

地下水 모델링 研究

梁 在 晚

(農業振興公社 地下水部長)

農業振興公社 地下水部는 1986年 6月~1987年 12月 期間에 걸쳐 京畿道 驅州郡 加南面 太坪里, 五山里, 三軍里 一帶의 양화천 주변 150ha面積의 沖積層 地域을 對象으로 地下水文의 分析과 함께 地下水文 分析의 電算化를 수립하기 爲하여 地下水 모델링 研究를 實施한 바 있다. 本紙面을 通하여 이에 對한 紹介와 함께 地下水 모델링의 全般的인 事項을 說明하고자 한다.

1. 地下水 모델링 概觀

地下水 모델링은 地下水 現場의 여러가지 복잡한 水文上의 問題를 分析하는데 도움을 줄 수 있는 하나의 連想이라 할 수 있다. 모델은 現場調查 以前의 踏査와 現場 計劃 이후 隨伴되는 解析過程과 미래의 現場狀態를 概測, 豫想하는 일에 有用하며 假想的인 帶水層 問題

點들을 調查함으로써 地下水 흐름 樣相의 多樣한 形態를 研究할 수도 있다. 그러나 모델링의 利用 以前에 먼저 모델링의 概念과 制限點等을 熟知하여야 한다.

地下水 시스템의 相似化라는 것은 그 樣態가 實在의 帶水層의 樣相과 同一하다고 假定되는 모델의 樹立과 運營을 말하는 것이다. 모델은 物理的인 수도 있고(例: 實驗室의 모래탱크) 電氣的인 相似모델, 數學的인 모델일 수도 있다. 數學的인 모델은 特定 假定의 支配를 받는 一連의 方程式들로 단순하게 構成된다. 모델 自體는 地下水 系統의 세미한 實在狀況을 表現하기에는 分明히 부족하지만 근거만 確實하다면 모델의 樣相은 帶水層의 樣相과 거의 비슷한 것이다. 數學的인 모델은 決定論的인 이거나 統計的인 이거나 혹은 兩者의 혼합이라고 할 수 있다. 當社에서 研究한 것은 決定論的인 모델 즉 物理的인 시스템의 理解에 근거한 原因

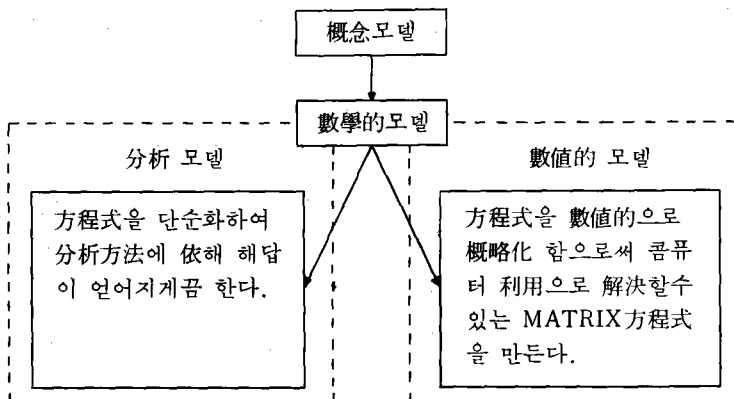


그림. 1. 數學的인 모델 開發을 爲한 論理的인 圖表.

과 결과 關係를 規明하는 것이었으므로 여기에서는 이것만을 다루기로 한다. 어떠한 물理的 시스템의 決定論的 數學모델을 開發하는 過程을 그림. 1에서 보여지는 대로 一般化할 수 있다.

첫째 단계는 시스템의 물理的 樣相을 理解하는 것이다. 原因-結果의 關係들이 어떻게 시스템으로 運營되는가 하는 概念모델들이 公式化된다. 地下水 흐름의 境遇에도 이러한 關係들이 一般적으로 잘 알려져 있다.

다음 段階는 물理的인 狀況을 數學的인 狀況으로 전환하는 것이다. 즉 적절한 單純化用 假定을 만들어 支配方程式을 開發하는 것이다. 이것이 數學的 모델을 構成하게 된다. 地下水 흐름에 對한 數學的 모델은 調查地域에 對한 連續的인 變數(例: 水頭)들을 나타내는 媒體의 保存을 表現하는 最初 條件들과 適切한 境界條件들과 함께 偏微分方程式으로 構成된다. 그 외에도 數學的 모델은 帶水層內에서 活發한 速度 過程을 描寫하는 여러가지 現象學的인 法測들을 隨伴한다. 그 一例가 多 孔質 媒體를 通過하는 액체의 흐름에 對한 Darcy의 法測이다. 이 法測은 主로 運動量 保存을 表現하기 爲하여 使用된다. 最終적으로 1次 또는 2次元 흐름과 被壓面, 自由面 條件 등의 境遇와 같이 여러가지 假定들이 使用된다.

일단 數學的 모델이 具體化되면 다음 段階는 한두개의 一般의 접근 方法을 利用하여 解

답을 얻는 것이다. 例를 들면 解析的 解答을 따라야 할 一般的인 副次的인 方程式과 解答들이 分析모델 (Analytical Model)로 看做될 수 있다. 우리가 잘 아는 Theis形態의 曲線은 一種의 이러한 分析모델의 解決을 나타내어 준다.

대체적인 방안으로써 單純化된 分析모델들이 現場의 물理的 狀況을 잘 나타내지 못하게 된 境遇에는 偏微分方程式을 有限微分技法 또는 有限要素法 등을 使用하여 數學的으로 概略化 할 수 있다.

그렇게 함으로써 連續的인 變數들을 그릿드 網(또는 NODE)에서 規定되는 不連續的인 變數들로 대체할 수 있다. 따라서 帶水層內에서의 어느 곳에서나 水頭를 定할 수 있는 連續微分方程式이 特定地點의 水頭를 規定하는 有限數의 代數方程式으로 대체되어지게 된다. 이러한 代數方程式 系統은 MATRIX 技法을 使用하면 대개 풀 수 있다. 이러한 方法이 數值的 모델 (NUMERICAL MODEL)을 이루게 되며 또한 一般적으로 컴퓨터를 利用하여 方程式을 풀기 爲하여 컴퓨터 프로그램이 作成된다.

아마도 地下水 모델의 가장 흔한 應用은 特定地點의 帶水層 樣相의 豫測과 過去의 來歷을 알아 내는 것일 것이다. 여러가지 모델중에서 數值的 모델 (NUMERICAL MODEL)이 帶水層 樣相을 相似化하기에는 가장 一般的인 방편이라 할 것이다.

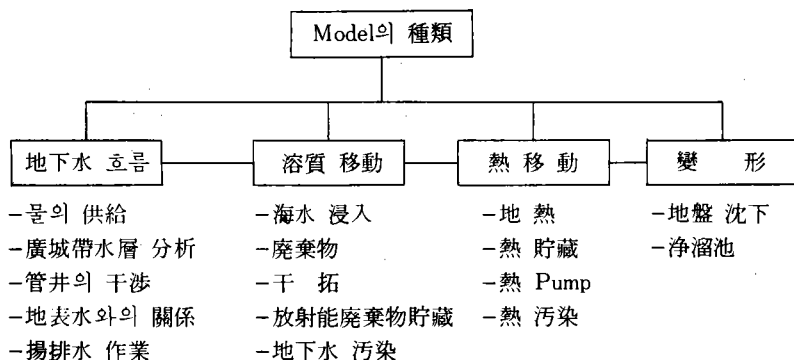


그림. 2. 數值的 Model의 種類와 應用.

지하수흐름시스템을 모델링하는最終段階는 數學的인 結果들을 物理的인 意味로 바꾸어 놓는 것이다. 또한 모델研究의 原因이된 水文學的 問題點들을 解決함에 있어서 實在性과 그 效果와의 兩者 合意 範圍 內에서 結果值들이 解析되어야 할 것이다. 4가지 種類의 모델들이 그림. 2에 列擧되어 있다.

地下水現場의 경우 대개 水頭概念으로 한개의 方程式으로 表示된다. 그 結果로 나온 이 方程式의 解決을 準備하는 모델을 地下水흐름 모델(GROUND WATER FLOW MODEL)이라고 부른다. 今番 農振公 地下水部에서 施行한 것도 이것에 속한다. 만일 水質問題가 내포된다면 地下水흐름 方程式들에 또 다른 方程式들이 추가되어 化學成分들의 concentration 정도를 알아내기 爲하여 解析되어야 한다. 이러한 모델들을 溶質移動모델이라 부른

다. 熱에 관한 問題도 역시 溶質移動方程式과 類似하게 地下水흐름方程式에 또 다른 方程式이 추가되어야 한다. 그러나 이것은 온도를 나타내는 用語로 表現되어야 한다. 이러한 모델을 熱移動모델이라 부른다. 淸으로 變形모델은 地下水흐름모델과 帶水層 變形을 나타내는 一連의 方程式들의 組合을 말한다.

上述한 모델들은 모두 多孔質 媒體와 均열 媒體로 細分된다. 地下水모델들은 모델媒介變數들의 不確實性을 規定하기 爲하여 통계학적 기술과 組合될 수 있다. 이러한 모델들은 帶水層 媒介變數들의 計算에도 使用될 수 있다. 그밖에 石油과 물의 혼합흐름 (石油과 물)과 非飽和帶에서의 復合的인 흐름, 問題를 取扱하는 모델도 있다. 其他 모델들은 그림. 2의 여러 모델들의 전부 또는 몇 개를 조합한 것이다.

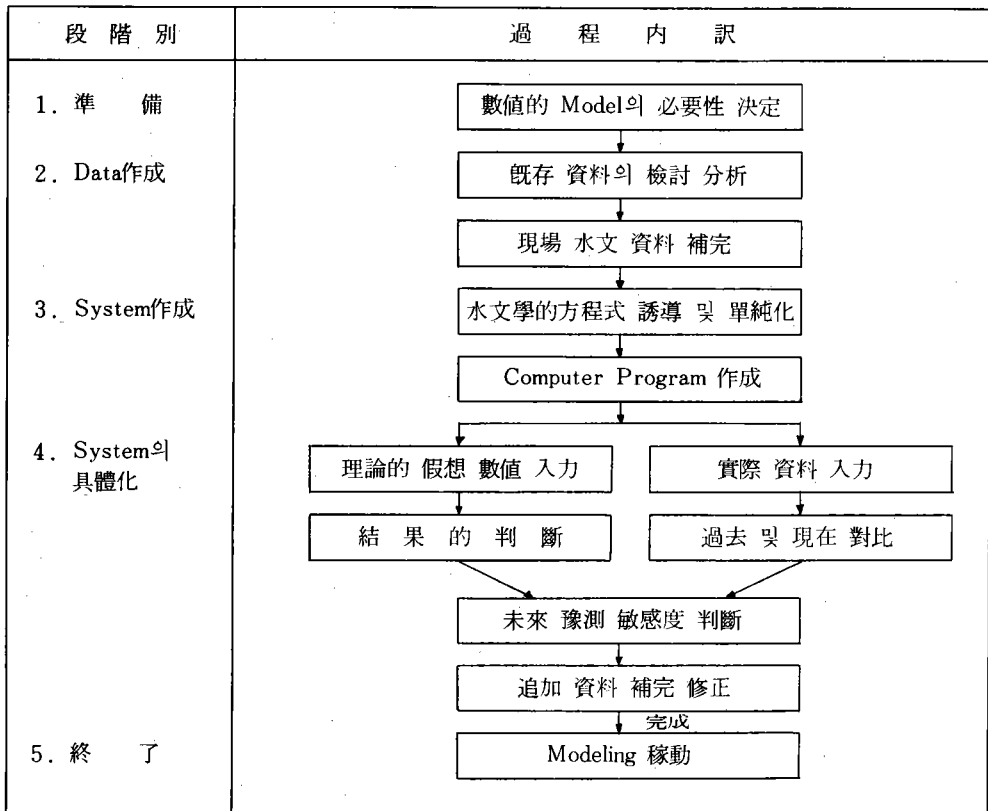


그림. 3. 地下水 Model의 樹立過程.

上記 모델중 數值的 모델 (NUMERICAL MODEL)은 不規則한 境界들, 不均質性 즉 매우 多樣한 揚水量과 涵양을 갖는 帶水層에 관련된 一般的 문제들의 解決에 가장 適切하다. 이러한 모델의 作成過程은 그림. 3에 나타나 있는 바와 같다.

2. 帶水層 System의 基本的 理論

가. 帶水層 System

地下水位 變動에 依한 모델 作成이나 揚水에 따른 適正揚水量의 決定 및 그 影響半徑을 計算하기 爲해서는 研究對象 地域의 Input 및 Output과 함께 帶水層의 水理의 狀態를 綜合的으로 나타낼 수 있는 帶水層 System이 作成되어야 한다. 그러므로 帶水層 System에對한 것을 볼때 地下水位 變動을 Simulate 하기 爲해서는 帶水層에 作用하는 Parameter, 境界條件, 分析의 確율적 要素가 地下水System에 充分히 고려되어야 한다. Model樹立을 爲한 數學的 數式을 誘導하기 爲해서는 帶水層으로 들어오는 入力과 出力을 定義하여야 한다. 이와같은 問題에서 入力은 帶水層에서 純揚水量이며, 出力은 純揚水量(涵양량-양수량)에 對해 帶水層이 表示하는 응답이 된다. 이에 따라 地下水位의 變動이 일어나므로 그림. 4로 表示하면 다음과 같다.

地下水의 數值 Simulation은 3가지로 問題를 나누어 行할 수 있다. 첫째는 入力과 出力을 알고 帶水層 System의 Parameter를 決定하는 問題이다. 여기에서 對象地域의 入力은 過去의 揚水量, 出力은 地下水位 變動이므로 入力과 出力을 관련시켜 透水係數와 貯溜係數의 空間分布를 決定한다. 이를 爲해서는 施行 錯誤의 解法 (TRIAL AND ERROR METHOD)을 쓴다. 둘째 問題는 첫째에서 밝혀진 帶水層 System의 Parameter를 利用하여 帶象地域內의 特定한 場所에 對하여 入力과 出力을 計算하는 豫測問題이다. 보다 더 具體的으로 言及하면 장래 計劃揚水量에 대응하는 地下水位가 어느 정도 低下하는지 예측할 수 있으며 그 반대적인 것 즉 미래의 지하수위 및 계획 양수량을 알고 과거 및 현재의 대수층 상황(입력)을 알 수 있다. 세째는 有限要素法 (Finite Element Method)으로 對象地域을 自由度를 지닌 要素의 集合體로써 近以시켜 이 集合體에 對하여 成立하는 方程式(연립 1차 방정식)을 解析하는 問題이다.

또 偏微分方程式의 變分법에 따른 解析방법을 기초로 하여 地下水의 흐름을 解析하게 된다. 이 경우 몇가지 要素분할 형상이 요구된다. 즉 2차원 문제로는 삼각요소, 사각요소(장방형)이며 3次元으로서는 사면체요소, 육면체요소 등으로 支配方程式에 對한 未知函數 $f(x, y)$ 의 微分을 行하고 函數에서 주어져 있는 境界內의 格子點으로 부터 內部의 格子點 $f(x, y)$ 의 값을 定하여 감으로 函數는 具體的으로 揚水量, 影響圈, 適正우물間隔, 水位變化 등을 計算할 수 있다.

나. 支配方程式

地下水의 流動을 나타내는 基本式은 多孔質 媒體 中에 물이 흐르는 것을 支配하는 Darcy의 式으로 부터 誘導할 수 있다. 自由面地下水 帶水層 中에서 물 흐름의 垂直成分을 무시한다면 이 流動式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

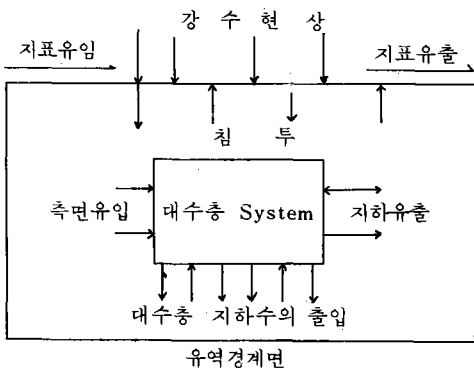


그림. 4. 대수층의 System.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W(x, y, t) \dots \dots \dots (1)$$

여기에서

- K_{xx} : x 방향의 透水係數 [L/T]
- K_{yy} : y 방향의 透水係數 [L/T]
- h : 水理水頭 [L]
- S : 貯溜係數(無次元)
- W : 單位面積當 流出 또는 流入量 [L/T]
- t : 時間을 表示하는 變數

地下水 帶水層의 System解析의 中心은 (1) 式의 偏微分方程式에서와 같이 初期條件과 境界條件 下에서 풀 수 있다.

透水量係數 [L^2/T]에서 T 는 $T=Kh$ 이므로 (1) 式은 아래와 같이 간단히 된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W(x, y, t) \dots \dots \dots (2)$$

對象地域을 Grid로 分할하여 x, y 축을 설정하면 境界條件은

$$\left. \begin{aligned} \frac{h \partial h}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0, \\ \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=M} &= 0, \\ y=0, h &= h_0 \\ y=N, h &= h_N \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

이 된다. 즉 對象地域 地下水의 水位變動모델은 式 (2), (3)과 같다고 할 수 있다.

3. 電算 System을 利用한 地下水 Modeling作成

今番 農振公 地下水部에서 完成한 地下水 모델링은 Personal Computer 上에서 가동이 可能토록한 數值的 Model中 地下水흐름 Model로서 沖積層 地下水에 관한 것이었다.

電算프로그램의 言語는 BASICA, GW-BA-

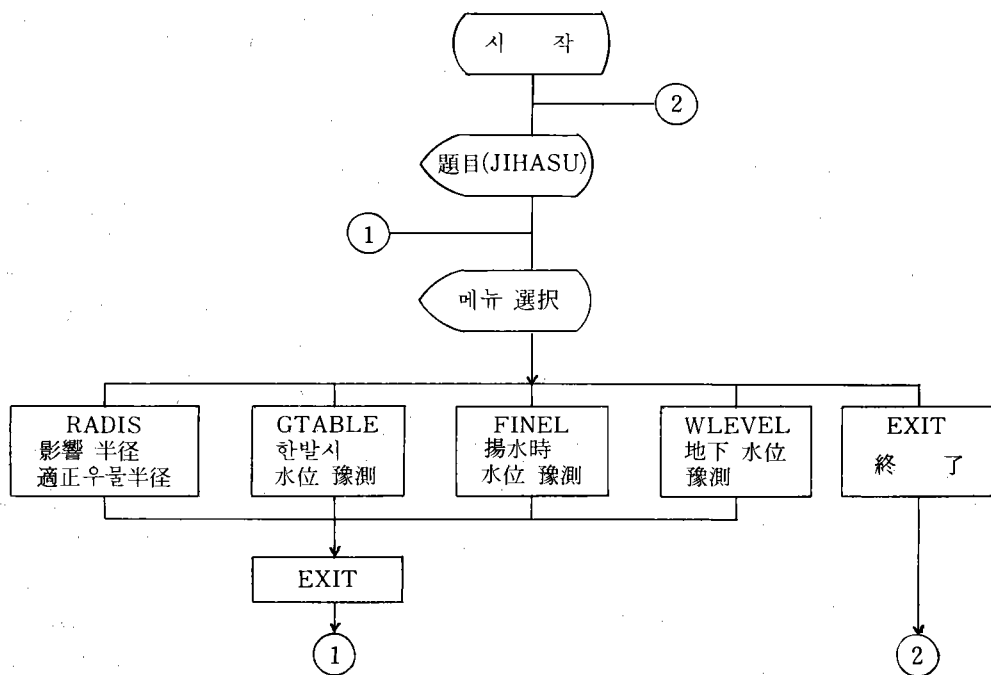


그림. 5. JIHASU 프로그램의 構造.

SIC, HBASIC 등 3種을 사용하여 調査者의 任意대로 選擇 使用이 可能토록 하였으며 IBM 16비트 호환기종에서 調作이 될 수 있게 하였으며 MS-DOS System의 Version은 3.20을 利用하였다.

프로그램은 편의상 JIHASU라는 Package 이름을 붙였으며 Package内에는 4개의 프로그램 (RADIS, FINEL, GTABLE, WLEVEL)을 內藏시켜 메뉴方式으로 使用者의 편의를 最大限으로 圖謀했다. 入力變數는 메뉴選擇에 따라 display되는 대로 變數값을 入力토록 되어 있어 누구나 調作에 불편이 없도록 되어 있다. Package内에는 適正우물間隔, 影響半徑을 Simulation할 수 있는 RADIS 프로그램과, 旱魃時의 地下水水位를 豫測하는 GTABLE, 揚水時 주변 帶水層의 地下水水位 下降을 豫測하는 FINEL과, 農事철, 非農事철 즉 地下水를 多量 利用하고 降雨가 많은 계절로 區分 地下水水位를 豫測할 수 있는 WLEVEL 등으로 되어 있다. JIHASU Package内에서 入力된 變數들은 Finite Element Method에 依해 Simulation되어 print out하게끔 되어 있다. JIHASU Package의 構造는 그림. 5와 같다.

入力變數들은 각 프로그램마다 차이는 있으나 揚水量, 揚水時間, 透水量係數, 貯溜係數, 自然水位, 揚水時 水位降下量, 觀測井의 거리, 우물깊이 등이 重要入力 變數이다. 그 細部的인 內容을 각 프로그램別로 보면 첨부 1의 表와 같다.

各 프로그램의 構造는 FINEL 프로그램의 흐름도와 대부분 유사하므로 그림. 6, 7, 8에 있는 FINEL 프로그램의 흐름도에 依하여 說明이 可能하다.

今番 設定된 4種의 地下水 Modeling 프로그램의 各各을 說明하면 아래와 같다.

- FINEL

揚水時 주변 帶水層의 地下水水位 降下를 豫測하는 것으로서 물을 必要로 하는 時期 즉 農事철에 同時에 多量의 地下水를 揚水함으로 因한 우물間의 干涉을 防止하고 適正揚水量 決定을 爲한 資料를 얻기 爲한 것이다.

水位豫測은 揚水量에 따라 揚水時間에 依해 水位低下가 일어나므로 이때 透水係數와 貯溜係數가 影響을 받는다. 그러므로 이를 式으로 表現하면 다음과 같이 된다.

$$H = \frac{Q}{4\pi T} * 0.93 * \log(2.25 * T * \text{Time} / R6 * S) \dots\dots\dots(4)$$

위의 式을 적용하면 觀測井으로부터 R만큼의 距離에서 Time時間에 걸쳐 揚水(Q, m³/sec)했을 境過 地下水水位 差(H)를 求함으로 水位를 豫測할 수 있다.

實在 電算프로그램 가동시는 Simulation하는 期間을 日 單位로 入力하게 된다. 電算機의 容量과 처리속도에 따라 다르겠지만 Simulation 期間은 1日~31日 정도 繼續揚水日數를 入力하는 것이 適當하다.

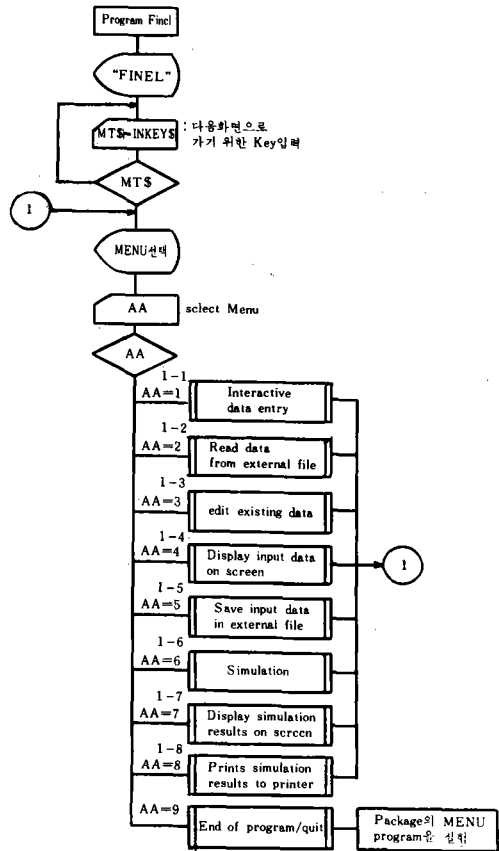


그림. 6. FINEL 프로그램의 흐름.

電算機 畫面上에서 調査地域을 GRID化 하 게 되며 이때 i 방향을 최소 2~최대 24개까지 分割이 가능하며 j 방향 역시 최소 2~최대 24 개의 分割이 可能하다.

각 cell별 1邊의 길이는 調査者의 任意로

얼마든지 調整이 可能하나 다음과 같은 事項 을 充分히 고려하여야 한다.

① 帶水層의 各 cell內에서 모든 水理性은 同一한 것으로 看做된다.

Interactive DATA ENTRY

Print simulation results to printer

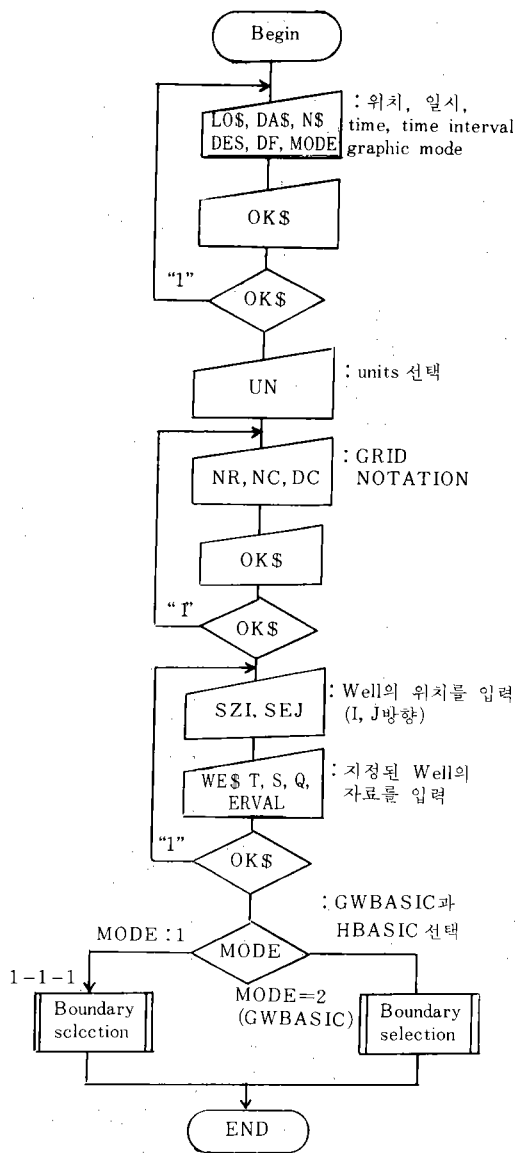


그림. 7. FINEL 프로그램의 세부도.

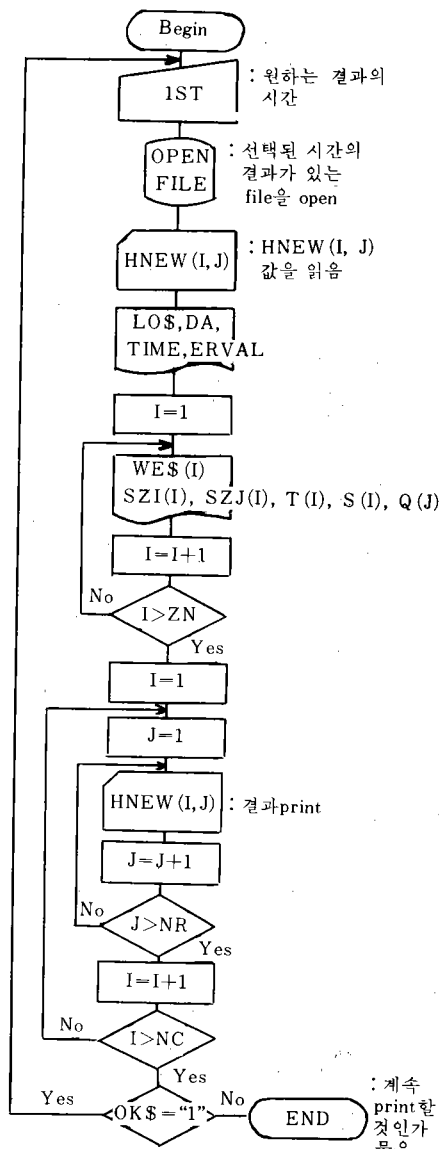


그림. 8. FINEL 프로그램의 Simulation결과 print.

地下水 모델링 研究

```

*****
*                                     *
*           PROGRAM : FINEL           *
*           VERRION : IBM PC 3.1     *
*           FINEL : Simulation by iteration method. *
*                                     *
*****
    
```

FINEL : SOURCE DATA

PAGE 1

```

Location ..... : seoul
Date ..... : 88. 6. 2
Time of simulation ..... : 1.0000{days}
Error toleration ..... : 0.0100{m}

Well no. : test -1 (i=5, j=5)
Transmissivity ..... : 1250.0000{sq. m/day}
Storage coefficient ..... : 190.0000E-06
Withdrawal rate ..... : 2730.0000{cu. m/day}
    
```

RESULTS : HEAD ((m)) FOR TIME=1{days}

PAGE 2

| +i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|
| J | | | | | |
| 1 | 0.1095E+01 | 0.1138E+01 | 0.1177E+01 | 0.1205E+01 | 0.1215E+01 |
| 2 | 0.1138E+01 | 0.1195E+01 | 0.1251E+01 | 0.1297E+01 | 0.1315E+01 |
| 3 | 0.1177E+01 | 0.1251E+01 | 0.1336E+01 | 0.1417E+01 | 0.1456E+01 |
| 4 | 0.1205E+01 | 0.1297E+01 | 0.1417E+01 | 0.1577E+01 | 0.1697E+01 |
| 5 | 0.1215E+01 | 0.1315E+01 | 0.1456E+01 | 0.1697E+01 | 0.5271E+01 |
| 6 | 0.1205E+01 | 0.1297E+01 | 0.1417E+01 | 0.1577E+01 | 0.1697E+01 |
| 7 | 0.1177E+01 | 0.1251E+01 | 0.1336E+01 | 0.1417E+01 | 0.1456E+01 |
| 8 | 0.1138E+01 | 0.1195E+01 | 0.1251E+01 | 0.1297E+01 | 0.1315E+01 |
| 9 | 0.1095E+01 | 0.1138E+01 | 0.1177E+01 | 0.1205E+01 | 0.1215E+01 |
| 10 | 0.1052E+01 | 0.1084E+01 | 0.1112E+01 | 0.1131E+01 | 0.1138E+01 |

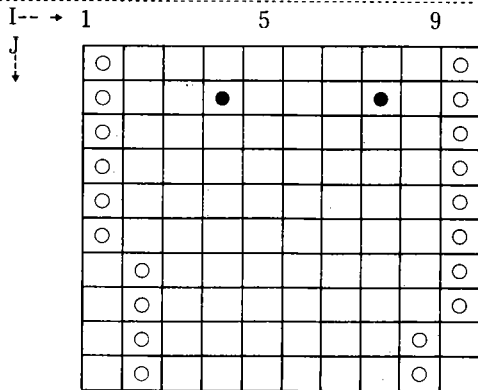
| +i | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|
| J | | | | | |
| 1 | 0.1205E+01 | 0.1177E+01 | 0.1138E+01 | 0.1095E+01 | 0.1052E+01 |
| 2 | 0.1297E+01 | 0.1251E+01 | 0.1195E+01 | 0.1138E+01 | 0.1084E+01 |
| 3 | 0.1417E+01 | 0.1336E+01 | 0.1251E+01 | 0.1177E+01 | 0.1112E+01 |
| 4 | 0.1577E+01 | 0.1417E+01 | 0.1297E+01 | 0.1205E+01 | 0.1131E+01 |
| 5 | 0.1697E+01 | 0.1456E+01 | 0.1315E+01 | 0.1215E+01 | 0.1138E+01 |
| 6 | 0.1577E+01 | 0.1417E+01 | 0.1297E+01 | 0.1205E+01 | 0.1131E+01 |
| 7 | 0.1417E+01 | 0.1336E+01 | 0.1251E+01 | 0.1177E+01 | 0.1112E+01 |
| 8 | 0.1297E+01 | 0.1251E+01 | 0.1195E+01 | 0.1138E+01 | 0.1084E+01 |
| 9 | 0.1205E+01 | 0.1177E+01 | 0.1138E+01 | 0.1095E+01 | 0.1052E+01 |
| 10 | 0.1131E+01 | 0.1112E+01 | 0.1084E+01 | 0.1052E+01 | 0.1017E+01 |

그림. 9. Finel 結果值.

- ② 번호의 正確性
- ③ 計算의 간소화
- ④ 水文學의 境界條件
- ⑤ 우물의 位置

Grid 設定 後 揚水하고져 하는 假想혹은 實在의 우물들의 位置를 i, j 번호에 依據 入力한 後 各 우물들의 알려진 (혹은 任意的) 透水量係數 및 貯溜係數와 揚水量 및 error tolerance值를 入力한 後 Simulation하면 아래 그림. 9과 같이 結果值가 나타난다. Grid 設定時의 管井(혹색원) 入力과 Boundary 設定(백색원) 例가 그림. 10에 나타나 있다.

FINEL : BOUNDARY SELECTION



ENTER I-DIRECTION: █

그림. 10. Grid內에 管井 및 Boundary 設定.

- RADIS

本 프로그램은 揚水時 影響半徑과 適正우물 間隔, 適正揚水量을 豫測할 수 있는 프로그램이다. 本 프로그램을 利用하여 우물間的 干涉을 배제할 수 있는 揚水量 算定과 同時에 새로운 우물 開發時 우물間融을 調整함으로 不必要한 資本 投資를 防止할 수 있는 說得力 있는 數值를 얻을 수 있다.

適正揚水量이란 우물에서 揚水를 行할 때 時間 경과에 따라 안정수위를 維持하나 우물로 부터 必要한 量의 물을 繼續的으로 얻을 수 있는 同時에 주변우물에 影響을 주지 않는 範圍內에서 揚水할 수 있을 때 決定된 水量이라 할 수 있다. 따라서 水位低下量, 揚水量, 揚水時間, 透水係數, 貯溜係數 等과 깊은 함수關係를 이룬다. 이것을 式으로 表現하면 다음과 같다.

$$P=f(T, t, S, Q, h) \dots \dots \dots (5)$$

위 式에서

P =適正揚水量 (m^3/sec)

T =透水量係數 (m^2/sec)

t =양수시간 (min)

S =貯溜係數

Q =時間 t 에 對한 揚水量 (m^3/sec)

h =時間 t 와 揚水量에 依한 水位低下量(m)

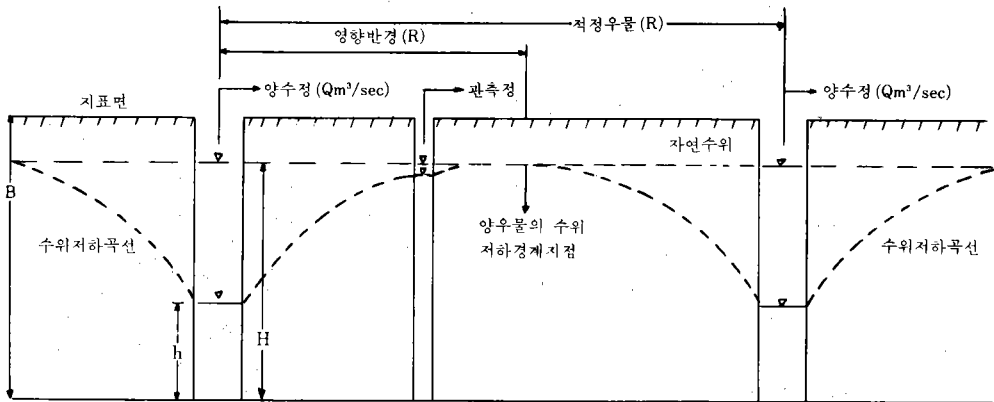


그림. 11. 양수량에 따른 적정 양수량과 우물

適正우물間隔이란 揚水時 揚水井을 中心으로 주변 우물의 地下水位를 低下시킬 수 있는 거리 즉 影響半徑의 2 배에 該當한다. 揚水時 影響을 받는 地下水位의 範圍에는 水位降下量, 揚水量, 揚水時間, 透水係數 等に 비례하는 式이 成立된다.

$$R=f(K, S, r, t) \dots\dots\dots(6)$$

그림. 11에서와 같이 適正우물間隔, 適正揚水量을 求할 수 있는 式을 다음과 같이 誘導할 수 있다.

$$H=K \cdot \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2.25 T * Time}{R^2 * S}\right) \dots\dots\dots(7)$$

위 式에서 H=水頭差 (m)

Q=揚水量 (m³/sec)

T=透水量係數 (m²/sec)

Time=揚水時間 (min)

S=貯溜係數

R=거리 (m)

K=係數(0.93)

式(7)을 利用 貯溜係數 S와 透水量係數 T 인 地域에서 揚水量 Q로 Time 時間程度 揚水를 實施했을 境遇 時間 Time에 있어서 適正우물半徑은 水位差 H가 許容誤差보다 작은 때 까지 揚水井에서 부터 地下水位差를 일으키는 거리 R을 變化시켜 반복적으로 水位를 求할 수 있다.

Grid設定 및 Boundary와 管井, 各種 變數 入力을 Personal Computer 上에서 하는 方法은 Finel program의 경우와 동일하다.

-GTABLE

GTABLE program은 地下水 System 內에 流入(降雨)이 繼續的으로 中斷되었을 境遇 地下水位가 下降하여 農業 및 産業에 극심한 피해를 주므로 이때의 地下水位를 豫測하여 地下水開發의 最適地點 및 깊이를 決定, 必要한 量의 地下水를 얻을 수 있는 資料를 求得하기 爲한 것이다. 地下水位는 無降雨日이 繼續되는 期間에는 垂直的으로 變化하므로 다

음 式이 誘導된다.

$$HL=CR * ST * Day \dots\dots\dots(8)$$

위 式에서

HL=無降雨일 누적에 따른 地下水位 下降

CR=無降雨일 누적에 따른 透水量係數 變化

ST=無降雨일 누적에 따른 單位 透水係數 比에 따른 地下水位 下降

Day=無降雨日(旱魃이 繼續되는 日數)

위의 式에서

$$CR=\log(\text{day}) / 4 \dots\dots\dots(9)$$

$$ST=(RT * TS) / 2210 \dots\dots\dots(10)$$

$$RT=0.01971 (\text{m}/\text{day}) \dots\dots\dots(11)$$

式 9를 變形시켜

$$\frac{\log(\text{day})}{4} * \left(\frac{0.138}{7} * T\right) / 2210 \text{ day} \dots\dots(12)$$

로 表現할 수 있으며

式 10은

$$0.25 * \log(\text{day}) * 0.0197 / 2210 \dots\dots\dots(13)$$

과 같다. 또 式 11은

$$0.25 * \text{day} * \log(\text{day}) * \frac{0.0197}{2210} \dots\dots\dots(14)$$

혹은

$$0.25 * \text{day} * \log(\text{day}) * 8.92 E-6 \\ = 2.23 E-6 * \text{day} * \ln(\text{day}) * TS \dots\dots\dots(15)$$

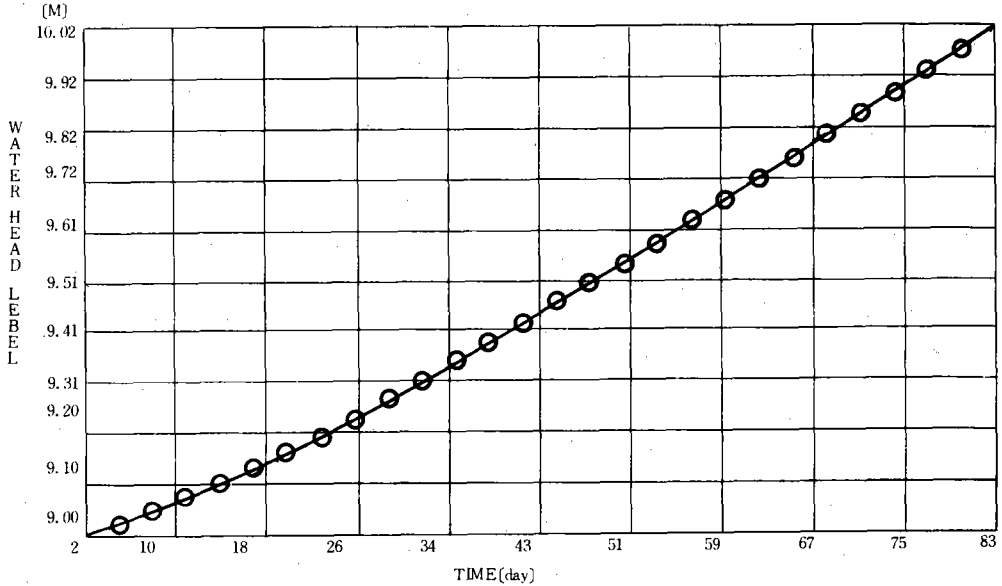
위 式에서

TS=透水量 係數 (m²/Hr)

K=계수(2.23 E-6)

그러므로 透水量係數 TS인 地域에서 旱魃日數가 day일 때 水位降下 HL은 係數 K(2.23E-6)와 旱魃日數 그리고 旱魃日數의 指數값을 곱함으로써 旱魃時의 地下水位를 長期的으로 豫測할 수 있다.

: WELL NO, test-10



FILES :

그림. 12. 우물번호 test-10의 최초 地下水位 9.0M가 旱魃繼續日數에 따라 10.0M까지 下降하는 것을 GTABLE Program에 依해 Simulation한 圖表.

- WLEVEL

WLEVEL program은 年中 비오는 期間을 濕潤 및 乾燥期間으로 나누어 氣象現象에 依해 變化되는 地下水位를 長期的으로 豫測할 수 있는 프로그램이다.

年降雨量에 依한 日別 降雨量 式은

$$\sum_{I=1}^{12} DATD(I, 2) = \left(\sum_{I=1}^{12} \sum_{L=1}^{YR} DAT(L, I, 2) \right) / YR \dots\dots\dots(16)$$

으로 該當月(I)에 있어서 비온 日數를 計算할 수 있다.

月(I)에 어느 程度 비가 왔는 가의 式은

$$\sum_{I=1}^{12} DATD(I, 3) = \left(\sum_{I=1}^{12} \sum_{L=1}^{YR} DAT(L, I, 3) \right) / YR \dots\dots\dots(17)$$

으로 月 平均 降雨量을 얻을 수 있다.

위의 式에서 入力變數는 다음과 같이 받아 드린다.

DAT(L, I, 2).....L해의 1월에 비온 日數

DAT(L, I, 3).....L해의 1월의 降雨量

DIF(L, I, Zn).....L해의 1월에 있어서 Zn(各우물)의 水位差

GRID된 地域 內的의 各 우물의 平均 水位差는

$$\sum_{I=1}^{12} \sum_{W=1}^{Zn} DIFH(I, W) = \left(\sum_{I=1}^{12} \sum_{W=1}^{Zn} \sum_{L=1}^{YR} DIF(L, I, W) \right) / YR \dots\dots\dots(18)$$

과 같다. 1월에 있어서 各 우물의 하루當 비가 온 日數와 1월에 있어서의 各 우물(GRID 내)의 一日當 地下水位差는

$$\sum_{W=1}^{Zn} \sum_{I=1}^{12} FDAT(I, W) = \sum_{I=1}^{12} DATF(I, 3) / DATD(I, 2) \dots\dots\dots(19)$$

$$\sum_{W=1}^{Zn} \sum_{I=1}^{12} FDAT(I, W) = \sum_{I=1}^{12} DIFH(I, W)$$

$$/DATD(I, 2) \dots\dots\dots(20)$$

과 같이 年降雨量과 各 우물의 水位差, 비가 온 日數에 依해 水位를 豫測하나 過去の 資料가 많으면 많을 수록 豫測은 正確하다.

降雨現狀의 Pattern과 非農事철, 農事철이 區分되므로 濕潤期間(6월~9월)과 乾燥期間(1~5월, 10~12월)을 區分하여 보다 더 正確히 地下水位 變動을 豫測하기 爲해서는 우선 濕潤期間에서 하루當 平均 降雨量과 平均 水位差는

$$DAY(2) = \sum_{i=6}^9 DATD(I, 2) \dots\dots\dots(21)$$

로써 濕潤期間의 비가 온 總日數를 計算한다. 그 期間의 總降雨量은

$$FALL(2) = \sum_{i=6}^9 DATD(I, 3) \dots\dots\dots(22)$$

로 얻을 수 있다.

濕潤期間의 各 月과 各 우물에서의 平均 水位差는

$$\sum_{w=1}^{zn} HEAD(2, W) = \sum_{w=1}^{zn} \sum_{i=6}^9 DIFH(I, W) \dots\dots(23)$$

과 같으며 같은 期間中 各 우물에서 一日 平均 降雨量은

$$\sum_{w=1}^{zn} DF(2, W) = FALL(2) / FALL(2) / day(2) \dots\dots\dots(24)$$

이며 各 우물에서 一日當 平均 水位差는

$$\sum_{w=1}^{zn} HF(2, W) = \sum_{w=1}^{zn} HEAD(2, W) / day(2) \dots\dots\dots(25)$$

와 같다.

乾燥期間(1, 2, 3, 4, 5月과 10, 11, 12月)에서 一日當 平均 降雨量과 各 우물에 있어서의 水位差를 計算하여야 한다. 그러므로 乾燥 期間 1月~5月까지의 비온 總日數는

$$DAY(1) = \sum_{i=1}^5 DATD(I, 2) \dots\dots\dots(26)$$

와 같이 求할 수 있으며 乾燥期間 1~5月 및 10月~12月까지의 總 비온 日數는

$$DAY(1) = DAY(1) + \sum_{i=10}^{12} DATD(I, 2) \dots\dots(27)$$

이며 乾燥期間 1月~5月까지의 總降雨量은

$$FALL(1) = \sum_{i=10}^5 DATD(I, 3) \dots\dots\dots(28)$$

로 求할 수 있으며 乾燥期間 1~5月 및 10~12月까지의 總降雨量은

$$FALL(1) = FALL(1) + \sum_{i=1}^{12} DATD(I, 3) \dots\dots\dots(29)$$

와 같다. 그러므로 乾燥期間의 各 달과 各 우물에서의 平均 水位差는

$$\sum_{w=1}^{zn} Head(1, W) = \sum_{w=1}^{zn} \sum_{i=1}^5 DIFH(I, W) \dots\dots\dots(30)$$

이며 乾燥期間 各 우물에서 一日當 平均 降雨量은

$$\sum_{w=1}^{zn} DF(1, W) = FALL(1) / day(1) \dots\dots\dots(31)$$

과 같이 求할 수 있으며 乾燥期間의 各 우물에서 一日當 平均 水位差는 다음과 같다.

$$\sum_{w=1}^{zn} HF(1, W) = \sum_{w=1}^{zn} HEAD(1, W) / DAY(1) \dots\dots\dots(32)$$

이와 같은 條件 下에서의 地下水位 豫測은 濕潤期間과 乾燥期間에서 한달에 몇일(K) 비가 올 境遇 豫想水位差는

$$= \left(\sum_{w=1}^{zn} K * K * HDAT(MONTH, W) / Z_n \dots\dots\dots(33) \right.$$

으로 求할 수 있다. 이때 편차로서는 濕潤-乾燥期間과 年 降雨量에 따른 水位에 依해 다음 式과 같이 決定된다.

$$\text{Variation} = | (K * \text{HDAT}(\text{MONTH}, W) - (K * \text{DH}(2, W))) | \dots\dots\dots (34)$$

式 16~34에 依해 Simulation하여 計算結果를 NC, NR(i, j方向)의 GRID에 依해 結果值가 表現된다.

4. 結 言

모델은 豫測 뿐만 아니라 概念化 作業과 資

料수집을 비롯한 各種 帶水層 狀態 파악에 利用될 수 있다. 모델이 가장 效果적이기 爲해서는 調査者가 特定 對象帶水層에 關한 철저한 理解를 하여야 하며 모델링 대체기술과, 한 계점 및 에라의 原因들을 잘 알고 있어야 한다. 一般的으로 History-Matching에 使用된 期間의 2배 以上의 期間을 豫測하여서는 안 되며 또한 類似한 揚水計劃 下에서만 豫測하여야 한다. 아마도 모델의 最惡의 誤用은 모델結果에 對한 盲目的 信賴라 할 것이다. “쓰레기를 入力하면 쓰레기가 出力된다”는 것은 여기에서도 例外가 없다.

모델링프로그램 內의 變數들

1. FINEL

- PROG\$(N) : data file directory 內의 data filename을 화면에 출력시키기 위한 變수
- AA : Mainmenu 선택을 위한 變수
- MT\$: keyboard에 있는 key를 타자 할 때까지 화면을 停止하기 위한 變수
- PIL\$: 화면을 단위별로 나타내기 위한 境界선.
- LOS\$: WELL이 위치한 지방명의 變수.
- DA\$: 조사한 일시.
- WE\$: 우물의 표시를 위한 變수.
- NS : Simulation 한 전체 양수시간.
- DE, DES : Simulation 시작시간.
- DF : 양수시간의 increasing factor.
- MODE : Graph mode 선택.
- OK\$: 停止된 화면을 계속 進行하여 다음 화면으로 넘어가게 하기 위한 입력 變수.
- UN : Units 선택을 위한 變수.
- UN1\$, UN2\$: Units
- UN3\$: Units
- NR : 열.

- NC : 행.
- DC, DR : 열과 열 혹은 행과 행사이의 거리.
- ZN : 우물의 개수를 위한 變수.
- SZI(ZN) : Well의 nc(행) 방향의 위치.
- SZJ(ZN) : Well의 nr(열) 방향의 위치.
- T(ZN) : Transmissivity.
- S(ZN) : Storage coefficient.
- Q(ZN) : 양수량
- ERVAL : 허용오차.
- BOUN(BD) : I방향 Boundary condition을 표시.
- BOUNJ(BD) : J방향 Boundary condition을 표시.
- YASIX\$: Plotting에서 y축의 제목을 위한 變수.
- D\$: data를 disk에 저장하고 읽기 위해 data file 이름을 지정.
- DRIV\$: data file들이 저장되어 있는 subdirectory를 탐색하기 위한 subdirectory name.
- P% : disk에 있는 data 중 읽을 data를 선택하는 變수.
- NN : 어떤 입력 data를 편집할 것

인가를 선택하는 입력 변수.
 NP, BD : Boundary number.
 CH5 : 현존하는 data들을 수정, 첨가, 삭제하는데 그 위치를 표시하는 변수.
 HNEW(N, M) : Grid에서 n과 m지역의 수위차.
 HOLD(N, M) : Well이 하나 이상일 때 수위차를 중복계산하기 위한 변수.
 FILE\$: 양수 후 결과를 disk file의 명칭을 지정.
 LC, LB, X5 : 결과를 화면에 표시할 때 그 위치를 조정하는 변수.
 IST : 화면 또는 printer에 원하는 시간의 결과를 표시할 때 시간 선택 변수.
 HEAD\$: 결과 자료가 다음에 표시될 때 결과 표시를 위한 heading.

2. RADIS

PROG\$(N) : data file directory 내의 data filename을 화면에 출력시키기 위한 변수.
 AA : Mainmenu 선택을 위한 변수.
 MT\$: keyboard에 있는 key를 타자할 때까지 화면을 정지하기 위한 변수.
 PIL\$: 화면을 단위별로 나타내기 위한 경계선.
 LOS : WELL이 위치한 지방명의 변수.
 DA\$: 조사한 일시.
 WE\$: 우물의 표식을 위한 변수.
 NS : Simulation한 전체 양수시간.
 DE, DES : Simulation 시작시간.
 DF : 양수시간의 increasing factor.
 OK\$: 정지된 화면을 계속 진행하여 다음 화면으로 넘어가게 하기 위한 입력 변수.
 UN : Units 선택을 위한 변수.
 UN1\$, UN2\$: Units
 UN3\$: Units

NR : 열.
 NC : 행.
 DC, DR : 열과 열 혹은 행과 행사이의 거리.
 SZI : well의 nc(행) 방향의 위치.
 SZJ : well의 nr(열) 방향의 위치.
 IH : initial head.
 T : Transmissivity.
 S : Storage coefficient.
 Q : 양수량.
 ERVAL : 허용오차.
 D\$: data를 disk에 저장하기 위한 변수.
 DRIV\$: data file들이 저장되어 있는 subdirectory를 탐색하기 위한 subdirectory name.
 P% : disk에 있는 data 중 읽을 data를 선택하는 변수.
 NN : 어떤 입력 data를 편집할 것인가를 선택하는 입력 변수.
 CH5 : 현존하는 data들을 수정, 첨가, 삭제하는데 그 위치를 표시하는 변수.
 HH : 양수후 수위차.
 R(N) : 영향반경.
 AHEAD\$: 중간 결과를 file에 기록할 때 heading.
 HNEW : grid표 현시 수위차.
 FILE\$: 양수 후 결과를 disk file의 명칭을 지정.
 IST : 화면 또는 printer에 원하는 시간의 결과를 표시할 때 시간 선택 변수.
 HEAD\$: 결과 자료가 다음에 표시될 때 결과 표시를 위한 heading.

3. GTABLE

PROG\$(N) : data file directory 내의 data filename을 화면에 출력시키기 위한 변수.
 MT\$: keyboard에 있는 key를 타자할 때까지 화면을 정지하기 위한 변수.

CHI : Main menu 선택을 위한 변수.
 UN : Units 선택을 위한 변수.
 UN1\$, UN2\$: Units
 UN3\$, UN4\$: Units
 PIL\$: 화면을 단위별로 나타내기 위한 경계선.
 OK\$: 정지된 화면을 계속진행하여 다음 화면으로 넘어가게 하기 위한 입력 변수.
 D\$: data를 disket에 저장하고 읽기 위해 data file 이름을 지정.
 DRIV\$: data file들이 저장되어 있는 subdirectory를 탐색하기 위한 subdirectory name.
 TS : 투수계수.
 HP : 양수정 깊이.
 IH : 자연수위.
 IT1, IT, IIT : 수위하강을 시간간격으로 표시하기 위한 변수.
 ED\$: 입력 data를 편집할 때 편집 menu의 heading.
 NN : 어떤 입력 data를 편집할 것인가를 선택하는 입력 변수.
 I, DAY, CO : 무강수일 표시.
 RO, LC, X5, X7 : 결과를 화면에 표시할 때 화면당 몇 개의 결과치를 출력할 것인가를 결정하는 변수.
 AHEAD\$: 계산 메뉴의 heading.
 HEAD\$: 결과 자료가 다음에 표시될 때 결과 표시를 위한 heading.
 RT : 무강수 일시 단위시간당 수위하강률.
 ST : 무강수 일시 단위 투수계수비에 따른 수위하강률.
 CR : 무강수일 누적에 따른 투수계수 변화값.
 HL : 무강수일*누적에 따른 수위하강.
 LOS\$: well이 위치한 지방명의 변수.
 WES\$: well no. 지정 변수.
 DASH\$: 조사한 일시.

NR : 열.
 NC : 행.
 DR, DC : 열과 열 혹은 행과 행 사이의 거리.
 P% : Disk에 있는 data 중 읽을 data를 선택하는 변수.
 TM(N) : 한발일을 표시.
 HD(N) : 한발일 n일째 수위표시.
 HNEW(I, J) : 한발에 있어 수위를 격자상에 표시하는 변수.
 SDAY : Printer로 결과를 print할 때 원하는 한발일에 대한 지정 변수.
 TITLE : Graph시 제목.
 XC : x축의 수.
 YC : y축의 수.
 XMIN\$, XMIN : x축의 최소값.
 XMAX\$, XMAX : x축의 최대값.
 YMIN\$, YMIN : y축의 최소값.
 YMAX\$, YMAX : y축의 최대값.
 YLEN : y축의 각 구간거리.
 XLEN : x축의 각 구간거리.
 XAXIS\$: x축의 제목을 위한 변수.
 YAXIS\$: y축의 제목을 위한 변수.

4. WLEVEL

PROG\$(N) : data file directory 내의 data filename을 화면에 출력시키기 위한 변수.
 DAT(I, J, K) : 1년도의 입력 data.(비온일수, 강우량).
 DIF(I, J, K) : 1년도의 입력 data.(각 우물의 수위차).
 ERVALI(N,M) : 편차(각 월에 대한 강우량 예측과 습윤기간, 비습윤기간의 평균 강우량 예측)
 ERVAL2(N,M) : 편차(각 월에 대한 수위차 예측과 습윤기간, 비습윤기간의 평균 수위차 예측)
 DATD(12, 3) : 각 달에 있어 평균 강우일, 강우량.
 DATH(12, 5) : 각 달에 있어 각 우물의 평균

수위차.
 DF(2,5) : 습윤기간과 비습윤기간에서 하루당 평균 강우량.
 DH(2,5) : 습윤기간과 비습윤 기간에서 하루당 평균 수위차.
 FDAT(12,5) : 각 달에 있어서 각 우물의 하루당 강우량.
 HDAT(12,5) : 각 달에 있어서 각 우물의 하루당 수위차.
 RESULT1() : 강우량 예측시 각 달의 하루당 강우량을 이용한 결과.
 RESULT2() : 수위차 예측시 각 달의 하루당 수위차를 이용한 결과.
 RESULT3() : 강우량 예측시 습윤과 비습윤기간의 하루당 강우량을 이용한 결과.
 RESULT4() : 수위차 예측시 습윤과 비습윤기간의 하루당 수위차를 이용한 결과.
 AA : Mainmenu 선택을 위한 변수.
 MT\$: keyboard에 있는 key를 타자할 때까지 화면을 정지하기 위한 변수.
 PIL\$: 화면을 단위별로 나타내기 위한 경계선.
 LO\$: WELL이 위치한 지방명의 변수.
 WE\$(N) : 우물의 표식을 위한 변수.
 YR : 입력 년도의 갯수를 위한 변수.
 MODE : Graph mode 선택.
 OK\$: 정지된 화면을 계속 진행하여 다음 화면으로 넘어가게 하기 위한 입력 변수.
 UN : Units 선택을 위한 변수.
 UN1\$, UN2\$: Units
 UN3\$, UN4\$: Units
 UN5\$, UN6\$: Units
 NR : 열.
 NC : 행.
 DC, DR : 열과 열 혹은 행과 행사이의 거리.
 ZN : 우물의 개수를 위한 변수.

SZI(ZN) : well의 nc(행) 방향의 위치.
 SZJ(ZN) : well의 nr(열) 방향의 위치.
 T(ZN) : Transmissivity.
 S(ZN) : Storage coefficient.
 IH(ZN) : 자연수위.
 BOUNI(BD) : I방향 Boundary condition을 표시.
 BOUNJ(BD) : J방향 Boundary condition을 표시.
 YASIX\$: Plotting에서 y축의 제목을 위한 변수.
 D\$: data를 disk에 저장하고 읽기 위해 data file 이름을 지정.
 DRIV\$: data file들이 저장되어 있는 subdirectory를 탐색하기 위한 subdirectory name.
 P% : disk에 있는 data중 읽을 data를 선택하는 변수.
 TERM : 습윤기간, 혹은 비습윤기간 인지를 선택하는 변수.
 MONTH : 예측하려는 달이 몇 월 인가를 입력하는 변수.
 DAYS : 몇 일 비가 왔을 경우를 예측할 것인지를 입력하는 변수
 NN : 어떤 입력 data를 편집할 것인가를 선택하는 입력 변수.
 NP, BD : Boundary number.
 CH5 : 현존하는 data들을 수정, 첨가 삭제하는데 그 위치를 표시하는 변수.
 HNEW(N, M) : Grid에서 n과 m지역의 수위차.
 FILE\$: 양수 후 결과를 disk file의 명칭을 지정.
 LC, LB, X5 : 결과를 화면에 표시할 때 그 위치를 조정하는 변수.
 IST : 화면 또는 printer에 원하는 시간의 결과를 표시할 때 시간 선택 변수.
 HEAD\$: 결과 자료가 다음에 표시될 때 결과 표시를 위한 heading.
 MO\$: 각 달의 영문표현을 위한 변수.