

쿠알라룸푸르市内 超高压 O·F Cable 線路의 完成

專務理事 金 東 仙

營業技術部長 金 正 勳

大韓電線株式會社

I. 序 論

當社는 Malaysia 수도인 Kuala Lumpur 市内의 安定的 電力供給을 위하여 中心部를 貫通하는 主幹線인 超高压地中 Cable 線路로서 國營 Malaysia 電力廳(N.E.B)에서 發注한 132KV 및 33KV 超高压 Cable Project를 英國, 스웨덴, 日本等 先進諸國과 切열한 競合 끝에 國內最初로 設計, 製造, 檢査 및 施工을 포함한 Turn-key Base로 受注하여 짧은 기간내에 成功的으로 그 工事を 完了하였다. 특히 本 Project는 最近 開發된 同種의 XLPE Cable과 마지막까지 切열한 競合을 벌였던 것으로 當社에서 1977年 國內最初로 超高压 O·F(Oil Filled) Cable을 開發한 以來 韓國電力公社를 비롯한 國內 大單位 工場에 納品, 設置한 結果로서 立證된 超高压 Cable의 生命인 安全性和 信賴性이 높게 평가되어 O·F Cable로 채택되게 되었다.

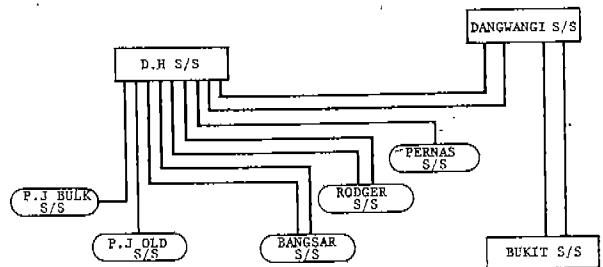
여기서 當社가 施工한 上記 Project의 O·F Cable 및 附屬材의 設計, 施工에 대해서 간단히 기술하고자 한다.

II. 本 論

1. 線路의 概要

本 線路는 그림 1과 같이 Damansara Height 變電所를 起點으로 Kuala Lumpur 市内를 貫通하는 多回線의 132KV 및 33KV 地中線路로 構成되어 있으며 各 線路別 Cable의 規格 및 길이는 다음과 같다.

電 壓	線心數	導體規格	送電容量	回線數	亘長(約)
132KV	3	340mm ²	90MVA/回線	4	21km
33	3	500mm ²	30MVA/回線	6	40km



〈그림 - 1〉 선로의 개요도

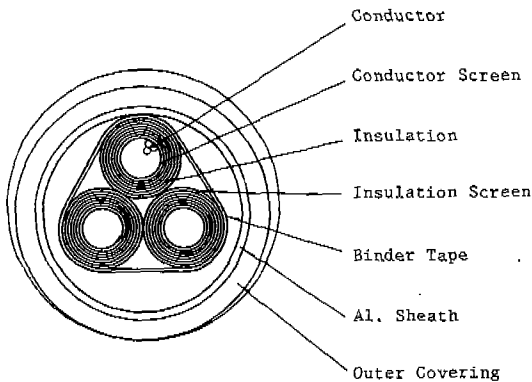
2. Cable의 設計 및 製造

2.1 導 體

導體의 크기는 電流容量에 따라서 決定되므로 導體 許用最高溫度 85℃, 基低(地中) 溫度 30℃를 基

〈표-1〉 Cable 構造表

區 分	132KV	33KV	
導 体	斷面積 (mm ²)	340	500
	形 狀	압축원형	압축원형
	外徑 (mm)	22.2	27.0
絶緣体 두께 (mm)	11.0	3.5	
金屬 sheath 두께 (mm)	2.6	2.1	
防蝕層 두께 (mm)	4.0	3.1	
概算外徑 (mm)	약125.0	약96.0	
概算油量 (ℓ r/km)	약5,000	약2,700	
概算重量 (kg/km)	약22,600	약20,700	



〈그림-2〉 Cable의 구조도

準으로 해서 아래식과 같이 許容電流 값을 計算하여 各各 決定하였으나 一部 多回線이 同時에 布設된 區間에서는 Cable 주위 溫度의 上昇에 따라 電流容量이 감소되어 要求容量에 미달되므로 土壤固有 熱抵抗이 낮은 特殊모래를 사용하여 布設된 Cable 주위에 Special Backfilling 方法을 채택하였다.

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

- I : 許容電流 (Am P.)
- T₁ : 導體許容最高溫度 (°C)
- T₂ : 基底(地中) 溫度 (°C)
- T_d : 誘電體損失에 따른 溫度上昇 (°C)
- R : 交流導體抵抗 (ohm/cm)
- R_{th} : Cable 自身 및 주위의 全体熱抵抗 (°C. cm / watt)

또한 導體의 形狀은 Cable 外徑을 最小化하기 爲하여 壓縮丹形燃線으로 設計하였다.

2. 2 絶緣体

一般으로 超高压 O.F 케이블의 絶緣体는 紙卷機에서 導體上에 約 100~200μmm의 紙tape를 規定 두께로 감아 眞空加熱乾燥를 한 다음 脫氣精製된 絶緣油를 含浸시켜 形成한다.

絶緣紙로는 高密度, 低損失紙인 Kraft紙를 脫이 온 水洗處理하여 使用하였으며 絶緣油는 電氣絶緣性能이 우수한 合成油를 使用하였다.

絶緣体 두께는 一般으로 상용최대 Stress가 12~15KV/mm 以下에서 決定되나 지금까지의 製造經驗 및 安全率을 고려하여 아래표와 같이 設計 하였다.

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

E : 線間最大電壓 (KV)

d : 導體外徑 (mm)

D : 絶緣外徑 (mm)

區 分	絶緣 두께	最大Stree (KV/mm)	
		要求值	設計值
132KV	11.0mm	12~15	11.2
33KV	3.5mm	以下	7.5

2. 3 金屬 Sheath

金屬 Sheath로는 一般으로 鉛合金 및 Al이 널리 使用되고 있으나 이번 設計에서는 가볍고 機機의 強度가 높으며 屈曲特性이 良好한 Al을 選定하였으며 Al被의 두께는 케이블內 常時最大油壓 6kg/cm²에 견딜 수 있는 두께로 아래 式에 의해서 設計하였다.

또한 形狀은 波付 (Corrugate)를 하여 屈曲性能을 높였다.

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

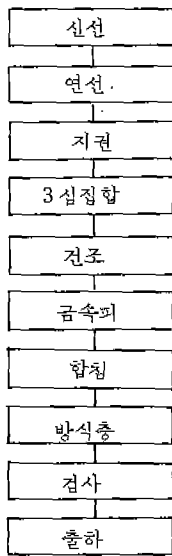
t : Al被 두께 (mm)

D : Al被 下徑 (mm)

2. 4 防蝕層

防蝕層의 材質로서는 電氣的인 特性 및 耐屈曲性이 우수한 Polyethylene(PE)로 選定했으며 特히 熱帶地方에서 흔히 發生하는 흰개미에 의한 防蝕層의 損傷을 防止하기 위하여 防蟻劑(Antitermite)를 PE에 混入하여 使用하였다.

以上과 같이 設計한 케이블의 製造工程은 그림 3과 같다.



(그림-3) Cable의 제조공정

3. 附屬材의 設計

O.F Cable의 附屬材로는 Cable 端末處理로 使用하는 終端接續函, Cable을 電氣的으로 相互連結하여 주는 中間接續函, Cable內 給油를 目的으로한 給油裝置 및 其他 警報와 接地裝置等으로 大別된다.

3. 1 終端接續函

終端接續函은 一般的으로 屋外型과 屋內型으로 大別되는데 屋外型으로는 磁器製磚管을 使用하는 氣中終端箱을 選定했으며 屋內型으로는 Switch Gear에 直結되는 Epoxy形 Gas中 終端函으로 選定하였다.

終端函의 内部는 Kraft紙로 Stress relief cone을

形成하고 Condenser Cone을 使用해서 終端部의 電界緩化를 疎하였다.

3. 2 中間接續函

中間接續函은 Cable과Cable相互를 單純히 電氣的으로 접속하는普通接續函과 Cable線路가 긴경우 給油上 및 保守上의 給油區間을 分割하기 위한 油止接續函의 2種類로 했고 導體와 導體의 接續에는 一般的으로 넢리 채용되고 있는 壓縮接續法을 채택하였다. 導體接續部上의 絶緣은 油浸廣幅絶緣紙와 油浸細幅絶緣紙를 組合시켜 Cable絶緣體와 同徑이 되도록 設計하였으며 그以上의 補強絶緣層은 作業時 間을 短縮하고 絶緣體가 空氣中에 장시간 노출되는 것을 防止하기 위하여 廣幅絶緣紙로 設計하였다. 또한 接續函이 地中에 직접 埋設되기 때문에 접속상 外函의 氣密 및 腐蝕을 防止하기 위하여 接續函 保護用 Box(Coffin box)를 使用하여 보다 안전을 기했다.

3. 3 給油裝置

O.F Cable은 内部가 絶緣油로 채워져 있으므로 계절적인 變化 및 負荷 투입, 차단에 따른 溫度 變化에 따라 發生되는 油量의 증감이나 油壓의 變化를 補償할 필요가 있는데 이를 위하여 給油 Tank內 N₂ Gas가 봉입된 金屬製 Cell을 內裝한 壓力油槽로 設計하였다.

3. 4 警報裝置

O.F Cable에서는 油量 또는 油壓이 規定범위를 벗어나는 경우 給油장치에 연결된 警報장치의 作動에 따라 警報를 發하게 되어 있으며 事故의 早期發見과 아울러 線路事故를 未然에 防止할 수 있는 長點이 있다.

本 Project에는 各선로의 送電속인 Damansara Height 變電所에 警報장치를 設置하여 中央集中警報System을 구성하였다.

4. 試驗

Cable 및 附屬材에 대한 試驗은 NEB仕様書및 IEC 141-1에 의거 實施 하였으며 그 主要 시험항목 및 결과는 다음과 같다.

4. 1 屈曲試驗

IEC 141-1에 準해서 屈曲시험을 實施하였다. 시험조건 및 결과는 표2와 같다. 시험결과 Cable Sheath 및 절연체에 어떠한 異常도 發見되지 않고 良好한 상태였다.

〈표-2〉 屈曲試驗 條件

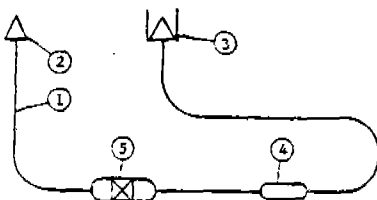
項 目	132KV	33KV
시험중 주위온도	28℃	30℃
Cable 外·徑	125mm	86mm9
屈曲試驗徑	2,500mm	2,300mm
屈曲倍率	20倍	24倍
屈曲回數	왕복 3회	
AC耐壓試驗	172KV, 15分	53KV 15分
解体調査結果	異常無	異常無

4. 2 Loading Cycle Test (132KV Cable 기준)

그림4와 같이 Cable과 附屬材를 연결시켜 시험선로를 설치하고 표3과 같은 條件으로 Loading

〈표-3〉 Loading Cycle 시험조건

Cable 및 접속상온도	90℃
인가전압 및 시간	114KV, 연속
부하 Cycle	
회수	20회



〈그림-4〉 Loading Cycle 시험 선로도

- ① 132KV O.F Cable
- ② 기중 종단상
- ③ SF₆ Gas 중 종단상
- ④ 보통접속상
- ⑤ 유지접속상

Cycle 시험을 실시하였다.

Loading Cycle 시험期間中 Cable의 tanδ를 測定한 결과 Cable 온도가 가장 높을 때 (표3의 點b) 및 가장 낮을 때 (표3의 點a)의 어느쪽의 測定時에서도 0.16~0.19%의 극히 安定된 값을 얻을 수 있었다.

4. 3 誘電正接 電壓特性 試驗 (132KV Cable 기준)

시험결과는 표4와 같다.

〈표-4〉 誘電正接 測定結果

試驗電壓 (KV)	38	76	114	112	
誘電正接 (%)	Spec. (以下)	0.3	0.3	0.33	0.35
	시험결과	0.148	0.155	0.162	0.189

4. 4 耐電壓 및 Impulse 試驗 (132KV Cable 기준)

케이블 및 附屬材에 대한 耐電壓 및 Impulse試驗을 그림4의 시험선로에 대하여 표5와 같이 實施하였다.

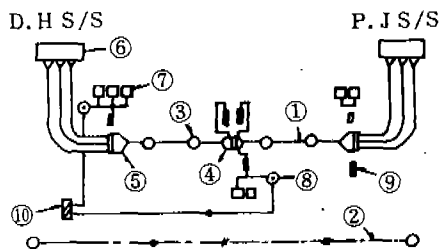
〈표-5〉 Cable 및 附屬材의 電氣試驗結果

項 目	方 法	結 果
AC長時間耐電壓	190KV, 24Hours	良好
AC長時間破壞	15KV씩 昇壓	250KV에서 接續破壞
Impulse 耐電壓	±650KV, ±10times	良好
Impulse 破壞	±30KV/3 Step씩 昇壓	+770KV에서 破壞

5. System 設計

本 Project는 各 線路別 平均巨長이 6km 以上の 長距離 선로이기 때문에 給油區間을 2分割하여 과도유압상승에 문제가 없는 선로의 中間地點에 油止接續函 (Stop Joint Box)을 使用하는 兩端給油方式을 채택하였으며 Cable內 常時最高油壓은 6 kg/cm²로 設計하였다. 또한 接地方式은 金屬Sheath의 電位를 低減시키기 위하여 兩端接地方式을 채택하였으며 接地Cable Size는 短絡電流容量을 고려하여 240sqmm로 設計하였다.

한편 Cable Termination 部分은 分岐接續函을 使用하여 處理하였다. 標準 線路系統圖는 그림 5 와 같다.



- 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
- 〈그림- 5〉 표준선로계통도

6. 工 事

케이블의 工事は 케이블設置를 위한 土木工事, 布設工事, 接續工事 및 부대工事로 크게 나눌 수 있다.

6. 1 土木工事

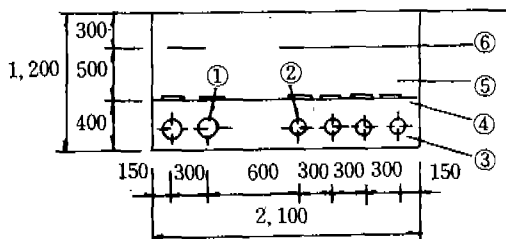
本 Project의 케이블 設置는 直接埋設方式을 채택했으므로 Trench 굴착공사가 主宗을 이루었다.

Trench 깊이는 電氣設備技術基準令에 의해서 1200mm로 設計했으며 케이블間의 相互간격은 주변도로의 여건과 허용전류용량을 고려하여 最小 300mm로 決定했다. 또한 布設된 케이블 주위에는 熱放散特性이 좋은 特殊모래를 使用하여 電流容量의 增大를 俾하였다.

표준 Trench모형은 그림 6과 같다

6. 2 布設工事

道路나 철도횡단을 除外한 대부분 구간이 直接埋



- ① 132KV O. F Cable
- ② 33KV O. F Cable
- ③ Sand
- ④ Protection Concrete Cover
- ⑤ Back Filling
- ⑥ Worn Tape

〈그림- 6〉 표준Trench 모형

設 方式이므로 Trench内 Roller를 設置하여 布設張力을 극소화 했으며 許容曲率半徑을 케이블 外徑의 15배 以上으로 하였다.

또한 도로횡단 部分에는 PVC管을 使用하여 케이블 保護에 満전을 기하였다.

6. 3 接續工事

接續工事は Cable Route의 高低差를 고려하여 낮은 곳에서 부터 높은 곳으로 接續을 實施하였으며 특히 Damansara Height 變電所는 山위에 位置하여 처음 接續地點과의 高低差가 約 50m 정도로 眞空유지가 어렵고 고저차에 따른 절연유의 유출현상이 심한 難工事였으나 當社의 기술진이 開發한 세계 最첨단의 凍結工法을 채택하여 성공적으로 接續을 完了하였다.

6. 4 竣工試驗

모든 工事が 完了되면 마지막으로 竣工試驗을 실시하여 선로의 異常有無를 최종 確認하게 되어 있는데 本 Project는 NEB 仕様 및 當社의 標準에 의거 線路定數試驗, 防蝕層耐電壓試驗, 油系統試驗 및 DC 305KV 耐電壓試驗등을 實施하여 전혀 이상이 없음이 淸명되어 1985年 12月 線路를 Malaysia 電力廳에 인계하여 現在 아무런 하자없이 通電中에 있다.

*