

제주해안에서 지하해수의 수질특성에 관한 연구

박 관 석 · 오 윤 근

A Study on the Water Quality Characteristics of Ground-Seawater in the Coast of Cheju

Gwan-Serk Park · Youn-Keun Oh

ABSTRSCT

This study was performed about some major items such as Water Temperature, Salinity, pH, COD, T-N and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ on to examine the water quality characteristics of ground-seawater in the eastern and the southern coasts of Cheju island from May to September in 1994. The water temperature in ground-seawater was about $17 \pm 1^\circ\text{C}$ in two coasts, but that in natual-seawater changed greatly according to season. COD in natual-seawater was $0.79 \sim 0.82\text{mg/l}$. and was higher than that of ground-seawater being $0.53 \sim 0.54\text{mg/l}$. The concentration of T-N and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in ground-seawater were higher than those of natual-seawater: Average concentrations of T-N and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in ground-seawater were $24.72 \sim 26.79 \mu\text{g-at/l}$ and $1.15 \sim 1.16 \mu\text{g-at/l}$ respectively, while those in natual-seawater were $3.54 \sim 3.65 \mu\text{g-at/l}$ and $0.32 \sim 0.34 \mu\text{g-at/l}$ respectively.

I. 서 론

제주도는 사면이 바다로 둘러싸여 있으며 해저지형도 경사가 완만하고 해저 퇴적

물의 유형도 뺨[泥質] 또는 砂泥質로 되어 있는 대륙붕 해안이다. 또한 전 연안역이 풍부한 암초와 해초로 덮여 있고 한·난류가 교차되고 있기 때문에 각종 어·패·조류

의 산란·서식장 및 생육장으로 양호한 해양 환경조건을 갖추고 있다. 이와 같이 제주도 주변해역의 양호한 해양환경조건을 이용하여 본도에서는 1986년부터 개발되기 시작한 육상 수조식 양식장에서 제주도 연안역주변 지하 30~100m의 대수층내에 부존하는 지하해수를 사용하여 대단위로 조성된 양식업이 성행하고 있으며 양식장에서 사용되고 있는 지하해수의 양은 최근들어 점차적으로 증가하고 있는 추세에 있다. 이러한 지하해수는 자연해수에 비해 고농도의 염류가 함유되어 있으며 또한 년 중 수온이 17℃내외로 거의 일정하게 유지되기 때문에 여름철 고수온기와 겨울철 저수온기에 일반해수와 일정비율로 혼합하는 간단한 조작만으로도 증·양식에 수온제어를 용이하게 할 수 있다. 그러나 이와 같은 중요성에도 불구하고 제주도 주변해역에 대한 해수의 수질 변동 등에 관한 연구²³⁾는 활발히 이루어져 왔지만 대수층내에 부존하고 있는 지하해수의 수질특성에 관한 연구는 국·내외적으로 미흡한 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 제주도 주변연안에 분포되어 있는 지하해수의 수질특성을 규명하기 위해 수온, 염분, pH, COD, T-N, PO₄³⁻-P 등의 항목에 대해 지하해수와 자연해수의 수질을 비교 고찰하였다.

Ⅱ. 제주도 연안 해양환경

2.1. 남·동부 지역의 해양 환경 현황

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 그 후 점차 높아져 8월에 년중 최고치인 26~28℃를 보이고 있다.³⁾

Fig. 1은 남·동부지역의 2년(1987년 6월부터 1989년 6월)간에 걸친 평균수온 분포를 나타낸 것으로 년평균 수온은 남부지역이 17.5℃, 동부지역이 16.6℃로써 남부지역이 동부지역에 비해 약 1℃정도 높은 수온분포를 나타내고 있다. 또한 각 계절별 평균수온 차이는 10.1~12.7℃의 차이를 보여주고 있었으며, 최고수온과 최저수온이 남부지역에서 나타나 수온의 변화폭이 동부지역에 비해 다소 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다.³⁴⁾

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 다시 상승하기 시작한다. 동부지역의 염분분포는 32.0~34.5‰로서 최고 염분농도는 2월에, 최저 염분농도는 8월에 나타나고 있으며 외해수의 영향을 가장 많이 받는 곳은 성산 주변해역으로 보고되고 있다. 이러한 요인은 해수의 연직혼합이 잘 이루어지고 저층의 풍부한 영양염류가 표층으로 운반되어 높은 기초생산력을 형성하는 독특한 해황수역을 가지고 있다.³⁴⁾

Fig. 2은 남·동부지역의 2년(1987년 6월부터 1989년 6월)간에 걸친 평균염분 분포를 나타낸 것으로 년평균 염분농도는 남부지역이 32.68‰, 동부지역이 33.18‰로써 동부지역이 남부지역에 비해 다소 높은 경향을 보여주고 있다. 또한 각 계절별 평균 염분농도는 동계의 염분농도가 하계에 비해 32.5~33.2‰의 높은농도를 나타내고 있다.³⁴⁵⁾

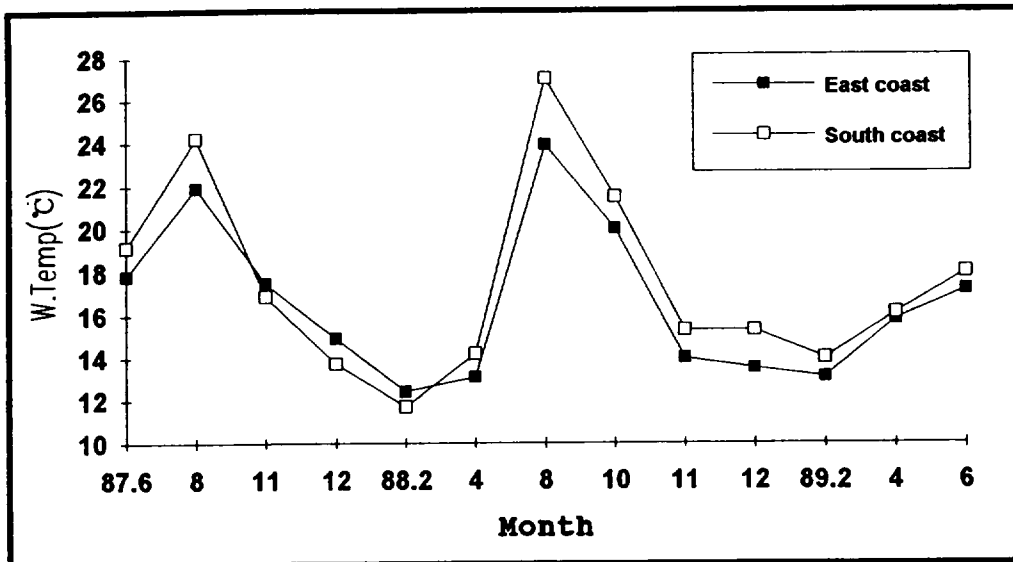


Fig. 1. Average variation of seawater temperature by monthly in the southern and eastern area.

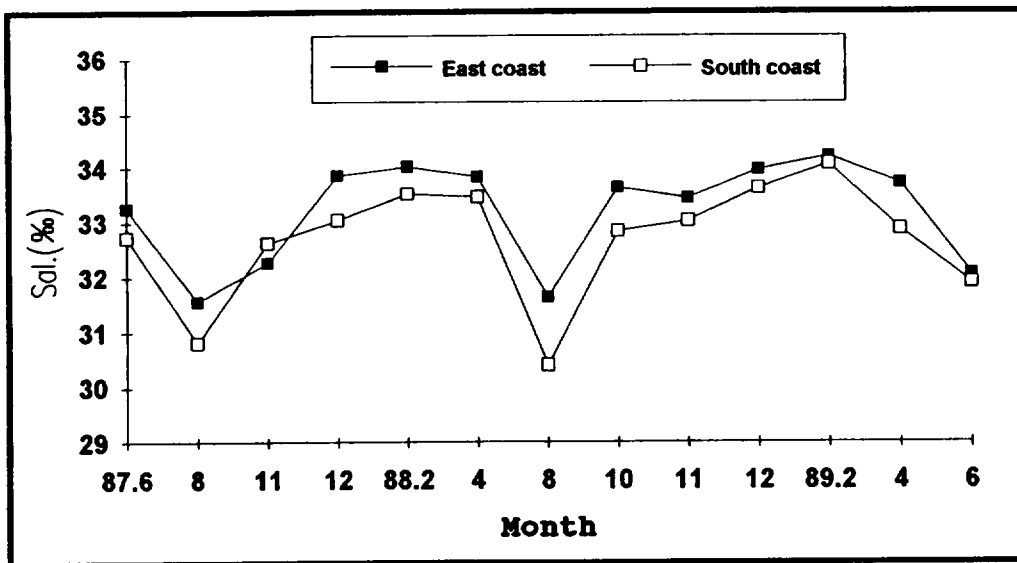


Fig. 2. Average variation of seawater salinity by monthly in the southern and eastern area.

2.2 남·동부 지역의 지질특성

제주도는 거대한 화산활동에 의하여 형성된 화산도로서 특유의 지형 및 지질조건을 가지고 있다. 이러한 지형·지질 요인중의 일부분인 지하해수는 대수층에 부존하고 있는 유동체이기 때문에 조사지역에 대한 지질특성을 파악하는 것은 대단히 중요하다.

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. 이와같이 지하지질적인 측면에서 볼 때 제주도 동부지역은 지하수를 받쳐 줄 수 있는 불투수성층인 서귀포층이 결충되어 있는 것으로 보고 되고 있다.⁶⁾

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 406m²/日, 수리전도도는 최대 685m/日, 평균수온은 15.8℃로 보고되고 있다.⁷⁾

2.3 지하해수의 부존형태

해안선 주변에 부존하고 있는 지하수의 부존형태는 매우 복잡하고 다양한데 지금까지 알려진 지하수의 부존형태는 상위지하수(High level groundwater)와 기저지하수(basal groundwater), 준기저지하수(parbasal groundwater)로 분류하고 있다.⁸⁾ Fig. 3은 기저지하수의 부존형태를 나타낸 것으로

지표로부터 유입된 지하수가 섬 하부까지 침투하강하여 해수와 비중차(담수:1.00, 해수:1.025)때문에 담수체를 형성하여 해수 상부에 lens상의 형태로 떠있는 유형의 지하수를 말하며, A부분이 해수와 담수의 접촉면으로써 점이대층(Transition Zone)의 지하수라 할 수 있다. 해수와 담수와의 접촉면은 명확히 구분하기는 힘들지만 담수체의 수축과 팽창의 영향에 의해 해수와 담수가 혼합된 지역의 지하수를 말한다. 이와 같이 점이대층 하부에 존재하는 지하수를 본 연구에서는 지하해수(Ground-Seawater)로 명명하였으며, 지하해수의 개발 대부분이 이러한 점이대층을 대상으로 이루어지고 있다. 점이대층은 조석운동으로 인하여 항상 동적평형 상태에서 이동 확산되며 해수는 비중이 적은 지역으로 이동을 계속 하므로써 해수의 유로망이 형성되고 해안 대수층에서는 심도가 증가함에 따라 염분농도의 증가와 함께 대수층내에 해수가 부존하게 된다. 이러한 지하해수는 본도 전역에 걸쳐 풍부한 수량이 부존되고 있으며 특히 조천수역에서 남원수역에 이르는 동부해안에 內陸 깊숙히 분포되어 있다. 이와 같이 제주도 지하수의 부존형태는 큰 규모로 볼 때 담수체 하부의 해수와 거의 유체동력학적 평형상태에 있으며, 광역적으로 Ghyben-Herzberg관계가 성립하는 것으로 보고 되고 있다. 이러한 원리는 담수가 해수보다 비중이 작기 때문에 담수와 해수가 서로 접하게 될 경우 담수는 해수 상부에 떠 있게 된다.

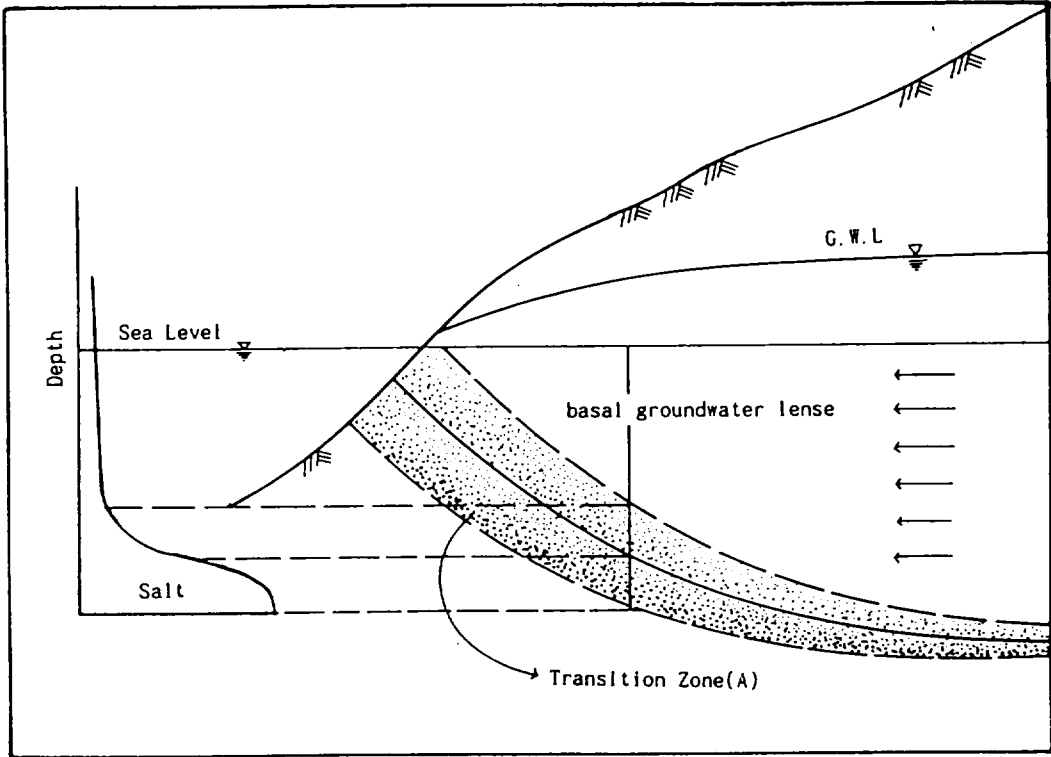


Fig. 3. Schematic of basal groundwater.

Ⅲ. 조사 및 분석 방법

3.1. 조사지역 선정 및 방법

본 도 해안가를 중심으로 한 어류 증·양식장 시설수는 1994년 9월말 현재 총 155개소로써 남제주군지역이 97개소로 전체의 62.6%를 차지하고 있고, 북제주군지역에는 47개소(전체의 30.3%), 제주시(1개소) 및 서귀포시지역(10개소)이 11개소로 전체의 7.1%를 차지하고 있다. 특히 표선면에서

구좌읍에 이르는 남·동부지역에 전체의 58.8%에 해당하는 70개소로 매우 밀집되어 있다.⁹⁾ 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 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 1994년 5월부터 9월까지 5개월에 걸쳐 양식시설이 밀집되어 있는 제주도 남동부(표선) 및 동부(김녕)지역(Fig. 4)에서 지하해수를 사용하는 1개

육상수조식 양식장을 각각 선정하여 3시간 간격으로 24시간 연속 시료를 채수하였으며, 연안해수는 양식장배출수의 영향이 미

치지 않는 3개 지점을 각각 선정하여 시료를 채수하였다.

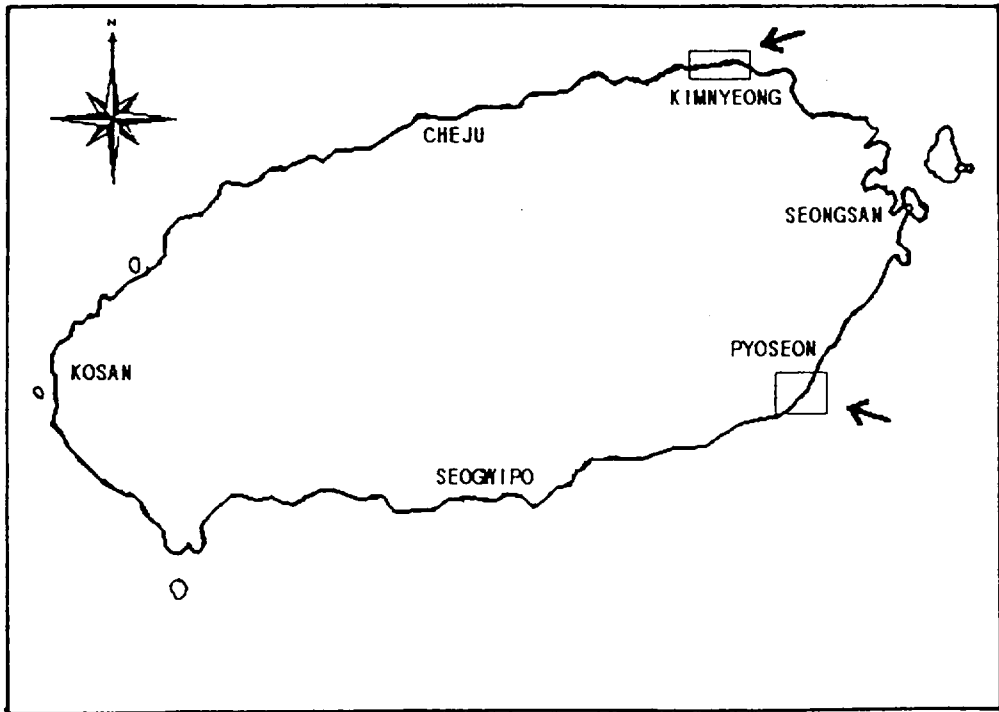


Fig. 4. Location map of study area.

3.2. 분석 방법

자연해수 및 지하해수의 수온은 현장에서 채수 즉시 측정하였고, 염분은 Salinometer(TSURUMI SEIKI, E-2)로 측정하였다. 또한 수소이온농도는 pH meter(620-pHmeter)로 직접 측정하였으며, COD는 알카리성 과망간산칼륨법에 의해 측정하였다. T-N은 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 을 공정시험법에 준하여 측정하여 총합으로 산정하였으며, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 는

아스코르빈산 환원법에 의해 분석하였다.¹⁰⁾

IV. 결과 및 고찰

본 연구에서는 지하해수의 수질분석결과를 남부지역과 동부지역으로 나누어 고찰하였으며 지하해수의 수질특성을 알아보기 위해 자연해수와 비교 고찰하였다.

4.1. 수온(Temperature)

수온은 수질의 변화에 영향을 미치는 중요한 항목 중의 하나이며, 용존산소의 농도에 영향을 주게 되어 수중미생물의 활동에 영향을 준다. 제주도 연안의 수온 상승경향은 동계에 12.5~15.5℃의 범위 내에서 큰 변화없이 거의 평형상태를 유지하나 5월부터 1~2℃정도의 상승폭으로 오르기 시작하여 7월 이후에는 최고 28.2℃까지 상승한다.

본 연구기간중 수온은 Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 두 지역 모두 지하해수와 자연해수의 수온 경향이 뚜렷한 차이를 나타내고 있으며 지하해수의 수온 범위는 표선지역이 17.2~18.1℃로 평균 17.8℃, 김녕지역은 16.7~17.2℃로 평균 16.8℃로 표선지역이 김녕지역에 비해 1℃정도 높게 나타내고 있다. 이는 지하해수의 수공의 심도가 표

선지역은 65m, 김녕지역은 45m로 두 지역 모두 각각 다르기 때문으로 생각된다. 이와 같은 현상은 지하해수가 기타 대수층내에 부존하고 있는 관계로 지표에서 100m 깊어짐에 따라 3~4℃의 온도가 증가하는 원인과 대수층내에 지역에 의한 영향으로 사료된다. 그러나 조사기간 중 두 지역의 지하해수 수온은 17℃내외로 비교적 일정하게 유지하고 있었다. 한편 자연해수의 수온은 17.9~26.4℃로 두지역 모두 5월에 최저치를 나타내고 있으며 8월에 최고치를 나타내고 있어 계절에 따른 수온 변화가 큰 차이를 보여주고 있으며, 이는 노동²⁾에 의해 보고된 계절별 수온 변화와도 일치하고 있다. 이와 같이 수온변화는 지하해수가 17℃내외의 일정한 수온을 유지하고 있어 계절에 따른 영향을 받고 있지 않는 반면 자연해수는 계절적 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타났다.

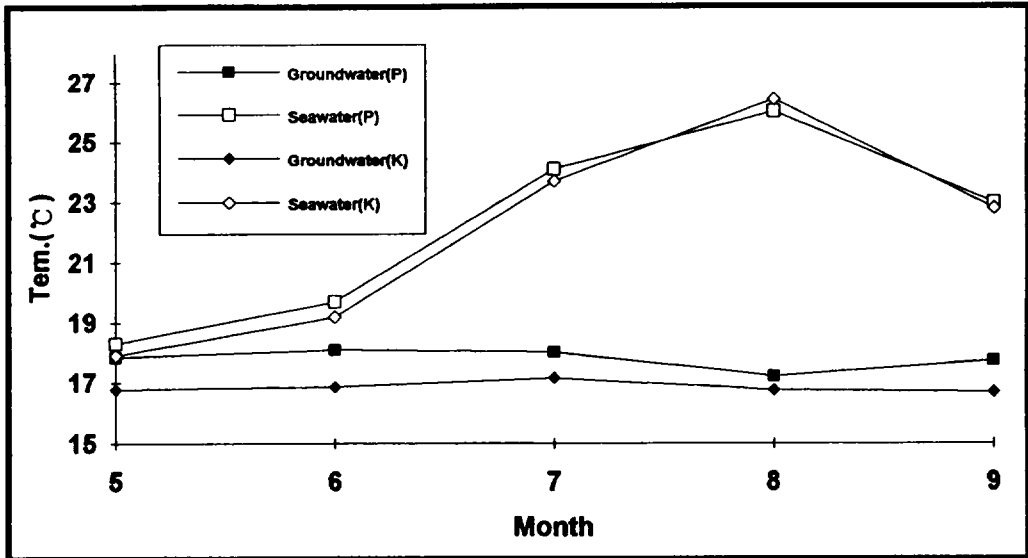


Fig. 5. Variation of temperature for ground-seawater and seawater with monthly.

4.2 염분(Salinity)

제주 주변해역에 대한 염분 농도의 분포는 지역에 따라 그 특성이 매우 뚜렷하게 나타나고 있다.

본 연구기간중 염분농도 변화는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 지하해수의 농도는 자연해수에 비해 약간 낮은 경향을 나타내고 있으며, 자연해수에 비해 지하해수가 두 지역간의 농도차도 지하해수가 다소 크게 나타나고 있다. 지하해수의 염분농도 범위는 표선지역이 29.17~31.17%로 평균 30.51%, 김녕지역은 30.21~32.31%로 평균 31.36%로 김녕지역이 표선지역에 비해 0.8%정도 높게 나타나고 있으며, 월별 농도는 8월의 농도가 표선지역이 29.17%, 김녕지역은 30.21%로 두 지역 모두 조사기간 중 가장 낮은

농도를 나타내고 있었다. 또한 자연해수의 염분농도 범위는 표선지역이 30.94~33.07%로써 평균 32.26%를 나타내고 있으며 김녕지역은 31.23~32.88%로 평균 32.43%로 김녕지역 표선지역에 비해 약간 높은 농도를 나타내고 있어 노등²⁾ 과 최등³⁾에 의해 보고된 해수의 염분농도 변화와도 일치하고 있다. 이와 같이 지하해수의 변화는 지역에 따라 점시대층의 상부에 존재하고 있는 담수체의 수축과 팽창 및 潮水에 의한 영향으로 지하해수의 농도가 자연해수에 비해 큰 폭의 농도 변화를 보여주어 있으며, 8월중 최소값은 조사기간 중 태풍으로 인한 강우량의 증가가 그 직접적인 원인으로 사료된다.

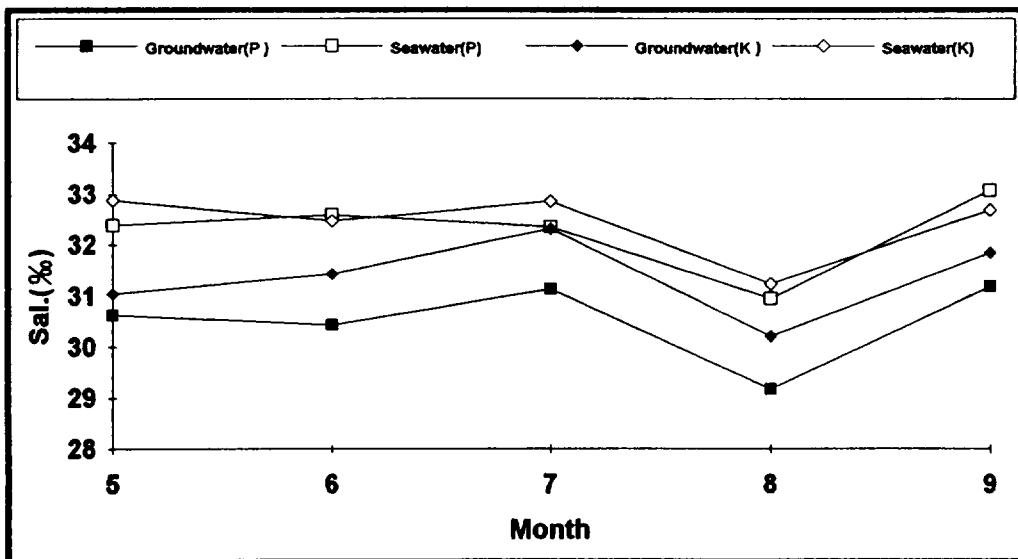


Fig. 6. Variation of salinity for ground-seawater and seawater with monthly.

4.3. 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 여러가지 화학물질의 영향에 의해 평형상태를 나타내며 이러한 수소이온농도 값은 수환경의 변화상태를 나타냄과 동시에 화학적인 안정상태 등을 나타내고 있어 환경지표로서 중요하다.

본 연구기간중 수소이온농도의 변화는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 지하해수와 자연해수가 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 지하해수의 수소이온농도 값은 표선지역이 7.84~7.98로 평균 7.91, 김녕지역은 7.87~8.01로 평균 7.94의 수소이온농도 값을 나타

내고 있어 두 지역간의 수소이온농도 값은 큰 차이를 보이지 않고 있으며 자연해수 역시 두 지역의 수소이온농도 범위가 표선지역이 8.10~8.19, 김녕지역이 8.12~8.21로 큰 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 지하해수와 자연해수의 수소이온농도 차이는 표선지역이 평균 0.20, 김녕지역이 0.24의 값으로 지하해수의 수소이온농도가 자연해수에 비해 약간 낮게 나타내고 있다. 이와 같은 경향은 제주도의 지질자체가 화산활동에 의해 형성된 화산도로 구성되어 있어 이로인한 지질자체의 미미한 영향과 8월중의 강우에 의한 담수의 영향으로 사료된다.

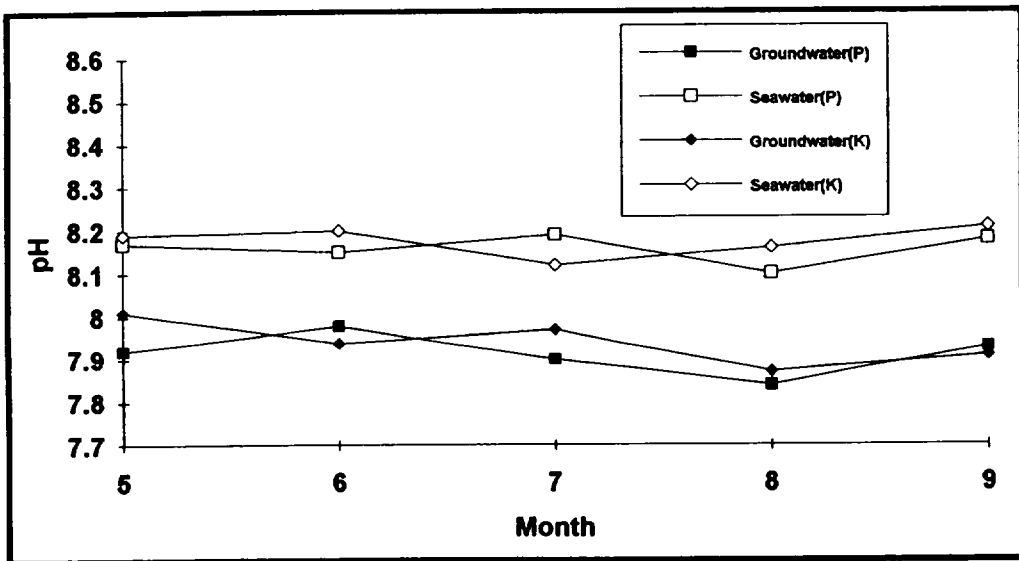


Fig. 7. Variation of pH for ground-seawater and seawater with monthly.

4.4. 화학적산소요구량(COD)

해양오염에 있어서 수질오염의 지표로 이용되고 있는 COD는 유기물의 오염도를

파악하는데 대단히 중요한 항목으로 사용되고 있다.

본 연구기간중 COD의 농도변화는 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 지하해수와 자연해수

가 뚜렷한 농도차이를 나타내고 있다. 지하해수의 COD농도는 표선지역이 0.47~0.58 mg/l로 평균 0.54mg/l, 김녕지역은 0.51~0.6mg/l로 평균 0.54mg/l로 두 지역 모두 조사기간 중 큰 농도 차이를 보이지 않고 비슷한 농도분포를 나타내고 있었으며 자연해수의 COD농도 변화 역시 표선지역이 0.74~0.94mg/l로 평균 0.82mg/l, 김녕지역

은 0.67~0.91mg/l로 평균 0.79mg/l로 나타나고 있어 조사기간중 평균 COD농도도 비슷한 분포를 나타내고 있다. 그러나 지하해수와 자연해수의 평균농도는 표선지역은 0.28mg/l, 김녕지역은 0.25mg/l로 지하해수가 전반적으로 낮게 나타나고 있어 자연해수와 지하해수의 수질특성이 다소 차이를 나타내고 있다.

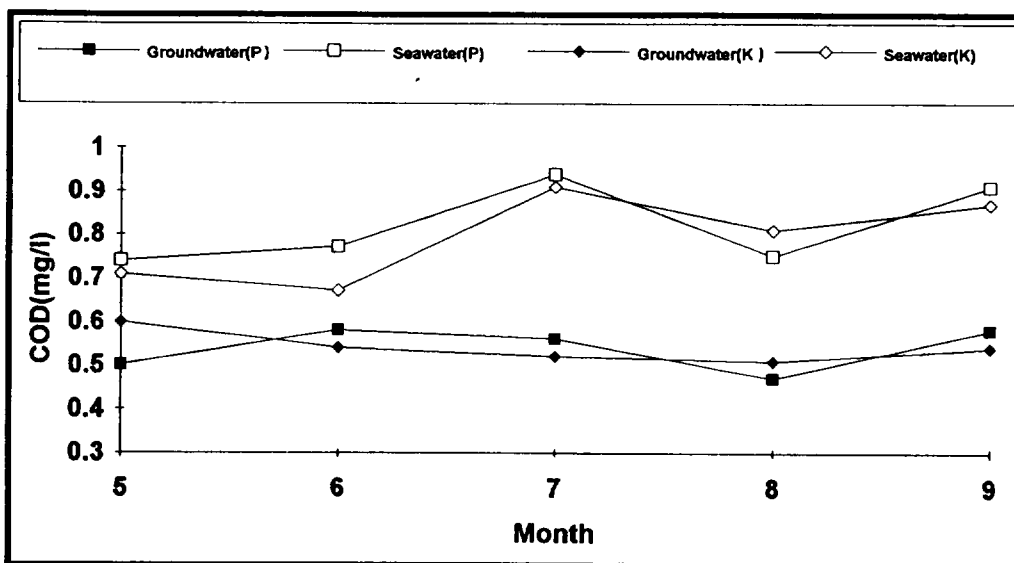


Fig. 8. Variation of COD for ground-seawater and seawater with monthly.

4.5. 총질소(T-N)

영양염류는 수중생물 성장에 필수적인 물질이며, 해수중에서 암모니아(NH₃), 암모니아이온(NH₄⁺), 아질산이온(NO₂⁻) 및 질산염이온(NO₃⁻)의 형태, 즉 탄소와 화합물의 형태로 존재한다. 무기질소 화합물 중 가장 많은 것은 질산염이며 이들의 수직분포를 보면 표층 부위에서는 함량이 적

은 반면에 저층에서는 높은 함량을 보여주고 있다. 또한 아질산염은 천해해역의 해저 부위의 수괴에서만 다소 검출된다.

본 연구기간중 T-N의 농도변화는 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 지하해수와 자연해수의 농도차가 매우 큰 차이를 보이고 있다. 지하해수의 경우 전체적인 농도 범위는 표선지역이 24.91~31.69μg-at/l로써 평균 26.79μg-at/l이며, 김녕지역은 21.03~27.45

$\mu\text{g-at/l}$ 로 평균 $24.72\mu\text{g-at/l}$ 를 나타내고 있어 표선지역이 김녕지역에 비해 평균농도가 높게 나타내고 있다. 또한 월별 농도 변화에서 표선지역은 7월에 $31.61\mu\text{g-at/l}$ 로 가장 높게 나타내고 있으며 김녕지역은 7월과 9월에 높은 농도를 나타내고 있다. 그러나 자연해수의 T-N농도는 표선지역이 $3.03\sim 4.46\mu\text{g-at/l}$ 로써 평균이 $3.65\mu\text{g-at/l}$, 김녕지역이 $2.99\sim 4.00\mu\text{g-at/l}$ 로 평균이 $3.54\mu\text{g-at/l}$ 를 나타내고 있어 전반적으로

지하해수의 T-N농도는 자연해수에 비해 매우 높은농도를 나타내고 있다. 특히 T-N의 농도가 가장 높았던 7월중의 지하해수와 자연해수의 농도차는 표선지역이 $27.15\mu\text{g-at/l}$, 김녕지역이 $23.45\mu\text{g-at/l}$ 로 무려 7~8배정도 지하해수가 높게 나타내고 있다. 이러한 경향은 대수층내에 부존하고 있는 지하해수에 고농도의 무기물질이 함유되어 있으므로 인해 전체적인 T-N 농도가 상승한 것으로 사료된다.

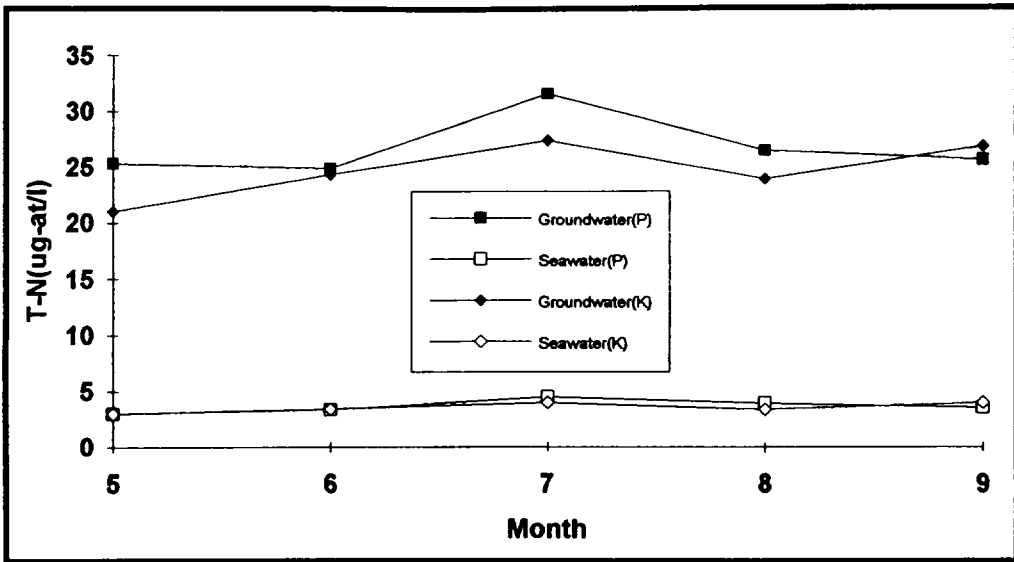


Fig. 9. Variation of T-N for ground-seawater and seawater with monthly.

4.6. 인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)

해수중의 인화합물은 생물체의 부식과 동물체들의 배설물들이 부패되는 과정에서 유리되며, 동물체들이 유기인 화합물을 섭취하여 소화하는 과정에서도 무기인으로

전환되어 배설되기도 한다. 본 연구기간중 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 농도변화는 Fig. 10에 나타난 바와 같이 지하해수와 자연해수의 농도변화가 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 지하해수의 경우 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 농도는 표선지역이 $1.03\sim 1.25\mu\text{g-at/l}$ 로써 평균 $1.17\mu\text{g-at/l}$,

김녕지역이 0.90~1.41 $\mu\text{g-at/l}$ 로 평균 1.16 $\mu\text{g-at/l}$ 를 나타내고 있어 조사기간중의 평균농도는 비슷한 농도분포를 보이고 있으나 변동범위는 김녕지역이 표선지역에 비해 약간 크게 나타내고 있다. 그러나 자연해수의 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 농도는 표선지역이 0.22~0.39 $\mu\text{g-at/l}$ 로써 평균 0.32 $\mu\text{g-at/l}$, 김녕지역은 0.23~0.49 $\mu\text{g-at/l}$ 로 평균 0.34 $\mu\text{g-at/l}$

를 나타내고 있어 조사기간중 지하해수가 자연해수에 비해 상대적으로 매우 낮은 농도를 나타내고 있다. 이와 같이 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 농도가 지하해수가 자연해수에 비해 높게 나타나는 원인으로서는 총질소와 같은 경향으로 지하해수내에 무기인의 함유량이 많이 포함되어 있음으로 인해 전반적인 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 농도를 상승시킨 원인으로 사료

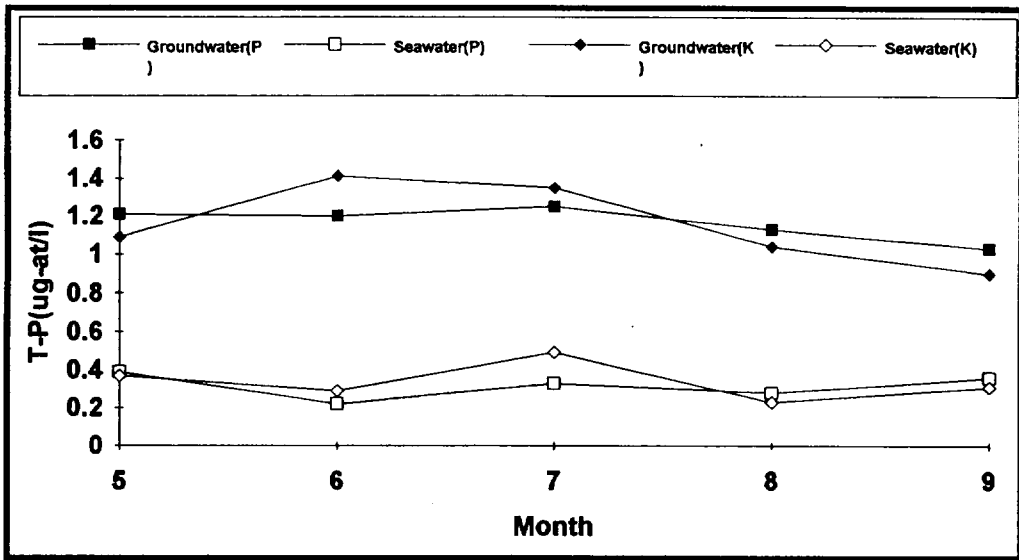


Fig.10. Variation of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ for ground-seawater and seawater with monthly.

된다.

V. 결 론

제주도 남·동부지역의 지하해수에 대한 수질특성을 구명하기 위한 목적으로 수온, 염분, pH, COD, T-N, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 등 주요항목으

로 부터 자연해수와 지하해수를 비교 고찰한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지하해수의 수온은 두지역 모두 17 ± 1 $^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하고 있으며 자연해수는 계절에 따라 수온변화가 크게 나타나고 있다. 또한 염분농도와 pH값은 지하해수가 자연해수에 비해 전반적으로 낮게 나타내고 있다.

2. COD의 농도는 자연해수의 평균농도 범위가 0.79~0.82mg/l 를 나타낸 반면 지하해수는 0.53~0.54mg/l 로 매우 낮게 나타내고 있어 지하해수가 자연해수에 비해 청정한 수질특성을 나타내고 있다.
3. T-N의 농도는 자연해수의 평균농도 범위가 3.54~3.65 $\mu\text{g-at/l}$ 을 나타낸 반면 지하해수는 24.72~26.79 $\mu\text{g-at/l}$ 를 나타내고 있어 무려 7~8배의 높은 농도를 나타내었다. 또한 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 농도 역시 자연해수의 평균농도 범위가 0.32~0.34 $\mu\text{g-at/l}$ 인 반면 지하해수는 1.15~1.16 $\mu\text{g-at/l}$ 로 3~4배 정도 높은 농도를 나타내고 있어 지하해수가 자연해수에 비하여 무기영양 염류가 풍부한 수질특성을 나타내고 있다.
4. 수위변동에 관한 연구”, 한국 환경과 학회지, 3(4), pp.333~348(1994).
7. 한국수자원공사, “제주도 수자원 종합개발 보고서”, pp.IV-3~V-78(1993).
8. 윤선, 고기원, 박원배, “제주도 서귀포층의 지하분포 상태와 지하수 부존 특성과의 관계”, 제주도 수자원연구회 학술 심포지움, pp.98~132(1993).
9. 1994년도 수산업무현황, 제주도청, 수산과, 1994.
10. 수질오염공정시험법(해수편), 동화기술, pp.499~586(1992).

6. 참고 문헌

1. 문영식, “제주도 함덕 북방 해역에서의 해수의 화학적 특성”, 제주대학교 석사논문, pp.1~60(1990).
2. 노홍길, “제주도 주변해역의 해양환경특성”, 대형기선 저인망어업의 현황과 진흥방안에 관한 심포지움, pp.14~25(1990).
3. 최영찬, 고유봉, 이준백, “제주도 해안선 주변의 해수특성”, 한국지구과학 회지, 10(1), (1989)
4. 최영찬, 고기원, “제주도 동남방 신천연안역 해수의 이화학적 특성과 저질분포”, 제주대 해양자원연구원보, 11, pp.53~70(1989).
5. 김상현, “제주해협내의 해수유동에 관한 연구”, 제주대학교 석사논문, 61pp(1987).
6. 박원배, 양성기, 고기원, “제주도 지하수