

濟州島研究 제11집(1994), pp. 175-232

## 제주도 지하수의 개발현황과 지역별 수위 및 수질변화 특성

윤 정 수\*

박 상 윤\*\*

### 요 약

335개 분석공 중 표고별 내역을 보면 73.2%에 해당하는 245공이 표고 100m이하에 개발이 집중되어 있고, 100m이상의 개발공은 90공에 불과하다.

표고별 채수량은 50m이하에서는 1, 874.1m<sup>3</sup>/일, 50.1~100m 까지가 1, 400.9m<sup>3</sup>/일, 100.1~150m가 1, 194.7m<sup>3</sup>/일, 150m 이상에서 1, 061.8 m<sup>3</sup>/일로 표고가 높아짐에 따라 양수량이 전반적으로 감소한다.

본도의 지하수 개발공중 절대수위가 해수준면 이하가 되는 지하수 관정으로서는 동부지역이 11개공, 서부지역은 13개공, 북부지역은 3개공으로 이들 공에서는 과잉양수에 따라 해수가 침입할 위험부담이 있는 관정이다.

조석간만의 변화가 지하수위의 변화에 영향을 미치는 범위는 신촌지역이 해안에서 1.82km까지 수위변동폭이 0.18~0.08m, 구좌지역은 해안에서 내륙으로 약 9.5km까지 수위변동폭이 0.24~0.08m, 성산지역은 해안에서 7.5km까지 수위변동폭이 0.23~0.08m, 표선지역은 해안에서 3.92km까지 수위변동폭이 0.13~0.07m, 한림지역은 해안에서 3.9km까지 수위변동폭이 0.08~0.04m로 조석간만의 영향에 따라 자연수위가 정현곡선을 그리며 운동하고 있고, 고산지역과 대정지역은 자연수위가 조석의 영향을 미약하게 받고 있고 주로 강수량에 따라

\* 제주대학교 해양학과 교수

\*\* 제주대학교 해양학과

지하수위가 변동하고 있다.

32개공에 대한 월 2회 6개월 동안 장기수위관측 결과에 의하면 이중 77%에 해당하는 27개공이 개발당시보다 수위가 현저히 하강하였다. 제주시와 서귀포지역은 개발당시보다 각각 평균 7.5m와 10.8m씩 수위강하가 있었으며, 애월이 4.0m, 표선 3.4m, 남원 4.8m, 한경 1.9m, 성산 0.5m등 지역에 따라 수위강하폭이 심한 편차를 보이고 있다. 그러나 이러한 수위강하 현상은 일부 대도시의 관정을 제외하고는 풍수기인 8월~10월 사이에 전체적으로 상승하였다.

동부 및 서부지구의 지하수부존 형태로서 동부지구는 표고에 비해 담수 lens 층이 얇은 관계로 자연수위가 해수준면과 가까와 해안 가까운 곳에서 지하수 착정심도를 깊게 할 경우 해수가 올라올 수 있는 부존형태를 이루고 있는 만치 성산읍, 구좌읍 및 표선면 지역에서는 지하수 개발시 해수오염을 고려하여 착정심도 및 양수량 결정등에 각별히 유의하여야 할 것이다. 반면 서부지구는 그 지하구조가 달라서 표고는 낮으나 대수층이 두꺼운 이상적인 담수 lens 형태를 이루고 있어 착정심도를 어느정도 깊게해도 해수가 침입할 위험부담이 적은 편이다.

1983년부터 1993년까지 수질분석자료 중 오염인자의 중요한 요소인  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분들이 그간의 변화 추세는 질산성질소 성분은 제주시지역은 1983년보다 1991년 이후는 약 1.6배, 애월지역은 약 2.5배, 한림지역은 4.6배, 한경지역은 약 15배, 안덕지역은 약 3.8배, 서귀포지역은 7.8배, 표선지역은 약 16.6배, 구좌지역은 약 6.6배, 조천지역은 약 4.3배씩 증가하였고, 염소이온함량은 제주시지역은 약 1.5배, 한림지역은 약 2.5배, 한경지역은 약 1.6배, 서귀포지역은 약 1.4배, 남원지역은 약 1.8배, 표선지역은 약 6배, 구좌지역은 약 1.8배, 조천지역은 약 1.5배씩 그 농도가 꾸준히 증대되고 있다.

서부지역 지하수체의 음·양이온 성분들은 강수량과 비례적인 관계를 나타내어 풍수기가 갈수기보다 훨씬 높은 함량치를 나타내고 있는데 반하여 구좌, 성산을 연결하는 동부지역 지하수체의 경우는 대체로 강수량과 반비례적인 양상을 나타내고 있어 강우에 의한 희석효과에 기인하는 것으로 해석된다.

## I. 서 언

물은 우리의 생명을 유지 시켜주는 생명체의 근원이며 풍족한 물이 없었다면 인간의 문명 및 문화생활 또한 존재할 수 없었을 것이다. 이렇듯 우리생활의 가장 근간을 이루는 물이 인구의 증가, 생활수준의 향상에 따라 필연적으로 그 사용량이 급격히 증대되고, 물은 흔하기 때문에 무한자원으로 잘못 인식되어 손만 벌리면 어디서나 쉽게 얻어지는 것으로 생각하여 소홀히 다루어진 결과 오늘날 세계 곳곳에서는 고도의 산업화와 도시화에 따른 수량과 수질문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다.

우리 제주섬도 수자원에 대한 개발은 1963년을 시작으로 1970년 농어촌진흥공사가 설립되면서 1972년까지 2년간 본 도 전역에 걸친 세부지질조사와 지하수 부존 가능성 조사를 실시한 결과 본 도 지하심부에는 두꺼운 담수 lens가 존재한다는 결론을 얻고 1972년부터 오늘에 이르기까지 지하수 개발사업이 진전되고 있다. 그동안 25여 년간에 걸친 조사와 개발의 산물로 도 전역에는 국가관정과 민간사설관정을 포함하여 약 3,170여개소의 지하수개발공이 산재하는 것으로 추측된다. 이와같은 지하수개발사업의 큰 성과는 제주도의 생활환경과 세계적인 관광지로 발돋움하는데 획기적인 발전을 가져왔으나 해안지역과 인구밀집지역 지하수원의 과다사용으로 인한 기존 용천수의 용출량 및 지하수면의 현저한 감소추세와 지하수오염의 증가 및 일부지역 지하수의 고염분화량 등 그 이용면에서 여러가지 문제가 대두되고 있음이 또한 사실이다. 즉 제주섬지역에 부존하는 지하수의 양은 한정된 것으로 제주도의 지질조건에 따른 지하수 저장능력과 년중 강우량에 의해 결정되며, 제주도에서의 연간 지하수 소비량은 지하수 개발 가능한계량을 초과해서는 안될 것이다.

그러나 근래에 들어 급격한 관광인구의 증가에 따른 대규모 관광단지 및 골프장 조성과 중산간지역에서의 각종 쓰레기 매립장 및 유해물질 처분 처리시설의 설치 등은 무분별한 지하수 개발을 야기시

켰고, 이로인해 지하수원에 해수침입과 축사와 농약 및 각종 생활폐수로부터 지하수가 심각하게 오염이 진행되고 있어, 제주도의 지하수 오염문제가 제주도민의 생활문제로 대두되고 있기도 하다.

김(1992)에 의하면 해안에서 1km까지 지하수에 염소이온함량이 1, 000ppm이상을 나타내고, 특히 동부지역은 해안에서 6km지점까지 염소함량이 크게 증가하여 농업용수로 이용하기도 불가능하며, 1989년도에 농진공에서 193관정에 대한 지하수위 측정조사결과에 의하면 그간의 제주도의 평균 지하수위 강하량이 개발당시보다 1.4m 강하 하였으며, 이중 28%에 해당하는 시설관정에서 염소함량이 음용수 수질기준치를 초과한 것으로 분석되었다. 1989년 제주시, 서귀포시 및 인구밀집지역의 취수정 10개소의 수질시험결과 질산성질소가 10ppm이상 검출된 곳이 4개소였고, 일반세균과 대장균이 검출된 곳이 8개소로 나타났다. 또한 1993년도 한국수자원공사에서 128개소로 구성된 광역 수질관리망 관측정에서 수질 시험결과 19.5%에 해당하는 25개공이 질산성질소함량이 음용수 수질기준을 초과한 것으로 보고된 바 있다. 아울러 이들 하 폐수내에는 세탁소, 자동차정비 및 세차장, 정화조, 세척제, 용제 및 주유소의 석유유출 등에서 배출 용해되어 나온 맹독성 및 발암성 화학물질이 다량 포함되어 있을 수 있기 때문에 이들 성분까지 감안한다면 그 심각성을 우려치 않을 수 없다고 지적하였다. 더욱이 제주도의 총인구가 62만여명으로 예상되는 2, 000년에는 하루 약 7십만톤의 각종용수가 필요로 하게되어 이를 해결하기 위해서는 앞으로 1, 300여개의 지하수관정이 더 개발되어야 할 것으로 보고되었다. 더군다나 1984년 이후로 접어들면서부터 년 평균 280여개 이상의 지하수공들이 개발되는 급격히 증가추세를 보이고 있음을 감안할때, 서기 2, 000년에는 약 5, 000여공에 육박하는 개발공들이 난립하여 막대한 양의 지하수를 뽑아쓰므로써 지하수위 하강을 비롯한 해안지역의 해수침입, 지하수 수질의 오염화, 해안변 용출수의 고갈 및 용출량 감소등의 가속화로 제주도 지하수가 지하폐수로 둔갑해 버리는 극단적인 상황이 전개될지

모른다.

따라서 본 연구에서는 제주도 동 서부지역 지하수의 수질특성과 지하수 개발역사가 25여년이 지난 오늘에 이르기까지 그간의 본도 지하수의 수질상태 및 총체적인 지하수 포장체의 거동파악과 지역별 지하수 개발가능량을 설정하는데 필수적 기본자료인 지역별 지하수 위 변동양상에 대하여 논의하고자 한다.

## II. 지하수 개발 현황분석

1992년 현재 제주도에에서 개발된 지하수 개발공은 총 3, 170여개소로 국가개발관정은 372개소에 개발량은 연간 1.12억 $m^3$ 이며 나머지 2, 800개소는 사설관정으로 개발량은 약 2, 500만 $m^3$ 이다. 더구나 1984년 이후부터는 년 평균 280여개 이상의 지하수공들이 개발되는 급격히 증가 추세를 보이고 있으며 서기 2, 000년에는 약 5, 000여공에 육박하는 개발공들이 난립할 것으로 예상되고 있다.

한국 수자원공사(1993)의 자료에 의하면 제주도의 수원시설은 〈그림 1〉과 같이 1991년 현재 총 시설규모 810천 $m^3$ /일의 지하수가 개발되었으나 실제로 용수공급을 위하여 가용시설 용량은 552천 $m^3$ /일로서 이중 약 67%인 368.8천 $m^3$ /일이 지하수 개발 관정이고, 나머지 약 4%인 21.5천 $m^3$ /일이 상위용천수를 저수하여 공급하는 어승생수원이다. 용수이용 현황을 보면 〈그림 2〉와 같이 1991년 현재 일일 평균 296.4천 $m^3$ , 연간 9, 400만 $m^3$ 으로 수자원 개발량 552천 $m^3$ /일의 약 54%정도만 실제로 이용되고 있다. 그러나, 여름철과 같은 일일 최대 용수 아용량은 517.3천 $m^3$ /일로 현 수자원 개발량에 거의 육박하고 있어, 계속적인 지하수 개발이 시급한 실정이라고 추정하고 있다. 이는 제주도 총 지하수 함양량의 15% 수준에 해당하는 미미한 양이며, 기저지하수 포장량을 감소시키지 않는 물수지 균형상태에서 안전한 지속이용 가능한계량으로서 향후 개발 여력은 이용량기준 연간 5.9억 $m^3$ , 시설용량 기준 4.3억 $m^3$  정도로 추정하고

있다. 지역별, 용도별 용수이용 현황은 제주시가 총 년 용수이용량의 약 41%인 3,900만 $m^3$ /년, 서귀포시가 약 17%인 1,600만 $m^3$ /년, 북제주군, 남제주군이 각각 약 19%인 1,800만 $m^3$ /년, 약 23%인 2,100만 $m^3$ /년이며, 생활용수 64,270천 $m^3$ /년(약69%), 농 축용수 19,901천 $m^3$ /년(약21%), 공업용수 9,319천 $m^3$ /년(약10%)의 순으로 이용되고 있다.

제주도 지하수의 지역별 개발내역을 파악하기 위하여 1972년부터 1992년도 까지 농어촌진흥공사에 의해 개발된 총 372개공 중 자료 해석이 양호한 335개의 지하수 개발공을 대상으로 그 실적 내역을 표고별, 심도별, 양수량별 등을 분석한 결과는 다음과 같다.

상기 <표-1>에서 총335개소의 개발공 중 73.2%에 해당하는 245공이 표고100m 이하에 개발이 집중되었고, 100m 이상의 개발공은 90공에 불과하다. 특히 동부지역(구좌읍, 성산읍, 표선면)은 총 47개 분석공 중 해발 100m이상에 확정된 관정은 불과 7개공이며, 서부지역(한경면, 대정읍, 한림읍)은 총 116개 분석공중 9개공에 불과한 실정이다. 이는 본 도 마을의 분포, 지하수 개발의 경제성 등 제요인에 의한것으로 이해되나, 제주도의 지하수 개발관정에서 개발 초기에는 염소이온 함량이 대부분 5~150ppm 정도로 나타나 국내 음용수 수질기준(150ppm)에 모두 적합한 것으로 나타났으나, 1989년 하반기에 농어촌진흥공사에서 제주도 지하수개발 장기계획수립을 위한 조사과정에서 기설관정 155개소에 대한 염도측정을 시행한바 해안에서 1~6km 거리에 있는 44개소 관정에서 염도가 150ppm을 초과하여 음용수 수질에 부적합한 것으로 판명되는 등 해안변 지하수의 해수침입현상이 일어나고 있으므로 향후 관정개발은 가능한한 담수체 렌즈가 두꺼운 표고가 높은 내륙에서 개발되어야 할 것으로 제안하였다. 개발개소당 평균 양수량은 <표-2>와 같이 50m 이하에서는 1,874.1 $m^3$ /일, 50.1~100m 까지가 1,400.9 $m^3$ /일, 100.1~150m가 1,194.7 $m^3$ /일, 150m 이상에서 1,061.8 $m^3$ /일로 분석되어 표고가 높아짐에 따라 양수량이 전반적으로 감소되고 있음을 보

여주는데, 이것은 제주도 지하수 부존형태가 해안변 지역에서는 G-H 원리에 의한 두꺼운 담수체 렌즈가 형성되어 있음을 의미한다. 이를 지역별로 살펴보면 <표-3>와 같이 2,000m<sup>3</sup>/일 이상 채수가 가능한 지역별 비율은 동부지역이 16%, 서부지역이 30%, 남부지역은 8.3%, 북부지역은 10.6%로 서부지역이 가장 많고, 남부지역이 가장 적은 것으로 나타났는데, 이는 서부지역이 공당 평균양수량이 가장 많은 표고 50m 이하의 전체 분석공 116공 중 70%에 해당하는 81개공이 이지역에 편중되어 있기 때문이며, 서부지역은 기저 또는 준기저지하수가 두꺼운 담수체 렌즈 형태로 광범위하게 부존되어 있고 대수층 하부에는 서귀포층과 해안변에는 불투수층인 성산층이 대수층을 피복하고 있어 본 도에서 지하수 개발에 가장 유리한 입장에 있는 곳으로 알려졌다. 한편 남부지역이 타지역에 비해 평균 채수량이 적은 것은 남부지역의 지하수는 대부분 상위지하수로 구성되어 있으며 투수도가 낮은 서귀포층과 조면암류가 해수면 상부까지 널리 분포하고 있음으로 기저지하수 개발에 불리한 여건을 갖고 있을 뿐만아니라 대수층의 생산성이 적은 것으로 알려지고 있다.

따라서, 해안변 지역의 담수체 렌즈를 효과적으로 보호하기 위해서는 해수침입을 방지하기 위한 지역별 지하수 개발 한계량을 설정하고, 상류지역에 지표로부터 침투되는 유해물로부터 오염이 우려되는 골프장, 쓰레기매립장 및 도시화 건설계획을 엄격히 제한하여야 한다.

## II. 지하수위 변동 분석

지하수위 자료는 지하수 포장체의 규모, 대수층의 성격과 능력, 지하수 유동방향 판단 및 대수층 변동예측 뿐만아니라 총체적인 지하수 거동과악을 통한 지역별 지하수 개발가능량을 설정하는데 필수적인 기본자료가 된다.

일반적으로 지하수위는 수문, 기상조건, 양수동에 따라 년중 끊임

없이 변화하며, 특히 제주도는 지하지질 구조가 투수성이 큰 지질매체로 구성되어 있어 수위변동도 각종요인에 의해 큰폭으로 나타나고 있는 것으로 추정하고 있다. 지하수위 변동은 강우량, 증발산량, 정호장에서 양수량, 조석간만에 의한 영향 등의 요인에 의해 발생하고 있으며, 본 도에서의 지하수위 변화는 수역별 대수층의 유형과 지질구조, 양수량, 강우량, 조석간만에 의한 영향의 특성에 따라 수역별로 상이하게 나타나고 있다.

섬지방의 지하수위 변동요인은 주로 조석간만에 의한 영향이 관측되며 그 변동폭과 영향권은 해안변 지역의 수리지질학적 특성과 조차동의 조건에 따라 가변적으로 나타나고 있다. 그리고 강우량의 변화와 양수량에 의해서 지하수 수위가 단기적 및 계절적 변동을 유발시키는 가장 근본적인 요인이 되고 있다.

제주도와 같은 섬지역에서의 담수lens체의 두께는 조석운동, 대수층의 불균질성, 개발에 따른 지하수의 불규칙한 소모량 등에 따라 복잡한 유동상태를 이루고 있어 해수와 동적평형을 유지하는 것으로 밝혀졌고 담수체와 해수가 접하는 곳에서는 어떤 폭을 갖는 점이대가 형성되어있다.

이러한 점이대는 조석의 영향, 함양량과 유출량의 변동, 기타 양수량에 의한 지하수위의 변화에 따라 확산되며 일시에 많은량의 지하수를 심정공에서 양수할 경우 담수 lens체 하부에는 갑작스런 국부적 변위현상이 일어나 <그림 3b>처럼 염수는 상향운동을 일으키게 되어 넓은 점이대가 형성되며 기존 대수층내로 염수가 침입될 가능성이 있다.

제주도 내에서도 동부 일부지역은 지하 지질구조 특성에 의해 담수lens체가 얇고, 과잉양수에 의한 해수침입이 가장 확산된 지역으로서 내륙부 6km 까지 해수침입이 관측되며 해안에서 1km 까지의 염도는 1, 000ppm을 초과하여 이지역 지하수는 농업용수로도 사용이 불가능한 실정으로 조사되었다. <표-4>은 본도의 지하수개발공 중 절대수위가 해수준면 이하가 되는 지하수 관정을 나타낸 것으로 동



부지역이 D-140(김녕), D-69(수산), D-152(상도), F-32(표선) 등 11개공이며, 서부지역은 D-9(두모), D-56(신도), D-86(고산) 등 13개공이고, 북부지역은 D-141(애월), D-163(신흥) 등 3개공으로 이들 지역에서 갈수기의 과잉양수때는 이미 해수침입이 발생하였거나 혹은 해수가 침입할 위험부담이 있는 관정으로 계속적인 지하수 수위 및 수질감시가 요망되는 지역이다. 이러한 증거로는 절대수위가 해수면 이하가 되는 D-69(수산), D-140(김녕), D-152(상도), D-158(표선), W-15(난산), D-182(수원), D-9(두모)등의 관정에서 염소이온 함량이 150ppm을 초과하고 있어 과잉양수에 의한 담수 lens체의 수축으로 해수침입의 개연성을 뒷받침해주고 있다.

〈그림 4〉는 캘리포니아 Manhattan Beach의 해안지역 지하수의 과잉양수로 인해 절대수위가 해수준면 이하로 하강된 상태로 해수가 담수 lens내로 침입한 예를 나타낸 그림이다. 이처럼 해수가 침입하여 오염된 지하수를 원래의 부존상태로 유지하기 위하여는 오랜기간과 경비가 필요하나 일단 오염된 지하수는 담수 lens체 곳곳에 침입한 해수가 곳곳에 그냥 남아 있거나 점이대가 두터워져 식수로의 사용이 불가능한 것으로 조사되었다. 전술한 바와 같이 지하수위 자료는 지하수 포장체의 규모와 대수층의 변동에 대한 정량적인 예측의 직접적인 지표가 되므로 수위자료를 근거로 채수량조절, 채수시간대조절 및 수역별 지하수개발 한계량을 설정할 수 있다.

해안과 접하고 있는 해안지역 대수층내의 지하수위는 조석 간만의 영향에 따라 정현곡선(Sine curve)을 그리며 운동하게 된다. 따라서 섬지방에서의 조석 간만의 영향에 따라 지하수 자연수위에 미치는 영향을 파악하는 것은 담수체와 해수가 혼합된 점이대를 파악하는데 필수 불가결한 것으로 해안지방에서의 지하수 포장체의 규모 및 대수층의 성격과 지하수개발 한계량등을 결정하는데 가장 긴요한 요소이다.

금번 조사에서는 조석의 영향범위를 검토하기 위하여 〈그림 5〉와

같이 기저지하수에 관입된 관정 8개지역을 선택하여 해안선에 수직 방향으로 각 지역당 3개소씩 선정 총 24개 관정에 대하여 조수위의 영향권을 파악하기 위하여 1993년 8월에 지하수위를 48시간 연속으로 관측하였다.

동 관측결과를 검토해보면 <표-5>와 <그림 6>과 같이 조석 간만의 변화가 지하수위의 변화에 영향을 미치는 범위는 신촌지역이 해안지역에서 1.82km까지 수위 변동폭이 0.18~0.08m, 구좌지역은 해안에서 내륙으로 약 9.5km까지 수위변동폭이 0.24~0.08m <그림 7>, 성산지역은 해안에서 7.5km까지 수위변동폭이 0.23~0.08m <그림 8>, 표선지구는 해안에서 3.92km까지 수위변동폭이 0.13~0.07m, 한림지구는 해안에서 3.9km까지 수위 변동폭이 0.08~0.04m로 조석 간만의 영향에 따라 자연수위가 정현곡선(sine curve)을 그리며 운동하고 있음을 확인할 수 있었다. 그외 대정, 고산지구는 <그림 9>와 같이 조석의 영향을 거의 받지 않고 있음을 확인할 수 있었다. 한편, 수위변동양상에 의한 제주도 동서부지역의 지하수 부존형태를 구분짓기 위해 1992년 2월부터 1993년 2월까지 동부지구 2개공(D-140, D-16), 서부지구 2개공(D-80, U-41)을 대상으로 매 1회 25시간 연속수위관측을 실시한바 이들지역의 수위변동 양상은 다음과 같다.

동부지역을 대상으로한 지하수위 관측은 해안으로부터 1.3km(김녕)~1.4km(종달)에 위치해 있는 지역에서 실시하였다. 이들 동부지역의 관측공들의 지하수위는 조석의 영향을 뚜렷하게 받고 있는 것으로 나타났다. <그림 10>은 김녕 관측정에서 조사기간 동안 관측된 지하수위를 조석자와 함께 나타낸 것으로서 지하수위는 연중 조석의 영향을 뚜렷하게 받고 있음을 알 수 있다. 또한 1일 수위변동폭이 최대 1.1m(1992, 2월), 최소 0.42m(7월), 년평균 0.69m를 보여 조석에 의한 수위변동의 최대로 정현곡선을 그리며 운동하고 있음을 보여주고 있다. 종달 관측정인 경우도 이와 비슷한 경향을 보여주고 있으며, 해수준면을 기준으로한 1일 지하수위의 평균이 최소

0.92m(1992, 12월), 최대 1.31m(4월), 연평균 1.11m로서 평균수위의 연간 변동폭은 0.4m에 불과하다. 강우량과의 관계를 보면 1992년 5월 5일(291.8mm)과 8월 13일(207.0mm)의 호우시 김녕과 중달 관측정에서 측정된 수위의 상승치는 조석에 의한 지하수위의 변동 범위내에서 변화를 나타냄으로서 동부지역의 지하수위는 강수에 의한 영향보다는 조석영향에 수위변동이 지배적으로 일어나고 있음을 알 수 있었다.

서부지역을 대상으로한 지하수위관측은 해안면에서 800m 내륙에 위치한 고산(D-80) 관측정에서 측정된 결과는 <그림 11>과 같이 강우기와 갈수기에 따라 수위가 최대 3.04m까지 변화하고 있으며, 일일 동안의 최대 수위변화 폭은 8월에 0.12m였다. 이 관측정은 본 연구대상 관측정 중에서 해안에 가장 가까운 0.8km 거리에 위치하고 있으나, 수위변화가 거의 수평적인 형태를 취하며, 일일 동안의 변동폭도 평균 6.4cm로서 소폭의 변화를 나타내고 있어 동부지역과는 지하수 부존형태가 근본적으로 상이함을 암시해 주고 있다. 해안에서 930m거리에 위치한 고산(U-41) 관측정의 경우도 D-80공의 결과와 동일한 현상을 보여주고 있어 고산지역의 지하수는 주로 강수에 의한 수위변화가 지배적인 것으로 판단된다. 특히 동부지역 중 구좌와 성산지역의 조석의 영향에 의한 수위 변동폭이 가장 크게 나타나 제주도 동부지역이 서부지역보다 조석의 영향을 매우 크게 받고 있음을 알 수 있다. 또한 이들 조석의 영향은 해안에서 내륙으로 멀어짐에 따라 수위 변동폭이 점차적으로 작아짐을 나타내고 있어 조수의 운동이 규칙적인 반복운동을 할때 조석운동과는 해안에서 내륙쪽으로 전달되고 있으며 이들 조석과의 영향은 내륙쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 적어지고 영향이 전달되는 시간차는 증가됨도 확인할 수 있었다. 따라서 제주도내 해안지역과 특히 동부지역의 기저지하수체에는 강우량의 정도, 조수의 간만차, 인위적인 양수량 등으로 인해 개발 당시보다 지하수 유동에 많은 변화가 발생하고 있으며 특히 해안부근에 관정을 개발하여 지하수 함양량보다 양수량 또는 배

수량이 큰 지하수공인 경우는 담수lens체 내의 균형이 파괴됨으로 인하여 염수의 역상승에 의한 염수침입이 부분적으로 발생하고 있음을 알 수 있었다.

이러한 현상은 현재 문제가 되고 있는 동부지역 특히 구좌, 성산 지역의 기존 지하수 관정의 염분함량이 높게 나타나고 있는 이유로도 설명될 수 있다. 그러므로 동부지역은 계절별 수위 변화를 보면 강우량의 과다에 관계없이 주로 조석의 영향에 따라 수위변화가 일어나고 있으며, G-H원리에 의한 기저지하수체를 이루고 있다. 따라서 이지역의 동수구배와 대수층 수리성 등을 근거로한 동부지역의 지하수 함양량이 제주도 전체 지하수 부존량의 약 50%에 이르는 풍부한 수자원 부존성을 지니고 있다는 일부 연구자들의 주장은 문제점이 있다고 판단된다.

〈표-6〉과 〈그림 12〉는 농어촌진흥공사에서 이행한 지하수 개발 공을 착정심도별, 지하수위별로 동부와 서부지역의 지하수 부존형태의 단면도로 나타낸 것이다.

그 결과 동부지구는 표고에 비해 대수층 두께가 얇으며, 자연수위가 해수준면과 가까와 해안가까운 곳에서 지하수의 착정심도를 깊게 할 경우 해수가 올라올 수 있는 부존상태를 갖고 있다 하겠다. 그러나 서부 지구는 동부지구와는 그 지하수부존 형태가 달라서 표고는 낮으나 함수층이 두터운 이상적인 담수 lens형태를 이루고 있는 관제로 착정심도를 어느정도 깊게 한다해도 해수가 담수대 내로 침입할 위험부담이 적은 편이다.

따라서 섬지방 지하수자원의 염분 함유량 증가를 억제시키기 위하여는 과다한 양수를 삼가해야 하며 아울러 지역별로 광역적인 지하수 수질 및 수위 관리망 설정과 운영을 설치하여 지하수위 및 수질 변화특성, 양수량 등을 그 지역의 조수위, 강수량, 계절별등과 관련시켜 정기적으로 관측조사 하여야 한다.

한편, 제주도 일원에 대한 지하수위 장기관측은 〈표-7A, B〉와 같이 제주도 북부지구에서 10개소(제주시:6개공, 애월:2개공, 조천:

2개공), 동부지구 6개소(구좌, 성산, 표선:각각 2개공), 남부지구 10개공(서귀포:6개공, 안덕, 남원:각각 2개공), 서부지역 6개소(한경, 대정, 한림:각각 2개공)에서 1993년 4월부터 9월까지 6개월간 실시하였다.

표에서 보는 바와같이 총 장기 관측공 32개공 중 77%에 해당하는 27개공이 개발 당시보다 수위가 현저히 낮게 떨어졌음을 알 수 있고, 특히 제주시와 서귀포지역과 같은 지하수관정 개발수도 많고 지하수 이용량도 많은 지역은 개발 당시보다 각각 평균 7.5m와 평균 10.8m씩 수위강하가 있었으며, 그 외 애월이 4.0m, 표선 : 3.4m, 남원 : 4.8m, 한경 : 1.9m, 성산 : 0.5m등 지역에 따라 수위강하폭이 심한 편차를 보이고 있다. 그러나 이러한 수위 강하현상은 풍수기인 8월~10월사이에 강우량의 정도에 따라 전체적으로 다소 상승함을 부언해 둔다.

이와 같은 결과는 1989년 농어촌진흥공사에서 실시한 제주도 전역 193개공에 대한 광역 지하수위 측정조사 결과에서도 그간의 제주도의 평균지하수위 강하량이 개발당시보다 전반적으로 1.37m나 하강하였다는 조사 결과와도 잘 일치하고 있다. 이와같이 제주도 총 지하수 이용가능량의 약 15% 수준만을 개발 이용하고 있다고 주장하는 현상황에서도 전반적으로 개발초기보다 수위 강하현상이 뚜렷이 나타나는 것은 아직까지 제주도 전반에 걸친 지하수 포장체의 규모나 담수체와 해수와의 교차면 등 여러요인들이 규명되지 않은 점도 있겠으나 일차적으로는 제주도가 근래에 들어 관광진흥정책에 따라 급속히 신도시화 하면서 도시지역에 집중된 지하수 개발공에서 과다한 양수가 진행되고 있는데 원인이 있다 하겠다.

#### IV. 지역별 지하수의 수질상태 변화 분석

지하수 자원의 오염 취약성에 대한 평가는 지하수자원 개발이나 제반허가등의 결정과정에서 중요한 자료가 된다. 지표에 산재한 오

염물질은 강수에 의하여 지표면에 발달한 틈을 따라 지하 대수층으로 유입된다. 제주지역 일대에 분포된 화산암은 수리지질학적으로 지표로부터 오염취약성이 매우 큰 암석이다. 즉, 본도 지표면에는 빗물의 대수층내로 함량과 부존된 지하수의 이동특성을 지배하는 각종 2차 유효공극인 수축절리와 미고결 화산쇄설층등이 지표면에 잘 발달되어 있기 때문이다. 그렇기 때문에 파손된 하수관과 폐공된 지하수공을 통해 누출된 하 폐수나 쓰레기매립장의 침출수 및 골프장, 축산단지 등에서 방류된 하 폐수가 지표면의 숨골을 통해 하향으로 침투하여 하부에 부존된 지하수자원을 쉽게 오염시킬 수 있다.

1972년부터 제주도의 지하수 산출특성과 그 부존상태를 규명키 위해 여러 관련기관에서 수질분석을 시행해 온바 있으나 어디까지나 지하수 개발 측면에만 중점을 두었고 지하수의 오염상태 및 수역별 수질 특성, 오염원의 유형조사, 점 및 비점 오염원의 실태파악 등과 같은 수질보전에 관한 체계적인 조사연구는 매우 미미한 실정이며 단지 문제가 되고 있는 지역에 대한 음용수의 수질기준 적격여부 판단을 위해 몇몇 연구기관에서 간헐적으로 수질분석만 시행하고 있는 실정에 있다.

대체적으로 개발초기에 설치한 본도 지하수 관정의 수질은 모두 음용수기준에 적합한 매우 양호한 수질이였다. 그러나 1992년 현재 본 도내 지하수 개발 관정은 약 3, 170개소로 무분별하게 개발하기에 이르렀고 급기야는 제주도의 동부 일부지역은 내륙부 6km지점까지 염소함량이 크게 증가하여 심지어 농업용수로도 이용하기에 불가능한 오염현상을 유발케 되었다.

따라서 본 연구는 <그림 13> <표 8~19>에서와 같이 1983~1993까지 제주도 전역을 대상으로 여러기관에서 실시한 수질분석자료를 수집하여, 제주시지역 17개공, 애월지역 13개공, 한림지역 8개공, 한경지역 13개공, 대정지역 5개공, 안덕지역 5개공, 서귀포지역 11개공, 남원지역 6개공, 표선지역 5개공, 성산지역 10개공, 구좌지역 16개공, 조천지역 5개공, 총 114개공에 대한 수질성분 중 오염인자의

중요한 요소인  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , EC성분들의 지하수 개발초기보다 그간의 변화 추세를 알아보았다.

제주시지역은 〈표8-A〉와 같이 질산성질소는 1985년대보다 1991년이후에 평균 약 1.6배 증가하였고, 식수기준치인 10ppm 이상으로 검출된 곳은 2개소(D-66, D-96)로 조사되었다. 염소이온 함량치도 계속 증가하여 1985년보다 1991년 이후부터는 약 3.6배 증가 하였으며, 식수기준치 이상으로 나타난 곳은 1개공(F-53)만 나타났다. 황산이온도 상기와 유사하게 꾸준히 증가하여 1985년보다 1991년 이후부터는 평균 약 3.7배 증가하였다.

애월지역은 〈표9-A〉와 같이 질산성질소가 1989년도보다 1992년 이후에는 평균 약 2.5배로 꾸준히 증가추세를 나타냈고, 식수기준치 이상으로 검출된 곳은 13개분석공중 2개소(W-13, W-14)였다. 염소이온과 황산이온도 개발 초기보다 증가하여 1989년보다 1992년 이후가 각각 평균 1.5배, 2.9배로 증가하였다.

한림지역은 〈표10-A〉와 같이 질산성질소가 1985년도보다 1990년 이후에는 약 4.6배로 증가하였으며, 식수기준치를 초과한 관정은 2개소(D-26, W-22)였다. 염소이온과 황산이온도 위와 유사하게 계속 증가하여 1985년보다 1990년 이후에는 각각 평균 약 2.5배와 13.3배나 증가하였고, 염소이온이 식수기준치를 초과한 지하수공은 D-182공으로 1개소 였다.

한경지역은 〈표11-A〉와 같이 개발초기보다 최근에 와서 특히 질산성질소 함량치가 뚜렷이 증가하여 1983년에 비해 1990년 이후에는 무려 15배 이상이나 증가하는 놀라운 증가경향을 보였다. 식수기준치를 초과한 지하수 관정은 총 분석공 12개공 중 42%에 해당하는 5개공(D-41, D-80, D-120, D-202, U-41)이나 되어 이 지역 하류구배 구간에 있는 지하수는 상류 구배구간에 위치하는 각종 축산단지, 중산간마을의 자연 유하식 정화조, 농경지의 유기질 비료 및 퇴비와 같은 점 및 비점 오염원으로 부터 심각하게 오염되고 있음을 의미한다. 염소이온과 황산이온도 1983년보다 1990년대 이

후에는 각각 1.6배와 2.1배 씩 다소 증가경향을 나타냈다.

대정지역은 〈표 12-A〉와 같이 1991년 이전자료가 없는 관계로 그간의 수질 변화상태를 알 수 없으나 이곳 지하수의 오염상태도 개발초기보다 최근에 와서 점차 증가하고 있음을 알 수 있으며, 질산성질소는 1992년보다 1993년도에 약 2.6배 증가하였고, 식수 기준치를 초과한 관정은 D-113공이다. 염소이온함량도 개발초기보다 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있으며, 황산이온은 1991년에는 배경수질을 보이다가 1992년에는 약 10배로 높은 증가 현상을 보였다.

안덕지역, 서귀포지역 및 남원지역은 〈표 13-A〉, 〈표 14-A〉, 〈표 15-A〉와 같다. 안덕지역은 질산성질소 함량치가 1983년도보다 1991년에 와서는 약 3.8배, 1993년도에는 16배 이상으로 증가하는 현상을 보였고, 식수 기준치를 초과한 관정은 총 분석공 5공 중 2개공(D-49, U-49)이었다. 염소이온은 1993년의 다소 증가현상을 제외하고는 년도별 뚜렷한 경향을 볼 수 없으며, 황산이온은 1983년보다 1991년 이후에는 약 37배나 증가하였다. 서귀포지역은 질산성질소 함량치가 1983년보다 1990년에는 7.8배, 1993년도에는 무려 47배나 증가하였고 식수 기준치를 초과한 관정은 총 분석공 11공 중 2개공(D-169, F-1)이었다. 염소이온과 황산이온 함량치도 1983년보다 1990년 이후에는 각각 1.4배와 5.5배씩 증가하였다. 남원지역은 질산성질소 함유량이 1989년보다 1992년 이후에는 약 2.4배 증가하였고, 식수 기준치를 초과한 지하수 관정은 2개공(D-5, W-7)이었으며, 염소이온과 황산이온 함량은 1989년보다 1992년 이후에 와서는 각각 1.8배, 11.4배나 증가하였다. 특히 이들 남부지역의 상기 수질성분들은 갈수기인 11월, 12월보다 풍수기인 8월, 9월에 높은 농도를 나타나고 있어 제주도 남부지역의 지하수체의 수질변동 양상은 강우의 영향을 민감하게 받고 있음을 알 수 있었다.

표선지역, 성산지역 및 구좌지역은 〈표 16-A〉, 〈표 17-A〉, 〈표 18-A〉와 같이 수질성분이 본 도의 서부나 남부지역보다 다른 양상을 나타내며, 특히 이지역 지하수에는 염소이온함유량이 타지역 지



하수보다 높다는 점이다. 표선지역은 질산성질소가 1983년보다 1990년 이후에 와서는 약 16.6배이상 증가하였으나 음용수 기준치를 초과한 관정은 없고, 염소이온은 1983년보다 1990년 이후에는 약 6배 증가하였으며, 식수 기준치를 초과한 관정은 2개공(D-158, W-12) 이었고, 황산이온도 개발초기보다 증가추세를 보였다. 성산지역은 질산성질소가 1989년보다 1992년 이후에 약 1.6배 증가하였고, 식수 기준치를 초과한 관정은 W-9공이며, 염소이온도 1989년보다 1992년이 약 1.3배로 약간 증가 현상을 보였으며, 식수 기준치를 초과한 지하수 공은 3개공(D-28, D-54, W-15)이었다. 구좌지역은 질산성질소가 1985년보다 1990년 이후에는 약 6.6배, 염소이온은 약 1.8배 증가했으며, 식수 기준치를 초과한 관정은 7개공(D-16, D-19, D-140, D-200, W-10, W-19, F-23)으로 총 분석공의 약 44%를 차지할 정도로 제주도 동부지역의 지하수는 전반적으로 염소이온이 타지역에 비해 월등히 높은 함량치를 보였고, 음용수 수질 기준치를 초과한 관정도 상대적으로 많은 편이다.

이는 제주도 동부지역의 지하수의 동수구배가 제주지역에서 가장 완만하고, 지하수위 등고선도 해수면과 거의 근접하며, 수리지질학적으로 서귀포층의 결층으로 지하수를 받쳐줄만한 차수층이 없으므로 담수 lens체의 두께가 G-H원리에 의거한 두께보다는 얇은 두께의 지하수 부존형태를 하고 있는 관계로 보고있다. 따라서 동부지역 지하수의 고염분함량은 담수lens가 얇은 이 지역에서 장기간의 지하수 체수로 인해 염수의 역상승(upcoming)에 의한 해수침입으로 해석된다. 그러므로 앞에서도 언급했듯이 동부지역의 지하수 보존형태는 수리지질학적으로 G-H원리가 적용되는 이상적인 기저지하수체를 이루고 있는 관계로 제주도 전체의 약 50%에 해당하는 풍부한 지하수체가 매장되어 있어 향후 지하수 개발에 좋은 조건을 갖고 있다는 일부의 조사 결과는 앞으로 더많은 조사 연구가 필요하다고 본다.

조천지역은 〈표 19-A〉와 같이 질산성질소가 1983년보다 1992년 이후 약 4.3배 증가하였고 염소이온과 황산이온도 각각 1.5배와

6배로 각각 증가하였다.

이상에서 살펴본 바와같이 제주도 전지역의 수질 오염상태가 개발 초기보다 시간이 지남에 따라 그 농도가 계속 뚜렷이 증대되고 있음을 잘 입증해 주고 있다. 이는 무엇보다도 제주도의 관광진흥 정책에 따라 급속히 신도시화 하면서 1989년 이후 연평균 280여개가 개발되는 비체제적인 지하수공들이 급격히 증가함에 따라 이지역의 지하수 함양량에 비하여 과다한 양수에 기인할 뿐만아니라 상류구배구간에 위치하는 양돈 및 목축장에서 배출되는 가축분뇨, 골프장에서 살포되는 비료 및 맹독성 농약, 대형건물등에서 배출되는 오 폐수가 파손된 하수구나 지표면에 발달된 습골을 통해 하향으로 이동하여 그 하부대수층을 오염시키기 때문으로 사료된다. 이는 한(1991)이 제시한 <표-20>과같이 1989년도 이후에 측정한 염소이온함량 자료에 의하면 1989년도 이전에 비하여 증가된 지하수관정수가 94%에 해당하며, 1979년~1980년사이 제주시 일원의 용천수와 31개의 취수정에 대한 수질검사 자료에 의하면, 암모니아성질소와 일반세균이 검출된 곳이 20%에 해당되는 6개소였다. 또한 1982년 제주도 전역 37개소의 취수정에 대한 수질검사 결과 대장균으로 오염된 곳이 46%에 해당되는 17개소였다.

1989년 제주시, 서귀포시 및 인구밀집지역의 취수정 10개소의 수질시험 결과 질산성질소가 10ppm이상 검출된 곳이 4개소였고, 일반세균과 대장균이 검출된 곳이 8개소로 나타났다는 등의 연구결과와도 잘 일치하고 있다.

이상의 위에서 언급한 결과는 국내 수질기준에 의한 결과로써 오염항목이 일반세균, 대장균 및 질산성질소에 국한된 것으로써 그러나 이들 하 폐수내에는 독성유기화합물과 세척제 및 주유소의 석유유출 등에서 배출 용해되는 맹독성 및 발암성 화학물질이 또한 포함될 수 있기 때문에 그 심각성은 우려된다고 지적하기도 하였다.

## V. 제주도 동서부지역 지하수 수질성분의 월별 변화양상

본 연구에서는 수질의 변화 양상을 파악코저 제주도 서부, 동부 및 동남부 지역의 총 30개 관정에서 정기적으로 이루어 졌다(표-21). 또한 제주도 재해대책본부에서 운영하고 있는 우량관측소의 1992년 7월~1993년 11월까지 관측자료를 서부지역(항파두리, 어음, 애월, 한림, 저지, 한경, 대정지점)과 동부지역(구좌, 송당, 성산포, 표선)으로 구분하여 수질성분의 월변화 양상을 파악하는데 이용하였다(그림 14).

(그림 15)는 애월지역 8개 관정의  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  및  $\text{NO}_3^-$  성분의 월변화(월평균치)를 나타낸 것이다. 조사기간 동안  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , 및  $\text{Cl}^-$  성분의 평균치는 10mg/L이하의 변동폭을 나타내고 있음에 비해  $\text{NO}_3^-$  성분의 경우는 약 30mg/L의 변동을 나타내어 대조를 이루고 있다. 또한, 이들 성분들의 변화양상은 강우량과 밀접한 관계를 나타내어 강우량이 많은 하절기가 동절기보다 훨씬 높은 값을 나타내고 있다. 1993년 5월~8월까지 지속된 강우의 영향으로 인하여 모든 성분들이 꾸준히 증가하고 있으며, 특히 1993년 8월에 약 490mm에 달하는 많은 비가 내림으로써 9월에는 전 성분들이 급격히 증가하고 있음을 잘 보여주고 있다.  $\text{Na}^+$  와  $\text{Cl}^-$  성분은 월변화 양상이 잘 일치하는 관계를 보이고는 있으나 증감 폭에 있어서  $\text{Na}^+$  가  $\text{Cl}^-$  보다 작은 완만한 패턴을 나타내고 있다. 한림지역(그림 16)도 전반적으로 전술한 애월지역의 경우와 유사한 경향을 나타내고는 있으나 성분들의 변동폭은 다소 작은 편이다. 한경지역(그림 17)과 같이 애월 및 한림지역의 월별 변화패턴과 동일한 양상을 보여주고는 있으나  $\text{NO}_3^-$  성분 함량이 타지역보다 높을 뿐만 아니라 계절간의 변화도 매우 뚜렷하고,  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$  변화 패턴도(1993) 서로 상이한 특징을 보여주고 있다.

질소화합물의 근원인 Nitrogen은 기권에 가스상태로 존재하고 있기 때문에 강우중에도 포함되어 있을 뿐만 아니라 토양중에는 Organic Substances로 존재하고 있어 식물생장에 필수요소가 되고

있다. 강우중에 포함되어 있는 Nirtogen Compound의 농도는 연구자들에 따라 다소의 차이는 있지만  $\text{NH}_4^+$ 는 대체로 0.1~0.2mg/L (Junge, 1963) 정도이고,  $\text{NO}_3^-$ 의 경우는 0.3~2.5mg/L (Junge, 1963)에서 12mg/L (Schoeller, 1962) 범위이다.  $\text{NO}_2^-$  농도의 경우, Schoeller(1962)는  $2.5 \times 10^{-4}$  범위라고 한데 반해 Rankama & Sahama(1960)는 1.35mg/L이상 존재한다고 보고하고 있어  $\text{NO}_3^-$ 의 경우처럼 변화폭이 넓은 편이다. 본 연구팀이 제주도 강우중의  $\text{NO}_3^-$  함량을 파악하기 위하여 1993년 5월 한경면 고산리에서 채수한 강우를 분석한 결과 1.32mg/L를 나타냈고, 한국과학재단(1993)이 1991년 9월 5일~6일 서귀포시에서 채수한 강우중에는  $\text{NO}_3^-$ 가 0.4mg/L를 나타냈는데 이를 단순 비교하면 고산지역이 약 3배가 높지만 이 값은 강우의 강도와 계절 및 기상조건 등에 따라 변화할 수 있음을 고려할 때 두지역간의 차이는 없는 것으로 보아야 할 것이다.

일반적으로  $\text{NO}_3^-$ 가 지하수 중에서 높게 검출되는 원인으로는 축산시설의 분뇨 및 오폐수, 유기질 비료 및 퇴비, 정화조의 누출, 질소질 화학비료, 생활하수 및 부패된 음식물 등으로 부터 생겨나는 Organic Nitrogen이 지하로 침투됨으로써 비롯되는 것으로 알려져 있다. 이러한 오염원으로 부터 발생한 유기질소의 변환과 운명은 지하로 침투하는 질소의 형태와 다양한 Biological Conversion에 따라 좌우되는데 대체로 유기질소는  $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$  순의 변환 과정을 밟는다. 따라서 지하수 중의  $\text{NO}_3^-$  농도는 오염원로부터 거리가 멀어질수록 점진적으로 증가하는 현상을 나타내어 하류구배에서 높은 농도의  $\text{NO}_3^-$ 가 검출되게 된다. 조사지역 일부관정들의  $\text{NO}_3^-$  성분은 동부지역에 비해 높은 농도를 나타내고 있을 뿐만 아니라, 다우기 동안이 갈수기 보다 높은 농도를 나타내고 있어 강우의 영향을 매우 민감하게 받고 있는 것으로 나타났다. 아울러, 상류구배지역 보다는 하류구배에 위치해 있는 관정들이 높은 농도를 보이고 있으며,  $\text{Cl}^-$  성분과도 비례적인 변화패턴을 보여주고 있다. 이와같

은 현상은 이 지역에 분산되어 있는 중 소규모의 양돈장으로 부터 배출되는 오폐수와 축산부산물을 이용한 유기질퇴비 등에 함유된 질소성분들이 강우시 투수성 지질구조를 통하여 빗물과 함께 지하수체로 유입됨으로써 비롯되고 있는 것으로 사료된다. 그렇지만,  $\text{NO}_3^-$  성분이 축산분뇨 및 오폐수 또는 인분에 의해 오염된 경우에는 지하수 중에서 비교적 높은 농도의  $\text{NO}_3^-$  와 함께 배변성 대장균이 검출되어야 하는데 본 연구에서는 미생물학적 연구를 실시하지 않았기 때문에 오염원을 단정할 수는 없다.

한편, 〈그림 18〉은 구좌~성산을 연결하는 기저지하수 부존지역에 위치한 9개 관정의  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  성분의 월변화(월별 평균치)이다. 조사기간동안  $\text{Ca}^{2+}$  월평균치가 5mg/L 이하의 소폭의 변화를 보이고 있으며,  $\text{Na}^+$ 의 경우는 약 10mg/L,  $\text{Cl}^-$ 은 20mg/L 정도의 변화를 보이고 있다. 그렇지만, 이들 성분들의 월별 변화는 준기저지하수가 부존하고 있는 애월, 한림 및 한경지역의 경우와는 상이한 변화패턴을 보여주고 있다. 즉, 강우량이 비교적 적은 동계에서 춘계 동안이 여름철 보다 높은 값을 나타내어 강우량과는 대체로 반비례적인 관계를 보여주고 있다. 서부지역의 거의 모든 관정들이 1993년 9월에 최대치를 나타내고 있는 현상과는 달리 동부지역 관정들은 감소국면을 나타내고 있어 동 서부지역 지하수 환경이 상이함을 잘 보여주고 있다. 더우기 1993년 8월에 동부지역 강우량이 4개소 평균 750mm로 서부지역보다 무려 약 260mm의 비가 더 내렸음에도 불구하고  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  및  $\text{Cl}^-$  성분들이 1993년 2월~3월 보다 낮은 값을 보여주고 있는 것은 강우와 기저지하수체의 활발한 혼합작용에 의한 희석효과에 기인하는 것으로 해석된다. 이러한 수질특성은 이지역의 지하지질 및 수위변동 특성 과도 잘 일치하고 있는 것이다. 즉, 동부지역에는 지하에 저투수성의 서귀포층이 결층으로 인하여 지하수의 저장과 해수유입을 차단시켜 줄만한 차수층이 빈약하기 때문에 연간 지하수로 함양되는 747백만  $\text{m}^3$ (한국수자원공사, 1993)의 강우가 기저지하수체와 활발히 혼합됨으로써 지하수위(해

수면기준)가 서부지역 보다 낮을 뿐만 아니라 연중 변동폭도 미약한 특징을 나타내고 있는 것으로 해석된다.

## Ⅶ. 앞으로의 과제

물은 흔하기 때문에 무한자원으로 잘못 인식되어 손만 벌리면 어디서나 쉽게 얻어지는 것으로 생각하였고 소홀히 다루어진 결과 오늘날 세계 곳곳에서는 고도의 산업화와 도시화에 따른 수량과 수질 문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다.

우리 제주섬도 1970년대 이후, 제주도의 생활환경은 우리나라 어느지역보다 발전 속도가 빨랐고, 세계적인 관광지 개발을 위한 의욕이 맞물리어 생활용수의 수요가 급증함에 따라 지하수가 각종 오염원에 의해 수질 오염이 뚜렷이 증가하고 있다. 이러한 변화의 결과 최근 지하수 부족현상은 물론 지하수의 오염문제가 제주도민의 생활 문제로 대두되고 있다. 앞으로 제주도의 총인구가 62만여명으로 예상되는 시기 2, 000년에는 하루 약 700, 000m<sup>3</sup>이상의 용수가 필요할 것으로 예측하고 있으며, 약 5, 000공 이상에 달하는 개발공들이 난립하여 막대한 양의 지하수를 뽑았으로써 지하수위의 급격한 강하를 비롯한 해안지역의 해수침입, 지하수 수질의 극심한 오염화, 해안면 용출수의 고갈 및 용출량 감소 등의 가속화로 제주 지하수가 지하폐수로 둔갑해 버리는 극단적인 상황이 전개될지도 모른다.

미국을 비롯한 선진국들은 지하수 자원을 사전에 잠재오염원으로부터 철저히 예방하면서 이를 최적 상태로 개발 이용하기 위한 지하수 오염물질의 이동에 따른 수동역학적 거동, 오염물질의 종류, 오염진행방향, 오염된 지역에서의 수리전도도의 공간적 변화가 오염물질의 확산에 미치는 영향등과 같은 수리지질, 지구물리 및 환경 등 여러분야에 걸쳐 활발하게 조사 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

따라서 제주도 지하수의 장기적이고 안정적인 공급을 위해 대수층

의 정확한 규격 및 지하수의 분포상태, 부존량 및 오염정도를 보다 체계적이고 정량적으로 파악하여 용수 개발 계획을 수립하여야 한다. 또한 각종 하 폐수와 쓰레기매립장의 침출수, 파손된 하수구 및 숨골의 위치와 규모 등 점 오염원과 비점오염원에 대한 지하수 오염상태가 파악되어 적절히 처리되어야 한다.

기존지하수 관정중에 질산성질소의 함량치가 높게 나타나는 관정에 대해서는 그 오염원이 상류구배구간에 위치하는 축산시설의 분뇨 및 중산간마을의 생활하수에서 비롯된 것인지, 아니면 관정 주변 농경지의 질소비료 및 퇴비에 의한 것인지 그 오염원을 밝혀야 할 것이다.

지하에 지하수가 어느지역에 어떤 형태로 부존되어 있고 지하에서 어떤형태로 이동하고 있는지를 나타내는 보다 체계화된 수리지질도가 작성되어야 하며 고도별 지역별로 안배된 측정이 가능한 모니터링 관정을 대상으로 분기별로 수위관측, 수질분석 및 양수시험 등을 통해 이들 자료를 근거로 채수량조절, 채수시간대 조절, 수역별 지하수개발 한계량을 설정하며, 과잉양수로부터 야기되는 해수침입에 의한 지하수오염과 하 폐수나 쓰레기 매립에 의해서 야기되는 지하수 오염범위도 지속적으로 조사 감시하여야 한다.

제주도의 지하수 및 수자원 조사와 개발이 농어촌진흥공사, 한국수자원공사등 여러 기관에 의해 각기 다른 방향에서 추진되고 있어 개발방향의 다원화, 통계자료의 상이성, 상호자료 교환의 불충분 등의 문제가 발생하고 있는바 조속한 시일내에 개발 및 관리체제를 단일화하여 개발방향의 일관성을 기하고 인력의 낭비를 방지해야 한다.

또한 지하수는 그 수온이 17℃내외인 바 농작물 생육에는 적당치 못하므로 지하수중심의 농업용수개발은 지표수를 통해 유출 증발되고 있는 연간 약 19억톤 정도의 막대한 지표수를 중산간 지역에 중소규모의 저수지를 시설하여 농업 및 공업용수로 적극 활용함과 동시에 현재 Guam도의 전체면적의 약 46%에 해당하는 지역을 대수층 보호지역으로 지정한것처럼 본 도의 중산간지역은 강우량이 많고 지하

수 함양지역이며, 토지이용이나 개발정도가 미미한한치 이 지역을 수자원 보호구역으로 설정하여 이 구역내에서 골프장, 축산단지, 각종 쓰레기매립장 및 유해물질의 처분 처리 취급업체와 같은 잠재오염원을 다루는 시설물 설치나 기타 오염을 유발할 수 있는 개발사업이나 토지이용계획을 강력히 규제 제한해야 할 것이다.

전술한 바와같이 제주도 지하수자원은 지표오염원에 대해 오염취약성이 매우 큰 압중으로 구성되어 있고, 대수층이 일단 오염되면 오염물질이 대수층내에서 반영구적으로 잔존해 있게된다. 따라서 제주도의 장기적인 수자원 보호대책을 수립키 위해서는 도내에 산재해 있는 잠재오염원에 대한 세부적인 조사와 제주도 특유의 오염유형별 특성조사가 시행되어야 한다. 이를 위해 도내에 지역별, 고도별, 용도별로 선정된 지하수 관리망(지하수위 및 수질관리망)등과 같은 지하수에 대한 기본적인 조사가 지속적이고 광역적으로 이루어져 도내 지하수 전반에 걸친 많은 자료의 축적과 데이터베이스(Data base)화 하여야 할 것이다.

과잉 양수등에 의한 이미 해수가 침입된 지역은 기존 지하수관정을 폐공시킬 것이 아니라 풍수기에 유출되는 지표수를 대수층내로 주입시킬 수 있는 주입정으로 전환하는 방법과, 성산, 구좌지역과 같이 광범위하게 해수의 영향을 받는 지역은 충진용 저수지를 축조하여 풍수기에 자연유출되는 지표수를 일단 저수시키고 그 수두차를 이용하여 오염된 대수층을 자연정화시키는 방법도 고려해 봐야한다.

또한 지방정부, 수자원관련기관, 대학연구소 및 시민단체들과 공동으로 제주도의 수자원을 관리하고 조사 감시할 수자원위원회가 빠른 시일내에 설립되어 제주도 지하수 관리정책을 효율적으로 운영하여야 할 것이다. 아울러 섬지방의 지하수는 그 개발 가능량이 한도가 있기 때문에 제주도 지하수 자원전반에 대한 정확한 진단이 먼저 이루어지기 전 까지는 본 도의 지하수를 생수시판과 같은 상업목적으로 지하수를 개발하는 행위는 엄격히 규제되어야 한다.



<표-1> 표고별 지하수 분포

표고(m) 지구(공수)		0 ~ 50	50.1 ~100	100.1 ~150	150.1 ~200	200.1 ~250	250.1 이상	계
동 부 지 구	구좌읍	12	10	2	1			25
	성산읍	6	4					10
	표선면	4	4	4				12
	총 계	22	18	6	1			47
	%	46.8	38.3	12.3	2.1			100
서 부 지 구	한경면	31	6	3				40
	대정읍	42	19	1				62
	한림읍	8	2	4			1	14
	총 계	81	27	8			1	116
	%	69.8	23.3	6.9			0.9	100
남 부 지 구	서귀포시	4	7	8	10	3	2	34
	남원읍	4	7	7	2			20
	안덕면	5	4	4	3			16
	총 계	13	18	19	15	3	2	70
	%	18.6	25.7	27.1	21.4	4.3	2.9	100
북 부 지 구	제주시	8	18	19	3	2	1	51
	애월읍	13	13	5	2			33
	조천읍	12	2	3	1			18
	총 계	33	33	27	6	2	1	102
	%	32.4	32.4	26.5	5.9	2.0	1.0	100

<표-2> 표고별 양수량 변화표

표고 단위 지역별	50m이하( $m^3/일$ )		50.1~100m( $m^3/일$ )		100.1~150m( $m^3/일$ )		150.1m이상( $m^3/일$ )		총 계( $m^3/일$ )						
	공수	총양수량	평균양수량	공수	총양수량	평균양수량	공수	총양수량	평균양수량	공수	총양수량				
제주시	6	9,362	1,560.3	15	22,746	1,516.4	16	20,948	1,309.3	6	6,000	1,000	43	59,056	5,386.0
서귀포시	6	9,133	1,551	9	13,577	1,508.6	5	6,370	1,274.1	15	16,607	1,107.1	35	45,687	5,440.8
예천읍	14	22,775	1,626.8	12	14,892	1,241	8	8,900	1,112.5	2	2,200	1,100	36	48,767	5,080.3
한림읍	9	15,146	1,682.9	3	4,437	1,479	6	7,680	1,280	1	800	800	19	28,063	5,241.9
한경면	32	70,170	2,192.8	9	9,100	1,011.1	5	5,300	1,060				46	84,570	4,263.9
대정읍	47	84,890	1,806.2	18	30,127	1,673.7	2	2,200	1,100				67	117,217	4,579.9
안덕면	5	10,707	2,141.4	3	4,479	1,493	4	4,580	1,145	3	3,200	1,066.7	15	22,981	5,846.1
남원읍	4	7,040	1,760	10	14,785	1,478.5	7	8,560	1,222.9	3	3,100	1,033.3	24	55,310	5,494.7
표선면	4	5,890	1,472.5	6	6,478	1,079.7	3	3,110	1,036.7				13	15,478	3,588.9
상산읍	6	10,445	1,740.8	5	5,669	1,133.8	1	1,000	1,000				12	17,114	3,874.6
구좌읍	8	15,181	1,897.6	10	14,000	1,400	2	2,000	1,000	1	1,105	1,105	21	32,286	5,402.6
조천읍	12	25,992	2,166	4	5,400	1,350	2	2,230	1,115	1	967	967	19	34,589	5,598
계	153	286,731	1,874	104	145,690	1,400.9	61	72,878	1,194.7	32	33,979	1,061.8	350	561,118	1,603.2

&lt;표-3&gt; 체수량별 지하수 분포

체수량( $\text{m}^3/\text{m}^2$ ) 지구(공수)		150 ~ 1000	1000.1 ~ 1500	1500.1 ~ 2000	2000.1 ~ 2500	2500.1 ~ 3000	3000.1 이상	계
동 부 지 구	구 최 읍	6	8	4	2	1	1	22
	상 산 읍	1	3	5	1			10
	표 선 면	3	5	1	2			11
	총 계	10	16	10	5	1	1	43
	%	22.7	36.4	22.7	11.4	2.3	2.3	100
서 부 지 구	한 겹 면	6	12	8	13	3	5	47
	대 정 읍	8	16	23	12	2		61
	한 립 읍	3	5	6	2			16
	총 계	17	33	37	27	5	5	124
	%	13.7	26.6	29.8	21.8	4.03	4.03	100
남 부 지 구	서귀포시	14	16	2	1			33
	남 원 읍	5	10	4	2			21
	안 덕 민	6	6	3	2	1		18
	총 계	25	32	9	5	1		72
	%	34.7	44.4	12.5	6.9	1.4		100
북 부 지 구	제 주 시	11	20	10		1		42
	애 월 읍	6	17	8	2			33
	조 천 읍	5	6	2	3	3	1	20
	총 계	22	43	20	5	4	1	95
	%	23.2	45.3	21.1	5.3	4.2	1.1	100

&lt;표-4&gt; 절대수위가 해수면 이하인 지하수 분포

지구명	공 번	지역명	표 고 (m)	심 도 (m)	자연수위 (m)	안정수위 (m)	절대수위 (m)	강 하 령 (m)	채 수 량 (m <sup>3</sup> /D)
동부지구	F-32	표 신	81	114	85	96	- 4	11	1500
	F-34	함 덕	60	87	64.5	78	- 18	13.5	1500
	W-10	삼 도	28.17	50	29.75	29.80	- 1.58	0.05	3308
	D-30	은 평	32	50	32.4	33.65	- 0.4	1.25	1552
	D-37	세 화	63	95	64.0	64.5	- 1.0	0.5	1140
	D-69	수 신	97.5	132	127.47	128.0	- 30.47	0.5	1100
	D-132	함덕2	34.5	55	36.0	37.0	- 1.5	1.0	2000
	D-140	김녕2	30	60	34.5	39.0	- 4.5	4.5	2030
	D-152	삼 도	35	60	37.5	43.6	- 2.5	6.1	1805
	D-158	표 신	42	61	41.8	46	0.2	4.2	2060
	D-203	평 대	65	90	190.4	207.0	- 2.0	5.0	1200
서부지구	F-38	신 도	25	80	27.5	36.0	- 2.5	8.5	1700
	F-46	귀 덕	40	72	42	54	- 2.0	12.0	1000
	D-9	두 모	13.26	85	35	36.6	- 21.74	1.6	1754
	D-56	신 도	39	100	37.9	45.0	- 7.9	45	1040
	D-83	신 도	10	82	18.0	20.0	- 8.0	2.0	1660
	D-86	고산3	15	80	24	40	- 9.0	15	2290
	D-99	무릉3	36.5	112	42.4	46.7	- 5.9	4.3	1500
	D-103	신도4	35	122	35	90	0	55	2000
	D-121	신도5	10	80	12	20	- 2.0	8	2160
	D-180	고산13	25	110	26	31	- 1.0	5	2000
	D-182	수원2	12	70	12	15	0	3	2000
	D-192	신도8	34	120	38.4	91	- 4.4	52.6	1500
	D-207	신 도	23.5	100	24.0	61.0	- 0.5	37	1500
북부지구	D-141	예월2	31	60	32.3	33.0	- 1.3	0.7	2030
	D-163	신 흥	15	60	19.5	44	- 4.5	24.5	1500
	D-220	대 읍	107	141	113.0	120.0	- 6.0	7.0	1000

<표-5> 조수위 영향조사

지구명		공 번	지 역	최소(m)	최대(m)	변화폭(m)	해안에서의 거리(km)
1	신촌지구	D-189	신 촌	44.247	44.430	0.183	0.9
		W-5	삼 양	30.920	30.998	0.078	1.0
		D-52	신 촌	29.646	29.769	0.123	1.82
2	애월지구	D-96	이 호	20.531	20.568	0.037	0.85
		79-4	월 산	70.303	74.450	0.147	3.1
		D-66	연 동	92.062	92.532	0.470	4.5
3	한림지구	D-128	협 재	16.333	16.416	0.083	1.1
		W-1	동 명	16.103	16.144	0.041	1.44
		F-27	해아미	101.909	101.944	0.035	3.9
4	고산지구	D-80	고 산	16.715	16.748	0.033	0.9
		F-29	조 수	47.855	47.911	0.056	4.1
		D-74	청 수	57.222	57.261	0.039	6.2
5	대정지구	D-113	일 과	7.880	8.170	0.290	0.75
		D-107	보 성	33.585	33.600	0.015	3.72
		D-197	신 평	34.031	34.093	0.062	4.93
6	표선지구	D-31	하 천	38.373	38.499	0.126	1.6
		D-259	하 천	65.729	65.800	0.071	3.92
		D-20	성 읍	121.862	121.918	0.056	7.54
7	성산지구	D-28	고 성	26.623	26.853	0.230	1.76
		D-124	수 산	27.017	27.169	0.152	2.45
		D-69	수 산	107.816	107.899	0.083	7.5
8	구좌지구	W-10	상 도	25.466	25.705	0.239	1.92
		D-203	평 대	65.119	65.238	0.119	3.1
		D-50	송 당	140.552	140.635	0.083	9.52

〈표-6〉 동·서부지역 지하수의 부존형태 분석표

Region	No.	Well No.	Local name	Ground EL.(m)	Total Depth(m)	Natural water level(m)	Dynamic water level(m)	Static water level(m)	Yield (m <sup>3</sup> /D)	Salinity(ppm)		Distance from sea(m)
										Primary	Secondary	
Eastern	1	D-140	KeumYoung	30	60	34.5	39	-4.5	2,030	266.7	262.4	1,000
	2	D-124	Soosan 2	25	51	27.3	33	-2.3	1,650	210	198.4	2,100
	3	D-31	Hachun	50	80	39.6	39.9	10.4	1,598	256.9	272.5	2,300
	4	D-148	Toosan	112	140	104	120	8	1,313	106	141	3,500
	5	W-28	Kasee	100.9	104.5	85.2	91	15.7	838	76.4	60	4,800
	6	W-20	Whajeon	74	82	72.4	73	1.6	1,052	105	95	5,600
	7	D-20	Seungub	129.5	143	116.8	116.9	12.7	1,707	67	78.6	6,800
	8	D-42	Deukchun 1	150	174	131	144	19	1,000	57.6	49	7,500
	9	D-50	Songdang	200	200	140	151	60	1,105	55.6	64	10,000
Western	1	D-81	Youngrak 1	20	130	11.8	33	8.2	1,615	34.6	32.4	700
	2	U-42	Kosan	16.8	128	14.1	22.1	2.7	2,500	19	18.6	1,000
	3	D-142	Mooreung	30	110	30	85	0	1,300	22.5	21.7	2,100
	4	D-103	Sindo 4	35	122	35	90	0	2,000	25.3	28.1	2,700
	5	D-147	Mooreung 8	38	114	22	38	16	1,802	15.4	20.6	3,600
	6	D-146	Mooreung 7	56	120	44	75	12	1,503	17.8	20.2	4,300
	7	D-52	Josoo	70	125	39.5	60	30.5	900	24.3	27.2	6,400
	8	D-21	Jeugee	120.8	187	89.2	94	31.6	1,297	21.6	29.4	9,000
	9	D-94	Meungleedong	142	210	87	141.5	55	1,500	12.4	22.6	10,200

<표-7A> 장기수위 관측현황

지구명	공번	지역	영조수위 (m)	년				월				일				일				수위 단위 (m)
				4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	
제주	W-5	삼양	23.5	상하 31.2 (7.7)	상하 31.1 (7.5)	상하 30.1 (6.6)	상하 28.3 (4.8)													6.4
	D-127	봉개	122		138.5 (16.5)	138.0 (15.2)	137.8 (15.5)	137.5 (14.0)	132.1 (10.1)											14.7
	D-66	연동	89.8		93.5 (3.7)	93.9 (4.1)	94.0 (4.2)	93.7 (3.9)	92.6 (3.8)	91.9 (2.1)	90.8 (1.0)									3.2
	D-167	연동3	95.0		115.1 (20.1)	115.2 (20.9)	115.9 (22.6)	117.6 (23.2)	117.9 (22.9)	116.8 (21.8)	116.5 (21.5)	110.2 (15.2)	100.6 (5.6)	98.8 (3.8)						13.2
제주	D-154	월산3	86.0		89.1 (3.1)	89.0 (3.0)	88.4 (2.4)	87.9 (1.9)	87.6 (1.6)	86.2 (0.2)										1.9
	D-110	월산2	83.5		83.7 (0.2)	83.6 (0.1)														0.2
제주	W-14	동귀	22.1		24.9 (2.8)	24.9 (2.8)	24.9 (2.5)	24.6 (2.4)	23.5 (1.7)											2.4
	D-34	장진	109.5		116.4 (6.9)	116.2 (6.6)	116.1 (6.8)	115.3 (6.3)	112.8 (2.1)											5.6
	D-7	와물	110.8		111.3 (0.5)	111.1 (0.3)	111.0 (0.2)	111.0 (0.3)	113.1 (2.1)	113.2 (2.4)										0.9
	F-23	동귀년	43.0		45.8 (2.8)	45.9 (2.9)	45.8 (2.8)	45.7 (2.7)	45.6 (2.6)	45.7 (2.7)	45.2 (2.3)	45.8 (2.8)	45.9 (2.9)							2.7
제주	D-28	고성	27.2		27.6 (0.4)	27.7 (0.5)														0.5
	D-69	수신	107.5		108.1 (0.6)	108.0 (0.7)	107.6 (0.5)	107.9 (0.4)	107.9 (0.4)											0.5
	D-31	하천	37.68		40.0 (2.32)	40.2 (2.52)	40.4 (2.72)	39.8 (2.12)	39.0 (1.32)	39.9 (2.22)	39.7 (2.02)	39.9 (2.22)	39.4 (1.72)	39.9 (2.22)						2.2
	D-20	성읍	116.8		122.7 (5.9)	122.7 (5.9)	122.8 (6.0)	120.7 (3.9)	119.9 (3.1)	121.7 (4.9)	122.6 (5.8)									4.6

총평균 = 7.5

총평균 = 4.0

총평균 = 3.4

&lt;표-7B&gt; 장기수위 관측현황

지구명	공 변	지 역	당 주 위 (m)	연				월				수				월 (1993. 4 ~ 11월)				수 위 강하량 (m)
				4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	
남 부 지 구	시	P-1	원리봉	상 하 41.2 41.3 41.5 (20.3) (20.4) (20.6)	상 하 39.9 40.2 38.6 (19.0) (19.3) (17.7)	상 하 37.5 37.5 37.5 (16.6) (16.6) (16.6)	상 하 37.5 37.5 37.5 (16.6) (16.6) (16.6)													19.1
		D-101	호 근	78.2 (25.2)		78.4 77.7 76.9 (25.4) (24.7) (23.9)	70.1 61.6 (17.1) (8.6)													20.3
	포	D-108	서용3	19.7 (4.8)	20.1 (5.2)	19.9 18.6 17.8 (5.0) (3.7) (2.9)														4.3
		D-125	토 평				46.6 45.2 (5.6) (4.2)													4.9
	D-169	예 려	32.0	36.9 36.9 37.3 (4.9) (4.9) (5.3)	37.2 37.3 36.9 (5.2) (5.3) (4.9)	37.1 36.9 36.9 (5.1) (4.9) (4.9)	36.9 36.5 36.8 36.9 (4.9) (4.5) (4.8) (4.9)					총평균 = 10.8								5.0
동 부 지 구	안	D-138	화 순	30.3 30.1 30.0 (5.4) (5.2) (5.1)	29.1 28.3 27.3 (4.2) (3.4) (2.2)	27.3 27.1 27.1 (2.2) (2.2) (2.2)														4.0
		F-64	갈 산	64.8 64.5 64.2 (0.8) (0.5) (0.2)	65.2 65.3 64.9 (1.2) (1.3) (0.9)	64.6 64.7 64.1 (0.7) (0.7) (0.1)						총평균 = 2.4								0.7
	남	D-5	의 거	63.7 63.8 63.5 (4.1) (4.2) (3.9)	63.7 63.1 63.4 (4.1) (3.5) (3.8)	62.9 62.9 62.9 (3.8) (3.3) (3.3)														3.9
		D-70	수 망		122 121.7 121.2 (7.5) (7.2) (6.7)	117.7 118.1 118.1 (3.2) (3.6) (3.6)						총평균 = 4.8								5.6
	관	D-80	고산2	17.6 17.6 18.6 (2.3) (2.3) (3.3)	17.4 17.2 17.1 (2.1) (1.9) (1.8)	16.7 16.5 16.1 (1.4) (1.2) (0.8)														1.9
서 부 지 구	대	D-81	영 학	11.4 11.6 11.8 (0.3) (0.5) (0.7)	11.9 11.4 11.2 (0.8) (0.3) (0.1)															0.5
		W-1	등 평	16.8 17.1 17.4 (0.8) (1.1) (1.4)	16.6 16.4 16.2 (1.5) (0.6) (0.4)															0.9
	D-137	대 립	21.5	22.2 22.0 22.4 (0.7) (0.5) (0.9)	22.2 21.9 21.6 (0.7) (0.4) (0.1)	21.9 21.6 21.9 (0.4) (0.1) (0.1)						총평균 = 0.7								0.5



<표-8A> 제주시 지구  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1983	1985	1989	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (ppm)	1.4 (1공)	1.08 (3공)	0.33 (2공)	0.85 (1공)	1.29 (10공)	1.66 (16공)	2.10 (16공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	7.3 (1공)	10.0 (3공)	14.2 (2공)	12.2 (1공)	20.45 (10공)	27.93 (16공)	31.36 (16공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	불검출 (1공)	2.02 (3공)	2.0 (2공)	2.4 (1공)	5.46 (10공)	6.62 (16공)	10.60 (16공)

<표-9A> 예월읍 지구  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1985	1989	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (ppm)	0.34 (2공)	1.89 (11공)	2.85 (2공)	2.8 (1공)	4.12 (13공)	5.25 (13공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	11.15 (2공)	12.58 (11공)	12.85 (2공)	18.4 (1공)	17.49 (13공)	21.02 (13공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	불검출 (2공)	2.11 (11공)	3.25 (2공)	6.6 (1공)	5.18 (13공)	7.12 (13공)

<표-10A> 한림 지구  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1985	1989	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (ppm)	0.82 (2공)	1.55 (2공)	2.15 (2공)	3.47 (3공)	3.69 (8공)	5.6 (8공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	13.0 (2공)	15.8 (2공)	17.2 (2공)	40.73 (3공)	34.04 (8공)	38.05 (8공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	0.63 (2공)	2.85 (2공)	1.5 (2공)	7.57 (3공)	10.63 (8공)	13.85 (8공)

<표-11A> 한경 지구  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1983	1985	1989	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (ppm)	0.48 (2공)	0.42 (1공)	2.55 (2공)	5.8 (3공)	6.91 (7공)	7.01 (12공)	9.13 (13공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	15.75 (2공)	16.4 (1공)	20.03 (3공)	23.6 (2공)	24.06 (7공)	23.84 (12공)	30.77 (13공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	4.1 (2공)	1.11 (1공)	2.85 (2공)	8.33 (3공)	7.69 (7공)	7.43 (12공)	11.35 (13공)

<표-12A> 대전 지구  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^-$ -N (ppm)	0.2 (1공)	3.09 (5공)	8.06 (5공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	8.5 (1공)	15.84 (5공)	20.52 (5공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	불검출 (1공)	10.68 (5공)	14.28 (5공)

<표-13A> 안덕지구  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1983	1985	1989	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^-$ -N (ppm)	0.43 (2공)			0.4 (1공)	3.7 (3공)	1.87 (3공)	7.18 (5공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	18.5 (2공)			10.0 (1공)	14.63 (3공)	14.3 (3공)	21.98 (5공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	0.22 (2공)			6.0 (1공)	5.7 (3공)	6.82 (3공)	12.48 (5공)

<표-14A> 서귀포지구  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1983	1986	1989	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^-$ -N (ppm)	0.11 (3공)	0.85 (2공)		0.86 (4공)	2.18 (4공)	3.61 (11공)	5.12 (11공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	7.73 (3공)	9.4 (2공)		8.43 (3공)	11.03 (4공)	11.36 (11공)	13.45 (11공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	불검출 (3공)	3.3 (2공)		0.83 (4공)	1.64 (4공)	4.52 (11공)	5.49 (11공)

<표-15A> 남원 지구  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1985	1989	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^-$ -N (ppm)		2.3 (2공)	0.6 (2공)	2.1 (3공)	3.92 (6공)	7.3 (6공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)		12.2 (2공)	11.35 (2공)	6.7 (3공)	13.05 (6공)	15.52 (6공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)		0.3 (2공)	2.2 (2공)	3.53 (3공)	2.93 (6공)	3.9 (6공)

<표-16A> 표선 지구  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1983	1984	1985	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (ppm)	0.03 (2공)	0.1 (2공)	0.29 (2공)	0.5 (3공)	2.1 (1공)	1.21 (5공)	2.08 (5공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	18.6 (2공)	19.5 (2공)	19.25 (2공)	141.7 (3공)	12.4 (1공)	115.66 (5공)	175.08 (5공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	불검출 (2공)	2.7 (2공)	불검출 (2공)	21.17 (3공)	2.8 (1공)	16.6 (5공)	27.14 (5공)

<표-17A> 성산 지구  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1983	1985	1989	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (ppm)	0.25 (2공)	0.1 (1공)	1.59 (6공)	1.35 (3공)	2.56 (8공)	4.38 (10공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	115.75 (2공)	40.1 (1공)	61.8 (6공)	59.2 (3공)	79.91 (8공)	93.65 (10공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	10.35 (2공)	2.61 (1공)	4.55 (6공)	9.20 (3공)	14.43 (8공)	16.2 (10공)

<표-18A> 구좌지구  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

년도 항목(공수)	1983	1985	1989	1990	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (ppm)	0.13 (2공)	0.13 (4공)	1.2 (2공)	0.86 (4공)	1.0 (4공)	1.49 (15공)	2.61 (16공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	85.55 (2공)	51.98 (4공)	107.75 (2공)	204.83 (4공)	157.45 (4공)	127.95 (15공)	140.03 (16공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	2.47 (2공)	4.58 (4공)	11.95 (2공)	24.79 (4공)	16.18 (4공)	16.2 (15공)	23.77 (16공)

<표-19A> 조천 지구  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분의 년도별 변화표

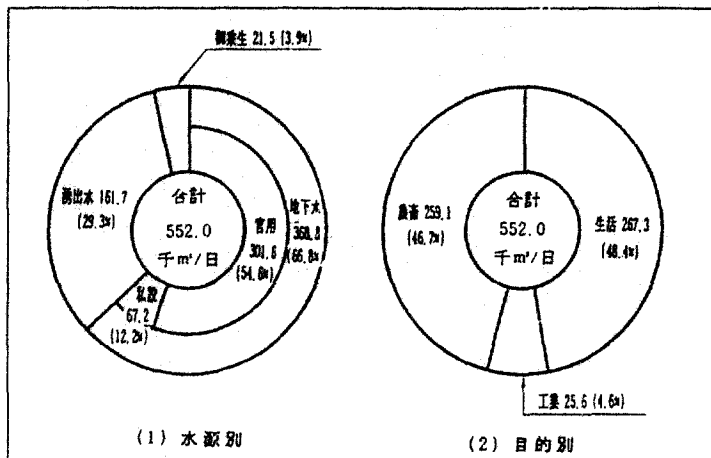
년도 항목(공수)	1983	1985	1989	1991	1992	1993
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (ppm)	0.47 (2공)	0.52 (1공)		2.4 (1공)	2.0 (5공)	5.0 (5공)
$\text{Cl}^-$ (ppm)	15.17 (2공)	37.2 (1공)		11.0 (1공)	14.24 (5공)	17.48 (5공)
$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	1.35 (2공)	1.9 (1공)		4.2 (1공)	8.12 (5공)	15.9 (5공)

**<표-20>** 지역별 염소이온 함량의 평균 증가량(From Hans Eng.,1991).

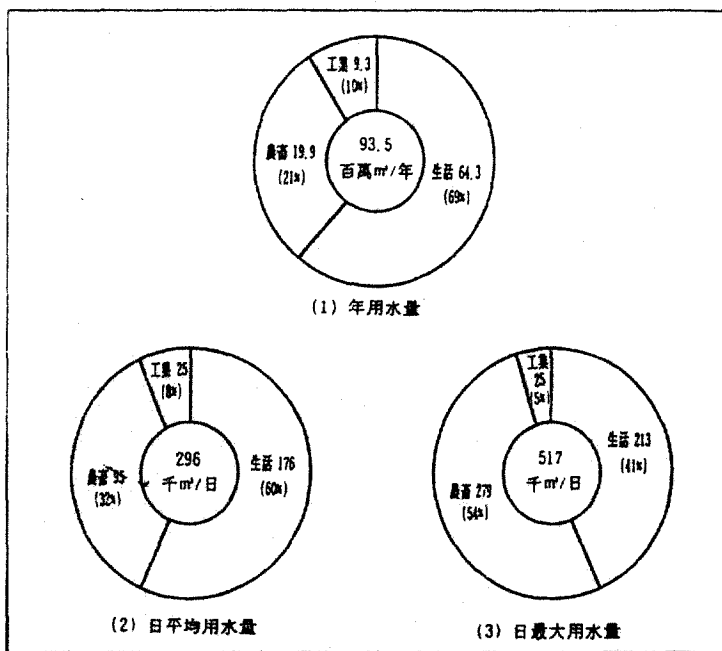
내용		염소함량변화(mg/l)			농도증가
지 역		89년이전	89년	증가량	지점의%
북 제 주		99.66	244.61	135.01	96.3
	구좌	228.5	550.18	393	100
	애월	30.71	107.81	65.55	100
	조천	54.73	137.45	80.15	90.91
	한경	123.8	150.64	85.17	85.71
	한림	39	233.7	74.29	100
남 제 주		89.74	163.48	110.19	88.9
	남원	32.53	64.5	24.9	100
	대정	66.8	105.46	42.27	100
	성산	176.13	419.33	288.1	87.5
	안덕	59.67	85.71	43.40	80
	표선	141.13	81.40	-25.05	75
제 주 시		45.22	102.22	68.44	100
서귀포시		28.44	84.14	62.8	80
전 체		84.17	183.86	114.46	94.12

<표-21> 제주도 동·서부지역 지하수공의 시추내역표

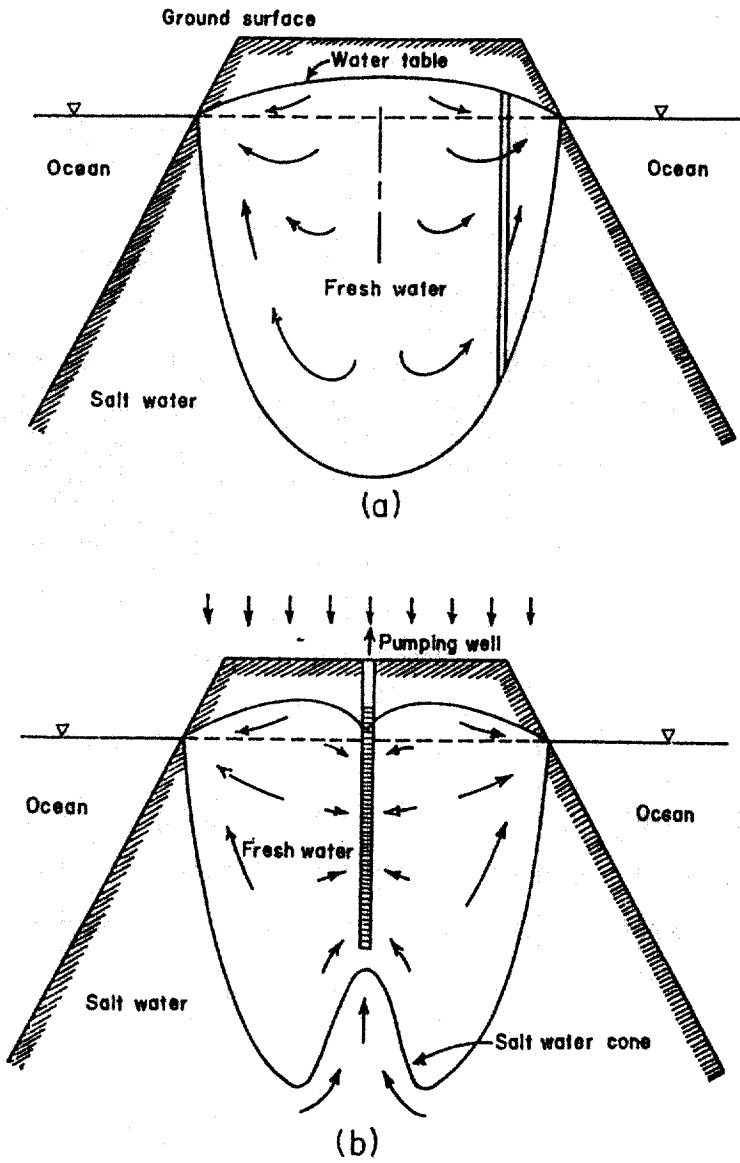
Area (Well No.)		Elevation (m)	Depth (m)	EL. Depth (m)	Water Level (m)	EL. Water Level (m)	Distance from Sea (Km)	Reference No.
Aewol	Aewol (W-16)	9.35	26.00	-16.65	8.00	1.35	0.50	6
	Susan (W-13)	65.10	72.00	- 6.90	53.50	11.60	1.57	3
	Napup (D-46)	87.00	112.00	-25.00	73.53	13.50	3.20	7
	Sangga (D-18)	88.00	117.00	-29.00	73.53	14.47	2.12	5
	Bongsong (F-33)	110.00	150.00	-40.00	99.90	10.10	3.80	8
	Jangjon (D-34)	124.20	140.00	-15.80	116.40	7.80	3.70	4
	Kosong (D-212)	135.40	160.00	-24.60	121.70	13.70	3.30	2
	Kwangyong (D-218)	188.10	201.00	-12.90	118.20	69.90	4.20	1
Hallim	Kumnung (D-65)	15.40	34.50	-19.10	15.00	0.40	0.60	12
	Daerim (D-51)	25.00	55.00	-30.00	23.80	1.20	1.25	9
	Dongmyong (D-33)	122.50	153.60	-31.10	112.80	9.70	3.50	10
	Sangmyong (D-213)	142.80	180.00	-37.20	128.80	14.00	4.55	11
	Kumak (D-230)	295.00	320.00	-25.00	252.00	43.00	8.05	15
Hagyang	Kosan (D-120)	20.00	80.00	-60.00	12.50	7.50	0.62	19
	Kosan (U-39)	25.00	85.70	-60.70	17.80	7.20	2.00	18
	Panpo (D-41)	35.30	61.00	-25.70	11.57	23.73	2.10	13
	Josu (D-52)	74.00	125.00	-51.00	42.30	31.70	4.80	14
	Sanyang (D-35)	89.40	102.00	-12.60	52.20	37.20	6.25	17
	Myongidong (D-94)	136.00	210.00	-74.00	108.80	27.20	8.15	16
Daejong	Shindo (D-56)	30.00	100.00	-70.00	37.90	-7.90	1.75	20
	Bosong (W-30)	38.90	47.60	- 8.70	17.30	21.60	4.50	21
Kujwa	Hangdong (D-12)	48.60	70.00	-21.40	48.10	0.50	2.50	26
	Woljong (D-19)	56.00	80.00	-24.00	55.17	0.83	2.10	29
	Dongbok (D-211)	59.90	86.00	-26.10	58.40	1.50	2.97	30
	Haengwon (A-2)	85.00	120.00	-35.00	77.00	8.00	3.27	28
	Sangdo (A-3)	86.00	120.00	-34.00		86.00	5.20	25
	Dukchon (D-42)	135.00	171.00	-36.00	131.70	3.30	6.75	27
Songsan	Sandol (W-9)	67.70	80.00	-12.30	65.40	2.30	2.50	22
	Nansan (D-194)	88.30	102.00	-13.70	87.00	1.30	3.50	23
	Susan (D-69)	109.20	130.00	-20.80	108.10	1.10	5.50	24



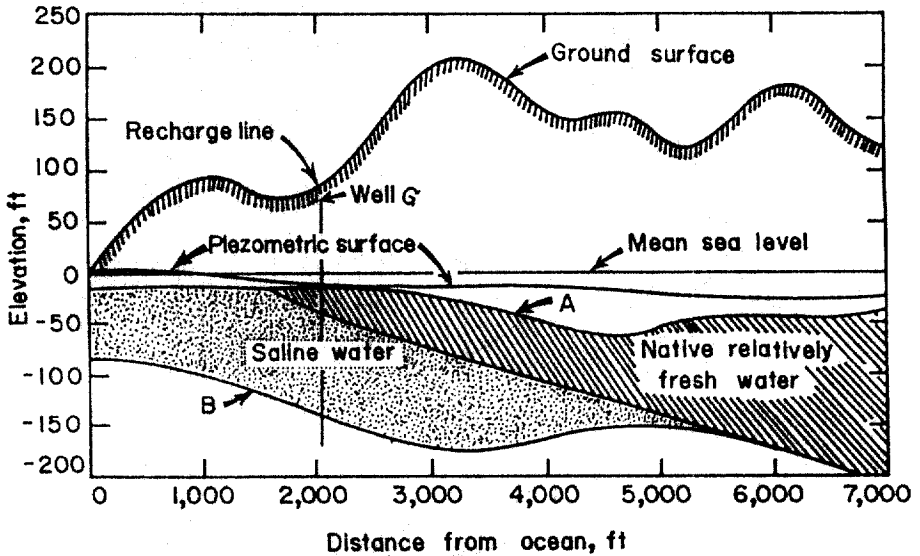
<그림 1> 수원별 개발현황



<그림 2> 용수이용현황



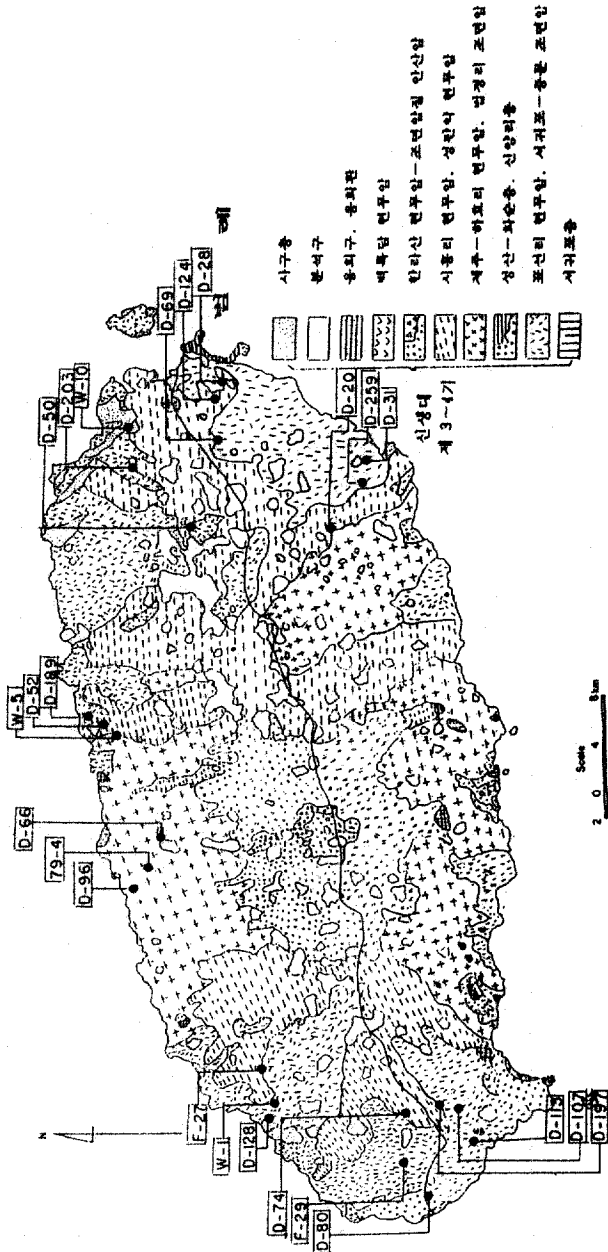
<그림 3> 섬지방 기저지하수의 부존형태



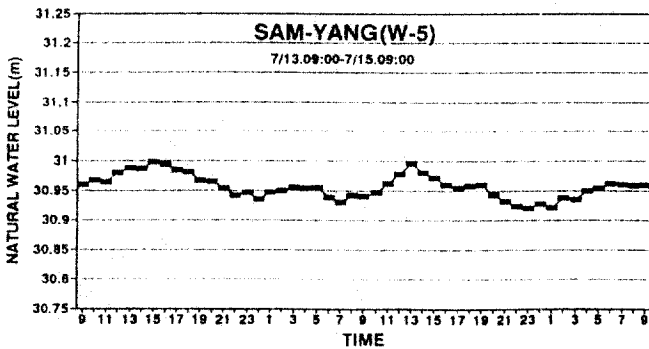
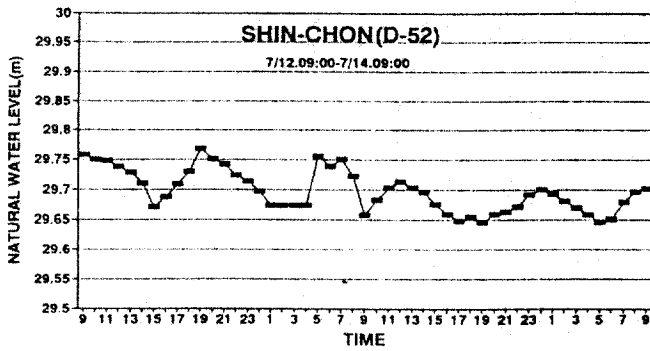
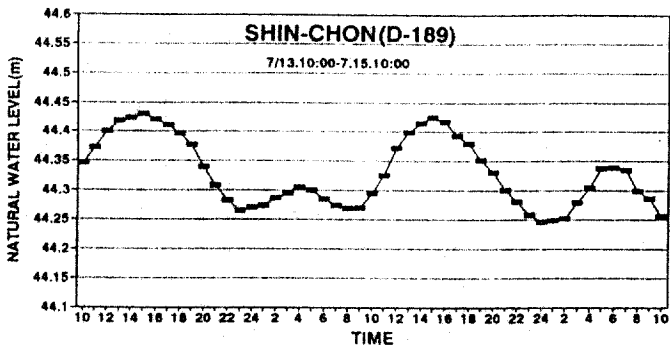
Sea water intrusion at Manhattan Beach, Calif, prior to recharge A—upper boundary of aquifer; B—lower boundary of aquifer (after Laverty and van der Goot).

<그림 4> 과잉양수에 의한 해수가 침입한 예

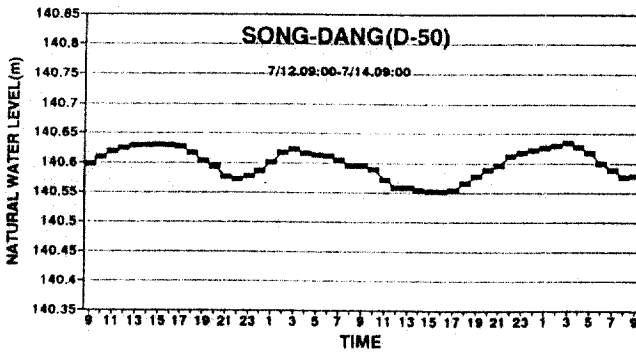
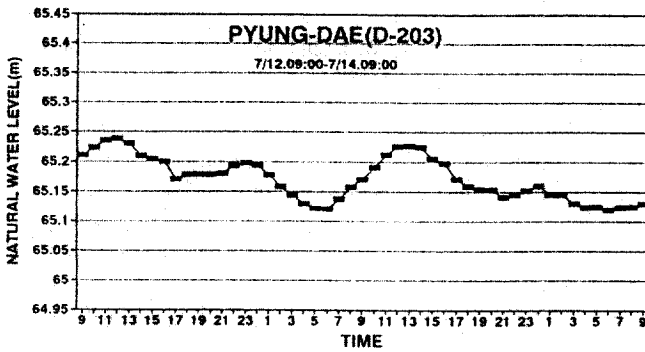
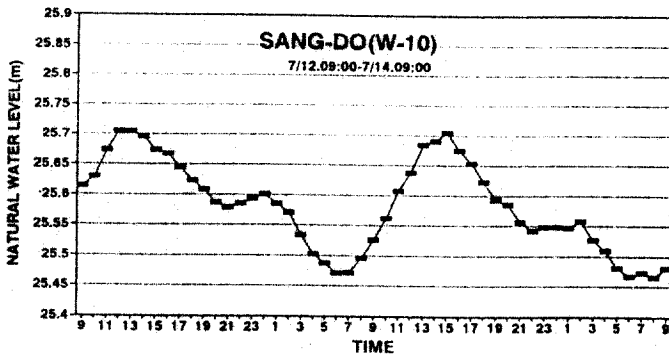




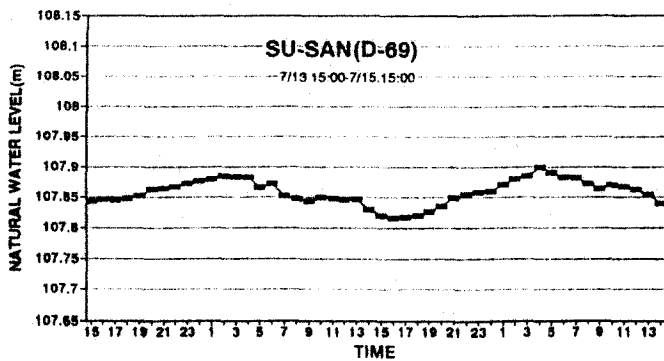
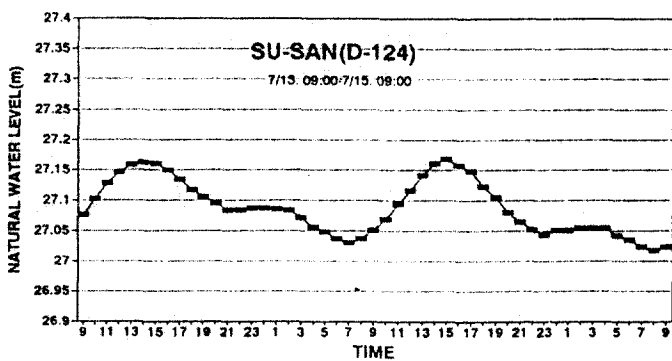
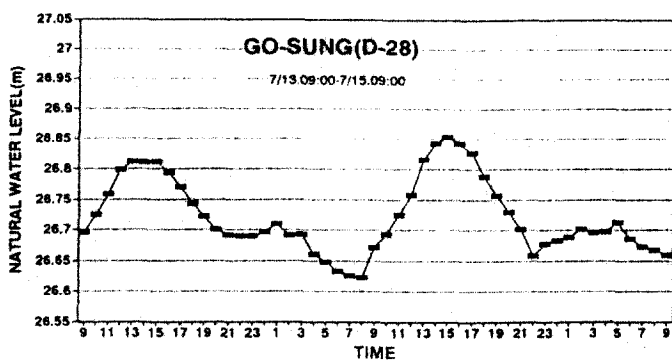
<그림 5> 조수위 관측 위치도



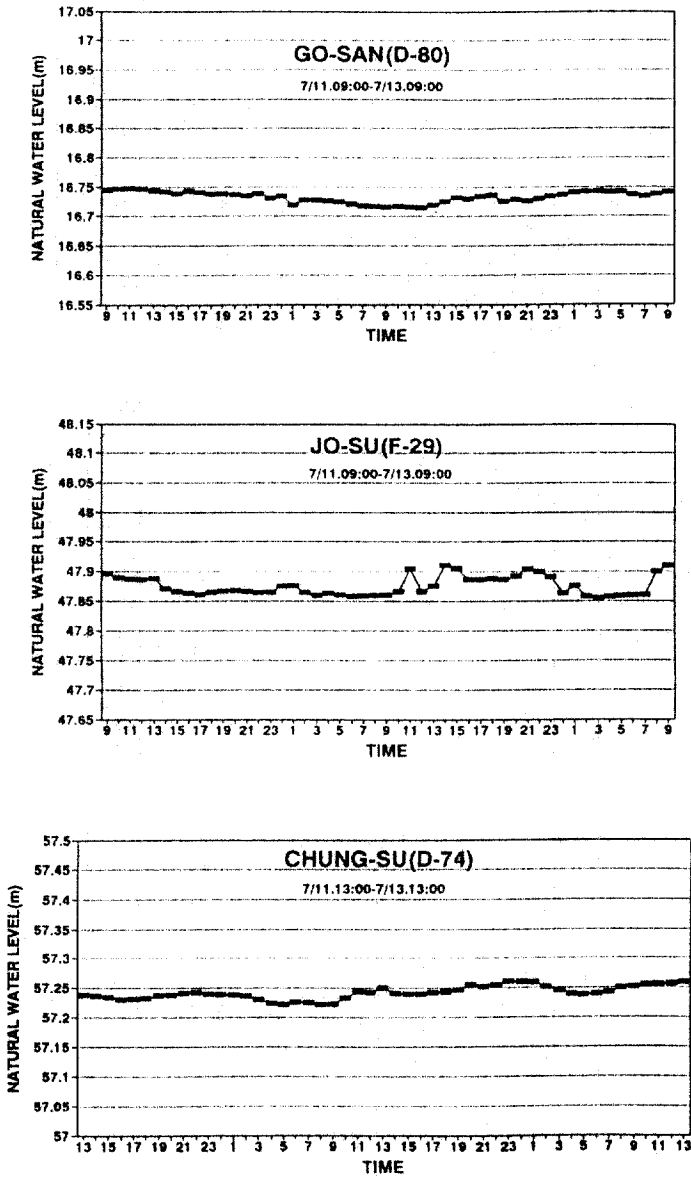
<그림 6> 신촌지구 관정의 지하수위와 조석과의 관계



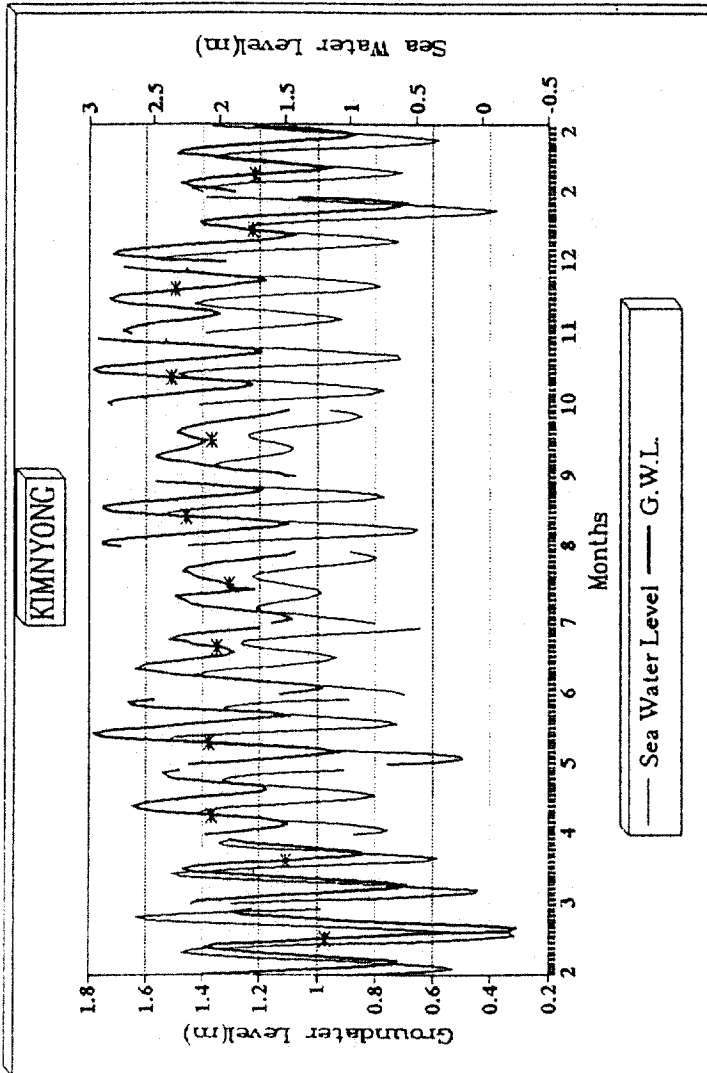
<그림 7> 구좌지구 관정의 지하수위와 조석과의 관계



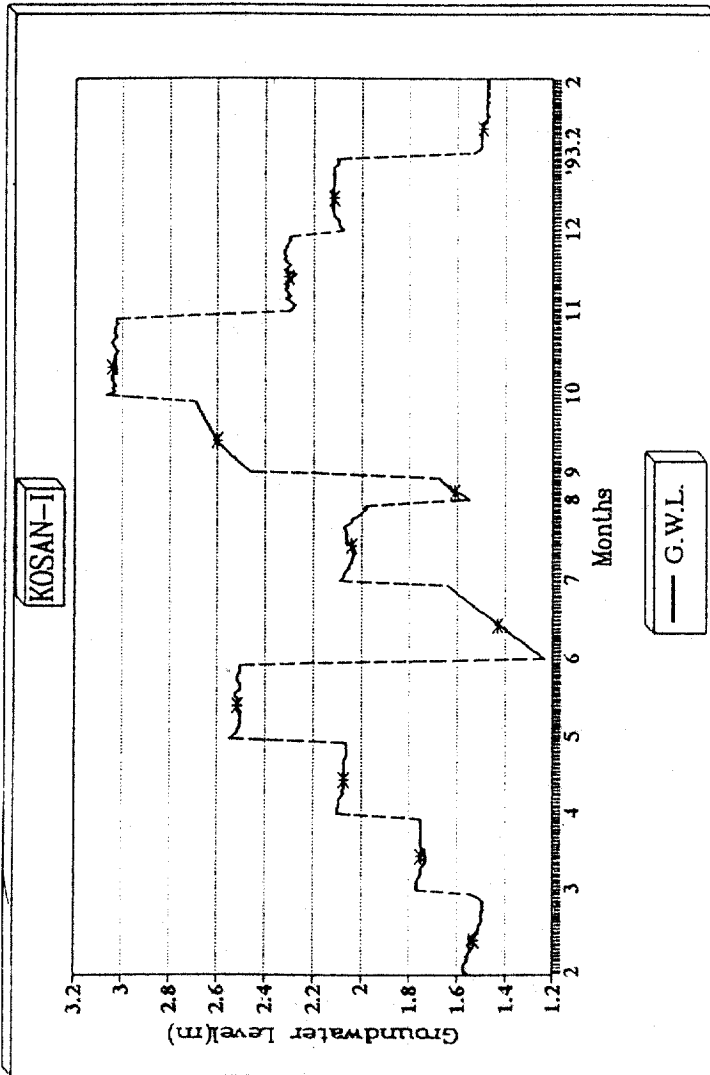
<그림 8> 심산지구 관정의 지하수위와 조석과의 관계



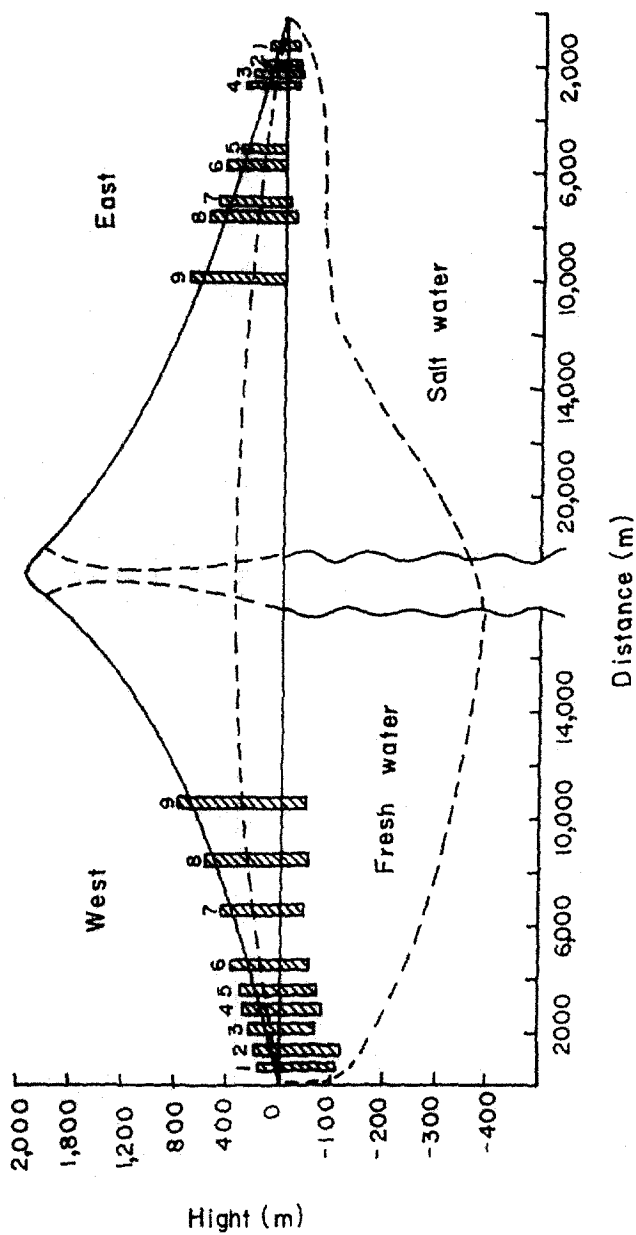
<그림 9> 고산지구 관정의 지하수위와 조석과의 관계



<그림 10> 구좌읍 김녕리 관측점의 지하수위와 조석과의 관계



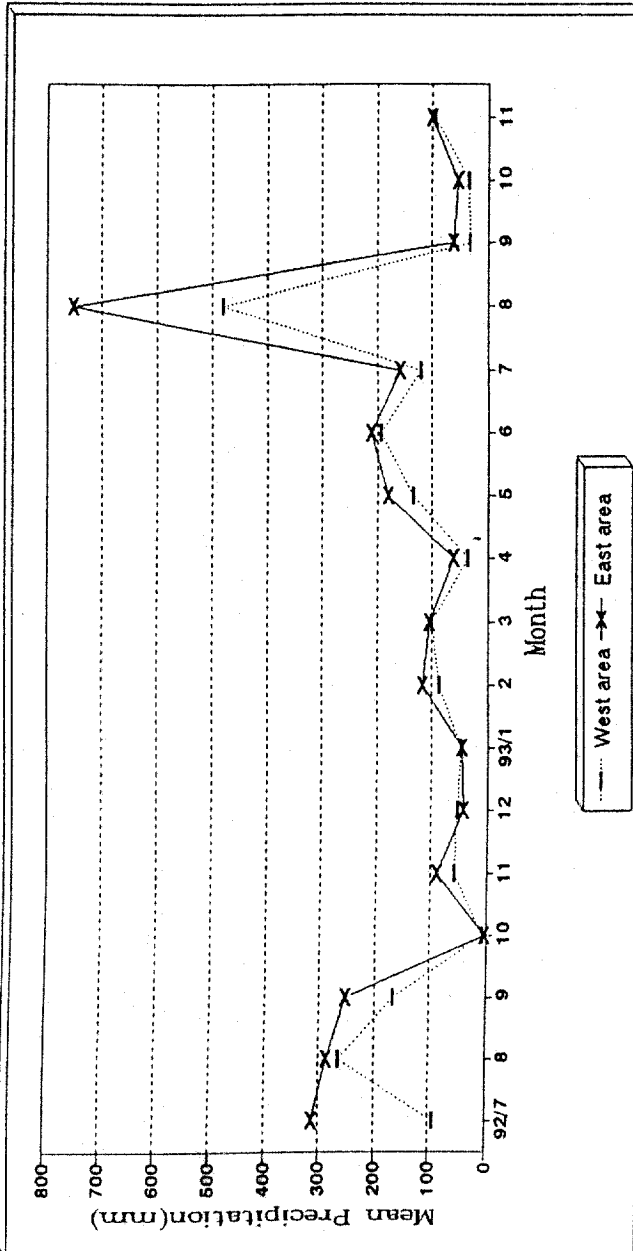
<그림 11> 한경면 고산 관측점의 지하수위 관측결과



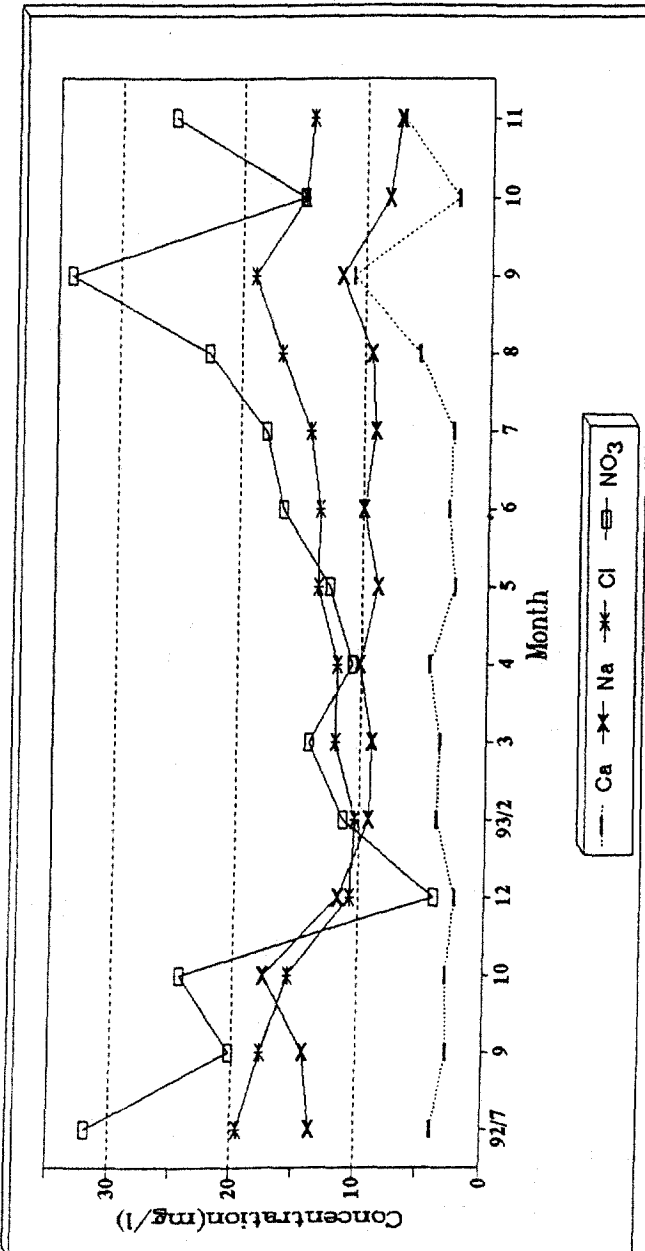
<그림 12> 동-서부지의 지하수 부존형태 단면도



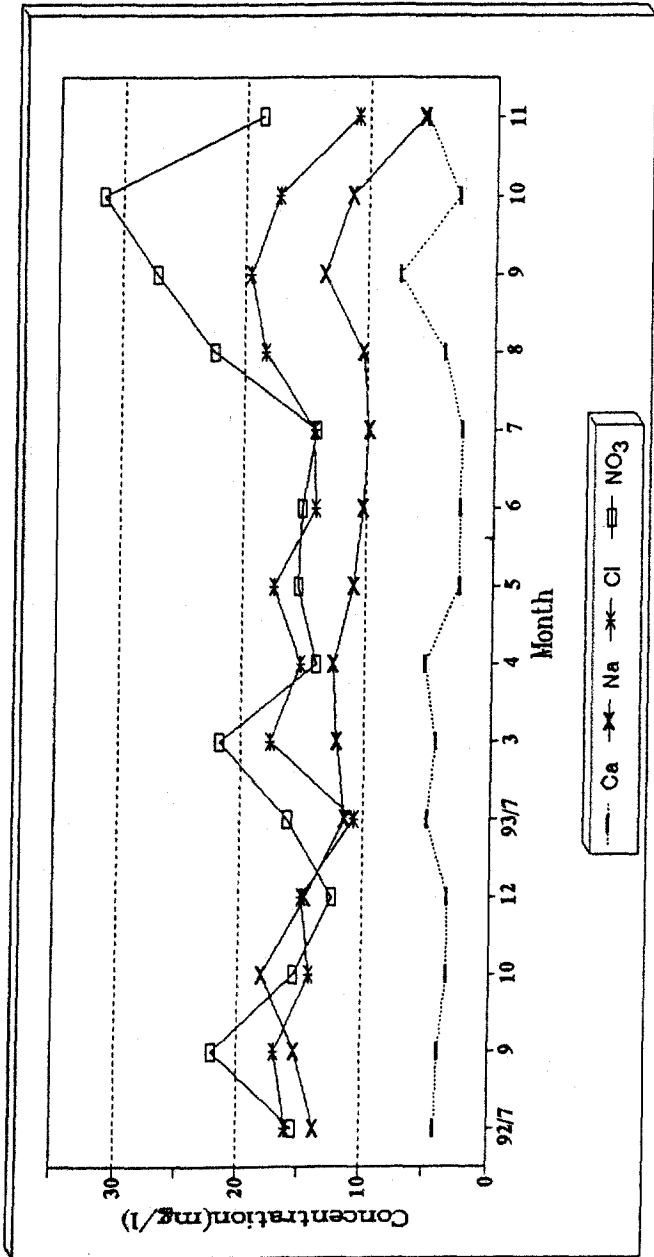




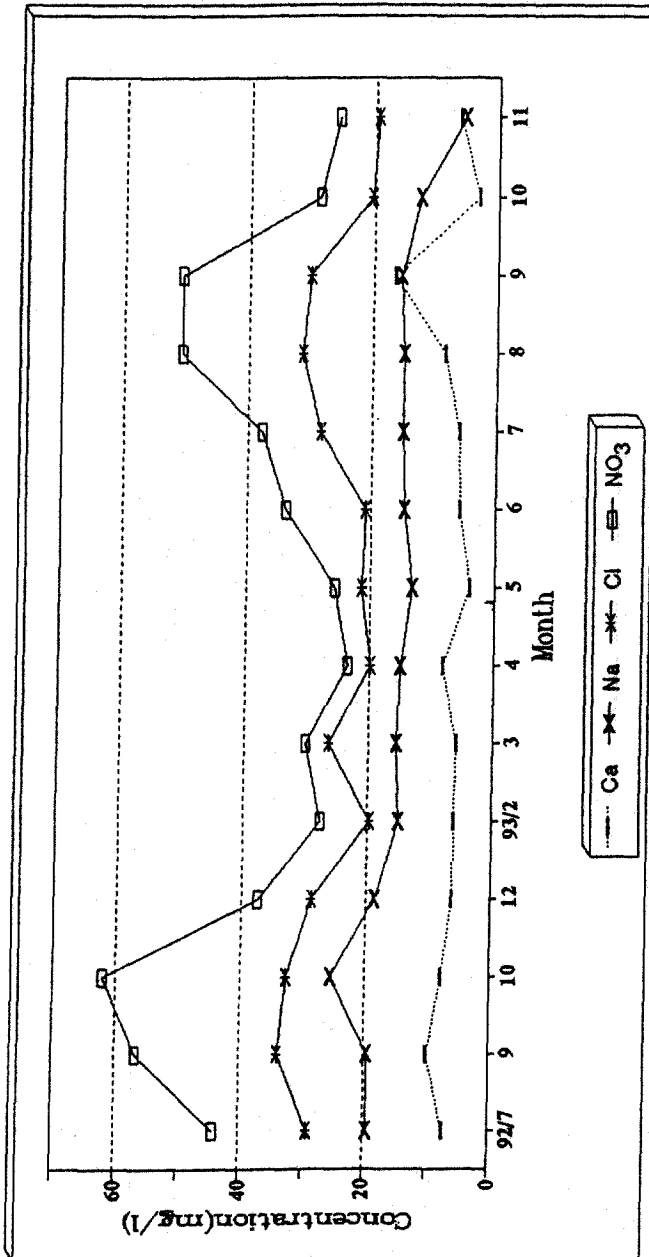
<그림 14> 제주도 동-서부지역의 월평균 강수량(1992. 7~1993. 11)



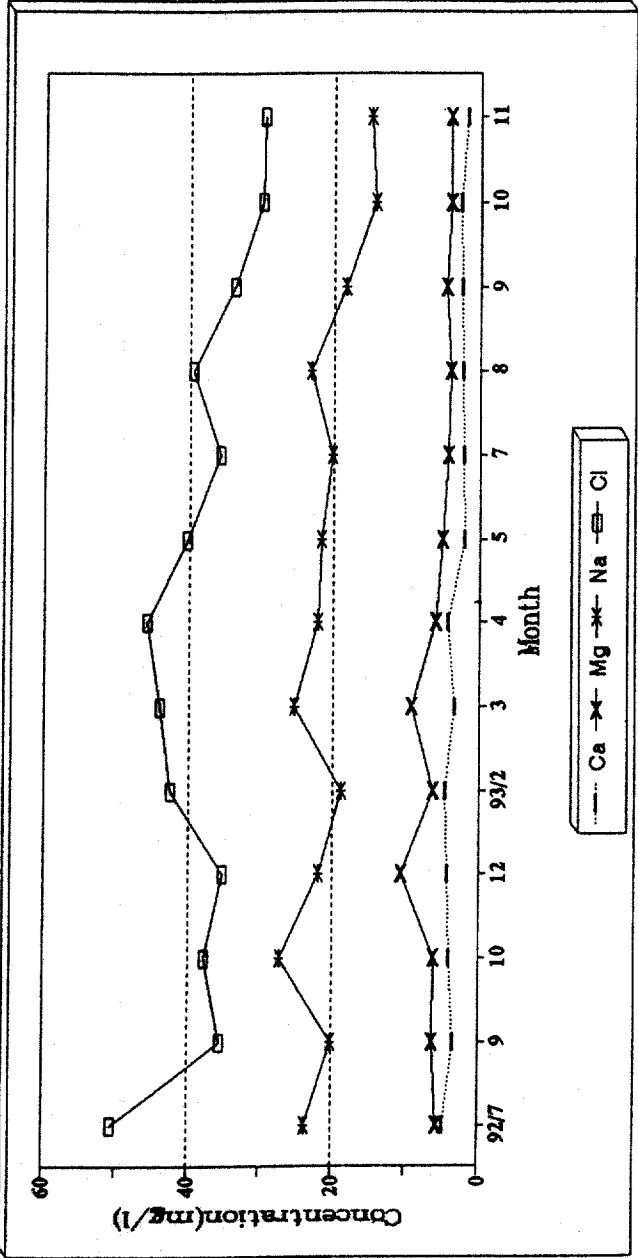
<그림 15> 애월지역 지하수 주성분원소의 월변화



<그림 16> 한림지역 지하수 주성분원소의 월변화



<그림 17> 환경지역 지하수 주성분원소의 월변화



<그림 18> 구좌-성산지역 지하수 주성분원소의 월변화

## 참 고 문 헌

### 광주지방환경청

- 1991 “제주도 환경보전종합대책—수질오염방지 장기계획 중심으로”, Pp. 71~239, 환경처.

### 고기원, 고용구, 김성홍, 오상실, 박원배, 윤선

- 1992 “제주도 동부지역의 지하지질구조와 지하수위 변동 및 수질 특성에 관한 연구”, 『보건환경연구원보』 3:15~43, 제주도 보건환경연구원.

### 고기원, 윤 선, 윤정수, 박원배, 한정상, 김남중, 정구연

- 1993 “제주도 지하수의 산출특성”, 『제48차 대한지질학회 학술발표요지』, Pp. 42~43, 대한지질학회.

### 고기원, 박원배, 윤정수, 고용구, 김성홍, 신승중, 송영철, 윤 선

- 1993 “제주도 동 서부지역의 지하수 부존형태와 수질특성에 관한 연구”, 『보건환경연구원보』 4:191~222, 제주도 보건환경연구원.

### 김천수

- 1992 “제주도 지하수 환경의 오염취약성”, 『대한광산지질학회 92년도 학술강연 요지』, Pp. 13~28, 대한광산지질학회.

### 농어촌진흥공사

- 1980 “제주도 지하수개발 현황과 전망”, Pp. 1~95, 농어촌진흥공사.  
1989 “제주도 지하수 장기개발계획 조사보고서” Pp.64~124, 농어촌진흥공사.  
1994 “지하수개발과 농어촌용수”, Pp. 1~182, 농어촌진흥공사.

### 대한지하수환경학회

- 1994 “제주도 지하수자원의 환경학적 보전과 개발이용”, 『대한지하수환경학회지』, Pp. 45~217, 대한지하수환경학회.

### 윤 선, 고기원, 박원배

- 1994 “제주도 서귀포층의 지하분포 상태와 지하수 부존특성과의 관계”, 『제주도수자원연구회 학술 심포지엄』, Pp. 98~132, 제주도수자원연구회.

#### 윤정수

- 1986 “제주도 동부지역 지하수의 고염도 요인에 관한연구”, 『제주도연구』 3:43~53, 제주도연구회.

#### 윤정수, 박상운

- 1994 “제주도 지하수의 장기개발에 따른 문제점 고찰”, 『제주도수자원연구회 학술 심포지엄』, Pp. 60~95, 제주도수자원연구회.

#### 이기화

- 1992 “제주도의 담수-해수간의 유체동력학적 평형”, 『대한지질학회지』 28(6): 649~664, 대한지질학회.

#### 최순학

- 1988 “제주도의 형성과 지하수특성”, 『제주도연구』 5:59~78, 제주도연구회.

#### 한국수자원공사

- 1993 “제주도 수자원 종합개발계획 조사보고서” IV-3~IX-33, 농어촌진흥공사.



## **Status of groundwater development, geochemical characteristics and fluctuations of groundwater level in Cheju Island**

**Jeung-su Youn  
Sang-woon Park  
Department of Oceanography  
Cheju National university**

The purpose of this study is to describe the altitudinal distribution of drilled wells, yield capacity of the aquifer and to provide information on the occurrence, relation of groundwater level to tidal effect and tendency of annual groundwater pollution potential.

The information of 335 wells drilled by Korean Agricultural Development Corporation indicates that the elevation of 225 wells were distributed below the 100m level and only 90 wells located 100m upper level.

The water yield located below the 50m level wells are  $1,874.1\text{m}^3/\text{day}$ , 50.1~100m:  $1,400.9\text{m}^3/\text{day}$ , 100.1~150m:  $1,194.7\text{m}^3/\text{day}$ , upper 150m level wells are  $1,061.8\text{m}^3/\text{day}$ , as increase the elevation-s higher is distinctly decrease with the yield capacity.

The groundwater well which Piezometric surface situated under the sea level in Cheju Island as follows: In the eastern region exist 11 wells, western region content 13 wells and northern part have 2 wells, if the overdraft groundwater under these condition, the wells near the coastal area are salt intruded due to over pumping activity.

In the eastern parts, including Shinchon, Kujwa and Sungsan area, are sinusoidal fluctuation of groundwater level occurs in the response to oceanic tides.

However, in the western parts, thus the Gosan and Taejeong area shows the groundwater level is directly influenced by the amount of precipitation.

Based on the long-term groundwater level test of 32 inventory wells were measured of study area, which the 27 measurements of sites were drawdown rather than that the initial groundwater level.

The freshwater lens type in the eastern region have shallow aquifer, therefore if the drilling well is near the coastal areas, we presume the sea water intrusion, while the western region the aquifer existing perfect fresh water lens type.

According to the  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  components in Cheju groundwater from 1983 to 1993 analysed data, the degree of pollution for the Cheju groundwater is continuous increasing rather than the initial development water quality.

In the western region, the cation and anion contents in groundwater decrease with distance from the coastal area, and these content are proportional to the amount of rainfall and greatly vary with the seasons.

In Kujwa and Sungsan area, the Eastern part in Cheju, these elements content shows inverse proportion to the amount of precipitation, it's presumed that they are largely diluted effects of brackish and freshwater.