

同位元素를 利用한 濟州地域 水資源에 關한 研究 (Ⅲ)

유장걸·정창조·안종성·송성준

Environmental Isotope-Aided Studies on Water Resources
in the Region of Cheju (Ⅲ)

*Zang-Kual U., Chang-Cho Choung,
Jong-Sung An,* and Sung-Jun Song*

Summary

The salt contents and electrical conductivity of ground waters as well as spring waters in the areas of Songsan and Kujwa were much higher than those of Cheju-shi area : 5-10 times in salt content and 30-60 times in electrical conductivity. Since the chloride contents of ground waters in these areas were higher than 150 ppm, ground waters proved not to be suitable for drinking purpose but adequate for agricultural irrigation.

The fact that there were significant correlation among the salt (Na, Cl) contents, electrical conductivities and oxygen-18 contents, indicates the ground waters close to the coastline were affected by sea water. The high ratio of Cl and $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ in those ground waters also provides the evidence of sea water intrusion.

Considering that the salt concentrations of ground waters were much diluted by heavy rain fall, the catchment basin seemed to be small and the mixing process might occur rapidly.

Additional survey on the existing boreholes in Udo Island area showed that the ground waters were not adequate for drinking but could be used for the irrigation purpose.

* 한국에너지 연구소

序 論

濟州道는 火山熔岩으로 構成된 特殊上層 構造로 되어 있어서 韓國 最大의 降雨量을 가지면서도 用水의 不足을 면치 못하고 있다. 熔岩孔隙으로 降水의 대부분이 流失되거나, 地下로 침투되어 河川의 대부분은 乾川이며 道内 水源으로는 一部の 地表水와 湧泉水, 地下水 以外的은 기대하기 어렵다.¹⁾ 이와 같은 水資源의 問題는 濟州地域 産業發展에 큰 制限要因이 되고 있어서 水資源의 開發과 確保는 濟州道 開發의 基本課題로 되어 있다. 1970년부터 濟州道는 水資源開發을 위하여 地下水開發을 始作한 이래 1984年末 現在 206개소의 地下水用 管井을 掘鑿하여 1日 470,000%의 地下水를 供給하고 있다.²⁾ 濟州道の 用水量은 人口增加, 觀光開發 및 農水産業의 發達로 인하여 매년 增加되고 있으며, 限定된 地下水의 保護와 이의 적절한 活用을 위한 對策이 시급하다.

특히 地下水源의 過多利用으로 海水의 浸透에 따른 地下水 荒廢化는 島嶼지방에서 흔히 問題가 되는데, 濟州地域의 地下水 保護를 위해서는 이와 關聯된 基礎 調查研究가 절실하다.

우선, 濟州道の 地質을 보면 濟州道 地域의 岩石은 鑛物과 岩石 組織에 따라 Picrite 玄武岩, 감람석을 함유한 玄武岩, 비정질玄武岩, 감람석安山岩, 비정질安山岩, Trachyte質 安山岩 및 Trachyte로 分類할 수 있다. 海岸線을 따라 一部の 모래와 礫 및 火山灰로 구성된 堆積岩層이 分布되어 있으나 그 規模와 分布面積은 그리 넓지가 않다. 성읍리 부근에 分布된 Picrite 玄武岩内の 節理는 매우 不規則의이고 一般的으로 비정질 火山岩은 節理의 發達狀態가 不良하다.³⁾

한편, 濟州地域 岩盤內에 包含된 深部地下水의 產出狀態는 ① 節理나 裂隙과 같은 小構造帶內에 包含된 地下水, ② 熔岩뎀넬과 熔岩 lava와 같은 洞孔型, ③ 透水性 火山碎

屑層을 수반하고 있는 2개의 熔岩層의 接觸面에 포함된 地下水로 구분된다. 또한 濟州의 地下水는 他火山岩 分布地域과 同一하게 上位 地下水和 基底地下水로 區分된다.

上位地下水는 基底地下水 上層에 帶水層을 이루고 있으며 基底地下水는 淡水가 水理學的으로 軟水와 直接 접촉해 있는 帶水層內에 있는 深層地下水이므로 多量의 用水로 開發할 수 있다. 일반적으로 濟州地域의 水文循環은 降水에 의해 地上으로 내린 물이 節理, 熔岩孔隙 및 岩石 接觸面과 같은 二次有效孔隙을 따라 地下로 浸透되며, 이들은 계속 깊은 곳으로 浸透되어 基底地下水를 이룬다.¹⁾

濟州道에는 UNDP 事業으로 1969年 이후 120개소의 試驗井과 30개소의 揚水井을 設置하였는데, 平均 116m의 깊이와 一日 平均 產出量은 1,300%에 이르는 매우 良好한 深井을 開發한 바 있다.

또한, 1973年 이후 農業振興公社에 의해 20개의 揚水井을 設置하여 試驗을 시행한 바 平均 深度 116m에서 一日 平均 1,176%의 深層地下水를 開發한 바 있다. 이들 외에도 많은 深井을 開發하여 生活用水 및 農業用水로 利用하고 있다. 地下水開發의 問題點을 보면 基底地下水는 앞으로 濟州道 用水開發에 가장 필연적이고 潛在的인 用水源인데 현재 濟州道の 海岸을 따라 상당수의 深井을 開發하여 基底地下水를 採水하고 있으며 現在도 深井을 開發하고 있는 중인 바 그 중 일부의 深井은 海岸線에 너무 隣接해서 掘鑿을 했으므로 多量의 揚水로 인하여 淡水帶內로 鹽水가 侵入될 우려가 있다.⁴⁾

그러므로 基底地下水 開發 이전에 가장 시급하게 시행해야 할 問題는 鹽水가 淡水帶內로 侵入되지 않는 범위내에서 深層地下水를 開發할 수 있는 綜合的인 地下水 資源調查를 하기 위하여는 ① 海岸地域의 地下水 採取로 인한 淡水와 鹽水와의 水理的인 關係가 究明되어야 하고, ② 降水와 地表水도 地下水資源

과 相互 관련시킨 調査研究를 環境同位元素를 利用 遂行되어야 할 것이다.

本 研究는 濟州道 地下水資源의 長期的인 保護와 安定된 利用을 위한 繼續研究 事業의 일환으로 濟州道 地下水중 염분함량이 가장 높은 곳으로 알려진 城山·舊左地域의 地下水, 海水 及 湧泉水의 水質을 季節別로 調査하고 環境同位元素인 Tritium, Deuterium, Oxygen-18을 分析하여 本地域의 地下水 鹽水化 현상에 대한 원인을 糾明하였다.

또, 城山 근처에 位置하고 있는 地下水質이 좋지 않은 것으로 잘 알려진 우도지역의 지하수에 대한 基礎調査를 8월에 추가해서 수행하였다.

本 論

재료 및 방법

1. 試料採取

城山 及 舊左 地域의 試料는 海水(G8, G14), 湧泉水(G7, G13)와 地下水(G1, G2, G3, G4, G5, G6, G9, G10, G11, G15)로 區分하여 3, 5, 8, 10월에 採水하였다. 但, G10과 G12는 8월부터 양수를 중지하였기 때문에 試料採取가 불가능하였으며, 그래서 새로 掘鑿된 G15를 추가하여 비교했다.

또한 우도지역의 지하수(U1, U2), 연못물(U3) 及 海水(U4)를 8월에 각각 化學分析用 1ℓ와 환경동위원소 測定用 2ℓ씩 採取하였다. (Table 1, 2, Figure 1 參照).

2. 環境同位元素 測定

1) 試料의 前 處理

降水를 除外한 모든 물 試料는 蒸溜하여 鹽을 除去한 후 600g을 取하고 電氣分解로 濃縮하는 동안에 電極의 腐蝕을 防止하기 위하여 0.67%의 Sodium Peroxide를 加하여

Alkali로 되게 하였다.⁵⁾

2) Tritium 濃縮

前處理된 試料는 電氣分解槽를 利用하여 20g까지 濃縮하였다. 試料를 電氣分解할 때는 -1~0℃로 유지하여 Tritium의 蒸發을 防止하였고 結氷을 방지하기 위하여 冷凍槽內에 10% ethylene glycol를 加하였다. 또 最初 電流는 120 mA cm⁻²의 電流密度가 되도록 調整하였고 전기분해가 進行됨에 따라 200 mA cm⁻²를 초과하지 않게 調整하였다.

濃縮時間은 約 210時間이 所要되었으며 Tritium 함량을 이미 알고 있는 2개의 Tritiated water를 다른 試料와 同一하게 처리하여 濃縮係數를 計算하였다.

試料의 濃縮이 完了된 후 試料內 Sodium hydroxide의 濃도가 約 20% 정도이므로 CO₂ gas를 注入시켜 Sodium Carbonate로 만든 다음 乾燥될 때까지 蒸溜하여 蒸溜 濃縮된 液體를 Tritium 測定試料로 하였다.

3) Tritium 計測^{6,7)}

Tritium 濃縮 及 蒸溜가 完了된 試料를 計測容器에 10ml를 取하고 여기에 Instagel 10ml를 加하였다. 試料中의 閃光 混合物은 1個月 以上 安定性이 유지되도록 했다. 計測容器는 閃光混合物에 의해 浸透되거나 化學反應이 일어나지 않으며 計測效率(E)이 높고 Background가 낮은 閃光混合物과 함께 Tritium을 測定하여 E²/B 값이 큰 Teflon 計測容器를 使用하였다.

Background用 Tritium free water는 호주 原子力研究所(AAEC)에서 分讓받아 使用하였다. Tritium 試料는 액체섬광계수기(Packard model 3255)로 計測하였다. 이 때, 기기의 Discriminator는 45-600, Amplification은 100%, 그리고 Sample changer內의 溫度를 8℃로 調整하였고, 每試料마다 20分씩 25회 반복 計測하고 TU(Tritium Unit: 1TU= 3.24 × 10⁻³ PCig⁻¹)로 환산하였다.⁸⁾ Tritium

Table 1. Specifications of sampling sites in Kujwa and Songsan areas.

Sample No.	Location	Description	Distance from sea (km)	Depth (m)
G1	Kujwa-up Handong-ri	Ground water	2.25	70
G2	Kujwa-up Pyongdai-ri	Ground water	2.00	80
G3	Kujwa-up Sehwa-ri	Ground water	1.50	45.5
G4	Kujwa-up Sangdo-ri	Ground water	1.75	50
G5	Kujwa-up Chongdal-ri	Ground water	1.85	35
G6	Kujwa-up Songdang-ri	Ground water	9.50	200
G7	Kujwa-up Hado-ri	Spring water	0	0
G8	Kujwa-up Hado-ri	Sea water	0	0
G9	Songsan-up Sihung-ri	Ground water	1.75	82
G10	Songsan-up Susan-ri	Ground water	5.50	51
G11	Songsan-up Susan-ri	Ground water	2.25	51
G12	Songsan-up Sinyang-ri	Ground water	1	54.5
G13	Songsan-up Ojo-ri	Spring water	0	0
G14	Songsan-up Sinyang-ri	Sea water	0	0
G15	Songsan-up Sinsan-ri	Ground water	4.6	

Table 2. Specifications of sampling sites in Udo areas.

Sample No.	Location	Description	Distance from sea (km)	Depth (m)
U1	Choil-ri	Ground water	1.0	38.5
U2	Choil-ri	Ground water	0.75	38.0
U3	Choil-ri	Pond water	0.40	-
U4	Sogwang-ri	Sea water	-	-

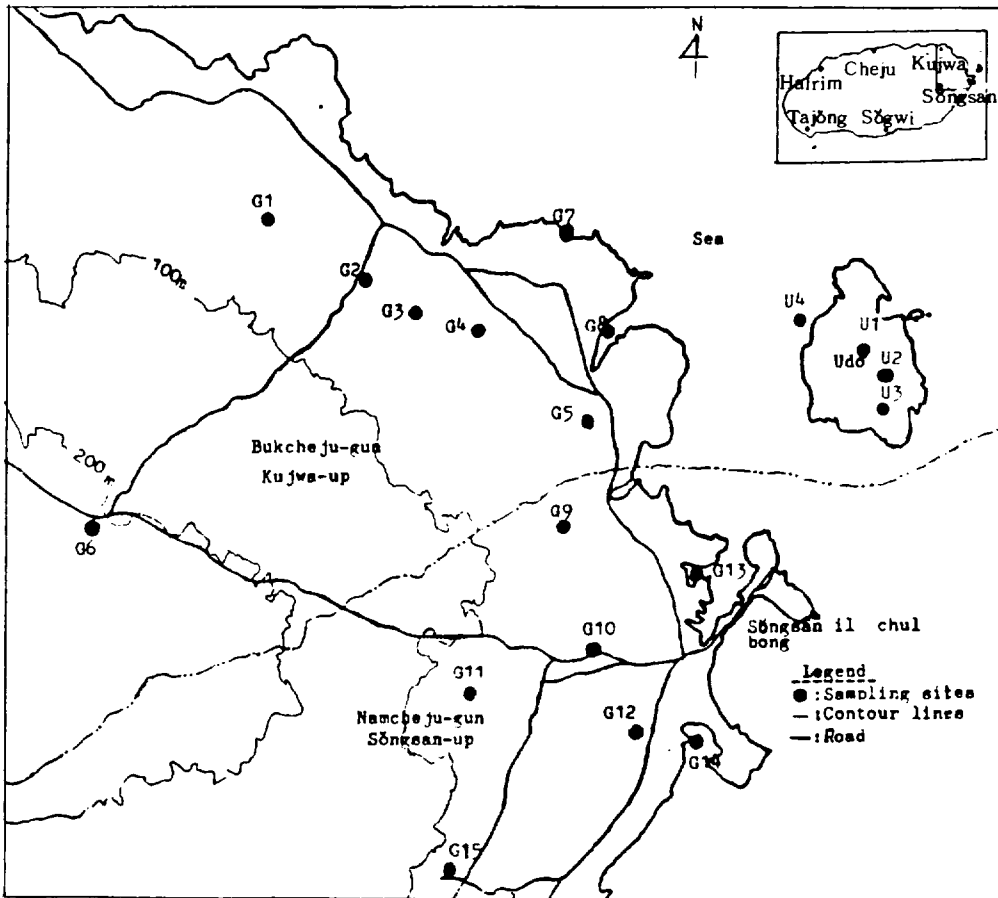


Fig. 1. Location of sampling sites of Kujwa, Songsan and Udo areas.

의單位는 初期 自然表面水中 Tritium 含量이 水素 10^{18} 原子當 約 1 個의 ^3H 原子가 있다는 것이 발견되어 試料中の ^1H 原子 10^{18} 個當 ^3H 原子의 數를 TU로 나타냈다.⁵⁾

나. Deuterium 測定

물試料중 D/H와 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios는 질량분석기를 使用하여 測定하였고⁹⁾ 물試料중 安定同位元素인 Deuterium (per mill)과 Oxygen-18¹⁰⁾ 함량은 다음과 같이 表示하였다.

$$\delta\text{D (per mill)} = \left[\frac{\text{D/H Sample}}{\text{D/H Smow}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta^{18}\text{O (per mill)} = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{ Sample}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) (\text{Smow})} - 1 \right] \times 1000$$

SMOW: Standard Mean Ocean Water (Vienna, IAEA 供給)

다. 理化學的 分析

採取한 試料의 理化學的 分析은 다음과 같이 行하였다.

1) 水溫: 水銀溫度計를 使用하여 試料採取 現場에서 測定하였다.

2) pH: 採取하여 實驗室로 운반후 즉시 Corning pH測定裝置 (Model 5)를 使用 測定하였다.

3) 電氣傳導度는 Conductivity bridge (Y. S. I. Model 31)를 使用 測定하였다.

4) 陽이온 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})은 원자흡광 분광기 (Perkin Elmer, Model 2380)로 測定하였다. 특히, Ca^{2+} , Mg^{2+} 인 경우 화학 간섭을 줄이기 위해 0.25% La_2O_3 용액을 처리하였다.

5) 陰이온 (Cl^- , $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$, SO_4^{2-})인 경우 Cl^- 은 AgNO_3 滴定法, $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 는 0.05 N, H_2SO_4 滴定法, SO_4^{2-} 는 탁도정량 (turbidity method)⁴⁾ 方法으로 測定하였다.

라. 海水, 湧泉水 및 地下水의 化學的 分類

海水, 湧泉水 및 地下水의 分類는 양이온 및 음이온의 ppm (parts per million) 값을

epm (equivalents per million) 단위로 환산한 양이온의 경우는 $\{\text{Ca}^{2+} \text{ or } \text{Mg}^{2+} \text{ or } \text{Na}^+ + \text{K}^+ \text{ or } \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} / \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}\} \times 100$, 음이온의 경우는 $\{\text{Cl}^- \text{ or } \text{SO}_4^{2-} \text{ or } \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- / \text{Cl}^- + \text{CO}_4^{2-} + [\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-]\} \times 100$ 으로 계산해서 Piper의 Tri-linear diagram¹¹⁾ 으로 나타냈다.

마. 地下水内の 海水 汚染 區別

地下水의 海水에 依한 汚染度를 計算하기 위하여 試料中の Cl^- 과 HCO_3^- 의 ppm 값을 epm 단위로 환산한 뒤에 Cl^- 의 epm 값을 HCO_3^- 의 epm 값으로 나누어 얻어진 값을 使用했다. 또 試料中の 총 이온 量을 Milligram equivalent per liter로 計算하고 이들을 陽·陰이온으로 區別해서 陽이온의 경우에는 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} 가 차지하는 分率을, 陰이온의 경우는 Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 가 각각 차지하는 分率을 Graph에 나타냈다.

結果 및 考察

實驗 1. 舊左 및 城山地域

1. 環境同位元素 測定에 의한 水資源 評價

地下水 資源의 研究를 위하여 세계적으로 환경동위원소 (^3H , ^2H , ^{18}O)를 많이 利用하고 있는데 Tritium (^3H)은 地下水의 年代를 추정하거나 Deuterium (^2H)과 Oxygen-18 (^{18}O)과의 상호관계를 利用하여 지하수의 기원, 지표수와 地下水의 상호관계¹²⁾, 또는 鹽水化 현상에 대한 원인 糾明¹³⁾ 등에 利用되어지고 있다.

가) Tritium測定 結果

Tritium은 우주선에 의해서 질소가 核反應을 함으로써 자연계에서 계속적으로 生成되어지고 있으며, 이것은 약 12.43년의 반감기를 갖고 있으므로 自然 소멸되기 때문에 결국 생성과 소멸이 일정한 平衡을 이루게 되는 것이다.

1952年 以前에는 우수중의 Tritium 含量

이 1-10 TU 정도였으나 그 이후 빈번한 核實驗의 結果 빗물과 表面水中의 Tritium 含量은 증가되었고 1954년 3월 Ottawa에서 우수중에 2,937 TU의 含量을 나타낸 일도 있었다.

우리나라의 포항 地域에서 調査된 우수중 Tritium 含量 變化를 보면 1963年度에 약 1,300 TU이었으나¹⁴⁾ 그 以後에는 계속적으로 감소되어서 1983年度 濟州地域에서의 강수중의 Tritium 含量은 13TU 정도이었다.¹⁵⁾

또한, 1986年 4月과 5月에는 Table 3에서 보는 바와 같이 8.7 TU로서 약간 낮은 Tritium 含量을 보였다.

海水 (G8, G14) 중의 Tritium 含量은 Table 4와 같다. 약 3.6-5.7 TU로서 濟州·西歸浦 地域의 4.3-7.9 TU보다^{15) 16)} 약간 낮은 경향을 보이고 있다.

한편, 바닷가에서 분출되는 湧泉水 (G7, G13)인 경우 地下水의 Tritium 含量과 거의 동일한 경향을 나타내고 있다. 송당지역의 관정 (G6)은 地下水 深度가 200m이며, 鹽水の 피해가 전혀 없는 양호한 形態의 深層 地下水를 갖고 있으므로 이를 참고 지역으로 설정하였는데, 이 지하수의 Tritium 含量과 鹽度가 높은 다른 지역 (G1, G2, G3, G4, G5, G9, G10, G12) 地下水의 Tritium 含量을 비교할 때 별다른 차이를 보이지 않았다. 그러나 일반적으로 5월에 採取된 試料의 Tritium 含量이 3월보다 낮게 나타났다. 그리고, 濟州道는 대부분의 강우가 7~8월에 집중하여 내리는 特徵을 가지고 있기 때문에 과연 집중호우에 의해 지하수가 어떠한 영향을 받을 것인가를 調査하기 위하여 150mm 이상의 집중호우가 내린 시일 (7월 16日)부터 1주일, 2주일, 3주일 후에 각 地域에서 試料를 採取하여 Tritium 含量을 測定한 結果는 Table 5와 같다.

化學分析 結果와 電氣傳導度 測定 結果를 보면 (Table 10, 11, 12 參照) 강우 후에는 地下水가 빗물에 의해서 稀釋되어 鹽分の

濃度가 낮아지고 電氣傳導度도 떨어지는 경향을 나타내는데 Tritium 含量은 變化되는 것을 發見할 수 없었다.

이와같은 現象은 빗물과 지하수 사이의 鹽分濃度가 현격한 差異가 있기 때문에 稀釋效果가 測定되지만 빗물과 지하수의 Tritium 含量간에는 커다란 차이가 없어서 稀釋에 따른 含量의 變化가 근소하여 測定될 수 없기 때문인 것으로 생각된다.

나) Deuterium 測定 結果

Table 4에서 보는 바와 같이 海水中の Deuterium 含量은 -2.4~-3.8 per mill로서 濟州市 또는 西歸浦市 地域^{15) 16)} 보다는 약간 높은 含量을 보이고 있다.

그리고 地下水와 湧泉水인 경우 採取 試料간에 별다른 含量 差異를 보이고 있지 않으며 -33~-44 per mill 정도로 濟州市와 西歸浦市 地域 地下水의 Deuterium 含量과 거의 비슷하였다.

대체적으로 3월보다 5월에 採取한 試料의 Deuterium 含量이 약간 높게 보이며 이는 4월과 5월에 내린 강우 (Table 3 참조)가 Deuterium 含量을 높게 한 요인이라 생각된다.

다) Oxygen-18 測定 結果

Table 4에서와 같이 海水中の Oxygen-18 含量은 湧泉水 또는 地下水보다 비교적 含量이 높았고 계절별로 봤을 때 5월이 3월보다 그 含量이 약간 높게 보이고 있으며 3월의 湧泉水 (G13), 5월의 湧泉水 (G7, G13)의 Oxygen-18 함량은 지하수보다 높은 경향을 나타내고 있다. 또한 대체적으로 해수의 汚染이 發生치 않은 것으로 생각되는 참고 지역 송당 管井 (G6)의 地下水의 Oxygen-18 함량은 비교적 낮은 값을 보이나 기타 鹽分이 많은 지하수 또는 湧泉水의 Oxygen-18 함량은 높은 경향을 나타내었다.

일반적으로 地下水의 鹽水化 現象은 ① 증발에 의한 염류의 농축, ② 土壤 또는 地表岩石의 風化로 생긴 鹽類, 地表面에서 증발로

Table 3. Environmental tritium, deuterium and oxygen-18 levels in Cheju rainfall.

Sample No.	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)
Precipitation*	8.67 ± 0.45	-24.10 ± 0.18	-3.16 ± 0.12

* Composite sample of April and May

Table 4. Environmental tritium, deuterium, oxygen-18 levels of water samples from Kujwa and Songsan areas.

Sample No.	March			May		
	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)
G1	14.08 ± 0.49	-38.6 ± 1.70	-6.9 ± 0.20	16.06 ± 0.45	-38.40 ± 1.98	-6.59 ± 0.02
G2	11.16 ± 0.56	-38.5 ± 0.40	-6.9 ± 0.04	14.74 ± 0.51	-38.60 ± 0.69	-6.52 ± 0.03
G3	11.68 ± 0.53	-40.8 ± 0.02	-6.8 ± 0.01	16.97 ± 0.63	-42.40 ± 0.57	-6.48 ± 0.01
G4	10.39 ± 0.61	-38.5 ± 1.70	-6.9 ± 0.01	13.05 ± 0.58	-38.85 ± 0.64	-6.51 ± 0.01
G5	14.26 ± 0.57	-40.5 ± 0.03	-6.8 ± 0.02	17.18 ± 0.54	-39.85 ± 0.63	-6.46 ± 0.03
G6	11.69 ± 0.48	-43.4 ± 0.20	-7.2 ± 0.05	15.11 ± 0.61	-39.60 ± 2.26	-6.72 ± 0.04
G7	10.74 ± 0.59	-40.7 ± 1.70	-6.9 ± 0.04	14.44 ± 0.63	-37.65 ± 0.35	-5.86 ± 0.02
G8	5.74 ± 0.49	-2.40 ± 0.02	-0.2 ± 0.04	3.76 ± 0.49	-3.20 ± 0.99	-0.06 ± 0.03
G9	13.22 ± 0.53	-40.8 ± 0.02	-6.9 ± 0.01	15.49 ± 0.52	-41.20 ± 2.65	-6.40 ± 0.01
G10	13.24 ± 0.53	-44.3 ± 0.80	-7.0 ± 0.03	12.99 ± 0.56	-39.65 ± 1.63	-6.51 ± 0.02
G11	15.11 ± 0.63	-42.4 ± 1.70	-6.9 ± 0.04	15.59 ± 0.53	-39.40 ± 1.56	-6.41 ± 0.01
G12	14.87 ± 0.58	-42.4 ± 0.02	-6.8 ± 0.01	16.41 ± 0.59	-39.65 ± 0.64	-6.46 ± 0.09
G13	11.23 ± 0.53	-38.8 ± 0.02	-6.8 ± 0.02	10.72 ± 0.47	-41.70 ± 0.71	-5.98 ± 0.01
G14	3.73 ± 0.48	-4.60 ± 1.20	-0.8 ± 0.02	3.67 ± 0.45	-3.00 ± 1.79	-0.02 ± 0.01

Table 5. Tritium levels of water samples collected in Kujwa and Songsan areas after heavy rain.

Sample No.	After one week	After two weeks	After three weeks
	Tritium (TU)	Tritium (TU)	Tritium (TU)
G1	16.71 ± 0.51	14.24 ± 0.47	14.29 ± 0.47
G2	10.05 ± 0.46	12.55 ± 0.53	12.89 ± 0.53
G3	13.15 ± 0.49	15.35 ± 0.48	13.93 ± 0.45
G4	11.53 ± 0.57	11.42 ± 0.46	11.07 ± 0.59
G5	16.43 ± 0.45	16.16 ± 0.53	16.72 ± 0.47
G6	16.66 ± 0.59	13.37 ± 0.47	12.90 ± 0.57
G9	16.48 ± 0.51	14.86 ± 0.55	16.66 ± 0.54
G11	11.92 ± 0.63	14.39 ± 0.56	13.02 ± 0.48

생긴 염, 그리고 대기에 의해 운반되어진 염類 등이 地表面에서 地下로 浸透되는 물에 의해 씻겨내려가 地下水에 混入되는 경우, ③ 海水 등 염분기가 많은 물이 浸透되는 경우 등으로 나누어 생각할 수 있는데 위 ①, ②의 경우에 의해서 地下水가 鹽水化될 때는 環境同位元素 含量에는 어떠한 變化도 주지 않으나, ③의 경우처럼 海수의 영향을 받을 때는 環境同位元素의 含量에 變化를 주는 것으로 알려져 있다.¹²⁾ 그러므로 Tritium, Deuterium, O-18 인 경우 海水에 의해 영향을 받는 경우라면 그 含量이 變化하는 것이 당연하다. 그러나 Table 4 에서 보는 바와 같이 海水와 安定圈 地下水(G6)의 Tritium, Deuterium, 含量비가 각각 3.3배, 12 배 밖에 되지 않는다. 따라서 海水의 영향을 받아 鹽含量이 높아진 경우에도 海水에 의해 증가된 Tritium 과 Deuterium의 變化量은 이들 同位元素를 測定할 때 생기는 測定誤差 범위내에서 存在할 可能性이 크기 때문에 本 調査地域에 대한

評價에 도움이 되지 못했다.

그러나 Oxygen-18은 송당 地下水보다 海水의 含量비가 168 배 정도이고 전기전도도 값의 비가 500 배임을 감안하면, 海水의 浸透를 받을 경우에 Oxygen-18 含量變化를 測定에 의해서 알아낼 수 있다. 또한 5月 試料採取 地域中 海水를 뺀 湧泉水와 地下水의 Oxygen-18 含量과 電氣傳導度값, Na 含量, Cl 含量 등과의 상관계수를 구해 보면 각각 $r=0.94^{**}$ (^{18}O -Conductivity), $r=0.94^{**}$ (^{18}O -Na), $r=0.98^{**}$ (^{18}O -Cl)의 값으로 計算되었고 이들 모두 정의 상관이 인정된 것으로 보아 本 調査地域 地下水의 鹽分含量이 높은 이유는 海水의 浸透에 의한 것이라 추정된다.

라) Tritium과 Oxygen-18, Deuterium 과 Oxygen-18의 상호관계

本 調査地域의 地下水, 湧泉水, 海水로부터 Tritium과 Oxygen-18 과의 직선회귀를 구하면 3月 試料는 $T=4.23-1.22 \delta^{18}O$ ($r=$

-0.86**), 5月 試料는 $T = 3.56 - 1.79 \delta^{18}O$ ($r = -0.93$ **) 식이었다. (Figure 2, 3 참조).

또한 Deuterium과 Oxygen-18의 경우 3月 試料에서는 $\delta D = -0.586 + 5.83 \delta^{18}O$ ($r = 0.99$ **), 5月 試料에서는 $\delta D = -3.171 + 5.70 \delta^{18}O$ ($r = 0.97$ **) 식으로 表示된다. (Figure 4, 5 참조).

이처럼 직선회귀식이 다른 이유는 계절별로 환경동위원소 함량이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

또한 Figure 2, 3, 4, 5에서 보는 바와 같이 海水, 湧泉水, 地下水의 동위원소 함량은 상호 獨立인 Group을 이루고 있다.

2. 理化學的 分析結果

가) 水溫, pH, 電氣傳導度 및 陰·陽이온 定量

Table 6, 7, 8, 9에서 보면 水溫은 海水인 경우 季節別로 상이하나 地下水와 湧泉水는 거의 일정한 溫度 14-16°C를 유지하고 있다.

pH는 海水가 pH 8.0 정도이나 地下水인 경우 7.0~7.8 범위에 있으며 試料採取 지점에 따라 약간 다르게 나타났다.

한편, 本 調查地城 地下水와 湧泉水의 양이온과 음이온 濃度 그리고 전기전도도 값 (Table 6, 7, 8, 9 참조)을 1, 2차년도 事業으로 調查되었던 濟州市와 西歸浦市 地城에 있는 地下水, 湧泉水의 含量^{15, 16)}과 비교하여 보면 本 調查地城 地下水가 5~10배 정도, 湧泉水에서는 30~60배 정도 높은 경향을 보였다.

일반적으로 Cl 含量이 150 ppm 以上일 때 食水로서 使用이 부적합하다는 사실을 감안할 때 G2, G3, G4, G5, G9, G10, G12의 調查地城 地下水와 湧泉水(G7, G13)는 食水로서 적당치 않다고 생각된다.

季節別 電氣傳導度 값의 變化 (Figure 6 참조)와 특히 집중호우 후에 1주일 간격으로 3주일간 試料를 採取하여 얻은 結果를 보면 (Table 10, 11, 12, Fig. 15 참조) 처음 일주일 후에는 3月 또는 5月の 化學分析 結果와 비교할 때 강우에 의한 稀釋效果가 觀察되었으나 2주째부터 3주일 후에는 다시 높아지고 있음을 알 수 있고 특히 전기전도도 값을 보면 이러한 現象이 뚜렷하다.

이와 같은 현상은 降水에 의해서 稀釋되었던 地下水 鹽分濃度가 서서히 浸透되는 海수의 영향을 받아서 鹽濃度가 다시 증가되기 때문이라고 생각된다. 따라서 本地城 地下水의 대수층은 적은 편이어서 강우에 의한 Mixing process가 비교적 빨리 일어난 것을 알 수 있을 뿐 아니라 0-18의 測定結果로부터 얻은 結論과 마찬가지로 해안가의 地下水들이 바닷물의 영향을 받고 있음을 나타낸다.

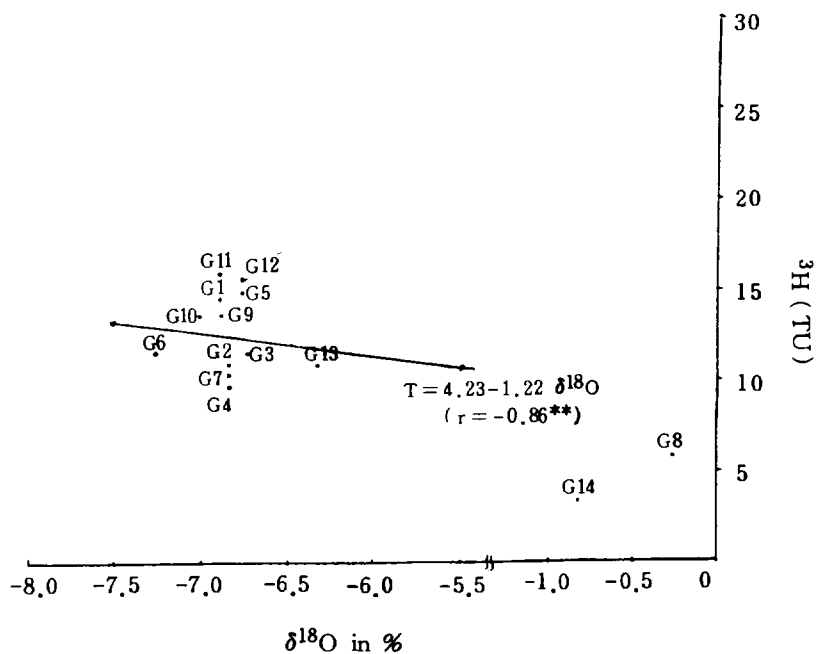


Fig.2. The relationship between oxygen-18 and tritium levels of water samples in Kujwa and Songsan areas (March).

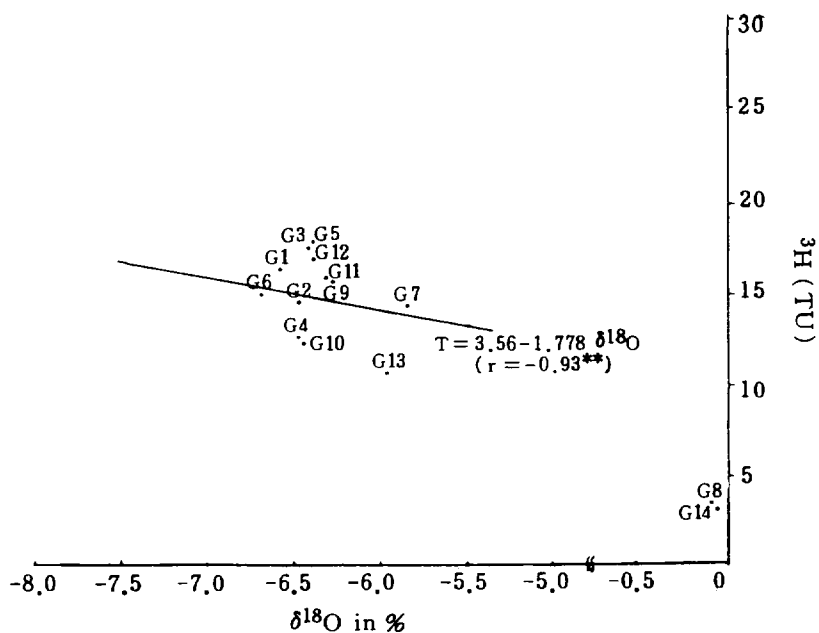


Fig.3. The relationship between oxygen-18 and tritium levels of water samples in Kujwa and Songsan areas (May).

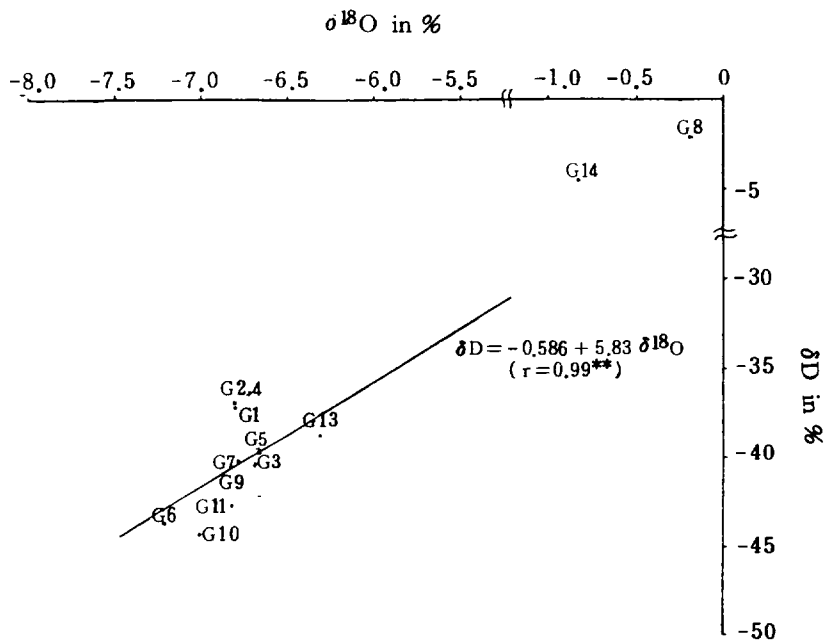


Fig.4. Stable isotope composition of water samples in Kujwa and Songsan areas (March).

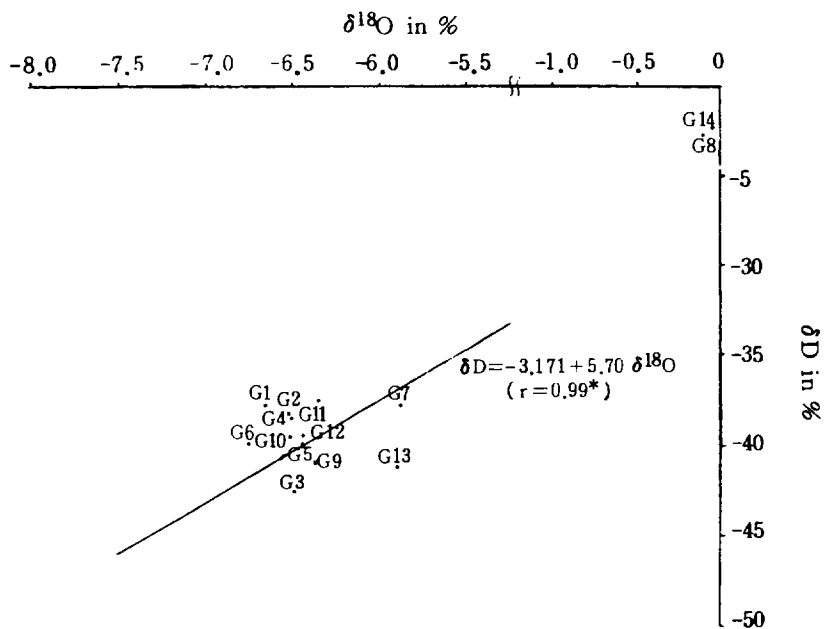


Fig.5. Stable isotope composition of water samples in Kujwa and Songsan areas (May).

Table 6. Chemical data of water samples from Kujwa and Songsan areas (March).

Sample No.	Temp (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	CO ₃ + HCO ₃ (ppm)	Conductivity (μ mho/cm ⁻¹)
G1	14	7.6	57.5	9.4	13.0	9.4	115	1.18	15.6	38.0	568
G2	-	7.5	137	17.0	27.8	22.5	303	1.60	44.1	37.4	1,173
G3	15	7.5	92.5	10.0	14.5	14.5	190	1.45	26.1	40.8	798
G4	15	7.4	229	33.4	46.4	27.8	589	0.77	98.0	48.4	2,224
G5	15	7.4	145	19.2	31.9	19.6	328	0.70	18.0	40.5	1,280
G6	14	7.5	8.2	2.0	3.5	4.4	12.4	1.80	3.3	31.8	113
G7	14	7.1	445	49.4	69.2	31.3	936	1.02	123	36.6	3,343
G8	12	8.1	8,970	220	1,120	470	19,321	0.47	3,102	133	56,515
G9	15	7.8	179	16.2	25.7	4.2	271	0.90	45.7	38.0	1,016
G10	15	7.5	251	22.8	38.5	20.3	511	2.99	65.3	38.0	1,888
G11	16	7.6	37.1	6.3	11.8	9.5	81.5	1.19	12.2	35.2	394
G12	16	7.4	205	23.3	43.8	23.2	488	0.70	65.3	49.2	1,795
G13	15	7.4	1,192	46	109	66	2,154	2.85	343	46.4	7,276
G14	14	7.9	8,250	570	998	400	17,691	0.50	2,857	130	52,546

Table 7. Chemical data of water samples from Kujwa and Songsan areas (May)

Sample No.	Temp (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	CO ₃ + HCO ₃ (ppm)	Conductivity (μ mho/cm ⁻¹)
G1	15	7.7	57.6	11.5	11.3	8.3	120	1.06	15.9	38.0	590
G2	16	7.6	142	18.6	27.4	22.5	336	1.49	39.4	34.3	1,266
G3	16	7.5	84.2	14.1	17.4	14.0	192	1.26	23.0	41.9	782
G4	15	7.6	290	35.8	45.6	26.6	616	0.57	67.6	48.4	2,245
G5	15	7.7	150	21.3	25.8	18.2	331	0.53	42.0	41.4	1,232
G6	16	7.7	8.3	3.7	2.7	3.8	11.5	2.06	4.5	28.7	113
G7	15	7.6	1,150	140	205	70.3	6,467	0.76	313	48.7	8,632
G8	15	8.2	8,630	928	995	369	22,087	0.49	2,135	130	56,404
G9	16	7.7	108	18.5	22.8	17.6	272	0.72	296.6	39.4	1,062
G10	16	7.6	238	31.5	37.4	21.1	5.29	2.85	579	36.6	1,933
G11	17	7.8	32.7	7.5	7.7	9.0	77.1	1.12	9.9	42.2	391
G12	16	7.7	201	26.4	36.8	21.9	490	0.56	62.3	43.0	1,787
G13	15	7.5	1,050	98.3	134	54.1	2,195	2.79	257	44.2	7,398
G14	16	8.2	8,910	933	1,040	380	18,746	0.40	2,570	127	59,118

Table 8 . Chemical data of water samples from Kujwa and Songsan area (August)

Sample No.	Temp (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	CO ₃ + HCO ₃ (ppm)	Conductivity (μmho/cm)
G1	15	7.5	42.1	5.8	10.5	7.7	97.7	1.54	12.2	29.5	445
G2	16	7.6	81.2	9.5	46.1	35.9	206.9	1.74	25.0	31.5	854
G3	15	7.5	92.6	10.9	23.0	14.3	348.7	1.80	37.2	35.2	1,135
G4	15	7.5	192	15.1	34.3	19.4	459.7	1.42	57.0	46.7	1,780
G5	15	7.5	92.0	9.3	18.1	11.8	245.2	0.90	32.6	28.7	1,010
G6	15	7.6	8.6	2.9	3.5	4.0	14.5	1.74	6.1	21.9	112
G7	14	7.4	663	49.4	110	32.2	1,427	0.78	140	38.5	5,015
G8	25	8.2	7,450	545	1,135	608	17,017	0.39	1,860	126.6	47,100
G9	16.5	7.7	67.0	6.5	12.9	10.2	136.0	1.00	18.6	29.5	602
G10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G11	15	7.5	28.0	3.7	7.9	7.0	51.8	2.99	9.2	30.9	288
G12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G13	16	7.5	847	51.6	96.4	35.5	1545.8	3.07	221	14.1	5,595
G14	25	8.1	7,890	408	813	965	13,153	0.63	690	121.0	38,550
G15	-	7.0	5.7	2.4	6.4	8.4	9.0	0.31	5.5	38.0	105

- : not measured

Table 9 . Chemical data of water samples from Kujwa and Songsan area (October)

Sample No.	Temp (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	CO ₃ + HCO ₃ (ppm)	Conductivity (μmho/cm)
G1	-	7.0	53.6	6.3	9.8	7.3	103	0.77	16.4	35.6	474
G2	-	7.2	105	11.3	17.5	16.0	210	1.14	32.7	35.2	921
G3	-	7.1	20.4	3.0	7.9	10.0	42.5	1.33	11.2	36.6	267
G4	-	7.4	260	16.9	31.5	20.2	491	0.53	73.5	42.2	1,920
G5	-	7.5	131	10.0	19.7	12.3	268	0.42	37.2	36.6	1,115
G6	-	7.6	9.1	4.2	3.4	4.1	10.1	1.94	9.2	26.7	112
G7	-	7.0	548	32.4	88.8	30.7	975	0.59	153	39.4	3,840
G8	-	8.1	9,370	527	1,105	405	17,159	0.53	2,653	120	45,446
G9	-	7.8	108	9.3	20.7	13.8	241	0.25	39.4	36.6	990
G10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G11	-	7.6	32	4.2	8.7	7.5	58.5	1.21	26.5	36.6	316
G12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G13	-	7.5	2,248	129.2	322	86.5	3,970	2.35	510	53.3	12,874
G14	-	7.9	9,740	552	1,718	393	17,159	0.39	2,551	101	47,489
G15	-	7.1	8.7	2.7	4.5	4.5	8.2	0.27	8.3	39.4	116

- : not measured

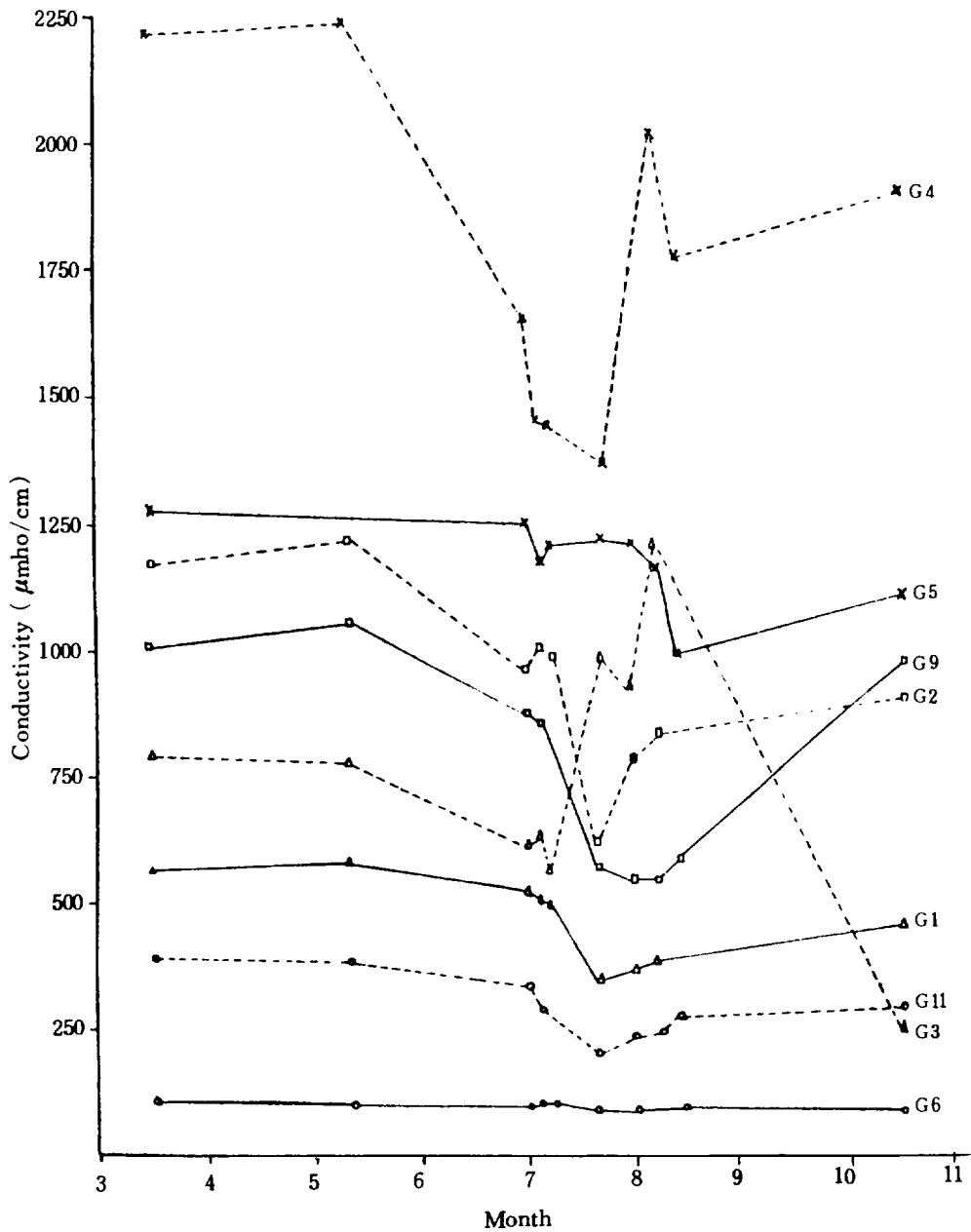


Fig.6. The seasonal changes of conductivity of water samples from Kujwa and Songsan areas.

Table 10. Chemical data of water samples collected in Kujwa and Songsan area one week after heavy rain.

Sample No.	Temp (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	CO ₃ + HCO ₃ (ppm)	Conductivity (μmho/cm)
G1	-	7.6	41.2	6.9	8.0	5.8	73.4	2.29	8.7	34	358
G2	-	7.6	78.8	6.1	13.0	10.2	147	2.48	19.7	34	623
G3	-	7.5	127	8.3	22.0	13.8	250	2.62	34.0	36.9	994
G4	-	7.5	201	10.4	28.3	17.3	371	2.27	26.9	38.3	1,373
G5	-	7.6	175	8.6	24.2	14.2	316	1.34	44.0	34.9	1,232
G6	-	8.1	10.1	3.7	3.6	14.7	6.2	2.37	1.9	34.9	117
G9	-	7.7	174	9.2	12.6	9.2	146	1.13	24.0	37.1	592
G11	-	7.6	23.6	2.7	6.1	4.9	34.2	4.68	8.9	28.7	219

-: not measured

Table 11. Chemical data of water samples collected in Kujwa and Songsan area two weeks after heavy rain.

Sample No.	Temp (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	CO ₃ + HCO ₃ (ppm)	Conductivity (μmho/cm)
G1	-	7.6	46.6	7.9	8.6	6.4	96.6	1.87	8.6	33.2	376
G2	-	7.6	105	6.7	17.3	13.0	200	1.81	25.4	33.8	796
G3	-	7.5	128	8.7	19.4	11.8	244	2.34	34.0	38.0	937
G4	-	7.5	259	11.2	33.1	18.5	283	2.01	32.6	38.0	1,641
G5	-	7.6	179	9.8	22.9	14.0	326	1.14	45.4	39.4	1,225
G6	-	7.5	8.8	2.6	3.5	4.2	18	1.67	1.9	23.9	103
G9	-	7.6	174	8.1	11.6	8.9	137	1.02	24.0	36.6	559
G11	-	7.7	27.7	3.0	7.4	6.0	47.5	4.13	8.9	30.9	249

-: not measured

Table 12. Chemical data of water samples collected in Kujwa and Songsan area three weeks after heavy rain.

Sample No.	Temp (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	CO ₃ + HCO ₃ (ppm)	Conductivity (μmho/cm)
G1	-	7.5	49.9	5.0	9.5	6.9	93.8	1.78	8.7	33.8	392
G2	-	7.6	110	7.7	18.6	13.8	214	1.76	29.7	35.2	846
G3	-	7.5	152	10.6	21.9	12.9	262	2.08	20.4	40.8	1,220
G4	-	7.5	317	13.7	41.5	21.6	547	2.27	64.0	39.4	2,034
G5	-	7.6	176	8.8	21.2	12.9	303	1.04	45.4	39.4	1,178
G6	-	7.6	8.6	2.8	3.6	4.2	10.6	1.75	1.9	25.3	104
G9	-	7.5	169	7.1	11.8	8.9	131	1.00	22.6	36.6	558
G11	-	7.7	29.5	3.9	8.1	6.4	47.2	3.32	8.9	32.4	262

- : not measured

나) Trilinear diagram에 의한 수문학의 분류

Figure 7, 8, 9, 10의 수문학의 유형을 時期別로 모아 놓은 것이 Table 13인데 대부분이 季節에 關係없이 Na, Cl형 地下水로 나타났으나 특히 G15인 경우는 火山성 地下水인 Ca, HCO₃로 分類되었다.

다) 海水汚染指標로서의 Chloride- bicarbonate 比

Figure 11, 12, 13, 14에서 기둥의 높이는 陰·陽이온의 총 농도를 epm으로 나타낸 것이고, 기둥의 왼쪽 部分은 양이온 총량에 대한 백분율로서 각개 양이온의 含量比를 나타내었고, 오른쪽은 음이온에 대한 것이다.

기둥의 맨 위에 기록된 숫자는 Chloride-bicarbonate 比로서 이들을 Table 14에 나타

냈다. 地下水中の 海水 汚染의 정도를 평가하기 위해서 Revelle¹⁷⁾는 Chloride-bicarbonate ratio를 利用했다. Chloride는 海水中에 많이 함유되는 반면 地下水中에는 적은 양이 存在하고 bicarbonate는 Chloride와는 반대로 海水中에는 비교적 소량이고 地下水中에는 가장 많이 함유된 음이온인 것이다.¹⁸⁾

또, 海水와 地下水가 混合되는 경우에 發生될 수 있는 염기치환현상¹⁹⁾ 황산이온의 환원이나 탄산과 기타 약산기의 상호치환, 그리고 침전현상 등과는 무관하게 Chloride와 Bicarbonate는 영향받지 않는 다른 사실을 應用해서 Cl/CO₃+HCO₃ 값을 計算하고 海水 汚染의 指標로 使用한다.

즉, Chloride-bicarbonate 比가 0.5 이하인 경우 海水 汚染 問題가 전혀 없고 0.5~1.3인 경우 약간 문제가 되며, 1.3~2.8인 경우

보통 정도로 汚染되어 있고 2.8~6.6 인 경우 심한 汚染程度를 나타낸다.

이러한 값을 利用하여 調査地域의 地下水, 湧泉水 등을 평가할 때 G6, G15의 地下水는 海水汚染 問題가 전혀 없는 것으로, G1, G11의 地下水는 심하게 海水의 汚染을 받고 있고, G2, G3, G4, G5, G7, G9, G11, G12, G13은 매우 심하게 海水汚染이 되어 있는 것으로 판단된다. 또한 Table 15에서 보는 바와 같이 農業用水로서의 使用可能性을 판단하기 위해서 SAR (Sodium Absorption Ratio) 값을 계산하여 보면 湧泉水 G7, G13을 除外한 調査地域의 地下水들은 農業用水로 使用可能한 것으로 나타났다.

實驗 2. 우도지역

Figure 1에서 보는 바와 같이 城山에서 조금 떨어져 위치하고 있는 우도지역의 地下水에 대한 化學分析 結果는 Table 16과 같다.

地下水 U1, U2 모두 食水로서의 使用은 적합치 않으나 SAR값이 6.1~7.4 (Table 19 참조)로 農業用水로서의 使用은 可能한 것으로 보이며 Figure 16, Table 17과 같이 地下水의 유형은 Na·Cl형이며 또한 Chloride-bicarbonate比를 보면 (Figure 17, Table 18) 매우 심하게 海水의 汚染을 받고 있다고 판단된다.

적 요

本 研究는 鹽分含量이 비교적 많은 舊左·城山 地域의 地下水 資源에 대한 基本的인 理化學的 特性을 調査함으로써 地下水의 鹽水化 現象에 대한 原因을 究明코자 수행되었다. 이 地域의 湧泉水, 地下水, 海水를 時期別 (3月, 5月, 8月, 10月)로 採水하여 溫度, pH, 陽이온, 陰이온 및 전기전도도 그리고 環境동위

원소 (^3H , ^2H , ^{18}O)의 存在量을 測定하였다.

그리고 城山 근처의 地下水質이 不良한 우도지역의 地下水에 대한 基礎調査를 하기 위해 8월에 地下水, 海水, 연못물을 採水하여 상기의 理化學的 分析 項目에 대해서 測定을 하였다.

1) 舊左·城山地域

舊左·城山地域의 地下水와 湧泉水의 양·음이온 농도, 電氣傳導度 값은 濟州市 地域보다 地下水인 경우 5~10배, 湧泉水에서 30~60배 정도 높은 함량을 보였으며 Cl 함량이 150ppm 이상 되는 湧泉水 G7, G13과 地下水 G2, G4, G5, G9, G10은 食水로서 利用이 부적당하나 SAR값이 2-8.5 범위이므로 농업용수로서 使用은 可能한 것으로 생각된다.

本 調査地域의 地下水는 7~8月的 집중호우의 영향으로 地下水의 鹽分含量이 쉽게 稀釋되는 것으로 보아 帶水層이 적고 강우에 의한 Mixing process가 대단히 빠르다고 생각된다.

환경동위원소 (^3H , ^2H , ^{18}O)含量은 季節에 따라 差異를 보여 3월보다 5월에 높은 경향을 보였다.

地下水의 鹽水化 現象을 究明키 위해 地下水의 鹽分含量과 ^3H , ^2H 의 含量간에 상호관계를 調査했으나 海水의 浸透에 의해 變化되는 鹽分含量에 비해 ^3H , ^2H 의 變化量은 測定誤差內에 있기 때문에 일정한 경향을 보이지 않았다. 그러나, ^{18}O 의 測定結果를 보면 海水汚染이 전혀 發生하지 않은 것으로 생각되는 송당(G6) 地下水가 그 含量이 제일 낮으며 기타 鹽分含量이 높은 地下水와 湧泉水는 대체로 높은 含量을 보이고 있다.

한편, ^{18}O 含量과 電氣傳導度값 ($r=0.94^{**}$), Na含量 ($r=0.94^{**}$), Cl ($r=0.98^{**}$) 간에 유의상관이 인정됨으로써 海水에 의한 鹽水化 現象이 있을 것으로 생각된다.

또한, G6, G15 管井의 地下水를 除外한 모든 管井의 地下水는 Chloride-bicarbonate 比에서 높은 값을 보임으로써 海水에 의해 심하게 汚染된 경향을 나타냈다.

2) 우도지역

우도지역의 지하수는 Na·Cl 형이며, 鹽度가 높아 食水로서 使用은 부적당하고 SAR 값이 6.1 ~ 7.4 로 농업용수로서 使用은 可能的 것으로 나타났다.

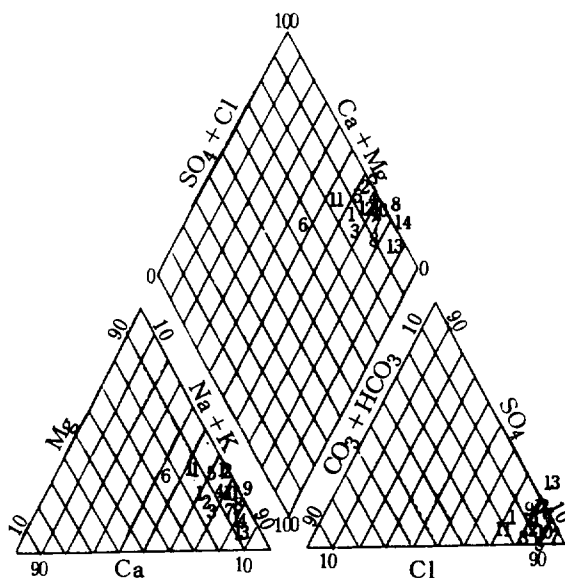


Fig.7. Trilinear diagram of water samples from Kujwa and Songsan areas (March).

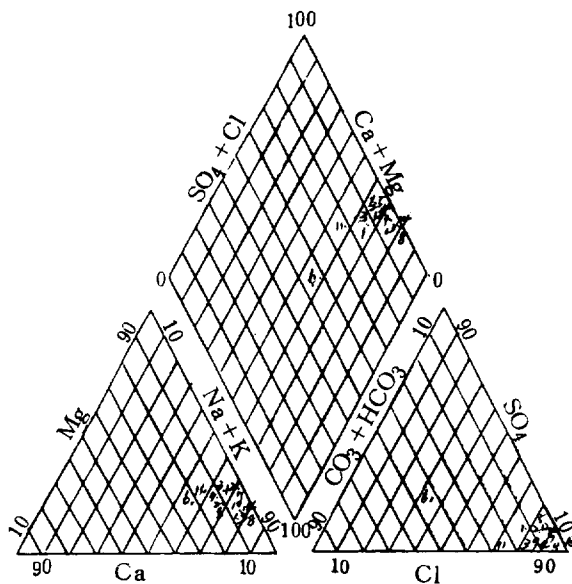


Fig.8. Trilinear diagram of water samples from Kujwa and Songsan areas (May).

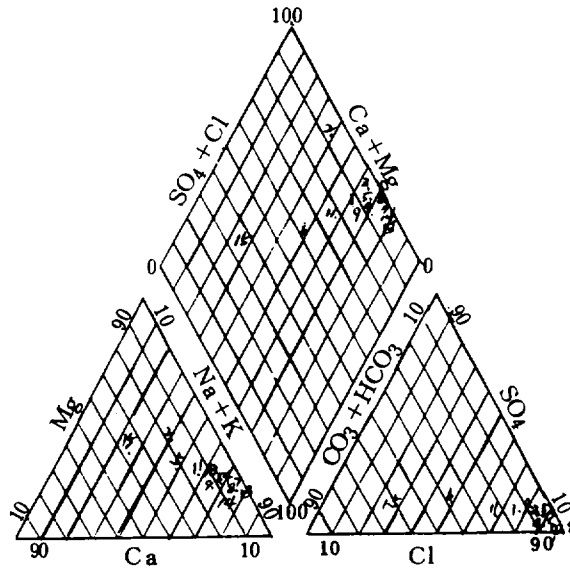


Fig.9. Trilinear diagram of water samples from Kujwa and Songsan areas (August).

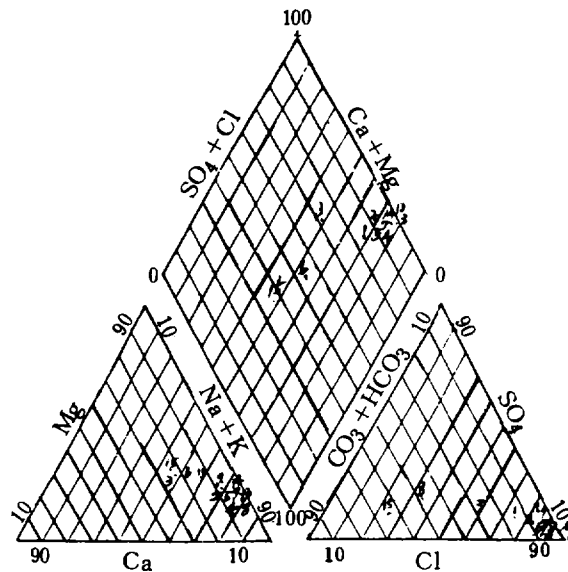


Fig.10. Trilinear diagram of water samples from Kujwa and Songsan areas (October).

Table 13. Classification of water samples from Kujwa and Songsan areas.

Sample No.	Types of water			
	March	May	August	October
G1	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G2	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G3	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Ca·Cl
G4	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G5	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G6	Na·Cl	Na·Cl	Ca·Cl	Na·Cl
G7	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G8	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G9	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G10	Na·Cl	Na·Cl	—	—
G11	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G12	Na·Cl	Na·Cl	—	—
G13	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G14	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
G15	—	—	Ca·HCO ₃	Ca·HCO ₃

— : not determined

Table 14. Chloride-bicarbonate ratios as a criterion of sea water intrusion (Kujwa and Songsan areas).

Sample No.	March	May	August	October
	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃
G1	5.33	5.67	5.60	4.97
G2	14.2	15.8	11.3	10.3
G3	7.71	7.71	17.0	2.00
G4	20.8	21.8	16.9	20.0
G5	13.01	13.2	14.7	12.6
G6	0.60	0.60	1.14	0.65
G7	44.0	228	63.7	42.3
G8	302	311	231	269
G9	12.7	12.8	7.9	11.3
G10	24.0	24.8	—	—
G11	3.83	3.14	2.90	2.75
G12	17.1	19.7	—	—
G13	75.9	88.9	188	129
G14	249	278	187	292
G15	—	—	0.41	0.36

— : not measured

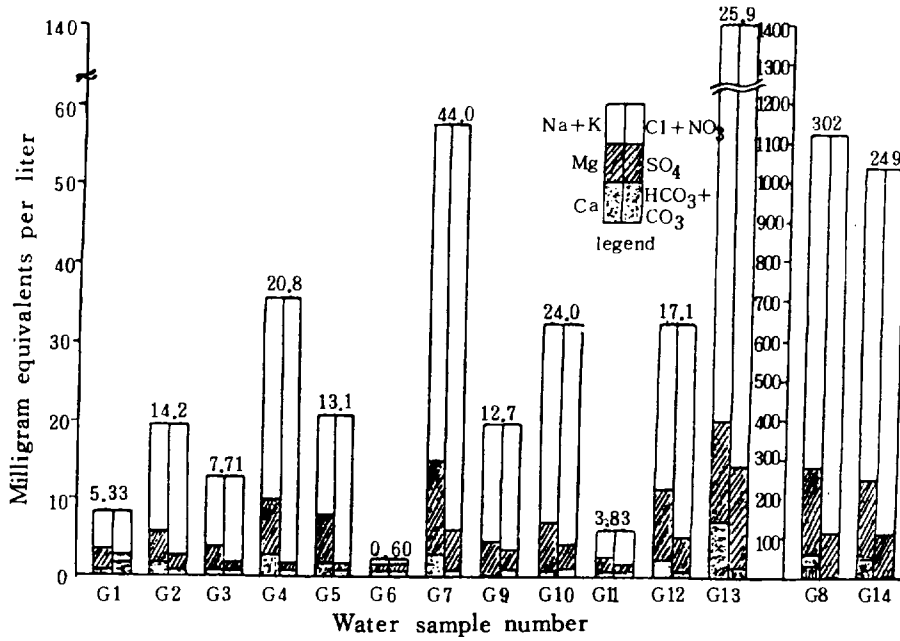


Fig. 11. Chemical analysis of waters from Kujwa and Songsan areas. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (March).

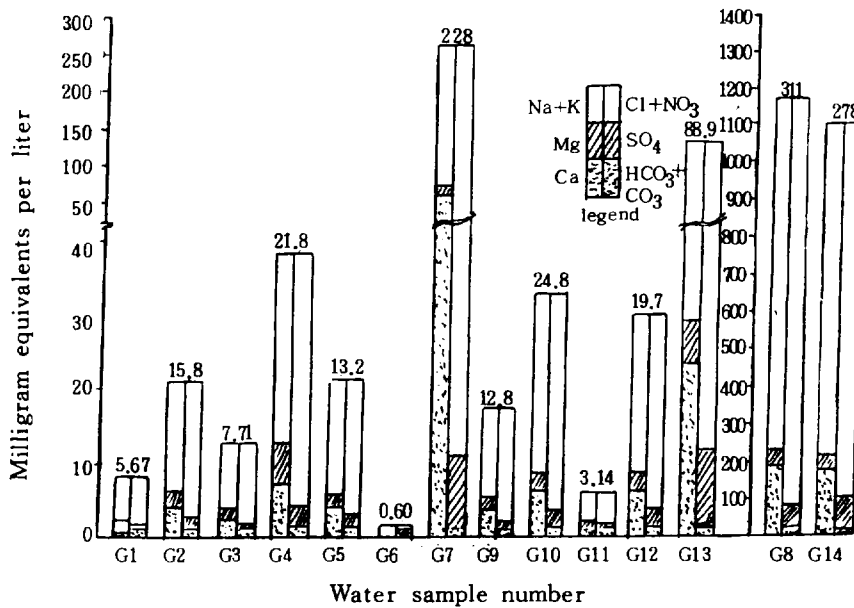


Fig. 12. Chemical analysis of waters from Kujwa and Songsan areas. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (May).

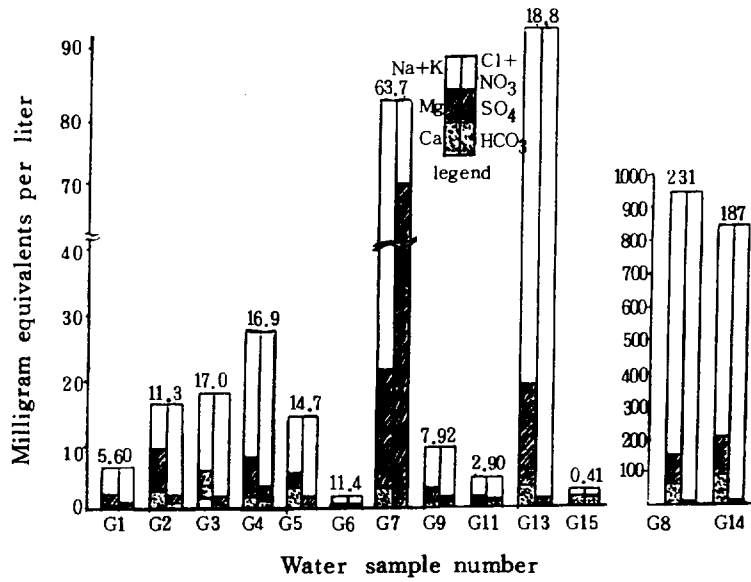


Fig. 13. Chemical analysis of waters from Kujwa and Songsan areas. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (August).

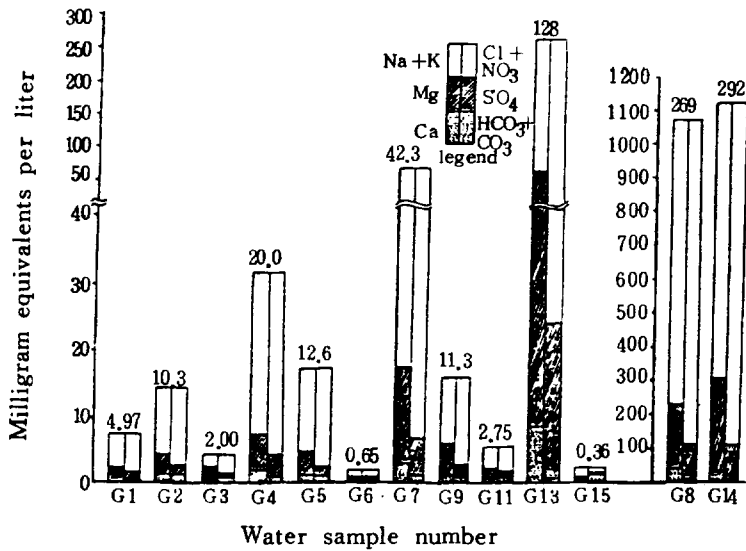


Fig. 14. Chemical analysis of waters from Kujwa and Songsan areas. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (October).

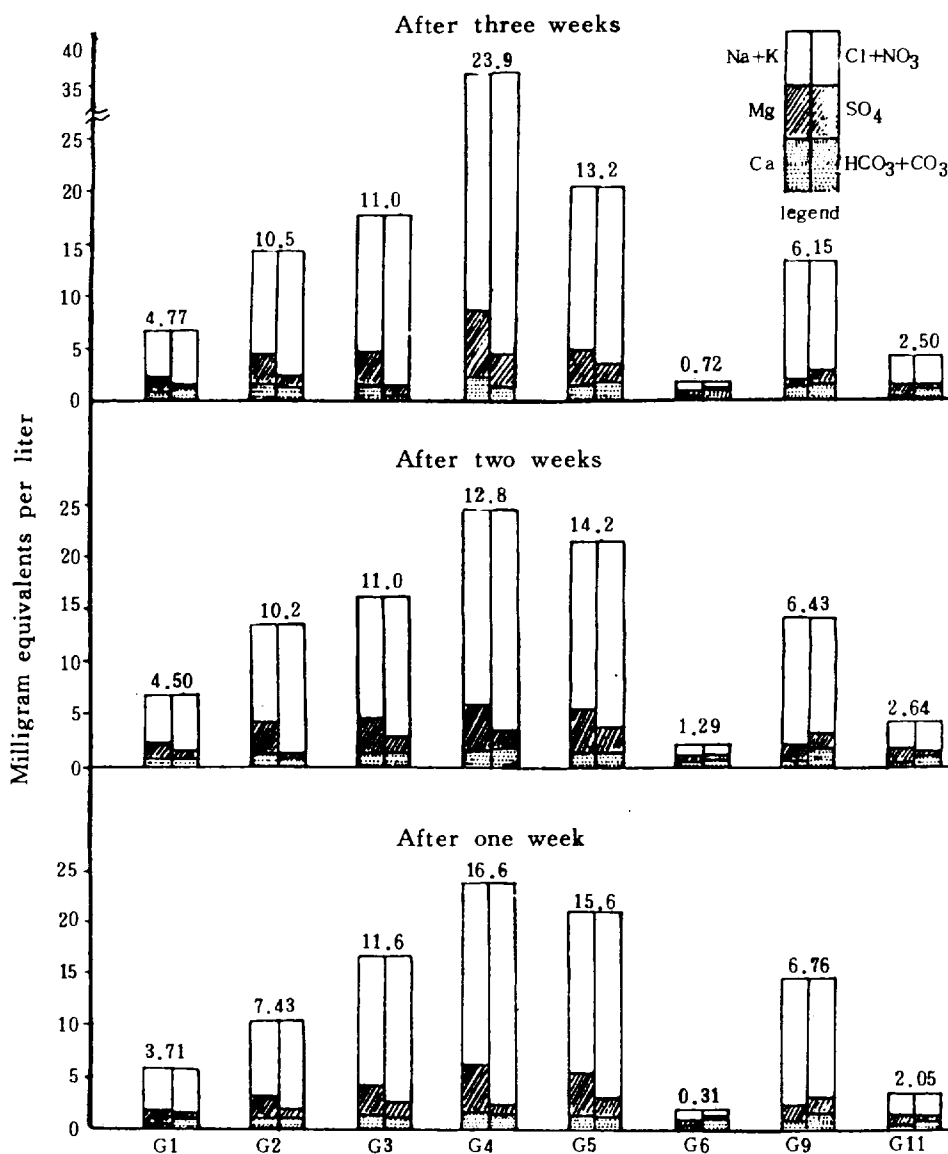


Fig. 15. Chemical analyses of waters collected periodically after heavy rain in Kujwa and Songsan areas. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram.

Table 15 . Sodium absorption ratio (SAR)* of water samples from Kujwa and Songsan areas.

Sample No.	March	May	August	October
	SAR*	SAR*	SAR*	SAR*
G1	2.8	3.1	2.3	3.0
G2	4.6	4.8	2.1	4.3
G3	4.1	3.6	3.5	1.2
G4	8.3	8.0	6.1	8.4
G5	4.8	5.3	3.9	5.4
G6	0.8	0.9	0.8	0.8
G7	10.2	15.6	12.5	11.3
G9	7.1	3.9	3.3	4.3
G10	7.6	7.2	—	—
G11	1.8	2.0	1.7	1.9
G12	5.9	6.2	—	—
G13	20.7	17.6	16.7	24.9
G15	—	—	0.4	0.7

* Sodium absorption ratio (SAR) was calculated by the following

$$\text{Formula : SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

— : not calculated

Table 16 . Chemical data of water samples from Udo (August).

Sample No.	Temp (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	CO ₃ + HCO ₃ (ppm)	Conductivity (μmho/cm)
U1	7.4	7.4	132	10.7	16.5	8.3	221.0	1.23	34.9	8.4	952
U2	7.7	7.7	226	13.3	31.2	19.5	417.5	0.64	64.0	70.3	1,680
U3	6.8	6.8	8.6	2.2	1.4	0.8	11.3	0.26	7.9	8.4	80
U4	8.1	8.1	9,500	535	1,135	398	18,125	0.36	1,980	122.4	48,150

Table 17. Classification of water samples from Udo areas (August).

Sample No.	Types of water
U1	Na·Cl
U2	Na·Cl
U3	Na·Cl
U4	Na·Cl

Table 18. Chloride-bicarbonate ratios as a criterion of sea water intrusion (Udo area).

Sample No.	August
	Cl/HCO ₃
U1	45.2
U2	10.2
U3	2.31
U4	255

Table 19. Sodium absorption ratio (SAR) of water samples from Udo areas.

Sample No.	August
	SAR
U1	6.1
U2	7.4
U3	1.3
U4	54.9

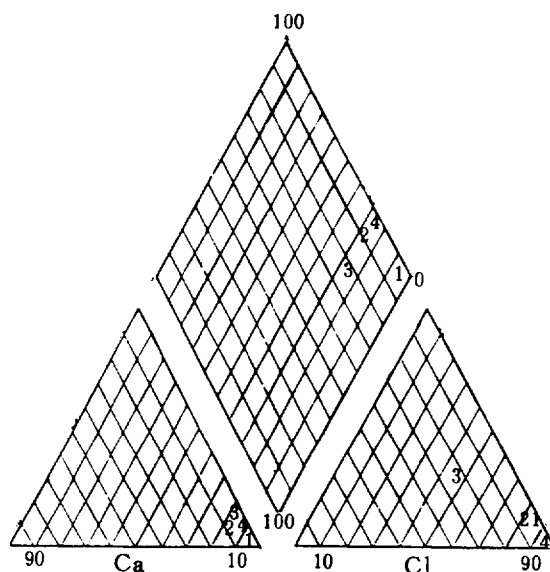


Fig.16. Trilinear diagram of water samples from Udo area (August).

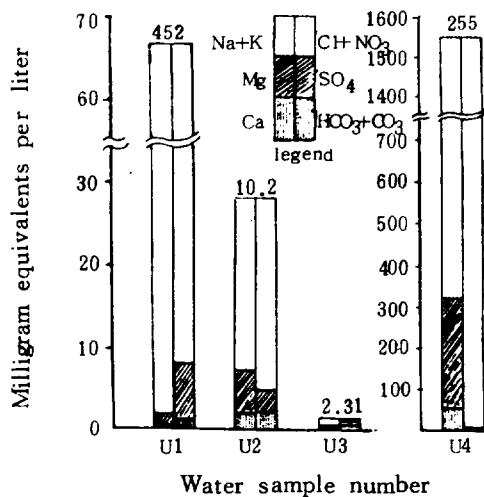


Fig.17. Chemical analysis of waters from Udo area. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (August).

參 考 文 獻

1. Han, J. S. (1981): Ground water of Bed Rocks in South Korean Peninsula. J. Korean Asso. Hydro, Scin. 14(4): 73~81, 1981.
2. 農水産部, 濟州道, 農業振興公社, 1984年度(13次年度) 濟州道 地下水 開發報告書, pp.11, 33, 1984.
3. Hahn, J. S. and J. S. Ahn, Studies on Isotope Hydrology in South Korea. J. Geolo. Soc. 20(1): 72~84, 1984.
4. Greenberg, A. E., J. J. Connors, and D. Jenkins, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (15th, ed.) APHA-AWWA-WPCF, Washington, D. C., pp.152~155, 270~271, 439~440, 1981.
5. Calf, G. E., B. W. Seatonberry and L. W. Smith, The Measurement of Natural Levels of Tritium in Water. AAEC/E373, 1976.
6. Ahn, J. S., J. S. Kim and J. S. Kim, 1980. Studies on Tritium Analysis and its Monitoring with Special Reference to Power Reactor Operation. KAERI/RR-204/80, 1980.
7. Alvarez, L. W. and R. Coming, Radioactive Hydrogen, A Correction Phys. Rev. 58(2): 197, 1980.
8. Ahn, J. S., J. S. Kim, J. S. Hahn, P. Airey and B. Payne, Environmental Isotope-Aided Studies on River Water and Ground Water Interaction in the Han River Basin. J. Korean Asso. Hydro, Scin. 16(4): 245~252, 1983.
9. Hartley, P. E., A Rapid Mass Spectrometers Method for the Determination in Water at Natural Levels. Anal. Chem. 52: 2232, 1981.
10. Kumar, B., R. N. Athavale and K. S. N. Sahay, In Proceedings of the workshop on Nuclear Techniques in Hydrology. National Geophysical Res. Inst. Hyderabad. pp.16~17, 1980.
11. Piper, A. M., and A. Graphic, Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. Am. Geophys. Union Trans. 25: 914~923, 1944.
12. IAEA, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. Tech. Report No. 91. IAEA, Vienna, pp.276~278, 293, 319~325, 351~356, 1983.
13. Payne, B. R., L. Qujano and D. Carlos Latarre, Environmental Isotopes in a Study of the Origin of Salinity of Ground Water in the Mexicali Valley, J. Hydrol. 41: 201~215, 1979.
14. Ahn, J. S., J. S. Kim, P. Airey and B. Payne, Environmental Isotope-Aided Studies on River Water and Ground Water Interaction in the Region of Seoul. J. Korean Nucl. Soc. 13(2): 85~96, 1981.
15. 安鍾成, 韓楨相, 李鉦浩, 鄭昌朝, 柳長杰, 同位元素를 利用한 濟州地域 水資源에 關한 研究, 韓國水文學會誌, 17(2): 72~79, 1984.
16. 鄭昌朝, 柳長杰, 安鍾成, 宋成俊, 同位元素를 利用한 濟州地域 水資源에 關한 研究(II), KAERI/RR-482/85, 1985.
17. Revelle, R., Criteria for Recognition of Sea Water in Ground-Waters, Trans. Amer. Geophysical Union,

- Vol. 22, pp. 593 ~ 597, 1941.
18. Todd, D. K., *Ground Water Hydrology*.
John Wiley & Sons, Inc. pp. 293 ~
294, 1959.
19. Love, S. K., *Cation-Exchange in Ground
Water Contaminated with Sea Water
near Miami, Florida*, *Trans. Amer.
Geophysical Union*, Vol. 25, pp. 951 ~
955, 1944.
20. Ahn, J. S., J. S. Kim and J. You, *Stu-
dies on the Tritium of Water Resources
and Crop at the Nuclear Power Plant*.
KAERI/RR-327/81, 1981.
21. Davis, G. H., C. K. Lee, E. Bradley
and B. Payne, 1970. *Geohydrologic
Interpretation of a Volcanic Island
from Environmental Isotopes*. *Water
Resources Research*, 6(1): 99 ~ 109,
1970.