

제주도 동부해안에서의 지하해수에 대한 화학적 특성에 관한 연구

오윤근*, 박관석*

A Study on the Chemical Characteristics of Ground-seawater in
the Easterncoast of Cheju Island

Youn-Keun Oh and Gwan-Serk Park**

Summary

Hydrographic conditions (temperature, salinity, precipitation) and geochemical characteristics of ground-seawater have been studied in the easterncoast areas (Kimnyoung) of Cheju Island during 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 constant.
- 2) standard-seawater contained 38.69% of Na^+ , and 8.82% of Mg^{++} , while ground-seawater contained 39.33% of Na^+ and 7.78% of Mg^{++} .
- 3) The chemical characteristics of ground-seawater seemed to be determined by the component rates of Na^+ and Mg^{++} , therefore these two elements are considered to be important for determining the chemical composition, of ground-seawater.

서 론

제주 주변해역은 거의 전 연안역이 암초와 해초로 덮여 있고 한·난류가 교차되고 있기 때문에 각종 어·패·조류의 산란서식장 및

생육장으로서 좋은 해양환경 조건을 갖추고 있다. 이와 같이 제주도 주변해역의 좋은 해양환경 조건을 이용하여, 본 도에서는 1986년부터 개발되기 시작한 육상 수조식 양식장에서 연안해수와 해안변의 지하 약 30~70m의

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

대수층내에 부존하는 지하해수를 사용하여 대단위로 조성된 육상수조식 양식업이 성행하고 있어 양식장에서 사용되고 있는 지하해수의 양은 최근들어 점차적으로 증가하고 있는 추세이다. 이처럼 양식장에서 대량으로 사용하고 있는 지하해수는 일반해수에 비해 수질이 양호하고 수온 또한 년중 17°C내외로 거의 변동없이 일정하게 유지되고 있기 때문에 증·양식에 있어 수온제어를 용이하게 할 수 있다. 그러나 제주도 주변해역의 대수층내에 부존하는 지하해수에 대한 화학적특성 연구는 국내는 물론 전 세계적으로도 전무한 상태에 있으므로 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 제주도 동부지역을 대상으로 지하해수에 대한 화학적 특성을 구명하기 위하여 주요 이온 조성비를 표준적해

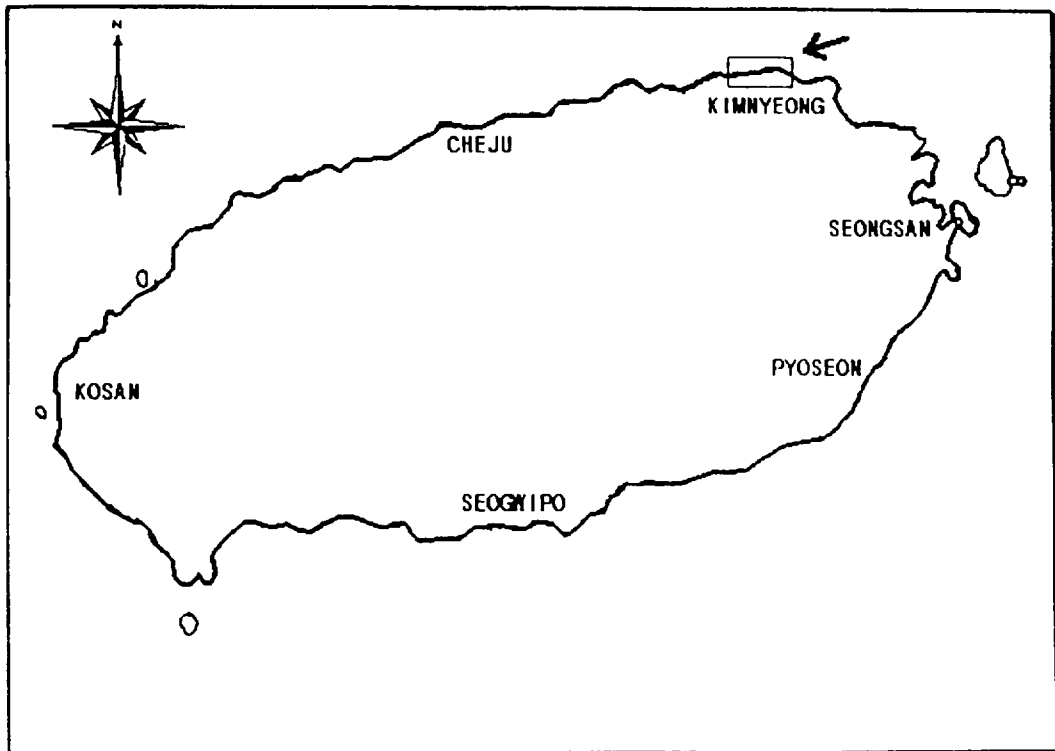
수와 지하해수를 비교 분석하였으며, 수온 및 염분의 측정으로 부터 지하해수의 수질특성에 미치는 영향인자에 대한 상호연관 관계를 고찰하고자 한다.

조사 및 분석 방법

1. 조사 방법

지하해수의 수질분석을 위한 시료채취는 1994년 7월부터 9월까지 3개월에 걸쳐 제주도 동부연안(김녕지역)에서 (Fig. 1)의 지하해수를 사용하는 1개 양식장을 선정하여 3시간 간격으로 24시간 연속 시료를 채수 하였고, 대조시료로 조사지역(김녕)의 연안해수를 폴리에틸렌 병에 채수하여 Ice Box에 넣어 실험실로 운반 즉시 분석하였다.

Fig. 1. Location of ground-seawater measurement in the eastern coast Cheju Island.



2. 분석 방법

해수 및 지하해수의 수온(봉상 수온 온도계(눈금 1/10))은 현장에서 채수즉시 측정하였고, 염분은 실험실로 운반하여 Salinometer(TSURUMI SEIKI, E-2)로 측정하였다. 양이온성분(Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+)에 대해서는 원자흡광광도계(Perkin Elmer, Model 2380)로 분석하였으며, 음이온 중 황산이온은 Ion Chromatograph(DX 100)을 이용하여 측정하였고, 염소이온과 중탄산이온은 衛生試驗法·注解(日本, 1990)에 준하여 분석하였다.

결과 및 고찰

제주도 연안의 육상수조식 어류 중·양식장은 표선면-구좌읍에 이르는 동부지역에 전체의 58.8%에 해당하는 많은 양식장이 밀집되어 있다. 이는 동부지역의 표고에 비해 대수층 두께가 얇으며, 자연수위가 해수면과 가까워 해안 가까운 곳에서 착정심도를 깊게 할 경우 해수가 올라올 수 있는 부존형태를 가지고 있어 지하해수의 개발이 타 지역에 비해 훨씬 용이한 특수성을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 제주도 동부해역인 김녕지역의 육상수조식 어류 중·양식장에서 사용하고 있는 지하해수에 대해 주변 연안해수 및 표준적해수와 화학적 조성비를 비교 고찰하고, 또한 지하해수의 경시적인 변화와 각 성분들간의 수질특성으로 부터 지하해수의 유형을 고찰하고자 한다.

1. 수온 및 염분

제주도 연안의 수온변동은 동계에 12.5°C~15.5°C의 범위내에서 큰 변화 없이 거의 평형상태를 유지하나, 5월부터 1°C~2°C정도의 상승률로 오르기 시작하여 7월 이후에는 최고 28.2°C까지 상승한다. 이와같은 수온의 상승은

하계의 태양열 복사로 인해 전체적으로 수온이 상승하는 요인이 되고 있으며, 또 하계 최고 수온이 나타나는 시기를 전후하여 불규칙한 수온 변화를 나타내기도 한다.

본 조사기간중의 지하해수에 대한 경시적인 수온의 변동범위는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 16.0°C~18.5°C의 수온분포를 보이고 있다. 연안해수와 지하해수와의 수온 차이에서 연안해수는 계절에 따른 해역고유의 수온범위를 유지하고 있으나, 지하해수의 경우는 월별, 시간별 수온변동의 차이가 1°C 내외로 평균 수온인 17°C를 거의 변동없이 일정하게 유지하고 있는 것으로 보아진다. 이는 지하해수가 기타 대수층내에 부존하고 있는 관계로 지질자체의 지열에 의한 영향으로 사료된다.

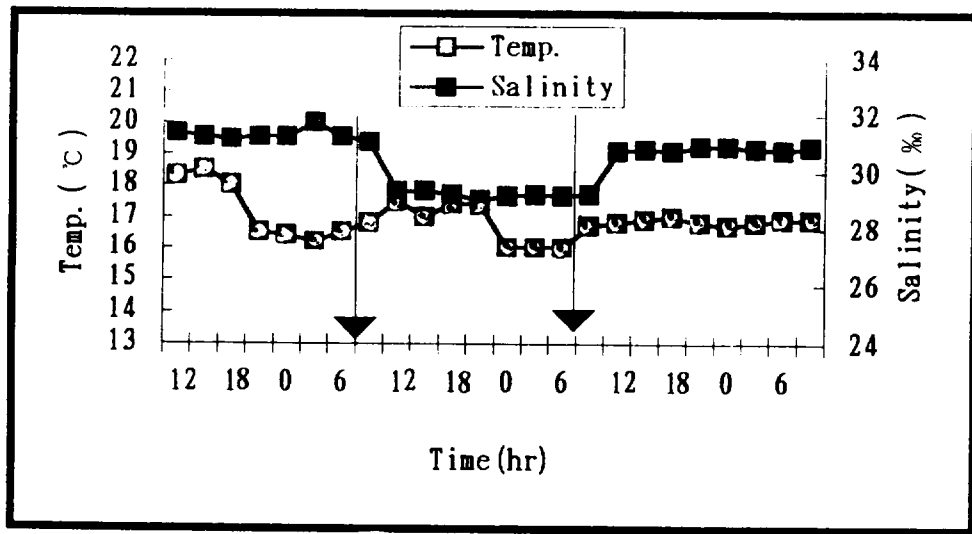
한편 본 조사기간중 연안해수의 최고수온은 8월에 26.4°C, 최저수온은 9월에 22.8°C를 나타내고 있다. 이러한 현상은(노 등 1986)의 제주 동부지역의 최고수온 27.5°C(8월)와 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다.

해수의 염분은 보존성을 지닌 해양환경 요인의 하나이며, 수온과 함께 해수의 상태를 나타내는 가장 기본적인 것으로서 해양생물의 분포를 지배하는 중요한 인자로 알려져 있다. 제주 주변해역에 대한 염분농도의 분포는 지역에 따라 그 특성이 매우 뚜렷하게 나타나고 있다. 노 등(1986)의 연구에 의하면 동부지역인 성산지역은 동계로부터 5월 상순까지는 34.40‰ 이상의 고염분을 유지하나 5월 중순부터 염분이 낮아지기 시작하여 7월 하순에는 31.76‰까지 내려가서 8월중에 현저히 낮아져 9월 상순에는 29.00‰정도로 저염분현상을 나타내는 것으로 보고되고 있다. 그러나 저염현상은 오래 지속되지 않고 9월 중순에 다시 31.00‰이상으로 회복되는 것으로 알려지고 있다. 그러므로 제주연안의 최저염분 출현시기는 8월 하순 내지 9월 상순이며, 이때의 염분농도는 27.30~29.00‰의 범위이다. 이러한 현

상은 최 등(1987)이 지적인 계절에 크게 영향을 받고 있으며, 이는 동계에는 연안에서 대마난류계 난류수의 영향을 강하게 받고, 하계

에는 연안수의 혼합이 잘 이루어지고 있는 것으로 보고되고 있다.

Fig. 2. Variation of ground-seawater temperature and salinity by the time in the investigation area.



본 연구기간 중의 동부 연안해수에 대한 평균 염분농도는 32.26‰로 거의 비슷한 양상을 보이고 있으며, 조사기간중의 최소값은 8월에 31.23%, 최대값은 7월에 32.86‰로 각각 나타내고 있다. 이는 노 등(1986)과 최 등(1987)에 의해 보고된 8월 이후의 염분농도 범위보다는 다소 높은 경향을 나타내고 있지만, 8월 하순에서 9월상순까지의 저염현상과는 일치하고 있다. 특히 7월중 농도가 다소 높은 경향을 나타낸 것은 7월중의 가뭄현상이 영향을 주고 있는 것으로 추정된다.

지하해수에 대한 경시적인 염분농도의 변화는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 30.03~32.76‰의 범위로서 최소값은 8월에 30.03%, 최대값은 7월에 32.76‰를 나타내고 있다. 이러한 현상은 지역에 따라 지하해수가 존재하고 있는

점이대층의 상부에 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.

2. 양이온

1) Sodium : Na⁺

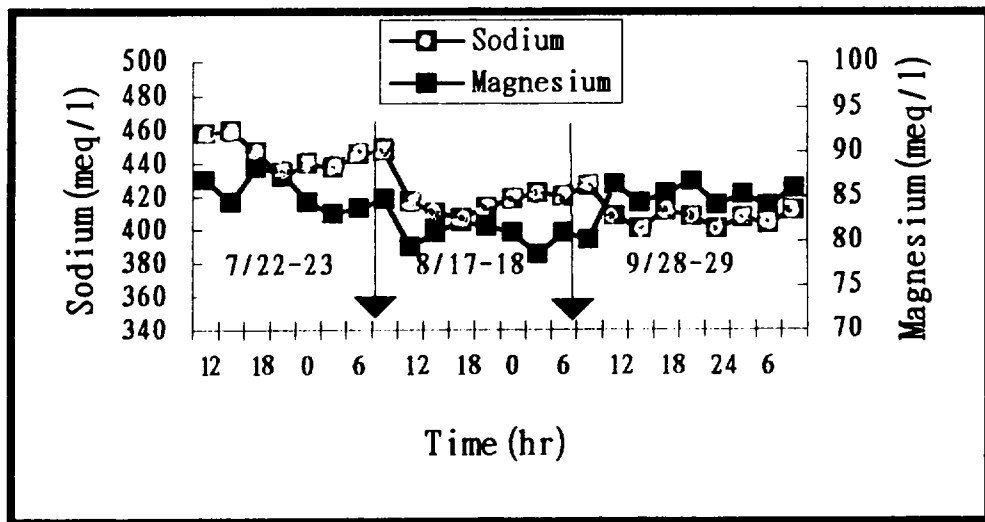
해수는 지역에 따라 그 성분 농도에 차이는 있으나 주요성분에 대한 이온상호간의 조성비는 거의 일정한 비율로 존재한다고 알려져 있다. 나트륨이온은 해수의 성분중 염소이온과 함께 가장 많이 함유되어 있는 성분으로 표준적해수(35‰일때) 중에는 465.7meq/l로 총이온량에 대해 30.6%를 차지하는 것으로 알려져

고 있다(海洋觀測指針, 1970). 나트륨이온에 대한 연안해수의 평균농도는 442.1meq/l, 최소값은 8월에 435.7meq/l, 최대값은 7월에 459.9meq/l로 각각 나타나 연안해수의 농도는 표준적해수와 큰 차이를 보이지 않고 있다.

지하해수의 나트륨이온 농도범위는 400.5~459.4meq/l로 최소값은 9월에 400.5meq/l, 최고값은 7월에 459.4meq/l로 나타나고 있다. 또한 7~9월 3개월간의 평균농도는 422.9 meq/l로서 연안해수와 비슷한 분포를 보이고

있다. 한편 지하해수의 나트륨이온에 대한 경시적인 농도변화는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 7월이 8월과 9월의 농도에 비하여 변화의 폭이 약간 크게 나타나고 있으며, 9월중의 농도가 다소 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이와같은 현상은 김녕지역의 지질구조가 다소 낮아지는 경향을 보이고 있으나 이와 같은 현상은 김녕지역의 지질구조상 담수의 영향보다는 조석의 영향을 많이 받고 있는 것으로 보인다. 이는 고 등 (1994)에 의해 보고된 동부 지역의 수위변동 양상과 일치하고 있다.

Fig. 3. Variation of ground-seawater sodium ion and magnesium ion concentrations by time in the investigation area.



2) Magnesium : Mg⁺⁺

마그네슘이온은 해수중의 주요성분중의 하나로 표준적해수 중에는 106.2meq/l의 농도로 총이온량의 약 3.7%을 차지하는 것으로 알려져 있다(海洋觀測指針, 1970).

본 조사에 의하면 연안해수는 마그네슘이온의 평균농도가 100.2meq/l, 최소값은 8월에

98.5meq/l, 최대값은 7월에 101.7meq/l로 나타나고 있다. 한편 지하해수의 경시적인 농도범위는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 전체적으로는 비슷한 경향을 보여주고 있으며, 변동 범위는 78.5~88.2meq/l로 39.7meq/l의 농도차를 보여주고 있다. 또한 7~9월, 3개월간의 평균농도는 83.7meq/l로 지하해수의 농도 역시 높은값을 나타내고 있다. 그러나 최소값

과 최대값의 농도범위는 큰 차이가 없이 거의 비슷한 양상을 띄고 있으며 연안해수의 농도와 지하해수와의 농도차는 16.5meq/l로 큰 차이를 보이고 있다. 이는 김녕지역이 조석에 의한 해수의 영향을 지속적으로 받고 있는 것으로 사료된다.

3) Calcium : Ca⁺⁺

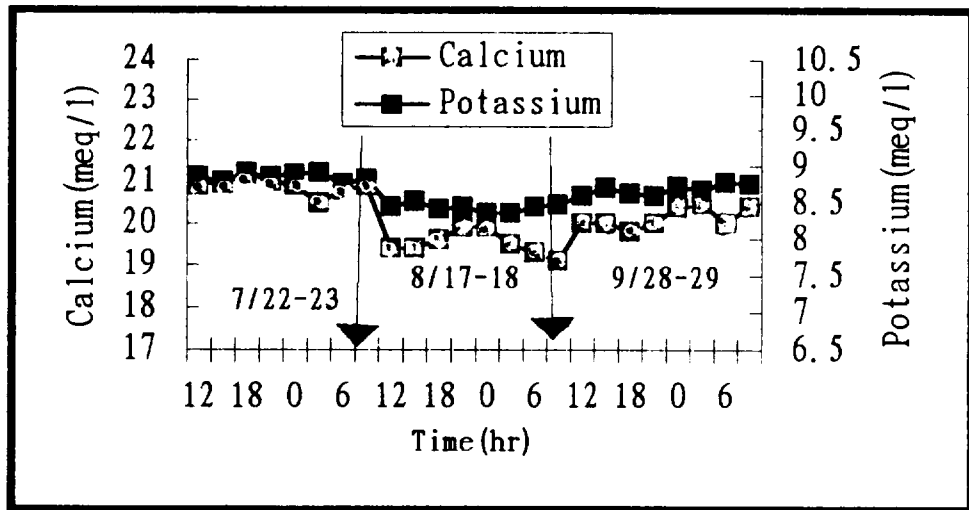
일반적으로 표준적해수중에서 칼슘이온의 농도는 20.5meq/l 정도로 총이온량에 대해 1.2%을 함유하는 것으로 알려져 있다(海洋觀測指針, 1970).

본 조사지역의 연안해수 내에 함유되어 있는 칼슘이온의 평균농도는 20.5meq/l, 최소

값은 8월에 20.1meq/l, 최대값은 9월에 20.9meq/l로 각각 나타나고 있다.

지하해수의 칼슘이온농도 변동범위는 19.1~21.2meq/l이고, 7, 8 및 9월의 3개월간의 평균농도는 20.2meq/l, 최소값은 8월에 19.1 meq/l, 최대값은 7월에 21.2meq/l로 7월에 나타나고 있어, 8월과 7월에 각각 최소, 최대 값을 나타낸 연안해수와 비슷한 경향을 보여 주고 있다. 지하해수의 칼슘이온의 경시적인 농도변화는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 뚜렷한 변화폭을 보이고 있다. 특히 7월중의 농도 변화는 8, 9월에 비해 상대적으로 큰 차이를 보이고 있으며, 이는 7월중 가뭄에 의한 영향이 직접적인 원인으로 사료된다.

Fig. 4. Variation of ground-seawater calcium ion and potassium ion concentrations by time in the investigation area.



4) Potassium : K⁺

칼륨이온은 해수중에 존재하는 주요성분의 하나로 표준적해수중의 칼륨이온농도는 9.9 meq/l로 총이온량의 1.10%을 함유하고 있는

것으로 알려져 있다. (海洋觀測指針, 1970). 칼륨이온의 연안해수중 평균농도는 8.9meq/l 이고 최대값은 7월에 9.1meq/l로 나타나고 있다. 지하해수의 농도 변동범위는 8.4meq/l~ 8.9meq/l로써, 7, 8 및 9월의 3개월간의 평

균농도는 8.7meq/l이고, 최소값은 8월중에 8.4meq/l, 최대값은 7월에 8.9meq/l로 연안해수의 분포경향과 비슷한 양상을 보이고 있다. 그러나 연안해수와 지하해수와의 농도차는 평균 0.3meq/l로서, 지하해수의 농도가 연안해수의 농도보다 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다. 본 연구의 조사시기에 지하해수의 칼륨이온의 경시적인 농도변화는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 8월중에 농도가 낮았으며, 특히 전체적인 농도변화는 타성분의 변화양상과는 달리 7, 8 및 9월 모두 높게 나타나고 있다. 이와 같은 경향은 지질자체에 함유되어 있는 칼륨이온이 지하해수에 영향을 주는 것으로 사료된다.

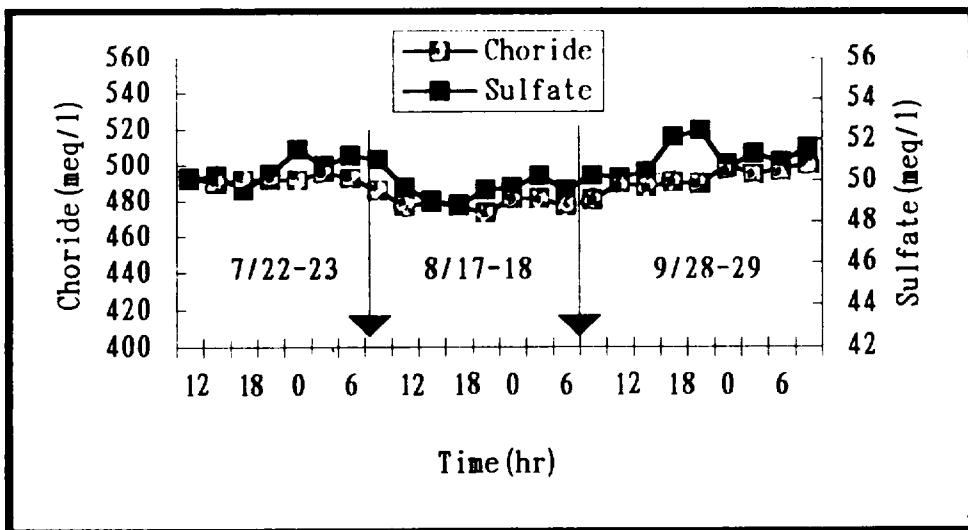
3. 음 이 온

1) Chloride : Cl⁻

지하수에 있어서 염소이온의 주된 근원은 증발암과 같은 퇴적암류이고 소량은 화성암으로부터 유래되는 것으로 알려져 있다(Todd, 1980). 자연수 중의 염소이온의 농도는 기후 환경에 따라 차이를 나타내고 있지만, 표준적 해수(35%) 중의 염소이온은 542.8meq/l로 총 염분량의 55.0%를 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(海洋觀測指針, 1970). 조사기간중 염소이온에 대한 연안해수의 평균농도는 508.0 meq/l이고, 최소값은 8월에 485.7meq/l, 최대값은 7월에 530.1meq/l로 나타나고 있다. 그러나 연안해수의 농도는 전체적으로 큰 농도차이를 보이지는 않고 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다.

지하해수 중의 염소이온 농도범위는 472.9 ~ 500.3meq/l이고, 평균농도는 487.6meq/l로써 연안해수에 비하여 평균 20.4meq/l로 다소 높은 농도 차이를 보이고 있다.

Fig. 5. Variation of ground-seawater chloride ion and sulphate ion concentrations by time in the investigation area.



지하해수의 평균농도는 2.0meq/ℓ이고, 변동범위는 1.9~2.2meq/ℓ로 연안해수와 비슷한 분포를 보이고 있으나, 평균농도는 지하해수가 연안해수 보다 높게 나타나는 특징을 보여주고 있다. 또한 지하해수의 최소값은 8월에 1.9meq/ℓ, 최대값은 7월에 2.2meq/ℓ로 나타나고 있어 9월에 최소값을 보인 연안해수와 상반되는 경향을 보이고 있다.

중탄산이온에 대한 경시적인 농도변화는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 강우량이 많았던 8월중의 농도가 9월에도 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이는 지질에 의한 영향이 크게 작용하고 있는 것으로 사료된다.

4. 각 성분간의 상관관계

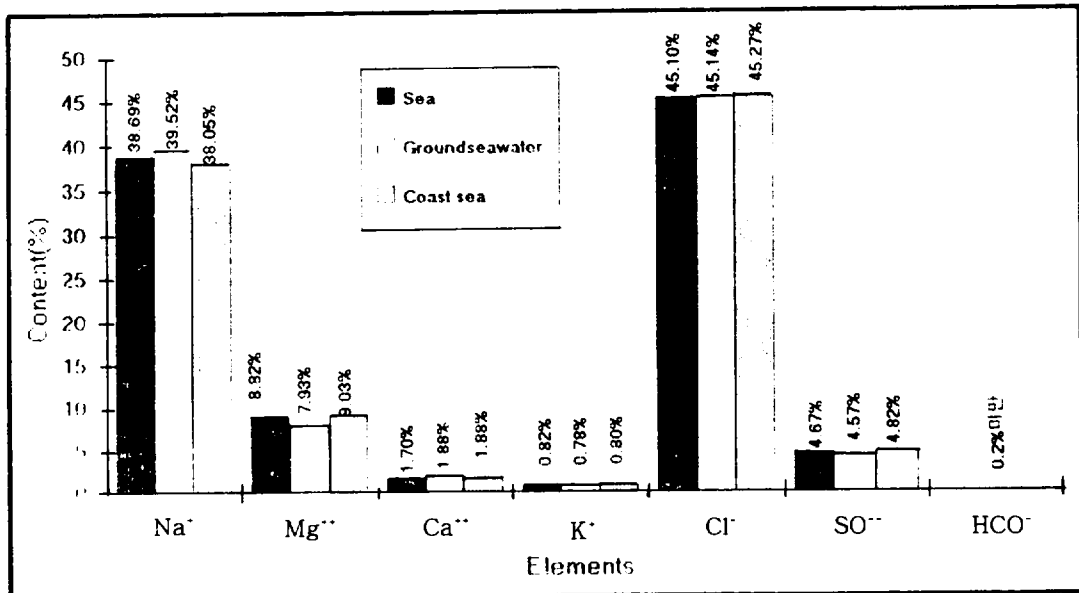
표준적해수에는 Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ 의 양이온과 Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- 의 음이온이 절대적인 비중을 차지한다. 또한 이들 주요성분 이외의 성분들이 극히 미량으로 포함되어 있으

며, 이들 주성분의 함유량이 수질특성을 결정하는 요인이 되고 있다. 이와 같이 지하해수의 특성을 보다 종합적으로 평가하기 위해서는 Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ 및 Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- 의 화학조성 등 이온성분에 대한 상관관계를 다각적으로 분석고찰하는 것이 바람직 하다고 본다.

본 연구에서는 지하해수의 화학조성을 표준적해수의 화학조성과 비교 분석 하였으며, Trilinear Diagram을 이용하여 지하해수의 수질특성을 고찰하였다.

제주도 동부해안(김녕)의 지하해수와 표준적해수(35%) 및 연안해수의 성분조성비는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 나트륨이온이 39.3%로 표준적해수에 비해 높게 나타내고 있는 반면에 마그네슘이온은 7.8%로 표준적해수에 비해 낮게 나타내고 있다. 또한 음이온의 조성비에서는 비슷한 조성비를 나타내고 있으나, 연안해수에서 염소이온이 표준적해수 및 지하해수에 비해 높게 나타내고 있다. Fig. 8

Fig. 7. Contents of ground-seawater each elements in Kimnyoung area.

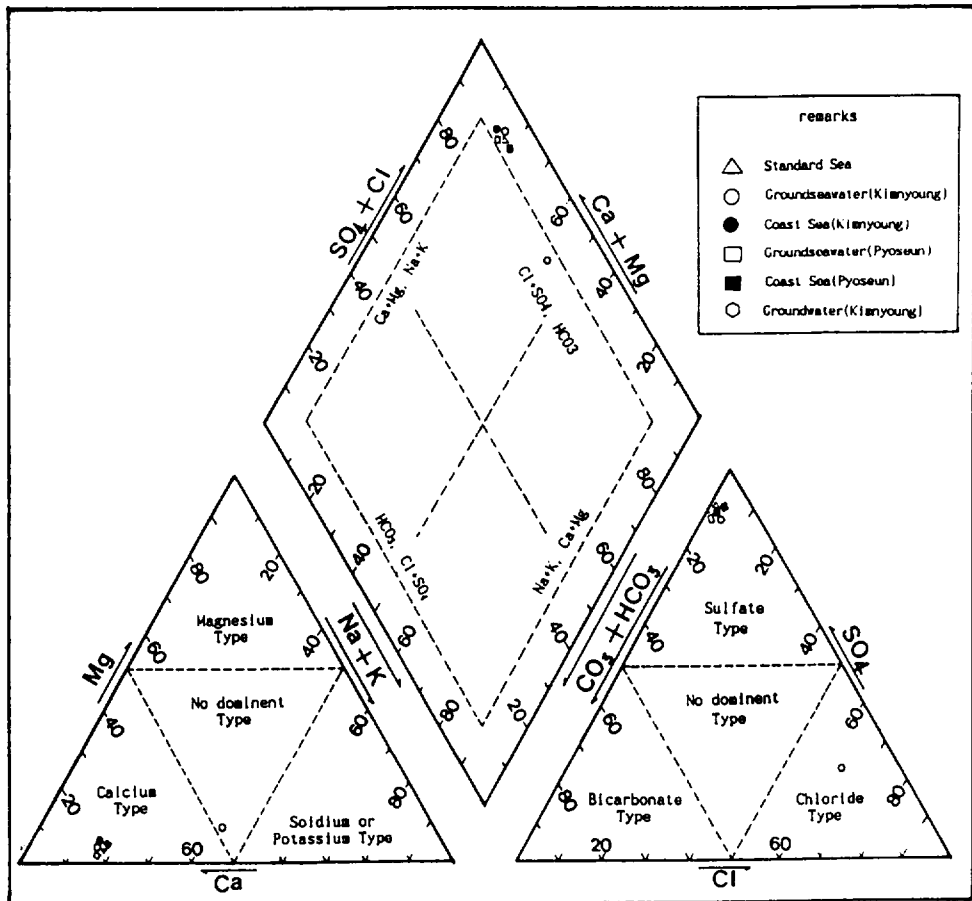


은 앞의 계산결과를 근거로 Hem, (1970)의 Trilinear Diagram에 도시한 것이다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 동부해안지역의 지하해수의 경우, 양이온성분에 의하면 Ca^{++} 형에 속하고 있으며, 음이온성분에 따르면 SO_4^{--} 유형으로 화학적특성이 유사하게 나타내고 있다. 또한 연안해수 및 표준적해수의 유형도 지하해수와 비슷한 유형을 나타내고 있으며, 중앙의 다이아몬드형 그림에서도 동부해안지역의 지하해수는 $Ca^{++}-Mg^{++}-Cl^-$ 유형에 포함되고 있다. 또한 연안해수와 표준적해수의 수질 특성도 지하해수와 비슷한 유형을 보여주고 있다. 한편 농진공(1989)과 최(1990)의 연구

결과에 의하면 Fig. 8과 같이 동부해안지역의 지하수에 대한 수질특성은 Na^+-Ca^{++} 및 $Cl^-SO_4^{--}HCO_3^-$ 유형을 보여, 동부해안지역 지하수에는 염도가 높은 경향을 나타냄으로 인해 이곳 지하수에는 해수가 많이 혼합되어 있는 것으로 알려지고 있다. 그러나 동부해안지역의 지하수는 본 조사의 지하해수와는 근본적으로 그 수질특성이 상이한 것으로 보여진다. 이와 같은 차이를 유발시킬수 있는 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.

Fig. 8. Trilinear Diagram for representing analyses of ground-seawater quality in Kimnyoung area.



결 론

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

1) 본 조사지역에서 지하해수의 수온은 16.0~18.5°C이고, 염분농도는 30.03~32.76‰이며, Na^+ 는 400.5~459.4meq/l이고, Mg^{++} 는 78.5~88.2meq/l이며, Ca^{++} 는 19.1~21.2meq/l이고, K^+ 는 8.4~8.9meq/l이며, Cl^- 는 472.9~500.3meq/l이고, SO_4^{--} 는 48.8~52.4meq/l이며, HCO_3^- 는 1.9~2.2meq/l의 범위를 나타내고 있다.

또한, 조사지역의 주변연안해수의 평균수온은 25.1°C이고, 염분농도는 32.26‰이며, Na^+ 는 442.1meq/l이고, Mg^{++} 는 100.7meq/l이며, Ca^{++} 는 20.5meq/l이고, K^+ 는 9.0meq/l

이며, Cl^- 는 508.0meq/l이고, SO_4^{--} 는 52.3meq/l이며, HCO_3^- 는 1.9meq/l와 같이 평균값을 각각 나타내고 있다.

2) 지하해수의 수온은 17.1°C 내외로 거의 변동없이 일정한 수온을 유지하고 있다. 이는 지하해수가 대수층내에 부존하고 있는 관계로 지열의 영향을 크게 받고 있는 것으로 사료된다.

3) 지하해수의 화학적조성 비율은 Na^+ 의 경우 표준적 해수는 38.7%를 나타내고 있는 반면에 지하해수는 39.3%로 표준적해수에 비해 높게 나타나고 있으며, Mg^{++} 은 표준적해수가 8.8%인 것에 비해 7.8%로 Na^+ 과는 대조적으로 낮은 특성을 보이고 있다. 이와같이 지하해수의 화학적특성은 Na^+ 과 Mg^{++} 이 화학적 조성을 결정짓는 중요한 인자로 사료된다.

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

참 고 문 헌

- 1) 海洋觀測指針(氣象廳編), 1970. 日本海洋學會, pp. 145~247.
- 2) 최영찬, 고기원, 1987. 濟州道 東南方 新川沿岸域 海水의 理化學的 特性과 低質分布. 제주대 해양자원연구원보, 11, pp. 53~70.
- 3) 고기원, 박원배, 윤정수, 1993. 제주도 동·서부지역의 지하수 부존형태와 수질 특성에 관한 연구. 제주도보건환경연구원보, 4, pp. 191~222.
- 4) 한국수자원공사, 1993. 제주도 수자원 종합개발 보고서, pp. IV-3~V-78
- 5) 김종훈, 안종성, 1992. 제주도 용천수의 수질화학적 특성과 연대측정에 관한연구. 대한화학회지, 36(5)
- 6) 노홍길, 1993. 제주도 주변해역의 해양환경특성, 대형기선 저인망어업의 현황과 진흥방안에 관한 심포지움, pp. 14~25.
- 7) Todd, D. K., 1980. Groundwater Hydrology, second edition. John Wiley & Sons, pp. 495~519.
- 8) Choi, S. H., Y. k. Kim, 1989. Geochemical Characteristics of Groundwater in Cheju Island. *Geological*

- Soc.* 25(3), pp.230~238.
- 9) Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Bul. Fish. Bd. CA.* 187 PP.
- 10) Howard, K. W. F., 1983. Major Ion Characterization of Coastal Saline Ground Waters. 21(4), pp.429~437.
- 11) JOHN E.H., 1989, Design and Operating Guide for Aquaculture Seawater Systems. *Aqu. and Fish. scio.* 20, pp.42~49.