

동위원소를 이용한 제주지역수자원에 관한 연구(VII)

유 장 결. 정 창 조. 송 성 준. 안 종 성*

Environmental Isotoped-Aided Studies on Water Resources in the Region of Cheju(VII)

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

Summary

The tritium levels(0.59-4.6 TU) of ground waters(C1,C3,C5) in the Hankyung area were lower than those(10 - 20 TU) in Cheju-shi, Soguipo-shi, and the eastern area of Cheju. Considering that most rain water percolates into the underground very quickly due to the permeable strata, the ground waters having low tritium level seemed to be very old ones, not affected by the rainfall directly and differed from another ground water resources. C8 ground water has lower tritium level than the others of Cheju-shi; being contaminated by municipal sewage or fertilizers from the farm field. In the eastern area of Cheju, the salty ground waters located closely near the coastal area have lower tritium levels than those being far from the coastal area. From this results, tritium analysis of ground water was proved helpful for the interpretation of ground water age and origins. For better evaluation of sea water invasion into ground water, stable isotopes such as deuterium and oxygen-18 should be analyzed simultaneously. At some ground water sites(C1,C2,C3,C4,C8), $\text{NO}_3 - \text{N}$ ranged 10 to 20 ppm and Ca was more dominant than Mg. It could be concluded that such ground waters were contaminated by fertilizers from the farm fields or municipal sewage but by sea water.

서 론

제주도는 화산용암으로 구성된 특수 토층구조를 형성하고 있어서 한국최대의 강우량을 가지면서도 하천의 대부분은 건천이며 용암공극으로 강수의 대부분은 유실되거나 지하로 침투되어 도내 수자원은 극히 일부의 지표수와 지하수(용천수)에 의존하고 있다¹⁾.

이와같은 관점에서 수자원의 개발과 확보는 제주도 개발의 기본과제로 되고있다.

1964년 국립 지질 연구소에서 처음으로 제주도의 지하수 자원에 대한 조사가 시작되어, 1968년에 지하수의 광역 전기 탐사가 이루어

졌고 1970년도 부터 농업진흥공사에서 본격적으로 제주도 전역에 걸친 지하수 및 지질 조사를 실시하여 본격적인 지하수 개발이 시작되었다²⁾.

1989년 까지 개발된 지하수는 농업진흥 공사가 355공, 개인이 1408공을 개발하여 이용 시설 용량으로 634천 m^3 /일이 확보되어 있으며 이중 46%인 286천 m^3 /일 정도가 도내 공업 및 생활용수로 이용되고 있다³⁾.

제주도의 용수량은 인구증가,관광개발 및 농수산업의 발달로 인하여 매년 증가되고 있으며, 한정된 지하수의 보호와 이의 적절한 활

* 한국원자력연구소

용을 위한 대책이 시급하다. 특히 지하수 자원의 과다 이용으로 해수의 침투에 따른 지하수 황폐화는 도서지방에서 흔히 문제가 되는데, 제주지역의 지하수 보호를 위해서는 이와 관련된 기초 연구가 절실하다. 우선, 제주도의 지질을 보면 제주도 지역의 암석은 광물과 암석 조직에 따라 Picrite 현무암, 감람석을 함유한 현무암, 비정질현무암, 감람석안산암, 비정질안산암, Trachyte질 안산암 및 Trachyte로 분류할 수 있다. 해안선을 따라 일부의 모래와 라 및 화산회로 구성된 퇴적암 층이 분포되어 있으나 그 규모와 분포면적은 그리 넓지가 않다. 성읍리 부근에 분포된 Picrite 현무암내의 절리는 매우 불규칙적이고 일반적으로 비정질 화산암은 절리의 발달상태가 불량하다⁴⁾. 한편, 제주지역 암반내에 포함된 심부지하수의 산출상태는 ¹⁾ 절리나 열극과 같은 소규모에 포함된 지하수 ²⁾ 용암터널과 용암Lava와 같은 동공형 ³⁾ 투수성 화산쇄설층을 수반하고 있는 2개의 접촉면에 포함된 지하수로 구분된다. 또한 제주도의 지하수는 다른 화산암 분포지역과 동일하게 상위지하수와 기저지하수로 구분된다¹⁾. 상위지하수는 기저지하수 상층에 대수층을 이루고 있으며 기저지하수는 담수가 비중 차이에 의해 해수 위에 부유되어 대수층(GHYBEN-HERZBERG LENS ; 담수렌즈)을 이루고 있는 심층지하수 이므로 상위지하수에 비해 많은 양의 담수를 포함(기저지하수:상위지하수=40:1)하고 있어서 다량의 용수원으로 개발할 수 있다⁵⁾. 따라서 기저지하수는 앞으로 제주도 용수개발

에 가장 필연적이고 잠재적인 용수원이다. 그런데, 현재 제주도의 해안을 따라 상당수의 심정을 개발해서 기저지하수를 채수하고 있으며, 그 중 일부의 심정은 해안선에 너무 인접해서 굴착했으므로 해수의 침입을 받고 있거나 받을 우려가 있는 것으로 평가되고 있어 이에 대한 기초조사는 매우 시급한 실정이다⁴⁾. 따라서 본 연구는 제주도 지하수 자원의 장기적인 보호와 안정된 이용 위해 년차사업으로 수행되고 있으며, 이미 1983년도 제주시 지역⁶⁾, 1985년도 서귀포 지역⁷⁾, 1986년도 제주동부 지역⁸⁾ 그리고 1987년도 애월, 한림지역⁹⁾, 1988년 제주남동부지역¹⁰⁾, 1989년 대정, 한림지역¹¹⁾의 지하수와 용천수 그리고 해수에 대한 화학분석 및 환경동위원소(H-2, H-3, O-18) 측정을 실시하여 수자원 보호를 위한 기초 조사를 실시하였던 바, 서귀포시 해안 인접지역, 제주동부지역에 개발된 거의 모든 지하수가 해수의 침입을 받는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구는 제주도 지하수의 장기적인 보호와 안정된 이용을 위해 년차 사업으로 추진되었고, 1991년도에는 제주지역중 환경동위원소와 염분함량이 상이한 지역(제주시, 한경, 구좌)의 지하수, 용천수, 지표수를 연구대상으로 하고 환경동위원소(Deuterium, Tritium, Oxygen-18)의 측정과 이화학적 분석을 실시하여 환경동위원소 이용 기술을 지하수의 오염원 판정과 수문학적 특성을 조사하는데 활용하는 방법을 정립시키고, 지하수의 보호 대책 수립을 위한 기초자료를 얻고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 시료채취

물시료는 용천수(C10,C17), 지하수(C1,C2,C3, C4,C5,C6,C7,C8, C9,C13, C14,C15,C16)와 지표수(C11,C12)로 구분하여 4월, 6월과 8월에 liter 씩 채수하였다(Table 1, Figure 1).

2. Tritium 측정

가) 시료의 전처리

강수를 제외한 모든 물시료는 증류하여 염을 제거한 후 600g 을 취하여 전기분해로 농축하는 동안에 전극의 부식을 방지하기 위하여 0.67%의 Sodium Peroxide를 가하여 Alkali로 되게 하였다¹²⁾.

나) Tritium 농축

전 처리된 시료는 전기분해조를 이용하여 20g까지 농축하였다. 시료를 전기분해 할 때는 -1- 0°C로 유지하여 Tritium의 증발을 방지하였고 결빙을 방지하기 위해서 냉동조내에 10% Ethylene Glycol를 가하였다. 또 최초 전류는 120 mAcm⁻² 를 초과 하지 않게 조정하였다. 농축시간은 약 210시간이 소요되었으며 Tritium함량을 이미 알고 있는 2개의 Tritiated water를 다른 시료와 동일하게 처리하여 농축계수를 계산하였다. 시료의 농축이 완료된후 시료내 Sodium Hydroxide의 농도가 약 20%정도 이므로 CO₂ gas를 주입시켜 Sodium Carbonate로 만든 다음 건조될때 까지 증류하여 증류용축된 액체를 Tritium측정 시료로 하였다¹²⁾.

다) Tritium 계측

Tritium농축 및 증류가 완료된 시료를 계측

기기에 10ml 취하여 여기에 Instagel 10ml를 가하였다. 시료중의 섬광 혼합물은 1 개월이상 안정성이 유지되도록하였다. 계측용기는 섬광 혼합물에 의해 침투되거나 화학반응이 일어나지 않으며 계측효율(E)이 높고 Background 가 낮은 섬광 혼합물과 함께 Tritium을 측정하여 E²/B값이 큰 Teflon 계측 용기를 사용하였다.

Background용 Tritium Free Water는 호주 원자력 연구소(AAEC)에서 분양받아 사용하였다.

Tritium시료는 액체 섬광 계수기 (Packard Model 3255)로 계측하였다. 이때, 기기의 Discriminator는 45-600, Amplification은 100%, 그리고 Sample Changer 내의 온도를 8°C로 조정하였고, 매 시료마다 20분씩 25회 반복 계측하고 TU(Tritium Unit: 1 TU = 3.24 x 10¹³ 14) 15) pCig⁻¹)로 환산하였다.

Tritium 의 단위는 초기 자연표면수중의 Tritium함량이 수소 10¹⁸ 원자당 약 1개의 H-3원자가 있다는 것이 발견되어 시료중의 H 원자 10¹⁸ 개당 H-3 원자의 수를 TU로 나타냈다¹²⁾.

3. 이화학적 분석

채취한 시료의 이화학적 분석은 다음과 같이 행하였다.

가. 수온 수은 온도계를 사용하여 시료채취 즉시 현장에서 측정하였다.

나. pH 채취하여 실험실로 운반후 즉시 Corning pH측정장치(Model5)를 사용하여 측정하였다.

다. 전기전도도는 Conductivity Bridge(Y.

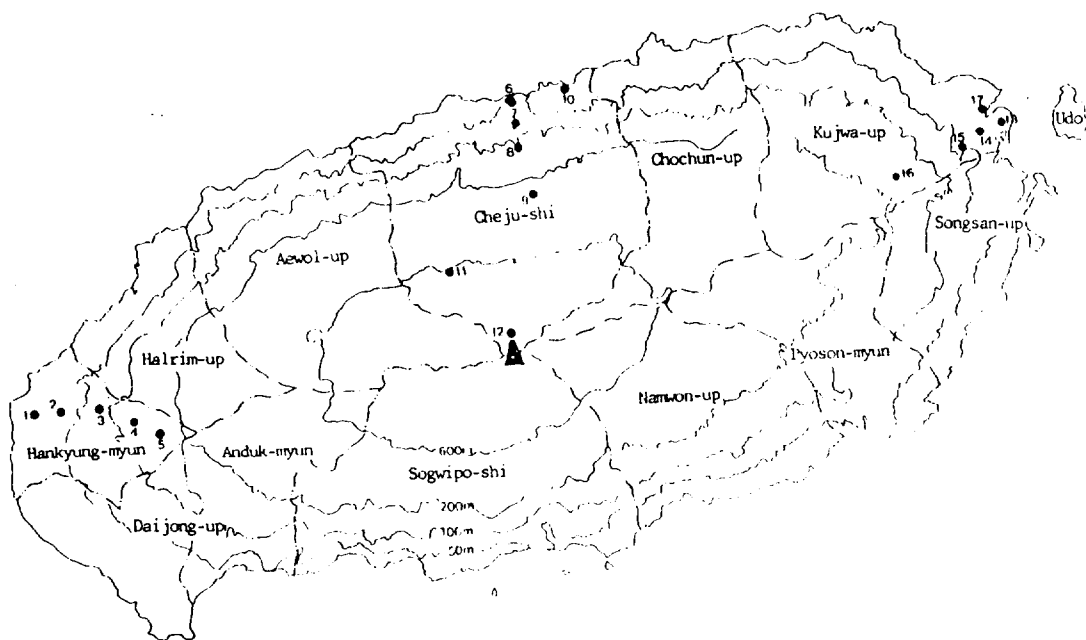


Figure 1. Location of sampling sites in Cheju Island.

Table 1. Specifications of sampling sites in Cheju area.

Sample No.	Location	Description	Distance from sea(km)	Depth(m)
C1	Bukcheju-gun Hankyung-myun Yongdang-ri	Ground water	1.25	79
C2	Bukcheju-gun Hankyung-myun Hanwon-ri	Ground water	3.20	63
C3	Bukcheju-gun Hankyung-myun Chosoo-ri	Ground water	5.85	125
C4	Bukcheju-gun Hankyung-myun Chungsoo-ri	Ground water	7.70	125
C5	Bukcheju-gun Hankyung-myun Hanwon-ri	Ground water	10.1	63
C6	Cheju-si Samdo 2-dong	Ground water	0.10	40
C7	Cheju-si Ildo 1-dong	Ground water	1.30	78
C8	Cheju-si Ara-dong	Ground water	3.60	141
C9	Cheju-si Ara-dong	Ground water	7.20	240
C10	Cheju-si Konip-dong	Spring water	0.03	0
C11	Cheju-si Nohyung-dong	Stagnent water	9.60	0
C12	Cheju-si Nohyung-dong	Stagnent water	17.1	0
C13	Bukcheju-gun Kujwa-up Jongdal-ri	Ground water	0.60	25
C14	Bukcheju-gun Kujwa-up Jongdal-ri	Ground water	1.45	35
C15	Bukcheju-gun Kujwa-up Jongdal-ri	Ground water	2.75	75
C16	Bukcheju-gun Kujwa-up Sando-ri	Ground water	5.60	120
C17	Bukcheju-gun Kujwa-up Hado-ri	Spring water	0.00	0

S.I.Model 31)를 사용 측정하였다.

라. 양이온(Na, K, Ca, Mg)은 원자흡광분광기(Perkin Elmer, Model 2380)로 측정하였다. 특히 Ca, Mg인 경우 화학 간섭을 줄이기 위해 0.25% La₂O₃ 용액을 처리하였다.

마. 음이온(Cl, HCO₃, SO₄) 경우 Cl은 AgNO₃ 적정법, HCO₃는 0.05N H₂SO₄ 적정법, SO₄는 탁도정량(Turbidity Method)방법¹⁸⁾으로 측정하였다.

4. 해수, 용천수 및 지하수의 화학적 분류

해수, 용천수 및 지하수의 분류는 양이온 및 음이온의 ppm (parts per million)값을 epm (equivalents per million)단위로 환산한 뒤 양이온의 경우는 (Ca or Mg or Na + K or Ca + Mg) / (Na + K + Ca + Mg) x 100, 음이온의 경우는 (Cl or SO₄ or HCO₃) / (Cl + SO₄ + HCO₃) x 100 으로 계산해서 Piper의 Trilinear Diagram으로 나타냈다¹⁹⁾.

5. 지하수내의 해수 오염 구별

지하수의 해수에 의한 오염도를 계산하기 위하여 시료중의 Cl과 HCO₃의 ppm값을 epm단위로 환산한 뒤 Cl의 epm값을 HCO₃의 epm값으로 나누어 얻어진 값을 사용했다. 또 시료중의 총이온 양을 milligram equivalent per liter로 계산하고 이들을 양, 음이온으로 구별해서 양이온의 경우에는 Na+K, Mg, Ca가 차지하는 비율을, 음이온의 경우는 Cl, SO₄, HCO₃가 각각 차지하는 비율을 그래프에 나타냈다²⁰⁾.

6. SAR 값 계산

SAR 값은 5)에서 계산한 Na, Ca과 Mg의 epm 값을 가지고 아래 공식에 의거하여 계산

하였다²⁰⁾.

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

결과 및 고찰

1. 환경동위원소에 의한 수자원 평가

지하수자원의 연구를 위하여 세계적으로 환경동위원소(H-3, H-2, O-18)를 많이 사용하고 있는데 지하수의 년대를 측정 하기 위하여는 Tritium(H-3)을 그리고 지하수의 기원 지표수와 지하수의 상호관계²¹⁾, 또는 염수화현상에 대한 원인을 구명²²⁾하기 위해서는 Deuterium(H-2), Oxygen-18(O-18)의 존재비를 측정하는 기술이 활용되고 있다.

Tritium은 우주선에 의해서 질소가 핵반응을 함으로써 자연계에서 계속적으로 생성되어지고 있으며 이것은 12.43년의 반감기를 갖고 있어서 자연 소멸되기 때문에 결국 생성과 소멸이 일정한 평형을 이루게 되는 것이다.

1952년 이전에는 우수중에 Tritium함량이 1-10 TU 정도였으나, 그 이후 빈번한 핵실험의 결과로 빗물과 표면수중의 Tritium 함량은 증가되었고 1954년 3월 Ottawa에서 우수중에는 2,937 TU를 나타낸 일도 있었다²³⁾.

1963년도에 우리나라의 포항지역에서 조사된 우수중의 Tritium 함량은 약 1,300 TU²⁴⁾이었으나, 그 이후에는 계속적으로 감소되어서 1991년 제주지역에서 강수중의 Tritium 함량은 8TU 정도이었다(Table 2 참조).

한편, 조사지역의 지하수중의 Tritium 함량을 살펴보면 Table 3과 같다. 환경지역 C1, C3, C5 지하수 관정의 Tritium 함량은 계절별로 다소

상이하나 0.59-4.6 TU 범위를 보여 연구사업으로 수행된 제주시⁶⁾, 제주남서부¹¹⁾, 동부⁸⁾ 및 서귀포지역^{7,10)}의 지하수 (10-20TU)는 물론 제주지역의 해수중의 Tritium 함량(4-6 TU)^{6,7,9,10,11)} 보다 오히려 낮은 경향을 보였다. 한경은 한라산으로부터 해안까지의 직선 거리가 본도에서 가장 긴 곳이고, 구배가 낮

은 완경사 또는 평지지형이 잘 발달되어 있는 지역이다. 따라서 본 지역의 중산간지대에서 함양된 강수가 지하 유로를 따라 해안 저지대의 기저 지하수에 도달하기까지는 많은 시간이 소요될 것으로 생각되며 Davis 등²⁴⁾도 제주지역의 지하수의 유회기간을 짧게는 2년에서 길게는 9년까지 추정된 사실이 이를 뒷받

Table 2. Environmental tritium levels in Cheju rainfall.

Sample	Tritium(TU)	
	April	June
Precipitation	8.24	8.37

Table 3. Environmental tritium of water samples from Cheju area.

Sample No.	Tritium(TU)		
	April	June	August
C1	0.59	5.98	2.19
C2	8.80	8.07	8.85
C3	4.61	8.24	4.17
C4	8.57	7.89	8.04
C5	2.06	8.33	8.24
C6	9.05	9.50	8.81
C7	8.92	9.31	8.60
C8	7.27	6.85	8.62
C9	8.93	8.28	8.86
C10	8.80	8.61	7.42
C11	8.71	6.72	8.15
C12	5.27	5.15	4.91
C13	7.96	8.76	7.95
C14	9.80	9.87	10.5
C15	9.72	10.1	-
C16	9.22	11.0	-
C17	6.76	6.42	-

- : not measured

침하고 있다.

그러므로 환경지역의 C1,C3,C5 지하수는 강수의 직접적인 영향을 적게 받는 연령이 오래된 지하수로 추정되며, 안동²⁰의 한강분지중의 지하수 조사에서도 일부 지하수중의 Tritium 함량이 0-2 TU로 나타나 수십년전에 함양된 지하수임을 판정한 바 있다.

또한, 제주시지역의 C8 관정지하수의 Tritium 함량은 이 지역의 다른 관정지하수보다 낮은 경향을 보였는데, 이는 Table 4,5,6의 양이온, 음이온 및 전기전도도 결과를 참고로 할때 해수가 아닌 비료 또는 생활하수 영향을 받았기 때문이라고 생각된다.

한편, 해수의 영향을 받아 염분함량이 높은 동부지역의 지하수(C13,C14,C15,C16)의 경우를 보면 해안 가까이 위치한 관정 지하수의 Tritium 함량은 해수의 영향을 받아 낮은 반면에 해안에서 멀리 떨어진 관정 지하수의 Tritium 함량은 높은 경향을 나타냈다.

용천수의 경우도 해수의 영향을 받은 C17 용천수는 Tritium 함량이 낮았고 염분함량이 적은 C10 용천수는 Tritium 함량이 높은 값을 보였다.

또한, 한라산 백록담 지표수의 Tritium 함량은 5TU범위를 보이고 있는데, 이는 온도가 낮은 고지대에 내리는 강우는 Tritium 함량이 낮기 때문인 것으로 생각된다²⁴.

이상의 결과에서 보듯이 지하수의 Tritium 함량을 측정하면 지하수의 오염기원(해수의 오염, 생활하수등)을 판단할 수 있다고 사료된다. 또한 Figure 2에서 보는 바와 같이 해수의 영향을 받은 제주도의 지하수의 경우 Deuterium과 Oxygen-18 함량이 높아지고 있는 경

향을 보이고 있으므로, Tritium과 함께 Deuterium과 Oxygen-18 함량을 동시에 측정하면 해수에 의한 지하수의 오염여부를 보면 정확하게 파악할 수 있다고 생각된다.

2. 이화학적분석

제주시지역의 지하수 수온은 14-15 °C로 환경이나 구좌지역의 16-17 °C 보다 1-2 °C 정도 낮은 경향을 보였다.

pH의 경우 염도가 높은 구좌지역(pH6.9-7.93)이 염도가 낮은 제주시(pH6.9-7.5)보다 높은 값을 나타냈다(Table 4,5,6 참고).

한편, 음이온 및 양이온함량 그리고 전기전도도 값은 Table 4,5,6에서 보는 바와 같이 환경 또는 제주시지역의 경우 계절에 관계없이 염분함량과 전기전도도가 비교적 낮은 경향을 보였다. 그러나, 구좌지역의 관정지하수는 관정별로 차이는 있으나 제주지역의 지하수보다 4-10배 높은 염분함량과 전기전도도 값을 보였고 특히 C13과 C14 관정은 Cl함량이 150ppm 이상으로 식수로서의 사용은 곤란하다. 그리고 이중 C13관정지하수는 C14지하수와는 달리 SAR값(20-25)이 매우 높아 농업용수로도 사용될수 없음을 보였다(Table 7 참조).

또한 하절기에 동부지역 지하수의 염분함량이 낮아지는 것은 하절기에 집중하여 내리는 강우의 영향에 기인된 것으로 생각되며, 아울러 지하수의 부존량이 비교적 적다는 사실을 암시하는 것이다(Table 4,5,6).

3. Trilinear diagram에 의한 수문학적 분류

Figure 3,4,5의 Piper trilinear diagram의

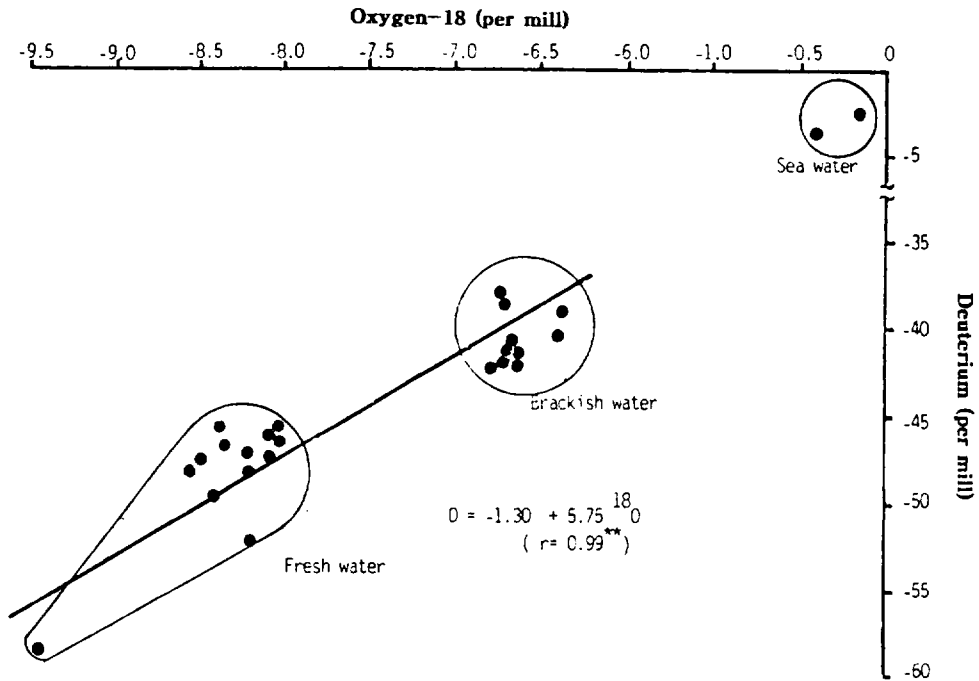


Figure 2. Stable isotope composition of water samples from Cheju area.

Table 4. Chemical data of water samples from Cheju area(April).

Sample No.	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (umho cm ⁻¹)
C1	17	7.44	17.6	4.76	13.1	3.17	16.5	0.75	2.90	59.7	204
C2	16.5	6.70	16.1	4.58	8.14	9.29	25.3	9.03	4.93	30.8	247
C3	16	7.49	16.6	4.36	9.02	7.36	18.8	8.16	4.20	30.8	223
C4	16	7.18	16.0	4.64	8.93	11.7	21.8	13.9	4.50	36.5	273
C5	15	7.43	9.99	3.36	3.68	3.32	12.1	0.16	1.60	32.0	116
C6	15	6.92	9.60	3.42	5.61	4.02	7.27	3.36	2.47	27.2	137
C7	15	7.52	7.25	2.59	3.86	2.95	10.1	4.10	1.67	18.4	97.9
C8	17	7.28	15.4	3.10	14.6	8.97	16.3	14.0	2.96	27.7	270
C9	14	7.20	5.63	2.39	2.04	1.64	0.18	0.10	1.30	15.3	61.6
C10	14.5	7.25	9.59	3.11	5.81	4.09	4.61	4.00	2.53	27.5	131
C11	14	7.08	3.87	1.38	1.79	0.97	0.10	0.10	1.36	9.91	44.6
C12	9	5.88	1.59	0.82	0.32	0.04	0.10	0.20	1.11	2.74	10.3
C13	16	8.09	1,830	86.2	79.2	192	3,051	4.20	244	82.8	10,647
C14	16	7.86	88.1	5.56	7.26	11.0	150	1.32	10.7	32.7	633
C15	16	7.84	56.1	4.45	5.20	7.32	83.6	0.95	6.80	32.8	422
C16	16	7.78	29.4	4.81	7.50	10.0	65.3	0.15	5.51	36.3	389
C17	17	7.78	414	26.4	21.6	42.6	649	1.74	58.0	37.7	2,228

Table 5. Chemical data of water samples from Cheju area(June).

Sample No.	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (umho cm ⁻¹)
C1	17	7.53	15.9	3.88	14.5	10.7	32.5	10.7	7.47	40.6	316
C2	16.5	6.97	14.6	4.30	7.72	7.97	21.3	6.76	5.00	27.8	216
C3	16	7.27	17.4	5.12	12.8	9.18	22.9	13.0	4.57	29.0	283
C4	16	7.08	15.1	4.60	8.70	10.9	18.1	14.0	4.82	23.2	260
C5	15.5	7.33	12.3	3.51	5.42	6.36	11.9	7.44	2.96	18.8	175
C6	15	7.02	9.64	3.15	5.88	4.08	8.52	3.74	2.41	24.1	139
C7	14.5	6.93	7.33	2.86	4.18	3.02	3.73	3.02	1.36	17.7	79.3
C8	14	7.28	18.5	2.96	23.2	11.8	26.6	19.5	6.19	35.5	360
C9	14	7.22	5.47	2.53	1.95	1.55	0.12	0.11	1.11	15.5	60.6
C10	14.5	7.28	9.69	3.24	6.10	4.13	6.39	4.17	1.79	22.7	140
C11	18	6.81	3.27	1.13	1.27	0.52	0.12	0.02	1.54	7.01	30.9
C12	18	5.78	0.65	0.21	0.03	0.14	0.10	0.02	1.11	0.85	7.16
C13	15	8.08	1,226	69.2	54.4	138	2,150	5.56	193	84.2	8,040
C14	16	7.85	97.0	6.50	7.01	11.7	168	2.16	14.5	32.0	732
C15	16	7.77	52.7	4.46	5.15	7.18	76.5	1.06	7.34	31.9	428
C16	16	8.04	30.3	4.84	7.80	10.7	75.3	0.14	7.40	37.3	408
C17	15.5	7.84	986	56.8	37.8	105	1,806	0.68	136	41.6	6,504

Table 6. Chemical data of water samples from Cheju area(August)

Sample No.	Temp. (°C)	pH	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	NO ₃ ppm	SO ₄ ppm	HCO ₃ ppm	Conductivity (umho cm ⁻¹)
C1	17.5	7.70	17.0	4.20	12.1	3.09	26.0	0.34	6.97	36.0	194
C2	17	7.20	14.1	3.62	7.41	7.25	21.6	6.55	8.07	19.4	202
C3	16	7.50	13.5	3.84	8.07	7.66	15.8	9.67	6.31	22.0	155
C4	16	7.11	14.0	3.70	8.85	10.8	21.6	13.0	9.72	12.8	258
C5	15	7.03	11.1	2.90	4.50	4.57	13.3	4.19	5.87	17.8	149
C6	14.5	7.93	9.16	2.90	6.29	3.62	10.6	1.08	5.65	21.6	137
C7	14.5	7.75	7.14	2.53	5.24	2.92	7.98	2.72	3.01	18.0	115
C8	16	7.87	10.4	2.12	9.34	4.66	12.6	7.02	3.89	21.0	177
C9	14	8.02	4.48	1.93	2.13	1.23	2.30	0.01	2.02	8.60	60.4
C10	14.5	7.35	10.5	3.07	7.75	4.13	11.7	4.65	6.75	21.3	167
C11	20	7.48	0.64	0.15	0.49	0.05	0.35	0.01	1.80	0.30	8.5
C12	18	6.12	2.72	0.92	1.85	0.59	3.02	0.01	2.35	5.33	38.6
C13	15	8.20	956	35.3	58.4	88.8	2,207	3.89	211	28.2	6,891
C14	16	7.62	99.2	7.90	8.38	10.6	178	1.24	25.5	19.0	694
C15	16	7.48	11.1	4.10	5.40	5.23	65.6	0.87	11.3	19.3	338
C16	16.5	7.36	6.10	5.01	13.6	8.93	93.0	0.02	13.4	25.1	435
C17	15.5	8.19	970	30.2	46.4	89.0	1,934	0.69	225	19.8	6,575

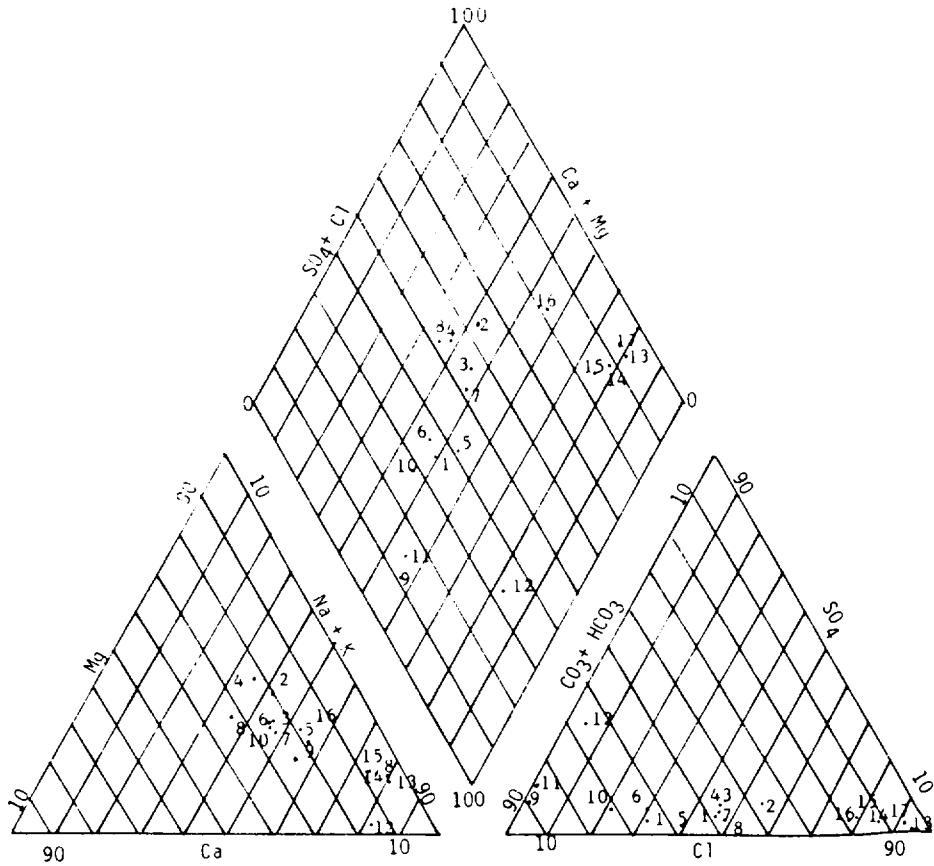


Figure 3. Trilinear diagram of water samples from Cheju area(April).

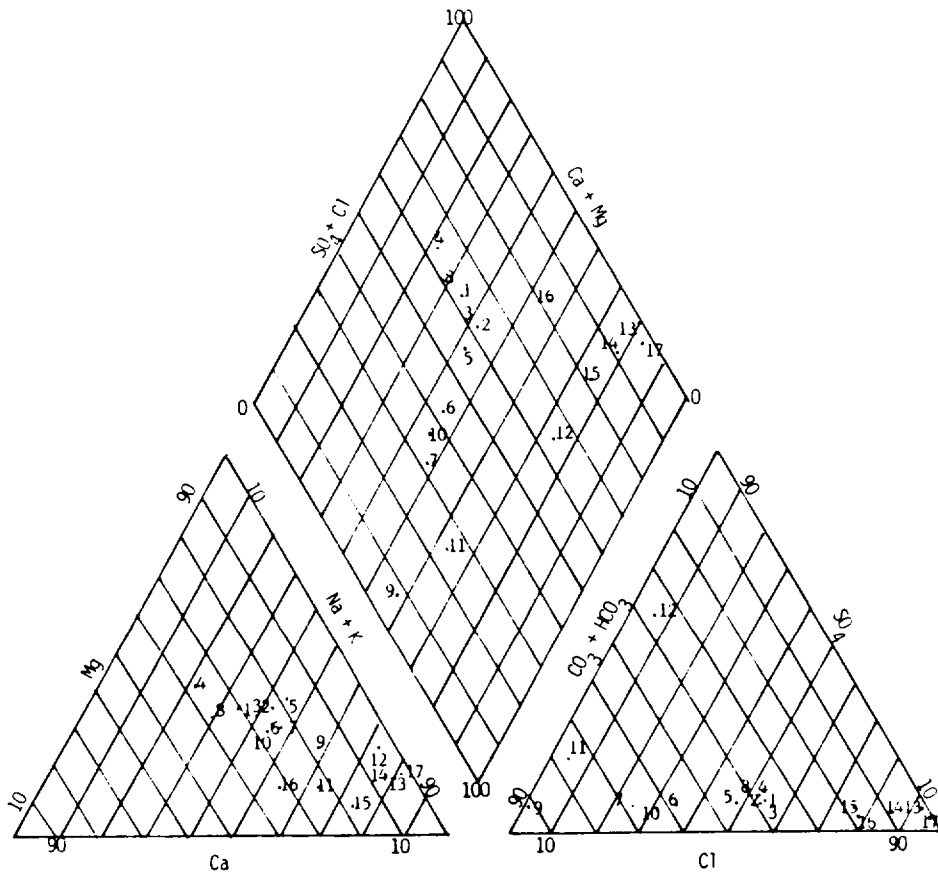


Figure 4. Trilinear diagram of water samples from Cheju area(June).

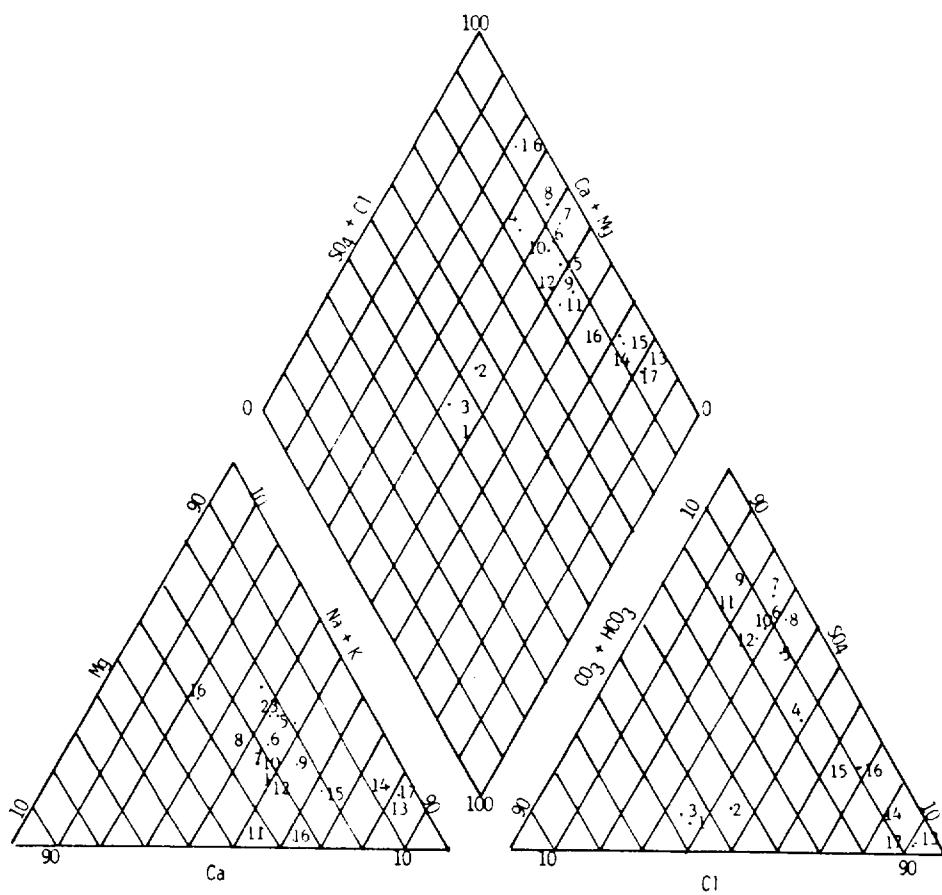


Figure 5. Trilinear diagram of water samples from Cheju area(August).

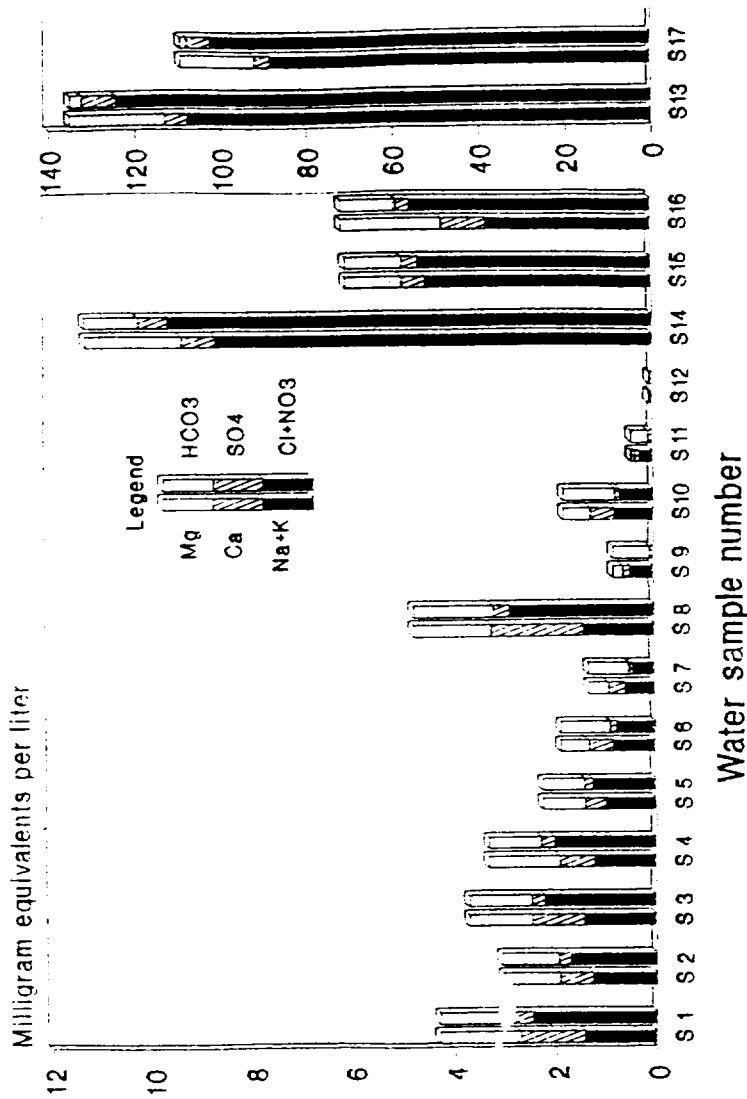


Figure 6. Chemical analysis of waters from Cheju area(April).

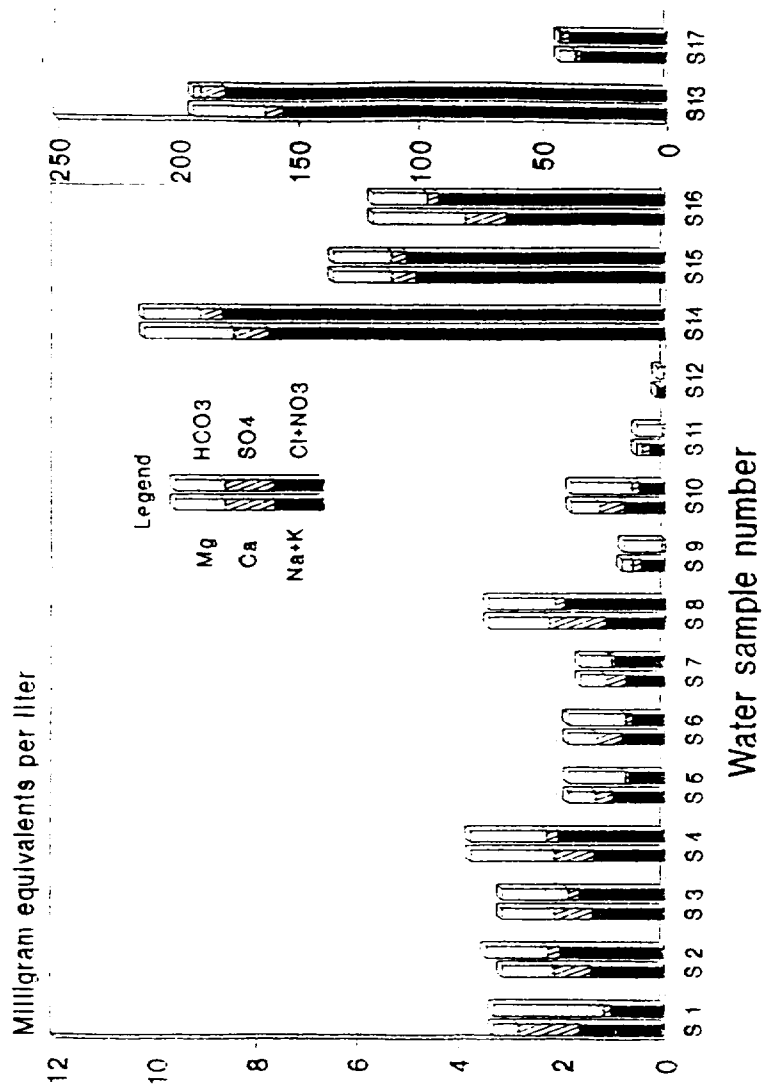


Figure 7. Chemical analysis of waters from Cheju area (June).

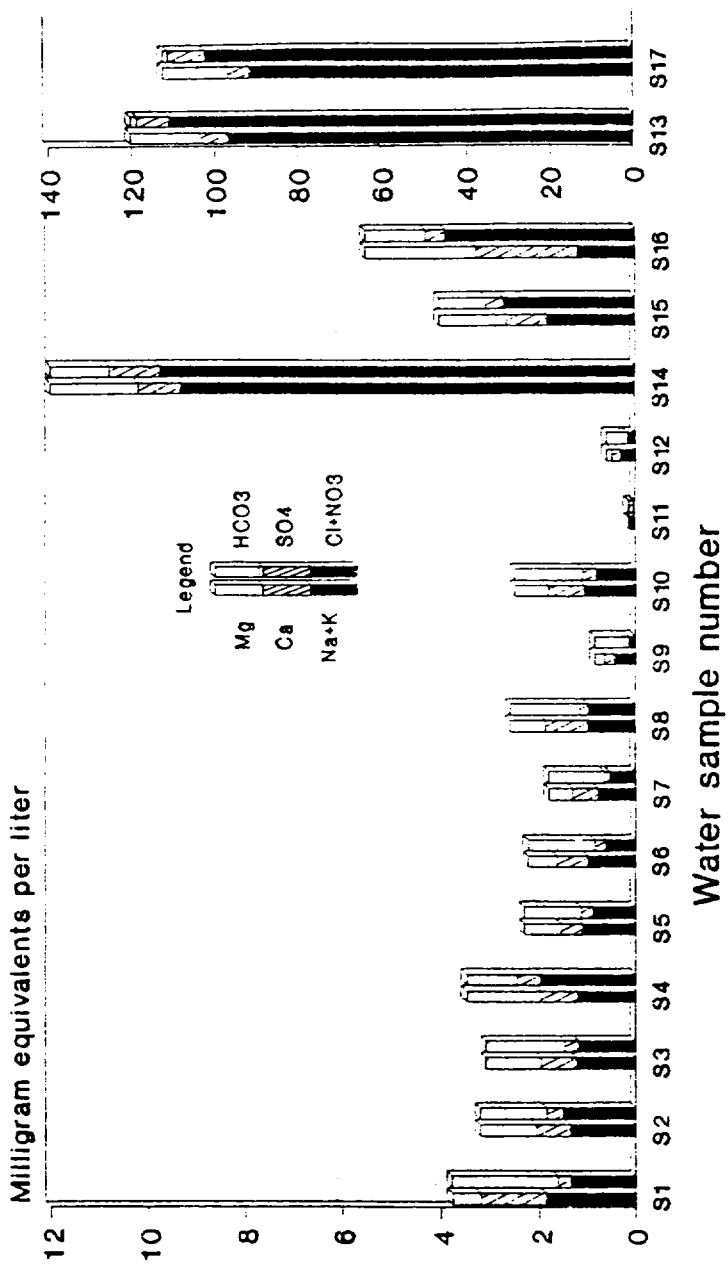


Figure 8. Chemical analysis of waters from Cheju area(August).

Table 7. Sodium absorption ratio(SAR) of water samples from Cheju area.

Sample No.	SAR		
	April	June	August
C1	1.13	0.77	1.13
C2	0.91	0.88	0.88
C3	0.99	0.40	0.82
C4	0.83	0.80	0.75
C5	0.91	0.85	0.88
C6	0.76	0.75	0.72
C7	0.68	0.67	0.62
C8	0.78	0.78	0.69
C9	0.71	0.71	0.60
C10	0.74	0.74	0.76
C11	0.58	0.62	0.23
C12	0.70	0.35	0.45
C13	25.3	20.1	18.4
C14	4.81	5.21	5.37
C15	3.72	3.52	0.82
C16	1.65	1.65	0.32
C17	11.9	11.7	19.2

Table 8. Classification of waters from Cheju area.

Sample No.	Types of Water		
	April	June	August
C1	Na.HCO3	Ca.Cl	Ca.HCO3
C2	Ca.Cl	Ca.Cl	Ca.Cl
C3	Ca.Cl	Ca.Cl	Ca.HCO3
C4	Ca.Cl	Ca.Cl	Ca.Cl
C5	Na.HCO3	Ca.Cl	Ca.Cl
C6	Ca.HCO3	Ca.Cl	Ca.Cl
C7	Ca.Cl	Ca.HCO3	Ca.Cl
C8	Ca.Cl	Ca.HCO3	Ca.Cl
C9	Na.HCO3	Ca.Cl	Ca.Cl
C10	Ca.HCO3	Na.HCO3	Ca.Cl
C11	Na.HCO3	Ca.HCO3	Ca.Cl
C12	Na.HCO3	Ca.HCO3	Ca.Cl
C13	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
C14	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
C15	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
C16	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl
C17	Na.Cl	Na.Cl	Na.Cl

수문학적 유형을 시기별로 정리한 Table 8을 참고하면 염분함량이 높은 지하수(C13,C14, C15,C16)의 경우에 Na.Cl형이었고, 염분함량이 적은 제주시 또는 한경지역의 경우 월별로 차이는 있으나 화산성지하수인 Na.HCO₃ 또는 Ca.HCO₃형과 함께 Ca.Cl형 지하수의 특징을 보였다.

4. 해수오염지표로써의 Chloride-bicarbonate 비

Figure 6,7,8에서 막대 그래프의 높이는 음, 양이온의 총 농도를 epm값으로 나타낸 것이고, 막대 그래프의 왼쪽부분은 양이온으로 나타낸 것이고, 막대 그래프의 오른쪽부분은 양이온 총량에 대한 백분율로써 각기 양이온의 함량비를 나타내었고, 오른쪽은 음이온에 대한

것이다. 지하수중의 해수오염의 정도를 평가하기 위하여 Revelle²⁶⁾는 Chloride-bicarbonate 비를 이용했다. Chloride는 해수중에 많이 함유되는 반면에 지하수 중에는 적은 양이 존재하고 Bicarbonate는 Chloride와는 반대로 해수 중에는 비교적 소량이고 지하수 중에는 많이 함유된 음이온인 것이다. 또, 해수와 지하수가 혼합되는 경우에 발생할 수 있는 염기치 환현상, 황산이온의 환원이나 탄산과 기타 약산기의 상호치환, 그리고 침전현상 등과는 무관하게 Chloride와 Bicarbonate는 영향을 받지 않는다는 사실을 응용해서 Cl/HCO₃값을 계산하여 해수오염의 지표로 사용한다²⁷⁾. 즉 Chloride-bicarbonate비가 0.5이하인 경우 해수 오염 문제가 전혀 없고 0.5-1.3인 경우 약

간 문제가 되며 1.3-2.8인 경우 보통 정도로 오염되어 있고 2.8-6.6인 경우 심한 오염 정도를 나타낸다. 이러한 값을 이용하여 조사지역의 용천수와 지하수를 평가할때(Fig.7,8,9, Table 9) 구좌지역의 지하수 경우 그 비가 4.04-67.3로 해수에 의한 오염이 심하게 일어나고 있는 것으로 나타났다. 특히, C16관정은 염분함량이 적은 양질의 지하수를 확보하기 위해서 해안에서 직선거리로 5.6Km 지점인 본도의 비교적 내륙부에 개발된 지하수임에도 불구하고 Cl/HCO_3 비가 3-4이상 높은 값을 보여 해수에 의한 오염정도가 큰 것으로 나타났다. 이처럼 이 지역의 내륙부까지 해수의 침입이 관측되고 있는 점은 제주시와 서귀포시 지역과는 달리 동수구배가 완만한 대수층 때문에 해안변의 수위가 낮게 형성되어 Ghyben-Herberg원리의 담수렌즈가 얇게 되고 암수체의 수압이 상대적으로 낮은데 기인된 것으로 생각된다. 그러므로 본 지역에서 식수용 기저지하수의 개발은 불가능하고 이보다 높은 중산간 지대의 지하에 포장되어 있는 염도가 낮은 상위지하수개발이 바람직하나 무분별한 시추보다는 시추전에 수리 지질학적인 정밀조사가 선행된 뒤에 개발되어야 할 것이다.

한편, Table 9에서 보듯이 한경지역(C1, C2, C3, C4)과 제주지역(C8)의 관정지하수는 해수의 오염지표인 Cl/HCO_3 비가 낮음에도 불구하고 이 지역의 양질의 C5, C6, C9 지하수보다 2-3배 높은 염분함량을 보였는데, 이는 지하수의 NO_3-N 함량이 계절별로 차이는 있으나 국내수질 기준을 상회하는 10-20ppm을 나타

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

Sample No.	Cl/HCO_3		
	April	June	August
C1	0.48	1.38	0.62
C2	1.41	1.32	0.96
C3	1.05	1.36	0.62
C4	1.03	1.34	1.45
C5	0.65	1.09	0.64
C6	0.46	0.61	0.42
C7	0.94	0.36	0.38
C8	1.01	1.29	0.52
C9	0.02	0.01	0.23
C10	0.29	0.48	0.47
C11	0.02	0.03	0.02
C12	0.06	0.20	0.29
C13	63.4	43.9	67.3
C14	7.89	9.03	8.06
C15	4.39	4.13	2.92
C16	4.04	4.40	3.19
C17	29.6	74.7	84.0

냈고, Ca보다 Mg 함량이 낮은 것으로 보아 비료 또는 생활폐수 등의 환경오염원에 의해 영향을 받은 것으로 사료된다.

적 요

한경지역의 일부지하수 관정(C1, C3, C5)의 Tritium 함량이 0.59-4.6 TU 범위를 보여 제주시, 동부 및 서귀포지역의 지하수(10-20TU)와 해수중의 Tritium 함량(4-6TU)보다 낮은 경향을 보였다. 이는 강우에 의해 직접적인 영향을 받지 않는 연령이 수십년 이상된 지하수임을 의미하고 타지하수와는 수원이 다름을 암시하는 것이다. 제주지역의 C9 관정지하수의 Tritium 함량은 이 지역의 다른

관정지하수 보다 낮은 경향을 보였는데, 이는 지하수의 양이온과 음이온 함량 그리고 전기 전도도 값을 참고로 할 때 해수의 영향보다는 도시하수의 영향을 받은 것으로 생각된다. 염분함량이 높은 동부지역의 경우 해안 가까이 에 위치한 관정지하수는 해수의 영향을 받아 Tritium 함량이 낮아졌고, 해안에서 멀리 떨어져 해수의 영향을 비교적 적게 받은 관정지하수의 Tritium 함량은 높아졌다. 따라서, 지하수의 Tritium 함량을 측정하면 지하수의 연령, 오염의 기원(해수, 생활 하수등)을 알수 있으며, 특히 해수에 의한 지하수오염의 경우 지하수의 Deuterium과 Oxygen-18 함량을 부가하여 측정하면 비교적 정확하게 해수의 오염여부를 판단할 수 있다고 생각된다. 한편, Cl/HCO₃ 비가 낮은 환경과 제주지역의 일부 지하수의 염분함량이 이 지역의 양질지하수 보다 2-3배 높은 경향을 보였다. 이는 지하수 중의 NO₃-N 함량이 10-20ppm 범위로 높고, Mg 보다 Ca 함량이 더 높은 것으로 보아 비료, 생활오수 등에 의해 지하수가 오염되고 있음을 암시하는 것이다.

참 고 문 헌

1. J. S. Han, Ground Water of Bed Rocks in South Korean Peninsular, J. Korean Asso. Hydro. Scin. 14(4):73-81,1981.
2. 농수산부,제주도,농업진흥공사,1989년도 제주도 지하수 개발 보고서, pp 3, 1989.
3. 김 영 응, 제주도의 지하수 부존과 해수침입.
4. J. S. Hahn, and J. S. Ahn, Studies on Isotope Hydrology in South Korea. J. Geolo. Sco. 20(1):72 - 84, 1984.
5. 농수산부, 농업진흥공사, 제주도 OAHU도의 지하수, 73-2, PP.45-51,1973
6. 안종성,한정상,이정호, 정창조, 유장걸, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구. 한국수문학회지. 17(2): 72-79, 1984.
7. 안종성, 유장걸, 정창조, 송성준, 동위원소를 이용한 제주지역수자원에 관한 연구(II) KAERI/RR-482/85. 1985.
8. 안종성,유장걸, 정창조, 송성준, 동위원소를 이용한 제주지역수자원에 관한 연구(III), KAERI/RR-527/86.1986.
9. 안종성,유장걸, 정창조, 송성준, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구 (IV), KAERI/RR-613/87. 1987.
10. 안종성,유장걸, 정창조, 송성준, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구(V), KAERI/RR-718/88,1988.
11. 안종성,유장걸, 정창조, 송성준, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구(VI), KAERI/RR-824/89,1989.
12. G. E. Calf, B. W. Seatonberry, and L. W. Smith, The Measurement of Natural Levels of Tritium in Water. AAEC/E373, 1976.
13. J. S. Ahn, J. S. Kim, and J. S. Kim, Studies on Tritium Analysis and its Monitoring with Special Reference to Power Reactor Operation. KAERI/RR-204/80, 1980.
14. L. W. Alvarez, and R. Coming, Radioactive Hydrogen. A Correction Phys. Rev. 58(2):197, 1980.

15. 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.
16. P. E. Hartley, A Rapid Mass Spectrometers Method for the Determination in Water at Natural Levels. *Anal. Chem.* 52:2232, 1980.
17. 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.
18. 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.
19. A. M. Piper, A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. *Am. Geophy. Union Trans.* 25:914-923, 1944.
20. D. K. Todd. *Ground Water Hydrology*, John Wiley & Sons. Inc. pp. 293-294, 1959.
21. IAEA, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Tech. Report No. 91. IAEA. Vienna, pp. 19-33, 276-278, 293, 319-325, 351-356, 1983.
22. 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.
23. S. N. Davis, and R. J. M. Dewiest, *Hydrology*, John Wiley & Sons, Inc. pp. 137-138, 1975
24. G. H. Davis, C. K. Lee, E. Bradley, and B. R. Payne, Geohydrologic Interpretations of a Volcanic Island from Environmental Isotopes, *Water Resources Research*, Vol 6(1): 99 -109.
25. 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.
26. R. Revelle, Criteria for Recognition of Sea Water in Ground Waters, *Trans. Amer. Geophysical Union*, Vol. 22, PP. 593-597, 1941.
27. 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.