

## 濟州道 地下水의 鹽分變化에 대한 考察

金成洪, 申承鐘, 吳相實, 宋榮基, 吳順美, 李信叔, 高貞女, 高賢禎, 高容九

濟州道保健環境研究院 水質保全科

### A survey on the fluctuation of dissolved solids into the groundwater in Chejudo

Kim, S. H., S. J. Shin, S. S. Oh, Y. C. Song, S. M. Oh,  
S. S. Lee, J. N. Koh, H. J. Koh, and Y. K. Koh

*Department of Water Preservation  
Cheju Provincial Institute of Health & Environment*

#### Abstracts

This survey was carried out to take the status of seawater intrusion into groundwater wells located in the eastern area of Chejudo, to get the elementary data which may evaluate the level of would-be groundwater contamination, and to perform effective the effort that will supply the clear water for the residents. The sampling sites were northeastern districts of Haengwon, Handong, and Sangdo, southeastern districts of Susan, Nansan, and Samdal, and northwestern districts, as reference, of Aewol, Keumnung, Panpo, Kosan, Shindo, and Bosung. We collected the samples from the public tap water by month, and analysed electrical conductivity, sodium(Na), potassium(K), magnesium(Mg), calcium(Ca), bicarbonate( $\text{HCO}_3^-$ ), and items of the criteria as drinking water. In the northeastern districts we also added the sampling sites to survey the fluctuations of dissolved solids according to distance from sea-shore, including two private boreholes and one public tap water of Dukchun.

The result is as follows

1) In the northeastern district, the concentration of chloride ion showed large fluctuations from 40mg/l to 100mg/l, but suitable for the criteria of drinking water. It was thought that

the drought influenced.

2) In the Sangdo of the northeastern districts, similar tendency to Hangwon and Handong was showed only in the concentration of chloride ion, but different tendency was showed in chloride-bicarbonate ratio, calcium-magnesium ratio, and sodium adsorption ratio(SAR). Considering these facts, it was not thought that seawater intruded.

3) The components of Na and Cl showed rapid slope in the northeastern districts above 3km from seashore.

4) In the northwestern districts as reference, the concentration of chloride ion fluctuated slightly according to the sampling sites and dates, and the concentration of nitrate-nitrogen in some sites exceeded the criteria of drinking water. These were thought that the surface contaminants rather than the intrusion of seawater influenced mainly the groundwater, considering the correlation( $r=0.732$ ) of chloride ion and nitrate-nitrogen.

5) Then we must consider the regional characteristics of soil profile in order to prevent the contamination of groundwater, and monitor also the movement of main components within the soil profile, not only the research of the intrusion of seawater.

## I. 緒 論

1970년부터 제주도는 수자원개발을 위하여 地下水 개발을 시작한 이래 1991년말 현재 정부 주도하의 地下水 개발공수는 357공, 민간 개발이 1,474공으로 총 1,831개소의 地下水 관정을 굴착하여 680,459m<sup>3</sup>/d의 시설용량을 갖추고 있다. 제주도의 用水量은 인구증가, 관광개발 및 농·수·축산업의 발달로 인하여 매년 증가하고 있으며, 제한된 地下水의 보호와 이의 적절한 활용을 위한 대책이 시급하다. 특히 地下水源의 과다 이용으로 海水의 浸透에 따른 地下水 황폐화는 도서지방에서 흔히 문제가 되는데, 제주도지역의 地下水 보호를 위해서는 이와 관련한 기초조사연구가 필요하다.

제주도의 地下水에 대한 기존의 연구보고를 검토하여 보면, 동부지역에서 鹽素함량이

높게 나타난 이유를 다음과 같은 두 가지로 분석하고 있다. 첫째, 鹽分도가 높은 砂丘(sand dune)나 토양을 통해 강수가 쉽게 함양될 수가 있어 鹽素이온이 높게 나타날 수 있으며, 이들 砂丘나 토양으로부터 침출된 鹽素이온에 의해 하부地下水의 鹽素함량이 증가할 수 있다는 보고와, 둘째, 동부지역은 타지역에 비해 개발초기부터 鹽素이온 함량이 높았기 때문에 담수체내에 포장된 地下水의 비중이 1보다 약간 클 수 있으며, 그렇기 때문에 담수렌즈의 두께가 일반적인 Ghyben-Herzberg 원리에 의거한 두께보다는 얇을 수 있고, 이 지역에서 地下水를 1개 지점에서 장기 채수하여 이용할 때는 upconing 현상에 의해 쉽게 염수가 담수체내로 침입할 수 있으며, 침입된 鹽水는 담수체내에서 쉽게 分散(Hydrodispersion)될 수도 있다고 보고하고 있다.

한편 제주도에서 地下水가 充塡되는 주지역은 降雨分布, 토양의 透水性, 지질학적인 측면으로 보아 고도 200m 이상의 중산간 지대라고 할 수 있다. 이 지역의 토양은 토양 생성학적으로 아직 風化作用이 충분히 일어나지 않은 어린토양(Entisols), 또는 미숙토양(Inceptisols)에 속하며, 발달된 토양이 갖고 있는 고유의 오염물질 濾過能이 극히 작은 토양이다. 따라서 農藥과 비료, 畜産廢水 또는 下水 등에 도달하여 地表環境이 오염되었을 경우 강우와 함께 오염물질이 쉽게 地下水體에 도달하여 지하수체가 오염될 가능성이 크다고 할 수 있다.

동부지역에서의 海水 침입에 관한 연구는 몇몇 학자에 의하여 연구 보고되었으며, 그 심각성이 강조되어 왔다. 海水침입의 여부를 확인하기 위하여 地下水중의 전기전도도, 鹽素이온 농도 및 기타 이온간의 비 또는 함량을 조사하였으며, 일부 환경동위원소법을 이용하여 동부지역의 海水浸透 원인을 해석하였다.

본 연구는 위와 같은 연구의 일환으로서 서북부(NW), 동북부(NE) 및 동남부(SE) 지역에서 음용수 기준 항목을 기준하여 월별로 조사하였으며, 동북부 지역은 海水 침입의 가능성에 중점을 두었고 서북부 지역에서는 질산성 질소의 농도 증가에 중점을 두었다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 재료

시료는 동북부(NE) 지역에서 한동, 행원, 상도 등 3개 지역, 동남부(SE) 지역에서 삼달, 난산, 수산 등 3개 지역, 서북부(NW)

지역에서 애월, 고산, 금능, 판포, 신도, 보성 등 6개 지역에서 월 1회 地下水를 채수하여(그림 1) pH, 색도, 탁도, 맛, 냄새,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_3-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $KMNO_4$  소비량, 중발 잔류물, 경도, Zn, Cu, Fe, Mn,  $Cr^{6+}$ , As, CN, Hg, THM, 有機磷系農藥 4종 일반세균수 및 대장균군 등 음용수기준 33개 항목과  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$  등을 측정하였다.

### 2. 方法

시료의 채취는 조금(潮減) 및 물때를 기준하여 폴리에틸렌 용기로 채수하였으며, 세균 시험용 시료는 멸균된 용기로 채수후 냉장 보관하여 실험실로 운반후 즉시 시험하였다.

1) pH: 시료를 채취하여 실험실로 운반후 즉시 CORNING pH 측정장치(pH meter 120)를 사용하여 측정하였다.

2) 電氣傳導度는 Conductivity Meter (ORION, Model 120)를 사용하여 측정하였다.

3) 陽이온 ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) 및 重金屬은 原子吸光光度計(Perking Elmer, Model 2380)로 측정하였다.

4) 陰이온  $Cl^-$ 은 침전적정법(Argentometry),  $HCO_3^-$ 는 中和적정법(titrant: 0.02N HCl, Indicator: Bromocresol green,  $KHCO_3$ 를 표준물질로 해서 factor를 구함)으로 구하였으며,  $SO_4^{2-}$ 은 濁度法(Turbidometric method)으로 측정하였다.

5) THM은 Purge & Trap 장치(Tekmar, LSC2000)를 이용하여 GC-ECD(Hewlett Packard, HP5890 series II Gas Chromatograph)로 분석하였으며, 유기인계 농약 다이아지논의 3종에 대해서는 GC-FPD를 이

표 1. Characteristics of sampling sites

| Area | Name of sampling site | Distance from sea (m) | Ground EL(m) | Depth of water table(m) |
|------|-----------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|
| NE   | Hangwon(A-2)          | 2,200                 | 85.0         | 120.0                   |
|      | Handong(D-12)         | 1,400                 | 49.3         | 70.0                    |
|      | Sangdo(A-3)           | 5,100                 | 86.0         | 120.0                   |
| SE   | Susan(D-69)           | 8,000                 | 97.5         | 132.0                   |
|      | Nansan(D-194)         | 4,100                 | 90.0         | 102.0                   |
|      | Samdal(W-9)           | 3,500                 | 70.6         | 80.0                    |
| NW   | Bosung(D-3)           | 4,000                 |              |                         |
|      | Shindo(D-56)          | 2,000                 | 30.0         | 100.0                   |
|      | Kosan(D-120)          | 500                   | 10.0         | 80.0                    |
|      | Panpo(D-41)           | 2,600                 | 40.0         | 61.0                    |
|      | Keumnung(D-65)        | 1,400                 | 35.0         | 34.5                    |
|      | Aewol(W-6)            | 400                   | 12.0         | 26.0                    |

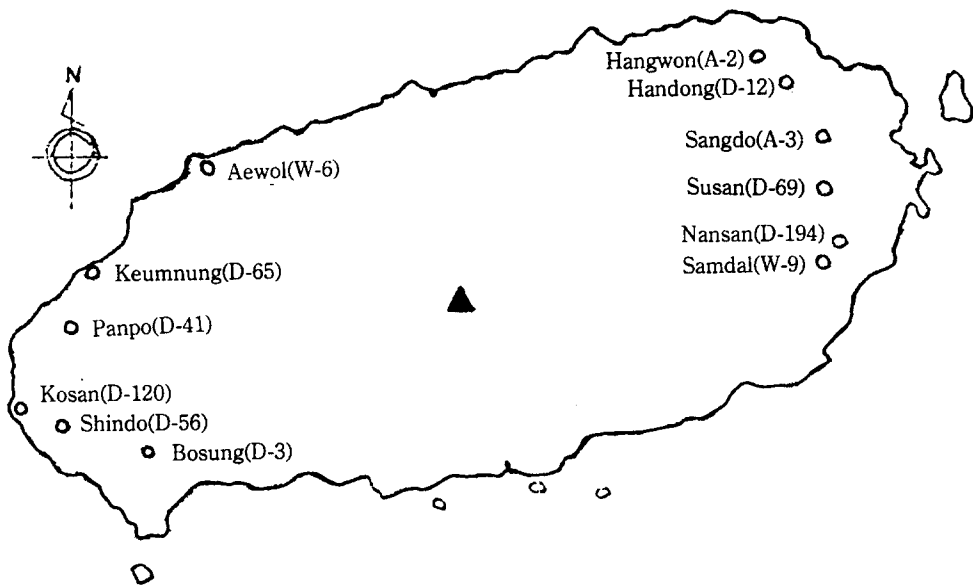


그림 1. Location of sampling sites

용하여 분석하였다.

6) 기타의 항목에 대해서는 음용수수질기준등에 관한 규칙(보건사회부령 제 871 호,

91. 7. 4)을 이용하여 분석하였다.

取水口의 특성과 위치는 표 1 및 그림 1과 같다.

### III. 結果 및 考察

#### 1. 鹽素이온 농도

그림 2는 지역별 Cl 이온의 평균 농도 분포를 나타낸 것이다. 동북부 지역의 Cl 이온 농도는 40~100mg/l의 범위에 있었으며, 서북부 지역은 20~30mg/l, 동남부 지역은 10 mg/l 내외로서 동북부 지역의 Cl 이온 농도가 다른 지역에 비하여 높은 편이었다.

동남부 지역의 Cl 이온 농도가 낮은 것은 金 등(1991)이 동부 지역의 Cl 이온농도가 높다는 보고와는 상이한 것인데, 이것은 기존의 연구결과가 海岸 주변의 관정에서 물을 채취한 것이기 때문에 높게 나타났고, 본 연구의 결과는 海岸으로부터 1.4~8km 떨어진 현재 주민이 식수로 사용하는 관정에서 地下水를 채취한 것이기 때문이라고 생각된다.

그림 3은 채수지점별 Cl/HCO<sub>3</sub>의 당량비

를 나타낸 것으로서 서북부지역 및 동남부 지역은 1 이하로 낮았으며, 동북부 지역은 상도를 제외하고는 매우 높게 나타났다.

地下水 중에 海水 오염의 정도를 평가하기 위해서 Revelle는 chloride-carbonate ratio를 이용했다. chloride는 海水중에 많이 함유되어 있는 반면에 地下水 중에는 적은 량이 존재하고 bicarbonate는 chloride와는 반대로 海水중에는 비교적 소량이고 地下水 중에는 가장 많이 함유된 음이온이다. 또 海水와 地下水가 혼합되는 경우에 발생할 수 있는 염기치환현상, 황산이온의 환원이나 탄산과 기타 약산기의 상호치환 그리고 침전현상 등과는 무관하게 chloride와 bicarbonate는 영향을 받지 않는다는 사실을 응용해서 Cl/HCO<sub>3</sub>값을 계산해서 해수오염의 지표로 사용한다. 韓 등(1991)은 Cl/HCO<sub>3</sub>의 비가 1.3 이상이면 오염정후가 농후한 것, 2 이상을

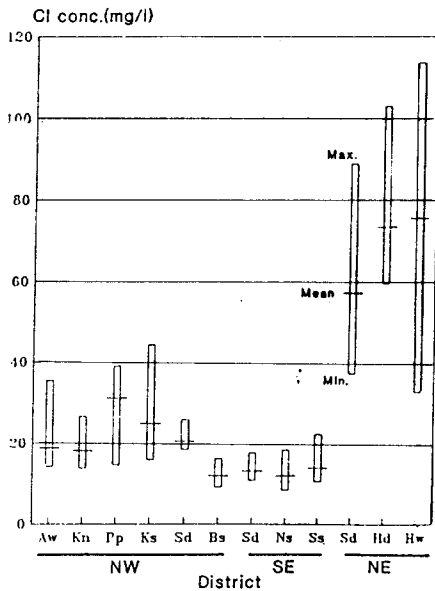


그림 2. Distribution of chloride concentration by Sampling sites

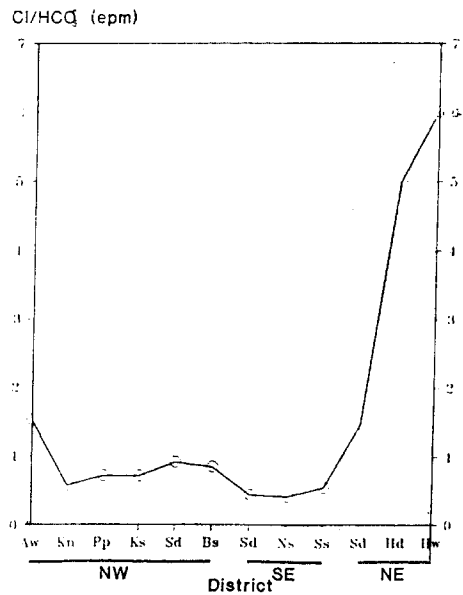


그림 3. Chloride-bicarbonate ratio by sampling sites

오염이 심한 것으로 분석하고 있다. 따라서  $Cl/HCO_3$ 의 비로 보아 서북부 지역과 동남부 지역은 海水浸透에 의한 오염의 위험이 적으며, 동북부는 해수침입의 현상이 높은 것으로 생각된다.

그림 4는  $Cl$  함량과 취수지의 海岸으로부터의 거리와의 관계를 나타낸 것이다. 동북부 지역의  $Cl$  농도는 海岸으로부터 취수지까지의 거리가 멀어짐에 따라 직선적으로 감소하였다. 동남부 지역은 거리와 큰 관계없이  $Cl$  농도가 비슷하였으며, 서북부 지역은 海岸으로부터의 거리와 관계없이 차이가 컸다.

그림 5는 지역별  $Cl$  이온의 평균농도의 월별 변화를 나타낸 것으로서  $Cl$  이온함량이 높은 동북부 지역에서는 6월에 농도가 높았으나, 그 외의 지역은 월별 변화가 크지 않았다. 이것은 김 등(1991)이 海水침입현상이

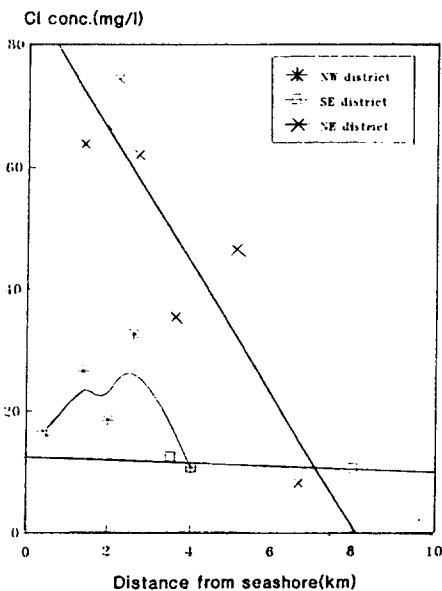


그림 4. Relationship between chloride concentration and distance from seashore.

심한 동부지역에 위치한 기설관정에 대한 염도변화를 장기간 측정한 결과 海岸邊 地下水의 염도는 갈수기인 3~4월이 가장 높고 우기 이후인 8~9월이 가장 낮다고 보고하였으나, 약간 늦은 5~6월이 가장 높게 나타났다.

## 2. 질산성 질소이온 농도

질산성 질소의 음용수 중의 수질 기준은 10mg/l 이하로서 전세계적으로 기준치가 같은 몇개 안되는 오염물질중의 하나이다. 질산성 질소 그 자체는 인체에 무해하지만 1년 미만의 유아와 반추동물에 용용하였을 경우에 위에 존재하는 세균에 의해 아질산성질소로 변하여 쉽게 흡수된다(NRC, 1972; Shuval and Gruener, 1977; Taylor, 1975). 위에서 혈액으로 흡수된 아질산성 질소는 헤모글로빈중의 철을 산화시켜 methemoglobin을 형성하여 산소의 전달을 방해하게 된다. 또한, 질산성질소 농도가 높게 함유된 음용수를 상용하는 것은 아질산성질소가 위에서 아민류와 반응하여 발암성 nitrosoamine을 생성할 가능성이 매우 높은

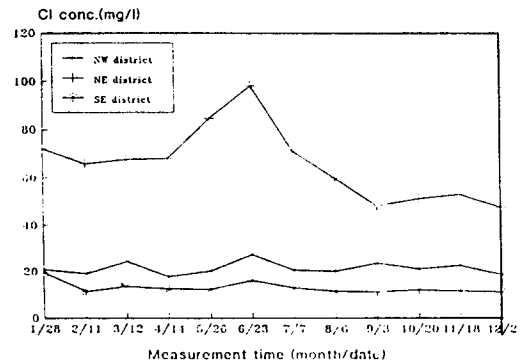


그림 5. Monthly change of chloride concentration by districts

것으로 알려져 있다(Shank, 1975 ; Crosby and Sawyer, 1976).

토양중에서 질산성질소는 이동성이 매우 빠른 이온에 속한다. 이동속도는 토양에 의한 吸着에 반비례하는데 토양에 의하여 吸着되는 음이온의 순서는  $SiO_2 > PO_4 > SO_4 > NO_3 > Cl$ 로서 Cl은 토양에 의하여 거의 吸着 여과되지 않고 地下水로 이동하며,  $NO_3-N$ 은 土壤의 물리화학적 성질에 따라 地下水로의 이동성이 달라진다. 반면,  $SO_4$ ,  $PO_4$ ,  $SiO_2$  등은 토양에 의하여 매우 강하게 吸着되기 때문에 地下水로의 이동이 매우 어렵다. 따라서 이들 음이온이 동시에 토양에 유입되었다고 하더라도 地下水에서 검출될 수 있는 성분은 Cl과  $NO_3-N$ 에 한정될 수 있다.

그림 6은 채수지점별  $NO_3-N$ 의 농도를 나타낸 것인데, 서북부 지역이 그 외의 지역에 비하여 현저히 높았다. 특히, Cl이온 농도가 가장 높은 동북부 지역중에서 판포에서 채취한 地下水 중의  $NO_3-N$  농도는 평균 값이 음용수 수질기준인 10mg/l를 상회하였으며, 채취 시기에 따라 16mg/l를 초과하는 시료도 있었다. 금능과 고산에서도 평균치는 기준치 이하이었으나, 측정치의 일부가 기준치를 초과하였다.

특히, 금능과 판포의 취수지가 海岸으로부터 각각 1.4, 2.6km 떨어진 곳이며, 마을 외곽지대에 있는 것을 감안하면 외부로부터 암모니아성질소가 유입되어 地下水로 이동하는 동안 질산성질소로 변화되었거나, 질산성질소가 직접 토양 또는 암석위로 유입되어 地下水로 이동된 것으로 보인다.

고산의 경우 취수지가 海岸으로부터 500

m이며, 마을안 인구밀집 지역에 위치해 있는 것을 감안하면 생활하수가 직접 유입되었거나 또는 이미 오염된 地下水가 취수지로 이동해온 것으로 생각된다.

地下水중에 질산성질소가 증가하는 것은 崔(1991)에 의해서도 보고되었는데 1990년 이전에 0.5mg/l 이하를 나타내었던 회수(SPA 5), 어리목(CIS 2), 삼양(CIS 1), 선흥물(NES 1), 표선(SEA 3), 저지(NWA 13), 한림천(NWS 2)에서 다량의 질산성질소가 검출되었고 일부지역에서는 기준치를 초과하는 경우도 있다고 하였다.

이와 같이 地下水중에 질산성질소가 빠른 속도로 증가상태에 있는 요인을 여러가지로 생각할 수 있는데 地下水중의 질산성질소는 주로 비료, 생활하수, 인축의 분뇨에 의해 오염된다.

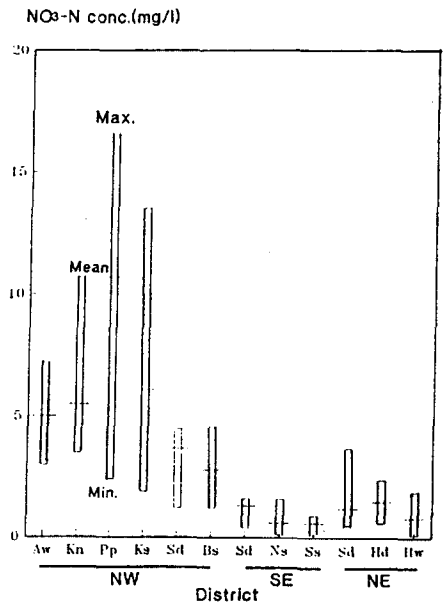


그림 6. Nitrate-nitrogen distribution by sampling sites

토양으로 유입된 질산성질소가 地下水로의 이동은 토양의 이화학적 특성에 의하여 크게 지배를 받는다. 토양의 용적밀도와 孔隙率이 클수록 투수속도는 빠르며, 토양의 음이온 吸着力에 의하여 크게 지배되어 음이온 置還容量(Anion Exchange Capacity)에 의하여 영향을 받는다. 따라서 취수지역의 토양 특성을 조사하는 것은 토양으로 유입된 질산성질소의 地下水로의 이동 가능성을 예측하는데 중요한 자료가 될 수 있다.

표 2는 질산성 질소의 함량이 높은 서북부 海岸邊 지역의 대표적인 토양統인 무릉統의 토양 단면 특성이다. 토층의 깊이가 120cm 이상으로 매우 깊으며 粘土含量이 표토 23%, 심토 47%로서 제주도 다른 지역에 비하여 많다. 토양의 容積密度가 1.3 g/cm<sup>3</sup> 이상으로 孔隙率이 50%에 불과하며, 小隙은 많으나 투수에 직접적으로 영향을 주는 大孔隙의 양이 매우 적어 투수속도가 2.4cm/day(2.8×10<sup>-5</sup> cm/sec)로서 매우 느리다. 이와 같은 토양특성으로 보아 이 지역에 내리는 강우는 토양을 통과하여 地下水로 유입되기는 어려울 것으로 보이며, 이 지역에서 토양으로 유입된 질산성 질소가 地下水로 유입되기는 어려운 조건을 갖고 있을 것으로 생각된다.

地下水 充填지대라고 할 수 있는 중산간

지대에는 대부분 군소 목장이 위치하고 있으며, 서북부 지역이 동부지역에 비하여 사육두수와 면적이 넓은 편이다. 따라서 가축의 분뇨에 함유되어 토양으로 유입될 가능성은 서북부 지역이 그 외의 지역에 비하여 클 것으로 예상된다.

또한, NO<sub>3</sub>-N은 토양의 특성에 따라 吸着濾過되는 양이 다른데, 서부 지역은 농암갈색 火山灰土가 분포하며 동부 지역은 흑색 火山灰土가 분포되어 있다.

서부 중산간 지역의 토양은 농암갈색 火山灰土에 속하는데 서부지역 중산간에 분포되어 있는 한림統과 한경統 토양단면의 이화학적 성질이다. 한림統의 토층의 깊이는 중간 정도이고 점토 함량이 20% 이하로 낮으며, 자갈함량이 20% 내외로서 투수속도는 빠른 편이다. 유기물 함량은 표토를 제외하고는 3% 이하이다. 한경統도 한림統과 유사한 성질을 갖고 있으며 土層의 깊이가 얇은 편이다.

반면, 동부지역의 토양은 흑색 火山灰土가 분포하고 있는데 대표적인 토양인 남원統 토양 단면의 이화학적 성질은 표 4와 같다. 토층의 깊이가 매우 깊으며, 자갈함량이 매우 낮고 점토함량이 약 20% 내외이다. 孔隙率이 매우 커서 투수속도 288~600cm/day로 매우 빠르며, 유기물 함량이 15%내

표 2. Physico-chemical properties of Mureung series

| Soil depth<br>(cm)     | Clay content<br>(%) | Bulk density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Porosity<br>(%) | PAC<br>(mg/100mg) | pH  |
|------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------|-----|
| A <sub>p</sub> 0~18    | 23                  | 1.33                                 | 49.9            | 1,196             | 6.6 |
| B <sub>2t</sub> 18~46  | 44.9                | 1.34                                 | 49.2            | 1,608             | 5.7 |
| B <sub>3t</sub> 46~120 | 34.8                | 1.35                                 | 45.2            | 1,358             | 5.6 |



표 3. Physico-chemical properties of Hanrim series

| Soil depth(cm) | Clay content (%) | Gravel content (%) | Bulk density (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosity (%) | PAC (mg/100g) | pH  |
|----------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|-----|
| A 0~18         | 18.6             | 4.3                | 1.3                               | 50           | 1,702         | 5.3 |
| B 18~78        | 8.4              | 26.2               | 1.3                               | 50           | 1,529         | 5.9 |

표 4. Physico-chemical properties of Namwon series

| Soil depth(cm) | Clay content (%) | Gravel content (%) | Bulk density (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosity (%) | PAC (mg/100g) | pH  |
|----------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|-----|
| A <sub>p</sub> | 27.0             | 0.8                | 0.63                              | 76.2         | 1.817         | 5.3 |
| B <sub>1</sub> | 17.9             | 0.0                | 0.59                              | 77.7         | 2.622         | 5.3 |
| B <sub>2</sub> | 17.7             | 1.5                | -                                 | -            | 2.382         | 5.3 |

외로 매우 높고 인산흡수계수가 매우 높다.

이와 같은 토양 단면적인 특성과 이화학적 성질로 보아 동부 증산간 지역 토양이 서부 지역에 비하여 NO<sub>3</sub>-N을 吸着 濾過할 수 있는 조건을 갖고 있다고 할 수 있다.

NO<sub>3</sub>-N의 토양에 의한 吸着 濾過量에 직접적인 영향을 미치는 요인은 AEC(Anion Exchange Capacity)와 ZPC(Zero Point of Charge)이다. 음이온의 吸着量은 토양의 AEC가 크고 ZPC가 높을 수록 많아진다. 서부와 동부 전지역의 토양의 AEC와 ZPC에 대한 연구 보고는 없으나, 일부 토양학적 연구에 의하면 흑색 토양인 동부지역이 서부지역에 비하여 AEC가 크고, ZPC가 높다고 보고하고 있다.

따라서 NO<sub>3</sub>-N 오염원중의 하나인 가축사육두수와 면적, 토양의 음이온 吸着能으로 보아 본 연구의 취수지인 서북부 지역에서 NO<sub>3</sub>-N 농도는 동부지역에 비하여 높을 수 있는 조건을 갖고 있다. 그러나, 이를 뒷받침하기 위해서는 토양중에서 NO<sub>3</sub>-N의 吸

着과 이동에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

그림 7은 지역별 NO<sub>3</sub>-N 함량을 월별로 나타낸 것으로 서북부 지역의 NO<sub>3</sub>-N의 농도는 6월 이후에 현저히 많아지며, 그 외의 지역은 월별 차이가 크지 않았다. 서북부 지역에서 6월 이후에 NO<sub>3</sub>-N의 농도가 높아진 것은 6월 이후에 집중강우(그림 8)에 의해 토양으로 유입된 NO<sub>3</sub>-N이 강우와 함께 地下水로 이동되었기 때문으로 생각되며, 이

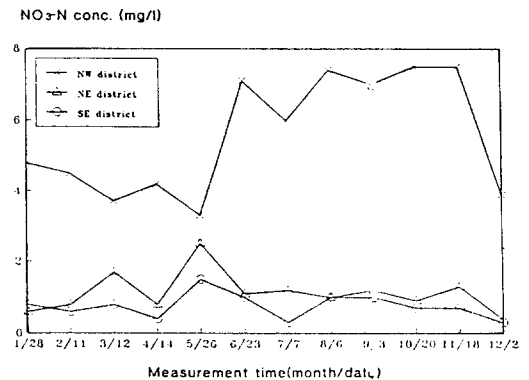


그림 7. Monthly change of nitrate-nitrogen by districts

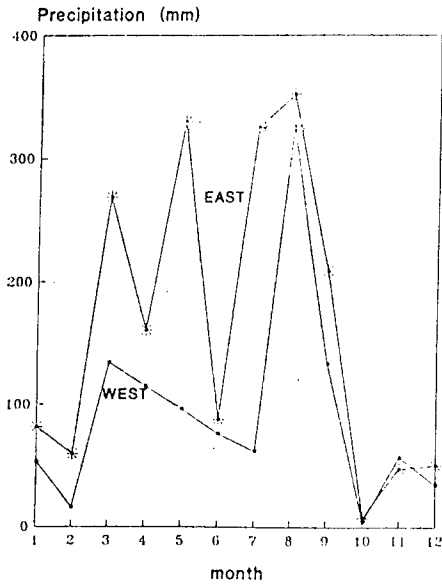


그림 8. Monthly precipitation in the east and the west of Chejudo

에 관한 구명은 후속 연구를 통하여 밝혀져야 할 것으로 생각된다.

그림 9는 NO<sub>3</sub>-N 함량과 취수지의 海岸으로부터의 거리와의 관계를 나타낸 것이다. 동북부와 동남부 지역의 NO<sub>3</sub>-N 농도는 海岸으로부터 취수지까지의 거리와 관계없이 농도가 비슷하였으며, 서북부 지역은 海岸으로부터의 거리가 멀어질수록 농도가 높았다.

일반적으로 海岸 침입으로 농도가 높아질 수 있는 물질은 海岸으로부터의 거리가 짧을수록 농도가 높으며, 거리가 길수록 농도는 낮아진다. 그러나, 본 연구 결과와 같이 서북부 지역에서 NO<sub>3</sub>-N 의 농도가 海岸에서 거리가 멀수록 높아지는 현상은 海水가 아닌 육지로부터의 유입에 의한 오염의 하나라고 보인다.

이와 같은 결과는 그림 10에서 볼 수 있

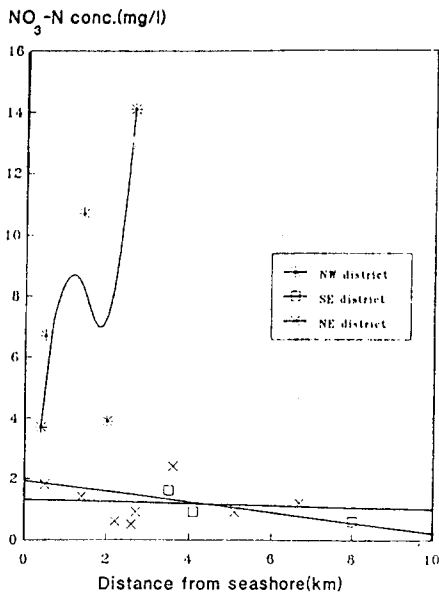


그림 9. Nitrate-nitrogen distribution according to distance from seashore by districts

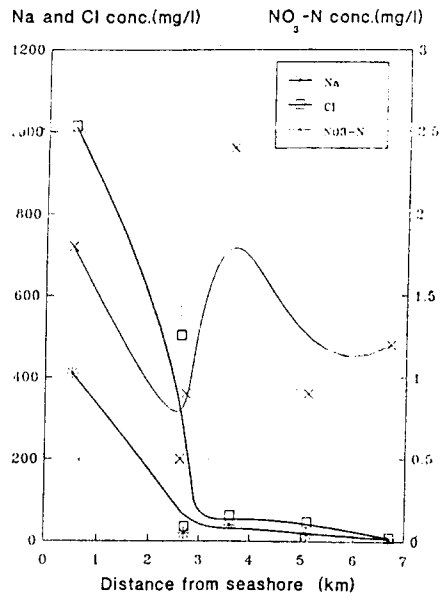


그림 10. The variation of Sodium, Chloride, and Nitrate-nitrogen concentration with distance from seashore

는데, 그림 10은 동북부 지역인 행원 농공단지(D 산업 전용관정 0.5km), 농공단지 위쪽(H 관정 2.6km), 행원 A-2 (2.2km), 덕천(D-42)의 Na, Cl 및 NO<sub>3</sub>-N의 농도를 나타낸 것이다.

Na와 Cl은 海岸으로부터의 거리가 멀어질수록 현저히 감소하여 3km 이후부터는 비오염 지역과 비슷하였으나, NO<sub>3</sub>-N은 일정한 경향이 없이 높거나 낮았으며, 海岸邊에 비하여 높은 농도를 보이는 지점이 대부분이었다.

3. 음이온간의 관계

그림 11은 지역별로 SO<sub>4</sub>와 Cl 이온농도와 의 관계를 나타낸 것으로 취수지역에 따라 SO<sub>4</sub>농도 분포가 相異하였다. 동남부 지역은 Cl 이온 함량이 10 mg/l 내외에 분포하는 반면 SO<sub>4</sub>는 1mg/l 에서부터 17mg/l 까지 취수 지역과 취수시기에 따라 차이가 컸다. 서북

부지역은 Cl 이온은 10~40mg/l 내외인데 SO<sub>4</sub>는 1mg/l 이하에서 30mg/l 이상까지 차이가 컸다. 동북부지역은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온에 있어서 20mg/l 이하의 분산된 형태를 보인 반면에 Cl 이온이 40~120mg/l 분포를 보여서 세 지역이 전부 상이한 pattern을 나타내고 있다.

그림 12는 지역별 Cl 이온과 NO<sub>3</sub>-N의 관계를 나타낸 것이다. 서북부 지역의 Cl 농도는 40mg/l 이하이었으며, NO<sub>3</sub>-N는 Cl 이온이 증가함에 따라 직선적으로 증가하였다 (NO<sub>3</sub>-N = -1.96 + 0.354Cl (P<0.001)). 그 외의 지역에서는 Cl 이온과 NO<sub>3</sub>-N의 농도는 상관없이 NO<sub>3</sub>-N은 농도가 낮았고, Cl 이온은 취수지역과 시기에 따라 농도 차이가 컸다.

Cl 이온은 海水 뿐만 아니라 생활하수와 인축의 분뇨중에도 함량이 높은 성분으로서

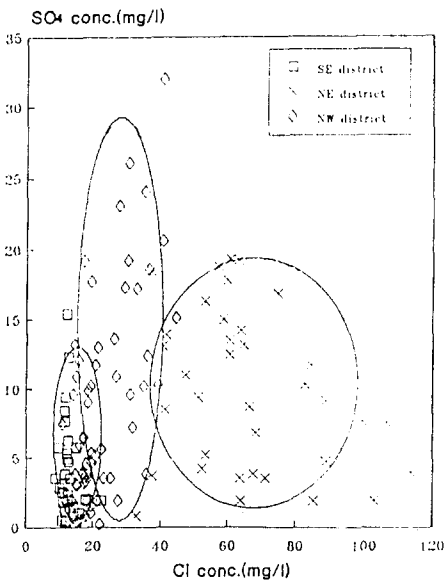


그림 11. Relation between chloride and sulfate concentration by districts

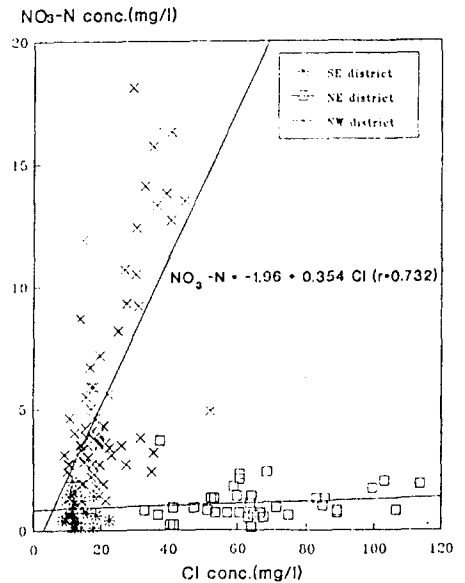


그림 12. Relation between chloride and nitrate-nitrogen by districts

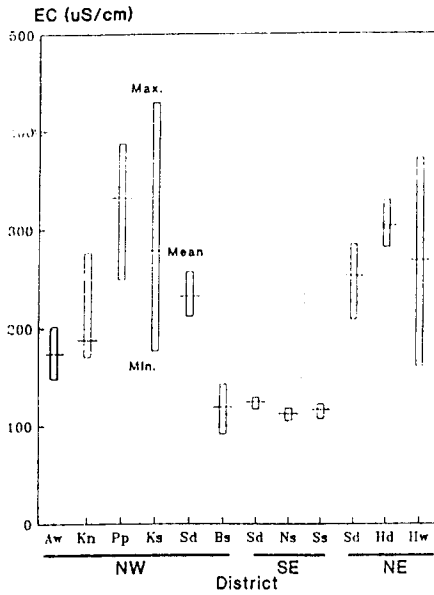


그림 13. Electrical conductivity (EC) distribution by sampling sites

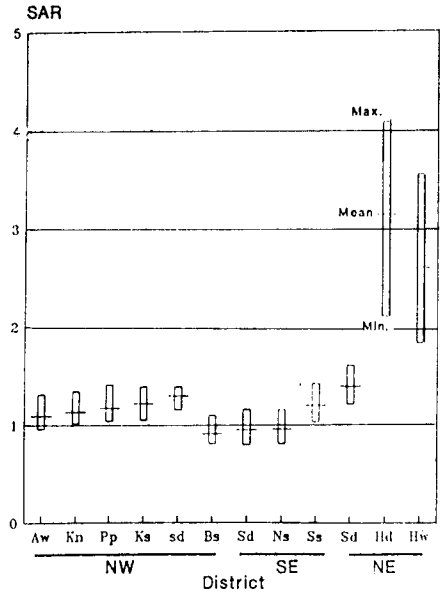


그림 15. Distribution of Sodium Adsorption Ratio (SAR) by sampling sites

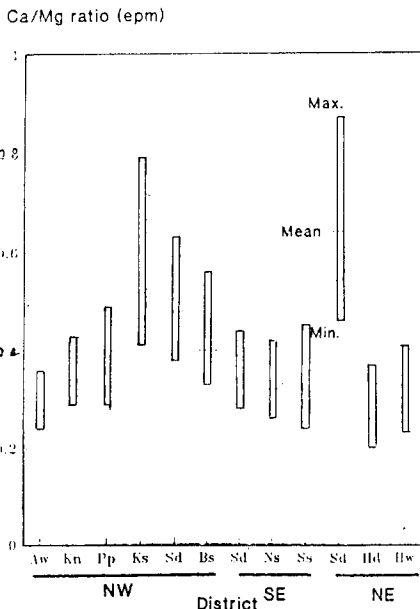


그림 14. Distribution of Calcium and Magnesium-ratio by sampling sites

서북부지역에서 NO<sub>3</sub>-N 과 Cl 이온이 일정농도에서 직선적인 관계가 있는 것으로 보아 이 지역의 Cl 이온의 증가는 NO<sub>3</sub>-N 과 원인 물질이 같을 것으로 예상된다.

#### 4. 기타 음용수 수질 기준 항목

##### 가. THM

THM은 鹽素로 물을 소독하는 경우 원수 중의 전구물질인 humine 등과 결합하여 생성되는 물질로서 발암성 물질이며, 음용수 기준치는 0.1mg/l이다. 전체 조사 지역에서 THM은 0.001~0.01mg/l로서 기준치에 비하여 매우 낮다. 그러나 권 등(1991)은 海水 중의 Bromide ion이 다량으로 존재하기 때문에 海水의 혼입가능성이 있는 海岸지방의 地下水를 鹽素처리(Chlorination)하였을 경우는 고농도의 THM이 생성될 위험성이 크

摘 要

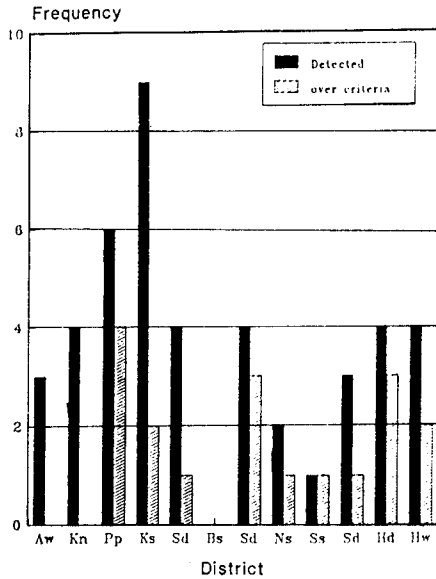


그림 16. Frequency of the detected and the over-criteria in general count of bacteria sampling sites

다고 보고한 바 있으며, Lange 등도 미국의 California 지방에서 실시한 조사에서 확인한 바 있다.

본 조사지역에서도 기준치에 비하여 매우 낮았지만 Brominated THM 이 생성되는 것을 확인하였다. 그러나 소독량의 다소에 따라 차이가 있는 것 등으로 미루어 海水침입이 있다고 판단되는 지역과 그렇지 않은 지역과 부지역보다 높게 나타남으로써 다른 성분의 분석결과를 뒷받침하고 있다. 상수도에서 채수한 것이기 때문에 염소소독등 여러가지 요인이 작용한 것을 고려하면 서부지역에 있어서 지표오염원에 의한 영향은 더욱 클 것으로 예상된다.

본 조사연구는 제주도 동부지역에서 상수로 사용하고 있는 地下水 관정에 대해 鹽分浸透의 실태를 파악하고, 장래 발생할 수 있는 地下水 오염 방지의 기초자료를 마련하고 정부의 맑은 물 공급의 원할을 기하기 위해서 동북부지역 3개 지점과 동남부지역 3개 지점 그리고 대조구로서 서부지역 6개 지점 地下水를 선정하여 월별로 채수 시험하였다. 電氣傳導度 및 음용수 기준항목과 양이온 및  $HCO_3$ 를 분석하여 海水침입여부를 확인하였으며, 조사기간 중 변동폭이 큰 행원, 한동 지역에서 2개의 사설관정 및 덕천 상수도를 추가로 선정하여 거리별 변동량을 조사하여 보았다.

그 결과는 다음과 같다.

1) 행원, 한동 등 동북부 지역에서 음용수 기준에는 적합하나 타지역과는 달리 월별 변화폭이 크고 갈수기의 영향을 받는 것으로 조사되었다.

2) 동북부지역의 상도에 있어서 鹽素이온의 경우 한동, 행원과 유사한 경향을 나타내었으나 chloride-bicarbonate( $Cl/HCO_3$ )의 비율 분석, calcium-magnesium( $Ca/Mg$ )비율 분석 및 SAR 등을 고려했을 때 海水의 영향을 받는 것으로는 볼 수 없었다.

3) 행원, 한동 지역에서 거리별 海岸으로부터 3km 이상 지역에서는 Na, Cl 이온이 급격히 감소하였으며,

4) 대조지역인 서부지역 地下水에서 鹽素이온이 채수시기별, 지역별로 다소 높게 나타난 것과 질산성 질소에 있어서 일부지역에서 음용수 기준을 초과하였는데, 이는 질

산성질소와 鹽素이온의 상관성을 나타내는 것으로 보아 지표오염원에 의한 영향을 받은 것으로 사료되었다.

5) 따라서 토양의 지역적 특성을 고려하여 토지 이용대 구분으로 地下水보호를 위하여 토양단면에서의 주요성분의 이동에 관한 모니터링도 地下水의 수질분석과 아울러 병행되어야 할 것이다.

### 參考文獻

1. A.E. Greenberg, R.R. Trussell, and L.S. Clesceri : Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, APHA-AWWA-WPCF, pp. 2-30~2-39, 2-71~2-77, 4-207~4-208. 1978
2. Crosby, N.T. and R. Sawyer. 1976. N-nitrosoamine : A review of chemical and biological properties and their estimation in foodstuffs. Adv. Food. Res. 22 : 1-71.
3. 최순학. 제주도와 OHAU 도의 지질구조 및 수자원의 특성. 제주도 연구 8 집. 1991.
4. 한라일보사. "제주도 지하수 함양 보전"을 위한 심포지엄. 1991.
5. 韓禎相. 地下水學 概論. pp. 341-375. 博英社. 1983.
6. 광주지방환경청. 제주도 환경보전 종합대책. 1991
7. National Research Council (NRC). Accumulation of nitrate. National Academy of Science, Washington, D. C. 1972.
8. R. Revelle, Criteria for Recognition of Sea Water in Ground-Waters, Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 22. pp. 593~597. 1941
9. S.K., Love, Cation-Exchange in Ground Water Contaminated With Sea Water near Miami, Florida, Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 25, pp. 951~995, 1944
10. Shank. R.C. Toxicity of N-nitroso compounds. Toxicol. Appl. Pharmacol. 31 : 361-368. 1975.
11. Shuval, H.L. and N. Gruener. Infant methemoglobinemia and other health effects of nitrates in drinking water. Prog. Water Technol. 8 : 183-193. 1977.
12. Taylor, N. Medical aspects of nitrate in drinking water. Water treat. Res. 7 : 81-89. 1975.