

商用周波 交流鐵道電化

權 水 準

1. 序 論

電氣鐵道라면 直流方式를 聯想된 程度로 直流式電車鐵道는 發達되었다. 그러나 第二次大戰後 佛蘭西를 中心으로 發展實用化된 商用周波數(50~ 또는 60~) 單相 交流鐵道電化는 意外로 斯界에 注目을 引게 된 것이다. 그 理由로서는 直流式과 같이 複雜한 變換機器設備이 必要였으며 架線 所要銅量의 減少, 給電損失의 減少, 給電距離의 延長, 電壓降下의 輕減 等으로 將來에 鐵道輸送量增加에 따른 給電電力의 裕度擴大可能, 固定投資의 輕減과 아울러 設備의 簡素化, 維持保守費의 節減, 附帶 通信 및 信號保安設備의 現代化를 兼行할 수 있는 여러 利點을 列擧할 수 있는 反面에 交流電化의 技術的인 많은 難點을 內包하고 있는 것이다.

最近 英國, 獨逸, 印斐, 蘇聯, 日本의 東海道 新幹線 等은 모두 商用周波數 交流電化로 施工되고 있으며 英國같은 나라는 從來의 直流 1,500 volt 施設을 撤去하고 交流方式로 轉換하고 있는 現狀이다. 그러므로 우리나라의 鐵道電化問題도 國家標準化한 交流 25,000 volt 로 施行하기에 앞서 充分한 檢討가 必要한 것이므로 筆者는 本稿에서 鐵道動力의 力學的 考察이나 一般의 「電氣鐵道工學」의 詳解事項은 省略하고 主로 商用周波數 單相交流鐵道電化에 對한 技術的 諸點의 問題點을 類文的으로 考察하여 보기로 한다.

2. 韓國鐵道の 動力近代化와 問題點

鐵道動力의 近代化는 鐵道輸送의 至上目標인 安全, 迅速, 正確을 期하고 國家社會가 要請하는 輸送의 量的, 質的, 時間的인 呼應以外에

(1) Energy의 利用效率을 높여 國家 energy 施策에 貢獻하고,

(2) 運轉方式 및 service方式의 近代化와,

(3) 動力費와 運轉經費의 大幅節減(經濟經濟上의 效果) 設備의 合理化로서, 國家資源의 有効利用과 더불어 鐵道經營의 基礎를 革新하고, 國家産業, 經濟發展에 寄與함을 目的으로 하고 있는 것이다.

우리 鐵道の 輸送量을 每年 10~12% 程度로 激增을 鐵道總 工電局 電力課長

의 報告로 見되므로 이를 準備한 輸送裝備의 確保가 先行하여야 할데도 不尙하고 財政關係로 追從 二차 世界의 不景氣에 對한 現實에 응이 있을 뿐만 아니라 鐵道の 輸送裝備은 重裝備에 屬하여 使用鐵材의 大部分을 輸入에 依存하여야 하는 國內 重工業實情이므로 輸送需要보다 2年乃至3年을 先行하여 整備되어야 하며, 이는 最少限 15年乃至20年 以上의 長期展望의 加算되어야 하는 것이다. 經濟開發5個年計劃의 遂行과 더불어 國家經濟의 成長, 發展을 輸送需要의 激增으로 輸送裝備의 擴充과 輸送量의 質的 向上을 要求하고 있는 것이다. 最近 自動車의 發達과 進出을 括한 바 있으나 우리나라의 地形, 地勢, 産業의 分布, 人口密度 等 諸條件이 大量, 集中, 長距離輸送을 要하므로 鐵道에의 依存도가 높아질 特殊性을 內包하고 있는 것이다. 그러므로 鐵道는

가. 新營의 改善

旅客과 荷主의 要請에 呼應한 service를 提供하고 積極的增收을 期하는 以外에 合理的인 業務運轉으로 經濟을 改善하여야 할 뿐만 아니라 動力의 近代化를 契機로 하여 輸送方式의 近代化를 筆頭로 運轉全體에 對하여 廣範圍한 近代化를 推進함으로써 鐵道經營의 調期的인 改善이 期待되는 것이다.

나. Energy의 有効利用

國民生産의 增大와 消費水準의 向上, 上昇은 energy 消費를 年年 累增시켜 우리나라 energy 施策에 重大한 問題點을 惹起시키고 있으며 石炭(無煙炭)增產, 石油利用의 優位性, 電力網의 強化 等으로 energy의 需給構成은 大幅으로 變貌하고 있을 뿐만 아니라 將次 原子力의 利用까지도 생각하지 않으면 안 될 段階에 이르게 될 것이다. 이러한 情勢下에서 energy의 高能率利用은 國家의 一面에서 重要한 課題로 要請되고 있으며 熱効率 5%前後의 蒸氣機關車에 利用되는 石炭을 火力發電所에 轉用하면 30% 程度까지 效率을 向上시킬 수 있고 diesel 機關車의 熱効率도 18~20%이므로 鐵道動力近代化는 우리나라 energy 政策의 重大한 標的이 되는 것이다. 이러한 諸問題點으로 미루어 볼때 우리 鐵道の 動力

近代化로서는 爲先 「diesel 化와 電化」를 推進하여야 하나 diesel 化는 諸類問題가 國際收支面에 미치는 影響과 價格昂騰, 其他 複雜한 聯關性을 永續적으로 內包하게 되므로 銘心하여 決定하여야 할 問題가 이년가 생각된다.

3. 交流鐵道電化設備의 概念

鐵道電化의 投資効率을 算定하기 爲하여 電化地上設備費와 年間經費를 어떤 角度로 생각하는 것이 妥當한 것인가? 從來의 鐵道電化는 主要 輸送量이 많은 主要幹線이나 勻配區間에 限하여 施工되었으나, 交流電化의 開發로 支線의 輸送量이 僅少한 鐵道에서도 輕便한 給電方式과 架線方式의 採用으로 投資費를 減減할 수 있게 된 것이다. 運轉計劃과 電化設備는 電化設備가 供與되는 運轉計劃에 對하여 充分한 性能을 가져야 함은 勿論이나 過大設備가 되지 않도록 充分한 檢査가 必要한 것이다.

3-1. 電車線路의 電壓降下

電氣機關車에 供給되는 電力은 良質이어야 할것은 勿論이지만 이를 爲하여서는 電車線路 最終端의 電壓降下를 一定한 許容限度內에 두어야 하므로

- a). 電車線路電壓降下の 許容限度……25% 以下
- b). 各列車의 負荷

電車線路末端의 列車……最大電流(定格電流의 150%)
其他列車……平均電流(定格電流의 7.5%)

- c). 機關車의 定格容量, 列車의 平均間隔, 電車線路의 特性 및 蓄電器, reactance의 補償率을 考慮하여 許容最大給電距離(變電所間隔)을 略算한다.

問題點……交流給電回路에서는 蓄電器를 多數 插入하면 基本波의 電壓降下는 原理의 上으로는 얼마는지 補償할 수 있으나, 一般의 上으로 不經濟의이며, 高調波電流에 依한 歪形波電壓을 發生시킬 憂慮가 많은 것이다.

3 2. 選擇遮斷

運轉電流와 事故電流를 區別하여 迅速히 事故電流를 遮斷하고 事故의 擴大를 防止한 目的으로 變電所에 impedance 繼電器를 設備하고 이 繼電器에 依한 再閉路方式이 取하여져야 하나 이때의 事故電流와 運轉電流와는 큰 位相差가 없으므로 結局 impedance의 絕對值의 差로서 區別하지 않으면 안될 것이다.

- a) 運轉電流의 最低 impedance

(1) 運轉電流의 最低 impedance는 電車線路 末端에서 運轉되는 電氣機關車의 最大電流를 變電所의 引出線에서 換算한 電流值의 impedance를 取한 것이며,

- b) 事故電流의 impedance

事故電流의 impedance는 最終給電點까지의 電車線路의 impedance를 取하는 것이다.

- c) 事故電流의 選擇遮斷이 充分히 履行될 수 있는 條件

事故電流의 impedance < 運轉電流의 impedance ÷ 1.3

d) 機關車定格容量, 列車의 平均間隔, 電車線의 種別을 考慮하여 許容 給電 距離(變電所 間隔)를 略算하는 것이다. 選擇遮斷으로 制約되는 給電距離는 電車線의 電壓降下面에서 制約되는 距離보다 若干短縮되게 된다.

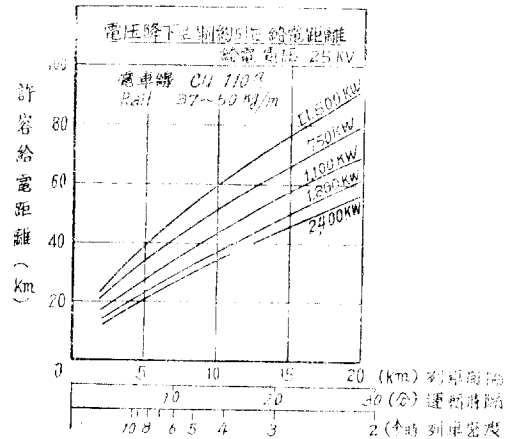


그림 1

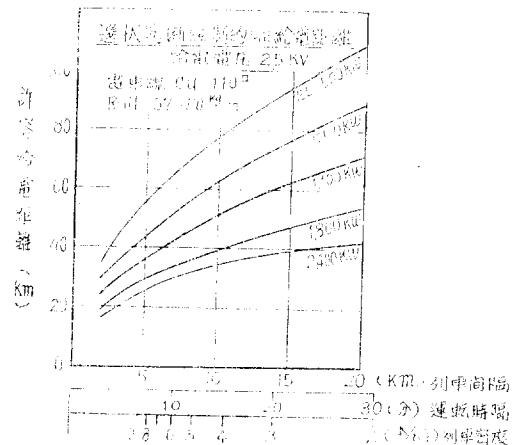


그림 2

3-3. 電氣의 容量

電線이나 變壓器, 其他機器 等은 負荷電流에 依한 溫度上昇에 充分히 견딜 것은 勿論이고,

- (1) 變電所의 變壓器容量

變壓器 溫度上昇의 時定數는 2~3時間 以이므로 1時間 平均負荷, 力率, 負荷變動分에 對한 波形率을 생각하여 決定한다. 力率은 0.85, 負荷變動分에 依한 波形

率은 1.1~1.3 程度이하의 時定數는 2~3 時間으로 無混雜 수도 있다. 電力消費率, 列車重量, 給電距離, 列車間隔을 考慮하여 變壓器容量은

$$\text{變壓器容量 (KVA)} = \frac{1}{0.85} \times \frac{\text{給電距離}}{\text{列車間隔}} \times \text{列車重量} \times$$

$$\text{電力消費率} = \frac{1}{0.85} \times \text{給電距離} \times \frac{\text{列車回數}}{24 \times \text{負荷率}} \times \text{列車重量} \times \text{電力消費率}$$

(2) 電車線의 容量

裸線 溫度上昇의 時定數는 10 分 程度이므로 機關車 notch 의 on, off 에 依한 負荷變動이 問題가 된다. 多數의 列車가 重疊運轉을 할 때 各 機關車電流의 重疊이 裸電車線의 溫度上昇限界에 對하여 어떠한 影響을 주는가(外國의 實例로 볼 때 10 分間 最大電流는 1 時間 平均電流의 2 倍 以下이므로) 考慮하여 電車線路의 安全電流를 1 時間 平均電流의 2 倍以下로 決定한다.

3-4. 誘導障害

交流電化는 通信線에 對한 誘導障害가 問題가 되므로 部內通信線은 全部 cable 化하고 外部通信線은 그 改修 範圍을 縮少하기 위하여 吸上變壓器와 負歸線을 設備하여 大地에 對한 漏洩電流를 極力 抑制한다. 誘導障害中에서 外部 通信線路에 對하여 問題가 되는 것은 電磁誘導이므로 吸上變壓器만으로도 電磁誘導 電壓輕減效果는 1/3 程度로 나타나며, 여기에 負歸線을 併設할 경우에는 또다시 1/3 程度의 輕減效果를 期할 수 있게 되는 것이다.

3-5. 列車速度

Pantagraph 의 電車線으로부터 集電하는 狀態는 恒常 良好하이어 하지만, 列車速度가 빠르면 빠를수록 集電이 困難하여지므로 高速度에서도 離線率이 적고 集電이 良好하이어 하는 것이다. 이러한 條件을 滿足시키려면

- 1) 電車線의 架線勾配가 적어야 하며
- 2) 電車線이 pantagraph 의 押上壓력에 對하여 均一한 柔軟度를 가지며 硬點이 없어야 하고
- 3) Pantagraph 自體가 輕量이고 追隨性이 優秀한 것 등이 必要한 條件인 것이다.

以上과 같은 條件을 滿足시키기 위하여 電車線은 catenary 式 架線으로 施工되며 또한 交流電化에 應用되고 있는 高速度性能에 따라 分類 說明하면 다음과 같은 것이다.

- (a) 可動 bracket 變型 Y 型 simple catenary 架線(吊架線과 電車線의 張力調整裝置을 設置)은 120 km/h 以上の 高速度運轉에 適用
- (b) 固定 beam simple catenary 架線(電車線에만 張力調整裝置)은 100 km/h 程度에 適用
- (c) 斜吊式架線(電車線에 張力調整裝置을 設置)은 振動防止施設이 不必要하고 電柱의 支持도 合理的이며 設備費가 低廉하나 準高速 70 km/h 以上에 適用
- (d) 直吊式架線은 catenary 式이 아니고 直接架線하는 式으로 驛構內等 45 km/h 以下로 運轉하는 線路에 適用.

電車線架線方式圖

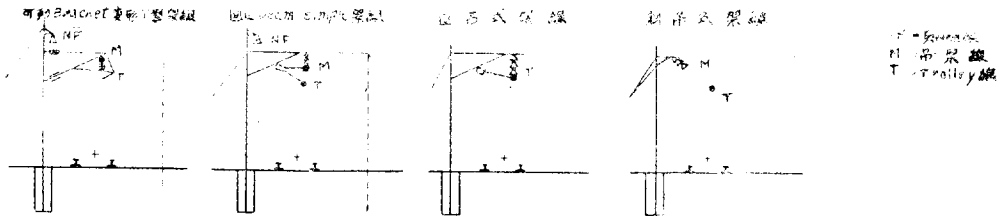


그림 3

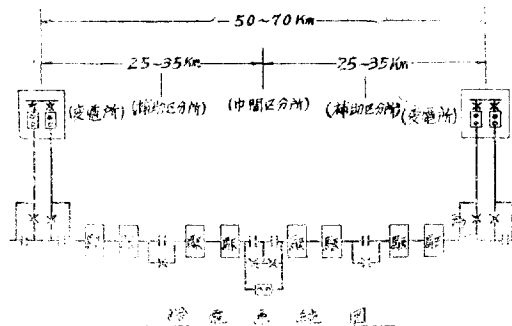


그림 4

3-5. 給電系統

直流電化時의 給電系統의 主要는 高速度 遮斷器의 選擇遮斷能力에 制限을 받아 DC 1,500 V 에서는 10~15 km DC 3,000V 에서는 20~30 km 로 制限받았으나, 管線의 交流電化는 選擇遮斷能力을 增強하지만 作業時와 事故時의 系統利用上의 能力을 參酌하여 給電回路途中에 區分所와 補助區分所를 設置하고 變電所, 區分所, 補助區分所의 空回開閉機器는 每 200~300 km 에 設置하는 中央制御所에서 遠方制御한다.

3-7. 鐵道線路條件의 電化設備

側線, 曲線, 隧道, 橋梁, 多車道門 等은 支持物數가 增加되고 支持物 荷重狀態의 變率度가 長하므로 細密한 現場調査로서 場所別 設計에 依한 電化設備가 必要하게 되는 것이다.

4. 電源系統에 對한 不平衡問題

商用周波數 單相交流 鐵道電化는 發送電系統과 電鐵系統의 接續으로 因하여 兩者間에는 作用과 反作用이 생기기며 이것은 電鐵回路가 1條의 電串線과 軌條 및 大地로 一體가 된 單相負荷인데 反하여 發送電系統은 平衡3相負荷를 希望하는 것이다. 그러나 電鐵負荷(單相交流式)는 그 性格上 3相電源系統에 對하여 不平衡을 形成하게 되므로

- (a) 不平衡率의 算定
- (b) 不平衡 輕減策
- (c) 不平衡率의 許容限度

等의 充分한 檢討가 必要한 것이다.

3相回路의 不平衡率은 逆相分의 正相分에 對한 比로서 電流不平衡率은 U 라고 하면

$$U = \frac{I_{a2}}{I_{a1}} \times 100$$

I_{a1} : 正相電流

I_{a2} : 逆相電流

電壓不平衡率을 K 라고 하면

$$K = \frac{V_{a2}}{V_{a1}} \times 100$$

V_{a1} : 正相電壓

V_{a2} : 逆相電壓

一般적으로 電力系統에서는 末端에서 多少 不平衡이 되더라도 電源에 가까워질수록 不平衡率이 減少되는 現象을 나타내며, 一次送電系統에서는 거의 平衡이 되는 것으로 볼 수 있는 것이다.

4-1. 不平衡率의 算定

單相負荷點의 不平衡率은 다음 算式에 依하여 近似值을 求할 수 있다.

(a) 單相負荷

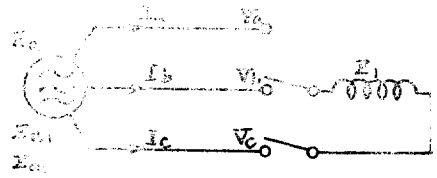


그림 5

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_{a1} + Z_{a2} + Z_1}$$

$$I_{a2} = -I_{a1}$$

$$U = \frac{I_{a2}}{I_{a1}} = -1$$

$$V_{a1} = \frac{Z_1 + Z_{a2}}{Z_{a1} + Z_{a2} + Z_1} E_a$$

$$V_{a2} = -\frac{Z_{a2}}{Z_{a1} + Z_{a2} + Z_1} E_a$$

$$\therefore K = \frac{V_{a2}}{V_{a1}} = \frac{Z_{a2}}{Z_{a2} + Z_1} = -\frac{Z_{a2}}{Z_1} = -\frac{P_1}{P_s}$$

P_1 : 單相負荷

P_s : 負荷點의 3相短絡容量

(b) V 結線 單相負荷

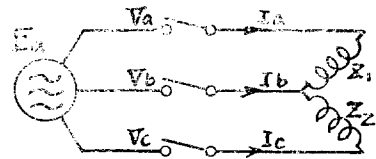


그림 6

$$I_{a1} = \frac{Z_1 + Z_2 + 3Z_{a2}}{\Delta} E_a$$

$$I_{a2} = -\frac{(Z_1 + a^2 Z_2)}{\Delta} E_a$$

$$V_{a1} = \frac{Z_1 Z_2 + Z_{a2}(Z_1 + Z_2)}{\Delta} E_a$$

$$\therefore \Delta = 3Z_{a1} Z_{a2} + (Z_{a1} + Z_{a2})(Z_1 + Z_2) + Z_1 Z_2$$

$$U = \frac{-(Z_1 + a^2 Z_2)}{Z_1 + Z_2 + 3Z_{a2}} = \frac{-(P_2 + a^2 P_1)}{P_1 + P_2}$$

$$K = \frac{Z_{a2}(Z_1 + a^2 Z_2)}{Z_1 Z_2 + (Z_1 + Z_2) Z_{a2}} = \frac{a^2 P_1 + P_2}{P_s}$$

萬一 $P_1 = P_2$ 인 變週에는

$$U = 50\%, |K| = \frac{P_1}{P_s}$$

$\therefore P_1, P_2$ 는 各相의 單相負荷容量

(c) Scott 結線 負荷

變壓器의 漏洩 impedance 를 無視하면,

$$I_{a1} = \frac{Z_1 + Z_2 + 4Z_{a2}}{\Delta T} E_a$$

$$I_{a2} = \frac{a(Z_1 - Z_2)}{\Delta T} E_a$$

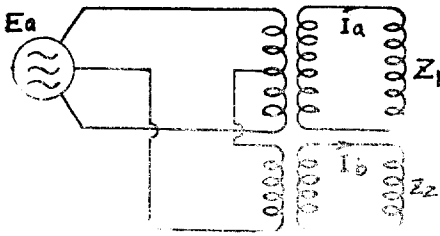


그림 7

$$V_{a1} = \frac{Z_1 Z_2 + Z_{a2}(Z_1 + Z_2)}{\Delta T} E_a$$

$$V_{a2} = \frac{a(Z_1 - Z_2)}{\Delta T} E_a$$

$$\Delta T = 4Z_{a1}Z_{a2} + (Z_{a1} + Z_{a2})(Z_1 + Z_2) + Z_1Z_2$$

$$\therefore |U| = \left| \frac{a(Z_1 - Z_2)}{Z_1 + Z_2 + 4Z_{a2}} \right| \cdot \left| \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} \right|$$

$$|K| = \left| \frac{aZ_{a2}(Z_1 - Z_2)}{Z_1Z_2 + Z_{a2}(Z_1 + Z_2)} \right| \cdot \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2 + P_s} \cdot \frac{P_1 - P_2}{P_s}$$

即, $P_1 = P_2$ 일 때는 U, K 가 0 이 된다.

上述한 各項의 各式에서 明確한 바와같이 不平衡率은 單相負荷容量과 그 負荷點에서 본 供給電源系統의 3相短絡容量 P_s 를 알면 簡單히 算定할 수 있는 것이다.

4-2. 不平衡輕減對策

交流電鐵의 單相負荷에 依한 3相電源系統의 電壓不平衡은 電鐵用 變電所의 變壓器結線方式과 給電方式에 密接한 關係가 있음은 4-1에서 說明한 바 있으나 變壓器結線方式에 依한 諸方策으로는

- (1) 單相結線方式
- (2) V結線方式
- (3) T結線方式
- (4) 位相補償方式
- (5) 廻轉機에 依한 相數變換方式

등을 들 수 있으나 本稿에서는 (1)(2)(3)에 對하여 簡單히 說明하기로 한다.

(1) 單相結線方式

第一 簡單한 給電方式에서는 上下方面의 給電區間 A, B의 最大負荷를 P_A, P_B 라고 하면 最惡負荷條件에서

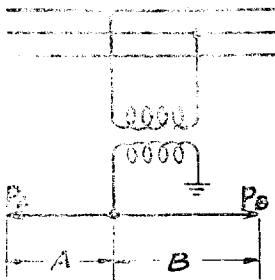


그림 8

負荷點의 電壓不平衡率 K 는 $K_{max} = \frac{P_A + P_B}{P_s}$ 가 된다.

(2) V結線方式

2個의 單相變壓器를 2個의 相에 各各 上下線의 電車線을 接續하나, 兩 變壓器에 P_A, P_B 가 最大負荷로 걸릴 때 電壓不平衡率 K 는

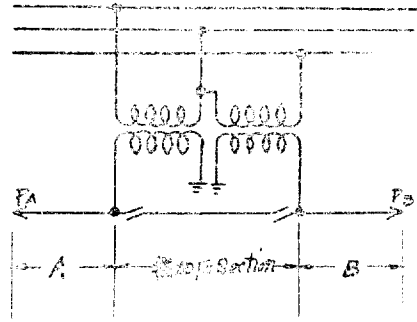


그림 9

$$K = \frac{a^2 P_A - P_B}{P_s} \text{ 이므로}$$

$$\left[a^2 = -\frac{1}{2} - j\sqrt{\frac{3}{2}} \right]$$

이때의 最惡狀態는 $P_A = P_B$ 일 때 發生하고 그 값은

$$K_{max} = -\frac{P_A}{P_B}$$

이 값은 單相結線方式의 1/2 程度이다. $P_A \neq P_B$ 인 境遇에는 K 가 上記値보다는 작아지지만 어느 한 方向의 負荷가 零일 境遇는 單相結線時의 1/2 이 된다. 即, V結線方式에서는 電壓不平衡率 K 는 各 給電方面別 最大負荷에 呼應한 電壓不平衡率 K_A, K_B 以上으로 될 수가 없는 特徵을 가지고 있음으로 K_A, K_B 가 許容할 수 있는 電壓不平衡率 限度 以內라면 採用할 價値가 充分히 있는 것이다.

(3) Scott 結線方式

下圖에서 BC를 主座變壓器, AD를 T座變壓器(主

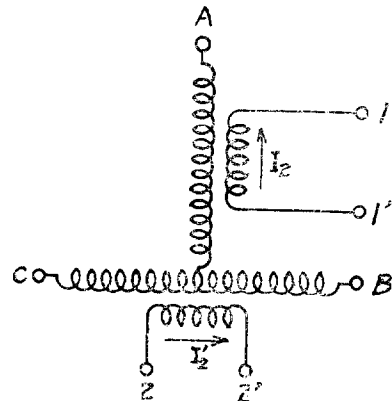


그림 10

座: T 座의 變壓比는 1:1.15 程度)라고 하면 端子 AB C 를 3 相電源에 接續하였을 때 2 次卷線 1-1', 2-2' 에는 서로 直角位相電壓을 發生하게 되므로 이에 同一한 負荷 impedance 를 接續하면 電流 I_2, I_2' 는 2 相式電流가 되며, 이에 對應하여 電源側의 3 相回路는 完全한 對稱 3 相電流가 흐르게 된다. 上述한 相數 變換作用은 兩 變壓器의 2 次電流가 同一한 경우에만 成立하며, 兩側 2 次電流가 相異할 때는 1 次側 3 相回路의 電流는 不平衡하게 되는 것이다. 因此로 電車線에 最大負荷 P_A, P_B 가 發生 時의 電壓不平衡率 K 는

$$K = \frac{P_A - P_B}{P_S}$$

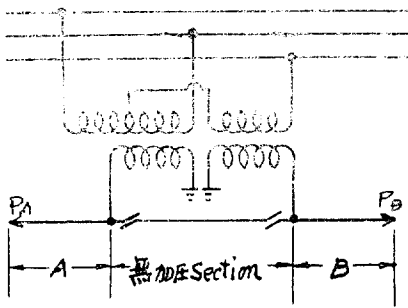


그림 11

即 $P_A = P_B$ 일 때는 $K=0$. $P_A \neq P_B$ 일 때는 vector 差의 單相負荷로 K 를 發生시키게 되는 것이다. K 의 發生을 最大로, 即 最惡의 狀態로 만드는 경우는 한 쪽이 最大負荷이고 다른 한쪽의 負荷가 零이 될 때이며 그 값은 單相結線方式의 1/2 로서 V 結線方式도 同一한 것이며 其他의 경우는 1/2 에서 零까지의 값이 된다. 이것이 Scott 結線方式의 特徵인 것이다.

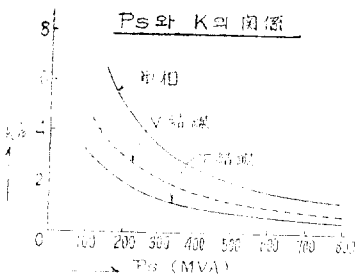


그림 12

結 論

短絡容量 300 MVA 程度 以下의 受電地點에서는 Scott 結線變壓器를 使用하는 것이 效果的이라는 結論을 얻을 수 있다.

4-3. 不平衡의 許容限度

單相負荷가 3 相電源系統에 直結될 때 電源側의 發電

設備, 送電, 變電設備는 當然히 어느 程度의 影響을 받을 것은 事實이며 甚한 不平衡이 繼續될 때는 發電機, 調相機 等의 回轉機器는 溫度上昇이 生기고 또한 系統의 保護裝置나 計測裝置는 誤動作 또는 誤差를 일으킬 憂慮가 있을 뿐만 아니라, 激甚한 不平衡은 一般需用家의 誘導電動機에 回轉力을 減少시키고, 溫度上昇을 일으키는 現象을 나타낼 것이다. 그렇다고 電力系統의 不平衡率을 事實上 理論과 같이 零으로 할 수는 없는 것이므로 이 不平衡率의 許容限度를 얼마쯤으로 策定하여야 할 것인가? 外國의 例을 들어보면

(a) 獨逸 디더제變電所

獨逸 國有鐵道에서 電鐵負荷에 依한 不平衡에 關한 調査結果 電鐵變電所에서 12%, 送電線과의 接續點에서 6%, 發電所에서 3% 이었다고 하며

(b) 佛蘭西 國有鐵道 안시變電所

이 變電所는 佛蘭西 電氣廳의 42 kV 系統에서 受電하고 있으며 Scott 結線에 依하여 3/2 相變換을 하여 變電所에서 左右 兩方面에 給電하고 있으나 電鐵負荷에 依한 電壓不平衡을 調査한 結果, 其他 比較的 貧弱한 送電線路에서 受電하고 있는 地點에서도 $K=2.5 \sim 5\%$ 以下로서 全然 問題가 되지 않는다고 하며,

(c) 白耳義 B.C.K. 鐵道

各種狀態에 對하여 檢討한 結果, 最惡의 狀態에서 4% 程度이었다고 하며,

(d) 日本 國有鐵道

日本 鐵道에서는 短時間(約 2 時間) 最大負荷에 對하여 不平衡率을 3%로 抑制하고 電車線給電을 爲한 終端變電所는 單相變壓器方式, 中間變電所에서는 Scott 結線變壓器方式을 採用하고 있다.

以上의 各國의 例에 따라 우리鐵道와 韓電則에서는 K 의 값을 3~5% 範圍內로 許容限度를 決定하는 것이 좋을 것 같다. 그 理由로서는 우리 나라의 送電網이 主로 140 kV 와 60 kV 系統이 標準으로 施設되고 또 60 kV 以上의 送電系統에서는 短絡容量 200 MVA 程度는 無難히 獲得할 수 있을 것이며, 鐵道の 電氣車容量과 運轉實績으로 보아 한 方向에 最大 5,000 kVA 를 超過할 경우는 거의 없을 것이고 電壓不平衡率을 3%로 한다 하여도 電源側의 3 相短絡容量 P_S 는 150 MVA 程度면 充分하므로 電源側에 惡影響을 주지 않을 것이라는 結論을 얻을 수 있다고 보기 때문이다.

(西紀1963年8月13日接受)

(以下 次號繼續)