

同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究(IV)

안종성* · 유장걸 · 정창조 · 송성준

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

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

Summary

In order to provide effective countermeasure for the groundwater protection from sea water contamination, isotope-aided technique and chemical analysis were applied for the measurement of concerned parameters in the areas of Aewol and Halrim and outskirts of Cheju city to ascertain whether existing boreholes and springs are affected by sea water intrusion.

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

The mineral contents and electrical conductivity of groundwater as well as spring water in the areas of Aewol and Halrim and outskirts of Cheju city were similar to those of Cheju city and Sogwipo city areas.

Seasonal changes in the contents of environmental isotopes(H-2, H-3, O-18) in the water samples were observed. Considering that the amount of environmental isotopes in the groundwater was diluted by rainfall in summer to a great extent, the aquifer seemed to be small and the mixing process might occur rapidly.

In most of groundwaters and spring waters, the ratio of Cl to HCO_3 was shown to be less than 1.0. However, that at the spring water(A4) of Aewol was rather high, and the level of O-18 was close to that of spring and groundwater contaminated by sea water in the eastern Cheju area.

* 한국원자력 연구소

序 論

濟州道는 火山溶岩으로 구성된 特殊上層構造로 되어 있어서 韓國 최대의 降水量을 가지면서도 用水의 부족을 면치 못하고 있다. 溶岩孔隙으로 降水의 대부분이 流失되거나, 地下로 浸透되어 河川의 대부분은 乾川이며 道内 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 1986年末 현재 226개소의 地下水用 管井을 굴착하여 1일 382,000M/T의 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, 한정된 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 島嶼地方에서 흔히 問題가 되는데, 濟州地域의 地下水 確保를 위해서는 이와 관련된 基礎 研究가 絶실하다.

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, 橄欖石을 含有한 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 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玄武岩内の 節理는 매우 불규칙적이며, 一般적으로 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 小構造內에 포함된 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 접촉面에 포함된 地下水로 區分된다. 또한 濟州道の 地下水는 다른 火山岩 分布地域과 동일하게 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 軟水와 직접 接觸해 있는 帶水層內에 있는 深層地下水이므로 多量의 用水로 개발할 수 있다. 一般적으로 濟州地域의 水文循環은 降水에 의해 地上으로 내린 물이 節理나 溶岩孔洞 및 岩石接觸面과 같은 2차 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 試驗孔과 30개소의 揚水場을 설치하였는데, 平均 116m 깊이와 1일 平均產出量은 1,300M/T에 이르는 매우 양호한 深井을 開發한 바 있다.

또한, 1973년 이후 農業振興公社에 의해 20개의 揚水井을 설치하여 시험을 시행한 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 基低地下水는 앞으로 濟州道 用水開發에 가장 緊要적인데 현재 濟州道의 海岸을 따라 相當수의 深井을 開發하여 基低地下水를 採水하고 있으며 현재도 深井을 開發하고 있는 중인 바 그중 일부의 深井은 海岸線에 너무 近接해서 굴착을 했으므로 多量의 揚水로 인하여 淡水帶내로 鹽水가 侵入될 우려가 있다.³⁾

그러므로 基低地下水 開發 이전에 가장 時急하게 施行해야 할 問題는 鹽水가 淡水 帶내로 侵入되지 않는 範圍內에서 深層 地下水를 開發할 수 있는 綜合的인 地下水 資源 調査를 하기 위해서는 1) 海岸地域의 地下水 採取로 인한 鹽水와 淡水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 相互關聯시킨 調査研究을 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 계속 研究 事業의 一環으로 濟州市 近郊(外都, 三陽) 및 濟州西部地域(涯月, 翰林)의 地下水, 海水 및 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 地下水와 湧泉水의 海水에 의한 汚染여부를 調査하였다.

材料 및 方法

1. 試料採取

濟州市 近郊(三陽, 外都) 및 濟州西部地域

(涯月, 翰林)의 試料는 海水(A3, A12), 湧泉水(A1, A4, A9, A13)와 地下水(A2, A5, A6, A7, A8, A10, A11, A12, A14, A15, A16)로 區分하여 3, 5, 8, 10월에 각각 化學分析用 1liter와 環境同位元素 測定用 1liter를 採水하였다. (Table 1, Figure 1 참조)

2. 環境同位元素 測定

1) 試料의 前處理

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

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 $-1\sim 0^{\circ}\text{C}$ 로 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 最初 電流는 120mAcm^{-2} 를 超過하지 않게 調整하였다. 濃縮時間은 약 210時間이 소요되었으며 Tritium含量을 이미 알고 있는 2개의 Tritiated Water를 다른 試料와 동일하게 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 Hydroxide의 濃度가 약 20% 정도 이므로 CO_2 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.⁴⁾

3) Tritium計測^{5) 6)}

가. Tritium測定

Table 1. Specifications of sampling sites in Aewol and Halrim areas.

Sample No.	Location	Description	Distance from sea (km)	Depth (m)
A1	Cheju-shi Oedo-dong	Spring water	0.35	0
A2	Cheju-shi Oedo-dong	Ground water	1.00	70
A3	Aewol-up Aewol-ri	Sea water	0	0
A4	Aewol-up Aewol-ri	Spring water	0.05	0
A5	Aewol-up Aewol-ri	Ground water	0.30	26
A6	Aewol-up Aewol-ri	Ground water	0.45	60
A7	Aewol-up Sangga-ri	Ground water	1.85	117
A8	Aewol-up Napup-ri	Ground water	2.75	112
A9	Halrim-up Ongpo-ri	Spring water	0.75	0
A10	Halrim-up Dongmyong-ri	Ground water	1.50	60
A11	Halrim-up Dongmyong-ri	Ground water	3.50	154
A12	Cheju-shi Samyang-dong	Sea water	0	0
A13	Cheju-shi Samyang-dong	Spring water	0	0
A14	Cheju-shi Samyang-dong	Ground water	0.80	43
A15	Cheju-shi Doryon-dong	Ground water	2.40	126
A16	Cheju-shi Doryon-dong	Ground water	2.70	142

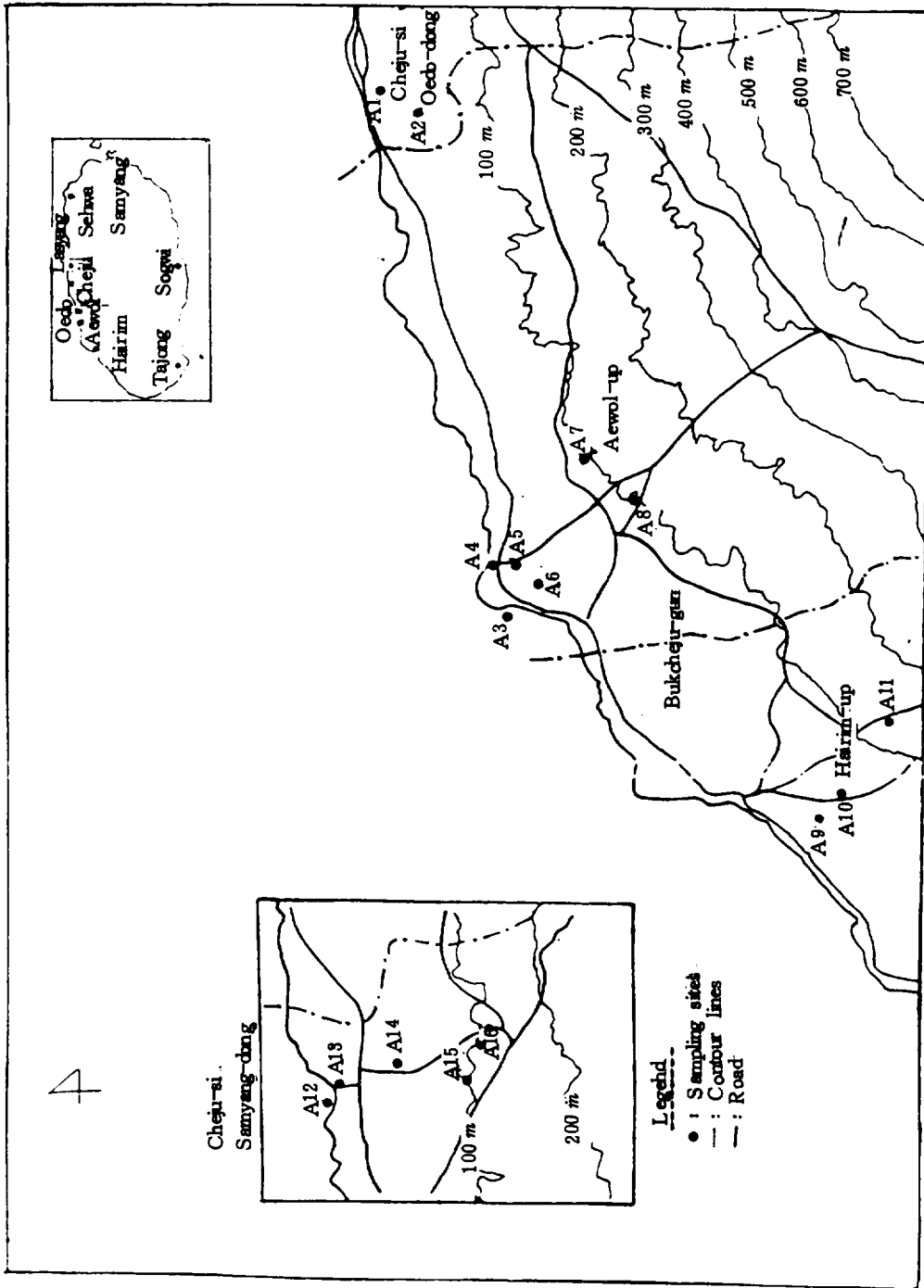


Fig. 1 Location of sampling site in Aewol and Hairim areas.

Tritium濃縮 및 蒸溜가 完了된 試料를 計測容器에 10ml를 취하여 여기에 Instagel 10 ml를 가하였다. 試料中の 閃光 混合物은 1個月 이상 安定性이 維持되도록 하였다.⁷⁾ 試料中の 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(AAEC)에서 分讓받아 使用하였다. Tritium試料는 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 溫度를 8°C로 調整하였고, 每試料마다 20分씩 25회 반복 計測하고 TU(Tritium Unit: 1TU = 3.24 × 10⁻³ pCi g⁻¹)로 환산하였다. 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. Deuterium測定⁸⁾

물 試料中の D/H, O¹⁸/O¹⁶ Ratios는 質量分析機를 使用하여 測定하였고 물試料中 安定同位元素인 Deuterium(per mill)과 Oxygen-18含量⁹⁾은 다음과 같이 表示하였다.

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

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

SMOW : 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(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, Mg)은 原子吸光分光器(Perkin Elmer, Model 2380)로 測定하였다. 특히, Ca, Mg인 境遇 化學干涉을 줄이기 위해 0.25% La₂O₃용액을 처리하였다.

5) 陰이온(Cl, CO₃+HCO₃, SO₄)인 境遇, Cl은 AgNO₃ 適定法, CO₃+HCO₃는 0.05 N H₂SO₄ 適定法, SO₄는 濁度定量方法(Turbidity Method)¹⁰⁾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 陽이온 및 陰이온의 ppm(parts per million)값을 epm(equivalents per million)單位로 換算한 뒤 陽이온의 境遇는 (Ca or Mg or Na+K/Na+K+Ca+Mg) × 100, 陰이온의 境遇는 {Cl or SO₄ or CO₃+HCO₃ / Cl+SO₄+(CO₃+HCO₃)} × 100으로 計算해서 Piper의 Trilinear Diagram¹¹⁾으로 나타냈다.

마. 地下水內的 海水 污染 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 사용했다. 또 試料中の 총이온 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 위해서는 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 계속적으로 生成되어 지고 있으며, 이것은 약 12.43년의 半減期를 갖고 있어서 自然消滅되기 때문에 結局 生成과 消滅이 일정한 平衡을 이루게 되는 것이다.

1952年 이전에는 雨水中の Tritium含量이 1~10TU 정도였으나 그 이후 빈번한 核實驗의 結果로 빗물과 表面水中의 Tritium含量은 增加되었고 1954年 3月 Ottawa에서 雨水

中에 2.937TU의 含量을 나타낸 일도 있었다.

우리나라의 浦項地域에서 調査된 雨水中の Tritium 含量 變化¹⁵⁾를 보면 1963年度에 약 1.300TU이었으나 그 이후에는 계속적으로 減少되어서 1986年 濟州地域에서의 降水中の Tritium含量은 10TU정도이었다(Table 2 참조).

海水中の Tritium 含量은 Table 3에서 보는 바와 같이 3.10~7.92TU 정도로 濟州 東部地域(3.6~5.7TU)보다는 약간 높으나 濟州市 또는 西歸浦市地域(4.3~7.9TU)^{16) 17)}과는 비슷한 傾向을 나타내고 있다.

湧泉水(A1, A4, A9, A13)의 Tritium 含量을 보면 A1 湧泉水를 제외하고는 地域別로 別다른 차이는 없었으나 3月보다는 5月에 조금 낮게 보였다.

한편, 地下水(A2, A5, A6, A7, A8, A10, A11, A14, A15, A16)의 Tritium含量은 試料 採取地域別로 또는 季節別로 일정한 傾向은 없었으며, 濟州市地域의 地下水(14.6~21.3TU)¹⁶⁾보다는 적었으나 西歸浦市 또는 濟州東部地域의 地下水^{17) 18)}와는 비슷한 含量을 보이고 있었다.

특히, 夏節期에 集中하여 내리는 降水에 起因하여 陸地로부터 흘러 내려간 地表水の 影響으로 海岸에 인접한 海水의 Tritium含量은 높아졌고 河川邊에 위치한 A1湧泉水의 Tritium含量은 稀釋되어 낮아진 것으로 생각된다.

나) Deuterium測定結果

Table 3에서 보는 바와 같이 海水中の Deuterium 含量은 -20.5~+0.5 per millio

Tabel 2. Environmental tritium, deuterium and oxygen-18 levels in Cheju rainfall.

Sample No.	Tritium(TU)	Deuterium(per mill)	Oxygen-18(per mill)
Precipitation	11.04±0.55	-79.0	-12.29

Table 3. Environmental tritium, deuterium, and oxygen-18 levels of water samples from Aewol and Halirim areas (1987).

Sample NO.	March			May			August		
	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)	Tritium (TU)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)
A1	10.37±0.35	-47.1±0.23	-7.34±0.02	7.92±0.02	-44.8±0.57	-7.63±0.03	6.79±0.46	-83.9±0.91	-13.33±0.01
A2	8.46±0.34	-46.9±0.79	-7.67±0.03	9.27±0.37	-44.5±0.71	-7.51±0.02	12.97±0.41	-53.6±0.85	-9.55±0.05
A3	3.15±0.31	-5.20±0.09	-0.44±0.05	3.10±0.35	-4.50±0.91	-0.61±0.05	7.92±0.41	-18.1±0.47	-3.97±0.02
A4	12.51±0.37	-43.6±0.82	-0.70±0.04	10.92±0.39	-49.3±0.63	-7.93±0.02	11.80±0.42	-48.5±0.56	-9.35±0.04
A5	14.69±0.39	-46.0±0.03	-7.35±0.01	11.57±0.42	-44.7±0.71	-7.61±0.04	13.54±0.42	-48.2±0.61	-9.22±0.03
A6	9.14±0.36	-48.2±0.29	-7.34±0.04	12.53±0.39	-44.4±0.62	-7.62±0.01	12.97±0.46	-46.7±0.57	-9.14±0.04
A7	13.14±0.38	-46.7±0.87	-7.40±0.05	8.45±0.38	-45.5±0.35	-7.89±0.04	12.16±0.48	-49.0±0.81	-9.32±0.05
A8	12.60±0.36	-46.5±0.76	-7.59±0.03	12.69±0.40	-45.8±0.70	-7.82±0.03	15.04±0.39	-64.4±0.93	-9.16±0.03
A9	12.33±0.37	-45.2±0.29	-7.53±0.05	11.77±0.40	-48.7±0.53	-7.85±0.01	10.02±0.37	-48.2±0.67	-8.85±0.04
A10	12.80±0.38	-49.0±0.17	-8.01±0.03	11.08±0.39	-52.3±0.95	-8.08±0.05	9.62±0.54	-48.0±0.56	-9.11±0.05
A11	12.51±0.37	-43.2±0.91	-7.44±0.01	12.04±0.30	-45.3±0.59	-7.75±0.03	10.72±0.32	-48.3±0.68	-8.85±0.03
A12	4.90±0.34	+0.50±0.06	-0.17±0.03	3.83±0.35	-0.40±0.02	-0.61±0.01	6.32±0.23	-20.5±0.59	-3.90±0.01
A13	12.31±0.36	-47.4±0.75	-8.10±0.04	11.37±0.39	-46.8±0.45	-8.05±0.04	11.22±0.52	-49.0±0.71	-9.49±0.05
A14	11.86±0.35	-44.3±0.38	-7.92±0.02	10.81±0.38	-45.1±0.39	-7.94±0.02	11.03±0.60	-47.4±0.97	-9.29±0.03
A15	11.61±0.52	-47.1±0.17	-7.78±0.03	-	-	-	8.38±0.53	-48.5±0.67	-9.21±0.02
A16	12.89±0.52	-46.7±0.45	-7.82±0.05	12.70±0.40	-46.8±0.71	-8.05±0.05	12.19±0.56	-47.1±0.73	-9.15±0.05

-; not sampled

서 濟州市(-2.5~-4.6 per mill)¹⁶⁾ 또는 西歸浦市地域(-2.7~-5.7 per mill)¹⁷⁾이나 濟州東部地域(-2.4~-4.6 per mill)¹⁸⁾에 비해 季節別 變化量이 크게 보이고 있다. 또한, 湧泉水의 Deuterium含量도 -43.6~-83.9 per mill을 보임으로서 濟州市地域이나 西歸浦地域, 濟州東部地域보다 다소 낮은 것으로 나타났다. 그리고 季節別로 Deuterium含量 變化의 폭도 컸으며 夏節期에 낮은 傾向을 나타내고 있었다.

다) Oxygen -18 測定結果

Table 3에서 보는 바와 같이 海水中の Oxygen-18含量은 濟州東部地域의 海水(-0.2~-0.02 per mill)¹⁸⁾보다 비교적 낮은 含量을 보이고 있다. 또한, 湧泉水의 Oxygen-18含量은 海水와 마찬가지로 濟州東部地域의 湧泉水보다 낮은 傾向을 띠고 있으며 季節에 따라 Oxygen-18含量이 변하고 있음을 나타내고 있다.

한편, 地下水의 Oxygen-18含量(-7.34~-9.55 per mill)도 濟州東部地域의 地下水¹⁸⁾보다는 낮은 含量을 보였고, 季節別로 봤을 때 夏節期에 특히 낮은 含量을 보이고 있다.

라) Tritium과 Oxygen -18, Deuterium과 Oxygen -18의 相互關係

本 調査 地域의 地下水, 湧泉水, 海水로부터 Tritium과 Oxygen-18과의 直線回歸을 구하면 3월 試料는 $T=6.46-0.72\delta^{18}\text{O}$ ($r=-0.67$), 5월 試料는 $T=2.79-1.06\delta^{18}\text{O}$ ($r=-0.88$)으로 나타낼 수 있었다(Figure 2,3 참조). 또한 Deuterium과 Oxygen-18의 境遇 3월 試料에서는 $\delta D = -13.8 + 4.28\delta^{18}\text{O}$ ($r=0.83$),

5월 試料에서는 $\delta D = 1.35 + 6.11\delta^{18}\text{O}$ ($r=0.99$), 8월 試料에서는 $\delta D = 8.43 + 6.42\delta^{18}\text{O}$ ($r=0.95$)식으로 표현될 수 있었다(Figure 4,5,6 참조). 이처럼 直線回歸式이 다른 이유는 Table 3에서 보는 바와 같이 季節別로 環境同位元素(H-3, H-2, O-18)含量이 변하기 때문이다.

一般的으로 降水中の 安定同位元素(Deuterium, Oxygen-18) 存在量은 大氣溫度의 影響을 받는 것으로 알려져 있고 특히, 우리나라처럼 季節別 기온이 다를 境遇 降水中の 環境同位元素含量도 일정하지 않으며 夏節期에 環境同位元素(Deuterium, Oxygen-18)含量이 낮게 보고 되어 있다.¹⁹⁾

이 地域의 地下水, 湧泉水의 環境同位元素인 Tritium, Deuterium, Oxygen-18含量이 季節적으로 다소 변하고 있음을 볼 수 있었으며 특히, 夏節期에 그含量이 낮은 이유는 앞의 報告에서와 같이 7월과 8월에 集中하여 내리는 環境同位元素含量이 많은 降水에 의해 稀釋된다고 思料된다.

한편, 3次年度 事業으로 遂行한바 있으며 鹽分含量이 비교적 높은 濟州東部地域의 地下水의 環境同位元素(Deuterium, Oxygen-18)含量¹⁹⁾에 비해 調査對象地域의 대부분의 地下水와 湧泉水內的 同位元素含量이 낮은 傾向이나 A4 湧泉水의 Oxygen-18含量은 예외적으로 濟州東部地域 地下水의 그含量과 비슷한 것으로 보아(Figure 7. 참고) 海水에 의해 影響을 받는 것으로 생각된다.

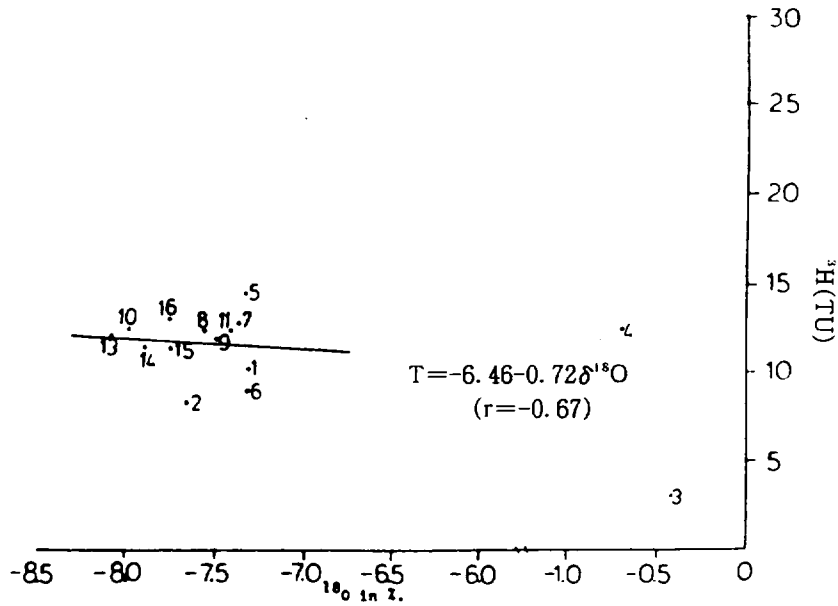


Fig. 2 The relationship between oxygen-18 and tritium levels of water samples in Aewol and Halrim areas (March).

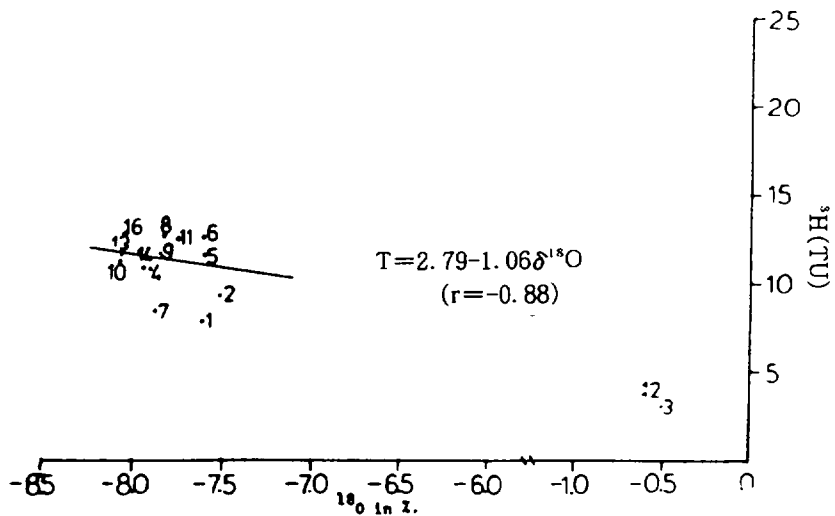


Fig. 3 The relationship between oxygen-18 and tritium levels of water samples in Aewol and Halrim areas (May).

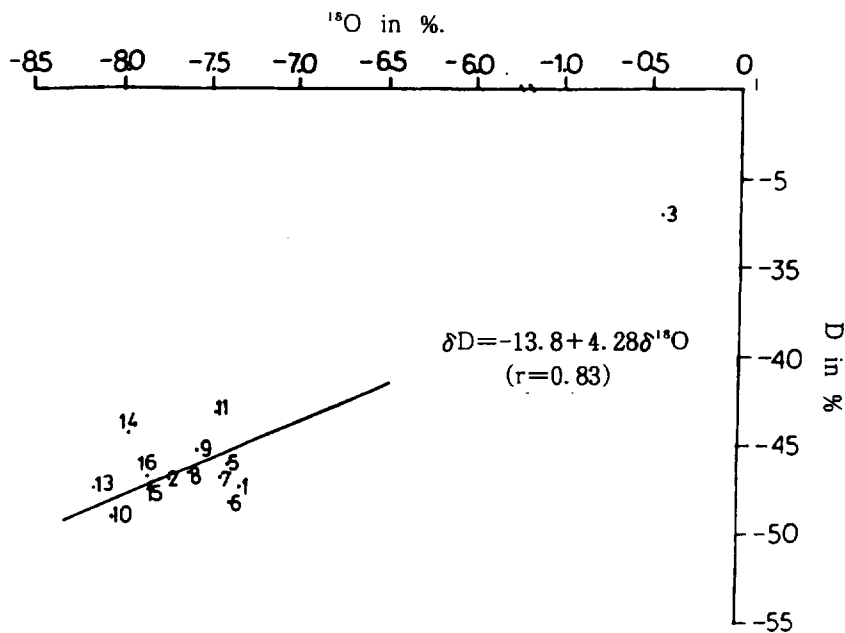


Fig. 4 Stable isotope composition of water samples in Aewol and Halrim areas (March).

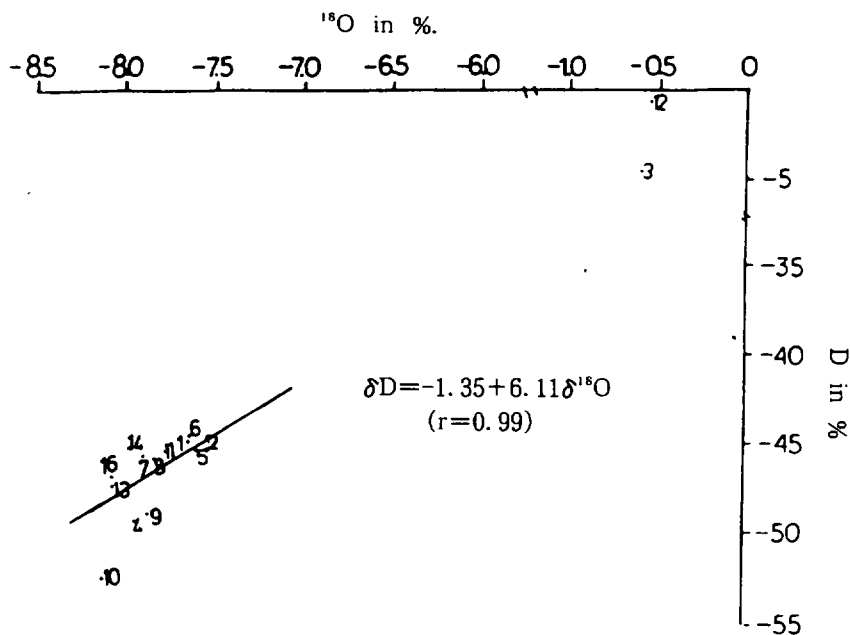


Fig. 5 Stable isotope composition of water samples in Aewol and Halrim areas (May).

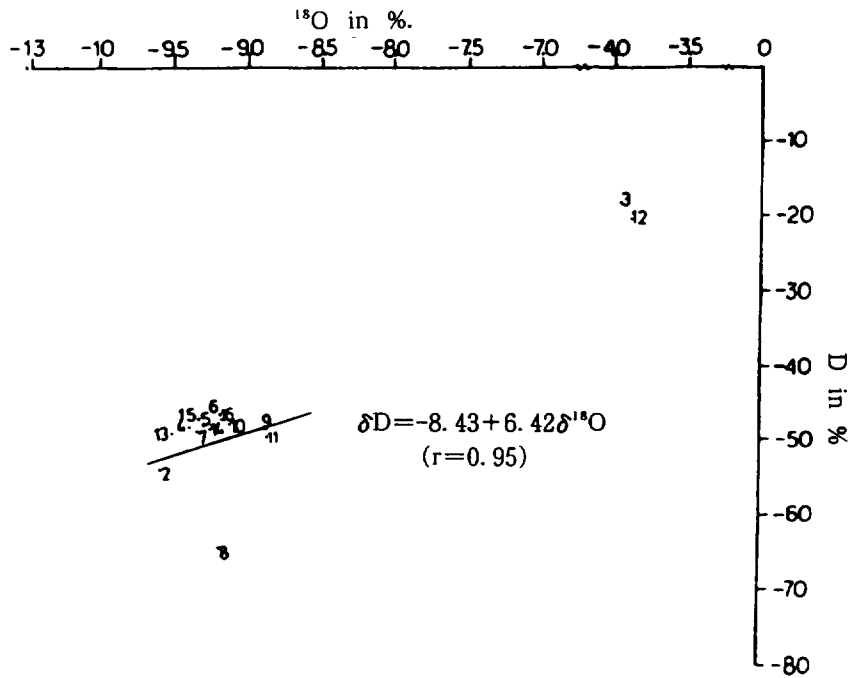


Fig. 6 Stable isotope composition of water samples in Aewol and Halrim areas (August).

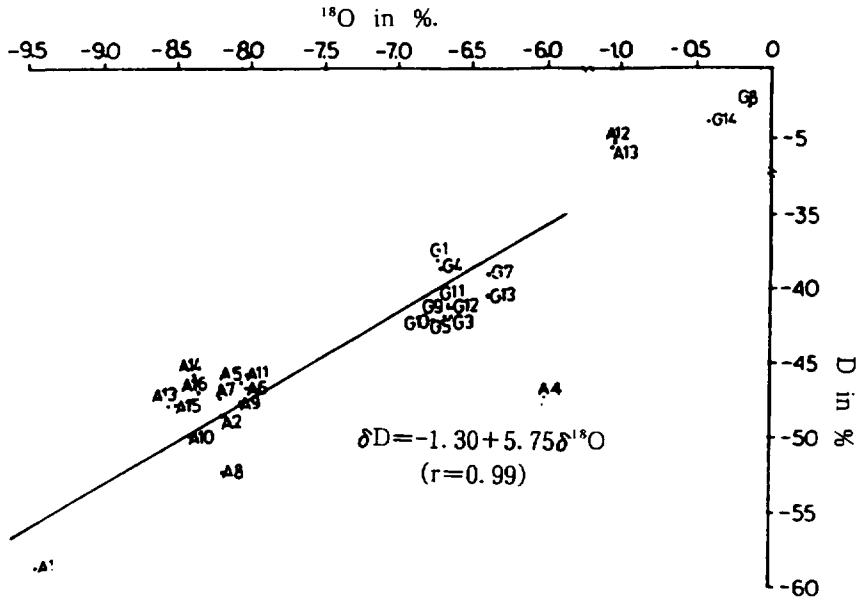


Fig. 7 Stable isotope composition of water samples from Songsan-Kujwa in 1986 and Aewol-Halrim areas in 1987.

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 상이하나 地下水와 湧泉水는 거의 일정한 14~17°C를 維持하고 있다.

PH는 海水가 8.1~8.6 範圍에 있으나, 試料採取 地點에 따라 약간 다른 값을 보이고 있다.

한편, 본 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값 (Table 4, 5, 6, 7 참조)은 1, 2次年度 事業으로 調査되었던 濟州市와 西歸浦市 地域의 地下水, 湧泉水¹⁶⁾와 비슷한 값을 보였고, 3次年度 事業으로 遂行되었던 鹽分含量이 비교적 높은 濟州東部地域 地下水 보다 5~10배, 湧泉水보다 30~60배 정도 낮은 含量을 보였다.

季節別 陽이온, 陰이온 含量과 電氣傳導度값의 變化推移를 살펴보면 湧泉水의 境遇 三陽川 A9와 옹포천 A13은 全 季節에 걸쳐 비교적 安定되어 있으나 A4(하물)와 A1(外都川)境遇 夏節期 降水의 影響으로 그 含量이 낮아졌다. 반면에 地下水는 약간의 變化는 있으나 비교적 安定되어 있었다.

一般的으로 Cl含量이 150ppm 이상(國內水質基準)일 때 食水로서 使用이 부적합하다는 사실을 감안한다면 A4湧泉水(Cl含量:130ppm)는 食水로서의 使用은 고려해야 할 것으로 생각된다.

나) Trilinear Diagram에 의한 水文學的 分類

Figure 8, 9, 10, 11의 水文學的 類型을 時期別로 모아놓은 것이 Table 8인데 海水의 境遇는 Na·Cl형이며 A4 湧泉水는 季節에 關係없이 Ca·Cl형이나, 기타 湧泉水(A1, A9, A13)는 일정한 傾向을 보이지 않았다.

그러나, 地下水의 境遇 夏節期를 제외하고는 濟州市¹⁶⁾ 또는 西歸浦市地域¹⁷⁾과 유사한 形態인 Ca·HCO₃ 또는 Na·HCO₃형으로 分類되었다.

다) 汚染 指標로서의 Chloride-Bicarbonate比

Figure 12, 13, 14, 15에서 기둥의 높이는 陰·陽이온의 總 濃度를 epm값으로 나타낸 것이고, 기둥의 왼쪽부분은 陽이온 總量에 대한 百分率로서 각개 陽이온의 含量比를 나타내었고, 오른쪽은 陰이온에 대한 것이다. 기둥의 맨위에 기록된 숫자는 Chloride-bicarbonate比로서 이들을 Table 9에 나타내었다.

地下水중의 海水汚染의 정도를 評價하기 위하여 Revelle²⁰⁾는 Chloride-Bicarbonate比를 利用했다. Chloride는 海水중에 많이 含有되는 반면에 地下水중에는 적은 量으로 존재하고 Bicarbonate는 Chloride와는 반대로 海水中에는 비교적 小量이고 地下水중에는 많이 含有된 陰이온인 것이다.

또, 海水와 地下水가 混合되는 境遇에 發生될 수 있는 鹽基置換現象²¹⁾, 黃酸이온의 還元, 炭酸과 기타 弱酸基의 相互置換, 그리고 침전현상 등과는 무관하게 Chloride-

Table 4. Chemical data of water samples from Aewol and Halrim areas (March).

Sample	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (umho cm ⁻¹)
A1	15	7.6	6.6	2.3	2.9	3.8	15.2	2.0	1.4	24.8	111
A2	15	7.6	4.9	2.3	2.0	8.0	12.4	0.6	0.4	23.7	85
A3	13	8.2	9,780	562	1,092	563	22,220	0.4	2,045	120	47,630
A4	14	7.6	17.3	32.9	19.1	10.5	107.9	2.6	10.3	34.5	427
A5	15	7.6	11.0	3.2	3.7	3.8	12.8	1.6	2.1	33.8	125
A6	15	7.5	7.6	3.1	4.7	4.6	16.5	2.2	2.6	34.8	148
A7	14	7.9	7.3	2.9	3.0	5.1	12.3	0.7	2.1	38.9	113
A8	14	7.9	6.5	3.1	2.6	3.3	9.7	0.0	1.4	32.3	98
A9	14	7.8	11.3	3.8	5.3	12.1	16.0	3.1	2.7	37.3	164
A10	17	7.7	11.2	3.8	5.1	5.3	17.5	2.9	2.7	36.3	162
A11	16	7.5	9.3	3.1	5.1	5.2	16.4	2.5	2.7	38.1	152
A12	12	8.2	9,520	475	298	340	18,720	0.3	1,981	120	48,600
A13	13	7.6	5.7	2.5	7.8	3.5	12.1	1.0	2.1	22.2	100
A14	14	7.7	6.4	2.6	2.3	3.2	10.7	1.1	2.1	25.7	100
A15	15	7.5	6.9	2.7	3.2	3.8	12.8	1.2	1.4	29.4	109
A16	15	7.6	5.8	2.6	2.5	3.3	9.9	0.3	1.4	30.1	96

Table 5. Chemical data of water samples from Aewol and Halrim areas (May).

Sample	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (umho cm ⁻¹)
A1	17	8.1	9.2	2.5	2.8	5.1	15.7	1.6	1.4	28.1	101
A2	15	7.9	5.8	2.3	2.4	3.9	12.0	1.1	10.4	24.4	90
A3	18	8.6	10,160	439	1,122	385	17,695	0.4	2,108	114	43,660
A4	15	7.9	17.3	33.6	22.5	12.7	139	3.0	13.5	34.8	512
A5	15	8.0	10.4	3.1	3.4	4.4	13.5	1.6	2.1	34.2	122
A6	15	8.0	8.2	3.1	4.7	4.8	15.6	2.6	6.5	34.8	144
A7	15	8.2	5.1	3.3	4.0	5.0	13.0	1.6	2.7	38.4	126
A8	15	8.1	7.2	3.0	2.8	5.8	11.3	0.1	2.7	39.7	99
A9	15	8.1	12.5	3.6	5.3	3.3	16.7	2.9	4.0	39.7	158
A10	16	8.1	11.6	3.9	5.1	6.1	16.7	0.1	3.3	39.1	156
A11	17	8.0	10.0	3.6	4.9	5.0	15.9	2.2	2.1	37.8	143
A12	17	8.3	10,010	465	1,113	372	20,854	0.3	1,791	118	46,260
A13	14	7.8	6.3	2.8	2.6	3.7	14.6	1.6	2.7	23.8	101
A14	14	7.9	5.7	2.7	2.6	3.4	11.3	1.1	1.7	27.5	96
A15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A16	15	7.9	5.6	2.6	2.4	1.9	11.4	0.3	1.4	28.1	88

- : not sampled

Table 6. Chemical data of water samples from Aewol and Halrim areas (August).

Sample	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (umho cm ⁻¹)
A1	22	7.6	3.7	0.9	1.5	1.0	14.0	1.7	1.0	12.7	53.6
A2	15	7.5	7.4	2.3	4.5	2.2	20.0	1.3	3.3	41.5	132
A3	27	8.1	6,690	108	1,078	742	19,129	1.0	2,261	109	33,585
A4	15	7.4	15.8	4.2	8.2	4.7	69.2	6.8	10.1	36.5	209
A5	14	7.1	4.3	3.4	4.4	1.3	23.2	2.0	3.0	33.6	140
A6	15	7.2	15.0	3.6	7.8	2.0	30.7	3.6	8.6	37.2	206
A7	15	7.9	10.9	3.9	5.5	1.9	17.6	1.6	5.3	39.7	165
A8	15	8.0	6.2	2.6	2.9	0.5	19.0	0.2	1.1	36.6	84.9
A9	15	7.9	8.7	3.3	5.7	1.7	18.0	3.5	4.4	45.2	152
A10	16	8.0	10.6	3.6	6.0	2.2	20.7	3.3	4.8	47.0	158
A11	17	7.8	10.1	2.8	5.5	1.8	18.0	2.5	3.3	45.0	137
A12	25	8.1	7,220	326	1,130	268	16,440	1.3	1,450	110	35,228
A13	14	7.8	7.1	2.6	1.8	1.7	16.0	1.5	3.0	35.4	112
A14	16	7.8	6.3	2.6	3.3	1.2	21.2	1.3	2.7	32.3	108
A15	15	7.8	9.2	2.5	6.5	2.2	28.0	1.1	5.3	37.2	166
A16	15	7.8	6.7	2.5	3.3	1.1	21.8	0.3	1.3	37.8	100

Table 7. Chemical data of water samples from Aewol and Halrim areas (October).

Sample	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (umho cm ⁻¹)
A1	17	7.4	5.2	1.6	2.3	1.2	13.4	1.0	1.4	26.8	76.3
A2	15	7.0	5.3	1.9	2.9	1.3	13.7	1.2	1.5	31.1	86.5
A3	18	8.1	6,410	380	1,000	265	13,521	1.8	1,760	112	33,078
A4	15	7.9	9.2	2.4	6.5	3.1	58.9	0.8	7.1	49.4	137
A5	15	7.5	5.6	3.8	3.9	2.3	18.0	0.6	3.0	48.2	110
A6	15	7.3	6.9	2.7	3.1	3.0	12.3	0.8	1.5	42.7	95.5
A7	15	7.7	5.9	2.2	2.3	1.6	12.0	1.2	1.0	36.6	83.3
A8	15	7.5	6.2	2.5	2.9	1.8	12.1	0.8	1.7	40.9	93.5
A9	15	7.9	9.4	3.2	2.9	1.9	21.4	3.2	8.0	47.0	147
A10	16	7.8	5.5	3.1	1.5	1.1	12.6	1.2	1.0	37.2	88.7
A11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A12	18	8.1	8,620	383	1,398	289	15,675	0.8	2,065	125	35,641
A13	14	7.8	5.6	2.1	1.4	1.3	11.0	1.2	2.0	36.6	83.9
A14	15	7.8	11.1	3.2	5.5	3.8	20.2	3.2	2.5	32.3	144
A15	15	7.9	6.1	2.0	2.8	2.5	18.0	2.4	1.5	47.0	108
A16	15	7.9	4.9	2.2	2.7	1.7	11.2	0.2	1.0	39.1	87.5

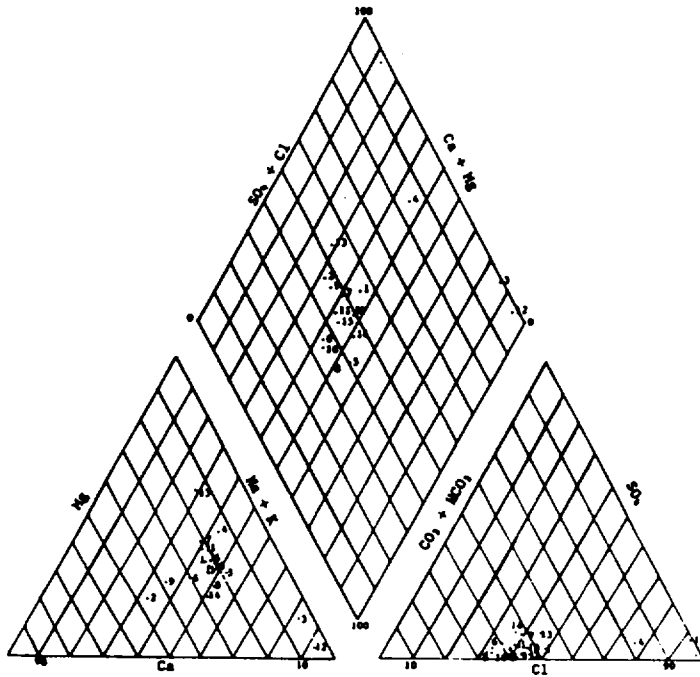


Fig. 8 Trilinear diagram of water samples from Aewol and Halrim areas (March).

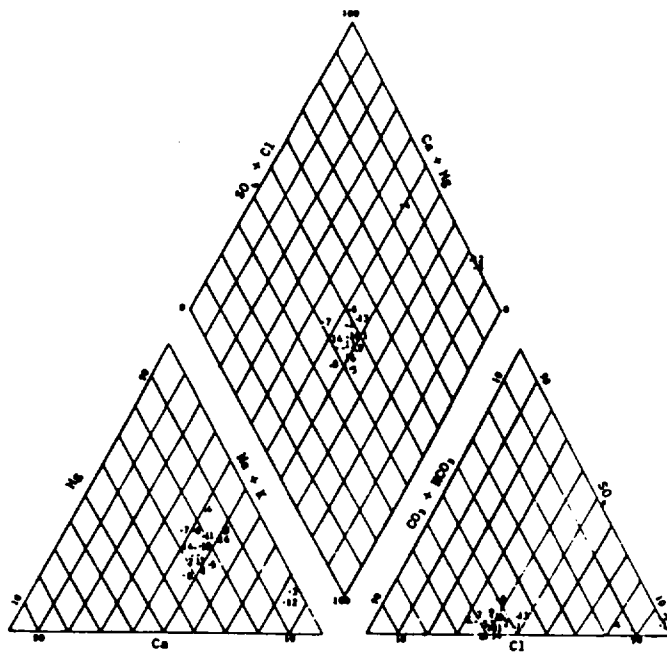


Fig. 9 Trilinear diagram of water samples from Aewol and Halrim areas (May).

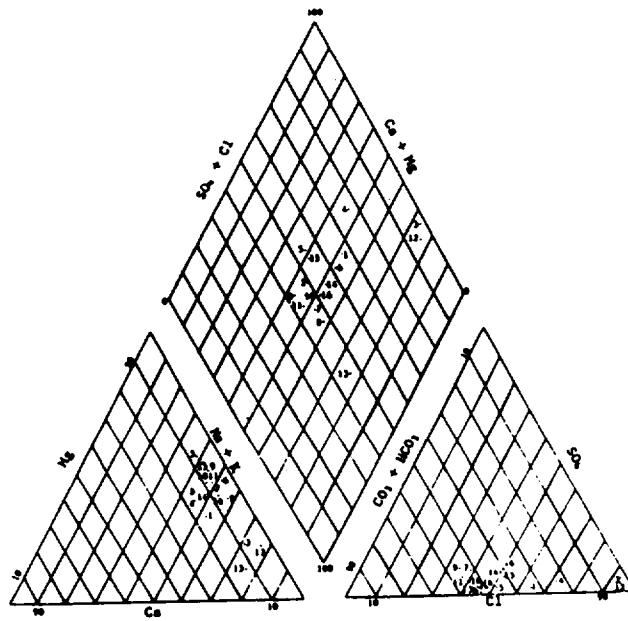


Fig. 10 Trilinear diagram of water samples from Aewol and Halim areas (August).

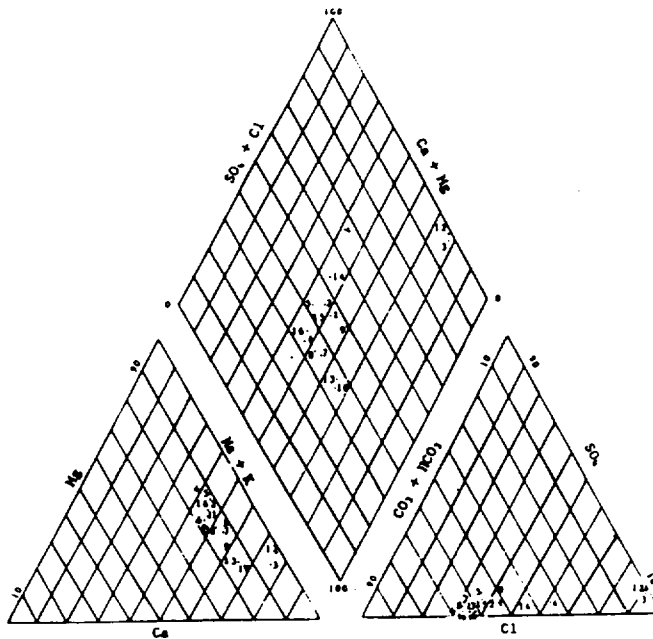


Fig. 11 Trilinear diagram of water samples from Aewol and Halim areas (October).

Table 8. Classification of water samples from Aewol and Halrim areas.

Sample No	Types of water			
	March	May	August	October
A1	Ca · Cl	Ca · HCO ₃	Na · Cl	Na · HCO ₃
A2	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃
A3	Na · Cl	Na · Cl	Na · Cl	Na · Cl
A4	Na · Cl	Ca · Cl	Ca · Cl	Ca · Cl
A5	Na · HCO ₃	Na · HCO ₃	Ca · Cl	Ca · HCO ₃
A6	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Na · Cl	Ca · HCO ₃
A7	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Na · HCO ₃	Na · HCO ₃
A8	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Na · HCO ₃	Na · HCO ₃
A9	Ca · HCO ₃	Na · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Na · HCO ₃
A10	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Na · HCO ₃
A11	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	-
A12	Na · Cl	Na · Cl	Na · Cl	Na · Cl
A13	Ca · Cl	Ca · Cl	Na · HCO ₃	Na · HCO ₃
A14	Ca · HCO ₃	Ca · HCO ₃	Na · Cl	Ca · Cl
A15	Ca · HCO ₃	-	Ca · Cl	Ca · HCO ₃
A16	Ca · HCO ₃	Na · HCO ₃	Na · Cl	Ca · HCO ₃

- : not sampled

Table 9. Chloride-bicarbonate ratios as a criterion of sea water intrusion in Aewol and Halrim areas.

Sample No	March	May	August	October
	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃	Cl/HCO ₃
A1	1.05	0.96	1.89	0.86
A2	0.90	0.85	0.83	0.76
A3	318	267	302	207
A4	5.37	6.86	3.28	2.05
A5	0.65	0.68	1.19	0.64
A6	0.54	0.77	1.42	0.49
A7	0.81	0.58	0.76	0.56
A8	0.52	0.49	0.89	0.51
A9	0.74	0.72	0.68	0.78
A10	0.83	0.73	0.76	0.58
A11	0.74	0.72	0.69	-
A12	268	304	257	215
A13	0.94	1.05	0.78	0.52
A14	0.72	0.71	1.13	1.07
A15	0.75	-	1.29	0.66
A16	0.57	0.70	0.99	0.49

- : not sampled

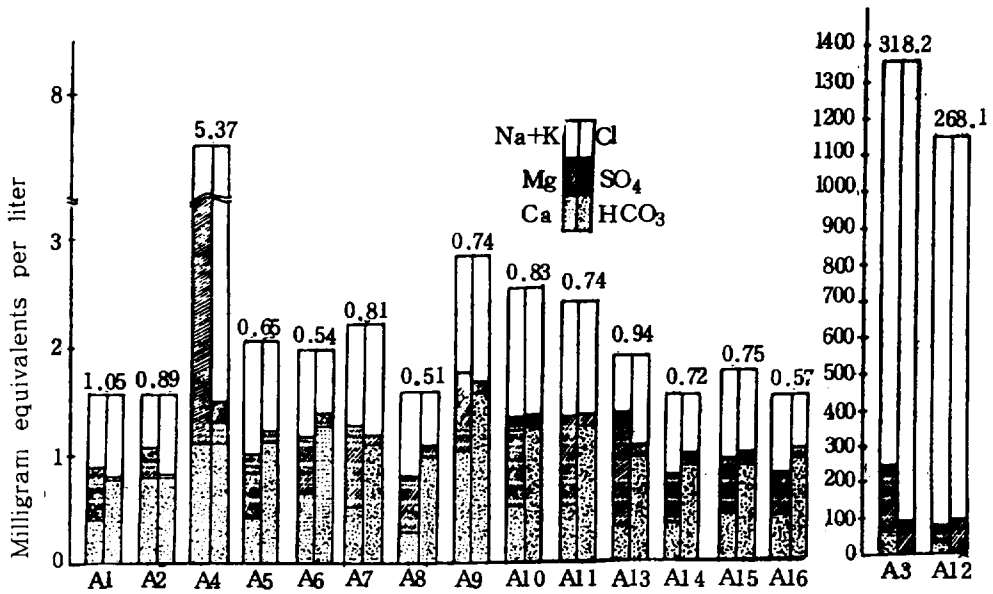


Fig. 12 Chemical analysis of water from Aewol and Halrim areas.
Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (March).

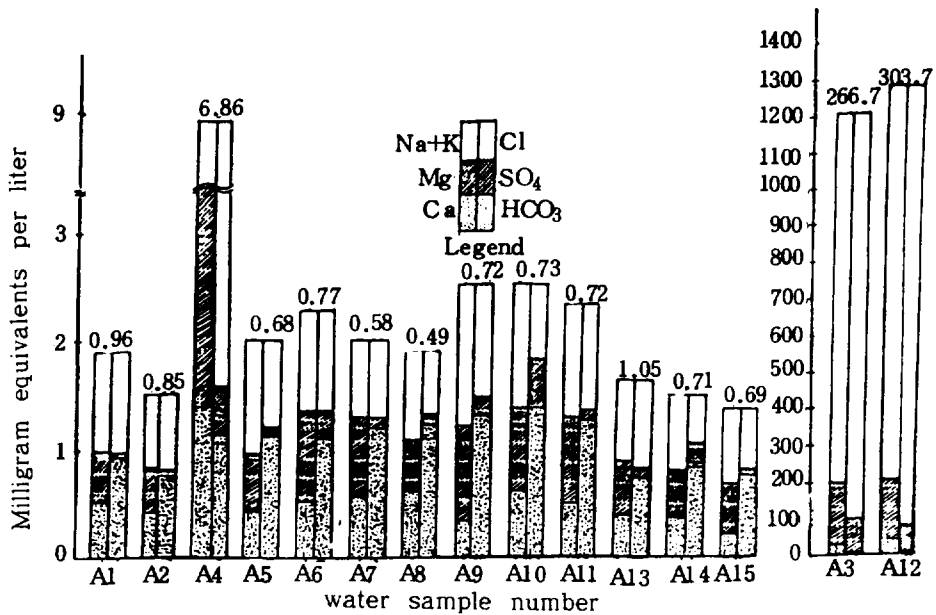


Fig. 13 Chemical analysis of water from Aewol and Halrim areas.
Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (May).

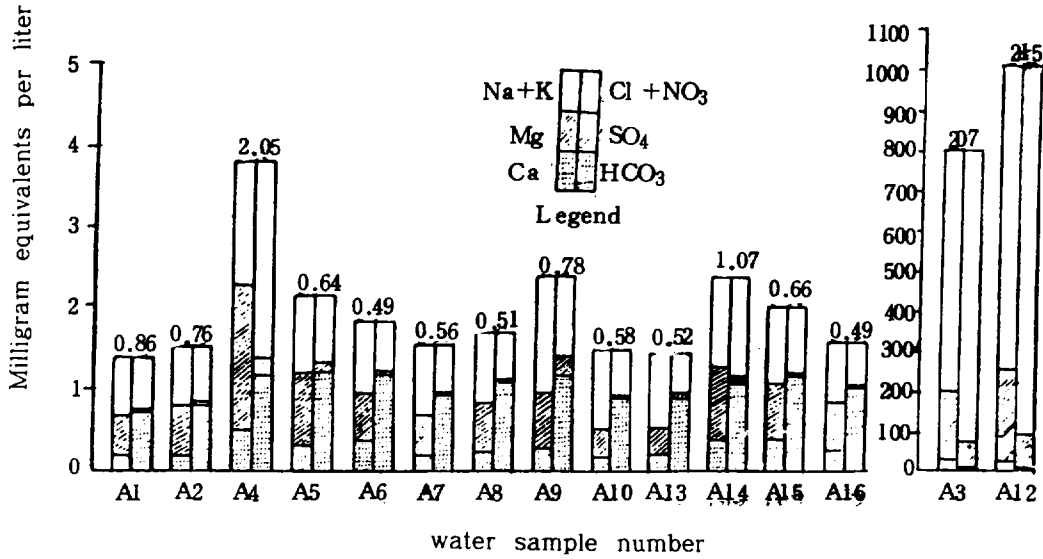


Fig. 14 Chemical analysis of water from Aewol and Halrim areas.
 Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (August).

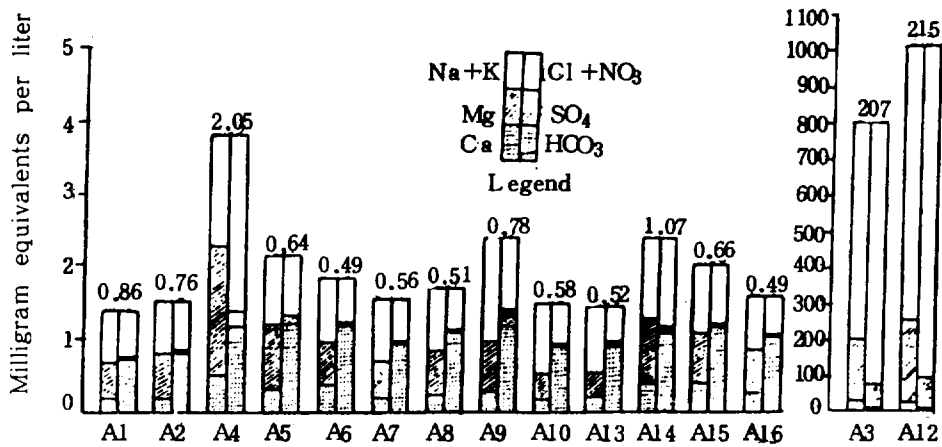


Fig. 15 Chemical analysis of water from Aewol and Halrim areas.
 Chloride-bicarbonate ratios are shown above each quality diagram (October).

Table 10. Sodium absorption ratio(SAR) of water samples from Aewol and Halrim areas.

Sample	March	May	August	October
	SAR	SAR	SAR	SAR
A1	0.6	0.8	0.6	0.6
A2	0.4	0.6	0.7	0.6
A3	55.4	59.1	36.7	40.3
A4	0.7	0.7	1.0	0.7
A5	0.9	0.9	0.4	0.5
A6	0.6	0.6	1.1	0.7
A7	0.6	0.4	0.9	0.7
A8	0.6	0.6	0.7	0.7
A9	0.7	1.0	0.7	1.0
A10	0.8	0.8	0.8	0.8
A11	0.7	0.8	0.8	-
A12	90.9	58.6	43.0	46.6
A13	0.4	0.6	0.9	0.8
A14	0.7	0.6	0.7	0.9
A15	0.6	-	0.7	0.6
A16	0.6	0.6	0.7	0.5

- : not sampled

Bicarbonate 비가 0.5 이하인 境遇 海水汚染問題가 전혀 없고 0.5~1.3인 境遇 약간 문제가 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 調查地域의 湧泉水, 地下水를 評價할 때, A4 湧泉水는 季節에 따라 Chloride-Bicarbonate比가 변하고 있으며 海水에 의해 汚染을 받고 있다고 생각된다. 그러나 기타 湧泉水와 地下水의 境遇 대략 그 比가 0.5~1.42 정도의 값을 보임으로써 海水에 의한 汚染이 거의 일어나지 않는다는 것을 나타내고 있다.

한편, 農業用水로서의 使用여부를 알아보기 위해 SAR(Sodium Absorption Ratio)값을 計算하여 보면(Table 10 참조), 海水의 汚染을 받고 있다고 생각되는 A4 湧泉水도 農業用水로서 충분히 使用할 수 있다고 判斷된다.

摘 要

본 연구는 濟州道中 湧泉水資源이 풍부한 濟州市 近郊(삼양, 외도) 및 涯月, 翰林地域의 地下水資源에 관한 理化學的 特性을 分析함으로써 海水에 의한 地下水와 湧泉水의 汚染을 조사하고 또한 장래에 발생할지도 모르는 地下水의 荒廢化를 사전에 예방

하기 위한 기초자료를 제공키 위해 海水 4 점, 湧泉水 4점, 地下水 10점을 대상으로 시기별 채수하여 溫度, pH, 양이온, 음이온, 電氣傳導度 그리고 環境同位元素 Tritium, Deuterium과 Oxygen-18를 定量하였다.

제주시 근교(삼양, 외도) 및 애월, 한림 지역의 대부분의 地下水와 湧泉水의 음, 양이온 함량과 전기전도도 값은 비교적 낮은 편으로 제주시 또는 서귀포시 지역의 값과 유사한 경향을 보였다. 한편 조사지역내의 地下水와 湧泉水의 環境同位元素(H-3, H-2, O-18) 存在比는 계절에 따라 차이를 보였으며, 하절기에 가장 낮은 함량을 나타낸 것은 7~8월에 집중하여 제주지역에 내리는 降水에 의해 稀釋된다고 생각되며, 이러한 현상으로 미루어 보아 이 지역의 帶水層은 비교적 얇으며 또한 Mixing process가 극히 빠르다는 것을 시사한다. 또한 一般化學分析 方法으로 計算된 Cl/HCO₃ 비를 보면 조사 지역내의 대부분의 地下水와 湧泉水들은 海水에 의한 오염이 거의 일어나지 않았다고 판단되나, 애월 湧泉水의 경우 Cl/HCO₃ 비가 비교적 높고(2.05-6.86), 특히 환경동위원소 O-18의 존재비가 海水에 의한 영향을 받는다고 생각되는 제주동부지역의 地下水와 비슷한 경향을 갖는 것으로 보아 음, 양이온 함량이나 전기전도도가 높은 이유는 海水에 의한 오염으로 판단된다.

參 考 文 獻

1. Han, J.S. 1981, Ground Water of Bed Rocks in South Korean Peninsular, J. Korean Asso. Hydro. 14(4) : 73-81.
2. 農水産部, 濟州道, 農業振興公社, 1986, 1986年度 濟州道 地下水 開發 報告書, pp. 3.

3. Hahn, J.S. and J.S. Ahn, 1984, Studies on Isotope Hydrology in South Korea. *J. Geolo. Sco.* 20(1) : 72~84.
4. Calf, G.E., B.W. Seatonberry, and L.W. Smith, 1976, The Measurement of Natural Levels of Tritium in Water. *AAEC/E373*
5. 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*.
6. Alvarez, L.W. and R. Coming, 1980, Radioactive Hydrogen. *A Correction Phys. Rev.* 58(2) : 197.
7. Ahn, J.S., J.S. Kim, J.S. Hahn, P. Airey and B. Payne, 1983, 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
8. Hartley, P.E. 1980, A Rapid Mass Spectrometers Method for the Determination in Water at Natural Levels. *Anal. Chem.* 52 : 2232.
9. Kumer, B., R.N. Athavale, and K.S.N. Sahay, 1980. In Proceedings of the Workshop on Nuclear Techniques in Hydrology. National Geophysical Res. Inst. Hyderabad. pp. 16~17.
10. Greenberg, A.E., J.J. Connors, and D. Jenkins, 1982, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *Amm. Public Health Asso.*, Washington, pp. 152~155, 270~271, 439~440.
11. Piper, A.M. 1944, A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. *Am. Geophy. Union Trans.* 25 : 914~923.
12. Todd, D.K. 1959, Ground Water Hydrology, John Willey & Sons. Inc. pp. 293~294.
13. IAEA, 1983, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Tech. Report No. 91. IAEA. Vienna, pp. 276~278, 293, 319~325, 351~356.
14. Payne, B.R. L. Qujano, and D. Carlos Latarre, 1979, Environmental Isotopes in a Study of the Origin of Salinity of Ground Water in the Maxicali Valley, *J. Hydrol.* 41 : 201~215.
15. Ahn, J.S. J.S. Kim, P. Airey, and B. Payne, 1981, Environmental Isotope-Aided Studies on River and Ground Water Interaction in the Region of Seoul, *J. Korean Nucl. Soc.* 13(2) : 85~96.
16. 柳長杰, 安鍾成, 鄭昌朝, 宋成俊, 1986, 同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究(Ⅲ), *KAERI/RR-*

- 527/86.
17. 柳長杰, 韓楨相, 李鉦浩, 鄭昌朝, 安鍾成, 1984, 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.
 18. 柳長杰, 安鍾成, 鄭昌朝, 宋成俊, 1985, 同位元素를 이용한 濟州地域 水資源에 관한 研究(Ⅱ), KAERI/RR-1482/85.
 19. Davis, G.H. C.H. Lee, E. Bradely and B.R. Payne, 1970, Geohydrologic Interpretation of a Volcanic Island from Environmental Isotopes, Water Resources Research, 6(1) : 99~109.
 20. Revelle, R. 1941, Criteria for Recognition of Sea Water in Ground Waters, Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 22, pp.593~597.
 21. Love, S.K. 1944, Cation-Exchange in Ground Water Contaminated with Sea Water near Miami, Florida, Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 25, pp.951~955.