

# 同位元素를 利用한 濟州地域 水資源에 관한 研究(VI)

유장걸 · 정창조 · 송성준 · 안종성\*

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

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

### Summary

The salt contents of ground waters and spring waters in Chungmoon and Daijung were similar to those of Soguipo-shi area but two to five times higher than those of the north-western area of Cheju. The ratio of Cl/HCO<sub>3</sub>, determined by chemical analysis ranged from 1.69 to 4.83, though more or less changed according to seasons, indicating the possibility of sea water intrusion. But the fresh waters of the surveyed area seemed to have good quality for drinking because chloride contents were in the range of 7-50ppm.

The tritium contents of groundwater and spring water were lower(0.12-12.7 TU) than those (8-20 TU) in Cheju-shi, Soguipo-shi and the eastern Cheju. Especially D8, D11, D12, D14 and D16 groundwaters gave lower tritium contents than other groundwaters or spring waters. Considering that most rain water percolates under ground very quickly due to the permeable nature of the starta, the groundwaters having low tritium content seemed to be very old ones, not affected by the rainfall directly and differed from another groundwater resources.

---

\* 한국원자력 연구소 수문기술실

## 序 論

濟州道는 火山溶岩으로 구성된 特殊上層 구조로 되어 있어서 한국 최대의 降雨量을 가지면서도 用水의 부족을 면치 못하고 있다.

溶岩空隙으로 降水의 대부분이 流失되거나, 지하로 침투되어 河川의 대부분은 乾川이며 道內 水源으로는 일부의 地表水와 湧泉水, 地下水 이외는 기대하기 어렵다.<sup>1)</sup> 이와 같은 수자원의 문제는 濟州地域 산업발전에 큰 제한요인이 되고 있어서 수자원의 개발과 확보는 濟州道 개발의 기본과제로 되어 있다.

1970년부터 濟州道는 수자원개발을 위하여 地下水개발을 시작한 이래 1987년말 現在 236 個孔, 394,967m<sup>3</sup>/日을 開發하여 道 전역에 良質이 地下水를 공급하고 있다.<sup>2)</sup>

濟州道の 用水量은 人口增加, 觀光開發 및 農水産業의 발달로 인하여 매년 증가되고 있으며, 한정된 地下水의 보호와 이의 적절한 활용을 위한 對策이 시급하다. 특히 地下水 자원의 과다 이용으로 海水의 浸透에 따른 地下水 荒廢化는 島嶼地方에서 흔히 문제가 되는데, 濟州地域의 地下水 보호를 위해서는 이와 관련된 기초 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, Trachyte질 安山岩 및 Trachyte로 분류할 수 있다. 海岸線을 따라 일부의 모래와 礫 및 火山灰로 구성된 堆積岩層이 분포되어 있으나 그 규모와 분포면적은

그리 넓지가 않다.

城邑里 부근에 분포된 Picrite 玄武岩내의 節理는 매우 불규칙적이고, 一般的으로 非晶質 火山岩은 節理의 발달상태가 불량하다.<sup>3)</sup> 한편, 濟州地域 암반내에 포함된 深部地下水의 產出狀態는 1) 節理나 裂隙과 같은 小構造내에 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 접촉면에 包含된 地下水로 구분된다. 또한 濟州道の 지하수는 다른 火山岩 분포지역과 동일하게 上位地下水와 基底地下水로 구분된다.<sup>1)</sup>

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 帶水層內에 있는 深層 地下水이므로 다량의 用水로 개발할 수 있다. 일반적으로 濟州地域의 水文循環은 降水에 의해 지상으로 내린 물이 節理나 溶岩洞孔 및 岩石接觸面과 같은 2차 有效空隙을 따라 지하로 浸透되며, 이들은 계속 깊은 곳으로 침투되어 基底地下水를 이룬다.<sup>1)</sup> 濟州道에는 UNDP사업으로 1969年 이후 120개소의 試驗孔과 30개소의 揚水場을 設置하였는데, 평균 116m 깊이와 1일 平均產出量은 1,300M/T에 이르는 매우 양호한 深井을 개발한 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 개발한 바 있다. 이들 외에도 많은 深井을 개발하여 生活用水 및 農業用水로 이용하고 있다. 地下水 개발의 問題點을 보면

基底地下水는 앞으로 濟州道 用水 개발에 가장 必然的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 현재도 深井을 開發하고 있는 중인 바, 그 중 일부의 深井은 海岸線에 너무 인접해서 굴착을 했으므로 다량의 揚水로 인하여 淡水帶內로 鹽水가 侵入될 우려가 있다.' 그러므로 基底地下水 개발 이전에 가장 시급하게 施行해야 할 問題는 鹽水가 淡水體內로 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 資源調查를 하기 위해서는 1) 海岸地域의 地下水 採水로 인한 鹽水와 淡水와의 水理的인 關係가 구명되어야 하고, 2) 降水와 地表水도 地下水資源과 상호 관련시킨 조사연구를 環境同位元素를 이용 수 行되어야 할 것이다.

本 研究는 濟州道 地下水資源의 장기적인

保護와 안정된 이용을 위한 계속 研究 사업의 일환으로 濟州 南西部(中文, 大靜) 地域의 地下水, 海水 및 湧泉水의 水質을 계절별로 조사하고 環境同位元素인 Tritium, Deuterium, Oxygen-18을 분석하여 地下水와 湧泉水의 海水에 의한 汚染 여부를 알아 보았다.

## 材料 및 方法

### 1. 試料採水

濟州 南西部地域의 試料는 海水(D6, D9), 湧泉水(D5, D10)와 地下水(D1, D2., D3, D4, D8, D11, D12, D13, D14, D15, D16)로 區分하여 3, 5, 8, 10월에 각각 化學分析用 1 liter와 環境同位元素 測定用 1 liter씩을 採水하였다. (Fig.1, Table 1 참조)

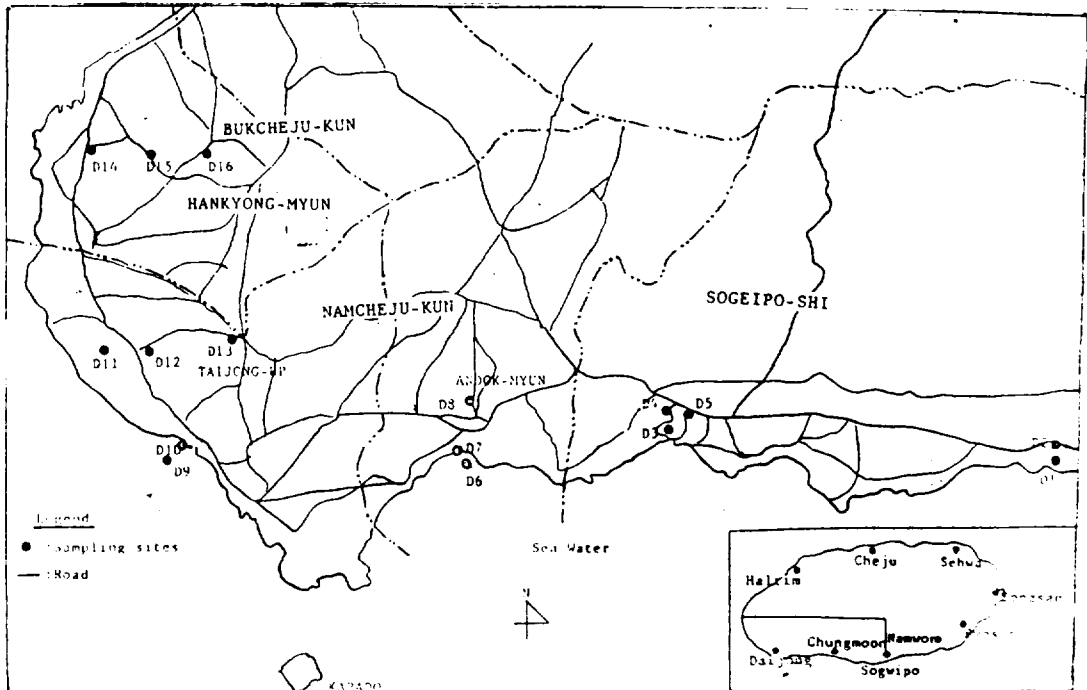


Figure 1. Location of the sampling sites of Chungmoon and Daijong areas.

Table 1. Specifications of sampling sites in Chungmoon and Daijong areas.

Sample No.	Location	Description	Distance from sea (km)	Depth (m)
D1	Soguipo-shi Sogui-dong	Ground water	0.15	62
D2	Soguipo-shi Sogui-dong	Ground water	0.40	60
D3	Soguipo-shi Chungmoon-dong	Ground water	0.20	60
D4	Soguipo-shi Chungmoon-dong	Ground water	0.70	122
D5	Soguipo-shi Chungmoon-dong	Spring water	0.90	0
D6	Namcheju-gun Andok-myun Hwasoon-ri	Sea water	0	0
D7	Namcheju-gun Andok-myun Hwasoon-ri	Spring water	0	0
D8	Namcheju-gun Andok-myun Hwasoon-ri	Ground water	1.70	90
D9	Namcheju-gun Daijong Ilkwa-ri	Sea water	0	0
D10	Namcheju-gun Daijong Ilkwa-ri	Spring water	0	0
D11	Namcheju-gun Daijong Ilkwa-ri	Ground water	1.00	85
D12	Namcheju-gun Daijong Ilkwa-ri	Ground water	2.10	110
D13	Namcheju-gun Daijong Ilkwa-ri	Ground water	4.00	80
D14	Bukcheju-gun Hankyung-myun Yongdang-ri	Ground water	1.50	79
D15	Bukcheju-gun Hankyung-myun Hanwon-ri	Ground water	3.30	63
D16	Bukcheju-gun Hankyung-myun Chosoo-ri	Ground water	5.70	125

## 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 증류하여 鹽을 제거한 후 600g을 취하여 電氣分解로 濃縮하는 동안에 電極의 腐蝕을 방지하기 위하여 0.67%의 Sodium Peroxide를 가하여 Alkali로 되게 하였다.<sup>4)</sup>

#### 2) Tritium 濃縮

前處理된 試料은 電氣分解 Cell을 이용하여 20g까지 濃縮하였다. 試料을 電氣分解 할 때는 -1~0°C로 유지하여 Tritium의 蒸發을 방지하였고 結氷을 방지하기 위해서 冷凍槽內에 10% Ethylene Glycol를 가하였다. 또 최초 電流은 120mAcm<sup>-2</sup>를 超過하지 않게 조정하였

다. 濃縮時間은 약 210시간이 소요되었으며 Tritium含量을 이미 알고 있는 2개의 Tritiated Water를 다른 試料과 동일하게 處理하여 濃縮係數를 계산하였다. 試料의 濃縮이 완료된 후 試料 내 Sodium Hydroxide의 濃度가 약 20% 정도 이므로 CO<sub>2</sub> gas를 주입시켜 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.<sup>4)</sup>

#### 3) Tritium 計測

Tritium濃縮 및 蒸溜가 완료된 試料을 計測器機에 10ml를 취하여 여기에 Instagel 10ml를 가하였다. 試料중의 閃光 混合物은 1개월 이상 안정성이 維持되도록 하였다. 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 E<sup>2</sup>/B값이 큰 Teflon 計測 容器를 使用하였다. Background용 Tritium Free Water는 濠洲 原子力 研究所(AAEC)에서 분양받아 使用하였다.

Tritium試料는 液體閃光計數機(Packard Model 3255)로 計測하였다. 이때, 器機의 Discriminator는 45-600, Amplification은 100%, 그리고 Sample Changer내의 溫度를 8C로 調整하였고, 每 試料마다 20분씩 25회 반복 計測하고 TU(Tritium Unit; 1TU=3.24 × 10<sup>10</sup>pCig<sup>-1</sup>)로 환산하였다.<sup>5, 6, 7</sup> Tritium의 單位는 초기 自然表面水中의 Tritium含量이 水素 10<sup>18</sup>原子당 약 1개의 H-3 原子가 있다는 것이 발견되어 試料중의 H원자 10<sup>18</sup>개당 H-3 原子의 수를 TU로 나타냈다.<sup>4</sup>

#### 나. Deuterium과 Oxygen-18 測定

물 試料중의 D/H와 O-18/O-16 ratios는 質量分析機를 使用하여 測定<sup>8</sup>)하였고 물試料中의 環境同位元素인 Deuterium (per mill)과 Oxygen-18 含量<sup>9</sup>)은 다음과 같이 표시하였다.<sup>8, 9</sup>

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

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

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 행하였다.

- 1) 水温 : 水銀 溫度計를 使用하여 試料採水 즉시 현장에서 測定하였다.
- 2) pH : 採水하여 실험실로 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, Mg)은 原子吸光分光器(Perkin Elmer, Model 2380)로 측정하였다. 특히, Ca, Mg인 경우 化學 干涉을 줄이기 위해 0.25% La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>용액을 處理하였다.
- 5) 陰이온(Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>) 境遇, Cl은 AgNO<sub>3</sub> 적정법, HCO<sub>3</sub>는 0.05N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 적정법, SO<sub>4</sub>는 탁도정량방법(Turbidity Method)<sup>1</sup>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) 단위로 환산한 뒤 陽이온의 경우는 {(Ca or Mg or Na+K or Ca+Mg)/(Na+K+Ca+Mg)} × 100, 陰이온의 경우는 {(Cl or SO<sub>4</sub> or HCO<sub>3</sub>)/(Cl+SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub>)} × 100으로 계산해서 Piper의 Trilinear Diagram<sup>11</sup>)으로 나타냈다.

#### 마. 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 HCO<sub>3</sub>의 ppm값을 epm 단위로 환산한 뒤 Cl의 epm값을 HCO<sub>3</sub>의 epm값으로 나누어 얻어진 값을 使用했다. 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, Ca가 차지하는 分율을, 陰이온의 경우에는 Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>가 각각 차지하는 分율을 그 래프에 나타냈다.<sup>12)</sup>

## 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<sup>13)</sup>, 또는 鹽水化 現狀에 대한 原因을 究明<sup>14)</sup>하기 위해서는 Deuterium(H-2), Oxygen-18(O-18)의 存在 比를 測定하는 技術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 自然界에서 繼續的으로 生成되어 지고 있으며, 이것은 약 12.43년의 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.

1952년 이전에는 降水中에 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 증

가되었고 1954년 3월 Ottawa에서 降水中에 2,937 TU의 含量을 나타낸 일도 있었다.<sup>15)</sup>

우리나라의 浦項地域에서 調査된 降水中의 Tritium 含量 變化를 보면 1963년도에 약 1,300TU 이었으나<sup>16)</sup> 그 이후에는 계속적으로 감소되어서 1989년 濟州地域에서의 降水中의 Tritium含量은 9TU정도이었다.<sup>17)</sup>

海水(D5, D13)中の Tritium 含量은 3.23-4.24TU 範圍로 濟州 東部<sup>18)</sup> 및 東南部<sup>19)</sup>, 西歸浦市<sup>20)</sup>, 濟州市<sup>21)</sup> 또는 北西部地域의<sup>17)</sup>의 海水보다는 낮은 傾向을 보였다(Table 2 참고).

특히, 5월에 D9海水의 Tritium 含量이 높은 이유는 Tritium 含量이 海水보다 높은 인근 海岸가에서 용출되는 湧泉水의 影響을 받은 것으로 생각된다.

한편, 地下水의 Tritium 含量은 Table 2에서 보는 바와 같이 지금까지 조사된 濟州道의 다른 地域(濟州市<sup>21)</sup>, 西歸浦市<sup>20)</sup>, 東部<sup>18)</sup>, 西部<sup>17)</sup>, 南東部 地域<sup>19)</sup>의 地下水(8-21.3 TU)보다 낮은 傾向을 보였다.

특히, 본 地域의 D8, D11, D12, D14, D16 管井 地下水들의 Tritium 含量은 0.02-5.9 TU로 湧泉水 또는 海水의 Tritium含量보다 낮은 값을 나타냈다. 한편, 濟州道는 그 대부분이 火山溶岩으로 구성된 特殊 地層構造를 가져 즉 溶岩空際, 節理 등이 잘 발달되어 道内에서 내린 降水의 45%가 지하로 쉽게 침투되어 地下水에 혼입된다<sup>1)</sup> 또한, 濟州東部地域의 경우 降水 후 1주일 이내에 地下水의 鹽分濃度가 희석되는 것으로 보아 그 降水가 地下水로 혼입되는 시간이 매우 빠르다는 사실을

Table 2. Environmental tritium of water samples from Chungmoon and Daijong areas.

Sample No.	Tritium (TU)			
	March	May	August	October
D1	6.36	6.46	5.15	6.59
D2	4.92	9.27	8.31	7.65
D3	4.10	4.47	4.03	4.02
D4	6.73	5.86	6.81	-
D5	12.7	11.6	9.19	10.18
D6	4.24	3.23	3.90	3.25
D7	7.49	8.45	6.34	6.78
D8	1.00	3.44	4.35	1.41
D9	3.00	7.44	3.27	3.90
D10	12.1	9.33	9.63	11.8
D11	1.52	-	5.43	1.78
D12	33.6	1.00	1.90	0.92
D13	11.8	13.8	9.76	11.3
D14	1.00	1.00	5.90	0.05
D15	10.4	9.68	9.29	9.25
D16	1.07	0.02	5.71	3.05

- : not sampled.

알 수 있다.<sup>18)</sup>

그리고, 5-8월에 濟州地域에 내린 降水中の Tritium 濃度가 6.99-11.49TU를 보이고 있었다. 따라서 D8, D11, D12, D14, D16 管井 地下水들은 降水의 영향을 직접적으로 받지 않는 地下水年齡이 오래되고 타 地下水와는 水源이 다르다는 것을 암시하고 있다.

#### 나) Deuterium 測定結果

Table 3에서 보는 바와 같이 海水中の Deuterium 含量은 -20.1~-2.3 per mill로서 濟州市 또는 西歸浦市 地域(-5.7~-2.7 per mill)이나, 濟州東部の 舊佐, 城山 地域의 海水에 비해 그 분포範圍가 매우 넓다. 湧泉水 Deuterium 含量도 -44.3~-36.4 per mill를 보임으로써 濟州市 보다는 높고 西歸浦市 地域에 비해 낮게 나타났으나 濟州 東部(舊佐,

城山) 地域보다는 다소 낮은 것으로 나타났다. 대체적으로 研究地域 管井의 地下水의 경우도 -45.3~-29.5 per mill을 보임으로서 濟州市 (-46.8~-43.5 per mill)보다 그 含量이 약간 높으나 西歸浦市(-40.0~-36.0 per mill) 보다는 낮은 경향이였다. 그러나 鹽分濃度가 높은 城山, 舊佐 地域의 Deuterium 含量과는 비슷하였다. 특히 이 地域 管井 地下水의 Deuterium 含量은 계절마다 조금은 상이하나 한계 절에 採水한 地下水에서는 상당히 안정된 값을 보였다.

#### 다) Oxygen-18 測定結果

海水中の Oxygen-18 含量(Table 3)은 5월의 D9를 제외하고는 濟州東部(舊佐, 城山) 地域의 海水(-0.2~-0.02 per mill) 涇月, 翰林地域(-6.68~-5.85 per mill)보다 낮은

Table 3. Environmental deuterium and oxygen-18 levels of water samples from Chungmoon and Daijong areas.

Sample No.	March		May		August	
	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)	Deuterium (per mill)	Oxygen-18 (per mill)
D1	-35.3	-5.77	-37.7	-6.40	-35.7	-6.09
D2	-37.5	-7.07	-39.2	-6.92	-41.2	-6.54
D3	-37.8	-6.68	-40.2	-6.34	-38.8	-5.31
D4	-43.0	-7.09	-42.4	-6.52	-40.7	-5.84
D5	-37.1	-5.97	-41.9	-6.61	-37.8	-5.85
D6	2.3	-0.50	1.0	0.27	-1.1	0.82
D7	-36.4	-6.40	-43.3	-6.68	-43.8	-6.17
D8	-41.2	-7.29	-40.8	-5.97	-41.5	-6.8
D9	0.5	-0.47	-20.1	-3.52	-5.3	-0.83
D10	-44.3	-7.26	-41.3	-6.35	-38.3	-6.56
D11	-39.6	-6.48	-	-	-41.4	-6.18
D12	-37.5	-5.92	-42.2	-6.97	-39.3	-6.79
D13	-41.6	-6.15	-42.9	-5.81	-35.3	-6.47
D14	-40.5	-6.81	-41.1	-5.9	-29.5	-5.45
D15	-40.3	-6.20	-43.4	-5.91	-30.7	-6.33
D16	-40.3	-6.58	-45.3	-6.33	-33.9	-6.38

-; not sampled

값을 보여주고 있다. 또한 湧泉水의 Oxygen-18 함량은 舊佐, 城山 地域의 湧泉水와 비슷한 경향을 띠고 있으며, 涯月, 翰林 地域 湧泉水보다는 높은 수준을 나타내었다. 한편 地下水의 Oxygen-18 함량은 -7.09~-5.81 per mill 수준으로 涯月, 翰林은 -7.09~-5.81 per mill 수준으로 涯月, 翰林地域보다는 높고, 濟州 東部地域과 비슷한 낮은 함량을 보였고, 季節別로 봤을 때 夏節期에 낮은 경향을 나타내었다.

研究地域内の 管井地下水의 Oxygen-18 함량은 中文地域인 경우 海岸에 인접한 管井은 그 함량이 다소 높고 표고가 높아질수록 함량이 다소 낮아지는 경향을 보였으나 大靜地域은

그 값이 거의 일정함을 알 수 있다. 이는 海岸에 인접한 地下水 일지라도 Oxygen-18 함량이 높은 海水에 의한 영향을 거의 받지 않는다고 생각된다.

#### 라) Deuterium과 Oxygen-18의 相互關係

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

3월 試料는  $\delta D = 1.97 + 6.30 \delta O-18$  ( $r = 0.98^{**}$ )

5월 試料는  $\delta D = 5.87 + 7.57 \delta O-18$  ( $r = 0.95^{**}$ )

8월 試料는  $\delta D = 4.93 + 6.9 \delta O-18$  ( $r = 0.96^{**}$ )

으로 나타낼 수 있었다. (Fig. 2.3.4 참조)



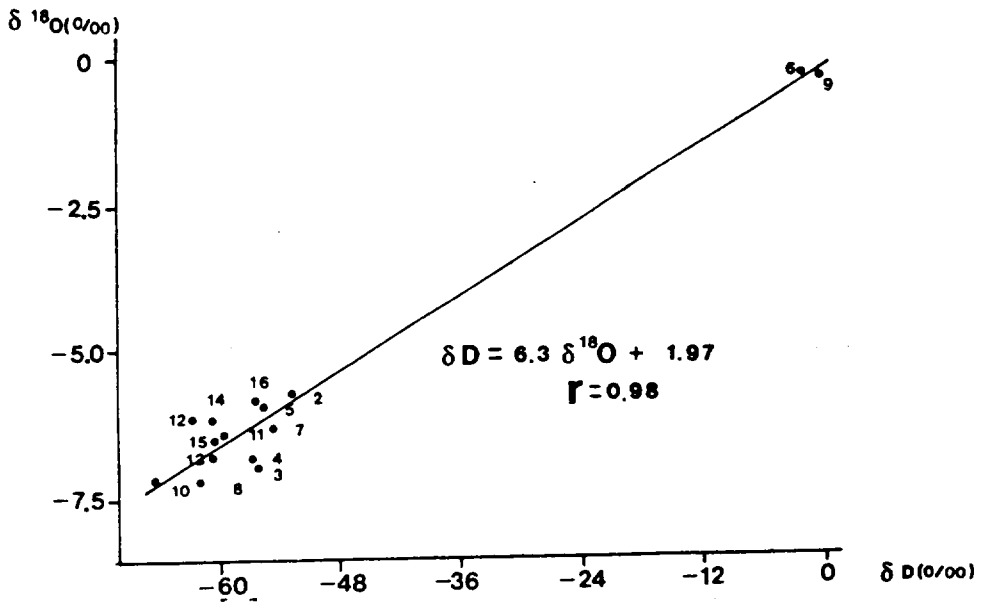


Figure 2. Stable isotope composition of water samples in Chungmoon and Daijong areas (March).

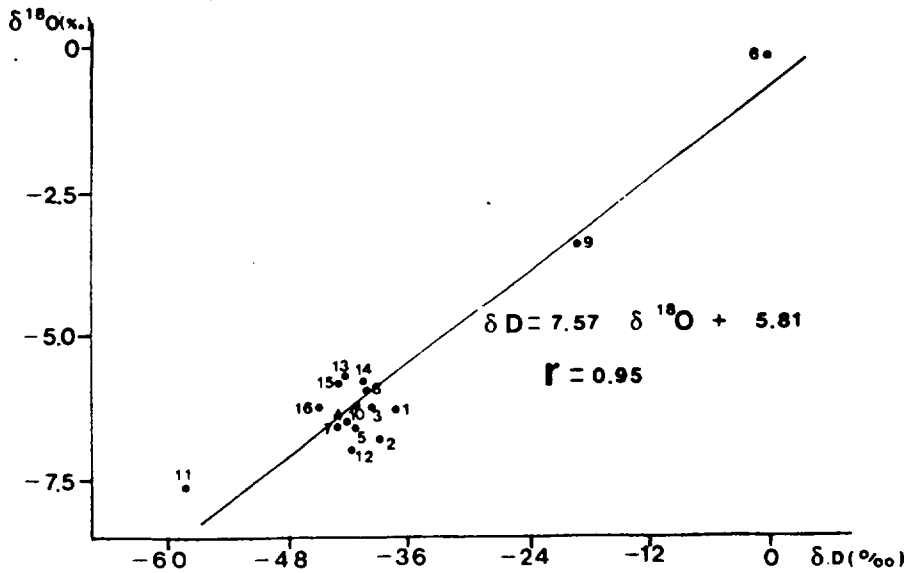


Figure 3. Stable isotope composition of water samples in Chungmoon and Daijong areas (May).

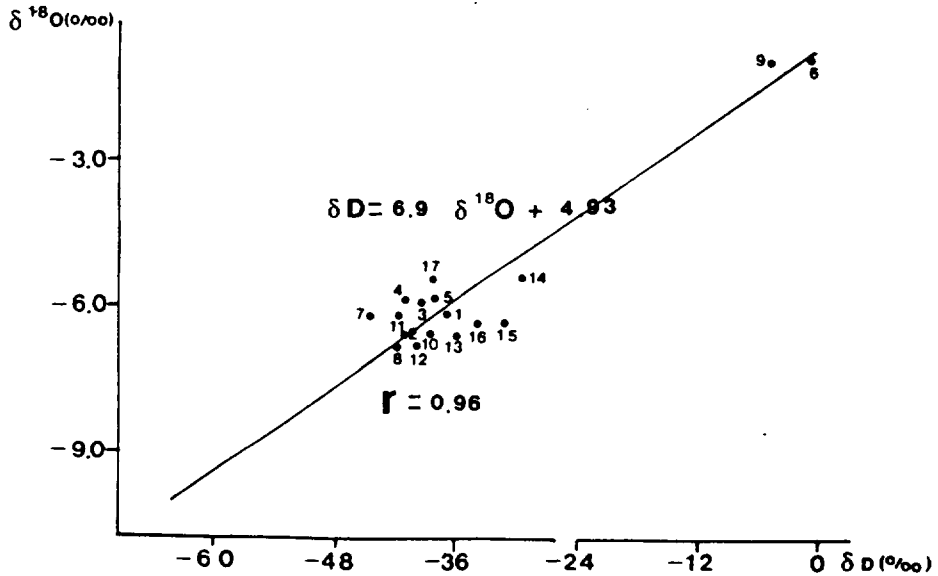


Figure 4. Stable isotope composition of water samples in Chungmoon and Daijong areas (August).

이처럼 試料내의 Deuterium과 Oxygen-18 간의 高度의 有意 相關을 보였다. 또한 全술한 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 받지 않은 地下水들은 Deuterium과 Oxygen-18含量이 해수와는 전혀 다른 한 그룹을 형성하고 있다.

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 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되고 있다.<sup>21)</sup> 本 調査地域의 地下水들의 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 인접한 地下水의 環境同位元素인 Deuterium, Oxygen-18 含量도 海水의 영향을 받지 않아 鹽分含量이 비교적 높은 濟州東部(舊佐, 城山) 地域의 地下水<sup>18)</sup>의 그 含量보다 매우 낮으며, 표고에 關係없이 거의 일정한 값을 유지하고 있다.

Tritium 測定結果에서 밝힌 바와 같이 이 地域 海岸에 인접한 地下水들은 海水의 영향을 받지 않는다고 사료된다.

## 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

調査對象地域의 湧泉水들은 그 水溫이 14-15°C 範圍에 있었으며, 地下水 경우는 16-18°C 範圍를 보였다(Table 4,5,6,7 참고). 이는 水資源 研究事業과 관련하여 83년부터 年차별로 수행되어진 濟州市<sup>21)</sup>, 西歸浦市<sup>22)</sup>, 濟州 東部<sup>18)</sup> 및 東南部<sup>19)</sup>, 그리고 西部地域<sup>17)</sup>의 地下水와 湧泉水의 水溫 14-16°C보다도 1-3°C 높은 경향을 보였다. 湧泉水와 地下水의 pH는 7.02-8.4 範圍로 濟州市<sup>21)</sup> 또는 西歸浦市 地域<sup>22)</sup>의 地下水와 비슷한 수치를 보였다.

한편, Table 4,5,6,7에서 보는 바와 같이 地下水와 湧泉水의 陽이온, 陰이온 濃度 그리고 電氣傳導度 값은 西歸浦地域<sup>22)</sup>의 地下水와는 비슷한 값을 보였으나, 濟州市 또는 濟州西部地域 보다는 2-5배 높은 값을 나타내었다. 季節別로 봤을 때 8월 試料가 가장 높은 鹽分含量을 보였다.

또한, D9海水의 경우, 5월에 鹽分含量이 낮은 이유는 앞서 Table 2의 Tritium含量과 마찬가지로 인근 海岸에 散在된 湧泉水의 영향을 받은 것으로 생각된다.

또한, 調査對象地域의 D1, D4, D8, D11, D14, D15 地下水와 D7 湧泉水의 鹽分含量은 다른 地下水나 湧泉水보다 높은 값을 보이

Table 4. Chemical data of water samples from Chungmoon and Daijong areas (March).

Sample No.	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	Conductivity (μmho cm <sup>-1</sup> )
D1	17.0	7.79	14.8	3.98	3.86	5.20	21.2	4.93	5.27	64.7	240
D2	17.5	7.13	13.3	2.14	2.85	3.93	14.2	4.93	4.68	50.0	197
D3	18.0	8.03	13.1	2.01	1.42	2.24	8.86	0.78	4.48	54.6	148
D4	19.0	7.37	13.5	1.48	3.79	8.41	21.2	4.93	5.27	40.9	255
D5	14.0	7.39	8.43	1.09	1.22	2.23	7.10	2.20	4.38	33.9	118
D6	18.0	8.20	10.000	373	472	1,160	17,193	0.32	2,649	119	57,067
D7	15.0	7.61	15.9	2.76	1.36	3.43	17.7	4.93	6.37	36.3	198
D8	18.0	8.37	15.6	4.21	1.32	1.42	8.86	0.95	4.48	58.6	164
D9	18.0	8.27	9.050	353	480	1,100	16,484	0.15	2,310	112	47,944
D10	14.0	7.46	8.37	2.35	0.57	1.29	8.86	1.97	4.58	27.8	116
D11	17.5	8.16	14.0	3.32	1.96	4.14	14.2	1.18	6.67	70.4	217
D12	18.0	7.52	10.9	2.93	3.08	6.95	13.0	5.49	11.2	27.7	114
D13	14.0	7.64	16.0	2.41	0.57	1.10	19.0	1.72	4.78	61.0	210
D14	17.0	8.40	17.8	4.25	2.71	2.56	17.7	0.94	6.17	25.5	241
D15	17.0	7.23	21.8	3.81	1.23	5.28	26.6	4.93	6.97	47.6	379
D16	16.0	7.52	14.3	3.90	1.55	2.55	14.2	2.72	5.57	55.9	182

-; not measured

Table 5. Chemical data of water samples from Chungmoon and Daijong areas(May).

Sample No.	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	Conductivity (μmho cm <sup>-1</sup> )
D1	18.0	7.85	14.8	3.62	6.32	5.25	18.4	3.82	6.57	67.1	253
D2	17.5	7.31	8.48	1.44	2.75	1.93	9.57	2.56	4.38	33.6	138
D3	18.0	7.91	10.7	2.09	2.22	1.60	6.38	0.76	4.87	56.4	148
D4	19.0	7.41	12.7	1.56	4.61	6.45	17.0	5.78	4.18	47.0	237
D5	21.0	7.44	7.68	0.90	2.18	1.84	6.56	1.85	4.18	34.8	125
D6	20.0	8.41	8,890	384	608	1,104	18,221	0.62	1,683	123	51,916
D7	15.0	7.71	15.5	2.90	2.52	2.72	17.2	3.39	5.57	39.7	203
D8	18.0	8.31	13.7	3.47	2.32	1.20	9.22	2.27	5.17	307	167
D9	19.0	8.70	3,890	155	294	982	8,047	0.97	1,234	70.2	24,540
D10	14.0	7.61	7.48	1.87	1.23	0.62	6.38	1.37	3.88	30.2	113
D11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D12	18.0	8.48	11.6	2.74	3.42	4.12	23.0	4.42	7.63	62.5	166
D13	14.0	7.55	7.68	1.79	0.95	0.56	7.98	1.31	4.68	28.1	109
D14	18.0	8.16	14.5	3.13	4.21	2.96	17.2	5.48	6.67	61.9	206
D15	17.0	7.25	13.4	2.98	2.32	4.17	24.1	4.81	7.56	27.5	240
D16	16.0	8.47	12.3	3.03	2.49	2.20	12.6	1.60	5.47	54.9	172

-: not sampled

Table 6. Chemical data of water samples from Chungmoon and Daijong areas (August).

Sample No.	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	Conductivity (μmho cm <sup>-1</sup> )
D1	18.0	7.49	17.7	5.05	7.96	7.21	31.8	1.80	6.16	61.0	304
D2	17.5	7.67	7.08	2.41	3.51	3.36	10.6	1.03	3.37	23.6	125
D3	16.0	7.3	15.0	4.52	6.81	9.07	19.4	0.69	8.75	65.0	277
D4	19.0	7.4	12.0	2.20	8.76	14.64	24.7	3.93	4.33	39.8	325
D5	19.0	6.98	7.9	2.66	2.94	4.63	8.83	0.81	3.76	31.9	132
D6	27.0	7.94	9,220	952	386	1,292	17,558	0.31	2,363	110	54,300
D7	15.0	7.50	16.3	5.53	4.28	7.65	87.6	2.18	8.08	31.2	259
D8	18.0	8.01	16.2	5.22	4.84	5.92	16.6	1.97	4.33	12.5	225
D9	27.0	8.00	8,560	776	340	1,284	14,000	0.31	2,161	104	45,400
D10	15.0	7.29	11.4	3.64	2.30	4.75	12.4	0.65	3.76	31.4	148
D11	17.5	7.87	26.6	5.04	8.11	21.8	40.7	4.56	12.0	56.2	452
D12	18.0	7.45	12.6	4.30	4.86	3.52	16.5	0.79	4.62	57.7	163
D13	14.5	7.05	10.3	3.61	2.24	4.33	18.2	0.79	4.52	27.8	142
D14	18.0	-	22.6	4.82	10.3	16.9	49.6	4.37	14.3	31.0	422
D15	17.0	7.16	12.4	5.22	3.67	10.4	27.2	2.20	6.54	27.7	264
D16	18.0	7.20	14.0	4.43	3.67	5.55	24.8	0.90	4.91	27.7	197

-: not measured

Table 7. Chemical data of water samples from Chungmoon and Daijong areas (October).

Sample No.	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	Conductivity (μmho cm <sup>-1</sup> )
D1	18.0	7.47	16.1	5.61	6.95	6.64	25.4	3.33	1.36	5.71	269
D2	17.0	7.17	14.7	3.81	4.80	5.63	24.0	3.54	1.36	51.1	152
D3	18.0	7.91	11.3	2.77	3.02	4.06	12.9	5.84	0.51	62.2	216
D4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D5	19.0	7.46	6.64	1.43	2.07	3.08	11.9	0.66	0.50	50.1	100
D6	20.0	8.22	8,050	584	334	1,202	18,000	0.62	2,220	125	54,300
D7	16.0	7.38	19.3	6.32	6.52	11.0	29.7	6.95	1.46	32.0	315
D8	19.0	8.25	13.9	5.76	3.20	2.56	12.9	0.68	0.30	54.3	151
D9	20.0	8.30	9,360	600	378	1,188	17,488	0.61	1,950	151	53,000
D10	14.5	7.39	7.94	2.96	1.64	3.23	13.6	0.92	0.51	25.6	113
D11	18.0	7.81	18.0	3.84	6.37	14.2	32.2	5.90	1.36	55.6	317
D12	18.0	7.61	10.6	4.25	4.70	3.44	13.5	0.60	2.31	53.6	154
D13	14.0	7.43	8.59	3.12	1.88	3.43	13.4	1.16	7.29	24.5	118
D14	18.0	8.23	14.7	5.02	6.16	3.21	21.6	0.64	1.14	58.2	193
D15	17.0	7.34	12.2	4.52	3.09	7.78	25.5	3.98	2.42	25.0	201
D16	16.5	7.54	12.1	4.84	3.80	5.02	19.8	1.45	1.36	43.8	173

고 있으나 Cl 함량이 낮은 편이어서 食水로 사용하기에는 적당한 것으로 사료된다.

나) Trilinear Diagram에 의한 水文學的 分類

Figure 5,6,7,8의 水文學的 類型을 時期別로 모아 놓은 것이 Table 8이다. 海水(D6, D9)의 境遇는 Na.Cl형을 보였으며, 鹽分含量이 약간 높은 D7湧泉水는 Na.Cl형인데 비해 이보다 염분함량이 적은 D5, D10은 각각 Na.HCO<sub>3</sub>형 또는 Ca.HCO<sub>3</sub>형을 보여 火山性 水質을 나타냈다.

한편, 地下水는 季節마다 水文學的 類型이 다소 변하고 있으나 濟州市<sup>21)</sup>와 濟州 西部地域<sup>17)</sup>과 비슷한 Na.HCO<sub>3</sub> 또는 Ca.HCO<sub>3</sub>형으로 分類되었다.

다) 汚染 指數로서의 Chloride-Bicarbonate 比

Figure 9, 10, 11, 12에서 막대 그래프의 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 평가하기 위하여 Revelle<sup>22)</sup>는 Chloride-bicarbonate 比를 利用했다. Chloride는 海水中에 많이 含有되는 반면에 地下水中에는 적은량이 存在하고 Bicarbonate는 Chloride와는 반대로 海水中에는 比較的 소량이고 地下

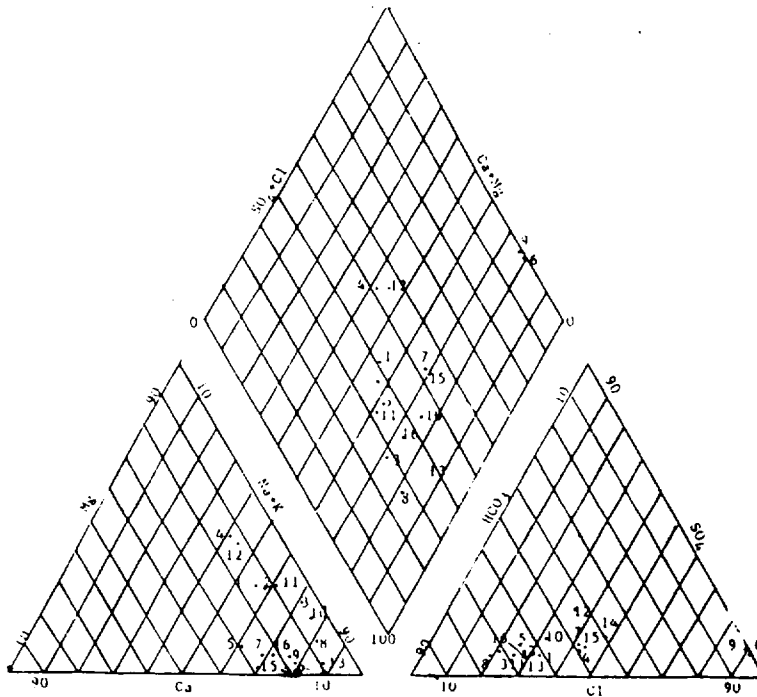


Figure 5. Trilinear diagram of water samples from Chungmoon and Daijong areas (March).

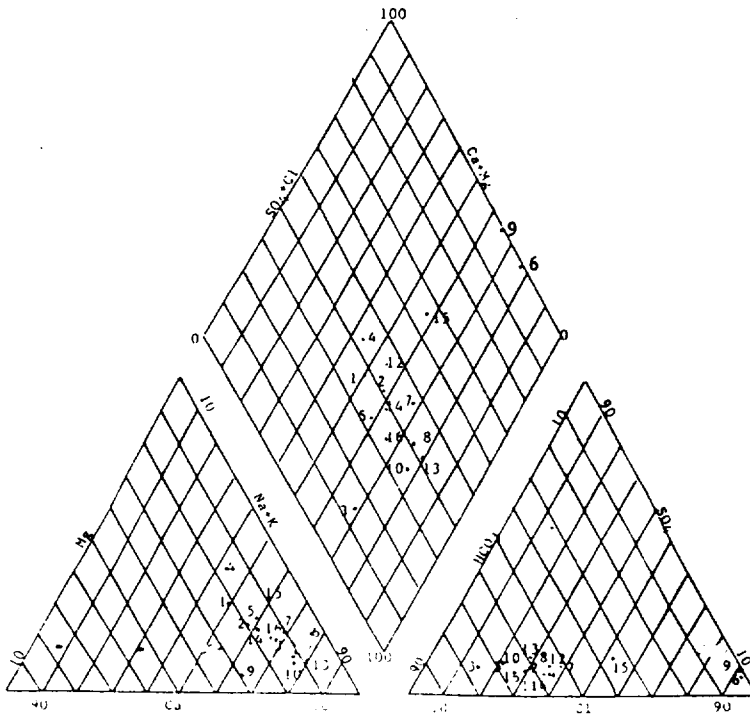


Figure 6. Trilinear diagram of water samples from Chungmoon and Daijong areas (May).

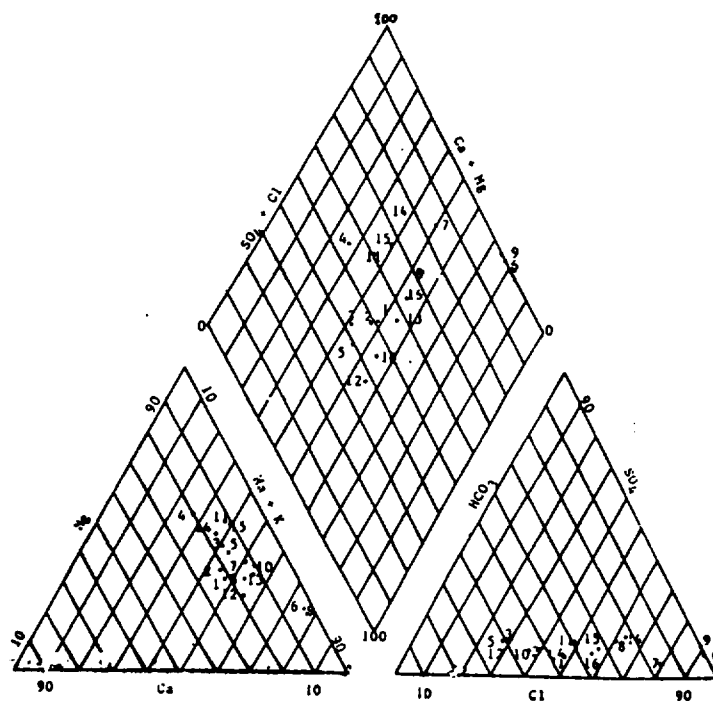


Figure 7. Trilinear diagram of water samples from Chungmoon and Daijong areas (August).

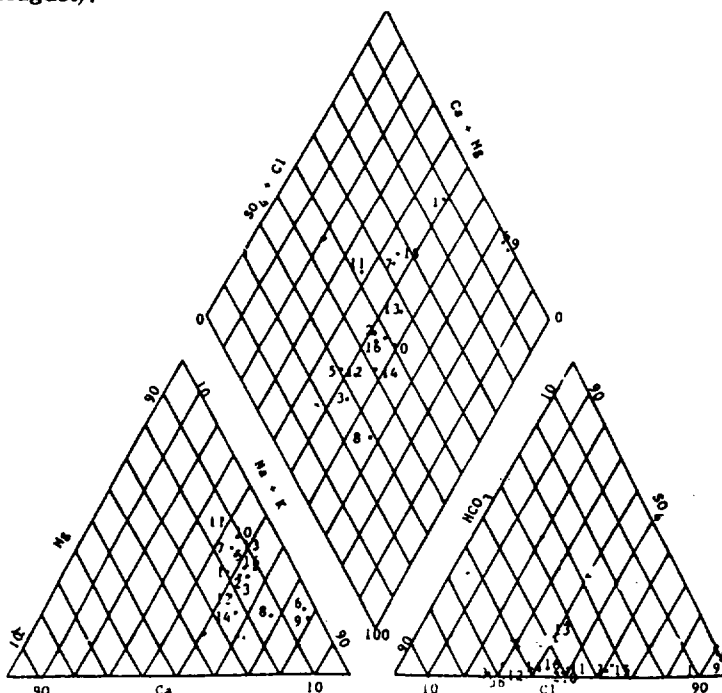


Figure 8. Trilinear diagram of water samples from Chungmoon and Daijong areas (October).

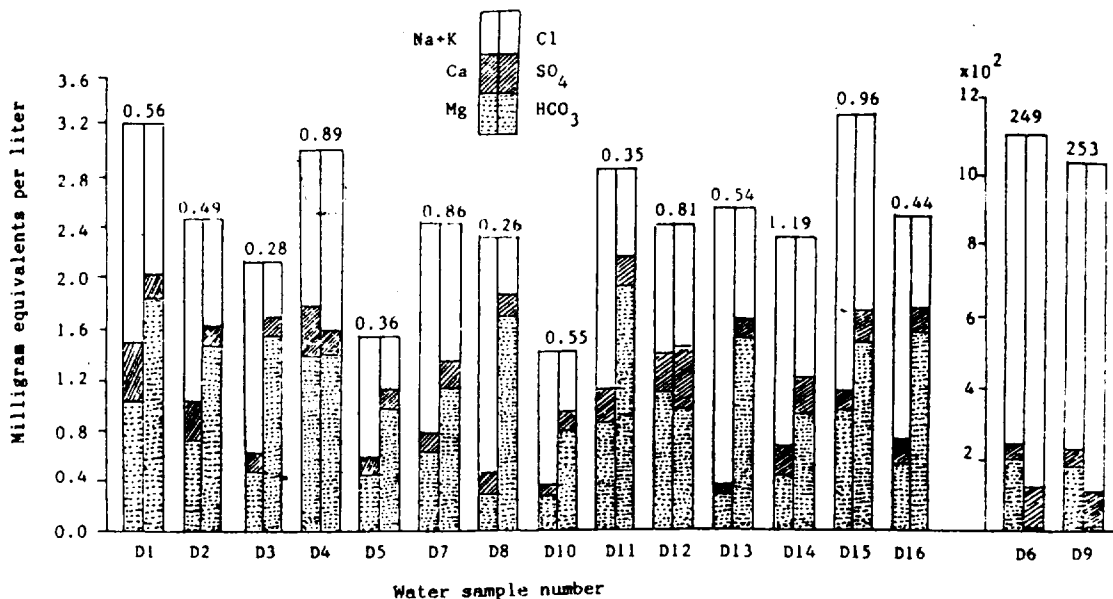


Figure 9. Chemical analysis of waters from Chungmoon and Daijong areas (March). Chloride-bicarbonate ratios are above each quality diagram.

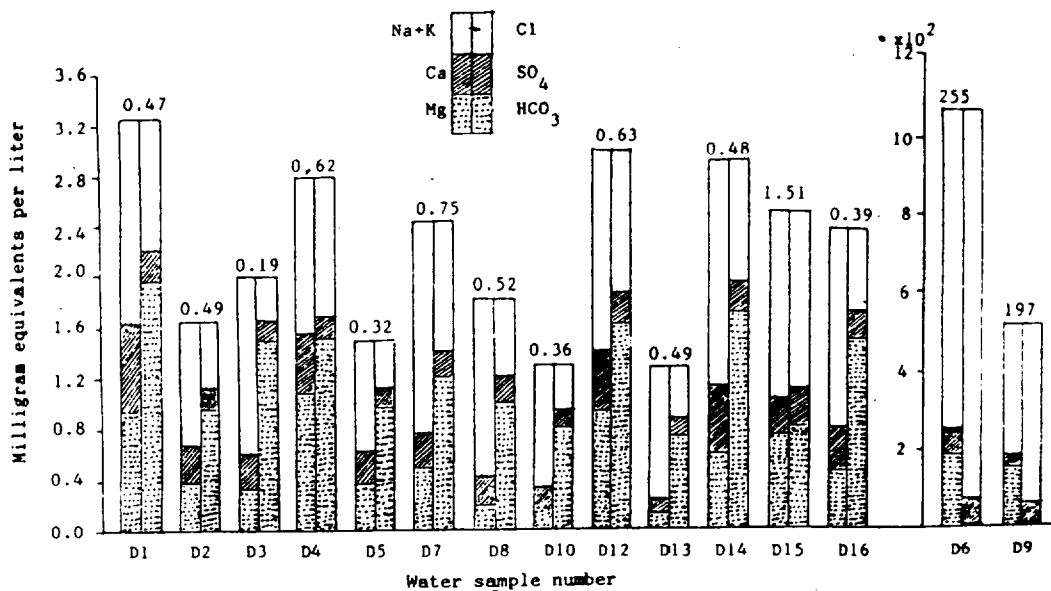


Figure 10. Chemical analysis of waters from Chungmoon and Daijong areas (May). Chloride-bicarbonate ratios are above each quality diagram.



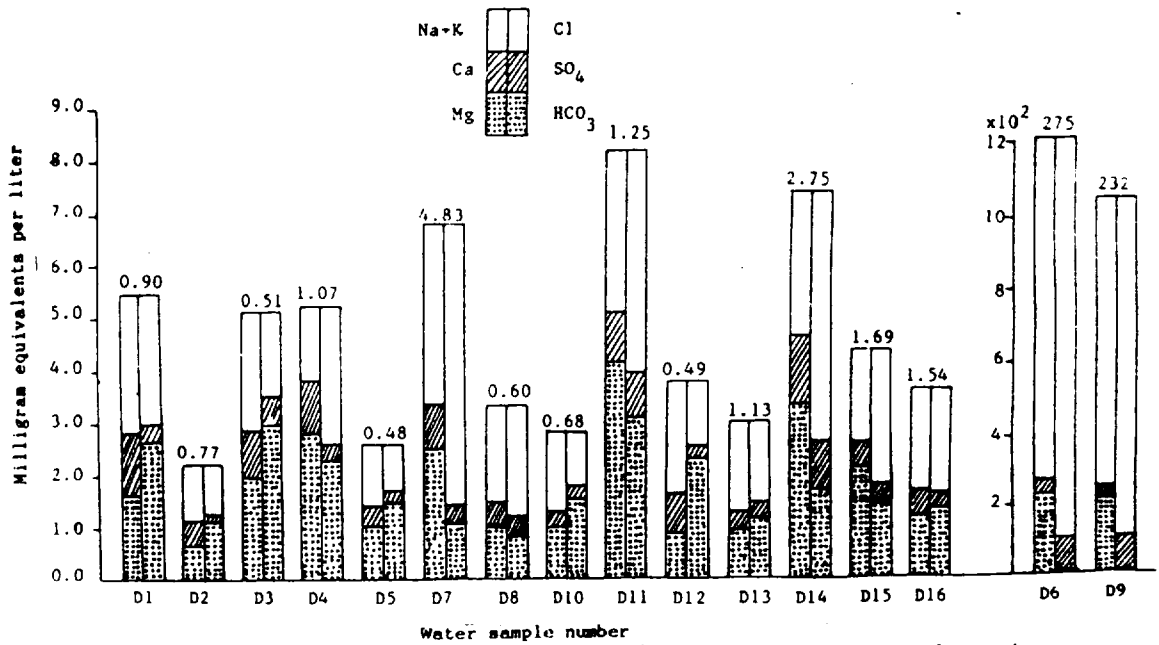


Figure 11. Chemical analysis of waters from Chungmoon and Daijong areas (August). Chloride-bicarbonate ratios are above each quality diagram.

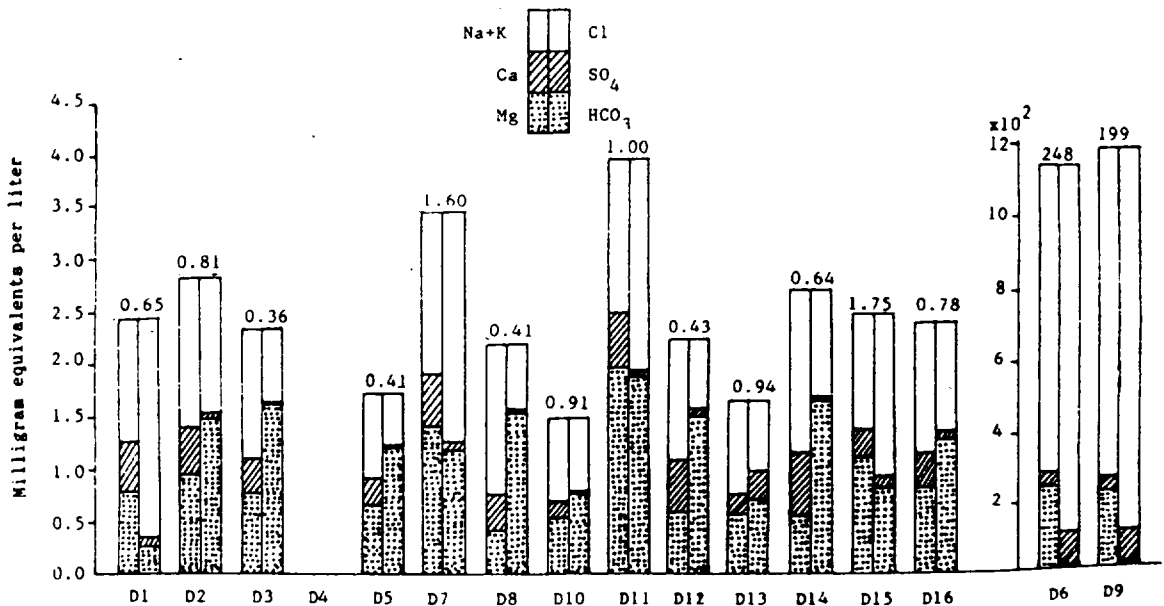


Figure 12. Chemical analysis of waters from Chungmoon and Daijong areas (October). Chloride-bicarbonate ratios are above each quality diagram.

Table 8. Classification of water samples from Chungmoon and Daijong areas.

Sample No.	Types of Water			
	March	May	August	October
D1	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Ca.HCO <sub>3</sub>	Ca.Cl
D2	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Ca.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>
D3	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Ca.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>
D4	Ca.Cl	Ca.HCO <sub>3</sub>	Ca.Cl	-
D5	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Ca.HCO <sub>3</sub>	Ca.HCO <sub>3</sub>
D6	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
D7	Na.Cl	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.Cl	Ca.Cl
D8	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.Cl	Na.HCO <sub>3</sub>
D9	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
D10	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>
D11	Na.HCO <sub>3</sub>	-	Ca.Cl	Ca.Cl
D12	Ca.Cl	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>
D13	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.Cl	Na.Cl
D14	Na.Cl	Na.HCO <sub>3</sub>	Ca.Cl	Na.HCO <sub>3</sub>
D15	Na.Cl	Na.Cl	Ca.Cl	Ca.Cl
D16	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.HCO <sub>3</sub>	Na.Cl	Na.HCO <sub>3</sub>

- : not sampled

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

Sample No.	March	May	August	October
	Cl/HCO <sub>3</sub>	Cl/HCO <sub>3</sub>	Cl/HCO <sub>3</sub>	Cl/HCO <sub>3</sub>
D1	0.56	0.47	0.90	0.65
D2	0.49	0.49	0.77	0.81
D3	0.28	0.19	0.51	0.36
D4	0.89	0.62	1.07	-
D5	0.36	0.32	0.48	0.41
D6	249	255	275	248
D7	0.86	0.75	4.83	1.60
D8	0.26	0.52	0.60	0.41
D9	253	197	232	199
D10	0.55	3.06	0.68	0.91
D11	0.35	-	1.25	1.00
D12	0.81	0.63	0.49	0.43
D13	0.54	0.49	1.13	0.94
D14	1.19	0.48	2.75	0.64
D15	0.96	1.51	1.69	1.75
D16	0.44	0.39	1.54	0.78

- : not sampled

水中에는 많이 함유된 음이온인 것이다.<sup>12)</sup> 또, 海水와 地下水가 혼합되는 경우에 발생될 수 있는 鹽基置換現狀,<sup>23)</sup> 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 응용해서 Cl/HCO<sub>3</sub>값을 계산하여 海水汚染의 地表로 使用한다. 즉 Chloride-bicarbonate 비가 0.5 이하인 경우 海水汚染問題가 전혀없고 0.5~1.3인 경우 약간 문제가 되며 1.3~2.8인 경우 보통 정도로 汚染되어 있고, 2.8~6.6인境遇 심한 汚染程度를 나타낸다.<sup>12)</sup>

이러한 값을 이용하여 調査地域의 湧泉水와 地下水를 평가할때(Table 8 참고), 季節에 따

라 Cl/HCO<sub>3</sub>비가 약간 변하고 있으나, D5 湧泉水와 D3, D8 地下水들의 Cl/HCO<sub>3</sub> 비는 0.5이하였으며, D1, D2, D4, D11, D12, D13, D16 地下水와 D10湧泉水는 0.55-1.54 範圍에 있어 海水에 의한 汚染이 약간 발생되고 있음을 나타냈다.

한편, D7 湧泉水와 D14, D15의 地下水는 계절에 따라 차이는 있으나, 특히 8월, 10월 試料에서 1.69-4.83範圍를 보여 海水의 汚染이 발생되고 있었다. 農業用水로서의 使用여부를 알아보기 위해 계산된 SAR(Sodium Absorption Ratio)값 (Table 10 참조)은 0.65-2.85範圍로 매우 낮은 편이어서 農業灌溉用으로는 良質임을 알 수 있다.

Table 10. Sodium absorption ratio(SAR) of water samples from Chungmoon and Daijong areas.

Sample No.	March	May	August	October
	SAR	SAR	SAR	SAR
D1	1.16	1.05	1.05	1.09
D2	1.20	0.96	1.08	0.65
D3	1.59	1.34	1.00	0.88
D4	0.88	0.90	-	0.58
D5	1.05	0.93	0.68	0.67
D6	56.4	49.7	46.0	50.6
D7	1.65	1.61	1.07	1.09
D8	2.24	1.82	1.40	1.17
D9	52.1	4.50	53.0	47.5
D10	1.40	1.37	0.83	0.99
D11	0.30	-	0.91	1.10
D12	0.97	1.00	0.91	1.06
D13	2.85	1.54	0.86	0.93
D14	1.86	1.32	1.20	1.01
D15	1.90	1.22	0.84	0.75
D16	1.64	1.37	0.96	1.08

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

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

-: not sampled.

## 摘 要

中文, 大靜地域의 地下水와 湧泉水들의 鹽分含量은 西歸浦市地域의 地下水와 비슷한 경향을 보였으나 濟州市 또는 濟州北西部地域 보다는 2-5배 높은 값을 보였다.

또한, 일반화학 분석방법으로 계산된 Cl/HCO<sub>3</sub>比를 봤을 때 大靜地域 D7湧泉水와 D14, D15 地下水는 계절에 따라 약간 차이는 있으나 1.69-4.83 範圍를 보여 海水에 의해 汚染이 된다고 판단되었다. 그러나 본 地域의 地下水와 湧泉水들의 Cl 含量이 7~50ppm範圍에서 食水로서는 양질임을 보이고 있었다.

한편, 地下水와 湧泉水의 tritium含量도 계

절에 따라 그 含量이 변하여 本島의 다른 地域(濟州市, 西歸浦市, 濟州東部地域 등)의 地下水와 湧泉水의 그 含量(8~20 TU)보다 낮은 값(0.02~12.7TU)을 보였다. 특히 大靜地域의 D8, D11, D12, D14, D16 관정 地下水들은 다른 地下水와 湧泉水 그리고 降水 보다는도 낮은 값을 보였다.

이는 火山島인 濟州道가 溶岩空隙과 節理가 잘 발달이 되어 降水가 地下水로 혼입이 빠르다고 알려진 사실을 감안한다면 이들 地下水들은 降水에 의해 직접영향을 받지 않는 年齡이 오래된 地下水임을 의미하며 타地下水와는 水源이 다르다는 것을 암시한다.

## 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(2) : 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 Rapid 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 Analysis, 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, 351~356, 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, 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(V), KAERI/RR-718/88, 1988.
  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(V), KAERI/RR-718/85, 1985.
  21. 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.
  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

22 *Cheju App. Rad. Inst. Ann. Report Vol.6(1991)*

Ground Water Contaminated with Sea  
Water near Miami,Florida, Trans,  
Amer. Geophysical Union, Vol.25,  
pp.951~955. 1944.