
석사학위논문

제주도 용천수의
수량변화와 수리화학적 특성

제주대학교 대학원

해양학과

박 상 윤

1996년 12월

제주도 용천수의 수량변화와 수리화학적 특성

지도교수 윤 정 수

박 상 운

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

1996년 12월

박상운의 이학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 최 영 찬



위 원 이 준 백



위 원 윤 정 수



제주대학교 대학원

1996년 12월

**Variation of Water Quantity and Hydrochemical
Characteristics of Spring Water in Cheju Island**

Sang-Woon Park

(Supervised by professor Jeung-Su Youn)

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

1996. 12

목 차

| | |
|-----------------------|-----|
| List of Figures | iii |
| List of Tables | vii |
| Summary | ix |
| I. 서 론 | 1 |
| II. 연구지역의 개요 | |
| 1. 지 형 | 4 |
| 2. 지 질 | 4 |
| 3. 수 계 | 5 |
| 4. 강수량 | 11 |
| 5. 용천수 | 12 |
| III. 재료 및 방법 | |
| 1. 용출수의 수량측정 | 14 |
| 2. 시료채취 및 분석방법 | 14 |
| IV. 결과 및 고찰 | |
| 1. 용천수의 수량변화 | 18 |
| 1-1. 중산간지역 | 18 |
| 1-2. 동부지역 | 18 |

| | |
|---|-----|
| 1-3. 서부지역 | 22 |
| 1-4. 남부지역 | 23 |
| 1-5. 북부지역 | 25 |
| 2. 28시간 용천수 수량변화 특성 | 27 |
| 3. 용천수의 수질특성 | 32 |
| 3-1. 총고용물질(TDS) | 32 |
| 3-2. 전기비전도도(SEC) | 37 |
| 3-3. 수소이온농도(pH) | 39 |
| 3-4. 나트륨(Na^+) | 41 |
| 3-5. 칼륨(K^+) | 44 |
| 3-6. 마그네슘(Mg^{2+}) 및 칼슘(Ca^{2+}) | 47 |
| 3-7. 염소이온(Cl^-) 및 황산이온(SO_4^{2-}) | 52 |
| 3-8. 질산성질소(NO_3^- -N) | 56 |
| 3-9. 중탄산이온(HCO_3^-) | 61 |
| 4. 전기전도도, pH, 양이온과 음이온간의 상관관계 | 64 |
| 5. 용출수 수질 다이어그램으로 본 수질특성 | 73 |
| 6. 수질 등농도선도 | 75 |
| V. 결 론 | 84 |
| VI. 참고문헌 | 96 |
| Appendix | 101 |
| 감사의 글 | 115 |

List of Figures

| | |
|--|----|
| Fig. 1. Study area and location of Cheju island. | 2 |
| Fig. 2. Geologic map of Cheju Island. | 6 |
| Fig. 3. East-West cross section of Halla Mt. | 7 |
| Fig. 4. South-North cross section of Halla Mt. | 8 |
| Fig. 5. Waterways of the study area. | 9 |
| Fig. 6. Monthly variation of precipitation from May, 1994 to May, 1996. | 11 |
| Fig. 7. Location of spring water sampling site. | 15 |
| Fig. 8. Monthly variaions of spring water quantity and mean precipitation in the middle mountain region. | 19 |
| Fig. 9. Monthly variaions of spring water quantity and mean precipitation in the eastern region. | 21 |
| Fig. 10. Monthly variaions of spring water quantity and mean precipitation in the western region. | 23 |
| Fig. 11. Monthly variaions of spring water quantity and mean precipitation in the southern region. | 24 |
| Fig. 12. Monthly variaions of spring water quantity and mean precipitation in the northern region. | 26 |
| Fig. 13. Variaions of spring water quantity and tidal level in the Youngyeonchun. | 28 |
| Fig. 14. Variaions of electrical conductivity and tidal level in the Youngyeonchun. | 29 |
| Fig. 15. Variaions of spring water level and tidal level in the Youngyeonchun. | 30 |

| | |
|---|----|
| Fig. 16. Variations of spring water temperature and tidal level in the Youngyeonchun. | 31 |
| Fig. 17. Monthly variations of electrical conductivity and precipitation. | 38 |
| Fig. 18. Monthly variations of hydrogen concentration and precipitation. | 40 |
| Fig. 19. Monthly variations of sodium concentration and precipitation. | 42 |
| Fig. 20. Graph of total dissolved solids(TDS) to sodium content. | 43 |
| Fig. 21. Monthly variations of potassium concentration and precipitation. | 45 |
| Fig. 22. Graph of total dissolved solids(TDS) to potassium content. | 46 |
| Fig. 23. Monthly variations of magnesium concentration and precipitation. | 48 |
| Fig. 24. Monthly variations of calcium concentration and precipitation. | 49 |
| Fig. 25. Graph of total dissolved solids(TDS) to magnesium content. | 50 |
| Fig. 26. Graph of total dissolved solids(TDS) to calcium content. | 51 |
| Fig. 27. Monthly variations of chloride concentration and precipitation. | 54 |
| Fig. 28. Monthly variations of sulphate concentration and precipitation. | 55 |
| Fig. 29. Graph of total dissolved solids(TDS) to chloride content. | 56 |

| | |
|---|----|
| Fig. 30. Graph of total dissolved solids(TDS) to sulphate content. | 57 |
| Fig. 31. Monthly variaions of nitrate concentration and precipitaion. | 59 |
| Fig. 32. Graph of total dissolved solids(TDS) to nitrate nitrogen content. | 61 |
| Fig. 33. Graph of total dissolved solids(TDS) to bicarbonate content showing evolutionary and mixing trends. | 62 |
| Fig. 34. Monthly variaions of bicarbonate concentration and precipitaion. | 64 |
| Fig. 35. Correlation of EC, cations and anions in the high mountain spring water. | 65 |
| Fig. 36. Correlation of EC, cations and anions in the middle mountain spring water. | 67 |
| Fig. 37. Correlation of EC, cations and anions in the low mountain spring water. | 70 |
| Fig. 38. Correlation of EC, cations and anions in the coast spring water. | 72 |
| Fig. 39. Trilinear diagram for representing analyses of Chejudo spring water quality. | 73 |
| Fig. 40. Isoconcentration line of electrical conductivity(EC)(μ S/cm). | 76 |
| Fig. 41. Isoconcentration line of hydrogen concentration(pH). | 77 |
| Fig. 42. Isoconcentration line of sodium(Na^+) concentration(ppm). | 78 |
| Fig. 43. Isoconcentration line of magnessium(Mg^{2+}) concentration (ppm). | 78 |

| | |
|--|----|
| Fig. 44. Isoconcentration line of calcium(Ca^{2+}) concentration(ppm). | 79 |
| Fig. 45. Isoconcentration line of potassium(K^{+}) concentration(ppm). in study area. | 80 |
| Fig. 46. Isoconcentration line of chloride(Cl^{-}) concentration(ppm). | 81 |
| Fig. 47. Isoconcentration line of sulphate(SO_4^{2-}) concentration (ppm). | 81 |
| Fig. 48. Isoconcentration line of nitrate nitrogen(NO_3^{-} -N) concentration(ppm). | 82 |
| Fig. 49. Isoconcentration line of bicarbonate(HCO_3^{-}) concentration (ppm). | 83 |

List of Tables

| | |
|--|-----|
| Table 1. Sampling locations. | 16 |
| Table 2. Data on spring water quantity from this study and the other related organizations and study. | 20 |
| Table 3. Concentration of TDS, SEC, pH, Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ -N, HCO ₃ ⁻ in spring water. | 34 |
| Table 4. Correlation coefficients among EC, pH, cations and anions in spring water of the high mountain region. | 66 |
| Table 5. Correlation coefficients among EC, pH, cations and anions in spring water of the middle mountain region. | 68 |
| Table 6. Correlation coefficients among EC, pH, cations and anions in spring water of the low mountain region. | 69 |
| Table 7. Correlation coefficients among EC, pH, cations and anions in spring water of the coast mountain region. | 71 |
| Appendix 1. Distributions of monthly precipitation during the study period. | 101 |
| Appendix 2. Variation of spring water quantity during the study period. | 102 |
| Appendix 3. Variation of spring water quantity, electrical conductivity, spring water level, spring water temperature for 28 hours in the Youngyeonchun. | 103 |
| Appendix 4. Concentration of total dissolved solids(TDS) in spring water(ppm). | 104 |
| Appendix 5. The electrical conductivity(EC) in spring water(μS/cm). | 105 |

| | |
|--|-----|
| Appendix 6. The hydrogen concentration(pH) in spring water. | 106 |
| Appendix 7. Concentration of sodium(Na^+) in spring water(ppm). | 107 |
| Appendix 8. Concentration of potassium(K^+) in spring water(ppm). | 108 |
| Appendix 9. Concentration of magnesium(Mg^{2+}) in spring water(ppm). | 109 |
| Appendix 10. Concentration of calcium(Ca^{2+}) in spring water(ppm). | 110 |
| Appendix 11. Concentration of chloride(Cl^-) in spring water(ppm). | 111 |
| Appendix 12. Concentration of sulphate(SO_4^{2-}) in spring water(ppm). | 112 |
| Appendix 13. Concentration of nitrate nitrogen($\text{NO}_3^- - \text{N}$) in spring water(ppm). | 113 |
| Appendix 14. Concentration of bicarbonate(HCO_3^-) in spring water(ppm). | 114 |

Summary

This study purposes to elucidate the effects of changes in precipitation and tide level on the spring water discharge quantity in Cheju Island. For this purposes, seasonal variations of discharge quantity have been measured at representative 19 springs covering the entire island. Local water quality and the evolutionary process of the spring water have been also studied with the samples from 55 selected springs, from the coast region to the Baegrodam, a caldera lake of Halla mountain.

In the middle mountain region, the discharge quantity is largely influenced by the precipitation, but it has a little relationship with the precipitation in the western region and the southern region. In the eastern region, influence of tide is larger than the precipitation, and the northern region is influenced by both precipitation and tide.

In the entire study area, the spring water discharge reaches at maximum in the wet season of July, and shows minimum in the dry season from December to February. The discharge variation in the middle mountain and north regions is two to three times as large as that in the other regions.

The comparison of the results of this study with existing data shows discharge incese at the Sinch'onk'mul(about $6,000\text{m}^3$) in the eastern region, Kwakgimul(about $7,000\text{m}^3$) in the western region, Kangjungchun (about $11,000\text{m}^3$; WRDC), Jaguri(about $5,000\text{m}^3$; AFDC), Gongchunpo (about $3,000\text{m}^3$) in the southern region, Yongyeanchun(about $1,500\text{m}^3$) in the northern region, while the discharge decrease at Sernurungmul(about $5,000\text{m}^3$) in the eastern region, Ongpochun(about $10,000\text{m}^3$) in the western

region, Hwasun Dokmul (about 1,500m³), Kangjungchun(about 28,000m³ ; AFDC), Jaguri(about 43,000m³ ; WRDC) in the southern region, Sanjimul (about 3,500m³), Oleamul (about 6,200m³) in the northern region.

In the Yongyeanchun, tide intimately influences quantity, electrical conductivity, level and temperature of spring water. The spring water in the Yongyeanchun discharges for 17 hours during the high tide, then undischarged for 11 hours during the low tide.

Results of hydrochemical analyses in the 55 spring water show that Gwaneumsa is polluted with high hydrogen concentration, and spring waters from Yusuarmchun, Jangsumul, Dukjisemmul, Sinch'onk'nmul, Youngchunsa, Woonyangchun, Harwontongmul, Dongheamul, Seakdalsengsu, Andukkyekok, Dotmul, Donmul, Harkangmul and Jungkeummul are polluted by the pollution sources of the surrounding ground. Spring waters of Samyang3suwon, Meungbusa, Sernurungmul, Tosanmul, Jungkeummul, Kwakgimul, Aewolharmul, Konemul and Nokgomul are also polluted because of the sea water intrusion.

The electrical conductivity and the concentration of nitrate nitrogen and bicarbonate increase when the precipitation increases and the concentration of sodium, chloride and sulphate decrease when the precipitation increases. The concentrations of potassium, magnesium and calcium are nearly independent of the precipitation.

The correlativity among ions of spring water in high mountain region shows that 13 factors are correlated each other : one shows higher correlativity correlation coefficient more than 0.900, four show moderate correlativity correlation coefficient between 0.800 and 0.899, and eight show lower correlativity correlation coefficient between 0.700 and 0.799. In the middle mountain region shows that 24 factors are correlated each other : four higher correlativity, thirteen moderate correlativity, seven lower correlativity. In the low mountain region shows 12 factors are correlated

each other : two higher correlativity, five moderate correlativity, five lower correlativity. In the coastal region shows 21 factors are correlated each other : twenty higher correlativity, one middle correlativity. Though factors among ions in the coast region was more than the middle mountain factors belonged to the correlativity was higher correlativity which was many in the coast region.

Quality characteristics of spring water through piper's trilinear diagram show complicated group of spring water. The high mountain region consists of groups of sodium or potassium type and bicarbonate type; the middle mountain region consists of groups of sodium or potassium type and no dominant type; the low mountain consists of groups of no dominant type and sulfate or nitrate type; the coast region consists of groups of sodium or potassium type and chloride type or no dominant type. These characteristics indicate that the spring waters are changed from bicarbonate type in the high and middle mountain regions into non-bicarbonate type in the coastal region, as the precipitated waters flow downslope.

I. 서 론

제주도는 육지로부터 140km 떨어져 있는 한반도 남쪽에 위치하는 화산섬으로 동서로 74km로 장축을, 남북으로 32km로 단축을 보이는 타원형 섬이다(Fig. 1). 지표지질은 주로 화산암과 화산쇄설층으로 구성되어 있다. 이들 화산암들은 높은 투수성을 갖기 때문에 지표수는 매우 회귀하다. 따라서 60년대 중반까지 적은양의 수자원 때문에 지역주민들은 많은 고생을 해왔으나, 1963년 지질조사를 시작으로 1970년 농어촌진흥공사가 설립되면서 본 도 전역에 걸친 세부지질조사와 지하수 부존 가능성 조사를 실시한 결과 본 도 지하심부에는 두꺼운 담수 lens가 존재한다는 결론을 얻고 1972년부터 오늘에 이르기까지 지하수 개발사업이 진전되고 있다(Choi, 1990). 이와같은 지하수 개발사업의 큰 성과는 제주도의 생활환경과 세계적인 관광지로 발돋움하는데 획기적인 발전을 가져왔으나 일부 해안지역과 인구 밀집 지역 지하수원의 과다사용으로 인한 기존 용천수의 용출량 및 지하수원의 원저한 감소 추세와 지하수 오염의 증가 및 지하수의 고염분함량등 그 이용면에서 여러가지 문제가 되두되고 있음이 또한 사실이다(고등, 1992, 1993; 김등, 1993, 1994; 김등, 1992; 김등, 1992; 유등 1985, 1986, 1989; 윤등, 1994).

제주도 지하수의 부존형태는 수리지질학적 특성에 의해 크게 상위지하수(High level groundwater), 기저지하수(Basal groundwater) 및 준기저지하수(Parabasal groundwater)로 대별되고 있다(Mink, 1991). 기저지하수는 섬지방이나 해안지역에서 볼 수 있는 지하수 부존상태로서 지표로부터 유입된 지하수가 바닷물과의 비중차(1:1.025) 때문에 담수체가 염수체위에 lens의 형태로 떠있는 상태로 부존하게 되는 것을 말하며, 기저지하수는 조천읍 신촌리에서 남원읍 남원리에 이르는 약 60km의 동부지역의 해안과 이지역의 바닷가에서 최대 7km 범위의 내륙으로 분포하고 있는 것으로 알려져 있다.

준기저지하수는 대수층 하부에 불투수의 경계를 이루고 있어 해안으로부터 조수(潮水)의 수평적 영향을 받지않는 지하수를 말하며 이와같은 형태의 지하수는 서부지역 해안지역과 북부지역 삼양, 신촌지점, 남부지역 서귀포의 자갈이 지역에 분포하고 있는 것으로 알려졌다(한국수자원공사, 1993).

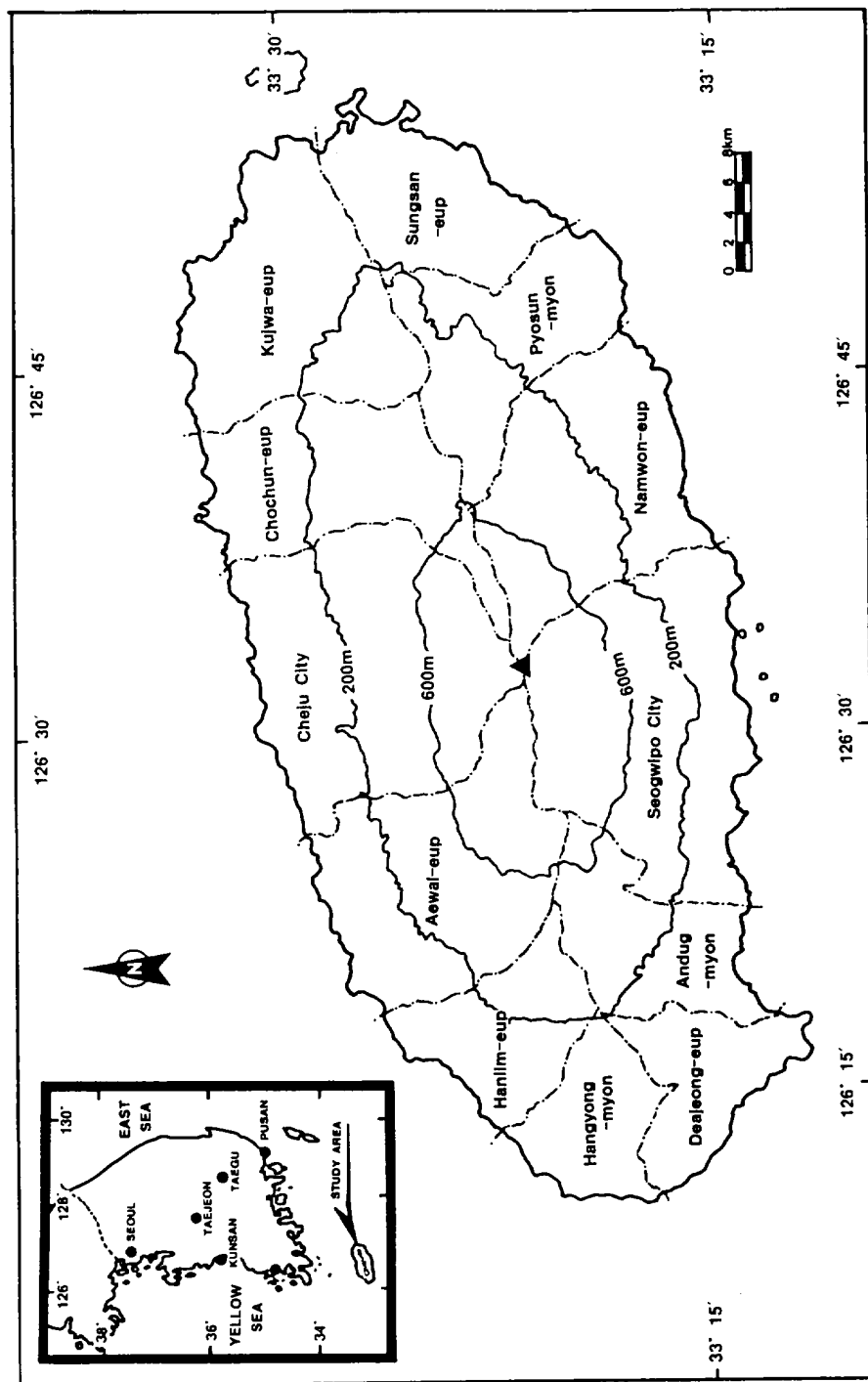


Fig. 1. Study area and location of Cheju island.

한편 상위지하수는 강수가 중력에 의해 투수성요소를 통하여 지하로 유하하다가 하부에 발달된 불투수층에 이르러 더 이상 수직강하를 하지 못하고 주수(perched groundwater)를 형성한 것으로 이들 상위지하수는 불투수층의 구배를 따라 용출하게 되어 주수형 용천수(perched spring)을 형성하기도 하는데 이러한 주수형태의 용천수는 영실, 구구곡, 어리목, 돈네코 등이 좋은예다(농진공, 1980)

본 도의 용천수는 일종의 지하수로서 두가지 형태로 분류될 수 있다. 하나는 상술한 상위용천수이며 또 하나는 이차 균열을 통하여 오랫동안 지하로 침투한 지하수가 수리지질학적 구배를 따라 해안변으로 유동하여 해수면과 접하게 되어 용출되는 기저용천수가 그것이다. 용천수는 도 전역에 산재하고 있으나 주로 해안선을 따라 용출되고 있으며 특히 일부가 고지대(해발 700m이상)와 산악지대(어승생, 영실등)에서 용출되고 있다.

또한 정량적인 추산은 불가하나 신촌 삼양등지의 해저에서 용출되고 있는 용출수는 막대한 양으로 보고 있다(이, 1992). 현재까지 알려진 전 도의 용출량은 약 300여개소에 $746,000\text{m}^3/\text{day}$ (ISWACO, 1981)이라고 되어 있으나 수량조사의 방법과 또는 계절의 영향에 따라 수량의 증감이 일어나고 있다.

제주도 지역에 부존하는 지하수의 양은 한정된 것으로 제주도의 지질조건에 따른 지하수 저장능력과 년중 강수량에 의해 결정되며, 제주도에서의 연간 지하수 소비량은 지하수 개발 가능한계량을 초과해서는 안될 것이다. 따라서 본 연구는 지하수원의 과다사용과 기타 도시화 및 개발 등에 따른 지하수맥의 단절등으로 인한 일부 기존용천수 용출량의 뚜렷한 증감여부를 과거자료(건설부, 1993)와 비교하여 제시하였고, 용천수량이 계절에 따라 증감이 일어나리라 예상되는 본도 전역에 산재되어 있는 용천수 중 비교적 수량측정이 양호한 중산간지대에서 3개지역, 해안지대 16개지역에서 매월 용출량을 측정하여 계절별 수량변화를 조사 하였으며, 조수위 영향에 따라 수량변동이 예상되는 지역을 대상으로 28시간 용출량변화를 측정하여 조석에 따른 용출량의 변화특성을 연구하였다. 또한 고도별로 용천수의 수리화학적 수질특성을 파악하기 위하여 한라산 백록담 담수호에서 해안가 용천수에 이르기까지 고도별로 시료수를 채취하고, 동일시기에 분석된 지하수 수질자료와 용천수의 수질자료를 컴퓨터에 입력하여 고도에 따른 수질의 오염 정도 및 오염경로 그리고 지역적으로 수질특성을 파악할 수 있는 수질 등농도선도를 작성하였다.

II. 연구지역의 개요

1. 지 형

제주도는 전체적으로 보아 쉴드화산(Shield volcano)에서 볼 수 있는 아스피테형 화산이다. 이러한 지형은 본도를 형성한 화산활동의 양상과 분출된 용암류의 점성도와 밀접한 관계가 있다. 즉 전반기에는 장축방향을 따라 점성이 낮은 비현정질 내지 감람석 반정의 현무암류가 주로 분출되어 경사도가 완만한 화산체를 형성하였고, 화산활동기의 후반기에는 한라산체 중앙부 주변에서 점성이 비교적 큰 장석반정 현무암이 다량으로 분출되어 한라산 화산체를 만들었다(건설부, 1993).

본도의 평면상의 모양은 장축의 길이가 약 74km이고, 단축의 길이가 약 32km인 타원체이며, 중앙부에 해발고도 약 1,950m인 한라산체가 있다. 한라산을 중심으로 동서사면은 매우 완만한 경사($3^{\circ} \sim 5^{\circ}$)를 이루고 있으나, 남북방향에서는 약간 급한 경사(5° 내외)를 보인다. 타원형의 장축 방향은 $N70^{\circ}E$ 로서 한반도의 남해안선과 나란하고 요동방향과 일치한다(건설부, 1993). 특히 백록담을 정점으로하여 해안에 이르는 완경사의 사면상에 소위 오름이라 불리우는 360여개에 달하는 기생 화산들이 본도의 장축방향(동북동~서북서)을 따라 대상으로 군을 이루면서 분포하고 있어 특색있는 경관을 이루고 있다(윤, 1995)(Fig. 1).

전체 지형은 해발고도와 경사도에 따라 해안가에서 해발고도 약 200m까지의 해안저지대, 200~400m사이의 중산간지대, 그 이상에서 한라산 정상부근까지의 한라산체 등으로 구분되며, 남북 양사면에는 대지상의 해안저지대와 중산간지대의 면적이 좁고 한라산체가 많은 부분을 차지한다(건설부, 1993).

2. 지 질

제주도의 지질은 화산분출암인 현무암류, 조면암류, 조면질안산암류와 화산분출물 및 화성쇄설퇴적암, 사구등으로 구성되어 있고 이밖에 노두로는 나타나지 않지만 화강암이 응회암내의 포획암으로 발견되며 감람석회석현무암의 분포가 시추조

사자료에서 확인되었다. 또한 제주시 사라봉 및 여러곳에서 화강암류가 발견되는 것으로 보아 중생대 화강암류가 본 도의 기저를 이루는 것으로 추정된다(제주도, 1994, Fig. 2).

현무암류는 침상장석감람석현무암, 반상휘석현무암, 비현정질현무암, 장석현무암등으로 나타나며 이들은 제주도 전체면적의 95%이상을 점유하고 있다. 침상장석감람석현무암과 비현정질현무암은 동서부 거의 전지역에 분포하며, 반상휘석현무암과 반상장석현무암은 동서부지역 일대와 성판악 북동지역에, 장석현무암은 산간지역(표고 600m 이상) 전역과 서귀포 일원에 걸쳐 분포한다(Fig. 3). 조면암 및 조면암질안산암류는 서귀포시 서홍동에서 중문동, 군산동 남부지역에 분포하여 산방산, 한라산 Dome등을 형성하고 있다(Fig. 4). 기생화산체는 350여개가 도 전역에 걸쳐 분포하나 장축방향의 배열이 우세하고 고산리에서 사계리를 거쳐 서귀포에 이르는 해안을 따라서는 불연속적으로 분포하며, 신양리, 성산일출봉, 두산봉, 우도 등에도 분포하는데 이들 대부분은 화산력(Lapilli), 분석(Cinder) 또는 화산재(volcanic ash)로서 준고결 내지 미고결 상태이다. 북동 해안과 협재리, 사계리 및 표선리 해안 일대에는 사구(sand dune)가 발달되어 있다(제주도, 1994).

3. 수 계

수계는 제주도의 지형 및 지질특성에 따라 특이한 양상을 나타낸다. 본 도의 하천은 대체로 한라산과 동서장축을 분수령으로 하여 약 60여개의 대소하천이 남류 또는 북류하며 본도의 동서부지역에서는 하천의 발달이 극히 빈약하다(김, 1992; Fig. 5).

하천 두부(head water)침식의 선단표고는 1,400~1,600m 정도이며, 하천의 수원은 거의 모두가 용천수에 기원을 두고 있다. 대부분의 하천은 유로상에 발달된 투수층과 절리구조를 통하여 유수가 지하로 침투하여 건천을 이루고 있으며, 강우시 일시적으로 유량을 갖는 간헐천의 특성을 갖고 있다. 건기에도 물이 흐르는 하천으로는 북류천중 도근천, 산지천, 한림천이 있고 남류천으로는 중문천, 강정천, 창고천등이 있으며 이들은 모두 하류지역 용천수에 그 수원을 두고 있다.

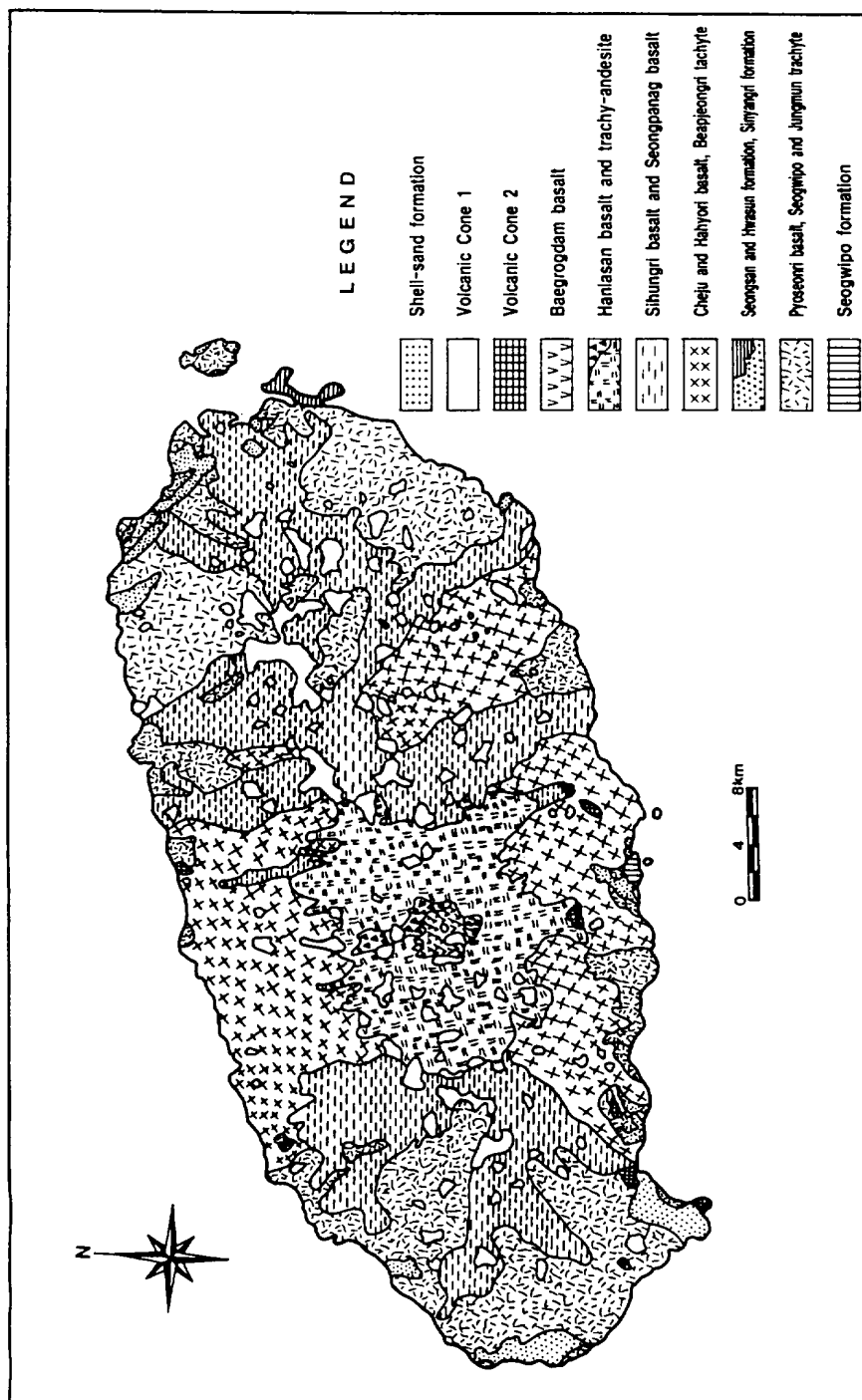


Fig. 2. Geologic map of Cheju Island.

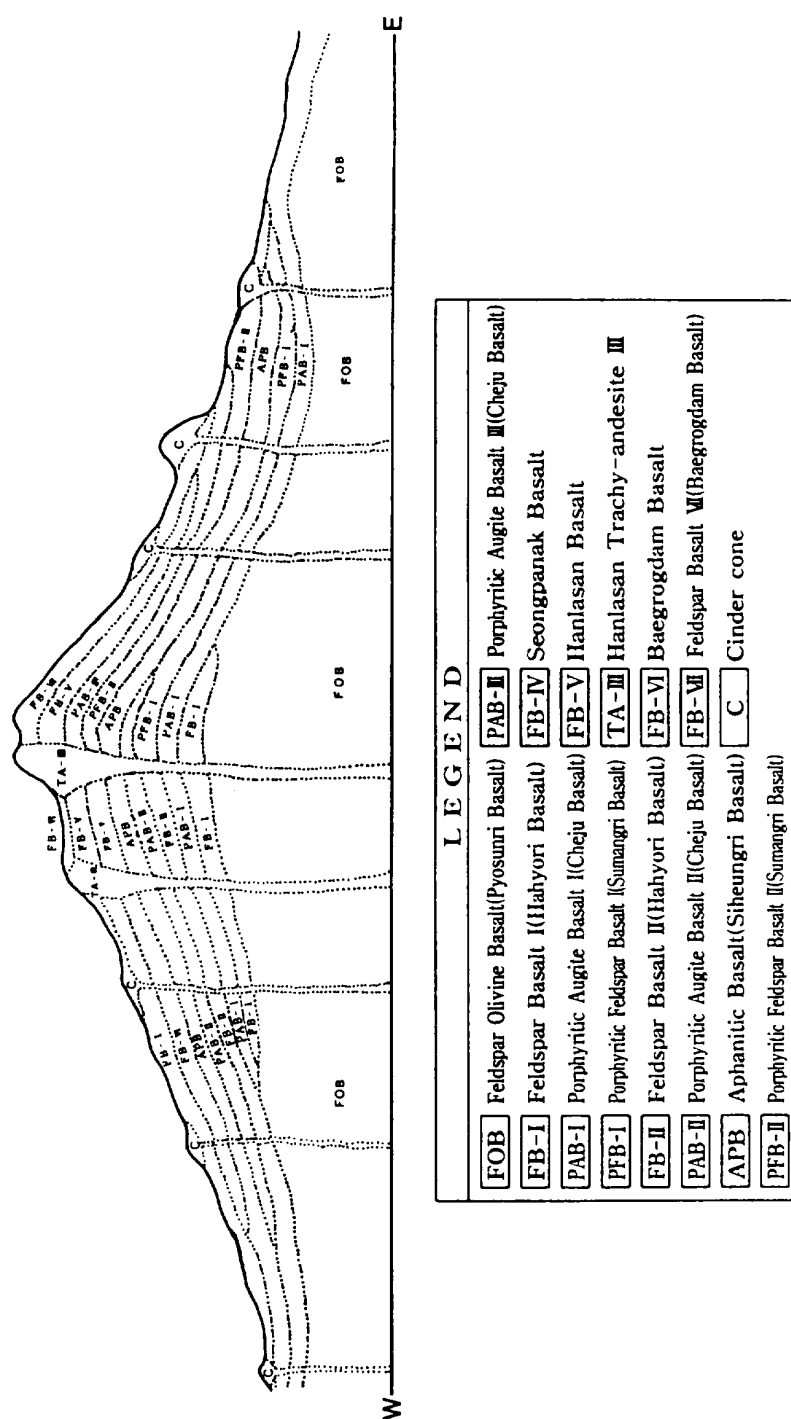


Fig. 3. East-West cross section of Halla Mt. (Chejudo, 1994).

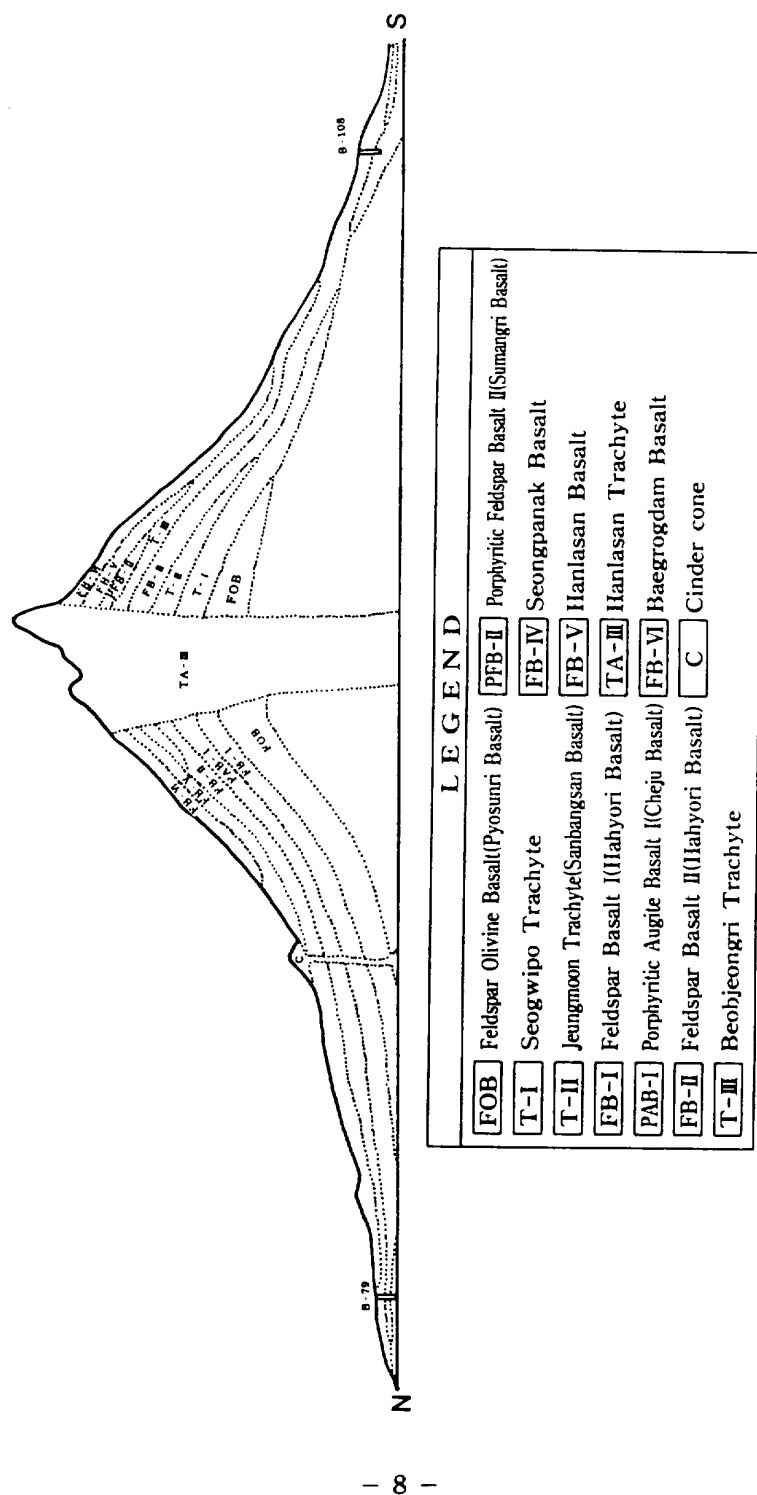


Fig. 4. South-North cross section of Halla Mt.(Chejudo, 1994).

유로연장이 20km이상되는 하천은 창고천, 천미천, 가마천, 서도천, 한남동천등 5개소 정도이며, 이중 천미천은 조천읍과 구좌읍을 지나 표선면과 성산읍을 경계로 남류하는 총연장 37.5km를 갖는 도내의 최대하천이다. 제주도 일원에서 확인된 용천수는 약 300개에 이르며, 해안변을 따라 180여개 이상의 용천수가 분포되어 있다. 일반적으로 용출량이 큰 용천수는 남부지역에 위치하고 있다(농어촌진흥공사, 1989)

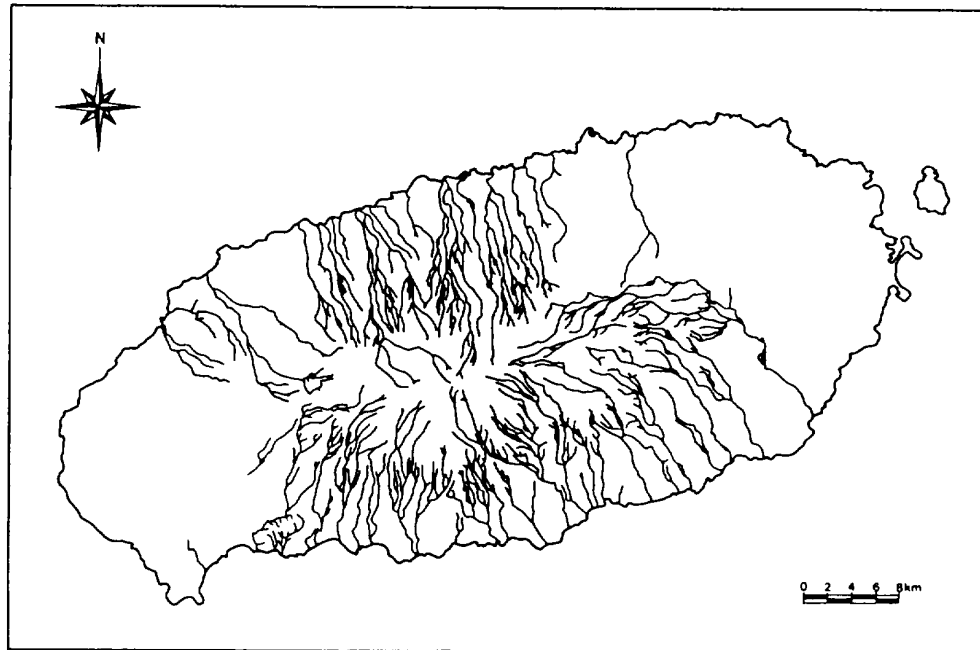


Fig. 5. Waterways of the study area(WRDC, 1993).

본도의 남사면과 북사면상에서의 하천발달의 양상은 약간의 차이를 나타낸다 (정등, 1985). 남사면의 하천들은 하류에서 20여m에 달하는 협곡을 형성하고 있는데 반하여 북류하는 하천들은 하류에서 하폭이 20~30m에까지 달하는 곡심은 3~4m에 불과하다. 남류하는 천지천, 천제천, 창고천등의 하류부에서는 깊이 40~50m의 심곡을 형성하고 있다. 한라산 서북 및 북측 사면상에 발달하는 계곡으로는 탐

라계곡, 골머리계곡 및 Y계곡등을 들 수 있다. 탐라계곡은 표고 1,472~1,840m 부근의 한라산 북벽을 발원지로 하여 16.8°의 기울기로 북행하며 소지류와 합류를 할 때까지 유수는 복류하다가 합류지점에서 용천수가 용출하기도 한다. Y계곡은 용천수가 연중 유출하는 현류지대가 길고 또한 군데군데 용출하는 지대가 있어 수자원 이용면에서도 중요한 위치에 있다. 현재 제주시 일부지역의 급수원인 한뽕저수지의 수원은 Y계곡이다. Y계곡의 수원은 해발 1,630m의 장구목을 발원지로 21.5°의 기울기로 서북류하는 동 어리목골과 백록담 서북벽을 기점으로 13.6°의 기울기로 북류하는 남 어리목골이 민대가리 동산을 사이에 두고 Y자형으로 해발 1,150m의 어리목 부근에서 합류가 된다. 골머리계곡은 북사면 하천중 예외적으로 상류근원지에 심곡을 이루는 용출하천이다. 계곡 동쪽에는 큰 두레밭, 작은 두레밭, 어승생악을 발원지로 하는 구구곡(九九谷)이 있으며 이곳은 높고 험준한 조면암류의 절리암벽에는 선녀폭포와 같은 폭포를 형성하고 있다.

한라산의 남측 및 남서측 사면상에 발달하는 계곡으로는 효돈천 계곡, 수악계곡, 영실계곡등을 들 수 있다. 효돈천 계곡은 백록담 남측벽을 원으로하는 두 지류가 방아오름(1,680m) 능선을 사이에 끼고 남행하다가 쌀오름(600m) 부근에서 합류하면서 서서히 동향하다 하원을 1,200~1,300m로 하는 소지류와 합류, 돈내코 부근에서 용출유출되면서 법호촌까지 계속된다.

수악계곡은 사라오름(1,332m) 남측에서 발원하여 2차수 지류가 되면서 보리악(750m)에서 합류되어 3차 본류가 되어 흐르다가 신에리 부근에서 성판악 동쪽을 원(源)으로 하는 눈고악(841m), 리듬악(537m) 동쪽을 흘러내려온 지류와 합류되고 4차수 본류가 되어 남하, 신에리를 지나 바다로 유입된다.

영실계곡은 표고 1,620m의 병풍바위를 발원지로 하며 10.8°의 기울기로 남서류하다 표고 820m 부근에서 합류된다. 영실계곡은 용출지대가 상류, 중류, 하류에 있다는 것이 특징이다. 상류의 영실계곡에서 용출유출하던 하천은 영실집단지설지구를 지나면서 복류하다 법정악 계곡에서 잠깐 용출유출하다 도순동을 지나 강정동 하류계곡에서 현류하천이 되면서 바다로 유입되고 있다. 이 밖에 크고 작은 계곡들이 산맥전역에 걸쳐 많이 분포한다.

4. 강수량

강수량은 용천수의 용출량에 가장 큰 영향을 주는 인자로 조사지역의 강수량은 제주, 고산고층, 서귀포, 성산기상관측소에서 1994. 5~1996. 5에 측정된 자료이다. 조사기간동안의 강수량은 Fig. 6과 같이 '95년 7월에 평균 581mm로 최대 강수량을 보였고, '94년 6월, 8월, 95년 5월, 8월에 각각 226.4mm, 345.3mm, 224.7mm, 240.7mm로 다른 월에 비하여 많이 나타났으며, '95년 12월에 16.2mm로 가장 적었고, '94년 11월, 12월, '95년 11월, '96년 2월에 각각 23.3mm, 29.2mm, 33.7mm, 26.9mm로 40mm미만이었으며, 특히 용출량 측정이 있었던 '95년 7월부터 '96년 5월사이 갈수기 기간에는 평균 29.6mm의 강수량을 보여 조사지역 용천

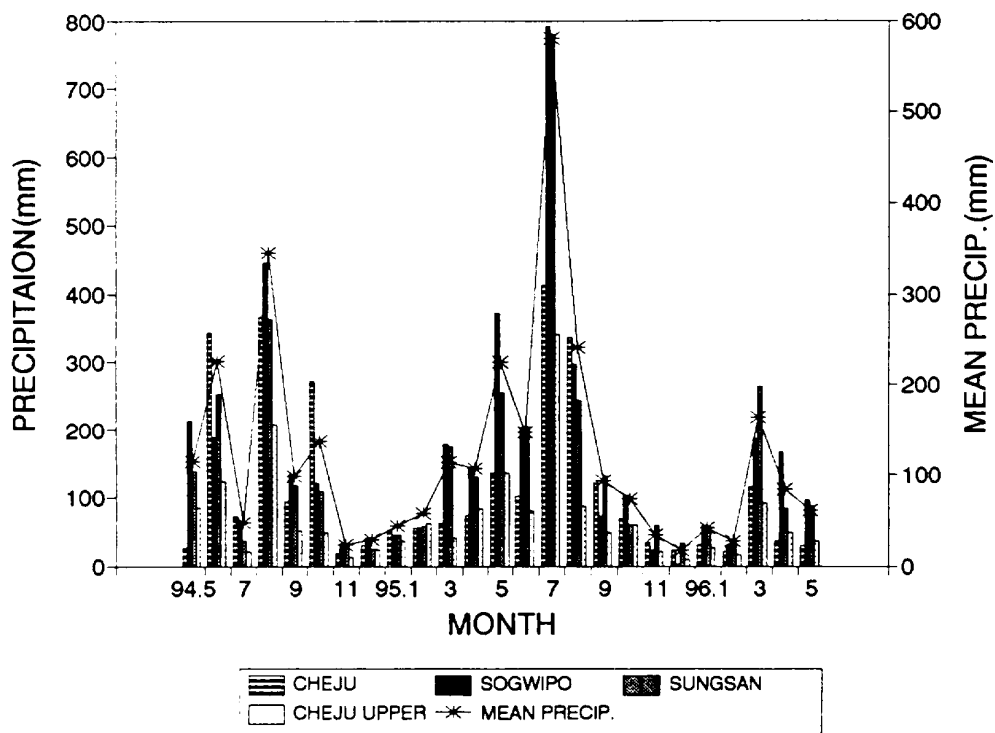


Fig. 6. Monthly variation of precipitation from May, 1994 to May, 1996.

수의 용출량을 감소시키는데 큰 영향을 미쳤다.

1994년 5월부터 1996년 5월까지 2년 1월동안 강수량의 분포를 보면 제주지역이 2,920.0mm(월평균 116.8mm), 서귀포지역이 4,057.9mm(월평균 162.3mm), 성산포 지역이 3,761.4mm(월평균 150.5mm), 고산고층지역이 1,792.2mm(월평균 71.7mm)로 서귀포지역이 4,057.9mm(월평균 162.3mm)로 최대를 보였고, 고산고층에서 1,792.2mm(월평균 71.7mm)로 최저를 보였으며 평균 강수량은 3,133.4mm(월평균 125.3mm)를 보였다.

5. 용천수

용천수는 여러 가지 특성에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다. 즉 물이 용출되어 나오는 공간의 크기, 지표로 지하수를 용출케하는 지질구조 및 외력, 대수층 암석의 성질 및 지질구조, 지하수가 유출되는 공간과 용출량, 용출량의 균일성과 용천의 수질 및 수온, 용천으로부터 생긴 현상등이다. 물이 용출되는 공간의 크기에 지배받는 용천수는 누수 및 투수용천, 파열용천 및 공동(空洞)용천으로 구분하며, 이는 주로 투수층에 발달된 수개의 구멍으로부터 지하수가 용출되는 용천수로서 용출량이 비교적 소규모적이다. 이에 비해 균열 및 공동용천은 전자보다 비교적 큰 암석내의 절리 및 파쇄대를 따라 지하수가 유출되는 용출수로서 큰 파쇄대를 통해서 지하수가 유출될 때는 파쇄대용천이라 하고, 절리면을 통해서 유출될 때는 절리용천이라 한다. 특히 용암이나 석회암 지대에서와 같이 용암터널이나 용해공동과 같이 비교적 큰 공간을 통해 지하수가 유출되면 이를 공동용천이라 한다. 지질구조와의 외력에 지배받는 용천수로는 중력용천과 피압용천등으로 들 수 있다(한, 1982). 중력용천이란 지구중력에 의해 지층의 공간을 통해 마치 하도(河道)에서 지표수가 흐르듯, 대수층으로부터 지하수가 지표로 흘러내리는 용천수이며, 이에는 상부투수층에 포함된 지하수가 하부 불투수층을 침투하지 못하고 그 경계면의 사면을 따라 흘러내려와 지표로 용출되는 용천수와 해수와 접하면서 해수의 동력학적인 작용에 의해 용출되는 기저용출수로 대별된다. 이에 비해 대수층위에 피압되어 있는 불투수층에 생긴 공간이나 틈을 따라서 압력을 받고 있던 지하수가 지표로 용출되어 나오는 용천을 피압용천이라 하며, 피압수면이 지표보다 높은 경우에 이러한

피압용천이 생성되는 것으로 알려져 있다.

제주도의 지표면은 주로 투수성이 큰 현무암류로 구성되어 있어 육지에 비해 강수의 지하수 함량량이 대단히 큰 지역이다. 지표면에 내린 강수는 투수성이 큰 지질층을 통하여 지하로 침투한 후 지하수를 형성하며, 수리지질적 특성에 의해 지하수 일부가 지표로 용출되어 용천수를 형성하고 있다.

제주도 일원에서 확인된 용천수는 약 300개에 이르며, 해안변을 따라 180여개 이상의 용천수가 분포되어 있다(농어촌진흥공사, 1989). 도내 산재된 용출수는 일종의 지하수로서 강수가 지하하부로 내려가다가 불투수층을 만나 지표로 나오는 어승생, 영실, 돈네코, 성판악, 선돌 등의 상위용출수(perched spring)와 지하하부로 침투한 지하수가 수리지질학적 구배를 따라 해안변으로 유동하여 해수면과 접하게 되어 용출하는 기저용출수(basal spring)로 구분할 수 있다(이, 1992; 최, 1993).

상위용출수는 소수이지만 용출량이 많고 상위에 오염원이 적어 수질이 양호한 용출수로 이루어져 있고, 기저용출수는 해안변에 위치하면서 지상의 인위적인 오염을 직·간접적으로 받고 있으며, 해수에 의한 수질변화가 두드러진 용출수로 이루어져 있다. 그리고 해저 항공원격탐사 결과 서귀포시 숲섬 부근(이, 1994), 신촌 및 삼양(이, 1992) 부근에서 많은양이 용출되고 있다.

III. 재료 및 방법

1. 용천수의 수량측정

강수량에 따른 용출수량의 변화정도를 조사하기 위해 1995년 7월부터 1996년 5월까지 매월 말일에 용출지점에서 용천수량을 측정하였다(Table 1, Fig. 7). 용천수량 측정방법으로는 유량이 많은 지역은 용천수 유로를 Box 모형으로 만들어 유속계(CM-1A Current Meter)를 사용하여 측정하고, 유량이 적은 지역은 규격 비이커(3,000, 5,000cc) 및 적당한 규격의 부위를 이용하여 측정하였다. 28시간 용출량 측정시 수온은 현장에서 수온온도계를 이용하였고, 용출수위 측정은 줄자를 이용하여 측정하였다.

2. 시료채취 및 분석방법

용천수의 수질분석을 위한 시료채취는 1994년 5월부터 11월까지와 1995년 3월부터 5월까지 10개월에 걸쳐 조사하였으며, 시료 채취장소는 한라산 백록담수호부터 해안변 용천수에 이르기까지 용천수가 분포하는 남부와 북부의 내륙지역과 해안지역을 중심으로 총 55개 지역에서 채수하였다(Table 1, Fig. 7). 용출수의 전기전도도(EC)와 pH는 현장에서 채수 즉시 측정하였고, 수질분석을 위해 시료는 1ℓ 폴리에틸렌 용기에 채수하고 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 즉시 양이온성분(Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})은 원자흡광광도계(PYE UNICAM SP9)로 각각 589.0nm, 766.5nm, 285.2nm, 422.7nm에서 분석하였고, 음이온 중 Cl^- 은 More법(질산은 적정법), NO_3^- -N는 살리실산나트륨법, SO_4^{2-} 는 Ion Chromatograph (DX 100)를 이용하여 분석하였으며, HCO_3^- 은 衛生試驗法・注解에 준하여 분석하였다.

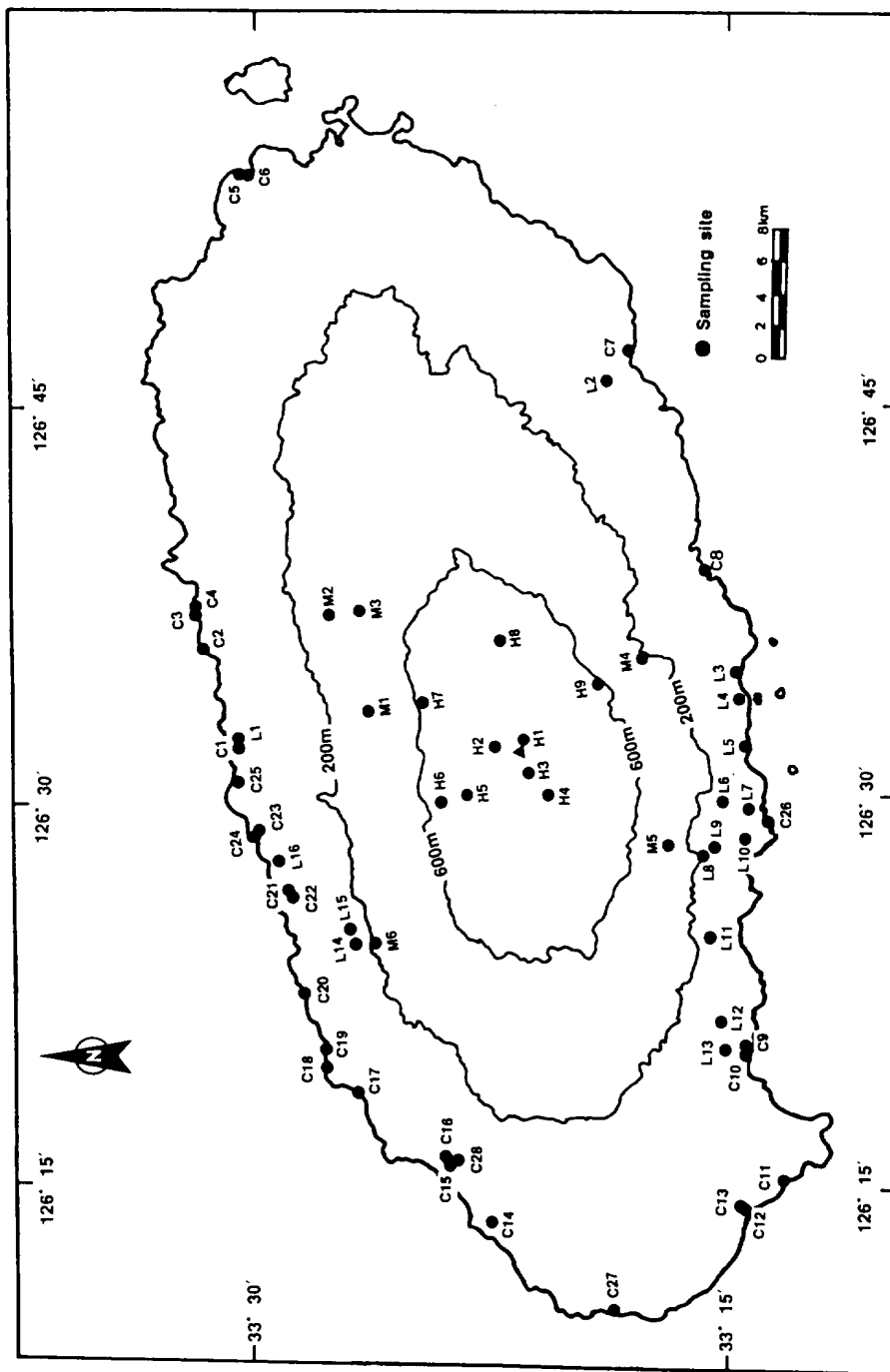


Fig. 6. Location of spring water sampling site.

Table 1. Sampling locations.

| Region | No. | Name | Location | Remarks |
|----------------------|-----|---------------|-----------------------------------|--|
| High (>600m) | H1 | Baegrogdam | Seogwipo-shi leepsuk-dong | Water Sampling |
| | H2 | Yongjingak | Cheju-shi yeunghyung-dong | Water Sampling |
| | H3 | Wiseorm | Seogwipo-shi leepsuk-dong | Water Sampling |
| | H4 | Yungsil | Seogwipo-shi hawon-dong | Water Sampling |
| | H5 | Öremok | Cheju-shi haeon-dong | Water Sampling |
| | H6 | Chunwangsa | Cheju-shi haeon-dong | Water Sampling |
| | H7 | Gwaneumsa | Cheju-shi yeunghyung-dong | Water Sampling |
| | H8 | Sungnealorm | Namcheju-gun namwon-eup namwon-ri | Water Sampling |
| | H9 | Namguksunwon | Seogwipo-shi leepsuk-dong | Water Sampling |
| Middle (200~600m) | M1 | Sanchundan | Cheju-shi ara-dong | Water Sampling |
| | M2 | Myeongdoarm | Cheju-shi bonggae-dong | Water Sampling |
| | M3 | Jealmul | Cheju-shi bonggae-dong | Water Sampling |
| | M4 | Donneako | Seogwipo-shi sanghyo-dong | Water Sampling |
| | M5 | Wonmansa | Seogwipo-shi wheasu-dong | Water Sampling |
| | M6 | Yusuarmchun | Pukcheju-gun aewal-eup kumduk-ri | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| Low (10~200m) | L1 | Keumsansuwon | Cheju-shi gunreep-dong | Water Sampling |
| | L2 | Youngchunsa | Namcheju-gun namwon-eup tosan-ri | Water Sampling |
| | L3 | Jungbangsuwon | Seogwipo-shi jungbang-dong | Water Sampling |
| | L4 | Chunjiyön | Seogwipo-shi chunji-dong | Water Sampling |
| | L5 | Burhwansosmul | Seogwipo-shi burhwan-dong | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | L6 | Woonyangchun | Seogwipo-shi yongwhung-dong | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | L7 | Kangjungsuwon | Seogwipo-shi kangjung-dong | Water Sampling |
| | L8 | Bebhwasa | Seogwipo-shi wheasu-dong | Water Sampling |
| | L9 | Harwontongmul | Seogwipo-shi harwon-dong | Water Sampling |
| | L10 | Dongheamul | Seogwipo-shi kangjung-dong | Water Sampling |
| | L11 | Saekdalsengsu | Seogwipo-shi saekdal-dong | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | L12 | Andukkyekok | Namcheju-gun andeogmyun gamsan-ri | Water Sampling |
| | L13 | Donmul | Namcheju-gun anduk-myun hwasun-ri | Water Sampling |
| | L14 | Jangsumul | Pukcheju-gun aewal-eup kosung-ri | Water Sampling |
| | L15 | Kusimul | Pukcheju-gun aewal-eup kosung-ri | Water Sampling |
| | L16 | Dukjisemmul | Cheju-shi leehe-dong | Water Sampling |

Table 1. Continued

| Region | No. | Name | Location | Remarks |
|-----------------|-------|-----------------|-------------------------------------|--|
| | C1 | Sanjimul | Cheju-shi gunreep-dong | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | C2 | Samyang3suwon | Cheju-shi samyang-dong | Water Sampling |
| | C3 | Sinch'onk'nmul1 | Pukcheju-gun cochun-eup sinch'on-ri | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | C4 | Sinch'onk'nmul2 | Pukcheju-gun cochun-eup sinch'on-ri | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | C5 | Meungbubsa | Pukcheju-gun kujwa-eup hardo-ri | Water Sampling |
| | C6 | Sernurungmul | Pukcheju-gun kujwa-eup hardo-ri | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | C7 | Tosanmul | Namcheju-gun namwon-eup tosan-ri | Water Sampling |
| | C8 | Gongchunpo | Namcheju-gun namwon-eup sinyea-ri | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | C9 | Dot mul | Namcheju-gun anduk-myun hwasun-ri | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | C10 | Harkangmul | Namcheju-gun anduk-myun hwasun-ri | Water Sampling |
| | C11 | Sineukmul | Namcheju-gun taejong-eup harmo-ri | Water Sampling |
| | C12 | Serlimsuwon1 | Namcheju-gun taejong-eup ilgwa-ri | Water Sampling |
| | C13 | Serlimsuwon2 | Namcheju-gun taejong-eup ilgwa-ri | Water Sampling |
| | C14 | Jungkeummul | Pukcheju-gun haniim-eup kumneng-ri | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| Coast (<10m) | C15 | Hallimsuwon | Pukcheju-gun haniim-eup Ongpo-ri | Water Sampling |
| | C16 | Moondumul | Pukcheju-gun haniim-eup Ongpo-ri | Water Sampling |
| | C17 | Kwakgimul | Pukcheju-gun aewal-eup kwakgi-ri | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | C18 | Aewolharmul | Pukcheju-gun aewal-eup aewal-ri | Water Sampling |
| | C19 | Konemul | Pukcheju-gun aewal-eup kone-ri | Water Sampling |
| | C20 | Nokgomul | Pukcheju-gun aewal-eup jungupm-ri | Water Sampling |
| | C21 | Weadosuwon | Cheju-shi weado-dong | Water Sampling |
| | C22 | Kumungmul | Cheju-shi weado-dong | Water Sampling |
| | C23 | Oleamul | Cheju-shi dodu-dong | Both Sampling and Measurement of Spring Water Quantity |
| | C24 | Magunmul | Cheju-shi dodu-dong | Water Sampling |
| | C25 | Yongyeunchun | Cheju-shi yongdam-dong | Measurement of Spring Water Quantity |
| | C26 | Jaguri | Seogwipo-shi seogwi-dong | Measurement of Spring Water Quantity |
| | C26-1 | Sojungbang | Seogwipo-shi seogwi-dong | Measurement of Spring Water Quantity |
| | C27 | Nokgomul | Namcheju-gun hangyong-myun kosan-ri | Measurement of Spring Water Quantity |
| | C28 | Ongpochun | Pukcheju-gun haniim-eup Ongpo-ri | Measurement of Spring Water Quantity |

IV. 결과 및 고찰

1. 용천수의 수량변화

1-1. 중산간지역

본도의 고지대 용천수는 주수(perched water) 형태의 상위지하수로부터 용출되고 있다. 기 조사된 중산간 및 고지대에 위치한 용출수는 현재까지 총 20개소에서 32,000톤/일가 용출되는 것으로 추정된다(건설부, 1993).

현재까지 기개발된 고지대 용천수는 어승생 및 구구곡 용천수를 비롯하여 성판악, 선돌, 돈내코, 가시머리등이 있다(건설부, 1993). 고지대 용천수는 부존량은 한정되어 있으나, 수질이 양호하고 자연유하식 용수공급이 가능하여 본도 중산간지역의 용수공급에 큰 역할을 하고 있다. 그러나 용출지점이 분산되어 있고 일부 몇 개소를 제외하면 용출량이 적고 강수량에 직접적인 영향을 받는 관계로 계절별 수량의 변화가 심하여 안정적인 용수공급에 어려움이 있다.

본 조사에서는 표고 160~210m의 비교적 저지대에 위치한 유수암천, 색달생수, 운량천등 3지역 용천수의 용출 수량변화를 관측하였다(Fig. 8, Table 2). Fig. 8에서와 같이 조사지역 용천수의 용출량은 강수량에 밀접한 영향을 받고 있음을 알수있었다. 1995년 7월 풍수기때 강수량이 581.0mm 내렸을때 이들 3곳 용천수의 용출량은 모두 증가 하였는데, 유수암천, 운량천이 각각 616톤, 1,500톤 정도가 용출되었고, 색달생수는 1530톤으로 최대의 용출량을 보였다. 그러나 갈수기인 '96년 1월에 유수암천이 68톤, 운량천은 4월에 544톤, 색달생수는 1월과 2월에 443톤정도로 용출량이 급격히 감소하였다. 그러나 '96년 3월에 164mm의 강수가 내렸을때 색달생수만 259톤 정도로 증가하였을뿐 유수암천과 운량천의 용출량은 감소한 것으로 보아 가뭄이 장기화되었음을 알 수 있다.

1-2. 동부지역

제주도 수자원종합개발 보고서(1993)에 의하면 동부지역에 분포하고 있는 지하수 부존형태별 용천수는 기저용출수로 보고 있으며, 150여개소의 용천수에서 약

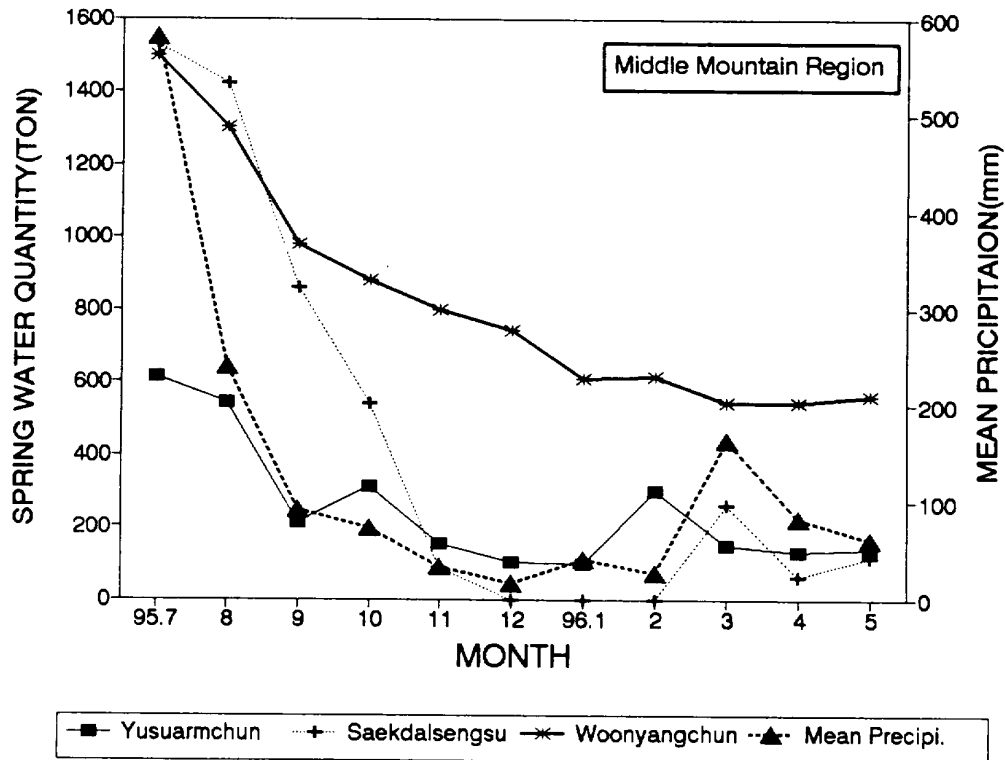


Fig. 8. Monthly variations of spring water quantity and mean precipitation in the middle mountain region.

374,390톤/일 정도가 용출하는 것으로 조사되었다. 이중에서 현재 개발되어 이용되고 있는 용천수는 토산, 세화, 어항, 온평, 말뚝, 신산, 신천등과 하도리지역에서 양어장 및 농업용수로 이용되는 용천수등이 있다(건설부, 1993). 이들 용천수 중 용출량이 10,000톤/일 이상의 이용율을 보이는 용천수는 11개소에서 약 188,180톤/일 정도가 용출되고 있으며 이용율은 약 50% 정도를 차지하고 있다(건설부, 1993).

본 지역의 용천량은 지하수함양량 추정치 2,046,000톤/일의 약 18%를 차지하고 있으며 그외의 많은 양의 지하수가 해안연변을 따라 유출되고 있음을 알 수 있다(건설부, 1993).

Table 2. Data on spring water quantity from this study and the other related organizations and study.

| Spring Resion | Spring site | Name | Spring Water Quantity(m ³) | | | | | | | Study Result(1996) | | |
|---------------|---------------------------|----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--|
| | | | MC | AFDC | WRDC | WRDC | AFDC | WRDC | | | | |
| | | | (1967) | (1970) | (1981) | (1982) | (1989) | (1993) | Min. | Max. | Avg. | |
| Middle Mt. | Aewaleup Kumdukri | Yusuarmchun | | | | | | | 98 | 616 | 250 | |
| | Seogwiposhi Saekdaldong | Saekdalsengsu | | | | | | | 0 | 1,530 | 443 | |
| | Seagwiposhi Yongwbungdong | Woonyangchun | | | | | | | 544 | 1,500 | 823 | |
| East | Jochuneup Sinch'onri | Sinch'onk'nmul | | 13,590 | | | 13,590 | | 7400 | 28,051 | 19,673 | |
| | Kujwaeup Hadori | Semurungmul | | | 18,000 | | | 18,000 | 8754 | 18,640 | 12,706 | |
| West | Aewaleup Kwakgeri | Kwakgimul | | | 12,000 | 10,000 | | 10,000 | 10001 | 29,630 | 16,742 | |
| | Haniimeup Ongpori | Ongpochun | 35,017 | | 40,000 | 30,000 | 39,650 | 30,000 | 16610 | 56,450 | 28,628 | |
| | Haniimeup Haniihri | Jungkeummul | | | | | | | 0 | 12,350 | 4,849 | |
| | Hangyongmyun Kosanri | Nokgomul | | | | | | | 50 | 186 | 106 | |
| South | Andukmyon Hwasunri | Dotmul | | 3,740 | 3,600 | 2,000 | 3,740 | 2,000 | 1383 | 3,800 | 2,199 | |
| | Seogwiposhi Kangjungdong | Kangjungchun | | 64,570 | 24,000 | 25,000 | 64,570 | 25,000 | 30,551 | 49,850 | 36,901 | |
| | Seogwiposhi Burhwadong | Sosmul | | 15,650 | | | | | 9971 | 19,500 | 13,118 | |
| | Seogwiposhi Seogwidong | Jaguri | | 4,480 | 50,000 | 53,800 | 4,480 | 53,800 | 8160 | 15,630 | 10,512 | |
| | Seogwiposhi Seogwidong | Sojungbang | | 5,210 | 5,500 | 5,000 | 5,210 | 5,000 | 2200 | 4,750 | 3,228 | |
| | Namwoneup Shinyeori | Gongchunpo | | 6,120 | | | 6,120 | 6,120 | 5630 | 14,530 | 9,143 | |
| North | Chejushi Gunreepdong | Sanjimul | | 10,410 | | | 10,410 | 10,410 | 2310 | 12,860 | 7,065 | |
| | Chejushi Dodudong | Oleamul | | 6,050 | | | 13,000 | 13,000 | 0 | 20,310 | 6,890 | |
| | Chejushi Yongdamdong | Yongyeanchun | | | 3,000 | 3,000 | | 3,000 | 0 | 10,268 | 4,527 | |

Note : * MC : The Ministry of Construction

* AFDC : The Agriculture and Fishery Development Corporation

* WRDC : The Korea Water Resources Development Corporation

본 조사에서는 신촌리 신촌큰물과 하도리 서느렁물 2지역의 용출수량의 변화를 관측하였다(Fig. 9, Table 2). Fig. 9에서와 같이 용출량이 중산간지역 보다 강

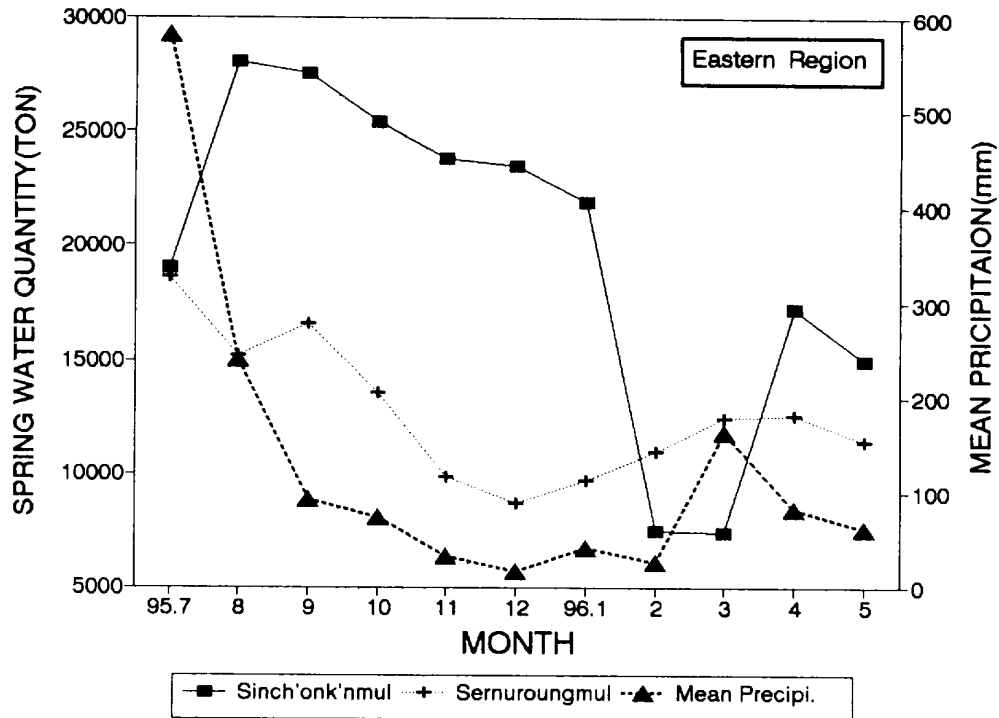


Fig. 9. Monthly variations of spring water quantity and mean precipitation in the eastern region.

수량에 덜 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 신촌큰물과 서느렁물은 갈수기와 풍수기에 관계없이 연중 마르지 않고 용출되었으며, 7월 풍수기때 각각 28,051톤, 18,640톤이 용출되어 최대 용출량을 보였고 신촌큰물인 경우 96년 3월에 7,400톤으로 최소를 보였으며, 서느렁물은 12월 8,754톤으로 최소를 보였다. 평균 용출량은 각각 19,673톤, 12,706톤으로 신촌큰물인 경우 농진(1970, 1989) 측정치 보다

약 6,000톤이 많았으며, 서느령물은 수공(1981, 1993) 추정치 보다 약 5,000톤이 적었다(Table 2). 신촌큰물인 경우 2, 3월달에 용출량이 급격히 감소하는 현상을 보였는데 이는 이기간 동안에 가뭄이 최대였음을 나타내고 있다. 한편, 서느령물은 Fig. 9에서와 같이 용출수량이 월별 변화가 조석의 영향에 따라 정현곡선(sine curve)을 그리며 운동하고 조석에 따라 용출량의 증감이 발생하고 있음을 알 수 있었다.

1-3. 서부지역

서부지역의 용천수 산출상태는 주로 기저 또는 준기저용천수로 추정하고 있다(건설부, 1993). 본 지역의 용천수는 총 103개소에서 157,600톤/일가 용출하는 것으로 조사되었다. 이 중에서 현재 개발되어 이용되고 있는 용천수는 웅포천, 서림용천수등이 있으며, 약 10,000톤/일 이상의 용출량을 보이는 용천수는 5개소 정도가 분포하며 이곳에서 용출량은 약 91,000톤/일 정도로 본 지역 용출량의 58%를 차지하고 있다(건설부, 1993)

본 조사에서는 광지물, 웅포천, 정금물, 늑고물 4지역 용천수의 용출수량변화를 관측하였다(Fig. 10). Fig. 10에서와 같이 용출량의 변화는 강수량의 정도에 약하게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 웅포천과 광지물은 연중 마르지 않고 용출되었으며, '95년 7월 풍수기때 각각 56,450톤, 29,630톤이 용출되어 최대 용출량을 보였고, 두지역 모두 '96년 3월에 16,610톤, 10,001톤으로 최소를 보였으며, 최대 용출량과 최소치와의 차는 각각 39,840톤, 19,629톤으로 웅포천이 더많은 변화폭을 보였다. 평균 용출량은 각각 28,629톤, 16,742톤으로 웅포천인 경우 농진(1989) 추정치 보다 약 10,000톤정도 줄어든 양이었고 수공(1981, 1993) 추정치와는 거의 일치하는 양이었으며, 광지물은 수공(1981, 1982, 1993)보다 약 7,000톤/일이 증가된 양으로 조사되었다(Table 3, 4). 정금물은 12월과 1월 갈수기인 동절기에 용출되지 않았고 7월 풍수기때 12,350톤이 용출되어 최대 용출량을 보였으며, 최대 용출량과 최소 용출량의 차이는 12,350톤을 보여 평균 4,849톤이 용출되었다.

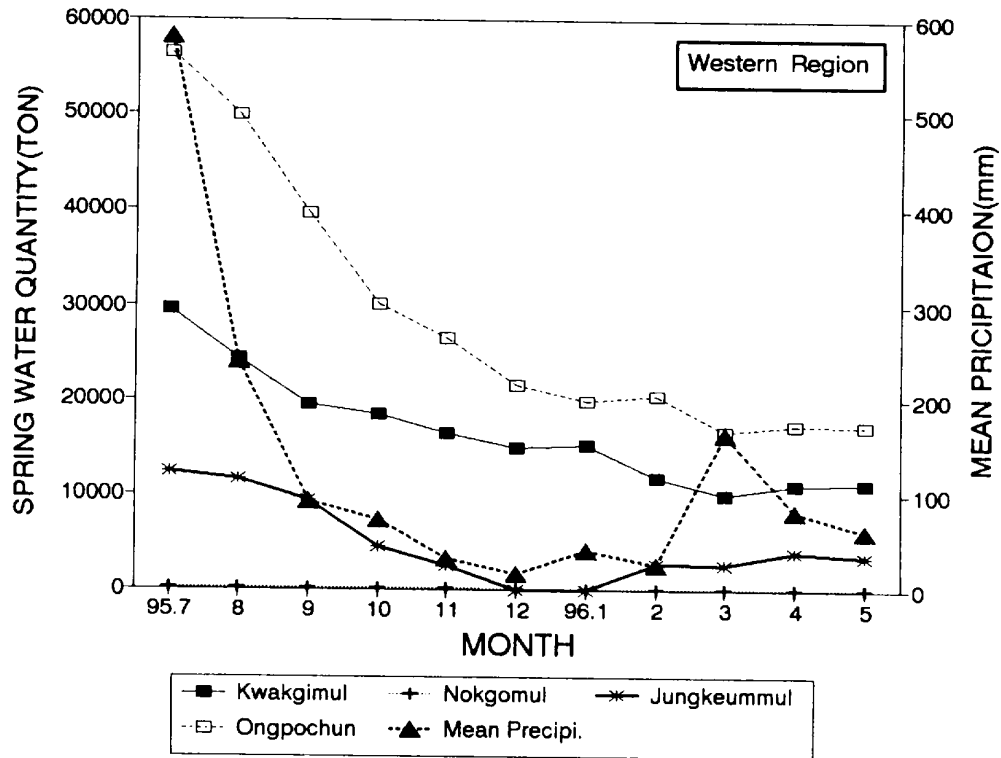


Fig. 10. Monthly variations of spring water quantity and mean precipitation in the western region.

1-4. 남부지역

남부지역의 용천수 산출상태는 상위용천수로 보고있다(건설부, 1993). 본 지역의 용천수는 총 67개소에서 약 320,940톤/일 정도가 용출하는 것으로 조사되었다. 이 중에서 현재 개발되어 이용되고 있는 용천수는 강정천, 천제연, 정방 용천수가 있으며, 약 10,000톤/일 이상의 용출량을 보이는 용천수는 8개소 정도가 분포하고 있으며 이곳에서의 용출량은 약 177,410톤/일 정도로 본 지역 용출량의 55%를 차지하고 있다(건설부, 1993).

본 조사에서는 화순돛물, 큰강정물, 법환솥물, 자굴이, 소정방, 공천포등 6지점의 용출량의 수량변화를 관측하였다(Fig. 11). Fig. 11에서 보는바와 같이 갈수기

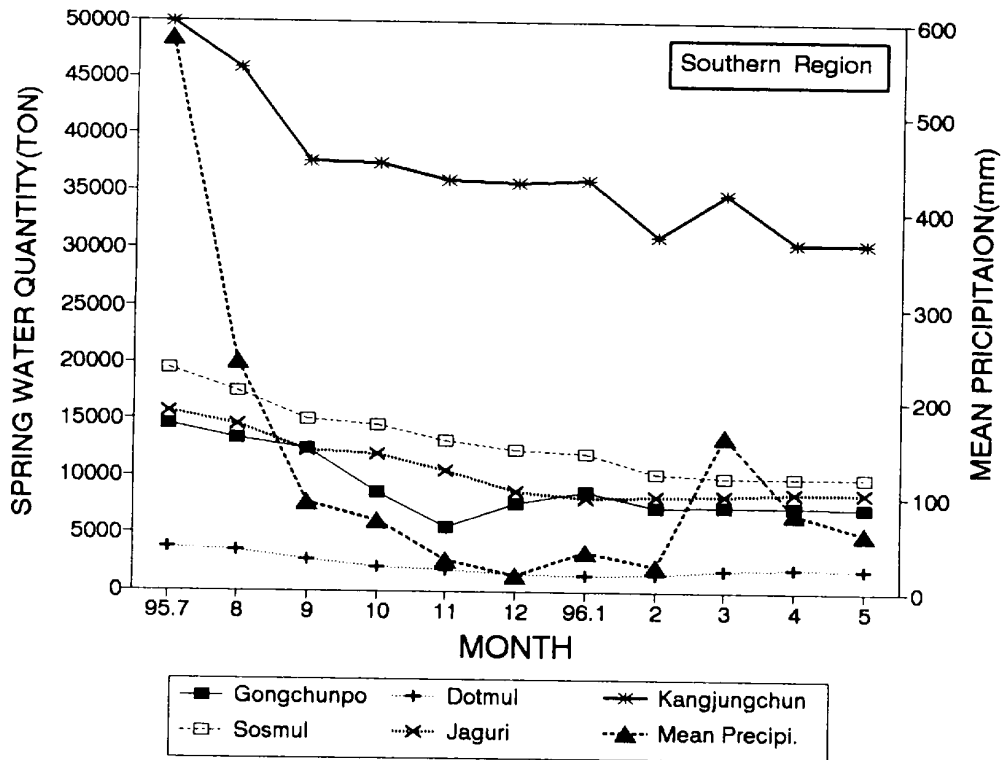


Fig. 11. Monthly variations of spring water quantity and mean precipitation in the southern region.

에 마르지 않고 전지역 모두 연중 용출하고 있으나 용출수량은 강수량의 변화에 큰 영향을 받고 있었다. 강수량이 가장많은 7월에 공천포가 14,530톤, 화순돛물이 3,800톤, 강정천이 49,850톤, 법환솥물이 19,500톤, 소정방이 4,750톤, 자굴이가 15,630톤으로 이들 모두가 최대 용출량을 보였으나 갈수기때인 1월에 화순돛물과 자굴이는 각각 1,383톤, 8,100톤, 4월에 강정천과 법환솥물은 30,551톤, 9,971톤, 5

월에 소정방이 2,200톤, 11월에 공천포가 5,630톤으로 최소의 용출량을 보였다. 특히 공천포가 11월에 최소 용출량을 보인 것은 강수량의 영향보다는 일시적으로 상부지역(롯데공장)에서 공업용으로 취수를 하였기 때문으로 사료된다.

연구지역에서 기 조사된 자료와 비교하여 보면(Table 2) 화순돛물인 경우 수공(1981, 1993)과는 비슷하지만 농진(1970, 1989) 조사자료 보다 약 1,500톤 정도가 감소했다. 큰강정물은 수공(1981, 1982, 1993)보다 11,000톤이 증가한데 반해 농진(1970, 1989)보다는 약 28,000톤이 감소한 값을 보였다. 법환돛물은 농진(1970)보다 약 2,500톤이 감소한 값을 나타냈으며, 자굴이는 농진(1970, 1989)보다 약 5천톤이 증가했으나 수공(1981, 1982, 1993)보다는 약 44,000톤이 감소한 값을 보였으며, 소정방은 용출량이 약 2,000톤이 감소한 값을 나타냈고, 공천포는 약 3,000톤이 증가한 값을 보였다.(Table 3, 4).

1-5. 북부지역

북부지역의 용천수 산출상태는 상위용천수 또는 준기저용천수인 것으로 알려져 있다(건설부, 1993). 용출량 기준으로 약 10,000톤/일 이상이 용출되고 있는 용천수는 현재 개발되어 이용되고 있는 삼양, 금산, 외도 용천수를 포함하여 8개소로서 용출량은 약 156,380톤/일에 이르러 본 지역 총용출량 약 225,280톤/일의 약 69%의 비중을 차지하고 있다(건설부, 1993).

본 조사에서는 산지물, 오래물, 용연천등 3지역 용출량의 수량변화를 관측하였다(Fig. 12). Fig. 12에서와 같이 산지물만이 갈수기와 풍수기에 관계없이 연중 용출하며 오래물은 1월에서 4월까지 용출되지 않고, 용연천은 12월에 용출되지 않았다. 특히 오래물은 강수량의 정도에 많은 영향을 받아 1995년 7월 강수량이 581.0mm정도 내렸을 때 용출량은 12,860톤/일로 최대치를 보였고 산지물도 영향을 받아 7월말에 20,310톤/일로 용출량이 많이 증가하였으며, 산지물은 3월에 2,310톤으로 최저용출량을 기록했다. 용연천은 10월에 10,268톤으로 최대 용출량을 보이고 12월에 최저용출량을 기록했다. 평균 용출량은 산지물, 오래물, 용연천이 각각 7,065톤, 6,890톤, 4,527톤이 용출되었으며 산지물은 농진(1970, 1989), 수공(1993)의 기존자료 보다 약 3,500톤이 감소했고, 오래물은 농진(1970)의 조사결과

와는 비슷하나, 수공(1993)의 자료보다는 6,200톤이 감소했다. 용연천은 수공(1981, 1982, 1993)의 자료보다 1,500톤이 증가하여 전반적으로 이들 기존자료와 많은 차이를 보였는데 이는 이들기관의 용출량 측정시기가 월별로 주기적인 측정없이 최대 혹은 최소 용출시기에 일시적인 용출량 측정이 행하여 졌기 때문으로 사료된다.

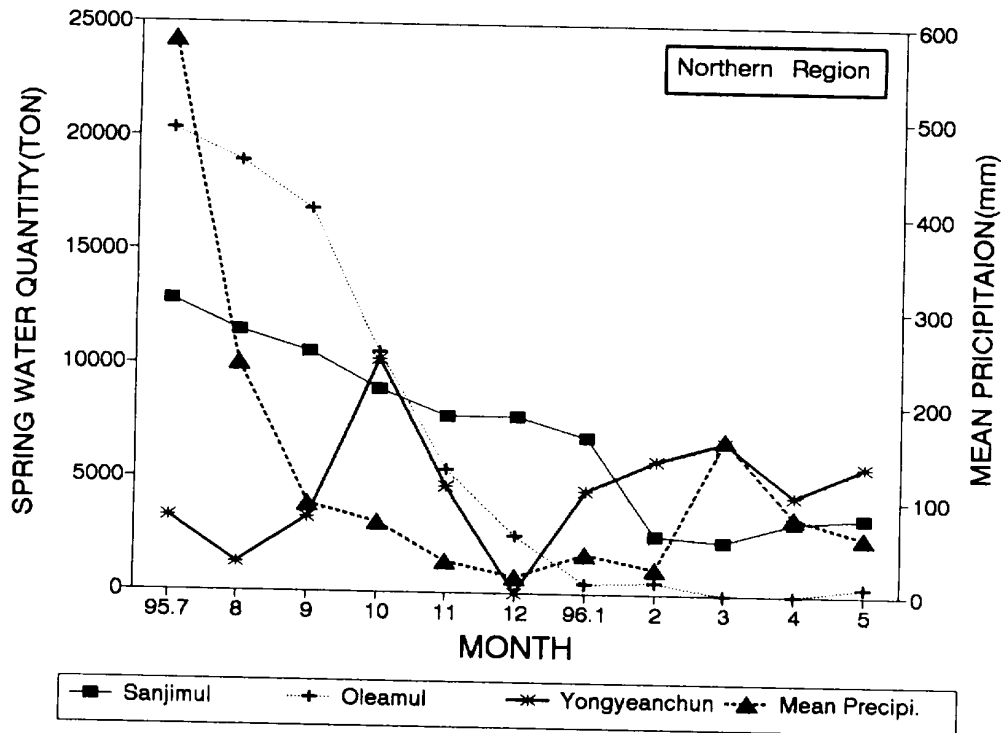


Fig. 12. Monthly variations of spring water quantity and mean precipitation in the northern region.

본 조사결과와 몇몇기관에서 조사한 용출수량과는 다소 차이를 보이는 곳이 많은데, 동부지역의 신촌큰물(약 6,000톤), 서부지역의 광지물(약 7,000톤), 남부지역

의 강정천(약 11,000톤 ; 수공), 자굴이(약 5,000톤 ; 농진), 공천포(약 3,000톤), 북부지역의 용연천(약 1,500톤)은 용출량이 기존자료보다 증가한 반면, 동부지역의 서느령물(약 5,000톤), 서부지역의 용포천(약 10,000톤), 남부지역의 화순돛물(약 1,500톤), 강정천(약 28,000톤 ; 농진), 자굴이(약 43,000톤 ; 수공), 산지물(약 3,500톤), 오래물(약 6,200톤)은 기존자료보다 용출량이 감소한 것으로 조사되었다. 이와같이 본 조사와 기존자료와 차이를 보이는 것은 기존 조사자료들이 월별로 장기적인 용천수량 측정이 이루어지지 않았기 때문으로 사료된다. 따라서 이와같은 차이를 보완하기 위해서는 지정된 곳에 용출수 모니터링 시스템을 설치하여 월별 혹은 일별로 용천수량의 장기적인 측정이 필요한 것으로 사료된다. 윤(1994)에 의하면 그간의 제주도의 평균지하수위 강하량이 개발당시보다 전반적으로 1.37m나 하강하였음을 지적하였는데, 이러한 증거들은 해안지대 용천수를 조사하여 보면 기 사용되었던 용천수가 용출되지 않음으로써 사용하지 않는곳을 여러곳에서 확인되었다. 이는 지하수 부존량이 상당히 감소 하였음을 보여주는 것으로서, 대표적인 지역에 용출수 모니터링 시스템을 설치하여 용출수량의 변화과정을 규명함으로써 적정 지하수 사용량을 조절할 수 있을 것으로 사료된다. 즉 어느지역의 용출수량이 급감하였을 경우나 기존용출수의 유출이 중지되었을 때는 지하수 사용량이 공급량보다 많았음을 보여주는 것이며, 이러한 상태에서 계속적으로 지하수를 사용한다면 해수침입과 같은 문제점들이 발생할 것으로 사료된다.

2. 28시간 용천수 수량변화 특성

본 연구지역 중 북부지역 용연천은 제주시 용담동에 위치하며 간조시에는 용출이 일시 멈추었다가 만조시에만 용출되는 특이한 특성을 갖는 지역이다. 제주도에 산재하는 해안용출수중 이와같은 특성을 갖는 용출수가 많으리라 사료되어 96년 5월 4일 14시부터 5월 5일 17시까지 매 1시간씩(용출시에는 30분 간격으로) 28시간동안 조수위에 따른 용천수의 용출량의 변화, 전기전도도, 용출수위, 용출수온을 동시에 측정하였다.

Fig. 13은 조수위에 따른 용출량이 정현곡선을 그리며 운동하고 있음을 보여

주는 데, 최저조시에는 약 2시간전(5월 4일 15시), 저조시에는 약 1시간전(5월 5일 05시)에 용출이 멈추고, 최저조 및 저조 약 3시간 후(5월 4일 20시, 5월 5일 09시)에 용출이 시작되어 최고조 및 고조 약 1시간 후(5월 5일 0시, 12시) 최대 용출량을 보였다. 28시간동안 용출되는 기간은 17시간이었고 용출이 멈춘기간은 11시간이었으며 최대용출량은 최고조 시간 약 1시간 후인 0시에 29,500톤/일이었고, 최소 용출량은 0톤/일로 용출이 일시 중단된 상태였으며, 평균 용출량은 7,294톤/일이었다.

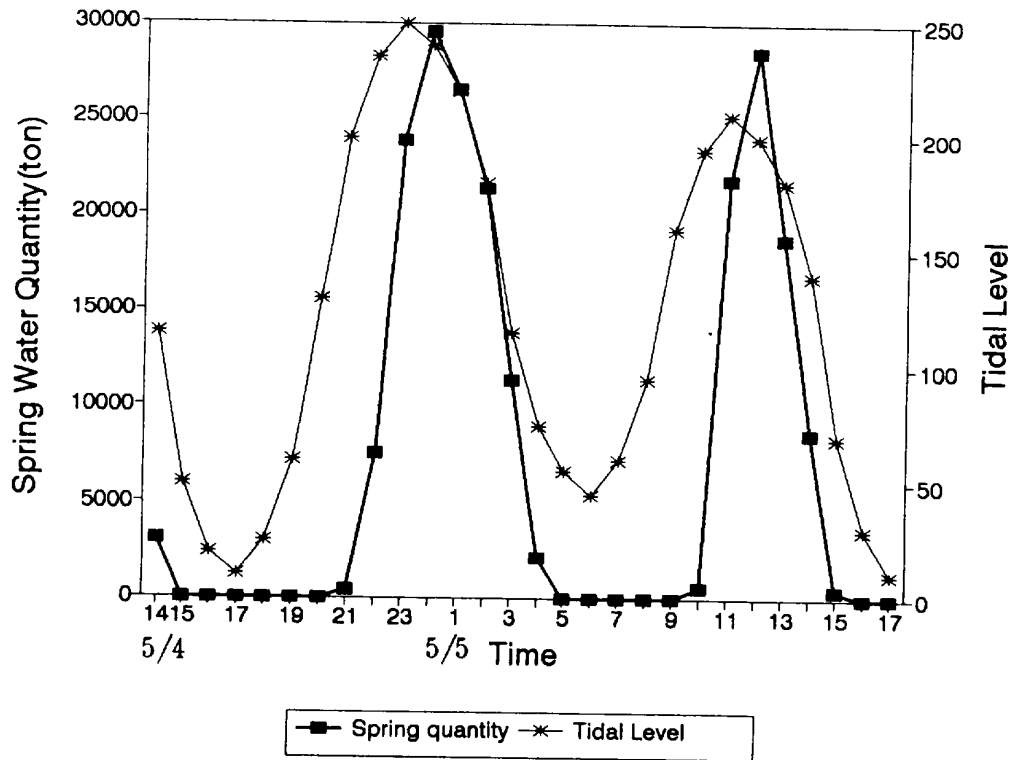


Fig. 13. Variations of spring water quantity and tidal level in the Youngyeonchun.

Fig. 14는 조수위에 따른 전기전도도의 변화를 보여주는 것인데, 5월 4일 19

시부터 21시 까지를 제외하고는 조석에 따라 전기전도도가 유사하게 증감하고 있음을 볼 수 있다. 최고조 약 3시간 후(5월 5일 01시) 1,115 μ S/cm로 가장 높았고, 최저조 약 1시간 전(5월 4일 16시)에 372 μ S/cm로 가장 낮았다.

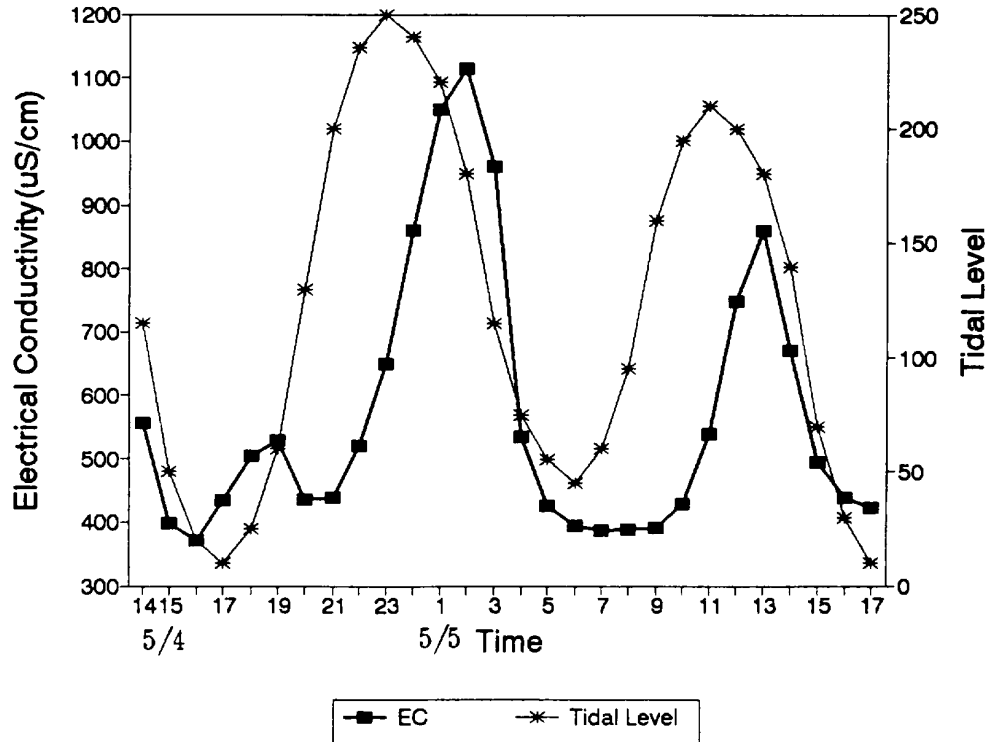


Fig. 14. Variations of electrical conductivity and tidal level in the Youngyeonchun.

연구지점의 구조물은 용출이 멈춘후에도 용출수가 줄어드는 것을 확인할 수 있는 곳으로 용출수위의 측정이 양호하였다. Fig. 15는 조수위에 따른 용출수위의 변화를 보여주는 것인데, 조수위와 약 1시간 간격을 두고 조석의 영향을 밀접하게 받고 있음을 볼 수 있다. 최저조 1시간후(5월 4일 18시) 최대 -86cm 용출수위가 하강하였으며 최고조 및 고조 약 1시간후(5월 5일 0시, 12시) 58cm로 용출수위가

올라갔다.

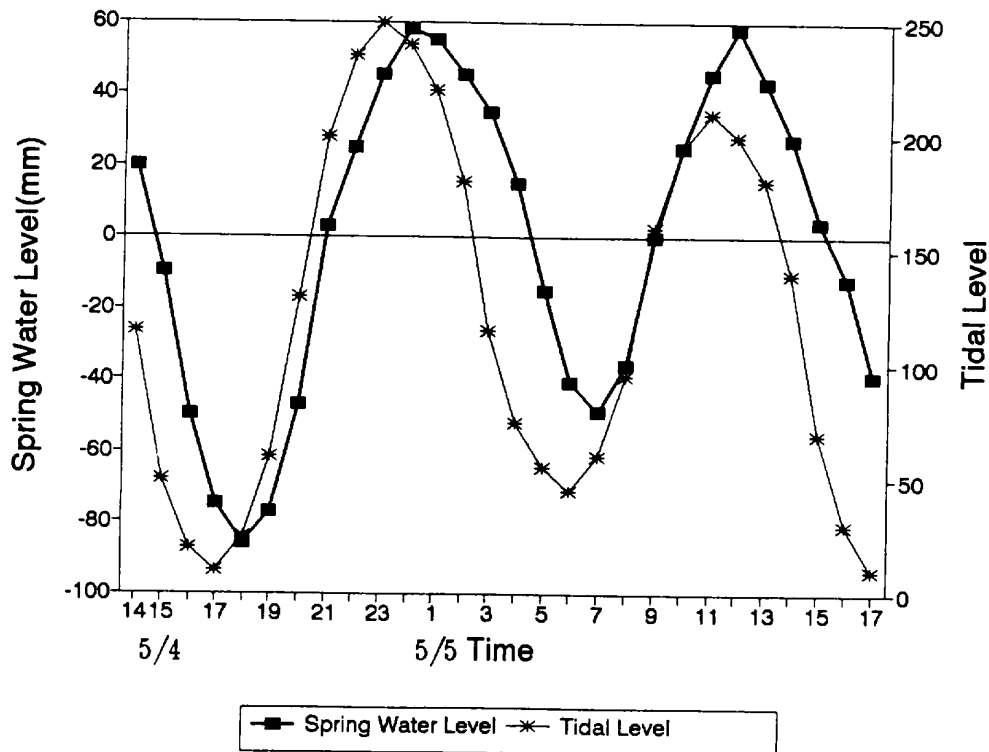


Fig. 15. Variations of spring water level and tidal level in the Youngyeonchun.

Fig. 16은 조수위에 따른 용출수온의 변화를 보여주는 것이다. 수온은 14.4°C 에서 14.6°C 의 범위를 갖으며 최저조 및 저조시 수온이 떨어지고 최고조 및 고조시 수온이 올라가며 저조시 최저수온을 보이는데 이는 해수의 영향을 받지 않고 해수보다 수온이 낮은 용천수의 수온이 측정되어 최저 수온을 보인 것으로 사료되며, 고조시 수온이 올라가는 것은 해수의 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

본 연구를 통하여 조사지역이 조석에 따라 용출수량 및 수질 그리고 수온이 현저하게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구를 포함하여 제주도 해안용

천수에 대한 연구를 시도할 경우 조석에 대한 영향정도를 함께 연구를 하여야 보다 정확한 연구자료를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

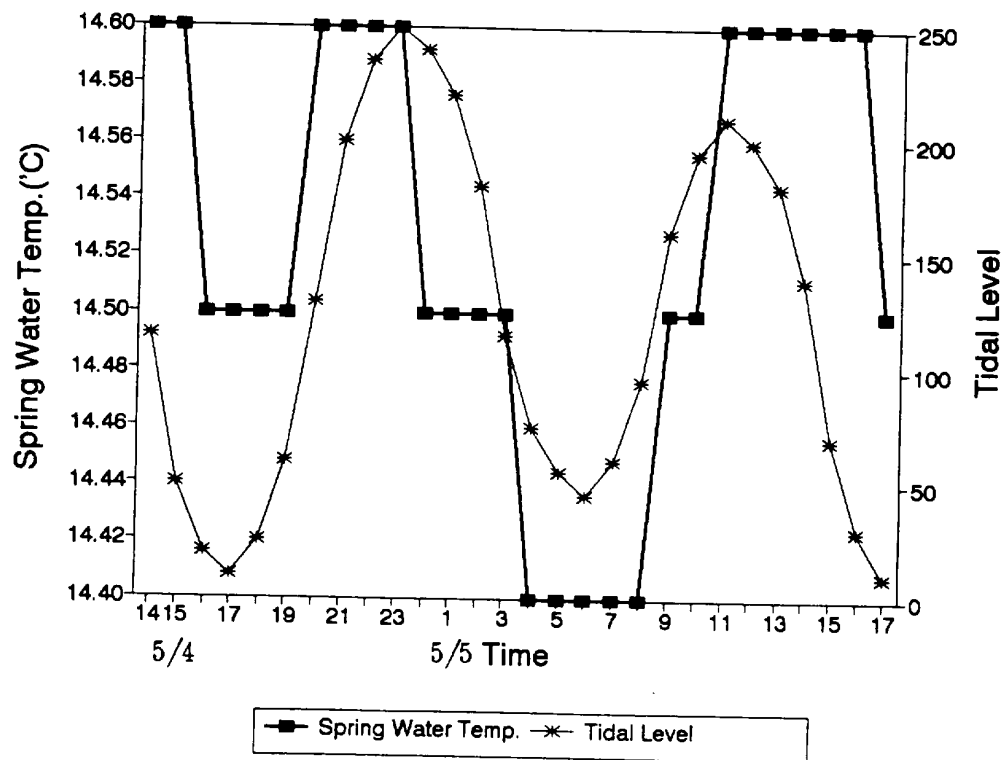


Fig. 16. Variations of spring water temperature and tidal level in the Youngyeonchun.

3. 용출수의 수질특성

기존 연구들은 주로 본도를 동·서·남·북부지역으로 구분하여 수질특성 연구를 행하여 졌으나, 본 연구에서는 한라산 정상을 중심으로 하여 고도에 따른 용출수의 수질특성을 규명하였다. 따라서 연구지역을 고산지역(600m 이상), 중산간지역(200~600m), 저지대지역(10~200m), 해안지역(10m이하)으로 구분하여 이들 지역에서 각각 9개, 6개, 16개, 24개, 총 55개 지점에서 시료를 채수하여 전기전도도, 수소이온농도, 나트륨, 칼륨, 마그네슘, 칼슘, 염소이온, 질산성질소, 황산이온, 중탄산이온 등 10개항목을 측정하였다(Fig. 7).

최(1990)에 따르면 일반적으로 EC, TDS, Na, Cl과 SO_4 등의 값이 높으면 해수침입의 가능성을 나타내 주고 있으나 Mg와 Ca의 이온 당량비에서 이를 쉽게 인지할 수 있다하였다. 보통의 수질은 Ca가 Mg의 두배의 비율임에 반해 이들 관계가 반전되고 있으면 해수침입 관계임을 알 수 있다. 일반적으로 지하수가 오염되어 가는 과정은 자연적 오염(Natural-Contaminate)(제1단계)-오염(Pollute)(2단계)등의 2단계로 설명되고 있는데 보통성분중 NO_3 는 인위적인 오염의 정도를 나타내 주고, K와 SO_4 는 자연적 오염의 정도를 제시해 준다(최, 1990).

3-1. 총고용물질(Total Dissolved Solid)

일반적으로 용수의 사용여부(使用與否)를 기준하는데 물속에 용해되어 있는 고용물의 총농도를 가장 널리 이용하고 있다. 총고용물(TDS)은 물 시료의 수분을 완전히 증발시킨 후 남은 물질의 중량을 측정하여 결정하는바, 이런 방법에 의해서 측정된 총고용물의 양은 실제치보다 약간의 차이가 있다. 보통 물속에 고용물질이 실제 100~500ppm정도로 들어 있을때에는 10~20ppm 정도의 차이가 발생하며, 다량의 고용물을 포함하는 경우에는 그 차이가 더 커진다(한, 1982).

총고용물을 다량 포함하고 있는 물은 목적에 따라 그 사용이 불가능할 때가 많다. 예를 들면 고용물이 500ppm이하이면 식수, 생활용수 및 공업용수로서 사용할 수 있으나, 1,000ppm 이상인 경우에는 물맛이 상당히 나쁘며 대부분의 경우 용수로서 적합하지 못하다. 뿐만아니라 전고용물의 함량이 높은 지하수는 정호(井戶)스

크린과 정호의 타부분에 부식작용을 일으킨다(한, 1982). 빗물은 TDS가 매우 적어 보통 50ppm이하이나 대수층에서 시간이 경과되거나 오염물질이 유입되면 TDS는 증가한다(최, 1990).

일반적으로 TDS와 전기전도도값은 밀접한 관계가 있으며 이들 두값간에는 선형관계가 있음이 알려져 있고 회귀실험 결과 아래와 같은 식이 성립한다(최, 1990).

$$TDS = 0.5755 \times EC + 29.75 (\text{용천수})$$

$$TDS = 0.6423 \times EC + 17.42 (\text{지하수})$$

Walton(1987)에 의하면 제주도 지하수의 수질성분 중 TDS값은 자연계의 지하수 group에 적용된다 하였다.

고산지역 용천수의 TDS값은 평균 35.3(백록담담수)~66.4ppm(관음사)의 범위를 보이고, 백록담담수호인 경우 35ppm으로 최저치를 나타냈으며, 관음사 용천수인 경우 79ppm으로 최대치를 보였다(Table 3). 중산간지역인 경우 용천수의 TDS값은 평균 61.8(원만사)~ 145.5ppm(유수암천)의 범위를 보였으며, 원만사가 60ppm으로 최저치를, 유수암천이 164ppm으로 최대치를 나타냈고, 저지대지역 용천수인 경우는 평균 80.7(강정수원)~351.3ppm(화순돌물)의 범위를 나타냈으며, 강정수원의 물은 66ppm으로 최저치를, 화순 돌물인 경우 414ppm으로 최대치를 나타냈다. 해안지역 용천수인 경우 TDS값은 평균 93.1(외도수원)~3555.7ppm(서느렁물)의 범위를 나타냈으며, 외도수원 물은 64ppm으로 최저치를, 서느렁물인 경우 4651ppm으로 최고치를 보였다.

상술한 내용중 고용물이 500ppm이하이면 식수 및 생활용수로 사용할 수 있음을 감안할 때, 연구지역 용천수중 식수로 사용할 수 없는 TDS값이 500ppm이상인 용천수 지역은 총 55개 지역중 8개지역(삼양제3수원, 신촌큰물1, 신촌큰물2, 명법사, 서느렁물, 토산물, 정금물, 고내물)임을 확인할 수 있었다(Table. 3, Appendix 4).

Table 3. Concentration of TDS, SEC, pH, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻-N and HCO₃⁻ in spring water.

| Station | Element | TDS(ppm) | | | SEC(μS/cm) | | | pH | | | Na ⁺ (ppm) | | |
|--------------------|--------------------|----------|------|---------|------------|------|---------|-----|------|---------|-----------------------|---------|---------|
| | | Min | Max | Average | Min | Max | Average | Min | Max | Average | Min | Max | Average |
| High (> 600m) | H1 Baegrogdam | 35 | 36 | 35.3 | 9 | 10 | 9.3 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 0.53 | 0.55 | 0.54 |
| | H2 Yongjingak | 44 | 45 | 44.3 | 25 | 27 | 25.7 | 7.4 | 7.6 | 7.5 | 2.05 | 2.11 | 2.08 |
| | H3 Wiseorn | 41 | 41 | 41.0 | 19 | 20 | 19.7 | 6.1 | 6.3 | 6.2 | 1.98 | 2.01 | 2.00 |
| | H4 Yungsil | 53 | 56 | 54.4 | 41 | 45 | 43.2 | 7.2 | 7.6 | 7.3 | 2.60 | 2.85 | 2.72 |
| | H5 Öremok | 53 | 55 | 53.6 | 40 | 44 | 41.7 | 7.4 | 7.7 | 7.5 | 2.68 | 3.20 | 2.98 |
| | H6 Chunwangsa | 52 | 55 | 53.4 | 39 | 44 | 41.2 | 6.9 | 7.4 | 7.2 | 2.74 | 3.84 | 3.21 |
| | H7 Gwaneumsa | 57 | 79 | 66.4 | 48 | 85 | 63.8 | 8.7 | 10.1 | 9.3 | 4.00 | 5.08 | 4.46 |
| | H8 Sungpanark | 51 | 56 | 54.0 | 37 | 46 | 42.3 | 7.1 | 7.3 | 7.1 | 3.42 | 3.75 | 3.65 |
| | H9 Namguksunwon | 44 | 52 | 46.5 | 24 | 38 | 29.2 | 6.5 | 7.1 | 6.7 | 1.78 | 2.20 | 2.04 |
| Middle (200 -600m) | M1 Sanchundan | 64 | 67 | 66.0 | 60 | 65 | 63.3 | 6.9 | 7.4 | 7.1 | 5.81 | 7.19 | 6.73 |
| | M2 Myeongdoarm | 77 | 83 | 80.9 | 82 | 93 | 88.7 | 7.2 | 7.6 | 7.4 | 6.61 | 6.86 | 6.74 |
| | M3 Jealmul | 81 | 89 | 85.2 | 89 | 103 | 96.2 | 7.5 | 7.8 | 7.6 | 7.84 | 8.51 | 8.19 |
| | M4 Donneako | 71 | 91 | 76.7 | 71 | 106 | 81.6 | 7.2 | 7.6 | 7.4 | 4.12 | 6.57 | 4.86 |
| | M5 Wonnansa | 60 | 64 | 61.8 | 53 | 59 | 55.5 | 6.6 | 6.8 | 6.7 | 5.19 | 5.51 | 5.32 |
| | M6 Yusuarmchun | 128 | 164 | 145.5 | 171 | 234 | 201.0 | 6.9 | 7.7 | 7.2 | 10.71 | 17.90 | 12.05 |
| Low (10- 200m) | L1 Keumsansuwon | 121 | 178 | 145.9 | 159 | 257 | 201.9 | 7.3 | 7.8 | 7.4 | 15.81 | 23.32 | 20.03 |
| | L2 Youngchunsa | 173 | 230 | 194.2 | 249 | 348 | 285.8 | 7.4 | 7.8 | 7.5 | 13.42 | 17.00 | 14.75 |
| | L3 Jungbangsuwon | 82 | 109 | 90.8 | 91 | 137 | 106.8 | 6.7 | 7.4 | 7.0 | 5.87 | 8.07 | 6.79 |
| | L4 Chunjiyön | 86 | 110 | 97.2 | 98 | 140 | 117.2 | 7.4 | 7.7 | 7.5 | 5.95 | 7.35 | 6.64 |
| | L5 Burhwansosmul | 88 | 119 | 102.9 | 101 | 155 | 127.2 | 7.3 | 7.7 | 7.5 | 5.91 | 7.97 | 6.85 |
| | L6 Woonyangchun | 144 | 230 | 179.5 | 198 | 348 | 260.2 | 6.9 | 7.2 | 7.1 | 9.60 | 12.72 | 10.89 |
| | L7 Kangjungsuwon | 66 | 101 | 80.7 | 63 | 124 | 88.5 | 7.6 | 7.8 | 7.7 | 4.62 | 6.37 | 5.37 |
| | L8 Bebhwasu | 111 | 147 | 128.2 | 142 | 203 | 170.9 | 7.0 | 7.5 | 7.3 | 9.58 | 15.20 | 10.96 |
| | L9 Harwontongmul | 259 | 381 | 340.6 | 399 | 610 | 540.1 | 6.6 | 7.1 | 6.9 | 19.92 | 22.40 | 21.62 |
| | L10 Dongheumul | 116 | 258 | 161.9 | 150 | 396 | 229.6 | 7.1 | 7.4 | 7.2 | 8.50 | 14.80 | 10.72 |
| | L11 Saekdalsengsu | 175 | 248 | 216.0 | 252 | 379 | 323.5 | 7.0 | 7.2 | 7.1 | 10.53 | 14.14 | 12.46 |
| | L12 Andukkyekok | 260 | 337 | 291.1 | 400 | 534 | 454.1 | 6.6 | 7.0 | 6.7 | 15.56 | 34.58 | 23.25 |
| | L13 Donmul | 296 | 414 | 351.3 | 463 | 667 | 558.6 | 6.7 | 7.4 | 7.0 | 19.34 | 26.80 | 24.04 |
| | L14 Jangsumul | 163 | 211 | 180.4 | 232 | 315 | 261.6 | 6.5 | 7.3 | 6.8 | 19.69 | 23.06 | 21.06 |
| | L15 Kusumul | 153 | 201 | 163.0 | 214 | 297 | 231.5 | 6.5 | 7.7 | 7.2 | 16.02 | 19.79 | 18.99 |
| | L16 Dukjisemmul | 206 | 265 | 229.0 | 306 | 408 | 346 | 7.1 | 7.3 | 7.2 | 15.24 | 15.24 | 15.24 |
| Coast (<10m) | C1 Sanjimul | 107 | 113 | 110.4 | 135 | 144 | 140.1 | 7.1 | 7.4 | 7.2 | 9.54 | 10.88 | 10.30 |
| | C2 Samyang3suwon | 151 | 2257 | 785.4 | 210 | 3870 | 1313.0 | 7.5 | 8.0 | 7.7 | 28.84 | 416.19 | 145.57 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 251 | 1497 | 701.7 | 384 | 2550 | 1167.5 | 7.5 | 7.9 | 7.7 | 34.78 | 351.60 | 149.30 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 316 | 1486 | 750.4 | 498 | 2530 | 1252.3 | 7.6 | 7.9 | 7.7 | 53.57 | 345.60 | 161.13 |
| | C5 Meungbubsa | 1868 | 2763 | 2245.0 | 3195 | 4750 | 3849.5 | 7.5 | 7.9 | 7.6 | 457.89 | 697.00 | 558.53 |
| | C6 Sernurungmul | 1935 | 4651 | 3555.7 | 3310 | 8030 | 6126.9 | 7.5 | 7.9 | 7.6 | 484.21 | 1231.81 | 930.32 |
| | C7 Tosanmul | 318 | 720 | 531.0 | 501 | 1200 | 871.1 | 7.5 | 7.9 | 7.7 | 67.08 | 145.17 | 108.31 |
| | C8 Gongchunpo | 105 | 212 | 120.1 | 130 | 317 | 156.9 | 7.1 | 7.4 | 7.2 | 6.74 | 14.50 | 7.80 |
| | C9 Dot mul | 225 | 258 | 239.4 | 339 | 396 | 364.0 | 6.8 | 7.3 | 7.0 | 19.16 | 21.52 | 20.03 |
| | C10 Harkangmul | 233 | 273 | 248.7 | 353 | 423 | 380.6 | 6.7 | 7.4 | 6.9 | 21.84 | 25.14 | 23.09 |
| | C11 Sineukmul | 115 | 125 | 120.3 | 149 | 165 | 157.1 | 7.1 | 7.5 | 7.3 | 7.95 | 11.92 | 9.59 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 98 | 145 | 115.7 | 118 | 201 | 149.7 | 7.1 | 9.6 | 7.6 | 8.33 | 12.15 | 9.83 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 87 | 131 | 110.6 | 100 | 176 | 140.5 | 7.0 | 7.2 | 7.1 | 6.94 | 10.46 | 8.81 |
| | C14 Jungkeummul | 334 | 4127 | 2524.4 | 529 | 7120 | 4334.7 | 7.5 | 7.8 | 7.5 | 53.70 | 974.50 | 606.25 |
| | C15 Hallimsuwon | 125 | 151 | 139.1 | 165 | 210 | 189.6 | 7.7 | 8.2 | 7.8 | 11.48 | 12.27 | 11.92 |
| | C16 Moondumul | 146 | 177 | 161.3 | 202 | 256 | 228.6 | 7.4 | 7.6 | 7.5 | 11.98 | 13.20 | 12.45 |
| | C17 Kwakgimul | 186 | 834 | 379.8 | 271 | 1398 | 608.2 | 7.7 | 8.2 | 7.9 | 27.08 | 179.00 | 74.04 |
| | C18 Aewolharmul | 145 | 1469 | 417.7 | 201 | 2500 | 674.2 | 7.5 | 8.0 | 7.7 | 17.45 | 345.70 | 88.40 |
| | C19 Konemul | 121 | 2050 | 895.1 | 159 | 3510 | 1503.9 | 7.6 | 7.9 | 7.6 | 15.51 | 402.03 | 178.42 |
| | C20 Nokgomul | 115 | 556 | 238.4 | 148 | 915 | 362.8 | 7.5 | 7.8 | 7.6 | 9.96 | 109.80 | 38.18 |
| | C21 Weadosuwon | 64 | 132 | 93.1 | 60 | 178 | 109.9 | 7.6 | 8.4 | 7.8 | 3.46 | 9.52 | 6.28 |
| | C22 Kumungmul | 86 | 108 | 95.4 | 97 | 136 | 114.2 | 7.3 | 7.6 | 7.4 | 5.75 | 7.13 | 6.42 |
| | C23 Oleumul | 125 | 490 | 238.4 | 165 | 799 | 362.2 | 7.3 | 7.5 | 7.3 | 8.37 | 86.77 | 34.21 |
| | C24 Magdummul | 109 | 149 | 129.3 | 138 | 207 | 173.3 | 7.2 | 7.6 | 7.4 | 9.60 | 11.22 | 10.46 |

Table 3. Continued

| Station | Element | K ⁺ (ppm) | | | Mg ²⁺ (ppm) | | | Ca ²⁺ (ppm) | | | Cl ⁻ (ppm) | | |
|--------------------------|--------------------|----------------------|-------|---------|------------------------|--------|---------|------------------------|-------|---------|-----------------------|---------|---------|
| | | Min | Max | Average | Min | Max | Average | Min | Max | Average | Min | Max | Average |
| High (> 600m) | H1 Baegrogdam | 0.11 | 0.15 | 0.13 | 0.25 | 0.28 | 0.26 | 0.25 | 0.27 | 0.26 | 1.29 | 1.33 | 1.31 |
| | H2 Yongjingak | 0.70 | 0.80 | 0.75 | 0.44 | 0.47 | 0.45 | 0.51 | 0.55 | 0.53 | 3.59 | 3.68 | 3.63 |
| | H3 Wiseorn | 0.25 | 0.28 | 0.27 | 0.55 | 0.60 | 0.58 | 0.47 | 0.49 | 0.48 | 2.77 | 2.79 | 2.78 |
| | H4 Yunguil | 0.45 | 0.89 | 0.64 | 0.37 | 1.33 | 0.87 | 1.28 | 2.43 | 2.03 | 1.18 | 5.98 | 4.11 |
| | H5 Öremok | 0.17 | 1.04 | 0.56 | 0.70 | 0.94 | 0.83 | 1.13 | 1.65 | 1.34 | 2.32 | 5.31 | 4.13 |
| | H6 Chunwangsa | 0.34 | 1.10 | 0.83 | 0.34 | 0.91 | 0.59 | 0.75 | 1.50 | 1.08 | 2.41 | 7.09 | 4.30 |
| | H7 Gwaneumsa | 1.16 | 1.64 | 1.43 | 0.56 | 0.76 | 0.65 | 1.46 | 5.37 | 3.12 | 3.65 | 7.32 | 5.20 |
| | H8 Sungpanark | 0.43 | 1.48 | 1.07 | 0.12 | 0.52 | 0.36 | 0.04 | 1.62 | 0.98 | 1.97 | 4.61 | 3.28 |
| | H9 Namgukusunwon | 0.03 | 0.50 | 0.20 | 0.20 | 0.45 | 0.29 | 0.99 | 3.22 | 1.82 | 2.90 | 3.06 | 3.01 |
| Middle (200 -600m) | M1 Sanchundan | 2.00 | 2.51 | 2.34 | 0.21 | 0.30 | 0.24 | 1.20 | 1.60 | 1.45 | 7.74 | 10.82 | 9.50 |
| | M2 Myeongdoarm | 0.50 | 0.70 | 0.61 | 2.36 | 2.74 | 2.53 | 1.85 | 3.39 | 2.77 | 9.65 | 13.00 | 11.52 |
| | M3 Jealmul | 2.16 | 2.41 | 2.29 | 1.35 | 1.81 | 1.40 | 1.64 | 3.79 | 2.80 | 6.94 | 11.05 | 9.13 |
| | M4 Donneako | 1.11 | 2.10 | 1.41 | 1.48 | 3.69 | 2.13 | 1.94 | 3.84 | 2.83 | 4.29 | 12.81 | 6.64 |
| | M5 Wonnansa | 1.59 | 1.71 | 1.66 | 0.48 | 0.52 | 0.50 | 1.32 | 1.46 | 1.38 | 4.47 | 6.21 | 5.49 |
| | M6 Yusuarmchun | 4.84 | 6.32 | 5.48 | 4.53 | 5.64 | 5.09 | 6.02 | 7.86 | 7.50 | 16.13 | 19.67 | 17.47 |
| Low (10- 200m) | L1 Keumsansuwon | 2.77 | 3.60 | 3.13 | 3.98 | 6.17 | 4.91 | 2.30 | 7.15 | 4.43 | 15.33 | 34.33 | 23.65 |
| | L2 Youngchunsa | 1.77 | 2.32 | 2.01 | 8.58 | 11.32 | 9.59 | 5.47 | 11.91 | 9.52 | 21.32 | 29.07 | 24.06 |
| | L3 Jungbangsuwon | 1.11 | 2.07 | 1.45 | 1.99 | 3.08 | 2.32 | 2.71 | 5.90 | 3.71 | 8.44 | 9.47 | 8.89 |
| | L4 Chunjiyon | 1.35 | 2.03 | 1.89 | 1.85 | 3.36 | 2.56 | 3.59 | 5.98 | 4.59 | 7.12 | 10.84 | 10.10 |
| | L5 Burhwansosmul | 1.14 | 2.14 | 1.91 | 2.21 | 4.31 | 3.02 | 3.86 | 6.62 | 5.06 | 7.43 | 13.72 | 10.48 |
| | L6 Woonyangchun | 4.16 | 5.71 | 4.88 | 6.54 | 11.22 | 8.40 | 7.30 | 14.48 | 10.25 | 14.46 | 28.36 | 20.21 |
| | L7 Kangjungsuwon | 1.27 | 1.71 | 1.46 | 1.18 | 2.82 | 1.89 | 2.06 | 4.83 | 3.12 | 6.23 | 8.69 | 6.96 |
| | L8 Bebhwasu | 1.01 | 6.15 | 2.89 | 3.14 | 10.26 | 4.67 | 5.88 | 10.19 | 7.92 | 10.62 | 13.36 | 12.02 |
| | L9 Harwontongmul | 2.26 | 2.92 | 2.71 | 17.44 | 28.25 | 21.89 | 24.04 | 52.80 | 36.96 | 32.96 | 50.01 | 43.38 |
| | L10 Dongheumul | 1.10 | 2.40 | 1.86 | 4.11 | 14.96 | 7.96 | 6.97 | 21.60 | 11.66 | 10.05 | 32.61 | 17.29 |
| | L11 Saekdalsengsu | 1.16 | 1.62 | 1.34 | 11.87 | 14.92 | 13.50 | 17.81 | 20.69 | 19.34 | 16.59 | 27.78 | 22.60 |
| | L12 Andukkyekok | 6.90 | 30.21 | 16.24 | 12.82 | 26.92 | 18.60 | 24.02 | 32.44 | 27.75 | 33.08 | 48.51 | 39.32 |
| | L13 Donmul | 5.43 | 12.15 | 9.05 | 11.40 | 18.92 | 14.75 | 15.08 | 38.56 | 26.94 | 18.08 | 55.30 | 35.82 |
| | L14 Jangsumul | 2.01 | 2.69 | 2.27 | 4.63 | 7.62 | 5.68 | 2.68 | 7.83 | 6.16 | 23.85 | 47.10 | 31.73 |
| | L15 Kusumul | 2.26 | 3.04 | 2.88 | 3.67 | 8.20 | 4.62 | 6.40 | 7.00 | 6.60 | 26.02 | 49.43 | 30.96 |
| | L16 Dukjisemmul | 2.56 | 2.56 | 2.56 | 10.70 | 10.70 | 10.70 | 12.34 | 12.34 | 12.34 | 29.07 | 29.07 | 29.07 |
| Coast (<10m) | C1 Sanjimul | 2.39 | 3.34 | 2.80 | 2.75 | 3.37 | 3.02 | 4.58 | 6.02 | 5.40 | 10.83 | 16.18 | 13.35 |
| | C2 Samyang3suwon | 3.40 | 25.80 | 10.20 | 3.99 | 87.80 | 28.96 | 1.60 | 28.60 | 9.87 | 23.59 | 120.93 | 379.29 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 3.44 | 15.58 | 7.83 | 9.89 | 46.20 | 23.63 | 6.80 | 36.82 | 17.45 | 62.18 | 703.33 | 304.86 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 4.55 | 16.24 | 9.04 | 10.20 | 49.80 | 26.64 | 6.15 | 15.19 | 9.86 | 92.97 | 640.00 | 342.97 |
| | C5 Meungbubsa | 20.95 | 26.71 | 24.23 | 61.65 | 101.50 | 78.14 | 21.33 | 25.01 | 23.46 | 864.64 | 1740.74 | 1215.45 |
| | C6 Semurungmul | 20.80 | 47.43 | 35.91 | 66.40 | 174.08 | 130.94 | 20.00 | 65.11 | 49.53 | 1027.34 | 2420.08 | 1904.25 |
| | C7 Tosanmul | 4.58 | 6.64 | 5.67 | 8.55 | 27.60 | 18.61 | 5.39 | 19.87 | 13.04 | 117.18 | 309.52 | 218.75 |
| | C8 Gongchunpo | 0.13 | 13.22 | 2.11 | 3.42 | 5.85 | 3.77 | 5.84 | 11.05 | 6.59 | 8.23 | 53.78 | 14.71 |
| | C9 Dot mul | 2.01 | 4.70 | 3.09 | 9.62 | 13.42 | 12.43 | 13.10 | 20.88 | 17.03 | 30.61 | 32.02 | 31.23 |
| | C10 Harkangmul | 3.92 | 5.28 | 4.99 | 6.04 | 14.30 | 9.58 | 13.20 | 19.80 | 17.95 | 32.13 | 50.42 | 38.84 |
| | C11 Sineukmul | 1.79 | 3.93 | 2.83 | 3.06 | 4.72 | 3.79 | 3.20 | 5.63 | 4.49 | 11.65 | 19.31 | 13.93 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 1.50 | 3.37 | 2.28 | 2.51 | 5.17 | 3.66 | 2.47 | 6.26 | 3.96 | 7.65 | 22.79 | 13.25 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 1.94 | 3.81 | 2.76 | 1.99 | 4.41 | 3.35 | 0.67 | 5.87 | 3.57 | 6.48 | 19.46 | 13.07 |
| | C14 Jungkeummul | 5.10 | 66.50 | 33.25 | 12.90 | 157.50 | 95.28 | 9.40 | 59.00 | 38.68 | 90.76 | 2136.84 | 1291.61 |
| | C15 Hallimsuwon | 3.17 | 3.72 | 3.50 | 4.79 | 5.78 | 5.33 | 4.37 | 5.75 | 5.09 | 13.55 | 17.37 | 15.64 |
| | C16 Moondumul | 2.77 | 3.46 | 3.22 | 5.96 | 9.22 | 7.56 | 2.10 | 8.06 | 5.12 | 6.93 | 24.30 | 15.85 |
| | C17 Kwakgrimul | 3.77 | 9.10 | 5.20 | 5.29 | 19.00 | 9.62 | 4.37 | 7.80 | 5.37 | 57.17 | 351.66 | 147.51 |
| | C18 Aewolharmul | 3.43 | 20.20 | 6.38 | 4.18 | 35.90 | 10.15 | 3.82 | 12.70 | 5.69 | 27.05 | 680.64 | 166.36 |
| | C19 Konemul | 2.72 | 27.46 | 12.75 | 2.74 | 47.12 | 20.85 | 2.30 | 23.54 | 10.69 | 18.94 | 975.55 | 373.52 |
| | C20 Nokgomul | 2.39 | 8.55 | 4.13 | 3.49 | 14.80 | 6.77 | 4.24 | 8.15 | 5.37 | 12.86 | 226.88 | 73.52 |
| | C21 Weadosuwon | 0.56 | 2.62 | 1.54 | 1.35 | 4.61 | 2.66 | 1.77 | 6.65 | 3.82 | 5.32 | 13.02 | 8.98 |
| | C22 Kumungmul | 1.25 | 2.07 | 1.64 | 2.21 | 3.37 | 2.76 | 2.50 | 4.78 | 3.80 | 7.83 | 10.12 | 9.00 |
| | C23 Oleamul | 2.28 | 6.10 | 3.68 | 4.93 | 14.87 | 7.99 | 6.16 | 8.66 | 7.14 | 11.88 | 186.58 | 68.65 |
| | C24 Magümmul | 2.14 | 2.60 | 2.35 | 3.40 | 6.37 | 4.88 | 1.10 | 8.59 | 4.97 | 13.36 | 20.90 | 17.27 |

Table 3. Continued

| Station | Element | SO ₄ ²⁻ (ppm) | | | NO ₃ ⁻ -N(ppm) | | | HCO ₃ ⁻ (ppm) | | |
|-------------------|--------------------|-------------------------------------|--------|---------|--------------------------------------|-------|---------|-------------------------------------|-------|---------|
| | | Min | Max | Average | Min | Max | Average | Min | Max | Average |
| High (> 600m) | H1 Baegrogdam | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.84 | 1.88 | 1.87 |
| | H2 Yongjingak | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.04 | 6.44 | 6.58 | 6.53 |
| | H3 Wiseorn | 0.00 | 0.30 | 0.10 | 0.00 | 0.09 | 0.04 | 4.44 | 4.57 | 4.49 |
| | H4 Yungsil | 0.00 | 2.32 | 0.41 | 0.16 | 0.30 | 0.24 | 15.26 | 18.69 | 17.53 |
| | H5 Öremok | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.19 | 0.14 | 14.47 | 21.32 | 18.11 |
| | H6 Chunwangsa | 0.00 | 1.60 | 0.41 | 0.00 | 0.32 | 0.08 | 0.41 | 18.16 | 11.81 |
| | H7 Gwaneumsa | 0.63 | 2.57 | 1.83 | 0.34 | 0.50 | 0.43 | 15.53 | 28.95 | 22.03 |
| | H8 Sungpanark | 0.00 | 2.17 | 1.08 | 0.00 | 0.80 | 0.20 | 13.42 | 21.32 | 17.61 |
| | H9 Namguksunwon | 0.00 | 2.46 | 0.39 | 0.05 | 0.13 | 0.08 | 5.79 | 18.16 | 11.82 |
| Middle (200-600m) | M1 Sanchundan | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 0.40 | 0.33 | 21.32 | 27.63 | 25.05 |
| | M2 Myeongdoarm | 0.30 | 1.89 | 1.24 | 1.42 | 2.90 | 2.36 | 21.05 | 29.48 | 25.98 |
| | M3 Jealmul | 1.12 | 6.66 | 2.85 | 0.62 | 1.00 | 0.86 | 31.84 | 39.74 | 36.45 |
| | M4 Donneako | 0.97 | 1.89 | 1.60 | 3.11 | 7.23 | 4.31 | 13.42 | 22.90 | 19.27 |
| | M5 Wonmansa | 0.00 | 1.90 | 0.43 | 0.09 | 0.12 | 0.10 | 7.90 | 23.95 | 19.42 |
| | M6 Yusuarmchun | 3.76 | 5.49 | 4.43 | 4.49 | 10.95 | 7.65 | 28.95 | 44.48 | 37.63 |
| Low (10-200m) | L1 Keumsansuwon | 1.26 | 11.47 | 5.94 | 4.32 | 6.47 | 5.26 | 33.95 | 46.85 | 41.32 |
| | L2 Youngchunsa | 0.39 | 2.32 | 1.56 | 7.75 | 24.78 | 14.70 | 38.16 | 54.48 | 42.45 |
| | L3 Jungbangsuwon | 1.02 | 3.78 | 3.04 | 2.36 | 8.36 | 4.09 | 19.74 | 31.58 | 26.05 |
| | L4 Chunjiyön | 1.40 | 2.69 | 2.06 | 2.08 | 7.29 | 4.80 | 20.00 | 37.63 | 25.95 |
| | L5 Burhwansosmul | 0.12 | 4.05 | 1.63 | 3.93 | 9.55 | 6.23 | 22.37 | 41.06 | 30.37 |
| | L6 Woonyangchun | 2.32 | 5.35 | 3.31 | 14.15 | 26.13 | 17.95 | 9.21 | 35.27 | 23.92 |
| | L7 Kangjungsuwon | 1.31 | 3.62 | 2.41 | 2.13 | 5.41 | 3.42 | 18.95 | 29.74 | 24.82 |
| | L8 Bebhwasä | 1.46 | 4.96 | 3.02 | 7.97 | 8.18 | 8.06 | 30.53 | 47.64 | 37.69 |
| | L9 Harwontongmul | 0.30 | 1.89 | 1.10 | 13.19 | 40.83 | 31.67 | 11.05 | 36.58 | 24.50 |
| | L10 Dongheamul | 0.30 | 7.51 | 3.06 | 6.33 | 28.28 | 13.51 | 26.05 | 41.06 | 35.21 |
| | L11 Saekdalsengsu | 2.90 | 7.26 | 5.66 | 15.87 | 24.53 | 20.74 | 26.32 | 42.11 | 33.09 |
| | L12 Andukkyekok | 5.35 | 8.23 | 6.48 | 25.40 | 34.10 | 29.21 | 23.95 | 39.74 | 34.36 |
| | L13 Donmul | 7.68 | 23.07 | 14.10 | 28.45 | 44.18 | 33.65 | 30.27 | 43.42 | 37.23 |
| | L14 Jangsumul | 2.75 | 5.06 | 3.46 | 5.66 | 17.16 | 9.23 | 28.95 | 61.06 | 49.26 |
| | L15 Kusimul | 4.19 | 6.93 | 4.93 | 4.78 | 14.45 | 7.78 | 28.42 | 56.58 | 48.32 |
| | L16 Dukjisemmul | 8.05 | 9.07 | 8.40 | 15.64 | 18.42 | 16.82 | 36.84 | 40.79 | 38.95 |
| Coast (<10m) | C1 Sanjimul | 3.47 | 6.01 | 4.77 | 2.37 | 4.61 | 3.13 | 32.11 | 43.95 | 38.29 |
| | C2 Samyang3suwon | 1.48 | 230.56 | 70.52 | 3.32 | 6.41 | 5.00 | 38.69 | 44.74 | 40.57 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 12.12 | 130.85 | 60.84 | 6.60 | 10.11 | 8.10 | 36.06 | 48.42 | 41.00 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 12.44 | 151.31 | 62.54 | 3.81 | 8.41 | 6.32 | 35.27 | 45.00 | 40.71 |
| | C5 Meungbubsa | 43.96 | 302.61 | 158.59 | 0.44 | 1.07 | 0.72 | 45.79 | 52.64 | 49.19 |
| | C6 Sennurungmul | 152.75 | 491.65 | 355.02 | 0.54 | 1.73 | 1.18 | 39.48 | 60.27 | 51.40 |
| | C7 Tosanmul | 19.09 | 45.85 | 33.22 | 3.08 | 6.97 | 5.20 | 42.11 | 48.42 | 45.08 |
| | C8 Gongchunpo | 0.86 | 2.73 | 1.13 | 5.79 | 9.36 | 7.24 | 26.05 | 29.21 | 27.58 |
| | C9 Dot mul | 3.47 | 7.80 | 6.33 | 18.70 | 30.18 | 22.48 | 34.48 | 43.95 | 39.88 |
| | C10 Harkangmul | 7.65 | 12.41 | 10.73 | 3.49 | 22.90 | 15.61 | 33.42 | 42.63 | 38.97 |
| | C11 Sineukmul | 2.32 | 7.25 | 4.75 | 3.85 | 6.64 | 5.13 | 30.79 | 42.37 | 36.53 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 2.43 | 11.83 | 6.53 | 1.80 | 7.46 | 4.40 | 32.11 | 42.90 | 36.25 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 3.50 | 6.23 | 4.86 | 2.49 | 6.09 | 4.36 | 29.21 | 39.74 | 34.81 |
| | C14 Jungkeummul | 28.40 | 304.05 | 177.43 | 2.30 | 10.67 | 7.80 | 50.00 | 58.16 | 54.36 |
| | C15 Hallimsuwon | 3.55 | 4.92 | 4.17 | 4.83 | 9.09 | 5.88 | 45.27 | 52.11 | 49.95 |
| | C16 Moondumul | 2.02 | 6.21 | 4.22 | 5.88 | 8.96 | 7.54 | 47.64 | 52.90 | 49.69 |
| | C17 Kwakgimul | 6.79 | 52.75 | 21.42 | 2.07 | 4.16 | 2.94 | 44.74 | 55.00 | 49.12 |
| | C18 Aewolharmul | 5.20 | 72.49 | 20.75 | 2.02 | 5.10 | 3.76 | 32.90 | 50.79 | 44.72 |
| | C19 Konemul | 5.06 | 129.82 | 55.80 | 0.57 | 1.89 | 1.27 | 44.48 | 45.79 | 45.16 |
| | C20 Nokgomul | 4.05 | 34.16 | 13.53 | 4.35 | 4.65 | 4.52 | 27.63 | 39.21 | 36.20 |
| | C21 Weadosuwon | 0.00 | 2.50 | 1.11 | 1.13 | 7.62 | 3.68 | 13.16 | 34.21 | 26.84 |
| | C22 Kumungmul | 2.18 | 4.96 | 3.43 | 2.46 | 6.00 | 4.20 | 26.32 | 30.53 | 27.95 |
| | C23 Oleamul | 2.90 | 25.78 | 10.53 | 2.80 | 6.53 | 4.29 | 39.74 | 56.85 | 46.19 |
| | C24 Magönmul | 2.81 | 7.46 | 5.18 | 2.98 | 7.29 | 5.24 | 31.32 | 47.37 | 41.16 |

3-2. 전기비전도도(Specific Electrical Conductivity, SEC)

전기비전도도란 하나의 물질이 전류를 통과시킬수 있는 능력을 말하며 전기저항의 역수이다. 지하수 내에서의 SEC값은 용해되어 있는 고형물의 성분 및 량에 따라 그 값이 달라진다. 그러므로 화학적으로 순수한 물은 그 전기비전도도가 매우 낮은 물이며 많은 고형물의 혼합으로 이온이 많이 존재하면 전기비전도도는 높아진다. 따라서 빗물의 EC값은 대단히 낮으며 오염된 지하수나 해수가 침투된 지하수의 전기비전도도값은 대단히 높다(최, 1990)

전술한 바와같이 대부분의 지하수에 있어서 총고형물의 양은 그 전기비전도도의 0.55~0.75배에 해당하며 염수가 많이 포함된 물에 있어서는 상기 값보다 약간 크며, 비산성인 지하수인 경우에는 이 상수보다 약간 작은값을 가진다. 따라서 지하수의 수질특성을 파악하는데 복잡한 실험과정을 거치지 않고 간편하고 가장 신속하게 개략적으로 파악할 수 있는 방법중의 하나가 전기비전도도 측정에 의한 총고형물질(TDS)의 함량을 결정하는 방법이다. 이방법은 실험을 통해 증발잔류물을 측정하는 것 보다 간편성과 신속성을 지니고 있기 때문에 오래전부터 널리 이용하여 오고 있다(Barbara and Harry, 1984).

고산(高山)지역 용천수인 경우 SEC값은 평균 9.3(백록담담수)~63.8 μ S/cm(관음사)의 범위를 나타냈으며, 백록담담수호에서가 9 μ S/cm로 최저치를, 관음사 용천수에서가 85 μ S/cm로 최고치를 보였다. 관음사를 제외하고 전지역 용천수가 50 μ S/cm이하의 낮은값을 보였다. 중산간지역 용천수의 SEC값은 평균 55.5(원만사)~201.0 μ S/cm(유수암천)의 범위를 나타냈으며, 원만사 용천수가 53 μ S/cm로 최저치를, 유수암천이 234 μ S/cm로 최고치를 보였다. 저지대지역 용천수의 SEC 평균값은 88.5(강정수원)~558.6 μ S/cm(화순돌물)의 범위를 나타냈으며, 강정수원인 경우 63 μ S/cm로 최저치를, 화순 돌물은 667 μ S/cm로 최고치를 보여, 이들지역에 오염이 진행되고 있다 사료된다. 해안지역 용천수인 경우 평균 109.9(외도수원)~6126.9 μ S/cm(서느렁물)의 값을 나타냈으며, 외도수원이 60 μ S/cm으로 최저치를, 서느렁물이 8030 μ S/cm로 최고치를 보여 조석에 따라 해수가 기존 용출수지역으로 침입하고 있다 사료된다(Table. 3, Appendix 5).

특히 해안지역에 위치하는 삼양제3수원지에 대한 7개월동안 SEC 측정결과 해

수 차단막 공사가 진행되기 이전인 '94년 5월에 측정된 SEC값은 $3,870\mu\text{S}/\text{cm}$ 이
 상이었던 것이 해수차단막이 설치된 후인 '94년 11월 이후에는 SEC값이 $210\mu\text{S}/\text{cm}$ 로
 현저히 감소하였음을 알 수 있었다.

Fig. 17은 조사지역 용천수의 전기비전도도와 강수량과의 관계를 보여주는 것

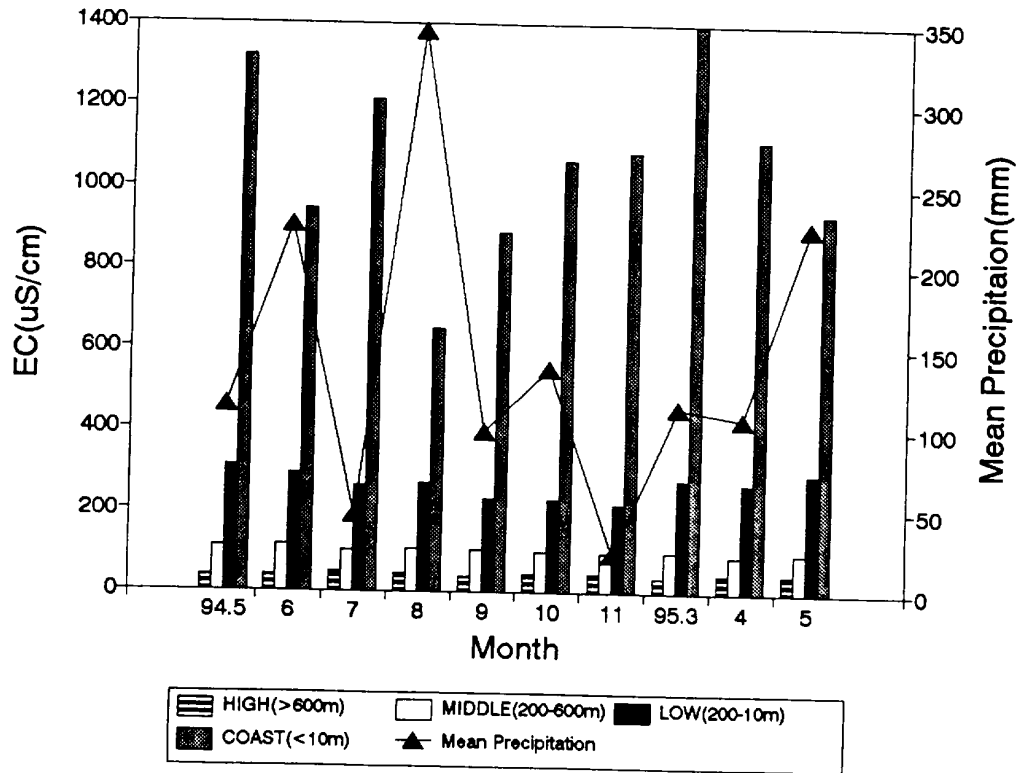


Fig. 17. Monthly variations of electrical conductivity and precipitation.

이다. 조사지역 중 해안지역이 연구기간동안 SEC값이 가장 높았는데 반해 고산(高山)지역의 용천수가 전반적으로 가장 낮은 값을 보였다. 전반적으로 고산지역 및 해안지역 용천수인 경우 강수량의 영향에 따라 SEC값도 미미한 영향을 받으나 중

산간지역 및 저지대지역 용천수인 경우는 강수량이 많을 때 SEC값도 증가하였고, 그 증가경향도 고도가 낮은 지역 용천수에서가 큰 증가폭을 보였다. 이는 용천수 분포지역 지표면 오염물질들이 강수와 더불어 하향침투하여 하류구배지역의 용천수를 오염시키고 있는 것으로 사료된다.

3-3. 수소이온농도(pH)

물 속에 전해되어 있는 수소이온의 상대적인 농도를 pH라 하며 이는 수소이온 농도의 역수의 log와 같다. 즉 $pH = \log 1/H^+$ 이다. 실제로 이온의 수가 대단히 적기 때문에 이와같은 특수식이 사용된다. pH값은 0에서 14까지인데 25℃에서의 pH 7은 중성으로서 H^+ 와 OH^- 가 같은 농도임을 의미하며, pH가 7보다 적으면 산성이고 7보다 높으면 알칼리성이다. 물이 산성인가 염기성인가 중성인가를 나타내는 인자로 사용되며 수소이온(H^+)이 수산기이온(OH^-)보다 많을 때는 산성작용을 나타내며 금속물질을 부식시키는 역할을 한다. 대부분의 지하수의 pH는 4에서 9 사이에 있다. 습지지역에서의 하천수는 5~6.5이고 건조지역에서는 7~8이다. 산성토양수는 4보다 적고 바닷물의 pH는 8.1에서 8.3에 속한다(최, 1990).

일반적으로 지하수에서 pH값은 용해된 탄산염이나 탄산가스의 양에 의해서 달라지는데 지하수내에 탄산가스가 용해되어 있으면 산성을 띠게 되며 이에 비해 알칼리염인 칼슘 및 마그네슘의 탄산염이 지하수 속에 용해되어 있는 경우에는 용존 탄산가스 경우만큼 pH값이 저하되지는 않는다(한, 1982).

고산(高山)지역 용천수의 pH값은 평균 5.8(백록담담수)~9.3(관음사)의 범위를 나타냈으며, 백록담담수에서는 5.8로 최저치를, 관음사물이 10.1로 최고치를 보여 SEC값의 변화와 유사한 경향을 보였다. 특히 관음사 용천수는 '94년 7월 8.7를 제외하고는 pH 변화폭이 9.1~10.1로 비교적 강한 알칼리성을 띠는데 이는 용천수를 차단된 저수조에 저장하여 사용함으로서 주변 식물들의 광합성 및 낙엽이 침전에 따른 부패등의 요인들에 의하여 pH가 높아진 것으로 사료된다. 중산간지역 용천수의 pH값은 평균 6.7(원만사)~7.6(절물)의 범위를 나타냈으며, 원만사 용천수가 6.6으로 최저치를, 절물이 7.8로 최고치를 보였다. 저지대지역 용천수인 경우 그 변화 범위가 평균 6.7(안덕계곡)~7.7(강정수원)을 나타냈으며, 장수물과 구시물이

6.6으로 최저치를, 금산수원과 강정수원이 7.8로 최고치를 보여 하류지역에 분포하는 용천수에서가 전반적으로 pH값이 높았다. 해안지역 용천수인 경우 평균 6.9(하강물)~7.9(과지물)의 범위를 나타냈으며, 하강물이 6.7로 최저치를, 서림수원이 9.6으로 최고치를 보였다. 특히 해안변에 위치하는 서림수원은 '95년 6월에 9.6, 한림수원은 '94년 7~9월에 8.1, 외도수원은 '94년 8월에 8.4등 pH값이 6월부터 9월 사이 8.1을 초과하고 있어 주목된다. 본 연구지역에서의 pH 범위는 5.8~10.1로 약산성에서 약 알칼리까지 다양하였다(Table. 3, Appendix 6).

Fig. 18은 조사지역 용천수의 강수량에 따른 수소이온농도의 변화경향을 보여

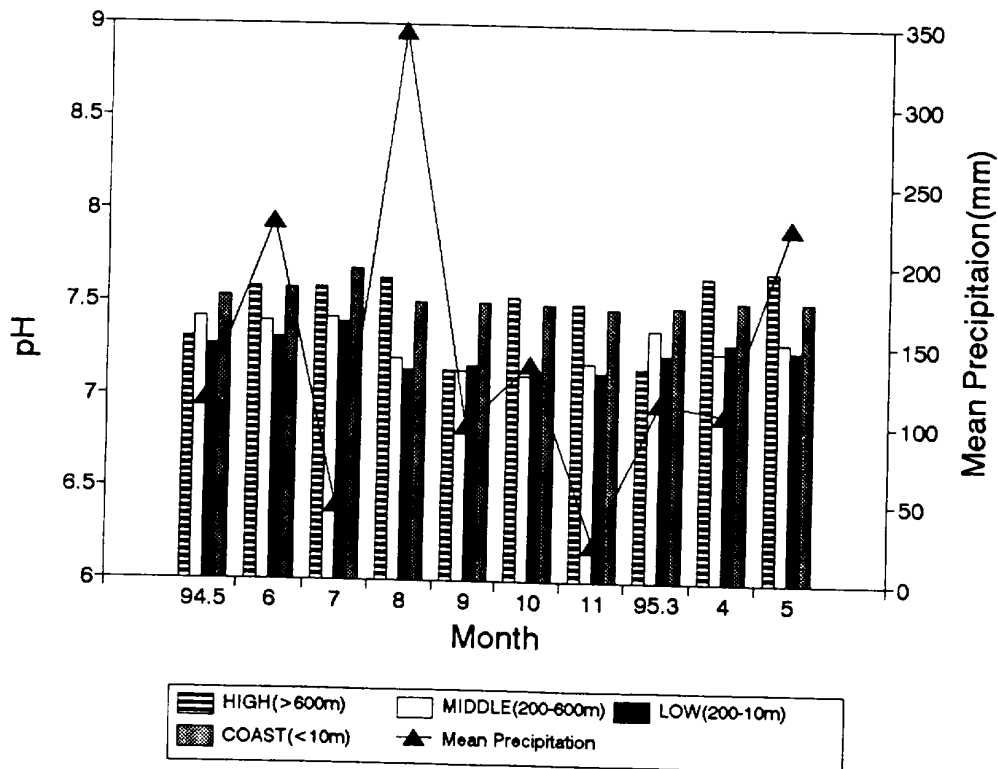


Fig. 18. Monthly variations of hydrogen concentration and precipitation.

주는 것이다. '94년 5월, 7월, 9월, '95년 3월에는 해안지역이 높게 나타났고, '94년 6월, 8월, 10월, 11월, '95년 4월, 5월에는 고산(高山)지역이 높게 나타났는데 고산 지역은 관음사 용천수에 의해 영향을 받은 것으로 사료된다. '94년 9월, 10월, '95년 3월, 4월을 제외하고는 저지대지역이 낮게 나타났고 연구지역 모두 강수량이 많은 봄과 여름에 높은 농도를 나타냈으며, pH 7이상으로서 약알카리성을 띄고 있음을 알 수 있다.

3-4. 나트륨(Na^+)

나트륨은 금속원소로서 알카리 금속이라 불리우는 족에 속하며, 이와 유사한 금속원소로는 칼륨(potassium)과 같은 원소가 있다. 알카리 금속들은 서로 유사한 화학적성질을 가지고 있는데, 그중 나트륨이 물속에 가장 많이 용해되어 있다. 나트륨은 수용성으로서 토양이나 암석내에서 빠져나와 용해되는데, 이들은 정호(井戸)에 공매작용(plugging)을 일으키고 피각현상을 일으키는 것으로 알려져 있다. NaHCO_3 나 Na_2CO_3 를 다량 포함한 지하수는 pH가 약 9이상에 이른다(한, 1982). 우리나라 먹는물 수질기준으로는 설정되어 있지 않으나 WHO, 일본등 대부분 나라의 허용기준치는 150~200ppm이하로 정하고 있다(오등, 1995).

고산(高山)지역 용천수의 나트륨 평균함량 변화는 0.54(백록담담수)~4.46 ppm(관음사)의 범위를 나타냈으며, 백록담담수에서는 0.53 ppm으로 최저치를, 관음사물이 5.08ppm으로 최고치를 보였다. 중산간 지역 용천수는 평균 4.86(돈네코수원)~12.05ppm(유수암천)의 변화폭을 나타냈으며, 돈네코수원이 4.12ppm으로 최저치를, 유수암천이 17.90ppm으로 최고치를 보였다. 저지대지역 용천수는 평균 5.37(강정수원)~24.04ppm(돈물)의 범위를 나타냈으며, 강정수원이 4.62ppm으로 최저치를, 돈물이 26.80ppm으로 최고치를 보였다. 해안지역 용천수는 평균 6.28(외도수원)~930.32ppm(서느렁물)의 범위를 나타냈으며, 외도수원이 3.46ppm으로 최저치를, 서느렁물이 1231.81ppm으로 최고치를 보였다(Table 3, Appendix 7).

따라서 고산지역, 중산간지역 및 저지대지역 용천수인 경우 나트륨함량치가 최고 24.04ppm이하를 나타내고 있어 양호한 수질을 보였으나 해안지역 용천수 중 삼양제3수원, 신촌큰물1, 2, 토산물, 고내물인 경우는 100ppm을 넘고, 명법사(558.83

ppm), 서너령물(930.32 ppm), 정금물(606.25ppm)의 경우는 허용기준치를 상당히 초과된 용천수로 나타났으며, 이들 용천수 중 북서부지역에 위치하는 정금물과 고내물을 제외 하고는 해수침입이 되고 있는 제주도 동부지역에 위치하고 있다.

Fig. 19는 조사지역 용천수의 강수량과 나트륨이온과의 관계를 보여주는 것이다. 전 조사기간에 해안지지역 용천수에서가 나트륨이온 함량치가 높게 나타났고, '95년 3월에 최대치를 '94년 8월에 최저치를 보였다. 즉 고도가 낮아지는 용천수에서가 나트륨 농도가 점차 증가하다 해안지역 용천수에서 급격히 증가하는 경향을 보였고 대체로 강수량이 많았을 때 활발한 회석작용으로 인한 나트륨 농도는 낮아지는 경향을 보여준다.

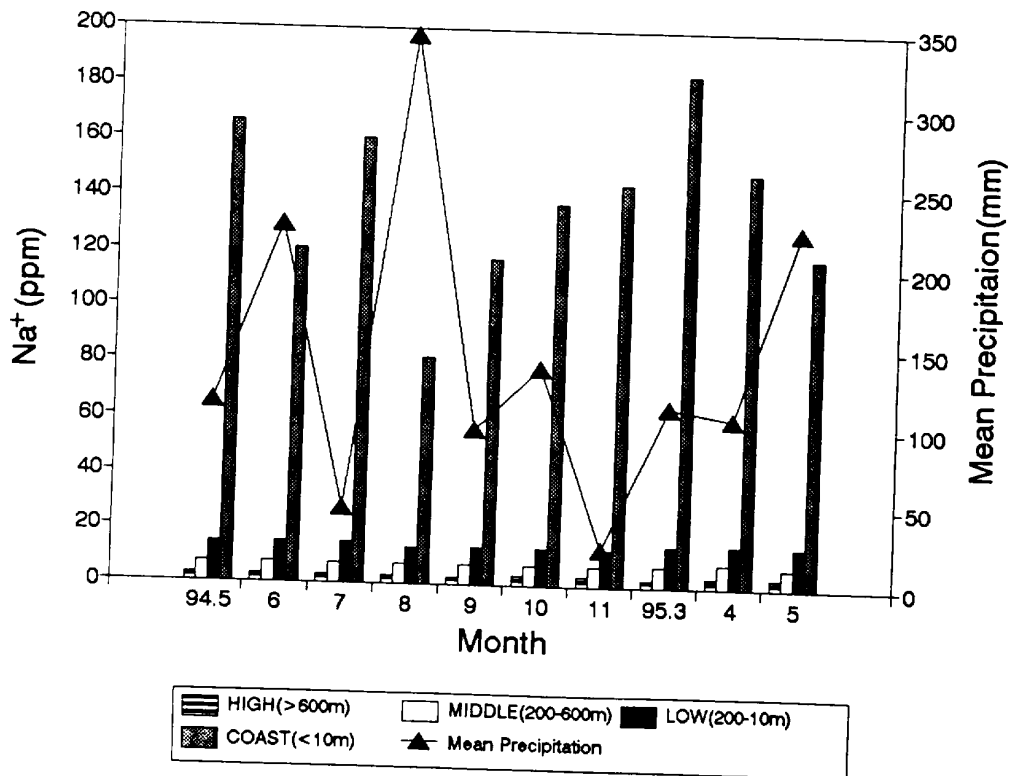


Fig. 19. Monthly variations of sodium concentration and precipitation.

Fig. 20은 총고용물질(TDS)에서 나트륨이온이 차지하는 정도를 나타내는 것으로서 해수의 영향에 의해 높은 나트륨 함량을 갖는 시료와 낮은 함량을 갖는 시료가 명확히 구분되는 것을 볼 수 있다. 조사지역 용천수의 나트륨 함량치는 광지물(C17), 애월하물(C18), 토산물(C7), 삼양제3수원(C2), 신촌큰물1(C3), 신촌큰물2(C4), 고내물(C19), 명법사(C5), 정금물(C14), 서느렁물(C6)의 순으로 증가하고 있어 이들 용천수는 모두가 해수의 영향을 받는지역으로 TDS의 상당부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 최(1990)에 의하면 나트륨이온이 20ppm이상을 포함하는 시료들은 지하수가 해수와 혼합됐거나 육상 오·폐수에 의해 오염되었다 하였는데, 본 연구지역 중 저지대의 용천수인 하원통물, 안덕계곡, 돈물, 장수물은 나트륨 함

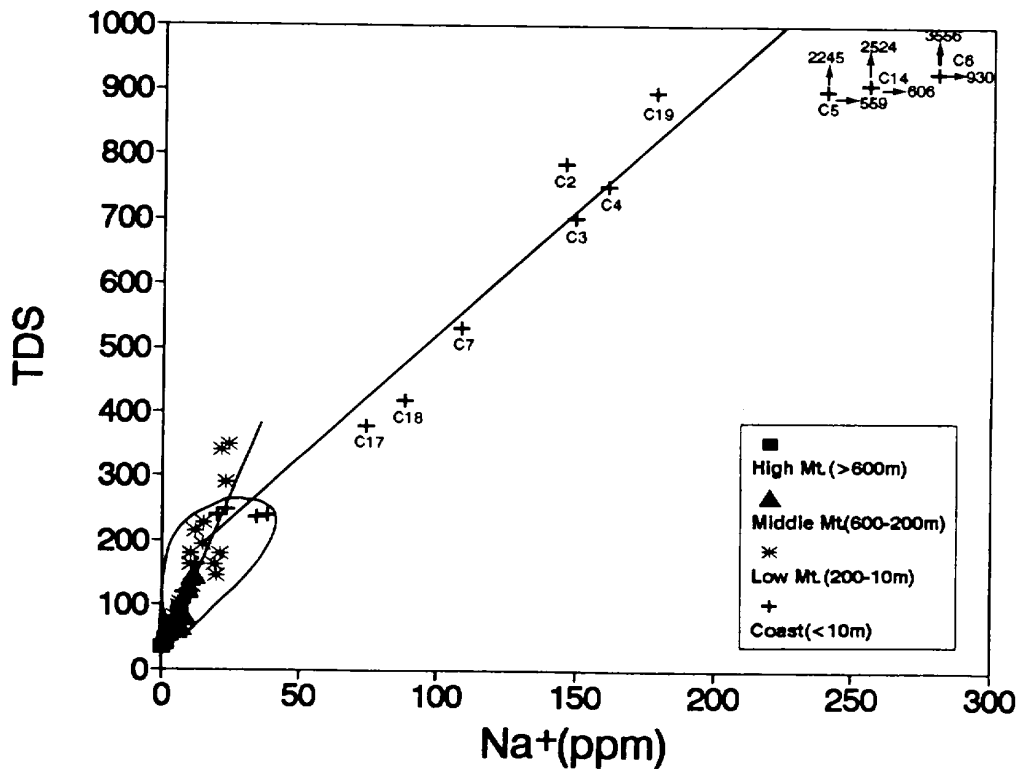


Fig. 20. Graph of total dissolved solids(TDS) to sodium content.

유량이 20ppm을 초과하고 있어 이들 용천수는 해수에 의한 오염보다는 육상 오·폐수에 의해 오염되고 있는 것으로 사료된다.

3-5. 칼륨(K^+)

물속에 용존된 무기물질의 일종으로 우리나라 먹는물 수질기준으로는 설정되어 있지 않으나 EEC, 영국, 프랑스 등의 대부분 나라에서 수질기준 12ppm이하로 정하고 있다(오등, 1995).

정상적인 지하수는 일반적으로 5ppm 미만의 값을 갖고 있으나 그 이상의 값이 나오면 일단 오염의 가능성이 있다. 즉 해수의 침입에 의한 것이나 농약이나 폐기물에 의해 오염된 것이다(최와 김, 1989).

고산(高山)지구용천수의 칼륨의 함유량은 평균 0.13(백록담담수)~1.43ppm(관음사)의 범위를 나타냈으며, 남국선원이 0.03ppm으로 최저치를, 관음사물이 1.64ppm으로 최고치를 보이나 이들 모두 기준치를 훨씬 못미치고 있어 보여 양호한 수질을 보였다. 중산간지역 용천수의 칼륨 함유량은 평균 0.61(명도암)~5.48ppm(유수암천)의 범위를 나타냈으며, 이들중 명도암 용천수가 0.50ppm으로 최저치를, 유수암천이 6.32ppm으로 최고치를 보여 유수암천을 제외하고는 모두가 양호한 수질을 보였고, 유수암천은 94년 5월과 8월을 제외하고 전 측정기간동안 5ppm이상 보여 상부지역의 축산 및 양돈·양계장에서 배출되는 폐수 및 주변마을의 생활하수 등에 의해 오염이 진행되고 있음을 알 수 있었다. 저지대지역 용천수는 그 변화범위가 평균 1.34(색달생수)~16.24ppm(안덕계곡)을 나타냈으며, 이중 법화사 용천수가 1.01ppm으로 최저치를, 안덕계곡 용천수가 30.21ppm으로 최고치를 보였다. 조사지역 중 기준치를 항상 초과한 지역은 안덕계곡(16.24ppm), 돌물(9.05ppm) 두지역 뿐이었으나, 운량천과 법화사 용천수인 경우도 5ppm이상일때가 각각 5월과 6월에 여러번 검출되어 이들지역도 주변 오·폐수로부터 오염이 진행중인 곳으로 사료된다. 해안지역 용천수의 칼륨 함량치는 평균 1.54(외도수원)~35.91ppm(서느렁물)의 범위를 나타냈으며, 이들 중 공천포가 0.13ppm으로 최저치를, 정금물이 66.50ppm으로 최고치를 보였다. 5ppm이상인 지역은 삼양재3수원지(10.20ppm), 신촌큰물1(7.83ppm), 신촌큰물2(9.04ppm), 명법사물(24.23ppm), 서느렁물(35.91ppm), 토산물(5.67ppm), 정금물(33.25ppm), 광지물(5.20ppm), 애월하

물(6.38ppm), 고내물(12.75ppm)등 10개지역으로 해안지역의 용천수는 대부분 해수에 의해 오염된 지역임이 확인되었다. 그러나 녹고물과 오래물은 5월말을 제외하고는 칼륨 함유량이 각각 4.13ppm, 3.68ppm으로 기준치 이하를 보였다(Table 3, Appendix 8). 따라서 조사지역 용천수 중 5ppm를 초과한 지역의 비율을 보면 고산지역은 기준치를 초과한 용천수는 없었고, 중산간지역은 1지역(1.8%), 저지대지역은 4지역(7.3%), 해안지역은 13지역(23.6%)으로 전체 55개 조사지역중 18지역(32.7%)으로 용천수가 각종 오·폐수 등에 의해 오염이 되었거나 진행중임을 알 수 있었고 이런 현상은 고도가 낮은 지역에 위치하는 용천수일수록 오염정도가 많이 진행되었음을 알 수 있었다.

Fig. 21은 조사지역 용천수의 강수량에 따른 칼륨이온의 변화경향을 보여주는

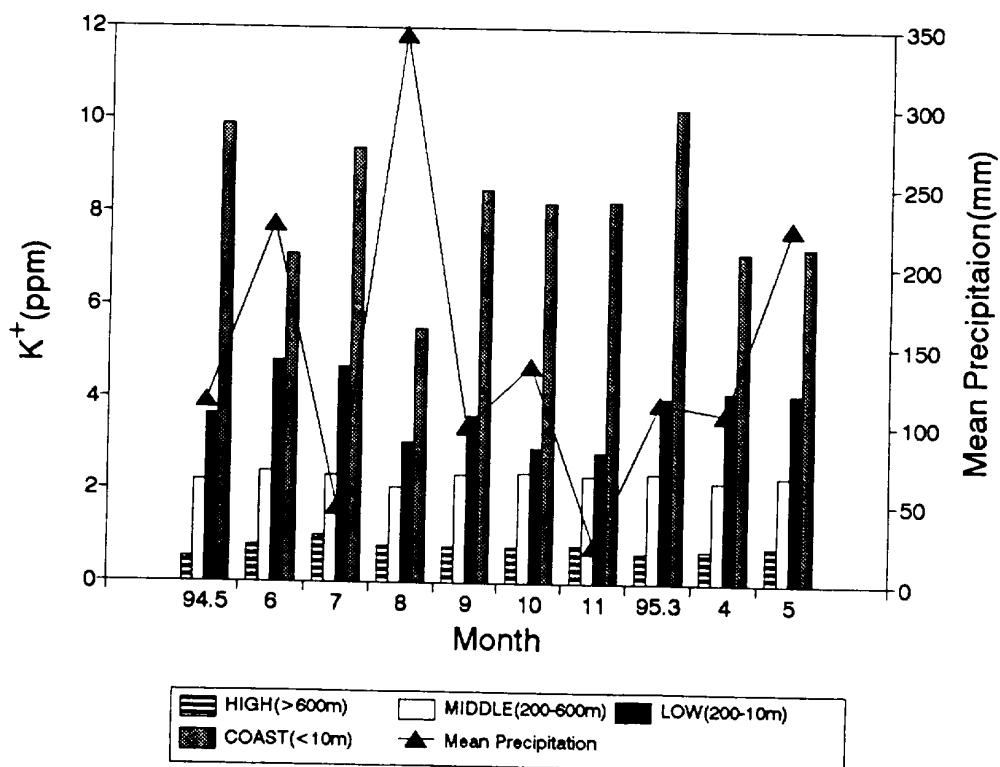


Fig. 21. Monthly variations of potassium concentration and precipitation.

것이다. 전 조사기간에 걸쳐 해안지역 용천수에서가 칼륨값이 높게 나타났고 95년 3월에 최대치를 94년 8월에 최저치를 보였다. 해발고도가 낮은 지역에 위치하는 용천수일수록 순차적으로 용천수에서 칼륨 농도가 증가하는 경향을 보였고, 특히 해안지역에서 강수량이 많았을 때 회석효과에 의한 칼륨농도가 낮아지는 경향을 보였고 그외 지역에서는 영향이 미미함을 알 수 있었다.

Fig. 22는 총고용물질(TDS)에서 칼륨이온이 차지하는 정도를 나타내는 것으로서 5ppm이상인 지역은 중산간지구에서가 1곳(유수암천(M6)), 저지대지역이 3곳(운량천(L6), 돌물(L13), 안덕계곡(L12)), 해안지구는 11곳(하강물(C10), 광지물(C17), 애월하물(C18), 토산물(C7), 신촌큰물1(C3), 신촌큰물2(C4), 삼양재3수원지

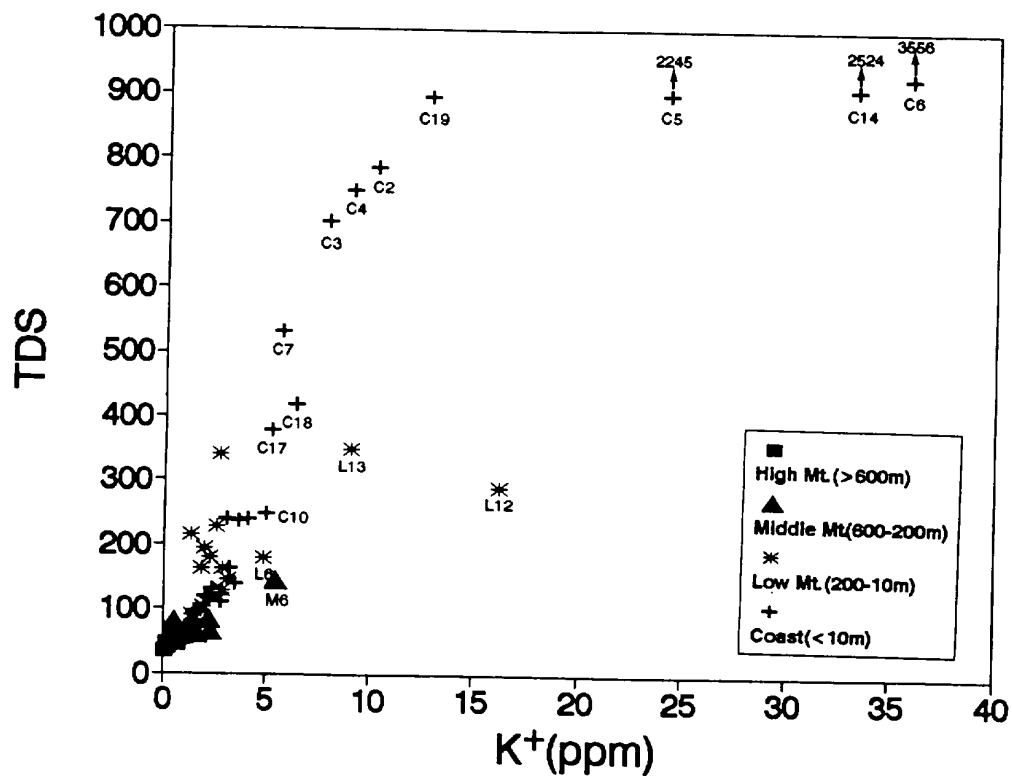


Fig. 22. Graph of total dissolved solids(TDS) to potassium content.

(C2), 고내물(C19), 명법사(C5), 정금물(C14), 서느령물(C6))등으로 이들 지역의 용천수는 대부분해수나 주변 육상지역의 오·폐수로 오염이 진행되고 있는 용천수임을 알 수 있었다.

3-6. 마그네슘(Mg^{2+}) 및 칼슘(Ca^{2+})

마그네슘은 물속에 용존된 무기물질의 일종으로 우리나라 먹는물 수질기준은 설정되어 있지 않으나 EEC, 영국, 프랑스, 독일등이 수질기준 50ppm이하로 정하고 있다. 칼슘은 마그네슘과 같이 Alkali 토류성분이며 경도의 주요한 성분으로 칼슘을 먹는물 수질기준을 정하여 관리하는 나라는 거의 없으며, 독일에서는 400ppm이하로 규제하고 있고, 또한 일본에서는 맛있는 물의 수질기준에 정도로 10~100ppm이하로 규정하고 있다(오등, 1995)

정상적인 지하수는 $Ca > Mg$ 의 관계를 나타내며, $Mg > Ca$ 의 관계를 보이면 일단 해수침입의 가능성을 생각할 수 있다(최와 김, 1989).

마그네슘은 고산지역 용천수에서 평균 0.26(백록담담수)~0.87ppm(영실)의 범위를 나타냈으며, 이중 성판악 용천수가 0.12ppm으로 최저치를, 영실물이 1.33ppm으로 최고치를 보였다. 칼슘의 함량범위는 평균 0.26(백록담담수)~3.12ppm(관음사)을 나타내어 성판악 용천수가 0.04ppm으로 최저치를, 관음사물이 5.37ppm으로 최고치를 보였다. 조사지역 용천수에서 마그네슘과 칼슘의 관계는 백록담 담수를 제외하고 정상적인 지하수 형태인 $Ca > Mg$ 의 관계를 나타냈다. 중산간지역 용천수의 마그네슘 평균함량 범위는 0.24(산천단)~5.09ppm(유수암천)을 나타내어 이들중 산천단 용천수가 0.21ppm으로 최저치를, 유수암천이 5.64ppm으로 최고치를 보였다. 칼슘의 함량범위는 평균 1.38(원만사)~7.50ppm(유수암천)을 나타내어, 산천단 용천수가 1.20ppm으로 최저치를, 유수암천이 7.86ppm으로 최고치를 보였다. 마그네슘과 칼슘의 관계에서는 전지역 용천수가 모두 지하수 형태인 $Ca > Mg$ 의 관계를 나타냈다. 저지대지역 용천수에서 마그네슘의 함량범위는 평균 1.89(강정수원)~21.89ppm(하원통물)을 보였으며, 이들 중 강정수원이 1.18ppm으로 최저치를, 하원통물이 28.25ppm으로 최고치를 보였으며, 칼슘의 함량범위는 평균 3.12(강정수원)~36.96 ppm(하원통물)을 나타내고, 이들중 강정수원이

2.06ppm으로 최저치를, 하원통물이 52.80ppm으로 최고치를 보였다. 용천수내 마그네슘과 칼슘의 관계에서는 금산수원과 영천사 용천수를 제외하고 조사지역 전 용천수가 정상적인 지하수 형태인 $Ca > Mg$ 의 관계를 나타냈다. 다만 금산수원과 영천사 용천수만이 $Ca < Mg$ 관계를 보여 주변 오염원으로부터 영향이 있는 것으로 사료된다. 해안지역 용천수에서 마그네슘의 함량범위는 평균 2.66(외도수원)~130.94ppm(서느렁물)을 나타냈으며, 이중 외도수원이 1.35ppm으로 최저치를, 서느렁물이 174.08ppm으로 최고치를 보였다. 칼슘의 함량 범위는 평균 3.80(구멍물)~49.53ppm(서느렁물)을 나타냈으며, 이들 중 막은물이 1.10ppm으로 최저치를, 서느렁물이 65.11ppm으로 최고치를 보였다. 마그네슘과 칼슘 함량과의 관계는 산

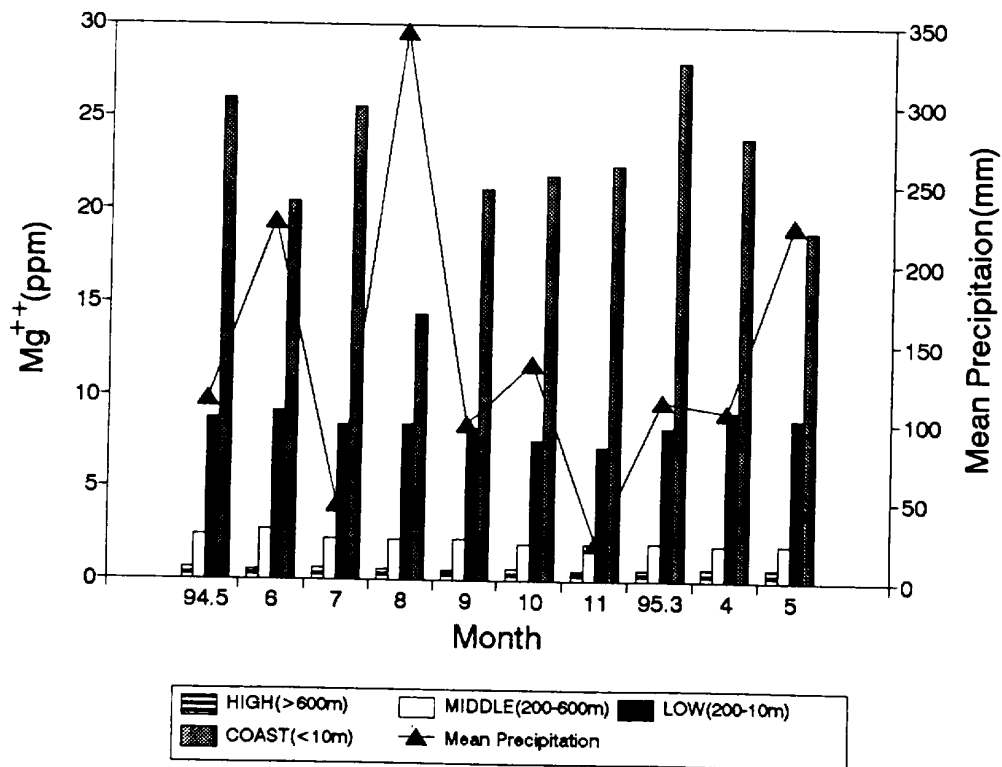


Fig. 23. Monthly variations of magnesium concentration and precipitation.

지물, 공천포, 시냇물, 서림수원1, 서림수원2, 외도수원, 구명물, 막은물만이 정상적인 지하수 형태인 $Ca > Mg$ 의 관계를 보이나, 상가지역들을 제외한 16개지역이 $Ca < Mg$ 관계를 보이고 있어 이들 용천수들은 해수 및 주변 오·폐수에 의해 오염이 되고 있음을 알 수 있었다. 즉, 해수오염으로 보여지는 지역은 삼양제3수원, 신촌큰문1, 신촌큰물2, 명법사 용천수, 서느렁물, 토산물, 정금물, 괘지물, 애월하물, 고내물, 녹고물, 오래물등 12개지역이고, 돛물, 하강물, 한림수원, 문두물등 4개지역은 주변지역의 오·폐수에 의해 오염이 진행되고 있음을 알 수 있었다(Table 3, Appendix 9, 10).

Fig. 23과 Fig. 24는 조사지역 용천수의 강수량과 마그네슘 및 칼슘이온과의

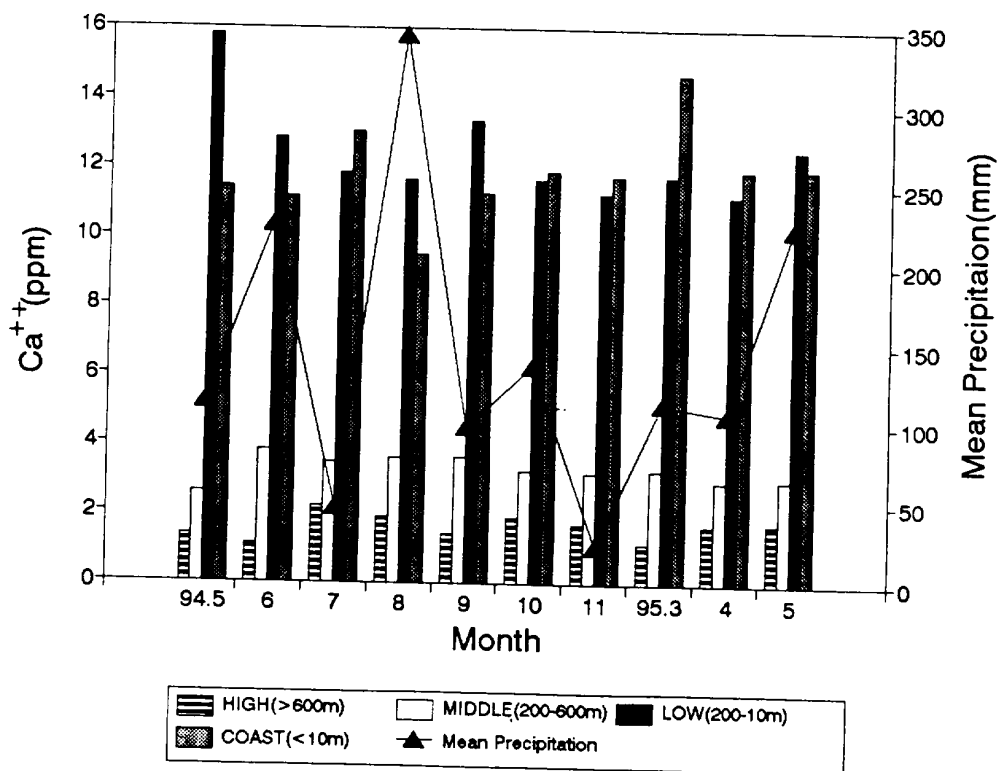


Fig. 24. Monthly variations of calcium concentration and precipitation.

관계를 보여주는 것이다. 용천수내 마그네슘 함유량은 전 조사기간에 걸쳐 해안지역 용천수에서가 타지역보다 높게 나타난 반면 칼슘의 함유량은 94년 7월, 10월 11월, 95년 3월, 4월을 제외하고 저지대지역 용천수에서가 높게 나타났다. 조사지역 용천수의 고도별 마그네슘의 함량 변화는 고도가 낮아지면서 순차적으로 그 농도가 증가하다 해안지역 용천수에서 빠른 증가 경향을 보이는 반면, 칼슘의 함량변화는 고산지역과 중산간지역 용천수에서는 마그네슘의 변화 경향과 비슷하나 저지대지역 및 해안지역용천수에서는 반대의 경향을 나타내고 있어 해수침입에 대한 칼슘이온이 민감하게 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 대체로 용천수내 마그네슘의 함량과 강수량과의 관계는 고산지역 용천수에서 영향이 미미한 편이나 중산간지

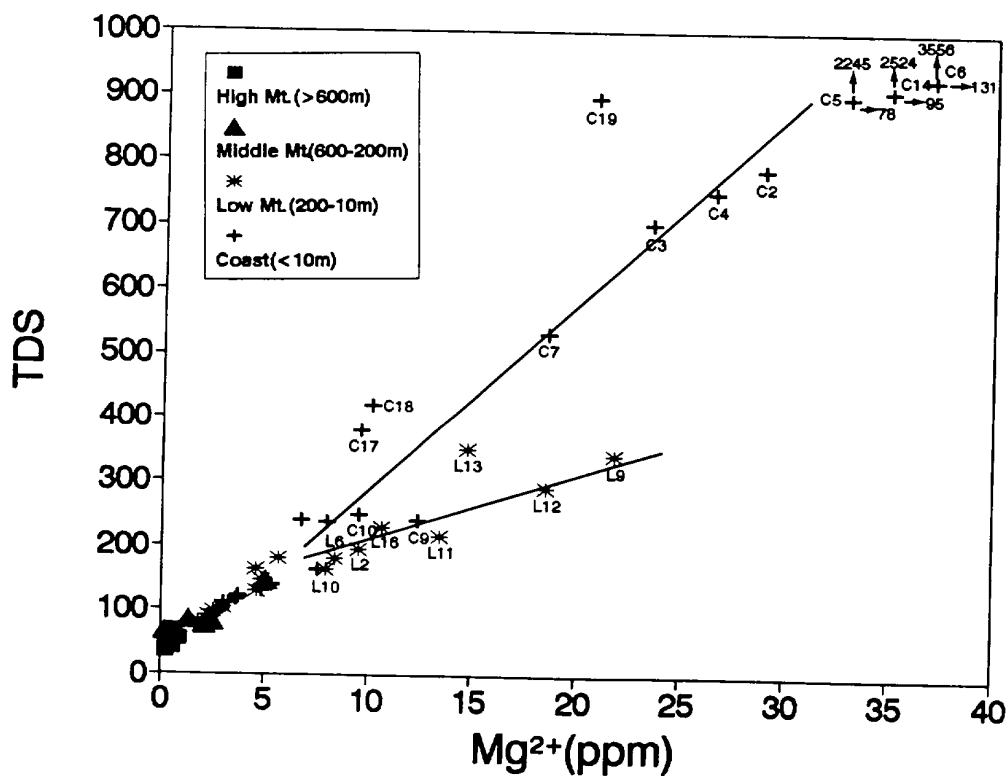


Fig. 25. Graph of total dissolved solids(TDS) to magnesium content.

역 및 해안지역에 분포하고 있는 용천수들은 강수량이 증가하면 용천수에 마그네슘의 농도가 감소하는 경향을 보였다. 한편 강수량과 용천수내 칼슘과의 관계에서는 고산지역 용천수인 경우 강수량이 증가하면 칼슘농도는 감소하고, 중산간지역 용천수는 강수량이 증가하면 그 농도도 증가하는 경향을 보였고 저지대와 해안지역 용천수에서는 영향이 미미하였다.

Fig. 25와 Fig. 26은 연구지역 용천수의 총고용물질(TDS)에서 마그네슘과 칼슘이온이 차지하는 정도를 나타낸 것으로서 마그네슘과 칼슘 둘다 해수영향권인 해안지역과 저지대지역이 서로 다른 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 해안지역과 저지대 용천수인 경우 TDS와 마그네슘과의 관계는 정의 직선관계를 보였으나, 칼슘과의 관계는 해안지역 용천수인 경우 약간 다른 경향을 보였다. 즉, 해안지역

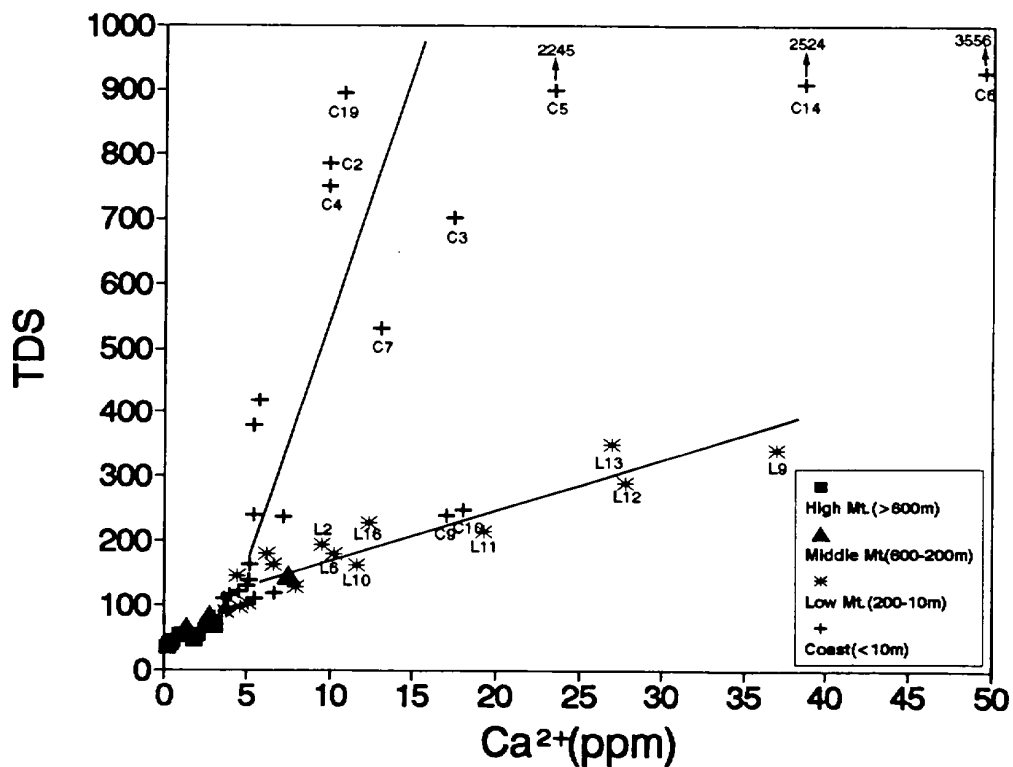


Fig. 26. Graph of total dissolved solids(TDS) to calcium content.

용천수에서는 용천수에서는 TDS중 칼슘의 함량이 비교적 적은 반면 저지대 지역인 경우는 상대적으로 많은 함유량을 보이고 있다(Fig. 26). 조사지역 용천수내 마그네슘이 10ppm이상인 지역은 저지대지역인 경우 덕지샘물(L16), 색달샘수(L11), 돌물(L13), 안덕계곡용천수(L12), 하원통물(L9)등 5지역으로 이들지역의 용천수들은 주변 농경지 및 마을등에서 오·폐수, 농약, 비료에 의해 오염이 진행되고 있는 곳이고, 해안지역 용천수에서는 애월하물(C18), 돛물(C9), 토산물(C7), 고내물(C19), 신촌큰물1(C3), 신촌큰물2(C4), 삼양계3수원(C2), 명법사(C5), 정금물(C14), 서느렁물(C6)등 10여곳으로 이들지역의 용천수들은 해수에 의해 오염된 지역이거나 오염이 진행중에 있는 곳이다. 칼슘의 기준치를 초과한 경우는 저지대지역 용천수에서 운랑천(L6), 동해물(L10), 덕지샘물(L16), 색달샘수(L11), 돌물(L13), 안덕계곡(L12), 하원통물(L9)등 7곳으로 이들 역시 오·폐수, 농약, 비료에 의해 오염된 곳이고, 해안지구 용천수인 경우 늑고물(C19), 토산물(C7), 돛물(C9), 하강물(C10), 신촌큰물1(C3), 명법사 용천수(C5), 정금물(C14), 서느렁물(C6)등 8곳으로 이들 역시 해수 등에 의해 오염이 되었거나 오염이 진행중인 지역이다.

3-7. 염소이온(Cl^-) 및 황산이온(SO_4^{2-})

일반적으로 자연의 지하수에는 보통 10ppm 내외의 Cl을 함유하고 있는 것이 통상적이고 해수에서는 평균 19,000ppm의 높은 값을 갖는다(Garrels et al., 1975). 본 도 동부 신양 앞바다에서의 해수중의 Cl값은 19,250ppm으로 상기와 거의 동일한 값을 갖고 있다(최, 1990). 또한 본 도 강수에서의 Cl값은 3.4ppm에서 8.8ppm의 범위를 보이나 보통의 강수는 8ppm 내외인 것으로 알려진다(최, 1989). 지하수내의 SO_4^{2-} 는 주로 석고(石膏)나 경석고로부터 유래하며, 간혹 유화철인 황철광이 산화함으로써 지하수내로 유입되는 경우도 있다. 지하수내에 황산마그네슘이나 황산나트륨염이 상당량 함유되어 있으면 쏠는 맛을 내며, 이러한 물을 장기간 마시는 경우 설사를 일으키는 것으로 알려졌다(한, 1982). 일반적으로 지하수에서 염소이온과 황산이온이 높은 경우는 해수 침입에 의한 오염으로 알려져 있다(최, 1990).

염소이온은 고산(高山)지역 용천수에서 평균 1.31(백록담담수)~5.20ppm(관음

사)의 범위를 나타냈으며, 이들 중 백록담 담수가 1.29ppm으로 최저치를, 관음사물이 7.32ppm으로 최고치를 보이며, 백록담담수와 윗세오름 용천수인 경우 염소 함유량이 2.7ppm 이하로 분석되어 상술한 최(1989)와는 차이를 보이거나 수질이 극히 양호한 특성을 보여준다. 황산이온은 고산지역 용천수에서 평균 0.00~1.83ppm(관음사)의 범위를 나타냈으며, 성판악 용천수를 포함한 대부분 불검출되었고 관음사물에서 2.57ppm으로 최고치를 보였다. 중산간지구 용천수인 경우 염소이온의 함량 범위는 평균 5.49(원만사)~17.47ppm(유수암천)을 나타냈으며, 이들 중 돈네코수원이 4.29 ppm으로 최저치를, 유수암천이 19.67ppm으로 최고치를 보였다. 용천수내 황산이온의 평균 함유량은 0.00(산천단)~4.43ppm(유수암천)의 범위를 나타냈으며, 이들 중 산천단 용천수와 원만사 용천수에서가 불검출되었고, 절물이 6.66ppm으로 최고치를 보였다. 저지대지역 용천수에서 염소이온은 평균 6.96(강정수원)~43.38 ppm(하원통물)의 범위를 나타냈으며, 이들 중 강정수원이 6.23ppm으로 최저치를, 둔물이 55.30ppm으로 최고치를 보였다. 용천수내 황산이온의 평균 함유량은 1.10(하원통물)~14.10ppm(둔물)을 나타냈으며, 이들 중 법화사 용천수가 0.12ppm으로 최저치를, 둔물이 23.07ppm으로 최고치를 보였다. 해안지역 용천수인 경우 염소이온이 평균 8.98(외도수원)~1904.25ppm(서느렁물)의 범위를 나타냈으며, 이들 중 외도수원이 5.32ppm으로 최저치를, 서느렁물이 2420.09ppm으로 최고치를 보였다. 용천수내 황산이온의 평균 함량범위는 0.00(외도수원)~355.02ppm(서느렁물)을 나타냈으며, 이들 중 외도수원에서 불검출되었고, 서느렁물이 491.65ppm으로 최고치를 보였다. 조사지역 용천수 중 먹는물 수질기준인 염소이온이 150ppm을 초과한 지역은 삼양제3수원, 신촌큰물1, 신촌큰물2, 서느렁물, 애월하물, 명법사 용천수, 정금물, 토산물, 고내물, 광지물, 녹고물, 오래물등 12곳으로 이들 용천수는 모두 해안지역에 위치하여 있으며 이지역에서 황산이온도 역시 높은수치를 보여 이 지역 용천수들은 해수침입으로 인한 오염이 진행되고 있음을 알 수 있었다(Table 3, Appendix 11, 12).

Fig. 27과 Fig. 28은 조사지역 용천수의 강수량과 염소이온 및 황산이온과의 관계를 보여주는 것이다. 용천수내 두 이온은 모두 유사한 변화경향을 보이고 있었으며, 전월에 걸쳐 해안지역 용천수에서가 높은 함량을 나타냈고, 반면 고산지구 용천수에서는 낮은함유량을 보이며 해발고도가 낮은 지역의 용천수일수록 순차적으

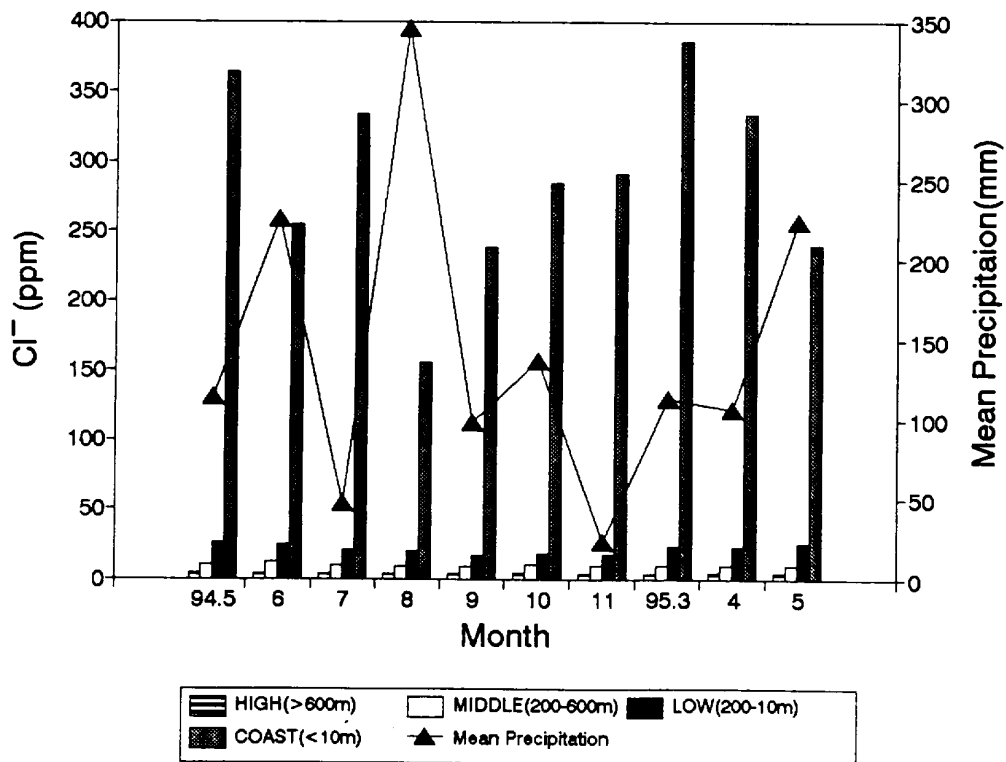


Fig. 27. Monthly variations of chloride concentration and precipitation.

로 이들 두 이온의 농도가 증가하다 해안지역 용천수에는 그 함량이 빠른 증가 경향을 보이고 있다(Fig. 27). 해안지역 용천수일수록 그 농도가 빠른 증가 경향을 보이는 것은 이지역에 분포하는 용천수는 조수위에 따른 해수침입이 발생하는 지역 이므로 두 이온을 다량 함유하고 있다. 강수량과 용천수내 이들 두 이온과의 관계를 보면 염소이온인 경우 강수량이 증가하면 회석에 의한 그 농도가 감소하는 경향을 보였으며, 황산이온인 경우 저지대지역의 용천수에서 강수량이 증가하면 그 농도가 증가하는 경향을 보였는데 이는 지표면위에 있는 오염물질들이 강수와 함께 지하로 침투하기 때문으로 사료되며, 반면 해안지구에서는 강수량이 증가하면 농도가 감소하는 경향을 보였다.

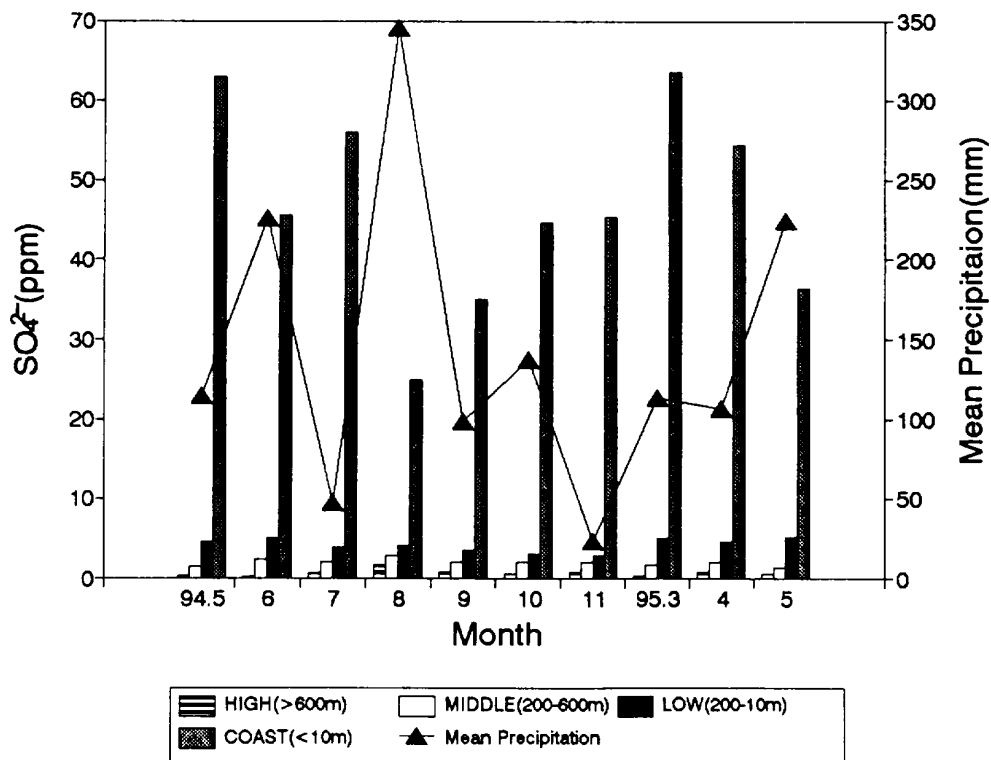


Fig. 28. Monthly variations of sulphate concentration and precipitation.

Fig. 29와 Fig. 30은 조사지역 용천수의 총고용물질(TDS)에서 염소이온과 황산이온이 차지하는 정도를 나타내는 것이다. 용천수내의 염소이온인 경우 전술한 나트륨이온과 유사한 경향을 보여 해수침입 영향에 의한 높은 염소 함량을 갖는 용천수와 낮은 함량을 갖는 용천수가 명확히 구분되는 것을 볼 수 있다. 용천수에 Cl^- 함유량이 150ppm을 초과하는 지역은 광지물(C17), 애월하물(C18), 토산물(C7), 신촌큰물1(C3), 신촌큰물2(C4), 삼양제3수원(C2), 고내물(C19), 명법사(C5), 정금물(C14), 서느렁물(C6)등 10여 곳으로 이들은 모두 만조시 해수와 접하다 간조시 용출되는 해안 용천수들로서 이들은 해수침입에 영향을 받는 용천수이다. 용천수내 황산이온 역시 해수침입 영향에 의해 높은 황산 함유량을 갖는 용천수와 낮

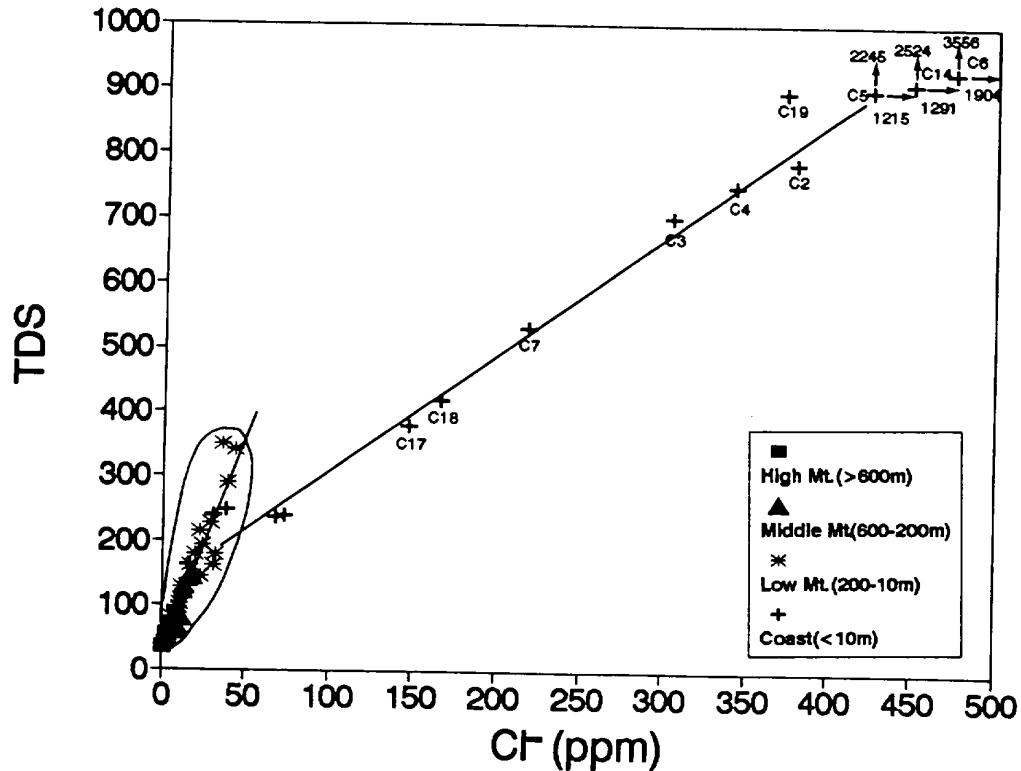


Fig. 29. Graph of total dissolved solids(TDS) to chloride content.

은 함량을 갖는 용천수로 구분되어진다(Fig. 30). 용천수내 SO_4^{2-} 가 20ppm을 초과하는 지역은 광지물(C17), 에월하물(C18), 토산물(C7), 신촌큰물1(C3), 신촌큰물2(C4), 삼양제3수원(C2), 고내물(C19), 명법사(C5), 정금물(C14), 서느렁물(C6)등 10여곳으로 이들 모두 만조시 해수와 접하다 간조시 용출되는 해수침입이 활발한 해안용천수이다.

3-8. 질산성질소(NO_3^- -N)

지하수속에 질산성질소가 다량으로 들어 있을때에는 첫째로 오염된 지표수가 유입하여 지하수가 오염되었거나 또는 지표의 토양속에 농축되었던 질산염이 강수와 함께 지하 대수층으로 침투하여 지하수를 오염시키는 것으로 알려졌다(윤,

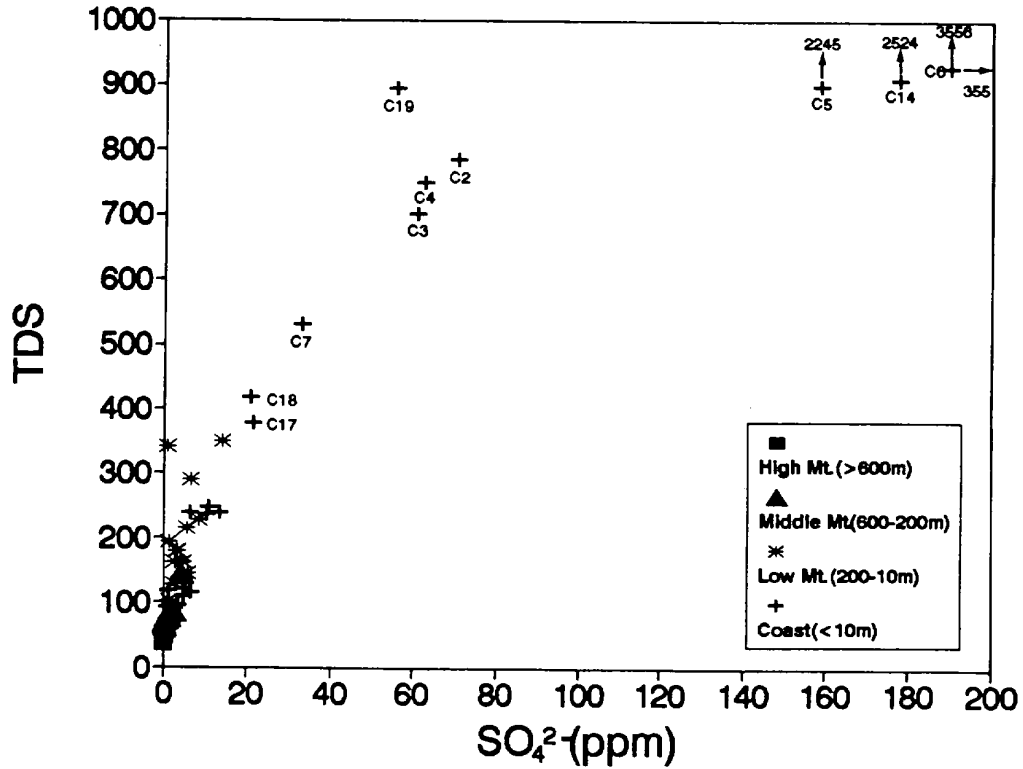


Fig. 30. Graph of total dissolved solids(TDS) to sulphate content.

1994; 한, 1982). 즉 일반적으로 NO_3^- 가 지하수에서 높게 검출되는 원인으로서는 축산시설의 분뇨 및 오·폐수, 유기질 비료 및 퇴비, 정화조의 누출, 질소질 화학비료, 생활하수 및 부패된 음식물 등으로 부터 생겨나는 유기질 질소가 강수와 함께 지하로 침투됨으로써 비롯되는 것으로 알려져 있다. 이러한 오염원으로 부터 발생한 유기질소의 변환과 운명은 지하로 침투하는 질소의 형태와 다양한 생물학적 변환에 따라 좌우되는데 대체로 유기질소는 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 순의 변환과정을 밟는다. 따라서 지하수 중의 NO_3^- 농도는 오염원으로부터 거리가 멀어질수록 점진적으로 증가하는 현상을 나타내어 하류구배의 지하수에서 높은 농도의 NO_3^- 가 검출되게 된다(Aller et al., 1987; Junge, 1963).

질산성질소가 10ppm 이상인 물을 유아가 오랜기간 마실경우 유아에게 토식효

과(Toxic Effect)를 일으키기 때문에 식수로서는 사용할 수 없도록 규정되어 있다(한, 1982). 이러한 토식효과를 소위 Syanosis라 해서 유아들에게 무기력 및 졸음 증을 일으키게 하며, 피부가 청색으로 변하는 병으로서 상당량이 함유되어 있을 때는 생명까지 잃어버리게 된다(질산성 질소 ; 20.3ppm). 질산성질소는 물을 끓여서는 제거시킬 수 없고 물을 증발시키거나 물 속의 광물성분을 분리시켜야만 한다. 질산성질소가 발수(發水)과정에 의해 지하수 속에 포함되어 있을 때는 통상 염화물이 함께 수반된다. 따라서 질산성질소와 염소이온이 취수한 지하수 속에 상당량이 동시에 함유되어 있으면 발수나 외부에서 오염된 지하수로 보고있다(한, 1982).

고산지구 용천수인 경우 함량치가 평균 0.00(백록담담수)~0.43ppm(관음사)의 범위를 나타냈으나, 백록담 담수, 어리목 용천수, 윗세오름 용천수등에서 불검출 되었고, 성판악이 0.80ppm으로 최고치를 보이나 이곳 용천수 모두가 양호한 수질을 형성하고 있다. 중산간지역 용천수인 경우 그 함량범위가 평균 0.10(원만사)~7.65ppm(유수암천)을 나타냈으며, 원만사가 0.09ppm으로 최저치를, 유수암천이 10.95ppm으로 최고치를 보여 이곳 역시 양호한 수질을 나타냈으나 유수암천인 경우 상류구배지역에 마을등 오염원이 있는 관계로 '94년 5월과 '95년 6월에 먹는물 수질기준치를 초과하여 식수로 사용할 수 없을 정도로 오염된 경우도 있었다. 돈내코수원도 상류구배지역에 쓰레기매립장 및 공동묘지 등이 있는 관계로 오염이 진행 중에 있으며 유수암천도 상류지역에 대단위 양계 및 축산단지가 조성되어 있어 이들이 유수암천을 오염시키고 있었다. 저지대지역 용천수의 질산성질소 함량범위는 평균 3.42(강정수원)~33.65ppm(화순 돌물)을 나타냈으며, 이들 중 천지연물이 2.08 ppm으로 최저치를, 화순 돌물이 44.18ppm으로 최고치를 보였다. 이곳 16개 조사지역 중 강정수원지, 천지연물, 정방용천수등 3개지역을 제외하고 거의 전 용천수가 질산성질소 함유량이 5ppm이상을 나타내어 이곳 용천수들은 오염이 진행 중인 것을 알 수 있었고, 조사지역중 먹는물수질기준 10ppm을 초과한 용천수는 영천사 용천수(24.78ppm), 운량천(26.13ppm), 하원통물(40.83ppm), 동해물(28.28ppm), 색달생수(24.53ppm), 안덕계곡 용천수(34.10ppm), 화순돌물(44.18ppm)등 9개지역이었다. 해안지역 용천수인 경우 그 함량치가 평균 0.72(명법사)~22.48ppm(화순 돛물)을 나타냈으며, 이들 중 명법사 용천수가 0.44ppm으로 최저치를, 화순 돛물 30.18ppm으로 최고치를 보였다. 조사지역 용천수 중 질산성질소

가 10ppm을 초과한 지역은 신촌큰물1(10.11ppm), 뚝물(30.18ppm), 하강물(22.90 ppm), 정금물(10.67ppm)등 24개 지역중 4지역에 불과했다. 특히 해수영향이 크게 미치는 지역의 용천수에서가 질산성질소 함유량이 상대적으로 농도가 낮았다. 그러나 예외적으로 신촌큰물1, 2와 정금물은 해수의 영향을 상당히 받으면서도 질산성 질소가 높게 검출되었는데 이들 용천수는 천층에서 용출하는 용천수로서 지표의 많은 양의 육상 오염물질들이 공급되고 있음을 알 수 있었다(Table 3, Appendix 13).

Fig. 31은 조사지역 용천수의 강수량과 질산성질소와의 관계를 보여주는 것이다. 전 조사기간에 걸쳐 저지대의 용천수에서가 높게 나타났고, 해안지역, 중산간지

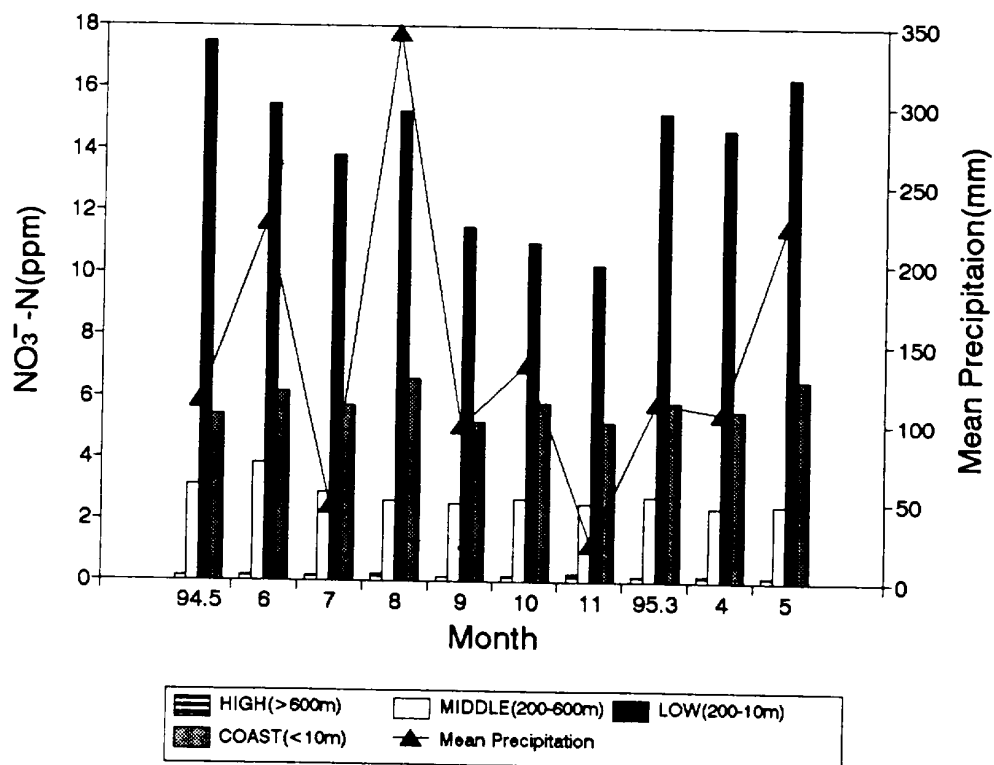


Fig. 31. Monthly variations of nitrate nitrogen concentration and precipitation.

역, 고산지역의 용천수 순으로 그 함유량이 낮게 나타났으며 94년 5월에 최대값을 11월에 최소값을 보였다. Johnson등(1976)에 의하면 농경지인 경우 일반적으로 여름철에 토양중의 질산성질소가 작물에 많이 이용되기 때문에 식물들이 소비하는 관계로 지하수중에 여름철에 그 농도가 낮지만 작물들이 자라지 않는 겨울철에는 토양층에 높은 농도의 질산성질소가 함유하는 경향이 있다고 하였다. 본 연구에서도 겨울철(12월, 1월, 2월)부터 지하수내에 증가한 질산성질소가 다소 증가 현상을 보이다 3월부터 5월까지의 계속 증가한 후 여름철(6월, 7월, 8월)부터 가을철까지 점차로 감소하는 경향을 보여 상기 결과와 다소 일치하였다. Fig. 31에서와 같이 연구지역 용천수들은 강수량이 적은 가을철보다 강수량이 많은 늦봄에서 여름철에 질산성질소의 농도가 더욱 높은 농도를 보이는데 이는 제주도 저지대 대부분의 지역이 많은 감귤원과 경작지가 밀집되어 2월 이후 사용한 비료와 기타 퇴비등이 강수와 함께 지하로 유입되어 저지대 지하수를 오염시키고 있는 것으로 사료된다. 강수량과 질산성질소 농도사이의 관계를 보면 고산지역과 중산간지역의 용천수인 경우는 강수량에 미미한 영향을 보이나 저지대지역 용천수인 경우는 강수량이 증가하면 질산성질소 농도로 그 농도가 증가하는 경향을 보여 상류구배구간의 오염원으로부터 만들어진 암모니아성질소가 강수와 함께 지하로 침투하여 시간이 지남에 따라 질산성질소로 되어 하류지역의 용천수에서 높게 나타나는 특성을 보였다.

Fig. 32는 조사지역 용천수의 총고용물질(TDS)에서 질산성질소 이온이 차지하는 정도를 나타내는 것으로서 질산성질소 농도가 해안지역과 저지대지역의 용천수인 경우 서로 다른 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 특히 저지대 용천수인 경우 낮은 총고용물질량 중 질산성질소가 차지하는 양이 상당히 많아 저지대용천수는 총고용물질을 질산성질소가 대부분 차지하고 있음을 알 수 있다. 먹는물 수질기준(10ppm)을 초과한 지역은 총 저지대지역인 경우 동해물(L10), 영천사(L2), 덕지샘물(L16), 운량천(L6), 색달생수(L11), 안덕계곡(L12), 하원통물(L9), 둔물(L13)등 총 8곳 이었고, 해안지역인 경우 하강물(C10), 돛물(C9)등 2곳 이었으며 수질오염이 급속히 진행중인 곳은 총 8곳으로 중산간지구가 1곳(유수암천(M6)), 저지대지구가 3곳(구시물(L15), 장수물(L14), 법화사(L8)), 해안지구가 4곳(신촌큰물1(C3), 공천포(C8), 정금물(C14), 문두물(C16))이었다. 총 조사지역 55개지역중 5ppm이상 검출된 지역은 36개 지역으로 전체의 65%의 용천수가 오염이 진행중이거나 오염

된 지역으로 밝혀졌다.

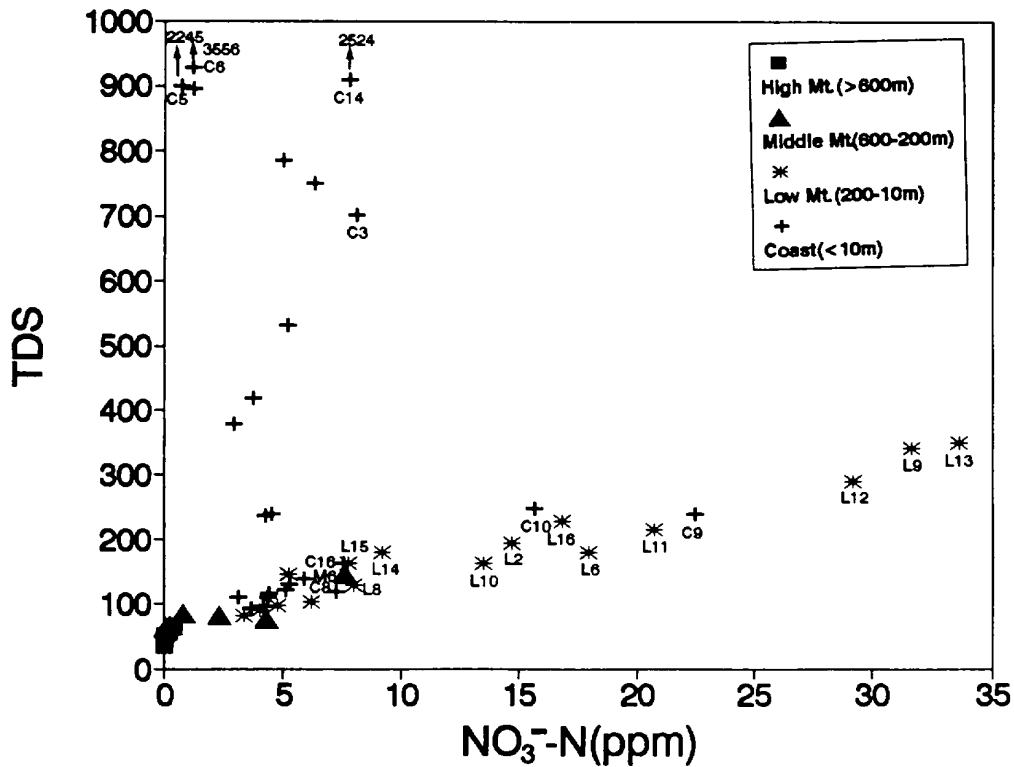


Fig. 32. Graph of total dissolved solids(TDS) to nitrate nitrogen content.

3-9. 중탄산이온(HCO_3^-)

지하수의 지화화학적 순환과정을 살펴보면 지하수의 주 근원인 강수는 중력에 의해 지하로 침투하여 수리지질학적인 통로를 통하여 상하부에 지하수부존체를 형성하고 이동과 배출의 수문학적 순환과정을 반복하면서 물균형(water balance)을 이루고 있다. 또한 이들은 토양내부에 존재하면서 이들 모암의 구성광물과 반응하여 시간이 경과됨에 따라 처음과는 다른 양상의 수질로 변화한다(최, 1990).

최(1992)에 의하면 자연의 지하수는 TDS와 HCO_3^- 와의 상관관계를 통하여 지하수 순환과정의 자연적인 진화과정을 고찰해 해주며 강수로부터 자연의 지하수로

의 진화순서가 일직선상에 놓여있게 된다. 즉 자연의 지하수가 우수와 기저지하수를 형성하는 과정이 시간이 경과됨에 따라 HCO_3 와 TDS가 증가되면서 어떤 직선상의 진화경향을 나타내주고 있는 반면에 그 직선밖에 위치하는 group은 1단계 오염 및 해수가 침입되었음을 보여준다 하였다.

Fig. 33은 조사지역 용천수의 TDS와 HCO_3 와의 상관관계를 나타내 주는 그

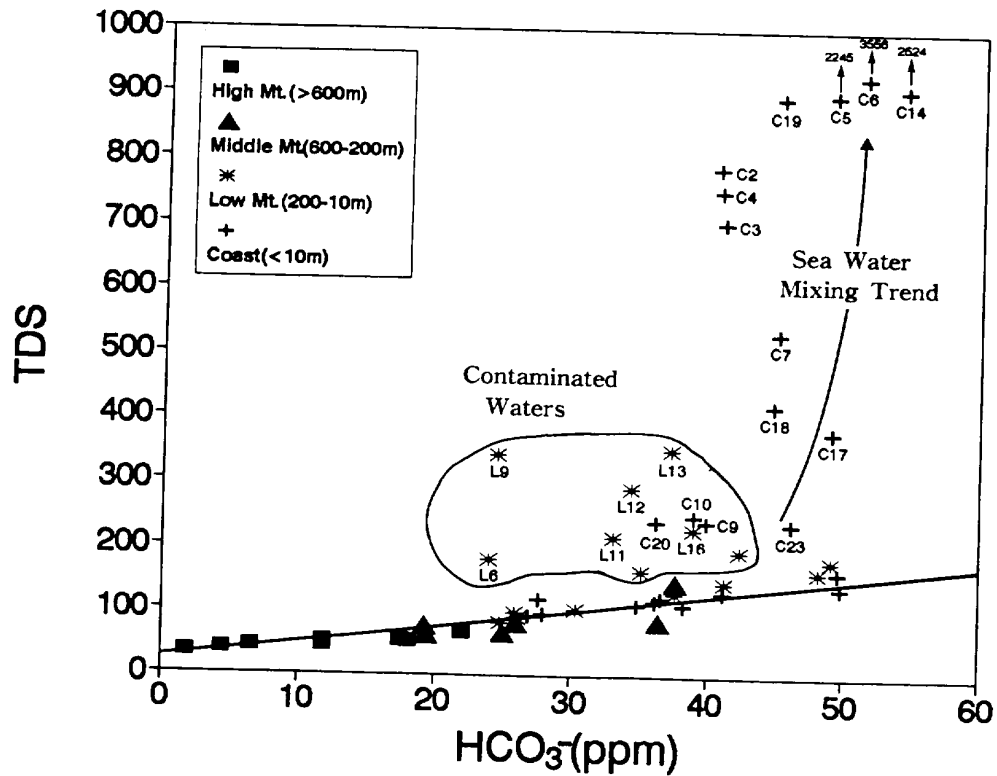


Fig. 33. Graph of total dissolved solids(TDS) to bicarbonate content showing evolutionary and mixing trends.

림으로서 연구대상 용천수들은 대체로 강수로부터 자연의 지하수로의 진화순서가 일직선상 주위에 놓여 있음을 보여주고 있다. 고산지역 및 중산간지역 용천수들은 직선상에 놓여 있는 반면 저지대지역과 일부 해안지역 용천수들은 HCO_3 함유량이

25ppm~50ppm 범위와 TDS값이 200ppm~400ppm 사이에 있는 직선밖의 또다른 하나의 group을 형성하고 있는데 이들은 1단계 오염이 진행중인 용천수임을 알 수 있었다. 해안지역 일부 용천수들도 HCO_3 함유량이 40ppm~60ppm 범위와 TDS값이 400ppm이상으로 직선밖의 또다른 하나의 group을 형성하고 있는데 이 또한 전술한 바와같이 이들 용천수는 해수가 침입하여 오염된 용천수군임을 알 수 있다(Fig. 33)

또한 최(1992)에 의하면 지하수의 지화학적 순환과정에서 TDS에 대한 HCO_3 의 값이 적으면 보다 젊은 지하수군이다 하였다. 따라서 본 연구결과 그림 33에서 보는 바와같이 고산지역 용천수인 경우 TDS에 대한 HCO_3 값이 22ppm이하에서 일직선상에 놓여 있어 젊은 용천수군으로 분류되고, 중산간지역(19ppm~38ppm)은, 저지대지역(25ppm~48ppm), 해안지역(28ppm~50ppm)으로 순차적으로 보다 늙은(older)한 용천수군으로 분류되었다.

고산지역 용천수의 함유량은 평균 1.87(백록담담수)~22.03ppm(관음사)의 범위를 나타냈으며, 천왕사 용천수가 0.41ppm으로 최저치를, 관음사 용천수가 28.95ppm으로 최고치를 보였다. 중산간지역 용천수는 평균 19.27(돈네코수원)~37.63ppm(유수암천)의 범위를 나타냈으며, 원만사 용천수가 7.90ppm으로 최저치를, 유수암천이 44.48ppm으로 최고치를 보였다. 전반적으로 고도가 낮아지면서 용천수중에 중탄산이온의 함량이 점차로 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 저지대지역 용천수의 평균 함유량은 23.92(운량천)~49.26ppm(장수물)을 나타냈으며, 이들 중 운량천이 9.21ppm으로 최저치를, 장수물이 61.06ppm으로 최고치를 보였다. 해안지구 용천수의 경우는 평균 26.84(외도수원)~54.36ppm(정금물)의 범위를 나타냈으며, 이들 중 외도수원이 13.16ppm으로 최저치를, 정금물이 58.16ppm으로 최고치를 보였다(Table 3, Appendix 14). 외도수원인 경우 해안지역에 위치하면서도 중탄산이온 함량이 적고 TDS와 HCO_3 상관관계에서 직선상에 위치하며, 주변지역 용천수는 TDS값이 고농도인데 반해 그 값이 100ppm이하로 양호한 수질특성 등을 종합하여 볼 때 외도천의 근원수원은 강수가 지하로 함양된 후 빠른속도로 해안지역에 위치한 외도수원으로 이동되고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 34는 조사지역 용천수의 강수량과 중탄산이온과의 관계를 보여주는 것이다. 전 조사기간에 걸쳐 해안지역 용천수가 강수량에 관계없이 높게 나타났고, 고

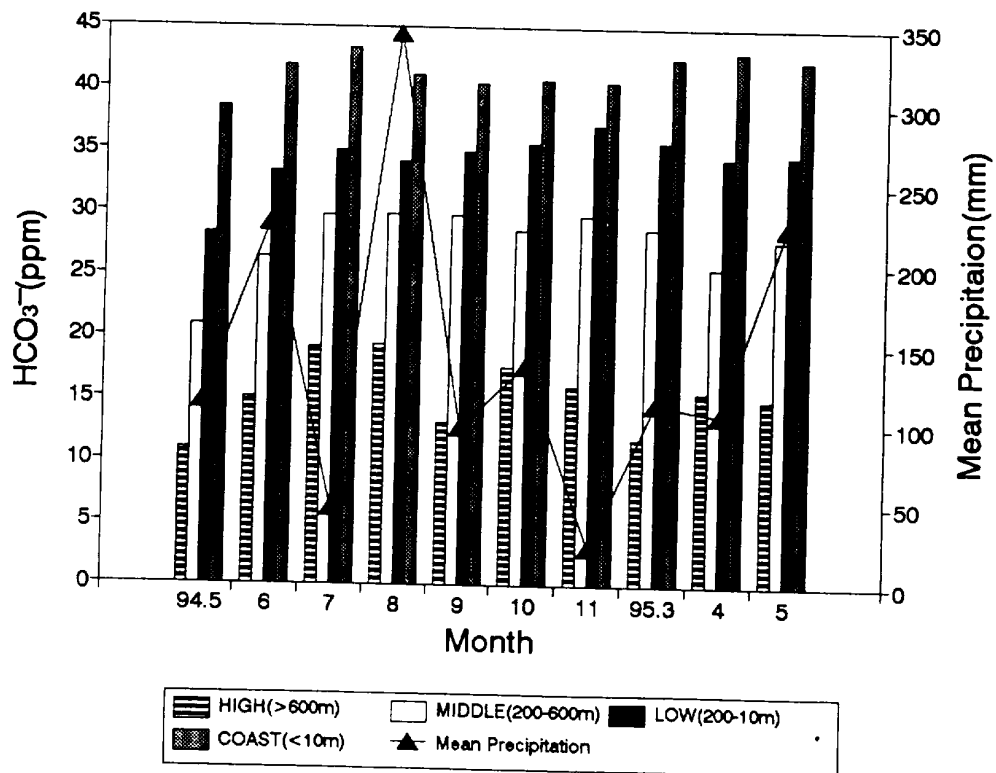


Fig. 34. Monthly variations of bicarbonate concentration and precipitation.

산지역 용천수에서는 '94년 7월에 가장 높은 함량을 보이고 '94년 5월에 가장 낮은 함량을 보였으며 강수량과의 관계를 보면 전체적으로 풍수기에 높은 함량을 보이고, 갈수기에 낮은 함량을 보였다.

4. 전기전도도, pH, 양이온과 음이온과의 상관관계

Fig. 35와 Table 4는 고산지역 용천수에서 전기전도도와 양이온(Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) 및 음이온(Cl^- , NO_3^- -N, SO_4^{2-} , HCO_3^-)과의 상관관계를 보여주는 것이다. 전기전도도와 나트륨간에는 상관계수가 0.910으로 높은 상관성을 보였고, 전

기전도도와 중탄산 간에는 상관계수가 0.863으로 중간정도의 상관성을 찾을수 있었으며, 전기전도도와 칼륨, 칼슘, 염소, 나트륨과 칼륨, 중탄산, 칼슘과 중탄산과는 0.703~0.785 범위로 낮은상관성을 찾을 수 있었고, 다른 이온들간에는 상관성을 찾아보기 힘들었다(Table 4).

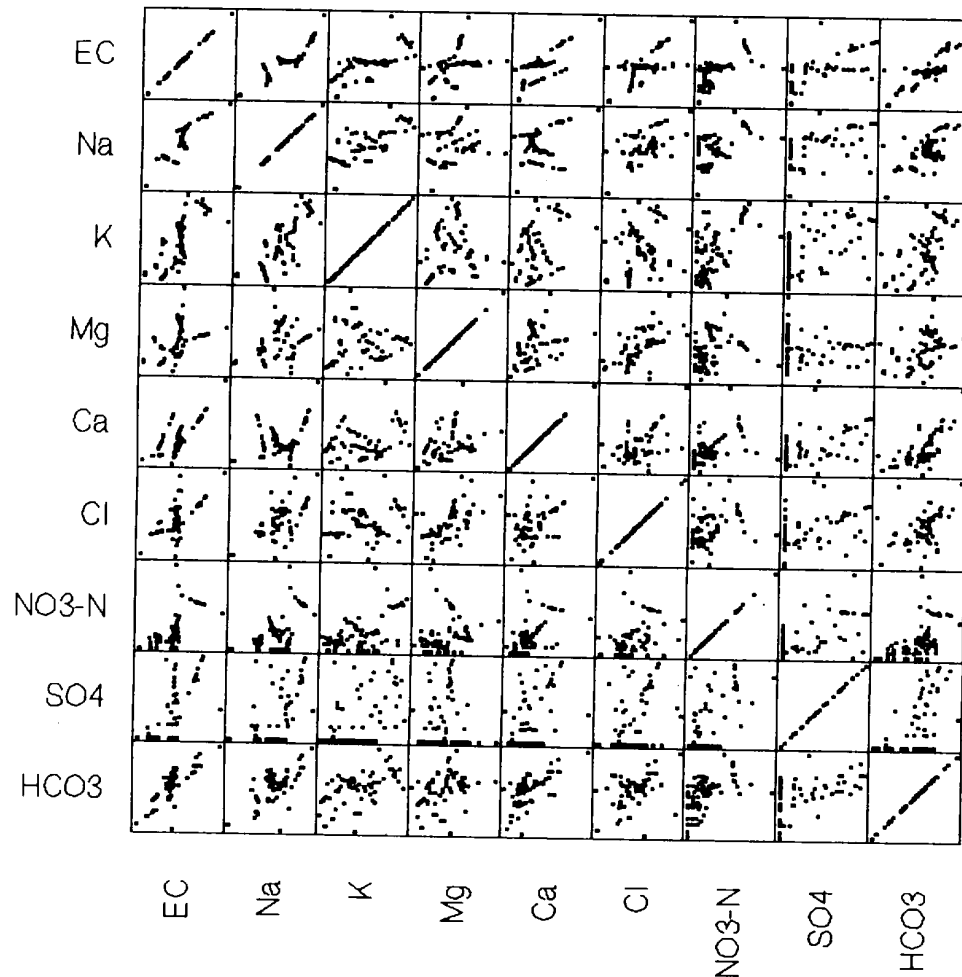


Fig. 35. Correlation of EC, cations and anions in the high mountain sping water.

Table 4. Correlation coefficients among EC, pH, cations and anions in spring water of the high mountain region.

| | EC | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ -N | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH |
|---------------------------------|-------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| EC | | 0.910 | 0.736 | 0.447 | 0.785 | 0.704 | 0.662 | 0.575 | 0.863 | 0.879 |
| Na ⁺ | 0.910 | | 0.772 | 0.292 | 0.523 | 0.668 | 0.619 | 0.580 | 0.751 | 0.809 |
| K ⁺ | 0.736 | 0.772 | | 0.076 | 0.389 | 0.247 | 0.557 | 0.531 | 0.586 | 0.729 |
| Mg ²⁺ | 0.447 | 0.292 | 0.076 | | 0.386 | 0.635 | 0.287 | -0.051 | 0.413 | 0.339 |
| Ca ²⁺ | 0.785 | 0.523 | 0.389 | 0.386 | | 0.550 | 0.551 | 0.505 | 0.703 | 0.700 |
| Cl ⁻ | 0.704 | 0.668 | 0.247 | 0.635 | 0.550 | | 0.430 | 0.315 | 0.515 | 0.645 |
| NO ₃ ⁻ -N | 0.662 | 0.619 | 0.557 | 0.287 | 0.551 | 0.430 | | 0.592 | 0.587 | 0.670 |
| SO ₄ ²⁻ | 0.575 | 0.580 | 0.531 | -0.051 | 0.505 | 0.315 | 0.592 | | 0.486 | 0.512 |
| HCO ₃ ⁻ | 0.863 | 0.751 | 0.586 | 0.413 | 0.703 | 0.515 | 0.587 | 0.486 | | 0.692 |
| pH | 0.879 | 0.809 | 0.729 | 0.339 | 0.700 | 0.645 | 0.670 | 0.512 | 0.692 | |

고산지역 용천수에서 전기전도도와 pH 그리고 양이온 및 음이온과의 상관관계를 보면, pH와 전기전도도, 나트륨과는 상관계수가 각각 0.879, 0.809로 중간 정도의 상관성을 찾을수 있었고, pH와 칼륨(0.729), 칼슘(0.700)과는 낮은 상관성을 찾을 수 있었으며 다른 이온들간에는 상관성을 찾아보기 힘들었다.

고산지역 용천수에서 이온들간의 상관성은 45개 상관 중 높은상관성이 1개(2%), 중간정도의 상관성이 4개(8%), 낮은 상관성이 8개(18%)로 상관성이 있는 인자는 13개(28%)에 불과하였는데 이는 강수가 지하로 침투한 후 이동에 따른 진화를 시작하면서 진화시기가 짧아 이온 공급이 미약함에 따라 특별한 상관성을 갖고 있지않는 것으로 판단된다.

Fig. 36과 Table 5는 중산간지역 용천수에서 전기전도도와 양이온(Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) 및 음이온(Cl⁻, NO₃⁻-N, SO₄²⁻, HCO₃⁻)과의 상관관계를 보여주는 것이다. 전기전도도와 마그네슘(0.932), 칼슘(0.968), 마그네슘과 칼슘(0.938), 질산성 질소(0.924)간에는 높은상관성을 보였고, 전기전도도와 나트륨(0.862), 칼륨(0.871), 염소(0.896), 질산성 질소(0.863), 황산(0.802), 나트륨과 칼륨(0.836), 칼슘(0.838),

염소(0.859), 칼륨과 칼슘(0.851), 마그네슘과 염소(0.853), 칼슘과 염소(0.853), 질산성질소(0.878), 황산(0.834)과는 중간정도의 상관성을 찾을수 있었으며, 나트륨과 마그네슘(0.736), 황산(0.753), 중탄산(0.728), 칼륨과 염소(0.740), 마그네슘과 황산(0.725), 염소와 질산성질소(0.739), 황산과 중탄산(0.742)간에는 낮은 상관성을

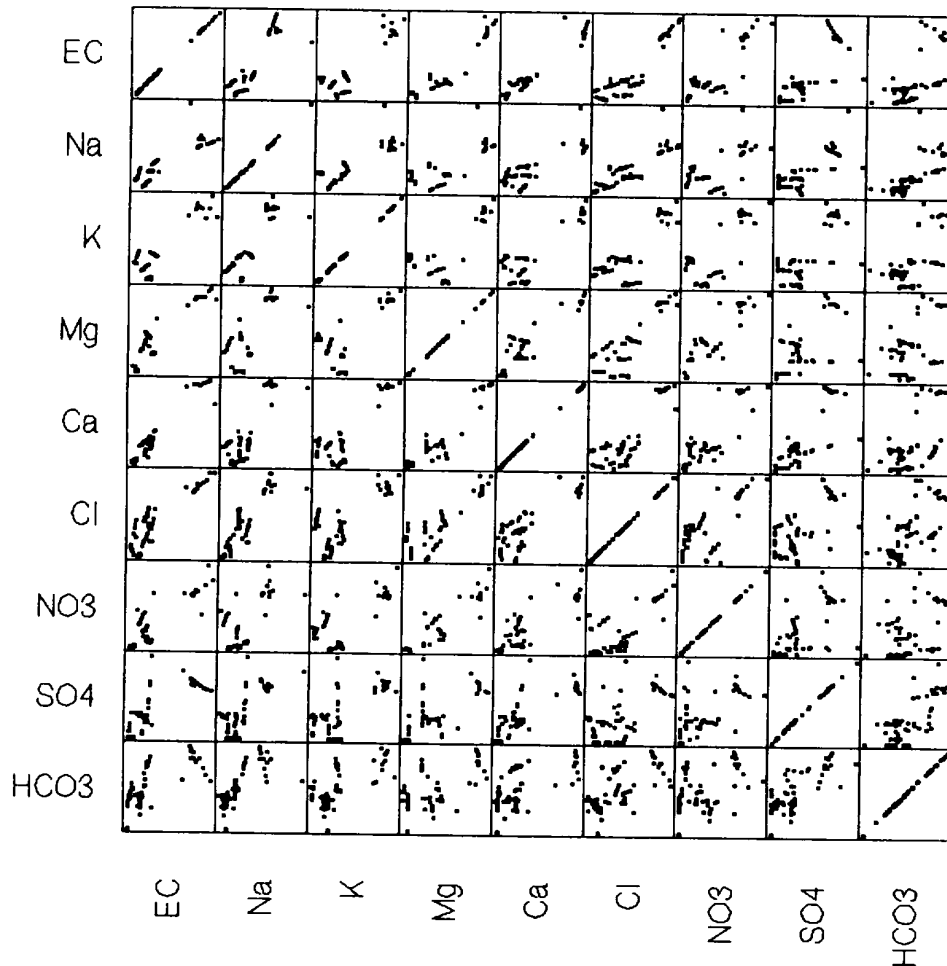


Fig. 36. Correlation of EC, cations and anions in the middle mountain sping water.

찾을 수 있었고, 다른 이온들간에는 상관성을 찾아보기 힘들었다(Table 5). 중산간 지역에서 전기전도도와 pH 그리고 양이온 및 음이온과의 상관관계를 보면 pH와 현저하게 상관성이 떨어지는 것이 주목된다.

Table 5. Correlation coefficients among EC, pH, cations and anions in spring water of the middle mountain region.

| | EC | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ -N | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH |
|---------------------------------|-------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| EC | | 0.862 | 0.871 | 0.932 | 0.968 | 0.896 | 0.863 | 0.802 | 0.673 | 0.184 |
| Na ⁺ | 0.862 | | 0.836 | 0.736 | 0.838 | 0.859 | 0.621 | 0.753 | 0.728 | 0.195 |
| K ⁺ | 0.871 | 0.836 | | 0.699 | 0.851 | 0.740 | 0.690 | 0.684 | 0.643 | -0.042 |
| Mg ²⁺ | 0.932 | 0.736 | 0.699 | | 0.938 | 0.853 | 0.924 | 0.725 | 0.514 | 0.251 |
| Ca ²⁺ | 0.968 | 0.838 | 0.851 | 0.938 | | 0.853 | 0.878 | 0.834 | 0.667 | 0.159 |
| Cl ⁻ | 0.896 | 0.859 | 0.740 | 0.853 | 0.853 | | 0.739 | 0.641 | 0.638 | 0.209 |
| NO ₃ ⁻ -N | 0.863 | 0.621 | 0.690 | 0.924 | 0.878 | 0.739 | | 0.650 | 0.336 | 0.200 |
| SO ₄ ²⁻ | 0.802 | 0.753 | 0.684 | 0.725 | 0.834 | 0.641 | 0.650 | | 0.742 | 0.324 |
| HCO ₃ ⁻ | 0.673 | 0.728 | 0.643 | 0.514 | 0.667 | 0.638 | 0.336 | 0.742 | | 0.346 |
| pH | 0.184 | 0.195 | -0.042 | 0.251 | 0.159 | 0.209 | 0.200 | 0.324 | 0.346 | |

중산간지역 용천수에서 이온들간의 상관성은 45개 상관 중 높은상관성이 4개(9%), 중간정도의 상관성이 29개(8%), 낮은 상관성이 7개(16%)로 상관성이 있는 인자는 24개(54%)나 되어 고산지역 용천수는 강수가 지하침투후 이동에 따른 진화 시기가 짧아 상관성이 떨어진것에 반해 지표면의 오염물질들에 의한 이온공급이 원만히 이루어져 이온들간의 상관성이 증가하고 있는 것으로 사료된다. 특히 이들지역에 유수암천을 제외하고는 오염된 용천수는 없으나 육상 및 해수오염의 주요 이온들과 정의상관 및 다소높은 상관성을 갖고 있다는 것이 주목된다.

Fig. 37와 Table 6은 저지대지역 용천수에서 전기전도도와 양이온 및 음이온과의 상관관계를 보여주는 것이다. 전기전도도와 질산성질소, 마그네슘과 칼슘간의 상관계수가 각각 0.956, 0.916으로 높은상관성을 보였고, 전기전도도와 마그네슘

Table 6. Correlation coefficients among EC, pH, cations and anions in spring water of the low mountain.

| | EC | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ -N | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH |
|---------------------------------|--------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| EC | | 0.785 | 0.541 | 0.867 | 0.850 | 0.891 | 0.956 | 0.542 | 0.011 | -0.576 |
| Na ⁺ | 0.785 | | 0.604 | 0.676 | 0.595 | 0.849 | 0.647 | 0.478 | 0.373 | -0.530 |
| K ⁺ | 0.541 | 0.604 | | 0.567 | 0.491 | 0.493 | 0.538 | 0.476 | 0.038 | -0.384 |
| Mg ²⁺ | 0.867 | 0.676 | 0.567 | | 0.916 | 0.751 | 0.829 | 0.329 | -0.034 | -0.057 |
| Ca ²⁺ | 0.850 | 0.595 | 0.491 | 0.916 | | 0.713 | 0.798 | 0.390 | -0.090 | -0.552 |
| Cl ⁻ | 0.891 | 0.849 | 0.493 | 0.751 | 0.713 | | 0.798 | 0.466 | 0.113 | -0.598 |
| NO ₃ ⁻ -N | 0.956 | 0.647 | 0.538 | 0.829 | 0.798 | 0.798 | | 0.487 | -0.164 | -0.535 |
| SO ₄ ²⁻ | 0.542 | 0.478 | 0.476 | 0.329 | 0.390 | 0.466 | 0.487 | | 0.120 | -0.272 |
| HCO ₃ ⁻ | 0.011 | 0.373 | 0.038 | -0.034 | -0.090 | 0.113 | -0.164 | 0.120 | | -0.050 |
| pH | -0.576 | -0.530 | -0.384 | -0.057 | -0.552 | -0.598 | -0.535 | -0.272 | -0.050 | |

(0.862), 칼슘(0.850), 나트륨과 염소(0.849), 마그네슘과 질산성질소(0.829)간에 중간정도의 상관성을 찾을수 있었으며, 전기전도도와 나트륨(0.785), 마그네슘과 염소(0.751), 칼슘과 염소(0.713), 질산성질소(0.798), 염소와 질산성질소(0.798)간에는 낮은 상관성을 찾을 수 있었고, 다른 이온들간에는 상관성을 찾아보기 힘들었다. 저지대지역 용천수에서 전기전도도와 pH 그리고 양이온 및 음이온과의 상관관계는 pH와 역의 상관성을 가지고 있었다.

저지대지역 용천수에서 이온들간의 상관성은 45개 상관 중 높은상관성이 2개(4%), 중간정도의 상관성이 5개(11%), 낮은 상관성이 5개(11%)로 상관성이 있는 인자는 12개(26%)뿐으로 전반적으로 낮은 상관성을 보여 주목된다. 이는 기존 용천수 부존지역에 부분적인 해수의 침입에 의해 용천수의 수질성분에 영향을 주고 있는 것으로 사료된다. 다음으로의 원인은 육상의 오염원을 생각할 수 있는데 질산성질소가 대부분의 이온들과 정의상관을 특히 전기전도도와의 상관관계가 가장 높아 인위적인 오염임을 뒷바침해 주고 있다. 이러한 결과들도 자연적인 진화의 척도인 중탄산이온과 다른 이온들간의 관계는 미미하거나 역의 상관성을 가져 인위적인

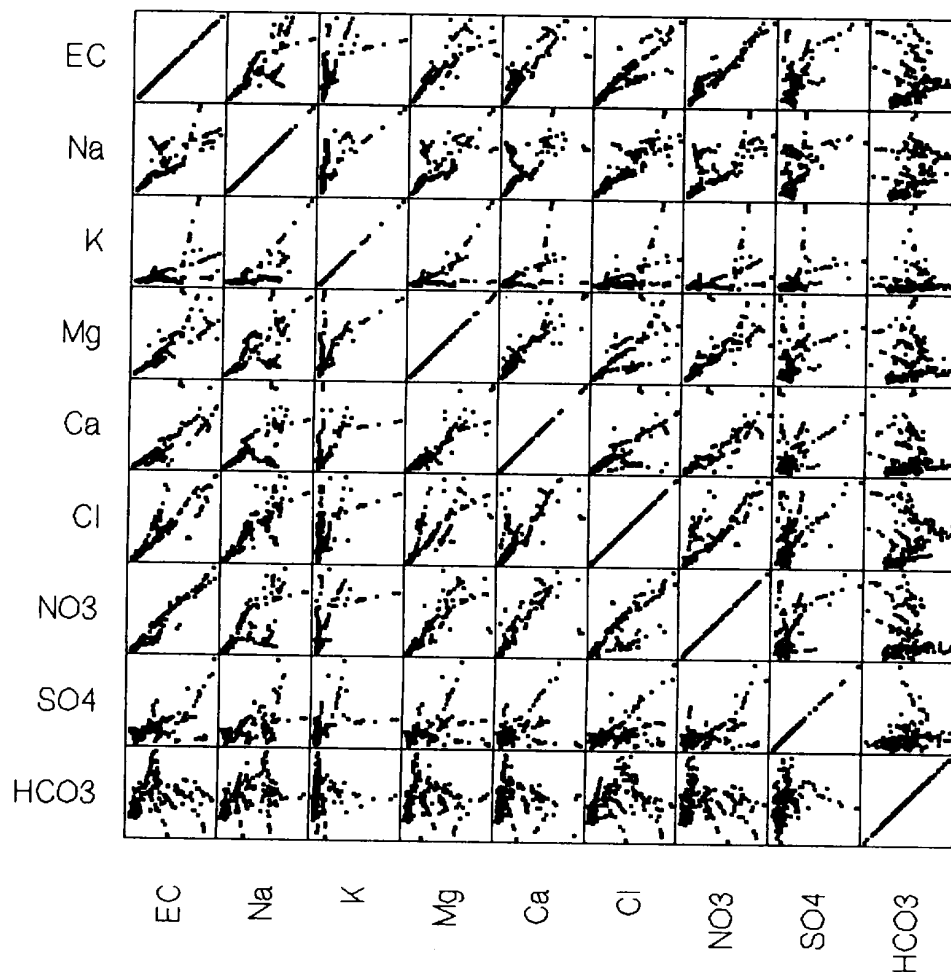


Fig. 37. Correlation of EC, cations and anions in the low mountain spring water.

오염이 자연적인 진화를 깨뜨리는데 주 원인임을 알 수 있었다.

Fig. 38과 Table 7은 해안지역 용천수에서 전기전도도와 양이온 및 음이온과의 상관관계를 보여주는 것이다. 전기전도도와 나트륨(0.996), 칼륨(0.974), 마그네슘(0.928), 염소(0.997), 황산(0.967), 나트륨과 칼륨(0.963), 마그네슘(0.990), 칼슘

(0.995), 황산(0.972), 칼륨과 마그네슘(0.972), 칼슘(0.917), 염소(0.965), 황산(0.907), 마그네슘과 칼슘(0.942), 염소(0.991), 황산(0.963), 칼슘과 염소(0.915), 염소와 황산(0.970)간에 높은상관성을 보였고, 칼슘과 황산간에는 상관계수가 0.892로 중간정도의 상관성을 보였으며, 질산성질소와는 역의 관계를 보이고, 다른 이온들간에는 상관성을 찾아보기 힘들었다. 해안지구 용천수에서 전기전도도와 pH 그리고 양이온 및 음이온과의 상관관계에서 pH와 다른 이온들간에는 상관성을 찾아보기 힘들었고 중탄산과는 비교적 미미한 상관성을 보였고 황산과는 역의 상관성을 보였다.

해안지역 용천수에서 이온들간의 상관성은 45개 상관 중 높은상관성이 20개(44%), 중간정도의 상관성이 1개(2%)로 상관성이 있는 인자는 21개(46%)로 중산간지역 용천수의 24개(54%)보다는 낮은 상관성을 보이지만 정의상관성에서 월등히 많은 점이 특징이다. 이는 강수가 지하침투 후 이동에 따른 자연적인 진화에 의해 이온들이 공급보다는 많은양의 이온들을 함유하는 해수가 침입에 따른 혼합영향으로 생각된다. 이러한 증거는 저지대지역 용천수에서 정의상관성을 가진 질산성질소

Table 7. Correlation coefficients among EC, pH, cations and anions in spring water of the coastal region.

| | EC | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ -N | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH |
|---------------------------------|--------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| EC | 1 | 0.996 | 0.974 | 0.992 | 0.928 | 0.997 | -0.207 | 0.967 | 0.532 | 0.182 |
| Na ⁺ | 0.996 | 1 | 0.963 | 0.990 | 0.920 | 0.995 | -0.230 | 0.972 | 0.529 | 0.189 |
| K ⁺ | 0.974 | 0.963 | 1 | 0.972 | 0.917 | 0.965 | -0.190 | 0.907 | 0.537 | 0.168 |
| Mg ²⁺ | 0.992 | 0.990 | 0.972 | 1 | 0.942 | 0.991 | -0.166 | 0.963 | 0.525 | 0.152 |
| Ca ²⁺ | 0.928 | 0.920 | 0.917 | 0.942 | 1 | 0.915 | 0.074 | 0.892 | 0.494 | 0.017 |
| Cl ⁻ | 0.997 | 0.995 | 0.965 | 0.991 | 0.915 | 1 | -0.229 | 0.970 | 0.519 | 0.185 |
| NO ₃ ⁻ -N | -0.207 | -0.230 | -0.190 | -0.166 | 0.074 | -0.229 | 1 | -0.218 | -0.092 | -0.432 |
| SO ₄ ²⁻ | 0.967 | 0.972 | 0.907 | 0.963 | 0.892 | 0.970 | -0.218 | 1 | 0.487 | 0.184 |
| HCO ₃ ⁻ | 0.532 | 0.529 | 0.537 | 0.525 | 0.494 | 0.519 | -0.092 | 0.487 | 1 | 0.327 |
| pH | 0.182 | 0.189 | 0.168 | 0.152 | 0.017 | 0.185 | -0.432 | 0.184 | 0.327 | 1 |

가 해안지역 용천수에서는 해수와 혼합하게 되면서 역의 상관성을 가졌다.

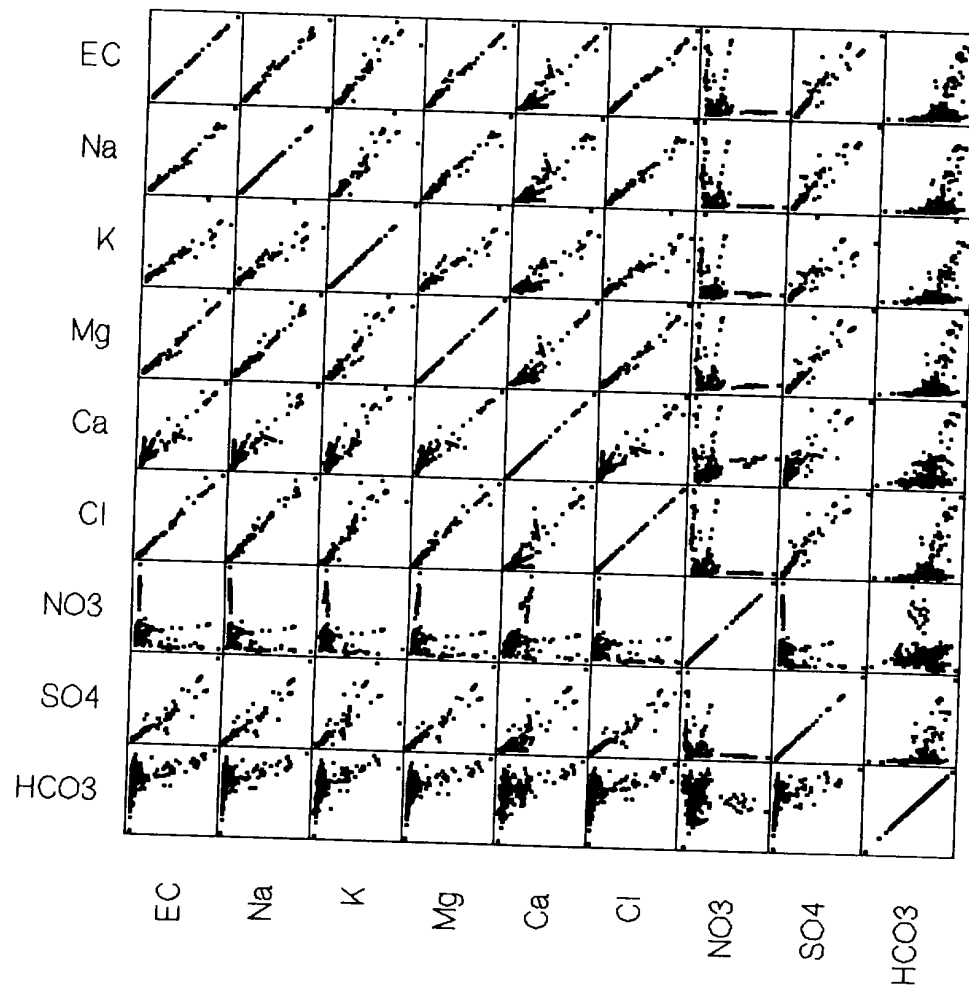


Fig. 38. Correlation of EC, cations and anions in the coastal spring water.

5. 용천수 수질 다이어그램으로 본 수질특성

용천수에 대한 수질분석 결과를 종합해 Piper의 삼각다이어그램(trilinear diagram)을 작도하였다(Piper, 1994; Fig. 39). 각 지역의 용천수들의 수질형태를 보면, 양이온도는 고산지구 9개지역 용천수에서 6개 지역(용진각용천수, 뒷세오름용천수,

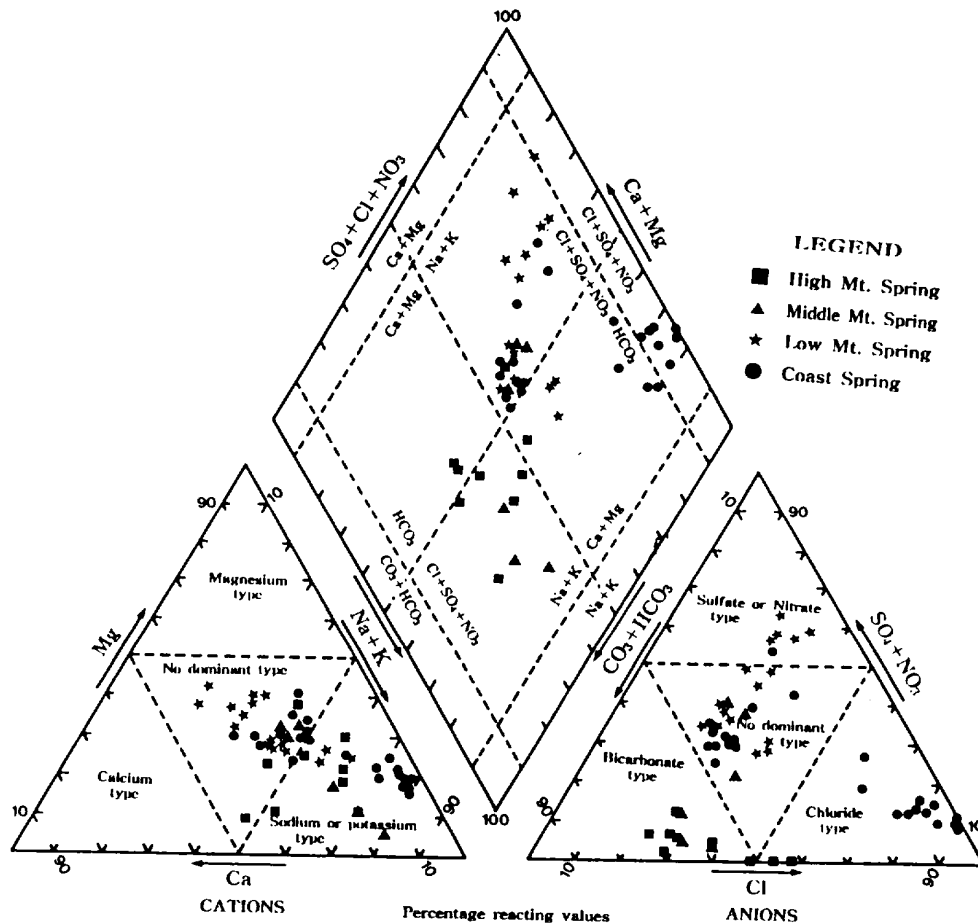


Fig. 39. Trilinear diagram for representing analyses of Chejudo spring water quality.

어리목 용천수, 천왕사용천수, 관음사용천수, 성판악용천수)이 Na+K(Sodium or Potassium type)의 군을 이루었고, 3개지역(백록담 담수, 영실용천수, 남국선원 용천수)은 동질성(No dominant type)의 군을 형성하였다(Fig. 43). 중산간지역은 6개지역 용천수 중 3개 지역(산천단 용천수, 절물, 원만사 용천수)이 Na+K의 군을 이루었고, 3개지역(명도암 용천수, 돈네코 용천수, 유수암천 용천수)이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하였다. 전술한바와 같이 육상오염이 많이 진전된 저지대지역 용천수인 경우는 16개 지역 중 3개 지역(금산수원 용천수, 장수물, 구시물)만이 Na+K형태의 군을 이루고 그 나머지 13개지역 용천수는 동질성(No dominant type)의 군을 형성하고 있어 오염이 진행됨으로 해서 수질특성들이 동질화 되어가고 있음을 알 수 있었다. 해수침입의 영향권인 해안지구 용천수는 총 24개 지역중 50%가 넘는 14개 지역이 Na+K형태의 군을 이루었고, 10개지역(공천포, 돛물, 하강물, 시냇물, 서림수원, 한림수원, 문두물, 외도수원, 금산수원, 막은물)이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하고 있어 해수침입에 의한 Na+K 형태의 군을 이루고 있음을 확인할 수 있었다. 염이온도는 고산지역 용출수 9개지역에서 7개 지역이 $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ (bicarbonate type)형태의 군을 이루었고, 2개지역(백록담 담수, 윗세오름 용천수)이 Cl(Chloride type) 형태의 군을 형성하였다. 중산간지역 용천수는 6개지역 중 3개 지역(산천단 용천수, 절물, 원만사 용천수)이 bicarbonate type의 군을 이루었으며, 3개지역(명도암 용천수, 돈네코 용천수, 유수암천 용천수)이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하였다. 육상오염원에 의해 오염이 많이 진전된 저지대지역 용천수인 경우 16개 조사지역 중 수질이 양호한 곳에 나타나는 bicarbonate type의 군은 한곳도 없었고, 5개 지역(운량천, 색달생수 용천수, 안덕계곡 용천수, 돛물)등이 육상오염의 주요형태인 $\text{SO}_4 + \text{NO}_3$ (Sulfate or Nitrate type) 군을 이루었고, 그 나머지 11개지역이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하고 있어 오염된 용천수들이 많이 분포함을 알 수 있었다. 해수침입의 영향권인 해안지역 용천수는 총 24개 지역중 50%에 해당하는 12개 지역(삼양제3수원, 신촌큰물1, 신촌큰물2, 명법사 용천수, 서느렁물, 토산물, 정금물, 괄지물, 애월하물, 고내물, 녹고물, 오래물)이 Chloride type의 군을 이루었고, 13개지역이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하였으며 1개 지역(돛물)은 Sulfate or Nitrate type의 군을 이루고 있어 해안지역 용천수들은 대부분 해수침

입으로 인한 주로 Chloride type 및 동질성(No dominant type)의 군을 형성하고 있음을 알 수 있었다.

또한 양이온도인 경우 고산지역의 용천수에서 Sodium or Potassium type의 형태를 갖는 용천수가 중산간지구를 걸쳐 저지대지구로 해발고도가 낮아지는 용천수 분포지역으로 향함에 따라 그 수질특성이 동질성(No dominant type) 형태로 변화되고있음을 알 수 있었고, 해안지역 용천수에서는 이들이 다시 Sodium or Potassium type의 형태의 용천수로 변화되고 있음을 확인할 수 있었다. 음이온도 역시 고산지역 용천수에서 bicarbonate의 형태를 갖는 용천수가 중산간지구를 걸쳐 저지대지구로 고도가 낮은지역에 위치하는 용천수로 이동되면서 동질성(No dominant type) 형태를 거쳐 Sulfate or Nitrate type의 용천수 형태로 변질되고 있음을 알 수 있었고, 이는 다시 해안지구에서는 Chloride type의 용출수로 변질되고 있음을 알 수 있었다.

양이온과 음이온을 합성한 합성도에서도 상기의 결과들을 잘 보여주고 있는데 (Fig. 43), 고산지구 및 중산간지구의 용천수는 $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ (bicarbonate type)가 우세한 수질특성을 갖는데 반해, 고도가 낮은 저지대지구 및 해안지구로 이동되면서 용천수는 $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3$ (non-bicarbonate type) 형태의 수질특성으로 변질되어 가고 있음을 알 수 있었다.

6. 수질 등농도선도

제주도의 대표적인 용천수에 대한 수질특성 및 오염의 정도 및 그 경로등을 파악하기 위하여 한라산 백록담 담수에서 해안변 용천수에 이르기까지 고도별로 55개의 용천수시료를 채수하고, 유사시기에 보건환경연구원에서 분석된 98개의 지하수 수질분석 자료등 총 153개 자료를 컴퓨터에 입력하여 고도에 따른 수질중 EC, pH, Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- -N, HCO_3^- 등 10개 성분에 대한 등농도선도를 작성하였다.

Fig. 40는 전기전도도(EC)의 등농도선을 보여주는 것이다. 한라산 정상부근 용천수에서 $20\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 등농도선이 형성된후 고도가 낮아지면서 점차로 증가함을 볼 수 있다. 남사면이 급경사를 이루고 있고 남국선원 용천수지역에서 신례리 주변

지역을 제외하고는 저지대지대 거의 모든지역에서 지하수 및 용천수의 수질 등농도선의 경사가 급해지는 경향을 볼 수 있는데, 이는 이들 지역의 용천수 및 지하수가 오염되었거나 혹은 오염이 진행중인 곳으로 사료된다. 조천지역, 애월지역 및 동부의 구좌에서 성산에 이르는 지역이 특히 수질등농도선의 경사가 급하고 농도도 다른지역보다 높아 해수침입의 영향지역임을 알 수 있었고, 서귀포시 하원동지역과 안덕계곡지역, 그리고 정금물을 포함한 한림지역에서도 EC의 등농도선이 $300\mu\text{S/cm}$ 정도의 급한 경사를 보여 육상오염원에 의한 오염이 진행된 지역임을 알 수 있었다.

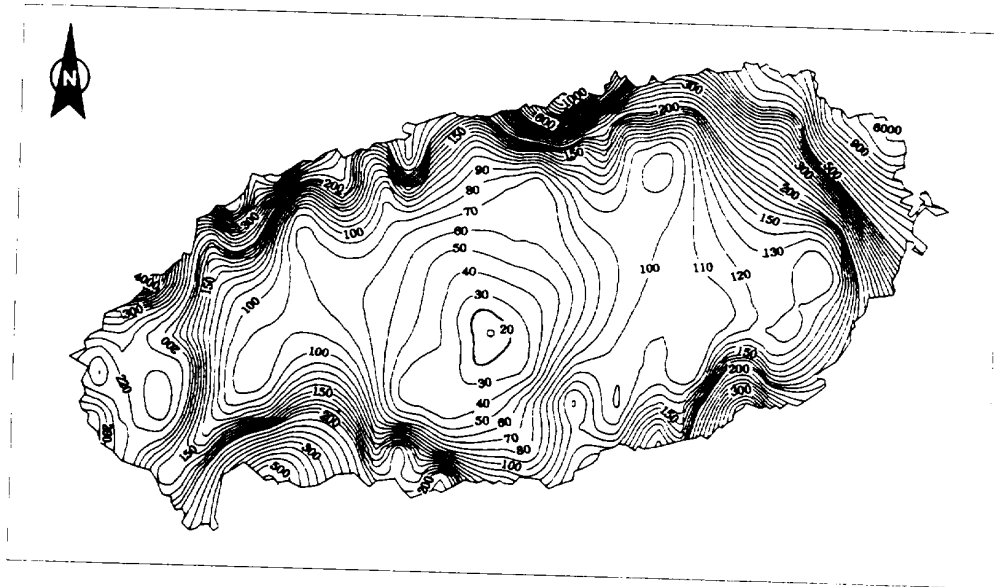


Fig. 40. Iso-concentration line map of electrical conductivity(EC)($\mu\text{S/cm}$).

Fig. 41은 수소이온농도(pH)의 등농도선을 보여주는 것이다. 한라산 정상부근 용천수에서 6.0이하의 등농도선이 형성된 후 고도가 낮아지면서 점차 증가하는 경향을 보였으나 일부 해안지역인 서귀포 정방수원, 천지연물, 대정 주변지역은 7.3이하로 역으로 감소하는 경향도 볼 수 있었다. 특히 관음사 주변지역, 조천읍 대흘리

주변지역, 조천읍 와산리 주변지역, 한림읍 판포리 주변지역, 한경면 고산리 주변지역에서도 수소이온농도가 높은 수치를 보였는데 이는 이들지역에 분포하는 용천수 및 지하수가 지표의 오염원에 의해 오염이 진행중에 있음을 의미한다.

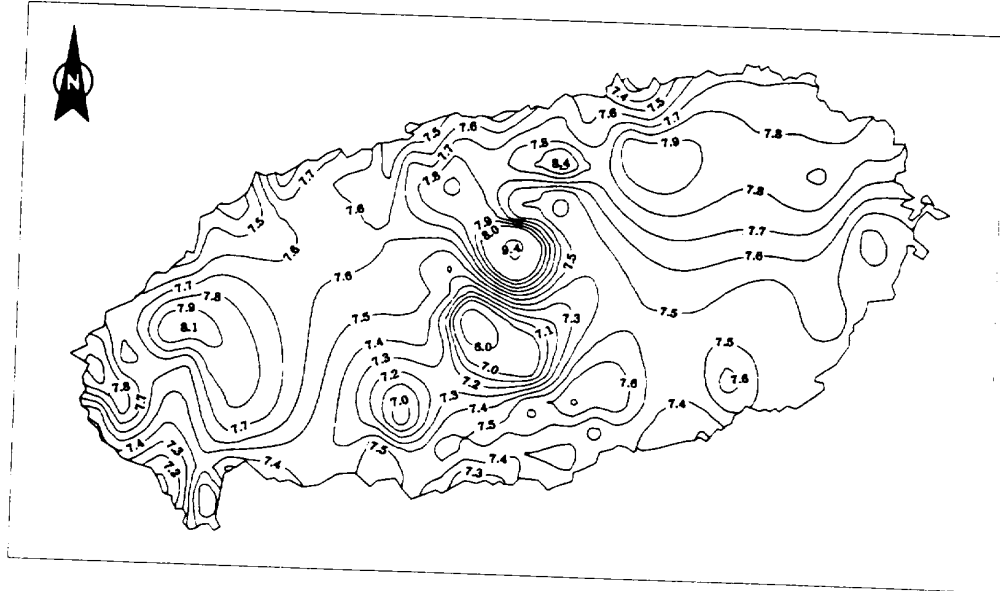


Fig. 41. Iso-concentration line map of hydrogen concentration(pH)

Fig. 42는 나트륨이온(Na^+)의 등농도선을 보여주는 것이다. 한라산 백록담 주변지역에서 2ppm이하의 농도를 보이고 고도가 낮아지면서 점차적으로 증가하다 해안지역에서는 급속도로 증가하고 있음을 볼 수 있다. 동부지역의 김녕에서 성산에 이르는 지역인 경우 내륙 상당한거리까지 등농도선이 급한 경사를 보이고 있어 해수영향권이 다른지역보다 폭이 넓음을 알 수 있었고, 조천지역, 애월읍 궤지리 및 한림읍 금릉리 주변지역에서 특히 높은값을 보이는 반면 한경, 대정, 중문의 서남부지역과 남부지역은 대조적으로 낮은값을 보여 본도의 지역별 지하수 및 용천수의 산출상태와 지하지질구조와 다름을 알 수 있다.

Fig. 43은 마그네슘이온(Mg^{2+})의 등농도선을 보여주는 것이다. 전술한 나트륨

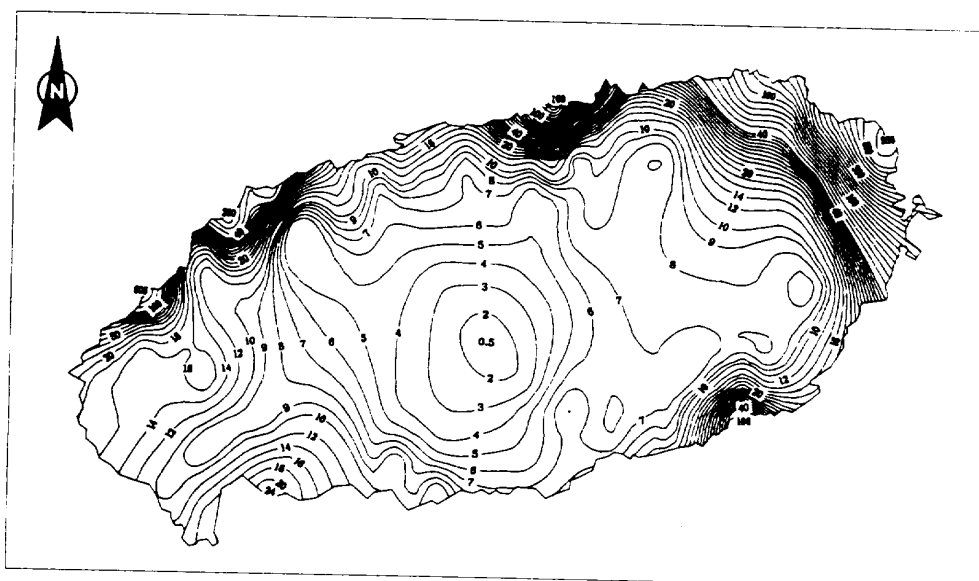


Fig. 42. Iso-concentration line map of sodium(Na^+) concentration(ppm).

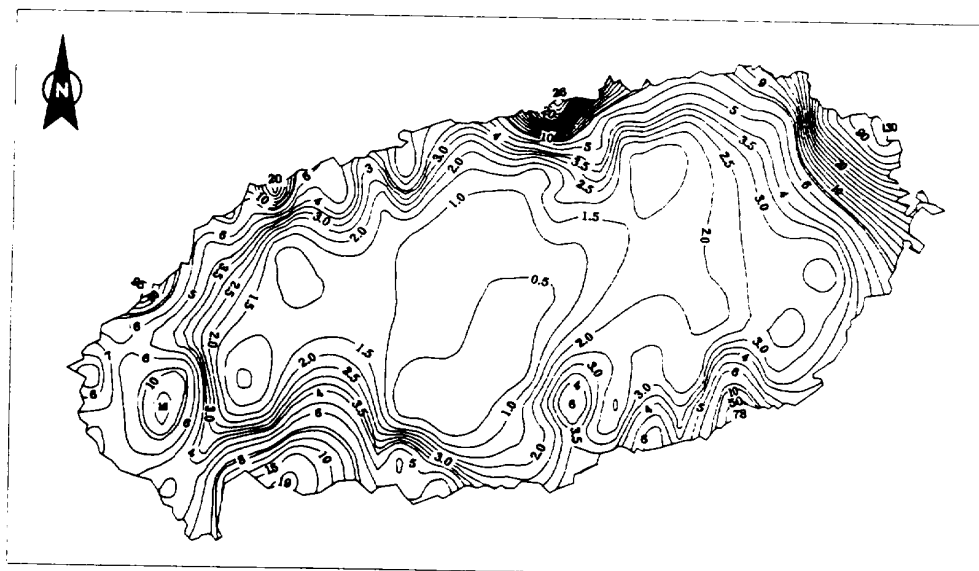


Fig. 43. Iso-concentration line map of magnesium(Mg^{2+}) concentration (ppm).

이온과 유사한 경향을 보여주고 있다. 한라산 백록담 주변지역에서 0.5ppm이하의 농도를 보이고 고도가 낮아지면서 점차적으로 증가하다 해안지역에서는 급속도로 증가하고 있음을 볼 수 있다. 특히 조천읍지역, 성산포지역, 애월읍지역, 표선면 토산리지역 및 한경면 무릉리 주변지역에서 높은값을 보이고 있다.

Fig. 44는 칼슘이온(Ca^{2+})의 등농도선을 보여주는 것이다. 전술한 마그네슘이온과 유사한 경향을 보여주고 있다. 한라산 백록담 주변지역에서 1ppm이하의 농도를 보이고 고도가 낮아지면서 점차적으로 증가하다 저지대지역 및 해안지역에서는 급속도로 증가하고 있음을 볼 수 있다. 특히 해수침입지역인 동부의 새화에서 성산지역, 한림읍 금릉리지역 및 안덕면 주변지역에서 등농도선의 경사가 급함을 볼 수 있다.

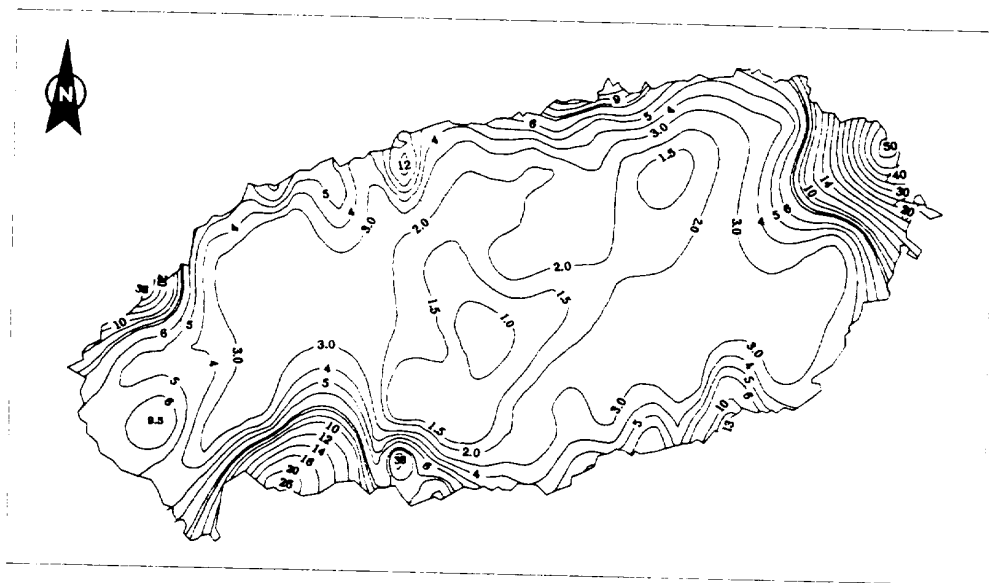


Fig. 44. Iso-concentration line map of calcium(Ca^{2+}) concentration(ppm).

Fig. 45는 칼륨이온(K^+)의 등농도선을 보여주는 것이다. 전술한 양이온들과는 전반적으로 다른 수질특성을 보여주고 있다. 한라산 백록담 주변지역에서 0.5ppm 이하의 농도를 보이고 고도가 낮아지면서 점차적으로 증가하다, 조천읍 신촌큰물

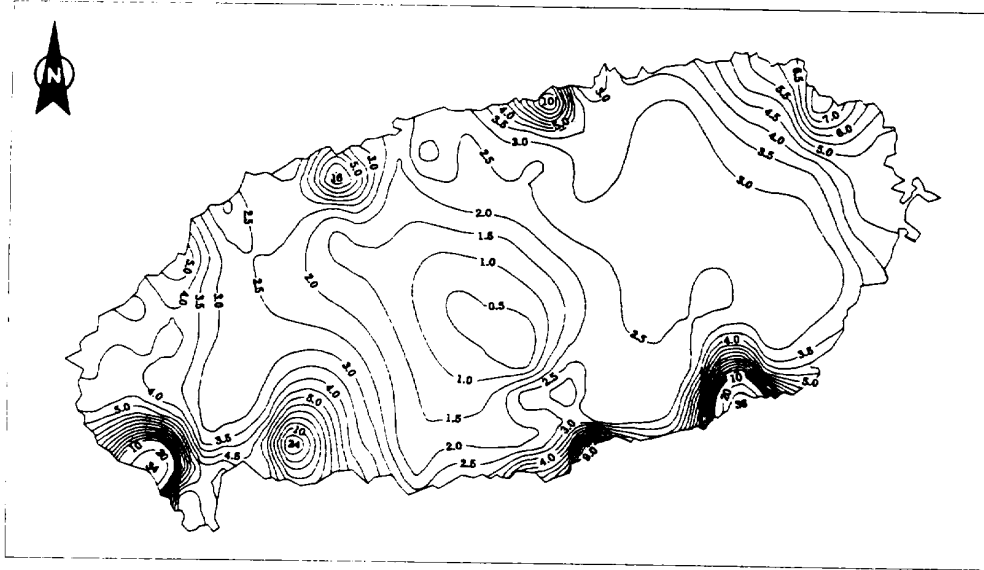


Fig. 45. Iso-concentration line map of potassium(K^+) concentration(ppm).

주변지역, 구좌읍 서느령물 주변지역, 표선면 토산리지역, 남원읍 공천포지역, 대정읍 일과리 지역, 금덕리 유수암천지역 및 안덕면 주변지역에서 등농도선의 경사가 급함을 볼 수 있다. 등농도선 방향으로 보았을 때 조천읍 신촌큰물지역, 구좌읍 서느령물지역, 표선면 토산리지역, 남원읍 공천포지역은 육상과 해수침입 오염원에 있는 지역으로 볼 수 있고, 대정읍 일과리 및 금덕리 유수암천 주변지역은 상류구배지역에 위치하는 육상오염원에 의해 오염되고 있는 것으로 사료된다.

Fig. 46과 Fig. 47은 염소이온(Cl^-)과 황산이온(SO_4^{2-})의 등농도선을 보여주는 것이다. 염소이온은 한라산 백록담 주변지역에서 각각 4 ppm, 1ppm이하의 농도를 보이고 고도가 낮아지면서 점차적으로 증가하다 해안지역에서는 급속도로 증가하고 있음을 볼 수 있다. 해수침입이 발생하고 있는 동부지역과 조천지역, 애월읍 주변지역에서 높은값을 보이는 반면 서부지역과 남부지역은 대조적으로 낮은값을 보여 전술한 바와같이 지역별 지하수 및 용천수 부존형태가 다름을 알 수 있다. 황산이온인 경우 남원읍 주변지역에서 해안에서 내륙쪽으로 증가되고 있는 것이 주목된다.

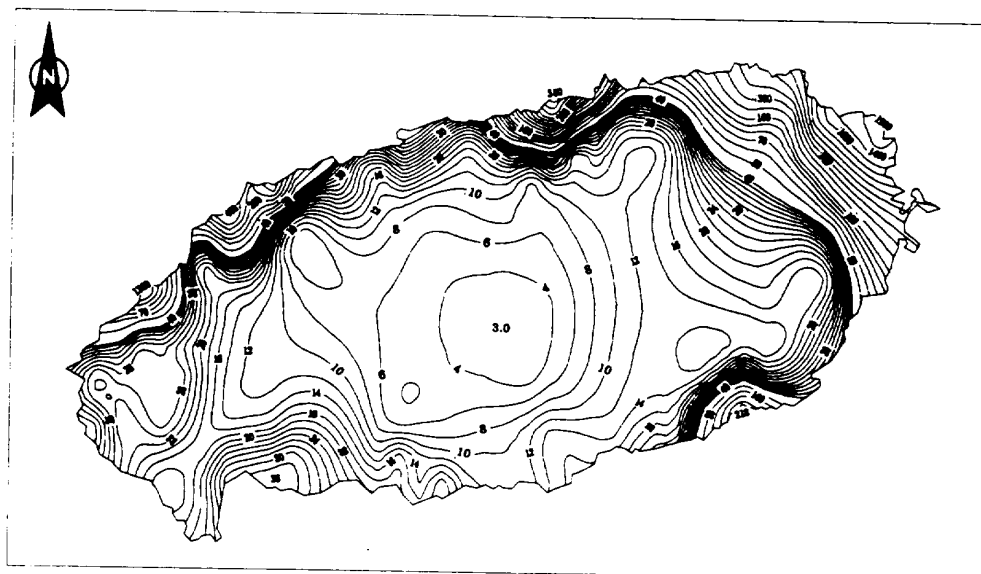


Fig. 46. Iso-concentration line map of chloride(Cl^-) concentration(ppm).

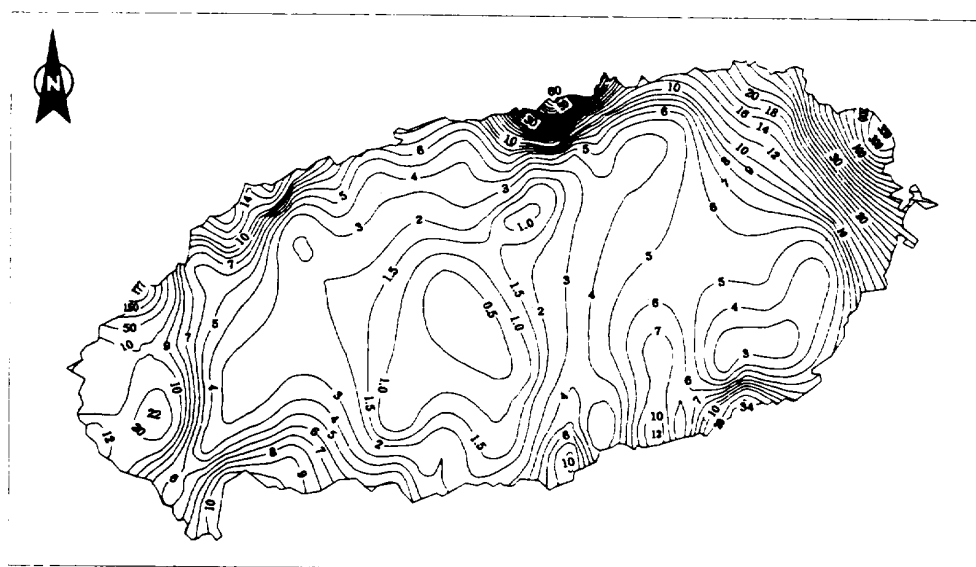


Fig. 47. Iso-concentration line map of sulphate(SO_4^{2-}) concentration (ppm).

Fig. 48은 질산성질소이온($\text{NO}_3^- - \text{N}$)의 등농도선을 보여주는 것이다. 한라산 백록담 주변지역 용천수에서 0.2ppm이하의 농도를 보이던 것이 고도가 낮아지면서 점차적으로 그 값이 증가하는 경향을 보였다. 특히 서부의 한경면 청수리, 산양리 지역, 안덕면 화순리 돌물 및 안덕계곡 주변지역, 서귀포시 용흥동 운량천 및 동해물 주변지역, 애월읍 금덕리 유수암천, 장수물지역, 제주시 도평동 덕지샘물 주변지역에서 10ppm이상의 급한 등농도선을 볼 수 있는데, 특히 이곳 주변지역에는 축산단지, 목장 및 쓰레기매립장, 대단위 과수원 등이 밀집되어 있기 때문에 사료된다. 그러나 Fig. 48에서 보는바와 같이 동부지역은 해수침입으로 인하여 대체로 질산성질소의 값이 낮는데 반하여 신촌큰물과 표선면 토산리 주변지역에서는 10ppm 이상의 다소급한 등농도선을 보이는 것은 이들지역 상류지역에 밀집된 마을에서 배출되고 있는 생활하수 및 주변 농경지에서 막대한 양의 오염물질이 생성되고 있음을 알 수 있었다.

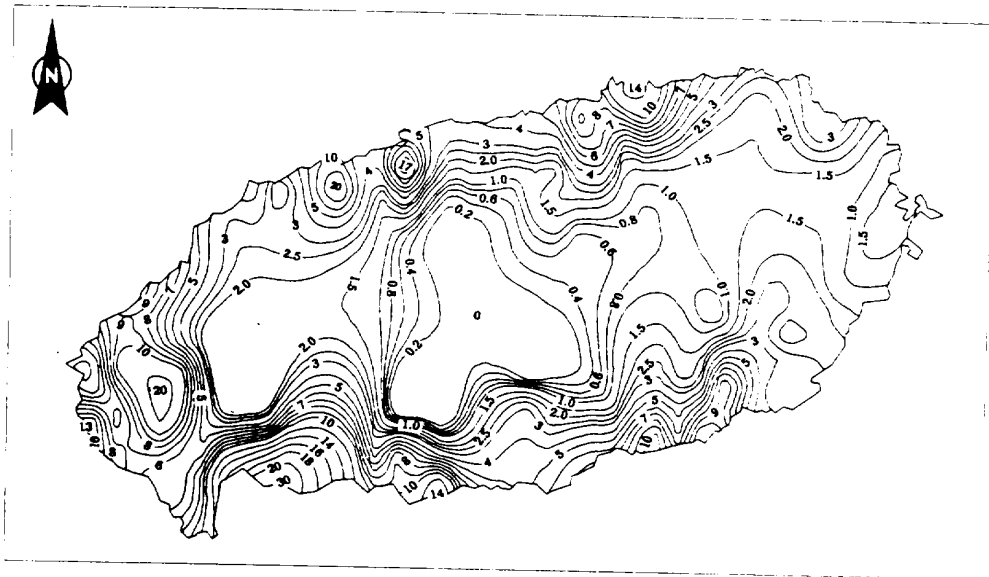


Fig. 48. Iso-concentration line map of nitrate nitrogen($\text{NO}_3^- - \text{N}$) concentration(ppm).

Fig. 49는 중탄산이온(HCO_3^-)의 등농도선을 보여주는 것이다. 전술한 바와같이 백록담 주변지역 용천수에서 10ppm이하였으나 중산간지역을 거쳐 해발고도가 낮은 저지대 및 해안지역에서는 점차로 증가하는 경향을 보였다. 특히 남부지역 표고 약 320m인 신례리 주변지역에서 82ppm까지 급속도로 중탄산이온이 증가함을 볼 수 있는데 이는 이곳 지하수의 유동속도가 느려 지하수의 지화학적 진화가 많이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 표선면 가시리지역, 조천읍 신흥리지역, 애월읍 수산리지역, 한경면 고산리지역, 대정읍 신도리지역, 대정읍 이교동지역, 서귀포시 색달동 및 회수동지역, 제주시 노형 및 월산지역, 제주시 봉개동 주변지역에서도 상기와 같은 특성을 보였다.

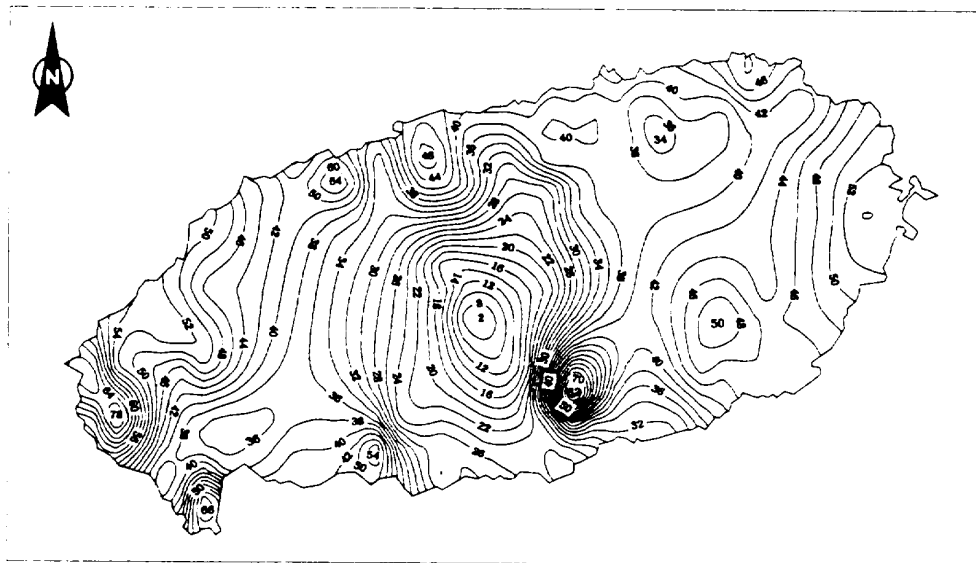


Fig. 49. Iso-concentration line map of bicarbonate(HCO_3^-) concentration (ppm).

V. 결 론

1. 본 연구는 제주도 전역에 산재되어 있는 용천수 중 19개 용출수를 대상으로 월별용출량 측정결과 중산간지역 용천수의 용출량은 강수량에 밀접한 영향을 받았으며, 1995년 7월 풍수기때 용출량은 모두 증가 하였는데, 유수암천, 운랑천이 각각 616톤, 1,500톤 정도가 용출되었고, 색달생수는 1530톤으로 최대의 용출량을 보였다. 그러나 갈수기인 '96년 1월에 유수암천이 68톤, 운랑천은 4월에 544톤, 색달생수는 1월과 2월에 443톤정도로 용출량이 급격히 감소하였다.
2. 동부지역 용천수의 용출량은 중산간지역 보다 강수량에 덜 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 신촌큰물과 서느렁물은 갈수기와 풍수기에 관계없이 연중 마르지 않고 용출되었으며, 7월 풍수기때 각각 28,051톤, 18,640톤이 용출되어 최대 용출량을 보였고, 신촌큰물인 경우 96년 3월에 7,400톤, 서느렁물은 12월 8,754톤으로 최소를 보였는데 이는 이기간 동안에 가뭄의 최대시기와 일치하였다.
3. 서부지역 용천수의 용출량 변화는 강수량에 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 웅포천과 괭지물은 연중 마르지 않고 용출되었으며, '95년 7월 풍수기때 각각 56,450톤, 29,630톤이 용출되어 최대 용출량을 보였고, '96년 3월에 각각 16,610톤, 10,001톤으로 최소를 보였으며, 최대 용출량과 최소치와의 차는 각각 39,840톤, 19,629톤으로 웅포천이 더많은 변화폭을 보였다. 정금물은 갈수기인 12월과 1월에 용출되지 않았고, 7월 풍수기때 12,350톤이 용출되어 최대 용출량을 보였다.
4. 남부지역 용천수의 용출량은 갈수기때 마르지 않고 모두 연중 용출하고 있으나 용출수량은 강수량에 큰 영향을 받고 있었다. 강수량이 가장많은 7월에 공천포가 14,530톤, 화순돛물이 3,800톤, 강정천이 49,850톤, 법환돛물이 19,500톤, 소정방이 4,750톤, 자굴이가 15,630톤으로 모두가 최대 용출량을 보였으나, 갈수기때인 1월에 화순돛물과 자굴이는 각각 1,383톤, 8,100톤, 4월 강정천과 법환돛물은 30,551톤, 9,971톤, 5월 소정방이 2,200톤, 11월에 공천포가 5,630톤으로 최소의 용출량을 보였다. 특히 공천포가 11월에 최소 용출량을 보인 것은 강수량의 영향보다는 상부지역인 롯데공장에서 일시적으로 공업용으로 취수를 하였기

때문으로 사료된다.

5. 북부지역 용천수의 용출량은 산지천만이 갈수기와 풍수기에 관계없이 연중 용출하였으며 오래물은 1월에서 4월까지 용출되지 않고, 용연천은 12월에 용출되지 않았다. 특히 오래물은 강수량에 많은 영향을 받아 1995년 7월 581.0mm의 강수때 용출량은 12,860톤/일로 최대치를 보였고, 산지천도 7월말에 20,310톤/일로 용출량이 많이 증가하였으며, 산지물은 3월에 2,310톤으로 최저용출량을 보였다. 용연천은 10월에 10,268톤으로 최대 용출량을 보이고 12월에 최저용출량을 보였다.
6. 본 조사결과와 몇몇기관에서 동일지역에서 조사한 용출수량과는 다소 차이를 보이는 곳이 많은데, 동부지역의 신촌큰물(약 6,000톤), 서부지역의 괘지물(약 7,000톤), 남부지역의 강정천(약 11,000톤 ; 수공), 자굴이(약 5,000톤 ; 농진), 공천포(약 3,000톤), 북부지역의 용연천(약 1,500톤)은 용출량이 기존자료보다 증가한 반면, 동부지역의 서느렁물(약 5,000톤), 서부지역의 옹포천(약 10,000톤), 남부지역의 화순돛물(약 1,500톤), 강정천(약 28,000톤 ; 농진), 자굴이(약 43,000톤 ; 수공), 산지물(약 3,500톤), 오래물(약 6,200톤)은 기존자료보다 용출량이 감소한 것으로 조사되었다. 이와같이 본 조사와 기존자료와 차이를 보이는 것은 기존 조사자료들이 월별로 장기적인 용천수량 측정이 이루어지지 않았기 때문으로 사료된다.
7. 용연천에서 조수위에 따른 용출량이 정현곡선을 그리며 운동하고 있음을 보여주는 데, 최저조시에는 약 2시간전, 저조시에는 약 1시간전에 용출이 멈추고, 최저조 및 저조 약 3시간 후에 용출이 시작되어 최고조 및 고조 약 1시간 후 최대 용출량을 보였다. 최대용출량은 최고조 시간 약 1시간 후인 0시에 29,500톤/일이었고, 최소용출량은 0톤/일로 용출이 일시 중단된 상태였으며, 평균 용출량은 7,294톤/일이었다.
8. 용연천에서 조수위에 따른 전기전도도의 변화는 조석에 따라 그 값이 증감을 보였는데 최고조 약 3시간 후 1,115 μ S/cm로 가장 높았고, 최저조 약 1시간 전에 372 μ S/cm로 가장 낮았다.
9. 용천수내 TDS값은 고산지역에서 평균 35.3~66.4ppm의 범위를 보이고, 백록담 담수호가 35ppm으로 최저치를 나타냈으며, 관음사 용천수가 79ppm으로 최대치

를 보였다. 중산간지역에서는 평균 61.8~145.5ppm의 범위를 보였으며, 원만사가 60ppm으로 최저치를, 유수암천이 164ppm으로 최대치를 나타냈고, 저지대지역에서는 평균 80.7~351.3ppm의 범위를 나타냈으며, 강정수원지가 66ppm으로 최저치를, 화순 돌물이 414ppm으로 최대치를 나타냈다. 해안지역은 평균 93.1~355.7ppm의 범위를 나타냈으며, 외도수원이 64ppm으로 최저치를, 서느령물이 4651ppm으로 최고치를 보였다.

연구지역 용천수중 식수로 사용할 수 없는 TDS값이 500ppm이상인 용천수 지역은 총 55개 지역중 8개지역(삼양제3수원, 신촌큰물1, 신촌큰물2, 명법사, 서느령물, 토산물, 정금물, 고내물)임을 확인할 수 있었다.

10. 용천수내 SEC값은 고산지역에서 평균 9.3~63.8 μ S/cm의 범위를 나타냈으며, 백록담담수호에서가 9 μ S/cm로 최저치를, 관음사 용천수가 85 μ S/cm로 최고치를 보여 관음사를 제외하고 전지역 용천수가 50 μ S/cm이하의 값을 보였다. 중산간지역은 평균 55.5~201.0 μ S/cm의 범위를 나타냈으며, 원만사 용천수가 53 μ S/cm로 최저치를, 유수암천이 234 μ S/cm로 최고치를 보였다. 저지대지역은 평균 88.5~558.6 μ S/cm의 범위를 나타냈으며, 강정수원이 63 μ S/cm로 최저치를, 화순 돌물이 667 μ S/cm로 최고치를 보여 오염이 진행중이다 사료된다. 해안지역은 평균 109.9~6126.9 μ S/cm의 값을 나타냈으며, 외도수원이 60 μ S/cm으로 최저치를, 서느령물이 8030 μ S/cm로 최고치를 보여 조수위에 따라 해수가 기존 용출수지역으로 침입하고 있음으로 사료된다.
11. 강수량에 따른 SEC값은 고산지역 및 해안지역 용천수에서 미미한 영향을 받으나, 중산간지역 및 저지대지역 용천수는 강수량이 많을 때 SEC값이 증가하였는데 그 경향도 고도가 낮은 지역 용천수에서가 큰 증가폭을 보였다. 이는 용천수 분포지역 지표면 오염물질들이 강수와 더불어 하향침투하여 하류구배지역의 용천수를 오염시키고 있는 것으로 사료된다.
12. 용천수내 pH값은 고산지역에서 평균 5.8~9.3의 범위를 나타냈으며, 백록담담수호에서 5.8로 최저치를, 관음사물이 10.1로 최고치를 보여 SEC값의 변화와 유사한 경향을 보였다. 중산간지역은 평균 6.7~7.6의 범위를 나타냈으며, 원만사 용천수가 6.6으로 최저치를, 절물이 7.8로 최고치를 보였다. 저지대지역은 그 변화 범위가 평균 6.7~7.7을 나타냈으며, 장수물과 구시물이 6.6으로 최저치를,

- 금산수원과 강정수원이 7.8로 최고치를 보여 하류지역에 분포하는 용천수에서가 전반적으로 pH값이 높은 경향을 보였다. 해안지역은 평균 6.9~7.9의 범위를 나타냈으며, 하강물이 6.7로 최저치를, 서립수원이 9.6으로 최고치를 보였다. 본 연구지역에서의 pH 범위는 5.8~10.1로 약산성에서 약 알칼리까지 다양하였다.
13. 용천수내 나트륨 함량변화는 고산지역인 경우 0.54~4.46 ppm의 범위를 나타냈으며, 백록담담수호가 0.53 ppm으로 최저치를, 관음사물이 5.08ppm으로 최고치를 보였다. 중산간지역은 평균 4.86~12.05ppm의 변화폭을 나타냈으며, 돈네코수원이 4.12ppm으로 최저치를, 유수암천이 17.90ppm으로 최고치를 보였다. 저지대지역은 평균 5.37~24.04ppm의 범위를 나타냈으며, 강정수원이 4.62ppm으로 최저치를, 돌물이 26.80ppm으로 최고치를 보였다. 해안지역은 평균 6.28~930.32ppm의 범위를 나타냈으며, 외도수원이 3.46ppm으로 최저치를, 서느령물이 1231.81ppm으로 최고치를 보였다.
14. 용천수내의 고도별 나트륨이온의 함량변화는 고도가 낮아지는 용천수에서가 그 농도가 점차 증가하다 해안지역 용천수에서 급격히 증가하는 경향을 보였는데 광지물, 애월하물, 토산물, 삼양제3수원, 신촌큰물1, 신촌큰물2, 고내물, 명법사, 정금물, 서느령물의 순으로 그 값이 증가하였고, 저지대의 용천수인 경우 하원통물, 안덕계곡, 돌물, 장수물은 나트륨 함유량이 20ppm을 초과하고 있어 이들 용천수는 해수에 의한 오염보다는 육상 오·폐수에 의해 오염되고 있는 것으로 사료된다.
15. 용천수내 칼륨함량 범위는 고산지역이 평균 0.13~1.43ppm의 범위를 나타냈으며, 남국선원이 0.03ppm으로 최저치를, 관음사물이 1.64ppm으로 최고치를 보였고, 중산간지역은 평균 0.61~5.48ppm의 범위를 나타냈으며, 명도암 용천수가 0.50ppm으로 최저치를, 유수암천이 6.32ppm으로 최고치를 보여 유수암천을 제외하고는 모두가 양호한 수질을 보였다. 저지대지역은 평균 1.34~16.24ppm의 범위를 나타냈으며, 법화사 용천수가 1.01ppm으로 최저치를, 안덕계곡 용천수가 30.21ppm으로 최고치를 보였다. 조사기간 중 기준치를 초과한 지역은 안덕계곡(16.24ppm), 돌물(9.05ppm)로 이들지역은 주변 오염원으로부터 오염된 것으로 사료된다. 해안지역은 평균 1.54~35.91ppm의 범위를 나타냈으며, 이들 중 공천포가 0.13ppm으로 최저치를, 정금물이 66.50ppm으로 최고치를 보였다. 5ppm

이상인 지역은 삼양제3수원지(10.20ppm), 신촌큰물1(7.83ppm), 신촌큰물2(9.04ppm), 명법사물(24.23ppm), 서느렁물(35.91ppm), 토산물(5.67ppm), 정금물(33.25ppm), 광지물(5.20ppm), 애월하물(6.38ppm), 고내물(12.75ppm)등 10개지역으로 해안지역의 용천수는 대부분 해수의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 용천수 중 5ppm를 초과한 지역의 고도별 비율을 보면 고산지역은 기준치를 초과한 용천수는 없었고, 중산간지역은 1지역(1.8%), 저지대지역은 4지역(7.3%), 해안지역은 13지역(23.6%)등, 전체 55개 조사지역중 18지역(32.7%)의 용천수가 각종 오염원으로부터 오염이 되었거나 진행중임을 확인할 수 있었다.

16. 용천수내 마그네슘의 함량범위는 고산지역에서 평균 0.26~0.87ppm의 범위를 나타냈으며, 이중 성판악 용천수가 0.12ppm으로 최저치를, 영실물이 1.33ppm으로 최고치를 보였고, 칼슘의 함량범위는 평균 0.26~3.12ppm을 나타내어 성판악 용천수가 0.04ppm으로 최저치를, 관음사물이 5.37ppm으로 최고치를 보였다. 중산간지역에서 마그네슘의 평균함량 범위는 0.24~5.09ppm을 나타냈고, 산천단 용천수가 0.21ppm으로 최저치를, 유수암천이 5.64ppm으로 최고치를 보였으며, 칼슘은 평균 1.38~7.50ppm의 범위로 산천단 용천수가 1.20ppm으로 최저치를, 유수암천이 7.86ppm으로 최고치를 보였다. 저지대지역은 마그네슘의 함량범위가 평균 1.89~21.89ppm을 보였으며, 이들 중 강정수원이 1.18ppm으로 최저치를, 하원통물이 28.25ppm으로 최고치를 보였으며, 칼슘은 평균 3.12~36.96ppm의 범위를 나타내고, 강정수원이 2.06ppm으로 최저치를, 하원통물이 52.80ppm으로 최고치를 보였다. 해안지역에서 마그네슘의 함량범위는 평균 2.66~130.94ppm을 나타냈으며, 외도수원이 1.35ppm으로 최저치를, 서느렁물이 174.08ppm으로 최고치를 보였다. 칼슘은 평균 3.80~49.53ppm을 나타냈으며, 이들 중 막은물이 1.10ppm으로 최저치를, 서느렁물이 65.11ppm으로 최고치를 보였다. 조사지역 용천수에서 마그네슘과 칼슘 함량과의 관계는 영실물, 산천단물, 유수암천, 산지물, 공천포, 시냇물, 서림수원, 외도수원, 구멍물, 막은물등은 정상적인 지하수 형태인 $Ca > Mg$ 의 관계를 보이거나, 삼양제3수원, 신촌큰물 1, 2, 명법사 용천수, 서느렁물, 토산물, 정금물, 광지물, 애월하물, 고내물, 녹고물, 오래물, 금산수원, 영천사 용천수, 돛물, 하강물, 한림수원, 문두물등 18개 지역은 $Ca < Mg$ 관계를 보이고 있어 이들 용천수들은 해수 및 주변 오·폐수에 의해

오염이 되고 있음을 알 수 있었다.

17. 조사지역 용천수의 고도별 마그네슘의 함량 변화는 고도가 낮아지면서 순차적으로 그 농도가 증가하다 해안지역 용천수에서 빠른 증가 경향을 보이는 반면, 칼슘의 함량변화는 고산지역과 중산간지역 용천수에서는 마그네슘의 변화 경향과 비슷하나 저지대지역 및 해안지역 용천수에서는 반대의 경향을 나타내고 있어 해수침입에 대한 칼슘이온이 민감하게 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 용천수내 마그네슘의 함량과 강수량과의 관계는 고산지역 용천수에서 영향이 미미한 편이나 중산간지역 및 해안지역에 분포하는 용천수들은 강수량이 증가하면 마그네슘 농도가 감소하는 경향을 보였다. 한편 강수량과 칼슘과의 관계에서는 고산지역 용천수인 경우 강수량이 증가하면 칼슘농도는 감소하고, 중산간지역 용천수는 강수량이 증가하면 그 농도도 증가하는 경향을 보였고 저지대와 해안지역 용천수에서는 영향이 미미하였다.

18. 용천수내 염소이온의 함량범위는 고산지역이 평균 1.31~5.20ppm의 범위를 나타냈으며, 이들 중 백록담 담수가 1.29ppm으로 최저치를, 관음사물이 7.32ppm으로 최고치를 보였으며, 황산이온은 고산지역에서 평균 0.00~1.83ppm의 범위를 나타냈으며, 성판악 용천수를 포함한 대부분 불검출되었고 관음사물에서 2.57ppm으로 최고치를 보였다. 중산간지구에서 염소이온의 함량범위는 평균 5.49~17.47ppm을 나타냈으며, 이들 중 돈네코수원이 4.29ppm으로 최저치를, 유수암천이 19.67ppm으로 최고치를 보였다. 황산이온의 평균 함유량은 0.00~4.43ppm의 범위를 나타냈으며, 이들 중 산천단 용천수와 원만사 용천수에서가 불검출되었고, 절물이 6.66ppm으로 최고치를 보였다. 저지대지역에서 염소이온은 평균 6.96~43.38ppm의 범위를 나타냈으며, 이들 중 강정수원이 6.23ppm으로 최저치를, 돈물이 55.30ppm으로 최고치를 보였다. 황산이온은 평균 1.10~14.10ppm을 나타냈으며, 이들 중 법화사 용천수가 0.12ppm으로 최저치를, 돈물이 23.07ppm으로 최고치를 보였다. 해안지역에서 염소이온은 평균 8.98~1904.25ppm의 범위를 나타냈으며, 이들 중 외도수원이 5.32ppm으로 최저치를, 서느렁물이 2420.09ppm으로 최고치를 보였다. 황산이온은 평균 0.00~355.02ppm을 나타냈으며, 이들 중 외도수원에서 불검출되었고, 서느렁물이 491.65ppm으로 최고치를 보였다.

19. 조사지역 용천수 중 염소이온이 150ppm을 초과한 지역은 삼양제3수원, 신촌큰물1, 신촌큰물2, 서느렁물, 애월하물, 명법사용천수, 정금물, 토산물, 고내물, 과지물, 녹고물, 오래물등 12곳으로 이들 용천수는 모두 해안지역에 위치하여 있으며 이지역에서 황산이온도 역시 높은수치를 보여 이지역 용천수들은 해수의 영향권에 있는 용천수임을 알 수 있었다.
20. 용천수내 염소이온과 황산이온의 함량분포는 해안지역 용천수에서가 높은 함량을 나타냈고, 반면 고산지구 용천수에서는 낮은함유량을 보이며 해발고도가 낮은 지역의 용천수일수록 순차적으로 이들 두 이온의 농도가 증가하다 해안지역 용천수에는 그 함량치가 빠른 증가 경향을 보였다. 해안지역 용천수일수록 그 농도가 빠른 증가경향을 보이는 것은 이지역에 분포하는 용천수는 조석 영향에 따른 해수침입이 발생하는 것으로 사료된다. 강수량과 용천수내 이들 두 이온과의 관계에서 염소이온인 경우 강수량이 증가하면 회석에 의한 그 농도가 감소하는 경향을 보였고, 황산이온인 경우 저지대지역의 용천수에서 강수량이 증가하면 그 농도가 증가하는 경향을 보였는데 이는 육상 오염물질들이 강수와 함께 지하로 침투하기 때문으로 사료되며, 반면 해안지구에서는 강수량이 증가하면 농도가 감소하는 경향을 보였다.
21. 용천수내 질산성질소는 고산지역에서 평균 0.00~0.43ppm의 범위를 나타냈으나, 백록담 담수, 어리목 및 윗세오름 용천수등에서 불검출 되었고, 성판악이 0.80ppm으로 최고치를 보이나 이곳 용천수들은 모두가 양호한 수질을 형성하고 있다. 중산간지역은 그 함량범위가 평균 0.10~7.65ppm을 나타냈으며, 원만사가 0.09ppm으로 최저치를, 유수암천이 10.95ppm으로 최고치를 보여 이곳 역시 양호한 수질을 나타냈으나 유수암천인 경우 상류구배지역에 축산단지 및 마을등 오염원이 있는 관계로 타지역보다 다소높은 함유량을 보였고, 돈네코수원도 상류구배지역에 쓰레기매립장 및 공동묘지 등이 있는 관계로 오염이 많이 진행중에 있었다. 저지대지역에서는 평균 3.42~33.65ppm의 범위를 나타냈으며, 천지연물이 2.08ppm으로 최저치를, 화순 돌물이 44.18ppm으로 최고치를 보였다. 이곳 16개 조사지역 중 강정수원지, 천지연물, 정방용천수등 3개지역을 제외하고 거의 전 용천수의 질산성질소 함유량이 5ppm이상을 나타내어 이곳 용천수들은 오염이 많이 진행중임을 알 수 있었다. 해안지역에서는 평균 0.72~22.48ppm의 범

위를 나타냈으며, 명법사 용천수가 0.44ppm으로 최저치를, 화순 뚝물이 30.18ppm으로 최고치를 보였다. 이곳 용천수 중 질산성질소가 10ppm을 초과한 지역은 신촌큰물1(10.11ppm), 뚝물(30.18ppm), 하강물(22.90ppm), 정금물(10.67ppm)등 총 24개 조사지역중 4지역에 불과했고, 이 4곳은 해수영향이 크게 미치는 지역의 용천수였다. 그러나 예외적으로 신촌큰물1, 2와 정금물인 경우 해수의 영향을 상당히 받으면서도 질산성질소가 높게 검출되었는데 이들 용천수는 천층형 용천수로서 지표의 육상 오염물질들이 직접 영향을 받는 것으로 사료된다.

22. 강수량과 질산성질소 농도사이의 관계를 보면 고산지역과 중산간지역의 용천수인 경우는 강수량에 미미한 영향을 보이거나 저지대지역 용천수인 경우는 강수량이 증가하면 질산성질소 농도가 증가하는 경향을 보여, 이는 상류구배구간의 오염원으로부터 만들어진 암모니아성질소가 강수와 함께 지하로 침투하여 시간이 지남에 따라 질산성질소로 되어 하류지역의 용천수에서 높게 나타나는 특성을 보였다.
23. 조사지역 용천수의 TDS와 HCO_3 와의 상관관계를 보면 고산지역 및 중산간지역 용천수들은 직선상에 놓여 있는 반면 저지대지역과 일부 해안지역 용천수들은 HCO_3 함유량이 25ppm~50ppm 범위와 TDS값이 200ppm~400ppm 사이에 있는 직선밖의 또다른 하나의 group을 형성하고 있는데 이들은 1단계 오염이 진행중인 용천수임을 알 수 있었다. 해안지역 일부 용천수들도 HCO_3 함유량이 40ppm~60ppm 범위와 TDS값이 400ppm이상으로 직선밖의 또다른 하나의 group을 형성하고 있는데 이들 용천수는 해수가 침입하여 오염된 용천수군임을 알 수 있다. 고산지역 용천수인 경우 TDS에 대한 HCO_3 값이 22ppm이하에서 일직선상에 놓여 있어 낮은 용천수군으로 분류되고, 중산간지역(19ppm~38ppm)은, 저지대지역(25ppm~48ppm), 해안지역(28ppm~50ppm)으로 순차적으로 보다 늙은(older)한 용천수군으로 분류되었다.
24. 용천수내 중탄산의 함유량은 고산지역에서 평균 1.87~22.03ppm의 범위를 나타냈으며, 천왕사 용천수가 0.41ppm으로 최저치를, 관음사 용천수가 28.95ppm으로 최고치를 보였다. 중산간지역은 평균 19.27~37.63ppm의 범위를 나타냈으며, 원만사 용천수가 7.90ppm으로 최저치를, 유수암천이 44.48ppm으로 최고치

를 보여, 고도가 낮아지면서 용천수중에 중탄산이온 함량이 점차로 증가하는 경향을 보였다. 저지대지역은 평균 23.92~49.26ppm을 나타냈으며, 이들 중 운량천이 9.21ppm으로 최저치를, 장수물이 61.06ppm으로 최고치를 보였다. 해안지구는 평균 26.84~54.36ppm의 범위를 나타냈으며, 이들 중 외도수원이 13.16ppm으로 최저치를, 정금물이 58.16ppm으로 최고치를 보였다. 외도수원인 경우 해안지역에 위치하면서도 중탄산이온 함량이 적고, 주변지역 용천수는 TDS값이 고농도인데 반해 그 값이 100ppm이하로 양호한 수질특성을 보여 본 용천수의 근원수원인 강수가 지하로 함양된 후 빠른속도로 해안지역에 위치한 외도수원으로 이동되고 있는 것으로 사료되었다.

25. 고산지역 용천수에서 수질성분 이온들간의 상관성은 45개 상관 중 높은상관성이 1개(2%), 중간정도의 상관성이 4개(8%), 낮은 상관성이 8개(18%)로 상관성이 있는 인자는 13개(28%)에 불과하였는데 이는 강수가 지하로 침투한 후 수직 및 수평이동에 따른 진화를 시작하면서 진화시기가 짧은 단계로 이온들 공급이 미약함에 따라 특별한 상관성을 갖고 있지않는 것으로 판단된다.
26. 중산간지역 용천수에서 수질 이온들간의 상관성은 45개 상관 중 높은상관성이 4개(9%), 중간정도의 상관성이 13개(29%), 낮은 상관성이 7개(16%)로 상관성이 있는 인자는 24개(54%)나 되어, 고산지역에 분포하는 용천수가 강수가 지하 침투후 짧은 이동에 따른 진화시기가 짧아 상관성이 떨어진것에 반면 중산간지역 용천수인 경우 유동기간이 다소 길어 지표면의 오염물질들에 의한 이온공급이 원만히 이루어지므로 이온들간의 상관성이 다소 증가하고 있는 것으로 사료된다.
27. 저지대지역 용천수의 수질 이온들간의 상관성은 45개 상관 중 높은상관성이 2개(4%), 중간정도의 상관성이 5개(11%), 낮은 상관성이 5개(11%)로 상관성이 있는 인자는 12개(26%)뿐으로 전반적으로 낮은 상관성을 보여 주목된다. 이는 기존 용천수 부존지역에 부분적인 해수의 침입과 질산성질소가 대부분 이온들과 정의 상관관계를 보여 육상 오염원에 의해 용천수의 수질성분에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.
28. 해안지역 용천수의 이온들간의 상관성은 45개 상관 중 높은상관성이 20개(44%), 중간정도의 상관성이 1개(2%)로 상관성이 있는 인자는 21개(46%)로 중

산간지역 용천수의 24개(54%)보다는 낮은 상관성을 보이지만 정의상관성에서 월등히 많은 점이 특징이다. 이는 강수가 지하침투 후 이동에 따른 자연적인 진화에 의한 공급보다는 많은양의 이온들을 함유하는 해수의 침입에 따른 혼합의 영향으로 사료된다.

29. Piper의 삼각다이어그램을 통한 양이온도는 고산지구 9개지역 용천수에서 6개 지역(용진각용천수, 윗세오름용천수, 어리목용천수, 천왕사용천수, 관음사용천수, 성판악용천수)이 Na+K(Sodium or Potassium type)의 군을 이루었고, 3개지역(백록담 담수, 영실용천수, 남국선원 용천수)은 동질성(No dominant type)의 군을 형성하였다. 중산간지역은 6개지역 용천수 중 3개 지역(산천단 용천수, 절물, 원만사 용천수)이 Na+K의 군을 이루었고, 3개지역(명도암 용천수, 돈네코 용천수, 유수암천 용천수)이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하였다. 저지대 지역인 경우 16개 지역 중 3개 지역(금산수원 용천수, 장수물, 구시물)만이 Na+K형태의 군을 이루고 그 나머지 13개지역 용천수는 동질성(No dominant type)의 군을 형성하고 있어 이곳 용천수는 오염이 진행됨에 따른 수질특성들이 동질화 되어가고 있음을 알 수 있었다. 해안지구 용천수는 총 24개 지역중 50%가 넘는 14개 지역이 Na+K형태의 군을 이루었고, 10개지역(공천포, 돛물, 하강물, 시냇물, 서림수원, 한림수원, 문두물, 외도수원, 금산수원, 막은물)이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하고 있어 해수침입에 의한 Na+K 형태의 군을 이루고 있음을 확인할 수 있었다.

30. Piper의 삼각다이어그램을 통한 음이온도는 고산지역 용출수 9개지역에서 7개 지역이 $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ (bicarbonate type)형태의 군을 이루었고, 2개지역(백록담 담수, 윗세오름 용천수)이 Cl(Chloride type) 형태의 군을 형성하였다. 중산간지역은 6개지역 중 3개 지역(산천단 용천수, 절물, 원만사 용천수)이 bicarbonate type의 군을 이루었으며, 3개지역(명도암 용천수, 돈네코 용천수, 유수암천 용천수)이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하였으며, 저지대지역인 경우 16개 조사지역 중 수질이 양호한 곳에 나타나는 bicarbonate type의 군은 한곳도 없었고, 5개 지역(운량천, 색달생수 용천수, 안덕계곡 용천수, 돛물)등이 육상오염의 주요형태인 $\text{SO}_4 + \text{NO}_3$ (Sulfate or Nitrate type) 군을 이루었고, 그 나머지 11개지역이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하고 있어 오염된 용천수들

이 많이 분포함을 알 수 있었다. 해안지역은 총 24개 지역중 50%에 해당하는 12개 지역(삼양제3수원, 신촌큰물1, 신촌큰물2, 명법사 용천수, 서느렁물, 토산물, 정금물, 괘지물, 애월하물, 고내물, 늑고물, 오래물)이 Chloride type의 군을 이루었고, 13개지역이 동질성(No dominant type)의 군을 형성하였으며 1개 지역(돛물)은 Sulfate or Nitrate type의 군을 이루고 있어 해안지역 용천수들은 대부분 해수침입으로 인한 주로 Chloride type 및 동질성(No dominant type)의 군을 형성하고 있음을 알 수 있었다.

31. 고도별로 용천수의 양이온 수질형태는 고산지역은 Sodium or Potassium type의 형태를 갖는 용천수가 중산간지역을 걸쳐 저지대지역으로 해발고도가 점차 낮아짐에 따라 용천수의 그 수질특성이 동질성(No dominant type) 형태로 변질되고 있음을 알 수 있었고, 해안지역에서 이들은 다시 Sodium or Potassium type의 형태의 용천수로 변질되고 있음을 확인할 수 있었다. 음이온 수질형태는 고산지역에서 bicarbonate의 형태를 갖는 용천수가 중산간지역을 걸쳐 저지대지역으로 해발고도가 낮은지역에 위치하는 용천수로 이동되면서 그 수질특성이 동질성(No dominant type) 형태를 거쳐 Sulfate or Nitrate type의 용천수 형태로 변질되었고, 이는 다시 해안지역까지 이동 되어서는 Chloride type의 용출수로 변질되고 있음을 알 수 있었다.
32. 전기전도도(EC)와 수소이온농도(pH)의 등농도선은 한라산 정상부근 용천수에서 각각 20 μ S/cm, 6.0이하의 등농도선이 형성된후 고도가 낮아지면서 점차로 증가함을 볼 수 있다.
33. 나트륨이온(Na^+), 마그네슘(Mg^{2+}), 칼슘이온(Ca^{2+}), 칼륨(K^+)의 등농도선을 보면 한라산 백록담 주변지역에서 각각 2ppm이하, 0.5ppm이하, 1ppm이하, 0.5ppm이하의 농도를 보였고 고도가 낮아지면서 점차적으로 증가하다 해안지역에서는 급속도로 증가하는 경향을 보였다. 동부지역의 김녕에서 성산에 이르는 지역인 경우 내륙 상당한거리까지 등농도선이 급한 경사를 보이고 있어 해수영향권이 다른지역보다 폭이 넓음을 알 수 있었다.
34. 염소이온(Cl^-)과 황산이온(SO_4^{2-})의 등농도선을 보면 염소이온과 황산이온이 한라산 백록담 주변지역 용천수에서 각각 4 ppm, 1ppm이하의 농도를 보였고, 고도가 낮아지면서 점차적으로 증가하다 해안지역에서는 급속도로 증가하는 경향

을 보였으며, 질산성질소이온($\text{NO}_3^- - \text{N}$)의 등농도선도는 한라산 백록담 주변지역 용천수에서는 0.2ppm이하의 농도를 보이던 것이 고도가 낮아지면서 점차적으로 그 값이 증가하는 경향을 보였는데, 특히 서부의 한경면 청수리, 산양리 지역, 남부의 안덕면 화순리 돌물 및 안덕계곡 주변지역, 서귀포시 용흥동 운량천 및 동해물 주변지역, 서북부지역인 애월읍 금덕리 유수암천, 장수물지역, 동부 및 동남부지역인 신촌큰물, 표선면 토산리지역, 제주시 도평동 덕지샘물 주변지역에서 10ppm이상의 급한 등농도선을 보였다.

35. 중탄산이온(HCO_3^-)의 등농도선도는 백록담 주변지역 용천수에서 10ppm이하였으나 중산간지역을 거쳐 해발고도가 낮은 저지대 및 해안지역으로 향함에 따라 점차로 증가하는 경향을 보였다. 특히 남부지역 표고 약 320m인 신례리 주변지역에서 82ppm까지 급한 증가현상을 볼 수 있는데, 이는 이곳 지하수의 유동속도가 느림에 따른 지하수의 지화학적 진화가 많이 이루어지고 있는 것으로 사료된다.

VI. 참고문헌

- 고기원, 고용구, 김성홍, 오상실, 박원배, 윤선, 1992. 제주도 동부지역의 지하지질 구조와 지하수위 변동 및 수질 특성에 관한 연구. 제주도 보건환경연구원보, 3, p.15~43.
- 고기원, 박원배, 윤정수, 고용구, 김성홍, 신승종, 송영철, 윤선, 1993. 제주도 동·서부지역의 지하수 부존형태와 수질특성에 관한 연구. 제주도 보건환경연구원보, 4, p.191~222.
- 김성홍, 신승종, 오상실, 송영철, 오순미, 고용구, 1993. 제주도 동·서부지역 지하수의 염분변화에 대한 조사연구. 제주도보건환경연구원보, 4, p.153
- 김성홍, 송영철, 오순미, 김길성, 김태현, 김세라, 고광임, 고용구, 1994. 제주도내 상수도의 수질에 관한 조사연구. 제주도보건환경연구원보, 5, p.141~174.
- 김종훈, 안종성, 1992. 제주도 용천수의 수질화학적 특성과 연대측정에 관한 연구. 대한화학회지, 36(5), p.727~736.
- 김천수, 1992. 제주도 지하수 환경의 오염취약성, 대한광산지질학회 제8회 학술강연, p.13~28.
- 농어촌진흥공사, 1973. 제주도과 OAHU도의 지하수. p.43~162.
- 농어촌진흥공사, 1980. 제주도 지하수개발 현황과 전망. p.1~95.
- 농어촌진흥공사, 1989. 제주도 지하수 장기개발계획 조사보고서. p.63~124.
- 농어촌진흥공사, 1992. '92 장기관측망 설치 및 조사보고서, p.4~140.
- 농어촌진흥공사, 1993. '93 장기관측망 설치 및 조사보고서, p.4~182.
- 농어촌진흥공사, 1994. 지하수개발과 농어촌용수. p.1~182.
- 오순미, 김길성, 김세라, 김태현, 송영철, 강태조, 강지아, 김성홍, 고찬옥, 1995. 제주도내 샘터의 수질 조사. 제주도보건환경연구원보, 6, p.81~99.
- 유장길, 정창조, 박양문, 유기중, 안종성, 1985. 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구. 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고, 1, p.35~56.
- 유장길, 정창조, 안종성, 송성준, 1986. 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구. 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고, 2, p. 29~42.

- 유장길, 안종성, 정창조, 송성준, 1989. 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구. 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고, 4, p.35~56.
- 윤순강, 1994. 요소와 축산뇨에서 유래한 NO_3^- -N 및 동반 양이온의 토양 중 행동. 서울대학 박사학위 논문.
- 윤정수, 1986. 제주도 동부지역 지하수의 고염도 요인에 관한연구. 제주도 연구, 3, p.43~53.
- 윤정수, 박상운, 1994. 제주도 지하수의 장기개발에 따른 문제점 고찰. 제주도 수자원 연구회, p.60~96.
- 윤정수, 박상운, 1994. 제주도 지하수의 개발현황과 지역별 수위 및 수질변화 특성. 제주도연구, 11, p.175~232.
- 윤정수, 박상운, 1994. 제주도 지하수의 지역별 수질특성과 수위변화. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 18, p.59~83.
- 이기화, 1992. 제주도의 담수-해수간의 유체동력학적 평형. 대한지질학회지, 28(6), p.649~664.
- 이상규, 1994. 제주도 지하수 문제에서 물리탐사의 역할, 제주도 지하수자원의 환경학적 보전과 개발 이용. 7pp.
- 이태섭, 1992. 해안지대 지하수자원 조사를 위한 항공원격탐사. 제주도 수자원의 보전과 이용, p. 7.
- 제주도, 1994. 한국의 영산 한라산. 제주도, p.43~76.
- 최순학, 1988. 제주도의 형성과 지하수특성. 제주도연구회, 5, p.59~78.
- 최순학, 1990. 제주도 수자원의 특성과 수질오염 연구(II). 과학기술원, KR-90-(B)-10, p.1~57.
- 최순학, 김영기, 1989. 제주도 지하수의 수질특성. 대한지질학회지, 25(3), p.230~238.
- 한국수자원공사, 1990. 제주도 수자원조사 보고서
- 한국수자원공사, 1993. 제주도 수자원 종합개발계획 수립보고서. IV-3~IX-33
- 한정상, 1982. 지하수학개론. 박영사, p.1~511.
- 한정상, 1992. 제주도 환경보전 종합대책-수질오염 방지 장기계획을 중심으로. 환경처, p.71~230.

- Acker, J. G. and Bricker, O. P., 1992. The influence of pH on biotite dissolution and alteration kinetics at low temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, p.3073~3092.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., and Hackett, G., 1987. Drastic ; A standardized system for Evaluating Groundwater pollution using Hydrogeologic Setting U. S. Environment Protection Agency, p.455~475.
- Appeol, C. A. J. and Geirnaert, W., 1991. Processes accompanying the intrusion of salt water. In : W. De Breuk(ed.) *Hydrogeology of Salt Water Intrusion, A Selection of SWIM Papers. I. A. H. Vol. 11/1991*, Vwrlag Heinz Heise.
- Back, W., 1960. Origin of hydrochemical facies of groundwater in the Atlantic Coastal Plain : Internat. Geol. Cong., 21 Session, Part 1, Geochemical Cycles, p. 87~95.
- Barcelona, M., Wehrmann, A., Keely, J. F. and Pettyjohn, W. A., 1990. Contamination of Groundwater : Prevention, Assessment, Restoration, Noyes Data Corporation, New Jersey, 213pp.
- Barbara A. D. and Harry I. N., 1984. Relations Between Groundwater Silica, Total Dissolved Solids, and Specific Electrical Conductivity. *J. Groundwater* Vol. 22(1), p.80~85.
- Bredehoeft, J. D., 1967. Response of well-aquifer systems to earth tides. *Jour. Geophys. Res.*, 72, p.3075~3087.
- Canter, L. W., and Knox, R. C., 1986. Septic tank system effects on groundwater quality, second edition Lewis Publishers, Inc.
- Choi, S. H., 1985. Hydrogeological study of Cheju Island. *KIER* 85-20, p. 173~177.
- Choi, S. H., 1990. Hydrogeological and Hydrochemical Characteristics of Groundwater in Cheju Island. Thesis for the Degree of Doctor of Science, Kyungpook National University, p.1~169.

- Ecker, A., 1984. Cheju Island Water-Potential Study(Mission Report). KIER and UNDTDC, Korea, p.1~38.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., Groundwater.
- Fujinaka, Y. H., Pang, D. Q. and Jubinsky, T. R., 1980. State of the groundwater resources of southern Oahu, Board of Water Supply City and County of Honolulu, p.1~80.
- Heaton, T.H.E., 1986. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere : a review. Chemical Geology, 59, p.87-102.
- Hem, J. D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. United States Geological Survey, Water supply Paper, 1473.
- Hem, J. D., 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. USGS Water supply Paper, 2254pp.
- ISWACO, 1981, Report on Development of Water Resources in Cheju-Do(in Korea), ISWACO, Korea, 378p.
- Junge, C. E., 1963. Air chemistry and Radioactivity. New York Academic press, p.38~389.
- Loehnert, E. P., 1981. Groundwater quality of dug wells in southern Nigeria. Quality of Groundwater (Proceedings of an International Symposium, Noordwijkerhout, The Netherlands, March 23~27, 1981), Studies in Environmental Science, vol. 17, p.147~153.
- Piper, A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses, Trans. Amer. Geophysical Union, v. 25, p.914~928.
- Robison, T. W. 1939. Earth tides shown by fluctuations of water levels in wells in New Mexico and Iowa, Trans. Amer. Geophysical Union, 20, p.656~666.
- Stiff, H. A. Jr., 1951. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns, Jour. Petr. Technology Survey Water-Supply Paper

1544-H, p.36~46.

Stuyfzand, P. J., 1986. A new hydrochemical classification of water type : principles and application to the coastal dunes aquifer system of the Netherlands. Proceedings of the 9th SWIN, Delft, p.641~655.

Takemasa I., Yuhsaku T., Masaya Y., Kohei K., Atsunao M., 1990. A case study on inorganic pollution of shallow unconfined groundwater. CCOP Technical Bulletin, 21, p.17~32.

Todd, D. K., 1980. Groundwater hydrology. second edition, John wiley & Sons, p.153~218, 235~296.

Walton, N. R. G., 1987, Mission Report to Korea, UNDTCD and KIEP, Groundwater Resources Survey, ROK-82-014, 47p.

Wentworth, C. K., 1939. The specific gravity of sea water and the Ghyben-Herzberg ratio at Honolulu : University of Hawaii Bulletin, v. 18, No. 8., p. 3~24

Appendix 1. Distributions of monthly precipitation during the study period(mm).

| Region Months | Cheju | Seogwipo | Songsan | Cheju upper | Mean Precipitation |
|---------------------|--------|----------|---------|-------------|--------------------|
| 1994. May | 24.8 | 212.9 | 138.0 | 85.1 | 115.2 |
| Jun. | 342.3 | 188.1 | 252.0 | 123.2 | 226.4 |
| Jul. | 72.3 | 61.9 | 35.0 | 20.2 | 47.4 |
| Aug. | 365.3 | 445.0 | 362.5 | 208.2 | 345.3 |
| Sep. | 94.0 | 132.6 | 117.5 | 50.2 | 98.6 |
| Oct. | 271.1 | 122.1 | 108.5 | 48.7 | 137.6 |
| Nov. | 17.1 | 32.7 | 31.5 | 11.8 | 23.3 |
| Dec. | 28.5 | 41.1 | 23.5 | 23.5 | 29.2 |
| 1995. Jan. | 52.2 | 44.8 | 45.0 | 36.3 | 44.6 |
| Feb. | 55.1 | 55.9 | 56.7 | 61.2 | 57.2 |
| Mar. | 61.3 | 178.5 | 174.0 | 40.8 | 113.7 |
| Apr. | 72.9 | 141.9 | 129.5 | 82.7 | 106.8 |
| May | 136.0 | 370.7 | 256.0 | 136.2 | 224.7 |
| Jun. | 100.9 | 203.1 | 204.5 | 79.7 | 147.1 |
| Jul. | 413.2 | 790.3 | 779.0 | 341.4 | 581.0 |
| Aug. | 336.9 | 296.9 | 243.0 | 86.0 | 240.7 |
| Sep. | 121.2 | 71.2 | 132.0 | 49.3 | 93.4 |
| Oct. | 68.9 | 103.6 | 60.8 | 60.8 | 73.5 |
| Nov. | 33.8 | 22.2 | 58.0 | 20.6 | 33.7 |
| Dec. | 22.6 | 1.8 | 31.6 | 8.8 | 16.2 |
| 1996. Jan. | 29.9 | 59.2 | 50.2 | 26.1 | 41.4 |
| Feb. | 21.2 | 31.2 | 38.6 | 16.4 | 26.9 |
| Mar. | 114.1 | 186.5 | 264.0 | 91.6 | 164.1 |
| Apr. | 35.5 | 166.4 | 83.5 | 48.2 | 83.4 |
| May | 28.9 | 97.3 | 86.5 | 35.2 | 62.0 |
| Total Precipitation | 2920.0 | 4057.9 | 3761.4 | 1792.2 | 3133.4 |
| Mean Precipitation | 116.8 | 162.3 | 150.5 | 71.7 | 125.3 |

Appendix 2. Variation of spring water quantity during study period.

| (m ³ /day) | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------|-------|---------|
| Region | July 30. | Aug. 27. | Oct. 1. | Oct. 29. | Nov. 26. | Dec. 31. | Jan. 30. | Mar. 1. | Mar. 31. | Apr. 28. | May 26. | Min. | Max. | Average |
| Yusarmchun | 616 | 542 | 213 | 312 | 152 | 102 | 98 | 298 | 149 | 130 | 136 | 98 | 616 | 250 |
| Middle Mt. Saekdalsengsu | 1530 | 1420 | 860 | 540 | 85 | 0 | 0 | 0 | 259 | 62 | 115 | 0 | 1530 | 443 |
| Woonyangchun | 1500 | 1300 | 980 | 880 | 800 | 740 | 610 | 614 | 544 | 544 | 560 | 544 | 1500 | 823 |
| East | | | | | | | | | | | | | | |
| Sinch'onk'rimul | 19050 | 28051 | 27551 | 25420 | 23810 | 23510 | 21897 | 7482 | 7400 | 17232 | 15000 | 7400 | 28051 | 19673 |
| Serrunungmul | 18640 | 15200 | 16590 | 13560 | 9875 | 8754 | 9718 | 11010 | 12450 | 12574 | 11400 | 8754 | 18640 | 12706 |
| Kwakgimul | 29630 | 24410 | 19530 | 18450 | 16540 | 14980 | 15292 | 11834 | 10001 | 10950 | 11100 | 10001 | 29630 | 16742 |
| West | | | | | | | | | | | | | | |
| Nokgomul | 186 | 156 | 143 | 125 | 124 | 95 | 98 | 50 | 53 | 76 | 55 | 50 | 186 | 106 |
| Jungkeunmul | 12350 | 11586 | 9450 | 4530 | 2504 | 0 | 0 | 2720 | 2700 | 4050 | 3450 | 0 | 12350 | 4849 |
| Ongpochun | 56450 | 49850 | 39680 | 30125 | 26540 | 21560 | 19860 | 20428 | 16610 | 17267 | 17200 | 16610 | 56450 | 28628 |
| Gongchunpo | 14530 | 13260 | 12500 | 8640 | 5630 | 7650 | 8709 | 7387 | 7432 | 7430 | 7410 | 5630 | 14530 | 9143 |
| Dotmul | 3800 | 3560 | 2750 | 2140 | 1830 | 1453 | 1383 | 1469 | 1836 | 2011 | 1960 | 1383 | 3800 | 2199 |
| South | | | | | | | | | | | | | | |
| Kangjungchun | 49850 | 45860 | 37650 | 37500 | 36082 | 35801 | 36014 | 31201 | 34831 | 30551 | 30567 | 30551 | 49850 | 36901 |
| Sosunul | 19500 | 17430 | 15006 | 14550 | 13200 | 12400 | 12100 | 10282 | 9981 | 9971 | 9990 | 9971 | 19500 | 13118 |
| Sojungbang | 4750 | 4521 | 3860 | 3750 | 3320 | 2960 | 2782 | 2720 | 2333 | 2312 | 2200 | 2200 | 4750 | 3228 |
| Jaguri | 15630 | 14520 | 12250 | 11980 | 10560 | 8690 | 8160 | 8274 | 8365 | 8640 | 8560 | 8160 | 15630 | 10512 |
| North | | | | | | | | | | | | | | |
| Sanjimul | 12860 | 11500 | 10530 | 8930 | 7764 | 7760 | 6862 | 2582 | 2310 | 3210 | 3410 | 2310 | 12860 | 7065 |
| Oleamul | 20310 | 18900 | 16870 | 10530 | 5410 | 2530 | 394 | 480 | 0 | 0 | 368 | 0 | 20310 | 6890 |
| Yongyeaenchun | 3268 | 1258 | 3264 | 10268 | 4689 | 0 | 4555 | 5846 | 6678 | 4326 | 5640 | 0 | 10268 | 4527 |

Appendix 3. Variation of spring water quantity, electrical conductivity, spring water level, spring water temperature for 28 hours in the Youngyeonchun.

| Time | Spring Water Quantity(m ³) | Electrical Conductivity (μS/cm) | Spring Water Level(cm) | Spring Water Temp.(℃) |
|-----------|--|---------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 5/4 14:00 | 3056 | 556 | 20 | 14.6 |
| 15:00 | 0 | 399 | -10 | 14.6 |
| 16:00 | 0 | 372 | -50 | 14.5 |
| 17:00 | 0 | 435 | -75 | 14.5 |
| 18:00 | 0 | 505 | -86 | 14.5 |
| 19:00 | 0 | 530 | -77 | 14.5 |
| 20:00 | 0 | 436 | -47 | 14.6 |
| 21:00 | 380 | 440 | 3 | 14.6 |
| 22:00 | 7530 | 520 | 25 | 14.6 |
| 23:00 | 23830 | 650 | 45 | 14.6 |
| 5/5 0:00 | 29500 | 860 | 58 | 14.5 |
| 1:00 | 26530 | 1050 | 55 | 14.5 |
| 2:00 | 21320 | 1115 | 45 | 14.5 |
| 3:00 | 11340 | 960 | 35 | 14.5 |
| 4:00 | 2134 | 534 | 15 | 14.4 |
| 5:00 | 0 | 426 | -15 | 14.4 |
| 6:00 | 0 | 394 | -41 | 14.4 |
| 7:00 | 0 | 387 | -49 | 14.4 |
| 8:00 | 0 | 389 | -36 | 14.4 |
| 9:00 | 0 | 392 | 0 | 14.5 |
| 10:00 | 540 | 430 | 25 | 14.5 |
| 11:00 | 21850 | 540 | 45 | 14.6 |
| 12:00 | 28530 | 750 | 58 | 14.6 |
| 13:00 | 18750 | 860 | 43 | 14.6 |
| 14:00 | 8572 | 671 | 27 | 14.6 |
| 15:00 | 355 | 496 | 4 | 14.6 |
| 16:00 | 0 | 440 | -12 | 14.6 |
| 17:00 | 0 | 423 | -39 | 14.5 |
| Average | 7293.5 | 570 | | 14.5 |

Appendix 4. Concentration of total dissolved solid(TDS)
in spring water(ppm).

| | | In spring water (ppm). | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Station | Month | 1994 | | | | | | 1995 | | | | | Min | Max | Average |
| | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | June | | | |
| High (>600m) | H1 Baegrogdam | 35 | | | | 36 | | | 35 | | | | 35 | 36 | 35.3 |
| | H2 Yongjingak | 45 | | | | 44 | | | 44 | | | | 44 | 45 | 44.3 |
| | H3 Wiseorm | 41 | | | | 41 | | | 41 | | | | 41 | 41 | 41.0 |
| | H4 Yungsil | 54 | 54 | 55 | 54 | 54 | 54 | 53 | 55 | 56 | 55 | | 53 | 56 | 54.4 |
| | H5 Öremok | 53 | 53 | 55 | 54 | 54 | 54 | 54 | 53 | 53 | 53 | | 53 | 55 | 53.6 |
| | H6 Chunwangsa | 55 | 52 | 53 | 54 | 54 | 54 | 53 | 52 | 53 | 54 | | 52 | 55 | 53.4 |
| | H7 Gwaneumsa | 79 | 57 | 68 | 67 | 65 | 68 | 69 | 62 | 65 | 64 | | 57 | 79 | 66.4 |
| | H8 Sungpanark | 53 | 51 | 56 | 54 | 54 | 55 | 54 | 55 | 54 | 56 | 52 | 51 | 56 | 54.0 |
| | H9 Namguksunwon | 44 | 44 | 52 | 49 | 50 | 46 | 45 | 44 | 46 | 45 | | 44 | 52 | 48.5 |
| Middle (200-600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 67 | 65 | 67 | 66 | 67 | 64 | 64 | 67 | 66.0 |
| | M2 Myeongdoarm | 78 | 79 | 83 | 83 | 83 | 83 | 81 | 83 | 77 | 79 | | 77 | 83 | 80.9 |
| | M3 Jealmul | 81 | 89 | 84 | 87 | 84 | 85 | 87 | 85 | 86 | 84 | | 81 | 89 | 85.2 |
| | M4 Donneako | 77 | 91 | 72 | 71 | 73 | 77 | 75 | 79 | 75 | 77 | | 71 | 91 | 76.7 |
| | M5 Wonmansa | 60 | 61 | 62 | 64 | 62 | 61 | 63 | 63 | 60 | 62 | | 60 | 64 | 61.8 |
| | M6 Yusuarmchun | 164 | 155 | 140 | 150 | 140 | 143 | 140 | 143 | 128 | 138 | 159 | 128 | 164 | 145.5 |
| Low (10-200m) | L1 Keumsansuwon | 135 | 178 | 134 | 145 | 122 | 126 | 121 | 159 | 162 | 177 | | 121 | 178 | 145.9 |
| | L2 Youngchunsa | 179 | 181 | 173 | 185 | 181 | 180 | 176 | 230 | 228 | 229 | | 173 | 230 | 194.2 |
| | L3 Jungbangsuwon | 86 | 92 | 82 | 109 | 98 | 94 | 83 | 88 | 84 | 92 | | 82 | 109 | 90.8 |
| | L4 Chunjiyön | 103 | 100 | 92 | 110 | 90 | 88 | 86 | 103 | 95 | 105 | | 86 | 110 | 97.2 |
| | L5 Burhwansosmul | 117 | 106 | 93 | 119 | 94 | 92 | 88 | 106 | 103 | 111 | | 88 | 119 | 102.9 |
| | L6 Woonyangchun | 230 | 190 | 157 | 182 | 157 | 153 | 144 | 174 | 162 | 209 | 217 | 144 | 230 | 179.5 |
| | L7 Kangjungsuwon | 92 | 87 | 75 | 101 | 82 | 73 | 71 | 75 | 66 | 85 | | 66 | 101 | 80.7 |
| | L8 Bebhwas | 142 | 129 | 125 | 130 | 120 | 117 | 111 | 136 | 125 | 147 | | 111 | 147 | 128.2 |
| | L9 Harwontongmul | 381 | 358 | 369 | 380 | 268 | 259 | 259 | 376 | 375 | 381 | | 259 | 381 | 340.6 |
| | L10 Dongheamul | 258 | 162 | 147 | 156 | 121 | 121 | 116 | 171 | 167 | 200 | | 116 | 258 | 161.9 |
| | L11 Saekdalsengsu | 242 | 233 | 220 | 216 | 190 | 185 | 175 | 227 | 215 | 225 | 248 | 175 | 248 | 216.0 |
| | L12 Andukkyekok | 337 | 320 | 324 | 263 | 268 | 263 | 260 | 288 | 303 | 284 | 292 | 260 | 337 | 291.1 |
| | L13 Donmul | 414 | 355 | 341 | 329 | 304 | 300 | 296 | 372 | 350 | 392 | 411 | 296 | 414 | 351.3 |
| | L14 Jangsumul | 182 | 194 | 166 | 171 | 163 | 182 | 174 | 174 | 182 | 185 | 211 | 163 | 211 | 180.4 |
| | L15 Kusimul | | | | | | 160 | 153 | 156 | 153 | 155 | 201 | 153 | 201 | 163.0 |
| | L16 Dukjisemmul | 216 | 265 | 206 | | | | | | | | | 206 | 265 | 229.0 |
| Coast (<10m) | C1 Sanjimul | 110 | 113 | 107 | 111 | 109 | 110 | 108 | 111 | 112 | 113 | | 107 | 113 | 110.4 |
| | C2 Samyang3suwon | 2257 | 1877 | 649 | 225 | 184 | 155 | 151 | | | | | 151 | 2257 | 785.4 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 692 | 490 | 783 | 251 | 279 | 277 | 945 | 1497 | 1014 | 789 | | 251 | 1497 | 701.7 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 868 | 781 | 849 | 316 | 327 | 317 | 792 | 1486 | 990 | 778 | | 316 | 1486 | 750.4 |
| | C5 Meungbubsa | 2407 | 2412 | 2291 | 1969 | 2280 | 2130 | 1912 | 2418 | 2763 | 1868 | | 1868 | 2763 | 2245.0 |
| | C6 Sernurungmul | 1935 | 3776 | 4651 | 3713 | 3613 | 3655 | 3782 | 3697 | 3667 | 3068 | | 1935 | 4651 | 3555.7 |
| | C7 Tosanmul | 319 | 606 | 640 | 359 | 318 | 611 | 356 | 720 | 712 | 669 | | 318 | 720 | 531.0 |
| | C8 Gongchunpo | 117 | 110 | 212 | 114 | 106 | 105 | 105 | 111 | 111 | 117 | 113 | 105 | 212 | 120.1 |
| | C9 Dot mul | 233 | 240 | 226 | 252 | 233 | 230 | 225 | 251 | 231 | 254 | 258 | 225 | 258 | 239.4 |
| | C10 Harkangmul | 252 | 244 | 233 | 273 | 244 | 240 | 233 | 249 | 245 | 257 | 266 | 233 | 273 | 248.7 |
| | C11 Sineukmul | 117 | 117 | 115 | 120 | 125 | 122 | 120 | 122 | 119 | 124 | 122 | 115 | 125 | 120.3 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 110 | 109 | 98 | 133 | 111 | 107 | 102 | 117 | 115 | 126 | 145 | 98 | 145 | 115.7 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 114 | 113 | 99 | 121 | 99 | 96 | 87 | 118 | 113 | 131 | 126 | 87 | 131 | 110.6 |
| | C14 Jungkeummul | 4127 | 597 | 4024 | 334 | 3379 | 3483 | 3972 | 4087 | 2073 | 1152 | 540 | 334 | 4127 | 2524.4 |
| | C15 Hallimsuwon | 147 | 146 | 136 | 136 | 128 | 128 | 125 | 145 | 149 | 151 | | 125 | 151 | 139.1 |
| | C16 Moondumul | 160 | 167 | 164 | 177 | 167 | 164 | 161 | 146 | 153 | 156 | 159 | 146 | 177 | 161.3 |
| | C17 Kwakgimul | 834 | 296 | 566 | 186 | 253 | 264 | 449 | 266 | 543 | 254 | 267 | 186 | 834 | 379.8 |
| | C18 Aewolharmul | 1469 | 294 | 472 | 145 | 148 | 246 | 519 | 214 | 580 | 264 | 244 | 145 | 1469 | 417.7 |
| | C19 Konemul | 1399 | 154 | 449 | 121 | 324 | 1864 | 499 | 2050 | 519 | 1572 | | 121 | 2050 | 895.1 |
| | C20 Nokgomul | 556 | 219 | 187 | 115 | 115 | | | | | | | 115 | 556 | 238.4 |
| | C21 Weadosuwon | 64 | 132 | 103 | 108 | 90 | 98 | 85 | 81 | 83 | 87 | | 64 | 132 | 93.1 |
| | C22 Kurnungmul | 87 | 108 | 100 | 103 | 86 | 96 | 92 | 92 | 94 | 96 | | 86 | 108 | 95.4 |
| | C23 Oleamul | 429 | 490 | 144 | 143 | 127 | 133 | 125 | 212 | 259 | 322 | | 125 | 490 | 238.4 |
| | C24 Magönmul | 125 | 149 | 144 | 144 | 128 | 131 | 117 | 112 | 109 | 134 | | 109 | 149 | 129.3 |

Appendix 5. Concentration of specific electrical conductivity(SEC)
in spring water($\mu\text{S}/\text{cm}$).

| Station | Month | 1994 | | | | | | | 1995 | | | | Min | Max | Average |
|---------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | June | | | |
| H1 | Baegrogdam | 9 | | | | 10 | | | 9 | | | | 9 | 10 | 9.3 |
| H2 | Yongjingak | 27 | | | | 25 | | | 25 | | | | 25 | 27 | 25.7 |
| H3 | Wiseorn | 19 | | | | 20 | | | 20 | | | | 19 | 20 | 19.7 |
| High (> 600m) | H4 Yungsil | 43 | 43 | 44 | 43 | 42 | 43 | 41 | 44 | 45 | 44 | | 41 | 45 | 43.2 |
| | H5 Öremok | 41 | 41 | 44 | 43 | 43 | 42 | 42 | 40 | 40 | 41 | | 40 | 44 | 41.7 |
| | H6 Chunwangsa | 44 | 39 | 40 | 42 | 42 | 43 | 41 | 39 | 40 | 42 | | 39 | 44 | 41.2 |
| | H7 Gwaneumsa | 85 | 48 | 67 | 64 | 61 | 67 | 68 | 56 | 62 | 60 | | 48 | 85 | 63.8 |
| | H8 Sungpanark | 40 | 37 | 46 | 42 | 43 | 44 | 42 | 44 | 42 | 46 | 39 | 37 | 46 | 42.3 |
| | H9 Namguksunwon | 24 | 24 | 38 | 34 | 36 | 29 | 27 | 25 | 29 | 26 | | 24 | 38 | 29.2 |
| Mid-die (200 -600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 65 | 62 | 65 | 63 | 65 | 60 | 60 | 65 | 63.3 |
| | M2 Myeongdoarm | 84 | 86 | 92 | 93 | 93 | 92 | 89 | 92 | 82 | 85 | | 82 | 93 | 88.7 |
| | M3 Jealmul | 89 | 103 | 95 | 99 | 94 | 96 | 99 | 96 | 97 | 94 | | 89 | 103 | 96.2 |
| | M4 Donneako | 82 | 106 | 74 | 71 | 75 | 82 | 79 | 86 | 79 | 82 | | 71 | 106 | 81.6 |
| | M5 Wonmansa | 53 | 54 | 56 | 59 | 56 | 54 | 57 | 57 | 53 | 56 | | 53 | 59 | 56.5 |
| | M6 Yusuarmchun | 234 | 217 | 192 | 209 | 192 | 197 | 191 | 196 | 171 | 188 | 224 | 171 | 234 | 201.0 |
| Low (10- 200m) | L1 Keumsansuwon | 183 | 257 | 181 | 201 | 161 | 168 | 159 | 224 | 230 | 256 | | 159 | 257 | 201.9 |
| | L2 Youngchunsa | 260 | 263 | 249 | 269 | 263 | 261 | 254 | 348 | 345 | 346 | | 249 | 348 | 285.8 |
| | L3 Jungbangsuwon | 97 | 108 | 91 | 137 | 118 | 111 | 93 | 101 | 94 | 108 | | 91 | 137 | 105.8 |
| | L4 Chunjiyon | 128 | 122 | 108 | 140 | 104 | 102 | 98 | 127 | 113 | 130 | | 98 | 140 | 117.2 |
| | L5 Burhwansosmul | 151 | 132 | 110 | 155 | 112 | 108 | 101 | 133 | 128 | 142 | | 101 | 155 | 127.2 |
| | L6 Woonyangchun | 348 | 278 | 221 | 264 | 221 | 215 | 198 | 251 | 229 | 311 | 326 | 198 | 348 | 260.2 |
| | L7 Kangjungsuwon | 108 | 100 | 78 | 124 | 91 | 76 | 71 | 78 | 63 | 96 | | 63 | 124 | 88.5 |
| | L8 Bebhwasu | 195 | 173 | 165 | 174 | 156 | 151 | 142 | 185 | 165 | 203 | | 142 | 203 | 170.9 |
| | L9 Harwontongmul | 610 | 570 | 500 | 608 | 414 | 399 | 399 | 601 | 600 | 610 | | 399 | 610 | 540.1 |
| | L10 Donghearmul | 396 | 230 | 204 | 220 | 159 | 158 | 150 | 245 | 239 | 295 | | 150 | 396 | 229.6 |
| | L11 Saekdalsengsu | 369 | 353 | 330 | 323 | 278 | 270 | 252 | 343 | 322 | 339 | 379 | 322 | 379 | 323.5 |
| | L12 Andukkyekok | 534 | 504 | 511 | 406 | 414 | 406 | 400 | 449 | 474 | 442 | 455 | 400 | 534 | 454.1 |
| | L13 Donmul | 667 | 566 | 540 | 520 | 477 | 470 | 463 | 595 | 566 | 629 | 662 | 463 | 667 | 568.6 |
| | L14 Jangsumul | 264 | 285 | 236 | 246 | 232 | 265 | 251 | 251 | 264 | 269 | 315 | 232 | 315 | 261.6 |
| | L15 Kusimul | | | | | | 227 | 215 | 219 | 214 | 217 | 297 | 214 | 297 | 231.5 |
| | L16 Dukjiseummul | 324 | 408 | 306 | | | | | | | | | 306 | 408 | 346 |
| Coast (<10m) | C1 Sanjimul | 140 | 144 | 135 | 141 | 137 | 139 | 136 | 142 | 143 | 144 | | 135 | 144 | 140.1 |
| | C2 Samyang3suwon | 3870 | 3210 | 1076 | 340 | 268 | 217 | 210 | | | | | 210 | 3870 | 1313.0 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 1150 | 799 | 1309 | 384 | 433 | 429 | 1590 | 2550 | 1711 | 1320 | | 384 | 2550 | 1167.5 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 1457 | 1305 | 1424 | 498 | 516 | 499 | 1325 | 2530 | 1669 | 1300 | | 498 | 2530 | 1252.3 |
| | C5 Meungbubsa | 4130 | 4140 | 3930 | 3370 | 3910 | 3650 | 3270 | 4150 | 4750 | 3195 | | 3195 | 4750 | 3849.5 |
| | C6 Semurungmul | 3310 | 6510 | 8030 | 6400 | 6227 | 6300 | 6520 | 6372 | 6320 | 5280 | | 3310 | 8030 | 6126.9 |
| | C7 Tosanmul | 503 | 1001 | 1060 | 572 | 501 | 1010 | 567 | 1200 | 1186 | 1111 | | 501 | 1200 | 871.1 |
| | C8 Gongchunpo | 151 | 140 | 317 | 146 | 132 | 130 | 130 | 142 | 142 | 151 | 145 | 130 | 317 | 156.9 |
| | C9 Dot mul | 353 | 365 | 341 | 387 | 353 | 348 | 339 | 384 | 349 | 389 | 396 | 339 | 396 | 364.0 |
| | C10 Harkangmul | 386 | 373 | 353 | 423 | 373 | 365 | 353 | 381 | 374 | 395 | 411 | 353 | 423 | 380.6 |
| | C11 Sineukmul | 152 | 151 | 149 | 156 | 166 | 160 | 157 | 160 | 155 | 163 | 160 | 149 | 165 | 157.1 |
| | C12 Serlinsuwon1 | 140 | 138 | 118 | 180 | 142 | 135 | 125 | 152 | 148 | 168 | 201 | 118 | 201 | 149.7 |
| | C13 Serlinsuwon2 | 146 | 145 | 120 | 158 | 120 | 115 | 100 | 153 | 145 | 176 | 168 | 100 | 176 | 140.5 |
| | C14 Jungkeummul | 7120 | 986 | 6940 | 529 | 5820 | 6000 | 6850 | 7050 | 3550 | 1950 | 887 | 529 | 7120 | 4334.7 |
| | C15 Hallimsuwon | 203 | 202 | 184 | 184 | 170 | 170 | 165 | 201 | 207 | 210 | | 165 | 210 | 189.6 |
| | C16 Moondumul | 226 | 239 | 234 | 256 | 238 | 234 | 228 | 202 | 215 | 219 | 224 | 202 | 256 | 228.6 |
| | C17 Kwakgrimul | 1398 | 462 | 932 | 271 | 388 | 407 | 729 | 410 | 891 | 389 | 413 | 271 | 1398 | 608.2 |
| | C18 Aewolharmul | 2500 | 460 | 769 | 201 | 205 | 376 | 850 | 320 | 966 | 407 | 372 | 201 | 2500 | 674.2 |
| | C19 Konemul | 2380 | 216 | 729 | 159 | 512 | 3187 | 816 | 3510 | 850 | 2680 | | 159 | 3510 | 1503.9 |
| | C20 Nokgomul | 915 | 329 | 274 | 148 | 148 | | | | | | | 148 | 915 | 362.8 |
| | C21 Weadosuwon | 60 | 178 | 127 | 136 | 104 | 118 | 96 | 89 | 92 | 99 | | 60 | 178 | 109.9 |
| | C22 Kumungmul | 100 | 136 | 122 | 128 | 97 | 115 | 108 | 109 | 112 | 115 | | 97 | 136 | 114.2 |
| | C23 Olearnul | 694 | 799 | 198 | 197 | 169 | 179 | 165 | 316 | 398 | 507 | | 165 | 799 | 362.2 |
| | C24 Magrimul | 166 | 207 | 199 | 199 | 171 | 176 | 152 | 143 | 138 | 182 | | 138 | 207 | 173.3 |

**Appendix 6. Concentration of hydrogen concentration(pH)
in spring water.**

| | | in spring water. | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------------|------|------|------|------|------|------|--------------|------|-----|-----|-----|---------|------|
| Station | Month | 1994 | | | | | 1995 | | | | | Min | Max | Average | |
| | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | 1995 Mar. | Apr. | May | | | | June |
| High (>600m) | H1 Baegrogdam | 5.8 | | | | 5.8 | | | 5.8 | | | | 5.8 | 5.8 | 5.8 |
| | H2 Yongjingak | 7.5 | | | | 7.4 | | | 7.6 | | | | 7.4 | 7.6 | 7.5 |
| | H3 Wiseorn | 6.2 | | | | 6.3 | | | 6.1 | | | | 6.1 | 6.3 | 6.2 |
| | H4 Yungsil | 7.2 | 7.2 | 7.4 | 7.6 | 7.5 | 7.4 | 7.3 | 7.3 | 7.4 | 7.3 | | 7.2 | 7.6 | 7.3 |
| | H5 Öremok | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | 7.4 | 7.4 | 7.6 | | 7.4 | 7.7 | 7.5 |
| | H6 Chunwangsa | 7.1 | 7.2 | 7.4 | 7.3 | 6.9 | 7.4 | 7.3 | 7.1 | 7.4 | 7.3 | | 6.9 | 7.4 | 7.2 |
| | H7 Gwaneumsa | 10.1 | 9.1 | 8.7 | 9.2 | 9.1 | 9.1 | 9.2 | 9.5 | 9.8 | 9.7 | | 8.7 | 10.1 | 9.3 |
| | H8 Sungpanark | 7.1 | 7.2 | 7.2 | 7.3 | 7.3 | 7.3 | 7.2 | 7.1 | 7.1 | 7.2 | 7.1 | 7.1 | 7.3 | 7.1 |
| | H9 Namguksunwon | 7.1 | 7.1 | 7.1 | 6.7 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.8 | 7.0 | | 6.5 | 7.1 | 6.7 |
| Middle (200- 600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 7.1 | 7.2 | 7.4 | 6.9 | 7.1 | 7.1 | 6.9 | 7.4 | 7.1 |
| | M2 Myeongdoarm | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.3 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | | 7.2 | 7.6 | 7.4 |
| | M3 Jealmul | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 7.6 | 7.6 | 7.7 | | 7.5 | 7.8 | 7.6 |
| | M4 Donneako | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.4 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | | 7.2 | 7.6 | 7.4 |
| | M5 Wornmansa | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.6 | 6.6 | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 6.8 | | 6.6 | 6.8 | 6.7 |
| | M6 Yusuarmchun | 7.3 | 7.3 | 7.4 | 6.9 | 7.1 | 7.1 | 7.2 | 7.7 | 7.3 | 7.2 | 7.1 | 6.9 | 7.7 | 7.2 |
| Low (10- 200m) | L1 Keumsansuwon | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.5 | 7.4 | 7.4 | 7.3 | 7.3 | 7.8 | 7.4 | | 7.3 | 7.8 | 7.4 |
| | L2 Youngchunsa | 7.7 | 7.7 | 7.8 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.5 | | 7.4 | 7.8 | 7.5 |
| | L3 Jungbansuwon | 7.3 | 7.3 | 7.4 | 7.0 | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 7.0 | 7.4 | 7.4 | | 6.7 | 7.4 | 7.0 |
| | L4 Chunjiyön | 7.5 | 7.5 | 7.6 | 7.7 | 7.4 | 7.5 | 7.4 | 7.5 | 7.6 | 7.6 | | 7.4 | 7.7 | 7.5 |
| | L5 Burhwansomul | 7.5 | 7.6 | 7.7 | 7.5 | 7.4 | 7.3 | 7.3 | 7.5 | 7.6 | 7.6 | | 7.3 | 7.7 | 7.5 |
| | L6 Woonyangchun | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.2 | 7.0 | 7.1 | 6.9 | 6.9 | 7.2 | 7.1 |
| | L7 Kangjungsuwon | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 7.7 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | | 7.6 | 7.8 | 7.7 |
| | L8 Behhwasa | 7.5 | 7.5 | 7.4 | 7.1 | 7.1 | 7.0 | 7.2 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | | 7.0 | 7.5 | 7.3 |
| | L9 Harwontongmul | 7.1 | 7.1 | 7.1 | 6.6 | 6.8 | 6.6 | 6.6 | 6.9 | 7.1 | 7.1 | | 6.6 | 7.1 | 6.9 |
| | L10 Donghearmul | 7.1 | 7.3 | 7.4 | 7.1 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.3 | 7.4 | 7.3 | | 7.1 | 7.4 | 7.2 |
| | L11 Saekdalsengsu | 7.2 | 7.1 | 7.2 | 7.1 | 7.2 | 7.0 | 7.1 | 7.1 | 7.1 | 7.2 | 7.1 | 7.0 | 7.2 | 7.1 |
| | L12 Andukkyekok | 6.9 | 7.0 | 7.0 | 6.6 | 6.7 | 6.7 | 6.6 | 6.7 | 6.6 | 6.7 | 6.6 | 6.6 | 7.0 | 6.7 |
| | L13 Donmul | 7.0 | 7.1 | 7.4 | 6.9 | 7.2 | 7.0 | 7.0 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.7 | 6.7 | 7.4 | 7.0 |
| | L14 Jangsumul | 7.0 | 7.1 | 7.3 | 6.7 | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.9 | 7.0 | 6.7 | 6.5 | 6.5 | 7.3 | 6.8 |
| | L15 Kusimul | | | | | | 7.3 | 7.6 | 7.7 | 7.3 | 7.1 | 6.5 | 6.5 | 7.7 | 7.2 |
| | L16 Dukjiseumul | 7.1 | 7.2 | 7.3 | | | | | | | | | 7.1 | 7.3 | 7.2 |
| Coast (<10 m) | C1 Sanjimul | 7.3 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.1 | 7.2 | 7.1 | 7.3 | 7.4 | 7.2 | | 7.1 | 7.4 | 7.2 |
| | C2 Samyang3suwon | 7.5 | 7.7 | 8.0 | 7.8 | 7.8 | 7.7 | 7.7 | | | | | 7.5 | 8.0 | 7.7 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 7.9 | 7.8 | 7.7 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.9 | 7.7 | 7.7 | 7.8 | | 7.5 | 7.9 | 7.7 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.6 | 7.8 | 7.7 | 7.9 | 7.7 | 7.6 | 7.7 | | 7.6 | 7.9 | 7.7 |
| | C5 Meungbubsa | 7.8 | 7.8 | 7.9 | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.6 | | 7.5 | 7.9 | 7.6 |
| | C6 Sernurungmul | 7.7 | 7.8 | 7.9 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.5 | 7.7 | 7.6 | 7.6 | | 7.5 | 7.9 | 7.6 |
| | C7 Tosanmul | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.5 | 7.6 | 7.8 | 7.8 | | 7.5 | 7.9 | 7.7 |
| | C8 Gongchunpo | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.1 | 7.1 | 7.4 | 7.2 |
| | C9 Dot mul | 7.1 | 7.2 | 7.3 | 7.1 | 7.0 | 7.1 | 7.0 | 7.1 | 7.1 | 7.0 | 6.8 | 6.8 | 7.3 | 7.0 |
| | C10 Harkangmul | 7.1 | 7.2 | 7.4 | 6.9 | 7.0 | 7.0 | 6.9 | 6.8 | 6.7 | 6.9 | 6.8 | 6.7 | 7.4 | 6.9 |
| | C11 Sineukmul | 7.5 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.5 | 7.3 | 7.1 | 7.1 | 7.3 | 7.1 | 7.1 | 7.5 | 7.3 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 7.1 | 7.2 | 7.6 | 7.9 | 7.1 | 7.2 | 7.5 | 7.5 | 7.4 | 7.7 | 9.6 | 7.1 | 9.6 | 7.6 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 7.0 | 7.1 | 7.1 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.2 | 7.1 | 7.2 | 7.1 | 7.1 | 7.0 | 7.2 | 7.1 |
| | C14 Jungkeummul | 7.5 | 7.5 | 7.8 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 7.8 | 7.5 |
| | C15 Hallimsuwon | 7.9 | 7.9 | 8.2 | 7.7 | 8.0 | 7.9 | 7.7 | 7.8 | 7.9 | 7.9 | | 7.7 | 8.2 | 7.8 |
| | C16 Moondumul | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | 7.6 | 7.4 | 7.6 | 7.5 |
| | C17 Kwakgimul | 8.2 | 8.1 | 8.1 | 7.9 | 8.0 | 8.0 | 7.9 | 7.9 | 8.0 | 7.9 | 7.7 | 7.7 | 8.2 | 7.9 |
| | C18 Aewolharmul | 7.6 | 7.7 | 8.0 | 7.7 | 7.9 | 7.8 | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.8 | 7.5 | 7.5 | 8.0 | 7.7 |
| | C19 Konemul | 7.6 | 7.6 | 7.8 | 7.6 | 7.7 | 7.6 | 7.7 | 7.7 | 7.9 | 7.7 | | 7.6 | 7.9 | 7.6 |
| | C20 Nokgomul | 7.5 | 7.7 | 7.8 | 7.5 | 7.7 | | | | | | | 7.5 | 7.8 | 7.6 |
| | C21 Wadosuwon | 7.6 | 7.7 | 7.9 | 8.4 | 7.9 | 7.9 | 7.7 | 7.8 | 7.8 | 7.7 | | 7.6 | 8.4 | 7.8 |
| | C22 Kumungmul | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 7.3 | 7.4 | 7.3 | 7.4 | 7.5 | 7.6 | 7.5 | | 7.3 | 7.6 | 7.4 |
| | C23 Oleamul | 7.3 | 7.4 | 7.4 | 7.3 | 7.4 | 7.4 | 7.3 | 7.5 | 7.4 | 7.4 | | 7.3 | 7.5 | 7.3 |
| | C24 Magönmul | 7.2 | 7.5 | 7.6 | 7.3 | 7.3 | 7.3 | 7.3 | 7.4 | 7.6 | 7.6 | | 7.2 | 7.6 | 7.4 |

Appendix 7. Concentration of sodium(Na^+) in spring water(ppm).

| Station | Month | 1994 | | | | | | | 1995 | | | | Min | Max | Average |
|---------|--------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | June | | | |
| H1 | Baegrodam | 0.54 | | | | 0.55 | | | 0.53 | | | | 0.53 | 0.55 | 0.54 |
| H2 | Yonggingak | 2.11 | | | | 2.09 | | | 2.05 | | | | 2.05 | 2.11 | 2.08 |
| H3 | Wiseorn | 2.01 | | | | 2.00 | | | 1.98 | | | | 1.98 | 2.01 | 2.00 |
| High | H4 Yungsil | 2.80 | 2.73 | 2.63 | 2.73 | 2.83 | 2.73 | 2.85 | 2.63 | 2.60 | 2.63 | | 2.60 | 2.85 | 2.72 |
| ▷ | H5 Öremok | 3.10 | 3.07 | 2.68 | 2.84 | 2.88 | 2.94 | 2.94 | 3.20 | 3.11 | 3.07 | | 2.68 | 3.20 | 2.98 |
| 600m | H6 Chunwangsa | 3.84 | 2.74 | 2.96 | 3.36 | 3.34 | 3.61 | 3.18 | 2.74 | 2.96 | 3.39 | | 2.74 | 3.84 | 3.21 |
| | H7 Gwaneumsa | 5.08 | 4.00 | 4.56 | 4.39 | 4.46 | 4.56 | 4.59 | 4.24 | 4.41 | 4.35 | | 4.00 | 5.08 | 4.46 |
| | H8 Sungpanark | 3.63 | 3.57 | 3.75 | 3.42 | 3.69 | 3.71 | 3.67 | 3.71 | 3.67 | 3.75 | 3.61 | 3.42 | 3.75 | 3.65 |
| | H9 Nanguksuwon | 2.20 | 2.20 | 1.78 | 1.90 | 1.84 | 2.05 | 2.11 | 2.17 | 2.05 | 2.14 | | 1.78 | 2.20 | 2.04 |
| | M1 Sanchundan | | | | | | 7.19 | 6.36 | 7.19 | 6.64 | 7.19 | 5.81 | 5.81 | 7.19 | 6.73 |
| | M2 Myeongdoarm | 6.66 | 6.68 | 6.84 | 6.86 | 6.61 | 6.84 | 6.77 | 6.80 | 6.61 | 6.68 | | 6.61 | 6.86 | 6.74 |
| | M3 Jealmul | 7.84 | 8.51 | 8.13 | 8.32 | 8.08 | 8.18 | 8.32 | 8.18 | 8.22 | 8.08 | | 7.84 | 8.51 | 8.19 |
| | M4 Donneako | 4.89 | 6.57 | 4.33 | 4.12 | 4.40 | 4.89 | 4.68 | 5.17 | 4.68 | 4.89 | | 4.12 | 6.57 | 4.86 |
| | M5 Wonmansa | 5.19 | 5.24 | 5.35 | 5.51 | 5.35 | 5.24 | 5.35 | 5.40 | 5.19 | 5.35 | | 5.19 | 5.51 | 5.32 |
| | M6 Yusuarmchun | 12.05 | 11.55 | 10.82 | 11.32 | 11.99 | 10.97 | 10.79 | 12.68 | 17.90 | 10.71 | 11.76 | 10.71 | 17.90 | 12.05 |
| | L1 Keumsansuwon | 21.48 | 15.81 | 21.64 | 20.10 | 23.17 | 22.63 | 23.32 | 18.34 | 17.88 | 15.96 | | 15.81 | 23.32 | 20.03 |
| | L2 Youngchunsa | 13.82 | 13.93 | 13.42 | 14.00 | 14.07 | 13.86 | 13.60 | 17.00 | 16.90 | 16.93 | | 13.42 | 17.00 | 14.75 |
| | L3 Jungbangsuwon | 6.28 | 7.04 | 5.87 | 7.73 | 8.07 | 7.25 | 6.00 | 6.56 | 6.07 | 7.04 | | 5.87 | 8.07 | 6.79 |
| | L4 Chunjiyön | 7.18 | 6.81 | 6.31 | 7.35 | 6.11 | 6.09 | 5.95 | 6.99 | 6.49 | 7.10 | | 5.95 | 7.35 | 6.64 |
| | L5 Burhwansomul | 7.97 | 7.02 | 6.24 | 7.56 | 6.32 | 6.16 | 5.91 | 7.06 | 6.88 | 7.38 | | 5.91 | 7.97 | 6.85 |
| | L6 Woonyangchun | 12.72 | 11.27 | 10.08 | 10.98 | 10.08 | 9.96 | 9.60 | 10.71 | 10.25 | 11.95 | 12.16 | 9.60 | 12.72 | 10.89 |
| | L7 Kangjungsuwon | 6.04 | 5.71 | 5.06 | 6.37 | 5.40 | 5.00 | 4.86 | 5.06 | 4.62 | 5.59 | | 4.62 | 6.37 | 5.37 |
| | L8 Bebbwasa | 11.20 | 10.53 | 10.29 | 10.56 | 10.01 | 9.86 | 9.58 | 10.90 | 15.20 | 11.45 | | 9.58 | 15.20 | 10.96 |
| | L9 Harwontongmul | 22.40 | 22.10 | 22.25 | 19.92 | 20.92 | 20.81 | 20.81 | 22.33 | 22.30 | 22.40 | | 19.92 | 22.40 | 21.62 |
| | L10 Dongheamul | 14.12 | 10.30 | 9.71 | 9.75 | 8.94 | 8.68 | 8.50 | 10.64 | 14.80 | 11.76 | | 8.50 | 14.80 | 10.72 |
| | L11 Saekdalsengsu | 13.69 | 13.26 | 12.64 | 11.46 | 12.04 | 11.02 | 10.53 | 12.99 | 12.42 | 12.88 | 14.14 | 10.53 | 14.14 | 12.46 |
| | L12 Andukkyekok | 19.10 | 33.38 | 34.58 | 16.56 | 20.04 | 16.59 | 15.56 | 23.96 | 28.24 | 22.76 | 24.99 | 15.56 | 34.58 | 23.25 |
| | L13 Donmul | 24.40 | 24.83 | 24.29 | 19.34 | 23.00 | 22.86 | 22.71 | 25.42 | 24.62 | 26.12 | 26.80 | 19.34 | 26.80 | 24.04 |
| | L14 Jangsumul | 19.95 | 22.08 | 20.40 | 19.69 | 20.18 | 21.40 | 20.92 | 20.92 | 21.50 | 21.53 | 23.06 | 19.69 | 23.06 | 21.06 |
| | L15 Kusimul | | | | | | 19.20 | 19.74 | 19.56 | 19.79 | 19.65 | 16.02 | 16.02 | 19.79 | 18.99 |
| | L16 Dukjisenmul | 15.24 | | | | | | | | | | | 15.24 | 15.24 | 15.24 |
| | C1 Sanjimul | 10.28 | 10.88 | 9.54 | 10.43 | 9.84 | 10.14 | 9.69 | 10.58 | 10.73 | 10.88 | | 9.54 | 10.88 | 10.30 |
| | C2 Samyang3suwon | 416.19 | 346.34 | 120.49 | 42.60 | 34.98 | 29.58 | 28.84 | | | | | 28.84 | 416.19 | 145.57 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 146.68 | 95.35 | 169.93 | 34.78 | 42.48 | 41.24 | 211.02 | 351.60 | 228.40 | 171.54 | | 34.78 | 351.60 | 149.30 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 189.60 | 168.02 | 184.92 | 56.10 | 61.95 | 53.57 | 170.86 | 345.60 | 213.40 | 167.31 | | 53.57 | 345.60 | 161.13 |
| | C5 Meungbubsa | 601.66 | 603.20 | 570.91 | 484.80 | 567.83 | 527.86 | 469.42 | 604.74 | 697.00 | 457.89 | | 457.89 | 697.00 | 558.53 |
| | C6 Sernurungmul | 484.21 | 991.06 | 1231.81 | 996.00 | 946.23 | 957.79 | 992.64 | 969.20 | 938.00 | 796.24 | | 484.21 | 1231.81 | 930.32 |
| | C7 Tosanmul | 67.08 | 122.88 | 129.49 | 71.80 | 69.45 | 123.88 | 74.25 | 145.17 | 143.90 | 135.20 | | 67.08 | 145.17 | 108.31 |
| | C8 Gongchunpo | 7.61 | 7.15 | 14.50 | 6.77 | 6.82 | 6.74 | 6.74 | 7.30 | 7.24 | 7.61 | 7.36 | 6.74 | 14.50 | 7.80 |
| | C9 Dot mul | 19.74 | 20.24 | 19.24 | 19.18 | 19.95 | 19.53 | 19.16 | 21.02 | 19.57 | 21.23 | 21.52 | 19.16 | 21.52 | 20.03 |
| | C10 Harkangmul | 23.40 | 22.95 | 21.84 | 22.64 | 23.12 | 22.50 | 21.84 | 23.39 | 23.00 | 24.16 | 25.14 | 21.84 | 25.14 | 23.09 |
| | C11 Sineukmul | 10.72 | 8.25 | 7.95 | 9.00 | 10.35 | 9.60 | 9.15 | 9.60 | 8.85 | 10.05 | 11.92 | 7.95 | 11.92 | 9.59 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 9.15 | 9.29 | 8.33 | 11.51 | 9.40 | 9.14 | 8.67 | 9.96 | 9.76 | 10.72 | 12.15 | 8.33 | 12.15 | 9.83 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 9.04 | 9.03 | 7.87 | 9.49 | 7.88 | 7.63 | 6.94 | 9.40 | 9.03 | 10.46 | 10.11 | 6.94 | 10.46 | 8.81 |
| | C14 Jungkeummul | 974.50 | 160.35 | 953.16 | 53.70 | 804.03 | 828.00 | 941.18 | 967.81 | 501.76 | 288.71 | 195.60 | 53.70 | 974.50 | 606.25 |
| | C15 Hallimsuwon | 11.82 | 12.13 | 11.82 | 12.15 | 11.57 | 11.57 | 11.48 | 12.12 | 12.22 | 12.27 | | 11.48 | 12.27 | 11.92 |
| | C16 Moondummul | 12.15 | 12.54 | 12.47 | 12.79 | 13.20 | 12.47 | 12.38 | 11.98 | 12.18 | 12.24 | 12.52 | 11.98 | 13.20 | 12.45 |
| | C17 Kwakgimul | 179.00 | 53.31 | 116.70 | 27.08 | 48.34 | 45.89 | 89.32 | 52.40 | 112.20 | 43.46 | 46.76 | 27.08 | 179.00 | 74.04 |
| | C18 Aewolharmul | 345.70 | 56.90 | 100.65 | 17.45 | 20.66 | 45.01 | 112.12 | 40.00 | 139.90 | 49.40 | 44.60 | 17.45 | 345.70 | 88.40 |
| | C19 Konemul | 270.20 | 34.86 | 92.04 | 15.51 | 67.86 | 366.02 | 101.74 | 402.03 | 124.40 | 309.51 | | 15.51 | 402.03 | 178.42 |
| | C20 Nokgomul | 109.80 | 33.52 | 26.36 | 9.96 | 11.25 | | | | | | | 9.96 | 109.80 | 38.18 |
| | C21 Weadosuwon | 3.46 | 9.52 | 6.97 | 7.20 | 6.21 | 6.52 | 5.42 | 6.70 | 5.22 | 5.57 | | 3.46 | 9.52 | 6.28 |
| | C22 Kurnungmul | 6.06 | 7.13 | 6.67 | 6.86 | 5.75 | 6.44 | 6.21 | 6.25 | 6.34 | 6.44 | | 5.75 | 7.13 | 6.42 |
| | C23 Oleamul | 73.88 | 86.77 | 12.45 | 10.63 | 10.47 | 10.10 | 8.37 | 33.96 | 44.76 | 50.66 | | 8.37 | 86.77 | 34.21 |
| | C24 Magünmul | 10.59 | 11.22 | 11.03 | 11.07 | 10.30 | 10.49 | 9.93 | 9.75 | 9.60 | 10.63 | | 9.60 | 11.22 | 10.46 |

Appendix 8. Concentration of potassium(K⁺) in spring water(ppm).

| Station | Month | 1994 | | | | | | | 1995 | | | | Min | Max | Average |
|--------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | June | | | |
| High (> 600m) | H1 Baegrogdam | 0.11 | | | | 0.15 | | | 0.13 | | | | 0.11 | 0.15 | 0.13 |
| | H2 Yongjingak | 0.74 | | | | 0.70 | | | 0.80 | | | | 0.70 | 0.80 | 0.75 |
| | H3 Wiseorn | 0.28 | | | | 0.28 | | | 0.25 | | | | 0.25 | 0.28 | 0.27 |
| | H4 Yunggil | 0.67 | 0.67 | 0.56 | 0.65 | 0.78 | 0.67 | 0.89 | 0.56 | 0.45 | 0.50 | | 0.45 | 0.89 | 0.64 |
| | H5 Öremok | 0.37 | 0.38 | 1.04 | 0.86 | 1.01 | 0.60 | 0.60 | 0.17 | 0.17 | 0.38 | | 0.17 | 1.04 | 0.56 |
| | H6 Chunwangsa | 0.34 | 1.10 | 1.10 | 0.72 | 0.75 | 0.53 | 0.91 | 1.05 | 1.10 | 0.72 | | 0.34 | 1.10 | 0.83 |
| | H7 Gwaneumsa | 1.16 | 1.64 | 1.39 | 1.30 | 1.58 | 1.39 | 1.37 | 1.54 | 1.45 | 1.48 | | 1.16 | 1.64 | 1.43 |
| | H8 Sungpanark | 0.99 | 0.43 | 1.48 | 0.97 | 1.17 | 1.25 | 1.02 | 1.25 | 1.02 | 1.48 | 0.68 | 0.43 | 1.48 | 1.07 |
| | H9 Namguksunwon | 0.03 | 0.50 | 0.37 | 0.25 | 0.34 | 0.15 | 0.10 | 0.05 | 0.15 | 0.08 | | 0.03 | 0.50 | 0.20 |
| Middle (200- 600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 2.51 | 2.20 | 2.51 | 2.31 | 2.51 | 2.00 | 2.00 | 2.51 | 2.34 |
| | M2 Myeongdoarm | 0.56 | 0.58 | 0.68 | 0.50 | 0.70 | 0.68 | 0.64 | 0.68 | 0.53 | 0.58 | | 0.50 | 0.70 | 0.61 |
| | M3 Jealmul | 2.41 | 2.16 | 2.31 | 2.23 | 2.34 | 2.29 | 2.24 | 2.29 | 2.27 | 2.33 | | 2.16 | 2.41 | 2.29 |
| | M4 Donneako | 1.42 | 2.10 | 1.19 | 1.11 | 1.21 | 1.42 | 1.33 | 1.53 | 1.33 | 1.42 | | 1.11 | 2.10 | 1.41 |
| | M5 Wonmansa | 1.71 | 1.69 | 1.65 | 1.59 | 1.65 | 1.69 | 1.63 | 1.63 | 1.71 | 1.65 | | 1.59 | 1.71 | 1.66 |
| | M6 Yusuarmchun | 4.87 | 5.50 | 5.65 | 4.84 | 5.69 | 5.60 | 5.80 | 5.62 | 5.00 | 5.40 | 6.32 | 4.84 | 6.32 | 5.48 |
| Low (10- 200m) | L1 Keumsansuwon | 2.97 | 3.60 | 2.95 | 3.12 | 2.78 | 2.84 | 2.77 | 3.32 | 3.37 | 3.58 | | 2.77 | 3.60 | 3.13 |
| | L2 Youngchunsa | 1.83 | 1.85 | 1.77 | 1.88 | 2.20 | 1.84 | 1.80 | 2.32 | 2.30 | 2.31 | | 1.77 | 2.32 | 2.01 |
| | L3 Jungbangsuwon | 1.23 | 1.46 | 1.11 | 2.06 | 2.07 | 1.52 | 1.15 | 1.31 | 1.17 | 1.46 | | 1.11 | 2.07 | 1.45 |
| | L4 Chunjiyön | 1.35 | 1.97 | 1.92 | 2.03 | 1.91 | 1.90 | 1.89 | 1.99 | 1.94 | 2.00 | | 1.35 | 2.03 | 1.89 |
| | L5 Burhwansomul | 1.14 | 2.03 | 1.92 | 2.14 | 1.93 | 1.91 | 1.88 | 2.03 | 2.01 | 2.08 | | 1.14 | 2.14 | 1.91 |
| | L6 Woonyangchun | 5.40 | 5.15 | 4.45 | 5.06 | 4.40 | 4.37 | 4.16 | 4.82 | 4.55 | 5.56 | 5.71 | 4.16 | 5.71 | 4.88 |
| | L7 Kangjungsuwon | 1.46 | 1.55 | 1.38 | 1.71 | 1.65 | 1.37 | 1.33 | 1.38 | 1.27 | 1.52 | | 1.27 | 1.71 | 1.46 |
| | L8 Bebhwas | 5.36 | 3.18 | 2.39 | 1.45 | 1.50 | 1.01 | 1.12 | 4.37 | 2.39 | 6.15 | | 1.01 | 6.15 | 2.89 |
| | L9 Harwontongmul | 2.60 | 2.85 | 2.88 | 2.26 | 2.61 | 2.59 | 2.60 | 2.90 | 2.90 | 2.92 | | 2.26 | 2.92 | 2.71 |
| | L10 Dongheumul | 1.10 | 1.80 | 1.91 | 1.82 | 2.11 | 2.10 | 2.13 | 1.73 | 2.40 | 1.52 | | 1.10 | 2.40 | 1.86 |
| | L11 Saekdalsengsu | 1.16 | 1.22 | 1.31 | 1.26 | 1.56 | 1.55 | 1.62 | 1.26 | 1.34 | 1.28 | 1.16 | 1.16 | 1.62 | 1.34 |
| | L12 Andukkyekok | 12.78 | 28.74 | 30.21 | 7.08 | 11.14 | 8.16 | 6.90 | 17.19 | 22.44 | 15.72 | 18.24 | 6.90 | 30.21 | 16.24 |
| | L13 Donmul | 11.28 | 9.30 | 8.79 | 8.40 | 12.15 | 7.42 | 7.28 | 9.87 | 9.11 | 10.54 | 5.43 | 5.43 | 12.15 | 9.05 |
| | L14 Jangsumul | 2.09 | 2.50 | 2.35 | 2.07 | 2.32 | 2.10 | 2.65 | 2.69 | 2.06 | 2.10 | 2.01 | 2.01 | 2.69 | 2.27 |
| | L15 Kusimul | | | | | | 2.92 | 3.03 | 2.99 | 3.04 | 3.01 | 2.26 | 2.26 | 3.04 | 2.88 |
| | L16 Dukjisernmul | 2.56 | | | | | | | | | | | 2.56 | 2.56 | 2.56 |
| Coast (<10m) | C1 Sanjimul | 2.81 | 2.39 | 3.34 | 2.71 | 3.13 | 2.92 | 3.24 | 2.60 | 2.49 | 2.39 | | 2.39 | 3.34 | 2.80 |
| | C2 Samyang3suwon | 25.80 | 21.78 | 8.75 | 4.68 | 3.40 | 3.50 | 3.46 | | | | | 3.40 | 25.80 | 10.20 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 8.40 | 5.61 | 8.45 | 3.44 | 4.42 | 3.55 | 10.02 | 15.58 | 10.34 | 8.52 | | 3.44 | 15.58 | 7.83 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 10.50 | 9.70 | 10.34 | 4.55 | 5.50 | 5.40 | 9.81 | 16.24 | 8.70 | 9.67 | | 4.55 | 16.24 | 9.04 |
| | C5 Meungbubsa | 26.60 | 26.65 | 25.55 | 22.60 | 25.44 | 24.07 | 22.07 | 26.71 | 20.95 | 21.68 | | 20.95 | 26.71 | 24.23 |
| | C6 Sernurungmul | 20.80 | 38.85 | 47.43 | 38.50 | 37.25 | 37.67 | 38.91 | 38.07 | 29.70 | 31.91 | | 20.80 | 47.43 | 35.91 |
| | C7 Tosanmul | 4.58 | 6.05 | 6.23 | 4.70 | 4.65 | 6.08 | 4.77 | 6.64 | 6.61 | 6.38 | | 4.58 | 6.64 | 5.67 |
| | C8 Gongchunpo | 1.60 | 0.83 | 13.22 | 1.25 | 1.38 | 0.13 | 0.15 | 1.00 | 0.97 | 1.60 | 1.08 | 0.13 | 13.22 | 2.11 |
| | C9 Dot mul | 2.50 | 2.93 | 2.08 | 3.72 | 4.70 | 2.33 | 2.01 | 3.59 | 2.36 | 3.77 | 4.00 | 2.01 | 4.70 | 3.09 |
| | C10 Harkangmul | 3.92 | 5.14 | 5.28 | 4.80 | 5.14 | 5.20 | 5.28 | 5.09 | 5.14 | 5.00 | 4.90 | 3.92 | 5.28 | 4.99 |
| | C11 Sineukmul | 2.24 | 2.04 | 1.79 | 2.91 | 3.93 | 3.18 | 2.80 | 3.18 | 2.55 | 3.56 | 3.00 | 1.79 | 3.93 | 2.83 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 1.98 | 1.95 | 1.50 | 2.90 | 2.76 | 1.88 | 1.65 | 2.26 | 2.17 | 2.62 | 3.37 | 1.50 | 3.37 | 2.28 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 1.94 | 2.80 | 2.60 | 2.80 | 2.60 | 2.56 | 2.44 | 3.81 | 2.80 | 3.04 | 2.98 | 1.94 | 3.81 | 2.76 |
| | C14 Jungkeummul | 50.50 | 7.54 | 49.20 | 5.10 | 66.50 | 42.62 | 48.57 | 49.97 | 25.48 | 14.28 | 6.04 | 5.10 | 66.50 | 33.25 |
| | C15 Hallimsuwon | 3.17 | 3.65 | 3.50 | 3.50 | 3.38 | 3.38 | 3.34 | 3.65 | 3.70 | 3.72 | | 3.17 | 3.72 | 3.50 |
| | C16 Moondumul | 3.41 | 3.46 | 3.37 | 3.12 | 3.44 | 3.37 | 3.25 | 2.77 | 3.01 | 3.09 | | 2.77 | 3.46 | 3.22 |
| | C17 Kwakgimul | 9.10 | 4.27 | 6.63 | 3.77 | 5.56 | 4.00 | 5.61 | 4.01 | 6.14 | 3.90 | | 3.77 | 9.10 | 5.20 |
| | C18 Aewolharmul | 20.20 | 4.46 | 6.81 | 3.43 | 4.10 | 3.82 | 7.42 | 4.11 | 7.41 | 4.05 | | 3.43 | 20.20 | 6.38 |
| | C19 Konemul | 19.10 | 3.31 | 7.07 | 2.72 | 5.48 | 25.10 | 7.71 | 27.46 | 8.21 | 21.38 | | 2.72 | 27.46 | 12.75 |
| | C20 Nokgomul | 8.55 | 3.84 | 3.40 | 2.39 | 2.48 | | | | | | | 2.39 | 8.55 | 4.13 |
| | C21 Weadosuwon | 0.56 | 2.62 | 1.73 | 1.89 | 1.84 | 1.58 | 1.19 | 1.63 | 1.12 | 1.24 | | 0.56 | 2.62 | 1.54 |
| | C22 Kumungmul | 1.25 | 2.07 | 1.75 | 1.89 | 1.83 | 1.59 | 1.43 | 1.46 | 1.52 | 1.59 | | 1.25 | 2.07 | 1.64 |
| | C23 Oleamul | 5.48 | 6.10 | 2.76 | 2.28 | 2.50 | 2.66 | 2.58 | 3.56 | 4.39 | 4.48 | | 2.28 | 6.10 | 3.68 |
| | C24 Magörummul | 2.60 | 2.46 | 2.42 | 2.42 | 2.45 | 2.31 | 2.20 | 2.16 | 2.14 | 2.34 | | 2.14 | 2.60 | 2.35 |

Appendix 9. Concentration of magnesium(Mg²⁺) in spring water(ppm).

| Month | | 1994 | | | | | | | 1995 | | | | | | | Min | Max | Average |
|-------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-----|-----|---------|
| Station | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | June | | | | | | |
| High (> 600m) | H1 Baegrogdam | 0.26 | | | | 0.28 | | | 0.25 | | | | 0.25 | 0.28 | 0.26 | | | |
| | H2 Yongjingak | 0.44 | | | | 0.45 | | | 0.47 | | | | 0.44 | 0.47 | 0.45 | | | |
| | H3 Wiseorn | 0.60 | | | | 0.55 | | | 0.59 | | | | 0.55 | 0.60 | 0.58 | | | |
| | H4 Yungsil | 0.85 | 0.85 | 1.09 | 0.61 | 0.61 | 0.85 | 0.37 | 1.09 | 1.33 | 1.09 | | 0.37 | 1.33 | 0.87 | | | |
| | H5 Öremok | 0.88 | 0.85 | 0.70 | 0.76 | 0.73 | 0.82 | 0.83 | 0.94 | 0.89 | 0.88 | | 0.70 | 0.94 | 0.83 | | | |
| | H6 Chunwangsa | 0.91 | 0.34 | 0.45 | 0.67 | 0.69 | 0.80 | 0.57 | 0.34 | 0.45 | 0.68 | | 0.34 | 0.91 | 0.59 | | | |
| | H7 Gwaneumsa | 0.76 | 0.56 | 0.66 | 0.63 | 0.66 | 0.66 | 0.67 | 0.61 | 0.64 | 0.63 | | 0.56 | 0.76 | 0.65 | | | |
| | H8 Sungpanark | 0.52 | 0.12 | 0.49 | 0.34 | 0.36 | 0.41 | 0.33 | 0.41 | 0.33 | 0.49 | 0.20 | 0.12 | 0.52 | 0.36 | | | |
| | H9 Nanguksunwon | 0.20 | 0.20 | 0.45 | 0.42 | 0.38 | 0.29 | 0.25 | 0.22 | 0.29 | 0.24 | | 0.20 | 0.45 | 0.29 | | | |
| Middle (200-600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 0.23 | 0.24 | 0.21 | 0.25 | 0.30 | 0.21 | 0.21 | 0.30 | 0.24 | | | |
| | M2 Myeongdoarm | 2.68 | 2.65 | 2.43 | 2.36 | 2.40 | 2.43 | 2.52 | 2.43 | 2.74 | 2.65 | | 2.36 | 2.74 | 2.53 | | | |
| | M3 Jealmul | 1.81 | 1.37 | 1.35 | 1.36 | 1.35 | 1.35 | 1.36 | 1.35 | 1.36 | 1.35 | | 1.35 | 1.81 | 1.40 | | | |
| | M4 Donneako | 2.17 | 3.69 | 1.64 | 1.48 | 1.66 | 2.15 | 1.96 | 2.41 | 1.96 | 2.15 | | 1.48 | 3.69 | 2.13 | | | |
| | M5 Wonmansa | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.52 | 0.50 | 0.49 | 0.51 | 0.51 | 0.48 | 0.50 | | 0.48 | 0.52 | 0.50 | | | |
| | M6 Yusuarmchun | 4.93 | 5.53 | 5.02 | 5.08 | 5.11 | 5.12 | 5.00 | 5.10 | 4.53 | 4.94 | 5.64 | 4.53 | 5.64 | 5.09 | | | |
| | L1 Keumsansuwon | 4.52 | 6.17 | 4.47 | 4.92 | 4.02 | 4.18 | 3.98 | 5.15 | 5.60 | 6.13 | | 3.98 | 6.17 | 4.91 | | | |
| | L2 Youngchunsa | 8.88 | 8.96 | 8.58 | 9.03 | 9.02 | 8.91 | 8.71 | 11.32 | 11.24 | 11.26 | | 8.58 | 11.32 | 9.59 | | | |
| | L3 Jungbangsuwon | 2.44 | 2.36 | 1.99 | 3.08 | 2.19 | 2.43 | 2.03 | 2.21 | 2.06 | 2.36 | | 1.99 | 3.08 | 2.32 | | | |
| Low (< 200m) | L4 Chunjiyön | 3.36 | 2.74 | 2.22 | 3.04 | 2.05 | 2.00 | 1.85 | 2.93 | 2.41 | 3.04 | | 1.85 | 3.36 | 2.56 | | | |
| | L5 Burhwansomul | 4.31 | 3.08 | 2.46 | 3.73 | 2.52 | 2.41 | 2.21 | 3.11 | 2.97 | 3.36 | | 2.21 | 4.31 | 3.02 | | | |
| | L6 Woonyangchun | 6.54 | 9.54 | 7.51 | 9.09 | 7.48 | 7.30 | 6.69 | 8.58 | 7.79 | 10.71 | 11.22 | 6.54 | 11.22 | 8.40 | | | |
| | L7 Kangjungsuwon | 2.61 | 2.20 | 1.59 | 2.82 | 1.91 | 1.54 | 1.40 | 1.59 | 1.18 | 2.09 | | 1.18 | 2.82 | 1.89 | | | |
| | L8 Bebhwasu | 4.76 | 4.09 | 3.85 | 4.12 | 3.57 | 3.42 | 3.14 | 4.46 | 10.26 | 5.01 | | 3.14 | 10.26 | 4.67 | | | |
| | L9 Harwontongmul | 17.44 | 19.49 | 18.46 | 26.14 | 27.48 | 28.25 | 28.25 | 17.90 | 18.00 | 17.44 | | 17.44 | 28.25 | 21.89 | | | |
| | L10 Donghearmul | 13.76 | 7.23 | 6.22 | 6.68 | 4.58 | 4.42 | 4.11 | 7.82 | 14.96 | 9.77 | | 4.11 | 14.96 | 7.96 | | | |
| | L11 Saekdalsengsu | 14.67 | 14.29 | 13.74 | 12.70 | 12.50 | 12.30 | 11.87 | 14.05 | 13.54 | 13.95 | 14.92 | 11.87 | 14.92 | 13.50 | | | |
| | L12 Andukkyekok | 12.82 | 26.09 | 26.92 | 13.68 | 16.20 | 14.39 | 13.68 | 19.52 | 22.51 | 18.69 | 20.10 | 12.82 | 26.92 | 18.60 | | | |
| Coast (<10m) | L13 Donmul | 18.92 | 15.20 | 14.24 | 13.50 | 16.05 | 11.66 | 11.40 | 16.27 | 14.83 | 17.52 | 12.64 | 11.40 | 18.92 | 14.75 | | | |
| | L14 Jangsumul | 5.79 | 6.50 | 4.63 | 4.94 | 5.18 | 5.73 | 5.20 | 5.03 | 5.98 | 5.89 | 7.62 | 4.63 | 7.62 | 5.68 | | | |
| | L15 Kusimul | | | | | | 4.38 | 3.72 | 3.94 | 3.67 | 3.83 | 8.20 | 3.67 | 8.20 | 4.62 | | | |
| | L16 Dukjisemmul | 10.70 | | | | | | | | | | | 10.70 | 10.70 | 10.70 | | | |
| | C1 Sanjimul | 3.03 | 2.75 | 3.37 | 2.96 | 3.23 | 3.09 | 3.30 | 2.89 | 2.82 | 2.75 | | 2.75 | 3.37 | 3.02 | | | |
| | C2 Sanyangsuwon | 87.80 | 72.69 | 23.82 | 4.98 | 5.32 | 4.15 | 3.99 | | | | | 3.99 | 87.80 | 28.96 | | | |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 20.70 | 16.14 | 24.76 | 10.02 | 13.92 | 9.89 | 29.50 | 46.20 | 40.20 | 24.94 | | 9.89 | 46.20 | 23.63 | | | |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 30.70 | 27.37 | 29.58 | 10.20 | 12.50 | 12.46 | 27.74 | 49.80 | 38.80 | 27.28 | | 10.20 | 49.80 | 26.64 | | | |
| | C5 Meungbubsa | 84.00 | 85.46 | 80.17 | 66.60 | 79.67 | 73.11 | 63.54 | 85.71 | 101.50 | 61.65 | | 61.65 | 101.50 | 78.14 | | | |
| C6 Sernunungmul | 66.40 | 139.50 | 174.08 | 137.00 | 133.06 | 134.72 | 139.73 | 136.36 | 137.00 | 111.52 | | 66.40 | 174.08 | 130.94 | | | | |
| | C7 Tosanmul | 8.55 | 22.16 | 23.77 | 9.65 | 9.20 | 22.41 | 10.30 | 27.60 | 27.30 | 25.17 | | 8.55 | 27.60 | 18.61 | | | |
| | C8 Gongchunpo | 3.71 | 3.57 | 5.85 | 3.65 | 3.47 | 3.44 | 3.44 | 3.60 | 3.60 | 3.71 | | 3.42 | 5.85 | 3.77 | | | |
| | C9 Dot mul | 9.62 | 12.71 | 13.37 | 12.78 | 12.90 | 13.18 | 13.42 | 12.19 | 13.15 | 12.06 | | 9.62 | 13.42 | 12.43 | | | |
| | C10 Harkangmul | 9.94 | 8.28 | 6.04 | 14.30 | 13.20 | 7.39 | 6.04 | 9.18 | 8.39 | 10.74 | | 6.04 | 14.30 | 9.58 | | | |
| | C11 Sineukmul | 4.07 | 4.20 | 4.39 | 3.79 | 4.72 | 3.34 | 3.63 | 3.34 | 3.82 | 3.06 | | 3.06 | 4.72 | 3.79 | | | |
| | C12 Serlmsuwon1 | 4.42 | 3.17 | 2.51 | 4.68 | 3.26 | 3.07 | 2.74 | 3.63 | 3.50 | 4.16 | | 2.51 | 5.17 | 3.66 | | | |
| | C13 Serlmsuwon2 | 4.41 | 3.42 | 2.62 | 3.90 | 2.61 | 2.46 | 1.99 | 3.67 | 3.42 | 4.41 | | 1.99 | 4.41 | 3.35 | | | |
| | C14 Jungkeummul | 150.75 | 21.81 | 146.93 | 12.90 | 157.50 | 127.17 | 145.04 | 149.24 | 75.69 | 42.07 | | 12.90 | 157.50 | 95.28 | | | |
| | C15 Hallimsuwon | 5.62 | 5.60 | 5.21 | 5.22 | 4.89 | 4.90 | 4.79 | 5.58 | 5.71 | 5.78 | | 4.79 | 5.78 | 5.33 | | | |
| | C16 Moondummul | 7.32 | 8.02 | 7.75 | 8.97 | 9.22 | 7.75 | 7.41 | 5.96 | 6.69 | 6.91 | | 5.96 | 9.22 | 7.56 | | | |
| | C17 Kwakgimul | 19.00 | 7.79 | 13.52 | 5.29 | 7.40 | 7.12 | 11.05 | 6.46 | 13.40 | 6.90 | | 5.29 | 19.00 | 9.62 | | | |
| | C18 Aewolharmul | 35.90 | 7.02 | 11.34 | 4.18 | 4.98 | 5.85 | 12.47 | 4.56 | 12.80 | 6.28 | | 4.18 | 35.90 | 10.15 | | | |
| | C19 Konemul | 32.10 | 3.98 | 10.70 | 2.74 | 7.86 | 42.89 | 11.84 | 47.12 | 13.00 | 36.25 | | 2.74 | 47.12 | 20.85 | | | |
| | C20 Nokgomul | 14.80 | 6.32 | 5.52 | 3.49 | 3.70 | | | | | | | 3.49 | 14.80 | 6.77 | | | |
| | C21 Weadosuwon | 1.35 | 4.61 | 3.18 | 3.50 | 2.42 | 2.93 | 2.31 | 1.72 | 2.20 | 2.40 | | 1.35 | 4.61 | 2.66 | | | |
| | C22 Kumungmul | 2.71 | 3.37 | 2.95 | 3.13 | 2.21 | 2.74 | 2.54 | 2.57 | 2.66 | 2.74 | | 2.21 | 3.37 | 2.76 | | | |
| | C23 Oleamul | 13.32 | 14.87 | 5.45 | 5.76 | 5.12 | 5.15 | 4.93 | 6.60 | 8.36 | 10.29 | | 4.93 | 14.87 | 7.99 | | | |
| C24 Mag'nmul | 4.20 | 6.37 | 6.02 | 5.94 | 4.99 | 5.04 | 4.00 | 3.53 | 3.40 | 5.29 | | 3.40 | 6.37 | 4.88 | | | | |

Appendix 10. Concentration of calcium(Ca²⁺) in spring water(ppm).

| Month | | 1994 | | | | | | | | | | 1995 | | | | Min | Max | Average |
|------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|---------|
| Station | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | June | | | | | | |
| High (> 600m) | H1 Baegrogdam | 0.25 | | | | 0.27 | | | 0.26 | | | | 0.25 | 0.27 | 0.26 | | | |
| | H2 Yongjingak | 0.55 | | | | 0.51 | | | 0.54 | | | | 0.51 | 0.55 | 0.53 | | | |
| | H3 Wiseorn | 0.47 | | | | 0.48 | | | 0.49 | | | | 0.47 | 0.49 | 0.48 | | | |
| | H4 Yungsil | 1.28 | 2.07 | 2.25 | 2.03 | 1.93 | 2.07 | 1.71 | 2.25 | 2.43 | 2.25 | | 1.28 | 2.43 | 2.03 | | | |
| | H5 Öremok | 1.26 | 1.26 | 1.65 | 1.52 | 1.39 | 1.40 | 1.39 | 1.18 | 1.13 | 1.26 | | 1.13 | 1.65 | 1.34 | | | |
| | H6 Chunwangsa | 1.50 | 0.75 | 0.90 | 1.20 | 1.19 | 1.35 | 1.05 | 0.75 | 0.90 | 1.20 | | 0.75 | 1.50 | 1.08 | | | |
| | H7 Gwaneumsa | 5.37 | 1.46 | 3.47 | 3.04 | 2.84 | 3.50 | 3.57 | 2.31 | 2.94 | 2.73 | | 1.46 | 5.37 | 3.12 | | | |
| | H8 Sungpanark | 0.57 | 0.04 | 1.62 | 1.07 | 1.10 | 1.27 | 0.92 | 1.27 | 0.92 | 1.62 | 0.39 | 0.04 | 1.62 | 0.98 | | | |
| | H9 Namguksunwon | 1.00 | 0.99 | 3.22 | 2.51 | 2.96 | 1.78 | 1.47 | 1.15 | 1.78 | 1.31 | | 0.99 | 3.22 | 1.82 | | | |
| Middle (200- 600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 1.50 | 1.40 | 1.60 | 1.50 | 1.50 | 1.20 | 1.20 | 1.60 | 1.45 | | | |
| | M2 Myeongdoarm | 2.13 | 2.28 | 3.26 | 3.14 | 3.39 | 3.26 | 2.84 | 3.30 | 1.85 | 2.28 | | 1.85 | 3.39 | 2.77 | | | |
| | M3 Jealmul | 1.64 | 3.79 | 2.51 | 3.24 | 3.17 | 2.67 | 3.15 | 2.60 | 2.83 | 2.35 | | 1.64 | 3.79 | 2.80 | | | |
| | M4 Donneako | 1.94 | 3.84 | 2.64 | 2.53 | 2.68 | 2.94 | 2.83 | 3.09 | 2.83 | 2.94 | | 1.94 | 3.84 | 2.83 | | | |
| | M5 Wonnansa | 1.32 | 1.34 | 1.39 | 1.46 | 1.39 | 1.34 | 1.41 | 1.41 | 1.32 | 1.39 | | 1.32 | 1.46 | 1.38 | | | |
| | M6 Yusuarmchun | 6.02 | 7.81 | 7.60 | 7.71 | 7.61 | 7.64 | 7.59 | 7.63 | 7.42 | 7.56 | 7.86 | 6.02 | 7.86 | 7.50 | | | |
| Low (10- 200m) | L1 Keumsansuwon | 3.49 | 7.15 | 3.39 | 4.38 | 2.40 | 2.75 | 2.30 | 5.52 | 5.82 | 7.05 | | 2.30 | 7.15 | 4.43 | | | |
| | L2 Youngchunsa | 11.20 | 11.00 | 11.91 | 10.61 | 11.00 | 11.13 | 11.59 | 5.47 | 5.67 | 5.60 | | 5.47 | 11.91 | 9.52 | | | |
| | L3 Jungbangsuwon | 3.18 | 3.86 | 2.71 | 5.90 | 4.41 | 4.07 | 2.85 | 3.39 | 2.91 | 3.86 | | 2.71 | 5.90 | 3.71 | | | |
| | L4 Chunjiyön | 4.79 | 4.86 | 4.12 | 5.98 | 4.00 | 3.80 | 3.59 | 5.12 | 4.38 | 5.28 | | 3.59 | 5.98 | 4.59 | | | |
| | L5 Burhwansosmul | 5.82 | 5.27 | 4.27 | 6.62 | 4.39 | 4.18 | 3.86 | 5.32 | 5.09 | 5.73 | | 3.86 | 6.62 | 5.06 | | | |
| | L6 Woonyangchun | 14.48 | 11.09 | 8.39 | 10.20 | 8.54 | 8.11 | 7.30 | 9.81 | 8.77 | 12.65 | 13.36 | 7.30 | 14.48 | 10.25 | | | |
| | L7 Kangjungsuwon | 3.16 | 3.74 | 2.74 | 4.83 | 3.33 | 2.65 | 2.42 | 2.74 | 2.06 | 3.56 | | 2.06 | 4.83 | 3.12 | | | |
| | L8 Bebhwas | 9.62 | 8.07 | 7.50 | 8.14 | 6.87 | 6.52 | 5.88 | 8.92 | 7.50 | 10.19 | | 5.88 | 10.19 | 7.92 | | | |
| | L9 Harwontongmul | 49.84 | 31.14 | 28.60 | 24.04 | 50.80 | 52.80 | 51.80 | 27.21 | 27.34 | 26.07 | | 24.04 | 52.80 | 36.96 | | | |
| | L10 Dongbeumul | 21.60 | 11.68 | 10.15 | 10.55 | 7.90 | 7.44 | 6.97 | 12.56 | 12.21 | 15.51 | | 6.97 | 21.60 | 11.66 | | | |
| | L11 Saekdalsengsu | 20.46 | 20.10 | 19.58 | 18.42 | 18.40 | 18.22 | 17.81 | 19.87 | 19.40 | 19.78 | 20.69 | 17.81 | 20.69 | 19.34 | | | |
| | L12 Andukkyekok | 32.44 | 30.56 | 31.00 | 24.40 | 28.48 | 24.40 | 24.02 | 27.10 | 28.67 | 26.66 | 27.48 | 24.02 | 32.44 | 27.75 | | | |
| | L13 Donmul | 38.56 | 26.64 | 23.72 | 21.50 | 28.40 | 15.87 | 15.08 | 29.89 | 25.52 | 33.71 | 37.41 | 15.08 | 38.56 | 26.94 | | | |
| | L14 Jangsumul | 5.78 | 4.64 | 7.83 | 7.69 | 7.80 | 5.94 | 6.85 | 6.85 | 6.00 | 5.68 | 2.68 | 2.68 | 7.83 | 6.16 | | | |
| | L15 Kusumul | | | | | | 6.70 | 6.40 | 6.50 | 6.40 | 6.60 | 7.00 | 6.40 | 7.00 | 6.60 | | | |
| | L16 Dukjiseumul | 12.34 | | | | | | | | | | | 12.34 | 12.34 | 12.34 | | | |
| Coast (\leq 10m) | C1 Sanjimul | 5.38 | 6.02 | 4.58 | 5.54 | 4.90 | 5.22 | 4.74 | 5.70 | 5.86 | 6.02 | | 4.58 | 6.02 | 5.40 | | | |
| | C2 Samyang3suwon | 28.60 | 23.73 | 7.99 | 2.56 | 2.94 | 1.65 | 1.60 | | | | | 1.60 | 28.60 | 9.87 | | | |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 6.80 | 13.75 | 20.47 | 7.30 | 9.92 | 8.87 | 24.17 | 36.82 | 25.76 | 20.61 | | 6.80 | 36.82 | 17.45 | | | |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 10.70 | 10.08 | 10.57 | 6.15 | 7.35 | 6.71 | 10.16 | 15.19 | 11.60 | 10.06 | | 6.15 | 15.19 | 9.86 | | | |
| | C5 Meungbubs | 22.80 | 22.78 | 23.27 | 24.60 | 23.32 | 23.94 | 24.84 | 22.75 | 21.33 | 25.01 | | 21.33 | 25.01 | 23.46 | | | |
| | C6 Sernurungmul | 20.00 | 53.35 | 65.11 | 52.50 | 51.16 | 51.73 | 53.43 | 52.28 | 51.88 | 43.84 | | 20.00 | 65.11 | 49.53 | | | |
| | C7 Tosanmul | 5.39 | 15.74 | 16.96 | 6.65 | 5.50 | 15.92 | 6.72 | 19.87 | 19.58 | 18.02 | | 5.39 | 19.87 | 13.04 | | | |
| | C8 Gongchunpo | 6.43 | 6.12 | 11.05 | 6.29 | 5.90 | 5.84 | 5.84 | 6.18 | 6.18 | 6.43 | 6.26 | 5.84 | 11.05 | 6.59 | | | |
| | C9 Dot mul | 14.98 | 16.70 | 13.38 | 20.02 | 20.05 | 14.35 | 13.10 | 19.32 | 14.49 | 20.01 | 20.98 | 13.10 | 20.98 | 17.03 | | | |
| | C10 Harkangmul | 13.20 | 18.20 | 17.56 | 19.80 | 18.20 | 17.94 | 17.56 | 18.46 | 18.23 | 18.90 | 19.42 | 13.20 | 19.80 | 17.95 | | | |
| | C11 Sineukmul | 3.38 | 3.52 | 3.20 | 4.75 | 5.63 | 4.96 | 4.48 | 4.96 | 4.16 | 5.44 | 4.96 | 3.20 | 5.63 | 4.49 | | | |
| | C12 Serlimsuwon1 | 3.44 | 3.38 | 2.47 | 5.30 | 4.04 | 3.24 | 2.79 | 4.02 | 3.84 | 4.75 | 6.26 | 2.47 | 6.26 | 3.96 | | | |
| | C13 Serlimsuwon2 | 3.75 | 3.75 | 2.04 | 4.79 | 3.38 | 1.70 | 0.67 | 4.30 | 3.75 | 5.87 | 5.32 | 0.67 | 5.87 | 3.57 | | | |
| | C14 Jungkeumul | 58.50 | 12.80 | 57.16 | 9.40 | 59.00 | 50.16 | 56.49 | 57.98 | 31.91 | 19.99 | 12.07 | 9.40 | 59.00 | 38.68 | | | |
| | C15 Hallimsuwon | 4.37 | 5.54 | 5.06 | 5.06 | 4.69 | 4.69 | 4.56 | 5.51 | 5.67 | 5.75 | | 4.37 | 5.75 | 5.09 | | | |
| | C16 Moondumul | 4.64 | 6.02 | 5.49 | 7.82 | 8.06 | 5.50 | 4.85 | 2.10 | 3.47 | 3.90 | 4.43 | 2.10 | 8.06 | 5.12 | | | |
| | C17 Kwakgimul | 7.80 | 4.92 | 6.37 | 4.37 | 4.66 | 4.75 | 5.74 | 4.76 | 6.24 | 4.70 | 4.77 | 4.37 | 7.80 | 5.37 | | | |
| | C18 Aewolharmul | 12.70 | 4.88 | 6.06 | 3.87 | 3.82 | 4.55 | 6.37 | 4.34 | 6.78 | 4.67 | 4.54 | 3.82 | 12.70 | 5.69 | | | |
| | C19 Konemul | 16.50 | 2.30 | 5.61 | 2.48 | 4.21 | 21.46 | 6.17 | 23.54 | 6.39 | 18.19 | | 2.30 | 23.54 | 10.69 | | | |
| | C20 Nokgomul | 8.15 | 5.21 | 4.93 | 4.30 | 4.24 | | | | | | | 4.24 | 8.15 | 5.37 | | | |
| | C21 Weadosuwon | 1.77 | 6.65 | 4.53 | 4.93 | 3.54 | 4.16 | 3.25 | 2.96 | 3.08 | 3.37 | | 1.77 | 6.65 | 3.82 | | | |
| | C22 Kumungmul | 2.50 | 4.78 | 4.20 | 4.45 | 3.18 | 3.92 | 3.63 | 3.67 | 3.79 | 3.92 | | 2.50 | 4.78 | 3.80 | | | |
| | C23 Oleamul | 8.28 | 8.66 | 6.57 | 6.90 | 6.16 | 6.51 | 6.46 | 6.98 | 7.27 | 7.65 | | 6.16 | 8.66 | 7.14 | | | |
| | C24 Magŕummul | 4.27 | 8.59 | 7.73 | 7.13 | 5.91 | 5.25 | 2.67 | 1.10 | 1.16 | 5.90 | | 1.10 | 8.59 | 4.97 | | | |

Appendix 11. Concentration of chloride(Cl⁻) in spring water(ppm).

| | | Month | 1994 | | | | | 1995 | | | | | Min | Max | Average |
|----------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | | | |
| High (> 600m) | H1 Baegrogdan | 1.32 | | | | 1.33 | | | 1.29 | | | | 1.29 | 1.33 | 1.31 |
| | H2 Yongjingak | 3.68 | | | | 3.59 | | | 3.62 | | | | 3.59 | 3.68 | 3.63 |
| | H3 Wiseorn | 2.79 | | | | 2.77 | | | 2.79 | | | | 2.77 | 2.79 | 2.78 |
| | H4 Yunggil | 3.58 | 4.01 | 4.78 | 3.75 | 4.63 | 3.58 | 1.18 | 4.78 | 5.98 | 4.78 | | 1.18 | 5.98 | 4.11 |
| | H5 Öremok | 4.79 | 4.73 | 3.00 | 2.32 | 3.56 | 4.16 | 4.16 | 5.31 | 4.57 | 4.73 | | 2.32 | 5.31 | 4.13 |
| | H6 Chunwangsa | 7.09 | 3.10 | 3.51 | 4.47 | 4.80 | 5.94 | 3.66 | 2.41 | 3.21 | 4.80 | | 2.41 | 7.09 | 4.30 |
| | H7 Gwaneumsa | 7.32 | 3.65 | 5.54 | 5.00 | 4.98 | 5.54 | 5.64 | 4.45 | 5.04 | 4.84 | | 3.65 | 7.32 | 5.20 |
| | H8 Sungpanark | 3.89 | 4.58 | 2.51 | 1.97 | 3.20 | 2.97 | 3.43 | 2.97 | 3.43 | 2.51 | 4.61 | 1.97 | 4.61 | 3.28 |
| | H9 Nanguksunwon | 3.00 | 2.90 | 3.06 | 3.04 | 3.03 | 3.02 | 3.01 | 3.00 | 3.02 | 3.01 | | 2.90 | 3.06 | 3.01 |
| Middle (200-600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 10.82 | 9.37 | 7.74 | 9.85 | 10.82 | 8.40 | 7.74 | 10.82 | 9.50 |
| | M2 Myeongdoarm | 11.04 | 11.28 | 13.00 | 9.65 | 10.14 | 13.00 | 12.26 | 12.95 | 10.55 | 11.28 | | 9.65 | 13.00 | 11.52 |
| | M3 Jealmul | 8.25 | 11.05 | 9.45 | 6.97 | 6.94 | 9.65 | 10.25 | 9.65 | 9.85 | 9.25 | | 6.94 | 11.05 | 9.13 |
| | M4 Donneako | 6.93 | 12.81 | 4.72 | 4.29 | 4.45 | 6.74 | 5.98 | 7.75 | 5.98 | 6.74 | | 4.29 | 12.81 | 6.64 |
| | M5 Wornansa | 6.21 | 5.92 | 5.34 | 4.47 | 5.34 | 5.92 | 5.05 | 5.05 | 6.21 | 5.34 | | 4.47 | 6.21 | 5.49 |
| | M6 Yusuarmchun | 19.67 | 18.39 | 16.44 | 17.87 | 16.37 | 16.83 | 16.36 | 17.58 | 16.88 | 16.13 | 19.62 | 16.13 | 19.67 | 17.47 |
| Low (10-200m) | L1 Keumsansuwon | 20.05 | 34.33 | 19.60 | 23.48 | 15.72 | 17.08 | 15.33 | 27.43 | 29.54 | 33.95 | | 15.33 | 34.33 | 23.65 |
| | L2 Youngchunsa | 22.19 | 22.42 | 21.32 | 21.44 | 22.42 | 22.26 | 21.72 | 29.07 | 28.84 | 28.92 | | 21.32 | 29.07 | 24.06 |
| | L3 Jungbangsuwon | 8.69 | 8.95 | 8.62 | 9.47 | 9.25 | 9.01 | 8.66 | 8.82 | 8.44 | 8.95 | | 8.44 | 9.47 | 8.89 |
| | L4 Chunjiyon | 10.81 | 10.71 | 10.46 | 9.11 | 7.12 | 10.36 | 10.29 | 10.79 | 10.55 | 10.84 | | 7.12 | 10.84 | 10.10 |
| | L5 Burhwansomul | 13.25 | 11.04 | 8.47 | 13.72 | 8.72 | 8.24 | 7.43 | 11.15 | 10.57 | 12.20 | | 7.43 | 13.72 | 10.48 |
| | L6 Woonyangchun | 28.36 | 21.73 | 16.55 | 19.65 | 17.08 | 16.00 | 14.46 | 19.27 | 17.27 | 24.73 | 27.25 | 14.46 | 28.36 | 20.21 |
| | L7 Kangjungsuwon | 8.69 | 7.15 | 6.66 | 7.68 | 6.23 | 6.62 | 6.51 | 6.66 | 6.33 | 7.06 | | 6.23 | 8.69 | 6.96 |
| | L8 Bebhwasu | 12.86 | 11.93 | 11.59 | 11.97 | 11.21 | 11.00 | 10.62 | 12.43 | 13.36 | 13.19 | | 10.62 | 13.36 | 12.02 |
| | L9 Harwontongmul | 49.98 | 46.78 | 48.39 | 40.02 | 34.17 | 32.96 | 33.01 | 49.28 | 49.23 | 50.01 | | 32.96 | 50.01 | 43.38 |
| | L10 Donghearmul | 32.61 | 17.33 | 14.96 | 15.72 | 11.39 | 10.78 | 10.05 | 18.69 | 18.15 | 23.24 | | 10.05 | 32.61 | 17.29 |
| | L11 Saekdalsengsu | 26.44 | 25.09 | 23.15 | 21.44 | 19.40 | 18.10 | 16.59 | 24.25 | 22.48 | 23.91 | 27.78 | 16.59 | 27.78 | 22.60 |
| | L12 Andukkyekok | 48.51 | 45.06 | 45.86 | 33.77 | 34.88 | 33.77 | 33.08 | 38.72 | 41.60 | 37.91 | 39.41 | 33.08 | 48.51 | 39.32 |
| | L13 Donmul | 55.30 | 37.19 | 32.36 | 31.45 | 18.51 | 19.37 | 18.08 | 42.57 | 35.33 | 48.88 | 55.01 | 18.08 | 55.30 | 35.82 |
| | L14 Jangsumul | 28.89 | 38.90 | 25.49 | 23.94 | 23.85 | 33.43 | 29.60 | 30.95 | 32.35 | 34.52 | 47.10 | 23.85 | 47.10 | 31.73 |
| | L15 Kusumul | | | | | | 29.69 | 26.30 | 27.43 | 26.02 | 26.87 | 49.43 | 26.02 | 49.43 | 30.96 |
| | L16 Dukjisemmul | 29.07 | | | | | | | | | | | 29.07 | 29.07 | 29.07 |
| Coast (<10m) | C1 Sanjimul | 13.13 | 14.97 | 10.83 | 13.59 | 11.75 | 12.67 | 11.29 | 14.07 | 16.18 | 14.97 | | 10.83 | 16.18 | 13.35 |
| | C2 Samyang3suwon | 1203.93 | 991.08 | 302.87 | 62.18 | 45.56 | 25.85 | 23.59 | | | | | 23.59 | 1203.93 | 379.29 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 305.35 | 192.91 | 356.28 | 62.18 | 73.32 | 74.39 | 446.29 | 703.33 | 474.75 | 359.81 | | 62.18 | 703.33 | 304.86 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 407.36 | 376.93 | 418.85 | 107.20 | 103.22 | 92.97 | 383.97 | 640.00 | 524.00 | 375.17 | | 92.97 | 640.00 | 342.97 |
| | C5 Meungbubsa | 1288.20 | 1371.17 | 1258.61 | 993.39 | 1247.89 | 1108.53 | 904.84 | 1376.53 | 1740.74 | 864.64 | | 864.64 | 1740.74 | 1215.45 |
| | C6 Semurungmul | 1027.34 | 1971.47 | 2420.09 | 1938.55 | 1887.94 | 1909.49 | 1974.42 | 1930.74 | 2374.00 | 1808.44 | | 1027.34 | 2420.09 | 1904.25 |
| | C7 Tosanmul | 117.18 | 254.60 | 270.89 | 132.90 | 119.60 | 257.09 | 134.84 | 309.52 | 305.95 | 284.96 | | 117.18 | 309.52 | 218.75 |
| | C8 Gongchunpo | 13.35 | 10.67 | 53.78 | 10.18 | 8.72 | 8.23 | 8.23 | 12.06 | 11.16 | 13.35 | 12.13 | 8.23 | 53.78 | 14.71 |
| | C9 Dot mul | 30.96 | 31.26 | 30.66 | 31.80 | 30.96 | 30.84 | 30.61 | 31.73 | 30.86 | 31.85 | 32.02 | 30.61 | 32.02 | 31.23 |
| | C10 Harkangmul | 42.54 | 38.44 | 32.13 | 32.16 | 38.44 | 35.92 | 32.13 | 40.96 | 38.76 | 45.38 | 50.42 | 32.13 | 50.42 | 38.84 |
| | C11 Sineukmul | 16.13 | 12.00 | 11.65 | 12.86 | 14.41 | 13.55 | 13.03 | 13.55 | 12.69 | 14.07 | 19.31 | 11.65 | 19.31 | 13.93 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 13.29 | 11.07 | 7.65 | 16.79 | 12.28 | 10.56 | 8.85 | 13.47 | 12.78 | 16.20 | 22.79 | 7.65 | 22.79 | 13.25 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 14.18 | 14.17 | 9.90 | 12.69 | 9.97 | 9.04 | 6.48 | 15.53 | 14.17 | 19.46 | 18.18 | 6.48 | 19.46 | 13.07 |
| | C14 Jungkeummul | 2091.56 | 249.38 | 2102.61 | 90.76 | 1836.54 | 1810.02 | 2074.59 | 2136.84 | 1047.44 | 549.43 | 218.56 | 90.76 | 2136.84 | 1291.61 |
| | C15 Hallimsuwon | 16.84 | 16.69 | 15.16 | 15.01 | 14.06 | 13.97 | 13.55 | 16.61 | 17.12 | 17.37 | | 13.55 | 17.37 | 15.64 |
| | C16 Moondumul | 18.50 | 18.83 | 17.22 | 24.30 | 18.51 | 17.22 | 15.29 | 6.93 | 11.11 | 12.40 | 14.01 | 6.93 | 24.30 | 15.85 |
| | C17 Kwakgimul | 351.66 | 111.09 | 234.28 | 57.17 | 84.71 | 96.67 | 181.07 | 83.70 | 232.10 | 91.95 | 98.24 | 57.17 | 351.66 | 147.51 |
| | C18 Aewolharmul | 680.64 | 105.16 | 199.59 | 28.94 | 27.05 | 79.49 | 224.34 | 62.60 | 256.71 | 88.97 | 76.49 | 27.05 | 680.64 | 166.36 |
| | C19 Konemul | 659.37 | 22.94 | 135.03 | 18.94 | 69.44 | 877.93 | 161.32 | 975.55 | 90.03 | 724.69 | | 18.94 | 975.55 | 373.52 |
| | C20 Nokgomul | 226.88 | 64.42 | 49.18 | 12.86 | 14.24 | | | | | | | 12.86 | 226.88 | 73.52 |
| | C21 Weadosuwon | 5.32 | 13.02 | 9.85 | 10.18 | 8.19 | 9.29 | 7.93 | 8.09 | 9.85 | 8.11 | | 5.32 | 13.02 | 8.98 |
| | C22 Kumungmul | 9.57 | 10.12 | 9.30 | 9.65 | 7.83 | 8.89 | 8.48 | 8.53 | 8.71 | 8.89 | | 7.83 | 10.12 | 9.00 |
| | C23 Oleamul | 157.65 | 186.58 | 20.97 | 17.87 | 15.66 | 15.74 | 11.88 | 61.19 | 92.84 | 106.12 | | 11.88 | 186.58 | 68.65 |
| | C24 Magunmul | 16.70 | 20.90 | 20.11 | 18.40 | 17.44 | 17.83 | 15.44 | 13.36 | 14.07 | 18.42 | | 13.36 | 20.90 | 17.27 |

Appendix 12. Concentration of sulphate(SO₄²⁻) in spring water(ppm).

| Station | Month | | | | | | | | | | | Min | Max | Average |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|
| | 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | | | |
| | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | 1995 | 1995 | 1995 | 1995 | | | |
| | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | June | | | |
| H1 Baegrogdan | 0.00 | | | | 0.00 | | | 0.00 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2 Yongjingak | 0.00 | | | | 0.00 | | | 0.00 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H3 Wiseorn | 0.30 | | | | 0.00 | | | 0.00 | | | | 0.00 | 0.30 | 0.10 |
| H4 Yunguil | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.32 | 1.74 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 2.32 | 0.41 |
| H5 Öremok | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H6 Chunwangsa | 1.17 | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 1.31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 1.60 | 0.41 |
| H7 Gwaneumsa | 0.88 | 0.63 | 2.47 | 2.18 | 1.89 | 2.47 | 2.57 | 1.41 | 1.99 | 1.79 | | 0.63 | 2.57 | 1.83 |
| H8 Sungpanark | 0.78 | 0.97 | 0.45 | 1.89 | 0.59 | 0.40 | 2.17 | 1.36 | 2.17 | 1.10 | 0.00 | 0.00 | 2.17 | 1.08 |
| H9 Nanguksunwon | 0.00 | 0.00 | 0.42 | 2.46 | 1.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 2.46 | 0.39 |
| M1 Sanchundan | | | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| M2 Myeongdoarm | 0.30 | 0.46 | 1.58 | 1.74 | 1.74 | 1.58 | 1.10 | 1.58 | 1.89 | 0.46 | | 0.30 | 1.89 | 1.24 |
| M3 Jealmul | 1.30 | 6.66 | 1.74 | 4.48 | 1.31 | 2.35 | 4.20 | 2.35 | 2.97 | 1.12 | | 1.12 | 6.66 | 2.85 |
| M4 Donneako | 1.60 | 0.97 | 1.79 | 1.89 | 1.74 | 1.59 | 1.67 | 1.49 | 1.67 | 1.59 | | 0.97 | 1.89 | 1.60 |
| M5 Wonmansa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.90 | 0.88 | 0.00 | 0.50 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 1.90 | 0.43 |
| M6 Yusuarmchun | 3.76 | 4.04 | 4.70 | 4.25 | 4.34 | 4.57 | 4.72 | 4.19 | 5.49 | 4.80 | 3.86 | 3.76 | 5.49 | 4.43 |
| L1 Keumsansuwon | 3.76 | 11.47 | 3.55 | 5.64 | 1.47 | 2.20 | 1.26 | 10.10 | 8.66 | 11.27 | | 1.26 | 11.47 | 5.94 |
| L2 Youngchunsa | 1.45 | 1.74 | 0.39 | 2.32 | 1.74 | 1.55 | 0.87 | 1.96 | 1.74 | 1.84 | | 0.39 | 2.32 | 1.56 |
| L3 Jungbangsuwon | 1.02 | 3.24 | 3.78 | 2.18 | 3.18 | 3.15 | 3.71 | 3.46 | 3.47 | 3.24 | | 1.02 | 3.78 | 3.04 |
| L4 Chunjiyön | 2.32 | 2.14 | 1.71 | 2.69 | 2.32 | 1.52 | 1.40 | 2.29 | 1.86 | 2.38 | | 1.40 | 2.69 | 2.06 |
| L5 Burhwansomul | 0.73 | 2.27 | 0.58 | 4.05 | 0.73 | 0.42 | 0.12 | 2.35 | 1.97 | 3.05 | | 0.12 | 4.05 | 1.63 |
| L6 Woonyangchun | 2.32 | 2.94 | 3.46 | 5.35 | 3.47 | 3.52 | 3.68 | 3.19 | 3.39 | 2.63 | 2.46 | 2.32 | 5.35 | 3.31 |
| L7 Kangjungsuwon | 1.31 | 1.55 | 2.72 | 2.75 | 1.74 | 2.82 | 3.09 | 2.72 | 3.62 | 1.76 | | 1.31 | 3.62 | 2.41 |
| L8 Bebhwas | 4.51 | 3.27 | 2.82 | 3.33 | 2.32 | 2.04 | 1.53 | 3.95 | 1.46 | 4.96 | | 1.46 | 4.96 | 3.02 |
| L9 Harwontongmul | 1.31 | 1.20 | 0.98 | 1.89 | 0.50 | 0.30 | 0.50 | 1.00 | 1.63 | 1.70 | | 0.30 | 1.89 | 1.10 |
| L10 Donghearmul | 0.30 | 3.68 | 2.71 | 3.33 | 1.02 | 0.99 | 0.69 | 4.24 | 7.51 | 6.11 | | 0.30 | 7.51 | 3.06 |
| L11 Saekdalsengsu | 7.26 | 6.84 | 6.25 | 6.07 | 4.91 | 4.70 | 4.24 | 6.59 | 6.04 | 6.48 | 2.90 | 2.90 | 7.26 | 5.66 |
| L12 Andukkyekok | 7.22 | 6.95 | 7.04 | 5.35 | 8.23 | 5.58 | 5.50 | 6.18 | 6.53 | 6.08 | 6.64 | 5.35 | 8.23 | 6.48 |
| L13 Donmul | 23.07 | 13.55 | 11.57 | 10.10 | 15.00 | 8.21 | 7.68 | 15.77 | 12.79 | 18.37 | 19.03 | 7.68 | 23.07 | 14.10 |
| L14 Jangsumul | 3.04 | 3.94 | 2.93 | 3.04 | 2.90 | 3.53 | 3.24 | 5.06 | 4.05 | 3.61 | 2.75 | 2.75 | 5.06 | 3.46 |
| L15 Kusimul | | | | | | 4.62 | 4.22 | 5.35 | 4.19 | 4.29 | 6.93 | 4.19 | 6.93 | 4.93 |
| L16 Dukjisemmul | 8.08 | 9.07 | 8.05 | | | | | | | | | 8.05 | 9.07 | 8.40 |
| C1 Sanjimul | 4.97 | 6.01 | 3.67 | 5.23 | 4.19 | 4.71 | 3.93 | 5.49 | 3.47 | 6.01 | | 3.47 | 6.01 | 4.77 |
| C2 Samyang3suwon | 230.56 | 189.27 | 55.69 | 8.80 | 5.92 | 1.92 | 1.48 | | | | | 1.48 | 230.56 | 70.52 |
| C3 Sinch'onk'nmul1 | 120.19 | 34.84 | 62.82 | 12.12 | 14.71 | 14.54 | 78.23 | 130.85 | 76.67 | 63.42 | | 12.12 | 130.85 | 60.84 |
| C4 Sinch'onk'nmul2 | 151.31 | 56.23 | 62.70 | 17.31 | 17.02 | 12.44 | 57.32 | 127.68 | 67.45 | 55.96 | | 12.44 | 151.31 | 62.54 |
| C5 Meungbubsa | 207.50 | 208.19 | 175.51 | 43.96 | 172.40 | 131.95 | 72.83 | 209.74 | 302.61 | 61.16 | | 43.96 | 302.61 | 158.59 |
| C6 Sernurungmul | 152.75 | 382.53 | 491.65 | 374.63 | 362.21 | 367.45 | 383.25 | 372.62 | 368.89 | 294.23 | | 152.75 | 491.65 | 355.02 |
| C7 Tosanmul | 19.09 | 38.21 | 40.48 | 20.91 | 19.76 | 38.56 | 21.55 | 45.85 | 45.40 | 42.43 | | 19.09 | 45.85 | 33.22 |
| C8 Gongchunpo | 1.07 | 0.96 | 2.73 | 1.02 | 0.88 | 0.86 | 0.86 | 0.98 | 0.98 | 1.07 | 1.01 | 0.86 | 2.73 | 1.13 |
| C9 Dot mul | 6.35 | 6.51 | 6.19 | 3.47 | 7.80 | 6.28 | 6.16 | 6.77 | 6.30 | 6.84 | 6.93 | 3.47 | 7.80 | 6.33 |
| C10 Harkangmul | 10.82 | 10.97 | 10.21 | 7.65 | 10.97 | 10.67 | 10.21 | 11.27 | 11.01 | 11.80 | 12.41 | 7.65 | 12.41 | 10.73 |
| C11 Sineukmul | 6.21 | 6.67 | 7.25 | 3.62 | 2.32 | 4.05 | 4.92 | 4.05 | 5.50 | 3.17 | 4.48 | 2.32 | 7.25 | 4.75 |
| C12 Serlimsuwon1 | 7.36 | 5.46 | 2.43 | 11.83 | 6.07 | 5.01 | 3.49 | 7.59 | 6.98 | 10.01 | 5.63 | 2.43 | 11.83 | 6.53 |
| C13 Serlimsuwon2 | 4.63 | 4.61 | 5.51 | 5.06 | 5.49 | 5.69 | 6.23 | 4.33 | 4.61 | 3.50 | 3.76 | 3.50 | 6.23 | 4.86 |
| C14 Jungkeummul | 304.05 | 46.31 | 296.46 | 28.40 | 144.11 | 256.97 | 292.68 | 301.09 | 154.04 | 86.81 | 40.79 | 28.40 | 304.05 | 177.43 |
| C15 Hallimsuwon | 3.76 | 3.79 | 4.34 | 4.34 | 4.77 | 4.77 | 4.92 | 3.82 | 3.64 | 3.55 | | 3.55 | 4.92 | 4.17 |
| C16 Moondumul | 3.90 | 4.88 | 4.50 | 6.21 | 4.77 | 4.50 | 4.03 | 2.02 | 3.03 | 3.34 | 5.20 | 2.02 | 6.21 | 4.22 |
| C17 Kwakgimul | 52.75 | 15.73 | 34.26 | 6.79 | 11.97 | 13.56 | 26.25 | 10.68 | 38.34 | 12.85 | 12.41 | 6.79 | 52.75 | 21.42 |
| C18 Aewolharmul | 72.49 | 12.78 | 21.83 | 8.66 | 5.20 | 10.32 | 24.20 | 8.37 | 42.67 | 11.23 | 10.53 | 5.20 | 72.49 | 20.75 |
| C19 Konemul | 87.62 | 8.28 | 27.21 | 5.06 | 19.20 | 117.90 | 30.42 | 129.82 | 33.30 | 99.19 | | 5.06 | 129.82 | 55.80 |
| C20 Nokgomul | 34.16 | 12.70 | 10.68 | 4.05 | 6.07 | | | | | | | 4.05 | 34.16 | 13.53 |
| C21 Weadosuwon | 0.00 | 2.50 | 2.10 | 2.32 | 2.18 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 2.50 | 1.11 |
| C22 Kumungmul | 2.18 | 4.96 | 3.88 | 4.34 | 3.47 | 3.34 | 2.80 | 2.87 | 3.11 | 3.34 | | 2.18 | 4.96 | 3.43 |
| C23 Ojeamul | 22.20 | 25.78 | 5.03 | 5.06 | 2.90 | 4.37 | 3.89 | 8.52 | 11.83 | 15.70 | | 2.90 | 25.78 | 10.53 |
| C24 Magönmul | 4.05 | 7.46 | 6.78 | 6.79 | 4.34 | 4.83 | 2.81 | 4.34 | 5.06 | 5.34 | | 2.81 | 7.46 | 5.18 |

Appendix 13. Concentration of nitrate-nitrogen($\text{NO}_3^- - \text{N}$) in spring water(ppm).

| | | water (ppm). | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Month | | 1994 | | | | | 1995 | | | | | | | | |
| Station | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | 1995 Mar. | Apr. | May | June | Min | Max | Average |
| High (> 600m) | H1 Baegrodam | 0.00 | | | | 0.00 | | | 0.00 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | H2 Yongjingak | 0.08 | | | | 0.04 | | | 0.00 | | | | 0.00 | 0.08 | 0.04 |
| | H3 Wiseorn | 0.09 | | | | 0.03 | | | 0.00 | | | | 0.00 | 0.09 | 0.04 |
| | H4 Yunguil | 0.21 | 0.23 | 0.27 | 0.23 | 0.20 | 0.23 | 0.16 | 0.27 | 0.30 | 0.27 | | 0.16 | 0.30 | 0.24 |
| | H5 Öremok | 0.19 | 0.13 | 0.18 | 0.14 | 0.16 | 0.14 | 0.14 | 0.11 | 0.11 | 0.13 | | 0.11 | 0.19 | 0.14 |
| | H6 Chunwangsa | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.32 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | | 0.00 | 0.32 | 0.08 |
| | H7 Gwaneumsa | 0.34 | 0.50 | 0.42 | 0.43 | 0.45 | 0.42 | 0.42 | 0.47 | 0.44 | 0.45 | | 0.34 | 0.50 | 0.43 |
| | H8 Sungpanark | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.17 | 0.08 | 0.10 | 0.80 | 0.60 | 0.00 | 0.10 | | 0.00 | 0.80 | 0.20 |
| | H9 Namguksunwon | 0.13 | 0.10 | 0.09 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.05 | 0.09 | 0.06 | | 0.05 | 0.13 | 0.08 |
| Middle (200-600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 0.40 | 0.32 | 0.25 | 0.35 | 0.40 | 0.27 | 0.25 | 0.40 | 0.33 |
| | M2 Myeongdoarm | 1.42 | 2.31 | 2.83 | 2.90 | 1.48 | 2.83 | 2.61 | 2.83 | 2.09 | 2.31 | | 1.42 | 2.90 | 2.36 |
| | M3 Jealmul | 0.81 | 1.00 | 0.89 | 0.62 | 0.75 | 0.91 | 0.95 | 0.91 | 0.92 | 0.88 | | 0.62 | 1.00 | 0.86 |
| | M4 Donneako | 4.14 | 7.23 | 3.11 | 4.98 | 3.24 | 4.14 | 3.75 | 4.65 | 3.75 | 4.14 | | 3.11 | 7.23 | 4.31 |
| | M5 Womansa | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.10 | | 0.09 | 0.12 | 0.10 |
| | M6 Yusuarmchun | 9.12 | 8.40 | 7.29 | 4.49 | 7.01 | 7.51 | 7.25 | 7.78 | 7.26 | 7.11 | 10.95 | 4.49 | 10.95 | 7.65 |
| Low (10-200m) | L1 Keumsansuwon | 4.85 | 6.47 | 4.80 | 5.24 | 4.37 | 4.52 | 4.32 | 5.75 | 5.88 | 6.43 | | 4.32 | 6.47 | 5.26 |
| | L2 Youngchunsa | 9.64 | 10.16 | 7.75 | 11.19 | 16.33 | 9.81 | 8.61 | 24.78 | 24.26 | 24.43 | | 7.75 | 24.78 | 14.70 |
| | L3 Jungbangsuwon | 3.52 | 4.59 | 2.36 | 8.36 | 3.77 | 4.98 | 2.62 | 3.67 | 2.40 | 4.59 | | 2.36 | 8.36 | 4.09 |
| | L4 Chunjiyön | 6.70 | 5.26 | 3.40 | 7.29 | 4.59 | 2.61 | 2.08 | 5.92 | 3.78 | 6.32 | | 2.08 | 7.29 | 4.80 |
| | L5 Burhwansosmul | 7.82 | 6.78 | 4.76 | 9.55 | 5.01 | 4.58 | 3.93 | 6.88 | 5.29 | 7.71 | | 3.93 | 9.55 | 6.23 |
| | L6 Woonyangchun | 26.13 | 18.62 | 15.43 | 17.84 | 15.43 | 15.10 | 14.15 | 17.11 | 15.88 | 20.47 | 21.31 | 14.15 | 26.13 | 17.95 |
| | L7 Kangjungsuwon | 4.56 | 4.12 | 2.94 | 5.41 | 2.80 | 2.83 | 2.56 | 2.94 | 2.13 | 3.91 | | 2.13 | 5.41 | 3.42 |
| | L8 Bebhwasä | 8.07 | 8.08 | 8.05 | 8.02 | 8.08 | 8.00 | 7.97 | 8.12 | 8.05 | 8.18 | | 7.97 | 8.18 | 8.06 |
| | L9 Harwontongmul | 40.83 | 35.59 | 38.21 | 40.57 | 15.15 | 13.19 | 13.19 | 39.65 | 39.52 | 40.83 | | 13.19 | 40.83 | 31.67 |
| | L10 Dongheumul | 28.28 | 13.55 | 11.21 | 13.60 | 6.44 | 7.06 | 6.33 | 14.90 | 14.36 | 19.41 | | 6.33 | 28.28 | 13.51 |
| | L11 Saekdalsengsu | 23.85 | 22.76 | 21.19 | 20.71 | 17.64 | 17.09 | 15.87 | 22.07 | 20.64 | 21.80 | 24.53 | 15.87 | 24.53 | 20.74 |
| | L12 Andukkyekok | 34.10 | 32.26 | 32.72 | 28.44 | 26.05 | 25.79 | 25.40 | 28.63 | 30.28 | 28.17 | 29.44 | 25.40 | 34.10 | 29.21 |
| | L13 Donmul | 38.80 | 33.64 | 32.33 | 29.50 | 29.40 | 28.80 | 28.45 | 35.10 | 33.13 | 36.81 | 44.18 | 28.45 | 44.18 | 33.65 |
| | L14 Jangsumul | 8.24 | 11.70 | 6.33 | 7.83 | 5.66 | 9.51 | 7.97 | 7.97 | 9.22 | 9.95 | 17.16 | 5.66 | 17.16 | 9.23 |
| | L15 Kusumul | | | | | | | | 4.78 | 5.66 | 6.22 | 14.45 | 4.78 | 14.45 | 7.78 |
| | L16 Dukjisemmul | 16.41 | 18.42 | 15.64 | | | | | | | | | 15.64 | 18.42 | 16.82 |
| Coast (<100 m) | C1 Sanjimul | 2.92 | 3.36 | 2.37 | 3.03 | 4.61 | 2.81 | 2.48 | 3.14 | 3.26 | 3.36 | | 2.37 | 4.61 | 3.13 |
| | C2 Samyang3suwon | 3.32 | 3.68 | 5.01 | 6.41 | 5.51 | 5.54 | 5.55 | | | | | 3.32 | 6.41 | 5.00 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 6.60 | 8.79 | 7.10 | 9.99 | 10.11 | 9.97 | 7.20 | 6.90 | 6.97 | 7.40 | | 6.60 | 10.11 | 8.10 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 6.57 | 6.40 | 6.78 | 8.41 | 3.92 | 3.81 | 6.46 | 6.66 | 7.82 | 6.38 | | 3.81 | 8.41 | 6.32 |
| | C5 Meungbubsa | 0.82 | 0.82 | 0.74 | 0.61 | 0.73 | 0.63 | 0.47 | 0.83 | 1.07 | 0.44 | | 0.44 | 1.07 | 0.72 |
| | C6 Sernurungmul | 1.73 | 1.18 | 0.91 | 0.54 | 1.23 | 1.21 | 1.18 | 1.20 | 1.21 | 1.39 | | 0.54 | 1.73 | 1.18 |
| | C7 Tosanmul | 4.03 | 6.13 | 6.38 | 4.32 | 4.02 | 6.17 | 4.30 | 6.97 | 3.08 | 6.60 | | 3.08 | 6.97 | 5.20 |
| | C8 Gongchunpo | 8.10 | 6.89 | 9.36 | 7.55 | 6.01 | 5.79 | 5.79 | 7.11 | 7.11 | 8.10 | 7.79 | 5.79 | 9.36 | 7.24 |
| | C9 Dot mul | 20.43 | 21.91 | 18.95 | 30.18 | 22.56 | 19.81 | 18.70 | 24.25 | 19.94 | 24.87 | 25.73 | 18.70 | 30.18 | 22.48 |
| | C10 Harkangmul | 20.11 | 17.57 | 13.90 | 5.34 | 3.49 | 16.10 | 13.90 | 19.03 | 17.75 | 21.60 | 22.90 | 3.49 | 22.90 | 15.61 |
| | C11 Sineukmul | 4.23 | 4.20 | 3.85 | 5.32 | 6.64 | 5.81 | 5.28 | 5.81 | 4.92 | 6.35 | 3.98 | 3.85 | 6.64 | 5.13 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 3.76 | 3.63 | 1.80 | 7.46 | 4.05 | 3.35 | 2.44 | 4.91 | 4.54 | 6.37 | 6.09 | 1.80 | 7.46 | 4.40 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 4.11 | 4.62 | 3.44 | 5.43 | 3.40 | 3.20 | 2.49 | 5.00 | 4.62 | 6.09 | 5.56 | 2.49 | 6.09 | 4.36 |
| | C14 Jungkeummul | 9.41 | 6.26 | 9.32 | 6.02 | 2.30 | 8.83 | 9.27 | 9.37 | 7.57 | 6.75 | 10.67 | 2.30 | 10.67 | 7.80 |
| | C15 Hallimsuwon | 5.88 | 5.85 | 5.36 | 9.09 | 4.97 | 4.97 | 4.83 | 5.82 | 5.99 | 6.07 | | 4.83 | 9.09 | 5.88 |
| | C16 Moondumul | 7.17 | 8.04 | 7.75 | 8.96 | 8.18 | 7.75 | 7.40 | 5.88 | 6.64 | 6.88 | 8.31 | 5.88 | 8.96 | 7.54 |
| | C17 Kwakgimul | 2.38 | 3.31 | 2.14 | 4.16 | 3.04 | 3.45 | 2.65 | 2.07 | 2.33 | 3.49 | 3.30 | 2.07 | 4.16 | 2.94 |
| | C18 Aewolharmul | 2.33 | 4.40 | 4.10 | 4.80 | 4.10 | 4.80 | 2.80 | 2.02 | 2.06 | 5.10 | 4.90 | 2.02 | 5.10 | 3.76 |
| | C19 Konemul | 1.03 | 1.72 | 1.54 | 1.89 | 1.62 | 0.68 | 1.51 | 0.57 | 1.29 | 0.86 | | 0.57 | 1.89 | 1.27 |
| | C20 Nokgomul | 4.35 | 4.58 | 4.60 | 4.65 | 4.43 | | | | | | | 4.35 | 4.65 | 4.52 |
| | C21 Weadosuwon | 1.13 | 7.62 | 4.77 | 5.43 | 3.20 | 4.26 | 3.03 | 1.65 | 2.50 | 3.20 | | 1.13 | 7.62 | 3.68 |
| | C22 Kumungmul | 2.46 | 5.48 | 4.47 | 4.90 | 6.00 | 3.96 | 3.45 | 3.53 | 3.74 | 3.96 | | 2.46 | 6.00 | 4.20 |
| | C23 Oleamul | 3.50 | 3.80 | 6.20 | 6.53 | 4.50 | 5.20 | 4.40 | 2.92 | 2.80 | 3.00 | | 2.80 | 6.53 | 4.29 |
| | C24 Magörmul | 3.73 | 7.29 | 6.76 | 6.71 | 5.18 | 5.23 | 3.63 | 2.98 | 5.23 | 5.63 | | 2.98 | 7.29 | 5.24 |

Appendix 14. Concentration of bicarbonate(HCO_3^-) in spring water(ppm).

| Station | Month | 1994 | | | | | | 1995 | | | | Min | Max | Average |
|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Mar. | Apr. | May | | | |
| H1 | Baegrogdam | 1.84 | | | | 1.88 | | | 1.88 | | | 1.84 | 1.88 | 1.87 |
| H2 | Yongjingak | 6.58 | | | | 6.44 | | | 6.57 | | | 6.44 | 6.58 | 6.53 |
| H3 | Wiseorm | 4.47 | | | | 4.44 | | | 4.57 | | | 4.44 | 4.57 | 4.49 |
| High (> 600m) | H4 Yungsil | 15.26 | 18.69 | 18.16 | 18.69 | 16.58 | 17.37 | 15.79 | 18.16 | 18.42 | 18.16 | 15.26 | 18.69 | 17.53 |
| | H5 Öremok | 14.47 | 19.48 | 20.79 | 21.32 | 19.48 | 17.11 | 15.79 | 16.58 | 16.58 | 19.48 | 14.47 | 21.32 | 18.11 |
| | H6 Chunwangsa | 7.63 | 10.53 | 14.21 | 16.05 | 14.47 | 18.16 | 14.74 | 11.32 | 10.53 | 0.41 | 0.41 | 18.16 | 11.81 |
| | H7 Gwaneumsa | 28.95 | 15.53 | 26.32 | 25.00 | 22.11 | 22.11 | 22.37 | 18.16 | 20.26 | 19.48 | 15.53 | 28.95 | 22.03 |
| | H8 Sungpanark | 13.42 | 15.79 | 21.05 | 16.84 | 17.63 | 18.69 | 16.05 | 18.69 | 16.05 | 21.32 | 18.16 | 13.42 | 21.32 |
| | H9 Namguksunwon | 5.79 | 10.00 | 14.21 | 18.16 | 14.21 | 11.84 | 11.05 | 10.26 | 11.84 | 10.79 | 5.79 | 18.16 | 11.82 |
| Middle (200-600m) | M1 Sanchundan | | | | | | 25.05 | 25.79 | 25.00 | 27.63 | 25.53 | 21.32 | 27.63 | 25.05 |
| | M2 Myeongdoarm | 22.37 | 21.32 | 29.48 | 26.84 | 29.48 | 29.48 | 26.84 | 29.48 | 21.05 | 23.42 | 21.05 | 29.48 | 25.98 |
| | M3 Jealmul | 31.84 | 39.74 | 36.32 | 37.37 | 37.11 | 36.06 | 37.63 | 36.06 | 37.37 | 35.00 | 31.84 | 39.74 | 36.45 |
| | M4 Donneako | 13.42 | 17.11 | 22.37 | 22.11 | 17.63 | 17.11 | 22.90 | 21.58 | 20.79 | 17.63 | 13.42 | 22.90 | 19.27 |
| | M5 Wonmansa | 7.90 | 18.42 | 21.32 | 23.95 | 22.37 | 18.69 | 21.84 | 21.32 | 17.63 | 20.79 | 7.90 | 23.95 | 19.42 |
| | M6 Yusuarmchun | 28.95 | 35.00 | 39.21 | 39.21 | 42.37 | 41.58 | 43.69 | 38.95 | 29.21 | 44.48 | 31.32 | 28.95 | 44.48 |
| Low (10-200m) | L1 Keumsansuwon | 33.95 | 44.74 | 39.74 | 41.06 | 38.42 | 38.95 | 38.16 | 46.85 | 46.58 | 44.74 | 33.95 | 46.85 | 41.32 |
| | L2 Youngchunsa | 46.85 | 54.48 | 43.42 | 39.74 | 38.95 | 38.16 | 45.00 | 39.74 | 39.21 | 38.95 | 38.16 | 54.48 | 42.45 |
| | L3 Jungbangsuwon | 21.05 | 27.63 | 25.79 | 26.58 | 30.27 | 27.90 | 19.74 | 23.42 | 31.58 | 26.58 | 19.74 | 31.58 | 26.05 |
| | L4 Chunjiyön | 20.53 | 25.27 | 23.95 | 24.21 | 22.11 | 35.27 | 37.63 | 21.58 | 28.95 | 20.00 | 20.00 | 37.63 | 25.95 |
| | L5 Burhwansosmul | 22.37 | 27.63 | 27.90 | 30.00 | 28.95 | 27.63 | 25.00 | 37.63 | 35.53 | 41.06 | 22.37 | 41.06 | 30.37 |
| | L6 Woonyangchun | 9.21 | 23.16 | 23.42 | 24.74 | 24.21 | 32.63 | 35.27 | 27.11 | 30.53 | 17.63 | 15.26 | 9.21 | 35.27 |
| | L7 Kangjungsuwon | 18.95 | 28.69 | 28.42 | 29.21 | 29.74 | 22.63 | 21.84 | 22.90 | 19.74 | 26.05 | 18.95 | 29.74 | 24.82 |
| | L8 Bebhwasu | 45.27 | 39.21 | 38.95 | 34.48 | 34.48 | 33.16 | 30.53 | 42.63 | 30.53 | 47.64 | 30.53 | 47.64 | 37.69 |
| | L9 Harwontongmul | 11.05 | 21.05 | 27.90 | 33.69 | 34.21 | 36.32 | 36.58 | 15.79 | 14.74 | 13.69 | 11.05 | 36.58 | 24.50 |
| | L10 Dongheumul | 26.05 | 34.48 | 34.48 | 36.32 | 34.48 | 34.21 | 33.69 | 38.42 | 38.95 | 41.06 | 26.05 | 41.06 | 35.21 |
| | L11 Saekdalsengsu | 28.16 | 30.00 | 32.63 | 33.69 | 34.74 | 40.00 | 42.11 | 31.06 | 33.69 | 31.58 | 26.32 | 26.32 | 42.11 |
| | L12 Andukkyekok | 23.95 | 32.90 | 35.27 | 38.42 | 37.37 | 39.21 | 39.74 | 35.00 | 32.37 | 35.53 | 28.16 | 23.95 | 39.74 |
| | L13 Donmul | 30.27 | 38.16 | 42.11 | 30.53 | 42.37 | 43.16 | 43.42 | 35.79 | 38.16 | 33.95 | 31.58 | 30.27 | 43.42 |
| | L14 Jangsumul | 50.00 | 31.32 | 60.53 | 54.48 | 58.43 | 49.21 | 54.74 | 61.06 | 45.53 | 47.64 | 28.95 | 28.95 | 61.06 |
| | L15 Kusumul | | | | | | | 51.85 | 56.58 | 50.53 | 54.21 | 28.42 | 28.42 | 56.58 |
| | L16 Dukjiseumul | 36.84 | 40.79 | 39.21 | | | | | | | | 36.84 | 40.79 | 38.95 |
| Coast (<10m) | C1 Sanjumul | | | | | 32.11 | 37.11 | 32.90 | 41.58 | 42.11 | 43.95 | 32.11 | 43.95 | 38.29 |
| | C2 Samyang3suwon | 39.21 | 44.74 | 42.37 | 40.53 | 38.69 | 39.21 | 39.21 | | | | 38.69 | 44.74 | 40.57 |
| | C3 Sinch'onk'nmul1 | 38.16 | 42.37 | 42.63 | 38.42 | 36.06 | 36.84 | 43.42 | 48.42 | 42.11 | 41.58 | 36.06 | 48.42 | 41.00 |
| | C4 Sinch'onk'nmul2 | 37.37 | 41.58 | 43.95 | 38.42 | 36.84 | 35.27 | 42.37 | 44.21 | 45.00 | 42.11 | 35.27 | 45.00 | 40.71 |
| | C5 Meungbubsa | 46.85 | 49.48 | 50.53 | 50.27 | 48.69 | 45.79 | 50.27 | 48.42 | 52.64 | 48.95 | 45.79 | 52.64 | 49.19 |
| | C6 Sernurungmul | 39.48 | 52.37 | 60.27 | 53.69 | 51.85 | 52.11 | 53.16 | 52.64 | 50.53 | 47.90 | 39.48 | 60.27 | 51.40 |
| | C7 Tosanmul | 42.63 | 45.00 | 48.42 | 45.79 | 42.11 | 46.06 | 44.74 | 45.27 | 44.74 | 46.06 | 42.11 | 48.42 | 45.08 |
| | C8 Gongchunpo | 28.42 | 28.42 | 29.21 | 28.16 | 26.32 | 26.32 | 26.05 | 27.37 | 27.11 | 28.42 | 27.63 | 26.05 | 29.21 |
| | C9 Dot mul | 39.48 | 43.95 | 43.95 | 34.48 | 37.11 | 42.11 | 43.42 | 35.00 | 42.11 | 35.53 | 41.58 | 34.48 | 43.95 |
| | C10 Harkangmul | 34.21 | 41.58 | 41.85 | 39.21 | 40.00 | 40.00 | 42.63 | 36.32 | 37.90 | 33.42 | 41.58 | 33.42 | 42.63 |
| | C11 Sineukmul | 32.90 | 32.63 | 30.79 | 37.63 | 34.21 | 40.00 | 37.37 | 40.00 | 35.79 | 42.37 | 38.16 | 30.79 | 42.37 |
| | C12 Serlimsuwon1 | 34.48 | 34.74 | 37.37 | 38.95 | 35.53 | 33.69 | 32.11 | 35.79 | 35.27 | 37.90 | 42.90 | 32.11 | 42.90 |
| | C13 Serlimsuwon2 | 35.53 | 39.74 | 31.58 | 36.06 | 34.21 | 31.06 | 29.21 | 35.53 | 34.48 | 38.16 | 37.37 | 29.21 | 39.74 |
| | C14 Jungkeummul | 55.27 | 50.27 | 58.16 | 50.00 | 53.43 | 55.53 | 57.64 | 57.90 | 52.64 | 55.27 | 51.85 | 50.00 | 58.16 |
| | C15 Hallimsuwon | 45.27 | 50.00 | 52.11 | 52.11 | 50.00 | 50.00 | 47.90 | 48.69 | 51.32 | 52.11 | 45.27 | 52.11 | 49.95 |
| | C16 Moondumul | 48.69 | 49.74 | 50.00 | 49.74 | 47.64 | 49.74 | 49.21 | 50.00 | 49.21 | 49.74 | 52.90 | 47.64 | 52.90 |
| | C17 Kwakgimul | 44.74 | 53.16 | 47.64 | 45.27 | 55.00 | 48.16 | 51.58 | 47.64 | 51.32 | 46.32 | 49.48 | 44.74 | 55.00 |
| | C18 Aewolharmul | 45.00 | 32.90 | 44.74 | 40.79 | 42.11 | 49.48 | 46.85 | 46.85 | 47.90 | 50.79 | 44.48 | 32.90 | 50.79 |
| | C19 Konemul | 45.79 | 45.27 | 44.48 | 44.74 | 45.27 | 45.27 | 45.79 | 45.53 | 44.48 | 45.00 | 44.48 | 45.79 | 45.16 |
| | C20 Nokgomul | 36.84 | 27.63 | 39.21 | 37.37 | 36.84 | 38.16 | 37.37 | | | | 27.63 | 39.21 | 36.20 |
| | C21 Weadosuwon | 13.16 | 32.90 | 31.84 | 29.48 | 30.27 | 23.95 | 20.26 | 31.58 | 34.21 | 20.79 | 13.16 | 34.21 | 26.84 |
| | C22 Kumungmul | 26.32 | 29.21 | 30.53 | 28.42 | 28.95 | 27.37 | 26.84 | 27.11 | 27.37 | 27.37 | 26.32 | 30.53 | 27.95 |
| | C23 Oleamul | 39.74 | 46.85 | 44.74 | 43.69 | 43.42 | 43.16 | 42.63 | 47.37 | 53.43 | 56.85 | 39.74 | 56.85 | 46.19 |
| | C24 Magünmul | 35.53 | 47.37 | 46.32 | 42.37 | 42.11 | 38.69 | 31.32 | 42.63 | 44.74 | 40.53 | 31.32 | 47.37 | 41.16 |

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 끊임없는 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 恩師 윤정수 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다.

아울러 깊은 관심으로 학문의 의미를 음미해주시고 바쁘신 가운데에도 부족한 저의 논문의 체계를 바로 잡아주신 최영찬 교수님, 이준백 교수님, 윤석훈 교수님과 항상 관심을 갖고 조언해주신 고유봉 교수님, 방익찬 교수님께도 감사드립니다.

저에게 수질분석방법 및 원리를 가르쳐주신 보건환경연구원의 오상실선생님과 용출수량 측정에 동참하여 주신 홍명호선생님, 문윤석선생님, 그리고 바쁜 와중에도 전산처리에 도움을 주신 현경훈 선배님과 강양숙선생님, 해양지질실험실 후배들에게도 깊은 감사를 드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 항상 사랑과 희생을 아끼지 않으신 부모님과 사랑하는 아내의 내조는 무엇이라 표현할 수 없는 고마움이며 건강하게 잘 자라주는 아들 인환이에게 이 작은 결실이 조그만 보답이 되었으면 합니다.