

제주도 동북부지역 지하수의 수위변동과 수질조성에 관한 연구

*고기원 · **양성기 · ***문영석

A Study on the Fluctuation of Groundwater Level and Water Quality at Eastnorthern Part of Cheju Island

Gi-Won Koh **Sung-Kee Yang *Young-Suk Moon*

Summary

The groundwater levels at 5 sites, the vertical variations of the electric conductivity at 7 sites and the water quality of the groundwater at 11 sites were measured to study the characteristics of the groundwater levels' fluctuations and occurrence of eastnorthern part, Cheju Island.

The result of examination of subsurface geologic structure of the Kujwa area from core logging shows that the area does not have the Seoguipo Formation that acts an aquiclude in the Shinchon area by preventing the downward flow of the groundwater. In addition, the result also shows that the thickness of basaltic flows below the mean sea level in the Kujwa area is much larger than that the Shinchon area, and this suggests that the Kujwa area moved downward by subsidence.

The groundwater levels at Kimyong and Kujwa areas occurred in response to oceanic tides. The tidal effect on the groundwater levels upon the distance from seashore. However, in the Shinchon and Hamduk areas show that the groundwater levels were directly influenced by the amount of precipitation.

*제주도 수자원개발기획단(Water Resource Development Planning Task Force, Cheju Provincial Government)

**제주대학교 해양토목공학과(Dept. Ocean Civil Engineering, Cheju National University)

***제주대학교 해양학과(Dept. Oceanography, Cheju National University)

Key Words : Seoguipo Formation, Groundwater Occurrence, Groundwater Level Fluctuations , Electric Conductivity Variations, Groundwater Quality

The groundwater qualities of the Kujwa area characterized by Na-Cl type, and that of the Shinchon area by Na-HCO₃ type. The electric conductivity profiles of the groundwater, the Kujwa area is increase with water depth, but Shinchon area is on the decrease or uniformly with water depth. This difference indicates that the groundwater of both areas has different origin and different geologic environments.

I. 서 론

제주도는 연평균 강우량이 1,872mm로 내륙지방보다 약 600mm의 비가 더 내리는 다우지이지만 지하수 함양율이 44%(건설부 등, 1993)로 높기 때문에 지표수의 발달이 매우 빈약한 지역이다. 95년말 현재 제주도에는 총 3,743개소에서 1일 580천m³의 지하수가 개발되어 생활·농업·공업용 등으로 이용하고 있다. 제주도에 있어서 지하수는 지속 이용 가능한 유일의 수자원이기 때문에 과다한 지하수의 개발과 이용으로 인한 수위 하강 및 지하수 환경의 변화에 의한 수질오염을 사전에 방지하기 위한 대책 마련이 그 어느 지역보다도 절실히 요구되는 지역이다.

제주도의 지하수에 관한 조사 연구는 1960년대 초반부터 추진되기 시작해 1964년 국립지질조사소가 제주도 남부지역 지하수원에 대한 조사를 실시한 것을 비롯하여 1965년 제주도 지하수 탐색 지질조사, 제주도 동북부 지하수원 지질조사, 제주도 심부 지질조사, 1966년 제주도 남동부 지역의 지하수원 조사, 한림 지역 공장 분산을 위한 지하수원 탐색 지질조사 등의 일련의 광역적이고도 기초적인 조사가 이루어졌다. 지하수 개발의 가능성이 1960년대의 조사로부터 어느 정도 확인되므로써 1970년과

1971년에는 농어촌진흥공사와 UNDP에 의해 광역지질 및 지하수 조사가 도 전역에서 실시되어 제주도의 지하수 산출특성이 개괄적으로 알려졌을 뿐 아니라, W 및 U시리즈의(예 : W-1, U-39) 지하수 관정들이 개발되어 생활과 농업용수로 공급되기 시작하였다.

1960년대 초반부터 시작된 일련의 조사는 지하수 탐사와 개발에 중점을 두어 추진되었기 때문에 지하수의 부존특성 규명과 지하수위 변동 등 지하수의 합리적 개발 및 이용계획수립에 근간이 되는 기초적인 사항들에 대한 체계적인 조사와 연구는 상대적으로 미흡하였다고 할 수 있다. 지하수위 조사의 경우 UNDP에 의해 1971년 6월부터 12월까지 고산과 신촌을 비롯한 5개 지역에서 이루어졌을 뿐 '90년대 초반까지 거의 이루어지지 않았으며, 지하수의 수질에 관한 조사·연구도 대부분 수질오염 실태 파악이나 먹는 물로서의 적부를 판단하기 위해 이루어져 왔다. 특히, 지하수 개발 역사가 30년이 지나고 있음에도 불구하고 수직적인 수질조성 조사에 의한 수직적 부존상태 변화에 대한 연구는 고기원의(1994) 및 박원배의(1994)가 조천읍 신촌리와 성산읍 수산리에서 실시한 사례밖에 없을 뿐이다.

본 연구지역은 조천에서 구좌에 이르는 제주도 동북부에 위치한 지역으로서 지하

수 부존형태와 지하지질구조적인 측면에서 주변지역과는 상이한 양상을 나타내는 지역이다. 신촌지역을 경계로 지하수 부존형태가 기저지하수체와 준기저지하수체로 구분되고 있으며, 지하수의 부존형태를 결정짓는 데 가장 중요한 역할을 해주는 서귀포층 또한 표선과 북촌을 잇는 선 동쪽지역에는 결층되어 있다(고기원, 1991 ; 고기원 등, 1992,1994). 이 같은 수리지질학적 배경의 차이는 연구지역의 지하수위 변동, 수질특성 및 수직적인 수질조성에서도 분명한 차이를 나타낼 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 조천읍 신촌에서 구좌읍 상도에 이르는 제주도 동북부 지역을 대

상으로 지하지질구조의 차이점을 비롯하여 지하수위 변동 양상과 지하수의 수직적 및 수평적인 수질조성을 중점 조사하여 수리지질학적인 기본 정보를 축적하는 데 목적이 있다.

II. 연구 방법

지하수위 관측은 신촌, 김녕 및 종달지역 등 5개소에서 이루어졌는데, 신촌과 김녕 지역 관측정에는 Coastal Leasing사의 자동 수위 관측기를 설치하여 10분 간격으로 연속 측정하였으며, 그 외 3개소에서는 매일

Table 1. statistics of Measurement Wells in Study Area.

No.	Well Name	Elevation (m)	Depth (m)	EL. Depth (m)	Remark
1	Sc-1	31.2	80.0	-48.80	W.L.
2	Sc-3	39.1	150.0	-110.90	V.S.
3	Sc-4	45.7	80.0	-34.30	V.S.
4	wa-1	117.7	125.0	-7.30	W.Q.
5	Sh-1	20.9	60.0	-44.01	W.Q.
6	Ha-1	69.7	100.0	-30.30	V.S.
7	Ha-2	83.6	100.0	-16.40	V.S.
8	Ek-1	45.6	70.0	-24.40	W.Q.
9	Su-1	79.5	104.0	-24.50	W.Q.
10	Do-1	59.0	86.0	-26.10	W.Q.
11	Ki-1	28.9	50.0	-21.10	W.L.
12	Ki-2	35.9	60.0	-24.00	W.L.
13	Wo-1	56.0	80.0	-24.00	W.Q.
14	Ha-1	85.0	120.0	-35.00	W.Q.
15	Hn-1	48.6	70.0	-21.40	W.Q.
16	Py-1	57.3	80.0	-22.70	W.Q.
17	S-1	87.4	120.0	-32.60	W.Q.
18	Sa-1	60.1	100.0	-39.90	V.S.
19	Sa-2	48.8	80.0	-31.20	V.S.
20	Jo-1	12.0	35.0	-28.00	W.L.
21	Jo-2	52.0	75.0	-23.00	W.L.
22	Su-1	109.2	130.0	-20.80	W.Q.
23	Su-2	28.2	41.0	-12.80	V.S.

- * W.L. : groundwater level measurement wells
- V.S. : Vertical measurement of EC and Temperature
- W.Q. : Water quality measurement wells

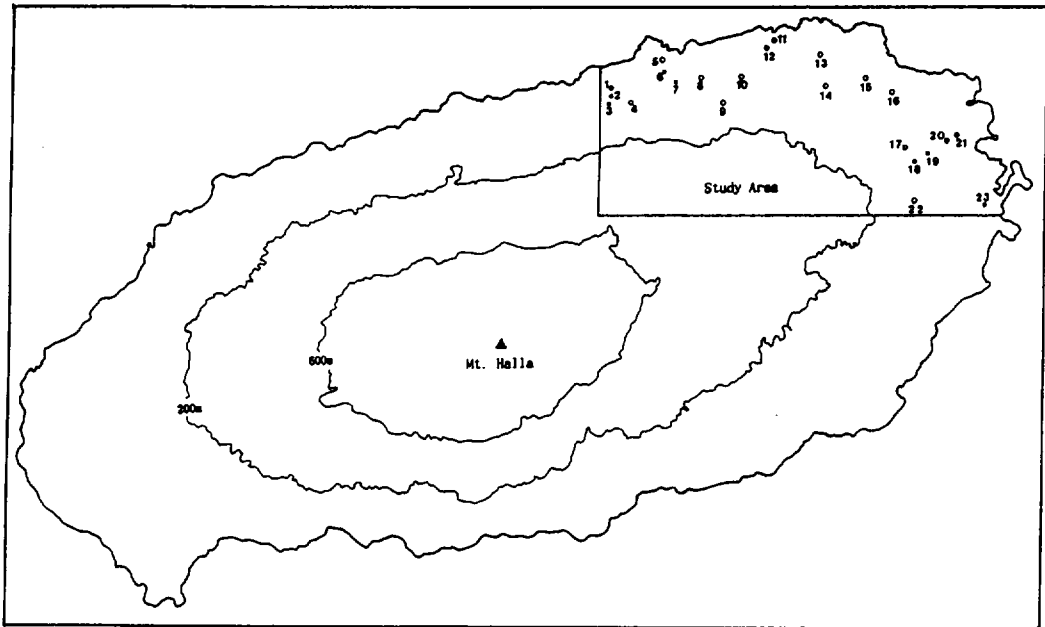


Fig. 1. Location Map of Measurement Wells of Groundwater Level and Water quality.

1회씩 1시간 간격으로 24시간 동안 측정하였다(Table 1, Fig. 1). 수동 관측방법은 관측공마다 설치된 조사용 PVC파이프 홀(hole)속으로 전선줄을 삽입하여 고감도 테스터기에 의해 mm 단위까지 측정하였다.

본 연구기간 동안 교통부 수로국이 제주 및 서귀포항 검조소에서 관측한 조석 자료를 수집하여 지하수위와 비교 검토하였으며, 강우에 의한 지하수위의 변동특성을 파악하기 위해 제주도 기상대 및 제주도청에서 측정된 강우 자료도 수집 분석하였다. 또한, 각 관측공의 표고는 건설부 등(1993)의 수준측량 자료와 1/5,000 지형도를 이용하여 나타내었다.

지하수의 수직적인 수질상태를 파악하기 위해 신촌지역 2개소(Sc-1 및 Sc-4), 함덕지역 2개소(Hm-1 및 Hm-2), 상도지역 2개소(Sa-1 및 Sa-2), 수산지역 1개소(Su-1) 등 총 7개소에서 SBE-19 CTD와 AQUAMATE 수

직검층기를 이용하여 심도별 수온 및 전기전도도를 측정하였다.

또한 조사지역 지하수의 수질조성을 파악하기 위해 11개소의 지하수 관정을 대상으로 4회 수질분석용 시료를 채수하여 음이온 및 양이온 성분의 함량을 분석하였다.

III. 연구지역의 수리지질

1. 기상 수문

북제주군 조천읍 신촌리에서 남제주군 성산읍 시흥리에 이르는 동북부지역은 제주도 장축방향의 북쪽에 해당하는 곳으로서 제주도 수자원 종합개발계획수립 보고서(건설부등, 1993)에서 제시된 수역권 구분에 의하면 동부수역에 해당 한다. 즉 연

구지역은 지하수 부존상태, 지형 및 지질분포, 지하수 등수위선 및 행정구역 등의 기준에 의하여 구분된 16개 수역권 중 조천과 구좌수역에 해당한다.

조천수역의 연평균 강우량은 1,835mm이나 51%에 해당하는 빗물이 직접유출 및 증발확산되어 버리고, 총강우량의 약 49%인 112백만 m^3 이 지하수로 함양되며, 구좌수역의 경우는 총강우총 301백만 m^3 중 131백만 m^3 이 직접유출 및 증발산에 의해 유출되고 170백만 m^3 이 지하수로 함양되어(함양율 56%) 16개수역 중 성산수역(59%) 다음으로 함양율이 높은 지역이다. 연구지역의 토양은 배수가 양호하고 흑색의 미사식양질토로 특징지워지는 평대 - 행원 - 민악 토양군과 배수가 양호 내지 매우 양호하며 농갈색 미사식양질토로 구분되는 중문 - 오라 - 구좌 토양군이 분포하고 있다(농촌진흥청, 1976). 후자의 토양군이 주로 해안변지역에 분포하고 있는 것과는 달리 전자의 토양군은 중산간 내륙쪽에 분포하고 있으며, 분포면적도 후자 보다 넓은 편이다.

2. 지하지질구조

연구지역은 용암대지를 이루는 다공질 현무암류, 스코리아구(scoria cone), 응회구 퇴적층 및 사구층 등으로 이루어져 있다. 지표를 피복하고 있는 현무암류는 소위 표선리현무암으로 불리우는 침상장석감람현무암(FOB)과 장석휘석감람석현무암(FAOB)이 주를 이루고 있으며, 스트롬볼리안 형식의 화산폭발로부터 생겨난 스코리아구는 구좌읍 송당리 일원이 38개/100 km^2 로서 제주도내에서 최대의 밀도를

나타내고 있다. 풍성기원의 사구층은 김녕, 세화, 상도 및 하도리 지역에 집중적으로 분포하고, 고결내지 준고결의 응회구 퇴적층은 성산일출봉과 두산봉 등지에 분포하고 있다.

지하수 및 온천개발 시추코아에 대한 지질검층 결과에 의하면, 지표하에 존재하는 현무암류의 용암류 단위 두께는 0.5m ~ 10m 범위(평균 3m)이고 이들 현무암류는 균열과 절리가 잘 발달되어 있어 지하수 유동에 좋은 여건을 갖추고 있다. 현무암층간의 사이에는 고토양층, 스코리아층 및 사력층이 협재되어 있는 데 전반적으로 스코리아층의 배수가 많은 편이다. 현무암류는 대체로 해수면하 50m 내외의 심도까지 분포하고 있으며, 그 하부에는 치밀 견고한 뮤지어라이트(mugelite)가 20~50m 두께로 분포하고 있는 데 성읍온천시추공의 300m 코아시료의 절대연대는 0.49Ma 이다(윤 선 외, 1992). 뮤지어라이트 하부에는 세립질의 모래와 쉘트질로 이루어져 있는 미고결 사니층(uncemented muddy sand deposit)이 평균 150m 두께로 분포하고 있다. 이 미고결 사니층은 동부지역의 종달, 송당, 성산 및 성읍지역 온천시추공에서 공통적으로 확인되고 있을 뿐만 아니라 남원읍 신흥, 서귀포시 상호와 중문, 조천읍 함덕, 한림읍 금악 등의 심부시추공에서도 그 분포가 확인되고 있어 제주도 전역에 광범위하게 분포하고 있는 것으로 해석된다. 미고결사니층 하부에는 역질응회암이 존재하고 있는 데 본 암의 산출상태와 암질로 보아 한반도 남동부 해안에 분포하는 백악기 응회암과 대비될 것으로 보인다.

지하지질구조적인 측면에서 동부지역이 타지역과 비교할 때 가장 특이한 점은 폐

류화석을 다량 포함하는 해성층인 서귀포층이 존재하고 있지 않는 것이다. 서귀포층의 분포심도는 지역별로 큰 차이를 나타내는 데 북부지역의 경우, 제주시지역이 EL.+17.5 ~ EL.-136m(평균 EL.-30.57m)에 분포하고 조천지역은 EL.-29.5 ~ EL.-115.0m(평균 EL. -79.8m)에 분포하고 있으며, 애월지역은 평균 EL.-75.5m에 본 층이 존재하고 있다. 서부지역의 경우는 한림지역이 EL.-49.9 ~ EL.-97.0m(평균 EL. -72.13m), 한경지역은 EL.-33.0m ~ EL.-70.5m(평균 EL.-49.98m)이고, 대정지역은 EL.-21.0 ~ EL.-144.8m(평균 EL.-55.5m)에 존재한다. 안덕 ~ 남원을 연결하는 남부지역은 전술한 지역들과는 상이한 분포상태를 나타내고 있다. 즉, 안덕지역의 경우는 EL.+49.6m ~ EL.-43.3m(평균 EL. -2.39m)에 분포하고 있고 서귀포지역은 EL.+143m ~ EL.-7.0m(평균 EL. +38.64m)에 분포하고 있으며, 남원지역은 EL.+23.5 ~ EL.-35.0m(평균 EL. +1.65m)에 본 층이 분포하고 있어 서귀포 일대지역이 평균 해수면 상부에 분포하고 있음을 알 수 있다. 그렇지만 북촌 ~ 표선을 연결하는 선 동쪽인 동부지역에는 본 층의 존재가 확인되고 있지 않다(고기원, 1991, 1993 ; 윤선외, 1994).

3. 지하수 부존형태

4-1. 기저지하수

기저지하수란 염수와 담수의 비중차에 의해서 담수가 염수 상부에 렌즈 형태로 부존하는 즉, Ghyben-Herzberg 원리에 의해 부존하는 지하수를 말한다. G-H원리는 정역학적인 상태를 가정한 것으로 실제에

있어서는 담수렌즈의 두께가 두껍고 지하수의 흐름이 완만한 상태에서는 이상적인 관계가 성립되지만 동수구배가 크거나 수직방향의 흐름이 클 경우에는 상당한 오차를 나타나게 된다. 담수렌즈에서 염수와 담수와의 접촉면은 명확히 구분되기 보다는 담수체의 수축과 팽창, 그리고 조석의 영향에 의해 염수가 혼합된 점이대를 갖게 되는 데 투수성이 높은 지질로 이루어진 지역에서는 점이대의 두께가 두껍게 발달한다. 또한 점이대의 두께는 담수체의 두께가 큰 상류지역에서는 얇고 해안쪽으로 향할수록 두터워져 해안변 유출지점에서는 담수체의 전층이 점이대로 형성된다. 기저지하수는 북촌에서 남원에 이르는 동부지역 해안변을 따라 부존하고 있는 데 내륙쪽으로는 분포범위는 아직까지 명확히 밝혀져 있지 않다. 고기원 등(1993)은 제주도의 지하수 산출특성에 대한 연구에서 기저지하수를 다음과 같이 정의하였다.

“기저지하수란 투수성이 양호한 현무암류 및 스킨리아층이 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 뿐 아니라 채수에 의한 수위강하폭이 가장 작다. 해안변 1km이내의 지역에서 조석에 의한 1일 동안의 수위변동 폭은 최대 1m 이상까지 관측되나 해안변의 수리지질 상태에 따라 가변적이며, 조석의 영향정도는 내륙쪽으로 향함에 따라 뚜렷히 감소하여 내륙 9km에서는 수cm 정도로 미약하게 나타난다. 또한, TDS 및 염소이온 농도는 심도가 깊어짐에 따라 현저하게 증가하나 조석주기에 따라

서도 큰 폭의 농도변화를 나타낸다.

○ 하부 준기저지하수

4-2. 준기저지하수

준기저지하수란 지하에 저투수성 퇴적암층인 서귀포층이 분포하고 있음으로 인하여 담수지하수체가 해수와 직접 접하고 있지 않을 뿐만 아니라 통상적인 G-H비가 적용되지 않는 지하수체를 말한다. 준기저지하수는 서귀포층의 지하 분포심도에 따라 상부 준기저지하수와 하부 준기저지하수로 구분할 수 있다(고기원 등, 1993).

서귀포층이 해수면 하부에 분포하고 있는 제주도 서부 및 북부지역에 부존하고 있으며, 일반적으로 선형유속이 상부 준기저보다 느리고 TDS 및 EC가 G-H비 이상 심도까지도 수직적으로 큰 변화가 없다. 자연수위 변동은 강우에 의해 지배되고 있으나 서귀포층이 해수면 하 약 60m 이하에 분포하는 일부지역에서는 조석의 영향이 미약하게 나타난다.

IV. 지하수위 변동

○ 상부 준기저지하수

해수면 상부에 분포하는 서귀포층의 상부면을 따라 빠른 선형유속으로 이동하는 지하수체로서 지하수위는 강우의 영향을 지배적으로 받아 풍수기와 갈수기간의 수위변동 폭이 크게 나타나며, 채수에 의한 수위강하량이 최대인 데 반해 공당 평균 채수량은 저조하다.

1. 신촌 관측정(Sc-1)

Fig.2는 조천읍 신촌리의 관측정에서 관측된 연속 관측자료 중 '94년 5월부터 8월까지의 지하수위와 수온의 변화를 나타낸 것이다. 이 관측공의 수위는 지표하 23m에

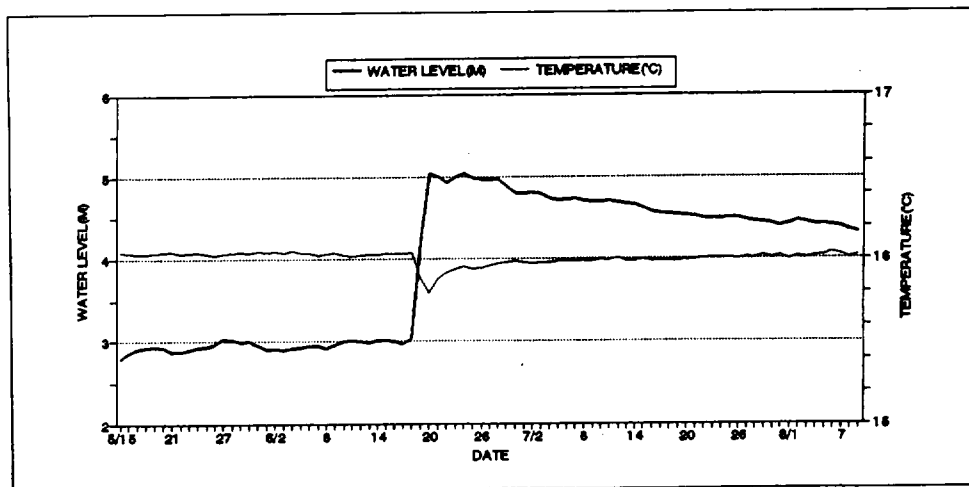


Fig. 2. Fluctuations of Groundwater Level and Temperature of Sc-1 Well in Shinchon Area at 5.15-8.10, 1994.

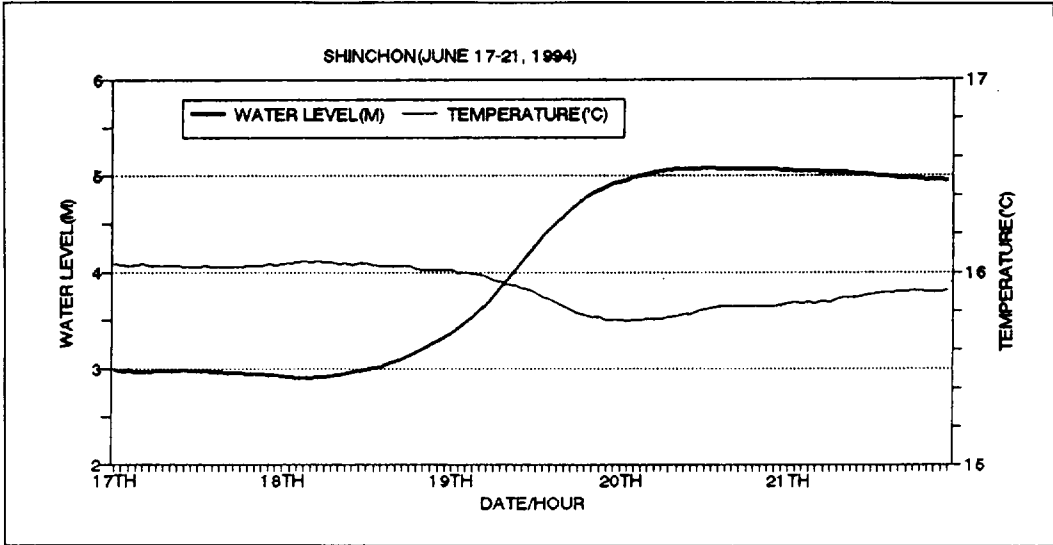


Fig. 3. Fluctuations of Groundwater Level and Temperature of Sc-1 Well in Shinchon Area at 6.17-21, 1994.

형성되고 있으나 6월 중순에는 강우에 의하여 수위가 약 2m 상승하고 8월까지 상승 국면이 지속되는 모습을 보이고 있다. 수온은 16°C에서 16.05°C의 범위에서 변화하고 있으나 6월 중순 강우의 영향으로 약 0.2°C가 하강하는 모습을 뚜렷히 나타내어 강우에 의한 수위상승과는 상반된 관계를 보여주고 있다. Fig. 3은 강우와 지하수위 및 수온과의 관계를 파악하기 위하여 '94년 6월 17일부터 21일까지 상황을 나타낸 것이다. 제주도청 재해대책본부에서 운영하는 강우 측정망 중 제주시와 산천단 측우소의 일별 강우자료를 분석한 결과 6월 18일에서 19일 사이에 제주시지역에는 총 350mm에 달하는 많은 비가 내렸다. 강우 이전 신촌 관측정의 수위는 23m 지점에 형성되어 있었으나 18일 오전 11시부터 수위가 상승하기 시작하여 20일 오전 7시까지 약 2m의 수위가 상승하였는데 강우에 의한 수위상승은 강우후 24시간 이내부터 시작되는 것

으로 분석된다. 이와 같은 결과는 박원배 외(1994)가 남부지역에 위치한 신희 관측정에서 관측한 결과와도 잘 일치하는 사항으로서 조사지역을 비롯한 제주도의 지질이 투수성이 매우 높다는 사실을 잘 입증해주고 있다.

2. 김녕 관측정

2-1. Ki-1관측정

이 관측정은 해안으로부터 약 1km 내륙 쪽에 위치해 있는 관측정으로서 관측결과 조석의 영향을 지배적으로 받고 있는 것으로 나타났다. Fig.4는 김녕 Ki-1 관측정에서 관측한 자료 중 '94년 5월 16일부터 7월 15일까지 2개월간 연속관측한 결과를 일평균치로 나타낸 것이다. 일평균치로 보았을 때 이 관측정의 수위는 조석의 영향을 받아 대체로 15일 주기의 승강운동을 보이고

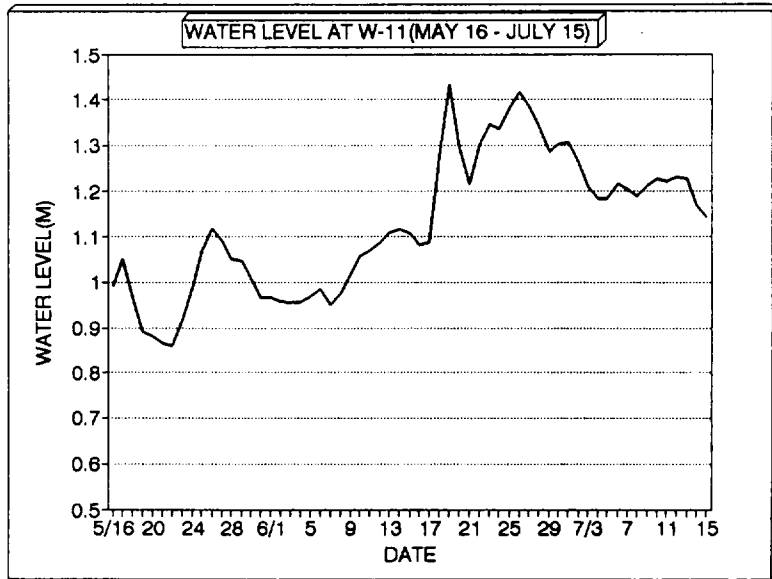


Fig. 4. Fluctuations of Groundwater Level and Temperature of Ki-1 Well in Kim young Area

있으나 6월 18일~19일의 강우시에는 약 30cm의 수위가 상승하는 모습을 나타내고 있다. 이 관측정의 강우와 수위와의 관계를 파악하기 위하여 제주도청에서 운영하는 측우소 중 송당과 구좌의 강우자료를 수집하여 분석한 결과, 6월 18일~19일 사이에 약 130mm의 강우가 구좌지역에 내렸는데 지하수위는 19일에 약 30cm가 상승한 것으로 나타났다. 이 관측정의 수위는 5월에서 8월로 향함에 따라 즉, 춘계에서 하계로 향함에 따라 수위가 전반적으로 상승하는 경향을 보이고 있으나 상승폭은 1m 이내로 전술한 신촌지역과는 차이를 나타내고 있다.

2-2. Ki-2 관측정

이 관측정은 해안으로부터 약 1.25km 내륙에 위치하고 있다. Fig.5는 Ki-2 관측정의 수위를 조석자료와 함께 나타낸 것으로서 연중 조석의 영향을 뚜렷하게 받고 있

음을 알 수 있으며, 일평균 수위는 동저하고(冬低夏高)의 현상을 나타내고 있다. 또한 1일 수위변동 폭이 최대 1.09m(92.2월), 최소 0.42m(7월), 연평균 0.69m를 보여 조석에 의한 수위변동이 동부지역 관측정 중 최대를 나타냈다.

Table. 2는 이 관측정의 조석효율(Tidal Efficiency ; TE%)을 창조류(flood flow)시와 낙조류(ebb flow)시로 구분하여 나타낸 것이다. 조사기간 동안 관측된 지하수위의 자료를 근거로 산출된 Ki-2 관측정의 TE(%)는 전 조사기간 동안 34.82%이나 창조류(평균 33.98%)보다 낙조류(평균 35.65%)시가 더 큰 폭으로 수위변화가 일어나고 있음을 알 수 있다. 또한 TE(%)는 관측 당일의 조차에 따라 좌우되고 있는 것으로 나타났는데 사리때가 평균 38.78%로 높은 반면 조금시에는 평균 29.80%로 최소치를 나타내었다.

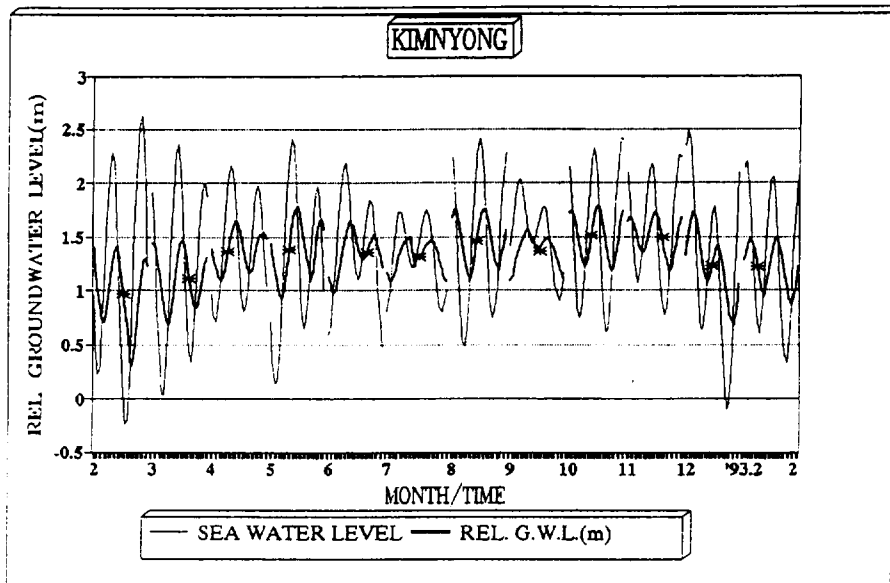


Fig. 5. Fluctuations of Groundwater Level of Ki-2 Well in Kimyong Area.

Table. 2. Tidal Efficiency(%) of Ki-2 Well in Kimyong.

Month	G.W.L. (m)		Tidal Efficiency (%)			S.W.L. (m)	
	Range	Amp.	Flood flow	Ebb flow	Average	Range	Amp.
'92. 2	1.40-0.31	1.09		43.08	38.78	2.29-0.24	2.53
	1.30-0.31	0.99	34.49			2.63-0.24	2.87
3	1.47-0.69	0.78	33.33		32.18	2.37-0.03	2.34
	1.47-0.84	0.63		31.03		2.37-0.34	2.03
4	1.65-1.10	0.55	27.93		36.37	2.16-0.71	1.45
	1.65-1.18	0.47		34.81		2.16-0.84	1.35
5	1.78-0.92	0.86	37.89		38.54	2.41-1.14	2.27
	1.78-1.09	0.69		39.20		2.41-0.65	1.76
6	1.64-0.98	0.66	40.99		36.55	2.19-0.58	1.61
	1.64-1.29	0.35		32.11		2.19-1.10	1.09
8	1.75-1.10	0.65		37.14	65.41	2.24-0.49	1.75
	1.75-1.10	0.65	33.68			2.42-0.49	1.93
9	1.57-1.39	0.18		31.03	29.80	2.01-1.43	0.58
	1.48-1.39	0.09	28.57			1.78-1.43	0.35
10	1.78-1.22	0.56	35.67		35.01	2.32-0.75	1.57
	1.78-1.19	0.59		34.71		2.32-0.62	1.70
11	1.72-1.34	0.38	33.93		36.12	2.19-1.07	1.12
	1.72-1.18	0.54		38.30		2.19-0.78	1.41
12	1.41-1.07	0.34	30.09		34.36	1.79-0.66	1.13
	1.41-0.68	0.73		38.62		1.79-0.10	1.89
'93. 2	1.49-0.95	0.54	37.24		34.68	2.06-0.61	1.45
	1.49-0.87	0.62		32.12		2.06-0.13	1.93
Average		0.59	33.98	35.65	34.82		1.64

* G.W.L. : Ground Water Level, S.W.L. : Sea Water Level, Amp. : Amplitude

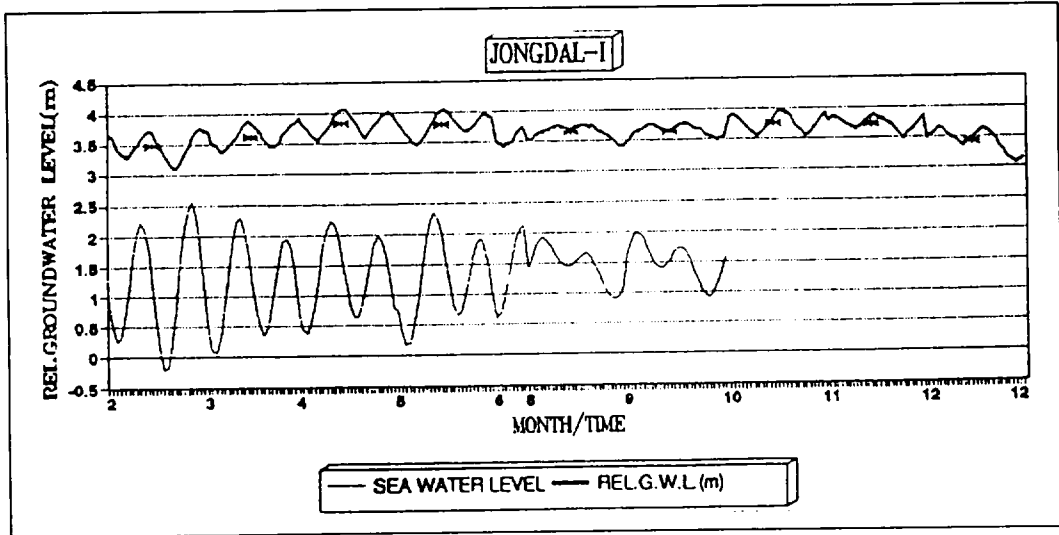


Fig. 6. Fluctuations of Groundwater Level of Jo-1 Well in Jongdal Area.

3. 종달 관측정

3-1. Jo-1 관측정

종달지역에서는 해안에서 내륙쪽으로의 조석에 따른 수위변동 양상을 파악하기 위하여 해안에서 1.37km 떨어진 해발 12m 지점(Jo-1)과 2.2km 지점의 해발 52m에 위치한 관측정(Jo-2)을 대상으로 수위관측이 실시되었다.

Jo-1 관측정도 김녕의 경우와 동일하게 조석의 영향을 지배적으로 받고 있을 뿐만 아니라 冬低夏高의 계절적 변동을 나타내었다(Fig.6). 조사기간 중 1일 평균수위는 해수면을 기준으로 할때 춘계 +3.54m, 하계 +3.65m, 추계 +3.70m, 동계 +3.44m의 계절적인 변동을 나타내어 봄철로부터 가을철까지는 대체로 수위가 상승곡면을 유지하는 반면, 겨울동안에는 하강하는 경향을 나타내고 있다. 연중 수위 등락폭은 0.71m이고, 조석에 의한 1일 수위변동 폭은

최대 0.66m, 최소 0.31m, 연평균 0.48m로 김녕관측정 보다 0.22m가 낮을 뿐만 아니라 조석효율(TE)도 연평균 26.23%로 9.07%가 낮게 나타나 김녕지역 관측정과 비슷한 거리에 위치하고 있음에도 불구하고 조석의 영향을 덜 받고 있다.

3-2. Jo-2 관측정

Jo-1 관측정보다 0.83km 더 내륙쪽에 위치하고 있는 Jo-2 관측정의 수위도 조석에 의한 변동을 나타내고는 있으나 1일 변동폭, TE, TL, 모두가 종달I 보다 낮은 값을 보이고 있다(Fig.7). 조석에 의한 1일 수위 변동 폭은 춘계 0.31m, 하계 0.29m, 추계 0.23m, 동계 0.49m 였으며, TE는 연평균 16.4%로 종달I 보다 9.83%가 감소한 값을 나타냈을 뿐만 아니라 TL도 약 3~3.5 시간을 나타내어 해안에서 내륙쪽으로 멀어짐에 따라 조석의 영향이 점진적으로 약화되고 있음을 잘 보여주고 있다. 이와 같은 현상은 Hoffmann & Meyer(1989)가 Saipan

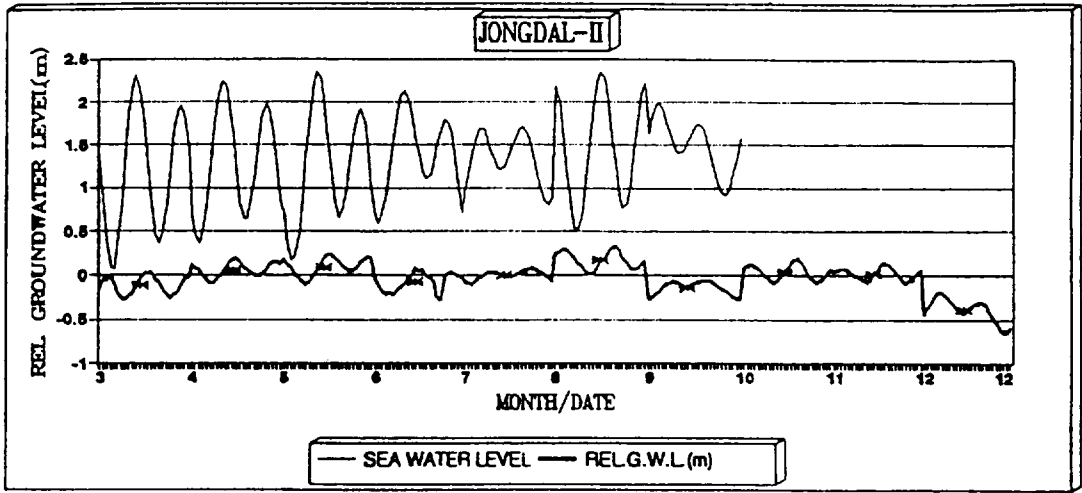


Fig. 7. Fluctuations of Groundwater Level of Jo-2 Well in Jongdal Area.

의 Kagman 반도에 대한 조사에서 해안으로 부터 거리가 멀 수록 TE는 감소하나 TL은 길어진다고 보고한 결과와도 잘 일치하는 것이다.

이처럼 종달지역이 김녕지역보다 조석의 영향을 덜 받고 있는 것은 다음과 같은 수리지질학적인 요인으로 부터 비롯될 가능성이 있다. 지형적인 요인으로서 성산포와 종달리 해안에는 우도를 비롯 일출봉 및 성산반도, 지미봉, 식산봉, 오조리 초호, 성산항 방파제 및 갑문 등의 자연적 인위적인 제방이 형성되어 있으나 김녕지역 해안에는 특이할만한 지형이 없는 개방해(Open Sea)의 성격을 지니고 있다. 지질적인 요인에서도 성산포 일대지역에는 퇴적암층인 성산층과 신양리층이 육상에 노출되어 있으나 김녕지역에는 사구층만이 발달하고 있을 뿐이다. 이같은 지형과 지질요인은 바다에서 내륙쪽으로 전파되는 해수압(조력)을 약화시켜 주는 제방의 역할을 하고 있기 때문에 종달지역이 김녕지역에 비해 상대적으로 조석의 영향을 작게 나타나고 있

는 것으로 해석된다.

V. 수직적인 수질조성

1. 신촌 관측정

1-1. Sc-1 관측정

Fig.8은 조천읍 신촌리에 위치한 Sc-3공(심도 150m)의 지하지질과 전기전도도(EC) 및 수온(T)을 수직검층한 결과이다. 지질주상도에 나타낸 바와 같이 지표하 90m까지는 반상장석현무암(PFB)과 사력층이 교대로 분포하고, 90 ~ 123m 구간은 치밀견고한 조면질안산암(TA)으로 이루어져 있으며, 123m 부터 공저인 150m 구간에는 패류 및 생흔화석이 포함된 사암내지 이암으로 이루어진 서귀포층(SGF)이 분포하고 있다. 본 관측정의 자연수위가 약 EL.+2m에 형성되고 있기 때문에 G-H원리에 의해 지하수가 부존하고 있다면, 지표하 120m

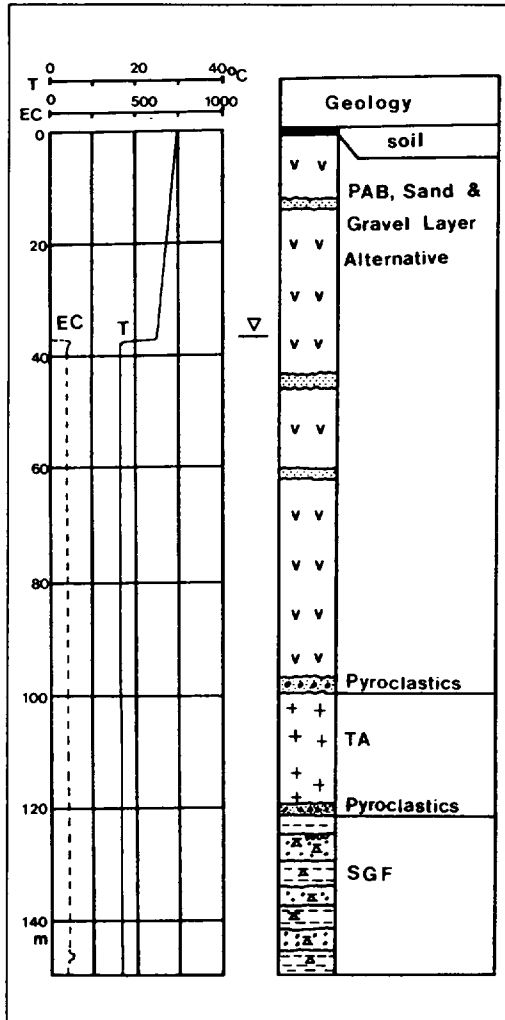


Fig. 8. Geologic, electric conductivity and temperature log of a well at Sc-1 Well in Shinchon area.

부근에서 수질변화대 즉, 점이대가 존재하여야 할 것이다. 그러나 검층결과 전기전도도와 수온이 자연수위에서 부터 공저까지 거의 일정한 값을 보이고 있어 G-H원리를 적용할 수 없는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 서귀포층이 분포하고 있는

대부분의 지역에서 동일하게 나타날 것으로 예상되는 데 이는 퇴적암층인 서귀포층이 지하수의 누수를 방지해 주는 차수층역할 뿐만 아니라, 해수와의 직접적인 접촉을 차단시켜 주고 있기 때문인 것으로 해석된다.

1-2. Sc-4 관측정

Fig.9는 Sc-4 관측정의 지질과 전기전도를 검층한 결과이다. 지표하 4m까지 토양층이 존재하여 타 관측정과 달리 토양층이 두껍고 24m까지는 2매의 침상장석감람석 현무암(FOB)이 존재하나 16m 부근에 약 3.5m 두께의 고토양층이 존재하고 있다. FOB 하부에서 시추종결 심도인 지표하 80m 구간까지는 반상장석회석현무암(FAOB) 7매와 클링커층 1매가 분포하고 있다. 전반적으로 이 관측정의 지하지질은 다공질의 현무암층으로 이루어져 있으며 20m~40m 구간은 용암류 두께가 얇고 절리와 균열이 발달되어 있어 강우가 침투하기 용이한 지질조건을 이루고 있는 것으로 해석된다. 또한 대수층 역시 현무암류로 이루어져 있어 사력층의 대수층에 비해 수질이 양호하고 투수성도 좋을 것으로 예상된다.

자연수위에서 부터 공저까지 전기전도도를 수직검층한 결과, 지표하 약 60m 구간은 160 μ mohs/cm 내외를 보이다가 심도가 깊어질수록 감소하여 공저 부근에서는 135 μ mohs/cm의 값을 보여 양호한 수질을 나타내고 있다. 상기와 같은 검층결과를 지질구조와 대비시켜 해석하여 보면, 자연수위에서 60m 구간까지 전기전도도의 값이 다소 불규칙하게 나타나는 것은 상하 용암류사이에 발달하는 클링커층 또는

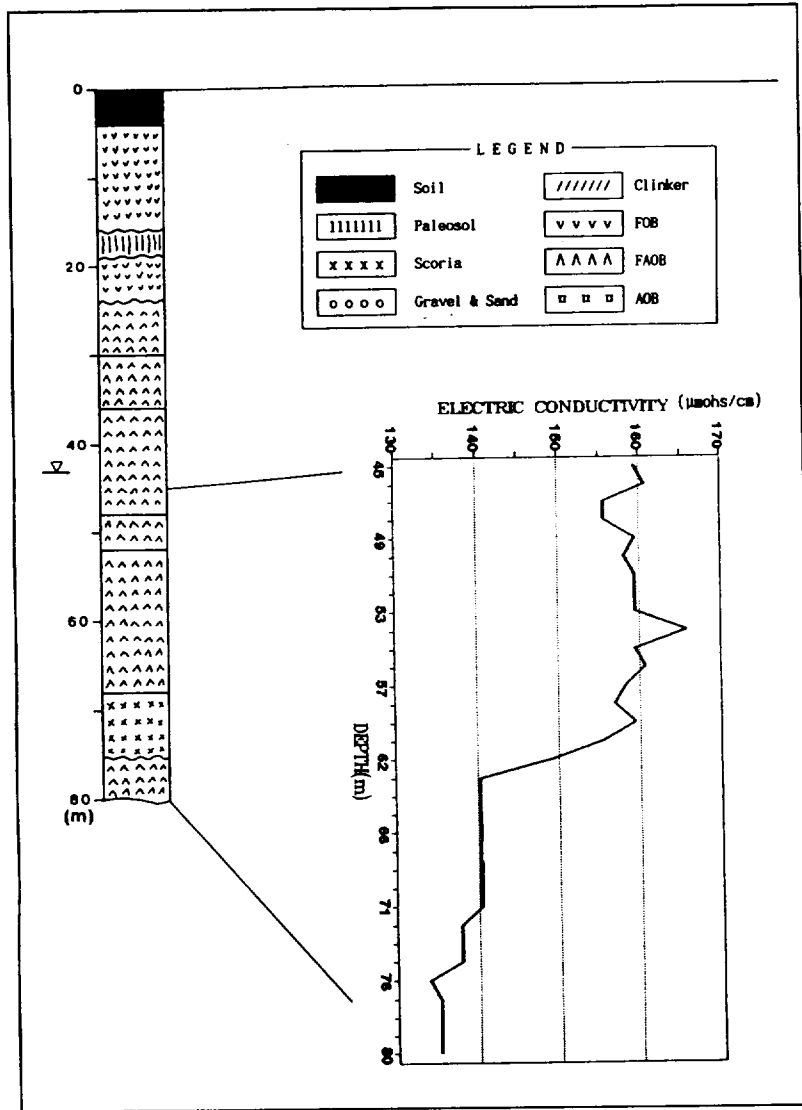


Fig. 9. Geologic and Electric Conductivity Log of a Well at Sc-4 Well in Shinchon Area.

접촉면을 통해 지하수의 유입이 이루어지고 있기 때문인 것으로 해석된다. 또한 76m 부근에서의 변화는 클링커층이 대수층을 이루고 있는데서 생겨나는 현상으로 해석된다.

2. 함덕 관측정

2-1. Hm-1 관측정

Fig.10은 Hm-1 관측정의 지질과 전기전도도를 검층한 결과이다. 지표에서부터 46m 구간까지 5매의 휘석감람석현무암(AOB)과 1매의 사력층이 분포하고 그 하

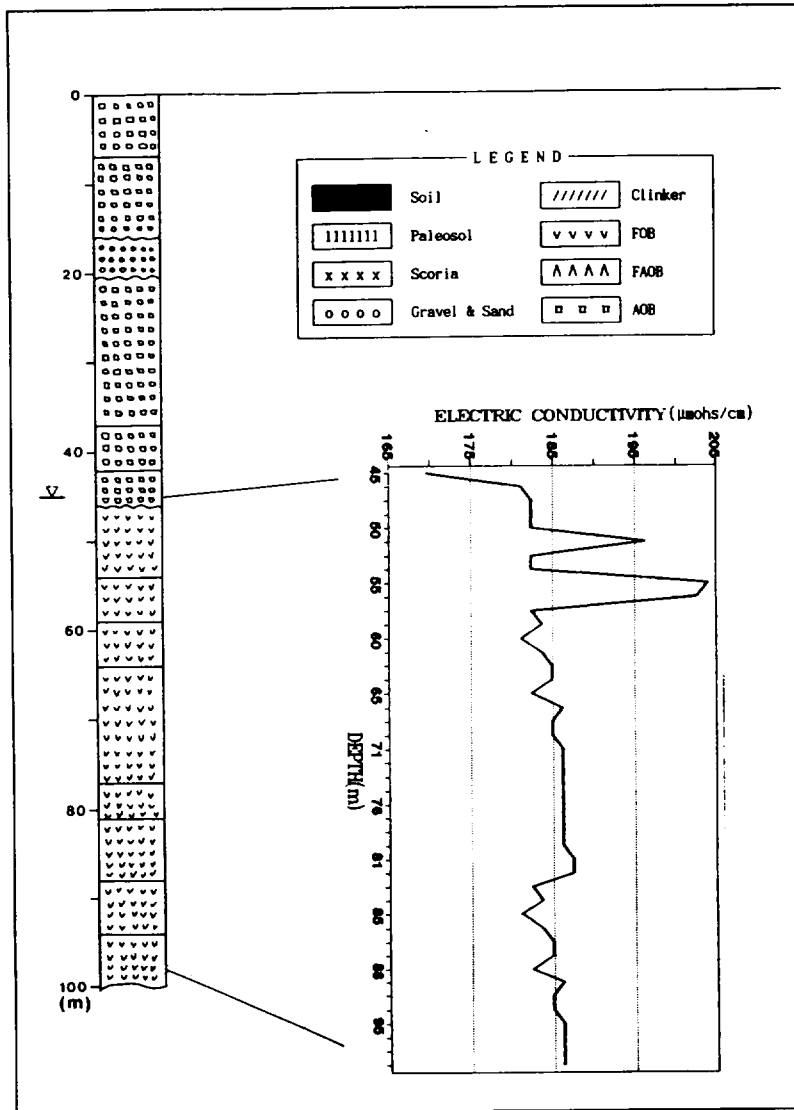


Fig. 10. Geologic and Electric Conductivity Log of a Well at Hm-1 Well in Hamduk Area.

부 구간은 공저까지 FOB 8매가 분포하고 있다. 전반적으로 이 관측정의 지하지질은 두께가 얇은 다공질의 현무암류로 이루어져 대수성이 양호한 지층으로 이루어져 있다. 자연수위는 지표하 45m 심도에 형성되고 있으며 자연수위에서 59m 구간은 전기전도도가 180~200 $\mu\text{mhos/cm}$ 범위

에서 변화하고 있으나 하부로 향하면서는 185 $\mu\text{mhos/cm}$ 내외의 값을 보여주고 있다.

2-2. Hm-2 관측정

Fig.11은 Hm-2 관측정의 지질과 전기전도를 검층한 결과이다. 제시된 그림에서

보는 바와 같이 지표에서 29m까지는 다공질의 FOB 2매가 분포하고 그 하부에는 5m의 층후를 갖는 사력층이 분포하고 있다. 이 사력층으로 부터 지표하 65m까지 구간에는 반상장석회석감람석 현무암(FAOB) 2매가 분포하고 있으며 그 하부에는 FOB, 클링커층 및 FAOB가 교대로 분포하고 있

다. 전반적으로 이 관측공의 지하지질은 지표에서 지하로 갈수록 용암류의 두께가 점진적으로 얇아 투수성이 양호한 상태를 이루고 있는 것으로 해석된다.

자연수위는 지표하 67m 심도에 형성되고 있으며 전기전도도는 자연수위에서 부터 80m구간은 210~230 μ mohs/cm 범위에서

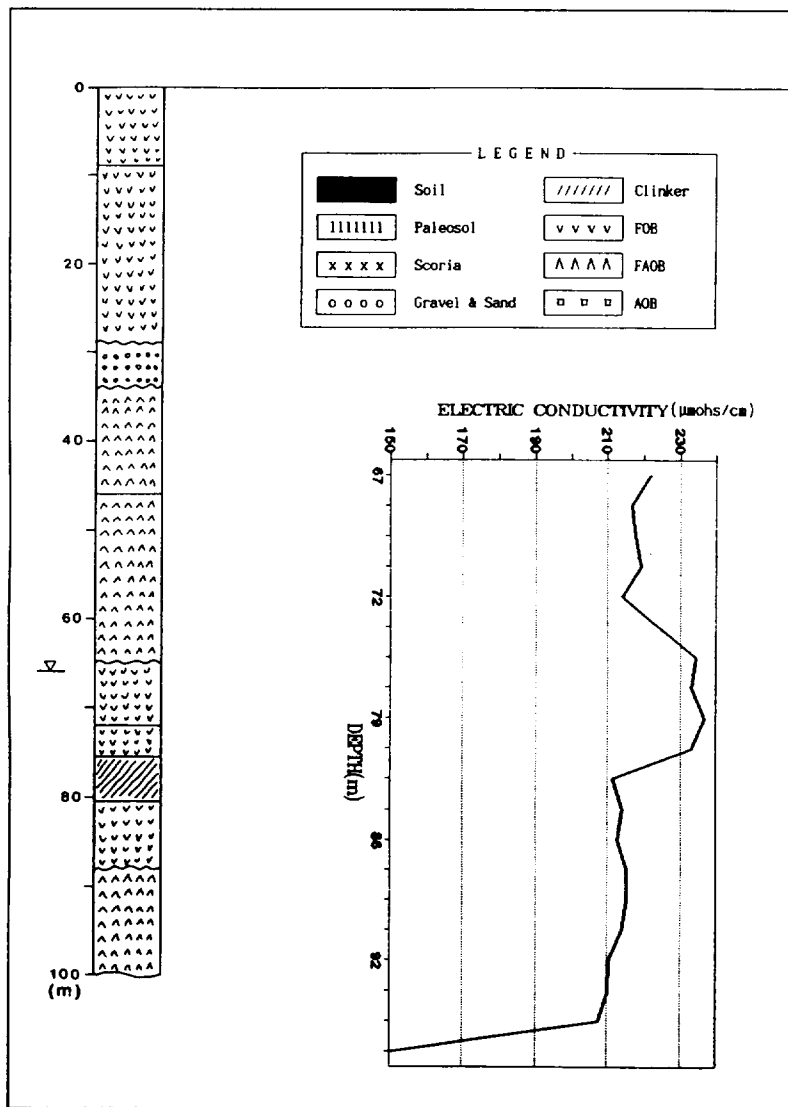


Fig. 11. Geologic and Electric Conductivity Log of a Well at Hm-2 Well in Hmduk Area.

변화하나 하부로 향함에 따라 점진적으로 감소하여 93m 부근에서는 $150\mu\text{mhos/cm}$ 으로 급격히 감소하고 있다.

이상과 같이 신촌지역 2개소와 함덕지역 2개소에서 수직적인 지하수의 수질상태를 조사한 결과, 자연수위로 부터 약 20여m 범위의 구간에서는 전기전도도가 비교적

높을 뿐 아니라 변화범위도 다소 크게 나타내지만 심도가 깊어질수록 대체적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이와같은 현상으로 미루어 볼때 조사지역은 상부 및 하부대수층으로 구분될 수 있으며, 상부대수층은 지표로부터의 영향을 다소 받아 전기전도도의 변화폭이 비교적 크지만 하부

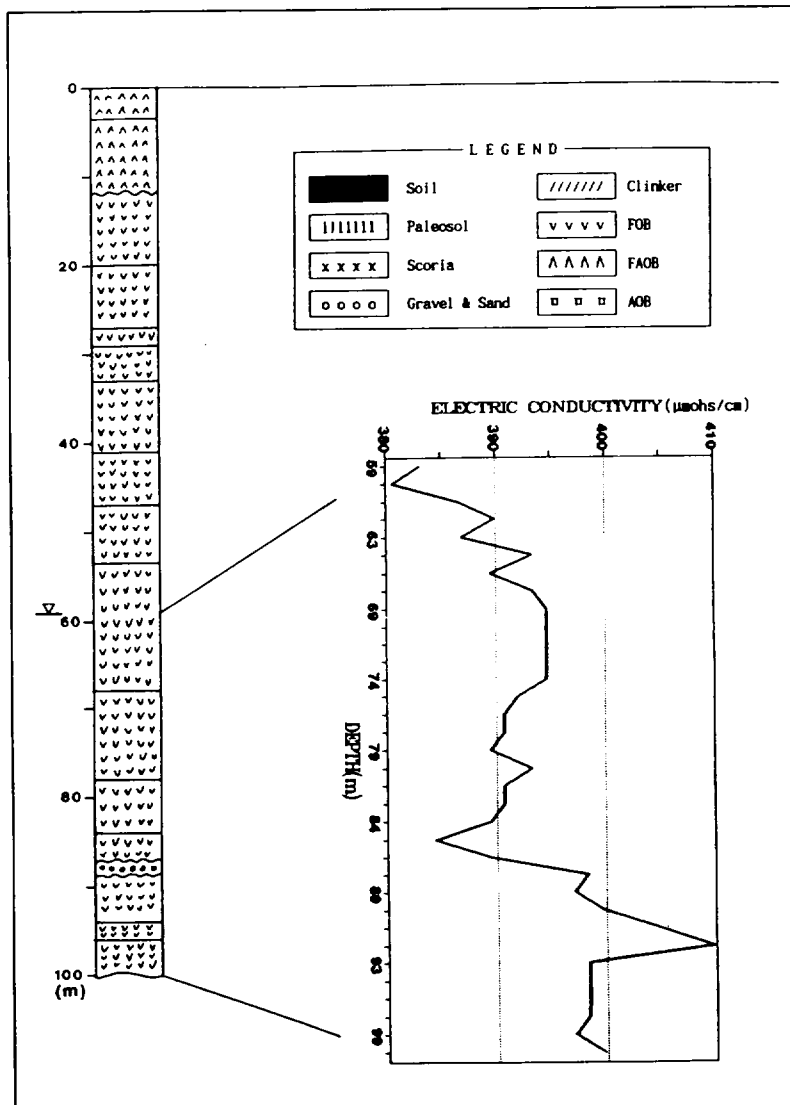


Fig. 12. Geologic and Electric Conductivity Log of a Well at Sa-1 Well in Sangdo Area.

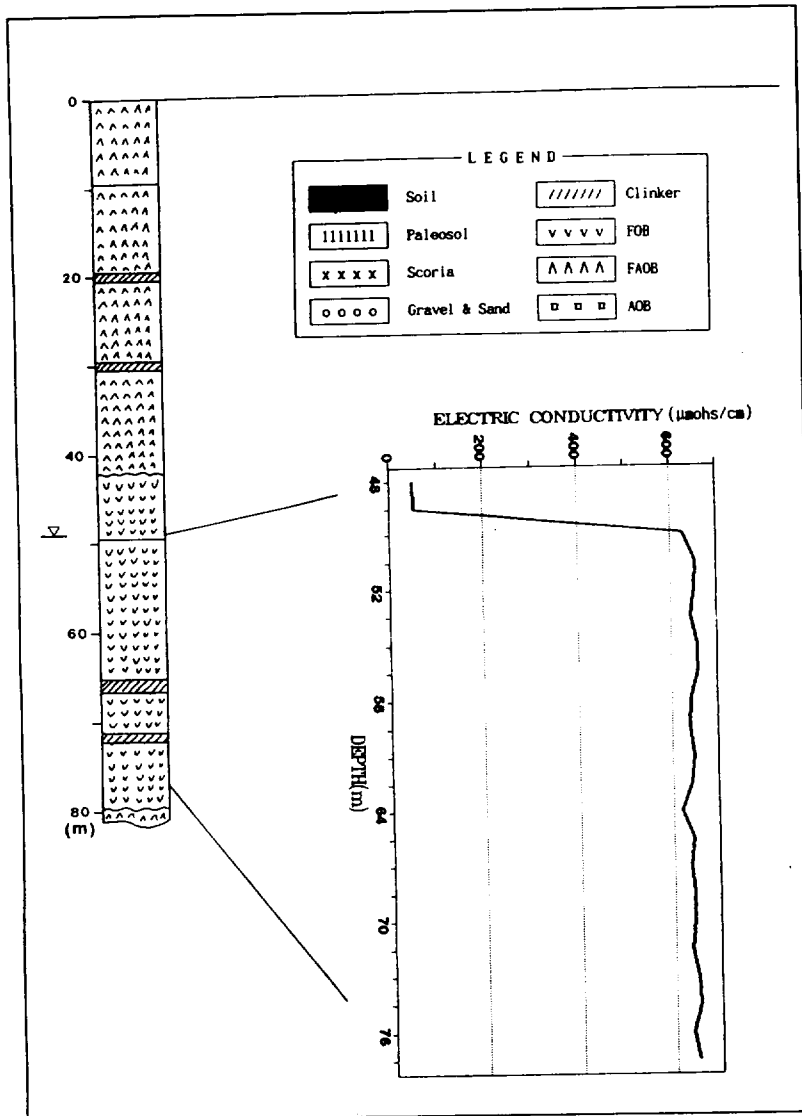


Fig. 13. Geologic and Electric Conductivity Log of a Well at Sa-2 Well in Sangdo Area.

대수층은 지표의 영향을 거의 받지 않아 전기전도도 값이 낮게 나타내는 것으로 해석된다. 결국 조사지역의 지하수는 기저지하수체라기 보다는 하부 준기저지하수체의 형태로 부존하고 있는 것으로 해석된다.

3. 상도 관측정

3-1. Sa-1 관측정

Fig.12는 Sa-1 관측정의 지질과 전기전도를 검증한 결과를 나타낸 것이다. 제시된 그림에서 보는 바와 같이 지표에서 12m까지는 FAOB 2매가 존재하고 그 하부로 부

터 공저인 100m까지의 구간에는 FOB 14매와 사력층 1매가 존재하고 있다. 전반적으로 용암류의 두께가 얇고 절리와 균열이 발달되어 있을 뿐 아니라 전형적인 다공질 현무암의 특징을 보여주고 있다. 자연수위에서 공저까지 전기전도도를 수직적으로 측정한 결과, 전술한 신촌과 함덕지역과는 대조적으로 심도가 깊어질수록 전기전도도 값이 증가하는 현상을 뚜렷히 보여주고 있다. 즉, 자연수위 부근에서 전기전도도는 $380\mu\text{mohs/cm}$ 이나 심도가 깊어질수록 증가하여 90m(자연수위 하 41m) 부근에서는 $400\mu\text{mohs/cm}$ 을 초과하고 있다. 특히, 85m 부근에서는 전기전도도가 감소하나 91m 근처에서는 급격히 증가하는 현상을 보이고 있는 것으로 볼 때 용암류간의 접촉면인 클링커층을 통해 지하수의 유출입이 이루어지고 있는 것으로 해석된다.

3-2. Sa-2 관측정

Sa-2 관측정은 전술한 Sa-1 관측정보다 상류구배에 위치하고 있으나 전기전도도 값이 $650\mu\text{mohs/cm}$ 로 훨씬 높을 뿐 아니라, 자연수위하 3m 부터 총고형물질이 약 400mg/l 를 상회하는 염수에 가까운 지하수가 부존하는 특이한 현상을 보여주고 있다 (Fig.13). 또한, 자연수위 직하부에서 전기전도의 변화가 급격히 발생하고 공저까지 거의 일정한 값을 유지하고 있음도 특징적인 현상이라 할 수 있다.

4. 수산 관측정(Su-1)

Fig 14는 성산읍 수산리의 Su-1 관측정에서 심도별로 염분도와 수온을 측정한 결과

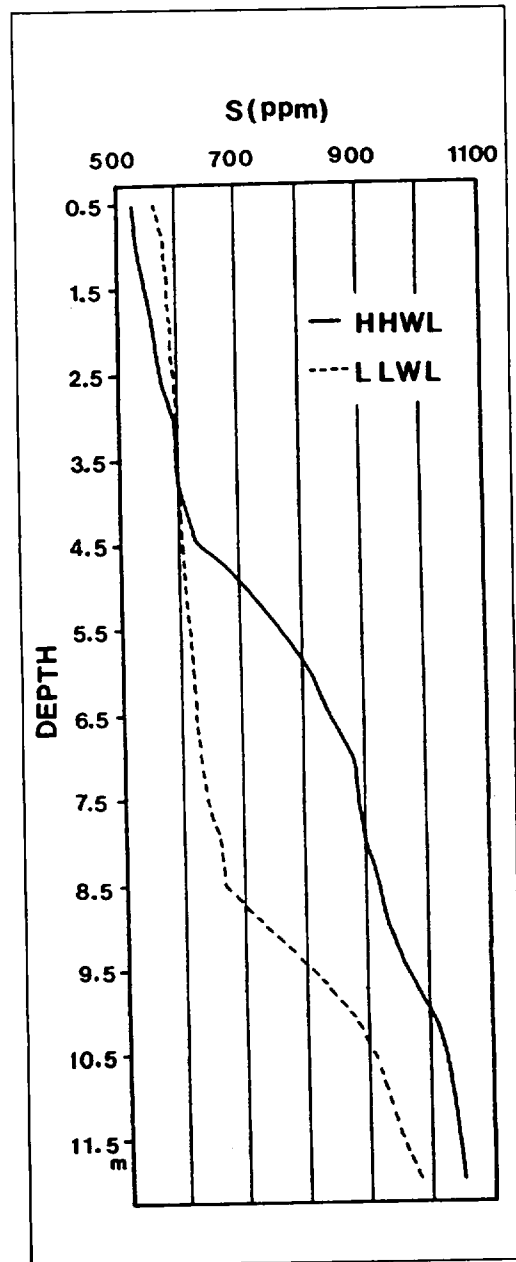


Fig. 14. Depth-Salinity/Temperature Profiles of Su-1 Well at Susan Area.

중 지하수위가 1일 동안 가장 높았던 고수위 (High Higher Water Level) 시점과 가장 낮았던 저수위 (Low Lower Water Level) 시점의

값을 평균하여 수직분포를 나타낸 것이다. 제시된 그림에서 보는 바와 같이 염분도는 자연수위 하 1m 지점 520ppm에서부터 공저인 해수면 하 13m 지점에서 900ppm을 상회하는 수직분포를 나타내고 있는데 공저부근의 염분도는 Carroll(1962)의 분류에 따르면 기수지하수(brackish groundwater)에 가까운 값이다. 특히, 조석의 영향으로 수위가 최대로 상승하는 고수위 시점인 경우 550ppm 이상되는 염수가 자연수위 하 4m 부근까지 밀고 올라왔다가 저수위 시점에서는 약 8.5m까지 하강하여 약 4.5m 구간의 지하수층이 조석주기에 따라 주기적으로 등락하고 있음은 매우 특이한 현상으로서 이 지역 지하수가 조석의 영향을 직접적으로 받고 있음을 잘 반영해 주고 있는 것이다. 하와이 오아후섬의 진주만지역에서 심도별의 염분도 분포를 측정된 결과에 의하면 염분도가 증가하는 패턴은 대략 S 자형을 이루는 것으로 보고된 바

(농어촌진흥공사, 1973) 있는 데 본 연구지역의 경우에도 완만한 S 자형을 나타내고 있다.

이상과 같이 상도와 수산 관측정의 수직적인 전기전도도와 염도 분포상태는 심도가 증가할수록 증가하고 있어 신촌 및 함덕지역과는 지하수 부존형태가 상이함을 보여주고 있다. 전기전도도가 심도가 깊어짐에 따라 증가하는 현상은 담수와 염수가 경계면을 갖는 G-H렌즈의 지하수체가 부존하고 있으며 담 염수의 혼합대 즉, 점이대가 해수면 부근까지 형성되고 있음을 뒷받침 해주는 좋은 증거라 하겠다.

VI. 수 질 특성

Table 3은 조사지역에 위치한 11개소의 관정을 대상으로 실시한 수질분석 결과로서 음 양이온 및 TDS 함량을 평균치로 나

Tabl 3. Mean Concentration of Cations, Anions and TDS at Each Wells in Study Area.

(Unit : mg/l, umohs/cm)

Area	Well Name	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃	NO ₃	E.C.	TDS
Chochon	Sh-1	10.65	8.00	13.83	3.83	31.25	12.75	43.50	14.45	292.75	187.36
	Ek-1	4.65	4.90	11.23	3.03	22.00	5.00	34.90	11.080	202.25	129.44
	Su-1	1.95	1.63	7.40	2.48	14.25	3.75	33.43	3.20	107.25	68.64
	Wa-1	4.40	6.95	11.88	3.30	25.25	7.00	36.10	9.80	228.25	146.08
Kujwa	Hn-1	2.49	5.75	33.69	3.86	65.41	14.81	38.37	1.67	224.71	188.06
	Wo-1	5.28	9.85	67.55	5.68	151.69	26.69	53.24	0.98	548.23	350.87
	Py-1	7.78	20.58	103.45	8.18	433.25	34.25	40.38	3.93	933.75	597.60
	Do-1	2.54	4.20	10.95	2.55	26.15	7.85	37.77	1.96	143.31	91.72
	Ha-1	2.23	4.43	23.53	2.90	49.52	10.56	36.42	1.19	168.53	141.05
	S -1	5.59	5.97	16.68	3.006	40.40	10.68	49.65	0.94	147.12	123.13
	Su-1	2.11	3.78	9.65	2.29	13.51	5.64	47.21	0.57	87.18	72.96

타낸 것이다. 조천지역 4개관정의 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, NO₃⁻ N의 변화를 보면, 해안변

에 가까운 곳에 위치하고 있는 Sh-1관정이 이들 성분의 함량치가 가장 높다. 즉 Ca²⁺,

Mg²⁺, K⁺, NO₃⁻ N가 각각 10.65mg/l, 8.0mg/l, 3.38mg/l, 14.45mg/l의 농도를 나타내어 나머지 관정들보다 높은 값을 보이고

있다. 특히, 질산성질소의 경우 14.45mg/l의 농도를 나타내 인위적인 오염현상이 진행되고 있는 것으로 사료된다.

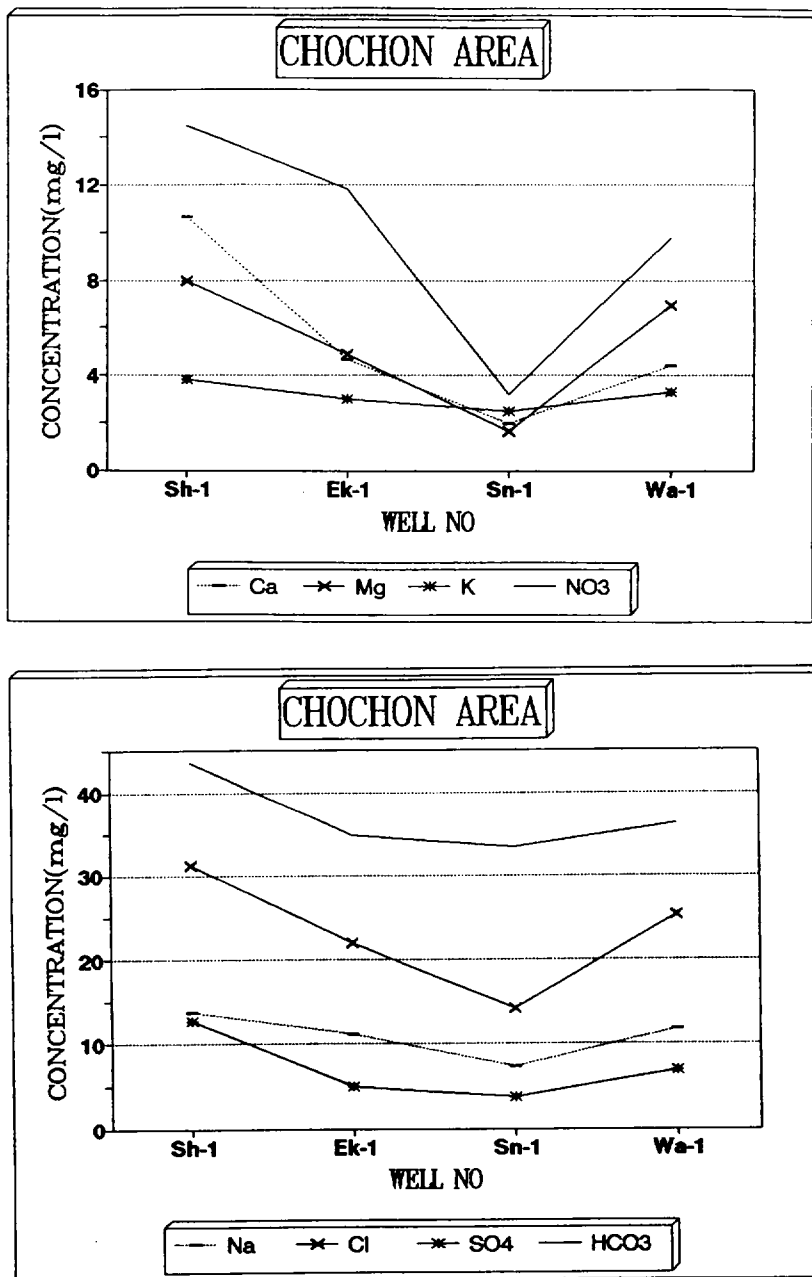


Fig. 15. Variations of Major Components at Each Wells in Chochoon Area.

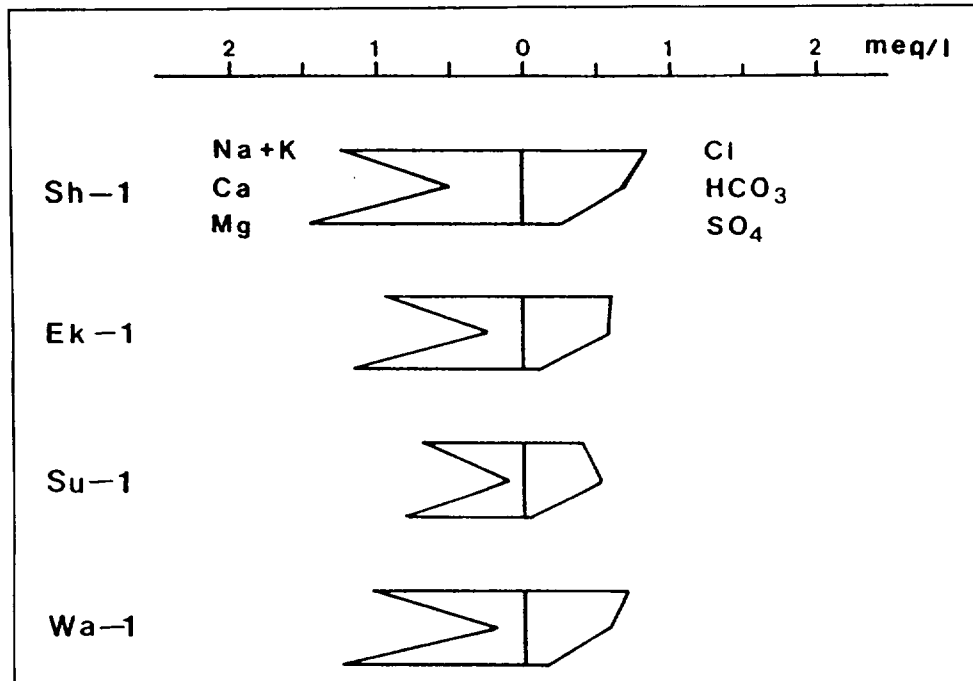


Fig. 16. Pattern Diagrams at Each Wells in Chochon Area.

일반적으로 질산성질소가 지하수 중에서 높게 검출되는 원인으로는 축산시설의 분뇨 및 오폐수, 유기질 비료 및 퇴비, 정화조의 누출, 질소질 화학비료, 생활하수 및 부패된 음식물 등으로 부터 생겨나는 유기질소가 지하로 침투됨으로써 비롯되는 것으로 알려져 있다. 이러한 오염원으로부터 발생한 유기질소의 변환과 운명은 지하로 침투하는 질소의 형태와 다양한 생물학적 변환과정에 따라 좌우되는데 대체로 유기질소는 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 순의 변환과정을 밟는다. 따라서 지하수 중의 질산염 농도는 오염원로부터 거리가 멀어질수록 점진적으로 증가하는 현상을 나타내어 하류구배에서 높은 농도의 NO_3^- 가 검출되게 된다.

Ek-1 및 Sn-1 관정의 경우는 전술한 성분들의 함량이 Sh-1에 비해 훨씬 낮은 값을 보이고 있을 뿐 아니라 내륙쪽으로 향

함에 따라 점진적으로 감소하는 현상을 보여주고 있다. 그렇지만 Wa-1 관정은 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- - N 성분의 농도가 Su-1보다 현저히 높게 나타나고 있어 인위적인 오염이 발생하고 있는 것으로 보인다. Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 성분의 경우도 전술한 성분들의 변화와 일치하는 양상을 나타냈다(Fig.15). Fig.16은 조사대상 4개소의 수질특성을 파악하기 위하여 작성한 Pattern Diagram (Stiff, 1951)으로서 양이온 쪽으로 치우쳐 있음을 잘 보여주고 있다. 구좌지역에서는 Hn-1를 비롯하여 모두 7개 관정을 대상으로 수질조사가 실시되었다. Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- - N의 농도분포를 보면, 해안면에서 내륙쪽으로 거리가 증가할수록 농도가 감소하는 경향을 전반적으로 보여주고 있으나 Py-1 관정은 예외적으로 타 관정들에 비해 훨씬 높은 값들을 나타내고

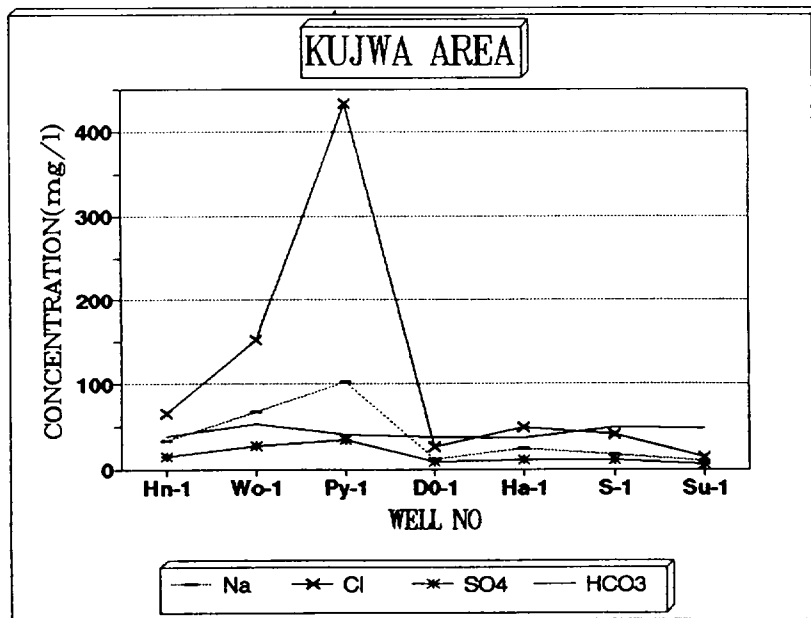
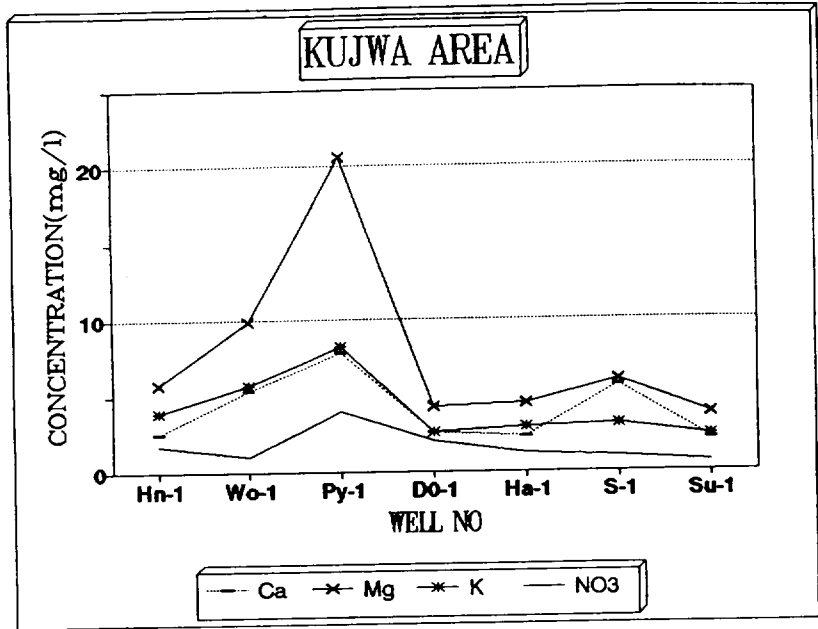


Fig. 17. Variations of Major Components at Each Wells in Kujwa Area.

있다(Fig.17). Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 의 경우도 전술한 성분들의 경우와 동일한 양상을 보여주고 있으나 조천지역에 비해 Na^+ , Cl^- ,

SO_4^{2-} , HCO_3^- 성분들의 함량이 전반적으로 높은 값을 보여주고 있다. Pattern Diagram을 보면, Wo-1과 Py-1 관정이 타

관정에 비해 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 성분이 지배적임을 보여주고 있어 이 지역이 타 지역보다 담 염수의 경계면이 평균 해수면에 접하여 형성되고 있는 것으로 해석된다 (Fig.18). 결론적으로 구좌지역 조사대상 관정들의 평균 음 양이온 및 TDS 함량치는 해안변 지역이 내륙지역보다 훨씬 높은

값을 나타내고 있다. 즉 해안변에서 내륙 쪽으로 거리가 증가함에 따라 이들 성분들의 함량치가 감소하는 경향을 잘 보여주고 있어 담 염수의 점이대가 내륙쪽으로 갈수록 얕아지는 이상적인 G-H렌즈체 지하수가 부존하고 있는 것으로 해석된다.

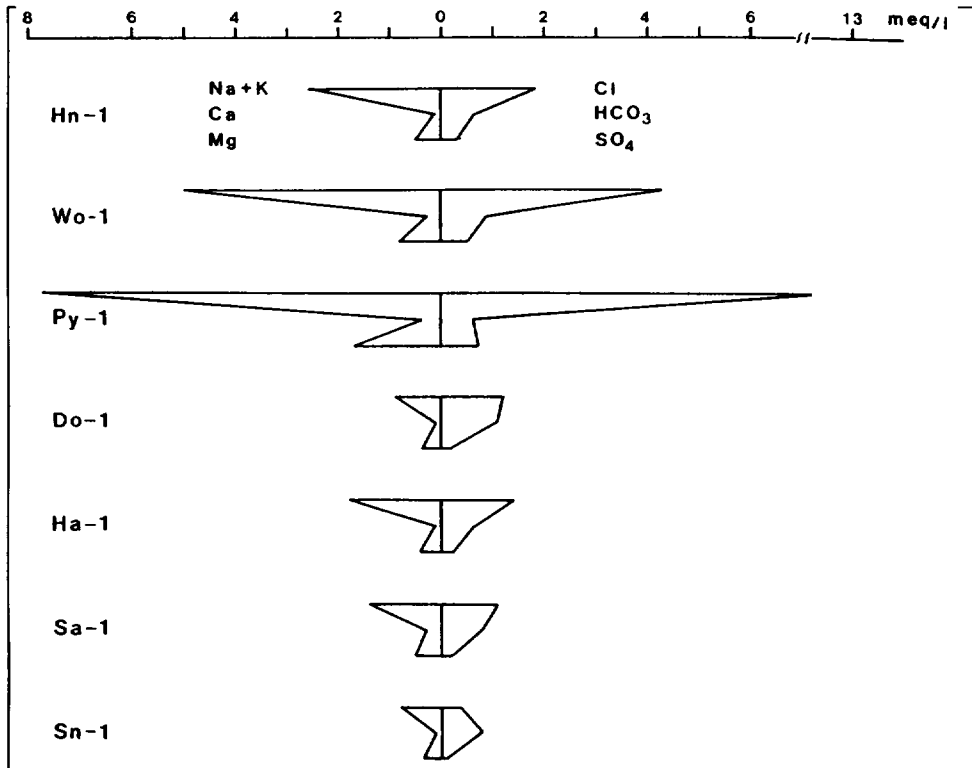


Fig. 18. Pattern Diagrams at Each Wells in Kujwa Area.

VII 요약 및 결론

제주도 동북부지역을 대상으로 실시한 지하수위 변동 양상과 수직 및 수평적인 수질조성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 지하수의 부존형태를 결정짓는 데 중요한 지질요인인 서귀포층이 분포하는 신

촌과 함덕일대의 지역은 지하수위가 해수면 상부에 비교적 높게 형성되고 있을 뿐만 아니라, 지하수체의 전기전도도가 심도가 깊어질수록 감소하거나 일정한 범위내에서만 변화하는 수직적인 변화를 나타내고 있다.

2. 서귀포층이 결층되어 있는 구좌일대의 지역은 난투수층의 발달이 빈약하고 투수

성의 높은 현무암류가 해수면 아래 평균 125m 깊이까지 분포하는 지질구조를 이루고 있기 때문에 담·염수의 경계면을 갖는 기저지하수체가 부존하고 있어서 조석에 의한 지하수위 변동이 가장 현저하게 일어나고 있을 뿐만 아니라, 막대한 량의 강우가 지하로 침투되더라도 조석현상에 의해 혼합되므로 강우에 의한 수위상승과 계절적인 수위변동 폭이 도내지역 중에서 가장 작게 나타난다.

3. 신촌과 김녕지역에서 자동수위관측기에 의해 연속관측한 자료를 분석한 결과, 강우에 의한 수위상승은 신촌과 김녕지역 모두 24시간 이내에 발생하고 있으나 상승폭에서 있어서는 신촌지역이 약 2m인데 비해 김녕의 경우는 30cm 정도의 소폭에 그치고 있어 두 지역간의 지하수 부존형태가 상이한 것으로 해석된다.

4. 상도와 수산지역은 자연수위에서 심도가 깊어질수록 지하수체의 전기전도도가 증가하는 경향을 뚜렷히 나타내어 신촌과 함덕지역과는 상한 양상을 보였다.

5. 조천지역 4개소의 관정들은 지표의 오염물질 영향을 받고 있는 것으로 나타났으며 구좌지역의 경우는 담·염수의 점이대에 의한 영향을 더 받고 있으나 해안변에서 내륙쪽으로 거리가 멀어질수록 음·양이온 성분들의 함량치가 감소하는 경향을 나타냈다.

6. 구좌와 성산을 포함한 제주 동부지역 지하수에 다량의 염분이 함유되어 있는 것은 지하수의 과잉채수에 의한 해수침투 현상에 기인하는 것이라기 보다는 이 지역 특유의 지하지질구조로 인한 자연적인 현상, 즉 담·염수의 경계면이 해수면에 근접하여 형성되고 있기 때문에 생겨나는 현상

으로 해석된다.

참 고 문 헌

- 고기원, 1991a. 제주도 서귀포층의 지하분포 상태. 제주대학교 해양연구소연구보고, 제15권, P. 81 -92.
- 고기원, 1991b. 제주도 서귀포층의 지하분포 상태와 지하수와의 관계(요약). 대한지질학회지 제27 권5호, P.528
- 고기원, 박원배, 김호원, 채종일, 1992a. 제주도의 지하지질구조와 지하수위변동과의 관계(I) - 강우에 의한 지하수위 변동(요약). 대한지질학회지 제28권 5호, P.540
- 고기원, 양성기, 박원배, 감상규, 1992b. 제주도의 지하지질구조와 지하수위 변동과의 관계(II) - 조석에 의한 지하수위 변동(요약). 대한지질학회지 제28권5호, P.540 - 541
- 고기원, 박원배, 고용구, 김성홍, 오상실, 윤선. 1992c. 제주도 동부지역의 지하지질 구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구. 제주도보건환경연구원보 제 3권 P.15~43.
- 고기원, 윤 선, 윤정수, 박원배, 한정상, 김남중, 정구원. 1993a. 제주도의 지하수 산출특성(요약). 대한지질학회 제48차 학술발표집 P.48
- 고기원, 박원배, 윤정수, 고용구, 김성홍, 신승종, 송영철, 윤 선, 1993b. 제주도 동 서부지역의 지하수 부존형태와 수질특성에 관한연구. 제주도보건환경연구원보 제4권 P.191 - 222.
- 농어촌진흥공사, 1971. 제주도 지하수조사

보고서

- 건설부, 제주도, 한국수자원공사, 1993. 제주도 수자원조합개발계획 수립보고서, 1989. 제주도 지하수 장기개발 계획 조사 보고서
- 박원배, 양성기, 고기원, 1994. 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구. 한국환경과학회지 제3권 제4호, P.

333~348

- Hofmann, J·P· and Meyer, W., 1989. Occurrence of groundwater in the Mariana Limestone, Kagman peninsula, Saipan, Commonwealth of the northern Mariana Islands. Honolulu, Hawaii, p. 54