

〈特輯 地下水〉

地 下 水 調 查

高 泰 烈*

○ 地下水的 定義

물의 循環過程(Hydrologic cycle)에 있어 地下로 浸透된 물은 表面下水(subsurface water)라 부르며 이 表面下水 中 一部는 土壤의 毛細管現象으로 인하여 地表로 노출되어 大氣로 蒸發하며, 一部는 土壤의 植物 뿌리帶 까지 浸透하여 植物에 의해 葉面蒸發하여 大氣로 再發散되며, 一部는 重力에 의해 土壤下部로 깊숙히 浸透하여 飽和帶에 到達하여 飽和帶內의 空隙이나 岩石 틈 사이에 充填된다. 이 中 地下水란 飽和帶에 存在하는 물만을 稱한다.

地下水的 賦存狀態 즉 帶水層의 發達狀態를 調查하여 限定된 敷地내에서 地下水 開發方向을 選定하는 것이 地下水調查이며 이는 地質調查, 既存井戶調查, 地球物理探查, 試驗試錐調查, 井戶檢層 등으로 實施된다. 各 調查에서 나온 帶水層의 特性을 綜合하여 地下水開發의 指針으로 活用한다.

1. 地表地質調查

本調查 目的은 基盤岩의 地質構造 및 特性, 沖積層, 風化帶의 帶水性等을 調查함으로 敷地內 帶水層을 判斷한다. 本調查에 있어서 把握하여야 할 事項은 다음과 같다.

① 基盤岩의 地質構造: 斷層, 節理, 褶谷, 葉理, 層理

② 基盤岩의 特性: 火成岩, 堆積岩, 變成岩 등의 種類 및 發達狀態

③ 沖積層의 帶水性: 沖積層의 發達狀態, 構

成特質, 連結性

④ 風化帶의 帶水性: 風化程度, 厚

2. 既存井戶調查

調查地域內에 既設置되어 있는 井戶의 位置, 深度, 自然水位, 安定水位, 水溫, 帶水層의 種類, 井戶의 形態, 井戶의 直徑을 調查하여 帶水層을 判斷한다.

3. 地球物理探查

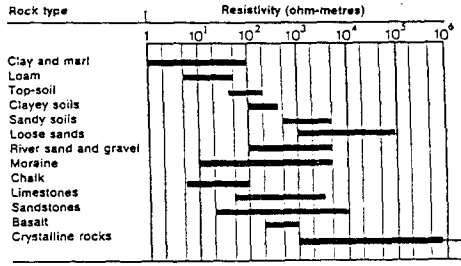
地下水調查에 利用되는 地球物理探查의 積類는 電氣比抵抗探查, 自然放射能探查, 電磁波探查 등이 있으나, 그 中 電氣比抵抗探查가 가장 널리 쓰이고 있으며, 그 原理 및 方法은 다음과 같다.

3-1 電氣比抵抗探查

3-1-1 原理

本探查는 人爲的으로 電流를 大地에 공급하여 電位分布를 發生시키게 하여 이때 공급된 電流의 크기와 이에 의해 發生된 電位의 크기를 測定함으로써 電氣比抵抗值의 變化양상을 탐지하고, 이를 해석하여 地下 下部의 地質構造(破碎帶, 斷層, 層序構造 等), 鑛床, 地下水의 보존여부 및 양상을 推定하는 것이 目的으로 다른 探查法에 비해 精량적 해석이 가능하고 이론이 잘 발달되어 있어 많은 장점을 가지고 있으나, 電流電極이 大地와 잘 접촉되어야 함으로 凍土, 沙漠 등 表土層이 電氣的 絶緣지역이거나 반대로 表土層이 石炭層, 鹽水浸入으로 電氣的 양도체일 경우 地下深部로 電流의 공급이 이루어지지

* 中央開發(株)



圖表 1. 岩石과 土壤의 대략적인 電氣比抵抗値의 범위

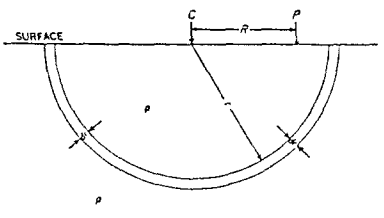


그림 1. 地表에 位置한 點源 및 기호

않아서 電氣比抵抗探査를 사용할 수가 없으며, 또 실제적인 문제로 작업이 번거로운 단점을 가지고도 있다.

또한 자료해석시 電氣比抵抗値는 절대적인 기준(岩石 및 土壤의 판단)이 될 수 없으며 地表地質調查의 結果와 병행하여 판단하여야 한다. 그 이유는 各岩石이나 土壤의 比抵抗値의 범위 가 너무 넓으며 다른 것과 중첩이 되기 때문이다. (도표 1. 참조)

地表面에 하나의 點源(C)(그림. 1. 참조)에서 I (ampere)라는 電流가 眞抵抗이 $\rho(\Omega\text{-m})$ 인 대지를 통과한다고 할 때, 電位電極은 P이며 C와의 거리는 R이다. 통상적으로 P가 무한대의 거리에 있으면 電位差는 영으로 가정한다.

여기에서 대지가 等方性이라면 모든 방향으로 電流가 흐르게 되며, 上部 공기로는 공기가 무한대의 抵抗을 가지고 있으므로 흐르지 못한다. 따라서 電流는 放射狀으로 진행하며 等電位面은 반구체가 된다. 여기에서 먼저 반지름 r인 등전위면과 dr의 등전위면을 가정할 때 r에서 dr의 電位差 du는

$$du = I \left(\frac{\rho dr}{2\pi r^2} \right) \dots\dots\dots \text{식 1}$$

電流電極 P에서의 電位는 무한대에서 P와의 電位差이므로 (식 1)에서 du를 R에서 무한대까지 적분하면 된다. 따라서

$$u = \int_R^\infty du = \frac{I\rho}{2\pi} \int_R^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{I\rho}{2\pi R} \dots\dots\dots \text{식 2}$$

가 된다.

(식 2)는 大地에서 電流源에 對한 電位式으로 比抵抗法에서 가장 基本的인 公式이다.

실제 探査에 있어서는 電流源이 2개인 電極配列이 쓰이고 있으며 이때의 電流와 電位分布는 (그림. 2)와 같으며 電流는 대체로 深部보다 淺部에서 보다 더 세밀하게 흐르며 電極間隔이 크면 클수록 深部까지 影響을 미치게 된다.

電流源이 大地에 여러개 있을 때는 電位函數 scalar 量이므로 各 電流源이 獨立적으로 電位에 對하여 作用한다고 볼 수 있으므로 여기서 여러 電流電極 中 n에 해당되는 電流源으로부터 흐르는 電流를 I_n 이라하고, 電位를 測定하는 點과 n에 해당하는 電流源과의 거리를 a_n 으로 하면 電位 U는

$$U = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{I_1}{a_1} + \frac{I_2}{a_2} + \frac{I_3}{a_3} + \dots\dots\dots \frac{I_n}{a_n} \right] \text{ (식 3)}$$

이 된다.

(식. 3)을 이용하여 均일한 매질을 가진 대지에 4개의 電極(C_1, C_2, P_1, P_2)를 설치하고 電極配列이 그림 3A와 같으면 比抵抗 ρ 는

$$\rho = \frac{(U_M - U_N) \cdot 2\pi}{I \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} = K \frac{\Delta U}{I} \dots\dots\dots \text{(식 4)}$$

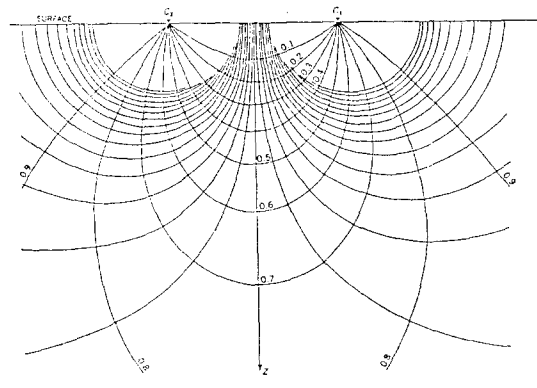


그림 2. 電極配列線의 垂直面上의 電位와 電流의 分布 숫자는 全電流와의 比率

여기서

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$$

K를 Geometry Factor라 칭하며 電極配列에만 관계되는 係數이다.

(식 4)는 대지가 완전히 균일한 매질일 때 한하여 大地의 固有比抵抗値가 된다. 그러나 大地는 실제 완전한 균일 매질이 아니므로 (식 4)에서 산출된 ρ 를 外見比抵抗(Apparent Resistivity)이라 칭하며 ρ_a 로 표시한다. 外見比抵抗은 실제 調査하는 大地의 固有比抵抗値와는 同一한 數値가 아니나, 그 變化양상을 이용하여 大地의 固有比抵抗値를 求할 수 있다.

실제 調査에 있어서는 電極配列을 그림 3. B, C와 같이 特定한 配列方式에 따르며 그 때의 外見比抵抗은 Wenner 配列方式일 경우 Geometric Factor K는 $2\pi a$ 가 되므로 ρ_a 는 $2\pi a \frac{\Delta U}{I}$ 가 된다. 따라서 野外에서 比抵抗測定器를 이용하여 $\frac{\Delta u}{I}$ 만 측정하면 이에 $2\pi a$ 를 곱하여 外見比抵抗 ρ_a 를 求할 수 있다.

Schlumberger 配列方式일 경우 Geometric Factor K는 $\pi \frac{a^2}{2b}$ 이 되며 ρ_a 는

$$\pi \frac{a^2}{2b} \cdot \frac{\Delta U}{I}$$

3-1-2 方法

電氣比抵抗探査는 現場에서 그 目的에 따라 垂直探査와 水平探査의 方法으로 수행된다. 垂直探査의 目的은 地表面上의 한 點에서 그 下部의 深度에 따른 電氣比抵抗의 變化를 測定하고 그 結果를 地質調査에서의 자료와 종합하여 地下構造를 더 상세히 알고자 하는 데 있다. 垂直探査는 大地에 공급되는 電流가 電流電極 사이의 間격이 넓어질 수록 더 깊은 處를 통과한다는 데 기초를 두고 있다(그림 2. 참조). 따라서 電極間隔이 증가하게 되면 地表面上의 電位分布는 점차로 더 깊은 深度에서의 불균질 매질의 영향을 반영하게 된다. 垂直探査에 있어서는 보통 Schlumberger 配列方式을 이용하여 方法은 中間에 있는 電位電極 P_1, P_2 는 고정하고, 두 電位電極사이의 中間地點을 中心으로 넓혀가면서 수행한다. 電流電極 間隔이 너무 커져서 測定值

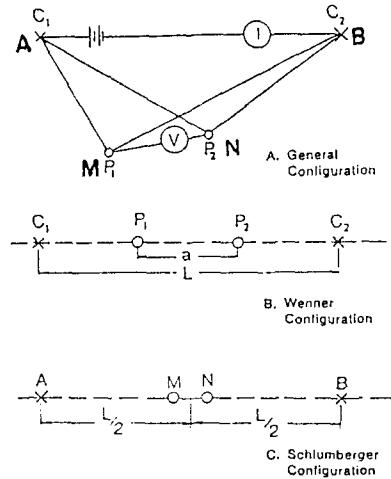


그림 3. 電極配列의 例

가 너무 적게 되면 電位電極을 넓혀서 測定을 계속한다. 이때 電位電極은 일반적으로 電流電極 間隔의 1/5 이상 넓히지 않는다.

水平探査는 垂直探査가 鑛體나 帶水層의 深度를 확인하는 데 필수적이고 효과적인 方法이기는 하지만, 일반적으로 垂直探査를 施行할 位置 선정을 爲해서 水平探査가 先行되어야 함이 原則이다. 또한 水平探査는 大地의 電氣比抵抗水平的 變化 양상을 탐지하기 爲해서 實施된다. 水平探査는 地表地質調査에서 發見된 線構造나 岩質變化區間 等に 垂直으로 測線을 定하여 實施하며 보통 Wenner 配列方式이 作業에 용이하여 많이 이용되고 있다. 水平探査에 의한 結果 해석은 정량적이기 보다는 주로 정성적인 면이 많다. 또한 水平探査는 주변보다 電氣比抵抗이 더 낮은, 또는 더 높은 電氣의 良導體나 不導體의 鑛體가 존재하는 비교적 넓은 地域에서 鑛體 자체보다는 鑛化帶를 判별하는 데 주로 이용되며, 水平探査 結果로 나타나는 外見比抵抗의 變化는 많은 경우에 破碎帶, 斷層, 鑛體 走向의 극부적인 變化 등과 같이 세부적인 地質的 特性에 민감하게 반응한다.

4. 試驗試錐調査

地下水調査 中 가장 직접적이고 효과적인 方法으로 調査對象地點에 試驗試鑛를 實施하여 각