

金屬腐蝕과 電氣防蝕

朴 相 國

(株)三工社 顧問

1. 腐蝕의 원리와 防蝕방법

金屬의 腐蝕은 재질 자체의 불균일성(성분, 응력 등)과 環境의 불균일성(비저항, 온도, 습도, 산소 등)에 의하여 이루어지며 불균일성이 중첩될 때는 부식이 커진다. 腐蝕의 필수 조건은 濕氣와 酸素이다.

가. 腐蝕의 원리

모든 金屬은 자체적으로 電位를 가지고 있으며 環境이나 자체의 불균일성에 의하여 이 電位가 서로 差異가 나게 된다. 이 때의 相互電位差異(ΔV)에 의한 전류가 흐르게 되며 Ohm의 법칙($\Delta V=IR$)에 의하여 저항 R이 작은 측에 전류 I가 흐르게 된다. 電流의 量은 곧 電子의 量을 의미하므로 腐蝕量을 나타내게 된다(그림 1 참조)

나. 鐵의 腐蝕 억제방법

● 鍍 金

(가) 貴金屬鍍金

鐵보다 부식성이 적은 金屬으로, 鐵표면을 鍍

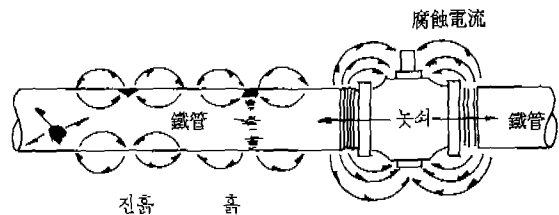
金하여 材質의 불균일성을 없애는 방법이다. 그러나 鍍金面이 손상되면 鐵의 부식은 심해지므로 주위로부터 손상을 받지 않는 곳에 사용한다.

(나) 卑(비)金屬鍍金

鐵보다 부식성이 큰 金屬으로 鐵표면을 鍍金하여 鐵표면의 불균일성을 없애 鍍金面이 손상되었을 때 鐵을 보호하는 방법으로서, 表面이 손상되기 쉬운 개소에 사용한다.

● 塗 裝

塗裝은 鐵표면을 물로부터 분리하는 목적과 腐蝕電流가 흐를 때 저항을 크게 하여 電流量을 감소시키는 두가지 목적이 있으며, 통상 물分離 효과가 큰 것이 저항도 크다. 그러나 塗裝은 직접적으로 鐵을 보호하는 힘은 없기 때문에 塗裝損



<그림 1> 電位差에 의한 電氣腐蝕

傷部를 보호할 수 없다.

●環境整理

鐵表面의 環境을 均일하게 하여줌으로써 電位差를 감소시켜 腐蝕량을 적게 하는 방법이다.

예 : 모래 뒷채움

●鐵의 熱處理

鐵의 가공기간중 不均일한 힘에 의하여 발생한 應力差異를 熱處理함으로써 應力을 다시 均일하게 하는 방법이다.

●酸素의 제거

●濕氣의 제거

●電位 差異를 없애는 법

腐蝕의 原因은 여러 가지가 있는데 이중 金屬의 表面電位差를 적게 하여 電流의 유출을 억제하는 방법을 電氣防蝕이라 한다(그림 2 참조).

다. 鐵表面의 電氣防蝕法의 종류

土壤中에 매설된 金屬을 전기방식할 때는 防蝕하고자 하는 金屬을 陰極(Cathode)으로 하여 防蝕한다. 이러한 回路의 形成을 위해서는 陽極이 필요한데 이때 兩極은 電流를 방출하므로 消耗性으로서 부식된다.

이 이외에 外部에서 작용하는 電流의 경우를 생각할 수 있다. 즉 土壤中에 매설된 金屬, 電鐵

軌道를 따라 매설된 金屬管을 보면, 軌道에서 누설된 電流는 變전소와 이격된 개소에서 일부가 配管에 유입되었다가 變전소로 回歸하는 지점에서는 電流가 變전소로 방출되므로 腐蝕이 일어난다. 直流電鐵로부터 金屬이 발생할 경우 電鐵의 Rail과 配管을 접촉하면 電流는 저항이 높은 토양보다는 저항이 낮은 電線을 통하여 Rail로 돌아가게 되므로 防蝕이 된다. 그러나 Rail의 電位가 土壤中 配管의 電位보다 높을 때는 역으로 電線을 통하여 配管에 유입되어 오히려 腐蝕을 촉진시키게 된다. 그러므로 이를 방지하기 위해서는 排流器같은 機器를 사용해야 한다. 이와 같은 방법을 排流法이라 하며 역시 넓은 의미로서는 電氣防蝕이라고 간주하고 있다(그림 3 참조).

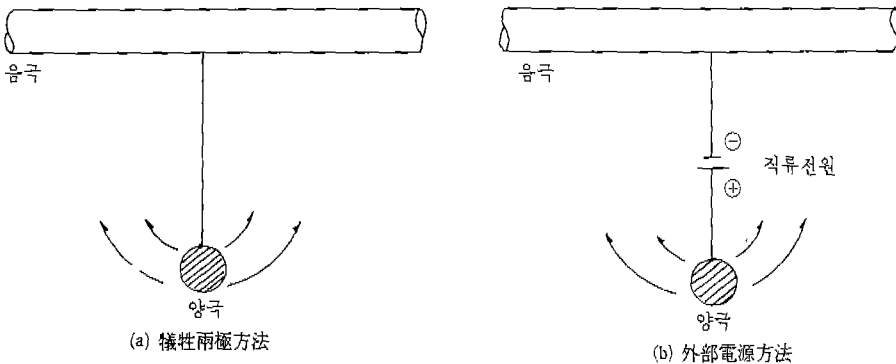
●犧牲陽極法

鐵의 어떠한 부분보다 腐蝕性이 강한(電位가 ⊖側) 金屬(電流를 방출하기 용이한 金屬)을 電線으로 鐵과 연결시킴으로써 방출하는 電流로서 腐蝕을 억제하는 방법(그림 2(a))이다.

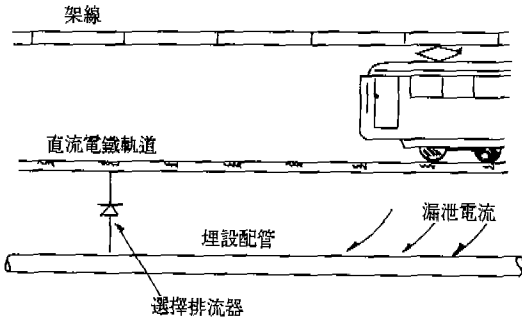
鐵보다 腐蝕性이 강한 金屬으로서 자연상태에서 사용가능한 金屬으로는 알루미늄, 마그네슘, 아연 등이 있다.

●外部電源法

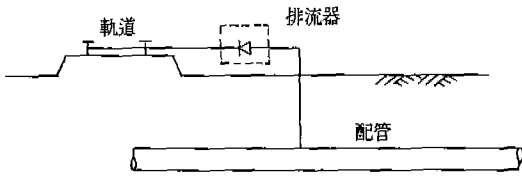
犧牲陽極方法으로 防蝕할 경우 發生電流의 量이 풍부하지 않으므로 大型 構造物일 때도 한계



<그림 2> 電氣防蝕의 原理



<그림 3> 排流法の 原理



<그림 4> 選擇配流法

가 있기 때문에 방식이 불가능해진다. 따라서 이런 경우에는 大容量의 直流電源과 消耗性이 적은 金屬의 陽極을 이용하여 많은 전류를 방출하게 하는 방법을 택하게 된다.

이런 방법을 外部電源法이라 한다.

(가) 直流電源

정류기, 축전지, 직류발전기 등

(나) 陽極材料

高珪素鐵, 黑鉛棒, 磁性酸化鐵, 白金, 銀鉛合金 등

● 配流法

直流電鐵이 走行할 때 발생하는 漏泄電流가 電鐵軌道에 인접하여 매설된 配管에 대하여는 유입 지역과 유출지역이 생기게 되며 電流의 유출 부분에서는 腐蝕이 발생하게 된다.

이러한 流入 및 流出地域의 지점은 電鐵의 주행간격, 위치, 승차인원에 따른 負荷量의 多少

등에 따라 계속 변동되므로 이에 상응한 적절한 配流法을 적용하여야 한다.

(가) 配流法の 種類

① 直接排流法

直流電鐵軌道와 埋設配管을 직접 電線으로 접속시켜 저항이 적은 도선으로 전류를 유입·유출하게 하는 방법이나 실제로는 거의 이용되지 않고 있다.

② 選擇排流法

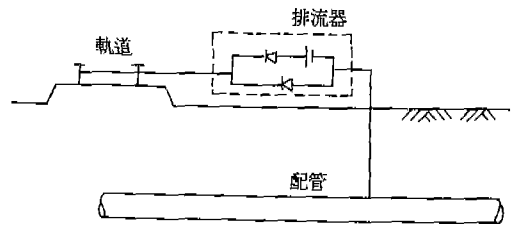
토양중 配管과 전철 Rail 간에 配流器를 설치하여 전선으로 접속하는 방법이다(그림 4 참조).

電鐵의 漏泄電流의 영향을 받는 지역에 이용되고 있으나 Rail의 電位가 전철의 통행에 따라 시시각각으로 변화하고 있으므로 전류의 역제가 곤란해져 완전한 防蝕效果를 얻는다고 볼 수는 없다. 또한 간섭이나 過防蝕의 우려가 있으므로 유의하여야 한다. 반면에 설치비는 가장 적게 드는 이점이 있다.

③ 強制配流法

外部電源法과 選擇配流法을 동시에 이용한 방식으로 볼 수 있으며 外部電源法에서 사용하고 있는 Anode를 Rail로서 대치하여 防蝕하는 방법이라 할 수 있다(그림 5 참조). 選擇配流法에서 Rail의 電位가 높으면 防蝕電流는 흐르지 않게 되나 強制排流法에서는 별도의 電源을 보유시킴으로써 강제로 전류를 흐르게 할 수 있게 된다. 특징은,

—選擇排流法만의 적용으로서는 防蝕이 불가능할 경우 간섭 및 過防蝕을 고려하여야 하고,



<그림 5> 強制配流法

-경제적으로 볼 때 비교적 高價이다(選擇配流法보다 고가이고 外部電源法보다는 염가임).

造物이 있을 때는 전기적인 영향이나 방해가 일어날 수 있으므로 주의를 요한다.

2. 地下配管에 대한 電氣防蝕

가. 犧牲陽極設置

토양중에는 土壤比抵抗의 높고 낮음의 區分에 따라 犧牲陽極式이나 外部電源式이나 하는 것을 구분 선택하게 되고, 犧牲陽極法을 선택할 경우, 설계에 따라 일정 간격을 두고 Mg-Anode를 Backfill하여 전선으로 埋設管과 접속 설치하게 된다. 이 때 陽極과 配管과의 離隔距離는 管을 도장하는 품질에 따라 다소의 차이가 나나 30cm 이상~150cm 정도이며, 매설깊이는 配管의 직경보다 깊이 하는 것이 원칙이나 配管의 上部에 設置하여도 무방하며 어느 경우에도 Anode 직경(Backfill 不包畵)의 10배 이상의 離隔距離를 유지하여야 한다.

나. 外部電源方法的 施工

埋設管路徑의 大小에 따라 2km~10km~25km~40km 등의 간격을 두고 Anode Bed를 설치하게 되며 直流電源의 出力을 조정하여 配管을 防蝕하게 된다.

陽極：電源의 ⊕극에 연결

配管：電源의 ⊖극에 접속

外部電源에 이용하는 陽極은 개당 발생전류용량이 커야 하고 소모율은 적어야 하므로 材質에 대한 특별한 고려와 配管과의 離隔距離가 중요하다.

施工方法에 따른 離隔距離는

·Shallow Bed : 100~150m 이상(平面上)

·Deep Well : 地下 2~15m 이하

·Flexible Anode : 0.45m 이상

外部電源式 電氣防蝕方法을 사용할 경우 Anode Bed의 주변 혹은 配管 인근지역에 他鐵構

다. 配流器 施工方法

直流電鐵이 있는 인접한 개소에 매설되어 있는 配管은 전철의 운행에 따라 電位가 크게 변동하게 되며, 그 變動 範圍가 (-)850mV보다 더 높을 때(예: -600mV) 즉 심야에 측정된 電位보다 (+)방향인 경우는 전철의 운행에 따라 配管의 腐蝕이 加速化되고 있음을 의미하므로 配流器를 설치하여야 한다.

① R/S(Rail to Soil Potential)가 (-)인 시간이 길고 P/S(Pipe to Soil Potential)가 R/S와 반대인 형태일 경우 選擇配流器를 설치한다.

② R/S가 (-)인 시간이 길더라도 P/S가 R/S와 같은 경우는 強制配流器를 설치한다.

③ R/S가 (+)인 시간이 길면 強制配流器를 설치한다.

다만, P/S가 양호할 경우에는 配流器가 불필요하다.

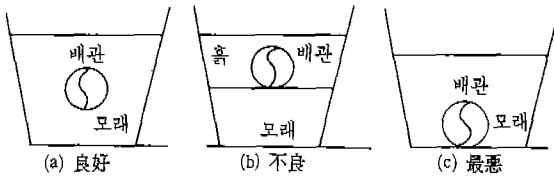
④ R/S와 P/S가 전혀 상관없이 변화할 때는 配流器만으로는 불가능한 경우가 있으므로 精密檢査를 하여 外部電源法과 병행하는 방법을 고려하여야 한다.

(주) 配流器의 설치는 電鐵 Rail의 부식을 반드시 수반하므로 최선의 방법이라고 볼 수는 없으나, 配管의 設備보다는 電鐵工事가 후에 시공된 지역이 대부분이므로 현재는 原因者 負擔의 원칙에 따라 지하철 공사측에서 감수하는 실정에 있으나 이후로는 配流器의 設備보다는 自動外部電源方法的의 채택이 더 적절하다고 사료된다.

3. 電氣防蝕에 연관된 주의사항

가. 모래채움의 問題點

●모래채움의 方法



<그림 6> 배관모래채움의 비교

電氣腐蝕은 전기적인 원인에 의하여 발생하므로 電氣가 잘 통하는 개소는 電氣가 잘 통하지 않는 개소보다 腐蝕이 더 심하게 일어난다. 따라서 그림 6에서 (a)는 環境變化가 적고 周圍가 전기가 잘 안 통하는 모래로 되어 있어 양호하다고 볼 수 있고 (b)는 配管의 環境이 두 가지를 접하게 되어 電氣가 잘 통할 수 있는 흙이 配管의 대부분을 점유하고 電氣가 잘 안 통하는 모래부분이 약간 있음으로써 큰 부분이 작은 부분을 防蝕하여 부식은 다소 늦어진다. (c)의 경우는 電氣가 잘 안 통하는 모래가 配管의 대부분을 차지하고 電氣가 잘 통하는 흙이 약간 차지하므로 흙의 접촉부분에 급격한 부식이 일어난다(그림 7 참조).

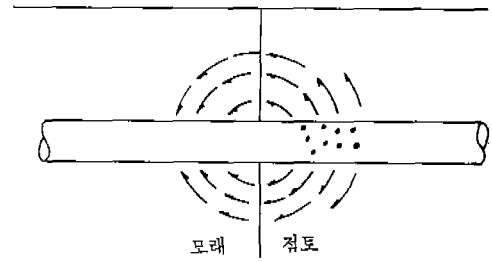
나. 塗裝保護의 문제점

河川의 밑부분을 건널 때 그림 8의 A부분은 B부분보다 腐蝕성이 적다. 즉 B부분이 腐蝕하여 A부분을 보호하게 된다. 이 경우 B부분의 시공을 더 잘하고 A부분은 소홀히 하기 쉬운데 B부분의 塗裝이 완벽할 수 없는 이상 B부분의 漏泄現象을 촉진하는 결과가 된다. 만약 電氣防蝕을 하지 않을 때는 B부분을 塗裝하지 않는 것이 配管의 수명을 연장하게 된다.

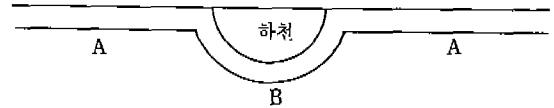
다. 他配管과의 간섭이 있는 경우

● 塗裝法

防蝕配管을 보호하기 위하여 유출된 전류가 他



<그림 7> 土質의 差異에 대한 腐蝕(모래와 점토)



<그림 8> 하천횡단 단면

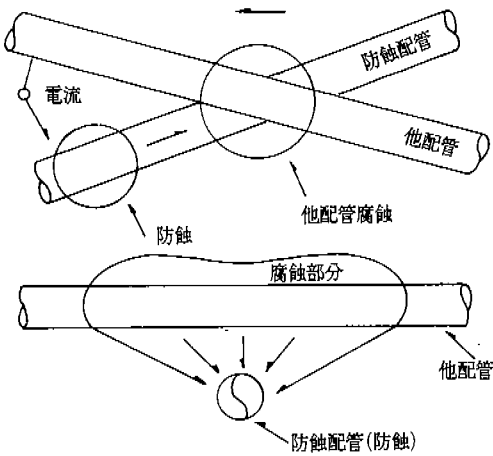
配管에 의하여 차단되어 防蝕配管 주위의 他配管을 부식시키는 干涉現象은 도심지에서는 흔히 발견된다(그림 9 참조).

이 경우 干涉現象이 확인되면 부식되는 配管을 양호한 재질로서 테이핑하여 보호한다. 이런 조치는 부식되는 面積 및 總腐蝕量은 감소시킬 수는 있지만 局部腐蝕은 더 심해져 漏泄이 계속된다. 이런 경우는 防蝕配管의 塗裝을 강화하여 전류를 받는 면적을 감소시킴으로써 電流의 流出側에서 부식면적은 같더라도 부식속도를 줄이는 것이 좋다.

腐蝕은 전류의 방출에 의하여 발생하므로 他配管에서 防蝕配管으로 電流가 연결되어 흐를 수 있는 回路를 만들어 줌으로써 他配管의 腐蝕을 막는 方法이다. 위의 塗裝法과 함께 적용하면 좋은 결과를 얻을 수 있다(그림 10 참조).

라. 電蝕의 判斷基準

電鐵의 漏泄電流가 있는 곳에서는 통상 漏泄電壓이 50~100V 정도로서 Mg-Anode는 防蝕狀態의 유지가 거의 불가능하게 되므로 외부전원방식을 적용하게 되나 外部電源法이나 配流器의 사용



<그림 9> 防蝕配管과 他配管의 干涉

은 他配管에 손상을 주는 경우가 많다(그림 11 참조). 이 경우 電蝕의 判斷基準은 이론적으로 복잡하고 실제 적용에는 어려움이 많이 따르나 아래와 같은 基準을 참고로 하면 편리하다.

① 漏泄地點에 녹이 없다.

電蝕은 부식속도가 빠르므로 漏泄地點에 붉은 색의 녹이 없는 것이 특징이다.

② 腐蝕된 부위가 칼날같이 날카롭다.

③ 平面的으로 볼 때 주름이 있다.

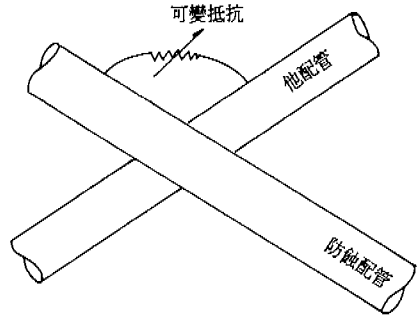
마. 特殊한 腐蝕

(1) 黑鉛化 腐蝕

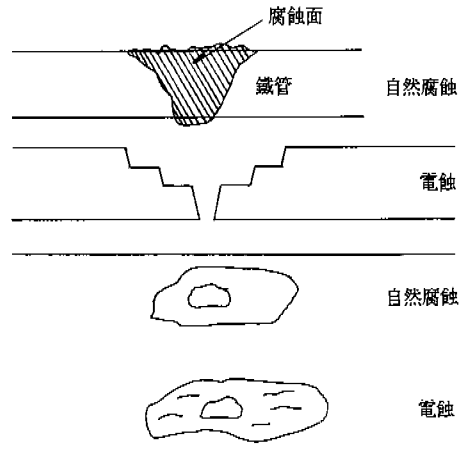
配管이 원래의 형태를 유지하고 있으면서 표면은 붉은 색을 띠고, 칼이나 팡이로 긁으면 석탄처럼 부스러지는 부식현상이다.

(2) 微生物 腐蝕

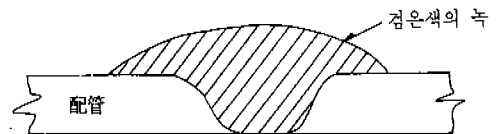
토양중에 硫酸鹽 박테리아가 있는 경우에 일어나는 부식으로 判斷基準은 鐵의 녹이 붉은 색이 아닌 검은 색으로 나타나며 악취가 난다(그림 12 참조).



<그림 10> 防蝕配管과 他配管의 連結



<그림 11> 電蝕과 自然腐蝕의 略圖



<그림 12> 微生物 腐蝕의 斷面

바. 電氣防蝕의 設計

(1) 電氣防蝕範圍의 基準

電氣防蝕效果의 기준으로서는 對象物 周위 환경에 대한 電位 또는 電位變化가 그 척도로 쓰여진다. 표 1에 基準值를 나타낸다.

<표 1> 電氣防蝕電位の 基準

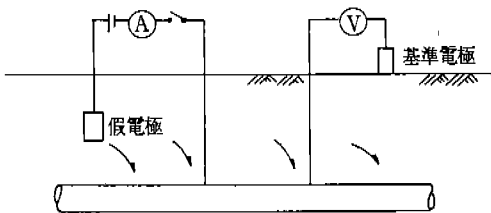
構造物	環境에 따른 電位
一般의 일 경우	包和黃酸銅電極으로 (-)850mV 이하
通氣性이 불량한 土壤에서 박테리아 腐蝕이 고려될 경우	包和黃酸銅電極으로 (-)950mV 이하

(2) 흙과의 絶緣-塗覆裝의 抵抗

토양중의 構造物을 電氣防蝕하고자 할 때 電氣防蝕의 대상이 되는 부분은 塗覆裝이 없는 부분 또는 塗覆裝의 缺陷部分이므로 벗겨진 부분이 적을수록 효과적인 防蝕이 가능하게 된다. 塗覆裝이 양호하다 하여도 접지 저항이 낮은 다른 構造物과 전기적 접촉이 있을 때에는 모처럼의 防蝕電流가 이를 다른 구조물에 유입시켜 目的對象物의 防蝕을 불완전하게 할 때가 있다. 電氣防蝕을 효과적으로 하려면 塗覆裝이 양호하고 다른 構造物과는 전기적으로 확실하게 절연되는 조건이 필요하다.

(3) 管路의 絶緣

긴 構造物, 예를 들어 配管을 電氣防蝕하고자 할 때에 대상물 이외의 다른 構造物과 전기적으로 절연하는 것과는 별도로 管路를 적당한 간격으로 絶緣하는 편이 유리할 때가 있다. 즉 長距離 配管의 電氣防蝕인 경우에는 적당한 區間으로 區分하여 區間別 防蝕을 함으로써 電流의 所要量



<그림 13> 假通電試驗

調節이 가능하게 되고 이에 따라 資材도 경제적 으로 선정할 수 있게 된다. 電鐵의 운행구역에 있어서도 區間別 絶緣을 하여 구분함으로써 漏泄電流의 장거리 유입·유출을 막게 되고 인접한 埋設配管에 대하여도 電蝕의 영향을 줄일 수 있게 된다.

(4) 電氣防蝕 설계전 假設備 시험

電氣防蝕 設備는 電氣腐蝕現象이 반드시 電解質이라는 媒介體 속에서 이루어지므로 電解質의 다종다양과 變化까지 작용하는 환경을 고려하여야 하므로 복잡성은 피할 수 없게 된다. 이런 관 계상 단순한 산술적이거나 기하학적 수치만으로 設計가 완벽하다고 할 수 없는 것이 특징이라 하겠다.

(가) 토양중의 配管이나 鐵構造物의 경우

토양중의 既存 鐵構造物이나 配管에 대한 防蝕設計를 할 경우 단순한 설계수치만으로 공사를 시행하면 때때로 소기의 목적을 달성하지 못하는 경우가 있다. 그 원인으로는 여러 가지가 있으나 타구조물과의 접촉, 미지의 타구조물, 電鐵 운행 지역에서는 漏泄電流, 地域에 따른 토질의 불균 일, 비저항의 차이, 수분이나 습도의 多少 등등 여러 여건으로 인하여 예상치 못한 난관에 부딪히는 경우가 있다. 이런 어려움을 해소하기 위해서는 현지에서 假設備의 陽極埋設 및 通電試驗을 하여 소요 防蝕目的 철구조물의 防蝕電位를 측정해 볼 필요가 있다. 電鐵의 운행구역에 대하여는 역시 假配流器 設置 및 運轉을 수일 혹은 10여일 씩 해보고 그 통계에 의하여 本設備를 設計하여 시공하는 것이 바람직하다(그림 13 참조).

(나) 海水中の 鐵構造物의 경우

土壤中에서는 電解質의 環境變化가 많으나 海水中에서는 비교적 均質이라고 간주할 수 있어 比抵抗이 큰 要素로서 작용한다. 반면에 流速이나 汚染, 水温 등이 많은 영향을 주므로 이런 점을 특히 고려하여야 한다.