1.0kV/mm이하가 되도록 설계된 에폭시 절연통을 접속함 외부케이스 중앙에 위치하도록 하였다.

## 2.4 인증시험 (Type Approval Test)

대용량의 전력을 공급하기 위해서는 케이블 시스템에 높은 안정성과 신뢰성이 요구된다. 당사는 앞에서 언급한 275kV O.F 케이블, 기중 종단 접속함, 보통 접속함 및 절연 접속함의 안정성과 신뢰성을 증명하기 위해 그림 5와 같은 인증시험을 위한 선로를 구성하였다.

보다 큰 부가가치를 창출하기 위해, 더욱 더 많은 기술 개발에 노력할 것이다.



[참 고 문 헌]

- [1] IEC Publication 60141-1, "Tests on oil-filled and gas-pressure cables and their accessories" 1993, 1995, 1998
- [2] Malaysia TNB specification, TNB 347596, 1996
- [3] 남정세 외5, "230kV XLPE 케이블 및 부속재 인증시험", 대한전기학회 하계학술대회 논문, E권, 2268page, 1999.0

Fig.5 Circuit Arrangement for 275kV Type Approval Tests

주요 인증시험 항목 및 기준은 표 2에 정리되어 있다. 시험기준 및 절차는 IEC 60141-1 standards와 Tender TNB 347596 documents에 따라 진행하였으며 인증기관은 Kema로 하였다.

표 2에서 보여지는 것과 같이 모든 시험이 성공적으로 마무리되었으며, 상세 측정data 및 결과는 표에서 보는

Table 2. Main Criteria and Results of Type Approval Tests

Item	Unit	Results	Test Criteria
Bending test	mm	4,400	$\leq 4813+5\% (25 \times (d+D)+5\%)$
Dielectric security test	-	No breakdown occurred	375kV(1.73U <sub>0</sub> +100kV), 24hr, at ambient temperature
Lightening impulse test	-	No breakdown occurred	1050kV $\pm 10$ , at least 85°C
AC voltage test	-	No breakdown occurred	275kV(1.67U <sub>0</sub> +10kV), 15min, at ambient temperature
Dielectric loss angle/temperature test			
at ambient temperature	3°C	0.0022	$\leq 0.0030$
in hot condition	90°C	0.0017	$\leq 0.0030$
at cooling down	60°C	0.0019	$\leq 0.0030$
at cooling down	40°C	0.0018	$\leq 0.0030$
after cooling down at ambient temperature	3°C	0.0022	$\leq 0.0030$

것과 같다.

3. 결 론

최근의 세계적 동향을 살펴보면 O.F케이블은 환경적인 면 등과 같은 몇 가지 이유로 하여 XLPE 케이블로 대체되어지고 있으나, 아직까지도 200kV 전압 이상의 중요선로 등에서는, 그 동안 O.F 케이블의 인정된 안정성 및 신뢰성으로 인하여, 꾸준히 OF 지중 송전시스템이 채택되고 있다.(작년 싱가포르에서는 230kV XLPE 케이블의 잦은 사고로 케이블 사양을 O.F케이블 시스템으로 바꾸기도 하였다.) 이러한 상황에서 당사의 해외 275kV O.F 케이블 시스템의 수주와 성공적인 인증시험의 완료는, 그 동안 쌓아온 기술력을 대외적으로 인정받은 결과이다. 그러나 당사는 여기에 만족하지 않고, 국내적으로는 국내시장개방에 대비한 대외 기술경쟁력의 우위 확보와 더불어 세계적으로는 시장을 주도하는 선진업체로서