

同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究(V)

유장걸 · 정창조 · 송성준 · 안종성*

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

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

Summary

The salt contents and electrical conductivity of groundwater sampled below 50m altitude in the area of Pyoson and Namwon were 2-30 times higher than those of groundwater above 50m altitude and those of Cheju and Sogwipo cities. The groundwater in the Pyoson coastal area has higher salt contents than those in the Namwon coastal area. Especially, the chloride content of P4 and P5 samples of the Pyoson area were more than 150ppm, indicating unsuitable for drinking water.

The groundwater in the coastal area has higher ratios (3.00-97.2) of chloride / bicarbonate and deuterium / oxygen-18 than those in the inland area, and it was classified as a Na-Cl type water. It is concluded that the groundwater in the coastal area is already contaminated by sea water.

The salt content of the spring water(P8) was 4-6 times higher than those of groundwaters of the inland area and its chloride-bicarbonate ratio was 7.48-9.81. However, the P8 spring water can be used for agricultural purpose because the SAR of the water is relatively low.

* 한국원자력 연구소 수문기술실

序 論

濟州道는 火山溶岩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. 溶岩空隙으로 降水의 대부분이 流失되거나, 地下로 浸透되어 河川의 大部分은 乾川이며 道內 水源으로는 일부의 地表水와 湧泉水, 地下水 이외는 기대하기 어렵다.¹⁾ 이와 같은 水資源의 問題는 濟州地域 産業發展에 큰 制限요인이 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 시작한 이래 1987年末 現在 236個孔, 394,967m³/日을 開發하여 道 全域에 良質의 地下水를 공급하고 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, 한정된 地下水의 保護와 이의 적절한 活用을 위한 對策이 시급하다. 특히 地下水資源의 過多 利用으로 海水의 浸透에 따른 地下水 鹽水化는 島嶼地方에서 흔히 問題가 되는데, 濟州地域의 地下水 保護를 위해서는 이와 關聯된 基礎 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 조직에 따라 Picrite 玄武岩, 橄欖石을 함유한 玄武岩, 非晶質玄武岩, 橄欖石安山岩, 非晶質安山岩, Trachyte質 安山岩 및 Trachyte로 分類할 수 있다. 海岸線을 따라 일부의 모래와 자갈 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 玄武岩內의 節理는 매우 불규칙적이며, 一般的으로 非晶質 火山岩은 節理의 發達狀態가 불량하다.³⁾ 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내에 包含된 地下水 2) 溶岩터널과 溶岩 Lava와 같은 洞孔型 3) 透水性 火山碎屑層을 수반하고 있는 2개의 接觸面에 包含된 地下水로 區分된다. 또한 濟州道の 地下水는 다른 火山岩 分布地域에서와 같이, 上位地下水和 基底地下水로 區分된다.¹⁾

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 鹽水와 직접 接觸해 있는 深層 地下水이므로 다량의 用水로 開發할 수 있다. 一般的으로 濟州地域의 水文循環은 降水에 의한 물이 節理나 溶岩孔洞 및 岩石接觸面과 같은 2차 有效空隙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 試驗孔과 30個所의 揚水場을 設置하였는데, 平均 116m 깊이와 1일 平均產出量은 1,300M/T에 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 施行한 바 平均 深度 116m에서 1일 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 開發은 앞으로 濟州道 用水 공급에 가장 必然的인데 現在 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 그중 일부의 深井은 海岸線에 너무 隣接해서 굴착을 했으므로 다량의 揚水로 인하여 淡水帶 내로 鹽水가 侵入될 우려가 있다.³⁾ 그러므로 基底地下水 開發 이전에 가장 시급하게 施行해야 할 問題는 鹽水가 淡水體 내로 浸透되지 않는 範圍內에서 深層 地下水를 開發할 수 있는 綜合인 地下水 資源調查를 하기 위해서는 1) 鹽水와 淡水와의 水理的인 관계가 구명되어야 하고, 2) 降水와 地表水도 地下水資源과 相互 關聯시킨 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 保護와 안정된 利用을 위한 계속 研究事業의 일환으로

濟州 東南部(表善, 南元) 地域의 地下水, 海水 및 湧泉水의 水質을 季節別로 分析하고 環境同位元素인 Tritium, Deuterium, Oxygen-18을 測定하여 地下水와 湧泉水의 海水에 의한 汚染 與否를 알아 보았다.

材料 및 方法

1. 試料採取

濟州 東南部地域의 試料는 海水(P5, P13), 湧泉水(P8)와 地下水(P1, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P11, P12, P14)로 區分하여 3, 4, 8, 10월에 각각 化學分析用 1 liter와 環境同位元素 測定用 1 liter씩을 採水하였다. (Table 1, Figure 1 참조)

Table 1. Specifications of sampling sites in Pyoson and Namwon areas.

Sample No.	Location	Description	Distance from sea (km)	Depth (m)
P1	Pyoson-myun Songup-ri	Ground water	7.00	143
P2	Songsan-up Samdal-ri	Ground water	2.50	80
P3	Pyoson-myun Pyoson-ri	Ground water	0.63	46
P4	Pyoson-myun Pyoson-ri	Ground water	0.63	23
P5	Pyoson-myun Pyoson-ri	Sea water	0	0
P6	Pyoson-myun Sewha-ri	Ground water	0.25	-
P7	Pyoson-myun Sewha-ri	Ground water	2.25	95
P8	Pyoson-myun Tosan-ri	Spring water	0	2
P9	Pyoson-myun Tosan-ri	Ground water	1.00	50
P10	Namwon-up Sinhung-ri	Ground water	0.13	-
P11	Namwon-up Sinhung-ri	Ground water	3.50	101
P12	Namwon-up Taehung-ri	Ground water	0.50	28
P13	Namwon-up Taehung-ri	Sea water	0	-
P14	Namwon-up Namwon-ri	Ground water	1.20	68

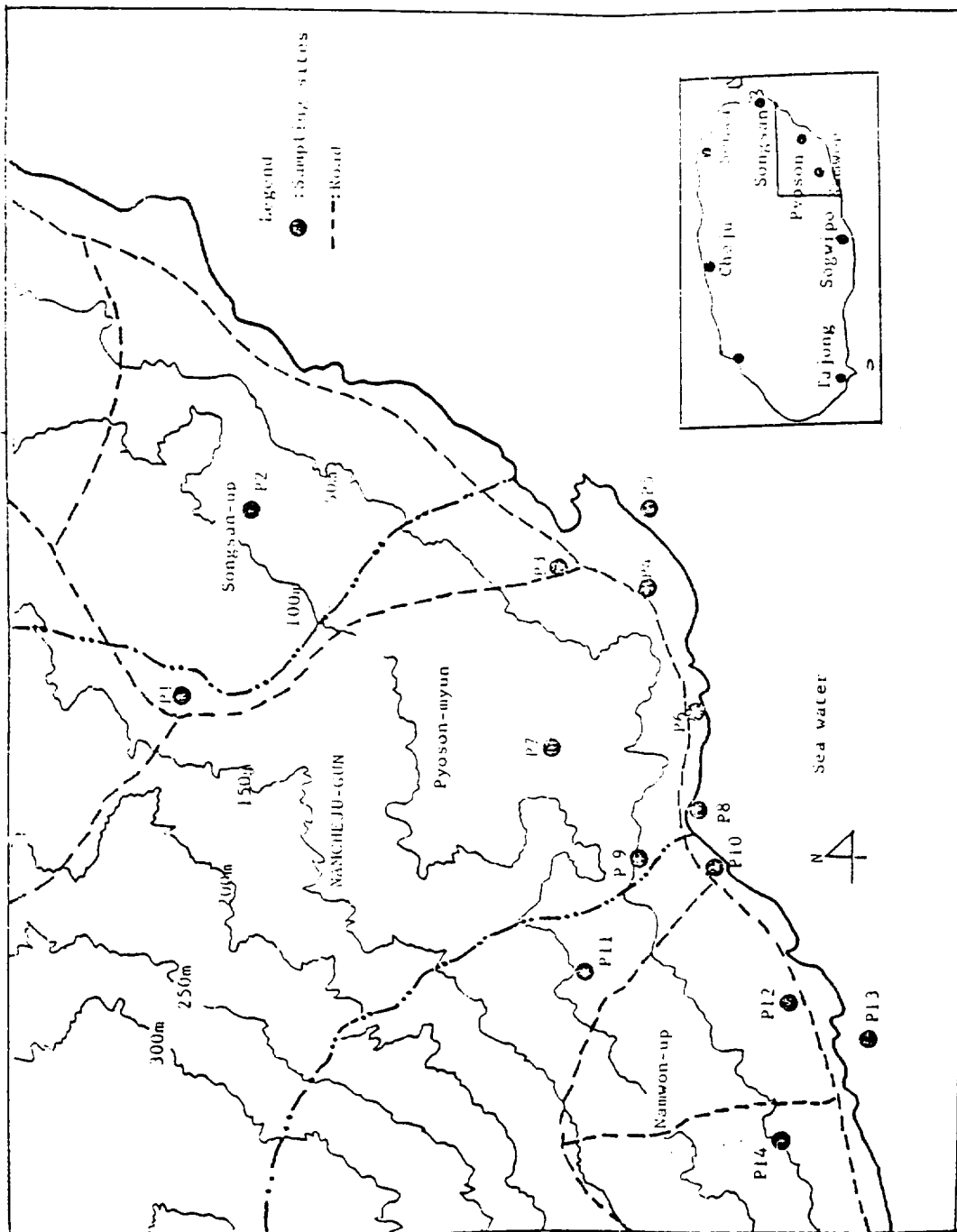


Figure 1. Location of sampling sites of Pyoson and Namwon areas.

2. 環境同位元素 測定

가. Tritium 測定

1) 試料의 前處理

降水를 제외한 모든 물試料은 蒸溜하여 鹽을 除去한 후 600g을 취하여 電氣分解로 濃縮하는 동안에 電極의 부식을 防止하기 위하여 0.67%의 Sodium Peroxide를 가하여 Alkali로 되게 하였다.⁴⁾

2) Tritium 濃縮

前處理된 試料은 電氣分解槽를 利用하여 20g까지 濃縮하였다. 試料을 電氣分解할 때는 -1~0°C로 유지하여 Tritium의 蒸發을 防止하였고 結氷을 防止하기 위해서 冷凍槽內에 10% Ethylene Glycol를 가하였다. 또 최초 電流는 120mAcm⁻²를 超過하지 않게 調整하였다. 濃縮時間은 약 210時間이 所要되었으며 Tritium含量을 이미 알고 있는 2개의 Tritiated Water를 다른 試料과 동일하게 處理하여 濃縮係數를 計算하였다. 試料의 濃縮이 完了된 후 試料 내 Sodium Hydroxide의 濃度가 약 20% 정도 이므로 CO₂ Gas를 주입시켜 Sodium Carbonate로 만든 다음 乾燥될 때까지 蒸溜하여 蒸溜 凝縮된 液體를 Tritium 測定試料로 하였다.

3) Tritium 計測

Tritium濃縮 및 蒸溜가 完了된 試料을 計測容器에 10ml를 취하여 여기에 Instagel 10 ml를 가하였다. 試料中の 閃光 混合物은 1개월 이상 安定性이 維持되도록 하였다. 計測容器은 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/B값이 큰 Teflon 計測 容器를 使用하였다.

Background용 Tritium Free Water는 호주 原子力研究所(ANSTO)에서 분양받아 使用하였다. Tritium試料은 液體閃光計測機(Packard Model 3255)로 計測하였다. 이때, 器機의 Discriminator는 45-600, Amplification은 100%, 그리고 Sample Changer內的 온도를 8°C로 調整하였고, 每 試料마다 20분씩 25회 반복 計測하고 TU (Tritium Unit; 1TU=3.24×10⁶Cig⁻¹)로 換算하였다.^{5,6)} Tritium의 單位는 초기 自然表面水中의 Tritium含量이 水素10¹⁸原子당 약 1개의 H-3原子가 있다는 것이 發見되어 試料中の H原子 10¹⁸개당 H-3原子의 수를 TU로 나타냈다.⁴⁾

나. Deuterium과 Oxygen-8 測定

물 試料중의 D/H와 O-18/O-16 Ratios는 質量分析機를 使用하여 測定⁷⁾하였고 물試料中の 環境同位元素인 Deuterium과 Oxygen-18 含量⁸⁾은 다음과 같이 표시하였다.

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

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

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

3. 理化學的 分析

採取한 試料의 理化學的 分析은 다음과 같이 行하였다.

가) 水温 : 水銀 溫度計를 使用하여 試料採取 즉시 現場에서 測定하였다.

나) pH : 採取하여 實驗室로 운반후 즉시 Corning pH測定機(Model 5)를 使用하였다.

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

라) 陽이온(Na, K, Ca, Mg)은 原子吸光 分光器(Perkin Elmer, Model 2380)로 測定 하였다. 특히, Ca, Mg인 境遇 化學 간섭을 줄이기 위해 0.25% La₂O₃溶液을 處理하였다.

마) 陰이온(Cl, HCO₃, SO₄) 境遇, Cl은 AgNO₃ 適定法, HCO₃는 0.05N H₂SO₄ 適定 法, SO₄는 濁度定量(Turbidity Method)¹⁰⁾ 으로 測定하였다.

4. 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 陽이온 및 陰이온의 ppm(parts per million)값을 epm(equivalents per million) 단위로 換算 한 뒤 陽이온의 境遇는 $\{(Ca \text{ or } Mg \text{ or } Na + K \text{ or } Ca + Mg) / (Na + K + Ca + Mg)\} \times 100$, 陰이온의 境遇는 $\{(Cl \text{ or } SO_4 \text{ or } HCO_3) / (Cl + SO_4 + HCO_3)\} \times 100$ 으로 計算해 서 Piper의 Trilinear Diagram¹¹⁾으로 나타냈다.

5. 地下水 내의 海水 汚染 區別

地下水의 海水에 의한 汚染度를 計算하기

위하여 試料中の Cl과 HCO₃의 ppm값을 epm 單位로 換算한 뒤 Cl의 epm값을 HCO₃의 epm값으로 나누어 얻어진 값을 使用했다. 또 試料中の 總이온 양을 milligram equivalent per liter로 計算하고 이들을 陽·陰이온으로 區別해서 陽이온의 境遇에는 Na+K, Mg, Ca가 차지하는 分率을, 陰이온의 境遇는 Cl, SO₄, HCO₃가 각각 차지하는 分率을 그래프에 나타냈다.¹²⁾

結果 및 考察

1. 環境同位元素에 의한 水資源 評價

地下水 資源의 研究를 위하여 世界的으로 環境同位元素(H-3, H-2, O-18)를 많이 使用 하고 있는 데 地下水의 年代를 測定하기 위해 서는 Tritium(H-3)을 그리고 地下水의 起源, 地表水와 地下水의 相互關係¹³⁾, 또는 鹽水化 現象에 대한 原因을 究明¹⁴⁾하기 위해서는 Deuterium(H-2), Oxygen-18(O-18)의 存在 比를 測定하는 方法을 活用하고 있다.

가) Tritium測定結果

Tritium은 宇宙線에 의해서 窒素가 核反應 을 함으로써 自然系에서 繼續的으로 生成되어 지고 있으며, 이것은 약 12.43年の 半減期를 갖고 있어서 自然消滅되기 때문에 결국 生成과 消滅이 일정한 平衡을 이루게 되는 것이다.

1952年 이전에는 降水中の Tritium含量이 1 ~10TU 정도였으나 그 이후 빈번한 核實驗의

Table 2. Environmental tritium of water samples from Pyoson and Namwon areas.

Sample No.	Tritium (TU)			
	March	May	August	October
P1	16.4	10.0	9.76	9.62
P2	15.8	10.7	11.7	10.7
P3	19.1	13.8	-	11.9
P4	17.5	8.77	9.36	10.3
P5	7.15	3.46	5.57	2.61
P6	20.0	11.7	12.3	12.1
P7	16.6	13.8	12.6	11.9
P8	13.2	13.9	12.9	12.7
P9	16.3	12.1	13.0	11.5
P10	15.1	14.3	11.3	10.9
P11	10.7	11.7	11.7	11.2
P12	15.7	9.92	9.76	8.73
P13	7.22	3.94	5.81	3.07
P14	13.1	15.0	13.2	12.6

- : not sampled.

結果로 빗물과 表面水中의 Tritium 含量은 增加되었고 1954年 3月 Ottawa에서 降水中에 2,937TU의 含量을 나타낸 일도 있었다.¹⁵⁾

우리나라의 浦項地域에서 調査된 雨水中の Tritium 含量 變化를 보면 1963年度에 약 1,300TU 이었으나¹⁶⁾ 그 이후에는 繼續적으로 減少되어서 1987年 濟州地域에서의 降水中의 Tritium 含量은 11TU정도이었다.¹⁷⁾

海水(P5, P13)中の Tritium 含量은 季節마다 다소 차이는 있으나 2.61~7.22TU 範圍로 濟州 東部 地域의 海水¹⁸⁾보다는 약간 높으며, 濟州市¹⁹⁾ 또는 西歸浦市 地域(4.3~7.9TU)²⁰⁾과 濟州 西部의 涯月, 翰林 地域(3.10~7.92TU)¹⁷⁾과는 비슷한 수준을 보였다.

湧泉水의 境遇는 季節別로 Tritium 含量이

일정하였다. 調査管井 地下水의 Tritium 含量은 地下水 採取 管井에 따라 그 量이 달랐고 季節別로 봤을 때 3月の 試料가 가장 높았다 (Table 2 참조). 이러한 Tritium 含量은 濟州市 地域의 地下水(14.6~21.3TU)보다는¹⁹⁾ 적었으나, 鹽分含量이 높은 濟州東部(舊左, 城山)地域의 地下水¹⁸⁾와는 비슷한 含量을 보였다. 降水中의 Tritium 含量은 季節적으로 봄에 가장 높다고 알려져 있는데, 이것은 成層圈과 對流圈의 境界面인 圈界面이 더 높은 高度로 移動하기 때문이다.¹⁸⁾

따라서 3月の 地下水의 Tritium 含量이 높은 이유는 봄에 내린 Tritium 含量이 높은 降雨가 透水性 地層을 통해 신속히 地下水中에 混入된 結果라 思料된다.

나) Deuterium 測定結果

Table 3에서 보는 바와 같이 海水中の Deuterium 含量은 -3.2~-0.3 per mill로서 濟州市(-4.6~-2.5 per mill)¹⁹⁾ 또는 西歸浦市 地域(-5.7~-2.7 per mill)²⁰⁾이나, 濟州 東部の 舊左, 城山 地域¹⁸⁾의 海水에 비해 비교적 높은 수준을 보였다. 湧泉水의 Deuterium 含量도 -40.0~-38.0 per mill를 보임으로써 濟州市¹⁹⁾나 西歸浦市 地域²⁰⁾에 비해 약간 높으며, 濟州東部(舊左, 城山) 地域보다 다소 낮은 것으로 나타났다. 대체적으로 研究 地域 管井의 地下水의 境遇도 -40.0~-38.0 per mill을 보임으로서 濟州市 (-46.0~-43.5 per mill)¹⁹⁾ 보다 그 含量이 약간 높으나 西歸浦市(-40.0~-36.0 per mil)²⁰⁾ 보다는 낮은 傾向이었다. 그러나 鹽分濃度가 높은 城山, 舊左 地域¹⁸⁾의 Deuterium 含量과는 비슷하였다. 특히 海拔 50m 이하에 位置한 P3, P4, P6, P10, P12 管井地下水의 Deuterium 含量은 季節마다 조금은 상이하나 海拔 50m 以上에서 채취한 地下水보다 대체적으로 높은 값을 보였다.

다) Oxygen -18 測定結果

海水中이 Oxygen-18含量(Table 3)은 濟州 東部(舊左, 城山) 地域의 海水(-0.2~-0.02 per mill)¹⁸⁾ 보다는 낮으나, 涯月, 翰林 地域(-3.97~-0.61 per mill)¹⁷⁾과는 비슷한 값을 보이고 있다. 또한 湧泉水의 Oxygen-18 含量은 海水와 마찬가지로 舊左, 城山 地域의 湧泉水¹⁷⁾보다 낮은 傾向을 띄고 있으며, 涯月, 翰林 地域 湧泉水와는 비슷한 수준을 나타내었

다. 한편, 地下水의 Oxygen-18含量은 -8.2~-6.89 per mill 수준으로 涯月, 翰林 地域¹⁷⁾ 보다는 높고, 濟州東部 地域¹⁸⁾ 보다는 낮은 含量을 보였고, 季節別로 봤을 때 夏節期에 낮은 傾向을 나타내었다.

研究地域내의 管井地下水의 Oxygen-18 含量은 表善地域인 境遇 海岸에 隣接한 管井은 그 含量이 높고 標高가 높아질수록 含量이 높은 海水에 영향을 받아¹⁸⁾, 그 含量이 높아졌다고 생각된다.

라) Deuterium과 Oxygen -18의 相互關係

本 研究地域의 地下水, 湧泉水, 海水試料로부터 測定한 Deuterium과 Oxygen-18과의 直線回歸을 구하면,

$$3\text{월試料는 } H-2 = 3.35 + 5.97 \delta O-18 (r = 0.990^{**})$$

$$5\text{월試料는 } H-2 = 3.54 + 5.82 \delta O-18 (r = 0.997^{**})$$

$$8\text{월試料는 } H-2 = 8.43 + 5.98 \delta O-18 (r = 0.979^{**})$$

으로 나타낼 수 있었다. (Fig. 2.3, 4 참조)

이처럼 試料내의 Deuterium과 Oxyge-18간에는 高度의 有意 相關을 보였다. 또한 전술한 回歸式이 다른 이유는 季節別로 環境同位元素(H-2, O-18) 含量이 변하기 때문인 것으로 생각된다. 또한, Figure 2.3, 4에서 보는 바와 같이 海水의 영향을 받은 地下水들은 Deuterium과 Oxygen-18含量이 높아지고 있었다.

Table 3. Environmental deuterium and oxygen-18 levels of water samples from Pyoson and Namwon areas.

Sample no.	March		May		August	
	Deuterium (per mill)	Oxygen (per mill)	Deuterium (per mill)	Oxygen 9per mill)	Deuterium (per mill)	Oxygen (per mill)
P1	-39.7	-7.84	-42.8	-7.90	-41.6	-8.19
P2	-38.9	-6.71	-40.6	-7.62	-39.3	-7.64
P3	-37.5	-6.73	-38.8	-7.40	-	-
P4	-36.8	-6.49	-33.1	-6.14	-34.2	-7.33
P5	-2.10	-0.87	-1.30	-0.58	-1.50	-1.96
P6	-38.8	-6.80	-39.5	-7.17	-33.6	-7.96
P7	-40.0	-7.14	-39.5	-7.36	-35.1	-7.95
P8	-38.0	-7.12	-40.7	-7.45	-39.7	-7.88
P9	-39.9	-7.18	-39.9	-7.59	-40.4	-8.09
P10	-38.6	-6.64	-39.1	-7.54	-41.2	-8.07
P11	-38.5	-7.09	-38.8	-7.20	-39.8	-7.87
P12	-41.7	-7.82	-39.0	-7.45	-39.4	-7.76
P13	-0.30	-0.87	-3.2	-1.50	-14.1	-3.33
P14	-41.4	-7.68	-41.5	-7.76	-43.7	-8.29

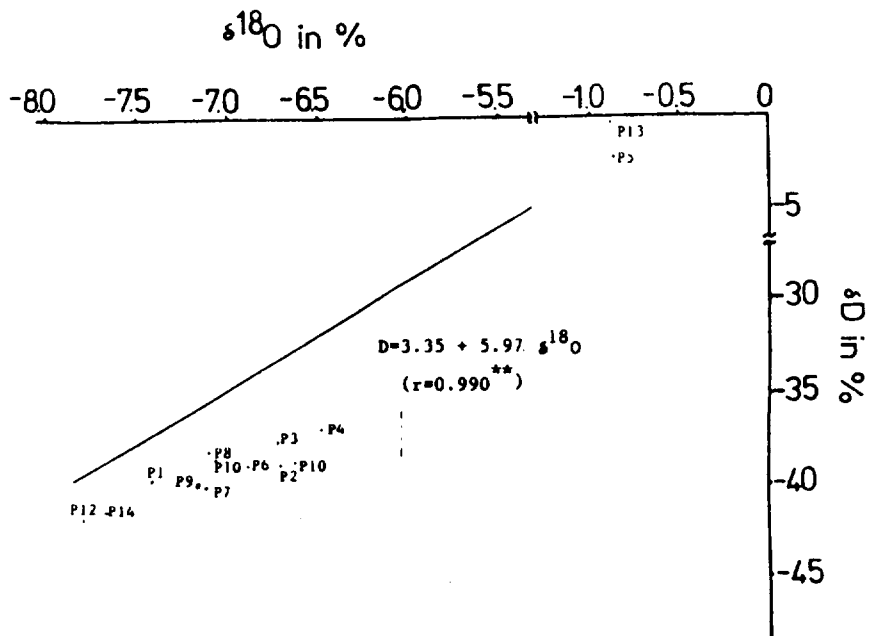


Figure 2. Stable isotope composition of water samples in Pyoson and Namwon areas (March).

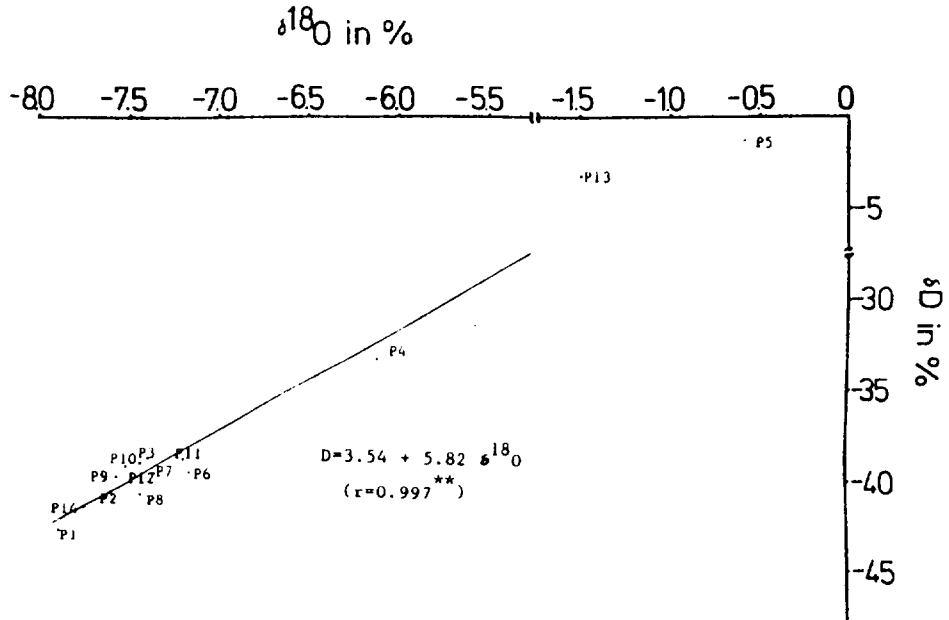


Figure 3. Stable isotope composition of water samples in Pyoson and Namwon (May).

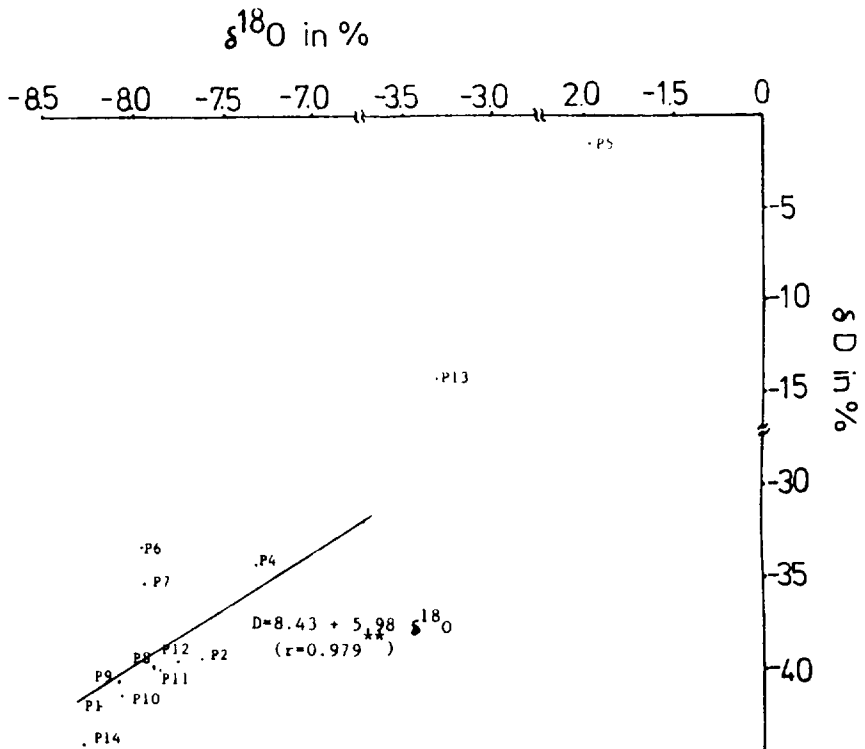


Figure 4. Stable isotope composition of water samples in Pyoson and Namwon (August).

一般的으로 降雨中の 安定同位元素(Deuterium, Oxygen-18) 存在量은 大氣溫度이 영향을 받은 것으로 알려져 있고, 특히, 韓國처럼 季節別 氣溫이 다를 境遇 降雨中の 環境同位元素 含量은 일정하지 않으며 夏節期에 環境同位元素(Deuterium, Oxygen-18) 含量이 낮다고 報告되어 있다.²¹⁾ 本 調査地域의 地下水의 環境同位元素인 Tritium, Deuterium 그리고 Oxygen-18 含量도 季節的으로 다소 변하고 있음을 보였다. 또한 일부 海岸에 隣接한 地下水의 環境同位元素인 Deuterium, Oxygen-18 含量은 海水의 영향을 받아 鹽分含量이 비교적 높은 濟州東部(舊左, 城山) 地域의 地下水¹⁹⁾의 그 含量과 비슷하였고, 標高가 높은 位置에 設置된 管井의 地下水일수록 環境同位元素 含量이 점점 낮아지고 있는 것으로 보아 海岸에 隣接한 地下水들은 海水의 영향을 받고 있다고 思料된다.

2. 理化學的 分析 結果

가) 水溫, pH, 電氣傳導度, 陰이온 및 陽이온 定量

Table 4,5,6,7에서 보는 바와 같이 水溫은 海水인 境遇 季節別로 相異하나 地下水와 湧泉水는 거의 일정한 15~18°C를 維持하고 있다. pH는 海水의 境遇 8.3~8.5範圍에 있고, 地下水와 湧泉水는 7.5~7.9 範圍였다. 한편, 本 調査地域의 地下水와 湧泉水의 陽이온, 陰이온 濃度 그리고 電氣傳導度(Table 4,5,6,7 참조)를 보며는 海岸에 隣接하여 즉

海拔 50m 未滿의 낮은 地帶에 地下水들은 海拔 50m 以上の 地域管井 地下水보다 2~30배 높은 含量을 보였다. 또한, 地域別로 봤을 때 表善地域의 海岸에 隣接한 地下水의 鹽分濃度가 南元地域보다 2~15배 정도 높은 含量을 보였다. 또한, Cl 含量이 150ppm 以上 되는 P4, P6 管井 地下水인 境遇는 食水로 使用하기에는 不適當하다고 思料된다.

나) Trilinear Diagram에 의한 水文學的 分類

Figure 5,6,7,8의 水文學的 類型을 시기별로 모아 놓은 것이 Table 8이다. 海水의 境遇는 Na-Cl형이며, 海岸에 近接하여 位置한 鹽分含量이 비교적 높은 地下水(P3, P4, P6, P10)와 湧泉水(P8)도 Na-Cl형으로 分類되었다. 한편, 海拔 50m 以上の 地域에 位置한 管井의 地下水는 Ca-HCO₃형으로 나타났다.

다) 汚染指標로서의 Chloride-Bicarbonate 比

Figure 9, 10, 11, 12에서 막대그래프의 높이는 陰, 陽이온의 總 濃度를 epm값으로 나타낸 것이고, 막대그래프의 왼쪽부분은 陽이온 總量에 대한 百分率로서 각개 陽이온의 含量 比를 나타내었고, 오른쪽은 陰이온에 대한 것이다. 막대그래프의 맨위에 기록된 숫자는 Chloride-bicarbonate比로써 이들을 Table 9에 나타내었다. 地下水中の 海水汚染의 정도를 評價하기 위하여 Revelle²²⁾는 Chloride-bicarbonate比를 利用했다. Chloride는 海水中에 많이 含有되는 반면에 地下水中에는 적

Table 4. Chemical data of water samples from Pyoson and Namwon areas (March).

Sample	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity ($\mu\text{mho cm}^{-1}$)
P1	-	8.3	8.7	3.0	6.4	3.5	15.3	0.12	3.0	45.4	105
P2	16.5	7.6	9.1	2.3	5.2	5.0	16.6	1.12	2.8	39.0	113
P3	16.0	7.2	56.4	5.3	8.1	11.1	121	2.38	19.2	38.4	485
P4	16.0	7.4	600	32.3	27.9	78.2	1,300	2.34	70	35.7	3,770
P5	15.0	8.5	8,420	375	425	1,305	24,605	0.51	2,653	119	42,000
P6	16.0	7.4	140	9.0	12.1	24.9	337	1.47	46.2	36.0	1,210
P7	16.0	7.7	8.3	2.3	5.3	4.2	13.5	0.70	1.8	37.5	103
P8	15.0	7.5	99.0	6.5	7.3	14.1	197	1.51	6.4	34.5	691
P9	17.0	7.4	8.5	2.0	5.6	4.5	14.7	1.76	2.5	34.8	105
P10	15.3	7.4	39.5	4.9	11.2	15.0	119	0.72	16.5	36.3	444
P11	16.0	7.8	8.6	2.7	4.3	3.5	12.0	0.10	2.3	39.0	92.8
P12	16.0	7.6	17.2	2.8	8.2	6.1	36.7	4.29	7.6	56.0	199
P13	15.0	8.5	8,210	358	407	1,265	23,710	0.56	2,544	116	41,200
P14	15.0	7.8	5.2	1.8	3.1	2.1	9.8	0.36	2.0	21.4	62.2

-; not measured

Table 5. Chemical data of water samples from Pyoson and Namwon areas (May).

Sample	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity ($\mu\text{mho cm}^{-1}$)
P1	16.5	7.7	8.8	3.1	6.2	3.5	15.3	0.02	2.5	38.7	100
P2	16.5	7.9	8.9	2.3	5.3	5.0	16.6	1.30	2.7	39.0	110
P3	16.5	7.6	42.6	4.8	7.4	9.5	87.2	5.57	15.8	38.4	378
P4	16.0	7.9	242	13.7	12.9	34.1	571	3.04	66.1	28.4	1,660
P5	18.5	8.3	8,080	448	422	1,312	17,161	0.43	2,970	117	42,420
P6	16.0	7.8	94.4	7.0	8.9	15.5	230	4.00	33.4	30.5	721
P7	16.0	7.9	8.3	2.4	5.8	4.4	13.9	0.93	2.0	36.9	102
P8	16.0	7.8	77.1	5.5	7.1	12.1	154	1.65	65.6	35.4	547
P9	17.5	7.9	8.6	2.0	5.5	4.5	12.1	1.92	2.3	34.2	104
P10	14.5	7.9	41.3	4.6	7.0	9.1	88.3	1.34	14.8	37.5	359
P11	16.5	7.9	9.0	2.5	4.3	3.7	12.1	0.09	2.3	40.2	91.4
P12	16.0	7.7	35.0	4.0	7.3	11.9	51.5	8.79	7.1	22.2	313
P13	19.0	8.3	8,180	380	396	1,227	22,851	0.64	2,470	116	40,700
P14	15.0	7.7	6.1	2.0	4.1	2.9	11.6	2.00	2.0	22.6	77.4

Table 6. Chemical data of water samples from Pyoson and Namwon areas (August).

Sample	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (μ mho cm ⁻¹)
P1	17.0	7.9	7.6	2.8	5.9	2.4	17.3	0.03	2.2	40.8	99
P2	16.5	7.9	7.3	1.9	4.7	2.0	20.1	1.55	5.5	39.3	109
P3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P4	17.0	7.5	581	33.3	30.1	40.3	1,394	3.95	53.8	30.8	3,114
P5	26.0	8.5	9,530	355	365	922	20,785	0.40	2,270	116	0,189
P6	17.0	7.5	116	7.7	8.1	14.6	270	3.30	31.9	33.5	874
P7	16.0	7.9	6.8	2.1	5.0	2.8	19.4	1.03	2.9	36.0	102
P8	16.0	7.9	81.9	8.4	5.3	6.0	187	1.90	20.8	36.0	506
P9	16.5	7.5	8.9	2.4	3.9	2.2	14.7	0.28	3.6	38.4	91.7
P10	17.8	7.6	29.6	3.1	4.3	3.2	64.6	2.39	7.1	36.3	224
P11	18.0	7.6	7.1	1.8	5.0	3.1	18.1	2.35	3.4	32.9	108
P12	16.0	7.8	30.8	3.4	15.1	17.4	68.0	9.22	5.5	40.0	287
P13	26.0	8.4	6,280	271	303	773	18,462	1.20	1,900	101	32,661
P14	15.5	7.7	5.0	1.2	3.3	1.8	14.7	1.95	3.3	19.5	75.4

-: not sampled

Table 7. Chemical data of water samples from Pyoson and Namwon areas (October).

Sample	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (μ mho cm ⁻¹)
P1	16.5	8.0	7.4	2.7	5.6	2.4	18.8	0.07	3.5	51.0	106
P2	15.0	7.9	7.3	2.0	4.5	6.1	19.1	1.05	3.6	41.2	107
P3	16.5	7.5	51.4	4.8	7.2	7.7	134	2.02	12.9	36.6	377
P4	16.0	7.7	800	34.4	37.0	50.1	1,996	2.41	67.9	35.3	4,338
P5	21.0	8.5	9,360	411	444	1,024	24,400	0.39	2,640	122	39,844
P6	16.0	8.0	136	8.2	9.8	16.2	300	1.53	36.9	39.7	915
P7	16.0	7.9	6.8	2.0	5.0	2.8	18.8	1.45	2.6	37.0	103
P8	16.0	7.8	61.6	4.3	4.1	4.6	170	1.84	13.7	37.2	421
P9	17.0	7.9	6.7	2.4	3.8	2.1	15.0	0.25	3.0	39.0	87.8
P10	17.0	7.9	31.9	3.4	4.7	3.7	75.9	1.78	8.1	38.9	247
P11	17.0	8.0	6.2	1.9	3.9	2.4	18.1	0.85	3.3	39.5	89.9
P12	16.0	7.6	16.9	2.9	10.5	5.8	48.8	7.18	4.6	26.8	208
P13	21.0	8.3	7,820	364	373	994	20,734	0.57	2,520	115	38,153
P14	15.5	7.8	4.7	1.6	2.8	1.4	13.7	1.06	1.1	22.7	66.0

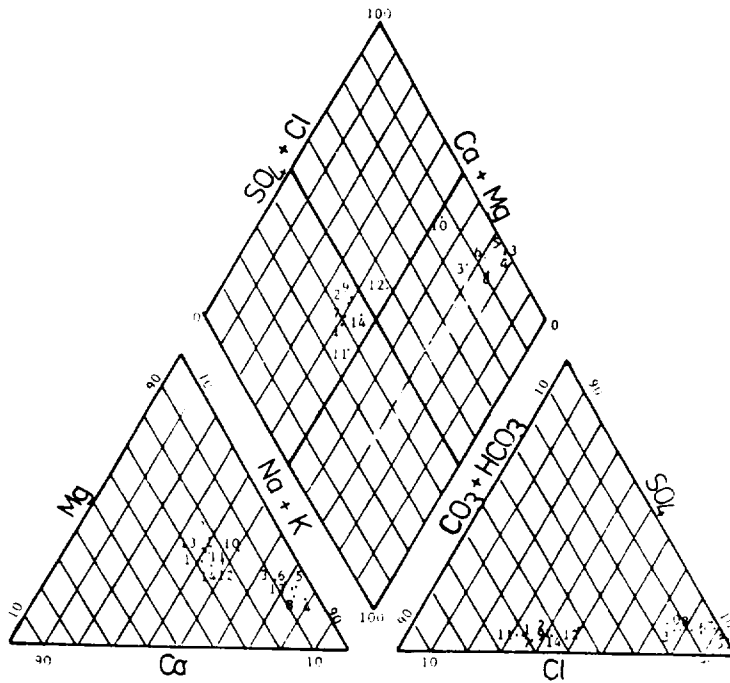


Figure 5. Trilinear diagram of water samples from Pyoson and Namwon (March).

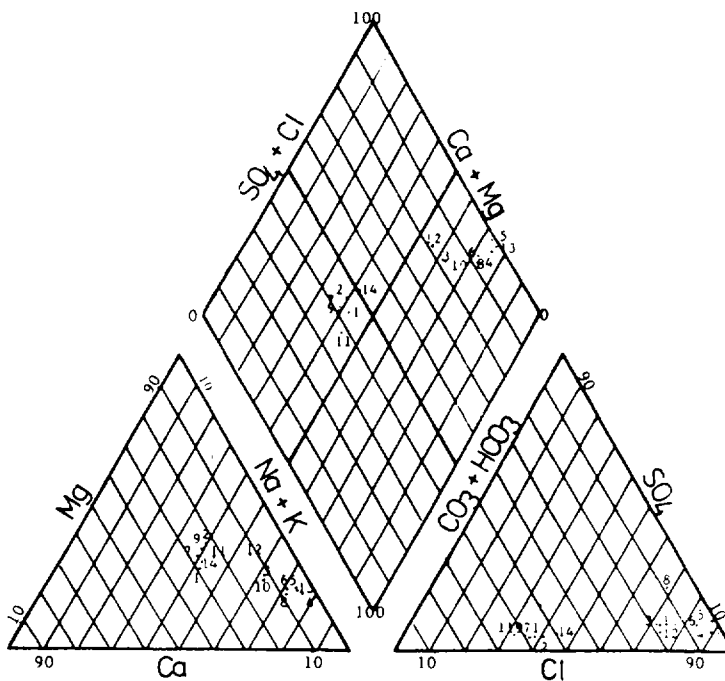


Figure 6. Trilinear diagram of water samples from Pyoson and Namwon (May).

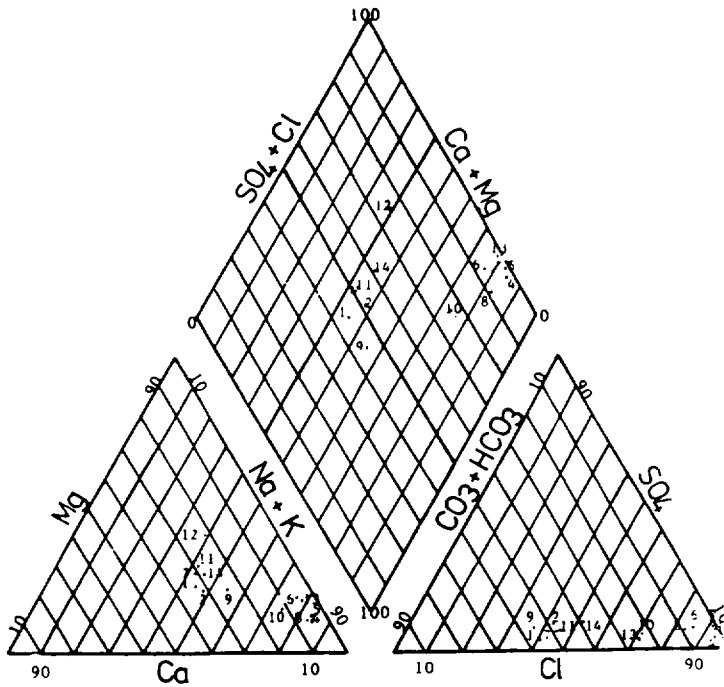


Figure 7. Trilinear diagram of water samples from Pyoson and Namwon (August).

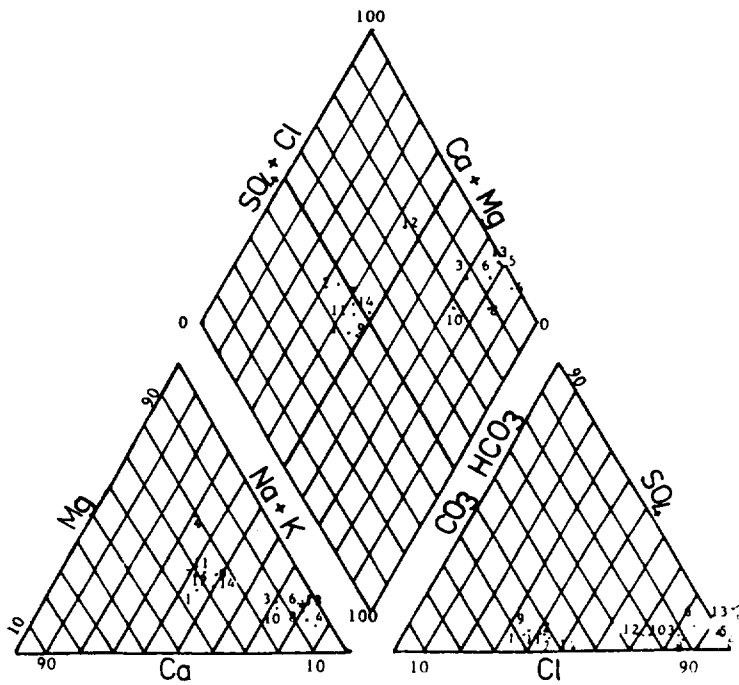


Figure 8. Trilinear diagram of water samples from Pyoson and Namwon (October).

Table 8. Classification water samples from Pyoson and Namwon areas.

Sample No.	Types of Water			
	March	May	August	October
P1	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃
P2	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.Cl
P3	Na.Cl	Na.Cl	-	Na.Cl
P4	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
P5	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
P6	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
P7	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃
P8	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Ca.HCO ₃
P9	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃
P10	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
P11	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃
P12	Ca.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Ca.Cl
P13	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
P14	Ca.HCO ₃	Ca.HCO ₃	Ca.Cl	Ca.Cl

- : not sampled

은량이 存在하고 Bicarbonate는 Chloride와는 반대로 海水中에는 比較的 소량이고 地下水中에는 많이 含有된 陰이온인 것이다.¹²⁾ 또, 海水와 地下水가 混合되는 境遇에 發生될 수 있는 鹽基置換現狀,²³⁾ 黃酸이온의 還元이나 炭酸과 기타 弱酸基의 相互置換, 그리고 沈澱現狀 등과는 무관하게 Chloride와 Bicarbonate는 영향을 받지 않는다는 사실을 應用해서 Cl/HCO₃값을 計算하고 海水 汚染의 指標로 使用한다. 즉 Chloride-bicarbonate비가 0.5以下인 境遇 海水 汚染 問題가 전혀없고 0.5~1.3인 境遇 약간 問題가 되며 1.3~2.8인 境遇 보통 정도로 汚染되어 있고, 2.8~6.6인 境遇 심한 汚染 정도를 나타낸다.¹²⁾ 이러한

값을 利用하여 研究地域의 湧泉水, 地下水를 評價할때, 海岸에 隣接한 地下水(P3, P4, P6, P10, P12)와 湧泉水(P8)들은 季節에 따라서 Cl/HCO₃비가 다소 변하기는 하나, 海水에 의해 汚染을 받고 있다고 評價되었다. 그러나, 海拔 50m 以上の 地域에 位置管井의 地下水들은 그 비가 0.52~1.30範圍의 값을 보임으로써 海水에 의한 汚染이 거의 일어나지 않는다는 것을 나타내고 있다(Table 9 참조). 한편, 農業用水로서의 使用與否를 알아보기 위해 SAR(Sodium Absorption Ratio)값을 計算하여 보면(Table 10 참조) 海水의 汚染이 일어나는 地下水와 湧泉水도 農業灌溉用水로는 使用可能하다고 判斷된다.

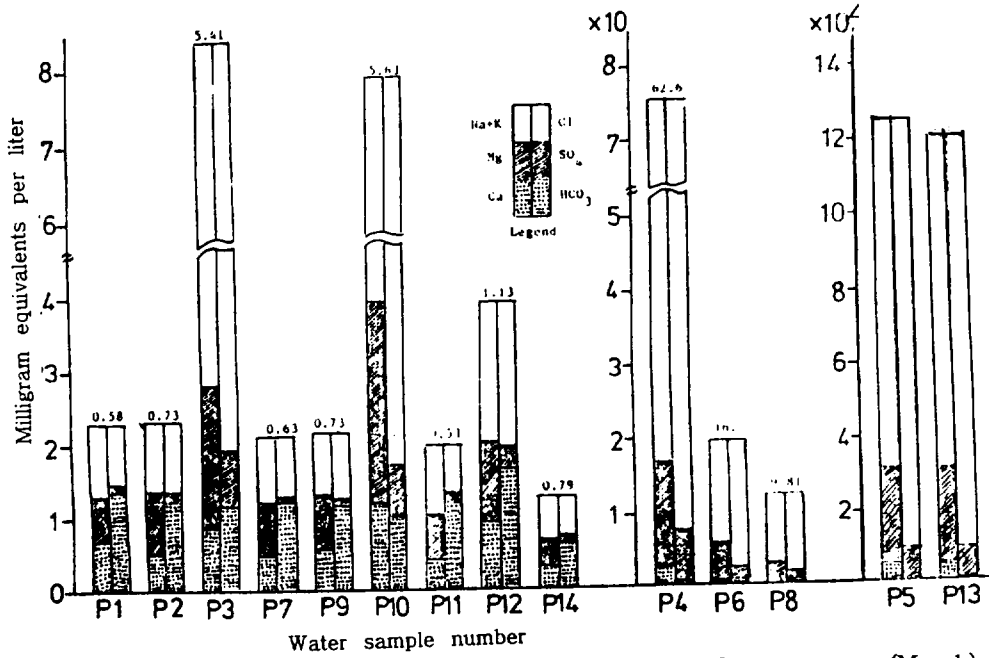


Figure 9. Chemical analysis of waters from Pyoson and Namwon areas (March). Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram.

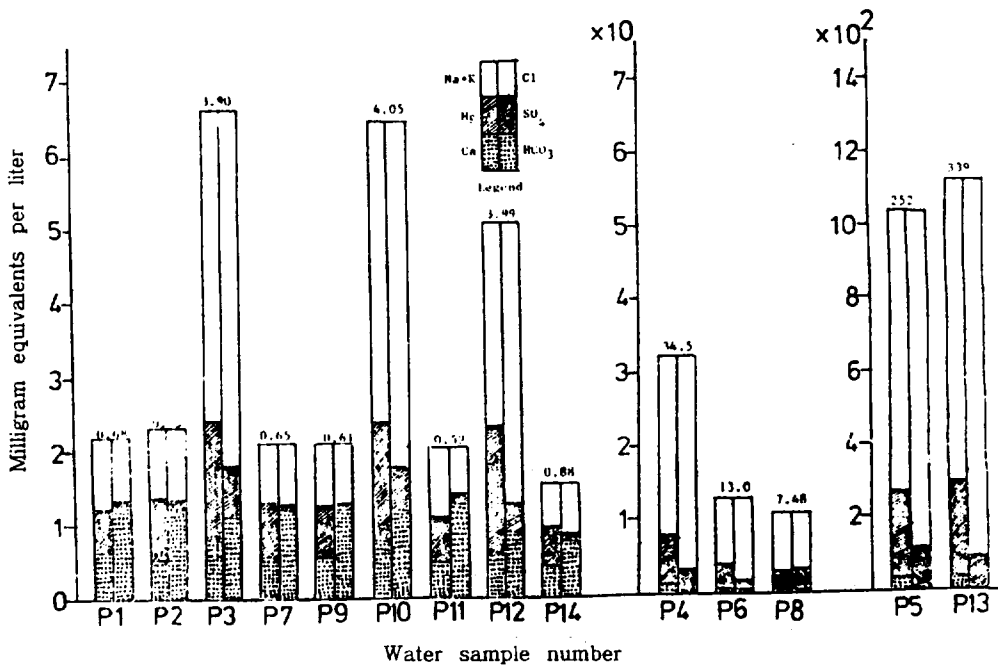


Figure 10. Chemical analysis of waters from Pyoson and Namwon areas (May). Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram.

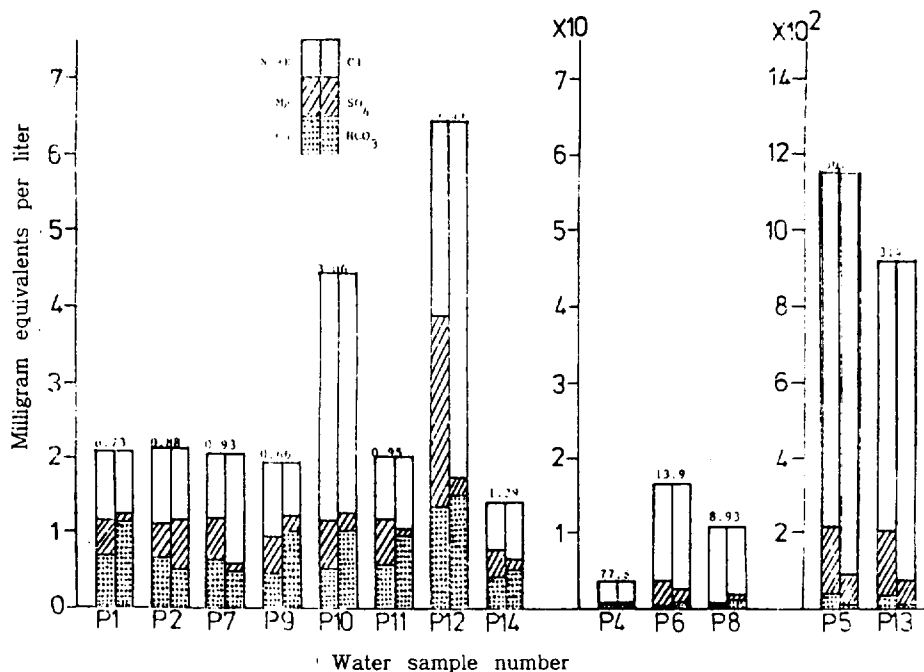


Figure 11. Chemical analysis of waters from Pyoson and Namwon areas(August). Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram.

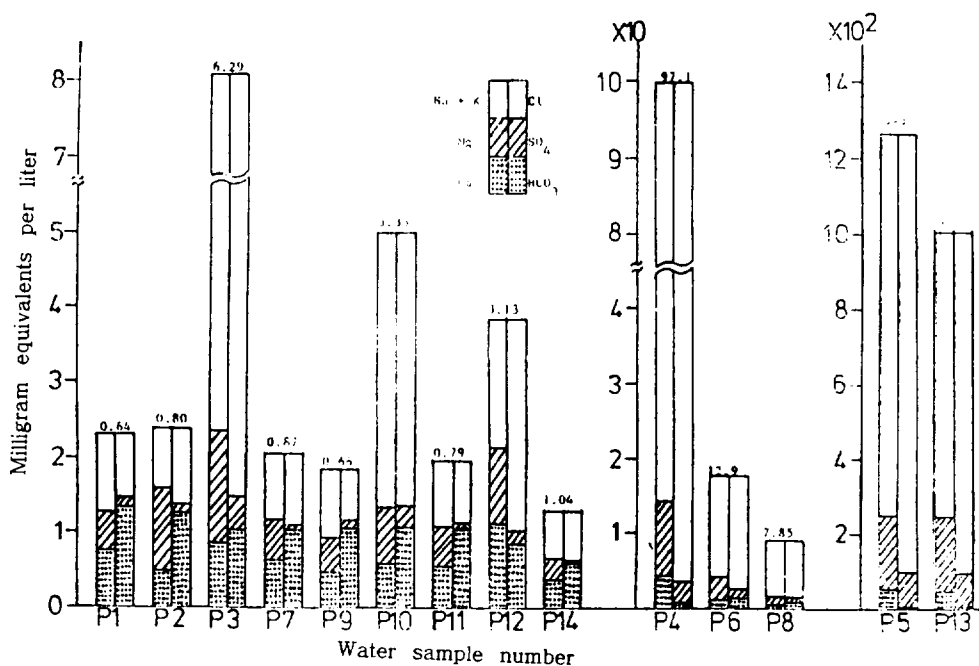


Figure 12. Chemical analysis of waters from Pyoson and Namwon areas(October). Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram.

Table 9. Chloride-bicarbonate ratios as a criterion of sea water intrusion.

Sample No.	March	May	August	October
	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃
P1	0.58	0.68	0.73	0.63
P2	0.73	0.73	0.88	0.80
P3	5.41	3.90	-	6.29
P4	62.6	34.5	77.8	97.2
P5	355	252	308	344
P6	16.1	12.9	13.8	13.0
P7	0.62	0.65	0.93	0.87
P8	9.81	7.48	8.93	7.85
P9	0.73	0.61	0.66	0.66
P10	5.63	4.05	3.06	3.35
P11	0.53	0.52	0.95	0.79
P12	1.13	3.99	2.92	3.13
P13	351	338	314	310
P14	0.79	0.88	1.30	1.04

- : not sampled

Table 10. Sodium absorption ratio(SAR) of water samples from Pyoson and Namwon areas.

Sample No.	March	May	August	October
	SAR	SAR	SAR	SAR
P1	0.68	0.70	0.67	0.66
P2	0.68	0.66	0.71	0.53
P3	3.02	2.44	-	3.17
P4	13.2	8.00	16.3	20.1
P5	45.7	43.7	60.4	55.8
P6	5.28	4.43	5.63	6.19
P7	0.65	0.63	0.60	0.60
P8	4.93	4.08	5.78	4.96
P9	0.65	0.65	0.89	0.68
P10	1.81	2.42	2.63	2.67
P11	0.74	0.77	0.61	0.61
P12	1.10	0.74	1.28	1.03
P13	42.3	45.8	43.5	40.0
P14	0.56	0.56	0.55	0.57

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

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

摘 要

表善, 南元地域의 地下水중 海拔 50m 이하의 地域에 設置된 管井地下水들의 電氣傳導度와 鹽分含量은 海拔 50m 以上 地域과, 濟州市 또는 西歸浦市 地域의 管井地下水 보다 2~30배 정도 높았다. 또한, 地域別로는 南元보다 表善地域의 海岸에 位置한 管井 地下水들의 鹽分含量이 더 높은 傾向이었다. 특히, Cl含量이 150ppm 以上이 되는 P4, P6 地下水는 食水로 使用하기에는 不適當하다. 또한, 地下水 化學分析의 Cl/HCO₃비를 比較할 때 本 地域 海岸에 隣接한 地下水인 境遇 그 比가 3.00~97.2를 보임으로써 매우 심하게 浸透 影響을 받고 있다고 判斷된다.

한편, Deuterium과 Oxygen-18含量은 海岸에 隣接한 地下水일수록 海水의 影響을 받아 그 含量이 높아지는 傾向을 보인다. 따라서 以上の 化學分析과 同位元素 측정 結果를 볼 때 表善, 南元地域중 海岸에 隣接한 地下水들은 海水에 의하여 汚染됐다고 생각된다. 湧泉水는 海拔 50m 以上 地帶에 設置된 管井地下水보다 4~6배 높은 편이며, Cl/HCO₃비가 7.48~9.81 範圍에 있고 環境同位元素 含量(H-2, O-18)이 標高가 높은 地域의 地下水보다 높은 것으로 보아 海水의 影響을 받고 있다고 생각되나, SAR값이 낮기 때문에 農業用水로서의 使用은 可能하다고 判斷된다.

參 考 文 獻

1. J. S. Han, Ground Water of Bed Rocks in South Korean Peninsular, J. Korean Asso. Hydro. Scin. 14(4) : 73~81, 1981.
2. 農水産部, 濟州道, 農業振興公社, 1987年度 濟州道 地下水 開發報告書, pp.3, 1987.
3. J. S. Hahn, and J. S. Ahn, Studies on Isotope Hydrology in South Korea, J. Geolo. Sco, 20(1) : 72~84, 1984.
4. G. E. Calf, B. W. Seatonberry, and L. W. Smith, The Measurement of Natural Levels of Tritium in Water, AAEC/E373, 1976.
5. J. S. Ahn, J. S. Kim, and J. S. Kim, Studies of Tritium Analysis and its Monitoring with Special Reference to Power Reactor Operation, KAERI/RR-204 /80, 1980.
6. L. W. Alvarez, and R. Coming, Radioactive Hydrogen. A Correction Phys. Rev, 58(20) : 197, 1980.
7. 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.
8. P. E. Hartley, *A Raped Mass Spectrometers Method for the Determination in Water at Natural Level*, Anal. Chem. 52:2232, 1980.
9. B. Kumer, 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.
10. 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.
11. A. M. Piper, *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyss*, Am Geophy. Union Trans. 25:914~923, 1944.
12. D. K. Todd, *Ground Water Hydrology*, John Wiley Sons, Inc. pp.293~294, 1959.
13. IAEA, *Guidebook on Nuclear Techniques in hydrology*, Tech. Report No. 91, IAEA, Vienna, pp.19~33, 276~278, 293, 319~325, 351~36, 1983.
14. B. R. Payne, L. Qujano, and D. Carlos Latarre, *Environmental Isotopes in a Study of the Origin of Salinity of Ground Water in the Maxicali Valley*, J. Hydrol. 41:201~215, 1979.
15. S. N. Davis, and R. J. M. Dewiest, *Hydrology*, John Wily Sons, Inc. pp.137~138, 1978.
16. J.S. Ahn, J. S. Kim, P. Airey, and B. Payne, *Environmental Isotope-Aided Studies on River and Ground Water Interaction in the Region of Seoul*, J. Korean Nucl. Soc 13(2):85~96, 1981.
17. 安鍾成, 柳長杰, 鄭昌朝, 宋成俊, 同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究(IV), KAERI/RR-613/87, 1987.
18. 安鍾成, 柳長杰, 鄭昌朝, 宋成俊, 同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究(III), KAERI/RR-527/86, 1986.
19. 安鍾成, 韓禎相, 李鉦浩, 鄭昌朝, 柳長杰, 同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究, 韓國 水文學會誌. 17(2):72~79, 1984.
20. 安鍾成, 柳長杰, 鄭昌朝, 宋成俊, 同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究(II) KAERI/RR-482/85, 1985.
21. G. H. Davis, C. H. Lee, E. Bradely and B. R. Payne, *Geohydrologic Interpretation of a Volcanic Island from Environmental Isotopes*, Water

22 *Cheju App. Rad. Res. Inst. Ann. Report Vol. 5* (1990)

Resources Research, 6(1) : 99~109,
1970.

22. R. Revelle, Criteria for Recognition of
Sea Water in Ground Waters, Trans.
Amer. Geophysical Union, Vol.22,
pp.593~597. 1941.

23. 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.