

지하수자원관리에 있어서 GIS의 응용

○ 조근만*, 장원재**, 김 철***

1. 序論

最近 地表 水資源開發의 限界 및 環境破壞로 인한 水質汚染 등으로 水資源으로서의 地下水 開發과 保存에 대한 認識이 높아지고 있다. 過多한 開發 및 汚染物質에 의해 破壞된 地下水系는 原狀回復에 長久한 時間이 所要되므로 地下水開發에 慎重을 기하고 取水井에 대한 汚染物質의 影響圈을 設定하여 地下水 汚染을 防止하는 등 地下水資源의 體系的이고 효율적인 管理가 要求되고 있으며, 이를 위해서는 關聯資料에 대한 體系的인 데이터베이스 構築과 이를 土臺로 地下水系에 대한 正確한 解析이 基本的인 要求條件이 될 것이다.

本 研究對象 地域으로 選定한 濟州道는 地質構造가 透水性이 큰 火山岩類로 이루어져 表流水 發達이 微弱하고 大部分의 用水를 地下水에 依存하고 있기 때문에 正確한 賦存量의 推定 및 開發可能地點 選定 등 效率的인 地下水 開發計劃과 保存對策의 樹立이 必要할 것이다.

本 研究에서는 空間座標에 關係된 모든 形態의 空間情報를 效率的으로 蒐集, 貯藏, 分析, 表示하는 GIS (Geographic Information System) S/W인 ARC/INFO를 適用하여 關聯資料의 데이터베이스를 構築하여 이들 資料의 體系的인 管理方案을 檢討하고, 不規則하게 分布된 點情報(Point data)의 形態인 地下水位, 透水係數, 地質構造 등을 追後 地下水系의 흐름解析을 위한 전 段階로 地下水模型에서 要求하는 計算格子上的 入力資料로 加工하기 위해 3次元 空間情報(Spatial data) 形態로 變換하는 方法을 검토하고, 變換된 水理地質系內的 3次元 空間情報을 土臺로 多角形重疊 등의 方法을 利用하여 大容量 地下水開發 可能地點을 定性的으로 檢討할 것이다.

* (주) 유니씨시스템코리아 기술연구소

** (주) 유니씨시스템코리아 개발 2 부

*** 호남대학교 도시공학과

2. 데이터베이스 構築

地下水系の流動 및 汚染傳播 現象을 精密하게 解析하기 위해서는 分析地域내의 正確한 地質學적, 水理學적 資料의 檢證이 必須적인 要素이다. 이러한 점에서 본 研究地域인 濟州道내 管井에 대한 水理地質學적 資料의 데이터베이스 構築은 시급하며 표본 데이터베이스를 提示하였다. 이를 위해 기 發表된 濟州道 地下水開發 關聯報告書로 부터 다음과 같은 資料들을 蒐集하였으며 이를 用途에 따라 分類하고 디지털 情報로 入力하였다.^{16),17),18),21),22)}

- 地形圖 (1/50,000)
- 管井位置圖
- 鑿井柱狀圖
- 水理常數 (地下水位, 透水係數)

가. 地形圖

먼저 基本圖인 地形圖는 國立地理院에서 刊行한 縮尺 1/50,000 地形圖에 포함되어 있는 情報중 본 研究에서 必要的한 等高線 및 河川, 行政區域界, 流域界 等の 地形情報를 各各의 階層(Layer)으로 分類하여 스캐너로 入力하고 벡터로 變換한 後 각각의 ARC 및 Polygon의 屬性情報(標高, 河川名, 流域名 等)를 入力하였다.

나. 管井位置圖

濟州道內 既存의 地下水 開發地點중 위치확인 및 자료의 수집이 가능한 371개의 官用管井 位置는 前述한 報告書와 地籍圖(1/1,200)를 土臺로 開發主體, 用途, 時期 等を 檢討하여 다음의 표 1 과 같이 7 개군으로 分類하였다. 이들 分類基準에 따라 1/50,000 縮尺의 地形圖 上에 이기하고 디지털이저로 管井의 位置를 Point로 入力하였으며 각 地點의 屬性情報(管井 No., 所在地, 地盤高, 自然水位, 安定水位, 採水量, 開發年度, 用途 等)를 入力하였다. 이러한 管井位置圖내 管井地點은 屬性情報인 鑿井柱狀, 水理常數(地下水位, 透水係數) 等으로 부터 以後 GIS의 機能을 適用하여 空間情報를 分析함에 있어서 基準點이 되므로 매우 重要的 情報다.

다. 鑿井柱狀圖

前述한 報告書로 부터 蒐集한 既存 地下水 開發地點의 鑿井柱狀圖를 土臺로 濟州道の 地域別 層序 및 地層의 名稱을 檢討하여 15 個의 地層으로 分類하였다. 이러한 地層構造 分類基準에 따라 鑿井柱狀을 管井位置圖에 해당 地點의 屬性情報(深度, 地層別 地質構造)로 入力하였다.

라. 水理常數

前述한 報告書에서 地下水 開發時 實施된 揚水試驗 結果로 부터 分析한 地下水位, 透水係數 等 特定地域의 地下水 流動모델을 分析하기 위해 必要的한 水理常數를

調査하였으며, 이를 管井位置圖의 해당 Point의 屬性情報로 入力하였다.

표 1 관정의 분류

區 分	分類記號	備 考
農漁村振興公社	D	濟州道 地下水長期開發計劃
'70年代 초반개발	W	上 同
UNDP	U	上 同
園藝	F	上 同
旱害對策 (緊急)	H	上 同
韓國水資源公社	S	濟州道 鬱陵島 地下水調査 報告書
北濟州郡	A	北濟州郡 溫泉用 地下水開發 許可書

3. 管井資料管理 및 變換

가. 管井資料管理의 GIS 適用

GIS는 空間座標와 關聯된 모든 形態의 情報를 蒐集, 貯藏, 分析, 表示하는 機能을 가진 情報管理시스템이므로 이를 土臺로 構築된 데이터베이스 特定 條件에 따라 질의, 요청할 수 있으며 이로 부터 얻어지는 결과는 意思決定過程에 活用할 수 있다. 그림 1 은 濟州道내의 官用管井 位置를 圖示하였으며 이를 土臺로 하여 각 管井의 水理地質學 資料의 질의, 요청하여 표현하는 한 例를 그림 2 에 圖示하였다.

나. 管井資料의 變換

管井 開發時 鑿井한 主상자료는 한 地點의 垂直的인 地質分布 만을 表現하며 他 地點의 主상자료와의 空間적인 連結性을 갖추고 있지 않다. 既存의 鑿井 主상자료는 不規則하게 分布되어 있어 主상자료가 없는 임의 地點의 地質構造, 地域의인 地質分布를 把握하기 위해서는 既存 資料의 變換과 解析이 必要하다. 그러나 이러한 作業은 垂直分布의 點情報를 3次元 空間情報 形態로 擴張해야 하므로 사람에 의한 分析 및 再編輯이 必要하다.

1) 鑿井柱狀資料의 再編輯

鑿井柱狀資料를 3次元 空間情報 形態로 擴張하기 위해서는 각 地層의 表面 (Surface)을 生成하는 方法을 使用하였으며, 이는 點情報를 平面的으로 擴張하는데 一般的으로 사용되는 TIN (Triangulated Irregular Network) 의 資料構造 및 補間方法을 適用하였다. 이러한 方法은 각 孔別 柱狀을 追跡하여 해당 地層이 發生하는

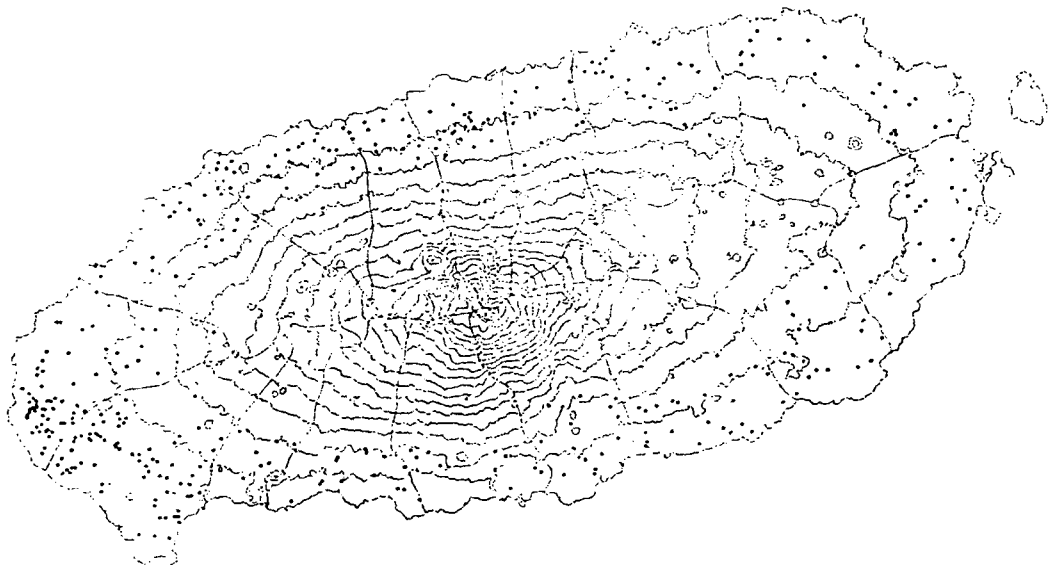


그림 1 濟州道の 官用管井 位置圖

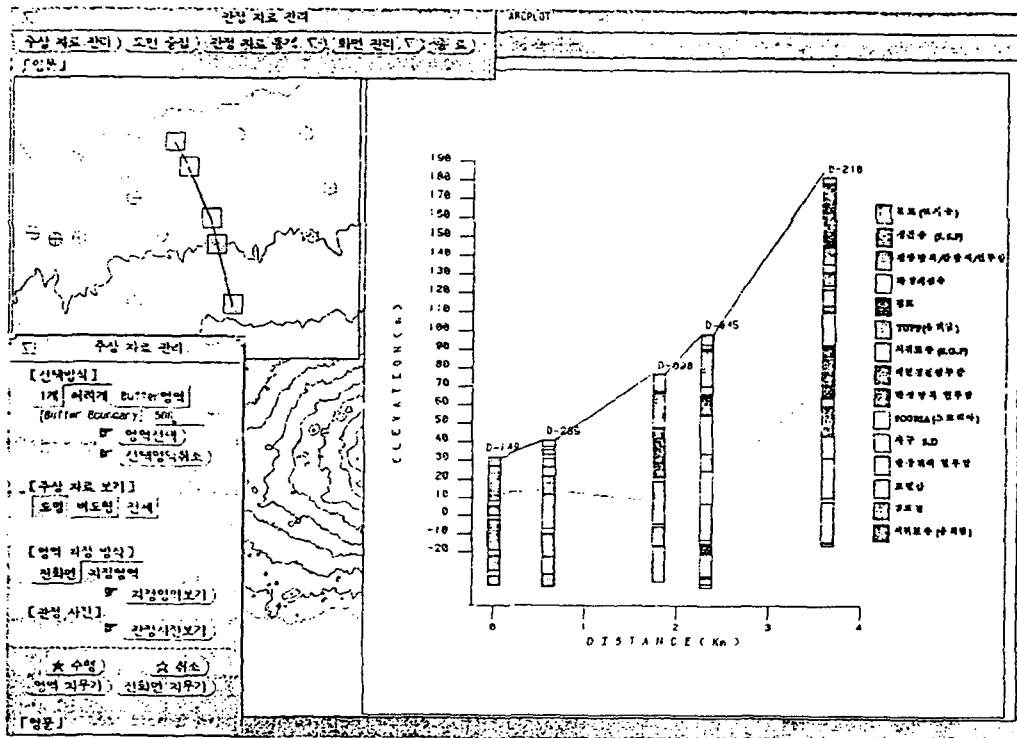


그림 2 多數管井의 柱狀縱斷圖 (D-149, D-239, D-098, D-045, D-218)

孔들을 모아 하나의 두께를 갖는 3차원 면을 생성하는 것이다. 이때 反復적으로 발생하는 地層에 대한 水理地質學的인 分析을 통한 再編輯이 要求된다.

濟州道の 境遇 地層構造가 매우 複雜하게 構成되어 있고 反復적으로 나타나므로 이들 모든 地層에 대해 3次元 면을 생성하는 것은 매우 複雜하고 非能率的이다. 本 研究에서는 水理地質學的 特性에 따라 透水性 地層과 低透水性 堆積層으로 크게 2 가지 地層으로 單純化하여 區分하였다.

2) 데이터베이스내의 鑿井柱狀資料 加工

데이터베이스에 貯藏된 柱狀資料는 각 地點의 位置를 나타내는 식별자, 地層分類 記號, 地層의 始點標高 및 終點標高로 構成되어 있다. 이러한 柱狀資料를 前述한 透水性 地層과 低透水性 堆積層으로 區分하기 위해 PC로 轉換하여 加工하였으며, 이때 PC에서는 C Program을 使用하였다. 먼저 帶水層을 이루는 透水性 地層과 低透水性 堆積層을 區分해 주고 이에 地層別 空隙率을 假定하여 透水性地層의 有效두께를 算定하였다. 이때 地下水位 아래에서 첫번째 發生하는 低透水性 堆積層을 選擇하였다.

3) TIN SURFACE의 生成

TIN의 資料構造는 平面上의 位置를 表現하는 x, y 座標와 그 地點의 特定值(Value) 및 幾何學的 位相關係를 나타내는 三角網으로 構成되어 있다. 이와같이 生成된 三角網의 表面을 補間하여 未知點의 값을 推定할 수 있다. 이때 線形補間方式은 해당 地點이 位置한 三角網의 平面方程式을 利用하여 計算할 수 있다. 透水性 地層의 두께를 나타내는 表面의 境遇에는 數值가 透水性 地層의 두께를 意味한다.

4. 地下水開發 可能地點 檢討

大容量의 地下水開發時 對象地域의 水理地質學的 資料의 精密한 分析을 土臺로 地下水系의 特性(發生, 分布 및 흐름)을 正確하게 把握한 후 計劃을 樹立하여야 할 것이다. 이러한 分析過程은 많은 노력과 시간이 요구되므로 地下水系를 支配하는 몇가지 因子의 3次元 空間分布로 부터 地下水系의 特性을 定性的으로 把握한 후 可能地點에 대해 精密한 分析을 實施한다면 開發地點 選定에 正確성과 時間의 節約을 期待할 수 있을 것이다.

本 研究에서는 $q = K \cdot i \cdot D$ 로 表現되는 Darcy의 連續方程式을 支配하는 透水係數(K), 地下水 動水勾配(i), 帶水層의 有效깊이(D)를 前述한 方法에 의해 點情報를 3次元 空間情報로 變換한 後, 그림 1 에서 表示한 16 個 小流域 가운데 1 個 小流域을 選定하고 이를 ARC/INFO의 LATTICE 演算에 의한 多角型重疊을 適用하여 地下

水量的 空間의 分布를 定性的으로 檢討할 것이다.

가. K, i, T SURFACE 의 生成

濟州道의 管井分布는 EL. 200 m 以下の 海岸地域에 密集되어 있어 濟州道 全域에 대한 各各의 SURFACE 를 效果的으로 生成할 수는 없다. 中山間帶로 갈수록 資料가 存在하지 않아 이를 補完하기 위해서는 中山間帶 以上の 未知點에 대해 必要資料를 判斷하여 入力하여 주거나 資料가 없는 地域을 명시하여 SURFACE 生成에서 除去해 주어야 한다. 本 研究에서는 PC에서 만들어진 各 管井別 透水性 地層, 低透水性 堆積層의 始點標高, 地下水位 및 透水係數로 부터 生成된 各各의 SURFACE 값을 利用하여 K SURFACE, 地下水位의 動水勾配인 i SURFACE, 帶水層의 두께(地下水位로부터 低透水性 堆積層까지의 두께) 인 T SURFACE를 生成하였다. 各各의 資料는 構築된 데이터베이스의 資料를 利用하여 前述한 TIN SURFACE 生成方法에 따라 算定하였으며, i SURFACE는 地下水位 資料로 부터 地下水位 TIN SURFACE를 生成한 後 이들 三角網의 傾斜로 부터 動水勾配를 計算하여 生成하였다.

나. LATTICE 演算에 의한 分析

前述한 方法으로 生成된 TIN SURFACE로 부터 多角形重疊에 따른 分析에 活用하기 위해서는 格子網 形態의 資料構造로 變換해 주어야 하며, 이러한 格子網 形態의 資料構造로 LATTICE를 適用하였다. ARC/INFO의 境遇 LATTICE 演算을 遂行하는데 적절한 GRID라는 別途의 모듈이 存在하나 여기서는 간단한 演算만이 使用되므로 TIN 모듈내의 LATTICE 演算을 使用하였다. 各 格子點의 값들은 既 生成된 TIN SURFACE로 부터 補間하여 얻어지는데 線形補間 方式을 使用하였다. 計算된 各 格子點의 값에 대한 LATTICE 연산은 DARCY의 連續方程式을 基礎로 하여 다음의 세가지 경우를 選定하여 算定하였으며 그 結果는 그림 3, 그림 4, 그림 5 에 圖示하였다.

1) CASE 1 : $K_L * i_L * D_L$ (그림 3)

세가지 因子의 크기에 따라 段階別 範圍로 區分하고 各 範圍의 指數를 增加하는 順으로 부여하여 이들의 곱을 各 格子의 地下水 流動量의 定性的인 數値로 算定하였다.

2) CASE 2 : $K_S * i_S * D_L$ (그림 4)

透水係數와 動水勾配는 CASE 1 의 逆順으로 各 範圍의 指數로 부여하고, 帶水層의 有效깊이는 CASE 1 과 동일한 方法으로 指數를 부여하여 이들의 곱을 各 格子의 地下水 涵養能力의 定性的 數値로 算定하였다.

3) CASE 3 : D_L (그림 5)

다. 分析結果의 檢證

前 項의 세가지 境遇의 定性的인 分布를 檢證하기 위해 既存의 管井別 採水量資料를 3次元 空間情報로 加工 LATTICE 資料로 變換한 後 이를 그림 6 에 圖示

한 採水量分布圖를 作成하여 比較하였다. 그림에서 보는 바와 같이 CASE 1 의 境遇는 選定流域의 中央部에서 部分的으로 類似한 傾向을 보이며 CASE 2 및 CASE3의 경우는 선정지역 左側 海岸部에서 類似한 傾向을 보인다.

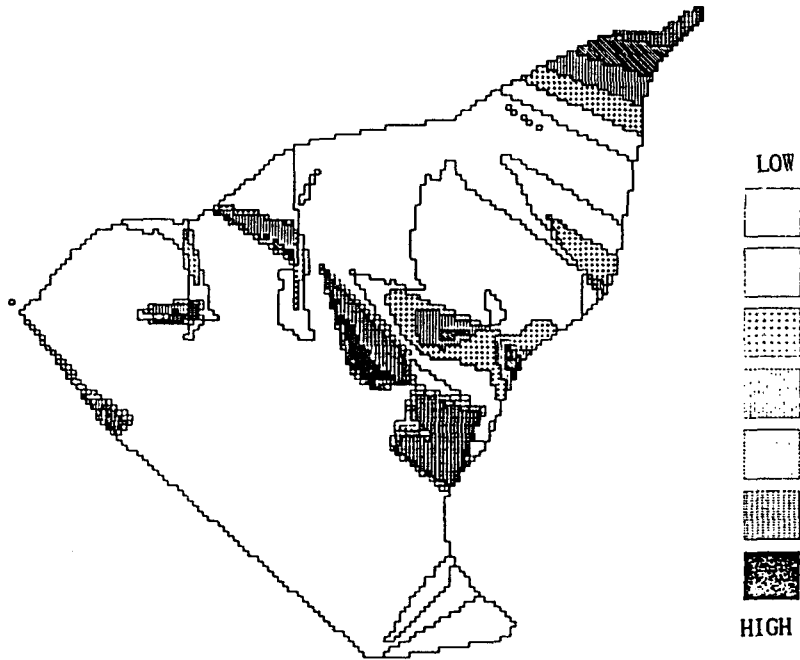


그림 3 地下水 流動量의 定性的 分布 (CASE 1)

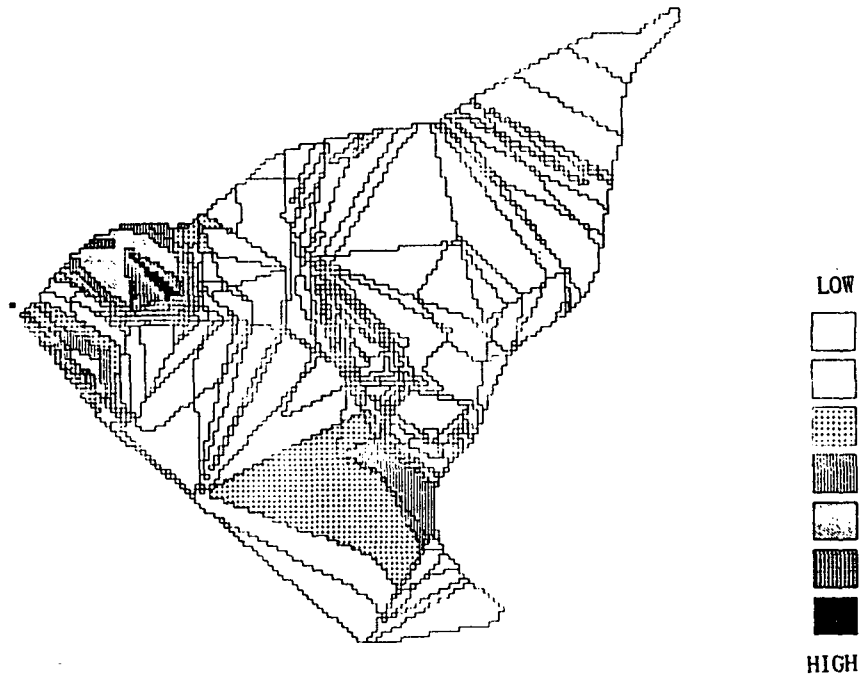


그림 4 地下水 涵養能力의 定性的 分布 (CASE 2)

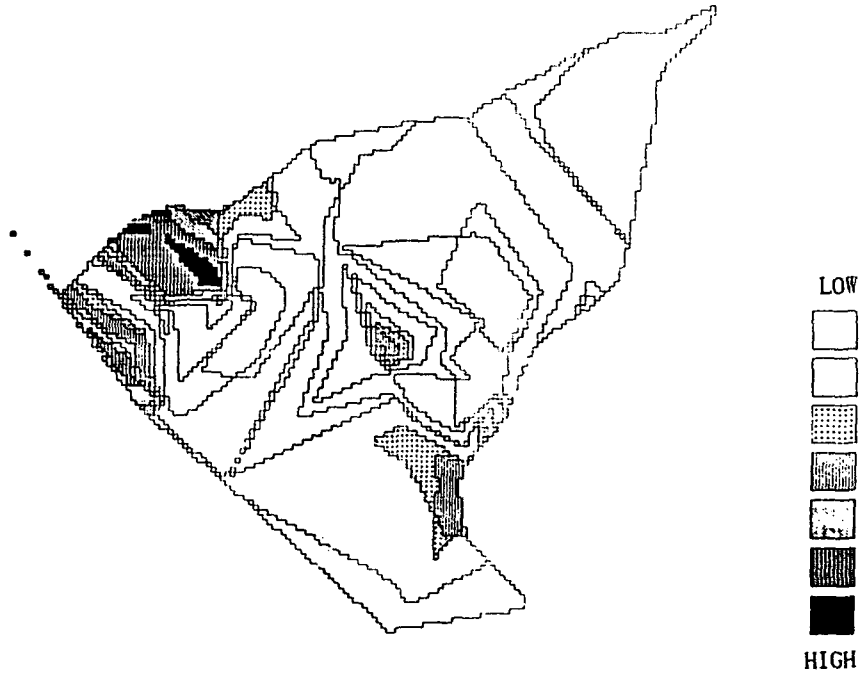


그림 5 帶水層의 有效깊이의 定性的 分布 (CASE 3)

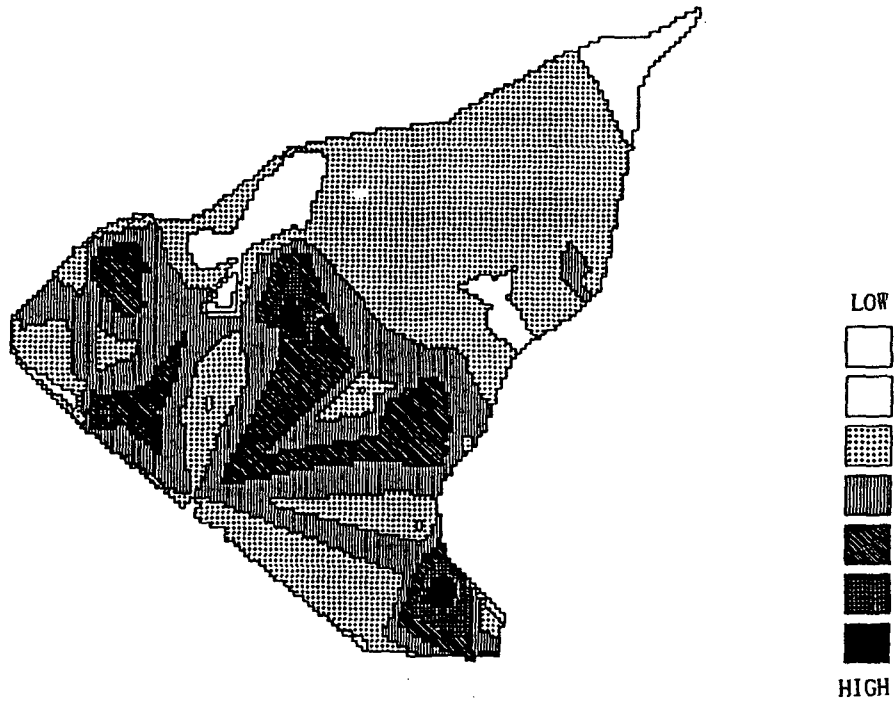


그림 6 既存 官用管井의 採水量分布

5. 結論

本 研究에서는 GIS를 適用하여 地下水資源과 關聯된 資料의 데이터베이스를 體系的으로 構築하면 資料의 連續性和 이들을 活用한 地下水系 特性分析에 正確性和 迅速性的 確保가 可能하여 地下水資源의 開發 및 保存計劃時 最適의 意思決定에 活用 可能함을 確認하였다.

특히 데이터베이스 構築시 資料의 正確한 檢證이 必要하며 이를 위해 濟州道의 경우 官用管井의 位置 및 基準點의 標高에 대해 精密測量을 實施하고 있다. 大容量의 地下水開發 可能地點에 定性的인 檢討結果 既存의 官用管井의 採水量分布와 다소 差異가 있으나 CASE별로 각기 現在 採水量分布와 一致하는 部分이 나타나므로 이러한 分析方法은 詳細한 地下水系의 特性分析이 必要한 開發 可能地點을 判定하는 基準으로 採擇할 수 있다.

本 研究는 GIS와 地下水流動 模型을 連結하여 外部 模型에서 要求하는 分析 地域의 水理地質系 特性을 把握하여 計算格子上的 入力資料로 形態로 提供하고 그 計算結果를 GIS에서 表現하는 前 段階로서 遂行되었으므로 追後 地下水流動 模型인 MODFLOW와 ARC/INFO와의 連結 方法을 檢討할 것이다.

参 考 文 献

1. Baker C.P., M.D. Bradly, S.M.K. Bobiak, "Wellhead Protection Area Delineation : Linking Flow Model with GIS", J. of Water Resources Planning and Management, Vol.119 No.2, 1993, pp.275-287
2. Carter V.R, "Digital Representation of Topographic Surfaces", PE & RS, Vol.54 No.11, 1988, pp.1577-1580
3. Cowen D.J., "GIS versus CAD versus DBMS :What are the Differences?", PE & RS, Vol.54 No.11, 1988, pp.1551-1555
4. De Vantier, B.A, A.D.Feldman, "Review of GIS Application in Hydrologic Modelling" J. of W.R.P.M, ASCE, Vol.119 No.2, 1993, pp.246-261
5. ESRI, "ARC/INFO MAPS", 1991
6. Jasminko Karanjac, "United Nations Groundwater Software", GROUNDWATER, Vol.31 No.2, 1993
7. Johnson L.E., "MAPHYD - A Digital Map-Based Hydrologic Modeling System", PE & RS, Vol.55 No.6, 1989, pp.911-917
8. Jones N.L., S.G.Wright and D.R.Maidment, "Watershed Delineation with Triagle-Based Terrain Models", J.of Hydraulic Eng., ASCE, Vol.116 No.10, 1990, pp.1232-1251
9. Judd D., "Hazadous Waste Remediation using GIS Technology", Earth Observation Magazine, December 1992, pp.58-59
10. Mcwhorter D.B, and Sunada D.K, "Ground-water Hydrology and Hydranlics", Water Resources Publication, 1977.
11. Michael G.McDonald, Arlen W.Harbaugh, "A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model", U.S.G.S Open-File Report 83-875, 1988
12. Moore I.D, "Terrain-Based Catchment Partitioning and Runoff Prediction Using Vector Elevation Data", W.R.R., Vol.27 No.6, 1991, pp.1177-1191
13. Scott A.J., "Using a GIS for analytical modelling of wellhead protection areas around public water supply wells", Suffolk County Water Authority
14. Wang H.F., M.P.Anderson, "Introduction to Groundwater Modeling : Finite Difference and Finite Element Methods", W.H.Freemen and Company, 1982, p.237
15. William C.Walton, "Numerical Groundwater Modeling", Lewis Publishers, 1989

16. 光州 地方環境廳, “濟州道 環境保全對策”, 1991
17. 農漁村 振興公社, “濟州道 地下水 開發報告書”, 1971-1991
18. 農漁村 振興公社, “濟州道 地下水 長期 開發計劃”, 1989
19. 배상근, “地下水 모델링의 諸技法”, 韓國 水文學會誌, 제21권 제3호, 1989, pp.219-222
20. 양재만, “地下水 모델링 研究”, 韓國 農工學會誌, 제30권 제2호, 1988, pp.12-27
21. 韓國水資源 公社, “濟州道 鬱陵島 地下水 調查”, 1990
22. 韓國水資源 公社, “濟州道 水資源 綜合 開發計劃”, 1990
23. 韓國水資源 公社, “北濟州 地域 水理地質系 分析에 관한 研究 報告書”, 1991