

技 術 動 向

佛蘭西 高速電鐵 現況(I)

金 在 瑾*

目 次

- 1. 序 論
- 2. 佛蘭西 國鐵의 現況
 - 2.1 概 要
 - 2.2 經 營
- 3. T.G.V 超高速鐵道概要
 - 3.1 背 景
 - 3.2 區間 및 輸送需要
 - 3.3 旅客列車 專用線
 - 3.4 出力과 勾配
 - 3.5 速度와 運行時分
 - 3.6 T.G.V의 經濟速度
 - 3.7 線路補修와 投資費
 - 3.8 動力消費量

1. 序 論

本 內容은 現在 確定段階에 있는 京釜高速電鐵建設計劃에 必要한 技術資料를 蒐集하기 위하여 當廳 施設運輸 및 車輛分野關係官 3名과 함께 昨年에 佛蘭西國鐵의 高速鐵道運用現況을 돌아본 內容을 要約한 것이요, 先進國의 鐵道運用現況을 斷片的이나마 여기에 紹介하므로서 交通專門家나 電氣分野 諸位에게 多少라도 도움이 되기를 바라며 貧弱한 點이 있더라도 理解있으시기 바랍니다.

2. 佛蘭西 國鐵의 現況

2.1 概 要

佛蘭西의 國土面積은 547,026km², 人口는 54百萬名으로 1980年度의 鐵道輸送實績은 旅客이 545億人-km, (PARIS都心近郊線: 76億人-km, 其他線 469億人-km) 貨物이 695億 TON-km이었으며 貨物은 全體輸送量의 55.5%를 차지하고 있다. PARIS를 中心으로 하여 떨어진 鐵道의 營業キロ는 每年 조금씩 줄어 現在는 34,362km이며 電鐵區間은 10,074km(交流 25KV區間: 4,570km 包含)로 電鐵化率은 29.3%이나 電氣鐵道는 全國鐵道輸送量의 80%를 擔當하고 있다. 輸送量의 增加趨勢는 1970年度에 貨物은 704億 TON-km, 旅客은 409億人-km이었으나 1980年度에는 貨物이 9億 TON-km

가 減小한 反面에 旅客은 136億人-km가 增加하였으며 이는 PARIS 東南地區의 旅客增加가 큰 比重을 차지하고 있다. 鐵道動力의 年間消費量은 電力이 59億 KWH, 디젤等 油類가 716m³이고 이를 다시 石油로 換算하면 2.1百萬m³(電力 1,000KWH=石油 0.235m³, 디젤油 1m³=石油 0.917m³)가 되며 이는 全國 에너지 消費量의 1.2%, 交通部門全體 消費量의 6.0%이고 相當輸送物量과 比較한다면 鐵道가 많은 에너지를 節約하고 있음을 보여주고 있다. 列車速度別로 線路의 延長キロ를 살펴보면 표 1.1과 같고 160km/H 以上 高速運轉區間은 現在 8,762km에 이르고 있다. 高速運轉의 過程을 살펴보면 佛蘭西國鐵은 1964年度에 開通한 日本의 東海道新幹線建設에 刺戟을 받아 既存線을 補強改良하고 1967年度에는 既存線에서 200km/H까지 列車速度를 높이는 데 成功하였으며 高速化에 따른 列車의 蛇行運動, 線路의 破損率, 列車의 制動距離에 關한 各種 現地走行試驗을 120萬km 以上 實施하였다. 그후 1976年度에는 既存線의 高速化技術에 힘입어 마침내 旅客輸送需要가 急增하는 PARIS-LYON 間의 超高速電鐵新線建設을 1976年度에 着手하였으며 1981年 2月 26日에는 超高速列車

표 1.1 最高速度別 線路延長

最 高 速 度	線 路 延 長	備 考
160km/H 以上	7,300km	83年 : 834km
200km/H 以上	860km	
260km/H 以上	602km	
計	8,762km	

* 正會員: 鐵道廳 電氣局 電鐵課長

T.G.V.(Train à Grande Vitesse)가 速度 380km/H의 世界新記錄을 樹立, 各國의 鐵道關係技術陣을 놀라게 하였다. 佛蘭西國鐵은 지금도 高速列車의 各種 技術資料를 얻기 위하여 350km/H 以上の 高速으로 여러가지 試驗運轉을 繼續하고 있으며, 여기서 生産된 技術資料는 앞으로 鐵道發展과 近代化에 크지 貢獻할 것이다. 지난 1981年 9月 27日에는 PARIS-LYON間 426km의 新線에 FLORENTIN-LYON間 280km가 完成되어 T. G.V는 日間 13回를 往復하고 있으며, PARIS-FLORENTIN間的 新線은 現在 建設中에 있으나 2年後인 1983年度에는 모두 完成할 計劃이고 現在 이 區間의 T.G.V. 運行은 舊線을 利用하여 PARIS-LYON間을 2時間 40分에 走破하고 있으나 新線建設이 1983年度에 모두 完成되면 運行時分은 40분이 短縮되어 PARIS-LYON間을 2時間에 走破하게 될 것이다. 한편 佛蘭西國鐵의 電鐵化計劃은 에너지의 節約과 輸送原價의 節減을 위하여 長期計劃을 樹立, 積極的으로 推進中에 있으며 1980年에서 1985년까지는 每年 1,300km를 1986年에서 1990년까지는 每年 2,400km를 電鐵化하여 1990年頃에는 電鐵區間이 現在의 10,074km(電鐵化率 29.3%)에서 30,000km(電鐵化率 90%)로 擴張될 展望이다.

2.2 經營

佛蘭西國鐵의 從事員數는 裝備施設의 近代化와 經營合理化 施策의 推進으로 每年 줄고 있으며 現在 251,700名이다. 1978年度の 總收入은 3兆 8,740億원(298億 Franc, 換率 1 : 130)이며 支出은 4兆 30億원으로 3.9%線인 1,560億원의 缺損을 보았고 이의 缺損은 每年 0.2%씩 增加하여 鐵道財政에 많은 어려움을 주고 있다. 1981年度の 總投資費豫算은 1兆 1,050億원(85億 Franc)이며 車輛部門이 39%로 4,300億원, 施設, 電氣部門이 47%로 5,200億원 高速鐵道 T.G.V. 建設部門이 14%로 1,550億원으로 高速電鐵建設에 對한 佛蘭西國鐵(SNCF)의 關心度가 어느程度인가를 짐작할 수 있다. 鐵道の 財政缺損은 人件費의 上昇, 既存線改良, 高速鐵道の 建設, 鐵道運賃의 割引等의 要因에 起因되나 우리가 注目하여야 할 것은 國鐵自體의 經營合理化推進은 勿論 政府에서도 鐵道는 가장 效率 높은 大量, 長距離輸送機關인 同時에 에너지消費가 적은 國民便益施設로 看做하여 果敢한 施設改良과 赤字要因解消에 積極的인 政策支援을 다하고 있음을 알 수 있다.

3. T.G.V. 超高速鐵道概要

3.1 背景

PARIS 東南쪽으로 뻗은 PARIS-LYON間 519km區間

의 既存幹線은 每年 3%씩의 輸送量이 增加하여 이미 輸送能力이 限界에 到達하였으며 佛蘭西國鐵은 이 區間의 輸送力擴張을 위하여 10年前부터 對策專擔機構를 別途로 設置하여 既存線의 複復線建設方案과 高速新線建設方案을 놓고 2個年에 걸쳐 細密히 檢討 調査하였다. 佛蘭西政府는 本調査를 檢討한 結果에 따라 1973年 新線建設의 妥當性을 認定하고 建設工事は 1976年度에 着手토록 하였다.

3.2 區間 및 輸送需要

(1) PARIS-LYON間 高速電鐵新線 區間 略圖는 다음과 같다.

(2) 輸送需要

PARIS-LYON間的 輸送需要는 표 3.1과 같고 鐵道の 輸送分指率은 1969年度에 52.1%이었으나 1979年度에는 38.9%로 낮아졌으며 1985年度에 T.G.V.가 運行된다면 47.9%가 되어 公路와 航空部門의 乘客이 鐵道로 많이 轉嫁될 것으로 推定하였다. 그리고 新線建設의 經濟的妥當性 檢討는 期間을 20年으로 하여 計算하였고 그 結果 內部收益率(I.R.R.)은 16%로 1990年度以前에 모든 費用이 回收될 것으로 豫測하였다.

(3) 利用乘客分布

路線의 距離는 高速鐵道の 경우 2時間帶인 400~500km가 가장 理想的인 間을 다음의 그림 3.2에서 알 수 있다. T.G.V.乘客은 1時間帶까지는 時間을, 2時間帶까지는 料金を 重視하는 傾向이 있어 時間에 關係없이 500km까지는 鐵道를 利用하는 사람이 增加하고 航空機는 2時間帶를 넘어서면서 利用乘客이 緩慢하게 增加한다. 그리고 T.G.V.의 運賃도 將來 航空機의 大型化에 따라 料金割引率 10%를 考慮하여 決定한 바 있으며 既存線의 鐵道料金과 같다.

3.3 旅客列車 專用線

SNCF의 主要幹線은 旅客과 貨物列車가 함께 運用되고 있으나 PARIS-LYON間的 新線은 다음과 같이 線路容量을 極大化하기 위하여 旅客列車專用線으로 建設하였다.

(1) 貨物列車을 運行하지 않고 等速度의 旅客列車만을 運行한다면 Net-Dia가 되므로 線路의 容量은 거의 3倍로 늘어 난다.

(2) 新線에 貨物列車을 運行한다면 機關車의 軸重은 22TON, 貨車의 軸重은 20TON程度가 되어야 하므로 T.G.V.의 軸重 16TON보다는 4~7TON이나 무겁다. 高速列車의 各種 試驗運轉結果에 依하면 레일의 破損率은 軸重의 3乘에, 軌道の 破損率은 2乘에 比例하는 것으로 나타났다. 따라서 新線에 貨物列車과 旅客列車

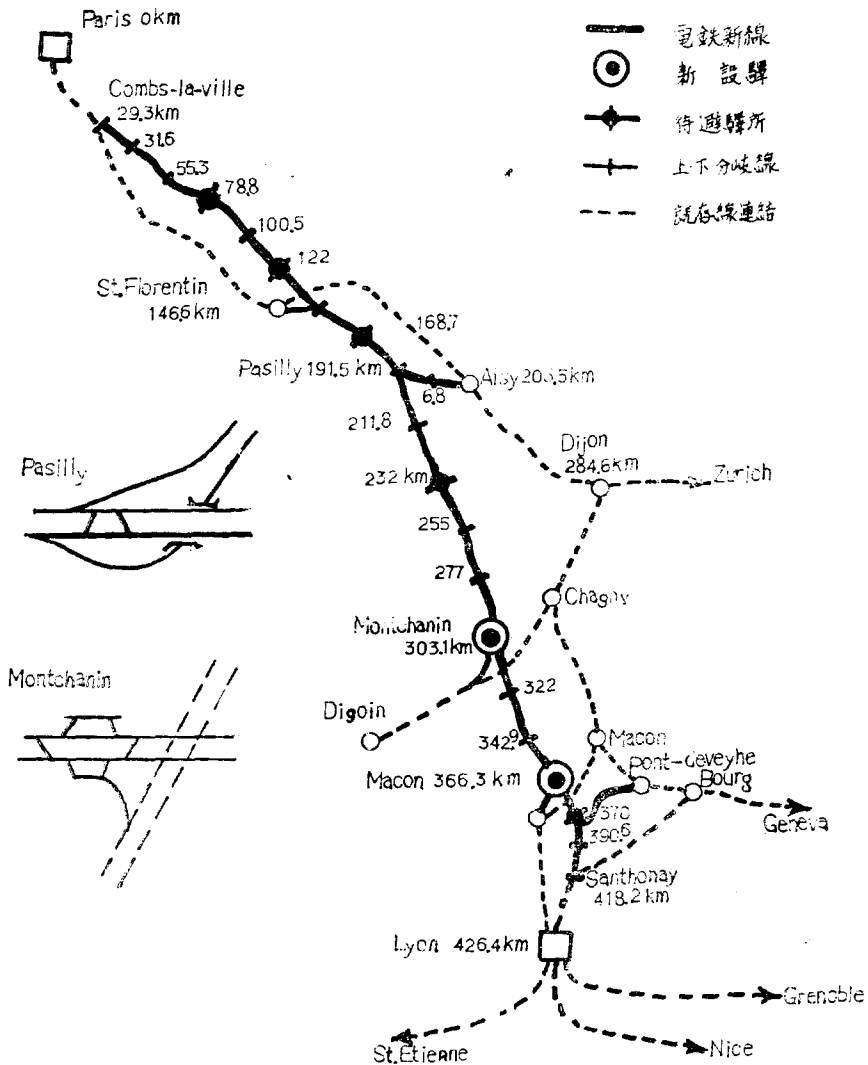


그림 3.1 T.G.V. 新線區間 略圖

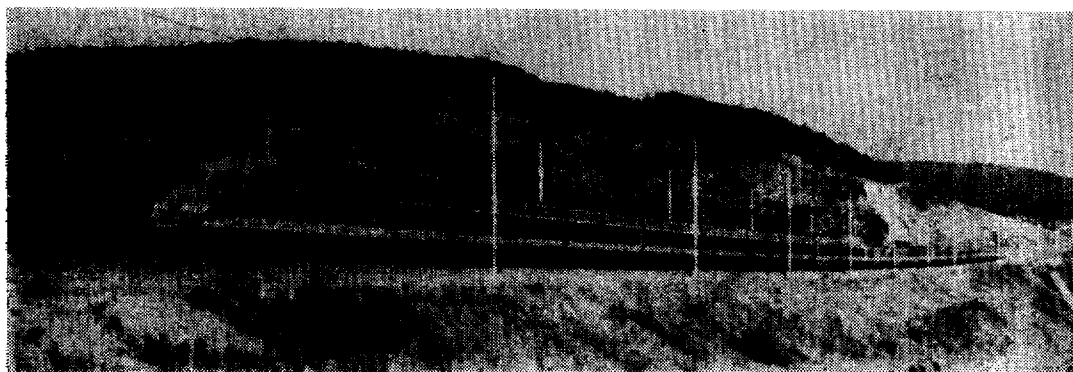
를 混用運한다면 貨物列車에 依한 레일 破損은 旅客列車보다 2~3倍로 急増하기 때문에 軸重의 輕減方案이 없는限 新線에서 貨物列車의 高速運轉은 거의 不可하다.

(3) 萬若 新線의 R : 4,000m의 曲線區間에서 貨物列車가 80km/H의 速度로 運行한다면 所要켄트(Cant)量은 19mm이고 300km/H 速度의 旅客列車는 265mm가 된다. 따라서 客, 貨混用運行은 위와 같이 켄트量의 差로 車輛과 線路間에 工學的인 問題點이 나타나고 乘客은 不快한 乘車感을 가져오게 된다. 이의 解決方案

으로서는 曲線半徑을 크게 擴大하여 線路를 直線化하는 方法이 있으나 이는 線路建設費가 莫大하게 所要되므로 經濟面에서 妥當性이 稀薄해진다.

3.4 出力과 勾配

運動하는 物體의 質量은 m, 速度를 V라고 하면 이 때의 運動에너지는 $1/2m \cdot V^2$ 로 表示되고 이는 速度의 增加에 따라 急激히 커진다. 한편 速度가 낮아질 때 蓄積된 運動에너지는 잘 알려진 Fly-Whcel 效果에 따라 다른 곳으로 有效하게 利用될 수 있기 때문에 이點



〈T.G.V. 超高速列車〉

표 3.1 PARIS-LYON間輸送需要

〈單位：百萬名〉

區 分	1 9 6 9		1 9 7 9		1 9 8 5			
					T.G.V. 運用時		T.G.V. 없을 時	
公 路	7.2	37.5%	16.8	48.0%	18.8	41.0%	21.6	48.0%
鐵 道	10.0	52.1%	13.6	38.9%	22.0	47.9%	16.1	35.8%
航 空	2.0	10.4%	4.6	13.1%	5.1	11.1%	7.3	16.2%
計	19.2	100%	35.0	100%	45.9	100%	45.0	100%

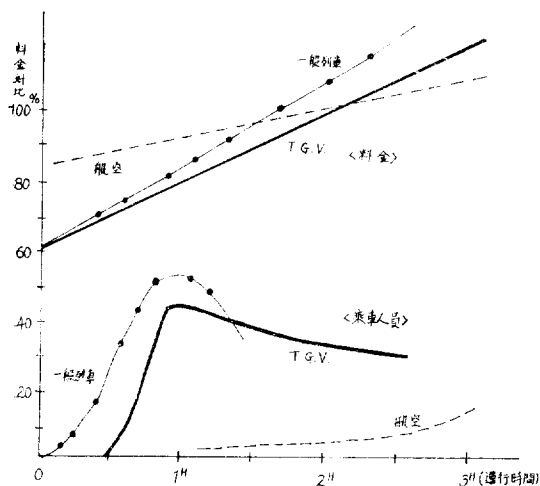


그림 3.2. 交通手段別利用乗客과 料金

을 着眼한 것이 T.G.V.의 獨特한 運轉方式인 것이다. 上勾配가 始作되는 地點의 初期速度가 300km/H인 T.G.V.가 動力을 嵩고 上勾配區間을 停止直前까지 올라간다면 그 높이는 302m가 되고 이는 速度가 重力을 蚕食한다는 物理法則이 그대로 適用됨을 보여주고 있다. 在來線의 경우는 線路의 急勾配區間은 運轉의 最

大 危險區間으로 되어 있다. T.G.V.와 같은 高速運轉은 上勾配區間에서는 高速運轉으로 因한 蓄積保有하게 된 莫大한 運動에너지가 自體의 出力에 加算利用되므로 앞에서 말한 既存線의 急勾配의 問題點은 크게 緩和되며 이에 따라 T.G.V. 新線建設은 最大勾配를 既存線보다 3배나 높은 35/1,000(=35%)로 設計建設하였다. T.G.V.가 35% 上勾配區間을 260km/H의 速度로 進入하여 6,300KW의 全出力으로 3.5km의 距離를 달린다면 速度는 220km/H로 떨어지고 이때 上勾配區間을 올라간 높이는 122m가 되며 이의 結果는 線路의 急勾配距離를 確定하는데 좋은 技術資料가 될 것으로 判斷된다. 萬若 위와 같은 上勾配에서 220km/H 以上の 列車速度를 繼續維持하면서 長時間 달린다면 이때 所要되는 動力車의 出力은 6,300KW의 2배에 가까운 11,200KW가 必要하게 되고 이와 같은 높은 出力의 動力車를 保有한다는 것은 技術적으로 賢明한 判斷이 될 수 없다. 위와 같은 事實을 綜合하면 高速運轉은 旅行時間의 短縮, 車輛의 回歸率短縮은 勿論 蓄積된 運動에너지를 最大로 利用하므로 勾配를 35/1,000로 할 수 있으며 이는 路盤建設費를 15/1,000보다 40% 以上 節減할 수 있다.

3.5 速度와 運行時分

旅客에 대한 最大의 서비스는 旅行時間을 短縮시켜 주는 것이므로 PARIS-LYON間的 運行時分을 最高速度別로 比較하면 표 3.2와 같다.

표 3.2 速度別 運行時分

最高速度	運行時分	時間 短縮		備 考
		差	累 計	
160km/H	3 : 45			在來線
200km/H	2 : 30	75分	75分	T.G.V.
260km/H	2 : 00	30分	105分	T.G.V.
300km/H	1 : 45	15分	120分	T.G.V.
航空機	1 : 30	15分	135分	—

最高速度 260km/H의 T.G.V.의 運行時分은 2時間으로 在來線보다는 1時間 45分 短縮할 수 있다. 다음표는 最高速度別 所要出力을 算出한 것이다. 예를 들면 300km/H에서 350km/H로 速度를 높이면 所要出力은 50%가 增加되어 9,000KW가 되나 運轉時分은 不過 12분밖에 短縮되지 못하므로 出力은 300km/H 速度를 基準으로 하여 6,300KW로 하였다. 速度別 所要出力의 關係는 다음 표와 같다.

표 3.3 速度別 所要出力

速 度	運行時分	短 縮	所要出力
200km/H	2 : 30	—	2,000KW
250km/H	2 : 03	27分	4,000KW
300km/H	1 : 45	18分	6,000KW
350km/H	1 : 33	12分	9,000KW
400km/H	1 : 24	9分	13,000KW

3.6 T.G.V.의 經濟速度

前述한 바와 같이 運轉時間の 短縮은 旅客서비스面이나 收入增加面에 바람직 하나 列車速度가 클 수록 固定投資費와 運轉經費가 增大되고 安全도가 低下되므로 가장 合理的인 速度를 決定하기는 어렵다. 列車速度와 以上 各變數와의 關係는 그림 3.3과 같으며, SNCF는 T.G.V.의 經濟速度를 約 280km/H가 適正速度로 判斷하고 있다.

3.7 線路補修와 投資費

一部 사람은 T.G.V.가 高速鐵道이기 때문에 既存線보다 훨씬 많은 建設費, 補修費 및 動力費 등이 所要될 것이라고 推測하고 있으나 이는 事實과 많이 다르다.

(1) 線路補修

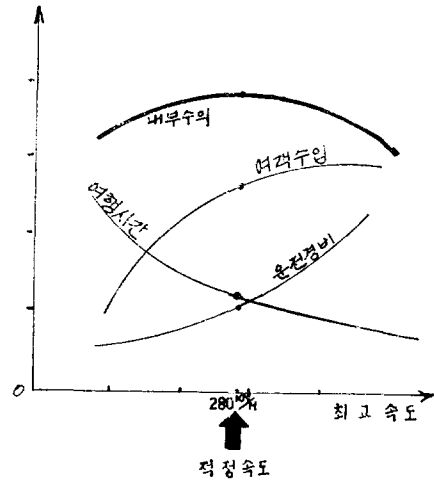


그림 3.3 최적 경제 속도

T.G.V.의 試運轉結果에 의하면 木枕木을 使用한 既存線에서 車輛의 臺車構造를 改良한다면 能히 260km/H 까지 올릴 수 있다고 確認되었으므로 高速鐵道建設의 경우 다음의 事由로서 軌道構造를 在來線보다 크게 強化할 必要性은 없다.

첫째 : 既存線에 運行하는 電氣機關車의 軸重은 22 TON, 貨車는 18~20TON 程度이나 新線에 投入하는 T.G.V.는 16TON으로 낮아진다.

둘째 : T.G.V.는 牽引電動機를 臺車에 設置하지 않고 車體에 取付하였기 때문에 高速運轉의 基本要素인 臺車の 非彈性質量(Unsprung Mass)은 既存線에 運行되고 있는 電氣機關車의 1/2程度이다.

셋째 : 위의 非彈性質量의 振動에 依하여 나타나는 臺車の 動的過負荷(Dynamic Over Load)는 列車의 運行速度에 따라 正比例하지만 300km/H의 速度로 走行하는 T.G.V.쪽이 200km/H로 달리는 電氣機關車牽引의 Capitole 特急列車(EL : 114TON, 5,900KW, 客車 11輛 618TON 牽引) 또는 Etendar 特急列車보다는 動的 過負荷는 적었다.

넷째 : 車輪上的 乘直分力은 T.G.V.가 300km/H 速度에서 12TON 밖에 되지 않으나 軸重이 20TON인 貨車는 100km/H에서 14~15TON으로 훨씬 높다. 그리고 脫線과 關係되는 橫方向의 分力은 T.G.V.가 300km/H로 走行할 경우 3TON 程度이나 軌道는 理論上 上記 橫壓의 2倍以上을 견딜 수 있어 別途의 對策이 必要없다. 위와같이 T.G.V.高速鐵道는 車輛과 臺車의 動的 過負荷를 輕減하고 새로운 連接型(關節型) 臺車方式을 採擇하였기 때문에 同一通過屯數條件下에서 300km/H

速度로 달리는 T.G.V.에 의한 軌道の 磨耗量은 80km/H 로 달리는 貨物列車(軸重 20TON)의 1/2 程度라고 試驗研究結果 밝혀졌으며 車輪의 Frange 磨耗는 1.2~1.5mm/1,000,000km 이다. 따라서 T.G.V. 高速鐵道の 線路補修費와 建設費는 既存在來線의 水準과 거의 같음을 알 수 있다.

(2) 投資費

PARIS-LYON 間 420km의 高速鐵道建設投資는 표

3.5와 같다. 線路의 建設費는 1980年度價格으로 總 1兆 2,000億원(90億 Franc)이며 km當 30億원이 所要되었다. SNCF는 線路建設費를 節減하기 위하여 最大勾配를 35/1,000로 하였고 線路의 經過地는 土質, 構造物, 土量, 地價等を 勘案하여 가장 經濟的인 路線을 Computer에 依하여 選定하였다. 그리고 經過地는 自然條件을 最大로 利用하여 터널을 없앴으며 道床도 既存線과 同一한 자갈道床으로 하였다.

표 3.5 T.G.V.의 投資費

單位: 億원, 1980年價格

區	分	數	量	金 額	備 考
用 路	地 盤	26	百萬m ²	470	터널 없음
	Cutting	400	km ³	4,100	
	Banking	46	百萬m ³	1,300	
	構 造 物	45	"	900	
	道 路	500	個 所	1,000	
軌 道	道			900	(60kg/m Rail 차갈道床)
	電 氣			2,000	
	其 他			2,400	
小 計				3,030	信號通信包含 修車設備, 建物造景, 울타리等
小 計				12,000億원	(90億 Franc)
車 輛		47	編 成	2,400	10輛連結
總 計				14,400億원	(111億 Franc)

換率 130 : 1

3.8 動力消費量

T.G.V.는 列車의 走行抵抗과 動力消費量を 줄이기 위하여 車輪의 斷面積의 縮小, 車體材料의 輕量化, 前後側面의 流線型化, 連接型의 客車連結, 臺車數의 減

縮, 車體下部面의 低下(Rail面에서 30cm 以內) 車輪의 突出部除去等を 革新하여 既存 車輪과 전혀 다른 形態의 새로운 高速車輪을 製作시켰고 이에 따라 다음 표와 같이 列車走行抵抗과 動力消費를 減少시켰다.

표 3.6 에너지 消費量比較

<座席 1人-1km當>

區	分	最 高 速 度	消費量(石炭換算)	記 事
一 般 列 車		140km/H	7.4gr	電力 1KWH=石炭 353gr 디젤油 1l= " 1,308gr 揮發油 1l= " 1,175gr 電力은 變電所出力側
	T. G. V.	260km/H	15.0gr	
	T. E. E.	160~200km/H	17.2gr	
乘 用 車		100km/H	29.4gr	5乘用車基準

표 3.7 列車走行抵抗比較

<單位: kg>

區	分	100km/H	160km/H	260km/H	記 事
T. G. V.		1,200	2,300	5,100	列車重量 418TON
T. E. E.		1,800	3,500	—	" 456TON
韓 國		3,300	—	—	" 452TON

※ T.E.E.: Trans Europe Express

<會誌 第31卷 第6號 계속>