

# 同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究 (第 2 報)

鄭昌朝 · 柳長杰 · 安鍾成\* · 宋成俊

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

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

## Summary

In order to establish effective protective measures to prevent the contamination of ground water caused by the sea water intrusion, environmental isotope-aided techniques were applied in the Soguipo-shi area situated in the south of Cheju island to ascertain whether existing boreholes were free from salty water contamination.

Water samples were collected, according to season, from the sea, the spring and the boreholes for measuring temperature, pH, mineral contents, electrical conductivity and environmental isotopes(H-3, H-2, O-18).

1. Electrical conductivities of sea water and ground water of good quality were  $50,000\mu\text{mho/cm}$ ,  $100\mu\text{mho/cm}$  respectively, while the poor ground waters located closely at seashore had the range of 200 to  $600\mu\text{mho/cm}$ .
2. The content of tritium was 4 to 5 TU in sea water, 15 to 17 TU in spring water and 11 to 17 TU in ground water.
3. The deuterium content was -4 to -2 per mill in sea water, -38 per mill in spring water and -40 to -37 per mill in ground water.
4. The mineral content and electrical conductivity of ground water from boreholes, S4, S5 were 1.5 to 3 times higher than good ground water but the contents of tritium, deuterium and oxygen -18 were very similar to it.

The result indicates that these ground waters are being contaminated by municipal sewage or other sources.

5. However, in case of ground water from borehole S9, its tritium content was very similar to sea water and its deuterium and oxygen -18 content were higher than ground water(S4, S5).  
Consequently, it is concluded that the ground water of borehole S9 is affected by sea water.

---

\* 한국에너지연구소    \*\* 본 연구는 한국에너지연구소의 연구용역에 의해 수행되었음.

## 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, 道內水源으로는 一部の 地表水와 湧泉水, 地下水 이외는 기대하기 어렵다.<sup>1)</sup> 이와같은 水資源의 問題는 濟州地域 產業發展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 되어있다. 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 206個所의 地下水用 管井을 掘鑿하여 1日 470,000 M/T의 地下水를 供給하고 있다.<sup>2)</sup> 濟州道の 用水量은 人口增加, 觀光開發 및 農水產業의 發達로 인하여 매년 增加되고 있으며, 限定된 地下水의 保護와 이와 적절한 活用을 위한 對策이 시급하다. 特히 地下水源의 過多利用으로 海水의 浸透에 따른 地下水 荒廢化는 島嶼地方에서 흔히 問題가 되는데, 濟州地域의 地下水 保護를 위해서는 이와 관련된 基礎 調查研究가 切實하다.

우선, 濟州道の 地質을 보면 濟州道 地域의 岩石은 鑛物과 岩石 조직에 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 일부의 모래와 礫 및 火山灰로 구성된 堆積岩層이 分布되어 있으나 그 규모와 分布面積은 그리 넓지가 않다. 성읍리 부근에 分布된 picrite 玄武岩內의 節理는 매우 불규칙적이고 一般적으로 비정질 火山岩은 節理의 發達狀態가 不良하다.<sup>3)</sup>

한편, 濟州地域 岩盤內에 포함된 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 포함된 地下水 ② 熔岩텐널과 熔岩 lava

와 같은 洞孔型 ③ 透水性 火山쇄설층을 수반하고 있는 2개의 熔岩層의 접촉면에 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 직접 접촉해있는 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, 熔岩孔洞 및 岩石접촉면과 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.<sup>1)</sup>

濟州道에는 UNDP 事業으로 1969년 이후 120個所의 試驗井과 揚水井을 設置하였는데, 平均 116 m의 깊이와 一日平均產出量은 1,300M/T에 이르는 매우 良好한 深井을 開發한 바 있다. 또한 1973년 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 116 m에서 一日平均 1,176M/T의 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 緊要적이고 緊要적인 水資源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 그중 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.<sup>4)</sup> 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 위하여서는 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 調查研究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 장기적인 保

護와 안정된 이용을 위하여 1 차년도 濟州市 地域에 이어 2 차년도 事業으로 西歸浦市 地域에 대하여 地下水와 海水 및 湧泉水의 수질을 계절 별로 調査하고 環境同位元素인 tritium 과 deuterium 을 동시에 分析하므로써 地下水 資源保護를 위한 基礎 資料를 제공하기 위하여 濟州대학교와 한국에너지연구소가 공동으로 수행 하였다.

### 材料 및 方法

#### 1. 試料採取

西歸浦市 地域의 試料는 Figure 1과 Table 1 에서 보는 바와 같이 海水(S1, S3), 湧泉水(S2) 와 地下水(S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S14)로 區分하여 2, 7, 9월에 각각 化學 分析用 1 l와 環境同位元素測定用 2 l씩 採取하였다.

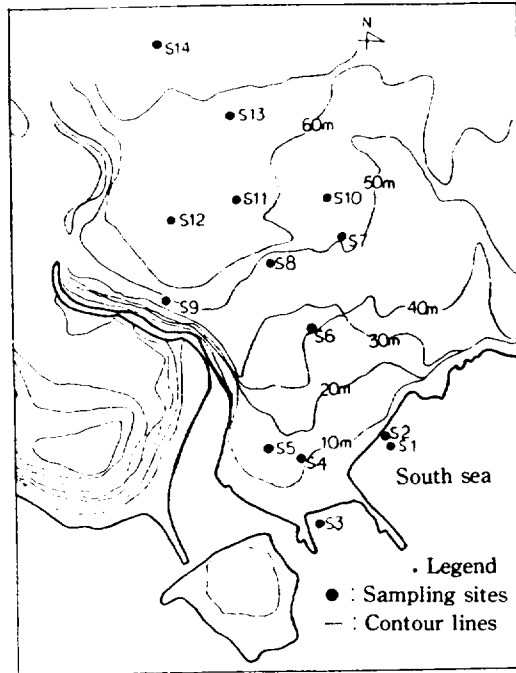


Fig. 1. Location of sampling sites of Sogui-po metropolitan area.

Table 1. Specifications of the sampling sites in Sogui-po-shi area.

Sample	Location	Description	Distance from sea (km)	Depth (m)	Pumping tube diameter (mm)
S1	Songsan-dong	Sea water	0	-	-
S2	Songsan-dong	Spring water	0	-	-
S3	Songsan-dong	Sea water	0	-	-
S4	Songsan-dong	Ground water	0.23	60	50
S5	Songsan-dong	Ground water	0.25	34	45
S6	Chungbang-dong	Ground water	0.65	45	50
S7	Sogui-dong	Ground water	1.00	41	50
S8	Sogui-dong	Ground water	0.93	60	50
S9	Sogui-dong	Ground water	0.15	62	50
S10	Sogui-dong	Ground water	0.15	250	50
S11	Sogui-dong	Ground water	1.05	70	50
S12	Sogui-dong	Ground water	0.40	60	50
S13	Sogui-dong	Ground water	1.40	35	50
S14	Sohong-dong	Ground water	2.65	80	155

## 2. 環境同位元素測定

### 가. Tritium 測定

#### 1) 試料의 前處理

降水를 除外한 모든 물試料는 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 peroxide 를 加하여 alkali 로 되게 하였다.<sup>5)</sup>

#### 2) Tritium 濃縮

前處理된 試料는 電氣分解槽를 利用하여 20g 까지 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 防止하기 위하여 冷凍槽內에 10% ethylene glycol 을 加하였다. 또, 最初 電流는 120mACm<sup>-2</sup>의 電流密度가 되도록 調整하였고 전기분해가 進行됨에 따라 200mACm<sup>-2</sup>를 초과하지 않게 調整하였다.

濃縮時間은 約 210時間이 所要되었으며, tritium 함량을 이미 알고 있는 2個의 tritiated water 를 다른 試料와 同一하게 處理하여 濃縮係數를 計算하였다. 試料의 濃縮이 完了된 후 試料內 sodium hydroxide 의 濃도가 約 20% 정도이므로 CO<sub>2</sub>gas 를 注入시켜 sodium carbonate 로 만든 다음 乾燥될 때까지 蒸溜하여 蒸溜 濃縮된 액체를 tritium 測定試料로 하였다.

#### 3) Tritium 計測

Tritium 濃縮 및 蒸溜가 完了된 試料를 計測용기에 10ml 를 취하고 여기에 instagel 10ml 를 加하였다. 試料中の 閃光 混合物은 1個月이상 安定性이 유지되도록 했다. 計測용기는 閃光混合物에 의해 浸透되거나 化學反應이 일어나지 않으며 計測效率(E)이 높고 background 가 낮은 閃光混合物과 함께 tritium 을 測定하여 E<sup>2</sup>/B값이 큰 teflon 計測용기를 使用하였다. Background 用 tritium free water 는 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. 이때 기기의 discriminator 는 45-600, amplification 은 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하였다. Tritium 計測值는 Syber computer, JSAHN program 에 의하여 TU (Tritium unit; 1TU=3.24×10<sup>-3</sup> PCig<sup>-1</sup>)로 환산하였다. Tritium의 單位는 初期 自然表面水中 tritium 含量이 水素 10<sup>18</sup> 原子當 約 1個의 <sup>3</sup>H 原子가 있다는 것이 발견되어 試料中の <sup>1</sup>H<sup>18</sup> 原子當 <sup>3</sup>H 原子의 數를 TU 로 나타냈다.<sup>5)</sup>

### 나. Deuterium 測定

물試料中 D/H ratio 는 질량분석기를 使用하여 測定하였고<sup>9)</sup> 물試料中 安定 同位元素인 deuterium 함량(per mill)<sup>10)</sup>은 다음과 같이 표시하였다.

$$D(\text{per mill}) = \left\{ \frac{(D/H)_{\text{Sample}}}{(D/H)_{\text{Vsmow}}} - 1 \right\} \times 1000$$

Vsmow : standard mean ocean water (IAEA, Vienna 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 실험실로 운반후 즉시 Corning pH 측정장치 (Model 5)을 使用 測定하였다.

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

4) 陽이온 (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>)은 원자흡광분광기 (Perkin Elmer, Model 2380)로 측정하였다. 특히, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>인 경우 화학간섭을 줄이기 위해 0.25% La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 용액을 處理하였다.

5) 陰이온 (Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)인 경우 Cl<sup>-</sup>은 침전適定法, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 중화適定法, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 탁도정량 (turbidity method) 方法으

로 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 음이온 ppm(parts per million)값을 epm(equivalents per million)단위로 換算한 뒤 양이온의 경우는  $(Ca^{2+} \text{ or } Mg^{2+} \text{ or } Na^{+} + K^{+} \text{ or } Ca^{2+} + Mg^{2+} / Na^{+} + K^{+} + Ca^{2+} + Mg^{2+}) \times 100$  음이온의 경우는  $\{Cl^{-} \text{ or } SO_4^{2-} \text{ or } CO_3^{2-} + HCO_3^{-} / Cl^{-} + SO_4^{2-} + [CO_3^{2-} + HCO_3^{-}]\} \times 100$ 로 계산해서 Piper의 trilinear diagram<sup>11)</sup>으로 나타냈다.

마. 地下水內의 海水 汚染 區別

地下水의 海水에 依한 汚染度를 計算하기 爲하여 試料中の  $Cl^{-}$ 과  $HCO_3^{-}$ 의 ppm 값을 epm 단위로 換算한 뒤에  $Cl^{-}$ 의 epm 값을  $HCO_3^{-}$ 의 epm 값으로 나누어 얻어진 값을 사용했다. 또 試料中の 總이온 量을 milligram equivalent per liter로 計算하고 이들을 陽·陰이온으로 區別해서 陽이온의 경우에는  $Na^{+} + K^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}$ 가 차지하는 分율을 陰이온의 경우에는  $Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}$ 가 각각 차지하는 分율을 graph에 나타냈다.

結果 및 考察

1. 環境同位元素 測定에 依한 水資源 評價

Tritium(<sup>3</sup>H)은 宇宙線에 依해서 窒素가 核反應을 함으로써 自然界에서 계속적으로 生成되어 지고 있으며 이것은 또 約 12.43년의 半減期를 갖고 있으므로 自然 소멸되기 때문에 결국 生成과 소멸이 一定한 平衡을 이루게 되는 것이다.

1952年 以前에는 雨水中の tritium 含量이 1~10TU 程度이었으나 그 이후 빈번한 核實驗의 結果 빗물과 表面水中의 tritium 含量은 증가일로이었고 1954年 3月 Ottawa에서 雨水中에 2,937TU의 含量을 나타낸 일도 있었다.<sup>12)</sup> 우리

나라의 포항지역에서 調査된 雨水中 tritium 含量變化를 보면 1963年度에 Fig. 2에서 보는바와 같이 約 1,300TU가 降水中에 含有되었으나<sup>13)</sup> 그 以後에는 계속적으로 減小되어서 1983年度 濟州地域에서의 降水中 tritium 含量은 約 13TU 이었다.<sup>14)</sup> 또 地表水와 地下水中的 tritium 含量 分布를 보면 Fig. 3에서 보는바와 같이 北쪽 地方으로 갈수록 높은 값을 나타내고 있는데<sup>20)</sup> 北半球에 屬하는 우리나라에서는 核實驗에 依한 tritium 증가 영향이 北쪽으로 갈수록 높았기 때문인 것으로 생각된다.

가) Tritium 測定結果

Table 2에서 보는바와 같이 S1과 S3의 海水中 tritium 含量은 平均 5.3TU 이었는데 이는 1984年度 濟州地域海水와 비슷한 값<sup>20)</sup>이었다. S1의 경우에는 7月과 9月에 tritium 含量이 약간 增加하는데 이는 夏節期에 集中的으로 分配되는 降水가 陸上으로부터 흘러 들어오기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 S3의 경우에는 2月, 6月, 9월에 걸쳐서 海水中 tritium 濃度

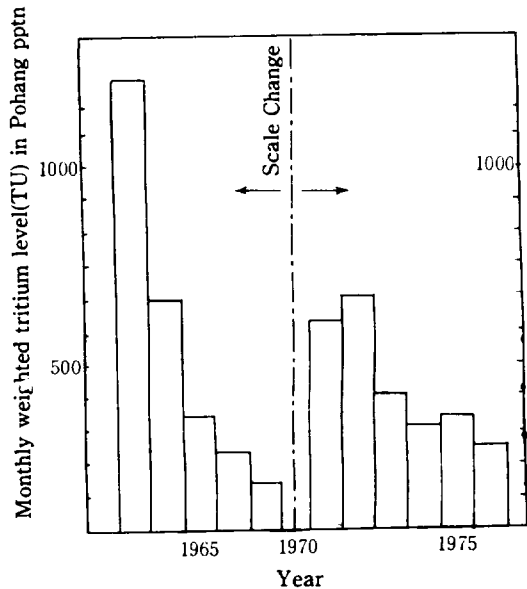


Fig. 2. The Variation with time of the monthly weighted tritium levels in Pohang rainfall.

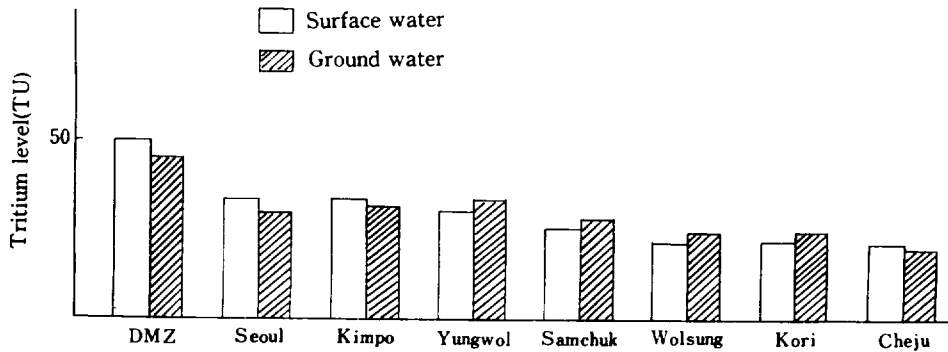


Fig. 3. Distribution of tritium concentration in Korea.

Table 2. Seasonal change of environmental tritium and deuterium levels in water samples from soguipo-shi area.

Sample	February		July		September	
	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)
S1	4.61±0.57	-4.6±0.6	5.15±0.54	-5.5±0.4	7.18±0.52	-5.7±0.7
S2	15.64±0.65	-12.3±0.5	17.29±0.62	-38.7±0.5	11.93±0.55	-11.1±0.9
S3	4.43±0.56	-2.7±0.5	4.78±0.55	-3.5±0.6	4.33±0.52	-4.3±0.6
S4	13.76±0.62	-37.6±0.9	16.81±0.62	-37.4±0.1	11.77±0.54	-37.1±0.8
S5	12.11±0.61	-38.3±0.8	11.36±0.58	-37.8±0.6	11.46±0.53	-37.1±0.7
S6	7.80±0.58	-38.6±0.6	12.56±0.59	-39.1±1.0	5.90±0.52	-36.8±0.6
S7	12.52±0.58	-38.9±0.7	17.05±0.27	-39.0±0.8	9.59±0.61	-38.8±0.7
S8	11.89±0.60	-38.0±1.0	-	-	-	-
S9	3.60±0.55	-38.8±0.6	5.12±0.62	-38.2±0.7	2.39±0.50	-38.7±0.5
S10	13.94±0.61	-38.8±0.7	16.70±0.60	-39.1±1.0	12.19±0.54	-38.7±0.8
S11	13.24±0.59	-39.1±0.9	15.12±0.58	-39.5±0.8	10.59±0.54	-38.8±0.7
S12	3.95±0.56	-38.4±0.8	10.91±0.57	-38.8±0.7	7.93±0.51	-38.9±0.6
S13	15.04±0.63	-40.3±0.9	16.66±0.60	-39.1±0.5	11.89±0.55	-38.5±0.6
S14	13.22±0.60	-39.3±1.0	15.28±0.60	-39.8±0.6	12.61±0.54	-39.0±0.5

- : not sampled

가 변화되지 않고 있는데 이것은 陸地로 부터 排出되어 나오는 水量이 相對的으로 크지 못해서 희석효과가 無視될 程度로 적기 때문인 것으로 判斷된다.

바닷가 연안으로 분출되는 湧泉水인 S2에서는 2月과 7月, 9月중에 다른 地下水와 同一

한 tritium 含量을 나타내고 있다.

天池淵폭포 근처인 S9에서 tritium 含量이 海水와 비슷한 것은 注意를 要하는 바이므로 계속 反復해서 分析해 볼 必要가 있다고 생각된다. S6과 S12의 試料에서도 2月(7.8과 3.95TU)과 9月(5.9와 7.93TU)에는 다른 地下水보다는

훨씬 낮은 함량을 보이고 있다.

나) Deuterium 測定結果

Tritium 과는 달리 湧泉水와 地下水 試料間에 별다른 差異가 없으며 時期別로도 뚜렷한 差異가 없이 -37~-40 per mill의 함량을 나타냈다. S1과 S3는 서로 다른 2個 場所에서 採取된 海水인데 S1은 7月과 9月에 陸上 또는 地下로 流出되어 나간 地表水와 地下水 영향을 받았기 때문에 一般 海水보다 약간 낮은 deuterium 함량을 보이고 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

6月과 9月에 測定된 水溫은 海水가 地下水보다 높은 값을 보였으나 2月에는 溫度差異가

一定치 않았다. pH는 海水인 S1과 S3에서 alkali 性を 나타내며 S9가 地下水中에서는 唯一하게 계속적으로 pH8以上을 나타내서 海水와 유사성을 보여주고 있다.

그외의 地下水 試料들과 湧泉水는 pH7에 아주 가까운 中性이었다.

地下水의 전기전도도와 음·양이온 농도는 table 3. 4. 5에 표시된 바와 같이 그 位置와 試料採取 時期에 따라서 달라졌다. 일반 良質의 地下水의 전기전도도는 100 $\mu$  mho/cm 내외이나, 해안에 근접한 S4, S5, S9, S12지하수는 200~600 $\mu$  mho/cm 정도로 높은 경향이였다.

한편, 해수의 경우가 지하수보다 전기전도도와 음·양이온 농도의 변이폭이 컸다. 이것은 S1과 S3海水가 陸上으로 부터 流入되는 排水의 영향을 받기 때문이고 특히 S1지하수인 경우는 S2의 湧泉水로 부터 많은 영향을 받기 때문인 것 같다.

Table 3. Chemical data of water samples from Soguipo-shi area in February.

Sample	Temp. (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	SO <sub>4</sub> ((ppm)	HCO <sub>3</sub> (ppm)	Conductivity ( $\mu$ mho cm <sup>-1</sup> )
S1	16.0	8.3	9,470	400	1,080	390	16,083	2,752	159	40,000
S2	15.0	6.9	6.6	1.9	2.1	2.8	9.4	1.4	27.7	114
S3	14.0	8.1	9,390	350	1,070	400	15,553	2,649	150	33,574
S4	14.0	7.0	59.0	6.2	11.0	7.4	42.6	8.3	28.7	370
S5	16.0	6.9	62.9	12.7	22.8	22.2	103	30.0	60.8	323
S6	15.0	7.1	11.6	2.4	3.0	4.8	15.8	3.2	47.3	122
S7	17.0	6.5	9.8	2.4	2.9	4.7	15.9	1.5	22.2	125
S8	13.0	6.6	19.2	3.4	5.4	10.0	28.5	2.7	55.7	222
S9	18.0	8.2	15.1	4.1	5.0	11.5	15.9	2.0	62.5	204
S10	14.0	6.7	6.0	1.9	2.3	3.3	12.3	1.0	30.4	100
S11	15.0	6.7	10.8	2.8	3.1	2.7	15.3	1.4	30.7	125
S12	16.0	6.9	11.8	2.1	3.3	5.9	17.6	1.5	44.9	143
S13	14.0	6.8	6.4	2.1	3.1	2.4	9.5	1.5	25.3	100
S14	14.0	6.8	4.9	1.7	1.4	1.8	7.0	1.1	19.9	45

Table 4. Chemical data of water samples from Soguipo-shi area in July.

Sample	Temp. (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	HCO <sub>3</sub> (ppm)	Conductivity ( $\mu$ mho cm <sup>-1</sup> )
S1	20.5	8.1	8,800	470	800	1,800	14,664	2,391	113	65,000
S2	16.0	7.1	11.2	0.2	2.6	8.4	13.6	2.8	24.7	155
S3	20.5	8.1	8,600	480	700	2,300	15,281	2,608	193	67,000
S4	17.5	7.2	18.6	2.2	5.0	14.2	32.4	7.3	25.7	280
S5	17.0	7.1	54.0	4.2	11.8	19.4	30.1	19.3	54.7	600
S6	17.0	7.3	13.2	2.2	5.0	9.8	12.8	2.9	37.5	170
S7	16.5	7.3	11.6	0.2	5.2	9.0	18.7	1.6	25.7	170
S8	16.5	6.6	19.2	2.4	6.4	13.2	25.6	2.5	30.4	-
S9	19.0	8.1	14.0	2.8	6.4	16.8	21.5	2.2	82.1	-
S10	16.0	7.1	10.0	0.2	5.2	8.8	14.8	1.7	24.3	155
S11	19.0	7.0	18.0	2.8	7.0	15.8	26.7	4.1	32.1	280
S12	17.5	6.8	16.4	2.2	5.8	13.6	19.3	2.0	52.7	230
S13	18.0	6.9	11.6	2.4	5.0	10.2	14.4	4.6	26.7	200
S14	14.0	6.9	10.0	2.6	6.2	13.6	14.8	2.3	22.0	200

- : not measured

Table 5. Chemical data of water samples from Soguipo-shi area in September.

Sample	Temp. (°C)	pH	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Cl (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	HCO <sub>3</sub> (ppm)	Conductivity ( $\mu$ mho cm <sup>-1</sup> )
S1	22.0	8.5	4,700	500	900	700	8,736	551	86.5	10,000
S2	15.5	7.0	6.2	0.2	3.4	6.4	10.1	1.5	23.0	172
S3	24.5	8.3	7,200	400	1,300	700	13,572	1,322	255	20,000
S4	17.5	7.0	20.0	2.6	7.8	11.4	42.4	8.3	31.7	192
S5	16.0	6.8	27.0	2.8	8.4	13.2	47.4	14.9	31.7	263
S6	16.5	7.3	10.6	2.0	5.2	8.4	14.5	3.0	34.8	135
S7	15.5	6.8	7.8	0.2	5.2	6.0	14.7	2.5	24.0	116
S8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S9	18.0	8.3	14.4	2.1	7.2	6.0	19.5	2.8	76.0	200
S10	15.5	6.9	8.6	0.2	5.2	7.0	13.6	0.8	23.6	114
S11	15.5	6.8	11.2	2.0	5.6	7.8	17.3	1.7	21.6	139
S12	16.0	6.9	15.8	2.0	7.0	12.2	22.5	3.4	39.5	172
S13	16.0	7.1	8.2	0.2	5.2	6.4	11.5	1.7	22.3	100
S14	15.0	7.1	4.6	0.2	4.8	11.4	10.0	1.3	13.5	90

- : not sampled



나) Trilinear Diagram 에 의한 水文學的 分類

Figure 4, 5, 6 에서 얻어진 水文學的 類型 을 時期別로 모아 놓은 것이 Table 6 인데 S 1 과 S 3 는 湧泉水나 地表水의 영향을 받는다고 는 하지만 試料採取時期에 關係없이 Na·Cl型으로 分類되었다. S 4 는 2월에 그리고 S 5 는 7월에만 Na·Cl型으로 나타났으며 그밖의 時期에는 Ca·Cl型이었다.

Tritium 分析結果와 pH 그리고 水溫등으로 보아 海水의 영향을 받는 것처럼 보이는 S 9 는 Ca·HCO<sub>3</sub>型으로 火山性淺層 地下水로 分類되었다. 降水量이 集中되고 있는 7월과 9월에 大部分의 試料地下水들은 Ca·Cl型으로 變化되는

것을 Table 6에서 볼수 있는데 이는 비교적 深度가 낮은 대수대의 水源을 두고 있어 降水의 영향을 많이 받는다는 共通性을 갖는 것으로 생각된다.

다) 海水汚染指標로써의 Chloride -bicarbonate 比

Figure 7, 8, 9에서 기둥의 높이는 陰·陽이온의 總濃度를 milligram equivalent/liter 로 나타낸 것이고 기둥의 왼쪽 부분은 陽이온 총량에 대한 백분율로써 각개 양이온의 含量比를 나타내고 오른쪽은 陰이온에 對한 것이다. 기둥의 맨위에 기록된 숫자는 chloride-bicarbonate 比로써 이들을 table 7에 나타냈다. 地下水中에 海水汚染의 程度를 評價하기 위해서 Revelle<sup>15)</sup>

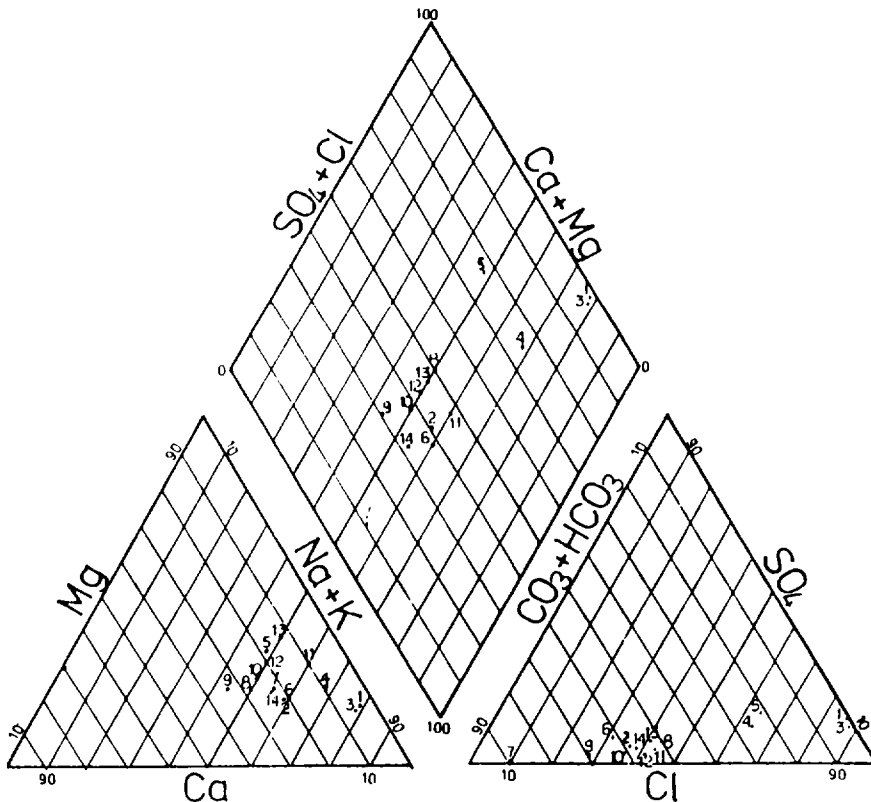


Fig. 4. Trilinear diagram(February)

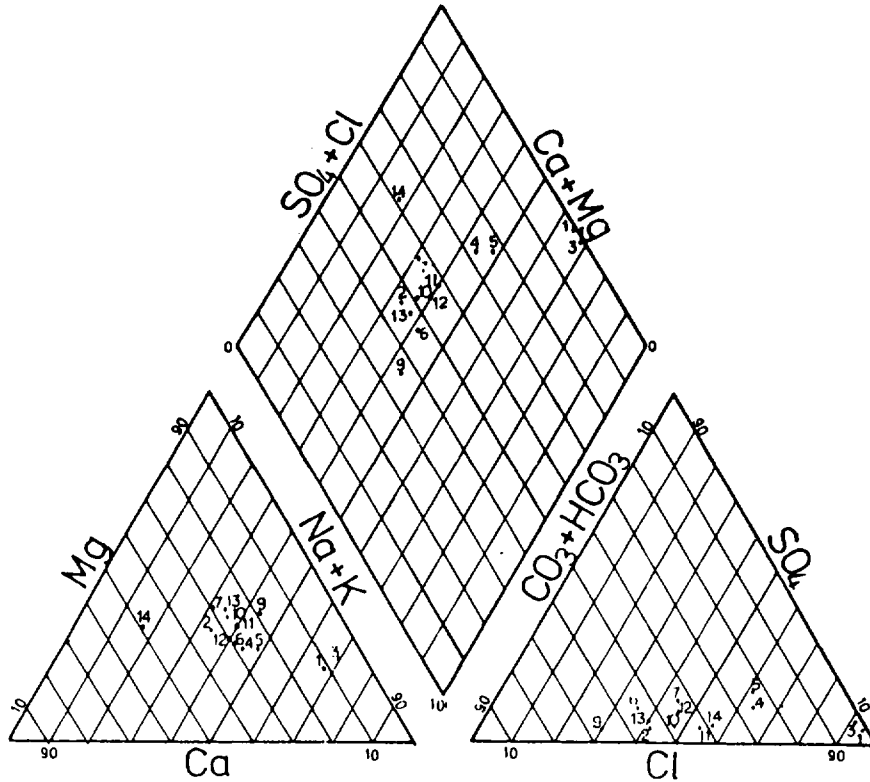


Fig. 5. Trilinear diagram(July)

Table 6. Classification of water samples from Soguipo-shi area.

Sample	Types of water		
	February	July	September
S1	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
S2	Na·HCO <sub>3</sub>	Ca·Cl	Ca·HCO <sub>3</sub>
S3	Na·Cl	Na·Cl	Na·Cl
S4	Na·Cl	Ca·Cl	Ca·Cl
S5	Ca·Cl	Na·Cl	Ca·Cl
S6	Na·HCO <sub>3</sub>	Ca·HCO <sub>3</sub>	Ca·HCO <sub>3</sub>
S7	Na·HCO <sub>3</sub>	Ca·Cl	Ca·Cl
S8	Ca·HCO <sub>3</sub> (Na·HCO <sub>3</sub> )	Ca·Cl	—
S9	Ca·HCO <sub>3</sub>	Ca·HCO <sub>3</sub>	Ca·HCO <sub>3</sub>
S10	Ca·HCO <sub>3</sub> (Na·HCO <sub>3</sub> )	Ca·Cl	Ca·Cl
S11	Na·HCO <sub>3</sub>	Ca·Cl	Ca·Cl
S12	Ca·HCO <sub>3</sub> (Na·HCO <sub>3</sub> )	Ca·HCO <sub>3</sub>	Ca·Cl
S13	Ca·HCO <sub>3</sub> (Na·HCO <sub>3</sub> )	Ca·Cl	Ca·HCO <sub>3</sub>
S14	Na·HCO <sub>3</sub>	Ca·Cl	Ca·Cl

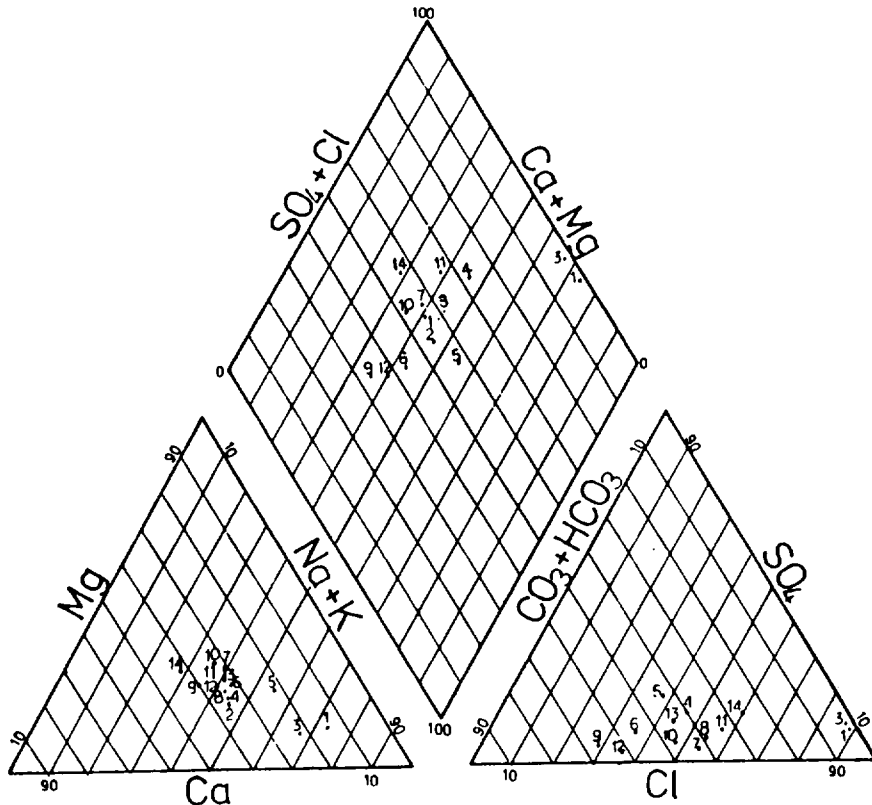


Fig. 6. Trilinear diagram(September)

는 chloride-bicarbonate ratio 를 利用했다. chloride 는 海水中에 많이 함유되어 있는 反面 地下水中에는 적은량이 存在하고 bicarbonate 는 chloride 와는 反對로 海水中에는 比較的 小量이고 地下水中에는 가장 많이 함유된 陰이온 인 것이다.<sup>16)</sup> 또 海水와 地下水가 混合되는 경우에 發生될 수 있는 염기치환현상<sup>17)</sup>, 황산이온 의 환원이나 탄산과 기타 약산기의 상호치환 그리고 沈澱現象등과는 무관하게 chloride 와 bicarbonate 는 영향받지 않는다는 事實을 應用 해서  $Cl/CO_3 + HCO_3$  값을 計算해서 海水汚染의 指標로 使用한다.

Figure 7, 8, 9에서 기둥의 높이를 보면 海水 인 S1과 S3가 他地下水에 比해서 採水時期에 關係없이 제일 높았다.

9月에는 S1, S3의 總이온 濃도가 낮아져서 1,000이하의 값을 보였는데 S1의 경우 특히 湧泉水의 영향을 많이 받았기 때문에 생각된다. S4와 S5에서는 2月의 總이온 濃도가 7月, 9月에 比해서 높은 값을 나타냈을뿐 아니라 chloride-bicarbonate 比도 2.5이상으로 높아서 Cl의 相對含量이 增加되었음을 말해주고 있다. 그외의 地下水 試料들의 chloride-bicarbonate 比가 1.0内外에 머물고 있어서 이 方法으로는 鹽類混入의 問題가 發見되지 않았다.

### 3. 鹽含量이 높은 S4, S5, S9지점에 대한 확인 실험

세개지점(S4, S5, S9) 지하수의 電氣傳導도는

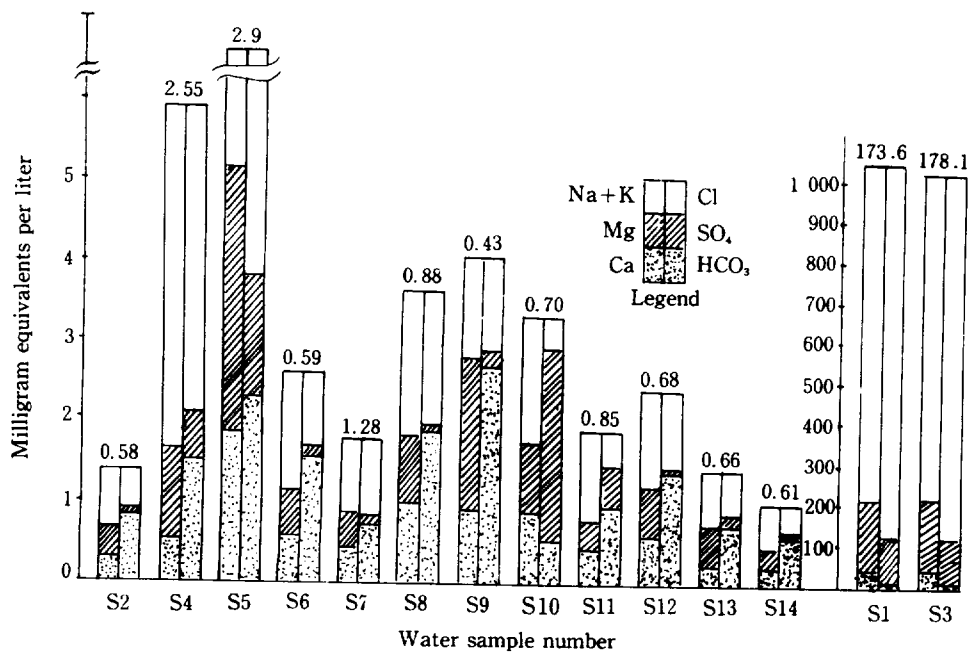


Fig. 7. Chemical analyses of waters from Soguipo-shi Area. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram(February).

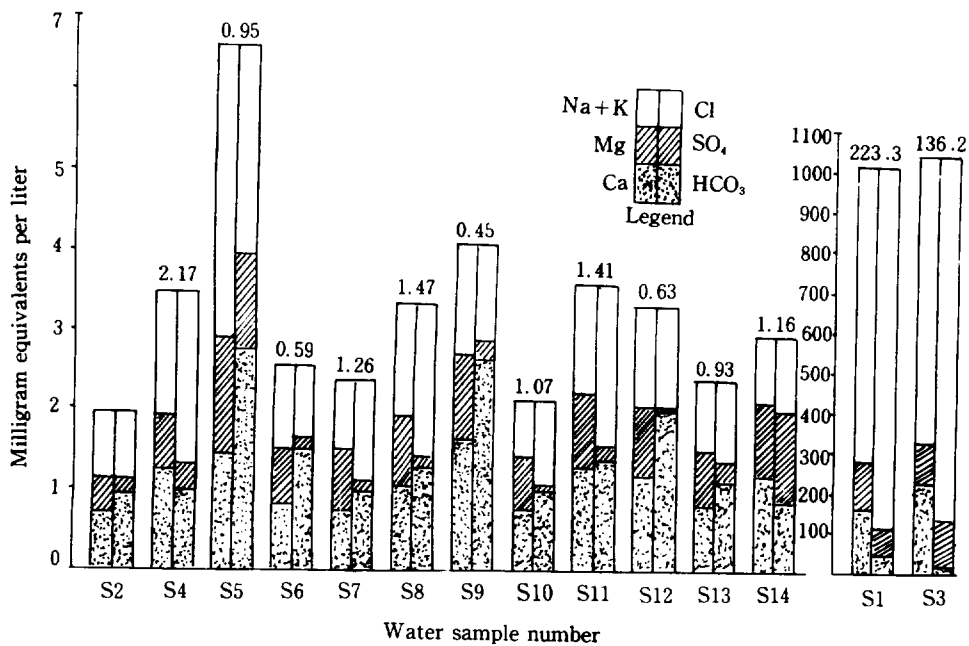


Fig. 8. Chemical analyses of waters from Soguipo-shi Area. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram(July).

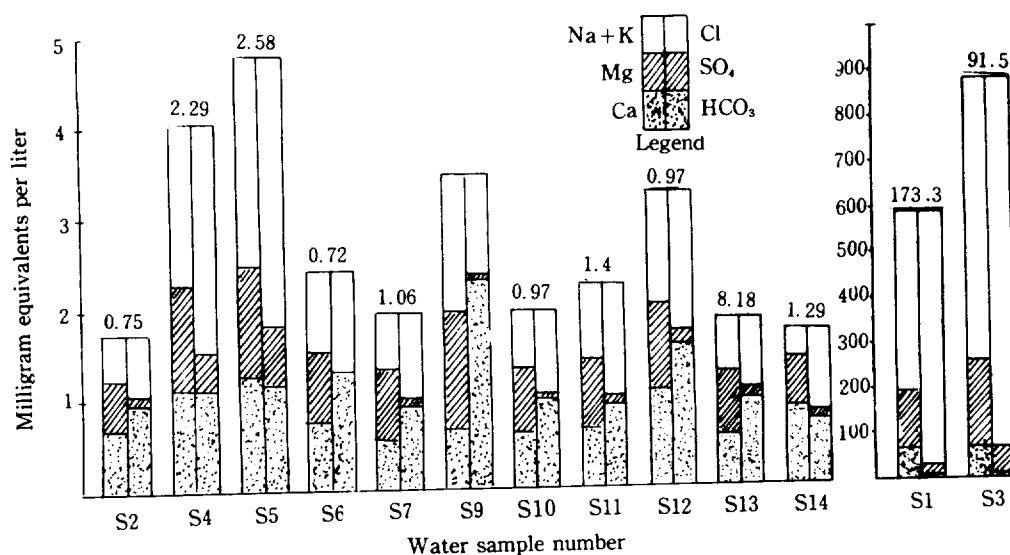


Fig. 9. Chemical analyses of waters from Sogupo-shi Area. Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (September).

Table 7. Chloride-bicarbonate ratios as a criteria of sea water intrusion.

Sample	February	July	September
	$\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$
S1	173.60	223.20	173.30
S2	0.58	0.94	0.75
S3	178.10	136.20	91.50
S4	2.55	2.17	2.29
S5	2.90	0.96	2.58
S6	0.59	0.56	0.72
S7	1.28	1.26	1.06
S8	0.88	1.47	-
S9	0.43	0.45	0.44
S10	0.70	0.96	0.97
S11	0.86	1.42	1.40
S12	0.68	0.63	0.97
S13	0.66	0.93	0.86
S14	0.61	1.17	1.29

모두 양질의 地下水에 비해 높았는데 S9에서는 tritium 함량도 일반지하수와는 달리 낮은 값을 나타냈기 때문에 염분오염의 경로가 S4, S5와는 다르리라고 생각된다. 즉 tritium 함량을 볼때 해수의 혼입에 의한 것이라고 추정됨으로 이에 대한 원인구명을 확인하기 위해 1986년 5월에 반복실험을 실시하였다.

Table 8에서 보는바와 같이 S9관정의 地下水에는 前年度와 마찬가지로 tritium 含量이 일반 地下水보다 낮으나, S4, S5地下水는 거의 비슷

한 값을 보이고 있다.

한편, S9地下水의 deuterium 과 oxygen-18함량은 S4, S5地下水와는 달리 일반 지하수보다 높은 결과를 얻었다.

따라서 S9의 tritium, deuterium, 그리고 oxygen-18 분석결과를 종합하면 이 지하수는 海水로 부터 오염된다고 볼 수 있으나 S4와 S5의 경우는 오염원이 海水가 아닌 것으로 판단된다.

Table 8. Environmental tritium deuterium and oxygen-18 levels of water samples from Soguipo-shi areas

Sample	May		
	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)
S4	14.00 ± 0.57	-43.60 ± 1.79	-7.05 ± 0.08
S5	12.50 ± 0.49	-43.90 ± 1.75	-7.18 ± 0.05
S9	5.51 ± 0.43	-41.70 ± 1.41	-6.92 ± 0.09

### 摘 要

本 研究는 濟州道 西歸浦地域에 位置하고 있는 地下水 資源에 관한 기초적인 理化學的 特性을 分析함으로써 將來에 發生할 수 있는 海水에 의한 地下水의 汚染을 사전에 豫防하기 위해서 海水 2 점, 湧泉水 1 점, 地下水 11점을 대상으로 時期別로 採水하여 온도, pH, 양이온, 음이온, 電氣傳導度 그리고 환경동위원소인 tritium, deuterium 과 oxygen-18의 存在量을 精量하였다.

1) 湧泉水의 영향을 받지않는 海水의 전기전도도는 50,000 $\mu$ mho/cm 였으며, 일반 양질의 地下水는 100 $\mu$ mho/cm 내외였다. 반면에, S4, S5, S9, S12地下水는 200~600 $\mu$ mho/cm 범위였다.

2) Tritium 함량은 海水 4~5 TU, 湧泉水 15~17TU, 地下水 11~17TU였다.

3) Deuterium 함량은 海水 -4~-2per mill, 湧泉水 -38per mill, 地下水 -40~-37per mill 정도였다.

4) 일반 양질의 지하수에 비해서 S4, S5 管井의 地下水는 염분함량과 전기전도도가 약 1.5~3배 정도 높으나 tritium 함량과 deuterium 함량이 일반 지하수와 비슷하기 때문에 海水의 오염에 의한 염분 증가가 아닌 것으로 판단된다.

5) 한편, S9인 경우 일반 地下水에 비해 tritium 함량도 높고 특히 S4, S5지하수 보다 deuterium 과 0-18함량이 높은 것으로 보아 염분함량이 높은 것은 海水의 영향을 받았기 때문이라고 생각된다.

## 參 考 文 獻

1. J. S., Han, 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. J. S. Hahn, and J. S. Ahn, Studies on Isotope Hydrology in South Korea. J. Geolo. Sco. 20(1) : 72~84, 1984.
4. A. E., Greenberg, J. J. Connors, and D. Jenkins, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Amm. Public Health Asso., Washington. pp. 152~155, 270~271, 439~440, 1981.
5. G. E., Calf. B. W. Seatonberry and L. W. Smith, The Measurement of Natural Levels of Tritium in Water. AAEC/E373, 1976.
6. J. S., Ahn, 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. L. W. Alvarez, and R. Coming, Radioactive Hydrogen. A Correction Phys. Rev. 58(2) : 197, 1980.
8. J. S., Ahn, 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. P. E., Hartley, A Rapid Mass Spectrometers Method for the Determination in Water at Natural Levels. Anal. Chem. 52 : 2232, 1981.
10. B., Kumar, 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. A. M., Piper, and A Graphic, Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. Am. Geophy. Union Trans. 25 : 914~923. 1944.
12. S. N., Davis, R. J. M. Dewiest, Hydrology. John Wiley & Sons. Inc. pp. 137~138.
13. J. S., Ahn, 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.
14. 安鍾成, 韓禎相, 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.
15. R., Revelle, Criteria for Recognition of Sea Water in Ground-Waters, Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 22, pp. 593~597, 1941.
16. D. K., Todd, Ground Water Hydrology. John Wiley & Sons. Inc. pp. 293~294, 1959.
17. S. K., Love, Cation-Exchange in Ground Water Contaminated with Sea Water near Miami, Florida, Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 25, pp. 951~955, 1944.
18. J. S., Ahn, J. S. Kim and J. You, Studies on the Tritium of Water Resources and Crop

- at the Nuclear Power Plant. KAERI/RR-327/81, 1981.
19. G. H., Davis, C. K. Lee, E. Bradley and B. Payne, 1970. Geohydrologic Interpretation of a Volcanic Island from Environmental Isotopes. *Water Resources Research*, 6( I ) : 99~109, 1970.
20. IAEA, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. Tech. Report No. 91. IAEA. Vienna, 1983.