

# 제주도 남부해안에서의 지하해수에 대한 화학적 특성에 관한 연구

박 관 석·오 윤 근

## A Study on the Chemical Characteristics of Ground-Seawater in the Southerncoast of Cheju Island

Gwan-Serk Park · Youn-Keun Oh

### ABSTRACT

Geochemical characteristics of ground-seawater have been studied in the southerncoast areas(Pyoseon) of Cheju Island from July to September 1994. The results are summarized as follows.

- 1) The water temperature of the ground-seawater was approximately  $17 \pm 1^\circ\text{C}$  and remained almost constant.
- 2) As to the chemical composition of standard-seawater contained 38.7% of  $\text{Na}^+$  and ground-seawater contained 39.5%, on the other hand the standard-seawater contained 8.8%  $\text{Mg}^{2+}$  the ground-seawater contained 7.9%.
- 3) The chemical characteristics of ground-seawater seem to be determined by  $\text{Na}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$  contents, therefore these two elements are considered to be important for determining the chemical composition.

### I. 서 론

제주 주변해역은 조류에 의한 교란이나 동계 표층수의 냉각에 의한 대류혼합이 측

진되기 때문에 높은 생물생산이 진행 되고 있다. 또한 한·난류가 교차되고 있어 각종 어·패·조류의 산란·서식장 및 생육장으로 서 양호한 해양환경 조건을 갖추고 있다.

\* 해양과학대학 해양환경공학과(Dept. of Marine Environ. Eng., College of Ocean Sciences)

이와 같이 제주도 주변해역의 좋은 해양환경 조건을 이용하여 본 도에서는 1986년부터 개발되기 시작한 육상 수조식 양식장에서 연안해수와 해안변의 지하 약 30~70m의 대수층내에 부존하는 지하해수를 사용하여 대단위로 조성된 육상수조식 양식장이 성행하고 있어 양식장에서 사용되고 있는 지하해수의 양은 최근들어 점차적으로 증가하고 있는 추세에 있으며 이러한 양식장의 수는 1994년 9월말 현재 총 155개소로써 남제주군지역이 97개소로 전체의 62.6%를 차지하고 있다. 이처럼 양식장에서 대량으로 사용하고 있는 지하해수는 일반해수에 비해 수질이 양호하고 수온 또한 년중 17℃내외로 거의 변동없이 일정하게 유지되고 있기 때문에 증·양식에 있어 수온 제어를 용이하게 할 수 있다. 그러나 제주도 주변해역에 대한 화학적특성 연구<sup>12)</sup>는

활발히 이루어져 왔지만 대수층내에 부존하는 지하해수에 대한 연구는 국내·외적으로 미흡한 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 제주도 남부지역을 대상으로 지하해수에 대해 화학적 특성을 규명하기 위하여 주요 이온 조성비를 표준해수와 지하해수에 대해 비교 분석하였으며, 지하해수의 수질특성에 미치는 영향인자에 대한 상호관계를 고찰 하였다.

## II. 조사 및 분석 방법

### II.1. 조사 방법

지하해수의 수질조사는 1994년 7월부터 9월까지 3개월에 걸쳐 양식시설이 밀집되

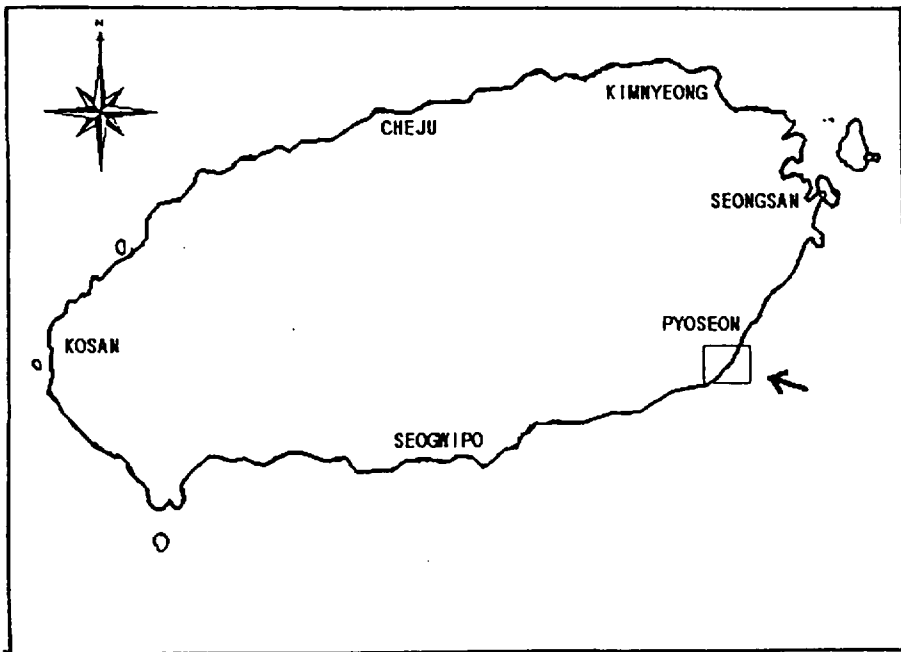


Fig. 1. Location map of study area.

어 있는 제주도 남부연안(표선지역)에서 지하해수를 사용하는 1개 양식장을 선정 (Fig. 1)하여 3시간 간격으로 24시간 연속 시료를 채수하였고, 대조시료로 조사지역(표선지역)의 연안해수를 폴리에틸렌병에 채수하여 Ice Box에 넣어 실험실로 운반 즉시 분석하였다.

### I.2. 분석 방법

해수 및 지하해수의 수온은 현장에서 채수 즉시 측정하였고, 염분은 실험실로 운반하여 Salinometer(TSURUMI SEIKI, E-2)로 측정하였다. 양이온성분( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ )에 대해서는 원자흡광광도계(Perkin Elmer, Model 2380)로 분석하였으며, 음이온 중 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )은 Ion Chromatograph(DX 100)을 이용하여 측정하였고, 염소이온( $\text{Cl}^-$ )과 중탄산이온( $\text{HCO}_3^-$ )은 Standard Method<sup>3)</sup>에 준하여 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

본 연구에서는 제주도 남부해역인 표선 지역의 육상수조식 어류 증·양식장에서 사용하고 있는 지하해수에 대한 각 성분들간의 경시적인 변화와 화학적 조성비로부터 지하해수의 유형을 고찰하였으며, 양이온과 음이온의 상관관계를 알아보기 위하여 각 이온의 농도를 meq/l 위로 환산하여 나타내었다.

### III.1. 수온 및 염분

제주도 연안의 수온변동은 동계에 12.5~15.5℃의 범위내에서 큰 변화 없이 거의 평형상태를 유지하나, 5월부터 1~2℃정도의 상승폭으로 오르기 시작하여 7월 이후에는 최고 28.2℃까지 상승한다.<sup>2)</sup>

본 연구기간중 연안해수의 평균수온은 25.3℃를 나타내고 있으며, 최고수온은 8월

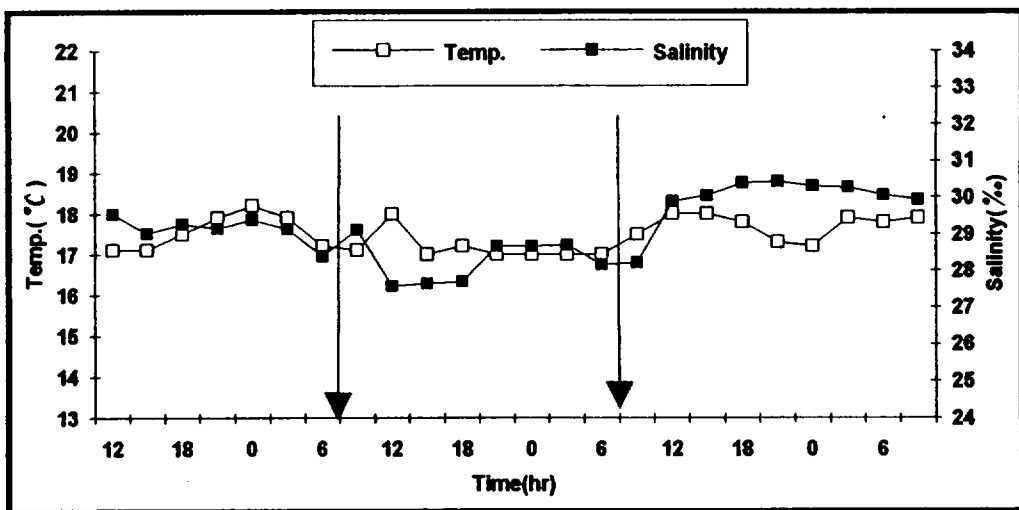


Fig. 2. Variation of temperature and salinity for ground-seawater with time.

에 26.8℃, 최저수온은 9월에 23.0℃로 연안 해수는 계절에 따른 해역고유의 수온범위를 유지하고 있어 노동<sup>2)</sup>의 연구 결과와도 일치하고 있다.

한편 지하해수에 대한 경시적인 수온의 변동범위는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 17.0~18.2℃의 수온분포를 보이고 있으며 월별, 시간별 수온변동의 차이가 1℃ 내외로 평균 수온인 17℃를 일정하게 유지하고 있었다. 이는 지하해수가 기타 대수층내에 부존하고 있는 관계로 지표에서 100m 깊어짐에 따라 3~4℃의 수온이 증가하는 원인과 대수층의 지열에 의한 영향으로 사료된다.

제주 주변해역에 대한 염분농도의 분포는 지역에 따라 그 특성이 매우 뚜렷하게 나타나고 있다. 노동<sup>2)</sup>의 연구에 의하면 동계로부터 5월 상순까지는 34.40% 이상의 고염분을 유지하나 5월 중순부터 염분이 낮아지기 시작하여 8월중에 현저히 낮아져 9월 상순에는 29.00% 정도로 저염분현상을 나타내는 것으로 보고되고 있다.<sup>4)</sup> 그러나 이와 같은 저염현상은 오래 지속되지 않고 9월 중순에 다시 31.00% 이상으로 회복되는 것으로 알려지고 있다. 그러므로 제주연안의 최저염분 출현시기는 8월하순 내지 9월 상순이며, 이때의 염분농도는 27.30~29.00%의 범위이다. 이러한 현상은 최등<sup>2)</sup>이 지적한 계절에 크게 영향을 받고 있으며, 이는 동계에는 연안에서 대마난류계 난류수의 영향을 강하게 받고 하계에는 연안수와의 혼합이 잘 이루어지고 있는 것으로 보고되고 있다.

본 연구기간 중의 조사지역에 대한 연안해수의 평균 염분농도는 32.12%로 나타나고 있으며, 최소값은 8월에 30.94%, 최대값

은 9월에 33.07%로 각각 나타내고 있다. 특히 8월의 농도가 다소 낮은 경향을 나타낸 것은 8월중에 많은 양의 강우가 염분농도에 직접적인 영향을 준 것으로 사료되며 이는 노동<sup>2)</sup>과 김등<sup>4)</sup>에 의해 보고된 8월 하순에서 9월상순까지의 염분농도 분포범위와도 일치하고 있다.

지하해수에 대한 경시적인 염분농도의 변화는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 29.17~31.56%의 범위로서 최소값은 8월에 29.17%, 최대값은 7월에 31.56%를 나타내고 있다. 이러한 현상은 조사지역에 따라 지하해수가 점시대층의 상부에 존재하고 있는 담수체의 수축과 팽창 및 潮水에 의한 영향으로 보아지며, 최소값을 나타낸 8월중의 염분농도는 이 기간중에 태풍으로 인한 강우량의 증가가 그 직접적인 원인으로 사료된다.

## III.2. 각 이온성분의 경시적인 농도변화

### III.2.1. Sodium : Na<sup>+</sup>

나트륨이온은 해수의 성분중 염소이온과 함께 가장 많이 함유되어 있는 성분으로 표준해수(35%일때) 중에는 465.7meq/l로 총이온량에 대해 38.69%을 차지하는 것으로 알려지고 있다.<sup>5)</sup>

본 연구기간중 나트륨이온에 대한 연안해수의 평균농도는 429.4meq/l로써, 최소값은 8월에 397.5meq/l, 최대값은 7월에 453.5meq/l로 각각 나타나 조사기간중 연안해수의 농도는 전반적으로 표준해수에 비해 낮게 나타나고 있으며, 특히 8월의 연

안해수 농도는 표준해수에 비해 농도차가 크게 나타났다.

지하해수의 경시적인 농도범위는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 349.4~458.4meq/l로 최소값은 8월에 349.4meq/l, 최고값은 7월에 458.4meq/l로 나타나고 있다. 또한 7

~9월 3개월간의 평균농도는 422.5meq/l로서 연안해수와 비슷한 분포를 보이고 있다. 특히 8월의 농도는 7월과 9월에 비해 현저하게 낮은 경향을 보여주고 있으며, 이와 같은 현상은 8월중에 강우의 영향이 크게 작용한 것으로 보아진다.

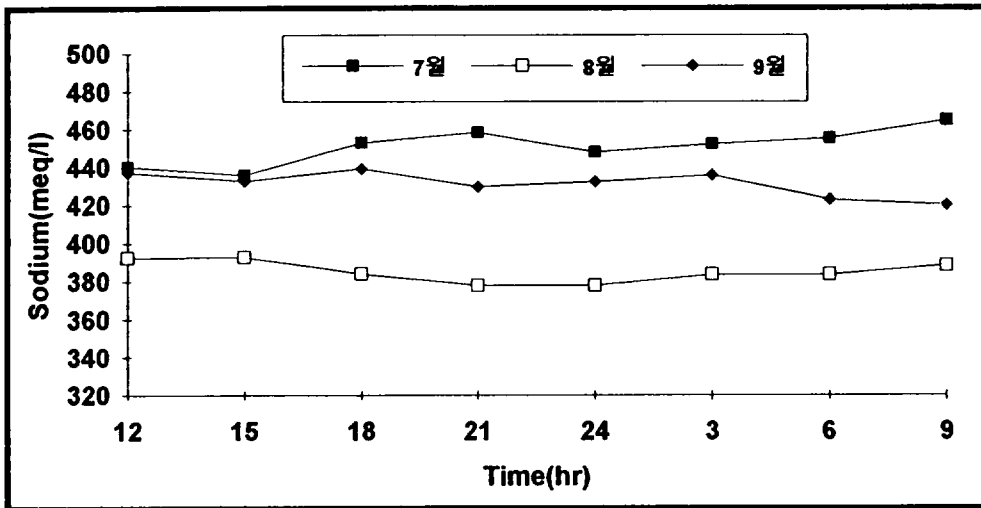


Fig. 3. Variation of sodiumion concentrations for ground-seawater with time.

### III.2.2 Magnesium : Mg<sup>2+</sup>

마그네슘이온은 해수중의 주요성분중 하나로 표준해수 중에는 106.2meq/l의 농도로 총이온량의 약 8.82%를 차지하는 것으로 알려져 있다.<sup>5)</sup>

본 조사기간중 연안해수는 마그네슘이온의 평균농도가 98.5meq/l로써, 최소값은 8월에 96.9meq/l, 최대값은 7월에 100.2meq/l로 나타나고 있어 연안해수의 평균농도가 표준해수에 비해 약간 낮게 나타나고 있다.

지하해수의 경시적인 농도변화는 Fig. 4

에 나타낸 바와 같이 77.0~90.5meq/l로 평균농도는 84.8meq/l이었으며, 최소값은 8월에 77.0meq/l, 최대값은 90.5meq/l로 나타내고 있다. 그러나 월별 농도변화는 큰 변화의 폭을 나타내지 않고 있으나 조사시기에 따른 변화는 미미하게 나타나고 있어 조석에 의한 해수의 영향을 지속적으로 받고 있는 것으로 사료된다.

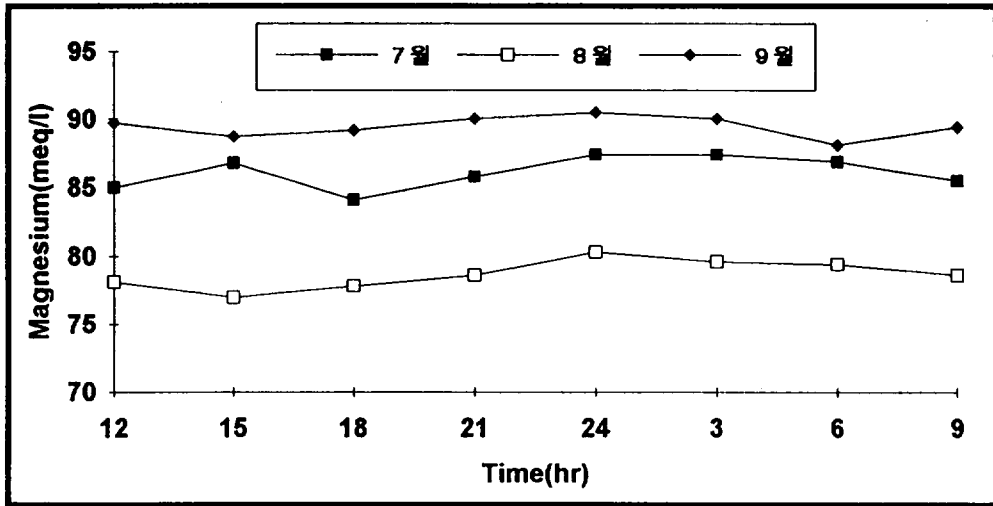


Fig.4. Variation of magnesiumion concentrations for ground-seawater with time.

### Ⅲ.2.3. Calcium : Ca<sup>2+</sup>

일반적으로 표준해수중에서 칼슘이온의 농도는 20.5meq/l 정도로 총이온량에 대해 1.7%를 함유하는 것으로 알려져 있다.<sup>9)</sup>

본 조사기간중 연안해수에 함유되어 있

는 칼슘이온의 평균농도는 20.5meq/l 로써 표준해수와 같은 농도를 나타내고 있으며, 최소값은 8월에 19.7meq/l, 최대값은 7월에 21.0meq/l로 최대값과 최소값의 농도 역시 표준해수와 거의 비슷한 농도를 유지하고 있다.

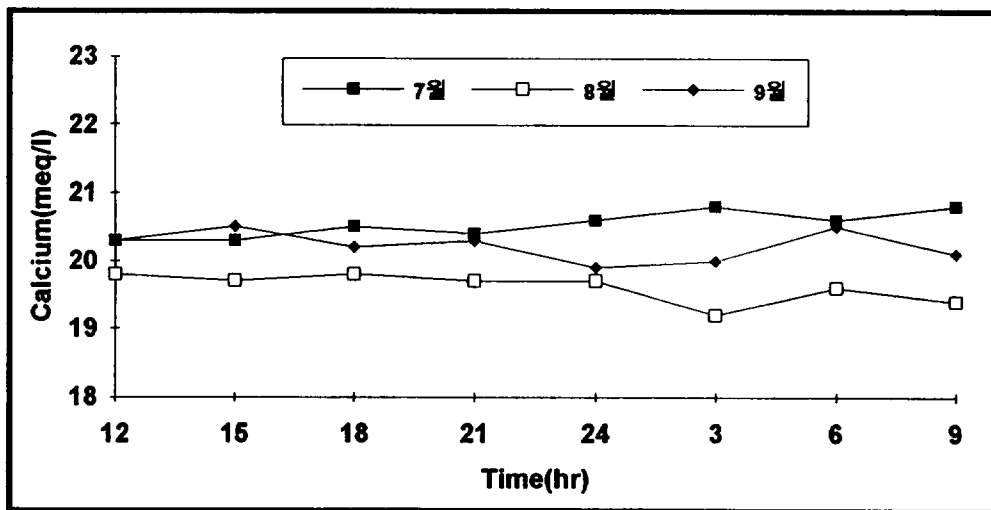


Fig. 5. Variation of calciumion concentrations for ground-seawater with time.

지하해수의 경시적인 농도범위는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 19.2~20.8meq/l로써, 7, 8 및 9월의 3개월간의 평균농도는 21.1meq/l로 나타내고 있다. 또한 조사기간중 지하해수의 19.2meq/l, 최대값은 7월에 20.8meq/l로 나타내고 있어 지하해수 역시 표준해수 및 연안해수의 농도와 큰 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 8월의 농도는 7월과 9월에 비해 전체적으로 낮은 농도를 유지하고 있으며 특히 03시의 농도는 최저치를 나타내고 있어 시간에 따른 조석의 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

### III.24. Potassium : K<sup>+</sup>

칼륨이온은 해수중에 존재하는 주요성분의 하나로 표준해수 중의 칼륨이온농도는 9.9meq/l로 총이온량의 0.82%을 함유하고 있는 것으로 알려져 있다.<sup>9)</sup>

본 조사기간중 연안해수에 함유되어 있는 칼륨이온의 평균농도는 8.9meq/l로써 표준해수에 비해 약간 낮게 나타내고 있으며, 최소값은 8월에 8.6meq/l, 최대값은 7월에 9.0meq/l로 나타나고 있다.

지하해수의 경시적인 농도범위는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 8.1~8.7meq/l로써, 7, 8 및 9월의 3개월간의 평균농도는 8.7meq/l이고, 최소값은 8월중에 8.1meq/l, 최대값은 7월에 8.6meq/l로 연안해수와 지하해수와의 농도가 8월에 낮고 7월에 높은 경향을 보이고 있으며 이와 같은 농도는 전반적으로 표준해수에 비해 낮게 나타내고 있다. 그러나 8월의 농도는 8.1~8.2meq/l의 경시적인 변화를 나타내고 있는 반면 7월의 농도는 8.5~8.7meq/l로 경시적인 변화양상이 뚜렷하게 나타내고 있다. 이와 같은 경향은 7월에 가뭄으로 인해 지질자체에 함유되어 있는 칼슘이온이 용출함으로 인해 영향을 미친 것으로 사료된다.

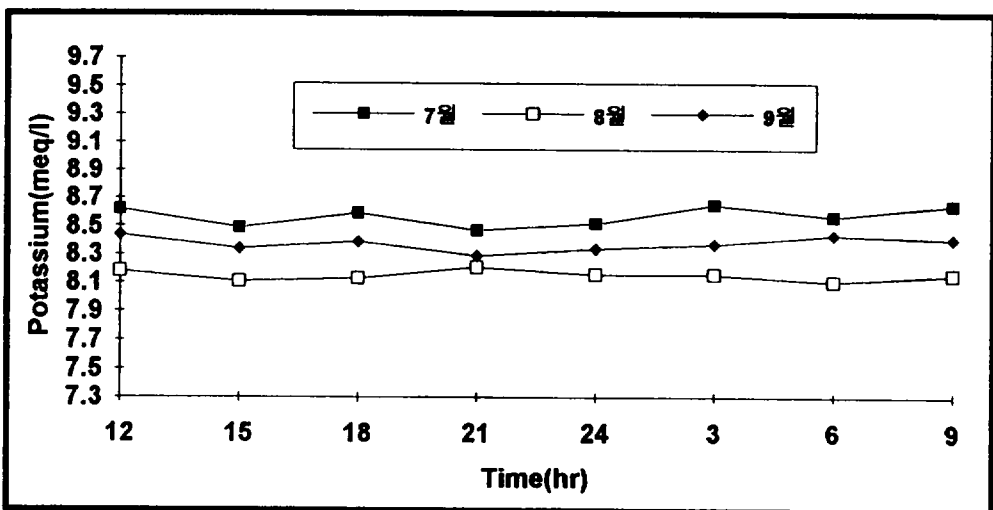


Fig. 6. Variation of potassiumion concentrations for ground-seawater with time.

## ■ 2.5. Chloride : Cl<sup>-</sup>

일반적으로 지하수에 있어서 염소이온의 주된 근원은 증발암과 같은 퇴적암류이고 소량은 화성암으로부터 유래되는 것으로 알려지고 있으며, 자연수 중의 염소이온의 농도는 기후환경에 따라 차이를 나타내고 있지만 표준해수(35‰) 중의 염소이온은 542.8meq/l로 총염분량의 45.1%를 함유하고 있는 것으로 알려져 있다.<sup>9)</sup>

본 조사기간중 염소이온에 대한 연안해수의 평균농도는 501.7meq/l로써 표준해수에 비해 낮은 농도를 나타내고 있다. 또한 최소값과 최대값은 각각 476.0meq/l, 523.9meq/l로 최소값의 농도는 표준해수와 66.8meq/l의 큰 농도차를 보이고 있다.

지하해수의 경시적인 농도범위는 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 471.0~500.0meq/l

로 평균 482.6meq/l를 나타내고 있으며 최소값은 8월에 471.0meq/l, 최소값은 9월에 500.0meq/l로 나타내고 있다. 이와 같은 농도는 표준해수에 비해 전반적으로 낮은 농도 분포이며, 주변 연안해수에 비해서도 지하해수의 농도가 낮게 나타내고 있다. 이는 강우에 의한 염소이온의 희석이 가장 큰 영향으로 사료되며 특히 투수계수가 높은 남부지역의 지질구조에 의한 영향도 큰 것으로 생각된다.

박(1993)의 보고에 의하면 제주도의 습곡은 강우를 지하수체로 유입시키는 통로와 같은 역할을 하고 있기 때문에 표면유출이 발생하는 50mm이상의 강우시에는 24시간 이내에 강우가 지하수체로 침투되어 지하수의 수위상승 이라든가 염분농도에 영향을 주고 있는 것으로 보고되고 있어 본 연구결과와 일치하고 있다.

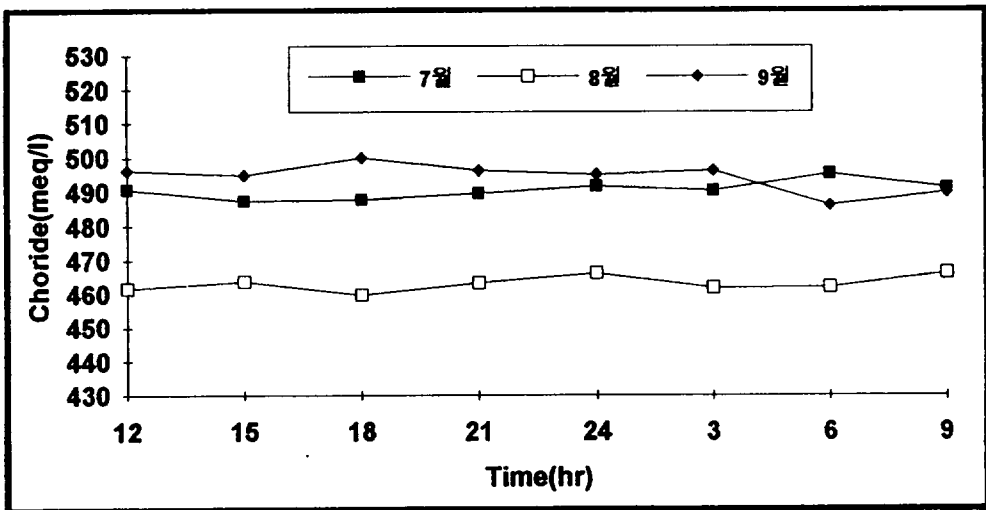


Fig. 7. Variation of chloride ion concentrations for ground-seawater with time.



## Ⅱ.26. Sulfate : SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

황산이온은 표준해수 중에 56.3meq/l로 총이온량의 4.7%를 함유하고 있는 것으로 알려지고 있다.<sup>5)</sup>

본 조사기간중 황산이온에 대한 연안해수의 평균농도는 53.0meq/l로서, 최소값은 8월에 50.0meq/l, 최대값은 7월에 55.0meq/l로 나타내고 있어 강우의 영향이 없는 7월의 농도가 표준해수와 비슷한 농도를 유지하고 있다.

지하해수의 경시적인 농도범위는 Fig. 8

에 나타낸 바와 같이 47.5~51.6meq/l로 연안해수와 비슷한 경향을 보이고 있으나 7, 8, 9월의 3개월간의 평균농도는 48.9meq/l로 표준해수에 비해 약간 낮은 양상을 보이고 있다. 그러나 7월과 8월의 농도변화는 큰 변화를 나타내지 않고 있으나 9월의 농도가 다소 높아지고 있다. 이와 같은 현상은 타 성분과는 달리 강우로 인한 영향이 시간이 경과함에 따라 서서히 나타나고 있는 것으로 사료되어 지질 자체에 영향이 큰 것으로 사료된다.

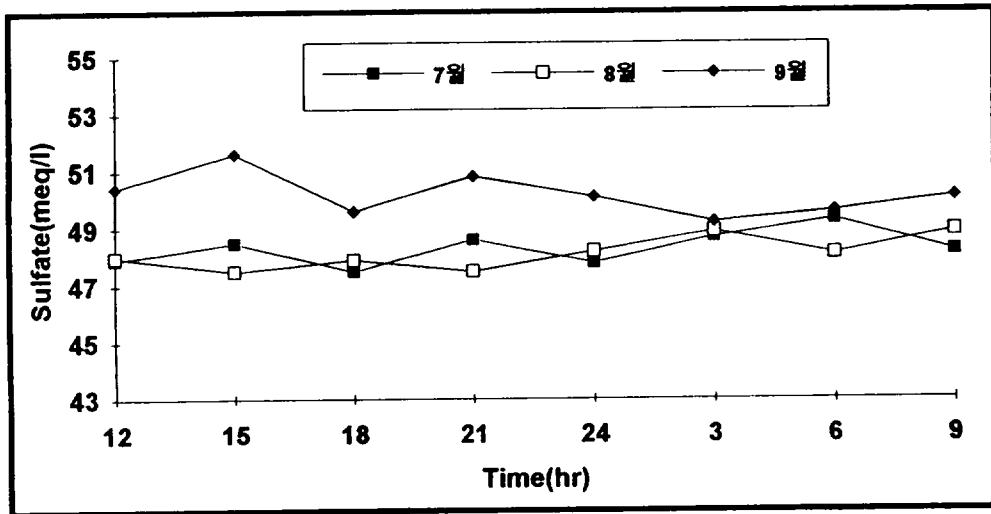


Fig. 8. Variation of sulfateion concentrations for ground-seawater with time.

## Ⅱ.27. Bicarbonate : HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

중탄산이온은 표준해수중에 2.3meq/l의 농도로 총이온량에 대해 0.2%의 미량을 차지하고 있으나<sup>5)</sup> 담수에서의 함유량은 221.3~1,119.7 meq/l로써 담수의 침입여부를 파악<sup>7)</sup>하는데 중요한 성분으로 이용되고 있다.

본 조사기간중 중탄산이온에 대한 연안해수의 평균농도는 1.9meq/l로서 최소값은 9월에 1.6meq/l, 최대값은 7월에 2.1meq/l를 나타내고 있다. 그러나 강우량이 많았던 8월의 농도가 9월보다 높은 경향을 보이고 있다.

지하해수의 경시적인 농도범위는 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 18~21meq/l로 연안해

수와 비슷한 분포를 보이고 있으며 최소값은 8월에 1.8meq/l, 최대값은 9월에 2.1meq/l로 나타나고 있어 9월에 최소값을 보인 연안 해수와 상반되는 경향을 보이고 있다.

### III.3. 각 성분간의 상관관계

표준해수에는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ 의 양이 온과  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ 의 음이온이 절대적인

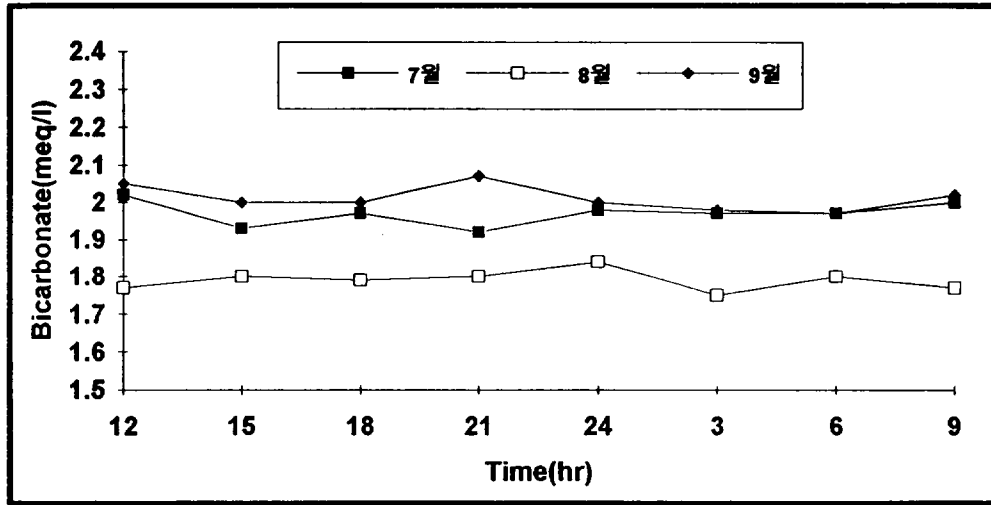


Fig. 9. Variation of bicarbonateion concentrations for ground-seawater with time.

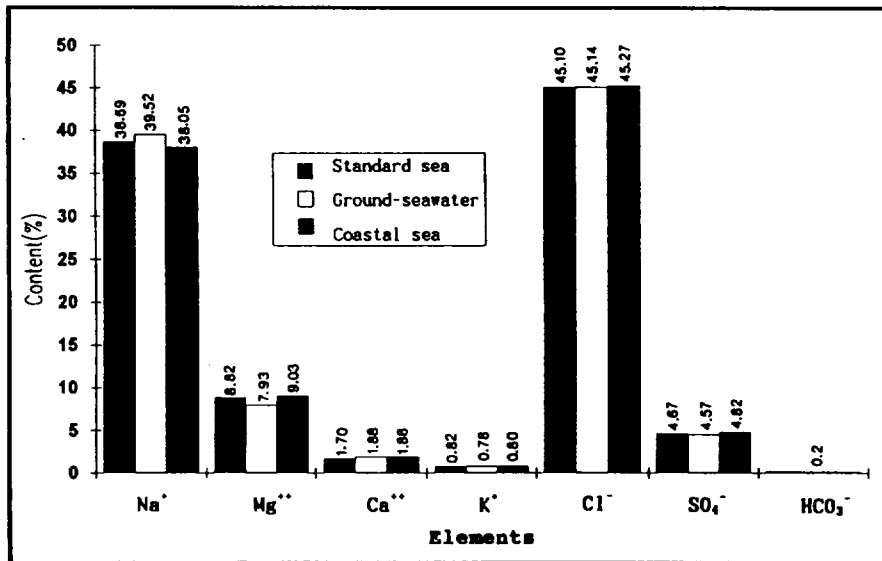


Fig. 10. Contents of ground-seawater each elements in Pyoseun area.

비중을 차지한다. 또한 이들 주요성분이  
외의 성분들이 극히 미량으로 포함되고 있

으며, 이들 주성분의 함유량이 수질특성을  
결정하는 요인이 되고 있다.<sup>8)</sup>

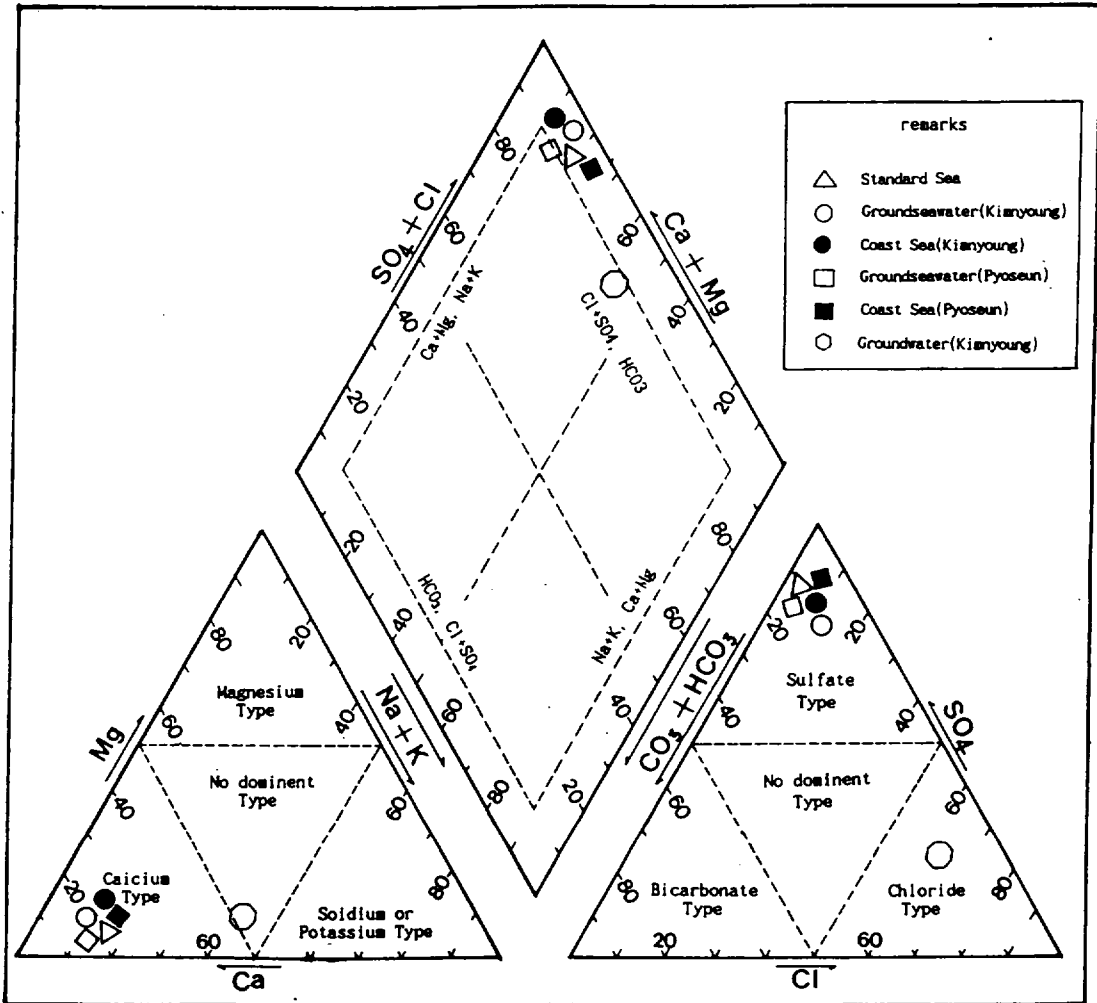


Fig. 11. Piper Diagram for representing analyses of ground-seawater quality in Pyoseun area.

이와 같이 지하해수의 특성을 보다 종합  
적으로 평가하기 위해서는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  
 $\text{K}^+$  및  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ 의 화학조성 등 이온  
성분에 대한 상관관계를 다각적으로 분석  
고찰하는 것이 바람직하다고 본다.

본 연구에서는 지하해수의 화학조성을

표준해수의 화학조성과 비교 분석하였으며,  
Piper Diagram<sup>9)</sup>을 이용하여 지하해수의 수  
질특성을 고찰하였다.

제주도 남부해안(표선지역)의 지하해수  
와 표준해수(35%) 및 연안해수와의 성분조  
성비는 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 나트륨

이온이 39.5%로 표준해수에 비해 높게 나타나고 있는 반면에 마그네슘이온은 7.9%로 표준해수에 비해 낮게 나타나고 있다. 또한 음이온의 조성비에서는 비슷한 조성비를 나타내고 있으나, 연안해수에서 염소이온이 표준해수 및 지하해수에 비해 높게 나타나고 있다. Fig. 11은 앞의 계산결과를 근거로 Piper Diagram에 도시한 것이다.

Fig. 11에서 보는 바와 같이 남부해안지역의 지하해수의 경우, 양이온성분에 의하면  $Ca^{2+}$ 형에 속하고 있으며, 음이온성분에 따르면  $SO_4^{2-}$  유형으로 화학적특성이 유사하게 나타나고 있다. 또한 연안해수 및 표준해수의 유형도 지하해수와 비슷한 유형을 나타내고 있으며, 중앙의 다이아몬드형 그림에서도 남부해안지역의 지하해수는  $Ca^{2+} - Mg^{2+} - Cl^-$  유형에 포함되고 있다. 또한 연안해수와 표준해수의 수질특성도 지하해수와 비슷한 유형을 보여주고 있다. 이와같은 요인으로는 지질조건 및 지하해수와 지하수의 부존양상이 상이한 것이 가장 큰 요인으로 보아지며, 다음으로는 담수 및 해수의 유입과 이에 따른 배경수질의 변화 등이 그 요인으로 사료된다.

#### IV. 결 론

제주도 남부해안지역의 지하해수에 대한 화학적 특성을 구명하는 것을 목적으로 주요이온 조성비를 표준해수 및 연안해수와 비교 고찰하였으며 수온 및 염분의 측정으로부터 지하해수에 대한 영향인자를 파악한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 본 조사지역에서 지하해수의 수온은 17.0~18.2°C이고, 염분농도는 29.2~31.6%이

며,  $Na^+$ 은 383.9~458.4meq/l 이고,  $Mg^{2+}$ 은 77.0~90.5meq/l 이며,  $Ca^{2+}$ 은 19.2~20.8meq/l 이고,  $K^+$ 은 8.1~8.7meq/l 이며,  $Cl^-$ 은 471.0~500.0meq/l 이고,  $SO_4^{2-}$ 는 47.5~51.6meq/l 이며,  $HCO_3^-$ 은 1.2~2.1meq/l 의 범위를 나타내고 있다.

또한 조사지역의 주변연안해수의 평균수온은 25.3°C이고, 염분농도는 32.1%이며,  $Na^+$ 은 429.4meq/l 이고,  $Mg^{2+}$ 은 98.5meq/l 이며,  $Ca^{2+}$ 은 20.5meq/l 이고,  $K^+$ 은 8.8meq/l 이며,  $Cl^-$ 은 501.7meq/l 이고,  $SO_4^{2-}$ 은 53.0meq/l 이며,  $HCO_3^-$ 은 1.9meq/l 와 같이 평균값을 각각 나타내고 있다.

2) 지하해수의 수온은  $17 \pm 1^\circ C$  내외로 거의 일정한 수온을 유지하고 있으며, 이는 지하해수가 대수층내에 부존하고 있는 관계로 지열의 영향을 크게 받고 있는 것으로 사료된다.

3) 지하해수의 화학적조성 비율은  $Na^+$ 의 경우 표준적 해수는 38.7%을 나타내고 있는 반면에 지하해수는 39.5%로 표준해수에 비해 높게 나타나고 있으며,  $Mg^{2+}$ 은 표준해수가 8.8%인 것에 비해 7.9%로  $Na^+$ 과는 대조적으로 낮은 특성을 보이고 있다. 또한 음이온중  $Cl^-$ 은 표준해수가 45.1%을 나타내고 있으며, 지하해수 역시 표준해수와 같은 45.1%을 나타내고 있다.

4) 이온성분에 대한 경시적변화는 담수에 의한 영향보다는 조석에 의한 영향을 지속적으로 받고있는 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. 문영식, "제주도 함덕 북방 해역에서의 해수의 화학적 특성", 제주대학교 석사논문

- 문, pp.1~60(1990).
2. 노홍길, "제주도 주변해역의 해양환경특성", 대형기선 저인망어업의 현황과 진흥방안에 관한 심포지움, pp.14~25(1990).
  3. APHA. AWWA. WPCF., "Standard Methods "V.16TH. pp.135~375(1985).
  4. 김상현, "제주해역내의 해수 유동에 관한 연구", 제주대학교 석사논문, pp.44~57 (1987)
  5. 日本氣象廳, 海洋觀測指針, pp.145~155(1970).
  6. 박원배, "제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구", 제주대학교 석사논문, 47 pp.(1993).
  7. 한국수자원공사, 제주도 수자원 종합개발 보고서, pp. IV. - 3~V - 78(1993).
  8. 김종훈, 안종성, "제주도 용천수의 수질화학적 특성과 연대측정에 관한연구", 대한화학회지, 36(5), (1992).
  9. Todd, D. K., "Groundwater Hydrology, second edition", pp. 495~519(1980).
  10. Piper, A.M., "A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis", Am.geophys. Union Trans., V.25, pp.914-923(1944).