

碩 士 學 位 論 文

제주도 중산간 지역에서의 강우에 의한
지하수위 변동에 관한 연구



濟州大學校 産業大學院
建設環境工學科
咸 珍 奎

碩 士 學 位 論 文

제주도 중산간 지역에서의 강우에 의한
지하수위 변동에 관한 연구

指導教授 李 容 斗



濟州大學校 産業大學院
建設環境工學科

咸 珍 奎

2000年 12月

제주도 중산간 지역에서의 강우에 의한
지하수위 변동에 관한 연구

指導教授 李 容 斗

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2000年 12月 日

濟州大學校 産業大學院



建設環境工學科

咸 珍 奎

咸珍奎의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

2000年 12月 日

委員長 오 윤 근 ㉠

委員 이 기 호 ㉠

委員 이 용 두 ㉠

A Study on the Fluctuations of Groundwater
Level Due to Rainfall in the Mid-Mountain Area,
Jeju Island.

Jin - Gyu Ham

(Supervised by Professor Yong - Doo Lee)



Department of Construction and Environmental
Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University

목 차

목차	i
Summary	iv
I. 서 론	1
II. 연구방법	4
III. 연구지역의 지형 및 지질개요	7
1. 지형 및 지질	7
2. 지하지질	9
IV. 이론적 배경	12
1. 지하수 함양을 분석	12
2. 수위변동의 개념적 Model	14
V. 연구결과	16
1. 강우량 및 함양특성	16
2. 연도별 지하수위 변동 특성	18
3. 강우에 의한 지하수위 변동분석	22
4. 지하수 이용량에 따른 지하수위 변화	25
5. 지하수 함양량 분석	26
6. 해안지역의 강우에 의한 수위반응과의 비교	28
VI. 결 론	30
참 고 문 헌	32
부 록	34

List of Figures

Fig. 1. Location Map of the Groundwater Monitoring and Pumping Wells in the Study Area.	5
Fig. 2. Geologic Section(After Jedong Heungsan, 1996).	11
Fig. 3. Rising process of groundwater level(After Koh, 1997)	15
Fig. 4. Monthly Rainfall of the Study Area.	17
Fig. 5. Average, Maximum and Minimum Groundwater Level of the Each Wells. ..	20
Fig. 6. Monthly Fluctuations of the Groundwater Level of Each Wells.	21
Fig. 7. The Relationships between Rainfall and Groundwater Level of the Each Wells in 1997~1999.	23
Fig. 8. Fluctuation of the Groundwater Level Due to Rainfall in the Study Area.	24
Fig. 9. The Relationships Between Groundwater draft and Groundwater Level in the Study Area.	26

List of Tables

Table 1. The statistics of groundwater level monitoring wells in the study area,	4
Table 2. Monthly Rainfall Data of the Study Area(1997. 1~1999. 12)	17
Table 3. Summary of the Rainfall data in Jeju Island,	18
Table 4. Summary of Water Level Data of the Each Wells,	19
Table 5. Characteristics of groundwater level fluctuation due to rainfall of the Study Area,	24
Table 6. Summarized of the Groundwater Recharge of the Each Wells,	27



Summary

Based on the analysis and findings of the continuative measurement of the groundwater level data on three observation wells located at eastern part in the mid-mountain area, Jeju Island, the purpose of this study was to clarify the fluctuation characteristics of groundwater level response to rainfalls and groundwater recharge rate in the study area.

It was analyzed that the three-year average level of each groundwater was 92.0m for well I, 101.7m for well II, and 94.0m for well III. What the groundwater level of well II was higher than those of others indicates the possibility of the discharge of high level groundwater on the upper part of the groundwater level, or shows that the vertical/horizontal diffusion of groundwater may slowly occur because low permeable massive volcanic rock or sedimentary rock is intercalated between lava flows in the below of the groundwater level.

It was measured that the range of groundwater fluctuation was 21.4m for well I, 30.4m for well II, and 23.5m for well III respectively. Compared with the results of previous study which measured wells in the less than elevations 200 meters above sea level, the range is above ten times as high as that of the eastern(below 2m for 3 yrs) and western(below 4m for 3 yrs) part each while it is a bit higher than that of the southern(23.4m for 3 yrs) and northern(28.43m for 3yrs) part each. The range of seasonal changes of the groundwater levels could be found on the results: generally, the range forms high in summer due to the large amount of rainfall, while it does low from fall to winter due to the small amount of rainfall.

According to the analysis of the groundwater levels rising with responses to rainfalls, it showed that began to rise between the 7th and 13th days after the rainfall, and then, continued to go up with the value of 1.9m to 8.3m for 15 to 16 days. This result suggested that infiltration occurs slowly

in the recharge area rather than the coastal area. Based on the value of both the amount of net groundwater recharge and infiltration rate; the recharge rate of well I is high with the amount of 32 % under the groundwater level is below 85m, the recharge rate of well II is 65% under the level is below 90m, the recharge rate of well III is 50% under the level is below 85m. This result shows that when the groundwater level rises above a certain level, the rising amount of level becomes low in spite of heavy rain.



I. 서 론

일반적으로 지하수위는 강우량, 조석, 대기압, 바람, 지진, 지하수 채수량 등의 여러 가지 요인에 의해 단주기적 및 장주기적 변화를 나타내며, 지하수위 변화는 곧 지하수 저류량의 변화를 의미하므로 대수층의 특성과 능력을 평가하는데 중요한 기초자료가 된다. 또한, 지하수위 자료는 지하수 개발·이용의 규제와 조절을 통해 지하수의 적정관리를 도모하는 지하수 관리의 행정적 측면에서도 중요하게 이용되고 있다. 수문지질학적 측면에서 볼 때, 제주도는 해발 200m 이상의 지하수 함양지역과 해발 200m 이하의 지하수 배출(유출)지역으로 크게 구분할 수 있다. 다시 말해서, 중산간 지역과 고지대 지역에서 함양된 지하수가 해안방향으로 유동하여 해안가의 용천이나 해저를 통해 유출되고 있다. 제주도는 한라산을 정점으로 방사상의 등고선을 갖는 지형을 이루고 있을 뿐만 아니라, 강우량도 해발 100m 높아짐에 따라 약 100mm 씩 많아지는 경향(제주도농촌진흥원, 1991)을 보이고 있어 함양지역과 배출지역간의 강우량에 따른 지하수위 변화특성이 다르게 나타날 가능성이 높다. 또한, 해안가에서 중산간 지역으로 갈수록 주대수층의 심도가 깊어지고 있기 때문에 강우량에 의한 수위 반응시간 및 상승량, 연간 변동폭이 해안지역과는 상이할 것으로 예상된다.

제주도 지하수의 수위에 대한 체계적인 조사·연구가 이루어지기 시작한 것은 1990년대 초반부터이다. 1990년대 초반 이전에는 해안가의 일부 관정을 대상으로 단기간의 관측(UNDP, 1992 ; 농업진흥공사, 1991 ; 산업기지개발공사, 1981 등)만이 간헐적으로 이루어져 왔으나 1991년부터 지하수위 장기관측망조사가 제주도에 의해 착수되므로써 도 일원의 관측정에서 연속적인 지하수위자료가 축적되기 시작하였다. 또한, 1995년 1월 5일 먹는물관리법(법률제4908호)이 새로이 제정되어 먹는샘물 제조업체 마다 취수정 상·하류지역에 지하수위 관측정을 설치하고 수위를 연속 측정하도록 의무화 되므로써 제주도내의 먹는샘물 제조업체에서도 최소 3개소씩 지하수위 측정을 실시하고 있다.

고기원 등(1992)은 제주도 동부지역의 지하지질구조와 지하수위 및 수질특성에 관한 연구를 실시하여 동부지역 지하수의 고염분 원인을 수문지질구조적인 관점에

서 해석하였다. 고기원 등(1992) 및 박원배 등(1994)은 강우와 조석에 의한 지하수위 변동에 관한 연구를 실시한 바 있을 뿐만 아니라, 고기원(1997)은 1993. 10~1996. 12월까지 측정된 27개소의 지하수위자료 해석을 실시하여 지하수위 변동특성에 따라 강우량의 영향을 지배적으로 받는 유형과 조석의 영향을 받는 유형 및 강우량과 조석의 영향을 복합적으로 받는 유형으로 구분한 바 있다. 그러나 이전의 조사·연구는 해발 200m 이하의 지하수 배출지역에 설치된 수위관측정을 대상으로 이루어졌기 때문에 중산간지역 심부지하수체의 수위변동에 대한 조사·연구는 아직까지 이루어진 바 없다.

제주도 지하수의 수위변화에 대한 조사는 농업진흥공사와 UNDP가 제주도에 1969년부터 개발하기 시작한 신촌, 고산, 사계지역을 관정에 의한 관개사업 대상지역으로 선정하고 이 지역에 대해 지하수와 지질조사를 실시하는 과정에서 이루어졌다. 이 조사에서는 신촌, 고산, 사계지역의 관정을 대상으로 1971. 6. 1.~1971. 12. 30일까지 자동수위기록기에 의한 관측이 이루어졌으며, 이들 관정 중 고산의 경우 일별 강수량을 관련시켜 수위변화를 보면, 1971년 9월 23일 하루동안 153mm의 강우가 내려 자연수위는 강우가 있기전 0.78m(해수면 기준)이었던 것이 24시간만에 1.62m가 되어 0.84m로 급상승하였고, 강우이전의 자연수위로 되돌아오기까지는 약 60일이 경과한 것으로 보고한 바 있다. 이러한 결과는 이 지역의 지하수위변동은 강우의 영향임 보여 주고 있는 반면, 신촌의 경우는 강우보다는 조석의 영향을 더 받는 것으로 보고된 바 있다(농어촌진흥공사1973).

또한, 농어촌진흥공사는 1989년 제주도지하수장기개발계획수립을 위한 조사에서도 200개 관정을 대상으로 지하수위 측정을 실시하였는데, 조사대상 관정 중 30개소는 개발당시보다 수위가 상승한 반면 지하수위가 뚜렷이 강하한 관정은 61개소로서 강하 및 상승폭이 평균 5.9m로 동일한 것으로 보고한 바 있다. 또한, 농어촌진흥공사는 제주도의 위탁을 받아 1991년부터 제주도 지하수 장기 관측망 설치 및 조사사업을 추진하여 실적보고서를 발간한 바 있다(제주도와 농어촌진흥공사, 1991~1997).

고기원 등(1992 a, b)은 강우와 조석에 의한 제주도 지하수의 수위변동에 관한 조사를 실시하고, 제주도 지하수는 주로 강우와 조석요인에 의해 수위가 변동하는 것으로 보고하였다. 또한, 박원배(1993, 1994)는 제주도 지하수의 수위변동 특성에

관한 연구를 실시한 바 있으며, 고기원 등(1995) 제주도 동북부지역의 수위변동에 관한 연구를 실시하였다. 특히, 박원배(1993)와 고기원(1997)은 제주도 지하수를 수위변동 요인에 따라 강우량의 영향을 지배적으로 받는 유형과 조석의 영향을 받는 유형 및 강우량과 조석의 영향을 복합적으로 받는 유형으로 구분하였을 뿐만 아니라, 고기원(1997)은 조석의 변화에 따른 영향과 강우에 따른 수위 반응시간을 지역별로 제시한 바 있다.

본 연구는 중산간 지역에 위치한 3개 관측점에서 연속 측정된 지하수위 자료를 통하여 지하수 함양지역에서의 심부지하수체의 지하수위 변동특성을 밝힘과 아울러, 이전에 실시된 해안지역 지하수위에 대한 연구결과와 비교·고찰을 통하여 지하수 함양지역과 배출지역에서의 지하수위 변동특성을 밝히고자 한다.



II. 연구방법

본 연구는 해발 335m~336m의 중산간지역에 위치한 H사의 3개 먹는샘물 관측정에서 1997년 1월 1일부터 1999년 12월 31일까지 연속 측정된 지하수위 자료를 이용하였다. 지하수위는 Hydro Lab사의(모델 30852, 30853, 30854) 자동측정기록기에 의해 1시간 간격으로 연속 측정된 자료이다.

연구대상 3개 관측정의 재원은 Table 1에 제시하였다. 즉, 관측정은 해발 335~336m의 중산간 지역에 위치하고 있으며, 지표하 280m(해발기준 55.4m)에서 300m(해발기준 35.4m)까지 측정된 심부 관측정이다. 취수정으로부터의 거리를 보면, Well 1은 상류쪽 50m 거리에 위치해 있고 Well 2는 10m 거리에, Well 3은 하류쪽 10m 거리에 각각 위치하고 있다. 먹는샘물 원수를 취수하는 취수정(Pumping Well : PW)은 해발 335.4m 지점에서 지표하 325m(해발기준 10.4m) 까지 측정되었다. 관측정 및 취수정의 개발당시 지하수위를 해발기준으로 보면, Well 1은 86.4m 이고 Well 2는 99.0m이며, Well 3은 85.5m, 취수정은 87.4m에 자연수위가 형성되어 있었다. 즉, 연구대상 3개 관측정의 지하수위는 해발 99.0m에서 85.5m의 범위인데, Well 2가 Well 1 및 Well 3보다 13m 높은 위치에 수위가 형성되고 있다.

Table 1. The statistics of groundwater level monitoring wells in the study area.

Well No.	Elevation (m)	Well Depth (m)	Groundwater Level(El. m)	Remarks
Well 1	336.2	286	86.4	distance from PW : Upstream 50m
Well 2	335.4	280	99.0	distance from PW : Upstream 10m
Well 3	335.4	300	85.5	distance from PW : Downstream 10m
PW	335.4	325	87.4	pumping well

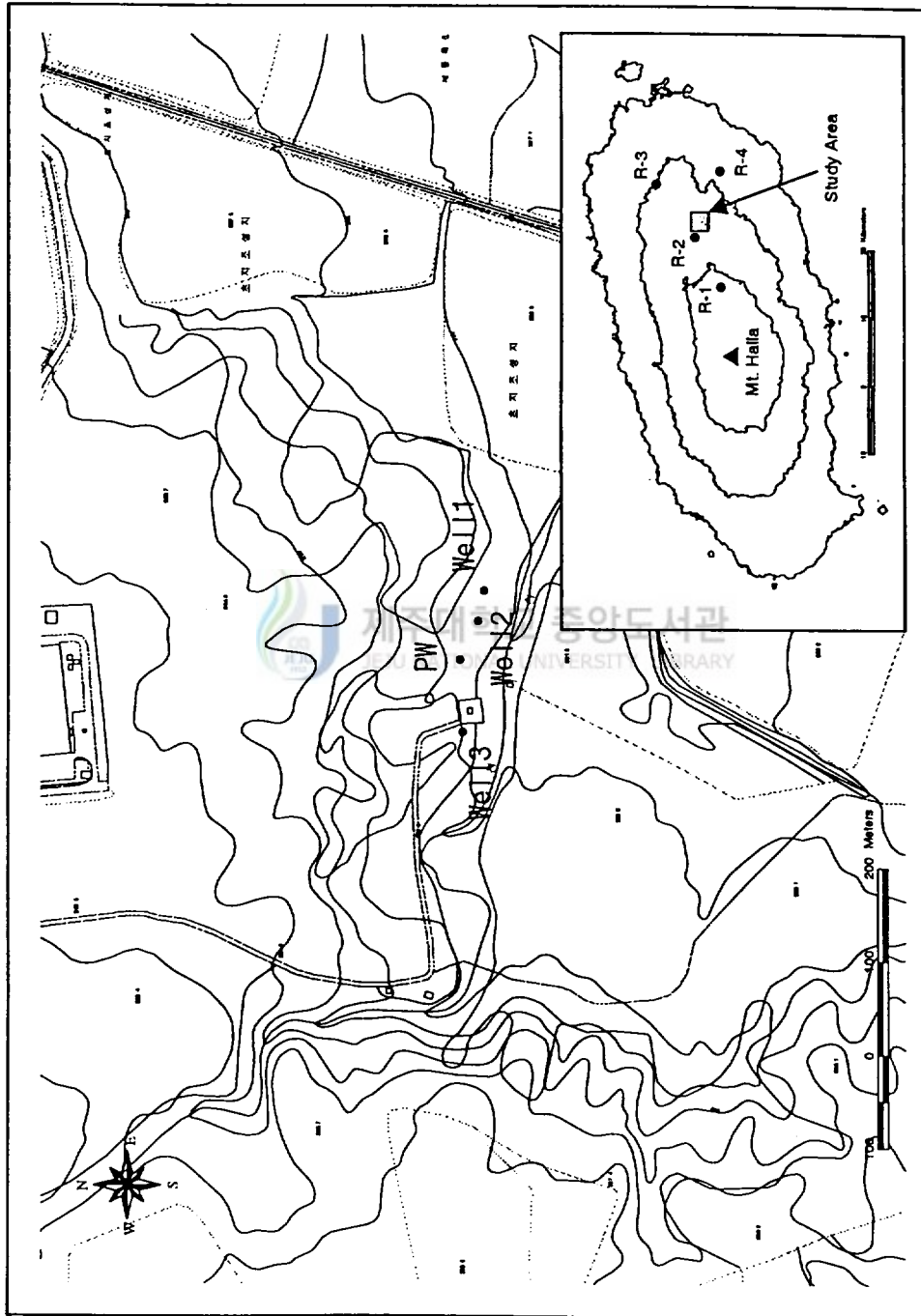


Fig. 1. Location Map of the Groundwater Monitoring and Pumping Wells in the Study Area.

한편, 강우량에 의한 수위변동을 분석하기 위해 제주도 재난방재본부에서 운영하는 강우관측소 중 성판악(R-1)·교래(R-2)·송당(R-3)·성읍(R-4)에서 관측된 1997. 1~1999. 12월까지의 일별 자료를 수집하여 분석하였다. 아울러, 해안지역의 지하수위 변동특성과 비교분석을 위하여 고기원(1997)의 연구자료도 함께 분석하였다.



III. 연구지역의 지형 및 지질개요

1. 지형 및 지질

1) 지형

본 연구 대상 지하수위 관측정은 행정구역상 남제주군 표선면 가시리의 해발 335m~336m에 위치하고 있는데, 1993년 한국수자원공사에 의해 설정된 수역구분에 의하면, 표선수역의 상류에 해당한다. 표선수역은 천미천을 중심으로 형성되는 수역으로서 제주도의 16개 수역 중 가장 넓은 면적을 점하고 있다. 축척 1/5,000 지형도상에서 산출한 표선수역의 총면적은 209.8km²이고, 본 연구 대상 관측정의 상류 지역 수역면적은 69.3km²로서 전체 표선수역 면적의 33%를 차지하고 있다.

연구지역의 주변은 대부분 완만한 평지를 이루고 있으며 구두리오름(해발 518m)을 비롯하여 까끄래기오름(해발 324m), 소록산(해발 446m) 등의 분석구들이 분포하고 있어 이들 분석구 주변에서는 다소 경사진 지형을 이루기도 한다. 수계는 서남측에 위치한 거문오름(718m)과 구두리오름(518m) 일원에서 발원한 소하천이 서에서 동으로 연구지역 관통하여 동류하다가 천미천으로 연결되는 많은 지류들이 발달하고 있다.

2) 지질

지질학적으로 볼 때, 제주도는 신생대 제3기에서부터 제4기 중반까지 활동한 화산분출에 의해 형성된 아주 젊은 화산지대(윤선 등, 1995)이며, 현무암 및 조면암류의 화산암류와 해성퇴적층 및 응회퇴적층, 그리고 사구층이 분포하고 있다. 제주도의 대부분의 지역에 분포하는 현무암류에는 크고 작은 균열 및 절리가 발달하고 있을 뿐만 아니라, 클린커층(clinker bed), 기공, 용암튜브 등도 포함하고 있어 강우의 지하침투를 용이하게 해주는 투수성 요인으로 작용하고 있다(고기원, 1997). 특히, 용암류 단위 두께가 평균 5m 정도(고기원, 1997)로 얇을 뿐 아니라, 지하지질구조 또한 이들 용암류들이 겹겹이 쌓여 있는 호층의 구조를 하고 있어 지하로 침투한 빗물의 수평적 확산이 매우 잘 이루어지는 특성을 지니고 있다. 게다가 지

표를 덮고 있는 토양 역시 두께가 1m 이내로 얇을 뿐 아니라, 자갈과 모래 함량이 많아 투수계수가 매우 높은 특성을 지니고 있다. 이와 같은 투수성이 좋은 수문지질학적 요인으로 인하여 제주도에는 연중 흐르는 하천이 없으며, 50mm이상의 강우 시에만 하천유출이 발생하는 현상을 보이고 있다. 결국, 제주도의 지하수 함양율이 내륙지방 평균 18%보다 훨씬 높은 44%를 기록하고 있는 것은 제주도의 수문지질학적 특성에서 비롯되고 있다고 할 수 있다.

제주도는 1998년 제주·애월도폭 지질보고서에 의하면 본 연구지역은 타원형의 제주도에서 장축방향의 주변에 해당하는 곳으로 대체적으로 지형 경사가 완만하며, 전체적인 지질은 분출된 용암류의 횡수는 많으나 용암류의 조직은 북부나 남부에 비해서 단순한 편이다. 특히 연구지역에 분포하는 용암류는 물장울현무암으로 반정을 함유하지 않으며 치밀 견고한 용암류로 구성되어 있다. 표식지는 조천읍 교래리 교래4교에 이르는 구간에 분포하며, 표식지에서 용암류 두께는 2m에 이르며 크기가 1~5cm인 기공이 원형이나, 지표면 가까이에서는 유동방향에 따라 2cm 크기로 신장되어 있는 것으로 보고된 바 있다. 또한 기공의 함량은 10%정도이고 높은 점성에 의해 비교적 표면에 클린커를 두껍게 만든 양상이 특징이다. 물장울교 남측과 동측으로는 두꺼운 숲으로 덮혀 있으며, 이는 클린커에 의한 영향으로 식생이 발달한 것으로 해석하고 있다.

교래4교 하부의 노두는 400㎡의 면적에 노출되어 있으며 2.5cm 두께의 용암류로 되어 있으며, 이 지역에서 기공은 용암류의 하부에서 5~10mm 크기로 드물게 산출되며 5cm 크기로 신장되어 있는 것이 대부분이다. 용암류의 상부에서 기공은 5~10mm 크기로 50%이상의 함량을 보인다. 반정으로 1mm 크기의 감람석이 소량 함유되어 있다.

물장울교현무암에 대한 화학분석 결과는 다음과 같다. SiO_2 는 50.54~52.28 wt%, Na_2O 는 3.38~4.03 wt%, K_2O 는 1.69~2.25 wt%의 범위에 해당하며, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 는 5.07~6.28 wt%의 범위에 해당된다. 또한, SiO_2 와 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 비를 이용한 화산암류는 하와이아이트와 현무암 영역에 도시되며, 주 영역은 현무암에 해당된다고 보고되었다.

분석구는 침상장석감람석현무암 분출 이전에 분석 분출에 의해 분석구들이 형성되어있으며, 이 현무암과 관련된 분석구는 돌배오름 외에 3개이다. 이들 분석구는

후에 주 용암류인 침상장석감람석현무암 혹은 후에 분출한 용암류에 의해 피복되어 있다. 분석구는 분석 내지는 용암괴로 구성되어 있으며, 다공질로 표면이 급냉 현무암으로 피복되어 있거나 스코리아의 기공이 표면을 이루고 있다. 모양은 각력이 대부분이며 용암괴는 분출시의 회전운동에 의해 타원형으로 이루어져 있으며, 크기는 대체로 5cm이나 30cm의 크기로 산출되었다고 보고된 바 있다(제동홍산, 1996).

2. 지하지질

조사지역 내 굴착된 시험 및 다목적 관측정의 지하지질 분포상태를 보면 Fig. 2와 같다. 1996년 제동홍산 제주광천수 먹는 샘물 환경영향조사보고서에 의하면 조사지역에 설치된 취수정 및 다목적 관측정의 표고는 334.3~336.1m이며 굴착심도는 취수정이 325m이고 관측정은 270~286m이다. 굴착정의 지층의 두께는 표토층이 1~2m로 최상위층을 형성하고 있으며, 그 하부에서 침상장석감람석현무암(AFOB: Acicular Feldspar Olivin Basalt), 반상장석현무암(PFB: Porphyritic Feldspar Basalt), 반상장석감람석(PFOB: Porphyritic Feldspar Olivin Basalt), 고토양(Paleo Soil), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt) 등 이들 용암류들이 겹겹이 쌓여 있는 호층구조를 하고 있으며, 굴착종료 심도에서는 사질이암(Sandy mudstone)으로 구성되어 있다.

조사지역의 암반층을 형성하는 주 구성암석인 현무암 사이에는 투수성이 비교적 양호한 화산쇄설층이 12~13회에 걸쳐 반복하여 협재되어 있으며 화산암층과 호층을 이루면서 주요한 대수층의 역할을 하고 있다. 또한, 분출시기를 달리하는 현무암층 하부에는 화산쇄설층이 풍화작용에 의해 토양화된 미고결 퇴적층이 형성되어 있으며 이 층이 주요 대수층을 형성하고 있다.

조사지역의 지하수는 자유면 지하수로서 대수층은 자유면대수층(unconfined aquifer)을 이루고 있으며, 조사공의 지하수위 분포를 보면 취수정의 지표면하 247.92m를 비롯하여 관측정의 234.09~247.92m사이에 분포하는 것으로 보고한 바 있다.

조사공중 Well 2의 경우 Well 1과 PW의 근거리(L=10m)에 위치함에도 불구하고 서

로 상이한 지하수위를 나타내고 있으며, 이는 Well 2 주위의 암반대수층의 물리적 성질, 즉 암반 전체의 투수계수, 지질구조 등의 차이에 의한 지하대수층에 미치는 편압 및 지하구조 등의 요인에 의해 지하수위가 상이한 것으로 보고되었다.



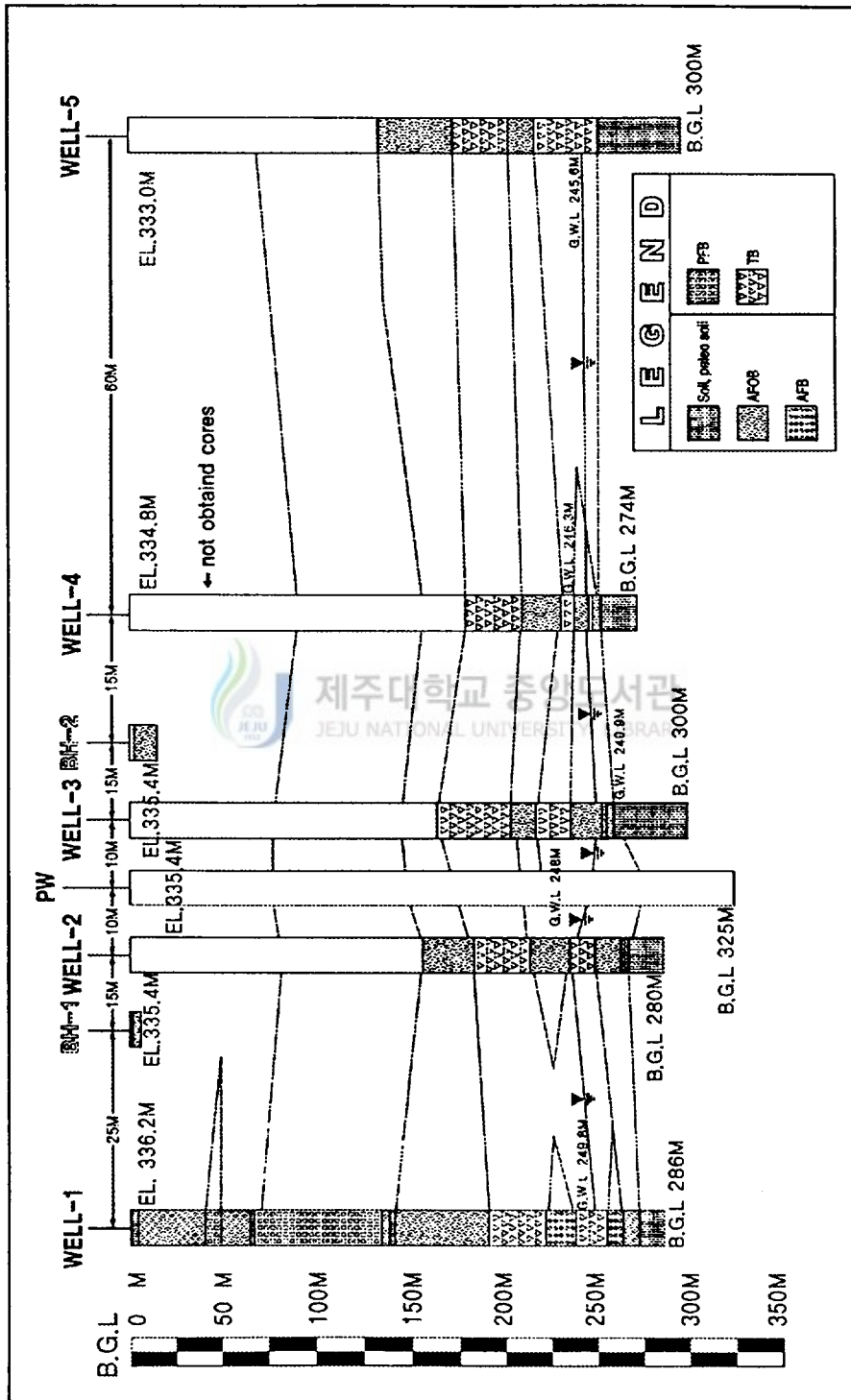


Fig. 2. Geologic Section(After Jedong Heungsan, 1996).

IV. 이론적 배경

1. 지하수 함양을 분석

지하수의 함양은 지하로 침투한 물이 포화대까지 도달하는 것을 말하며, 지하수 함양량은 대수층의 저류량 변화에 영향을 미친다. 강수량이 줄어들면 지하 침투량이 줄어들고 따라서, 지하수 함양량도 감소한다. 지하수 함양량의 감소는 대수층내 저류량의 감소를 의미한다.

지하수 함양량은 여러 가지 방법에 의해 산출할 수가 있다. 즉, 물수지분석에 의한 방법, 지하수위 변동량을 이용한 방법, 무강우 지속일수 동안 지하수위 감소곡선을 이용하는 방법(최병수와 안중기, 1998) 그리고 기저유출(baseflow) 분리법에 의한 지하수 함양을 산정방법, 수소 또는 산소동위원소와 같은 자연 추적자를 이용하여 국지적·광역적인 지역의 자연 함양량을 추정하기도 한다. 또한, 미국 농무성(Soil Conservation Service, SCS)에서 개발한 SCS-CN방법을 이용해 강우의 침투량을 구하고 여러 해의 평균 침투량과 평균 강우량을 비교하여 조사지역의 평균 자연 함양율을 구하는 방법(최병수와 안중기, 1998)도 있다.

본 연구에서는 위에 제시한 방법들 중에서 자연상태의 지하수위 변동량을 분석하여 자연 함양량을 계산하는 방법에 의해 연구대상 관측정별 순지하수 함양량과 함양을 산출을 시도하였다. 이 방법은 강우에 의해 지하수로 충전되는 양이 지하수위의 변화량에 공극률 또는 비산출량과의 곱과 같다는 기본 가정을 이용한다. 지하수위의 변화는 지하수 함양, 계절적 변화, 기압효과 또는 조수효과, 그리고 인위적인 양수 등에 의해 영향을 받기 때문에 지하수위 변화량으로부터 지하수 자연 함양량을 추정하기 위해서는 이와 같은 요인들을 고려하여 수위 변화에 대한 보정이 필요하다.

많은 경우에 있어서 수위 관측자료의 빈도와 양이 단일 강우사건에 대해 분석하기에 너무 적을 때가 있다. 이러한 관측 자료로부터 실제 수위의 최대 값과 최소 값을 잡아내기는 어려우나, 전반적인 경향에 대한 정보를 제공해 준다. 이런 자료로부터 한 해의 특정 달(일반적으로 수위가 가장 낮은 달)의 수위에서 다음해 같은

달의 수위 차로부터 연간 지하수 함양량을 구할 수 있다. 물론, 필요에 따라서 양수나 하천 유출에 의한 유출량을 보정해 줄 수도 있다. 한 해의 특정 달에서 다음 해의 같은 달까지의 기간을 수년(water year)이라고 하고, 이 기간동안에 발생한 연간 지하수 순 함양량을 구하는 식은 아래와 같다. 그러나 아래의 식은 수년 동안의 지하수 유동이 steady-state한 상태일 때를 의미하며, 수년간의 지하수 함양변화, 즉 저류량의 변화를 구하는 식이라고 할 수 있다.

$$Net\ annual\ recharge = \Delta GWL (= GWL_{month, yr2} - GWL_{month, yr1}) \times S_y \quad (1)$$

여기서, $GWL_{month, yr2}$ 는 두 번째 수년 특정 달의 지하수위이고, S_y 는 비산출량이다. 이것은 지하수 함양지역에서 단일 강수사건에 대한 지하수위 변화자료들로부터 구할 수도 있고, 수리시험을 통해서 구할 수도 있다. 이렇게 구한 연간 지하수 순 함양량을 그 수년의 연간 강우량에 대해서 그래프에 도시한 후 일차원의 직선에 회귀시키면, 연간 강우량에 대한 연간 지하수 순함양량을 추정할 수 있다.

지하수의 단위 면적 당 연간 순함양량은 연간 총 함양량에서 연간 총 유출량을 제외한 값이다. 즉,

$$\Delta H_i \cdot S_y = a \cdot P_i - q \quad (2)$$

식(2)와 같이 표현할 수 있다. 여기서, ΔH_i 는 i 번째 수년의 지하수위 변화량(m), P_i 는 i 번째 수년의 연 강우량(mm), a 는 강우의 침투율(infiltration rate), q 는 국부적인 지하수의 흐름, 증발산, 하천 유출, 양수와 같은 모든 유출량의 합으로 단위 면적 당 총 유출량(m)이고, 그 값은 일정하다고 가정하였다. 그러나 사실 제주도의 경우 한정상외(1994)에 의하면 지하수의 해안 유출은 하천에 의한 것 보다 기저유출에 의한 지하수의 해안 유출이 대부분이라고 하였다.

두 개의 수년에 대한 지하수위변화와 연 강수량, 그리고 비산출량을 알고 있다고 했을 때, 침투율과 단위 면적 당 총 유출량은 다음의 두 식으로 구할 수 있다.

$$a = \frac{S_y(\Delta H_2 - \Delta H_1)}{P_2 - P_1} \quad (3)$$

$$a = \frac{S_y(\Delta H_2 P_1 - \Delta H_1 P_2)}{P_2 - P_1} \quad (4)$$

2. 수위변동의 개념적 Model

강우에 의한 수위반응 분석은 고기원(1997) 의해 제시된 바 있는 Fig. 3의 모델에 의거 실시하였다. 1997년부터 1999년까지 기간중 3개 관측정의 지하수위가 강우에 의해 현저하게 반응을 보인 시점을 선택하여 강우에 의한 수위반응시간, 수위반응을 일으키기까지의 지연시간, 수위반응을 일으키기까지의 강우량 등을 분석하였다. Fig. 3에서



P1 : 수위반응을 일으키기 직전까지의 강우량(mm)

Pt : 총강우량(mm)

Dp : 수위반응을 일으키기 직전의 수위(m)

T1 : 강우개시 후 수위반응을 일으키기까지의 지연시간(day)

T2 : 수위가 최고점에 이르기까지의 시간(day)

ΔH : 총 수위상승치(m)를 나타낸다.

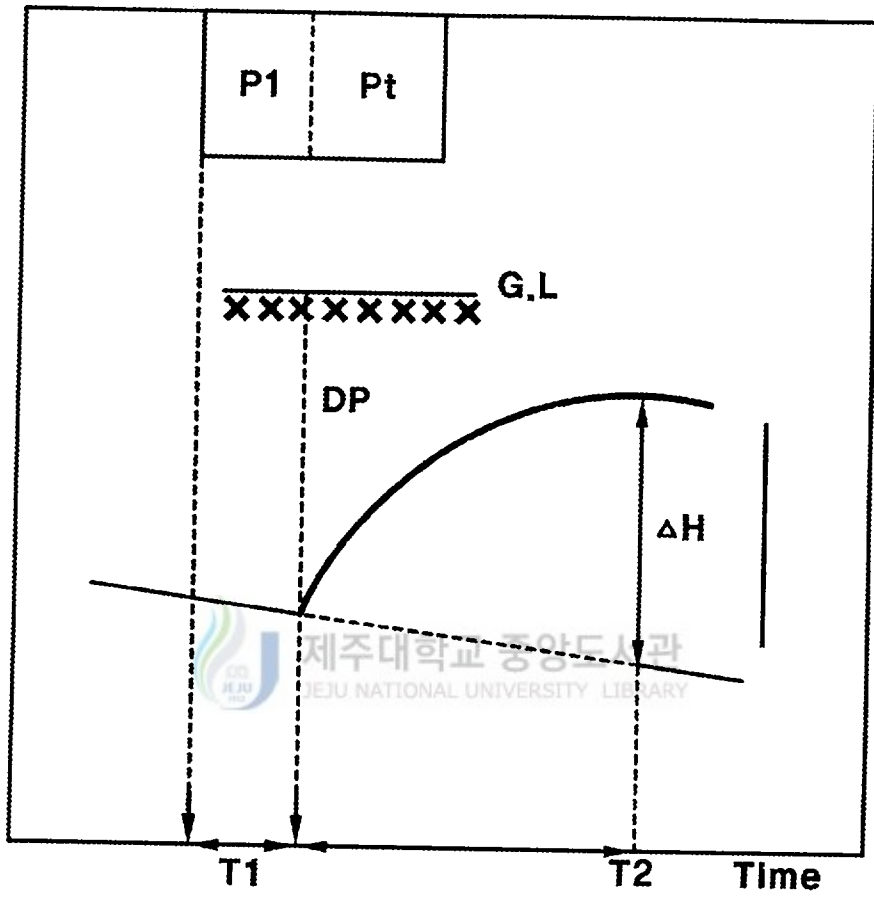


Fig. 3. Rising process of groundwater level(After Koh, 1997)

V. 연구결과

1. 강우량 및 함양특성

제주도는 한라산을 정점으로 원추형의 지형을 이루고 있어 강우량은 지형의 영향을 받아 지역에 따라 큰 차이를 나타낸다. 제주도농촌진흥원에서는 1986년 7월 1일부터 1991년 6월 30일까지 중산간지역 7개소에 우량계를 설치하여 강우량 분포를 조사한 결과를 1~12월까지 종합하여 보면 표고별로 보면 표고 300~400m(2001.4mm), 400~500m(1957.4mm), 700~800m(2549.0mm), 1,100m(2810.2mm)의 강우량을 보여 대체로 해발 100m 높아짐에 따라 강우량이 약 110mm씩 증가하는 것으로 보고되었을 뿐만 아니라, 한라산의 지형적 영향에 의해서 지역에 따라 큰 편차를 나타내는 것으로 보고된 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 연구지역의 위치를 고려할 때 제주기상대의 해안지역 강우량자료를 이용하는 것은 불합리하므로 제주도 재난방재본부에서 운영하는 강우관측소 중 연구지역의 상류 및 주변지역에 위치한 성판악·송당·교래·성읍에서 관측된 1997년 1월 1일~1999년 12월 31일까지 일별 강우자료를 수집하여 분석하였다. 연구대상 관측정의 지하수위는 관측정이 위치한 상류지역에 내린 강우량의 영향을 받기 때문에 이들 4개 관측소의 강우량을 평균하여 연구지역의 대표 강우자료로 활용하였다.

Table 2와 Fig. 4는 전술한 4개 관측소의 월간 강우량 및 월평균 강우량을 나타낸 것이다. 1997년의 경우 평균 2,439.8mm의 강우가 내렸고 1998년에는 3,178.0mm, 1999년에는 3,972.0mm를 기록하였다. 이를 제주기상대에서 관측한 제주시·서귀포시·성산·고산의 강우량과 비교하면 Table 3과 같다. 제시된 표에서 보는 바와 같이, 연구지역은 제주시·서귀포시·성산보다 연간 약 1,000mm 이상의 비가 내리고 있을 뿐만 아니라, 고산지역보다는 약 2,000mm가 많은 다우지역(多雨地域)이라 할 수 있다.

Table 2. Monthly Rainfall Data of the Study Area(1997. 1~1999. 12)

(unit : mm)

1997 Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Seongpanak	29.0	34.0	187.0	469.0	212.0	105.0	368.0	295.0	69.0	19.0	715.0	247.0	2,749.0
Koyrae	27.0	16.0	156.0	333.0	296.0	238.0	277.0	598.0	93.0	15.0	607.0	220.0	2,876.0
Seongup	8.0	21.0	156.0	294.0	129.0	160.0	196.0	202.0	80.0	11.0	472.0	178.0	1,907.0
Songdang	25.0	14.0	141.0	256.0	190.0	181.0	255.0	394.0	87.0	10.0	505.0	169.0	2,227.0
Average	22.3	21.3	160.0	338.0	206.8	171.0	274.0	372.3	82.3	13.8	574.8	203.5	2,439.8
1998 Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Seongpanak	352.0	270.0	321.0	360.0	245.0	931.0	563.0	265.0	818.0	205.0	20.0	11.0	4361.0
Koyrae	279.0	213.0	224.0	331.0	203.0	606.0	375.0	30.0	579.0	118.0	22.0	11.0	2,991.0
Seongup	220.0	168.0	286.0	274.0	124.0	394.0	325.0	362.0	580.0	90.0	15.0	4.0	2,842.0
Songdang	216.0	241.0	145.0	289.0	144.0	454.0	340.0	105.0	473.0	102.0	1.0	8.0	2,518.0
Average	266.8	223.0	244.0	313.5	179.0	596.3	400.8	190.5	612.5	128.8	14.5	8.5	3,178.0
1999 Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Seongpanak	191.0	46.0	405.0	276.0	331.0	234.0	1,850.0	952.0	1,000.0	73.0	118.0	9.0	5,554.0
Koyrae	175.0	63.0	339.0	187.0	274.0	151.0	1,216.0	682.0	669.0	32.0	93.0	20.0	3,901.0
Seongup	158.0	77.0	218.0	134.0	216.0	169.0	890.0	692.0	405.0	17.0	89.0	38.0	3,103.0
Songdang	128.0	61.0	240.0	169.0	204.0	163.0	1,033.0	684.0	514.0	37.0	79.0	18.0	3,330.0
Average	163.0	61.8	300.5	191.5	256.3	179.3	1,247.3	752.5	664.3	39.8	94.8	21.3	3,972.0

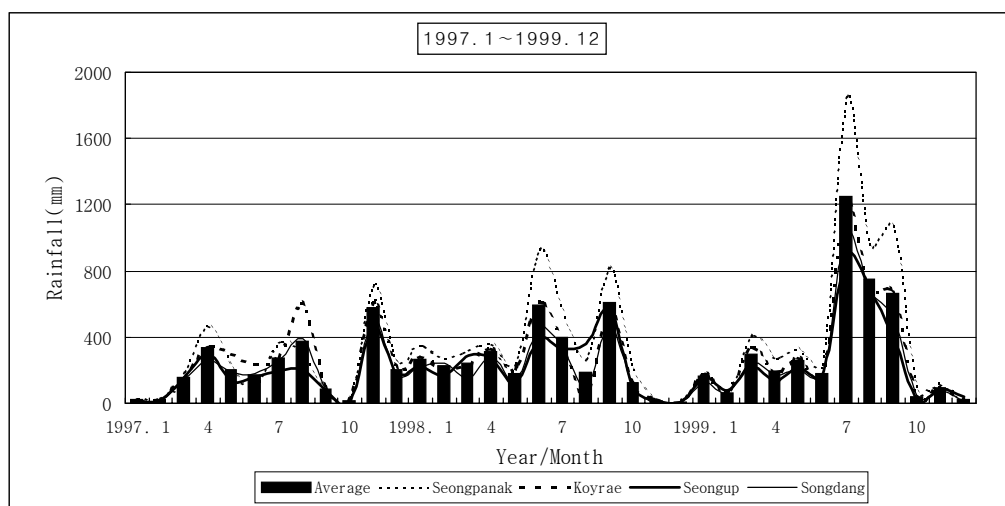


Fig. 4. Monthly Rainfall of the Study Area.

연구지역의 연도별 평균 강우량을 유역 강우량으로 환산하면(연구지역 상류 유역면적 69.3km²×연평균 강우량), 1997년의 경우에 169백만m³/년이고 1998년은 220백만m³/년, 1999년은 275백만m³/년이 된다. 1993년 한국수자원공사가 물수지 분석에 의한 제주도 전체의 지하수 평균 함양율 44.1%이지만 본 조사지역인 표선수역의 지하수 평균 함양율은 47%로서 제주도 전체 평균치 보다 다소 높게 나타나고 있는데 이는 증발산량이 제주도 전체의 경우 37% 정도이나 본 조사지역인 표선 수역의 경우 30%로 낮은 이유 때문이다. 표선수역의 지하수 평균 함양율을 적용하면, 1997년에는 79백만m³/년의 강우가 지하수로 함양되었고 1998년에는 103백만m³/년, 그리고 1999년에는 129백만m³/년이 함양된 것으로 볼 수 있다.

Table 3. Summary of the Rainfall data in Jeju Island(1997~1999).

(unit : mm)

Year	Study Area					Entire			
	Koyrae	Seongup	Seong-panak	Songdang	Average	Cheju	Seowipo	Seongsan	Kosan
1997	2,876	1,907	2,749	2,227	2,440	999	1,576	1,803	875
1998	2,991	2,842	4,361	2,518	3,178	1,912	1,799	2,236	1,050
1999	3,901	3,103	5,554	3,330	3,972	2,574	2,970	2,328	1,874

2. 연도별 지하수위 변동 특성

연구 대상 관측정의 연도별 지하수위 변화를 파악하기 위해 1997년 1월 1일부터 1999년 12월 31일까지 3년간 관측된 시간별 자료를 일평균·월평균으로 각각 분석하여 부록에 제시였고, 각 관측정별로 연도별 평균수위·최대수위·최소수위·변동폭을 Table 4에 나타냈다.

표에 제시되어 있는 바와 같이 연구 대상 관측정의 3년 평균 지하수위는 Well 1이 92.0m이고 Well 2는 101.7m이며, Well 3은 94.0m로 Well 1과 유사 값을 나타내

었다. 그러나, Well 2의 3년 평균 지하수위는 Well 1보다는 10m, Well 3보다는 8m 나 높은 값이다. 연도별 변화를 살펴보면 Well 1의 경우, 1997년이 평균수위·최대 수위·최소수위가 각각 87.5m·93.2m·83.5m로 가장 낮은 반면, 1999년에는 최대수

Table 4. Summary of Water Levels of the Each Wells.

(unit : m)

Year	Well 1				Well 2				Well 3			
	Ave.	Max.	Min.	Range	Ave.	Max.	Min.	Range	Ave.	Max.	Min.	Range
1997	87.5	93.2	83.5	9.7	98.8	109.2	84.8	24.4	88.5	95.4	83.4	12.0
1998	94.6	98.1	91.2	6.9	104.5	110.6	100.9	9.7	96.4	99.8	93.0	6.8
1999	94.0	104.9	90.3	14.6	101.9	115.2	96.0	19.2	97.1	106.9	92.6	14.3
Ave.	92.0	98.8	88.3	10.4	101.7	111.7	93.9	17.8	94.0	100.7	89.7	11.0

위·연간 변동폭이 각각 104.9m·14.6m로 가장 높았다(Fig. 5). Well 2의 경우는 평균수위는 1998년도에 104.5m로 가장 높았으나 최대수위는 1999년도에 115.2m로 최대를 나타냈고, 연간 변동폭은 1997년에 24.4m로 가장 높게 나타나 Well 1 및 Well 3과는 수위변동이 상이한 양상을 보여주고 있다(Fig.5). Well 3의 경우는 1997년이 평균수위·최대수위·최소수위가 가장 낮았고, 1999년에 평균수위·최대 수위·변동폭이 가장 높게 나타나 Well 1과 유사한 수위변동 특성을 나타내었다(Fig. 5).

한편, 각 관측정별 3년간의 수위변동폭(최대수위-최소수위)을 살펴보면, Well 1 은 21.4m이고, Well 2는 30.4m이며, Well 3는 23.5m로 수위변동폭이 연구 대상 관측정 모두에서 크게 나타났다. 본 연구결과를 해발 200m 이하지역에 위치한 관정을 대상으로 실시한 고기원(1997)의 연구결과와 비교할 때, 동부(3년간 2m이하)와 서부지역(3년간 4m이하)보다는 약 10배 이상 높은 값이나 남부(3년간 23.4m)와 북부 지역(3년간 28.43m) 보다는 다소 높은 값이다.

이러한 결과는 본 조사지역의 남·북부지역과 같이 지하수가 상위 또는 준기저지 하수이며, 또한 비포화대가 매우 깊은 관계로 연간 수위변동이 크게 나타나고 있는 것으로 사료된다. 이와 반면 동부지역의 경우 기저지하수이고, 서부지역은 준기저 지하수이나 해안면에서 유출이 일어나기 때문에 수위변동 폭이 작은 것으로 해석된다.

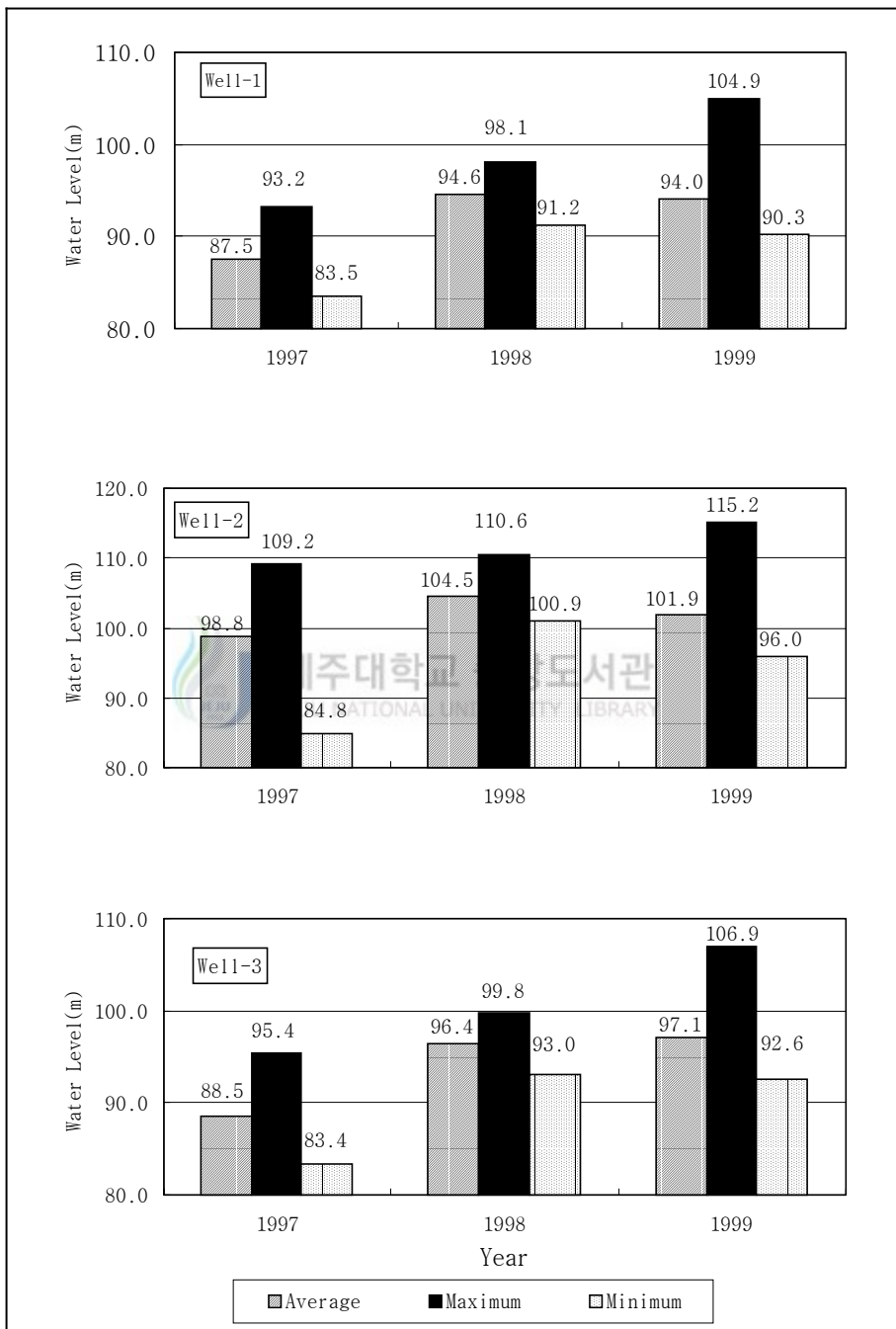


Fig. 5. Average, Maximum and Minimum Groundwater Level of the Each Wells.

Fig. 6는 연구대상 3개 관측정의 3년간 지하수위 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 관측정들은 모두 계절적인 수위변화를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 전반적으로 강우량이 많은 여름철에는 수위가 높게 형성되지만 강우량이 적은 가을~겨울까지 기간에는 수위가 비교적 낮게 형성되고 있다. 이 같은 동저하고(冬低夏高) 계절적 수위변화 양상은 고기원 등(1992 a, b), 박원배(1993), 고기원(1997)이 보고한 연구결과와 잘 일치하는 결과로서 연구 대상 관측정들은 강우의 계절적 변화에 의해 수위변동이 이루어지고 있음을 의미하는 것이다.

그러나, Well 2의 경우는 Well 1 및 Well 3과 비교할 때, 수위가 높게 형성되고 있을 뿐만 아니라 변동폭도 크게 나타나고 있다. 특히, Well 2는 Well 3과 상류쪽으로 20m 이격되어 있고 Well 1과는 40m 이격되어 있음에도 불구하고 Well 1 및 Well 3과는 상이한 양상을 보이고 있는 것은 매우 특이한 현상이라 하겠다.

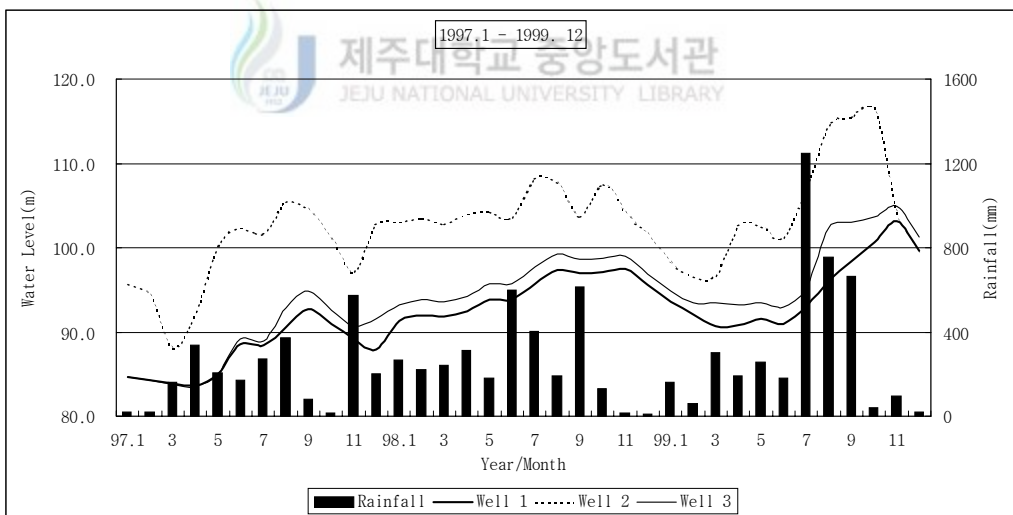


Fig. 6. Monthly Fluctuations of the Groundwater Level of Each Wells.

3. 강우에 의한 지하수위 변동분석

Fig. 7은 1997년부터 1999년까지 3개년간 관측정별 지하수위와 4개 지역의(성판악, 교래, 송당, 교래) 평균 강우량과의 관계를 나타낸 것이다. 제시된 그림에서 보는 바와 같이 1997년의 경우, 3월 중순까지는 비가 내리지 않은 관계로 3개 관측정의 수위가 모두 하강국면을 나타내었으나 3월 12일~15일까지 91mm의 비가 내린 후부터 수위가 상승하기 시작해서 8월까지 수 차례의 강우의 영향으로 상승국면을 유지하다가 11월 중순까지 다시 하강한 후 재차 상승하는 모습을 보여주고 있다. 그러나, 전술한 바와 같이 Well 2는 Well 1 및 Well 3과 비교했을 때, 수위 상승과 하강의 폭이 매우 크게 나타나고 있음을 잘 보여주고 있다.

1998년의 경우에는 1997년말 부터 지속된 강우의 영향에 의해 3개 관측정의 수위가 10월까지 장기간 상승하는 하다가 10월 이후부터 서서히 하강하는 모습을 보여주고 있다. 1998년 1월의 수위는 1997년 1월보다 7~9m 상승해 있는데, 이는 1997년 11월~12월까지 778mm의 많은 비가 내린 영향에 의한 것으로 해석된다. 이처럼, 연구 대상 3개 관측정의 지하수위는 강우의 영향을 민감하게 받고 있으며, 상승과 하강의 폭도 비교적 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

1999년의 경우, 1998년 11월부터 2월말까지 강우량이 적은 관계로 3개 관측정의 수위가 하강하는 국면을 나타내었으며, 수위상승은 3월부터 상승하기 시작하여 9월 말까지 상승국면을 유지하다가 10월말부터 감소하고 있다. 3개년 중 지하수위는 3개 관측정 모두가 조사기간 중 최대치를 보이고 있다.

본 연구 대상 관측정이 위치한 북제주군 조천읍 교래리 일대지역은 강우사상이 빈번하게 발생하고 있을 뿐만 아니라, 한번의 강우사상에서 수백 mm 이상의 많은 강우가 내리기 때문에 지하수위가 강우의 누적효과를 지속적으로 받고 있다고 할 수 있다.

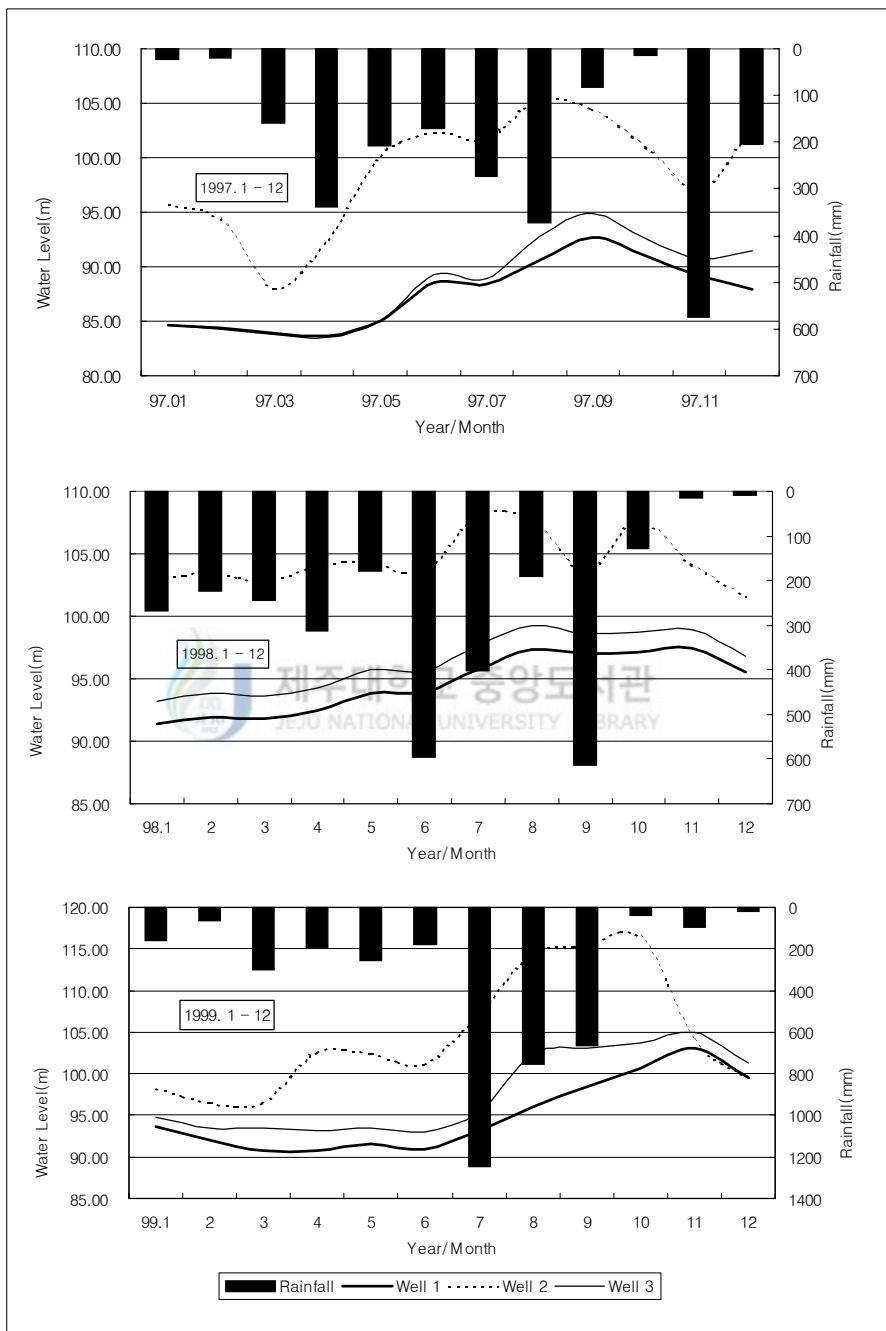


Fig. 7. The Relationships between Rainfall and Groundwater Level of the Each Wells in 1997~1999.

강우에 의한 수위반응 분석을 1997년부터 1999년까지의 기간 중 강우가 약 20일 동안 내리지 않아 지하수위가 하강곡면을 유지하다가 특정 시점에 발생한 강우에 의해 수위가 반응을 나타내는 시점인 1998년 9월 25일부터 10월 25일까지 시점을 선택하여 강우에 의한 수위반응을 분석하였고, 그 결과를 Table 5와 Fig.8에 제시하였다.

Table 5. Characteristics of groundwater level fluctuation due to rainfall of the Study Area.

Well No.	P1(mm)	Pt(mm)	Dp(m)	T1(day)	T2(day)	$\Delta H(m)$
Well 1	1,133	1,133	95.9	13	15	1.9(97.8)
Well 2	1,133	1,133	102.1	7	16	8.3(110.4)
Well 3	1,133	1,133	97.3	12	16	2.3(99.6)

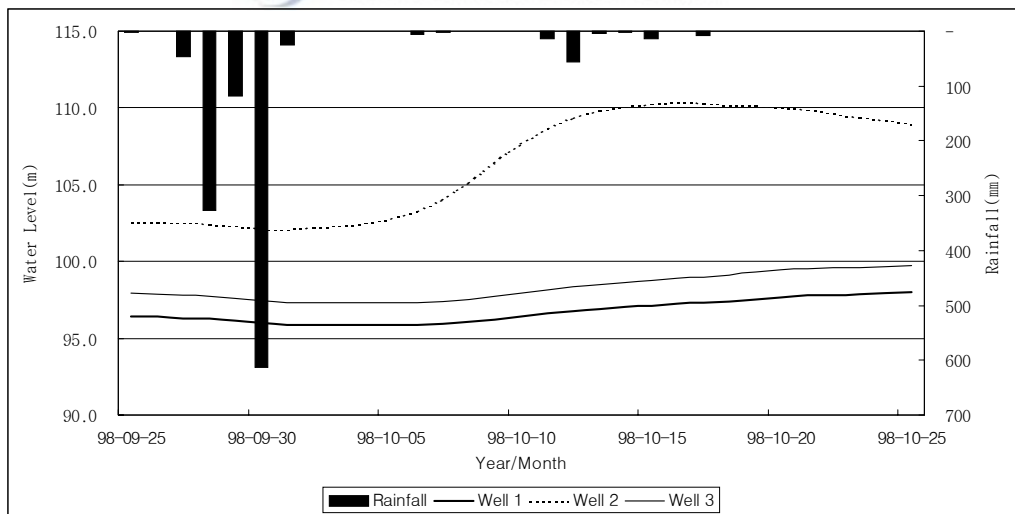


Fig. 8. Fluctuation of the Groundwater Level Due to Rainfall in the Study Area.

제시된 Table 5와 Fig. 8에서 보면, 연구 대상 3개 관측정의 강우에 의한 수위반응은 비교적 다양하게 나타나고 있다. 연구지역에는 1998년 9월 25일부터 10월 1일까지 1,133mm(P1)에 달하는 많은 비가 내렸는데, 이 강우의 영향으로 인하여 지하수위가 상승 하는 반응을 나타냈다. 즉, Well 2는 강우 후 7일(T1)째 되는 날부터 총 16일(T2)간에 걸쳐 수위가 8.3m(ΔH) 상승하는 반응을 보였고, Well 1은 강우 후 13일째 되는 날부터 15일간 총 1.9m의 수위가 상승하였으며, Well 3은 강우 후 12일째 되는 날부터 16일간 총 2.3m의 수위상승이 일어났다. 연구대상 관측정들이 서로 인접하여 위치하고 있음에도 불구하고 강우에 의한 수위반응 시간은 7일, 12일, 13일로 각각 다르게 나타나고 있을 뿐만 아니라, 수위상승이 지속되는 기간도 15일에서 16일이며, 총 수위 상승량도 1.9m~8.3m의 범위를 나타내고 있음은 매우 특이한 현상이라 하겠다.

4. 지하수 이용량에 따른 지하수위 변화

본 연구에서는 취수정에서의 지하수 채수에 따른 지하수위 변화 여부에 대하여 분석을 실시하였다. 무강우가 지속되어 지하수위가 계속 하강이 이루어졌던 1998년 9월 25일에서부터 10월 25일까지 1개월간의 상황을 Fig. 9에 제시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 취수정에서 지하수 채수로 인한 수위변화는 발생하고 있지 않다. 이는 취수정에서 장기양수 시험 결과 1일 800 m^3 을 5일간 지속적으로 양수한 결과 수위강하는 50cm이하로 보고된바 있어(제동홍산 1996) 실제 취수량이 1일 50 m^3 /일 이내에서는 양수에 의한 수위변화는 거의 없다고 해석된다.

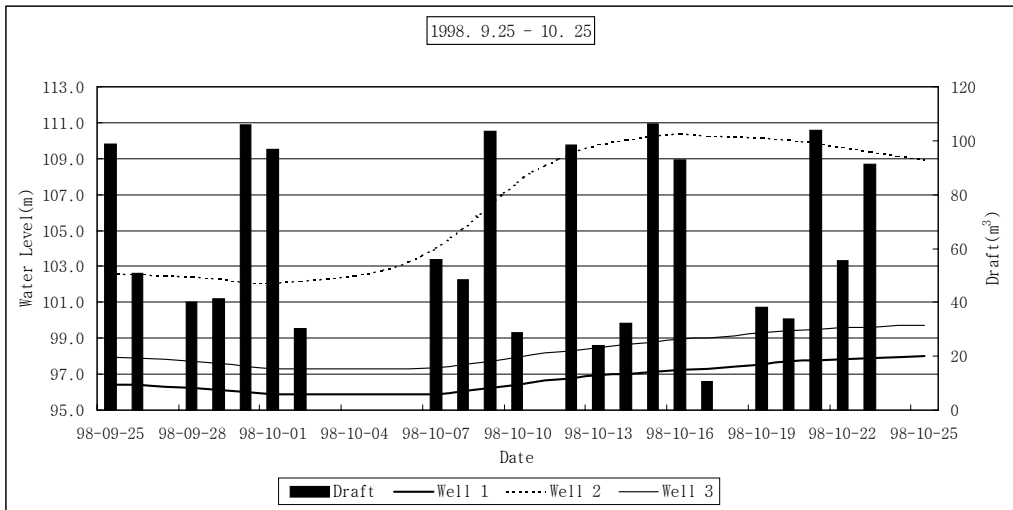


Fig. 9. The Relationships Between Groundwater draft and Groundwater Levels in the Study Area.



5. 지하수 함양량 분석

본 연구 대상 관측정은 전술한 바와 같이 지하수 이용량과 조석에 의한 수위변동은 발생하고 있지 않고, 강우에 의한 수위변화가 지배적으로 일어나고 있기 때문에 조석·기압·양수량 등의 요인은 고려하지 않았다.

연구 대상 3개 관측정에서 1997년 1월 1일부터 1999년 12월 31일까지 관측된 지하수위 자료를 전술한 방법을 적용하여 관측정별 순지하수 함양량과 침투율을 구한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6에 제시된 바와 같이 연구 대상 관측정별·연도별 지하수 순함양량과 함양율은 매우 다양하게 나타나고 있다. Well 1의 경우, 1997년에는 순함양량이 4.6m이고 함양율은 32%이지만 1998년에는 각각 6.0m와 18%였으며, 1999년은 각각 7.8m와 21%로 나타나 평균 순함양량이 6.1m이고 함양율은 평균 23.6%로 분석되었다. Well 2의 경우에는 1997년에는 순함양량이 10.4m이고 함양율은 65%이지만 1998년에는 각각 6.6m와 17%였으며, 1999년은 각각 5.0m와 17%로 나타나 평균 순함양량이

7.3m이고 함양율은 평균 33%로 분석되었다. 또한, Well 3의 경우에는 1997년에는 순함양량이 7.2m이고 함양율은 50%이지만 1998년에는 각각 5.4m와 17%였으며, 1999년은 각각 7.5m와 22%로 나타나 평균 순함양량이 6.7m이고 함양율은 평균 29.6%로 분석되었다.

Table 6. Summarized of the Groundwater Recharge of the Each Wells.

Year	Well No.	Rainfall (mm)	Minimum Water Level (m)	Maximum Water Level (m)	ΔH (m)	Specific Yield	Net Recharge (m)	Recharge Rate(%)
97	Well 1	1,458	83.66	90.92	7.26	0.634	4.6	32
	Well 2	1,604	88.09	104.48	16.39	0.634	10.4	65
	Well 3	1,444	83.55	94.88	11.33	0.634	7.2	50
98	Well 1	3,377	87.92	97.44	9.52	0.634	6.0	18
	Well 2	3,933	97.07	107.51	10.44	0.634	6.6	17
	Well 3	3,192	90.72	99.26	8.54	0.634	5.4	17
99	Well 1	3,726	90.73	103.1	12.37	0.634	7.8	21
	Well 2	2,927	96.57	104.49	7.92	0.634	5.0	17
	Well 3	3,425	93.15	104.97	11.82	0.634	7.5	22

전체적으로 볼 때, 연구 대상 3개 관측정의 순함양량은 6.7m이고 함양율은 28.7%이지만, 지하수위의 위치에 따라 순함양량과 함양율은 큰 차이를 보이고 있다. 즉, Well 1의 경우에는 지하수위가 85m보다 낮았을 때에 함양율이 32%로 높게 나타나고 있으며, Well 2는 수위가 90m 이하일 때에 함양율은 65%였고, Well 3은 수위가 85m 이하일 때 50%를 나타내고 있다. 따라서, 연구 대상 3개 관측정의 최대 침투능 (maximum infiltration capacity)을 나타낼 수 있는 지하수위는 각각 다르게 형성되고 있음을 알 수 있다. 다시 말해서, 지하수위가 일정 수준 이상으로 상승했을

때, 많은 비가 내리더라도 지하수위 상승량은 지하수위가 낮았을 때보다 낮아지게 된다는 것이다. 결국, 본 연구에서 분석한 결과는 지하수 함양이 초기에 최대를 나타낸다는 일반적인 현상(한정상, 1998)을 잘 설명해 주고 있다.

6. 해안지역의 강우에 의한 수위반응과의 비교

지하수 함양이란 강우가 지하로 침투하여 지하수체에 도달하므로써 지하수의 저류량의 증대를 가져오는 현상이라 할 수 있다. 지하수율 또는 함양량은 1차적으로 지표층을 구성하고 있는 암석과 토양의 물리적 특성에 좌우될 뿐만 아니라, 비포화대(unsaturated zone)의 두께와 지하 구성암석의 물성에 따라 달라진다. 또한, 강우의 시간적 및 공간적 분포와 더불어 지표의 토지이용상황도 지하수 함양량을 좌우하는 요인으로 작용한다. 지하로 침투한 물의 지하수체까지 도달하는데 걸리는 시간은 비포화대의 두께와 수직적인 수리전도도에 의해 결정된다(Petter, 1994). 비포화대의 두께가 얇고 수리전도도가 높은 값을 지니고 있는 지역일수록 강우에 의한 지하수 함양속도는 매우 빠르게 일어나지만 비포화대의 두께가 얇다고 하더라도 지하에 점토층 또는 치밀질의 암석이 분포하는 경우에는 함양속도가 지연될 수 밖에 없다.

고기원(1997)은 해안지역의 16개 관정을 대상으로 강우에 의한 수위반응 분석을 최초로 실시한 바 있는데, 이를 요약하면 다음과 같다. 동부지역에서는 비가 내리기 시작한 후 평균 12시간 이후부터 수위상승이 시작되며, 유효강우량은 평균 94.2mm이다. 또한, 수위상승이 지속되는 시간은 평균 16시간 정도이며, 총 수위상승치는 평균 1m 정도인 것으로 분석되었다. 서부지역에서는 수위반응 지연시간은 동부지역과 유사하게 강우 후 평균 11시간이지만 평균 50.8mm의 강우에 의해 수위가 반응을 나타내고 있어 동부지역과는 약 40mm의 차이를 보이고 있으며, 수위상승이 지속되는 시간은 평균 16시간이고 총 수위 상승치는 평균 2.5m이다. 남부지역에서는 강우 후 수위가 반응하기까지의 지연시간은 17.75시간으로서 동부와 서부지역보다 늦은 반면, 수위상승 지속시간은 평균 53시간으로서 훨씬 길게 나타나고 있다. 또한, 강우에 의한 수위 상승치에 있어서도 평균 7.61m로서 제주도내에서 가장 큰 값

을 보이고 있으며, 수위가 반응하기까지의 유효강우량도 140.5mm로서 가장 많게 나타나고 있다. 북부지역에서는 강우 후 17시간이 지나면서부터 수위가 반응을 보이기 시작하여 총 34시간 동안 1.11m의 수위가 상승하였다

상기와 같은 해안지역에서의 강우에 의한 수위반응 분석결과를 본 연구결과와 비교하면, 지하수 함양지역으로 일컬어지고 있는 중산간지역에서의 지하수 함양속도가 해안지역보다 훨씬 느리게 일어나고 있음을 알 수 있다. 특히, 연구 대상 관측정의 비포화대 두께가 236m~249m 범위임을 고려하면, 강우가 1일 당 약 19m 내지는 35m의 속도로 지하수체로 이동하고 있는 셈이다. 이 같은 현상은 중산간지역으로 갈수록 비포화대의 두께가 두꺼워지기 때문에 강우가 지하수체까지 도달하는데에는 많은 시간이 소요되고 있음을 반영해 주고 있는 것으로 해석된다. 반면, 해안지역의 경우에는 비포화대의 두께가 100m 이내로 얇을 뿐만 아니라, 지하수가 해안으로 배출되는 지역이기 때문에 강우에 의한 수위 상승과 하강의 속도가 중산간지역보다는 빠르게 일어나고 있는 것으로 사료된다.



V. 결 론

제주도 중산간 지역에 위치한 3개 관측정에서 연속 측정된 지하수위 자료와 주변 지역 강수량자료의 분석을 통하여 지하수 함양지역 심부지하수체의 지하수위 변동 특성과 강우에 의한 수위반응 및 함양율에 대하여 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구대상 지역인 북제주군 조천읍 교래리 일대 지역에는 1997년~1999년까지 연평균 3,196.6mm의 비가 내렸는데, 이 같은 강수량은 해안지역(제주시·서귀포시·성산)보다 연간 약 1,000mm, 고산지역보다는 약 연간 2,000mm)보다 많아 다우 지역이라 할 수 있고 지하수 함양율은 47%로 제주도 타 지역에 비하여 매우 높은 값을 나타내므로 연구대상지역을 지하수의 주 함양지역이라 할 수 있다.

2. 연구 대상 관측정의 3년간 평균 지하수위는 Well 1이 92.0m이고 Well 2는 101.7m이며, Well 3은 94.0m로 측정되었으며, Well 2의 지하수위는 Well 1보다는 10m, Well 3보다는 8m나 높은 값을 나타내었다. 또한, 각 관측정별 3년간의 수위변동폭(최대수위-최소수위)은 Well 1이 21.4m이고, Well 2는 30.4m이며, Well 3는 23.5m로서 해발 200m 이하지역에 위치한 관정을 대상으로 실시한 연구결과와 비교할 때, 동부(3년간 2m이하)와 서부지역(3년간 4m이하)보다는 약 10배 이상 높은 값이나 남부(3년간 23.4m)와 북부지역(3년간 28.43m) 보다는 다소 높은 변동폭이다.

3. 연구대상 관측정들은 전반적으로 강우량이 많은 여름철에는 수위가 높게 형성되지만 강우량이 적은 가을~겨울까지 기간에는 수위가 비교적 낮게 형성되는 동저하고(冬低夏高) 계절적 수위변화 양상을 나타내었는데, 이는 기존 연구결과와 잘 일치하는 결과로서 연구 대상 관측정들은 강우의 계절적 변화에 의해 수위변동이 이루어지고 있음을 의미하는 것이다.

4. 연구 대상 3개 관측정의 강우에 의한 수위반응을 강우가 약 20일 동안 내리지 않아 지하수위가 하강곡면을 유지하다가 1998년 9월 25일부터 10월 1일까지 1,133mm에 달하는 강우량에서 분석한 결과, Well 2는 강우 후 7일째 되는 날부터 총 16

일간에 걸쳐 수위가 8.3m 상승하는 반응을 보였고, Well 1은 강우 후 13일째 되는 날부터 15일간 총 1.9m의 수위가 상승하였으며, Well 3은 강우 후 12일째 되는 날부터 16일간 총 2.3m의 수위상승이 일어났는데, 이 같은 결과는 해안지역의 기존의 연구결과와 비교 할 때 매우 느린 것이다.

5. 관측정별 순지하수 함양량과 함양율을 구한 결과, 연구 대상 3개 관측정의 순함양량은 6.7m이고 함양율은 28.7%이지만, 지하수위의 위치에 따라 순함양량과 함양율은 큰 차이를 보이고 있다. 즉, Well 1의 경우에는 지하수위가 85m보다 낮았을 때에가 함양율이 32%로 높게 나타나고 있으며, Well 2는 수위가 90m 이하일 때에 함양율은 65%였고, Well 3은 수위가 85m 이하일 때 50%를 나타내었다. 이 같은 결과는 지하수위가 일정 수준 이상으로 상승했을 때에는 많은 비가 내리더라도 지하수위 상승량은 지하수위가 낮았을 때보다 낮아지게 된다는 것을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

- 고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적관련성, 부산대학교 대학원 박사학위논문, pp. 1~325.
- 고기원, 박원배, 김호원, 채종일, 1992 a, 제주도의 지하지질구조와 지하수위 변동과의 관계(I) - 강우에 의한 지하수위 변동-(요약), 지질학회지 제28권 5호, p. 540.
- 고기원, 양성기, 박원배, 감상규, 1992 b, 제주도의 지하지질구조와 지하수위 변동과의 관계(II) - 조석에 의한 지하수위 변동-(요약)지질학회지 제28권 5호, pp. 540~541.
- 고기원, 박원배, 고용구, 김성홍, 오상실, 윤 선, 1992, 제주도 동부지역의 지하지질구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구, 제주도보건환경연구원보 제3권 pp. 15~43.
- 고기원, 문영석, 양성기, 1995, 제주도 동북부지역 지하수의 수위변동과 수질 조성에 관한 연구, 제주대학교 환경연구소 환경연구논문집 제3권 1호, pp. 101~126.
- 건설부, 제주도, 한국수자원공사, 1993, 제주도 수자원 종합개발계획수립 보고서
- 농림수산부, 농업진흥공사, 1971, 제주도 지하수보고서, pp.1~382.
- 농림수산부, 제주도, 농업진흥공사, 1989, 제주도 지하수장기개발계획조사 보고서, p. 396.
- 박원배, 1993, 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp. 1~49.
- 박원배, 양성기, 고기원, 1994, 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구, 한국환경화학회지, 제3권, 제4호, pp. 333~348.
- 제동홍산, 1996, 제주광천수 먹는 샘물 환경영향조사 보고서
- 제주도지방개발공사, 1997, 제주도 먹는샘물 환경영향조사 보고서
- 제주도, 농어촌진흥공사, 1991~1997, 제주도 지하수개발 보고서
- 제주도, 1998, 제주·애월도폭 지질보고서, pp. 1~290

- 제주도농촌진흥원, 1991, 제주도 중산간지 기상조사 보고서
- 최병수와 안중기, 1998, 지역단위 지하수 자연함양을 산정방법 연구, J. of the Korea Society of Groundwater Environment, Vol. 5, No. 2, pp. 57~65.
- Fetter, C. W., 1994, Applied Hydrogeology(Third Edition), Macmillian College Publishing Company, New York, pp. 288~290.
- 한정상, 1998, 지하수 환경과 오염, 박영사, pp. 55~61.



부 록

1. 월 평균 강우량 및 지하수위
2. 일 평균 지하수위



1. 월 평균 강수량 및 지하수위

Month	Rainfall	Well 1	Well 2	Well 3
	(mm)	Ground Water Level (m)		
1997.01	22.25	84.64	95.77	84.62
1997.02	21.25	84.34	94.37	84.28
1997.03	160.00	83.89	88.09	83.79
1997.04	338.00	83.66	92.38	83.55
1997.05	206.75	85.03	100.14	85.00
1997.06	171.00	88.57	102.37	89.22
1997.07	274.00	88.39	101.65	88.96
1997.08	372.25	90.60	105.42	92.84
1997.09	82.25	92.74	104.48	94.88
1997.10	13.75	90.92	101.02	92.61
1997.11	574.75	89.18	97.07	90.72
1997.12	203.50	87.92	102.80	91.51
1998.01	266.75	91.33	102.99	93.19
1998.02	223.00	91.95	103.48	93.83
1998.03	244.00	91.83	102.72	93.58
1998.04	313.50	92.40	104.05	94.23
1998.05	179.00	93.81	104.32	95.73
1998.06	596.25	93.90	103.56	95.67
1998.07	400.75	95.73	108.22	97.68
1998.08	190.50	97.36	107.68	99.26
1998.09	612.50	96.98	103.66	98.61
1998.10	128.75	97.08	107.51	98.69
1998.11	14.50	97.44	104.17	98.98
1998.12	8.50	95.55	101.65	96.82
1999.01	163.00	93.63	98.29	94.80
1999.02	61.75	92.08	96.56	93.42
1999.03	300.50	90.73	96.57	93.40
1999.04	191.50	90.81	102.63	93.15
1999.05	256.25	91.60	102.47	93.44
1999.06	179.25	90.90	101.19	92.97
1999.07	1,247.25	93.07	107.17	95.40
1999.08	752.50	96.07	114.49	102.43
1999.09	664.30	98.37	115.49	103.03
1999.10	39.80	100.67	116.49	103.63
1999.11	94.80	103.10	104.02	104.97
1999.12	21.50	99.57	99.53	101.27

2. 일 평균 지하수위

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well 1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1997-01-01	84.6	95.7	84.6	1997-02-06	84.4	95.1	84.4
1997-01-02	84.7	95.7	84.6	1997-02-07	84.4	95	84.4
1997-01-03	84.7	95.8	84.7	1997-02-08	84.4	94.8	84.4
1997-01-04	84.7	95.9	84.7	1997-02-09	84.4	94.8	84.3
1997-01-05	84.7	95.9	84.7	1997-02-10	84.3	94.7	84.3
1997-01-06	84.7	96	84.7	1997-02-11	84.3	94.6	84.3
1997-01-07	84.8	96.1	84.8	1997-02-12	84.4	94.6	84.3
1997-01-08	84.8	96.1	84.8	1997-02-13	84.4	94.6	84.3
1997-01-09	84.8	96.1	84.8	1997-02-14	84.4	94.5	84.3
1997-01-10	84.7	96	84.7	1997-02-15	84.3	94.4	84.3
1997-01-11	84.7	96	84.7	1997-02-16	84.3	94.3	84.2
1997-01-12	84.7	96	84.7	1997-02-17	84.3	94.2	84.2
1997-01-13	84.7	96	84.7	1997-02-18	84.3	94.2	84.2
1997-01-14	84.7	95.9	84.7	1997-02-19	84.3	94.1	84.3
1997-01-15	84.7	95.9	84.7	1997-02-20	84.3	94.1	84.2
1997-01-16	84.7	95.8	84.6	1997-02-21	84.3	94	84.2
1997-01-17	84.7	95.8	84.6	1997-02-22	84.3	93.9	84.2
1997-01-18	84.6	95.8	84.6	1997-02-23	84.3	93.8	84.2
1997-01-19	84.6	95.7	84.6	1997-02-24	84.3	93.7	84.2
1997-01-20	84.6	95.7	84.6	1997-02-25	84.2	93.4	84.1
1997-01-21	84.6	95.6	84.6	1997-02-26	84.2	93.3	84.1
1997-01-22	84.6	95.6	84.5	1997-02-27	84.2	93.2	84.1
1997-01-23	84.6	95.6	84.5	1997-02-28	84.1	93	84.1
1997-01-24	84.6	95.6	84.5	1997-03-01	84.1	92.6	84
1997-01-25	84.5	95.5	84.5	1997-03-02	84.1	92.5	84.1
1997-01-26	84.5	95.5	84.5	1997-03-03	84.1	92.3	84.1
1997-01-27	84.5	95.5	84.5	1997-03-04	84.1	92.2	84
1997-01-28	84.5	95.5	84.5	1997-03-05	84.1	92	84
1997-01-29	84.5	95.5	84.5	1997-03-06	84	91.9	83.9
1997-01-30	84.5	95.5	84.5	1997-03-07	84	91.8	83.9
1997-01-31	84.5	95.4	84.5	1997-03-08	84	91.7	84
1997-02-01	84.5	95.4	84.5	1997-03-09	84	91.2	83.9
1997-02-02	84.5	95.3	84.5	1997-03-10	84	90.2	83.9
1997-02-03	84.5	95.2	84.5	1997-03-11	83.9	89.4	83.9
1997-02-04	84.5	95.2	84.5	1997-03-12	83.9	88.8	83.9
1997-02-05	84.5	95.1	84.4	1997-03-13	83.9	88.1	83.8

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1997-03-14	83.9	88	83.7	1997-04-20	83.7	95.7	83.6
1997-03-15	83.9	87.7	83.8	1997-04-21	83.7	95.9	83.6
1997-03-16	83.9	87.2	83.8	1997-04-22	83.7	96.2	83.6
1997-03-17	83.9	87	83.8	1997-04-23	83.8	96.7	83.7
1997-03-18	83.9	86.5	83.8	1997-04-24	83.8	97.4	83.7
1997-03-19	83.8	86.2	83.7	1997-04-25	83.8	98.3	83.8
1997-03-20	83.8	85.9	83.7	1997-04-26	83.9	98.5	83.8
1997-03-21	83.8	85.9	83.7	1997-04-27	83.9	98.6	83.8
1997-03-22	83.8	85.7	83.6	1997-04-28	83.8	98.6	83.8
1997-03-23	83.8	85.4	83.6	1997-04-29	83.8	98.7	83.8
1997-03-24	83.8	85.6	83.7	1997-04-30	83.8	98.7	83.8
1997-03-25	83.8	85.3	83.7	1997-05-01	83.9	98.8	83.9
1997-03-26	83.8	85.3	83.6	1997-05-02	83.9	98.9	83.9
1997-03-27	83.8	85.1	83.6	1997-05-03	83.9	98.9	83.9
1997-03-28	83.8	84.9	83.6	1997-05-04	84	98.9	84
1997-03-29	83.7	84.8	83.5	1997-05-05	84	99	84.1
1997-03-30	83.7	84.8	83.6	1997-05-06	84.1	99.1	84.1
1997-03-31	83.7	84.9	83.6	1997-05-07	84.3	99.1	84.2
1997-04-01	83.7	85.1	83.6	1997-05-08	84.3	99.1	84.2
1997-04-02	83.6	85	83.5	1997-05-09	84.4	99.3	84.3
1997-04-03	83.6	84.8	83.5	1997-05-10	84.5	99.3	84.4
1997-04-04	83.6	84.9	83.5	1997-05-11	84.5	99.3	84.5
1997-04-05	83.6	84.9	83.4	1997-05-12	84.6	99.4	84.5
1997-04-06	83.6	85.1	83.4	1997-05-13	84.6	99.4	84.6
1997-04-07	83.6	85.6	83.4	1997-05-14	84.6	99.4	84.6
1997-04-08	83.5	86.2	83.4	1997-05-15	84.7	98.7	84.6
1997-04-09	83.5	87.3	83.4	1997-05-16	84.7	99.7	84.7
1997-04-10	83.6	89.1	83.4	1997-05-17	84.8	99.8	84.8
1997-04-11	83.5	90.9	83.4	1997-05-18	84.9	99.9	84.9
1997-04-12	83.5	91.8	83.4	1997-05-19	84.9	100	84.9
1997-04-13	83.5	92.2	83.4	1997-05-20	85.1	100.2	85
1997-04-14	83.6	92.8	83.4	1997-05-21	85.2	100.5	85.2
1997-04-15	83.5	93.4	83.4	1997-05-22	85.4	100.8	85.5
1997-04-16	83.6	94	83.4	1997-05-23	85.6	101.1	85.7
1997-04-17	83.6	94.6	83.5	1997-05-24	85.7	101.4	86
1997-04-18	83.6	95	83.5	1997-05-25	85.9	101.6	86.5
1997-04-19	83.7	95.5	83.6	1997-05-26	86.1	101.9	87.4

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1997-05-27	86.3	102.1	87.7	1997-07-10	88.2	100.9	88.7
1997-05-28	86.5	102.2	88	1997-07-11	88.2	100.9	88.7
1997-05-29	86.6	102.3		1997-07-12	88.1	100.9	88.6
1997-05-30	86.7	102.3		1997-07-13	88.1	100.9	88.6
1997-05-31	86.9	102.3		1997-07-14	88.1	100.9	88.6
1997-06-01	88.2	103.9		1997-07-15	88.1	100.9	88.5
1997-06-09	88.6	102.9		1997-07-16	88	100.9	88.5
1997-06-10	88.6	102.8		1997-07-17	88	101	88.5
1997-06-11	88.6	102.7		1997-07-18	88.1	101.1	88.5
1997-06-12	88.7	102.7		1997-07-19	88.1	101.3	88.5
1997-06-13	88.7	102.6		1997-07-20	88.1	101.5	88.6
1997-06-14	88.8	102.5		1997-07-21	88.2	101.8	88.7
1997-06-15	88.8	102.4		1997-07-22	88.3	102.1	88.7
1997-06-16	88.8	102.3		1997-07-23	88.4	102.4	88.9
1997-06-17	88.7	102.2		1997-07-24	88.5	102.6	89
1997-06-18	88.7	102.1		1997-07-25	88.5	102.8	89.1
1997-06-19	88.7	102		1997-07-26	88.6	102.9	89.3
1997-06-20	88.7	101.9		1997-07-27	88.7	103.1	89.4
1997-06-21	88.7	101.8		1997-07-28	88.8	103.2	89.6
1997-06-22	88.6	101.7		1997-07-29	88.9	103.3	89.8
1997-06-23	88.6	101.6		1997-07-30	89	103.4	89.9
1997-06-24	88.6	101.6		1997-07-31	89.1	103.4	90.5
1997-06-25	88.5	101.5		1997-08-01	89.2	103.4	91.4
1997-06-26	88.5	101.4		1997-08-02	89.3	103.4	91.5
1997-06-27	88.5	101.3	89.3	1997-08-03	89.3	103.3	91.5
1997-06-28	88.4	101.1	89.2	1997-08-04	89.4	103.2	91.5
1997-06-29	88.4	101.1	89.2	1997-08-05	89.4	103.1	91.5
1997-06-30	88.5	101.2	89.2	1997-08-06	89.4	103.1	91.5
1997-07-01	88.5	101.2	89.1	1997-08-07	89.5	103.0	91.5
1997-07-02	88.5	101.2	89.1	1997-08-08	89.5	102.9	91.5
1997-07-03	88.5	101.2	89.1	1997-08-09	89.5	102.8	91.5
1997-07-04	88.5	101.1	89	1997-08-10	89.5	102.8	91.6
1997-07-05	88.4	101	88.9	1997-08-11	89.6	102.9	91.6
1997-07-06	88.4	100.9	88.9	1997-08-12	89.7	102.9	91.7
1997-07-07	88.3	100.9	88.8	1997-08-13	89.8	103.1	91.8
1997-07-08	88.3	100.9	88.8	1997-08-14	89.9	103.3	92.0
1997-07-09	88.3	100.9	88.8	1997-08-15	90.0	103.7	92.3

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well1	Well 2	Well 3
	Ground	Water	Level (m)		Ground	Water	Level (m)
1997-08-16	90.2	104.2	92.5	1997-09-22	92.5	102.8	94.6
1997-08-17	90.3	104.6	92.8	1997-09-23	92.5	102.7	94.5
1997-08-18	90.5	105.2	93.2	1997-09-24	92.4	102.6	94.4
1997-08-19	90.8	105.9	93.6	1997-09-25	92.3	102.5	94.3
1997-08-20	91.0	106.6	93.4	1997-09-26	92.2	102.3	94.2
1997-08-21	91.2	107.2	93.5	1997-09-27	92.1	102.2	94.1
1997-08-22	91.4	107.7	93.6	1997-09-28	92.1	102.2	94.0
1997-08-23	91.6	108.2	93.8	1997-09-29	92.0	102.2	94.0
1997-08-24	91.8	108.6	94.0	1997-09-30	92.0	102.1	93.9
1997-08-25	91.9	108.9	94.2	1997-10-01	91.9	102.0	93.8
1997-08-26	92.1	109.1	94.4	1997-10-02	91.9	101.9	93.7
1997-08-27	92.3	109.2	94.6	1997-10-03	91.8	101.8	93.6
1997-08-28	92.4	109.1	94.7	1997-10-04	91.7	101.7	93.5
1997-08-29	92.6	109.1	94.9	1997-10-05	91.7	101.6	93.4
1997-08-30	92.7	109.0	95.0	1997-10-06	91.6	101.4	93.4
1997-08-31	92.8	108.8	95.1	1997-10-07	91.5	101.3	93.3
1997-09-01	92.8	108.5	95.2	1997-10-08	91.5	101.2	93.2
1997-09-02	92.9	108.2	95.2	1997-10-09	91.4	101.3	93.1
1997-09-03	92.9	108.0	95.2	1997-10-10	91.3	101.3	93.0
1997-09-04	93.0	107.7	95.3	1997-10-11	91.2	101.3	92.9
1997-09-05	93.1	107.4	95.4	1997-10-12	91.2	101.2	92.9
1997-09-06	93.1	107.1	95.4	1997-10-13	91.1	101.2	92.8
1997-09-07	93.1	106.8	95.4	1997-10-14	91	101.1	92.7
1997-09-08	93.2	106.4	95.4	1997-10-15	90.9	101.1	92.6
1997-09-09	93.2	106.0	95.4	1997-10-16	90.9	101.1	92.6
1997-09-10	93.2	105.5	95.4	1997-10-17	90.8	101.1	92.5
1997-09-11	93.1	105.0	95.4	1997-10-18	90.7	101	92.4
1997-09-12	93.1	104.6	95.3	1997-10-19	90.7	101	92.4
1997-09-13	93.1	104.4	95.3	1997-10-20	90.6	101	92.3
1997-09-14	93.0	104.1	95.2	1997-10-21	90.5	100.9	92.2
1997-09-15	92.9	103.8	95.1	1997-10-22	90.5	100.9	92.1
1997-09-16	92.8	103.5	95.0	1997-10-23	90.4	100.9	92
1997-09-17	92.8	103.4	94.9	1997-10-24	90.4	100.8	92
1997-09-18	92.8	103.3	94.9	1997-10-25	90.3	100.8	92
1997-09-19	92.7	103.1	94.8	1997-10-26	90.3	100.7	91.9
1997-09-20	92.6	103.0	94.7	1997-10-27	90.2	100.6	91.8
1997-09-21	92.6	102.9	94.7	1997-10-28	90.2	100.4	91.8

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1997-10-29	90.2	100.1	91.7	1997-12-05	86.7	100.6	90.1
1997-10-30	90.1	99.7	91.7	1997-12-06	86.7	101.1	90.1
1997-10-31	90.1	99.3	91.6	1997-12-07	86.7	101.3	90.1
1997-11-01	90	98.9	91.6	1997-12-08	86.8	101.5	90.2
1997-11-02	90	98.4	91.5	1997-12-09	86.9	101.9	90.3
1997-11-03	89.9	98.2	91.5	1997-12-10	87	102.2	90.4
1997-11-04	89.8	97.9	91.4	1997-12-11	87.1	102.5	90.6
1997-11-05	89.7	97.8	91.3	1997-12-12	87.3	102.8	90.8
1997-11-06	89.7	97.6	91.3	1997-12-13	87.4	103.1	90.9
1997-11-07	89.7	97.5	91.2	1997-12-14	87.6	103.4	91.1
1997-11-08	89.6	97.5	91.2	1997-12-15	87.7	103.7	91.3
1997-11-09	89.6	97.4	91.1	1997-12-16	87.9	103.9	91.5
1997-11-10	89.5	97.3	91.1	1997-12-17	88	104.1	91.6
1997-11-11	89.5	97.2	91	1997-12-18	88.1	104.3	91.8
1997-11-12	89.4	97	90.9	1997-12-19	88.3	104.6	92
1997-11-13	89.2	97	90.8	1997-12-20	88.4	104.7	92.2
1997-11-14	89.2	96.9	90.7	1997-12-21	88.6	104.8	92.4
1997-11-15	89.1	96.9	90.7	1997-12-22	88.8	104.8	92.5
1997-11-16	89.1	96.8	90.6	1997-12-23	88.9	104.8	92.6
1997-11-17	89	96.7	90.5	1997-12-24	89	104.8	92.8
1997-11-18	89	96.7	90.5	1997-12-25	89.1	104.8	92.9
1997-11-19	89	96.8	90.6	1997-12-26	89.2	104.7	93
1997-11-20	89	96.7	90.5	1997-12-27	89.3	104.6	93.1
1997-11-21	88.9	96.6	90.4	1997-12-28	89.3	104.5	93.1
1997-11-22	88.8	96.5	90.3	1997-12-29	89.4	104.4	93.1
1997-11-23	88.8	96.5	90.3	1997-12-30	89.4	104.2	93.1
1997-11-24	88.7	96.5	90.3	1997-12-31	89.5	104.1	93.2
1997-11-25	88.6	96.4	90.2	1998-01-01	91.3	103.9	93.2
1997-11-26	88.6	96.3	90.1	1998-01-02	91.3	103.8	93.3
1997-11-27	88.6	96.4	90.1	1998-01-03	91.3	103.7	93.3
1997-11-28	88.6	96.5	90.1	1998-01-04	91.4	103.5	93.3
1997-11-29	88.5	96.5	90	1998-01-05	91.4	103.4	93.3
1997-11-30	88.5	96.7	90	1998-01-06	91.4	103.4	93.3
1997-12-01	86.7	97	90	1998-01-07	91.4	103.2	93.4
1997-12-02	86.7	97.3	90	1998-01-08	91.3	103	93.2
1997-12-03	86.7	97.7	90.1	1998-01-09	91.4	103	93.3
1997-12-04	86.7	98.7	90.1	1998-01-10	91.4	102.9	93.3

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1998-01-11	91.3	102.8	93.2	1998-02-17	92.1	103.4	94
1998-01-12	91.3	102.7	93.2	1998-02-18	92.1	103.4	94
1998-01-13	91.4	102.7	93.2	1998-02-19	92.1	103.2	94
1998-01-14	91.3	102.6	93.2	1998-02-20	92	103	93.8
1998-01-15	91.2	102.4	93.1	1998-02-21	92	103	93.8
1998-01-16	91.3	102.5	93.1	1998-02-22	92	103	93.9
1998-01-17	91.3	102.4	93.1	1998-02-23	92	102.9	93.9
1998-01-18	91.2	102.4	93	1998-02-24	92	102.8	93.8
1998-01-19	91.2	102.4	93.1	1998-02-25	91.9	102.7	93.8
1998-01-20	91.2	102.5	93.1	1998-02-26	91.9	102.7	93.7
1998-01-21	91.2	102.5	93	1998-02-27	91.9	102.7	93.7
1998-01-22	91.2	102.5	93	1998-02-28	91.9	102.6	93.7
1998-01-23	91.2	102.5	93	1998-03-01	91.9	102.7	93.7
1998-01-24	91.2	102.6	93	1998-03-02	91.9	102.7	93.7
1998-01-25	91.3	102.8	93.1	1998-03-03	91.9	102.7	93.7
1998-01-26	91.3	102.9	93.1	1998-03-04	91.9	102.7	93.6
1998-01-27	91.4	103.1	93.2	1998-03-05	91.8	102.7	93.6
1998-01-28	91.4	103.3	93.2	1998-03-06	91.8	102.7	93.6
1998-01-29	91.5	103.6	93.3	1998-03-07	91.8	102.8	93.6
1998-01-30	91.6	103.7	93.4	1998-03-08	91.9	102.8	93.6
1998-01-31	91.6	103.9	93.5	1998-03-09	91.8	102.7	93.6
1998-02-01	91.7	104	93.6	1998-03-10	91.8	102.8	93.6
1998-02-02	91.7	104.1	93.6	1998-03-11	91.8	102.8	93.6
1998-02-03	91.8	104.1	93.6	1998-03-12	91.8	102.8	93.5
1998-02-04	91.8	104.2	93.7	1998-03-13	91.8	102.8	93.5
1998-02-05	91.9	104.2	93.8	1998-03-14	91.8	102.8	93.5
1998-02-06	91.9	104.1	93.8	1998-03-15	91.8	102.8	93.6
1998-02-07	91.9	104	93.8	1998-03-16	91.8	102.8	93.6
1998-02-08	91.9	104	93.8	1998-03-17	91.9	102.9	93.6
1998-02-09	92	104	93.9	1998-03-18	91.9	102.9	93.7
1998-02-10	92	103.9	93.9	1998-03-19	91.8	102.7	93.6
1998-02-11	92	103.8	93.9	1998-03-20	91.8	102.7	93.5
1998-02-12	92	103.7	93.9	1998-03-21	91.8	102.7	93.6
1998-02-13	92	103.7	94	1998-03-22	91.9	102.7	93.6
1998-02-14	92	103.5	93.9	1998-03-23	91.9	102.7	93.6
1998-02-15	92	103.5	94	1998-03-24	91.8	102.7	93.6
1998-02-16	92.1	103.4	94	1998-03-25	91.8	102.6	93.5

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1998-03-26	91.8	102.6	93.5	1998-05-02	93.6	105.4	95.5
1998-03-27	91.8	102.6	93.5	1998-05-03	93.6	105.3	95.6
1998-03-28	91.8	102.6	93.5	1998-05-04	93.7	105.3	95.7
1998-03-29	91.8	102.6	93.5	1998-05-05	93.8	105.1	95.8
1998-03-30	91.8	102.6	93.5	1998-05-06	93.8	105.0	95.8
1998-03-31	91.8	102.6	93.5	1998-05-07	93.8	104.8	95.8
1998-04-01	91.7	102.6	93.4	1998-05-08	93.8	104.7	95.8
1998-04-02	91.8	102.7	93.5	1998-05-09	93.8	104.6	95.8
1998-04-03	91.8	102.8	93.5	1998-05-10	93.8	104.4	95.8
1998-04-04	91.8	102.9	93.6	1998-05-11	93.8	104.3	95.8
1998-04-05	91.8	102.9	93.6	1998-05-12	93.8	104.1	95.7
1998-04-06	91.8	102.9	93.6	1998-05-13	93.8	104.1	95.8
1998-04-07	91.8	102.9	93.6	1998-05-14	93.8	104.1	95.8
1998-04-08	91.8	103.0	93.6	1998-05-15	93.8	104.0	95.7
1998-04-09	91.9	103.1	93.6	1998-05-16	93.8	103.9	95.7
1998-04-10	91.9	103.2	93.7	1998-05-17	93.8	103.9	95.7
1998-04-11	92.0	103.3	93.8	1998-05-18	93.8	103.9	95.7
1998-04-12	92.0	103.4	93.8	1998-05-19	93.8	103.9	95.7
1998-04-13	92.0	103.5	93.8	1998-05-20	93.8	103.9	95.7
1998-04-14	92.1	103.7	93.9	1998-05-21	93.9	103.9	95.7
1998-04-15	92.2	103.9	94.0	1998-05-22	93.9	103.9	95.7
1998-04-16	92.3	104.0	94.1	1998-05-23	93.8	103.9	95.7
1998-04-17	92.3	104.2	94.2	1998-05-24	93.8	103.8	95.7
1998-04-18	92.4	104.3	94.3	1998-05-25	93.8	103.9	95.7
1998-04-19	92.5	104.5	94.4	1998-05-26	93.8	103.9	95.7
1998-04-20	92.7	104.7	94.6	1998-05-27	93.9	104.0	95.7
1998-04-21	92.8	104.8	94.6	1998-05-28	93.9	104.1	95.8
1998-04-22	92.8	104.9	94.7	1998-05-29	93.9	104.1	95.8
1998-04-23	92.9	105.0	94.8	1998-05-30	93.9	104.2	95.8
1998-04-24	92.9	105.1	94.8	1998-05-31	94.0	104.3	95.8
1998-04-25	93.1	105.3	95.0	1998-06-01	94.0	104.2	95.8
1998-04-26	93.2	105.5	95.1	1998-06-02	93.9	104.1	95.8
1998-04-27	93.3	105.6	95.2	1998-06-03	93.9	104.2	95.8
1998-04-28	93.4	105.7	95.3	1998-06-04	94.0	104.3	95.9
1998-04-29	93.5	105.7	95.4	1998-06-05	94.0	104.2	95.9
1998-04-30	93.5	105.6	95.5	1998-06-06	94.1	104.2	95.9
1998-05-01	93.6	105.6	95.5	1998-06-07	94.1	104.2	95.9

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well 1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1998-06-08	94.1	104.1	95.9	1998-07-15	96	110.3	98
1998-06-09	94.1	104	95.9	1998-07-16	96.1	110.1	98.1
1998-06-10	94.1	103.9	95.9	1998-07-17	96.2	109.9	98.2
1998-06-11	94.1	103.9	95.9	1998-07-18	96.3	109.7	98.3
1998-06-12	94	103.8	95.9	1998-07-19	96.4	109.4	98.4
1998-06-13	94	103.6	95.8	1998-07-20	96.5	109.2	98.5
1998-06-14	93.9	103.5	95.7	1998-07-21	96.6	109	98.6
1998-06-15	93.9	103.5	95.7	1998-07-22	96.6	108.7	98.7
1998-06-16	93.9	103.4	95.7	1998-07-23	96.7	108.5	98.8
1998-06-17	93.9	103.3	95.7	1998-07-24	96.8	108.2	98.8
1998-06-18	93.9	103.3	95.6	1998-07-25	96.8	107.9	98.8
1998-06-19	93.8	103.2	95.6	1998-07-26	96.8	107.7	98.8
1998-06-20	93.8	103.2	95.6	1998-07-27	96.8	107.4	98.8
1998-06-21	93.8	103.2	95.6	1998-07-28	96.8	107.2	98.9
1998-06-22	93.8	103.1	95.5	1998-07-29	96.9	107	98.9
1998-06-23	93.8	103.1	95.5	1998-07-30	96.9	106.8	98.9
1998-06-24	93.8	103.1	95.5	1998-07-31	96.9	106.6	98.9
1998-06-25	93.7	103	95.5	1998-08-01	96.9	106.4	98.8
1998-06-26	93.7	103	95.4	1998-08-02	96.9	106.4	98.9
1998-06-27	93.7	103	95.4	1998-08-03	96.9	106.4	98.9
1998-06-28	93.7	103	95.4	1998-08-04	96.9	106.5	98.9
1998-06-29	93.7	103	95.4	1998-08-05	97	106.6	98.9
1998-06-30	93.6	103.1	95.3	1998-08-06	97	106.8	98.9
1998-07-01	93.6	103.3	95.3	1998-08-07	97	107	98.9
1998-07-02	93.7	103.8	95.4	1998-08-08	97	107.2	98.9
1998-07-03	93.8	104.5	95.6	1998-08-09	97.1	107.5	99
1998-07-04	94	105.4	95.8	1998-08-10	97.1	107.8	99
1998-07-05	94.2	106.6	96	1998-08-11	97.1	108	99
1998-07-06	94.4	107.7	96.2	1998-08-12	97.2	108.2	99.1
1998-07-07	94.6	108.6	96.4	1998-08-13	97.3	108.4	99.1
1998-07-08	94.8	109.4	96.6	1998-08-14	97.3	108.6	99.2
1998-07-09	95	109.8	96.9	1998-08-15	97.3	108.7	99.2
1998-07-10	95.2	110.2	97.1	1998-08-16	97.4	108.8	99.3
1998-07-11	95.3	110.4	97.3	1998-08-17	97.4	108.8	99.3
1998-07-12	95.5	110.5	97.5	1998-08-18	97.5	108.8	99.4
1998-07-13	95.7	110.6	97.7	1998-08-19	97.6	108.8	99.5
1998-07-14	95.9	110.5	97.9	1998-08-20	97.6	108.7	99.5

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well 1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1998-08-21	97.6	108.6	99.5	1998-09-27	96.3	102.5	97.8
1998-08-22	97.7	108.4	99.6	1998-09-28	96.3	102.4	97.7
1998-08-23	97.7	108.3	99.6	1998-09-29	96.1	102.3	97.6
1998-08-24	97.7	108.1	99.6	1998-09-30	96	102.1	97.4
1998-08-25	97.7	107.9	99.6	1998-10-01	95.9	102.1	97.3
1998-08-26	97.7	107.7	99.6	1998-10-02	95.9	102.2	97.3
1998-08-27	97.7	107.4	99.6	1998-10-03	95.9	102.3	97.3
1998-08-28	97.7	107.2	99.6	1998-10-04	95.9	102.5	97.3
1998-08-29	97.7	107	99.6	1998-10-05	95.9	102.8	97.3
1998-08-30	97.7	106.7	99.5	1998-10-06	95.9	103.3	97.3
1998-08-31	97.7	106.5	99.5	1998-10-07	95.9	104	97.4
1998-09-01	97.7	106.3	99.5	1998-10-08	96.1	105.1	97.5
1998-09-02	97.7	106	99.5	1998-10-09	96.2	106.4	97.7
1998-09-03	97.7	105.8	99.4	1998-10-10	96.4	107.7	97.9
1998-09-04	97.6	105.4	99.4	1998-10-11	96.6	108.6	98.2
1998-09-05	97.6	105.1	99.3	1998-10-12	96.8	109.3	98.3
1998-09-06	97.5	104.9	99.3	1998-10-13	96.9	109.8	98.5
1998-09-07	97.5	104.6	99.2	1998-10-14	97	110.1	98.6
1998-09-08	97.5	104.4	99.2	1998-10-15	97.1	110.3	98.8
1998-09-09	97.4	104.2	99.1	1998-10-16	97.3	110.4	98.9
1998-09-10	97.4	104	99.1	1998-10-17	97.3	110.3	99
1998-09-11	97.3	103.9	99	1998-10-18	97.4	110.2	99.1
1998-09-12	97.2	103.7	98.9	1998-10-19	97.6	110.2	99.3
1998-09-13	97.2	103.6	98.9	1998-10-20	97.7	110.1	99.4
1998-09-14	97.1	103.5	98.8	1998-10-21	97.8	109.9	99.5
1998-09-15	97	103.4	98.7	1998-10-22	97.8	109.6	99.6
1998-09-16	96.9	103.2	98.5	1998-10-23	97.9	109.4	99.6
1998-09-17	96.9	103.2	98.5	1998-10-24	97.9	109.2	99.7
1998-09-18	96.9	103.1	98.5	1998-10-25	98	108.9	99.7
1998-09-19	96.8	103	98.3	1998-10-26	98	108.7	99.8
1998-09-20	96.7	102.9	98.3	1998-10-27	98	108.4	99.8
1998-09-21	96.6	102.8	98.2	1998-10-28	98.1	108.2	99.8
1998-09-22	96.6	102.7	98.1	1998-10-29	98.1	107.9	99.8
1998-09-23	96.6	102.7	98.1	1998-10-30	98.1	107.6	99.8
1998-09-24	96.5	102.7	98	1998-10-31	98.1	107.4	99.8
1998-09-25	96.4	102.6	97.9	1998-11-01	98.1	107.1	99.8
1998-09-26	96.4	102.6	97.9	1998-11-02	98	106.8	99.7

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well 1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1998-11-03	98	106.6	99.7	1998-12-10	96	102.1	97.3
1998-11-04	98	106.3	99.7	1998-12-11	95.9	102	97.2
1998-11-05	98	106	99.7	1998-12-12	95.8	102	97.1
1998-11-06	98	105.7	99.6	1998-12-13	95.8	101.8	97
1998-11-07	97.9	105.4	99.6	1998-12-14	95.7	101.7	96.9
1998-11-08	97.9	105.1	99.5	1998-12-15	95.6	101.7	96.9
1998-11-09	97.8	104.8	99.4	1998-12-16	95.5	101.6	96.8
1998-11-10	97.8	104.6	99.4	1998-12-17	95.5	101.5	96.7
1998-11-11	97.7	104.4	99.3	1998-12-18	95.4	101.5	96.6
1998-11-12	97.7	104.2	99.3	1998-12-19	95.3	101.3	96.6
1998-11-13	97.6	104	99.2	1998-12-20	95.3	101.3	96.5
1998-11-14	97.6	103.9	99.1	1998-12-21	95.2	101.2	96.4
1998-11-15	97.5	103.8	99.1	1998-12-22	95.2	101.2	96.4
1998-11-16	97.4	103.6	99	1998-12-23	95.1	101.1	96.3
1998-11-17	97.3	103.5	98.9	1998-12-24	95	101.1	96.2
1998-11-18	97.3	103.5	98.8	1998-12-25	95	101.1	96.2
1998-11-19	97.3	103.5	98.8	1998-12-26	94.9	101.1	96.1
1998-11-20	97.2	103.4	98.7	1998-12-27	94.8	101.1	96
1998-11-21	97.2	103.3	98.7	1998-12-28	94.8	101.1	96
1998-11-22	97.1	103.2	98.6	1998-12-29	94.7	101	96
1998-11-23	97.1	103.1	98.5	1998-12-30	94.7	101	95.9
1998-11-24	97	103	98.4	1998-12-31	94.6	100.9	95.8
1998-11-25	97	103	98.4	1999-01-01	94.6	100.9	95.8
1998-11-26	96.9	102.9	98.3	1999-01-02	94.5	100.7	95.6
1998-11-27	96.8	102.7	98.2	1999-01-03	94.4	100.6	95.6
1998-11-28	96.7	102.7	98.1	1999-01-04	94.3	100.5	95.5
1998-11-29	96.7	102.6	98	1999-01-05	94.3	100.3	95.5
1998-11-30	96.6	102.5	97.9	1999-01-06	94.2	100	95.4
1998-12-01	96.5	102.5	97.9	1999-01-07	94.1	99.7	95.4
1998-12-02	96.5	102.4	97.8	1999-01-08	94	99.4	95.3
1998-12-03	96.4	102.4	97.8	1999-01-09	94	99.2	95.3
1998-12-04	96.3	102.4	97.7	1999-01-10	94	98.9	95.2
1998-12-05	96.3	102.3	97.6	1999-01-11	93.9	98.7	95.2
1998-12-06	96.2	102.3	97.6	1999-01-12	93.9	98.5	95.1
1998-12-07	96.2	102.2	97.5	1999-01-13	93.8	98.3	95.1
1998-12-08	96.1	102.1	97.4	1999-01-14	93.8	98.1	95
1998-12-09	96	102.1	97.4	1999-01-15	93.7	98	94.9

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well 1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1999-01-16	93.7	97.9	94.8	1999-02-22	91.8	96.4	93.2
1999-01-17	93.6	97.8	94.8	1999-02-23	91.7	96.4	93.1
1999-01-18	93.6	97.6	94.7	1999-02-24	91.6	96.2	93
1999-01-19	93.4	97.5	94.6	1999-02-25	91.6	96.3	93
1999-01-20	93.4	97.4	94.5	1999-02-26	91.5	96.2	93.1
1999-01-21	93.4	97.4	94.5	1999-02-27	91.5	96.2	93.1
1999-01-22	93.3	97.3	94.4	1999-02-28	91.5	96.3	93.1
1999-01-23	93.2	97.2	94.3	1999-03-01	91.4	96.2	
1999-01-24	93.1	97.1	94.2	1999-03-02	91.3	96.2	
1999-01-25	93.1	97	94.2	1999-03-03	91.3	96.2	
1999-01-26	93	96.9	94.1	1999-03-04	91.2	96.1	
1999-01-27	93	96.9	94.1	1999-03-05	91.1	96	
1999-01-28	92.9	96.9	94	1999-03-06	91.1	96.1	
1999-01-29	92.9	96.9	94	1999-03-07	91	96.1	
1999-01-30	92.8	96.9	93.9	1999-03-08	91	96.1	
1999-01-31	92.8	96.8	93.9	1999-03-09	91	96.2	
1999-02-01	92.7	96.8	93.8	1999-03-10	91	96.2	
1999-02-02	92.6	96.8	93.8	1999-03-11	90.9	96.3	
1999-02-03	92.6	96.8	93.8	1999-03-12	90.9	96.3	
1999-02-04	92.6	96.8	93.8	1999-03-13	90.9	96.3	
1999-02-05	92.6	96.9	93.8	1999-03-14	90.8	96.2	
1999-02-06	92.5	96.9	93.8	1999-03-15	90.7	96.1	
1999-02-07	92.5	96.8	93.8	1999-03-16	90.7	96.1	
1999-02-08	92.4	96.8	93.7	1999-03-17	90.6	96.1	
1999-02-09	92.3	96.8	93.6	1999-03-18	90.6	96.1	
1999-02-10	92.3	96.7	93.6	1999-03-19	90.5	96	
1999-02-11	92.2	96.6	93.5	1999-03-20	90.5	96.2	
1999-02-12	92.2	96.6	93.5	1999-03-21	90.5	96.2	
1999-02-13	92.2	96.6	93.5	1999-03-22	90.5	96.3	
1999-02-14	92.1	96.6	93.4	1999-03-23	90.5	96.5	
1999-02-15	92.1	96.6	93.4	1999-03-24	90.4	96.5	
1999-02-16	92	96.6	93.3	1999-03-25	90.3	96.6	
1999-02-17	92	96.5	93.3	1999-03-26	90.3	96.8	
1999-02-18	91.9	96.4	93.2	1999-03-27	90.3	97.1	
1999-02-19	91.9	96.4	93.2	1999-03-28	90.3	97.5	
1999-02-20	91.8	96.4	93.2	1999-03-29	90.3	98	
1999-02-21	91.8	96.4	93.2	1999-03-30	90.3	98.8	

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well 1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1999-03-31	90.3	100.4		1999-05-07	91.7	103	93.6
1999-04-01	90.3	101		1999-05-08	91.7	103	93.6
1999-04-02	90.3	101.1		1999-05-09	91.7	102.9	93.6
1999-04-03	90.3	101.3		1999-05-10	91.7	102.8	93.6
1999-04-04	90.4	101.5		1999-05-11	91.8	102.7	93.6
1999-04-05	90.4	101.6		1999-05-12	91.8	102.7	93.6
1999-04-06	90.3	101.7		1999-05-13	91.7	102.6	93.6
1999-04-07	90.4	102		1999-05-14	91.7	102.5	93.6
1999-04-08	90.5	102.2		1999-05-15	91.7	102.5	93.6
1999-04-09	90.5	102.2		1999-05-16	91.7	102.4	93.5
1999-04-10	90.4	102.2		1999-05-17	91.7	102.3	93.5
1999-04-11	90.5	102.3		1999-05-18	91.6	102.2	93.4
1999-04-12	90.5	102.4		1999-05-19	91.5	102.1	93.4
1999-04-13	90.5	102.4		1999-05-20	91.6	102.2	93.4
1999-04-14	90.7	102.6		1999-05-21	91.6	102.1	93.5
1999-04-15	90.7	102.7		1999-05-22	91.6	102.1	93.4
1999-04-16	90.8	102.7		1999-05-23	91.5	102	93.4
1999-04-17	90.8	102.8		1999-05-24	91.5	101.8	93.3
1999-04-18	90.8	102.8		1999-05-25	91.4	101.8	93.3
1999-04-19	90.8	102.9		1999-05-26	91.4	101.8	93.3
1999-04-20	90.9	103.1		1999-05-27	91.4	101.8	93.2
1999-04-21	91.1	103.3		1999-05-28	91.4	101.8	93.3
1999-04-22	91.1	103.4	92.9	1999-05-29	91.4	101.8	93.3
1999-04-23	91.1	103.4	92.9	1999-05-30	91.4	101.8	93.3
1999-04-24	91.2	103.5	93	1999-05-31	91.4	101.8	93.2
1999-04-25	91.3	103.6	93.1	1999-06-01	91.4	101.8	93.3
1999-04-26	91.4	103.7	93.2	1999-06-02	91.4	101.6	93.3
1999-04-27	91.4	103.6	93.2	1999-06-03	91.3	101.5	93.3
1999-04-28	91.5	103.6	93.2	1999-06-04	91.2	101.5	93.2
1999-04-29	91.6	103.7	93.3	1999-06-05	91.2	101.4	93.2
1999-04-30	91.6	103.7	93.4	1999-06-06	91.1	101.4	93.2
1999-05-01	91.7	103.7	93.5	1999-06-07	91.1	101.3	93.2
1999-05-02	91.7	103.6	93.5	1999-06-08	91	101.2	93.1
1999-05-03	91.7	103.4	93.5	1999-06-09	91	101.2	93.1
1999-05-04	91.6	103.2	93.5	1999-06-10	91	101.3	93
1999-05-05	91.7	103.2	93.5	1999-06-11	90.9	101.3	93
1999-05-06	91.7	103.1	93.5	1999-06-12	90.9	101.3	93

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well 1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1999-06-13	90.9	101.2	93	1999-07-20	94.3	111.2	97
1999-06-14	90.9	101.2	93	1999-07-21	94.6	111.4	97.3
1999-06-15	90.9	101.2	93	1999-07-22	94.9	111.4	97.6
1999-06-16	90.8	101.1	92.9	1999-07-23	95.1	111.5	97.8
1999-06-17	90.8	101.1	92.9	1999-07-24	95.3	111.4	98
1999-06-18	90.8	101.1	92.9	1999-07-25		111.3	
1999-06-19	90.8	101.1	92.9	1999-07-26	96.5	111.2	98.5
1999-06-20	90.8	101.1	92.9	1999-07-28	96.1	110.8	98.5
1999-06-21	90.8	101.1	92.9	1999-07-29	96.3	110.8	98.5
1999-06-22	90.8	101.1	92.9	1999-07-30	96.4		98.8
1999-06-23	90.7	101	92.8	1999-07-31	96.6		98.9
1999-06-24	90.7	100.9	92.8	1999-08-01			99.1
1999-06-25	90.7	100.9	92.8	1999-08-02			99.2
1999-06-26	90.7	100.9	92.8	1999-08-03			99.4
1999-06-27	90.7	100.9	92.7	1999-08-04			99.6
1999-06-28	90.7	100.8	92.7	1999-08-05		112.9	99.9
1999-06-29	90.6	100.8	92.7	1999-08-06		113.2	100.1
1999-06-30	90.6	100.8	92.7	1999-08-07		113.6	100.4
1999-07-01	90.6	100.9	92.6	1999-08-08		114.1	100.7
1999-07-02	90.6	100.9	92.6	1999-08-09		114.4	101
1999-07-03	90.6	101	92.6	1999-08-10		114.7	101.3
1999-07-04	90.6	101.1	92.6	1999-08-11		114.9	101.7
1999-07-05	90.6	101.2	92.6	1999-08-12		115	102.1
1999-07-06	90.6	101.4	92.6	1999-08-13		115.1	102.4
1999-07-07	90.7	102	92.7	1999-08-14		115.2	102.8
1999-07-08	90.8	102.6	92.9	1999-08-15		115.2	103.1
1999-07-09	91	103.6	93.2	1999-08-16		115.1	103.5
1999-07-10	91.3	104.7	93.5	1999-08-17		115	103.8
1999-07-11	91.6	105.9	93.9	1999-08-18		115	104
1999-07-12	92	107	94.3	1999-08-19		114.9	104.3
1999-07-13	92.3	107.9	94.6	1999-08-20		114.9	104.5
1999-07-14	92.6	108.7	95	1999-08-21		114.7	104.7
1999-07-15	92.8	109.3	95.3	1999-08-22		114.6	104.9
1999-07-16	93.2	109.8	95.7	1999-08-23		114.4	105
1999-07-17	93.5	110.3	96	1999-08-24		114.3	105.2
1999-07-18	93.8	110.7	96.3	1999-08-25		113.9	105.3
1999-07-19	94	110.9	96.6	1999-08-26		113.8	105.3

Date	Well 1	Well 2	Well 3	Date	Well 1	Well 2	Well 3
	Ground Water Level (m)				Ground Water Level (m)		
1999-11-01	104.9	106.6	106.9	1999-12-02	101.1	102.8	102.9
1999-11-02	104.8	108.7	106.8	1999-12-03	101	102.6	102.8
1999-11-03	104.7	107.1	106.7	1999-12-04	100.9	101.8	102.6
1999-11-04	104.6	106.3	106.6	1999-12-05	100.7	100.8	102.5
1999-11-05	104.4	107	106.4	1999-12-06	100.6	100.1	102.4
1999-11-06	104.3	107.1	106.3	1999-12-07	100.5	100.7	102.3
1999-11-07	104.2	107.3	106.1	1999-12-08	100.4	99.7	102.2
1999-11-08	104	106.8	105.9	1999-12-09	100.3	99.6	102
1999-11-09	103.9	106.9	105.8	1999-12-10	100.2	99	101.9
1999-11-10	103.8	106.4	105.7	1999-12-11	100	98.9	101.7
1999-11-11	103.7	105.3	105.6	1999-12-12	99.9	98.4	101.7
1999-11-12	103.5	104.2	105.4	1999-12-13	99.8	98.4	101.5
1999-11-13	103.4	102.2	105.3	1999-12-14	99.7	97.7	101.4
1999-11-14	103.3	101.6	105.2	1999-12-15	99.6	98.2	101.3
1999-11-15	103.1	102.1	105	1999-12-16	99.5	98	101.2
1999-11-16	103	100.6	104.9	1999-12-17	99.4	97.9	101.1
1999-11-17	102.9	101.4	104.8	1999-12-18	99.3	97.7	101
1999-11-18	102.8	100.8	104.6	1999-12-19	99.2	97	100.9
1999-11-19	102.7	100.4	104.5	1999-12-20	99.1	97.5	100.8
1999-11-20	102.5	101.2	104.3	1999-12-21	99	98.9	100.7
1999-11-21	102.4	102.2	104.2	1999-12-22	98.9	98.7	100.6
1999-11-22	102.3	102.3	104.1	1999-12-23	98.8	98.7	100.5
1999-11-23	102.1	101.8	104	1999-12-24	98.7	98.5	100.4
1999-11-24	102	103.3	103.8	1999-12-25	98.6	101.3	100.3
1999-11-25	101.9	103.4	103.6	1999-12-26	98.6	101.1	100.2
1999-11-26	101.8	103.4	103.5	1999-12-27	98.5	100.9	100.2
1999-11-27	101.7	103.1	103.4	1999-12-28	98.4	98.3	100.1
1999-11-28	101.6	103.3	103.3	1999-12-29	98.3	100.1	99.9
1999-11-29	101.4	104	103.2	1999-12-30	98.2	100.2	99.8
1999-11-30	101.3	103.8	103.1	1999-12-31	98.1	99	99.8
1999-12-01	101.2	103	103				

감사의 글

망설임과 걱정으로 시작했던 대학원 과정을 무사히 마치고 논문을 제출하게 되어 기쁩니다. 논문이 완성되기까지 도움을 주셨던 모든 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

먼저, 논문을 쓰는 동안 세심하게 지도를 해주신 이용두교수님, 심사과정에서 자상하게 가르침을 주셨던 오윤근·이기호교수님, 학업과정중 환경분야에 많은 지식을 주셨던 허목·허철구·감상규·조은일교수님께 감사를 드립니다. 또한, 학업에 참여할 수 있도록 배려해 주신 최영배·허철호공장장님, 그리고 제주삼다수 공장의 모든 분들께도 감사의 말씀을 드립니다.

특히, 바쁜 업무에도 불구하고 논문자료를 정리하고 수정하는데 헌신적으로 도움을 주신 고기원·박원배님과 관계자 여러분께 감사를 드리며, 아울러 분석자료에 도움을 주신 한국항공(주)의 이종학공장장님·고영대과장님께도 고마운 말씀을 드립니다.

마지막으로 항상 지켜보며 격려를 해주시는 아버지·어머니께 감사드리며, 길영이 길효와 사랑하는 아내에게 무엇보다 고맙다는 뜻을 전합니다.

2000년 12월

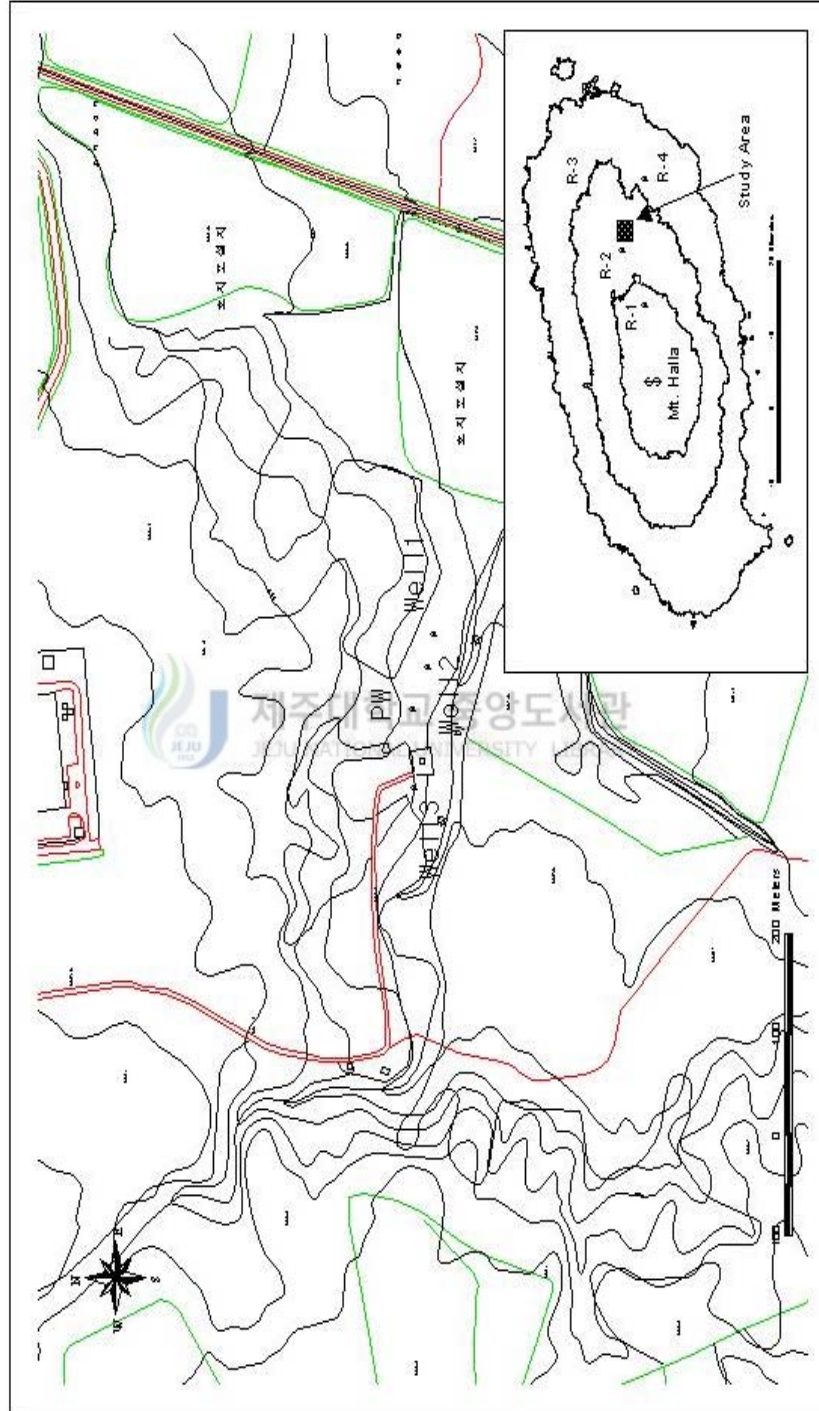


Fig. 1. Location Map of the Groundwater Monitoring and Pumping Wells in the Study Area.

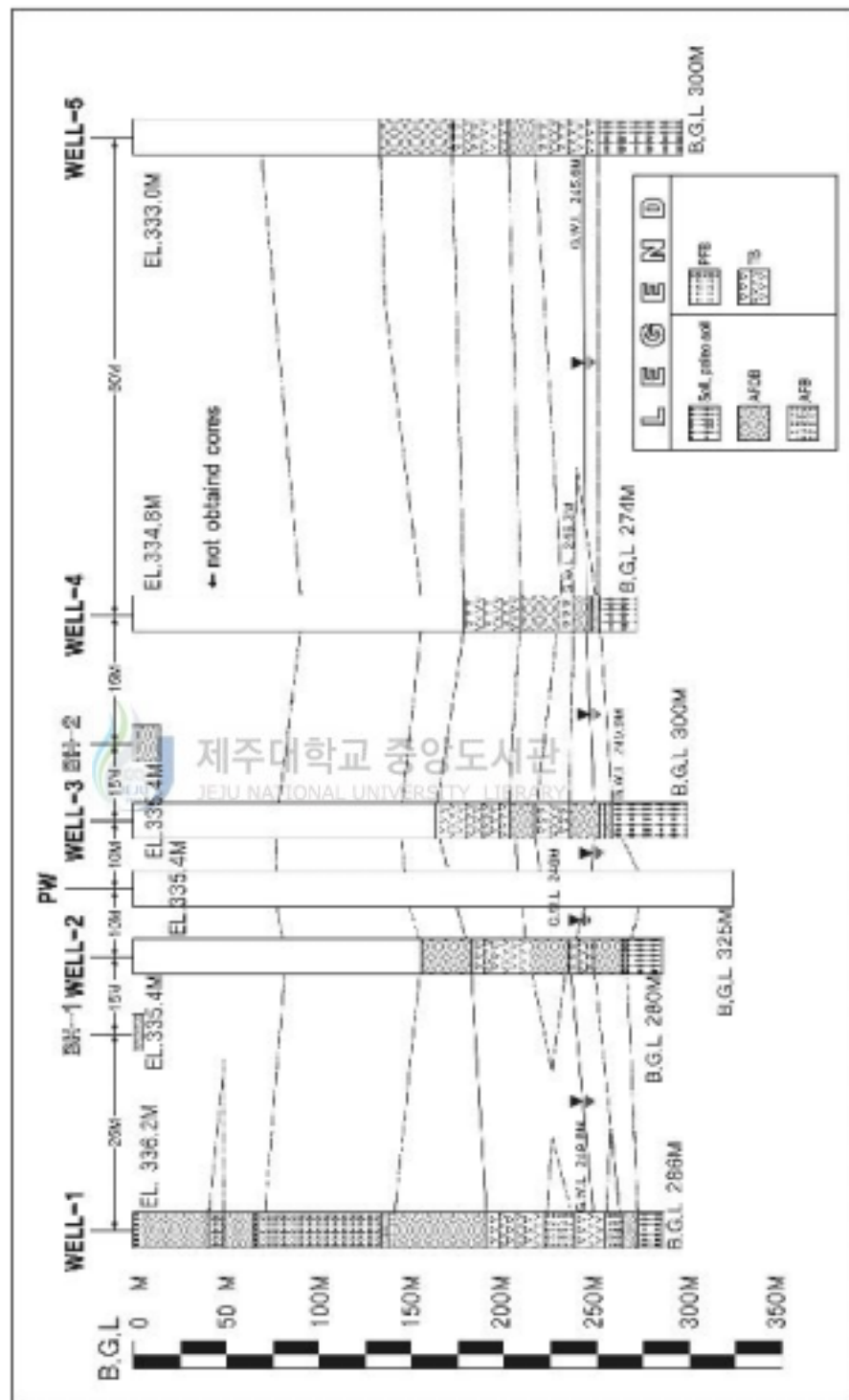


Fig. 2. Geologic Section(After Jedong Heungsan, 1996).