

# 濟州島 水資源의 特殊性和 開發方案

金 玉 準\*

## 1. 序 言

過去 筆者가 關望하였는 韓國地下資源調査所는 建設部의 用役에 依하여 1965年서 1967年의 3個年에 걸쳐 地下水探索을 爲한 濟州島의 地質調査를 實施한바 있었다. 地質調査는 여러분의 協助로 이루어 졌고 地下水探索에 關한 水理地質問題는 主로 筆者에 依하여 研究檢討 되었다. 濟州島의 地下水는 特殊性을 지니고 있어 大端히 興味로우므로 여기에 그原文의 一部를 引用하여 參考에 供與코저 하는 바이다.

## 2. 濟州島에 물이 적은 地質學的原因

濟州島에는 降雨量이 國內에서 가장 많은 便임에도 不拘하고 地表水나 地下水가 아주 적어서 飲料水의 苦痛을 받으며 雨水를 모아둔 奉天水를 飲料水로 使用치 않으면 안되는 形便이다. 이와같이 물이 적는데 그 原因을 地質學의 要約하면 다음과 같다.

- 1) 濟州島는 30回 以上에 걸쳐 噴流한 玄武岩質熔岩 등으로 構成되어 있어서 含水層의 發達이 아주 적다.
- 2) 火山岩類中에는 火山碎屑層이 있어 含水層을 이루나 이의 分布가 地表에 露出되는 경우가 적고 地下에서의 分布를 想像키 어렵다.
- 3) 地下水가 流動하고 帶水할 수 있는 龜裂이나 熔岩 縫隙 등이 比較的 적고 그 分布狀況도 不規則하다.
- 4) 地表에 土壤이 거의 없고 또 熔岩에 龜裂이 적어서 地下에 스며들기 어렵고 大部分 流出한다.
- 5) 漢拏山을 中心으로 하여 山斜面이 急傾斜를 이루고 海岸에 臨하고 있으므로 浸透키 어려운 地質과 合해서 一時에 바다로 流入하고 만다. 따라서 四時 흐르는 河川이 없으므로 地表水도 貴하다.

위와 같은 原因으로 말미암아 地表水도 적고 地下水도 적으며 있는것도 찾아내기 어려운 것이다.

## 3. 地表水

濟州島는 中央에 漢拏山이 솟아있고 四方으로 산기슭이 떨어 있으나 東西方向으로 比較的 높은 部分이 連續

하여 있다. 따라서 河川은 大部分이 南流 또는 北流하고 있으며 이 方向의 流路에는 깊은 溪谷이 發達하기도 한다. 濟州島는 表土가 거의 없고 透水性이 적은 火山岩類로 構成되어 있어서 雨水가 地下로 스며들기 어렵고 流路가 짧고 急傾斜이기 때문에 降雨時에는 이들 河川은 急流를 이루고 大部分의 물을 一時에 바다로 流入시킨다. 따라서 島內의 河川은 몇個의 例外를 除外하고는 全部가 乾川이다.

例外라고 한 河川도 水源地인 上流에서부터 바다까지 流路를 따라 물이 흐르는 것이 아니고, 1) 中間에서 潛流하여 下流는 乾川을 이루거나, 不然이면 2) 中間에서 湧水하여 流路를 따라 海邊에 流出하거나 하는 두가지가 있다. 北濟州의 都近川은 前者에 屬하며 漢拏山 西北部 御乘生嶽 附近에서 流出하는 河川은 不過 數百m. 下流에서 潛流하여 버린다. 現在는 이 물을 파이프로 集水하여 下流地方에서 飲料水로 使用하고 있다.

南濟州에는 後者에 屬하는 河川이 4個나 있다. 西歸浦 東側의 正房瀑布는 正房川上流의 幾百m 地點에서 湧水하여 흘러서 바다에 이르고 있고 西歸浦 西側의 天地淵은 西歸浦 北側에서 湧水하는 淵外川이 海邊絕壁에 이르러 瀑布를 이루는 것이다.

中文里 天帝淵은 아마도 5百將軍 附近에서 흐르는 물이 潛流하였다가 이 瀑布의 若干 上流에서 다시 地表로 나와 바다로 流入되는 것일 것이다. 끝으로 倉庫川 溪谷의 流水도 中間上流에서 地表로 湧出하여 流路를 따라 바다에 흐르는 것이다.

이들 河川水는 灌溉水로 利用되고 上流의 湧泉水는 파이프 등으로 都市의 上水道로 利用된다. 그러나 井戶나 湧泉 등의 惠澤을 받지 못하는 곳에서는 雨水를 받아서 코인물 即 奉天水를 飲料水로 使用하고 있다.

西歸浦의 天地淵의 물은 島內 唯一의 水力發電에 利用되고 있다. 濟州島에서는 河川水나 湧水를 利用하여 貯水地를 만들어 灌溉用水나 上水道用水로 使用하고 있다. 道發表에 依하면 現在 濟州島內에서 利用하고 있는 總水量은 年間 600,961,000m<sup>3</sup>로서 農業用水 590,665,000m<sup>3</sup>, 發電用水 6,307,000m<sup>3</sup> 그리고 上水道用水 3,986,000 m<sup>3</sup> 라고 한다.

\* 延世大學 地質學科 教授, 理學博士.

위에서 說明한바와 如히 溪谷傾斜가 急하여 降雨時에 一時에 流出하므로 댐等を 構築하여 貯水하기 어렵고 또 熔岩에는 龜裂이 많고 아울러 火山碎屑層이 있어서 漏水하기 쉬운데 이를 防止하기 어려워 貯水가 困難하다. 따라서 濟州島에서는 一時에 流出하는 河川水를 貯藏利用하기 極難한 狀態에 있는 것이다.

#### 4. 地下水

##### 4.1 地下水の 根源

濟州島内の 新鮮한 물의 根源은 모두 雨水이다. 많은 住民이 飲料水로 使用하는 奉天水는 雨水를 받아 貯藏하여 둔 것이고 都市民의 上水道도 雨水가 스며 내려오는 湧泉水를 利用한 것이다.

降雨量의 一部는 急傾斜의 溪谷을 따라서 바다로 流出할 것이고 一部는 空中으로 蒸發할 것이고 나머지는 地下로 스며들어 地下水를 形成할 것이다. 이 地下水는 帶水層을 따르거나 岩石의 特殊한 構造線을 따라서 徐徐히 下部로 流動하여서 山中間地域의 特殊한 地點에서 湧出하거나 流出하거나 또 海邊가에서 湧出하거나 流出하기에 이른다.

濟州島의 地下水는 上部流動地下水(High Level Ground Water)와 基底地下水(Basal Ground Water)로 區分된다. 上部流動地下水는 岩石의 構造線이나 熔岩流間의 不整合面이나 또는 地表附近의 含水層을 따라 流動하여 깊게 浸透되지 않는 地下水를 말한다. 이같은 地下水는 濟州島各地의 山中間 地域에서 流出하는 것이 이에 屬할 것이다.

基底地下水라 함은 地下 깊어 스며 들어 가서 所謂 Ghyben-Herzberg Lens 의 地下水를 이루는 것을 말한다. 이같은 地下水는 海岸附近에서 湧泉하는 것들이 이에 屬할 것이다. 그러나 濟州島內 海邊地方에서 湧出하거나 流出하거나 또는 噴水하는 곳이 많은데 이들이 上部流動地下水에 根源하는 것인지 또는 基底地下水에 起因하는 것인지에 對하여서는 지금까지 研究調査 資料가 없이 判斷하기 어렵다.

그러나 一部分은 上部流動地下水일 것이나, 大部分의 물은 基底地下水일 것이라고 筆者는 믿고 있다. 이들 湧泉 井戸 및 試錐에 依한 深井 等を 表示하면 第1圖와 같다.

##### 4.2 濟州島火山岩의 水理地質學的 考察

濟州島의 各岩層中 어느 것이 確實히 含水層의 役割을 하는 가에 對하여서는 알 수 없다. 그러나 大部分의 岩層이 程度의 差異는 있지만 含水層의 役割을 할 것이다. 各 岩層이 含水層의 役割을 달리하는 理由는 1) 岩石自體의 組織(Texture), 2) 岩層內에 있는 裂縫(Crack)

節理(Joint) 또는 熔岩터널(Lava Tunnel) 등의 構造, 3) 單一 熔岩層의 構成因子(Component), 4) 推積岩의 粒度 등이 各岩層에 따라 다르고, 5) 特殊 크레이터의 發達이 있는 까닭이다.

##### 1) 岩石自體의 組織

熔岩이 噴出하였을 當時 低溫이고 氣體를 많이 包含하였었다면 Aa 型의 熔岩이 形成되어 氣泡가 많고 表面이 거친 熔岩이 形成되게 마련이다. 이와같은 1次의 空隙을 많이 갖는 熔岩은 이것을 갖지 않는 緻密한 熔岩보다 透水性이 큰 것은 틀림없는 事實이다.

그러나 이같은 空隙自體는 서로 連結되지 않고 있는 것이 普通이므로 空隙自體만으로는 含水和 流動現象을 나타내지 못한다. 따라서 構造가 重要한 役割을 하게 된다. 이같은 1次空隙을 많이 가지고 있는 熔岩은 漢拏山頂에서 中腹에 널리 分布發達하는 漢拏山熔岩을 비롯하여 孤根山熔岩, 我羅洞熔岩, 細花里玄武岩, 表善里玄武岩, 外道里熔岩 및 下孝里熔岩等等이 있다. 그러나 各地의 粗面岩流는 空隙이 없어서 含水層의 役割을 하지 못한다.

##### 2) 岩層內의 裂縫, 節理 및 熔岩터널

玄武岩이 固結하면 普通 柱狀節理(Columnar Joint)를 나타낸다. 其外에도 不規則한 節理가 形成되고 또 熔岩터널이 發達하게 된다. 그리고 外因의 要因에 依하여서 斷層이 생기기도 하고 熔岩이 沈下하여 2次의 裂縫 등이 생기게 된다.

이와같은 節理나 裂縫가 雨水의 地下浸透와 下部에의 流動에 도움을 주는 것은 當然한 일이다. 아무리 空隙이 많은 玄武岩일지라도 空隙間이 서로 連結되어 있지 않으므로 이와같은 節理, 裂縫와 熔岩터널 없이는 透水性을 나타내지 못할 것이다.

各種 玄武岩은 勿論이거니와 粗面岩 粗面質安山岩等도 節理와 裂縫 등의 發達이 있을때 비로소 地下水를 流動시키게 하는 것이다.

##### 3) 熔岩層의 構成因子

濟州島는 熔岩流로 되어 있다든가 또는 漢拏山熔岩이니 한편 普通 사람은 勿論이거니와 專門家들도 間或 誤認하여서 全體가 한덩어리의 熔岩流나 熔岩體로 된줄 안다. 그러나 이들 熔岩은 熔岩流의 塊狀熔岩과 火山灰, 火山砂, 火山礫 等の 火山碎屑物이 複雜하게 混合하여 構成되어 있다.

漢拏山頂에서의 漢拏山熔岩은 火山砂層과 成層을 이루고 있는것을 볼 수 있고 孤根山 熔岩內에 熔岩塊와 火山礫 등이 混在하고 있음은 橫斷道路에서 볼 수 있고 各種熔岩이 火成碎屑層과 互層을 이루고 있는것을 各地에서 볼 수 있다. 그러므로 降雨時에는 不透水性의 熔

岩上을 흐르는 流水도 火山碎屑層에 이르던 스며들어가게 마련이다. 이와같은 熔岩의 構成因子の 多樣性과 複雜性 그리고 火山碎屑層의 量의 多寡가 곧 透水性을 支配하며 流動量을 左右하게 되는 것이다.

#### 4) 堆積岩의 粒度

西歸浦西側에 發達하고 있는 西歸層과 城山附近 海岸에 分布하는 城山層等은 火山灰 火山砂와 貝殼等으로 形成된 堆積岩層이다. 이들 堆積岩層의 透水性은 그가 가진 空隙率(Porosity)에 比例하며 空隙率은 構成礦物의 粒度에 比例한다.

西歸層은 貝殼이 많이 含有되고 있으며 粒子間의 空隙은 石灰分에 依하여 膠着되어 있어서 空隙率은 크지 않으며 따라서 큰 透水性을 갖지 못한다. 城山層은 主로 火山砂와 極少量의 아주 작은 火山礫(徑 5mm 以下)으로 構成되어 있고 僞層(Cross-bedding)도 發達되어 있으나 그 間隔은 火山灰에 依하여 膠着되어 있으므로 이 亦是 空隙率이 적으며 따라서 透水性이 貧弱하다.

兩岩層 共히 多少의 透水性을 지니지만 現狀況으로서 는 이 같은 堆積岩層이 熔岩流下部에 있어 山側으로 어느 程度 延長 發達하고 있는지 알길이 없다. 萬一 이 堆積岩層이 熔岩流下部에서 山側으로 널리 發達하고 있다면 基底地下水에 對한 期待가 더 커질 것이다.

#### 5) 特殊크레이터의 發達

山中間地帶 特히 東部 高原地帶에는 原形을 잃어버린 크레이터가 發達되어 있는 것이 알려졌다. 이와같은 地帶에 내리는 降雨은 流出되지 않고 全部 地下로 스며들고 만다. 이와같이 스며든 물은 地下 深部로 移動하여 含水層에 捕着되어 基底地下水을 形成할 것이다.

以上을 綜合하면 濟州島의 含水層은 아래와 같이 要約된다.

岩 層 名	構 造 要 因	透水性
安山岩, 粗面質安山岩	없을 경우	無
同 上	節理, 裂罅가 있을 경우	若干(小)
緻密質玄武岩 熔岩	없을 경우	無
同 上	火山碎屑層夾在	若干(小)
同 上	節理, 裂罅, 熔岩 罅 罅 및 火山碎屑層夾在	中
多孔質玄武岩 熔岩	없을 경우	小
同 上	火山碎屑層夾在	中
同 上	節理, 裂罅, 熔岩 罅 罅 및 火山碎屑層夾在	大
堆 積 岩 層	孔隙이 若干 있을 때	小—中
各 種 火 山 岩	크레이터의 下部의 裂罅 罅가 地下에 通할 경우	下部로 流動

### 4.3 地下水의 產出狀態

濟州島內의 井戶나 湧泉의 分布를 보면 數個의 例外를 除外하고는 거의 全部가 海岸附近에 散在하고 있다. 그리고 그의 大多數와 많은 量을 排出 하는 湧泉은 全部 南海岸과 北海岸에 集中되어 있고 東部와 西部海岸에는 거의 없다.

이와같은 地下水分布의 不均衡은 이 地域의 地質 및 地質構造와 現 地形 및 古地形에 起因되는 것이다.

濟州島의 東部와 西部는 넓고 平坦한 熔岩臺地를 이루고 있다. 따라서 同一熔岩이 넓게 分布함으로써 熔岩間의 不整合面이 露出되지 않으며, 平坦한 地形은 地下水가 地表에 流出할 條件을 形成하여 주지 못한다. 이러한 곳에 地下水가 豊富하다고 하더라도 이는 基底地下水을 形成할 것이며, 地表에 流出 또는 湧出하는 上部流動地下水을 이루지 않을 것이다. 이에 反하여 島의 南北部는 地形이 急하고 海岸까지의 距離가 짧으며 여러 熔岩流間의 不整合面을 露出시키고 있다. 따라서 地表가 가이를 流動하는 上部流動地下水은 地表에 流出하는 機會를 많이 갖게 되므로 大部分의 地下水가 이 兩方向으로 移動하게 되는 것이다.

이들 湧泉과 井戶의 分布를 表示하면 第1圖와 같으며 上記 說明과 아울러 보면 왜 濟州島에서는 山中間地帶와 東西海岸쪽에 地下水가 적은가를 알 수 있게 되는 것이다.

島內의 地下水의 產出狀態는 여러가지가 있어 그 어느 것이요 同一한 것은 없을 것이다. 그러나 이들을 묶어 보면,

- 1) 節理나 裂罅 또는 熔岩罅에 따라 나오는 것.
- 2) 熔岩流間의 不整合面に 따라 나오는 것.
- 3) 不透水岩層의 上部를 따라 나오는 것.
- 4) 火山 碎屑層에서 나오는 것.

의 4가지로 區別된다.

- 1) 節理나 裂罅 또는 熔岩罅에 따라 나오는 湧泉

多孔質熔岩이 갖는 많은 空隙도 그 自體만으로는 透水性과 流動性을 갖지 못한다. 이는 節理, 裂罅와 熔岩罅等에 依하여 連絡될 때 비로소 帶水層으로서의 役割을 하게 되며 地下水의 流動이 可能하게 되는 것이다.

이와같은 節理, 裂罅 및 熔岩罅等이 서로 重複連結되면, 地下水는 더욱 流動이 쉽게 되고 이러한 部分이 地表에 露出되면 그곳에서 地下水가 湧出하게 되는 것이다. 이와같은 構造를 가지면, 不透水層이라고 하는 安山岩, 粗面質安山岩 또는 緻密한 玄武岩 熔岩類도 透水性의 性質을 띄게 되며 때로는 湧泉을 이루기도 한다.

이와같은 예는 많다. 西歸浦北方 4km 地點의 큰 湧泉은 粗面質安山岩中の 이같은 構造에 連하여 排水되고

있다. 月坪里 東方 500m 地點도 粗面質安山岩中の 節理에 따라 湧泉하는 것이다. 外都泉, 龍頭泉, 別刀泉, 甘水泉 等の 湧泉은 海岸가에 있으며 水量도 相當히 많은데 이들은 各種 玄武岩內의 큰 裂罅와 큰 熔岩뎀널에 連하여 湧泉하고 있다. 이들 各種 構造는 隣接한 곳에서 서로 連結하고 있는것 같다. 예를 들면, 滿潮時에는 海岸가의 裂罅에 따라 湧泉하는 것이 干潮時에는 湧泉치 않고 그 대신 더 바다쪽에서 湧泉하는 것을 到處에서 볼 수 있다. 이같은 現象은 兩泉間에 있는 龜裂이 서로 連結하여 있음으로써 干滿潮時의 水壓差로 湧出口를 달리하게 되는 것이다. 北濟州郡 朝天面의 거문오름 北部에는 이와같은 熔岩뎀널이 많이 發達하고 있는데 이중에 新鮮한 물이 고여 있는 것이 있다.

### 2) 熔岩流間의 不整合面에 따라 나오는 湧泉

火山에서 熔岩이 噴出할 때는 한번에 나오고 그치는 것이 아니고 時期를 달리하여 數次에 걸쳐 나오게 마련이다.

萬一 먼저 噴出한 熔岩이 固化되고 오랜 歲月을 두고 風化作用을 받으면 熔岩위에 表土가 생기게 되고 이 위에 다시 새로운 熔岩이 噴出하면 兩熔岩流間에 不整合面이 생긴다. 이러한 不整合面에는 土壤, 자갈, 또는 火山碎屑物이 介在되므로 이곳이 地下水의 流路의 役割을 하게 된다.

濟州島內의 山中間地帶에 湧出하는 地下水는 大部分이 이와같은 熔岩流의 不整合面에 따라 流出되고 있는 것이다.

北濟州의 御乘生湧泉, 三泉龍湧泉, 明道岩泉, 院洞湧泉, 發伊嶽泉, 今德泉, 南濟州의 角秀岩泉, 西洪里泉, 靈室湧泉, 汀水岳泉, 法華湧泉等은 모두 이와같은 不整合面에 따라 湧泉하는 例이다.

이와같은 山中間地帶의 湧泉은 地表에 流出하여 溪谷을 따라 흐르다가 다시 地下로 스며들어 감으로써 海岸까지 流出되는 例는 없다. 西洪里湧泉, 靈室湧泉은 그 代表的인 것이고 水量도 많다. 天地淵瀑布나 正房瀑布, 天帝淵瀑布等은 그地點 上流 數百m 地點에서 다시 地表로 나타난 것이 海岸 絕壁에 이르러 瀑布를 形成하는 것이다. 北濟州의 御乘生湧泉도 暫時溪谷을 따라 流出하다가 다시 地下로 스며드는데 現在는 이물을 파이프로 下流地方에 끌어 飲料水等으로 利用하는 것이다.

### 3) 不透水岩層의 上部를 따라 나오는 湧泉

熔岩의 節理, 裂罅, 熔岩뎀널 等の 構造를 따라 나오는 地下水나 熔岩流間의 不整合面을 따라 나오는 湧泉이나 間에 이물이 地上으로 流出하는 것은 그 下部에 不透水岩層이 있는 까닭이다. 萬一, 下部에 不透水層이

없다면 地下水는 下部로 스며들고 地表로 나타나지 않을 것이다. 따라서 이 部類에 屬하는 湧泉은 別個로 있는 것이 아니고 分類 1)과 2)와 連關係를 가지고 있는 것이다. 濟州島內의 山中間地帶에 있어 앞에서 列擧한 例를 보면 湧泉地點의 下部에 緻密한 玄武岩流나 粗面質安山岩等의 不透水層이 있어서 地表로 물이 흘러나오고 있는 것이다.

### 4) 火山碎屑層에서 나오는 샘

山中間地帶에 分布하고 있는 寄生火山들은 그 大部分이 火山碎屑物로 構成된 成層火山들이다. 이와같은 成層火山의 山麓에는 間或 小規模의 샘이 發達하는 수가 많다.

## 4.4 基底 地下水

### 4.4.1 定義

基底地下水(Basal Ground Water)라 함은 앞에서 말한바와 같이 地表 가까이를 흐르는 地下水가 아니고 地下 깊은 帶水層에 있는 地下水를 말한다. 岩石을 통하여 海水面으로 流動하는 地下水는 比重이 큰 海水에 부딪치면 그위에 떠서 新鮮한 물의 層을 이루게 된다. 이를 基底地下水라고 부르기로 한다. 降雨에 의하여 물이 繼續 地下로 스며들어 補充되는 까닭에 이같은 물의 層의 上部는 恒常 新鮮하거나 또는 比較的 新鮮하며 무거운 海水위에 뜨게 된다. Macdonald 에 의하면 이같은 물 層의 上部는 內陸으로 向하여 徐徐히 上昇하되 그 程度는 岩石의 透水率과 上部에서의 新鮮한 물의 補充度에 따라서 달라지나 一般의 水坪距離 1Km 에 對하여 0.4m 乃至 0.8m 上昇한다고 한다. 이 新鮮한 물은 海水위에 뜨되 그 重量으로 말미암아 比重의 差에 反比例하여서 海水를 置換하게 된다. 따라서 內陸으로의 地下水面의 上昇은 新鮮한 물의 層을 두터우게 하는 結果가 되어서 結果의 地下水는 Lens 狀을 이루게 되고 地下水面의 下部는 海水面下 數十米 乃至 百米以上에 達하는 境遇도 있다. 이같은 地下水層을 Ghyben-Herzberg Lens 라고 한다(다음 스킴참조).

### 4.4.2 Ghyben-Herzberg Lens(Macdonald 에서의 引用)

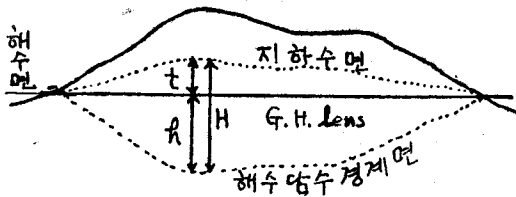
W.Badon Ghyben은 和蘭海岸地方에서 新鮮한 地下水가 帶水層中에서 海水위에 뜨며 또 海水를 置換하고 있는 것을 알았고(1888—1889), Alexander Herzberg는 北海의 섬에서 같은 現象을 觀察하였다.(1901) 따라서 이 두분의 이름을 따서 이와같은 地下水層을 Ghyben-Herzberg Lens 라고 부르게 된 것이다.

元來 이분들은 海岸地方의 砂層地帶에서 이같은 물의 렌즈를 發見하였지만 同一한 現象이 火山島에서도 나타나고 있음이 알려졌다.

參考로 例를 들면 美國 하와이島에서는 1909年 And.

rews에 의하여 처음 알려졌고, H.S. Palmer는 1927년과 1957년에 호노루루의 自噴泉의 地質을 研究하다가 確實이 이 現象을 把握하였고 今後 繼續하여 Wentworth, Steams, Vaksvik, Macdonald 및 Cox 등에 의하여 研究되어서 Hawaii의 基底地下水가 正確히 把握되게 되었다.

다음 그림은 바다에 들러 쌓인 섬에 있어서 新鮮한 물이 海水에 뜨며 Ghyben-Herzberg lens를 이루는 모양을 表示한 것이다.



萬一 海水의 比重을  $g$ , 新鮮한 물의 比重을 1, 新鮮한 물이 海水면下까지 이르는 距離를  $h$ , 海水면위의 地下水面 높이를  $t$  라고 하면

$$h = \frac{t}{g-1}$$

의 方程式이 海水면 밑에 든 新鮮한 물의 lens의 下部位置를 決定지어 주게 된다. 海水의 比重을 普通 1.025로 보고 이 數値를 위의 方程式에 代置하면

$$h = 40t$$

가 된다. 換言하면 新鮮한 地下水가 海水面 아래로 들어갈수 있는 깊이는 海水面上에서 地下水面까지의 높이의 40배가 된다는 것이다.

本式은 新鮮한 물과 海水間에 靜的平衡이 이루어진다고 假定하였으므로 兩者의 比重의 差가 Ghyden-Herzberg Lens의 厚와 動作을 左右하는 큰 要素인 것이다. 그러나 實地에 있어서는 이 물의 렌즈는 恒常 流動狀態에 있다. 卽 降雨로 인하여 물이 補充되면 어떤 地點에서 流出되므로 恒常 움직인다. 이 움직임에 따르는 에너지가 곧 물의 렌즈의 모양과 그 깊이를 左右하게 된다. 이 같이 流動狀態에 있는 Ghyben-Herzberg Lens의 모양과 深度에 對한 理論面은 大端히 複雜하다. 그러나 實際面에 있어서 가장 重要한 要素는 前述한 바와 같이 (1) 새로운 물의 補給量, (2) 물을 包有하고 流動을 左右하는 岩石의 透水性, 그리고 (3) 新鮮한 물이 海水에 뜨지마는 그 境界面에 있어서의 兩者의 混合狀態等이다

新鮮한 물은 降雨로써 補給되어 렌즈內로 들어가고 海岸附近에서 湧泉等으로서 繼續 流出되는 것이다. 一定한 透水性을 가진 含水層에 있어서 물의 렌즈의 두께

는 이 가운데를 流動하는 물의 量에 따라 變하되 補給量이 增加함에 따라 두꺼워진다. 補給量이 一定하다고 假定하면 透水性이 적은 帶水層보다 透水性이 큰 帶水層에서는 이 물을 빨리 流動시키므로서 缺少하여 지는 것이다.

렌즈의 厚는 또한 海水面 水準附近에 있어서 含水層을 덮고 있는 不透水層에 의하여 影響을 받는다. 이 같은 不透水層은 Cap rock의 役割을 하게 되므로 렌즈에서 물이 放出되는 것을 막으며 렌즈의 厚를 두껍게 한다. 例를 들면 海岸에 모래가 있다고 하면 이는 下部의 含水層보다 透水率이 약간 적으므로 물렌즈는 약간 두꺼워지나 萬一 海岸에 緻密한 粘土같은 洪積層이 덮여 있으면 이는 透水率이 下部의 含水層보다 大端히 적으므로 下部의 地下水를 流出치 못하게 Cap rock의 役割을 하므로 물렌즈는 大端히 두꺼워진다.

Ghyben-Herzberg Lens의 新鮮한 물의 部分과 그림에 있는 海水와의 境界面은 恒常 漸移의이다. 이 混合帶 다시 말하면 半鹹水帶는 新鮮한 물과 海水가 서로 流動하여 混合되므로서 생기며 그 두께는 流動混合의 程度에 따라 달라지는 것이다. 自然條件下에서 물의 運動을 이끄는 主要原因은 岩石中에 海水를 浸透시키는 바다 潮水의 干滿과 新鮮한 물의 補給量에 따라 變動되는 물렌즈의 厚의 變化에 있는 것이다. 물의 補給의 變化는 季節的으로 變하는 雨量에 따르며 降雨가 많으면 렌즈는 두꺼워지고 乾燥期에는 렌즈가 얇아지는 것이다. 萬一 井戶等이 많아서 많은 물을 揚水할 境遇가 있다고 하면 亦是 물 렌즈가 얇아질 것이다. 이를 綜合하여 보면 潮水의 影響을 많이 받고 렌즈의 厚에 變化가 가장 甚한 곳은 海邊가이다. 透水性이 큰 岩石으로 된 海邊가에서는 이와 같은 漸移帶(混合帶)는 두꺼울것이고 렌즈의 海邊側 部分은 全部가 半鹹水로 되어 있을 수도 있다.

#### 4.4.3 濟州島의 基底地下水

하와이에서 證明되었고 또 實地로 물을 利用하고 있듯이 Ghyben-Herzberg Lens의 물은 火山岩으로 된 섬에도 存在하고 있다. 하와이 各島의 火山岩流와 濟州島의 火山岩流는 岩石에 있어서나 透水率에 있어서나 큰 差가 있다고는 볼 수 없다. 따라서 이같은 Ghyben-Herzberg Lens의 물이 濟州島에도 있을지의 與否를 내가지 要素에 걸쳐 論議하여 보고자 한다.

##### (1) 降雨量의 問題(新鮮한 물의 補給)

濟州島의 過去 30年間의 結核 年平均 降雨量은 1,479.9mm이며 이는 濟州市의 統計에 依한 것이다. 濟州島에서는 北濟州보다 南濟州에 있어서 降雨量이 많고 또 海邊보다는 漢拏山頂으로 올라 가면서 降雨量이 많

을 것이다. 따라서 全體의 年平均 降雨量은 濟州市에서 測定한 것보다 크다고 假定하여도 無理가 아닐 것이다. 이와같은 降雨量은 例를 들어 하와이의 全體 年平均 降雨量보다 그다지 적지 않다. 따라서 降雨로 인한 新鮮한 물의 補給은 적은 便이 아니라고 判定할 수 있다. 그러나 濟州島에는 表土가 얇고 樹木이 적어서 물을 貯藏하는 힘이 적으므로 降雨後에 洪水로서 一時에 바다에 流入하는 점이 있고 또 雨季는 여름 한철로서 年中 고르게 비가 내리지 않는다는 두가지 難點이 있다.

### (2) 火山岩의 透水性問題

濟州島는 여러 種類의 玄武岩熔岩, 火山碎屑層과 粗面質安山岩 等の 火山岩으로 되어 있으며 그들의 透水性에 對하여는 이미 詳述한 바와 같다.

現在 山中間地帶에서 流出하는 물은 熔岩流間의 不整合面에 따라 나오거나 岩石內의 節理, 裂罅와 熔岩頸壁에 따라서 流出하거나 또는 밑에 반친 不透水層에 따라 나오는 것이다. 이같은 물은 上部流動地下水일 것이라는 점은 이미 說明한 바 있다. 그러나 濟州島의 熔岩은 火山碎屑層과 狹在하여 있으므로 透水性이 크다고 볼 수 있다. 따라서 上部流動地下水는 下部로 侵透하여서 基底地下水를 形成한다고 볼 수 있다. 近來 濟州島에서 地下水探査를 爲하여 試錐한 總數는 1962年以後 1966年까지 44個이며 그 位置를 第1圖에 表示하였다. 이들 試錐地點은 大部分이 海岸 가까이에 位置하고 있으며 山中間地帶에는 그리 많지 않다. 各孔의 深度를 보면 最深孔이 不過 73m 이고 얇은 것은 11m에 지나지 않는다. 不幸히도 試錐孔의 Logging을 하지 않아서 正確히는 알 수 없으나 위에서 說明한 바와 같이 熔岩과 火山碎屑層의 互層으로 되어 있는 것 같다. 따라서 地下水는 이들 火山碎屑層에 따라 있거나 熔岩流의 龜裂等에 따라 나오는 것 같다.

이로 미루어 보면 島內 火山岩의 透水性은 一般적으로 그다지 크지 않고 또 곳에 따라 差가 많은 것 같이 推測된다.

### (3) 물 렌즈의 下部 境界面에 있어서의 新鮮한 물과 海水와의 混合狀態

降雨로 인한 물의 繼續的인 補給이 Ghyben-Herzberg lens를 어느 程度 두껍게 하여 주며 이 lens內의 帶水層의 透水率이 어느 程度이며 이에 따른 流動速度가 어느 程度인지 또한 海邊에서 湧泉으로 流出되는 水量이 어느 程度인지 等등에 對하여 濟州島에는 아무런 資料도 없다. 第1圖에서 보는 바와 같이 大部分의 湧泉이 海岸에 있다. 그러나 이들에서 流出하는 水量은 아직까지 測定한 바가 없어서 알 수 없다. 따라서 Ghyben-Herzberg lens內에서의 海水와 新鮮한 물의 混合狀態를

推測한 수 없다.

南濟州 海岸地方의 42個井戶의 물을 國立地質調查所에서 調査分析한 바에 依하면 10個井戶의 물만이 Cl을 100PPm 以上 含有하고 其他는 아주 적다. 따라서 濟州島 海岸線에서 湧泉하는 물은 大部分이 飲料에 適合한 新鮮한 물이라고 할 수 있다. 따라서 海岸에 가까운 곳에 있어서의 두물의 境界面도 混合이 甚하지 않으며 半鹹水を 이루고 있지 않은 듯 하다.

### (5) Cap rock의 問題

濟州島 海岸에서는 湧泉地帶는 勿論이거니와 全海岸線에 沿하여 砂層이나 透水性이 적은 粘土層 같은 것이 全然 없다. 換言하면 Ghyben-Herzberg lens에서 湧出한 물을 막아 주는 Cap rock가 없다. 따라서 新鮮한 물이 恒時 湧出되고 있으므로 Ghyben-Herzberg lens의 發達을 妨害할 憂慮가 있다. 그럼에도 不拘하고 海岸에서 물이 恒時 湧出되고 있다는 現象은 물의 補給이 充分하고 岩石의 透水性이 適當하여서 두꺼운 lens를 이루고 있음을 意味하는 것인지도 모른다.

理論值인  $h=40t$  方程式에 1,000m에 對하여 0.4~0.8m로 變하는 t數值를 넣어서 計算한 h數值로 濟州島의 Ghyben-Herzberg lens의 모양을 그리면 第2圖와 같다.

여기서 볼 수 있듯이 海岸에서 10Km 內陸쪽으로 가도 lens의 上部面 即 基底地下水面은 海水面上 4m~8m에 지나지 않는 것이다.

그러나 이地點의 lens 下部의 境界面은 海水面下 160m~320m까지 이른다는 結論에 到達하며 이는 實로 놀라운 것이라 아니할 수 없다.

1966年까지 試錐한 44孔中 海水面 以下에 達한 深度를 가진 孔이 16孔에 不過하며 그中 11個에서만 물을 얻었다고 하는 事實은

1) 全部 深度不足이며 成功하여서 물을 얻었다고 하는 것도 大部分이 地下 淺所에 있는 所謂 上部流動地下水인 것이거나

2) lens의 물이 全域에 걸쳐 어디에나 存在하는 것이 아니고 地質條件에 따라 局部的으로 存在한다는 것을 뜻할 것이다.

濟州島에서 基底地下水를 얻을 수 있는 最少의 深度는

$$D = E - \left\{ (0.4m \sim 0.8m) \times \frac{H}{1,000} \right\}$$

로서 얻을 수 있을 것이다. 여기서 D는 試錐孔의 必要한 最少深度(m)이고 E는 試錐地點의 標高(m)이고 H는 海岸으로부터 試錐孔까지의 水平距離(m)이다.

이와 같은 基底地下水를 찾기 爲하여 앞으로 할 일이 무엇인가에 對하여는 다음에 說明하고자 한다.

## 5. 開發方案

濟州島의 地下水開發을 爲한 基礎作業으로서 全島에 亘한 水理地質調査는 三次年間に 걸쳐 1967年에 完了하였다. 水理地質調査로서 地下水開發에 있어서 알려진 重要한 事項은

- 1) 濟州島의 地質과 地質構造
- 2) 이와 關聯된 島內岩石들의 透水性問題
- 3) 地下水의 產出狀態와 基底地下水의 存在確認 等이다.

濟州島內에 基底地下水 換言하면 Ghyben-Herzberg Lens의 물이 있다고 確認한 以上 이를 開發하는 것이 問題이다. 그러나

- 1) 島內의 火山岩類와 火山碎屑層中의 帶水層의 分布가 不規則하여 推測기 어렵고
- 2) 帶水層을 相互 連結하여 주고 또 地下水의 流動通路의 役割을 하는 地質構造가 複雜하여 豫測기 어렵다. 이와같은 事實은 44餘孔의 試錐結果에 있어서 17孔만이 多少나마 물을 얻을수 있었다는 事實로서 뒷받침하고 있는 것이다.

이와같은 地質의 複雜성과 地下水產出地點의 豫測不可能性은 必然的으로 物理探查方法의 實施를 要請케 된다. 物理探查法에는 여러가지가 있을 것이나 濟州島에는 比抵抗電氣探查法이 가장 適合한 것으로 본다.

地下水開發의 最終段階는 試錐를 함으로서 물을 確認하고 아울러 揚水하는데 있다. 試錐位置의 選定은 慎重히 하여야 함으로 이는 電探結果에 依據하지 않으면 안 된다.

### 5.1 比抵抗電氣探查

濟州島에서 Ghyben-Herzberg Lens의 물을 찾기 爲하여 比抵抗電氣探查法을 採擇하는 것이 가장 適切하다. 그 理由를 要約하면

- 1) 地質과 地質構造가 複雜하여 다른 物理探查法으로는 그의 解釋이 어려울 것이고
- 2) Hawaii에서의 實例를 보아도 Ghyben-Herzberg Lens의 下限을 찾는에 容易하게 그리고 正確하게 찾을 수 있었다는 例에 根據를 둔 것이다.

鹽水는 新鮮한 물에 比하여 抵抗이 極히 적다. 따라서 比抵抗을 測定함으로서 Ghyben-Herzberg Lens의 下限인 新鮮한 물과 海水의 境界面의 地表로부터의 深度를 알수 있다. 그러던 Ghyben-Herzberg의 原理인  $h=40t$   $t=\frac{h}{40}$ 로서 Lens의 두께  $(t+h)$ 를 算出할 수 있는 것이다.

#### 5.1.1 比抵抗測定位置의 廣域의 選定

比抵抗을 測定하는 電氣探查의 位置選定은 어려운 問題의 하나이다. 왜냐하면 地質과 地質構造의 複雜性뿐 아니라 利用限界에 制約이 있기 때문이다.

濟州全島에 걸쳐 廣域的으로 比抵抗의 基本測定을 함으로서 Ghyben-Herzberg Lens의 물을 探查하는 것을 目的으로 하여야 한다. 따라서 1) 測定深度는 500m까지 達하여야만 標高 400m까지의 山中間地帶를 包含시킬수 있고, 2) Ghyben-Herzberg Lens의 位置를 알아야만 問題가 解決된다는 點이 位置選定을 左右하는 重要한 要素가 된다. 이와 같은 點을 考慮하여 全濟州島를 덮을 수 있는 方法으로 道の 東과 西에서 南北測線 1個式과 道の 南과 北에서 東西測線 1個式 合計 4個 測線을 다음과 같이 選定하였다. (第1圖參照)

#### 1) 第1測線(東部測線)

北濟州郡 舊左面 西金寧里에 始點을 둔 測線 1은 大體로 南으로 向하여 舊左面 松堂里, 南濟州郡 表善面 城邑里를 거쳐 表善面 表善里에 이른다. 中間地點의 最高標高는 約 250m이고 이는 道內에서 가장 물이 貴한 東部高原地帶의 Ghyben-Herzberg Lens의 물을 찾아 보는데 目的이 있다.

#### 2) 第2測線(西部測線)

北濟州郡 涯月面 錦城里에 始點을 두고 南으로 向하여는 同面 鳳城里, 翰林邑 今岳里, 南濟州郡 安德面 官田里를 거쳐 南濟州郡 安德面 和順港에 이르는 第2測線의 最高標高는 270m를 넘으며 第1測線과 같이 물이 貴한 西部高原地帶의 Ghyben-Herzberg Lens의 물을 찾는에 目的이 있다.

#### 3) 第3測線(北部測線)

이 測線은 濟州島北部 山中間地帶의 地下水를 探索하는데 目的을 둔 것이다.

測線의 始點은 北濟州郡 翰京面 新昌里에 두고 大體로 東西로 뻗어 汶水洞(翰林邑)—於昔里(涯月面)—今德里(涯月面)—行城面(濟州市)—古坪里(朝天面)—松堂里(舊在面)—始興里(城山面)을 連結하는 線으로서 高度 350m의 山中間地帶를 누벼서 東部海岸에 到達한다.

#### 4) 第4測線(南部測線)

이 測線은 濟州島南部 山中間地帶의 地下水를 探索하는데 目的이 있다. 大靜面 武陵里에 始點을 둔 이 測線은 大體로 東部方向으로 뻗어 官田里(安德面)—鹿下里(中文面)—禮村里(南元面)—水望里(南元面)—加時里(表善面)—城邑里(表善面)을 거쳐 城山面 新山里에 이른다. 中間의 高地는 約 450m에 達하고 있다.

#### 5.1.2 比抵抗測定位置의 地域別選定

위와 같은 廣域的인 比抵抗測定이 完了되어서 Ghyben-Herzberg lens의 물의 分布狀態를 大略 把握한 後에 小

地域別로 細部位置를 測定하는 것이 順序일 것이다. 小地域別로 比抵抗測定位置를 選定함에 있어서 그 基準은 1) 물의 産出可能性이 많은 곳, 2) 물 需要度の 緊急性에 두는 것이 妥當할 줄 안다. 이와같은 原則 밑에서 1966年度에는 5個測線을 그리고 1967年度에는 15個測線을 選定하였고 1965年度에는 國立地質調查所에서 當年度 調査區域內에서 電探을 많이 하였으므로 基本線단 選定하고 小地域別 位置選定은 하지 않았던 것이다. 이들 小測線은 第1圖에 表示한 바와 같다.

### 5.2 試錐

試錐位置의 選定은 原則的으로 電氣探查를 完了한 後에 決定하여야 한다. 現在 道內에서는 過去에 繼續하여 淺井試錐를 實施하고 있는데 이것은 上部流動地下水를 探索하는데 目的이 있다고 보므로 그位置選定이 科學的 根據에서 이루어 졌다면 그대로 繼續하는 것이 좋을 것이다.

國立地質調查所에서는 島內 一部地域에서 深度 500m에 達할 수 있는 比抵抗測定을 試驗的으로 實施한바 있는데 傳聞한바에 依하면 Ghyben-Herzberg lens의 물이 있으나 局部的으로는 없는 데도 있을 것이라 한다. (結果 未完). 또 濟州島 東南部에서 230m에 達하는 深孔을 1966年度에 完成한바 물을 얻는데 失敗하였다. 이와같은 事實은 Ghyben-Herzberg lens는 存在하나 火山岩의 分布狀態로서 다시 말하면 不透水岩의 發達로서 물을 얻지 못하는 境遇가 있다는 것을 意味한다. 이러한 點에서 비추어 보더라도 試錐位置의 選定은 電探後에 決定하여야 할 것이다.

既히 說明한바와 같이 朝天面 거문오름의 北部에는 熔岩단널이 發達되고 그곳에 新鮮한 물이 고여 있으니 만큼 이곳에 于先 1個孔 施工하여 보는 것은 無妨할 것으로 思料된다.

### 5.3 其他 補充調査

道內的 地下水探查를 完全徹底히 하기 위하여 그리고 Ghyben-Herzberg lens의 存在를 確認키 위하여는 島內에 既存하는 湧泉과 重要한 井戶 및 試錐孔에 對하여서

는 科學的인 調査가 이루어져야만 한다. 科學的인 調査라 함은 이들의 位置, 標高, 海岸으로부터의 水平距離, 水質 및 水量測定과 潮水의 影響을 正確히 調査하는 것을 意味한다.

이와같은 測定은 長期에 걸쳐서 現地道當局에서 하는 것이 가장 좋을 것이고 이 資料가 있음으로서 時間과 經費의 浪費를 막고 科學的인 地下水探查에 指針을 줄 수 있을 것이다.

또한 地下水의 多寡는 降雨量에 比例한다. 現在까지 는 濟州島와 西歸邑에 觀測所가 있으나 他地域에는 없다.

既히 說明한 바와 如히 島內에서는 地域에 따라 降雨量의 差가 있을 것으로 豫想되므로 各處에 簡易觀測機器를 設置하여 雨量등을 測定하는 것이 좋을 것 같다.

### 參考文獻

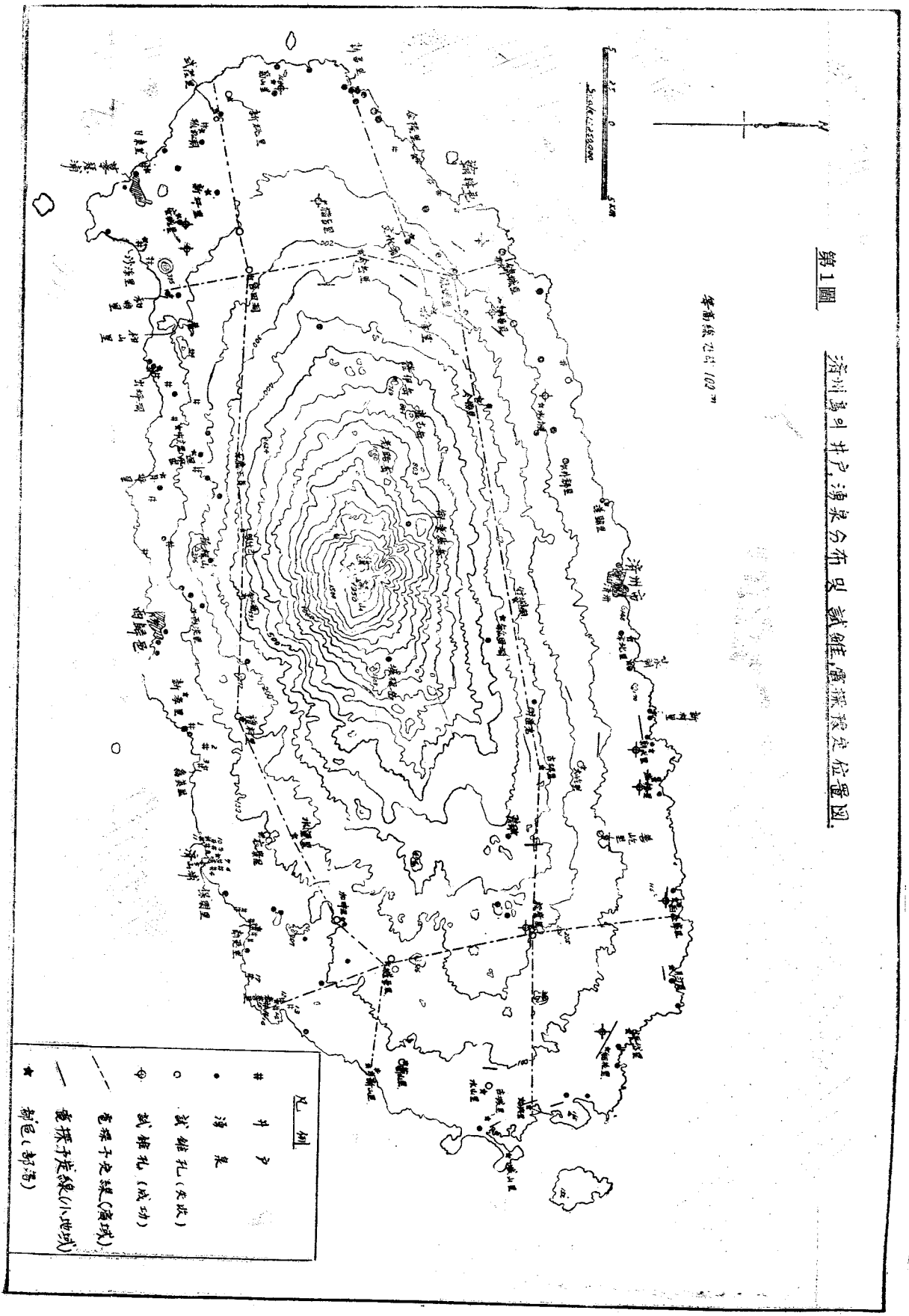
- 徐海吉, 南基英, 趙漢益; 濟州島南部 地下水源, 地下水 調査報告 第1號, 1963, 地調.
- 南基英, 金東淑; 濟州島東南部の 地質과 地下水源, 地 水調報 第2號, 1963, 地調.
- 金玉準; 濟州島의 用水解決의 竝, 國土計劃論總集 第 2輯, 1963, 建設部.
- 濟州道廳; 統計年報 第5回, 1965.
- G.A. Macdonald(1942); Geology and Ground-water Resources of the Nahiju Area, East Maui, Hawaii, Div. of Hydrography, Bull. No. 11.
- \_\_\_\_\_(1947); Geology and Ground-water Resources of the Island of Molokai, Hawaii Div. of Hydrography, Bull No. 11.
- \_\_\_\_\_, D.A. Davis, D.C. Cox(1960); Geology and Ground-water Resources of the Island of Kanai, Hawaii, Bull. 13, Hawaii Div. of Hydrography.
- K. Haraguchi(1931); Cheju Valcano, Bull. Geol. Surv-ey. Korea. Vol. X.



第1圖

濟州島의 井戶, 湧泉分布 및 試維, 震深, 探定位置圖

等震線 2.0 (100)



濟州	
■	井戶
●	湧泉
○	試維孔 (成功)
○	試維孔 (成功)
—	震探子震線 (震域)
—	都邑 (都邑)

第2圖 濟州島甘基底地下水 (Ghyben-Herzberg lens) 引態橫断面圖

\* 泉的方向是 1:250,000 縮尺的圖 上下是 1:100,000 縮尺的圖 定成也。

