

전기 설비·기기의 접지 기술

1992. 12.



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해예방기술의 연구 개발 및 보급사업의 일환으로 수행한 “電氣 設備·機器의 接地 技法에 관한 研究” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1992. 12. 31.

주관 연구부서: 산업안전연구원
기계전기연구실

연구책임자: 실 장 이 관 형

연구수행자: 수석연구원 이관형

머 리 말

電氣는 우선 쓰기가 便利하고, 다른 形態의 에너지로 變換이 容易하며 遠距離 移送도 간편하여, 오늘날 工場, 事務室, 家庭 등 모든 分野에서 必須不可缺少하게 사용되고 있습니다. 그러나 電氣는 잘못 사용할 경우 매우 危險하여 人命과 財産에 커다란 災害를 誘發할 수가 있습니다. 電氣에 의한 災害를 防止하기 위하여는 올바른 使用法을 使用者들에게 弘報하는 것과 더불어 電氣設備 自體의 安全對策을 樹立하는 일이 매우 중요합니다. 여러가지 電氣 安全對策중의 하나로서 매우 有用하고 經濟的인 手段으로 接地를 들 수 있습니다.

電氣에 의한 災害는 他分野에 비하여 볼 때 災害率 자체는 그리 높지 않으나 死亡, 重火傷 등의 重大災害者가 많이 發生하여 다른 産業災害보다 強度率이 매우 높습니다. 또한 建設現場에서 電氣 Shock후에 墮落하여 發生하는 災害라든가 漏電이나 靜電氣 등으로 인한 電氣 火災·爆發 같은 災害는 많은 人命과 財産의 被害를 가져오는 重大災害임에도 불구하고 電氣災害 統計에는 包含되지 않고 있어 電氣를 原因으로 하여 發生하는 災害는 훨씬 많고 심각하다 아니 할 수 없습니다.

電氣에 의한 事故의 대부분은 充電部에 사람이 接觸하여 電擊으로 死亡하거나 火傷 등의 傷害를 입는 感電事故가 代表的이라고 할 수 있는데, 이러한 感電事故는 주로 送·配電 線路에 대한 活線作業을 할 때와 電氣機器의 絶緣이 破壞되어 漏電이 일어나고 있는 外函에 人體가 接觸될 경우에 주로 發生합니다. 여기서 平常時 非充電部였던 機器·設備의 바깥 部分에 漏電이 일어나 發生하게 되는 感電事故는 接地 System을 改善하여 完備한 接地工事を 할 경우 상당히 豫防할 수 있습니다.

電氣 接地는 系統接地 및 機器接地와 같은 直接的인 安全目的의 接地외에 火災·爆發 등의 靜電氣에 의한 障害 防止, 電磁波 등 外部 Noise에 의하여 自動化機器의 誤作動을 防止하기 위한 雜音對策 등 間接的인 安全目的의 接地, 그리고 컴퓨터 등 機器의 正常的인 作動을 위한 機能用 接地 등 그 目的이나 種類가 매우 多樣합니다.

이 책에서는 금년도 우리 研究院에서 遂行한 接地 관련 研究의 一次年度 結果로서 安全用 接地 시스템을 設計하고 管理하는데 있어 반드시 알아야 할 基本的인 事項들에 대하여 敍述하였습니다. 安全用接地의 더욱 詳細한 事項과 機能用接地에 관한 事項은 向後追加的인 研究를 통하여 내용을 計劃입니다. 그리고 接地設備의 補修·維持에 관하여는 우리 研究院에서 1991년에 發刊한 「接地設備의 安全點檢과 維持對策」을 參考하시길 바랍니다.

이 冊子는 電氣施設을 設計하고 工事하는 모든 事業場의 要員들 및 一般事業場에서 電氣機器·施設를 使用하는 作業者和 安全管理者들의 技術指針書로, 그리고 우리 公團의 教育院과 各 指導院에서 教育 및 技術指導 資料로 活用될 수 있으리라 봅니다. 비록 未盡한 部分이 많더라도 아무쪼록 産業現場에서 요긴하게 活用되어 電氣로 인한 不幸한 災害를 豫防하는데 조금이나마 寄與할 수 있게 되기를 바랍니다. 이 책에서 未盡한 점들은 계속 보완해 나갈 計劃이며 이를 위해 讀者 여러분들의 아낌없는 指導 鞭撻을 바라마지 않습니다.

1992년 12월 31일

한국산업안전공단
산업안전연구원장

목 차

1. 接地와 電氣安全	1
가. 接地의 必要性	1
나. 人體와 感電	4
(1) 人體의 感電	4
(2) 人體 許容電流의 限界	5
(3) 人體의 抵抗	11
(4) 等價 事故回路	15
(5) 人體 許容電位差	19
(6) 接觸 狀態	23
다. 感電 事故	25
(1) 感電事故의 分類	25
(2) 感電 防止 對策	26
2. 接地의 基本	32
가. 接地의 種類	32
(1) 系統接地	32
(2) 器機接地	33
(3) 當該接地	34
(4) 靜電氣障害 防止用 接地	34

(5) 地絡檢出用 接地	34
(6) 等電位化用 接地	35
(7) 雜音對策用 接地	35
(8) 機能用 接地	35
나. 接地方式에 따른 低壓系統의 分類	35
(1) TN 系統	37
(2) TT 系統	37
(3) IT 系統	38
다. 基準 等에 따른 接地工事의 種類	39
(1) 接地工事의 種類	39
(2) 機械器具의 鐵臺 및 外函의 接地工事	41
라. 接地系 (Grounding System)의 構成要素	41
마. 接地로 인한 大地 電位上昇	43
(1) 電位 上昇値	43
(2) 電位 分布와 電位 傾度	45
바. 各種 設備 機器의 接地 概要	51
3. 接地抵抗의 計算	57
가. 大地抵抗率 (Soil Resistivity)	57

나. 接地抵抗 計算式의 理論的 接近	59
다. 半橢圓體 接地電極의 接地抵抗	60
(1) 棒型電極의 接地抵抗	63
(2) 線모양 電極의 接地抵抗	64
(3) 環狀電極의 接地抵抗	65
(4) 띠[帶]모양 電極의 接地抵抗	66
(5) 板狀電極의 接地抵抗	67
(6) 網狀 (Mesh) 電極의 接地抵抗	68
4. 複合接地電極의 設計	72
가. 棒型電極의 竝列接地	72
(1) 直線 配列	75
(2) 中空 四角形 配列	77
(3) 中實 四角形 配列	81
(4) 環狀 配列	83
나. 線모양 電極의 重疊接地	86
(1) 集合係數와 接地抵抗 計算式	86
(2) 最適 接地工法	90
다. 異形 電極의 竝用接地	92
(1) 棒型電極과 網狀 (Mesh) 電極의 竝用接地	92
(2) 棒型電極과 線모양 電極의 竝用接地	97

라. 建築構造物의 代用接地	108
(1) 建築構造物 接地의 概念	108
(2) 建築構造物의 電氣的 特性	109
(3) 建築 構造物의 接地抵抗	111
5. 接地의 獨立과 共用	113
가. 建物內 接地의 現狀 및 接地方式의 形態	113
(1) 接地의 現狀	113
(2) 接地方式의 形態	115
나. 獨立 接地	116
다. 共用 接地	117
(1) 共用接地의 利點	118
(2) 共用接地의 問題點	119
라. 建築構造物 接地 System의 評價	122
(1) 建築構造物를 이용할 수 없는 경우	123
(2) 建築構造物를 이용할 수 있는 경우	123
6. 接地抵抗의 低減法	126
가. 低減劑의 概念	126
나. 處理效果의 理論的 檢討	127

(1) 化學的 處理의 모델 1	127
(2) 化學的 處理의 모델 2	129
다. 低減劑가 具備해야 할 條件	130
(1) 安全性	131
(2) 導電性	132
(3) 持續性	133
(4) 腐蝕性	135
라. 低減劑의 施工方法	136
7. 接地材料	138
가. 電流의 容量	138
(1) 接地線	138
(2) 避雷導線	142
(3) 接地電極	144
나. 耐腐蝕性	145
(1) 腐蝕의 形態	146
(2) 金屬의 自然電位列	147
(3) 自然 腐蝕	149
(4) 電蝕	152
다. 施工性	159

라. 接地線 및 電極의 種類와 치수	161
(1) 基準 및 規格상의 치수	161
(2) 接地工事に 使用하는 接地線 및 電極	171
8. 맺 는 말	174
부록 : 接地抵抗의 測定	176
가. 電位降下法の 概要	176
(1) 電位降下法の 概念	176
(2) 電位 分布 曲線	178
(3) 抵抗 區域	179
(4) 電位分布와 抵抗區域의 關係	179
나. 電位降下法の 理論	181
(1) 61.8 % 法則	181
(2) 補助 電位電極 P의 配置 (Case 1)	184
(3) 補助 電位電極 P의 配置 (Case 2)	185
다. 測定 回路	188
(1) 電位降下法 I	188
(2) 電位降下法 II	189
(3) 簡易型 接地抵抗計法	191
參老文獻	194

1. 接地와 電氣安全

오늘날 工場, 事務室, 家庭 등 모든 分野에서 有用하게 사용되고 있는 電氣는 잘못 사용할 경우 매우 危險하여 人命과 財産에 커다란 災害를 誘發할 수가 있다. 電氣에 의한 災害를 防止하기 위하여는 올바른 使用法을 使用者들에게 弘報하는 것과 더불어 電氣設備 自體의 安全對策을 樹立하는 일이 매우 중요하다.

電氣設備의 安全對策으로서 크게 MCB나 Fuse 등을 이용하여 過電流를 遮斷하는 方法과 漏電遮斷器를 이용하여 漏電되는 電流를 感知하여 電路를 遮斷하는 方法, 그리고 接地電極을 통하여 異常電流를 大地속으로 흘려보내는 方法 등으로 區分할 수 있는데, 이 중에서 接地方法은 매우 유용하고 경제적인 手段이 될 수 있다.

이 章에서는 人體의 電氣的 特性과 相關한 感電의 Mechanism과 感電事故 등에 대하여 考察하여 보고자 한다.

가. 接地의 必要性

接地는 電氣 設備/機器와 大地 사이에 確實한 電氣的 接續을 實現시키는 技術이다. 우리나라에서는 接地가 簡單하고 별로 중요하지도 않은 技術로 생각하여 研究機關이나 大學에서 學問的인 關心을 못 받고 있을 뿐만 아니라 産業現場에서조차 소홀히 다뤄지고 있다. 그러나 接地는 安全이나 機能的 側面에서 매우 중요한 역할을 하는 것으로서, 어렵고 깊이있게 探究할 餘地가 많은 技術이다.

接地는 보통 强電用接地와 弱電用接地로 구분한다. 强電用接地는 人間 및 電氣 시스템/設備/機器의 安全을 確保하기 위한 이른바 安全用接地이고, 弱電用接地는 電氣/電子/通信 機器 및 시스템의 安定된 稼動을 確保하기 위한 機能用接地이다.

그림 1-1은 地絡事故의 한 形態와 이 때의 事故電流가 흐르는 經路를 나타내고 있어 接地가 왜 人體의 安全에 重要的한지를 보여주고 있다. 電氣設備에는 變壓器의 2次 側에 第2種 接地工事に 의한 系統接地를 하고 電氣機器의 外函에는 第3種 接地工事

에 의한 機器接地를 하여 地絡事故時 電氣機器 外函에 흐르는 電流가 接觸중인 人體를 통하지 않고 바로 大地속으로 흘러들어 간다.

安全用接地 設計의 目的은 간단히 다음과 같이 要約될 수 있다.

- ① 定常 또는 事故狀態下에서 設備의 作動限界를 超過하거나 運轉中斷을 惹起함이 없이 電流를 大地로 흘러 보내는 手段을 提供한다.
- ② 接地施設 近處에서 作業하거나 지나가는 사람이 電擊의 危險에 露出되지 않도록 安全性을 確保한다.

그림 1-2에서 概念的으로 보여지듯이 各種 設備에는 電位差 (Voltage Offset; E_{off})가 存在한다. 大地를 어떤 종류의 抵抗體라고 생각할 때, 相對的으로 보면, 거기에 電位差가 생긴다. 이 電位差는 大地에서 뿐만 아니라 鐵骨造 建物構造物에 있어서도, 電力用 콘센트(Receptacle)와 通信用 콘센트 相互間에 또는 機器 相互間에 있어서도 나타난다. 이러한 電位差는 定量的인 把握은 어렵지만 設備機器 특히 電子化 된 機器에 미쳐 생각하지 못한 障害를 초래할 수 있다. 이러한 電位差 問題를 解決하여 機器의 安定的인 稼動을 確保하기 위해서도 接地의 시스템의 接近이 必要하다.

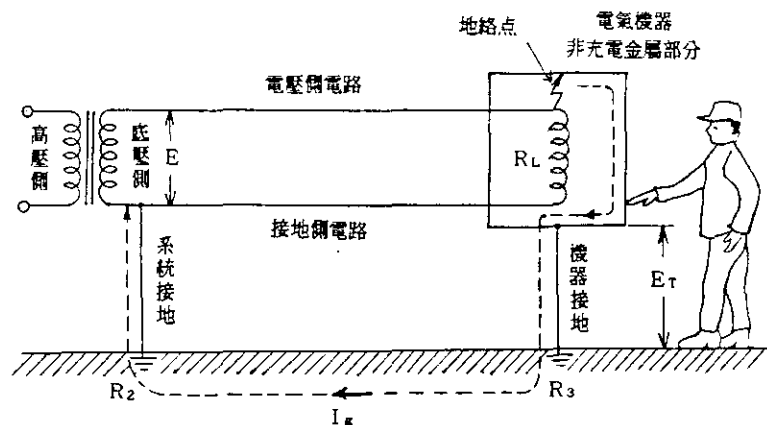
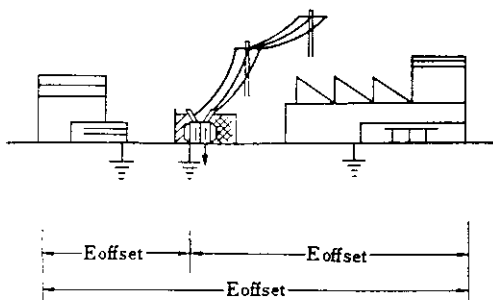
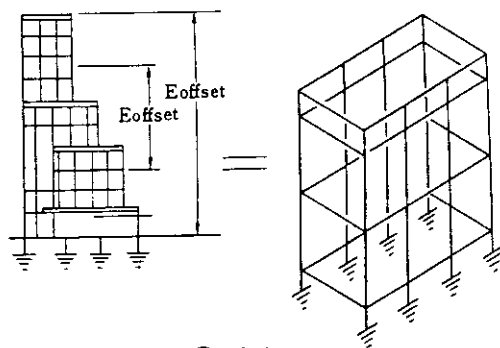


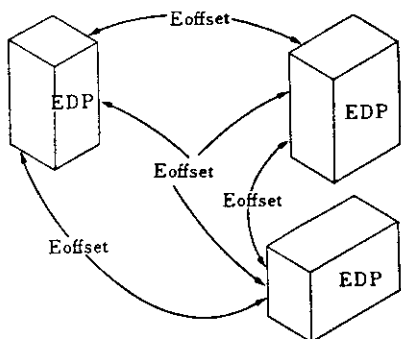
그림 1-1 地絡事故 및 感電危險防止接地의 概念圖



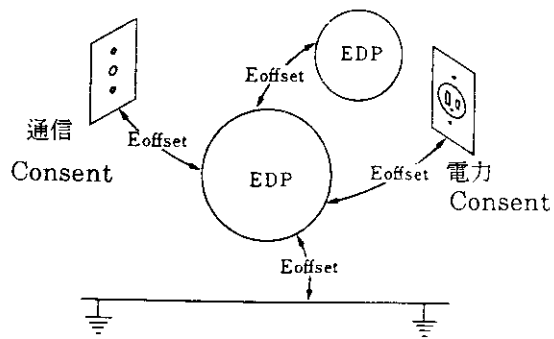
① 配電系統



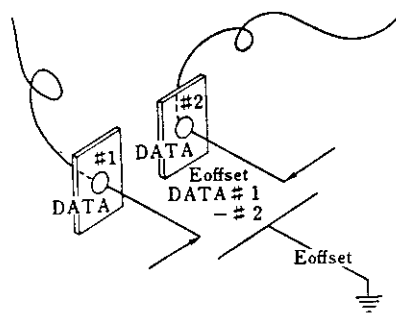
② 빌딩構造物



③ 大型計算機 center



④ 電子機器



⑤ Data用 Consent

그림 1-2 電位差 (E_{off})의 概念

나. 人體와 感電

電氣安全을 다룰려면 먼저 人體에 어느 정도의 電流가 어떻게 흘러서 어떠한 作用을 일으켜 危險하게 되는지를 살펴 보아야 한다.

感電事故의 危險程度는 人體를 통과하는 電流의 크기와 通過時間의 길이에 依存한다. 그러나, 현실적으로는 感電을 電壓과 관련시켜 接近하는 것이 便利하므로 人體의 抵抗과 接觸電壓에 대해서 考察하여 보고자 한다.

(1) 人體의 感電

生體의 心臟은 그림 1-3과 類似한 波形的 電氣信號를 끊임없이 스스로 發生시키고 있다. 여기서 P 波形은 心房의 收縮에 의한 것이고 Q→R→S→T群의 波形은 心室의 動作에 의한 것으로 이들 P, R, T의 波頭를 가진 信號에 의해 心筋의 弛緩이나 收縮을 일으키게 되어 心臟은 約 0.7秒의 週期로 規則的인 運動을 實施하여 血液을 體内に 循環시키고 있는 것이다.

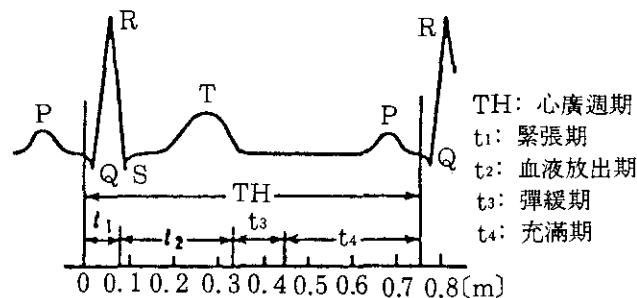


그림 1-3 心電圖

그런데 外部에서 어떤 크기에 電流가 體內로 흘러 들어오게 되면 心臟에서 發生하는 信號를 混亂시켜 規則的인 펌프 作用을 不可能하게 만드는데, 이와 같은 狀態를 感電했다고 한다. 즉, 心筋의 制御信號를 홀뜨려 正常的인 心筋運動을 하지 못하게 되고 대신에 不規則한 心筋의 振動이 發生하게 된다. 이러한 振動을 心室細動이라고 하며, 이 狀態에 이르면 心臟의 펌프 機能이 喪失되어 體內細胞로의 血液供給이 중

단되어 결국 死亡에까지 이르게 된다. 보통 感電에 의한 死亡事故는 이 心室細動으로 말미암아 일어나게 된다.

(2) 人體 許容電流의 限界 (Permissible Body Current Limit)

人體의 重要部分을 通過하는 電流의 影響은 이 電流의 크기, 通過時間, 그리고 周波數에 依存한다.

먼저 周波數의 影響을 알아보면, 人體는 周波數가 50~60 Hz인 交流電流에 가장 脆弱하다는 것이 여러 實驗을 통하여 확인되고 있다. 이 周波數에서는 約 100 mA이면 致死電流限界라고 할 수 있는데 25 Hz의 경우는 이보다 약간 큰 電流에서도 견딜 수 있으며, 直流의 경우는 약 5배 정도 높은 500 mA까지는 견딜 수 있다고 알려지고 있다. 3000~10000 Hz의 高周波 電流의 경우는 이보다도 훨씬 더 높은 크기에서도 견딜 수 있다고 한다.

다음으로 人間이 感電되어 외부에서 電流가 流入될 경우, 安全하게 견딜 수 있거나 傷害를 당하거나 심하면 사망하게 되는 電流의 크기와 通電時間은 어떻게 되는지 알아본다.

感電해서 外部로부터 體內에 電流가 흘러 들어와도 그 값이 작으면 단지 刺戟 정도로만 느낄 뿐인데 이 정도 범위의 電流를 感知電流라 한다. 人體通過電流의 값이 커지면 손발의 筋肉이 收縮, 경련을 일으켜 스스로의 힘으로는 이 상태에서 벗어날 수 없게 되어 이 범위의 電流를 不隨意電流 또는 離脫限界電流 (Let-Go Current)라고 한다.

더욱 電流가 커지면 心室細動이 일어나는데 이때의 전류를 心室細動電流라하여 致命的인 電流가 된다.

一定한 電流가 人體에 持續적으로 흘렀을 때의 人體에 대한 電流의 效果는 표1-1과 같으며 이 표를 보면 感知電流는 약1 mA, 離脫限界電流는 약20 mA, 心室細動電流는 50~100 mA이다.

人體를 通하여 흐르는 50~60 Hz 交流電流의 크기 및 通電時間은 心室細動 (Ventricular Fibrillation)을 일으키는 量보다 작아야 한다.

표 1-1 電流 크기에 따른 人體의 反應

電 流	人體의 生理反應
1 mA	○ 약간 느낄 수 있는 정도이다.
5 mA	○ 상당한 痛症을 느낀다.
10 mA	○ 견딜 수 없도록 痛症이 심하다.
20 mA	○ 筋肉의 收縮이 심하여 感電者는 스스로 電路에 떨어질 수 없게 된다.
50 mA	○ 매우 危險하다.
100mA	○ 致命的이다.

人體 通過 電流의 危險度는 그 通電時間과 큰 관계가 있다. 큰 電流가 흐르면 通電時間이 짧더라도 危險하며, 반대로 크기가 작은 電流일지라도 通電時間이 오래 持續되면 위험하다. 獨逸의 Köeppen은 感電電流의 安全限界를 다음과 같이 電流의 크기와 通電時間의 곱이 어떤 一定한 값이 된다는 것을 着眼하였다.

$$I_B \cdot T_s = K \text{ (一定)} \quad (1-1)$$

여기서 I_B 는 人體 通過電流의 크기 (mA), T_s 는 通電時間 (秒)이며 K 는 常數이다. Koeppen은 이 K 의 값을 50으로 提案했다. 즉,

$$I_B \cdot T_s = 50 \text{ (mA-초)} \quad (1-2)$$

이 식을 그래프화하면 그림 1-4의 A 線이 되어 A 線을 境界로 해서 右上이 危險範圍이고 右下가 安全範圍이다. 例를 들어 100 mA의 電流가 人體에 1초동안 흐르면 危險하나 0.1초에서 遮斷되면 安全하다. 또 Köeppen의 A 線에서는 人體通過電流가 50 mA以下에서 安全限界는 通電時間에 無關한 것으로 되어있다.

그림의 B 線은 $I \cdot T = 30$ 으로 한 경우로서 A 線에 비하여 約 1.67倍의 安全率을 나타내며, 유럽 各國에서는 이 B 線을 많이 採擇하고 있다.

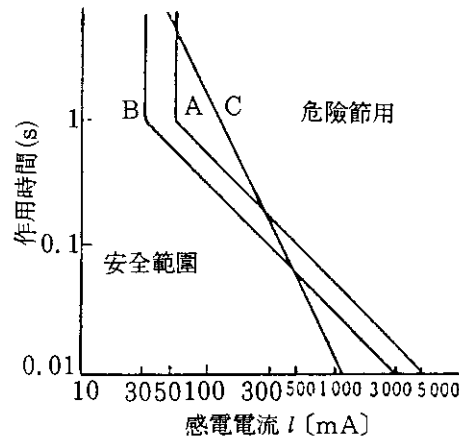


그림 1-4 Köeppen의 感電電流 安全限界

美國의 Dalziel은 感電事故 危險度가 電力에 比例한다는 생각에서 人體通過電流와 通電時間의 安全上 許容되는 限界를 다음과 같은 關係式으로 나타냈다.

$$I_B^2 \cdot T_s = K \text{ (一定)} \quad (1-3)$$

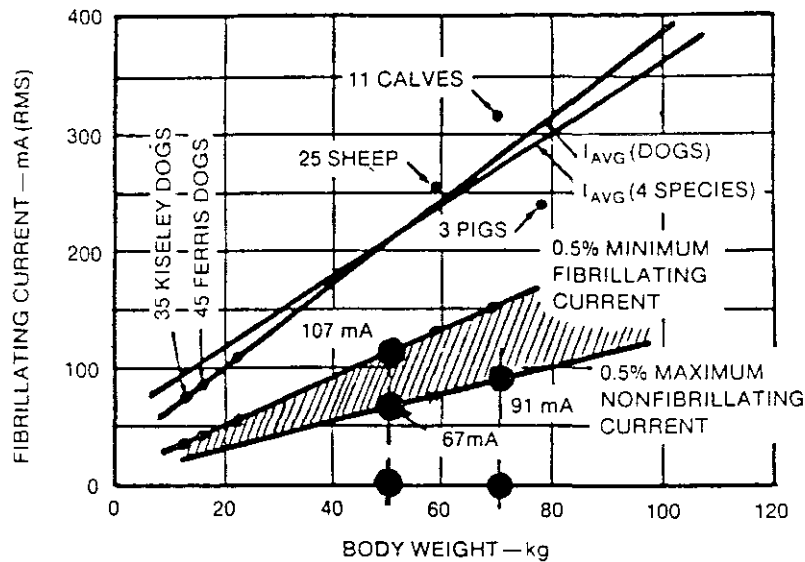


그림 1-5 3秒間 電擊에 根據한 여러 動物에 대한 體重-心室細動電流 關係

動物實驗 등을 통한 Dalziel의 研究結果로부터 우리 人間の 99.5%가 心室細動을 일으키지 않고 安全하게 견딜 수 있는 通電電流의 크기 (I_B)와 通電時間 (T_s)은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$I_B = \frac{K}{\sqrt{T_s}} \quad (1-4)$$

여기서 K 는 比例常數로서 몸무게와 관련이 있으며, 몸무게가 50 Kg인 사람의 경우 $K_{50} = 0.116 [A \cdot sec^{1/2}]$ 이고, 70 Kg인 사람은 $K_{70} = 0.157 [A \cdot sec^{1/2}]$ 이다. 따라서 人體許容電流의 限界는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{T_s}} [A] \quad (\text{몸무게 50kg인 사람}) \quad (1-5a)$$

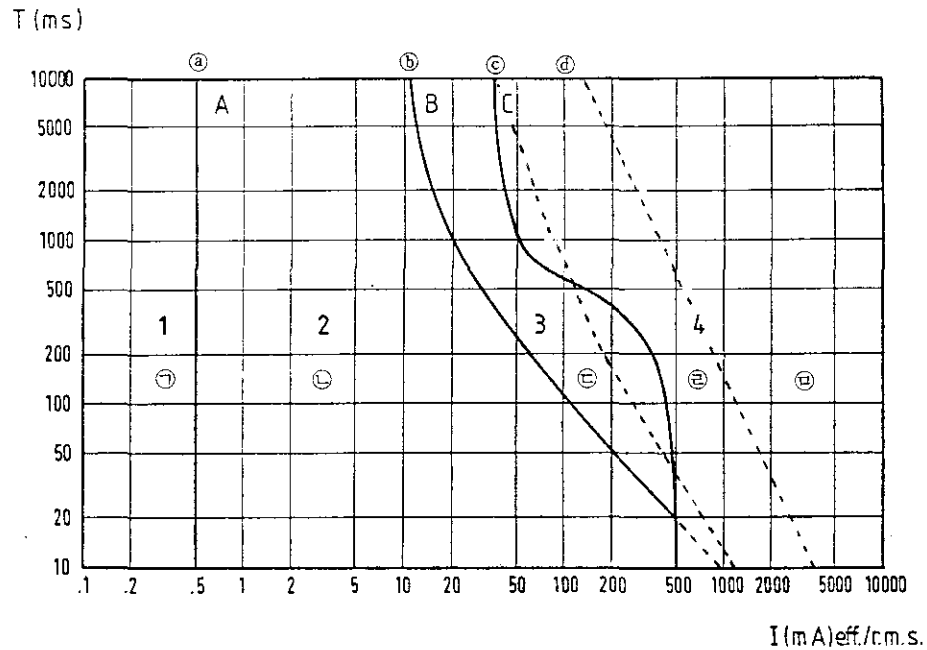
그리고

$$I_B = \frac{K}{\sqrt{T_s}} [A] \quad (\text{몸무게 70kg인 사람}) \quad (1-5b)$$

예컨대 몸무게가 50 Kg인 사람은 1초 동안 116 mA의 電流에 견딜 수 있고, 0.1초 동안은 367 mA의 電流에서 견딜 수 있다.

최근 先進國에서 人體通過電流 및 通電時間의 安全限界에 대한 새로운 움직임이 있어 여기에 소개한다. 즉, International Electrotechnical Commission (IEC; 國際電氣技術委員會)의 TC-64 (建築電氣設備專門委員會)에서는 1969년 이래 電氣安全問題를 審議해오고 있으며, 특히 感電保護對策의 基礎資料로서 審議한 內容을 Publication 479 (人體를 通過하는 電流의 影響)에 모아 1974년에 刊行한 바 있다.

현재 쓰이고 있는 安全限界의 基準은 주로 위에서 既述한 Dalziel과 Köeppen의 研究結果를 바탕으로 하여 작성된 것인데 최근에 오스트리아의 Biegelmeier 등의 研究에 의해 새로운 事實이 밝혀져 基準의 改正이 추진되고 있다.



區 分	生 理 學 的 影 響
區 域 ①	通常 아무런 反應이 업고, 線 A에 이르러서야 느낌을 받음.
區 域 ②	通常 有害한 生理的 影響은 없음. 約 10mA인 離脫限界電流가 이 區域에 포함됨.
區 域 ③	通常器官組織의 損傷은 豫想되지 않음. 筋肉 收縮 및 呼吸 困難, 心室細動을 일으키지 않을 정도의 瞬間의 心拍停止 및 心房細動을 包含하는 心臟내 刺戟 (Impulses)의 生成 및 傳播의 回復可能한 障害가 電流值 및 時間에 따라 增加됨.
區 域 ④	區域 ③의 影響 外에 心室細動의 可能性이 커짐. 電流值와 時間의 增加에 따라 心拍 停止, 呼吸중지, 重火傷 等を 包含하는 病生理學的 影響이 增加됨.

그림 1-6 成人의 交流電流 (50/60 Hz)에 대한 時間-電流 區域

從前은 感電電流 (心室細動電流)의 크기와 通電時間의 關係를 感電의 危險程度에 따라 4個의 曲線에 의하여 다섯 領域으로 나뉘었는데 (그림 1-6의 點線 ㉑ ~ ㉔, 領域 ㉑ ~ ㉔), 改正案에서는 그림 1-6에서 처럼 세 實線 A, B, C에 의하여 ㉑ ~ ㉔의 네 領域으로 變更했다. 즉, 點線 ㉑와 ㉒는 그대로 實線 A 및 B로 하되 點線 ㉓ 및 ㉔는 합쳐서 實線 C로 變更하여 領域을 넷으로 줄였다. 또한가지 特徵은 實線 C의 모양으로서 S字 模樣을 하고 있어 이를 S-Curve라고도 부른다.

그림 1-6에서 나타낸 電流-時間 特性은 成人을 對象으로 하고 있으며, 電流가 왼손에서 양발로 흐를 경우에 대한 것이다. 實際에 있어서는 이외의 電流經路를 생각할 필요가 있는데 이 경우에는 표 1-2와 같은 心臟電流係數, F를 導入하여 電流經路를 고려한 感電電流 I를 다음과 같은 식을 이용하여 換算할 필요가 있다.

$$I = \frac{I_0}{F} \quad (1-6)$$

여기서, I_0 = 心室細動電流, F = 心臟電流係數

電 流 經 路	心臟電流係數, F
왼손 → 왼발, 오른발 또는 양발	1.0
양손 → 양발	1.0
왼손 → 오른발	0.4
오른손 → 왼발, 오른발 또는 양발	0.8
복부 → 오른손	0.3
복부 → 왼손	0.7
가슴 → 오른손	1.3
가슴 → 왼손	1.5
둔부 → 왼손, 오른손 또는 양손	0.7
왼발 → 오른발	(0.1)

표 1-2 各種 電流經路의 心臟電流係數

特殊한 電氣設備에는 直流 電源을 使用하는 경우가 있다. 交流와 直流에 의한 影

響의 주된 差異點은 電流刺戟作用 (神經과 筋肉의 興奮, 心室細動을 일으킴)이 電流의 크기 變化, 특히 電流의 通電時間과 깊은 관계가 있다. 直流에서는 充電部分으로부터 離脫이 쉽고 心臟週期를 넘는 通電時間의 경우 心室細動을 일으키는 값은 交流보다 상당히 높다는 實驗 結果가 있다.

心室細動을 일으키는 直流의 크기를 評價하는데, 예를 들어 心臟 Cycle이 1 Cycle을 넘는 通電時間에 대해서 直流-交流 等價係數 K를 利用하면 다음과 같은 식으로 나타내진다.

$$K = \frac{I_{DC}}{I_{AC}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3.75 \quad (1-7)$$

다시 말하면, 直流의 感電電流값은 交流에 비해 2~4 倍 높다는 것을 알 수 있다.

(3) 人體의 抵抗

感電을 論할 때 人體의 抵抗을 알고 있으면 危險電流를 電壓으로 換算할 수 있어 便利하다.

人體를 電氣的 導體로 생각할 경우 皮膚, 血液, 筋肉, 기타 細胞 및 關節 등 人體의 各部는 電流에 대해 抵抗分과 容量分으로 구분되는 임피던스를 가지고 있다. 이 Impedance의 값은 電流經路, 接觸電壓, 通電時間, 周波數, 皮膚의 乾燥狀態, 接觸面積, 接觸壓力과 溫度 등에 의해 정해지는 것으로 一般的으로 非線形이다. 그림 1-7은 獨逸의 Freiburger가 人體의 Impedance를 概略的인 等價回路로 나타낸 것이다.

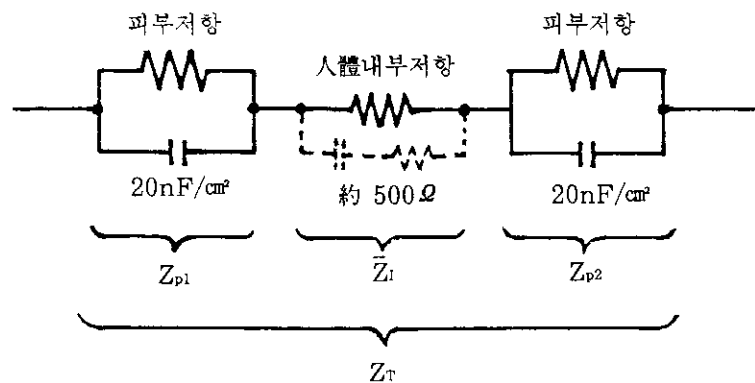


그림 1-7 人體의 等價 Impedance 回路 Model

人體의 임피던스는 人體 內部の Impedance와 皮膚의 Impedance의 합으로 생각할 수 있다. 人體의 內部 임피던스 (Z_i)는 대부분 抵抗性이고 實測에서는 약간의 容量成分이 나타나고 있는데 이 값은 無視할 수 있을 정도로 작다. 內部 Impedance의 값은 주로 電流經路에 의해 정해지고 接觸面積에도 依存한다. 따라서 接觸面積이 매우 작아 수 mm² 範圍일 경우는 內部 Impedance가 크게 增加한다.

皮膚 임피던스 (Z_p)는 抵抗成分과 容量成分의 並列回路라고 생각할 수 있는데, 이를 구성하는 것은 半絶緣性層과 導電性을 가진 작은 組織 (氣孔)이다. 皮膚 Impedance Z_p 는 電流가 增加하면 減少한다.

皮膚 Impedance의 값은 電壓, 周波數, 通電時間, 接觸面積, 接觸壓力, 皮膚의 乾濕狀態와 溫度에 의해 정해진다. 約 50 V 以下の 接觸電壓에서 皮膚 임피던스는 接觸面積, 溫度, 呼吸 등에 의해 크게 變化하며, 50~100 V 範圍의 비교적 큰 接觸電壓에서는 皮膚 임피던스는 減少하여 皮膚가 破壞되면 無視할 수 있을 정도로 작아진다.

皮膚가 물에 젖어 있으면 皮膚表面의 角質層의 抵抗이 아주 작아져, 습한 경우와 건조한 경우의 抵抗比는 約 3倍의 차이가 있다. 그러나 電壓이 높아짐에 따라 그 비는 작아진다.

周波數의 影響으로는 周波數가 높아지면 皮膚 임피던스가 減少한다. 人體의 全體 Impedance (Z_T)는 內部 Impedance와 皮膚 Impedance의 合成으로서 皮膚 Impedance처럼 抵抗成分과 容量成分으로 나누어 생각할 수 있다. 50 V 이하의 接觸電壓에서는 Z_p 가 상당히 變化하므로 Z_T 도 크게 변한다. 比較的 큰 接觸電壓에서는 全體 Impedance는 皮膚 Impedance Z_p 에 거의 依存하지 않고, 皮膚가 파괴된 후에는 內部 Impedance Z_i 에 가깝게 된다. 周波數의 影響에 관해서는 皮膚 Impedance의 周波數 依存性에 따라 周波數가 높으면 Z_T 는 減少한다.

人體가 充電部에 接觸했다고 하면 接觸電壓 發生 瞬間에는 人體의 容量成分은 充電되지 않아 皮膚 임피던스는 無視되어 人體의 全體 Impedance는 內部 임피던스와 거의 같게 된다. 이를 人體의 初期抵抗이라 하고 電流의 最高値를 制限하는 抵

抗이다. 이는 주로 電流經路에 의해 정해지고 接觸面積에 따라서도 달라진다.

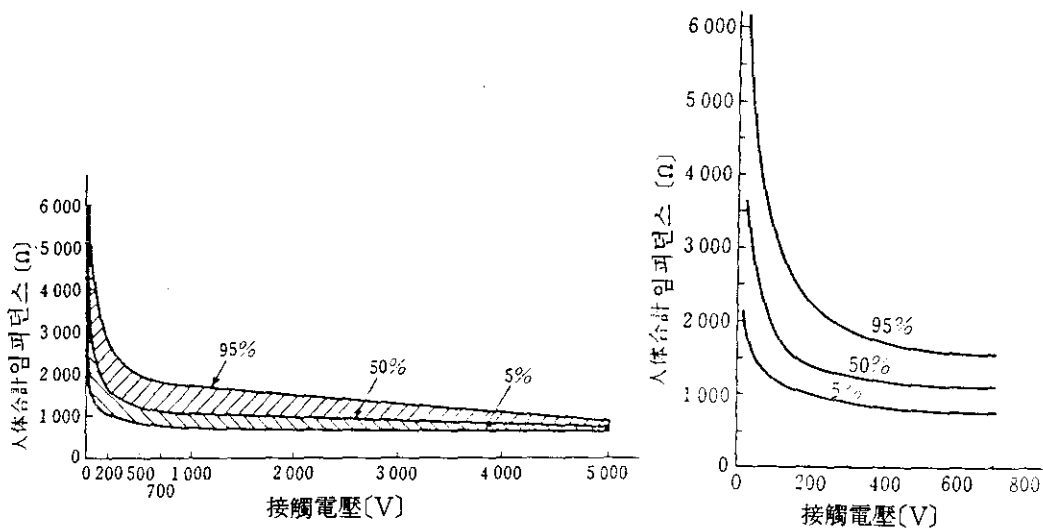
人體의 內部抵抗은 대략 $300 \sim 500 \Omega$ (安全上, IEEE에선 300Ω 으로 假定)이고, 皮膚抵抗은 既述한 바와 같이 皮膚條件에 따라 다르나 보통 $500 \sim 1000 \Omega$ 으로 간주하고 있다. 여기서 물론 通電經路가 어떻게 形成되느냐에 따라 抵抗値는 달라져서 (그림 1-9), Dalziel의 實驗에 의하면 成人男子의 경우 60Hz 交流電壓에서 손과 손사이는 2330Ω , 손과 발사이에는 1130Ω 으로 나타났다. 보통 人體抵抗의 값은 皮膚抵抗을 包含시켜서 $500 \sim 3000 \Omega$ 으로 넓은 範圍에 걸쳐 있다.

표 1-2은 生體에 의한 測定 結果 얻어진 人體의 全體 抵抗값이다. 이 데이터는 乾燥狀態에서 接觸面積이 약 80 cm^2 되는 大型電極을 사용하여 한 손에서 다른 손으로 통하는 電流經路에서 測定한 경우이다. 50V 以下 電壓에서는 보통 물로 接觸面을 적신 경우는 乾燥狀態인 경우보다 10~20% 減少하고, 導電性 溶液에서는 임피던스가 乾燥狀態에서 측정한 값보다 1/2 정도 減少한다. 150 V 以上の 電壓에서는 人體의 合成 임피던스는 濕氣와 接觸面積에 영향을 덜 받는다.

표 1-2 人體의 抵抗값

接觸 電壓 (V)	人體 抵抗値 (Ω)		
	母 集 團		
	5 %	50 %	95 %
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500

人體 合計 Impedance의 範圍는 5000 V 以下の 接觸電壓의 경우 그림 1-8(a)에, 700 V 以下는 그림 1-8(b)에 보여지고 있다.



(a) 5000 V 以下の 경우

(b) 700 V 以下の 경우

그림 1-8 接觸電壓과 人體 合計 Impedance의 關係

한편, 内部抵抗은 人體 각 部分에 따라 다른데, 電流經路에 따라 %로 나타낸 값이 그림 1-9에 나와있다. 이 값은 한 손과 각 부분과의 内部抵抗比(%)이며, ()안은 양손과 각 부분 사이의 抵抗比(%)이다. 이 그림에 따르면 손과 손, 손과 발 사이의 比는 100%이고, 손과 머리 사이는 약 50%이다.

앞에서 既述한 대로, 높은 電壓 (1 KV 이상) 및 큰 電流 (5 A 以上)에서는 接觸部位의 皮膚가 파괴되어 人體抵抗이 크게 감소한다. 또한, 손, 발이 젖어 있으면 낮은 電壓에서일지라도 接觸抵抗이 크게 낮아진다. 그러므로, 이 指針의 目的上 다음과 같이 假定한다.

① 손 및 발의 接觸抵抗은 0Ω 으로 假定한다.

② 손에서 양발, 손에서 손, 그리고 발에서 발 사이의 人體抵抗을 1000Ω 으로 한다:

$$R_B = 1000\Omega \quad (1-8)$$

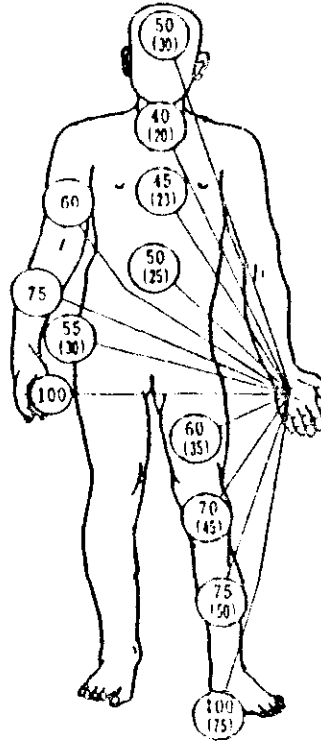


그림 1-9 人體의 部分別 抵抗 比率 (%)

(4) 等價 事故回路

위에서 決定된 人體의 許容電流値와 回路常數値들을 사용하면 人體의 兩 接觸部位 間의 許容電壓을 결정하는 것이 가능하다. 우선 等價事故回路에서 사용되는 記號들을 다음과 같이 定意하자.

I_A = 事故回路를 흐르는 電流

R_A = 事故回路의 全有效抵抗

I_B = 許容人體電流

R_B = 人體의 抵抗

安全을 위해서는 분명히 $I_A < I_B$ 가 되어야 한다.

事故回路의 저항 R_A 는 人體抵抗 R_B 와 步幅電壓 (발과 大地사이의 전압) R_F 의 函數이다. 回路分析을 용이하게 하기 위하여 발바닥을 하나의 傳導性 金屬圓板 (Disk)으로 나타내고 구두나 양말의 接觸電壓을 무시하면 R_F 및 발사이의 相互抵抗 R_{MF} 는 다음과 같은 식으로 계산될 수 있다.

$$R_F = \frac{\rho}{4b} \quad (1-9)$$

$$R_{MF} = \frac{\rho}{2\pi d_F} \quad (1-10)$$

여기서, R_F = 한발과 大地사이의 抵抗 [Ω]

R_{MF} = 양발사이의 相互抵抗 [Ω]

b = 발의 等價圓板半徑 (발의 面積을 同一面積의 圓의 半徑으로 나타낸 값) [m]

d_F = 양발간의 보폭거리 [m]

ρ = 대지(토양)의 비저항 [Ω -m].

발의 等價圓板半徑으로는 $b = 0.08m$ (3in)의 값이 일반적으로 사용되고 있다. 이 경우,

$$R_F = 3\rho \quad (1-11)$$

양발이 直列 또는 竝列로 있을 때의 발과 大地간의 抵抗은 각각 다음과 같다.

$$R_{2FS} = 2 (R_F - R_{MF}) \quad (1-12)$$

$$R_{2FP} = 1/2 (R_F + R_{MF}) \quad (1-13)$$

여기서, R_{2FS} = 양발이 直列回路를 이룰 때의 발과 大地간의 抵抗

R_{2FP} = 양발이 竝列回路를 이룰 때의 발과 大地간의 抵抗.

概略的인 計算을 위해, 相互抵抗을 無視하면 ($b = 0.08\text{m}$ 로 假定)

$$R_{2FS} = 6\rho \quad (1-14)$$

$$R_{2FP} = 1.5\rho \quad (1-15)$$

발과 大地間의 接觸抵抗을 증가시키기 위하여 흔히 두께가 $0.08 \sim 0.15\text{m}$ 의 자갈층 (Layer of Crushed Rock)을 接地網 위에 깎는다. 자갈층은 裝備나 車輛의 移動性を 높이기 위해서도 사용한다. 이 경우 자갈층의 抵抗率이 자갈층 밑의 大地의 抵抗率보다 훨씬 크기 때문에 接地網電流의 극히 일부만이 자갈층으로 흐르게 된다. 다시 말하면, 자갈층의 추가로 大地와 발사이의 接觸抵抗이 크게 증가되어 地絡事故時 人體를 흐르게 되는 電流는 아주 작아지게 된다. 자갈층 대신에 아스팔트 포장이나 콘크리트 포장을 하는 것으로도 어느정도 接觸抵抗을 높힐 수 있다.

接地網 위에 자갈층이 있을 경우의 양발의 直列抵抗 및 竝列抵抗의 概略 計算式은 다음과 같다.

$$R_{2FS} = 6.0 C_s(h_s, K)\rho_s \quad (1-16)$$

그리고

$$R_{2FP} = 1.5 C_s(h_s, K)\rho_s \quad (1-17)$$

여기서 C_s 는 자갈층의 抵抗率에 대한 減衰指數로서 다음 식으로 計算되며, 이 식을 미리 計算하여 그 값들을 나타낸 것이 그림 1-10에 나와 있다.

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + (2nh_s/0.08)^2}} \right] \quad (1-18)$$

여기서

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad (1-19)$$

ρ_s = 자갈층의 抵抗率 [$\Omega\text{-m}$]

ρ = 大地 (土壤)의 抵抗率 [$\Omega\text{-m}$]

h_s = 자갈층의 두께 [m]

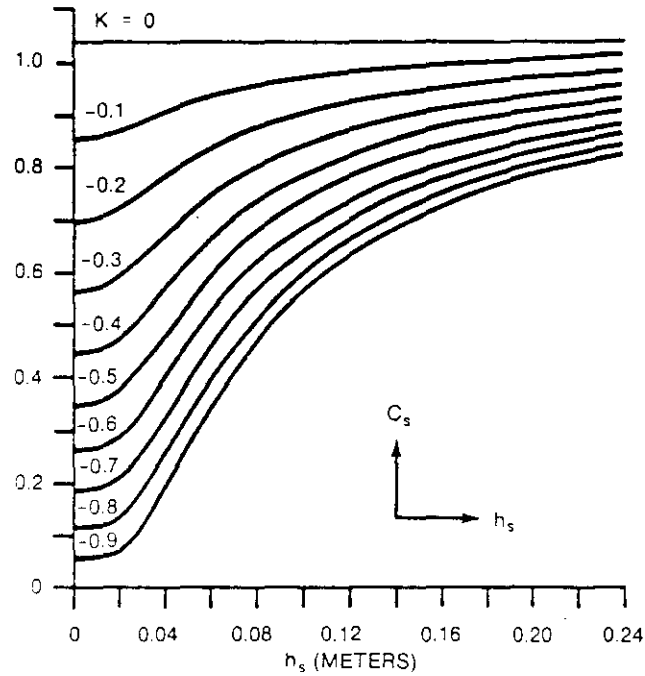
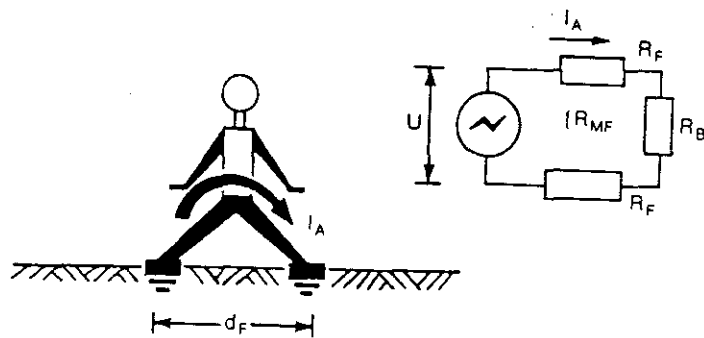


그림 1-10 자갈층의 두께와 減衰指數 C_s 와의 關係

그림 1-11은 양발 接觸時의 等價回路이다. 여기서 電位差 U 는 地表面上에 接近 가능한 두점 사이에 形成되는 最大電位差이다.



d_F = 步幅距離 [m]

I_A = 事故回路의 電流

그림 1-11 步幅電壓回路

步幅電位回路에 대한 等價抵抗은 다음 식과 같이 주어진다.

$$R_A = R_B + 2 (R_F - R_{MF}) \quad (1-20)$$

손과 두발이 接觸하는 경우에 대한 等價回路는 그림 1-12에 보여지고 있다.

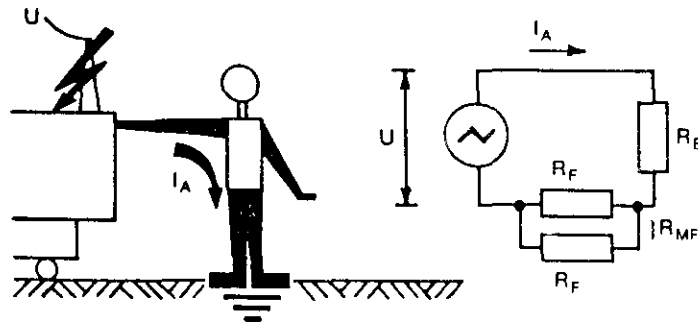


그림 1-12 接觸電壓 回路

이 接觸電位回路에 대한 等價抵抗은 다음 식으로 計算한다.

$$R_A = R_B + 1/2 (R_F + R_{MF}) \quad (1-21)$$

여기서, R_B 는 皮膚抵抗을 包含하는 人體의 抵抗으로서 便宜上 보통 1000Ω 으로 假定한다.

(5) 人體 許容電位差 (Permissible Potential Difference)

(가) 地絡事故시 일어나는 電擊의 狀況과 電壓

그림 1-13는 地絡事故중 사람과 接地物에 관계되는 네가지 경우의 基本 狀況을 나타내고 있다.

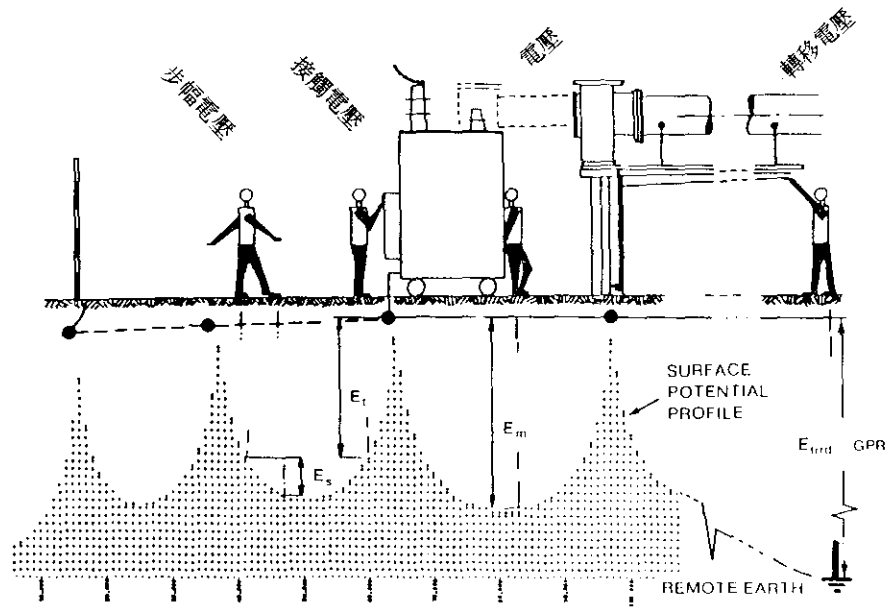


그림 1-13 基本電擊狀況과 電壓分布圖

그림 1-13에서 첫번째 경우인 발과 발사이의接觸에 대하여는 等價事故回路가 그림 1-11에 해당하고 印加電壓 U 는 步幅電壓 E_s 와 동일하다. 동 그림에서 나머지 세 경우는 손과 양발간의接觸으로 그림 1-12의 等價事故回路가 적용되며, 이때의 印加電壓 U 는 각각 接觸電壓 E_t , Mesh 電壓 E_m 또는 轉移電壓 E_{tr} 에 해당된다. 接地電位上昇 (GPR)과 여기서 사용되는 여러가지 電壓에 대한 說明을 要約하면 다음과 같다.

① 接地電位上昇 (GPR; Ground Potential Rise)

地絡事故時 接地網 (Grid)이 遠距離 大地에 대하여 가질 수 있는 最大의 電壓으로서 接地網의 抵抗과 이를 통하여 흐르는 接地網電流의 크기에 比例한다.

② 步幅電壓 (E_s ; Step Voltage)

사람이 어떤 接地物과도 接觸하지 않은 狀態에서 발사이의 距離를 1m로 벌렸을 때 地表面 위에 있는 양발 사이에 나타나는 電壓을 말한다. IEEE의 定意에 의하면 步幅電壓은 接地電極 附近의 大地面위의 2点間 (양발) 距離 1m의 電位差이다.

③ 接觸電壓 (E_t ; Touch Voltage)

사람이 손을 接地物에 接觸하고 있는 狀態에서 서있는 地表面의 電位와 GPR 사이의 電位差를 말한다. IEEE의 定意에 의하면 接觸電壓은 構造物과 大地面の 距離 1m의 電位差이다.

④ Mesh 電壓 (E_m ; Mesh Voltage)

接地網내에 나타날 수 있는 最大의 接觸電壓을 말한다. 이는 接地網내의 최저 電位点과 接地機器의 接地点間의 電位差가 된다.

⑤ 轉移電壓 (E_{tr} ; Transferred Voltage)

接觸電壓의 특별한 경우로서 電壓이 變電所로 또는 變電所로부터 轉移되는 것을 말한다. 轉移電壓의 전형적인 경우는 어떤 특정 시설내에 서있는 사람이 遠距離에 接地되어 있는 導體를 接觸하거나 또는 遠距離 位置에 서있는 사람이 그 特定施設의 接地網에 연결된 導體 (즉 接地導體)를 接觸할 때 생긴다.

(나) 步幅電壓 및 接觸電壓의 最大許容基準

人體에 있어 安全性은 事故가 解消되고 該當 電力系統이 非活性化되기 전까지 臨界值에 該當하는 電擊에너지가 人體에 吸收되지 않도록 防止하는 것에 달려 있다. 어떤 境遇에 있어서도 事故回路에 대한 最大印加電壓은 다음 식들로 주어지는 限界值를 초과해서는 안된다.

① 步幅電壓에 있어서 最大許容限界는 다음 식으로 주어진다.

$$E_s = (R_B + R_{2FS}) I_B \quad (1-22)$$

윗식에 식 (1-12)의 R_{2FS} 및 식 (1-5)의 I_B 에 대한 식을 代入하면,

$$E_{S50} = \{R_B + 2(R_F - R_{MF})\} \frac{0.116}{\sqrt{T_s}} \text{ [V]} \quad (1-23a)$$

그리고

$$E_{S70} = \{R_B + 2(R_F - R_{MF})\} \frac{0.157}{\sqrt{T_s}} \text{ [V]} \quad (1-23b)$$

安全을 위해서 實際 步幅電壓은 이 最大許容 步幅電壓보다 작아야 한다.

식 (1-23)에서 $R_B = 1000 \Omega$ 과 식 (1-16)의 R_{2Fs} 에 대한 概略式을 대입하면 다음과 같은 計算式을 얻을 수 있다.

$$E_{S50} = \{1000 + 6 C_s(hs, K) \rho_s\} \frac{0.116}{\sqrt{T_s}} \text{ [V]} \quad (1-24a)$$

그리고

$$E_{S70} = \{1000 + 6 C_s(hs, K) \rho_s\} \frac{0.157}{\sqrt{T_s}} \text{ [V]} \quad (1-24b)$$

② 接觸電壓에 있어서 最大許容限界는 다음 식과 같다.

$$E_t = (R_B + R_{2FP}) I_B \quad (1-25)$$

식 (1-13)의 R_{2FP} 및 식 (1-5)의 I_B 에 대한 計算式들을 대입하면,

$$E_{t50} = \{R_B + 1/2(R_F + R_{MF})\} \frac{0.116}{\sqrt{T_s}} \text{ [V]} \quad (1-26)$$

그리고

$$E_{t70} = \{R_B + 1/2(R_F + R_{MF})\} \frac{0.157}{\sqrt{T_s}} \text{ [V]} \quad (1-27)$$

식 (1-25)에서 $R_B = 1000 \Omega$ 과 식 (1-17)의 R_{2FP} 에 대한 概略式을 代入하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$E_{t50} = \{1000 + 1.5 C_s(hs, K) \rho_s\} \frac{0.116}{\sqrt{T_s}} \text{ [V]} \quad (1-28)$$

그리고

$$E_{t70} = \{1000 + 1.5C_s(h_s, K)\rho_s\} \frac{0.157}{\sqrt{T_s}} \quad [V] \quad (1-29)$$

여기서

$C_s(h_s, K)$ = 表皮層의 抵抗率에 대한 減衰指數 (식 (1-18)로 주어지며
一般土壤인 경우는 1임.)

ρ_s = 表皮層의 抵抗率 [Ω -m]

t_s = 電擊電流가 흐르는 故障持續時間 [sec]

安全을 위해서는 實際 接觸電壓 (Mesh 電壓, 轉移電壓 포함)은 이 最大許容接觸電壓 E_t 보다 작아야 한다.

안전한 步幅 및 接觸電壓 한계가 정해진 후, 接地시스템을 발생가능한 短絡電流와 故障持續時間을 고려하여 설계되어질 수 있다. 故障持續時間은 故障이 發生되어 除去될 때까지의 時間으로서 配電線路의 경우 보통 瞬時는 15Hz 이내, 限時는 30Hz 이내로 되어있다. 따라서 故障持續時間을 보통 1초로 보아 계산하면 별 무리가 없다.

(6) 接觸 狀態

感電事故의 樣相은 事故가 일어나는 環境에 따라 달라지나 感電防止의 觀點에서 環境 狀態를 分類한 것을 接觸狀態라 한다. (표 1-3)

제1종 接觸狀態에서 대상으로 하고 있는 電路는 浴槽, 풀장 또는 사람이 出入할 우려가 있는 水槽, 못, 늪 등에 施設하는 것이다. 이와 같은 環境에서 感電한 狀態를 상상하면 水室細動電流를 대상으로 할 때 溺死 등의 2차 災害를 招來할 우려가 있다. 그러므로 人體의 許容電流를 離脫限界電流의 最低값으로 생각되는 5mA로 하고, 또 이 狀態에서는 皮膚가 심하게 젖어있기 때문에 人體抵抗을 500 Ω 으로 하면, 許容接觸電壓 E 는 Ohm의 法則으로부터 $E = 0.005 \times 500[V]$ 가 된다.

제2종 接觸狀態란 浴槽, 풀장 주변 또는 사람이 出入할 우려가 있는 水槽, 못의 주변, 혹은

은 터널工事 現場 등의 濕氣나 물기가 심하게 存在하는 場所나 金屬製의 電氣 機械裝置나 構造物에 人體의 一部가 恒常 닿고 있는 경우에는 皮膚가 땀이 나있는 狀態를 고려하고 있다. 이 狀態에서는 제1종 接觸狀態와 마찬가지로 人體抵抗을 500Ω 으로 하고 또 人體의 許容電流를 Köeppen의 下限값인 50 mA로 하면 이 때의 許容接觸電壓은 25 V가 된다.

제3종 接觸狀態란 住宅, 工場, 事務室 등의 일반적인 場所이고 이와 같은 狀態에서는 손발의 皮膚가 젖거나 땀이 나있을 우려는 없고 人體抵抗은 Freiburger의 曲線 (그림 1-8)에 따른다고 생각할 수 있다. 接觸電壓을 50V라고 하면 그 곡선에 의해 人體抵抗의 下限값은 약 1700Ω 이고 이 때의 人體通過電流는 $50V/1700\Omega = 0.03A = 30mA$ 가 되는데 이 30 mA란 값은 Köeppen의 曲線에 1.67의 安全率을 加算한 曲線 (그림 1-6의 B선)의 下限값과 같다. 따라서 이 狀態에서는 50V까지의 接觸電壓을 許容하고 있는 것이며, 일반 場所에 있어서 50 ~60 V정도의 接觸電壓을 許容하는 것은 유럽 여러나라에서 오랜 經驗이 있기 때문이다.

제4종 接觸狀態에서 대상으로 하고 있는 電路는 사람이 닿을 우려가 없는 場所 혹은 隱蔽場所에 施設된 것인데 이 狀態에서는 接觸電壓에 특별한 制限은 없다. 以上の 內容을 要約하면 표 1-3과 같다.

표 1-3 接觸狀態와 許容接觸電壓

種 類	接 觸 狀 態	對 象 電 壓	許容接觸電壓
제 1종	○ 人體의 대부분이 水中에 있는 狀態	○ 浴槽, 水泳 Pool, 水槽, 늪에 施設하는 電路	2.5V 以下
제 2종	○ 人體가 심하게 젖어 있는 狀態 ○ 金屬製의 電氣機械裝置나 構造物에 人體의 一部가 恒常 닿아 있는 狀態	○ 上記의 周邊, 터널 工事등의 溫氣와 물기가 많이 存在하는 場所의 電路 ○ 金屬製의 電氣機械裝置나 構造物에 人體의 一部가 恒常 닿고 있는 場所의 電路	2.5V 以下
제 3종	○ 제 1,2종 以外的 경우로 보통의 人體의 狀態에서 接觸電壓이 加해지면 危險性이 높은 狀態	○ 사람이 接觸될 우려가 없는 場所의 電路 (住宅, 工場, 事務室 등)	50 V 以下
제 4종	○ 제 1,2종 以外的 경우로 보통의 人體 狀態에서 接觸電壓이 加해져도 危險性이 낮은 狀態 ○ 接觸電壓이 加해질 우려가 없는 경우	○ 사람이 接觸될 우려가 없는 場所의 電路 ○ 保護接地를 要하지 않는 電路	制限 없음.

다. 感電 事故

(1) 感電事故의 分類

感電事故는 크게 直接接觸 事故와 間接接觸 事故의 2種類로 나눌 수 있다.

(가) 直接接觸 事故

電氣機器의 運轉시에 있어서 電流가 흐르고 있는 充電部分에 人體가 直接 닿아서 感電 當하는 事故를 말하는데 活線接觸事故라고도 한다 (그림 1-14(a)).

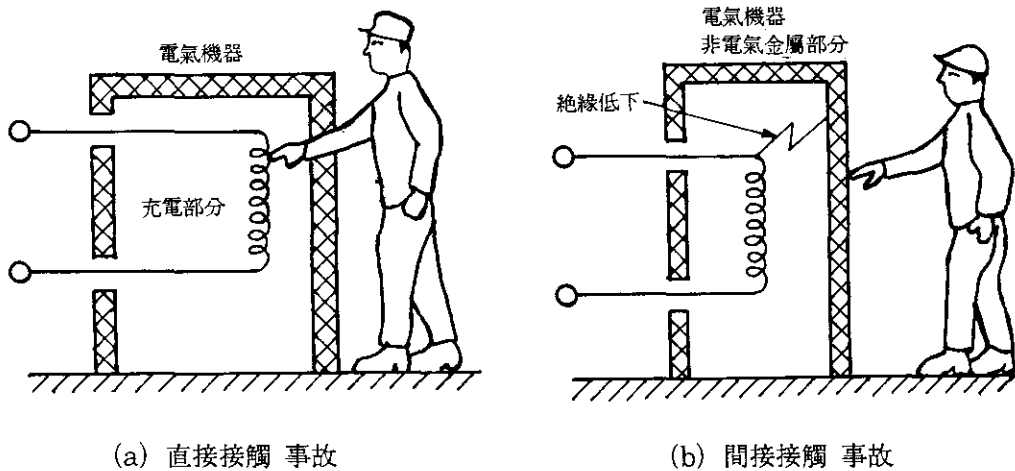


그림 1-14 感電 事故의 種類

(나) 間接接觸 事故

電氣機器의 絶緣이 低下되면 内部의 充電部分에서 外部의 非充電部分에 電氣가 漏泄되는데 (즉, 漏電이 發生한다고 한다.), 漏電하고 있는 電氣機器의 非充電部分에 人體가 닿으면 感電한다. 이러한 感電은 性能이 低下한 絶緣物을 通해서 内部의 充電部分에 間接적으로 接觸한 모양이 되기 때문에 間接接觸事故라 부른다 (그림 1-14(b)).

直接接觸事故는 電氣機器에 故障이 없고 正常的으로 動作하고 있어도 일어날 수 있는 것이며, 이에 반해 間接接觸事故는 電氣機器가 正常이면 일어날 수 없고 電氣

機器에 絶緣低下란 異常이 생겨서 비로소 일어나는 것이다.

(2) 感電 防止 對策

感電을 防止하는 方法으로는 2重絶緣, 保護接地方式, 漏電遮斷方式 등이 있다. 이들 方法에는 각각 特徵이 있으나 시스템적으로 볼 때 保護接地方式과 漏電遮斷方式을 結合했을 경우가 가장 安全하다.

(가) 2重 絶緣

地絡保護가 必要한 것은 電氣機器의 絶緣이 劣化해서 地絡이 생기기 때문인데 電氣機器 自體의 絶緣을 強化해서 地絡이 좀처럼 일어나지 않도록 하면 地絡保護의 必要는 없어진다. 이와같이 電氣機器측에서 地絡事故의 防止對策을 講究하는 方法도 있어 그 代表的인 것이 바로 二重絶緣 機器의 開發이다 (그림 1-15).

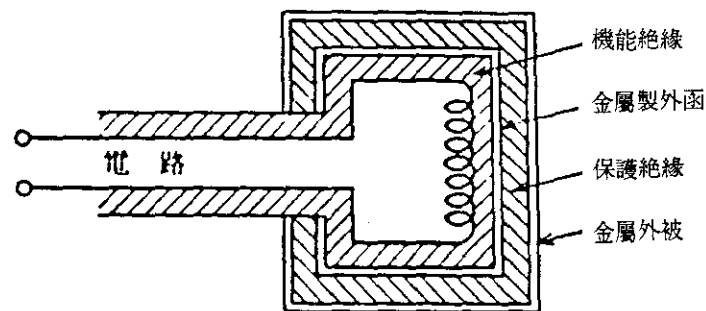


그림 1-15 二重 絶緣의 概念圖

二重絶緣이란 電氣機器의 絶緣을 強化해서 安全을 확보하려는 것인데 보통의 電氣機器에 있어서도 電流가 흐르는 部分과 金屬製 外函사이에는 반드시 絶緣이 되어 있어야 하며, 그렇지 않을 경우 電流가 外函에 漏泄되어 危險할 뿐더러 무엇보다도 機器 本來의 機能이 低下해 버린다. 그래서 이 絶緣을 機能上 없어서는 안될 絶緣이라는

뜻에서 機能絶緣이라 하며, 2重絶緣 機器에서는 機器의 金屬製 外函위에 다시 한층의 絶緣을 追加하기 때문에 이것을 保護絶緣이라 한다. 2重絶緣 機器는 제1단의 機能絶緣이 나빠져도 제2단의 保護絶緣이 있어서 機器外部에 電壓이 걸리지 않아 安全한데 그 例로서 電動 Drill, Grinder, 電氣대패 等の 工具와 Hair Dryer, 電氣면도기, 電氣밥솥 等の 家電機器들이 있다.

(나) 保護接地 方式

電氣機器의 金屬製外函, 電線路 및 配線의 金屬製外皮 등을 接地해서 感電으로부터 保護를 하는 方法이며, 그림 1-16은 이 方式에 의한 地絡事故의 保護를 보여주는 概念圖이다.

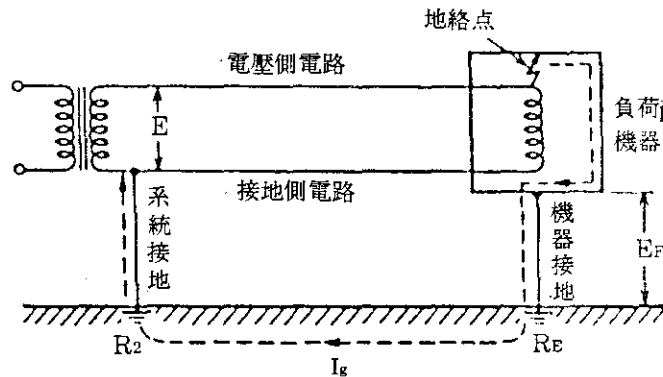


그림 1-16 保護接地에 의한 地絡事故 保護의 概念圖

低壓電路의 系統接地 (제2종接地) 接地抵抗을 R_2 , 負荷機器의 接地抵抗을 R_E , 地絡電流를 I_g 로 하였을 때 負荷機器내에 絶緣劣化 등의 故障이 생기면 地絡點에서 I_g 가 흘러 이 점에서 故障電壓 E_F 가 發生한다.

$$E_F = I_g R_E \quad (1-30)$$

低壓電路의 使用電壓 (對地電壓)을 E 라 하면

$$E = I_g (R_2 + R_E) \quad (1-31)$$

식 (1-30) 및 (1-31)로부터 R_E 를 구하면 다음과 같이 된다.

$$R_E = \frac{E_F R_2}{E - E_F} \quad (1-32)$$

식 (1-32)으로부터 對地電壓, 系統接地抵抗, 故障電壓, 機器接地抵抗의 관계를 보면 표 1-4와 같이 된다.

표 1-4 保護接地方式에 의한 機器接地 抵抗值 (Ω)

對 地 電 壓	系統接地의 接地抵抗 (Ω)	接 觸 電 壓		
		2.5 V	25 V	50 V
100 V	1	0.026	0.33	1.0
	2	0.051	0.67	2.0
	3	0.077	1.0	3.0
	4	0.10	1.0	4.0
	5	0.13	1.7	5.0
	6	0.15	2.0	6.0
	7	0.18	2.3	7.0
	8	0.21	2.7	8.0
	9	0.23	3.0	9.0
	10	0.26	3.3	10.0
200 V	1	0.013	0.14	0.33
	2	0.025	0.29	0.67
	3	0.038	0.43	1.0
	4	0.051	0.57	1.3
	5	0.063	0.71	1.7
	6	0.076	0.86	2.0
	7	0.089	1.0	2.3
	8	0.10	1.1	2.7
	9	0.11	1.3	3.0
	10	0.13	1.4	3.3

표1-4는 발생하는故障電壓에 표 1-3에 든人體의 許容接觸電壓 2.5 V, 25 V, 50 V를 써서 保護接地方式에 의한 機器接地의 接地抵抗의 最大值를 계산한 것인데, 이 표에 의하면 保護接地 方式으로 感電 保護를 할려면 매우 낮은 機器接地抵抗이 필요하게 된다. 例를 들어 對地電壓 100 V, 系統接地抵抗을 10Ω 으로 했을 때 許容接觸電壓을 25 V로 抑制하려면 機器接地抵抗을 3.3Ω 以下로 하여야 한다.

(다) 漏電遮斷 方式

漏電遮斷器를 電路시스템에 設置하여 感電保護를 하는 方法이 漏電遮斷 方式인데 그림 1-17은 이 方式에 의한 地絡事故로부터의 保護를 나타내는 概念圖이다.

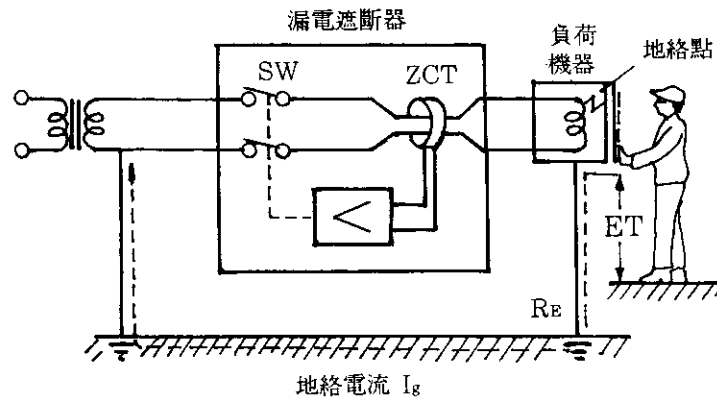


그림 1-17 漏電遮斷器에 의한 地絡事故 保護의 概念圖

正常狀態에서는 電路의 Switch SW는 닫혀 있으나 負荷機器에서 地絡事故가 發生하면 漏電遮斷器에 내장되어 있는 零相變流器 (ZCT)가 異常을 檢出하여 SW를 動作시켜서 電源을 遮斷한다.

零相變流器는 地絡檢出에 매우 有用한 Sensor로서 이의 基礎原理를 간단히 說明하면 다음과 같다 (그림 1-18).

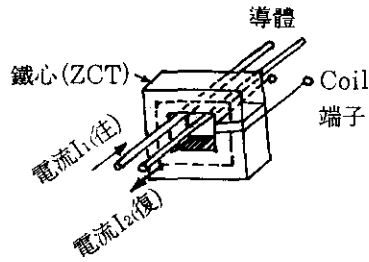


그림 1-18 零相變流器의 概念圖

ZCT를貫通하는 負荷側에 서로 反對 方向으로 電流가 흐르는 2線의 1次 導體가 있다고 한다. 負荷機器가 正常的으로 作動하고 있으면 往復하는 電流는 ZCT에 있어서 平衡되어 이에 의한 磁場은 서로 相殺되므로 ZCT의 2次側 코일에는 電壓이 생기지 않는다. 그러나 負荷機器에 異常, 例를 들어 絶緣劣化에 의한 地絡이 發生하면 1次 導線 電流의 平衡이 깨져서 ZCT의 2次側에 電壓이 생겨 이 電壓을 利用해서 스위치를 作動시켜 電路를 遮斷한다. 以上이 ZCT의 概略的인 原理이다.

人體가 負荷機器에 接觸했을 때에 가해지는 接觸電壓을 E_r , 地絡電流를 I_g , 負荷機器의 接地抵抗을 R_E 로 하면 接觸電壓은 다음 식으로 나타내어진다.

$$E_r = R_E I_g \quad (1-33)$$

식 (1-33)에서 機器 接地抵抗, 地絡電流, 接觸電壓의 關係를 보면 다음과 같이 된다. 接觸電壓에 대해 표 1-3에 든 人體의 許容接觸電壓, 2.5 V, 25 V, 50 V를 써서 地絡電流를 漏電遮斷器의 檢出感度電流에 바꾸어 놓아 漏電遮斷器를 동작시키기 위해 必要한 機器接地의 接地抵抗을 計算하면 표 1-5와 같이 된다. 이 方式을 쓰면 保護接地方式 하나만 使用하는 것보다 機器의 接地抵抗을 더 큰 값으로 緩和시킬 수 있다.

표 1-5 漏電遮斷方式에 의한 機器接地抵抗 (最大值; 단위 Ω)

漏電遮斷器 檢出感度電流	接 觸 電 壓		
	2.5 V	25 V	50 V
30 mA	83	833	1667
200 mA	12.5	125	250
500 mA	5	50	100

低壓電路에서의 保護接地方式 및 漏電遮斷方式의 長短點을 比較하면 표 1-6과 같다.

표 1-6 低壓地絡保護方式의 比較表

保護方式	長 點	短 點
保 護 接 地 方 式	○ 故障電壓이 許容 接觸電壓값을 넘을 우려가 없기 때문에 感電防止에 有效하다. ○ 다른 保護方式에 비해 經濟的이다. ○ 時間經過에 따른 尖化의 點에서 比較的 信賴性이 높다. ○ 다른 保護方式과의 竝用에 의해 그 效果를 높일 수 있다.	○ 故障電壓을 許容 接觸電壓以下로 하려면 保護接地 抵抗값을 제 2종 接地抵抗값보다 상당히 낮은 값으로 하여야 하며, 제 2종 接地抵抗값의 確認이 어려워 低壓에서는 실질적이지 못하다. ○ 地絡事故 自體를 檢出하거나, 除去하는 일을 할 수가 없어 地絡은 그대로 繼續되어 事故擴大의 우려가 있다.
漏 電 遮 斷 方 式	○ 未地絡이라도 高速遮斷이 可能하여 感電保護에 매우 有效하다. ○ 保護自的, 使用條件, 電路의 規模, 負荷의 重要性 등에 따라 感度電流 動作時間을 任意로 選擇할 수 있다. 保護接地方式과의 竝用에 의해 安全性의 向上, 適用의 用易함과 함께 接地抵抗의 緩和도 可能하다.	○ 地絡에 의해 線路遮斷을 하기 때문에 使用方法이 나쁘면 給電信賴도가 低下한다. ○ 給電信賴度を 向上시키기 위해 分岐線路 保護하려면 設備費가 많이 든다.

2. 接地의 基本

接地를 한다는 것은 安全用, 機能用을 막론하고 사람에 대해 혹은 電氣·電子, 通信 設備機器 相互間에 安全한 作動을 確保하기 위한 手段을 講究하는 것이다. 接地 設計에는 여러가지 設計要素가 필요한데 여기서는 기본적인 事項들에 대해 考察해 보기로 한다.

가. 接地의 種類

接地에 目的에 따라 接地의 種類를 구분하면 다음과 같다.

(1) 系統接地

주로 高壓과 低壓의 混觸에 의해 발생하는 2次側 電路의 災害를 防止하기 위해 電力系統에서 적당한 곳에서 系統을 接地하는 것을 말하며, 그림 2-1이 그 한 例이다.

「電氣設備技術基準에 關한 規則」(이하,「電技」라 한다.) 제13조에서는 電路는 原則적으로 大地로부터 絶緣되어야 한다는 이른바 “電路 絶緣의 原則”을 規定하고 있다. 여기서, 電路는 配線 및 機器에서 電流가 흐르는 部分을 말한다. 電路가 大地에서 絶緣되어 있지 않으면 電流가 漏泄되어 感電이나 火災의 우려가 있고 電力損失도 일어날 수 있다. 단, 여러가지 이유로 大地로부터 絶緣할 수 없는 部分에 대해서는 例外로 하고 있다.

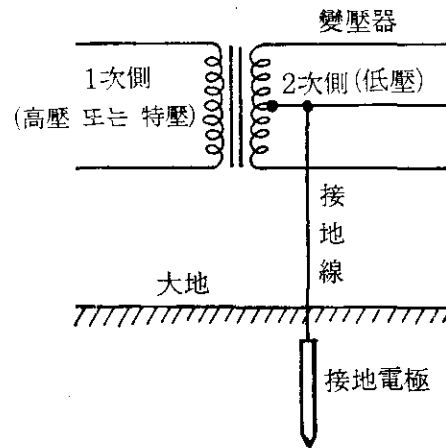


그림 2-1 系 統 接 地

가장 重要한 除外部分은 變壓器 2次側의 中性点의 接地인데, 이에 대해서는 「電技」 제23조에서 規定하고 있다. 「電技」제23조에서는 高壓 (또는 特高壓) 電路와 低壓 電路를 結合하는 變壓器의 低壓側 中性点에 제2종 接地工事を 施行하도록 定하고 있다.

(2) 機器接地

接地는 電路에만 하는 것이 아니라 電氣機器의 鐵臺나 外函에도 하는데 그림 2-2 가 그 例이다.

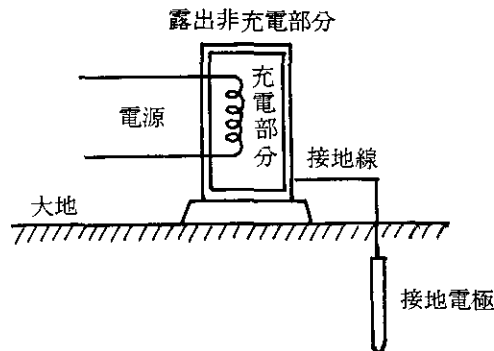


그림 2-2 機 器 接 地

電氣機器의 絶緣이 어떤 原因으로 劣化되거나 破壞되면 内部 充電部로부터 外部의 露出 非充電 金屬部分으로 電氣가 흐르는 地絡事故가 發生한다. 이때 外部 金屬部分에는 異常電壓이 걸려 接觸될 경우 感電의 危險이 있으므로, 이 部分을 미리 大地에 接續하여 過大한 電壓의 發生을 抑制하거나 異常電流를 大地로 흘려보내려는 것이 機器接地이다.

「電技」제28조에는 電路에 施設하는 機械 器具의 鐵臺 및 金屬製 外函에는 危險程度의 區分에 따라 제1종, 제3종 또는 特別제3종 接地工事を 施行하도록 定하고 있다.

(3) 雷害防止用 接地

雷電流를 安全하게 大地로 흘려보내기 위한 接地이다. 雷電流는 直擊雷에 의해서도 발생하지만 誘導雷에 의해서도 發生될 수 있는데 어느 것이든 雷電流는 接地電流로서는 最大級이나 持續時間은 짧다. 雷害防止用 接地가 實施되는 代表的인 것은 避雷針이며, 架空地線의 接地, 各種 避雷器 接地도 이에 包含된다.

(4) 靜電氣障害 防止用 接地

摩擦 등으로 發生된 靜電氣가 蓄積되어 여러가지 障害를 일으키므로 이를 빨리 大地에 흘려보내기 위한 接地이다. 요즈음은 化學섬유나 플라스틱 등 靜電氣를 발생시키는 材料가 늘어나고, 또한 半導體 Chip을 內藏하는 電子製品과 같이 靜電氣에 의해 障害를 받는 機器도 많아지고 있다. 따라서, 靜電氣障害 防止用 接地의 重要性도 점점 높아지고 있다. 휘발유 등 爆發性物質을 運搬하는 탱크로울러가 끌고 다니는 쇠사슬도 靜電氣防止用 假設 接地라고 볼 수 있다.

(5) 地絡檢出用 接地

요즈음 각종 低壓回路에 漏電警報나 漏電遮斷 등 地絡保護設備가 設置되는 케이스가 늘어나고 있는데, 電路의 한 點에서 地絡이 發生하는 경우, 릴레이나 漏電遮斷器가 확실히 동작하기 위해서는 地絡電流가 충분히 흘러야 하고, 이를 確保하기 위해 電源變壓器의 2次側에 設置하는 接地를 地絡檢出用 接地라 한다.

(6) 等電位化用 接地

病院에 施設하는 것이 代表的인 例로서, 침대에 누워있는 患者가 接觸하는 모든 金屬部分 (침대 등)에 危險한 電位差가 발생하지 않도록 미리 이들 金屬部分을 相互 結合하여 同時 接地함으로써 電位를 같게 하기 위한 接地이다.

이밖에도 Computer 등의 定常的인 動作을 위해서 電位の 安定된 基準點이 필요 한데 이와같이 電位基準點을 提供하기 위한 接地도 이에 包含시킬 수 있다.

(7) 雜音對策用 接地

外部의 雜音(Noise)이 侵入하여 電子裝置가 誤動作하거나 通信狀態가 나빠지는 것을 防止하기 위해서나, 또는 電子裝置에서 發生하는 高周波 에너지가 外部에 漏泄되어 다른 機器에 障害를 일으키지 않도록 하기 위하여 施工하는 接地이다.

이에 는 여러가지 種類가 있는데 例를 들어 遮蔽室 (Shield Room) 接地, 각종 Shield Cable 接地, 變壓器의 靜電遮蔽 接地, 精密測定裝置의 Guard 電極 接地, 變壓器의 鐵心 接地 등이다. 그리고, 電子裝置의 動作電源用 電氣受電端에 넣는 線路필터(Line Filter)에도 接地가 필요하며 이것도 雜音對策用 接地의 일종이다. 요컨대, 雜音對策用 接地란, 雜音 에너지를 大地로 放出하기 위한 接地이다.

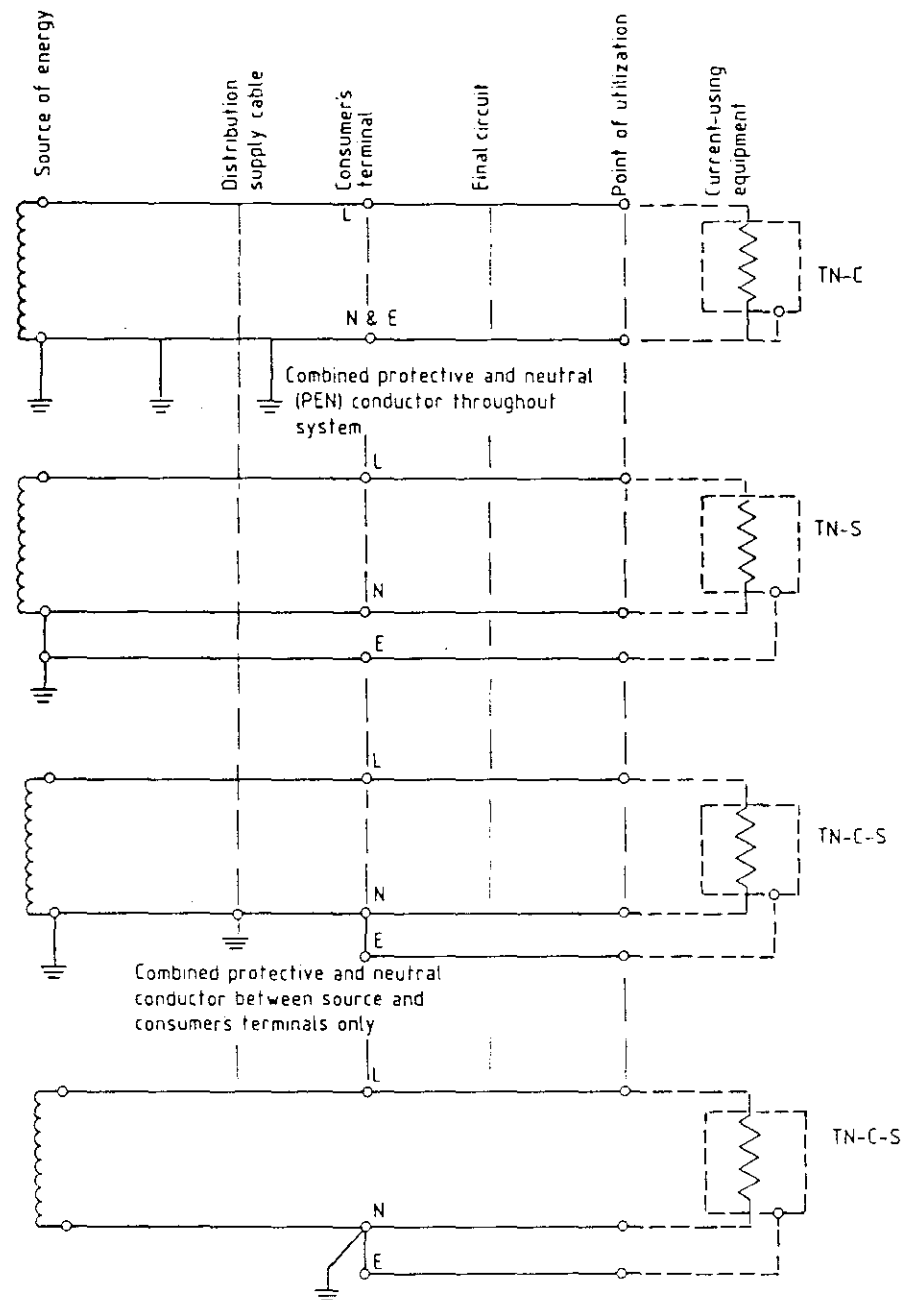
(8) 機能用 接地

設備의 機能上 반드시 接地가 필요한 경우가 있는데, 例를 들면 電氣防蝕 設備에 는 腐蝕電流를 地中 또는 水中에 흘려보내기 위한 接地가 필요하다. 等電位化用 接地에서 既述한, 컴퓨터 등의 正常的인 動作을 위해서 安定된 電位の 基準點을 提供하기 위한 接地도 一種의 機能用 接地이다. 또한 電波送信用 안테나에 施設하는 接地도 機能的으로 필요한데, 이러한 것도 機能用 接地로 볼 수 있다.

나. 接地方式에 따른 低壓系統의 分類

系統接地와 機器接地의 關係에 따라 여러가지 種類가 있다. 여기서는 國際電氣技術委員會(IEC)의 建築電氣設備專門委員會 (TC-64)에서 提案하여 國際的으로 널리

通用되고 있는 低壓系統의 接地方式 分類에 대해 알아보기로 한다.



NOTE: For Simplicity single-phase only is shown.

그림 2-3 TN 系統方式

(1) TN 系統

電源供給側을 1個所 以上에서 直接 接地하고, 設備機器의 露出 導電性 部分을 保護導體 (Protective Conductors)를 통하여 電源의 接地點으로 連接시킨다. 따라서 接地電流가 機器側에서 電源接地點으로 흐를 수 있는 金屬 經路가 形成된다 (그림 2-3). TN 系統은 中性線(N)과 保護導體(E)의 관계에 따라 다음의 3 종류로 細分된다.

(가) TN-C 系統

System 全體에 걸쳐 中性線과 保護導體 (機器接地線)가 單一 導線으로 結合되어 있다 (그림 2-3 (a)). TN 系統에서 地絡은 過電流遮斷器에 의해 保護된다. 따라서, 事故가 발생한 경우는 故障點 임피던스를 고려하여 一定時間내에 電源의 過電流遮斷器가 作動하도록 遮斷器의 特性 및 導體의 크기를 定할 필요가 있다.

(나) TN-S 系統

System 全體에 걸쳐 中性線과 保護導體가 分離되어 있고, 電源側의 接地電極을 共有한다 (그림 2-3 (b)).

(다) TN-C-S 系統

System의 일부분에서 中性線과 保護導體가 單一 導線에 結合되어 있다 (그림 2-3 (c) 및 (d)). 電源 供給側은 TN-C 方式이고, 機器設備側은 TN-S 方式이다.

(2) TT 系統

電源供給側을 1 個所 以上에서 直接接地 (系統接地)하고 設備의 露出 導電部는 系統接地와는 電氣的으로 獨立된 接地電極에 接地 (機器接地)한다. 즉, 系統接地와 機器接地는 완전히 분리한다 (그림 2-4). 이 系統에서 地絡은 過電流遮斷器 또는 漏電遮斷器로 保護하며 이 경우 機器 Frame의 對地電位 上昇을 制限하기 위한 條件이 고려되어져야 한다.

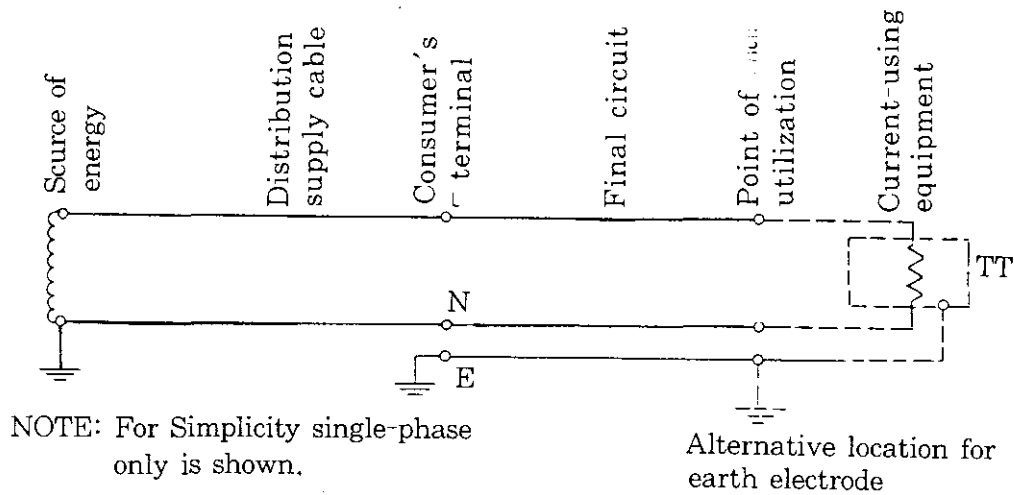
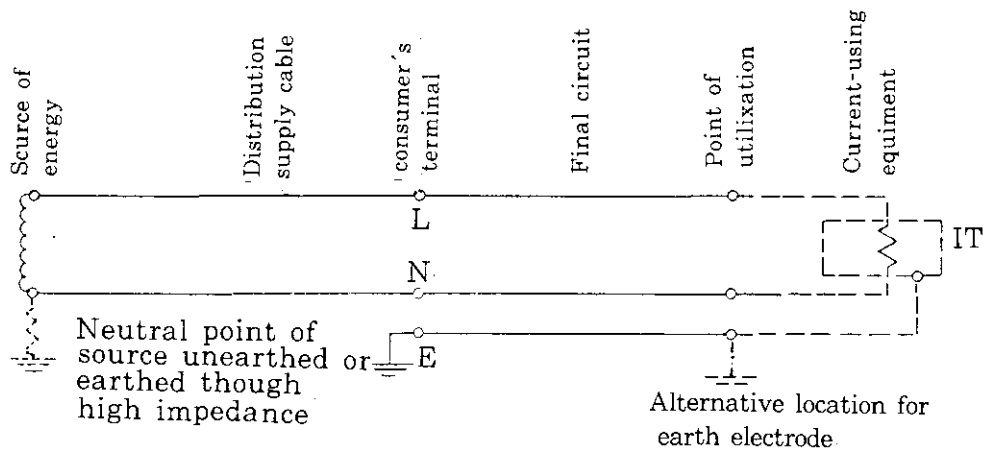


그림 2-4 TT 시스템 방식

(3) IT 시스템

電源供給側은 非接地 또는 높은 Impedance 接地를 實施하고 設備의 露出導電部는 電氣的으로 獨立的인 接地電極에 機器接地를 한다 (그림 2.5). 1點 地絡事故의 경우 機器 Frame側의 接地抵抗값을 낮게 함으로서 保護되지만, 2點 地絡事故시는 別途 對策을 고려해야 한다. 따라서 公共電力系統에는 採擇이 곤란한 方式이다.

大部分의 電氣設備系統은 TN-S, TN-C-S 또는 TT 方式을 採用하고 있다.



NOTE: For Simplicity single-phase only is shown.

그림 2-5 IT 시스템 방식

다. 基準 等에 따른 接地工事의 種類

「電氣設備 技術基準에 관한 規則」(電技)에서 一般 電氣設備에 대한 接地는 感電 및 漏電 事故의 防止, 對地電壓의 低減, 異常 電壓의 抑制 및 保護裝置類의 確實한 作動 等を 위하여 規定되어 있다.

「電技」第19條는 接地工事의 種類를 分類하고 각각의 接地抵抗값을 정하고 있는데, 一般電氣設備 이외의 設備에서도 安全用接地에 관해서는 편의상 「電技」를 準用하는 경우가 많다. 그러나, 機能用接地에 대해서는 大體적으로 設備別로 接地에 관한 事項을 獨自적으로 規定하고 있다.

여기서는 「電技」, 「內線規程」 등에 나오는 各種 설비의 接地에 대해서 그 種類와 接地抵抗의 法的 基準值 등에 대하여 살펴 보기로 한다.

(1) 接地工事의 種類

「電技」第19條에 규정된 接地工事의 種類와 接地抵抗 값은 표 2-1과 같다.

표 2-1 接地工事의 種類와 接地抵抗值

接地工事의 種類	接 地 抵 抗 值
제1종 接地工事	10Ω 以下
제2종 接地工事	變壓器의 高壓측 또는 特別高壓측 電路의 1선 地絡電流의 암페어 數로 150V (變壓器의 高壓측 電路가 低壓側 電路와 混觸에 의하여 對地電壓이 150 V를 넘는 경우로서 1초 以上 2초 以內에 自動적으로 高壓電路를 遮斷하는 장치를 설치할 때는 遮斷하는장치를 설치할 때는 600V)를 나눈 값과 같은 Ω 數. 그러나, 5Ω미만인 값을 요하지 아니한다.
제3종 接地工事	100Ω 이하 (低壓電路에서 당해 電路에 地絡이 생긴 경우에 0.5초 以內에 自動적으로 電路를 차단하는 裝置를 시설하는 경우에는 自動遮斷器의 定格感度電流에 따라 이 값을 표 2-2에서 정하는 값 이하로 한다.)
特別제3종 接地工事	10Ω 이하 ("위의 欄과 동일")

요즈음은 信賴性 있는 漏電遮斷器가 비교적 싼 값으로 普及되기 때문에 感電防止도 종래와 같이 接地에만 依存하지 않고 漏電遮斷器에 의해 적극적으로 電路를 遮斷하는 地絡保護를 하는 것이 世界的 傾向이다. 여기서, 제3종 및 特別제3종 接地工事에서는 電路에 自動遮斷裝置를 설치하는 경우에는 接地抵抗을 500 Ω 까지 완화시킬 수 있다. 즉 低壓電路에서 當該 電路에 地絡이 생긴 경우에 0.5초 이내에 自動적으로 電路를 遮斷하는 裝置를 施設하는 경우에는 표 2-2에 정하는 값 이하로 하여야 한다 (「電技」 제19조 5항).

표 2-2 自動遮斷器 設置에 따른 接地抵抗

定 格 感 度 電 流	接 地 抵 抗 値
30 mA	500 Ω
50 mA	300 Ω
100 mA	150 Ω
200 mA	75 Ω
300 mA	50 Ω
500 mA	30 Ω

接地工事의 種類別로 해당되는 電氣 設備 및 機器를 分類해 보면 표 2-3와 같다.

표 2-3 接地工事의 分類

제1종 接地工事	高壓用 및 特別高壓用 機械器具의 鐵臺, 金屬製 外函의 接地, 避雷器의 接地 등, 原則적으로 電路이외의 金屬體에 적용되는 것으로 危險의 程度가 큰 것에 적용된다.
제2종 接地工事	高壓 또는 特別高壓電路와 低壓電路를 結合하는 變壓器의 中性点 또는 한 端子 등의 接地
제3종 接地工事	400V 以下の 低壓用 機械器具의 鐵臺, 金屬製 外函의 接地, 保護線, 保護網의 接地 등, 原則적으로 電路이외의 金屬體에 적용되는 것으로 危險의 程度가 比較的 작은 것에 적용된다.
特別제3종 接地工事	400V를 넘는 低壓用 機械器具의 鐵臺, 金屬製 外函의 接地 등, 原則적으로 電路이외의 金屬體의 接地에 적용되는 것으로 危險의 程度는 크지만 大地에 發生하는 電位傾度 등은 比較的 작은 것에 적용된다.

(2) 機械器具의 鐵臺 및 外函의 接地工事

「電技」제34조에서는 電路에 施設하는 機械器具의 鐵臺 및 金屬製 外函에는 표 2-4에 표시한 區分에 따르는 接地工事を 하도록 定하고 있다. 다만, 外函을 充電하여 사용하는 경우는 예외로 한다. 또한, 使用電壓이 直流 600 V 또는 對地電壓이 300V 以下の 機械器具를 乾燥한 場所에 施設하는 경우 등에는 接地를 아니할 수 있다. (「電技」(제34조))

표 2-4 機械器具의 區分에 따른 接地工事의 適用

機械 器具의 區分	接 地 工 事
400V 이하인 低壓用의 것	제3종 接地工事
400V를 넘는 低壓用의 것	特別제3종 接地工事
高壓用 또는 特別高壓用의 것	제1종 接地工事

라. 接地系 (Grounding System)의 構成要素

接地系를 간단하게 나타내면 그림 2-6과 같이 被接地體와 이를 大地와 接觸시켜 주는 接地電極 (Ground Electrode) 그리고 被接地體와 接地電極을 연결하는 接地線으로 구성되어 있다.

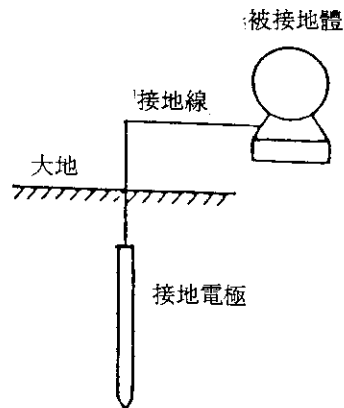


그림 2-6 接地系의 構成要素

被接地體로부터 나오는 電流는 接地線을 통하여 接地電極으로 흐르게 되고 接地電極에서는 接觸되어 있는 大地를 통하여 이를 흘려 보낸다 (그림 2-7 (a)). 이에 따라 接地電極 주위에는 電位가 생성되는데 이러한 현상을 電位上昇이라 한다 (그림 2-7 (b)).

電位上昇의 크기는 接地抵抗에 比例하는 바, 接地抵抗 R_g 를 定量的으로 정의하면 다음과 같다.

$$R_g = \frac{E}{I} \quad (2-1)$$

여기서

R_g = 接地抵抗 [Ω]

E = 接地電極의 遠距離 大地에 대한 電位上昇 [V]

I = 接地線을 통하여 들어온 接地電流 [A]

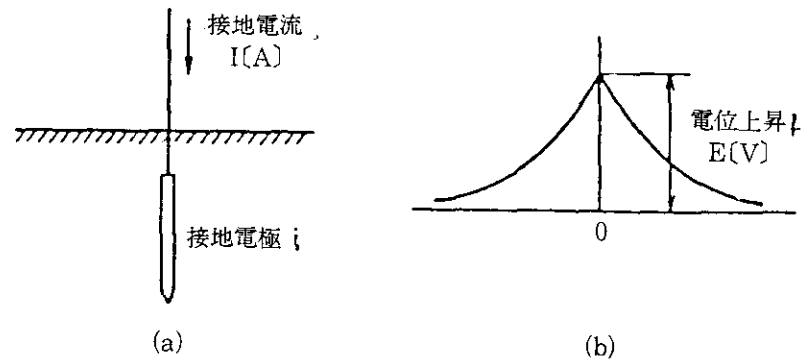


그림 2-7 接地電極을 中心으로 한 周邊大地의 電位上昇

安全한 接地 System이 되기 위해서는 接地電極 周圍의 電位上昇이 낮아지도록 接地抵抗이 낮게 설계되어야 한다. 이러한 接地抵抗은 다음 세가지 抵抗으로 이루어진 것이다.

- ① 接地線 및 接地電極의 導體의 抵抗
- ② 接地電極 表面과 接觸하고 있는 土壤사이의 接觸抵抗
- ③ 接地電極 周邊의 土壤의 抵抗

그러나 ①과 ②의 抵抗은 ③의 抵抗에 比하여 무시할 수 있을 정도로 작으므로 여기서는 ③의 抵抗만을 고려한다.

마. 接地로 因한 大地電位 上昇

(1) 電位 上昇值

低壓回路에서는 地絡電流에 따라서 발생하는 電位上昇値를 故障電壓으로 하고 이의 최악 조건인 때를 接觸電壓으로 간주하고 있다. 第1章에서 서술했듯이 지침 등에서는 이 접촉전압의 제한값을 정하고 있다. 이에 대해 發電電所, 開閉所, 각종 플랜트 등의 시설에서는 Macro的으로 취하고 지락전류에 의해 발생하는 전위상승값을 평가하고 있다.

施設이 대규모가 되면 接地電極에는 Mesh 모양의 전극을 이용하고 있고 이에 의해 구내의 작업자와 設備 機器의 安全을 확보하고 있다. 接地電極에 지락전류가 흐를 때에는 당연히 電位上昇이 발생하며, 이것을 大地 電位上昇値이라 한다. 이것은 接地電極의 種類, 形狀, 埋設 깊이, 大地抵抗率에 따라 영향을 받는다.

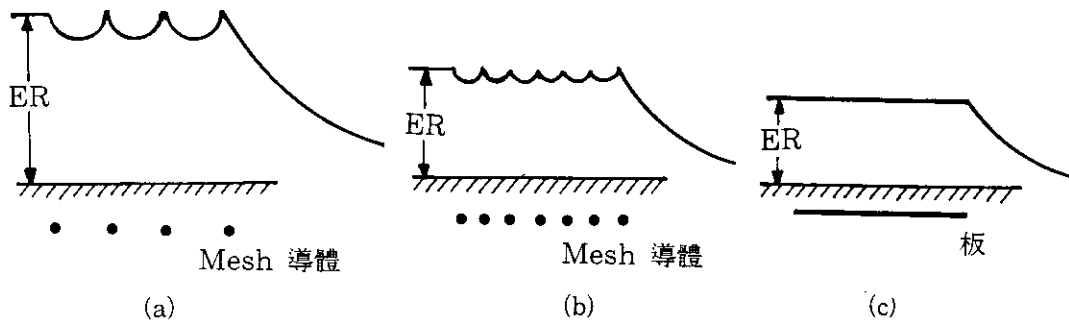


그림 2-8 Mesh 接地電極의 大地電位 上昇 概念圖

예를 들면 構内の敷地 전체에 Mesh 接地電極이 포설된 경우 大地 電位上昇의 개념을 그림 2-8에 나타내었다. 이 그림의 (a)는 Mesh 間隔이 큰 경우이고 接地抵抗도 크므로 전위상승도 크다. 여기서 주목할 것은 구내에서 Mesh 導體간에 電位差가 발생하는 것이다. 그림 2-8 (b)는 Mesh 間隔이 좁은 경우로 상대적으로 電位上昇도 작게 되고 Mesh 導體간의 電位差도 작게 된다. 또한, 그림 2-8 (c)처럼 구내 전체에 板狀 電極을 포설한 경우 電位分布의 양상은 電位差가 없게 되고 大地 電位上昇도 작게 된다. 이렇게 구내 Mesh 導體간의 電位差는 Mesh 수를 많게 하는 것으로 해결할 수 있다. 그러나, 구내와 구외의 경계면에서 大地 電位上昇을 알아내는 문제가 남는다. 이에 대해서는 나중에 논하기로 한다.

大地 電位上昇值 E_R 은 接地抵抗 R 과 地絡電流 I 와 관계되고 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_R = RI \quad (2-2)$$

接地設計를 할 때에는 大地 電位上昇值 E_R 을 허용할 수 있는 값으로 설정하고 상정 地絡電流를 기본으로 接地抵抗을 결정하고 있다. 결국, 식 (2-2)에 대한 E_R 은 인간에 대해서는 許容 電位上昇이고 設備機器에 대해서는 耐電壓을 의미하고 있다. 이들 電壓에 대한 평가는 고장 계속 시간, 즉 보호 장치인 遮斷機의 차단시간과 병행하여 행할 필요가 있다. 大地 電位上昇이 許容值 및 기기의 耐電壓 수치는 표 2-5와 같다. 실제로 차단시간을 고려하면 표에 나타난 값보다 2~3 배의 전압을 허용할 수 있다.

표 2-5 許容 電位 上昇值 (絶緣耐電壓)

對象 設備 機器	電 壓 值(V)
發變電所, 開閉所	2000 ~ 3000
低壓 케이블	2000 (1분간)
配電盤, 低壓 電動機	1500
電子, 通信機器 本體	1500 (1분간) (Impulse Noise)
SG-FG간 雜音 防止用 Bypass Capacitor	100 (1분간) (電源 2次側 電壓 30V)

(2) 電位 分布와 電位 傾度

接地電極에 地絡電流가 유입되면 전극 주위의 대지에 전위가 분포된다. 이 電位分布는 일반적으로 地表面 준위를 나타내고 있다. 전극 근방의 대지에 과대한 전위 경도가 발생하면 전격의 위험이 발생한다. 인간 및 설비 기기의 안전을 평가하는 데는 電位分布, 電位傾度を 검토하는데 여기서는 기본적인 接地電極의 형상으로서 半球型, 棒型, 板狀, 線모양 電極의 전위 분포, 전위 경도의 계산식, 복수 전극에 의한 전위 분포의 시뮬레이션 결과를 나타내기로 한다.

(가) 電位分布, 電位傾度の 基本式

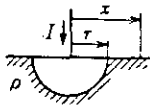
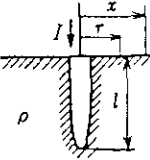
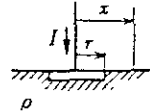
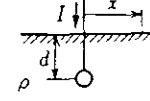
均質 大地에 매설된 接地電極에 地絡電流 I 가 흐를 때 지표면 x 점에 생긴 電位分布 계산식과 電位 $V(x)$ 를 x 로 미분하여 얻어지는 지표면 電位傾度 $|dV(x)/dx|$ 의 計算式을 나타내면 표 2-6과 같다. 이 표를 바탕으로 예를 들면 電位分布와 電位傾度は 다음과 같이 계산된다.

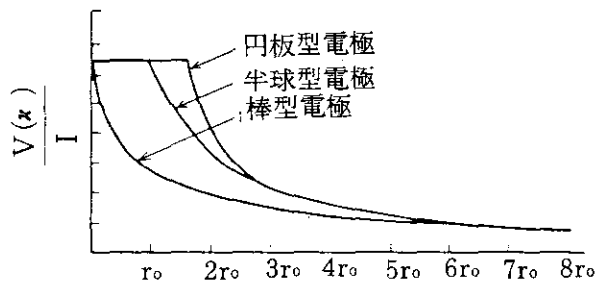
계산 조건은 大地抵抗率 $\rho = 100 \Omega \cdot m$ 로 하고 같은 접지 저항이 되도록 전극 치수를 설정한다. 계산된 전극은 半球型 ($r = 0.2477 \text{ m}$), 棒型 ($r = 0.007 \text{ m}$, $l = 1.5 \text{ m}$) 및 원판형 ($r = 0.388 \text{ m}$) 전극이다.

電位分布 계산결과는 그림 2-9에, 전위경도는 그림 2-10에 나타나 있다. 여기서 세로축은 單位電流當의 電位, 電位傾度の 절대값을 나타내고 있다. 電位分布에 관해서 棒型과 圓板型을 비교해 보면 棒型電極 쪽이 전위 감소의 정도가 크고 電位傾度は 전극단부에서 대단히 높음을 알 수 있다.

표2-6 地絡電流에 의한 地表面 電位分布와 電位傾度

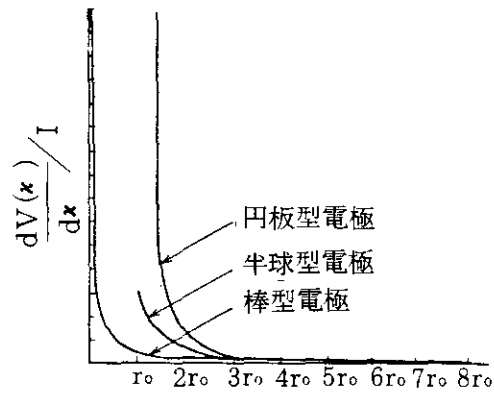
(電位는 無限遠點 基準)

電 極 形 狀	電 位 分 布	電 位 傾 度
半球型 	$x > r$ $V(x) = \frac{\rho I}{2\pi x}$	$x > r$ $\left \frac{dV(x)}{dx} \right = \frac{\rho I}{2\pi x^2}$
棒型 	$x > r$ $V(x) = \frac{\rho I}{2\pi k l} \ln \frac{1+\eta}{1-\eta}$ $k = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2}$ $\eta = \sqrt{1 - \frac{r^2 + \lambda}{l^2 + \lambda}}$ $\lambda = x^2 - r^2$	$x > r$ $\left \frac{dV(x)}{dx} \right = \frac{\rho I}{2\pi x \sqrt{x^2 - \lambda}}$ $\lambda = x^2 - r^2$
円板型 	$x > r$ $V(x) = \frac{\rho I}{2\pi r} \sin^{-1} \frac{r}{x}$	$x > r$ $\left \frac{dV(x)}{dx} \right = \frac{\rho I}{2\pi x \sqrt{x^2 - r^2}}$
線 모양 	$l \gg \sqrt{d^2 + x^2}$ $V(x) = \frac{\rho I}{2\pi} \ln \frac{2l}{\sqrt{d^2 + x^2}}$	$l \gg \sqrt{d^2 + x^2}$ $\left \frac{dV(x)}{dx} \right = \frac{\rho I}{2\pi l} \frac{x}{d^2 + x^2}$



電極으로부터의 距離 x

그림 2-9 電位 分布



電極으로부터의 距離 x

그림 2-10 電位 傾度

(나) 竝列 棒型電極에 의한 電位分布의 Simulation

棒型電極을 집합시킨 병렬접속에서는 接地抵抗의 低減化은 무엇보다 電極이 만드는 電位分布의 모양을 파악하는 것도 중요하다. 여기서 전극 길이 및 電極 間隔을 변화할 때의 電位分布를 Simulation해 보기로 한다. 竝列接地 모델은 그림 2-11이다.

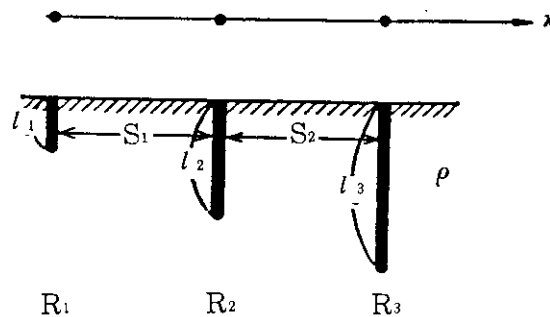


그림 2-11 棒型電極의 竝列接地 Model

棒型電極 3개를 S_1 , S_2 의 간격으로 배치하고, 大地抵抗率 $\rho = 1 \Omega \cdot \text{m}$ 에서 接地 電流 $I = 1\text{A}$ 로 하였다. 棒型電極의 전위분포 계산은 표 2-6의 계산식을 이용하고 竝列接地抵抗은 다음 章에서 敘述하는 방법을 이용하였다.

표 2-7 모델 計算 結果

電極길이 $l \times 10^{-2} \text{ (m)}$ (半徑 0.0013 m)			電極 間隔 $S \times 10^{-2} \text{ (m)}$		接地抵抗 R $[\Omega]$				電 位 分 布
l_1	l_2	l_3	S_1	S_2	R_1	R_2	R_3	合成R	
2.8	2.8	2.8	2.0	2.0	21.41	21.41	21.41	10.79	A
1.4	2.8	5.6	2.0	2.0	35.03	21.41	13.67	9.57	B
5.6	2.8	1.4	2.0	2.0	12.67	21.41	35.03	9.57	C
1.4	2.8	5.6	4.0	4.0	35.03	21.41	12.67	8.31	D
5.6	2.8	1.4	4.0	4.0	12.67	21.41	35.03	8.31	E
1.4	2.8	5.6	4.0	8.0	35.03	21.41	12.67	7.71	F
5.6	2.8	1.4	4.0	8.0	12.67	21.41	35.03	8.00	G

Simulation 모델의 諸元, 接地抵抗의 계산 결과는 표 2-7과 같으며, 電位分布 曲線은 그림 2-12 및 2-13과 같다.

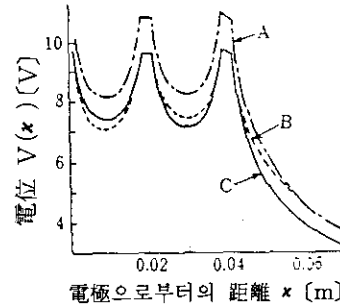


그림 2-12 電位 分布 曲線의 特徵 (모델 A, B, C)

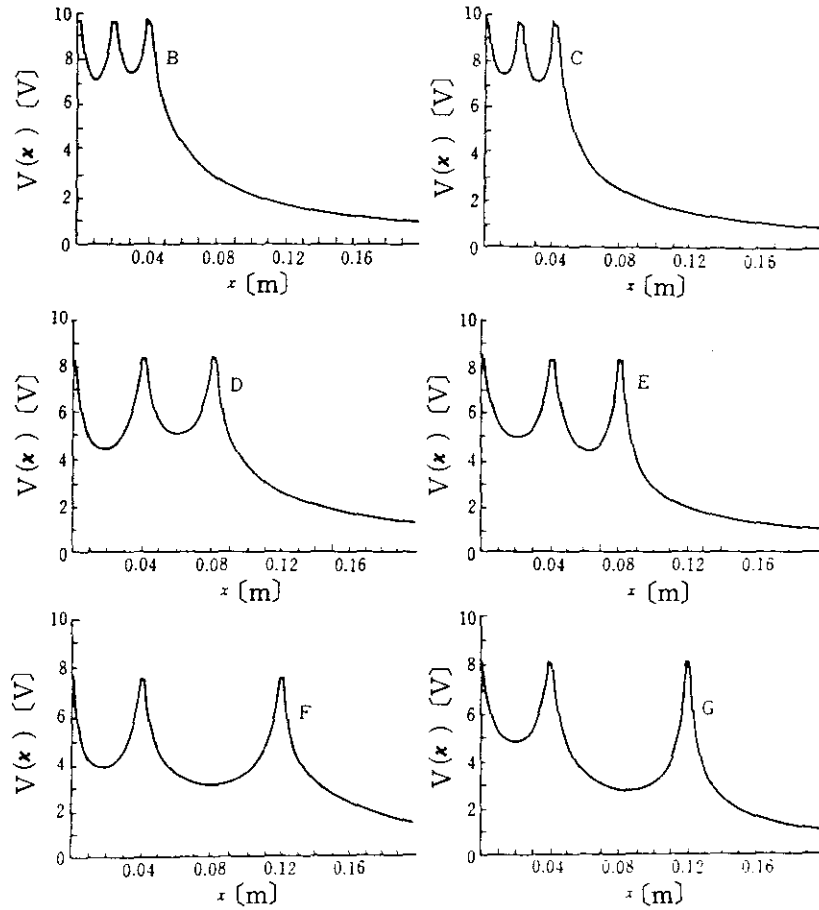


그림 2-13 電位 分布 曲線 (모델 B ~ G)

(다) 竝列 線모양 電極에 의한 電位分布의 Simulation

棒型電極에 의한 Simulation과 같은 방법으로 線모양 전극을 병렬로 한 때의 전위분포를 그림 2-14와 같은 竝列接地 모델을 대상으로 하여 Simulation하여 보자.

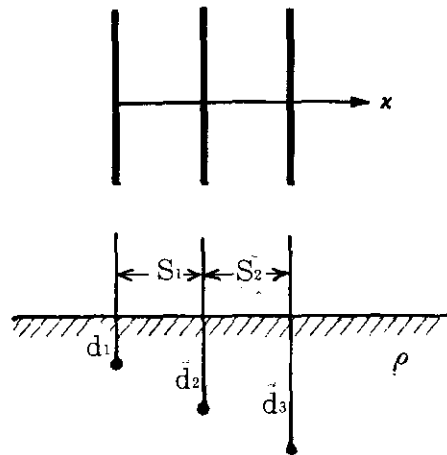


그림 2-14 線모양 電極의 竝列接地 Model

전극의 매설 깊이를 d_1 , d_2 , d_3 , 전극 간격을 S_1 , S_2 라 하고, 깊이 간격을 각각 변화시킨 때의 電位分布를 표 2-9의 계산식으로 하였다. 여기서 大地抵抗率은 $\rho = 500 \Omega \cdot \text{m}$ 로 하고 접지전류는 $I = 1 \text{ A}$ 로 하였다. 1개의 전극의 매설 깊이를 변화시킨 때의 電位分布는 그림 2-15와 같고, 깊이가 깊어짐에 따라 電位傾度가 低減化됨

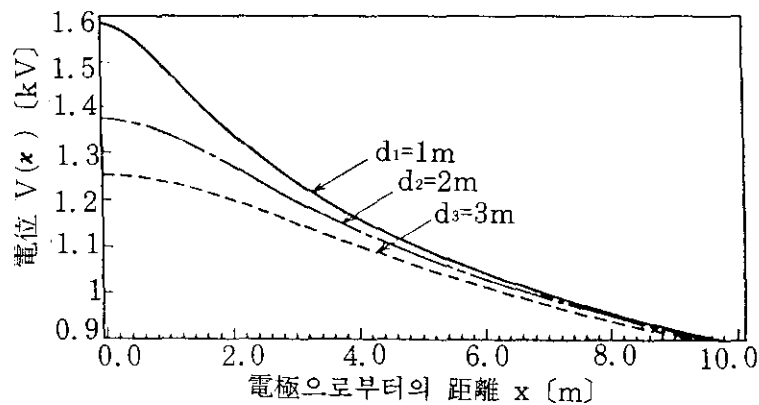


그림 2-15 1개 電極의 電位分布

을 알 수 있다. 다음으로 2개의 電極에서 매설 깊이는 일정하게 하고 電極 間隔을 변화시켰을 때의 電位分布는 그림 2-16과 같다. 간격을 크게 하면 전위가 작게 되고 電位傾度가 완만하게 됨을 이 그림에서 알 수 있다.

그리고 2개의 電極에서 매설 깊이를 다르게 하면 그림 2-17과 같이 電位傾度가 완만하게 된다. 그림 2-18은 3개 電極에서 매설깊이와 電極 間隔을 각각 다르게 했을 때의 결과이다.

이와 같이 電位分布와 電位傾度의 Simulation에 의하여 接地電極의 安全한 布設方法을 평가하는 것이 가능하다.

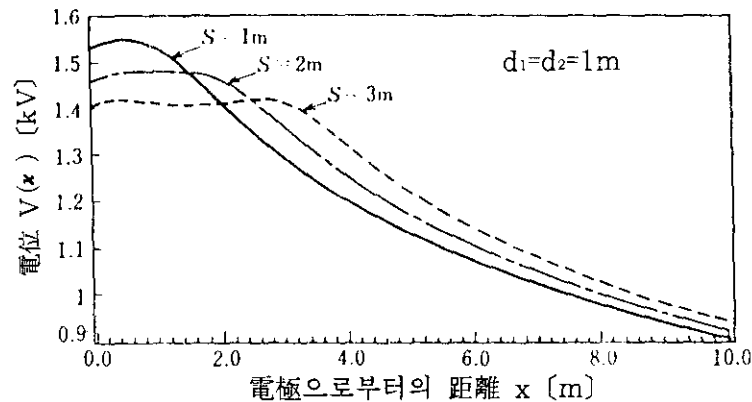


그림 2-16 2개 電極의 電位分布

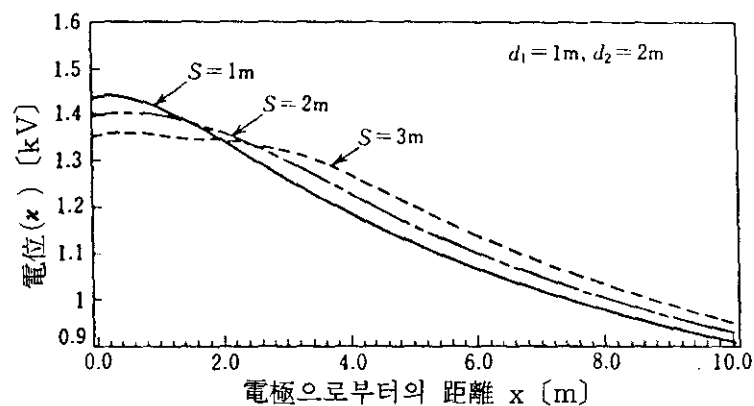


그림 2-17 2개 電極의 電位分布 (間隔을 바꾼 경우)

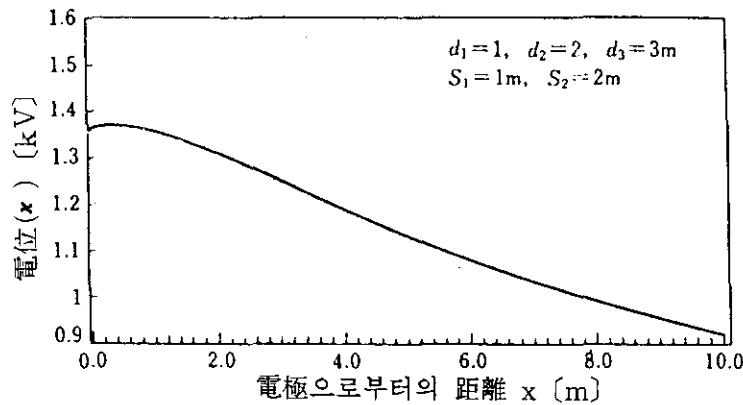


그림 2-18 3개 電極의 電位分布

바. 各種 設備 機器의 接地概要

(1) 病院設備의 接地

最近의 醫療技術은 醫療用 電子工學 (Medical Electronics; ME)의 發達로 인
한 수 많은 醫療用電子機器 (ME 機器)의 開發에 힘입어 눈부시게 發展되어 왔다.

대표적인 ME 機器로는 心電計, 心電圖 모니터, X-線 TV 診斷裝置 등이 있으며
이들은 患者의 診斷 및 治療에 쓰일 뿐더러 수술중의 患者의 상태를 보기 위한 모니
터로 활용되고 있다. 이와 같은 ME 機器의 보급은 病院 電氣設備에 새로운 問題를
제기하고 있는데 그중의 하나가 ME 機器의 安全對策으로서 ME 機器 자체의 絶緣
強化, 電氣 設備의 接地 등에 特別한 배려를 필요로 하고 있다.

이미 소개한 感電의 Mechanism에서처럼 사람이 電氣機器에 닿아 皮膚를 통해서
體内に 어떤 한계이상의 電流가 흐르면 쇼크를 받는 것을 알 수 있는데 이러한 感電
을 醫療면에서는 Micro쇼크라 부르고 있다. 이에 대해 Macro쇼크는 電流가 皮膚를
통하지 않고 심장의 心筋을 直擊하는 감전이다.

Macro쇼크는 수십 밀리암페어로 心室細動을 일으키는 반면 Micro쇼크는 수십 마
이크로암페어로 심실세동을 일으킨다고 한다. 바꾸어 말하면 Macro쇼크면 사람이
찌르르한 느낌을 느낄 수 있으나 마이크로암페어 단위의 Micro쇼크는 피부 감각으
로는 알 수 없다. 즉 심장진단용 ME 기기에 漏泄電流가 흐르고 있는 것이며 그래서

ME 기기자체의 안전대책으로서 누설전류의 許容値를 Micro쇼크 전류치 이하로 규정하고 있고 또 전기설비측에서도 Macro쇼크는 물론 Micro쇼크를 방지하기 위한 수준높은 접지시스템을 요구하고 있는데 이를 위한 것이 바로 等電位接地이다.

이것은 전기설비기기의 露出非充電 금속부분을 접지하는 보호접지와는 달리 전기설비기기가 아닌 금속부분을 접지하는 것으로 (병실, 수술실, 검사실)의 導電性 부분의 等電位化를 목적으로 하는 접지이다.

그림 2-19는 병원에서의 접지방식의 개념인데 그림중 세면기, 금속제 Bed, 수술대 등의 도전성부분은 모두 등전위접지가 되어 있다. 그런데 병원에서는 한 사람의 환자에 複數의 ME 기기를 쓰는 일이 있는데 이때 각 ME 기기에 완전한 보호접지를 시공하였다해도 그들 접지점의 전위가 다르면 전위차가 생겨 그 결과 기기사이에서 전류가 흘러 ME 기기에 의한 Micro쇼크가 일어날 우려가 있다. 그것은 ME 기기뿐만 아니고 환자의 주위에 있는 導電性部分과 ME 기기 사이 등과 같이 電位差가 생기기 쉬운 환경이 많이 있기 때문이며, 따라서 전위차를 생기지 않게 하는 등전위접지가 필요하다.

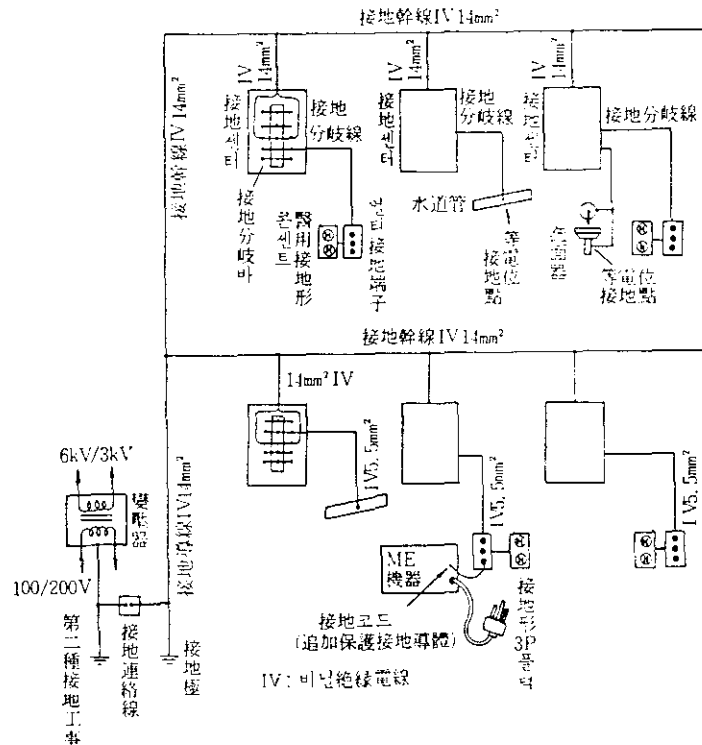


그림 2-19 病院內 接地方式의 概念圖

그림 2-20은 ME 기기 A, B의 접지점 전위에 대한 설명도인데 환자가 2대의 ME기기에 이어져 있을 때 人體의 저항을 $1\text{ K}\Omega$ 으로 하고 Micro쇼크의 안전한계전류를 $10\text{ }\mu\text{A}$ 로 한 경우 전위차의 최소한도는 $1\text{ K}\Omega \times 10\text{ }\mu\text{A} = 10\text{ mV}$ 가 된다. 즉 기기 A, B의 접지점 전위차는 10 mV 이하로 하지 않으면 위험이 생긴다고 말할 수 있으며 등전위접지의 중요성이 여기에 있다.

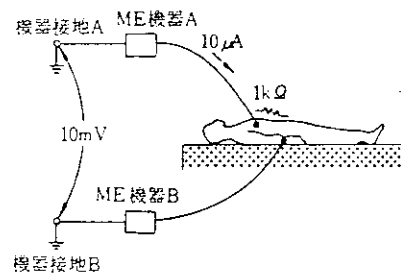


그림 2-20 ME 機器의 接地點 電位差

(2) 送電線設備의 接地

가공송전선의 접지는 주로 雷擊防止를 위해 하는 것이나 기타 전력계통의 安定度나 고장검출 등에도 관계가 있고 또한 철탑의 塔脚 주변의 接觸 및 步幅 電壓의 경감작용에도 기여하고 있다.

접지설계는 雷擊시의 플래시오버가 생기지 않도록 접지저항을 결정하는 것이 중요하다. 한편 지중송전선의 접지는 常時 케이블 시이즈에 유기되는 유도전압을 억제하기 위한 것이고, 지중에서 발생하는 電蝕을 방지하는 것도 큰 역할중의 하나이다. 케이블사이즈의 접지설계는 송전의 대응량화에 따라 GIS 직결선로가 증가하여 중전의 접지방식에 문제가 생기기 시작하고 있으므로 그 개선책을 포함한 검토가 필요하다.

(3) 變電所設備의 接地

변전소의 접지는 지락고장이나 雷擊에 의해 구내의 接地系에 대전류가 유입되었을 때에 생기는 전압상승이나 보폭전압을 억제하기 위해 시공하는 것인데 구체적으로 1 선지락시에 접지계의 전압상승을 2000V 이하로 누르기 위한 접지저항을 계산하여 이것을 접지공사의 목표 접지저항으로 삼고 있다. 접지전극에는 주로 Mesh 전극을 쓰고 있으나 경우에 따라서는 보링 전극 (혹은 棒型 전극의 深打工法)을 병용하는 일이 있다. Mesh 접지의 역할은 낮은 접지저항을 얻기 위한 것뿐만 아니고 구내 작업원의 步幅電壓의 경감도 있어 이 때문에 Mesh 간격, 매설깊이 등을 고려할 필요가 있다. 설계순서로는 먼저 建設用地 부근의 大地抵抗率을 實測한 다음에 접지저항 계산에 그것을 代入해서 목표로 하는 接地抵抗을 推定하게 되는데 여기서 大地抵抗率은 어떤 깊이의 값으로 하느냐의 문제는 接地抵抗에 직접 영향을 미치므로 신중을 기해야 한다. 특히 요즘의 송, 변전설비의 대용량화와 변전소시설의 축소화라는 접지설계에 대하여 相反된 상황속에서 어떻게 유효한 접지설계를 하느냐 하는 것은 중대한 문제이며 또한 이러한 현상이 대지저항율이 높은 山岳地에 일어나고 있다는 것을 생각하면 접지설계를 근본적으로 재검토할 필요가 있다.

한편 도시에서는 변전소용지의 확보가 곤란해지고 있어 빌딩의 지하부분에 변전소를 건설하는 케이스가 많아지고 있다. 이와 같은 변전소의 접지는 종전부터 써온 Mesh 접지로는 충분한 접지저항치를 얻을 수 없는 경우가 많기 때문에 지하식 변전소의 접지를 빌딩의 連續土留壁을 이용하여 그것에 시공하는 방법이 채택되어 가고 있다.

(4) 配電線設備의 接地

배전선설비에는 고압용의 架空地線 피뢰기, 변압기, 개폐기, 보호망, 機器의 철대, 외함 등이 있으며 배전선설비의 접지는 변압기의 고저압혼촉방지, 雷擊에 의한 進入 Surge의 억제, 감전사고방지 등의 목적으로 시설된다.

그리고 요즘의 변전소 뱅크 용량의 증대, 배전전압의 格上, 배전선로의 케이블화 등에 따라 安全用접지를 위한 접지설계가 중요시되고 있다. 그러나 특히 市街地에 있어서는 접지공사를 위한 장소확보가 곤란해지고 있으며, 접지저항의 定期的인 측정을 위한 補助電極의 打入조차 하기 어렵게 되어 가고 있다. 이러한 상황에서는 배전선설비의 접지에 대해서 전체적으로 다시 살펴볼 필요가 있다.

(5) 컴퓨터 設備의 接地

컴퓨터실에는 CPU(중앙처리장치), 전원장치, CRT나 키보드 등의 周邊機器가 있으며 이들은 접지가 되어 있는데 그 목적은 감전방지를 위한 安全用접지와 컴퓨터의 안정적인 作動을 위한 機能用 接地가 있다. 이 기능용접지란 컴퓨터본체 및 주변 기기 사이의 電位를 안정시키기 위한 기준전위를 제공하기 위한 접지를 말한다. 컴퓨터의 接地는 다른 전기설비가 발생하는 Noise(잡음)의 영향을 피하기 위해 단독접지로 하는 경우가 있으나 고층빌딩의 上層에 있는 컴퓨터에 단독접지를 하기가 쉽지 않다. 따라서 빌딩구조물의 接地抵抗이 충분히 낮다면 구조물에 접지하는 소위 共用接地 시스템을 채용해도 지장이 없다고 생각되는데 접지설계를 하는 경우 이 점을 충분히 고려해서 할 필요가 있다.

(6) 住宅 設備의 接地

철근·철골콘크리트造의 집합주택 (아파트 등)의 전기설비에는 空氣調節 設備, 위생설비 (세탁기, 건조기) 등이 있고 이것들은 대부분 접지공사를 필요로 하고 있다. 그것이 全電化 주택이 되면 給湯 設備 (電氣溫水器), 廚房 설비 (전자렌지)가 설치되는데 이 기기들은 용량이 크기 때문에 감전방지대책에 충분히 유의해야 한다. 安全用접지방식으로서 생각할 수 있는 종류는 각종의 실내 설치기기를 취합하여 접지간선을 포설하여 그것을 地表下까지 가져와서 人工 接地極에 접속하는 경우와 각종마다 접지선을 건축구조물의 철근·철골부분에 접속하는 경우가 있다 (構造物 代用接地).

(7) 放送局 設備의 接地

방송국에는 대규모의 전원설비와 전파송신설비가 있으나 이들 설비의 접지에는 安全用을 비롯해서 송신설비기기의 安定稼動 등의 機能用 목적을 갖는 종류가 있다. 방송국의 접지에는 商用周波數 帶域의 接地抵抗과 高周波數 대역에 대한 접지 임피던스의 2종류의 다른 시스템이 있는데, 특히 送信周波數가 커지면 각 기기사이의 安定가동용 接地系統에 임피던스에 의한 전위차가 생기기 쉬우므로 接地設計에 있어서 다른 설비와는 다른 接地시스템을 고려해야 한다.

3. 接地抵抗의 計算

接地 System을 設計하고 施工, 管理하는데 있어서 가장 基本이 되는 사항은 必要한 接地抵抗을 얻는 것이고, 이를 위해서는 接地電極의 接地抵抗을 算出할 수 있어야 한다. 본 章에서는 여러가지 類型別 接地電極의 抵抗을 計算하는 方法에 대하여 考察하고 그 計算式들을 提示하고자 한다.

가. 大地抵抗率 (Soil Resistivity)

第1章에서 발과 大地간의 接觸抵抗 등을 계산하는데 大地의 抵抗率이 필요함을 알 수 있었다. 이 大地抵抗率은 接地抵抗을 計算하는데 있어서는 필수적인 Parameter 이다. 大地抵抗率은 土壤의 性質에 크게 좌우될 뿐만아니라 電壓傾度率 (Voltage Gradient), 地絡電流의 크기, 土壤의 溫度 및 水分含量 등에도 많은 影響을 받는다. 여기서는 環境因子인 土壤의 種類, 水分含量 및 溫度에 따른 大地抵抗率의 變化를 살펴 보기로 한다.

(1) 土壤 (Soil)의 種類

土壤을 泥土 (진흙), 粘土, 砂土 (모래), 砂岩의 4가지로 크게 分類하여 이들의 抵抗率을 표 3-1에 나타냈다.

표 3-1 土壤의 種類別 抵抗率

土 壤 의 種 類	抵 抗 率 [Ω -m]
泥土地/沼 地	80 ~ 200
粘 土 地	150 ~ 300
砂 土	250 ~ 500
砂岩/岩盤地帶	10,000 ~ 100,000

(2) 水分의 含量

土壤이 水分을 많이 含有하고 있으면 抵抗率이 급격히 減少한다. 예를 들면 모래가 섞인 土壤 (砂土)에 있어서 水分含量에 따른 抵抗率의 變化를 보면 표 3-2와 같다. 水分이 2%에서 28%로 增加할 경우 抵抗率은 1,800 Ω -m에서 60 Ω -m로 1/30 정도가 減少한다.

표 3-2 水分含量에 따른 土壤 (砂土) 抵抗率의 變化

水分含量의 重量比 [%]	土壤 (砂土)의 抵抗率 [Ω -m]
2	1,800
4	600
6	380
8	290
10	220
12	170
16	130
20	90
24	70
28	60

土壤의 種類가 다르면 水分에 대한 抵抗率의 變化정도도 당연히 다르다.

(3) 溫度

一般的으로 金屬體는 溫度가 上昇하면 抵抗率이 增加하나 半導體, 電解液, 絶緣體는 반대로 溫度가 올라가면 抵抗率이 減少한다. 표 3-3은 약 15%의 含水率을 가진 어떤 土壤의 溫度에 따른 抵抗率의 變化를 보여주고 있다.

표 3-3 土壤의 溫度와 抵抗率

溫 度 [$^{\circ}\text{C}$]	抵 抗 率 [Ω -m]	比 率
20	72	1.0
10	99	1.4
0	130	1.9
0 (結氷)	300	4.2
-5	790	10.9
-15	3,300	45.9

抵抗率의 溫度 影響은 매우 중요하여 接地抵抗이 季節에 따라 變動하는 큰 원인이 되고 있다 (그림 (3-1)의 例 參照).

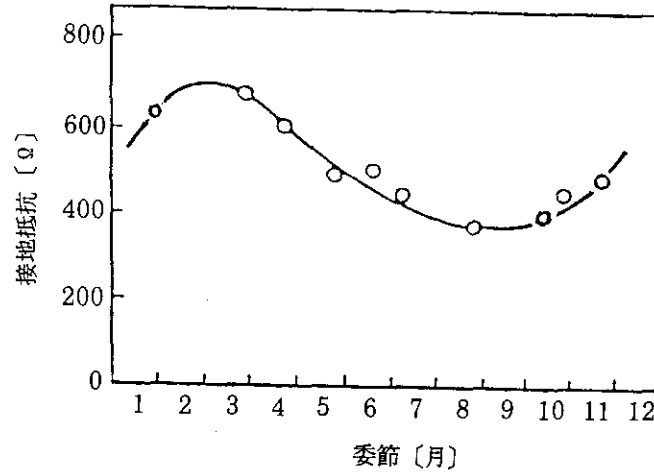


그림 3-1 接地抵抗의 季節變動 (例)

나. 接地抵抗 計算式의 理論的 接近

理論的 取扱을 용이하게 하기 위하여 半球狀의 接地電極을 假定하자. 그림 3-2는 半球型 接地電極의 개념적인 接地回路 Model을 나타내고 있다. 接地電極 周圍의 土壤은 抵抗率이 ρ 로 均一하고 接地電流는 電極表面으로부터 周圍大地로 放射狀으로 흘러 들어간다고 가정한다.

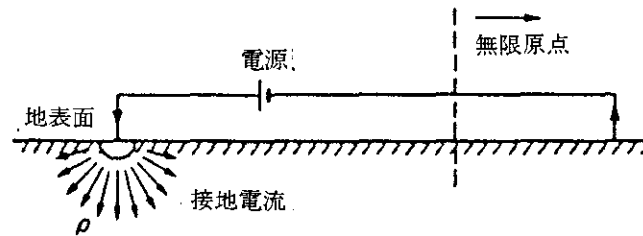


그림 3-2 接地回路의 概念的 Model

半球型 電極의 半徑을 r 이라고 하고 이 半徑의 中心으로부터 x 만큼 떨어진 距離에 두께가 dx 인 半環狀 部分의 土壤의 抵抗을 dR 이라고 하면

$$dR = \rho \frac{dx}{2\pi x^2} \quad (3-1)$$

電極中心에서 r_1 만큼 떨어진 部分의 抵抗 R_1 은 다음과 같이 얻어진다.

$$R_1 = \int_r^{r_1} dR = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right) \quad (3-2)$$

여기서 接地抵抗 R_g 는 接地電極으로부터 無限으로 떨어져 있는 곳까지 包含하는 全體 抵抗으로서 $r_1 \rightarrow \infty$ 이 되어 $1/r_1 \rightarrow 0$ 이므로 다음과 같이 된다.

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (3-3)$$

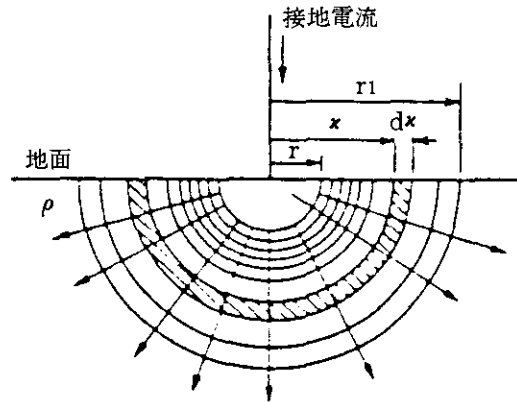


그림 3-3 半球型 接地電極

다. 半橢圓體 接地電極의 接地抵抗

半橢圓體電極의 基本 모양은 그림 3-4와 같은데, x , y , z 축 方向의 길이를 각각 a , b , c 라고 할 때, 이들 a , b , c 의 大小 關係에 따라 橢圓體의 모양이 달라져 그림 3-5와 같이 구분한다.

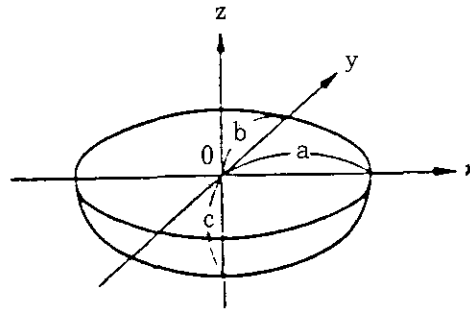


그림 3-4 半橢圓體型的 電極

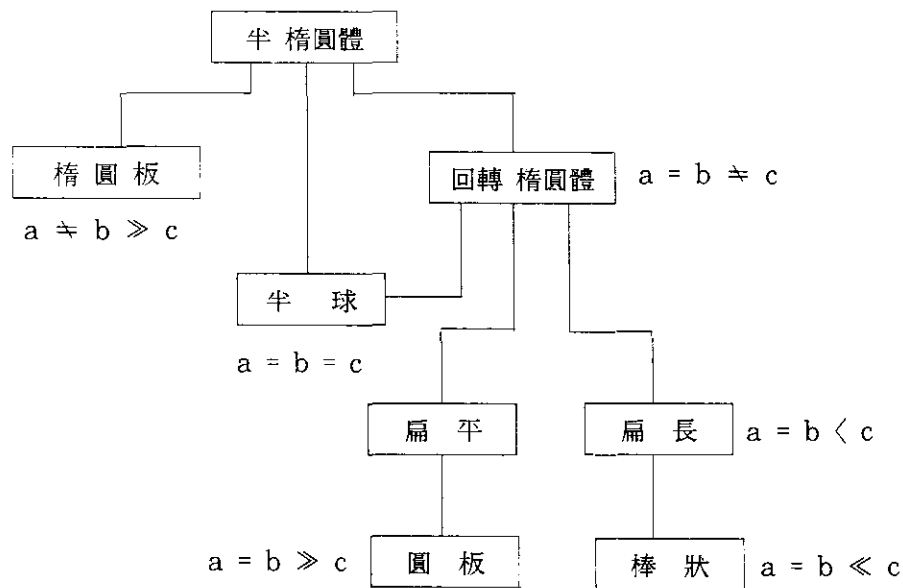
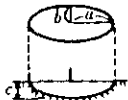
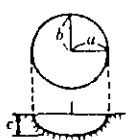
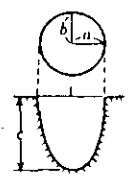
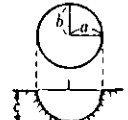
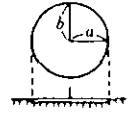
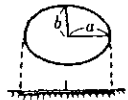
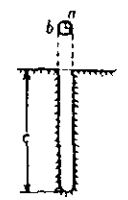


그림 3-5 半橢圓體 電極의 分類圖

이러한 여러가지 형태의 橢圓體 電極에 대한 接地抵抗의 計算式은 표 3-1과 같다. 接地抵抗은 電極의 겉 面積에 크게 의존한다. 임의의 모양을 가진 電極의 接地抵抗은 간단한 計算법을 사용하여 구할 수 있다. 즉, 표 3-1과 같이 理論的인 解析解가 있는 電極과 等價表面積置換法을 사용하여 구한다. 예를 들면, 正四角形板은 圓板으로, 直四角形板은 橢圓板으로, 立方體는 半球로, 直六面體는 半橢圓體로 각각 바꿔 놓으면 概略的인 값을 표 3-1의 公式을 이용하여 計算할 수 있다.

表 3-1 半橢圓體 電極系의 接地抵抗 計算式

電 極 形 狀 (a, b, c 의 大小關係)	接 地 抵 抗 算 定 式
半橢圓體 $c < b < a$ 	$R = \frac{\rho}{2\pi\sqrt{a^2 - c^2}} \int_0^{\phi_0} \frac{d\phi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \phi}}$ $k = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2 - c^2}}, \quad \phi_0 = \sin^{-1} \sqrt{1 - \left(\frac{c}{a}\right)^2}$ (長軸 = a , 短軸 = b , 깊이 = c)
扁平回轉橢圓體 $a = b > c$ 	$R = \frac{\rho}{2\pi r} \sin^{-1} K$ $K = \sqrt{1 - \left(\frac{l}{r}\right)^2}$ (半徑 (a) = r , 깊이 (c) = l)
扁平回轉橢圓體 $a = b < c$ 	$R = \frac{\rho}{4\pi l T} \ln \frac{1 + T}{1 - T}$ $T = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2}$ (半徑 (a) = r , 깊이 (c) = l)
半 球 $a = b = c$ 	$R = \frac{\rho}{2\pi r}$ (半徑 (a) = r)
圓 板 $a = b \gg c$ 	$R = \frac{\rho}{4r}$ (半徑 (a) = r)
橢圓板 $a \approx b \gg c$ 	$R = \frac{\rho}{2\pi a} \int_0^{\pi/2} \frac{d\phi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \phi}}$ $k = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$ (長軸 = a , 短軸 = b)
棒 型 $a = b \ll c$ 	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r}$ (半徑 (a) = r , 길이 (c) = l)

(1) 棒型電極의 接地低抗

棒型電極은 半徑 r 에 比하여 길이 l 이 훨씬 큰, 막대모양의 電極을 일컫는다. 이 棒型電極은 打入한 경우와 地表面 아래에 埋設한 경우로 두가지로 나눠 생각할 수 있다.

그림 3-7과 같이 埋設한 것은 電極으로부터 생기는 電位傾度를 緩和시키는 效果가 있다.

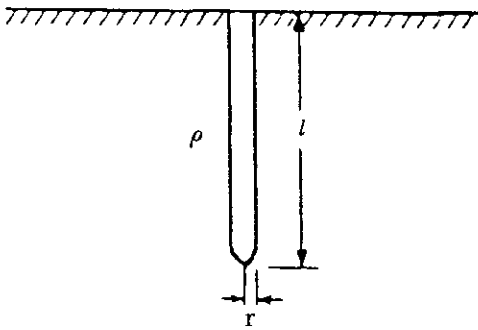


그림 3-6 打入된 棒型電極

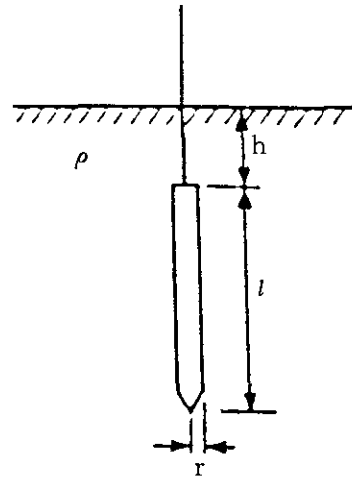


그림 3-7 埋設된 棒型電極

棒型電極의 接地抵抗을 계산하는 式중 代表的인 것으로 다음 네가지 式을 들 수 있다.

① Tagg & Ollendorff 計算式

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r} \quad (3-4)$$

② Sunde & Dwight 計算式

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{r} - 1 \right) \quad (3-4)$$

③ 木曾 計算式

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \frac{l}{r} + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1.5 l + 2h}{0.5 l + 2h} \right) \right] \quad (3-6)$$

④ 馬淵·高木 計算式

$$R_4 = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \left(\frac{2l-r}{r} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1.5 l + 2h}{0.5 l + 2h} \right) \right] \quad (3-7)$$

여기서, ρ = 大地의 抵抗率 [Ω -m]

l = 電極의 길이 [m]

r = 電極의 半徑 [m]

h = 電極의 埋設깊이 [m]

(2) 線모양 電極의 接地抵抗

線모양 전극은 棒型電極을 그림 3-8과 같이 地表面 아래에 水平으로 埋設한 것으로서 埋設地線이라고도 한다. 이 地線電極의 接地抵抗은 大地抵抗率 ρ [Ω -m], 線의 길이 l [m] 및 半徑 r [m]은 물론이고 埋設깊이 h [m]에도 크게 依存한다.

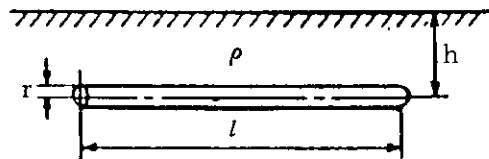


그림 3-8 線모양 電極(埋設地線)

$h < l$, $r < l$ 의 條件을 滿足할 때 이 地線電極의 接地抵抗은 다음 式들중의 하나를 이용하여 계산이 가능하다.

① Rüdenberg & Zingraff 計算式

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l}{r} \left[1 + \frac{\ln l/2h}{\ln l/r} \right] \quad (3-8)$$

② Tagg & Dwight 計算式

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \frac{2l}{r} + \ln \frac{l}{h} - 2 + \frac{2h}{l} - \frac{h^2}{l^2} + \frac{h^4}{8l^2} \right] \quad (3-9)$$

③ Sunde & Schwarz 計算式

$$R_3 = \frac{\rho}{\pi l} \left[\ln \frac{2l}{\sqrt{2rh}} - 1 \right] \quad (3-10)$$

(3) 環狀電極의 接地抵抗

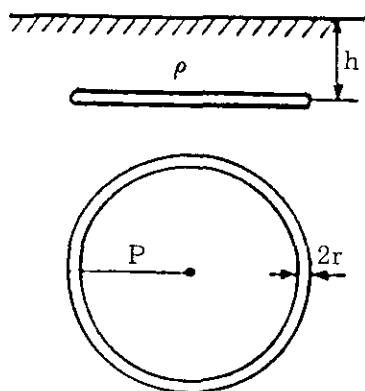


그림 3-9 環狀電極

環狀電極은 그림 3-9와 같이 線모양 電極을 둥근 고리모양으로 埋設한 것으로서 歐美 各國에서 많이 사용하고 있다. 地表面 아래 $h(m)$ 에 埋設되고 線의 굵기 (斷面의 반지름 $r(m)$ 로 나타냄)와 環의 半徑 P 가 주어질 때, 이 電極의 接地抵抗은 다음 세 式중의 하나를 사용하여 계산할 수 있다. 여기서 조건은 $h < 2\pi P$, $r \ll 2\pi P$ 를 만족시켜야 한다.

① Sunde 計算式

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi^2 P} \ln \frac{8P}{\sqrt{2rh}} \quad (3-11)$$

② Rudenberg 計算式

$$R_2 = \frac{\rho}{4\pi^2 P} \ln \frac{8P}{r} \quad (3-12)$$

③ Zingraff 計算式

$$R_3 = \frac{\rho}{4\pi^2 P} \ln \frac{8P}{r} \left[1 + \frac{\ln(4P/h)}{\ln(8P/r)} \right] \quad (3-13)$$

(4) 띠(帶)모양 電極의 接地抵抗

띠(帶)모양 電極은 그림 3-10와 같은 형상으로서 띠의 폭을 $a(m)$, 두께를 b

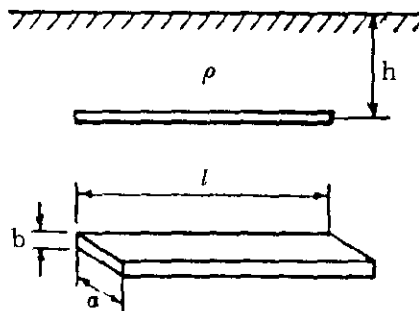


그림 3-10 띠모양 電極

라고 하고 埋設깊이를 h [m]라고 할 때, 보통 b 는 a 의 $1/8$ 이하이고 $a \ll l$, $b \ll l$, $h \ll l$ 의 조건을 만족한다.

띠모양 電極의 接地抵抗의 計算式으로는 다음 두식이 사용된다.

① Tagg & Dwight 計算式

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \frac{2l}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{l}{h} - 1 + \frac{2h}{l} - \frac{h^2}{l^2} + \frac{h^4}{8l^4} \right] \quad (3-14)$$

② Rudenberg 計算式

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{a} \quad (3-15)$$

(5) 板狀電極의 接地抵抗

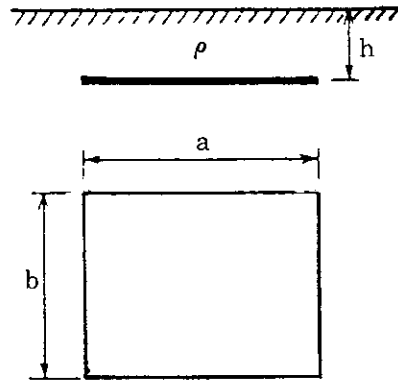


그림 3-11 板狀電極

板狀電極은 그림 3-11과 같은 모양으로 가로 a [m], 세로 b [m]의 比에 따라 正四角形 또는 直四角形이 되고 板의 두께는 무시할 수 있을 정도로 작다.

板狀電極의 接地抵抗 計算式으로는 가로와 세로의 비 a/b 와 埋設깊이 h [m]를 考慮한 McCrocklin式과 埋設깊이를 고려치 않고 同一面積의 圓板電極으로 置換하여

計算한 Tagg式이 있다.

① McCrocklin 計算式

$$R_1 = \frac{0.1\rho K_1}{b} \quad (3-16)$$

② Tagg 計算式

$$R_2 = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{ab}} \quad (3-17)$$

① 式에서 K_1 은 a , b 및 h 에 의하여 決定되는 常數로서 그림 3-12에서 구할 수 있다.

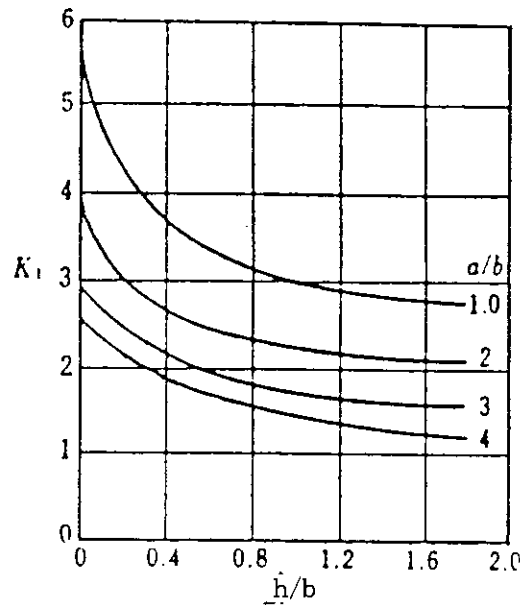


그림 3-12 McCrocklin의 系数

(6) 網狀 (Mesh) 電極의 接地抵抗

Mesh 전극은 그림 3-13과 같이 導體線의 網으로 이루어진 전극이다. 이 전극의 접지저항은 상황에 따라 다음과 같은 세가지 계산식 중에서 선택하여 계산할 수 있다.

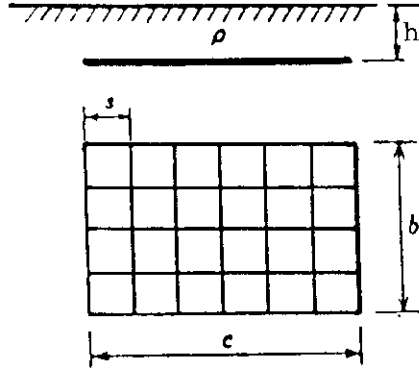


그림 3-13 網狀 (Mesh) 電極

① Laurent & Niemann 計算式

$$R_1 = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L} \quad (3-18)$$

여기서, A = 接地網 (Ground Grid) 의全體面積 (m²)

L = 埋設된 導體의全體길이 (m)

식 (3-18) 에서 둘째항은 導體의 數가 增加되면 L이 커져 減少하다가 極限값으로 導體數가 無限大로 늘어나면 $L \rightarrow \infty$ 이 되어 消滅된다. 이 경우는 Mesh가 金屬板의 상태로 된 경우로서 첫식은 圓板電極, 橢圓板電極 또는 板狀電極의 計算式과 일치한다. 첫식은 Mesh의 埋設깊이가 0.25m 이하일 때는 비교적 正確하게 사용될 수 있다.

② Severak 計算式

$$R_2 = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h} \sqrt{\frac{20}{A}} \right) \right] \quad (3-19)$$

③ Schwarz 계산식

$$R_3 = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{h^1} + K_1 \frac{L}{\sqrt{A}} - K_2 \right) \quad (3-20)$$

여기서, L = 電極 (Grid) 導體의 總길이 [m]

A = Grid 電極의 全體面積, a·b [m²]

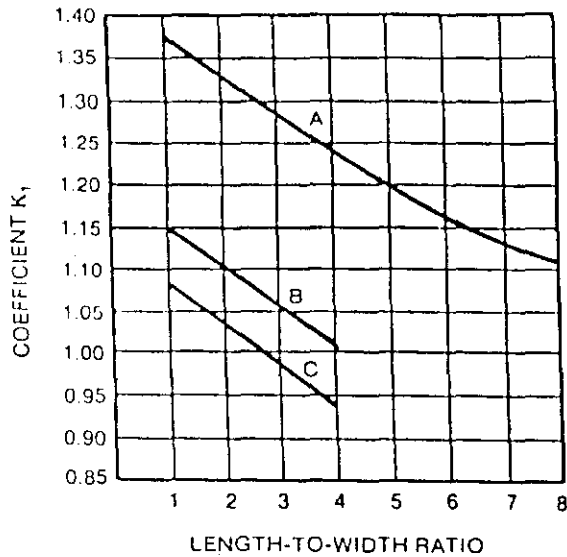
h = Grid 電極의 埋設깊이 [m]

$h^1 = \begin{cases} \sqrt{2rh} , & \text{Grid의 埋設깊이가 h일 때} \\ r, & \text{Grid가 大地表面 (h=0)에 있을 때} \end{cases}$

r = Grid 構成導體의 半徑 [m]

K₁, K₂ = Grid 電極의 길이, 가로, 세로, 埋設깊이 등에 따라 決定되는 常數로서 그림 3-14에서 구할 수 있다.

上記 ②의 Severak 計算式과 ③의 Schwarz 計算式은 埋設깊이가 0.25m 以上 2.5m 以下일 때에 주로 사용된다.



Curve A - For Depth $h = 0$

$$y_A = -0.04x + 1.41$$

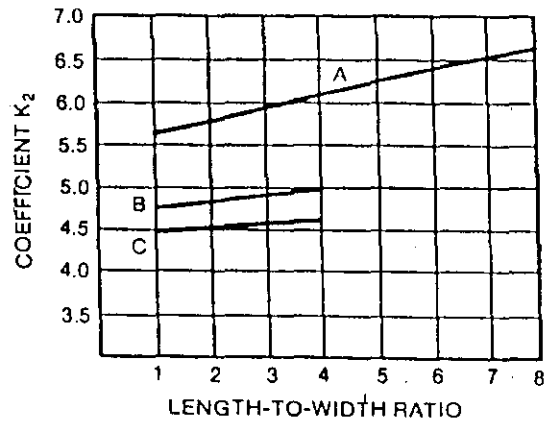
Curve B - For Depth $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$

$$y_B = -0.05x + 1.20$$

Curve C - For Depth $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$

$$y_C = -0.05x + 1.13$$

(a) 常數 K_1



Curve A - For Depth $h = 0$

$$y_A = 0.15x + 5.50$$

Curve B - For Depth $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$

$$y_B = 0.10x + 4.68$$

Curve C - For Depth $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$

$$y_C = -0.05x + 4.40$$

(b) 常數 K_2

그림 3-14 Schwarz 計算式의 常數 K_1 및 K_2

4. 複合 接地電極의 設計

單一 接地電極으로 원하는 낮은 接地抵抗을 얻기가 힘들 때는 여러 개의 동일한 모양 또는 상이한 모양의 電極을 결합하여 複合 接地電極을 만들 수 있다. 이 章에서는 여러 형태의 複合 接地電極을 설계하는 방법을 考察하여 보고자 한다.

가. 棒型電極의 竝列接地

竝列接地란 동일한 形狀의 여러 전극들을 적절한 배열형태로 埋設하여 이들을 竝列로 연결하여 構成하는 複合 接地電極에 의한 接地方式을 말한다. 여기에 사용되는 電極으로는 보통 棒型, 板狀, 線모양 電極들이 있으며, 이중에서도 棒型電極이 施工의 便宜上 가장 많이 사용된다.

棒型電極의 竝列接地는 소요되는 接地抵抗의 크기, 大地의 構造 特性, 大地의 形態 (面積 등)에 따라 接地方法을 設計하여야 한다. 한 例로 大地의 下層部로 갈수록 大地抵抗率이 커질 경우 많은 수의 짧은 棒型電極들을 낮게 埋設하고 반대로 下層部の 抵抗率이 낮을 경우는 적은 수의 길이가 긴 棒型電極을 竝列로 埋設하여 원하는 낮은 接地抵抗을 얻을 수 있다.

抵抗값이 $R [\Omega]$ 인 抵抗素子 n 개를 竝列로 接續하면 $R/n [\Omega]$ 의 저항을 얻는다. 마찬가지로 理論으로 1개의 接地抵抗이 $R_g [\Omega]$ 인 棒型電極 n 개를 충분한 간격으로 떼어서 埋設하면 理論적으로 $R_g/n [\Omega]$ 의 接地抵抗을 얻을 수 있다. 그러나 接地抵抗은 앞에서 살펴본 대로 大地의 토양 抵抗率에 큰 影響을 받고 電極을 충분한 간격으로 떼어 놓기는 사실상 불가능하여 전극이 근접하고 있을 때는 같은 大地를 공유하게 된다. 따라서 大地로 유출하는 接地電流의 影響을 받아 단순한 抵抗素子들의 竝列接地와는 성격이 달라지게 되어 竝列 接地電極의 合成 抵抗은 다음과 같은 식으로

구하여야 한다.

$$R_c = \eta \frac{R_g}{n} \quad (4-1)$$

여기서, R_c = 竝列 接地電極의 合成 接地抵抗

R_g = 單一 接地電極의 接地抵抗

n = 接地電極의 數

η = 集合係數

竝列接地의 특성을 나타내는 集合係數 η 의 성질을 알아보기 위하여 그림 4-1과 같은 2개의 半球型電極의 竝列接地를 생각해 보자.

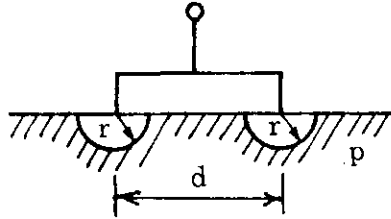


그림 4-1 半球型電極의 竝列接地

각 電極에 電荷 Q 가 있다고 했을 때 電極간 電位 V 는 다음과 같다.

$$V = \frac{Q}{r} + \frac{Q}{d} = \frac{Q}{r} \left(1 + \frac{r}{d} \right) \quad (4-2)$$

여기서 $\frac{r}{d} = \alpha$ 라 놓고 全體 電荷를 $2Q$ 라고 하면 靜電容量 C 는

$$C = \frac{2Q}{V} = \frac{2r}{1+\alpha} \quad (4-3)$$

따라서 靜電容量과 接地抵抗의 關係式으로부터, 2개 電極의 合成抵抗 R_c 는

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi C} = \frac{\rho}{4\pi r} (1+\alpha) \quad (4-4)$$

한편 電極 1개의 接地抵抗 R_g 는

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (4-5)$$

식 (4-4) 및 (4-5) 를 식 (4-1) 에 대입하면 ($n=2$) ,

$$\frac{\rho}{4\pi r}(1+\alpha) = \eta \frac{\rho}{4\pi r}$$

따라서

$$\eta = 1+\alpha \quad (4-6)$$

즉, η 는 α 의 함수이고 $\alpha = \frac{r}{d}$ 이므로 다음과 같은 성질을 알 수 있다.

- ① 電極間隔 d 가 좁을수록 η 는 커진다.
- ② η 는 항상 1보다 크다. ($\eta > 1$)
- ③ 電極間隔 d 가 클수록 η 는 1에 근접한다.

d 가 작다는 것은 接地電流의 地中通路가 좁아져서 接地抵抗이 커진다는 것을 의미하는바, 식 (4-4) 에서 α 가 커져 R_c 가 커지는 사실과 부합된다. 한편, d 가 충분히 크면 電極 주위의 土壤이 각각 독립적인 것으로 간주될 수 있어 $\alpha \rightarrow 0$ 또는 $\eta \rightarrow 1$ 이 되어

식 (4-1) 에서 $R_c \rightarrow \frac{R_g}{n}$ 가 되어 이론상의 竝列 接地抵抗과 같아지게 된다.

실제에 있어서는 敷地面積이 제한되어 있어 이와같이 d 를 크게 하기는 불가능하며 제한된 敷地面積내에서 전극의 배열을 적절히 설계하여 최소의 集合係數 η 를 얻을 수 있도록 해야한다. 棒型接地電極群을 埋設하는 形狀 (電極의 寸數, 離隔距離)에 따라 集合係數를 구한 후, 이 集合係數를 식 (4-1) 에 代入하여 合成抵抗을 구할 수 있다.

棒型電極을 半球型電極의 等價半徑으로 환산하는 방법은 다음과 같다. 우선, 棒型電極의 接地抵抗은

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r_0} \quad (4-7)$$

여기서, ρ = 大地抵抗率, l = 棒型電極의 박힌 깊이, r = 棒型電極의 半徑.

그리고, 半球型電極의 接地抵抗은

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (4-8)$$

식 (4-7) 과 (4-8) 을 같게 하면,

$$r = \frac{l}{\ln \frac{2l}{r_0}} \quad (4-9)$$

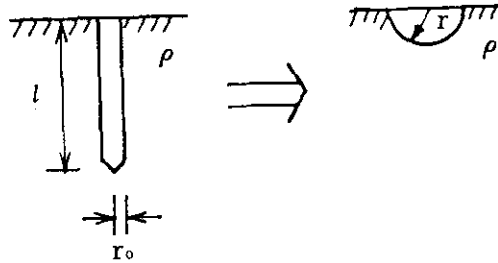


그림 4-2 棒型電極의 半球型電極으로의 等價置換

(1) 直線配列

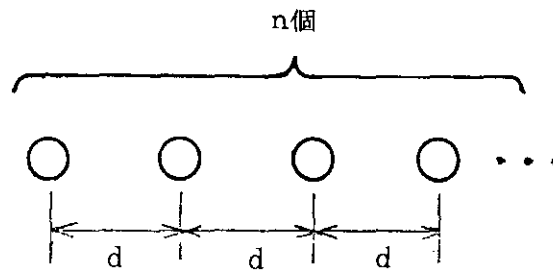


그림 4-3 棒型電極의 直線配列 (電極의 等價半徑r)

直線配列은 그림 4-3처럼 棒型接地電極 n 개를 d (m)의 間隔으로 일직선으로 配列한 것을 말한다.

電極의 個數에 따라 2, 3, 4 極의 경우의 集合係數는 다음과 같다. 여기서 $\alpha = r/d$ 를 나타낸다.

(1) 2個 電極의 경우

$$\eta = 1 + \alpha \quad (4-10)$$

(2) 3個 電極의 경우

$$\eta = \frac{3(3\alpha^2 - \alpha - 2)}{7\alpha - 6} \quad (4-11)$$

표 4-1 直線配列의 集合係數

1/ α	電 極 個 數								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1,500	1,800	2,036	2,225	2,385	2,523	2,644	2,752	2,850
3	1,333	1,545	1,705	1,833	1,941	2,033	2,115	2,187	2,252
4	1,250	1,412	1,533	1,630	1,711	1,781	1,842	1,896	1,946
5	1,200	1,330	1,428	1,506	1,571	1,627	1,720	1,759	1,759
6	1,167	1,276	1,358	1,423	1,477	1,524	1,565	1,602	1,635
7	1,143	1,237	1,307	1,363	1,410	1,450	1,485	1,517	1,545
8	1,125	1,207	1,269	1,318	1,359	1,394	1,425	1,453	1,477
9	1,111	1,184	1,239	1,283	1,320	1,351	1,378	1,403	1,425
10	1,100	1,166	1,215	1,255	1,288	1,316	1,341	1,363	1,383

(3) 4個 電極의 경우

$$\eta = \frac{12 + 16\alpha - 23\alpha^2}{12 - 10\alpha} \quad (4-12)$$

이들 식에서 電極間隔 d 를 r 의 배수 즉 $1/\alpha$ 의 값을 2 ~ 10까지로 하여 集合係數 η 의 변화를 나타내면 표 4-1과 같다. 間隔 d 가 커질수록 η 는 1에 가깝게 접근한다.

표 4-1의 集合係數값 η 를 사용하여 電極의 個數 n 과 電極 1개의 接地抵抗 R 을 알면 合成接地抵抗 R_c 를 식(4-1)과 같이 계산할 수 있다.

〔計算例〕 合成抵抗의 設計目標值(R_c)가 10Ω 이 되도록 하기 위하여, 電極 1個의 抵抗(R)이 70Ω , 電極 個數(n)가 10인 경우, 電極 配列의 間隔(d)을 얼마로 하면 되는가?

〔解〕 식 (4-1)로부터

$$\eta = R_c \frac{n}{R} \quad (4-13)$$

이 식에 주어진 數值를 대입하면 $\eta = 1.428$ 을 얻는다. 표 4-1에서 $n=10$ 列의 $\eta = 1.428$ 이 되는 곳의 $1/\alpha (= d/r)$ 는 대략 9이다. 따라서, 電極間隔 d 를 等價半徑 r 의 약 9배로 하면 된다.

(2) 中空 四角形 配列

中空四角形 配列은 그림 4-4와 같이 4組의 直線配列을 四角形 모양으로 埋設한 것을 말한다. 한변의 電極의 個數에 따라 여러가지 형태를 생각할 수 있다.

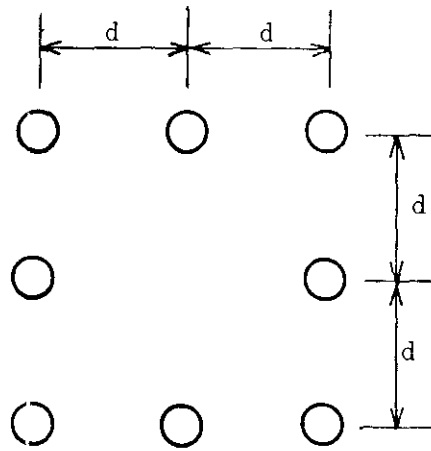


그림 4-4 中空 四角形 配列

여러가지 配列形態와 이에 따른 集合係數의 計算式은 표 4-2와 같다. 여기서 $\alpha = r/d$ 이다.

표 4-2 中空4角形 配列의 集合係數 計算式

配列모양	總電極數	集合係數 計算式
	4	$\eta = 1 + 2.71\alpha$
	8	$\eta = 1 + 4.26\alpha$
	12	$\eta = 1 + 5.39\alpha$
	16	$\eta = 1 + 6.01\alpha$
	20	$\eta = 1 + 6.46\alpha$
	24	$\eta = 1 + 6.84\alpha$
	28	$\eta = 1 + 7.15\alpha$
	32	$\eta = 1 + 7.42\alpha$
	36	$\eta = 1 + 7.66\alpha$

$1/\alpha$ 의 값을 2에서 10까지 변화시킬 때 η 의 변화는 표 4-3와 같다.

표 4-3 中空4角形 配列의 集合係數

1/α	一 邊 의 電 極 個 數 (個)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2.355	3.130	3.695	4.005	4.230	4.420	4.575	4.710	4.830
3	1.903	2.420	2.797	3.003	3.153	3.280	3.383	3.473	3.553
4	1.678	2.065	2.348	2.503	2.615	2.710	2.788	2.855	2.915
5	1.542	1.852	2.078	2.202	2.292	2.368	2.430	2.484	2.532
6	1.452	1.710	1.898	2.002	2.077	2.140	2.192	2.237	2.277
7	1.387	1.609	1.770	1.859	1.923	1.977	2.021	2.060	2.094
8	1.339	1.533	1.674	1.751	1.808	1.855	1.894	1.928	1.958
9	1.301	1.473	1.599	1.668	1.718	1.760	1.794	1.824	1.851
10	1.271	1.426	1.539	1.601	1.646	1.684	1.715	1.742	1.766

中空4角形 配列은 直線配列에 비해 같은 電極數, 같은 離隔距離에서 集合係수가 약간 높게 되어 있으나, 비교적 좁은 面積을 유효하게 쓸 수 있는 長點이 있다.

〔計算例〕 合成抵抗의 設計目標值(Rc)가 10Ω이 되도록 하기 위하여, 電極 1個의 抵抗(R)이 70Ω, 電極 個數(n)가 12인 中空 4角形 配列에 있어서 電極 間隔을 얼마로 하면 되는가?

〔解〕 식 (4-1)로부터

$$\eta = R_c \frac{n}{R}$$

이 식에 주어진 數値를 대입하면 $\eta = 1.714$ 를 얻는다. 표 4-3에서 한번의 電極數가 4인 列의 $\eta = 1.714$ 에 근접하는 곳의 $1/\alpha$ ($= d/r$)은 대략 7.6이다. 따라서, 電極間隔 d 를 等價半徑 r 의 약 7.6배로 하면 된다.

(3) 中實 四角形 配列

中實四角形 配列은 그림 4-5와 같이 四角形의 邊뿐만 아니라, 가운데 부분에도 電極을 配列한 형태를 말한다. 一邊의 電極數가 n 일 때 中實四角形 配列의 總電極數는 n^2 個가 되고, (2) 에서와 같은 방법으로 配列形狀과 集合係數의 計算式을 정리하면 표 4-5와 같다.

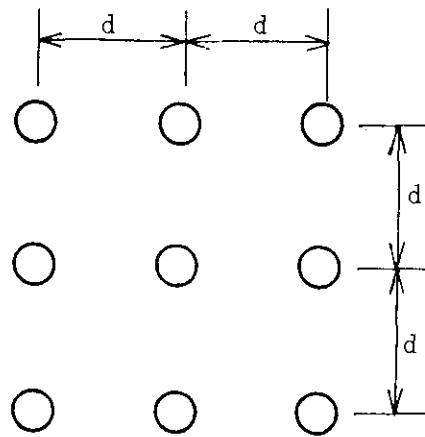
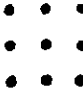
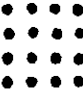
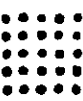
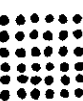
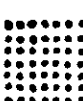
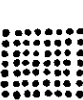


그림 4-5 中實 四角形 配列

표 4-5 中實4角形 配列의 集合係數 計算式

配列모양	總電極數	集合係數 計算式
	9	$\eta = 1 + 5.89\alpha$
	16	$\eta = 1 + 8.55\alpha$
	25	$\eta = 1 + 11.44\alpha$
	36	$\eta = 1 + 14.07\alpha$
	49	$\eta = 1 + 16.89\alpha$
	64	$\eta = 1 + 19.50\alpha$
	81	$\eta = 1 + 22.31\alpha$
	100	$\eta = 1 + 24.96\alpha$

$1/\alpha$ 의 값을 2에서 10까지 변화시켜 電極間隔과 一邊의 電極數의 變化에 따른 η 의 변화는 표 4-5와 같다.

표 4-5 中實4角形 配列의 集合係數(η)

$1/\alpha$	一 邊 의 電 極 數 (個)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2,354	3,612	4,924	6,238	7,562	8,890	10,222	11,558	12,897
3	1,902	2,791	3,695	4,581	5,479	6,379	7,280	8,181	9,833
4	1,677	2,357	3,038	3,720	4,402	5,084	5,767	6,449	7,131
5	1,541	2,091	2,642	3,193	3,744	4,294	4,844	5,394	5,944
6	1,451	1,912	2,374	2,837	3,300	3,761	4,223	4,684	5,144
7	1,387	1,783	2,182	2,581	2,979	3,378	3,775	4,172	4,569
8	1,333	1,636	2,037	2,387	2,738	3,088	3,437	3,786	4,135
9	1,301	1,611	1,923	2,236	2,549	2,861	3,173	3,484	3,795
10	1,271	1,350	1,832	2,115	2,397	2,679	2,960	3,242	3,522

(2)의 中空四角形 配列에 비해 集合係數가 커지고 같은 電極間隔으로 中空, 中實의 경우를 비교해 보면 中實쪽이 電極數가 많은데도 불구하고 接地抵抗이 약간 減少할 뿐 기대하는 만큼 抵抗값은 내려가지 않는다.

(4) 環狀 配列

環狀配列은 그림 4-6과 같이 n 個의 接地電極을 半徑이 R 인 원주상에 配列하는 것을 말한다.

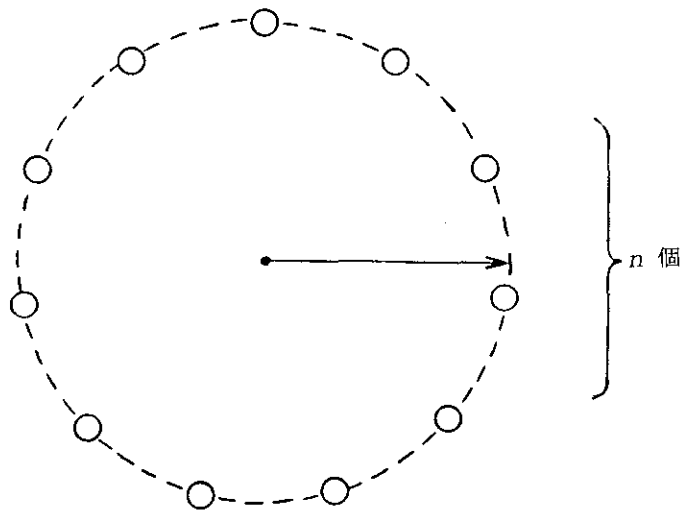


그림 4-6 接地電極의 環狀配列

표 4-6 環狀配列의 集合係數 計算式

配列모양	總電極數	集合係數 計算式
	4	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \operatorname{cosec} \frac{\pi}{4}$
	6	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{i=1}^2 \operatorname{cosec} \frac{i\pi}{6}$
	8	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{i=1}^3 \operatorname{cosec} \frac{i\pi}{8}$
	10	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{i=1}^4 \operatorname{cosec} \frac{i\pi}{10}$
	12	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{i=1}^5 \operatorname{cosec} \frac{i\pi}{12}$
	14	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{i=1}^6 \operatorname{cosec} \frac{i\pi}{14}$
	16	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{i=1}^7 \operatorname{cosec} \frac{i\pi}{16}$
	18	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{i=1}^8 \operatorname{cosec} \frac{i\pi}{18}$
	20	$\eta = 1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{i=1}^9 \operatorname{cosec} \frac{i\pi}{20}$

電極數에 따라 조금씩 차이가 나는 配列모양에 대한 集合係數의 計算式은 표 4-6과 같다. 여기서 $\alpha = r/R$ 이다.

$1/\alpha$ 의 값을 5, 10, 15 및 20으로 할 때, η 의 값을 계산하면 표 4-7과 같다. 같은 電極數라도 원의 半徑이 커지면 集合係數가 작아짐을 알 수 있다.

표 4-7 環狀配列의 集合係數

고리의 半徑 $1/\alpha$	電 極 個 數 (個)								
	4	6	8	10	12	14	16	18	20
5	1.09494	1.18127	1.27824	1.38315	1.49441	1.61094	1.73199	1.85699	1.98550
10	1.04747	1.09064	1.13912	1.19158	1.24720	1.30547	1.36599	1.42850	1.49275
15	1.03165	1.06042	1.09275	1.12772	1.16480	1.20365	1.24400	1.28566	1.32850
20	1.02374	1.04532	1.06956	1.09579	1.12360	1.15273	1.18300	1.21425	1.24638

〔計算例〕 電極 한 個의 抵抗(R_1)이 70Ω , 電極 個數(n)가 8인 環狀 配列에 있어서, 合成抵抗의 設計目標值(R_c)가 10Ω 이 되도록 하기 위한 圓의 半徑, R 을 求하라.

〔解〕 식 (4-1)로부터

$$\eta = R_c \frac{n}{R_1} = 10 \times \frac{8}{70} = 1.143$$

표 4-7에서 電極數 $n = 4$ 인 列에서 $\eta = 1.143$ 에 근접하는 곳의 $1/\alpha$ ($= d/r$)는 대략 10이다. 따라서,

$$R = \frac{r}{\alpha} = 10r$$

接地工事を 하는 場所의 地形上 위에서 취급한 配列중 어느 것에도 속하지 않는 埋設 形態가 있을 수 있다. 이러한 경우, 集合係數 η 를 계산하는 것은 매우 어려우므로 위의 配列形態중에서 유사한 것을 참고하여 개략적인 설계를 한 후 施工過程에서 實測에 의한 確認을 하여야 한다.

나. 線모양 電極의 重疊接地工法

여러개의 棒型電極을 竝列로 접속하여 것을 竝列接地라고 하는 것에 대하여 여러개의 線모양 전극을 접속시켜 施工하는 接地를 重疊接地라고 한다. 도시부근에서 布設面積이 狹小한 때에는 棒型電極의 竝列接地와 같은 深打 接地工法이 널리 사용되나, 郊外나 山間地方에서 면적은 넓으나 地中에 岩石이나 岩盤層이 있을 경우 重疊接地工法이 흔히 사용된다.

(1) 集合係數와 接地抵抗 計算式

複合接地抵抗을 계산하는데 있어, 重疊接地도 竝列接地와 마찬가지로 集合係數를 考慮하여야 한다.

먼저 直線인 埋設地線 1個의 接地抵抗을 R 이라고 하고 各種 모양의 複合 接地抵抗을 R_c 라고 하자. 다음에 線의 組合數를 n 이라고 하는데, 예를 들면 直線의 경우 $n=1$, 直角이면 $n=2$, 4 方向이면 $n=4$, 8 方向이면 $n=8$ 등으로 한다. 이 경우 複合接地抵抗 R_c 는 다음과 같이 계산한다.

$$R_c = \lambda \frac{R}{n} \quad (4-14)$$

여기서 λ 는 埋設地線의 集合係數이다.

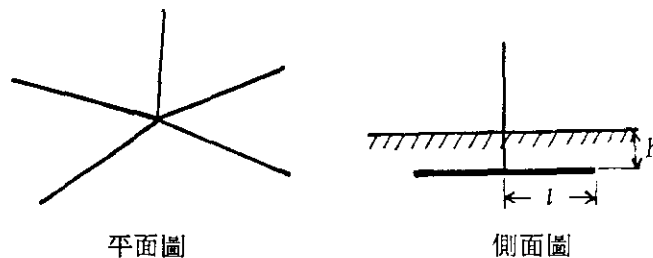


그림 4-7 線모양 電極의 重疊接地

埋設地線の 形狀에 따른 複合接地抵抗의 計算式은 表 4-8에 나와 있다. 이 式들은 H.B. Dwight가 고안한 式으로서 l 은 1邊의 길이이고 r 은 埋設地線の 半徑, h 는 埋設깊이를 나타낸다.

표 4-8 各種 모양의 複合 接地抵抗 計算式

電 極 形 狀		接 地 抵 抗 算 定 式
直接		$\frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{r} + \ln \frac{l}{h} - 2 + \frac{2h}{l} - \frac{h^2}{l^2} + \frac{h^4}{8l^4} \right)$
直角		$\frac{\rho}{4\pi l} \left(\ln \frac{2l}{r} + \ln \frac{l}{h} - 0.2373 + 0.4292 \frac{h}{l} + 0.4140 \frac{h^2}{l^2} - 0.6784 \frac{h^4}{l^4} \right)$
3本足		$\frac{\rho}{6\pi l} \left(\ln \frac{2l}{r} + \ln \frac{l}{h} + 1.071 - 0.418 \frac{h}{l} + 0.952 \frac{h^2}{l^2} - 0.864 \frac{h^4}{l^4} \right)$
4本足		$\frac{\rho}{8\pi l} \left(\ln \frac{2l}{r} + \ln \frac{l}{h} + 2.912 - 2.142 \frac{h}{l} + 2.580 \frac{h^2}{l^2} - 2.320 \frac{h^4}{l^4} \right)$
6本足		$\frac{\rho}{12\pi l} \left(\ln \frac{2l}{r} + \ln \frac{l}{h} + 6.851 - 6.256 \frac{h}{l} + 7.032 \frac{h^2}{l^2} - 7.84 \frac{h^4}{l^4} \right)$
8本足		$\frac{\rho}{16\pi l} \left(\ln \frac{2l}{r} + \ln \frac{l}{h} + 10.98 - 11.02 \frac{h}{l} + 13.04 \frac{h^2}{l^2} - 18.72 \frac{h^4}{l^4} \right)$

표 4-8의 計算式을 이용하여 埋設地線の 길이와 형상에 따른 接地抵抗을 계산한 결과는 표 4-9와 같다.

표4-9 埋設地線の 接地抵抗

길이 l (m)	接 地 抵 抗 値 (Ω)					
	直 線	直 角	3方向	4方向	6方向	8方向
1	92,296	56,338	42,904	37,331	31,917	29,048
2	54,646	33,107	25,067	21,797	18,732	17,303
3	40,027	24,095	18,154	15,734	13,472	12,420
4	32,025	19,171	14,387	12,432	10,604	9,756
5	26,899	16,027	11,988	10,332	8,783	8,064
6	23,302	13,828	10,316	8,870	7,517	6,889
7	20,624	12,196	9,079	7,790	6,583	6,023
8	18,554	10,933	8,123	6,957	5,865	5,357
9	16,877	9,924	7,360	6,294	5,294	4,828
10	15,508	9,097	6,737	5,753	4,828	4,398
11	14,362	8,406	6,217	5,302	4,441	4,041
12	13,386	7,820	5,777	4,920	4,115	3,739
13	12,545	7,316	5,398	4,592	3,834	3,481
14	11,811	6,877	5,069	4,308	3,592	3,257
15	11,165	6,491	4,780	4,059	3,379	3,062
16	10,592	6,149	4,524	3,838	3,191	2,889
17	10,079	5,844	4,296	3,642	3,024	2,735
18	9,617	5,569	4,092	3,465	2,874	2,598
19	9,199	5,321	3,907	3,306	2,739	2,474
20	8,819	5,096	3,739	3,162	2,617	2,362

또한, 埋設地線の 모양과 길이별로 계산한 集合係數는 표 4-10과 같다.

표 4-10 埋設地線의 集合係數

길이 l (m)	集 合 係 數				
	直 角	3方向	4方向	6方向	8 方
1	1.221	1.395	1.618	2.075	2.518
2	1.212	1.376	1.595	2.057	2.533
3	1.204	1.361	1.572	2.019	2.482
4	1.197	1.348	1.553	1.987	2.437
5	1.192	1.337	1.536	1.959	2.398
6	1.187	1.328	1.523	1.936	2.365
7	1.183	1.321	1.511	1.915	2.336
8	1.179	1.314	1.501	1.898	2.311
9	1.176	1.308	1.492	1.882	2.289
10	1.173	1.303	1.484	1.868	2.269
11	1.171	1.299	1.477	1.856	2.251
12	1.168	1.295	1.470	1.844	2.235
13	1.166	1.291	1.464	1.834	2.220
14	1.164	1.288	1.459	1.825	2.206
15	1.163	1.284	1.454	1.816	2.194
16	1.161	1.281	1.449	1.808	2.182
17	1.160	1.279	1.445	1.800	2.171
18	1.158	1.276	1.441	1.793	2.161
19	1.157	1.274	1.438	1.787	2.152
20	1.156	1.272	1.434	1.780	2.143
21	1.154	1.270	1.431	1.775	2.134
22	1.153	1.268	1.428	1.769	2.126
23	1.152	1.266	1.425	1.764	2.119
24	1.151	1.264	1.422	1.759	2.112
25	1.150	1.262	1.419	1.754	2.105
26	1.149	1.261	1.417	1.750	2.098
27	1.149	1.259	1.414	1.746	2.092
28	1.148	1.258	1.412	1.742	2.086
29	1.147	1.257	1.410	1.738	2.080
30	1.146	1.255	1.408	1.734	2.075

같은 길이라도 모양이 복잡해지면 集合係數는 커지고, 地線의 길이가 길어지면 集合係數는 점차 작은 값으로 되는데, 이와 같은 특성은 棒型電極의 竝列接地와 같은 경향이다.

(2) 最適 接地工法

接地工事を 함에 있어서 埋設面積이 제한되어 있거나 埋設地線의 길이가 일정한 경우 등 주어진 條件下에서 最低의 接地抵抗을 얻을 수 있는 工法을 고려하여야 한다.

(가) 埋設地線의 길이와 接地抵抗의 關係

표 4-9에서 埋設地線의 길이 l 에 대한 接地抵抗의 變化 樣相을 살펴보면, 단순한 모양일수록 接地抵抗이 큰데 이는 주로 接地線의 길이의 차이에서 오는 것이다. 埋設地線의 길이가 어느 일정한 크기에 이르면 接地抵抗의 감소가 완만해진다. 즉, 埋設地線을 아주 길게 하더라도 接地抵抗의 低減에는 별로 도움이 되지 않는다.

(나) 埋設地線의 全體 길이가 一定한 경우의 接地抵抗

일정한 길이의 埋設地線이 全長에 걸쳐 균일한 굵기와 재료를 사용했을 경우에 埋設한 모양에 따라 接地抵抗값이 어떻게 차이가 나는지를 살펴보기로 하자. 이를 위하여 어느 특정 장소에서 전체 길이가 100 m, 200 m가 되는 도선을 直線 모양으로부터 8방향 모양으로 변화시켜 埋設하였을 때의 접지저항을 구한 것이 표 4-11에 나와 있다. 여기서 보면, 같은 길이라도 모양이 복잡해지면 접지저항은 높아지는 것

표 4-11 埋設地線의 전체 길이가 一定한 境遇의 接地抵抗〔 Ω 〕

電極 모양	전체 길이 [m]	
	100	200
直 線	2.270	1.245
直 角	2.329	1.275
3方向	2.427	1.308
4方向	2.602	1.413
6方向	3.024	1.671
8方向	3.481	1.929

을 알 수 있다. 그러나 모양이 복잡해진다는 것은 埋設面積이 줄어드는 것을 의미하므로 이것이 곧 단점을 의미하는 것은 아니다.

(다) 埋設地線의 布設面積이 一定한 境遇의 接地抵抗

接地工事의 用地面積을 일정하게 제한할 경우, 埋設地線 전체길이는 埋設모양에 따라 變化하고 따라서 接地抵抗도 달라진다. 토양의 성질이 균일한 어느 특정 장소에서 용지를 정4각형으로 하고, 그 면적을 100m^2 , 400m^2 로 하여 埋設모양을 여러 가지로 변화시켰을 때의 접지저항은 표 4-12과 같이 나타났다.

結果를 살펴 보면, 埋設 모양이 복잡하다고 接地抵抗이 줄어들지는 않는다. 즉, 3

표 4-12 埋設地線 布設面積이 一定한 경우의 接地抵抗〔 Ω 〕

電極의 布設 모양		布設 面積	
		100 m^2	200 m^2
直 線		11.562	6.514
直 角		9.097	5.096
3 方向		11.988	6.737
4 方向		10.332	5.753
6 方向		8.783	4.828
8 方向		8.064	4.398

方向, 4 方向의 布設이 直角모양의 布設보다 오히려 接地抵抗이 크다. 가장 낮은 저항값은 어느정도 推測한 대로 埋設地線의 길이가 가장 긴 8 方向의 布設모양에서 나타난다.

廣大한 用地에 施設하는 경우에는 大地의 抵抗率이 水平方向으로 다를 수가 있으므로 유의할 필요가 있다.

다. 異形電極의 竝用接地 工法

棒型電極은 大地에 박아 넣기만 하면 되기 때문에 모든 電極중에서 가장 施工하기가 쉬우나 낮은 接地抵抗은 얻을 수가 없다. 반면에 線모양 電極이나 網狀電極은 양호한 接地抵抗은 얻을 수 있으나 넓은 面積의 땅을 파고 埋設하여야 하기 때문에 時間과 費用이 많이 든다.

낮은 接地抵抗이 요구되는 大規模의 接地시스템에서는 線모양 電極이나 網狀電極으로 設計 施工하는 경우가 많으나, 그래도 필요한 低接地抵抗을 얻을 수 없을 때는 棒型電極을 竝用하는 일이 있다. 이와 같이 種類가 다른 接地電極을 함께 써서 施工하는 接地方法을 竝用接地工法이라고 하여, 같은 種類의 接地電極으로 구성하는 竝列接地나 重疊接地와 區別한다.

種類가 다른 接地電極을 竝用한 경우 接地抵抗은 간단하게 구해지지 않는다. 合成抵抗을 求하는데 있어 竝列接地와 重疊接地에서는 集合係數의 概念을 사용하는데 대하여 竝用接地에서는 相互抵抗이라는 概念을 도입하고 있다. 相互抵抗이라는 개념을 사용한 計算方法은 美國의 J. Schwarz에 의해 처음으로 導入되었다.

(1) 棒型電極과 網狀 (Mesh) 電極의 竝用接地

(가) 電極의 結合形態와 接地抵抗 計算式

水平 網狀 (Mesh) 電極과 垂直 棒型 (Rod) 電極을 結合한 形態로서 그림 4-8에 보여지고 있다.

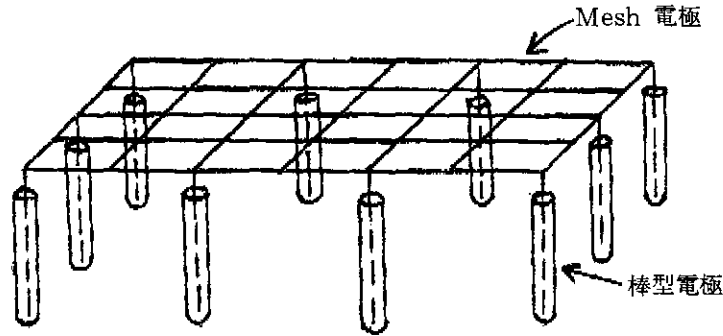


그림 4-8 垂直 棒型電極과 水平 網狀電極의 結合

水平 Mesh 電極에 의한 抵抗 R_1 은 3章 다. (6)節에서 이미 求하였고 (여기서는 3章 다. (6)節 ③의 Schwarz 計算式 사용), 垂直 Rod 電極의 抵抗 R_2 는 Rod 1개에 대한 計算式인 3章 다. (1)節 ②의 Sunde & Dwight 式을 修正하여 求할 수 있다.

水平 Mesh 電極의 抵抗:

$$R_1 = \frac{\rho_1}{\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L_1}{h^1} \right) + K_1 \frac{L_1}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad (4-15)$$

垂直 Rod 電極의 抵抗:

$$R_2 = \frac{\rho_a}{2\pi n L_2} \left[\ln \left(\frac{4L_2}{r_2} \right) - 1 + 2K_1 \left(\frac{L_2}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \quad (4-16)$$

2종류의 電極을 竝用한 경우, 接地抵抗은 相互 電極의 영향을 받는데 이것을 相互 抵抗이라 하며, Mesh 導體와 Rod 導體間의 相互抵抗 R_{12} 는 다음 式으로 구할 수 있다.

$$R_{12} = \frac{\rho_a}{\pi L_1} \left[\ln \left(\frac{2L_1}{L_2} \right) + K_1 \frac{L_1}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \quad (4-17)$$

여기서 K_1, K_2 는 電極의 幾何學的 Parameter와 關係되는 常數로서 3章 다.(6) 節의 그림 3-14에서 求할 수 있고,

ρ_1 = 埋設깊이 h 에 있는 Mesh 導體가 接觸하는 土壤의 抵抗率 [Ω -m]

ρ_2 = 깊이 H 以下の 土壤의 抵抗率 [Ω -m]

ρ_a = 接地棒을 基準으로 한 土壤의 合成 抵抗率 [Ω -m]

H = 上層 土壤의 두께 [m]

L_1 = Mesh 導體의 總길이 [m]

L_2 = 接地棒의 平均길이 [m]

h = Mesh의 埋設깊이 [m]

$h^1 = \begin{cases} \sqrt{2r_1 h} & , \text{Mesh 導體의 埋設깊이가 } h \text{ 일 때} \\ r_1 & , \text{Mesh 導體가 地表面에 있을 때 } (h=0) \end{cases}$

A = Mesh의 面積, $a \cdot b$ [m^2]

n = 接地棒의 個數

r_1 = Mesh 導體의 半徑 [m]

d_2 = 接地棒의 半徑 [m]

a = Mesh 電極의 세로 (짧은쪽) 길이 [m]

b = Mesh 전극의 가로 (긴쪽) 길이 [m].

위의 세 式은 復層構造를 가진 大地環境에 適合하며, 이 경우 上層은 두께가 H 이고 抵抗率이 ρ_1 으로서 垂直導體棒은 傳導性이 더 나은, 抵抗率이 ρ_2 인 下層까지 뻗혀 있게 된다 ($\rho_1 > \rho_2$). 즉, 水平電極網은 抵抗率이 ρ_1 인 上層部에 埋設되나, 垂直接地棒은 일부분은 抵抗率이 ρ_1 인 上層部에, 一部分은 抵抗率이 ρ_2 인 下層部에 묻혀 있게 된다. 接地棒의 抵抗 R_0 와 相互 接地抵抗 R_{12} 를 계산하는데 있어서는 다음과 같이 정의되는 合成抵抗率 ρ_a 를 使用하여야 한다.

$$\rho_a = \frac{l_2 \rho_1 \rho_2}{\rho_2(H-h) + \rho_1(l_2 + h - H)} \quad (4-18)$$

單層 構造일 경우는 물론 $\rho_a = \rho_1 = \rho_2$ 이다.

위에서 구한 R_1 , R_2 및 R_{12} 의 값으로부터 水平 Mesh와 垂直 Rod들로 된 複合電極의 合成 接地抵抗 R_g 는 다음과 같이 구하여진다.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}} \quad (4-19)$$

(나) 接地抵抗 計算例

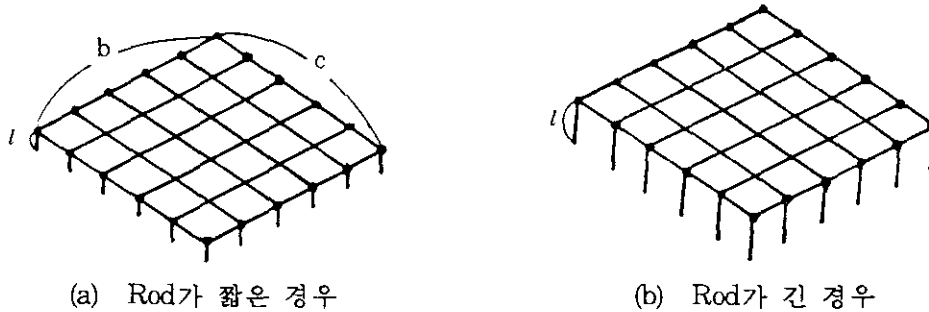


그림 4-9 棒型電極과 Mesh電極의 竝用接地 布設 狀況

그림 4-9와 같은 Mesh 電極과 그 안에 임의로 배치한 Rod 電極의 竝用接地工法의 接地抵抗을, 다음의 諸元으로 계산하여 보자.

- 大地抵抗率: $\rho = 100$ [Ω -m],
- 接地線 半徑: $r_1 = 0.0035$ [m],
- 埋設 깊이: $h = 0.5$ [m],
- Mesh 電極의 한변 길이: $b = c = 150$ [m],
- Mesh 間隔: $s = 30$ [m],
- Rod 電極의 半徑: $r = 0.007$ [m],
- Rod 길이: $l = 3 \sim 30$ [m],

- Rod 個數: $n = 20$

여기서 棒型電極의 配列는 中空 4角形配列로 고정하고, 接地棒의 길이를 3m에서 30m까지의 變數로 하여 接地抵抗을 求하여 보자.

1) Mesh 電極의 接地抵抗 R_{11} :

$L = 1800 \text{ m}$, $h^1 = \sqrt{2r_1h} = 0.06 \text{ m}$, $A = 22,500 \text{ m}^2$, $h = 0.5 \text{ m}$ 이므로,

K_1 , K_2 를 구하면 그림 3-14에서 $b/c = 1$ 일 때 $K_1 = 1.37$, $K_2 = 5.7$ 을 얻는다.

이들을 식 (4-15)에 대입하면, $R_{11} = 0.384 \Omega$

2) 棒型電極의 接地抵抗 R_{22} , 棒型電極와 Mesh 電極의 상호저항 R_{12} 은 접지봉의

길이 l 의 函數로 되어 있기 때문에 $l = 3 \sim 30 \text{ m}$ 範圍에서 1m씩 變化시켰

을 때의 計算結果는 각각 표 4-13의 3列 및 4列과 같다.

표 4-13 棒型電極과 Mesh 電極의 並用接地의 接地抵抗

$l \text{ [m]}$	$R_{11} \text{ [}\Omega\text{]}$	$R_{22} \text{ [}\Omega\text{]}$	$R_{12} \text{ [}\Omega\text{]}$	$R_g \text{ [}\Omega\text{]}$
3	0.384	1.883	0.111	0.345
4	0.384	1.513	0.082	0.329
5	0.384	1.281	0.065	0.315
6	0.384	1.121	0.054	0.304
7	0.384	1.003	0.045	0.293
8	0.384	0.913	0.039	0.284
9	0.384	0.841	0.035	0.277
10	0.384	0.783	0.031	0.269
11	0.384	0.735	0.028	0.263
12	0.384	0.694	0.026	0.257
13	0.384	0.659	0.024	0.252
14	0.384	0.628	0.022	0.247
15	0.384	0.602	0.020	0.243
16	0.384	0.578	0.019	0.238
17	0.384	0.557	0.018	0.235
18	0.384	0.539	0.017	0.231
19	0.384	0.522	0.016	0.228
20	0.384	0.507	0.015	0.224
21	0.384	0.493	0.014	0.222
22	0.384	0.480	0.014	0.219
23	0.384	0.468	0.013	0.216
24	0.384	0.457	0.012	0.214
25	0.384	0.447	0.012	0.211
26	0.384	0.438	0.011	0.209
27	0.384	0.429	0.011	0.207
28	0.384	0.421	0.010	0.205
29	0.384	0.414	0.010	0.203
30	0.384	0.407	0.010	0.201

이 표에서 알 수 있듯이 棒型電極의 接地抵抗 R_{22} 는 Mesh 電極의 接地抵抗 R_{11} 에 비하여 높은 값을 보이고 있으나, 棒型電極은 合成接地抵抗 R_g 의 低減에는 크게 寄與하고 있다는 것을 알 수 있다. 여기서 또한 중요한 사실을 알 수 있는데 그것은 棒型電極의 길이가 合成接地抵抗에 크게 영향을 미치지 않는다는 점이다.

(2) 棒型電極과 線모양 電極의 並用接地

(1)에서 既述한 並用接地 工法에서 Mesh 電極 대신에 線모양 電極을 代替한 경우인데, 이 공법은 Mesh 電極에 비하여 규모가 작고 施工이 용이하여 現場에서 훨씬 많이 사용되고 있다.

이 接地工法을 보다 쉽게 설명하자면, 棒型電極의 병렬공법에서 각 전극을 잇는 絶緣電線 대신에 裸電線을 써서 이 電線까지를 接地電極으로 이용하려는 것이다.

이 並用接地의 목적은 合成接地抵抗의 低減뿐만 Surge Impedance를 고려하는데 있다. 즉, 棒型電極으로 接地抵抗을 감소시키는 동시에 線모양 電極으로 接地 Reactance를 감소시키려는 의도가 있다.

(가) 電極의 布設 形態

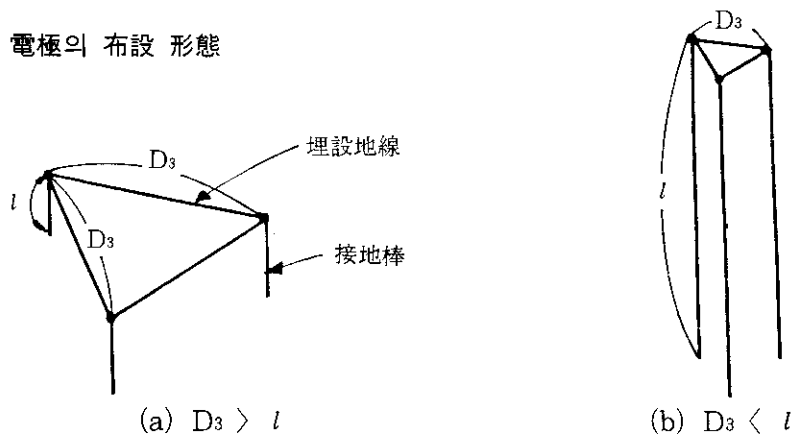


그림 4-10 三角柱 配列

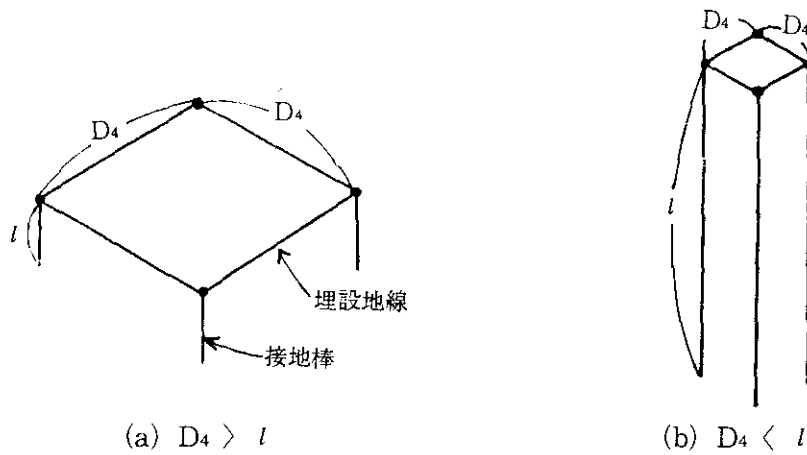


그림 4-11 四角柱 配列

電極모양은 그림 4-10의 三角柱와 그림 4-11의 四角柱를 들 수 있는데, 三角柱와 四角柱에서 正三角形과 正四角形인 선모양 電極의 한 변 길이를 각각 D_3 및 D_4 로 하고, 棒型電極의 반지름을 r , 길이를 l 로 한다.

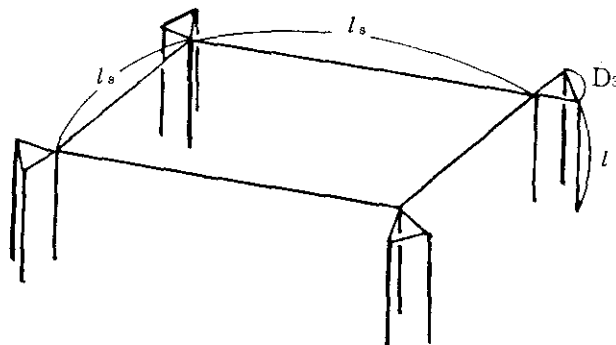


그림 4-12 四角形 Loop 모양 配列

위의 三角柱 및 四角柱 配列을 變形하여 그림 4-12의 四角形 Loop 모양의 電極도 생각할 수 있다. 이것은 正四角形 線모양 電極의 한 변의 길이가 l_s 이고, 각 코너에 三角柱의 電極系를 가진 四角形 Loop 모양의 電極이다.

(나) 接地抵抗 計算式

(a) 三角柱 및 四角柱

基本式은 棒型電極의 計算式과 같으나 埋設地線의 影響을 고려하면 다음 식과 같
이 된다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi} A_x \quad (4-20)$$

식 (4-20)의 A_x 는 線모양 電極의 한변의 길이와 棒型電極의 길이의 비에 따라 다
음과 같은 式으로 구할 수 있다. 한 변이 접지봉의 길이보다 큰 3각주이면,

(i) 線모양 電極의 한변의 길이가 棒型電極의 길이보다 큰 경우

三角柱:

$$A_3 = \frac{1}{3} \left(\ln \frac{4l}{r} - 1 + \frac{2}{D_3} \right) \quad (4-21)$$

四角柱:

$$A_4 = \frac{1}{4} \left(\ln \frac{4l}{r} - 1 + 2.707 \frac{1}{D_3} \right) \quad (4-22)$$

여기서, ρ : 大地抵抗率

l : 接地棒의 길이

r : 接地棒의 半徑

D_3 : 3角形의 한변 길이 ($D_3 > l$)

D_4 : 4角形의 한변 길이 ($D_4 > l$)

(ii) 線모양 電極의 한변의 길이가 棒型電極의 길이보다 아주 짧은 경우

三角柱:

$$A_3 = \ln \left[\frac{2l}{re_3} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{re_3}{2l} \right)^2} \right) \right] + \frac{re_3}{2l} - \sqrt{1 + \left(\frac{re_3}{2l} \right)^2} \quad (4-23)$$

四角柱：

$$A_4 = \ln \left[\frac{2l}{r_{e4}} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r_{e4}}{2l} \right)^2} \right) \right] + \frac{r_{e4}}{2l} - \sqrt{1 + \left(\frac{r_{e4}}{2l} \right)^2} \quad (4-24)$$

여기서 r_{e3} 및 r_{e4} 는 각각 D_3 및 D_4 에 의존하는 等價幾何平均半徑으로서 다음 식들에 의하여 구할 수 있다.

$$r_{e3} = 3 \sqrt{r \cdot D_3^2}$$

$$r_{e4} = 4 \sqrt{\sqrt{2} r \cdot D_4^2}$$

(b) 4角形 Loop 모양

Loop 모양의 埋設地線의 接地抵抗은 다음 식으로 주어진다.

$$R_w = \frac{\rho}{4\pi l_s} \ln \frac{3 \cdot 6 \cdot l_s}{\sqrt{h \cdot r'}} \quad (4-25)$$

여기서, l_s : 루프의 한 변의 길이

h : 埋設깊이

r' : 接地線의 반지름

각 Corner에 배치되어 있는 電極系는 埋設地線이 막대에 비해 짧은 경우이고, 接地抵抗 (이 경우는 三角柱)은 식 (4-20)에 식 (4-23)을 결합시켜 구할 수 있으며, 여기에 다시 쓰면 다음과 같다.

$$R_r = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left[\frac{2l}{r_{e3}} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r_{e3}}{2l} \right)^2} \right) \right] + \frac{r_{e3}}{2l} - \sqrt{1 + \left(\frac{r_{e3}}{2l} \right)^2} \quad (4-26)$$

여기서, $r_{e3} = 3 \sqrt{r \cdot D_3^2}$

또한, 棒型電極과 線모양 電極 (여기서는 Loop 모양의 埋設地線)의 相互 接地抵抗은 다음 式으로 주어진다.

$$R_m = \frac{\rho}{4\pi l_s} \left[\ln \left[\frac{16 l_s}{\pi l} \right] + 1 \right] \quad (4-27)$$

마지막으로, 식 (4-25) ~ (4-27) 을 결합하여 棒型電極과 線모양 電極의 合成抵抗은 다음 式으로 계산할 수 있다.

$$R_g = \frac{R_w \cdot R_r - R_m^2}{R_w + R_r - 2R_m} \quad (4-28)$$

(다) 接地抵抗 計算例

埋設地線과 接地棒의 길이에 따라 接地抵抗의 計算式은 두 종류가 있는데 다음과 같은 諸元을 대입해서 接地抵抗을 계산해 보자.

- 大地抵抗率: $\rho = 100 [\Omega \cdot m]$,
- 接地棒의 半徑: $r = 0.007 [m]$,
- 埋設地線의 半徑: $r' = 0.0035 [m]$,
- 接地棒의 길이: $l = 1.5 \sim 30 [m]$,
- 埋設地線의 길이: $D_3, D_4 = 3 \sim 30 [m]$,
- 四角形 Loop 모양 埋設地線의 길이: $l_s = 5 \sim 30 [m]$,

(a) 3角柱

接地棒의 길이 l 을 1.5m, 3m로 고정하고 埋設地線의 길이 D_3 을 3 ~ 30m로 변화시켰을 때의 接地抵抗의 計算結果는 표 4-14에, 또 D_3 을 1.5m, 3m로 고정하

고, l 을 3 ~ 30m로 변화시켰을 때의 接地抵抗은 표 4-15와 같다.

표 4-14를 보면, D_3 을 증가시켰는데도 接地抵抗은 별로 낮아지지 않는 (즉, 埋設地線의 效果가 없다.) 반면에, 표 4-15를 보면 接地棒의 길이의 效果가 뚜렷하게 나타나 있다.

表 4-14 三角柱의 接地抵抗 $D_3 > l$

l [m]	D_3 [m]	R [Ω]	l [m]	D_3 [m]	R [Ω]
1.5	3	23.549			
1.5	4	23.383			
1.5	5	23.283			
1.5	6	23.216	3.0	6	12.500
1.5	7	23.168	3.0	7	12.453
1.5	8	23.133	3.0	8	12.417
1.5	9	23.105	3.0	9	12.389
1.5	10	23.083	3.0	10	12.367
1.5	11	23.064	3.0	11	12.349
1.5	12	23.049	3.0	12	12.334
1.5	13	23.036	3.0	13	12.321
1.5	14	23.025	3.0	14	12.310
1.5	15	23.016	3.0	15	12.300
1.5	16	23.003	3.0	16	12.292
1.5	17	23.000	3.0	17	12.285
1.5	18	22.994	3.0	18	12.278
1.5	19	22.988	3.0	19	12.272
1.5	20	22.983	3.0	20	12.267
1.5	21	22.978	3.0	21	12.262
1.5	22	22.974	3.0	22	12.258
1.5	23	22.970	3.0	23	12.254
1.5	24	22.966	3.0	24	12.250
1.5	25	22.963	3.0	25	12.247
1.5	26	22.960	3.0	26	12.244
1.5	27	22.957	3.0	27	12.241
1.5	28	22.954	3.0	28	12.238
1.5	29	22.952	3.0	29	12.236
1.5	30	22.949	3.0	30	12.234

表 4-15 三角柱의 接地抵抗 $D_3 < l$

l [m]	D_3 [m]	R [Ω]	l [m]	D_3 [m]	R [Ω]
3	1.5	15.437			
4	1.5	12.682			
5	1.5	10.836			
6	1.5	9.503	6	3.0	8.309
7	1.5	8.489	7	3.0	7.462
8	1.5	7.689	8	3.0	6.788
9	1.5	7.040	9	3.0	6.237
10	1.5	6.501	10	3.0	5.777
11	1.5	6.047	11	3.0	5.388
12	1.5	5.657	12	3.0	5.052
13	1.5	5.319	13	3.0	4.760
14	1.5	5.022	14	3.0	4.503
15	1.5	4.760	15	3.0	4.275
16	1.5	4.526	16	3.0	4.071
17	1.5	4.316	17	3.0	3.888
18	1.5	4.127	18	3.0	3.722
19	1.5	3.954	19	3.0	3.571
20	1.5	3.797	20	3.0	3.432
21	1.5	3.653	21	3.0	3.306
22	1.5	3.521	22	3.0	3.189
23	1.5	3.398	23	3.0	3.081
24	1.5	3.285	24	3.0	2.980
25	1.5	3.179	25	3.0	2.887
26	1.5	3.081	26	3.0	2.800
27	1.5	2.989	27	3.0	2.718
28	1.5	2.903	28	3.0	2.641
29	1.5	2.822	29	3.0	2.569
30	1.5	2.745	30	3.0	2.502

(b) 4角柱

3角柱와 같은 諸元으로 계산했으며, 그 결과는 표 4-16 및 표 4-17과 같다. 계산 값을 보면, 3角柱와 같은 경향을 나타내고 있으며 接地抵抗은 豫想한 대로 3角柱보다 작다.

表 4-16 四角柱의 接地抵抗 $D_4 > l$

l [m]	D_3 [m]	R [Ω]	l [m]	D_3 [m]	R [Ω]
1.5	3	17.815			
1.5	4	17.590			
1.5	5	17.454			
1.5	6	17.364	3.0	6	9.327
1.5	7	17.300	3.0	7	9.263
1.5	8	17.251	3.0	8	9.214
1.5	6	17.214	3.0	9	9.177
1.5	10	17.184	3.0	10	9.147
1.5	11	17.159	3.0	11	9.122
1.5	12	17.139	3.0	12	9.101
1.5	13	17.121	3.0	13	9.084
1.5	14	17.106	3.0	14	9.069
1.5	15	17.094	3.0	15	9.056
1.5	16	17.082	3.0	16	9.045
1.5	17	17.072	3.0	17	9.035
1.5	18	17.063	3.0	18	9.026
1.5	19	17.056	3.0	19	9.018
1.5	20	17.048	2.0	20	9.011
1.5	21	17.042	3.0	21	9.005
1.5	22	17.036	3.0	22	8.999
1.5	23	17.031	3.0	23	8.994
1.5	24	17.026	3.0	24	8.989
1.5	25	17.021	3.0	25	8.984
1.5	26	17.017	3.0	26	8.980
1.5	27	17.013	3.0	27	8.976
1.5	28	17.010	3.0	28	8.973
1.5	29	17.006	3.0	29	8.969
1.5	30	17.003	3.0	30	8.966

表 4-17 四角柱의 接地抵抗 $D_4 < l$

l (m)	D_3 (m)	R (Ω)	l (m)	D_3 (m)	R (Ω)
3	1.5	13.259			
4	1.5	11.027			
5	1.5	9.501			
6	1.5	8.385	6	3.0	7.500
7	1.5	7.527	7	3.0	6.765
8	1.5	6.845	8	3.0	6.175
9	1.5	6.288	9	3.0	5.691
10	1.5	5.824	10	3.0	5.285
11	1.5	5.430	11	3.0	4.939
12	1.5	5.091	12	3.0	4.640
13	1.5	4.795	13	3.0	4.379
14	1.5	4.536	14	3.0	4.148
15	1.5	4.306	15	3.0	3.914
16	1.5	4.100	16	3.0	3.760
17	1.5	3.915	17	3.0	3.595
18	1.5	3.747	18	3.0	3.445
19	1.5	3.595	19	3.0	3.308
20	1.5	3.456	20	3.0	3.183
21	1.5	3.328	21	3.0	3.068
22	1.5	3.210	22	3.0	2.962
23	1.5	3.101	23	3.0	2.863
24	1.5	3.000	24	3.0	2.772
25	1.5	2.905	25	3.0	2.687
26	1.5	2.818	26	3.0	2.607
27	1.5	2.735	27	3.0	2.533
28	1.5	2.658	28	3.0	2.463
29	1.5	2.586	29	3.0	2.397

(c) 4角形 Loop 모양

각 Corner에 배치한 電極시스템을 3角柱 ($D_3 < l$)로 하고, Loop 모양 埋設地線의 길이 l_s 를 10, 30 (m)로 했을 때의 계산결과는 표 4-18 및 4-19와 같은데, 埋設地線의 接地抵抗 R_w , 3角柱의 接地抵抗 R_r , 相互抵抗 R_m , 合成接地抵抗 R_g 을 함께 나타내고 있다.

표 4-18 4角形 Loop 모양의 接地抵抗 ($l_s = 10\text{m}$)

l_s (m)	l (m)	D_3 (m)	R_w (Ω)	R_r (Ω)	R_m (Ω)	R_g (Ω)
10	3	1.5	5.378	15.437	3.049	5.009
10	4	1.5	5.378	12.682	2.820	4.851
10	5	1.5	5.378	10.836	2.643	4.693
10	6	1.5	5.378	9.503	2.498	4.539
10	7	1.5	5.378	8.489	2.375	4.389
10	8	1.5	5.378	7.689	2.269	4.244
10	9	1.5	5.378	7.040	2.175	4.106
1	10	1.5	5.378	6.502	2.091	3.974
10	11	1.5	5.378	6.047	2.015	3.849
10	12	1.5	5.378	5.657	1.946	3.729
10	13	1.5	5.378	5.319	1.882	3.615
10	14	1.5	5.378	5.022	1.823	3.507
10	15	1.5	5.378	4.760	1.769	3.404
10	16	1.5	5.378	4.526	1.717	3.307
10	17	1.5	5.378	4.316	1.669	3.214
10	18	1.5	5.378	4.127	1.623	3.125
10	19	1.5	5.378	3.955	1.580	3.041
10	20	1.5	5.378	3.797	1.540	2.961
10	21	1.5	5.378	3.653	1.501	2.885
10	22	1.5	5.378	3.521	1.464	2.812
10	23	1.5	5.378	3.398	1.428	2.743
10	24	1.5	5.378	3.285	1.395	2.676
10	25	1.5	5.378	3.179	1.362	2.613
10	26	1.5	5.378	3.081	1.331	2.552
10	27	1.5	5.378	2.989	1.301	2.495
10	28	1.5	5.378	2.903	1.292	2.439
10	29	1.5	5.378	2.822	1.244	2.386
10	30	1.5	5.378	2.746	1.217	2.335

표 4-18에서 接地電極의 치수가 변화하고 있는 것은, 각 Corner에 배치한 接地棒의 길이 l 뿐이고 l_s 는 고정되어 있으므로 R_w 는 일정한 값을 나타내며 (l 을 크게 하면

合成 接地抵抗은 낮아진다.) , 표 4-19는 l_s 를 3배로 했을 때의 抵抗이다. 2개의 표를 비교해 보면, l_s 를 n 배 하여도 接地抵抗은 $1/n$ 이 되지 않는다는 것을 알 수 있다.

表 4-19 4角形 Loop 모양의 接地抵抗 ($l_s = 30m$)

l_s [m]	l [m]	D_3 [m]	R_w [Ω]	R_r [Ω]	R_m [Ω]	R_g [Ω]
30	3	1.5	2.084	15.437	1.308	2.044
30	4	1.5	2.084	12.682	1.232	2.025
30	5	1.5	2.084	10.836	1.172	2.005
30	6	1.5	2.084	9.503	1.124	1.985
30	7	1.5	2.084	8.489	1.083	1.965
30	8	1.5	2.084	7.689	1.048	1.944
30	9	1.5	2.084	7.040	1.016	1.923
30	10	1.5	2.084	6.502	0.988	1.902
30	11	1.5	2.084	6.047	0.963	1.881
30	12	1.5	2.084	5.657	0.940	1.861
30	13	1.5	2.084	5.319	0.919	1.840
30	14	1.5	2.084	5.022	0.899	1.820
30	15	1.5	2.084	4.760	0.881	1.799
30	16	1.5	2.084	4.526	0.864	1.779
30	17	1.5	2.084	4.316	0.848	1.759
30	18	1.5	2.084	4.127	0.833	1.739
30	19	1.5	2.084	3.955	0.818	1.720
30	20	1.5	2.084	3.797	0.805	1.701
30	21	1.5	2.084	3.653	0.792	1.682
30	22	1.5	2.084	3.521	0.779	1.663
30	23	1.5	2.084	3.398	0.768	1.645
30	24	1.5	2.084	3.285	0.756	1.627
30	25	1.5	2.084	3.179	0.745	1.609
30	26	1.5	2.084	3.081	0.735	1.591
30	27	1.5	2.084	2.989	0.725	1.574
30	28	1.5	2.084	2.903	0.715	1.557
30	29	1.5	2.084	2.822	0.706	1.540
30	30	1.5	2.084	2.746	0.697	1.524

라. 建築構造物의 代用接地工法

지금까지 살펴본 여러 형상의 接地電極들은 接地 목적만을 위해서 인위적으로 施工한 人工接地電極이라고 할 수 있다. 이에 대하여 水道管이나 建築構造物 등 다른 목적으로 설치된, 大地와 接觸하고 있는 것을 接地電極으로 활용할 수 있는데 이러한 것들을 自然接地電極이라고 하며, 이 自然接地電極을 接地極으로 代用하는 것을 自然接地라고 한다.

自然接地電極으로는 예전부터 水道管이 많이 사용되어 왔으나, 요즘은 合成樹脂로 된 水道管이 쓰이게 되어 接地電極으로 쓸 수 없는 경우가 많다. 반면에 최근들어 鐵骨材로 된 建築構造物이 늘고 있어 이를 接地電極으로 利用할 수가 있다. 이 建築構造物의 接地電極 이용을 최초로 제창한 사람이 美國의 U. G. Ufer로서 이 接地電極을 "Ufer Electrode"라고도 부른다.

이節에서는 建築構造物에 의한 接地의 概念과 接地抵抗 推定法에 대하여 다뤄보고자 한다.

(1) 建築構造物 接地의 概念

여기서 말하는 建築構造物은 어떤 조건을 만족시킬 필요가 있는데, 그것은 반드시 鐵骨造, 鐵筋콘크리트造, 鐵骨·鐵筋콘크리트造라야 한다. 벽돌이나 木造構造物들은 제외된다.

接地電極이란 大地에 붙인 電氣的 端子的 역할을 한다는 것은 앞에서 既述한 바 있거니와 構造物의 일부인 鐵骨이나 鐵筋에 접지선을 連結하여 接地極의 役割을 갖도록 하려는 것이 構造物 接地의 概念이다. 構造物接地의 概念圖는 그림 4-13과 같다.

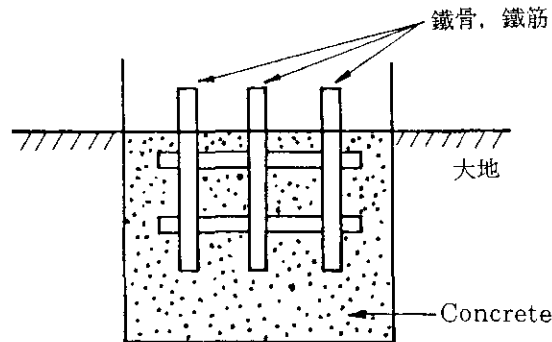


그림 4-13 構造物接地의 概念圖

鐵骨이나 鐵筋은 材料自體가 높은 導電性을 갖고 있을 뿐만 아니라, 建築物 전체에 퍼져 있고 콘크리트를 사이에 두고 大地와 접하고 있어, 콘크리트가 완전한 절연물이 아닌 이상 거시적으로 보면 構造物은 하나의 接地電極으로 생각할 수 있다.

이러한 構造物의 接地抵抗이 낮으면 그것은 良好한 接地專極이라 할 수 있으며 接地工事が 필요한 주변에 이와 같은 構造物이 있으면 굳이 많은 費用을 들여 일부러 人工接地工事を 할 필요없이 이를 이용하면 좋다.

建築電氣設備의 機器나 配管은 직접 또는 다른 物體를 통하여 수많은 점에서 鐵骨·鐵筋 등에 접촉하여 電氣的인 接續이 되어 있다.

(2) 建築構造物의 電氣的 特性

鐵骨造, 鐵筋콘크리트造, 鐵骨·鐵筋콘크리트造의 建築物은 構造的으로 단단히 一體化되어 있으며, 이러한 構造的인 一體化는 構造物의 電氣的 特性에도 큰 영향을 미친다. 즉, 建築構造物의 각 부분은 서로 낮은 電氣抵抗으로 결합된 결과가 되는데, 바꾸어 말하면 自然的으로 建築構造物은 導體로 構成된 電氣的인 Cage처럼 되어 있다.

여기서 말하는 電氣的인 Cage는 그림 4-14와 같이 鐵骨이나 鐵筋을 鐵網으로 바

꾸어 놓은 새장과 같은 것으로서, 良導體 金屬인 鐵網의 Cage를 생각하면 된다.

鐵骨造 빌딩의 경우는 鐵骨끼리 Rivet이나 Bolt로 結合되기 때문에 대부분이 電氣的인 Cage를 형성하나, 鐵筋콘크리트造의 경우는 柱筋과 梁筋이 반드시 接續되어 있다고 볼 수 없다. 따라서, 鐵筋콘크리트造의 경우는 과연 構造物이 電氣的인 Cage로 간주될 수 있는지는 의문이 남는다.

확실히 鐵筋콘크리트造의 경우는 鐵筋과 鐵筋이 콘크리트속에서 空間的으로 떨어져 있는 경우가 있으나, 이러한 경우에도 鐵筋사이에는 콘크리트가 채워져 있으며, 콘크리트는 보통의 岩石보다 吸收性이 크고, 濕한 상태에서는 그 抵抗率이 낮으며 기둥, 대들보 등은 큰 斷面積을 갖는다. 따라서, 鐵筋콘크리트造의 경우도 構造體의 각 부분은 낮은 抵抗으로 이어져 있으며 이것을 電氣的인 Cage로 봐도 된다.

실지로 日本에서 鐵骨造의 어떤 高層빌딩의 構造物 電氣抵抗을 實測해 본 결과 옥상에서 지하 1층까지의 直流抵抗은 $10^{-3}\Omega$ 의 Order였고, 또 3層짜리 鐵筋콘크리트造의 빌딩 構造物의 電氣抵抗도 實測해본 결과 그 直流抵抗은 $10^{-2}\Omega$ Order였다.

이 實測結果로부터 알 수 있듯이 建築構造物은 낮은 電氣抵抗을 갖는 電氣的 良導體라 할 수 있고 構造物을 電氣的 特性의 觀點에서 말하면 그림 4-15와 같은 일종의 立體的 電氣回路網으로 볼 수 있다.

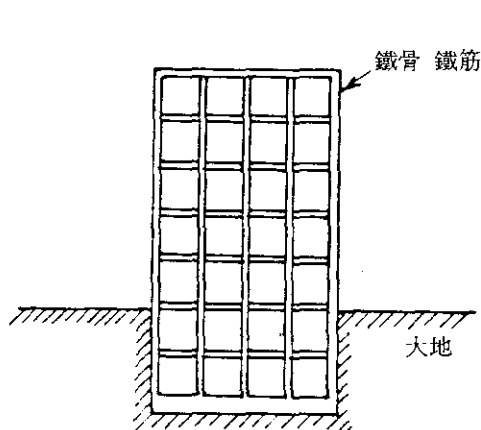


그림 4-14 建築構造物의 電氣的 Cage

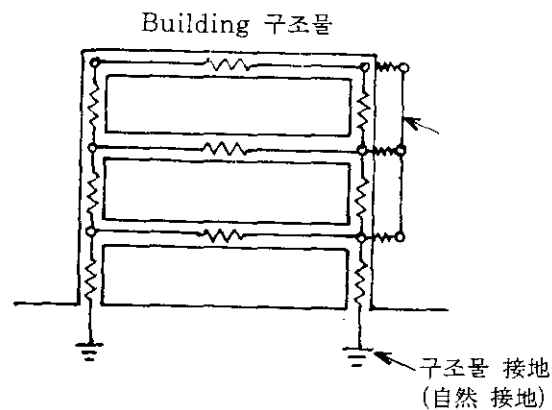


그림 4-15 電氣回路網으로서의 建築構造物

(3) 建築 構造物の 接地抵抗

建築構造物の 地下部分은 大地와 접촉하고 있다. 그래서 이 地下部分의 大地와 접촉하고 있는 全體 接地面積을 그림 4-16과 같이 等價 半球로 바꾸어 놓고 이 半球모양 電極의 반지름과 接地抵抗을 구함으로써 概略的인 接地抵抗값을 推定할 수 있다.

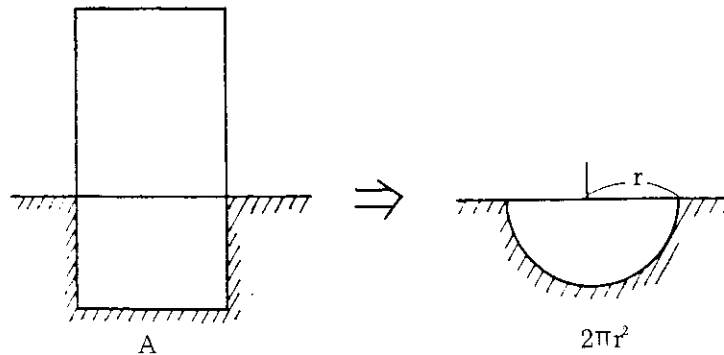


그림 4-16 構造物 地下部分의 等價半球 置換

構造物의 大地와의 接觸面積을 $A \text{ [m}^2\text{]}$ 라고 할 때 반지름 $r \text{ [m]}$ 인 等價半球의 接地面積은 $2\pi r^2$ 이므로, $A = 2\pi r^2$ 이 되어 等價반지름은

$$r = \sqrt{\frac{A}{2\pi}} \quad (4-29)$$

반지름 r 인 半球모양 電極의 接地抵抗은

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (4-30)$$

이므로, 식 (4-30) 에서 r 에 식 (4-29) 의 等價반지름을 대입함으로써 다음과 같이 接地抵抗을 계산할 수 있다.

$$R_g = \frac{\rho}{\sqrt{2\pi A}} \cong \frac{0.4\rho}{\sqrt{2\pi A}} \text{ } [\Omega] \quad (4-31)$$

지금 반지름 r 을 크게 했을 때의 接地抵抗의 변화를 보면 反比例하여 減少함을 알 수 있는데, 이에 따라 構造物의 地下部分과 大地와의 接觸面積을 크게 하면 接地抵抗은 작아진다.

建築構造物이 大地와 接觸하고 있는 部分 즉 構造物 地下部分의 全體 結面적은 地下部分의 바닥面積 및 側面積의 合으로 計算하며 기초말뚝 등의 結面적은 제외한다. 여기서 기초말뚝의 結面적을 제외한 것은 구성이 단순하지 않아 結面적을 계산하기가 어렵기 때문이다. 물론, 기초말뚝에도 接地抵抗 減少效果가 있어 이를 加算하면 더욱 正確한 構造物의 接地抵抗을 구할 수 있다.

工事地點의 大地抵抗率 ρ 를 파라미터로 하여 全體 結面적과 接地抵抗의 關係를 그림으로 나타내면 그림 4-17과 같다.

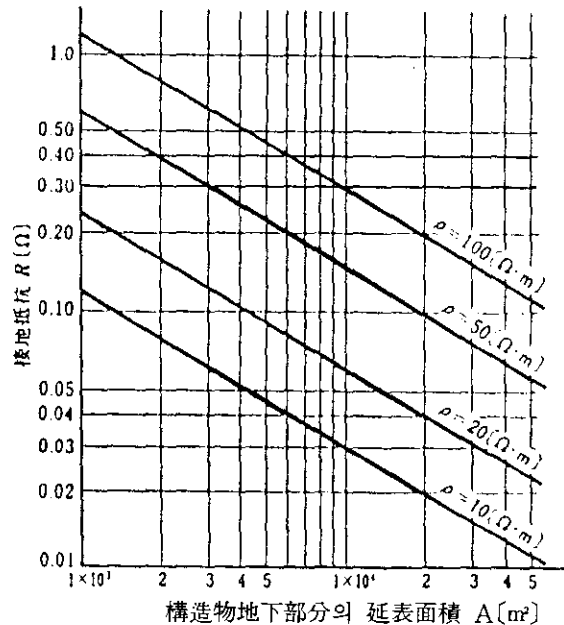


그림 4-17 建築構造物의 接地抵抗

5. 接地의 獨立과 共用

接地를 必要로 하는 機器設備가 많을 경우, 個個의 設備/機器를 각각 獨立的으로 接地해야 할지 아니면 여러 개의 設備機器들을 共通으로 接地해야 할지의 問題 즉 接地의 獨立과 共用의 問題는 아직도 완전히 해결되지 않고 있다. 이 문제는 개개의 設備/機器의 特性과 接地시스템에 따라 검토하여 決定하여야 할 것이다.

여기서는 이에 대한 基本的인 事項만을 整理하여 記述하고자 한다.

가. 建物內 接地 의 現狀 및 接地方式의 形態

(1) 接地의 現狀

요즘에는 都心部에 있어서 限定된 空間을 效率的으로 活用하기 위한 빌딩 高層化 현상이 두드러져, 專用建物보다는 여러 目的으로 使用하는 多目的 複合 建物이 많아지고 있다. 한 建物內에 店鋪, 事務室, 電子計算室, 食堂, 病院 등이 있는가 하면 심지어는 住居用 아파트와 生産 工場까지 있는 경우도 있다. 특히, 高度 情報化 시대가 다가옴에 따라 소위 Intelligent Building이라고 불리는 尖端 建物들이 들어서고 있다. 이러한 Building에는 一般 Building과 마찬가지로 이른바 强電用 電氣機器외에 通信機器, Building 管理시스템 機器, Security System 機器들과 같은 OA 機器를 비롯한 각종 弱電用 電子機器들이 導入 設置되어 있다. 이러한 機器들중에서 强電用 電氣機器들은 물론 安全目的상의 接地가 필요하고, 弱電用 電子機器들도 機能用 接地가 필요하다.

建物の 各層에는 入住業種에 따라 그림 5-1에서 보듯이 多様な 種類의 電氣設備 및 機器들이 設置되어 있으며, 이들 設備/機器중에서 많은 것들이 接地를 필요로 하

고 있다 (표 5-1). 이 밖에도 建物에서 필요로 하는 接地에는 避雷針 接地, 配電系統의 第2種接地 등이 있다.

표 5-1 接地를 해야하는 設備 및 機器

場 所	設 備 / 機 器 의 名 稱
店 鋪	食品의 自動販賣機, 冷凍·冷藏用 Showcase
電 算 室	計算機 本體, Type-Writer, 컴퓨터 周邊機器
事 務 室	PC, Word Processor, Facsimile, 電子複寫機 등의 OA 關聯 機器
病院醫療室	心電圖, 腦波測定 등의 ME 機器, X-線 發生裝置, 高周波利用機器
食 堂	冷凍庫, 冷臧庫, Microwave Oven, 食器洗滌器 등의 廚房機器
電話交換室	電子交換器

이와 같이 建物內에는 接地를 해야 할 設備 및 機器들이 많이 있는데, 빌딩에서 工事竣工 후에 接地工事を 한다는 것은 매우 어려우며, 都市의 密集地域에서 大型빌딩, 高層빌딩 등의 接地 改修 工事は 거의 불가능하다. 따라서 建物の 設計段階에서 接地에 관한 計劃을 충분히 檢討하여 적절한 接地工事を 建物新築時에 함께 하도록 하여야 한다.

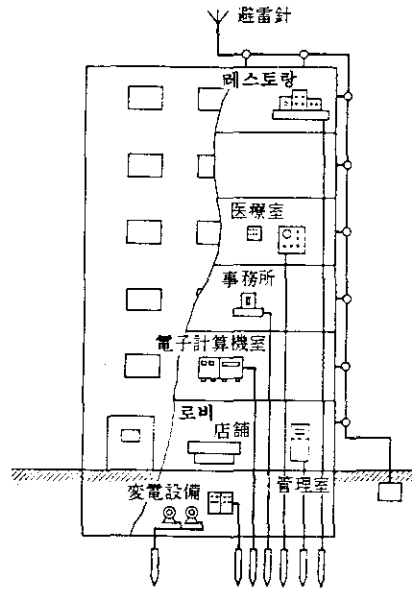
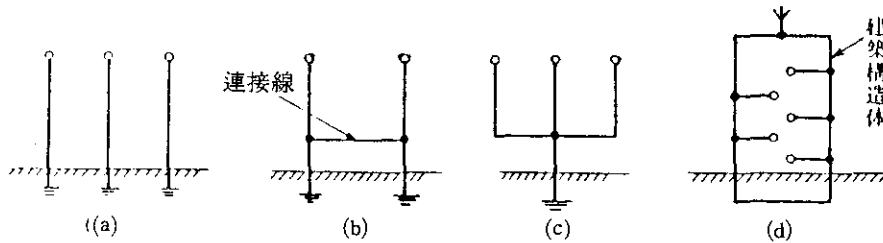


그림 5-1 建物에서의 接地의 現狀

(2) 接地方式의 形態

하나의 建物안이나 構内に 接地를 해야 할 設備機器들이 多數 있는 경우에, 특히 强電用電氣機器, 弱電用電子機器 등 性格이 判異한 設備機器들이 混在되어 있는 경우, 接地를 어떤 方式으로 해야 할지가 큰 問題이다. 여기서 우선 생각할 수 있는 接地方式으로는 그림 5-2에 나와 있는 것처럼 다음 4種類의 形態를 고려할 수 있다.



○ 印: 接地를 要하는 設備機器

그림 5-2 接地方式의 形態

(가) 개개를 獨立해서 接地한다.

(나) 獨立的으로 接地한 接地線을 連結한다.

(다) 接地電極을 共用한다.

(라) 建築構造物의 鐵骨, 鐵筋部分에 接地線을 連結하여 代用한다.

이들 接地形態를 두가지로 大別하면 (가)는 獨立接地, (나), (다) 및 (라)는 共用接地로 分類할 수 있다. 接地에 있어서 獨立과 共用의 問題는 電位의 相互干涉, Noise의 傳播 등과 관련하여 매우 중요한 문제로서 다음 節에서 좀더 살펴보기로 한다.

나. 獨立 接 地

個別的으로 接地工事を 하는 方式을 獨立接地라 하는데 이상적인 獨立接地는 예를 들어 그림 5-3처럼 2개의 接地電極이 있는 경우에 한쪽 電極에 接地電流가 아무리 많이 흘러도 다른 쪽 接地電極에 전혀 電位上昇을 일으키지 않는 Case이나 이상적으로는 2개의 接地電極이 無限大의 거리만큼 멀어지도록 하지 않으면 완전한 獨立이라 할 수 없다.

물론 현실적으로는 電位上昇이 어떤 一定한 범위에 들어가면 서로 완전히 獨立되었다고 간주해야 하고 이 경우의 電極間 離隔距離는 다음 세가지 요인에 의존한다.

- ① 發生하는 接地電流의 最大值
- ② 電位上昇의 許容值
- ③ 施工 地點의 大地抵抗率

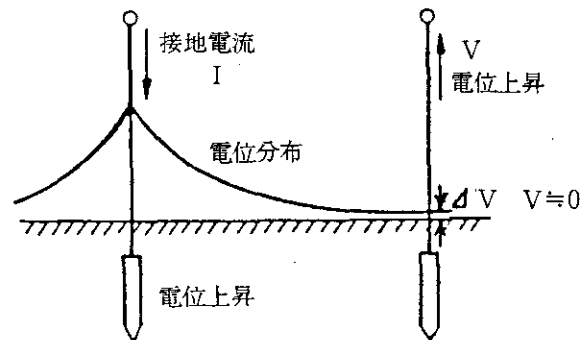


그림 5-3 接地電極의 相互干涉

半徑 7 mm, 길이 3 m가 되는 2개의 棒型電極의 예를 들어 보자 (그림 5-4). 한 電極 A에 流入되는 假想 接地電流 I, 이에 의한 다른 電極 B의 電位上昇을 E, 두 電極간의 離隔距離를 S라고 할 때, 許容 電位上昇 E를 일으키는 接地電流별 離隔距離를 계산한 것이 표 5-2에 나와 있다. 여기서 許容 電位上昇은 1 m 步幅電壓을 基準으로 한 것이다.

接地電流가 작아도 그 지점의 大地抵抗率이 높으면 電位上昇이 커져서 離隔距離도 늘어난다. 敷地가 제한되어 있을 경우, 충분한 離隔距離의 확보가 곤란하여 獨立接地 施工의 많은 어려움을 야기한다.

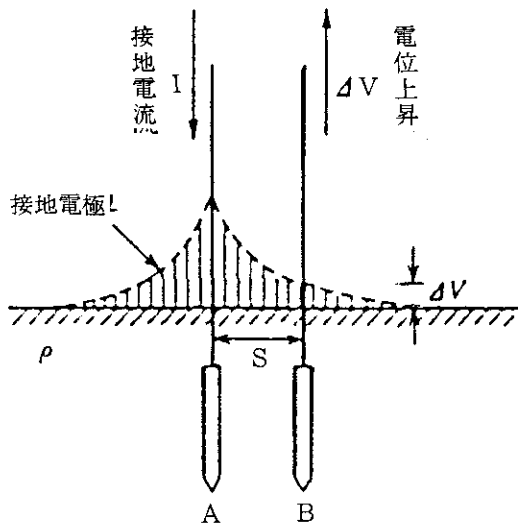


표 5-2 獨立接地의 離隔距離

接地電流 I [A]	電位上昇의 許容值 E		
	2.5 [V]	25 [V]	50 [V]
10	63 m	6 m	3 m
50	318 m	32 m	16 m
100	637 m	64 m	32 m

大地抵抗率 = 100 Ω-m

그림 5-4 獨立接地 電極간의 干涉 Model

다. 共用 接地

1 個所 혹은 數開所에 施工한 共通의 接地電極에 個個의 設備/機器를 함께 接地하는 方式을 共用接地라고 한다. 이에는 接地線을 連接하는 方法, 接地線을 한 점에 모으는 方法, 建築構造物에 接地線을 連結하는 方法 등이 있다.

(1) 共用接地的 長點

共用接地가 獨立接地보다 有利한 점으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- ① 接地線이 적어져 接地系統이 단순해지기 때문에 補修 및 點檢이 容易하다.
- ② 接地電極이 多數가 된 경우 並列接地의 效果로 合成接地抵抗이 減少한다.
- ③ 接地電極중의 하나가 不能이 되도 他電極으로 보완할 수 있어서 接地의 信賴度가 向上된다.
- ④ 接地電極의 總 個數가 작아져 設備施工費가 적게 들어 經濟的이다.
- ⑤ System 的으로는 電源側 接地 (제2종接地)와 負荷側 接地 (제3종接地)의 共用에 있어서 地絡保護 및 負荷機器에 대한 接觸電壓의 觀點에서 有利하다.
- ⑥ 建築構造物 등 自然接地의 利用이 可能하다.

여기서, ⑤에 대해 약간의 설명을 첨부하고자 한다. 獨立接地에서는 그림 5-5 (a)와 같이 負荷機器의 絶緣이 저하되어 地絡事故가 발생할 경우, 地絡電流는 大地를 경유해서 電源으로 되돌아간다. 그러나, 共用接地에서는 그림 5-5 (b)와 같이 地絡事故가 일어날 경우 처음부터 끝까지 Impedance가 낮은 金屬回路를 통하여 電源으로 되돌아간다. 地絡電流가 大地를 경유하지 않고 電源에 되돌아감으로써 絶緣이 저하한 負荷機器의 金屬製外函 등에 사람이 접촉할 경우에도 人體에 큰 地絡電流가 흐르지 않는다는 것이다. 따라서, 그 만큼 安全하다는 것인데 이것은 人體-大地를 경유하는 回路의 Impedance가 金屬回路보다 훨씬 크기 때문이다.

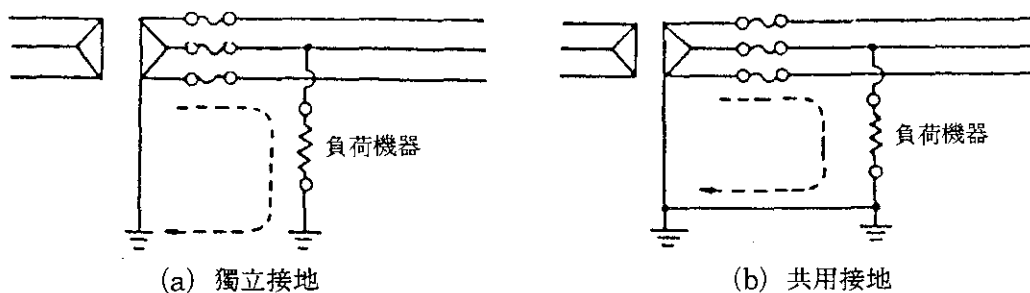


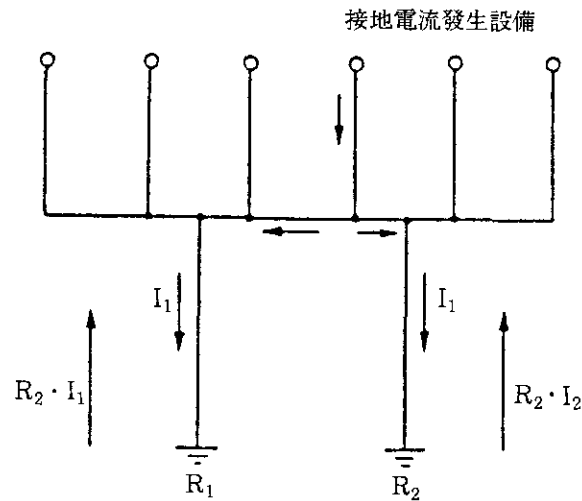
그림 5-5 地絡電流의 經路

또한, 金屬回路의 Impedance가 낮아 電流經路의 큰 地絡電流가 흐르게 되어 이 地絡電流를 이용하여 過電流保護器를 作動시킬 수 있는 가능성이 커져 過電流保護器에 의한 地絡保護를 할 수 있다.

(2) 共用接地의 問題點

共用接地에는 위에서 쓴 바와 같이 여러가지 利點이 있으나 問題點도 있는데 바로 電位上昇波及의 危險이다.

共用接地에 있어서는 接地를 共用하고 있는 設備의 하나에서 接地電流가 發生하면 이 電流는 大地로 流出하게 된다. 이 경우 각 接地電極에는 다소간의 接地抵抗이 있으므로 接地點의 電位가 上昇한다. 즉, 共用接地의 경우는 그림 5-6에서 보여지는 것과 같이 接地電流에 의한 電位上昇이 接地를 共用하고 있는 全體 設備機器에 波及된다.



R_1, R_2 : 電極의 接地抵抗 ; $R_1 I_1, R_2 I_2$: 電位上昇

그림 5-6 共用接地의 電位上昇의 波及

따라서 接地를 共用하는 경우에는 共用接地에 의해 相互 連結되는 一群의 設備를 다음 觀點에서 檢討할 필요가 있다.

(가) 發生하는 接地電流의 性質

接地電流의 크기, 持續時間, 發生確率は 가지각색으로 예를 들어 避雷針, 避雷器로부터는 매우 큰 接地電流가 발생하나 그 持續時間은 극히 짧고 또한 그 發生確率도 아주 낮다. 이에 비해 제2종 接地工事의 接地電極에는 負荷機器의 漏泄電流가 모두 還流하기 때문에 長時間에 걸쳐 接地電流가 흐를 可能性이 있다.

요즘 컴퓨터와 그 周邊裝置에서 電路와 大地간에 큰 콘덴서를 Line Filter로서 접속하고 있는데 이와 같이 큰 콘덴서가 電路-大地간에 이어지면 平常時 相當한 變位電流가 大地로 흐르게 된다. 이와 같은 變位電流도 漏泄電流에 包含된다.

(나) 電位上昇이 機器에 미치는 影響

負荷設備機器중에는 接地線으로부터 電位上昇이 侵入해 들어와서는 안되는 것이 있는데, 예를 들면 컴퓨터, 醫療用 電氣設備, 각종 高感度 測定裝置 등이다.

여기서 電位上昇의 影響에 대해 Cubicle式 高壓受電設備를 예로 들어 생각해 본다. 종전까지 Cubicle의 接地 접속은 그림 5-7과 같이 되어 있었다. 그것은 제1종, 제2종 및 제3종 接地는 共用으로 하여 金屬函과 함께 접속하고, 또 避雷器의 접지는 독립으로 해서 金屬函으로부터 절연하였는데 이 방식은 避雷器가 放電했을 때에 雷放電電流에 의해 接地電位가 상승할 可能性이 있기 때문에 그것에 의한 피해를 우려해서 避雷器만을 독립으로 한 것이다.

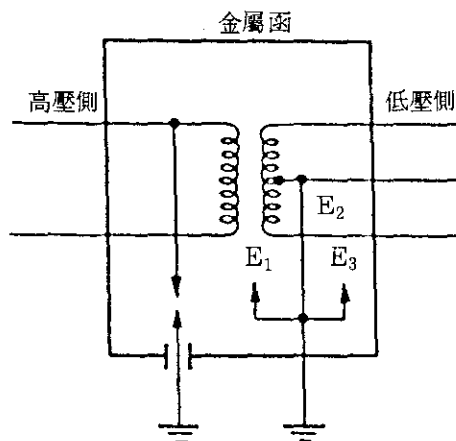


그림 5-7 共用接地의 問題 (1)
(Cubicle의 接地)

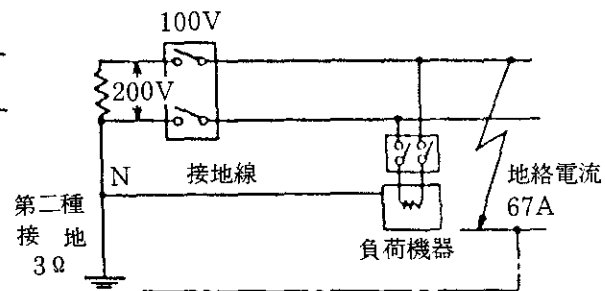


그림 5-8 共用接地의 問題 (2)
(제2종 및 제3종의 共用)

Cubicle에 이어져 있는 負荷機器의 절연이 低下하여 漏泄電流가 발생하면 그것은 모두 제2종 接地電極에 還流하여 그것에 의해 接地點의 電位가 상승한다. 이 發生確率は 높고 또 장시간 계속해서 흐르는데 제2종 接地와 다른 접지가 공용으로 되어 있고 金屬函도 함께 이어져 있으면 그들 電位는 제2종 접지와 함께 상승한다. 이와 같은 상황에서 Cubicle 내부를 검사하려고 檢査員이 Cubicle의 Door에 손을 대는 순간 感電될 우려가 있으며 실제로 이와 같은 사고가 발생한 사례도 있어 요즘은 Cubicle의 제2종 接地는 다른 接地와 共用하지 않고 獨立으로 하는 경우가 많다.

이 電位上昇에 대해 구체적인 數値를 들어 설명하면 그림 5-8에 있어서 地絡事故를 가상하여 제2종 接地抵抗을 3Ω 이라 가정하면 回路電壓 200 V는 3Ω 과 地絡抵抗의 비율에 따라 안배된다. 이 때 완전 地絡이면 地絡抵抗은 무시할 수 있고 機器 Frame은 回路電壓으로 충전되는 셈이 되어 回路電壓가 200 V이므로 地絡電流는 67 A가 되는데, 만약 電源側 過電流遮斷器의 定格電流가 100 A이면 地絡電流는 차단되지 않고 機器의 Frame에는 200 V가 계속 充電된다.

다음은 그림 5-9와 같이 다수의 機器에 대해서 共通 接地線을 接續하여 이것을 제2종 接地의 接地極과 共用했을 경우의 Frame 電壓을 계산해 보자.

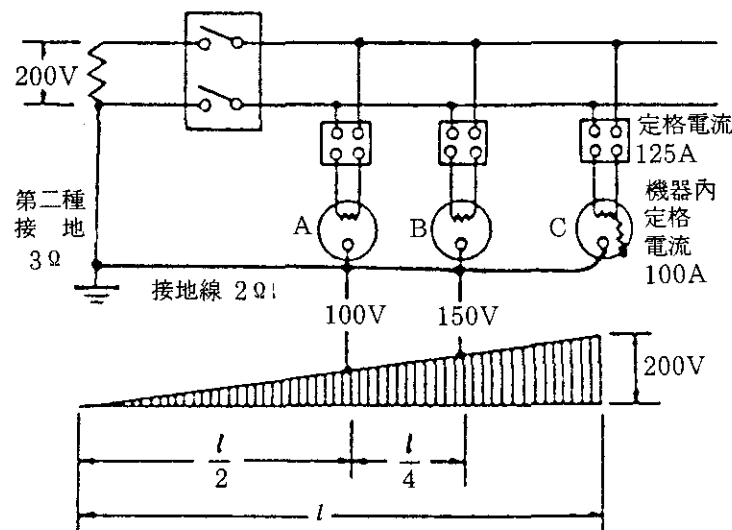


그림 5-9 共用接地의 問題 (3) (機器 Frame 電壓)

이 그림에서 A, B, C의 機器가운데 C 機器 내에서 短絡事故가 발생했을 때 전원
에서 C까지의 接地線 抵抗을 2Ω 이라 하면 地絡電流는 100 A이며 분기회로용 과전
류차단기를 125 A 정격이라 하면 이 電流는 차단되지 않고 계속 흐르는데 이 때 전
원으로부터 接地線의 거리에 비례해서 각 負荷機器의 Frame에 接觸電壓이 발생한
다. 즉, A가 100 V, B가 150 V, 그리고 C가 200 V이다.

라. 建築構造物 接地 System의 評價

최근 빌딩의 鐵骨이나 鐵筋을 電氣設備機器나 避雷針의 接地에 이용하려는 경향이
활발한데, 法規 등에서도 이와 같은 방법을 인정하고 있다. 예를 들어 「電氣設備 技
術基準에 관한 規則」 제22조 제3항에 “大地와의 사이에 電氣抵抗値가 2Ω 이하인 값
을 유지하는 建物の 鐵骨 기타의 金屬體는 이를 非接地式 高壓電路에 시설하는 機械
器具의 鐵臺 또는 金屬製 外函에 실시하는 제1종 接地工事나 非接地式 高壓電路과
低壓電路를 결합하는 變壓器의 低壓電路에 실시하는 제2종 接地工事의 接地極에 사
용할 수 있다”고 되어 있는데, 이것을 실시하면 제1종과 제2종 接地는 鐵骨 등의 導
體를 통해서 自動的으로 共用이 되는데 빌딩내 혹은 구내의 소위 建築電氣設備에 있
어서 接地의 共用을 논의할 때 건축물이 電氣的인 Cage로 인정할 수 있느냐의 여부
에 따라 평가하는 것이 합리적일 것이다. 이 電氣的인 Cage에 대해서는 이미 설명
한 바가 있어 여기서는 생략하나 그 조건으로는 다음 항목을 만족하는 것이어야 한다.

- ① 鐵骨造, 鐵筋콘크리트造, 鐵骨·鐵筋콘크리트造이어야 하고 또한 大地와의 接觸
面積이 어느 정도 큰 지하 부분을 갖고 있을 것.
- ② 공사지점의 大地抵抗率이 어느 정도 낮을 것.

여기서는 接地시스템의 평가에서 建築構造物을 이용할 수 없는 경우 즉, 電氣的인
Cage로 인정되지 않는 경우와 建築構造物을 이용할 수 있는 경우로 나뉘어서 고찰해
보기로 한다.

(1) 建築構造物을 이용할 수 없는 경우

각종 設備機器에 있어서 接地 共用의 可否를 特別高壓供給의 有無에 따라 정리하면 표 5-3과 같이 된다. 要約하면,

- ① 低壓機器의 接地와 제2종 接地의 共用은 가능한한 실시해야 한다.
- ② 特別高壓供給이 아니고 또한 全體 接地抵抗이 다음 식을 만족하고 있으면, 高壓機器의 接地와 低壓機器의 接地 또는 高壓機器의 接地, 低壓機器의 接地 및 제2종 接地의 共用을 해도 된다.

$$\text{全體接地抵抗} < \frac{100}{\text{高壓電路의 1線 地絡電流}} [\Omega]$$

표 5-3 建築 電氣設備에서 接地 共用의 可否

建築物의 分 類	特別高壓 供給의 有無	1) 低壓機器의 接地와 제2종 接地와의 共用	2) 高壓機器의 接地, 低壓機器의 接地 및 제2종 接地의 共用	避雷器, 避雷針 接地의 2) 항의 共用에 포함 與否
構造物을 이용할 수 없는 경우	無	可	條件附* 可	不可
	有	可	不可	不可
構造物을 이용할 수 있는 경우	有無에 關係없음	可	條件附* 可	可

* 全體接地抵抗 < $\frac{100}{\text{高壓電路의 1線 地絡電流 [A]}}$ [Ω]을 條件으로 共用 可能.

(2) 建築構造物을 이용할 수 있는 경우

各種 設備機器의 接地 公用의 可否를 정리하면 표 5-3과 같이 되는데 全體接地抵抗의 條件은 앞서 記述한 것과 같다. 이것은 모든 設備機器를 적극적으로 共用해도 무방하다는 정신을 밑바탕에 깔고 있는 것이다.

建築構造物을 利用한 接地에 있어서 各々色인 設備機器들의 接地의 共用을 좀더 구체적으로 정리하면 표 5-4와 같다.

표 5-4 接地의 共用 (建築構造物을 利用하는 경우)

	系統 接地	機器 接地	避雷用 接地	電算機 信號用 接地	電算機 外函用 接地	電算機 라인필터 接地	通 信 機 器 接 地	醫療用 機器 接地
系 統 接 地	-	⊙	○	○	○	○	○	○
機 器 接 地	⊙	-	○	○	⊙	⊙	⊙	○
避 雷 用 接 地	○	○	-	○	○	○	○	○
電 算 機 信 號 用 接 地	○	○	○	-	⊙	⊙	⊙	⊙
電 算 機 外 函 用 接 地	○	⊙	○	⊙	-	⊙	⊙	⊙
電 算 機 라 인 필 터 接 地	○	⊙	○	⊙	⊙	-	⊙	⊙
通 信 機 器 接 地	○	⊙	○	⊙	⊙	⊙	-	⊙
醫 療 用 機 器 接 地	○	○	○	⊙	⊙	⊙	⊙	-

〔註〕 ⊙ : 共用 可

○ : 全體接地抵抗 < $\frac{100}{1線 地絡電流[A]}$ [Ω]인 條件附로 共用 可.

만약 建築物이 電氣的인 Cage로 認定되는 경우는 建築構造物 接地가 可能하기 때문에 이들 接地는 共用接地로 해도 무방한데 (표 5-3 참조), 다만 다음 점에 留意할 필요가 있다.

- ① 各층의 設備機器와 構造物를 連結는 連接接地線에는 굵은 軟銅線 (22 mm² 이상)을 사용하여 가급적 짧은 거리가 되도록 布設한다.
- ② 建物을 出入하는 回路에는 그 出入口에 保安器를 설치하고 그 接地는 構造物에 한다.
- ③ 建物全體가 大地와 同一한 電位變動을 하게끔 工事한다. 즉, 建物내에 있는 設備機器의 非充電 金屬部分은 모두 構造物의 金屬體 部分에 接續한다.

6. 接地抵抗의 低減法

앞의 3章에서 敘述한 바와 같이 接地抵抗은 大地抵抗率과 밀접한 관계가 있어, 낮은 接地抵抗을 얻기 위해서는 接地工事を 하는 場所 周邊의 大地抵抗率이 작아야 한다. 그러나 어떤 設備나 建築物을 大地抵抗率이 낮은 곳만을 골라서 施工할 수는 없다. 周邊 大地의 抵抗率이 높더라도 이를 人工的으로 낮출 수 있는 方法을 講究해야 하는데 그 대표적인 것으로 電極周邊의 土壤에 化學的인 處理를 하는 方法을 들 수 있다. 이 때 使用하는 化學物質을 接地抵抗 低減劑라고 한다. 본 章에서는 이 低減劑를 통하여 接地抵抗을 낮추는 方法에 대하여 論해 보기로 한다.

가. 低減劑의 概念

接地抵抗을 내리기 위한 方法으로서 電極 부근에 소금물을 뿌리거나 木炭粉末을 채우는 方法은 오래전부터 많이 쓰여온 것인데, 이것은 接地電極을 疑似 接地導體로 본다는 것과 大地抵抗率을 人工的으로 작게 한다는 두가지 생각에서 출발하고 있는 것이다.

말할 것도 없이 接地抵抗은 大地抵抗率과 電極의 모양 및 크기의 函數이며 大地抵抗率을 작게 하면 接地抵抗은 감소하며 또한 電極의 크기가 커져도 一般的으로 接地抵抗이 감소한다.

앞에서 말한 疑似 接地導體란 電極의 겉보기 반경을 늘린 상태를 말한 것이며 (그림 6-1 (a)), 土壤에 소금물을 注入한다는 것은 大地抵抗率을 작게 한다는 것을 뜻한다 (그림 6-1 (b)). 그런데 소금물이나 목탄 등을 사용하는 방법에는 다음과 같은 缺點이 있다. 즉, 소금물을 주입하는 방법은 일시적인 효과는 크나 短時間내에 빗물이나 地下水의 흐름 등에 의하여 흩어져 버려 持續的인 效果를 기대할 수 없고, 木炭을 채우는 방법은 電極 材質이 銅일 때는 銅에 腐蝕作用을 일으켜 최악의 경우 接地線이 끊어져 버리는 사고를 유발한다.

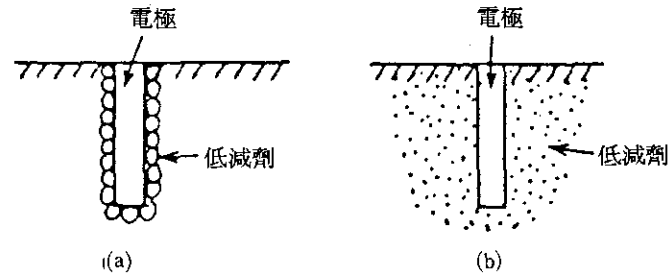


그림 6-1 低減劑 處理의 概念

低減劑라 부르는 것의 개발은 土木工事에서 사용하고 있는 土質安定處理劑로부터 힌트를 얻어 이것에 導電性 物質을 添加劑로서 混合해서 接地抵抗低減劑로 한 것이다. 大地抵抗率을 化學的으로 작게 하는 低減劑에는 비교적 固有抵抗이 작은 導電性 物質이 사용되고 있는데, 그 대표적인 물질에는 소금, 목탄분말 (카본), 炭酸소다, 琉安 등을 들 수 있다. 이러한 導電性 물질은 단독으로는 土壤과의 接着力이 약할 뿐더러 물에 녹아 쉽게 확산되어 버려 持續性이 없기 때문에 그대로 사용하기에는 적합하지 않아, 이러한 결점을 보완하여 物理的, 化學的으로 우수한 低減劑가 개발되어 왔다.

나. 處理效果의 理論的 檢討

土壤에 化學的 處理를 하는 간단한 模型을 생각하여 理論的인 근거를 살펴 보기로 한다. 低減劑의 化學處理 模型로서 半球모양 電極, 橢圓體 모양 電極을 사용하는 경우에 대해 설명하기로 한다.

(1) 化學的 處理의 模型 1

지금 그림 6-2 (b)와 같은 반경 r_1 의 半球모양 電極이 抵抗率이 다른 두점의 層으

로 감싸여져 있다고 하고, 같은 등 그림 (b)에서 각층은 각각 그 속의 토양이 동일
이고 이들의 경계면은 전극과 同心의 半球로 한다. 또한 경계면의 반경을 r_2 로 하여,
안쪽층의 抵抗率을 ρ_1 로 하고 바깥층 층은 無限遠點까지 이어져 그 抵抗率을 ρ_2 로 하
여 r_1 까지를 接地電極, r_1 에서 r_2 까지를 化學처리를 한 부분이라 가정한다.

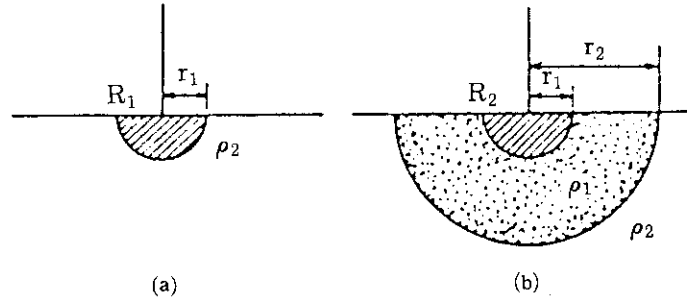


그림 6-2 低減劑 化學的 處理의 模型

그림 6-2 (a)의 電極의 接地抵抗 R_1 은 전극표면 r_1 에서 無限遠點까지의 合成抵抗
이므로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$R_1 = \int_{\gamma_1}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx = \frac{\rho_2}{2\pi\gamma_1} \quad (6-1)$$

위 그림(b)의 電極의 接地抵抗 R_1 는 電極表面 γ_1 으로부터 r_1 까지의 抵抗과 γ_2 에서
無限遠點까지의 抵抗의 直列結合이라 생각할 수가 있어 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} R_2 &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho_1}{2\pi x^2} dx + \int_{r_2}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx = \frac{\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{\gamma_1} - \frac{1}{\gamma_2} \right) + \frac{\rho_2}{2\pi\gamma_2} \\ &= \frac{\rho_1 \gamma_2 + (\rho_2 - \rho_1) \gamma_1}{2\pi \gamma_1 \gamma_2} \end{aligned} \quad (6-2)$$

즉, 假想 모델에 있어서 R_1 는 未處理의 경우에 해당하고, R_2 는 ρ_1 의 導電性物質
로 化學處理한 경우에 해당한다. R_1 과 R_2 의 比를 구하면,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} + \frac{\rho_1}{\rho_2} \left(1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \right) \quad (6-3)$$

식 (6-3)에서 $\rho_1\gamma_2 = \rho_2\gamma_1$ 또는 $\rho_1 \ll \rho_2$ 이면,

$$\frac{R_2}{R_1} \simeq \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \quad (6-4)$$

즉,

$$R_2 = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} R_1 = \frac{\rho_2}{2\pi\gamma_2} \quad (6-5)$$

이상에서 低減劑에 의한 電極 부근의 抵抗率 ρ_1 을 주위의 大地抵抗率 ρ_2 에 비하여 아주 낮게 해주는 것이 接地抵抗 低減의 하나의 方法이라는 것을 알 수 있다. 즉, 식 (6-5)가 의미하고 있는 것은 電極이 γ_1 에서 γ_2 까지 膨脹한 것으로 생각할 수 있어 이를 疑似接地體에 의한 接地抵抗이라고 부른다.

(2) 化學的 處理의 모델 2

低減劑의 施工法에는 여러가지 方法을 생각할 수 있으나 여기서는 回轉橢圓體를 이용한 施工 形狀에 대하여 알아보자. 그림 6-3의 (a) 및 (b)의 모양중 어느 쪽이 더 유리한지를 理論的으로 檢討해 보고자 한다.

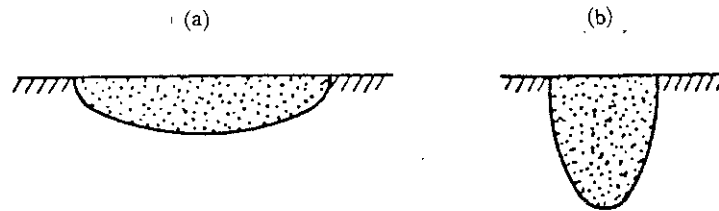


그림 6-3 低減劑의 施工法

回轉橢圓體 電極系의 接地抵抗 계산식은 앞에서 소개한 바 있으나, 그 식의 電極 半徑 γ , 길이 ℓ 의 諸元은 電極의 부피 ($V = 4\pi \gamma^2 \ell / 3$)가 일정하다는 조건에서 여러 가지 모양의 경우의 γ 과 ℓ 을 결정하도록 했다. 예를 들어 半球모양 電極을 기준으로 하여 그 반경을 1m라 하면 체적은 $4\pi/3 \text{ m}^3$ 가 되고 이것과 같은 체적의 扁平모양

電極은 $\gamma = 5 \text{ m}$, $\ell = 0.04 \text{ m}$ 의 경우이고, 扁長모양 電極은 $\gamma = 0.5 \text{ m}$, $\ell = 4 \text{ m}$ 의 경우이다. 이 電極들의 r 과 ℓ 을 接地抵抗 計算式에 대입해서 半球모양 전극과 비교해 보면 그림 6-4와 같이 된다. 이 그림에서 水平軸은 $a = \ell/r$ 로서, $a = 1$ 이면 半球, $a < 1$ 이면 扁平, $a > 1$ 의 경우는 扁長 모양의 電極을 나타내며, 垂直軸은 R/R_0 로서 半球모양 電極의 接地抵抗 R_0 와 回轉橢圓體系의 接地抵抗 R 과의 비를 나타내고 있다.

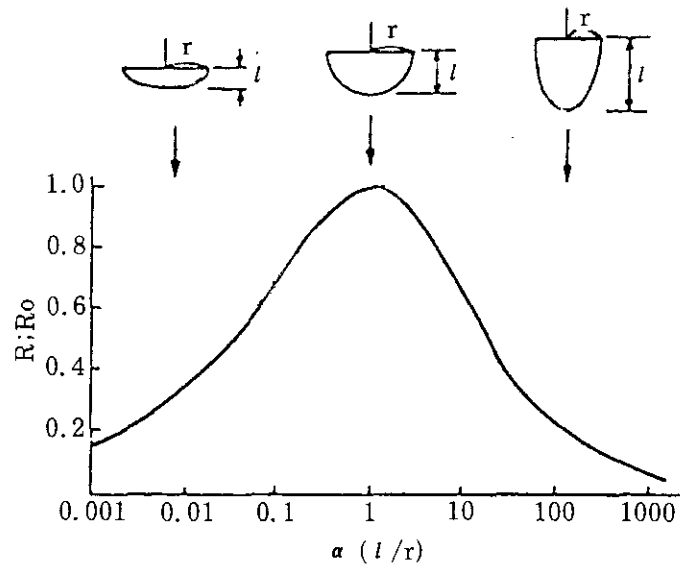


그림 6-4 電極形狀과 接地抵抗

그림 6-4에 의하면 같은 부피, 즉 低減劑의 사용량이 같은 경우 接地抵抗는 半球모양이 가장 크고, 扁平모양이나 扁長모양으로 됨에 따라 작아지는데, 扁平과 扁長을 비교하면 扁長쪽이 더 작다. 즉, 低減劑의 施工모양은 扁平型보다 扁長型으로 하는 쪽이 유리하다고 할 수 있으며, 따라서 그림 6-3에서는 (b)가 더 유리하다.

다. 低減劑가 具備해야 할 條件

低減劑를 사용할 때는 다음 항목을 만족시켜야 할 필요가 있다:

- ① 人體와 環境에 대하여 安全할 것.

- ② 電氣的 良導體일 것.
- ③ 持續性이 있을 것.
- ④ 電極을 腐蝕시키지 않을 것.
- ⑤ 作業性이 良好할 것.

등인데 ①은 公害에 대하여, ② 및 ③은 低減效果에 대하여, ④ 및 ⑤는 管理 및 經濟效果에 대해 각각 고려해야 할 문제를 내포하고 있는데, 여기서는 이들 항목에 대하여 각각 좀더 상세히 알아보기로 한다.

(1) 安 全 性

接地抵抗 低減劑는 化學的處理를 한 것이기 때문에 사람과 動植物에 대한 有害性이 우려된다. 土壤을 汚染시키거나 하여 生物에 대해 有害한 것은 사용해서는 안된다. 토양의 汚染原因이 되는 물질에는 대표적인 것으로 카드뮴이나 銅이 있는데, 이 물질들은 토양에 들어갈 경우, 擴散이나 分解되지 않고 장기간에 걸쳐 殘留하며 유해한 영향을 미친다. 그외 중요한 汚染原因物質에는 亞鉛 등의 重金屬類, PCB 등의 有機化合物이 있고, 이밖에 窒素 및 그 化合物, 黃酸鹽 등도 토양속에 다량으로 유입될 경우에는 토양을 크게 오염시킨다. 또한, 黃酸소다와 같은 無機化合物은 重金屬類와 비교해서 토양속의 蓄積性은 적으나 다량이 사용되면 위험하다.

여기서 저감제의 뿌리라 할 수 있는 土質安定處理劑에 대해 약간 알아보기로 한다. 安定處理法은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① Portland Cement에 의한 방법
- ② 石灰 혹은 石灰 플라이아슈에 의한 방법
- ③ 曆靑材에 의한 방법
- ④ 化學的 材料에 의한 방법

處理劑에 쓰이는 添加劑의 효과는 크게 나뉘어 흙의 接着效果 (흙입자간의 接着劑로서 사용한다.)와 흙의 含水量 調節효과 (흙입자에 작용하는 것으로 保水劑와 防水劑가 있다.)가 있다. 이 添加劑에는 각양각색의 것이 있는데, 대표적인 것으로 無機

質에는 포트랜드 시멘트, 소석회, 규산소다, 황산알루미늄, 탄산소다, 황산소다, 염화나트륨, 황산마그네슘, 有機質에는 歷靑材, 폴리아크릴산소다 등이 있다. 다시 低減劑로 돌아가 低減劑에 쓰이는 導電性 物質을 알아보면, 이것에는 염화나트륨, 황산마그네슘, 황산동, 염화마그네슘, 염화칼슘, 황산암모늄, 초산나트륨, 황산칼륨 등이 있다.

위에서 열거한 것중에는 시험관 안에서는 無害라 할지라도 토양속에서 다른 물질과 반응해서 유해하게 되는 물질도 있을 것이므로 가급적이면 有機系 物質은 사용하지 않는 것이 좋다.

(2) 導 電 性

앞서 기술한 바와 같이 低減劑는 주위의 토양에 비해 抵抗率이 작아야 한다. 즉 導電度가 좋아야 한다. 接地抵抗 低減劑로서 필요한 첫째 성분은 물을 다량으로 함유하고 또 이것을 쉽사리 빠지게 하지 않는 성분이다 (이하, 이러한 재료를 滯留劑라고 부른다.). 이 滯留劑로서 실지 쓰이고 있는 것에는 적토 및 벤토나이트 (膨潤性이 풍부한 粘土의 일종)가 있다.

이들 재료가 물을 함유했을 때의 抵抗率은 대략 $10\Omega\text{-m}$ 정도로 소위 高抵抗率 地帶 ($10^3\Omega\text{-m}$ 이상)의 抵抗率의 $1/100$ 에 해당된다 (표 6-1). 따라서 이들 두가지 재료는 이것만으로도 低減效果를 얻을 수 있는데 이것에 電解液을 혼합하면 더욱 효과적이다.

그러나 이들 두가지 재료는 충분한 低減效果를 얻으려면 大量으로 사용해야 할 뿐더러 그 저감효과의 持續性이 불안하다. 그래서 전혀 새로운 滯留劑로서 合成樹脂가 등장하였는데 그것은 저분자량 樹脂 (이온 樹脂 및 변성요소 樹脂를 주성분으로 한 것.)를 사용하여, 이것에 電解質 化合物과 경화제를 짝지운 것이다. 종전부터 土木工事中에서 漏水 및 용수의 방어나 지지력의 증강을 위해 合成樹脂를 써왔는데 이것에 導電性만 갖게 하면 된다. 즉 電解質 化合物의 水溶液으로 電解液을 만들어 이것을 合成樹脂의 Gel로 유지한다.

이 새로운 接地抵抗 低減劑의 함수 경화수지는 고중합성폴리머이며 그 안의 강전 해질은 함수경화수지의 치밀한 망 구조속에 함유되기 때문에 유동성의 지하수 속에 방치해도 장기적으로 용출하는 일이 없는데, 그것은 거시적 (Macro)으로 보면 Gel 이나, 미시적 (Micro)으로 보면 固體와 液體의 공존 상태에 있다. 즉, 전해액이 저 투수성의 有機物의 벽속에 넣어져 樹脂는 전체적으로 보면 低抵抗率의 接地體를 형성 한다. 물론 强 電解質이라 해도 그 電氣 傳導의 Mechanism이 分子 (Ion) 移動에 의한 傳導이기 때문에 自由電子에 의해 電氣가 傳導되는 金屬에 비하면 그 抵抗率은 훨씬 높아 표 6-1에 든 바와 같이동이 $10^3 \Omega \cdot m$ 정도의 抵抗率인데 비해 최량의 電解液이라해도 그 抵抗率은 $10^{-2} \Omega \cdot m$ 정도이다. 그런데 이것이 合成樹脂를 이용한 滯留劑와 짝지워지면 抵抗率이 한자리수가 더 올라가 $10^{-1} \Omega \cdot m$ 정도가 된다. 그래도 高抵抗率 地帶의 抵抗率에 비하면 1萬分の 1정도이기 때문에 接地抵抗 低減劑로서의 효과는 충분히 기대할 수 있다.

표 6-1 各種 物質의 抵抗率

物 質	抵抗率의 程度
高抵抗率地帶	10^3 以上
물을 함유한 粘土	10^1
低減劑	10^{-1}
最良의 電解液	10^{-2}
銅	10^{-3}

(3) 持 續 性

接地電極에 低減劑 處理를 한 경우 그 직후는 接地抵抗이 크게 감소하여 그 低減劑의 효과로 말미암아 처리전의 數 10 %의 接地抵抗値를 갖게 된다. 그러나 시간이 지남에 따라 低減劑의 효과가 떨어져 接地抵抗은 점차로 다시 증가하게 된다. 이상적

인 低減劑는 완전히 永久不變의 성능을 갖고 있어야 하나, 현실적으로는 低減劑가 土壤속에서 그 성분이 흩어져버리게 되어 효과가 감소되는 경우가 많다.

여기서는 어떤 低減劑를 써서 저감효과와 持續性的의 분석을 한 데이터가 있어 소개하기로 한다. 實驗地點의 大地構造는 그림 6-5처럼 地表下 6 m 정도에 大地抵抗率 이 아주 작은 곳이 있어서 이 지점에 棒型電極 (길이 5.3 m), 線모양 電極 (길이 10m, 매설깊이 0.75m)을 布設하여 각기 低減劑 처리를 하여 接地抵抗의 經年變化를 살펴 보았다. 棒型電極의 경우는 그림 6-6에 보여지고 있다. 이 그림에서 전극 A, B의 처리전과 처리직후의 接地抵抗의 차이를 보면 A는 11%, B는 20%의 저항비를 나타내고 있다. 이것은 처리효과가 나타난 것으로 처리후의 經年變化를 보면 약간 상하의 변화가 있고 漸增傾向은 볼 수 있으나 처리전의 接地抵抗에 비하면 역시 낮다.

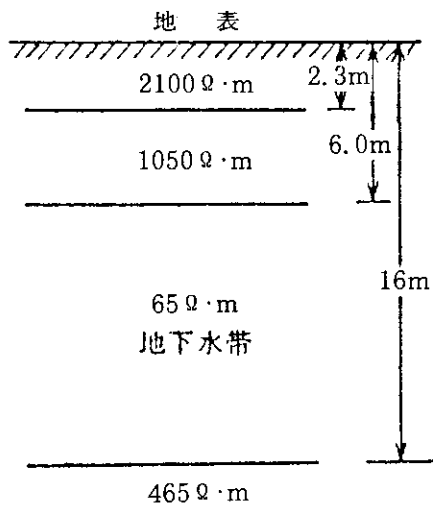


그림 6-5 實驗地點의 大地構造

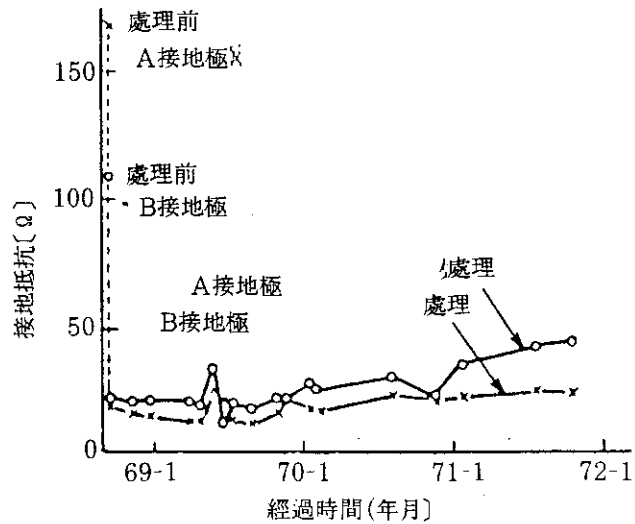


그림 6-6 棒型電極의 經年變化

埋設地線의 경우는 그림 6-7과 같은데 이 그림은 1년간의 季節變動과 그 양상을 겸해서 표현하고 있으며 처리전과 처리직후의 저항비는 19 %이다. 이 그림에서 A는 無處理의 接地抵抗, B는 處理가 된 것으로서 無處理의 경우 바로 계절의 영향을 받고 있는 것이 뚜렷하게 나타나고 있는 반면에 低減劑로 처리한 전극은 연중에 걸쳐서 거의 一定하다.

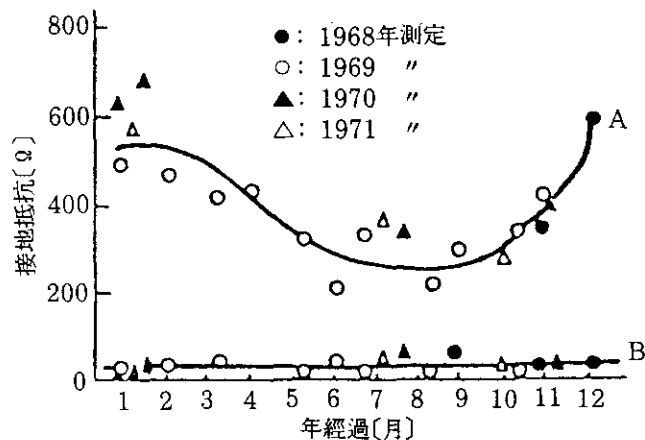


그림 6-7 埋設地線の 徑年變化

그림 6-6 및 6-7을 보면 無處理의 경우 어느 것이나 뚜렷이 겨울에 抵抗이 높고 여름에는 낮는데, 이것은 土壤의 水分 含有率이 겨울에 낮고 여름에는 높기 때문이다. 이에 반하여 化學的 處理를 한 接地電極은 年間 接地抵抗의 季節 變動이 억제되는 경향이 있는 것을 알 수 있다.

(4) 腐蝕性

接地抵抗의 低減劑는 사용되는 약품에 따라 여러가지가 있는데 여기서는 合成樹脂를 이용한 低減劑를 쓴 電極의 腐蝕實驗 結果의 데이터를 소개한다. 接地電極 주변에 低減劑를 처리한 상황은 그림 6-8과 같은데 低減劑 속에서의 接地電極 腐蝕은 일반적인 흙속에서의 腐蝕과는 다음과 같은 점에서 그 양상이 다르다.

- ① 보통의 土壤은 그 物理的, 化學的 성질의 장소에 대한 不均質性이 현저하나 低減劑에 대한 Gel은 비교적 均質하게 유지되어 이것은 腐蝕을 억제하는 효과를 갖는다.
- ② 보통의 土壤은 通氣性이 있어 空氣중의 酸素가 電極 表面에 닿아 腐蝕을 촉진하나 低減劑 처리를 한 경우는 Gel의 존재로 通氣性이 나빠져서 酸素의

공급이 적어져 이 결과 腐蝕의 진행이 抑制되는 效果를 갖게 된다.

- ③ 低減劑 Gel 속에 含有되고 있는 성분에 의해 復極作用 및 不動態 皮膜의 破壞가 일어나 腐蝕이 促進된다.

이상과 같이 低減劑 Gel의 存在는 接地電極의 腐蝕을 促進하는 效果와 抑制하는 效果의 양쪽 모두를 가지고 있다.

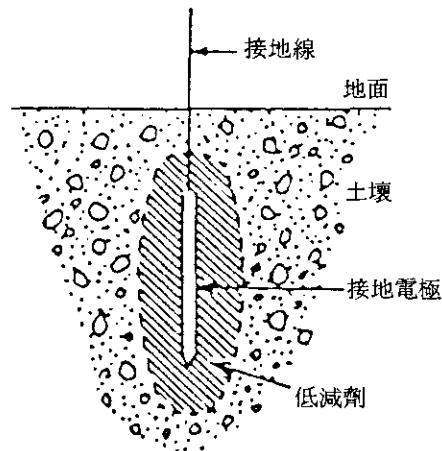


그림 6-8 低減劑 處理의 狀況

라. 低減劑의 施工方法

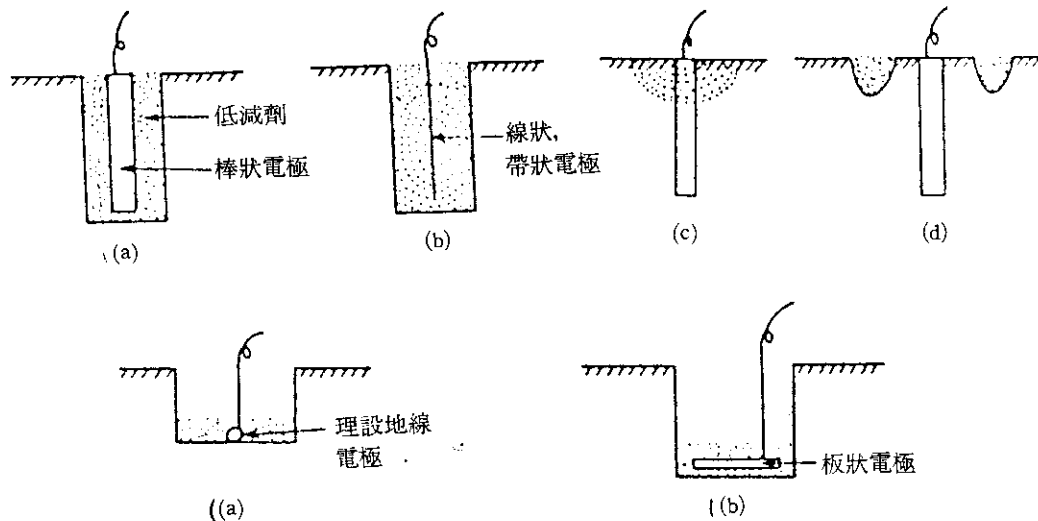
低減處理의 效果를 疑似接地體로서 기대하느냐 혹은 大地抵抗率의 減少를 기대하느냐 하는 低減劑의 性狀에 따라 使用方法이 決定된다. 어떻든 低減劑는 接地電極 부근에 施工하게 되는데 施工에 있어서는 앞의 나.절에서 쓴 바와 같이 低減劑의 施工모양은 扁平型보다 扁長型 쪽이 유리하다. 물론 이것은 棒型 接地電極을 위한 低減劑를 疑似接地體로서 이용하는 경우이다.

施工方法으로서 생각할 수 있는 것은 대별해서 流入法과 滯留槽法이 있으며 그것은 그림 6-9에서 보여지는 것과 같다. 이 그림에서 流入法의 (a)는 棒型電極에 대한 것으로 타입할 구멍에 低減劑를 流入하는 방법인데 土質에 따라서는 보링하는 경우

도 있으나 이 때에도 電極의 틈새에 低減劑를 주입한다. (b)는 棒型電極 대신에 線모양 電極, 띠모양 電極을 布設하는 경우로 보링 工法으로 구멍을 뚫어 전극을 놓은 다음 그 속에 低減劑를 유입시킨다. (c)는 電極 부근의 大地에 低減劑를 뿌리는 방법으로 水盤法이라고도 하며, (d)는 電極 주위에 고리모양으로 홈을 파서 그 속에 低減劑를 流入시키는 방법이다.

한편, 滯留槽法 (a)는 接地電極 (線모양 電極, Mesh 電極)의 주위에 低減劑를 넣어 되메우기를 하는데 구덩이의 바닥면, 벽면은 밀도가 큰 진흙 등으로 어느 정도의 水防을 하여 물의 侵入을 막는 동시에 低減劑가 흩어지는 것을 막는 역할도 갖게 한다. 滯留槽法 (b)는 板狀電極의 경우이다.

이상 施工方法에 대하여 알아 보았으나 그 方法은 低減劑의 種類나 電極의 種類, 그리고 工事地點의 土質에 따라 다양하다. 또한 作業性도 고려되어야 하고, 低減效果의 特徵도 있고 해서 모든 경우에 골고루 좋은 것은 있을 수 없으므로 현장 실정에 따라 適切한 方法을 採擇하여 사용하여야 한다.



〔滯留槽法〕

그림 6-9 施工方法

7. 接 地 材 料

接地系를 構成하는 基本 材料인 接地線과 接地電極은 電流容量, 耐腐蝕性 등의 조건을 滿足시키는 것을 사용하여 接地系의 信賴性을 높여야 한다. 接地材料에는 接地線과 接地電極외에도 Connector類 등 附屬品들도 있는데 여기서는 接地線과 接地電極에 限定하여 材料로서 具備조건, 材料의 種類 및 치수 등 接地設計에 꼭 필요한 지식에 대하여 알아보기로 한다.

安全用 接地系統은 正常 狀態에서는 地絡電流가 흐르지 않으나, 사고가 발생하면 地絡電流를 용이하게 대지에 흘러 電位 上昇을 억제할 필요가 있다. 따라서, 設計段階에서 地絡事故를 假想하고 이에 對處하기 위한 接地系統을 設計하여야 한다. 接地材料로서 基本的으로 갖추어야 할 必要 條件은 電流容量, 耐腐蝕性, 施工性 등인데, 接地 材料가 地上에 施工되느냐, 地中에 施工되느냐에 따라 조건이 다르다. 예를 들어, 地絡電流와 雷電流에 의한 接地線 자체 혹은 접속부의 溶斷에 대해서 地上空間에서는 Joule 熱은 放散되나, 地中에서는 放熱이 잘 안된다. 이것은 接地線의 치수에도 관계하는 것이다. 또한, 地中이면 接地電極 자체나 접속부에 腐蝕이 발생하며, 이는 接地電極의 材質 및 치수에 관계가 된다. 따라서, 接地線 및 接地電極에 대하여 信賴性이 높은 適切한 材料를 選定하기 위한 條件을 고려해야 한다.

가. 電 流 의 容 量

(1) 接 地 線

接地線에 전류가 흐르면 Joule 熱이 발생하고 絶緣被覆이 타거나 주위의 가연물에 위험을 미칠 수 있으며, 최악의 경우 接地線 자체가 용단될 수도 있다. 電路로서

의 기능을 만족하기 위해서는 충분한 電流容量, 충분한 導體 斷面積이 필요하다. 도체 단면적은 전류의 크기, 통전시간, 온도, 재료의 特性值 등을 이용하여 다음과 같은 IEEE Standard에서 추천한 式을 이용하여 구한다.

$$A = I \sqrt{\frac{tc \alpha_r \rho_r \times 10^4}{TCAP \ln \left\{ 1 + \left[\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right] \right\}}} \quad (7-1)$$

여기서, I : 接地線에 흐르는 電流 [KA]

A : 接地線의 斷面積 [mm²]

T_m : 最大 許容溫度 [℃]

T_a : 周圍 溫度 [℃]

T_r : 物理 正數의 基準 溫度 [℃], ρ₀ : 0℃일 때 도체의 열 저항률

α_r : T_r 일 때 導體의 熱 抵抗率

ρ_r : T_r 일 때 導體의 抵抗率 [Ω/cm²], K₀ : 1/α₀

tc : 통전시간 [초], TCAP : 열용량 계수 [J/cm²·℃]

재료의 物理正數는 표 7-1과 같다. 또한, Onderdonk 식은 식 (7-1)의 기초가 되는 것으로 다음과 같이 나타낸다.

$$I = A \sqrt{\left[\frac{1}{33s} \right] \log_{10} \left\{ 1 + \left[\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} \right] \right\}}} \quad (7-2)$$

여기서, I : 接地線에 흐르는 電流 [A]

A : 接地線의 斷面積 [mm²]

T_m : 最大 許容溫度 [℃]

T_a : 周圍 溫度 [℃]

s : 通電時間 [초]

표 7-1 材料의 物理定數

電 線 材 料	그림 7-1 의 對應番號	導電率 [%]	α_r (at 20℃)	K_o ($1/\alpha_o$) (at 0℃)	溶融溫度 [℃]	ρ_r [$\mu\Omega/\text{cm}^2$] (at 20℃)	TCAP [J/cm ³ ·C]
軟 銅 線	1	100.0	0.00393	234	1083	1.7241	3.422
硬 銅 線	2	97.0	0.00381	242	1084	1.7774	3.422
銅 覆 鋼 線	3	40.0	0.00378	245	1084/1300	4397	3.846
銅 覆 鋼 線	4	30.0	0.00378	245	1084/1300	5.682	3.846
Aluminium	5	61.0	0.00403	228	657	2.862	2.556
耐蝕 Aluminium #5005	6	53.3	0.00353	263	660	3.2226	2.598
耐蝕 Aluminium #6201	7	52.5	0.00347	268	660	3.2840	2.598
Aluminium 覆 鋼 線	8	20.3	0.00360	258	660/1300	8.4805	2.670
亞 鉛 도 금 鋼 線	9	8.5	0.00320	293	419/1300	20.1	3.391
Stainless鋼 #304	10	2.4	0.00130	749	1400	72.0	4.032

식 (7-1)을 근거로, 각종 재료의 물리정수를 대입하여 통전시간과 접지선 치수의 관계를 그림 7-1에 표시하였다.

$$A = I \sqrt{\frac{tc \times 8 \times 10^{-3}}{T_m - T_a}} \quad (7-3)$$

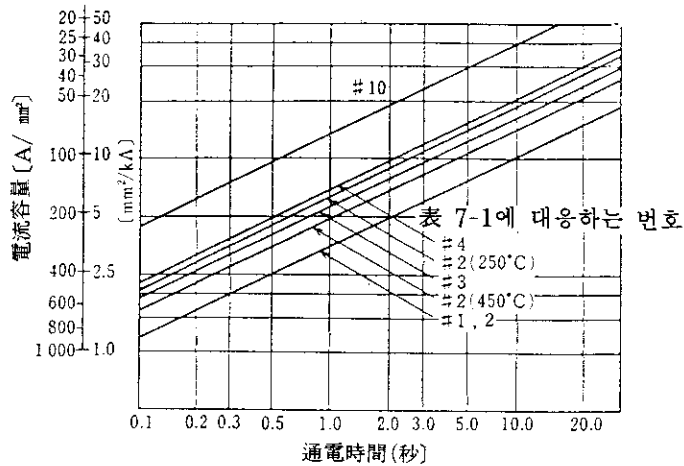


그림 7-1 接地線의 電流容量

우리나라와 일본에서는 接地線 (銅線)의 굵기를 결정하는데, 일반적으로 다음 식을 이용하고 있다.

$$A = I \sqrt{\frac{tc \times 8 \times 10^{-3}}{T_m - T_a}} \quad (7-3)$$

여기서, A : 接地線 斷面積 [mm²]

I : 接地線에 흐르는 電流 [A]

T_m : 最大 許容溫度 [℃]

T_a : 周圍 溫度 [℃]

t_c : 通電 時間 [초]

식 (7-3)을 이용하여 계산할 경우는 전원측 과전류차단기의 동작 특성과 관계되고, 다음과 같은 조건이 필요하다.

- ① 접지선에 흐르는 고장 전류는 전원측 과전류차단기의 정격전류의 20배로 한다.

- ② 과전류차단기는 정격전류의 20배 전류에서도 0.1 초 이하에서 동작한다.
- ③ 고장 전류가 흐를 때 접지선 주위 온도는 30℃로 한다.
- ④ 고장 전류가 흐를 때 접지선 최대 허용온도 T_m 은 150℃로 한다.

따라서, 최대허용온도 $T_m = 150^\circ\text{C}$, 주위 온도 $T_a = 30^\circ\text{C}$ 를 식 (7-3)에 대입하고 통전시간을 파라미터로 하여 전류와 단면적 관계를 보면 그림 7-2와 같다.

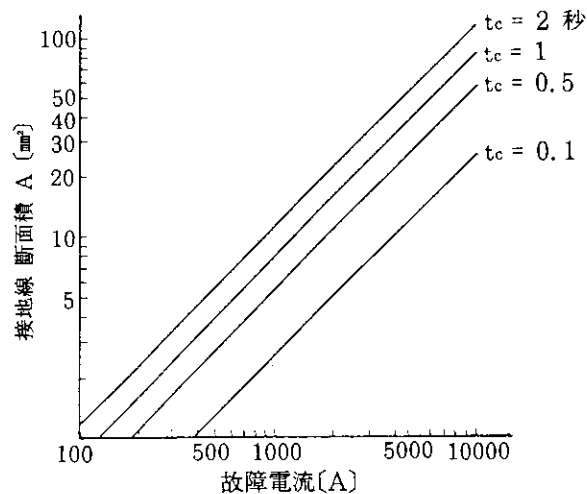


그림 7-2 故障電流와 接地線 굵기의 關係

설비기기에서 接地極까지의 接地線은 일반적으로 600 V 비닐 절연전선 (IV)이 쓰인다. IV선을 접지선으로 사용할 때는 녹색이어야 하며, 최고 허용온도는 60℃이다. 기타 接地線으로는 600 V 비닐 절연 캡타이어 케이블 (VCT), 二重 비닐 絶緣 電線 등이 이용되고 있다.

(2) 避雷導線

避雷導線은 뇌전류를 흘리기 위한 전로이므로 도체의 굵기에 특히 유의할 필요가 있다. 도체에 흐르는 시간을 정상 전류에 대해서는 통전시간으로 표시하였는데 뇌전

류에 대해서는 그림 6-3과 같이 派尾長으로 나타내는 것이 일반적이다. 이것은 수 $\mu \text{ sec}$ 정도로 도체에 흐르는 시간은 매우 짧다. 피뢰도선의 굵기를 결정하기 위한 Marshall 식은 다음과 같다.

$$A = \frac{I \cdot T}{K} \quad (7-4)$$

여기서, A = 避雷導線의 斷面積[cmils]; I = 避雷導線에 흐르는 電流 [KA]

K = 材料의 特性值 (표 7-2); T = 電流의 波尾長 [μs]

표 7-2 材料의 K 값

金屬材料	K
銅	320,000
Aluminium	200,000
黃 銅	200,000
鋼	200,000

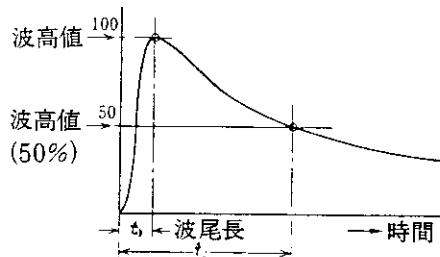


그림 7-3 雷電流의 波尾長

뇌전류가 피뢰도선을 통과하는 시간은 그림 7-3에서 波尾長을 9, 18, 40 μs 의 3 종류로 하고, 전류와 피뢰도선 (동선으로 한다)의 단면적 관계는 그림 7-4와 같이 된다.

Marshall식은 도체의 온도에 대해서는 언급이 없는데, 뇌전류의 값은 크나 통과 시간이 매우 짧고, 피뢰도선은 나선이므로 온도 상승을 고려한 허용 최대 온도를 설정해도 현실적이지 못하다.

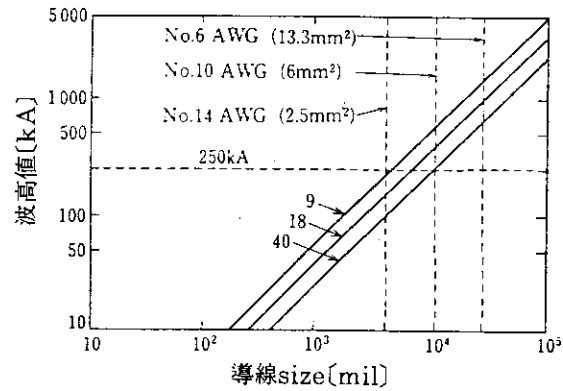


그림 7-4 雷電流와 避雷導線 斷面積의 關係

(3) 接 地 電 極

接地電極은 땅 속에 묻혀 있으므로 지상에 있는 접지선과는 조건이 전혀 다르다. 接地電極의 電流容量이 토양의 電氣抵抗率 (大地抵抗率)과 토양과 접촉하는 전극의 접촉면적에 관계가 있다는데서 創案해 낸 식은 다음과 같다.

$$I_0 = \sqrt{\frac{49}{\rho t}} \quad (7-5)$$

여기서, I_0 : 접지전극 표면의 전류밀도 [A/cm^2]

ρ : 대지저항률 [$\Omega \cdot cm$] ; t : 통전시간 [sec]

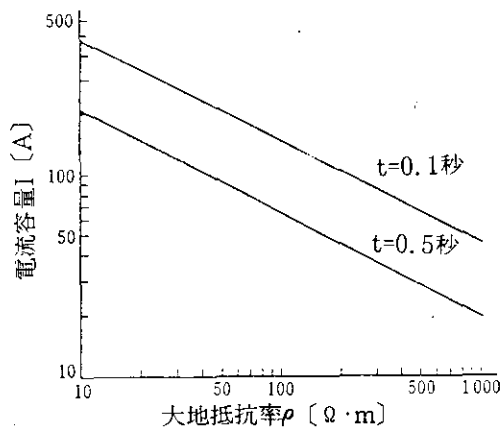


그림 7-5 通電時間과 電流容量의 關係
(棒型電極의 경우)

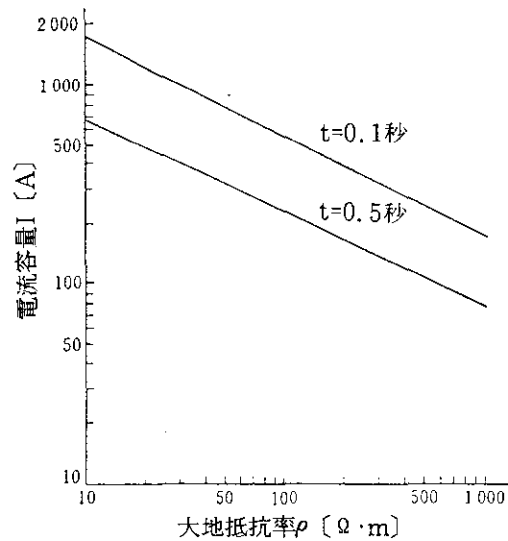


그림 7-6 通電時間과 電流容量의 關係
(板狀電極의 경우)

식 (7-5)의 I_0 는 단위면적당의 전류이므로, 전극 전체의 電流容量은 전극의 표면적을 곱하여 구할 수 있다. 식 (7-5)를 근거로 棒型電極 (반지름 0.7cm, 길이 150cm)과 板狀電極 (90×90 cm)의 경우 通電時間과 電流容量의 관계를 보면, 그림 7-5 및 그림 7-6과 같다.

식 (7-5)는 선모양 전극, 띠모양 전극에도 적용되나, 도체의 온도에 대한 조건이 없다. IEEE에서는 선모양 전극의 전류용량을 결정하는데 식 (7-1)을 사용하며, 어떤 식을 사용하던 간에 계산에는 큰 차이가 없다.

나. 耐 腐 蝕 性

接地는 電極과 大地라는 서로 성질이 전혀 다른 것과의 접촉이며, 電極은 大地의 단자 역할을 하고 일반적으로 금속재료가 이용되고 있으나 부식이 문제이다. 따라서, 부식 문제는 접지 관리 중에서 가장 중요한 것으로 재료 선정시에는 시공장소의

대지저항률, 土壤의 含水狀態, PH 등 物理化學的 性質과 더불어 주위환경, 이를테면 전철의 線路, 저장탱크 등의 有無를 파악할 필요가 있다.

(1) 腐蝕의 形態

腐蝕을 분류하여 보면, 그림 7-7과 같이 濕蝕과 乾蝕으로 크게 구분된다. 濕蝕이란 수분을 동반하여 電氣 化學的 反應으로 진행되며 다시 電蝕과 自然腐蝕으로 나뉜다. 乾蝕은 수분을 동반하지 않는 腐蝕이나 濕度가 높은 공기와 反應性 가스에 의한 것으로서 化學的 反應을 진행하는 것이다.

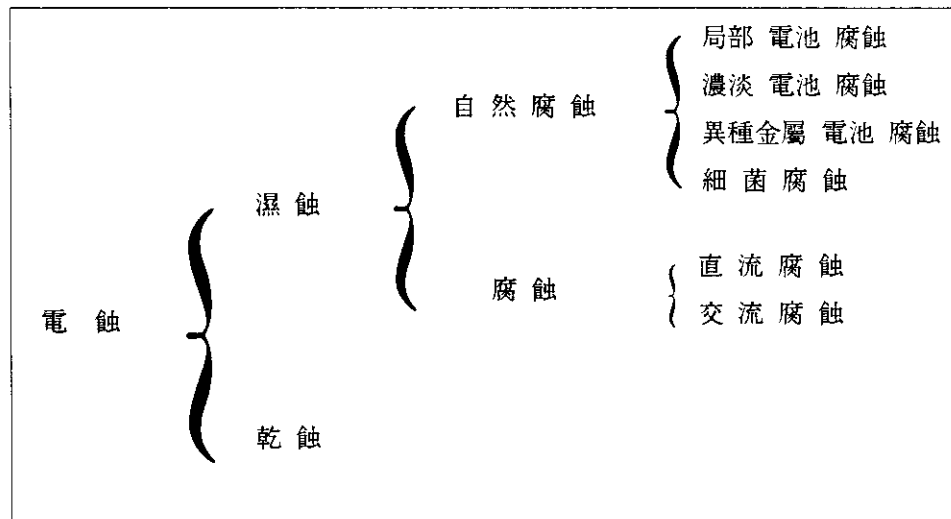


그림 7-7 腐蝕 形態의 種類

接地電極의 腐蝕은 주로 濕式에 속하며 그 形態에는 5가지 종류가 있다.

(가) 局部電池 (Micro Cell) 腐蝕

금속 표면은 불순물, 산화물 기타 피막, 결정구조 등에 의해 매우 불균일하다. 즉, 전극 전위는 동일 금속이라도 부분적으로는 전위차가 존재한다. 이 전위차에 의해 局部電池가 형성되고 부식이 진행된다.

(나) 濃淡 電池 (Macro Cell) 腐蝕

동일 금속의 다른 부분에서 液中の 염류 농도나 용존가스 (O_2 등) 량이 다른 경우 금속 표면에 陽極 부분과 陰極 부분을 형성하고, 陽極 부분의 부식이 촉진된다. 가장 중요한 것은 通氣의 차이에 기인하여 형성되는 산소 농담 전지 (通氣差 電池)이다. 항상 동일 부분이 陽極으로 되어 부식하므로 孔蝕을 발생하기 쉽다.

(다) 細菌 腐蝕

매설 금속체의 부식은 토양중에 있는 세균 때문에 현저히 촉진된다. 그 중 대표적인 것은 유산염 환원 박테리아이고 수소이온농도 pH 6~8의 低酸性점토질 토양 중에서 가장 번식하기 쉬운 嫌氣性 細菌이다.

(라) 異種金屬 接觸 腐蝕

異種 金屬이 결합하여 腐蝕되는 것으로 高電位 금속과 低電位 금속이 접촉할 경우 후자가 Galvanic 부식을 받는다. 토양 중에서 이 부식이 많이 일어나는 사례로는 黃銅 밸브와 직결된 철관, 銅製 接地體와 연결된 철 구조물 등이 있다.

(마) 電 蝕

매설 금속체에 어떤 원인으로 외부에서 전류 (예를 들면, 電鐵로부터의 迷走電流)가 흘러 부식되는 것으로 도시의 지하와 같이 여러 종류의 매설물이 혼합되어 있을 때는 迷走電流가 저항이 작은 경로를 택하여 흐르게 되어, 이 때 유출점에 전식 피해가 발생할 소지가 많다.

(2) 金屬의 自然 電位列

水中 또는 土壤中の 金屬 腐蝕은 전기 화학적 Mechanism으로 일어나는 金屬 Ion化 반응이다. 金屬이 Ion이 되어 용해하려는 경향은 금속과 매질의 경계면에 존재하는 電位差, 즉 電極電位로 나타낼 수 있다. 電極 電位の 절대값을 理論적으로 구하거나 직접 측정하는 것은 불가능하다. 따라서, 알고자 하는 電極電位는 어떤 표

준 전극과 조합한 전지의 起電力을 측정하여 구할 수 있는데, 이 標準電極을 照合電極이라 하고 전위가 안정된 전극이 이용된다. 이에는 飽和 Karmel 電極과 飽和 黃酸구리 電極 등이 있다.

丑 7-3 自然電位列

높음 ↑ ↓ 낮음	白金	+ 0.33 V
	金	+ 0.18
	Stainless 鋼 (18Cr-8Ni-3Mo)	- 0.04
	銀	- 0.06
	Stainless 鋼 (18Cr-8Ni)	- 0.08
		- 0.10
		- 0.13
	青銅 (Sn 6~10%)	- 0.14
	黃銅 (85Cu-15Zn)	- 0.15
	銅	- 0.17
	黃銅	- 0.20
	(標準 水素 電極) H_2/H^+	- 0.24
	니켈	- 0.24
	朱錫	- 0.46
	납	- 0.50
	鋼, 朱鐵	- 0.45 ~ -0.65
카드뮴	- 0.78	
Aluminium	- 0.78	
亞鉛	- 1.07	
Magnesium	- 1.60	

飽和 Karmel 照合電極으로 바닷물 중의 電位를 측정한 데이터가 표 7-3에 나와 있다. 이 표는 금속 및 합금이 주어진 환경에서 실제 나타난 전위, 즉, 자연전극 전위를 높은 것에서 낮은 순으로 나열한 電位列이다. 이 표를 보면, 부식하기 쉬운 금속을 알 수 있는데 즉, 自然電位列에서 떨어진 위치의 2 種類의 金屬을 조합시키면, 電位가 낮은 금속이 陽極이 되고 電位가 높은 금속이 陰極이 되는 電池를 형성하여, 陽極이 된 金屬이 腐蝕한다. 예를 들면, 鋼製 탱크 근처의 銅棒이나 銅線의 接地電極이 있을 때 표 7-3과 같이 銅이 鋼보다 電位가 높으므로 鋼製 탱크가 腐蝕된다.

(3) 自然 腐蝕

腐蝕에 영향을 주는 因子는 土壤 組成, 含水量, pH, 大地抵抗率 등이 있다. 含水量은 일반적으로 증가하면 腐蝕이 잘 진행되지만, 토양이 수분으로 포화되면 산소의 확산이 제한되므로 부식 발생은 오히려 어렵다. 부식 발생이 가장 잘 일어나는 경우는 토양이 乾濕과 地下水의 변동으로 상태가 변할 때이며 완전 乾燥 狀態에서는 腐蝕은 발생하지 않는다. pH는 pH 4 이하의 酸性이 강한 토양에서 부식이 강하나 특수한 토양일 경우이고, 일반적으로는 pH 6~8의 범위에 있으므로 pH 만으로는 부식성을 말할 수 없다. 大地抵抗率은 부식의 主因子가 아니고, 電池 腐蝕과 異種金屬 接觸 腐蝕의 2차적 因子이다. 다시 말하면, 부식상태의 회로를 흐르는 전류는 大地抵抗率에 좌우되므로 저항률이 작으면 전류가 크게 되어 부식이 잘 진행된다. 抵抗率은 土壤의 含水量과 염류 농도에 영향을 받는다. 토양의 부식성과 大地抵抗率의 관계를 나타낸 美國 NBS (National Bureau of Standards) 데이터가 표 7-4와 같다. 여기서 사용한 試料는 鐵鋼이다.

표 7-4 大地抵抗率과 腐蝕性的 關係

大地抵抗率 [Ω -m]	腐蝕의 程度
< 7	심한 腐蝕性
7 ~ 20	조금 심한 腐蝕性
20 ~ 50	중간 정도의 腐蝕性
> 50	輕微한 腐蝕性

일본에서 실험장소를 부식환경으로 가장 적합한 해안지역을 택하여 여러가지 전극 재료를 사용하여 현장실험을 실시하여 조사 수집한 데이터를 소개하고자 한다.

그림 7-8과 같이 7 종류의 電極材料를 사용하여 自然腐蝕, 異種金屬 接觸 (Galvanic Couple) 腐蝕 實驗을 실시하였다. 전극재료의 치수, 개수, 조성이 표 7-5에 나와 있으며, 실험장소 (그림 7-8)는 해안쪽과 육지쪽의 2개 지역을 선정하였는데, 그 환경 특성은 다음과 같다.

표 7-5 試驗電極材料의 組成

접지전극 재료	치수 [mm]	시료 수량	組 成
Stainless 피복 Aluminium 봉	14 × 1,500	23個	Stainless : C<0.08, Si<1.0, Mn<2.0 P<0.040, S<0.030 Ni = 8.0~11.0 Cr = 18.0~20.0 Aluminium: 52S 내식성 Aluminium (파이프) 안 쪽 : 폴리에틸렌 수지
銅 被覆 鋼棒	14 × 1,500	8個	Cu 29.8 %, Fe 70.2 %
동 도금 강봉	14 × 1,500 14 × 750	10個 1個	C 0.15~0.20, Mn 0.30~0.60, P 0.045이하, S 0.045이하, 나머지 강 도금 Zn 0.5, Cu 1/2 두께 15~20 μ m
탄소 피복 강봉	16 × 500	8個	탄소 분말을 수지로 뭉친다. (카본, 플라스틱 혼합물)
알루미늄 봉	14 × 120	5個	Mg 5.2 %, Mn 0.1 % Cr 0.1 %, Al 94.6 %
Ferrite	14 × 120	3個	Mn 20 %, Fe ₂ O ₃ 80 %
동 도금 강판	90×95×1.2	6個	도금 Cu 99.9 %, 10~15 μ m

約 1 年間の 실태조사 실험결과 다음과 같은 사실을 알게 되었다.

- (1) Ferrite 봉, Stainless 被覆 Aluminium 봉, 銅 被覆 鋼棒은 비교적 좋은 耐蝕性이 있는 반면, 銅鍍金 鋼棒, Aluminium봉은 심하게 腐蝕되었다.
- (2) Stainless는 대부분의 경우 작은 구멍 모양으로 腐蝕되고 있었는데, 이는 Stainless 표면이 不動態化되고 있음을 나타낸다.
- (3) Aluminium도 (2)와 같은 형태의 腐蝕이었다.
- (4) 銅被覆 鋼棒은 비교적 안정된 酸化膜으로 보호되어 腐蝕이 거의 없었다.
- (5) 炭素 被覆 鋼棒은 炭素는 전혀 腐蝕이 없었고 鋼은 심하게 腐蝕되었다.
- (6) 銅鍍金 鋼棒은 試料중 가장 腐蝕이 심했는데, 이는 鐵보다 電位的으로 높은 銅을 鍍金함으로서 銅이 鐵의 腐蝕을 촉진하였기 때문이다.

따라서, 銅보다 오히려 亞鉛 등을 鍍金하는 편이 낫다.

- (7) 銅 鍍金 鋼板, Aluminium 棒은 腐蝕性 환경이 다른 장소에서 pH보다 大地 抵抗率 쪽의 영향이 강했다.
- (8) 自然電位の 값은 Stainless 被覆 Aluminium 棒이 가장 높고, 銅被覆 鋼棒, 銅鍍金 鋼棒的 순이었다.
- (9) Stainless 被覆 Aluminium 棒에 대한 Galvanic Couple 腐蝕 試驗에서는 銅被覆 鋼棒, 銅鍍金 鋼棒, 炭素 被覆 鋼棒은 모두 陽極으로 되어 腐蝕하고, Stainless에 의한 陰極型的 腐蝕이었다.
- (10) 炭素 및 Ferrite는 腐蝕에 대해서는 강하나 機械的 強度面에서 약하다.
- (11) 銅鍍金 鋼棒과 炭素 被覆 鋼棒的 組合에 의한 Galvanic 腐蝕에서는 銅, 鐵, 炭素가 共存한 상태이고 鐵이 가장 腐蝕이 심했다.
- (12) Stainless 피복 Aluminium 봉과 銅被覆 鋼棒的 Galvanic Couple 시험에서는 Stainless 孔蝕이 Aluminium까지 진행된다면 電位는 점차 감소하고 銅 被覆 鋼棒的 電位에서 極性은 逆轉한다.
- (13) 銅鍍金 鋼棒에서는 鍍金部分은 작은 구멍 (Pinhole)이 존재하므로 여기에 電解質을 포함한 水分이 함유되어 銅과 鐵의 Galvanic 腐蝕을 일으키고 鍍金 내부의 鐵이 점점 腐蝕되었다.

(4) 電 蝕

土壤에서의 電池作用에 의한 自然電蝕은 어떤 정해진 電氣回路를 형성하여 腐蝕한다. 이에 대해 의도한 回路 이외의 곳을 흐르는 電流를 漏泄電流라 하며 電蝕이란 이 漏泄電流에 의해 腐蝕하는 것을 말하며 直流腐蝕과 交流副食이 있다. 交流腐蝕은 商用 周波數의 경우 直流腐蝕의 1 % 정도이므로 電蝕이라고 하면 直流腐蝕이라 생각해도 된다.

自然腐蝕에서는 金屬 表面이 전부 腐蝕하는데 대하여, 電蝕에서는 局部的으로 腐蝕하는 특징이 있다. 현재, 電氣鐵道는 直流方式이 있고, 架空單線이므로 Rail이 電流의 歸路로 사용되고 있는데, Rail과 大地 사이는 絶緣이 불충분하여 電流가 大地에 漏泄된다. 따라서, 電鐵 Rail에 접근하여 金屬管이 埋設되어 있는 경우 電蝕으로

관에 구멍이 뚫리며, 接地電極에 대해서도 같은 電蝕이 우려된다.

直流腐蝕은 腐蝕量과 電氣量 사이에 다음과 같은 Faraday의 法則이 성립된다.

第1法則 : 電流의 通過에 의해 發生하는 反應物質의 量은 通過한 電氣量에 比例한다.

第2法則 : 같은 電氣量으로 電解되는 物質의 量은 化學當量에 比例한다.

이 法則은 電解質의 組成, 濃度, 溫度에 無關하게 성립하고, 電極에 一定 電流 I 가 t 초간 흐르는 경우 電解量 W [g]은 다음 식으로 나타내어진다.

$$W = K I t \quad (7-5)$$

여기서, K는 $I \cdot t = 1$ 즉, 1 Coulomb의 電氣量에서 電解되는 물질의 電氣化學當量 이라고 하며, 單位는 [g/A·S]이다.

電氣化學當量은 電解될 때의 금속 Ion 價에 따라 변하는데 그 값은 표 7-6과 같다. 이 표에는 1 mA에서 1년간의 電氣量에 의한 電解量도 나타내고 있다. 電蝕의 실내 Simulation 實驗 方法과 그 結果를 소개한다.

표 7-6 金屬의 電氣化學當量

金 屬	原 子 價	化學當量	電氣化學當量		1 mA, 1년간의 電氣量에 의한 電 解量 [g]
			[mg/C]	[g/A·h]	
銅	1	63.54	0.6585	2.371	20.8
銅	2	31.77	0.3293	1.185	10.4
납	2	103.6	1.0737	3.865	33.9
안 티 몬	3	40.58	0.4206	1.514	13.3
주 석	2	59.35	0.6151	2.142	18.7
주 석	4	29.67	0.3075	1.107	9.7
니 켈	2	29.36	0.3043	1.095	9.6
니 켈	3	19.57	0.2028	0.730	6.4
카드미늄	2	56.20	0.5825	2.097	18.4
鐵	2	27.92	0.2894	1.042	9.1
鐵	3	18.62	0.1929	0.695	6.1
크 롬	3	17.33	0.1796	0.647	5.7
아 연	2	32.69	0.3388	1.220	10.7
알루미늄	3	8.99	0.0932	0.336	2.9
마그네슘	2	12.16	0.1260	0.454	4.0

通電前의 처리로서 試驗材料를 가성소오다 용액에 24 시간 담가 脫脂한 후 10분 정도 건조시켜 重量을 측정한다. 재료의 중앙 6 cm를 남기고 다른 부분은 모두 절연 테이프로 감는다. 2ℓ 들이 비이커 (지름 13 cm, 높이 23 cm)에 약 2 % 농도의 황산구리 용액을 채우고 양극을 試驗電極, 음극을 補助電極으로 하였다.

표 7-7 試驗 材料

기 호	재 료	직경 [mm]	길이 [cm]	귀출부분의 표면적 [cm ²]	試 料 개 수	
					직류용	교류용
A	銅 被覆 鋼棒	10	110	19.16	5	3
B	동 도금 鋼棒	10	110	19.16	5	3
C	스텐레스 被覆鋼棒	10	100	19.16	5	3
D	탄소 被覆 鋼棒	16	110	30.66	5	3

황산구리 溶液은 Ion 交換한 純粹한 물에 황산구리를 넣는다. 용액의 抵抗率은 2 % 濃度에서 $2.4 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 에 거의 일정하게 되었고 시험 전극으로 표 7-7의 4 종류의 試驗材料를 사용하고 補助電極에는 알루미늄 ($8 \times 3 \times 0.3 \text{ cm}$)을 사용하였다. 전원은 安定化 電源을 사용하였으나 通電電流가 불안정하므로 1 시간마다 電流를 측정하여 通電 電氣量을 구했는데, 實驗回路는 그림 7-9와 같다.

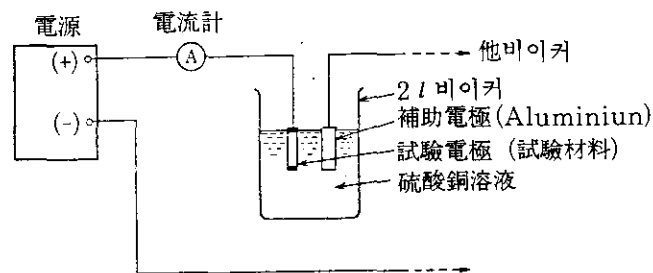


그림 7-9 直流腐蝕 實驗回路

通電後 처리에서는 일정시간 경과 후 試驗材料를 들어내어 化學 處理를 하고 酸化物을 제거하였으며, 10 분간 乾燥시켜 重量을 측정하였다. 실험 결과 直流試驗에서

는 Stainless 被覆 鋼棒의 腐蝕量이 매우 적었으며 그 다음이 銅被覆 鋼棒, 銅鍍金 鋼棒의 순이었다. 交流試驗에서는 Stainless 被覆 鋼棒 이외는 腐蝕되지 않았으며, Stainless의 경우 腐蝕 重量은 直流試驗의 약 12 % 정도였다. 直流試驗에 의한 腐蝕 양상을 Sketch한 것이 그림 7-10이다.

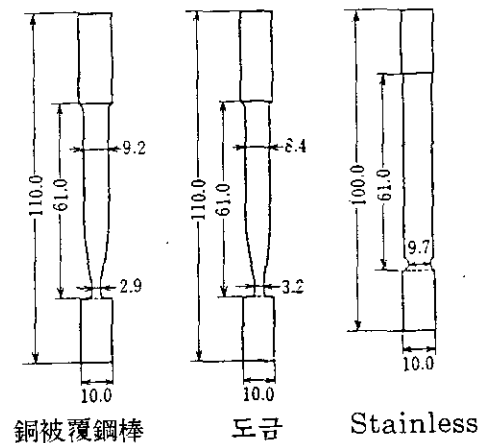


그림 7-10 直流腐蝕實驗結果 (단위: mm)
(電極의 腐蝕樣相)

通電 電氣量을 전극의 露出部分, 즉 通電部分의 表面積으로 나누어 單位 表面積當 通電 電氣量을 구하고, 이 값에서 실측 減量을 나누어 $A \cdot h / cm^2$ 當 腐蝕에 의한 減量을 구하여 표 7-8에 나타냈다. 직류에 의한 腐蝕은 앞서의 Faraday 法則에 따르고 2 種類의 電極材料에 대한 실험결과에 대한 理論的 檢證을 하였다.

표 7-8 室內 實驗 結果

電 源	試 驗 材 料	單位表面積當 通電 電氣量 ($A \cdot h / cm^2$)	1 $A \cdot h / cm^2$ 當 腐蝕 重量 ($g / (A \cdot h / cm^2)$)
直 流	銅被覆 鋼棒	0.610	21.9722
	銅鍍金 鋼棒	0.631	23.5735
	Stainless 被覆 鋼棒	1.415	1.8629
	炭素 被覆 鋼棒	0.756	-
交 流	Stainless 被覆 鋼棒	1.494	0.2325

(가) 銅被覆 鋼棒

腐蝕重量은 표 7-9와 같고, 通電 電氣量은 11.7 A·h, 實測減量의 평균값은 13.4g이다. 이에 대한 이론적 검증을 하면, 電極의 露出部分의 체적, 銅被覆의 두께 0.5 mm, 銅의 밀도 8.92g/cm³을 고려하면, 通電部分의 銅 重量은 8.117g이다. 이것이 모두 부식되었을 때 필요한 電氣量은 銅의 腐蝕當量을 1.185g/A·h로 하면 6.844 A·h가 된다. 전체 通電 電氣量이 11.7 A·h이므로 나머지 4.856 A·h로 내부의 강이 부식되었다면 강의 감량은 철의 腐蝕當量을 1.042 g/A·h로 계산할 때 5.059 g이 되고 전체 감량은 8.117 + 5.059 = 13.176 g이 되며 이 값이 이론적 감량이다. 실측 감량의 평균값과 비교하여 보면 잘 일치됨을 알 수 있다.

(나) 銅鍍金 鋼棒

腐蝕重量은 표 7-10과 같으며, 通電 電氣量은 12.085 A·h, 實測 減量의 평균값은 14.8479 g이다. 銅被覆 鋼棒과 같이 이론적 검증을 해보자. 도금의 두께는 銅과 亞鉛이 모두 0.01 mm이고, 밀도는 각각 8.92, 7.14 g/cm³이다. 通電部分의 銅 重量은 0.171 g, 아연 0.136 g으로, 필요한 電氣量을 구하면 0.256 A·h로, 이에 의해 내부의 강이 腐蝕되었다면 鋼의 減量은 鐵의 腐蝕當量을 1.042 g/A·h로 계산하면 銅, 아연, 鋼의 減量 합계는 12.633 g이 되며 實測 減量의 평균값보다 적은 값이다. 시판되고 있는 接地棒은 2 가지 이상의 金屬 材料로 만들어지므로, 이 2 가지 實驗에서 接地電極의 腐蝕當量을 계산하여 보자.

內 譯	銅被覆 鋼棒	銅鍍金 鋼棒
實測 減量 [g]	13.4031	14.8749
通電 電氣量 [A·h]	11.7	12.085
銅	8.117	0.307
鋼	5.286	14.598

단, 銅鍍金 鋼棒에는 亞鉛 鍍金 (0.136 g)과 銅鍍金 (0.171 g)이 있는데, 여기서는 모두 銅으로 계산한다.

표 7-9 銅被覆 鋼棒의 實驗 DATA

試料番號	通電前 重量 [g]	通電後 重量 [g]	實測 減量 [g]
1	68.1097	54.7756	13.3341
2	67.8162	54.2998	13.5174
3	68.4800	54.9981	13.4819
4	67.9670	54.5582	13.4088
5	68.2774	55.0041	13.2733

平均值: 13.4031 g

표 7-10 銅鍍金 鋼棒의 實驗 DATA

試料番號	通電前 重量 [g]	通電後 重量 [g]	實測 減量 [g]
1	66.4831	51.6990	14.7841
2	67.1190	52.3436	14.7754
3	66.7594	51.7687	14.9907
4	66.5987	51.6569	14.9418
5	66.6187	51.7359	14.8828

平均值: 14.8749 g

銅 및 鋼의 腐蝕當量을 각각 x, y로 하면, 앞의 관계에서 다음 식이 구해진다.

$$\frac{8.117}{x} + \frac{5.286}{y} = 11.700 \quad \text{-----} \quad \text{銅被覆 鋼棒}$$

$$\frac{0.307}{x} + \frac{14.598}{y} = 12.085 \quad \text{-----} \quad \text{銅鍍金 鋼棒}$$

이 연립方程式을 풀면, x = 1.0931, y = 1.2366, 즉

銅의 腐蝕當量 = 1.0931 g/A·h

鋼의 腐蝕當量 = 1.2366 g/A·h

여기서, 이들 腐蝕當量을 사용하여 通電 電氣量에 대한 腐蝕重量의 관계를 나타내면 그림 7-11과 같다.

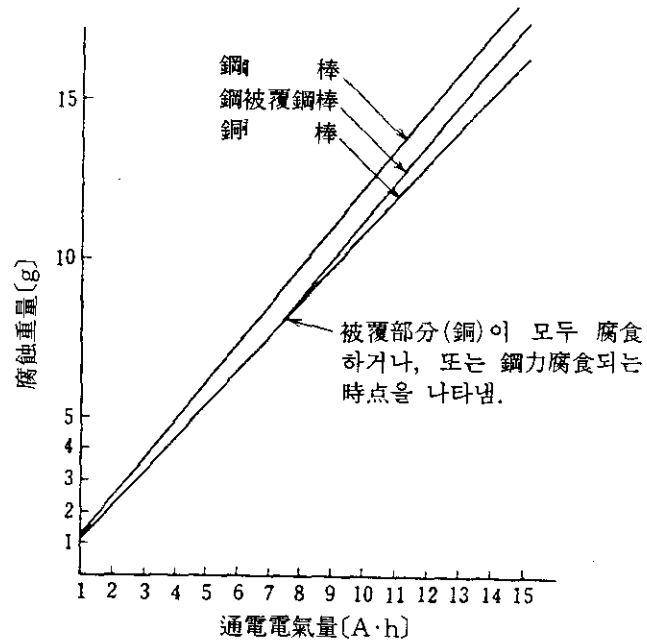


그림 7-11 通電電氣量과 腐蝕重量의 關係 (直流의 경우)

銅被覆 鋼棒 (外徑 14 mm, 被覆 두께 0.5 mm, 길이 1500 mm)의 電蝕에 의한 바깥지름의 변화를 Simulation하여 보자. 銅의 腐蝕當量을 1.0931 g/A·h, 鋼의 腐蝕當量을 1.2366 g/A·h로 계산하면, 동 被覆部 (두께 0.5 mm)가 없어지는데 필요한 通電 電氣量은 259 A·h이다. 이하 鋼 부분의 바깥지름이 12, 11, 10, ... mm가 되기까지 通電 電氣量을 계산하면 그림 7-12와 같다.

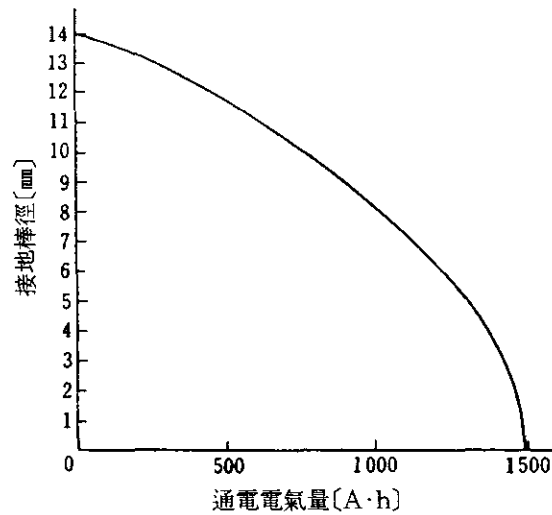


그림 7-12 直流電蝕에 의한 接地棒 外徑의 變化

다. 施工性

接地線 및 電極의 施工性에 있어서 주로 문제가 되는 것은 棒型電極을 땅에 박을 때의 기계적 強度와, 接地線과 電極 혹은 接地線 상호간의 接續部分의 信賴性이다. 前者는 大地의 N 값에 관계하는 것으로, 大地의 N 값이 크고 딱딱할 경우 銅被覆銅棒 등의 接地棒을 거칠게 박아넣다 보면, 銅被覆이 떨어져 나가는 경우가 많다. 이렇게 되면 腐蝕이 촉진된다. 또한, 電極을 연결하여 타입할 때 진동으로 연결점이 떨어지거나 땅속에서 수직으로 박히지 않고 구부러지는 경우도 발생한다.

한편, 施工性에서 유의해야 할 것은 접속부의 信賴性으로, 接地線과 電極 材料가 적정해도 接續部가 불완전하면 不良工事가 되기 쉽다. 접속부의 信賴性을 높이려면 접속에 의한 電氣抵抗을 최소화해야 한다. 이 電氣抵抗은 접속면의 接觸抵抗이 대부분이므로 이를 최소화하여야 할 필요가 있다.

接續材에 따라서는 過大電流에 의한 溶融도 고려하여 溶融溫度가 높은 물질을 사

용하여야 한다. 또한, 異種의 재료를 접속하면 이에 의한 電位差가 생거나 腐蝕 위험이 발생하는데 이때는 접속면을 亞鉛鍍金하거나 특수 납땜을 하여 해결할 수 있다.

접속부가 떨어져 나가는 것도 생각하여야 한다. 이를 막기 위해서는 기계적 강도 특히 引張強度를 크게 하여야 한다. 接續方法의 몇가지 例를 소개하면 다음과 같다.

(1) 接地線 相互間의 接續

壓搾 슬리브 (Sleeve), 볼트형 Connector 등을 사용하며 이때 접촉면을 크게 하면 信賴性이 높으므로 접촉면이 접지선 단면적의 5배 이상이 되도록 하는 것이 바람직하다.

(2) 接地線과 板狀電極

黃銅 銀 납땜, 銅 Thermit 鎔接 등의 방법을 사용한다. 黃銅이나 은 납땜은 용융온도가 800℃ 전후이고 접속방법으로서는 완전하다. 銅 Thermit 鎔接은 酸化銅과 Aluminium Powder를 써서 Thermit 反應에 의하여 접속하는 것으로 가장 신뢰도가 높다.

(3) 接地線과 棒型電極

市販되는 接地棒은 Lead 端子가 붙어 있으며, 이것이 없으면 專用 볼트형 Connector나 締結 Clamp를 사용한다.

(4) 接地線과 띠모양 電極

板狀電極은 공장에서 미리 가공할 수 있는데, 띠모양 전극은 현장에서 접속하는 수가 많다. 이 때문에 締結 Clamp를 이용하는 방법이 이용된다. 보다 신뢰성을 높으려면 銅 Thermit 鎔接으로 접속하는 것이 좋다.

(5) 接地線과 線모양 電極

(1)과 같은 방법으로 하는데 납땜하는 것이 바람직하다.

(6) 接地線과 建築 構造物의 鐵筋/鐵骨

납땜이나 銅 Thermit 鎔接이 바람직하다.

라. 接地線 및 電極의 種類와 寸數

接地材料의 具備條件이 만족되면 이를 설계에 이용할 수 있으나 이것만으로는 불충분하고 相關 法 規程도 만족하여야 한다. 또한, 소요 接地抵抗을 만족하는 電極의 크기를 계산할 때 이를 특별 주문하여 이용하기 보다는 KS 규격의 接地材料를 이용하면 경제적이다. 여기서는 相關 기준 및 규격을 다시 살펴보고 접지 설계에 필요한 接地線, 接地電極의 종류 및 寸數에 대하여 소개한다.

(1) 基準 및 規格상의 寸數

「電氣設備 技術基準에 關한 規則」(이하 電技), 「內線 規程」(이하 內規) 및 KS에서 정하고 있는 接地線 및 接地電極의 종류와 寸數를 정리하면 다음과 같다.

(가) 接地線

接地線의 굵기는 「電技」 제20조 “各種 接地工事의 細目”에서 정하고 있으며, 「內規」에는 다음과 같이 규정되어 있다.

140-3 제1종, 제3종 및 특별제3종 接地工事의 施設方法
1. 제1종 接地工事, 제3종 接地工事 및 특별제3종 接地工事의 接地線은 다음 각호에 의하여 시설하여야 한다. 다만, 710-5 (高壓接觸電線)에서 규정한 경우는 제외한다. (電技 20)
① 접지선이 외상을 받을 우려가있는 경우에는 금속관 (가스철관 등을 포함한다 합성樹脂管 등에 넣을 것.
[주] 피뢰침, 피뢰기용 접지선은 동제금속관에 넣지 말 것.
② 접지선은 피접지 기계기구에서 60 cm 이내의 부분과 지중부분을 제외하고는 금속관, 合成樹脂管 등에 넣어 外傷을 防止할 것.
③ 접지선에는 다음에 의하여 알루미늄線을 使用하는 境遇를 除外하고는 銅線을 使用하며, 그 굵기는 제3종 및 특별 제3종 접지공사의 경우 原則적으로 표 1-18에, 제1종 접지공사의 경우에는 표 1-19에 따를 것 (금속관工事에서 금속관과 Pull Box를 機械

的으로 완전하게 接續하기가 곤란한 境遇 또는 配線을 保護하기 위하여 使用하는 金屬體 등을 거쳐서 接地工事を 施行하는 境遇는 본드 線을 包含하여 接地目的物에서 接地極에 이르기까지의 全體 線路에 適用한다). 다만, 다음의 경우에는 이에 따르지 아니하여도 無妨하다.

가. 제3종 및 특별제3종 접지공사의 接地極이 그 접지공사 專用的 接地極 (打入式 또는 埋立式)이고, 그 接地極이 제2종 接地工사와 金屬體 등으로 連結되어 있지 아니한 境遇에는 14 mm²보다 굵은 것을 使用할 필요는 없다.

나. 移動하면서 使用하는 低壓電氣機械器具에 附屬되는 多芯코드 또는 多芯 캡타이어 케이블 중의 1芯 (電氣機械器具에 電氣를 공급하는 芯線과 同等 以上の 굵기인 것에 限한다.)을 接地線으로 使用할 境遇.

④ 地中 및 接地極에서 地表面上 60 cm 以下 部分의 접지선, 濕한 콘크리트, 石材 벽돌 類에 接하는 部分 또는 腐蝕性 가스 및 溶液을 發散하는 場所의 접지선을 除外하고는 접지선으로 알루미늄線을 使用해도 無妨하다. 이 境遇 알루미늄線의 굵기는 表 1-18 및 表 1-19에 따를 것.

表 1-18 第3種 또는 特別第3種 接地工사의 接地線 굵기

접지하는 기계 기구의 금속재 외함. 배관등 의 저압 전선 로 외측에 시 설되는 과전류 차단기 중 최 소의 정격 전 류 용량	接 地 線 의 굵 기				
	일반의 경우			이동하면서 사용하는 기계기구에 접지를 하여야 할 경우로서 가요성 을 필요로 하는 부분에 코드 또는 캡타이어케이블을 사용하는 경우	
	동	알루미늄	단심의 굵기	2芯을 접지선으 로 使用하는 경 우 1芯의 굵기	
20 A 이하	1.6mm이상	2mm ² 이상	2.6mm 이상	1.25mm ² 이상	0.75mm ² 이상
30 A "	1.6mm	2mm ²	2.6mm "	2mm ² "	1.25mm ² "
50 A "	2.0mm	3.5mm ²	2.6mm "	3.5mm ² "	2mm ² "
100 A "	2.6mm	5.5mm ²	3.2mm "	5.5mm ² "	3.5mm ² "
150 A "		8mm ² "	14mm ²	8mm ² "	5.5mm ² "
200 A "		14mm ² "	22mm ² "	14mm ² "	5.5mm ² "
400 A "		22mm ² "	38mm ² "	22mm ² "	14mm ² "
600 A "		38mm ² "	60mm ² "	38mm ² "	22mm ² "
800 A "		50mm ² "	80mm ² "	50mm ² "	30mm ² "
1,000 A "		60mm ² "	100mm ² "	60mm ² "	30mm ² "
1,200 A "		80mm ² "	125mm ² "	80mm ² "	38mm ² "

[비고 1] 이 표의 過電流遮斷器는 흡입구장치, 建線用 또는 分岐用에 시설하는 것 (開閉器가 過電流遮斷器를 兼하는 境遇를 包含한다)이며, 電氣開閉器와 같은 電動機의 과부하 보호기는 包含하지 아니한다.

[비고 2] 코드 또는 캡타이어케이블을 使用하는 境遇의 2심인 것은 2심의 굵기가 동등한 것으로 2심을 並列로 使用하는 境遇의 1심 단면적을 表示한다.

[비고 3] 이 表의 算定基準에 對하여는 附錄 1-6을 參考할 것.

⑤ 접지하는 전기기계기구의 金屬製外函, 배관 등과 접지선과의 접속은 전기적으로나 기계적으로 확실하게 하여야 한다.

[註] 기계기구 附着用볼트를 이용하여 Nut, 接地線을 조일 경우에는 두꺼운 와셔를 사용하는 것이 좋다. 銅接地線의 굵기가 2.6 mm를 초과할 과할 경우에는 그 선단에 터미널러그 또는 端子金具를 부착하는 것이 좋다. 또 알루미늄 接地線을 부착하는 경우에는 400-7 (전선과 器具 단자와의 접속)의 규정에 따라 시설할 것.

2. 造營材 등에 고정하는 접지선을 수전실, 전기실에 시설한 것을 제외하고 원칙적으로 IV전선 또는 이와 동등이상의 絶緣效力이 있는 전선을 사용하여야 한다.

[註] 電技에는 IV 전선 또는 이와 동등이상의 絶緣效力이 있는 전선을 사용할 것을 요구하고 있지는 아니하나 이와같이 하는 것이 보안상 바람직하다.

표 1-19 제 1종 접지공사의 접지선 굵기

제1종 接地工事의 接地線의 部分	接地線의 種類	接地線의 굵기	
		銅	알루미늄
플경하여 사용하는 전기 기계기구에 접지공사를 하는 경우 및 이동하면 서 사용하는 전기기계기 구에 접지공사를 하는 경우에 可撓性を 필요로 하지 아니하는 경우	—	2.6mm이상 (5.5mm ² 이상)	3.2mm 이상
이동하면서 사용하는 전 기기계기구에 접지공사 를 하는 경우로서 可撓 性を 필요로 하는 부분	3종 클로로프렌 캡타이어케이블, 3 종 클로로설펜화 폴리에틸렌 캡타이 어케이블, 4종 클로로프렌 캡타이어케 이블, 4종클로로설펜화 폴리에틸렌 캡타이어 케이블 또는 고압용의 캡타 이어케이블의 1심 또는 多芯 캡타이 어 케이블이나 고압용의 캡타이어케 이블 또는 고압용의 캡타이어 차폐금 속체 또는 接地用 金屬線	8mm ² 이상	—

[備考] 이 표는 비접지식 고압전로에 전기기계기구를 접지하는 경우의 최저기준을 표시한다.

140-4 제3종 및 特別第3종 接地工事의 特例

1. 제3종 接地工事 및 特別제3종 接地工事を 시행하여야 하는 금속체가 다음 중의 하나에 적합한 경우에는 해당 접지공사를 시행한 것으로 看做한다 (電技 21)

① 제3종 接地工事を 시행하여야 하는 금속체와 대지간이 전기적 및 기계적으로 확실하게 연결되어 있고 그 사이의 전기저항치가 100 이하일 경우

② 特別제3종 接地工事を 시행하여야 하는 금속체와 대지간이 전기적 및 기계적으로 확실하게 연결되어 있고 그 사이의 전기저항치가 10 이하일 경우

[註] 140-1 (接地工事의 種類) 의 漏電遮斷器를 시설하는 경우의 特례는 이 條에서도 준용된다.

140-5 제2종 接地工事의 施設方法

1. 特別고압전로 또는 고압전로와 저압전로를 결합하는 변압기의 저압측 중성점에는 제2종 접지공사를 시행하여야 한다.

다만, 저압전로의 사용전압이 300 V 이하의 경우에 있어서 해당 접지공사를 중성점에 시설하기 어려운 경우는 저압측에서 임의의 1단자에 시설할 수 있다.

(電技 24).

2. 전항의 接地工事は 875-5 (高壓屋外配電用 變壓器의 低壓側接地)에서 정한 경우를 제외하고 變壓器의 시설장소마다 시설하여야 한다 (電技 24)

3. 제2종 接地工事의 接地線에는 710-5 (高壓接觸電線)에서 정한 경우를 제외하고 IV 전선 또는 이와 동등이상의 절연효력이 있는 銅電線을 사용하여야 한다.

다만, 지중 및 접지극에서 지표면상 60 cm 이하의 부분, 습기가 있는 콘크리트, 석재, 연와류 등에 접하는 부분 또는 부식성가스나 용액이 발산하는 장소에서 사용하는 경우를 제외하고는 알루미늄 電線을 사용할 수 있다.

4. 高壓電路와 低壓電路를 변압기에 의하여 결합하는 경우의 제2종 接地工事의 接地線 굵기는 원칙적으로 표 1-20에 의하여야 한다.

다만, 埋入 또는 打入에 의한 제 2종 접지공사로서 이 접지극이 다른 목적의 接地 또는 매설금속체와 연결하지 아니하는 경우는 표 1-20 중 동선 14 mm², 알루미늄선 22 mm² (변압기를 전주 또는 금속제외극내에 시설하는 것에서는 동선 2.6 mm, 알루미늄선 3.2 mm)를 초과하는 부분에 대하여는 동선 14 mm², 알루미늄선 22 mm² (변압기를 전주 또는 金屬體 外函내에 시설하는 것에서는 동선 2.6 mm, 알루미늄선 3.2 mm)의 것을 사용할 수 있다 (電技 20).

5. 제2종 접지공사의 접지선중 可撓性を 필요로 하는 부분은 3종 클로로프렌 캡타이어케이블,

3중 클로로설펜화 폴리에틸렌 캡타이어케이블, 4중 클로로프렌 캡타이어케이블, 4중 클로로설펜화 폴리에틸렌 캡타이어 케이블이나 고압용의 캡타이어케이블의 1심 또는 多芯 캡타이어케이블이나 고압용의 캡타이어케이블의 遮蔽金屬體를 사용하고 또한 굵기는 단면적 8 mm² 이상으로 고장시 흐르는 전류가 안전하게 통할 수 있는 것이어야 한다 (電技 20).

표 1-20 接地線의 굵기

변압기 1 상분의 용량			접지선의 굵기	
100 V 급	200 V 급	400 V 급	동	알 루 미 늄
5 KVA까지	10 KVA까지	20 KVA까지	2.6 mm 이상	3.2 mm 이상
10 " 까지	20 " 까지	40 " 까지	3.2 mm 이상	14 mm ² 이상
20 " 까지	14 " 까지	75 " 까지	14 mm ² 이상	22 mm ² 이상
40 " 까지	75 " 까지	150 " 까지	22 mm ² 이상	38 mm ² 이상
60 " 까지	125 " 까지	250 " 까지	38 mm ² 이상	60 mm ² 이상
75 " 까지	150 " 까지	300 " 까지	50 mm ² 이상	80 mm ² 이상
100 " 까지	200 " 까지	400 " 까지	60 mm ² 이상	100 mm ² 이상
125 " 까지	250 " 까지	500 " 까지	80 mm ² 이상	125 mm ² 이상

[비고 1] 이 표의 수치에 대한 검토는 표 1-18의 경우와 같은 방법으로 하면 된다.

[비고 2] [變壓器 1相分の 容量]이라함은 다음의 값을 말한다.

- (1) 三相변압기의 경우는 定格容量의 1/3의 용량을 말한다.
- (2) 같은 용량의 단상변압기 3대로서 결선 또는 Y결선하는 경우에는 단상 變壓器 1대의 定格容量을 말한다.
- (3) 단상변압기 V 결선의 경우
 - 가. 같은 용량의 단상변압기 2대로 V결선하는 경우에는 단상변압기 1대의 定格容量을 말한다.
 - 나. 다른 용량의 단상변압기 2대로 V결선하는 경우에는 큰 용량의 단상 변압기 定格容量을 말한다

[비고 3] 변압기가 2뱅크 이상으로 並列 연결되어 저압측이 1대의 차단기로 보호되는 경우 [변압기 1상분의 용량]은 각 뱅크에 대한 [비고 2]의 용량의 합계치로 한다.

[비고 4] 저압측이 다선식인 경우에는 그 사용전압중 최대 전압을 적용한다.

例: 단상 3선식 100 V / 200 V와 같은 경우는 200 V급을 적용한다.

사람이 接觸될 우려가 있는 場所의 제1종 및 제2종 接地工事의 接地線

1. 수전실, 전기실 등 이외에 접지선을 전주, 옥축 기타 사람이 접촉될 우려가 있는 장소에 시설하는 경우에는 다음의 각 호에 의하여야 한다 (電技 20).

① 接地極은 지하 75cm 이상의 깊이로 매설할 것. 접지선은 접지극에서 지표상 60cm까지의 부분에는 절연전선, 캡타이어케이블 (3종 캡타이어케이블, 3종 클로로프로렌 캡타이어케이블, 3종 클로로설펜화 폴리에틸렌 캡타이어케이블, 4종 클로로프로렌 캡타이어케이블 또는 4종 클로로설펜화 폴리에틸렌 캡타이어케이블에 한한다) 또는 케이블 (클로로프로렌 外裝 케이블 및 비닐外裝 케이블에 한한다) 를 사용할 것.

② 接地線의 지표면하 75 cm에서 지표상 2 m까지의 부분에는 합성수지관 또는 이와 동등이상의 절연효력 및 강도가 있는 것으로 덮을 것.

〔註〕 목제 물드에 절연 콤파운드를 가득 채운 것 등은 호의 절연효력 및 강도가 있는 것으로 취급해도 무방하다.

2. 접지선을 사람이 접촉될 우려가 있는 장소에 철주와 같은 금속체에 따라서 시설할 경우에는 전항의 규정에 따르는 외에도 접지극을 지중에서 그 금속체와 1m 이상 離隔하여 매설하고 또한 접지선 전부를 전항 ②에 규정된 접지선을 사용하여야 한다.

3. 접지선을 시설한 지지물에는 파괴침용 접지선을 시설하여서는 아니된다 (電技 20).

140-9 引入口 附近에서의 接地

1. 需用場所의 저압전로 引入口 부근에서 다음 각 호에 해당하는 것이 있는 경우에는 이것을 接地極으로 사용하여 제2종 접지공사를 시행한 저압전로의 중성선 또는 접지측 전선에 추가하여 引入口 부근에서 접지할 수 있다. (電技 23).

〔註〕 전기사업자의 저압전로에 접속할 경우에는 전기사업자의 승락을 필요로 한다.

② 지중에 매설되고 대지간 전기저항이 3Ω 이하로 유지될 수 있는 금속제 수도관로

〔註〕 수도관리자의 승락을 필요로 한다.

② 건물의 철골(철골철근 콘크리트의 철골은 포함되지만 철근콘크리트의 철근은 포함되지 아니한다) 과 대지간의 電氣抵抗이 3Ω 이하로 유지될 수 있는 鐵骨

2. 전항의 접지공사에 사용하는 접지선의 굵기는 표 1-21에 따라야 한다. 이 경우에 접지선이 사람이 접촉될 우려가 있는 장소에 시설되었을 경우에는 제450절 (비닐外裝 케이블 配線, 클로로프로렌 外裝 케이블 배선 및 폴리에틸렌 外裝 케이블배선) 또는 제460절 (캡타이어케이블배선)에 따라 시설하여야 한다.

3. 1항의 접지선은 다음 각 호에 의하여 접지극 또는 전로에 접속하여야 한다.

- ① 引入口 부근의 중성선 또는 접지측 전선의 접속은 125-7 (전선의 접속)에 따르면 또한 인입구 장치의 전원측에서 쉽게 분리할 수 있도록 접속할 것.
 - ② 접지선과 금속제 수도관로 등과의 접속에 사용되는 접지금구는 접속부에 전기적 부식이 발생되지 아니하는 것을 사용할 것.
- 〔註 1〕 구체적인 재질에 대하여는 140-8(수도관 등의 접지극) 2항 ④의 〔註〕를 참조할 것.
- 〔註 2〕 이 조의 규정에 의하여 인입구 접지를 하는 경우 금속관배선의 금속관, 전기기계기구의 금속제외극, 금속프레임 등의 접지는 모두 引入口 접지의 접지선에 접속하여 공동 접지하는 것이 바람직하다.

표 1-21 引入口 接地의 接地線 굵기

인입선 부착점에서 인입구까지 해당하는 부분의 전선		接地線의 굵기	
銅	알 루 미 늄	銅	알 루 미 늄
14 mm ² 까지	14 mm ² 까지	2.6 mm ² 이상	3.3 mm ² 이상
38 mm ² 까지	60 mm ² 까지	3.2 mm ² 이상	14 mm ² 이상
100 mm ² 까지	150 mm ² 까지	14 mm ² 이상	22 mm ² 이상
250 mm ² 까지	400 mm ² 까지	22 mm ² 이상	38 mm ² 이상
250 mm ² 초과	400 mm ² 초과	38 mm ² 이상	60 mm ² 이상

140-11 過電流遮斷器의 施設制限

接地工事의 接地線에는 過電流遮斷器를 施設하여서는 아니된다 (電技 41).

140-12 接地工事의 兼用

동일개소에 2종류 이상의 접지공사를 시행하는 경우에는 접지저항치가 낮은 쪽의 접지공사로서 다른 접지공사를 겸용할 수 있다. 다만 피뢰기 또는 放出 保護등 등 피뢰기에 대신하는 장치의 접지는 720-2 (피뢰기의 접지)에 규정된 경우를 제외하고는 다른 접지공사와 겸용하여서는 아니된다.

〔註〕 한개의 접지극을 공용하는 경우에 사용하는 접지선의 공통모선 또는 접지전용선의 굵기는 공용하는 접지극과 접지를 필요로 하는 개개에 의하여 선정된 굵기 중에서 최대굵기의 것을 사용한다.

140-13 接地線의 綠色標識

1. 接地工事의 接地線에는 다음 각 호의 경우를 제외하고는 녹색표식을 하여야 한다.
 - ① 접지선이 단독으로 배선되어 있어 접지선을 한눈에 쉽게 식별할 수 있을 경우
 - ② 多芯케이블, 多芯캡타이어케이블 또는 多芯코드의 1 芯線을 接地線으로 사용하는 경우로서 그 芯線이 裸電線 또는 황녹색의 얼룩무늬 모양으로 되어 있을 경우

〔註〕 多芯케이블, 多芯캡타이어케이블 또는 多芯코드의 1 芯線을 접지선으로 사용하는 경우에 녹색 또는 황녹색 및 얼룩무늬 모양의 것 이외의 심선을 접지선으로 사용하여서는 아니된다.
2. 부득이 녹색 또는 황녹색 얼룩무늬 모양인 것 이외의 절연전선을 접지선으로 사용할 경우는 末端 및 적당한 개소에 녹색 테이프 등으로 접지선임을 표시 하여야 한다.

140-15 接地線의 共用制限

140-8 (수도관 등의 접지극)의 규정에서 정하는 건축물의 철골 등 저항의 접지극을 사용하는 경우를 제외하고 漏電遮斷器로 보호되는 기기 등의 전로와 보호되지 아니하는 전로에 시설되는 기기 등의 접지선 및 접지극은 共用하여서는 아니된다.

140-16 接地線의 共用

140-15 (접지선의 공용제한)에 규정하는 경우를 제외하고 공용하는 접지극과 접지를 필요로 하는 개개의 것에 의해 선정된 굵기의 것중 가장 굵은 것을 사용할 수 있다.

避雷導線은 KS C 9609에 규정되어 있고, 銅材料의 경우는 단면적 30 mm² 이상, 알루미늄 재료의 경우 50 mm² 이상으로 하고 있다. 이 값은 온도 상승 100℃ 이하로서 정한 것이다.

(나) 接地電極

의 규정은 「電技」 제22조 (水道管 등의 接地極), 제23조 (수용장소 入口의 接地)에 있으며, 구체적인 전극의 종류 및 치수는 명확하지 않다. 한편, 「內規」 140절 제7조 (接地極)에서 다음과 같이 규정하고 있다.

140-7 接地極

1. 매설 또는 타입식 접지극으로는 동판, 동봉, 철판, 철봉, 동복강판, 탄소피복 동봉 등을 사용하고 이들을 가급적 물기가 있는 장소로서 가스, 酸 등으로 인하여 부식될 우려가 없는 장소를 선정하여 지중에 매설하거나 타입하여야 한다.
2. 전항의 접지극은 다음 각 호의 것을 원칙으로 한다.
 - ① 銅版을 사용하는 경우에는 두께 0.7mm 이상, 면적 900 cm² (단면) 이상의 것.
 - ② 銅棒, 銅被覆銅棒을 사용하는 경우에는 지름 8 mm 이상, 길이 0.9 m 이상의 것
 - ③ 鐵管을 사용하는 경우는 외경 25 mm 이상, 길이 0.9 m 이상의 아연도금가스 철판 또는 厚鋼電線管일 것.
 - ④ 철봉을 사용하는 경우에는 지름 12 mm 이상, 길이 0.9 m 이상의 아연 도금한 것.
 - ⑤ 銅被覆銅板을 사용하는 경우에는 두께 1.6 mm 이상, 길이 0.9 m 이상, 면적 250 cm² (斷面) 이상의 것.
 - ⑥ 탄소피복강봉을 사용하는 경우에는 지름 8 mm 이상의 동심이고 길이 0.9 m 이상의 것.
3. 접지선과 접지극은 납땜 기타 확실한 방법에 의하여 접속하여야 한다.
(註) 납땜은 銀납類에 의한 것이어야 하고 납땜 (납과 朱錫의 합금)은 바람직하지 못하다.

140-8 水道管 등의 接地極

1. 지중에 매설되어 있으며 대지간의 전기저항치가 3 이하를 유지하는 금속제 수도관로는 수도관로 관리자의 승락을 얻어서 이것을 제1종 접지공사, 제2종 接地工事, 제3종 接地工事, 특별제3종 接地工事 기타의 접지극으로 사용할 수 있다 (電技 22).
2. 금속제 수도관로를 접지극으로 사용하는 경우의 공사방법은 다음 각호에 의하여야 한다. (電技 22)
 - ① 접지선과 금속제 수도관로와의 접속은 안지름 75mm 이상의 금속제 수도관로의 부분에 또는 여기에서 分岐된 안지름 75 mm 미만인 금속제 수도관로의 분기점에서 5m 이내의 부분에서 할 것. 다만, 금속제 수도관로와 대지간의 電氣抵抗値가 2Ω 이하일 경우에는 분기점에서의 거리는 5 m를 초과할 수 있다.
 - ② 접지선과 금속제 수도관로와의 접속개소를 수도계량기에서 수도수용가측에 설치할 경우에는 수도계량기를 사이에 두고 견고한 본드선을 부착할 것.
 - ③ 접지선과 금속제 수도관로와의 접속개소를 사람이 접촉될 우려가 있는 곳에 설치할 경우는 손상을 방지하기 위하여 방호장치를 시설할 것.
 - ④ 접지선과 금속제 수도관로의 접속에 사용하는 접지금구는 접속부에 전기적 부식이 발생

되지 아니하는 것을 사용할 것.

(註) 주철 또는 강재 수도관과 접지선과의 접속에 사용하는 접속금구는 용융 아연도금을 한 가단주철 또는 동이나 청동(포금)제의 것이면 실용적이며, 전기적 부식이 발생하지 아니한다고 간주하여도 된다. (동 및 놋쇠는 부식성이 있다.)

3. 제1종 접지공사 또는 제2종 접지공사를 시행하여야 하는 것과 대지간의 전기 저항이 2Ω 이하를 유지하는 건축물의 철골 (철근종류의 것은 포함하지 아니한다.) 其他 이와 類似한 다른 金屬體는 非接地式 高壓電路에 接續하는 電氣機械器具에 限하여 第1種 接地工事 또는 第2種 接地工事의 接地極으로 使用할 수 있다(電技 22).
4. 1項 및 前項에 依하여 第1種 接地工事 또는 第2種 接地工事を 施行할 境遇에는 140-6(사람이 接觸될 憂慮가 있는 場所의 第1種 또는 第2種 接地工事의 接地線)에 따르지 아니할 수 있다. 이 境遇에 接地를 施行하는 것과 接地極(1項 및 3項에서 規定한 것)을 接續하는 接地線을 사람이 接觸될 憂慮가 있는 場所에 施設할 境遇에는 地表上 또는 鐵骨上 2m까지의 部分은 第450節 (비닐 外裝케이블配線, 크로로프렌 外裝케이블配線 및 폴리에틸렌 外裝케이블配線) 또는 第460節 (캡타이어케이블配線)에 따라 施設할 것(電技 22).

140-10 低壓電路의 中性点 등의 接地

1. 저압전로에 시설하는 보호장치의 확실한 동작을 기하기 위하여 특별히 필요가 있는 경우로서 전로의 중성점에 접지공사를 할 때 (저압전로의 사용전압이 300 V이하의 경우로서 전로의 중성점에 접지공사를 하기 어려워 전로의 1단자에 접지공사 하는 때를 포함한다.)에는 다음 각호에 의하여 시설하여야 한다 (電技 28).

(註) 여기서 말하는 (低壓電路)의 예를 들면,

- (1) 1차측이 저압인 절연변압기의 2차측 저압전로
- (2) 혼촉방지판이 있는 변압기 (혼촉방지판에 제2종 접지공사를 시행한 것에 한한다.)의 2차측 저압전로
- (3) 발전기에 직접 접속되는 저압전로
 - ① 접지선의 굵기는 표 1-20 (접지선의 굵기)에 따를 것.
 - ② 접지선의 전체는 동선을 사용한 절연전선 또는 케이블일 것.
 - ③ 접지극은 지하 75 cm 이상 깊이에 매설할 것.
 - ④ 접지선의 지하 75 cm로부터 지표상 2 m까지의 부분은 전기용품에 관한 법률의 적용을 받는 합성수지관 (CD관을 제외한다) 또는 이와 동등이상의 절연효력 및 강도가 있는 몰드로 덮을 것.

- ⑤ 접지선을 철주, 기타의 금속체에 붙여서 시설하는 경우에는 접지극을 지중에서 그 금속체로부터 1 m 이상 떨어져서 매설할 것
- ⑥ 접지선에 접속하는 저항기, 리액터 등은 고장시에 흐르는 전류가 안전하게 통할 수 있는 것을 사용할 것.
- ⑦ 前 ⑥ 의 저항기, 리액터 등은 취급자 이외의 사람이 출입할 수 없도록 설비한 곳에 시설하거나 사람이 접촉할 우려가 없도록 시설할 것.

避雷設備의 接地電極은 KS C 9609에서 다음과 같이 定하고 있다.

접지극은 길이 1.5 m 이상, 바깥지름 12 mm 이상의 용융아연도금강봉, 銅被覆鋼棒, 동봉, 용융아연도금 배관용탄소강 강관 (두께 2 mm 이상), Stainless 강관 (SUS 304, 두께 1 mm 이상), 또는 면적이 한쪽면 0.35 mm² 이상의 용융 아연도금 강관 (두께 2 mm 이상), 동관 (두께 1.4 mm 이상) 또는 이와 동등 이상의 접지효과가 있는 금속체를 사용한다. 단, 알루미늄 기타 이와 유사한 것은 사용해서는 안된다.

(2) 接地工事に 使用하는 接地線 및 電極

基準이나 規格에서 정하고 있는 치수는 最小限의 水準이고 接地의 種類, 토양의 腐蝕, 環境 등을 고려하면 이보다 큰 값으로 接地工事を 하는 것이 바람직하다. 그러나, 앞서도 말한 바와 같이 接地工事を 위하여 特殊 규격을 별도로 注文하여 제작하는 것은 용이하지 않다. 예를 들어, 접지전극의 규격품 1극에서 所要 接地抵抗를 얻을 수 없으면 이를 2극 이상의 並列接地도 가능하므로 KS 規格에 기준한 市販製品을 使用하면 經濟的이다.

接地線, 避雷導線 등은 기준 및 규격에 적합하고 電流容量 및 施工性を 고려한 信賴度가 높은 材料를 선정해야 하고, 치수를 選定하는데 있어서는 다음과 같은 점들을 고려해야 한다.

(가) 接地線

接地線의 굵기는 電流容量에 크게 좌우되므로 故障電流가 算定되면 이에 따른 規格品을 選定할 필요가 있다. 銅材料의 경우 斷面積이 8, 14, 22, 38 mm²의 接地線이 이용된다.

(나) 避雷導線

雷電流의 크기가 어느 정도인가를 예측하는 것은 어려우나 지금까지 蓄積된 자료를 根據로 하여 統計的으로 推定하고 있다. 最小斷面積은 구리의 경우 30 mm² 이상인데, 일반적인 지상 공간의 환경 (鹽害에 의한 부식을 가상)도 고려하여 38mm² 및 60 mm²의 것이 이용된다.

接地電極에 대해서는 기준 및 규격이 명확하게 규정되어 있지 않고 設計者에게 위임하고 있다. 電流容量은 물론 耐腐蝕性을 고려하여 여유가 있어야 하고, 특히, 大地抵抗率이 낮은 토양, 電蝕의 우려가 있는 장소에서는 실태조사 등을 통하여 얻은 자료를 토대로 選定할 필요가 있다.

(다) 棒型電極

銅棒, 銅被覆 鋼棒이 일반적으로 이용되는데, 이 치수는 단독으로 이용되는 경우 지름 14 mm, 길이 1.5 m이다. 연결식의 경우는 이를 直列로 연결하며, 銅被覆의 두께는 0.5 및 1.0 mm인데 가급적이면 두꺼울수록 좋다. 특수한 것으로는 Stainless 被覆 鋼棒 (지름 14 mm, 길이 1.5 m) 및 炭素被覆 鋼棒 (지름 16 mm, 길이 0.5m)이 있다.

(라) Boring 電極

Boring을 하여 垂直으로 電極을 埋設하는 것으로 施工性을 고려하고 선모양 전극과 가는 띠모양 전극을 묶어 매설하는 工法이 있는데, 이것은 접속부를 설계할 필요가 없고 연속적으로 수백 m까지의 매설이 가능하여 편리하다. 그러나, 원칙적으로 Boring 전극은 동 파이프를 이용하며, 이 경우 파이프 연결 접속부의 처리방법은

납땜 및 나사식이 있고 충분한 기계적 강도가 있어야 한다. 동 파이프의 치수는 지름 38~66 mm, 길이 5 m 정도가 있고 이를 直列로 연결하여 사용하고 있다.

(마) 線모양 電極

線모양 電極을 그대로 이용하는 接地電極 형태에는 埋設地線이 있으며, 網狀으로 포설하는 Mesh 接地가 있다. 이들은 고장 地絡電流의 전류 분포가 다르고 電流容量은 선모양 전극의 포설형상에 따라 결정되는 것이다.

(바) 板狀電極

구리로 만든 正四角形 板을 이용하며, 크기는 90×90 mm, 100×100 mm가 있다. 판의 두께는 1.5 및 2.0 mm가 있고, 다른 전극에 비해 표면적이 크므로 특히 수평으로 매설하는 경우 토양에 확실하게 밀착된 시공을 해야 한다. 그 이유는 전극 표면에 공기층이 존재하면 腐蝕이 촉진되기 때문이다.

(사) 띠모양 電極

일반적으로 쓰이지는 않으나, Loop 형으로 布設하는 接地 형태의 경우 接地抵抗 및 雷 Impedance의 측면에서 線모양 電極보다 效果的이다. 材料에는 KS 規格에서 정한 구리가 이용되는데 구리띠의 두께는 1.4 mm, 폭은 20 mm 및 30 mm의 것이 있다. Coil로 되어 있어 적당한 길이로 잘라 사용하면 된다.

8. 맺 는 말

본 技術指針書에서는 電氣設備 및 機器의 接地와 관련한 技術的인 廣範圍한 問題들에 對하여 考察하였다.

第1章에서는 人體의 電氣抵抗과 흐르는 電流의 許容限界 등 人體安全과 接地의 重要性에 關해서 살펴 보았고, 第2章에서는 接地의 種類 등 基本的인 事項들에 對하여 敍述하였다. 第3章에서는 여러가지 類型別 接地電極의 抵抗을 算定하는 方法에 對하여 考察하였다. 第4章에서는 棒型電極의 竝列接地, 線모양 電極의 重疊接地, 異形電極들의 竝用接地와 建物構造物의 代用接地의 設計工法에 對해서 記述하였다. 第5章에서는 接地의 獨立과 共用 問題에 對해서 살펴 보았다. 第6章에서는 接地設備의 施工에 사용되는 材料들에 對해서 說明하였다. 第7章에서는 接地抵抗의 低減法에 對하여 論議하였다. 마지막으로 附錄에서는 接地抵抗의 測定法에 對하여 記述하였다.

본 指針書는 美國과 日本 등 先進國의 科學技術者들이 數十年間에 걸쳐 研究 補完한 內容을 參考로 하여 作成하였다. 그럼에도 불구하고 本 指針書에서 提示한 方法을 사용하여 얻는 여러가지 計算値들과 실제의 값들 간에는 여전히 많은 誤差가 存在할 수 있을 것이다. 이는 接地電極과 電極布設形態 등의 複雜性으로 因하여 計算式을 理論的으로 유도하여 나타내는 데는 限界가 있고, 무엇보다도 計算에 必要한 各種 Parameter들이나 Data의 값을 正確히 알 수 없는데 起因한다. 그러나 이러한 誤差는 크게 念慮할 바가 못되며, 多少의 Margin만 考慮해주면 電氣安全을 위한 接地 System을 設計하고 이에 필요한 接地抵抗을 算定하고 接地材料를 選定하는 등 여러가지 接地關聯 問題解決에 充分히 使用될 수 있으리라 본다.

一般的으로 大地 등 電氣的 特性에 影響을 미치는 不確實한 因子가 많아서 理論的인 計算值들의 誤差가 심한 까닭에, 接地는 理論的이기 보다는 오히려 現場에서 施行錯誤를 통하여 쌓는 技術이라고 認識이 擴散되어 왔다. 그러나 비록 計算上의 誤差가 따른다 하더라도 理論的인 背景없이 接地 System을 設計한다는 것은 마치 벽돌만 가지고 高層建物을 지으려고 하는 것처럼 危險千萬하고도 非效率的인 일이 될 것이다. 따라서, 接地技術은 現場의 經驗과 學問的인 理論을 結合하여 앞으로 계속해서 深度있게 研究해야 할 중요한 課題이다.

끝으로, 本 指針書가 安全한 接地 System을 設計하고 施工하는데 있어서 뿐만 아니라 더 나아가 産業現場에서 電氣事故에 의한 災害를 줄이는데 조금이라도 도움이 되기를 바란다. 이 技術指針書 自體도 앞으로 繼續하여 使用하기 便利하고 보다 正確한 內容이 될 수 있도록 補完되어져 나가야 할 것이다. 특히 요즈음 급속도로 증가하고 있는 각종 電氣/電子/通信 機器 및 System의 安定된 稼動을 確保하는데 있어 必須的인 機能用 接地에 對해서도 앞으로 많은 研究가 이루어져야 할 것이다.

부 록 : 接地抵抗의 測定

接地抵抗値가 各種 規程에서 정한 基準値 이하가 되는지의 여부는 接地工事의 竣工時는 물론 그 후에도 계속하여 定期的인 測定을 통하여 확인하고 維持하여야 한다.

接地抵抗의 測定은 現在 先進 外國에서 一般的으로 電位降下法에 의한 方法을 가장 많이 사용하고 있는 바, 여기서는 電位降下法의 概念을 把握하고 Tagg의 理論, 具體的인 測定回路, 測定上的 留意事項 등에 대하여 記述하고자 한다.

가. 電位降下法의 概要

(1) 電位降下法의 概念

電位降下法은 接地抵抗의 定義에 基礎한 方法이다. 接地抵抗의 定義는 “어떤 接地電極에 있어서, 이 電極에 接地電流 I [A]가 流入하면 接地電極의 電位가 周邊 大地에 대하여 E [V]만큼 上昇하는데 이 때의 電位上昇値와 接地電流의 比 E/I [Ω]을 그 接地電極의 接地抵抗으로 한다.” 인데, 接地抵抗의 測定에서는 測定電流와 接地電極에 생기는 電位降下 (理論적으로는 無限遠點에 대한 電位上昇이나 現實적으로는 不可能하기 때문에 有限區間の 電位上昇을 加壓電壓에 대한 電位降下로서 나타낸다.)를 써서 接地抵抗을 구하고 있다.

電位降下法의 構成은 그림 8-1과 같으며, 그림에서 E 는 測定の 對象이 되고 있는 接地電極이고, C 및 P 는 測定에 필요한 補助電極으로, C 가 電流補助電極, P 가 電位補助電極이며 電極 E 로부터 적당한 거리에 박는다.

측정에 있어서는 E - C 간에 電源을 연결하여 대지에 전류를 흘리는데, 이 전류로는 電氣化學作用을 피하기 위하여 交流를 使用한다. 또한, 교류의 주파수로는 電力系統으로부터의 유도신호를 분리하기 쉽도록 商用 이외의 周波數를 쓰나 交流의 周波數로서 너무 높은 것을 쓰면 리드선의 Inductance나 靜電容量이 생겨나서 좋지 않으므로 1 KHz 이하가 좋다.

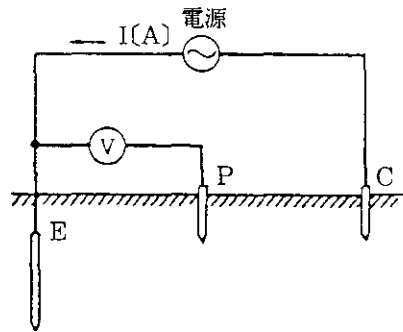


그림 A-1 電位降下法の 回路 構成

電位補助電極 P에 의하여 E-P 간의 電位降下 (電位差)를 측정하는데 大地에 흘린 電流를 I [A], E-P 간의 電位差를 E [V]라 하면, 接地抵抗의 測定値는 E/I [Ω]이 된다.

電位降下法の 큰 특징은 2 개의 補助電極의 接地抵抗이 측정값에 영향을 미치지 않는다는 점이다. 補助電極도 接地電極이기 때문에 당연히 接地抵抗이 있으나, 측정용의 補助電極은 길이나 지름이 작고 臨時로 設置한 것이므로 그 接地抵抗은 대부분의 경우 상당히 높다.

電流補助電極 C의 接地抵抗은 주 회로 속에 들어 있어 大地에 흘리는 전류의 크기에 영향을 미치나, 전류값이 변해도 그것에 비례해서 E-P 간의 電位差가 변하기 때문에 측정결과인 $R = E/I$ 는 변함이 없다. 電位電極 P의 接地抵抗은 전위차 측정회로속에 들어 있기 때문에 電位差 測定裝置로서 가급적 전류를 흘리지 않는 것을 쓰면 P 전극의 接地抵抗의 영향은 제거할 수 있다.

이상 電位降下法の 측정방법은 接地抵抗의 定義 그대로이나, 내용상으로는 본질적인 차이가 있는데, 그것은 補助電極 C 및 P의 打入 位置이다.

接地抵抗의 정의에서는 補助電極의 위치에 관해 抽象的이고 理想的인 가정을 했으나, 接地抵抗의 측정은 實際的인 문제이기 때문에 補助電極을 主 接地電極으로부터 有限의 거리내에 박아야 하며 이 때문에 오차가 생길 우려가 있다. 따라서, 이 誤差를 檢討하는 方法의 하나가 바로 電位分布曲線의 作成이다.

(2) 電位 分布 曲線

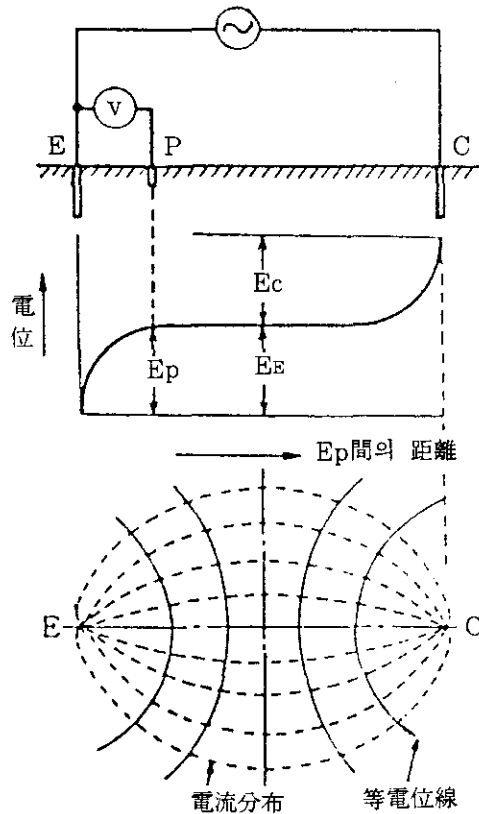


그림 A-2 電位分布曲線과 等電位線

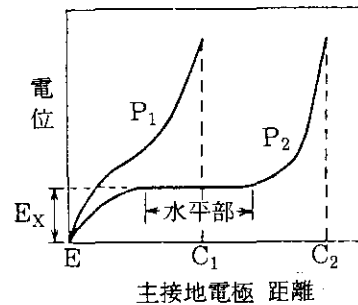


그림 A-3 電極間 距離와 電位分布曲線

電位分布曲線의 例는 그림 A-2와 같은데, 電流分布와 等電位線도 함께 나타내고 있다. 이 그림을 보면, 電極 E 부근에서는 電位가 갑자기 증가하고, 중간지점에서는 緩慢해지나 補助電極 C 부근에서 다시 증가하여 電極상에서는 印加電壓과 같아진다. 이 현상을 電流分布로 설명하면, E 및 C 부근은 電流密度가 크기 때문에 電位의 변화가 크나, 중간에서는 電流密度가 작기 때문에 電位의 변화도 작다는 것을 알 수 있다.

電位分布曲線은 다음과 같이 작성된다. 즉, 먼저 主接地電極 E로부터 일정한 거리의 지점에 電流電極 C를 박은 다음, E-C를 잇는 線上에 電位電極 P를 이동시키면서 E-P 간의 電位差를 측정한 후 橫軸을 E-P 간의 거리, 縱軸을 電位差의 측정값으로 나타낸다.

그림 A-3은 E-C 간의 거리를 C_1 및 C_2 의 두 종류로 한 경우의 電位分布曲線 P_1 및 P_2 를 그렸는데, 電位分布曲線 P_1 에는 중앙에 水平部分이 없고, 電位分布曲線 P_2 에는 水平部分이 있다.

主 接地電極과 電流電極이 너무 접근하면 P_1 처럼 電位分布曲線에 수평부분이 없고, 主 接地電極과 電流電極을 충분히 이격시키면 電位分布曲線의 중앙에 수평부분이 形成된다. 이를 반대로 말하면, 電位分布曲線의 중앙에 수평부분이 형성될 때까지 主接地電極으로부터 電流電極을 이격시키면, 양쪽의 電極은 거의 관계가 없다고 看做해도 좋으며, 수평부분에서 測定한 電位差 E_x 를 그 때의 電流값으로 나누면 E의 接地抵抗이 된다.

(3) 抵抗 區域

接地電極과 電流電極을 이격시키면 왜 電位分布曲線에 수평부분이 발생하고 양쪽 전극은 관계가 없다고 看做할 수 있는지를 설명하기 위해서는 抵抗區域이라는 개념을 도입할 필요가 있다.

원래 接地抵抗은 接地電極 주위의 大地속에 들어 있으며, 그 정도는 接地電極 근처가 가장 크고, 接地電極으로부터 멀어짐에 따라 작아지는데, 그 이유는 지중에서의 電流經路의 斷面積이 급속하게 커지기 때문이다.

이론적으로 좀더 엄밀하게 말하면, 接地抵抗은 무한히 먼 大地까지 포함되나, 실제로는 接地抵抗의 대부분은 接地電極을 중심으로 하는 有限의 범위내에 들어 있다고 생각해도 되며, 이와 같이 接地電極을 중심으로 해서 대부분의 接地抵抗이 포함되어 있는 범위를 抵抗區域이라 한다.

(4) 電位分布와 抵抗區域의 關係

抵抗區域과 電位分布의 관계는 그림 A-4와 같으며, 이것은 孤立된 電極의 경우인데, 孤立된 電極에 電流를 흘릴 경우 地表面의 電位上昇은 抵抗區域에서 끝나며 그 이외에는 미치지 않는다.

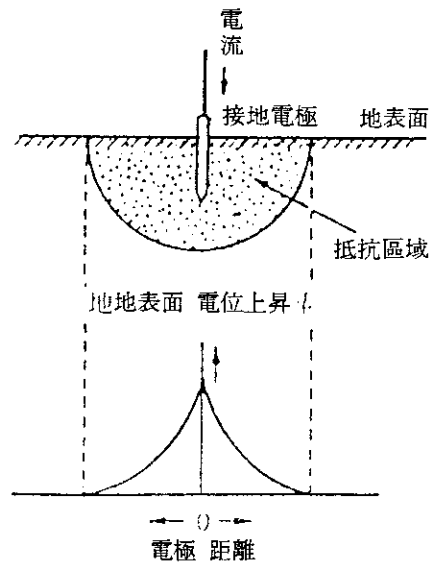


그림 A-4 抵抗區域의 電位分布

(가) E 電極과 C 電極이 가까운 경우

그림 A-5는 電位降下法에서 電極 E와 電流電極 C가 너무 접근하여 양쪽의 抵抗區域이 Overlap한 경우로서 이 때는 그림 (b)처럼 E 전극과 C 전극의 電位上昇을 합성한 결과가 최종적인 電位分布曲線이 되나 가운데에 수평부분은 생기지 않는다.

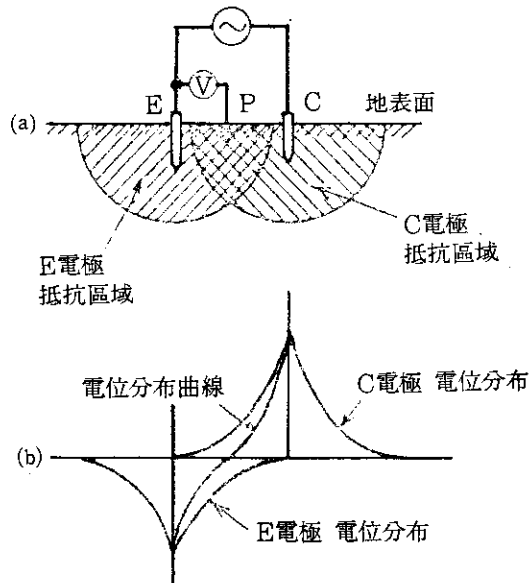


그림 A-5 E電極과 C 電極이 가까운 경우

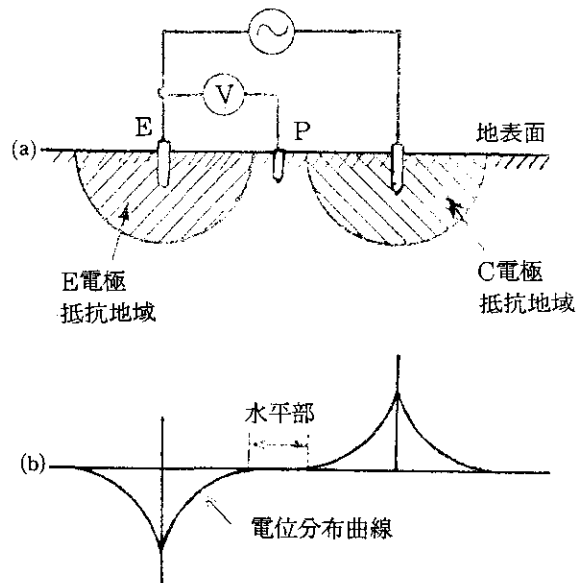


그림 A-6 E電極과 C電極이 충분히 떨어진 경우

(나) E 電極과 C 電極이 충분히 떨어진 경우

이에 비하여 그림 A-6은 主電極 E와 補助電極 C가 충분히 떨어진 경우인데, 이때는 兩 電極의 抵抗區域이 Overlap되지 않고 있으며, 그 결과 電位分布曲線의 가운데에 水平部分이 形成된다. 電位分布曲線의 중앙에 수평부분이 形成되면 主 接地電極과 電流電極은 서로 관계가 없다고 간주되고, 이 수평부분에 電位電極을 박으면 正確度가 높은 測定値를 얻을 수 있다.

나. 電位降下法の 理論

接地抵抗計의 說明書를 보게 되면 補助 電流電極의 距離는 20 m, 補助 電位電極은 0 m라 쓰여 있으나, 이러한 것이 측정의 대상이 되는 接地抵抗의 종류나 규모의 관계없이 適用할 수 있는 일반적인 測定法인지에 대한 상세한 설명이 나와 있지 않고 있다. 여기서는 接地抵抗의 측정을 위한 補助電極의 배치에 대한 이론적인 설명을 하고자 한다.

(1) 61.8 % 法則

測定の 對象이 되고 있는 接地電極을 그림 A-7과 같이 반경 r 인 半球모양 電極으로 하고, 주변의 大地抵抗率은 어느 곳에서나 똑같다고 가정하여 ρ 라고 놓는다.

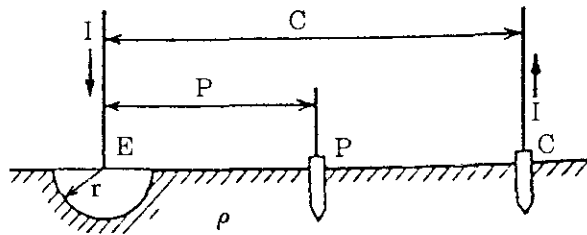


그림 A-7 電位降下法에 의한 接地抵抗의 測定

測定の對象이 되는 電極 E의 중심으로부터 C m가 되는 곳에 電流電極 C를, P m인 곳에 電位電極 P를 박고, 電流 I가 電極 E로 흘러 들어가서 電極 C로 흘러 나온다고 가정한다.

半球모양 接地電極의 接地抵抗은 $\rho/2\pi r$ [Ω]이니 電極 E에 電流 I가 흘러 들어감으로써 그 電位는 無限遠點을 기준으로 해서 $\rho I/2\pi r$ [V]만큼 상승하는데 그러면 電極 E에 流入하는 電流 I에 의해 P 점의 電位가 얼마나 높아지는지를 계산해 보기로 한다. 半球모양 電極의 중심으로부터 거리 r_1 m 점의 전위는 다음 식으로 주어진다.

$$E = \frac{\rho I}{2\pi r_1} \quad (A-1)$$

지금 그림 A-7에서 E-P 간의 거리는 P m이므로 P점의 전위는 $\rho I/2\pi P$ 가 되며 따라서 電極 E에 유입하는 전류 I에 의한 E-P 간의 전위차는 E 点의 전위에서 P 点의 전위를 빼면 된다. 즉,

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi r} - \frac{\rho I}{2\pi P} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} \right) \quad (A-2)$$

다음, 電極 C에서 유출하는 전류 I에 의한 E-P 간의 電位差를 구하기 위해서는 먼저 電極 C에서 유출하는 電流 I에 의한 電極 E의 電位上昇을 구한다. 電極 C는 반구모양은 아니나 식 (A-1)을 적용하면, E 전극의 전위상승은 $-\rho I/2\pi C$ 가 된다. 여기서 負 (-)의 기호는 전류의 방향이 반대이기 때문이다.

마찬가지로 P 점의 電位上昇은 $-\rho I/2\pi (C-P)$ 가 된다. 따라서, 電極 C에서 유출하는 電流에 의한 E-P 간의 電位差는

$$V_2 = -\frac{\rho I}{2\pi C} - \left(-\frac{\rho I}{2\pi (C-P)} \right) = -\frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C-P} \right) \quad (A-3)$$

E-P 간에는 V_1 과 V_2 라는 2개의 電位差가 가해지기 때문에 최종적인 E-P 간의 電位差는 식 (A-2)와 식 (A-3)의 합이 되어 다음 식으로 나타내진다.

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C-P} \right) \quad (A-4)$$

이것을 전류값 I로 나누면 接地抵抗의 측정값 R을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{c-p} \right) \\
 &= \frac{\rho}{2\pi r} \left(1 - \frac{1}{p} - \frac{1}{c} + \frac{1}{c-p} \right)
 \end{aligned} \tag{A-5}$$

여기서, $p = P/r$, $c = C/r$ 이다.

$\rho / 2\pi r$ 은 半球모양이고 接地電極의 接地抵抗의 참값으로서 이를 R_{∞} 라 하면 接地抵抗의 測定値는 R 은

$$R = R_{\infty} \left\{ 1 - \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{c} - \frac{1}{c-p} \right) \right\} \tag{A-6}$$

즉,

$$p^2 + cp - c^2 = 0 \tag{A-7}$$

식 (9-7)을 p 에 대해서 풀면,

$$p = 0.618 c \text{ 및 } p = -1.618c$$

의 2개가 나오나, p , c 모두 正(+)의 값이어야 하므로, $p/c = 0.618$ 만을 취한다.

즉,

$$\frac{p}{d} = 0.618 \tag{A-8}$$

의 조건을 만족시킬 때 測定値는 참값과 같아지게 된다. 이것은 반구모양 接地電極의 接地抵抗을 측정할 때 그림 A-8처럼 E-C간의 거리의 61.8% 되는 곳에 電位電極을 박으면 정확한 값을 얻을 수 있다는 의미를 나타내고 있다.

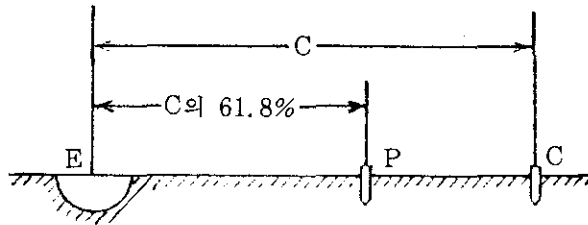


그림 A-8 61.8 %의 法則

(2) 補助 電位電極 P의 配置 (Case 1)

그림 A-9와 같이 測定 對象의 電極 E (半球모양)를 중심으로 해서 좌우에 電極 C 및 電極 P를 박는 경우를 생각해 보자.

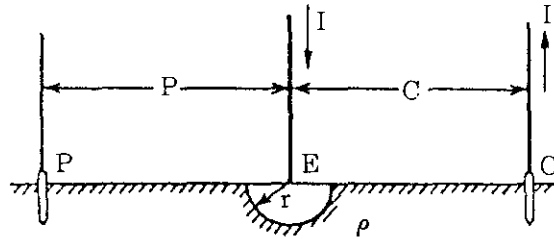


그림 A-9 電極 P를 電極 C의 反對側에 박는 경우

E-C 간의 거리를 C, E-P 간의 거리를 P로 하고 전류 I는 E 전극에서 유입하여 C 전극에서 유출하고 있는 것으로 한다. 또한, E 전극의 반경을 r, 주위의 大地抵抗率을 ρ 로 하면 E 전극에 유입하는 전류 I에 의해 발생하는 E-P 간의 電位差는 (1)과 마찬가지로 해서

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi r} - \frac{\rho I}{2\pi P} \quad (A-8)$$

C 전극으로부터 유출되는 전류 I에 의해 생기는 E-P 간의 전위차는

$$V_2 = -\frac{\rho I}{2\pi C} + \frac{\rho I}{2\pi(C+P)}$$

E-P 간에는 V_1 과 V_2 이라는 2개의 전위차가 가해지기 때문에 최종적인 E-P 간의 전위차는

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C+P} \right) \quad (A-10)$$

전류값 I로 나누면 接地抵抗의 측정값 R은

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C+P} \right) \\
 &= \frac{\rho}{2\pi r} \left(1 - \frac{1}{p} - \frac{1}{c} + \frac{1}{c+p} \right) \quad (A-11)
 \end{aligned}$$

여기서, $p = P/r$, $c = C/r$ 이고, $\rho/2\pi r$ 은 半球모양 接地電極의 참값으로서 이를 R_∞ 라 하면 接地抵抗의 測定値 R 은

$$R = R_\infty \left\{ 1 - \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{c} - \frac{1}{c+p} \right) \right\} \quad (A-12)$$

{ } 안의 제2항은 오차항이 되며, 이것이 0 이 될 때에 測定値는 참값과 같아진다.

즉,

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{c} - \frac{1}{c+p} = 0$$

즉,

$$p^2 + cp + c^2 = 0 \quad (A-13)$$

p 를 변수로 해서 이 2차 방정식을 풀면,

$$p = \frac{c \pm \sqrt{-3c^2}}{2}$$

로서 p 는 虛數가 되는데, 이는 그림 A-8의 電極配置로는 참값을 구할 수 있는 電極 P 의 위치는 존재하지 않는다는 것을 의미한다.

(3) 補助 電位電極 P 의 配置 (Case 2)

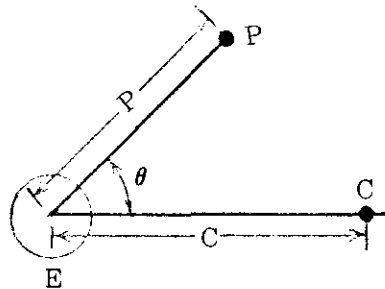


그림 A-10 電極 P 를 角度 θ 方向으로 配置하는 경우

測定の對象이 되는 電極을 半球모양 接地電極 (半徑 r) E로 하여 그림 A-10과 같이 각도 θ 로 電流電極 C와 電位電極 P가 떨어져 있다고 하면 E 電極의 電位는 $\rho I/2\pi r$, C 電極에서 유출하는 電流 I에 의한 電極 E의 電位는 $-\rho I/2\pi C$ 가 된다.

따라서 E 점의 電位는

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{C} \right) \quad (A-14)$$

그리고, E 電極에 유입하는 電流 I에 의한 P 電極의 電位는 $\rho I/2\pi P$ 이고, C 電極에서 유출하는 電流 I에 의한 P 電極의 電位는 $-\rho I/2\pi \sqrt{P^2 + C^2 - 2PC \cos \theta}$ 가 된다. 따라서 P 점의 電位는

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{\sqrt{P^2 + C^2 - 2PC \cos \theta}} \right) \quad (A-15)$$

그러므로 E-P 간의 電位差는

$$\begin{aligned} V &= V_1 - V_2 \\ &= \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{C} - \frac{1}{P} + \frac{1}{\sqrt{P^2 + C^2 - 2PC \cos \theta}} \right) \end{aligned} \quad (A-16)$$

電流값 I로 나누면 接地抵抗의 測定值 R는,

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} \left(1 - \frac{1}{c} - \frac{1}{p} + \frac{1}{\sqrt{p^2 + c^2 - 2pc \cos \theta}} \right) \quad (A-17)$$

여기서, $p = P/r$, $c = C/r$.

半球모양 接地電極의 참값은 $R_\infty = \rho/2\pi r$ 이므로 식 (A-17)에 대입하면,

$$R = R_\infty \left\{ 1 - \left(\frac{1}{c} + \frac{1}{p} - \frac{1}{\sqrt{p^2 + c^2 - 2pc \cos \theta}} \right) \right\} \quad (A-18)$$

식 (A-18)의 괄호안 제2항이 0일 때 측정치가 참값과 같아진다. 즉, 誤差를 무시할 수 있게 된다. 따라서,

$$\frac{1}{c} + \frac{1}{p} - \frac{1}{\sqrt{p^2 + c^2 - 2pc \cos \theta}} = 0 \quad (A-19)$$

식 (A-19)에 있어서 $p/c = a$ 로 놓고 $\cos\theta$ 를 구하면,

$$\cos\theta = \frac{(a^2+1)(a+1)^2 - a^2}{2a(a+1)^2} \quad (A-20)$$

식 (A-20)에 있어서 $\cos\theta$ 의 최소값을 구하려면 $\cos\theta$ 를 a 로 미분한 값이 0이 되면 된다. 즉,

$$\frac{d}{da} \cos\theta = 0$$

를 풀면 $a = 1$ 을 얻는데, 이것을 식 (A-20)에 대입하면 $\cos\theta = 0.875$ 가 얻어지며, 이것으로부터 θ 를 구하면 $\theta = 28^\circ 95'$ 이 된다. 즉, 그림 (A-10)에서 θ 가 $28^\circ 95'$ 이내이면 測定誤差를 무시할 수 있는 測定法이 된다. 한편, $\theta = 0^\circ$ 일 때는 直線 모양이 되어 (1)에서 기술한 내용과 같아진다.

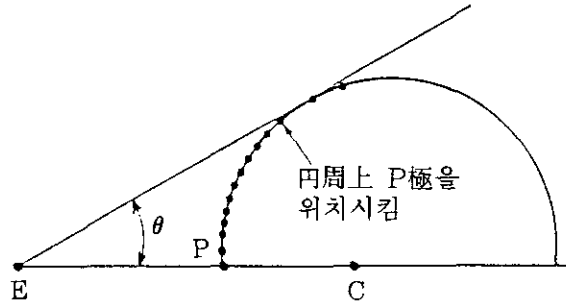


그림 A-11 測定誤差를 無視할 수 있는 電位電極 P의 配置

角度를 고려한 電位補助電極 P의 적정한 배치는 그림 (A-11)에서 보여지는 것과 같다. 圓周上에 P 電極을 박으면 精度가 좋은 測定値를 얻을 수 있는데, 이와 같은 것은 E 電極과 P 및 C 電極이 반드시 一直線이 아니더라도 P가 圓周上의 位置하도록 離隔距離가 조정되면 誤差가 적은 측정이 可能하다는 것을 의미한다.

다. 測定回路

接地抵抗의 測定回路로서 基本的인 電位降下法과 簡易型 接地抵抗計法에 대하여 설명하고자 한다.

(1) 電位降下法 I

電位降下法の 測定回路는 그림 A-12와 같으며, 回路構成은 絶緣變壓器, Slidac, 眞空管電壓計, 電流計 그리고 電位 및 電流의 補助電極으로 이루어져 있다. 絶緣變壓器는 電氣安全의 觀點에서 사용하는 것으로 券線比는 1:1로 되어 있으며 Slidac는 測定電流를 조정하기 위한 것이다.

電位分布의 電壓을 측정하는데는 内部 Impedance가 큰 眞空管電壓計 또는 Digital 電壓計를 쓰는데 이것은 電位電極의 接地抵抗에 의한 測定誤差의 영향을 적게 하기 위한 것이다.

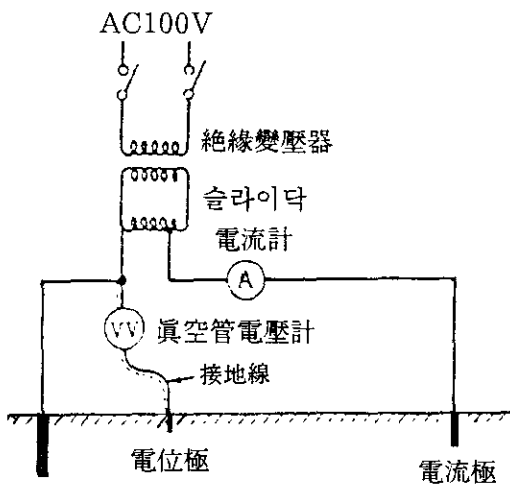


그림 A-12 電位降下法 I

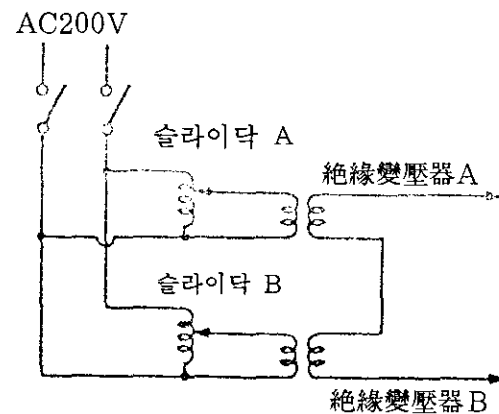


그림 A-13 電流 調整 回路

또한 電壓回路는 電磁波의 誘導障害를 받지 않도록 Shield 線을 쓴 것이 유리하고 또한 回路에는 가급적 큰 電流를 흘리는 쪽이 誘導電磁波의 영향을 무시할 수 있게 된다. 이를 위해서는 電流電極의 接地抵抗은 작은 것이 바람직하며 근처에 既

設置된 良好한 接地電極이 있으면 이것을 이용해도 좋다.

測定方法是 電位電極을 이동시켜 그때의 電壓을 읽어 電位分布線을 작성해서 接地抵抗을 구한다. 測定電流의 조종이 곤란한 경우에는 그림 A-13과 같은 回路를 만들어 사용하면 된다. 이것은 2組의 Slidac와 絶緣變壓器의 雙으로 구성되며, 한 쪽을 微調整用으로 이용한다. 이 회로를 電極回路에 결합시켜 測定電流의 조정을 용이하게 한다.

(2) 電位降下法 II

測定回路는 그림 A-14과 같으며 回路 構成은 電位降下法 (I) 과 동일하나 極性轉換 스위치가 들어가 있고 回路도 약간 차이가 있는데, 그것은 電位電極이 測定對象 接地電極과 電流補助電極 사이에 있지 않고 멀리 떨어진 곳에 박혀있기 때문이다.

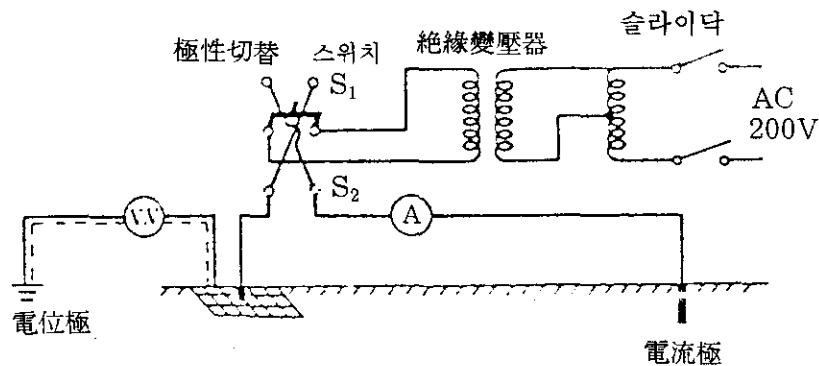


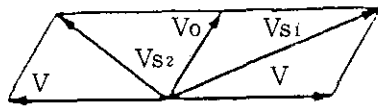
그림 A-14 電位降下法 II

이 방법은 大規模 接地體 (例를 들어 Mesh 電極, 建築構造物 등)의 測定에 많이 사용된다. 接地抵抗이 아주 낮아 誘導障礙의 영향을 받기 쉽다. 이 때문에 20~30 A의 큰 測定電流를 흘릴 필요가 있다.

이 방법에서 문제가 되는 것은 電位電極의 離隔距離인데 電位電極을 멀리 떨어진

곳에 박으려는 생각은 對象 接地電極의 電位上昇이 無限遠點에 대한 電位라는 接地 抵抗의 定義를 충실히 따르려는 의도에서이다. 그러나 現實的으로는 理想的인 無限 遠點은 얻을 수 없으며, 단지 가능한 한 멀리 電位電極을 打入하는 수 밖에 없다. 電極의 方向은 電流回路에서 直角方向으로 하는 것이 바람직하다. 그 이유는 20~ 30 A나 흐르고 있는 電流線에 平行하게 電位測定線을 布設하면 誘導障礙의 문제가 생기기 때문에 이를 피하기 위해서이다.

直角方向으로 하여도 誘導障礙를 완전히 무시할 수는 없으며, 그래서 고안된 것이 그림 A-14의 방법이다. 즉 그림 A-14에서처럼 極性轉換 스위치를 쓰면 전압의 測定值로서 V_{S1} 과 V_{S2} 를 얻는데 이들을 Vector 圖로 나타내면 그림 A-15와 같다. 또한 測定 回路의 電源을 끊었을 때에 眞空管電壓計에 나타나는 電壓은 大地의 浮遊電位인데, 이것을 V_0 으로 하면 그림 A-15의 Vector 圖와 같이 된다. 이들 측정 값을 가지고 同 그림내에 나와 있는 計算式을 사용하여 測定 對象이되는 接地電極의 理想的인 電位를 얻을 수 있다. 接地抵抗은 이 測定電壓을 데이터 처리하여 얻은 電位와 回路電流로부터 구할 수 있다 ($R = V/I$).



$$R = \frac{V}{I} \quad [\Omega]$$

$$V = \sqrt{\frac{V_{S1}^2 + V_{S2}^2 + 2V_0^2}{2}}$$

V_{S1} = 極性轉換 Switch S_1 에서 電壓 測定值

V_{S2} = 極性轉換 Switch S_2 에서 電壓 測定值

V_0 = 大地의 浮遊電位

V = 接地電極電位の 참값

그림 A-15 電位降下法 II의 DATA 處理 方法

(3) 簡易型 接地抵抗計法

現在 市中에서 販賣되고 있는 接地抵抗計는 모두 電位降下法의 原理를 이용하고 있다. 電位降下法을 이용하는 경우 電位差의 測定値를 通電電流値로 나누어야 하나 그와 같은 計算은 自動的으로 計器안에서 이루어지므로 接地抵抗値를 直讀할 수 있게 되어 있다.

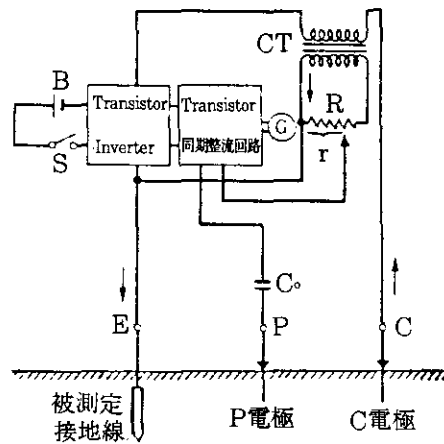


그림 A-16 電位差計式 接地抵抗計

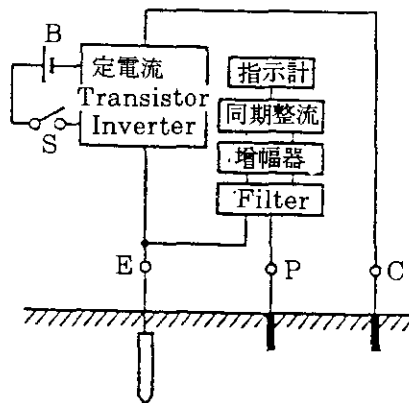


그림 A-17 電壓降下式 接地抵抗計

얼마전까지는 電源으로서 小型의 手動發電機를 內藏한 Type을 썼으나 요즘은 모두 트랜지스터式으로 되어 있다. 트랜지스터式은 건전지를 電源으로 하여 트랜지스터 Inverter에 의해 直流를 交流로 變換하여 이용한다.

트랜지스터式 接地抵抗計에는 電位差計式과 電壓降下式의 2 種類가 있다. 電位差計式 接地抵抗計의 回路는 그림 A-16과 같은데 건전지 B로부터의 直流는 트랜지스터 Inverter에 의하여 交流로 변환되고, CT는 變流器로 그 2차측에는 可變抵抗器 R이 들어 있다. G는 直流檢流計이고 C₀는 大地에 흐르고 있는 地電流 등의 直流를 沮止하기 위한 콘덴서이다.

測定을 할 때는 E 端子에 被測定 接地電極을 접속하고, P 端子에 측정용 補助電位電極 P를, C 端子에는 측정용 補助電流電極 C를 연결한다. 電源스위치 S를 넣으면 測定電流 I는 測定端子 E에서 被測定 接地電極으로 흐르고, C 電極으로부터 CT의 1차측으로 흐른다.

트랜지스터의 同期整流回路에는 I에 의해 생긴 E-P 간의 電位差와 可變抵抗器 R에 생긴 電位差가 反對方向으로 들어가도록 되어 있다. 따라서 兩者가 같을 때는 直流檢流計 G의 指示가 0이 된다. 그러므로 측정을 하는데 있어서는 可變抵抗器 R의 다이얼을 조절해서 檢流計의 指示가 0이 되도록 한다. 이 경우 다음과 같은 조건이 성립한다.

$$IR_x = \alpha I_r$$

여기서, R_x = 被測定接地電極의 接地抵抗,

α = CT의 變流比

r = 可變抵抗器의 抵抗

$$R_x = \alpha r$$

이 식에서 兩邊의 I는 상쇄되고 CT의 變流比 α 는 事前에 알고 있으므로 可變抵抗器의 눈금을 미리 이 α 로 수정해 놓으면 可變抵抗器의 指示値에 의해 接地抵抗 R_x 를 直讀할 수 있다. 通電電流值 I는 측정결과에 영향을 주지 않는다.

電壓降下式 接地抵抗計의 回路는 그림 A-17과 같은데 건전지 B로부터의 直流를

트랜지스터 Inverter에 의하여 交流로 변환하여 E-C 간에 흘리는 것은 電位差計式과 같으나, 다만 電壓降下式은 定電流裝置가 내장되어 있어서 E-C 간에 흐르는 전류를 항상 3 mA 또는 5 mA의 일정한 값으로 유지한다.

측정단자 E-P 간의 전압은 미소하기 때문에 이것을 증폭, 정류해서 지시계를 움직이게 하고, Filter는 地電流에 의한 신호를 제거하기 위한 것이다.

通電電流値가 일정하게 유지되기 때문에 E-P 간의 電壓은 接地抵抗에 비례한다. 따라서 指示計의 눈금을 미리 抵抗으로 換算하여 標示해 놓으면 接地抵抗値를 直讀할 수 있다.

電壓降下式 接地抵抗計에 의한 測定에 있어서는, 測定對象 接地電極이 中小規模의 것에 한하며 大規模의 接地體에는 不適當하다. 이러한 종류의 抵抗計는 트랜지스터 Inverter에 의해 交流를 발생시키기 때문에 그 容量에 한계가 있기 때문이다. 그리고 測定電流는 큰 쪽이 感度가 좋아지기 때문에 電流補助電極의 接地抵抗은 가능한 한 작은 것이 바람직하다.

參考 文獻

- [1] IEEE, Guide for Safety in AC Substation Grounding, ANSI/IEEE Std 80-1986.
- [2] IEEE, Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, ANSI/IEEE Std 142-1982.
- [3] J.E. Bridges et al. (Editors), Electrical Shock Safety Criteria, Pergamon Press, New York, 1985.
- [4] 高橋健彦, 圖解 接地技術入門. オ-ム社, 1986.
- [5] 高橋健彦, 圖解 接地設計入門. オ-ム社, 1990.
- [6] 電氣設備工事技術研究協會, 接地工事設計施工 Manual, オ-ム社 1971.
- [7] J.G. Sverak et al., "Safe Substation Grounding - Part I", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 9, September 1981, pp. 4281~4290.
- [8] J.G. Sverak et al., "Safe Substation Grounding - Part II", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 10, October 1982, pp. 4006~4023.
- [9] C.F. Dalziel, "Electric Shock Hazard", IEEE Spectrum, February 1972, pp. 41~50
- [10] C.F. Dalziel, "Reevaluation of Lethal Electric Currents", IEEE Transactions on Industry and General Applications, Vol. IGA-4, No. 5, September/October 1968, pp. 467~476.
- [11] C.F. Dalziel and W.R. Lee, "Lethal Electric Currents", IEEE Spectrum, February 1969, pp. 44~50.
- [12] A.P. Meliopoulos et al., "Analysis of Grounding Systems", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 3, March 1981, pp. 1039~1048.

- [13] J.G. Sverak, "Simplified Analysis of Electrical Gradients Above a Ground Grid-I; How Good Is The Present IEEE Method?", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 1, January 1984, pp. 7~25.
- [14] F. Dawalibi and D. Mukhedkar, "Resistance Measurement of Large Grounding Systems", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 6, Nov./Dec. 1979, pp. 2348~2354.
- [15] J. Nahman and D. Salamon, "Analytical Expressions for Resistance of Grounding Grids in Nonuniform Soil", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 4, April 1984, pp. 880~885.
- [16] J. Nahman and D. Salamon, "Analytical Expressions for the Resistance of Rodbeds and of Combined Grounding Systems in Nonuniform Soil", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No. 3, July 1986, pp. 90~97.
- [17] T. Takahashi and T. Kawase, "Analysis of Combined Earth Resistance for Parallel Driven Rods in Multilayered Earth", Electrical Engineering in Japan, vol. 109, No. 1, 1989, pp. 40~47.
- [18] S.W. Kerckel, "Design of Switchyard Grounding Systems Using Multiple Grids", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 3, March 1981, pp. 1341~1350.
- [19] R.J. Heppe, "Computation of Potential At Surface Above an Energized Grid or Other Electrodes, Allowing for Non-Uniform Current Distribution", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-98, No. 6, Nov./Dec. 1979, pp. 1978~

1989.

- [20] F. Dawalibi and D. Mukhedkar, "Parametric Analysis of Grounding Grids", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-98, No. 6, Nov./Dec. 1979, pp. 1659~1668.
- [21] L.G. Zukerman, "Simplified Analysis of Rectangular Grounding Grids", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 5, Sept./Oct. 1979, pp. 1777~1785.
- [22] F. Dawalibi and D. Mukhedkar, "Optimum Design of Substation Grounding in a Two Layer Earth Structure;Part I-Analytical Study", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94, No. 2, Marck/April 1975, pp. 252~272.
- [23] E.J. Fagan and R.H. Lee, "The Use of Concrete-Enclosed Reinforcing Rods as Grounding Electrodes", IEEE Transactions on Industry and General Applications, Vol. IGA-6, No. 4, July/August 1970, pp. 337~348.
- [24] C.F. Desieno et al., "General Equation for Fault Currents in Transmission Line Ground Wires", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, No. 8, Nov./Dec. 1970, pp. 1891~1900.
- [25] D.L. Garrett and H.J. Holley, "Calculation of Substation Grounding System Resistance Using Matrix Techniques", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 5, Sept./Oct. 1980, pp. 2008~2011.
- [26] 大韓電氣協會, 「配電規定」, 1992.
- [27] 大韓電氣協會, 「內線規定」. 1992.
- [28] 大韓電氣協會, 「電氣關係法令集」, 1992.
- [29] 高橋健彦, 接地に關する最近の動向, 「電氣設備」, 1992年 7月號, pp. 2~23.
- [30] T. Takahashi and T. Kawase, "Calculation of Earth Resistance

for a Deep-Driven Rod in a Multi-layer Earth Structure", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, April 1991, pp. 608~614.

[31] British Standard Bs 7430;1991, Code of Practice for Earthing.

전기 설비·기기의 접지 기술

(기연 92 - 5 - 9)

발 행 일 : 1992. 12. 21

발 행 인 : 원 장 서 상 학

연구책임자 : 실 장 이 관 형

연구수행자 : 수석연구원 이 관 형

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업안전연구원

기계전기연구실

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-3

전 화 : (032) 518-6484~6

(02) 742-0230

<비매품>

