

## 고도에 따른 제주도 지하수의 수질특성

이 용 두

제주대학교 환경공학과

### Characteristics of Groundwater Quality by Elevation in Cheju Island

Yong-Doo Lee

*Dept. of Environ. Eng., Cheju National University*

## ABSTRACT

This study purpose to elucidate the characteristics of water quality by elevation and groundwater samples has been studied with the samples from 150 selected groundwater represented the watershed of groundwater wells in Cheju Island. The evaluation of the characteristics of water quality utilized the physical and chemical property and the statistical analysis. According to the piper diagram, groundwater in the under 50 m region is shown  $\text{Na}^+\text{K}^-\text{Cl}^-$  type, and that groundwater in the 50~100 m region is shown  $\text{Na}^+\text{K}^-\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  type, and partly  $\text{Na}^+\text{K}^-\text{Cl}^-$  type. In the above 100 m region belongs to  $\text{Na}^+\text{K}^-\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  type. The result of factor analysis, commonly two factors as TDS(Total Dissolved Solid) and the contaminants extracted in the under 50m region and above 100 m region. Three factors were obtained from the result of the factor analysis in the 50~100 m region. Factor 1, consisting of TDS content, Factor 2, consisting of the contaminant and the dissolution of minerals, and Factor 3, consisting of  $\text{HCO}_3^-$  content.

**Key words** : groundwater, piper diagram, factor analysis, elevation

## 요 약 문

본 연구는 제주도의 전체 지하수공 중 수역별로 대표성이 있는 150공을 선정하여 고도에 따른 수질 특성을 파악하는데 목적을 두었다. 수질특성의 평가는 물리·화학적 특성과 통계분석을 이용하였다. Piper diagram에 의한 수질 유형은 표고 50 m이하 지역은  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{Cl}^-$  형태를 보이고 있다. 50~100 m에 위치한 지하수에서는  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  형태와 일부  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{Cl}^-$  형태의 군을 이루고 있다. 그리고 100 m이상의 지역에서는  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  형태에 속하고 있다. 요인분석 결과, 50 m이하와 100 m이상 지역에서 공통적으로 TDS와 오염물질 2개 요인이 추출되었다. 50~100 m 지역에서는 3개의 요인이 추출되었으며, 요인1에는 TDS함량으로 요인2는 오염의 영향과 광물용해로 볼 수가 있다. 그리고 요인 3에는  $\text{HCO}_3^-$  함량으로 나타났다.

**주제어** : 지하수, piper diagram, 요인분석, 고도

## 1. 서 론

지하수는 수량과 수질면에서 지표수보다 안정성을 지니고 있기 때문에 지하수는 세계 각국에서 오래전부터 음용수 및 농·공용수 등으로 널리 이용하고 있는 귀중한 수자원이다. 전세계적으로 지하 800 m이내의 지하수 부존량은 지구 전체 하천수량의 약 3,000배에 달하는 것으로 추정하고 있으나 분포상태가 고르지 못하여 현재 세계 인구의 1/3 정도가 물 부족 상태에 있으며, 앞으로 10년 이내에 세계 인구의 2/3가 물 부족 현상에 이르게 될 것으로 전망되고 있다. 우리 나라도 물 부족 상태 국가의 범주에 속하며 2010년경에는 연간 20억 톤의 물이 부족 될 것으로 전망하고 있다<sup>1)</sup>.

우리나라 지하수법 제 2조에 의하면 지하수란 “지하의 지층이나 암석 사이의 빈틈을 채우고 있는 물”로 정의하고 있는데, 이것은 토양 및 암석 속의 포화 및 비포화 상태에 있는 물을 모두 의미하는 포괄적 개념이다. 수문학적 또는 공학적 측면에서 “지하수는 지하의 투수성이 높고 지층 등에 포함된

사용 가능한 물”로 정의되기도 하고 또한 “토양과 지층에서 자유수면 아래에서 발생하는 포화된 지표 아래의 물”이라고도 정의하고 있다<sup>2), 3)</sup>.

제주도의 용수이용은 1970년대 초반까지만 하더라도 해안 용천수와 봉천수(빗물을 받아두었다가 식수로써 이용하는 물)에 의존하여 물이 귀한 지역으로 인식되었다. 그러나 1960년대 수자원조사과정에서 막대한 양의 지하수 부존이 확인이 되어 1970년 이후 정부주도로 관정을 이용한 지하수 개발이 많이 이루어져 현재는 상수도 보급률이 99.9%에 이르는 등 양적인 측면에서의 물 문제가 해결이 되었다.

그러나 생활수준의 향상으로 용수의 수요가 급증하고 있으며, 가축 사육두수의 증가, 골프장 개발 및 휴양 시설의 증가에 따른 지하수 개발로 제주도 지하수 오염이 문제가 되고 있다. 1998년 12월말 현재 제주도 지하수 관정수는 4,176개이며 이들 관정은 해발 200 m이하의 해안지역에 대부분이 위치하고 있다. 그리고 고도에 따라 오염원의 분포와 토지이용 형태가 다르며, 해안 주변에서는

염수침입으로 인한 염소이온 농도의 증가가 나타나고 있다<sup>4)</sup>.

본 연구에서는 제주도 지하수 수질특성을 고도에 따라 3가지로 구분을 하여 각 지역에서의 수질특성을 파악하고 비교하였다.

## 2. 제주도 지형과 지질

제주도의 평면상의 모양은 장축의 길이가 약 74 km이고 단축의 길이가 약 32 km인 타원체이며, 중앙부에 해발고도 1,950 m인 한라산체가 있다. 한라산을 중심으로 동서사면은 매우 완만한 경사(3°~5°)를 이루고 있으나, 남북방향에서는 약간 급한 경사(5°내외)를 보인다. 특히 백록담을 정점으로하여 해안에 이르는 완경사의 사면상에 소위 오름이라 불리우는 368개에 달하는 기생화산들이 본도의 장축방향(동북동~서북서)을 따라 군을 이루면서 분포하고 있다. 전체 지형은 해발고도에 따라 구분하는데 200 m이하인 해안지역이 993 km<sup>2</sup>(54.3%), 200~600 m인 중산간 지역이 589 km<sup>2</sup>(32.2%), 그리고 600 m이상인 산악지역이 246 km<sup>2</sup>(13.5%)를 차지하며, 남북 양사면에는 대지상의 해안저지대와 중산간지대의 면적이 좁고 한라산체가 많은 부분을 차지한다<sup>5)</sup>.

제주도는 현무암류, 조면암질 안산암류, 조면암류 등의 화산암류와 서귀포층, 성산층, 신양리층과 같은 화성암 기원의 퇴적암류와 기생화산 등으로 구성되어 있으며 이중 현무암이 전도의 90% 이상을 차지한다. 현무암류는 침상장석감람석현무암, 반상휘석현무암, 비현정질현무암, 장석현무암 등으로 나타나며 침상장석감람석현무암과 비현정질현무암은 동서부 거의 전지역에 분포하며, 반상휘석현무암과 반상장석현무암은 동서부지역 일대와 성판악 북동지역에, 장석현무암은 산간지역(표고 600 m이상) 전역과 서귀포 일원에 걸쳐 분포한다. 조면암 및 조면암질안산암류는 서귀포시 서홍동에

서 중문동, 군산동 남부지역에 분포하며 산방산, 한라산 Dome등을 형성하고 있다. 기생화산체는 368개가 도 전역에 걸쳐 분포하나 장축방향의 배열이 우세하고 고산에서 사계리를 거쳐 서귀포에 이르는 해안을 따라서는 불연속적으로 분포하며, 신양리, 성산일출봉, 두산봉, 우도 등에도 분포하는데 이들 대부분은 화산력 또는 화산재로서 준고결 내지 미고결 상태이다. 북동 해안과 협재리, 사계리 및 표선리 해안 일대에서는 사구(sand dune)가 발달되어 있다.

## 3. 연구방법

### 3.1 시료채취 및 분석방법

제주도 전역의 지하수 4,176개(98년 12월말 현재) 관정 중에서 지하수공 150개를 선정하여 1998년 11월말에 시료를 채취하였다(Figure 1).

시료채취시에는 우선 각 관정내에 고여있는 물의 4~5배를 퍼낸 다음, 물의 수온, pH 및 전기전도도 등의 물리적 특성을 현장에서 채수 즉시 측정을 하였다. 알칼리도 측정은 현장에서 지시약(페놀프탈레인 용액 및 메틸오렌지-브롬크레졸그린 혼합용액)을 이용하여 산중화 적정한 후 계산에 의해 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량을 얻었다.

채취한 지하수 시료의 분석은 양이온(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>)은 Shimadzu사의 원자흡광분광광도계(모델 AA-6701), 음이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)의 정량분석은 Dionex사의 이온크로마토그래피(모델 DX-100)을 이용하였다.

## 4. 결과 및 고찰

고도에 따른 제주도 지하수 수질특성을 알아보기 위하여 표고 50 m이하, 50~100 m 그리고 100 m이상의 지역 3가지로 구분을 하여 살펴보았다.

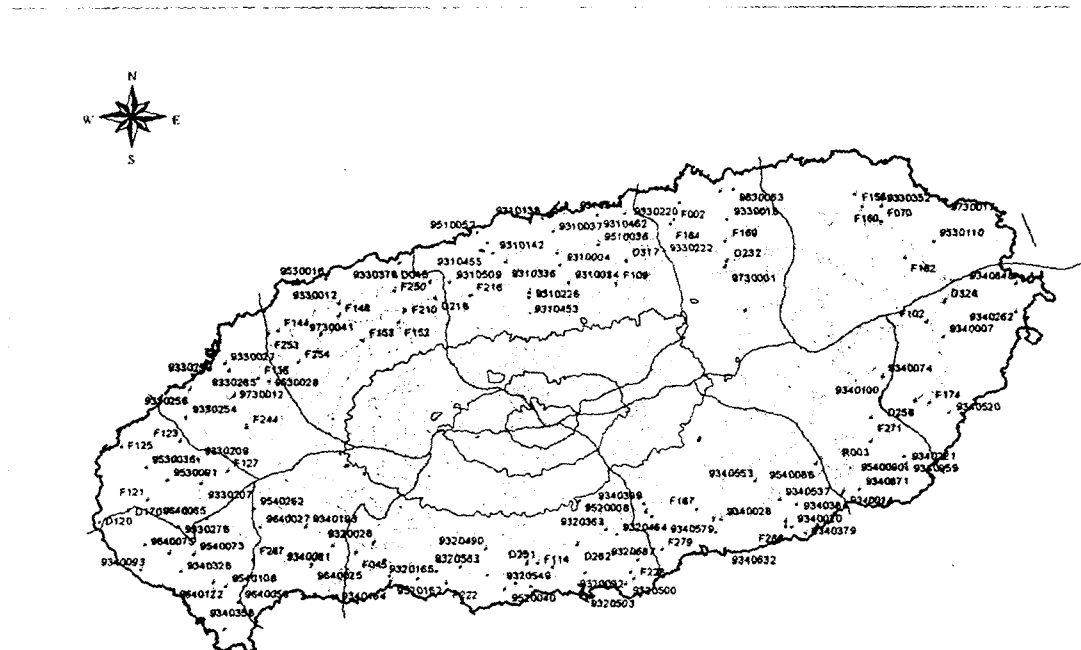


Fig 1. Location of groundwater sampling site of Cheju Island.

#### 4.1 물리·화학적 특성

제주지역 지하수 시료의 물리적 성질과 주요 용존이온 함량의 기술통계량 값은 Table 1에 기재되어 있다.

표고 50 m이하 지역의 지하수의 평균 pH는 7.34이며, 50~100 m지역에서는 pH가 평균 7.63 그리고 100 m이상의 지역에서는 pH가 7.76을 보이고 있다(Table 1). 지하수의 오염문제를 다루는데 있어서 pH는 2가지 이유로 인하여 중요한 인자로 여기게 되는데 첫째는 생명체가 존재할 수 있는 pH의 범위는 대체적으로 6~9사이이며, 둘째로는 수용성 상태로 존재할 수 있는 화학물질은 그 pH에 따라 좌우가 되기 때문이다<sup>6), 7)</sup>.

전기전도도(EC)는 오염물질의 이온강도를 나타내는 수질인자로서 물에 용해되어 있는 용질의 총량을 나타낸다. 일반적으로 전기전도도는 염류의 함량에 따라 증가하며 비오염지하수는 전기전도도

가 매우 낮으나 오염된 지하수는 다량의 용존물질과 염류를 함유하고 있어 전기전도도가 매우 높으며 오염정도가 클수록 전기전도도 값은 증가한다<sup>8)</sup>. 표고 50 m이하 지역의 EC는 85~1,082  $\mu$ S/cm(평균 270  $\mu$ S/cm)이며, 50~100 m 지역에서는 EC가 82~589  $\mu$ S/cm(평균 212  $\mu$ S/cm), 그리고 100 m이상의 지역에서는 EC가 42~286  $\mu$ S/cm(평균 118  $\mu$ S/cm)을 보이고 있다. 강우가 지표에 도달한 후의 물의 전기전도도 매우 낮으며 지하 심부로 가면서 총고용물의 증가와 함께 증가한다. 표고가 낮은 지역으로 갈수록 EC값이 높아지고 있는데 이는 주변의 암석들과 반응을 하여 용존물질이 용탈된 것이 지하수 유동에 의해 낮은 지역으로 갈수록 증가하고 또한 인위적인 오염물질이 유입이 되어 나타난 것으로 볼 수가 있다<sup>9)</sup>.

Na<sup>+</sup>이온은 수용성으로서 토양이나 암석내에서 빠져나와 용해되는데 이것의 가장 중요한 자연적인

**Table 1. Physical and chemical components for groundwater samples by elevation groups in the Cheju Island**

		Depth (m)	Temp. (°C)	pH	EC ( $\mu$ S/cm)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
50m under groundwater	Mean	59.00	15.84	7.34	269.97	16.83	4.34	2.13	7.16	32.73	14.92	24.13	32.15
	Median	-	15.85	7.38	232.00	14.61	4.09	.76	5.92	29.00	11.61	23.86	33.28
	Std.dev.	-	1.43	.35	171.03	10.59	2.30	6.84	5.86	14.85	11.20	14.55	14.90
	Min.	-	13.00	6.58	85	6.06	2.03	.04	1.12	12.50	3.68	.66	4.13
	Max.	-	18.90	8.27	1082	56.61	15.42	45.62	33.10	85.00	54.11	79.73	63.45
	No. of Samples	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
51~100m groundwater	Mean	105.48	15.83	7.63	211.90	18.38	4.03	.71	5.22	30.37	11.06	20.24	21.15
	Median	-	15.50	7.69	166.00	9.62	3.25	.44	3.71	26.00	6.60	15.67	20.07
	Std.dev.	-	1.47	.39	120.25	32.24	3.46	.84	4.48	15.13	8.28	15.15	14.37
	Min.	-	13.20	6.81	82	5.09	1.06	.00	.00	18.00	3.99	.61	2.43
	Max.	-	20.00	8.72	589	222.60	21.20	3.62	22.05	96.75	39.99	68.95	60.22
	No. of Samples	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
100m above groundwater	Mean	175.00	15.27	7.76	118.11	8.44	2.75	.34	2.01	27.56	5.25	7.99	9.79
	Median	-	15.00	7.80	105.00	7.69	2.60	.22	1.51	25.00	4.72	5.40	6.02
	Std.dev.	-	1.23	.38	52.05	3.48	1.35	.60	1.79	10.97	1.96	6.30	10.90
	Min.	-	13.70	6.49	42	3.66	.63	.00	.33	14.00	2.96	.95	.93
	Max.	-	19.10	8.72	286	17.55	7.76	4.44	8.56	71.75	14.06	25.73	48.19
	No. of Samples	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55

\* Temp : Temperature, EC : Electrical Conductivity, Std. dev. : Standard deviation

기원은 조암광물인 사장석의 용해이며 이외에 해수와 근접한 지역에서는 지하로 침투한 해수의 영향을 받거나 해수로 비산된 염성분이 강하하여 지하수에서 높은 Na<sup>+</sup>이온함량이 나타날 수 있다<sup>10)</sup>. 50 m이하 지역에서는 평균 16.83 mg/L, 50~100 m 지역에서는 18.38 mg/L로 비슷한 함량분포를 보이고 있으며, 100 m이상의 지역에서는 Na<sup>+</sup>이온의 함량이 평균 8.44 mg/L로 낮은 농도를 나타내고 있다.

K<sup>+</sup>이온은 일반적으로 조암광물 중의 카리장석 또는 운모류 등의 용해를 통해 물 속으로 공급될 수 있으며, 비료의 주요 구성성분이므로 농업활동이 활발해짐에 따라 인공적으로 유입이 될 수 있

다. 정상적인 지하수는 일반적으로 5 mg/L미만의 값을 지나 그 이상의 값이 나오면 해수의 침입에 의한 것이나 또는 농약이나 폐기물에 의해 오염된 것으로 추정할 수가 있다<sup>11)</sup>. K<sup>+</sup>이온의 함량은 50 m이하 지역이 4.34 mg/L, 50~100 m 지역은 4.03 mg/L, 그리고 100 m이상의 지역은 2.75 mg/L로 나타나고 있다.

Ca<sup>2+</sup>이온과 Mg<sup>2+</sup>이온은 주로 광물들의 용해에 의해 지하수로 공급이 되며 해안 인접지역에서는 해수의 영향으로 인해 농도가 높아질 수 있다. Ca<sup>2+</sup>이온을 수질기준을 정하여 관리하는 나라의 거의 없으며 우리나라 먹는물 수질기준에는 경도로서 300 mg/L이하로서 규정하고 있다<sup>12)</sup>. Ca<sup>2+</sup>이온의

함량은 전체적으로 1~2 mg/L로 낮게 나타나고 있으며,  $Mg^{2+}$ 이온은 표고 50 m이하 지역에서는 7 mg/L이고 그 이상의 지역에서는 낮게 나타나고 있다.

$HCO_3^-$ 이온은 탄산에 의한 탄산염광물의 용해에 의해 생성이 되며 pH 약 8.35를 기준으로 하여 그 이상에서는 pH가 증가할수록 탄산( $CO_3^{2-}$ )이온 형태로 존재하는 양이 많아지게 된다. 표고 50 m이하 지역은 평균 32.73 mg/L, 표고 50~100 m 지역은 평균 30.37 mg/L, 그리고 100 m이상의 지역에서는 평균  $HCO_3^-$ 이 27.56 mg/L로 나타났다.

$SO_4^{2-}$ 이온은 지하수내에 주로 황화광물의 산화작용 및 용해에 의하여 존재하게 되며<sup>13)</sup>, 해안 인접 지역은 해수에 의한 영향으로 농도가 높아질 수가 있다. 지하수내에 황산마그네슘이나 황산나트륨염이 상당량 함유되어 있으면 쓰는 맛을 내며, 이러한 물을 장기간 마시는 경우 설사를 일으키는 것으로 알려져 있고, 우리나라 음용수 수질기준은  $SO_4^{2-}$ 를 200 mg/L이하로 규정하고 있다. 표고 50 m이하 지역에서는 평균 14.92 mg/L, 표고 50~100 m 지역이 평균 30.37 mg/L, 그리고 100 m이상의 지역에서는 평균 황산이온이 27.56 mg/L로 나타났다.

Cl<sup>-</sup>은 산업용 폐수, 하수, 동물의 배설물 및 제설제 등으로 인해 지하수로 유입이 된다. 상업비료는 KCl의 형태로 염소를 함유하고 있다. 특히 염소는 산업용제나 농약 제조용 할로젠 유기화합물의 성분으로 사용이 되며, 농약처럼 의도적이거나 누출이나 유출사고에 의해 지하수로 유입된다<sup>9)</sup>. 그리고 해안에 근접한 지역에서는 해수의 영향을 받아 염소이온 농도가 상당히 높게 된다. 우리나라 음용수 수질기준에는 250 mg/L이하로 규정하고 있다. 표고 50 m이하 지역에서는 평균 24.13 mg/L, 표고 50~100 m 지역이 평균 20.24 mg/L, 그리고 100 m이상의 지역에서는 평균 Cl<sup>-</sup>이 7.99 mg/L로 나타났다.

$NO_3^-$ 은 대부분의 경우 자연적인 지질매체와의 반응에 의한 것이라기 보다 유기물의 부식, 생활하수나 축산폐기물 등의 오염에 의하여 물속에 존재하게 된다. 즉 질산이온의 기원은 모두 지표로부터 비롯된 것으로 볼 수가 있으며 심부지하수로 갈수록 희석작용을 하여 음이온 교환반응, 식생 및 미생물에 의한 소모 등에 의하여 그 함량이 감소하게 된다<sup>14)</sup>. 질산이온의 농도가 45 mg/L이상인 물은 유아에게 청색증을 일으키기 때문에 가정용수로 사용할 수가 없으며, 이러한 독성효과는 유아들에게 무기력과 졸음증을 일으키게 한다. 통상 질산이온의 먹는물 수질기준은 45 mg/L인데, 이를 질산성질소( $NO_3-N$ )로 환산하면 10 mg/L에 해당한다. 그리고 농업용수 기준은 질산성질소로 20 mg/L이하로 되어있다. 고도별로 질산이온의 농도를 살펴보면 표고 50 m이하 지역에서는 32.15 mg/L이 표고 50~100 m 지역은 21.15 mg/L, 그리고 표고 100 m이상 지역은 9.79 mg/L으로 나타나고 있다. 고도가 낮아질수록 질산이온의 농도가 높아지고 있는데 이는 오염원으로부터 거리가 멀어질수록 점진적으로 증가하는 현상을 나타내어 하류구배의 지하수에서 높은 농도의 질산이온이 검출된 것으로 볼 수 있다.

#### 4.2 Piper diagram에 의한 수질유형

Piper diagram은 하단의 두 개의 삼각형 중 왼쪽은 주 양이온의 농도(epm)를 백분율로 환산하여 나타내고 오른쪽 삼각형은 주 음이온의 농도(epm)를 역시 백분율로 환산하여 표시하고 다음으로 양이온과 음이온 삼각형에 표시한 점을 상부에 있는 다이아몬드형 그래프에 나타내는 것으로서 지하수의 유형분석등의 관계를 분석할 수가 있다<sup>15), 16)</sup>.

Fig 2는 표고 50 m 이하의 지하수 시료의 성분을 바탕으로 piper diagram을 작성한 것이다. 양이온은  $Na^+K^+$ 형태의 군을 이루고 있으며, 음이

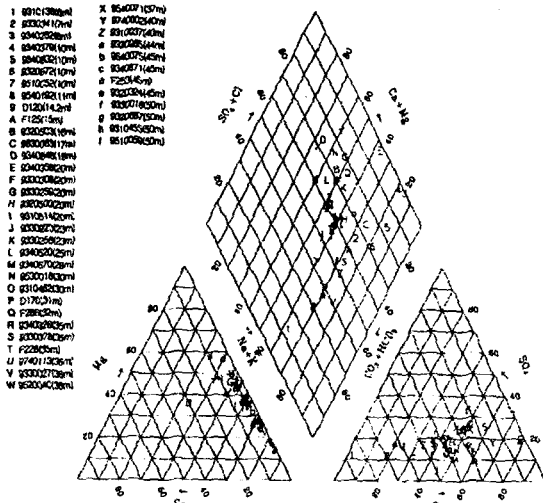


Fig 2. Piper diagram showing chemical compositions of groundwater samples under 50m elevation in Cheju Island

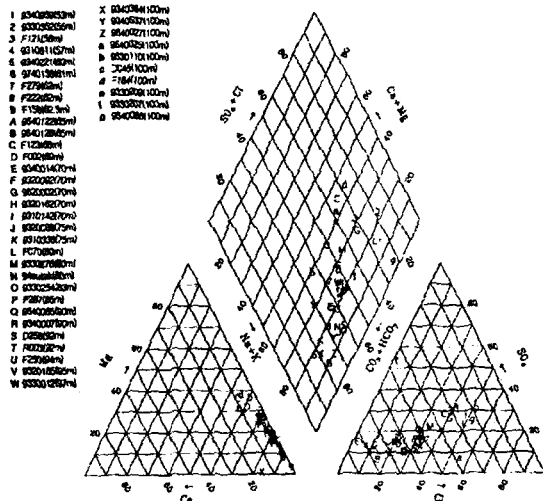


Fig 3. Piper diagram showing chemical compositions of groundwater samples from 50~100m elevation in Cheju Island.

은은 CI 형태를 보이고 있다. 해안인접지역의 지하수 관정에서는 점차 위쪽으로 이동하고 있으며 일부는 우측(NaCl형)으로도 이동을 하고있다.

Fig 3은 표고 50~100 m에 위치한 지하수 관정을 대상으로 하여 piper diagram을 도시한 것으로서 양이온은 Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>형태의 군을 보이고 있으며 음이온은 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>형태와 일부 CI 형태의 군을 보인다. 전체적으로 혼합형의 수질을 보이고 있으나 고도가 높아질수록 밀으로 이동을 하여 탄산나트륨(NaHCO<sub>3</sub>)형을 나타내고 있다.

제주도 해발 100m이상에 위치한 지하수 관정을 대상으로 한 piper diagram을 Fig 4에 나타내었다. 양이온은 Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>형태의 군을 이루고 있으며, 음이온은 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>형태를 나타내고 있다.

4.3 요인분석

요인분석(Factor Analysis)은 변수들간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수들끼리 분류하여 몇 개의 공통된 집단으로 만들어줌으로서 자료의 복잡성을 줄이고 몇 개의 요인으로 정보를 요약하거나 요인으로 묶이지 않은 변수들을 제거함으로써 신뢰도가 낮은 변수들을 선별해 내기 위해 이용되는 자료의 통계처리 방법이다. 즉 여러 변수들간의 관계를 고려하여 내면에 잠재되어 있는 공통요인을 찾아내는 분석방법이다<sup>17)</sup>.

제주도 지하수가 나타내는 수질특성이 어떠한 잠재요인에 의해 영향을 받는 것인지를 알아보기 위하여 고도에 따라 요인분석을 실시하였다. 요인추출 방법으로는 주성분분석(Principal component analysis : PCA)방식을 취하였다. 그리고 요인수 결정은 1이상의 고유값(eigenvalue)으로 하였으며 요인의 해석에 중점을 두는 varimax 직각 회전방식을 택하였다.

Table 2는 표고 50m 이하의 지하수 관정을 대상으로 하여 요인분석을 실시하여 나타낸 표이다.

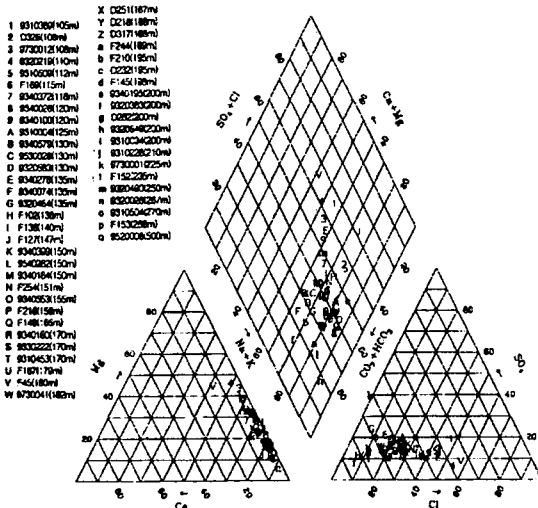


Fig 4. Piper diagram showing chemical compositions of groundwater samples above 100m elevation in Cheju Island.

요인분석 결과 요인이 2개가 추출이 되었으며 이 요인으로서 전체 자료를 약90% 정도 설명할 수가 있다. 요인 1에서는 질산이온을 제외한 나머지 성분 즉 EC, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 그리고 Cl의 함량으로 대표되어 질 수가 있다. 이는 자연적으로 존재하는 용존물질 즉 TDS 함량으로 나타낼 수가 있다. 요인 2에는 pH와 NO<sub>3</sub>로 볼 수가 있는데 이는 인위적 오염물질로서 볼 수가 있다.

제주도 해발 50~100 m 사이에 분포하는 지하수 관정을 대상으로 조사한 각 수질 성분들을 이용하여 요인분석을 행한 결과는 Table 3에 수록되어 요인분석 결과 전체 요인이 3개 추출이 되었고, 이 요인을 가지고서 전체 자료의 83% 정도 설명할 수가 있다. 요인 1에는 EC, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 그리고 Cl의 함량으로 대표되어지며 이는

Table 2. Factor matrix of compositional variables for groundwater samples under 50m elevation in Cheju Island

Variable	Communality	Factor loading matrix		Rotated loading matrix	
		F1	F2	F1	F2
pH	.852	.961	.906	.943	-.892
EC	.990	.994		.995	
Na <sup>+</sup>	.986	.991		.993	
K <sup>+</sup>	.987	.992		.993	
Ca <sup>2+</sup>	.952	.974		.968	
Mg <sup>2+</sup>	.992	.995		.995	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.462	.676		.670	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.988	.993		.994	
Cl	.986	.992		.993	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.790	.500	-.735	.448	.768
Eigenvalue		7.600	1.385	7.571	1.414
% of variation		76.004	13.850	75.711	14.142
Cummulative %		76.004	89.853	75.711	89.853

\*Factor loadings less than 0.400 are excluded.



**Table 3. Factor matrix of compositional variables for groundwater samples from 50~100m elevation in Cheju Island**

Variable	Communality	Factor loading matrix			Rotated loading matrix		
		F1	F2	F3	F1	F2	F3
pH	.809	-.409	.696			-.576	.680
EC	.975	.976			.876	.439	
Na <sup>+</sup>	.545	.434	.450		.664		
K <sup>+</sup>	.738	.797			.850		
Ca <sup>2+</sup>	.780	.643	-.468			.836	
Mg <sup>2+</sup>	.945	.958			.767	.590	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.849			.836			.917
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.900	.909			.923		
Cl <sup>-</sup>	.943	.924			.949		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.897	.526	-.764			.925	
Eigenvalue		5.234	1.876	1.270	4.361	2.621	1.399
% of variation		2.343	18.763	12.704	43.611	26.214	13.986
Cummulative %		52.343	71.106	83.811	43.611	69.825	83.811

\* Factor loadings less than 0.400 are excluded.

**Table 4. Factor matrix of compositional variables for groundwater samples above 100m elevation in Cheju Island**

Variable	Communality	Factor loading matrix		Rotated loading matrix	
		F1	F2	F1	F2
pH	.506		.710	.470	-.534
EC	.976	.982		.633	.758
Na <sup>+</sup>	.896	.889		.867	
K <sup>+</sup>	.816	.584	.689	.899	
Ca <sup>2+</sup>	.642	.597	-.535		.799
Mg <sup>2+</sup>	.949	.931		.474	.851
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.649	.603	.535	.805	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.604	.733		.709	
Cl <sup>-</sup>	.153				.411
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.852	.730	-.564		.913
Eigenvalue		4.832	2.211	3.578	3.465
% of variation		48.316	22.111	35.779	34.647
Cummulative %		48.316	70.426	35.779	70.426

\* Factor loadings less than 0.400 are excluded.

TDS 함량으로 볼 수가 있다. 요인 2는 pH와  $\text{Ca}^{2+}$ , 그리고  $\text{NO}_3^-$ 로 나타났다. 이는 오염원의 영향과 광물용해에 의한 것으로 볼 수가 있다. 요인 3에는  $\text{HCO}_3^-$  함량으로 나타났다.

Table 4는 표고 100 m 이상의 지하수 관정에서 조사된 수질성분을 바탕으로 요인분석을 실시한 결과를 나타낸 도표이다. 요인 1에는 EC,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 함량으로 대표되어지고 요인 2에는  $\text{Ca}^{2+}$ , pH,  $\text{NO}_3^-$ , 그리고 Cl<sup>-</sup>의 함량으로 나타낼 수가 있다. 요인 1에는 용존물질의 함량으로 볼 수가 있다. 그리고 요인 2에는 인위적인 오염물질과  $\text{Ca}^{2+}$  함량으로 나타내어지며 Cl<sup>-</sup>은 추출된 공통성이 15%에 불과하여 100 m 이상에서는 영향을 미치지 않는 것으로 볼 수가 있다. 그리고 추출된 요인 2가지로 70% 정도를 설명할 수가 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 제주도 지하수 관정 150개를 대상으로 수질분석을 하였고 고도에 따라 3개의 지역으로 구분을 하여 물리·화학적 특성과 piper diagram에 의한 수질유형의 구분, 그리고 요인분석을 실시하여 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 제주도 지하수 주요 성분과 EC는 해발 50 m이하 지역에서 동수구배를 통해 용존물질을 내포하고 있는 지하수가 이동을 하여 하류 구배 지역에 영향을 주기 때문에 다른 지역보다 용존물질 함량이 높게 나타나고 있다.
2. Piper diagram에 의한 지하수 수질유형은 저지대 경우 양이온은  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 형태의 군을 이루고 있으며, 음이온은 Cl<sup>-</sup>형태를 보이고 있다. 해발 100 m 이상에 위치한 지하수에서 양이온은  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 형태의 군을 이루고 있으

며, 음이온은  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 형태를 나타내고 있다. 그리고 지하수 수질유형은 탄산나트륨( $\text{NaHCO}_3$ )형을 보이고 있으며 고도에 따라 지하수의 수질유형이 이동하는 것을 볼 수가 있다.

3. 요인분석 결과 50 m이하 지역에서는 요인이 2개가 추출이 되었으며 요인 1은 자연적으로 존재하는 용존물질 즉 TDS 함량으로 나타낼 수 있으며, 요인 2에는 pH와  $\text{NO}_3^-$ 로 볼 수가 있는데 이는 인위적 오염물질로 볼 수가 있다. 해발 50~100 m사이 지역에서는 요인이 3개 추출이 되었고, 요인 1은 TDS 함량, 요인 2는 오염의 영향과 광물용해로 볼 수가 있다. 요인 3에는  $\text{HCO}_3^-$  함량으로 나타났다. 해발 100 m 이상의 지역에서는 요인이 2개 추출되었고, 요인 1에는 TDS함량으로 요인 2는 오염물질과  $\text{Ca}^{2+}$  함량으로 나타내어지며 Cl<sup>-</sup>은 추출된 공통성이 15%에 불과하여 100 m 이상에서는 영향을 미치지 않는 것으로 볼 수가 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2000년도 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 제주도 환경보전기본계획, 제주도(1999).
2. Freeze, Cherry, Groundwater, (1979).
3. 박창근, "우리나라 지하수개발 가능량 추정", 지하수환경, 4(4), pp15~20(1999).
4. 박남식, 이용두, 중-동 제주 수역의 지하수 개발로 인한 해수침투, 지하수환경, 4(1), pp5~13(1997).
5. 건설부, 제주도 수자원 종합개발계획수립보

- 고서(1993).
6. 한정상, 지하수환경과 오염, 초판, 박영사, 서울 pp512~538(1998).
  7. R. David G. Pyne, Groundwater recharge and wells, Lewis Publishers, pp169~183(1995).
  8. W. Hounslow, Water Quality Data, Lewis Publishers, pp82~102(1995).
  9. 최순학, "제주도 수자원의 특성과 수질오염 연구(Ⅲ)", 과학기술원, pp1~57(1990).
  10. H.F.R. Reijnders, G. van Drecht, H.F. Prins, L.J.M. Boumans, "The quality of the groundwater in the Netherlands", *Journal of Hydrology*, 207, pp179~188(1998).
  11. 최순학, 김영기 "제주도 지하수의 수질특성", *대한지질학회지* 25(3), pp230~238(1989)
  12. 오순미, 김길성, 김세라, 김태현, 송영철, 강태조, 강지아, 김성홍, 고찬욱, "제주도내 샘터의 수질조사", *제주도보건환경연구원보*, 6, pp81~99(1995).
  13. 이인호, 이재영, 김동권, "대구시 지하수의 수질에 대한 지질학적 연구", *자원환경지질* 30(4), pp 327~340(1997).
  14. 이종운, 전효택, 전용원, "국내 화강암질내심부지하수의 지구화학적 특성", *지하수환경*, 4(4) pp199~211(1997).
  15. 고기원, "제주도 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성", 부산대학교 박사학위논문, pp15~17(1997).
  16. 김경훈, "제주도 동부지역의 지하수 염수화에 대한 이화학적 특성", *제주대학교 석사학위논문* pp14~16(1998).
  17. 김기영, 전명식, 다변량 통계 자료 분석, 자유아카데미, pp166~180(1997).