

電氣鐵道로부터의 漏洩電流에 대한 考察

A Study on Stray Current from Subway

朴 相 國*
Park, Sang Kook

1. 電氣鐵道の 概要

1.1 電氣鐵道の 種類

電氣鐵道の 方式은 電車에 供給하는 電力의 種類에 따라서 大別하면 直流式과 交流式으로 分類할 수 있으나, 다시 使用되는 電壓이나 電力의 供給方法에 따라서 細分할 수 있다.

表1은 우리나라 電氣鐵道の 方式에 對한 概要이지만 交流電氣鐵道에서는 通信線에 對한 誘導障害를 主로 問題삼고 있으며 交流電蝕에 對하여는 直流과 交流가 重疊되는 特殊한 境遇를 除外하고 거의 問題되지 않으므로 여기서는 直流電氣鐵道에 對하여서만 考察하고자 한다.

표1. 우리나라 電氣鐵道方式

直流電氣鐵道 - 專用軌道 - 1,500V - 架空單線式
交流電氣鐵道 - 專用軌道 - 25,000V 60Hz - 架空單線式

1.2 直流電氣鐵道

電車에 電力을 供給하는 것을 饋電이라 하고 直流電氣鐵道에 代表的인 電氣回路는 그림 1(a)에 表示한 것과 같다.

即 電車에는 變電所로부터 電車線을 통하여 電力이 供給되며 電車電流는 Rail을 통하여 變電所로 回歸하는 回路를 構成하게 된다. 變電所로부터 送出되는 電壓은 우리나라에서는 直

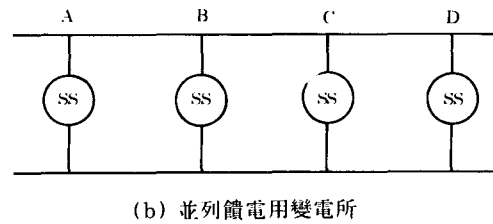
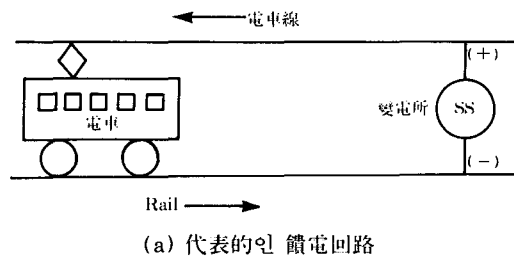


그림 1 直流電鐵의 饋電回路

流 1,500V 및 交流 25,000V를 使用하고 있으며 直流饋電回路의 境遇에는 電車線側을 (+), Rail 側을 (-)로 하는 것이 電氣設備基準令에 定하여져 있다. 또한 大部分의 境遇 그림1(b)에 表示된 것과 같이 變電所가 並列로로 接續되어 있으며 其間隔은 電車의 運行回數에 따라 左右되나 一般的으로 3~15Km(都市近郊에서는 數Km의 境遇도 있음) 程度로 하고 있다.

2. 歸線設備

饋電回路에 있어서 電車電流가 變電所로 歸

*發送配電技術士, (株)三工社專務理事

流하는 經路의 大部分은 Rail이 되겠으나 實際로는 Rail을 接續하는 Rail bond, Jumper線, Cross bond 및 Impedance bond 등 Rail과 變電所를 接續하는 負側電線을 包含하여 直流가 回歸되는 設備를 總括하여 歸線이라고 하나 歸線의 電氣抵抗은 Rail 對地電壓을 생각하게 되고 여기서 漏洩되는 電流를 考慮할 境遇 重要한 要素로서 作用하게 된다.

2.1 Rail(軌道)

Rail은 歸線의 大部分을 構成하게 된다. Rail의 種類는 單位長當重量(kg/m)으로서 表示하며 30, 37, 40N, 50N, 60, 70 등이 있고, 그 Rail의 導體抵抗은 表2에 나타나 있는 것과 같다. Rail의 通常 標準 길이는 25m로 하고 있으나 近來에 와서는 鎔接技術의 發展에 힘입어 長距離 Rail 區間도 많이 存在하게 되었다.

또한 歸線의 抵抗은 Rail 以外의 電線類에 依한 抵抗增加가 Rail 自體만의 抵抗의 2割以內로 技術基準에 制限되어 있으며 實際로는 1割程度의 것이 通例이다. 表2에는 歸線抵抗의 實用値와 技術基準의 歸線電壓降下計算에 使用되는 $1/W$ 의 值(W 는 Rail 1m의 重量)도 表示하였음.

2.2 負의 歸電線

負의 歸電線은 Rail로 부터 變電所까지의 引込線을 말하며, 普通의 專用軌道의 境遇에는

變電所 直前에서 引込하는 것이 많으며 그 길이는 짧으므로 抵抗은 그다지 問題되지 않는다.

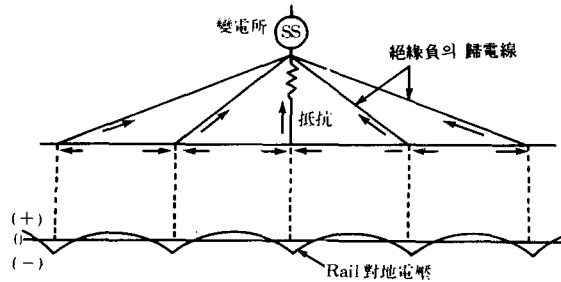


그림 2 等電位法으로 表示한 Rail 對地電壓分布曲線

한便 複線軌道에서는 Rail의 漏洩抵抗이 專用軌道에 比하여 한 段階 작으므로 通常의 饋電方式으로서는 漏洩電流가 커지게 된다. 때문에 그림 2에 표시된 것과같이 數많은 負의 歸電線을 使用하여 變電所로부터 離隔된 點에 Rail과 連結되는 「等電位法」을 採用하게 되었다. 때문에 負의 饋電線內의 電壓降下는 크게 되나, Rail에 있어서의 電壓降下는 적게 되어 Rail의 對地電壓도 적게 되어 漏洩電流는 專用軌道와 同樣으로 抑制시킬 수 있게 된다.

2.3 補助歸線

補助歸線은 Rail 歸線回路의 電壓降下를 減

표 2 Rail 抵抗과 軌道의 抵抗 및 相當하는 電線條數

Rail 種別	(kg/m)	30	37	40N	50N*	60
Rail 1m의 抵抗	($\mu\Omega/m$)	49.9	41.1	37.7	31.6	27.1
Bond 등을 包含한 單線 1km 抵抗	($1/W$) Ω/km	0.033	0.027	0.025	0.020	0.017
	(實用値) Ω/km	0.027	0.022	0.02	0.017	0.015
Rail 抵抗(單線)에 相當하는 電線條數		2	3	3	4	4
(複線)		4	5	6	7	8

饋電線은 325mm² 銅線或은 510mm² 알루미늄線으로 하며 抵抗値는 通常 0.056 Ω/km 로 看做하였음.

※現在 韓國의 地下鐵은 50N을 標準으로 쓰고 있음.

少시키고 電流容量을 增大시키기 爲하여 一般的으로 Rail과 並行하여 施設된 것을 말한다. 한 便으로 Rail의 導體抵抗은 매우 낮으므로 이것으로 因한 顯著한 效果를 얻기 爲하여는 表2에 表示된 것과 같이 多數의 電線을 必要로 하게 된다. 이런 關係上 一部の 重負荷區間에 만 使用되는 實情이다.

2.4 Rail Bond

Rail 相互間은 鐵片板으로 接續되어 있으므로 그 電氣抵抗은 不安定하므로 電氣的으로 Rail Bond로서 接續하고 있다. Rail Bond는 導線部와 端子部로 되어 있으며 導線으로서는 55mm²~190mm²의 軟銅燃線을 使用하고 端子는 鎔接端子 및 壓縮端子가 있으나 Rail과 接續할 境遇에는 恒常 安定된 낮은 抵抗値가 要望된다. 때문에 技術基準令에서는 Bond에 依한 抵抗値에 對하여 다음과 같이 規程하고 있다. [歸線用軌條의 接續部의 抵抗의 合은 그 區間의 單獨軌條의 抵抗의 20%以下로 維持하고 各各의 接續部 1個所의 抵抗은 그 軌條의 길이 5m의 抵抗에 相當하는 値 以下로 할 것]

따라서 Rail Bond의 抵抗은 上述한 바와 같이 Rail 相當長에 對하여 表示하나 그 數値는 짧게 熔接 Bond로서 普通 1~2m 程度로 하고 있다.

2.5 Jumper 線, Cross Bond.

交差點, 道路橫斷個所 其地긴(長)區間에서 使用되는 것을 Jumper선, 左右 Rail 或은 上下 線을 連結하는 것을 Cross bond라고 稱한다. 上下線間에는 電車負荷의 位置 및 電流의 變化 等に 따라서 어느 程度電位差가 發生하게 되므로 Cross bond는 可及的 여러 個所 設置하는 것이 電蝕防止의 見地에서 良好하게 된다.

또한 自動信號區間에서는 左右 Rail 사이가 Impedance bond에 依하여 接續하게 되므로 上下 線間은 Impedance bond의 中性點끼리 連結하게 되나 이 境遇는 다음에 나타내는 것과 같은 制限이 있으므로 Cross bond는 過多

하게 設置하지 않는 것이 좋다.

2.6 Impedance Bond

自動信號區間에서는 左右Rail間에 交流電壓을 印加하여 車軸에 依한 短絡으로 列車의 有無를 檢出하고 있다. 이 交流電壓을 加함과 同時に 電車運轉用의 直流을 같이 흐르게 하기 爲한 것이 Impedance bond이다. 그림 3에 軌道回路의 原理를 表示한다.

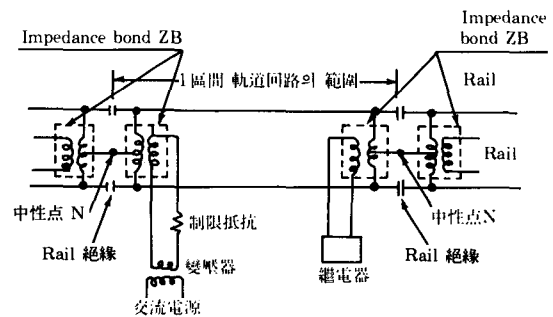


그림 3 軌道回路結線圖

이와같이 Impedance bond는 Rail에 連結되는 一次側과 交流專用的 2次側卷線을 가지는 變壓器의 一種으로서 一次卷線의 直流容量에 따라서 250A, 500A, 1000A의 3種이 있으며 規格化되어 있다. 表3에 그 特性을 表示한다. 또 一次卷線의 兩端은 左右 Rail에 接續되나 그 卷線의 中性點(N)을 두어 他軌道回路의 負饋電鐵, Cross bond, 其他 埋沒管의 排流器接續等은 軌道回路의 不平衡을 防止하기 爲하여 오직 이 中性點의 利用으로 制限하고 있다.

그림 4는 中性端子의 規格이며 以外の Cross bond의 施設에 關하여는 折損檢索檢出 때문에 다음의 制限을 두고 있다.

以下는 그림 5에 對하여 說明하기로 한다. (a)는 平常狀態로서 列車가 없는 境遇를 表示하게 되며 軌道回路에는 圖示한 信號電流(交流)가 흘러 右끝의 信號는 綠色을 나타낸다. 다음 (b)와 같이 P點에서 Rail이 切損되었을

표 3. Impedance bond의 一般特性

	一次 Coil 電流(直流) [A]	不平衡 電流(直流) [A]	二次 Coil 電流(交流) [A]	一次 Coil 抵抗 [Ω]	二次 Coil 抵抗 [Ω]	Impedance (交流 3V 50Hz) [Ω]	Impedance 變動許容範圍 (교류1~10V)
250A	250	50	25	0.001	0.05	0.5	0.4~0.7
500A	500	100	25	0.00075	0.05	0.5	0.4~0.7
1,000A	1,000	200	25	0.0005	0.05	0.5	0.4~0.7

境遇는 信號電流가 흐르지 않게 되므로 ㉞赤色을 나타내게 되어 Rail의 切損을 檢出하게 된다. 그러나 (c)의 Cross bond 回路 Q가 存在

하면 이것을 사이에 둠으로서 信號電流가 Impedance bond의 한쪽에 흘러 Impedance bond 2次側に 交流가 誘起됨으로서 結果的으로는 (a)와 같은 境遇가 되어 ㉞를 表示하게 됨으로 切損檢出은 不可能하게 된다.

또한 列車가 이 區間에 存在할 境遇에도 (a)'(b)'(c)와 같이 Cross bond 回路 Q가 있으면 ㉞가 되어야 할 信號가 ㉞를 나타내게 되어 追突의 危險을 惹起시키게 된다.

以上을 埋沒管의 排流의 境遇와 組合하면 (d)와 같이 된다. 同一埋設管을 同一軌道回路의 兩側に 排流하는 境遇는 거의 없으나 管 ㉞ ㉞가 隣接한 Impedance bond에 排流될 可能性은 考慮할 수 있다. 이 境遇 ㉞ ㉞間이 相互 bond 等에 따라서 抵抗이 낮은 境遇는 Cross bond를 한것과 같이 된다. 또한 選擇排流器는 通電時에 交流에 對하여 普通狀態와 같이 되어 信號電流가 通過하게 되므로 主意를 必要로 하

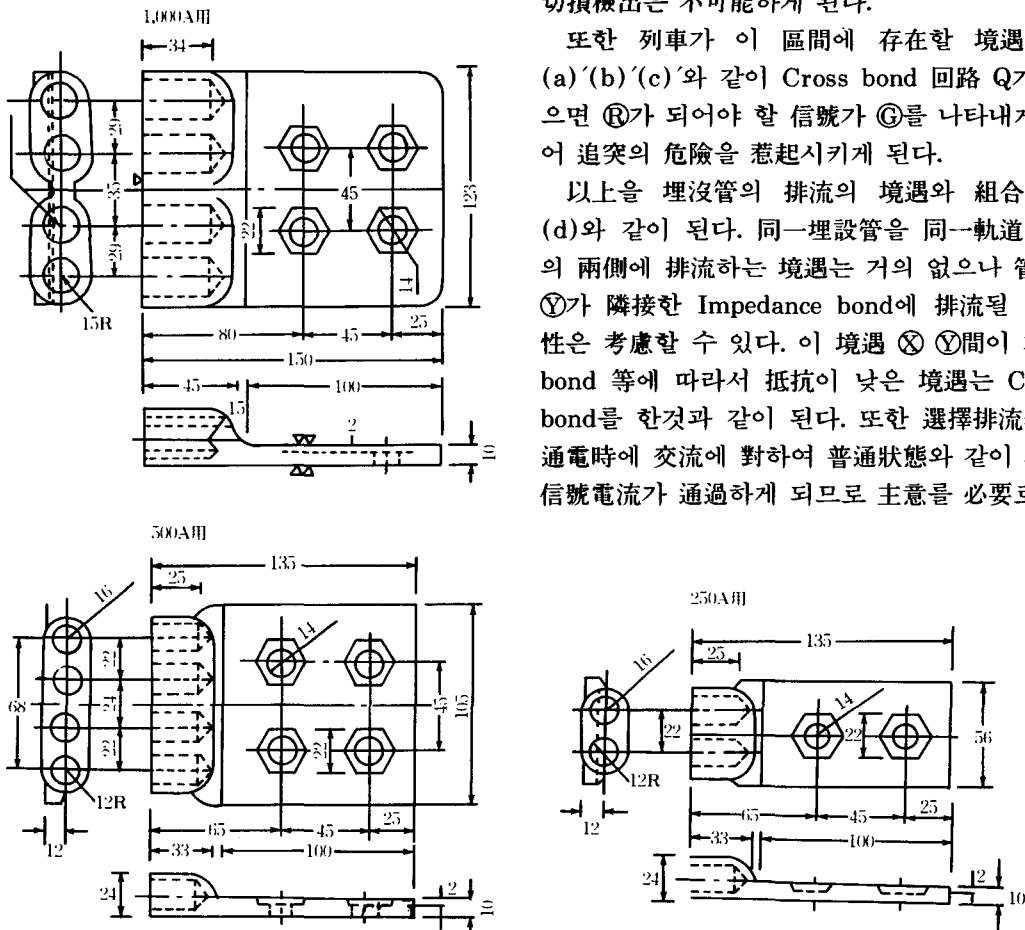


그림 4 Impedance bond 中性端子規格

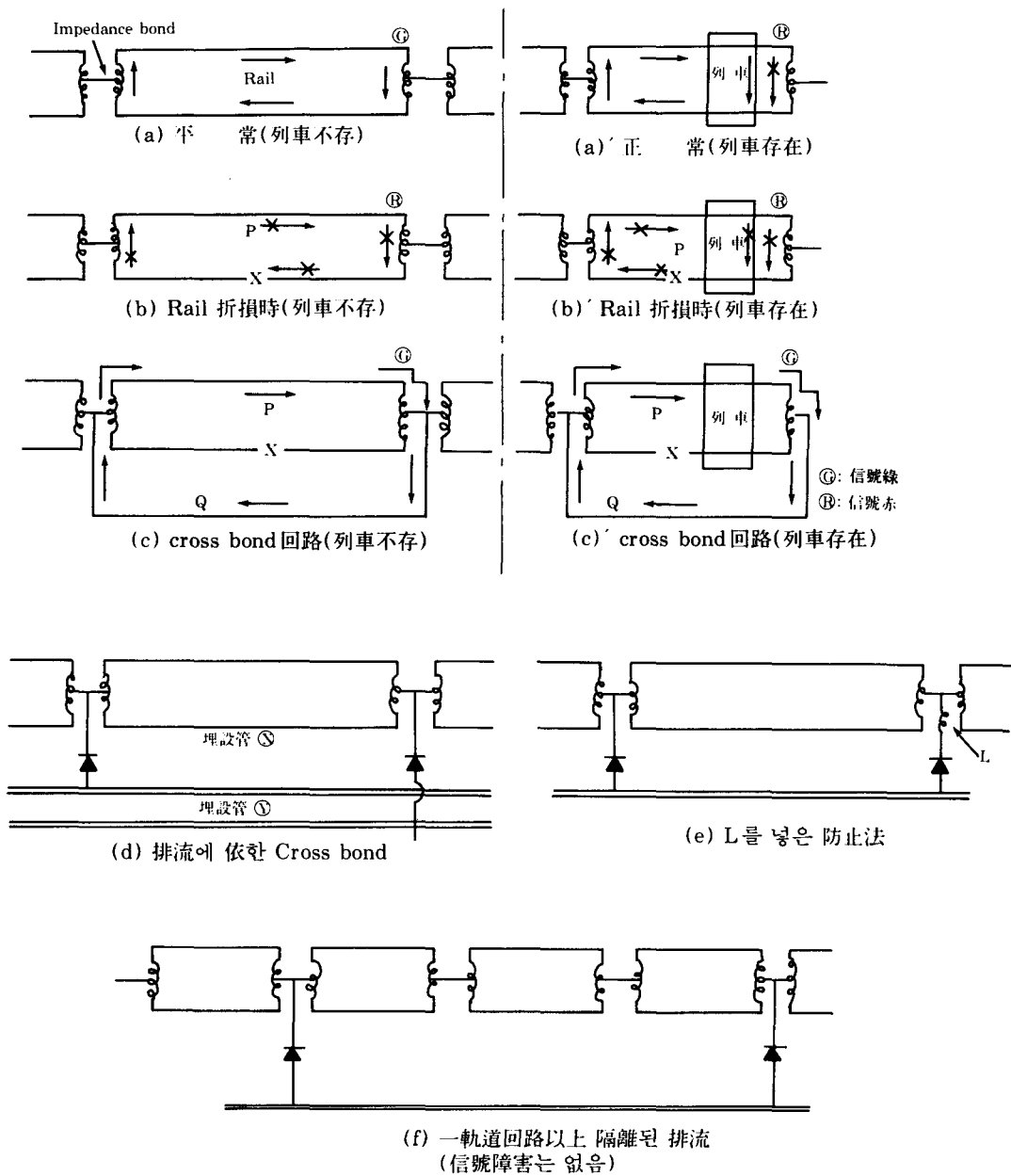


그림 5 Cross bond 回路에 의한 信號障害와 그 防止法

며 이러한 排流에 의한 Cross bond 回路의 發生을 防止하기 爲하여는 (e)와 같이 排流回路에 Reactance L를 插入하거나 (f)와 같이 一軌

道回路以上 離隔된 個所에 移動시키지 않으면 안된다. 이 插入되는 L의 値는 以前에는 0.47Ω $\angle 81^\circ$ (1.5mH) 以上の 數値면 可能的 것으로

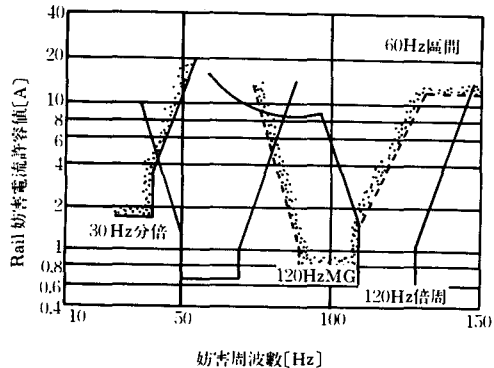
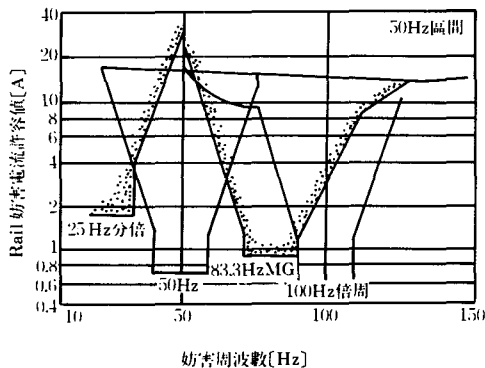


그림 6 各軌道回路에 對한 妨害電流의 許容範圍
(500A Impedance Bond 100% 不平衡時)

認定하였으나 最近에는 信號軌道 回路의 方式이나 使用周波數가 다른 關係上 一律的으로 定할 수 없게 되었으며 그 回路에 相應한 數値를 擇할 必要가 있게 되었다.

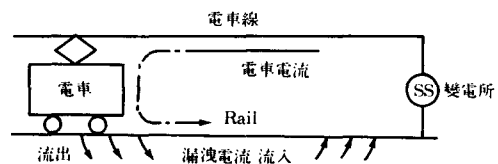
以外에 強制配流와 같이 軌道回路에 對한 外部로부터의 電流를 流入시킬 境遇 거기에 含有된 Ripple等에 依한 信號障害를 이르킬 憂慮가 있기 때문에 이 數値는 制限値以下로 하지 않으면 안된다. 한가지 例로서 그림 6에 妨害電流 許容範圍를 나타낸다. 卽 60Hz의 信號電流를 使用한 軌道回路에 있어서는 같은 周波數의 妨害電流에 대하여 0.7A 程度의 許容分 밖에 없으므로 主意를 必要로 한다.

3. Rail 對地電壓

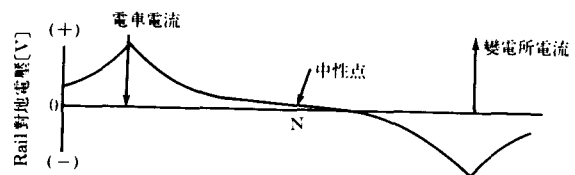
3.1 Rail 對地電壓概念

Rail 對地電壓은 基本的으로 Rail에 흐르는 電車負荷電流에 依하여 Rail에 發生하는 電壓降下의 一部가 大地에 對하여 나타나는 것으로서 瞬時的인 Rail 對地電壓의 分布는 그림 7과 같이 볼 수 있다. 따라서 그림 7(b)에 나타나는 것과 같이 Rail 對地電壓이 (+)值의 地域에 있어 Rail로부터 大地를 向하여 電流가 流出하고 (-)值의 地域에 있어서는 大地로 向하여 流入하게 된다. 實際에 있어서 Rail 對地電

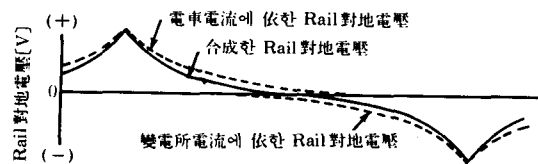
壓은 電車나 變電所의 數가 複數等으로 되어서 大端히 複雜한 分布가 되지만 (c)와 같이 Rail에 流出入하는 各各의 電流에 依하여 發生하는 Rail 電位分布의 重疊된 方法으로 考慮할 수 있게 된다.



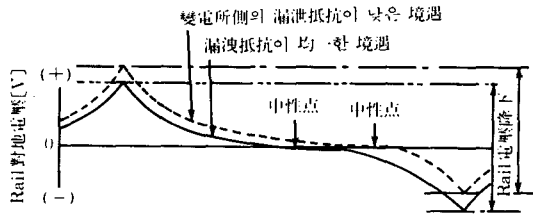
(a) 歸電回路와 漏洩電流



(b) Rail 對地電壓分布



(c) Rail 對地電壓의 合成



(d) 漏洩抵抗이 不均一한 影響

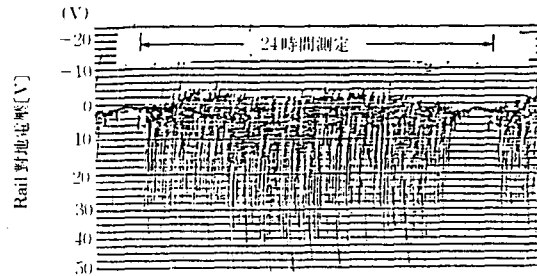
그림 7 Rail對地電壓考察法

그림 7(a)~(c)는 Rail의 大地에 對한 抵抗 (以下 簡單히 漏洩抵抗이라 함)의 分布가 均一한 境遇는 Rail의 電壓降下의 크기 自體는 別로 變化하지 않으나 (d)에 나타내는 것과 같이 Rail對地電壓이 零인 點(中性點)의 位置가 移動하기 때문에 Rail對地電壓의 分布는 變化하게 된다. 또한 現在 使用하고 있는 電力回生車輛의 境遇 Brake 制動時에는 他電車에 電力을 供給하게 되는 關係上 電氣的으로는 變電所와 같은 作用을 하게되어 Rail對地電壓도 變電所와 같이 負의 値를 나타내게 된다. 이런 關係上 排流器가 있는 個所에서는 過電流에 依한 機器의 損傷이나 或은 排流器가 없는 個所에서는 短時間이지만 埋設官에 復歸되는 電蝕電位가 發生될 可能性이 있기 때문에 그의 影響을 檢討하여야 하는 것으로 생각할 수 있다.

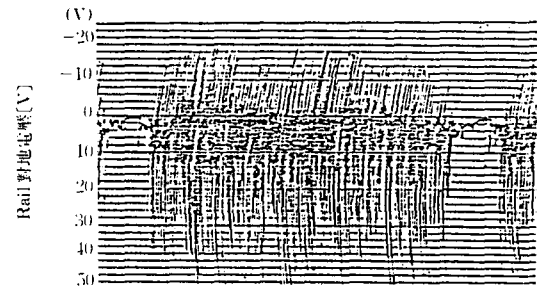
3.2 Rail對地電壓의 時間에 따른 變化

前述한 것과 같이 直流電氣鐵道에서는 並列 電線回路中에 多數의 電車가 運行되는 關係上 그 個個의 電車負荷의 移動이나 電流의 變化가 複雜하게 形成되어 어떤 한 個所에서의 Rail對地電壓도 時間에 따라 隨時로 變化하는 것이 通常이다.

그림 8은 Rail對地電壓의 一晝夜의 實側例로서 恒時 變하고 있으며 그 數值도 (-)에서 (+)의 廣範圍에 걸쳐 있는 것을 알 수 있다. 그림 8(a)는 從來方式의 抵抗制御車의 境遇로서 이 測定個所가 變電所의 中間點으로서 大部



(a) 抵抗制御車만 運行시의 Rail對地電壓
抵抗制御車



(b) 電力回生車を 包含한 Rail對地電壓



(c) 電力回生車만 運行시의 Rail對地電壓

그림 8 Rail對地電壓의 實側例

分の 時間에서 (+)値를 나타내고 있으며 때에 따라 나타나는 (-)値도 -4V 程度로서 局限되고 있다.

한편 (b)는 同一個所에서의 測定値이나 몇 臺의 電力回生車輛이 導入되어 運行된 時點의 것이며 (c)는 大部分의 車輛이 電力回生車로 代替되었을 때의 것이다. 여기에서 나타내는 바와 같이 回生車가 運行하므로서 Rail對地電

壓의 (+)値는 작게 되며 (-)値는 크게 되는 것을 알 수 있다. 이런 現象은 回生車가 制動時에는 變電所와 等價가 되므로서 回生車의 增加와 함께 走行車側으로 보았을 境遇 變電所까지의 距離가 近接되는 機會가 많아진다고 할 수 있다.

따라서 電力回生車輛의 使用은 Rail 對地電壓의 Peak 值 및 平均値를 低減시켜 電鐵設備의 電蝕을 輕減시키는 效果가 있겠으나 周邊의 埋設管에 對하여는 大部分의 車輛이 抵抗制御車輛일 境遇에는 나타나지 않았던 Rail 對地電壓의 (-)値가 增加하기 때문에 前項에서 論한 새로운 問題를 檢討할 必要가 發生하였다.

地上電車와 같은 並用軌道의 Rail 對地電壓은 그림 9와 같이 等電位法의 採用에 依하여 單線軌道에 比하여 한단계 낮은 Rail 對地電壓을 나타내게 되었다.

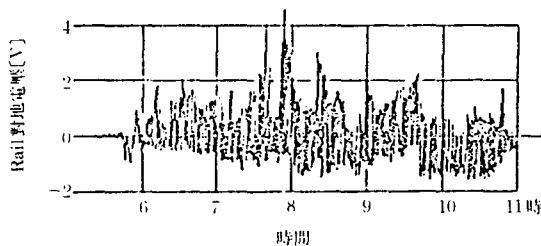


그림 9 Rail對地電壓의 實測例

3.3 Rail 對地電壓의 平均値의 分布

Rail 對地電壓은 電車負荷位置에서는 (+)가 되며 變電所附近에서는 (-)가 되나 電蝕에 큰 影響을 주는 電壓分布는 그림 10에 나타내는 것과 같이 變電所區間에서는 (+)値 變電所附近에서는 (-)値가 되는 傾向이 있다. 여기서 Rail 對地電壓이 (+)値의 地域에서는 Rail의 電蝕이 發生하기 쉽고 또한 (-)値의 地域에서는 埋設管의 電蝕이 發生하기 容易하나 實際의 電氣回路에 있어서는 變電所間隔이나 機電電壓의 不均一 및 電車의 走行位置의 偏重等

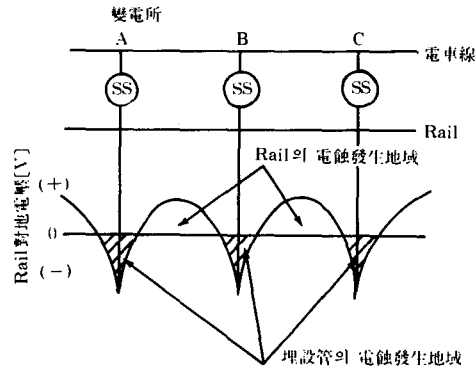


그림 10 Rail對地電壓分布例 (一晝夜平均値)

에 依하여 이 分布가 移動集中되는 境遇가 많다.

Rail 對地電壓의 平均値는 電蝕의 評價上 重要な 問題이므로 年間的 平均電車負荷電流에 依한 歸線電壓降下에 對하여 그 最大値가 並行軌道에서 2V 以下로 制限하고 있다.

4. 漏洩抵抗

電氣鐵道에서 Rail 對地電壓의 發生은 避할 수 없으나 電蝕에 直接 影響을 주는 漏洩電流의 크기의 決定에서는 Rail의 大地에 對한 電流의 漏洩 容易度에 따라서 左右된다. 一般電鐵軌道에서는 그림 11에 보이는 것과 같이 모래, 碎石(자갈) 등을 쌓아서 道床板上部에 枕木을 놓아 敷設하게 되므로 얼른 보아서는 大地로부터 絶緣된 形態이나 水分이나 진흙(泥土)의 積滯에 依하여 完全 絶緣은 되지않고 比較的 낮은 抵抗으로서 大地와 接觸하게 된다. 이 抵抗을 漏洩抵抗이라 稱하고 Ω km로서 表示한다. 이 數値는 以前에는 約 1Ω km程度가 複線軌道에 代表值였으나 最近에는 Rail 締結裝置나 道床板이 어느 程度 改良되어 10Ω km 以上으로 높아진 傾向이다. 또한 並用軌道로서 Rail의 頭部까지 埋込시킬 境遇는 0.1Ω km까지 낮아지게 된다. 例로서 表4에 서울 地下鐵各驛의 一部 漏洩抵抗値를 表示한다.

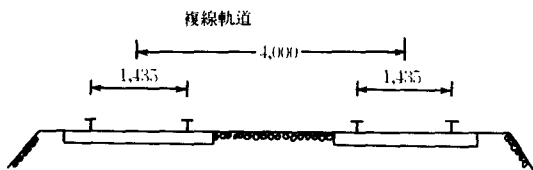


그림 11 軌道構造의 代表例

표 4. 漏洩抵抗實測例(Ωkm)

驛名	漏洩抵抗	驛名	漏洩抵抗
시청역	28.0	강변	41.0
종로5가	15.7	양재	40.4
계기	5.1	약수	29.4
선릉	72.7	구파발	1.9
낙성대	108.8	사당	0.1
합정	11.4	서울	24.3
상왕십리	106.6	상계	6.4

5. 漏洩電流

5.1 漏洩電流의 分布

Rail에 흐르는 電流 및 漏洩電流의 分布는 電車線回路上 電車의 位置, 電車電流, 變電所 間隔, 漏洩抵抗의 分布等에 依存하게 되며 時

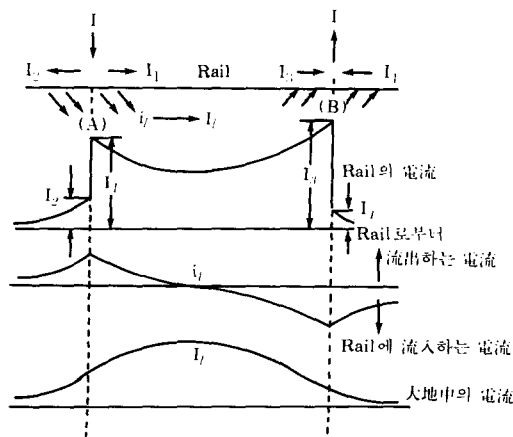


그림 12 流入流出 電流分布

間的 經過에 따라서 變化가 심하게 되므로 實際의 境遇 漏洩電流分布를 計算에 依하여 求한다는 것은 困難하다.

例로서 그림 7과 같은 電車線回路에 있어서의 漏洩電流의 分布는 그림 12와 같이 表示할 수 있겠으나 이런 簡易한 回路에 對하여도 解析은 容易하지 않다.

實際로 漏洩電流分布가 正確하게 計算되지 않는다하여도 簡單한 境遇에 依한 概算值로서 漏洩電流의 性質을 把握할 수 있으므로 電鐵設備과 聯關시켜 漏洩電流에 對한 對策을 樹立할 수 있다.

以下 漏洩電流의 計算에 對하여 살펴본다.

5.2 漏洩電流의 計算

漏洩電流는 歸線의 定數(導體抵抗 및 漏洩抵抗)가 分布定數가 되며 또한 漏洩抵抗의 分布는 一定하지 않으므로 그 正確한 計算은 極히 困難하다. 때문에 通常 均一한 分布定數回路로 하여 計算하며 變電所 區間이 長距離가 아닐 境遇(約 10km以下)에는 集中定數回路로 하여 다음과 같이 簡易하게 取扱하고 있다. 그림 13(b)에 있어 B 變電所로부터 l (km)의 點 A에 I (A)의 負荷가 있을 境遇 全電壓降下 V (V)는 Rail의 導體抵抗 r (Ω /km), 漏洩抵抗 w (Ω km)라 하면

$$V = I \cdot r \cdot l \dots\dots\dots(1)$$

이 되며 여기에 依한 Rail 對地電壓 V 는 그림 (c)와 같이 A點(+) $\frac{V}{2}$, B點(-) $\frac{V}{2}$ 의 折半數值로서 中央에 $V=0$ 의 中性點 N가 생긴다.

다음 N으로부터 X km의 任意의 點 P의 Rail 對地電壓 V_p 는

$$V_p = I \cdot r \cdot X \dots\dots\dots(2)$$

따라서 P點에 있어서의 Rail 單位長으로부터의 漏洩電流 i_{lp} 는

$$i_{lp} = V_p / w = I \cdot \frac{r}{w} \cdot X \dots\dots\dots(3)$$

여기에서 漏洩電流의 總計 I_l 는 i_{lp} 를 N에서부터 A까지 積分한 것으로 된다.

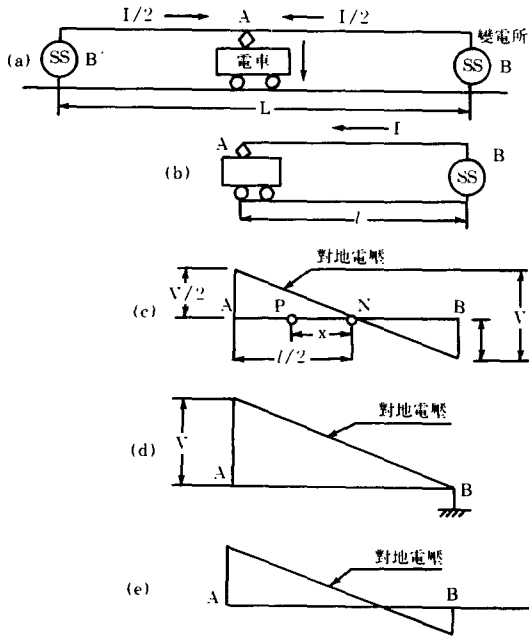


그림 13 流入出 電流簡易計算圖

$$\begin{aligned}
 I\ell &= \int_0^{\frac{\ell}{2}} i \ell \, pdx = \int_0^{\frac{\ell}{2}} I \cdot \frac{r}{w} \cdot x \, dx \\
 &= I \cdot \frac{r}{w} \int_0^{\frac{\ell}{2}} x \, dx \\
 &= I \cdot \frac{r}{w} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\ell}{2}\right)^2 = \frac{1}{8} I \cdot \frac{r}{w} \ell^2 \dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

以上은 線路가 A B間으로 局限된 境遇에 對하여 생각하였으나 實際의 線路는 B變電所의 反對便에도 延長되어 있어 그 곳에서도 接地效果를 가지게 되므로 그림 13(d) 및 (e)의 狀態를 考慮하게 된다. (d)는 그 接地抵抗이 0의 境遇로서 Rail 對地電壓은 全線路가 (+)로 되어 漏洩電流는 여기의 接地를 通하여 回歸하게 된다. 이 境遇 漏洩電流 $I\ell'$ 는 (4)式의 $\frac{\ell}{2}$ 을 ℓ 로 한 境遇와 같게 된다.

$$I'\ell = \frac{1}{2} I \cdot \frac{r}{w} \cdot \ell^2 \dots\dots (5)$$

變電所에서 歸線을 意圖적으로 接地하는 境遇는 없으나 前術한 것과 같이 反對便으로 延

長된 Rail이 相互間 接地效果를 줄 뿐만 아니라 埋設管의 電蝕防止의 選擇排流도 通電된 狀態에서는 歸線에 對하여 接地作用으로 됨으로서 그림 13(c)보다도 (d)에 近似한 그림 13(e)의 狀態가 실제와 近似하게 된다. 때문에 (4)式과 (5)式의 中間으로 (5)式에 偏重된 係數로서 $1/3$ 로 하면

$$I'\ell = \frac{1}{3} I \cdot \frac{r}{w} \cdot \ell^2 \dots\dots (6)$$

와 같이 된다. 以上은 그림 13(b)와 같이 變電所 1負荷의 例이나 通常의 電鐵에서는 어떤 間隔(L)로서 變電所가 並列로 運轉되고 있어 電車의 負荷電流는 兩側의 變電所로부터 距離에 對應하여 供給된다. 그림 13(a)는 BB'兩變電所의 中央A에 負荷가 있는 境遇로서 Rail 對地電壓, Rail電流, 漏洩電流等은 A點을 中心으로 하여 左右對稱의 形이 됨으로서 그림 13(e)를 並行시킨 모양이 된다. 이 境遇 電車의 負荷電流는 左右變電所로부터 $1/2$ 씩 供給됨으로서 BB'間의 漏洩電流의 認計 $I\ell''$ 는

$$I\ell'' = 2I\ell' = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{2}\right) \frac{r}{w} \ell^2 = \frac{1}{3} I \frac{r}{w} \ell^2 \dots (7)$$

또한 ℓ 를 變電所間隔 L의 $1/2$ 이라 하면

$$I\ell'' = \frac{1}{3} I \frac{r}{w} \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{1}{12} I \cdot \frac{r}{w} L^2 \dots\dots (8)$$

即 漏洩電流의 總計(全漏洩電流)는 I, r, L^2 에 比例하고 w 에 逆比例하게 된다.

따라서 漏洩電流를 적게 하려면 前術한 數值를 작게 하고 後者의 數值를 크게하면 된다.

參考로서 表 5에 $I=2000A, r=0.01\Omega/km$ (50kg Rail 複數相當) $w=5\Omega km$ 의 境遇 L의 4, 6, 8, 10km에 對한 $I\ell''$ 의 計算例를 나타낸다.

표 5. 2000A 負荷에 對한 漏洩電流計算例

變電所 間隔L(km)	4	6	8	10
全漏洩電流 $I\ell''$ (A)	5.3	12.0	21.3	33.3
負荷電流에 對한 比率(%)	0.27	0.60	1.07	1.66

이境遇 變電所間隔이 10km로서 漏洩電流의 比率은 2% 程度이다.(여기서 分布定數回路의 計算은 電蝕·土壤 HAND BOOK 等에 따른 數值이다)

5.3 漏洩電流減少對策考慮

前項에서 보인 漏洩電流 I_l 의 크기는 $I_l = KI \frac{r}{w}$ (但 K는 Rail의 敷設狀態에 따라 決定되는 定數)으로 됨으로 漏洩電流를 減少시키려면 I, r, L을 적게하고 w를 크게 하면 된다. 또한 漏洩電流가 埋設管에 미치는 影響은 電鐵과 埋設管과의 位置關係나 塗覆裝의 狀態等에 關係된다.

以下 이 關係에 對하여 考慮하여 본다.

(i) 負荷電流

電車의 負荷電流 I를 減少시킨다는 것은 實際로 困難하나 電機子 Chopper 制御車에서는 從來方式의 抵抗制御車에 比하여 淸貴電力을 減少시킬수 있으며 또한 回生制動의 活用으로 平均負荷電流의 減少가 可能하게 되었다.

(ii) 歸線抵抗

歸線저항 r를 낮게 하기 爲하여는 굵은 Rail의 使用長徑間Rail의 採用, Cross bond의 增設等이 있고 아울러 Bond類의 保守를 恒常維持시킬 必要가 있다. 또한 補助歸線으로서

(-)側電線을 敷設하면 歸線抵抗은 減少시킬수 있는 失效가 있겠으나 表2에 보이는 것과 같이 多數의 數量을 要하게 된다. 一部 (-)電線을 敷設하여 (-)電粘을 分散시키면 그림 2의 等電位法에 近似시킬수 있으나 여기 따른 (-)電線抵抗에 依한 電壓降下 損失을 생각할 必要가 있다.

(iii) 變電所間隔

變電所間隔 L는 漏洩電流에 對하여 自乘에 比例하므로 L의 縮少는 顯著한 效果가 있으나 既設變電所의 移動은 不可能한 問題이므로 實際에 있어서는 中間區間에 變電所를 新設하여야 함으로 經濟上의 問題로 擡頭된다.

(iv) 漏洩抵抗

漏洩抵抗은 w를 높게 維持시킬려면 Rail 固定裝置나 枕木을 새것으로 하고 道床板의 交換을 하여 排水를 良好하게 하는 등의 徹底한 維持保守가 必要하게 된다. 또한 車庫附近等の 異常電蝕에 對하여는 低抵抗接地施設物과 Rail間의 接觸을 積極避하여야 한다.

(v) 埋設管과의 相互關係

漏洩電流가 若干 있다하여도 埋設管側이 影響을 받지 않을 程度의 離隔距離를 크게 하거나 그 사이에 絶緣物을 插入하는 方法 或은 管의 表面 塗覆裝을 良好하게 하여 管에 電流가 流入되지 않도록 相互設備에 留意하여야 한다.