

濟州島의 形成과 地下水 特性

崔 淳 學*

ABSTRACT

Cheju Island is a dormant volcano which was formed by more than 20 volcanic activities during the later Tertiary to the early Quaternary and also has about 360 parasitic cones along the long axis of the elliptically shaped Island. Geology of this Island is mainly composed of olivine basalt flows with some trachyte, trachyandesite, tuff and pyroclastics, etc.

There are about 30 rivers in Cheju Island but permanent rivers do not exist. Rain water reaches the sea as flashy run-off during and immediately after heavy rains. Most rivers are seasonally dry except 7 or 8 rivers.

Two kinds of hydrogeological factors to control groundwater existing on Cheju Island are permeable and impermeable elements. Permeable elements are primary porosity, secondary fractures, pyroclastics, clinker and different kinds of voids and impermeable elements are dense rocks, paleosols and old pyroclastics. There are two types of groundwater existing on Cheju Island so called basal and high level groundwater(perched water).

Groundwater level measurements for 45 sites selected from the whole existing wells are taken routinely each month together with pH, electric conductance and salinity measurements.

A full chemical analysis has been carried out from samples taken

* 韓國動力資源研究所 責任研究員

11 springs and 34 wells.

According to the trilinear diagram by Piper, a type of Cheju groundwater characteristics belongs to Carbonate-Hardness.

And also it seems to be originated from the same source of groundwater except eastern part of the island.

Eastern area is specially higher than the other area in total hardness and total dissolved solids.

I. 濟州島의 形成

濟州島는 地質時代로 보아 第三紀末 플라이오세로부터 第四紀(지금으로부터 7~2백만년전)에 걸쳐 수십회의 거대한 火山活動에 의하여 形成된 火山島이다.

火山活動은 歷史時代까지도 계속된 休火山으로서 AD 1002, 1007, 1455 및 1670년에 火山活動이 있었다는 역사기록이 있으며 그 중 1회의 분출은 본도 西北部에 位置하고 있는 飛揚島라고 생각된다. 本島는 第三紀末 現在의 基盤玄武岩(각람석휘석현무암으로 推定)이 火山活動에 依하여 一次的으로 육지부를 형성한 후 오랫동안 풍화, 침식작용을 받아 국부적으로 완만한 구릉지를 이루는 한편 전반적으로는 平坦한 용암대지를 형성하였다가 沈降運動에 依해 本島의 東쪽 方向이 우세한 傾動沈降이 일어났다. 이때 堆積된 서귀포층은 基低玄武岩인 각람석, 휘석, 현무암을 不整合으로 피복하고 있으며 本 서귀포층의 퇴적시기는 古生物學的으로 第三紀末플라이오세에 해당됨이 判明되었다.

本島는 N70E의 長軸을 갖는 東西 約 74km, 南北 32km의 타원형의 火山島로서 中央의 한라산(1950m)을 中心으로 圓추형을 이루며 地形浸蝕輪廻上으로 보아 幼年期에 해당한다. 山斜面은 短軸인 南北方向은 급경사를 이루고 長軸인 東西方向은 완만한 용암대지가 해안에 連하며 그 위로 360여 개의 寄生火山이 총립하여 장관을 이루고 있다.

濟州島는 海水準面 以下 約 300m 下部에 分布할 것으로 推定되는 結晶質

基盤岩으로부터 분출된 火山島이다. 本島는 또한 한라산 부근에서 產出된 분출물에 의해 주로 形成된 錫드火山이다. 濟州島의 生成을 3段階의 形成過程으로 分類하는 理論으로서 3회의 巨大한 分출시기에 따라 獨特한 地形的 特色을 보인다. 第1段階로는 섬의 구릉지나 해안지대를 형성한 용암대지형성 단계로 광역적인 알카리 현무암류 라바의 流出로 이는 巨大한 광역열하분출에 의한 것으로 해저분출로부터 始作된 것이다. 第2段階는 한라산의 火山形成단계로 現在와 같은 錫드型 火山地形을 만들어 낸 中央火道를 中心으로 強力한 火山活動이 展開되어 粗面岩類 마그마의 流出로 한라산 돔을 形成하였다. 本島 最終段階의 火山분출은 백록담을 中心으로 本島타원형의 장축방향인 東西로 發達된 裂谷帶(rift zone)를 따라 形成된 바 地形的으로 完만한 능선이 잘 발달되어 있으며 360여 개에 達하는 奇生火山中 約 3분의 2가 本 裂谷帶를 따라 分布함이 特征적이다.

Haraguchi(1931)는 本島의 火山活動을 3段階로 보아 그 첫 段階는 第三紀末에 粗面質 熔岩의 分출에 지배 받으며 第二段階는 플라이스토世 初期에 始作하여 粗面質 安山岩類를 分출하였고 第二段階는 가장 強力한 火山活動을 展開하여 수많은 신더콘을 形成하였으며 많은 玄武岩類가 섬 전체를 ครอบคลุม하게 되었다고 하였다. Haraguchi는 또한 분출은 산성용암으로 시작하여 中性 라바를 계속 분출한 후 염기성용암을 끝으로 분출을 마친 것이라고 주장한 바 있다.

最近의 研究(Lee, 1982)로는 本島 生成을 4段階로 설명하는 理論도 있음을 添言한다.

本島의 主 分布岩石은 粗面岩, 粗面質安山岩, 橄欖石玄武岩, 凝灰岩, 火成碎屑層 및 砂丘로 構成되어 있으며 岩脈類는 發見되지 않는다. 이는 同一時代에 분출한 하와이의 火山島에서 볼 수 있는 岩脈의 分布와는 相異한 地質構造를 갖고 있어 本島 特有의 水理地質學的인 여건을 形成해 준다.

Ⅱ. 地下水의 特性

1. 地 表 水

本 島는 한라산과 東西長軸을 分水嶺으로 30여 개의 河川이 北流 또는 南流한다. 本 島는 東西部地域에서는 河川이 거의 形成되지 않는 것이 특징적이다. 이들 河川의 大部分은 降雨時 一時에 流下하는 이른바 乾川이며 年中 물이 흐르는 河川은 7~8個所를 헤아릴 수 있으나 이들의 水源은 河口 가까이 있는 湧出水이다.

本 島의 年平均 降水量은 1,870m/m로 本土 平均 1,246m/m보다 624m/m가 더 많으며 年間 降水量의 60%가 6月에서 9月 사이에 내린다. 지금까지 알려진 바로는 年間 降水量中 約 26%가 地表로 流出되고 있으며 34%가 葉水面蒸發量으로 蒸發되고 있음이 알려져 있다.

2. 湧 出 水

本 島의 湧出水는 一種의 地下水로서 두가지 형태로 분류될 수 있다. 하나는 降水가 水理地質學的 構造線을 따라 下部로 流下하다가 不透水層을 만나 이의 수직강하가 이루어지지 못한 채 地表로 스며나와 형성된 소위 高地帶에서의 上位湧出水이며 또 하나는 二次균열을 통하여 오랫동안 地下로 삼투한 地下水가 水理地質學的 勾配를 따라 해안면으로 流動하여 海水面과 接하게 되어 용출되는 基低湧出水(Basal Spring)가 그것이다. 湧出水는 島 全域에 散在하고 있으나 주로 해안선을 따라 용출되고 있으며 極히 一部가 高地帶(해발 700m 以上)와 山岳地帶(어승생, 영실 등)에서 용출되고 있다. 또한 定量的인 推算은 不可하나 新村 三陽 等地의 海底湧出은 막대한 量으로 보고 있다. 現在까지 알려진 全 島의 湧出量은 約 300여개소에 746,000 m³/d(ISWACO, 1981)이라고 되어 있으나 水量調査의 方法과 또는 계절의 영향에 따라 水量의 增減이 일어날 것으로 보인다.

3. 地下水 賦存狀態

本島의 地下水는 火山島가 지닌 特殊한 地質 및 地形條件으로 因하여 特異한 賦存樣相을 갖고 있다. 本島는 前述한 바와 같이 數十次에 걸친 火山活動에 依하여 20餘種에 達하는 熔岩類를 流出시켰으며 이들 熔岩類 사이에는 火山砂나 火山灰等의 火成碎屑物이 狹在되어 있다.

降水는 本島의 主 地下水源인 바 大部分 地表面이나 溪谷을 따라 流去 바다로 流入되고 極히 一部分은 地表의 節理 및 裂隙을 따라 地下로 스며들게 된다. 또한 本島는 火山島 特有의 地質條件에 따라 沖積層의 發達이 아주 빈약하여 陸地部에서의 沖積層을 對象으로 한 淺部地下水賦存은 기대하기 어려운 실정이다. 本島 地下水賦存을 결정해 주는 主 構造要因은 크게 두 가지로 大別되는데 透水性要素와 不透水性要素가 그것이다.

前者는 節理와 龜裂을 들 수 있으며 後者는 緻密質岩石과 古期 土壤, 即 paleosols라 할 수 있다. 古期火成碎屑物은 보통 粘土粉을 含有하고 있어 不透水性으로 看做되어 엄밀히 관찰해 보면 半透水性 要因에 屬한다. 本島는 여러 種類의 熔岩類가 쌓이고 쌓여 形成된 火山島라 함은 前述한 바 있거니와 이들 熔岩流는 각기 다른 方向과 體積 및 規模도 다를 뿐더러 다른 化學成分을 갖고 섬의 여러곳으로 流出되었다.

몇 개의 熔岩 即 玄武岩類는 처음에는 液體狀態로 流動的이며 개스도 풍부하였으나 冷却된 후 多孔質이며 節理가 發達된 岩石으로 된다. 다른 熔岩類, 即 組面岩과 安山岩類 등은 非流動的이며 개스도 不足하여 冷却된 후 緻密한 岩石과 空隙形成이 빈약한 岩石이 된다.

透水性要素로서의 節理는 一次와 二次로 特徵지워질 수 있는 바 一次的인 節理形成은 冷却過程中에 形成되는데 熔岩 中心部로 향해 各 熔岩類의 上下部로부터 뻗쳐 形成되며 大部分의 節理는 熔岩 全體를 가로질러 形成하지 않으며 中央部는 그대로 남아 있다. 그러므로 節理는 한 方向으로는 열려져 있으나 다른 便으로는 닫혀져 있는 상태로 地下水는 含有될 수는 있으나 節理를 따라 流動할 수는 없다. 따라서 이들 節理는 本島의 地下水 循環에는

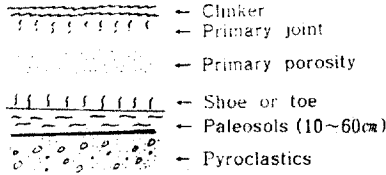


圖 1. Idealized Sketch of the Relationships with Permeable and Impermeable Elements.

아무런 意味를 갖고 있지 않는 要因이다. 一次空隙 形成過程의 斷面과 透水 또는 不透水性要因과의 理想的인 그림은 위의 圖 1 과 같다.

熔岩이 冷却된 後 어느 정도의 時間(地質學的인 時間)이 經過되면 本 熔岩內에는 二次的인 龜裂이 形成된다. 이들은 主로 地體構造運動과 局部的인 接觸變成作用 및 風化作用의 結果에 起因된 것이다.

또한 二次龜裂의 規模는 多樣하여 그 길이에 있어서 數cm에서 數100m이고 그 幅에 있어서는 數 cm에 이른다. 二次龜裂은 또한 一次와 달리 모든 種類의 岩石을 絶斷함으로(때로는 地表가까이까지) 地下水 流路形成에 아주 重要한 역할을 한다. 濟州島 地下水의 主流路形成은 바로 이 二次龜裂이며 垂直으로 發達되어 있을 때 急速한 流動現象이 일어난다. 다음의 圖 2.는 組面質安山岩에 形成된 柱狀節理와 下部의 不透水層과의 不整合面에서의 上位湧出水 發生經路를 모식한 것이다.

本 圖에서 追加할 수 있는 透水性要因으로서는 크린커(Clinker)와 多樣한 空洞(Void) 熔岩 또는 리마 튜브 등을 들 수 있다. 이들은 二次空隙과 함께

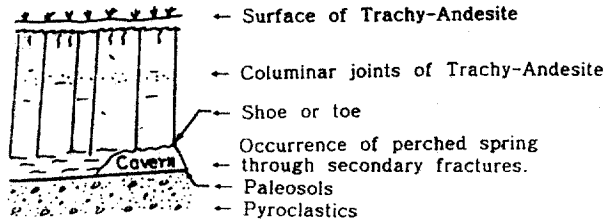


圖 2. Idealized Sketch of the Relationships with Perched Spring and Paleosols.

良好한 地下水流動 通路가 될 수 있다. 圖 2에서 볼 수 있는 paleosols는 不透水層으로서 地下水의 下降을 차단해 주는 중요한 역할을 해주고 있다. 이들 paleosols는 모든 種類의 熔岩類가 土壤이나 粘土 또는 火成碎屑層을 덮어 流出할 때 이들을 高溫으로 구어(baked)서 만들어 지게 되며 보통 10~60cm의 두께를 갖고 不透水性의 赤色 paleosols를 生成한다. 이는 노출된 단단한 岩石 위를 熔岩이 흘러 갈 때는 生成되지 않는다. 실제로 本島의 수많은 深部 試錐 및 鑿井結果로 얻어진 岩石 코아사이에는 많은 paleosols가 狹在되어 있음을 볼 수 있다. 熔岩流出 形成의 多樣性으로 因하여 下部 熔岩流사이에 狹在되어 있는 paleosols는 그 연장이나 規模面에서 分布의 多樣性으로 不規則하고 不連續的이다. 그러므로 地下로 침투된 降水는 이들 層에서 遮斷되거나 斜角을 갖고 分布하는 곳에서는 그 傾斜를 따라 流下하기도 한다.

以上은 本島의 地下水를 賦存시킬 수 있는 水理質學的인 構造的인 要因에 對해 論述한 것으로 이를 要約해 보면 透水性要素로서는 節理와 火成碎屑層, 크린커 또는 熔岩네펀 等を 들 수 있고 不透水性要素로는 緻密質의 組面岩과 安山岩類 그리고 paleosols이며 경우에 따라서는 古期 火成碎屑物이라 할 수 있다. 이들 두 部類의 要素는 바로 本島의 地下水賦存과 그 產狀을 決定해 주는 主因子이다. (그렇다면 本島의 地下水는 어떤 過程과 經路를 따라 地下로 流下하여 產出되고 있는가?)

本島의 主根源은 前述한 바와 같이 降水로서 地表로 流出 또는 蒸發되는 一部를 除外(약 60%)하고는 重力에 의해 透水性의 二次龜裂을 통해 地下로 삼투(約 40%)된다. 이들은 連續性의 二次龜裂을 따라 流下하다가 下部에 發達한 不透水層인 緻密質岩石이나 粘土層에 이르러 더 이상의 垂直降下를 방해받게 되어 賦存되는 所謂 宙水를 形成한다. 이들 宙水는 不透水層이 끝나거나 二次龜裂이 열려진 곳을 따라 또 다른 不透水層을 만날 때까지 流下하여 여러 개의 perched aquifer를 形成하며 또한 不透水層의 勾配를 따라 徐徐히 흘러 地表로 湧出하게 되어 下位湧出水를 形成한다. 本島에는 이러한 宙水形態의 湧出水가 高地帶에 散在되어 있는데 영실, 어승생, 구구곡,

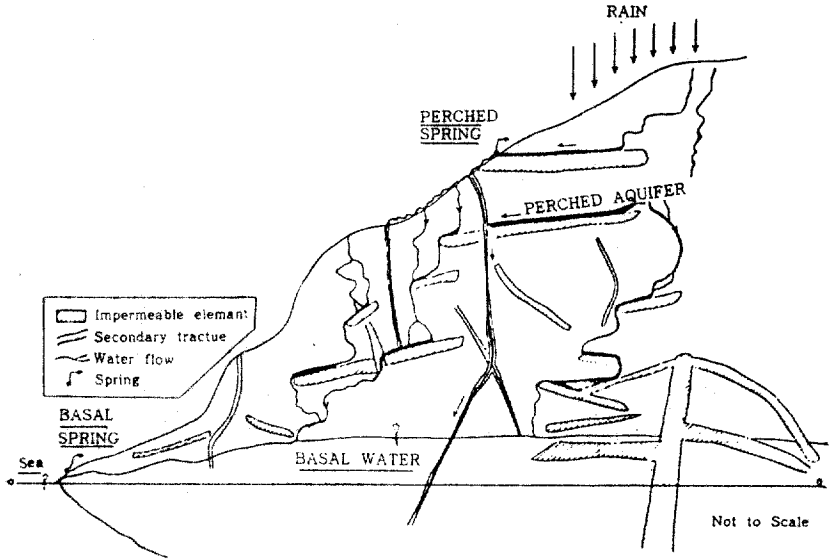


圖 3. Simplified Sketch Showing Groundwater Movement in CheJu volcanic island

돈내코 등이 좋은 예이다. 反面에 降水가 地下로 새투하는 過程에서 不透水層에 의해 遮斷되지 않고 그대로 基底로 流入되어 바다와 接하여 海岸邊에서는 海岸湧出水로 섬 下部에서는 렌즈의 상태로 賦存되는 所謂 基底地下水가 있다. 圖 3. 은 宙水와 基底地下水와의 產出狀態를 모식한 그림이다.

基底地下水는 地下로 流入된 淡水와 바닷물과의 比重의 差로(1 : 1.025) 淡水體가 淡水體 下部에 렌즈(Lens)의 形態로 떠있는 상태로 이를 Ghyben-Hertzberg lens라 부르는데 臨海地域에서의 地下水賦存상태는 Ghyben-Hertzberg 原理로서 說明될 수 있다.

圖 4. 는 Ghyben-Hertzberg 原理를 나타내주는 그림으로

이 그림에서 A점이 받는 水壓을 P_A 라 하면

$$p_A = \rho_s \cdot g \cdot H \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

단 $P_A = A$ 點이 받는 水壓

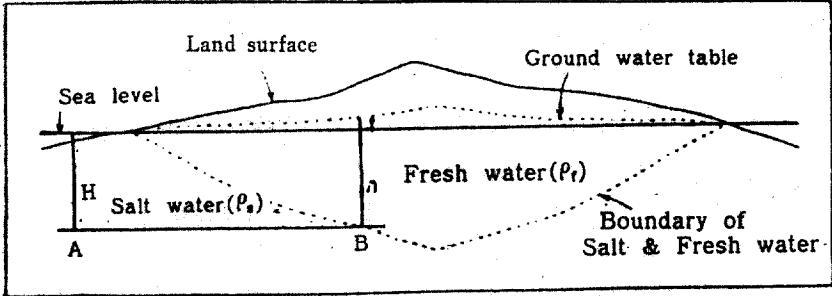


圖 4. Diagram of Ghyben-Hertzberg Relation between Fresh and Saline Water.

ρ_s = 海水의 比重

g = 重力加速度

H = 海水의 두께

같은 方法으로 B點이 받는 水壓은

$$P_B = \rho_f \cdot g \cdot (h + t) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

단 P_B = B點이 받는 水壓

ρ_f = 淡水의 比重

t = 海水面 上部에 떠있는 淡水層의 두께

h = 海水面 下部에 잠겨있는 淡水層의 두께

그러나 A點과 B點이 平均을 유지하기 爲해서는 $P_A = P_B$ 이어야 하므로 ①

과 ②로부터

$$P_A = P_B$$

즉, $\rho_s \cdot g \cdot H = \rho_f \cdot g \cdot (h + t)$

$$\rho_s \cdot H = \rho_f (h + t) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

그런데 실제로 그림에서 $h = H$ 이고 $\rho_s = 1.025$, $\rho_f = 1.000$ 인 고로

$$(1.025 - 1)H = t$$

$$\therefore H = 40t$$

즉 Ghyben-Hertzberg 原理란 海水 위에 淡水層이 떠있어 基底地下水를 形

成하고 있는 경우에 海水準面 下部의 렌즈의 두께는 海水準面 上部 두께의 40배가 된다는 理論이다. 이러한 原則이 成立되기 爲하여는

- 1) 地下水面은 平均海面 下部에 位置하고,
- 2) 海岸의 모든 岩石은 均質한 透水性 物質로 構成되어야 하며,
- 3) 地下水는 海岸쪽으로 流動하여야 한다.

一般的으로 Ghyben-Hertzberg 原理는 海水가 安定狀態에 있다는 것을 假定하나 실제로 海水面은 干滿의 差(本 島는 約 1~3m) 등으로 安定狀態에 있지 않으며 繼續인 流動狀態를 이루고 있어 本 島의 경우 약간의 動的 平均을 유지하는 것으로 생각되며 淡水와 海水가 接하는 곳에서는 어떤 幅을 갖는 混合部分인 漸移帶를 形成한다. 이러한 漸移帶는 干滿의 差, 淡水의 流入 및 其他 揚水에 依한 地下水位의 變化에 따라 擴散된다. 實際로 既存 地下水 開發孔이나 既存湧出水의 水位變化는 海岸邊에 가까울수록 海水 干滿의 差에 민감하여 海岸中心部로 갈수록 둔화된다.

以上에서 論述한 바와 같이 本 島에는 두가지 形態의 地下水가 賦存되고 있는데 基底地下水는 島 全域에 廣範圍하게 分布하며 地下水位變動도 아주 미약하며 包藏量도 풍부한 反面에 上位地下水는 一部 地域에 局限되어 地下水位는 계절에 따라 매우 可變의이며 水量도 풍부하지 않음이 特徵이다. 上位地下水의 賦存地域으로는 플라이오세에 傾動沈降時 堆積된 西歸浦層과 降起作用 以後의 陸成堆積層인 城山層 및 플라이스트세에 堆積된 新場里層 (Kim, 1970)이 分布하는 西歸地域, 南元西部地域 및 濟州地域의 중산간 一部地域에 국한되어 賦存된다.

4. 地下水의 地化學的 循環

本 島 地下水의 主 根源인 降水는 重力에 依해 地下로 침투하여 水理地質學的인 통로를 통하여 上下부에 地下水賦存體를 形成하고 이동과 배출의 水文學的 순환과정을 반복하면서 “물균형”(Water balance)을 이루고 있다.

또한 이들은 岩石과 토양의 내부에 存在하면서 이들 母岩의 構成鑛物과 反應하여 시간이 경과됨에 따라 처음과는 다른 양상의 水質로 變化된다. 自

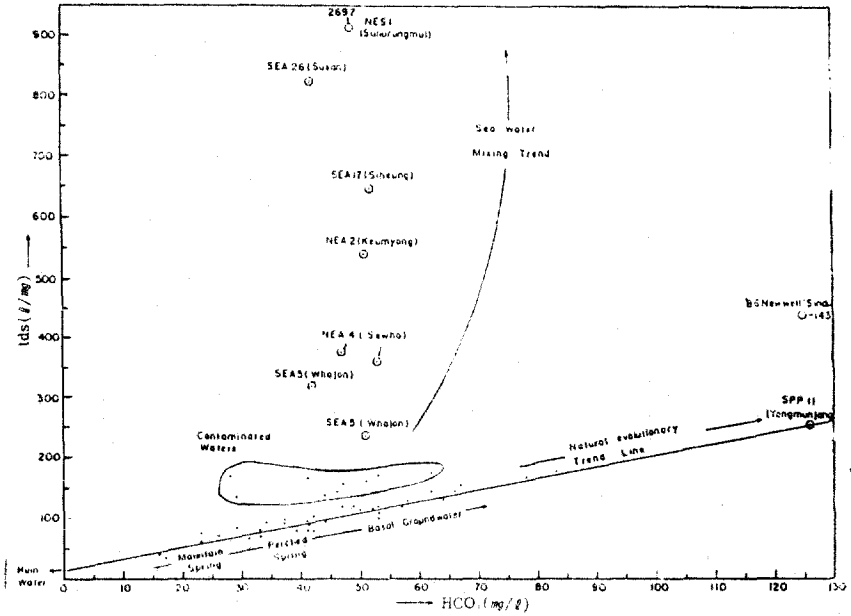


圖 5. Graph of total determined solids(tds) against bicarbonate concentration showing evolutionary and mixing trends, mg/l.

然의 地下水는 Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} 의 양이온과 Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- 및 CO_3^{--} 의 음이온이 절대적 비중을 차지한다. 따라서 보통의 地下水는 이들 주성분 이외의 성분들을 극히 미량으로 포함고 있으며 이들 주요 성분의 함량비에 의하여 水質特性이 決定되어 진다.

本島 地下水循環過程의 自然的인 進化과정을 고찰케 해주는 그림 5는 t.d.s(total determined solids: The sum of all ionic constituents measured) 와 HCO_3^- 와의 상관관계를 잘 나타내주는 그래프로서 강수로부터 自然的의 地下水로의 진화순서가 일직선상에 놓여 있음을 잘 나타내 주고 있다. 즉 自然的의 地下水가 宙水와 基底地下水를 形成하는 과정이 시간이 경과됨에 따라 HCO_3^- 와 t.d.s가 증가되면서 어떤 직선상의 진화경향을 나타내 주고 있는 반면에 그림에서와 같이 직선 밖의 또다른 하나의 group과 HCO_3^- 함유량이

40ppm에서 50ppm의 범위에서 t.d.s값이 200ppm 이상을 갖는 수직상의 선상에 놓인 또다른 group으로의 分類가 可能하다. 직선밖의 group에 속하는 地下水는 1단계 오염을 나타내고 있는 地下水이며 수직선상에 놓인 것은 분명히 海水가 侵入되었음을 보여주는 地下水群이라 할 수 있어 Natural evolution trend line과는 분명히 구별되고 있음을 보여준다.

해발 800ML에 위치하는 CIS2 어리목 용출수는 上位湧出水로서 地下水의 基本的인 溶解 Pattern을 보여주고 있다.

이러한 형태는 물이 岩石과 접촉하고 있는 시간에 따라 TDS(Total Dissolved Solids)와 EC(Electrical Conductivity)값의 변화정도를 암시 해주고 있는 대표적인 용출수이다. 그러므로 上位地下水는 시간적으로 보아 "younger"하면서 EC와 TDS값을 低地帶의 基底地下水와 비교해 보면 낮은 값을 갖는다.

현재까지의 조사자료를 종합 분석해서 本島 地下水의 EC와 t.d.s 값을 그 類型에 따라 6群으로 하여 分類하면 Table 1과 같다. 本表는 現場에서 EC 값을 측정된 후 채취된 地下水가 어느 群에 속할 것인가를 가장 빨리 판단할 수 있는 좋은 分類表가 된다.

일반적으로 EC, TDS, t.d.s, Na, Cl과 So_4 등의 값이 높으면 海水侵入의 可能性을 나타내 주고 있으나 Mg와 Ca의 이온當量比에서 이를 쉽게 認知할 수 있다. 보통은 Ca가 Mg의 두 배 비율임에 反해 이들 관계가 反轉되고 있으면 쉽게 海水侵入 關係임을 알 수 있다.

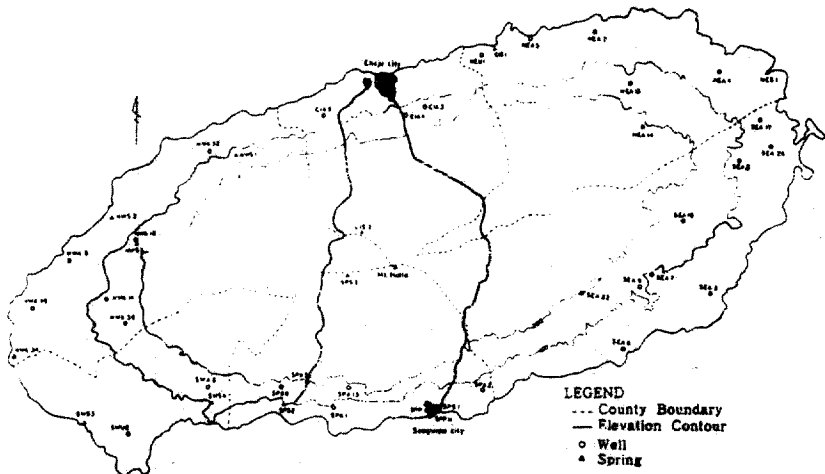
Table 1 t.d.s. Distribution

Water source	t.d.s. limit (ppm)	EC ($\mu s/cm$)	t.d.s. Average	EC
Mountain springs	< 60	<100	45	75
Perched waters	<100	<160	75	120
Natural springs	<100	<160	90	150
Natural wells	<140	<225	110	175
Contaminated wells	<180	<300	170	275
Seawater intrusion	<300	<450	600	1000

一般的으로 地下水가 汚染되어가는 과정은 Natural→Contaminate(제 1 단계)→Pollute(제 2 단계) 등의 2단계로 설명되고 있는데 보통 성분중에 NO₃는 Contamination 정도를 나타내주고 K와 SO₄는 Pollution의 정도를 제시해 준다. 全體 試料의 分析結果를 보면 本島 地下水의 NO₃값이 >2ppm의 범위에 있어 一般的으로 low level background contamination 단계에 들어 있음을 알 수 있다.

5. 地下水의 水質

現在까지 本島에는 정부 주도하에 開發한 地下水管井이 約 260개소 이상이 개발 이용되고 있으며 그의 私設管井까지 합치면 全島를 通해 約 500여 개소 이상의 地下水開發孔이 設置되어 있을 것으로 推定된다. 이들중 水質分析을 爲해 高地帶의 上位地下水와 基底地下水를 對象으로 하여 地下水管井 34개소 湧出水 11개소 등 45개소에서 試料를 採取하여 一般的인 地下水特性을 알기 위한 8가지의 化學分析을 遂行하였으며 또한 ICP(Inductively Coupled Plasma : 유도결합분산분석)에 의거 地下水管井 4개소 湧出水 3개



■ 6. Location map of representing wells and springs of Cheju area for water analyses.

Table 2. Characteristics of Cheju water quality (Groundwater and Spring) unit: ppm, () : estimated

Ref. No.	Name	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SiO ₂	t.d.s.	TDS (tds ÷ 0.62)	EC (tds ÷ 0.62)	pH
CIA 3	Whang Sae At	2.6	13.5	9.3	5.5	18.0	0	48	0.5	21	118	182	190	7.7
CIA 4	A ra	2.7	19.5	15.5	10.0	32	0	46	1.4	17	144	258	232	7.4
CIA 9	Do du	3.5	13	7.1	6.3	17.5	0	57	0.5	16.5	121	139	195	7.1
NWA 5	Wol reung	4.3	20	8.3	8.2	31	1.3	44	0.6	19	137	203	221	7.2
NWA 14	Jeuji	5.1	18	6.5	4.9	17.5	1.8	58	0.5	16	128	143	206	7.6
NWA 18	Dongmyung	3.0	11	5.5	5.4	16.5	Tr	41	<0.5	14.5	97	120	156	6.6
NWA 34	Ko san	4.5	26	12	13.0	43	1.7	53	0.9	17	171	260	276	7.1
NWA 36	Myungeedong	2.8	12	3.6	<0.5	14	1.4	(23)	<<0.5	17	(74)	94	119	7.4
NWA 49	Yongsoo	5.2	22	14.5	4.5	26	1.1	78	0.5	14	166	157	268	7.7
NWA 52	Ha ga	3.1	8.5	4.7	4.0	12	0	44	0.5	19	96	100	155	7.8
SWA 8	Gamsan	3.9	16	9.2	5.1	20	Tr	(67)	<<0.5	32	(154)	133	248	7.5
SPA 1	Wolpyung	2.6	11	19	1.2	18	N.D	(66)	<<0.5	29	(147)	130	238	7.4
SPA 2	Sinhyo	6.3	18.5	17.5	11	33	0	29	1.8	16	133	315	215	7.0
SPA 5	Hoesu	3.4	8.9	4.9	5.3	8	N.D	52	<<0.5	32	115	73	185	7.2
SPA 6	Sakdal	1.6	11	8.1	4.7	1.5	N.D	(53)	<<0.5	13	107	112	172	7.3
SPA 13	Yongheung	2.0	5.3	2.8	2.1	7.2	Tr	(23)	<<0.5	18	(61)	48	98	7.8
SPP 10	Midojang	2.7	9	6.9	3.7	14	1.4	41	0	10	89	126	144	7.2
SPP 11	Yongmunjang	6.0	34	16	11	40	7.6	126	0	10	251	263	405	7.6
SEA 3	Pyosun	3.3	14.5	5.7	11.5	28	5.4	62	0.5	14.5	145	138	234	7.6
SEA 5	Whajeon	3.8	30	4.9	8.9	50	2.1	42	0	17	317	201	511	7.2
SEA 6	Taeheung	4.2	30	12.5	11.5	59	1.3	28	0.7	15.5	167	267	269	6.9
SEA 7	Gasi	2.4	8	4.9	4.4	11	0	(42)	0.5	7.3	81	86	131	7.7

Ref. No.	Name	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SiO ₂	tds	TDS	EC (tds ÷ 0.62)	pH
SEA 9	Tosan	2.4	7.4	4.7	7.8	9	1.4	39	0.5	13.5	82	82	132	7.7
SEA 10	Sungup	3.3	9.4	5.8	3.8	9.2	0	53	0.5	14.5	100	97	161	7.5
SEA 17	Siheung	9.8	154	20	33	297	49	52	<0.5>	30	645	688	1,040	7.1
SEA 22	Sumang	3.2	9.8	6.1	4.9	16	0	37	0.5	18	99	124	160	7.4
SEA 26	Susan	13.5	255	17	38	431	11.5	42	0	16.5	824	1,103	1,329	7.2
NEA 2	Keumyong	9.5	137	14	24	253	43	51	0.5	9.5	541	577	873	7.6
NEA 4	Sewha	7	82	13	18	159	24	53	0.5	16	358	417	577	7.7
NEA 5	Hamdeug	5.7	16.2	15	8.6	29	5.9	83	0.5	12.5	176	179	284	7.3
NEA 13	Dugchun	2.7	8.4	2.6	3.1	9.6	Tr	41	<0.5>	14.5	82	95	133	7.6
NEA 14	Songdang	3.2	10	4.3	3.7	16	0.6	29	0.5	15	82	100	132	7.6
NEU 1	Sinchon	2.9	11	5.2	5.3	14	0.7	(51)	<<0.5>	20	(111)	96	178	7.3
SWU 2	Sage	5.2	16	9.6	2.9	17	Tr	(64)	<<0.5>	14.5	(130)	99	209	7.7
CIS 1	Samyang	3.0	7.5	2.4	4.1	12	Tr	33	<0.5>	15.5	78	98	126	6.8
CIS 2	Eorimok	0.9	3.7	1.5	1.5	6.1	1.1	16	<0.5>	10.5	42	49	68	7.5
NWS 1	Jangsumul	2.6	13	9.3	6.1	28	2.2	(47)	0	(10)	118	179	191	7.3
NWS 2	Hanlimchun	4.4	13.5	4.9	6.3	17	Tr	53	<0.5>	19	119	132	192	7.3
NWS 3	Dongmyung	3.6	19	2.5	17	43	0.7	41	1.5	15	166	381	268	6.5
SWS 3	Sulim	3.4	11.5	4.6	4.3	18	Tr	34	1.2	16	93	129	150	7.3
SWS 4	Andug	19.5	27	24	11.5	55	1.0	31	2.1	14.5	186	427	299	6.8
SPS 1	Sugwi Hanil Hotel	2.2	6.4	3.9	2.7	12	Tr	26	<0.5>	15	69	102	111	6.7
SPS 2	Chunjeoyen	2.2	10.5	7.4	4.9	16	Tr	37	<0.5>	13	92	139	148	6.8
SPS 3	Yongsil	0.9	3.5	1.5	1.1	6.6	Tr	17	<0.5>	6	37	40	60	7.5
NES 1	SunultungumI	41	796	43	109	1,400	249	(49)	<0.5>	9.5	2,697	2,881	4,350	6.9

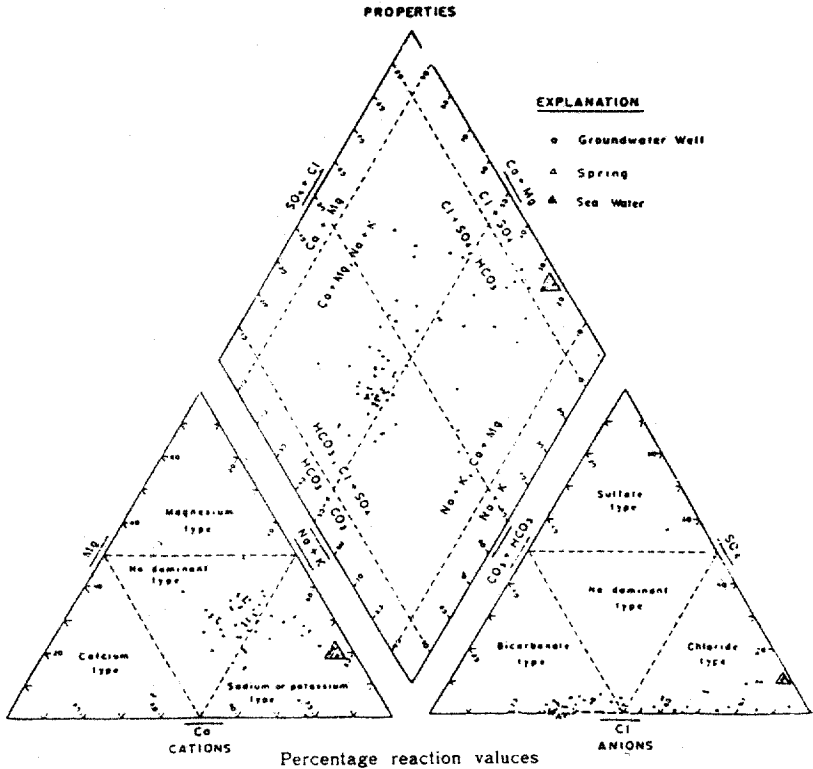


圖 7. Trilinear diagram for representing analyses of Cheju water quality (1984~1987).

소 등 7개소의 시료에 對한 미량분석도 실시하였다. (그림 6 참조)

採取된 試料의 化學分析結果 (Table 2. 참조)에 따라 각 이온의 농도를 epm (equivalent per million)으로 환산하여 그림 7과 같이 Piper의 trilinear diagram을 작도하였다.

이 그림에서와 같이 양이온에서는 中央部에 同質性의 主群이 形成되고 있는 단순한 관계를 보여주고 있는 반면 음이온도에서는 우측 끝 부분에 몇개의 Chloride 값이 높은 것 (해수침입을 의미함)을 제외하고는 Sulfate type은

Table 3. Trace elements in Cheju groundwater unit : ppm

Ref. No.	Name	Fe	Li	Mn	P	S	Sr	F	Rock type
SPA 2	Sinhyo	0.038	0.0063	0.0009	0.092	1.03	0.065	N.D	Basalt
SEA 17	Siheung	0.033	0.0075	<0.0001	0.085	12.74	0.166	N.D	
SPA 5	Hoesu	0.038	0.0075	<0.0001	0.059	0.38	0.015	N.D	
NWA 14	Jeuji	0.041	0.0088	<0.0001	0.08	1.51	0.03	N.D	
CIS 2	Forimok	0.047	0.075	<0.0001	0.081	0.29	0.003	N.D	
SWS 4	Andug	0.019	0.0088	<0.0001	0.045	2.16	0.226	N.D	
NES 1	Sunulungmul	0.03	0.076	<0.0001	0.076	88.1	0.729	N.D	
*TUS 21	Primary school	0.009	0.0067	0.002	0.21	7.52	0.078	0.3	Andesite
**IGA 2	Igsan well	0.057	0.01	—	0.037	0.52	0.074	tr	Granite
—	Normal groundwater	<0.5	<0.1	<0.2	<0.1	<15	<10	<2	

* Data from Taegu area

** Data from Igsan area

전혀 형성하고 있지 않는다. 본 그림에서 보면 Chloride와 HCO₃의 化學的 當量濃度比率이 거의 같기 때문에 대부분의 점들이 中央을 向해 놓이고 있음을 보여준다. 中央의 다이아몬드 형태에서의 물의 집합점은 주로 中央部에 밀집되어 HCO₃+CO₃(Bicarbonate type)가 우세한 水質組成을 보여주고 있다. 동시에 해수가 혼합된 집합점을 향해 꼬리를 형성하는 몇 개의 종속적인 Group이 나타나기도 하면서 本島 地下水水質의 特性을 보여준다. 試料中 NES 1 서누렁물, NEA 4 세화, NEA 2 김녕, SEA 26, 수산, SEA 17 시흥 地域 等 동부해안변에 위치한 지역은 해수침입의 흔적이 뚜렷하다. 또한 남부의 SPA 2 신호와 SWS 4 안덕 용출수는 국부적으로 汚染되고 있음을 보여준다.

前述한 7개소에 對한 미량원소 분석 결과 Table 3에서와 같이 각 성분함량을 비교해 보면 NES 1 서누렁물과 SEA 17의 시흥의 함량비가 他 試料에서 보다 높은 값을 보여준다. 참고로 같은 시기에 연구된 大邱와 益山地域에서의 미량원소에 대한 분석치를 표 3에서 비교 하면 各 地域의 미량원소 함유량은 보통의 地下水에서 보다 낮으며 단지 前述한 SEA 17과 NES 1에서 S와 Sr. 成分이 他 地域에서 보다 높게 나타나고 있으나 이는 海水의 混

습에서 起因된 것으로 보이며 全體 岩石의 유형에서 볼 때 보통의 地下水와 구별될 만한 量을 갖고 있지 않고 오히려 극미량의 원소함량을 갖고 있어 本島 地下水의 水質特性을 지배하는 데 큰 要因으로 作用하지 않고 있음을 알 수 있다.

Ⅲ. 結 言

一般的으로 地下水의 汚染여부를 판별해 주는 가장 좋은 因子 K, NO₃와 SO₄의 농축양에 따라 지배되고 있는데 특히 本島에서는 Mg와 Ca의 比率이 海水侵入 여부를 판별할 수 있는 가장 중요한 要因임을 알았으며 뒤 要因을 적용하여 해수침입과 폐기물에 의한 오염을 가려낸 결과 NEA 2 김녕을 포함한 5개 지역에서 해수침입을 確認하였는데 이들 지역은 本島 타원형의 長軸部인 우측인 동부쪽에 밀집되어 있음을 보여주고 있어 이는 本島 生成過程을 침강운동에 의해 동쪽방향이 우세한 경동(tilted)침강이 일어났다고 주장하는 일부 학설을 입증해 준다고 사료된다. 또한 이 地域 地下水의 EC 값은 500~4,300 μ s/cm 높은 값을 보여주고 있어 他 地域의 <140 μ s/cm와 비교해 보면 아주 높은 값으로 生活用水로서의 活用に 주의가 요망되는 地域이기도 하다.

또한 分析된 試料를 ion balance에 따라 圖式化해 본 結果 本島 地下水는 Bicarbonate type에 屬한 것이 우세하며 이는 흔히 地表水나 自由面地下水에서 나타나는 水質組成을 발여 주고 있어 本島 地下水는 充填(recharge)과 排出(discharge)의 循環歷史(History of groundwater cycle)가 극히 짧다는 것을 暗示해 준다.

이는 地下水의 地下通路 역할을 하는 lava tube, lava tunnel과 같은 마치 파이프와 같이 地下水의 透수를 급격히 촉진해 주는 媒質을 통해 빠른 속도로 순환되고 있음을 입증해 준다.

또한 地下水의 自然進化過程을 고찰해 볼 때 本島의 地下水는 단순한 火山島에서 볼 수 있는 단순풍화과정에서 起因된 물의 특징을 보여 주고 있

며 일부지역의 해수침입을 제외하고는 어떤 심각한 水理地化學的인 과정하에서의 地下水特性을 보여주지 않는 것이 또한 特性이다. 즉 鑛物質의 充填이나 이온交換(ion-exchange) 溶解沈澱(solution precipitation) 산화-환원(redox processes) 등과 같은 현상이 전혀 없음을 結論的으로 記述한다.

參 考 文 獻

- Todd, D.K. 1980. Groundwater Hydrology, Second edition.
Eckstein, Y. 1969. Hydrogeology of a volcanic Island Chejudo, Korea.
Nahm, G.Y. 1966. Geology and Groundwater Resources of volcanic Island, Chejudo.
Ecker, A. 1984. Cheju Island Water Potential Study.
Yoon, S.K., Kim, W.Y. 1984. Geothermal Study on Cheju Island.
ADC Annual groundwater development report, 1972 to 1986.
Choi, S.H. 1985 to 1986. Hydrogeological Study of Cheju Island, Research on Applied Geology of Korea.
Walton, N.R.G. 1987. Hydrogeochemical mission report on Cheju Island.