



# 直流方式 電氣鐵道에서 强制排流器의 絶緣協調

## Emphasis on Forced Drainage - Insulation Coordination in Electric Railway

地下에 埋設된 各種 金屬管路의 電蝕을 減少시키기 爲하여 設置한 强制排流器는 그 出力電壓을 60[V]以下로 維持하도록 規定되어 있어 使用電壓 60[V]를 基準할 때 絶緣協調는 度外視하기 쉬우나 地下鐵運行中 電線路나 電車에서 故障이 發生時 排流器 負荷側 端子(Rail과 地下埋設管路)를 通해 最惡의 境遇 隨時的이나마 1,500[V]인 架線電壓에 가까운 電壓이 流入되어 絶緣破壞, 燒損 및 火災事故로 이어지는 災害가 豫想되므로 强制排流器의 設計, 製作 및 設置時 이에 對備한 絶緣協調를 考察할 것을 提案한다.



閔 丙 薰\*  
Min, Byoung Hoon

### I. 序論

날이 갈수록 심각하여지는 都市의 交通難을 해결하고자 최근 들어 各 地方都市에서도 地下철 건설이 활발하게 추진되고 있다.

전기철도는 사용하는 電氣方式에 따라 長短點 有으나 도시의 外廓과 都心區間을 연결하는 지하구간 위주인 短距離 路線의 경우 直流電化方式을 채택하고 都市와 都市間을 연결하는 지상구간 위주인 長距離 노선의 경우에는 交流電化方式으로 하는 것이 일반적인 추세이다.

그러나 도심구간에 주로 채택되는 直流電化方式의 경우 漏泄電流로 因하여 上水道, gas, 油類의 配送을 위하여 지하에 埋設한 金屬관에 電蝕을 발생시키게 하므로 그에 對한 대책으로 설치하는 排流設備가 갖추어야 할 조건 中 看過하기 쉬운 絶緣協調 문제에 對하여 검토하고자 한다.

### II. 本論

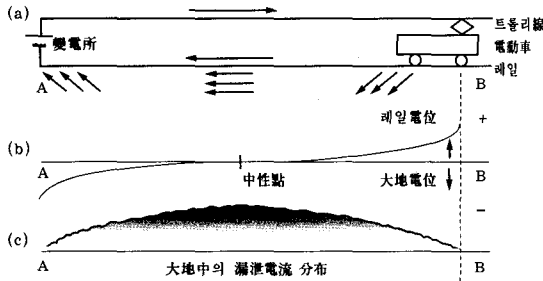
#### 1. 電氣防蝕 概

금속체를 土壤, 물 속 등 수분이 있는 장소에 설치하면 腐蝕되어 녹이 슨다. 이때 금속체에는 금속이 이온화되어 녹아나는 陽極部와 공기중의 산소 등 산화성 物質을 소모하는 陰極部가 형성되며 수분이 電解液으로 되어 전류가 양극부로부터 전해액(토양)으로, 전해액에서 음극부로 흘러 양극부의 부식이 진행된다. 양극부가 이동하지 않으면 그곳이 集中的으로 구멍形狀으로 부식되고, 양극부가 이동하면 금속체 표면은 交互로 陽性이 되며 골고루 부식시킨다.

이 같은 부식현상 가운데 土壤등의 設置環境 影響을 받아 自然히 부식하는 현상을 自然腐蝕이라 하고, 직류전기철도의 歸線漏泄電流 등 地中 迷流에 因한 부식을 특히 電蝕이라 한다.

\*전기응용기술사, 서울특별시 지하철공사 전력부장.

## 2. 漏泄電流



〈그림 1〉 漏泄電流의 分布

架空單線式 또는 제3레일식의 직류전기철도에서는 走行레일을 歸線으로 이용하므로 귀선전류의 일부는 大地로 누설된다. 이때 道床을 포함한 궤도의 대지에 대한 저항을 對地 漏泄抵抗이라 한다. 專用軌道에서는 單線 1[km]당 1[Ω]정도, 路面電車등의 併用軌道에서는 0.1[Ω]정도이다.

레일의 대지에 대한 電位는 〈그림 1〉(b)와 같이 電氣車 附近에서는 大地電位보다 높게 되고 變電所 附近에서는 낮게 된다. 電氣車와 變電所의 中央點 부근에서는 레일전위와 대지전위가 같게되며 이를 中性點이라 한다. 中性點으로부터 전기차측에서는 레일에서 대지로 向해 누설전류가 流出되며 變전소측에서는 대지로부터 流入하고 그 分布狀況은 〈그림 1〉(c)와 같이 된다. 누설전류의 크기는 軌道の 構造, 乾濕狀況, 大地 導電率 등에 따라 다르며 變電所 間隔의 大小, 電氣車의 運轉狀況 등에 좌우된다.

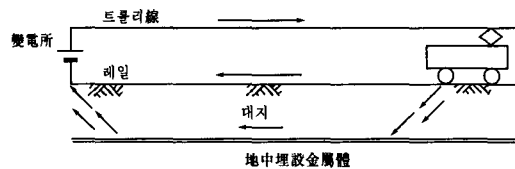
## 3. 電蝕

走行 레일로부터 漏泄된 전류는 大地를 통해 變전소 부근에서 다시 레일로 流入하는데 그림과 같이 線路에 近接해 케이블, 수도관등의 地中埋設 金屬체가 있으면 누설전류는 大地보다 抵抗이 낮은 이러한 金屬체를 통해 變전소 부근에서 流出하여 레일로 되돌아온다.

대지중의 金屬체는 地下水가 電解液으로 되어 陽極部에 해당하는 직류 누설전류의 유출부분은 腐蝕되고 결국에는 구멍이 뚫려 여러 가지 障礙를 만든다. 이와 같은 현상을 電蝕이라 한다. 中性點으로부터 變電所側의 電蝕이 일어나기 쉬운 個所를 電蝕 危險區域이라 한다. 전식은 電氣分解이므로 電蝕量은 理論的으로는 웨러디의 법칙에 따라 다음 관계가 성립한다.

$$M = Z \times i \times t$$

여기서 M : 電蝕量, Z : 金屬의 電氣化學當量, i : 통전전류, t : 통전시간



〈그림 2〉 地中埋設金屬體를 흐르는 漏泄電流

## 4. 電氣鐵道の 防蝕對策

전철측의 방식대책으로는 歸線電流의 流出을 최대한 억제하여야 하므로 다음과 같은 방법이 있다.

- 가. 道床의 排水를 좋게 하고 絶緣道床, 絶緣締結裝置등을 채용하고 누설저항을 크게 한다.
- 나. 레일 본드 취부를 완전하게 하고 필요에 따라 補助歸線을 설치하거나 Cross Bond를 증설하여 歸線抵抗을 감소시킨다.
- 다. 變전소 수를 증가하여 給電區域을 縮小하여 누설전류를 감소시킨다.
- 라. 架空 絶緣歸線을 설치, 레일내의 電位差를 감소시키며 누설전류를 적게 한다.
- 마. 歸線의 極性を 定期的으로 바꿔 전기화학 반응을 中和시킨다.
- 바. 海中으로 排流하여 海水를 歸路로 이용한다.
- 사. 터널구조물 건설시 구조물 바닥에 와이어

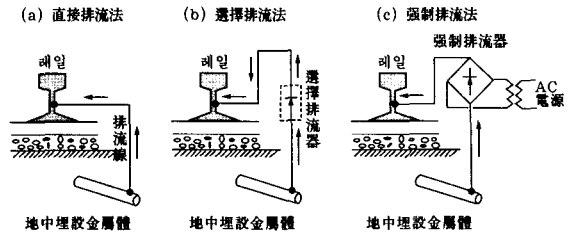
메시를 鋪設하고 鐵筋에 본딩을 실시, 레일에서의 누설전류의 經路上 전기저항을 低減시켜 전위차의 감소로 누설전류가 지중으로 유출하는 것을 최대한 억제한다.

5. 地中埋設 金屬體側의 防蝕對策

지중매설 금속체측의 방식대책으로는 매설관로가 전철 귀선으로부터의 漏泄電流의 通路가 되지 않도록 하여야 하므로 다음과 같은 몇 가지 방법을 사용할 수 있다.

- 가. 迷走電流 流入을 막기 위해 매설금속관 表面에 절연저항이 큰 皮膜을 입힌다.
- 나. 매설금속체에 金屬管 등 導體로 遮蔽層을 설치, 迷走電流가 지중매설 금속체로 유출입하는 것을 막는다.
- 다. 매설금속체의 接續部(連結部)는 반드시 電氣的인 絶緣을 하므로써, 도체로서의 전기저항을 크게 하여 매설 금속체로 유입하는 전류를 적게 한다.
- 라. 電鐵軌道와의 接近이나 交叉를 피하여 될 수 있는 한 離隔距離를 크게 하도록 매설 루트를 선정하는 방법 등 施工上 적용할 수 있는 一般的인 對策외에 다음과 같은 방법이 쓰인다.
  - (1) 流電陽極法
  - (2) 外部電源法
  - (3) 排流法

排流法은 電鐵레일로부터의 漏泄電流에 의한 電蝕防止를 目的으로 한 것으로 地中埋設 金屬體와 電鐵레일과를 電氣的으로 接續하여 金屬體를 흐르는 電流를 一括하여 레일로 되돌려 分散 流出하는 것을 防止하여 電蝕을 적게 하는 것이다. 전기적인 접속방법에 따라 直接排流法, 選擇排流法 및 強制排流法으로 나눈다.



〈그림 3〉 排流法

㉑ 直接排流法

〈그림 3〉(a)와 같이 지중매설금속체와 레일과를 직접 묶는 방법인데 迷流의 영향을 주는 전철 변전소가 부근에 하나밖에 없고 레일측에서 전류가 逆流할 위험이 없는 경우에만 쓰이므로 적용 가능한 경우는 적다.

㉒ 選擇排流法

〈그림 3〉(b)와 같이 지중매설금속체와 레일을 묶은 排流線에 選擇排流器를 설치하여 金屬體가 레일에 대해 高電位인 경우만 전류를 유출시키는 것이다. 이 방법은 별도의 電源을 필요로 하지 않아 費用이 저렴하고 自然腐蝕의 일부에도 防止效果가 있다.

㉓ 強制排流法

〈그림 3〉(c)와 같이 排流器 대신 外部 直流電源을 연결한 것으로 레일을 接地陽極으로 하는 外部電源法이라고 생각 할 수 있다. 레일은 接地陽極으로서 우수하고 또 選擇排流法의 특성도 구비하였으므로 防蝕效果는 크지만 電鐵側의 信號回路등에 惡影響도 고려할 필요가 있어 이 장치의 설치에 즈음해서는 慎重한 配慮가 필요하다.

6. 排流裝置의 絶緣協調

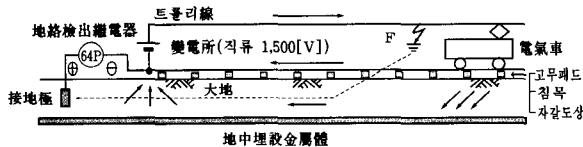
「電氣設備技術基準」에 依하면 排流裝置의 出力電壓은 直流 60[V]以下일 것으로 규정되어 있으며 배류장치 출력전압의 연결은 電鐵側에는 信號裝置에 誤動作 등 障礙를 발생시키지 않기 위하여 레일에 직접 연결하지 아니하고 임피던스분드

의 中性點에 연결을 하며 지중 매설관로측은 직접 연결을 한다.

兩側 모두 大地와 직접 接하여 있기 때문에 排流裝置의 絶緣階級은 장치의 出力電壓에 相應하는 것이 일반적이겠으나 최근 들어 배류기의 내부가 燒損되는 사고가 이따금 발생하였기에 그 原因을 調査하는 과정에서 다음에 설명하는바와 같이 배류장치의 출력회로는 架線電壓에 상응하는 絶緣階級을 유지해야 하는 등 몇 가지 개선하여야 할 사항을 導出하게 되었다.

#### 가. 지하철 運行中 地下埋設金屬體와 電鐵 레일 간 高電壓이 유지 되는 사례

지하철 建設時 앞서 제4항에서 설명한 電鐵側의 防蝕對策에 따라 지하철의 모든 軌道(레일)은 大地로부터 絶緣(엄밀한 의미에서 Insulation이 아닌 Floating 형식)되도록 施工하였으며 直流電化方式에서는 負荷전류와 事故전류의 判別이 困難하기 때문에 架線의 地絡事故時는 다음 그림과 같이 大地(接地)와 레일간의 電位差를 이용하여 檢出하는 保護繼電시스템을 채용하고 있다.



〈그림 4〉 直流給電方式의 地絡事故 檢出原理

- (1) 給電中 F支點에서 급전선로의 地絡事故가 발생하는 경우 지하철변전소의 직류지락검출계전기 64P가 動作하여 모든 직류급전용 차단기를 트립시킨다.
- (2) 64P는 周邊 地電位 등 환경에 따라 240~400[V]로 셋팅되어있으며 지락 검출시 급전용 차단기의 차단동작이 완료되는데 소요되는 시간은 상황에 따라 다르나 최소한

0.02초 이상 소요된다.

- (3) 직류지락검출계전기 64P가 연결된 회로는 電蝕防止用 배류장치의 出力側 연결회로와 同一하며, 64P가 동작되는 경우 전식방지용 배류장치의 출력회로에는 직류차단기의 차단시까지 64P의 셋팅값보다 훨씬 높은 전압이 인가된다는 점을 알 수 있다.

- (4) 64P가 動作되는 원인

#### (가) 給電線路의 地絡사고

- 알루미늄봉선의 전차선로 지지금구 접촉
- 변전소 급전용 기기의 절연과괴(매우 드물다)
- 지지礎子の 절연과괴(매우 드물다)
- 直流高速度遮斷器(HSCB) 차단동작시 아크擴散으로 인하여 아크性 地絡으로 發展

#### (나) 電氣車의 機能障礙

- 電氣車의 回生失効
- 高電壓 主回路 器機의 絶緣과괴

#### 나. 배류기 接地系統의 絶緣協調

지하철의 歸線路는 信號 임피던스본드의 증선에 연결된 급전용 負給電線(minus선)으로 經路가 구성되며 그 과정에서 레일과 電氣的으로 接續되는 계통은 배류장치의 出力線뿐으로 급전구간의 레일에서 누설된 迷走電流는 歸還하기 위하여 지하철 변전소의 부급전선 連結點 부근의 레일로 集中되므로 배류기의 接地系統을 따라서 迷走電流의 歸還通路가 形成될 우려가 있기 때문에 배류기의 접지계통의 絶緣協調도 매우 중요하다.

## III. 結論

地下鐵 驛에 설치된 배류기 燒損事故 原因조사 과정에서 上記와 같이 排流器의 運營環境을 分析하게 된바 排流器 운영 중 出口端子로 高電壓의 印加가 短時間이나마 反復될 경우 結局 內部部品

의 絶緣破壞 事故로 發展될 것으로 판단되나 市 中에 設置된 電鐵用 배류기의 경우 大部分 서지 업서버(SA)를 設置하는 정도로 電氣用品 製造側 面에서의 消極的 接近뿐으로서 電氣鐵道 運營側 面에서의 積極的 接近이 되지 아니하고 있기에 此際에 이 機會를 빌어 배류기의 製作 및 設置상 다음 사항을 반드시 考慮할 것을 提案한다.

▲ 레일과 電氣的으로 接續되는 部品 및 絶緣 材는 적용 1,900[V] 이상의 耐電壓이나 絶緣을 保障

▶ 理由 : 지하철 架線 標準電壓은 1,500[V] 이나 回生 失效시 1,850[V]까지 상승한다

▲ 필터용 개폐식터 負擔을 덜기 위해 배류기 를 3相 電源用으로 하여 6相 全波整流로 設計

▶ 理由 : 대개 單相電源用으로 단상 全波整流 를 하므로 出力電流에 리플이 많이 含有되어 大容 量の 電解컨덴서로 필터回路를 구성하여야 하므로

耐電壓을 높이기가 어려워 絶緣協助에 脆弱

▲ 배류기 外函의 接地는 다른 施設物과 分離 하여 別途의 單獨接地 실시

▶ 理由 : 지하철 設備용 接地와 共用할 때 接地系統이 分散되어 迷走電流가 배류기를 통하여 流入時 전기적 接觸이 不完全한 個所에서 아 크와 먼지에 의한 火災發生 憂慮가 높다

▲ 배류기의 口出線(레일 및 배설관로 연결)은 難燃性 合成樹脂 電線管을 使用

▶ 理由 : 金屬電線管 使用할 때 口出線 被服 이 燒損 등으로 損傷시 地絡回路를 구성, 被害擴 大 憂慮

▲ 배류기 木體는 構造物의 鐵筋및 導電性物體 와 絶緣상태로 設置.

▶ 理由 : 배류기 接地系統의 單一化.

(원고 접수일 1998. 7. 10)