Bull. Mar. Res, Inst.
Cheju Nat. Univ., 19 : 115~127, 1995

제주대 해양연보, 19 : 115~127, 1995

제주도 지하수의 전기비전도도와 염소이온의 지역별 변화 양상

*고기원 · **문영석 · **최영찬 · ***고용구
*제주도 수자원개발기획단 · **제주대학교 해양학과 · ***제주도보건환경연구원

Regional Variations of the Specific Electrical Conductivity and Chloride Content in Groundwater, Cheju Island

**Gi-Won Koh · **Young-Suk Moon · **Young-Chan Choi · ***Yong-Ku Ko

*Water Resource Development Planning Task Force Cheju Provincial Government, Cheju 690-170, Korea
**Dept. Oceanography, College of Ocean Sciences, Cheju National University, Cheju 690-810, Korea
***Institute of Health and Environment, Cheju Provincial Government, Cheju 690-170, Korea

The specific electrical conductivity and the chloride contents were monitored at 98 sits in Cheju Island during two years (1994. 2~1995. 11) to the purpose of characterized to regional variations of its elements.

The areas of east and west were characterized by both higher elements contain than south and north area. Chloride and specific electrical conductivity values from Kimyoung to Shinhung areas showed more than 100 *mg/ℓ* and 400 *μmohs/cm*, respectively. This indicated that the groundwater of this area occurred in the form of basal groundwater. Also west areas relatively high values of both elements were derived from agricultural practice and feeding cattle. However, the difference of these areas indicated that the groundwater environments were different.

Key words : iso-specific electrical conductivity map, iso-chloride contents map, groundwater.

서 론

제주도는 전국에서 가장 높은 지하수 함양율(44 %)을 보이는 투수성이 좋은 지질로 이루어진 지역이기 때문에 수질을 변화시키는 1차적인 요인은 강우량이라 할 수 있다. 강우량 이외의 자연적인 요인으로서 조석의 영향을 들 수 있는 데 이 영향은 대부분 해안변 지역에 국한되어 나타나며, 지하수의 부존형태에 따라 조석에 의한 수질변화의 폭은 가변적이다. 다음으로 생각할 수 있는 요인은 시료채취 지점의 표고 즉, 지하수 함양지역과 배출지역 간의 차이이다. 함양지역에 부존하는 지하수의 TDS 함량은 대체적으로 100 *mg/ℓ* 이하의 값을 나타내는 데 반하여 배출지역(해안지역)으로 내려올 수록 TDS 함량은 급격히 증가하는 경향을 나타낸다(고기원 등, 1994). 함양지역과 배출지역 지하수에서 TDS 함량이 상이하게 나타나는 주된 원인으로서는 배출지역의 토지이용(점 및 비점오염원)과 지하수 유동거리(체류시간)의 차이에서 비롯되는 현상으로 볼 수 있다.

제주도 지하수의 수질은 상기와 같은 자연적 및 인위적인 요인에 의해 부단히 변화하고 있기 때문에 대표성을 부여할 수 있는 신뢰할 만한 수질자료를 취득하기 위해서는 갈수기와 풍수기를 포함한 장기간 동안의 정기적인 조사와 함께 함양지역과 배출지역을 망라한 광역적인 관측망을 대상으로 조사가 이루어져야 한다. 장기간에 걸쳐 수행된 동일 관정에 대한 정기적인 조사자료는 조사지점 지하수의 수질상태를 직접 평가할 수 있는 자료로서 뿐만 아니라 지하수의 부존형태를 구분하는 데도 중요한 기초자료로 활용할 수 있다.

제주도 지하수의 수질에 관한 조사.연구는 국립지질조사소(1963~1965)에 의해 실시된 '제주도 지하수원 조사'를 시작으로 몇 몇 연구기관과 개인

연구자들에 의해 수행되어 왔으나 연구기관의 조사는 대부분 수원 개발에 앞서 수질상태를 평가하기 위한 목적으로 진행된 것이며, 개인 연구자들에 의한 연구들도 다수의 동일 관정에 대한 장기적이고 정기적인 조사는 미흡한 실정이라 할 수 있다. 본 연구는 제주도 지하수의 수질변화 상태와 수질특성을 정확히 규명하기 위해 1994년부터 도 일원의 98개 지하수 관정을 대상으로 정기적으로 시행되고 있는 수질관측망조사로 부터 얻어진 수질분석 자료 중 2년간 8회에 걸쳐 실시된 전기비전도도와 염소이온에 대한 자료분석을 통하여 지역별 변화상태를 파악함과 아울러 지하수의 부존형태를 구분하는 데 있어 전기비전도도와 염소이온 자료의 활용 가능성 여부를 판단하는 데 목적이 있다.

연 구 방 법

본 연구를 위한 시료채취 및 현장조사는 시료채취가 용이한 98개소의 지하수 관정을 선정하여 1994년 2월부터 1995년 11월까지 2년간 실시하였다(Fig. 1). 98개소의 시료채취 대상 관정을 지역별로 구분하면 애월읍－제주시－조천읍을 포함하는 북부지역에 32개소, 구좌읍－성산읍－표선면의 동부지역에 15개소, 안덕면－서귀포시－남원읍의 남부지역에 22개소, 한림읍－한경면－대정읍을 포함하는 서부지역에 29개소가 선정되었다. 조사대상 관정의 해발분포를 보면 동부지역의 경우 147 ～48.6 *m*의 범위에 위치해 있고 서부지역은 185 ～9.4 *m*, 남부지역은 205 ～17.5 *m*, 북부지역은 230 ～20.4 *m*의 범위에 각각 분포해 있다(Appendix 1).

전기비전도도의 측정은 Orion Model 120의 전기전도도계를 이용하여 현장에서 채수 즉시 측정하였으며, 염소이온은 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙(환경부령 제11호, 1995. 5. 1) 중 먹는물의 수질검사 방법 기준에 의거 분석하였다.

결과 및 고찰

전기비전도도와 염소이온의 분포양상

전기비전도도(SEC)

지하수의 수질을 복잡한 실험과정을 거치지 아니하면서도 간편하고 가장 신속하게 개략적으로 파악할 수 있는 방법중의 하나가 전기비전도도(specific electrical conductivity ; SEC) 측정에 의한 총고용물질(total dissolved solid ; TDS)의

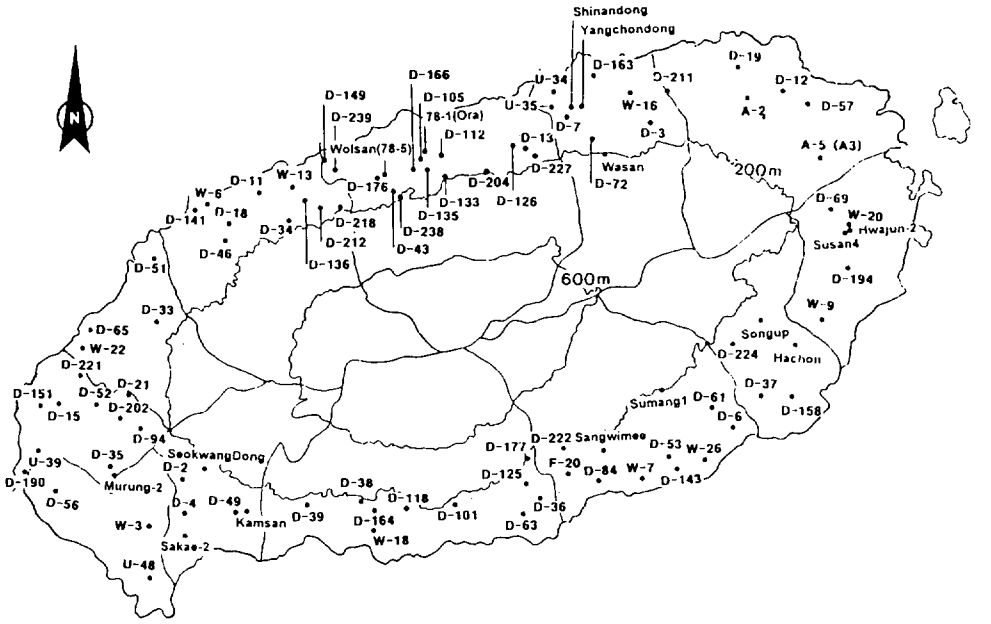

Fig. 1. Well Locations of the Study Area.

함량을 결정하는 방법이다. 이 방법은 실험을 통해 증발잔류물을 측정하는 것 보다 간편성과 신속성을 지니고 있기 때문에 오래 전부터 널리 이용하여 오고 있다(Barbara and Harry, 1984). SEC는 온도와 비례적인 관계를 가지고 있어 온도 보정의 단점은 지니고 있지만 지하수의 수질을 개략적으로 평가하는 데 기초적인 정보를 제공하여 줄 수 있다는 큰 이점을 지니고 있다.

Fig. 2는 조사기간 동안 8회('94년 2월, 5월, 8월, 11월 및 '95년 2월, 5월, 8월, 11월)에 걸쳐 실시된

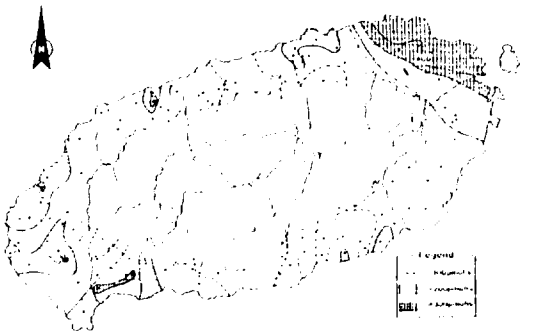

Fig. 2. Specific Electrical conductivity Map of Cheju Island.

SEC 측정값을 평균하여 나타낸 등전기비전도도(Iso-specific electrical conductivity) 분포도이다(Appendix 2 참조). 제시된 그림에서 보는 바와 같이 200 *μmohs/cm* 이상의 SEC 값은 동부와 서부지역에 편중되어 있다. 이를 세분하면 조천에서 온평에 이르는 동부지역과 한림에서 대정에 이르는 서부지역 해안변에 위치한 지하수 관정들이 이 범주에 포함되고 있다. 또한 수산(애월), 덕수 및 감산, 위미, 태흥 등의 일부 관정들도 200 *μmohs/cm* 이상의 SEC 값을 보이고 있다.

동부지역의 SEC 분포를 보면, 해안에 가까운 지역은 400 *μmohs/cm* 이상의 높은 값을 나타내나 내륙쪽으로 향할수록 점차 낮아져 해발 100 *m* 근처의 지역에서는 200 *μmohs/cm*를 나타내고 있다. 서부지역의 경우는 한림에서 신창에 이르는 해안변 지역과 고산-무릉-산양-조수를 연결하는 지역내에서 200 *μmohs/cm* 이상의 SEC 값을 보이지만 300 *μmohs/cm* 이상 높게 나타나는 지역은 일부 지역에 국한되어 나타나고 있다. 북부지역은 수산(애월)과 조천일대 지역을 제외하면 대체적으로 200 *μmohs/cm* 이하의 SEC 값을 나타내며 특히 해발 200m 전후에 분포하는 관정의 SEC 값은 100 *μmohs/cm* 이하로 낮은 값을 보이고 있다. 남부지역의 SEC 분포도 전술한 동부와 서부 및 북부지역과 유사한 경향을 나타내어 위미와 태흥 등 일부지역을 제외하고는 200 *μmohs/cm* 이하의 낮은 값을 보여주고 있다.

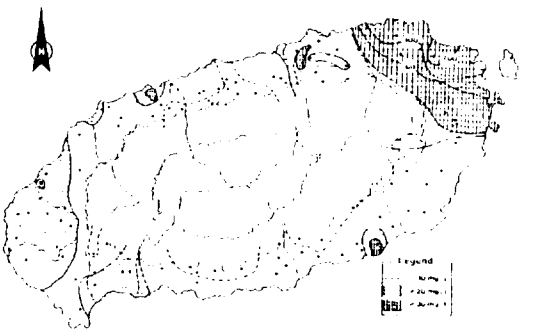

Fig. 3. Iso-Chloride Contents Map of Cheju Island.

염소이온

지하수에 존재하는 염소이온의 기원을 Todd (1980)는 ① 해안지역에서 해수의 침입 ② 과거 지질시대 동안 대수층내로 침입한 해수 ③ 지층내에 존재하는 암염 ④ 초호나 플라야 등 폐쇄된 지역에서 증발에 의한 염의 농축 ⑤ 관개수(농업용수)의 지하 재유입 ⑥ 인간활동에 의한 염 사용 등의 요인에 의해 비롯되는 것으로 제시한 바 있다. 제주도와 같이 사면이 바다로 둘러싸인 도서지역의 경우 상기와 같은 요인 외에 추가적으로 고려해야 할 사항으로서는 바람에 의한 염의 운반이다. 현재까지 이 같은 요인에 의해 어느 정도 양의 염이 내륙쪽으로 운반되고 있고 또한 지하수에 미치는 영향이 어느 정도인지에 대해 구체적으로 조사·연구된 바는 없다. 그렇지만 폭풍시 해수가 물보라 현상에 의해 바람방향을 따라 상당한 거리까지 운반될 수 있음을 고려할 때 이 부분에 대한 연구도 흥미로운 결과가 도출될 수 있을 것이다.

Fig. 3은 SEC 측정과 병행해서 실시된 염소이온 분석결과를 작성한 등염소이온(Iso-chloride) 분포도이다. 100 *mg/ℓ* 이상의 염소이온은 김녕에서 성산읍 신흥리에 이르는 해안지역에 편중되어 있으며 30 *mg/ℓ* 이하의 값은 서부지역의 한림에서 대정에 이르는 구간과 덕수에서 감산을 연결하는 지역에 비교적 넓게 분포하고 있다. 동부지역을 제외

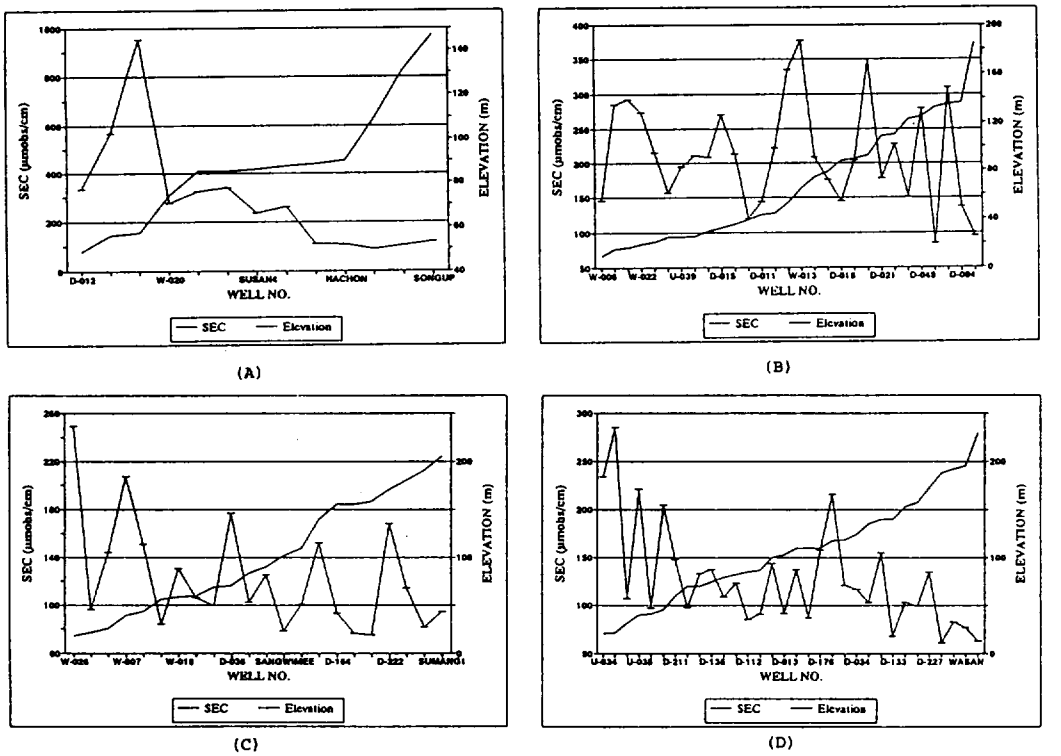

Fig. 4. Variations of the SEC with the Elevation. (A ; East area B ; West area C ; South area D ; North area)

한 지역 중 염소이온 농도가 30 *mg/ℓ*를 초과하는 지역으로서는 조천, 태흥, 및 수산(애월) 등의 지역에 국한되어 있다. 그 이외의 대부분의 지역은 20 *mg/ℓ* 이하의 값을 나타내고 있으며, 특히 제주시와 서귀포 및 남원읍의 해발 200 *m* 전후 지역은 10 *mg/ℓ* 이하로 타지역에 비해 상대적으로 매우 낮은 값을 보이고 있다.

SEC와 염소이온의 표고에 따른 변화 양상

전기비전도도(SEC)

Fig. 4는 표고에 따른 SEC의 변화양상을 파악하기 위하여 8회 측정결과를 평균하여 나타낸 SEC와 표고와의 관계이다. 동부지역의 경우 표고에 따른 SEC의 변화가 뚜렷하여 해안변에서 내륙쪽으로 거리가 멀어질수록 SEC 값이 현저히 감소하는 경향을 보여 주고 있다(A). 이와 같은 결과는 고기원 등(1994)가 실시한 동부지역에 대한 수질조사 결과와 박원배 등(1994)의 조석에 따른 지하수위 변화 및 조석효율 분석결과와도 잘 일치하는 것이다. 서부지역은(B) 동부지역과는 달리 표고에 따른 SEC의 변화가 없이 불규칙한 모습을 나타내고 있는 데 이는 전술한 등전기비전도도 분포도에서 200 *μmohs/cm* 이상의 SEC 값을 갖는 관정들이 산재되어 있는 것과 관련된 현상으로서 서부지역의 토지이용에 따른 오염현상에 기인하는 것으로 해석된다. 한편 남부지역의 경우는 일부 관정들을 제외하면 대체적으로 표고가 높아질수록 SEC 값이 낮아지는 경향이 나타나며(C), 북부지역도 남부와 동부지역의 경우처럼 표고가 높아질수록 SEC 값이 현저히 감소하는 경향을 잘 보여주고 있다(D).

염소이온

Fig. 5는 표고에 따른 염소이온의 변화양상을 파악하기 위하여 8회 측정결과를 평균하여 나타낸 염소이온과 표고와의 관계이다. 동부지역의 경우 표고에 따른 염소이온의 변화가 뚜렷하고 138~10 *mg/ℓ*의 범위에서 변화하고 있다(A). 대체적으로 해발 100 *m* 이내의 지역에서는 50 *mg/ℓ* 이상의

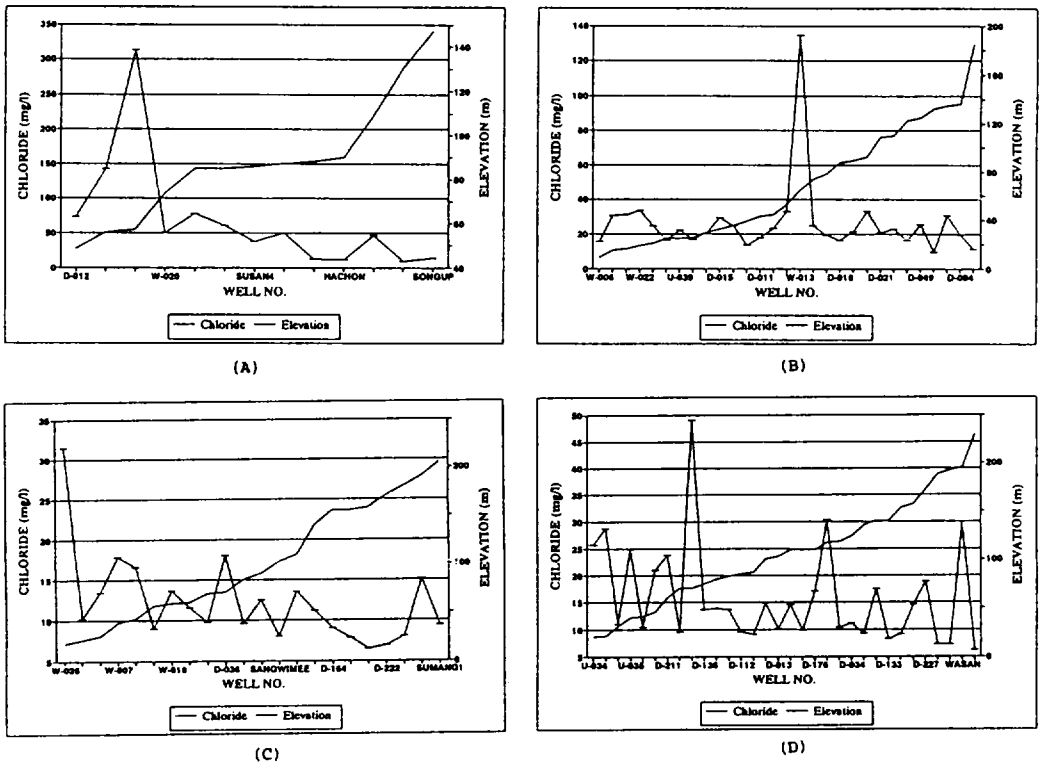

Fig. 5. Variations of the Chloride Contents with the Elevation. (A ; East area B ; West area C ; South area D ; North area)

값을 나타내고 있으며 100 *m* 이상의 지역에서는 20 *mg/ℓ* 정도의 낮은 값을 보여 해안에서 거리가 멀어질 수록 염소이온의 농도가 낮아지는 경향을 보여주고 있다. 동부지역 지하수중의 염소이온 농도는 관정의 착정심도와 깊은 관계가 있는 것으로 보고된 바 있다(고기원 등, 1994). 동부지역은 담수와 염수가 경계면을 갖는 기저지하수가 분포하고 있고, 담.염수 경계면은 해안변지역 일수록 평균해수면에 근접해 존재하고 있기 때문에 관정의 심도를 깊게하면 할 수록 염소이온의 농도는 염수의 영향으로 인하여 높아질 수 있다. 또한 지하수위는 주로 조석의 주기에 따라 등락을 하고 있기 때문에 분석용 시료의 채수시점에 따라서도 염소이온의 농도가 가변적일 수 있다. 따라서 동부지역에 대한 수질자료를 분석할 때에는 대상관정의 착정심도와 시료 채수시점을 반드시 고려하여야 한다.

서부지역의 표고에 따른 염소이온 경향은 전술한 SEC 값의 분포 양상에서 처럼 표고에 따른 특징적인 변화 양상이 없이 대체로 15~35 *mg/ℓ*의 범위에서 변화하고 있다(B). 남부지역의 경우는 18 *mg/ℓ* 이하에서 표고에 따라 변화하고 있는 데 표고가 높아질수록 감소하는 모습을 뚜렷이 나타내며(C), 북부지역은 일부 관정들을 제외하면 남부지역의 변화 패턴과 일치하는 양상을 보이고 있다(D).

SEC 및 염소이온 분포와 지하수 부존 형태와의 관계

제주도의 지하수 부존형태에 대하여 고기원 등(1993)는 지하지질구조, 지하수위 변동, 산출특성 및 수직적인 수질조성 등에 대한 조사결과를 근거로 상위지하수, 기저지하수, 상부 및 하부준기저지하수, 기반암지하수로 구분한 바 있다. 본 연구에서는 등전기전도도 및 등염소이온 분포도를 근거로 고기원 등(1993)가 이미 구분한 지하수 부존형태와의 관계를 고찰해 보고자 한다.

지하수 부존형태

상위지하수

비포화대내의 저투수성 화산암류 및 퇴적층의 상부를 따라 비교적 빠른 선형유속으로 유동하고 단속적으로 분포하고 있는 지하수체를 말한다. 상위지하수는 강우에 의한 유량변동이 매우 크며 해발 400 *m* 이상의 고지대에 위치한 입석, 돈네코, Y계곡, 99곡 및 영실 일원의 상위지하수는 고기조면암층이나 저투수성 지층 상부를 따라 하류 하다가 이들이 지표에 노출된 지점에서는 용천수로 대량 용출하고 있다. 본 연구에서는 상위지하수 분포지역에 대한 조사가 이루어지지 않았으므로 구체적인 SEC 및 염소이온 농도를 제시할 수는 없지만 고기원(미발표)의 자료에 의하면, SEC가 대체로 50 *μmohs/cm* 이하이고, 염소이온 농도도 10 *mg/ℓ* 이하의 낮은 값을 나타내고 있다.

준기저지하수

준기저지하수란 지하에 저투수성 퇴적암층인 서귀포층의 분포로 인하여 해안변지역에서 조차도 통상적인 G−H비가 적용되지 아니하는 즉, 담수와 염수가 직접 접촉하지 않는 지하수체이다. 서귀포층의 지하 분포심도에 따라 준기저지하수는 다음과 같이 상부 준기저와 하부 준기저지하수 형태로 나눌 수 있다.

상부 준기저지하수 : 해수면 위에 분포하고 있는 서귀포층의 상부면을 따라 빠른 선형유속으로 유동하는 지하수체로서 지하수위는 강우의 영향을 지배적으로 받아 풍수기와 갈수기간의 수위변동폭이 크게 나타나며, 채수에 의한 수위강하량이 최대인 데 반해 공당 평균 채수량은 적다. 상부 준기저지하수는 서귀포층이 해수면 상부에 분포하고 있는(고기원, 1991) 안덕에서 남원에 이르는 남부지역에 분포하고 있는 데 본 연구결과 태흥과 위미 등의 일부지역을 제외하면 SEC가 100 *μmohs/cm* 이하 이고, 염소이온은 10 *mg/ℓ*～20 *mg/ℓ*의 범위에서 변화를 보이고 있다.

하부 준기저지하수 : 서귀포층이 해수면 하부에 분포하고 있는 제주도 서부 및 북부지역에 부존하고 있으며, 일반적으로 선형유속이 상부 준기저지하수보다 느리고 TDS 및 SEC가 G−H비 이상 심도까지도 수직적으로 큰 변화가 없다. 자연수위 변동은 강우에 의해 지배되고 있으나 서귀포층이 해수면하 약 60 *m* 이하에 분포하는 일부지역에서는 조석의 영향이 미약하게 나타난다. 본 연구결과 서부지역의 SEC와 염소이온은 각각 200～300 *μmohs/cm*, 20～30 *mg/ℓ*의 범위를 나타내고 있는 데 반해 북부지역은 SEC가 200 *μmohs/cm* 이하이고, 염소이온 농도도 20 *mg/ℓ* 이하를 나타내어 두 지역간에 다소의 차이를 보이고 있다. 서부지역 하부 준기저지하수 중의 SEC와 염소이온이 북부지역보다 높게 나타나는 것은 이 지역의 토지이용에 따른 오염현상에서 비롯되는 것으로 해석되는 데 서부지역의 지하수에서 질산염이 과다검출(고기원 등, 1994)되고 있음은 이를 잘 뒷받침 해주고 있다.

기저지하수

기저지하수란 투수성이 양호한 현무암류 및 스코리아층이 지배적으로 분포하고 서귀포층의 결층으로 저투수층 발달이 빈약한 제주도 동부지역에 담수와 염수가 직접 접하고 있는 즉, G−H원리의 적용이 가능한 지하수체이다. 해수면의 주기적인 승강운동 영향을 현저히 받고 있으며 자연수위의 연중 변화폭이 매우 안정적일 뿐만 아니라 채수에 의한 수위강하 폭이 가장 작다. 해안변 1 *km*이내의 지역에서 조석에 의한 1일 동안의 수위변동 폭은 최대 1 *m* 이상까지 관측되나 해안변의 수리지질상태에 따라 가변적이며, 조석의 영향정도는 내륙을 향함에 따라 뚜렷이 감소하여 내륙 9 *km*에서는 수 *cm* 정도로 미약하게 나타난다.

SEC(Fig. 2)와 염소이온(Fig. 3) 분포도에 제시되어 있는 바와 같이 기저지하수 분포지역인 동부지역은 해발 약 100 *m* 지역까지 SEC가 200 *μmohs/cm* 이상, 염소이온 농도가 30 *mg/ℓ* 이상으로 도내에서 가장 높은 값을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 표고 약 100 *m* 지역까지 담.염수의 경계면이 평균해수면에 근접해 있는 것으로 해석되며, 조사대상 관정들이 점이대 상부까지 굴착되므로 인하여 하부에 존재하는 염수의 영향을 받고 있는 것으로 보인다. 고기원 등(1994)가 연구한 바에 따르면, 동부지역 지하수 중 음.양이온 성분들의 함량은 풍수기가 적은 반면, 갈수기 동안에는 많아지는 현상을 보이고 있어 강우에 의한 희석작용이 활발하게 일어나고 있는 것으로 해석된다.

결 론

1994년 2월부터 1995년 11월까지 2년간 98개소를 대상으로 실시한 전기비전도도(SEC)와 염소이온 측정결과를 근거로 SEC 및 염소이온의 지역별 변화양상에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

- 동부지역의 SEC 분포를 보면, 해안에 가까운 지역은 400 *μmohs/cm* 이상의 높은 값을 나타내나 내륙쪽으로 향할수록 점차 낮아져 해발 100 *m* 근처의 지역에서는 200 *μmohs/cm*를 나타내며, 서부지역의 경우는 한림에서 신창에 이르는 해안변 지역과 고산-무릉-산양-조수를 연결하는 지역내에서 200~300 *μmohs/cm*의 SEC 값을 보였다. 북부지역은 수산(애월)과 조천일대 지역을 제외하면 대체적으로 200 *μmohs/cm* 이하의 SEC 값을 나타내며 특히 해발 200 *m* 전후에 분포하는 관정의 SEC 값은 100 *μmohs/cm* 이하로 매우 낮은 값을 보이며, 남부지역도 동부와 서부 및 북부지역과 유사한 경향을 나타냈다.

- 염소이온의 경우, 100 *mg/ℓ* 이상은 김녕에서 성산읍 신흥리에 이르는 해안지역에 편중되어 나타나며 30 *mg/ℓ* 이하의 값은 서부지역의 한림에서 대정에 이르는 구간과 덕수에서 감산을 연결하는 지역에 비교적 넓게 분포하고 있다. 동부지역을 제외한 지역 중 염소이온 농도가 30 *mg/ℓ*를 초과하는 지역으로서는 조천, 태흥 및 수산(애월) 등의 지역에 국한되어 있다. 그 이외의 대부분의 지역은 20 *mg/ℓ* 이하의 값을 나타내고 있으며, 특히 제주시와 서귀포 및 남원읍의 해발 200 *m* 전후 지역은 10 *mg/ℓ* 이하로 타지역에 비해 상대적으로 매우 낮은 값을 보이고 있다.

- 표고에 따른 SEC의 변화양상을 분석한 결과, 동부지역의 경우 표고에 따른 SEC의 변화가 가장 뚜렷하게 나타나는 반면 서부지역은 특징적인 변화가 없이 불규칙한 모습을 보였으며, 남부와 북부지역의 경우는 일부 관정들을 제외하면 대체적으로 표고가 높아질수록 SEC 값이 낮아지는 경향을 보여주고 있다.

- 표고에 따른 염소이온의 변화양상은 동부지역의 경우, 138 ~10 *mg/ℓ*의 범위에서 변화하고 있으나 대체적으로 해발 100 *m* 이내의 지역에서는 50 *mg/ℓ* 이상의 값을 나타내고 있는 반면 100 *m* 이상의 지역에서는 20 *mg/ℓ* 정도의 낮은 값을 보여 해안에서 거리가 멀어질 수록 염소이온의 농도가 낮아지는 경향을 나타냈다. 서부지역은 SEC 값의 분포 양상 처럼 표고에 따른 특징적인 변화 양상이 없이 대체로 15~35 *mg/ℓ*의 범위에서 변화하며, 남부와 북부지역의 경우는 표고가 높아질수록 염소이온 농도가 감소하는 양상을 뚜렷이 나타냈다.

- SEC와 염소이온의 지역별 분포양상을 지하수 부존형태와 비교 검토한 결과 기저지하수가 분포하는 동부지역은 SEC와 염소이온이 타지역에 비해 가장 높은 반면 상부준기저지하수가 분포하는 남부지역은 최저치를 나타냈다. 하부 준기저지하수체가 부존하는 서부와 북부지역간에는 이들 값이 차이를 나타냈는 데 서부지역이 SEC와 염소이온 값이 북부지역에 비해 높게 나타나는 것은 이 지역의 토지이용에 따른 오염으로 부터 비롯되는 것으로 해석된다.

참 고 문 헌

고기원, 1991. 제주도 서귀포층의 지하분포상태. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 제15권, 81~92.

고기원, 박원배, 고용구, 김성홍, 오상실, 윤 선. 1992. 제주도 동부지역의 지하지질 구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구. 제주도 보건환경연구원보. 제3권, 15~43.

고기원, 윤 선, 윤정수, 박원배, 한정상, 김남종, 정구원. 1993. 제주도의 지하수 산출특성(요약). 대한지질학회 제48차 학술발표집 p. 48

고기원, 박원배, 윤정수, 고용구, 김성홍, 신승종, 송영철, 윤 선, 1993. 제주도 동서부지역의 지하수 부존형태와 수질특성에 관한 연구. 제주도보건환경연구원보 제4권 p. 191~222.

박원배, 양성기, 고기원, 1994. 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구. 한국환경과학회지 제3권 제4호, p. 333~348

Barbara A. D. and Harry I. N., 1984. Relationships Between Groundwater Silica, Total Dissolved Solids, and Specific Electrical Conductivity. J. Groundwater Vol. 22, (1), 80~85.

Todd, D. K., 1980. Groundwater hydrology, second edition. John wiley & Sons, p. 218~153.

Appendix 1. Inventory of the Studied Wells.

area	well name (No)	elevation (*m*)	depth (*m*)	el. depth (*m*)
east (15)	Songup	147.0	173.0	−26.0
	D−224	130.9	143.0	−12.1
	D−069	109.2	130.0	−20.8
	Hachon	90.0	114.0	−24.0
	D−194	88.3	102.0	−13.7
	A−005	87.4	120.0	−32.6
	Susan4	85.8	110.0	−24.2
	Hwajun−2	85.0	90.5	−5.5
	A−002	85.0	120.0	−35.0
	W−020	73.8	82.0	−8.2
	W−009	67.7	80.0	−12.3
	D−037	65.7	95.0	−29.3
	D−057	57.3	80.0	−22.7
	D−019	56.0	80.0	−24.0
	D−012	48.6	70.0	−21.4
west (29)	Seokwangdong	185.0	190.0	−5.0
	D−094	136.0	210.0	−74.0
	Kamsan	135.0	160.0	−25.0
	D−002	132.4	152.0	−19.6
	D−049	124.8	135.0	−10.2
	D−033	122.5	153.6	−31.1
	D−202	109.9	190.0	−80.1
	D−021	108.8	187.0	−78.2
	Murung−2	92.5	120.0	−27.5
	D−035	89.4	102.0	−12.6
	D−018	88.0	117.0	−29.0
	D−004	78.4	104.0	−25.6
	D−052	74.0	125.0	−51.0
	W−013	65.1	72.0	−6.9
	Sakae−2	53.0	100.0	−47.0
	D−221	44.1	153.0	−108.9
	D−011	43.0	72.0	−29.0
	W−003	38.9	47.6	−8.7
	D−141	35.6	60.0	−24.4
	D−015	32.4	63.0	−30.6
	D−056	30.0	100.0	−70.0
	U−048	25.3	102.5	−77.2
	D−051	25.0	55.0	−30.0
	U−039	25.0	58.7	−33.7
	D−151	21.0	79.0	−58.0
	W−02[illegible]	19.1	34.0	−14.9
	D−190	16.2	80.0	−63.8
	D−065	15.4	34.5	−19.1
	W−006	9.4	26.0	−16.6
south (4)	Sumangri	205.0	230.0	−25.0
	D−177	190.5	195.0	−4.5
	D−03[illegible]	180.0	122.0	58.0
	D−22[illegible]	170.0	190.0	−20.0
	D−118	157.8	220.0	−62.2

Appendix 1. Continuied

area	well name (No)	elevation (*m*)	depth (*m*)	el. depth (*m*)
south (18)	D−164	155.0	144.0	11.0
	D−101	155.0	190.5	−35.5
	D−039	140.0	150.0	−10.0
	D−125	109.3	165.0	−55.7
	Sangwimee	102.0	180.0	−78.0
	F−020	90.0	100.0	−10.0
	D−061	83.5	101.0	−17.5
	D−036	70.3	92.0	−21.7
	D−084	69.1	76.0	−6.9
	D−063	60.0	70.0	−10.0
	W−018	58.4	35.5	22.9
	D−053	56.2	68.0	−11.8
	D−158	43.6	61.0	−17.4
	W−007	39.5	63.0	−23.5
	D−006	25.5	50.0	−24.5
	D−143	21.5	57.0	−35.5
	W−026	17.5	27.5	−10.0
north (32)	D−204	230.0	230.0	0.0
	Wasan	195.0	220.0	−25.0
	D−238	192.0	220.0	−28.0
	D−218	188.1	201.0	−12.9
	D−227	172.0	190.0	−18.0
	D−072	157.2	213.0	−55.8
	D−043	153.4	148.0	5.4
	D−133	140.3	150.0	−9.7
	Yangchondong	140.0	158.0	−18.0
	D−212	135.4	160.0	−24.6
	D−034	124.2	140.0	−15.8
	D−166	118.6	156.0	−37.4
	D−007	117.7	125.0	−7.3
	Wolsan(78−5)	110.0	107.0	3.0
	D−135	110.0	119.0	−9.0
	D−176	110.0	130.0	−20.0
	D−013	102.7	142.0	−39.3
	D−105	100.4	141.0	−40.6
	D−046	87.0	112.0	−25.0
	D−112	85.2	109.0	−23.8
	D−126	82.0	126.0	−44.0
	D−003	79.5	104.0	−24.5
	D−136	74.4	130.0	−55.6
	78−1(Ora)	70.0	100.0	−30.0
	Shinandong	70.0	120.0	−50.0
	D−211	59.9	86.0	−26.1
	W−016	45.6	70.0	−24.4
	D−239	41.0	80.0	−39.0
	U−035	40.0	47.2	−7.2
	D−149	31.5	70.0	−38.5
	D−163	20.9	60.0	−39.1
	U−034	20.4	42.0	−21.6

Appendix 2. The results of the SEC and Chloride Contents on Each Wells ('94~'95 mean value).

1) east area

	Songup	D-224	D-069	Hachon	D-194	A-005	Susan4	H.J.-2	A-002
FEB.	124.0	107.0	119.0	111.5	110.5	273.5	236.0	358.0	471.0
MAY	129.0	100.0	111.5	109.0	105.0	260.5	237.0	285.5	190.5
AUG.	134.0	108.0	111.5	104.5	111.5	172.5	231.0	340.5	375.0
NOV.	90.5	105.5	18.0	105.0	110.5	339.5	242.0	374.0	263.0

	W-020	W-009	D-037	D-057	D-019	D-012
FEB.	281.5	109.5	121.0	1078.0	724.0	356.0
MAY	244.5	126.0	115.5	1028.5	535.0	352.5
AUG.	257.5	125.5	137.0	894.5	531.0	314.5
NOV.	316.5	143.0	131.0	806.5	477.5	312.5

	Songup	D-224	D-069	Hachon	D-194	A-005	Susan4	H.J.-2	A-002
FEB.	17.5	12.0	14.5	15.0	15.0	61.0	14.0	50.0	124.0
MAY	15.0	10.0	13.5	12.0	11.5	51.5	48.0	64.0	31.5
AUG.	15.0	9.0	14.0	9.5	11.5	24.0	47.0	75.0	100.0
NOV.	7.0	7.5	143.0	8.5	9.5	63.0	43.0	55.5	53.5

	W-020	W-009	D-037	D-057	D-019	D-012
FEB.	57.0	19.0	15.5	327.5	213.0	85.0
MAY	51.0	14.0	12.5	156.0	114.5	86.0
AUG.	46.5	12.5	13.5	247.0	125.5	73.5
NOV.	48.0	11.0	11.0	523.5	116.5	47.5

* upper : Specific Electrical Conductivity(SEC)

* * lower : Chloride Contents

2) west area

	S.K.D.	D-094	Kamsan	D-002	D-049	D-033	D-202	D-021	M.R.-2
FEB.	87.0	134.0	269.5	80.5	139.5	120.0	215.0	169.0	332.0
MAY	94.5	122.0	305.0	86.5	333.0	170.5	301.0	155.5	413.0
AUG.	112.0	114.5	364.0	84.5	399.0	163.0	158.5	177.5	401.5
NOV.	87.5	175.5	302.5	86.5	250.5	147.5	240.0	209.0	254.0

	D-035	D-018	D-004	D-052	W-013	Sakae-2	D-221	D-011	W-003
FEB.	184.0	128.0	134.5	173.5	375.5	246.5	220.0	138.5	97.5
MAY	263.5	129.0	253.0	237.0	361.0	524.0	199.0	127.0	114.5
AUG.	185.5	139.5	187.0	178.5	381.0	375.0	213.0	140.5	157.0
NOV.	184.5	181.5	128.0	244.5	391.0	195.5	258.5	171.0	111.5

	D-141	D-015	D-056	U-048	D-051	U-039	D-151	W-022	D-190
FEB.	185.0	289.5	188.5	150.5	148.5	178.5	215.5	293.0	282.5
MAY	161.0	263.5	200.5	222.5	143.5	175.5	196.0	294.0	276.0
AUG.	226.0	276.0	254.5	296.0	156.0	190.0	194.5	257.5	296.5
NOV.	282.5	255.0	189.5	175.5	177.5	235.5	258.0	253.5	316.5

	D-065	W-006
FEB.	300.0	135.5
MAY	278.5	145.5
AUG.	309.0	142.5
NOV.	255.0	157.5

제주도 지하수의 전기비전도도와 염소이온의 지역별 변화 양상

	S.K.D.	D−094	Kamsan	D−002	D−049	D−033	D−202	D−021	M.R.−2
FEB.	13.0	26.0	31.0	11.0	16.5	16.0	27.5	24.0	39.0
MAY	11.5	19.5	31.0	10.0	29.5	20.0	23.0	19.5	43.0
AUG.	11.0	12.0	35.0	9.0	35.5	13.0	15.5	17.0	28.0
NOV.	9.0	21.0	26.0	8.0	20.0	16.0	25.0	23.5	22.1
	D−035	D−018	D−004	D−052	W−013	Sakae−2	D−221	D−011	W−003
FEB.	25.0	17.0	17.5	23.5	41.5	30.5	22.0	17.5	14.0
MAY	23.0	13.5	24.0	32.0	39.5	40.0	21.5	13.5	13.0
AUG.	16.5	13.5	24.0	18.5	432.5	38.5	20.5	13.0	17.0
NOV.	21.0	22.0	12.0	26.0	24.5	22.5	29.0	27.0	10.0
	D−141	D−015	D−056	U−048	D−051	U−039	D−151	W−022	D−190
FEB.	24.0	36.0	22.0	15.5	18.0	23.0	28.5	35.5	36.0
MAY	18.5	27.0	20.5	20.0	17.0	24.0	20.0	37.0	25.0
AUG.	21.5	26.0	24.5	19.0	12.0	17.0	19.5	29.9	28.0
NOV.	35.0	29.0	15.5	12.9	17.5	25.5	31.0	31.0	35.0
	D−065	W−006							
FEB.	34.0	17.0							
MAY	32.5	16.0							
AUG.	27.0	12.5							
NOV.	28.5	17.0							

* upper : Specific Electrical Conductivity(SEC)

* * lower : Chloride Contents

3) south area

	Sumangri	D−177	D−038	D−222	D−118	D−164	D−101	D−039	D−125
FEB.	73.5	89.5	113.0	236.0	69.5	76.5	60.0	127.5	73.5
MAY	79.0	105.5	110.5	256.5	77.5	73.0	66.0	136.5	101.5
AUG.	158.5	81.5	121.5	92.5	71.5	71.5	66.0	126.5	91.0
NOV.	69.0	48.2	113.0	88.0	81.5	153.0	114.0	218.0	137.0
	S.W.M.	F−020	D−061	D−036	D−084	D−063	W−018	D−053	D−158
FEB.	114.0	99.5	101.5	103.5	76.0	81.0	99.5	75.5	139.0
MAY	66.5	118.5	97.5	108.5	81.5	83.5	127.5	85.5	135.5
AUG.	69.5	169.0	111.0	183.5	149.5	85.5	165.5	96.5	176.0
NOV.	63.5	115.0	100.5	313.0	92.0	174.5	130.5	77.5	153.0
	W−007	D−006	D−143	W−026					
FEB.	97.5	109.0	84.5	216.0					
MAY	329.5	187.0	106.5	283.0					
AUG.	289.5	168.5	113.0	342.0					
NOV.	113.0	112.5	81.0	155.5					

	Sumangri	D−177	D−038	D−222	D−228	D−164	D−101	D−039	D−125
FEB.	10.5	20.0	9.5	8.5	9.5	10.5	8.0	13.5	10.0
MAY	7.5	19.0	8.0	7.5	2.5	4.3	7.5	13.5	16.5
AUG.	14.0	10.5	7.0	7.5	5.5	5.5	4.5	10.5	9.0
NOV.	5.5	11.0	7.5	4.0	8.5	16.0	11.5	7.0	18.5
	S.W.M.	F−020	D−061	D−036	D−084	D−063	W−018	D−053	D−158
FEB.	12.0	12.5	12.0	18.5	10.0	13.5	12.0	9.5	18.5
MAY	7.5	12.5	10.0	19.0	8.0	9.0	18.5	10.5	15.0
AUG.	7.5	15.5	9.5	14.5	14.0	6.0	12.0	10.5	19.0
NOV.	5.0	9.5	7.0	20.0	7.0	17.5	12.0	5.5	14.0
	W−007	D−006	D−143	W−026					
FEB.	12.5	13.5	11.5	36.5					
MAY	26.5	16.5	12.5	39.0					
AUG.	23.5	14.5	10.5	35.0					
NOV.	9.0	9.0	6.5	15.5					

* upper : Specific Electrical Conductivity(SEC)

* * lower : Chloride Contents

4) north area

	D−204	Wasan	D−238	D−218	D−227	D−072	D−043	D−133	Y.C.D
FEB.	62.0	80.0	85.5	64.5	127.5	104.5	98.5	63.0	160.0
MAY	57.5	76.5	84.0	57.0	94.5	101.0	98.5	60.0	152.5
AUG.	56.0	73.0	79.5	64.0	134.0	94.0	103.5	65.5	150.5
NOV.	77.0	76.0	82.0	59.5	184.0	98.5	114.0	82.0	158.5
	D−212	D−034	D−166	D−007	Wolsan	D−135	D−176	D−013	D−105
FEB.	100.0	108.0	123.0	247.0	116.0	73.0	126.0	91.0	120.5
MAY	90.0	109.0	108.0	199.5	123.5	70.5	145.0	85.0	100.0
AUG.	100.0	109.0	125.0	162.0	137.0	84.5	152.5	98.5	136.5
NOV.	123.0	142.0	126.5	254.0	175.0	119.0	208.0	91.5	218.5
	D−046	D−112	D−126	D−003	D−136	78-1(Ora)	S.A.D.	D−211	W−016
FEB.	94.0	73.5	117.0	115.0	112.0	85.5	130.5	154.5	182.0
MAY	92.5	75.0	125.0	106.0	115.5	104.0	123.0	172.0	172.5
AUG.	89.5	84.0	125.0	105.0	127.0	91.0	116.5	131.0	200.5
NOV.	86.5	107.0	126.0	110.5	196.5	111.0	162.0	135.5	264.5
	D−239	U−035	D−149	D−163	U−034				
FEB.	84.0	190.0	92.0	233.5	218.0				
MAY	88.5	188.5	98.5	280.5	189.0				
AUG.	92.5	206.0	107.0	305.0	247.0				
NOV.	124.0	298.5	132.0	321.0	282.0				

제주도 지하수의 전기비전도도와 염소이온의 지역별 변화 양상

	D−204	Wasan	D−238	D−218	D−227	D−072	D−043	D−133	Y.C.D
FEB.	8.5	10.5	9.0	9.5	19.5	13.0	9.4	11.0	20.5
MAY	7.0	95.0	7.5	7.0	11.0	25.5	9.0	7.5	19.5
AUG.	4.5	6.0	5.0	5.0	13.0	7.0	7.5	5.5	14.0
NOV.	5.0	8.5	7.5	7.5	32.0	12.5	10.5	9.0	16.0
	D−212	D−034	D−166	D−007	Wolsan	D−135	D−176	D−013	D−105
FEB.	11.0	13.0	11.0	29.5	11.8	9.0	13.4	11.0	15.5
MAY	8.0	10.5	10.5	54.0	14.0	8.0	17.5	9.5	11.5
AUG.	7.0	8.0	9.0	13.5	13.0	6.5	15.0	10.5	12.0
NOV.	11.0	13.0	11.0	24.5	19.5	16.0	22.5	9.5	20.0
	D−046	D−112	D−126	D−003	D−136	78-1(Ora)	S.A.D.	D−211	W−016
FEB.	12.0	11.0	13.5	15.5	13.5	9.0	17.0	28.0	22.5
MAY	9.0	8.0	13.5	17.5	12.5	9.5	150.5	27.5	24.0
AUG.	7.0	8.0	11.5	10.0	10.5	8.0	11.0	18.0	17.0
NOV.	8.5	11.0	16.0	12.5	18.0	11.5	17.5	21.5	20.5
	D−239	U−035	D−149	D−163	U−034				
FEB.	10.9	23.5	10.9	27.5	25.5				
MAY	10.0	26.0	10.5	26.5	28.0				
AUG.	8.5	19.0	9.0	25.5	21.0				
NOV.	12.5	31.5	13.5	35.5	28.5				

* upper : Specific Electrical Conductivity(SEC)

* * lower : Chloride Contents