

技 術 動 向

佛 蘭 西 高 速 電 鐵 現 況 (Ⅱ)

金 在 瑾\*

차 레

4. T.G.V의 特徵

4.1 線路施設

- (1) 新線計劃
- (2) 線 路
- (3) 構 造

(4) 레인과 車輪

4.2 電鐵設備

- (1) 變電設備
- (2) 電車線路

<會誌 第31卷 第4號 p.34에서 계속>

4. T.G.V 特徵

4.1 線路施設

(1) 新線計劃

最初에 T.G.V의 豫定線路는 各 option別로 1/25,000의 地圖上에서 檢討하여 3개의 루트로 縮小, 確定하고 이를 基本으로 하여 現地測量을 施行하였으며 다음 事項을 調查하였다.

- ① 地域開發計劃
- ② 計劃線의 周邊環境
- ③ 文化財와 天然記念物
- ④ 既存施設의 支障有無
- ⑤ 地形, 地質, 軟弱地盤
- ⑥ 降雨量, 流量, 地下水
- ⑦ 線路의 縱斷과 構造物
- ⑧ 所要建設費

現地測量과 調查內容은 모두 電算處理保管되었으며 1/5,000과 1/1,000 圖面은 컴퓨터(製圖士의 30倍 速

표 4.1 地質의 等級

等 級	地 質
A	透水率 良好
B	모래와 混合한 경우 良好
C	자갈 섞인것
D	透水率 不良
E	風化土(石灰石, 泥土等)
F	盛土에 不適合

度)에 依하여 調製되었고 關係機關과 協議하여 가장 經濟的으로 建設할 수 있는 現在의 路線을 1975年 6月에 確定하였다. 特히 地質은 1km間隔으로 全區間에 걸쳐 細密히 調查하여 路盤建設에 不適合한 不良土는 모두 良質의 흙으로 置換, 路線을 構築하였으며 最大 6m 깊이까지 置換한 곳도 있다. 盛土部分은 1m 程度

표 4.2 新線의 工事數量

區分	內 容	數 量	備 考
軌 道	레 일	102,000ton	本 線 778km
	枕 木	1,400,000個	連結線 54km
	자갈	3,300,000ton	共 他 15km
	모래	2,700,000ton	計 847km
路 盤	切 取 土	20,700,000m <sup>3</sup>	最大깊이 : 40m
	盤 土	9,500,000m <sup>3</sup>	最大높이 : 20m
	盛 土	20,300,000m <sup>3</sup>	再用盛土
構 造 物	長 大 橋 梁	8個所	
	橋 梁(小)	67 "	
	排 水 路(大)	25 "	
	" (小)	600 "	
	콘크리트水路	20 "	
道 路 立 體 交 叉	"	185 "	道路 上部
	"	125 "	" 下部
共 他	石 造 側 溝	80,000m	600mm
	排 水 도랑	200,000m	
	더 널 水 路	20,000m	
	側 溝	360,000m	
	울 타 리	700,000m	
信 號 管 路	850,000m		

\* 正會員 : 鐵道廳 電氣局 電鐵課長

의 두께로 로딩하여 다졌고 一定期間을 두고 段階的으로 盛土를 施行하여 路盤이 強度를 높였다. 新線建設의 工事數量은 표 4.2와 같고 레일 102,000ton, PC枕木 1,400,000個, 자갈 3,300,000ton으로 5千萬m<sup>3</sup>의 흙을 處理하였고, 1,030個所의 構造物을 만들었으며 310個所의 道路와 立體交叉하여 盛土量을 最小로 줄였다.

構造物의 88%는 標準構造를 適用하여 建設費를 줄이고 工期를 短縮하였으며 騒音, 公害를 줄이기 위하여 線路는 마을과는 250m 以上, 單獨住宅과는 100m 以上 離隔시켰다.

(2) 線 路

PARIS~LYON間의 既存鐵道는 營業距離가 519km 이나 T.G.V新線은 426km로서 既存線은 最急勾配가 8/1,000이나 新線은 35/1,000로서 急勾配區間이 많으며 全區間을 通하여 1個의 터널도 없도록 하였다. 線路는 海拔 60m에서 最高 510m 사이에 位置하며 260 km/H의 速度를 낼 수 있는 新線區間은 모두 410km이다. 지난 1981年 9月에는 既存線과 交叉하는 St. Florentin 信號所를 PARIS까지의 既存線에 連結하여 PARIS-LYON間에 T.G.V를 投入運行한바 있으며 1983年에는 Comb-la-Ville에서 St. Florentin間의 117.3km 高速新線을 完工하여 全區間을 完全開通할 豫定이고 이례는 St. Florentin 信號所의 分岐線은 排常運轉用으로 存續될 것이다.

(3) 構 造

新線의 強度는 既存線과 거의 같고 線路의 諸元은 다음과 같으며 새로운 構造를 可及의 避하여 建設하였다.

- 最小曲線半徑 : 4,000m(3,200m)
- 最大勾配 : 35/1,000
- 縱曲線半徑 : 25,000m(16,000m)

新線의 最小曲線半徑은 300km/h의 高速運轉을 前提로하여 4,000m로 하였으며 380km/h 超高速 試運轉結果軸 重 16.5ton의 T.G.V가 R4,000曲線, 不足퀀트量(兩측레일間의 高低差) 130mm의 區間에서 車輪이 레일에 加하는 動的 橫方向 荷重은 4ton(靜的荷重은 1.5 ton) 程度로 나타났으며 이는 R4,000m에서 퀀트의 調整없이 列車을 320km/h의 速度로 달릴 수 있음을 證明하였다.

乘客의 安樂感은 300km/h, R4000m, 不足퀀트量 85.5mm일 때 乘客感知加速度는 標準퀀트時보다 0.56 m/sec<sup>2</sup>가 加算되어 0.7m/sec<sup>2</sup>가 되고 이는 標準值를 下廻하기 때문에 乘客의 乘車感에는 아무런 問題點이 없었다.

線路의 勾配는 使用 動力車의 牽引電動機出力과 溫度上昇에 따라 制限되며 T.G.V 新線의 경우 最大勾配

는 日本 新幹線의 2倍이고 既存線의 3倍가 넘는 35/1,000로 하였고 이의 最大延長은 4~5km로 하여 新線을 建設하였다(但 日本의 경우 最大勾配 15/1,000, 延長 7km임).

縱曲線 區間을 달리는 列車는 速度에 따라 浮上力을 받게되며 이때의 列車速度(V)와 垂直加速度(α)의 關係는 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{V^2}{R \cdot g}$$

여기서 R은 縱曲線의 半徑이며 g는 重力加線度(9.8/sec<sup>2</sup>)이다.

縱曲線 區間에서 列車의 垂直加速度의 許容值는 運行列車의 安全上으로는 0.1g 以下이지만 旅容의 乘車感에서 본다면 垂直加速度는 위의 數值의 1/3인 0.05g 以下가 適當하다.

T.G.V 新線은 위의 垂直加速度를 고려하여 標準縱曲線의 半徑을 25,000m(不得已한 경우 16,000m)로 하였으며 300km/h의 列車速度에서 α는 0.37g이고 16,000m의 경우는 0.57g이 된다.

레일은 UIC規格의 60.3kg/m의 것을 使用하였고 레일鋼材의 引張強度는 80kg/mm<sup>2</sup> 以上이며 Rolling 製作工程時에 數値의 許容誤差는 길이 1.6m當 높이는 0.3mm 以內이고 36m의 길이로 現場에 運搬하여 모두 電氣誘導方式으로 다시 熔接 Long Rail의 軌道를 敷設하였다.

PC枕木의 設置間隔은 58cm로 既存線과 同一하며 構造는 雙브릭型으로 兩쪽브릭을 ㄱ型鋼으로 連結하였다. 雙브릭, PC枕木은 道床자갈과의 接觸表面積이 크기 때문에 1體로된 PC枕木보다는 자갈과의 密着力이 크고 試驗結果 16ton의 軸重 밑에서 枕木이 移動하지 않고 견딜 수 있는 橫荷重은 33.8ton이나 된다.

① 速度 300km/h의 T.G.V가 線路에 미치는 負擔力은 在來線에 運用하고 있는 機關車牽引의 列車와 同一하고

② 터널, 岩盤個所, 長大橋梁은 콘크리트道床으로 하는 것이 有利하나 그밖의 區間에는 콘크리트道床이 자갈道床보다 1.5~2倍程 度建設費가 高價이며

③ 또한 콘크리트道床은 連續的인 機械保線作業의 困難 等의 事由로 T.G.V 新線은 在來線과 同一한 經濟的인 자갈道床으로 建設하였으며 그 동안의 各種 試驗運轉에 依하면 300km/h 以上의 超高速鐵道와 터널의 경우는 콘크리트道床의 必要性이 認定되었다.

(4) 레일과 車輪

레일과 車輪의 接觸面은 列車走行에 基本이므로 T.G.V는 이들의 損傷을 最小로 줄이기 위하여 軸重의 輕減, 臺車刑式的 變更, 連接臺車의 開發 牽引電動機

표 4.3 臺車의 動的特性

區分	臺車의 橫方向 加速度	車輪과 軌道間의 橫 荷重	振動周波數
測定值	0.3g	3ton	3Hz
許容值	1.2g	13ton	5.5Hz

의 車體取付等 車輛分野의 技術開發에 主力하였으며 軌道分野도 이와함께 綜合的으로 檢討되었다. 臺車의 動的特性은 300km/h의 速度에서 표 4.3과 같고 動力車와 客貨車를 막론하고 車輪은 후란지에 依하여 레일에 接觸되어야 하나 그렇지 못하면 레일의 磨耗는 增加하고 分岐部 通過時의 列車安全은 크게 低下된다. 만일 레일에 接觸하는 車輪후란지의 圓錐角이 줄아진다면 軌道中心으로 向하는 臺車의 復元力은 弱化되고 反對로 圓錐角이 심하게 되고 이의 波長은 20m 程度

가 된다.

4.2 電鐵設備

(1) 變電設備

T.G.V新線의 電氣方式은 單相交流 25,000V, 50Hz, 單捲變壓器方式(AT方式: 首都圈電氣方式과 同一)으로 널리 普及된 電氣道鐵의 標準方式이며 給電電壓이 55KV이므로 負荷電流와 線路의 電壓降下는 다른 方式보다 매우 적고 變電所 相互間의 間隔도 넓어지게 되었다.

高速 新線의 電鐵變電所 位置와 容量은 표 4.4 같고 모두 8個所의 變電所를 沿線에 建設하여 運轉用電力을 T.G.V에 供給하며 모두 225KV 3相 電源을 받아 이중 單相만을 使用한다.

主變壓器는 225KV의 電壓으로 受電하여 55KV 또는

표 4.4 變電所의 位置와 容量

區分	地名	位置	間隔	容量	電壓	
					1次	2次
1	Moisenar	46.3km	22.4km	40MVA 2臺	225KV	27.5KV
2	La Voulzie	68.7"		60MVA 2臺	225KV	55.0KV
3	Carisey	158.7"	90.0"	" "	"	"
4	Sarry	193.3"	34.6"	" "	"	"
5	Commune	286.3"	93.0"	" "	"	"
6	Curtil	325.4"	39.1"	40MVA 2臺	225KV	27.5KV
7	Macon	362.5"	37.1"	" "	"	"
8	Les Meunieres	406.6"	44.1"	" "	"	"
計	8個所	426 km		400MVA 16臺		

km는 PARIS 起點

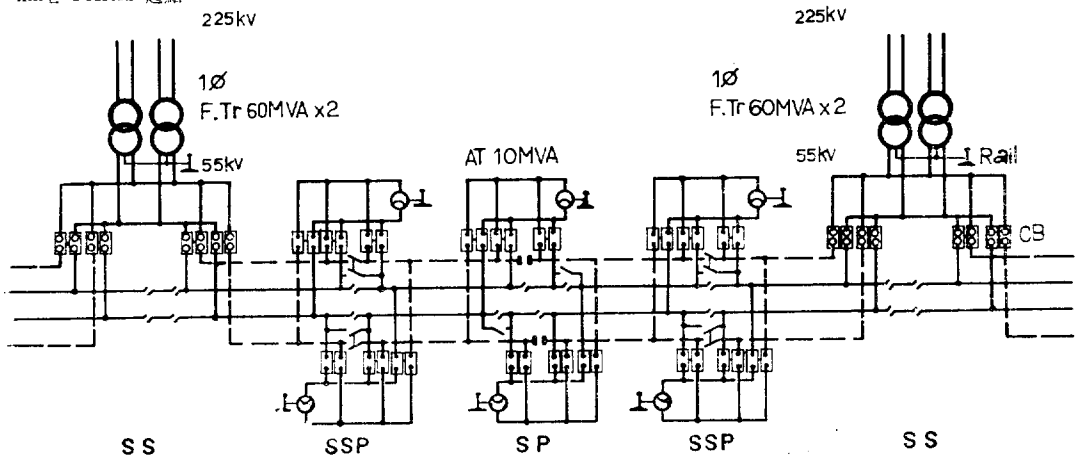


그림 4.1. 給電係統圖

27.5KV로 낮추고 運轉用 電力은 遮斷器를 通하여 電車線路에 供給하며 426km의 全區間에 모두 16臺의 主變壓器가 設置되어 있다.

AT方式의 電鐵變電所(4個所)에는 60,000KVA의 主變壓器 2臺를 在來方式의 變電所(4個所)에는 40,000 KVA의 主變壓器 2臺를 各 變電所마다 設置하였으며 變電所의 容量, 間隔과 定格은 다음 事項을 基本으로 하여 computer와 simulator를 利用하여 算出 確定하였다.

- ① 列車時隔 : 正常運轉時 最小 5分間隔  
異常運轉時 最小 4分間隔
- ② 列車單位 : 1編成(10輛)은 補助機器를 包含하여 7,000KW의 負荷이고 여기에서는 2編成의 重連運轉을 前提하였음.
- ③ 速度制御 : 다이리스터 制御方式
- ④ 力 率 : 重負荷時 最低 80%
- ⑤ 主變壓器 : 容量 60MVA(重量 70ton)

임피던스 13%

200%過負荷 5分間, 溫度上昇 75°C(最大 100°C), 單相結線方式으로 上下線並列給電하며 2臺並列運轉함(그림 3.5 參考).

⑥ AT變壓器 : 容量 10MVA

임피던스 1.2%

設置間隔 15km

⑦ 電壓調整 : 1次側 tap 切換으로 負荷時 自動電壓調整方式이고 2個列車가 交行하는 重負荷에서만 作動하는 時遲延型임.

⑧ 電力消費量 : 1個 列車當 7,200KWH이고 이는 新線區間을 1時間40分, 舊線區間을 20分間 走行하였을 때 變電所側의 消費量임.

⑨ 電力需給 : 平均電力은 3,600KW×50編成=180,000KW이나 將來는 3,600KW×120編成=432,000KW로 增加되고 30~40編成은 舊線에 運用된다.

電鐵變電所에 負荷時自動電壓調整裝置를 設置한 것.

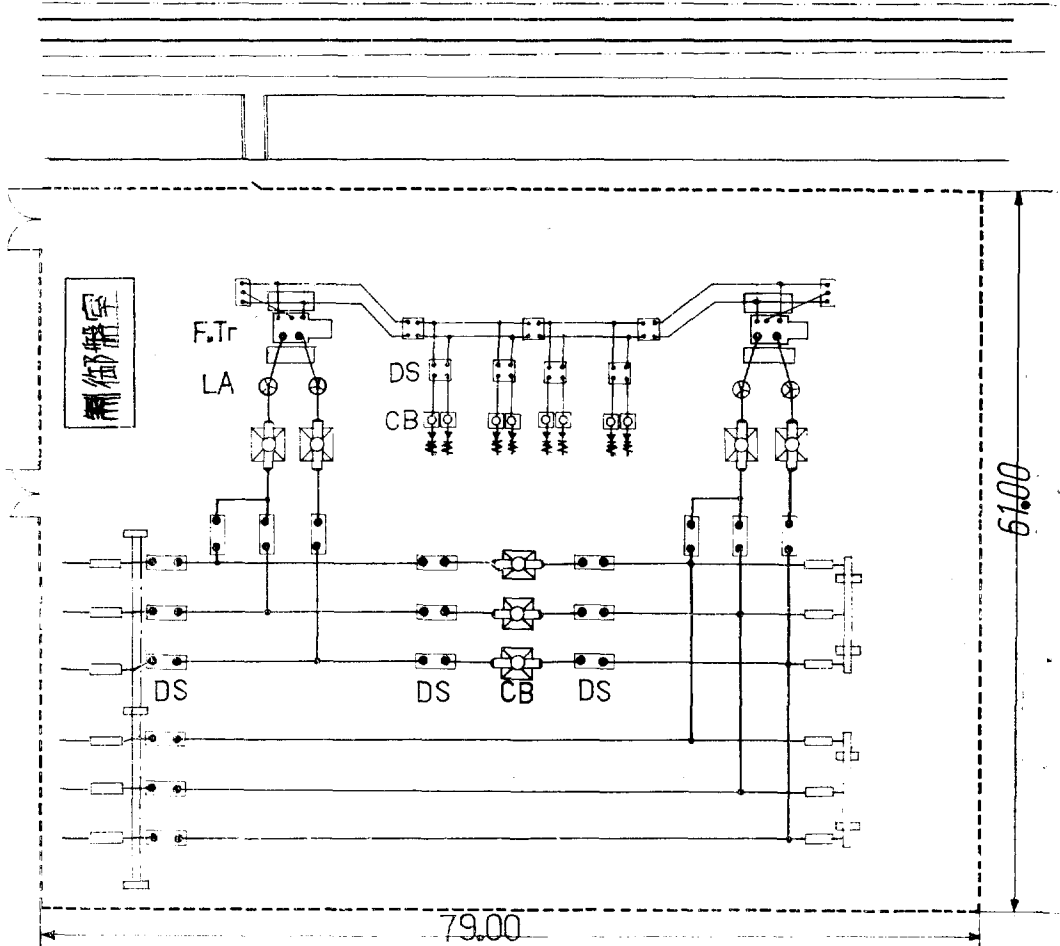


그림 4.2. 變電所 機器配置圖

은 이번 T.G.V 고속新線의 變電所가 最初이며 이는 2 年前부터 佛蘭西의 電力會社에서 開發하여 運用한 實績이 있고 運用結果 優秀性이 認定되어 現在 널리 普及 使用되고 있다.

新線의 電鐵變電所는 負荷時自動電壓調整裝置, 15km 間隔의 單捲變壓器의 設置와 上下線의 並列給電 등으로 變電所의 間隔을 最大 93km까지 擴大한 곳도 있으며 主變壓器도 scott結線으로 하지않고 單相結線으로 하므로서 運轉上의 脆弱地點인 變電所 앞의 死區分裝置가 省略되었다.

日本 新幹線의 경우는 遮斷器를 死區分에 設置하여 列車의 運行方向에 따라 電源을 切換供給하기 때문에 遮斷器動作回數는 日間 數百회에 達하고 電動車도 0.2 秒동안 電源 供給이 中斷되므로 過渡電壓 防止 裝置를 電動車에 別途로 設置하여야 하는 問題點이 있다.

그러나 T.G.V新線의 경우는 變電所 間隔의 擴大, 單相變壓器의 採擇으로 死區分 裝置의 設置個所를 많이 줄었기 때문에 列車가 이 區間을 通過할 때는 數10 秒間 電源 供給을 中斷하도록 모든 設備을 하였다.

送電線路의 許容 電壓不平衡率 基準은 2%이고 瞬時 4% 以內이나 T.G.V 新線의 경우는 225KV 大容量의 同一系 送電線路에서 모든 變電所가 受電하고 單相 主變壓器를 相順別로 連結하여 不平衡을 防止하며 送電系統의 異常 運用에 對備하여 各 變電所는 모두 3相

電源을 送電線路로부터 受電하고 만약 異常時에 不均衡이 나타나면 遠方制御에 依하여 受電電源의 相을 變更하여 不均衡을 줄일 수 있도록 하였다.

電鐵變電所의 機器配置와 結線은 그림 4.2, 그림 4.3 과 같고 用地는 4,800m<sup>2</sup>(79M×61M)로서 既存 變電所의 用地보다 적으며 이는 主變壓器의 2次側의 母線을 1部 地下케이블화 하고 鐵構와 設備을 最小로 單純化 하였기 때문이다.

電鐵變電所用 遮斷器는 一般 電力用 보다 動作回數가 20倍 以上 많기 때문에 信賴性이 높고 補修를 最大로 省略할 수 있는 SF<sub>6</sub>가스 遮斷器를 電鐵變電所에 設置하였으며 遮斷器의 價格은 既存方式보다 30% 程度 높다.

225KV側 受電遮斷器의 定格電流는 3,150A이고 最大短絡 電流容量은 31.5KA이며 25KV側은 1,250A, 15KA이고 絕緣耐力는 190KV(1/50μs 재단파)이다.

主變壓器의 絕緣耐力는 205KV이고 電車線路에서 生短絡電流容量은 12KA이다. 遮斷器의 操作은 모두 電動式이며 斷路器의 定格電流는 800A, 1,500A, 2,000A 用을 使用하였고 輕負荷를 開放할 수 있는 소레노이드 操作方式의 真空斷路器도 使用하고 있다.

모든 電鐵變電所와 區分所의 機器는 PARIS에 있는 T.G.V綜合司令室(運轉, 信號, 電力, 軌道, 旅客)에서 通信回線을 利用하여 遠方監視, 操作, 調整되므로 모든 變電所와 區分所는 無人化되었으며 겨울철에 있어 冷寒地에서 設置된 電車線에 發生하는 結氷을 防止하기 위하여 電車線과 레일에 電源을 供給 當時 4A/mm<sup>2</sup>에 相當하는 電流가 電車線에 흐를수 있도록 變電所에 特殊裝置를 하였으며 이는 司令室 panel의 누름스위치에 依하여 操作되도록 하였다.

(2) 電車線路

高速電鐵에 있어서 列車의 速度가 160km/h를 넘게 되면 電氣車의 판타그래프는 電車線의 振動으로 離線現象과 電氣的인 불꽃이 發生하여 運轉用 電力의 集電이 어렵게 된다.

불만서 國鐵은 위와 같이 高速運轉에서 나타나는 판타그래프의 離線現象을 防止하기 위하여 PARIS의 東部に 位置한 Alsace 地方에 各種의 試驗用 電車線路를 建設하고 集電試驗을 오래동안 實施하였으며, 그 結果 기존 판타그래프와 電車線路에서 電氣車의 最高速度 230km/h까지 높였고 그후 새롭게 開發한 2단方式의 판타그래프의 경우는 높이가 일정한 高張力變形Y型 심플케터너리(simple catenary) 電車線路(新線)에서 아무런 問題點없이 列車의 速度를 300km/h까지 높일 수 있게 되었다.

① 架線方式과 構造

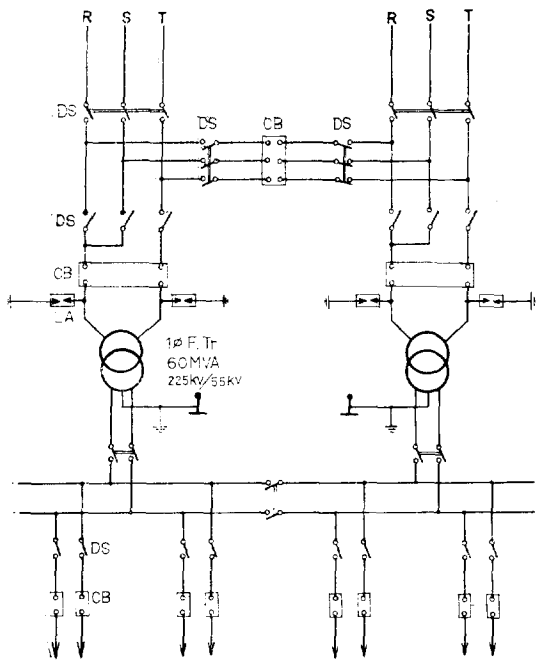


그림 4.3. 變電所 主回路結線圖

표 4.5 電車線路的 特性比較

區分	T.G.V 新線	既存線	備考
電車線	硬銅(도전율98%) 斷面積: 120mm <sup>2</sup> 直徑: 12.85mm 張力: 1.4ton 個別張力調整	硬銅(도전율98%) 107mm <sup>2</sup> 12.24mm 1.0ton 一括張力調整	
吊架線	Bronze (도전율60%) 斷面積: 65mm <sup>2</sup> 直徑: 10.5mm 張力: 1.4ton 個別張力調整	Bronze (도전율60%) 65mm <sup>2</sup> 10.5mm 1.0ton 一括張力調整	
等斷面積	CU: 157mm <sup>2</sup>	CU: 145mm <sup>2</sup>	電車線 및 吊架線
Y線	Bronze 斷面積: 35mm <sup>2</sup> 直徑: 7.7mm 길이: 15m 張力: 400kg	銅燃線 29mm <sup>2</sup> 7.0mm 10m 150kg	
드롭바	斷面積: 5mm <sup>2</sup> 間隔: 6.75, 4.5m	5mm <sup>2</sup> 9m	CU
構成電車線의單位重量	1.65kg/m	1.83kg/m	
給電線	ACSR Al: 235mm <sup>2</sup> St: 54mm <sup>2</sup> 直徑: 22mm 張力: 900kg	없음	AT方式
保護線	ACSR Al: 59mm <sup>2</sup> St: 34mm <sup>2</sup> 直徑: 12.5mm 張力: 400kg	없음	1km間隔으로레일과接續
電車線이	4.9m	6.2~4.6m	레일面上
最大徑間	63m	63m	
理論最高速度	202km/h	179km/h	
振動周波數	0.79Hz	0.89Hz	

電車線路的 設計風速은 34m/sec으로 徑間을 直線區間에서 63m로 하였으며 支持物은 휨모우먼트 6-10 T.M의 H刑鋼材를 使用하였다.

架線方式은 變形Y型 심플커터너리 可動브래킷方式으로 電車線의 높이는 레일面上 4.9m로 全區間을 一定하게 維持토록 하였나디.

T.G.V의 2단 판타그래프가 摺動하는 電車線의 斷面은 120mm<sup>2</sup>이며 이는 65mm<sup>2</sup> 銅合金(Bronze)燃線의 吊架線에 依해 水平을 維持토록 하였으며 드롭바는 4.5m와 6.75m 間隔으로 設置하였고 使用碍子는 모두 近年에 새롭게 開發한 유리製碍子를 使用하였다.

電車線路的 標準架高는 1.4m이며 使用電線類의 張力은 電車線과 吊架線이 各各 1.4ton으로 別個의 滑車式 自動張力調整裝置가 設置되어있고 Y線은 400kg의 張力을 維持하도록 하였다.

電車線의 動的變化와 振幅을 줄이고 架線의 特性을 向上시키기 위하여 電車線에 6cm 程度의 弛度를 주었으며 列車通過時 弛度의 變化를 最小로 줄이기 위하여

·動作이 예민한 個別의 2重滑車式 張力自動調整裝置를 設置

- 電車線의 마모程度에 따라 張力調整
- 電車線의 重量을 恒常一定하게 維持하기 위하여 寒冷地域의 電車線은 서리나 눈이 附着되지 않도록 겨울철에는 순환電流를 흘림.

T.G.V의 新線은 平均 23km 間隔으로 分岐部가 設置되어 있고 列車通過速度는 160km/h, 220km/h나 되기 때문에 側線쪽에 補助電線을 架設하여 速度特性을 높였다. T.G.V 新線의 電車線路와 既存線의 電車線路 特性을 살펴보면 다음의 표 4.5와 같다.

② 集電裝置의 特性

새롭게 改良한 FairLey AMDE型 2단 판타그래프는 電車線의 句配(높이의着)가 심한 既存線과 電車線의 높이가 一定하게 建設된 高速新線에 供用될 수 있도록 設計하였으며 上部의 제 1단 판타그래프는 押上力에 依한 電車線의 높이變化에 적응되고 下部의 제 2단 판타그래프는 電車線의 支持點높이 變化에 적응토록 하였다.

AMDE型 판타그래프의 運動部分의 重量은 9kg으로서 在來의 AM이나 AC型 판타그래프의 1/3程度의 무게이며 集電電流는 最大 1,200A이다. 그리고 高速電車線路區間 運行時 판타그래프의 離線現象은 支持物을 通過한 地點이 가장 發生하기 쉽다.

交流 25KV 區間을 運轉할 때는 T.G.V의 集電特性을 높이고 電車線의 마모와 列車의 空氣抵抗을 最小로 感覺시키기 위하여 集電裝置는 1個만 使用하며 앞뒤 動力車의 판타그래프는 列車 支拂위에 特別히 設置

한 25KV 電力케이블로서 相互連結시켰고 客車와 客車 사이는 붓싱과 可撓電線을 使用하여 連結하였다. 그리고 電車線의 수명은 既存線과 같은 50年으로 보고 있으며 판타그래프의 摺板은 50,000km을 달린후 交替하고 電車線의 押上量은 12cm 程度이다.