
석사학위논문

제주도 해안에서의 지하해수에 대한
화학적 특성에 관한 연구

제주대학교 대학원

해양환경공학과



1994년 12월

제주도 해안에서의 지하해수에 대한
화학적 특성에 관한 연구

지도교수 오 윤 근

박 관 석

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함.

1994년 12월

박관석의 공학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 윤 정 수



위 원 이 용 두



위 원 오 윤 근



제주대학교 대학원

1994년 12월

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

Gwan-Serk Park
(Supervised by professor Youn-Geun Oh)

 제주대학교 중앙도서관
A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF MARINE ENVIRONMENTAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1994. 12

목 차

Summary	3
I. 서 론	3
II. 환경 특성	5
1. 남·동부지역의 환경 현황	5
1) 해황	5
2) 지하해수의 수질과 강우량	7
3) 지하해수의 수질과 조석	9
2. 남·동부지역의 지하해수와 지질특성	13
1) 지하해수의 부존형태	13
2) 제주도 남·동부지역의 지질구조	19
III. 조사 및 분석방법	22
1. 조사 방법	22
2. 분석 방법	22
IV. 결과 및 고찰	24
1. 수온 및 염분	24
2. 양이온	28
1) Sodium : Na ⁺	28
2) Magnesium : Mg ⁺⁺	32
3) Calcium : Ca ⁺⁺	33
4) Potassium : K ⁺	35
3. 음이온	36
1) Chloride : Cl ⁻	36
2) Sulfate : SO ₄ ⁼⁼	38
3) Bicarbonate : HCO ₃ ⁻	39
4. 각 성분간의 상관관계	41
V. 결 론	46
VI. 참고문헌	48
감사의 글	

List of Figures

Fig. 1.	Average variation of seawater temperature by monthly in the southern and eastern area.	6
Fig. 2.	Average variation of seawater salinity by monthly in the southern and the eastern area.	6
Fig. 3.	Average distribution of rainfall by monthly in the southern and the eastern area.	8
Fig. 4.	Interrelation of salinity and precipitation.	8
Fig. 5.	Relation between salinity concentration and sea level in Kimnyoung area.	10
Fig. 6.	Relation between salinity concentration and sea level in Pyoseun area.	11
Fig. 7.	Schematic of groundwater.	14
Fig. 8.	Schematic of basal groundwater.	15
Fig. 9.	Principle of Ghyben-Herzberg theory.	16
Fig. 10.	Geologic columiation in Pyoseun area.	20
Fig. 11.	Location of ground-seawater measurement in the southern and eastern Cheju Isand.	23
Fig. 12.	Variation of ground-seawater temperature by the time in the investigation area.	27
Fig. 13.	Variation of ground-seawater salinity by the time in the investigation area.	27
Fig. 14.	Variation of ground-seawater sodium ion concentrations by time in the investigation area.	31

Fig. 15. Variation of ground-seawater magnesium ion concentrations by time in the investigation area.	31
Fig. 16. Variation of ground-seawater calcium ion concentrations by time in the investigation area.	34
Fig. 17. Variation of ground-seawater potassium ion concentrations by time in the investigation area.	34
Fig. 18. Variation of ground-seawater chloride ion concentrations by time in the investigation area.	37
Fig. 19. Variation of ground-seawater sulphate ion concentrations by time in the investigation area.	37
Fig. 20. Variation of ground-seawater bicarbonate ion concentrations by time in the investigation area.	39
Fig. 21. Content of ground-seawater each elements in Pyoseun area. ...	42
Fig. 22. Content of ground seawater each elements in Kimnyoung area.	43
Fig. 23 Trilinear Diagram for representing analyses of ground-seawater quality in Pyoseun and Kimnyoung area.	44

List of Tables

Table 1. Variations of ground seawater temperature and salinity in the southern and eastern area.	25
Table 2. Result of ground-seawater and coast seawater measurement in the southern and eastern area.	29



Summary

Hydrographic conditions(temperature, salinity, precipitation) and geochemical characteristics of ground-seawater have been studied in the southeastern and eastern areas of Cheju Island during July to September 1994.

This study was carried out in order to understand the chemical and hydrographic characteristics of ground-seawater and the coastal seawater in surrounding Cheju Island, but their No such studies have been done in Korea, or even in any other country, with respect to ground-seawater existing in aquifers.

In order to research the chemical characteristics of ground-seawater in the southeastern and eastern parts of Cheju Island, research was focused on converting major ion composition ratios to equivalent and their comparison with the island's coastal seawater. The factors influencing ground-seawater based on water temperature and salinity measurements were investigated in this study. The results are summarized as follows.

1) The water temperature of the ground-seawater in the two areas surveyed was approximately $17\pm 1^{\circ}\text{C}$ and remained almost constant. It is believed that this phenomenon is greatly due to local geothermal characteristics, because the ground-seawater exists within aquifers. The temperature between these two areas was different : the ground-seawater temperature of the Pyoseun area was higher than that in

the Kimnyoung area by approximately 1°C. The reason for this is that the depths below-ground of the ground-seawater in these two areas are different.

2) Based on the fact that variation in ion composition in the Kimnyoung area is continuously more affected by tidal waters rather than by precipitation, the Pyoseun area is more affected by precipitation rather than by tidal water. This is believed to result from the geological characteristics of these two areas being different from one other.

3) As to the chemical composition of standard seawater contained 38.69% of Na⁺, on the other hand ground-seawater in the Kimnyoung area contained 39.33%, and that in the Pyoseun area 39.53%; The standard seawater contain 8.82% Mg⁺⁺ whilst the Kimnyoung area ground-seawater contained 7.78%, and the Pyoseun area 7.92%; both lower than the ground-seawater Na⁺ content.

However, the chemical composition of the ground-seawater displayed almost the same distribution trends as those for standard seawater. Based on these data the chemical characteristics of ground-seawater seem to be determined by Na⁺ and Mg⁺⁺ contents, and therefore these two elements are considered to be important for determining the chemical composition.

I. 서 론

제주도 주변해역은 동중국해, 황해, 우리나라 남해와 접하고 있고 해저 지형도 경사가 완만하고 해저 퇴적물의 유형도 거의 찰[泥質] 또는 砂泥質로 되어 있는 대륙붕 해안이다. 또한 주변에는 楊子江, 黃河와 같은 대하천이 있고, 우리나라 남·서해에도 크고 작은 하천이 분포하고 있어 영양염류가 풍부한 육수가 다량으로 유입되고 있으며, 조류에 의한 교란이나 동계 표층수의 냉각에 의한 대류혼합이 촉진되기 때문에 높은 생물생산이 진행되고 있어, 예로부터 좋은 어장으로 이용되고 있다(노, 1993). 이러한 지리적 위치에 놓여 있는 제주도 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. 이와같이 제주도 주변해역의 좋은 해양환경 조건을 이용하여, 본 도에서는 1986년부터 개발되기 시작한 육상 수조식 양식장에서 연안해수나 혹은 지하 약 30~70m의 대수층내에 부존하는 지하해수를 사용하여 대단위로 조성된 양식업이 성행하고 있으며, 양식장에서 사용되고 있는 지하해수의 양은 최근들어 점차적으로 증가하고 있는 추세이다. 이처럼 양식장에서 대량으로 사용하고 있는 지하해수는 일반해수에 비해 수질이 양호하고 수온 또한 년중 17℃내외로 거의 변동없이 일정하게 수온이 유지되고 있기 때문에 증·양식에 있어 수온제어를 용이하게 할 수 있다. 그러나 제주도 주변해역에 대한 해수의 화학적특성 연구는 (윤과 고, 1994; 고 등 1993; 박, 1993; 고 등 1992; 문, 1990; 최 등 1989; 최와 고, 1987)을 대상으로 활발히 이루어져 왔지만, 대수층내에 부존하는 지하해수에 대한 화학적특성 연구는 국내는 물론 전 세계적으로도 전무한 상태에 있으므로 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 제주도 남·동부지역을 대상으로 지하해수에 대한 화학적 특성을 구명하기 위하여 주요 이온 조성비를 표준적해수와 지하해수를 비교 분석하였으며, 수온 및 염분의 측정으로부터 지하해수의 수질특성에 미치는 영향인자에 대한 상호연관 관계를 알고자 하였다.



II. 환경 특성

1. 남·동부 지역의 해양 환경 현황

1) 해 황

제주도 남·동부지역은 周年난류권에 들어 있으면서도 여름철 낮은 수온이 자주 출현하며 강한 해조류 등의 영향으로 제주도 주변연안에서도 비교적 복잡한 해황을 갖는 지역이다. 제주도 주변해역의 표층수온은 2월에 년중 최저치인 12~16℃이고 그후 점차 높아져 8월에 년중 최고치인 26~28℃를 보이고 있는 반면 수심 50m층의 수온변화는 2월에 14~17℃, 4월에 14~18℃, 6월에 16~18℃, 8월에 16~18℃, 10월에 15~20℃, 12월에 16~18℃로 표층에서와 같은 큰 변화는 보이지 않고 있다(방 등 1990; 노 등 1986).

남·동부지역의 2년(1987년 6월부터 1989년 6월)간에 걸친 평균수온 분포는 Fig. 1에 나타낸 바와같이, 년평균 수온은 남부지역이 17.5℃, 동부지역이 16.6℃ 로써 남부지역이 동부지역에 비해 약 1℃정도 높은 수온분포를 보여주고 있다. 또한 각 계절별 평균수온은 남부지역이 춘계(6월)에 18.6℃, 하계(8월) 25.6℃, 추계(11월) 16.1℃, 동계(2월) 12.9℃였고, 동부지역의 경우, 춘계(6월)에 17.5℃, 하계(8월) 22.9℃, 추계(11월) 15.8℃, 동계(2월) 12.8℃로서 동계와 하계의 수온차이는 10.1℃~12.7℃의 차이를 보여주고 있었으며, 최고수온과 최저수온이 남부지역에서 나타나 수온의 변화폭이 동부지역에 비해 다소 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다(최 등 1989).

제주도 주변해역의 표층염분은 2월에 년중 최고치인 34.3~34.7‰를 보인 후 점차 저염화 되어 가다가 8월에 양자강 연안수의 유입과 강우량 등의 영향으로 급격히 낮아져 31.0‰이하인 저염상태를 형성하다 9월 중순부터 다

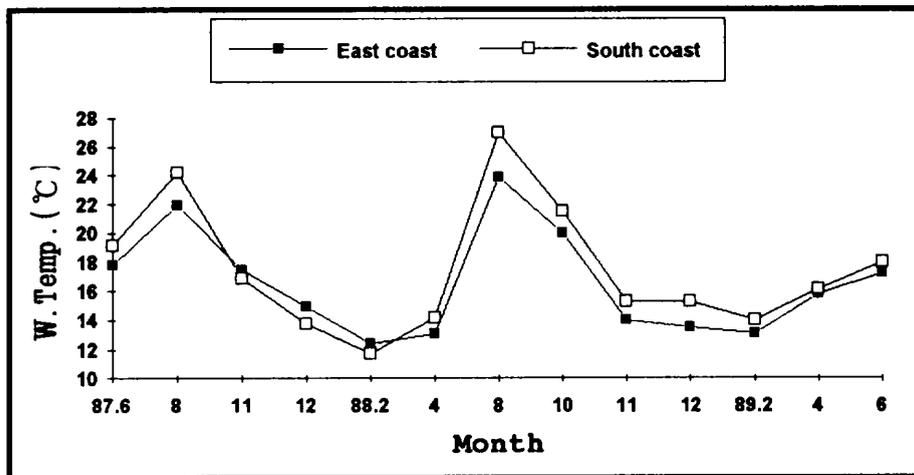


Fig. 1. Average variation of seawater temperature by monthly in the southern and eastern area.

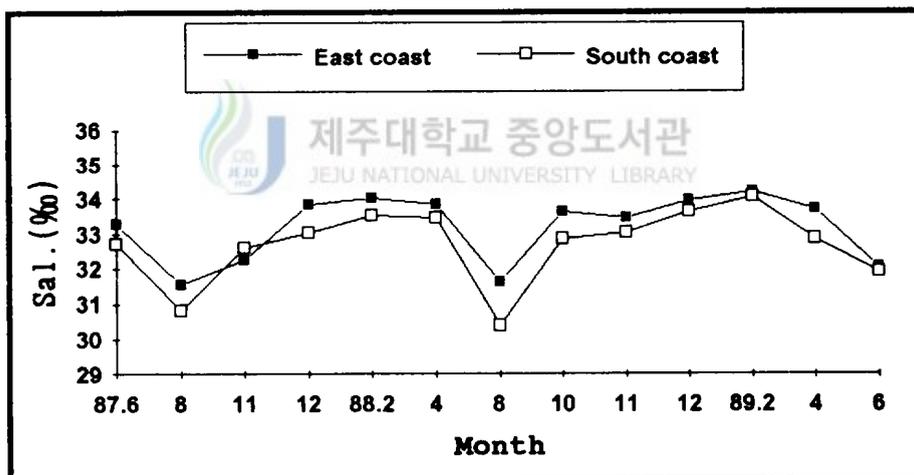


Fig. 2. Average variation of seawater salinity by monthly in the southern and eastern area.

시 상승하기 시작한다. 수심 50m층의 염분농도 역시 2월에 가장 높은 34.4~34.7%이고, 년중 최저값은 8월에 33.5~34.3%를 보여주고 있다. 염분농도의 최저치는 표층에서 나타나고 있지만 최고치는 저층에서 나타나고 있으며, 저염수가 서쪽에서 동쪽으로 향하여 설상으로 파고들고 있는 동부지역의 염분분포는 32.0~34.5%로서 최고 염분농도는 2월에, 최저 염분농도는 8월에 나타나며, 외해수의 영향을 가장 많이 받는 곳은 성산 주변해역으로 보고되고 있다(김, 1987). 이러한 요인은 해수의 연직혼합이 잘 이루어지고 저층의 풍부한 영양염류가 표층으로 운반되어 높은 기초생산력을 형성하는 독특한 해양수역을 가지고 있다.

남·동부지역의 2년(1987년 6월부터 1989년 6월)간에 걸친 년평균 염분농도는 Fig. 2에 나타낸 바와같이, 남부지역이 32.68%, 동부지역이 33.18%로써 동부지역이 남부지역에 비해 다소 높은 경향을 보여주고 있다. 또한 각 계절별 평균 염분농도는 남부지역이, 춘계(6월)에 32.31%, 하계(8월) 30.60%, 추계(11월) 32.82%, 동계(2월) 33.79%이었으며, 동부지역의 염분농도는 춘계(6월)에 32.66%, 하계(8월) 31.60%, 추계(11월) 32.85%, 동계(2월) 34.11%로써 동계의 염분농도가 하계에 비해 2.51%~3.19%의 높은농도를 나타내고 있다(최 등 1989).

2) 지하해수의 수질과 강우량

제주지역의 년평균 강우량은 전국평균치 1,165mm보다 많은 1,815mm로 알려져있으며, 한라산을 중심으로 남동부(서귀포:1,767mm, 성산포:1,808mm)가 가장 많고, 남서부(대정:1,239mm)가 가장 적은 분포를 보이고 있다(기상년보 1962~1991). 제주지역의 강우량을 월별로 보면 하계 계절풍과 함께 6, 7, 8월에 200mm이상의 많은 강우가 내려 전 강우량의 56.6%를 차지하고 있는 반면 10월에서 4월에는 100mm이하의 적은 강우량을 보여 계절별로 뚜렷한 변화

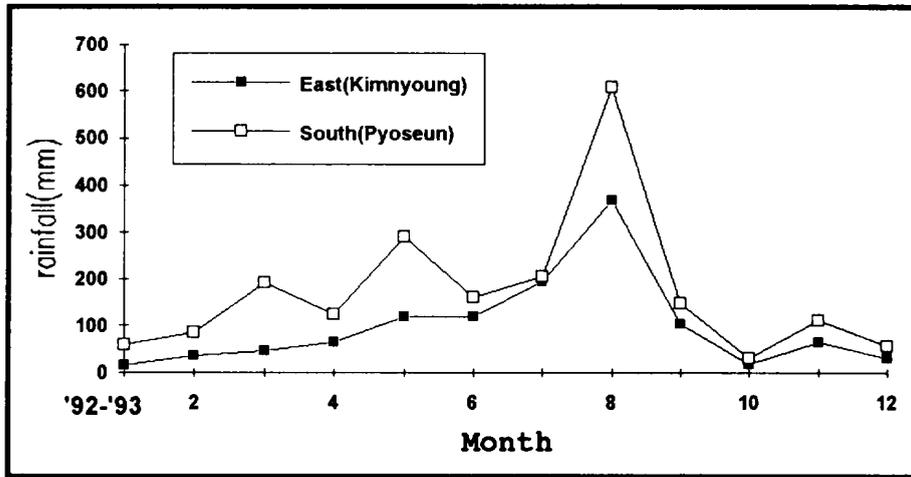


Fig. 3. Average distribution of rainfall by monthly in the southern and the eastern area.

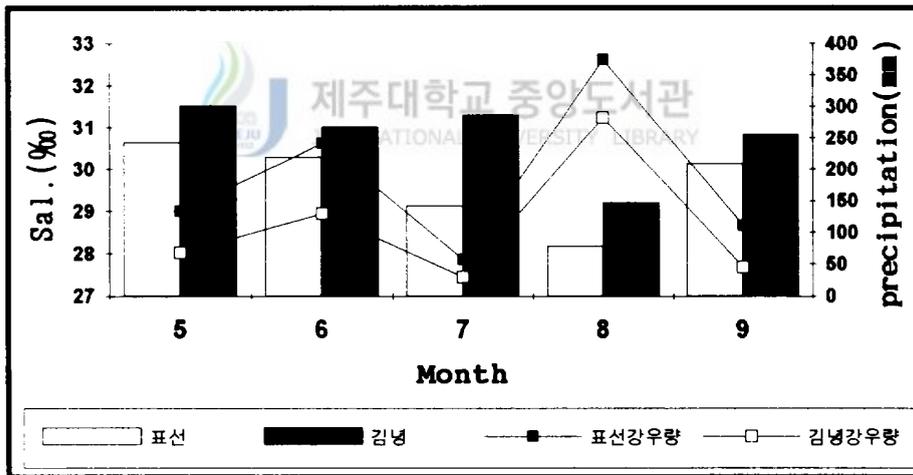


Fig. 4. Interrelation of salinity and precipitation.

양상을 보여주고 있으며, 강우량의 변화폭은 최대 2,421mm, 최소 879mm로 변화폭이 매우 크게 나타나고 있음을 알 수 있다(한수공, 1993).

1992년부터 1993년까지 2년간에 걸친 남·동부조사 대상지역(김녕, 표선)의 년평균 강우량은 Fig. 3에 나타낸 바와같이, 년평균 강우량은 표선지역이 2,058mm, 김녕지역이 1,174mm로써 표선지역이 김녕지역에 비해 다소 많은 강우량을 보여주고 있다(제주도청 자료, 1994). 이와같은 강우량은 전국 평균치의 강우량보다 많으며, 특히 표선지역의 강우량은 전국 평균치의 2배 이상의 차이를 보여주고 있다. 또한 월별 강우량은 두지역 모두 8월에 집중되고 있는 것을 볼 수 있다.

조사기간중의 염분농도와 강우량과의 관계는 Fig. 4에 나타낸 바와같이, 강우량이 많았던 6월과 8월의 염분농도가 5월, 7월, 9월의 염분농도보다 전체적으로 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 특히 이와같은 현상은 김녕지역에 비해 표선지역에서 뚜렷하게 나타나고 있다.

제주도의 습곡은 박(1993)의 보고에 의하면 강우를 지하수체로 유입시키는 통로와 같은 역할을 하고있기 때문에 표면유출이 발생하는 50mm이상의 강우시에는 24시간 이내에 강우가 지하수체로 침투되어 지하수의 수위상승이라든가 염분농도에 영향을 주고 있는 것으로 보고되고 있다. 이는 두지역의 지하수 부존형태와 지질특성이 다소 상이함을 보여주는 것이라 할 수 있다

3) 지하해수의 수질과 조석

지하수의 수위측정 자료는 대수층의 성격과 그 능력을 평가하는데 있어 기본자료로 이용될 뿐 아니라 대수층이 변동에 대한 단기적 예측에 직접적인 지표로 활용될 수 있다.

조석이 지하수의 수질에 미치는 영향은 일반적으로 해안에서 내륙쪽으로 멀어짐에 따라 점진적으로 감소하는 현상으로 보고되고 있는데, 고 등(1992)

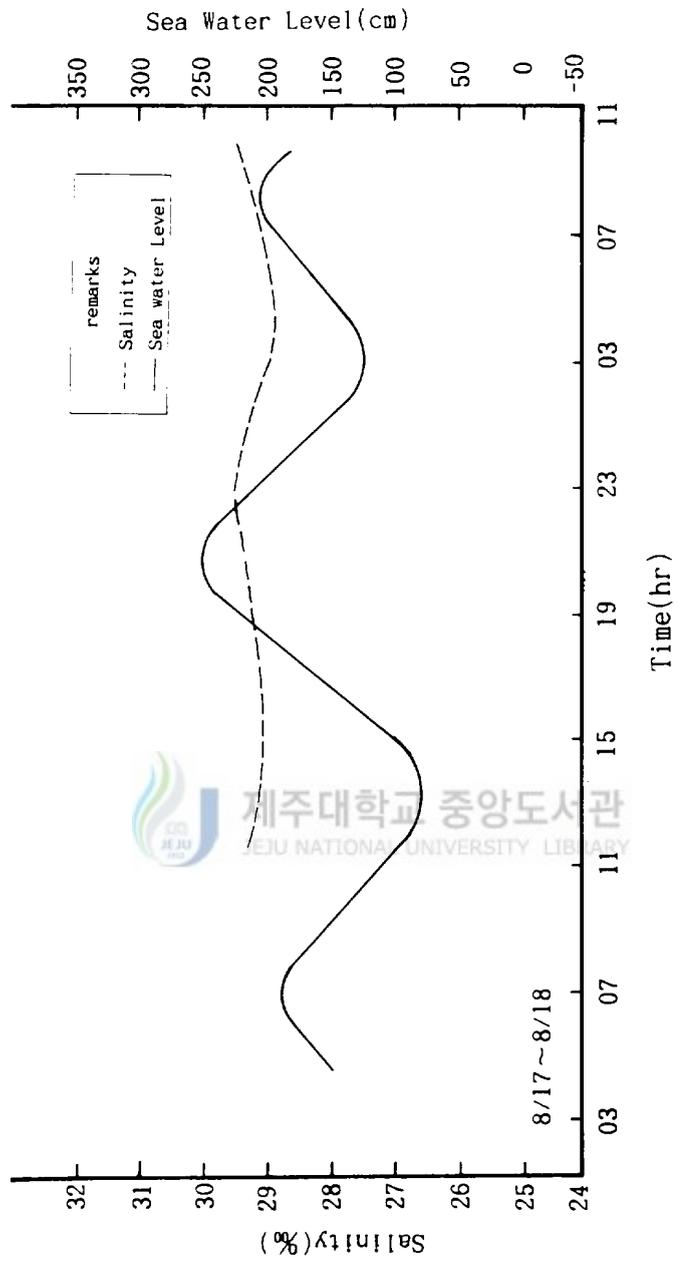


Fig. 5. Relation between salinity concentration and sea level in
Kianyoung area.

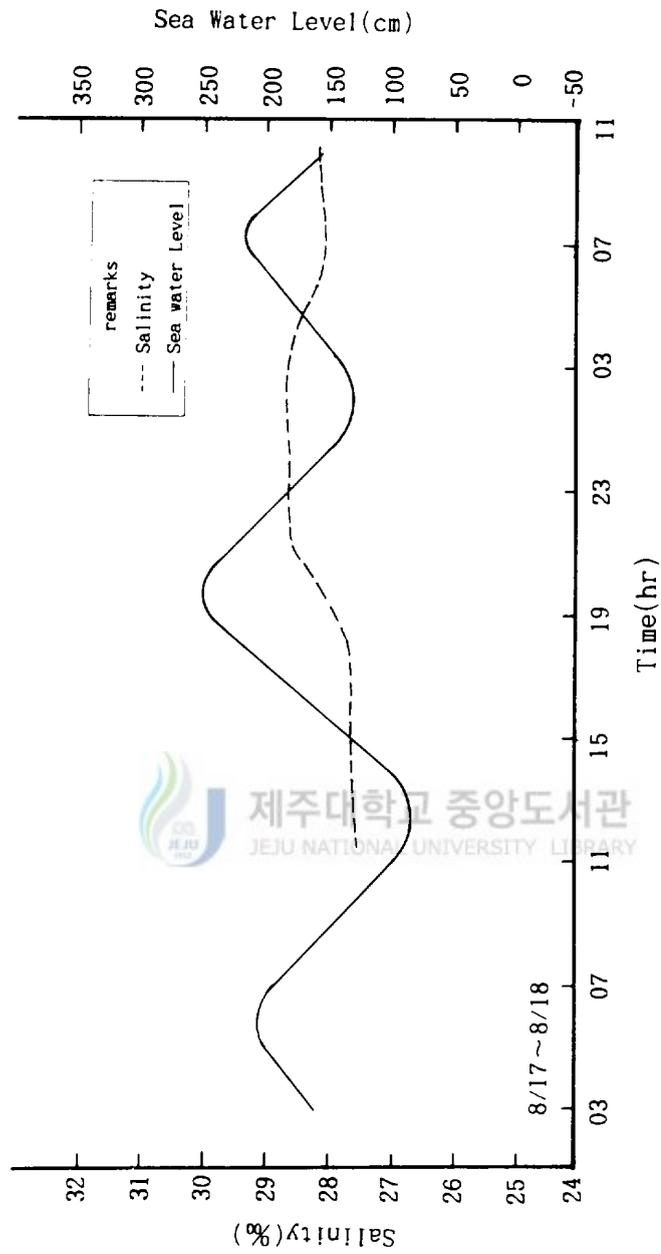


Fig. 6. Relation between salinity concentration and sea level in Pyoseun area.

자료에 의하면 김녕지역의 경우 조석의 영향을 현저하게 받아 1일수위 변동폭이 최대 1.09m(2월), 최소 0.42m(7월)로 나타나고 있으며, 연평균 수위 변동폭은 0.70m인 것으로 보고 되고있다. 또한 1일 평균 자연수위는 冬低夏高의 경향을 뚜렷하게 나타내어 평균해수면을 기준으로 할때 동계가 평균 +0.20m, 춘계가 +0.39m, 하계 +0.47m, 추계 +0.56m의 값을 나타내어 계절에 따른 변동폭이 0.53m로 보고 되고있는 반면, 표선지역과 근접해 있는 온평지역 및 성산지역의 조석에 의한 수위 변동폭은 년평균 온평지역이 0.45m, 성산지역이 0.24m로 김녕지역에 비해 조석의 영향을 덜 받고 있는 것으로 보고 되고 있다. 이러한 원인으로는 지형적인 요인과 지질적인 요인에서 비롯 될 수 있는데 지형적인 요인으로는 성산포와 종달리 해안에는 우도를 비롯하여 일출봉, 성산반도, 지미봉, 식산봉, 오조리초호, 성산항 방파제 및 갑문등의 자연적, 인위적인 제방이 형성되어 있으나, 김녕지역 해안에는 특이 할 만한 지형이 없는 개방해(Open Sea)의 성격을 지니고 있고, 지질적인 요인으로도 성산일대 지역에는 퇴적암층인 성산층과 신양리층이 육상에 노출되어 있으나 김녕지역에는 사구퇴적층이 발달하고 있을 뿐이다. 이와같은 지형, 지질요인은 바다에서 내륙쪽으로 전파되는 해수압(조력)을 약화시켜 주는 제방의 역할을 하고 있기 때문에 김녕지역에 비해 성산지역이 조석의 영향을 적게 받고 있는 것으로 보고되고 있다(고 등 1992; Choi와 Kim 1989).

강우량이 많았던 8월중의 염분농도와 조석과의 상관관계를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타낸 바와같이, 조석의 변동폭은 표선지역이 0.20m, 김녕지역이 0.25m로 김녕지역이 높게 나타나고 있으며, 조석차에 의한 염분농도의 변화는 표선지역의 경우 조석의 주기와 일치하지 않게 나타나고 있으며, 김녕지역은 표선지역에 비하여 조석주기와 비례적으로 경미하게 나타나고 있어 두 지역간의 담수 및 해수의 영향이 서로 다르게 받고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 8월중의 강우량이 표선지역보다 김녕지역이 적은 영향도 있겠지

만, 동부지역의 지질구성이 스코리아층이 주로 발달해 있고, 또한, 내륙쪽으로 전파되는 해수압(조력)으로 인해 지질고유의 점성을 약화시켜 투수량을 크게 해주는 원인으로도 생각되어 진다. 특히 김녕지역은 해안에서 6.5km까지 조석의 영향을 받고 있으므로 해서 해안 가까이에 위치해 있는 지하해수의 염분농도 변화가 담수의 영향보다는 조석에 의한 영향을 크게 받고 있는 것으로 보아진다. 그러나 표선지역은 김녕지역과는 달리 지질구조가 다르기 때문에 해안선에서도 멀지 않는 곳까지도 영향을 크게 받지 않고있어, 조석에 의한 영향보다는 강우에 의한 담수의 영향을 크게 받고 있는 지역적인 특성을 보여주고 있다. 이는 박(1993)에 의해 보고된 지하수의 수위변동 양상에서 동부지역은 강우의 영향이 적고 조석의 영향을 지배적으로 받고 있는 유형으로 분류된 것과 일치하고 있음을 알 수 있다.

2. 남·동부 지역의 지하해수와 지질 특성

지하해수는 지하를 구성하고 있는 지질요인 중의 일부분으로 대수층에 부존하고 있는 유동체이기 때문에 지하해수의 화학적특성 및 부존형태는 지하지질 상태와 밀접한 관계가 있다. 특히 해안선 주변에 부존하고 있는 해수와 지하수와의 관계는 매우 복잡하고 다양하다. 그러므로 그 지역의 지질학적 특성과 지하해수의 부존형태를 파악하는 것은 대단히 중요하다(한 등 1994).

1) 지하해수의 부존형태

제주도는 거대한 화산활동에 의하여 형성된 화산도로서 특유의 지형 및 지질조건 때문에 지금까지 알려진 지하수의 부존형태는 Fig. 8에서와 같이 상위지하수(High level groundwater)와 기저지하수(basal groundwater) 그리고 준기저지하수(parbasal groundwater)로 분류하고 있다(윤과 고, 1994).

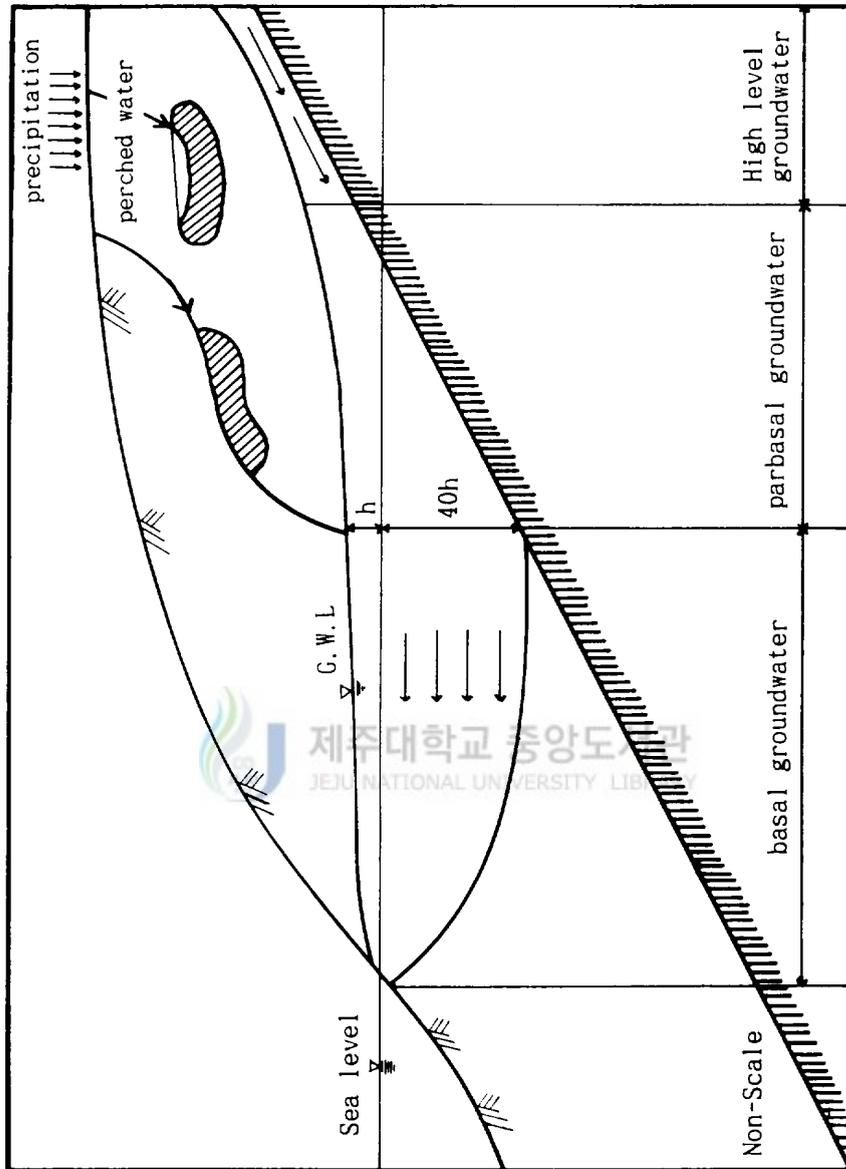


Fig. 7. Schematic of groundwater.

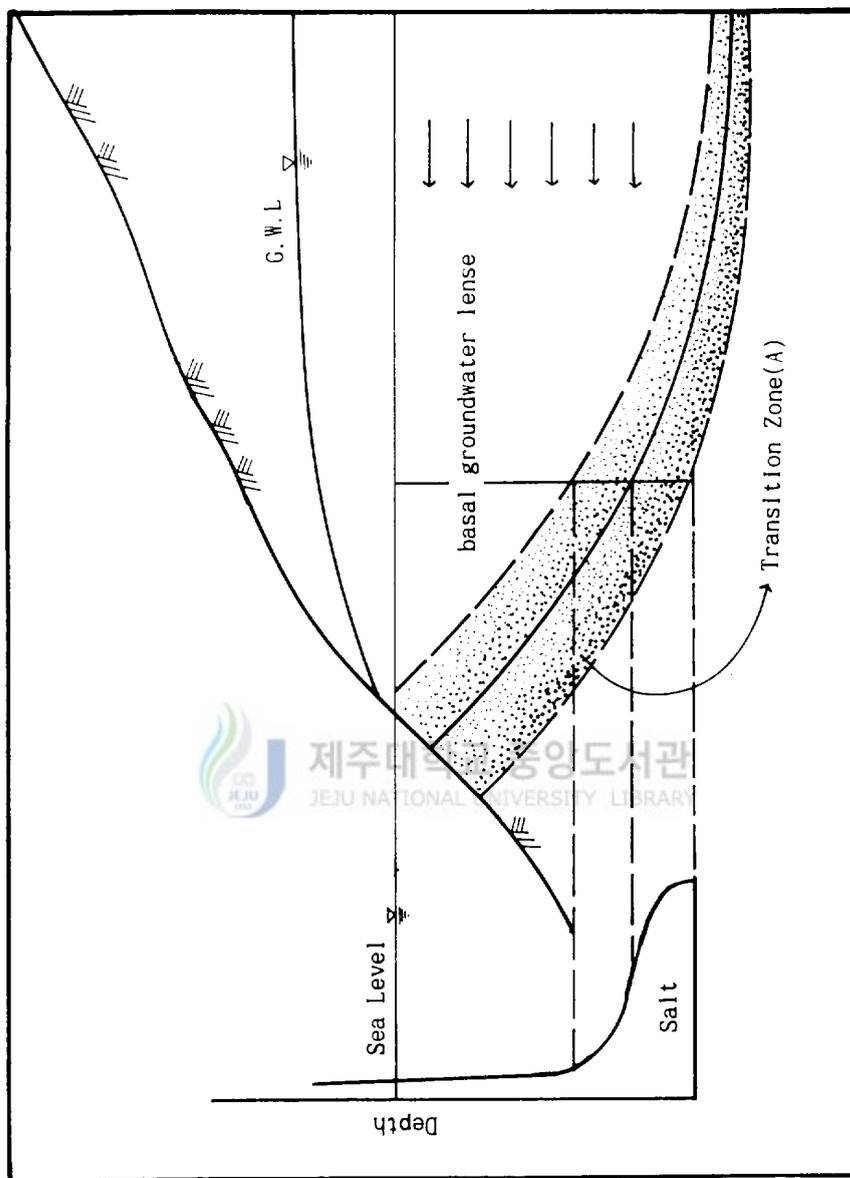


Fig. 8. Schematic of basal groundwater.

상위지하수(High level groundwater)는 강수가 중력에 의해 투수성의 균열을 통해 지하로 침투하다가 하부에 발달한 불투수성층인 치밀질 암석이나 점토층에 이르러 더 이상의 수직강하를 하지 못하고, 그 지층위의 부유체(compartment)형태로 부존하는 형으로써 해수의 영향을 받지 않는 지하수를 말하며, 지하수위 및 수질의 변동에도 갈수기와 강우기에 따라 매우 가변적이고 그 수량도 한정적이라고 보고 되고 있다.

기저지하수(basal groundwater)의 모식도는 Fig. 9에 나타냄 바와같이, 지표로부터 유입된 지하수가 섬 하부까지 침투하강하여 해수와와의 비중차(담

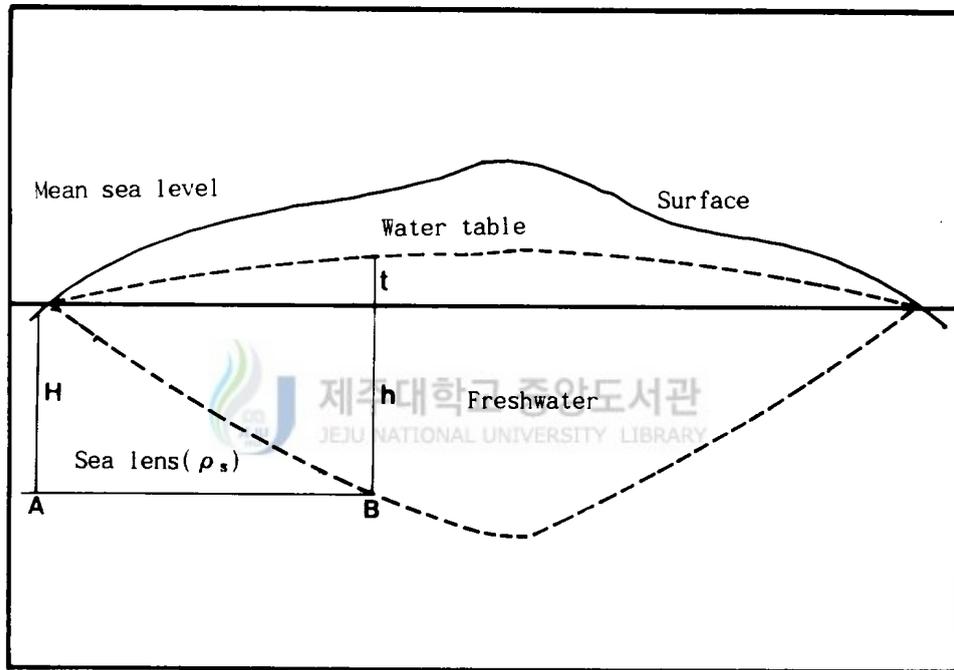


Fig. 9. Principle of Ghyben-Herzberg theory.

수:1.00, 해수:1.025)때문에 담수체를 형성하여 해수상부에 lens상의 형태로 떠있는 유형의 지하수를 말하며, A부분이 해수와 담수의 접촉면으로써 점이대층의 지하수라 할 수 있다. 해수와 담수와의 접촉면은 명확히 구분하기는 힘들지만 담수체의 수축과 팽창의 영향에 의해 해수와 담수가 혼합된 지역의 지하수를 말한다. 이와같이 점이대층 하부에 존재하는 지하수를 본 연구에서는 지하해수로 명명하였으며, 지하해수의 개발 대부분이 이러한 점이대층를 대상으로 이루어지고 있다. 점이대층은 조석운동으로 인하여 항상 동적평형 상태에서 이동확산 되며, 해수는 비중이 적은 지역으로 이동을 계속 하므로서 해수의 유로망이 형성되며 해안 대수층에서는 심도가 증가함에 따라 염분 농도의 증가와 함께 대수층내에 해수가 부존하게 된다. 이러한 지하해수는 본도 전역에 걸쳐 풍부한 수량이 부존되고 있으나, 특히 조천수역에서 남원수역에 이르는 동부해안에 內陸 깊숙히 분포되어 있다. 이와같이 제주도 지하수의 부존형태는 큰 규모로 볼 때 담수체 하부의 해수와 거의 유체동력학적 평형상태에 있으며, 광역적으로 Ghyben-Herzberg관계가 성립하는 것으로 보고 되고 있다(이, 1992). 이러한 원리는 담수가 해수보다 비중이 작기 때문에 담수와 해수가 서로 접하게 될 경우 담수는 해수 상부에 떠 있게 되며, 이러한 원리에 입각하여 제주도와 같이 해상에 위치하는 섬의 지하수 부존원리를 설명하는데 흔히 사용되고 있는 원리가 Ghyben-Herzberg(이하 G-H원리)이다.

Fig. 10은 Ghyben-Herzberg의 원리를 설명한 것으로써

A점이 받는 수압을 P_A 라 한다면

$$P_A = \rho_s g H \quad \text{-----}(1)$$

여기서 $P_A = A$ 점이 받는 수압

ρ_s = 해수의 비중
 g = 중력가속도
 H = 해수의 두께를 말한다.

같은 방법으로 B점이 받는 수압은

$$P_B = \rho_r g(h + t) \text{ -----(2)}$$

여기서 H = B점이 받는 수압

ρ_r = 담수의 비중
 t = 해수면 상부에 떠 있는 담수층의 두께
 h = 해수면 하부에 잠겨 있는 담수층의 두께이다.

그러나 A점과 B점이 평형을 유지하기 위해서는 $P_A = P_B$ 이어야 하므로 식(1)과 (2)로 부터

$$P_A = P_B \text{ 즉, } \rho_s g h = \rho_r g(h + t)$$

$$\rho_s h = \rho_r(h + t) \text{ -----(3)의 관계가}$$

성립된다. 그런데 실제로 $h = H$ 이고, $\rho_s = 1.025\text{g/cc}$ 이며, $\rho_r = 1.00\text{g/cc}$ 인 까닭에

$$(1.025 - 1.00)H = t, \text{ 따라서 } H = 40t \text{가 된다.}$$

즉, 담수면 하부에 존재하는 담수체(기저지하수체)의 두께는 해수면 상부 담수체 두께의 40배가 된다는 이론이다. 예를들어, 해수면 상부의 담수체 두께가 25m라고 할 경우 해수면 하부에 존재하는 담수체의 두께는 1,000m가 된다(이, 1992).

2) 제주도 남·동부지역의 지질구조

제주도의 지질은 현무암류, 조면암질 안산암류, 조면암류 등의 다양한 용암류가 분포하고 있으며, 서귀포층, 성산층, 신양리층과 같은 화성기원의 퇴적암류와 기생화산 등으로 구성되어 있다. 이중 현무암질 용암류가 대부분으로 지표면적의 90%이상 분포하고 있다.

동부지역의 지질구조는 암상으로 거의 균일한 침람장석감람석 현무암류가 다량으로 분포하여 큰 규모의 용암터널이 많이 발달해 있으며, 남부지역의 지질 또한 해발 400m~700m사이에 많은 양의 현무암질 용암을 분출하고 있다. 이 지역의 지질하부는 침상장석습람석 현무암이 주를 이루고 있다. 해수면하 50m~160m에서 부터 하부에 저투수성 미고결 퇴적층이 넓게 분포되어 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 이지역은 침강운동에 의하여 최소한 50m~100m가 침강된 관계로 해수면 밑에 잠겨있는 현무암류의 두께가 서부지역 보다 50m~100m정도 두꺼울 뿐만 아니라 남부지역 보다는 90m~180m가 더 두꺼운 오목한(Concave)지질구조를 이루고 있다. 이와같이 지하지질적인 측면에서 볼 때 제주도 동부지역은 지하수를 받쳐 줄 수 있는 불투수성층인 서귀포층이 결충되어 있는 것으로 보고 되고 있다(고 등 1992).

한 등(1994)의 자료에 의하면 동부지역의 평균 투수량계수는 42,200m²/日)이며, 평균 비양수량은 3,270m²/日, 평균 수리전도도는 193m/日, 평균수온은 15.6℃로 알려지고 있고 남부지역의 평균 투수량계수는 32,100m²/日로 동부지역에 비해 투수계수가 다소 낮게 보고 되고 있다. 또한 남부지역의 평균 비양수량은 3,270m²/日, 평균 수리전도도는 29.4m/日, 평균수온은 15.8℃로 보고되고 있다.

조사지역인 표선양식장에서 채수하고 있는 지하해수의 지질주상도는 Fig. 11에 나타낸 바와같이, 지표하 63m까지에 이르는 심부시추가 이루어졌으며, 지표하 5m까지 다공질 현무암류가 존재하고 5.0m~7.5m는 화산쇄설층

Depth (m)	Thickness (m)	Lithology	Color	Description
5.0	5.0		gray	Vesicular Basalt
7.5	2.5		red	Pyroclastic Sediments
15.0	7.5		gray	Vesicular Basalt
16.5	1.5		red	Pyroclastic Sediments
23.0	6.5		gray	Vesicular Basalt
25.0	2.0		red	Pyroclastic Sediments
48.0	23.0		gray	Vesicular Basalt
50.0	2.0		red	Clay bed
63.0	13.0		red	Pyroclastic Sediments mixed with Basaltic block
		End		

Fig. 10. Geologic columniation in Pyoseun area.

이 2.5m두께로 분포하고 있다. 또한 7.5m~15.0m에 이르는 구간에는 기공이 있는 현무암류가 분포하고 있는데 이와같이 기공이 있는 현무암류와 화산쇄설층은 지표하 15.0m~48.0m까지 반복적인 형태로 존재하고 있다. 그러나 지표하 48.0m~50.0m는 점토층이 2.0m두께로 분포하고 있어 다소 상이한 지질 구성을 나타내고 있다. 또한 50.0m에서 시추가 종료되는 63.0m까지는 화산쇄설층 및 하부에 변질된 현무암류가 존재하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이와같이 표선지역의 지질특성은 기공이 있는 현무암류라든지 화산쇄설층으로 구성되어 있어 투수성이 높음을 시사해 주고 있다.



Ⅲ. 조사 및 분석 방법

1. 조사 방법

지하해수의 수질분석을 위한 시료채취는 1994년 7월부터 9월까지 3개월에 걸쳐 제주도 연안에서 육상수조식 양식장이 가장 많이 밀집해 있는 제주도 동부 및 남동부지역인 표선지역 및 김녕지역(Fig. 11)의 지하해수를 사용하는 2개 양식장을 선정하여 3시간 간격으로 24시간 연속 시료를 채수 하였고, 대조시료로 2개 지역(김녕, 표선)의 연안해수를 폴리에틸렌 병에 채수하여 Ice Box에 넣어 실험실로 운반 즉시 분석하였다.

2. 분석 방법

해수 및 지하해수의 수온(봉상 수온 온도계(눈금1/10))은 현장에서 채수 즉시 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(김 등 1992).

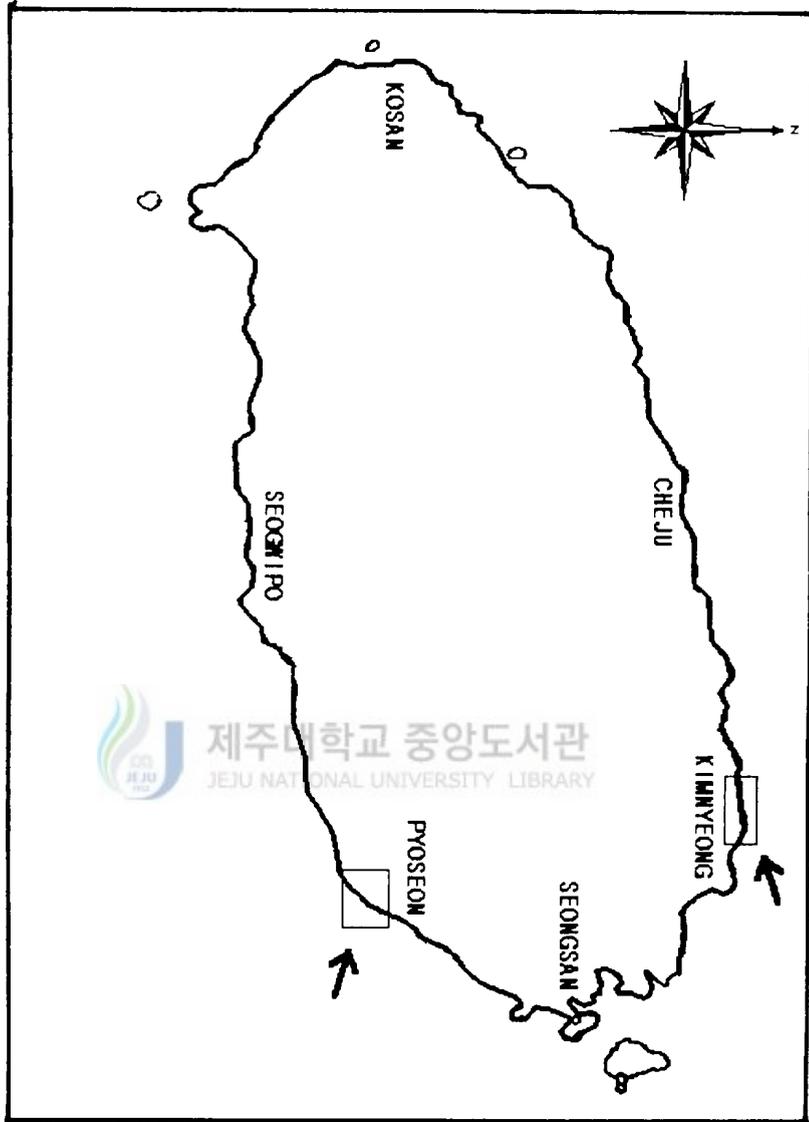


Fig. 11. Location of ground-seawater measurement in the southern and eastern Cheju Island.

IV. 결과 및 고찰

제주도의 주변해역은 각종 어·패류의 산란 서식장 및 생육장으로서 좋은 환경조건을 가지고 있기 때문에, 본 도 해안가를 중심으로 한 어류 중·양식장 시설수는 1994년 9월말 현재 총 155개소이다(제주도청 수산과자료, 1994). 지역별로 살펴보면, 남제주군지역이 97개소로 전체의 62.6%를 차지하고 있고, 북제주군지역에는 47개소(전체의 30.3%), 제주시(1개소) 및 서귀포시지역(10개소)이 11개소로 전체의 7.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 특히 표선면-구좌읍에 이르는 동부지역에 전체의 58.8%에 해당하는 70개소로 매우 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 표선지역과 김녕지역의 육상수조식 어류 중·양식장에서 해수를 지하해수로 충당하고 있는 지하해수에 대해 주변 연안해수 및 표준적해수의 경시적인 변화와 화학적조성비를 비교 고찰하였으며, 특히 각 성분들간의 수질특성으로 부터 지하해수의 유형을 동부지역(김녕)과 남부지역(표선)으로 나누어 고찰하였다. 한편, 양이온과 음이온의 상관관계를 알아보기 위해서 각 이온의 농도는 epm (equivalent per million)단위로 환산하여 나타내었다.

1. 수온 및 염분

제주도 연안의 수온상승 경향은 동계에 12.5℃~15.5℃의 수온 범위내에서 큰 변화 없이 거의 평형상태를 유지하나, 5월부터 1℃~2℃정도의 상승률

로 오르기 시작하여 7월 이후에는 최고 28.2℃까지 상승한다. 7월 이후의 수온 상승률은 4℃정도에 달할 때도 있다. 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 조사기간중 연안해수의 평균수온은 표선지역이 25.1℃이고 김녕지역이 25.3℃로써, 표선지역이 김녕지역에 비해 평균 0.2℃정도 높았으며 조사지역에 대한 최고수온은 8월에 표선지역이 26.8℃, 김녕지역이 26.4℃로 각각 나타났다(Table 1). 특히 김녕지역에 비해 표선지역이 다소 높은 수온분포를 나타내고 있는것은 본 연구지역의 연안해수가 대마난류계 난수의 영향을 받고 있기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 현상은 (노 등 1986)의 제주 동부지역의 최고수온 27.5℃(8월), 최저수온 12℃(2월)와도 거의 일치하고 있다.

Table 1. Variations of ground seawater temperature and salinity in the southern and the eastern area.

Location. Month			Pyoseun			Kimnyoung		
			7	8	9	7	8	9
Temp. (℃)	Groundsea water	Ave.	17.5	17.2	17.7	17.2	16.8	16.9
		Max.	18.2	18.0	18.0	18.5	17.5	17.0
		Min.	17.0	17.0	17.2	16.2	16.0	16.7
	Coastalseawater		26.0	26.8	23.0	26.0	26.4	22.8
Sal. (‰)	Groundsea water	Ave.	31.13	29.17	31.17	32.31	30.21	31.83
		Max.	31.56	29.70	31.42	32.76	30.34	31.92
		Min.	30.38	29.17	30.98	32.08	30.03	31.74
	Coastalseawater		32.34	30.94	33.07	32.86	31.23	32.69

본 조사기간중의 지하해수에 대한 경시적인 수온의 변동범위는 Fig. 12에 나타낸 바와같이, 표선지역이 17℃~18.2℃를 나타내고 있으며, 김녕지역은 16℃~18.5℃의 수온분포를 보이고 있다. 그러나 전반적인 수온범위는 표선지역이 김녕지역에 비해 1℃ 정도 높게 나타나고 있다. 이와같은 현상은 지하해수 수공의 심도가 표선지역은 65m, 김녕지역은 45m로 두지역 모두 각각 다르기 때문으로 생각되어 진다. 한편, 연안해수와 지하해수와의 수온 차이에서 연안해수는 계절에 따른 해역고유의 수온범위를 유지하고 있으나, 지하해수의 경우는 월별, 시간별 수온범위가 1℃ 내외로 평균 수온인 17℃를 항상 유지하고 있는 것으로 보아진다. 이는 지하해수가 기타 대수층내에 부존하고 있는 관계로 지표에서 100m깊어짐에 따라 3℃~4℃의 온도가 증가하는 원인과 지질자체의 지열에 의한 영향으로 사료된다.

해수의 염분은 보존성을 지닌 해양환경 요인의 하나이며, 수온과 함께 해수의 상태를 나타내는 가장 기본적인 항목으로써 해양생물의 분포를 지배하는 중요한 인자로 고려되어지고 있다(윤 등 1990). 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 내려간다. 이것은 8월중에 현저히 낮아져 9월 상순에는 29.00%정도로 저염분현상을 나타내는 것으로 보고하고 있다. 그러나 저염현상은 오래 지속되지 않고 9월 중순에는 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 현상은 최 등(1987)이 지적한 계절에 크게 영향을 받고 있으며, 이는 동계연안에서 대마난류계 난류수의 영향을 강하게 받고, 하계에는 연안수와의 혼합이 잘 이루어지고 있는 것으로 보고되고 있다.

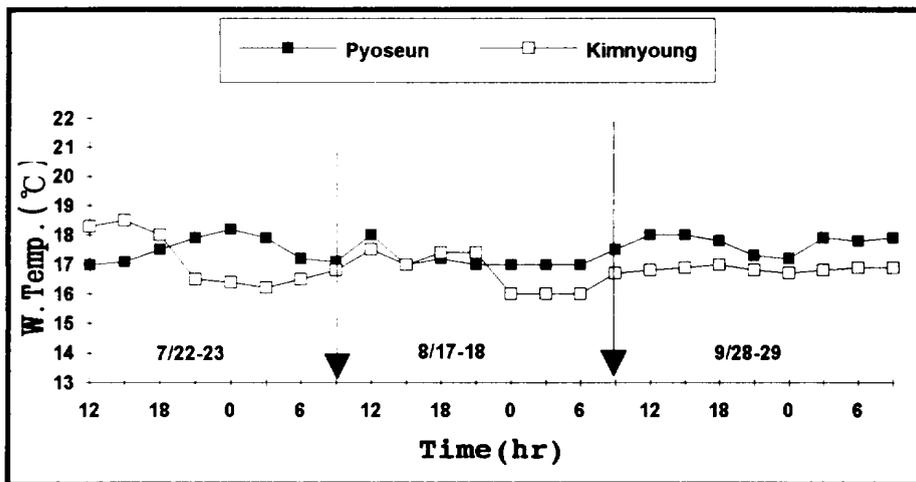


Fig. 12. Variation of ground seawater temperature by the time in the investigation area.

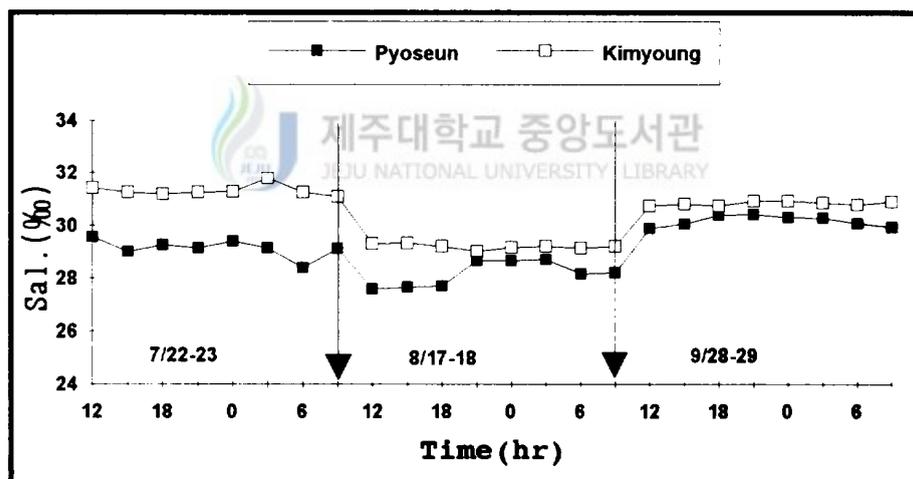


Fig. 13. Variation of ground seawater salinity by the time in the investigation area.

본 연구기간 중의 남·동부 연안해수에 대한 평균 염분농도는 표선지역이 32.12%, 김녕지역이 32.26%로 거의 비슷한 양상을 보이고 있으며, 조사기간 중의 최소값은 8월에 표선지역이 30.94%, 김녕지역이 31.23%로 나타났으며, 최대값은 표선지역이 9월에 33.07%, 김녕지역은 7월에 32.86%로 각각 나타났다(Table.1). 이는 노 등(1986)과 최 등(1987)에 의해 보고된 8월 이후의 염분농도 범위보다는 다소 높은 경향을 나타내고 있지만, 8월 하순에서 9월월 상순까지의 저염현상과는 일치하고 있다. 특히 김녕지역의 7월중 농도가 다소 높은 경향을 나타낸 것은 7월중의 가뭄현상이 염분농도에 직접적인 영향을 주고 있는 것으로 추정된다.

지하해수에 대한 경시적인 염분농도의 변화는 Fig. 13에 나타낸 바와 같이 표선지역이 30.61%로 김녕지역의 31.45%에 비해 다소 낮았으며, 염분농도의 변동범위는 표선지역이 29.17%~31.56%, 김녕지역이 30.03%~32.76%로 변동범위를 나타내고 있다. 또한 지역별 최소값은 표선지역이 29.17%, 김녕지역이 29.03%로 8월에 각각 나타났으며, 최대값은 두 지역 모두 7월에 나타내고 있다. 이러한 현상은 지역에 따라 지하해수가 존재하고 있는 점이 대충의 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 보아진다.

2. 양 이 온

1) Sodium : Na⁺

나트륨이온은 해수의 성분중 염소이온과 함께 가장 많이 함유되어 있는 성분으로 표준적해수(35‰일때) 중에는 465.65meq/ℓ로 총이온량에 대해

Table 2. Result of ground seawater and coast seawater measurement in the southern and the eastern area.

Elements			Pyoseun			Kimnyoung		
			7	8	9	7	8	9
Na ⁺	Groundsea water	Ave.	451.0	385.2	431.2	445.6	416.7	406.7
		Max.	458.4	349.4	439.1	459.4	426.0	411.7
		Min.	435.7	383.9	420.3	431.5	407.2	400.5
	Coastalseawater		453.5	397.5	437.1	450.9	435.7	439.7
Mg ⁺⁺	Groundsea water	Ave.	86.1	78.6	89.6	85.4	80.5	85.1
		Max.	87.4	80.3	90.5	88.2	82.1	86.7
		Min.	84.1	77.0	88.1	83.1	78.5	83.9
	Coastalseawater		100.2	96.9	98.4	101.7	98.5	100.3
Ca ⁺⁺	Groundsea water	Ave.	20.5	19.6	20.2	20.9	19.5	20.1
		Max.	20.8	19.8	20.5	21.2	19.9	20.5
		Min.	20.3	19.2	19.9	20.5	19.1	19.8
	Coastalseawater		21.0	19.7	20.9	20.6	20.1	20.9
K ⁺	Groundsea water	Ave.	8.57	8.13	8.36	8.82	8.41	8.67
		Max.	8.65	8.21	8.44	8.90	8.52	8.77
		Min.	8.47	8.11	8.29	8.75	8.36	8.59
	Coastalseawater		9.00	8.57	8.88	9.08	8.72	9.03
Cl ⁻	Groundsea water	Ave.	490.5	474.4	494.3	491.1	478.1	493.6
		Max.	495.3	477.4	500.0	495.4	480.9	500.3
		Min.	487.4	471.0	486.1	485.3	472.9	487.3
	Coastalseawater		523.9	476.0	505.3	530.1	485.7	508.2
SO ₄ ⁻⁻	Groundsea water	Ave.	48.3	48.1	50.2	50.5	49.5	51.2
		Max.	49.3	48.9	51.6	51.5	50.2	52.4
		Min.	47.5	47.5	49.2	49.5	48.8	50.1
	Coastalseawater		55.0	50.0	54.1	54.4	51.9	50.7
HCO ₃ ⁻	Groundsea water	Ave.	1.97	1.79	2.00	2.08	1.89	1.92
		Max.	2.02	1.95	2.07	2.15	1.93	1.95
		Min.	1.92	1.75	1.95	2.03	1.85	1.87
	Coastalseawater		2.12	1.92	1.57	2.12	1.80	1.67

30.6%을 차지하는 것으로 알려져 있다. 나트륨이온에 대한 연안해수의 평균농도는 표선지역이 429.4meq/l, 김녕지역이 442.1meq/l로 나타났으며, 표선지역의 최소값은 8월에 397.5meq/l, 최대값은 7월에 453.5meq/l로 나타나고 있다. 또한 김녕지역 역시 최소값은 8월에 435.7meq/l, 최대값은 7월에 450.9meq/l에 각각 나타나 전체적인 연안해수의 농도는 김녕지역이 표선지역보다 12.7meq/l 정도 높은 농도를 보이고 있다(Table 2).

지하해수의 농도범위는 표선지역이 383.9~458.4meq/l로 74.5meq/l의 농도분포 차이를 보였고, 김녕지역은 400.5~459.4meq/l로 58.9meq/l의 농도분포 차이를 나타내어 두지역 모두 담수 및 해수의 영향이 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 조사기간중 지역별 최소값은 표선지역은 8월에 383.9meq/l, 김녕지역은 9월에 400.5meq/l를 나타냈으며, 최고값은 두지역 모두 7월에 나타나고 있다. 한편 7, 8 및 9월 3개월간의 평균농도는 표선지역이 422.5meq/l, 김녕지역이 422.9meq/l로 연안해수와 달리 두지역 모두 거의 비슷한 분포양상을 보이고 있다. 또한 연안해수와 지하해수의 농도차는 표선지역이 6.9meq/l, 김녕지역이 19.2meq/l의 차이를 보이고 있다 (Table 2).

나트륨이온에 대한 경시적인 농도변화는 Fig. 14에 나타낸 바와 같이 7월의 나트륨이온 농도는 8월과 9월의 나트륨이온 농도에 비하여 변화의 폭이 약간 크게 나타나고 있으며, 표선지역의 경우 8월중의 농도가 9월중에는 다시 증가하는 경향을 보이는 반면, 김녕지역은 8월의 농도보다 9월중의 농도가 다소 낮아지는 경향을 보였다. 이와같은 현상은 김녕지역의 지질구조가 표선지역과 다소 상이함으로 인해 담수의 영향보다는 조석의 영향을 많이 받고있는 것으로 보아진다. 이는 고 등 (1994)에 의해 보고된 동부지역의 수위 변동 양상과 일치하고 있다.

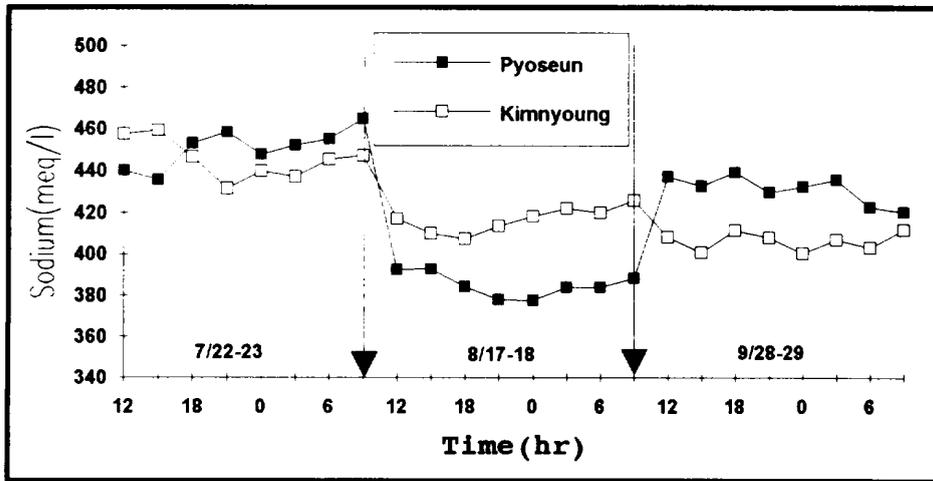


Fig. 14. Variation of ground seawater sodium ion concentrations by time in the investigation area.

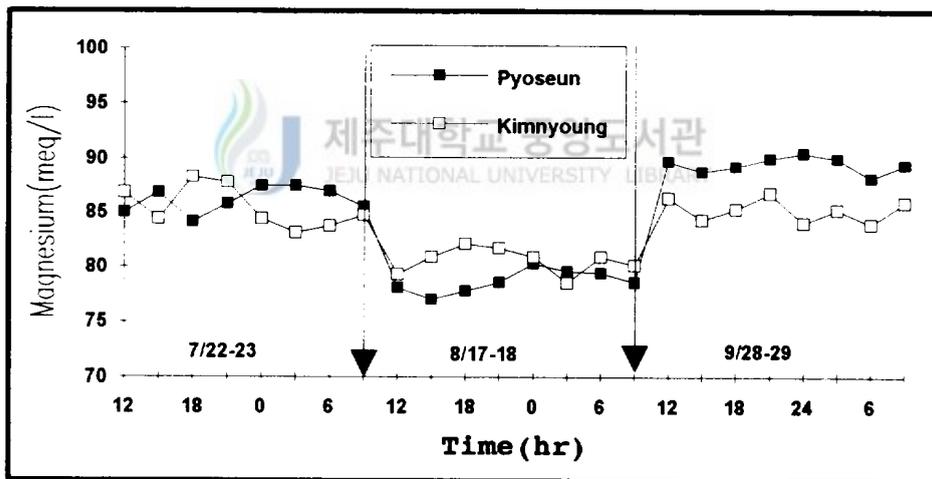


Fig. 15. Variation of ground seawater magnesium ion concentrations by time in the investigation area.

2) Magnesium : Mg⁺⁺

마그네슘이온은 해수중의 주요성분중의 하나로 표준적해수 중에는 106.17 meq/ℓ의 농도로 총이온량의 약 3.68%를 차지하는 것으로 알려져 있다.

본 조사에 의하면 연안해수는 마그네슘이온의 평균농도가 표선지역이 98.5meq/ℓ, 김녕지역이 100.2meq/ℓ로 김녕지역이 표선지역보다 약간 높게 나타나고 있다. 또한 최소값은 표선지역이 8월에 96.9meq/ℓ, 김녕지역 역시 8월에 98.5meq/ℓ로 나타나고 있으며, 최대값은 7월에 표선지역이 100.2 meq/ℓ, 김녕지역이 101.7meq/ℓ로서 김녕지역이 표선지역에 비하여 약간 높은 농도를 나타내고 있다(Table 2).

한편 지하해수의 경시적인 변동범위는 표선지역에서 77.0meq/ℓ ~ 90.5meq/ℓ로, 최대값과 최소값은 13.5meq/ℓ의 농도차이를 보였으며, 김녕지역은 78.5meq/ℓ ~ 88.2meq/ℓ로 9.7meq/ℓ의 농도차이를 나타내어 표선지역이 김녕지역보다 경시적인 변화가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 7, 8 및 9월, 3개월간의 평균농도는 표선지역이 84.8meq/ℓ, 김녕지역이 83.7meq/ℓ로 지하해수의 농도 역시 김녕지역이 높은값을 나타내고 있다. 또한 최소값은 두지역 모두 7월에 표선지역이 77.0meq/ℓ, 김녕지역이 88.2meq/ℓ로 각각 나타나고 있다. 그러나 최소값과 최대값의 농도범위는 큰 차이가 없이 거의 비슷한 양상을 띄고 있었지만 연안해수의 농도와 지하해수와의 농도차는 표선지역이 13.7meq/ℓ, 김녕지역이 16.5meq/ℓ로 큰 차이를 보이고 있었다(Table 2).

마그네슘이온의 경시적인 농도변화는 Fig. 15에 나타낸 바와 같이 전체적인 변화가 두지역 모두 비슷한 양상을 나타내고 있으며, 8월중의 강우량이 표선지역은 374mm, 김녕지역은 282mm로 표선지역이 90mm이상의 많은 강우량을 보였으나 8월중 마그네슘이온에 대한 농도변화는 두지역 모두 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이와같이 경향은 김녕지역이 조석에 의한 해수의 영향을

지속적으로 받고 있으므로 담수의 유입에 따른 지하해수의 농도변화가 표선 지역보다 적게 작용하는 것으로 판단된다. 그러나 9월중의 농도는 표선지역이 김녕지역보다 다소 높은 경향을 나타내고 있는데, 이는 채수지점의 심도가 김녕지역이 표선지역에 비해 얇기 때문인 것으로 생각되어 진다.

3) Calcium : Ca⁺⁺

해수는 장소에 따라 그 성분 농도에 차이는 있으나 주요성분에 대한 이온상호간의 존재비는 거의 일정한 비율로 존재한다. 일반적으로 표준적해수 중에서 칼슘이온의 농도비는 20.45meq/ℓ 정도로 총이온량에 대해 1.18%를 함유하는 것으로 알려져 있다.

본 조사지역의 연안해수 내에 함유되어 있는 칼슘이온의 농도는 표선지역과 김녕지역 모두 평균 20.5meq/ℓ의 농도를 나타내고 있다. 지역별 칼슘이온농도의 최소값은 8월에 표선지역이 19.7meq/ℓ, 김녕지역이 20.1meq/ℓ로 나타나고 있으며, 최대값은 표선지역이 7월에 21.0meq/ℓ를 나타낸 반면 김녕지역은 9월에 20.9meq/ℓ로 나타나고 있다(Table 2).

지하해수에서의 7월부터 9월중 칼슘이온농도 변동범위는 표선지역이 19.2meq/ℓ ~ 20.8meq/ℓ, 김녕지역은 19.1meq/ℓ ~ 21.2meq/ℓ를 유지하고 있으며, 7, 8 및 9월 3개월간의 평균농도는 표선지역이 20.1meq/ℓ, 김녕지역이 20.2meq/ℓ를 나타나고 있다. 한편 칼슘이온의 최소값은 8월에 표선지역이 19.2meq/ℓ, 김녕지역이 19.1meq/ℓ로 거의 비슷한 농도분포를 나타내고 있으며, 최대값은 표선지역이 20.8meq/ℓ, 김녕지역이 21.2meq/ℓ로 7월에 나타나고 있어, 8월과 7월에 각각 최소, 최대값을 나타낸 연안해수와 비슷한 경향을 보여주고 있다.

칼슘이온의 경시적인 농도변화는 Fig. 16에 나타낸 바와 같이 두지역 모두 뚜렷한 변화폭을 보이고 있다. 특히 두지역에 대한 7월중의 농도변화는

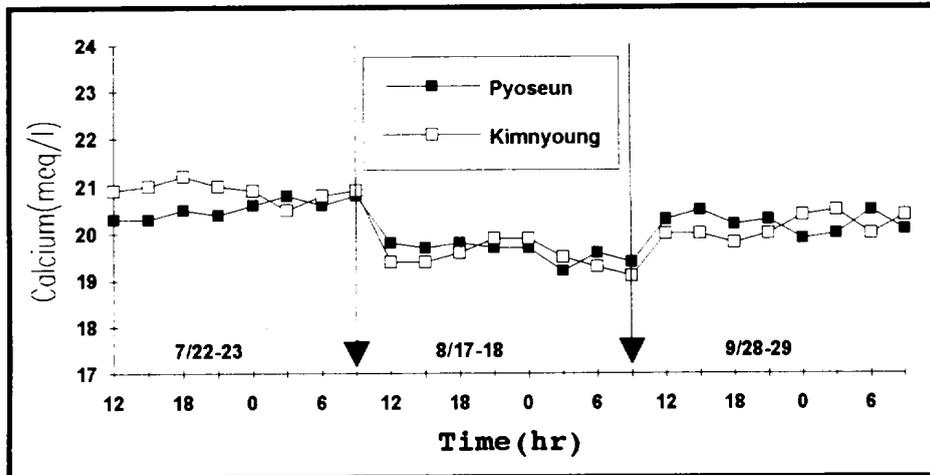


Fig. 16. Variation of ground seawater calcium ion concentrations by time in the investigation area.

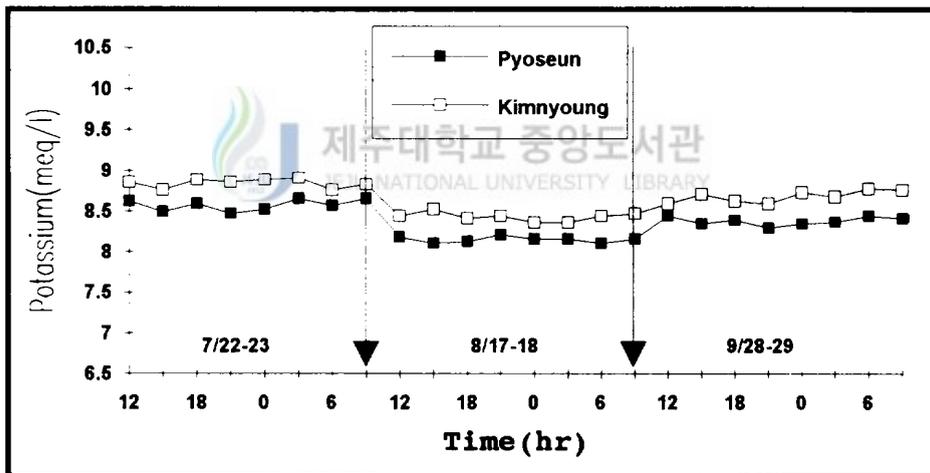


Fig. 17. Variation of groundseawater potassium ion concentrations by time in the investigation area.

8, 9월에 비해 상대적으로 큰 차이를 보이고 있으며, 이는 7월중 가뭄에 의한 영향이 직접적인 원인으로 보아진다.

4) Potassium : K⁺

칼륨이온은 해수중에 존재하는 주요성분의 하나로 표준적해수 중의 칼륨이온농도는 일반적으로 9.85meq/l 정도로 총이온량의 1.10%를 함유하고 있는 것으로 알려져 있다. 칼륨이온의 연안해수중 평균농도는 표선지역이 8.82meq/l, 김녕지역이 8.94meq/l로 나타나 전체적인 연안해수의 농도는 김녕지역이 표선지역에 비해 높은 경향을 보이고 있다. 지역에 따른 최소값은 표선지역이 8월에 8.57meq/l를 나타내고 있으며, 김녕지역 역시 8월에 8.72meq/l의 농도를 나타내고 있다. 또한 최대값은 표선지역이 9.00meq/l, 김녕지역 9.08meq/l로 두지역 모두 7월에 각각 나타나고 있다. 지하해수의 농도변동 범위는 표선지역이 8.11meq/l ~ 8.65meq/l, 김녕지역 8.36meq/l ~ 8.90meq/l의 범위를 나타내고 있으며, 7, 8 및 9월, 3개월간의 평균농도는 표선지역이 8.37meq/l, 김녕지역 8.65meq/l로 김녕지역이 표선지역 보다 높은 값을 보여주고 있으나, 지하해수에 대한 칼륨이온의 최소값은 표선지역에서 8월에 8.11meq/l, 최대값은 7월에 8.65meq/l을 보인 반면 김녕지역의 경우 최소값은 8월중에 8.36meq/l, 최대값은 7월에 8.90meq/l로 연안해수의 분포경향과 비슷한 양상을 보이고 있다. 그러나 연안해수와 지하해수와의 농도차는 표선지역이 평균 0.45meq/l, 김녕지역이 평균 0.29meq/l로 표선지역이 김녕지역에 비해 농도차가 크게 나타나고 있으며, 전체적인 지하해수의 농도가 연안해수의 농도보다 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다 (Table. 2).

본 연구의 조사시기에 칼륨이온의 경시적인 농도변화는 Fig. 17에 나타난 바와 같이 두지역 모두 8월중의 농도가 낮았으며, 특히 표선지역의 8월중

농도는 7월과 9월의 농도에 비해 최고 0.44meq/ℓ 정도 낮은 농도를 보이고 있다. 또한 전체적인 농도변화는 타성분의 변화양상과는 달리 7, 8 및 9월 모두 김녕지역이 높게 나타나고 있다. 이와 같은 경향은 지질자체에 함유되어 있는 칼륨이온이 지하해수에 영향을 주는 것으로 보아지며, 특히 표선지역에서 농도변화가 크게 나타나는 것은 김녕지역에 비해 표선지역이 조석에 의한 영향보다는 담수에 의한 영향을 많이 받고 있는 지질구조로 이루어져 있는 것으로 사료된다.

3. 음 이 온

1) Chloride : Cl⁻

일반적인 지하수에 있어서 염소이온의 주된 근원은 중발암과 같은 퇴적 암류이고 소량은 화성암으로부터 유래되는 것으로 알려지고 있다(Todd, 1980). 자연수 중의 염소이온의 농도는 기후환경에 따라 차이를 나타내고 있지만, 표준적해수 중의 염소이온은 약 542.82meq/ℓ로 총염분량의 55.04%를 함유하고 있는 것으로 알려져 있다. 조사기간중 염소이온에 대한 연안해수의 평균농도는 표선지역이 501.7meq/ℓ, 김녕지역이 508.0meq/ℓ로 김녕지역의 염소이온 농도가 대체적으로 높게 나타나고 있다. 이러한 염소이온의 최소값은 7월에 표선지역이 476.0meq/ℓ, 김녕지역은 485.7meq/ℓ로 나타나고 있으며, 최대값은 표선지역이 523.9meq/ℓ, 김녕지역은 530.1meq/ℓ로 두 지역 모두 7월에 나타나고 있다. 그러나 연안해수의 농도는 전체적으로 큰 농도차이를 보이지는 않고 거의 비슷한 양상을 띄고 있다(Table 2).

지하해수 중의 염소이온농도 범위는 표선지역이 471.0meq/ℓ ~ 500.0 meq/ℓ의 농도를 보였으며, 김녕지역은 472.9meq/ℓ ~ 500.3meq/ℓ로 두지역

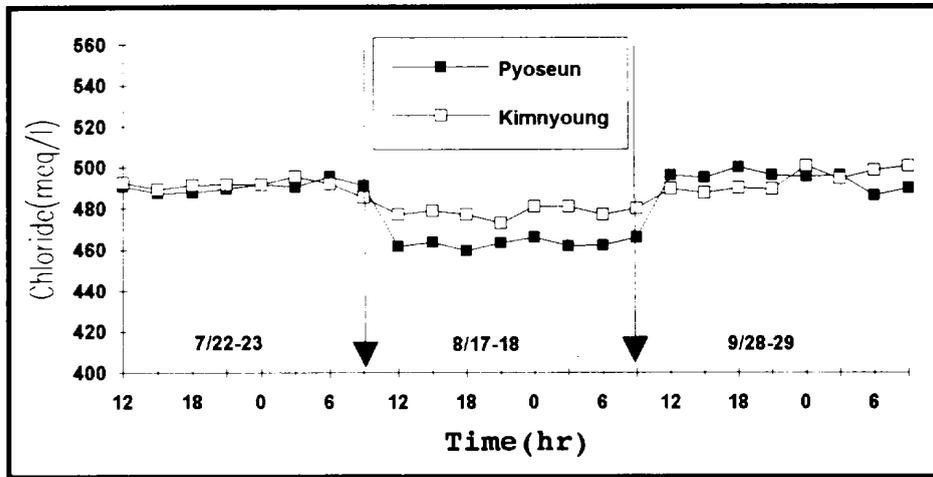


Fig. 18. Variation of ground seawater chloride ion concentrations by time in the investigation area.

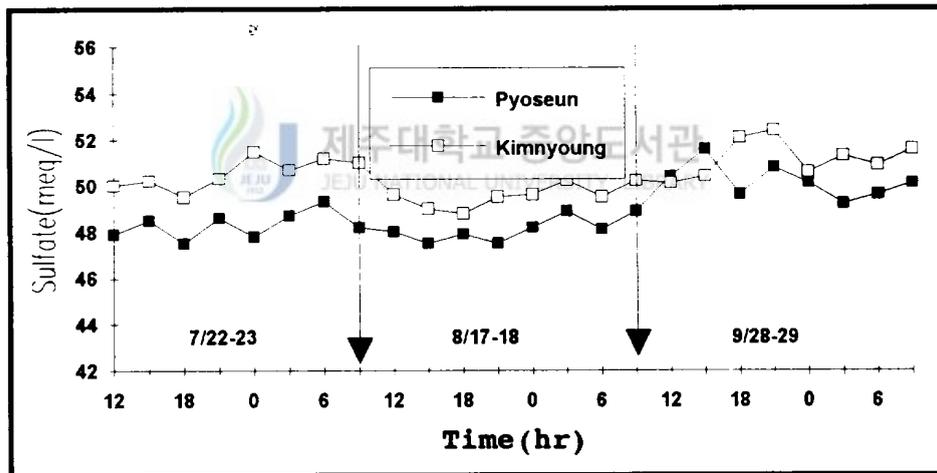


Fig. 19. Variation of ground seawater sulphate ion concentrations by time in the investigation area.

모두 농도범위가 비슷한 경향을 나타내고 있다. 조사기간중 염소이온의 평균 농도는 표선지역이 482.6meq/ℓ, 김녕지역이 487.6meq/ℓ로 김녕지역이 다소 높은 경향을 보이고 있지만, 연안해수와 같이 큰 농도 차이는 보이지 않고 있다. 또한, 연안해수와 지하해수의 농도차이에서도 표선지역은 평균 19.1 meq/ℓ, 김녕지역은 평균 20.4meq/ℓ로 김녕지역에서 다소 높은 농도차이를 보이고 있다.

염소이온의 경시적인 농도변화는 Fig. 18에 나타낸 바와 같이 표선지역과 김녕지역, 모두 농도변화를 보이고 있으며, 특히 김녕지역보다 표선지역에서 농도변화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 또한 김녕지역의 농도변화가 경미하게 나타나고 있는 것은 김녕지역의 지질자체에 함유되어 있는 염소이온성분과 조석에 의한 영향을 지속적으로 받고 있는 것으로 보아지며, 표선지역의 농도변화는 지하해수 상부에 부존하고 있는 담수대가 균열대를 따라 점이대로 이동함으로써 상대적으로 칼륨이온을 희석시키는 결과로 생각되어진다.

2) Sulfate : SO_4^{--}

황산이온은 표준적해수 중에 56.25meq/ℓ로 총이온량의 7.68%를 함유하고 있다. 황산이온에 대한 연안해수의 평균농도는 표선지역이 53.0meq/ℓ, 김녕지역이 52.3meq/ℓ로 표선지역이 약간 높은 양상을 보이고 있으며, 표선지역에서 최소값은 8월에 50.0meq/ℓ, 최대값은 7월에 55.0meq/ℓ를 나타내고 있으며, 김녕지역의 최소값은 9월에 50.7meq/ℓ, 최대값은 7월에 54.4meq/ℓ로 각각 나타나고 있다. 지하해수의 농도범위는 표선지역이 47.5meq/ℓ ~ 51.6meq/ℓ, 김녕지역이 48.8meq/ℓ ~ 52.4meq/ℓ로 비슷한 경향을 보이고 있으나 7, 8, 9월 3개월간의 평균농도는 표선지역이 48.9 meq/ℓ, 김녕지역이 50.4meq/ℓ로 김녕지역이 약간 높은 양상을 보이고 있다. 특히 표선지역과 김녕지역의 8월중 평균농도가 7월과 9월에 비해 높게 나타난 반

면 연안해수는 상대적으로 낮은 경향을 보이고 있다(Table 2).

황산이온에 대한 경시적인 농도변화는 Fig. 19에 나타낸 바와 같이 전체적인 농도변화가 7, 8 및 9월 모두 경미하게 나타나고 있으며, 특히 8월중의 농도가 타성분에 비해 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이와 같은 현상은 해수 및 담수에 의한 영향보다는 지질자체에 의한 영향이 크게 작용한 것으로 사료되어 지질성분의 분석에 대한 연구가 요구되어진다.

3) Bicarbonate : HCO_3^-

중탄산이온은 표준적해수에 2.30meq/l의 농도로 총이온량에 대해 0.4%의 미량을 차지하고 있으나, 담수에서의 함유량은 221.3meq/l ~1,119.7 meq/l를 차지하고(제주도 종합보고서, 1993) 있어 담수의 침입여부를 파악하는데 중요한 성분으로 이용되고 있다. 중탄산이온에 대한 연안해수의 평균

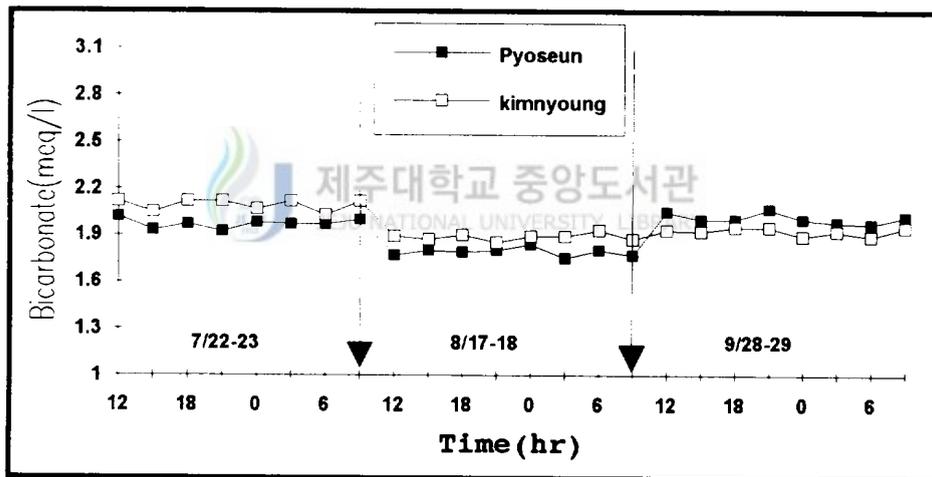


Fig.20. Variation of ground seawater bicarbonate ion concentrations by time in the investigation area.

농도는 표선지역이 1.87meq/ℓ, 김녕지역이 1.86meq/ℓ로 비슷한 농도분포를 나타내고 있다. 지역에 따른 농도분포는 표선지역의 경우 최소값이 9월에 1.57meq/ℓ, 최대값은 7월에 2.12meq/ℓ로 나타나고 있으며, 김녕지역 역시 최소값이 9월에 1.67meq/ℓ, 최대값이 7월에 2.12meq/ℓ를 나타내고 있으므로 상대적으로 강우량이 많았던 8월의 농도가 두지역 모두 9월보다 높은 경향을 보이고 있다(Table 2).

지하해수의 농도 변동범위는 표선지역이 1.75meq/ℓ~2.07meq/ℓ, 김녕지역이 1.85meq/ℓ~2.15meq/ℓ로 표선지역과 김녕지역의 농도범위가 비슷한 양상을 나타내고 있으며, 7, 8 및 9월 3개월간의 평균농도는 표선지역이 1.92meq/ℓ, 김녕지역이 1.97meq/ℓ로 연안해수와 마찬가지로 김녕지역이 높게 나타나고 있다. 그러나 연안해수와 지하해수와의 농도차는 두지역 모두 지하해수가 연안해수보다 높게 나타나는 특징을 보여주고 있다. 또한 지하해수의 지역별 최소값은 표선지역이 8월에 1.75meq/ℓ이고, 최대값은 9월에 2.07meq/ℓ를 나타내고 있다. 한편, 김녕지역의 최소값은 표선지역과 같은 8월에 1.85meq/ℓ로 나타나고 있는 반면에 최대값은 7월에 2.15meq/ℓ로 나타나고 있어 9월에 최대값을 보인 표선지역과는 다소 차이를 보이고 있으며, 9월에 최소값을 보인 연안해수와의 상반되는 경향을 보이고 있다(Table 2).

중탄산이온에 대한 경시적인 농도변화는 Fig. 20에 나타낸 바와 같이 김녕지역의 경우 강우량이 많았던 8월중의 농도가 9월에도 큰 변화를 보이지 않고 있는 반면, 표선지역은 8월과 9월의 농도변화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 이는 두지역 모두 지하해수공의 심도가 각각 다르므로 인해 외부의 영향을 다르게 받고 있는 것으로 보이며, 특히 김녕지역의 농도에는 지질에 의한 영향이 표선지역에 비해 크게 작용하고 있는 것으로 보인다.

4. 각 성분간의 상관관계

일반해수에는 Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ 의 양이온과 Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 의 음이온이 절대적인 비중을 차지한다. 또한 이들 주요성분 이외의 성분들이 극히 미량으로 포함되어 있으며, 이들 주성분의 함유량이 수질특성을 결정하는 요인이 되고 있다. 이와 같이 지하해수의 특성을 보다 종합적으로 평가하기 위해서는 Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ 및 Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 의 화학조성 등 이온성분에 대한 상관관계를 다각적으로 측정하는 것이 바람직 하다고 본다.

본 조사에서는 지하해수의 화학조성을 표준적해수의 화학조성과 비교 분석 하였으며, piper diagram을 이용하여 두지역에 대한 지하해수의 수질특성을 고찰하였다.

표선지역의 지하해수와 표준적해수(35%기준) 및 연안해수와의 성분조성비는 Fig. 21에 나타난 바와 같이 나트륨이온이 39.52%로 표준적해수의 38.69%에 비해 약 1% 정도 높게 나타나고 있으며, 마그네슘이온은 7.93%로 표준적해수의 조성비인 8.82%보다 약 0.9%정도 낮게 나타나고 있다. 그러나 음이온의 조성비율은 표준적해수와 연안해수 그리고 지하해수, 모두 비슷한 조성비를 나타내고 있다. 한편 표선지역의 연안해수는 양이온 중에서 마그네슘이온이 9.03%로 표준적해수 및 지하해수의 조성비에 비해 높게 나타나는 특성을 보여주고 있다. 이와 같이 표선지역의 지하해수는 나트륨이온과 마그네슘이온이 화학적특성을 결정짓는 중요한 인자로 사료된다.

김녕지역의 지하해수와 표준적해수(35%기준) 및 연안해수와의 성분조성비는 Fig. 22에 나타난 바와 같이 나트륨이온이 39.33%로 표준적해수에 비해 높게 나타나고 있는 반면에 마그네슘이온은 7.78%로 표준적해수에 비해 낮게 나타나고 있다. 또한 음이온의 조성비에서는 비슷한 조성비를 나타내고 있으나, 연안해수에서 염소이온이 표준적해수 및 지하해수에 비해 높게 나타나

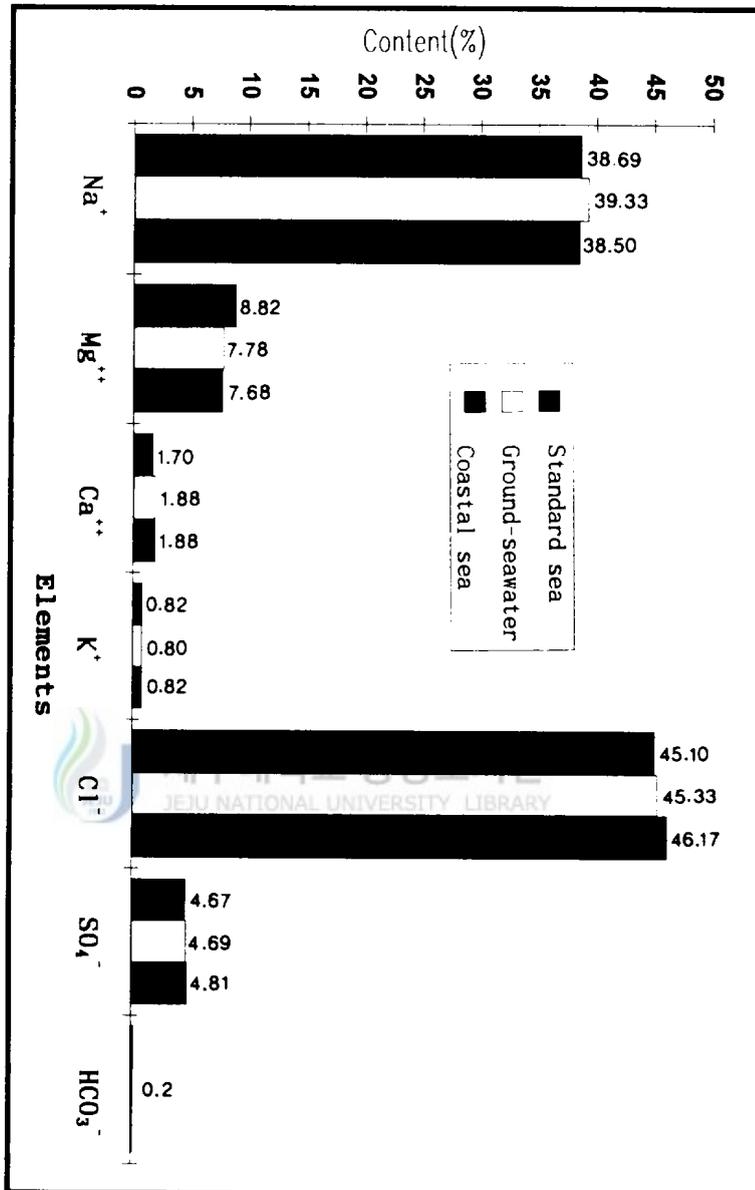


Fig. 21. Contents of ground-seawater each elements in Pyoseun area.

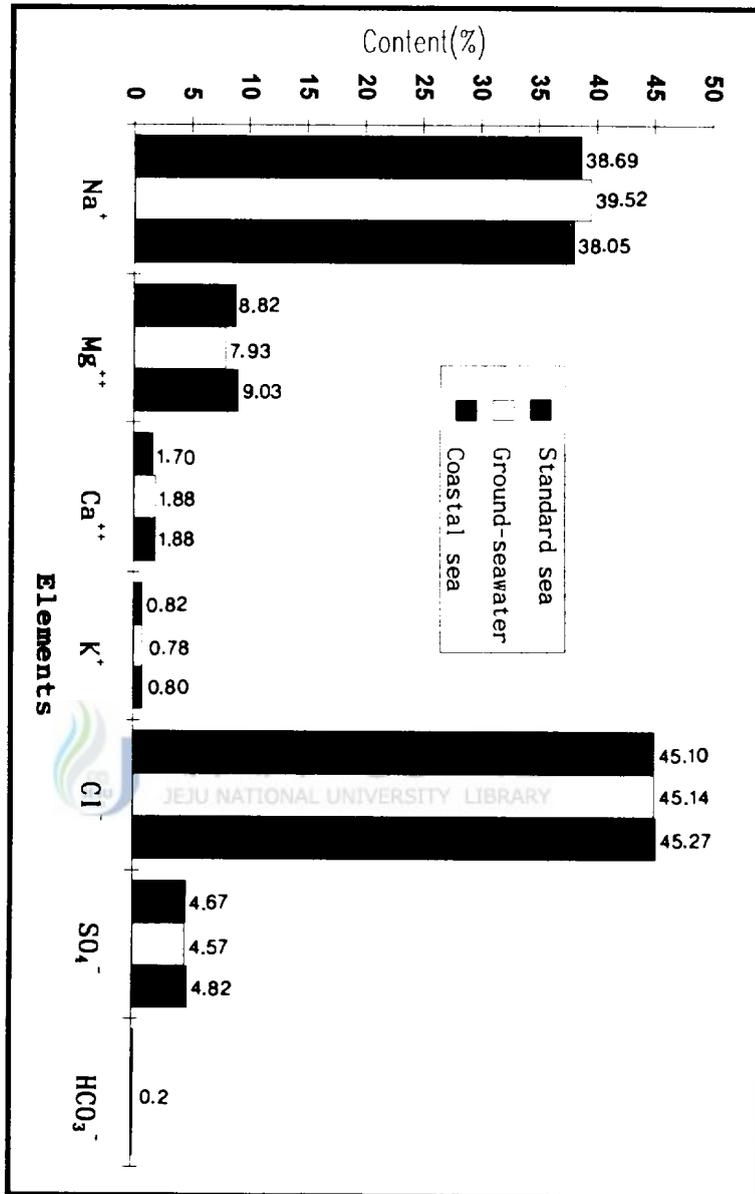


Fig. 22. Contents of ground-seawater each elements in Kimyoung area.

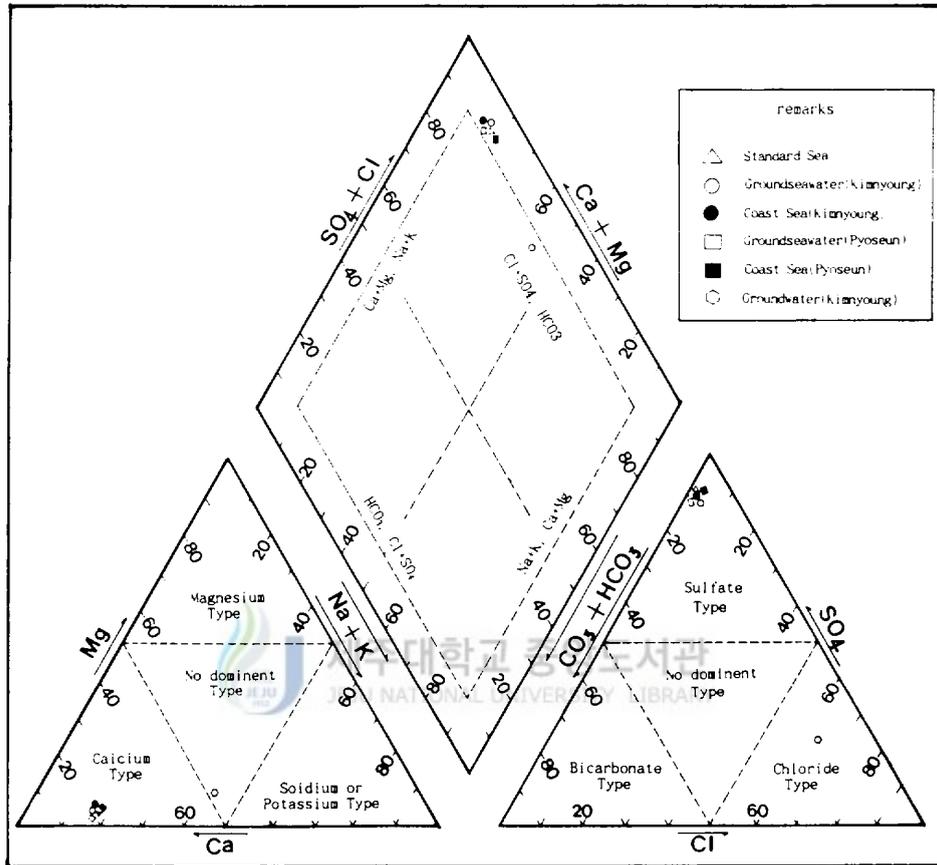


Fig. 23 Trilinear Diagram for representing analyses of ground seawater quality in Pyoseun and Kimnyoung area.

표선지역의 염소이온과는 다소 차이를 보여주고 있다.

Fig. 23은 앞의 계산결과를 근거로 Hem, (1970)의 Trilinear Diagram에 도시한 것이다. Fig. 23에서 보는 바와 같이 표선지역과 김녕지역의 지하해수의 경우, 양이온성분에 의하면 Ca유형에 속하고 있으며, 음이온성분에 따르면 SO_4 유형으로 두지역 모두 화학적특성이 유사하게 나타나고 있다. 또한 연안해수 및 표준적해수의 유형도 지하해수와 비슷한 유형을 나타내고 있었으며, 중앙의 다이아몬드형 그림에서도 표선지역과 김녕지역의 지하해수는 Ca+Mg-Cl유형에 포함되고 있다. 또한 연안해수와 표준적해수의 수질특성도 지하해수와 비슷한 유형을 보여주고 있다. 한편 농진공 (1989)과 최 (1990)의 연구결과에 의하면 Fig. 23과 같이 동부지역 지하수의 대한 수질특성은 Na-Ca 및 $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ 유형을 보여, 동부지역 지하수에는 염도가 높은 경향을 나타냄으로 인해 이곳 지하수에는 해수가 많이 혼합되어 있음을 의미한다. 그러나 동부지역의 지하수는 본 조사의 지하해수와는 근본적으로 그 수질특성이 상이한 것으로 보여진다. 이와같은 차이를 유발시킬수 있는 요인으로는 지질조건 및 지하해수와 담수지하수의 부존양상이 상이한 것이 가장 큰 요인으로 보아지며, 다음으로는 담수 및 해수의 유입과 이에 따른 배경수질의 수질변화 등이 그 요인으로 보아진다.

V. 결 론

제주도 남·동부지역의 지하해수에 대한 화학적 특성을 구명하는 것을 목적으로 주요이온 조성비를 표준적해수와 비교 고찰하였으며 수온 및 염분의 측정으로부터 지하해수에 대한 영향인자를 파악한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 본 조사지역에서 지하해수의 수온은 표선지역이 17.0~18.2℃, 김녕지역이 16.0~18.5℃이고, 염분농도는 표선지역이 29.17~31.56‰, 김녕지역이 30.03~32.76‰이며, Na^+ 은 표선지역이 383.9~458.4meq/l, 김녕지역이 400.5~459.4meq/l 이고, Mg^{++} 은 표선지역이 77.0~90.5meq/l, 김녕지역이 78.5~88.2meq/l 이며, Ca^{++} 은 표선지역이 19.2~20.8meq/l, 김녕지역이 19.1~21.2meq/l 이고, K^+ 은 표선지역이 8.11~8.65meq/l, 김녕지역이 8.36~8.90meq/l 이며, Cl^- 은 표선지역이 471.0~500.0meq/l, 김녕지역이 472.9~500.3meq/l 이고, SO_4^{--} 는 표선지역이 47.5~51.6meq/l, 김녕지역이 48.8~52.4meq/l 이며, HCO_3^- 은 표선지역이 1.75~2.07meq/l, 김녕지역이 1.85~2.15meq/l 의 범위를 나타내고 있다.

또한, 조사지역의 주변연안해수의 평균수온은 표선지역이 25.3℃, 김녕지역이 25.1℃이고, 염분농도는 표선지역이 32.12‰, 김녕지역이 32.26‰이며, Na^+ 은 표선지역이 429.4meq/l, 김녕지역이 442.1meq/l)이고, Mg^{++} 은 표선지역이 98.5meq/l, 김녕지역이 100.7meq/l 이며, Ca^{++} 은 표선지역이 20.5meq/l, 김녕지역이 20.5meq/l)이고, K^+ 은 표선지역이 8.82meq/l, 김녕지역이 8.94meq/l 이며, Cl^- 은 표선지역이 501.7meq/l, 김녕지역이 508.0meq/l 이고, SO_4^{--} 은 표선지역이 53.0meq/l, 김녕지역이 52.3meq/l 이

며, HCO_3^- 은 표선지역이 1.87meq/ℓ, 김녕지역이 1.86meq/ℓ의 범위를 나타내고 있다.

2) 지하해수의 수온은 두지역 모두 $17 \pm 1^\circ\text{C}$ 내외로 거의 변동없이 일정한 수온을 유지하고 있었다. 이는 지하해수가 대수층내에 부존하고 있는 관계로 지열의 영향을 크게 받고 있는 것으로 사료되며, 지역간의 온도차는 표선지역이 김녕지역에 비해 1°C 정도 높게 나타나고 있었다. 이러한 원인으로서는 두지역에 대한 지하해수 수공의 심도가 각각 다르기 때문으로 생각된다.

3) 지하해수의 화학적조성 비율은 Na^+ 의 경우 표준적 해수는 38.69%를 나타내고 있는 반면에 지하해수는 김녕지역이 39.33%, 표선지역이 39.53%로 표준적해수에 비해 높게 나타났으며, Mg^{++} 은 표준적해수가 8.82%인 것에 비해 김녕지역은 7.78%, 표선지역은 7.92%로 Na^+ 과는 대조적으로 낮은 특성을 보였다. 이와같이 지하해수의 화학적특성은 Na^+ 과 Mg^{++} 이 화학적 조성을 결정짓는 중요한 인자로 보아진다.

4) 이온성분에 대한 경시적변화는 김녕지역의 경우, 담수에 의한 영향보다는 조석에 의한 영향을 지속적으로 받고있는 반면에 표선지역은 조석의 영향보다는 강수에 의한 영향을 많이 받고 있는것으로 보아져 두지역간의 지질특성이 상이한 것으로 보아진다. 특히 표선지역의 지질구조는 지하해수 상부에 부존하고 있는 담수대가 균열대를 따라 점이대로 이동함으로써 지하해수의 농도에 영향을 주는 것으로 사료된다.

VI. 참고 문헌

- 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
- 최영찬, 고유봉, 이준백, 1989. 제주도 해안선 주변의 해수특성. 한국지
구과학회지, 10(1)
- 고기원, 고용구, 김성홍, 오상실, 박원배, 윤선, 1992. 제주도 동부지역
의 지하지질구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구.
제주도 보건환경연구원보, pp.15~43
- 고기원, 박원배, 윤정수, 1993. 제주도 동·서부지역의 지하수 부
존형태와 수질특성에 관한연구. 제주도보건환경연구원보, 4,
pp.191~222
- 한정상, 김창길, 김남중, 한규상, 1994. 제주도 지하수자원의 최적가능량
선정에 관한 수리지질학적 연구. 대한지하수환경학회
한국수자원공사, 1993. 제주도 수자원 종합개발 보고서
- 김영웅, 1991. 제주도의 지하수 부존과 해수침입 방지대책 방안. 제주도
지하수함양 보전을 위한 심포지엄
- 김상현, 1987. 제주해협내의 해수유동에 관한 연구. 석사논문, 61 pp.
——, 1991. 地下水의 水質調査. 지하수기술, 33(8), pp.15~25.
- 김종훈, 안중성, 1992. 제주도 용천수의 수질화학적 특성과 연대측정에
관한연구. 대한화학회지, 36(5)
- 윤금영, 오윤근, 최순호, 손재경, 1990. 한국근해염분의 주기변동. 수산
연구보고, 44, pp.27~35.
- 윤선, 고기원, 1994. 제주도 서귀포층의 지하분포 상태와 지하수 부존특

- 성과의 관계. 제주도 수자원연구 학술심포지움
- 윤정수, 1994. 제주도 지하수의 장기개발에 따른 문제점 고찰. 제주도 수
자원연구 학술심포지움
- 문영식, 1990. 제주도 함덕 북방 해역에서의 해수의 화학적 특성. 석사논
문, 60 pp.
- 노홍길, 1993. 제주도 주변해역의 해양환경특성, 대형기선 저인망어업의
현황과 진흥방안에 관한 심포지움
- 박원배, 1993. 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구. 석사논문, 47 pp.
- 박길순, 노홍길, 1980. 西歸浦 앞바다 海水의 化學成分量 分布에 관하여.
제주대 해자연보, 4, pp.31~37.
- 박길순, 최영찬, 1986. 西歸浦 沿岸海水의 海洋化學的 特性. 제주대 해양
자원연구원보, 10, pp.39~44.
- 방익찬, 노홍길, 김유근, 김태희, 1990. 제주도 북방 함덕해역에서의 기
상과 해황의 관계. 제주대 논문집, 30.
- Choi, S. H., 1990. Hydrogeological and hydrochemical
characteristics of groundwater in Cheju Island.
Kyoungpook National University, KOREA
- Choi, S. H., Y. k. Kim, 1989. Geochemical Characteristics of
Groundwater in Cheju Island. *Geological Soc.* 25(3),
pp.230~238.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1972. A Practical Handbook
of Seawater Analysis. *Bul. Fish. Bd. CA.*,187 PP.
- Todd, D. K., 1980. Groundwater Hydrology, second edition. John wiley
& Sons, pp.495~519.
- Howard, K. W. F., 1983. Major Ion Characterization of Coastal Saline

Ground Waters, 21(4), pp.429~437.

JOHN E.H., 1989, Design and Operating Guide for Aquaculture
Seawater Systems. *Aqu. and Fish. scio.* 20, pp.42~49.



감사의 글

부족함이 많은 저를 늘 일깨워 주시고, 본 논문이 완성되기까지 정열과 성의로 아낌없는 지도와 편달을 해주신 오윤근 교수님께 이 자리를 빌어 깊은 감사를 드립니다. 아울러 바쁘신 와중에도 미흡한 논문을 세심하고 자상하게 다듬어 주신 해양학과 윤정수 교수님과 이용두 교수님께 진심으로 감사를 드리며, 항상 깊은 관심과 따뜻한 조언을 아끼지 않으셨던 허 목 교수님, 허철구 교수님, 이기호 교수님께도 감사를 드립니다.

또한, 본 연구를 원활히 수행할 수 있도록 배려를 해주신 사조냉장에 계시는 강법세 차장님과 제주수산에 계시는 이상기 과장님께 고마움을 전하고자 합니다. 특히 시료채수를 위해 뜬 눈으로 지새는 어려움 속에서도 묵묵히 참아내고 시종 실험에서 자료정리까지 정성을 다해 도와준 환경화학실험실의 장종철, 김은영, 고순애 후배님에게 고마움을 표하며, 류성필, 장용식, 노준형, 양경미 후배님에게도 사랑의 마음을 전합니다.

어려움속에서도 기쁨과 고통을 함께한 윤남호 계장님, 강봉래, 박용이, 김형철 동학에게도 고마움을 전하며, 이 밖에 많은 분들에게 은혜를 입었기에 감사한 마음으로 인사를 대신할까 합니다.

끝으로 오늘이 있기까지 깊은 사랑과 희생으로 오직 자식의 밝은 미래를 위해 심혈을 다해 뒷바라지를 해주신 아버님, 어머님 그리고 귀찮은 일도 마다않고 묵묵히 도와주신 작은형수님께 이 작은 결실을 드립니다.