

하계학술대회
논문86-8-4

쿠알라룸푸르 시내 초고압
O.F 케이블 선로의 완성

대한전선주식회사
영업기술부 부장
영업기술부 1과장

김 정 훈
최 창 수*

I. 서 론

당사는 말레이시아 수도인 쿠알라룸푸르 시내 중심부를 관통하는 주 간선인 초고압지중선로로서 국영 말레이시아 전력청에서 쿠알라룸푸르 시내의 전력을 안정적으로 공급하기 위하여 발주한 132KV 및 33KV 초고압 케이블 project 를 영국, 스웨덴, 일본 등의 선진 각국과 치열한 경합을 하여 당사에서 1977년 국내 최초로 초고압 O.F(OIL FILLED) Cable 을 개발한 이래 그동안 한국전력공사를 비롯하여 국내 대단위 공장에 납품, 설치한 기술속적과 경험을 바탕으로 1984년 1월에 초고압 Cable로서는 국내최초로 설계, 생산, 검사, 시공을 포함한 Turn-key base 로 수주하여 1985년 12월에 성공적으로 설치공사를 완료 하였습니다.

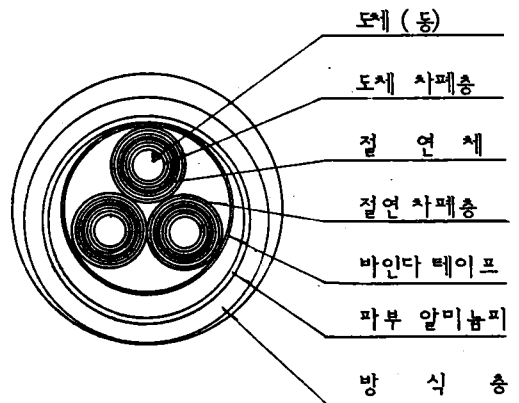
특히 본 project 는 최근 개발된 동종의 XLPE Cable 과 경합을 하였으나 초고압 Cable 의 생명인 안전성과 신뢰성이 월등히 앞서는 O.F Cable 로 채택하게 되었습니다.

여기서는 당사가 수주한 O.F Cable 및 부속재의 설계, 시공에 대해서 간단히 기술 하겠읍니다.

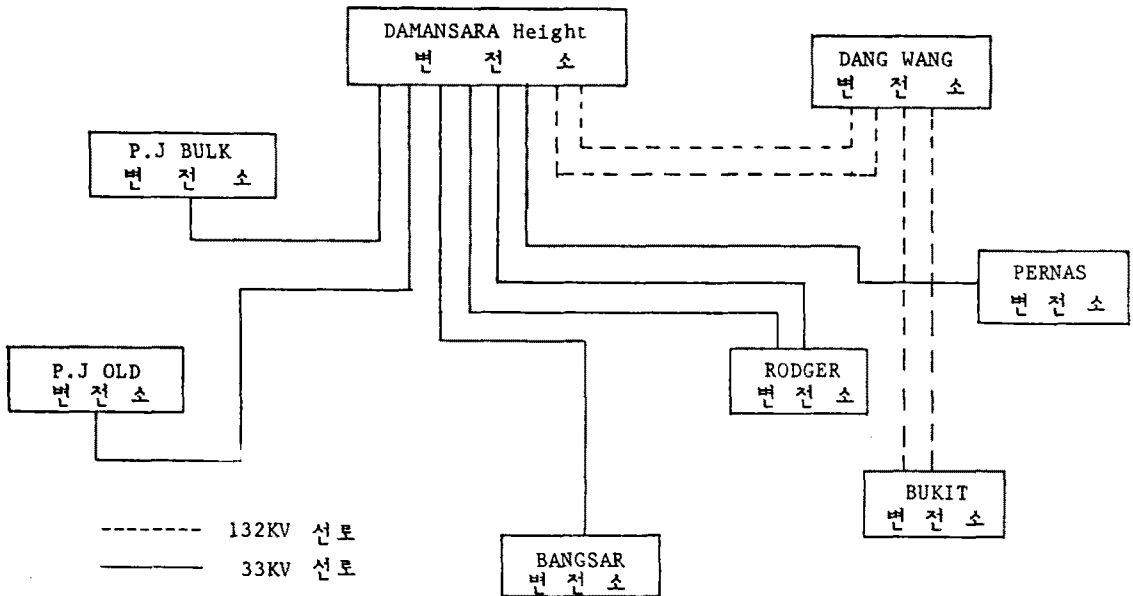
II. 본 론

1. 선로의 개요

본 선로의 도 1과 같이 DAMANSARA Height 변전소를 기점으로 쿠알라룸푸르 시내를 관통하는 여러 회선의 132KV 및 33KV 지중선로로 구성되어 있으며 각 Route별 Cable 의 규격 및 길이는 다음과 같습니다.



- 도 2. Cable 단면도 -



- 도 1. 선로 계통도 -

Route 개요

전압	선심수	도체 size	송전용량	공장	회선수	비고
132KV	3	340 mm ²	90 MVA/회선	21 km	4	
33KV	3	500 mm ²	30 "	40 km	6	

2. Cable 및 System 설계

말레이시아 전력망의 요구사항에 따라 설계한 Cable의 구조를 표 1 및 도 2에 표시 하면 다음과 같습니다.

표 1. Cable 구조표

구분		132 KV	33 KV
도체	단면적 (mm ²)	340	500
	형상	압축원형	압축원형
	외경 (mm)	22.2	27.0
절연체 두께 (mm)		11.0	3.5
금속 시-스 두께 (mm)		2.6	2.1
방식 용 두께 (mm)		4.0	3.1
개산 외경 (mm)		약 125.0	약 96.0

구	분	132 KV	33 KV
개	산 유 량 (lr/km)	약 5,000	약 2,700
개	산 중 량 (kg/km)	약 22,600	약 20,700

2.1. Cable 설계

1) 도체 size

도체 size 는 전류용량에 따라서 결정되므로 도체허용 최고온도 85°C, 기저(지중)온도 30°C 를 기준으로 하여 아태식과 같이 허용전류치를 계산하여 각각 결정 하였으나 일부 여타회선이 동시에 포설된 구간에서는 Cable 주변 온도의 상승에 따라 전류용량이 감소되어 요구 용량에 미달 되므로 토양고유열저항이 낮은 특수 모래를 사용하여 포설된 Cable 주위에 special backfilling 방법을 채택 하였습니다.

즉

$$I = \sqrt{\frac{T_1 - T_2 - T_d}{R \times R_{th}}} \quad (\text{Amp})$$

- I : 허용전류 (Amp)
- T₁ : 도체허용최고온도 (°C)
- T₂ : 기저(지중)온도 (°C)
- T_d : 유전체 손실에 따른 온도 상승 (°C)
- R : 도체고유저항 (ohm/cm)
- R_{th} : Cable 자신 및 주위의 전체 열저항 (°C.cm/watt)

2) 절연체

일반적으로 초고압 Cable 에서의 절연체 두께 는 사용최대 stress 가 15KV/mm 이하에서 결정 됩니다.

즉

$$G_{max} = \frac{E/\sqrt{3}}{2 \ln \frac{D}{d}}$$

- E ; 선간최대전압 (KV)
- d ; 도체의외경 (mm)
- D ; 절연외경 (mm)

그러나 지금까지의 제조경험 및 안전율을 고려 해서 아태와 같이 결정 하였습니다.

구	분	절연두께	G _{max} (요구)	G _{max} (설계)
132KV		11.0 mm	15 KV/mm	10.2KV/mm
33KV		3.5 mm	이 하	6.8KV/mm

3) 금속시-스

금속시-스는 기계적 강도가 높고 굴곡특성이 좋은 알루미늄을 선정 했으며 알루미늄피의 두께 는 Cable 내 상시최대유압 6kg/cm² 에 견딜 수 있는 두께로 아태식에 의해서 설계 했으며 형상은 파부(Corrugate)를 하여 굴곡성능을 높였습니다.

$$t = \frac{D}{50} + 0.6$$

t ; 알루미늄피 두께 (mm)

D ; 알루미늄피 하경 (mm)

4) 방식층

방식층의 재질토서는 전기적인특성, 내약품성 및 난연성이 우수한 PVC 를 선정 했으며 특히 열대지방에서 흔히 발생하는 흰개미에 의한 방식층의 손상을 방지하기 위하여 Anti-termite

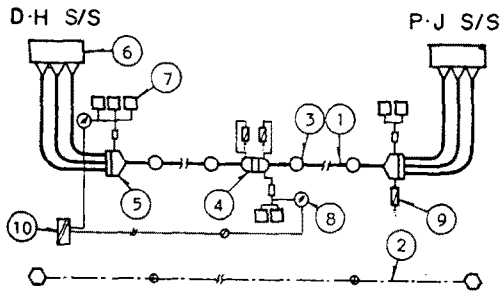
를 PVC에 혼합하여 사용 하였습니다.

2.2. Cable System 설계

본 project 의 각 선로별 평균공장이 6km 이상의 장거리 선로이기 때문에 급유구간을 2 분할하여 과도유압상승에 문제가 없는 선로의 중간지점에 유지접속상을 사용하는 양단급유 방식으로 채택하였으며 Cable 내 상시최고유압은 6 kg/cm²로 설계하였습니다.

또한 접지방식은 금속시-스의 전위를 저감 시키기 위하여 양단접지방식을 채택 하였으며 접지 Cable size 는 단락전류 용량을 고려하여 240 mm²로 설계 하였습니다.

표준 선로계통도는 도 3과 같습니다.



- ① O.F Cable
- ② Pilot Cable
- ③ Straight Joint
- ④ Oil Stop Joint
- ⑤ Trifurcating Joint
- ⑥ Sealing End
- ⑦ Pressure tank
- ⑧ Gauge panel
- ⑨ Link Box
- ⑩ Alarm panel

- 도 3. 표준 선로계통도 -

3. 부속제의 설계

3.1. 종단접속상

Cable 의 단말 처리로 사용하는 종단상은 유외형과 유내형으로 대별 되는데 유외형으로는 애자형의 기중종단상을 사용 했으며 유내형은 Switch Gear 에 직결되는 Epoxy type Gas 중 종단상을 사용 했습니다.

종단상의 내부는 Kraft지로 Stress relief con 을 형성하고 Condenser con 을 사용해서 종단부의 전계완화를 피하였습니다.

3.2. 중간접속상

중간 접속상은 보통접속상 및 유지접속상의 2종류로 했고 도체와 도체의 접속에는 일반적으로 채용되고 있는 압축접속법을 채택 했습니다.

도체접속부상의 절연은 유침광폭 절연지와 유침세록절연지를 조합시켜 Cable 절연체와 동경이 되도록 설계 했으며 그 이상의 보강절연층은 작업시간의 단축과 절연체가공기중에 장시간 노출되는것을 방지하기 위하여 광폭절연지로 설계 했습니다.

또한 접속상이 지중에 직접매설 되기 때문에 접속상 외함의 기밀 및 부식을 방지하기 위하여 접속상 보호용 box(coffin box)를 사용하여 보다 안전을 기했습니다.

3.3. 급유설비

O.F Cable 은 내부가 절연유로 채워져 있으므로 계절적인 변화 및 부하 투입, 차단에 따른 온도변화에 따라 유량의 증감이나 유압의 변화를 보상할 필요가 있는데 이에 필요한 설비로 급유탱크내 질소가스가 봉입된 금속제 cell 을

내장한 압력유조를 채택 하였습니다.

5. 공 사

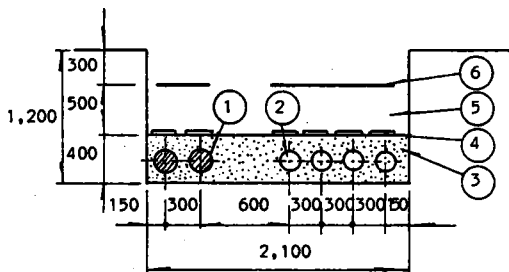
Cable 의 공사는 Cable 설치물 위한 토목공사, 포설공사, 접속공사 및 부대공사로 크게 나눌수 있습니다.

5.1. 토목공사

본 project 의 Cable 설치는 직접매설 방법을 채택 했으므로 Trench 굴착 공사가 주종을 이루었습니다.

Trench 깊이는 전기설비기술기준령에 의해서 1200mm로 설계 했으며 Cable 간의 상호 간격을 주변 도로의 조건과 허용전류용량을 고려하여 300mm로 결정 했습니다.

또한 Cable 주위에는 열방산이 좋은 특수모래를 사용하여 전류용량의 증대를 기하였습니다. 표준 Trench 모형은 도 4와 같습니다.



- ① 132KV O.F Cable
- ② 33KV O.F Cable
- ③ Sand
- ④ Protection concrete cover
- ⑤ Back filling
- ⑥ Warning tape

- 도 4. 표준 Trench 모형 -

5.2. 포설공사

도로나 철도횡단을 제외한 대부분 구간이 직 접매설 방식 이므로 Trench내에 도르레를 설치하여 포설장력을 극소화 했으며 허용구름반경은 Cable 외경의 15배 이상으로 했습니다.

5.3. 접속공사

접속공사는 Cable 루트의 고저차를 고려하여 낮은곳에서 부터 높은곳으로 접속을 행했으며 특히 DAMANSARA Height 변전소는 산위에 위치해 처음 접속지점과 고저차가 약 50m 정도로 Cable 의 진공유지 및 유량이 다량으로 흘러내려오는 난공사였으나 당사 기술진이 개발한 동결공법을 채택하여 성공적으로 접속을 완료 했습니다.

5.4. 준공시험

모든 공사가 완료되면 마지막으로 준공시험을 하여 선로의 이상유무를 확인후 선로를 인계하게 되는데 당사에서는 사양에 외거 선로정수시험, 방식송 내전압시험, 유계통시험 및 DC 305 KV 내전압 시험을 실시하여 1985년 12월 선로를 말레이시아 전력청에 인계하여 현재 통전 중에 있습니다.

Ⅲ. 결 론

이상과 같이 당사에서 완성한 쿠알라룸푸르 시내 초고압 132KV 및 33KV O.F CABLE선로에 대해서 간단히 기술 했습니다.

당초 상기 project 의 가장 큰 문제점으로

- 1) 다회선 포설에 따른 전류용량의 증가대책
- 2) 고저차가 심한 개소에서의 Cable 접속
- 3) 교량 첨가 및 철도횡단 부분에서의 방진

대책등이 대두 되었으나 당사 기술진의 끊임없는 연구개발과 노력으로 하나하나 해결하여 이제는 선진각국과 어깨를 나란히 할수 있게 되었으며 그 결과 쿠알라룸푸르 시내의 추가공사 및 말레이시아 8개 도시에 계획중인 대단위 초고압 132KV 및 33KV O.F, XLPE Cable project를 새로 수주하여 현재 설계를 완료하고 Cable 생산중에 있으며 중동의 아랍에미레이트에도 132 KV O.F Cable Projcet 를 수주하여 86.5.15 성공적으로 공사를 완료하여 현재 통전중에 있어 이제 당사는 초고압 Cable 분야에 있어서는 세계적으로 확고한 기반을 구축하여 새로운 수출전략 사업으로 떠오르게 되었습니다.