鐵 道 의 電 化

鄭 義 康

온갖 近代國家들이 自國의 "에너지"를 合理的으로 使用하므로 禮祉國家를 이룩하려 함은 科學人은 勿論 누구나 다 알 수 있는 일이다. 오늘날 韓國鐵道야말로 至今까지도 熱効率이 불과 4~7%에 지나지 못하였던 蒸汽機關車를 運用하여 왔고 지금도 石油資源은 國産으로 求할 수 없으면서 Diesel electric Locomotine에만 置重하고 電氣鐵道化에는 等閑히 하게 되는 것은 賢明한 方法이라고 말할 수 없다. 電鐵化가 가진 効率 30% 以上이라는 것은 Diesel의 20~24% 보다 능가하여 비록 施設面에서 莫大한 投資는 하여도 世界列强國들이 앞을 다투어 于先 幹線만이라도 電化하여 鐵道가 가진 輸送의 使命을 다하고 經營의 合理化를 期하려는 것이다. 이러한 點에서 近來 電氣鐵道에 앞선 各 나라의 電化方式과 韓國鐵道의 電化에 對하여 交通分野에 있는 電氣人으로서 생각해 보자는 것이다.

1. 鐵道動力의 趨勢

石炭을 爲主로 하였든 蒸氣機關車의 動力은 自國 및 이웃나라에 埋藏된 資源에 依하여 石油 혹은 電氣中에서 有利한 方向으로 擇하게 되었으며 또한 動力機關自體의 熱効率로 擇하였든 것이다. 이미 우리 나라 鐵道도 動力의 近代化를 爲하여 蒸汽機關車로부터 듸젤電氣機關車로 向하고 있는 것이다. 이웃나라인 日本도 可能한 限 速히 蒸汽機關車를 一掃하여 電化 및 듸젤化하려는 計劃을 세웠으며 石炭資源을 豊富히 가진 나라인 Canada, 美國도 듸젤化하고 있는 것이다. 問題는 Diesel化와 電氣化는 어느 쪽이 有利한 것인가이다. 이에 對한 選擇上 考慮할 點은

① 現在 및 將來의 듸젤油와 電力의 價格比較이다. 다음 表에서 韓國과 日本은 石油와 電力과의 價格比가 거의 비슷함을 알 수 있다.

各國電力費와 石油費對比表

種別 \ 國別	후란스	놀웨이	독일	벨기	덴막	일본	한국
石油 kg 當 價格	18.8	14.3	10.3	3.0	2.7	5.2	4.98
電力KWH當價格							

② 電化의 境遇 動力供給에 必要한 變電所 架空電車線 및 其他 施設의 投資額인데 이것들은 輸送密度가 적은 경우 이것은 投資에 對한 減價償却費가 年間經費의 큰 比率로 不利益하게 된다.

③ 線路의 條件으로 레일의 크기 道床의 構造, 橋梁의 强度, 勾配曲線等의 條件이 主電動機의 軸重 回生 "부레이크" 等의 車軸의 性能을 크게 左右한다. 以上 세 가지가 主로 重要要件이며 日本鐵道의 境遇 動輪周馬力이 1,200 H.P.의 蒸汽機關車가 投入하였든 線區는 一般으로 電化하는 것이 有利한데 이 경우 1日의 列車回數 30本 以上인 年間 1粁當 石炭消費率 200噸 以上인 線이 有利하다고 한다.

各國 鐵道電化一覽表를 보면 다음과 같다.

各國鐵道電化一覽表

國名	直流方式 km	交流方式 km	合計 km	電化率 %
英國	1,642	15	1,657	5.4
濠洲	640	—	640	1.5
墺地利	—	1,640	1,640	27.4
콩고	—	209	209	5.1
白耳義	750	—	750	15.2
丁抹	60	—	60	2.3
佛蘭西	4,052	1,059	5,541	13.9
獨逸	365	2,182	2,547	5.4
伊太利	5,220	1,345	6,565	38.3
和蘭	1,410	—	1,410	44.1
諾威	—	1,337	1,337	30.4
瑞典	—	6,527	6,527	43.4
瑞西	1,155	4,059	5,214	98.5
蘇聯	1,636	3,837	5,523	4.6
美國	2,420	1,733	4,153	1.3
日本(국철)	2,140	70	2,210	10.9
〃 (사철)	6,047	—	6,047	80.8

(註) 이 資料는 Revece Generale des chemins de Fer 1957年 4月號 및 Directory of Railway officials and year book 1956~1957에서 調査하고 여기에 日本도 添記한 것임(但 日本은 1958年 4月, 他國은 1957年 2月數値임).

電化方式에 있어서도 再來直流 1500 V를 主로 하였든것이 오늘날에 와서는 交流商用周波數와 20~25 KV로 하는 方式과 商用周波數보다 낮은 整流子型電動機

交通技術研究所長

式으로 變遷하게 되었다. 交流式이 直流式에 比較하여 利點은 變電設備費에서 얻어지는 投資額의 節約인 것이다. 例로서 臺灣鐵道 縱貫線 및 臺中線의 西部幹線 497 km 電化의 境遇 電氣運轉設備만에 限하여 豫算한다면 交流方式과 直流方式과의 間에 32%의 顯激한 差가 있고 다시 沿邊의 通信線이 "케블"에 收容되어져 誘導의 問題를 없게 한다면 負饋電線도 不必要하여 다시 이 差는 46%로 된다. 그렇지만 一方交流는 關聯設備, 그中 通信設備에 큰 工事費가 必要하여 全體로서는 그 差가 12%로 된다. 然이나 通信의 改修는 그 自體鐵道에 있어서 通信의 近代化 및 增强되는 것을 생각하면 보다 큰 效果를 가져오는 것이 明確하여 交流方式을 採用토록한 結論에 達하였다 한다. 臺灣鐵道電化의 交直地上設備費 比較表는 다음과 같다.

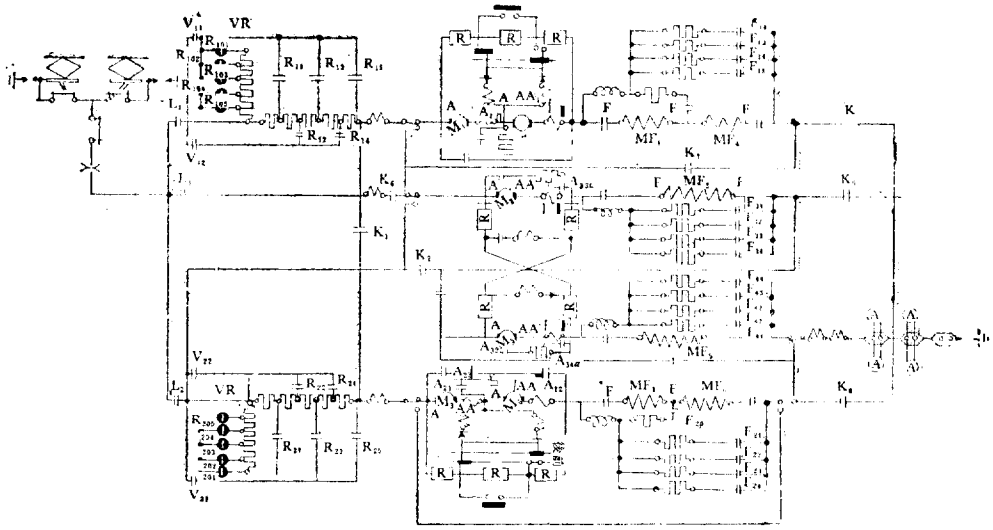
交 流 地 上 設 備 費 比 較　　單位：日貨 百萬圓

項　目	交流 25,000 V		直流 3,000 V	
	工事費	工事概要	工事費	工事概要
電車線路	2,981	架線 吊架線 Cd Cu 撚線 60mm² Trolley 線硬銅溝付 110mm² 驛中間架線延長 710km 驛構內架線延長 315km 負기電複合 Al 215mm² 706粁 熔接본드 132,000本	2,862	架線 交流와 同樣 기電線 復線區間上下 Al 300mm² 各條延長 385粁 單線區間 Al 500mm² 321粁 熔接본드
變電設備	808	交流變電所 9개소 區分所 10개소 補所區分所 20개소 開閉所 1개소	2,080	直流變電所 정류기 3,000KW×2臺 11개소 정류기 2,000KW×2臺 8개소
送電試備	438	送電線 140KV 2회선 2개소 13粁 60KV 2회선 1개소 5粁 30KV 2회선 6개소 51粁 25KV 單相 2회선 1개소 12粁 電力會社 9개소	634	送電線 60KV 2回線 2개소 65粁 30KV 2回線 16개소 65粁 30KV 1回線 4개소 59粁 電力會社 17개소
小計	4,277 (100%)		5,576 (132%)	
關聯設備				
信號設備	265	軌道回路改修 1,160개소 踏切警報機改修 其他	333	軌道回路改修 1,160개소 임파단스본드 2,280개소 其他
通信設備	785	28P 케블 404 14케블 91km 裝荷線輪 其他	269	8P 케블 495km 支障移轉 其他
(搬送設備)	(156)	搬送端局 12CH 6CH 各 1 電信搬送司令搬送一式		
支障改修	308	隧道 9개소 橋梁 14개소 跨線橋 13個所	186	隧道 5개소 橋梁 9개소 跨線橋 11개소
其他	80	電力線一式 移動巨長 約 200km 其他		電力線一式
地上設備計	5,665 (100%)		6,367 (112%)	

2. 새로운 電氣車輛

가. 直流電氣機關車

日本에서는 10‰ 勾配 1200噸 牽引力을 가진 單車體 最初의 全動軸 맘모스機關車를 製作하였다. 이것은 6動軸으로 軸重 16噸 *EF* 60型인데 始動時의 期待粘着係數는 30% 가까운 것으로서 "바니야"制禦 軸重移動補償 弱化界磁 電氣子分路再粘着等을 써서 直流機關



EF 60型 電氣機關車主回路結線圖

車의 弱點인 粘着性能을 改善하였다. 主電動機는 出力 400 KW 主電動機個數 6 개임.

結線圖中 *VR* 라고 한 것이 "바니야"抵抗器로서 電車와 同樣으로 電動操作의 캄電動機에 依하여 5段으로 自動操作되어진다. 進段은 限流繼電器에 依한다. 이 "바니야"制御를 使用한 경우에는 "놋치"曲線의 各 놋치間이 5段으로 다시 細分되어져 勾配始動時粘着은 많이 利用함이 可能하게 된다.

軸重移動補償의 方法에는 機械的인 것과 電氣的인 것의 2種이 있는데 이 機關車에서는 後者에 依하여 軸重의 減少하는 軸(進行方向에 對하여 同一 臺車의 前位의 軸에 일어난대로 主電動機의 界磁를 最初부터 얼만가 弱하게 하여 놓고 勾配始動時에 "톨크"를 減하여 空轉의 發生을 豫防하는 移動補償弱界磁法)을 取하고 있다. 이와 같이 하여도 粘着限界를 지나서 空轉이 發生하는 경우에는 空轉繼電器에 依하여 空轉하고 있는 主電動機를 檢出하여 *A* switch를 閉하여 主電動機電機子를 抵抗短絡하는 것에 依하여 "torque"를 減少하여 再粘着시키는 「電機子 分路再粘着裝置」도 設置되어 있음.

機關車의 制御는 通常의 直列, 直並列, 並列의 3段外 直並列및 並列段에 弱界磁 4 놋치(78, 61, 49, 40%)를 設置하여 連續使用可能한 놋치는 合計 11 놋치로 되고, 速度制御範圍가 넓게 된다. 그렇지만 이 機關車에서는 重連總括制御는 行하지 않음.

나. 直流電車

最近 電車의 發達은 治濛하다. 小形輕量 高速度主電動機를 台車에 裝架하고 多段制御 發電"부레이크"를 採用하여 全電動車 編成으로 하여 高加速, 高減速度에 의하여 運電時分을 短縮하였음. 그리하여 Service의 向上과 함께 車輛의 運轉效率을 올리는 方向으로 나아가 新型電車가 繼續하여 登場하였다. 以外 靜止型勵磁裝置式 電力回生 "부레이크" 및 電熱, 電燈 負荷 冷暖房을 爲한 電源用大型 電動發電機가 出現하고 別途 床下電動發電機外 固定編成車用 電源車等이 出現하였음.

다. 交流車軸의 電氣方式

옛날부터 여러가지 方式으로 研究를 거듭하여 왔는데 現在는 整流子 電動機式(直接式)과 整流器(間接式)의 二方式이 거이 全部다.

整流子 電動機式은 Europe의 $16^{2}/_{3}$~電化에 利用되어 오랜 實績이 있고 直流電動機도 못지 않는 性能을 갖고 있다. 50~(또는 60~)의 경우 變壓器起電力이 높아지고 整流上의 難點이 있지만 이것도 解決되어 또한 容易히 交直兩用으로 될 수 있는 利點도 있어서 主로 電車用에 쓰여지고 있다. 整流用의 것을 그대로 혹은 얼마간의 脈流對策을 施行하여 使用할 수 있는 利點이 있다. 機關車의 경우는 主電動機를 全並列 接續으로 하는 것에 依하여 粘着性能을 높이기 때문에 最近의 機關車는 거의 이 方式으로 되어지고 있다.

라. 主要電氣機器의 傾向

整流器, 主變壓器, tap 切替器의 主要機器와 交直接續裝置의 傾向에 關하여 概要를 말하면 다음과 같다.

(1) 整流器

從來 單極水銀整流器(이그나이트론, 에카사이트론)이 쓰여져 왔는데 점차 시리콘整流器에 바뀌지는 影響이 있다. 水銀整流器와 시리콘整流器의 得失로는

(가) 占有容積은 同等이지만 重量은 "시리콘"이 輕量이다.

(나) 水銀整流器는 始動時에 豫熱할 必要가 있다. 또 溫度制御가 復雜한데 "시리콘"整流器에서는 아주 손쉽다.

(다) 水銀整流器는 過負荷耐量이 있는데 "시리콘"整流器는 過負荷 過電流에 弱함으로 特別한 考慮를 할 必要가 있다.

(라) 水銀整流器에서는 格子制御에 依하여 供給電壓의 連續制御 또는 空轉時에 供給電壓을 내리는 等의 自動制御가 可能하므로 이것은 機關車의 粘着性能의 向上에 有效한데 現在의 "시리콘"整流器에서는 이것이 되지 않는다. 將來 "콘트론드" 시리콘이 實用化되어지면 可能하지만 現在는 高價로서 耐振性에 問題가 있다.

(마) 價格은 現在 "시리콘"整流器의 便이 약간 高價이지만 大量生產에 依하여 값이 내릴 希望이 있다.

(2) 主變壓器

主變壓器의 容量은 車輛의 使用目的에 依하여 틀려지지만 主電動機에 比하여 熱時定數가 크기 때문에 勾配가 많은 線區에 使用하는 경우에 있어서는 主電動機連續定格의 約 70%의 連續容量이 있으면 좋다. 또 高壓 또는 低壓側에서 tap 切替를 하기 때문에 많은 數의 tap를 設置하고 있는 點으로 一般의 變壓器와는 틀린 點이다.

(3) tap 切替器

地上用의 變壓器에서는 最近 "로—드레시오"가 가장 많이 쓰여지고 있는데 車輛의 경우에는 tap 數가 極히 많고 切替回數도 아주 많아서 構造上 重要한 部分이다. 過去는 低壓 tap 切替이 쓰여지고 있었는데 大容量의 機關車로 되면 遮斷電流가 크게 되어 "스윗츠"容量의 問題가 나오기 때문에 現在에서는 遮斷電流가 1000 A 以下의 境遇에는 低壓 tap 切替方式 그 以下에서는 高壓切替方式으로서 區分하여 使用되어지고 있다.

라. 交流電氣機關車 및 交直流電氣機關車

日本의 交直流電氣機關車 EF 30形의 主諸元 및 主回路 結線圖와 主要電氣部分을 簡單히 記述코자 한다. 然이나 交流機關車는 交直流機關車의 直流直捲引込部分을 除外하면 大同小異하기 때문에 說明을 省略함.

(1) EF 30形 主要諸元은 다음 表와 같다.

(2) EF 30形 交直流電氣機關車主回路結線圖機關車의 主回路結線圖는 다음과 같다.

(3) 電氣部分

(가) 主變壓器 內鐵形 油入自冷式 電壓 1次 20 KV, 2次 1,800 V 電流는 1次 15.5 A, 2次 172 A 로서 油量은 750 *l* 이다.

EF 30形 主要諸元

用途	客貨車用		
電氣方式	交直兩用		
機關車性能	直流(1時間定格)		
			交流(10分定格)
	3個並列	3個直列	2個直列
定格出力 kw	1,800	346	346
定格引張力 kg	13,800	7,200	4,700
定格速度 km/h	46.7	17.2	26.4
最大起動引張力 kg	24,000		
最高運轉速度 km/h	85		
主動動機			
個數	3		
方式	直流直卷補極付		
主極數	4		
形式	開放角形 他力通風		
1時間定格			
出力	600 kw		
電壓	DC 1500 V		
電流	430 A		
回轉數	1,000 RPM		
風量	130 m^3/min		
主變壓器			
方式	內鐵形油入自冷式		
連續定格	310 KVA		
Si 整流器			
方式	强制通風, 單相부릿지結線		
連續定格	450 kw		
電壓	1,500 V		
電流	300 A		
30秒定格電流	600 A		
速度制御方式	非自動 및 "바니야"制御		
直流區間	3個直列, 3個並列의 直並列制御, 抵抗制御		
交流區間	3個直列, 2個直列의 直列個數制御, 抵抗制御		

(나) 主電動機 4極直流直卷補極付의 他力通風電動機이다.

(다) Silicon 整流器

定格電流 200 A의 新形 diode(三菱 SR 200 F—14)를 採用하였기 때문에 總個數는 80 個임.

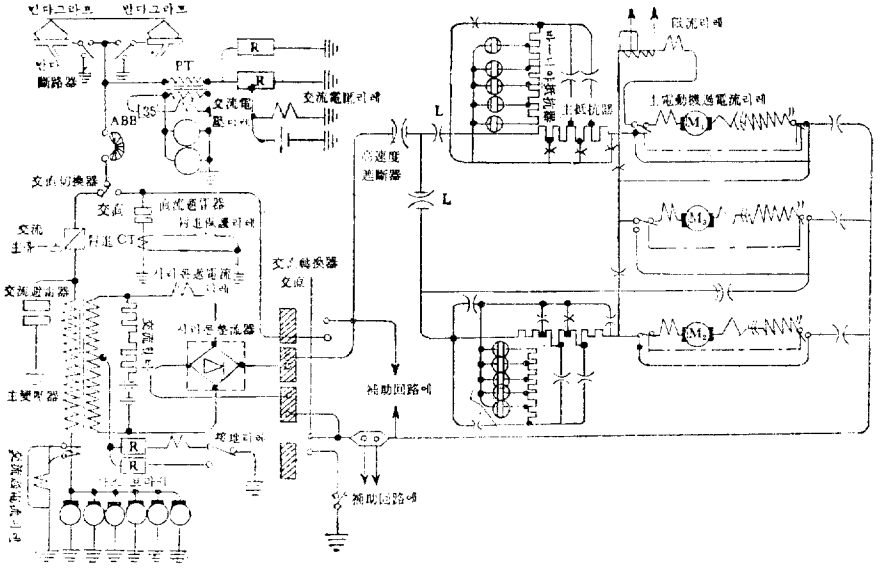
Silicon 整流素子 SR 200 F—14.

尖頭耐壓電壓 700 V　　임 팔 스 800 V

最大平均順電流 200 A　　素子組合 10S×2P×4A

(라) 交直切換裝置

直流冒進時는 交流主 fuse 가 溶斷되고 交流冒進은



EF 30 型交直流電氣機關車主回路結線圖

直流無電壓을 檢知하여 ABB를 開放하는 方式과 冒進하는 경우에는 冒進 CT에 依한 直流 "아레스타"의 放電電流를 蒐集하여 冒進保護繼電器에 依한 ABB를 여는 方式과의 2段設置가 있다.

마. 其他交流車輛

(1) 交直流電車

主變壓器, "시리콘"整流器 및 其他交流機器와 直流直捲電動機를 붙인 交流電車와 直流運轉도 可能한 整流子電動機를 利用한 電車의 2種이 있다. 50/60 共用整流子型 電車는 앞으로 그 利用度가 注目할만하다.

(2) 簡易交流電車

誘導電動機를 놓고 液體變速器를 通하여 動力을 傳達하는 方式으로 架線電壓을 6000 V로 하여 主變壓器를 省略하여 直接誘導電動機를 驅動하는 方式等이 研究되어지고 있다.

以上과 같은 새로운 方式의 電鐵化는 오늘날 鐵道近代化에 앞장을 서게 된 것이다. 韓國鐵道를 歐美鐵道와 比較하여 볼 때 面積當 營業粁가 적어 아직도 新設線을 增設할 수 있다고 考慮되지만 그것보다 歐美各國特히 自由友邦國家에서 있는 他交通機關인 自動車 및 飛行機와의 競爭에서 오는 打擊을 생각할 때 鐵道는 動力의 近代化인 電鐵化를 指向하지 않을 수 없는 것이다. 自動車는 道路의 發達과 더부러 점점 發展하고 있으나 鐵道는 線路補修라는 過重한 單獨負擔下에 公共機關의 立場에서 通勤 通學生을 도맡아 赤字로 輸送하고 漸次的으로 大都市周邊 郊外發展으로 因한 通勤通學者의 增加로 더욱 致命傷을 입게 되는 것이다.

이런 點에서도 Energy를 合理的으로 活用하는 鐵道電化를 研究하고 計劃하고 實現함은 우리가 할일中 가장 至急하고도 重要한 일중의 하나라고 생각한다. 交通部에서는 經濟 5個年 計劃下에 京仁線을 現在 單線인 것을 復線으로 하고 그 위에 電鐵化하려는 것이다. 然이나 디젤電氣機關車만을 생각하고 電化함으로 가져오는 一時的인 施設投資와 技術上 고충으로 萬一이를 抛棄한 것 같으면 한국 鐵道는 世界鐵道近代化潮流를 逆行하는 것이며 電化技術은 單一步도 向上하지 못할 것이다.

第二次計劃인 陵議線과 通한 서울市 循環線 그리고 基本目標인 京釜線을 비롯한 輸送量이 많은 線區의 電鐵化를 電力增産과 併行施行하여 鐵道運營을 合理化하여 公企業으로서의 使命을 다하여야 할 것이다.

(西紀 1962年 7月 20日 接受)

參考한 書籍

電氣鐵道(日本鐵道電化協會編) 1961年刊.
電氣雜誌 OHM 5月, 6月號 1961年刊
鐵道技術(日本鐵道技術協會編) 等.