

碩士學位論文

濟州道 中産間地帶 地下水의 水理特性 研究

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

秦 基 玉

2000

碩士學位論文

濟州道 中産間地帶 地下水의 水理特性 研究

指導教授 楊 城 基

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

秦 基 玉

2001年 2月

濟州道 中産間地帶 地下水의 水理特性 研究

指導教授 楊 城 基

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2001年 2月 日

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科(土木工學)

秦 基 玉

秦基玉의 工學碩士學位 論文을 認准함

2001年 2月 日

委員長 (印)

委 員 (印)

委 員 (印)

A STUDY ON HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF GROUNDWATER IN MIDDLE AREA AMONG HALLA MOUNTAIN IN JEJU ISLAND

Ki-Ok Jin

Supervised by Professor Sung-kee Yang

2000

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

Abstract

As the quality of life and tourism have improved, various facilities have been established on hillsides which have excellent views and consequently development of groundwater has been promoted. At present the number of developed groundwater wells in Jeju island is around 5,100 and 245 of them are located in the mountainous area whose altitude is from 200m to 600m.

Since the development and usage of groundwater on hillsides are activated, the detailed investigation of groundwater characteristics, such as the distribution of geologic stratum, understanding of hydraulic properties, the content and the amount of gainable groundwater, is required. In this study, the hydraulic characteristics are examined through the evaluation of drawdown and transmissibility based on the

distributive type of geologic stratum in the mountains.

The following is conclusions derived from data of existing wells located on hillsides in Jeju island till 1999.

① The higher land elevation is, the deeper absolute depth of natural and balanced groundwater level is. However drawdown, which shows 25.7m, 24.63m, 13.8m and 12.5m, respectively at each elevation, is tend to decrease as ground elevation increases.

② It is found that more than half of the transmissible geologic structure of sumgol, gotjawal, oreum, or hacheon is distributed over hillside area from data examined by Jeju province. Although it helps groundwater recharge, it does not have direct relationship with transmissivity which is represented by the capacity of groundwater supply. The capacity of groundwater supply mainly depends on the distributive type of the aquifers that have low permeabilty.

③ Each class of 201~300m, 301~400m, 401~500m and 501~600m shows transmissivities of $183.5\text{m}^2/\text{d}$, $41.11\text{m}^2/\text{d}$, $631.02\text{m}^2/\text{d}$ and $1,162.65\text{m}^2/\text{d}$ respectively, which means that transmissivity increases as elevation grows. Their average value is $292.19\text{m}^2/\text{d}$, higher than $201.8\text{m}^2/\text{d}$ that is estimated from data of 279 wells which have developed in lowlands until 1998.

목 차

I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목표	1
II. 자료 및 연구방법	4
III. 제주도 지하수의 부존특성과 개발현황	7
1. 신생화산 제주도의 지하수	7
1.1 지하수의 부존특성	7
1.2 지하수의 함양과 유동을 지배하는 인자	9
1.3 지하수위의 변동특성	11
2. 제주도의 지하수 이용 및 개발현황	12
2.1 이용현황	12
2.2 개발현황	12
IV. 중산간지대의 지하수특성과 개발현황	14
1. 중산간지대의 지질 및 지하수 환경	14
1.1 중산간지대의 자연환경	14
1.2 지하수의 환경	14
1.3 투수성 지질구조	16
1.4 개발관정을 통한 지층분포 검토	18
2. 중산간지대 지하수의 개발현황	28
2.1 표고별·연도별 개발현황	28

2.2 개발심도현황	31
2.3 용도별 개발현황	37
V. 중산간지대 지하수의 수리적 특성	39
1. 저지대의 수리특성 검토	39
2. 표고에 따른 동수위의 변화	42
3. 투수량계수의 산출	49
3.1 수리상수	49
3.2 적용인자	50
VI. 결론	61

참고문헌

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Distribution map of permeable geologic structure in Jeju Island	16
Fig. 2. Development pattern by types of groundwater bearing	19
Fig. 3. Location of sampling sites for geologic log section	20
Fig. 4a. Geologic log of wells for level 200~300m(I)	21
Fig. 4b. Geologic log of wells for level 200~300m(II)	22
Fig. 4c. Geologic log of wells for level 300~400m(I)	23
Fig. 4d. Geologic log of wells for level 300~400m(II)	24
Fig. 4e. Geologic log of wells for level 400~500m(I)	25
Fig. 4f. Geologic log of wells for level 400~500m(II)	26
Fig. 4g. Geologic log of wells for level 500~600m(I)	27
Fig. 5. Distribution chart of Groundwater hole at middle area among Halla Mt. in Jeju Island	30
Fig. 6. The present condition of wells by use	38
Fig. 7. Pattern of statics groundwater level constituted for level	43
Fig. 8a. Variation of groundwater level in pumping for level 200~300m(I)	45
Fig. 8b. Variation of groundwater level in pumping for level 200~300m(II)	45
Fig. 8c. Variation of groundwater level in pumping for level 200~300m(III)	46
Fig. 8d. Variation of groundwater level in pumping for level 200~300m(IV)	46

Fig. 8e. Variation of groundwater level in pumping for level 300~400m(I )	.....	47
Fig. 8f. Variation of groundwater level in pumping for level 300~400m(II )	.....	47
Fig. 8g. Variation of groundwater level in pumping for level 400~500m(I )	.....	48
Fig. 8h. Variation of groundwater level in pumping for level 400~500m(II )	.....	48
Fig. 8i. Variation of groundwater level in pumping for level 500~600m(I )	.....	49
Fig. 9a. Map of transmissivity calculation at elevation 200~300m (upper;Min. meddle;Max. low;Ave.)	.....	53
Fig. 9b. Map of transmissivity calculation at elevation 300~400m (upper;Min. meddle;Max. low;Ave.)	.....	54
Fig. 9c. Map of transmissivity calculation at elevation 400~500m (upper;Min. meddle;Max. low;Ave.)	.....	55
Fig. 9d. Map of transmissivity calculation at elevation 500~600m (upper;Min. meddle;Max. low;Ave.)	.....	56

LIST OF TABLES

Table 1. Distribution of yearly mean of rainfall by altitude	15
Table 2. Distribution chart of permeable geologic structure	17
Table 3. The present condition of developed wells by altitude and years	29
Table 4. Well depth condition by altitude	31
Table 5a. Well depth of middle area among Halla Mt.(200~300m)	33
Table 5b. Well depth of middle area among Halla Mt.(300~400m)	34
Table 5c. Well depth of middle area among Halla Mt.(400~500m)	35
Table 5d. Well depth of middle area among Halla Mt.(500~600m)	36
Table 6. Number of wells by use	37
Table 7. Analysis result of hydrologic parameters by area	40
Table 8. Distribution of average hydrologic parameters by area and waters	41
Table 9. The drawdown and stable groundwater level by altitude	43
Table 10. Transmissivity of wells at middle area among Halla Mt.	51
Table 11. Transmissivity by area at middle area among Halla Mt.	51
Table 12a. List of transmissivity calculation for wells at middle area among Halla Mt.(200~300m)	57
Table 12b. List of transmissivity calculation for wells at middle area among Halla Mt.(300~400m)	58
Table 12c. List of transmissivity calculation for wells at middle area among Halla Mt.(400~500m)	59
Table 12d. List of transmissivity calculation for wells at middle area among Halla Mt.(500~600m)	60

I. 서론

1. 연구배경

지하수는 수량과 수질면에서 지표수보다 대체로 안정성을 지니고 있기 때문에 세계 각국들은 오래 전부터 음용수 및 농공용수 등으로 널리 이용되고 있는 귀중한 수자원이다.

절해고도인 제주도는 수자원의 90%이상을 지하수에 의존하고 있고 이에 따라 5,100여 개에 달하는 관용관정 및 사설관정이 개발되어 있다. 제주도의 강우량이 전국 평균 1.5배에 달하는 연평균 1,872mm를 보이며 이 많은 강우량은 신생화산도의 특징으로 인해 매우 양호한 투수성을 보여 다량의 지하수체를 확보할 수 있는 수문지질학적 특성을 가지고 있다.

1970년대부터 개발되기 시작한 지하수 관정이 최근에는 무분별하게 이루어져 온 결과 지하수자원의 보전과 관리가 현안문제로 대두되고 있는 실정이다. 또한 수년 전부터는 지하수의 수량확보 보다는 양호한 수질확보를 위해 오염방지를 위한 그라우팅 문제에 중점을 두기 시작하였으며, 과잉채수로 인한 지하수 수자원의 이용 및 관리방안이 강구되고 있다. 그리고 취락구조 및 상가가 형성되어 있는 저지대 및 해안지대에는 과잉개발 및 오염방지를 포함한 지하수관리의 필요성을 인식하기 시작하여 지하수자원의 공개념이 도입되고 있는 실정이다.

2. 연구목표

1990년대에 들어서면서부터 제주도 지하수에 관심을 보이는 학자들이 급증하여 많은 연구논문이 발표되고 있다. 이들 논문들의 주요 논제는 지하수 부

존형태와 수위변동에 관한 연구, 지하수자원의 최적 개발가능량, 화산도서의 지하수 유동, 해안대수층에서의 담·염수 경계 및 염수 침입 등에 관한 사항으로 지금도 끊임없이 화산도의 지형·지질특성과 지하수의 연관성, 지하수의 과대 개발로 인한 문제점들에 대해 조사, 연구되고 있다(윤·1986, 최·1988, 고·1991, 박·1993, 윤·1994 등).

이제는 중산간지대 이상의 지하수개발에도 관심을 가져야 할 것이다. 주택가 및 상가는 형성되지 않더라도 대규모 관광단지 및 골프장이 조성되면서 300m 이상 지대에도 개발과 함께 지하수 개발이 급증하고 있는 추세이다. 1970년대에서부터 지하수관정 개발이 시작되었음에도 불구하고 1990년대에 와서야 체계적인 관리를하므로서 많은 문제점들이 노출되는 것처럼 중산간지대의 개발에 대한 규제 및 관리가 개발 이전에 선행되어야 할 필요성이 절실히 요구되고 있다.

중전에는 고지대 개발에 따른 비용부담, 수량부족 및 오염원 유도 등의 문제가 우려되어 저지대 개발만 활발하게 이뤄졌으나, 골프장 및 대규모 관광지구가 고지대에 계획·조성되어 지면서 지하수개발 또한 불가피한 실정이다.

이런 실정에도 불구하고 중산간지대의 지하수 개발에 대한 방안 및 연구자료는 현재 미비한 상태이며, 기 연구·발표된 논문들 또한 제주도 저지대 지하수를 동-서-남-북로 구분시키면서 지역별 특성을 검토한 것은 많으나 중산간지대에 대한 자료는 불충분한 것이 사실이다. 1997년 제주도에서 조사·발간된 '중산간지역 종합조사서'에 또한 제주도 지하수와 관련하여 부존현황, 산출특성, 용천수현황, 오염원조사 등의 내용을 다루면서 대부분 200m 이하의 저지대를 중점적으로 언급하고 있다. 이는 당시(1995년 말까지 개발된 관정을 대상으로 함) 200m 이상의 중산간지대에 개발되어 있는 관정은 20여 개에 불과하여 자료가 한정적이므로 종합검토 할 만한 대상물이 없었다는 것을 의미하고, 20여 개 또한 대부분 300m 이하에 해당되는 것으로 표고 200~600m의 중산간지대를 대표하여 해석하는데는 많은 무리가 따른다. 그러나, 중산

간지대에 대규모 골프장시설사업 및 관광지구 개발사업 활성화에 따라 1999년까지 표고 200m 이상에 개발된 관정은 245 개이고, 그 중 300m 이상에는 80개의 관정이 개발되어있다.

따라서 중산간지대의 지하수개발이 급증하고 있음을 간파하여, '제주도 중산간지대 지하수의 수리특성 연구'라는 논제의 본 논문을 통해 현재 개발·이용되고 있는 중산간지대(표고 201m~600m 지대)의 지하수개발 현황과, 지하수 수리특성을 연구·검토코져 한다.

II. 자료 및 연구방법

지하수에 관한 조사라 함은 크게 수위변동이나, 수량변화, 함양량 등의 분량적인 면과, 수질, 수온, 오염정도를 중점으로 하는 질적인 면이 있겠으나, 본 연구에서는 전자에 초점을 맞추어 지층분포 특성 및 수리특성을 파악하는 것으로 한정시켰다.

1999년 말까지 제주도 내 개발된 지하수 공은 5100여 개에 달하고 이들 평균고 200m 이상의 중산간지대에 해당되는 것은 245 공이다. 중산간지대 지하수 개발에 대한 현황 및 특성을 고찰함에 있어서 1970년대부터 개발이 시작되어진 지하수공들에 대하여 개발 시점부터 직접적으로 공별 개별적 검토는 현실적으로 어려운 실정이다.

따라서, 본 조사를 위해서는 기 개발되어 이용허가를 득한 관정들의 제원 및 지질주상도, 양수시험 자료 등을 취합하여 분석-검토하는 방법을 주로 하였다. 제주도 지하수에 관한 일반적이고 전문적인 내용은 많은 학자들에 의해 기 조사·발표된 논문 및 학술자료를 참조하였으며, 논제의 원만한 이해를 위하여 기본적인 사항을 본 논문에 수록하였다. 특히 내용의 신뢰성을 위하여 농어촌진흥공사(현 농업기반공사)에서 개발한 관용관정을 대상으로 검토하였고, 표고 301~400m, 401~500m, 501~600m 지대에서는 농업용수·공업용수 축산용수 등을 목적으로 개발된 관용관정이 각각 10개 미만(501~600m 지대는 無)으로 극소수에 불과하여 관광사업 시행에 따라 생활용수로 개발된 사설관정의 자료를 참조하여 검토하였다.

200m 이하의 저지대 및 해안지대에서는 기저퇴적층의 분포 및 염수침입 정도, 수위변동 특성에 따라 동·서·남·북에 구분된 수역별로 차이를 보이거나 중산간지대에서는 상위지하수체로 이들 영향에 의한 지하수 특성보다는 소화산체(제주의 ‘오름’) 형성에 의해 각 개별적으로 분포된 지층 특성 및 대수

층·저투수층의 연계 또는 지하수함양에 양호한 지질특성 등이 중요한 요인으로 작용한다. 이에 따라 본 조사에서는 저지대에서 주로 검토되어지는 수역별 구분보다는, 대부분 표고별(201~300m, 301~400m, 401~500m, 501~600m)로 구분하여 검토하는 것을 기본으로 하였고, 일부 내용에서는 지역별로 검토되어지기도 하였다.

수 개의 자료로써 고지대의 특성을 검토하고 평균값·대표값·개발 Pattern을 도출해 내는 것은 무리가 따를 뿐만아니라 큰 오차를 불러일으킬 우려가 있으므로, 시기적인 기준으로는 1999년 말까지 이용허가를 득한 관정을 본 연구대상으로 하여 검토대상공을 최대화하였다. 이들 중에는 사업승인 및 사업시행 등 사업자 측의 사정에 따라 개발되었으나 이용허가를 얻지 못한 공이 있으며, 자료수를 최대화하여 연구의 원활한 해석은 물론 고지대 지하수 특성을 좀더 명확하게 하기 위해 이들 또한 본 연구의 자료로 이용하였다.

본 조사의 주요 내용은 크게 지층분포 특성, 동수위변화, 투수량계수 검토 등 3개 항목으로 구분시킬 수 있으며, 이들 각각의 특성을 검토한 후 기 조사 자료에 제시된 저지대의 특성과 비교검토하여 중산간지대의 수리특성을 언급하였다.

지하수의 투수량계수를 산정하는 방법은 Geraghty & Miller사에서 개발하여 현재 널리 쓰이고 있는 전산프로그램인 AQTESOLV(Aquifer Test Solver, Version 2.1)를 이용하였다.

AQTESOLV 프로그램에 입력되는 인자는 양수정의 대수층 두께(b)· 케이싱반경(r_c)· 정호반경(r_w)· 양수량(Q) 그리고 양수정에서 관측공까지 거리(r)· 시간경과에 따른 관측공의 수위강하 등이다. 따라서, 투수계수 k 를 산정한 후 대수층 두께 b 를 곱한 값을 취하는 것이 아니라, 전산프로그램에 이들 인자를 입력시키면 자동으로 투수량계수 K 값이 나타나게 된다.

기본원리는 양수정에서 Pumping 시 일정한 거리에 떨어져 있는 관측공에 나타나는 수위강하를 이용하는 것이나, 단지 개발공의 수리특성을 관측할 목

적으로 또 다른 관측공을 굴착하는 것은 현실적으로 어려움이 있고, 기 개발된 공을 관측공으로 이용 시, 개발공과의 거리차 및 공에 따라 형성된 대수층이 동일하지 않는 등의 이유로 오차가 크게 발생할 우려가 있다. 이에 따라, 본 조사에서는 관측공이 양수정과 접해 있다고 가정하고 양수정의 양수자료(시간경과-수위강하)를 관측공에 나타나는 것으로 간주하여 즉, 양수정에서 관측공까지 거리를 1m로 가정하고 이를 전산프로그램에 적용시켜 투수량계수를 구하였으며, 실제로 현재 제주도 내에 개발된 공에 대한 투수량계수의 산출·이용은 이와 동일한 방법으로 이뤄지고 있다.

Ⅲ. 제주도 지하수의 부존특성과 개발현황

1. 신생화산 제주도의 지하수

1.1 지하수의 부존특성

제주도의 지하수는 서귀포층의 지하분포상태에 따라 지하수위가 형성되고 있을 뿐만 아니라, 수위변동과 수질변화에 있어서도 차이를 나타내고 있다.

서귀포층의 지하분포상태를 비롯하여 지하수위 분포 및 변동 특성, 지하수의 수직적인 수질변화, 지역별 수질특성에 대한 조사결과에 의해 고기원(1993) 등 많은 연구자들이 연구결과를 근거로 제주도의 지하수 부존특성을 5가지 형태로 분류한 결과는 다음과 같다.

① 상위지하수(High level groundwater)

상위지하수란 비포화대 내의 치밀질 화산암류나 퇴적층 등의 저투수성 지층 상부를 따라 비교적 빠른 선형유속으로 이동하거나 고여있는 일종의 부유지하수체(perched water)를 말한다. 상위지하수는 도 전역에 고루 분포하고 있으나 대부분 중산간 및 고지대지역에 편중되어 있다. 영실, Y계곡, 돈네코, 입석 등지의 용천수들은 상위지하수가 지표로 용출하고 있는 대표적인 예들이다. 상위지하수체이기 때문에 강우량에 따라 유량변화의 폭은 크지만 해수와 직접 접촉하지 않으므로 수질은 비교적 양호한 편이다.

② 기저지하수(basal groundwater)

기저지하수란 염수와 담수의 비중차에 의해서 담수가 염수 상부에 렌즈형태로 부존하는 즉, Ghyben-Herzberg(이하 G-H원리)에 의해 부존하는 지하수를 말한다. G-H원리는 정역학적인 상태를 가정한 것으로 실제에 있어서는

담수렌즈의 두께가 두껍고 지하수의 흐름이 완만한 상태에서는 이상적인 관계가 성립되지만 해안변에서와 같이 동수경사가 크거나 수직방향의 흐름이 클 경우에는 상당한 오차를 나타나게 된다. 담수렌즈에서 염수와 담수와의 접촉면은 명확히 구분되기보다는 담수체의 수축과 팽창, 그리고 조석의 영향에 의해 염수가 혼합된 점이대를 갖게되는데 투수성이 높은 지질로 이루어진 지역에서는 점이대의 두께가 두껍게 발달한다. 또한 점이대의 두께는 담수체의 크기가 큰 상류지역에서는 얇고 해안쪽으로 향할수록 두터워져 해안변 유출지점에서는 담수체 전층이 점이대로 형성된다. 기저지하수는 북촌에서 남원에 이르는 동부지역 해안변과 약 7km 내륙지역까지 분포되고 있다.

③ 상부준기저지하수(Upper parabasal groundwater)

준기저지하수란 지하에 저투수성 퇴적암층인 서귀포층이 분포하고 있음으로 인하여 담수지하수체가 해수와 직접 접촉하고 있지 않을 뿐만 아니라, 통상적인 G-H비가 적용되지 않는 지하수체를 말한다. 준기저지하수는 서귀포층의 지하 분포심도에 따라 상부 준기저지하수와 하부 준기저지하수로 구분할 수 있다. 상부 준기저지하수의 경우, 지하수가 서귀포층의 상부면을 따라 빠른 선형유속으로 유동하므로써 풍수기와 갈수기 사이의 수위변동 폭이 크게 나타나며, 채수에 의한 수위강하량이 최대인데 반해 공당 평균 채수량은 저조한 편이다.

④ 하부준기저지하수(Lower parabasal groundwater)

하부 준기저지하수는 서귀포층이 해수면 하부에 분포하고 있는 제주도 서부 및 북부지역에 광범위하게 부존하고 있으며, 일반적으로 선형유속이 상부준기저보다 느리고 TDS 및 EC가 G-H비 이상 심도까지도 수직적으로 큰 변화가 없다. 자연수위 변동은 강우에 의해 지배되어지고 있지만 서귀포층이 해수면 아래 약 60m 이하에 분포하는 일부지역에서는 조석의 영향이 미약하

게 나타난다.

⑤ 기반암 지하수(Basement groundwater)

대략 해수면 아래 200m 이하의 기반암 내에 발달된 파쇄대나 절리 등과 같은 1,2차 유효공극내에 부존하고 있는 강우기원의 심부지하수로서 기반암 상부의 지질구조와 지하수 부존형태에 따라 수질과 채수 가능량이 영향을 받고 있다.

또한, 한국수자원공사(1993)에 의하면 상기 언급한 것과 다소 차이를 보여 상위지하수, 기저지하수, 준기저지하수(Parabasal groundwater)로 3분하고 있다.

1.2 지하수의 함양과 유동을 지배하는 인자

제주도는 지질학적으로 보아서 그 생성 연령이 상당히 젊기 때문에 지하수가 산출되는 대수층은 단층, 구조대 등의 2차적인 대규모적인 지질구조보다는 크링커, 화산쇄설물, 퇴적층과 2차 간극(수직절리)의 요소가 더 크게 작용하므로 이에 대한 조사가 더 중요하다고 판단된다. 조사지역 지하수의 함양과 유동에 있어서 중요한 지질인자(1998·제주도)를 간단히 언급하면 다음과 같다.

· 지질연령 : 현무암내의 절리, 용암튜브, 기공 등의 1차 간극(porosity)은 시간이 지남에 따라서 광물의 침전 등으로 인해 줄어들기 때문에 지질연령은 화산암지역 지하수에 있어서 중요한 요소 중의 하나이다.

· 간극 : 균열이 없는 치밀한 현무암의 간극은 1% 미만으로 결정질암의 투수성처럼 매우 낮다. 투수성은 1차 간극과 2차 간극의 콤비네이션에 좌우된다. 조사지역의 시추주상도들에 의하면 일반적으로 알려진 만큼의 수직절리의 발달은 없는 것으로 보인다.

· 분석구 : 분석구는 지각의 약한 부분으로 분출되기 때문에 이들의 배열방향은 구조선일 가능성이 크다. 그리고 분석구 주위는 분출작용 시 2차적인 구조의 발달은 기대할 수 있다. 제주도의 경우 구성물질과 크기, 분급정도도 보아 투수성이 양호할 것으로 판단된다.

· 퇴적층 : 제주도의 경우 대부분의 퇴적층은 입자의 크기와 분급에 따라서 대수층의 역할을 할 수도 있으나 가는 입자로 구성된 점으로 보아 불투수층의 역할을 할 것으로 본다.

· 꽃자왈지역 : 구성물질은 스킨리아류, 화산쇄설류(pyroclastic flow)에 의해 운반된 자갈과 화구로부터 방출된 화산탄, 화산자갈이 뒤섞여 쌓인 각력층이다. 이 지역은 높은 투수성으로 인해서 지하수의 함양이 높은 지역으로 알려져 있다.

· 함몰지 : 함몰지는 용암동굴이 붕괴되거나 화구형성 과정에서 가스 이외에는 다른 분출물이 다량 분출하지 않았거나 화산분출 후 화구가 함몰되어 나타난다. 함몰지는 지표수가 지하로 직접 유입되는 지역이나 분포 면적과 연장성에 대한 차이가 있을 것으로 판단된다.

· 고토양 : 제주도의 경우 대부분 육성기원으로서 입자의 크기로 볼 때 불투수층의 역할을 한다. 중산간 지대의 perched aquifer는 주로 이 paleosol에 기인될 것으로 본다.

· 지질경계선 : 두 용암류가 접하는 면으로서 화산쇄설물이나 크링커가 분포하며 스킨리아 또는 퇴적층이 협재한다.

· 클링커 : 용암이 흘러가는 과정에서 스스로 파쇄된 다공질의 스킨리아성 각력들로서 표면이 거칠고 톱니모양으로 울퉁불퉁한 형상을 하고 있다

· 균열 및 절리대 : 용암류가 냉각되는 과정에서 부피수축으로 인하여 형성되는데 용암류의 상·하부에 집중적으로 발달한다.

1.3 지하수위의 변동특성

어떤 대수층의 지하수량의 증감 파악에 있어서 지하수위 변화는 대단히 중요하다. 만일 지하수위가 내려가면 대수층 내의 지하수량이 고갈되고 있는 중이고 지하수위가 올라가면 대수층내로 지하수가 유입되어 지하수량이 증가하고 있음을 의미한다. 따라서 지하수위의 변화는 그 지역 지하수체의 저류량의 변화, 즉 대수층의 특성을 대변한다고 할 수 있다.

제주도 지하수위는 우기인 여름철에는 상승하고 건기인 겨울에는 내려간다. 또한 지하수공의 지형고도가 높을수록 즉, 비포화대(vadose zone)의 두께가 두꺼울수록 지하수위 변동이 크고 지형고도가 낮은 기저지하수 지역의 지하수위 변동은 거의 없다.

2. 제주도의 지하수 이용 및 개발현황

2.1 이용현황

수자원의 이용은 크게 생활용수, 농축용수, 공업용수로 분류할 수 있지만, 근래 들어 육상식 수산양식 시설에 의한 지하해수의 개발이용과 전천후 농업 시설의 확대에 따른 지하수 개발이 지속적으로 증가하여 생활용수의 이용을 제외한 다른 목적의 용수이용량은 계량화가 미비되어 실제 이용량의 산정자료로는 신뢰성이 희박한 실정이다. 1998년 현재 제주도 수자원의 총 이용량은 639천 m^3 /일이며, 이중 생활용수로 이용되는 양이 총 이용량의 53%인 338천 m^3 /일, 농축용수가 43%인 275 m^3 /일, 공업용수가 4%인 26천 m^3 /일이다

2.2. 개발현황

제주도의 귀중한 자원인 지하수에 대한 개발은 1967년에 '제주도 용수개발 계획 및 실시설계'를 수립하여 고지대 수원인 어승생, 성판악 수원개발과 해안용천수의 이용을 시작으로 하여, 1970년대부터는 '제주도수자원 종합개발계획수립'의 계획 하에 지하수개발사업이 이뤄짐으로써 제주도 내에 생활용수·농업용수 등의 용수수급의 기초를 마련하였다. 이렇게하여 시작된 수자원개발은 해안저지대는 물론이고 중산간지대의 해발 600m까지 이뤄지고 있으며 현재는 지하수의 무분별한 개발·과다개발이라는 용어가 쓰여지고 있는 실정에 이르렀다. 1998년 현재 제주도의 수자원개발 현황은 총시설규모 857천 m^3 /일이며, 이중 약 78%인 669천 m^3 /일이 지하수개발 관정으로 지하수의 비중이 월등히 높으며, 용천수는 약 19.5%인 167천 m^3 /일, 그리고 나머지 약 2.5%인 21.5천 m^3 /일이 상위 용천수를 저류하여 공급하는 어승생 수원이다(1999, 변 등).

제주도 수자원의 대부분을 공급하는 지하수 관정은 1999년 현재 이용허가를 얻은 관정은 총 5,100여 공이며 이들 중 200m 이상의 중산간지대에 개발

된 것은 245공으로 전체의 4.8%를 차지하고, 양수능력면에서는 전체 953,673 m²/일에서 7.85%에 해당되는 74,846m²/일을 나타내고 있다(2000, 제주도).

IV. 중산간지대의 지하수특성과 개발현황

1. 중산간지대의 지질 및 지하수 환경

1.1 중산간지대의 자연환경

제주도의 지형은 해발고도와 경사도에 따라 해안가에서 해발고도 약 200m까지의 해안저지대, 200~600m 사이의 중산간지대, 그 이상에서 한라산 정상부근까지의 한라산체 등으로 구분되며, 남북 양사면에는 대지 상의 해안저지대와 중산간지대의 면적이 좁고 한라산체가 많은 부분을 차지한다(1993, 건설부).

중산간지대의 면적은 제주도 전체의 31.5%에 해당되는 577km²를 차지하고 있으며, 하부의 경사도 약 10°로 대체적으로 평탄한 지형을 이루고 있으나, 상부로 갈수록 오름의 분포가 급증하면서 대부분 경사도 30°이상을 이루고 있다. 한라산을 정점으로 한 계곡 및 하천이 가파르게 형성되기도 한다. 360여 개에 달하는 기생화산은 대부분 Scoria 및 분석구로 구성되어 있으며, 주변으로 습골, 꽃자왈 등이 분포되어 지하수함양 가능한 지질구조를 형성하고 있다. 대부분 초지 및 산림지대를 이루고 있으며, 대규모 목초지대에서는 축산업이 이뤄지고 있다.

1.2 지하수의 환경

제주도는 Table 1에 제시된 바와 같이 연평균 강우량은 1,872mm로 다우지역이며, 표고가 높아짐에 따라 강우량이 증가하는 분포를 보여 중산간지대(200~600m)는 2,024mm의 높은 강우량을 나타낸다.

제주도 중산간지역은 이들 많은 강우를 지하로 이동시켜주는 투수성 지질구조(습골, 용암동굴 및 용암튜브, 절리구조, 클링커층 등) 분포에 따라 지하

수함양지역으로서의 보전 및 관리에 대한 중요성이 더해가고 있다.

중산간지대는 상위지하수체로 비포화대내의 다른 대수층과 수리적으로 연결되어 있지 않은 단속적인 지하수체이기 때문에 강우량에 따라 유량변화의 폭은 크지만, 해수와 직접 접촉하지 않으므로 염수침입과 연관된 수질은 비교적 양호한 편이다. 또한 현재까지는 생활하수에 의한 인위적인 오염현상이 확인되지 않고 있으나, 개발이 급증함에 따라 대규모 축산폐수 및 골프장에 사용되는 비료·농약에 의한 오염물질 유입, 생활하수 등에 의해 오염될 가능성의 위험을 안고 있다.

Table 1. Distribution of yearly mean of rainfall by altitude

표고 강우량	200m이하	200~400m	400~600m	600~800m	800m이상	합계
1,000-1,200	50.0					27.0
1,200-1,400	300.4	3.4				162.9
1,400-1,600	260.5	302.8	12.9			207.3
1,600-1,800	517.5	233.1	369.9	10.2		370.8
1,800-2,000	362.1	436.8	287.1	504.3	43.7	352.6
2,000-2,200	134.4	521.6	413.7	389.1	201.8	268.0
2,200-2,400		419.7	394.0	348.5	277.2	175.0
2,400-2,600			518.7	393.5	292.5	102.0
2,600-2,800			134.7	481.1	423.1	75.3
2,800-3,000				143.6	444.3	43.2
3,000-3,200				21.4	412.3	33.8
3,200-3,400					298.7	23.8
3,400-3,600					385.0	30.5
합 계	1,624.9	1,917.4	2,131.0	2,291.7	2,778.6	1,872.1

※ 자료 ; 표고별 연평균 강우량 분포(건설부, 1993)

1.3 투수성 지질구조

신생화산체의 제주도 지질은 현무암질 용암류가 가장 많으며, 서귀포층·성산층·신양리층과 같은 퇴적층 그리고 제주의 ‘오름’이라 불리는 소화산체의 분출물 및 소규모의 풍성사구층 등으로 구성되고 있다. 이렇게 제주도를 이루는 주된 형성체는 화산활동의 소산물이며, 이들 크고 작은 화산활동 개개의 Unit별로 용암류·다공질 Scoria·화산쇄설층(화산재~화산력에 이르는 다양한 물질) 등이 반복적으로 분포되어 있고, 용암류를 기준으로 상·하단부에 Clinker 구조를 포함하는 특징을 보인다. 용암류는 대부분 다공질로 형성되었을 뿐만아니라 지표 상에 숲골, 함몰지, 곳자왈 및 수직·수평 절리 등의 각종 투수성지질들이 지하수 함양의 역할을 하고 있고, 지층 사이에 나타나는 Clinker 구조, 균열 및 절리, 다공질 Scoria층 구간이 대수층을 형성하고 있다.



Fig. 1. Distribution map of permeable geologic structure in Jeju Island

Table 2. Distribution chart of permeable geologic structure

(unit: km²)

구 분	투수성 지질구조의 유형					
	용암동굴	습골	꽃자왈	오름	하천	스코리아류 퇴적층
제주도 전역	2.34	0.73	122.1	135.0	36.13	11.52
중산간지대	0.30 (12.8%)	0.51 (69.8%)	73.26 (60%)	99.40 (73.6%)	26.60 (73.6%)	0.33 (2.9%)

Fig. 1은 제주도내 분포되고 있는 투수성 지질구조의 분포도(2000·제주도 지하수 보전·관리계획 보고서)를 나타낸 것이며, Table 2에는 이들 중 중산간지대 분포현황을 나타낸 것이고, 투수성 지질구조 유형 중 습골·꽃자왈·오름·하천은 제주도 전역에 분포되는 것의 60%가 넘는 면적이 중산간지대에 분포되고 있음을 확인할 수 있다. 투수성 지질구조는 중산간지대의 지하수함양 역할을 하나, 이들은 지표상의 수m 깊이에 대한 분포현황이며 그 자체가 수백m 굴착한 지하수 개발공의 양수능력을 결정한다고는 볼 수 없다. 즉, 양수능력은 대수층 및 그것을 받쳐주는 저투수층의 분포형태 및 규모에 따라 차이를 나타낸다.

200m 이하의 저지대에서는 기저의 서귀포층·성산층·신양리층으로 명명되는 퇴적층이 저투수층의 역할을 하는데, 중산간지대에서는 이들보다는 소화산체 분출 시 형성된 점토질 화산재층에 의해 차수되거나 피압되는 양상으로 보인다. 수차례의 소규모 분출에 의해 수직적으로 수매의 대수층 또는 저투수층이 형성되고, 기복이 심한 원지형의 형상에 따라 수평적으로 또한 다소 불규칙적이므로 저지대에 비해 지층단면을 연결해서 대수층구간을 추정하는데 다소 무리가 따른다. 이에 따라 중산간지대에서는 개발위치별로 소화산체의 분포 및 원지형의 형상에 따라 개별적으로 검토하여 수리특성을 파악하는 게 적절할 것이다. 이렇게 수직·수평적 불규칙적인 지층분포는 곧 대수층

및 수리특성과 연관되며 따라서 중산간지대의 지역별 또는 표고별 특정한 평균치를 적용시키는 것은 많은 오차가 따를 것임을 감안해야 한다.

1.4 개발관정을 통한 지층분포 검토

중산간지대의 경우는 개발주상도에서 보여지는 것처럼 수 층의 현무암층과 화산쇄설층이 반복적으로 분포되고 있다. 현무암층은 치밀·견고한 상태로 나타나기도 하며, 균열 및 절리가 발달되거나, 다공질 형태로 나타나기도 하고, 하단부의 층경계면에서는 Clinker 구조가 확인되기도 한다. 화산쇄설층의 경우는 화산재, 화산사, 화산력 및 다공질 Scoria 형태도 포함시켜 구분되기도 하며, 퇴적층 뿐만아니라 화산재가 주를 이루는 화산쇄설층의 경우 또한 저투수층 역할을 하여 수 층의 대수층을 형성하는 근원이 된다.

제주도 지하수 부존형태에서 저지대를 기저지하수-준기저지하수에 해당된다고 보았을 때, 서귀포층·성산층·신양리층의 저투수퇴적층이 대부분 해수면 하부에 분포되고 있고, 지하수위 또한 해수면 상부 10m 내외 선상에서 형성되기 때문에 개발심도는 일반적으로 해수면 이하 20~50m까지 이뤄진다. Fig. 2는 한국수자원공사(1993)에서 모식화한 지하수부존도에 따라 제주도 지하수개발 Pattern을 표시한 것으로, 저지대에서는 하부 저투수층을 통과하지 않으면서 해수면 이하 수십미터 심부까지 개발(A)되거나, 해수면 부근까지 개발(B)되기도 하고, 저투수층까지 도달하는 지하수관정(C)들이 다수 포함된다. 이에 반해 중산간지대는 대부분 상위지하수체로 저투수퇴적층은 해수면선상에서부터 상부에 분포되고 있고, 서귀포층·성산층의 퇴적층 외에 점토질의 화산재층이 상부에 수 매 분포되며 지하수위는 해수면 기준 50~100m, 400m 이상의 고지대에서는 200m 상부에까지 높게 형성되고 있다. 이에 따라, 개발심도는 저투수층까지 도달하면서 해수면이하 수m 이내 깊이까지 개발(D)하거나, 해수면 상부 수m까지 개발(F)되고, 또는 하단부 저투수층까지 도달하지 않으면서 해수면 상부 수m~수십m 상부까지 개발(E)되는 Pattern을 보인다.

그러나, 위에 언급된 것처럼 중산간지대 경우는 대수층 및 저투수층 역할을 하는 지층구조가 해수면 상부에 수 매 분포되고 있는 특성과 연관되어 지하수개발심도는 해수면기준이하 몇m 또는 하단부 서귀포층·성산층의 저투수층 통과 등을 기준으로하여 필요이상의 굴착을 피해야 하며 굴착 시 지층분포 및 대수층의 형성 특성에 따라 개발심도를 결정해야 한다.

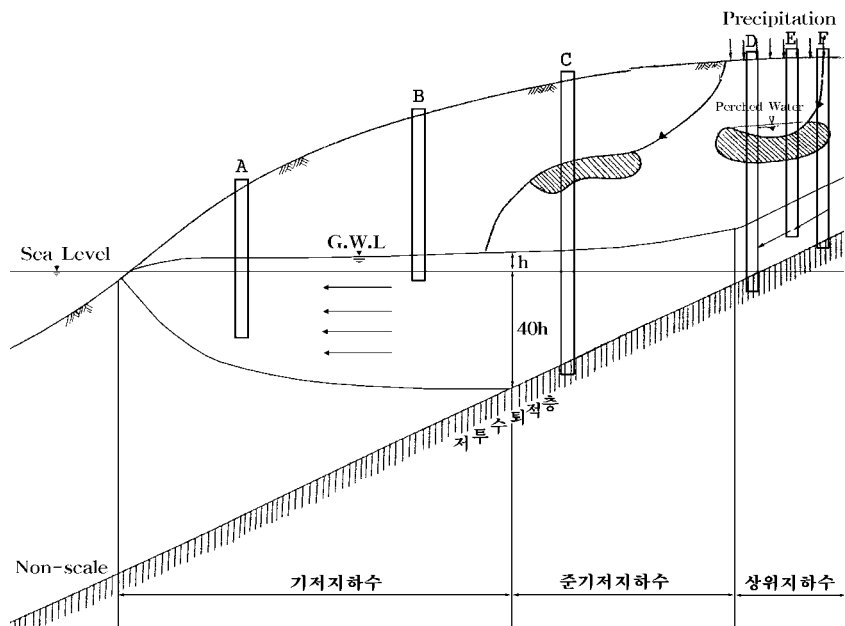


Fig. 2. Development pattern by types of groundwater bearing

일부 제시된 개발지층단면도에서 검토하면, 하부에 저투수퇴적층에 도달한 경우 대수층은 그 상단구간에서 확보되었음에도 불구하고 퇴적층을 수십m 이상 굴착한 관정(F-298, JSSM, F-308 등)이 있으며, 서귀포층에 도달하지 않더라도 상부에 분포된 대수층 및 점토질의 화산재층에 의해 형성된 지하수위가 해수면상단 100~200m 수준에 달하나 그 이하 심부까지 과굴착된 형태를 보이는 관정(F-296, BGH-1, PICC-1, JJCC 등)이 확인된다. 조사공의 목

적으로 개발된 지하수공은 제외되더라도 중산간지대에 개발된 관정의 지질주
상도를 검토할 경우 필요이상의 고심도를 굴착한 경우가 다수 존재한다.

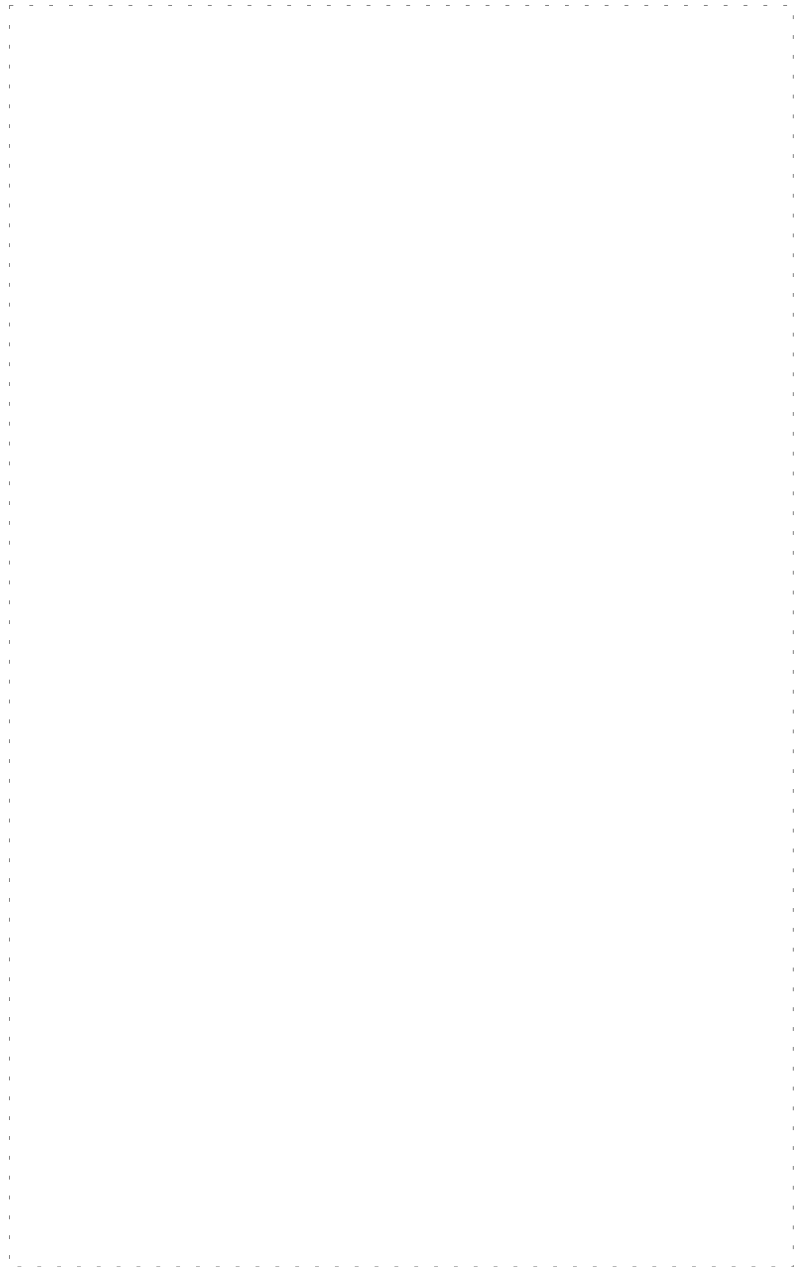


Fig. 3. Location of sampling sites for geologic log section

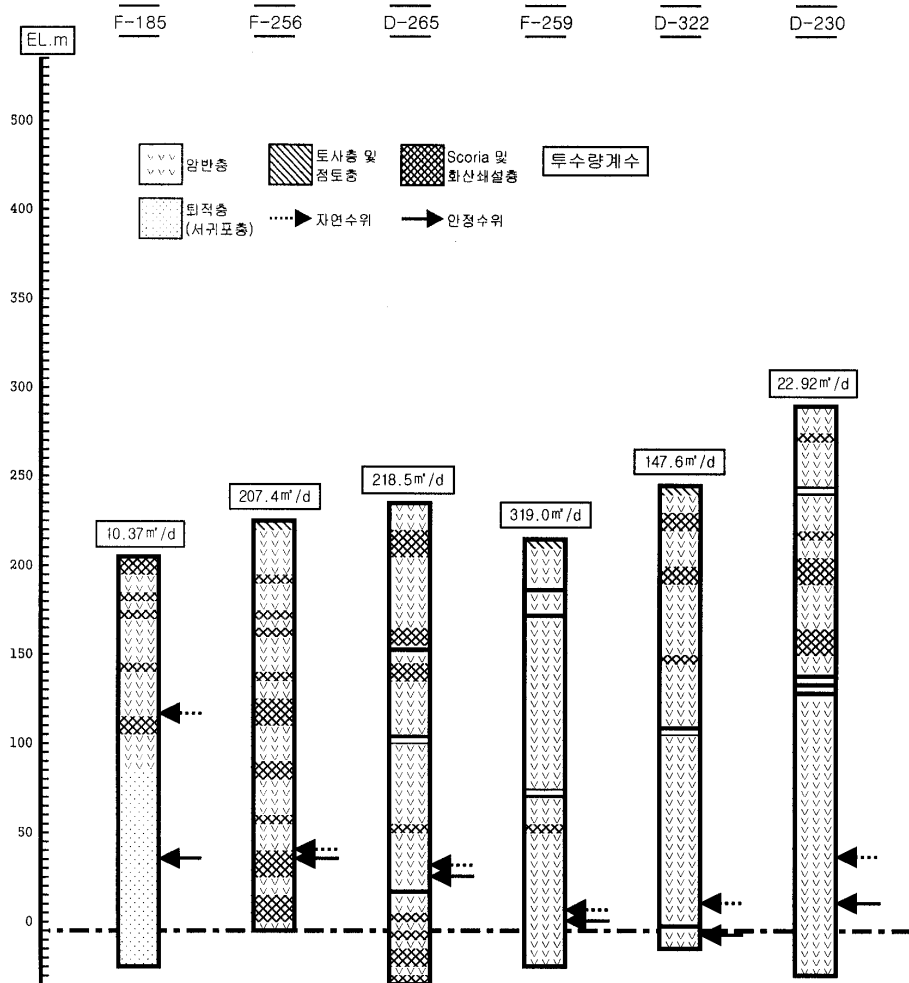


Fig. 4a. Geologic log of wells for level 200~300m (I)

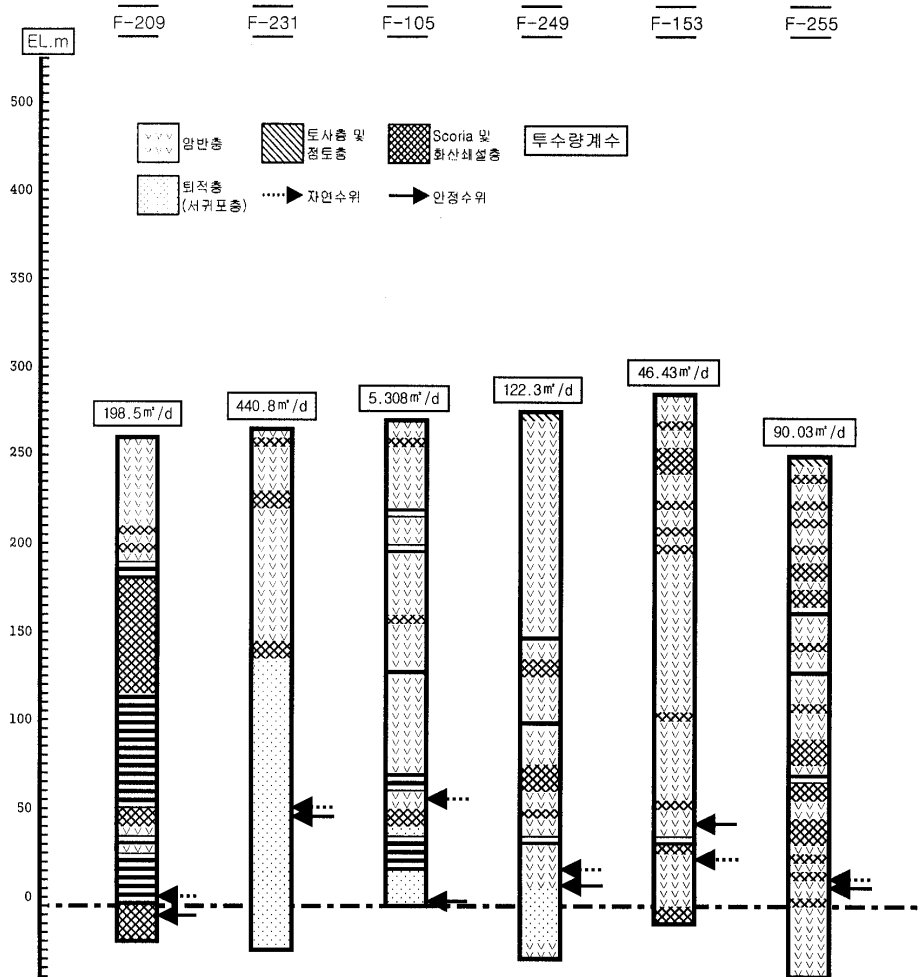


Fig. 4b. Geologic log of wells for level 200~300m(II)

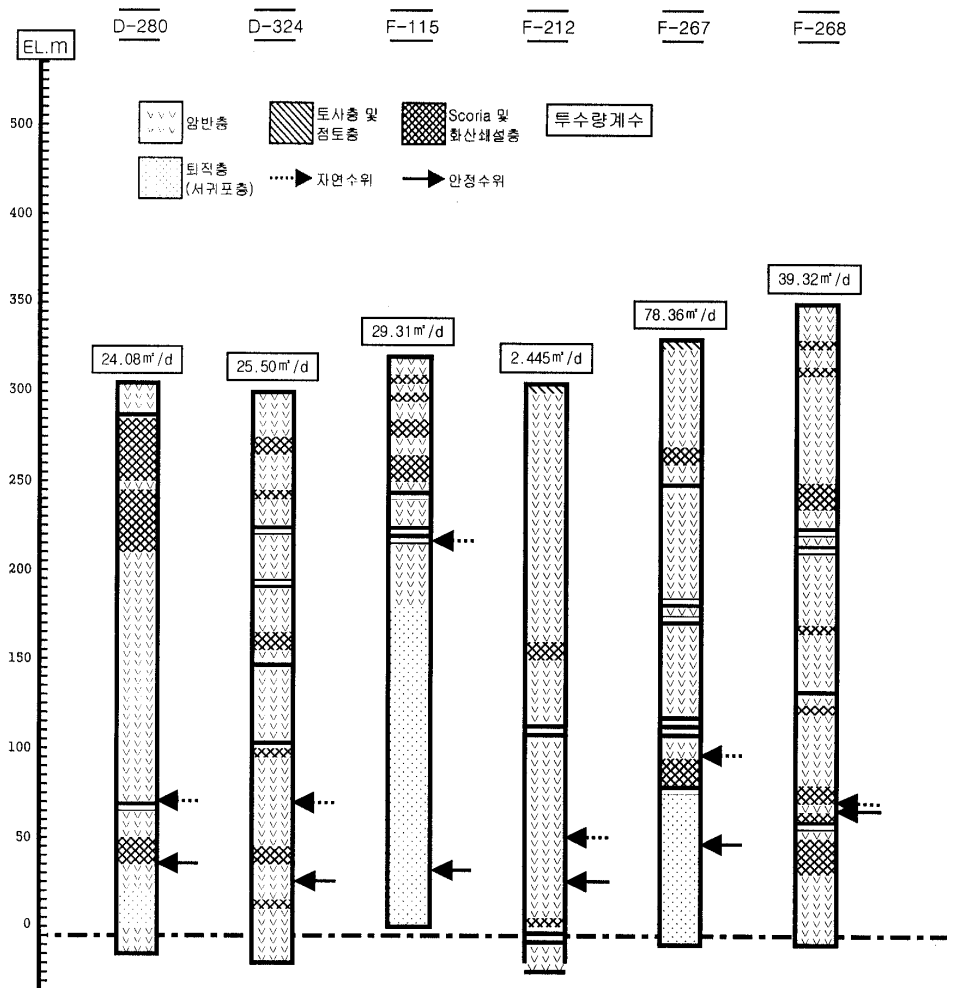


Fig. 4c. Geologic log of wells for level 300~400m (I)

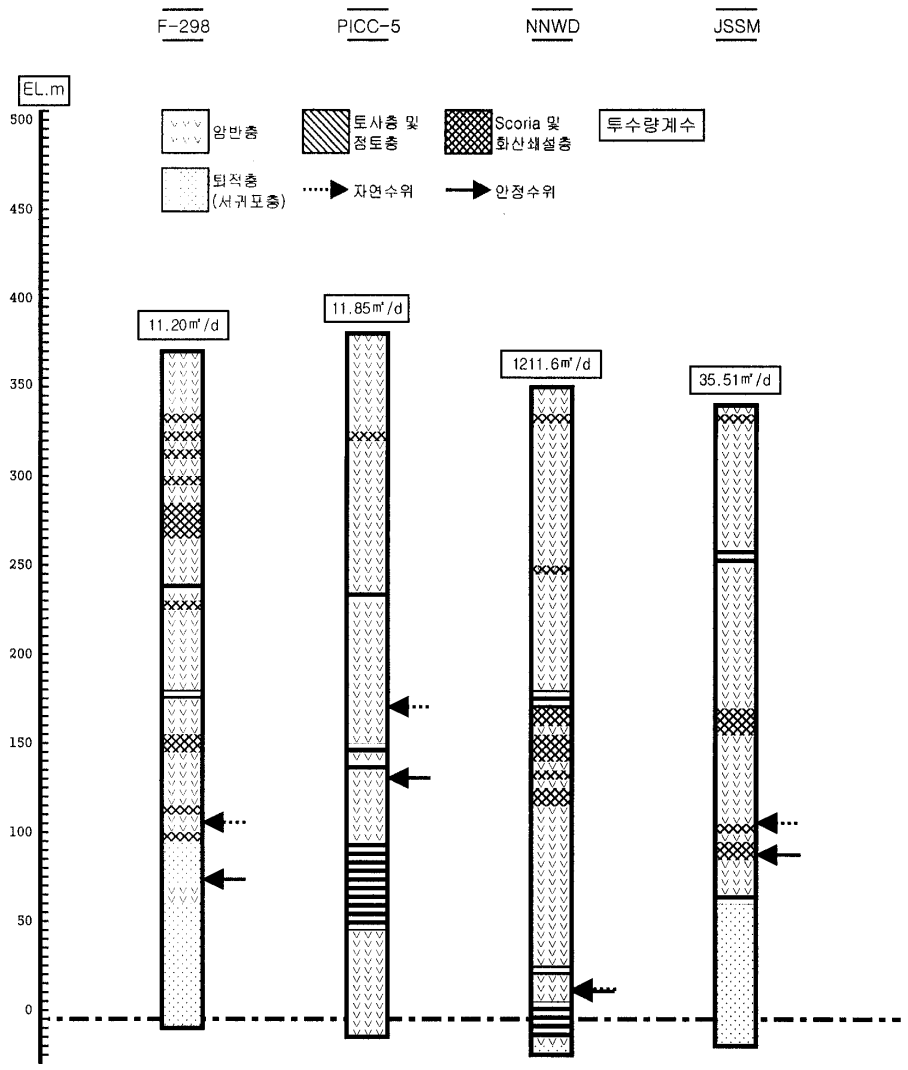


Fig. 4d. Geologic log of wells for level 300~400m(II)

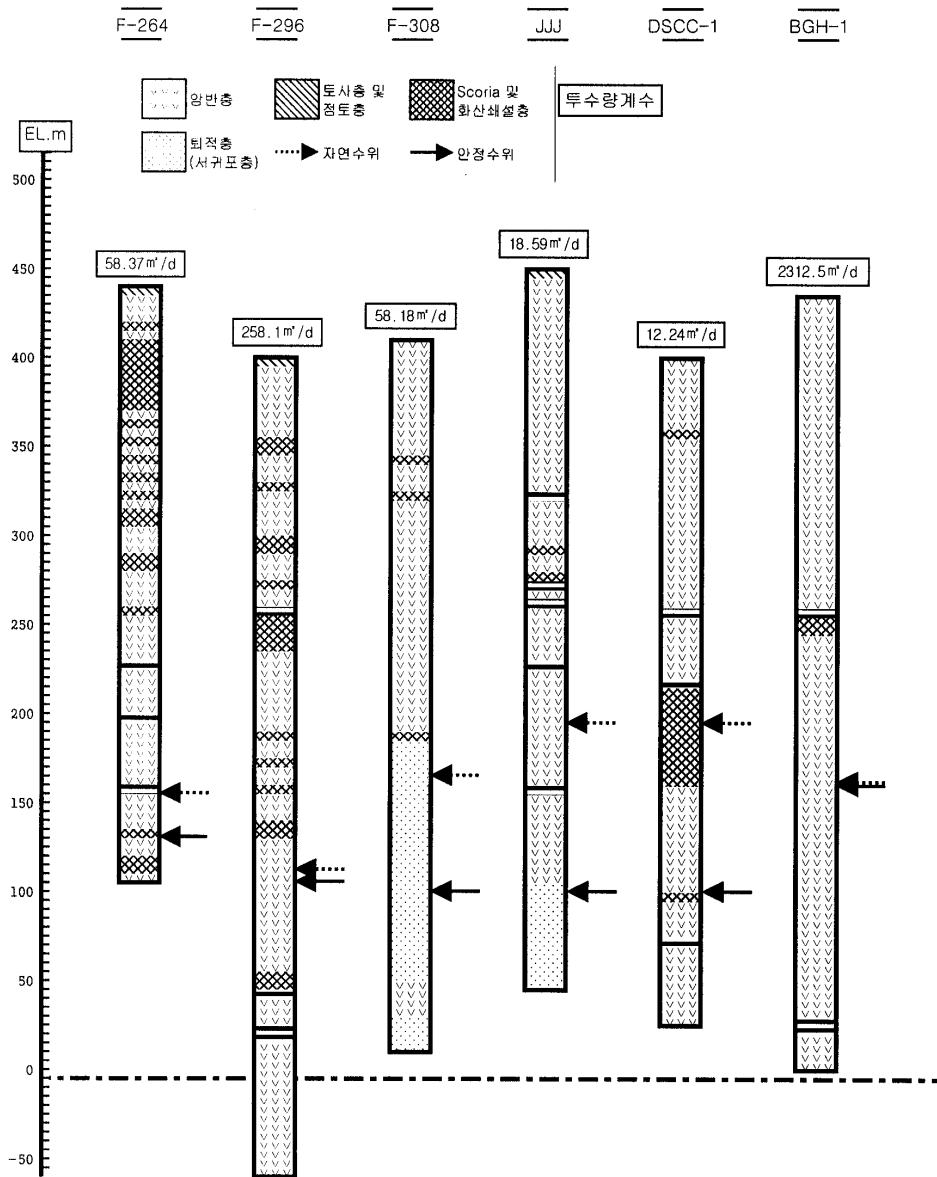


Fig. 4e. Geologic log of wells for level 400~500m (I)

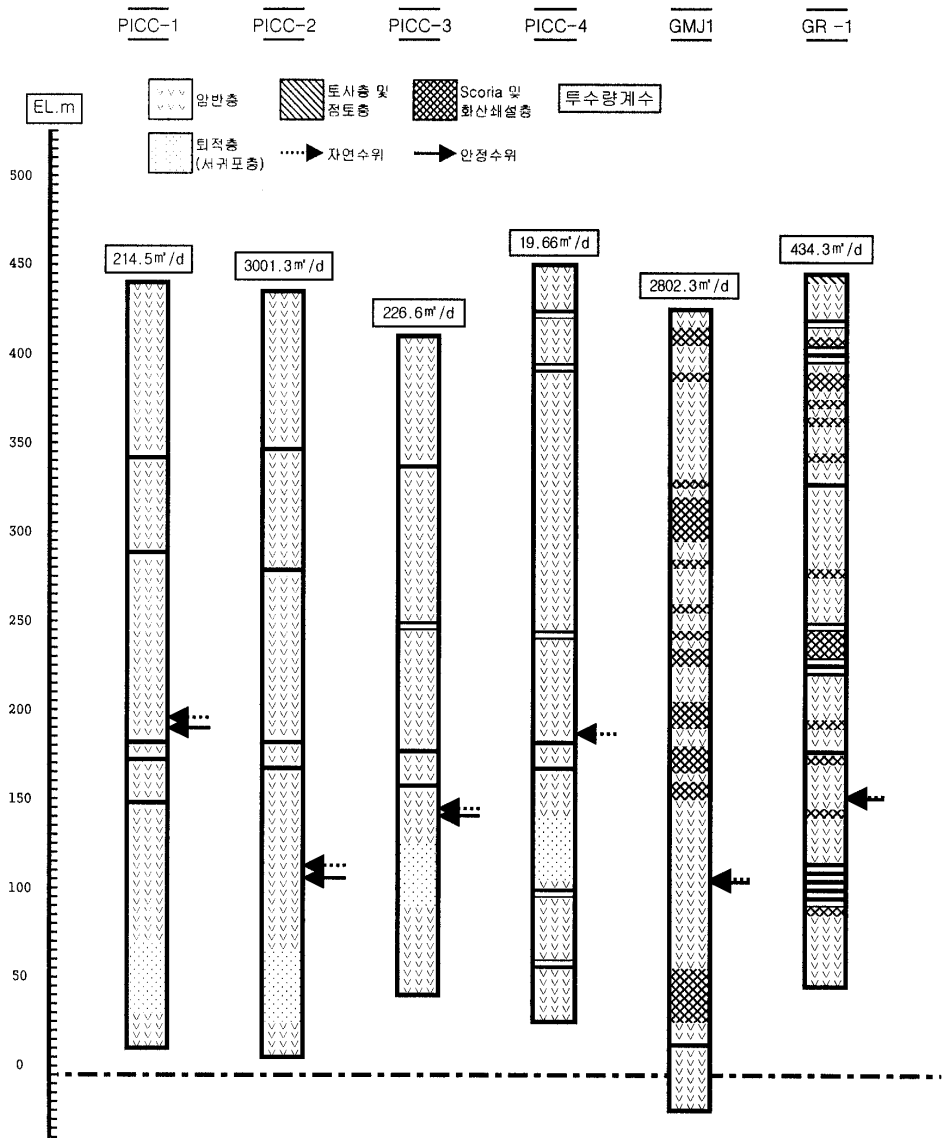


Fig. 4f. Geologic log of wells for level 400~500m(II)

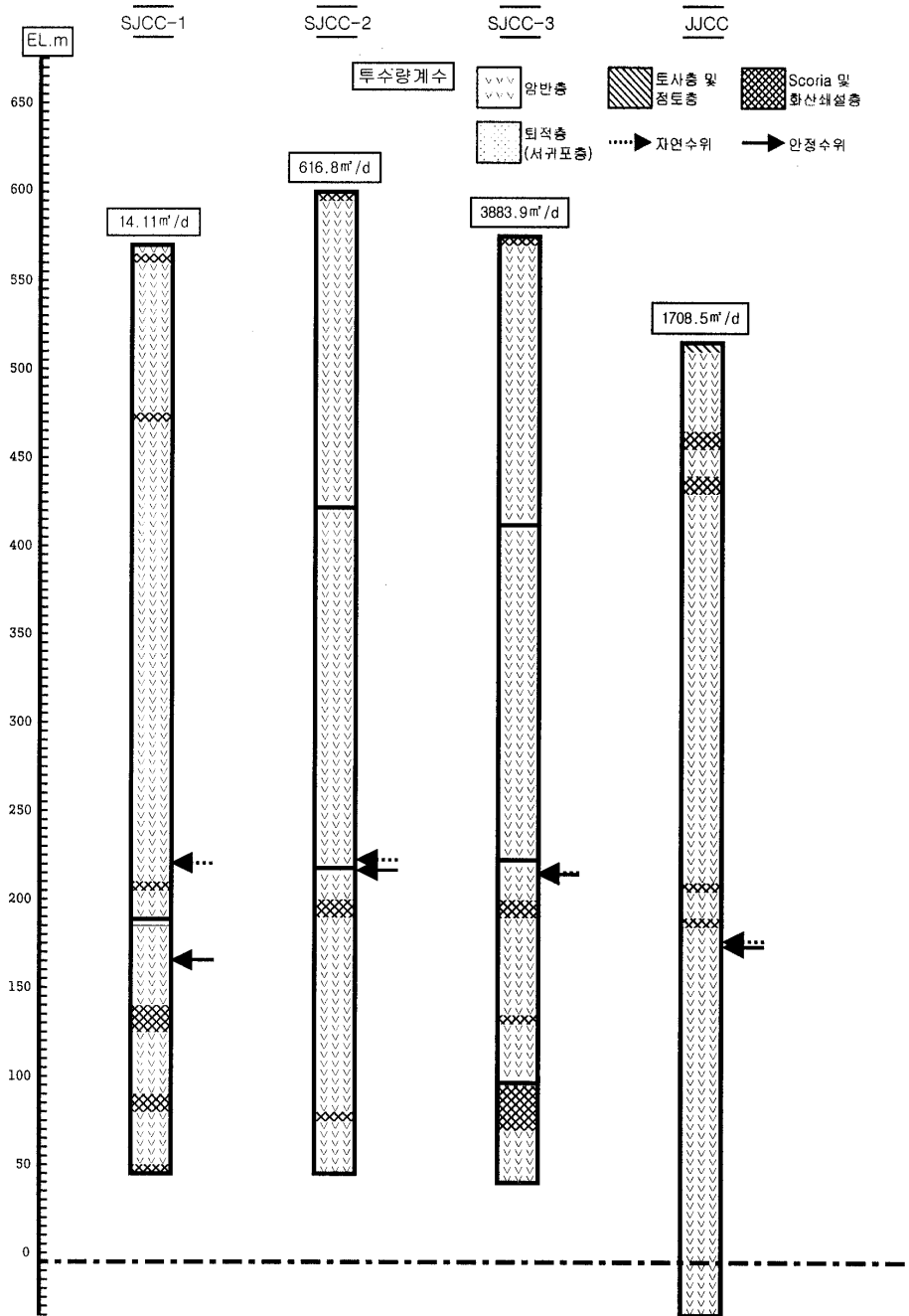


Fig. 4g. Geologic log of wells for level 500~600m(I)

2 중산간지대의 지하수 개발현황

2.1 표고별·연도별 개발현황

1999년도까지 제주도 중산간지대 내에 개발된 공은 총 245개에 달한다. 농지 및 축산단지가 조성되어 있는 200~300m 지점에 가장 많고, 400m 이상의 고지대는 골프장을 포함한 관광산업에 따른 개발공이 주를 이룬다. ‘제주도 지하수 보전·관리계획 보고서(2000·제주도)’에 의하면 제주도내 이용허가된 관정들 중 표고 200.01m 이상에 개발된 관정들의 양수능력(양수시설의 동력장치, 토출관의 직경과 심도 등에 비추어 보아 당해 시설을 이용하여 양수할 수 있는 최대채수량, 지하수법 제8조 4항 참조)은 전체양수능력의 약 7.8%에 불과하다고 조사되었는데, 중산간지대의 지하수개발은 높은 양수능력에 대한 기대보다는 필요에 의해서 즉, 산업발전에 따라 생활환경이 개선되어지고 여가생활을 즐기는 것을 선호함에 따라 고지대에 골프장을 비롯한 생활체육시설이 급증하고 있고, 관광지 개발되고 있으며, 쓰레기매립장 또는 소각장 등도 인가·주택지를 벗어난 위치선정을 연유로 고지대에 시설되고 있는 실정에 이르렀으며, 이에 따라 300m 이상의 고지대에 지하수개발이 증가하고 있는 양상을 보이고 있다.

165개로 다수 개발된 300m 이하의 중산간지대는 오래전부터 농가 및 주택단지가 조성되어 있어 어느 정도 정화시설이 설치되어 있으나, 그 이상의 지대에서는 오염경로 차단 및 오수정화시설이 체계적으로 이뤄지지 않은 상태로 이런 인위적인 요인 외에, 중산간지대에 다수 형성된 소화산체 분출물이 주를 이루는 투수성 지질구조가 두껍게 분포되어 있는 자연적인 요인이 불리하게 작용되므로 표고에 따라 제한적으로 개발해야 하는 문제를 중점적으로 검토되어야 한다.

연도별 개발현황을 살펴보면, 중산간지대의 지하수개발은 85년 이후부터 급증하기 시작했으나, 이 때는 대부분 농업용수 이용 목적에 따라 개발되어 20

1~300m 구간에 주로 해당된다. 90년 이후부터는 300m 이하 지대를 포함하여 300m 이상의 지대에서 또한 활발히 이뤄진 것으로 나타나며, 90년대 후반에는 500m 이상의 고지대에서도 개발되었다. 표고별 증가와 복합적으로 연도별로 고지대 개발이 이루어지는 현상은 관광산업의 활성화 요인이 가장 크며, 농·축산업이 대규모로 시행됨에 따른 것으로 파악된다.

Table 3. The present condition of developed wells by altitude and years

개발연도		201~300m	301~400m	401~500m	501~600m	계
개발 공수	개발연도불명	1	1	-	-	2
	70~74년	1	-	-	-	1
	75~79년	2	1	-	-	3
	80~84년	9	-	-	-	9
	85~89년	32	7	-	-	39
	90~94년	58	13	8	-	79
	95년	11	5	1	-	17
	96년	8	-	2	-	10
	97년	19	6	12	1	38
	98년	9	6	6	2	23
	99년	15	1	5	3	24
	합 계	165	40	34	6	245

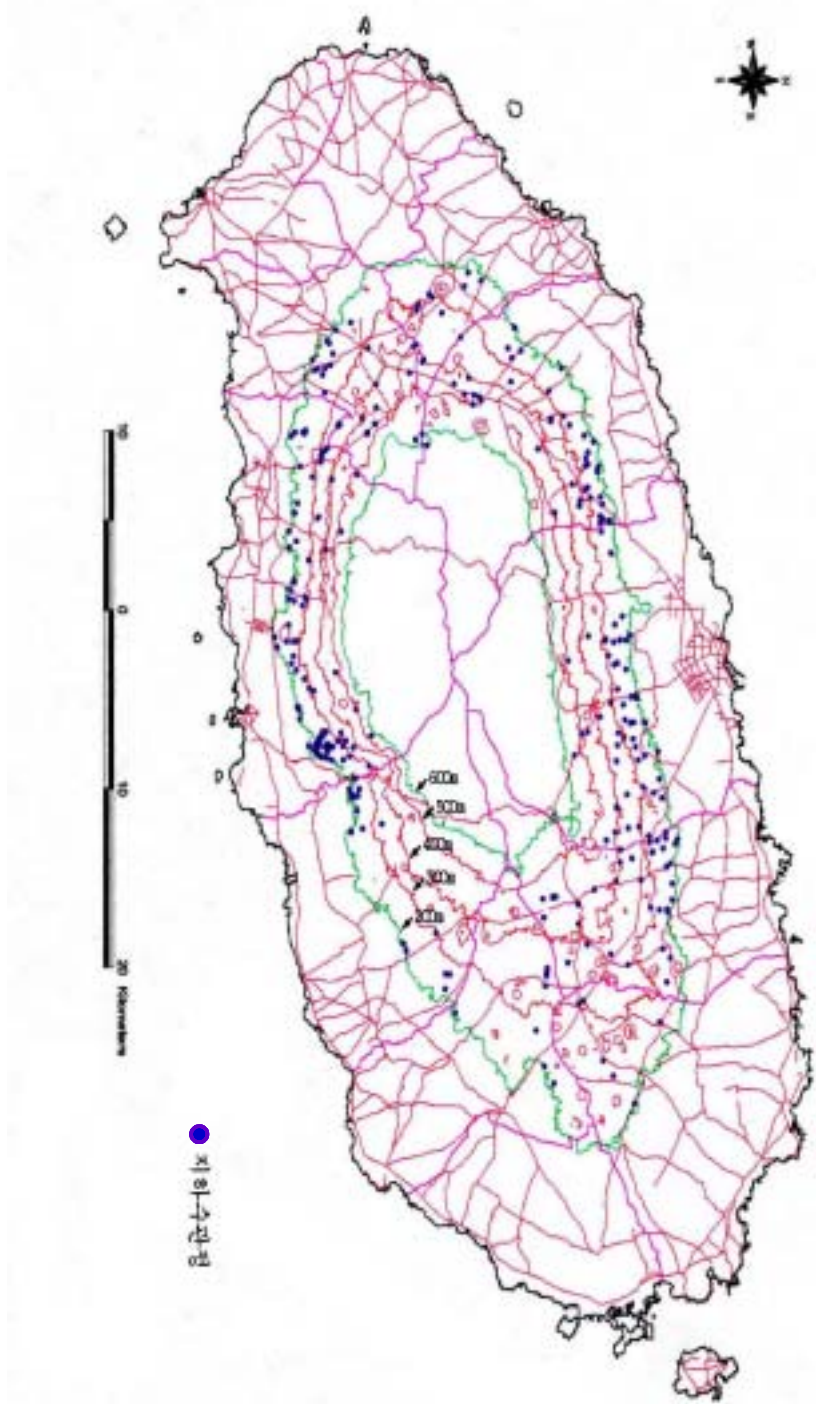


Fig. 5. Distribution chart of Groundwater hole at middle area among Halla Mt. in Jeju Island

2.2 개발심도현황

제주도 중산간지대 개발된 지하수공들 중에서 표고에 따른 개발심도를 검토해볼 필요가 있다. 저지대의 경우는 기저지하수체로 구분되어 지하수위가 해수면 상단 10m 내외의 선상에 형성되며 이에 따라 굴착심도는 해수면 이하 20~50m 깊이까지 굴착하는 것이 대부분이다. 이에 반해 중산간지대는 상위 지하수체에 해당되어 수매에 걸쳐 협재된 저투수층에 의해 단속적으로 지하수체를 형성하여 해수면 훨씬 상부에서 수위가 확인된다. 따라서, 중산간지대의 표고에 따른 개발심도는 저지대의 개발심도 Pattern과는 다른 형태를 보인다.

Table 4. Well depth condition by altitude

구 분	201~300m	301~400m	401~500m	501~600m	비 고
검토대상공	66	34	30	6	계 136
해수면기준 평균개발심도(m)	-18.77	18.47	22.58	48.23	평균 6.3

검토결과 중산간지대 전체적인 평균개발심도는 해수면 상부 6.3m이고, 201~300m 구간에 한하여 EL-18.77m로 해수면 이하 심도까지 개발되어졌으며, 고지대로 갈수록 표고에 따른 개발심도는 상부에 형성되고 있다. Table 4는 평균값을 산정한 것이고, 이들 검토대상 각 공별 현황은 Table 5에 나타내었다.

Table 4에 기재된 자료는 201m 이상의 중산간지대에서 90년 이후에 개발된 공공관정을 표고에 따른 개발심도별로 나타내었으며, 공공관정이 소수인 300m 이상 구간에는 필요한 자료 수를 높이기 위하여 일부 사설관정을 포함시켰다. 검토 대상공은 고지대의 극소수 사설관정을 포함하여 총 136공으로 201~300m, 301~400m, 401~500m, 501~600m 구간별로 각각 66, 34, 30, 6개

공이 해당된다. 표고 501~600m의 고지대인 경우 99년까지 개발된 지하수공은 총 6개공에 불과하여 이들로써 일정한 특성을 검토해내는 데는 무리가 따르나, 각 구간별로 검토하는데 제외시키지 않고 포함시켜 분석하였다.

Table 5a. Well depth of middle area among Halla Mt.(201~300m)

공번	위치	표고	심도	표고-심도 (m)	안정수위 (EL.m)	개발량	비고
D-230	금악	295	320	-25	17.0	800	
D-241	하원	205	230	-25	19.0	700	
D-249	아라	235.9	250	-14.1	56.9	1,000	
D-250	서호	285	290	-5	-2	600	
D-254	선인동	230	285	-55	-6	700	
F-54	용흥	210	230	-20	33.0	700	
D-260	용강	250	270	-20	18.0	700	
D-261	정실4	202	240	-38	19.0	1,000	
D-263	토평	215	192	23	120.0	700	
D-265	상덕천	230	270	-40	23.0	600	
F-66	봉개	237	265	-28	17.0	800	
F-71	와흘	215	250	-35	215.0	600	
D-272	오등	260	265	-5	70.0	800	
F-79	하원	237	185	52	80.0	700	
D-285	명도암	250	290	-40	-2.0	600	
D-286	월평	262	260	2	50.0	800	
D-288	영평	250	290	-40	44.0	800	
D-291	회수	220	240	-20	150.0	500	
D-293	용흥	240	270	-30	113.0	700	
D-297	광령	233	240	-7	21.0	600	
D-299	봉성2	210	240	-30	17.0	900	
D-302	금덕	260	280	-20	20.0	900	
F-84	오등	282	300	-18	107.0	800	
F-85	해안	247	290	-43	57.0	700	
F-86	회천	230	230	0	65.0	800	
F-99	서광동	205	220	-15	65.0	800	
D-318	오등	231	268	-37	41.0	800	
D-319	동흥	235	243	-8	60.0	600	
D-322	유수암	250	260	-10	-3.0	700	
F-105	회천1	275	275	0	3.0	600	
F-108	정실	247	270	-23	77.0	700	
F-109	용강	265	282	-17	-3.0	500	
F-113	서호	276	290	-14	56.0	600	
F-131	동명	218	243	-25	13.0	800	
F-134	금악	283	310	-27	23.0	800	
F-152	금덕	235	250	-15	-4.0	600	
F-153	소길	288	300	-12	28.0	800	
F-168	대흘1	220	230	-10	-5.0	700	

Table 5a. Continued

공번	위치	표고	심도	표고-심도 (m)	안정수위 (EL.m)	개발량	비고
F-185	하례2	210	230	-20	40.0	1,000	
F-186	신례1-1	205	230	-25	55.0	700	
F-201	상창	242	265	-23	27.0	600	
F-202	창천	201	230	-29	1.0	700	
F-209	어음2	265	292	-27	-5.0	700	
F-211	와흘	274	310	-36	-21.0	600	
F-217	월평1	269	292	-23	44.0	600	
F-218	월평2	300	320	-20	10.0	600	
F-226	호근3	226	254	-28	130.0	500	
F-231	서홍	272	296	-24	52.0	600	
F-239	금악	240	250	-10	30.0	900	
F-249	광령2	280	310	-30	13.0	500	
F-255	어음2	255	294	-39	10.0	800	
F-256	납읍1	230	232	-2	43.0	1,200	
F-257	납읍1	278	291	-14	3.0	800	
F-258	소길	256	272	-16	-2.0	800	
F-259	유수암	220	240	-20	5.0	1,000	
F-265	대흘1	201	240	-39	2.0	1,000	
F-270	성읍2	205	230	-25	14.0	700	
F-276	신례1	273	280	-7	101.0	600	
F-284	수망	206	220	-14	34.0	600	
F-301	오라	253	272	-19	115.0	800	
F-302	방선	284	300	-16	116.0	838	
F-304	상예	224	240	-14	129.0	1,052	
F-306	하원2	257	232	25	89.0	734	
F-329	선흘2	221	260	-39	-1.0	1,200	
F-303	토평2	226	230	-4	196.0	820	

Table 5b. Well depth of middle area among Halla Mt.(301~400m)

공번	위치	표고	심도	표고-심도 (m)	안정수위 (EL.m)	개발량	비고
D-280	금악	312	320	-8	42.0	600	
D-324	송당	305	320	-15	30.0	800	
F-115	서홍	323	315	8	38.0	500	
F-212	와산	311	330	-19	26.0	600	
F-267	와흘	333	340	-7	52.0	900	
F-268	선흘2	355	360	-5	70.0	600	

Table 5b. Continued

공번	위치	표고	심도	표고-심도 (m)	안정수위 (EL.m)	개발량	비고
F-298	용강	375	380	-5	79.0	602	
HYT		350	130	220	240.0		형주산업(주)하얏트
HOHL1		400	240	160	170.0		호텔한라
HOHL2		400	260	140	170.0		호텔한라
HSG		345	363	-18	53.0		한신골프연습장
KSR		380	280	100	105		(주)거성홈테미콘
DBW		360	390	-30	0.0		동부위생처리장
HKK		345	296	49	93.0		한국공항(주)
PRCC1		380	400	-20	40.0		파라다이스골프장
PRCC2		380	400	-20	40.0		파라다이스골프장
HKK2		330	325	5	82.0		한국공항(주)
RINN		320	270	50	-		라인농산
JSSM		345	360	-15	93.5		제주시쓰레기매립장
TPK		310	156	144	271.3		토평공업단지
HLRG		310	320	-10	54.0		할렐루야기도원
JNH		320	350	-30	25.4		제주낙농협동조합
SDKM		340	312	28	145.0		신래단지공동목장
PICC-5	상천	388	400	-12	137.0	578	핀크스골프장
JAH		320	330	-10	97.5		제주공업고등학교
SBCJ		315	330	-15	96.2		사회복지법인 춘강장애인복지회관
BDYD		322	300	-8	77.0		별드르양단지
NNWD	어음	355	375	-20	15.9	230	남녕월드

Table 5c. Well depth of middle area among Halla Mt.(401~500m)

공번	위치	표고	심도	표고-심도 (m)	안정수위 (EL.m)	개발량	비고
F-264	대흘1	442	330	112	137.0	500	
F-296	동광	403	460	-57	113.0	700	
F-308	중문2	412	400	12	102.0	600	
F-349		409	360	49	139.0	850	
PRCC3		410	420	-10	65.0	500	파라다이스골프장
PRCC4		410	420	-10	65.0	500	파라다이스골프장
HKM1	교래	459	452	7	144.2	600	한국마사회
TRD		417	430	-13	189.8	500	탐라대학교

Table 5c. Continued

공번	위치	표고	심도	표고-심도 (m)	안정수위 (EL.m)	개발량	비고
HKM2	교래	439	436	3	131.1	600	한국마사회
SDS1	교래	440	420	20	145.1	1040	삼다수
SDS2	교래	440	420	20	146.5	1220	삼다수
SDS3	교래	440	420	20	169.9	1040	삼다수
PICC-1	상천	443	430	13	194.8	560	핀크스골프장
PICC-2	상천	438	430	8	181.7	560	핀크스골프장
PICC-3	상천	447	400	47	147.5	550	핀크스골프장
SGBR	교래	432.5	330	102.5	208.6	500	산금부리
BGH-1	회천	440.4	437	3.35	167.7	500	봉개휴양림
GMJ-1	유수암	430	450	-20	111.0	500	경마장
GR-1	봉성	452	400	52	156.7	200	그린관광목장
JJJ-1	영평	454.9	403	51.9	150.4	500	제주전문태
DHR		420	450	-30	49.0	432	(주)동흥레미콘
LGPS		404	370	34	151.2	320	이기풍선고기념센터
HHY		475	480	-5	61.5	148	한라한우촌영농조합
SACC-1	어음	404	415	-11	167.6	550	신안골프장
DSCC-1	봉개	405	375	30	111.6	500	동서골프장
TRCC-1	어음	478.5	433	45.5	64.9	500	탐라골프장
TRCC-5	어음	479.5	480	-0.5	65.4	547	탐라골프장
TRCC-3	어음	472.3	434.5	37.8	147.7	540	탐라골프장
TRCC-4	어음	475.6	415	60.6	209.7	550	탐라골프장
TRCC-2	어음	498.0	405	93.0	211.5	550	탐라골프장
MNWD	교래	415	400	15	152.0	150	미니월드

Table 5d. Well depth of middle area among Halla Mt.(501~600m)

공번	위치	표고	심도	표고-심도 (m)	안정수위 (EL.m)	개발량	비고
SGYD	대포	520	520	0	138.5	135	
JJCC	영평	520	550	-30	180.5	890	
SPHS	색달	521.3	431	90.3	301.3	240	
SJCC-2	봉성	598.2	550	48.2	223.1	900	
SJCC-3	봉성	579.2	535	44.18	225.8	647	
SJCC-1	봉성	577.3	525	52.3	171.3	1,000	

※ 공공관정의 공번은 D-*, F-*로 표기하였고, 사설관정의 경우 사업장의 영문약자로 표기하였다.

2.3 용도별 개발현황

정부 및 지방자치단체에서 투자하여 개발된 관정인 공공관정(주로 농·축산업용수, 교육시설 등)의 경우는 95공으로 전체의 39%를 차지하고 있고, 공공관정 및 사설관정을 포함한 중산간지대에 개발된 지하수공의 용도별 현황을 살펴보면 다음과 같다.

Table 6. Number of wells by use

용도	생활용수	농수축산용수	공업용수	기타	계
공수	99	141	2	3	245
세부용도	상수도용 학교용, 일반용 공동주택용	농업용 축산업용	자유입지 지방공단	먹는샘물	
이용목적	체육시설 먹는물, 관광숙박 종교, 교육시설	밭기반 축산용수 농업용수	식품제조 공장용수	먹는물제조	

중산간지대 개발된 지하수 총 245공 중에서 용도별로 보면 농축산용수가 141공 57.6%로 가장 많고, 생활용수가 40.4%를 차지한다. 본 수치를 ‘제주도 지하수 보전·관리계획 보고서’에 수록된 제주도내 지하수관정의 용도별 개발 현황과 비교하였을 때 생활용수 비율이 8.2% 높게 나타나고, 농축산용수는 5.6% 감소하는 경향을 볼 수 있다(Fig. 6). 이는 중산간지대에 체육시설 및 관광산업과 연관된 시설이 급증함에 따라 개발된 지하수 관정의 증가에 따른 것으로 판단된다. 또한, 공업단지는 대부분 저지대에 형성되어 중산간지대의 공업용수는 0.8%로 극소수에 불과하다.

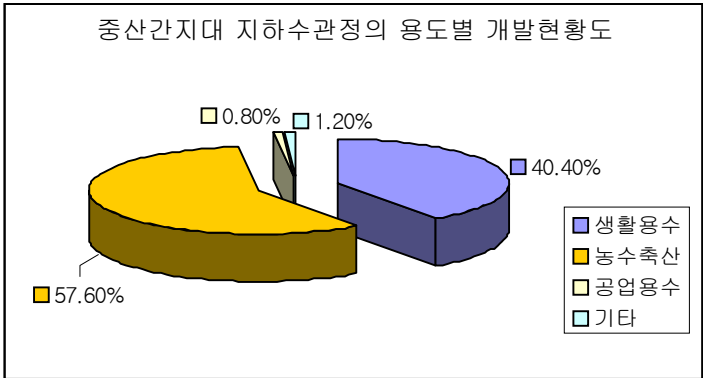
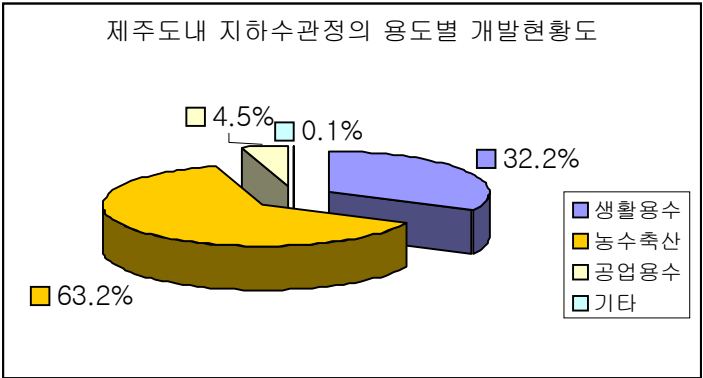


Fig. 6. The present condition of wells by use

V. 중산간지대 지하수의 수리적 특성

1. 저지대의 수리특성 비교

중산간지대 지하수의 특성을 비교 검토하기 위하여 저지대(표고 200m 이하)에 개발된 지하수공의 수리특성을 파악해야 하며, 제주도에서 실시한 중산간지역 종합조사서에 의하면 Table 7과 같이 지역별로 수리특성을 분석하였다.

분석자료에 의하면 동·서·남·북 지역으로 구분하여 각 지역별로 0~50m, 50~100m, 100~150m, 150~200m, 200m 이상으로 세분하여 검토되었으며, 그 결과 저지대의 각 공에서 취수되는 양의 범위는 500~1,000m³/일이고, 평균 공당채수량은 800m³/일로 산정되었다. 투수량계수(T)는 최소 101m²/일 ~ 최대 5,430m²/일로 매우 다양하게 나타나며, 표고가 높을수록 다소 감소하는 경향을 보인다. 본 분석결과도표에 포함된 것 중 중산간지대에 해당되는 표고 200m 이상의 자료는 총 21개 공에 불과하여 자료수가 적을 뿐만아니라, 이 들은 대부분 300m 이하에 개발된 것으로 표고 200~600m에 해당되는 중산간지대의 대표값으로 적용시키는 데는 다소 무리가 따를 것으로 판단된다.

중산간지대 개발이 저조했던 1995년까지의 한정적인 자료에 의한 분석이긴 하나 대수성시험 전문해석프로그램인 AQTESOLV(Gerraghty and Miller Inc. 1995)를 이용하여 산정된 200m 이상의 투수량계수는 100~400m²/일(서부지역의 경우 특정공에 따른 과대값으로 판단되어 대표값에서 제외시킴)로 저지대의 절반 이하의 저조한 값을 나타냄을 확인할 수 있다.

Table 7. Analysis result of hydrologic parameters by area(1993~95year)

구분	표 고	공저심도	자료 개수	채수량 (m ³ /d)	대수층 수리상수			
					SPC	T	S	K
동부 지역	0~50	-30	1	800	880	4,010	-	182.0
	50~100	-10~-30	14	813	955	2,010	0.0006	81.4
	100~150	-10~-40	10	860	337	456	0.1	24.3
	150~200	-5~-20	1	800	989	131	-	2.8
	200이상	-35	1	600	235	162	-	2.5
서부 지역	0~50	-20~-80	12	890	955	1,760	0.1	54.5
	50~100	-20~-25	4	900	615	1,150	0.000005	36.0
	100~150	-50~-80	2	600	49.5	141	0.02	1.6
	150~200	20~-25	2	700	61.5	156	0.0004	3.8
	200이상	-10	1	600	23.8	5,430	-	64.6
남부 지역	0~50	-50	1	700	80.6	151	-	2.6
	50~100	-55	1	500	70.3	232	-	3.7
	100~150	-10~-55	6	800	738	1,540	0.0002	24.7
	150~200	10~-20	6	780	126	320	0.01	5.7
	200이상	50~-30	7	670	64.3	101	0.01	4.4
북부 지역	0~50	-35	1	800	960	2,360	-	50.1
	50~100	20~-40	2	900	560	442	0.1	12.9
	100~150	-20	1	1,000	185	552	-	13.6
	150~200	-20~-30	3	740	96.3	189	0.000001	3.8
	200이상	5~-40	12	785	176	372	0.01	5.6

※ 자료 : 중산간지역 종합조사, 제주도, 1997.

Table 7에 나타난 자료는 각 지역에 따라 표고별로 세분한 것에 반하여 제주도에서 시행한 ‘제주도 지하수 보전·관리계획 보고서’에 의하면, 저지대의 지하수 특성을 동·서·남·북 지역을 수역별로 세분하여 검토하였다. 이는 또한 대수층 수리상수 분석을 279공(200m 이하)을 대상으로 하여 기존에 조사·발표되었던 것보다 수적으로 훨씬 많은 자료를 통계·평균한 것으로 신

되성을 높여준다. 279공을 분석대상공으로 하여 산출한 지역별 수역별 수리 상수는 다음과 같다.

Table 8. Distribution of average hydrologic parameters by area and waters

지역	수역	개소수	비양수량 (m ³ /d)	투수량계수 (m ³ /d)	저류계수
동부지역	조천	22	162.5	92.6	0.099
	구좌	12	706.8	465.7	0.101
	성산	14	682.1	551.9	0.120
	표선	19	465.8	331.2	0.149
	남원	22	376.3	247.1	0.100
	(평균)	89	435.2	304.3	0.113
서부지역	대정	31	99.1	60.1	0.138
	한경	33	116.4	70.3	0.094
	한림	37	316.0	202.2	0.121
	(평균)	101	184.2	115.5	0.117
남부지역	동서귀	15	152.2	97.3	0.086
	중서귀	11	65.4	39.0	0.047
	서서귀	8	103.5	64.5	0.127
	안덕	6	38.6	24.9	0.080
	(평균)	40	101.6	63.8	0.083
북부지역	애월	29	689.7	480.2	0.114
	동제주	10	306.0	193.8	0.131
	중제주	6	83.7	50.9	0.147
	서제주	4	83.7	55.4	0.078
	(평균)	49	488.2	334.5	0.119
전체	(평균)	279	306.0	201.8	0.115

※ 자료 : 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서, 제주도, 2000.

2. 표고에 따른 동수위의 변화

중산간지대에 개발된 지하수관정 245개 중 135개의 관정을 대상으로 표고에 따라 동수위변화(수위강하; 자연수위-안정수위)를 검토하였으며, 각 공에 따른 변화그래프는 Fig. 8에 나타내었다.

수위강하는 양수량에 비례하고 대수층의 투수량계수와 저유계수에 반비례한다. 즉, 투수량계수나 저유계수가 적은 대수층일수록 수위강하가 많이 일어난다. 일반적으로 저지대에 비해 중산간지대는 저투수층위에 떠있는 부유지하수체로 채수 시 수위강하량이 매우 크며, 표고가 높아짐에 따라 비례적으로 자연수위와 안정수위와의 변화폭이 클 것으로 예상되어지나 검토되어진 결과에 의하면 다소 상이한 양상을 보인다. 전체적으로 보면 자연수위 및 안정수위의 절대적 심도는 고지대로 갈수록 큰 폭으로 깊어지나, 채수 시 수위강하량은 중산간지대 각 구간에 따라 각각 25.8m, 24.63m, 13.8m, 12.5m의 값으로 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 기저지하수에 비해서 상위지하수체가 수위강하량이 크지만, 중산간지대의 상위지하수체에서 표고와 수위강하량은 비례하지 않음을 뜻한다. 즉, 고지대에서 함양된 지하수가 저지대로 유동되더라도 고지대에서 또한 화산퇴적층에 의해 단속적으로 형성된 지하수체 규모가 채수가 가능한 안정적인 형태를 하고 있다는 것이며, 양수량에 따라 그만큼의 지하수 공급이 원활히 이뤄지고 있다는 것을 나타내고 이는 곧 함양량의 높음을 보여준다고 할 수 있다.

수위강하량은 대수층 능력 외에 양수량에 따라 차이가 있으며, 본 연구에 참조된 자료는 각 개발공마다 양수량이 다르므로 수위강하량의 절대값만으로 지하수공의 양수능력을 판단할 수 없으며, 이는 투수량계수를 산정함으로써 검토되어질 수 있다.

개발공에 따른 상대적인 수위변화량 외에 해수면을 기준으로한 절대적 안정수위 측면에서 검토하면 위 Table 9에 나타나는 것처럼 대부분 해수면

Table 9. The drawdown and stable groundwater level by altitude

구 분		201~300m	301~400m	401~500m	501~600m	비 고
검토대상공		65	33	31	6	
평균수위강하(m)		25.8	24.63	13.8	12.5	
안정 수위 (EL.m)	100 이상	9공	11공	25공	6공	
	50 이상	14공	12공	5공	-	
	0이상	31공	10공	1공	-	
	해수면하	11공	-	-	-	

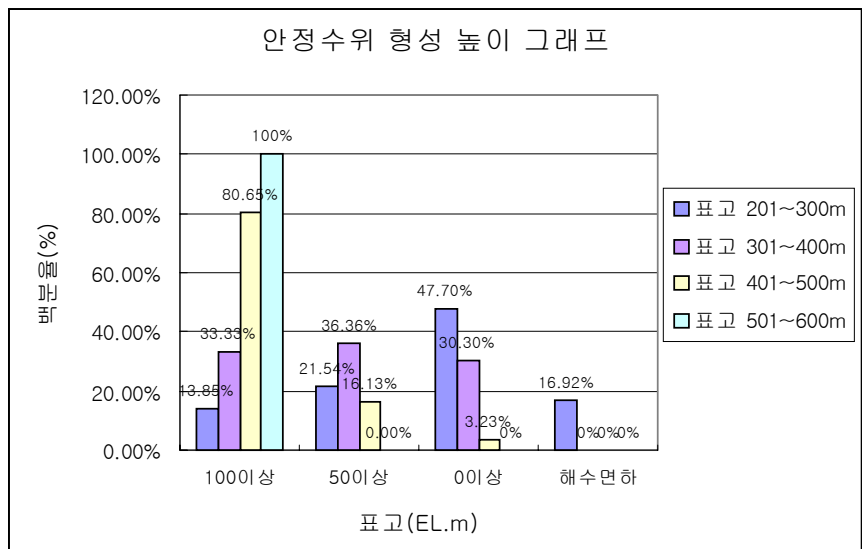


Fig. 7. Pattern of static groundwater level constituted for level

기준 50m 상부에 안정수위가 형성됨을 알 수 있다. 201~300m 구간의 경우 EL.0~50m 구간이 총 65공 중 31공으로 가장 많고, 301~400m 구간은 EL.50~100m에 형성되는 것이 가장 많이 나타나 그 차이는 소소한 것으로 EL.0~100m 이상에 고루 분포되고 있다. 401~500m 및 500~600m 구간은

안정수위가 대부분 EL.100m 이상에 형성되고 있음이 확인되며 그 비율을 그래프화시키면 Fig. 7과 같다. 또한, 안정수위가 해수면이하로 내려가는 것은 201~300m 구간에 11공으로 적용구간의 13.85%에 해당되며, 그 이상의 고지대(301~600m)에서는 확인되지 않는다. 이는 고지대로 갈수록 상위지하수체에 형성된 자연수위가 높다는 것과, 자연수위에서 양수시 수위강하량이 고지대로 갈수록 크게 나타나지 않는 것을 나타낸다.

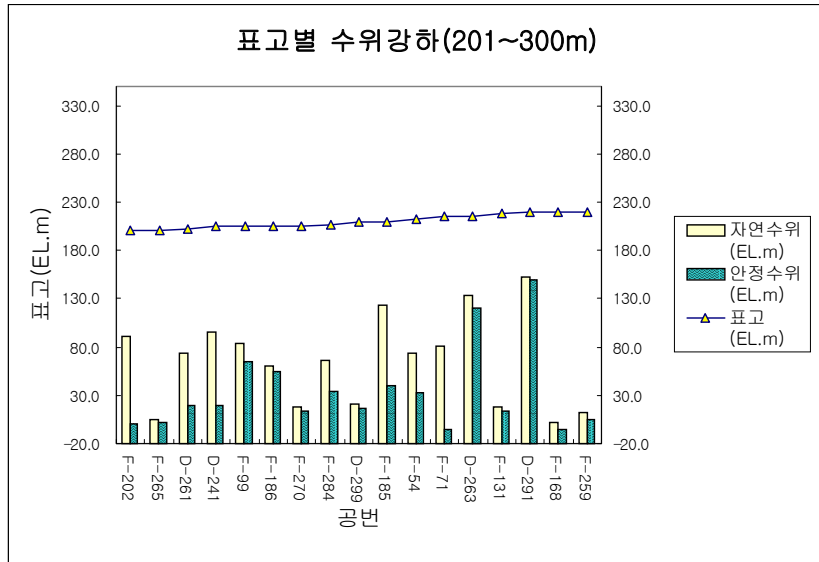


Fig. 8a. Variation of groundwater level in pumping for level 200~300m(I)

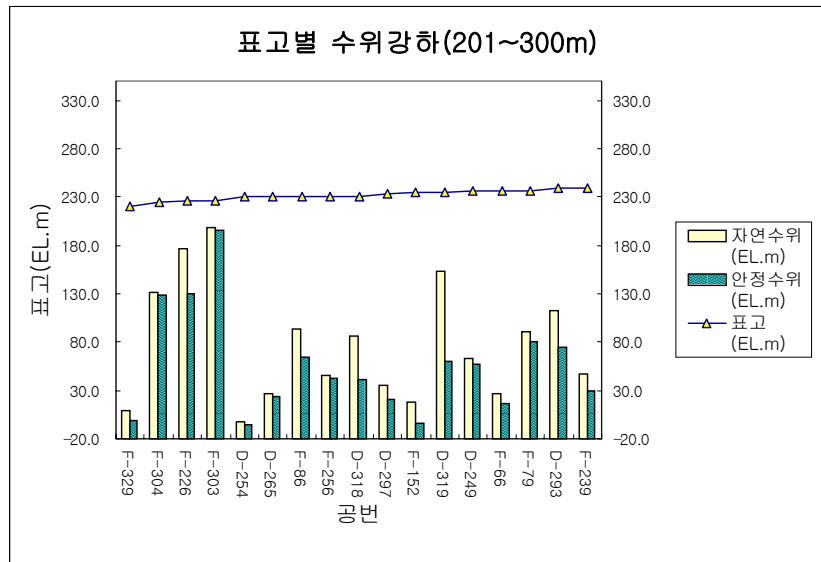


Fig. 8b. Variation of groundwater level in pumping for level 200~300m(II)

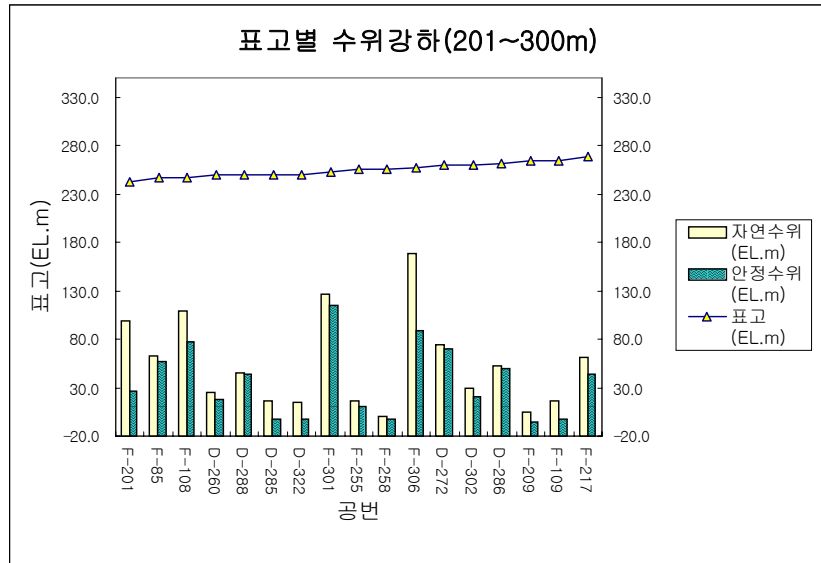


Fig. 8c. Variation of groundwater level in pumping for level 200~300m(III)

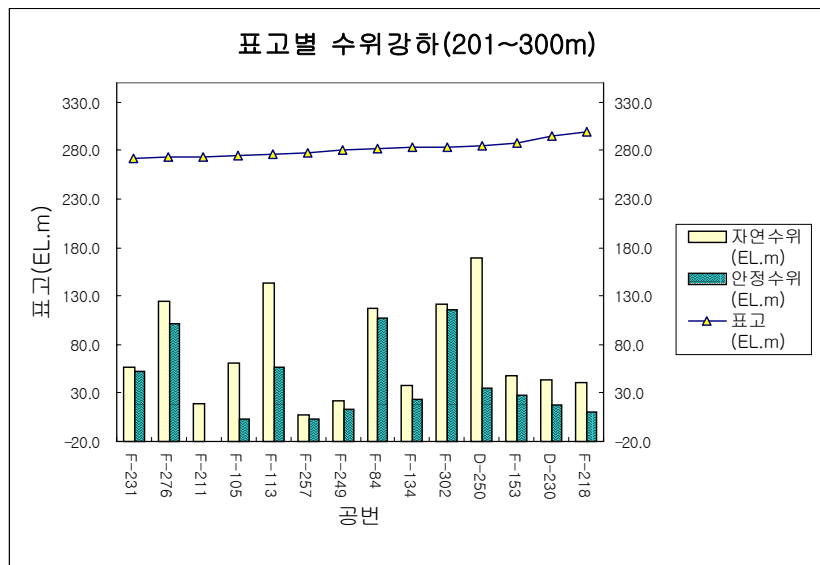


Fig. 8d. Variation of groundwater level in pumping for level 200~300m(IV)

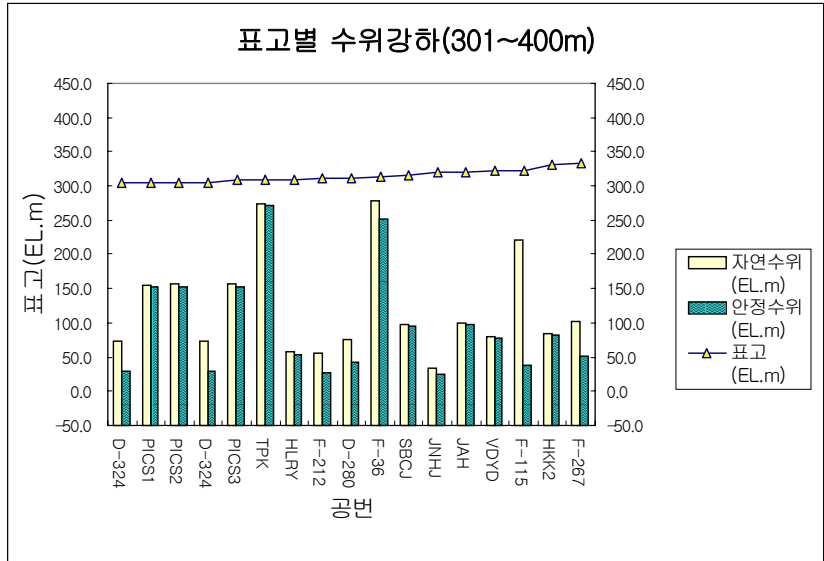


Fig. 8e. Variation of groundwater level in pumping for level 300~400m(I)

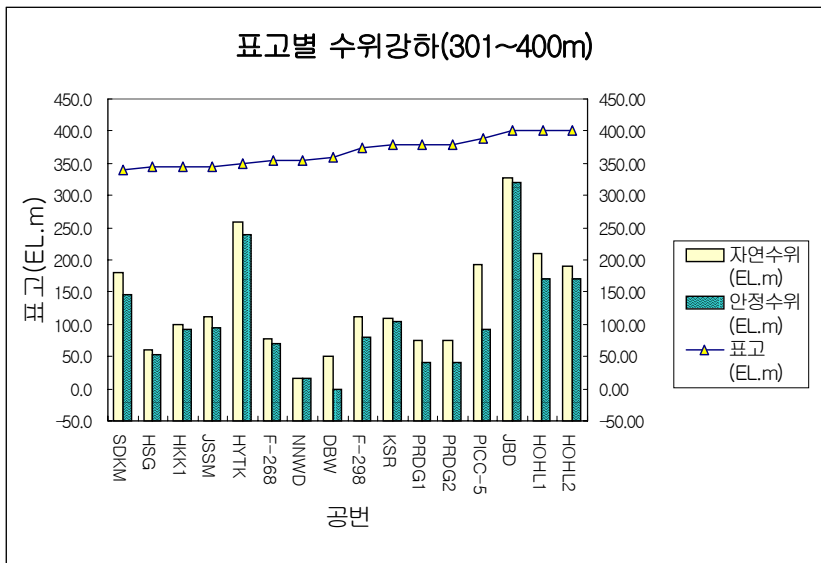


Fig. 8f. Variation of groundwater level in pumping for level 300~400m(II)

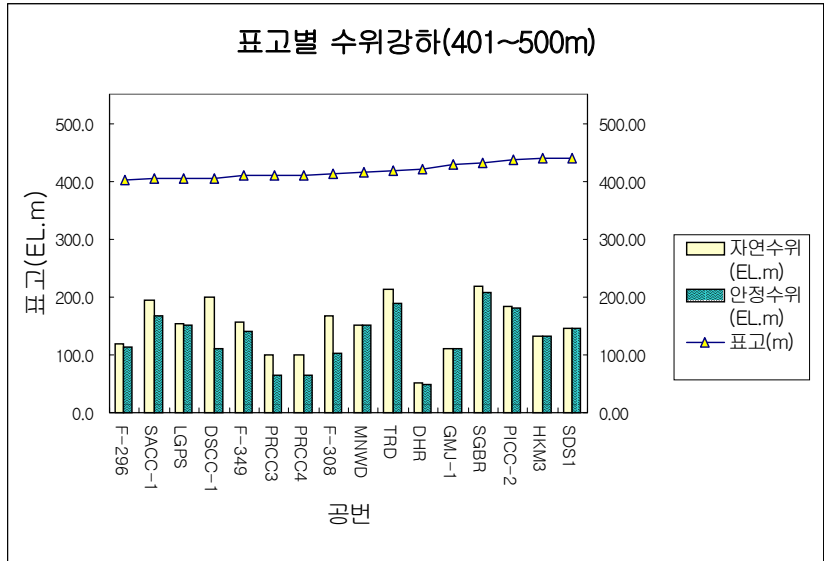


Fig. 8g. Variation of groundwater level in pumping for level 400~500m(I)

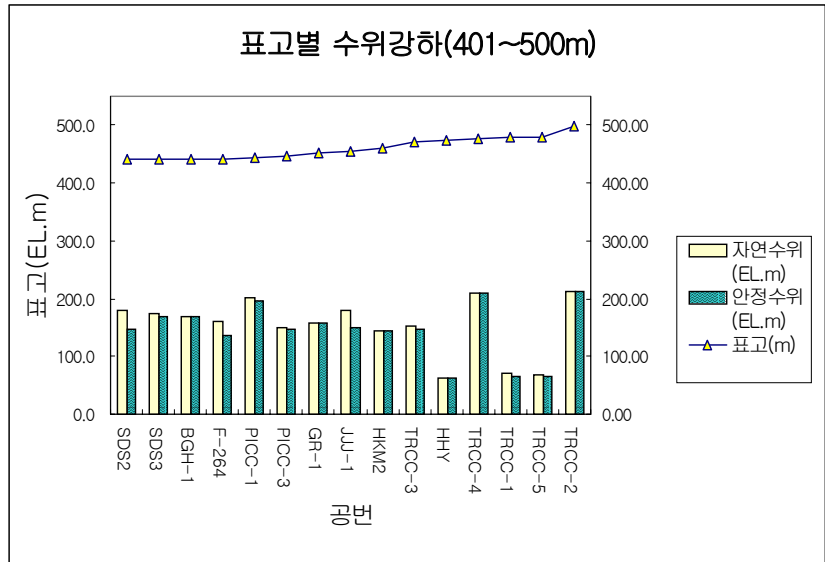


Fig. 8h. Variation of groundwater level in pumping for level 400~500m(II)

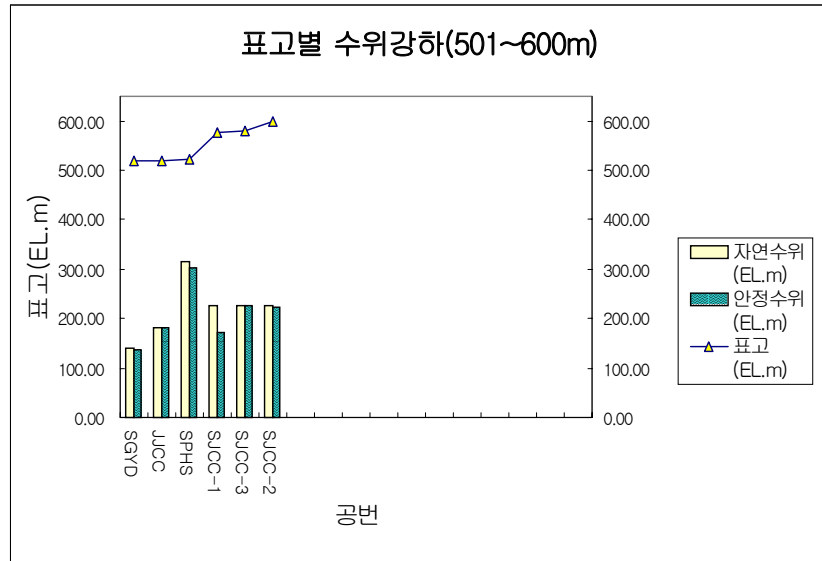


Fig. 8i. Variation of groundwater level in pumping for level 500~600m(I)

3. 투수량계수의 산출

양수시 측정되는 수위강하량은 양수량에 따라 크게 좌우된다. 따라서, 양수시험결과 측정된 수위강하의 절대값으로 개발공의 수리특성을 단정짓기 어려우며, 이에 따라 양수량 · 수위강하량 · 대수층 두께 등을 주요 인자로 하는 투수량계수의 산출이 필요하다.

3.1 수리상수

일반적으로 대수층의 산출특성과 수리특성을 나타내는 수리상수는 저류계수(storativity ; S), 투수량계수(transmissivity ; T), 수리전도도(hydraulic conductivity ; K), 비양수량(specific capacity ; SPC) 등으로 정량화하고 있다.

전형적인 투수계수의 크기는 최대 10^{+2} cm/sec, 최소 10^{-8} cm/sec로 그 변화폭이 매우 크다.

대수층의 투수성은 투수계수(k)와 투수층 두께(D)에 비례하므로 그 곱(k · D)을 투수량계수(T)로 나타내며 투수성의 척도로 하는 것이 합리적이다. 이에 따라 여러가지 수리상수 중에 투수량계수에 대해 중점적으로 검토되어졌다.

투수량계수는 '단위수두구배(unit hydraulic gradient)에서 단위 면적당 단위 시간에 투과되는 물의 양'으로 정의(지질학사전, 양승영)되며, 이들 수리상수를 구하는 방법으로는 개발공에서 양수시험을 실시하여 경과시간에 따른 수위강하를 측정된 결과를 바탕으로 하였다.

3.2 적용인자

개발관정 중 투수량계수를 직접 산출하여 검토된 공은 총 102개로 본 연구 문헌에 수록하기에는 분량이 너무 많아 각 표고에 따른 구간별로 최대·최소값 및 평균값에 해당되는 것에 한하여 다음 Fig. 9에 나타내었다. 투수량계수 산출 시, 양수시험시간은 대부분 720분으로 통일시켜 조건을 동일 시 하여 절대값을 비교하였고, input data는 본 조사를 위하여 실질적으로 양수시험을 실시한 것이 아니라 지하수개발보고서 및 이용허가 시 제출된 시험자료를 그대로 적용시켰다. 이들 중 대수층두께는 정확하게 판단하기 어려워 제주도 내 지하수공의 투수량계수 산정 시 일반적으로 적용되는 동일한 방법인 지하수위 하부구간으로 정하였고, 굴착공경이 대부분 200m, 250m, 300m로 상부는 다소 크게 하부구간은 구경을 축소시켜 개발되어지므로 본 프로그램에서는 정호반경(rw)을 최소치인 0.1m를 적용시켰으며 동일 조건에서 반경 0.05m 차이에 따라 투수량계수는 $1\text{m}^2/\text{d}$ 이내의 값밖에 차이를 나타내지 않으므로 대부분 최소값을 그대로 적용시켰다. 이런 방법으로하여 산출되어진 중산간지대 개발관정의 표고별 투수량계수 평균값은 Table 10과 같고, 각 공별 투수량

계수값은 Table 12에 나타내었다.

Table 10. Transmissivity of wells at middle area among Halla Mt.

구 분	201~300m	301~400m	401~500m	501~600m	비 고
검토대상공	65	10	23	4	
평균투수량계수(m ² /d)	216.06	154.29	791.1	1,55.83	

표고 501~600m의 경우는 SJCC3(서제주 C.C 3호공)이 3,883.9m²/d로 아주 급격히 높은 값을 갖는데 따른 과대값으로 판단되며 최대·최소값을 제외한 값의 평균값에 따라 재검토하면 각 구간별로는 183.5m²/d, 41.11m²/d, 631.02m²/d, 1,162.65m²/d, 평균값은 292.19m²/d로 이는 98년까지 개발된 저지대의 지하수관정 279공을 대상으로 산정한 평균값 201.8m²/d(2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서)보다 높은 수치이다.

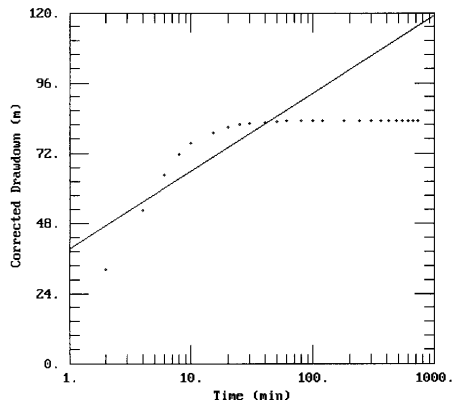
산정된 투수량계수를 표고별 외에 지역별로 검토할 필요가 있으나 15개의 수역별로 구분시켜 검토하기에는 각 수역별 대상공이 소수에 불과하여 시·군별로 구분하면 다음의 Table 11과 같다.

Table 11. Transmissivity by area at middle area among Halla Mt.

구 분	제주시	서귀포시	남제주군	북제주군	비 고
검토대상공	23	23	10	46	
평균투수량계수(m ² /d)	448.71	262.19	129.05	494.88	

총 102공을 대상으로 검토한 결과, 지역별로는 큰 차이를 보이지 않는다. 북제주군·제주시가 높고, 남제주군·서귀포시가 낮게 나타나, 제주도를 북부-남부로 나누었을 때, 북부권역이 대체로 높은 투수량계수를 나타냄을 알 수 있다.

검토대상공이 다소 부족하긴하나 조사결과에 따르면 표고에 따른 비례-반비례식은 찾을 수 없다. 표고가 높아짐에 따라 단속적으로 형성된 상위지하수의 부유수체 규모가 작아지고 채수가능한 지하수량이 줄어들음에 따라 투수량계수가 감소할 것으로 예상되어지나 오히려 400~600m의 고지대로 갈수록 높은 값을 보여준다. 물론 501~600m의 구간에서는 검토대상공이 극소수인데다 특정공의 매우 높은 값에 의해 평균치가 높게 나타났으나, 이들 고지대에서도 투수량계수가 3,000m³/d 이상으로 높게 산출됨을 주시할 필요가 있다. Fig. 9에서 보여지는 것처럼 투수량계수는 수위강하가 어느 정도 일어나느냐에 따라 그 값이 크게 변화한다. 또한 수위강하가 급격하게 일어나더라도 채수량에 따라 즉시 지하수가 공급되어 안정수위 도달시간이 어느 정도 단축되느냐에 따라 투수량계수의 값이 높게 나타나고 있다.

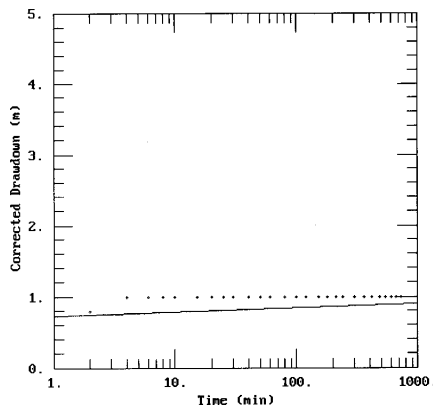


DATA SET:
D-250.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconfined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
 $Q = 600. \text{ m}^3/\text{day}$
 $r = 1.414 \text{ m}$
 $r_C = 0.125 \text{ m}$
 $r_W = 0.125 \text{ m}$
 $b = 175. \text{ m}$

PARAMETER ESTIMATES:
 $T = 4.132 \text{ m}^2/\text{day}$
 $S = 0.0001006$

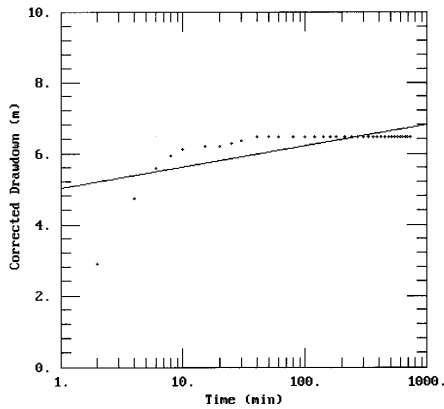


DATA SET:
D-288.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconfined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
 $Q = 800. \text{ m}^3/\text{day}$
 $r = 1.414 \text{ m}$
 $r_C = 0.125 \text{ m}$
 $r_W = 0.125 \text{ m}$
 $b = 65. \text{ m}$

PARAMETER ESTIMATES:
 $T = 2479.3 \text{ m}^2/\text{day}$
 $S = 1.E-12$



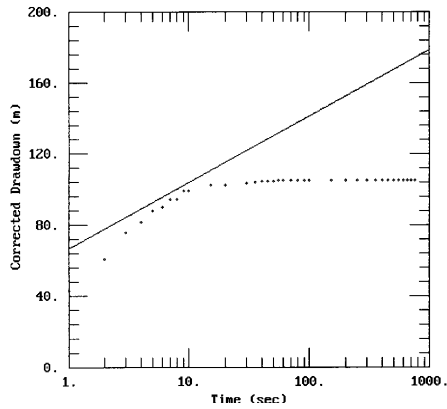
DATA SET:
D-260.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconfined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
 $Q = 700. \text{ m}^3/\text{day}$
 $r = 1.414 \text{ m}$
 $r_C = 0.125 \text{ m}$
 $r_W = 0.125 \text{ m}$
 $b = 45. \text{ m}$

PARAMETER ESTIMATES:
 $T = 215.4 \text{ m}^2/\text{day}$
 $S = 6.342E-10$

Fig. 9a. Map of transmissivity calculation at elevation 200~300m
(upper; Min. middle; Max. low; Ave.)

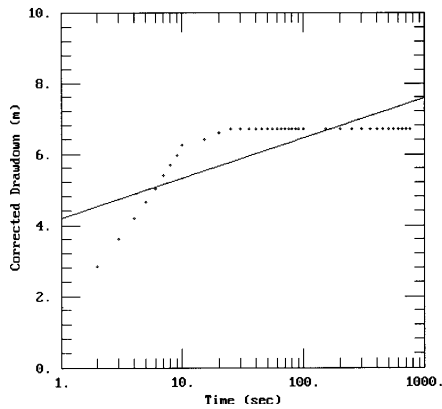


DATA SET:
F-115.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconfined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 500. m³/day
r = 1.414 m
r_c = 0.125 m
r_w = 0.15 m
b = 214. m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 2.445 m²/day
S = 5.446E-07

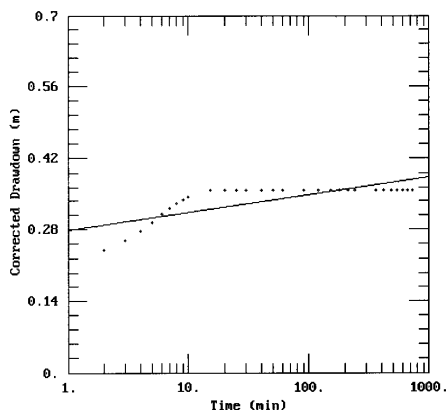


DATA SET:
F-268.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconfined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 600. m³/day
r = 1.414 m
r_c = 0.1 m
r_w = 0.15 m
b = 82. m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 97.83 m²/day
S = 2.28E-07



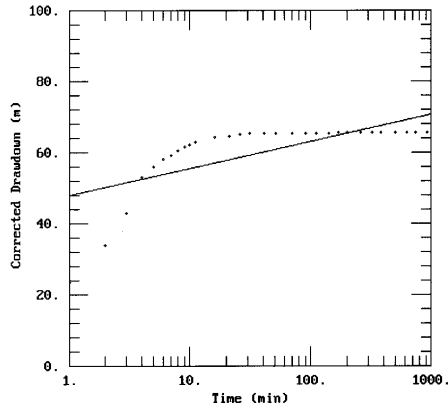
DATA SET:
NNWD.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconfined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 230. m³/day
r = 1.414 m
r_c = 0.1 m
r_w = 0.125 m
b = 36.21 m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 1211.6 m²/day
S = 8.942E-09

Fig. 9b. Map of transmissivity calculation at elevation 300~400m
(upper; Min. middle; Max. low; Ave.)

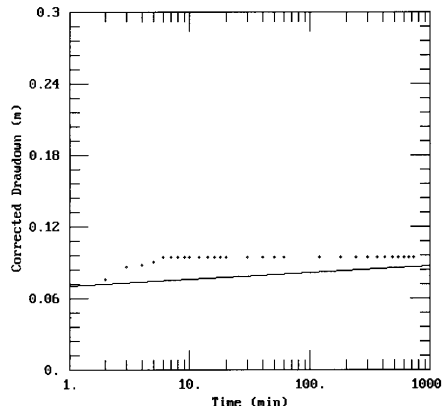


DATA SET:
DSCC-1.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconf ined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 500. m³/day
r = 1.414 m
r_C = 0.1 m
r_w = 0.125 m
b = 170. m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 12.24 m²/day
S = 3.757E-09

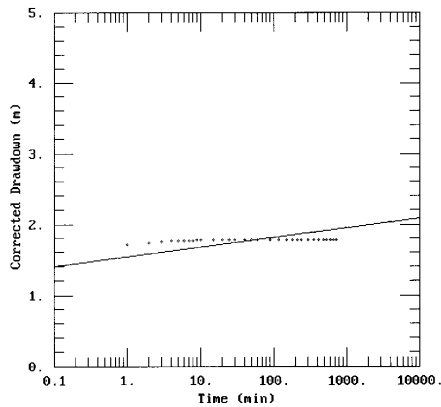


DATA SET:
MI-WO.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconf ined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 150. m³/day
r = 1.414 m
r_C = 0.1 m
r_w = 0.125 m
b = 137. m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 4931.6 m²/day
S = 1.E-12



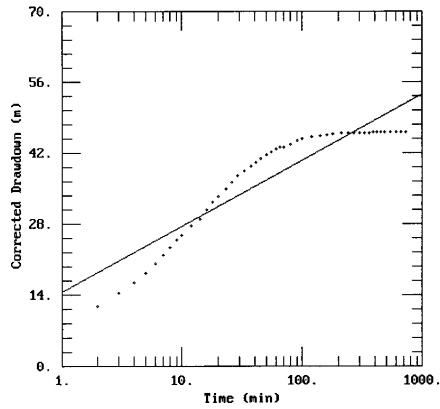
DATA SET:
LGFS.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconf ined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 320. m³/day
r = 1.414 m
r_C = 0.1 m
r_w = 0.1 m
b = 119. m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 437.2 m²/day
S = 1.E-12

Fig. 9c. Map of transmissivity calculation at elevation 400~500m
(upper; Min. middle; Max. low; Ave.)

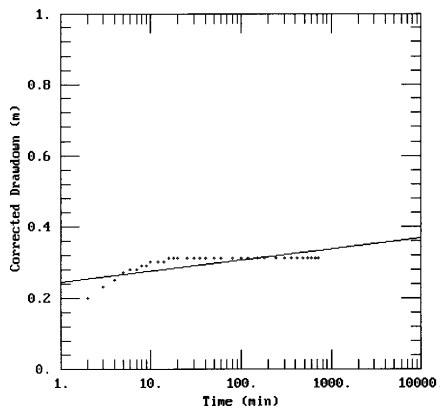


DATA SET:
SJCC-1.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconf ined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 1000. m³/day
r = 1.414 m
r_C = 0.125 m
r_w = 0.13 m
b = 173.5 m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 14.11 m²/day
S = 0.000836

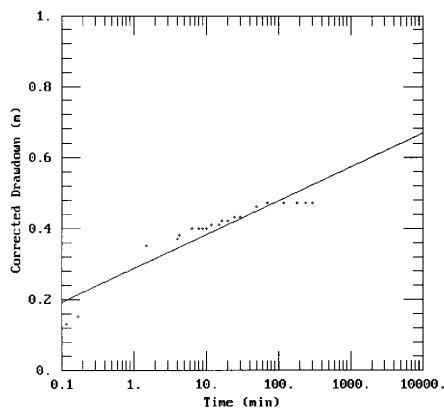


DATA SET:
SJCC-3.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconf ined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 647. m³/day
r = 1.414 m
r_C = 0.1 m
r_w = 0.125 m
b = 181.9 m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 3883.9 m²/day
S = 3.077E-08



DATA SET:
JJCC.DAT

AQUIFER MODEL:
Unconf ined
SOLUTION METHOD:
Cooper-Jacob

TEST DATA:
Q = 890. m³/day
r = 1.414 m
r_C = 0.1 m
r_w = 0.1 m
b = 211. m

PARAMETER ESTIMATES:
T = 1788.5 m²/day
S = 0.001305

Fig. 9d. Map of transmissivity calculation at elevation 500~600m
(upper; Min. middle; Max. low; Ave.)

Table 12a. List of transmissivity calculation for wells at middle area among Halla Mt.(201~300m)

공번	위치	표고 (EL.m)	심도 (m)	수위 강하(m)	수두 (m)	개발량 (m ³ /d)	투수량 계수(m ² /d)	비고
F-202	창천	201	230	90	120	700	18.66	
F-265	대흘1	201	240	3	44	1,000	335.0	
D-261	정설4	202	240	55	112	1,000	20.72	
D-241	하원	205	230	76	120	700	5.702	
F-99	서광동	205	220	19	99	800	135.8	
F-186	신례1-1	205	230	6	86	700	354.4	
F-284	수망	206	220	33	81	600	53.83	
F-54	용흥	210	230	41	91	700	55.66	
D-299	봉성2	210	240	4	51	900	485.5	
D-263	토평	215	192	13	110	700	50.52	
F-71	와흘	215	250	63	116	600	15.61	
D-291	회수	220	240	33	172.5	500	49.95	
D-249	아라	235.9	250	6	77	1,000	417.1	
D-250	서호	285	290	135	175	600	4.132	
D-254	선인동	230	285	37	53	700	24.58	
D-260	용강	250	270	7	45	700	215.4	
D-265	상덕천	230	270	3	66	600	218.5	
F-66	봉개	237	265	10	55	800	175.0	
D-272	오등	260	265	5	80	800	428.6	
F-79	하원	237	185	10	38	700	131.8	
D-285	명도암	250	290	18	56	600	39.39	
D-286	월평	262	260	2	50	800	1,640.3	
D-288	영평	250	290	1	85	800	2,479.3	
D-293	용흥	240	270	38	143	700	14.36	
D-297	광령	233	240	15	43	600	117.2	
D-302	금덕	260	280	10	50	900	109.6	
F-84	오등	282	300	10	135	800	240.9	
F-85	해안	247	290	5	105	700	419.3	
F-86	회천	230	230	28	93	800	58.59	
D-318	오등	231	268	45	123	800	43.72	
D-319	동흥	235	243	94	162	600	8.489	
D-322	유수암	250	260	18	25	700	147.6	
F-152	금덕	235	250	22	33	600	53.12	
F-153	소길	288	300	20	60	800	46.43	
F-168	대흘1	220	230	6.5	11.5	700	210.6	
F-185	하례2	210	230	83	143	1,000	10.37	
F-209	어음2	265	292	10	32	700	198.5	
F-211	와흘	274	310	40	55	600	35.64	
F-255	어음2	255	294	6	55	800	90.03	

Table 12a. Continued

공번	위치	표고 (EL.m)	심도 (m)	수위 강하(m)	수두 (m)	개발량 (m ³ /d)	투수량 계수(m ³ /d)	비고
F-256	남읍1	230	232	3	48	1,200	207.4	
F-108	정실	247	270	31.6	131.6	700	29.25	
F-201	상창	242	265	72	122	600	9.365	
F-217	월평1	269	292	17	74	600	51.72	
F-218	월평2	300	320	30	60	600	30.11	
F-226	호근3	226	254	47	205	500	28.79	
F-231	서흥	272	296	5	81	600	440.8	
F-239	금약	240	250	17	57	900	73.44	
F-249	광령2	280	310	9	52	500	122.3	
F-257	남읍1	278	291	4	20	800	232.7	
F-258	소길	256	272	3	17	800	759.3	
F-259	유수암	220	240	7	32	1,000	319.0	
F-270	성읍2	205	230	3.5	42.5	700	472.9	
F-276	신례1	273	280	24	132	600	24.13	
F-301	오라	253	272	11	145	800	102.5	
F-302	방선	284	300	6	138	838	76.92	
F-303	토평2	226	230	2	202	820	573.0	
F-304	상예	224	240	2	147	1,052	705.1	
F-306	하원2	257	232	79	143	734	29.82	
F-329	선흥2	221	260	7.5	47.5	1,200	490.1	
F-105	회천1	275	275	57.6	60.6	600	5.308	
F-109	용강	265	282	20	34	500	46.61	
F-113	서호	276	290	88	158	600	21.8	
F-131	동명	218	243	5	43	800	291.9	
F-134	금약	283	310	15	65	800	117.0	
D-230	금약	295	320	26	68	800	22.92	

Table 12b. List of transmissivity calculation for wells at middle area among Halla Mt.(301~400m)

공번	위치	표고 (EL.m)	심도 (m)	수위 강하(m)	수두 (m)	개발량 (m ³ /d)	투수량 계수(m ³ /d)	비고
D-280	금약	312	320	34	84	600	25.5	
D-324	송당	305	320	44	89	800	29.31	
F-115	서흥	323	315	184	214	500	2.445	
F-212	와산	311	310	30	75	600	78.36	
F-267	와홀	333	340	51	110	900	39.32	
F-268	선흥2	355	360	7	82	600	97.83	

Table 12b. Continued

공번	위치	표고 (EL.m)	심도 (m)	수위 강하(m)	수두 (m)	개발량 (m ³ /d)	투수량 계수(m ³ /d)	비고
F-298	용강	375	380	32	116	602	11.2	
PICC-1	상천	388	400	40.3	189	578	11.85	
JSSM	회천	340	360	18	126.5	309	35.51	
NNWD	어음	355	375	0.4	36.2	230	1,211.6	

Table 12c. List of transmissivity calculation for wells at middle area among Halla Mt.(401~500m)

공번	위치	표고 (EL.m)	심도 (m)	수위 강하(m)	수두 (m)	개발량 (m ³ /d)	투수량 계수(m ³ /d)	비고
SACC-1		404.0	415.0	25.8	204.4	550	36.37	
DSCC-1		405.0	375.0	88.4	170	500	12.24	
F-308	중문2	412	400	66	156	600	58.18	
MNWD		415.0	400	0.1	137	150	4,931.6	
GMJ-1		430.0	450.0	0.5	131	500	2,802.3	
SGBR		432.5	330.0	10.6	116.7	500	118.5	
PICC-2		438.0	430.0	0.5	174.1	560	3,001.3	
BGH-1		440.4	437.0	0.5	164.8	500	2,312.5	
F-264	대흘1	442	330	23	48	500	58.37	
PICC-1		443.0	430.0	6.4	188.2	560	214.5	
PICC-3		447.0	400.0	2.9	103.4	550	226.6	
PICC-4		457.0	426.0	26	162.2	515	19.66	
GR-1		452.0	400.0	0.8	105.4	200	434.3	
JJJ-1		454.9	403.0	28.5	127.0	500	18.59	
TRCC-3		472.3	434.5	6.1	116.0	540	218.5	
TRCC-4		475.6	415.0	1.1	150.8	550	1,288.7	
TRCC-1		478.5	433.0	6.5	25.9	500	126.0	
TRCC-5		479.5	480.0	3.6	69.5	547	374.9	
TRCC-2		498.0	405	0.9	119.4	550	1,171.4	
TRD		417.0	430.0	23.19	226	504	48.74	
LGPS		404.0	370.0	1.8	119	320	437.2	
F-349		409.0	360.0	17	107	850	26.68	

Table 12d. List of transmissivity calculation for wells at middle area

among Halla Mt.(501~600m)

공번	위치	표고 (EL.m)	심도 (m)	수위 강하(m)	수두 (m)	개발량 (m ³ /d)	투수량 계수(m ³ /d)	비고
JJCC	영평	520.0	550.0	0.5	211.0	890	1,708.5	
SJCC-1	봉성	577.3	525.0	54.46	173.5	1,000	14.11	
SJCC-3	봉성	579.2	535.0	0.28	181.9	647	3,883.9	
SJCC-2	봉성	598.1	550.0	3.9	178.8	900	616.8	

VI. 결 론

제주도 중산간지대의 지하수 245개 공 중 135개를 대상으로 동수위변화 특성 및 102개를 대상으로 투수량계수 산출에 의하여, 표고별 지하수의 수리학적 특성을 분석하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 개발관정의 자연수위 및 안정수위의 절대적 심도는 고지대로 갈수록 큰 폭으로 깊어지나, 각 구간별 수위강하량은 25.7m, 24.63m, 13.8m, 12.5m로 표고가 높아짐에 따라 감소하는 경향을 보인다.

② 평균 수위강하량이 201~300m 구간에서 25.7m에 비해 501~600m 구간에서는 12.5m의 적은 값을 보이고 있어 고지대에서도 채수에 따른 지하수 공급이 충분하게 되고 있음을 나타낸다.

③ 제주도는 습골·곶자왈·오름·하천의 투수성 지질구조가 전체의 반 이상이 중산간지대에 분포되고 있는 것으로 확인되었다. 이는 지하수 함양의 역할을 하며, 일반적으로 지하수의 양수능력을 판단하는 투수량계수와 직접적인 연관은 없는 것으로 보인다.

④ 개발된 지하수공의 투수량계수의 산출은 양수시험 시 측정된 경과시간에 따른 수위강하량을 이용하여 조사한 결과, 양수량·수위강하량 외에 대수층 두께 및 정호경 등이 적용인자로 작용하였으나 산출된 투수량계수값은 자연수위-안정수위에 따른 수위강하량의 절대값에 대한 검토보다는 좀더 세밀한 조사와 분석이 요구되었다.

중산간지대는 상위지하수로서 저지대에 비해 수량이 적을 뿐만아니라, 수위

강하량이 많아 투수량계수가 낮을 것으로 예상되나, 본 연구에서 검토된 결과 201~300m, 301~400m, 401~500m, 501~600m 각 구간별로 183.5m³/d, 41.11 m³/d, 631.02m³/d, 1,162.65m³/d의 값을 나타내어 오히려 표고가 증가함에 따라 높아지는 경향을 보였다.

이들 평균값은 292.19m³/d로 98년까지 개발된 저지대의 지하수관정 279공을 대상으로 산정한 평균값 201.8m³/d(2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서)보다 높은 수치이다.

⑤ 지역별로 투수량계수를 보면 최저 129.05m³/d(남제주군)에서 최고 494.88 m³/d(북제주군)로 큰 차이를 보이지 않으며, 대체로 북제주군·제주시를 포함하는 북부권역의 중산간지대에서 높은 수치를 나타낸다.

⑥ 개발공의 양수능력을 평가할 수 있는 수위강하량 및 투수량계수를 산출·검토한 바에 의하면 표고 201~600m의 중산간지대 내에서 표고가 증가함에 따라 대체로 양호한 능력을 갖는 것으로 확인되었다. 따라서 저지대의 기저지하수체에 비해 중산간지대는 단속적인 상위지하수체를 형성하고 있으나, 투수성 지질구조의 분포 및 심부에 대수층·저투수층이 여러 층이 형성되고 있어 양수에 따른 안정적인 수위형성을 가능케 하고 있다.

참고문헌

- 박원배, 1993, 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구, 제주대학교 석사학위 논문, pp.36~41.
- 변창구, 1999, 제주도 수자원의 효율적인 이용방안 연구, 제주대학교 해양연구논문집, pp.161~163.
- 최순학, 1998, 제주도의 형성과 지하수 특성.
- 한정상, 1998, 지하수환경과 오염, pp.75~96.
- 한화국토개발(주), 1997, 봉개휴양림 관광지 지하수개발사업 지하수영향조사서
- 한국수자원공사, 1993, 제주도 지하수 부존모식도.
- 제주도, 1997, 장기관측망 설치 및 조사실적 보고서.
- 제주도, 1997, 제주도 중산간지역 종합조사.
- 제주도·농업기반공사, 1990~1998, 각 연도별 제주도지하수개발보고서
- 제주도, 1998, 제주·애월도폭 지질보고서, pp.211~212.
- 제주도, 2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서.
- (주)제주개발공사, 1999, 서제주 컨트리클럽 지하수개발사업 지하수영향조사서.
- 지하수 개발과 환경대책 총기술 편집위원회, 1996, 지하수 개발과 환경대책 총기술, pp.702~703.
- 건설부, 1993, 제주도 표고별 연평균 강우량분포.
- 고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존특성 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위논문, pp.193~198.
- 고병련, 1987, 제주도 지하수의 용출현상에 의한 용천분석 연구(1), 제주전문대학논문집, pp.319~334.

고병련, 1984, 제주도 지하수 부존형태와 지하수위변동에 관한 연구, 건국대학교 석사학위논문, p.53.

이문원·한규언, 1977, 제주도의 지질과 지하수와의 연구(1).

송시태·고기원·윤선, 1996, 제주도 지하수의 함양과 오염에 영향을 미치는 숨골구조와 꽃자왈지대에 관한 연구.

서귀포시, 1999, 서홍지구 지하수개발사업 지하수영향조사서.

서귀포시, 1999, 서귀포시 쓰레기 위생매립장 검사정 지하수영향조사서.

감사의 글

새천년을 맞이하는 첫 해도 어느덧 저물어가고 올 한해를 되돌아 보면서 두근거리고 송구스러운 마음으로 이 작은 보람을 위해 도움을 주신 분들에게 감사의 글을 올립니다.

우선 학문의 길로 인도하여 주시고 여러모로 부족한 저에게 항상 넉넉한 가르침과 자상하고 섬세한 지도로 보살펴 주신 양성기 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 일정속에서 많은 시간을 할애하여 논문을 심사하여 주시고 많은 조언을 주신 김남형 교수님, 남정만 교수님, 이병걸 교수님, 박상렬 교수님, 김상진 교수님께 감사를 드립니다. 그리고 공직생활과 연구생활을 병행할 수 있도록 배려해 주신 제주시 김태환 시장님, 조여진 도시건설국장님, 홍충기 건설과장님 이하 건설과 직원 여러분들에게 감사를 드립니다.

특히 지하수관정 조사와 관측망 조사에 의한 투수계수 산정 등 자료정리에 여러 가지로 도움을 주신 주식회사 진산의 김봉상 사장님, 처제 영실에게 감사를 드리고 또한 고향친구들에게 감사의 마음을 전합니다.

이 작은 결실이 맺어지기까지 늘 애정어린 눈으로 지켜보며 물심양면으로 도와 주신 아버님, 어머님, 장인어른, 장모님, 동생, 처남내외분, 처형내외분, 처제들에게 감사를 드립니다. 또한 자신의 힘든 일을 내색하지 않고 인내하며 오로지 사랑으로 뒷바라지를 아끼지 않았던 사랑하는 나의 아내 영미, 귀여운 딸 서연, 승연이와 더불어 논문 완성의 기쁨을 나누고 싶고, 내 작은 마음의 결실인 이 논문을 저를 아끼고 도와주신 모든 분들에게 드립니다. 감사합니다.

새천년 첫해 겨울날

진 기 옥

