

電鐵運用과 高速列車 開發方向 ①

~ 日本鐵道現況과 韓國鐵道の 將來 ~

金 烈 會

<鐵道廳營業管理課 事務官>

第3章 日本의 鐵道技術과 電鐵運用

日本國鐵이 구상하고 있는 鐵道技術의 開發方向은 크게 두개의 category로 나눌수 있는데 그 첫째 문제가 市場의 擴大(market expansion)이고, 그 둘째 문제가 서비스 改善(improvement of train service)에 따르는 技術開發이다.

輸送市場의 擴大를 위하여 日本國鐵은

① 全國的인 新幹線網의 再整備(nationwide new trunk line network)

② 超高速列車의 開發(super speed operation)

③ 貨物의 輸送(freight tube transportation)을 장래 鐵道技術의 開發指標로 삼고 있으며 서비스 改善을 위하여는 아래와 같은 內容으로 改善의 目標을 삼고 있다.

① 都市間輸送體制의 改善(interrurban transportation)

② 大都市輸送用 列車開發(commuter train

service in large cities)

③ 中長距離輸送用客車 開發(inter-mediate long distance cargo transportation)

日本國鐵은 1964년 10월 日貨 3,800億圓을 투입하여 東京~大阪間 515 km의 東海道新幹線을 개통함으로써 세계에서 가장 빠른 列車速度를 기록하게 되었다(<表-11>參照). 新幹線開通後 鐵道利用客은 급격히 증가하고 있어 최근까지 前年對比 平均 30%의 旅客需要가 증가하였으며, 東京~大阪間 하루에 운행되는 列車數는 上下 223個列車에 달하며 1個列車의 定員은 1,000名이다.

또 新幹線輸送分擔은 東京~大阪間 總流動人員의 71%를 차지하는데 반하여 東名高速道路를 통하여 수송되는 인원은 定期 및 觀光 bus와 乘用車人員을 모두 합쳐서 29%의 分擔率을 차지하는데 불과한 형편이다. 뿐만아니라 東海道新幹線의 收入은 全旅客收入의 약 1/3을 점하고 있으

<表-11>

最近世界의 高速列車

國 名	列 車 名	軌 間 (mm)	列車方式	走 行 區 間	거 리 (km)	表定速度 (km/h)	最高速度 (km/h)
日 本	히 가 리	1,435	EC	東 京 ~ 新 大 阪	515	163	210
美 國	메트로·라이너	"	"	뉴 욕 ~ 워싱턴	332	145	188
프랑스	아 끼 데 느	"	EL	파 리 ~ 보 르 드	581	145	200
英 國	버 버 폴·폴 맨	"	EC	런 던 ~ 리 버 폴	310	130	160
獨 逸	라 인·골 드	"	EL	후라이부르크~칼스루에	134	136	160
鮮 聯	오 로 라	1,524	"	모스크바~레닌그라드	650	125	160

資料 : 日本國鐵

며, 그 收支狀況도 매우 좋아서 輸送原價가 全 收入의 50%에 조금 미달되는 成績을 보이고 있다.

日本國鐵이 計劃하여 현재 施工中에 있는 新 幹線은 大阪~博多(Hakada)間 578 km의 山陽 (新幹)線, 東京~盛岡(Morioka)間 496 km의 東北(新幹)線, 大宮(Omiya)~新潟(Niigada)間 270 km의 上越(新幹)線(Jōetsu new trunk line), 그리고 東京과 成田空港을 잇는 成田線 (Narita line)등인데, 山陽新幹線中 大阪~岡山 (Okayama)間 180 km는 1972년 2월 總 2,300 億圓의 공사비를 들여 개통하였고 이 山陽新幹線의 開通試運轉에서 951 新型車를 개발하여 286 km/h의 速度를 記錄하여 세계를 놀라게 하였다.

현재 建設中에 있는 山陽新幹線의 岡山~博多 間은 지형상으로 보아 53%에 해당하는 210 km가 tunnel區間이지만 新設工事は 순조롭게 進 行되고 있다. 山陽新幹線이 완성되면 東京~九 州間 旅行寢臺列車를 운행할 계획인데 그 때를 對備 하여 晝間座席, 夜間寢臺 형의 特殊車輛을 개발 중에 있다.

그리고 山岳地帶의 句配走行에 有利하고 大雪 地區를 走行하면서 10 cm까지 除雪이 가능하며 住宅地區에서 騒音を 제거할 수 있는 新型 961 系 電車を 1973년까지 開發할 예정인데 이차의 특 징은 50 c/s區間이거나 60 c/s區間을 막론하고 일관 走破할 수 있다는데 있다. 이 新型車輛이 실

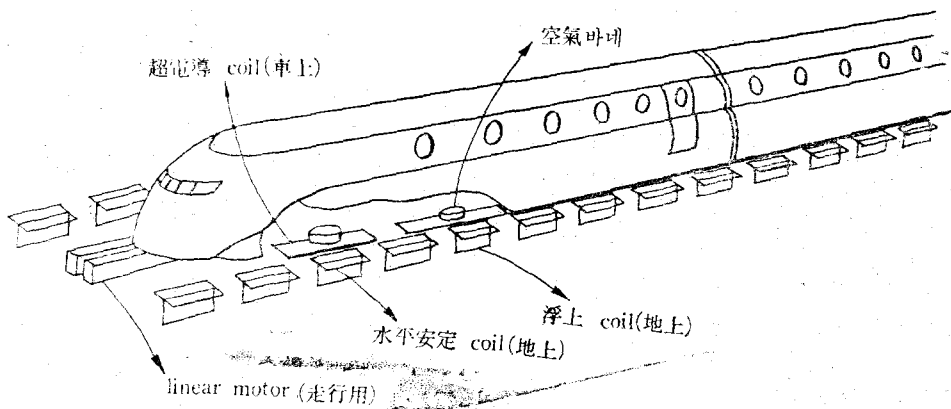
용화되면 山岳地帶이며 '大雪線區인 東北新幹線 과 上越新幹線에 투입할 것이다.

재래선에 있어서도 旅客列車의 speed-up을 위 하여 振子形電車(pendulum type car)를 1973년 까지 개발하여 名古屋~東京間을 運行할 계획인 데 이 車輛으로서 旅客列車를 운행할 경우 狹軌 인 재래선에서도 평균 120 km/h의 速度로 走行 할 수 있다.

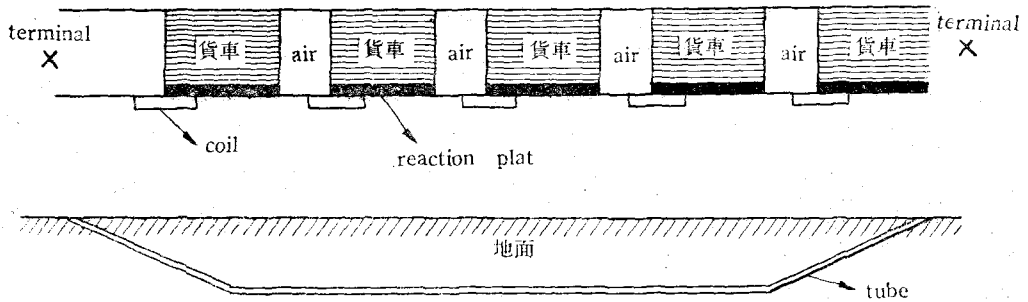
장래 新幹線에서의 列車走行速度를 日本鐵道 에서는 250 km/h를 계획하고 있는데, rail 위 에 서 車輛 摩擦力의 物理的 한계가 310 km/h 가 지는 가능하지만 實用限界는 250 km/h 內外로 서 이 이상의 속도에서는 車輪이 미끄러지고 車 輪의 動搖가 가속적으로 크게 되어 脫線의 危險 性이 있기 때문에 日本國鐵에서는 차량을 사용 하지 않는 방식으로서 linear motor를 개발하고 있다. 이것은 電動機의 界磁를 지상에 놓고, 電 磁力를 사용하여 列車가 走行用 linear motor 위 를 10 cm 程度 浮上하면서 500 km/h 速度로 달 릴 수 있게 설계된 것이다. (<그림-12> 參照).

이 linear motor는 1972년 10월 鐵道創業 100週年을 맞이하여 日本鐵道技術研究所에서 製 작한 NL100型 模型 linear motor로 浮上試驗 하는 것을 필자도 직접 參觀한 바 있는데 1973년 중에 7 km의 試驗線區를 건설하고 이것이 성공 하면 1983년까지는 東京~大阪間에 實用化할 계 획으로 있다.

그리고 將來의 貨物輸送은 <그림-13>에 보여



<그림-12> 超高速列車의 構想圖



<그림-13> tube 방식 貨物輸送 構想圖

은 바와 같이 tube 輸送방식을 개발할 계획으로 지금 한창 研究가 진행중에 있다. 이 방식은 지중에 거대한 tube 를 묻어 양쪽 terminal 에서 inear motor 動力으로 貨車가 연속적으로 輸送되도록 구상하고 있는데, 1975 년중에 試驗하여 이것이 성공하면 1980 년대에는 東京~大阪間에 실용화할 계획이다.

本土와 떨어져 있는 北海道, 四國와 直通列車를 운행하기 위하여 本州~北海道間에 青函 (Seikan) tunnel 을, 本州~四國間 3개의 교량 건설을 계획하여 현재 그 基礎調査를 진행중에 있으며 1979 년도까지 개통을 목표로하고 있다. 아직 未決課題로 남아있는 문제는 住宅地區와 驛間의 輸送問題로서 computer 로 조정되는 monorail 로 連絡輸送의 가능성 여부를 연구중에 있다.

이제부터는 本章의 核心이라할 수 있는 日本鐵道の 電鐵運用現況과 이에 부수되는 技術開發問題 등을 중심으로 고찰해 보기로 한다.

日本の 電氣事情은 다양하고도 복잡하여 현존하는 電氣鐵道도 매우 複雜한 성격을 띠고있는데 그것은 日本의 電氣導入過程이 개화기 초 私企業에 의하여 주도되었기 때문이다. 이것을 크게 나누어보면, 東京에서 150 km 以南부터는 60 c/s 이며 以北은 50 c/s 로 되어있다.

따라서 TV 나 radio 등 각종 電用品도 使用地方에 따라 다르며 日本國鐵의 電氣鐵道運用方式도 南北이 매우 다른 system 을 채용하고 있다.

원래 日本國鐵은 創業當時부터 狹軌(1,067 mm) 를 채용하였으며, 새로 建設한 新幹線만이 우리

나라와 軌間이 같은 廣軌(1,435 mm)로 建設되었고 私鐵에서는 많은 數가 廣軌로 운용되고 있다. 1972 년 현재 日本國鐵의 電化 km 는 6,631 km 로서 總營業 km 의 32%이다. 이것을 電化區間에 운용되는 車輛 km 와 非電化區間에 운용되는 車輛 km 로 비교할 때 74 : 26 의 비율을 보이고 있으며 私鐵에 있어서는 1972 년 3월 현재 153 개 회사의 總營業 km 6,116 km 中 5,255 km 가 電化되어 86%의 電化率을 보이고 있다.

日本鐵道の 電鐵化歷史는 상당히 오래되어 1895 년 京都 6.6 km 의 電鐵化를 효시로하여 1906 년 中央線 12.1 km 를 電化하였으나 본격적인 電鐵化事業은 1955 년 仙臺(Sendai)~Sakunam¹ 間 28.7 km 를 電化함으로써 시작되었다.

1957~1960년 第1次5 個年計劃期間 동안에 3,300 km 의 電化計劃을 세워 680 km 를 완성하였고 1961~1964년 第2次5 個年計劃(鐵道綜合計劃) 期間中에는 1,800 km 계획에 1,157 km 실적을 기록하였으며 1969 년 鐵道再建 10 個年計劃에서는 10 個年동안에 이미 電化된 6,631 km 를 포함하여 14,000 km 를 電化함으로써 電化率 67%를 유지할 계획으로 있다.

世界的 電化 km 는 1972 년 현재 약 12萬 km 에 달하며 그중 약 60%에 해당하는 70,000 km 가 直流方式(D. C. system)을 채용하고 있다. 電化率이 가장 높은 나라는 스위스의 99%를 비롯하여 스웨덴, 네덜란드, 노르웨이, 이탈리아, 오스트리아, 日本의 順으로 되어 있으며 이외에도 美國, 蘇聯, 프랑스, 英國 등 대부분의 나라에서 電氣鐵道를 운용하고 있다.

電氣鐵道の 電氣 system 에는 直流方式과 交

流方式(A. C. system)의 두가지가 있는데 日本의 電鐵構造는 최초에는 D. C. 에서 출발하여 A. C.—D. C. system 이 복합적으로 건설되어 매우 다양한 양상을 띄고있다. D. C. 의 경우 國鐵과 地下鐵에서는 1,500 V 로, 私鐵의 電車는 750 V 와 600 V 로 운용되고 있으며 A. C. 의 경우 國鐵在來線에서는 20 KV 單相交流方式(single phase A. C. electrical system)을 新幹線에서는 60 c/s 25 KV 單相交流方式를 채용하고 있다.

D. C. 방식은 일찍부터 世界各國鐵道가 널리 채용한 system 으로서 日本의 電鐵化도 D. C. 에서 부터 개발되기 시작하여 오늘날 東京, 大阪 등 主要都市周邊의 幹線網과 東海道 및 山陽本線도 1,500 V D. C. system 으로 되어 있으며 현재 건설중에 있거나 장래 計劃하고 있는 新幹線은 50 c/s 또는 60 c/s 25 KV A. C. system 을 채용하게 될 것이다.

D. C. system 에 있어서는 silicon 整流器(rectifier)와 같은 電力變換裝置(electric power converting device)가 變電所에 방치되었는데, 이것은 電動車を 운전하기 위하여 D. C. 電流를 電車線에 공급하는데 필요한 것이다. 電動車的 車輪은 D. C. 直列電動機(series motor)로 장치되어, 우수한 시동력을 갖기 때문에 일찍부터 D. C. system 이 채용되었던 것이다. 그러나 D. C. 電動機의 電壓은 motor 의 絕緣裝置(insulation)와 電氣轉換裝置(commutator)에 의하여 기술적인 제약을 받기 때문에 3,000 V D. C. 이상의 高壓電流는 채용할 수 없다는 제한이 있다. 그러므로 A. C. system 에 비하여 D. C. system 에 있어서는 電車線(contact wire)에 흐르는 電流가 크면 큰수록 電壓은 내려가기 때문에 變電所(traction substation)의 間隔에 따라서 필요한 電車線의 容量이 결정되는 것이다.

그리고 電壓降下를 적게하고 電流容量(current capacity)을 크게 하기 위하여 일반적으로 給電線(feeder)은 並列로 설치하며, 이에 따라 變電所나 電車線의 구조가 A. C. system 에 있어서 보다 훨씬 복잡하게 되어있다.

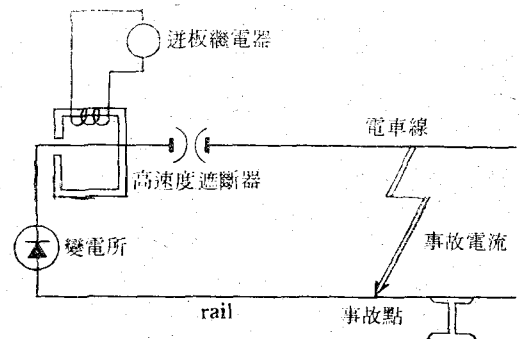
D. C. 電化區間에는 負荷電流가 크고 並列方式를 채용한 결과 事故電流의 選擇遮斷이 곤란하여

여러가지 연구가 진행중에 있다 D. C. 구간을 보호하기 위하여 종래부터 高速遮斷器(circuit breaker)를 사용하여 왔으나 이것은 遮斷能力과 동시에 故障電流에 대하여 어느 정도의 選擇性을 갖는다. 事故電流가 적거나 負荷電流가 커서 運轉電流와 事故電流가 접근하는 경우에는 遮斷器 자체의 選擇性만으로서 事故檢出이 곤란하게 된다.

이것을 보완하기 위하여 <그림-14>와 같이 事故電流의 檢出部分과 遮斷部分을 별도로 설치하여 選擇遮斷의 성능을 향상시키고 있으며, 또 이 장치는 事故電流가 갑자기 큰 電流增加를 표시하는 것을 이용, 정상 運轉電流와 事故電流를 판별하여 遮斷部分을 작동시키는 것이다.

A. C. system 은 크게 單相(single phase)과 三相(three phase)方式이 있는데 전자가 常用周波數(commercial frequency)에서 가장 보편적으로 채용되고 있다. A. C. 變電所는 送電線(commercial transmission line)에서 給電되는 電流를 전차에 보낼때 電壓을 변압해서는 안되므로 오히려 構造가 간단하며 또 전차에는 變壓器가 장치되어 있어서 motor 의 端子電壓(terminal voltage)을 容易하게 선택할 수 있기 때문에 電車線에는 비교적 高壓電流를 사용하는 것이 일반적인 경향이다.

그리고 普通 電流容量이 적은 電車線이 쓰여지고 있으며 電壓降下問題는 變電所의 直列 condenser(installing series condenser)에 의하여 오히려 쉽게 해결되고 있다. 또 電車速度는 D. C. system 에 있어서 보다 쉽게 control 되어 車輪과 rail 간의 接觸係數(adhesive coefficient)이 클



<그림-14> 直流區間の 保護方式

뿐만 아니라, 같은 出力下에서 始動力(starting ractive force)이 훨씬 強하게 사용되고 있다.

이와는 반대로 常用周波數의 경우 高壓電流는 通信線에 誘導障隘(inductine disturbance)를 일으키게 되는데 이것을 방지하기 위하여 日本國鐵은 <그림-15>의 例와 같이 負給電線(negative feeder)을 사용하고 있으며, 최근에는 A. T. system(<그림-16> 參照)을 개발하여 이 720 km 區間에 運用하고 있다.

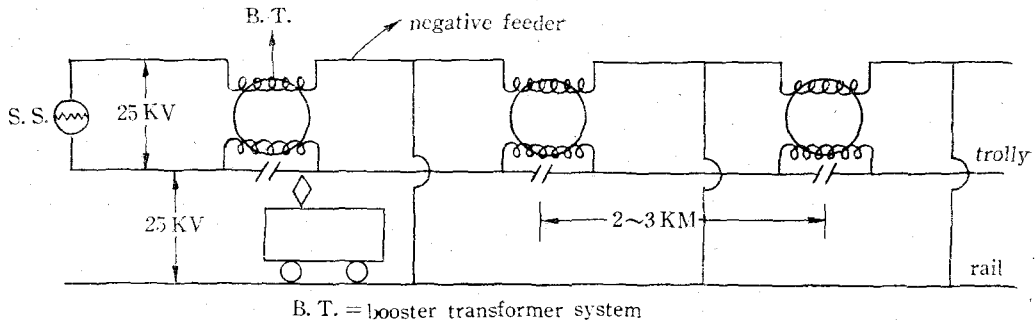
B. T. (booster transformer) system 은 東海道新幹線의 電鐵方式인데 2~3 km 구간마다 區分所(sectioning post)가 설치되어야 하며 斷落時 차크가 클 뿐만아니라 trolley 磨耗가 쉽게 되는 것이 큰 缺點이다(<그림-15> 參照).

이에 대하여 A. T. (auto-transformer) system (<그림-16>)은 山陽新幹線에서 채용한 방식인데 區分所가 필요 없고 變電所間的 距離가 50~30 km 로 B. T. system 보다 큰것이 특징이다.

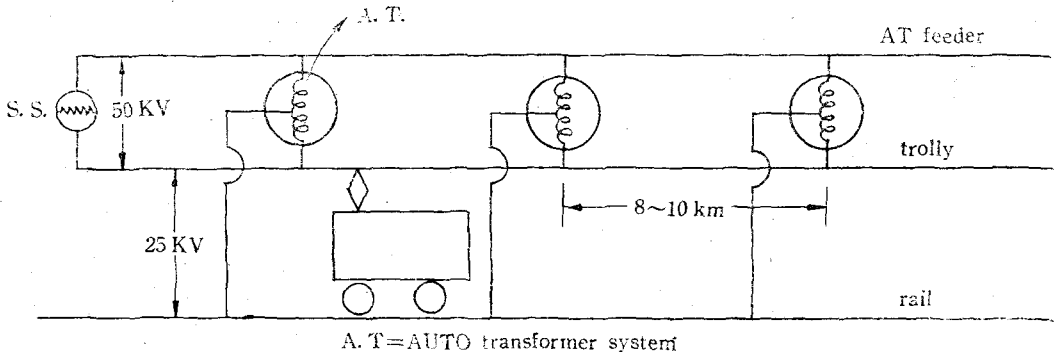
A. C. 區間은 D. C. 區間에 비하여 전압이 높고 正상의 運轉電流와 事故電流의 차가 크기 때문에 일반적으로 事故電流의 選擇遮斷이 용이하다. 給電區間이 짧은 경우에는 過電流繼電器를 사용하지만 구간이 길어서 負荷電流도 클 때에는 事故電流의 선택이 곤란하므로 日本國鐵에서는 <그림-17>과 같이 距離繼電器를 사용하고 있는데 이것은 線路抵抗이 그 距離에 비례한다는 原理를 利用, 斷電器設置點에서 線路抵抗을 측정해서 그 값이 保護區間的 距離안에 있으면 사고로 보지않고 遮斷器를 개방해 두는 것이다.

A. C. system 中 三相交流式은 電動車에 三相 誘導電動機를 사용하고 있어 電力回生 制動運轉이 용이하여 勻配區間에 사용되는 예가 있으나 相數가 많기 때문에 電車線이나 車輛의 集電裝置가 복잡하며 따라서 현재에 와서는 채용하지 않게 되었다.

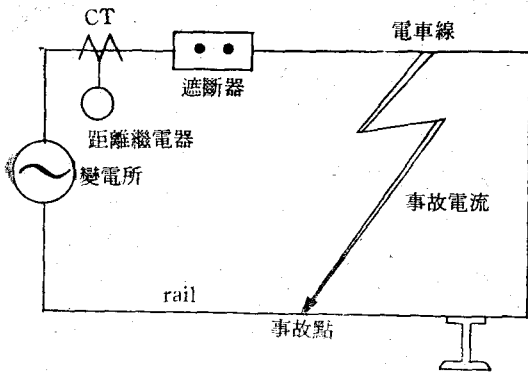
前述한 바와같이 日本의 電鐵構造는 매우 복



<그림-15> B. T. 變電方式



<그림-16> A. T. 變電方式



<그림-17> 交流區間の保護方式

잡하고 다양하며 이미 <表-12>에 揭示한 바와 같이 D.C. 區間に 운용되는車輛과 A.C. 區間に 운용되는車輛을 구분 운용하고 있으나 長距離列車 運用의 便益을 위하여 D.C.—A.C. 兼用車輛을 개발 운용하고 있다.

D.C. 區間에는 일반적으로 EF 65 形式 그리고 特急貨物列車用으로는 EF 66 形式의 電氣機關車가 투입되고 A.C. 區間에는 ED 75 形式의 電氣機關車가 운용되며 D.C.—A.C. 區間에는 EF 81 形式이 표준형으로서 운용되고 있다.

<表-12> 日本國鐵의 電氣裝備現況

(72.3 現在)

車 種	D.C. 用	D.C.—A.C. 兼用	A.C. 用		計
			新幹線	其他	
電氣機關車	1,183	125		565	1,873
電 動 車	10,010	1,821	1,204	68	13,103

資料：日本國鐵

또 日本國鐵에서는 電車, diesel 動車 등의 動力分散列車를 보급하고 있어서 현재 旅客列車의 75%가 이 방식에 의하여 운용되고 있으며 이것은 動力集中方式의 기관차 牽引列車에 비하여 高速度, 高加減速性能이 우수하기 때문에 speed를 쉽게 조정할 수 있다는 장점이 있는 외에 分割併합이 용이하며 列車運行 거리가 비교적 짧은 日本鐵道 사정에 적합한 면이 있다.

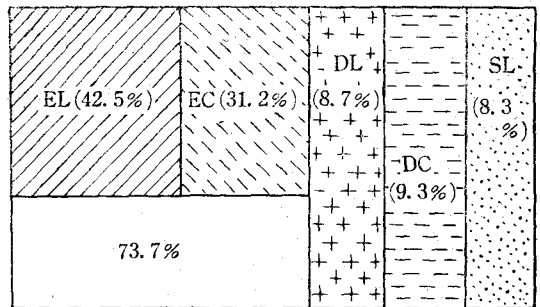
1950년 湘南電車의 誕生과 더불어 1952년 液體式 diesel 動車의 開發로 인하여 電車, diesel 動車의 보급이 시작되었으나 動力分散列車를 旅客輸送의 주역으로 방향을 결정한 것은 1958년

151系 電車가 개발됨에 따라 電車로도 長距離 旅客列車 운용이 가능하다는 것이 실증되었고 1967년에는 세계에서도 유례가 없는 寢臺兼用 特急電車가 탄생되었기 때문이다.

또 D.C.—A.C. 電化의 채용에 따라 D.C. 區間에서 A.C. 區間으로 직통할 수 있는 直交流電車도 研究課題였지만 silicon 整流器의 개발로 인하여 D.C. 電車에 변압기와 silicon 整流器를 장치하고 A.C. 電流를 D.C. 電流로 변환시킴으로써 가능하게 되었다.

新幹線電車の 基本構造는 進술한 D.C.—A.C. 電車와 大同小異하지만 210 km/h의 超高速에 대응하여 많은 배려를 하고 있다. 즉 輕量化에 힘쓰면서 全動車編成을 세계 最大出力을 갖는 열차로 하고, tunnel 出入時 客室의 氣壓變動을 피하기 위하여 차체를 밀폐하여 超高速에 견딜 수 있는 성능의 차체를 채용하고 있으며 또 保安度 向上과 疲勞強度를 높이는 여러가지 措置를 취하고 있다.

그리고 1975년 開業豫定인 山陽新幹線의 全區間開通을 앞두고 最高速度를 250 km/h로 높이기 위하여 新型電車を 試作하여 試驗中인데 輕量化方案으로 車體構造를 aluminium 合金으로 채용하였으며 출력도 現用的 新幹線에 비하여 약 30% 증강시키고 있다. 私鐵의 電車도 國鐵의 電車에 뒤떨어지지 않도록 근대화를 추진하여 최근에는 舊型電車が 거의 모습을 감출 정도로 면목을 일신하고 있다. 私鐵 대부분의 電車는 近郊 通勤 형태로 근대화의 당초에는 全電車編成에 의하여 加減速性能을 향상시키고자 하였으나 最



<그림-18> 日本國鐵의 動力車 構造 (73.3 現在)

近에는 성능과 cost가 均衡 잡힌 MT 編成이 많

아지는 경향에 있다.

오킨테 日本鐵道는 前述한 바와같이 營業料面으로 32%, 車輛料面으로는 74%의 電化率을 보이고 있으며 <그림-18>에 표시한 대로 動力車 運用構造面으로 보아도 74%의 電氣鐵道運用狀況을 보여주고 있는데 鐵道の 電化는 앞으로 계속 될 것으로 전망된다.

第4章 電鐵效果와 電鐵化計劃方法

西歐諸國을 비롯하여 日本 등 先進諸國에서는 대부분 철도가 電化되어 運用중에 있으며 앞으로 도 계속해서 電氣鐵道の 運用範圍를 확대하려고 하는 것이 세계적 趨勢라는 점은 前述한 바와 같거니와 우리나라에 있어서도 1973년 6월 中央線 中 淸涼里~堤川間 155 km를 電化하였고, 太白線, 嶺東線의 電鐵事業이 현재 進行중에 있으며, 首都 圈電鐵化工事도 74년 7월말에는 完성될 것으로 보인다.

이와같이 電氣鐵道가 비단 先進諸國뿐만 아니라 開發途上國家에서도 광범하게 추진되고 있는 이유는 무엇인가? 그것은 電氣鐵道가 갖는 經濟的, 社會的 이점이 크기 때문이다.

먼저 그 경제적 效果를 고찰해보면

① 速度가 크게 向上되기 때문에 線路容量이 늘어나며 輸送需要가 많은 線區에서는 10~30%의 列車를 增設할 수 있다.

② 列車時隔(head way)을 늘일 수 있다.

diesel의 경우 時間當 平均 18個列車를 투입할 수 있는데 반하여 電氣機關車는 시간당 21個列車를 운행시킬 수 있다.

③ 動力費가 대폭 節約된다.

電氣機關車는 diesel機關車에 비하여 2/3의 動力費가 소모되며 steam機關車에 비하여는 1/3~1/4費用 밖에 들지 않는다.

④ 修膳人工과 修膳費用이 대폭 節減된다.

예를 들면 diesel動車が 輛當 2.2인이 소모되는데 대하여 電動車는 1인이 소모되며, 電氣機關車는 3.3인이 소모되는데 대하여 steam機關車는 3.8인의 人工이 든다는 것이 日本國鐵의 통계로 나타나고 있다.

⑤ 運轉上 이점이 있다.

走行 km面으로 볼때 steam機關車는 1일 140 km, 電氣機關車는 311 km이며 新幹線電車의 1日走行 km는 1,200 km나 되고 있다.

⑥ 乘務運用上 效果가 크다.

일반적으로 電氣機關車나 電動車의 경우 steam이나 diesel機關車보다 日乘務 km가 크기 때문에 乘務員運用의 합리화를 기할 수 있다.

다음, 鐵道電鐵化의 사회적 效果를 고찰해보면

① 速度가 대폭 向上되므로 旅客에게 便益을 주며, 그 결과 電鐵後에는 電鐵前보다 平均 10~20%의 旅客需要가 증가하고 있는 것이 日本鐵道の 경향이다.

② 煙氣, 有害 gas, 먼지 등이 제거되므로 최근 社會問題로 번지고있는 公害防止에 큰 도움이 되고 있다.

③ 車輛의 快適度가 높아져 여객에게 피로감을 덜어주고 旅行氣分을 전환시켜준다.

④ 各種 鐵道電鐵化에 필요한 機材나 用品을 생산하는 기업의 발전에 큰 功獻을 하였다.

機關車, 電車, 貨車 등 車輛을 생산하는 日立(Hitachi) 製作所, 車輪專門生産의 住友(Sumitomo)金屬과 電線, 自動乘車券販賣機, 自動現金交換機, 自動改札機, 自動運賃精算器, computer 등을 생산하는 日立電線(Hitachi Cable Co.) 그리고 각종 電氣鐵道關聯機材를 생산하는 三菱電氣(Mitsubishi Electric Co.), 日本碍子工業(Nippon Insulator Co.), 日本콘크리트工業(Nippon Concrete Industries Co.), 日本電氣工業(Nippon Electric Co.) 등은 日本國鐵과 항상 밀접한 關係를 맺고 있는 대표적 企業이며 필자도 滯日中에는 直接生産工場을 견학한 바 있다.

⑤ 動力供給 system 發展에 공헌하였다.

日本の 電力供給構造를 보면 火力이 68%로서 가장 크며 水力이 30%, 原子力이 2%의 比率로 구성되어 있다. 日本の 電氣料金は 1972년 10월 현재 家庭用이 1kwh當 11圓이며 工業用이 4圓으로 供給되고 있는데 日本國鐵은 電力費를 절약하기 위하여 發電所를 直接運用하고 있으며 이 경우 1kwh當 公業용 電力보다 1圓이 싼 3圓

으로 생산되고 있다.

筆者가 小千谷(Ojiya)소재 信濃川國鐵發電所(Sinanokawa plant)에 갔을때 수집한 자료에 의하면 日本國鐵이 연간 필요로 하는 電力은 總 77 億 1千萬kw 인데 그中 운전용이 72億 1千萬kw 信號用이 5億 kw 로서, 이 信濃川發電所에서 電力總所要量의 28%에 해당하는 20億 kw 를 공급하고 있으며 東京附近 各선과 信越線(Shuinsu line)일부를 카버하고 있다. 그리고 부족한 是전량 購入分으로 應當하고 있다.

그러면 鐵道를 電鐵化하기 위하여 구체적 計劃을 수립하기 이전에 어떤 면에서 檢討되어야 하는가? 일반적으로 電鐵化의 經濟性을 검토하는 데에는 아래 공식이 적용되고 있다.

$$Re = \frac{Ce - Cd + Se}{Ie - Id} \times 100$$

Ie = 電化投資費

Id = diesel 投資費

Ce = 年間 diesel 費用

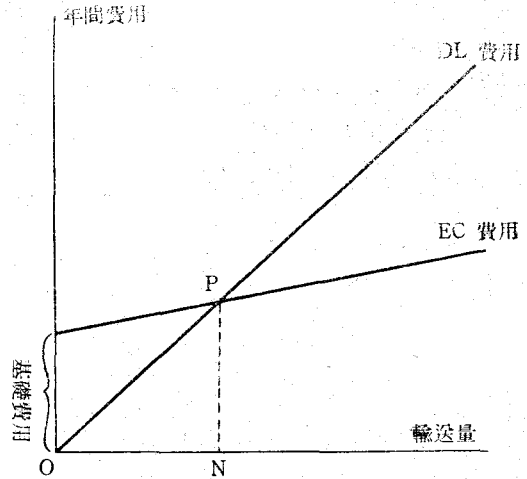
Cd = 年間電氣運轉費用

Se = 電化後收入

Re = 利益率(%)

이것을 <그림-19>에 의하여 설명해보기로 하자. DL 費用曲線이나 EC 費用曲線을 막론하고 다같이 年間費用을 縱軸, 輸送量을 橫軸으로 하여 右上의 형태를 하고 있으나 다만, EC 費用曲線은 DL 費用曲線에 비하여 완만한 경사를 보이고 있는데 이것은 DL 費用 增加率이 EC 費用 增加率에 비하여 적다는 것을 의미한다. 그러나 EC 를 運用하기까지는 막대한 額의 基礎設施投資가 先行되어야 하므로 DL 費用曲線과 縱軸의 交차점은 基礎設施費와 일치하는 점이며, 乘來선의 電鐵化는 DL 費用曲線과 EC 費用曲線이 일치하는 점 P에서 결정되는 것이다.

P 點에서 垂線을 그어 橫軸과 交차하는 點 N 이 電鐵區間的 列車本數가 된다. 일반적으로 $Re = 7\%$ 以上일 경우는 電鐵化를 하여도 經濟적이라 볼 수 있는데 그것은 國際利率이 7%이기 때문이다. 日本國鐵의 경우에는 平均 $Re = 20\%$ 로서 電鐵化의 經濟的 效果는 상당히 높은 수준에 있으며 일반적으로 單線인 경우에는 $N = 50$ 이, 複線인 경우에는 $N = 80$ 이 鐵道電鐵化의 經濟 均衡



<그림-19> 電鐵의 經濟均衡點

점으로 규정하고 있다.

다음 鐵道電鐵化計劃은 어떤 方法으로 수립해야 하는가? 그 方法을 간단히 略述하면 아래와 같다.

① 電鐵對象線區의 輸送量을 추정한다.

輸送量을 추정하는 방식에는 여러가지가 있지만, 어느 경우를 막론하고 과거의 實績을 중심으로 工場建設計劃, 宅地造成計劃 등을 감안하여야 하며 개인의 소득과 그 지역의 消費構造를 염두에 두면서 미래의 趨勢를 抽出해야 하는 것이다.

② 鐵道電鐵化로 인한 輸送能力을 정확히 판단하고 公認輸送容量을 결정한다.

電鐵線區의 輸送能力은 그 線區의 地理적, 지역적 조건과 線路狀態에 따라 各各 다르지만, 그 線區에 투입될 列車의 運轉線圖에 의하여 標準 運轉速度를 산출하여 線路容量을 결정해야 한다.

③ 列車計劃을 수립해야 한다.

이미 추정한 輸送需要를 기초로 旅客과 貨物 別로 所要列車數를 산출하고, 이에 필요한 手車力을 확보하도록 하여야 한다. 旅客列車은 時間帶別로 그 回數를 결정하고, 또 旅客이나 貨物 列車을 막론하고 계절별 輸送需要를 감안하여 列車回數를 정해야 하며, 旅客列車에 있어서는 그 編成方法을 미리 결정해 두어야 한다.

④ 車輛計劃을 樹立한다.

電鐵線區에 투입되어야 할 차량의 總數와 動力

車 및 客貨車의 종류를 결정하지 않으면 안된다. 다시 말하면 都市型通動列車을 投入하느냐 幹線列車을 投入하느냐 또는 支線列車을 投入하느냐에 따라 그 線區에 가장 적합한 형의 차량을 選擇 決定해야 하는 것이다.

⑤ 地上設備計劃을 세운다.

電鐵設備計劃에 있어서 가장 중요한 사항은 電氣設備計劃인데, 가장 먼저 결정해야 할 것은 電鐵方式을 A.C.로 할것이나 D.C.로 할것이나 하는 문제이며 電壓을 얼마로 할것이나를 결정하는 것도 地上設備計劃 수립의 근본 문제라 할수 있다. 電流方式, 電壓 등이 결정된 다음에는 變電所의 위치를 결정하고, 變電方式을 AT로 할것이나 BT로 할것이나도 아울러 검토해야 한다.

電鐵에 있어서 地上設備計劃은 적어도 10年後의 趨勢를 예측하고 수립하지 않으면 안된다. 變電所의 容量은 區分所 또는 補助區分所의 위치를 검토한 후 결정해야 하는 것이다. 그리고 架線方法, 信號施設의 改良, 터널의 改造, 樞의 改良 등도 電鐵化地上設備에 있어서 중요한 計劃要素로 되어있다.

電鐵設備에 대한 問題는 斷片的이나마 이미 설명을 하였기 때문에 重複되는 부분은 생략하고, 電車線架線方法(overhead equipment)에 대하여 좀더 구체적인 설명을 하기로 한다.

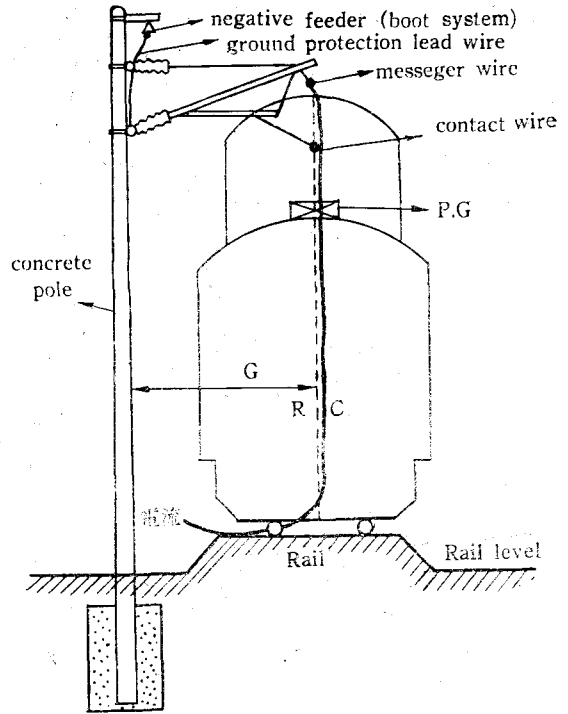
架線이라하면 電車線(contact wire)과 操架線(messenger wire)을 말하는데 電車線은 水平均衡이 항상 유지되도록 操架線과 電車線사이에 hanger를 支柱로 하여 가설하는 것인데, 이해를 돕기 위하여 그 명칭을 그림으로 表示해보면 <그림-20>과 같으며 架線構造를 간단히 표시하면 <表-13>과 같다.

<表-13>에서 보여준 架線構造에 대하여 좀더 구체적인 설명을 붙여보기로 한다.

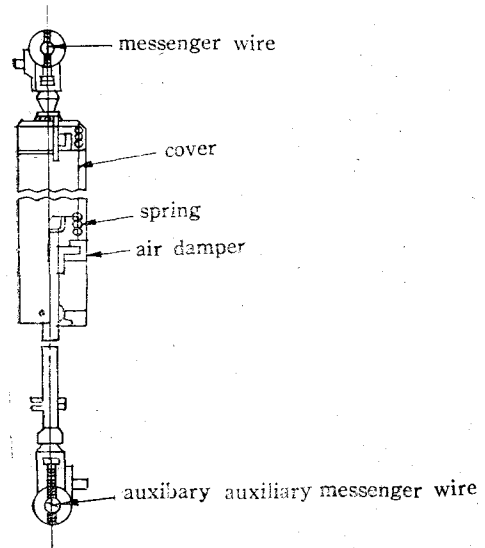
(1) simple catenary는 架線構造로는 가장 간단한 것이지만 널리 사용되고 있다.

이 방법은 外國의 예로 보면, 中心部 hanger의 길이를 짧게하여 電車線을 평평하게 함으로써 高速運轉方式에 채용하고 있다.

(2) double contact wire type catenary는



<그림-20> 架線構造(交流)



<그림-21> composite element 構造

아주 드물게 채용되고 있다.

(3) double simple catenary는 高速運轉이 요구되는 幹線이나 輸送需要가 큰 선구에 주로 채용되고 있는 架線方式이다.

(4) double catenary는 區間(span)이 길어야 하는 橋梁이나 風速이 센 특수한 線區에서 電車

區分	架線構造	速度	電壓
(a) simple catenary		中速 (100 km 以內)	中壓
(b) double contact wire type catenary		中速 (100 km 以內)	高壓
(c) double simple catenary		高速 (100 km 以內)	高壓
(d) double catenary (double messenger catenary)		中速	中壓
(e) compound catenary		超高速 (160~210 km)	高壓
(f) stitched simple catenary		高速 (100~110 km)	中壓
(g) stitched compound catenary		超高速 (160~210 km)	高壓
(h) composite type simple catenary		高速 (100 km 以上)	中壓
(i) composite type compound catenary		超高速 (160~210 km)	高壓

線을 움직이지 못하도록 고정시킬 필요가 있을 때 사용되는 架線方法이다.

(5) compound catenary는 일본의 경우 초기의 幹線電鐵化에 가장 보편적으로 채용되었으나, 現今에 이르러서는 建設費用이 무척 비싸기 때문에 채용되지 않게 되었다.

(6) stitched catenary는 Y線이라고 하는 操架線을 支柱部(suporting point)부근에 가지고 있는데, 이것은 支柱部가 위로 離脫하려는 것을 방지하기 위하여 양쪽 힘이 span 中心點에서 平衡을 유지하도록 架線하는 system이다.

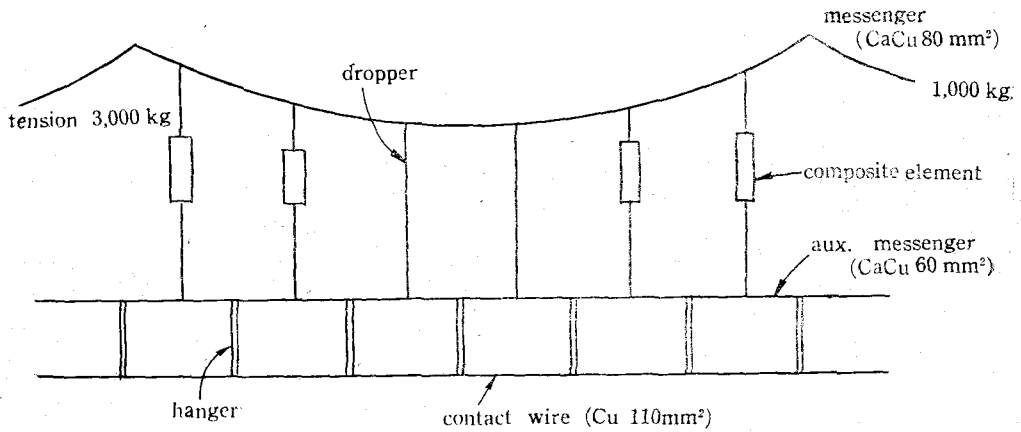
(7) composite element는 simple catenary와 compound catenary의 두 種類가 있는데 어느 경우를 막론하고 全區間에 規格품을 끼워 넣는 것이다. compo site element는 <그림-21>에서 보여 주는 바와 같이 spring과 damper로

구성되어 있으며 그것은 給電所의 離脫을 방지하고 電車線의 振動을 감소시키는 기능을 가지고 있다.

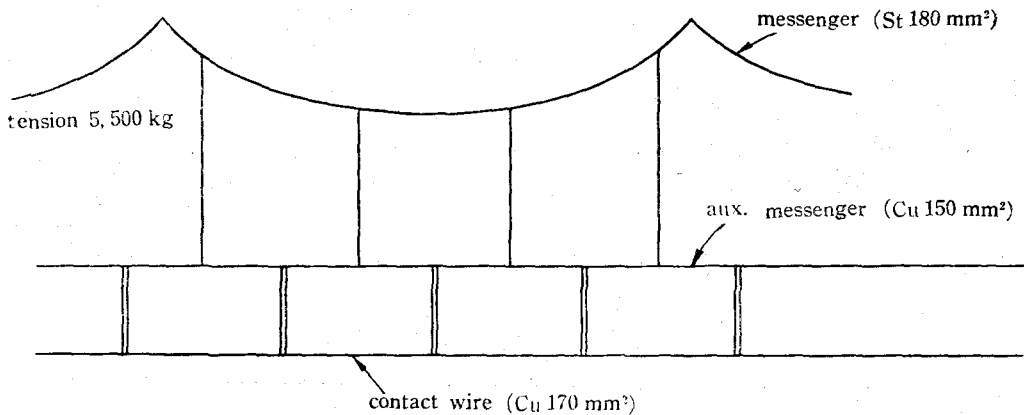
日本の 경우 composite type compound catenary는 東海道 新幹線에, compound catenary는 山陽新幹線에 채용되고 있는 架線方式이며 이것을 좀더 확대한 것이 <그림-22>, <그림-23>이다.

東海道新幹線の 電車線은 Cu 110mm²인데 대하여 山陽新幹線の 電車線은 Cu 170 mm²이며 操架線은 東海道新幹線이 CaCu 80 mm²인데 대하여 山陽新幹線은 st 180 mm²으로 개량하였고, 補助操架線에 있어서는 東海道가 CaCu 60 mm², 山陽이 cu 150mm² 材料를 쓰고 있다.

또 그 무게에 있어서도 1.5 km 當 東海道가 電車線, 操架線, 補助操架線을 모두 합쳐서 3톤

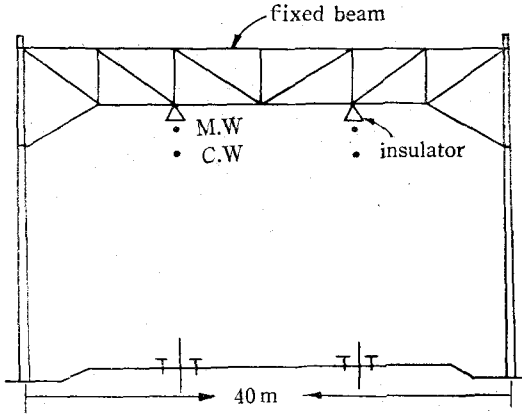


<그림-22> 東海道新幹線の 架線方法

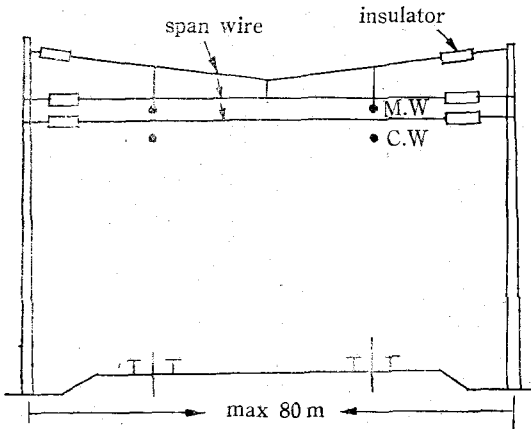


<그림-23> 山陽新幹線の 使用方法

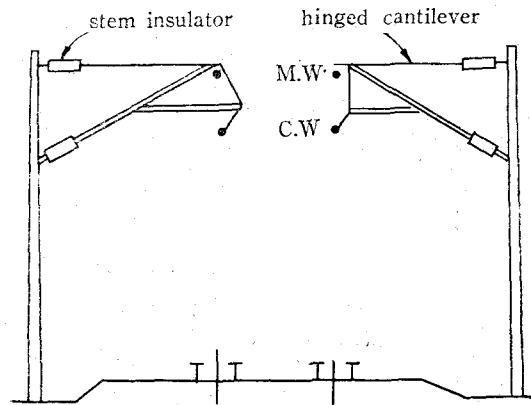
A, fixed beam



B, cross span wire suspension beam



C, hinged cantilever



<그림-24> beam의 종류

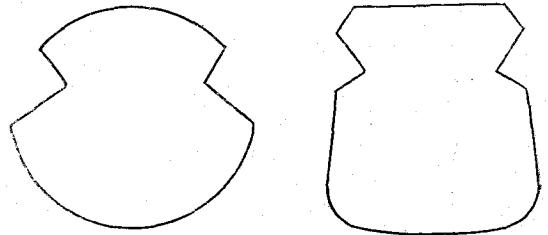
인데 대하여 山陽은 5.5톤으로써 山陽新幹線의 架線方式은 trolley wire의 磨耗防止에 큰 효과를 거두고 있다.

電鐵設備計劃의 一環으로서 架線方式을 결정하여야 하는 외에 施工計劃段階에서는 架線材料에 대한 계획을 수립하여야 하기 때문에 다음에는 架線材料에 관하여 간단한 설명을 해 보기로 한다. 먼저 支柱裝置를 살펴보겠는데 아는 바와 같이 支柱裝置는 電柱와 beam으로 大別할 수 있다. 電柱材料에는 콘크리트木材, 鐵鋼材가 있으며 콘크리트와 木材가 가장 보편적인 電柱材料로서 쓰여지고 있으나 그 壽命으로 보아 콘크리트電柱가 훨씬 경제적이다.

그러나 콘크리트電柱는 電車線의 움직임에 敏感한 영향을 끼치기 때문에 최근에는 가볍고 탄탄하며 굵이 가지않는 壓縮 콘크리트 電柱 (prestressed concrete pole)가 널리 사용되고 있다. 빔 (beam)은 <그림-24>에 표시한 바와 같이 여러 種類가 있는데 fixed beam은 鐵材에 글로 제작되며 驛構內에 주로 사용하지만 路盤이 약한 線路에도 가끔 사용되고 있다. cross span wire suspension beam은 폭이 넓어 보통 市內電車架線에 사용하고 있으나 鐵道에 있어서는 驛構內 폭이 넓은 경우에만 가끔 채용되고 있다. hinged cantilever는 cantilever가 電柱에 붙어있기 때문에 電車線 방향을 자유롭게 움직

grooved contact wire

grooved trapezoid



<그림-25> 電車線의 斷面圖

일수 있고 電車線張力을 쉽게 조정할 수 있을 뿐만 아니라 stem insulator가 잘 더럽혀지지 않는 장점이 있다. 高速列車을 運行하기 위하여는 이 hinged cantilever 架線方式이 가장 좋은 것이다.

架線材料로서 우선 電車線은 여러가지 형태의 것을 사용하며 <그림-25>에서 보는 바와 같이 圓形 또는 홈이 파인 圓形 (grooved circular), 홈이 파인 사다리꼴 (grooved trapezoid) 등이 있다. 이 세가지 중에서 홈이 파인 圓形이 가장 많이

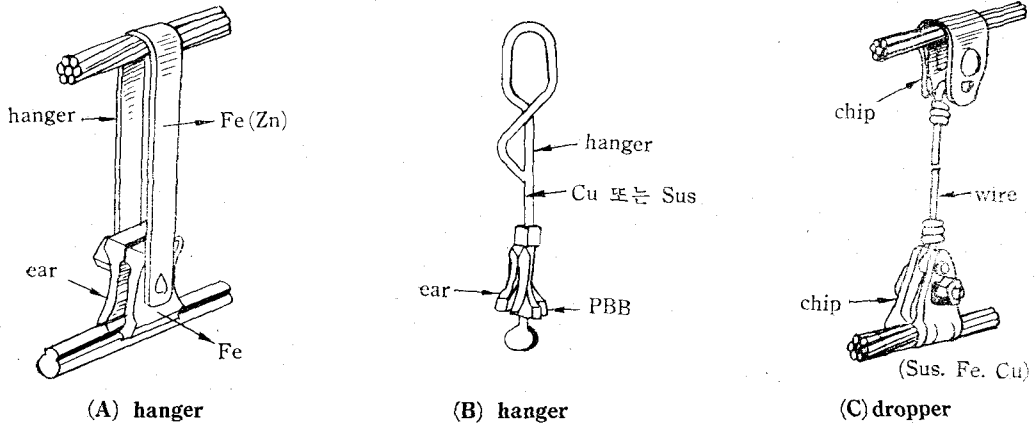
쓰이며, 電車線材料의 대부분은 銅으로 만들지만, 특수한 경우에는 $CaCu$ (cadmium-copper) 등 合金을 쓰는 수도 있다. 電車線의 마모가 특히 심한 곳에는 熱과 磨耗를 방지하기 위하여 0.2%의 銀을 섞은 銅合金가 주로 쓰여지며 일본의 경우 110 m^2 纒形 銅線은 주요 幹線에, 85 mm^2 銅線은 驛內架線에 채용하고 있다.

操架線(messenger wire)재료로는 亞鉛과 鐵이, 補助操架線(auxiliary messenger wire)材料로는 銅이 사용되며 전압이 높고 腐蝕이 잦은 線

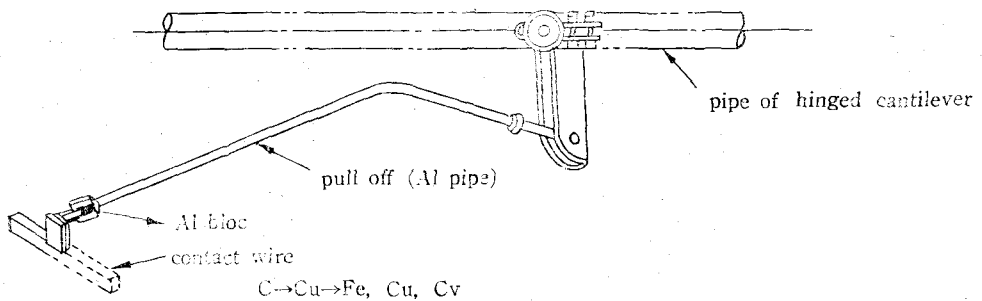
區에는 銅合金製와 CCSR (copper cable steel reinforced)이 쓰여지고 있다.

hanger와 ear는 電車線을 매 다는데 쓰는 것이며 dropper는 補助操架線을 매 다는데 쓰는 架線材料인데 <그림-26> (A)는 鐵에 亞鉛칠을 한 것이고 (B)는 銅 또는 「스텐레스·스틸」(SUS)로 제작하고 電車線을 무는 부분은 PBB 또는 알루미늄으로 되어있다. (C)의 dropper는 SUS, Fe, Cu 등으로 제작한다.

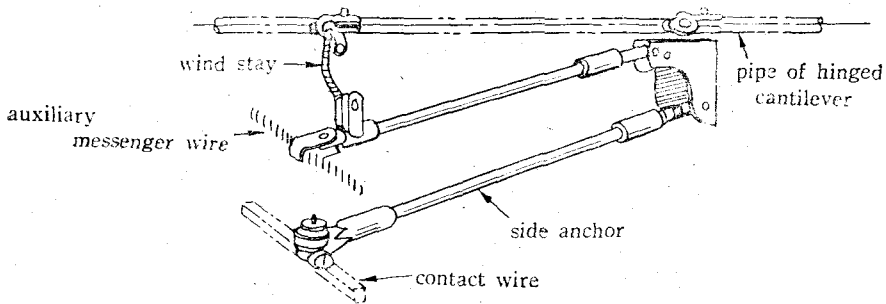
電車線은 커브에서 中心을 향하여 쉽게 움직



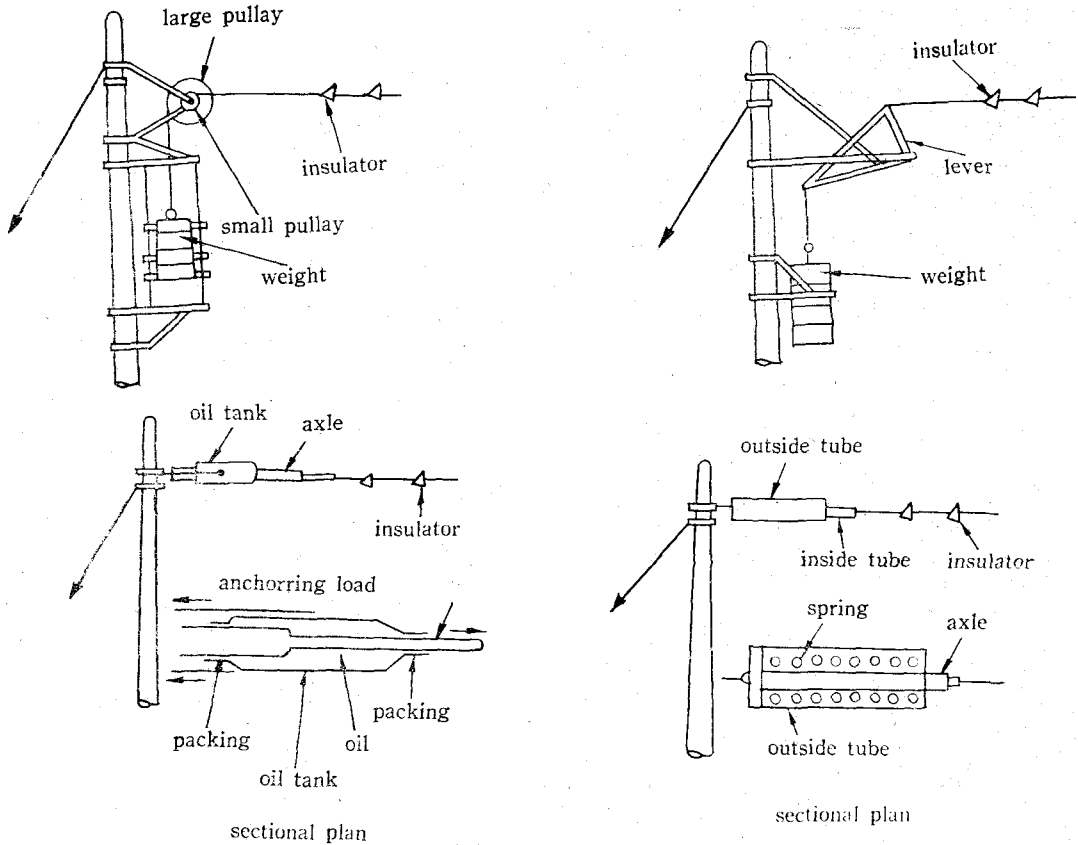
<그림-26> hanger와 ear



<그림-27> pull off



<그림-28> side anchor



〈그림-29〉 자동張力裝置의 種類

이기 때문에 이것을 고정시키기 위하여 쓰는 것이 〈그림-27〉에 표시한 pull-off인데 pull-off의 재료로는 최초에는 C(탄소)를 사용하였으나 타는 경우가 있으므로 Cu를 쓰게 되었고 이것도 磨耗가 심하기 때문에 최근에는 Fe, Cu, Cv를 쓰게 되었다.

直線區間에서 電車線이 바람에 흔들리는 것을 막고 電車線이 비틀려서 판타그라프(pantograph)가 쉽게 다는 것을 보호하기 위하여 〈그림-28〉의 side anchor를 쓰는 것이다.

區間裝置 (sectioning devices)는 어떤 線區에 사고가 났든지 補修作業을 하기 위하여 斷電을 할 필요가 있을때 쓰는 일종의 絶緣體(insulator)를 말하는데 絶緣 스파, 木材, 사기 등이 그 재료로 사용되고 있다. 그러나 최근에 와서는 프라스틱製인 FRP (fiberglass reinforced plastic)를 개발하여 실용화하고 있으며, 이것은 直流區間の dead section에 주로 사용되고

있다.

自動張力裝置(automatic tensioning devices)는 電車線이 氣溫의 변화라든지 自然破損 또는 비틀림 등에 의하여 늘어나거나 줄어드는 것을 방지하기 위한 장치를 말한다. 電車線의 비틀림은 電流의 集中力을 감소시키고 아크가 일어날 뿐만 아니라 電車線을 쉽게 닳게 한다.

自動張力裝置는 〈그림-29〉에 나타난 바와 같이 저울型(weight type), 지렛대型(lever type) 油壓型(oil pressure type), 스프링型(spring type)의 네가지가 있다. 直流方式에 있어서 給電線(feeder)은 電車線과 平行으로 架設하며 電壓으로부터 保護하기 위하여, 일정한 간격으로 給電部에 電車線이 連結되어 있다. 그 材料로는 壓縮 알루미늄, 壓縮銅線이 普遍的으로 사용되고 있다.

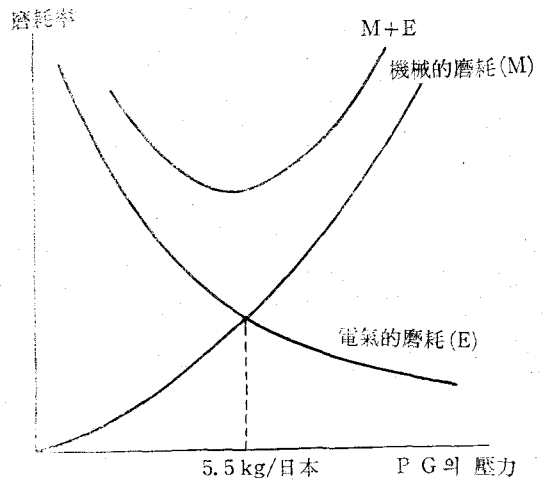
電鐵設備運用에 있어서 가장 苦惱꺼리는 電車線의 磨耗問題이다. 電車線磨耗를 줄이기 위하

여 가장 중요한 사항은 補修를 철저히 하는 길 밖에 없다. 電車線을 다모시키는 원인에는 機械的인 요인과 電氣的인 요인이 있는데 電車線의 機械的인 磨耗는 垂直壓力에 비례하기 때문에 列車速度가 늦을수록 그 磨耗率은 크게 되는 것이다. 그외에 電車線의 材質, trolley wire의 強度 등에 의하여 磨耗率이 달라지는 것이다. 電車線의 電氣的 磨耗는 離線時의 아크때문에 일어나는데 이것은 기계적인 磨耗率 보다 훨씬 큰 것이 특징이므로 아크 防止에 노력하지 않으면 안 된다.

이것을 그래프로 표시하면 <그림-30>과 같이 되는데 기계적인 磨耗는 판타그래프의 압력에 비례하는 반면에 전기적인 磨耗는 오히려 판타그래프의 압력에 反比例한다는 것을 알 수 있다. 요컨대 電車線의 磨耗는 판타그래프의 垂直壓力, 列車密度와 속도, 電流容量 등에 의하여 결정되므로 그 磨耗原因을 정확히 파헤쳐 그때 그때 磨耗防止에 대처해나가야 하는 것이다.

이제까지 鐵道電鐵化에 따르는 일반적인 효과와 鐵道電鐵計劃을 수립하는 개략적인 방법을 논하고 電鐵設備計劃에 대하여는 비교적 細密한 면에 까지 논급을 하였는데 다음에는 電鐵化로 인한 실제적 效果를 일본의 예를 들어 설명한 후에 本章을 끝맺고자 한다.

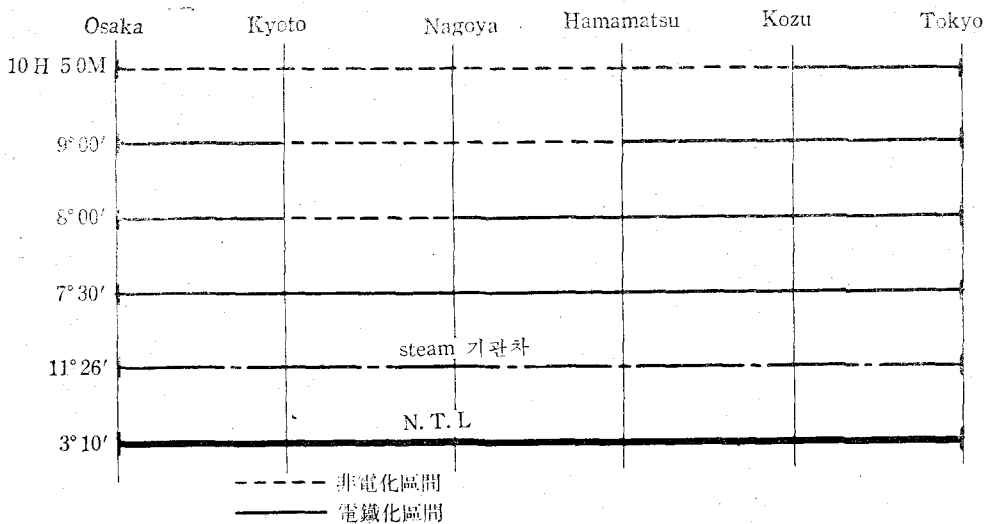
<그림-31>에 나타난 바와 같이 日本國鐵이



<그림-30> 電車線磨耗의 相關關係

東京~大阪間 steam 機關車에 의한 列車로 運行하였을 때에는 11時間 26分 걸리던 것이 일부 區間的 電化距離가 늘어날 때마다 列車運行時間이 점차 短縮되어 가고 있으며, 東海道本線이 全區間電化되었을 때에는 7시간 30분에 走破하여 steam 機關車を 運用할 때보다 4時間의 運行時間을 단축시키고 있다.

또 東京~大阪間 新幹線電車列車는 3時間 10분에 走破하는 超高速列車로서 鐵道電鐵化의 效果를 피부로 느끼게 하고 있다.



<그림-31> 電鐵化後의 速度向上