

〈特輯 地下水〉

地下DAM의 水理, 水文學的 觀點

柳 承 九\*

1. 序言

政府에서는 水資源 開發의 一環으로 廣域 地表水源 用水開發 長期計劃을 樹立하여 年次的으로 施行中에 있으나, 流域別 用水需給의 원활한 均衡을 이루지 못하고 있는 實情이며, 多目的大規模貯水池 및 河口堰等の 施設物은 調查에서 開發까지 約 10年以上의 期間이 所要되어, 用水不足現狀 以前에 先行投資가 必要하게 된다. 이에 새로운 綜合的이고 좀 더 合理的인 水資源의 開發方向을 模索하여 地下水 資源에 對한 觀心이 高潮되고 있다. 地下水源의 여러가지 開發工法中, 地下댐에 關한 概論을 說明하고자 한다.

地下댐은 地下水盆을 構成하고 있는 沖, 洪積層속에 있는 帶水層의 形態나, 不透水層의 形狀等을 利用하여 自然的으로, 혹은 人工的으로 물을 貯溜시켜, 所謂 地層中에 물 倉庫를 만들고 必要에 따라 이를 뽑아내어 利用하려고 하는 것이다. 一般的으로 地下水의 帶水層(砂層)에 對한 有效間隙率을 0.2~0.3으로 基準하면, 帶水層 두께 10M인 1km<sup>2</sup>의 地下水域에서의 貯溜可能容量은 2<sup>5</sup>×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>가 될 것이다. 勿論 그 全容量이 모두 利用加能量이 되는 것은 아니지만, 地下에 貯溜할 수 있는 量은 巨大한 것이다.

地下水盆의 形狀, 帶水層의 發達狀態, 地形, 地下水의 涵養方法 等에 따라 다음 두가지 形態로 大別할 수 있다.

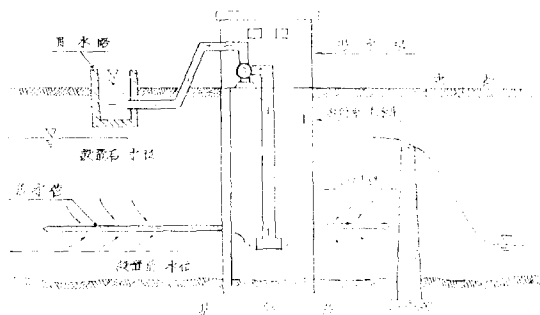
地下水盆에서 地下水流의 下流域에 庶水壁을 施工, 地下水의 流路를 庶斷한 후 地下水位를

上昇시켜 利用하는 方法과 地下水盆中에 發達하고 있는 帶水層의 狀況을 利用하여 地表水를 人工的으로 涵養, 一時 貯溜한 후, 必要時 이를 活用하는 方法이다.

國內에서 既開發된 庶水壁에 依한 地下댐은 그 設置工法에 따라 open-cut에 依한 置換工法, grouting에 依한 懸濁液 또는 藥液注入工法 및 pannel타입 工法 等이 있다. 庶水壁 設置의 立地條件은 대체로 다음과 같다.

- ① 帶水層이 두껍고 넓게 發達하여 多量의 地下水를 貯溜할 수 있는 地域,
- ② 地下水의 涵養源이 되는 넓은 流域과 河川의 勾配가 緩慢한 地域,
- ③ 流域의 流出口에 該當하는 峽谷部가 있어, 庶水壁 設置의 延長이 比較的 짧은 地域,
- ④ 庶水壁 設置地點의 基盤岩은 堅固하고 破碎帶가 없는 地域等이다.

地下댐 模型圖



2. 地下貯水地의 地下水 文學的 檢討

어떠한 流域內의 地下水 貯溜體에 對한 물收支는 그 地域으로 流入되는 水量과 流出되는 水

\* 農業振興公社 地下水開發課長

量 및 貯溜量이 恒常 平衡을 이루므로 다음과 같은 平衡式으로 나타낼 수 있다.

地表面 流入 + 地下水 流入 + 降雨 + 다른 流域으로부터의 流入量 + 地表面 貯溜量の 減少 + 地下水 貯溜量の 減少 = 地表面 流出 + 地下水 流出 + 利用量 + 다른 流域으로의 放出量 + 地表面 貯溜量の 增加 + 地下水 貯溜量の 增加 — (1)

上記 平衡式 中 地表面 要素들은 水文量的 調査, 觀測, 解析 等의 方法이 이미 確立 되어 있으며, 過去의 例가 많이 集積 되어 있어 廣範圍 選擇이 可能하나, 地下系 要素는 流域規模의 涵養量으로부터 地下水 流量 等의 調査方法 까지 實用的인 것이 確立 되어 있지 않다.

例를 들어 地表面의 境遇에는 河川 流量의 時間的 觀測이 基本的인 水文量 評價에 直接的인 接近方法으로 되어 있음에 反해 地下系의 境遇에는 地下水 流域에서 特定한 斷面을 通過하는 直接的인 觀測이 事實上 不可能하다. 이러한 경우에는 特定 地點에 設置한 觀測井에 對한 地下水 流의 時間的 觀測에 依하는 수 밖에 없다.

地下 貯水池의 水收支 分析을 爲하여는 다음과 같은 一般式을 使用하여 流域 全體에 對한 水收支 狀況을 判斷 한후 帶水層인 地下 貯水池 部分의 水收支 分析을 行하여 貯溜部에 對한 詳細한 水收支 狀況을 把握하는 順序로 하는 것이 妥當하다.

$$P = (R_0 - R_I)E + (G_0 - G_I) + \Delta S \dots\dots\dots(2)$$

$$\Delta S = \Delta W_s + \Delta M + \mu \cdot \Delta H \dots\dots\dots(3)$$

$$G_r = (G_0 - G_I) + \mu + \Delta H \dots\dots\dots(4)$$

여기에서 P : 降雨量

R<sub>I</sub> : 地表面 流入量

R<sub>0</sub> : 地表面 流出量

E : 蒸發散量

G<sub>I</sub> : 地下水 流入量

G<sub>0</sub> : 地下水 流出量

ΔS : 貯溜量 變化量

ΔW<sub>s</sub> : (地表面에서의 貯溜變化量)

地表面 變化量

ΔM : 不飽和帶의 土壤水分 變化量

ΔH : 地下水位 變化量

μ : 地下水位 變化部分의 有效空隙 率

G<sub>r</sub> : 地下水 補充量

式(2)에서 平均 降雨量 算定方法은 算術平均法, Thiessen의 加重法, 等雨量線法 等이 있으나, 算術平均法은 山岳效果, 雨量計의 分布狀態 密度 等에 對한 考慮가 전혀 反映되지 못하며, Thiessen 法도 雨量計의 分布狀態를 考慮하여 算術 平均值 보다는 正確하지만, 역시 山岳效果가 無視 되어 있다. 山岳 效果가 考慮된 等雨量 線法은 實際의 降雨 分布가 合理的으로 考慮되어 있기는 하나, 觀測點의 數가 적다든가, 降雨量의 變化가 甚하면 個人 誤差가 甚하고, 降雨量이 變할 때마다 다시 等雨量線圖를 作成해야 하는 不便이 따른다. 이에 地下水 文分析을 위하여는, 이와 같은 方法中 對象地域의 特性에 따라 必要한 觀測點을 設置하고, 平均 降雨量의 算定方法을 適切히 選擇하여 正確도를 높여야 할 것이다.

地表面 流出量은 氣候, 氣象因子, 地 因子와, 이들의 相互作用에 依해 支配된다. 流出解析法은 單位圖法, 貯溜函數法 流出函數法 等의 短期 流出解析法과 梶山 Model, TANK Model 을 利用한 長期流出解析法으로 나눌 수 있다.

地表面 流入量은 地面의 粗度狀態에 따라 決定되며, 粗度狀態는 降雨流出現象에 依하여 時間的으로 變化한다.

地表面에 到達한 降雨가 單位時間에 地表面에서 土壤속으로 浸入해 가는 比率을 滲透率이라고 하며, Huggins-Monke 式으로 부터 求한 滲透率로 부터 地下水 流入量을 구할 수 있다.

蒸發散量은 蒸發散計 等의 器具를 利用하여 測定하거나 Thornthwaite 法, Morton 法, Penmann 法 等에 依하여 求할 수 있지만, 어떤 地域에서의 流入量과 流出量에 對한 모든 資料가 檢討 된다면, 다음 式과 같은 水收支 方程式에 依해 蒸發散量을 計算하는 것이 比較的 正確하다.

$$\text{蒸發散量} = \text{降雨量} - \text{地表面 流出量} - \text{地下 浸透損失量} - \text{土壤水分 變化量} \dots\dots(5)$$

地下水文에 있어서 가장 重要한 點은 貯溜量

의 正確한 把握이다. 貯溜量 變化의 正確한 評價를 爲해서는, 長期間에 걸친 물收支를 確率論의 方法으로 處理해야 된다. 그러나 確率論을 展開하기 爲한 充分한 地下系의 水文資料가 集積되어 있는 境遇는 많지 않다. 이와 같은 여러가지 問題點으로, 地下貯水池 內의 物收支 分析을 單純化, 細分化 하는 作業의 必要性이 提起 됨에 따라, 이에 對한 研究가 進行 中에 있다.

그러나, 實用的인 面에서는 地下水位 等高線圖를 作成 하므로써, 地下水, 流出入 特性을 把握하는 容易한 方法이 있다. 卽 地下水位 等高線의 間隔은 動水句配에 따라 變하며, 動水句配는 流量과 透水量 計數에 依해 左右된다.

地下水位 等高線圖를 利用한, 地下水 貯溜量 算定法은 自然涵養量을 降雨와 같은 自然條件에 依해 地下로 流入되는 물이라 하면 다음과 같다

$$Q_{in} + N_r - Q_{out} - \text{pumpage} = V_{t+1} - V_t \dots (6)$$

$$Q_{in} = W_{in} \times T_{in} \times \Delta h_{in} / \Delta L_{in} \dots (7)$$

$$Q_{out} = W_{out} \times T_{out} \times \Delta h_{out} / \Delta L_{out} \dots (8)$$

$$NP = \alpha P \dots (9)$$

$$V_{t+1} - V_t = A \times (h_{t+1} - h_t) \cdot S \dots (10)$$

여기서  $V_{t+1}$  : 一定期間 經過後의 貯溜量

$V_t$  : 當初 貯溜量

$h_{t+1}$  : 一定期間 經過後의 水位

$h_s$  : 當初 水位

$A$  : 面積

$S$  : 貯溜計數

$Q_{in}$  : 流入地域의 流量

$Q_{out}$  : 流出地域의 流量

$N_r$  : 自然涵養量

$P$  : 降雨量

$W_{in}$  : 流入地域의 幅(대수층)

$T_{in}$  : 透水量係數(流入地域)

$W_{out}$  : 流出地域의 幅(대수층)

$T_{out}$  : 流出地域의 透水量係數

$\frac{\Delta h_{in}}{\Delta L_{in}}$  : 地下水動水句配

一定期間 經過後( $\Delta t$ )의 物收支式은

$$W_{in} \times T_{in} \times \Delta h_{in} / \Delta L_{in} + \alpha P / \Delta t - W_{out} \times T_{out} \times \Delta h_{out} / \Delta L_{out} - P_m / \Delta t = A \cdot (h_{t+1} - h_t) \cdot S / \Delta t \dots (11)$$

式(11)에서 透水量係數를 測定하는 方法으로는, 觀測值로부터 最少자승法에 依하여 求한 式을 利用, 觀測 位置를 中心으로 領域의 代表값이 되도록 하는 方法을 使用하여 왔으나, 이러한 方法으로는 領域 全體에 對한 透水量係數의 空間構造分布를 알 수 없으며, 解析 結果로 算定된 地下水頭는 큰 誤差가 있으므로, 칼만 필터 理論(Kalman filter Theory)에 依한 平面 2次元 透水量係數推定法을 利用하여, 同一한 觀測值로서 最少자승法에 依한 推定值보다 實際의 透水量係數값에 가까운 分布를 얻을 수 있다.

式(6)에 依해, 地下水 流出入量이 算定되며 式(11)에 依해 自然涵養量을 超過하지 않는 範圍로 하여 利用可能水量이 算出된다.

### 3. 結言

地下 貯水池에 對한 水文 및 水理地質學的인 檢討는 地下水資源의 效率的인 利用方案의 하나로써, 帶水層의 地下水 涵養能力과 貯溜量 中 利用可能水量을 安全採水量 觀點에서 設定하기 爲한 것이다. 庶水壁을 設置한 地下貯水池는 一般的으로 地下水 揚水施設에 依해 採水되므로, 計劃된 揚水量을 取水하기 爲하여는 最 管理 下限水位가 決定되어야 하고, 長期間의 貯水池 物收支는 確率解析에 依해 分析, 滿水位 및 必要水量을 滿足할 有效貯溜量을 決定해야 한다.

地下水는 水質이 좋고, 比較的 水溫이 安定되어 있고, 손쉽게 利用할 수 있는 等等의 利點으로 여러가지 많은 用途로 使用되고 있다. 그러나 아직 地下水資源에 關한 過切한 保全과 利用에 關한 原則이 確立되어 있지 않은채, 安易하게 地下水의 開發이 急激하게, 또 無秩序하게 進行이 되고 있어, 自然的인 物收支의 均衡을 喪失케 할 우려가 매우 높다. 特히 地域的으로 是 地下水位의 低下와 地下水의 鹽水化 等の 障害를 發生케 하여, 社會的인 問題로 登場하고 있다. 따라서 地下水도 國土의 保全 및 水資源의 效率的인 活用面에서 國家的 次元의 綜合的인 管理가 切實히 要望되며, 地下流의 保全管理 및 地下水 涵養技術等에 關한 調查研究에 박차를 加하여 水資源의 利用性質에 過合한 水源工別 施工方法을 開發해야 하겠다.