이학박사 학위논문

제주도 화산암층의 수리지질학적 특성 연구

2011년 2월

부 산 대 학 교 대 학 원
지 질 학 과
김 봉 상

이학박사 학위논문

제주도 화산암층의 수리지질학적 특성 연구

지도교수 함 세 영

2011년 2월

부 산 대 학 교 대 학 원
지 질 학 과
김 봉 상

김봉상의 이학박사 학위논문을 인준함

2010년 12월 27일

위원장 황 진 연 인
위 원 정 상 용 인
위 원 고 기 원 인
위 원 양 경 희 인
위 원 함 세 영 인

목 차

LIST OF FIGURES ····· iv
LIST OF TABLES ····· viii

<제목 차례>
1. 서 언 ····· 1
1.1 연구배경 ····· 1
1.2 연구목적 ····· 3
1.3 연구방법 및 연구내용 ····· 4
2. 연구사 ····· 18
2.1 지하수 부존 연구 ····· 18
2.2 수리지질 연구 ····· 19
2.3 동부지역의 고염분 연구 ····· 20
2.4 지하수 연령 연구 ····· 22
2.5 지하수 오염 연구 ····· 22
3. 양수시험분석 이론 ····· 24
3.1 양수시험분석 배경 ····· 24
3.2 Moench(1985) 모델 ····· 26
3.3 Hantush & Jacob(1955) 식 ····· 33
3.4 Hantush(1960) 식 ····· 35
3.5 Thiem 식 ····· 37
3.5.1 피압대수층에 대한 Thiem 식 ····· 37
3.5.2 자유면대수층에 대한 Thiem 식 ····· 39
4. 지질 및 수리지질 ····· 41
4.1 동부지역의 지질 및 수리지질 ····· 41
4.1.1 행원수원지 ····· 42

4.1.2 한동지구 ····· 45
4.1.3 종달지구 ····· 46
4.1.4 수산지구 ····· 47
4.1.5 삼달지구 ····· 47
4.1.6 하천지구 ····· 48
4.1.7 삼다수지구 ····· 48
4.1.8 조천지구 ····· 49
4.2 서부지역의 지질 및 수리지질 ····· 55
4.2.1 납읍수원지 ····· 56
4.2.2 어음수원지 ····· 56
4.2.3 금악수원지 ····· 61
4.2.4 저지수원지 ····· 62
4.2.5 서광수원지 ····· 65
4.2.6 서부지역 농업용관정 ····· 68
4.3 남부지역의 지질 및 수리지질 ····· 72
4.3.1 상예수원지 ····· 73
4.3.2 회수수원지 ····· 73
4.3.3 자굴이수원지 ····· 74
4.3.4 토평수원지 ····· 80
4.3.5 의귀수원지 ····· 82
4.3.6 신흥수원지 ····· 83
4.3.7 중문지구 ····· 86
4.3.8 동흥지구 ····· 87
4.3.9 신례지구 ····· 87
4.3.10 위미지구 ····· 88
4.4 북부지역의 지질 및 수리지질 ····· 90
4.4.1 상가수원지 ····· 91
4.4.2 장전수원지 ····· 91

4.4.3 상귀수원지 ····· 95
4.4.4 외도수원지 ····· 97
4.4.5 삼양수원지 ····· 98
4.4.6 회천수원지 ····· 98
4.4.7 함덕수원지 ····· 100
4.4.8 선흘수원지 ····· 103
4.4.9 용담지구 ····· 107
4.4.10 노형지구 ····· 108
4.4.11 어승생지구 ····· 108
4.4.12 삼양지구 ····· 108
4.4.13 함덕지구 ····· 109
4.5 저투수층과 지하수위의 분포 특성 ····· 113
4.5.1 한라산의 동·서부 지역 ····· 113
4.5.2 한라산의 남·북부 지역 ····· 114
4.5.3 한라산의 남-서-북부 지역 ····· 115
5. 수리적 특성 ····· 125
5.1 양수시험 분석 모델의 결정 ····· 125
5.2 동부지역의 수리적 특성 ····· 126
5.3 서부지역의 수리적 특성 ····· 131
5.4 남부지역의 수리적 특성 ····· 137
5.5 북부지역의 수리적 특성 ····· 143
6. 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관련성 ····· 149
6.1 동부지역의 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관계 ····· 152
6.2 서부지역의 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관계 ····· 159
6.3 남부지역의 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관계 ····· 166
6.4 북부지역의 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관계 ····· 173
6.5 지역별 수리상수 특성 비교 ····· 180
7. 결론 ····· 184

참고문헌 ····· 186
부록 1. 지역별 지하수 관정 현황 ····· 197
부록 2. 양수시험 분석 그래프 ····· 215
부록 3. 제주도 화산암층과 투수층의 사진 ····· 310
Abstract ····· 317

List of Figures

Fig. 1.1 Location of the wells in the study area. ····· 7
Fig. 3.1 Schematic presentation of Moench model for a leaky aquifer with source beds or impermeable layers at the top and bottom of aquitards. ····· 33
Fig. 3.2 Schematic presentation of leaky confined aquifer with no storage in leaky layer. ····· 35
Fig. 3.3 Schematic presentation of leaky confined aquifer with storage in leaky layer. ····· 37
Fig. 3.4 Schematic presentation of confined aquifer. ····· 39
Fig. 3.5 Schematic presentation of unconfined aquifer. ····· 40
Fig. 4.1 Location of wells in the east area ····· 41
Fig. 4.2 Location of Haengwon(1) well field ····· 43
Fig. 4.3 Location of Haengwon(2) well field ····· 44
Fig. 4.4 Geological logs of Haengwon(1) well field(HW(1)1-HW(1)6). ···· 45
Fig. 4.5 Geological logs of Haengwon(2) well field(HW(2)1-HW(2)6). ···· 45
Fig. 4.6 Geologic cross-section of Handong site (HD1-HD4) (slightly modified from Koh, 1997). ····· 50
Fig. 4.7 Geologic cross-section of Jongdal site (JD1-JD5) (slightly modified from Koh, 1997). ····· 51
Fig. 4.8 Geologic cross-section of Susan site (SS1-SS4) (slightly modified from Koh, 1997). ····· 52
Fig. 4.9 Geologic cross-section of Samdal site (SD1-SD3). ····· 53
Fig. 4.10 Geological cross-section of Hacheon site (HC1-HC4) (slightly modified from Koh, 1997). ····· 54
Fig. 4.11 Location of wells in the west area. ····· 55
Fig. 4.12 Location of Napeup well field ····· 57
Fig. 4.13 Geological logs of Napeup well field (NE1-NE6). ····· 58
Fig. 4.14 Location of Eoeum well field. ····· 59
Fig. 4.15 Geological logs of Eoeum well field (EU1-EU6). ····· 60

Fig. 4.16 Location of Geumak well field. ····· 62
Fig. 4.17 Geological logs of Geumak well field (GA1-GA6). ····· 63
Fig. 4.18 Location of Jeoji well field ····· 65
Fig. 4.19 Location of Seokwang well field. ····· 66
Fig. 4.20 Geological logs of Jeoji well field (JE1-JE10). ····· 68
Fig. 4.21 Geological logs of Seokwang well field (SE1-SE10). ····· 69
Fig. 4.22 Geologic cross-section along BB1-BB7 wells (slightly modified from Jung, 2002). ····· 70
Fig. 4.23 Location of wells in the south area. ····· 71
Fig. 4.24 Location of Sangye well field ····· 74
Fig. 4.25 Geological logs of Sangye well field (SY1-SY6). ····· 75
Fig. 4.26 Location of Hoesu well field ····· 76
Fig. 4.27 Geological logs of Hoesu well field (HS1-HS6). ····· 77
Fig. 4.28 Location of Jaguri well field ····· 78
Fig. 4.29 Geological logs of Jaguri well field (JG1-JG6). ····· 79
Fig. 4.30 Location of Topyeong well field ····· 80
Fig. 4.31 Geological logs of Topyeong well field (TP1-TP4). ····· 81
Fig. 4.32 Location of Euiki(1),(2) and Shinheung(1),(2) well field ····· 83
Fig. 4.33 Geological logs of Euiki well field (EK(1)1-EK(1)6). ····· 84
Fig. 4.34 Geological logs of Euiki(2) well field (EK(2)1-EK(2)6). ····· 84
Fig. 4.35 Geological logs of Shinheung(1) well field (SH(1)1-SH(1)6). ····· 85
Fig. 4.36 Geological logs of Shinheung(2) well field (SH(2)1-SH(2)6). ····· 85
Fig. 4.37 Geologic cross-section of Wimi site (WM1-WM2). ····· 88
Fig. 4.38 Location of wells in the north area. ····· 89
Fig. 4.39 Location of Sangga well field. ····· 91
Fig. 4.40 Geological logs of Sangga well field (SG1-SG6). ····· 92
Fig. 4.41 Location of Jangjeon well field. ····· 93
Fig. 4.42 Geological logs of Jangjeon well field (JJ1-JJ6). ····· 94
Fig. 4.43 Location of Sangkui well field. ····· 95
Fig. 4.44 Geological logs of Sankui well field (SK1-SK6). ····· 96
Fig. 4.45 Location of Oedo well field. ····· 98
Fig. 4.46 Geological logs of Oedo well field (OD1-OD6). ····· 99
Fig. 4.47 Location of Samyang and Heocheon well field. ····· 100

Fig. 4.48 Geological logs of Samyang well field (SA1-SA6). ····· 101
Fig. 4.49 Geological logs of Heocheon well field (HO1-HO6). ····· 101
Fig. 4.50 Location of Hamteok well field ····· 103
Fig. 4.51 Geological logs of Hamteok well field (HA1-HA6). ····· 104
Fig. 4.52 Location of Sunheul well field ····· 105
Fig. 4.53 Geological logs of Sunheul well field (SU1-SU6). ····· 106
Fig. 4.54 Geologic cross-section of Yongdam site (YD1-YD2). ····· 109
Fig. 4.55 Geologic cross-section of Samyang site (SYA1-SAY2). ····· 110
Fig. 4.56 Geologic cross-section of Hamteok site (HT1-HT2) (slightly modified from Koh, 1997). ····· 111
Fig. 4.57 Location of geologic cross-section lines along N-S and E-W directions. ····· 116
Fig. 4.58 Geologic cross-section of the eastern part of Mt. Halla along E-W line (as indicated in Fig. 4.57). ····· 117
Fig. 4.59 Geologic cross-section of the western part of Mt. Halla along E-W line (as indicated in Fig. 4.57). ····· 118
Fig. 4.60 Geologic cross-section of the eastern part of Mt. Halla along N-S line (as indicated in Fig. 4.57). ····· 119
Fig. 4.61 Geologic cross-section of the western part of Mt. Halla along N-S line (as indicated in Fig. 4.57). ····· 120
Fig. 4.62 Schematic geologic cross-section in the west, south, and north areas (as indicated in Fig. 4.57). ····· 121
Fig. 4.63 Geological logs in Ellisian Country Club. ····· 122
Fig. 4.64 Geological logs in Everless Golf & Resort. ····· 123
Fig. 5.1 An Example for comparing pumping test analyses conducted in Jeju Island. ····· 125
Fig. 6.1 Frequency distribution of surface elevation, groundwater level, specific capacity, transmissivity, and top of low permeability layer. ····· 149
Fig. 6.2 Relationships between Groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of

the wells in the east area. ····· 153
Fig. 6.3 Relationships between Groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the west area. ····· 160
Fig. 6.4 Relationships between Groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the south area. ····· 167
Fig. 6.5 Relationships between Groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the north area. ····· 174
Fig. 6.6 Comparison of transmissivity of the study area ····· 181
Fig. 6.7 Comparison of specific capacity of the study area ····· 181
Fig. 6.8 Comparison of top of low permeability layer of the study area ··· ····· 182
Fig. 6.9 Comparison of surface elevation of the study area ····· 182

List of Tables

Table 1.1 List of the study wells in the east, west, south and north areas … 6
Table 1.2 Characteristics of the study wells in the east area ····· 8
Table 1.3 Characteristics of the study wells in the west area ····· 8
Table 1.4 Characteristics of the study wells in the south area ····· 9
Table 1.5 Characteristics of the study wells in the north area ····· 9
Table 1.6 Description of the wells in the east area. ····· 10
Table 1.7 Description of the wells in the west area. ····· 12
Table 1.8 Description of the wells in the south area. ····· 14
Table 1.9 Description of the wells in the north area. ····· 16
Table 5.1 Pumping test results of the east area. ····· 127
Table 5.2 Hydraulic parameters of the east area. ····· 129
Table 5.3 Pumping test results in the west area. ····· 131
Table 5.4 Hydraulic parameters of the west area. ····· 134
Table 5.5 Pumping test results in the south area. ····· 137
Table 5.6 Hydraulic parameters of the south area. ····· 140
Table 5.7 Pumping test results in the north area. ····· 143
Table 5.8 Hydraulic parameters of the north area. ····· 146
Table 6.1 Correlation coefficient among specific capacity (Q/s), transmissivity (T), top of low permeability layer (Lt), groundwater level (h, msl), and surface elevation (EL) with a 95% confidence interval in the east area. ····· 152
Table 6.2 Correlation coefficient among specific capacity (Q/s), transmissivity (T), top of low permeability layer (Lt), groundwater level (h, msl), and surface elevation (EL) with a 95% confidence interval in the west area. ····· 159
Table 6.3 Correlation coefficient among specific capacity (Q/s), transmissivity (T), top of low permeability layer (Lt), groundwater level (h, msl), and surface elevation (EL) with a 95% confidence interval in the south area. ····· 166

Table 6.4 Correlation coefficient among specific capacity (Q/s), transmissivity (T), top of low permeability layer (Lt), groundwater level (h, msl), and surface elevation (EL) with a 95% confidence interval in the north area. ····· 173
Table 6.5. Comparison of groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the east, west, south, and north areas. ····· 179

1. 서 언

1.1 연구배경

제주도는 대한민국에서 가장 큰 화산섬으로서 면적은 1,849㎢이고, 장축인 동-서방향의 길이가 74km, 단축인 남-북방향의 길이가 32km인 타원형의 섬이다(Fig. 1.1). 제주도는 제3기 플라이오세말에서 제4기 플라이스토세말에 걸친 화산분출과 지반 융기와 함몰에 의해서 형성되었으며(정차연, 2002), 중앙에는 남한에서 가장 높은 한라산(높이 1,950m)이 솟아 있고, 한라산 정상에는 지름 575m, 깊이 100m의 화구호인 백록담이 있다. 순상화산(shield volcano)인 한라산의 주변에는 360여 개의 오름이 분포하고 있으며, 제주도의 지형은 서쪽과 동쪽으로는 완만하고, 남쪽의 서귀포시와 북쪽의 제주시 방향으로는 험준한 편이다. 동서방향의 완만한 지형에는 파호이호이 용암이 분포하며, 남북방향의 험준한 지형에는 아아 용암이 분포하고 있는데, 파호이호이 용암의 분포면적이 아아 용암보다 넓다(박기화 외, 2006).

제주도의 일반적인 층서를 보면, 하부로부터 기반암(용결응회암, 화강암), U층(미교결 퇴적층), 서귀포층, 화산암류(화산쇄설암 협재), 표토층으로 이루어져 있다(고기원, 1997). 제주도 화산암은 암석화학적으로 볼 때, 알칼리 현무암, 솔리아이틱 현무암, 조면현무암, 현무암질 안산암 등의 현무암류와 조면질 안산암, 현무암질 조면안산암, 조면암등의 조면암류로 이루어져 있다. 시추조사에 의하면 용암류는 제주도 동부는 해수면 아래 150m까지, 서부 지역은 해수면 아래 50~70m까지 분포하고 있고, 그 하위에는 서귀포층, 미교결 퇴적층(U층)이 분포하며, 기반암으로 중생대 용결응회암과 화강암이 대략 해수면하 400~500m부터 분포하고 있다(고기원, 1997; 오진용 외, 2000).

화산폭발에 의해 형성된 화성쇄설암은 수성화산분출형과 스트롬볼리분출형으로 구분되는데, 수성화산 분출에 의해 형성된 응회암은 군산, 단산, 송악산, 당산봉, 수월봉을 이루고 있으며, 스트롬볼리 분출과 관련된 화산쇄설암은 분석구를 이루고 있다(박기화 외, 2000).

퇴적층은 고지형의 저지대와 하천 혹은 바닷가서 형성되었으며 수평 연장은 대체로 짧고, 용암류와 용암류 사이에 분포한다. 퇴적암층은 용암과 용암 사이에 협재한 황적색의 토양층, 회색의 스코리아성 니질퇴적암, 적황색 혹은 회색의 이암, 사암, 각력상 역암으로 구성된다(박기화 외, 2000).

제주도의 투수성 지질구조는 화산암류, 용암동굴, 용암 터널의 붕괴에 의한 공동(숨골), 아아용암류(곶자왈), 파쇄대, 화산쇄설암류, 분석(scoria)층, 유리질쇄설암(hyaloclastite), 냉각에 의한 절리대, 용암류와 용암류 사이의 접촉부, 클링커층, 스패터 등의 공극과 기공이다(고기원, 1997, 2001; Hamm et al., 2005; Won et al., 2006; 한국지질자원연구원, 2004). 아아용암류의 상,하부에 발달하는 클링커층은 다량의 지하수를 산출할 수 있는 투수성 지층이지만, 클링커층의 하부에 치밀암이나 세립질의 불투수성 내지 저투수성의 암석(응회암)이 분포하는 경우에는, 지하수위가 피압현상을 나타내기도 한다.

제주도의 지난 30년간 강수량을 보면, 고산이 약 1,180mm, 제주가 약 3,508mm, 서귀포가 약 1,908mm이며, 제주도의 강수량은 내륙지방보다 연평균 600mm이상 많다. 이와 함께 제주도는 투수성이 양호한 화산암류로 구성되어서 강우 시 강수량의 약 45%가 지하로 직접 함양되는 등, 지하수부존에 아주 유리한 조건을 갖고 있다. 제주도에서는 해발고도가 100m씩 증가함에 따라 연강수량은 약 273mm씩 증가하는 현상을 나타내고 있으며, 해발 200m 이하 지역은 연간 1,651mm, 해발 200～600m 지역(중산간 지역)은 2,184mm, 해발 600m 이상 지역은 2,784mm이다(제주도·한국수자원공사, 2003). 중산간지역의 성판악기상관측소의 1999년~2008년의 연평균 강수량은 4,399.45mm로서 기상관측소 중 가장 높은 연평균 강수량을 보이고 있다. 최대 강수량은 2003년의 6,869.4mm이며, 최저 연강수량은 2000년의 2,762.5mm이다. 또한 연평균 강수량의 약 58.6%가 6월~9월에 집중되고 있다.

제주도 광역수자원본부(2008)에 의하면, 2005~2007년 3년간 제주도의 연평균 강수량은 1,861mm이고, 북부수역은 1,809mm(1,258~2,750mm)이고, 남부수역은 1,933mm(1,525~2,608mm), 동부수역은 2,307mm(1,613~3,834mm), 서부수역은 1,353mm(1,146~1,729mm)로서 강수량이 가장 많은 남부수역과 가

장 적은 서부수역 간에는 약 580mm의 차이를 나타낸다. 동·남부 수역이 북·서부 수역보다 강수량이 많은 이유는 한라산의 지형적인 영향 때문으로 보인다. 이와 같은 지역적 강수량의 차이는 지하수 함양량과 부존량에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

1920년대부터 일본 지질학자, 국내학자, 전문기관 등에 의해 제주도의 지질과 지하수에 대한 많은 연구가 진행되어왔으나, 대부분의 연구는 수문지질, 구성지질 및 암석, 지하수위, 지하수 수질 등의 분야에 집중되어 왔으며, 제주도의 복잡하고 다양한 지하지질에 의한 대수층의 수리지질학적 특성을 분석 및 해석하고, 지역별 지하수 산출특성을 종합, 정리한 연구는 부족한 실정이다. 특히, 이전의 대수층의 수리상수에 대한 연구에서는 한국농어촌공사의 제한된 양수시험자료를 활용한 관계로, 제주도 화산암대수층의 산출능력을 과소평가한 측면이 있다.

1.2 연구목적

본 연구에서는 한국농촌공사에서 개발한 농업용 관정(1개소당 약 1000㎥/일 내외)과 광역상수도 관정(1개소 당, 약 1500~2000㎥/일 내외)까지 포함시켜서 종합적으로 수리지질학적 특성을 비교·검토하고자 하였다. 본 연구에서는 제주도의 16개 수역(제주도, 한국수자원공사, 건설부, 1993)을 비슷한 특성을 나타내는 유역들로 묶어서 동, 서, 남, 북의 4개 지역으로 구분하여 수리지질학적 특성을 규명하고자 하였다(Fig. 1.1).

연구지역은 동부지역(구좌, 성산, 표선 유역), 서부지역(한림, 한경, 대정, 안덕 유역), 남부지역(서서귀, 중서귀, 동서귀, 남원 유역), 북부지역(애월, 서제주, 중제주, 동제주, 조천 유역)으로 구분하였으며, 이는 제주도・한국수자원공사(2003)의 수계를 참조로 하였다.

동부지역에는 2개 수원지(행원1, 2수원지에 각 6개공)의 12공, 해수침투관측공들(한동지구의 HD1～HD4, 종달지구의 JD1～JD5, 수산지구의 SS1～SS4, 삼달지구의 SD1～SD3, 하천지구의 HC1～HC4)의 20개공과 국가지하수 관측공인 조천(JC) 1개공, 기타 지하수 조사공(삼다수1(SMD1)～삼다수3(SMD3)

3개공을 포함하여 총 36개공이 분포하고 있다(Table 1.1). 서부지역에는 5개 수원지(납읍(NE), 어음(EU), 금악(GA), 저지(JE), 서광(SE))의 총 38개공, 서부지역 농업용관정 7개공, 골프장 2개소(에버리스골프장, 엘리시안골프장 각각 5개공) 10개공 등 총 55개 공이 위치하고 있다. 남부지역에는 8개 수원지(상예(SY), 회수(HS), 자굴이(JG), 토평(TP), 의귀(1)(EK(1)), 의귀(2)(EK(2)), 신흥(1)(SH(1)), 신흥(2)(SH(2))의 총 46개공, 해수침투관측공 위미1(WM1), 위미2(WM2), 국가지하수 관측공인 동흥(DH), 한라산 고지대 관측공 중문(JM), 신례(SR), 농업용수 관정 F-166, F-388, 생활용수 강인숙(KIS), 천연광천수(MW1) 등 55개공이 위치하고 있다. 북부지역에는 8개 수원지(상가(SG), 장전(JJ), 상귀(SK), 외도(OD), 삼양(SA), 회천(HO), 함덕(HA), 선흘(SU))의 총 46개공, 해수침투관측공 용담1(YD1), 용담2(YD2), 삼양1(SYA1), 삼양2(SYA2), 함덕1(HT1), 함덕2(HT2)의 6개공, 국가지하수 관측공(노형(NH)), 한라산 고지대 조사공(어승생(ES)), 농업용수 관정(F-165, F-267, F-264) 등 57개공이 위치하고 있다.

1.3 연구방법 및 연구내용

연구대상 지하수 관정은 총 203개공이며, 이들 관정은 동부지역에 36개공, 서부지역에 55개공, 남부지역에 55개공, 북부지역에 57개공이 분포하고 있다(Table 1.1, Fig. 1.1, 부록 1). 연구대상 관정을 유형별로 구분해 보면,

1) 제주도 광역상수도 1, 2단계 취수정(well field) 142개공
2) 공공 농업용수 개발관정 5개공
3) 서부해안지역 지하수관정 7개공
3) 해수침투감시관측을 위한 심부관측공 28개공
4) 국가지하수관측공 3개공
5) 한라산 고지대 조사시추공 3개공
6) 제주 삼다수 관측공 3개공
7) 골프장 및 개인 지하수 관정 11개공
8) 천연광천수 조사시추공 1개공으로 구성된다.

동부, 서부, 남부, 북부 지역의 관정 유형별 표고, 착정심도, 자연수위, 저투수층 출현심도는 Table 1.2～Table 1.5와 같다. 지하수관정의 착정심도는 22.5m～580m이고, 관정의 표고는 해발 10.2m~615.15m 범위이다. 총 포화대 두께는 자연수위로부터 저투수층인 서귀포층의 최상부를 기준하였으나 일부 지역에서는 서귀포층 상층부의 투수성이 양호한 사력층까지로 하였다. 대수층은 시추코어, 착정주상도, 물리검층, TV 검층자료를 이용하여 식별하였으며, 화산암류, 절리대, 클링커층, 파쇄대, 화산쇄설암류, 분석(scoria)층, 유리질쇄설암(hyaloclastite), 용암류와 용암류 사이의 접촉부 등을 포함한다. 대수층의 두께는 지하수관정에서 나타나는 모든 대수층의 두께를 합산하여 산정하였다.

본 연구를 위하여 제주도의 동부, 서부, 남부, 북부지역의 지질 및 수리지질 자료, 시추코어, 공내 TV검층자료, 지질주상도를 이용하였으며, 각 지역의 수리상수는 양수시험 자료를 이용하여 분석하였다. 지하수위는 수동식 수위측정기와 압력센서로 측정하였다. 일반적인 지하수관정 및 관측공(직경 250mm)은 TBM 착정기(회전식)에 의한 코어링 시추공법을 사용하였으나, 광역상수도 수원개발을 위한 지하수관정(직경 450mm)은 BARBER 장비에 의한 회전 충격식 시추공법을 사용하였다.

Table 1.1 List of the study wells in the east, west, south and north areas.

Area	Well name	No. of wells	Surface elev. (m)	Well depth (m)
East	HW(1)1-HW(1)6, HW(2)1-HW(2)6, HD1-HD4, JD1-JD5, SS1-SS4, SD1-SD3, HC1-HC4, SMD1-SMD3, JC	36	14.4~ 468.63	110~490
West	NE1-NE6, EU1-EU6, GA1-GA6, JE1-JE10, SE1-SE10, BB1-BB7, EVCC1-EVCC5, ELCC1-ELCC5	55	28~498	90~480
South	SY1-SY6, HS1-HS6, JG1-JG6, TP1-TP4, EK(1)1-EK(1)6, EK(2)1-EK(2)6, SH(1)1-SH(1)6, SH(2)1-SH(2)6, JM, DH, SR, WM1, WM2, F-116, F-388, KIS, MW1	55	13.31~600	18.5~580
North	SG1-SG6, JJ1-JJ6, SK1-SK6, OD1-OD6, SA1-SA5, HO1-HO5, HA1-HA6, SU1-SU6, YD1, YD2, NH, ES, SYA1, SYA2, HT1, HT2, F-165, F-267, F-264	57	10.20~ 615.15	82~550

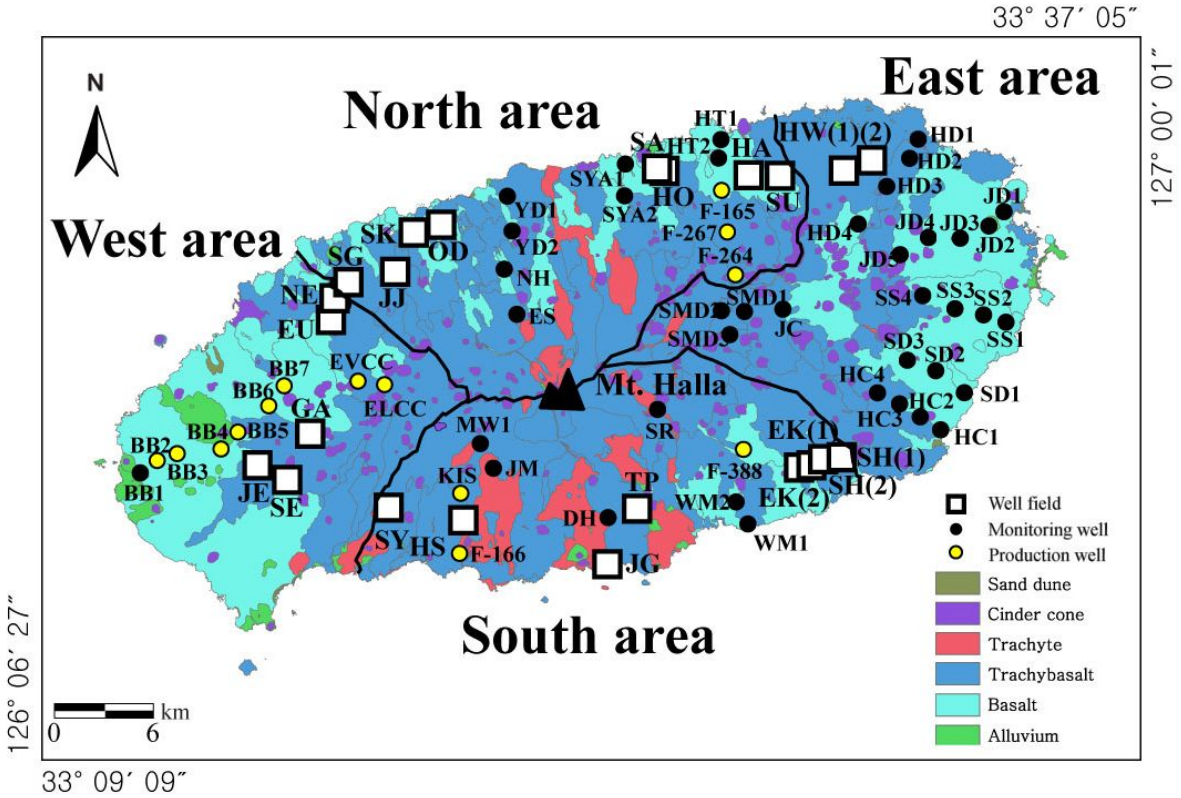


Fig. 1.1 Location of the wells in the study area.

Table 1.2 Characteristics of the study wells in the east area.

Well type	No. of wells	Surface elev. (m)	Well depth (m)	Groundwater level (m)		Top of low permeability layer (m, a.m.s.l)
				DTW	a.m.s.l	
well field	12	88.01~ 93.03	110~ 120	86.88~ 91.33	0.61~ 2.14	-26.97~ -17.34
monitoring wells	24	14.4~ 468.63	136~ 490	13~ 315	0.40~ 203.46	-138.40~ 48.63
production wells	-	-	-	-	-	-

Table 1.3 Characteristics of the study wells in the west area.

Well type	No. of wells	Surface elev. (m)	Well depth (m)	Groundwater level (m)		Top of low permeability layer, m (a.m.s.l)
				DTW	a.m.s.l	
well field	38	153.5~ 312.2	170~ 348	104.22~ 263.91	8.97~ 55.25	-53.68~18.2
monitoring wells	-	-	-	-	-	-
production wells	17	28~498	90~480	18.5~ 410.47	8~212	-58.5~93

Table 1.4 Characteristics of the study wells in the south area.

Well type	No. of wells	Surface elev. (m)	Well depth (m)	Groundwater level (m)		Top of low permeability layer, m (a.m.s.l)
				DTW	a.m.s.l	
well field	46	13.31~ 251.4	18.5~ 280	5.01~ 195.6	0.11~ 88.83	-34.92 ~72.23
monitoring wells	5	22.22~ 595	134~ 580	19.85~ 293	2.35~ 372	-55.78 ~170
production wells	4	68~ 582	84~ 550	36~ 268.93	32~ 313.07	-5 ~182.0

Table 1.5 Characteristics of the study wells in the north area.

Well type	No. of wells	Surface elev. (m)	Well depth (m)	Groundwater level (m)		Top of low permeability layer, m (a.m.s.l)
				DTW	a.m.s.l	
well field	46	40.83~ 176.4	90~ 211	39.33~ 167.6	0.56~ 18.8	-86.88~ -27.5
monitoring wells	8	10.2~ 615.15	130~ 550	6.5~ 326	2.6~ 289.15	-92.9~ 163.15
production wells	3	140~ 442	168~ 340	134~ 282	6~ 160	-11~ 112

Table 1.6 Description of the wells in the east area.

Well no.	X	Y	El., (m)	Well depth (m)	DTW (m)	Ground water level, m (a.m.s.l)	Top of Low permeability layer, m (a.m.s.l)
HW(1)1	177772.8	52116.5	91.92	110	90.59	1.33	-18.08
HW(1)2	177730.9	52137.8	92.46	110	90.54	1.92	-17.54
HW(1)3	177723.2	52188.8	93.03	120	91.33	1.70	-26.97
HW(1)4	177734.4	52228.5	92.08	110	91.15	0.93	-17.92
HW(1)5	177765.4	52187.0	92.66	110	91.00	1.66	-17.34
HW(1)6	177794.3	52139.2	92.24	110	91.01	1.23	-17.76
HW(2)1	179859.6	53038.6	88.80	110	87.38	1.42	-21.20
HW(2)2	179852.9	53086.0	89.24	110	87.10	2.14	-20.76
HW(2)3	179903.1	53102.7	89.43	110	88.44	0.99	-20.57
HW(2)4	179957.8	53117.6	88.74	110	88.13	0.61	-21.26
HW(2)5	179956.2	53069.5	88.01	110	86.88	1.13	-21.99
HW(2)6	179923.1	53034.8	88.13	110	87.13	1.00	-21.87
HD1	183337.3	55032.9	15.1	175	13.89	1.21	-138.40
HD2	182664.2	53540.1	42.3	202	39.77	2.53	-118.70
HD3	180898.3	51387.9	112.4	262	111.18	1.22	-105.20
HD4	178702.6	48514.5	190.5	365	182.0	8.5	-90.5
JD1	189904.9	49454.0	14.4	156	13.0	1.4	-109.1
JD2	188747.0	49072.8	52.7	200	52.30	0.4	-114.3
JD3	186571.2	47403.1	100.4	252	97.5	2.9	-78.6
JD4	183574.4	47150.1	167.5	330	166.0	1.5	-72.5
JD5	181308.8	46491.2	201.3	408	199.0	2.30	-44.7
SS1	190057.3	40931.1	33.8	151	32.00	1.8	-100.9
SS2	188355.0	41501.7	70.6	196	69.12	1.48	-90.2
SS3	186142.9	41963.8	115.5	267	112.86	2.64	-85.7
SS4	183688.4	42964.0	176.6	323	175.17	1.43	-68.6
SD1	186886.2	35515.9	27.9	170	27.2	0.7	-72.1
SD2	184689.7	37202.0	90.2	200	88.0	2.2	-66.8
SD3	182673.3	37829.4	126.1	250	123.45	2.65	-67.9

Table 1.6 continued.

Well no.	X	Y	El., (m)	Well depth (m)	DTW (m)	Ground water level, m (a.m.s.l)	Top of Low permeability layer, m (a.m.s.l)
HC1	185063.3	32651.5	25.7	136	24.7	1.0	-65.3
HC2	183480.4	33475.2	58.8	180	57.0	1.8	-60.7
HC3	182072.7	34174.5	87.4	186	83.0	4.4	-38.6
HC4	180387.0	35309.7	117.9	230	112.0	5.9	-5.6
SMD1	178702.6	48514.5	438.99	480	256.00	182.99	17.99
SMD2	189904.9	49454.0	429.46	470	226.00	203.46	-23.54
SMD3	188747.0	49072.8	468.63	420	315.00	153.63	48.63
JC	174337.0	42416.0	342.60	490	255.37	87.23	19.60

Table 1.7 Description of the wells in the west area.

Well no.	X	Y	El., (m)	Well depth (m)	DTW (m)	Ground water level, m (a.m.s.l)	Top of Low permeability layer, m (a.m.s.l)
NE1	138729.0	42442.3	175.57	212	166.60	8.97	-36.43
NE2	138640.0	42375.2	172.8	216	163.72	9.08	-43.20
NE3	138651.1	43211.8	173.5	212	156.72	16.78	-38.50
NE4	138700.0	42353.3	175.0	214	154.70	20.30	-39.00
NE5	138762.2	42356.9	177.0	210	160.10	16.90	-33.00
NE6	138782.0	42416.4	176.08	215	166.84	9.24	-38.92
EU1	138528.3	40895.8	180.39	230	169.54	10.85	-49.61
EU2	138505.5	40842.6	180.69	230	164.86	15.83	-49.31
EU3	138467.1	40816.7	176.32	230	164.76	11.56	-53.68
EU4	138515.0	40797.0	179.6	230	168.85	10.75	-50.40
EU5	138571.8	40788.0	184.55	230	174.57	9.98	-45.45
EU6	138568.6	40844.7	185.27	230	175.35	9.92	-44.73
GA1	137008.6	32158.4	310.8	345	262.81	47.99	-34.20
GA2	136973.7	32110.5	311.3	345	263.91	47.39	-32.70
GA3	136933.6	32066.4	311.7	345	263.46	48.24	-33.30
GA4	136984.4	32004.8	312.2	345	263.19	49.01	-28.80
GA5	137015.5	32056.0	311.5	346	256.83	54.67	-33.50
GA6	137044.0	32109.5	311.3	348	256.05	55.25	-36.70
JE1	133052.2	29342.8	153.5	170	104.44	49.06	-12.5
JE2	133119.8	29363.6	153.72	170	104.22	49.5	-2.28
JE3	133158.8	29348.6	153.77	170	105.04	48.73	-12.73
JE4	133204.8	29381.2	154.41	170	108.25	46.16	-12.09
JE5	133246.8	29424.7	155.25	171	109.79	45.46	-14.85
JE6	133288.2	29467.2	155.5	172	109.13	46.37	-8.50
JE7	133233.0	29488.2	155.5	172	109.07	46.43	-10.70
JE8	133178.3	29469.5	155.5	170	110.98	44.52	-12.50
JE9	133142.2	29421.7	154.3	170	108.25	46.05	-13.00
JE10	133094.4	29383.8	153.5	171	107.51	45.99	-15.00

Table 1.7 continued.

Well no.	X	Y	El., (m)	Well depth (m)	DTW (m)	Ground water level, m (a.m.s.l)	Top of Low permeability layer, m (a.m.s.l.)
SE1	135357.7	28862.4	183.7	200	136.71	46.99	18.20
SE2	135375.7	28911.5	186.7	200	140.99	45.71	12.70
SE3	135379.8	28955.9	187.4	200	141.69	45.71	17.40
SE4	135331.0	28960.2	188.9	200	142.06	46.84	14.90
SE5	135286.7	28958.9	188.9	200	144.73	44.17	12.90
SE6	135278.4	28906.3	185.7	200	140.25	45.45	7.70
SE7	135270.5	28852.2	184.9	200	140.07	44.83	17.40
SE8	135218.4	28839.6	178.0	200	129.70	48.3	12.00
SE9	135312.4	28779.2	181.8	200	135.85	45.95	13.80
SE10	135332.6	28819.4	181.8	200	135.81	45.99	5.80
BB1	123990.0	28690.0	28	90	18.50	9.50	-34.5
BB2	125349.0	29589.0	43	140	35.00	8.00	-58.5
BB3	127387.0	30235.0	76.1	162	49.00	27.10	-50.9
BB4	131263.0	29968.0	124	190	105.00	19.00	6
BB5	132032.0	31080.0	138.2	210	88.40	49.80	-32
BB6	134000.0	32845.0	210	240	185.50	24.5	-3
BB7	134722.0	34090.0	242	270	199.50	42.50	39
EVCC1	140317.0	36305.0	404	415	216.50	187.50	-11
EVCC2	140493.0	37090.0	399.1	425	349.05	50.05	-25.9
EVCC3	140166.0	37145.0	368.2	400	317.60	50.60	-31.8
EVCC4	139821.0	37215.0	343.6	381	298.00	45.60	-37.4
EVCC5	140733.0	36085.0	423	420	243.30	179.70	3
ELCC1	141578.0	37073.0	478.5	433	407.00	71.50	45.5
ELCC2	141779.0	36550.0	498	405	286.00	212.00	93
ELCC3	141366.0	36946.0	472	434.5	318.60	153.40	37.5
ELCC4	141283.0	36622.0	476	434.5	265.00	211.00	41.5
ELCC5	141231.0	36023.0	482	480	410.47	71.53	57

Table 1.8 Description of the wells in the south area.

Well no.	X	Y	El., (m)	Well depth (m)	DTW (m)	Ground water level, m (a.m.s.l)	Top of Low permeability layer, m (a.m.s.l.)
SY1	142671.9	26253.6	249.5	280	192.72	56.78	23.50
SY2	142731.2	26255.8	251.1	265	194.75	56.35	36.10
SY3	142750.7	26311.7	251.4	227	195.60	55.80	36.40
SY4	142701.7	26346.8	251.0	223	194.55	56.45	38.00
SY5	142653.1	26311.0	250.1	225	192.77	57.33	38.10
SY6	142701.7	26300.3	250.8	252	193.43	57.37	42.80
HS1	148574.5	25324.8	218.48	250	155.74	62.74	61.48
HS2	148639.3	25289.6	217.28	250	156.31	60.97	44.68
HS3	148690.9	25309.4	220.24	252	158.35	61.89	46.14
HS4	148703.3	25359.8	224.29	250	162.75	61.54	56.29
HS5	148645.8	25346.6	222.23	250	158.47	63.76	72.23
HS6	148598.0	25372.4	221.82	252	143.55	78.27	42.82
JG1	159616.9	21937.4	13.43	31	10.60	2.83	-15.57
JG2	159626.1	21948.0	13.31	35	10.30	3.01	-17.19
JG3	159636.9	21960.1	13.9	30	10.33	3.57	-16.10
JG4	159646.4	21970.1	15.17	33	12.15	3.02	-15.83
JG5	159659.3	21973.3	16.59	22.5	5.01	11.58	-5.91
JG6	159635.7	21942.7	14.05	18.5	5.85	8.20	-4.45
TP1	161902.2	26196.6	164.9	125	85.20	79.70	58.90
TP2	161840.0	26195.0	165.5	125	89.30	76.20	48.50
TP3	161857.0	26128.6	162.33	132	73.50	88.83	35.33
TP4	161919.9	26101.3	161.9	160	80.20	81.70	16.90
EK(1)1	175242.1	29466.0	68.8	101	67.10	1.70	-30.20
EK(1)2	175188.3	29443.9	69.36	103	67.70	1.66	-30.14
EK(1)3	175162.4	29495.8	71.65	105	70.50	1.15	-26.35
EK(1)4	175232.8	29528.1	70.08	105	68.70	1.38	-34.92
EK(1)5	175334.1	29547.9	68.59	102	67.30	1.29	-22.41
EK(1)6	175280.4	29554.0	69.45	104	68.10	1.35	-34.55
EK(2)1	174455.2	29381.8	73.49	91	70.20	3.29	-10.51
EK(2)2	174500.3	29307.7	74	94.5	70.30	3.70	-15.50
EK(2)3	174449.2	29282.6	74.3	95	70.00	4.30	-15.70
EK(2)4	174406.6	29309.2	74.17	99	70.10	4.07	-13.83
EK(2)5	174404.6	29361.2	74.13	93	70.20	3.93	-15.87
EK(2)6	174457.2	29331.7	73.75	90	69.70	4.05	-14.25

Table 1.8 continued.

Well no.	X	Y	El., (m)	Well depth (m)	DTW (m)	Ground water level, m (a.m.s.l)	Top of Low permeability layer, m (a.m.s.l.)
SH(1)1	177643.1	30117.9	62.83	83	61.2	1.63	-20.17
SH(1)2	177687.4	30135.9	63.51	82	62	1.51	-18.49
SH(1)3	177700.0	30181.8	62.92	82	61.4	1.52	-19.08
SH(1)4	177668.3	30213.8	62.82	82	61.7	1.12	-19.18
SH(1)5	177632.1	30206.1	63.44	82	61.8	1.64	-18.56
SH(1)6	177648.5	30170.4	63.51	82	62.2	1.31	-18.49
SH(2)1	176350.0	29896.4	59.14	90	57.6	1.54	-30.86
SH(2)2	176296.4	29940.2	60.45	90	59.2	1.25	-29.55
SH(2)3	176269.5	29988.0	60.91	90	59.55	1.36	-29.09
SH(2)4	176321.3	30002.9	65.47	90	64.09	1.38	-24.53
SH(2)5	176369.9	30005.4	64.59	90	63.5	1.09	-25.41
SH(2)6	176397.6	29914.8	59.47	90	59.36	0.11	-30.53
JM	147396.0	49145.0	550	580	178	372.0	170
DH	159564.6	25577.6	192	300	126	66.0	103
SR	164107.0	33664.0	595	550	293	302.0	125
WM1	170256.6	25405.1	22.2	160	19.85	2.35	-55.8
WM2	169325.2	27086.0	76.7	210	62.95	13.75	-17.8
F-116	148010.7	22327.5	68	84	36.0	32.00	-5
F-388	169804.2	30413.6	193	220	123.0	70.00	9.5
KIS	148535.7	26583.0	310	306	166.3	143.70	13.0
MW1	149554.0	28708.0	582	550	268.93	313.07	182

Table 1.9 Description of the wells in the north area.

Well no.	X	Y	El., (m)	Well depth (m)	DTW (m)	Ground water level, m (a.m.s.l)	Top of Low permeability layer, m (a.m.s.l)
SG1	139702.0	43618.1	152.5	180	133.70	18.80	-27.50
SG2	139750.5	43637.2	154.0	183	140.10	13.90	-29.00
SG3	139735.8	43696.9	150.5	183	134.18	16.32	-32.50
SG4	139683.5	43714.3	150.5	183	133.70	16.80	-32.50
SG5	139659.8	43661.4	150.5	180	133.20	17.30	-29.50
SG6	139708.8	43667.1	151.0	180	133.40	17.60	-29.00
JJ1	143487.9	44284.6	176.4	211	164.04	12.36	-34.60
JJ2	143475.5	44330.8	172.8	211	160.50	12.30	-38.20
JJ3	143449.1	44383.2	173.4	210	167.60	5.80	-36.60
JJ4	143380.0	44381.7	172.4	210	157.30	15.10	-37.60
JJ5	143417.8	44341.7	173.4	210	163.06	10.34	-36.60
JJ6	143440.5	44297.2	175.5	210	164.70	10.80	-34.50
SK1	145099.1	47591.0	49.74	90.0	42.65	7.09	-38.26
SK2	145145.5	47596.0	54.75	100.0	47.01	7.74	-41.25
SK3	145143.8	47545.6	56.42	102.0	48.86	7.56	-38.58
SK4	145114.8	47500.6	56.88	102.0	50.9	5.98	-37.12
SK5	145069.1	47503.6	55.46	95.0	47.9	7.56	-39.54
SK6	145077.8	47549.9	50.95	90.0	43.48	7.47	-36.05
OD1	147178.0	47952.4	58.72	116.0	41.33	17.39	-57.28
OD2	147140.5	47944.5	58.12	145.0	42.95	15.17	-86.88
OD3	147099.5	47955.2	59.02	116.0	48.12	10.90	-56.98
OD4	147053.3	47978.5	57.98	143.0	41.30	16.68	-85.02
OD5	147121.4	48010.2	58.70	116.0	41.56	17.14	-57.30
OD6	147125.6	47976.6	58.29	120.0	42.20	16.09	-61.71
SA1	163527.4	52345.2	45.33	120	43.88	1.45	-74.67
SA2	163506.8	52357.6	46.09	120	44.52	1.57	-73.91
SA3	163532.7	52379.0	45.49	120	43.5	1.99	-74.51
SA4	163545.6	52379.0	44.68	120	42.47	2.21	-75.32
SA5	163573.9	52354.2	42.5	120	39.86	2.64	-77.5

Table 1.9 continued.

Well no.	X	Y	El., (m)	Well depth (m)	DTW (m)	Ground water level, m (a.m.s.l)	Top of Low permeability layer, m (a.m.s.l)
HO1	164001.7	52315.7	41.71	120	40.75	0.96	-78.29
HO2	164035.5	52326.9	41.8	120	40.86	0.94	-78.2
HO3	164074.0	52318.3	40.83	120	39.33	1.50	-79.17
HO4	164057.7	52284.3	40.97	120	39.95	1.02	-79.03
HO5	164020.1	52287.3	41.17	120	40.61	0.56	-78.83
HA1	170527.6	51928.5	69.65	100	68.12	1.53	-30.35
HA2	170553.0	51896.7	69.41	100	67.46	1.95	-30.59
HA3	170576.5	51842.0	70.83	100	68.5	2.33	-29.17
HA4	170447.9	51857.0	70.12	100	67.48	2.64	-29.88
HA5	170449.9	51921.7	70.85	100	68.99	1.86	-29.15
HA6	170507.8	51876.9	68.95	100	66.98	1.97	-31.05
SU1	172932.1	51903.5	82.26	110	80.38	1.88	-27.74
SU2	172895.9	51873.7	81.62	110	79.57	2.05	-28.38
SU3	172869.5	51895.3	80.68	110	77.96	2.72	-29.32
SU4	172863.8	51941.2	79.18	110	75.91	3.27	-30.82
SU5	172915.5	51951.1	80.70	110	78.35	2.35	-29.3
SU6	172894.8	51922.9	80.25	110	77.50	2.75	-29.75
YD1	151760.1	50626.5	38.2	170	35.6	2.6	-62.8
YD2	152131.3	47165.3	161.9	300	118.3	43.60	-48.10
NH	151796.7	44576.0	271.17	400	182	89.17	45.17
ES	152030.0	40910.0	615.15	550	326	289.15	163.15
SYA1	160823.8	53111.6	10.2	130	6.5	3.7	-79.8
SYA2	160760.4	50658.4	75.1	130	59.7	15.4	-56.9
HT1	168170.9	54978.3	21.1	150	18.5	2.6	-91.9
HT2	167975.6	53922.2	17.0	150	12.5	4.5	-78.0
F-165	167830.6	50783.8	140	168	134	6.00	-11
F-267	168327.7	47131.7	333	340	230	103.00	-7
F-264	168856.3	44188.5	442	330	282	160.00	112

2. 연구사

2.1 지하수 부존 연구

제주도의 지질 및 지하수에 대한 조사·연구는 일제강점기인 1921년부터 일본인 학자들에 의해 처음으로 지질조사가 이루어지기 시작하였고, 1937년에는 일본중앙공업시험소에 의해 제주도 지하수에 대한 기초조사가 이루어졌다. 해방 후 1960년대부터는 우리나라 학자들에 의해 지질과 지하수에 대한 조사·연구가 본격적으로 시작되었다. 1963~1965년까지 국립지질조사소(현 한국지질자원연구원)는 제주도 남부와 남동부지역에 대해 지질조사를 실시하였으며, 1965~1966년에는 (주)한국지하자원조사소가 제주도 전역에 대한 지질 및 지하수조사를 실시하였다(김옥준 외, 1965; 김옥준 외, 1966). 건설부에서는 1965년에 제주도 산업지 기초조사 및 고지대 용수이용계획수립을 위한 조사용역을 실시하였다.

남기영(1966)은 제주도 지하수를 상층부 지하수(High-level groundwater)와 기저지하수(Basal groundwater)로 분류하였다. 김옥준(1969)은 제주도의 지하수를 상부유동 지하수(High-level groundwater)와 기저지하수(Basal groundwater)로 구분하고, 기저지하수를 얻을 수 있는 최소의 심도를 제시하였다. 한편, 농업진흥공사(1971)는 제주도의 지하수 부존형태를 상위지하수와 기저지하수로 구분하였다. 고기원 외(1993)는 지하지질구조와 지하수의 산출상태에 따라 상위지하수, 기저지하수, 준기저지하수(상부 준기저, 하부 준기저), 기반암지하수의 5가지로 구분하였다. 산업기지개발공사(1981, 현 한국수자원공사)는 제주도의 지하수 부존형태에 상위지하수, 기저지하수와 함께 준기저지하수 개념을 도입하였다. 상위지하수는 부유지하수로서 다른 대수층과 광역적으로 연결되어 있지 않다(고기원, 1997). 준기저지하수는 담수대수층의 하한이 해수와 직접 접촉하지 않으며, 불투수층 또는 저투수층의 상위에 놓여있다(Won et al., 2006). 한편, 기저지하수는 대수층이 해수와 수리적으로 연결되어 있다.

산업기지개발공사(1981, 현 한국수자원공사)는 지하수 함양량을 제주도의 연간 총강우량(23.85억㎥)의 약 45%(15.42억㎥)로 추정하였다. 한편, 지하수 최대 이용가능량은 지하수 함양량의 70%(300만㎥/일), 경제적 이용가능량은 지하수 함양량의 47%(200만㎥/일)로 추정하였다. 특히, 이 조사에서 확인된 용천수는 모두 300개소이며, 용출량은 746,000㎥/일로 나타났다. 이 조사에 의하면 지하수의 수질은 전반적으로 극히 양호하나 동부해안 저지대의 용천수와 일부 관정에서 염분 농도가 허용기준을 초과하고 있으며, 동부지역에서는 해안으로부터 5㎞, 서부지역에서는 2㎞이상 내륙에서 대용량 지하수 관정개발이 가능할 것으로 제시되었다.

농업진흥공사(1981)는 제주도 지하수 개발현황과 전망에 대한 조사·분석에서 제주도의 지하수 부존량을 대략 650억㎥으로 그리고 개발 가능수량은 7.12억만㎥/년 정도로 추정하였다. 한국수자원공사(1993)는 제주도의 수자원 총량을 33.85억㎥/년, 증발량을 12.68억㎥/년(37%), 직접유출량을 6.5억㎥/년(19%), 지하수 함양량을 14.67억㎥/년(43%) 또는 400만㎥/일이라고 산정하였다. 농어촌진흥공사는 1989년 제주도 지하수 장기개발계획조사에서 제주도의 수자원이용가능 총량을 일일 평균 250만 ㎥으로 추정하였다. 제주도와 한국수자원공사(2003)는 3차년도 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사에서 토지이용 형태를 감안한 유효지하수 함양량 개념을 처음으로 도입하였으며, 제주도의 유효 지하수 함양량은 총 강우량의 46.1%(15.81억㎥/년), 지하수 적정개발량은 지하수 함양량의 40.8%(176.8만㎥/일)로 산정하였다. 한편, 최순학(1990)은 제주도 지하수의 수리화학적 특성에 관한 연구에서 해수면 상부에 부존하는 지하수의 부존량을 총 113억㎥, 연간 강수량으로부터 침투되는 지하수 함양량을 8.34억㎥/년으로 제시하였다.

2.2 수리지질 연구

제주도의 대수층은 양호한 투수성과 높은 저류계수를 가지므로 양수시 수위강하량이 작고 비양수량은 비교적 크게 나타난다. 기저지하수 부존지역에서는 양수량이 1000㎡/일 이상을 초과하여도 양수시작 10분 이내에 수위 강

하량이 1m 이내에서 안정되는 경우가 대부분이며(최병수, 1999), 비양수량 자료를 이용한 수리상수 추정방법이 주로 적용되고 있다(최병수, 1999; 제주도, 2003; Hamm et al.,. 2005). Hamm et al. (2005)는 117개 양수시험 자료로부터 Moench의 누수대수층 모델을 이용하여 제주도의 투수량계수(T)와 비양수량(Q/S)의 관계식($T = 0.99(Q/s)^{0.89}$)을 구하였다. 한편, 고기원(1997), Choi(1999), 제주도·한국수자원공사(2003)는 제주도의 대수층을 자유면대수층으로 해석하였다. 최순학(1990)은 제주도의 투수량계수를 10～20,000㎡/d (평균치 1,587㎡/d), 저류계수는 $1{,}939\times10^{-1}$, 수리전도도는 3.54×10^{-2}m/min, 평균 비양수량은 1,127㎥/일/m로 산정하였다.

하규철 외(2006)는 디스크 장력 침투계를 사용하여 제주도 중산간지역의 포화수리전도도를 산정한 결과, 포화수리전도도는 7.708～3.135cm/hr 로서 실트질 토양 내지 세립질 모래에 해당되었다. 박원배(1993)는 제주도 동부지역을 비롯하여 남·북부지역 및 서부지역의 총 11개의 관측정을 대상으로 지하수위와 수산1 관측정에 대한 심도별 지하수의 수질조성을 조사하여 제주도 지하수의 수위변동의 특성과 그 요인을 규명하였다. 박윤석 외(2002)는 제주도 동부지역에 설치된 해수침투 감시관측망을 대상으로 담-염수 경계면의 분포와 변동특성, 기저지하수의 내륙 쪽 분포경계, 동부지역 지하수의 수직적인 분포상태 등에 대해 자세하게 밝혔을 뿐만 아니라, 동부지역의 지하지질구조와 지하수 부존특성의 관계를 체계적으로 연구하였다.

정차연(2002)은 제주도 서부해안지역에서는 용암류들과 그 사이에 협재된 이질 쇄설성 퇴적층이 지하 심부의 대수층으로 해수가 침입되지 않도록 막아주는 모암(cap rock)의 역할을 하고 있다고 하였다. 원종호(2004)는 10년간의 수문학적 및 수리지질학적 자료를 토대로 제주도 지하수자원의 부존형태와 대수층의 수리적 특성을 분석하고, 지하수 물수지에 의한 적정개발량을 평가하였다. 한정상 외(1994)에 의하면 제주도는 주로 현무암 내에 협재된 화산쇄설층, 클링커층, 현무암의 1차, 2차 유효공극이 주대수층의 역할을 하며, 이들은 기저, 준기저 및 상위대수층으로 구성되어 있다고 하였다.

2.3 동부지역의 고염분 연구

1980년도 이후부터 제주도 동부지역 지하수의 고염분 원인 연구가 수행되었으며, 최순학(1988), 최순학과 김영기(1989), Choi et al., (1991), 농어촌진흥공사(1989), 박남식과 이용두(1997), 고병련(1998), 김경훈(1998), 김지영(2000)은 동부지역의 고염분 원인을 지하수의 과잉양수에 의한 해수침입 현상으로 보았다. 윤정수(1986)는 토양 및 사구층 내에서 염분의 용해 및 침투에 의해서 고염분 현상이 일어난다고 하였다. 한편, 고기원 외(1993, 1994, 1997), 윤선 외(1994), 제주도·한국수자원공사(1993)는 제주도 형성 당시부터 지질학적으로 해수가 침입할 수 있는 자연적인 현상으로 해석하였다. 고기원(1991)은 시추코아의 지질검층 및 기존자료 분석을 통하여 제주도 지하수위는 일차적으로 지형적인 요인에 의해 지배되나 서귀포층의 지하분포 상태가 지하수위를 결정짓는 이차적인 요인으로 규정하고, 서귀포층이 지하수를 저장하고 있는 거대한 차수벽과 같은 역할을 한다고 하였다. 한편, 고기원 외(1992)는 제주도 동부지역의 지하지질구조와 지하수위 및 수질특성에 관한 연구에서 동부지역 지하수의 고염분 원인을 수문지질구조적인 관점에서 해석하였다.

부성안(2000)은 제주도 동부지역에서 해수가 내륙 깊숙이 침투하는 원인을 낮은 지하수위로 인해 갈수기 때 자연적인 수위하강과 용수 과다 사용으로 인한 과잉양수, 점성이 낮은 침상장석감람석현무암의 분출로 인하여 생성된 이차 구조를 따라 지하수가 매우 잘 유동할 수 있는 지질적인 조건, 저투수성 미고결퇴적층이 해수면 아래 분포하고 있어 해수유입을 효과적으로 차단하지 못하는 등 복합적인 원인으로 판단하였다.

김구영 외(2005)는 제주도 동부 해안지역의 해수침투감시관측망 3개공에서 지하수 유향, 유속이 지층별로 다르며, 일부 구간에서는 동일 심도에서 조석의 영향에 의해 지하수 유향, 유속이 변화함을 밝혔다. 이봉주 외(2006)는 제주 동부지역 17개 해수침투 감시정의 지하수위 자료와 성산포 검조소의 조석자료를 이용하여 조석 효율과 수리확산계수를 추정하였다. 이에 의하면 해양조석 영향의 한계거리는 한동 7.8㎞, 종달 7.5㎞, 수산 5.9㎞, 하천지역이 4.2㎞였으며, 수리확산계수는 $2.5\times10^{7}\sim7.5\times10^{7}$㎡/d의 범위를 보였다.

2.4 지하수 연령 연구

Davis 외(1970)는 한국원자력연구소, 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency ; IAEA)와 함께 24개소(용천수 14개소, 관정 8개소, 하천 2개소)의 물시료에 대해 삼중수소·이중수소·산소 동위원소 분석을 실시하였으며, 이로부터 제주도 지하수의 평균 체류기간을 2~9년(고지대의 용천수의 평균 체류기간은 2~2.5년, 중산간지역의 용천수는 3~7.5년, 해안 용천수는 8.5년으로 산정하였다. 제주발전연구원(2001)에 의하면, 지하수의 연령은 2년～53년(평균연령 16년)이며, 전반적으로 고지대 및 중산간지역에서 해안지역으로 갈수록 높아지는 경향을 보여 준다고 하였다. 또한, 지역적으로는 남부지역이 가장 낮은 연령을 보이며, 동부지역, 북부지역, 서부지역 순으로 연령이 높아지는 것으로 보고하였다.

이광식 외(2004)에 의하면, 제주도의 남측 사면의 용천수에서는 용존이온 농도가 서서히 증가하는 경향을 보이며, 북측 사면의 용천수에서는 용존이온 농도가 고도 증가에 따라 점진적인 증가를 보이지만 약 300m 부터는 급격히 증가하였다. 용천수의 산소 동위원소 조성이 계절적으로 약 3‰, 해안가에서는 약 2‰의 변화폭을 보였다. 해안가에서의 낮은 변화폭은 고지대에서 저지대로 흐르는 지하수가 다른 지하수와의 혼합작용으로 인한 것으로 해석하였다. 한편, 고동찬 외(2007)는 CFCs를 이용하여 지하수 연령을 15～25년으로 산정하였다.

2.5 지하수 오염 연구

한국동력자원연구소(1990)는 지하수의 오염여부를 K, NO_3, SO_4의 농도에 따라 판별하였으며, Mg와 Ca의 비율을 이용하여 해수침입 여부를 확인하였다. 윤정수와 박상운(1994)은 제주도 지하수의 오염도가 초기 개발시보다 점차 높아지고 있다고 보고하였다. 고동찬과 김용제(2004)는 ^3H와 CFC-12의 비교로부터 지하수 중 상당수가 오래된 지하수와 젊은 지하수의 혼합체로 구성되어 있는 것으로 보고하였으며, 상당량의 NO_3가 다량의 화학비료로부

터 유래하고 있어서 지하수 수질 보호를 위해서는 화학비료 사용의 적절한 조절이 필요하다고 강조하였다. 고동찬 외(2007)에 의하면, 제주도 지하수의 주요 양이온, SiO_2는 10% 이내의 변동폭을 보여 계절적인 변화가 크지 않았지만, NO_3, 용존산소(DO) 등은 비교적 큰 변동을 보였다.

현승규(2001)는 지하 옹포천 유역 지하수의 질산성질소 오염원 연구에서 해발 100m 이하의 지역은 주로 생활하수에 의한 오염의 영향을 받고, 해발 100m 이상의 지역은 화학비료와 축산분뇨의 영향을 주로 받고 있다고 하였다. 현익현(1996)은 질소동위원소 분석을 통하여 제주도 지하수내 질산성질소(NO_3-N)의 오염원을 자연토양, 화학비료, 생활하수, 축산폐수 등의 4가지로 분류하였다. 고동찬 외(2006)는 제주도 지역의 공공관정의 담지하수내 미량원소는 먹는물 수질기준에 비해 낮은 수준을 보인다고 보고하였다. 고동찬 외(2008)에 의하면, 제주도의 대부분 지하수는 TDS가 150mg/l 이하이나, 일부 지하수는 확연히 높은 용존이온 농도와 Na-HCO_3의 수질유형, 그리고 지표기원의 오염 영향을 보이지 않는다.

3. 양수시험분석 이론

3.1 양수시험분석 배경

양수시험 자료의 분석은 대수층의 수리상수 결정 뿐만 아니라 대수층의 수직적, 수평적인 규모와 대수층의 형태에 관한 정보를 제공한다. 지질구조 정보를 알고 있을 때는 현장 조건에 적합한 양수시험 해석모델을 선정할 수 있으며, 수리상수 산정도 용이하다(강래수 외, 2003). 그러나 균열이 발달되어 있는 암반대수층에서 양수시험 자료의 분석을 행할 때는 실제 현장조건에 가장 잘 맞는 대수층 모델을 결정하기가 어려운 경우도 있다. 왜냐하면, 암반대수층에서 불연속면(단층, 균열)의 연장, 빈도, 연결성, 교차성, 방향성, 경사, 불연속면의 성질(간극의 변화 정도, 거칠기, 충전물질 등) 등의 다양한 인자가 지하수 유동을 지배하기 때문이다. 따라서, 암반대수층에서는 균열이나 단층의 발달 상태에 따라 2차원 방사상 모델인 Theis 식이 잘 들어맞지 않는 경우가 많으며, 이런 경우에는 암반대수층에 적합한 모델을 선정하여야 한다.

많은 양수시험 해석모델(Theis, 1935: Hantush, 1960, 1962; Hantush-Jacob, 1955; Moench, 1985; Neuman-Witherspoon, 1969; Gringarten-Witherspoon, 1972; Gringarten-Ramey, 1974: Moench, 1984)은 연속체 모델로서 균열암반을 수리지질학적으로 균등하고 다공질 매체로 가정한다. Theis(1935) 식은 등방성이고 균질한 완전피압대수층을 관통하는 양수정으로부터 지하수를 양수할 때 적용하는 식으로서 양수정의 우물반경이 미소하다고 가정한 식이다. Papadopulos-Cooper(1967) 식은 완전피압대수층에 적용하는 식으로서 양수정의 우물반경을 고려한 식이다. Hantush-Jacob(1955) 식은 누수피압대수층에서 양수정을 통하여 지하수를 양수할 때 적용하며, 이때 누수층의 저류성은 0으로 가정한다. Hantush(1960) 식은 준대수층(누수층)의 저류성이 있다고 가정할 때 누수피압대수층에서의 양수시험 해석방법이다. Moench(1985)의 식은 우물손실과 우물저장 효과를 고려하는 누수피압대수

층의 양수시험방법이다. 이때, 준대수층(누수층)은 대수층의 아래와 위에 위치하고 있으며 누수층이 일정수두경계를 가지는 경우(Case 1), 상·하의 준대수층이 불투수경계를 가지는 경우(Case 2), 그리고 상부 준대수층이 일정수두경계, 하부 준대수층이 불투수경계를 가지는 경우(Case 3)가 있다.

Neuman-Witherspoon(1969) 식은 중간에 준대수층에 의해 서로 분리되어 있는 상·하의 두 대수층에 적용하며, 양수정은 두 대수층 중 하부 대수층(피압대수층)만을 완전 관통하고 있으며, 준대수층내의 저류계수를 고려한다. 또한, 양수를 하지 않는 상부 대수층에서의 수두강하를 고려할 수 있다. Gringarten-Witherspoon(1972) 식은 유한한 길이의 수직 균열이 피압대수층을 관통하는 경우에 수직균열의 중앙부에 위치하는 양수정으로부터 지하수를 양수할 때의 해석식이다. 한편, Gringarten-Ramey(1974) 식은 피압대수층 내에 유한한 범위의 원판상의 수평균열이 존재하고 이 수평균열의 중심에 위치하는 양수정으로부터 지하수를 양수할 때의 수위하강식이다.

불연속체 모델(Anderson et al., 1984; Long et al., 1985; Long and Billaux, 1987; Cacas et al., 1990a, 1990b)은 개개 균열을 지하수 흐름의 영역으로 보고, 관찰되지 않은 균열들에 대한 정보는 추계론적 기법으로 해석한다. 여러 조의 균열을 따라서 일어나는 지하수 흐름을 해석하기 위해서는 개개 균열의 연장, 방향성, 경사, 빈도, 균열면의 성질뿐만 아니라 균열과 균열간의 연결성과 교차성 등도 고려하여야 한다.

지하수유동을 프랙탈 차원으로 해석하는 프랙탈 모델(Barker, 1988; Chang and Yortsos, 1988; Hamm and Bidaux, 1994a, 1994b, 1996; Acuna and Yortsos, 1995; 함세영, 1997; Jones, 2001)은 불연속체 모델보다는 단순화된 모델이지만 연속체 모델보다는 균열암반을 현실에 보다 가깝게 모사한 모델이다. 암반 균열의 형태에 관한 프랙탈 이론(Allègre et al., 1982; Thomas, 1987; Velde et al., 1991)은 비슷하게 규모에 관계없이 반복되는 자기 유사성(self-affinity)을 가지는 프랙탈 차원의 균열분포로 되며, 지하수유동의 프랙탈 모델도 이와 비슷하다. 또한 균열암반내 지하수 유동은 균열의 특성에 따르므로 균열 암반의 프랙탈 이론과 지하수 유동의 프랙탈 모델은 서로 연관된다. 삼투이론(percolation theory)에 따르면, 균열들 중에서 지하수 유동

과 관련되는 것은 일부이며, 수리적 연결성은 유로의 굴곡비가 증가에 따라 삼투 한계값(percolation threshold)으로 가까이 감에 따라 작아진다(Sahimi, 1995). 이와 같이 균열계는 삼투에만 관련되는 것이 아니고, 여러 가지 균열(전단균열이나 인장균열 등)과도 관련된다(Acuna and Yortsos, 1995). 따라서, 모든 균열이 지하수유동에 관련되는 것은 아니므로 지하수 유동의 프랙탈 차원과 균열대의 프랙탈 차원은 꼭 서로 일치하지는 않는다. Jones (2001)는 여러 종류의 불균질 암반의 양수시험분석에서 균열대의 양상에 따른 분할유동차원을 적용하였다. 통합 프랙탈 모델(Barnsley, 1988; Acuna and Yortsos, 1995)에 의하면, 반복 함수 시스템(iterated function system)에 의한 균열망은 단순한 형태의 균열로부터 시작되어 반복적으로 세분화되고 일부는 균열화되지 않고 그대로 남아 있는다. Barker의 해(1988)는 Acuna and Yortsos(1995)의 통합 프랙탈 모델의 한 특수해로서 수리전도도지수(conductivity index, Θ)가 0인 경우이다. 수리전도도지수는 프랙탈망의 수리전도도와 관련되며 정상적인 프랙탈망에서 벗어나는 편차를 나타낸다. 만약, Θ > 0이면, 수리분산지수(hydraulic diffusivity)가 위치에 따라 달라지게 되고, Θ가 0에 가까워지면, 프락탈망의 연결성이 좋아지게 된다.

본 연구에서는 제주도의 양수시험자료에 가장 적합하다고 판단되는 Moench(1985) 식, Hantush & Jacob(1955) 식, Hantush(1960) 식, 자유면대수층과 피압대수층의 Theim 식, Theis 식을 이용하여 양수시험분석을 실시하였다. 양수시험분석에는 HydroSOLVE Inc. 사의 AQTESOLV (Version 3.0) 소프트웨어를 사용하였다.

3.2 Moench(1985) 모델

제주도 화산암의 양수시험 결과를 보면, 양수 후 몇 시간 이내에 지하수위가 안정화되며, 이는 준대수층(aquitard)으로부터의 누수(leakage)에 의한 것이다(Hamm et al. 2005). 따라서 본 연구의 양수시험분석에는 주로 Moench(1985) 모델을 적용하였다. 그러나, 지하수위가 빠른 시간에 안정화

되면 Hantush & Jacob(1955) 식과 Hantush(1960) 식에 의한 누수대수층 모델이나 평형식인 Thiem 식을 적용하였다. Moench(1985) 모델은 우물손실(wellbore skin)과 우물저장(wellbore storage)을 고려하며 준대수층으로부터의 누수를 포함하는 누수 피압대수층(Leaky confined aquifer)이다. 본 모델의 가정에 의하면, 대수층은 누수층이며, 무한대로 분포하고 일정한 두께를 가지면서 균질, 등방성이다. 양수정은 완전 관통정(fully penetrating well)이면서 양수정으로의 지하수위 흐름은 수평이며, 대수층내의 지하수의 흐름은 부정류이다. 또한 수두강하에 따른 대수층으로부터의 지하수 유출은 즉각적으로 일어난다. 대수층의 범위는 횡적으로 무한하고, 일정한 두께를 가지며 저류계수와 투수량계수, 수직 수리전도도는 일정하다. 또한 준대수층 내에서는 수직방향의 흐름이 발생한다. Moench(1985) 모델에서 누수층은 대수층의 위와 아래에 위치하고 있으며 상부 누수층의 상위와 하부 누수층의 하위에 일정수두경계를 가지는 경우(Case 1), 상부 누수층의 상위와 하부 누수층의 하위에 불투수경계를 가지는 경우(Case 2), 그리고 상부 누수층의 상위에 일정수두경계, 하부 누수층의 하위에 불투수경계가 위치하는 경우(Case 3)가 있다(Fig. 3.1). Moench(1985) 모델의 이론식은

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S_S}{K}\frac{\partial h}{\partial t} + w' - w'', \quad r > r_w \tag{3.1}$$

여기서, h는 피압대수층의 지하수위(L), r은 양수정으로부터의 거리(L), S_s는 비저유율(L^{-1}), K는 수리전도도(L/T), w'는 상부 누수층으로부터의 누수율(L^{-1}), w''는 하부 누수층으로부터의 누수율(L^{-1}), r_w는 양수정의 반경(L), t는 양수시간(T)이다(Fig. 3.1).

$$w' = -\frac{K'}{Kb}\left(\frac{\partial h'(r,t)}{\partial z}\right)_{z = b'' + b} \tag{3.2}$$

$$w'' = -\frac{K''}{Kb}\left(\frac{\partial h''(r,t)}{\partial z}\right)_{z = b''} \tag{3.3}$$

여기서, K'는 상부 누수층의 수직방향의 수리전도도(L/T), K''는 하부 누수층의 수직방향의 수리전도도(L/T), b는 피압대수층의 두께(L), b''는 하부 누수층의 두께(L), h''는 하부 누수층의 지하수위(L), z는 하부누수층 바닥으로

부터 상부쪽으로의 거리(L)이다.

초기 조건은,

$$h = h_{i'} \quad r > r_w \tag{3.4}$$

경계 조건은

$$h = h_{i'} \quad r = \infty \tag{3.5}$$

$$2\pi r_w K b \left(\frac{\partial h}{\partial r} \right)_{r = r_w} = Q + C \frac{\partial h_w}{\partial t}, \quad r = r_w \tag{3.6}$$

이다. h_i는 양수이전의 피압대수층의 초기수위(L), Q는 양수량(L^3/T), h_w는 양수정의 지하수위(L), C는 우물저장계수(L^2)이다. 양수정의 지하수위 h_w는

$$h_w = h - r_w S_w \left(\frac{\partial h}{\partial r} \right)_{r = r_w} \tag{3.7}$$

와 같다. 여기서, S_w는 우물손실계수(무차원)이다.

상부 누수층의 지하수흐름식은

$$\frac{\partial^2 h'}{\partial z^2} = \frac{Ss'}{K'} \frac{\partial h'}{\partial t}, \quad b'' + b \le z \le b'' + b + b' \tag{3.8}$$

로 표현된다. 여기서, h'는 상부 누수층의 지하수위(L), K'는 상부 누수층의 수직방향 수리전도도(L/T), S_s'는 상부 누수층의 비저유율, b'는 상부 누수층의 두께(L), b''는 하부 누수층의 두께(L)이다.

상부 누수층의 지하수흐름식의 초기 경계 조건은,

$$h' = h_i', \quad b'' + b \le z \le b'' + b + b' \tag{3.9}$$

상부 누수층의 하부 경계 조건은,

$$h' = h, \quad z = b'' + b \tag{3.10}$$

상부경계 조건은 상부경계가 일정수두 조건이면,

$$h' = h_i', \quad z = b'' + b + b' \tag{3.11}$$

이고, 상부경계가 불투수 조건이면

$$\frac{\partial h'}{\partial z} = 0, \quad z = b'' + b + b' \tag{3.12}$$

이다. 여기서, h_i'는 양수이전의 상부 누수층의 초기수위(L)이다.

하부 누수층의 지하수흐름식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 h''}{\partial z^2} = \frac{Ss''}{K''} \frac{\partial h''}{\partial t}, \quad 0 \le z \le b'' \tag{3.13}$$

여기서, h''는 하부 누수층의 지하수위(L), K''는 하부 누수층의 수직방향 수리전도도(L/T), S_s''는 하부 누수층의 비저유율이다.

하부 누수층의 초기 조건은,

$$h'' = h_i'', \quad 0 \le z \le b'' \tag{3.14}$$

상부경계 조건은,

$$h'' = h, \quad z = b' \tag{3.15}$$

이다. 여기서, h''는 하부 누수층의 지하수위(L), h_i''는 양수이전의 하부 누수층의 초기수위(L)이다. 한편, 하부경계 조건은 하부경계가 일정수두 조건이면,

$$h'' = h_i'', \quad z = 0 \tag{3.16}$$

이고, 불투수 조건이면,

$$\frac{\partial h''}{\partial z} = 0, \quad z = 0 \tag{3.17}$$

이다.

위의 방정식들은 무차원의 방정식으로 변환시키면, 무차원의 피압대수층의 지하수위는

$$h_D = \frac{4\pi Kb}{Q}(h_i - h) \tag{3.18}$$

무차원의 양수정의 지하수위는

$$h_{wD} = \frac{4\pi Kb}{Q}(h_i - h_w) \tag{3.19}$$

무차원의 상부 누수층의 지하수위는

$$h_D' = \frac{4\pi Kb}{Q}(h_i' - h') \tag{3.20}$$

무차원의 하부 누수층의 지하수위는

$$h_D'' = \frac{4\pi Kb}{Q}(h_i'' - h'') \tag{3.21}$$

이다. 그리고 무차원의 시간은

$$t_D = \frac{Kt}{S_s r_w^2} \tag{3.22}$$

무차원의 거리는

$$r_D = r/r_w \tag{3.23}$$

상부 누수층의 바닥으로부터의 거리(무차원)는

$$z_D' = (z - b'' - b)/b' \tag{3.24}$$

하부 누수층의 바닥으로부터의 거리(무차원)는

$$z_D'' = (b'' - z)/b'' \tag{3.25}$$

무차원의 우물저장계수는

$$W_D = C/2\pi r_w^2 S_s b \tag{3.26}$$

이다. (18)－(21)식을 라플라스 변환하여 해를 구하면, 양수정에서의 지하수위(무차원의) 해는

$$\overline{h_{wD}} = \frac{2[K_0(x) + xS_w K_1(x)]}{p\{pW_D[K_0(x) + xS_w K_1(x)]\}} \tag{3.27}$$

이다. 여기서, p는 라플라스 연산자이며, $x = (p + \overline{q})^{1/2}$이다. 그리고 $K_0(x)$와 $K_1(x)$는 각각 0차수의 2종 변형베셀함수와 1차수의 2종 변형베셀함수이다. 그리고, 피압대수층의 지하수위(무차원)의 해는 다음과 같다.

$$\overline{h_D} = \frac{2K_0(r_D x)}{p\{pW_D[K_0(x) + xS_w K_1(x)] + xK_1(x)\}} \tag{3.28}$$

$\overline{q}$는 라플라스 변환된 누수층에서부터 대수층으로의 유동을 나타내는 매개변수이며, (3.5)식과 (3.10)식을 풀어서 구하게 된다. 누수층내의 어떤 지점의 무차원 수두값은 방정식 (3.8), (3.9), (3.13), (3.14)의 경계조건아래에서 구하게 된다. $\overline{q}$, 상부 누수층의 무차원 수두($\overline{h_D}'$), 하부 누수층의 무차원 수두($\overline{h_D}''$)의 라플라스 변환해는 Hantush (1960)에 의해 제안된 3가지 경우로 표현된다.

Case 1, 즉 상부 누수층의 상위와 하부 누수층의 하위에 일정수두경계를 가지는 경우:

$$\overline{q} = (\chi')^2 m' \coth(m') + (\chi'')^2 m'' \coth(m'') \quad (3.29a)$$

$$\overline{h_D}' = \overline{h_D} \sinh[(1 - z_D')m'] / \sinh(m') \quad (3.29b)$$

$$\overline{h_D}'' = \overline{h_D} \sinh[(1 - z_D'')m''] / \sinh(m'') \quad (3.29c)$$

Case 2, 즉 상부 누수층의 상위와 하부 누수층의 하위에 불투수경계를 가지는 경우:

$$\overline{q} = (\chi')^2 m' \tanh(m') + (\chi'')^2 m'' \tanh(m'') \quad (3.30a)$$

$$\overline{h_D}' = \overline{h_D} \cosh[(1 - z_D')m'] / \cosh(m') \quad (3.30b)$$

$$\overline{h_D}'' = \overline{h_D} \cosh[(1 - z_D'')m''] / \cosh(m'') \quad (3.30c)$$

Case 3, 즉 상부 누수층의 상위에 일정수두경계, 하부 누수층의 하위에 불투수경계가 위치하는 경우:

$$\overline{q} = (\chi')^2 m' \coth(m') + (\chi'')^2 m'' \tanh(m'') \quad (3.31a)$$

$$\overline{h_D}' = \overline{h_D} \sinh[(1 - z_D')m'] / \sinh(m') \quad (3.31b)$$

$$\overline{h_D}'' = \overline{h_D} \cosh[(1 - z_D'')m''] / \cosh(m'') \quad (3.31c)$$

여기에서,

$$m' = \frac{(\sigma' p)^{1/2}}{\gamma'}, \quad m'' = \frac{(\sigma'' p)^{1/2}}{\gamma''}$$

$$\gamma' = r_w \left(\frac{K'}{Kbb'} \right)^{1/2}, \quad \gamma'' = r_w \left(\frac{K''}{Kbb''} \right)^{1/2}$$

$$\sigma' = \frac{S_s' b'}{S_s b}, \quad \sigma'' = \frac{S_s'' b''}{S_s b}$$

이다. 한편, σ'와 γ'는 누수대수층 모델인 Hantush(1960) 식의 β, Hantush & Jacob(1955) 식의 r/B와 연관된다. 즉,

$$\beta = \frac{\gamma'}{4} (\sigma')^{1/2} r_D', \quad r/B = \gamma' r_D$$

(3.30b), (3.30c), (3.31b), (3.31c), (3.32b), (3.32c)식들은 각각 Case1, Case 2, Case 3의 상부 누수층과 하부 누수층내의 임의의 지점에서의 이론적인 수두를 나타낸다. 누수층내의 평균 수리전도도는 누수층의 수직구간에 대해서 적분하고 그 구간의 길이로 나누어 줌으로써 간단히 구할 수 있다. 예를 들어, (3.30b)식의 평균 수리 수두는 다음과 같다.

$$(\overline{h_D'})_{ave} = \frac{\overline{h_D} \{ \sinh[(1 - z_{D2}')m'] - \sinh[(1 - z_{D1}')m'] \}}{(z_{D1}' - z_{D2}) m' \cosh(m')}$$

(3.32)

여기서, z_{D2}'와 z_{D1}'은 각각 스크린의 꼭대기와 바닥을 나타낸다.

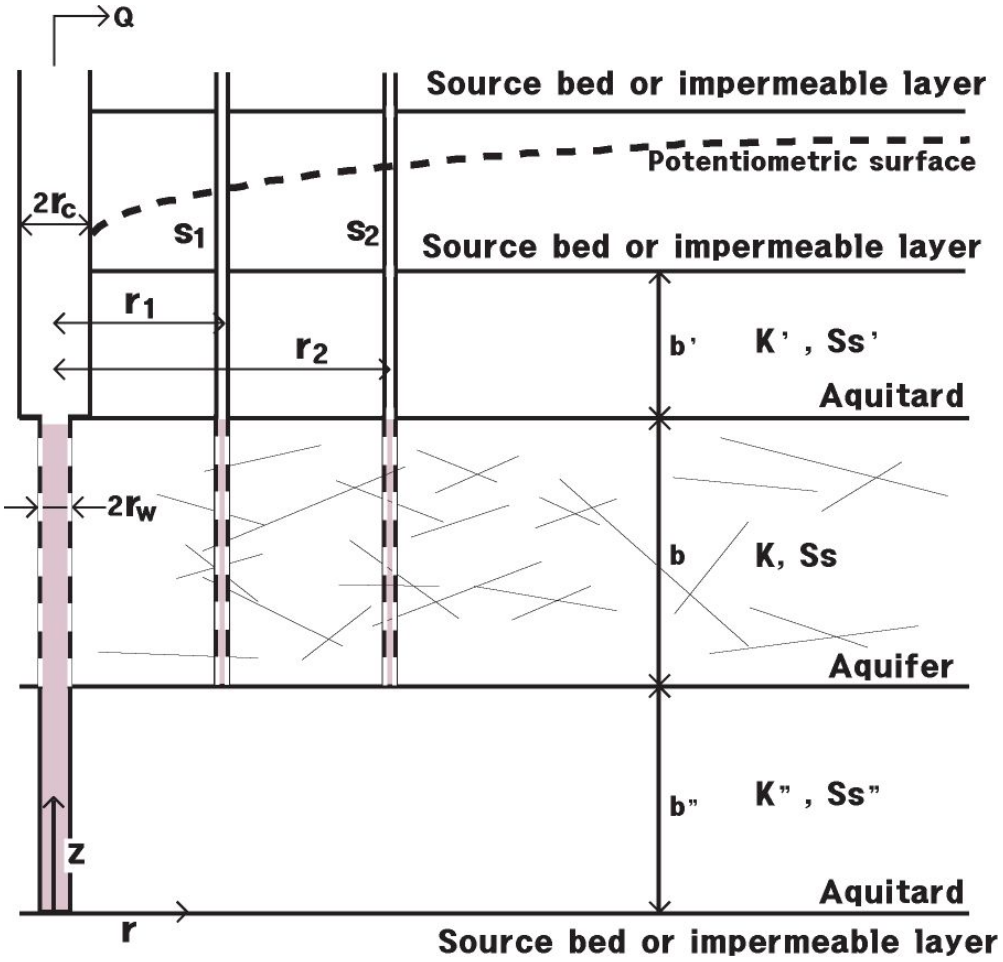


Fig. 3.1 Schematic presentation of Moench model for a leaky aquifer with source beds or impermeable layers at the top and bottom of aquitards.

3.3 Hantush & Jacob(1955) 식

피압대수층의 상부 또는 하부에 누수층이 존재할 때, 누수층으로부터 피압대수층에 공급되는 지하수의 양은 누수층과 피압대수층간의 수두차에 비례한다. Hantush & Jacob(1955) 식은 상부 누수층의 지하수위가 일정하고

저류성이 0이라고 가정한다(Fig. 3.2). 그 외 가정은 Theis식의 가정과 같다. 이때 피압대수층내 지하수 흐름식은

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r} - \frac{h}{B^2} = \frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t} \tag{3.43}$$

과 같다. 여기서, h는 피압대수층의 지하수위(L), r은 양수정으로부터의 거리(L), S는 저류계수(무차원), T는 투수량계수(L^2/T), r은 양수정으로부터의 거리(L), t는 양수시간(T)이다. 그리고 B는 누수계수(leakage factor, L^2)로서 $B=(Tb'/K')^{1/2}$와 같다. 여기서, K'는 누수층의 수직방향의 수리전도도(L/T), b'는 누수층의 두께(L)이다. (3.44)식으로부터 피압대수층의 수위강하(s)는

$$s = h_i - h = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B) \tag{3.44}$$

과 같다(Hantush, 1956). 여기서, h_i는 양수이전의 피압대수층의 초기수위(L), Q는 양수량(L^3/T),

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \tag{3.45}$$

이고, 우물함수는

$$W(u, r/B) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-y-\frac{r^2}{4B^2 y}}}{y} dy \tag{3.46}$$

이다. (4.45)식으로부터, 피압대수층의 투수량계수는

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u, r/B) \tag{3.47}$$

이고, 저류계수는 (4.46)식으로부터

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \tag{3.48}$$

가 된다. 그리고 누수층의 수직방향의 수리전도도(L/T)는

$$K' = [Tb'(r/B)^2]/r^2 \tag{3.49}$$

이다.

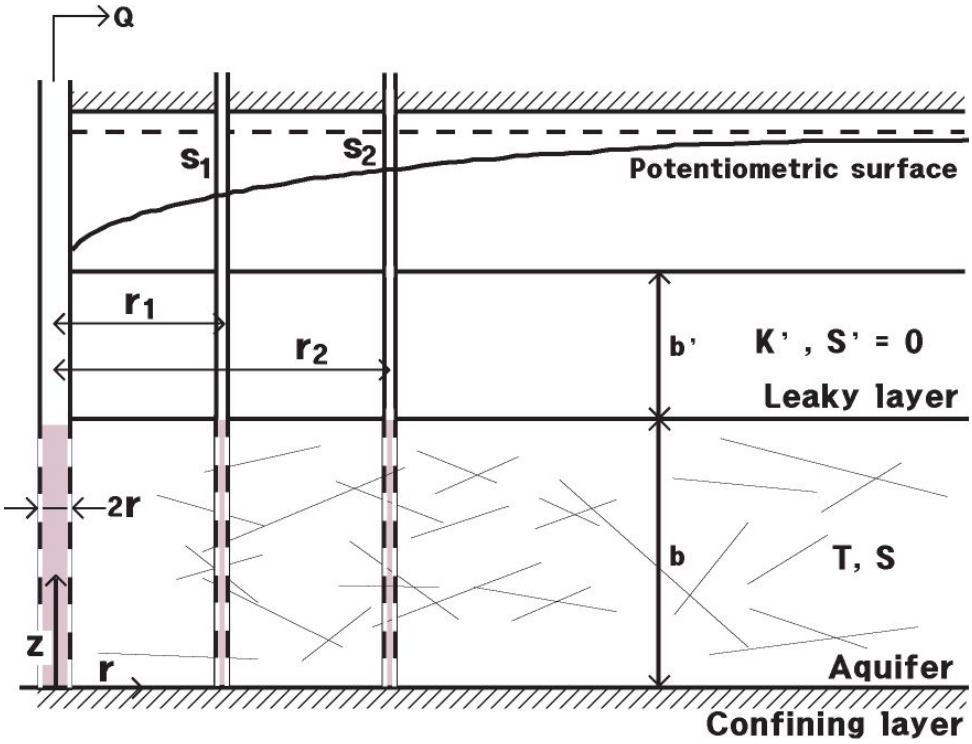


Fig. 3.2 Schematic presentation of leaky confined aquifer with no storage in leaky layer.

3.4 Hantush(1960) 식

Hantush(1960) 식은 누수층에서는 수위강하가 일어나지 않으며 누수층의 저류성이 있다고 가정한다(Fig. 3.3). 다만 가압층의 저류계수가 0이 아니고, 가압층의 수위강하가 일어나지 않는다는 가정은 양수경과시간이 커지면 수위강하의 오차를 가져오는 가정이다(Neuman과 Witherspoon, 1969). 그 밖의 Hantush(1960) 식의 가정은 Theis 식과 같다. 이때, 피압대수층으로부터 지하수를 양수하면, 양수초기에 지하수의 일부가 누수층으로부터 유래한다.

Hantush(1960) 식은 양수시간(t)이 비교적 짧은 경우($t < S'b'/10K'$)에만 적용될 수 있으나, 가압층의 저류계수를 구할 수 있으므로 Hantush & Jacob(1955) 식보다 더 유용하다.

수위하강(s)은 최초수위(h_0)에서 양수에 의한 수위(h)를 뺀 것으로서

$$s = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} H(u, \beta) \tag{3.50}$$

와 같다. 여기서,

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \tag{3.51}$$

이고

$$H(u, \beta) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} erfc\left\{\frac{\beta u^2}{y(y-u)^{1/2}}\right\} dy \tag{3.52}$$

$$\beta = \frac{r\lambda}{4} \tag{3.53}$$

이다. 그리고

$$\lambda = \left[\left(\frac{K'}{Tb'}\right)\left(\frac{S'}{S}\right)\right]^{1/2} + \left[\left(\frac{K''}{Tb''}\right)\left(\frac{S''}{S}\right)\right]^{1/2} \tag{3.54}$$

이다. 만약 $K''<<K'$이고 S'와 S''가 크게 다르지 않다면, 즉 K'S'>>K''S''라면,

$$\lambda = \left[\left(\frac{K'}{Tb'}\right)\left(\frac{S'}{S}\right)\right]^{1/2} \tag{3.55}$$

이다.

(3.50)식으로부터 투수량계수 T는

$$T = \frac{Q}{4\pi s} H(u, \beta) \tag{3.56}$$

이고, 저류계수 S는 (3.51)식으로부터 구해진다.

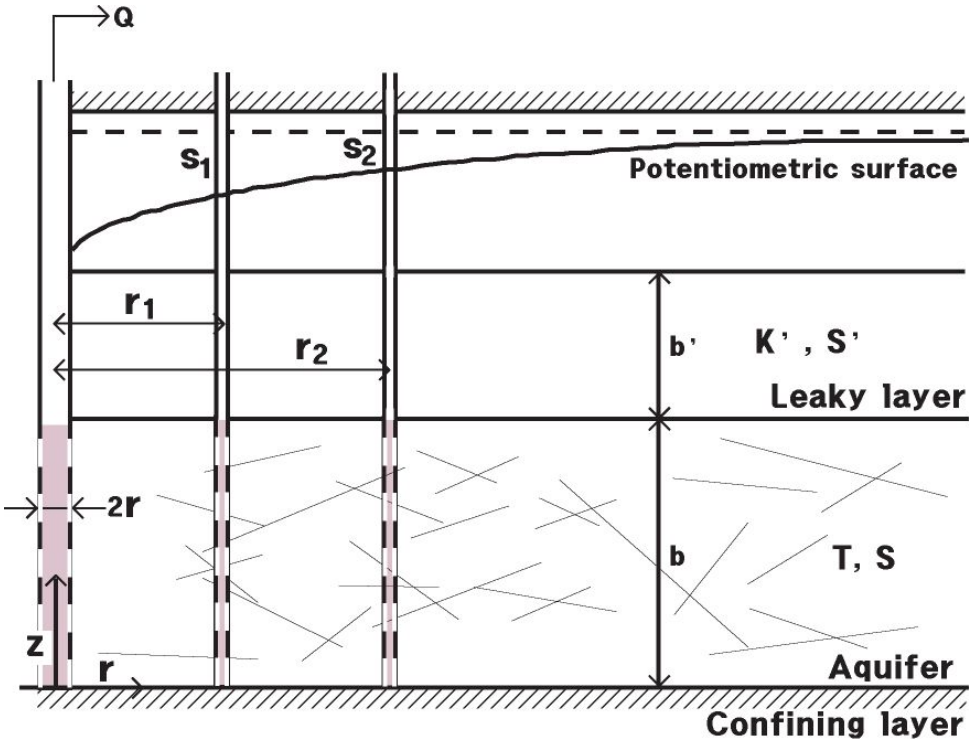


Fig. 3.3 Schematic presentation of leaky confined aquifer with storage in leaky layer.

3.5 Thiem 식

3.5.1 피압대수층에 대한 Thiem 식

Thiem 식은 양수정에서의 수위하강율이 매우 느려서 거의 0에 가깝다고 가정한 것이다. 이러한 가정은 보통 양수시작 후 오랜 시간이 경과했을 때 성립하지만, 제주도와 같이 투수량계수가 크고 대수층의 규모가 큰 경우에는 보통 1시간이내에 지하수위가 평형상태에 도달한다. 그러나, Thiem 식은 평형상태 즉, 정상류 상태를 가정한 것이므로 저류계수를 구할 수 없다.

균질하고 등방성인 피압대수층을 완전 관통하는 우물(fully penetrating

well)로부터 지하수를 양수할 때(Fig. 3.4), Darcy의 법칙으로부터 양수량 (L^3/T) Q는

$$Q = 2\pi rbK\frac{dh}{dr} \tag{3.57}$$

이다. 여기서, h는 피압대수층의 지하수위(L), r은 양수정으로부터의 거리(L), K는 수리전도도, b는 피압대수층의 두께이다. (3.34)식을 적분하면

$$h = \frac{Q}{2\pi Kb}\ln r + C_2 \tag{3.58}$$

따라서, $C_1 = \frac{Q}{2\pi Kb}$ 이다. (3.58)식에 경계조건 $h = h_w$(양수정의 수위), $r = r_w$(양수정의 반경)를 대입하면,

$$C_2 = h_w - \frac{Q}{2\pi Kb}\ln r_w \tag{3.59}$$

이다. 따라서, (3.58)식은

$$h - h_w = \frac{Q}{2\pi Kb}\ln(r/r_w) \tag{3.60}$$

(3.60)식으로부터, 투수량계수(T)는

$$T = \frac{Q}{2\pi(h - h_w)}\ln(r/r_w) \tag{3.61}$$

와 같이 된다. 단일공의 양수시험 자료를 이용하여 투수량계수를 구하고자 할 때는 영향반경(r_e)를 알아야 한다. 이때, 투수량계수 (T)를 구하는 식은

$$T = \frac{Q}{2\pi(h_0 - h_w)}\ln(r_e/r_w) \tag{3.62}$$

와 같다. 여기서, h_0는 양수이전의 자연수위(L)이다. 따라서, 단일공의 양수시험으로부터 투수량계수를 구하기 위해서는 영향반경을 정확히 알아내는 것이 중요하다. 평형상태의 준 정상류 상태(pseudo-steady state)에서 양수정으로부터 거리 r_1과 r_2에서 지하수위가 h_1과 h_2일 때, (3.60)식은

$$h_2 - h_1 = \frac{Q}{2\pi Kb}\ln r_2/r_1 \tag{3.63}$$

로 된다. 그러므로, 투수량계수(T)는

$$T = \frac{Q}{2\pi(h_2 - h_1)}\ln(r_2/r_1) \tag{3.64}$$

과 같다.

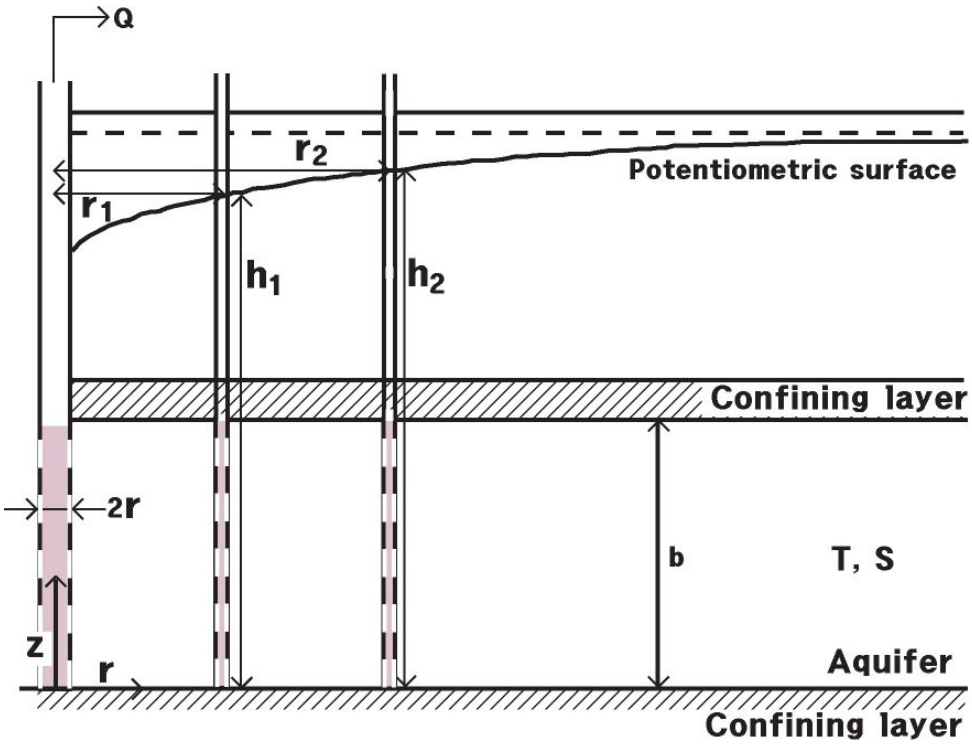


Fig. 3.4 Schematic presentation of confined aquifer.

3.5.2 자유면대수층에 대한 Thiem 식

자유면대수층내에 굴착된 양수정(Fig. 3.5)으로 향하는 방사상 정상류는 Dupuit-Forchheimer 근사식

$$Q = 2\pi r h K \frac{dh}{dr} \tag{3.65}$$

으로 표현된다. 여기서, h는 자유면대수층의 지하수위(L), r은 양수정으로부터의 거리(L), K는 수리전도도이다. (3.65)식을 적분하면

$$h^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln r + C \tag{3.66}$$

이다. 경계조건 $h = h_w$와 $r = r_w$를 (3.66)식에 대입하면

$$C = h_w^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln r_w \tag{3.67}$$

이다. 따라서 (3.66)식은

$$h^2 - h_w^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln (r/r_w) \tag{3.68}$$

이 된다. 따라서, 자유면대수층의 수리전도도(K)는

$$K = \frac{Q}{\pi (h^2 - h_w^2)} \ln (r/r_w) \tag{3.69}$$

이다. 양수정으로부터 거리 r_1과 r_2의 지하수위가 각각 h_1과 h_2일 때, 자유면대수층의 수리전도도(K)는

$$K = \frac{Q}{\pi (h_2^2 - h_1^2)} \ln (r_2/r_1) \tag{3.70}$$

과 같이 된다.

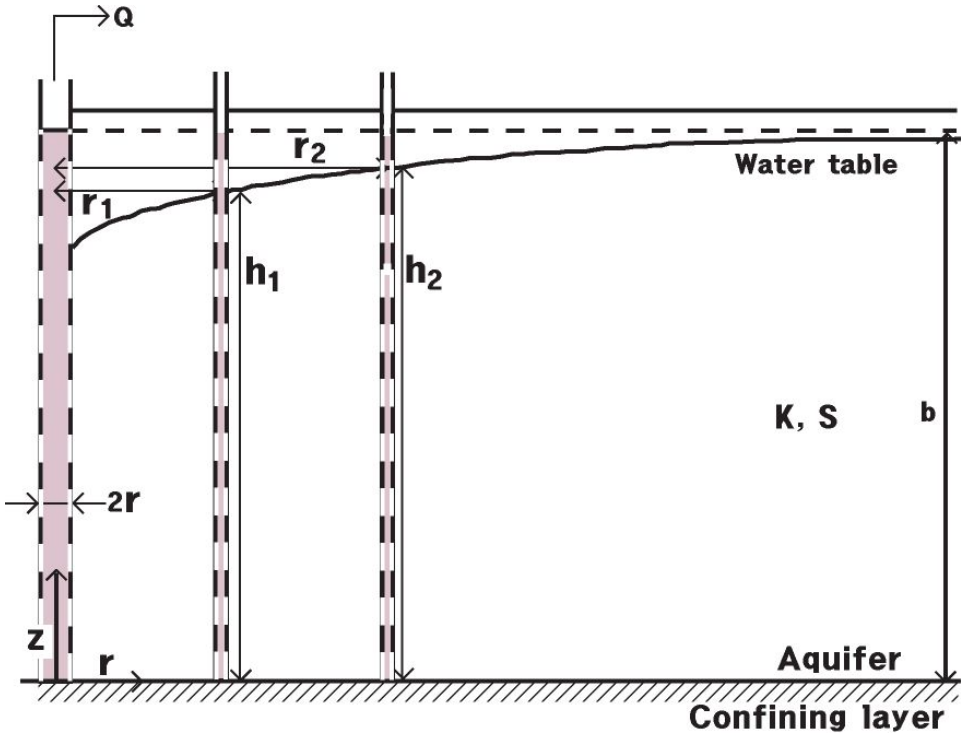


Fig. 3.5 Schematic presentation of unconfined aquifer.

4. 지질 및 수리지질

4.1 동부지역의 지질 및 수리지질

동부지역에는 2개 수원지(행원1, 2수원지에 각 6개공)의 12공, 해수침투관측공들(한동지구의 HD1～HD4, 종달지구의 JD1～JD5, 수산지구의 SS1～SS4, 삼달지구의 SD1～SD3, 하천지구의 HC1～HC4)의 20개공과 국가지하수 관측공인 조천(JC) 1개공, 기타 지하수 조사공(삼다수1(SMD1)～삼다수3(SMD3) 3개공을 포함하여 총 36개공이 분포하고 있으며, 이들 지하수관정에 대하여 수리지질학적 특성을 연구하였다.

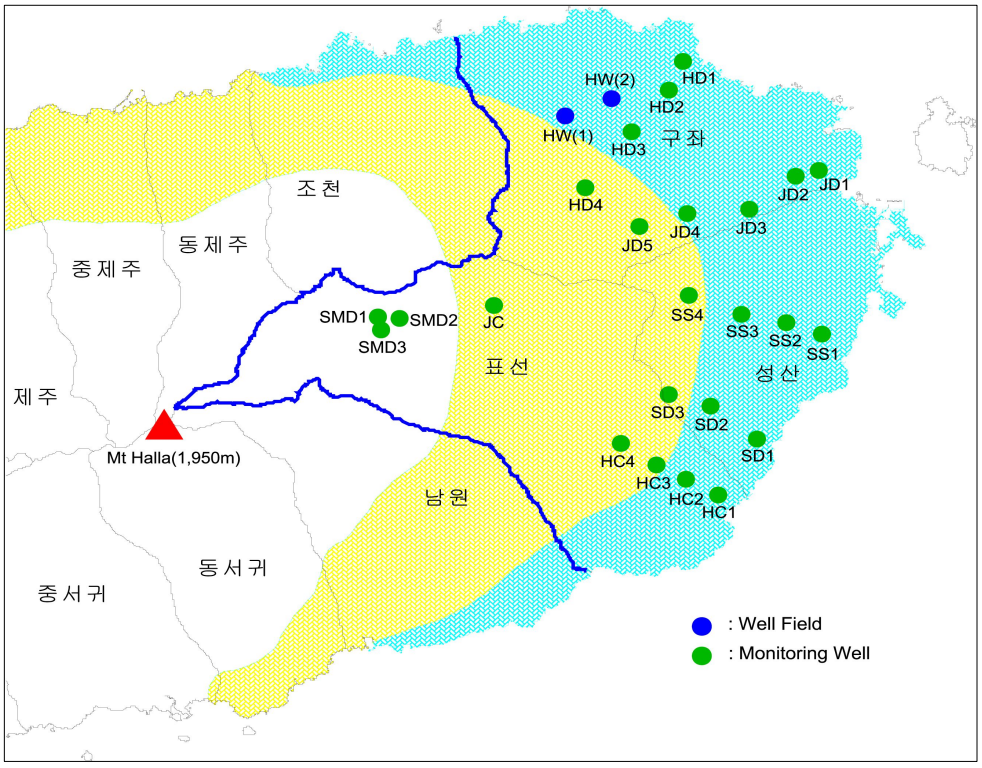


Fig. 4.1 Location of wells in the east area.

동부지역의 지하지질은 크게 하부로부터 기반암, U층, 서귀포층(서귀포층과 접하는 응회암・해성퇴적층 포함), 조면암질현무암, 현무암질조면안산암류, 현무암류로 구성된다.

4.1.1 행원수원지

행원수원지에는 행원1수원지 HW(1)과 행원2수원지 HW(2)가 있으며, 각 6개공씩 개발되었다(Fig. 4.2, Fig. 4.3). HW(1)의 지하지질은 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 클링커층, 토양층(실트, 점토, 모래로 이루어짐)으로, 주대수층은 FOB의 절리대와 클링커층으로 구성되어 있다(Fig. 4.4).

HW(1)1~6(표고 91.92~93.03m)의 자연수위는 해발기준 0.93~1.92m, 저투수층 출현심도는 -17.34~-26.97m(해발기준)이며 포화대 두께는 18.85~28.67m이다. HW(2)의 지하지질은 대부분 장석감람석현무암(FOB)으로 구성되고, 그 외 토양층이 협재되고 있으며, 사이사이에 클링커층이 분포하고 있다(Fig. 4.4).

HW(2)1~6(표고 88.01~89.43m)의 자연수위는 해발기준 0.61~2.14m, 저투수층 출현심도는 -20.57~-21.99m(해발기준)이며, 포화대 두께는 21.56~23.12m이다. HW(1),(2) 수원지는 기저지하수 지역에 해당되며, 굴착심도 내에 저투수층(응회암층과 서귀포층)이 나타나지 않으므로, 굴착심도 하한을 저투수층 출현심도로 보았으나, 인접한 해수침투관측공인 HD3(표고 112.4m)에서 저투수층이 해수면하 -105.2m에 나타나고 있으므로(Fig. 4.5), HW(1),(2) 수원지에서도 HD3와 유사한 심도에 저투수층이 출현할 가능성이 있다.

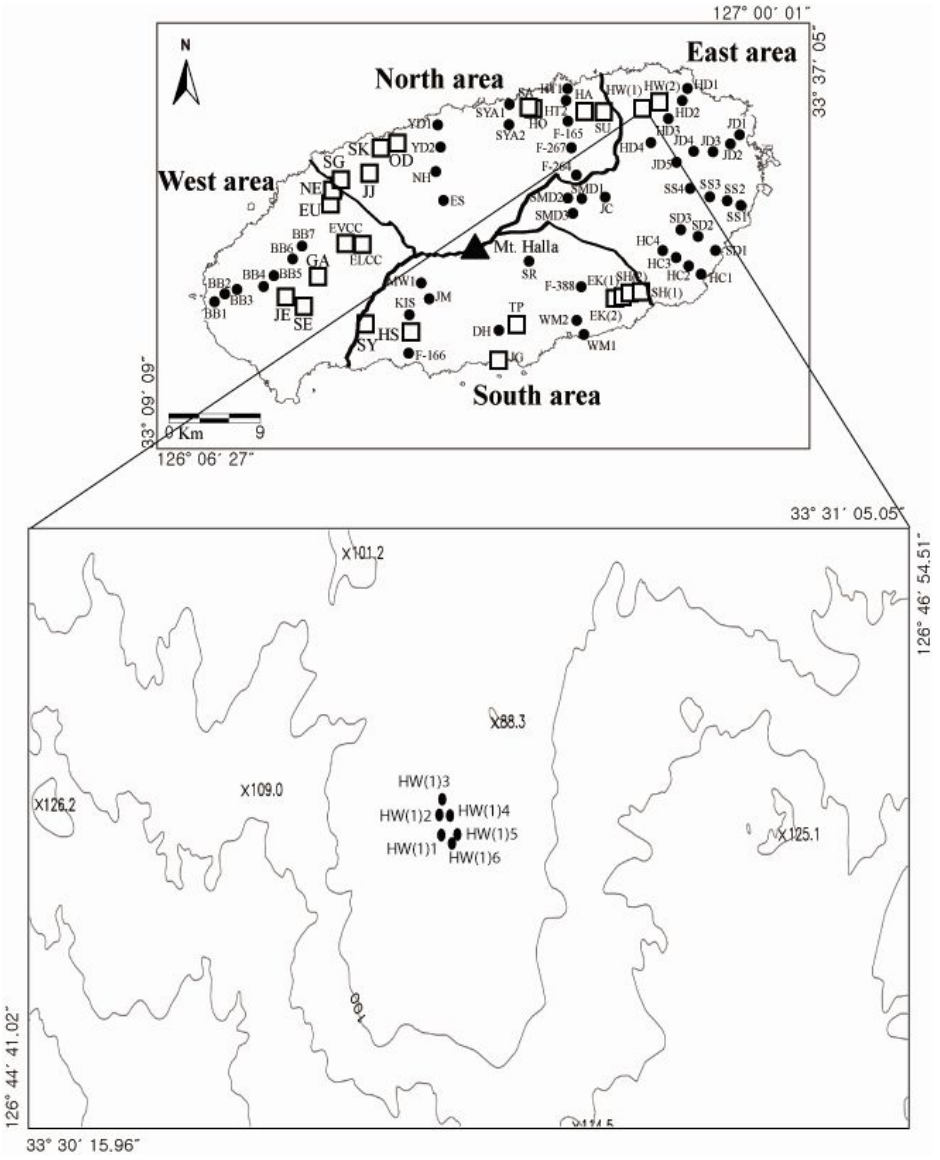


Fig. 4.2 Location of Haengwon(1) well field.

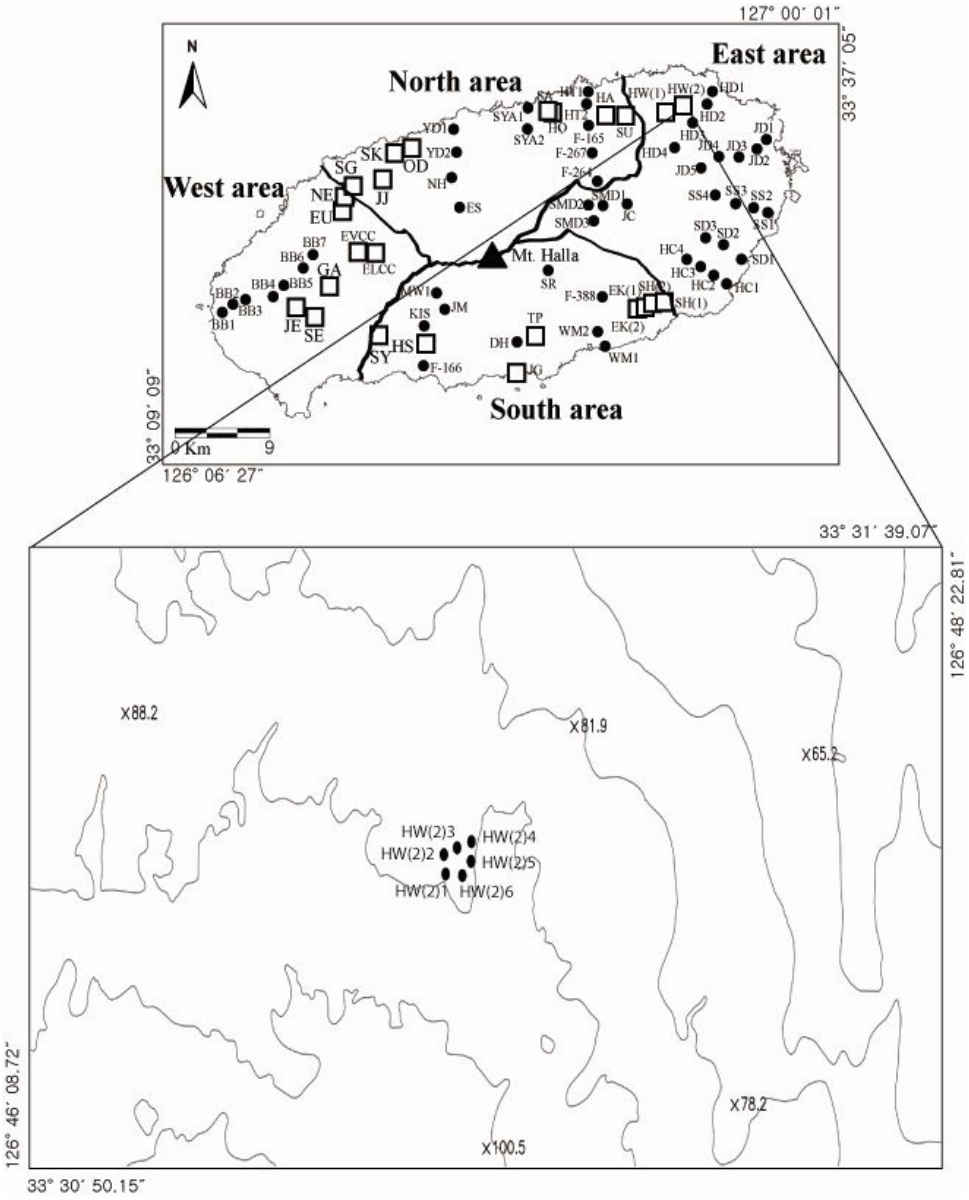


Fig. 4.3 Location of Haengwon(2) well field.

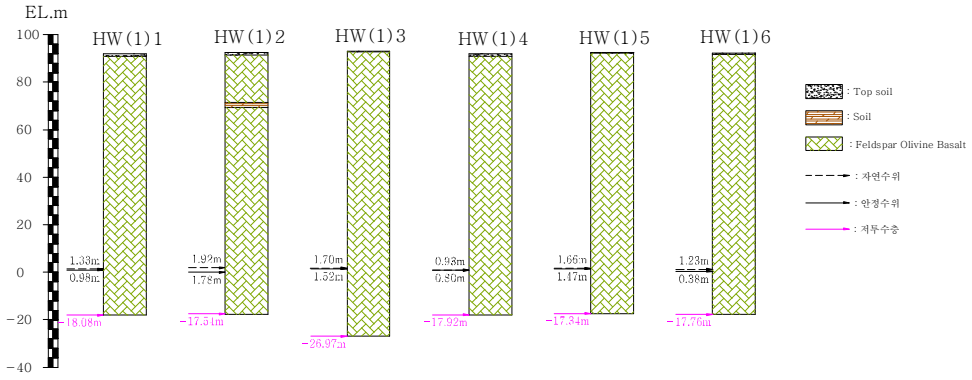


Fig. 4.4 Geological logs of Haengwon(1) well field(HW(1)1-HW(1)6).

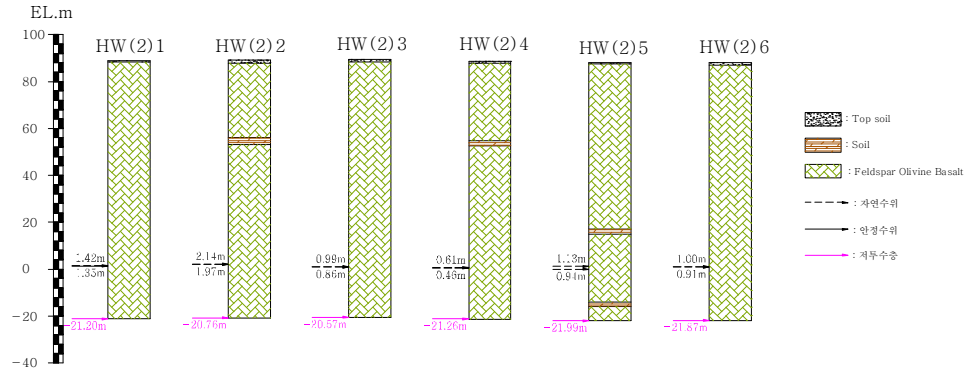


Fig. 4.5 Geological logs of Haengwon(2) well field(HW(2)1-HW(2)6).

4.1.2 한동지구

한동지구는 4개공(HD1～HD4)으로 구성된다. 지하지질은 침상장석감람석현무암(AFOB: Acicular Feldspar Olivine Basalt), 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 장석휘석감람석현무암(FAOB: Feldspar Augite

Olivine Basalt), 화산쇄설층(Pyroclastic deposits, Ash), 유리질쇄설암(hyaloclastite), 이암, 토양층(실트, 점토, 모래로 이루어짐), 해성퇴적층, 서귀포층, U층으로 구성되어 있다(Fig. 4.6).

한동지구의 주대수층은 AFOB, AOB의 절리대, 클링커층, 유리질쇄설암 및 사력층으로 구성된다. HD1~HD4의 지반표고는 15.1~190.5m로 차이가 있는데도 이들 시추공에서의 자연수위는 해발기준 1.21~8.5m로 HD4(8.5m)를 제외하면 대부분 해발기준 0~3m 부근에서 형성되고 있다. 한동지구는 저투수층이 -90.50~-138.4m(해발기준)의 심부에 출현하며, 기저지하수지역으로, 포화대 두께는 99.0~139.61m로 두껍게 나타난다.

4.1.3 종달지구

종달지구(JD1～JD5)의 지하지질은 장석휘석감람석현무암(FAOB: Feldspar Augite Olivine Basalt), 침상장석감람석현무암(AFOB: Acicular Feldspar Olivine Basalt), 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 화산쇄설층(Pyroclastic deposit), 유리질쇄설암(Hyaloclastite), 토양층(실트, 점토, 모래로 이루어짐), 화산재 퇴적층(Ash deposits), 응회암층, 서귀포층, U층(UF)으로 구성되어 있다(Fig. 4.7). 자연수위 하부에 응회암층이나 토양층이 얇게 협재되고 있는 특성을 보인다.

종달지구의 주대수층은 AFOB, AOB, TB의 절리대, 클링커층 및 유리쇄설암(각력암)으로 구성된다. JD1~JD5의 표고는 14.4~201.3m로 큰 차이가 있는데도, 자연수위는 해발기준 0.4~2.9m로 비슷하게 나타난다. JD1~JD4에서는 해발기준 -140~-150m 부근에 U층이 나타나고 있으나, 가장 고지대에 위치한 JD5에서는 응회암층이 매우 두껍게 형성되며, 해발기준 -149.17m까지 시추하여도 U층이 확인되지 않았다.

JD1~JD5의 저투수층 출현심도는 -44.7~-114.3m(해발기준)이다. 종달지구는 기저지하수지역으로서 포화대 두께는 47.0~115.7m이다.

4.1.4 수산지구

수산지구(SS1～SS4)의 지하지질은 장석휘석감람석현무암(FAOB: Feldspar Augite Olivine Basalt), 침상장석감람석현무암(AFOB: Acicular Feldspar Olivine Basalt), 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt)의 용암류와 스코리아, 화산재 퇴적층, 토양층, 응회암층, 해성퇴적층, 서귀포층 및 U층으로 구성되고 있는데, 지하수위 상부에 스코리아층이 두껍게 분포하고 있는 특징을 보인다(Fig. 4.8).

주대수층은 AFOB, AOB, 절리대·클링커층과 스코리아층으로 구성된다. SS1~SS4의 표고는 33.8~176.6m에 위치하고 있는데, 이들 관측공의 자연수위는 해발기준 1.43~2.64m로 유사하며 해수면 가까이에 형성되고 있다. 저투수층 출현심도는 -68.6~-100.9m(해발기준)로 나타나며, SS3 및 SS4에서 서귀포층이 비교적 두껍게 형성된다. 기저지하수지역으로 포화대 두께는 70.03~102.7m이다.

4.1.5 삼달지구

삼달지구 3개공(SD1～SD3)의 지하지질은 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 응회암, 화산쇄설층(Pyroclastic deposits), 유리질쇄설암(Hyaloclastite), 토양층, 해안퇴적층, 서귀포층(SGF), U층으로 구성되어 있다(Fig. 4.9).

삼달지구의 주대수층은 FOB, APB, TB의 절리대, 클링커층, 유리질쇄설암으로 구성된다. 해수면하부에 형성되는 FOB층의 유리질쇄설암이 중요한 대수층 역할을 하는 것으로 판단된다.

SD1~SD3(표고 27.9~126.1m)의 자연수위는 해발기준 0.7~2.65m로 해수면 가까이에 형성된다. 저투수층은 -66.8~-72.1m(해발기준)에 출현하며 기저지하수지역으로, 포화대 두께는 69.0~72.8m이다. 서귀포층과 U층은 전 구간에서 비슷한 심도에 출현하며, 비교적 두껍게 나타난다.

4.1.6 하천지구

하천지구 4개공(HC1～HC4)의 지하지질은 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 침상장석감람석현무암(AFOB: Acicular Feldspar Olivine Basalt), 장석휘석감람석현무암(FAOB: Feldspar Augite Olivine Basalt), 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 조면암질현무암(TA: Trachy Basalt) 등의 용암류와, 토양층, 화산쇄설층, 해성퇴적층, 유리질쇄설암(Hyaloclastite), 서귀포층, U층으로 구성되어 있다(Fig. 4.10). HC1~HC3호공에서는 해발기준 -40~-60m 부근에 서귀포층이 나타나고, -70~-100m 부근에 U층이 분포하고 있는데, HC4에서는 서귀포층과 대비되는 응회암과 해성퇴적층이 두껍게 형성되고, -100m(해발기준) 정도 깊이에 U층이 나타나고 있다.

주대수층은 AFOB, FAB, FAOB의 절리대, 클링커, 유리질쇄설암 및 사력층으로 구성된다. HC1~HC4(표고 25.7~117.9m)의 자연수위는 해발기준 1.0~5.9m이고, 저투수층 출현심도는 -5.6~-65.3m(해발기준)로 가장 고지대에 위치하고 있는 HC4(표고 117.9m)에서 가장 빨리 출현한다. 기저지하수지역으로 포화대의 두께는 11.5~66.3m이다.

4.1.7 삼다수지구

삼다수지구의 3개공(SMD1, SMD2, SMD3)은 제주삼다수의 취수정 보존을 위한 조사공으로 개발되었다. 삼다수지구의 지하지질은 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 반상장석현무암(PFB: Porphyritic Feldspar Basalt), 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 장석휘석감람석현무암(FAOB: Feldspar Augite Olivine Basalt), 장석현무암(FB: Feldsapr Basalt), 화산재 퇴적층, 조면암질안산암(TA: Trachy Andesite), 서귀포층, U층으로 구성되며, 주대수층은 AOB, TA의 절리대, 클링커층이다.

삼다수지구 SMD1(표고 438.99m)의 자연수위는 해발기준 182.99m, 저투수

층 출현심도는 17.99m(해발기준), SMD2(표고 429.46m)의 자연수위는 해발기준 203.46m, 저투수층 출현심도는 -23.54m(해발기준)이다. SMD3(표고 468.63m)의 자연수위는 해발기준 153.63m이며, 굴착 구간내 서귀포층·U층 등의 저투수층이 나타나지 않아, 굴착 하한인 48.63m(해발기준)를 저투수층 출현심도로 설정하였다. SMD2에서 저투수층이 해수면아래에 나타나고 있으나, SMD1에서는 저투수층이 해수면 상부에 나타나고 있어, 삼다수지구는 상부 준기저지하수와 하부 준기저지하수지역의 경계부에 위치하는 것으로 판단된다.

4.1.8 조천지구

조천지구 1개공(JC)의 지하지질은 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 장석휘석감람석현무암(FAOB: Feldspar Augite Olivine Basalt), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 반상장석현무암(PFB: Pophyritic Feldspar Basalt), 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 장석현무암(FOB: Feldspar Basalt), 퇴적층, 클링커층, 사력층, 화산쇄설층(Pyroclastic deposits), 스코리아, 토양층(주로 점토로 이루어짐), 서귀포층(SGF), U층으로 구성되어 있다(제주특별자치도, 2006).

주대수층은 FAOB, APB의 절리대 및 클링커층으로 구성된다. JC(표고 342.6m)의 자연수위는 해발기준 87.23m, 저투수층 출현심도는 19.6m(해발기준)로 상부 준기저지하수지역에 해당되며, 포화대 두께는 67.63m이다.

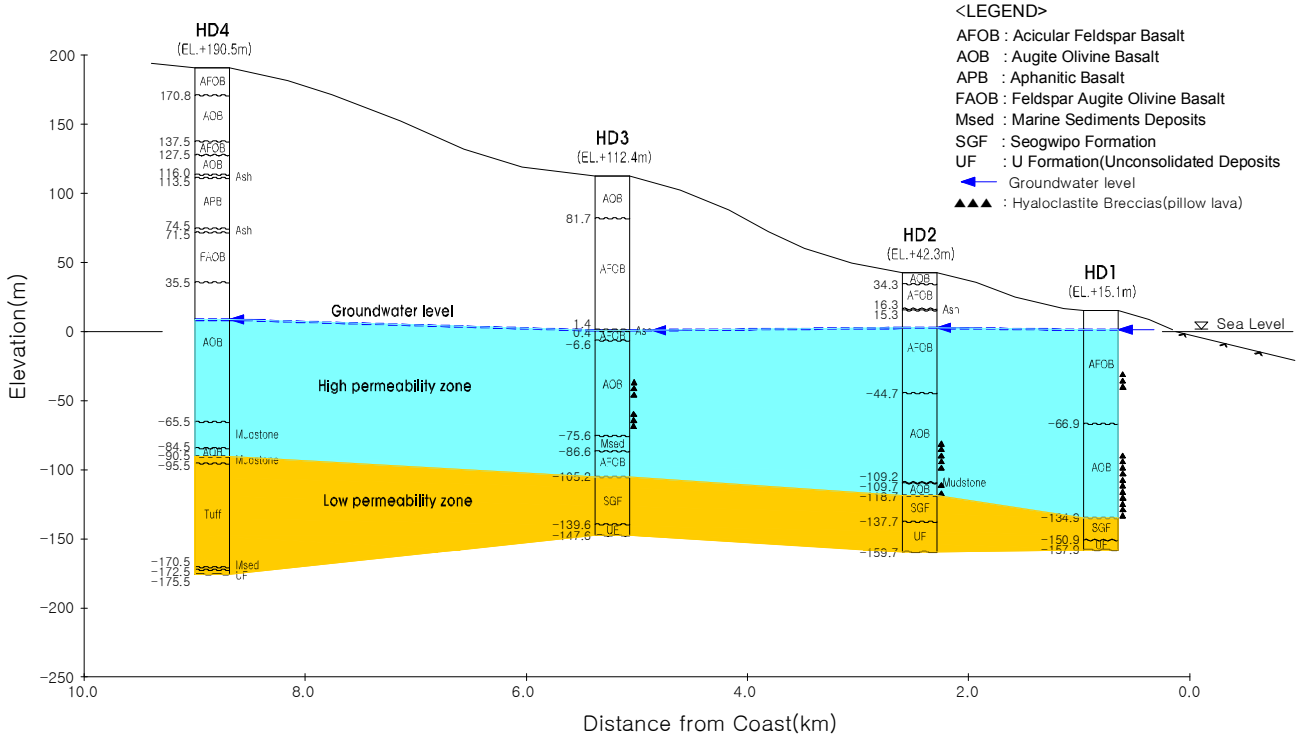


Fig. 4.6 Geologic cross-section of Handong site (HD1-HD4) (slightly modified from Koh, 1997).

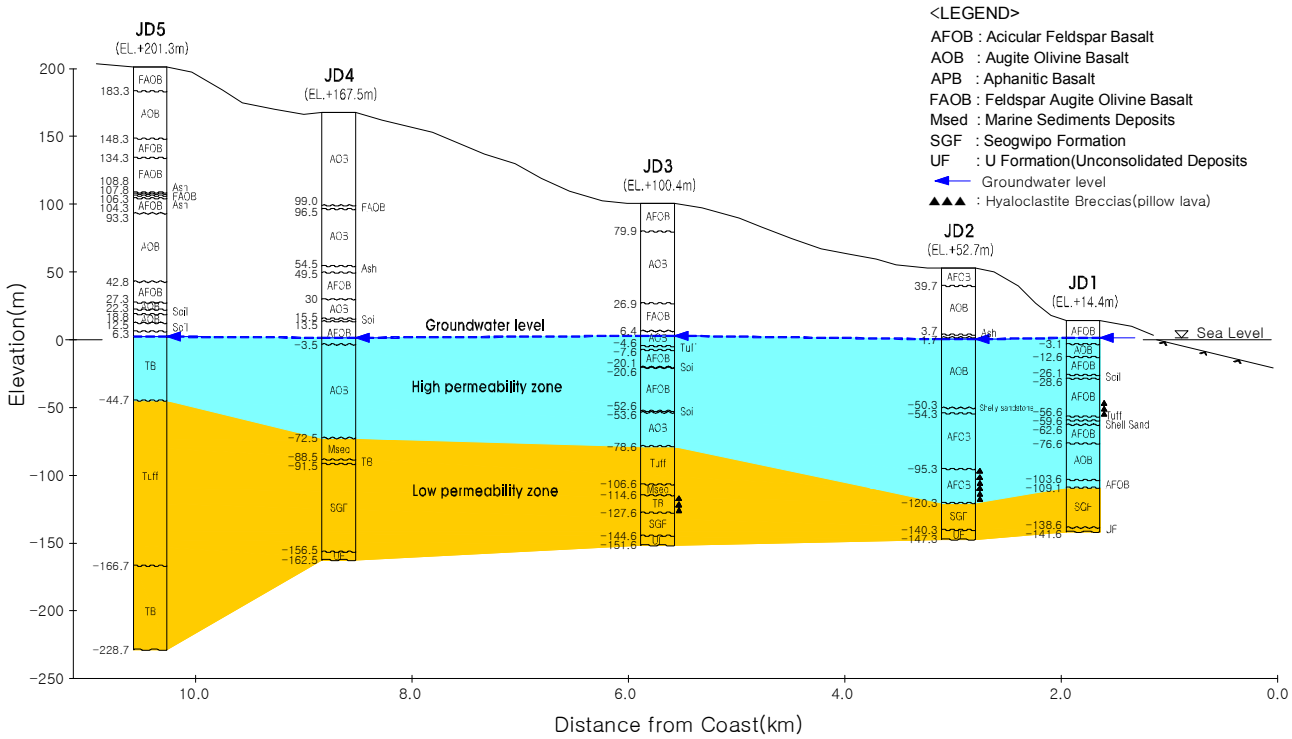


Fig. 4.7 Geologic cross-section of Jongdal site (JD1-JD5) (slightly modified from Koh, 1997).

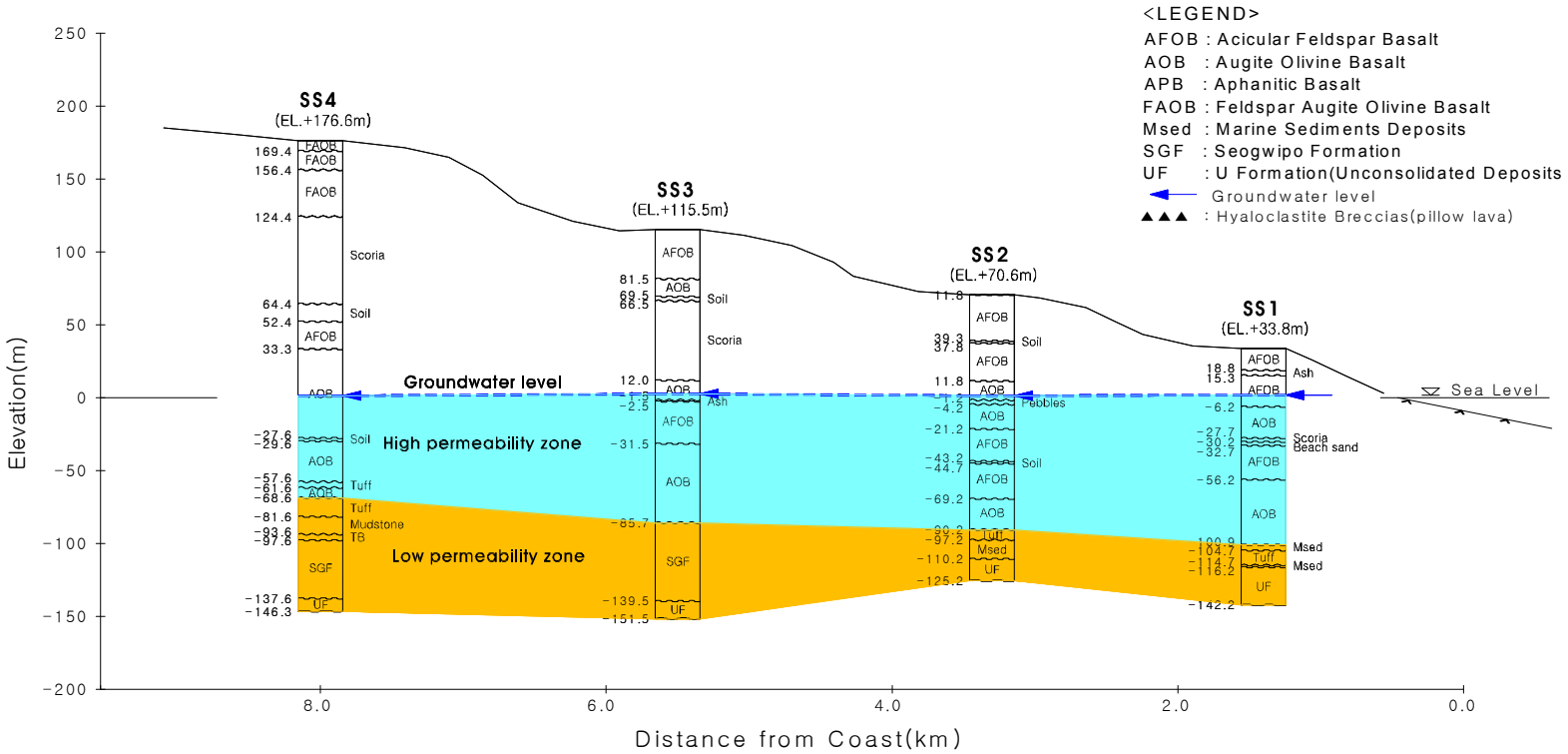


Fig. 4.8 Geologic cross-section of Susan site (SS1-SS4) (slightly modified from Koh, 1997).

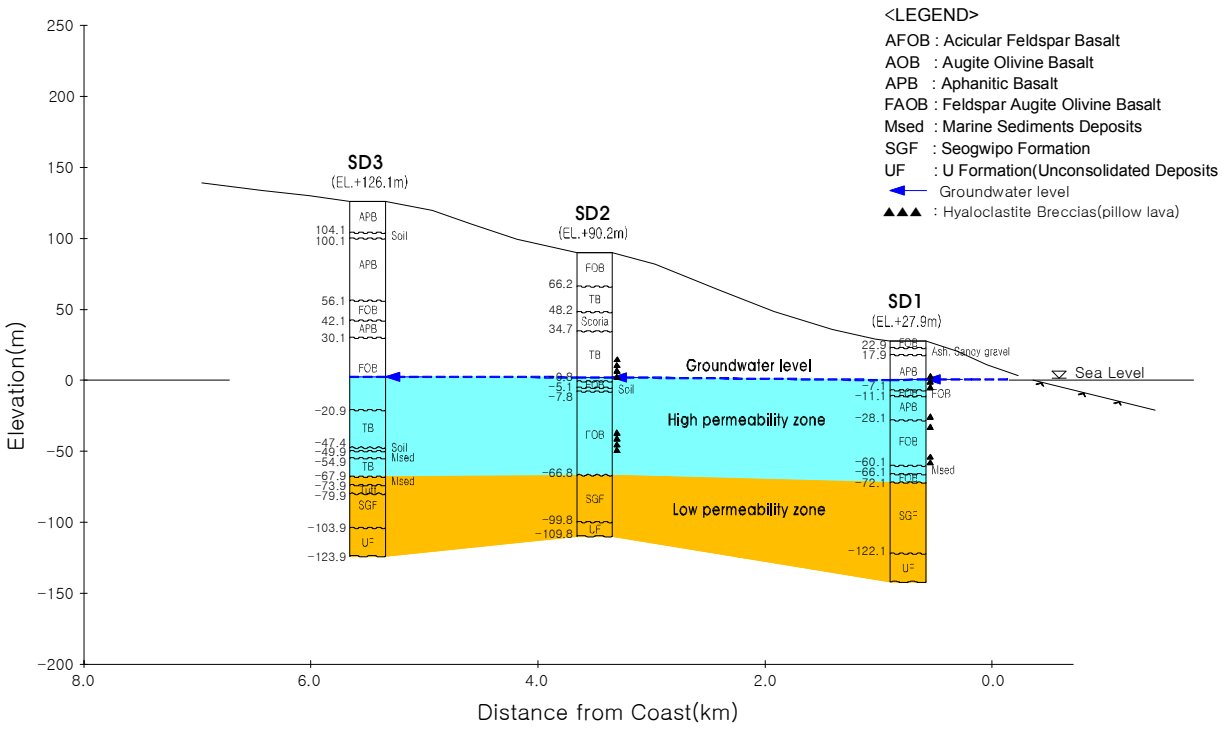


Fig. 4.9 Geologic cross-section of Samdal site (SD1-SD3).

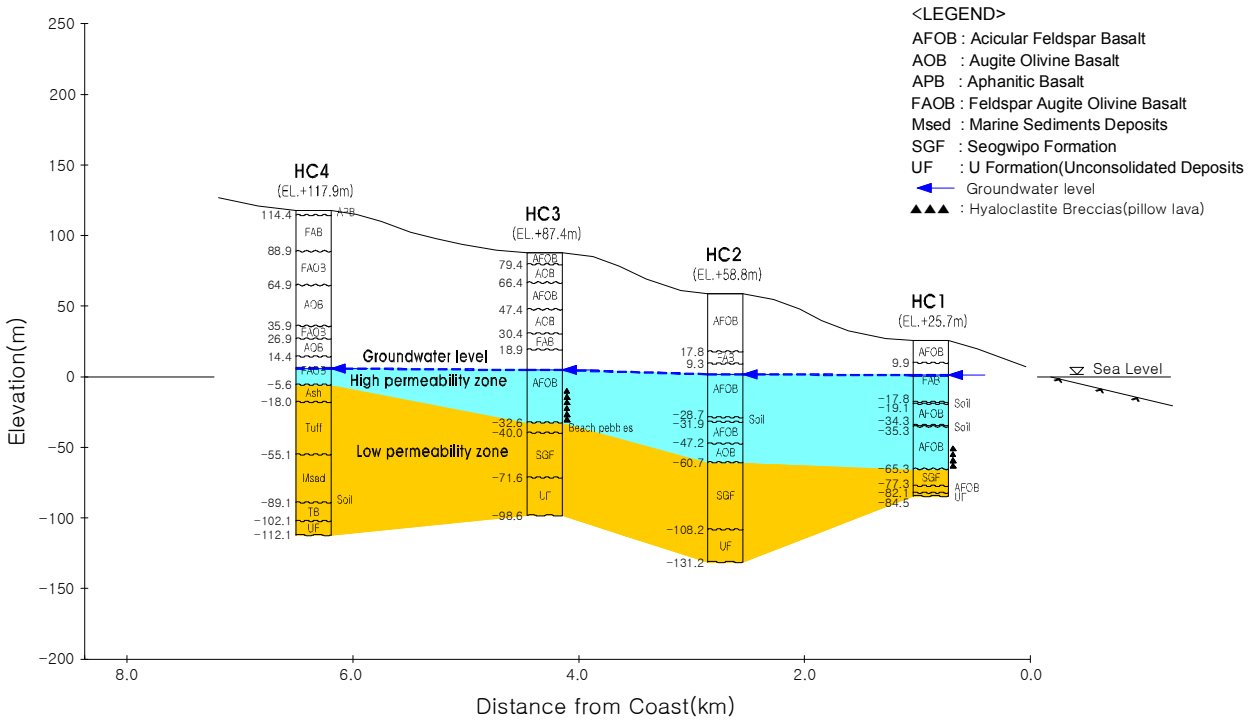


Fig. 4.10 Geological cross-section of Hacheon site (HC1-HC4) (slightly modified from Koh, 1997).

4.2 서부지역의 지질 및 수리지질

서부지역에는 5개 수원지(납읍(NE), 어음(EU), 금악(GA), 저지(JE), 서광(SE))의 총 38개공, 서부지역 농업용지하수 7개공, 골프장 2개소(에버리스골프장, 엘리시안골프장 각각 5개공) 10개공 등 총 55공이 위치하고 있다(Fig. 4.11).

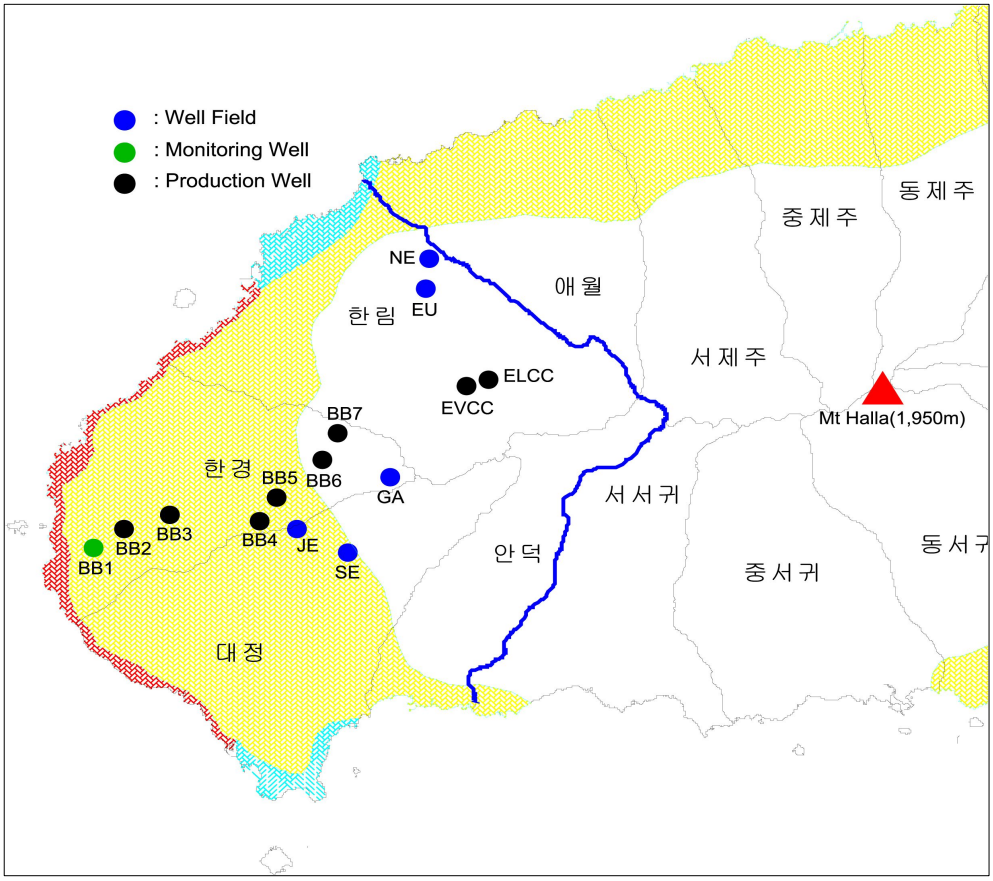


Fig. 4.11 Location of wells in the west area.

서부지역의 지하지질은 크게 하부로부터 기반암(화강암과 응회암), 서귀포

층, 조면질현무암, 현무암질조면안산암, 현무암류로 구성된다. 총 포화대 두께는 자연수위로부터 저투수층의 최상부까지이다. 저투수층은 서귀포층 내지 고결된 응회암층의 출현심도를 기준하였으며, 서귀포층 상부의 투수성이 양호한 유리질쇄설암이나 미고결 모래・자갈층은 저투수층에서 제외하였다. 또한 대수층은 시추코어, 착정주상도, TV 검층자료로부터 식별하였으며, 화산암류, 파쇄대, 화산쇄설암류, 분석(scoria)층, 클링커층, 유리질쇄설암(hyaloclastite), 냉각에 의한 수직절리대, 용암류와 용암류 사이의 접촉부 등을 포함한다.

4.2.1 납읍수원지

납읍(NE)수원지 6개공(NE1~NE6)의 지하지질을 보면(Fig. 4.12), 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 장석현무암(FB; Feldspar Basalt), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 클링커층으로 구성되며, 대수층은 FOB, TB, FB의 절리대 및 클링커층에서 형성된다(Fig. 4.13).

NE1~NE6(표고 172.80~177.00m)의 자연수위는 해발기준 8.97~20.30m, 저투수층 출현심도는 -33.00~-43.20m(해발기준)로 하부 준기저지하수지역에 해당되며, 포화대 두께는 45.40～59.30m이다. 저투수층이 나타나지 않으므로 굴착심도까지를 포화대로 설정하였다.

4.2.2 어음수원지

어음(EU)수원지 6개공(EU1~EU6)의 지하지질을 보면(Fig. 4.14), 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 클링커층, 화산재 퇴적층, 토양층으로 구성된다. 이들 중 대수층은 TB, FAB, FOB, FB, 클링커층으로 구성된다(Fig. 4.15). 주대수층은 지표하 약 190~210m에 나타나는 FAB, TB 절리대 및 클링커 구간이 주를

이룬다. EU1~EU6(표고 176.32~185.27m)의 자연수위는 해발기준 9.92~15.83m, 저투수층 출현심도는 -44.73~-53.68m(해발기준)으로 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

어음(EU)수원지에서는 굴착심도(표고 -50m 내외)까지 저투수층이 나타나지 않으므로 굴착심도 하한을 저투수층 출현심도로 설정하였다. 포화대 두께는 54.65～65.24m이다.

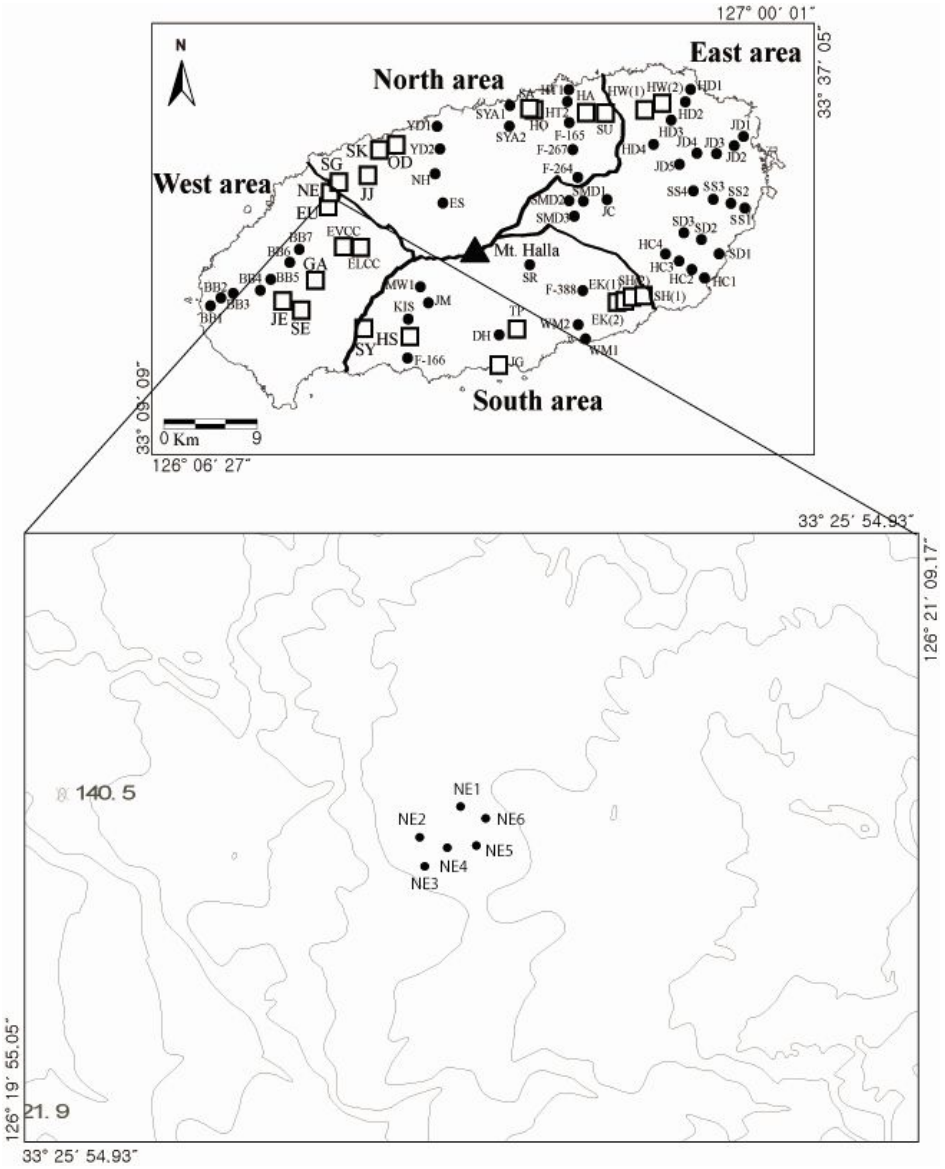


Fig. 4.12 Location of Napeup well field.

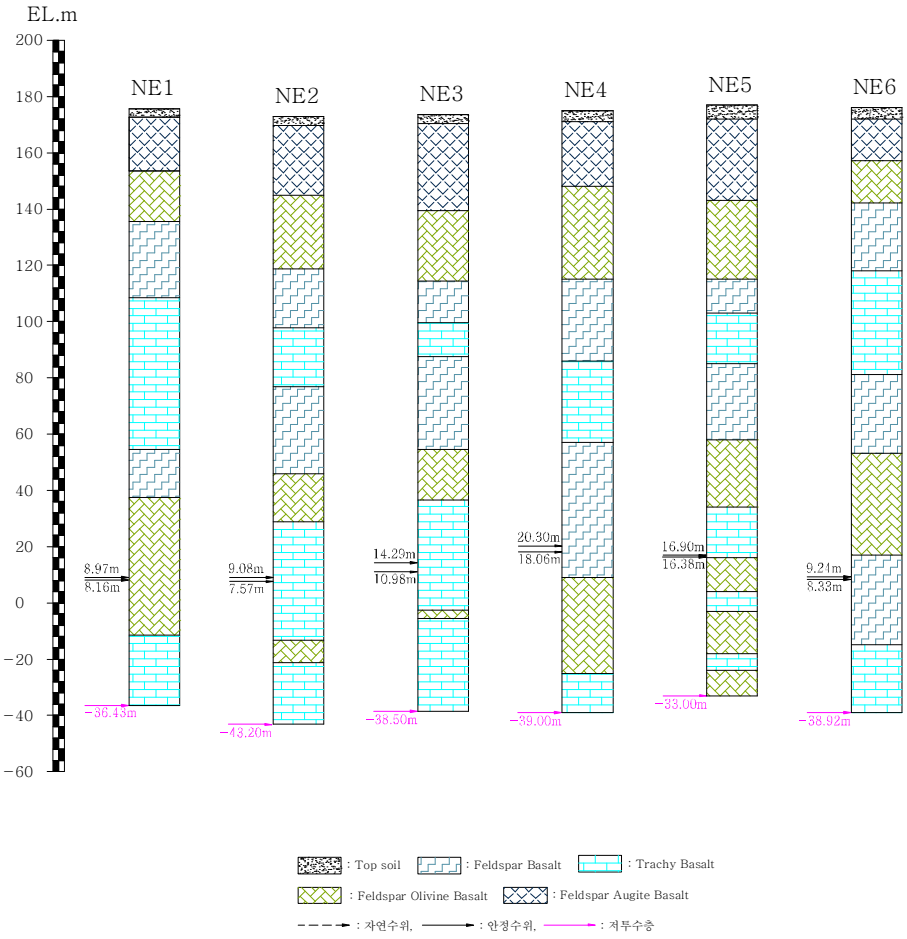


Fig. 4.13 Geological logs of Napeup well field (NE1-NE6).

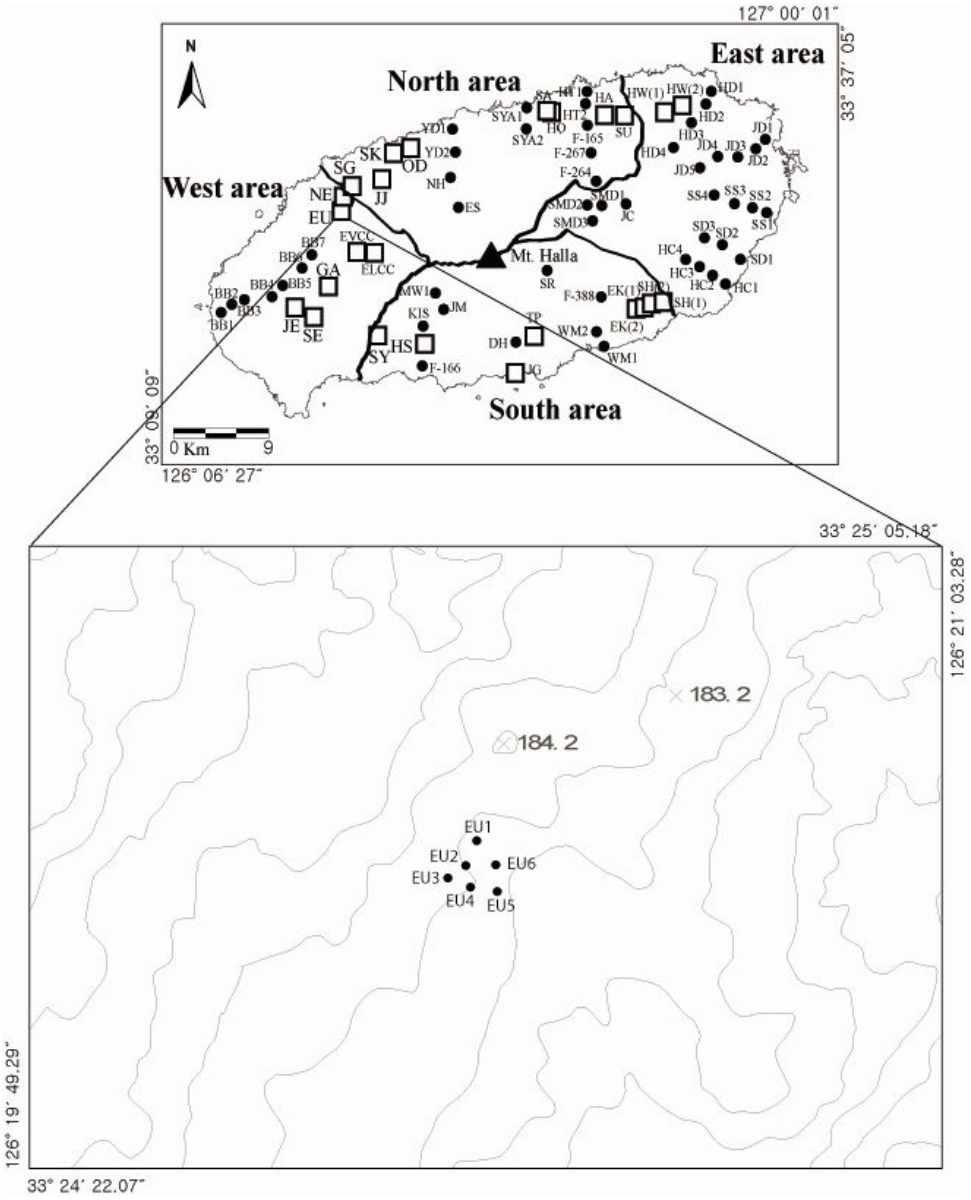


Fig. 4.14 Location of Eoeum well field.

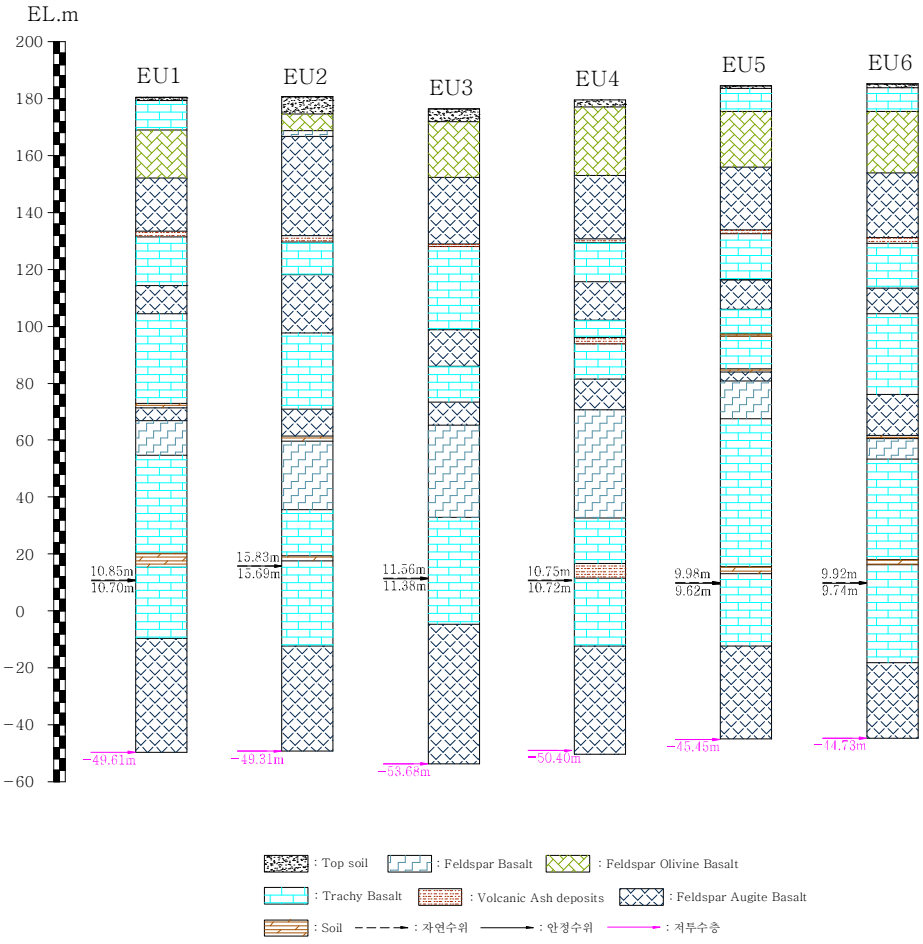


Fig. 4.15 Geological logs of Eoeum well field (EU1-EU6).

4.2.3 금악수원지

금악(GA)수원지는 6개공(GA1~GA6)으로 구성된다(Fig. 4.16). 지하지질은 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 화산재 퇴적층, 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 클링커층, 스코리아, 응회암으로 구성되며, 대수층은 TB, FOB, FAB의 절리

대 및 클링커층에 형성되고 있다(Fig. 4.17). 대수층은 지표하 약 256~263m 구간의 상부응회암층을 경계로 상부대수층(TB, FOB, FAB의 절리대, 클링커층)과 하부대수층(TB 절리대)으로 구분된다. 또한 응회암층의 하부에 나타나는 TB는 굴착심도(345～348m)까지 화산재 퇴적층과 교호하면서 나타난다. GA2, GA4, GA5에서는 하부응회암이 출현하였으나, GA1, GA3, GA6에서는 굴착심도까지 저투수층인 응회암이 출현하지 않아 굴착심도까지를 포화대로 보았으며, 포화대 두께는 77.81～91.95m이다. 저투수층 출현심도는 하부저투수층을 기준하였으며, -28.8~-36.7m(해발기준)이다. GA1~GA6(표고 310.80~312.20m)의 자연수위는 해발기준 47.39~55.25m로 1차 저투수층 상부(GA3, GA4, GA5, GA6) 또는 저투수층 내(GA1, GA2)에 형성되며, 2차 저투수층 출현 전까지 약 100여m의 두꺼운 화산암층이 화산재와 교호하여 나타나는 특이한 지질구조를 가진다.

GA1~GA6는 광역상수도 1, 2단계 수원지 중 가장 고지대에 위치하며, 반고결된 응회암이 해발 48.2~58.3m 범위에 출현하는데, 금악수원지의 경우 저투수층인 응회암이 해수면 상부에 분포하고 있어 상부 준기저지하수 지역으로 볼 수도 있으나, 상부 저투수층(응회암) 하부에 두께 100여m의 주대수층(TB 절리대)이 분포하고 있어서 하부 준기저지하수지역으로 보는 것이 더 타당할 것으로 보인다.

4.2.4 저지수원지

저지(JE)수원지 10개공(JE1~JE10)(Fig. 4.18)의 지하지질은 TB, FAB, 화산재 퇴적층, 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 침상장석감람석현무암(AFOB; Acicular Feldspar Olivine Basalt), 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 클링커층, 응회암, 화산재 퇴적층으로 구성된다(Fig. 4.20). 주대수층은 지표하 약 140~165m 구간의 AFOB, APB의 절리대와 클링커층이다. 포화대 두께는 51.78～61.56m이다.

JE1~JE10의 자연수위는 해발기준 44.52~49.50m로 지하수관정의 표고가 153.5~155.5m인 점을 감안하면 자연수위는 다소 높은 위치에 형성되고 있

다. 저지수원지에서는 저투수층 출현심도가 -2.28~-15.0m(해발기준)로 저투수층인 응회암층이 해수면 하부에 위치하고 있어, 하부 준기저지하수지역에 해당되며, 포화대 두께는 51.78~61.56m이다.

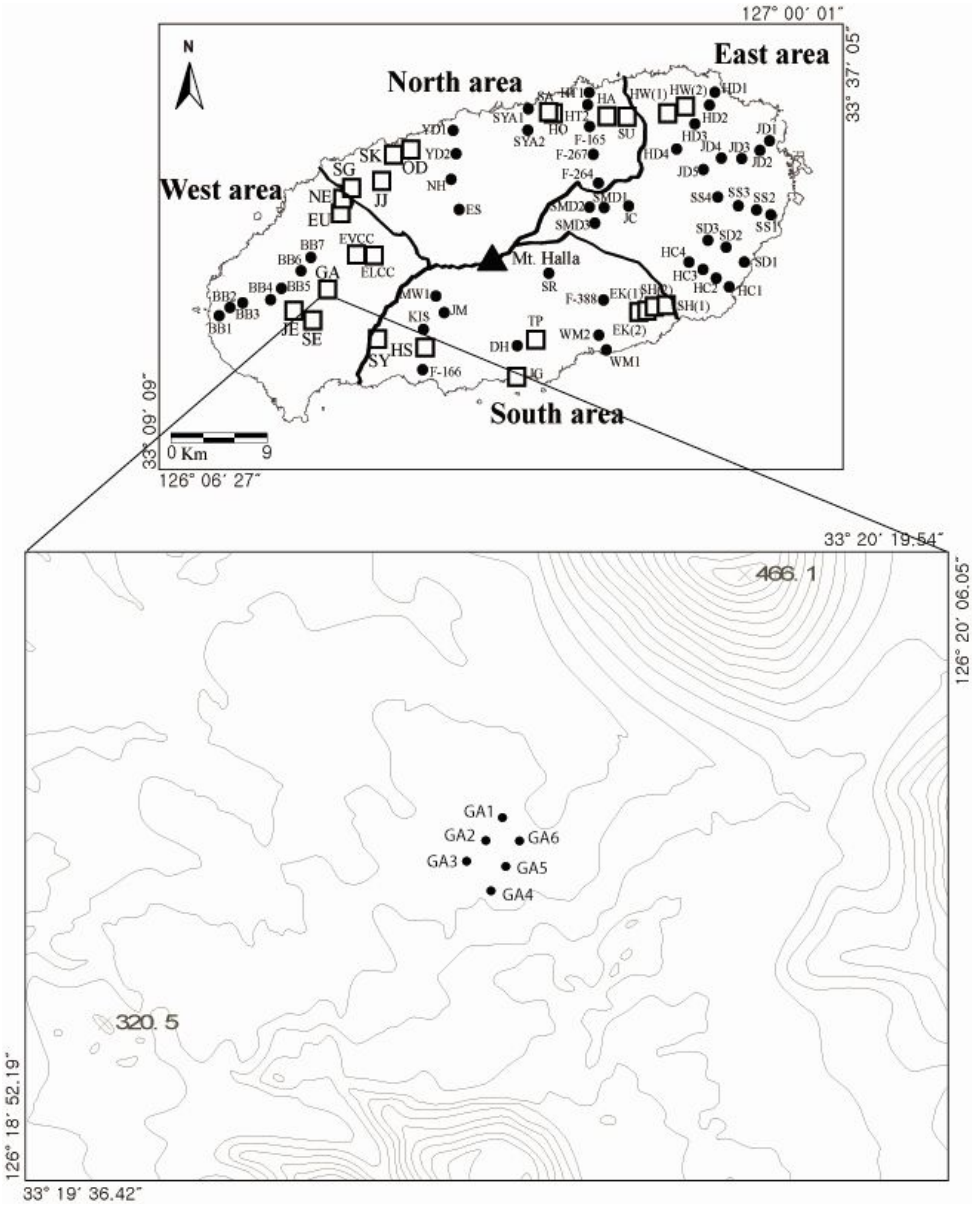


Fig. 4.16 Location of Geumak well field.

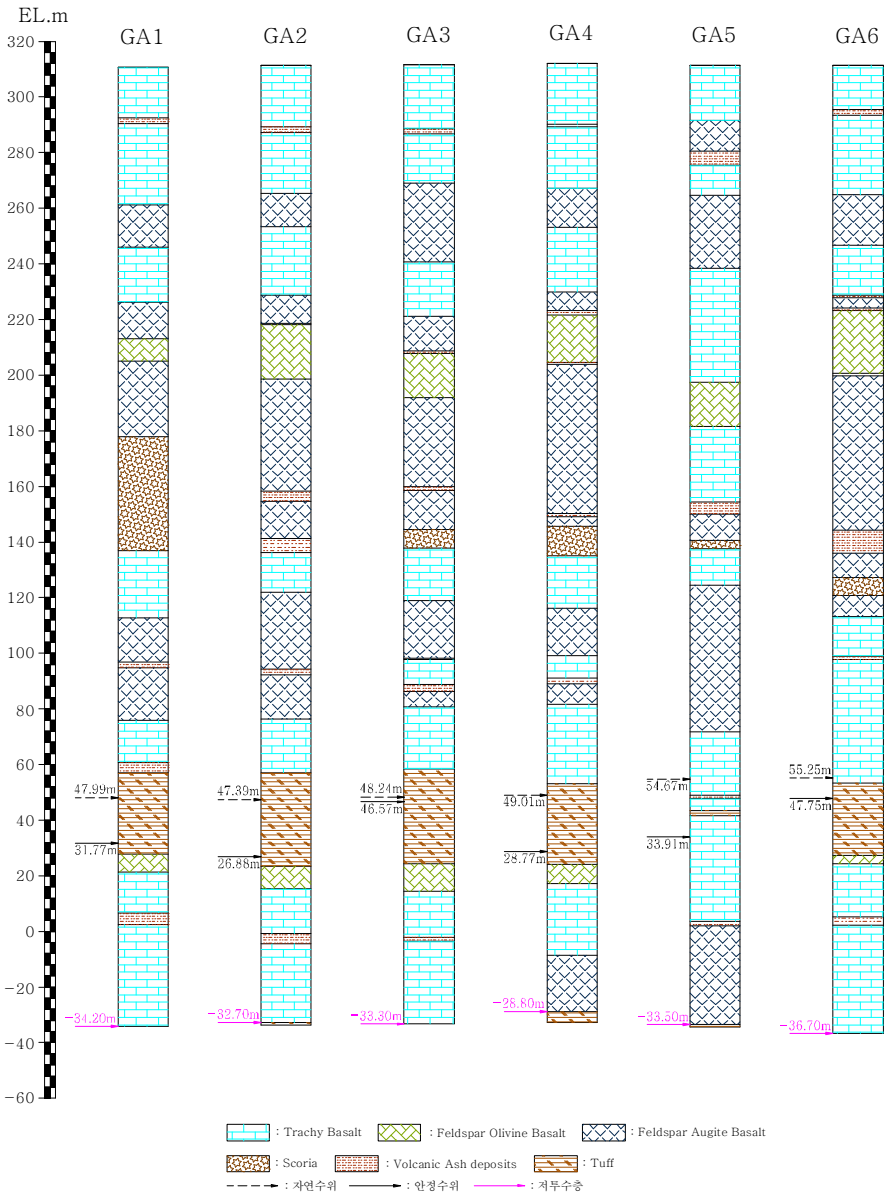


Fig. 4.17 Geological logs of Geumak well field (GA1-GA6).

4.2.5 서광수원지

서광(SE)수원지(Fig. 4.19)의 지하지질은 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 장석휘석현무암(FAB; Feldspar Augite Basalt), 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 클링커층, 토양층, 응회암층으로 구성된다(Fig. 4.21). 대수층은 FAB, FB, TB의 절리대 및 클링커층으로 이루어지며, 주대수층은 지표하 약 145~180m 구간의 FAB 절리대 및 클링커이다.

SE1~SE10(표고 178.0~188.9m)의 자연수위는 해발기준 44.17~48.30m, 저투수층 출현심도는 5.8~18.2m(해발기준)로 저투수층인 응회암층이 해수면 상부에 위치하고 있으며, 상부 준기저지하수지역에 해당된다. 포화대 두께는 27.43～40.19m이다.

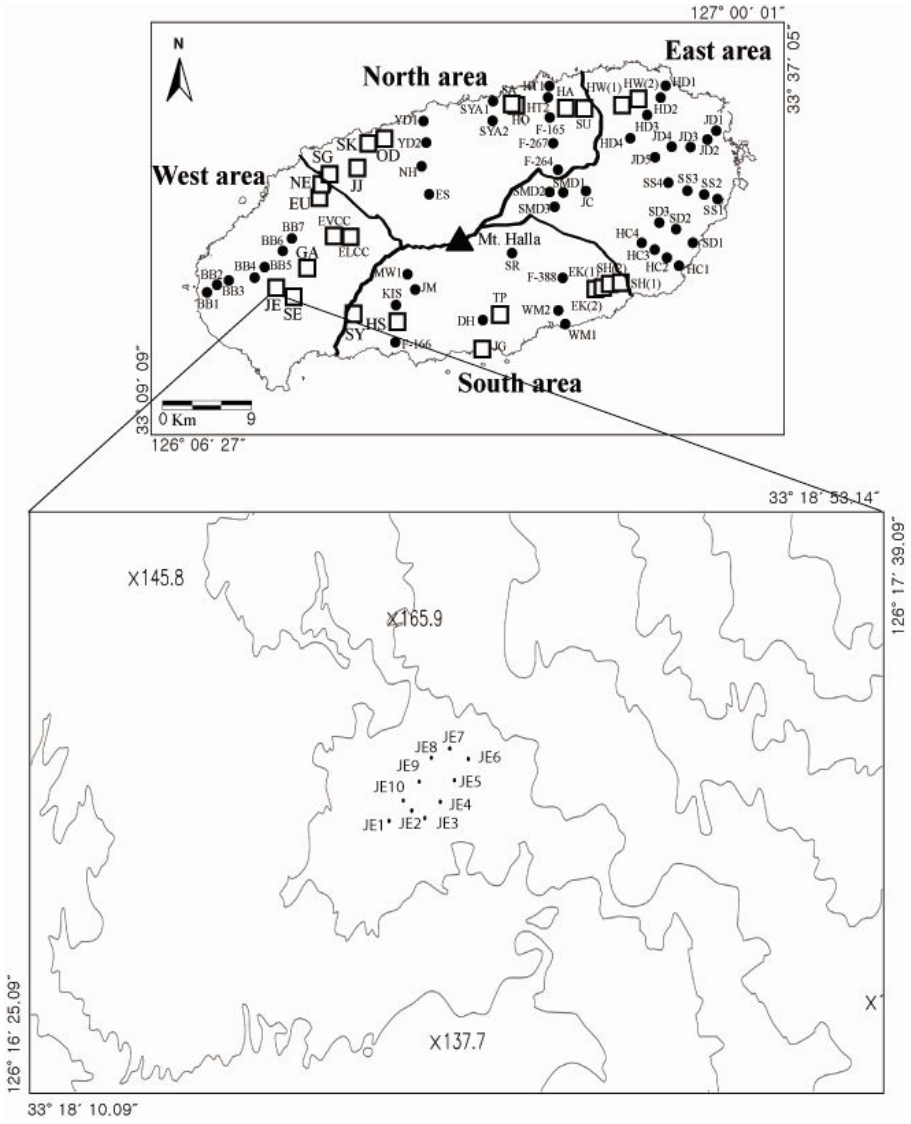


Fig. 4.18 Location of Jeoji well field.

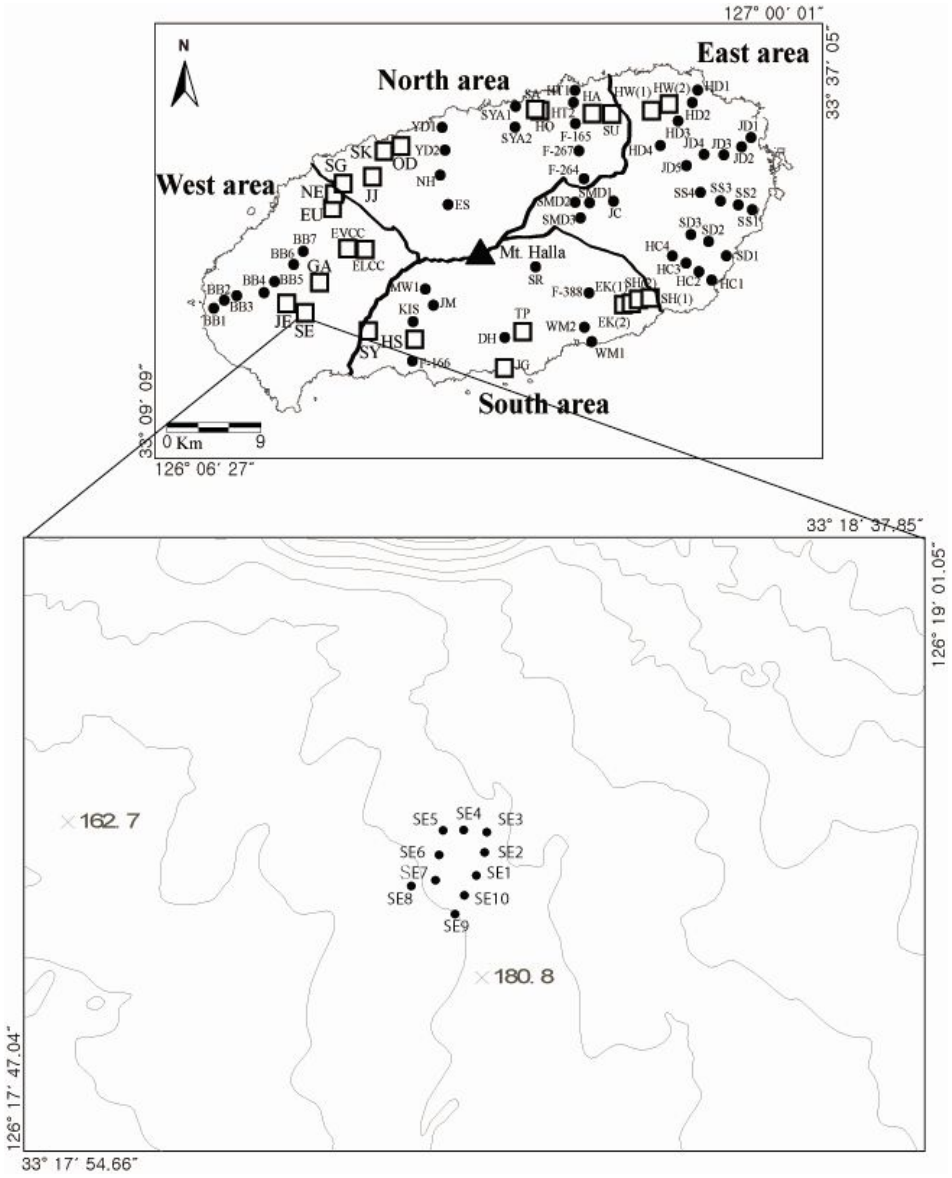


Fig. 4.19 Location of Seokwang well field.

4.2.6 서부지역 농업용관정

서부지역 농업용관정(BB1～BB7)은 서부해안지역의 BB1공(한경면 고산리)에서 내륙의 한라산 방향으로 BB7(한림읍 금악리)까지이며 동경 126° 09′ 36′′~126° 18′ 24′′, 북위 33° 11′ 21′′~33° 22′ 09′′ 사이에 위치한다(정차연, 2002; Fig. 4.12). 서부 농업용관정 분포지역은 준기저지하수 분포지역으로서 제주도에서는 특이하게 피압대수층 현상을 보이는 지역이다.

BB1~BB7의 표고는 28~242m이며, 자연수위는 해발기준으로 8.0~49.8m에 형성되고 있다. 저투수층의 출현심도는 27.0～-58.5m(해발기준)로 다양하며, 가장 고지대에 위치하는 BB7 지하수관정에서 저투수층의 출현심도가 27.0m(해발기준)로 가장 높게 나타난다. 주대수층은 미고결 모래층, 미고결 사력층, 자갈층, 재퇴적된 유리질쇄설암으로 구성되며, 대수층 두께는 2.0～12.0m 정도이다(Fig. 4.22).

이들 지하수관정 개발당시에는 해수면 부근 또는 그 하부에 분포하고 있는 현무암에서는 대수층이 거의 나타나지 않았으나, 저투수층(유리질 쇄설암, 퇴적층, 응회암층)까지 시추하여 저투수층 내에 형성되고 있는 대수층을 관통한 이후에는 다량의 지하수 유출이 확인되었다. 이에 따라 저투수층 내에 형성되어 있는 주대수층에 개발된 본 지하수관정에서는 피압현상을 보이며, 일부 지점에서는 해수면 보다 높은 위치에도 저투수층이 분포하고 있다.

BB7 호공을 제외하고는 서부 농업용관정 지역의 주대수층(서귀포층 내 미고결 모래층 및 사력층)은 해발기준 -40～-60m 구간에 위치하며, 상부에 투수성이 낮은 가압층으로 인해서 최대 73m의 피압현상이 나타나기도 한다. 서귀포층의 출현심도는 해발표고 200m 미만의 저지대에서는 해발기준 -58.5～6.0m에서 나타나지만, 표고 약 200m 이상에서는 대체로 해수면 근처(해발기준 -3.0～27.0m)에 분포하고 있다.

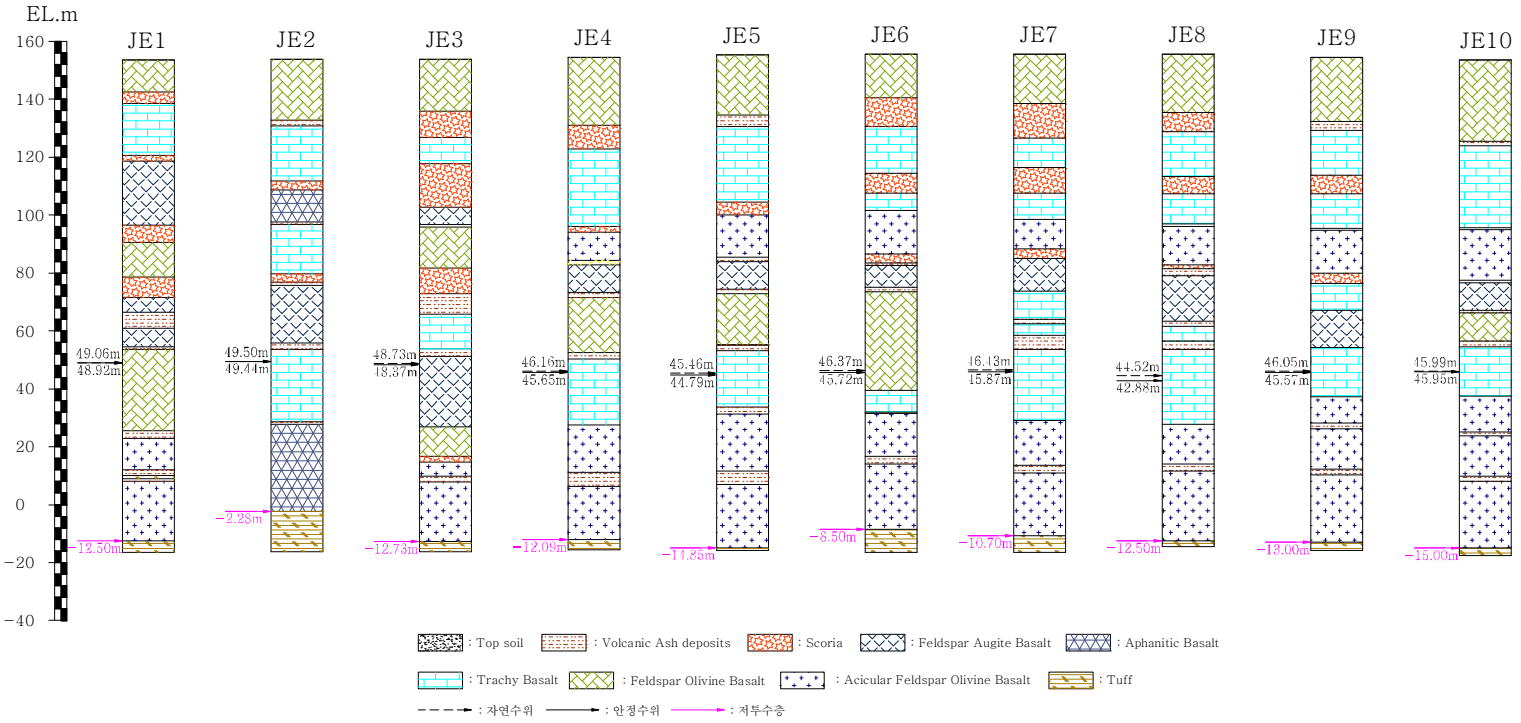


Fig. 4.20 Geological logs of Jeoji well field (JE1-JE10).

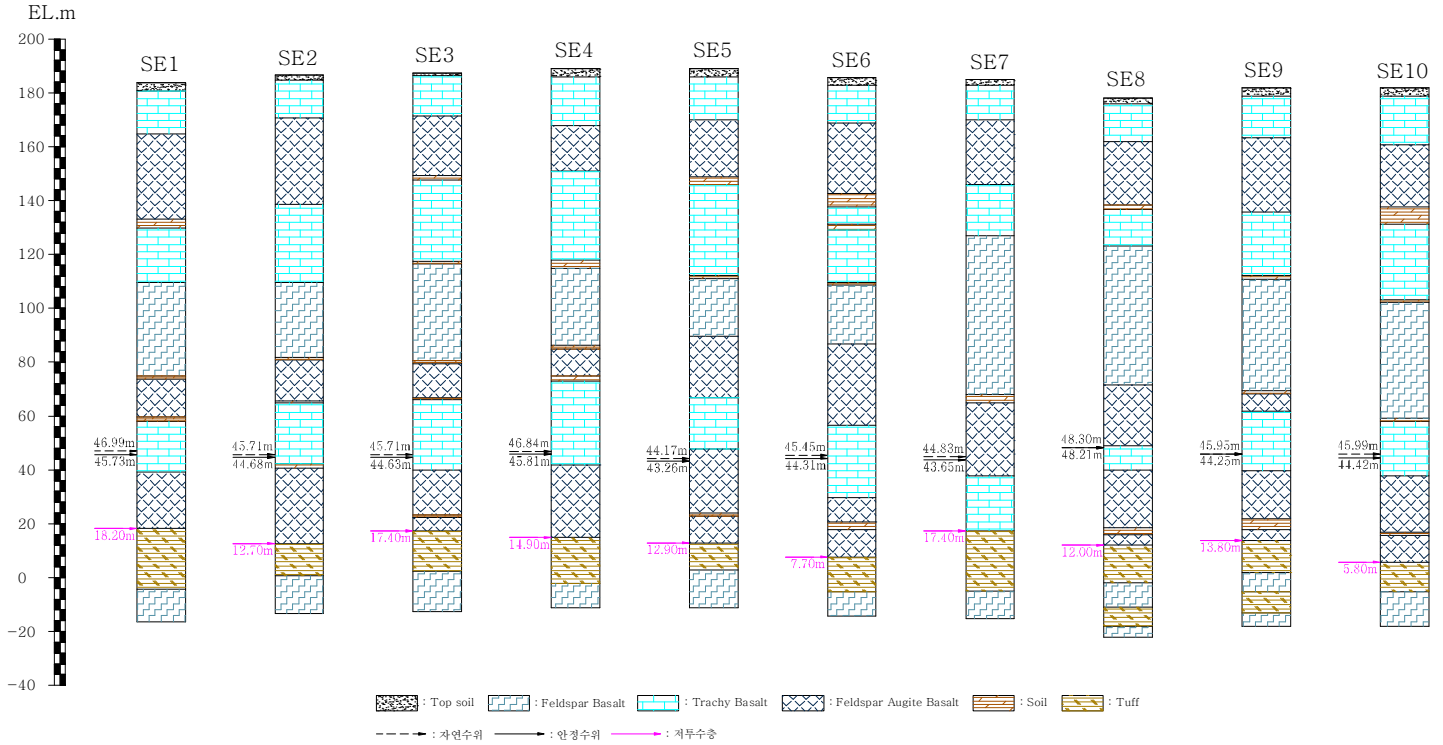


Fig. 4.21 Geological logs of Seokwang well field (SE1-SE10).

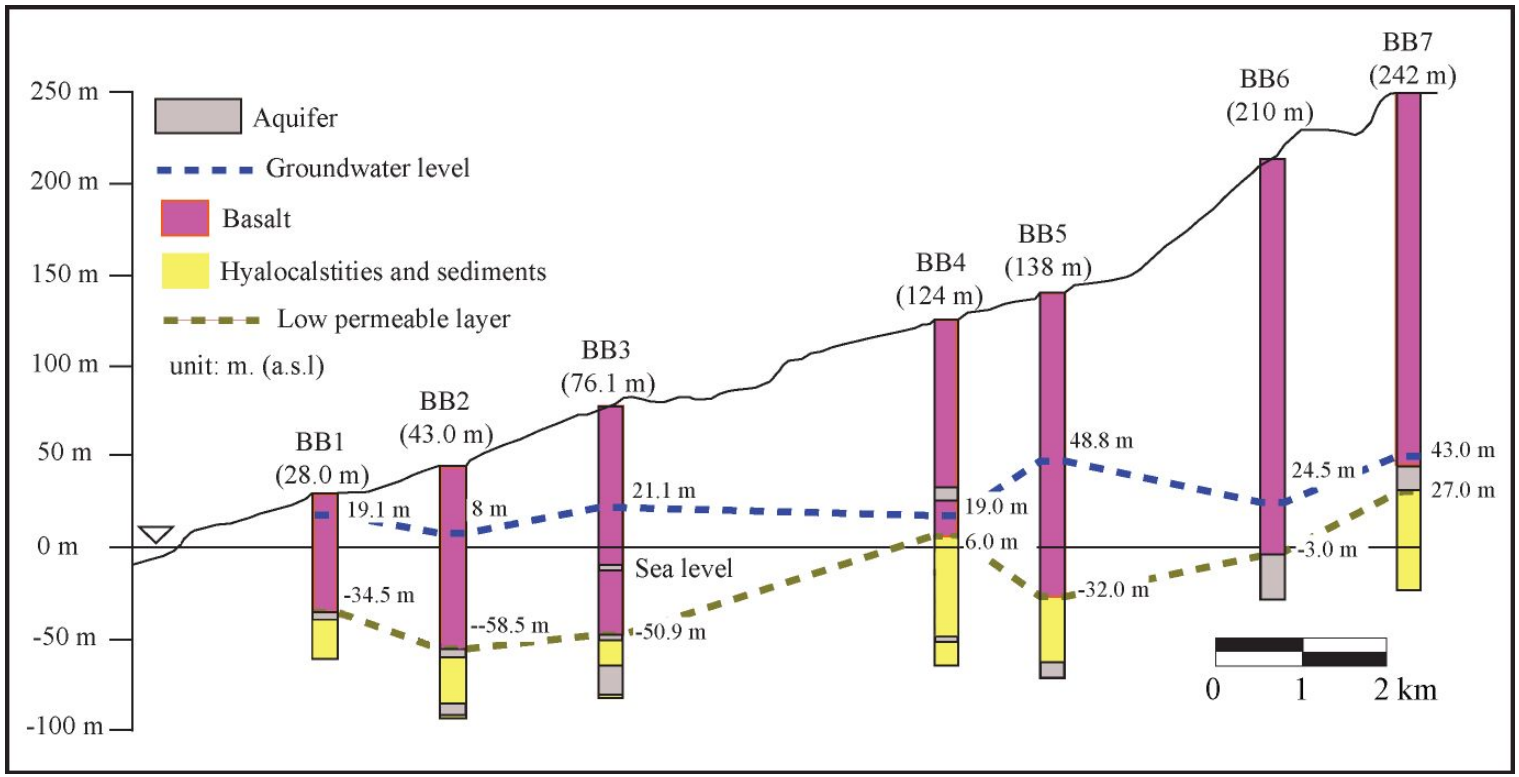


Fig. 4.22 Geologic cross-section along BB1-BB7 wells (slightly modified from Jung, 2002).

4.3 남부지역의 지질 및 수리지질

남부지역에는 8개 수원지(상예(SY), 회수(HS), 자굴이(JG), 토평(TP), 의귀(1)(EK(1)), 의귀(2)(EK(2)), 신흥(1)(SH(1)), 신흥(2)(SH(2))의 총 46개공, 해수침투관측공 위미1(WM1), 위미2(WM2), 국가지하수 관측공인 동홍(DH), 한라산 고지대 관측공 중문(JM), 신례(SR), 농업용 관정 F-166, F-388, 생활용수 강인숙(KIS), 천연 광천수(MW1)등 55개공이 위치하고 있다(Fig. 4.23).

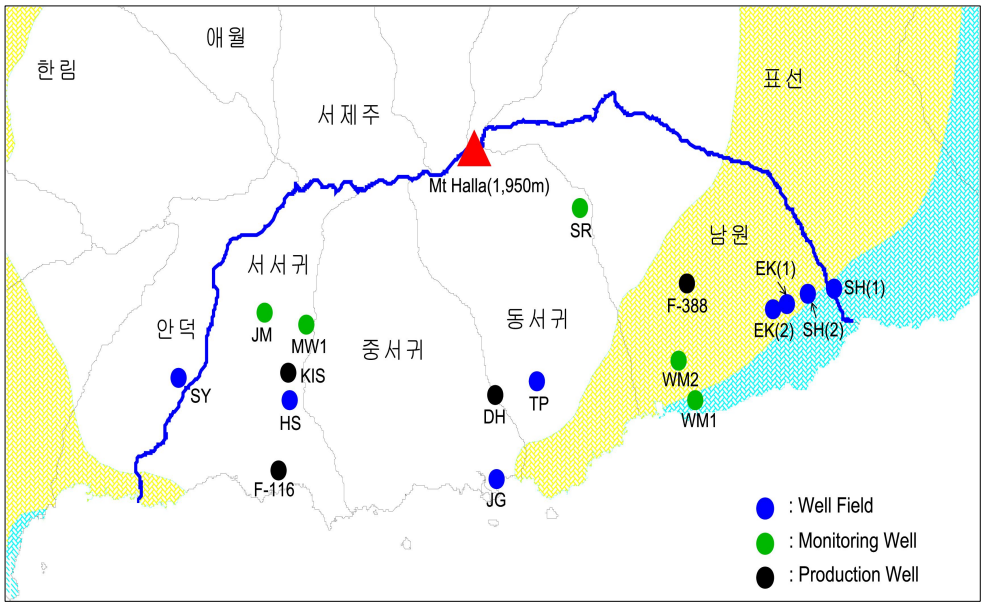


Fig. 4.23 Location of wells in the south area.

남부지역의 지하지질은 크게 하부로부터 기반암(화강암과 응회암), U층, 서귀포층, 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 조면암질안산암(TA: Trachy Andesite), 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 반상장석현무암(PFB: Porphyritic Feldspar Basalt), 반상휘석현무암(PAB: Porphyritic Augite Basalt), 스코리아 등으로 구성된다. 총 포화대 두께는 자연수위로부터 저투수층(서귀포층 또는 고결된 응회암층)의 출현심도까지이며, 서귀포층 상부의 투수성이 양호한 유리질쇄설암이나 미고결 사력층은 포화대에 포함시켰다.

또한 대수층은 화산암류의 절리대, 파쇄대, 화산쇄설암류, 분석(scoria)층, 클링커층, 유리질쇄설암(hyaloclastite), 냉각에 의한 수직절리대, 용암류와 용암류 사이의 접촉부를 포함한다.

4.3.1 상예수원지

상예(SY)수원지는 6개공(SY1~SY6)으로 구성된다(Fig. 4.24). 지하지질은 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 화산재 퇴적층, 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 장석휘석현무암(FAB; Feldspar Augite Basalt), 조면암(T: Trachyte), 응회암, 유리질쇄설암, 서귀포층, U층으로, 주대수층은 TB, FAB의 절리대로 구성되어 있다(Fig. 4.25). 주대수층 구간은 지표하 약 190~210m이며, 주대수층의 상·하부에 층리가 형성된 반고결 내지 고결된 2개의 저투수 응회암층(약 160~175m 와 215~230m)이 주대수층의 가압층 역할을 하고 있다.

SY1~SY6(표고 249.5~251.4m)의 자연수위는 해발기준 55.80~58.38m, 저투수층(응회암층 및 서귀포층) 출현심도는 23.5~42.8m(해발기준)로, 상부 준기저지하수 지역에 해당된다. 포화대 두께는 14.57～33.28m로 SY1에서 비교적 두껍게 형성되고 있다.

4.3.2 회수수원지

회수(HS)수원지 6개공(Fig. 4.26)의 지하지질은 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 장석휘석현무암(FAB; Feldspar Augite Basalt), 조면암(T: Trachyte), 장석현무암(FB; Feldspar Basalt), 화산재 퇴적층, 스코리아, 응회암층으로, 주대수층은 TB의 절리대, 클링커층 및 응회암층에 포함된 유리질쇄설암으로 구성되어 있다(Fig. 4.27). 회수수원지에서는 주대수층구간이 지표하 140~180m에 형성되며, 대수층의 상부에는 저투수 화산재 퇴적층(지표하 약 120m~135m)이, 하부에는 반고결 내지 고결된 저투수 응회암층(지표하 약 150m~250m)이 분포하고 있다. 회

수수원지의 포화대 두께는 5.25～35.45m이다.

HS1~HS6(표고 217.28~224.29m)의 자연수위는 해발기준 60.97~78.27m로 나타나며, HS1~HS5는 65m 미만이나, HS6에서만 78.27m로 다소 높은 위치에 형성되고 있다. 저투수층 출현심도는 해발기준 42.82~72.23m로 상부 준기저지하수지역에 해당되며, 굴착공 하부에 저투수층 역할을 하는 응회암층이 비교적 두껍게 분포하고 있다. 회수수원지의 포화대 두께는 5.25～35.45m이다.

4.3.3 자굴이수원지

자굴이(JG)수원지는 6개공으로 구성된다(Fig. 4.28). 지하지질은 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 조면암질안산암(TA: Trachy Andesite), 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 스코리아, 자갈층, 응회암층, 서귀포층으로 구성되며, 주대수층은 FB, TA의 절리대 및 클링커, 스코리아층, 자갈층으로 구성되어 있다(Fig. 4.29). 자굴이(JG)수원지는 서귀포 보목동 해안(해발 13.31~16.59m)에 위치하며 해안으로 유입되는 자굴이물 용천수 수원을 대상으로 18.5~35m 심도로 얕게 개발되었다. 따라서, 주대수층 구간은 지표하 30m내외로 한정되어 있으며, 하부에는 소량의 자갈이 혼재된 반고결 실트질모래로 구성되는 저투수층인 서귀포층(지표하 22.5m~31m)이 분포하고 있다. 자굴이 수원지의 포화대 두께는 12.65~20.2m이다.

JG1~6의 자연수위는 해발기준 2.83~11.58m이고, 저투수층 출현심도는 -4.45~-17.19m(해발기준)로 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

굴착심도가 31~35m로, 저투수층 출현심도(해발기준 -4.45~-5.91m)가 비교적 얕은 JG1~JG4 에서는 자연수위가 2.83~3.57m(해발기준)로 낮은 위치에 형성되고, 굴착심도가 18.5~22.5m로, 저투수층 출현심도(-15.57~-17.19m)가 비교적 깊은 JG5, JG6에서는 자연수위가 8.20~11.58m(해발기준)로 다소 높은 위치에 형성되고 있다.

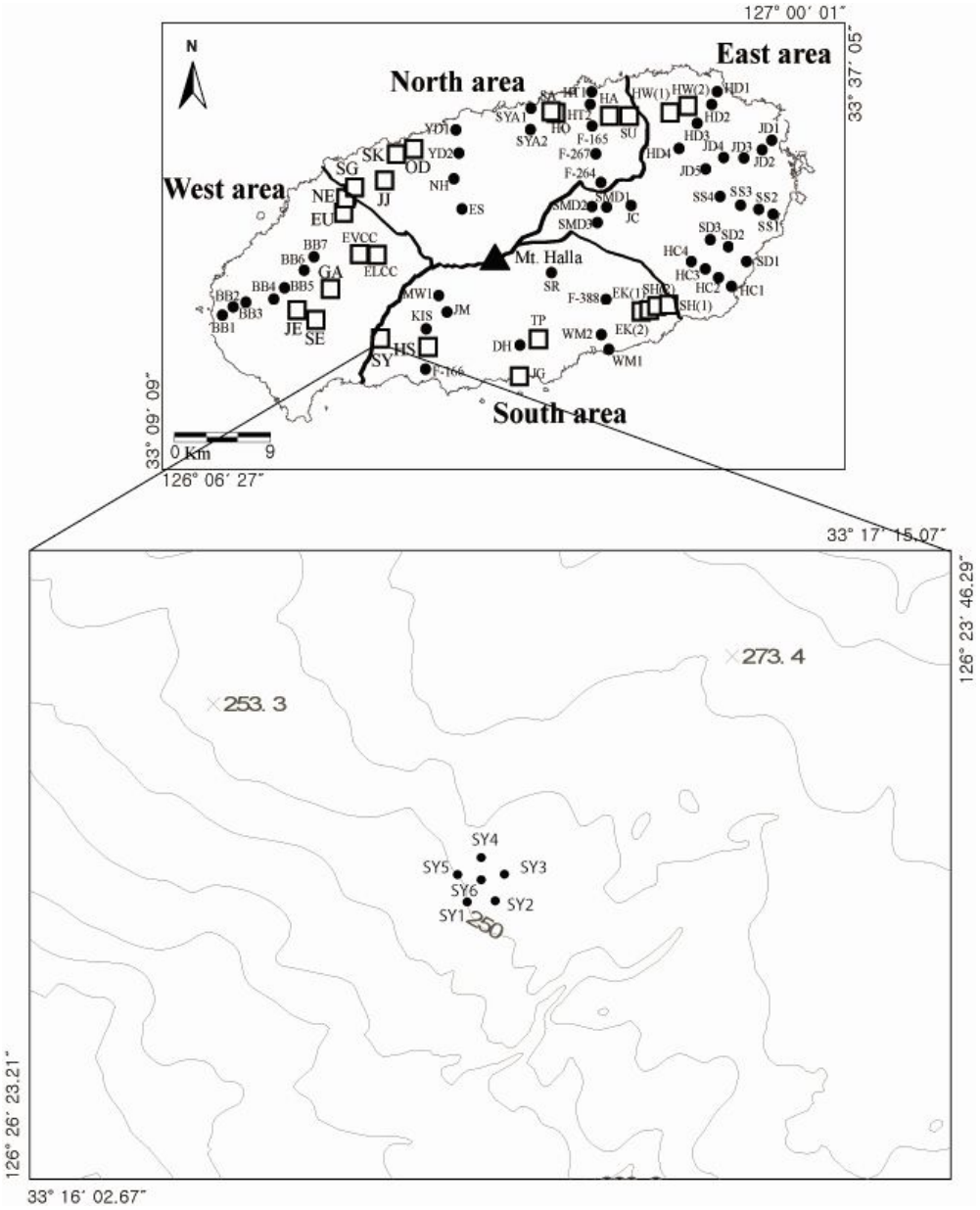


Fig. 4.24 Location of Sangye well field.

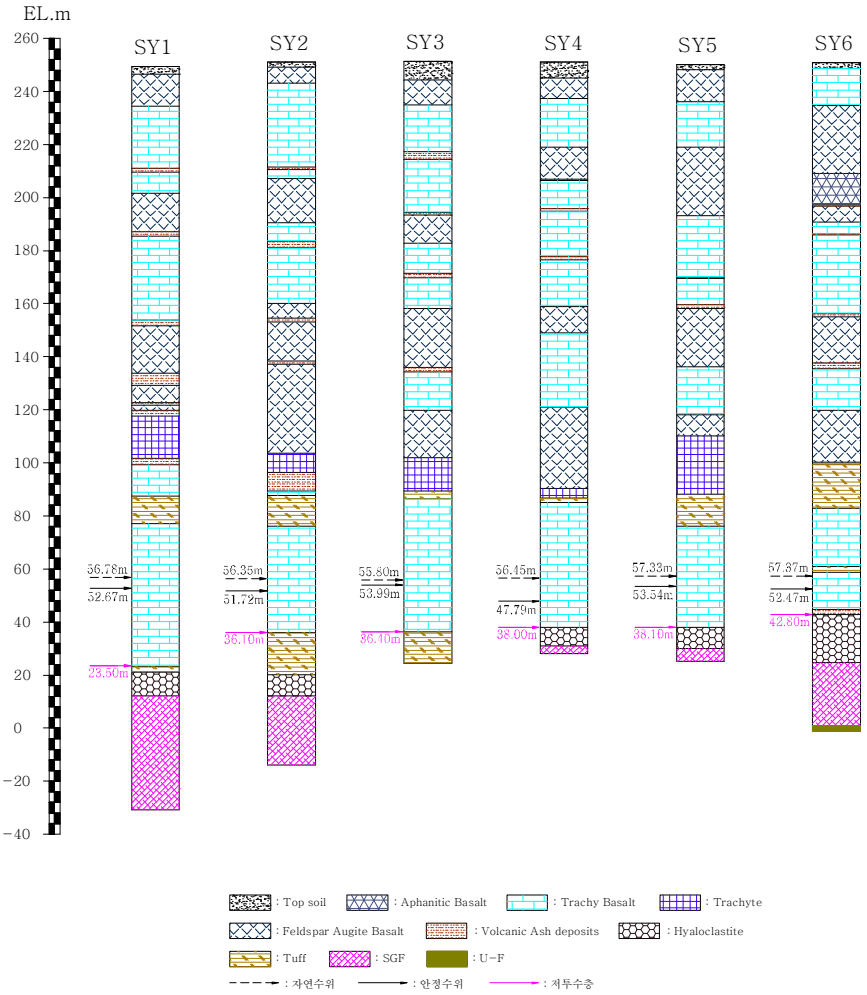


Fig. 4.25 Geological logs of Sangye well field (SY1-SY6).

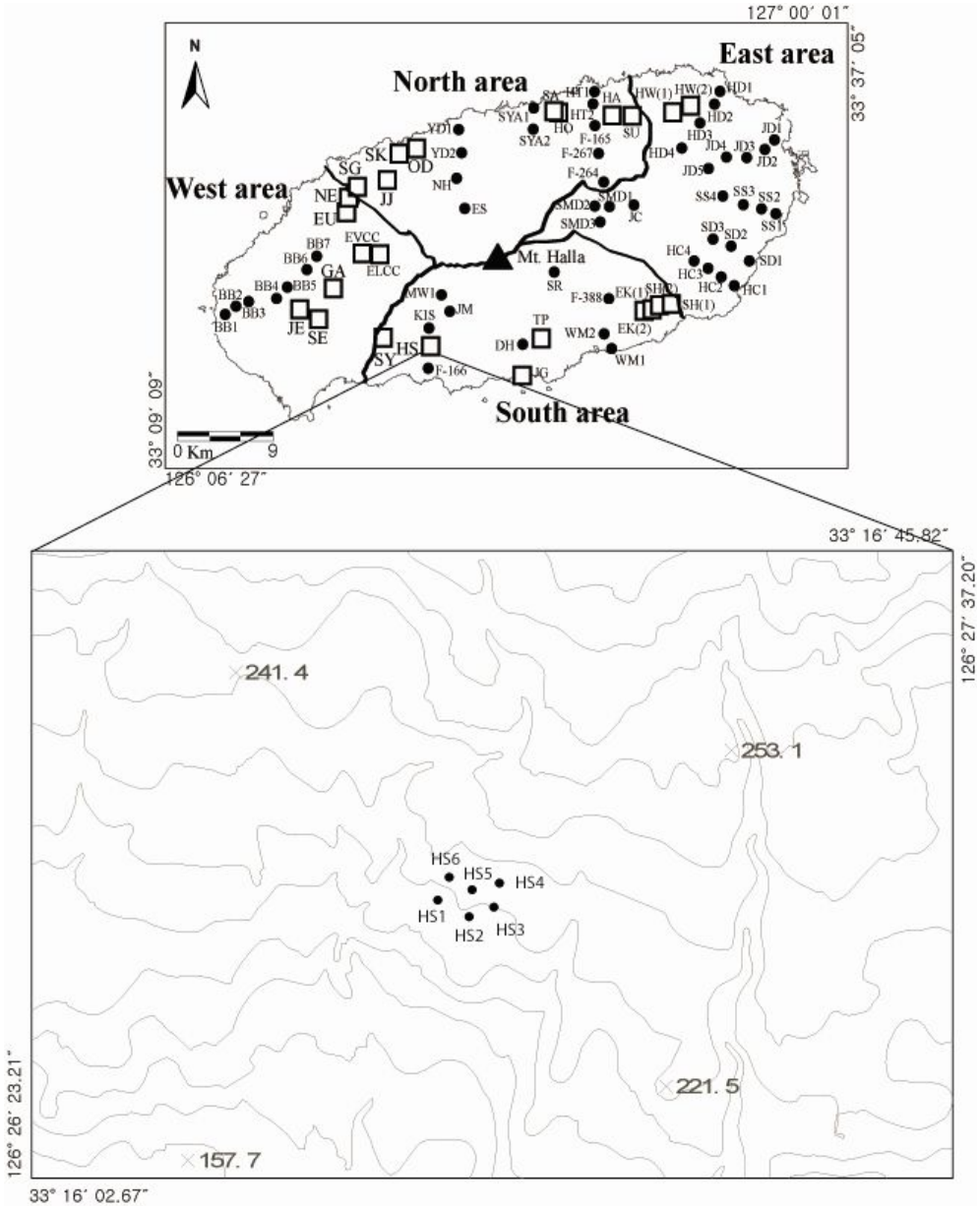


Fig. 4.26 Location of Hoesu well field.

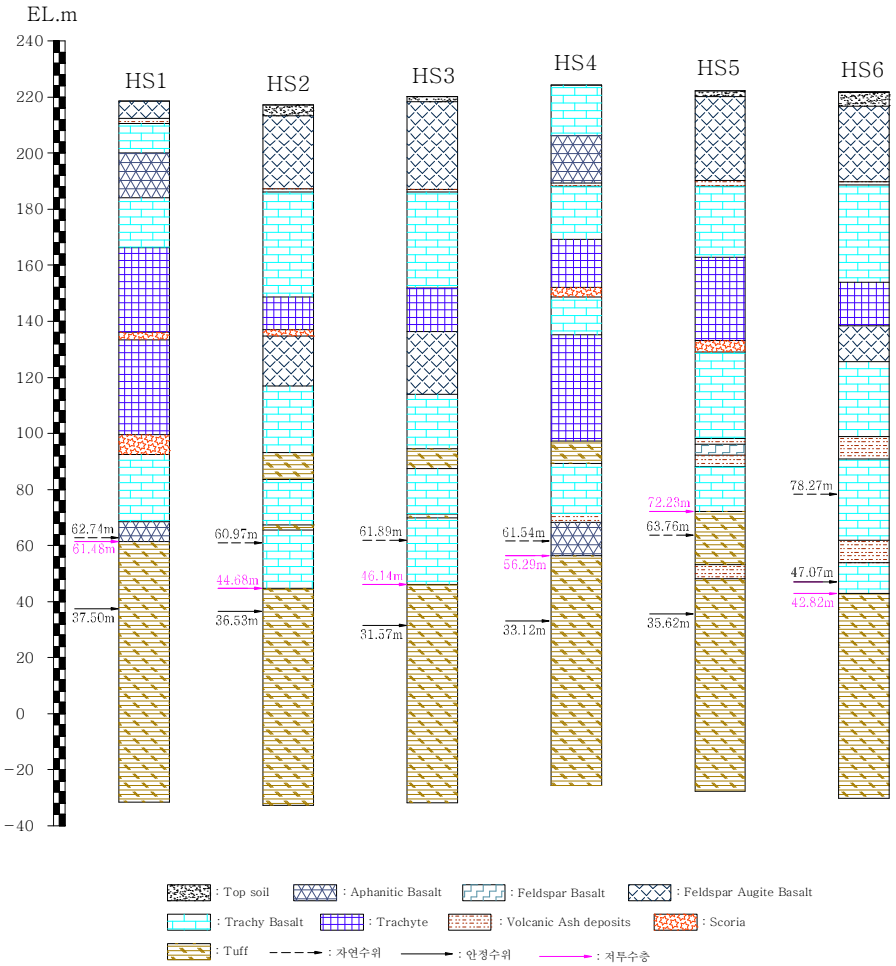


Fig. 4.27 Geological logs of Hoesu well field (HS1-HS6).

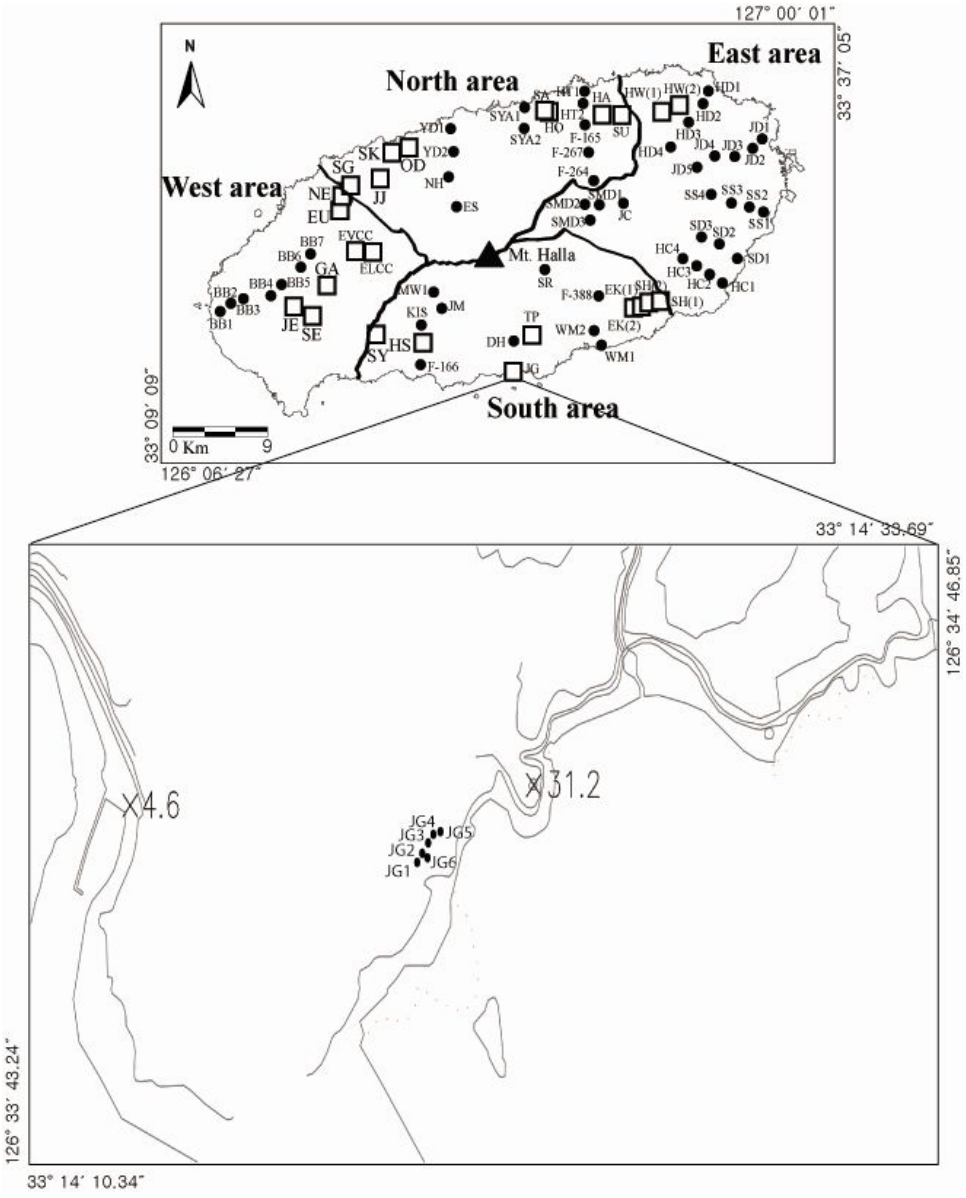


Fig. 4.28 Location of Jaguri well field.

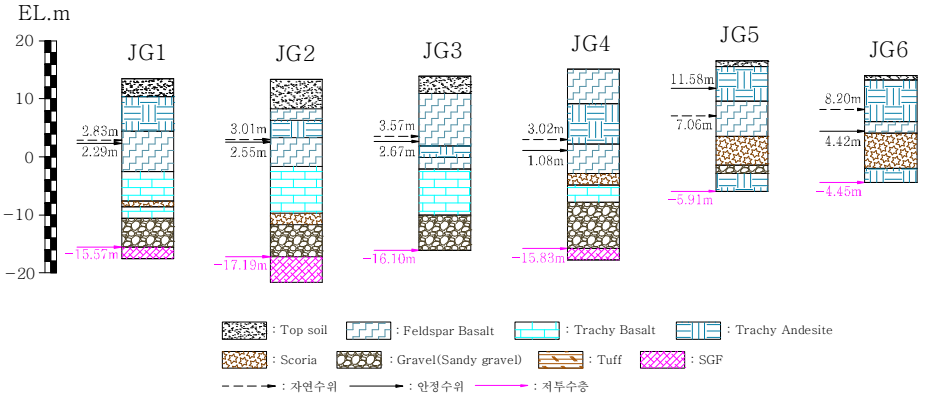


Fig. 4.29 Geological logs of Jaguri well field (JG1-JG6).

4.3.4 토평수원지

토평(TP)수원지 4개공(Fig. 4.30)의 지하지질은 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 스코리아, 사력층, 화산재 퇴적층, 토양층, 응회암, 서귀포층으로 구성되며, 주대수층은 TB, FOB의 절리대 및 클링커, 사력층으로 구성되어 있다(Fig. 4.31).

주대수층은 지표하 75~145m에 분포한다. TP1~TP4(표고 161.9~165.5m)의 자연수위는 해발기준 76.20m~88.83m, 저투수층 출현심도는 16.90~58.90m(해발기준)이다. 상부 준기저지하수지역으로 포화대 두께는 20.8～64.8m이다.

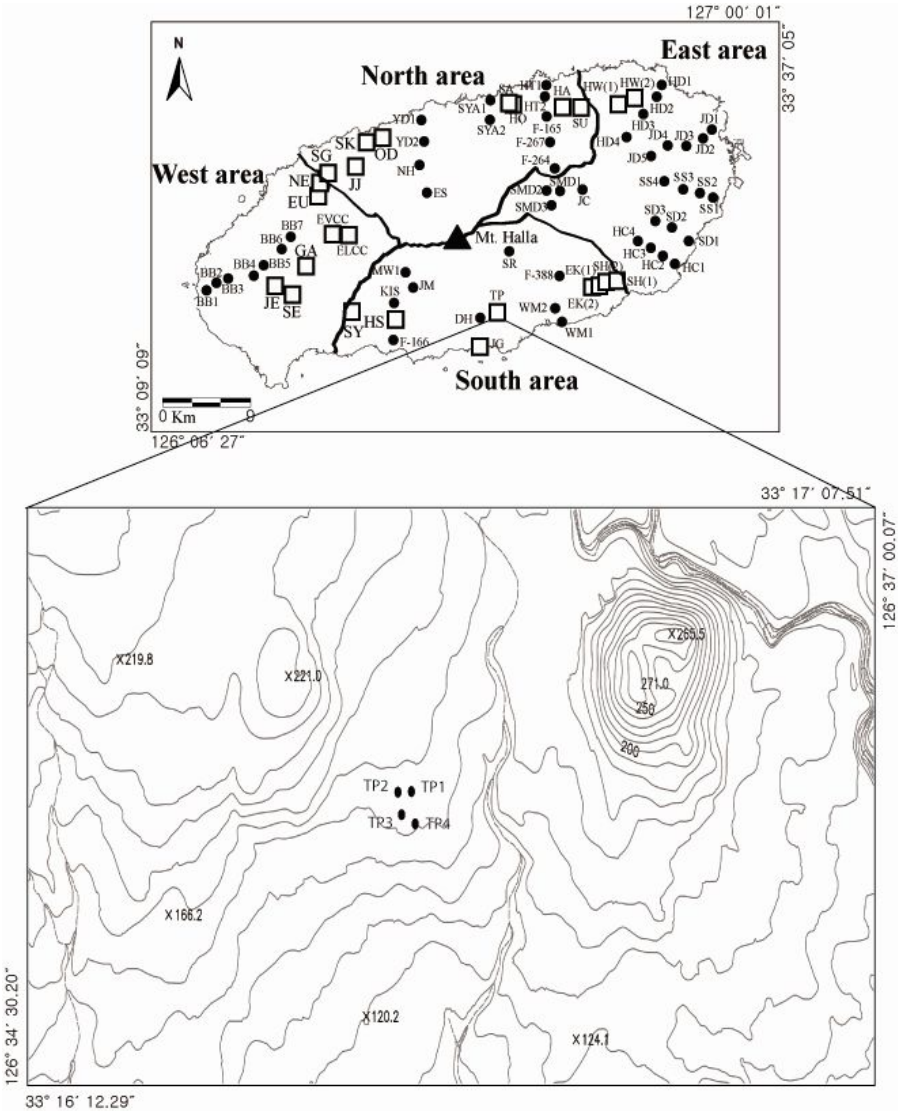


Fig. 4.30 Location of Topyeong well field.

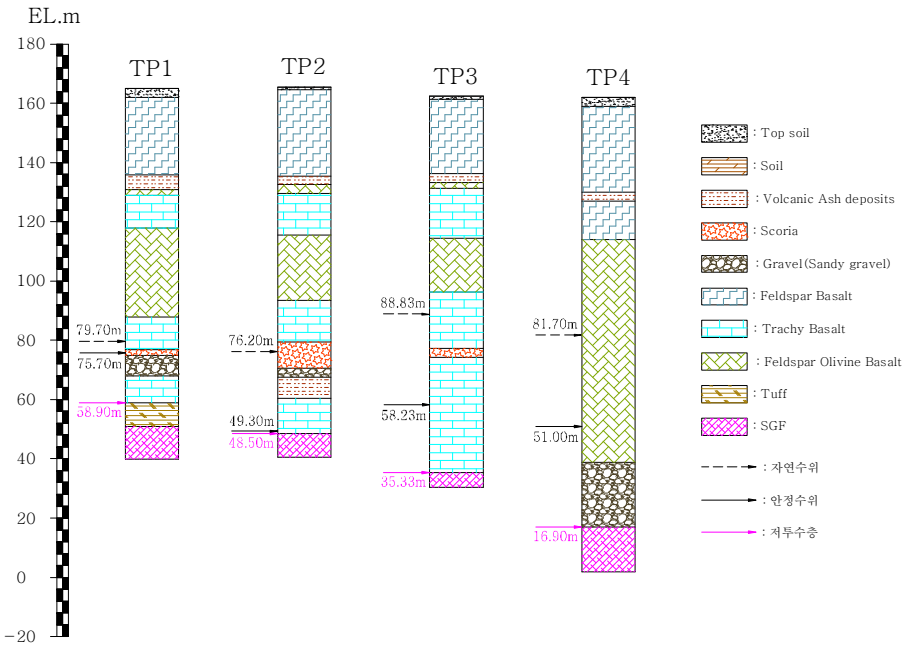


Fig. 4.31 Geological logs of Topyeong well field (TP1-TP4).

4.3.5 의귀수원지

의귀수원지에는 의귀1수원지(EK(1))와 의귀2수원지(EK(2))가 있다(Fig. 4.32). 의귀1수원지(EK(1)) 6개공(EK(1)1~6)의 지하지질은 서귀포층, 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 고토양, 사력층, 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 장석현무암(FB: Feldspar Basalt)층으로 구성되고 있다. 주대수층은 FOB의 절리대 및 클링커에 형성되고 있다(Fig. 4.33). 주대수층 구간은 지표하 약 70~90m에 분포하며, 포화대 두께는 23.70～36.3m이다. EK(1)1-6(표고 68.59~71.65m)의 자연수위는 해발기준 1.15m~1.70m, 저투수층 출현심도는 -22.41m~-34.92m (해발기준)이며, 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

의귀2수원지(EK(2)) 6개공(EK(2)1~6)의 지하지질은 전반적으로 하단부에 서귀포층이 분포하고 있으며, 그 상부는 응회암(Tuff), 사력층, 장석감람석현무암(FOB), 반상장석현무암(PFB), 장석휘석현무암(FAB), 장석현무암(FB), 화

산재 퇴적층(Volcanic Ash deposits), 스코리아층으로 구성되고, 일부 자갈층 및 토양층이 협재되고 있다(Fig. 4.34). 주대수층은 자연수위 부근 또는 하부에 형성되고 있는 암층 절리대, 클링커층 및 사력층이다. EK(2)1~6(표고 73.49~74.30m)의 자연수위는 해발기준 3.29m~4.30m, 저투수층 출현심도는 -10.51m~-15.87m(해발기준)로 인접한 의귀1수원 및 신흥2수원에 비해 다소 상부에 나타난다. 하부 준기저지하수지역에 해당되며 포화대 두께는 23.7 ~36.3m이다.

4.3.6 신흥수원지

신흥수원지에는 신흥1수원지와 신흥2수원지가 있다. 신흥1(SH(1))수원지는 6개공(SH(1)1~6)으로 구성된다(Fig. 4.32). 지하지질은 장석감람석현무암(FOB), 스코리아, 장석현무암(FB)으로 구성되는 비교적 단순한 지질구조를 보이고 있다(Fig. 4.35). 하단부에 서귀포층・응회암층 등의 저투수층이 존재하지 않으며, 대부분 용암류로 구성되고 있다. 신흥1수원지의 주대수층 구간은 지표하 약 60~80m 깊이에 형성되고 있는 FOB의 절리대, 클링커층 및 스코리아층이다. SH(1)1~6(표고 62.83~63.51m)의 자연수위는 해발기준 1.12~1.64m이며, 포화대 두께는 19.8~21.8m(해발기준)이다. 저투수층이 나타나지 않으므로, 굴착심도 하한, 18.49~-20.17m(해발기준)를 저투수층 출현심도로 설정하였으며, 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

신흥2(SH(2))수원지 6개공(SH(2)1~6)의 지하지질은 조면암질안산암(TA), 장석감람석현무암(FOB), 장석현무암(FB), 토양층(Soil), 장석휘석현무암(FAB), 화산재퇴적층, 스코리아층(Scoria)으로 구성되고 있다(Fig. 4.36). 대부분 현무암질용암류로 구성되고 암층 사이에 토양층이 얇게 협재되는 형태를 보인다. 주대수층은 FOB, TA의 절리대 및 클링커층으로 지표하 약 60~90m 구간에 형성되고 있다. SH(2)1~6(표고 59.14~65.47m)의 자연수위는 해발기준 0.11~1.54m, 포화대 두께는 약 25~32m이다. 저투수층이 나타나지 않으므로, 굴착심도 하단부 -24.53~-30.86m(해발기준)를 저투수층 출현심도로 설정하였으며, 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

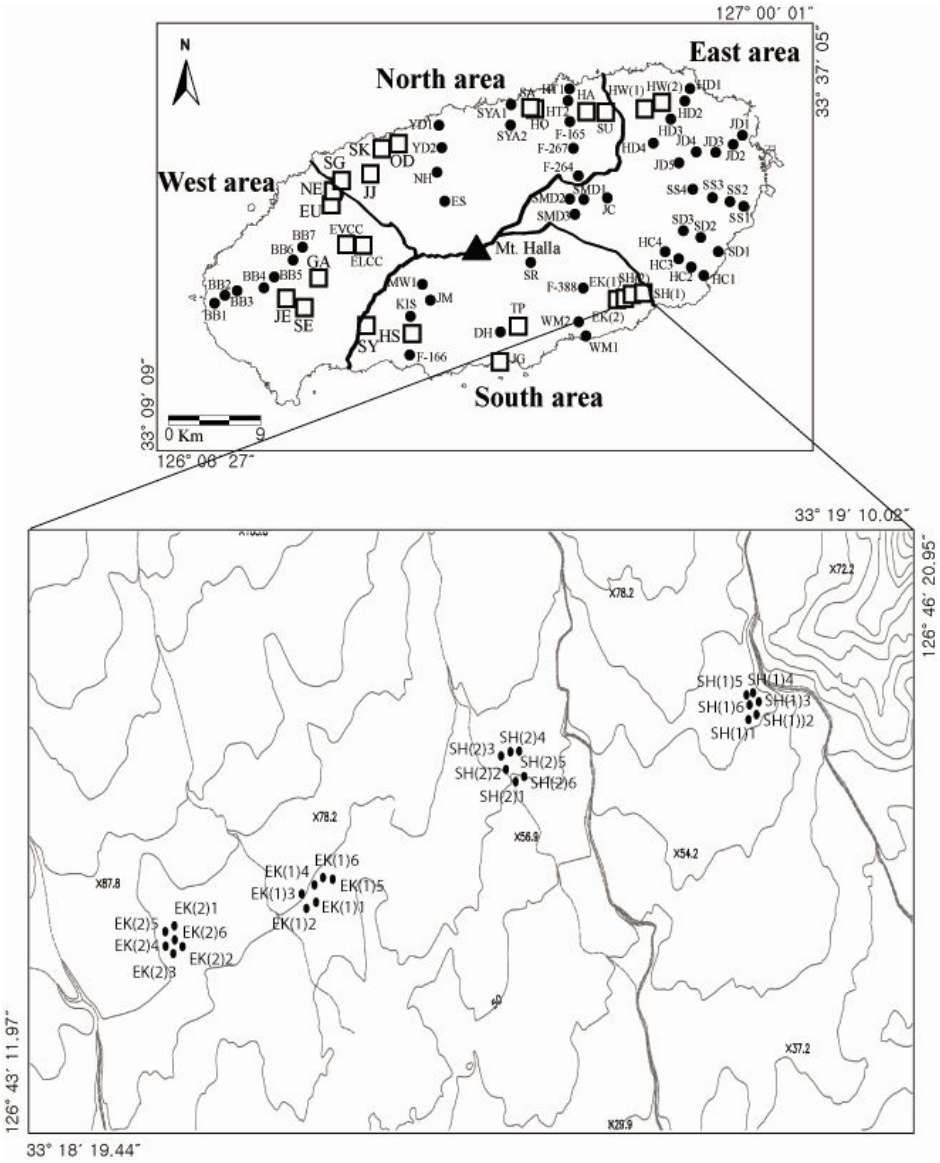


Fig. 4.32 Location of Euiki(1),(2) and Shinheung(1),(2) well field.

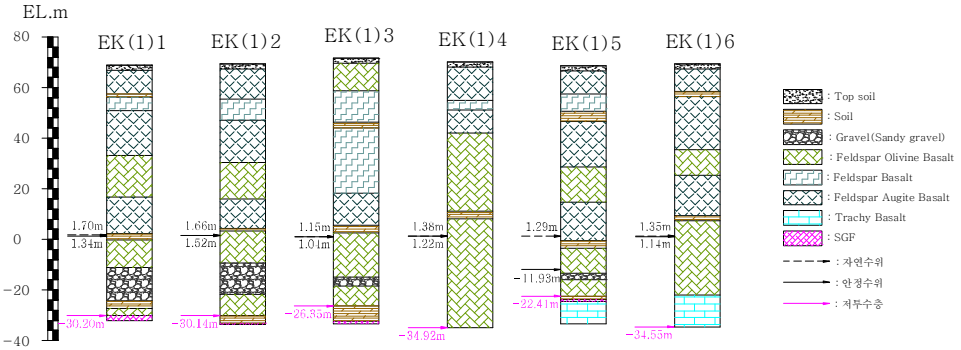


Fig. 4.33 Geological logs of Euiki well field (EK(1)1-EK(1)6).

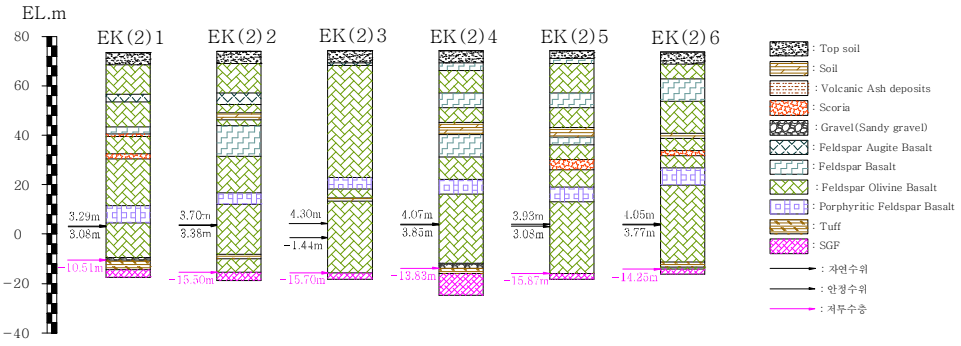


Fig. 4.34 Geological logs of Euiki(2) well field (EK(2)1-EK(2)6).

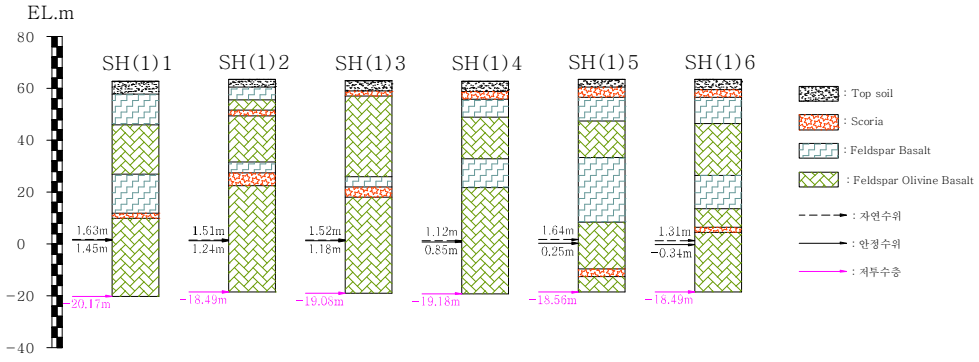


Fig. 4.35 Geological logs of Shinheung(1) well field (SH(1)1-SH(1)6).

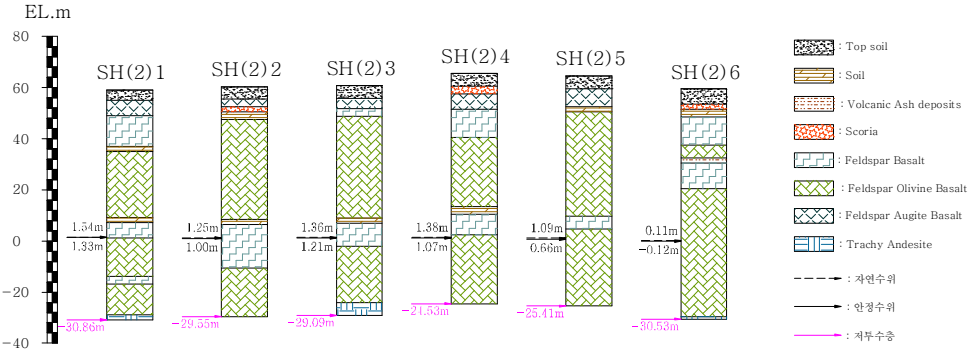


Fig. 4.36 Geological logs of Shinheung(2) well field (SH(2)1-SH(2)6).

4.3.7 중문지구

중문지구(서귀포시 중문동 산6-1번지)의 1개공(JM)은 해발 550m에 위치하며, 한라산고지대지역 지하수 시추조사는 2007.10.9~2008.7.30에 한국농촌공사에 의해서 개발되었다. 지하지질은 조면암(T: Trachyte), 장석휘석현무암

(FAB: Feldspar Augite Basalt), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 스코리아, 토양층, 응회암, 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 서귀포층(SGF)으로 구성되어 있다. 주대수층은 해발기준 401m 하부의 TB 절리대, 클링커 및 스코리아 구간에서 형성된다.

자연수위는 해발기준 372.0m, 저투수층 출현심도는 170.0m(해발기준), 포화대 두께는 202m이고, 상위지하수지역에 해당된다.

4.3.8 동흥지구

동흥지구의 1개공(DH)은 해발 192m에 위치하며, 국가관측공으로 개발되었다. 지하지질은 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 조면암(T: Trachyte), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 화산쇄설층, 토양층(주로 점토), 서귀포층(SGF), U층으로 구성되어 있다. 주대수층은 APB의 클링커층 구간으로 저투수층 출현심도(해발기준 103.0m) 하부의 해발기준 49~69m 구간에 형성된다. 상부 준기저지하수지역에 해당되며, 자연수위는 해발기준 66m이고, 포화대 구간은 17m로 자연수위 부터 대수층 하부에 출현하는 저투수층(해발기준 49m)까지로 설정하였다.

4.3.9 신례지구

신례지구의 1개공(SR)(서귀포시 남원읍 신례리 92번지)은 해발 600m에 위치하며, 한라산 고지대지역 지하수시추조사의 일환으로 2008.5.6~2009.2.25에 한국농촌공사에 의해서 개발되었다. 지하지질은 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 퇴적층, 조면암질안산암(TA: Trachy Andesite), 클링커층, 스코리아, 장석휘석감람석현무암(FAOB: Feldspar Augite Olivine Basalt), 서귀포층(응회암, 점토), U층으로 구성되어 있다. 주대수층은 해발기준 197~239m구간의 TA 클링커 및 스코리아층이며, 포화대 두께는 177m이다.

자연수위는 해발기준 302.0m, 저투수층 출현심도는 125.0m(해발기준)이며,

상부 준기저지하수지역에 해당된다.

4.3.10 위미지구

위미지구 2개공(WM1, WM2)의 지하지질은 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 유리질쇄설암, 토양층, 서귀포층(SGF), U층(진회색 실트)으로 구성되어 있다(Fig. 4.37). 서귀포층은 담회색 사질, 암회색 점토로 구성되며, 패각을 함유한다. 위미지구의 주대수층은 FOB, APB, FB의 절리대, 유리질쇄설암, 클링커층으로 구성된다. WM1의 자연수위는 해발기준 2.35m, 저투수층 출현심도는 -55.8m(해발기준)이며, 포화대 두께는 58.15m이다. WM2의 자연수위는 13.75m(해발기준), 저투수층 출현심도는 -14.3m(해발기준)이며, 포화대 두께는 28.05m이다. WM1은 기저지하수, WM2는 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

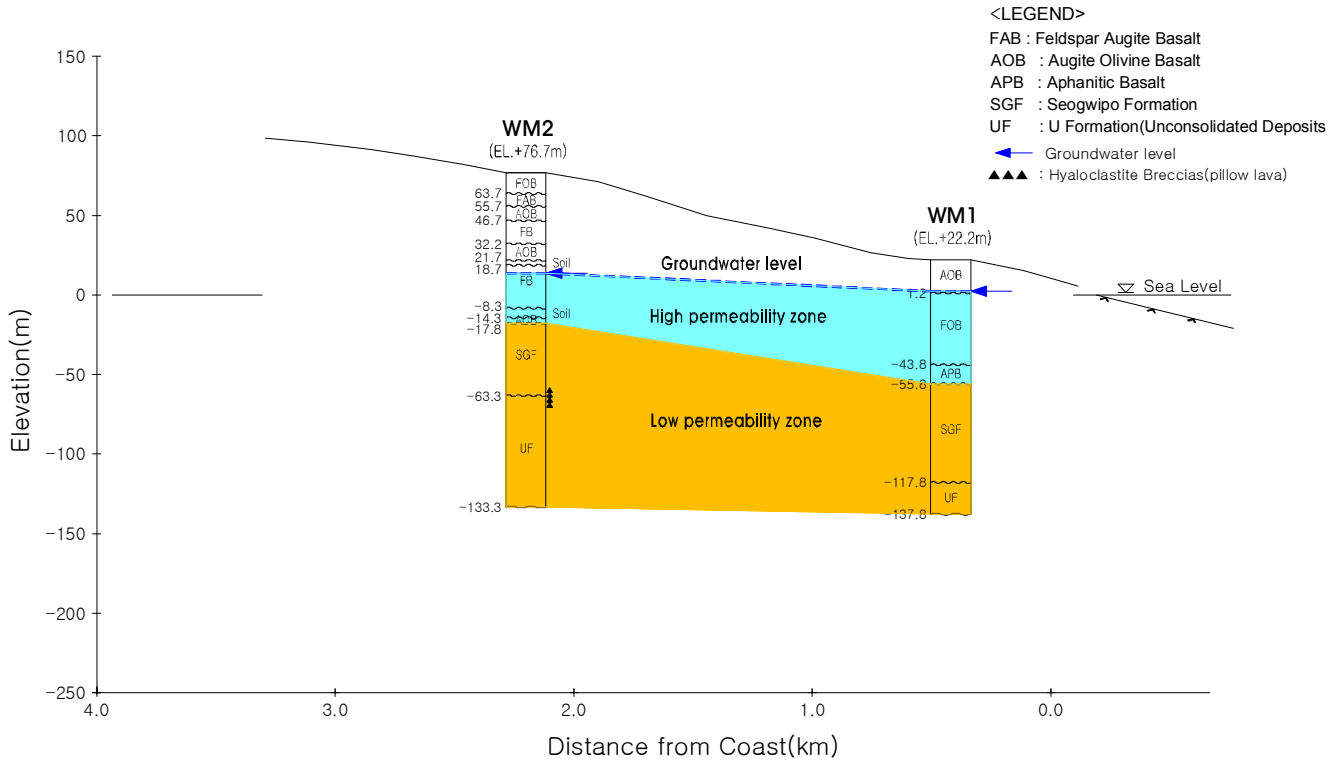


Fig. 4.37 Geologic cross-section of Wimi site (WM1-WM2).

4.4 북부지역의 지질 및 수리지질

북부지역에는 8개 수원지(상가(SG), 장전(JJ), 상귀(SK), 외도(OD), 삼양(SA), 회천(HO), 함덕(HA), 선흘(SU))의 총 46개공, 해수침투관측공 용담1(YD1), 용담2(YD2), 삼양1(SYA1), 삼양2(SYA2), 함덕1(HT1), 함덕2(HT2)의 6공, 국가지하수 관측공인 노형(NH), 한라산 고지대 조사공 어승생(ES), 농업용수 관정 F-165, F-267, F-264 5개공 등 57개공이 위치하고 있다(Fig. 4.38).

북부지역의 지하지질은 크게 하부로부터 기반암(화강암과 응회암), 서귀포층, 조면질 현무암, 현무암질 조면 안산암류, 현무암류로 구성된다. 총 포화대 두께는 자연수위로부터 저투수층의 최상부까지이다. 저투수층은 서귀포층 내지 고결된 응회암류의 출현심도를 기준하였으며, 서귀포층 상부의 투수성이 양호한 유리질쇄설암이나 미고결 사력층은 저투수층에서 제외하였다.

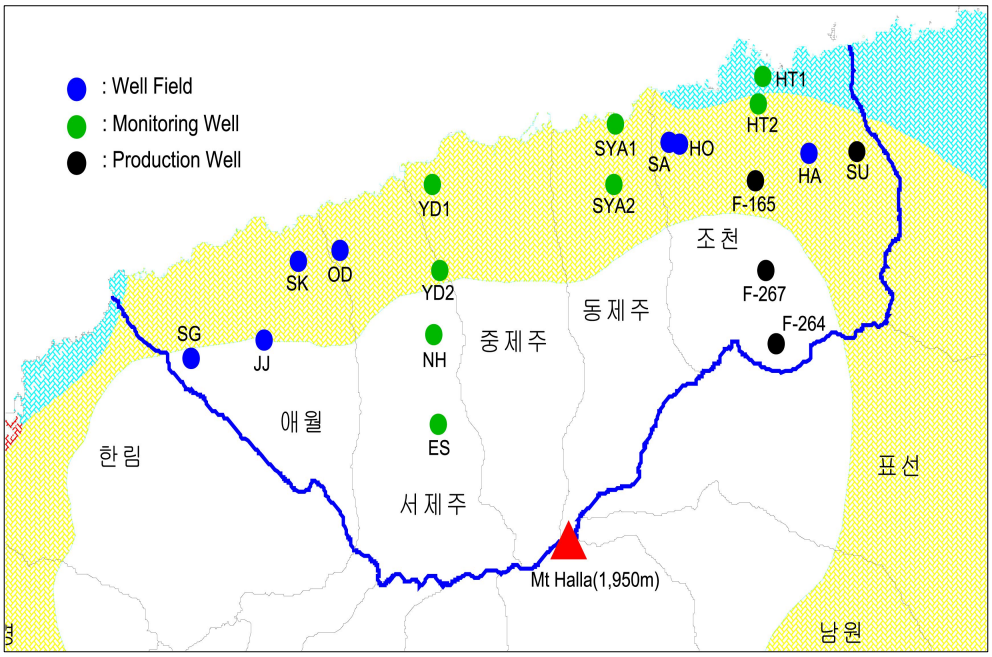


Fig. 4.38 Location of wells in the north area.

4.4.1 상가수원지

상가(SG)수원지는 6개공(SG1~SG6)으로 구성된다(Fig. 4.39). 지하지질을 보면, 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 클링커층, 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 조면암질안산암(TA: Trachy Andesite), 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 화산쇄설층, 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt)으로 구성되며, 대수층은 AOB, TB, TA, FOB, FB의 절리대, 클링커층, 화산쇄설층으로 구성되며, 대부분 자연수위 하부 구간에 형성된다(Fig. 4.40).

SG1~SG6의 자연수위는 해발기준 13.90~18.80m, 저투수층 출현심도는 저투수층이 굴착심도까지 출현하지 않으므로 굴착심도 하한 -27.5~-32.5m(해발기준)를 저투수층 출현심도로 보았다. 하부 준기저지하수지역에 해당되며, 포화대 두께는 42.90～49.30m이다.

4.4.2 장전수원지

장전(JJ)수원지 6개공(JJ1~JJ6)(Fig. 4.41)의 지하지질을 보면, 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt), 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 장석현무암(FB: Feldspar Basalt)으로 단순한 지층구성을 보이며, 굴착심도 내에서 저투수층(응회암층, 서귀포층 등)은 확인되지 않았다(Fig. 4.42).

주대수층은 TB, FOB, FB의 절리대 및 클링커층으로 구성되며, 대부분 자연수위 하부 구간에 형성된다. JJ1~JJ6(표고 172.40~176.40m)의 자연수위는 해발기준 5.8~15.1m, 저투수층 출현심도는 저투수층이 굴착심도까지 출현하지 않으므로 굴착심도 하한 -34.5~-38.2m(해발기준)를 저투수층 출현심도로 보았다. 하부 준기저지하수지역에 해당되며 포화대 두께는 42.4～52.7m이다.

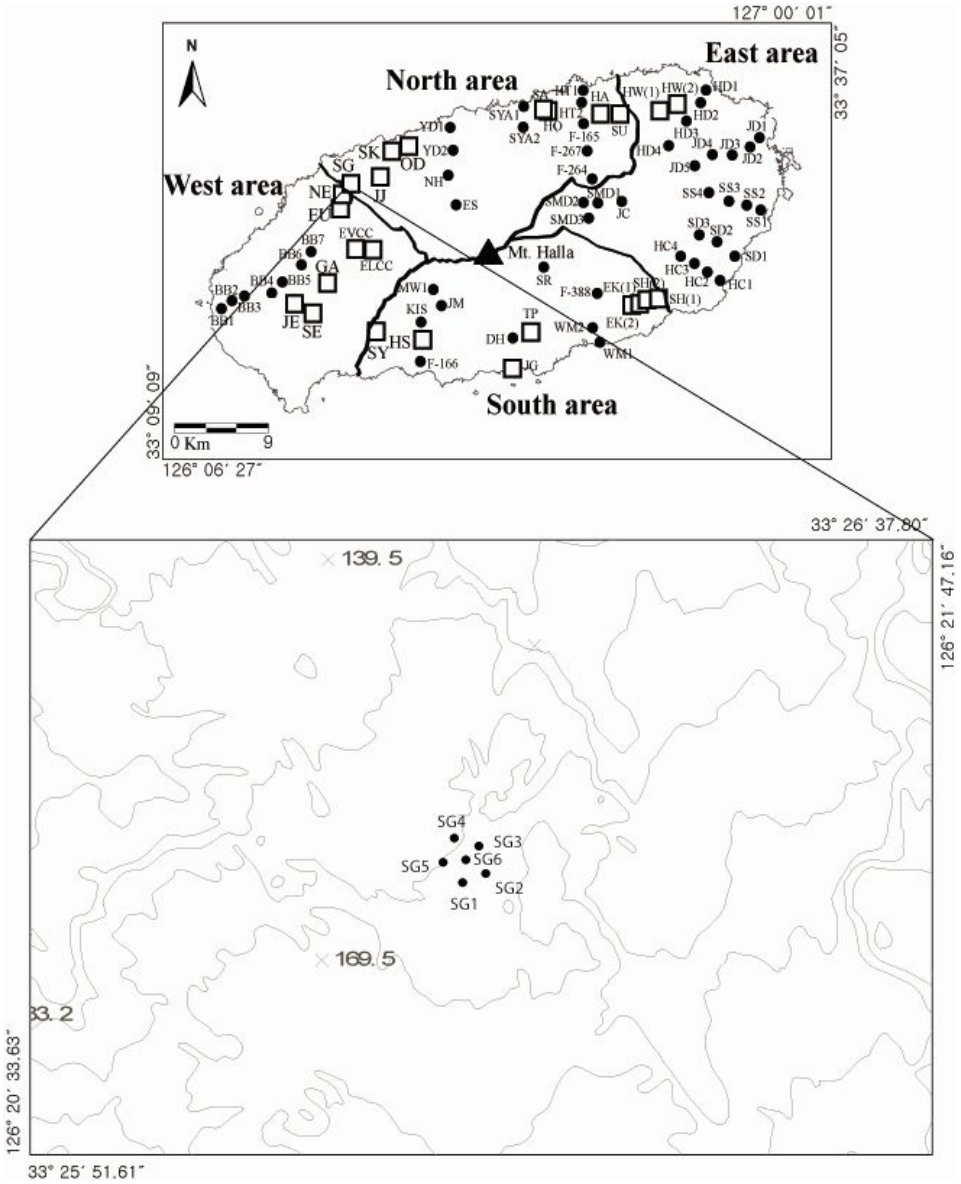


Fig. 4.39 Location of Sangga well field.

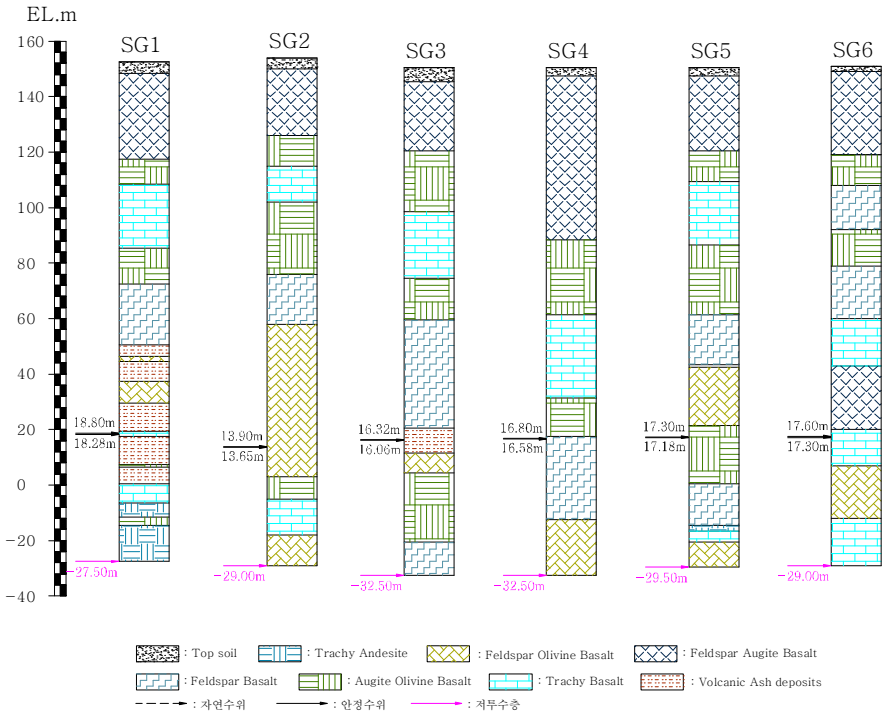


Fig. 4.40 Geological logs of Sangga well field (SG1-SG6).

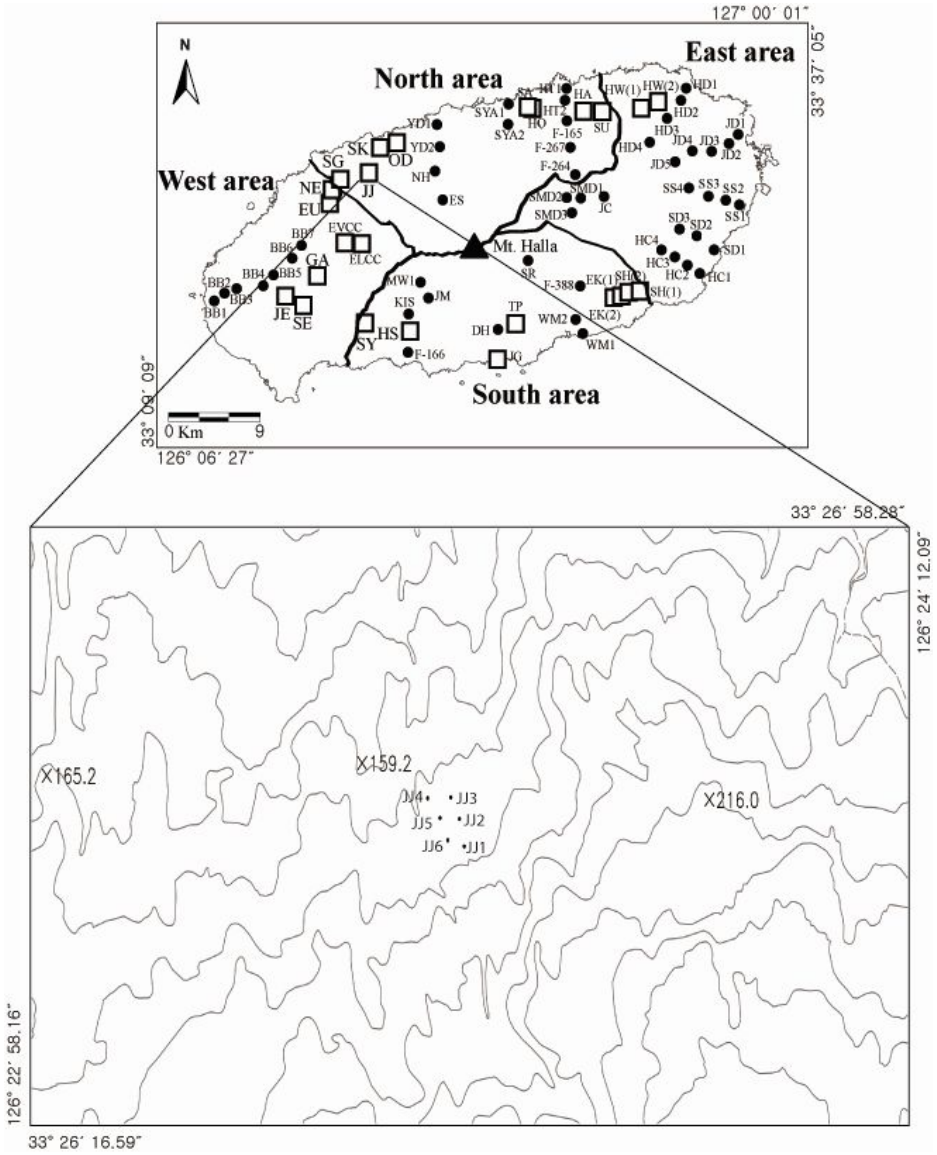


Fig. 4.41 Location of Jangjeon well field.

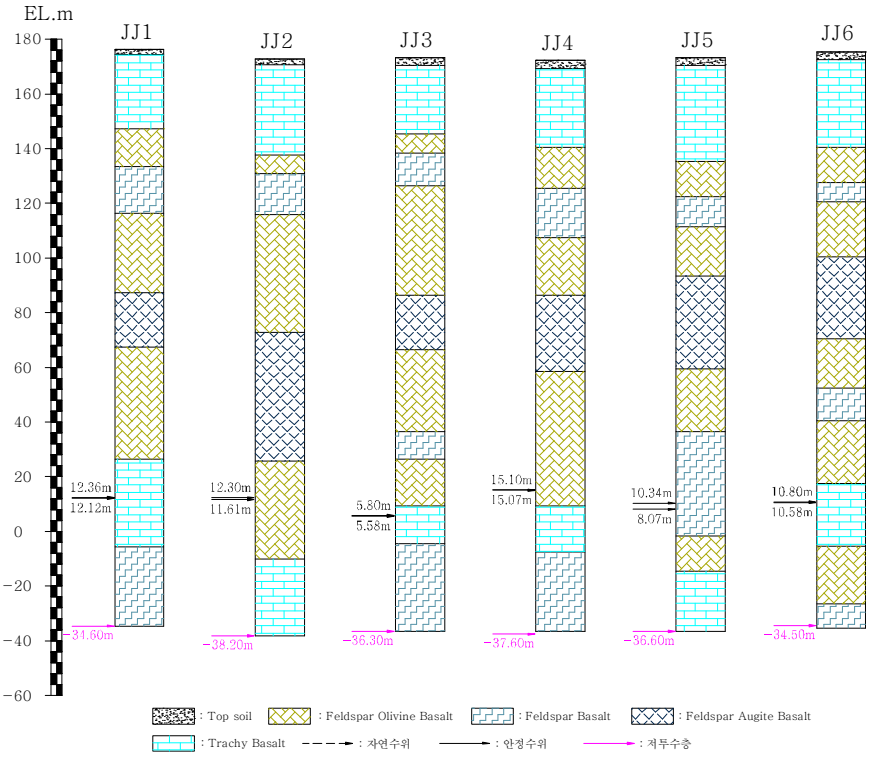


Fig. 4.42 Geological logs of Jangjeon well field (JJ1-JJ6).

4.4.3 상귀수원지

상귀(SK)수원지 6개공(SK1~SK6)(Fig. 4.43)의 지하지질은 대부분 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt)으로 구성되고, 암층 내에는 클링커층이 형성되고 있으며, 암층과 반복하여 2~3매의 토양층이 협재되고, 하단부에는 서귀포층이 분포하고 있다(Fig. 4.44). 주대수층은 FOB의 절리대 및 클링커층으로 구성되어 있으며, 대부분 자연수위 하부 구간에 형성된다. 상귀수원지의 포화대 두께는 43.10~48.99m이다.

상귀(SK)수원지는 해발표고 49.74~56.88m로 비교적 낮은 지역에 위치하고 있으며, SK1~SK6의 자연수위는 해발기준 5.98~7.74m, 저투수층 출현심도는 -36.05~-41.25m(해발기준)로 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

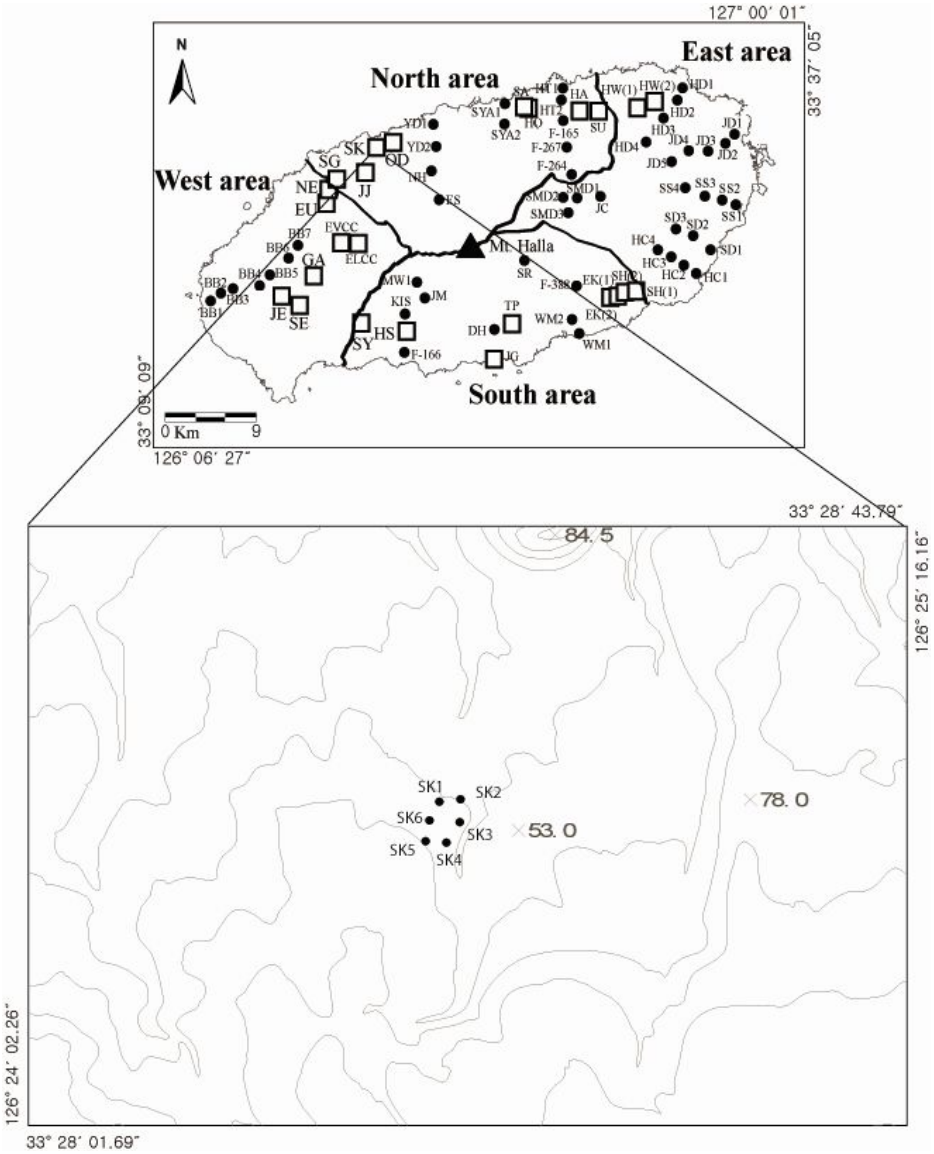


Fig. 4.43 Location of Sangkui well field.

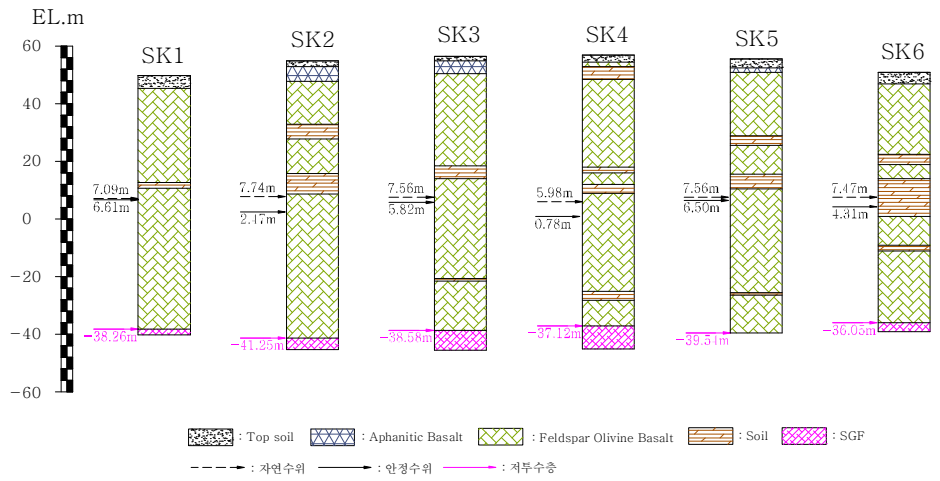


Fig. 4.44 Geological logs of Sankui well field (SK1-SK6).

4.4.4 외도수원지

외도(OD)수원지 6개공(OD1~OD6)(Fig. 4.45)의 지하지질은 상귀수원지와 유사하게 대부분 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt)으로 구성되고 있으며, 그 외 암층 사이에 토양층이 협재되고 굴착 하부구간에 서귀포층이 분포하고 있는데, 서귀포층 하부에도 장석감람석현무암이 분포하는 특징을 보인다(Fig. 4.46). 주대수층은 FOB의 절리대 및 클링커층으로 구성되어 있으며, 대부분 지하수위 하부 구간에 형성된다.

OD1~OD6(표고 57.98~59.02m)의 자연수위는 해발기준 10.90~17.39m, 저투수층 출현심도는 -56.98~-86.88m(해발기준)이며, 하부 준기저지하수지역으로 포화대 두께는 67.88～102.05m이다. 외도(OD)수원지는 지하수공 표고가 57.98~59.02m로 낮은데 비해 자연수위는 다소 높은 10.90~17.39m(해발기준)에 형성되고 있다. OD2, OD3, OD4에서는 서귀포층 상단을 저투수층 출현심도로 설정하였으나, OD1, OD5, OD6에서는 저투수층이 나타나지 않아 굴착심도 하한을 저투수층 출현심도로 설정하였다.

4.4.5 삼양수원지

삼양(SA)수원지는 5개공(SA1~SA5)으로 구성된다(Fig. 4.47). 지하지질은 대부분 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt)으로 구성되고, 암층 사이에 토양층이 얇게 협재되며, 클링커가 발달되고 있다(Fig. 4.48). 주대수층은 클링커층에서 형성된다. 해발기준 -73.91~-77.5m까지 굴착되었으나 굴착 구간 내 응회암층·서귀포층 등의 퇴적층 또는 저투수층이 나타나지 않아, 굴착공 저면을 저투수층 출현심도로 추정하였다.

SA1~SA5(표고42.5~46.09m)의 자연수위는 해발기준 1.45~2.64m이며, 포화대 두께는 약 75~80m이다. 하부 준기저지하수지역으로 대수층 구간은 지표하 50~70m이며, 대부분 수위하부 구간에 형성되고 있다.

4.4.6 회천수원지

회천수원지(HO) 5개공(HO1~HO5)(Fig. 4.47)의 지하지질은 장석감람석현무암(FOB)이 주를 이루고 있으며, 암층 사이에 토양층(Soil)과 자갈층(Gravel~Sandy Gravel)이 얇게 협재되고 있다(Fig. 4.49). 인접한 삼양수원에 비해 토양층이 발달되고, 자갈층이 불규칙하게 포함되는 특징을 보인다. 주대수층은 지표하 40~60m 구간의 암층 내 발달되고 있는 클링커층과 절리대이다.

HO1~HO5는 해발기준 -78.20~-79.27m까지 굴착되었으나 굴착 심도까지 저투수층(응회암층과 서귀포층)이 나타나지 않아, 굴착심도를 저투수층 출현심도로 추정하였다. HO1~HO5(표고40.83~41.80m)의 자연수위는 해발기준 0.56~1.50m로 해수면 부근에 형성되고 있으며, 자연수위 하부 포화대 두께는 약 79~80m이다. 하부 준기저지하수지역에 해당되며, 저투수층이 나타나지 않으므로 굴착심도까지를 포화대로 설정하였다.

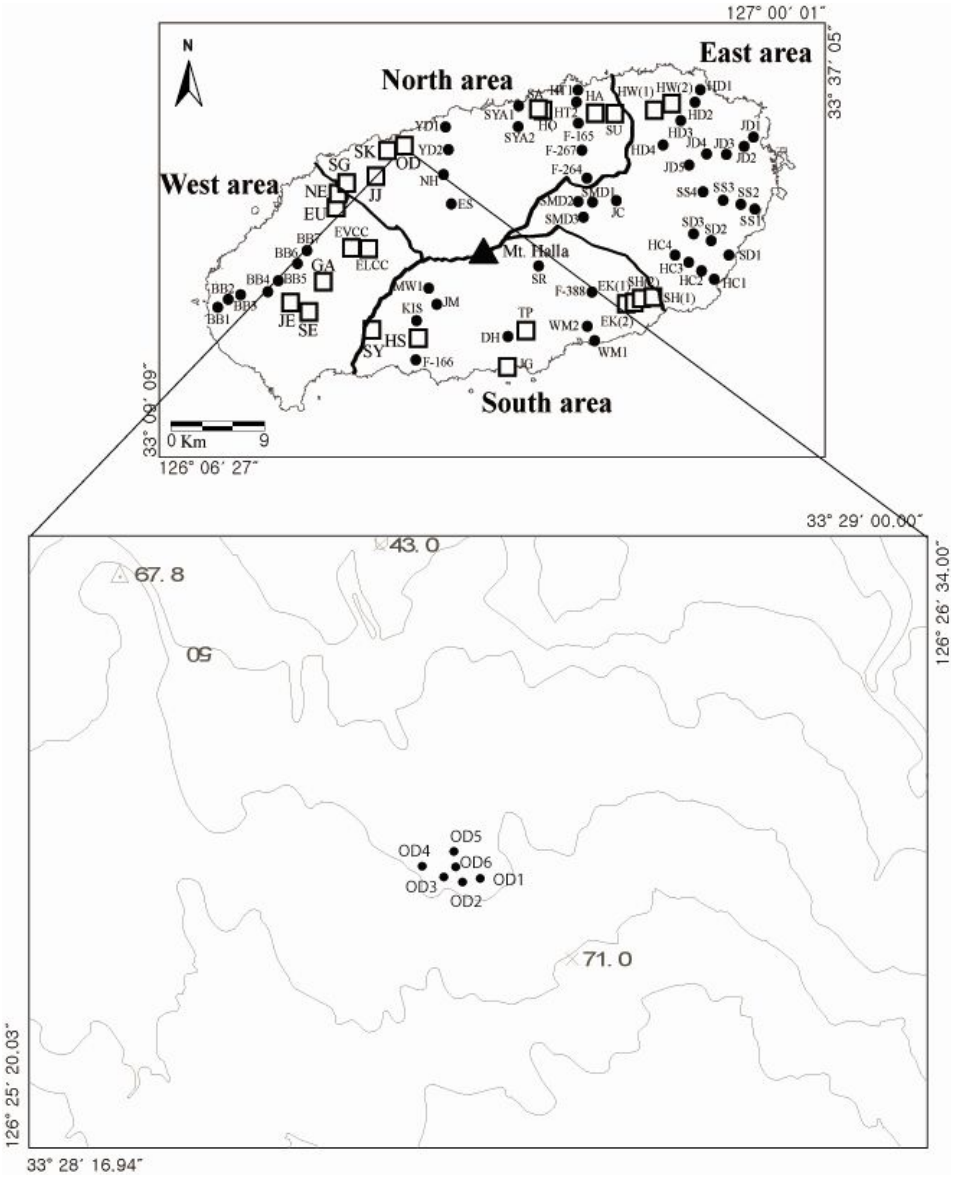


Fig. 4.45 Location of Oedo well field.

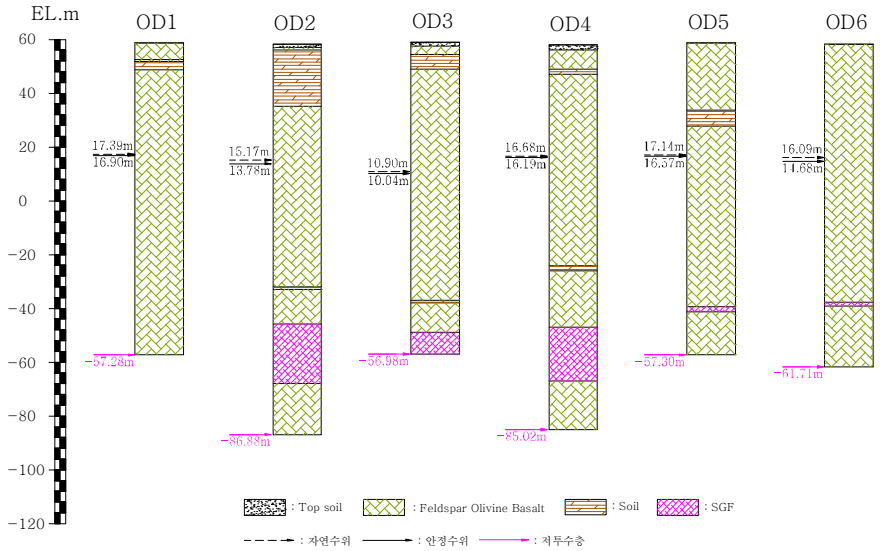


Fig. 4.46 Geological logs of Oedo well field (OD1-OD6).

4.4.7 함덕수원지

함덕(HA)수원지 6개공(HA1~HA6)(Fig. 4.50)의 지질은 대부분 장석감람석 현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt)으로 구성되고 암층 사이에는 1~3매의 토양층이 얇게 협재되고 있다(Fig. 4.51). 암층 내에는 파쇄대인 클링커가 발달되고 있다. 대수층 구간은 수위 하부 구간에 형성되고 있는 암층 절리대와 클링커이다.

해발기준 -29.15~-31.05m까지 굴착되었으나 굴착 구간 내 응회암층·서귀포층 등의 퇴적층 또는 저투수층이 나타나지 않아, 굴착공 저면을 저투수층 출현심도로 설정하였다. HA1~HA6(표고 68.95~70.85m)의 자연수위는 해발기준 1.53~2.64m, 포화대 두께는 약 31.0~33.0m이다. 하부 준기저지하수지역에 해당되며, 저투수층이 나타나지 않으므로 굴착심도까지를 포화대로 설정하였다.

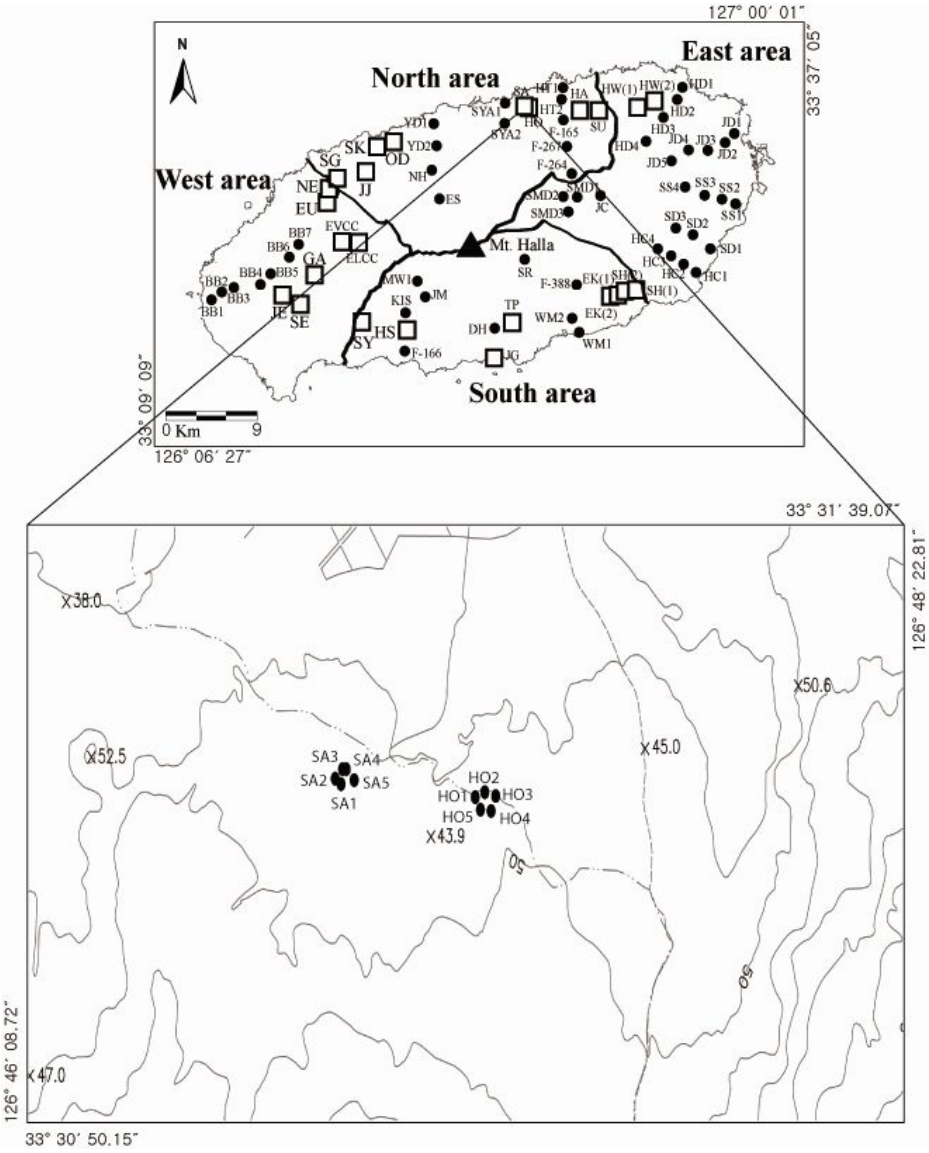


Fig. 4.47 Location of Samyang and Heocheon well field.

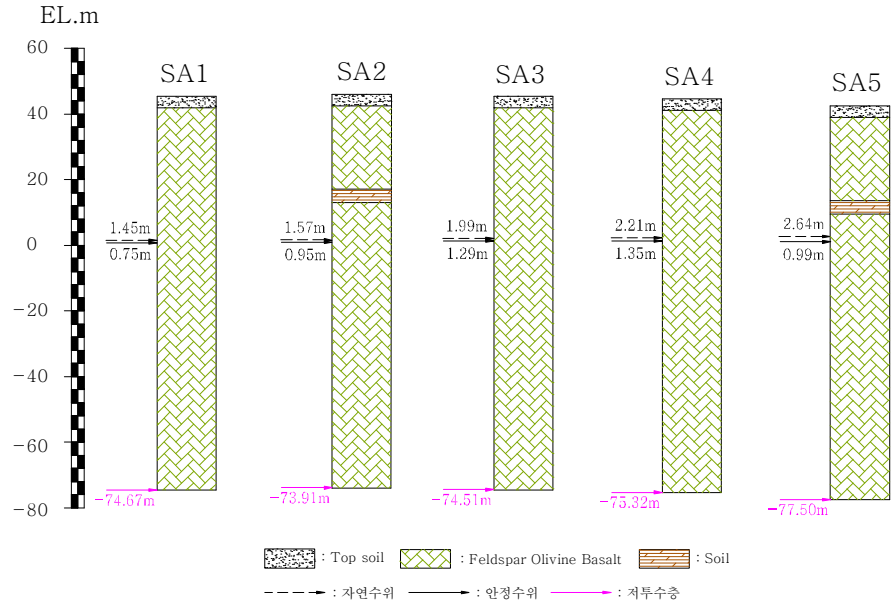


Fig. 4.48 Geological logs of Samyang well field (SA1-SA6).

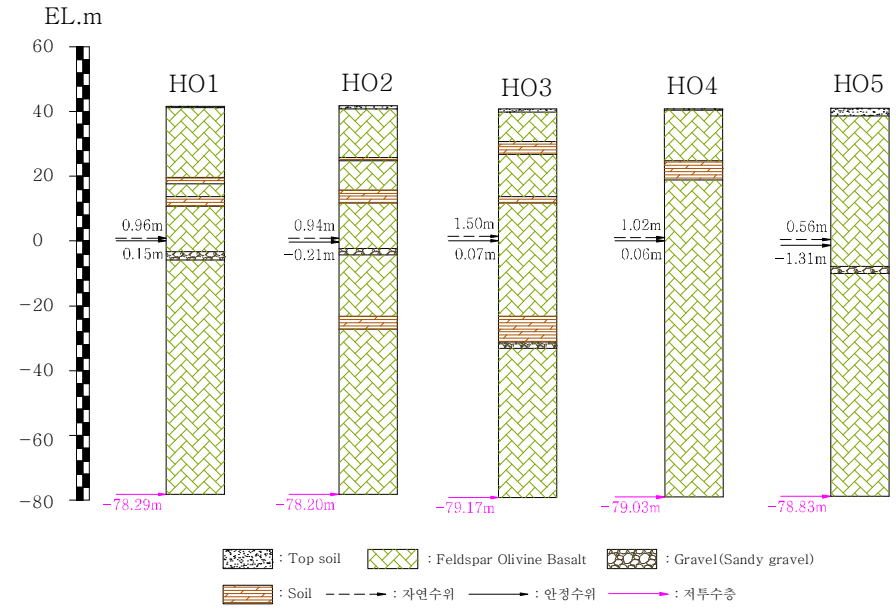


Fig. 4.49 Geological logs of Heocheon well field (HO1-HO6).

4.4.8 선흘수원지

선흘(SU)수원지 6개공(SU1~SU6)(Fig. 4.52)의 지질은 장석감람석현무암(FOB: Feldspar Olivine Basalt)과 토양층(Soil)으로 구성되며, 암층 내에는 클링커층이 발달되고 있다(Fig. 4.53). 주대수층 구간은 암층 내 형성되고 있는 절리대와 클링커 구간이며, 대수층 심도는 지표하 80~100m로 대부분 수위하부 구간에 형성되고 있다.

해발기준 -27.74~-30.82m까지 굴착되었으나 굴착 구간 내 응회암층·서귀포층 등의 퇴적층 또는 저투수층이 나타나지 않아, 굴착공 저면을 저투수층 출현심도로 설정하였다. SU1~SU6(표고 79.18~82.26m)의 자연수위는 지표하 75.91~80.38m(해발기준 1.88~3.27m)이며, 하부 준기저지하수지역으로 포화대 두께는 29.62~34.09m이다. 저투수층이 나타나지 않으므로 자연수위에서부터 굴착심도까지를 포화대로 설정하였다.

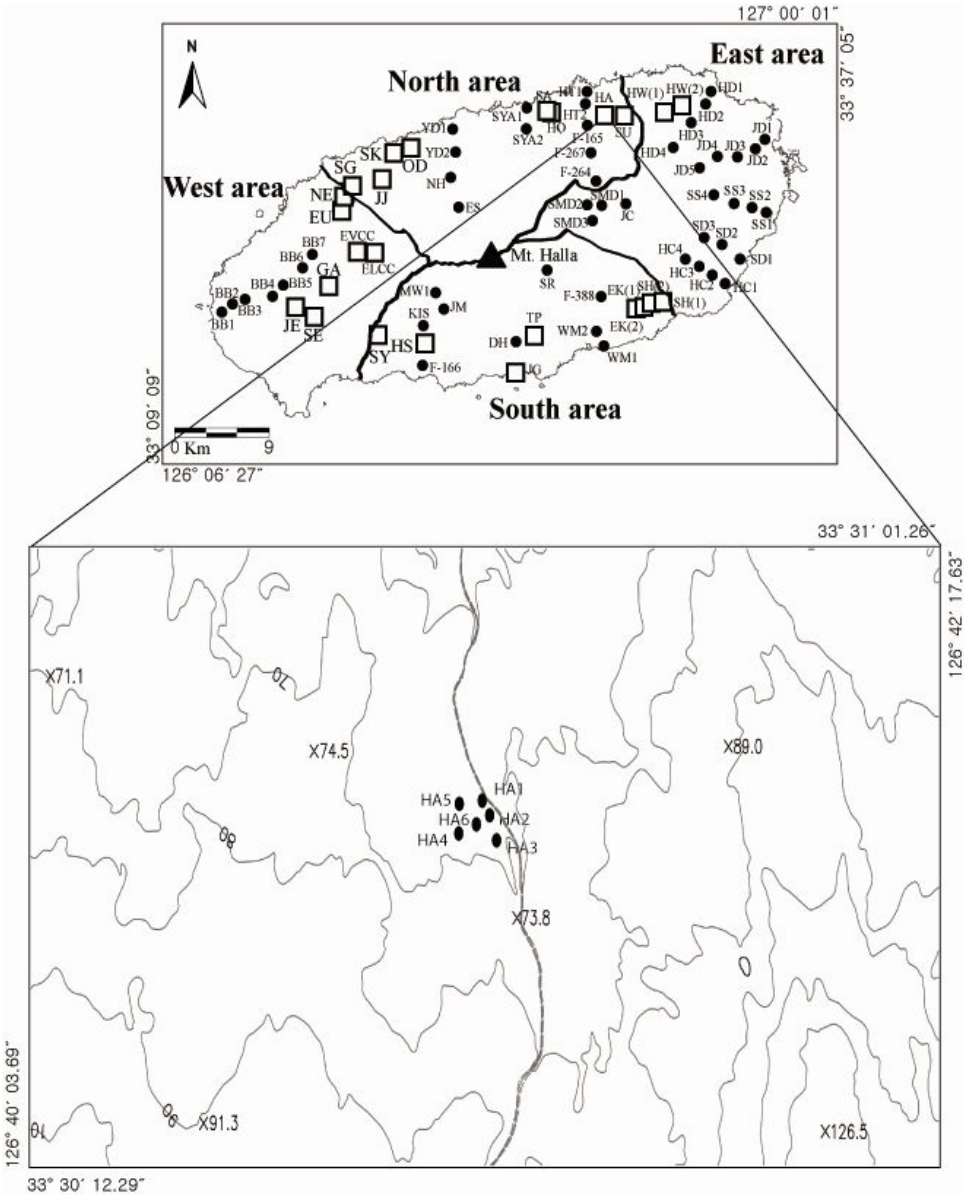


Fig. 4.50 Location of Hamteok well field.

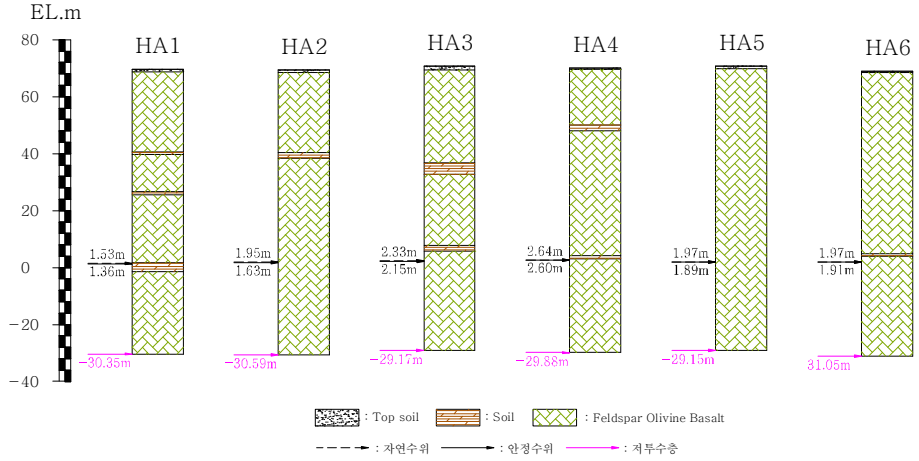


Fig. 4.51 Geological logs of Hamteok well field (HA1-HA6).

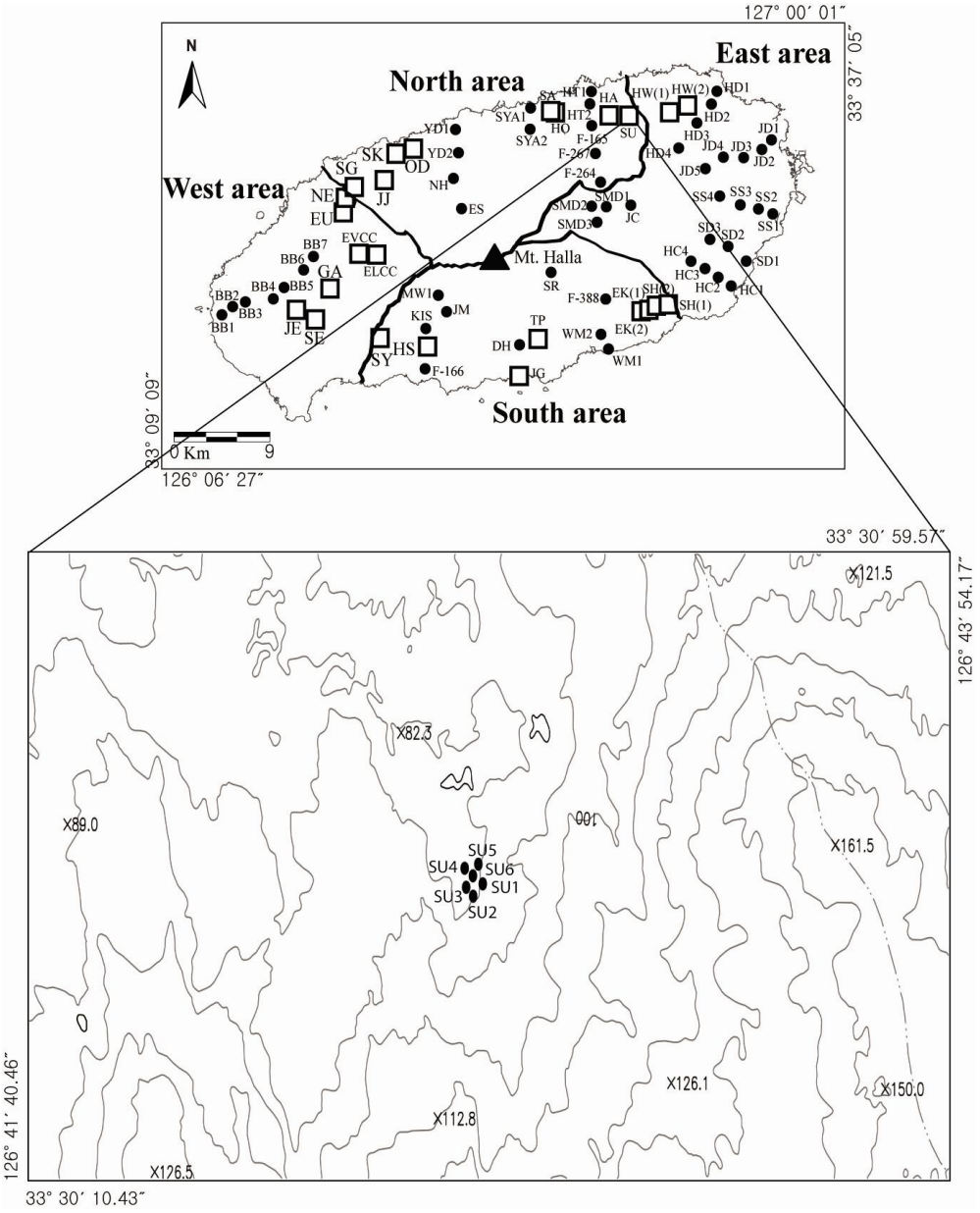


Fig. 4.52 Location of Sunheul well field.

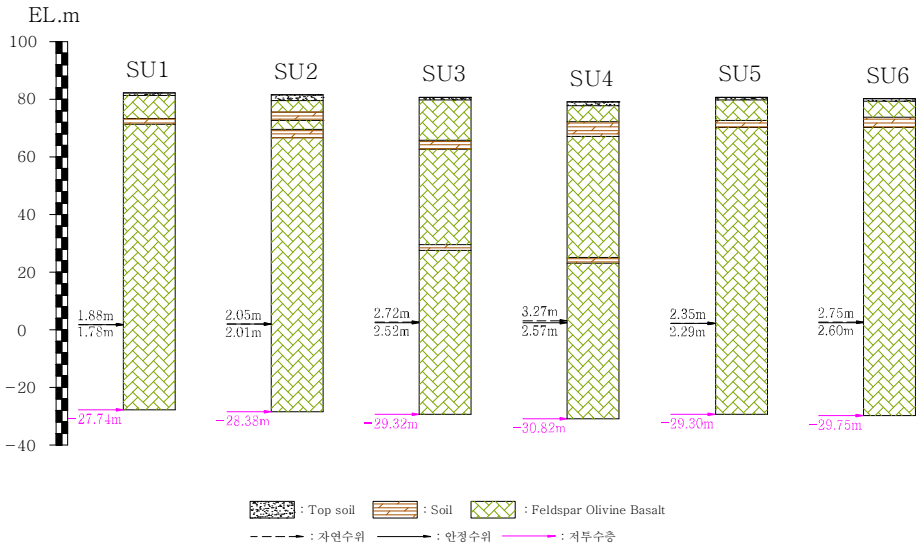


Fig. 4.53 Geological logs of Sunheul well field (SU1-SU6).

4.4.9 용담지구

용담(YD)지구는 2개공 (YD1, YD2)으로 구성된다. 지하지질은 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 침상장석감람석현무암(AFOB: Acicular Feldspar Olivine Basalt), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt) 등의 용암류와 토양층, 화산재(Ash), 사력층, 유리질쇄설암, 응회암층, 서귀포층 및 U층으로 구성되어 있다(Fig 4.54). 용담(YD)지구의 주대수층은 AFOB, FAB의 절리대와 클링커층, 유리질쇄설암층 및 응회암층 내의 모래·자갈층으로 구성된다. YD1(표고 38.2m)의 자연수위는 해발기준 2.6m, 저투수층 출현심도는 -62.8m(해발기준)이며, 포화대 두께는 65.40m이다.

YD2(표고 161.90m)의 자연수위는 해발기준 43.6m, 저투수층 출현심도는 -48.10m(해발기준)이며, 포화대 두께는 91.70m이다. YD1, YD2는 모두 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

4.4.10 노형지구

노형지구 1개공(NH)은 국가관측공이다. 지하지질은 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 장석감람석휘석현무암(FOAB: Feldspar Olivine Augite Basalt), 장석현무암(FB: Feldspar Basalt), 장석휘석현무암(FAB: Feldspar Augite Basalt), 휘석현무암(AB: Augite Basalt), 조면암(T: Trachyte), 화산쇄설층, 스코리아, 토양층(점토, 실트, 모래, 자갈), 서귀포층(SGF), U층이며, 주대수층은 FAB의 클링커층로 구성된다(Fig 4.55).

NH(표고 271.17m)의 자연수위는 해발기준 89.17m, 저투수층 출현심도는 45.17m(해발기준)이며, 상부 준기저지하수지역으로 포화대 두께는 44.0m이다.

4.4.11 어승생지구

어승생지구(ES, 제주시 해안동 60-3번지)는 해발 550m에 위치하며, 2007.7.12~2008.2.18에 한국농어촌공사에 의해서 한라산 고지대지역 지하수시추조사일환으로 개발되었다. 지하지질은 반상장석현무암(PFB: Porphyritic Feldspar Basalt), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 점토, 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 조면암질안산암(TA: Trachy Andesite), 클링커, 스코리아, 서귀포층(SGF), U층이며, 주대수층은 자연수위 하부의 TA의 절리대, 클링커층 및 스코리아로 구성된다.

ES(표고 615.15m)의 자연수위는 해발기준 289.15m, 저투수층 출현심도는 163.15m(해발기준)이며, 상부 준기저지하수지역으로 포화대 두께는126.0m이다.

4.4.12 삼양지구

삼양(SYA)지구는 2개공(SYA1, SYA2)으로 구성된다. 지하지질은 침상장석감람석현무암(AFOB: Acicular Feldspar Olivine Basalt), 장석휘석현무암

(FAB: Feldspar Augite Basalt), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 재동된 유리질쇄설암, 응회암층, 서귀포층 및 U층으로 구성되어 있다(Fig 4.55). 삼양(SYA)지구의 주대수층은 AFOB, FAB, APB의 클링커와 절리대로 구성된다. SYA1(표고 10.2m)의 자연수위는 해발기준 3.7m, 저투수층 출현심도는 -79.8m(해발기준)이며, 포화대 두께는 83.50m이다.

SYA2(표고 75.10m)의 자연수위는 해발기준 15.40m, 저투수층 출현심도는 -56.90m(해발기준)이며, 포화대 두께는 72.30m이다. 삼양(SYA)지구는 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

4.4.13 함덕지구

함덕지구 2개공((HT1, HT2)의 지하지질은 침상장석감람석현무암(AFOB: Acicular Feldspar Olivine Basalt), 휘석감람석현무암(AOB: Augite Olivine Basalt), 비현정질현무암(APB: Aphanitic Basalt), 조면암질현무암(TB: Trachy Basalt), 해성퇴적층, 토양층, 서귀포층 및 U층으로 구성된다(Fig. 4.56). 주대수층은 APB, AFOB, AOB의 클링커와 절리부이다.

HT1(표고 21.1m)의 자연수위는 해발기준 2.6m, 저투수층 출현심도는 -91.9m(해발기준)이며, 포화대 두께는 94.50m이다. HT2(표고 17.0m)의 자연수위는 해발기준 4.5m, 저투수층 출현심도는 -78.0m(해발기준)이며, 포화대 두께는 82.5m이다(Fig. 4.56). 함덕지구(HT)에서 HT1은 기저지하수, HT2는 하부 준기저지하수지역에 해당된다.

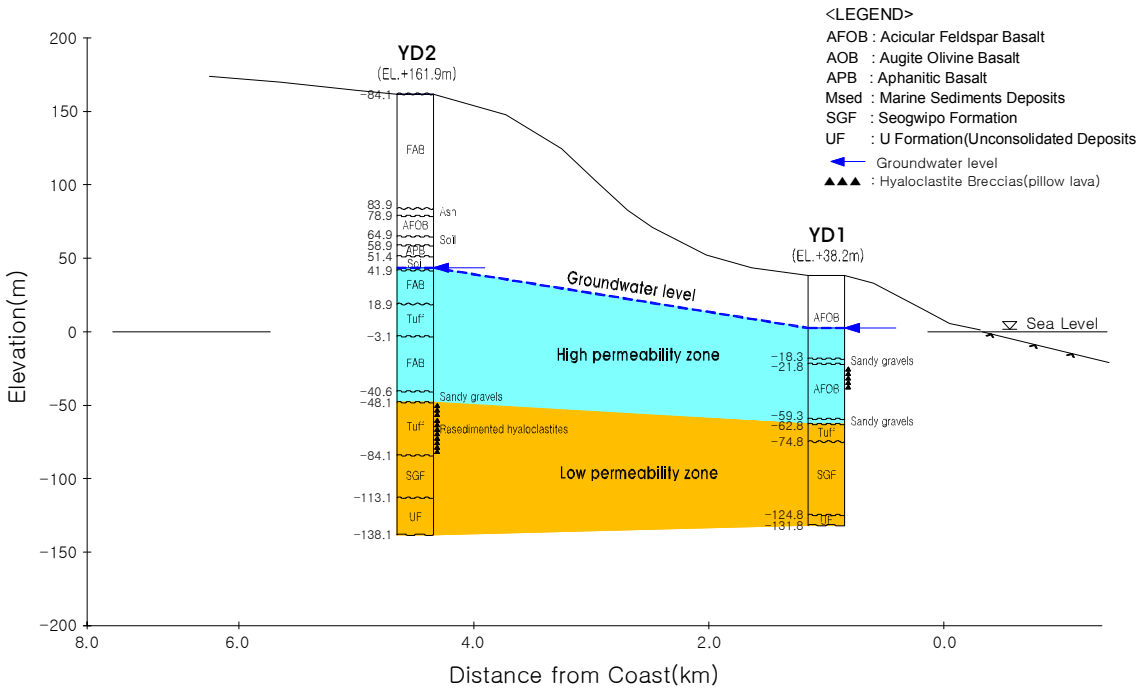


Fig. 4.54 Geologic cross-section of Yongdam site (YD1-YD2).

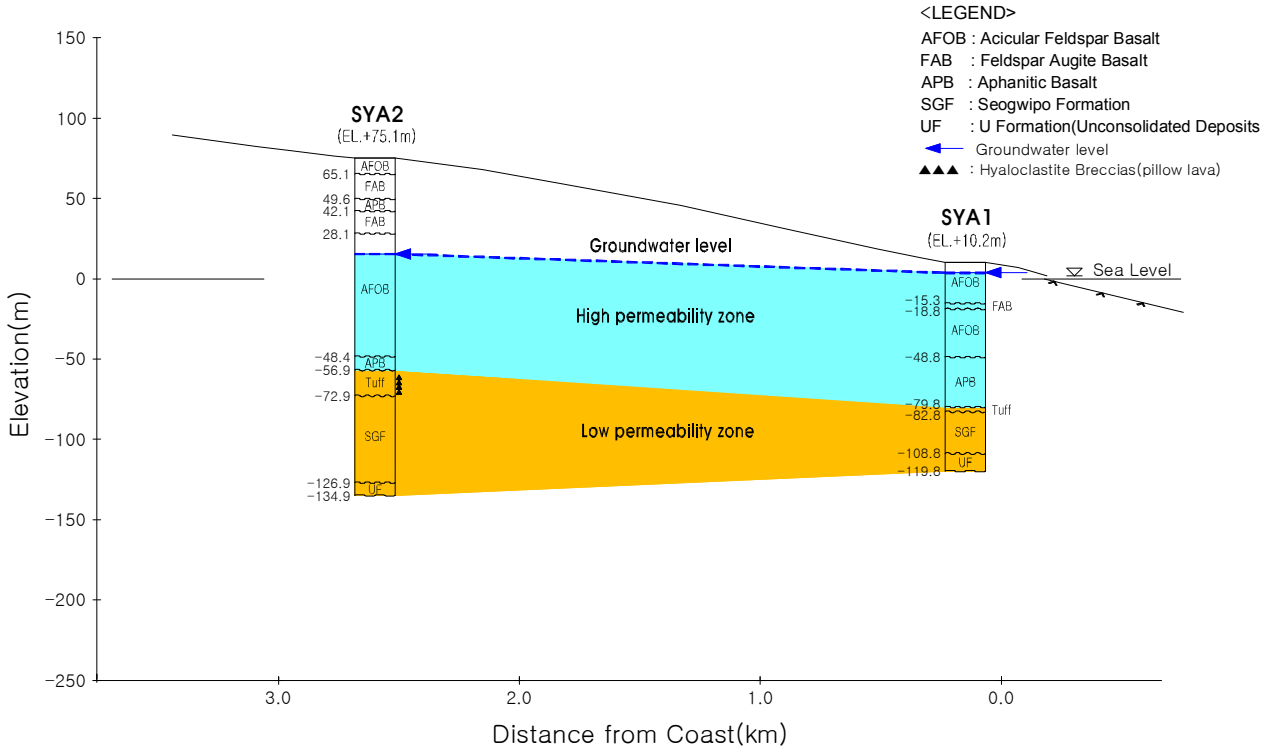


Fig. 4.55 Geologic cross-section of Samyang site (SYA1-SAY2).

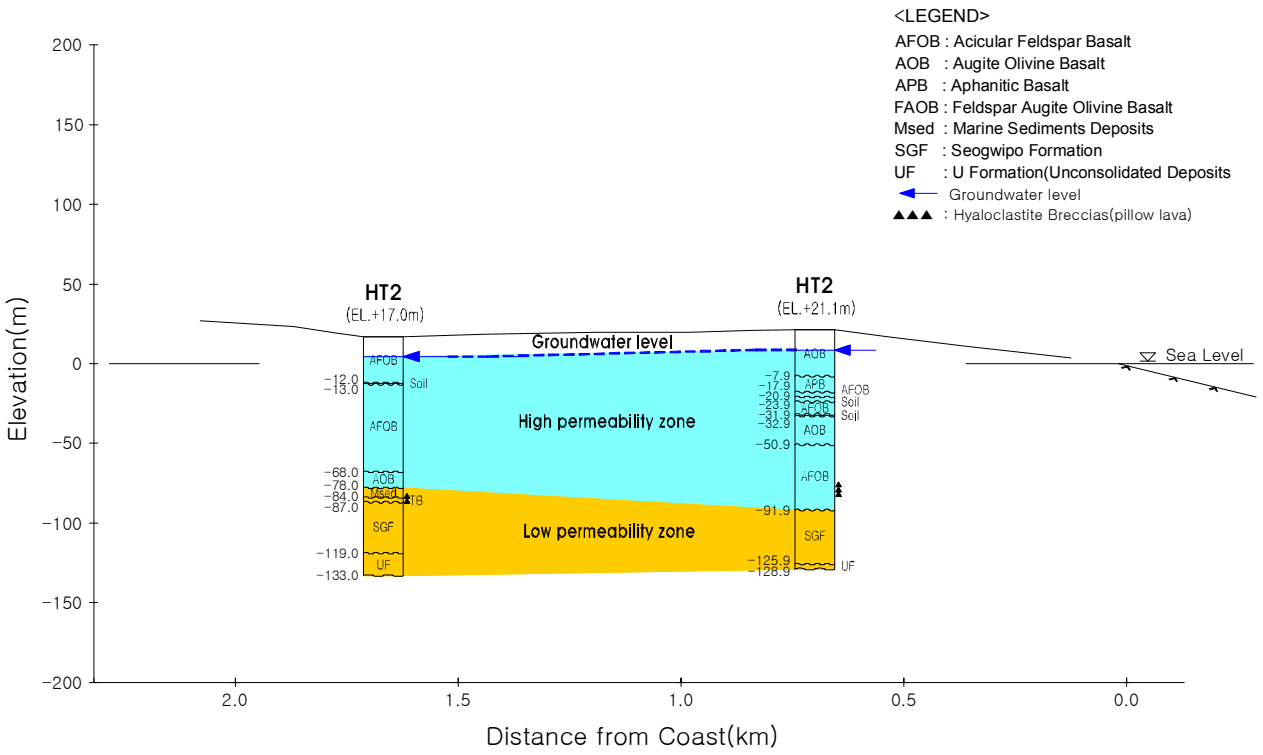


Fig. 4.56 Geologic cross-section of Hamteok site (HT1-HT2) (slightly modified from Koh, 1997).

4.5 저투수층과 지하수위의 분포 특성

저투수층의 심도와 자연수위 분포 특성에 따른 지하수 부존특성을 파악하기 위하여, 한라산의 동부 단면, 서부 단면과 한라산의 남-북부 단면(동측, 서측) 및 광역상수도 수원지를 연결하는 남-서-북부 단면의 지하수관정들을 비교・검토하였다(Fig. 4.57).

4.5.1. 한라산의 동·서부 지역

한라산 정상을 기준으로 동서방향의 동측 단면 과 서측 단면의 저투수층 분포심도와 자연수위를 검토하였다. 제주시 구좌읍 종달리에서 한라산 방향으로 SMD1-JC-JD5-JD4- JD3-JD2-JD1을 연결하는 교래-종달지역(KR-JD)의 단면(Fig. 4.58)을 보면, 한라산의 동부지역은 해수면하부에 약 100여m의 두꺼운 포화대가 존재하는 기저지하수지역이다. 해안에서 약 11km 거리의 JD5(표고 201.3m)까지는 저투수층이 -114.3~-44.7m(해발기준)로 약간 상승하고, 지하수위는 해발기준 1~3m로 해수면에 근접하여 나타난다. 그러나, JD5에서 한라산 방향으로 약 14km 거리의 SMD1(표고 438.99m)까지 자연수위는 해발 2~183m로 크게 상승하나, 저투수층 출현심도는 해발 -44~19m로 약간 상승하는 경향을 보인다.

한편 한라산의 서부지역은 일부 해안지역을 제외하고는 해수면 아래 비교적 얇은 투수층(포화대 두께 50m 미만)을 가지는 준기저지하수 형태를 나타낸다. 제주시 한경면 고산리에서 한라산방향으로 BB1-BB3-BB5-GA5-ELCC5를 연결하는 고산-어음지역(GS-EU)의 단면(Fig. 4.59)을 보면, 해안에 인접한 BB1(해발 28m)에서 한라산방향으로 약 20km 거리의 ELCC5(표고 482m)까지 지하수위는 해발기준 9.5~71.53m, 저투수층의 출현심도는 -50.9~57m(해발기준)로 저투수층과 지하수위는 동반 상승하는 경향성을 가진다.

따라서, 한라산의 동부지역과 서부지역의 자연수위와 저투수층의 상관관계를 검토하면 한라산의 동부지역은 해안지역의 JD1(표고 14.4m)에서 한라산 방향으로 약 9km 거리의 JD5(표고 201.3m)까지 자연수위는 해발기준

1~3m로 유사한 반면, 저투수층의 출현심도는 해발기준 -114.3~-44.7m로 상승하고 있으며, 또한, JC에서 한라산방향으로 약 5km 거리의 SMD3(표고 439m)까지의 자연수위는 해발기준 87~183m로 상승하는데 비해, 저투수층의 출현심도는 20~18m(해발기준)로 거의 비슷하게 나타나서, 전체적으로 보면, 저투수층 출현심도와 자연수위 사이에는 밀접한 관련성이 없는 것으로 보인다. 반면, 서부지역은 해안의 BB1(표고 28m)에서 한라산 방향의 ELCC5(표고 482m)까지 자연수위가 해발기준 9.5~71.53m, 저투수층은 -34.5~57m(해발기준)로 동반상승하고 있어서, 자연수위와 저투수층의 분포심도가 비교적 밀접한 관련성을 가진다.

수리경사를 보면, 한라산 동부지역에서는 JD5(해안에서 약 11km의 거리)에서 자연수위가 2.3m이고 수리경사가 2.09×10^{-4}인데 비해 한라산 서부지역에서는 BB5(해안에서 약 10km 거리)에서 자연수위가 49.8m이고 수리경사가 $4.98\times\times10^{-3}$으로 서로 큰 차이를 보이고 있다. 이는 한라산 동부지역은 해수면 하부에 두꺼운 포화대(100m 내외)를 갖는 기저지하수 지역이고, 한라산 서부지역은 해수면 하부에 비교적 얇은 포화대(50m 내외)의 하부 준기저지하수지역이기 때문으로 보인다.

4.5.2 한라산의 남·북부지역

한라산 정상 동측의 남북단면과 서측의 남북단면의 저투수층 분포심도와 자연수위를 검토하였다. 동측의 남북단면(HT-WM)은 HT1－HT2－F-165－F-267－F-264－SMD1－SMD3－F-388－WM2－WM1 단면이다(Fig. 4.60). 북측해안의 HT2(표고 17.0m)로부터 해안에서 약 5km 거리의 F-165(표고 140m)까지 자연수위는 해발기준 4.5m~6.0m로서 완만하게 상승하나, 저투수층 출현심도는 -88.0m~11.0m로 가파른 상승을 나타낸다. 그러나, F-165로부터 한라산 방향으로 SMD1(약 9km 거리)까지 자연수위는 해발기준 6m~182.99m로서 가파르게 상승하나, 저투수층 출현심도는 -11.0m~18.0m로 대단히 완만하게 상승한다. 또한, 상기 단면에서 SMD1과 SMD3의 해발고도는 각각 468.03, 438.99m 자연수위는 각각 182.91, 153.63m로서, SMD1의 고

도가 SMD3보다 29.04m 높으나, 자연수위는 반대로 29.36m가 낮게 나타나는 것이 특이하다.

남측해안의 WM1(표고 22.2m)으로부터 약 1.5km의 WM2(표고 76.7m)까지 지하수위는 해발기준 2.3~13.7m, 저투수층 출현심도는 -55~-17m로 완만한 지하수위 상승에 비해 저투수층 심도는 다소 가파르게 상승하나, WM2(표고 76.7m)로부터 한라산 방향으로 약 15km 거리의 SMD1(표고 439.0m)까지 지하수위는 해발기준 13.7m~182.99m, 저투수층 출현심도는 -17~18m로 지하수위는 가파르게 상승하는데, 저투수층은 대단히 완만하게 상승한다.

서측의 남북단면(YD-DP)은 YD1－YD2－NH－ES－MW1－KIS－HS1－F-116 단면이다(Fig. 4.61). 북측해안 YD1(표고 38.2m)에서 한라산 방향으로 약 8km 거리의 NH(표고 271.17m)까지 자연수위는 해발기준 2.6~89.17m, 저투수층 출현심도는 -62.8~45.17m(해발기준)로 자연수위와 저투수층 심도는 동반상승하며, NH(표고 271.17m)에서 한라산 방향으로 약 4km 거리의 ES(표고 615.15m)까지 지하수위는 해발기준 89.17~289.15m, 저투수층 출현심도는 해발 45.17~163.15m(해발기준)로 동반상승하나, 자연수위가 다소 가파르게 상승한다. 남측해안에서도 F-116(표고 68m)에서 약 6.5km거리의 MW1(표고 582m)까지 자연수위는 해발기준 32m~313m, 저투수층 출현심도는 -5~182m(해발기준)로 동반상승한다. 상기자료를 종합하면, 한라산 동측의 남북단면에서는 자연수위와 저투수층 사이에는 관련성을 보이지 않으나, 서측의 남북단면에서는 자연수위와 저투수층 사이에 비교적 밀접한 관련성을 나타낸다. 또한 동측의 남북단면에서 저투수층의 출현심도는 SMD1(표고 439.0m)에서 해발기준 18m인데 비해, 서측의 남북단면의 KIS(표고 310m)에서 해발기준 130m로 동측의 남북단면에 비해 저투수층의 해발고도가 높다. 그 원인은, 한라산 동측 남북단면은 해수면하 두꺼운 포화대를 갖는 기저지하수 및 하부 준기저지하수지역(저투수층이 해수면 하부에 분포)에 위치하는 반면, 서측 남북단면은 북부해안을 제외하고는 상부 준기저지하수 지역(저투수층이 해수면 상부에 분포)에 위치하기 때문으로 보인다.

4.5.3 한라산의 남-서-북부 지역

광역상수도 수원지를 연결하는 한라산의 남-서-북부 지역의 단면(HS-OD)에서의 자연수위 차이는 저투수층의 출현심도, 지질학적 차이, 고도의 차이에 의해서 발생하고 있다. 즉, 저투수층의 출현심도가 해수면 보다 높게 나타나는 금악, 상예, 회수, 서광 수원지는 상부 준기저지하수 부존형태를 보이고, 저투수층 출현심도가 해수면 보다 낮은 장전, 납읍, 상가, 어음, 상귀, 외도, 저지 수원지는 하부 준기저지하수 형태를 나타낸다(제주도와 한국수자원공사, 2003). 특히, 제주 북서부의 서로 비슷한 해발고도에 위치하는 장전, 납읍, 상가, 어음수원지와 서광, 금악, 저지, 회수, 상예 수원지 사이에는 약 30m의 지하수위 차이가 나타난다(Fig. 4.62). 장전, 납읍, 상가, 어음 수원지에서는 굴착심도(해발기준 -33～-53.68m)까지 저투수층이 나타나지 않는 반면, 서광, 금악, 저지, 회수, 상예 수원지에서는 저투수층의 출현심도(해발기준 -15.0～65.19m)가 비교적 높게 나타나는 것과 관련이 있는 것으로 해석된다.

어음수원지 부근에 위치하는 엘리시안골프장(표고 약 400～482m) 4호공의 자연수위는 211m(해발기준)인데, 5호공(표고 482m)은 71.53m(해발기준)로 140m의 수위차가 발생하고 있다(Fig. 4.63). 이는 5호공이 고화산체의 중심부 부근에 위치하며 자연수위가 저투수층인 응회암 출현심도(해발기준 약 60.0m) 보다 약간 높은 71.53m(해발기준)에서 형성되기 때문으로 판단된다. 그러나, 엘리시안골프장 1호공은 자연수위 해발기준 71.5m로서, 2호공, 4호공의 자연수위(해발기준 212m, 211m)에 비해 139.5~140.5m 정도 낮게 나타낸다.

에버리스골프장(표고 약 350~430m)의 1호공, 5호공의 자연수위는 해발기준 각각 187.5m, 179.7m인데 반해서, 2, 3, 4호공은 각각 50.05m, 50.60m, 45.60m로서 129.1~141.9m 정도 더 낮게 나타내고 있다(Fig. 4.64). 제주도에서 발생하는 이러한 지하수위 차이는 불확실한 지질학적 차이에 의해서 발생하고 있으며, 한라산을 중심으로 일어난 지구조적 운동에 수반된 단층이나 미끄러짐에 의한 소규모 지괴들의 상대적 변위에 의한 것으로 추정되지만 추후 계속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

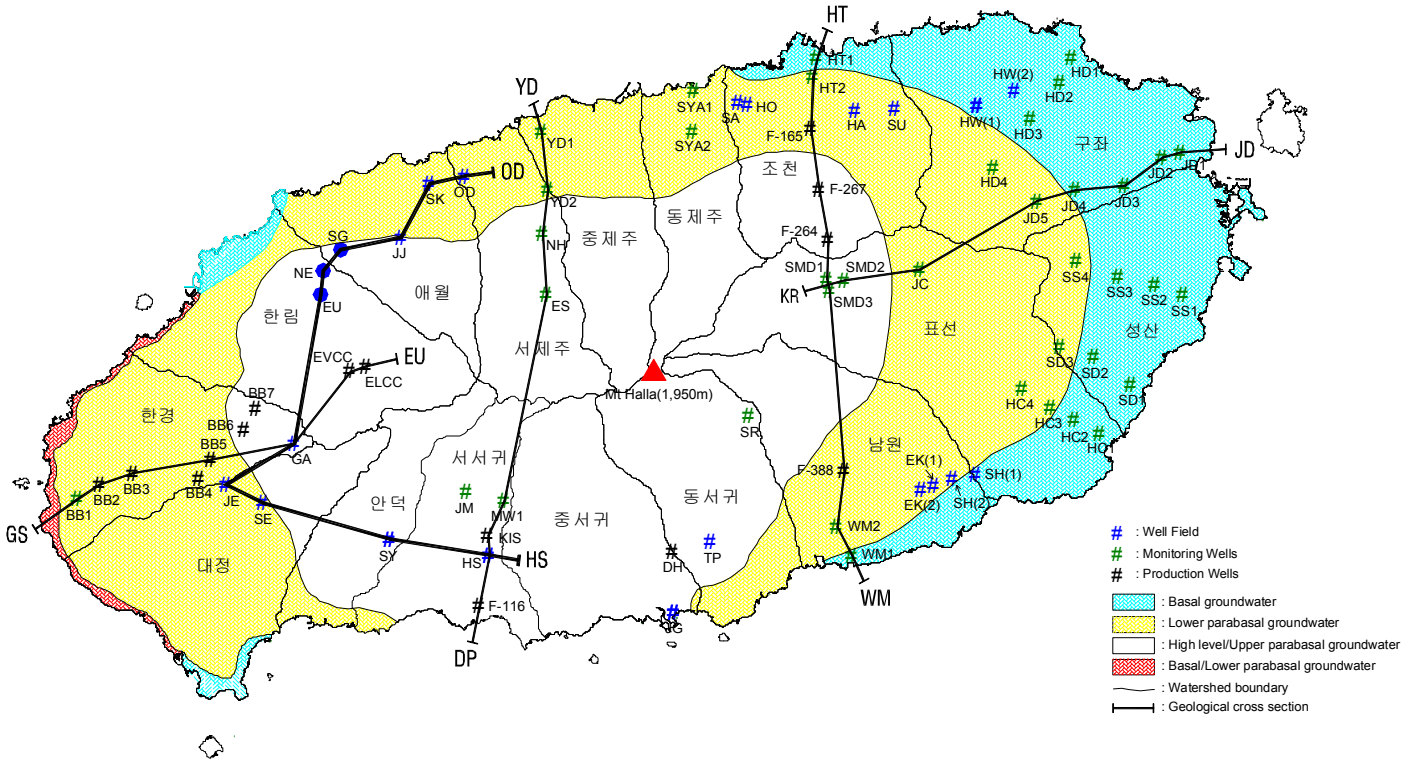


Fig. 4.57 Location of geologic cross-section lines along N-S and E-W directions.

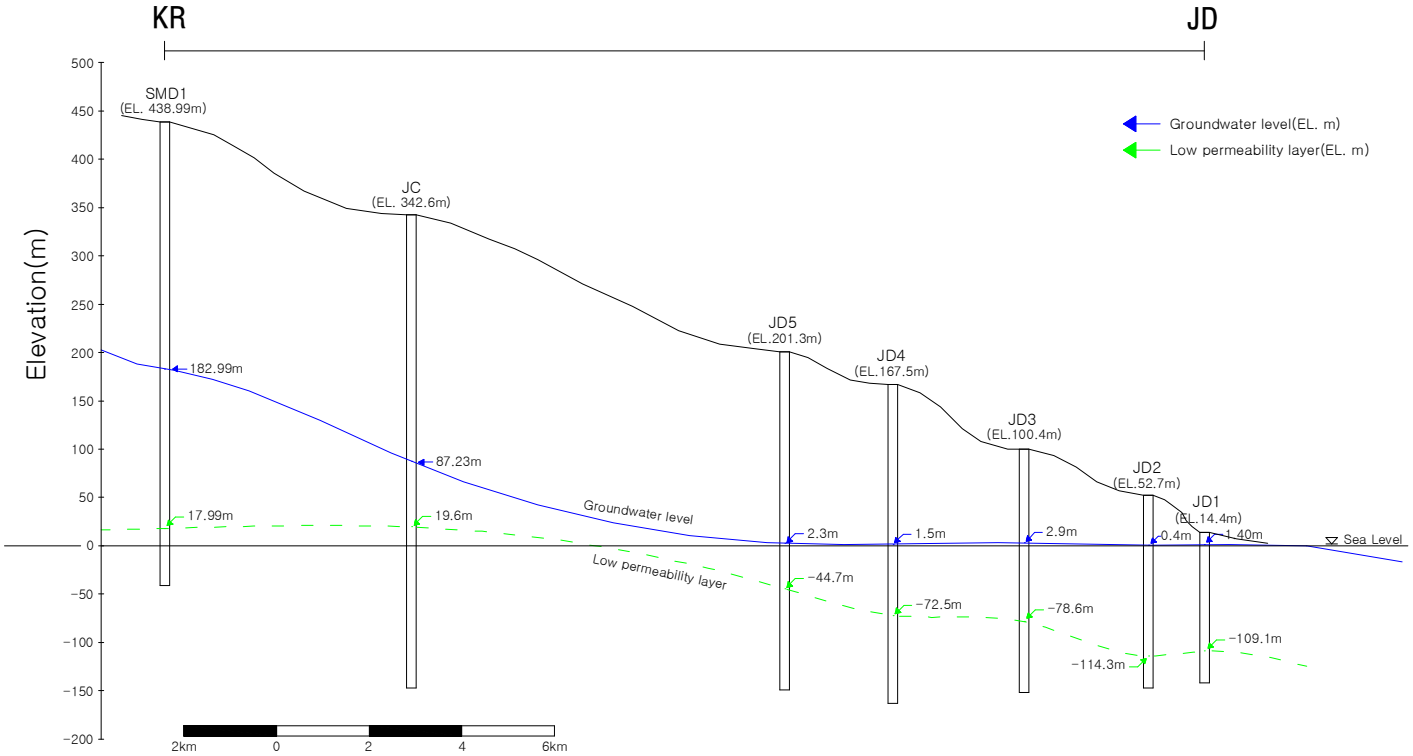


Fig. 4.58 Geologic cross-section of the eastern part of Mt. Halla along E-W line (as indicated in Fig. 4.57).

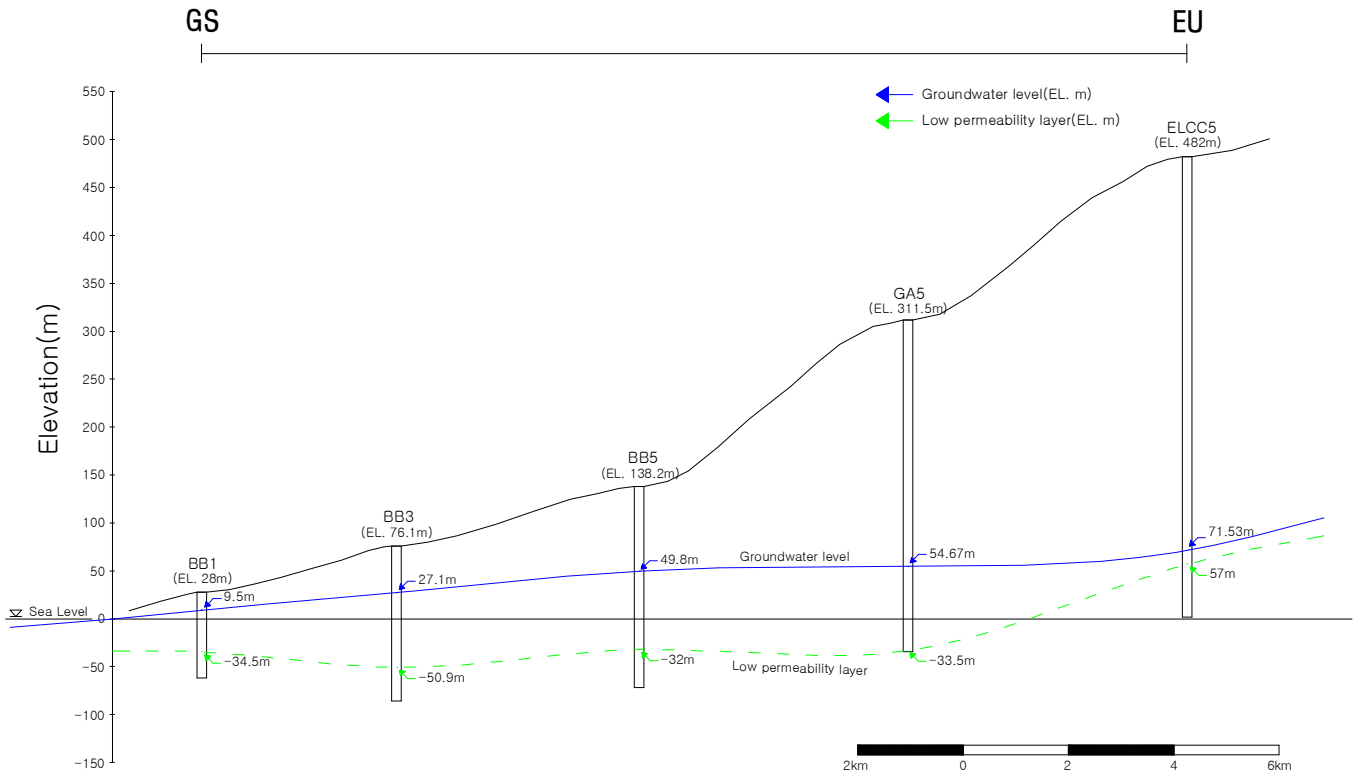


Fig. 4.59 Geologic cross-section of the western part of Mt. Halla along E-W line (as indicated in Fig. 4.57).

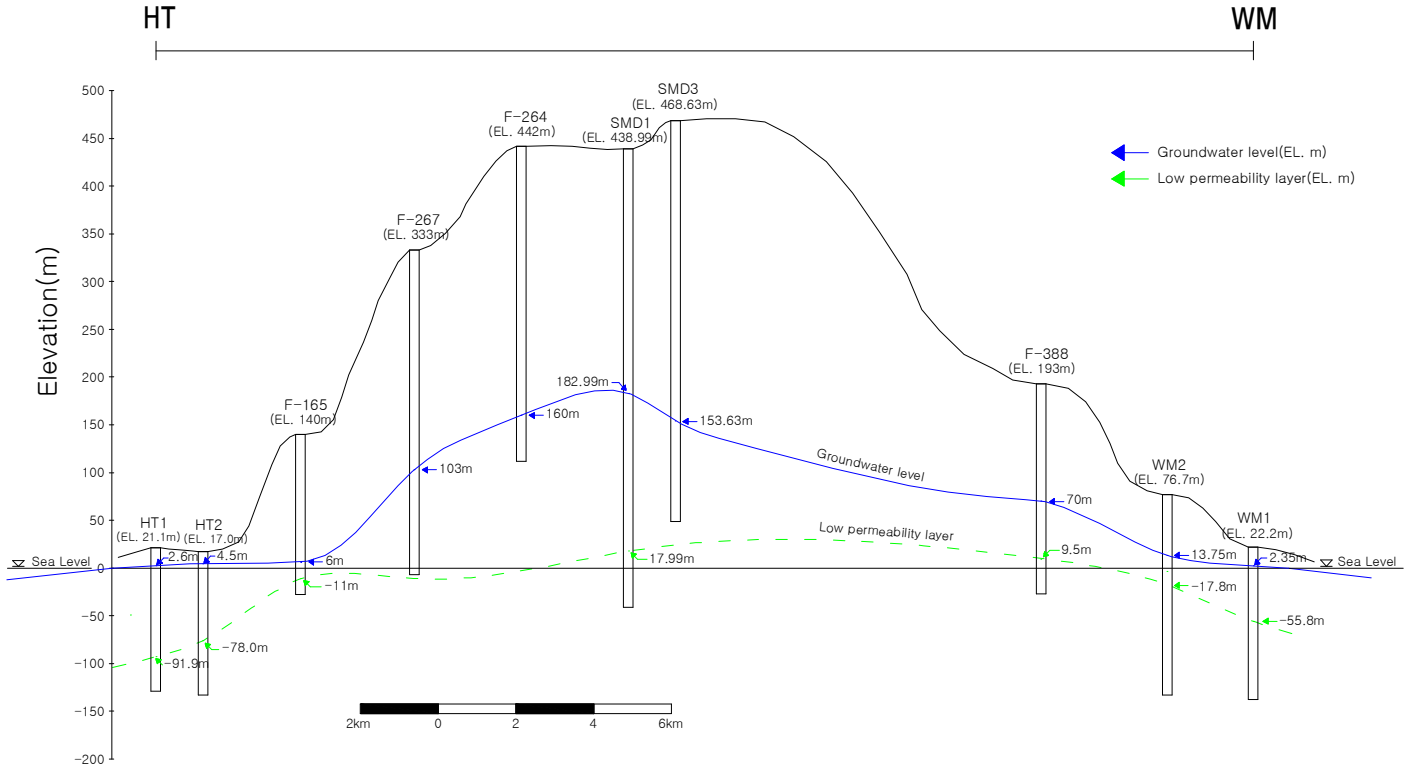


Fig. 4.60 Geologic cross-section of the eastern part of Mt. Halla along N-S line (as indicated in Fig. 4.57).

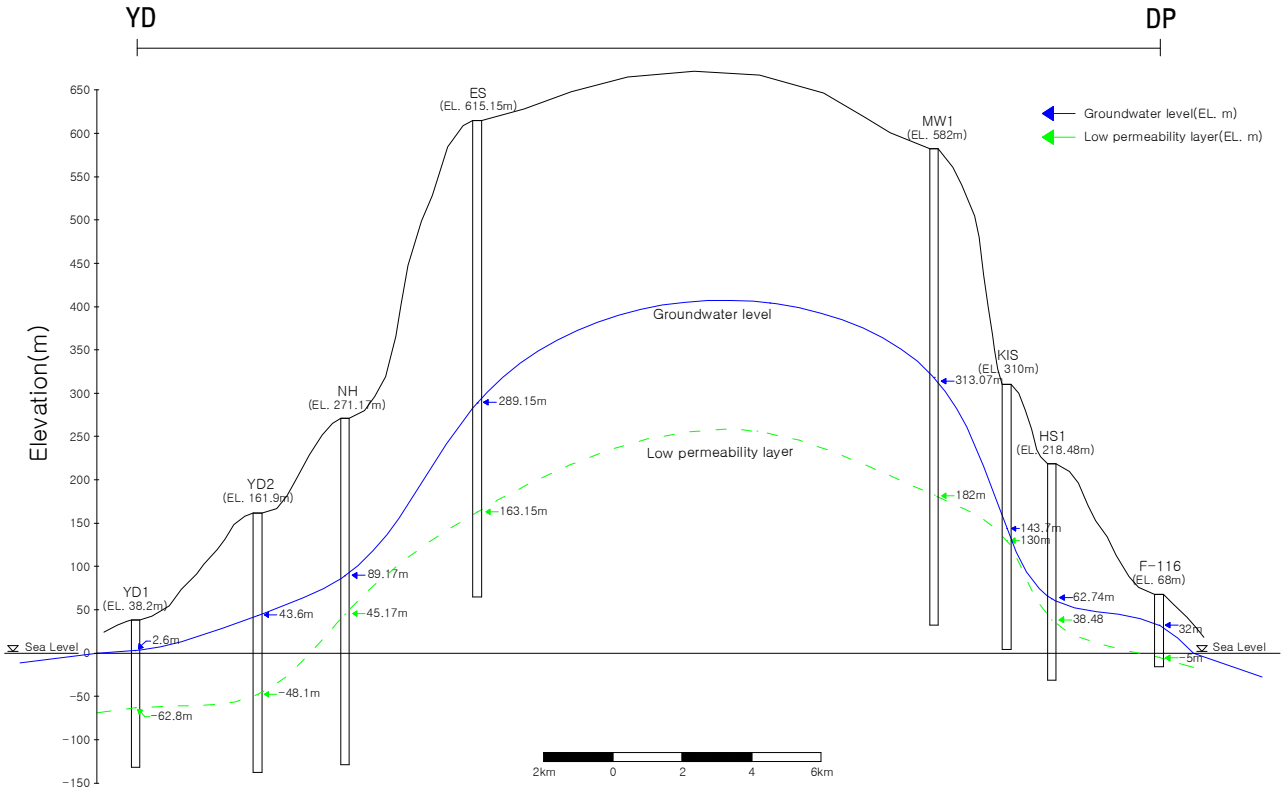


Fig. 4.61 Geologic cross-section of the western part of Mt. Halla along N-S line (as indicated in Fig. 4.57).

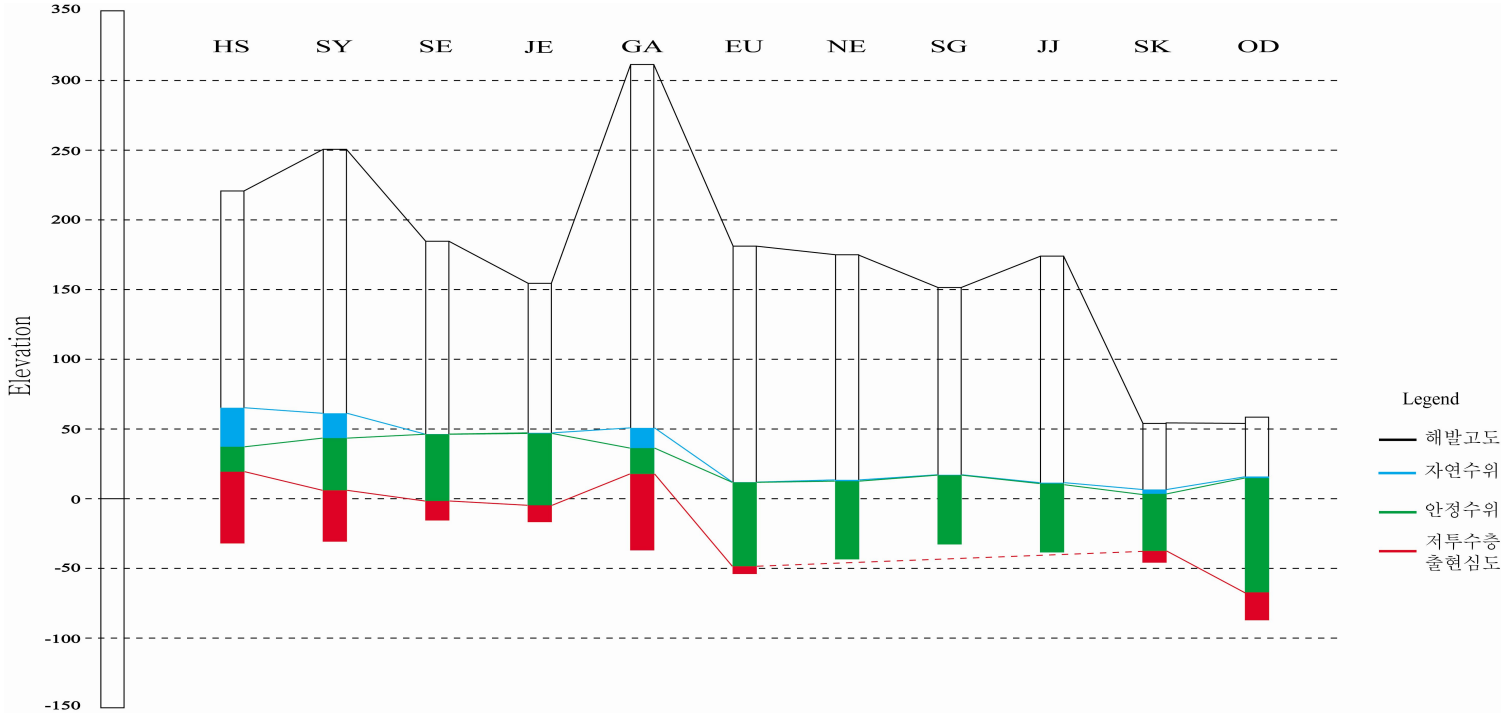


Fig. 4.62 Schematic geologic cross-section in the west, south, and north areas (as indicated in Fig. 4.57).

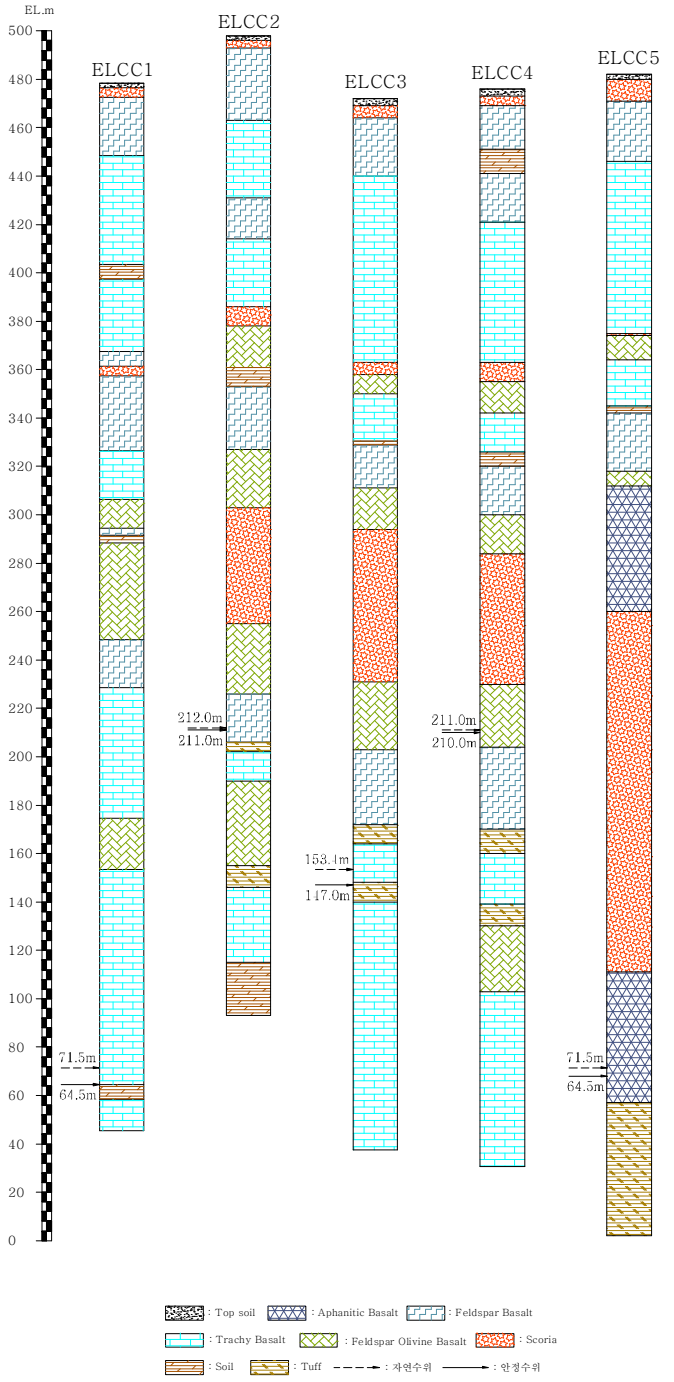


Fig. 4.63 Geological logs in Ellisian Country Club.

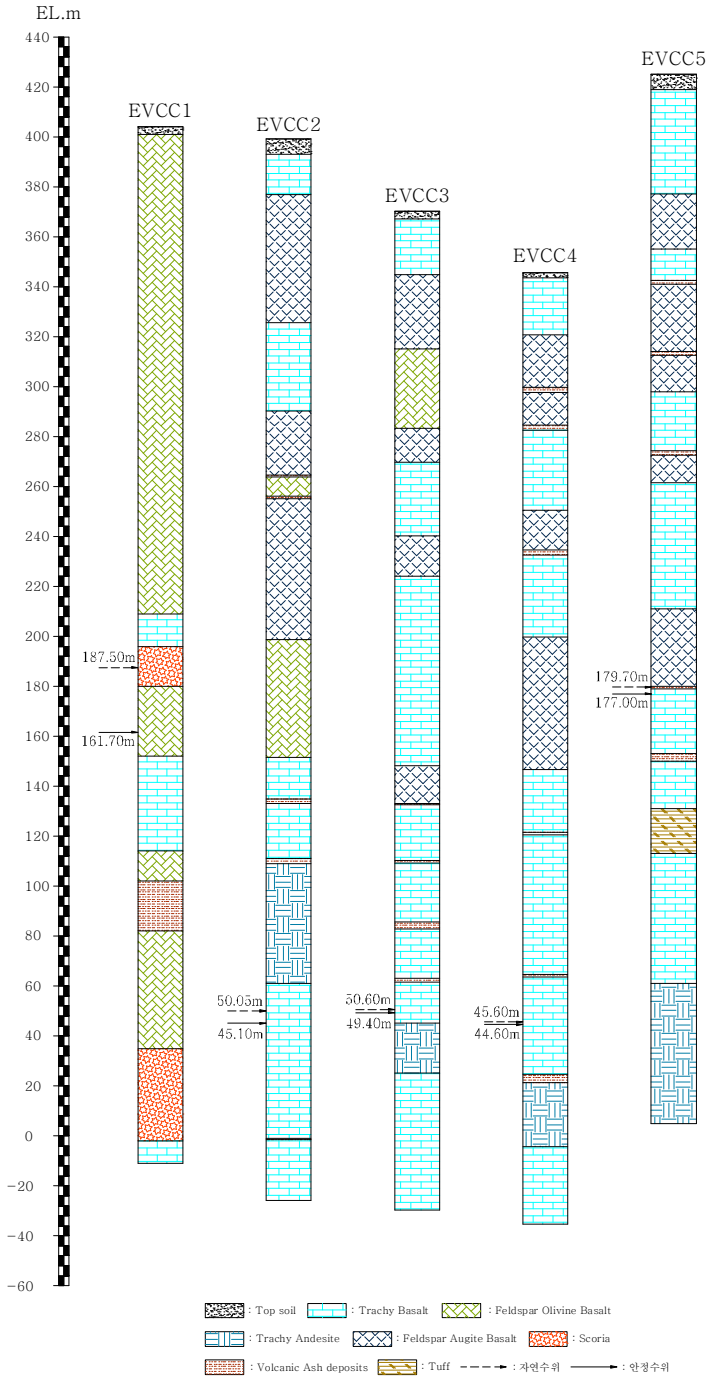


Fig. 4.64 Geological logs in Everless Golf & Resort.

5. 수리적 특성

5.1 양수시험 분석 모델의 결정

연구지역의 양수시험 분석을 위하여 지하수관정이 위치하는 대수층에 적합한 양수시험 분석 모델을 선정하였다. 제주도 화산암층 내에서는 투수성이 높은 지층과 낮은 지층이 심도에 따라 반복해서 나타나고 있으므로 누수대수층 모델이 대체로 적합한 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위하여 여러 가지 양수시험 분석 모델을 비교 분석하였다. 대표적인 예로서 서부지역에 위치하는 엘리시안 골프장에 위치하는 ELCC1호공의 양수시험 자료를 이용하여 양수시험 분석을 이용하였다.

Fig 5.1에서 보면, 대수층의 상·하부에 누수층이 존재하는 누수대수층 모델인 Moench (1985)의 case 1 모델이 가장 적합한 것으로 나타난다(Fig. 5.1(a)). Hantush-Jacob (1955) 모델도 누수대충 모델이지만 상부에만 누수층이 존재하므로, 제주도에서는 Moench (1985)의 case 1 모델이 더 적합하다는 것을 알 수 있다(Fig. 5.1(b)). 한편 피압대수층에 적용되는 Theis 식은 누수층을 고려하지 않기 때문에 양수경과에 따라 지하수위가 계속적으로 하강하게 되므로, 제주도 화산암층과 같이 양수경과 단시간에 지하수위가 안정되는 경우와는 맞지 않다(Fig. 5.1(c)). 자유면대수층 모델인 Neuman 식은 대수층이 중력상태 하에 있고 대수층의 바닥은 불투수층으로 되어 있는 겨우를 모사하므로, 역시 제주도의 대수층과는 맞지 않다(Fig. 5.1(d)). 따라서 뒤에서 제주도 동부, 서부, 남부, 북부지역의 양수시험 분석에서 설명되겠지만, 제주도 화산암 대수층은 대부분 Moench(1985)의 case 1 모델에 적합하다고 판단된다.

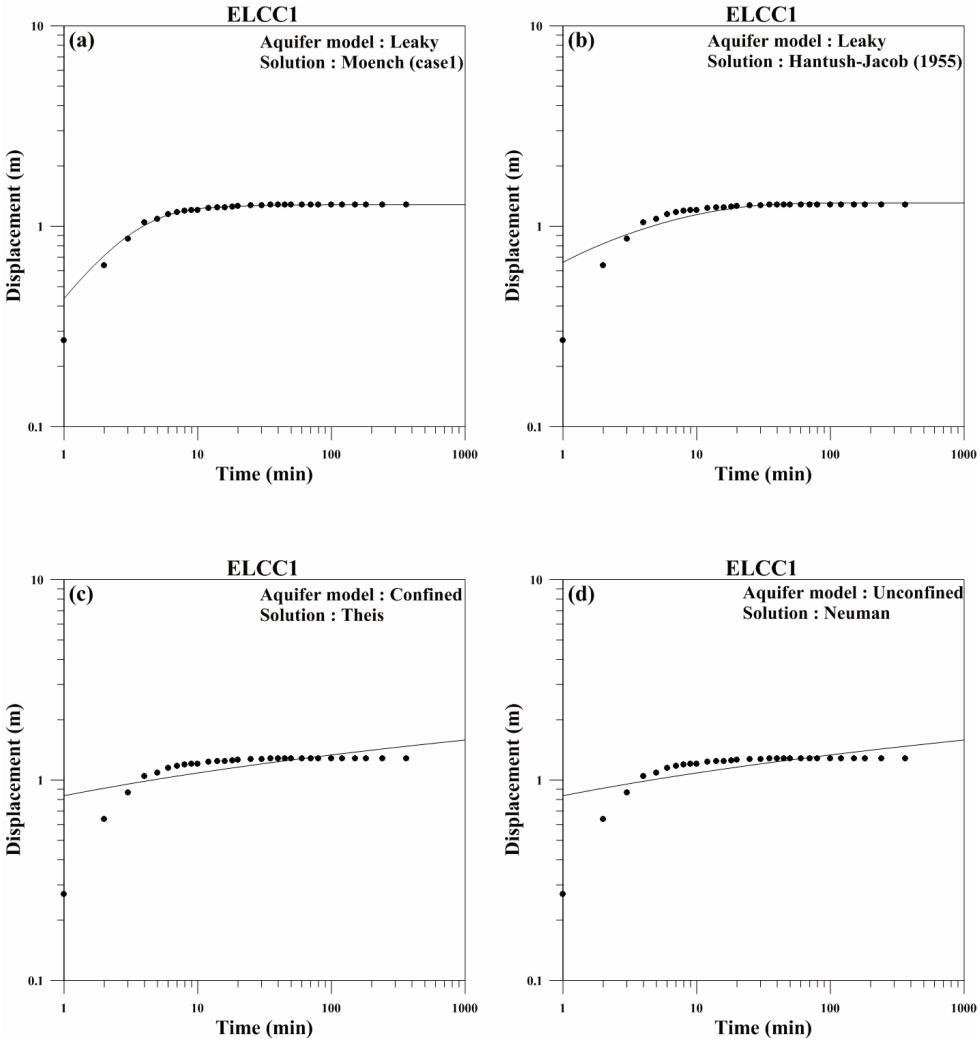


Fig. 5.1 An Example for comparing pumping test analyses conducted in Jeju Island.

5.2 동부지역의 수리적 특성

동부지역의 36개 지하수관정(해수침투 관측공, 국가지하수 관측공, 삼다수 지하수공)에서 단일공 양수시험이 실시되었으며, 양수량은 800～2871m^3/d 이었다. 동부지역의 16개 양수시험공에서는 지하수위가 빨리 안정되어 주로

Moench(1985) 모델의 case 1이 적합한 것으로 나타났다(Table 5.1; 부록 참조). Moench(1985) 모델의 case 1은 대수층의 위와 아래에 누수층이 위치하고 있으며 상부 누수층의 상위와 하부 누수층의 하위에 일정수두경계가 존재하는 경우이다. 이는 대수층(투수층)의 위쪽과 아래쪽에서 대수층으로 다량의 지하수가 공급되는 제주도의 상황과 잘 들어맞는다. 14개 양수시험공에서는 지하수위가 너무 빨리 안정되어 특정 모델을 적용하기 어려워서 Thiem 식을 적용하였다. Thiem 식에서는 영향반경을 1 m로 가정하였다. 또한 HD1호공, SMD2호공에서는 Hantush-Jacob 식을 적용하였다. SMD1공에서는 Moench(1985)의 case 2 모델이 적합한 것으로 나타났다. 한편 행원1수원지 HW(1)1과 HW(1)3에서는 Cooper-Jacob식이 그리고 HW(1)4에서는 Hantush(1960) 식이 적합한 것으로 나타났다. 양수시험시 지하수위가 양수정에서만 측정되었으므로 저류계수는 산정할 수 없었다. 동부지역에서는 누수대수층이 우세한 것으로 판단되며, 기저지하수 또는 준기저지하수의 형태와 관련되는 것으로 보인다.

투수량계수는 21.41～29,940m^2/d이고, 산술평균값과 중앙값은 각각 2,753 m^2/d와 1,334m^2/d이다. 투수량계수의 첨도(20.47)와 왜도(4.21)가 모두 양의 값을 나타내고 있으므로, 동부지역의 투수량계수는 대체로 평균값보다 작은 값들이 평균값보다 큰 값들에 비해서 더 많이 나타나고 정규분포보다 더 뾰족한 형태를 보인다(Carr, 1995).

비양수량(Specific capacity, Q/s)는 72.9～75,000m^2/d이고, 산술평균값은 9,077m^2/d, 중앙값은 6,361m^2/d이다(Table 5.2). 그리고 저투수층의 출현심도는 -138.38～98.80m(해발고도 기준)의 범위이며, 산술평균값과 중앙값은 각각 -47.19m와 -41.95m이다. 한편, 지하수관정의 지표고도는 14.48～468.63m이며, 산술평균값과 중앙값은 각각 127.64m와 92.00m이다.

Table 5.1 Pumping test results of the east area.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m^3/d)	Pumping time	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S
HD1	HD1	Hantush-Jacob	26	1,160	-	0.07	175	132.3	-
HD2	HD2	Moench (case1)	48	970	-	0.16	202	21.41	-
HD3	HD3	Moench (case1)	132	860	-	0.03	262	46.55	-
HD4	HD4	Moench (case1)	202	900	1,000	1.73	365	719.4	-
JD1	JD1	Moench (case1)	-	1,224	-	0.15	156	72.29	-
JD2	JD2	Moench (case1)	-	1,180	-	0.08	200	265.5	-
JD3	JD3	Moench (case1)	-	1,240	360	0.52	252	3964	-
JD4	JD4	Thiem	-	995	340	0.16	330	3729	-
JD5	JD5	Moench (case1)	-	1,000	420	0.04	408	29940	-
SS1	SS1	Moench (case1)	-	1,200	-	0.32	176	801.1	-
SS2	SS2	Moench (case1)	-	1,200	-	3.18	202	578.2	-
SS3	SS3	Moench (case1)	-	1,000	-	1.64	267	1214	-
SS4	SS4	Moench (case1)	-	1,100	-	3.13	326	761.2	-
SD1	SD1	Thiem	-	1,900	-	0.33	30	1434	-
SD2	SD2	Thiem	-	1,500	-	0.02	120	1546	-
SD3	SD3	Thiem	-	1,500	-	0.45	140	4123	-
HC1	HC1	Moench (case1)	-	1,130	425	0.14	136	127.3	-
HC2	HC2	Moench (case1)	-	1,070	-	0.32	180	27.23	-
HC3	HC3	Moench (case1)	-	1,120	-	0.1	186	46.89	-
HC4	HC4	Moench (case1)	-	1,143	360	15.68	230	50.58	-
JC	JC	Thiem	-	800	1,499	0.6	310	2055	-

Table 5.1 Continued.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m^3/d)	Pumping time	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S (-)
SMD1	SMD1	Moench (case2)	-	1,338	15,960	1.64	480	166.9	-
SMD2	SMD2	Hantush-Jacob	-	1,086	19,808	1.85	470	1233.5	-
SMD3	SMD3	Moench (case1)	-	1,321	6,980	4.66	420	384.5	-
HW(1)1	HW(1)1	Cooper-Jacob	-	2047	7202	0.24	110	9122	-
HW(1)2	HW(1)2	Thiem	-	2599	8927	0.15	110	3823	-
HW(1)3	HW(1)3	Cooper-Jacob	-	2846	7215	0.25	120	10750	-
HW(1)4	HW(1)4	Hantush (1960)	-	2835	7228	1.66	110	7726	-
HW(1)5	HW(1)5	Thiem	-	2871	7409	0.39	110	1624	-
HW(1)6	HW(1)6	Thiem	-	2267	7200	0.24	110	2084	-
HW(2)1	HW(2)1	Thiem	-	2147	7242	0.39	110	1215	-
HW(2)2	HW(2)2	Thiem	-	2043	7200	0.17	110	2652	-
HW(2)3	HW(2)3	Thiem	-	2045	7200	0.25	110	1805	-
HW(2)4	HW(2)4	Thiem	-	2601	7232	0.4	110	1435	-
HW(2)5	HW(2)5	Thiem	-	2146	7219	0.26	110	1821	-
HW(2)6	HW(2)6	Thiem	-	2200	7200	0.3	110	1618	-
	Maximum		202.00	2871	19808	15.68	480.00	29940	-
	Minimum		26.00	800	340	0.02	30.00	21.41	-
	Range		176.00	2071	19468	15.66	450.00	29919	-
	Mean		102.00	1572	6165	1.16	204.25	2753	-
	Median		90.00	1232	7200	0.31	175.50	1334	-
	Std.dev.		80.81	643.52	4969.64	2.70	115.71	5302.26	-
	Kurtosis		-2.35	-0.76	1.79	25.07	0.11	20.47	-
	Skewness		0.54	0.79	0.98	4.74	1.01	4.21	-

Table 5.2 Hydraulic parameters of the east area.

Well name	Specific capacity, Q/s (m^2/d)	T (m^2/d)	Top of low permeability layer (a.m.s.l,m)	Surface elevation (a.m.s.l,m)
HD1	16,571.43	132.3	-138.4	15.1
HD2	6,062.50	21.41	-118.7	42.3
HD3	28,666.67	46.55	-105.2	112.4
HD4	520.23	719.4	-90.5	190.5
JD1	8,160.00	72.29	-109.1	14.4
JD2	14,750.00	265.5	-114.3	52.7
JD3	2,384.62	3963.9	-78.6	100.4
JD4	6,218.75	3729	-72.5	167.5
JD5	25,000.00	29940	-44.7	201.3
SS1	3,750.00	801.1	-100.9	33.8
SS2	377.36	578.2	-90.2	70.6
SS3	609.76	1214.4	-85.7	115.5
SS4	351.44	761.2	-68.6	176.6
SD1	5,757.58	1434	-72.1	27.9
SD2	75,000.00	1546	-66.8	90.2
SD3	3,333.33	4123	-67.9	126.1
HC1	8,071.43	127.3	-65.3	25.7
HC2	3,343.75	27.23	-60.7	58.8
HC3	11,200.00	46.89	-38.6	87.4
HC4	72.9	50.58	-5.6	117.9
JC	1,333.33	2055	19.6	342.6
SMD1	815.85	166.9	17.99	438.99
SMD2	587.03	1233.5	-23.54	429.46
SMD3	283.48	384.5	-2.77	468.63
HW(1)1	8529.17	9122	-18.08	91.92
HW(1)2	17326.67	3823	-17.54	92.46
HW(1)3	11384.00	10750	-26.97	93.03
HW(1)4	1707.83	7726	-17.92	92.08
HW(1)5	7361.54	1624	-17.34	92.66
HW(1)6	9445.83	2084	-17.76	92.24
HW(2)1	5505.13	1215	-21.2	88.8
HW(2)2	12017.65	2652	-20.76	89.24
HW(2)3	8180.00	1805	-20.57	89.43
HW(2)4	6502.50	1435	-21.26	88.74
HW(2)5	8253.85	1821	-21.99	88.01
HW(2)6	7333.33	1618	-21.87	88.13
Maximum	75000.00	29940.00	19.60	468.63
Minimum	72.90	21.41	-138.40	14.40
Range	74927.10	29918.59	158.00	454.23
Mean	9076.92	2753.20	-50.73	127.60
Median	6360.63	1333.75	-41.65	92.00
Std.dev.	13162.92	5302.26	40.93	114.67
Kurtosis	18.38	20.47	-0.87	3.43
Skewness	3.88	4.21	-0.32	2.01

5.3 서부지역의 수리적 특성

서부지역에는 납읍수원지(NE1～NE6), 어음수원지(EU1～EU6), 금악수원지(GA1～GA6), 저지수원지(JE1～JE10), 서광수원지(SE1~SE10), 서부지역 농업용관정(BB1～BB7), 에버리스 골프장(EVCC1～EVCC5), 엘리시안골프장(ELCC1～ELCC5)의 55개 양수정에서 양수시험을 실시하였으며, 양수량은 1,400～3,050m^3/d 이었다 (Table 5.3; 부록 참조). 서부지역에서는 지점에 따라 단일공 양수시험과 관측공을 이용한 양수시험이 실시되었다. 양수시험분석결과, 주로 35개 양수시험공에서 Moench(1985)의 누수대수층 모델이 적합한 것으로 나타났다. 지하수위가 너무 빨리 안정화되어 특별한 모델을 적용할 수 없는 10개 양수시험공에서는 Thiem 식을 적용하였고, 이때 영향반경은 1m로 가정하였다. 한편, BB1호공에서는 Hantush(1960)이 적합하였고, JE6, JE9, SE5, EVCC2, EVCC3, EVCC5에서는 Hantush-Jacob 누수대수층이 적합한 것으로 나타났다. 그리고 GA5에서는 Papadopulos-Cooper식이, JE5에서는 Cooper-Jacob식이 적합하였다. 서부지역에서는 투수층과 누수층이 반복되어 나타나고 있기 때문에 누수대수층이 우세한 것으로 판단되며, 주로 준기저지하수와 관련되는 것으로 보인다.

서부지역의 투수량계수는 17.12～24,150m^2/d, 산술평균값은 6,133m^2/d이고 중앙값은 3,616m^2/d이다(Table 5.3). 투수량계수의 첨도(1.74)와 왜도(1.63)가 모두 양의 값을 나타내고 있으므로, 서부지역의 투수량계수값은 대체로 평균치보다 작은 값들이 큰 것들에 비해서 더 많이 분포하며 정규분포보다 더 뾰족한 형태를 보인다. 한편, 저류계수는 10^{-1}～10^{-8}으로 다양하게 나타나고 있으며, 이는 지점에 따른 저류성의 차이가 크다는 것을 의미한다.

서부지역의 비양수량(Q/s)은 68.43～65,100m^2/d, 산술평균값은 15,102m^2/d이고, 중앙값은 8,513m^2/d이다(Table 5.4). 저투수층의 출현심도는 -53.68～58.30m이며, 평균값과 중앙값은 각각 -4.71m와 -11.40m이다. 한편, 지표고도는 153.50～312.20m이며, 평균값과 중앙값은 각각 194.70m와 180.00m이다.

Table 5.3 Pumping test results in the west area.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m3/d)	Pumping time (min)	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S
BB1	BB1	Hantush(1960)	36	1034	1500	8.7	90	295.7	-
BB2	BB2	Moench (case1)	82	1000	1500	6	140	373.4	-
BB3	BB3	Moench (case1)	136	737	1500	17.6	162	123.1	-
BB4	BB4	Moench (case1)	126	800	1500	10	190	272.2	-
BB5	BB5	Moench (case1)	120	887	1500	6	210	20.24	-
BB6	BB6	Moench (case1)	220	752	1500	27	240	81.48	-
BB7	BB7	Moench (case1)	218	855	1500	14.5	270	37.26	-
ELCC1	ELCC1	Moench (case1)	420	500	360	7	433	1006.5	-
ELCC2	ELCC2	Moench (case1)	360	550	360	1	405	810.7	-
ELCC3	ELCC3	Moench (case1)	390	540	360	6.4	434.5	276.6	-
ELCC4	ELCC4	Moench (case1)	360	550	360	1	434.5	599.8	-
ELCC5	ELCC5	Moench (case1)	444	550	360	3.53	480	176.8	-
EVCC1	EVCC1	Moench (case1)	372	550	360	25.8	415	345.2	-
EVCC2	EVCC2	Hantush-Jacob	396	500	360	4.95	425	180	-
EVCC3	EVCC3	Hantush-Jacob	396	500	360	1.2	400	1400.7	-
EVCC4	EVCC4	Moench (case1)	348	500	360	1.6	381	3896.3	-
EVCC5	EVCC5	Hantush-Jacob	360	450	360	2.7	420	188.4	-
NE1	NE6	Moench (case1)	174	2,709	7,200	0.81	212	4135.3	2.86E-06
NE2	NE6	Moench (case1)	174	2,727	7,200	1.51	216	3625.1	5.60E-02
NE3	NE4	Moench (case1)	174	2,806	7,285	3.31	212	2187.4	1.50E-04
NE4	NE5	Moench (case1)	174	2,722	7,200	2.24	214	1911.2	3.79E-02

Table 5.3 Continued.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m^3/d)	Pumping time (min)	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S (-)
NE6	NE1	Moench (case1)	174	2,714	7,200	0.91	215	3609	8.12E-02
EU1	EU3	Thiem	203	1,450	1,460	0.15	230	3487.7	-
EU2	EU3	Thiem	203	1,450	1,540	0.14	230	3708.5	-
EU3	EU1	Thiem	203	1,450	2,670	0.18	230	2965.3	-
EU4	EU1	Thiem	203	1,450	5,822	0.03	230	14608.8	-
EU5	EU1	Moench (case1)	203	1,640	7,260	0.14	230	4107.8	4.63E-02
EU6	EU1	Moench (case1)	203	1,630	7,426	0.18	230	1453.9	6.02E-01
GA1	GA2	Moench (case1)	276	1,400	113,440	16.22	345	245.4	6.64E-01
GA2	GA2	Moench (case1)	289	1,400	7,336	20.46	345	113.1	6.38E-01
GA3	GA2	Moench (case1)	276	1,400	14,252	1.68	345	2702.1	6.85E-03
GA4	GA2	Moench (case1)	276	1,400	7,200	20.24	346	86.46	8.11E-02
GA5	GA2	Moench (case1)	276	1,470	7,260	20.76	346	17.12	4.14E-03
GA6	GA5	Papadop ulos-Cooper	276	1,830	7,250	7.5	348	7357.4	3.59E-02
JE1	JE5	Moench (case1)	120	2,100	7,206	0.14	170	7756.9	9.23E-02
JE2	JE10	Moench (case1)	120	2,880	7,310	0.06	170	2765.7	7.62E-03
JE3	JE5	Cooper-Jacob	120	2,890	7,204	0.36	170	24150	-
JE4	JE6	Hantush-Jacob	120	2,890	7,202	0.51	171	19650	7.36E-05
JE5	JE6	Moench (case1)	120	2,100	7,250	0.67	172	8042.8	1.58E-04
JE6	JE5	Moench (case1)	120	2,040	7,250	0.65	172	1632.5	2.59E-04

Table 5.3 Continued.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m^3/d)	Pumping time	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S (-)
JE7	JE5	Moench (case1)	120	2,950	7,204	0.56	170	3533	8.27E-03
JE8	JE5	Moench (case1)	120	3,050	7,206	0.34	170	18520	6.71E-03
JE9	JE5	Moench (case1)	120	3,020	7,200	0.48	171	2712.2	7.89E-06
JE10	JE9	Hantush -Jacob	120	2,600	7,270	0.04	170	8168.5	-
SE1	SE5	Thiem	170	2,604	7,240	0.04	200	18772.7	-
SE2	SE10	Thiem	170	2,520	7,230	0.21	200	24059.1	-
SE3	SE5	Thiem	170	2,590	7,260	0.05	200	8242.5	-
SE4	SE6	Moench (case1)	170	2,560	8,600	0.12	200	2375.1	1.80E-05
SE5	SE6	Moench (case1)	170	2,545	8,610	0.12	200	1790.3	2.77E-05
SE6	SE5	Moench (case1)	170	2,650	7,260	0.13	200	5355.2	6.17E-04
SE7	SE5	Hantush -Jacob	170	2,549	7,280	0.13	200	939.6	3.32E-03
SE8	SE5	Thiem	170	2,480	7,330	0.09	200	8187.5	-
SE9	SE5	Thiem	170	2,420	7,290	0.09	200	4571.5	-
SE10	SE9	Thiem	170	2,366	7,220	0.09	200	4493.5	-
	Maximum		289.00	3050	113440	20.76	348.00	24150	.6.64E-01
	Minimum		120.00	1400	1460	0.03	170.00	17.12	2.86E-06
	Range		169.00	1650	111980	20.73	178.00	24133	6.64E-01
	Mean		179.76	2257.11	9837	2.68	222.08	6133	9.87E-02
	Median		170.00	2500.00	7245	0.28	200.00	3617	7.24E-03
	Std.dev.		51.56	573.55	17370	6.00	57.87	6641	0.2092
	Kurtosis		-0.11	-1.39	36.97	5.02	0.92	1.74	3.9996
	Skewness		0.77	-0.43	6.04	2.53	1.45	1.63	2.3408

Table 5.4 Hydraulic parameters of the west area.

Well name	Specific capacity, Q/s (m^2/d)	T (m^2/day)	Top of low permeability layer (a.m.s.l,m)	Surface elevation (a.m.s.l,m)
BB1	118.8505747	295.7	-34.5	28
BB2	166.6667	373.4	-58.5	43
BB3	41.875	123.1	-50.9	76
BB4	80	272.2	6	124
BB5	147.8333	20.24	-32	138.2
BB6	27.85185185	81.48	-3	210
BB7	58.96551724	37.26	39	242
ELCC1	71.42857143	1006.5	45.5	478.5
ELCC2	550	810.7	93	498
ELCC3	84.375	276.6	37.5	472
ELCC4	550	599.8	41.5	476
ELCC5	155.8073654	176.8	57	482
EVCC1	21.31782946	345.2	-11	404
EVCC2	101.010101	180	-25.9	399.1
EVCC3	416.6667	1400.7	-31.8	368.2
EVCC4	312.5	3896.3	-37.4	343.6
EVCC5	166.6667	188.4	3	423
NE1	3344.44	4135.3	-36.43	175.57
NE2	1805.96	3625.1	-43.2	172.8
NE3	847.73	2187.4	-38.5	173.5
NE4	1215.18	1911.2	-39	175
NE5	4457.69	1011.9	-33	177
NE6	2982.42	3609.4	-38.92	176.08
EU1	9666.67	3487.7	-49.61	180.39
EU2	10357.14	3708.5	-49.31	180.69
EU3	8055.56	2965.3	-53.68	176.32
EU4	48333.33	14608.8	-50.4	179.6
EU5	11714.29	4107.8	-45.15	184.85
EU6	9055.56	1453.9	-44.73	185.27

Table 5.4 Continued.

Well name	Specific capacity, Q/s (m^2/d)	T (m^2/d)	Top of low permeability layer (a.m.s.l,m)	Surface elevation (a.m.s.l,m)
GA1	86.31	245.4	57.1	310.8
GA2	68.43	113.1	57	311.3
GA3	833.33	2702.1	58.3	311.7
GA4	69.17	86.46	48.2	312.2
GA5	70.81	17.12	50.5	311.5
GA6	244	7357.4	53.3	311.3
JE1	65100	18772.7	18.2	183.7
JE2	12000	24059.1	12.7	186.7
JE3	51800	8242.5	17.4	187.4
JE4	21333.33	2375.1	14.9	188.9
JE5	21208.33	1790.3	12.9	188.9
JE6	20384.62	5355.2	7.7	185.7
JE7	19607.69	939.6	17.4	184.9
JE8	27555.56	8187.5	12	178
JE9	26888.89	4571.5	13.8	181.8
JE10	26288.89	4493.5	5.8	181.8
SE1	15000	7756.9	-12.5	153.5
SE2	48000	2765.7	-2.28	153.72
SE3	8027.78	24150	-12.73	153.77
SE4	5666.67	19650	-12.09	154.41
SE5	3134.33	8042.8	-14.85	155.25
SE6	3138.46	1632.5	-8.5	155.5
SE7	5267.86	3533.4	-10.7	155.5
SE8	8970.59	18520	-12.5	155.5
SE9	6291.67	2712.2	-13	154.3
SE10	65000	8168.5	-15	153.5
Maximum	65100.00	24150.00	93.00	498.00
Minimum	21.32	17.12	-58.50	28.00
Range	65078.68	24132.88	151.50	470.00
Mean	10489.90	4420.68	-2.57	229.17
Median	3134.33	2375.10	-10.70	181.80
Std.dev	16542.69	6095.11	36.98	114.98
Kurtosis	3.80	3.64	-0.60	0.19
Skewness	2.08	2.06	0.48	1.00

5.4 남부지역의 수리적 특성

남부지역의 8개 수원지(상예(SY), 회수(HS), 자굴이(JG), 토평(TP), 의귀(1)(EK(1)), 의귀(2)(EK(2)), 신흥(1)(SH(1)), 신흥(2)(SH(2)), 해수침투관측공 위미1(WM1), 위미2(WM2), 국가지하수 관측공인 동홍(DH), 한라산 고지대 관측공 중문(JM), 신례(SR)의 44개공에서 단일공 또는 관측공을 이용한 양수시험이 실시되었으며, 양수량은 1,000～3,057m^3/d 이었다. 남부지역의 11개 양수시험공에서는 Moench(1985) 모델의 case 1이 적합하였다(Table 5.5; 부록 참조). 한편 10개 양수시험공에서는 지하수위가 너무 빨리 안정되어 특정 모델 적용이 어려워서 Thiem 식을 적용하였다. Thiem 식에서는 영향반경을 1 m로 가정하였다. 또한 HS4호공과 HS6호공에서는 자유면대수층 모델인 Moench(1997) 모델 또는 Neuman 모델이 적합한 것으로 나타났다. 한편 EK(2)4와 EK(2)5호공에서는 Hantush(1960) 식이 적합한 것으로 나타났다. 그리고 EK(2)1과 EK(2)6에서는 피압대수층 모델인 Papadopulos-Cooper 식이 적합한 것으로 나타났다. 남부지역에서는 누수대수층이 우세하지만 자유면대수층과 피압대수층도 상당히 나타나고 있어서 상위지하수 또는 준기저 지하수와 관련되는 것으로 보인다.

투수량계수는 19.45～175,300m^2/d이고, 산술평균값과 중앙값은 각각 7,276 m^2/d와 1,401m^2/d이다. 투수량계수의 첨도(39.58)와 왜도(6.17)가 모두 양의 값을 나타내고 있으므로, 남부지역의 투수량계수는 대체로 평균값보다 작은 값들이 평균값보다 큰 값들에 비해서 더 많이 나타나고 정규분포보다 더 뾰족한 형태를 보인다(Carr, 1995).

비양수량(Q/s)은 24.44～23,584m^2/d이고, 산술평균값은 5,493m^2/d, 중앙값은 1,263m^2/d이다(Table 5.6). 그리고 저투수층의 출현심도는 -55.90～170.00 m(해발고도 기준)의 범위이며, 산술평균값과 중앙값은 각각 6.38m와 -11.69m이다. 한편, 지하수관정의 지표고도는 13.31～600.00m이며, 산술평균값과 중앙값은 각각 129.83m와 73.49m이다.

Table 5.5 Pumping test results in the south area.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m3/d)	Pumping time (min)	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S
WM1	WM1	Thiem	-	1900	-	0.15	35	70	-
WM2	WM2	Cooper-Jacob	-	1500	-	0.12	85	7809.7	-
DH	DH	Moench (case1)	-	1000	-	0.9	150	221.5	-
SR	SR	Theis	-	1008	-	24	550	19.45	-
JM	JM	Hantush -Jacob	-	1100	-	45	580	28.81	-
SY1	SY2	Moench (case1)	210	2480	7238	6.5	280	212.1	2.19E-03
SY2	SY1	Moench (case1)	210	1670	7260	4.44	265	598.6	4.55E-01
SY3	SY1	Moench (case1)	204	2400	7200	7.44	227	2296	6.23E-03
SY4	SY1	Moench (case1)	210	1630	7200	8.84	223	2162.5	4.26E-03
SY5	SY1	Hantush -1960	204	2200	7200	10.05	225	2842.6	3.59E-03
SY6	SY3	Moench (case1)	204	2200	7206	69.46	252	957.3	4.05E-05
HS1	HS6	Moench (1997)	174	1930	7238	25.24	250	256.7	1.44E-02
HS2	HS6	Neuman	174	1930	7260	24.44	250	335.4	4.09E-02
HS3	HS4	Moench (1997)	174	1915	7200	30.32	252	335.4	4.09E-02
HS4	HS6	Moench (case1)	174	1730	7200	28.42	250	2202.3	1.20E-02
HS5	HS6	Moench (case1)	174	1820	7200	28.14	252	2101.2	1.91E-03
HS6	HS4	Moench (case1)	174	1700	7206	31.2	250	1537.1	9.40E-04
SH(1)1	SH(1)1	Theis	-	2,585	7200	0.184	83	6664	-
SH(1)2	SH(1)2	Thiem	-	2350	7200	0.402	82	1290	-
SH(1)3	SH(1)3	Thiem	-	2294	7200	0.349	82	1450	-
SH(1)4	SH(1)4	Thiem	-	2245	7200	0.533	82	929.4	-
SH(1)5	SH(1)5	Hantush -Jacob	-	2082	7200	1.478	82	978.7	-
SH(1)6	SH(1)6	Thiem	-	2092	7200	1.874	82	246.3	-

Table 5.5 Continued.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m3/d)	Pumping time (min)	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S
SH(2)1	SH(2)1	Moench (case1)	-	2,95	7200	0.431	90	1352	-
SH(2)2	SH(2)2	Thiem	-	3057	7200	0.283	90	2383	-
SH(2)3	SH(2)3	Thiem	-	2964	7200	0.19	90	3442	-
SH(2)4	SH(2)4	Hantush -Jacob	-	2948	7200	0.125	90	3740	-
SH(2)5	SH(2)5	Thiem	-	2830	7200	0.169	90	3694	-
SH(2)6	SH(2)6	Moench (case2)	-	2981	7200	0.127	90	175300	-
EK(1)1	EK(1)1	Thiem	-	2585	7200	0.606	101	941	-
EK(1)2	EK(1)2	Hantush -Jacob	-	2516	7200	0.232	103	2706	-
EK(1)3	EK(1)3	Thiem	-	2796	7200	0.169	105	3651	-
EK(1)4	EK(1)4	Cooper-Jacob	-	2557	7200	0.184	105	26190	-
EK(1)5	EK(1)5	Hantush (1960)	-	2002	7200	13.218	102	1240	-
EK(1)6	EK(1)6	Neuman	-	2406	7200	0.31	104	12140	-
EK(2)1	EK(2)1	Papadopulos-Cooper	-	2416	7200	0.213	91	6937	-
EK(2)2	EK(2)2	Thiem	-	2438	7200	0.32	94.5	1681	-
EK(2)3	EK(2)3	Hantush -Jacob	-	2265	7200	5.703	95	742.2	-
EK(2)4	EK(2)4	Hantush (1960)	-	2368	7200	0.218	99	8569	-
EK(2)5	EK(2)5	Hantush (1960)	-	2304	7200	3.85	93	1091	-
EK(2)6	EK(2)6	Papadopulos-Cooper	-	2360	7200	0.28	90	27850	-

Table 5.5 Continued.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m3/d)	Pumping time (min)	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S
TP1	TP1	-	-	-	-		125	-	-
TP2	TP2	-	-	-	-		125	-	-
TP3	TP3	Hantush -Jacob	-	1630	7200	29.84	132	73.08	-
TP4	TP4	-	-	-	-		160	-	-
JG1	JG1	-	-	-	-		31	-	-
JG2	JG2	-	-	-	-		35	-	-
JG3	JG3	-	-	-	-		30	-	-
JG4	JG4	-	-	-	-		33	-	-
JG5	JG5	Moench (case1)	-	2032	1440	3.957	22.5	301.4	-
JG6	JG6	Moench (case1)	-	2395	1440	3.588	18.5	580.7	-
	Maximum		210.00	3057	7260.00	69.46	580.00	175300.0	4.55E-01
	Minimum		174.00	1000	1440.00	0.12	18.50	19.45	4.05E-05
	Range		36.00	2057	5820.00	69.34	561.50	175280.6	4.55E-01
	Mean		190.50	2196	6909.95	9.40	143.21	7276.12	4.85E-02
	Median		189.00	2280	7200.00	1.19	99.00	1401.00	5.25E-03
	Std.dev		17.38	512.98	1288.45	15.03	114.04	26566.5	0.1288
	Kurtosis		-2.34	0.07	16.77	5.05	5.72	39.58	11.6
	Skewness		0.06	-0.48	-4.23	2.12	2.12	6.17	3.39

Table 5.6 Hydraulic parameters of the south area.

Well name	Specific capacity, Q/s (m^2/d)	T (m^2/d)	Top of low permeability layer (a.m.s.l,m)	Surface elevation (a.m.s.l,m)
WM1	1,111.11	70	-55.8	22.2
WM2	12,666.67	7809.7	-17.8	76.7
DH	1,625.00	221.5	103	192
SR	42	19.45	125	595
JM	24.44	28.81	170	550
SY1	381.54	212.1	23.5	249.5
SY2	376.13	598.6	36.1	251.1
SY3	322.58	2296	36.4	251.4
SY4	184.39	2162.5	38	251
SY5	218.91	2842.6	38.1	250.1
SY6	31.67	957.3	44.8	250.8
HS1	76.47	256.7	61.48	218.48
HS2	78.97	335.4	44.68	217.28
HS3	63.16	335.4	46.14	220.24
HS4	60.87	2202.3	56.29	224.29
HS5	64.68	2101.2	53.23	222.23
HS6	54.49	1537.1	42.82	221.82
SH(1)1	14049.46	6664	-20.17	62.83
SH(1)2	5846.77	1290	-18.49	63.51
SH(1)3	6573.64	1450	-19.08	62.92
SH(1)4	4212.38	929.4	-19.18	62.82
SH(1)5	1408.93	978.7	-18.56	63.44
SH(1)6	1116.49	246.3	-18.49	63.51
SH(2)1	6949.42	1352	-30.86	59.14
SH(2)2	10801.06	2383	-29.55	60.45
SH(2)3	15601.05	3442	-29.09	60.91
SH(2)4	23584.00	3740	-24.53	65.47
SH(2)5	16743.92	3694	-25.41	64.59
SH(2)6	23470.87	175300	-30.53	59.47

Table 5.6 Continued.

Well name	Specific capacity, Q/s (m^2/d)	T (m^2/d)	Top of low permeability layer (a.m.s.l,m)	Surface elevation (a.m.s.l,m)
EK(1)1	4265.15	941	-30.2	68.8
EK(1)2	10845.52	2706	-30.14	69.36
EK(1)3	16546.51	3651	-26.35	71.65
EK(1)4	13898.91	26190	-34.92	70.08
EK(1)5	151.48	1240	-22.41	68.59
EK(1)6	7760.65	12140	-34.55	69.45
EK(2)1	11344.13	6937	-10.51	73.49
EK(2)2	7618.19	1681	-15.5	74
EK(2)3	397.19	742.2	-15.7	74.3
EK(2)4	10861.47	8569	-13.83	74.17
EK(2)5	598.44	1091	-15.87	74.13
EK(2)6	8428.52	27850	-14.25	73.75
TP1	-	-	58.9	164.9
TP2	-	-	48.5	165.5
TP3	54.63	73.08	35.33	162.33
TP4	-	-	16.9	161.9
JG1	-	-	-10.57	13.43
JG2	-	-	-11.69	13.31
JG3	-	-	-10.1	13.9
JG4	-	-	-15.83	15.17
JG5	513.57	301.4	-5.41	16.59
JG6	667.50	580.7	-4.45	14.05
Maximum	23584.00	175300.00	170.00	595.00
Minimum	24.44	19.45	-55.80	13.31
Range	23559.56	175280.55	225.80	581.69
Mean	5493.02	7276.12	7.83	129.73
Median	1262.71	1401.00	-13.83	73.49
Std.dev	6766.46	26566.52	44.94	120.66
Kurtosis	0.43	39.58	2.60	5.47
Skewness	1.15	6.17	1.49	2.06

5.5 북부지역의 수리적 특성

북부지역에서는 상가(SG), 장전(JJ), 상귀(SK), 외도(OD), 삼양(SA), 회천(HO), 함덕(HA), 선흘(SU), 해수침투관측공 용담1(YD1), 용담2(YD2), 삼양1(SYA1), 삼양2(SYA2), 함덕1(HT1), 함덕2(HT2), 국가지하수 관측공인 노형(NH), 한라산 고지대 조사공 어승생(ES)의 54개공에서 단일공 또는 관측공을 이용한 양수시험이 실시되었으며, 양수량은 900～3,539m^3/d 이었다. 북부지역의 18개 양수시험공에서는 Moench(1985) 모델의 case 1이 적합하였다(Table 5.7; 부록 참조). 한편 15개 양수시험공에서는 지하수위가 너무 빨리 안정되어 특정 모델 적용이 어려워서 Thiem 식을 적용하였다. Thiem 식에서는 영향반경을 1m로 가정하였다. 또한 15개공에서는 피압대수층 모델인 Theis, Cooper-Jacob 또는 Papadopulos-Cooper 식이 적합한 것으로 나타났다. 따라서 북부지역에서는 누수대수층이 우세하지만 피압대수층도 상당히 나타나고 있어서 준기저지하수 또는 상위지하수와 관련되는 것으로 보인다.

투수량계수는 10.80～23,750m^2/d이고, 산술평균값과 중앙값은 각각 5,594 m^2/d와 3,902m^2/d이다. 투수량계수의 첨도(2.76)와 왜도(1.65)가 모두 양의 값을 나타내고 있으므로, 북부지역의 투수량계수도 평균값보다 작은 값들이 평균값보다 큰 값들에 비해서 더 많이 나타나고 정규분포보다 더 뾰족한 형태를 보인다.

비양수량(Q/s)은 24.34～92,233m^2/d이고, 산술평균값은 8,602m^2/d, 중앙값은 3,919m^2/d이다(Table 5.8). 그리고 저투수층의 출현심도는 -92.80～163.00 m(해발고도 기준)이며, 산술평균값과 중앙값은 각각 -40.67m와 -36.60m이다. 한편, 지하수관정의 지표고도는 10.21～615.15m이며, 산술평균값과 중앙값은 각각 95.78m와 69.18m이다.

Table 5.7 Pumping test results in the north area.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m3/d)	Pumping time (min)	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S
NH	NH1	Theis	-	900	-	18.72	240	10.8	-
YD1	YD1	Moench (case1)	-	1950	595	0.68	53	1313.4	-
YD2	YD2	Moench (case1)	-	980	721	4.3	160	362.7	-
SYA1	SYA1	Thiem	-	1267	-	0.46	31	3826	-
SYA2	SYA2	Moench (case1)	-	1600	-	10.54	90	32.43	-
ES	ES	Moench (case1)	-	915	-	37.59	550	23.39	-
HT1	HT1	Hantush (1960)	-	1310	155	0.4	150	7882.7	-
HT2	HT2	Thiem	-	1300	-	0.8	150	13084	-
SG1	SG6	Moench (case1)	150	2811	7,300	0.52	180	3385.6	1.76E-01
SG2	SG6	Hantush -1960	150	3005	7,200	0.25	183	4798.1	1.82E-03
SG3	SG6	Moench (case1)	150	3018	7,200	0.26	183	6415.7	1.58E-04
SG4	SG6	Moench (case1)	150	2837	7,200	0.22	183	3811.7	6.52E-05
SG5	SG6	Moench (case1)	150	2879	7,200	0.12	180	8013.3	2.82E-02
SG6	SG5	Moench (case1)	150	2919	7,200	0.3	180	3901.7	1.81E-01
JJ1	JJ2	Moench (case1)	168	2748	7,200	0.24	211	6687.9	7.37E-02
JJ2	JJ3	Hantush -1960	168	2704	7,200	0.69	211	7140.7	2.88E-04
JJ3	JJ2	Moench (case1)	168	2734	7,200	0.22	210	6751.5	5.39E-01
JJ4	JJ3	Moench (case1)	168	2767	7,200	0.03	210	5427.9	1.11E-03
JJ5	JJ2	Moench (case1)	168	2677	7,200	2.27	210	8437.4	-
JJ6	JJ2	Moench (case1)	168	2732	7,200	0.22	211	5677.6	4.70E-02

Table 5.7 Continued.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m3/d)	Pumping time (min)	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S
SK1	SK1	Moench (case1)	52.2	3539	-	0.48	90	2248	-
SK2	SK2	Papadopulos-cooper	53.3	3253	-	5.27	100	22440	-
SK3	SK3	Moench (case1)	52.2	3064	-	1.74	102	1389.4	-
SK4	SK4	Theis	60	2250	-	7.05	102	4400.2	-
SK5	SK5	Hantush-Jacob	57.8	3426	-	1.06	95	394.6	-
SK6	SK6	Theis	53.5	3356	-	3.16	90	7760.5	-
OD1	OD1	Cooper-Jacob	60	2712	-	0.49	116	15080	-
OD2	OD2	Cooper-Jacob	60	2601	-	1.39	145	20390	-
OD3	OD3	Moench (case1)	60	3020	-	0.86	116	1684.4	-
OD4	OD4	-	60	-	-	-	143	-	-
OD5	OD5	Cooper-Jacob	60	2578	-	0.57	116	9031	-
OD6	OD6	Cooper-Jacob	60	2750	-	1.4	120	23750	-
SU1	SU1	Thiem	-	2626	7223	0.12	110	4828	-
SU2	SU2	Thiem	-	2236	7264	0.23	110	2145	-
SU3	SU3	Thiem	-	2220	7208	0.32	110	1531	-
SU4	SU4	Thiem	-	2020	7200	0.96	110	464.3	-
SU5	SU5	Thiem	-	2250	7579	0.49	110	1013	-
SU6	SU6	Cooper-Jacob	-	2266	7200	0.21	110	7524.7	-

Table 5.7 Continued.

Pumping well	Obs. well	Solution method	Pump depth (m)	Pumping rate, Q (m3/d)	Pumping time (min)	Draw-down, s (m)	Depth (m)	T (m^2/d)	S
SA1	SA1	Thiem	-	2871	7200	0.77	120	822.7	-
SA2	SA2	Thiem	-	2523	7200	0.98	120	568	-
SA3	SA3	Hantush-Jacob	-	2640	7272	1.64	120	3088.2	-
SA4	SA4	Papadopulos-Cooper	-	2540	7203	0.76	120	11430	-
SA5	SA5	Cooper-Jacob	-	2974	7200	0.73	120	5350.5	-
HO1	HO1	Moench (case1)	-	3044	7201	1.49	120	7018	-
HO2	HO2	Thiem	-	2943	5813	1.1	120	590.3	-
HO3	HO3	Papadopulos-Cooper	-	3325	7200	1.93	120	15310	-
HO4	HO4	Cooper-Jacob	-	3015	7200	0.92	120	6873.7	-
HO5	HO5	Cooper-Jacob	-	2924	7218	1.28	120	3289.5	-
HA1	HA1	Thiem	-	2927	7685	0.28	100	2306.4	-
HA2	HA2	Thiem	-	2887	7251	0.47	100	1355	-
HA3	HA3	Cooper-Jacob	-	2832	7207	0.19	100	9156	-
HA4	HA4	Thiem	-	2228	7200	0.04	100	1289	-
HA5	HA5	Thiem	-	2518	7393	0.45	100	1235	-
HA6	HA6	Thiem	-	2864	7213	0.17	100	3717	-
	Maximum		168.00	3539.00	7685.00	37.59	550.00	23750	5.39E-01
	Minimum		52.20	900.00	155.00	0.03	31.00	10.80	6.52E-05
	Range		115.80	2639.00	7530.00	37.56	519.00	23739	5.39E-01
	Mean		108.21	2552.36	6656.78	2.22	140.20	5594	9.53E-02
	Median		105.00	2734.00	7200.00	0.68	120.00	3902	2.82E-02
	Std.dev		52.35	639.52	1875.87	5.81	71.83	5591	0.1621
	Kurtosis		-2.10	1.01	8.35	28.05	19.61	2.76	6.2612
	Skewness		0.04	-1.23	-3.11	5.03	3.65	1.65	2.4055

Table 5.8 Hydraulic parameters of the north area.

Well name	Specific capacity, Q/s (m^2/d)	T (m^2/d)	Top of low permeability layer (a.m.s.l,m)	Surface elevation (a.m.s.l,m)
NH	3,275.00	0.1559	45.2	271.17
YD1	2,754.35	1313.4	-62.8	38.16
YD2	151.8	362.7	18.9	161.9
SYA1	2,867.65	3826	-79.8	10.21
SYA2	227.91	32.43	-56.9	75.05
ES	24.34	23.39	163	615.15
HT1	12,500.00	7882.7	-92.8	21.19
HT2	48.08	13084	-76	17.01
SG1	5405.77	3385.6	-27.5	152.5
SG2	12020	4798.1	-29	154
SG3	11607.69	6415.7	-32.5	150.5
SG4	12895.45	3811.7	-32.5	150.5
SG5	23991.67	8013.3	-29.5	150.5
SG6	9730	3901.7	-29	151
JJ1	11450	6687.9	-34.6	176.4
JJ2	3918.84	7140.7	-38.2	172.8
JJ3	12427.27	6751.5	-36.6	173.4
JJ4	92233.33	5427.9	-37.6	172.4
JJ5	1179.3	8437.4	-36.6	173.4
JJ6	12418.18	5677.6	-34.5	175.5
SK1	7372.92	2248	-38.26	49.74
SK2	617.27	22440	-41.25	54.75
SK3	1760.92	1389.4	-38.58	56.42
SK4	319.15	4400.2	-24.35	56.88
SK5	3232.08	394.6	-35.54	55.46
SK6	1062.03	7760.5	-36.05	50.95
OD1	5534.69	15080	-57.28	58.72
OD2	1871.22	20390	-45.88	58.12
OD3	3511.63	1684.4	-48.98	59.02

Table 5.8 Continued.

Well name	Specific capacity, Q/s (m^2/d)	T (m^2/day)	Top of low permeability layer (a.m.s.l,m)	Surface elevation (a.m.s.l,m)
OD4	-	-	-47.02	57.98
OD5	4522.81	9031	-57.3	58.7
OD6	1964.29	23750	-61.71	58.29
SU1	21883.33	4828	-27.74	82.26
SU2	9721.74	2145	-28.38	81.62
SU3	6937.50	1531	-29.32	80.68
SU4	2104.17	464.3	-30.82	79.18
SU5	4591.84	1013	-29.3	80.07
SU6	10790.48	7524.7	-29.75	80.25
SA1	3728.57	822.7	-74.67	45.33
SA2	2574.49	568	-73.91	46.09
SA3	1609.76	3088.2	-74.51	45.49
SA4	3342.11	11430	-75.32	44.68
SA5	4073.97	5350.5	-77.5	42.5
HO1	2042.95	7018	-78.29	41.71
HO2	2675.45	590.3	-78.2	41.8
HO3	1722.80	15310	-79.17	40.83
HO4	3277.17	6873.7	-79.03	40.97
HO5	2284.38	3289.5	-78.83	41.17
HA1	10453.57	2306.4	-30.35	69.65
HA2	6142.55	1355	-30.59	69.41
HA3	14905.26	9156	-29.17	70.83
HA4	55700.00	1289	-29.88	70.12
HA5	5595.56	1235	-29.15	70.85
HA6	16847.06	3717	-31.05	68.95
Maximum	92233.33	23750.00	163.00	615.15
Minimum	24.34	0.16	-92.80	10.21
Range	92208.99	23749.84	255.80	604.94
Mean	8601.89	5593.34	-40.67	95.78
Median	3918.84	3901.70	-36.60	69.18
Std.dev	14637.58	5590.81	37.77	90.61
Kurtosis	22.21	2.76	15.70	20.10
Skewness	4.38	1.65	3.11	3.84

6. 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관련성

동부, 서부, 남부, 북부지역의 비양수량(Q/s), 투수량계수(T), 저투수층의 출현 고도(Lt), 지하수위(h, 해발고도 기준), 지표 해발고도(EL) 간의 상관분석을 실시하였다. 상관성분석에는 SAS Institute Inc. (1995)를 이용하였다. 상관성분석을 위해서는 먼저 각각의 인자값들을 표준화시켰다.

인자들(지하수관정의 지표해발고도, 자연수위, 비양수량, 투수량계수, 저투수층의 출현심도)간의 상관성분석을 실시하기 전에 인자들의 정규분포 여부를 검토하였다(Fig. 6.1). 그 결과, 저투수층의 출현심도는 가우스분포에 가까우나, 지하수관정의 지표해발고도, 자연수위, 비양수량, 투수량계수는 대수정규분포에 더 가까운 것으로 나타났다.

비양수량은 투수량계수를 구하는데 이용될 수 있으나(Theis, 1963; Brown, 1963; Logan, 1964), 영향반경과 저류계수가 불확실하면 산정한 투수량계수의 불확실성이 커진다. 또한, 이 방법들은 균질 대수층에는 비교적 잘 맞고, 암반 균열대수층이나 비균질 대수층에서는 잘 맞지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나, Razack과 Huntley(1991)는 Morocco의 대규모 비균질 충적층에 대해서, Huntley와 Steffey(1992)는 San Diego 의 결정질암 균열대수층에 대해서, Mace(1997)는 Texas의 용해성 석회암 지대의 대수층에서 대해서 비양수량과 투수량계수 관계식을 제시하였다. 우리나라에서는 최병수(1999)와 Hamm 등(2005)이 제주도의 화산암 대수층에 대해서 비양수량과 투수량계수의 관계식을 도출하였다. Hamm 등(2005)은 투수량계수 산정에 Moench(1985)의 누수피압대수층 모델을 적용하여 좀 더 정확한 투수량계수를 산출할 수 있었다. 본 연구에서는 제주도의 동부, 서부, 남부, 북부지역의 각각에 대해서 비양수량(Q/s)과 투수량계수(T)의 상관성을 분석하였다.

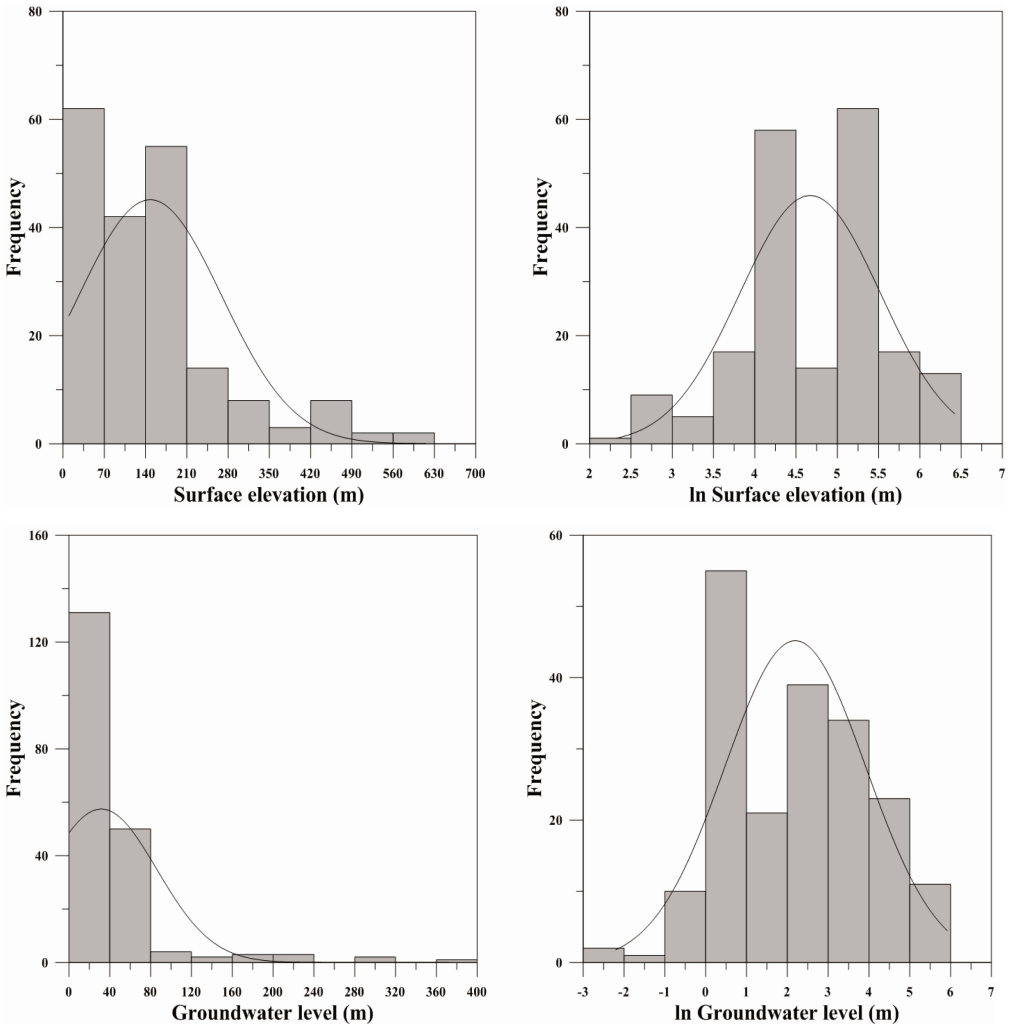
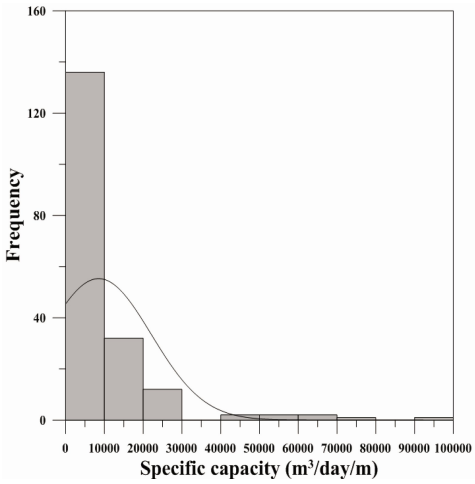
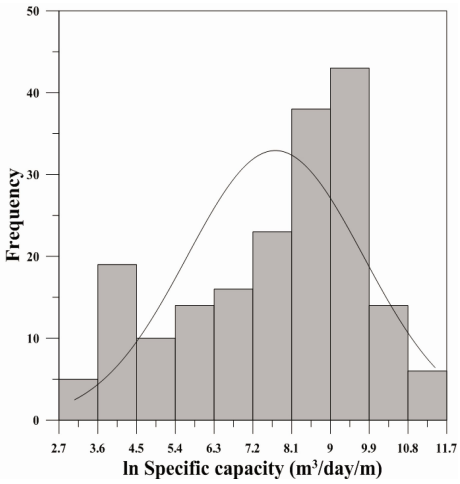
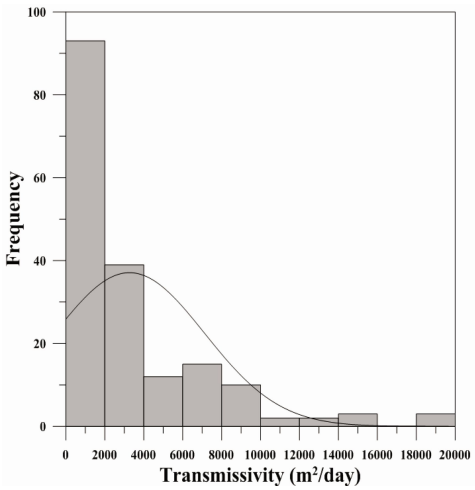
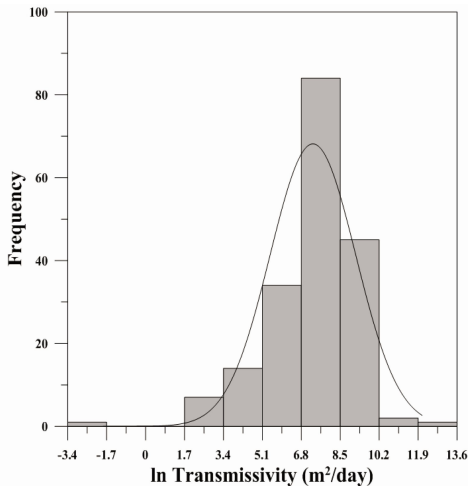


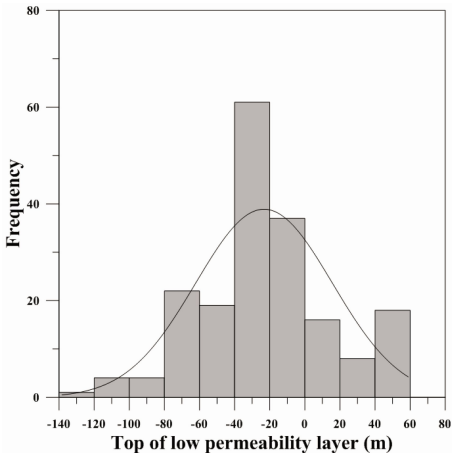
Fig. 6.1 Frequency distribution of surface elevation, groundwater level, specific capacity, transmissivity, and top of low permeability layer.


Frequency
160
120
80
40
0
0 10000 20000 30000 40000 50000 60000 70000 80000 90000 100000
Specific capacity (m³/day/m)


Frequency
50
40
30
20
10
0
2.7 3.6 4.5 5.4 6.3 7.2 8.1 9 9.9 10.8 11.7
ln Specific capacity (m³/day/m)


Frequency
100
80
60
40
20
0
0 2000 4000 6000 8000 10000 12000 14000 16000 18000 20000
Transmissivity (m²/day)


Frequency
100
80
60
40
20
0
-3.4 -1.7 0 1.7 3.4 5.1 6.8 8.5 10.2 11.9 13.6
ln Transmissivity (m²/day)


Frequency
80
60
40
20
0
-140 -120 -100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80
Top of low permeability layer (m)

6.1 동부지역의 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관계

동부지역의 비양수량(Q/s), 투수량계수(T), 저투수층의 출현 고도(L_t), 지하수위(h, 해발고도 기준), 지표 해발고도(EL)간의 상관성 분석을 실시하였다. 비양수량(Q/s)과 투수량계수(T)의 상관성(Table 6.1, Fig. 6.2)을 살펴보면, 둘 사이에 상관성이 거의 없으며, 유의성도 없다(r=0.1608, p=0.3489). 그러나, 그 상관식은

$$\ln(T) = 0.190 \cdot \ln(Q/s) + 5.137 \quad (6.1)$$

이다.

저투수층의 출현심도(L_t)와 비양수량 사이에는 음의 상관성(r=-0.2145, p=0.2091)을 보이며(Table 6.1, Fig. 6.2), 그 상관식은

$$L_t = -6.397 \cdot \ln(Q/s) + 5.874 \quad (6.2)$$

이다. 이는 저투수층의 출현 심도가 깊을수록 지하수 산출능력이 높아짐을 의미한다. 그러나, 동부지역에서 저투수층의 출현심도(L_t)와 비양수량의 관련성은 높지 않으며, 유의성도 없다. 이는 동부지역의 지하수관정에서 저투수층의 출현심도가 확인되지 않는 지점들이 많아서 저투수층의 출현심도에 불확실성이 높기 때문이다.

반면, 저투수층의 출현심도(L_t)와 투수량계수 사이에는 양의 상관성(r=0.3152, p=0.0611)을 보이나 그 상관성은 낮은 편이다(Table 6.1, Fig. 6.2). 그 상관식은

$$L_t = 7.938 \cdot \ln(T) - 100.499 \quad (6.3)$$

이다.

한편, 지하수위(h)와 저투수층의 출현심도(L_t)의 상관성을 살펴보면, 둘 사이에 비교적 높은 양의 상관성(r=0.5789, p=0.0002)을 보이며(Table 6.1), 그 상관식은

$$L_t = 15.459 \cdot \ln(h) - 60.477 \quad (6.4)$$

이다.

Table 6.1 Correlation coefficient among specific capacity (Q/s), transmissivity (T), top of low permeability layer (L_t), groundwater level (h, msl), and surface elevation (EL) with a 95% confidence interval in the east area.

	ln h	ln (Q/s)	ln T	L_t	ln EL
ln h	1				
ln (Q/s)	-0.55713 p=0.0004	1			
ln T	-0.03945 p=0.8193	0.16077 p=0.3489	1		
L_t	0.5789 p=0.0002	-0.21447 p=0.2091	0.31522 p=0.0611	1	
ln EL	0.76986 p<.0001	-0.44812 p=0.0061	0.30692 p=0.0686	0.6497 p<.0001	1

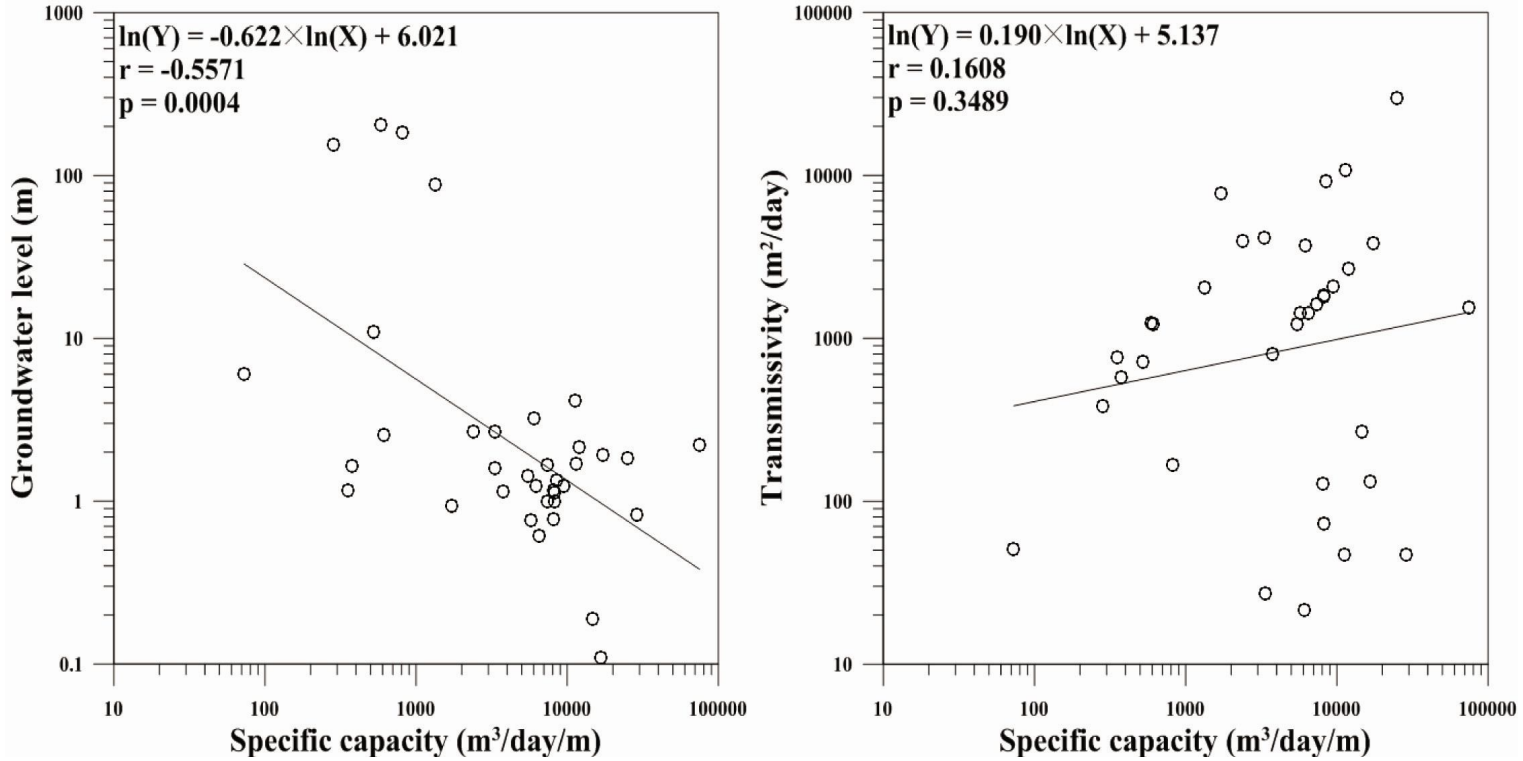


Fig. 6.2. Relationships between Groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the east area.

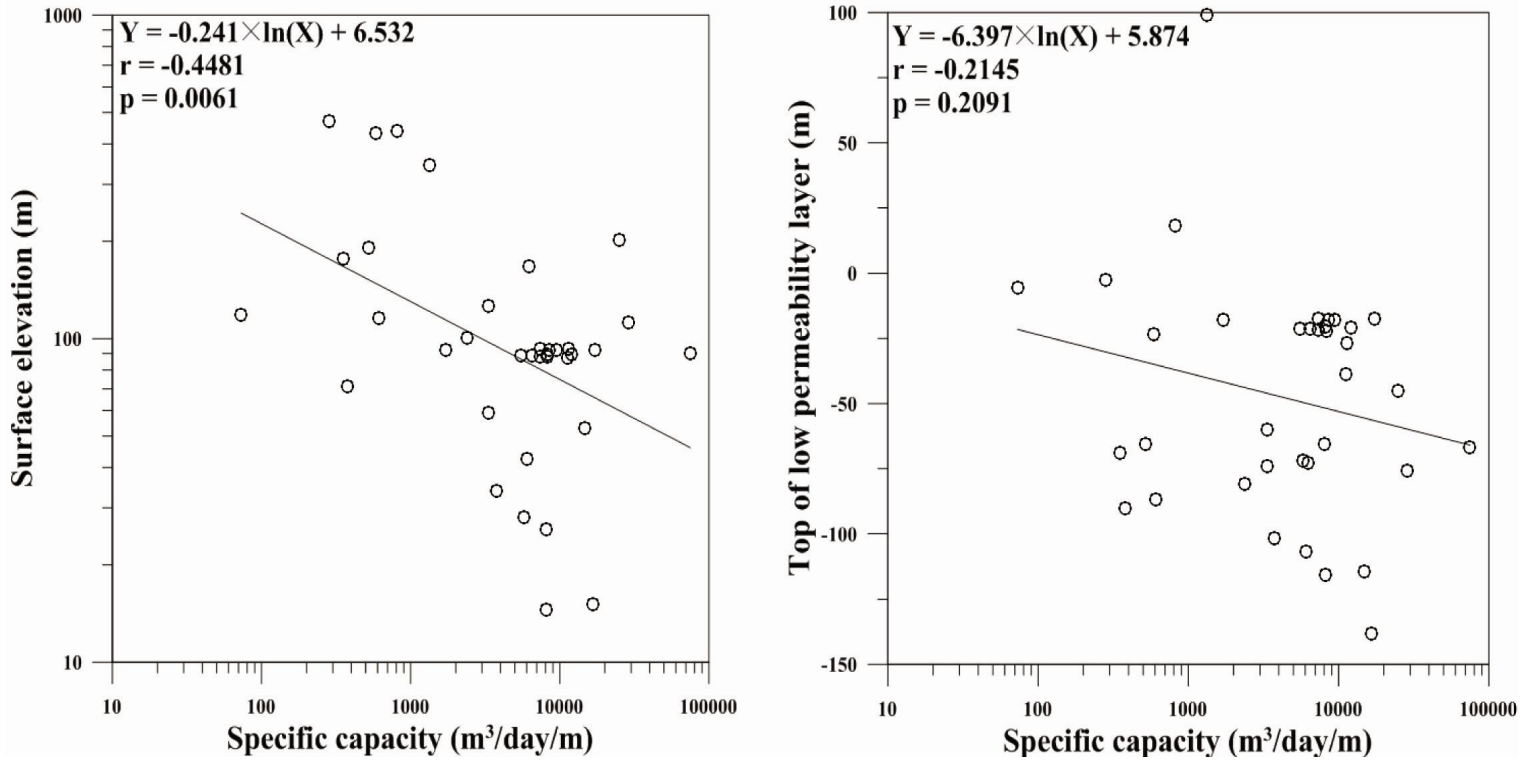


Fig. 6.2. Continued.

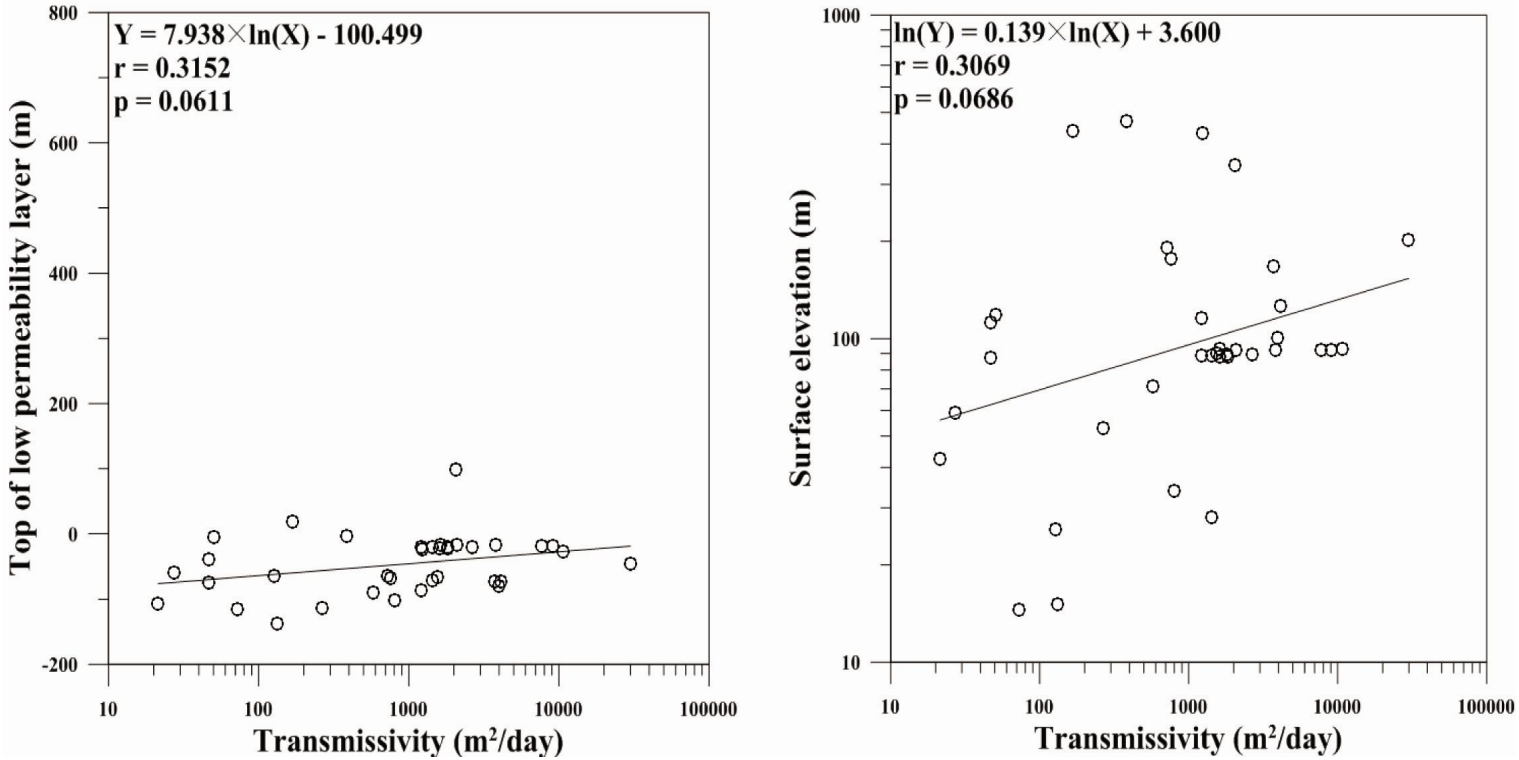


Fig. 6.2. Continued.

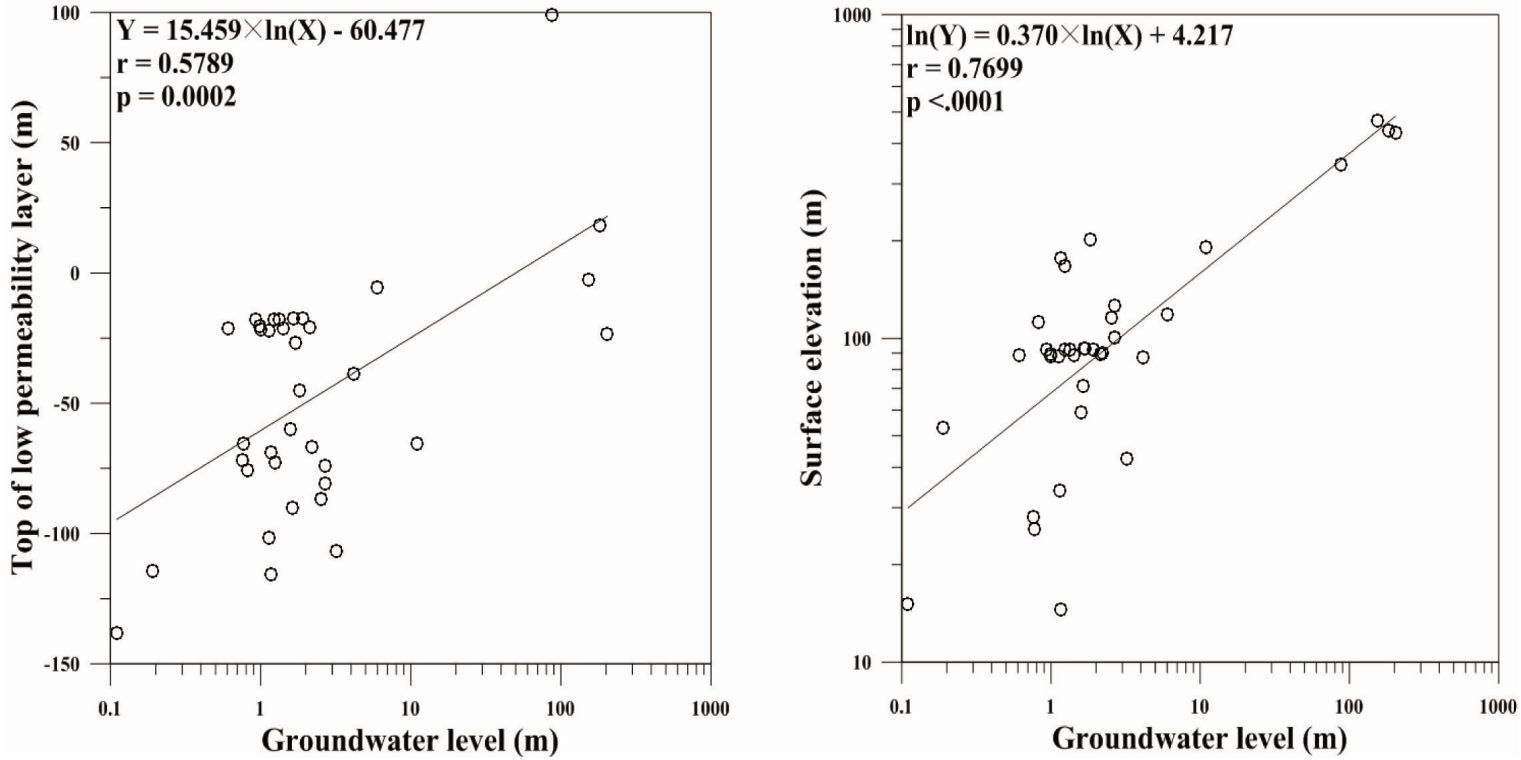


Fig. 6.2. Continued.

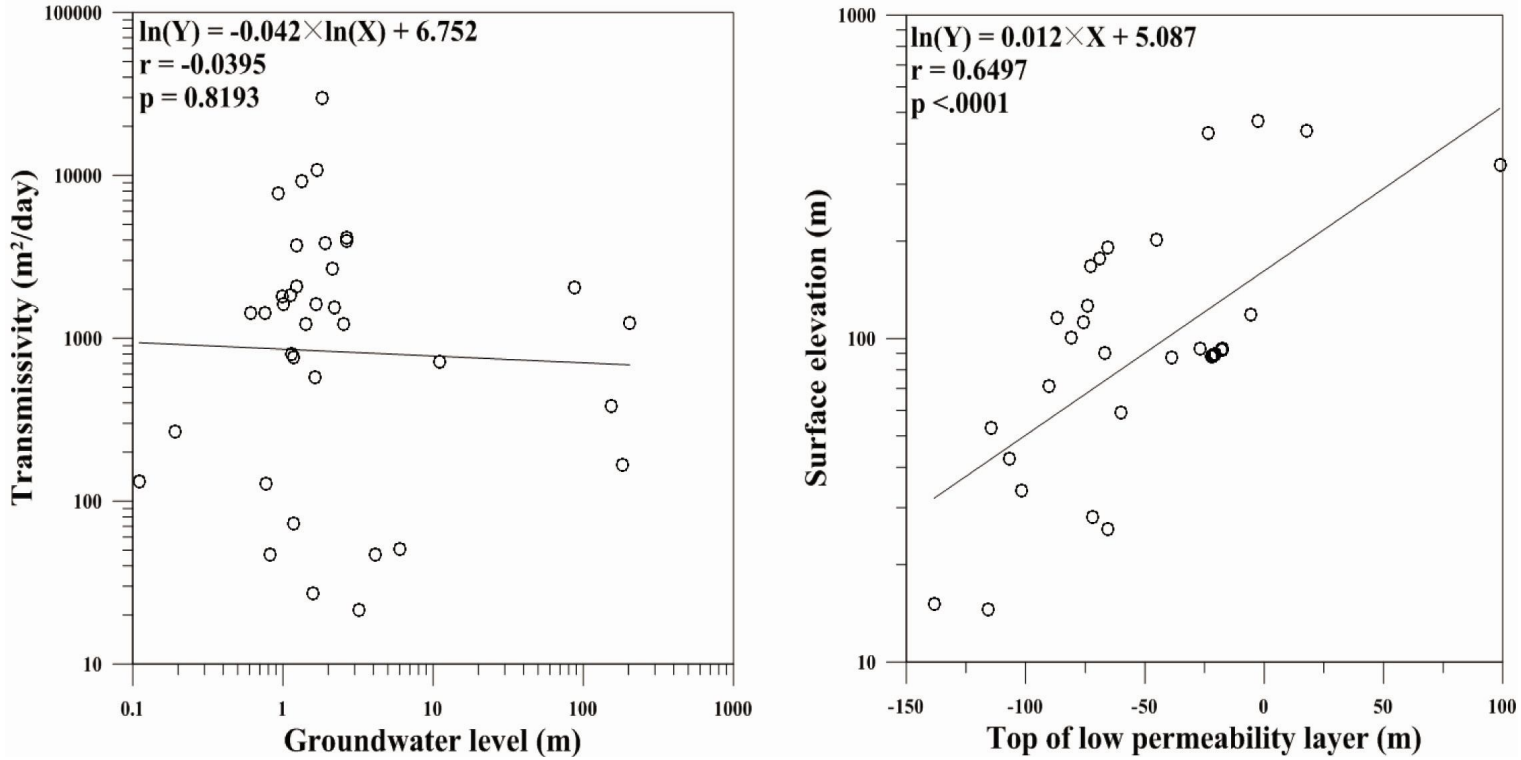


Fig. 6.2. Continued.

6.2 서부지역의 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관계

비양수량(Q/s), 투수량계수(T), 저투수층의 출현고도(L_t), 지하수위(h, 해발고도 기준) 그리고 지하수관정의 지표 고도의 상관분석을 실시하였다. 비양수량(Q/s)과 투수량계수(T)의 상관성을 살펴보면, 둘 사이에 높은 양의 상관성(r=0.8024, p<0.0001)을 보이며(Table 6.2, Fig. 6.3), 그 상관식은

$$\ln(T) = 0.602 \cdot \ln(Q/s) + 2.821 \quad (6.5)$$

이다.

저투수층의 출현 심도(L_t)와 비양수량 사이에는 음의 상관성(r=-0.2526, p=0.0628)을 보이며(Table 6.2, Fig. 6.3), 그 상관식은

$$L_t = -3.819 \cdot \ln(Q/s) + 25.662 \quad (6.6)$$

이다. 이는 저투수층의 출현 심도가 깊을수록 지하수 산출능력이 높아짐을 의미한다. 그러나, 서부지역에서 저투수층의 출현심도(L_t)와 비양수량의 관련성은 높지 않으며, 유의성도 낮다. 이는 서부지역에서 대수층과 가압층이 반복되는 누수대수층을 보이고, 지하수의 형태가 상부 준기저지하수에 해당되기 때문으로 판단된다.

저투수층의 출현심도(L_t)와 투수량계수 사이에도 저투수층의 출현 심도(L_t)와 비양수량의 관계와 마찬가지로 음의 상관성(r=-0.2556, p=0.0596)을 보이나 그 상관성은 낮은 편이다(Table 6.2, Fig. 6.3). 그 상관식은

$$L_t = -5.149 \cdot \ln(T) + 34.883 \quad (6.7)$$

이다.

지하수위(h)와 저투수층의 출현심도(L_t)의 상관성을 살펴보면, 둘 사이에 비교적 높은 양의 상관성(r=0.4905, p=0.0001)을 보이며(Table 6.2, Fig. 6.3), 그 상관식은

$$L_t = 30.708 \cdot \ln(h) - 113.644 \quad (6.8)$$

이다.

Table 6.2 Correlation coefficient among specific capacity (Q/s), transmissivity (T), top of low permeability layer (L_t), groundwater level (h, msl), and surface elevation (EL) with a 95% confidence interval in the west area.

	ln h	ln (Q/s)	ln T	L_t	ln EL
ln h	1				
ln (Q/s)	-0.13558 p=0.3237	1			
ln T	-0.10771 p=0.4338	0.80243 p<.0001	1		
L_t	0.49053 p=0.0001	-0.25256 p=0.0628	-0.25562 p=0.0596	1	
ln EL	0.55161 p<.0001	-0.2644 p=0.0511	-0.17622 p=0.1981	0.58249 p<.0001	1

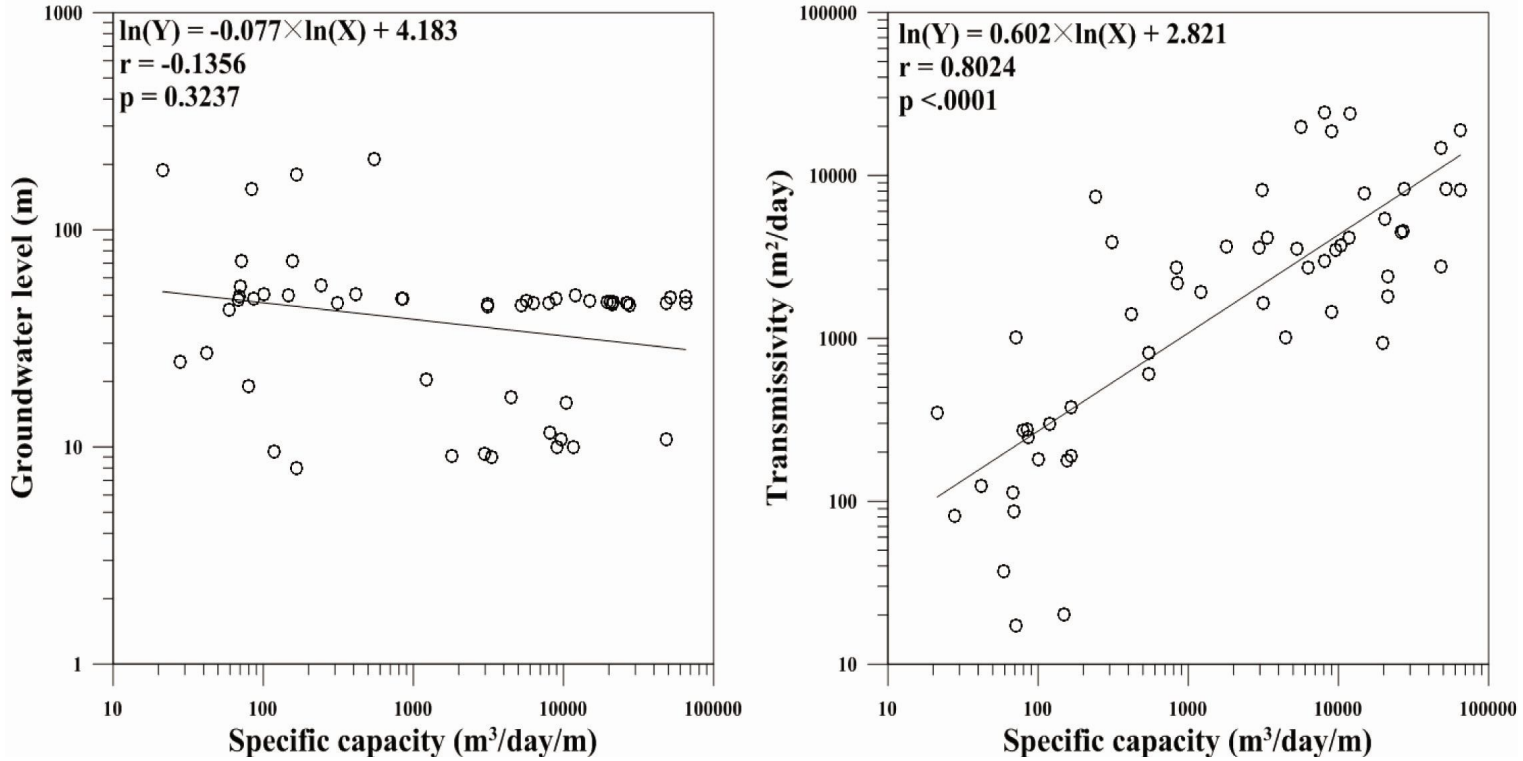


Fig. 6.3. Relationships between Groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the west area.

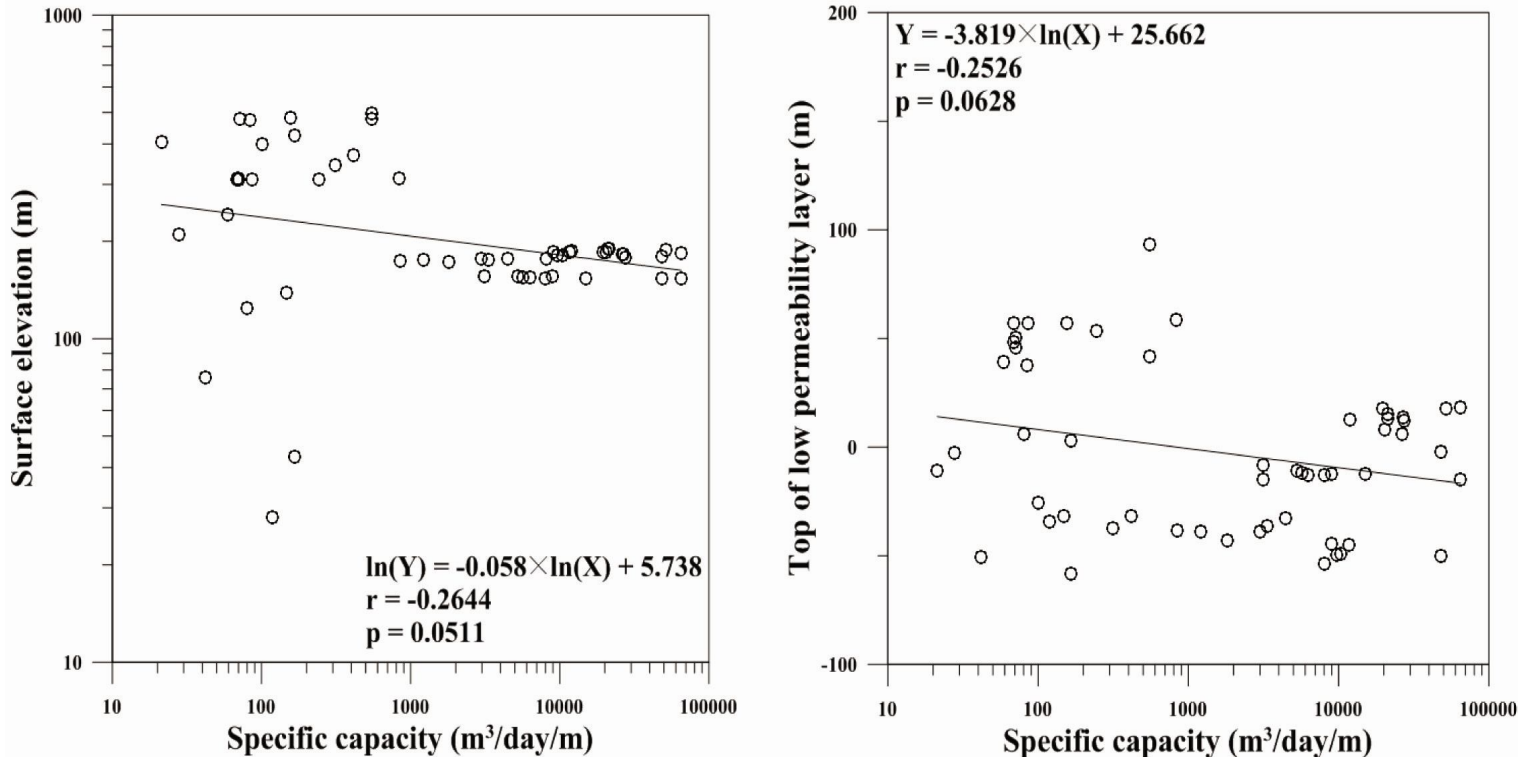


Fig. 6.3. Continued.

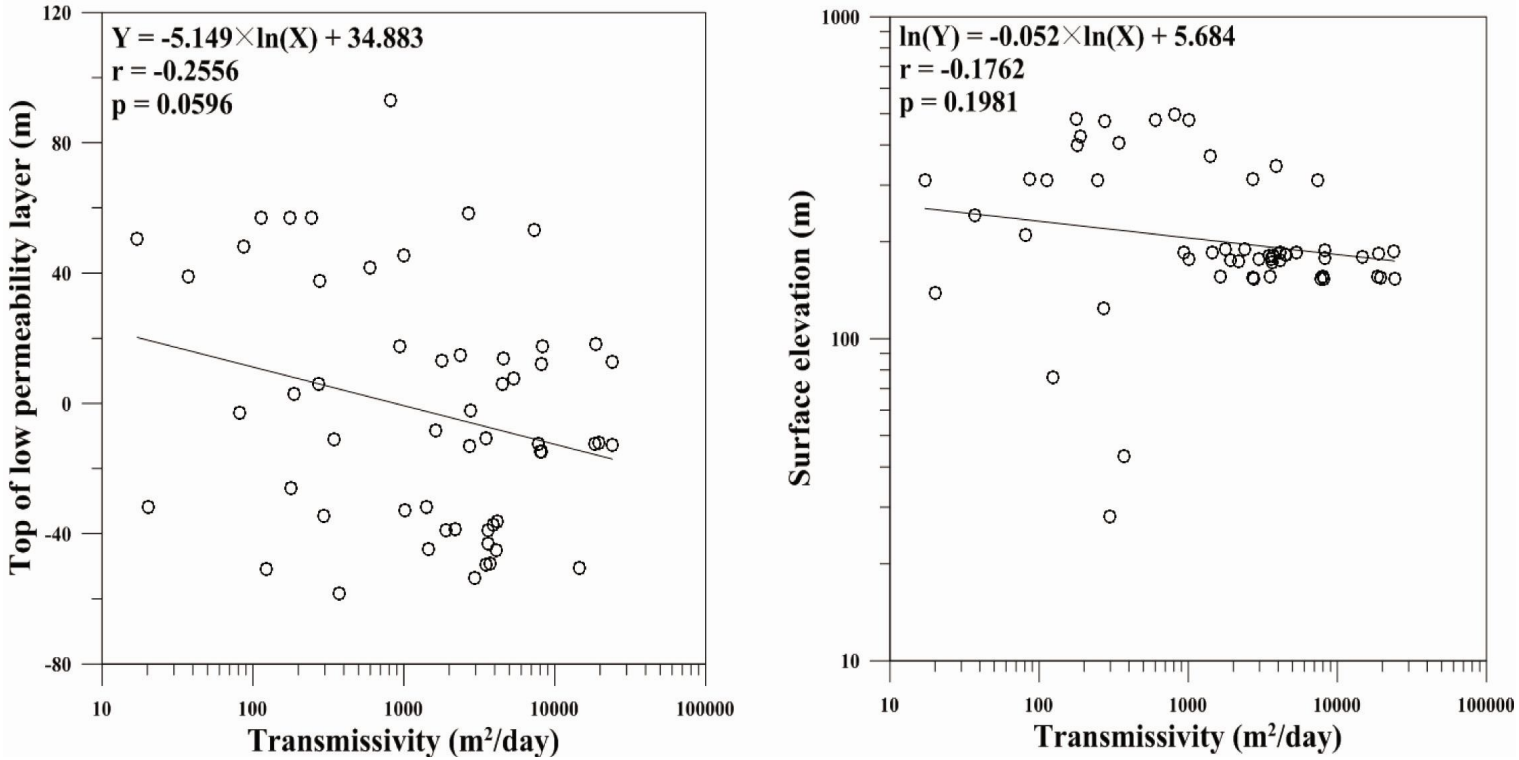


Fig. 6.3. Continued.

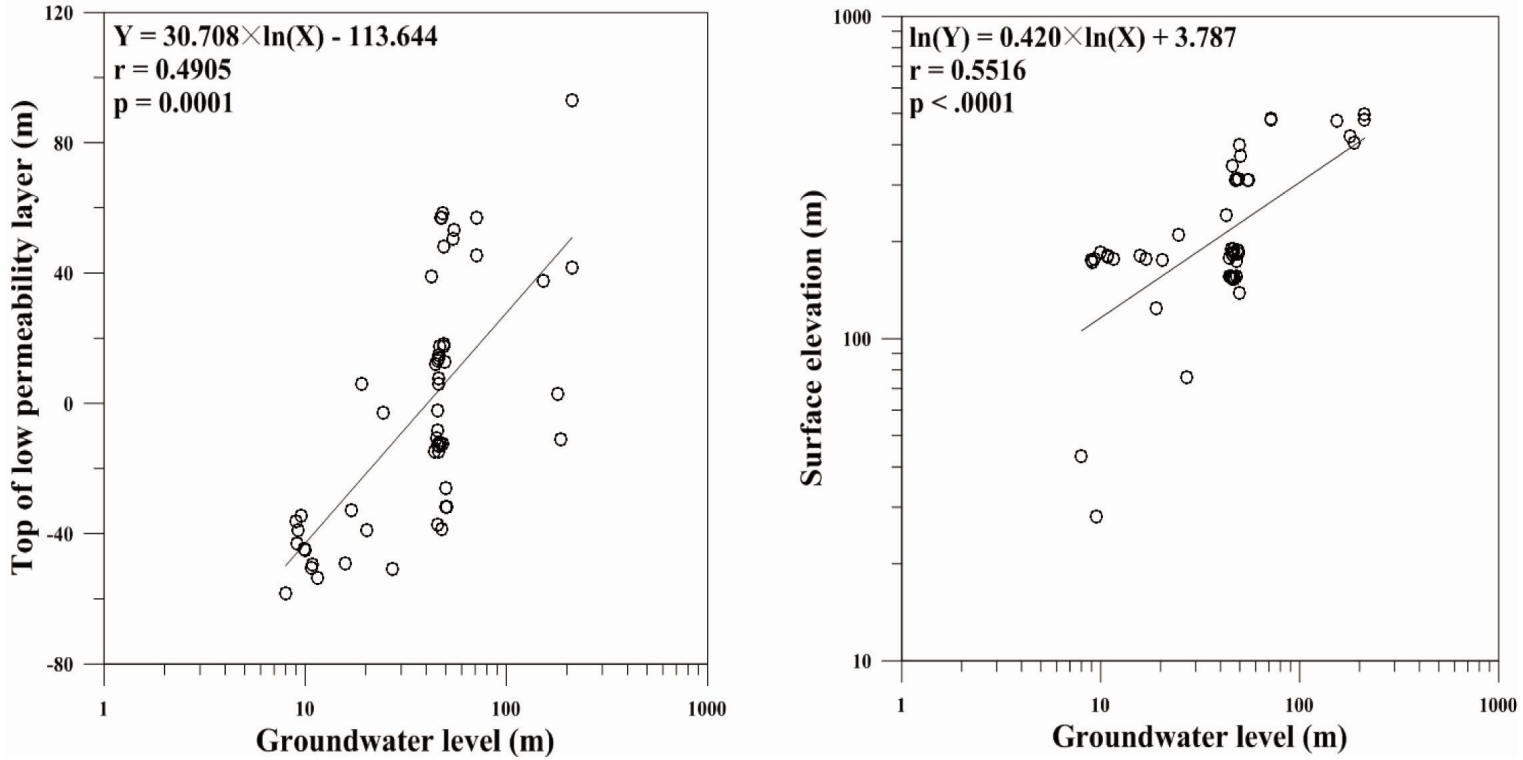


Fig. 6.3. Continued.

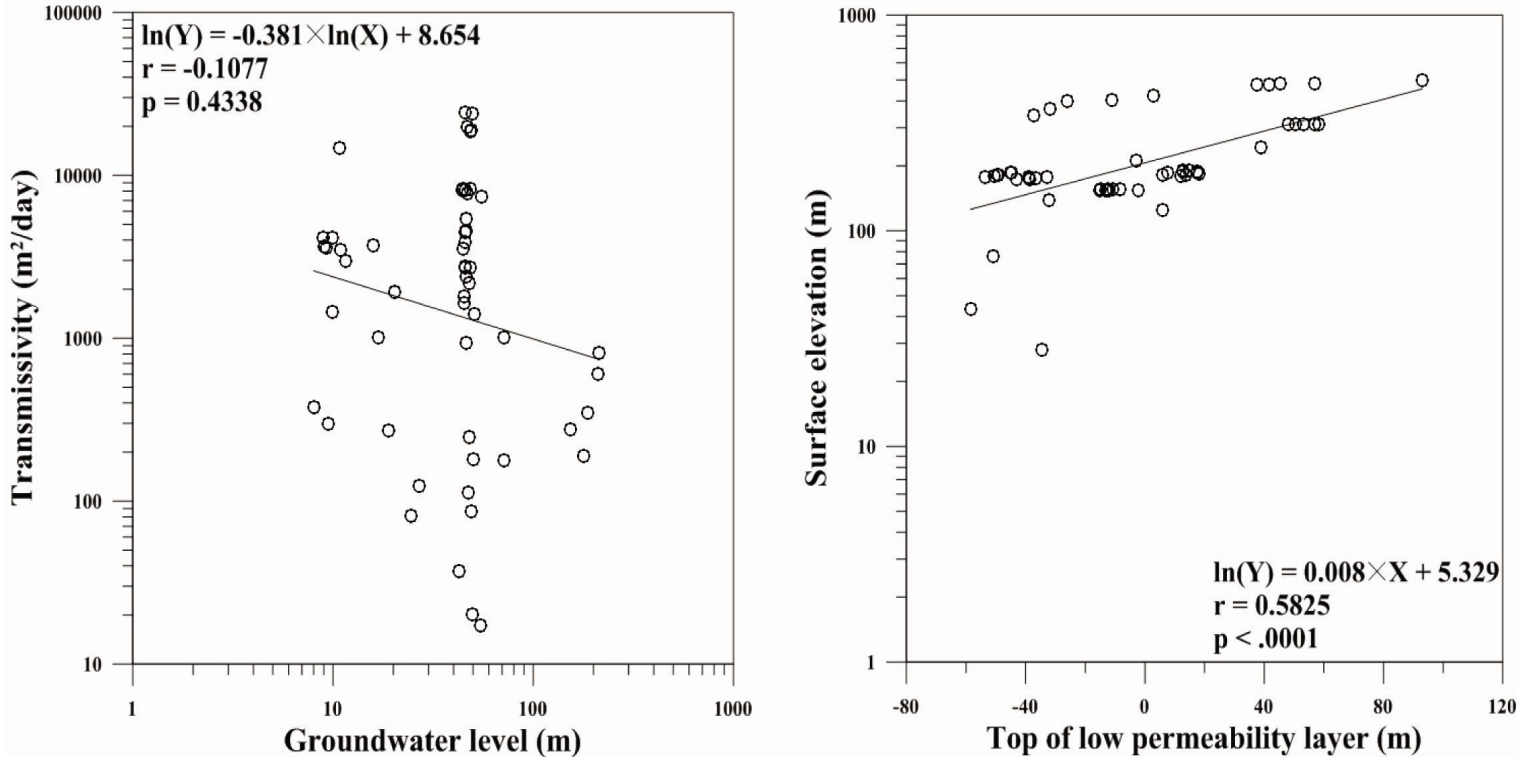


Fig. 6.3. Continued.

6.3 남부지역의 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관계

남부지역의 비양수량(Q/s), 투수량계수(T), 저투수층의 출현 고도(L_t), 지하수위(h, 해발고도 기준), 지표 해발고도(EL)간의 상관성 분석을 실시하였다. 비양수량(Q/s)과 투수량계수(T)의 상관성을 살펴보면, 둘 사이에 높은 양의 상관성(r=0.871, p<0.0001)을 보이며(Table 6.3, Fig. 6.4), 그 상관식은

$$\ln(T)=0.520\cdot\ln(Q/s) + 3.502 \quad (6.9)$$

이다.

저투수층의 출현심도(L_t)와 비양수량 사이에는 음의 상관성(r=-0.5268, p<0.0001)을 보이며(Table 6.3, Fig. 6.4), 그 상관식은

$$L_t = -15.692\cdot\ln(Q/s) + 116.759 \quad (6.10)$$

이다. 저투수층의 출현심도(L_t)와 투수량계수 사이에도 비교적 낮은 음의 상관성을 보이나, 유의성은 있는 것으로 나타났다(r=-0.3253, p=0.00198). 그 상관식은

$$L_t = -13.609\cdot\ln(Q/s) + 103.429 \quad (6.11)$$

이다.

저투수층의 출현고도(L_t)와 지하수위(h)는 높은 양의 상관성(r=0.8895, p<0.0001)을 보이며(Table 6.3, Fig. 6.4), 그 상관식은

$$L_t = 19.772\cdot\ln(h) - 35.023 \quad (6.12)$$

이다.

또한 지하수위와 비양수량 간에는 비교적 높은 음의 상관관계 보이며, 유의성이 있는 것으로 나타났다(r=-0.5779, p<0.0001). 그러나, 지하수위와 투수량계수 사이에는 낮은 음의 상관성이 있고 유의성이 있는 것(r=-0.3826, p=0.0056)으로 나타났으나, 비양수량과 해발고도, 투수량계수와 해발고도 사이에서는 상관성이 낮고, 유의성도 없는 것으로 나타났다.

지하수위(h)와 해발고도(EL)의 관계를 살펴보면, 비교적 높은 양의 상관성(r=0.717, p<0.0001)을 나타내고(Table 6.3, Fig. 6.4), 그 상관식은

$$\ln(EL) = 0.354\cdot\ln(h) + 3.734 \quad (6.13)$$

이다. 한편, 저투수층의 출현고도와 해발고도와의 상관관계에서도 비교적 높

은 양의 상관성(r=0.751, p<0.0001)을 보인다(Table 6.3, Fig. 6.4). 그 상관식은

$$\ln(EL) = 0.017 \cdot L_t + 4.368 \quad (6.14)$$

이다.

Table 6.3 Correlation coefficient among specific capacity (Q/s), transmissivity (T), top of low permeability layer (L_t), groundwater level (h, msl), and surface elevation (EL) with a 95% confidence interval in the south area.

	ln h	ln (Q/s)	ln T	L_t	ln EL
ln h	1				
ln (Q/s)	-0.57791 p<.0001	1			
ln T	-0.38258 p=0.0056	0.87111 p<.0001	1		
L_t	0.88954 p<.0001	-0.52684 p<.0001	-0.32532 p=0.0198	1	
ln EL	0.71719 p<.0001	-0.07995 p=0.577	0.13694 p=0.3379	0.7507 p<.0001	1

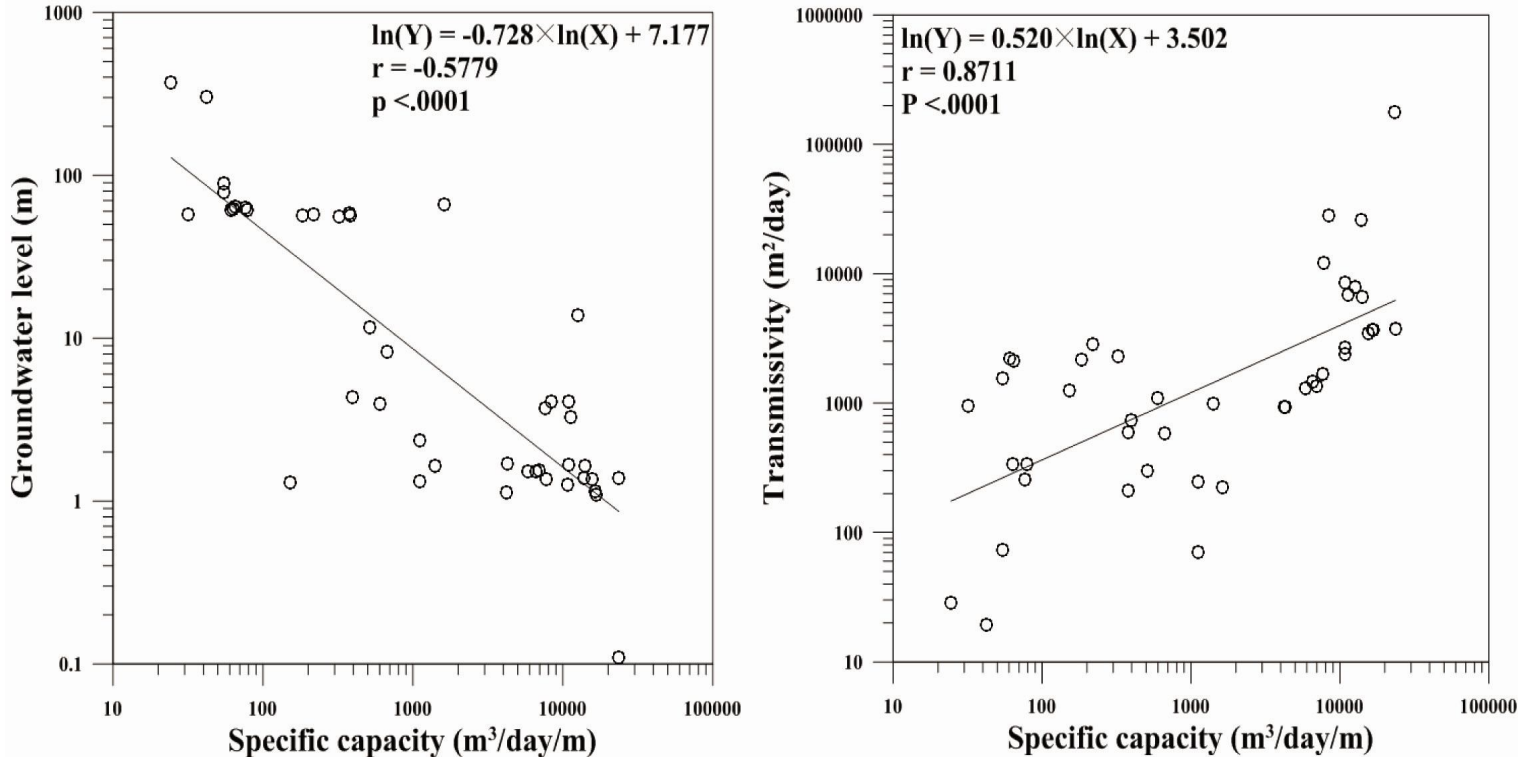


Fig. 6.4. Relationships between Groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the south area.

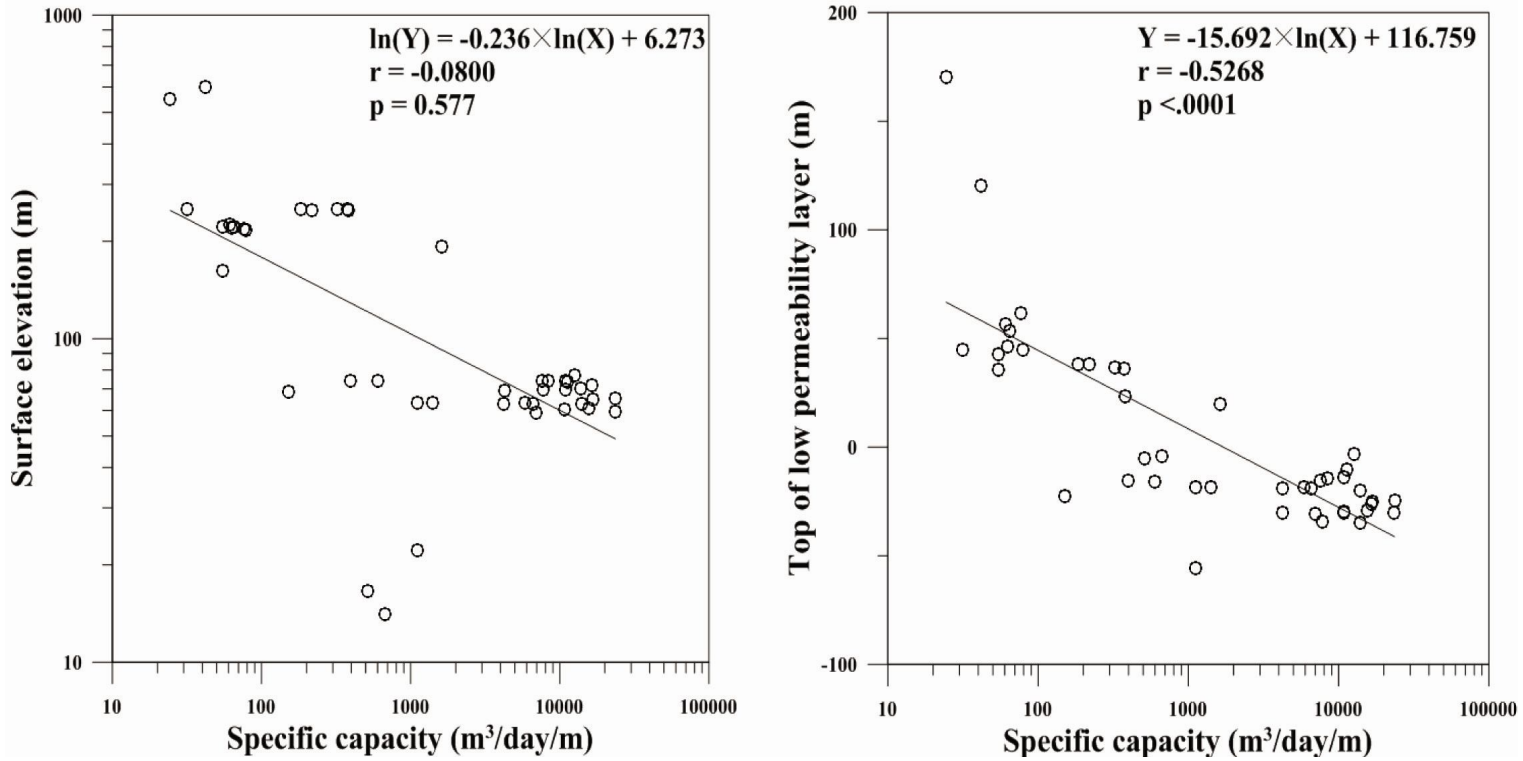


Fig. 6.4. Continued.

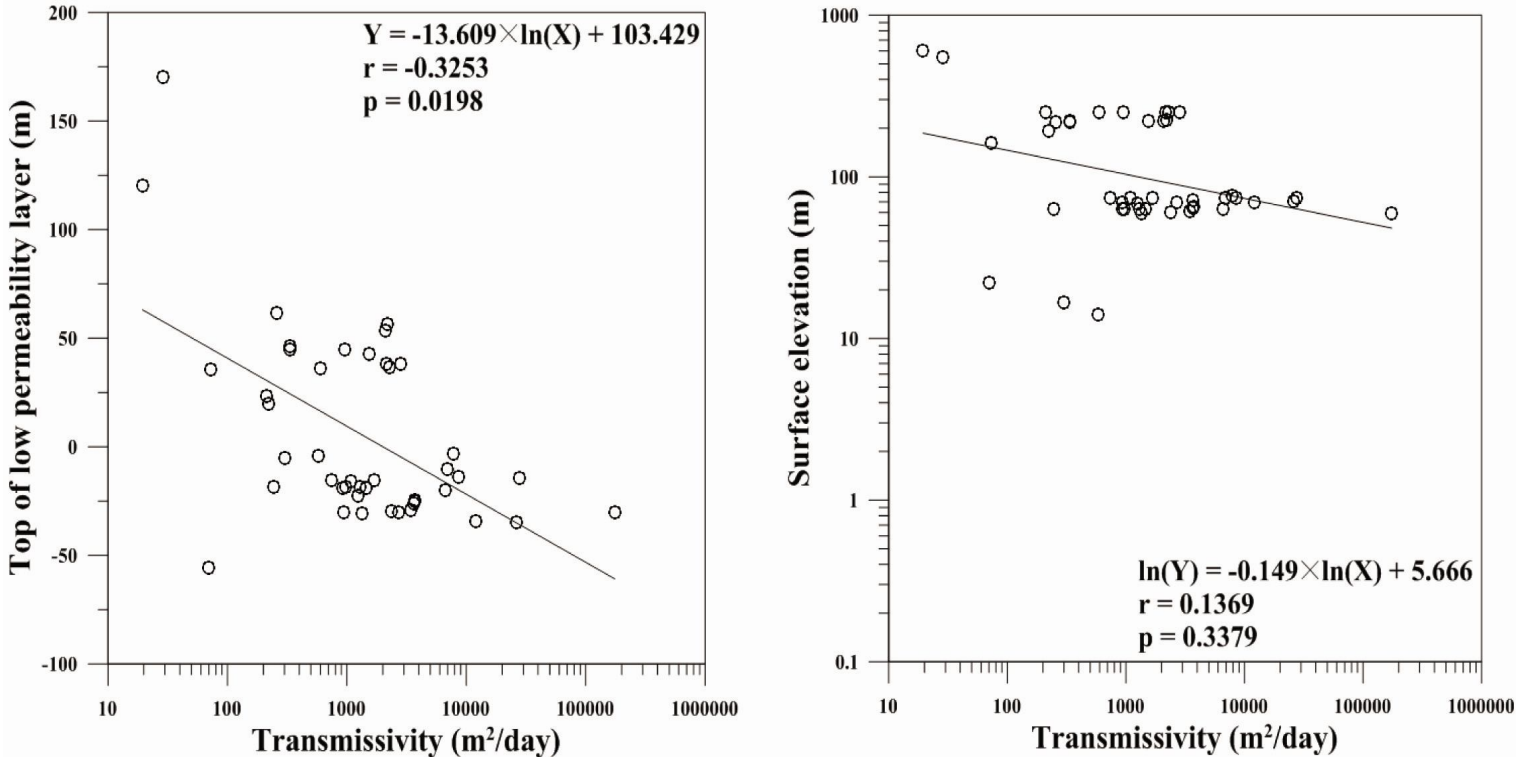


Fig. 6.4. Continued.

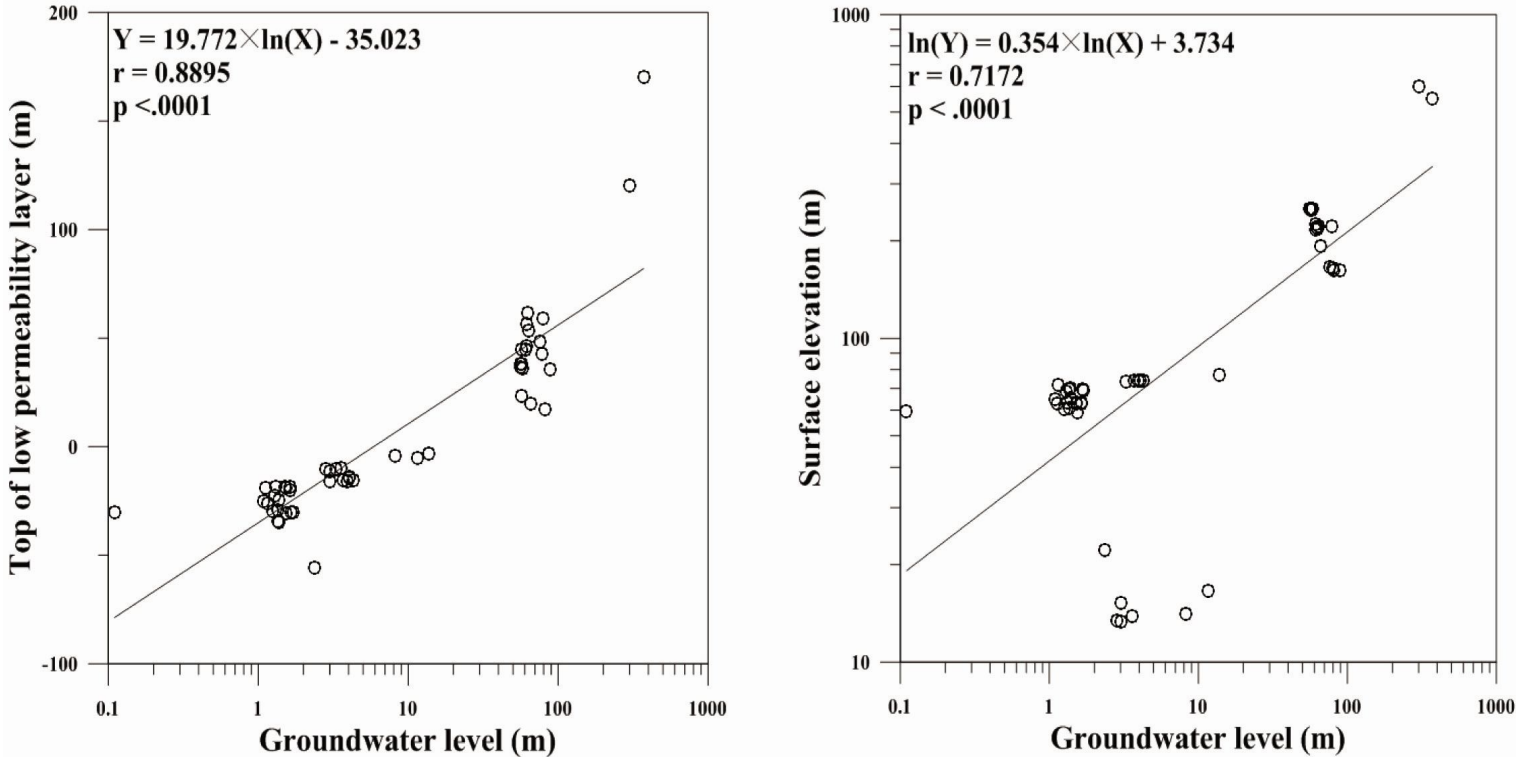


Fig. 6.4. Continued.

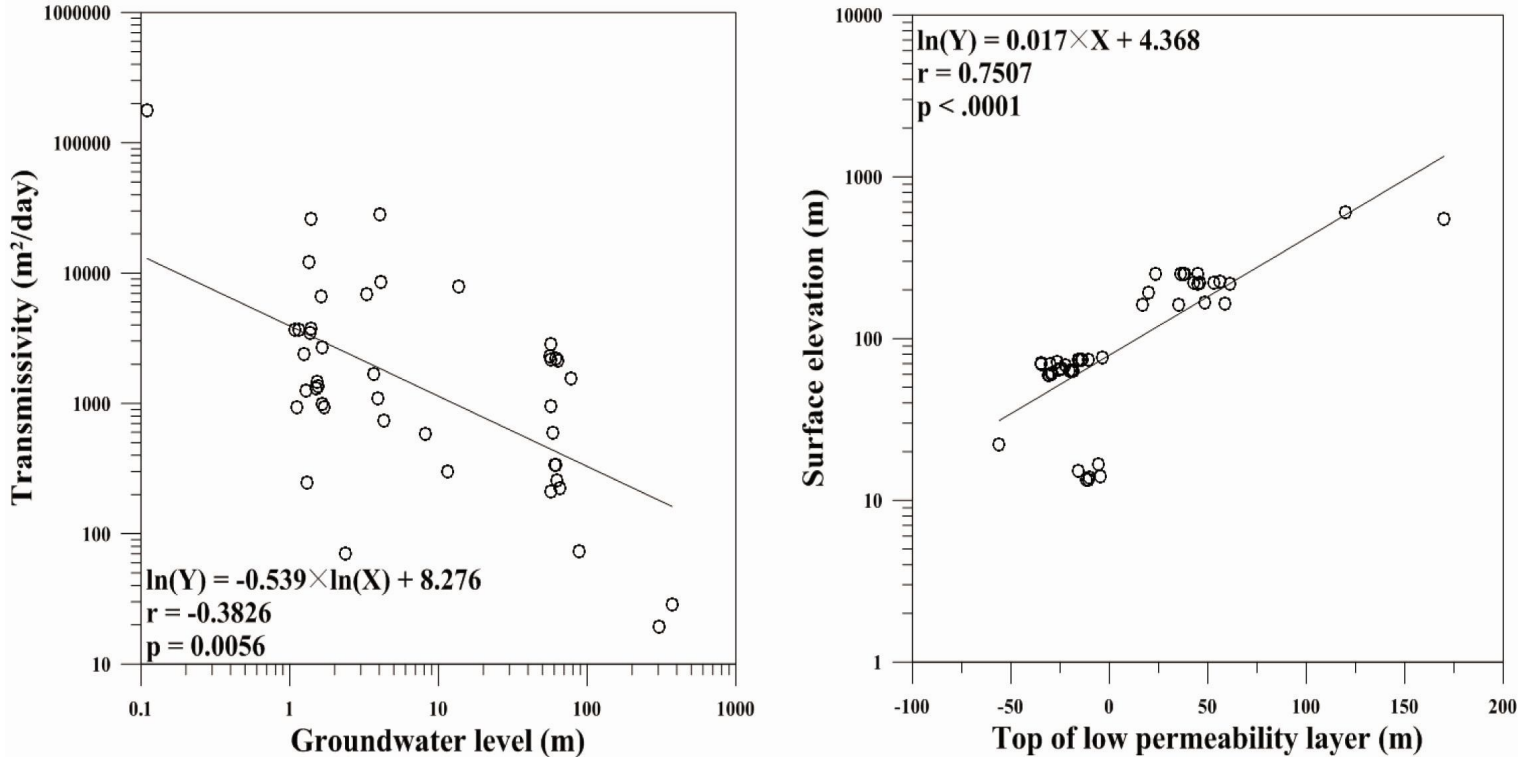


Fig. 6.4. Continued.

6.4 북부지역의 비양수량과 수리상수, 대수층 특성의 관계

북부지역의 비양수량(Q/s), 투수량계수(T), 저투수층의 출현 고도(L_t), 지하수위(h, 해발고도 기준), 지표 해발고도(EL)간의 상관성 분석을 실시하였다. 비양수량(Q/s)과 투수량계수(T)의 상관성을 살펴보면, 둘 사이에 비교적 높은 양의 상관성($r=0.537$, $p<0.0001$)을 보이며, 유의성도 있는 것으로 나타났다(Table 6.4, Fig. 6.5). 그 상관식은

$$\ln(T) = 0.322 \cdot \ln(Q/s) + 5.281 \quad (6.15)$$

이다.

저투수층의 출현심도(L_t)와 비양수량 사이에는 낮은 음의 상관성($r=-0.1867$, $p=0.1764$)을 보이며, 유의성이 없는 것으로 나타났다(Table 6.4, Fig. 6.5), 그 상관식은

$$L_t = -6.180 \cdot \ln(Q/s) + 10.151 \quad (6.16)$$

이다. 저투수층의 출현심도(L_t)와 투수량계수 사이에도 음의 상관성을 보이니, 유의성은 있는 것으로 나타났다($r=-0.4401$, $p=0.0009$). 그 상관식은

$$L_t = -12.972 \cdot \ln(Q/s) + 62.187 \quad (6.17)$$

이다. 저투수층의 출현심도(L_t)와 지하수관정의 해발고도(EL)는 비교적 높은 양의 상관성을 보이며($r=0.7625$, $p<0.0001$), 그 상관식은

$$L_t = 0.014 \cdot \ln(h) + 4.877 \quad (6.18)$$

이다.

지하수위(h)와 저투수층 출현심도(L_t)의 상관성을 살펴보면, 비교적 높은 양의 상관성을 보이며($r=0.6676$, $p<0.0001$), 그 상관식은

$$L_t = 20.565 \cdot \ln(h) - 76.243 \quad (6.19)$$

이다. 지하수위와 지하수관정의 해발고도간의 상관성을 살펴보면, 비교적 높은 양의 상관성을 보이며($r=0.655$, $p<.0001$), 그 상관식은

$$\ln(EL)=0.376 \cdot \ln(h) + 3.648 \quad (6.20)$$

이다.

지하수위와 비양수량, 지하수위와 투수량계수 간에는 음의 상관성을 보이며, 유의성이 있는 것으로 나타났다. 그러나, 비양수량과 지하수관정의 해발

고도 사이에는 상관성이 낮고 유의성도 없는 것으로 나타났다(Table 6.4, Fig. 6.5).

Table 6.4 Correlation coefficient among specific capacity (Q/s), transmissivity (T), top of low permeability layer (L_t), groundwater level (h, msl), and surface elevation (EL) with a 95% confidence interval in the north area.

	ln h	ln (Q/s)	ln T	L_t	ln EL
ln h	1				
ln (Q/s)	-0.27939 p=0.0408	1			
ln T	-0.29542 p=0.0301	0.53667 p<.0001	1		
L_t	0.66755 p<.0001	-0.18672 p=0.1764	-0.44008 p=0.0009	1	
ln EL	0.65456 p<.0001	0.10755 p=0.4389	-0.2367 p=0.0848	0.76246 p<.0001	1

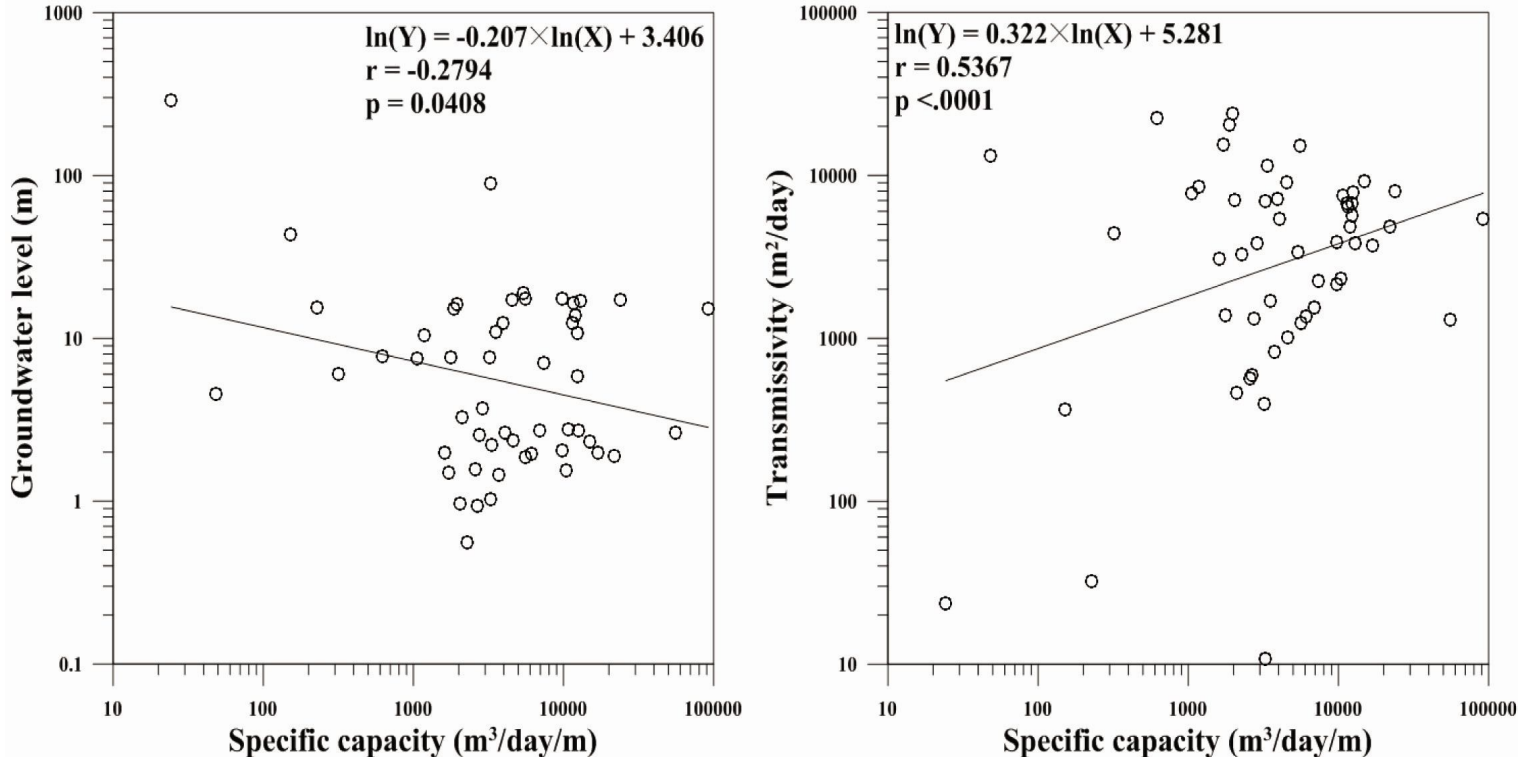


Fig. 6.5. Relationships between Groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the north area.

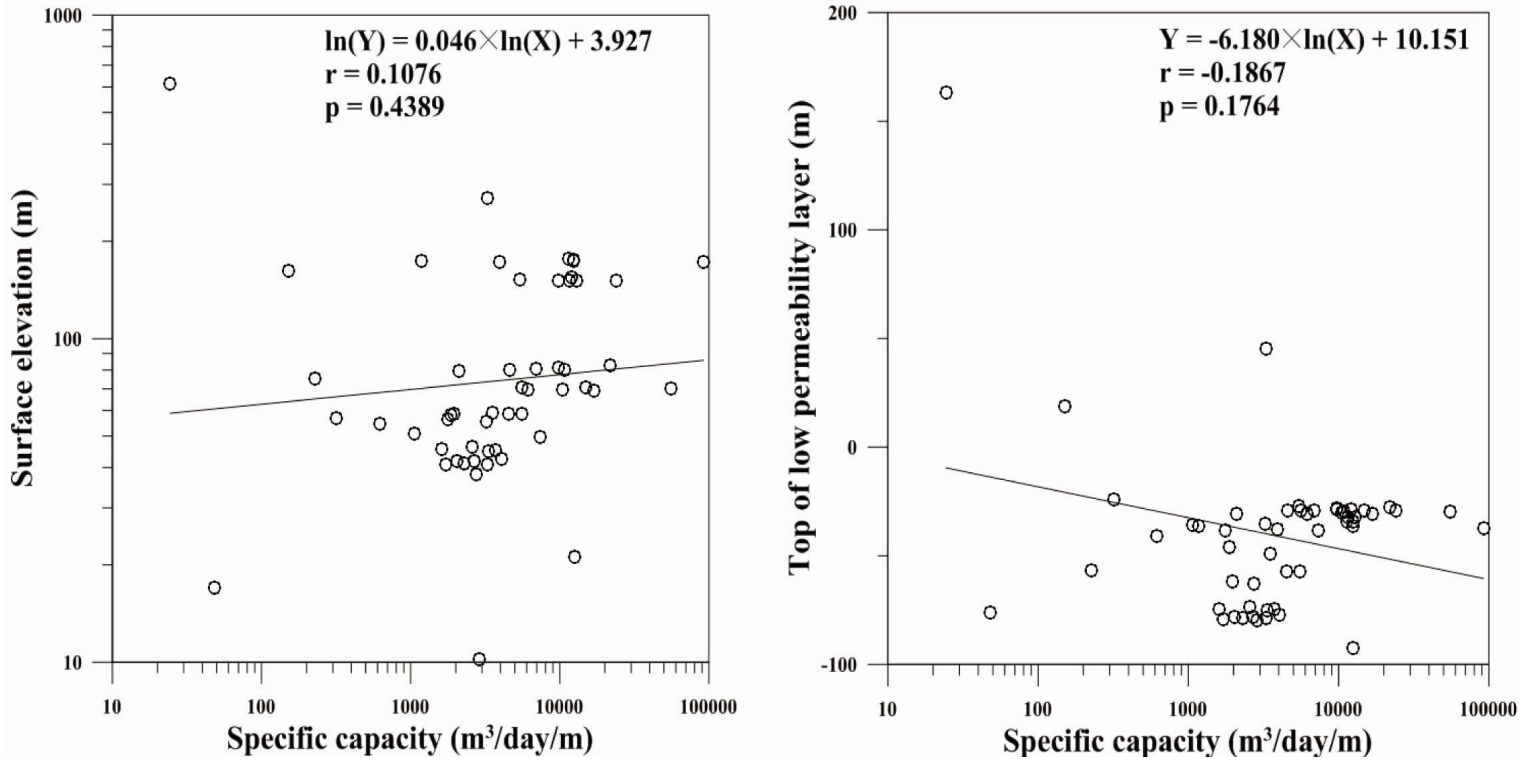


Fig. 6.5. Continued.

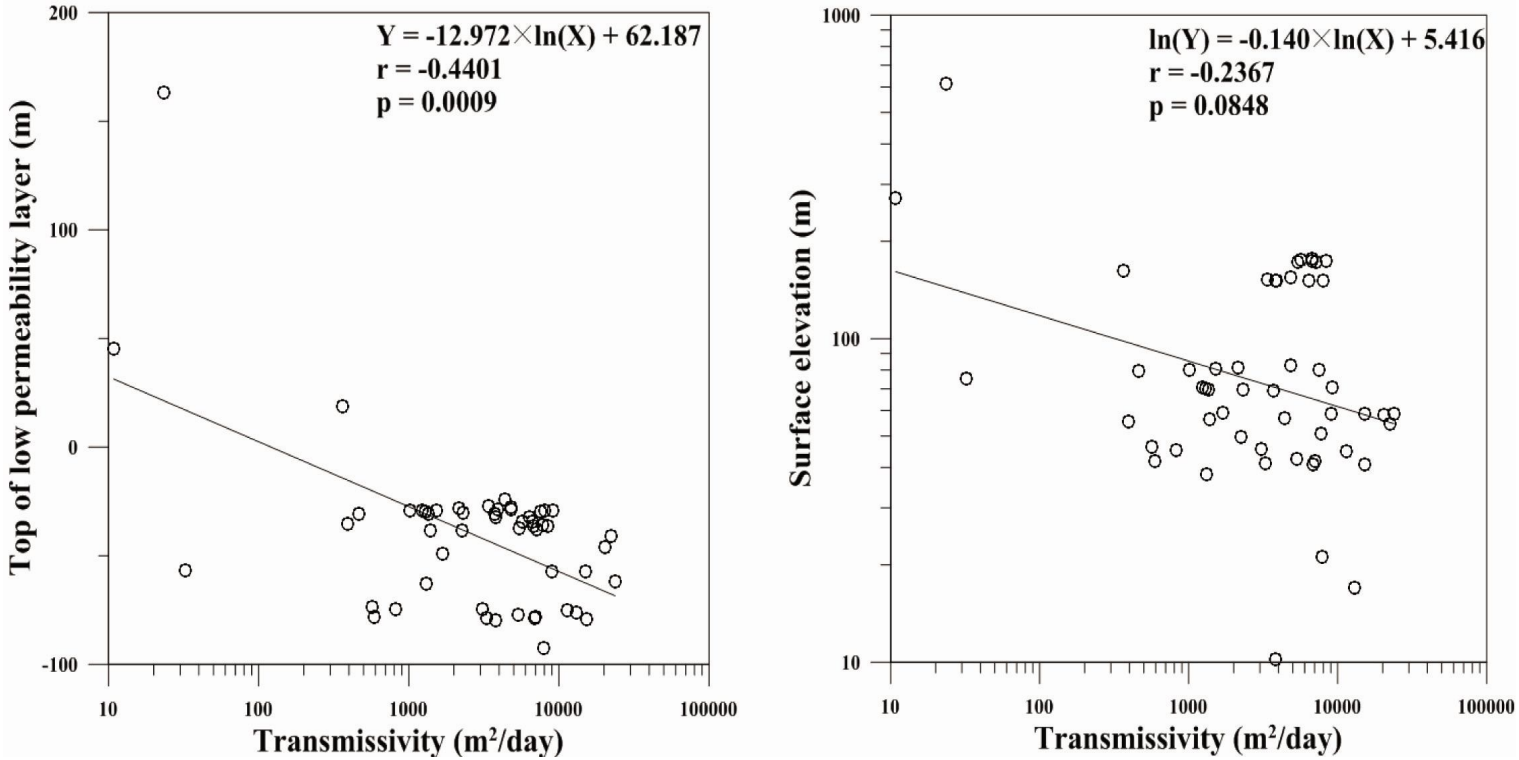


Fig. 6.5. Continued.

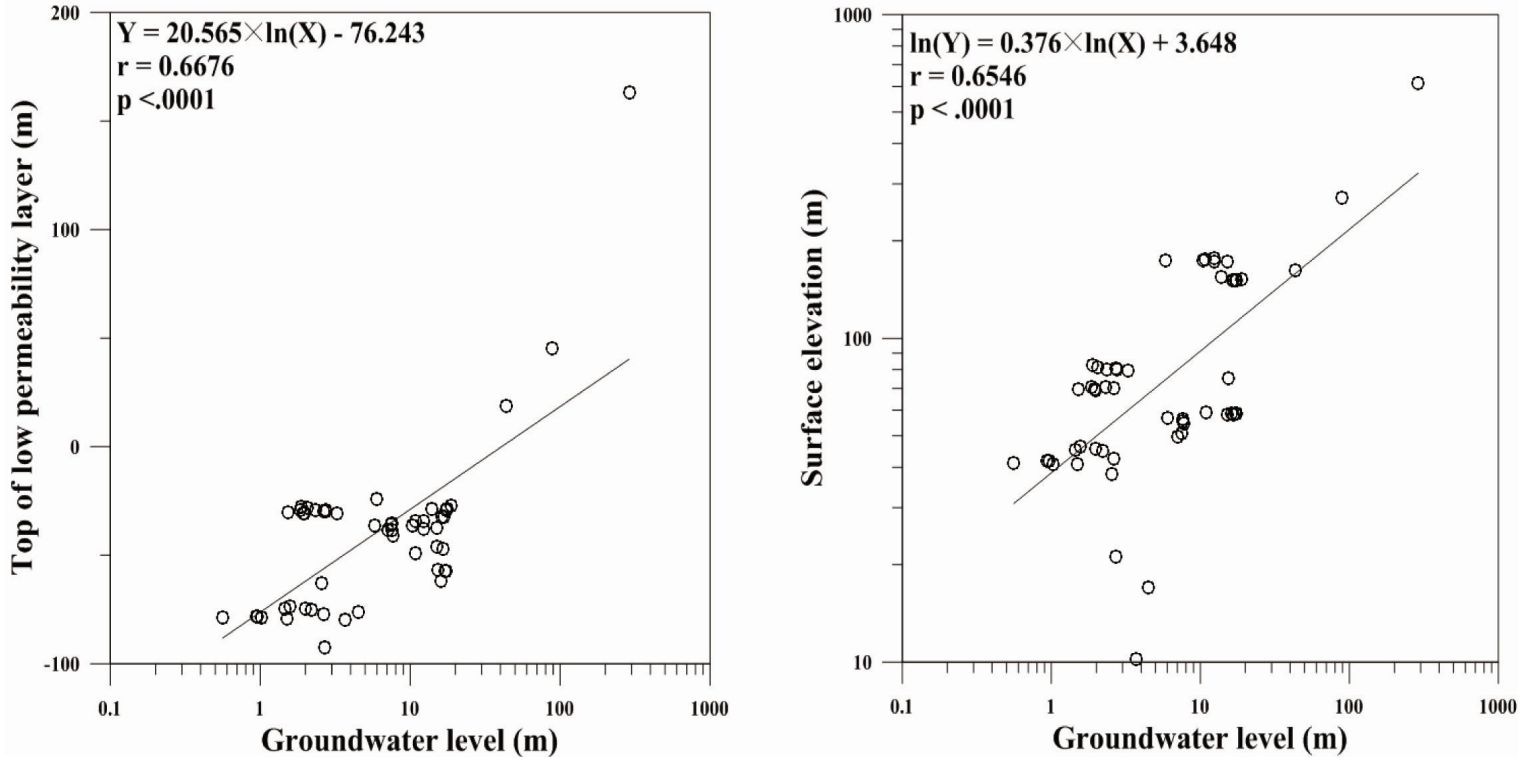


Fig. 6.5. Continued.

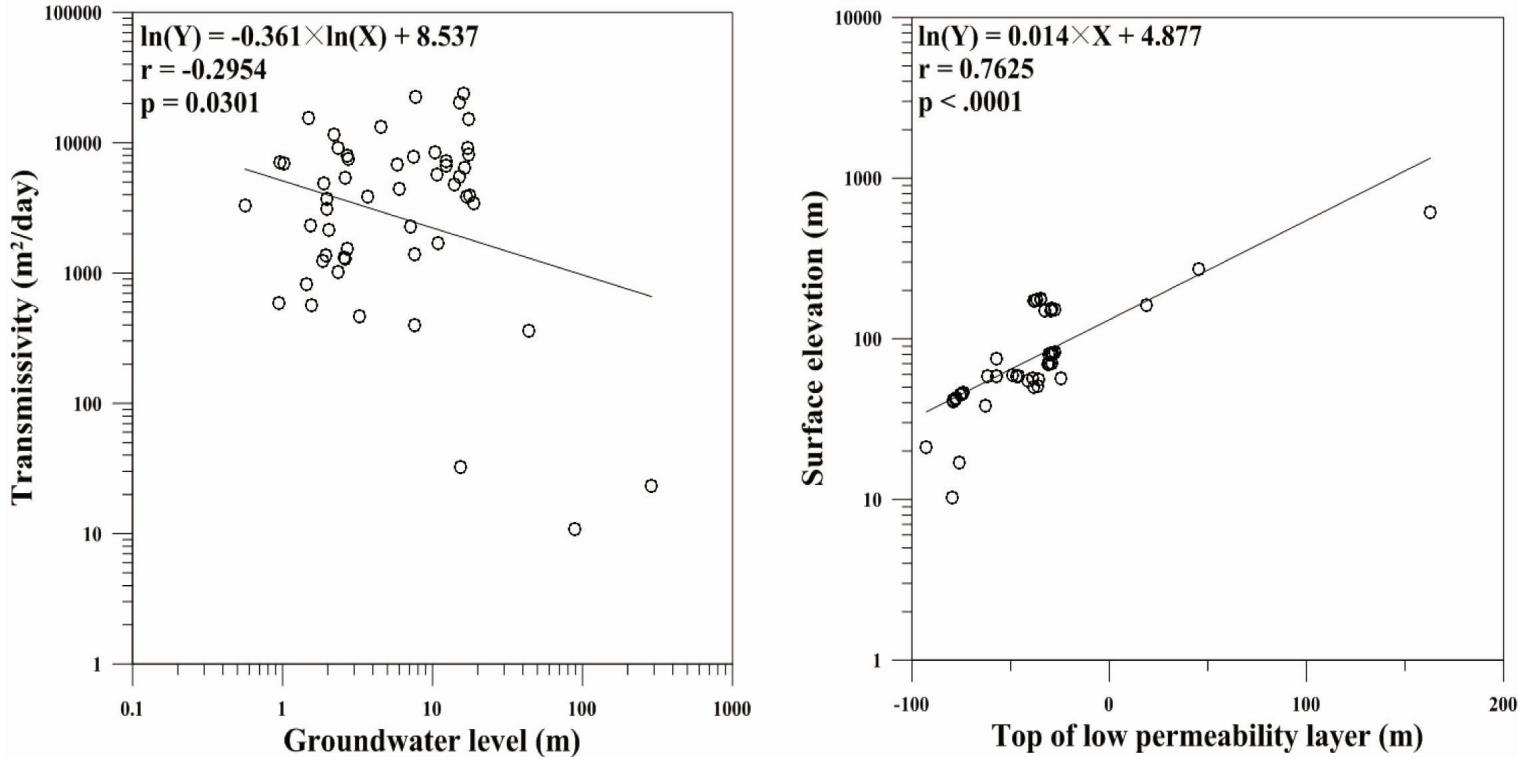


Fig. 6.5. Continued.

6.5 지역별 수리상수 특성 비교

동부지역의 투수량계수는 산술평균 2,753m^2/d, 기하평균 826m^2/d, 중앙값 1,334m^2/d이고, 서부지역의 투수량계수는 산술평균 4,421m^2/d, 기하평균 1,443m^2/d, 중앙값 2,375m^2/d이다(Table 6.5). 한편 남부지역의 투수량계수는 산술평균 7,276m^2/d, 기하평균 1,318m^2/d, 중앙값 1,401m^2/d이고, 북부지역의 투수량계수는 산술평균 5,594m^2/d, 기하평균 2,753m^2/d, 중앙값 3,902 m^2/d이다. 따라서 기하평균으로 볼 때, 투수량계수는 북부지역, 서부지역, 남부지역, 동부지역의 순으로 낮아진다. 그러고 중앙값으로 볼 때도 북부지역, 서부지역, 남부지역, 동부지역의 순으로 낮아진다(Fig. 6.6).

비양수량은 동부지역이 산술평균 9,077m^3/d/m, 기하평균 4,005m^3/d/m, 중앙값 6,361m^3/d/m,이고, 서부지역은 산술평균 10,490m^3/d/m, 기하평균 1,624m^3/d/m, 중앙값 3,134m^3/d/m이다. 한편 남부지역이 산술평균 5,493m^3/d/m, 기하평균 1,188m^3/d/m, 중앙값 1,263m^3/d/m이고, 북부지역은 산술평균 8,602m^3/d/m, 기하평균 3,660m^3/d/m, 중앙값 3,919m^3/d/m이다. 따라서, 비양수량의 기하평균과 중앙값은 동부지역, 북부지역, 서부지역, 남부지역의 순으로 낮아진다(Fig. 6.7).

저투수층의 출현심도는 동부지역에서는 산술평균 -50.73m(중앙값 -41.65 m), 서부지역에서는 산술평균 -2.57m(중앙값 -10.70m), 남부지역에서는 산술평균 7.83m(중앙값 -13.83m), 북부지역에서는 산술평균 -40.67m(중앙값 -36.60m)로서, 남부지역, 서부지역, 북부지역, 동부지역의 순으로 낮아진다(Fig. 6.8). 따라서, 저투수층의 출현심도가 깊어질수록 비양수량이 증가함을 알 수 있다.

한편, 지하수관정의 해발고도의 중앙값을 비교하면, 서부지역, 동부지역, 남부지역, 북부지역의 순으로 낮아진다(Fig. 6.9). 따라서, 지하수관정의 해발고도는 지하수 산출량이나 투수량계수 보다는 지하수의 이용량의 수요와 관련이 있음을 알 수 있다.

Table 6.5. Comparison of groundwater level, specific capacity, transmissivity, top of low permeability, and surface elevation of the wells in the east, west, south, and north areas.

	East			West		
	Mean	Geomean	Median	Mean	Geomean	Median
GWL (EL)	19.17	2.36	1.61	51.37	37.23	45.99
Specific capacity	9077	4005	6361	10490	1624	3134
T	2753	826	1334	4421	1443	2375
Top of Low permeability layer	-50.73	-	-41.65	-2.57	-	-10.70
Surface elevation	127.60	93.22	92.00	229.17	201.80	181.80
	South			North		
	Mean	Geomean	Median	Mean	Geomean	Median
GWL (EL)	37.13	8.12	3.93	14.76	5.64	5.89
Specific capacity	5493	1188	1263	8602	3660	3919
T	7276	1318	1401	5594	2753	3902
Top of Low permeability layer	7.83	-	-13.83	-40.67	-	-36.60
Surface elevation	129.73	87.74	73.49	95.78	73.62	69.18

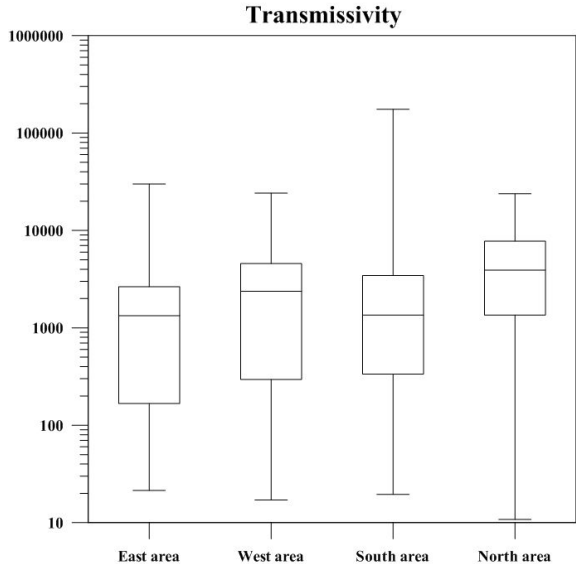


Fig. 6.6 Comparison of transmissivity of the study area.

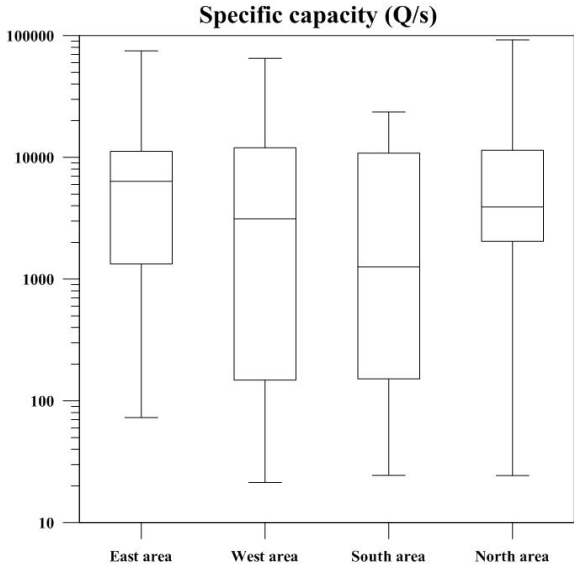


Fig. 6.7 Comparison of specific capacity of the study area.

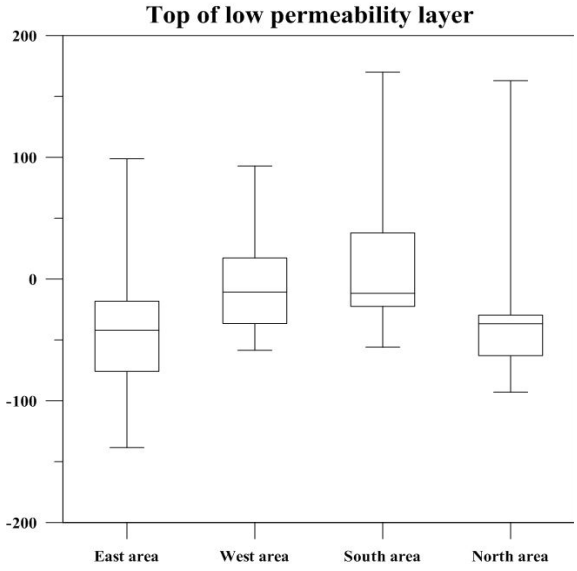


Fig. 6.8 Comparison of top of low permeability layer of the study area.

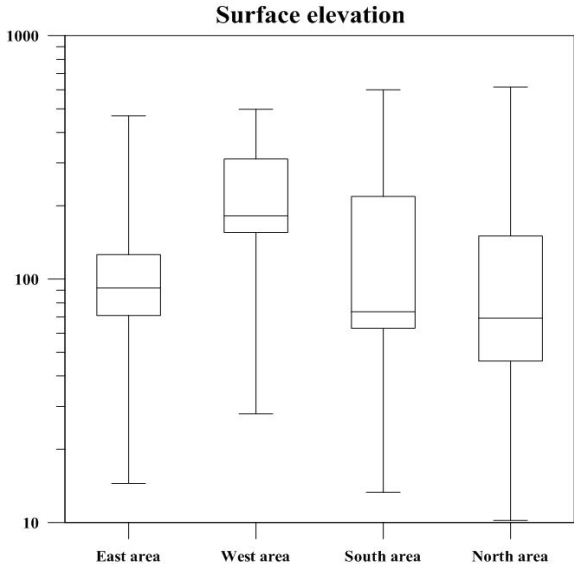


Fig. 6.9 Comparison of surface elevation of the study area.

7. 결론

본 연구는 제주도 화산암층의 수리지질 특성을 규명하였다. 이를 위하여 동부지역(구좌, 성산, 표선 유역)의 36개공, 서부지역(한림, 한경, 대정, 안덕 유역)의 55개공, 남부지역(서서귀, 중서귀, 동서귀, 남원 유역)의 55개공, 북부지역(애월, 서제주, 중제주, 동제주, 조천 유역)의 57개공, 총 203개 지하수관정을 이용하였다. 동부지역에는 수원지(행원1, 2수원지), 해수침투관측공, 국가지하수 관측공 등 총 36개공이 분포하고 있다. 서부지역에는 수원지(납읍, 어음, 금악, 저지, 서광), 서부지역 농업용관정 7개공, 골프장 2개소 등 총 55개 지하수관정이 위치하고 있다. 남부지역에는 수원지(상예, 회수, 자굴이, 토평, 의귀(1), 의귀(2), 신흥(1), 신흥(2)), 해수침투관측공, 국가지하수 관측공, 한라산 고지대 관측공 등 55개공이 위치하고 있다. 북부지역에는 수원지(상가, 장전, 상귀, 외도, 삼양, 회천, 함덕, 선흘), 해수침투관측공, 국가지하수 관측공 등 57개공이 위치하고 있다.

제주도의 지질 및 수리지질은 크게 하부로부터 기반암, U층, 응회암 및 서귀포층, 조면암질현무암, 조면암, 조면암질안산암, 현무암류(침상장석감람석현무암, 휘석현무암, 장석현무암, 감람석현무암, 장석감람석현무암, 휘석장석현무암, 휘석감람석현무암, 비현정질현무암, 비현정질휘석현무암), 화산쇄설층, 클링커층으로 구성된다. 동부지역의 주대수층은 FOB, AFOB, AOB, TB, TA의 절리대 및 클링커층, 유리질쇄설암, 스코리아, 사력층이다. 서부지역의 주대수층은 FOB, TB, FAB, APB, AFOB의 절리대 및 클링커층, 사력층, 유리질쇄설암이다. 남부지역의 주대수층은 TB, FAB, FOB, APB, TA의 절리대 및 클링커층, 스코리아, 사력층, 유리질쇄설암이다. 그리고 북부지역의 주대수층은 FOB, TB, FB, APB, AFOB의 절리대 및 클링커층, 사력층, 유리질쇄설암, 스코리아층이다.

동부지역에는 해수면하 두꺼운 포화대를 갖는 기저지하수 및 하부 준기저지하수(저투수층이 해수면 하부에 분포)가 나타나는 반면, 서부지역에는 주로 상부 준기저지하수(저투수층이 해수면 상부에 분포)가 나타난다. 한편

남부지역과 북부지역은 주로 하부 준기저지하수의 산출 형태를 보인다. 이러한 지하수 산출 형태의 차이는 자연수위의 심도, 저투수층의 출현심도, 지질학적 차이, 고도의 차이 때문에 발생한다.

양수시험분석에는 누수대수층 모델인 Moench(1985)식의 case 1, Moench(1985)의 case 2, Hantush-Jacob식, Hantush(1960)와 피압대수층 모델인 Theis식, Cooper-Jacob식, Papadopulos-Cooper식, 그리고 자유면대수층 모델인 Moench(1997)식, Neuman식이 적용되었다. 또한 지하수위가 너무 빨리 안정되어 특정 모델을 적용하기 어려워서 Thiem식을 적용하였다. 그러나, 가장 우세한 모델은 피압대수층의 상하에 누수대수층이 존재하는 Moench(1985)식의 case 1이었다.

투수량계수는 기하평균에 의하면, 북부지역, 서부지역, 남부지역, 동부지역의 순으로 낮아진다. 그러고 중앙값으로 볼 때도 북부지역, 서부지역, 남부지역, 동부지역의 순으로 낮아진다. 한편, 비양수량의 기하평균과 중앙값은 동부지역, 북부지역, 서부지역, 남부지역의 순으로 낮아진다. 또한, 저투수층의 출현심도는 남부지역, 서부지역, 북부지역, 동부지역의 순으로 깊어진다. 따라서, 저투수층의 출현심도가 깊어질수록 비양수량이 증가한다.

동부지역에서 비양수량과 투수량계수, 저투수층의 출현심도와 투수량계수의 관계는 양의 상관성을 보이나 상관계수는 낮게 나타났다. 반면, 저투수층의 출현심도와 비양수량은 서로 음의 상관성을 보이나, 그 상관계수는 낮다. 이는 동부지역에서는 저투수층이 지하수 산출을 지배하는 단일 요인이 될 수 없음을 의미한다. 한편, 서부지역에서는 비양수량과 투수량계수 간에 높은 양의 상관성을 보이고, 저투수층의 출현심도와 비양수량, 저투수층의 출현심도와 투수량계수 간에는 음의 상관성을 보이나 그 상관계수는 낮다. 남부지역에서는 역시 비양수량과 투수량계수 간에 높은 양의 상관성을 보이고, 저투수층의 출현심도와 비양수량, 저투수층의 출현심도와 투수량계수 간에는 음의 상관성을 보이며 그 상관계수는 동부지역이나 서부지역보다 높다. 한편, 북부지역에서는 비양수량과 투수량계수 간에 양의 상관성을 보이고, 저투수층의 출현심도와 비양수량, 저투수층의 출현심도와 투수량계수 간에는 비교적 낮은 음의 상관성을 보인다.

참고문헌

강동환, 김성수, 양성일, 김태영, 정상용, 2008, 제주도 지역의 해안선에서 지형고도에 따른 지하수위 변동특성, UN이 정한 지구의 해, pp. 313.

강래수, 함세영, 최성자, 이병대, 2003, 여러 가지 양수시험 분석방법 적용을 통한 목천지역 암반대수층의 수리지질학적 특성, 지질공학, Vol. 13, No. 1, pp. 67-82.

고기원, 1991, 제주도 서귀포층의 지하분포 상태와 지하수와의 관계, 지질학회지, Vol. 27, No. 5, pp. 552.

고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위 논문, 325p.

고기원, 박원배, 고용구, 김성홍, 오상실, 윤선, 1992, 제주도 동부지역의 지하지질 구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구, 제주도 보건환경연구원보, Vol. 3, pp. 15-43.

고기원, 윤선, 윤정수, 박원배, 한정상, 김남종, 정구원, 1993, 제주도의 지하수 산출특성, 대한지질학회 제48차 학술발표집, 48p.

고기원, 박윤석, 박원배, 2004, 제주도 동부지역의 지하 지질분포와 ^{40}Ar-^{39}Ar 연대, 대한지질학회 춘계학술답사 자료집, pp. 29-50.

고기원, 박원배, 양성기, 1994, 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구, 한국환경과학회지, Vol. 3, No 4, pp. 333-334.

고기원, 박원배, 2005, 제주도 지하수 조사·연구 발달과정, 제주발전연구, Vol. 9, 145p.

고동찬, 김용제, 2004, 다중 환경추적자를 이용한 제주도 지하수 유동 및 수질 특성분석, 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, pp. 138-141

고동찬, 전수현, 류종식, 박기화, 2006, 제주도 배경 지하수의 미량원소 분포 특성: 예비조사, 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, pp. 307-309.

고동찬, 전수현, 박기화, 2007, 수리지구화학적 인자와 환경 추적자의 주기적 관측에 의한 제주도 지하수의 수질과 함양 특성 분석, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 12, No. 4, pp. 60-70.

고동찬, 2008, 제주도 중산간지역 고미네랄 지하수 산출특성, Groundwater Korea 2008, pp. 173-180.

고병련, 1984, 제주도의 지하수 부존형태와 지하수위 변동에 관한 연구, 건국대학교 석사학위 논문, 53p.

고병련, 1988, 제주도 지하수의 용출현상에 의한 용천분석 연구(Ⅱ), 제주전문대학 논문집, Vol. 9, pp. 273-293.

고병련, 1998, 지하수 수질 및 오염예측 모델에 관한 연구, 영남대학교 박사학위 논문, 187p.

과학기술부, 2006, 제주도 지하수 부존 특성에 대한 지구과학적 해석, 한국지질자원연구원, 182p.

김경찬, 1996, 제주도 서귀포지역 용출수의 수질특성에 관한 연구, 한국교원대학교 석사학위 논문, 47p.

김경훈, 1998, 제주도 동부지역 지하수의 염수화에 대한 이화학적 특성, 제주대학교 석사학위 논문, 59p.

김구영, 성현정, 김태희, 박기화, 박윤석, 고기원, 박원배, 우남칠, 2005, 제주도 동부 해안대수층에서의 수평 유향·유속 검층자료 해석, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, pp. 271-275.

김기표, 2002, 제주도 동부해안 한동리 지역의 수문지질학적 연구, 제주대학교 석사학위 논문, 64p.

김옥준, 1969, 제주도 수자원의 특수성과 개발방안, 광산지질학회지, Vol. 2, No. 1, pp. 71-80.

김용철, 한병각, 이수형, 김구영, 전철민, 신제현, 문덕철, 김기표, 고기원, 박기화, 2007, 제주 화산암 매질에서 추적자 시험의 성공요건, 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, pp. 102-105.

김용철, 김용제, 고기원, 문덕철, 2008, 지하수 인공함양 기술의 제주 화산암 대수층 적용, UN이 정한 지구의 해, pp. 313.

김완수, 차장환, 구민호, 2008, 제주도 비포화대 구간의 시추공 온도 변화 분석, Groundwater Korea 2008, pp. 539.

김종성, 안종성, 1992, 제주도 용천수의 수질 화학적 특성과 연대 측정에 관한 연구, 대한화학회지, Vol. 36, No. 5, pp. 727-737.

김지영, 2000, 제주도 동부지역 지하수의 염수화에 관한 연구, 제주대학교 석사학위 논문, 45p.

김지욱, 고기원, 원종호, 한찬, 2005, 제주도 지하수 관리수위 설정에 관한 연구, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 10, No. 2, pp. 12-19.

김태희, 김구영, 2008, 수치모델링을 이용한 화산암 지역에서의 담-염수 상호 작용에 대한 검토, UN이 정한 지구의 해, pp. 172.

김형돈, 2000, 제주도 대정수역에서의 지하수 수질 및 오염특성 연구, 연세대학교 석사학위 논문, 56p.

김형진, 여인욱, 김용철, 2008, 제주도 시추코어 물성실험을 통한 수리지질학적 특성연구, Groundwater Korea 2008, pp. 535.

남기영, 1966, 제주도의 지질과 지하수, 국립지질조사소 지하수원조사 보고서, Vol. 3, pp. 109-137.

농림부, 농업진흥공사, 1971, 제주도 지하수보고서, 381p.

농림수산부, 농업진흥공사, 1981, 제주도 지하수개발 현황과 전망(평가분석과 장기 계획안), 179p.

농림수산부, 제주도, 농업진흥공사, 1989, 제주도 지하수장기계발계획 조사보고서, 396p.

박기화, 이병주, 이한영, 조등룡, 김정찬, 김유봉, 조병욱, 이승렬, 장영남, 손병국, 전희영, 김용욱, 2000, 서귀포·하효리도폭 지질보고서, 1:50,000, 제주도, 163p.

박기화, 안주성, 기원서, 2006, 제주도 지질여행(증보판), 183p.

박관석, 1994, 제주도 해안에서의 지하해수에 대한 화학적 특성에 관한 연구, 제주대학교 석사학위 논문, 51p.

박관석, 2004, 제주도에서 해저를 통해 유출되는 지하수의 화학적 특성과 유출량 측정, 부경대학교 박사학위 논문, 141p

박남식, 이용두, 1997, 중-동 제주 수역의 지하수 개발로 인한 해수침투, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 4, No. 1, pp. 5-13.

박상운, 1996, 제주도 용천수의 수량변화와 수리화학적 연구, 제주대학교 석사학위 논문, 115p.

박명호, 김지훈, 서광수, 2005, 제주도 동부지역 제4기 신양리층의 지화학적특성 연구, 지질학회지, Vol. 41, No. 1, pp. 19-33.

박원배, 고기원, 윤정수, 고용구, 김성홍, 신승종, 송영철, 윤선, 1993, 제주도 동 서부지역의 지하수 부존형태와 수질특성에 관한 연구, 제주도 보건 환경 연구원보, Vo. 4, pp. 15-43.

박윤석, 고기원, 강봉래, 함세영, 2002, 제주도 동부지역 수문지질에 관한 연구(Ⅰ), 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, pp. 81-84.

박준범, 고기원, 박현주, 2008, 가파도·마라도의 지질, UN이 정한 지구의 해, pp. 139.

부성안, 정교철, 2000, 제주도 동부권역 담지하수 대수층에서의 염수침입, 지질공학, Vol. 10, No. 2, pp. 77-84.

산업기지개발공사, 1981, 제주도 수자원개발 종합보고서, 388p.

서정아, 차장환, 구민호, 2008, 제주도 지하수위 수위 및 수온 변동 특성, Groundwater Korea 2008, pp. 539.

오진용, 이성숙, 윤선, 고기원, 윤혜수, 이종덕, 2000, 제주도 지하층서, 지질학회지, Vol. 36, No. 3, pp. 181-194.

우남칠, 김형돈, 이광식, 박원배, 고기원, 문영석, 2001, 지하수 수질 관측에 의한 제주도 대정수역의 지하수계 및 오염특성 분석, 자원환경지질, Vol. 34, No. 5, pp. 485-498.

윤 선, 고기원, 박원배, 1994, 제주도 서귀포층의 지하 분포상태와 지하수 부존특성과의 관계, 제주대학교 수자원연구회 주최 지하수자원의 온업용수 활용방안과 수질보전에 관한 학술심포지엄, pp. 97-132.

윤정수, 1986, 제주 동부지역 지하수의 고염도 요인에 과한 연구, 제주도연구, Vol. 3, pp. 309-326.

윤정수, 박상운, 1994, 제주도 지하수의 지역별 수질특성과 수위변화, 제주

대학교 해양연구소 연구보고, Vol. 18, pp. 59-84.
윤정수, 박상운, 1998, 제주도 용천수의 수리화학적 특성, 지하수환경, Vol. 5, No. 2, pp. 66-79.
윤정수, 박상운, 2000, 한라산 지역 용천수의 수리지화학적 특성, 한국지구과학회지, Vol. 21, No. 1, pp. 81-92.
윤정수, 김기표, 정차연, 2003, 제주도 동부 한동리지역 고염분 지하수에 대한 수리지질학적 연구, 지질학회지, Vol. 39, No. 1, pp. 115-131.
원종호, 2004, 제주도 지하수자원에 대한 수리지질학적 평가 및 물수지분석 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 208p.
이광식, 박원배, 현승규, 김용제, 문덕철, 김구영, 2004, 제주도 한라산 남북측 사면 용천수의 수리지구화학 및 동위원소 조성, 지질학회, Vol. 40, No. 1, pp. 41-52.
이기화, 1991, 제주도 지하수의 Ghyben-Herzberg 관계소고(요약), 지질학회지, Vol. 27, No. 5, pp. 551.
이기화, 1992, 제주도의 담수-해수간의 유체동력학적 평형, 지질학회지, Vol. 28, No. 6, pp. 646-664.
이문원, 한규언, 1978, 제두도의 지질과 지하수와의 관계 연구(1), 제주대학교 논문집, 제9집, pp. 193-204.
이봉주, 구민호, 박윤석, 고기원, 박기화, 2006, 제주 동부지역의 수리확산계수와 지하수 도관 유동 가능성, 지질학회지, Vol. 42, No. 3, pp. 439-454.
이용두, 송희경, 2006, 제주도 서부지역의 지하수 오염취약성 작성 연구, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, pp. 316-318.
이철우, 이대하, 정지곤, 김구영, 김용제, 2002, 양수시험시 방사상흐름을 보이는 균일암반 대수층에서의 우물손실, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 7, No. 4, pp. 17-23
정성욱, 2004, 제주 한림 지역 지하수의 환경 수리지화학적 특성 연구, 연세대학교 박사학위 논문, 87p.
정차연, 2002, 제주도 서부해안지역의 지질과 지하수, 부산대학교 박사학위

논문, 167p.
제주도·농업기반공사, 2000, 지하수 보전·관리계획 보고서
제주도, 2001, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅰ), 377p.
제주도, 한국수자원공사, 건설부, 1993, 제주도 수자원 종합개발 계획수립 부록, 643p.
제주도, 한국수자원공사, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사 (Ⅲ), 425p.
제주특별자치도, 2006, 제주삼다수 취수정 주변지역 지하수조사 보고서, 183p.
최순학, 1988, 제주도의 형성과 지하수 특성, 제주도연구, Vol. 5, pp. 59-77.
최순학, 김영기, 1989, 제주도 지하수의 수질 특성, 지질학회지, Vol. 25, No. 3, pp. 230-238.
최순학, 1990, 제주도 지하수의 수리화학적 특성, 경북대학교 박사학위 논문, 169p.
최병수, 1999, 제주도 지하수의 우물 비양수량자료를 이용한 대수층상수 결정방법, 지하수환경, Vol. 6, No. 4, pp. 180-187.
한국농어촌공사, 2008a, 어승생지구 한라산 고지대지역 지하수 시추조사 보고서.
한국농어촌공사, 2008b, 중문지구 한라산 고지대지역 지하수 시추조사 보고서.
한국농어촌공사, 2009, 신례지구 한라산 고지대지역 지하수 시추조사 보고서.
한국수자원공사, 1989, 제주도 및 울릉도 수자원개발 타당성 지질조사 보고서, 276p.
한국지질자원연구원, 제주도, 2004, 미래 제주도 청정지하수 안정적 공급 시스템 구축 사업, 214p.
한정상, 김창길, 김남종, 한규상, 1994, 제주도 지하수자원의 최적 개발가능량 산정에 관한 수리지질학적 연구, 지하수자원의 환경학적 보전과

개발이용에 관한 심포지엄, pp. 184-215

함세영, 1997, 일정수두 상부경계를 가지는 이중공극 대수층내 부정류에 관한 프락탈모델, 지하수환경, Vol. 4, No. 2, pp. 95-102.

함세영, 김형찬, 임정웅, 1998, 수직 지질구조에 의해서 지배되는 암반지하수 유동의 수리적 성질과 그 예, 지하수환경, Vol. 5, No. 2, pp. 101-109.

함세영, 임정웅, 배두종, 최위찬, 1998, 균열암반대수층의 적정채수량 산정의 적용성 연구, 지하수환경, Vol. 5, No.1, pp. 21-29.

함진규, 2000, 제주도 중산간 지역에서의 강우에 의한 지하수위 변동에 관한 연구, 제주대학교 석사학위 논문, 49p.

현승규, 2001, 제주도 옹포천 유역 지하수의 질산성질소 오염원규명, 제주대학교 석사학위 논문, 57p.

현익현, 1996, 질산성질소로 오염된 지하수의 오염원에 관한 연구, 제주대학교 석사학위 논문, 44p.

Acuna, J.A. and Yortsos, Y.C., 1995, Application of fractal geometry to the study of networks of fractures and their pressure transient, Water Resources Research, 31(3), pp. 527-540.

Allégre, C.J. Le Mouél, J.-L., and Provost, A., 1982, Scaling rules in rock fractures and posible implications for earthquake prediction, Nature, 297, pp. 47-49.

Anderson, J., Shapiro, A.M., and Bear, J., 1984, A stochastic model of a fractured rock conditioned by measured information, Water Resources Research, 20(1), pp. 79-88.

Barker, J.A, 1998, A generalized radial flow model for pumping tests in fractured rock, Water Resources Research, 24, pp. 1796-1804.

Barnsley, M.F., 1998, Fractals everywhere, Academic, San Diego, Calif., 530p.

Brown, R.H., 1963, Estimating the transmissivity of an artesian aquifer from the specific capacity of well. U.S. Geological Survey Water

Supply Paper 1536-I. pp. 336-338.

Cacas, M.C., Ledoux, E., de Marsily, G., Tillie, B., Barbreau, A., Durand, E., Feuga, B., and Peaudecerf, P., 1990a, Modeling fracture flow with a stochastic discrete fracture network : calibration and validation, 1. The flow model, Water Resources Research, 26(3), pp. 479-489.

Cacas, M.C., Ledoux, E., de Marsily, G., Barbreau, A., Calmels, P., Gaillard, B., and Margritta, R., 1990b, Modeling fracture flow with a stochastic discrete fracture network : calibration and validation, 2. The transport model, Water Resources Research, 26(3), pp. 491-500.

Chang, J. and Yortsos, Y.C., 1988 Pressure transient analysis of fractal reservoirs, SPE 18170, pp. 1-14.

Choi, B.S., 1999. Determination of aquifer characteristics from specific capacity data of wells in Cheju Island. Journal of the Korean Society of Groundwater Environment, 6(4), pp. 180-187 (in Korean, title translated).

Choi Soon Hak, Kim Young Ki, Lee Dong Young, 1991, Seawater Intrusion in the Coastal Area of Cheju Volcanic Island, Korea, Journal of Institue of Mining Geology, 24(3), pp. 319-327.

Davis, G. H., Lee, C. K., Bradley, E. and Payne, B. R., 1970, Geohydrologic interpretation of a volcanic island from enviromental isotopes, Journal of Hydrology, 57, pp. 207-231.

Gringarten, A.C. and Ramey, H.J., 1974, Unsteady state pressure distributions created by a well witha single horizontal frature, partial penetration or restricted entry, Society of Petroleum Engineers Journal, pp. 413-426.

Gringarten, A.C. and Ramey, H.J., 1974, Unsteady state pressure distributions created by a well witha single horizontal frature,

partial penetration or restricted entry, Society of Petroleum Engineers Journal, pp. 413-426.

Gringarten, A.C. and Witherspoon, P.A., 1972, A method of analyzing pump test data from fratured aquifers, Int. Soc. Rock Mechanics and Int. Assoc. Eng. Geol., Proceedings of the Symposium on Rock Mechanics, Stuttgart, 3-B, pp. 1-9.

Hamm, S.-Y. and Bidaux, P., 1996, Dual-porosity fractal models for transient flow analysis in fissured rocks, Water Resources Research, 32(9), pp. 2733-2745.

Hamm, S.-Y. and Bidaux, P., 1994a, Ecoulements transitoires en géométric fractale avec drainance: théorie et application, C. R. Acad. Sci. Paris, série II, 318(2), pp. 227-233.

Hamm, S.-Y. and Bidaux, P., 1994b, Stationary dualporosity fractal model of groundwater flow in fissured aquifers, The Journal of Engineering Geology, 4(2), pp. 127-138.

Hamm, S.-Y., Cheong, J.-Y., Jang, S., Jung, C.-Y., Kim, B.-S., 2005, Relationship between transmissivity and specific capacity in the volcanic aquifers of Jeju Island, Korea, Journal of Hydrology 310, pp. 111-121.

Hantush, M.S., 1960, Modification of the theory of leaky aquifers, Journal of Geophysical Research, 65(11), pp. 3713-3725.

Hantush, M.S., 1962, Flow of groundwater in sands of nonuniform thickness; 3. Flow to wells, Journal of Geophysical Research, 67(4), pp. 1537-1534.

Hantush, M.S. and Jacob, C.E., 1955, Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer, Transactions, American Geophysical Union, 36, pp.95-100.

Hantush, M.S. and Jacob, C.E., 1956, Non-steady flow in an infinite leaky aquifer, Transactions, American Geophysical Union, 36(1),

pp. 95-100.

Huntley, D., Nommensen, R., Steffey, D., 1992, The use of specific capacity to assess transmissivity in fractured-rock aquifer, Groundwater, 30(3), pp. 396-402.

Jones, M.A., 2001, Discrete fracture network modeling to differentiate conceptual models of fluid flow, New approaches characterizing groundwater flow, Proceedings of the 31 International Association of Hydrogeologists Congress, Munuch, Germany, pp. 835-837.

Logan. J., 1964, Estimating transmissibility from routine production tests of water wells, Groundwater, 2(1), pp. 35-37.

Long, J.C.S. and Billaux, D.M., 1987, From field data to fracture network modeling an example incorporating spatial structure, Water Resources Research, 23(7), pp. 1201-1216.

Long, J.C.S., Gilmour, P., and Witherspoon, P.A., 1985, A model for steady fluid flow in random three-dimensional networks of disc-shaped fractures, Water Resources Research, 21(8), pp. 1105-1115.

Mace, R., 1997, Determination of Transmissicity from specific capacity tests in a Karst Aquifer, Groundwater, 35(5), pp. 738-742.

Moench, A.F., 1984, Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with fracture skin, Water Resour. Res., 20, pp. 831-846.

Moench, A.F., 1985, Transient flow to a large-diameter well in an aquifer with storative semiconfining layers, Water Resources Research, 21(8), pp. 1121-1131.

Moench, A.F., 1997, Flow to a well of finite diameter in a homogeneous, anisotropic water table aquifer, Water Resources Research, 33(6), pp. 1397-1407.

Neuman, S.P. and Witherspoon, P.A., 1969, Theory of flow in a confined two aquifer system, WaterResources Research, 5(4), pp.

803-816.

Oh, J., Yi, S., Yoon, S., Koh, G.-Won., Yun, H., and Lee, J.-D., 2000, Subsurface stratigraphy of Jeju Island, Journal of Geological Society of Korea, 36, pp. 181-194

Papadopulos, I.S. and Cooper, H.H., 1967, Drawdown in a well of large diameter, Water Resources Research, 3(1), pp. 241-244.

Razack, M., Huntley, D., 1991, Assessing Transmissibility from Specific capacity in a Large and Heterogeneous Alluvial Aquifer, Groundwater, 29(6), pp. 856-861.

Sahimi, M., 1995, Flow and transport in porous media and fractured rock, VCH, 482p.

Theis, C.V., 1935, The lowering of the piezometer surface and the rate and discharge of a well using groundwater storage, Transactions, American Geophysical Union, 16, pp. 519-524.

Theis, C.V., 1963, Estimating the transmissivity of a water table aquifer from the specific capacity of a well, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1536-1. pp. 332-336.

Thomas, A., 1987, Structure fractale de l'architecture des champs de fractures en milieu rocheux, C. R. Acad. Sci. Paris, 304, Ser. 2, pp. 181-186.

Velde, B., Dubois, J., Moore, D., and Touchard, J., 1991, Fractal patterns of fractures in granites, Earth and Planetary Science Letters, 104, pp. 25-35.

Won, J.-H., Lee, J.-Y., Kim, J.-W., and Koh, G-.W., 2006, Groundwater occurrence on Jeju Island, Korea. Hydrogeology Journal, 14, pp. 532-547.

부록 1. 지역별 지하수 관정 현황

area	No.
East	1～36
West	37～91
South	92～146
North	147～203

'*' 저투수층이 나타나지 않으므로 굴착심도 하한을 저투수층 출현심도로 설정하였음.

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
1	HW(1)1	91.92	110.0	90.59	1.33	0.98	2871	110.00	-18.08*	19.41	FOB	절리대 91~94, 96~99
2	HW(1)2	92.46	110.0	90.54	1.92	1.78	2267	110.00	-17.54*	19.46	FOB	절리대 82~87, clinker 94~98
3	HW(1)3	93.03	120.0	91.33	1.70	1.52	2047	120.00	-26.97*	28.67	FOB	clinker 80~84, 90~94
4	HW(1)4	92.08	110.0	91.15	0.93	0.82	2599	110.00	-17.92*	18.85	FOB	clinker 81~87, 93~96
5	HW(1)5	92.66	110.0	91.00	1.66	1.47	2846	110.00	-17.34*	19.00	FOB	절리대 93~96, 99~102
6	HW(1)6	92.24	110.0	91.01	1.23	0.38	2835	110.00	-17.76*	18.99	FOB	clinker 86~91, 절리대 94~96
7	HW(2)1	88.80	110.0	87.38	1.42	1.35	2043	110.00	-21.20*	22.62	FOB	clinker 93.5~97.5
8	HW(2)2	89.24	110.0	87.10	2.14	1.97	2045	110.00	-20.76*	22.90	FOB	clinker 95~97
9	HW(2)3	89.43	110.0	88.44	0.99	0.86	2601	110.00	-20.57*	21.56	FOB	clinker 95~98
10	HW(2)4	88.74	110.0	88.13	0.61	0.46	2146	110.00	-21.26*	21.87	FOB	절리대 90~92, 100~101
11	HW(2)5	88.01	110.0	86.88	1.13	0.94	2200	110.00	-21.99*	23.12	FOB	clinker 90~91, 93~95, 97~102
12	HW(2)6	88.13	110.0	87.13	1.00	0.91	2147	110.00	-21.87*	22.87	FOB	clinker 90~96
13	HD1	15.1	175.0	13.89	1.21	0.04	969	153.50	-138.40	139.61	AFOB	절리대 15~16.5, 39~40.9, 41.6~49.5, 65.5~67, 71~72, 유리질쇄설암 49.5~57.5
											AOB	유리질쇄설암 82~151
											사력층	151~153.5
14	HD2	42.3	202.0	39.77	2.53	2.42	985	161.00	-118.70	121.23	AFOB	절리대 47~49, 80.5~82, 85.5~92, clinker 62~67.5, 71~80.5
											AOB	절리대 92~99, 116~149
15	HD3	112.4	262.0	111.18	1.22	0.79	810	217.60	-105.20	106.42	AFOB	절리대 112~114, 119~121
											AOB	clinker 119~121, 127~131, 절리대 139.5~142, clinker 149~153, 유리질쇄설암 156~162.5, 178.5~185
16	HD4	190.5	365.0	182.00	8.50	9.27	900	281.00	-90.50	99.00	AOB	절리대 184~194, 199~218, 275~281

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
17	JD1	14.4	156.0	13.00	1.40	1.03	1224	123.50	-109.10	110.50	AOB	clinker 24~27, 절리대 91~96
											AFOB	clinker 47~48, 49.5~51, 유리질쇄설암 61~64, 절리대 64~67, 118~120
18	JD2	52.7	200.0	52.30	0.40	0.11	1180	167.00	-114.30	114.70	AOB	절리대 64~71, 78~85, 94~97
											AFOB	유리질쇄설암 155~160
19	JD3	100.4	252.0	97.50	2.90	2.15	1240	179.00	-78.60	81.50	AOB	clinker 98~102
											AFOB	절리대 126~128, 141~143, 149~150.5, 154~155.5, 171~172.5, 175~179, clinker 128~131
20	JD4	167.5	330.0	166.00	1.50	1.13	995	240.00	-72.50	74.00	AOB	clinker 167~171 ,216~219, 절리대 171~183, 186~188, 190~194,223~229
21	JD5	201.3	408.0	199.00	2.30	-	-	246.00	-44.70	47.00	AFOB	절리대 199~200
											TB	절리대 215.5~246
22	SS1	33.8	151.0	32.00	1.80	0.82	1200	134.70	-100.90	102.70	AOB	clinker 33~34, 40~41.5, 절리대 41.5~46, 49.8~54, 56.3~60.5
											Scoria	61.5~64
											AFOB	절리대 73~76, 80~91
23	SS2	70.6	196.0	69.12	1.48	-1.54	1200	160.80	-90.20	91.68	AOB	절리대 81.5~90, 155~161
											AFOB	절리대 106~110, 117.5~119, 122~123.5, 128~130, 133~135, 140~145
24	SS3	115.5	267.0	112.86	2.64	0.89	1000	201.20	-85.70	88.34	AFOB	절리대 121~124, 129~143
											AOB	clinker 144~147, 절리대 158.5~165, 172~186, 191~196

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
25	SS4	176.6	323.0	175.17	1.43	-1.96	1100	245.20	-68.60	70.03	AOB	절리대 176~183, 194~197, 206~234
26	SD1	27.9	170.0	27.20	0.70	0.41	1000	100.00	-72.10	72.8	APB	유리질쇄설암 27~35, clinker 47~48
											FOB	유리질쇄설암 60~63, 83~88, 절리대 94~98
27	SD2	90.2	200.0	88.00	2.20	1.47	1000	157.00	-66.80	69.0	TB	clinker 89~91
											FOB	절리대 104~108, clinker 129~140
28	SD3	126.1	250.0	123.45	2.65	2.53	1000	194.00	-67.90	70.55	FOB	clinker 124~126, 절리대 126~129, 141~147
29	HC1	25.70	136.0	24.70	1.00	-0.09	1130	91.00	-65.30	66.30	FAB	절리대 37.1~40
											사력층	43.5~44.8, 61~62.8
											AFOB	절리대 62.8~64.5, 73.7~78, 유리질쇄설암 82.1~91
30	HC2	58.80	180.0	57.00	1.80	1.26	1070	119.50	-60.70	62.50	AFOB	clinker 55~58.5, 절리대 61.5~64, 67.5~69, 81~87.5
31	HC3	87.40	186.0	83.00	4.40	-	1120	126.00	-38.60	43.00	AFOB	절리대 82.5~104.5, clinker 104.5~108, 유리질쇄설암 108~120
											사력층	120~126
32	HC4	117.90	230.0	112.00	5.90	-19.69	1143	123.50	-5.60	11.50	FAOB	clinker 112~123.5
33	SMD1	438.99	480.0	256.00	182.99	181.43	1500	421.00	17.99	165.00	TA	절리대 272~277, 321~333
34	SMD2	429.46	470.0	226.00	203.46	202.83	1180	453.00	-23.54	227.00	TA	절리대 227~235, 387~395, 397~400
35	SMD3	468.63	420.0	315.00	153.63	153.12	1100	420.00	48.63*	105.00	TA	절리대 385~401
											AOB	clinker 318~323

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
36	JC	342.60	490.0	255.37	87.23	86.70	800	323.00	19.60	67.63	FAOB	clinker 257~265
											APB	clinker 292.5~295, 299~300, 절리대 304.5~305
37	NE1	175.57	212.0	166.60	8.97	8.16	2,709.0	212.0	-36.43*	45.40	FOB	clinker 175~178
											TB	clinker 188~190
38	NE2	172.80	216.0	163.72	9.08	7.57	2,727.0	216.0	-43.20*	52.28	TB	clinker 164~167, 176~180
											FOB	절리대 190~192
39	NE3	173.50	212.0	156.72	16.78	10.98	2,806.0	212.0	-38.50*	55.28	TB	clinker 160~162
											FOB	절리대 178~179
40	NE4	175.00	214.0	154.70	20.30	18.06	2,722.0	214.0	-39.00*	59.30	FB	절리대 156~166
											FOB	clinker 187~192
41	NE5	177.00	210.0	160.10	16.90	16.38	2,318.0	210.0	-33.00*	49.90	FOB	clinker 171~173, 절리대 190~195, 201~203
42	NE6	176.08	215.0	166.84	9.24	8.33	2,714.0	215.0	-38.92*	48.16	FB	clinker 166~171, 173~176
43	EU1	180.39	230.0	169.54	10.85	10.7	1,632.0	230.0	-49.61*	60.46	FAB	clinker 195~198, 절리대 198~207
44	EU2	180.69	230.0	164.86	15.83	15.69	1,488.0	230.0	-49.31*	65.14	TB	절리대 168.5~172.3
											FAB	clinker 193~195, 절리대 195~205
45	EU3	176.32	230.0	164.76	11.56	11.38	1,420.0	230.0	-53.68*	65.24	TB	절리대 166.8~181
											FAB	clinker 181~186, 절리대 197~202
46	EU4	179.60	230.0	168.85	10.75	10.72	1,656.0	230.0	-50.40*	61.15	TB	절리대 168~170
											FAB	clinker 192~198, 절리대 198~205
47	EU5	184.55	230.0	174.57	9.98	9.62	1,608.0	230.0	-45.45*	55.43	TB	절리대 175~177
											FAB	clinker 197.3~199, 205~207, 절리대 199~205
48	EU6	185.27	230.0	175.35	9.92	9.74	1,344.0	230.0	-44.73*	54.65	TB	절리대 176~178
											FAB	clinker 203.5~205, 211~213.2, 절리대 205~211

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (m^3/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
49	GA1	310.80	345.0	262.81	47.99	31.77	1,728.0	345.0	-34.20*	82.19	FOB	절리대 287.5~289.5
											TB	절리대 241.6~245.2, 321.3~329.5, 342~346
50	GA2	311.30	345.0	263.91	47.39	26.88	1,752.0	344.0	-32.70	80.09	FOB	clinker 294~296
											TB	절리대 302.8~306, 315.8~323, clinker 310~312
51	GA3	311.70	345.0	263.46	48.24	46.57	1,512.0	345.0	-33.30*	81.54	FOB	clinker 287.4~288.8
											TB	clinker 297.3~299.2, 344~346, 절리대 303.7~305.3, 318.4~319.8
52	GA4	312.20	345.0	263.19	49.01	28.77	1,368.0	341.0	-28.80	77.81	FOB	clinker 258~259, 288~290, 294~295, 절리대 290~294
											TB	절리대 305~308
											FAB	절리대 331~341
53	GA5	311.50	346.0	256.83	54.67	33.91	888.0	345.0	-33.50	88.17	TB	clinker 239.7~241.5, 절리대 286~292
											FAB	절리대 317.5~318, 326~327.2
54	GA6	311.30	348.0	256.05	55.25	47.75	1,680.0	348.0	-36.70*	91.95	FOB	clinker 284~287
											TB	clinker 304~306, 338~340
55	JE1	153.5	170.0	104.44	49.06	48.92	2,184.0	166.0	-12.50	61.56	FOB	절리대 105~117, clinker 117~121
											AFOB	절리대 130.5~137, 145.5~153, 155~161
56	JE2	153.72	170.0	104.22	49.50	49.44	1,584.0	156.0	-2.28	51.78	TB	clinker 123~125
											APB	절리대 126~129, 132~135, 141~146, clinker 152~156
57	JE3	153.77	170.0	105.04	48.73	48.37	2,280.0	166.5	-12.73	61.46	FOB	clinker 127~129
											AFOB	절리대 139~144, 157~166.5

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (m^3/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
58	JE4	154.41	170.0	108.25	46.16	45.65	2,304.0	166.5	-12.09	58.25	TB	절리대 115.5~126.9
											AFOB	clinker 126.9~130.9, 절리대 157.3~166.5
59	JE5	155.25	171.0	109.79	45.46	44.79	2,496.0	170.1	-14.85	60.31	TB	절리대 116.2~121.6
											AFOB	절리대 127.1~137.5, 148.2~148.8, clinker 142.4~143.7
60	JE6	155.5	172.0	109.13	46.37	45.72	2,088.0	164.0	-8.50	54.87	FOB	clinker 115~116
											TB	clinker 117~118, 절리대 122.5~123.5
											AFOB	clinker 124~126, 137.5~138.7, 절리대 126~137, 145.7~146.7, 155.5~156.4
61	JE7	155.5	172.0	109.07	46.43	45.87	2,352.0	166.2	-10.70	57.13	TB	clinker 124.7~126.5
											AFOB	절리대 133~140.6, 144.5~155.2, 165~166.2
62	JE8	155.5	170.0	110.98	44.52	42.88	2,232.0	168.0	-12.50	57.02	TB	절리대 124.4~126.5, clinker 126.5~127.7
											AFOB	clinker 127.7~130, 137.8~141.5, 144~147, 152~168
63	JE9	154.3	170.0	108.25	46.05	45.57	2,424.0	167.3	-13.00	59.05	TB	clinker 115~117
											AFOB	절리대 117~119, 134~137, 144~147, 155.3~167.3
64	JE10	153.5	171.0	107.51	45.99	45.95	2,400.0	168.5	-15.00	60.99	TB	절리대 102~111, clinker 114~116
											AFOB	clinker 116~119, 절리대 129.8~138.1, 141.8~143.7, 145.4~154, 165.3~168.3
65	SE1	183.7	200.0	136.71	46.99	45.73	2,232.0	165.5	18.20	28.79	FAB	clinker 144.5~150
											FB	절리대 188~196

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (m^3/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
66	SE2	186.7	200.0	140.99	45.71	44.68	2,232.0	174.0	12.70	33.01	FAB	clinker 146~148, 절리대 170~174
											FB	절리대 186~193, clinker 196~200
67	SE3	187.4	200.0	141.69	45.71	44.63	2,208.0	170.0	17.40	28.31	FAB	clinker 147.5~150, 절리대 165~170
											FB	절리대 185~192, clinker 197~200
68	SE4	188.9	200.0	142.06	46.84	45.81	2,208.0	174.0	14.90	31.94	FAB	clinker 147~150, 절리대 150~157, 171~174
											FB	절리대 191~194, clinker 197~200
69	SE5	188.9	200.0	144.73	44.17	43.26	2,112.0	176.0	12.90	31.27	FAB	절리대 150~162, 171~176
											TB	절리대 186~194, clinker 197~200
70	SE6	185.7	200.0	140.25	45.45	44.31	1,869.0	178.0	7.70	37.75	TB	절리대 148~153
											FAB	절리대 162~165, 174~178
											FB	절리대 191~195, clinker 198~200
71	SE7	184.9	200.0	140.07	44.83	43.65	2,160.0	167.5	17.40	27.43	TB	clinker 147~153, 절리대 153~159
											FAB	절리대 190~197
72	SE8	178	200.0	129.70	48.30	48.21	2,352.0	166.0	12.00	36.30	TB	clinker 129~132
											FAB	clinker 138~141, 절리대 162~166
											FB	clinker 197~200
73	SE9	181.8	200.0	135.85	45.95	44.25	2,184.0	168.0	13.80	32.15	FAB	clinker 142~146, 절리대 164~168
											FB	절리대 180~187, clinker 198~200
74	SE10	181.8	200.0	135.81	45.99	44.42	2,376.0	176.0	5.80	40.19	FAB	clinker 144~149, 절리대 166~176
											FB	절리대 187~193, clinker 197~200
75	BB1 (99KS)	28.00	90.0	18.50	9.50	0.80	1,034.0	62.5	-34.50	44.00	퇴적층	사력층 68~70
76	BB2 (01KS)	43.00	140.0	35.00	8.00	2.00	1,000.0	101.5	-58.50	66.50	퇴적층	모래층 101.5~103, 130~132, 134~136
77	BB3 (01NC)	76.10	162.0	49.00	27.10	9.50	737.0	127.00	-50.90	78.00	퇴적층	모래층 89~90, 127~128, 148~150, 152~154, 156~158

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (m^3/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
78	BB4 (00SNY)	124.00	190.0	105.00	19.00	9.00	800.0	118.0	6.00	13.00	퇴적층	사력층 92~94, 자갈층 130~132, 135~137, 141~143, 모래층 172.5~174
79	BB5 (00CS2)	138.20	210.0	88.40	49.80	43.80	887.0	170.2	-32.00	81.80	퇴적층	유리질쇄설암 203~204, 205~206, 207~208, 209~210
80	BB6 (00SM)	210.00	240.0	185.50	24.50	-2.50	752.0	213	-3.00	27.50	퇴적층	유리질쇄설암 216~218, 220~222, 224~226, 228~230, 232~234, 236~238
81	BB7 (00KM)	242.00	270.0	199.50	42.50	28.00	855.0	203.00	39.00	3.50	퇴적층	자갈(각력) 215~218, 239~241, 242~243
82	EVCC1	404	415	216.50	187.50	161.7	550.0	415.0	-11.00*	198.50	FOB	clinker 236~240, 244~252, 330~335, 346~352
											TB	clinker 286~290
83	EVCC2	399.1	425	349.05	50.05	45.1	500.0	425.0	-25.90*	75.95	TB	절리대 262~264, 357~358, 406~425
84	EVCC3	368.2	400	317.60	50.60	49.4	500.0	400.0	-31.80*	82.40	TB	절리대 318~325, 397~400
											TA	clinker 325~328
85	EVCC4	343.6	381	298.00	45.60	44	500.0	381.0	-37.40*	83.00	FAB	절리대 157~162, 192~196
											TB	절리대 306.4~317, 319~320
											TA	절리대 347.5~349.8
86	EVCC5	423	420	243.30	179.70	177	450.0	420.0	3.00*	176.70	FAB	clinker 244~245
											TB	clinker 246~248, 275~283
											TA	절리대 364~370
87	ELCC1	478.5	433	407	71.50	64.5	500.0	433.0	45.50*	26.00	FOB	clinker 221~230, 395~405
											TB	절리대 407~414
88	ELCC2	498	405	286	212.00	211	550.0	405.0	93.00*	119.00	FB	clinker 290~292
											FOB	clinker 341~343
											TB	절리대 352~383

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
89	ELCC3	472	434.5	318.6	153.40	147	540.0	434.5	37.50*	115.90	FOB	clinker 245~249
											TB	clinker 321~324, 절리대 360~385, 401~421
90	ELCC4	476	434.5	265	211.00	210	550.0	434.5	41.50*	169.50	FOB	clinker 248~249, 359~362
											FB	clinker 294~295
											TB	절리대 323~326, 382~386, 412~423
91	ELCC5	482	480	410.47	71.53	68	550.0	425.0	57.00	14.53	FB	clinker 413~425
92	SY1	249.50	280.00	192.72	56.78	52.67	2480.0	226.00	23.50	33.28	TB	절리대 131.5~131.7, 208~226
93	SY2	251.10	265.00	194.75	56.35	51.72	1670.0	215.00	36.10	20.25	TB	절리대 206~215
94	SY3	251.40	227.00	195.60	55.80	53.99	2400.0	215.00	36.40	19.40	FAB	절리대 141.2~149.4
											TB	절리대 174~185.7
95	SY4	251.00	223.00	194.55	56.45	47.79	1630.0	213.00	38.00	18.45	FAB	절리대 133.5~139.6, 154~155.2
											TB	절리대 194~195.5
96	SY5	250.10	225.00	192.77	57.33	53.54	2200.0	212.00	38.10	19.23	TB	절리대 202~212
97	SY6	250.80	252.00	193.43	57.37	52.47	2200.0	208.00	42.80	14.57	TB	절리대 192~206
98	HS1	218.48	250.00	155.74	62.74	37.5	1728.0	157.00	61.48	24.26	TB	절리대 147~150
											Tuff	유리질쇄설암 178~180
99	HS2	217.28	250.00	156.31	60.97	36.53	1728.0	172.60	44.68	16.29	TB	절리대 170.8~172.6
											Tuff	유리질쇄설암 208~210
100	HS3	220.24	252.00	158.35	61.89	31.57	1704.0	174.10	46.14	15.75	TB	절리대 172.6~174.1
											Tuff	유리질쇄설암 190~192
101	HS4	224.29	250.00	162.75	61.54	33.12	1704.0	168.00	56.29	5.25	TB	절리대 145~150, 166~168
											Tuff	유리질쇄설암 233~235
102	HS5	222.23	250.00	158.47	63.76	35.62	1464.0	150.00	72.23	23.53	TB	절리대 134~137
											Tuff	180~182
103	HS6	221.82	252.00	143.55	78.27	47.07	1704.0	179.00	42.82	35.45	TB	clinker 157~160, 절리대 168~169.5
											Tuff	243~245

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
104	JG1	13.43	31.00	10.60	2.83	2.29	3400.0	29.00	-15.57	18.40	FB	절리대 15~16
											스코리아	21~22
											자갈층	24~29
105	JG2	13.31	35.00	10.30	3.01	2.55	3400.0	30.50	-17.19	20.20	스코리아	23~25
											자갈층	25~30.5
106	JG3	13.90	30.00	10.33	3.57	2.67	3000.0	30.00	-16.10*	19.67	TA	절리대 13~14
											FB	clinker 15~16
											자갈층	24~30
107	JG4	15.17	33.00	12.15	3.02	1.08	3000.0	31.00	-15.83	18.85	FB	절리대 13~15
											스코리아	18~20
											자갈층	23~31
108	JG5	16.59	22.50	5.01	11.58	7.06	2000.0	22.50	-5.91*	17.49	스코리아	13~18
											자갈층	18~19.5
109	JG6	14.05	18.50	5.85	8.20	4.42	2400.0	18.50	-4.45*	12.65	스코리아	10~16
110	TP1	164.90	125.00	85.20	79.70	75.70	2200.0	106.00	58.90	20.80	TB	clinker 86~88
											사력층	90~97
111	TP2	165.50	125.00	89.30	76.20	49.30	2100.0	117.00	48.50	27.70	TB	clinker 85~86, 절리대 113~114
											사력층	95~98
112	TP3	162.33	132.00	73.50	88.83	58.23	1616.0	127.00	35.33	53.50	TB	절리대 105~108, 121~127
113	TP4	161.90	160.00	80.20	81.70	51.00	1670.0	145.00	16.90	64.80	FOB	절리대 75~87, clinker 117~122
											사력층	133~145
114	EK(1)1	68.80	101.00	67.10	1.70	1.34	2584.7	99.00	-30.20	31.90	FOB	clinker 79~80, 절리대 96~99
115	EK(1)2	69.36	103.00	67.70	1.66	1.52	2516.2	99.50	-30.14	31.80	FOB	clinker 76.8~78.9, 91~99.5
116	EK(1)3	71.65	105.00	70.50	1.15	1.04	2798.4	98.00	-26.35	27.50	FOB	절리대 85.5~86.5, clinker 91~98

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
117	EK(1)4	70.08	105.00	68.70	1.38	1.22	2557.4	105.00	-34.92*	36.30	FOB	clinker 68~71, 77~80.5, 절리대 84~86
118	EK(1)5	68.59	102.00	67.30	1.29	-11.93	2002.2	91.00	-22.41	23.70	FOB	절리대 80~82, 84.5~91
119	EK(1)6	69.45	104.00	68.10	1.35	1.14	2405.8	104.00	-34.55*	35.90	FOB	clinker 69~71, 77~79, 85~91.5
120	EK(2)1	73.49	91.00	70.20	3.29	3.08	2441.0	84.00	-10.51	13.80	FOB	clinker 74~77, 80~83
											사력층	83~84
121	EK(2)2	74.00	94.50	70.30	3.70	3.38	2412.7	89.50	-15.50	19.20	FOB	clinker 73.7~76, 84~89.5
122	EK(2)3	74.30	95.00	70.00	4.30	-1.44	2275.2	90.00	-15.70	20.00	FOB	clinker 81~84, 절리대 84~90
123	EK(2)4	74.17	99.00	70.10	4.07	3.85	2367.8	88.00	-13.83	17.90	FOB	clinker 69~72, 77~81
											사력층	86~88
124	EK(2)5	74.13	93.00	70.20	3.93	3.08	2287.2	90.00	-15.87	19.80	FOB	절리대 68~71, clinker 77~79
125	EK(2)6	73.75	90.00	69.70	4.05	3.77	2429.4	88.00	-14.25	18.30	FOB	절리대 68~70, clinker 74~76, 81~83
126	SH(1)1	62.83	83.00	61.20	1.63	1.45	2574.1	83.00	-20.17*	21.80	FOB	절리대 58~60, 74~76, clinker 67~70
127	SH(1)2	63.51	82.00	62.00	1.51	1.24	2348.6	82.00	-18.49*	20.00	FOB	clinker 63~65, 71~75, 절리대 79~80
128	SH(1)3	62.92	82.00	61.40	1.52	1.18	2290.0	82.00	-19.08*	20.60	FOB	clinker 66~69, 74~77, 절리대 77~78
129	SH(1)4	62.82	82.00	61.70	1.12	0.85	2207.5	82.00	-19.18*	20.30	FOB	절리대 60~62, 79~81, clinker 68~70
130	SH(1)5	63.44	82.00	61.80	1.64	0.25	2131.2	82.00	-18.56*	20.20	FOB	clinker 65~68
											스코리아	73~76
131	SH(1)6	63.51	82.00	62.20	1.31	-0.34	2096.6	82.00	-18.49*	19.80	FOB	clinker 68~71, 절리대 76~78
132	SH(2)1	59.14	90.00	57.60	1.54	1.33	2995.2	90.00	-30.86*	32.40	FOB	clinker 63~64, 절리대 79~81, 85~86
											TA	절리대 88~89
133	SH(2)2	60.45	90.00	59.20	1.25	1.00	3056.7	90.00	-29.55*	30.80	FOB	clinker 73~74, 85~87, 절리대 77~79, 79~83
134	SH(2)3	60.91	90.00	59.55	1.36	1.21	2964.2	90.00	-29.09*	30.45	FOB	절리대 78~79,80~82, 84~85
											TA	절리대 87~88
135	SH(2)4	65.47	90.00	64.09	1.38	1.07	2948.0	90.00	-24.53*	25.91	FOB	절리대 76~77, 80~82, 82~84

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (m^3 /day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
136	SH(2)5	64.59	90.00	63.50	1.09	0.66	2842.0	90.00	-25.41*	26.50	FOB	절리대 79~81, clinker 84~88
137	SH(2)6	59.47	90.00	59.36	0.11	-0.12	2980.9	90.00	-30.53*	30.64	FOB	clinker 71~74.5, 절리대 80~85, 88~89
138	JM	550.00	580.00	178.00	372.00	327	1100.0	380.00	170.00	202.00	TB	절리대 154~161 clinker 167~195, 200~252
											스코리아	268~292
139	DH	192.00	300.00	126.00	66.00	61.90	1000.0	89.00	103.00	17.00	APB	clinker 137~143
140	SR	595.00	550.00	293.00	302.00	260	980.0	470.00	125.00	177.00	TA	clinker 310~318, 356~370, 371~382, 385~398
											스코리아	295~30, 412~433
141	WM1	22.20	160.00	19.85	2.35	-5.84	1000.0	78.00	-55.80	58.15	FOB	절리대 20~21, 유리질쇄설암 25~28, 44~58
											APB	clinker 66~66.5
142	WM2	76.70	210.00	62.95	13.75	13.61	1000.0	94.50	-17.80	31.55	FB	clinker 64.5~69, 80~85, 절리대 70~76
143	F-116	68.00	84.00	36.00	32.00	3	900.0	73.00	-5.00	37.00	T	절리대 63~73
144	F-388	193.00	220.00	123.00	70.00	55	1052.0	183.50	9.50	60.50	화산쇄설층	149~152
											FAB	절리대 154~156
145	KIS	310.00	306.00	166.30	143.70	141	200.0	180.00	130.00	13.70	TB	절리대 121~128, 178~180
146	MW1	582.00	550.00	268.93	313.07	302.2	1382.0	400.00	182.00	131.07	FB	절리대 260~267, 363~365
147	SG1	152.50	180.0	133.70	18.80	18.28	1,824	180.0	-27.50*	46.30	화산쇄설층	135~137, 146~152
148	SG2	154.00	183.0	140.10	13.90	13.65	1,704	183.0	-29.00*	42.90	FOB	clinker 146~151
											TA	절리대 159~163
149	SG3	150.50	183.0	134.18	16.32	16.06	1,296	183.0	-32.50*	48.82	화산쇄설층	132~136
											AOB	clinker 162~164
											FB	clinker 173~175

NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
150	SG4	150.50	183.0	133.70	16.80	16.58	1,944	183.0	-32.50*	49.30	FB	clinker 150~153, 161~163
											FOB	clinker 178~180
151	SG5	150.50	180.0	133.20	17.30	17.18	1,992	180.0	-29.50*	46.80	FB	절리대 150~165
152	SG6	151.00	180.0	133.40	17.60	17.30	2,112	180.0	-29.00*	46.60	FOB	clinker 144~147
											TB	절리대 172~178
153	JJ1	176.40	211.0	164.04	12.36	12.12	2,748	211.0	-34.60*	46.96	TB	절리대 157~160, clinker 179~182
											FB	clinker 188~192
154	JJ2	172.80	211.0	160.50	12.30	11.61	2,704	211.0	-38.20*	50.50	FOB	clinker 165.0~168, 178~183
											TB	절리대 200~202
155	JJ3	173.40	210.0	167.60	5.80	5.58	2,734	210.0	-36.60*	42.40	TB	clinker 172~177
											FB	clinker 186~189
156	JJ4	172.40	210.0	157.30	15.10	15.07	2,767	210.0	-37.60*	52.70	FOB	절리대 158~162
											TB	절리대 178~181
											FB	clinker 182~185, 194~197
157	JJ5	173.40	210.0	163.06	10.34	8.07	2,677	210.0	-36.60*	46.94	FB	clinker 168~170
											FOB	clinker 175~176, 183~186
											TB	절리대 208~210
158	JJ6	175.50	210.0	164.70	10.80	10.58	2,732	210.0	-34.50*	45.30	TB	clinker 170~172
											FOB	clinker 182~185
											TB	clinker 204~207
159	SK1	49.74	90.0	42.65	7.09	6.61	3,500	88.0	-38.26	45.35	FOB	절리대 50~56, clinker 73~82
160	SK2	54.75	100.0	47.01	7.74	2.47	3,000	96.0	-41.25	48.99	FOB	clinker 46~48, 63~64.5, 79~84
161	SK3	56.42	102.0	48.86	7.56	5.82	3,500	95.0	-38.58	46.14	FOB	clinker 53~54.5, 59~68.5
162	SK4	56.88	102.0	50.90	5.98	0.78	2,500	94.0	-37.12	43.10	FOB	clinker 52.5~58, 65.5~67.5, 85~94

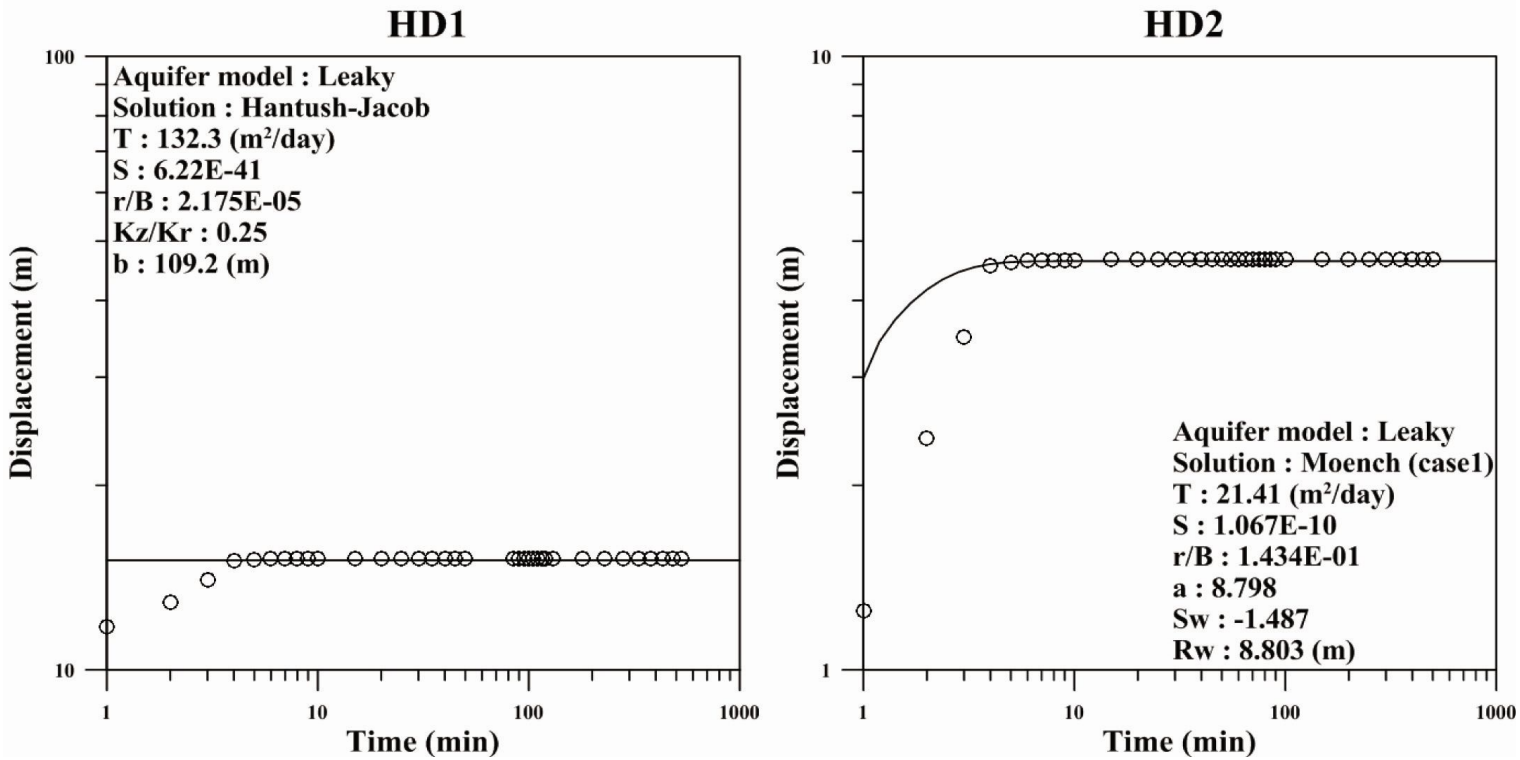
NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
163	SK5	55.46	95.0	47.90	7.56	6.50	3,400	95.0	-39.54*	47.10	FOB	clinker 52.3~53, 64~70, 82~86
164	SK6	50.95	90.0	43.48	7.47	4.31	3,300	87.0	-36.05	43.52	FOB	clinker 44~50, 74~82
165	OD1	58.72	116.0	41.33	17.39	16.90	2,712	116.0	-57.28*	74.67	FOB	절리대 47~48, 54~68, clinker 48~54, 95~98
166	OD2	58.12	145.0	42.95	15.17	13.78	2,601	145.0	-86.88*	102.05	FOB	clinker 65~68, 80~83
167	OD3	59.02	116.0	48.12	10.90	10.04	3,020	116.0	-56.98*	67.88	FOB	clinker 59~65, 86~89, 104~108
168	OD4	57.98	143.0	41.30	16.68	16.19	2,250	143.0	-85.02*	101.70	FOB	clinker 64~68, 92~94
169	OD5	58.70	116.0	41.56	17.14	16.57	2,578	116.0	-57.30*	74.44	FOB	절리대 44~52, clinker 69~72, 85~88
170	OD6	58.29	120.0	42.20	16.09	14.68	2,750	120.0	-61.71*	77.80	FOB	clinker 50~53, 90~93, 절리대 57~62
171	SA1	45.33	120.0	43.88	1.45	0.75	2,540	120.0	-74.67*	76.12	FOB	clinker 56~58, 70~72, 95~98
172	SA2	46.09	120.0	44.52	1.57	0.95	2,974	120.0	-73.91*	75.48	FOB	clinker 60~62, 78~80, 109~112
173	SA3	45.49	120.0	43.50	1.99	1.29	2,871	120.0	-74.51*	76.50	FOB	clinker 33~39, 80~85

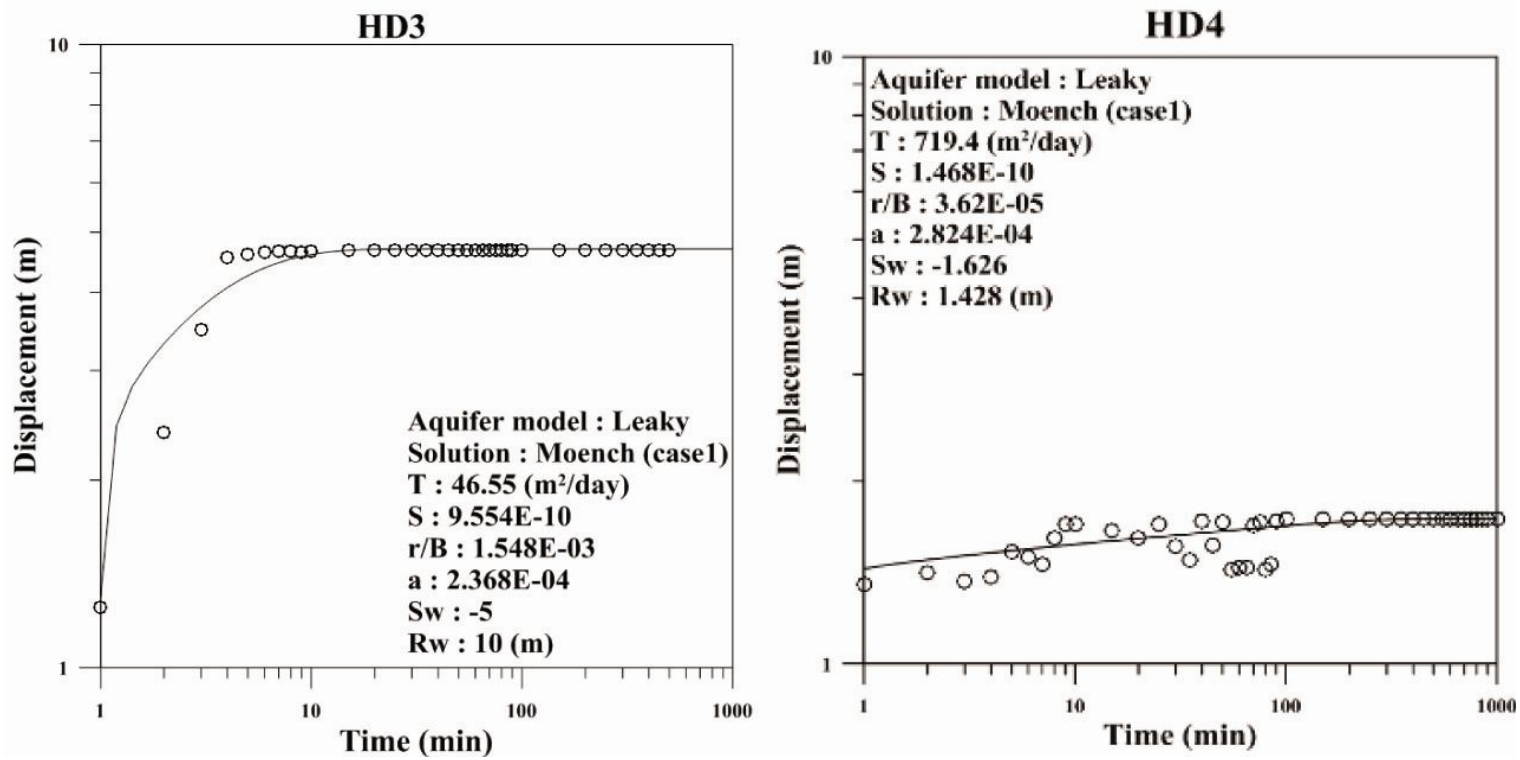
NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
174	SA4	44.68	120.0	42.47	2.21	1.35	2,523	120.0	-75.32*	77.53	FOB	clinker 49.5~55, 81~83, 106~109
175	SA5	42.50	120.0	39.86	2.64	0.99	2,640	120.0	-77.50*	80.14	FOB	절리대 40~42, clinker 78~80, 111~114
176	HO1	41.71	120.0	40.75	0.96	0.15	3,015	120.0	-78.29*	79.25	FOB	clinker 41~45, 55~58, 75~77, 99~105, 117~120
											자갈층	45~47.5
177	HO2	41.80	120.0	40.86	0.94	-0.21	2,924	120.0	-78.20*	79.14	FOB	clinker 39~44, 46~48, 110~114
											자갈층	44~46
178	HO3	40.83	120.0	39.33	1.50	0.07	3,044	120.0	-79.17*	80.67	FOB	clinker 43~51
											자갈층	72~74
179	HO4	40.97	120.0	39.95	1.02	0.06	2,943	120.0	-79.03*	80.05	FOB	절리대 40~52, clinker 52~54, 59~61
180	HO5	41.17	120.0	40.61	0.56	-1.31	3,325	120.0	-78.83*	79.39	자갈층	42~49, 49~51
											FOB	clinker 51~54, 57~60
181	HA1	69.65	100.0	68.12	1.53	1.36	2,927	100.0	-30.35*	31.88	FOB	절리대 66~68, clinker 76~79
182	HA2	69.41	100.0	67.46	1.95	1.63	2,887	100.0	-30.59*	32.54	FOB	clinker 74~79.5
183	HA3	70.83	100.0	68.50	2.33	2.15	2,832	100.0	-29.17*	31.50	FOB	절리대 61~63, clinker 70~72
184	HA4	70.12	100.0	67.48	2.64	2.60	2,228	100.0	-29.88*	32.52	FOB	clinker 76~81, 87~90, 98~100
185	HA5	70.85	100.0	68.99	1.86	1.89	2,518	100.0	-29.15*	31.01	FOB	절리대 70~74, clinker 80~85

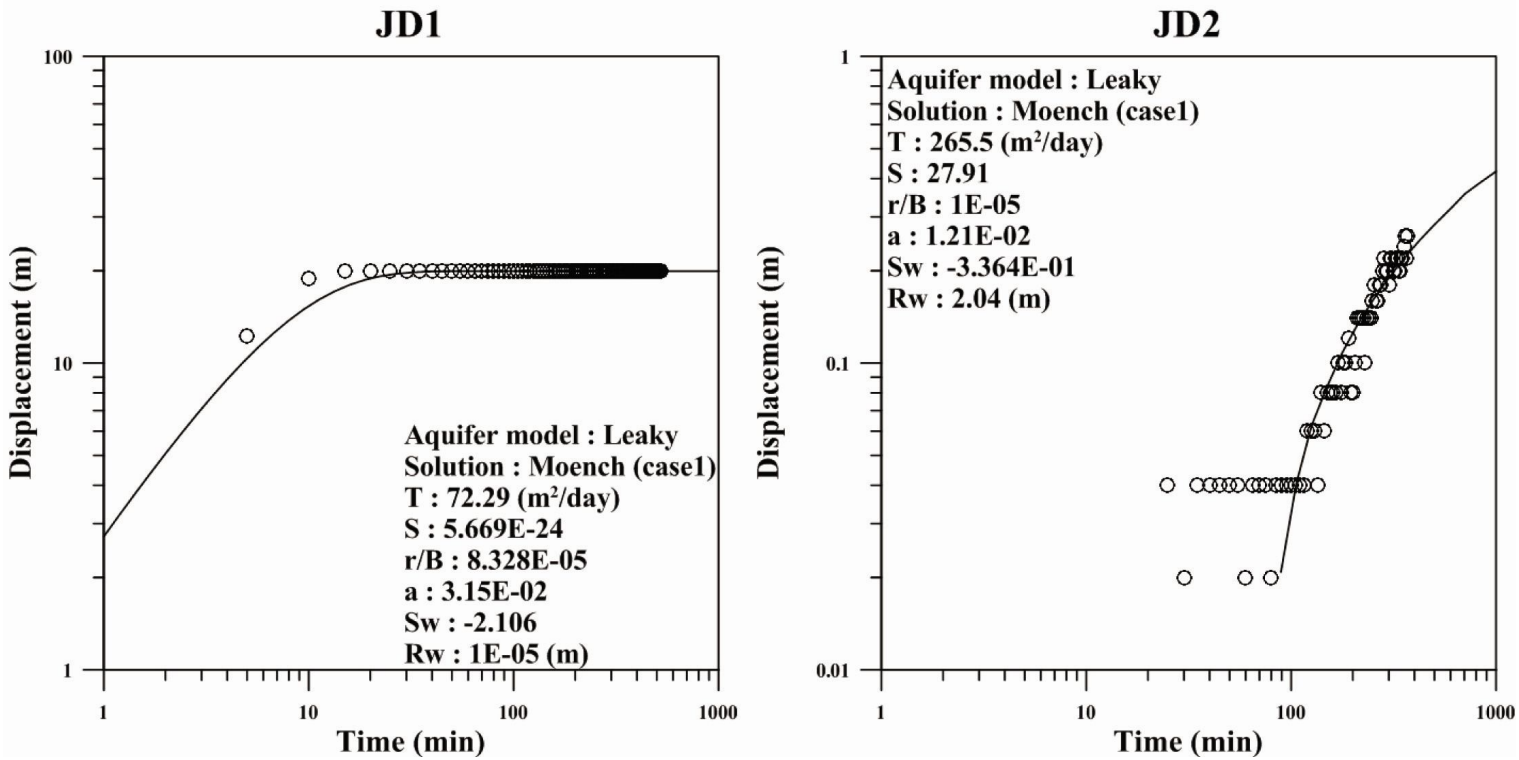
NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
186	HA6	68.95	100.0	66.98	1.97	1.91	2,864	100.0	-31.05*	33.02	FOB	절리대 62~64, clinker 73~79
187	SU1	82.26	110.0	80.38	1.88	1.78	2,626	110.0	-27.74*	29.62	FOB	절리대 81~83, clinker 88~90.5
188	SU2	81.62	110.0	79.57	2.05	2.01	2,236	110.0	-28.38*	30.43	FOB	절리대 80~82, clinker 92~97
189	SU3	80.68	110.0	77.96	2.72	2.52	2,220	110.0	-29.32*	32.04	FOB	clinker 79~82, 91~94
190	SU4	79.18	110.0	75.91	3.27	2.57	2,020	110.0	-30.82*	34.09	FOB	clinker 74~79, 90~91.5, 100~104
191	SU5	80.70	110.0	78.35	2.35	2.29	2,250	110.0	-29.30*	31.65	FOB	절리부 80~83, 90~94
192	SU6	80.25	110.0	77.50	2.75	2.60	2,226	110.0	-29.75*	32.50	FOB	clinker 79~82, 90~92
193	YD1	38.2	170.0	35.60	2.60	0.66	1,223	101.0	-62.80	65.40	AFOB	clinker 41~43, 절리대 53~55, 60~62.5, 유리질쇄설암 65~66, 68~73, 74~80
194	YD2	161.9	300.0	118.30	43.60	43.20	970	210.0	-48.10	91.70	FAB	clinker 139~143
											Tuff	gravel 154~158, 165~175, sand 202.5~210
195	NH	271.17	400.0	182.00	89.17	69.37	900	226.0	45.17	44.00	FAB	절리대 187.5~192, 218~223, clinker 193~198
196	ES	615.15	550.0	326.00	289.15	253.15	915	452.0	163.15	126.00	TA	clinker 329~332, 절리대 352.6~356 스코리아 364~372.4, 389~396, 421~430.5

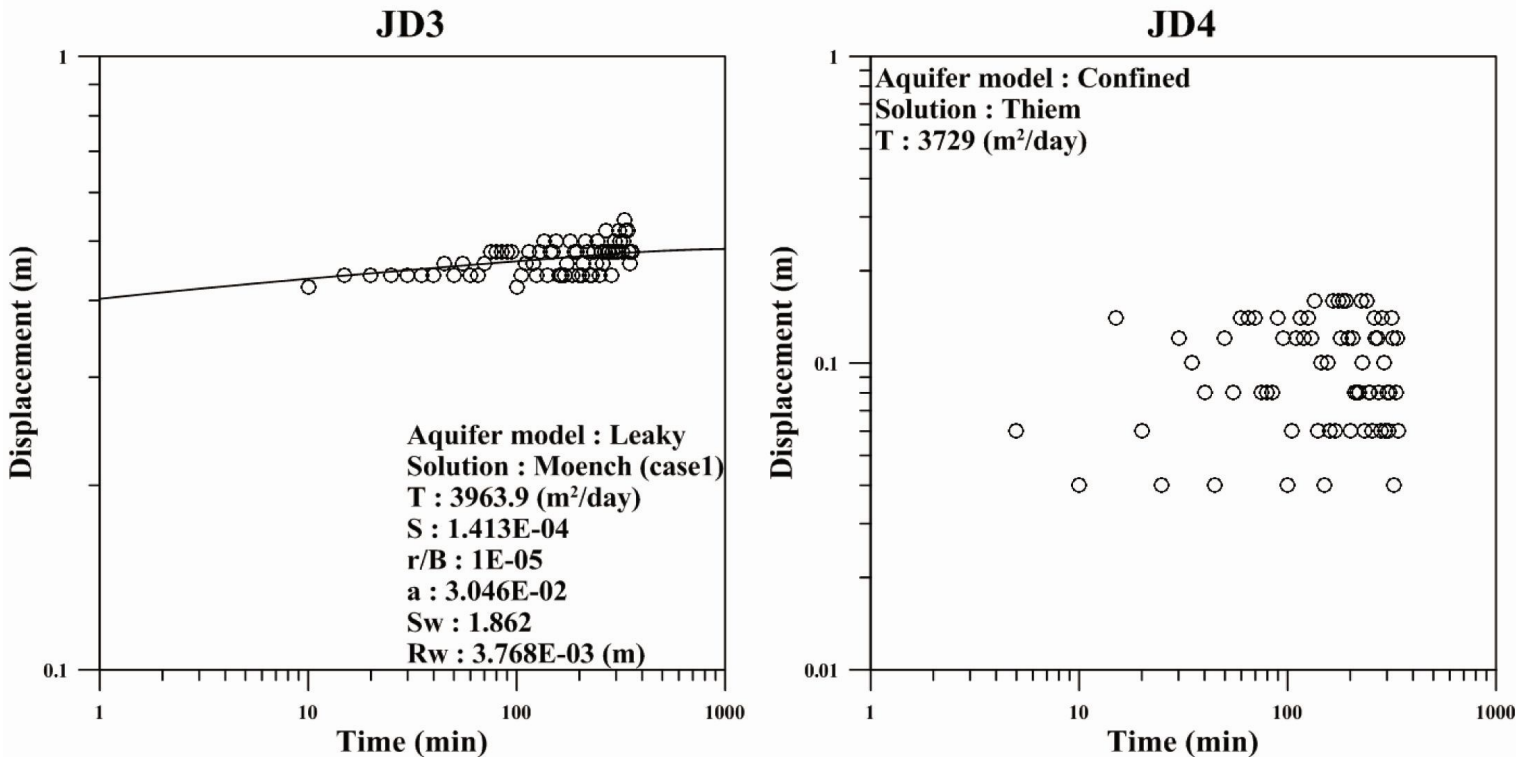
NO.	공번	표고 (EL.m)	심도 (m)	자연수위		안정수위 (a.m.s.l,m)	양수량 (㎥/day)	저투수층 출현심도		포화대 두께(m)	주대수층 구간	
				DTW,m	a.m.s.l,m			GL,m	EL,m		암석명	분포심도(GL,m)
197	SYA1	10.20	130.0	6.50	3.70	2.11	1,267	90.0	-79.80	83.50	AFOB	절리대 6.5~9.5, 12~19, 22.5~25.5, clinker 45~48, 60.5~64, 85~86.5
											FAB	clinker 25.5~29
198	SYA2	75.10	130.0	59.70	15.40	15.95	1,252	132.0	-56.90	72.30	AFOB	clinker 60~64, 67~69.5, 70~72, 80~86, 91~96, 98~105, 115~118
											APB	clinker 123.5~128
199	HT1	21.10	150.0	18.50	2.60	-34.67	1,310	113.0	-91.90	94.50	APB	절리대 29~31, 34~37.5
											AFOB	clinker 37.5~39, 유리질쇄설암 54~99
200	HT2	17.00	150.0	12.50	4.50	-	1,300	95.0	-78.00	82.50	AFOB	clinker 13~17, 54~55, 절리대 55~84
											AOB	clinker 84~86
201	F-165	140.00	168.0	134.00	6.00	0.00	800	151.0	-11.00	17.00	FOB	절리대 144~147
											화산쇄설층	147~151
202	F-267	333.00	340.0	230.00	103.00	52.00	900	340.0	-7.00*	110.00	화산쇄설층	230~245
203	F-264	442.00	330.0	282.00	160.00	137.00	500	330.0	112.00*	48.00	화산쇄설층	280~283, 301~305, 316~327

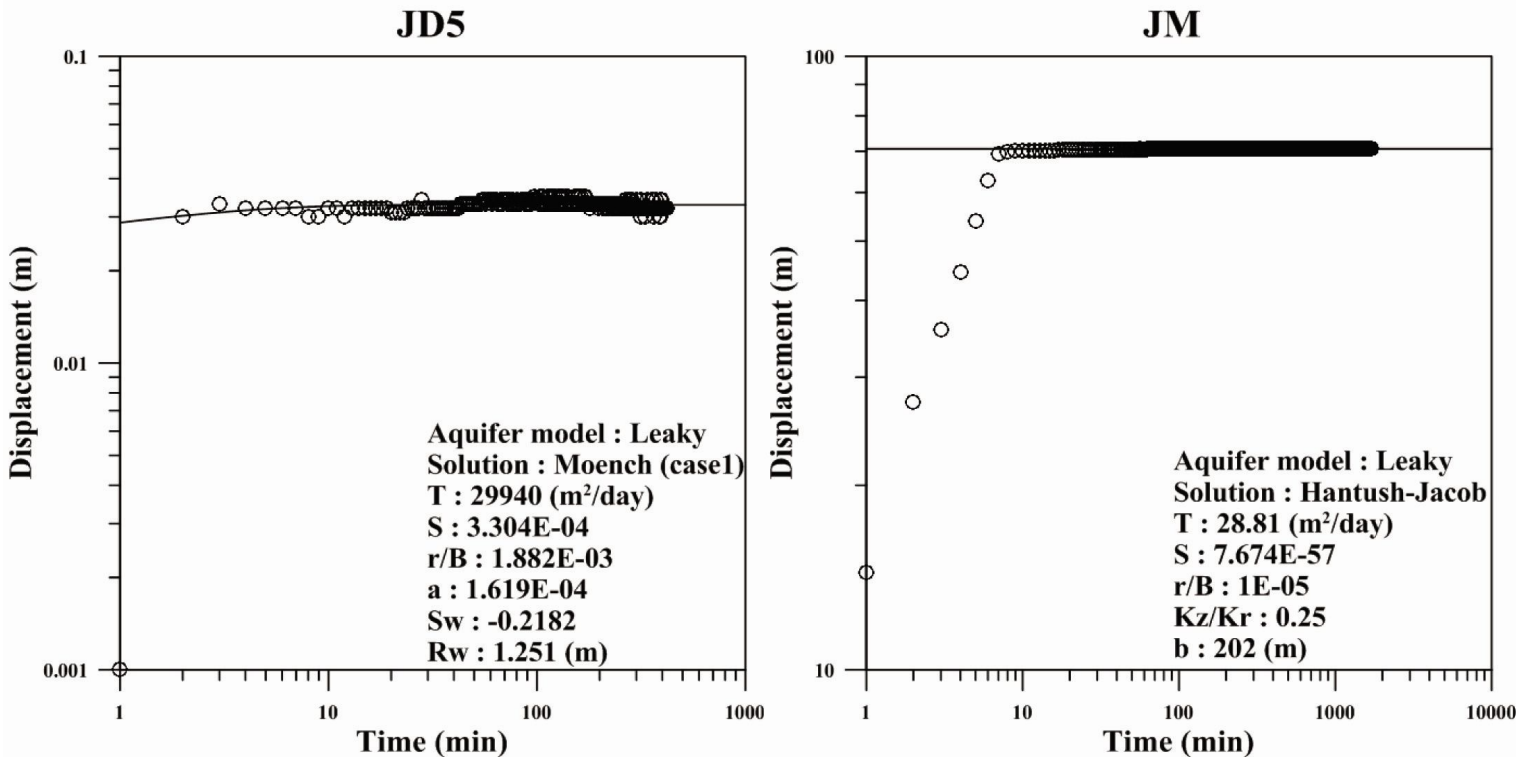
부록 2. 양수시험 분석 그래프

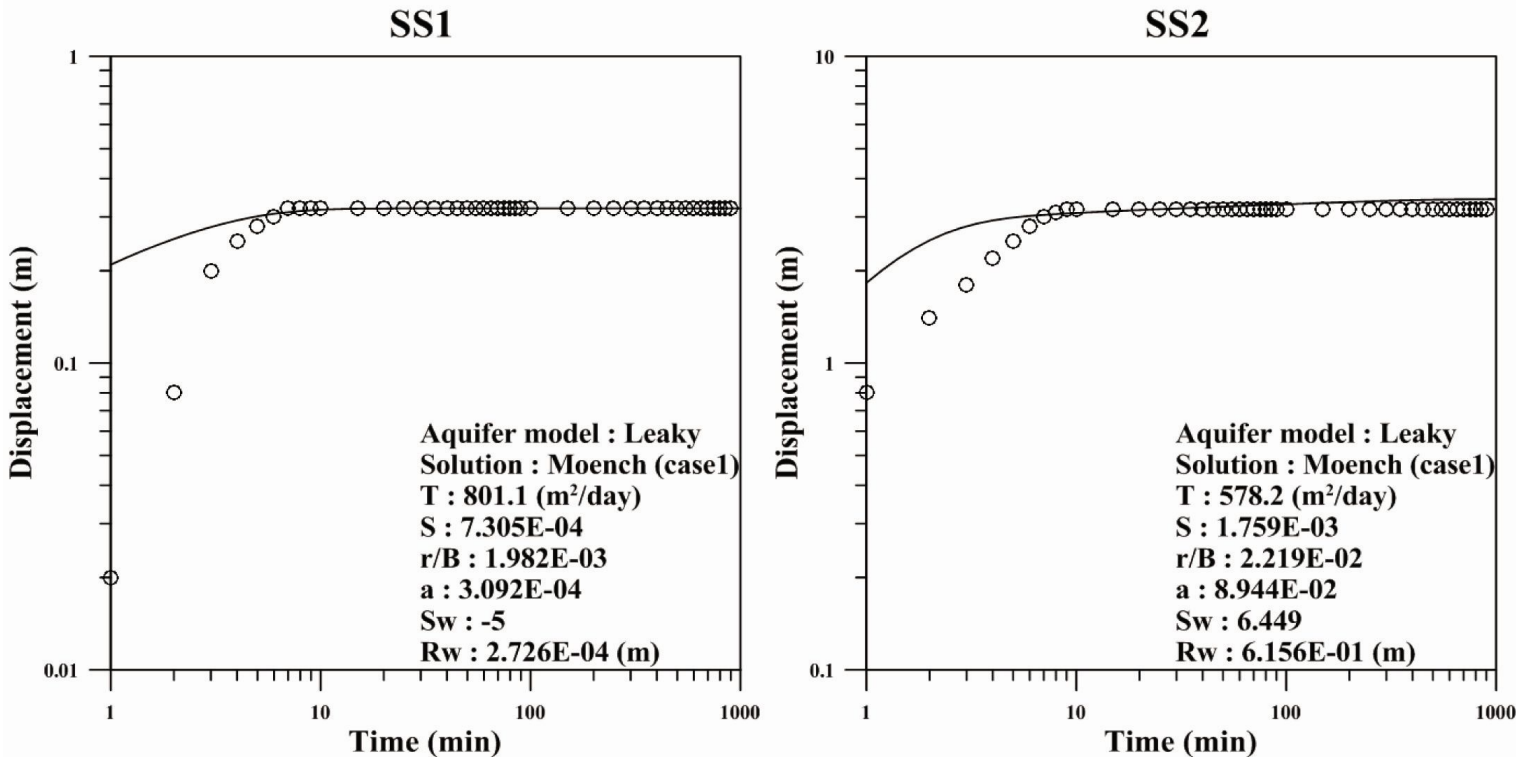

HD1
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 132.3 (m²/day)
S : 6.22E-41
r/B : 2.175E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 109.2 (m)
Displacement (m)
Time (min)
100
10
1
10
100
1000
HD2
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 21.41 (m²/day)
S : 1.067E-10
r/B : 1.434E-01
a : 8.798
Sw : -1.487
Rw : 8.803 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000

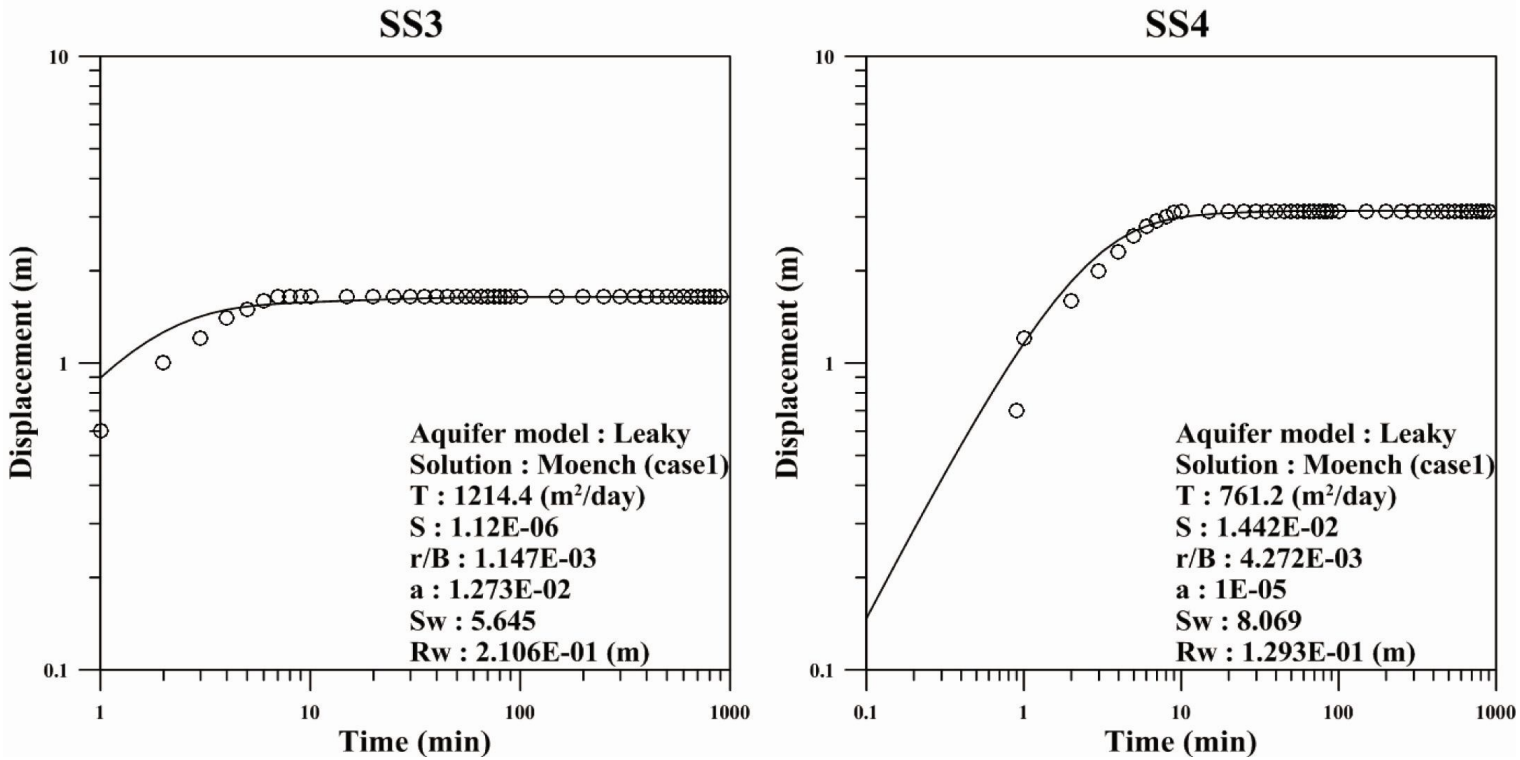

HD3
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 46.55 (m²/day)
S : 9.554E-10
r/B : 1.548E-03
a : 2.368E-04
Sw : -5
Rw : 10 (m)
HD4
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 719.4 (m²/day)
S : 1.468E-10
r/B : 3.62E-05
a : 2.824E-04
Sw : -1.626
Rw : 1.428 (m)

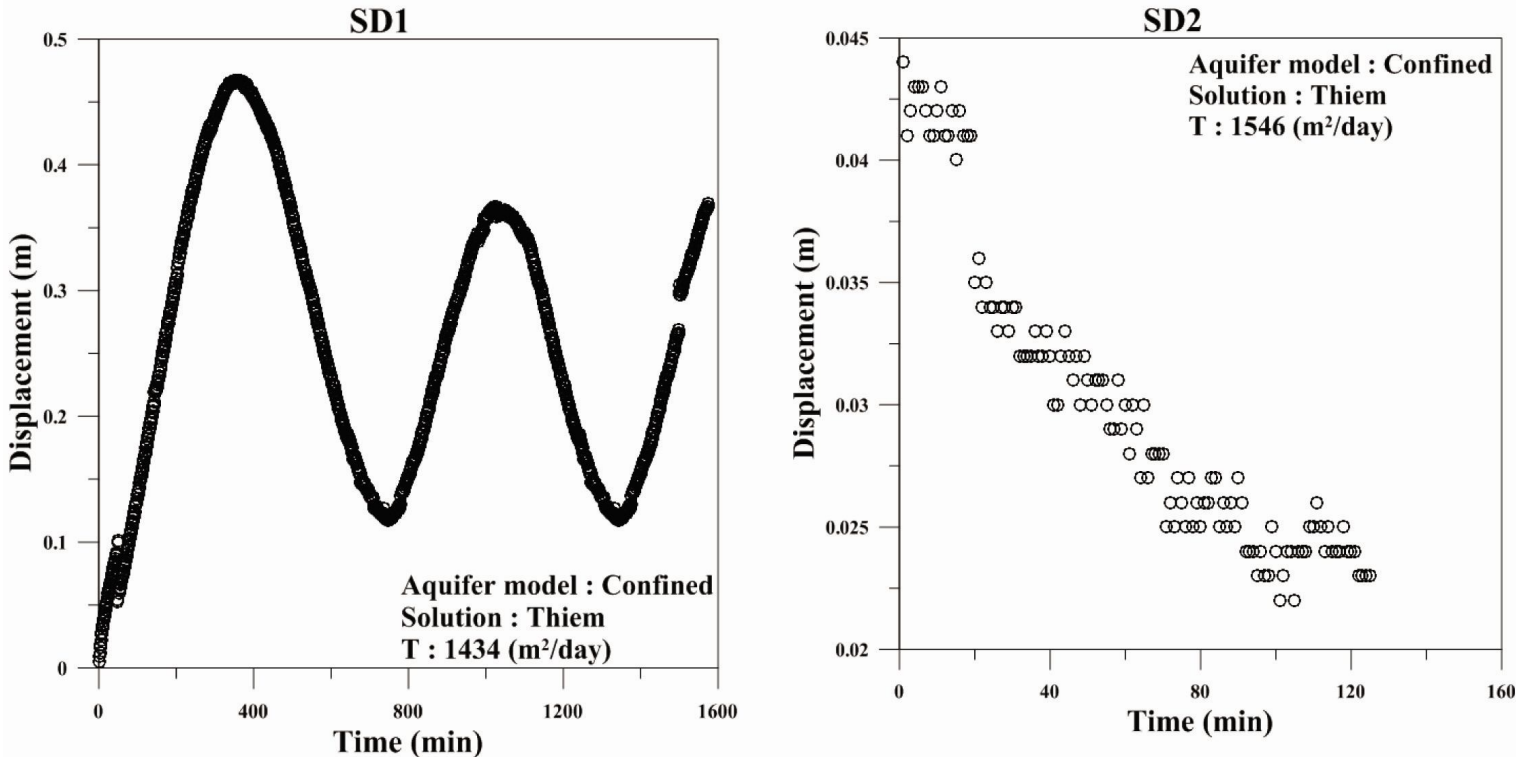

JD1
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 72.29 (m²/day)
S : 5.669E-24
r/B : 8.328E-05
a : 3.15E-02
Sw : -2.106
Rw : 1E-05 (m)
JD2
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 265.5 (m²/day)
S : 27.91
r/B : 1E-05
a : 1.21E-02
Sw : -3.364E-01
Rw : 2.04 (m)

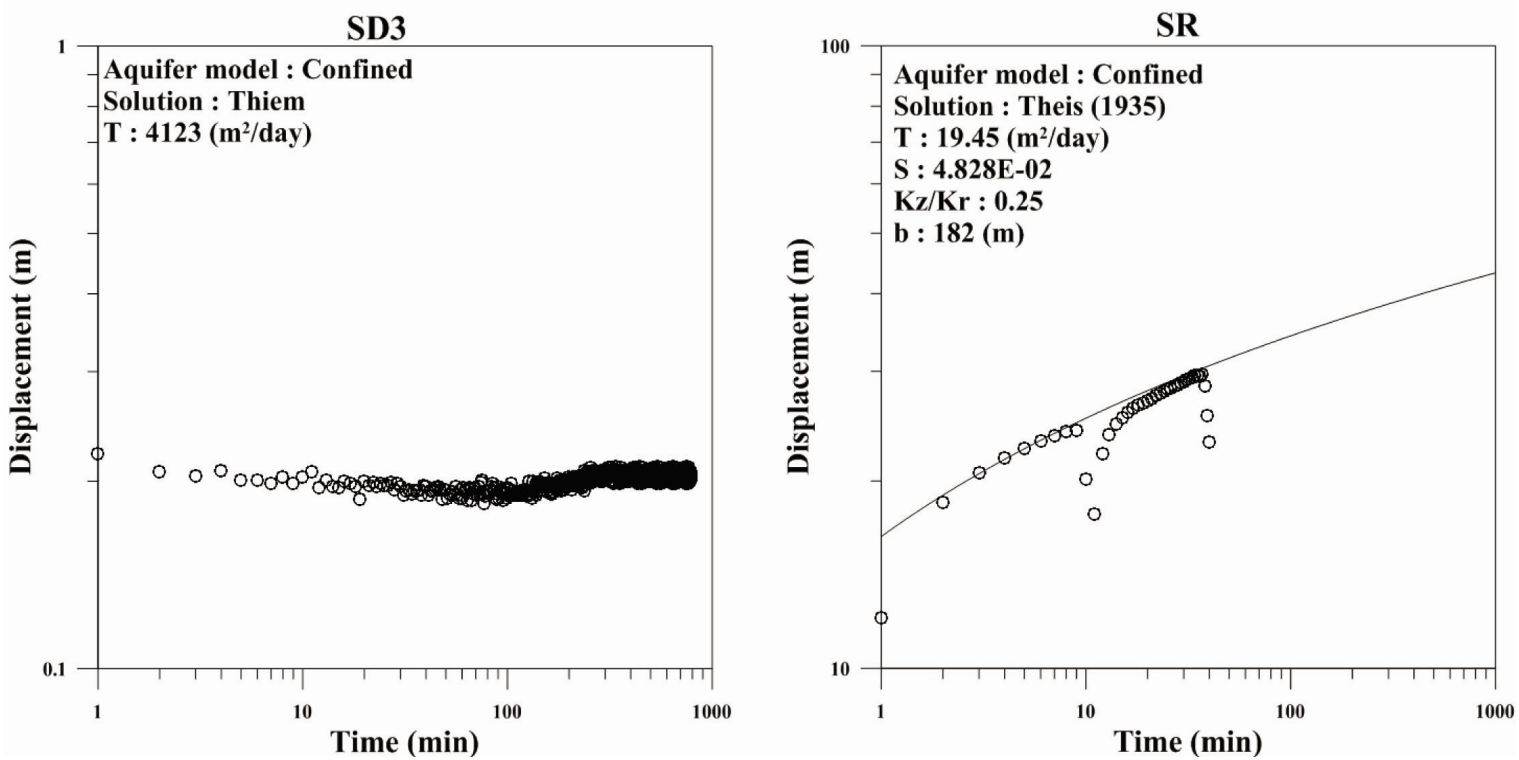

JD3
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 3963.9 (m²/day)
S : 1.413E-04
r/B : 1E-05
a : 3.046E-02
Sw : 1.862
Rw : 3.768E-03 (m)
JD4
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3729 (m²/day)

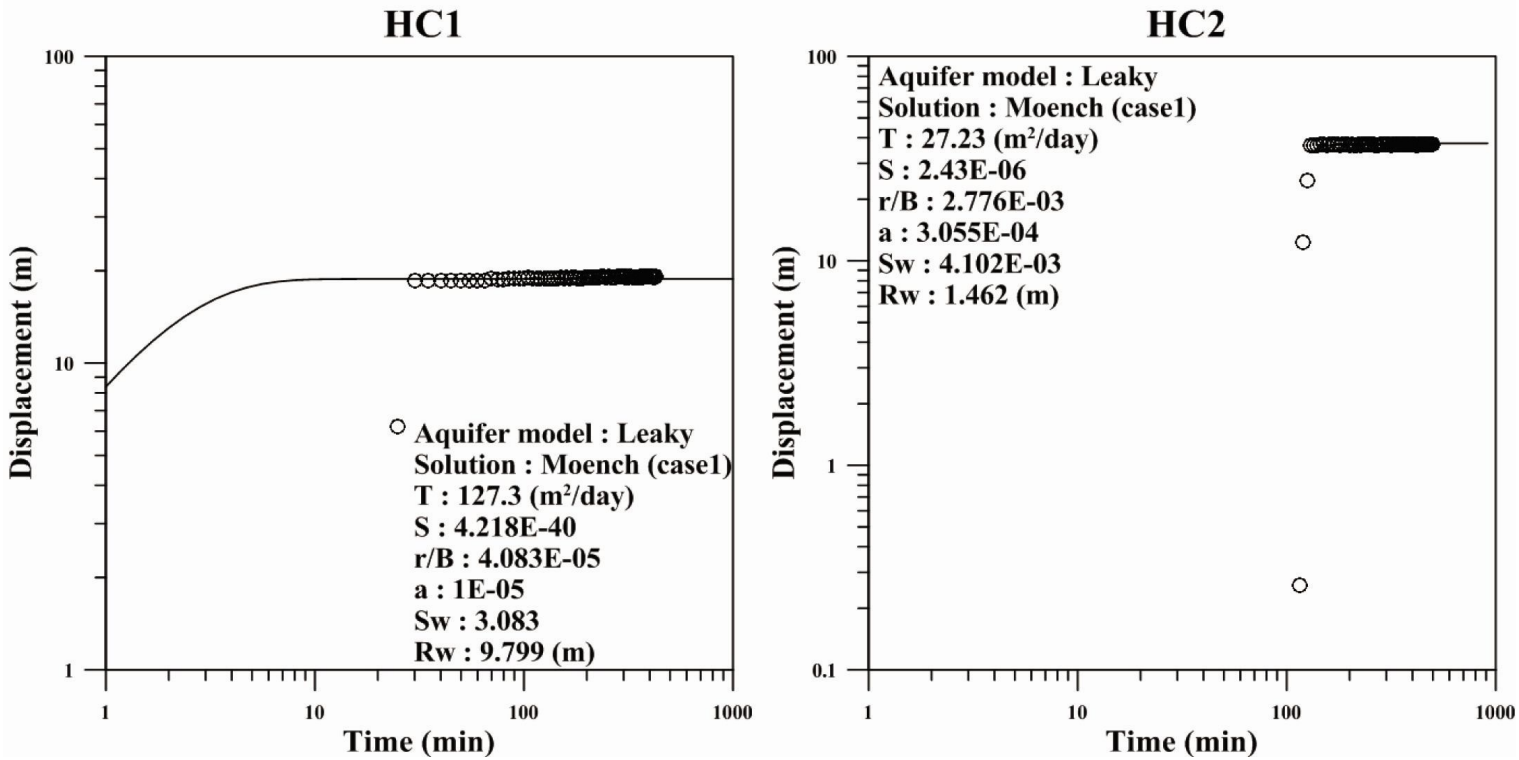

JD5
Displacement (m)
0.1
0.01
0.001
1
10
100
1000
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 29940 (m²/day)
S : 3.304E-04
r/B : 1.882E-03
a : 1.619E-04
Sw : -0.2182
Rw : 1.251 (m)
JM
Displacement (m)
100
10
1
10
100
1000
10000
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 28.81 (m²/day)
S : 7.674E-57
r/B : 1E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 202 (m)

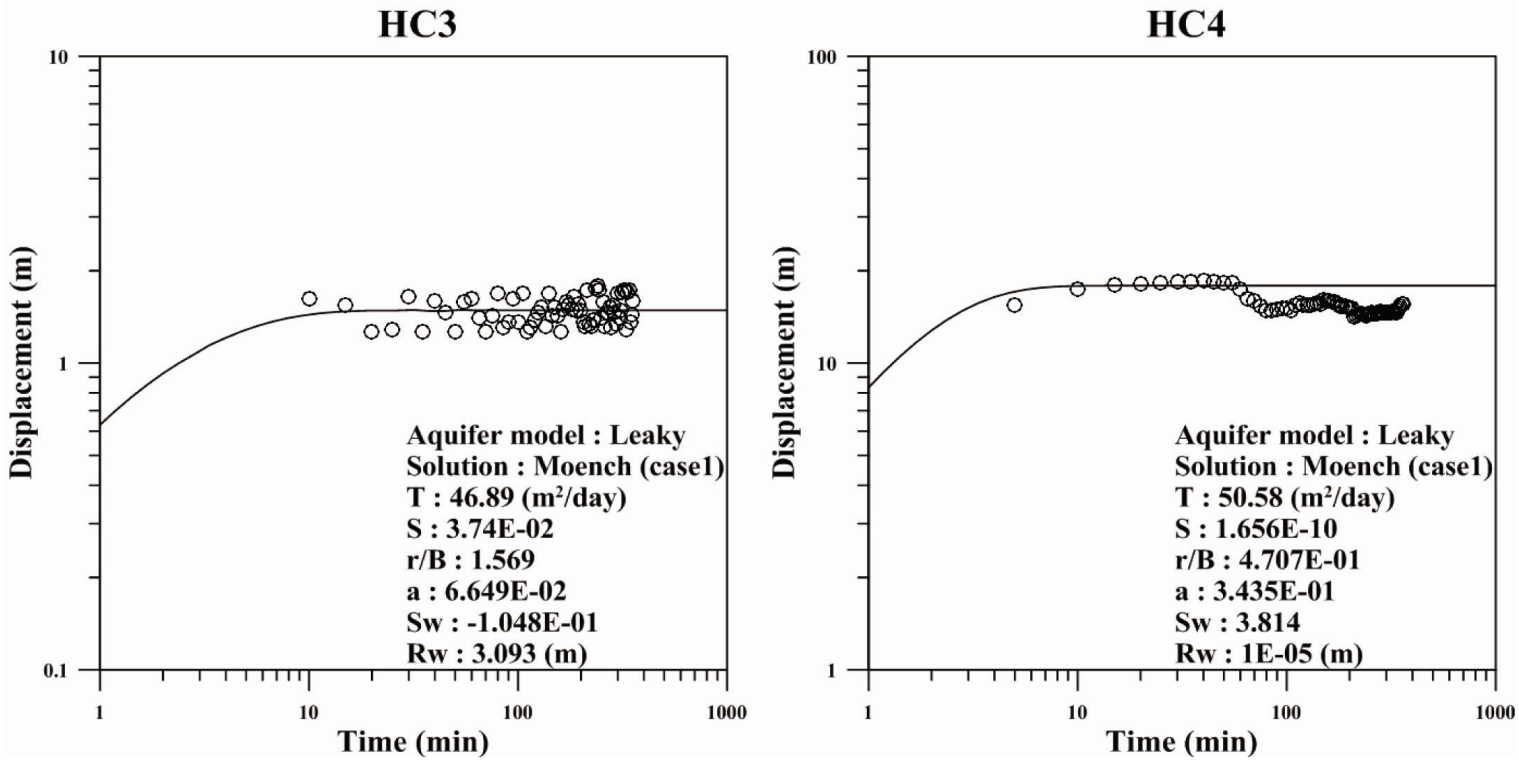

SS1
Displacement (m)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 801.1 (m²/day)
S : 7.305E-04
r/B : 1.982E-03
a : 3.092E-04
Sw : -5
Rw : 2.726E-04 (m)
SS2
Displacement (m)
10
1
0.1
1
10
100
1000
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 578.2 (m²/day)
S : 1.759E-03
r/B : 2.219E-02
a : 8.944E-02
Sw : 6.449
Rw : 6.156E-01 (m)

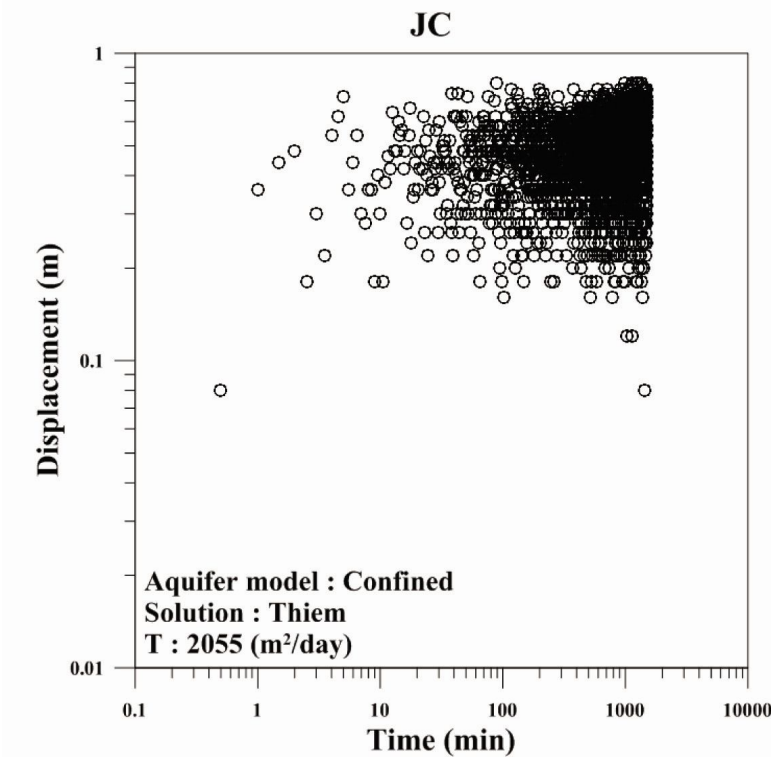

SS3
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1214.4 (m²/day)
S : 1.12E-06
r/B : 1.147E-03
a : 1.273E-02
Sw : 5.645
Rw : 2.106E-01 (m)
SS4
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 761.2 (m²/day)
S : 1.442E-02
r/B : 4.272E-03
a : 1E-05
Sw : 8.069
Rw : 1.293E-01 (m)

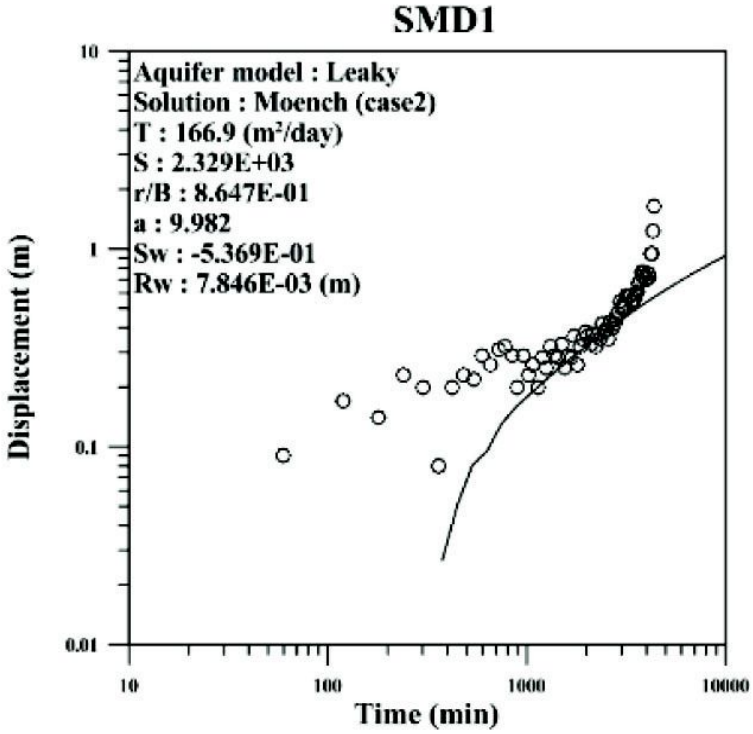

SD1
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1434 (m²/day)
SD2
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1546 (m²/day)

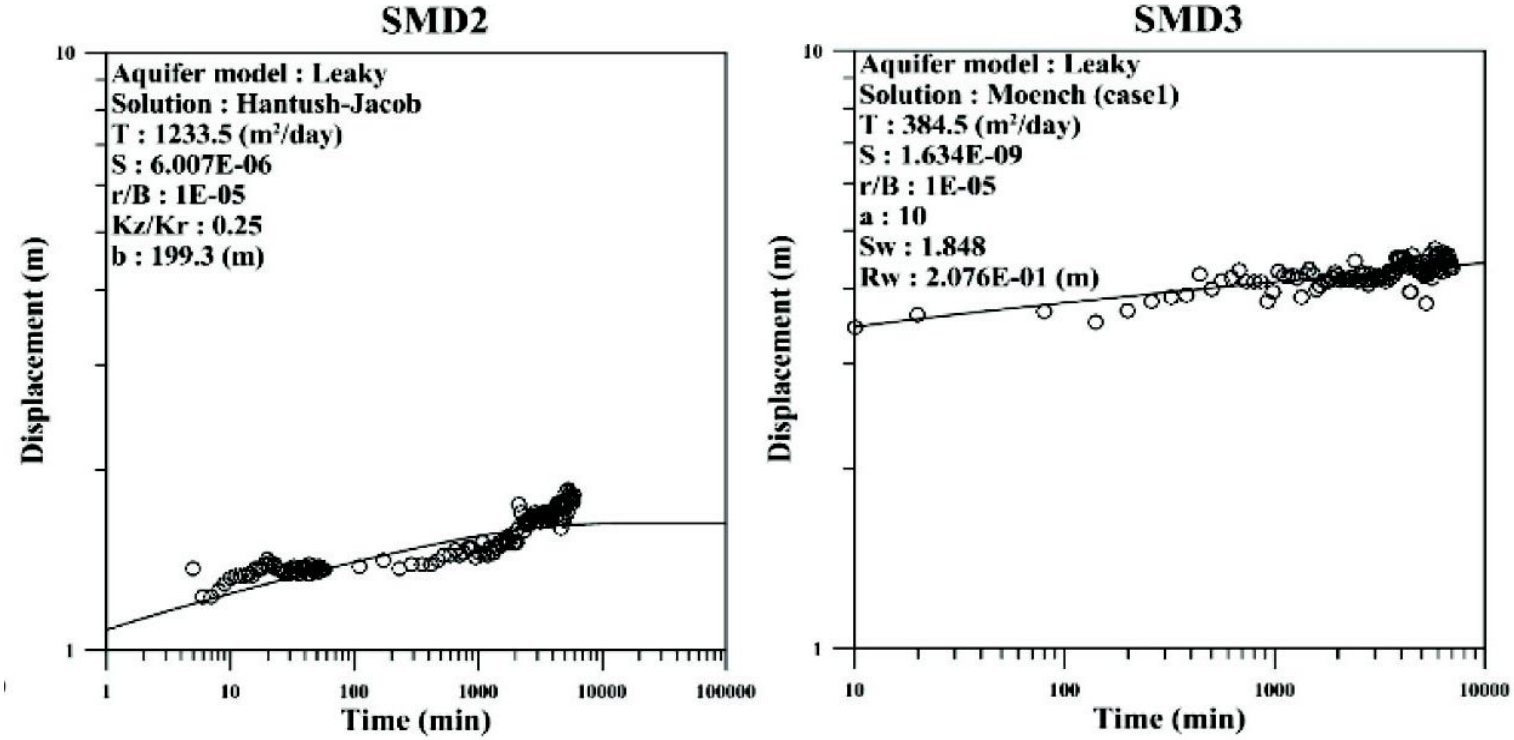

SD3
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 4123 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
1
10
100
1000
SR
Aquifer model : Confined
Solution : Theis (1935)
T : 19.45 (m²/day)
S : 4.828E-02
Kz/Kr : 0.25
b : 182 (m)
Displacement (m)
Time (min)
100
10
1
10
100
1000

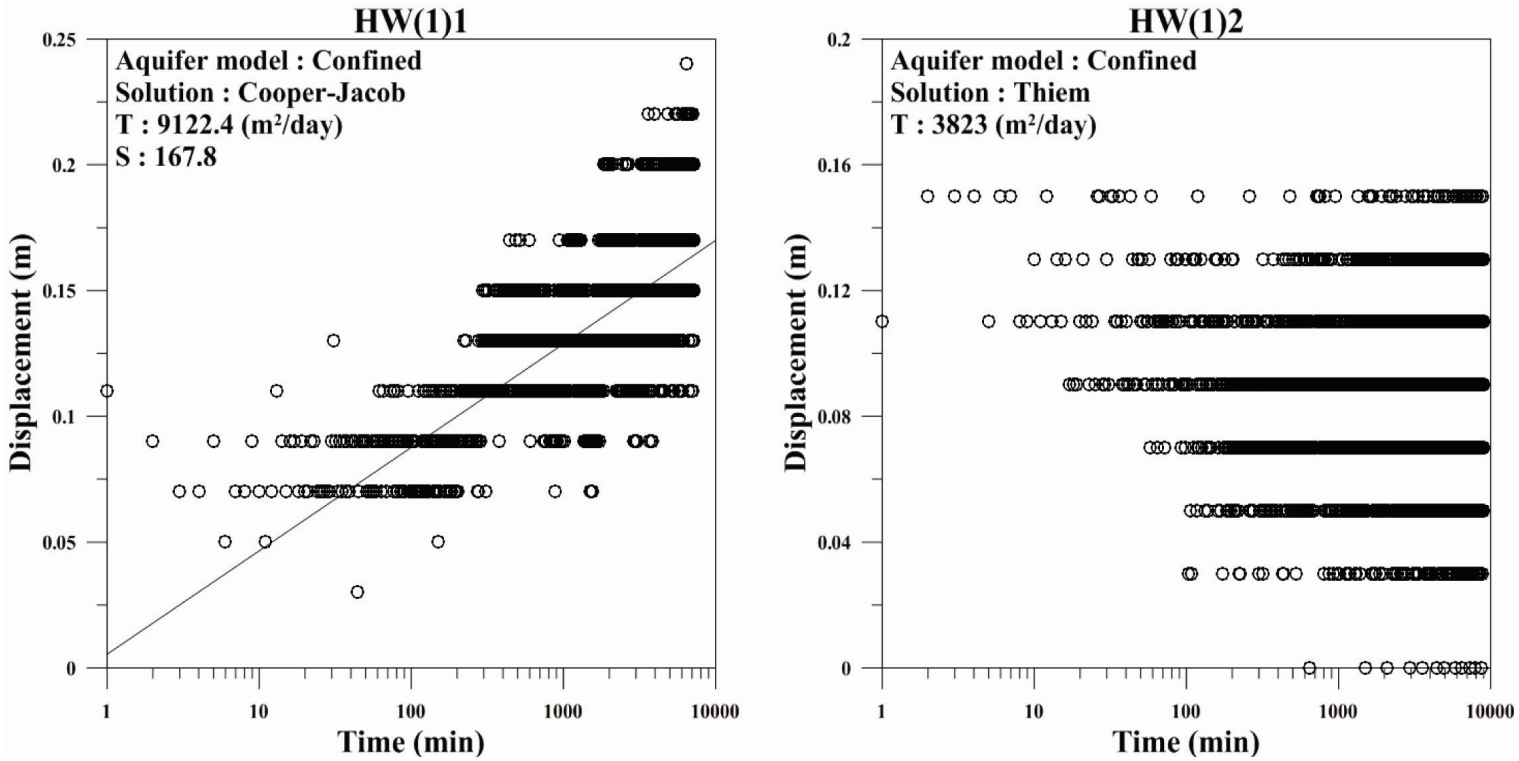

HC1
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 127.3 (m²/day)
S : 4.218E-40
r/B : 4.083E-05
a : 1E-05
Sw : 3.083
Rw : 9.799 (m)
HC2
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 27.23 (m²/day)
S : 2.43E-06
r/B : 2.776E-03
a : 3.055E-04
Sw : 4.102E-03
Rw : 1.462 (m)

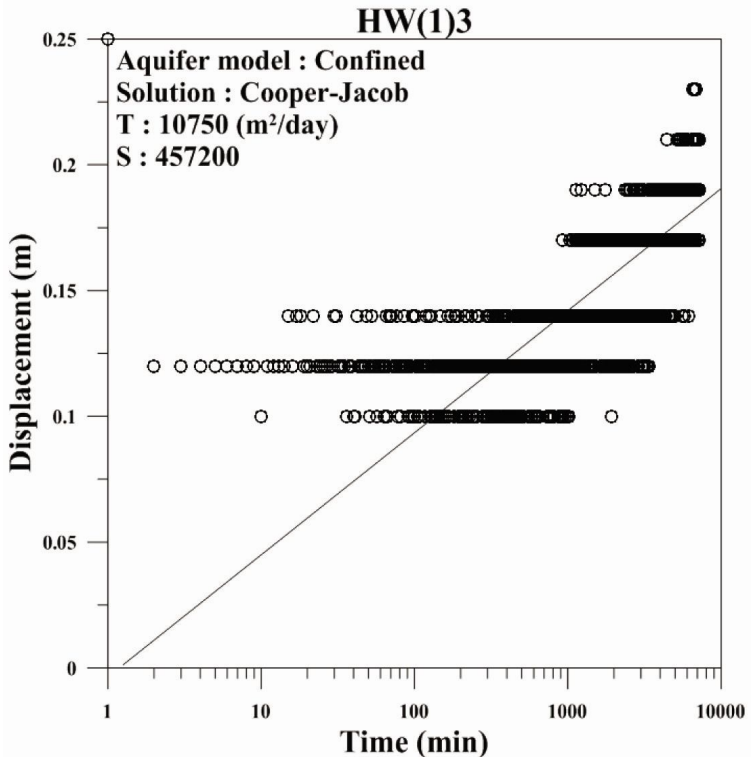

HC3
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 46.89 (m²/day)
S : 3.74E-02
r/B : 1.569
a : 6.649E-02
Sw : -1.048E-01
Rw : 3.093 (m)
HC4
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 50.58 (m²/day)
S : 1.656E-10
r/B : 4.707E-01
a : 3.435E-01
Sw : 3.814
Rw : 1E-05 (m)

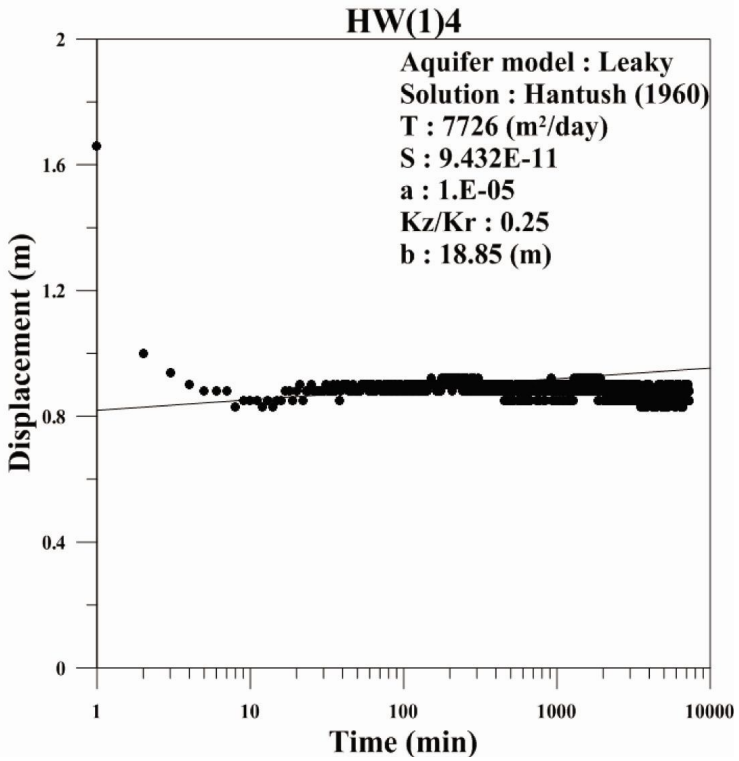

JC
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 2055 (m²/day)

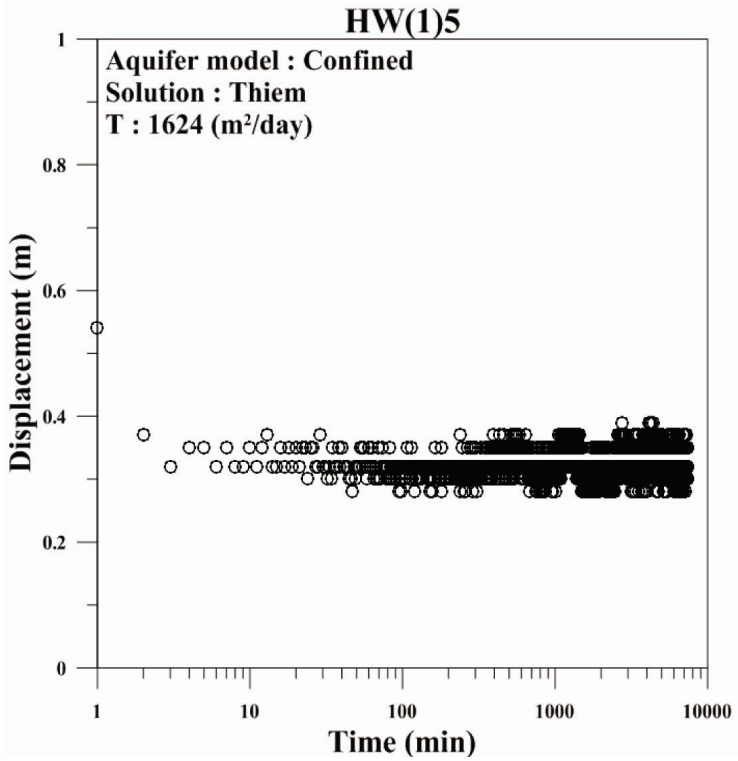

SMD1
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case2)
T : 166.9 (m²/day)
S : 2.329E+03
r/B : 8.647E-01
a : 9.982
Sw : -5.369E-01
Rw : 7.846E-03 (m)

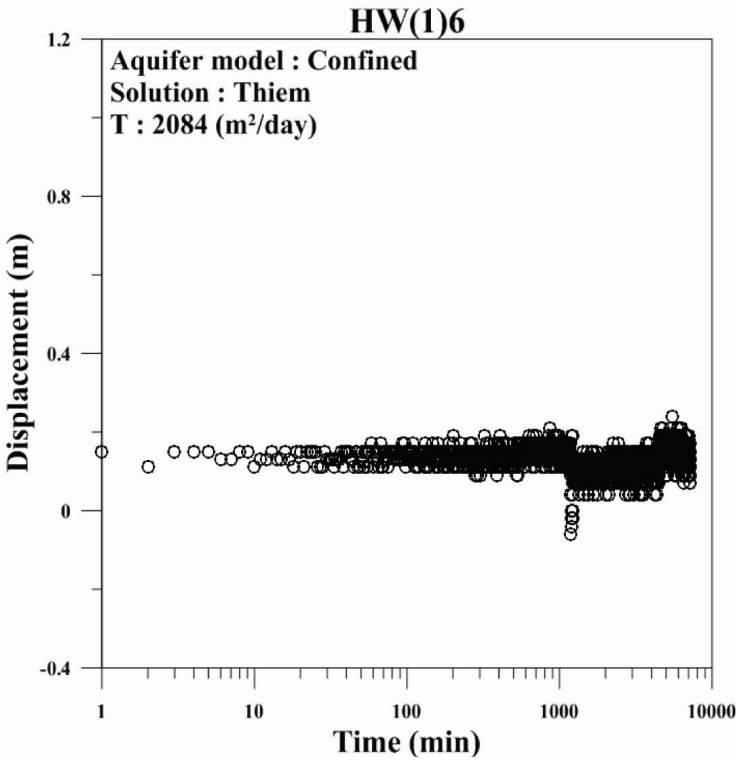

SMD2
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 1233.5 (m²/day)
S : 6.007E-06
r/B : 1E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 199.3 (m)
Displacement (m)
Time (min)
SMD3
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 384.5 (m²/day)
S : 1.634E-09
r/B : 1E-05
a : 10
Sw : 1.848
Rw : 2.076E-01 (m)
Displacement (m)
Time (min)

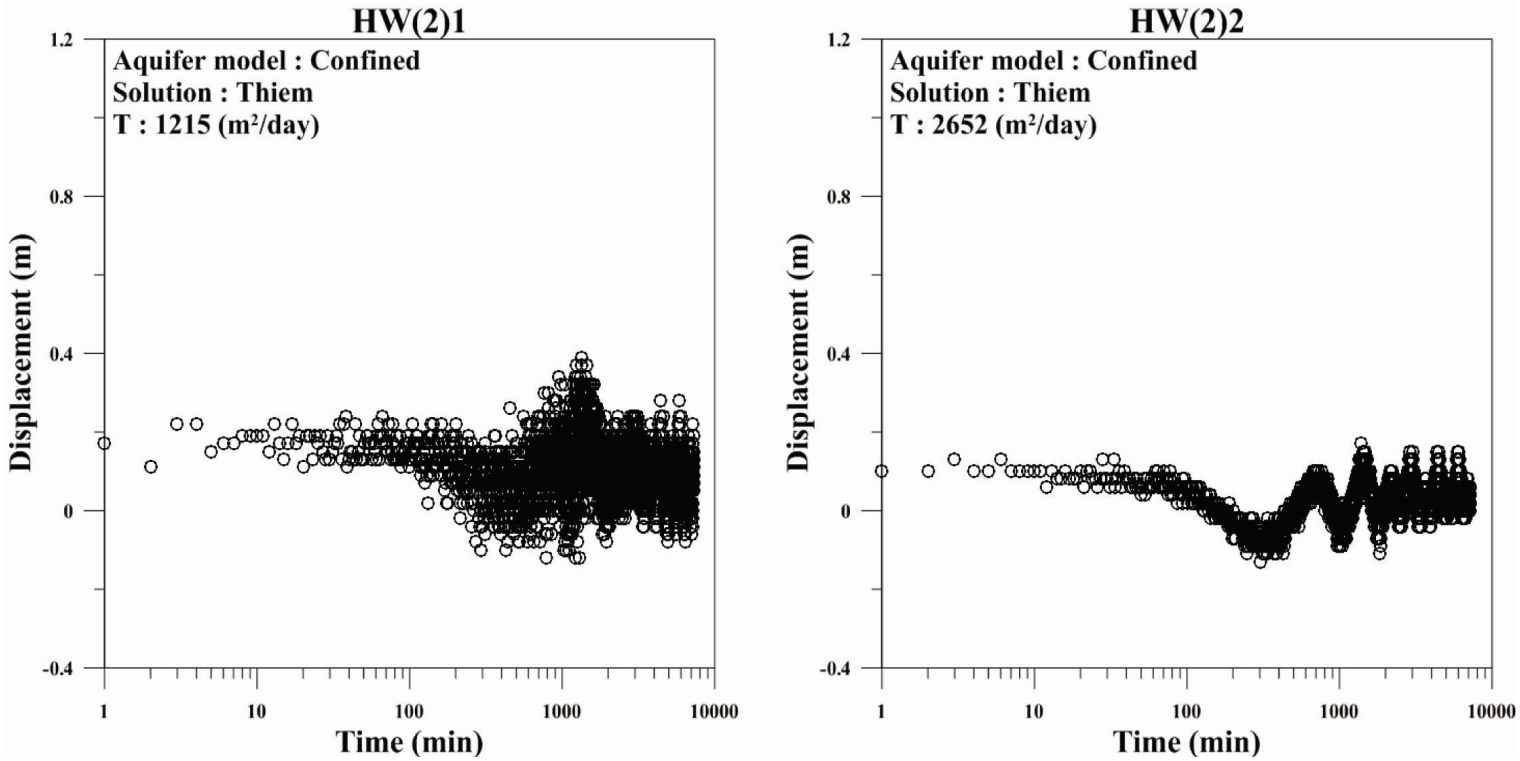

HW(1)1
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 9122.4 (m²/day)
S : 167.8
Displacement (m)
Time (min)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
1
10
100
1000
10000
HW(1)2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3823 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
0.2
0.16
0.12
0.08
0.04
0
1
10
100
1000
10000

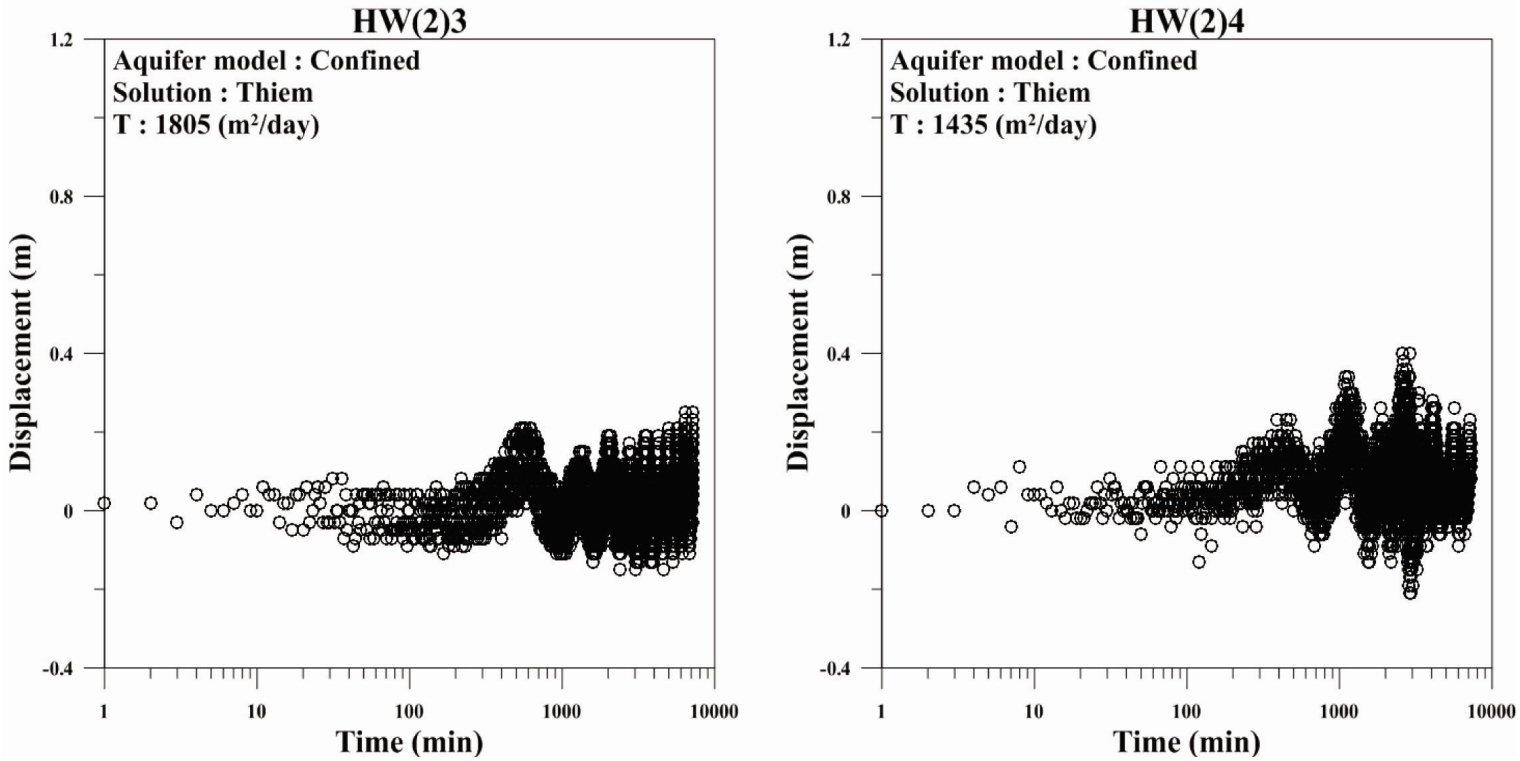

HW(1)3
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 10750 (m²/day)
S : 457200
Displacement (m)
Time (min)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
1
10
100
1000
10000

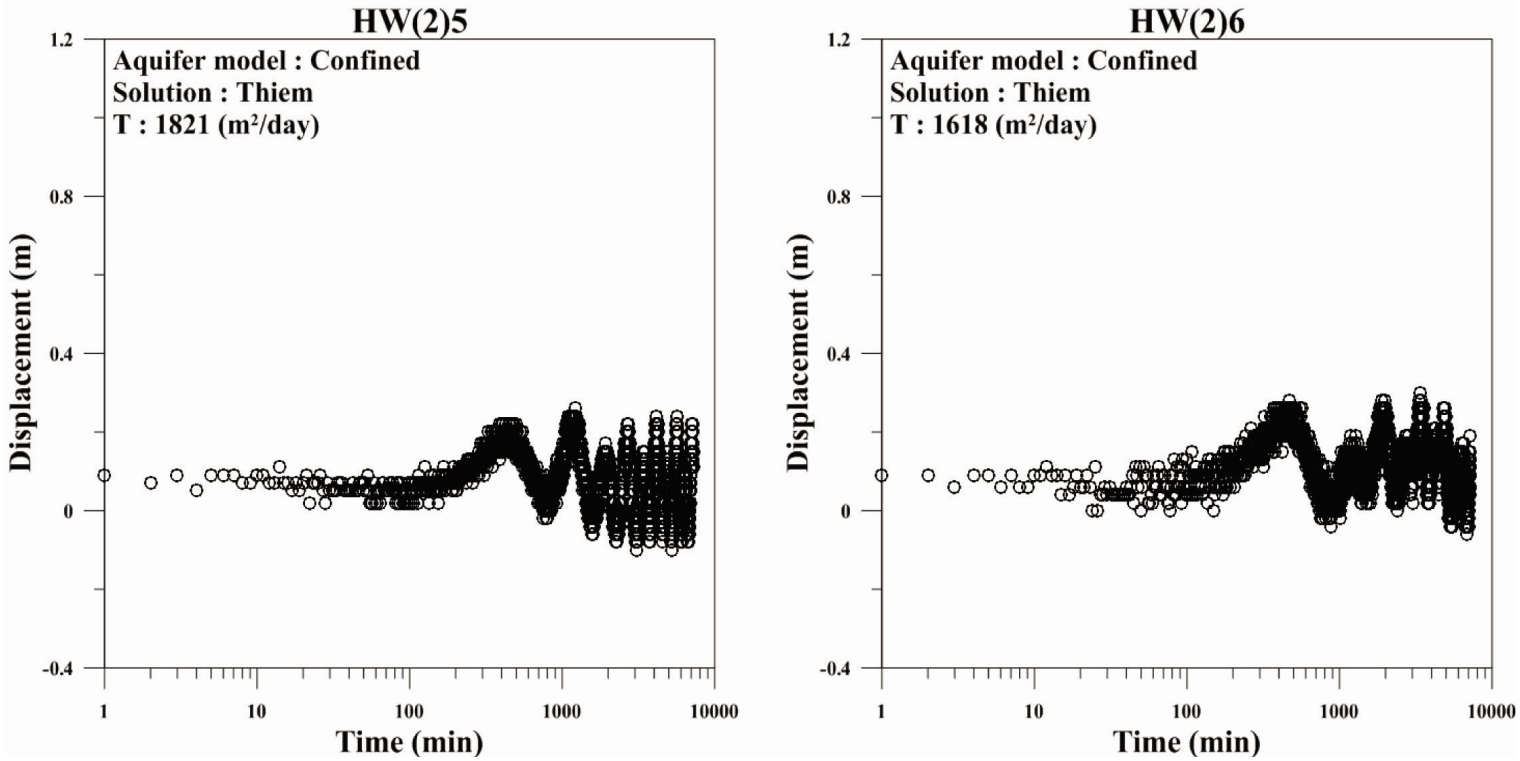

HW(1)4
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 7726 (m²/day)
S : 9.432E-11
a : 1.E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 18.85 (m)
Displacement (m)
Time (min)
2
1.6
1.2
0.8
0.4
0
1
10
100
1000
10000

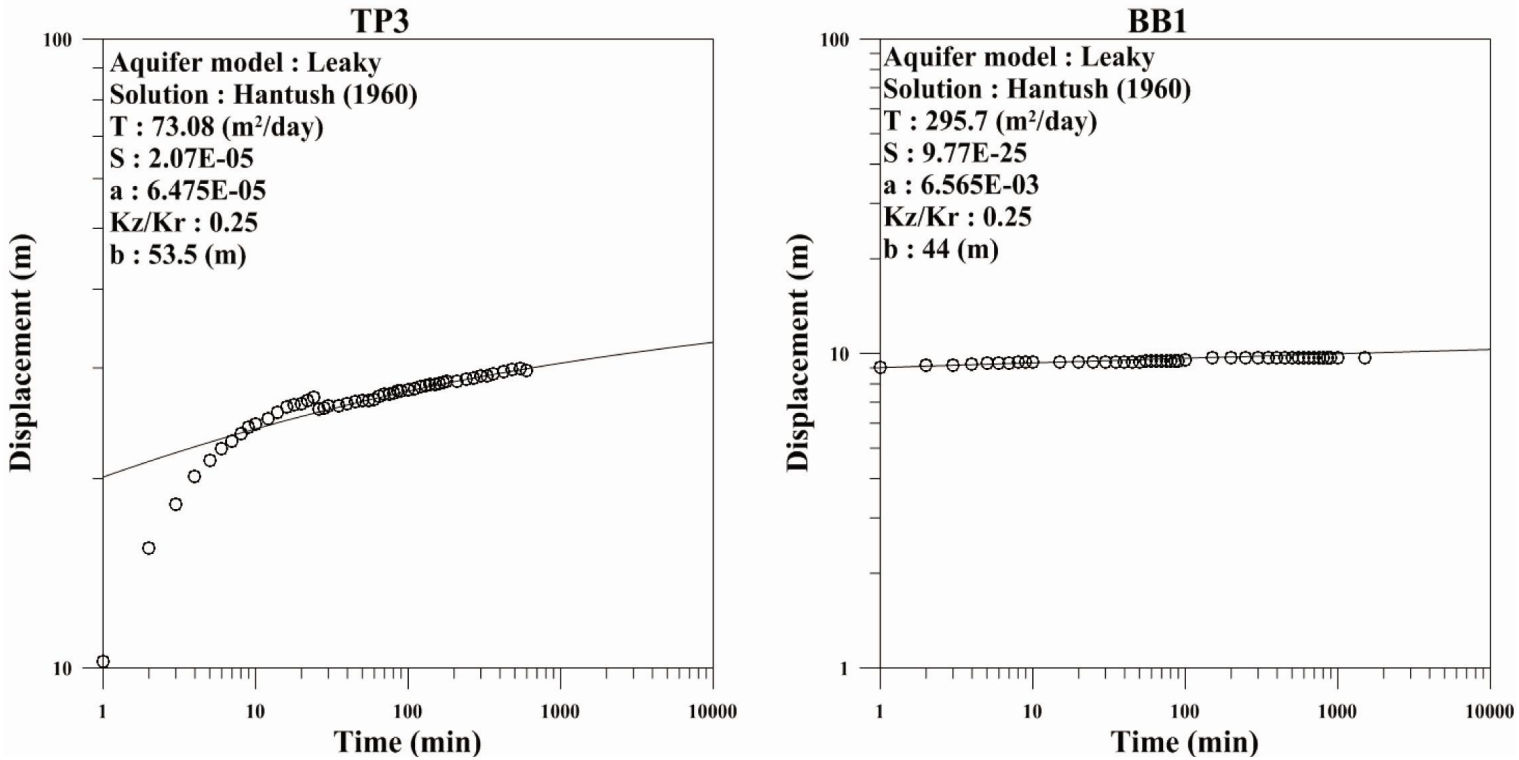

HW(1)5
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1624 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1
10
100
1000
10000

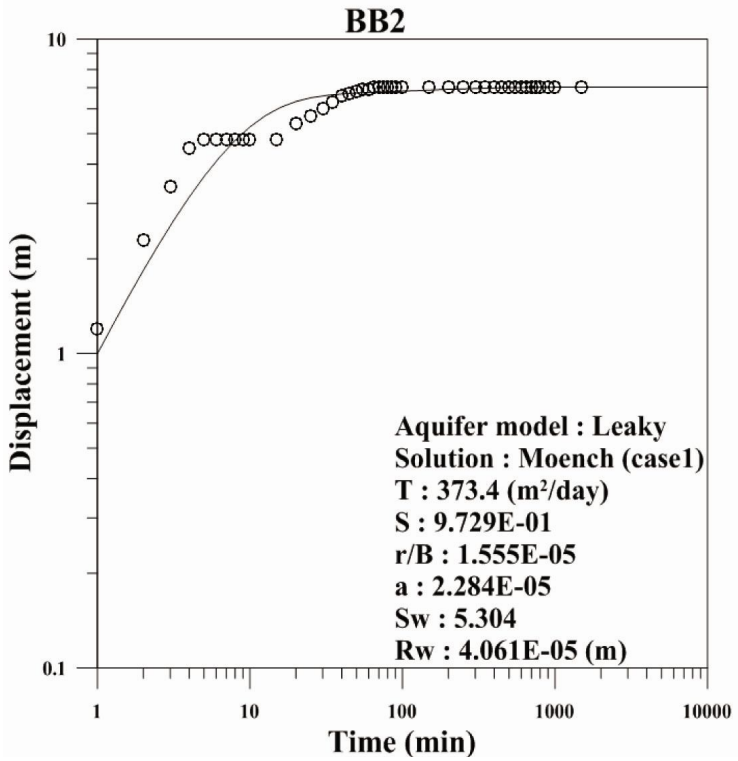

HW(1)6
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 2084 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
1.2
0.8
0.4
0
-0.4
1
10
100
1000
10000

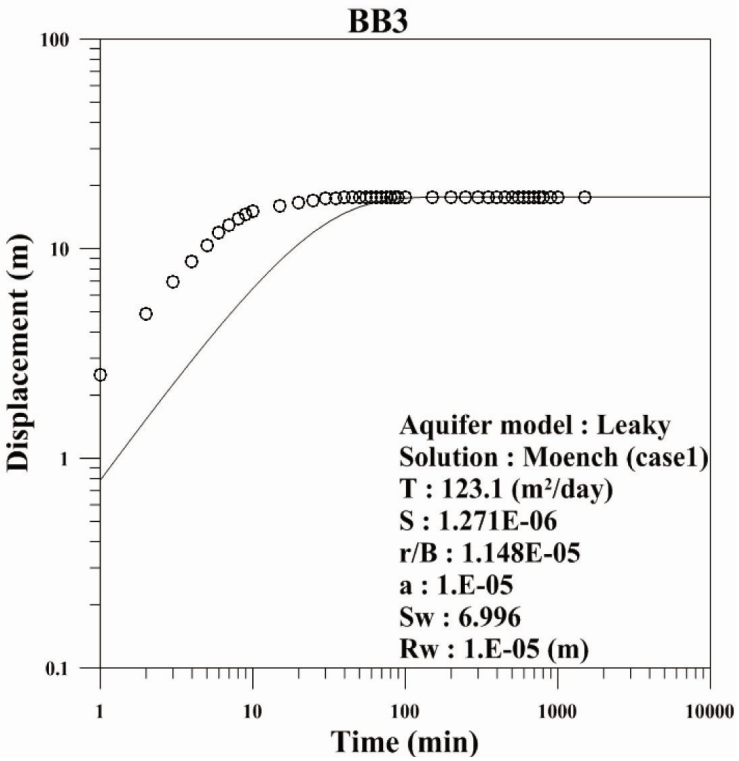

HW(2)1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1215 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
HW(2)2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 2652 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

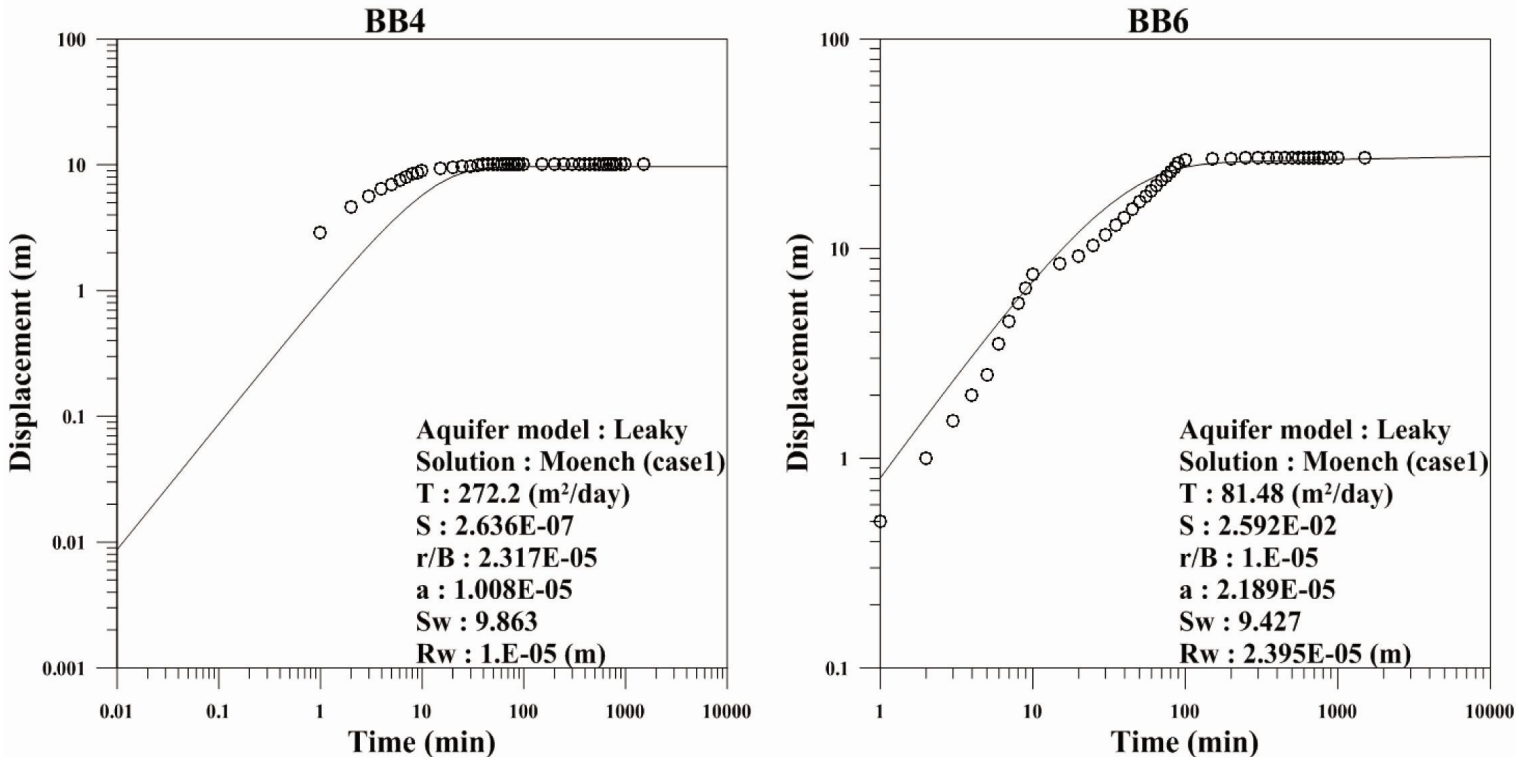

HW(2)3
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1805 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
HW(2)4
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1435 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

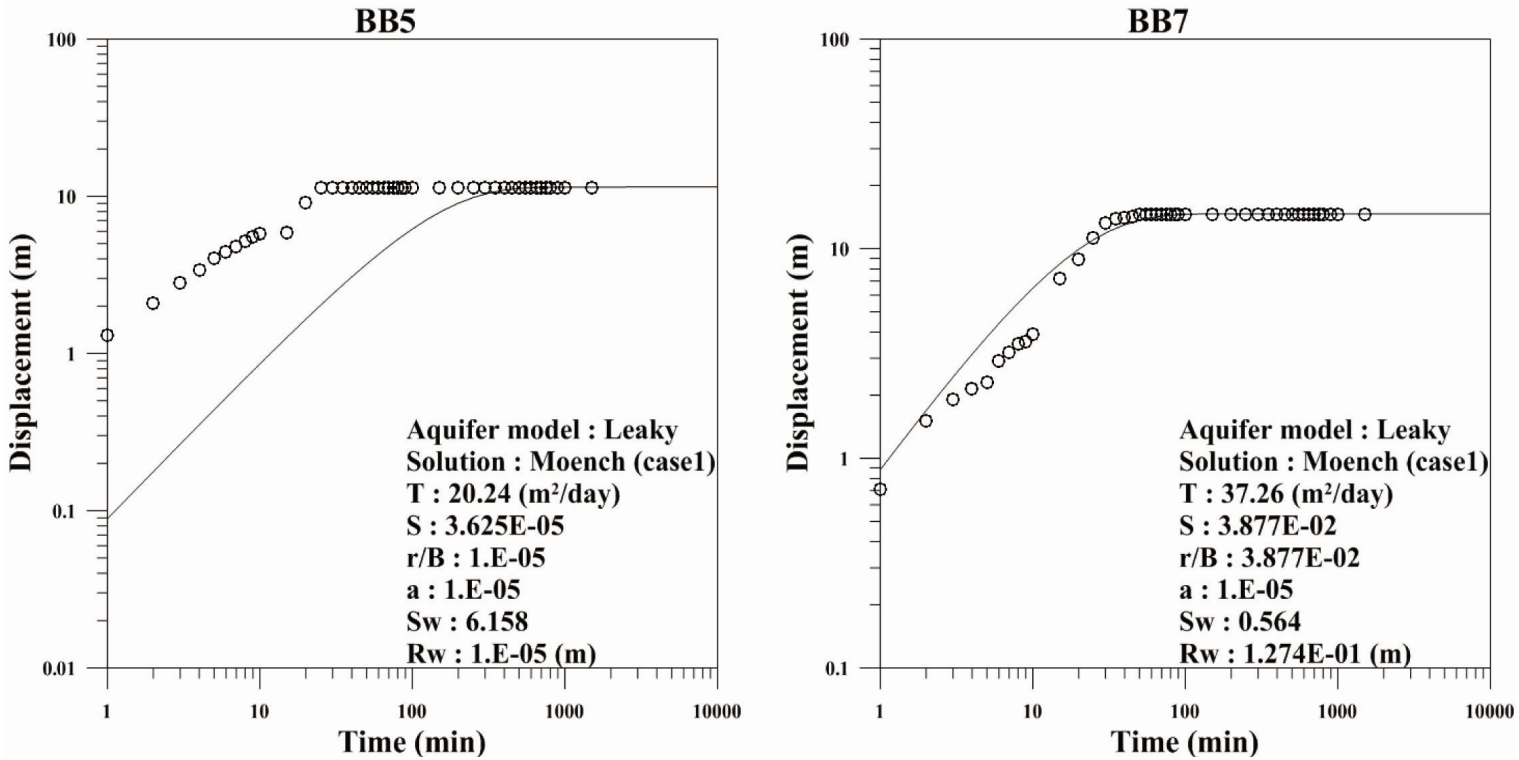

HW(2)5
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1821 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
HW(2)6
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1618 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

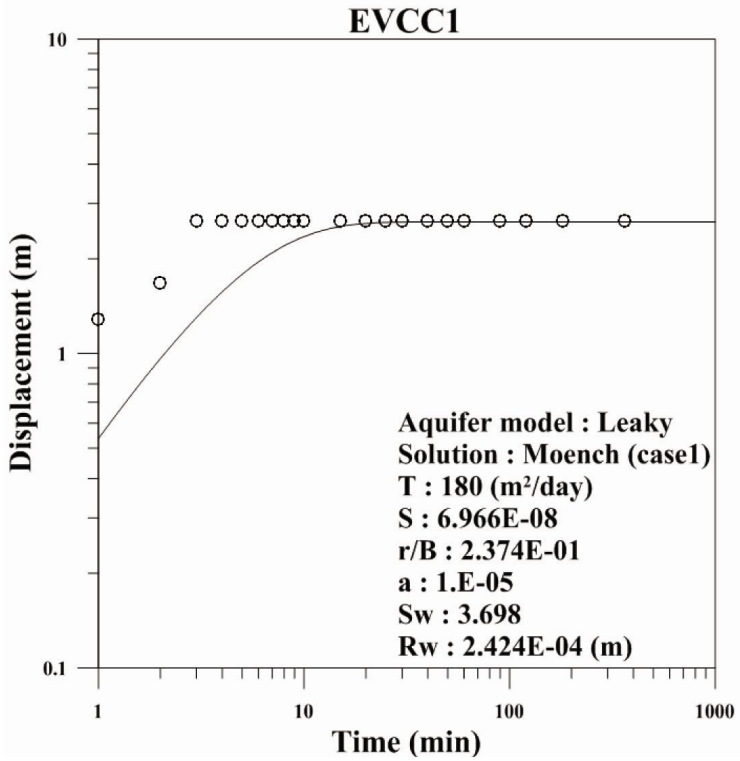

TP3
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 73.08 (m²/day)
S : 2.07E-05
a : 6.475E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 53.5 (m)
Displacement (m)
Time (min)
100
10
1
10
100
1000
10000
BB1
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 295.7 (m²/day)
S : 9.77E-25
a : 6.565E-03
Kz/Kr : 0.25
b : 44 (m)
Displacement (m)
Time (min)
100
10
1
10
100
1000
10000

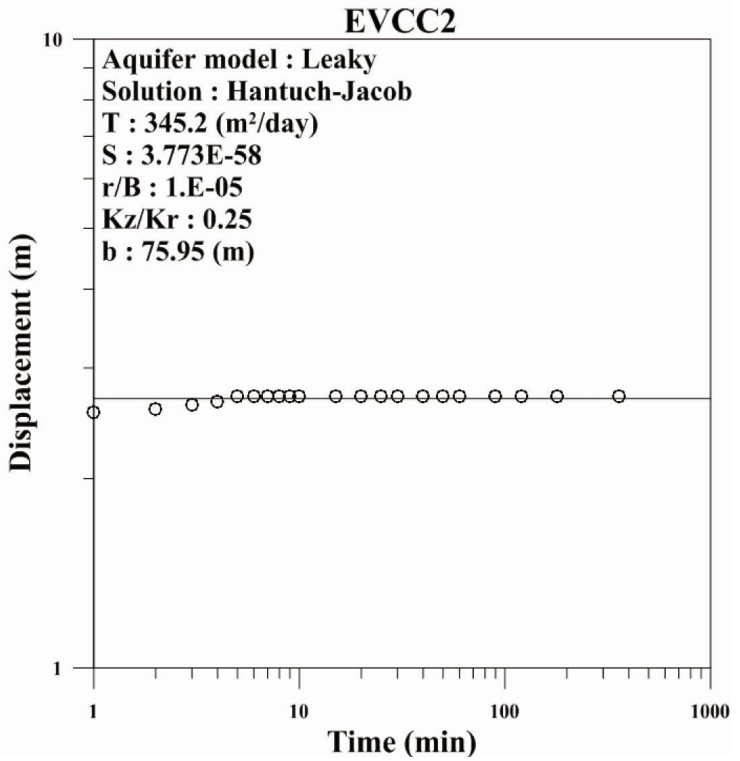

BB2
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 373.4 (m²/day)
S : 9.729E-01
r/B : 1.555E-05
a : 2.284E-05
Sw : 5.304
Rw : 4.061E-05 (m)

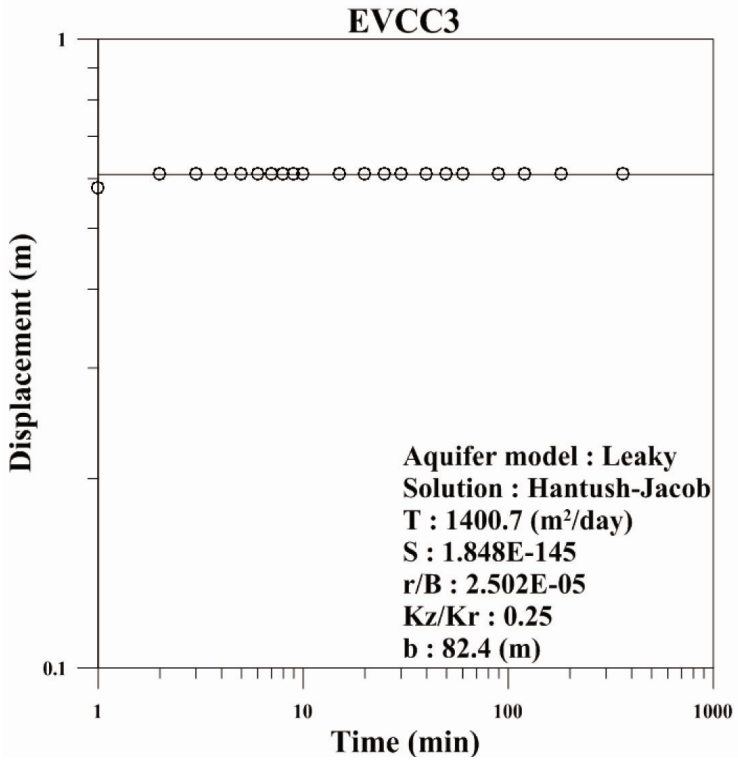

BB3
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 123.1 (m²/day)
S : 1.271E-06
r/B : 1.148E-05
a : 1.E-05
Sw : 6.996
Rw : 1.E-05 (m)

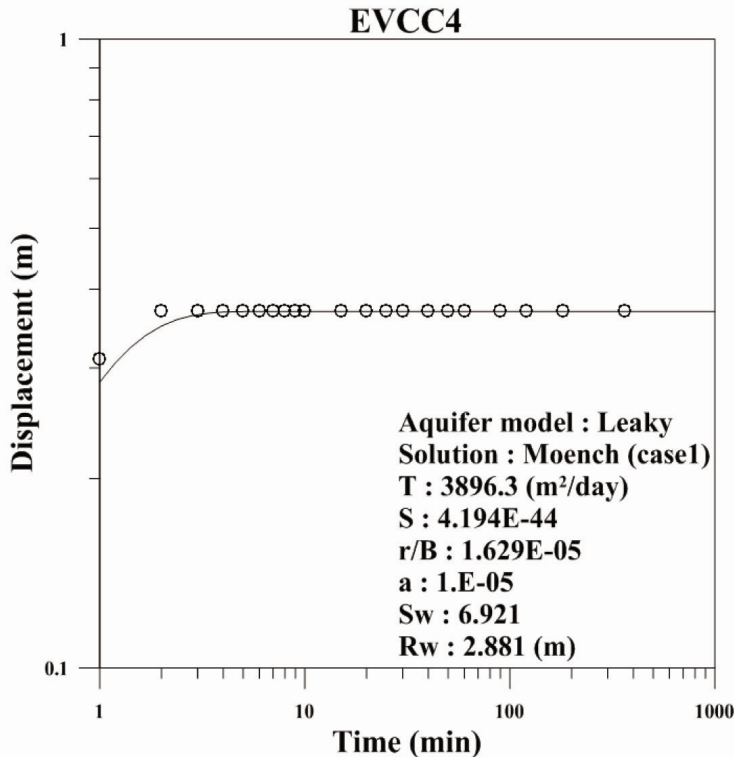

BB4
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 272.2 (m²/day)
S : 2.636E-07
r/B : 2.317E-05
a : 1.008E-05
Sw : 9.863
Rw : 1.E-05 (m)
BB6
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 81.48 (m²/day)
S : 2.592E-02
r/B : 1.E-05
a : 2.189E-05
Sw : 9.427
Rw : 2.395E-05 (m)

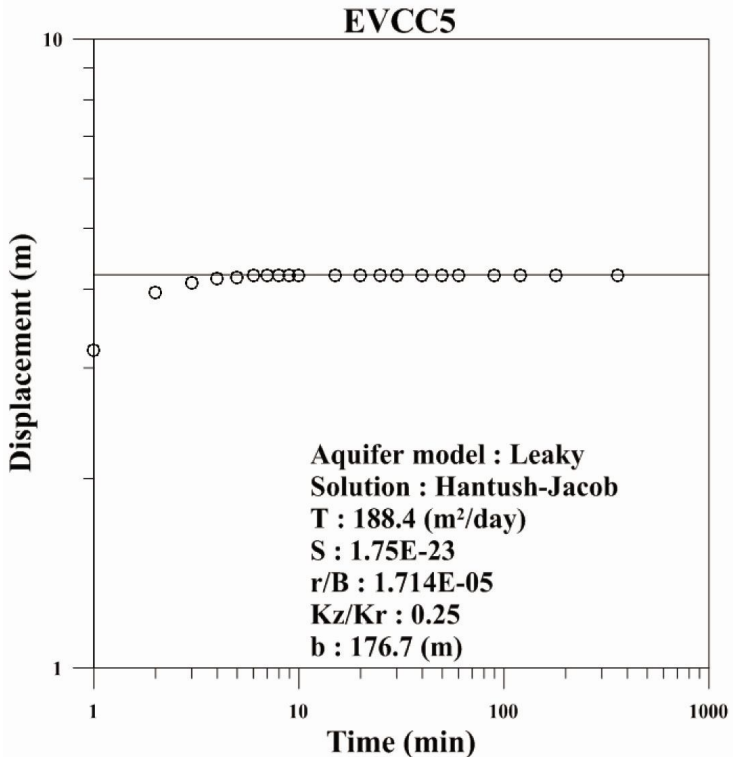

BB5
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 20.24 (m²/day)
S : 3.625E-05
r/B : 1.E-05
a : 1.E-05
Sw : 6.158
Rw : 1.E-05 (m)
BB7
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 37.26 (m²/day)
S : 3.877E-02
r/B : 3.877E-02
a : 1.E-05
Sw : 0.564
Rw : 1.274E-01 (m)

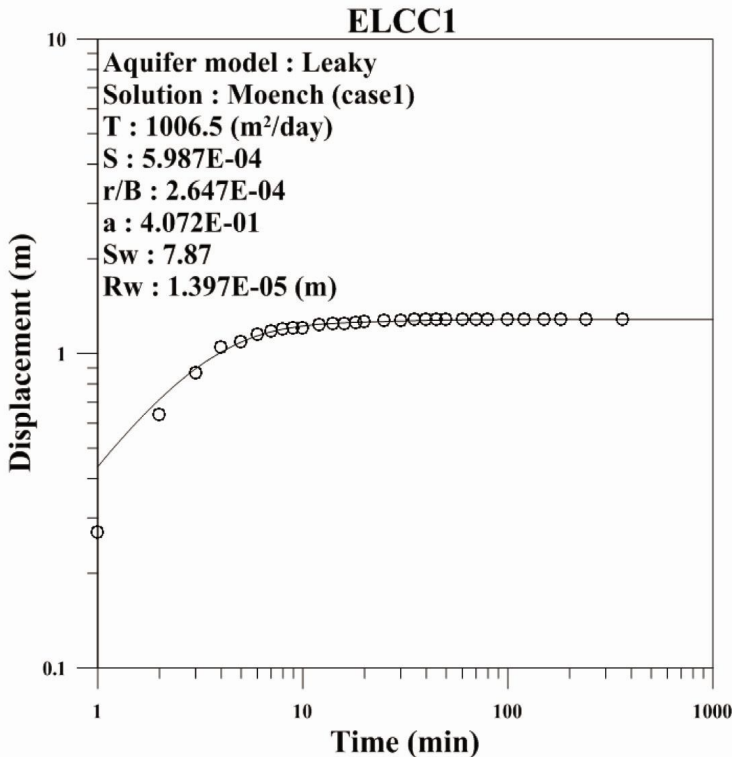

EVCC1
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 180 (m²/day)
S : 6.966E-08
r/B : 2.374E-01
a : 1.E-05
Sw : 3.698
Rw : 2.424E-04 (m)

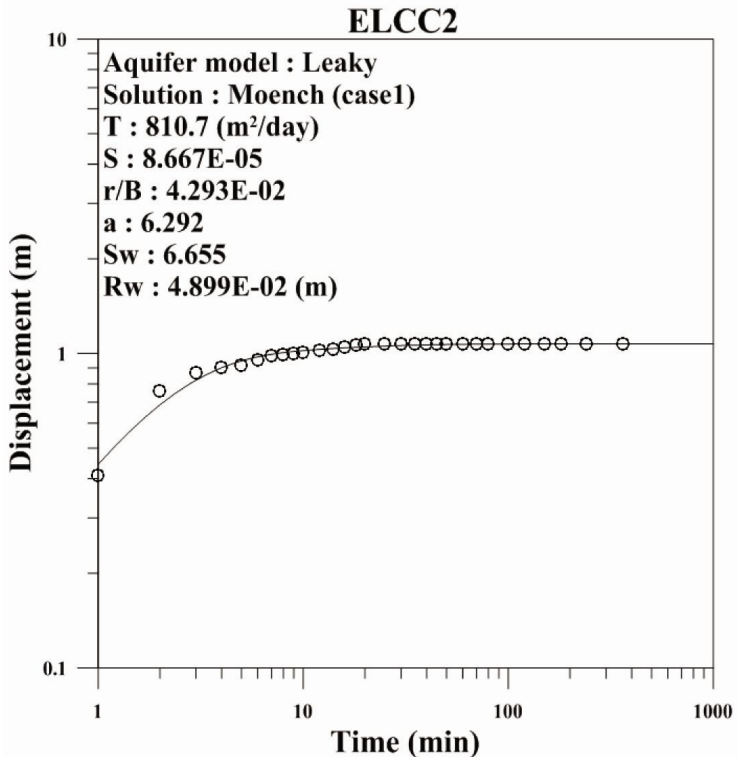

EVCC2
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantuch-Jacob
T : 345.2 (m²/day)
S : 3.773E-58
r/B : 1.E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 75.95 (m)

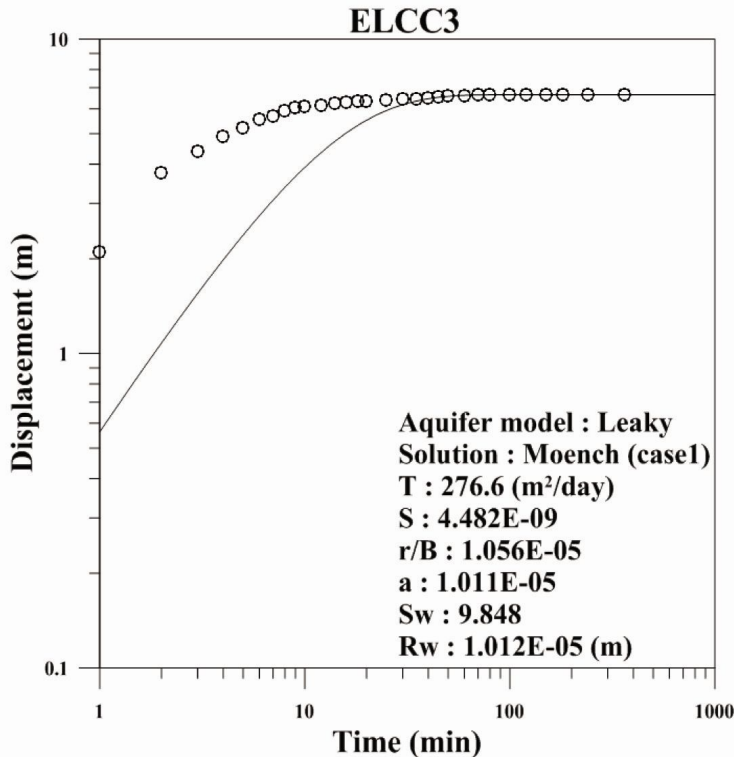

EVCC3
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 1400.7 (m²/day)
S : 1.848E-145
r/B : 2.502E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 82.4 (m)

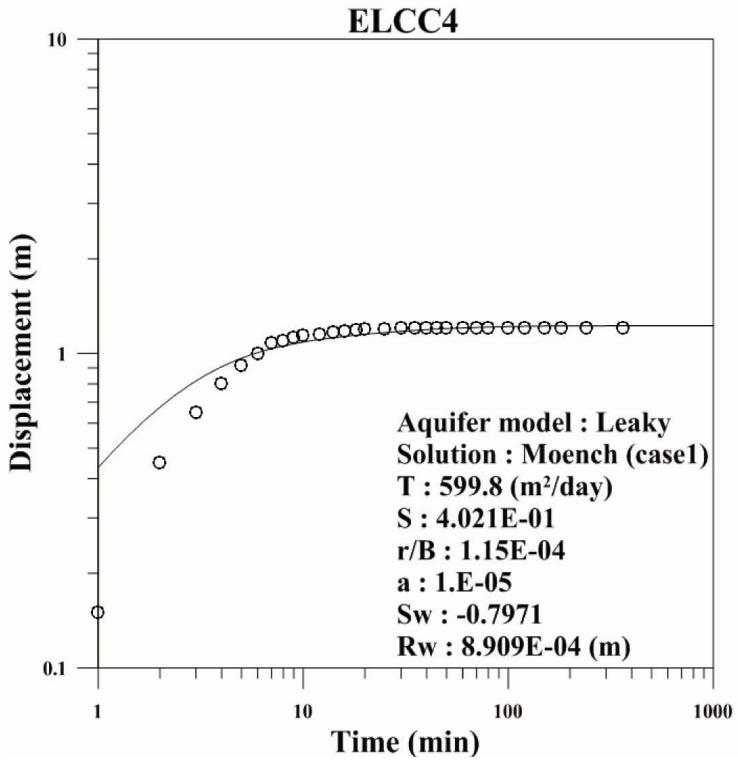

EVCC4
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 3896.3 (m²/day)
S : 4.194E-44
r/B : 1.629E-05
a : 1.E-05
Sw : 6.921
Rw : 2.881 (m)

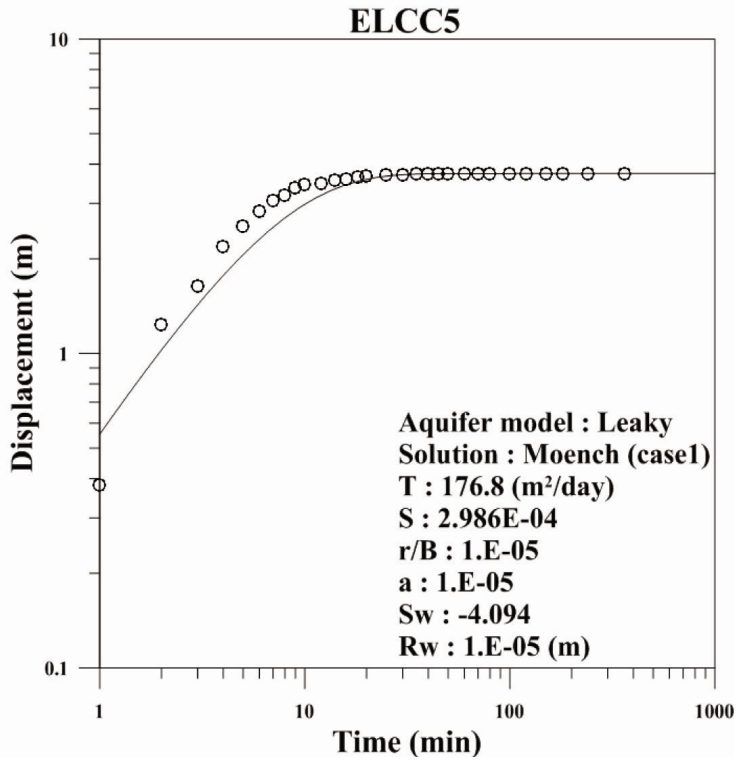

EVCC5
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 188.4 (m²/day)
S : 1.75E-23
r/B : 1.714E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 176.7 (m)

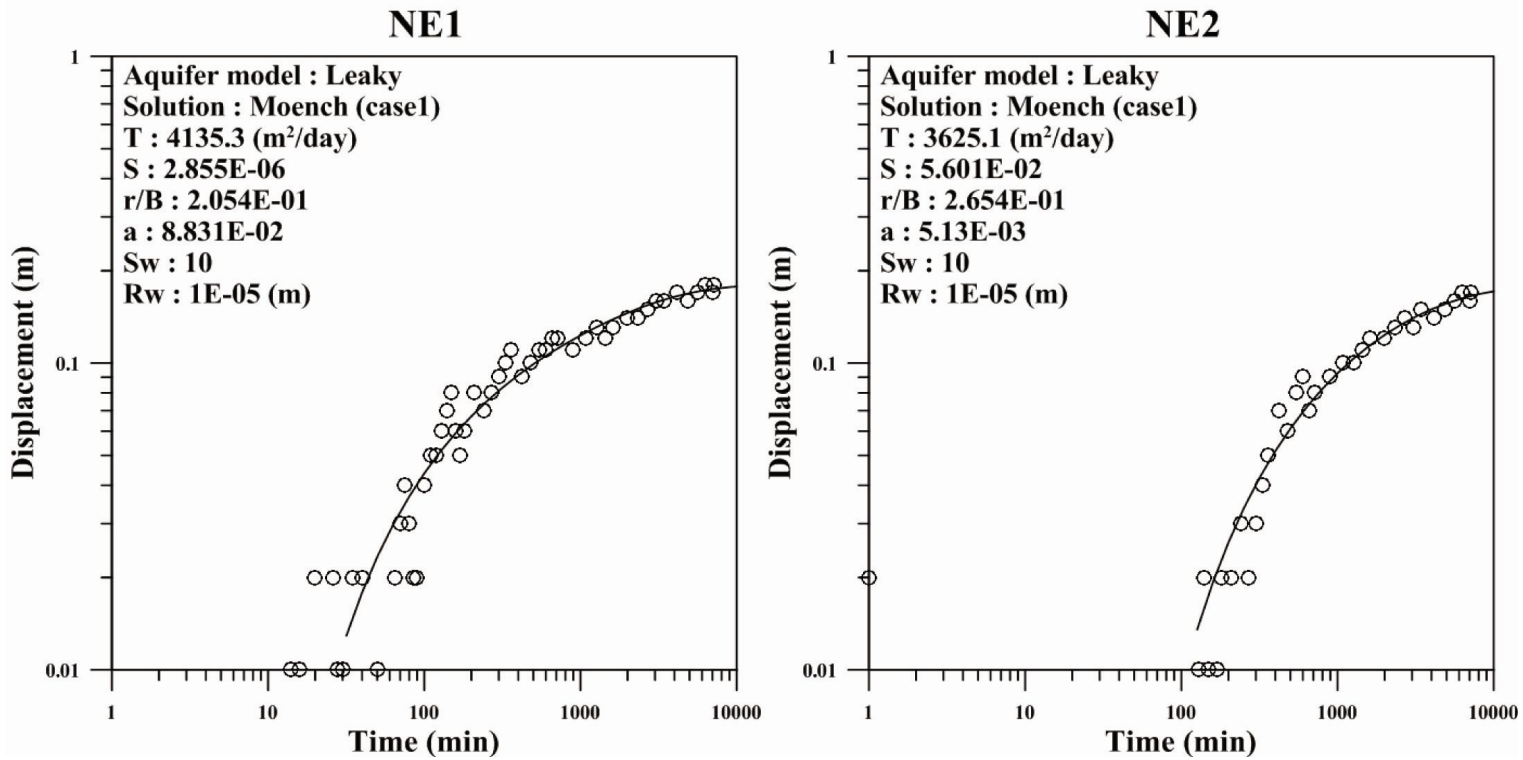

ELCC1
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1006.5 (m²/day)
S : 5.987E-04
r/B : 2.647E-04
a : 4.072E-01
Sw : 7.87
Rw : 1.397E-05 (m)

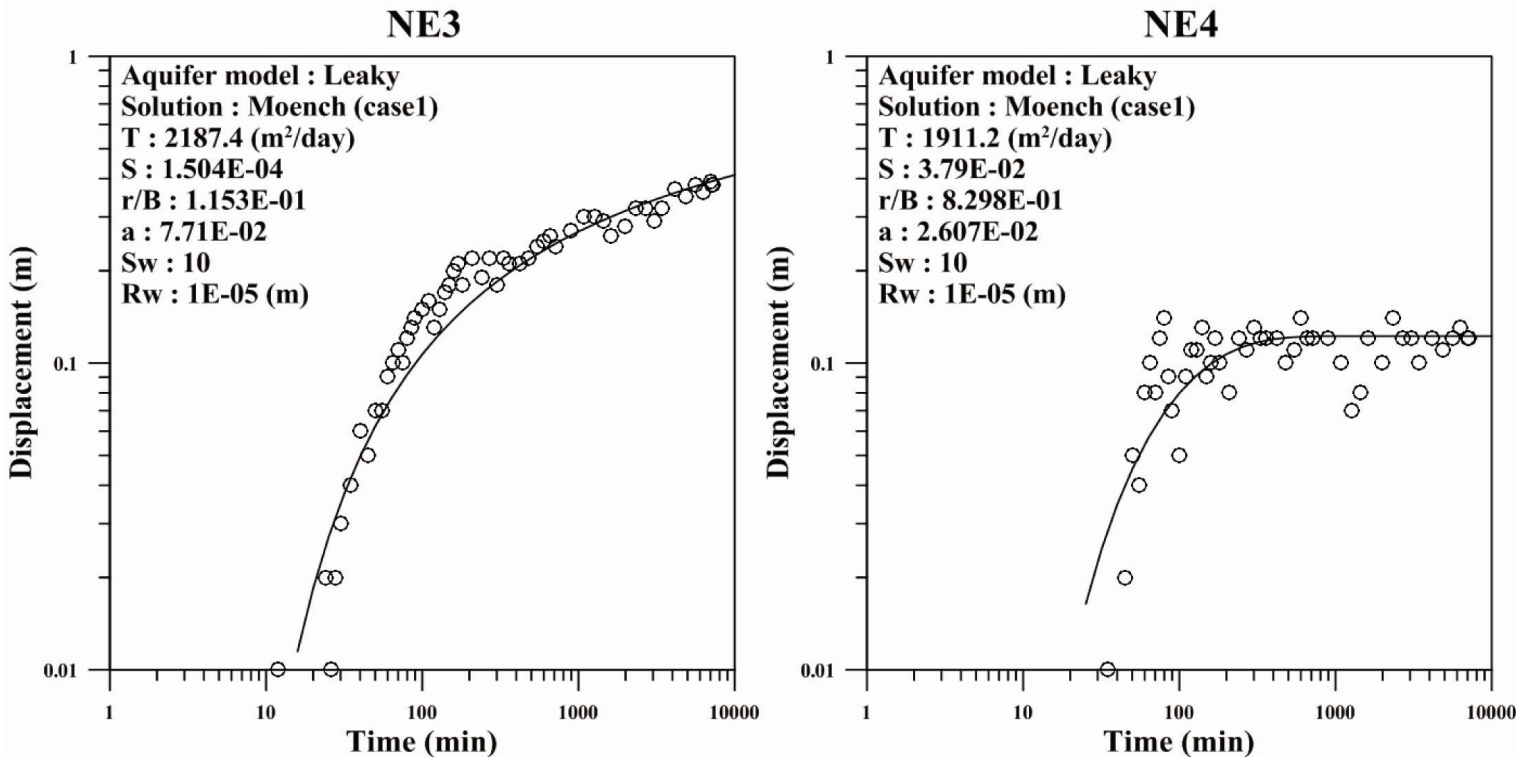

ELCC2
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 810.7 (m²/day)
S : 8.667E-05
r/B : 4.293E-02
a : 6.292
Sw : 6.655
Rw : 4.899E-02 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000

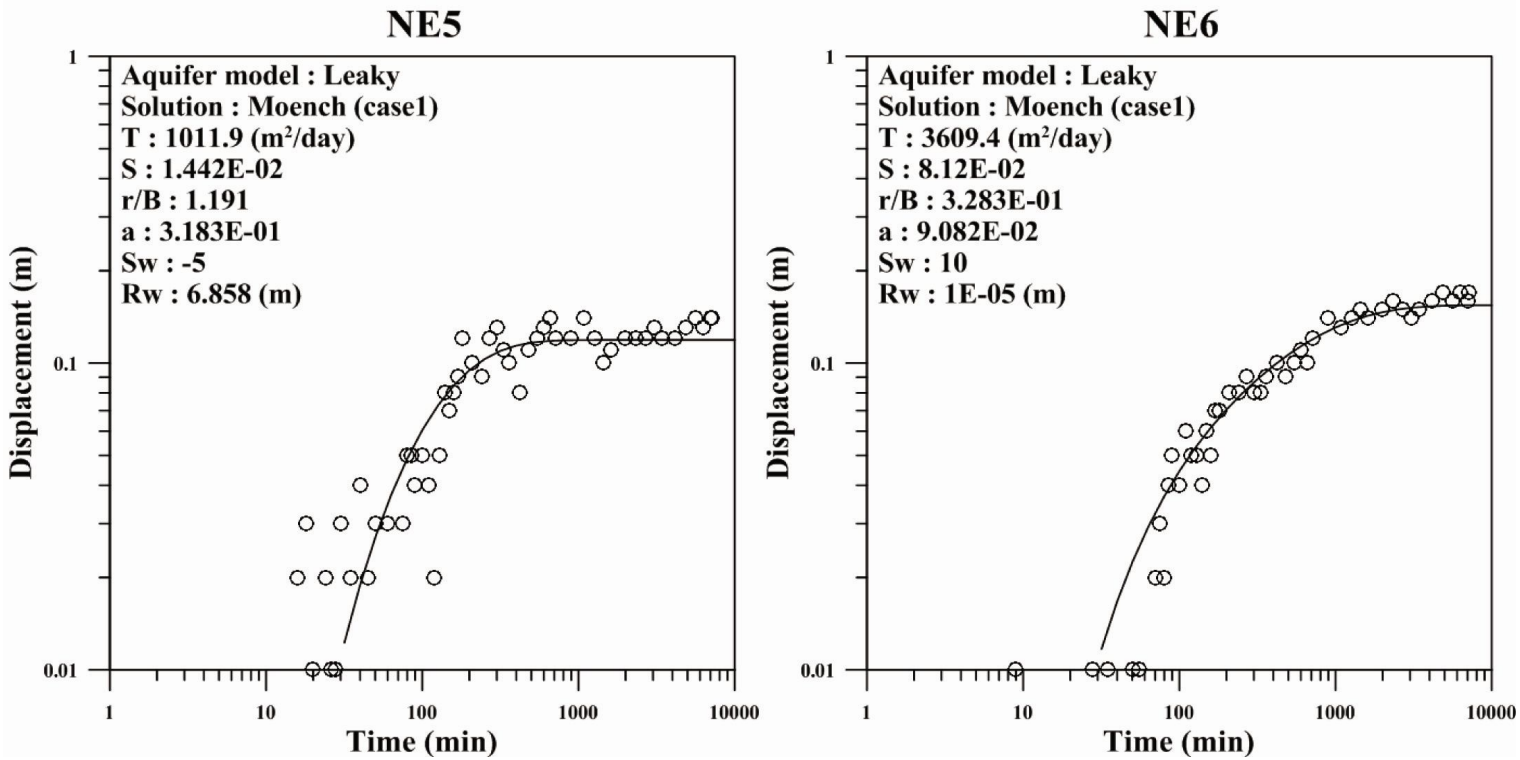

ELCC3
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 276.6 (m²/day)
S : 4.482E-09
r/B : 1.056E-05
a : 1.011E-05
Sw : 9.848
Rw : 1.012E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000

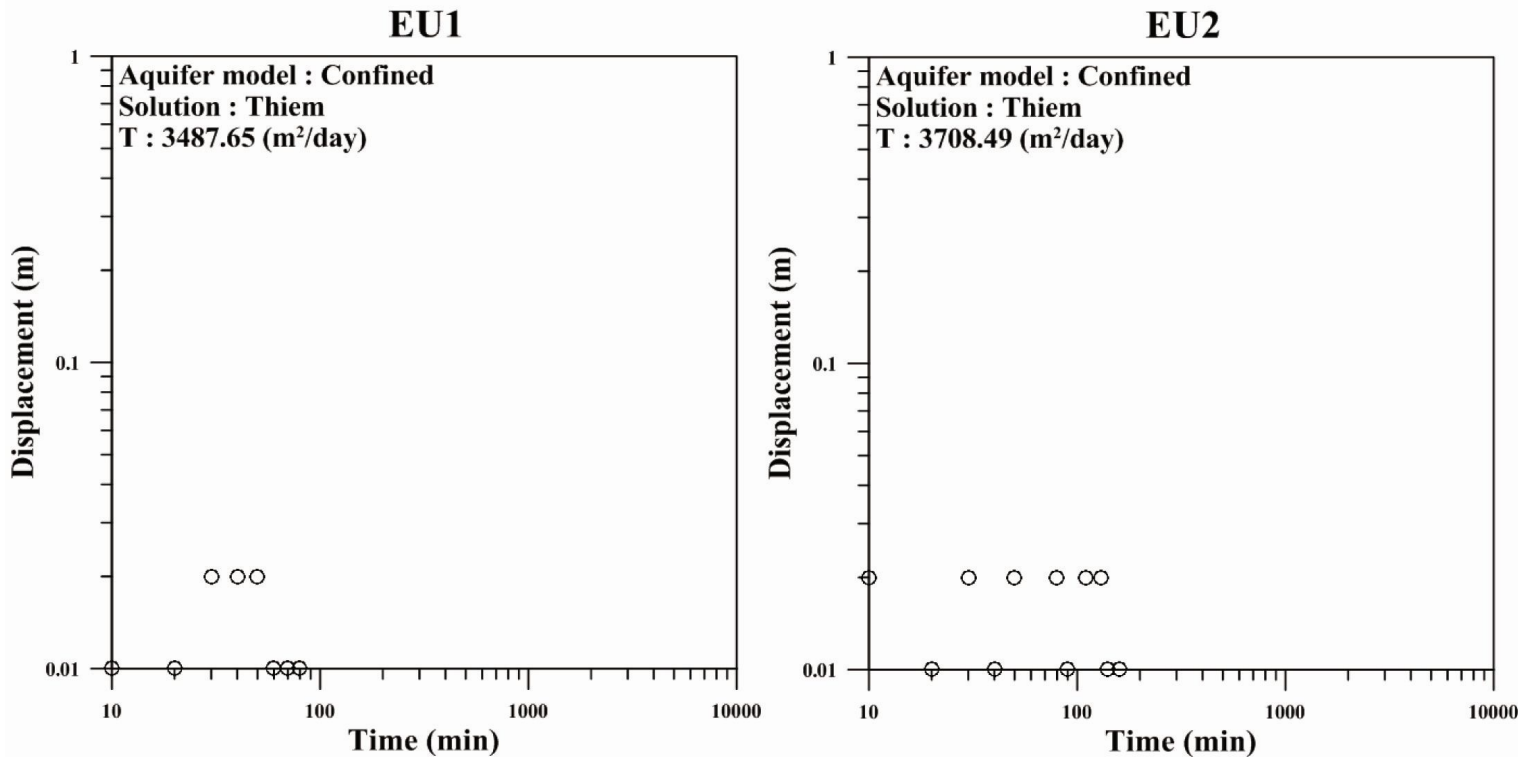

ELCC4
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 599.8 (m²/day)
S : 4.021E-01
r/B : 1.15E-04
a : 1.E-05
Sw : -0.7971
Rw : 8.909E-04 (m)

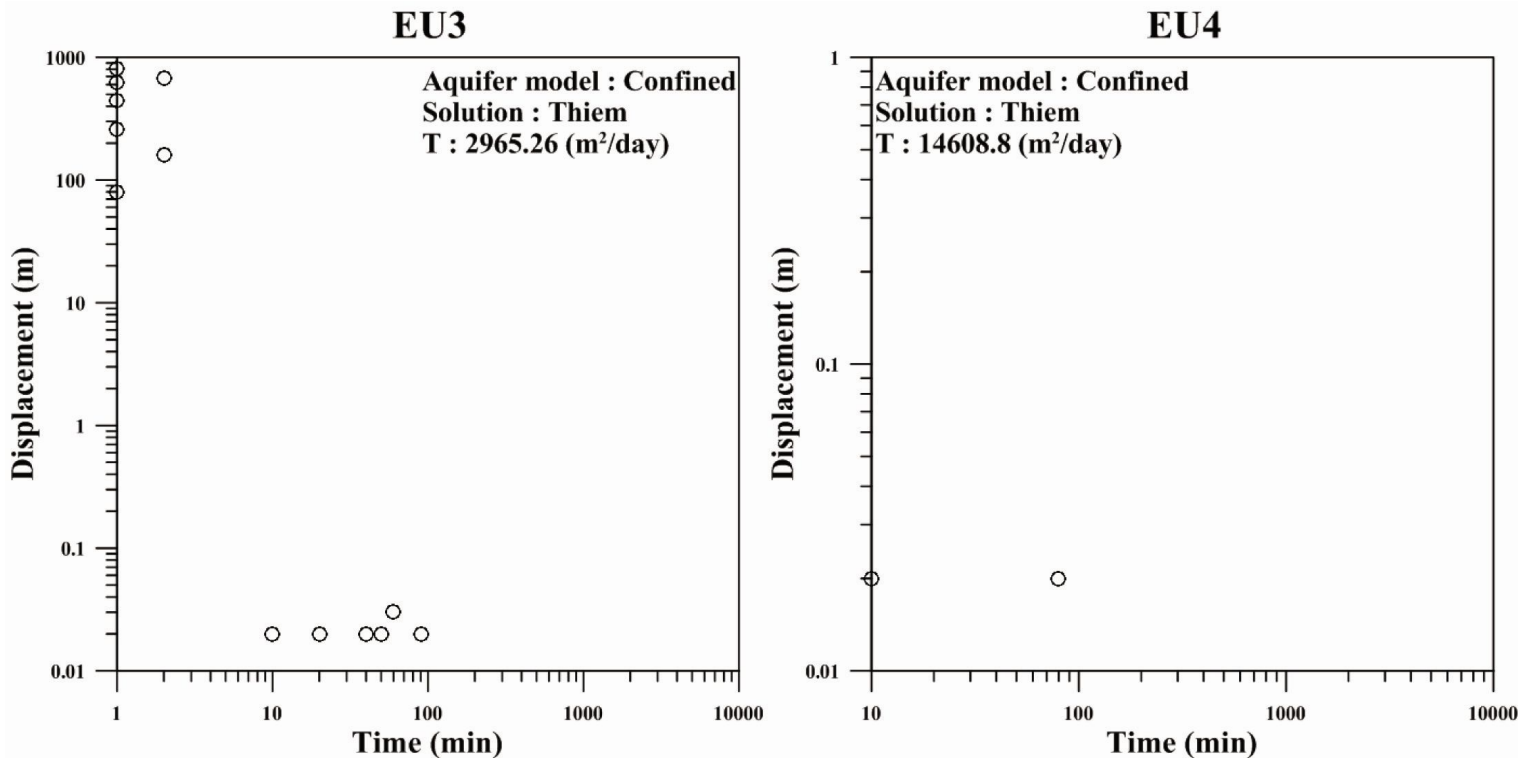

ELCC5
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 176.8 (m²/day)
S : 2.986E-04
r/B : 1.E-05
a : 1.E-05
Sw : -4.094
Rw : 1.E-05 (m)

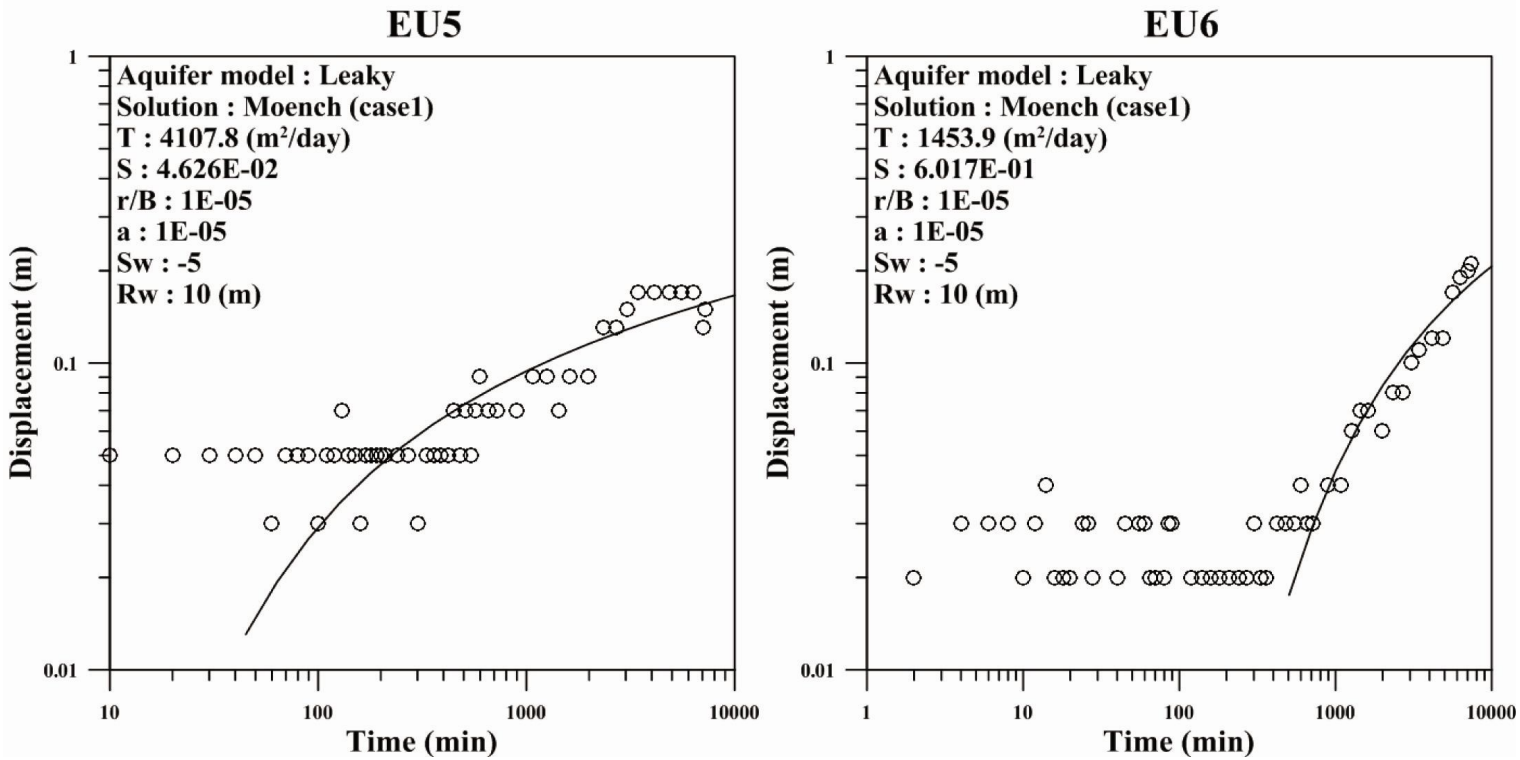

NE1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 4135.3 (m²/day)
S : 2.855E-06
r/B : 2.054E-01
a : 8.831E-02
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
NE2
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 3625.1 (m²/day)
S : 5.601E-02
r/B : 2.654E-01
a : 5.13E-03
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)

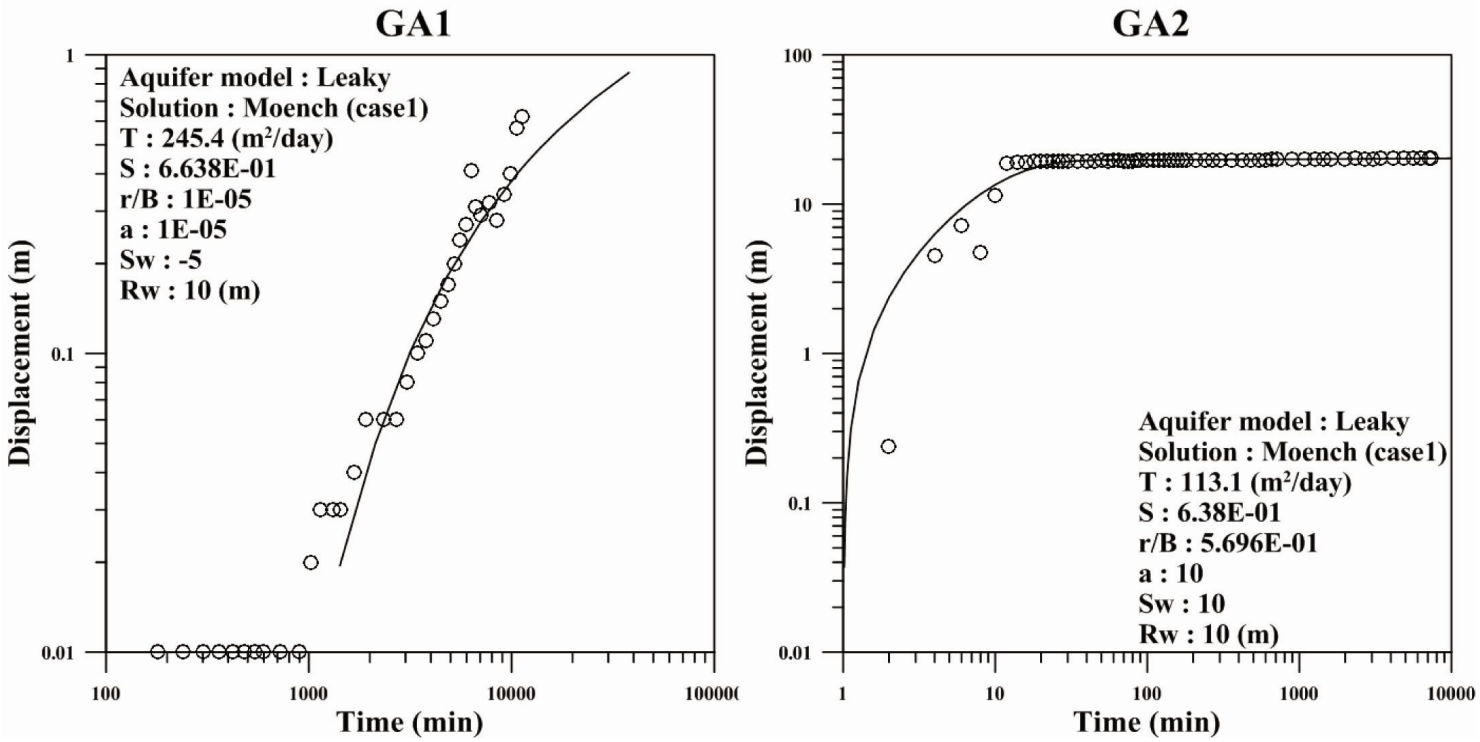

NE3
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2187.4 (m²/day)
S : 1.504E-04
r/B : 1.153E-01
a : 7.71E-02
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
NE4
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1911.2 (m²/day)
S : 3.79E-02
r/B : 8.298E-01
a : 2.607E-02
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)

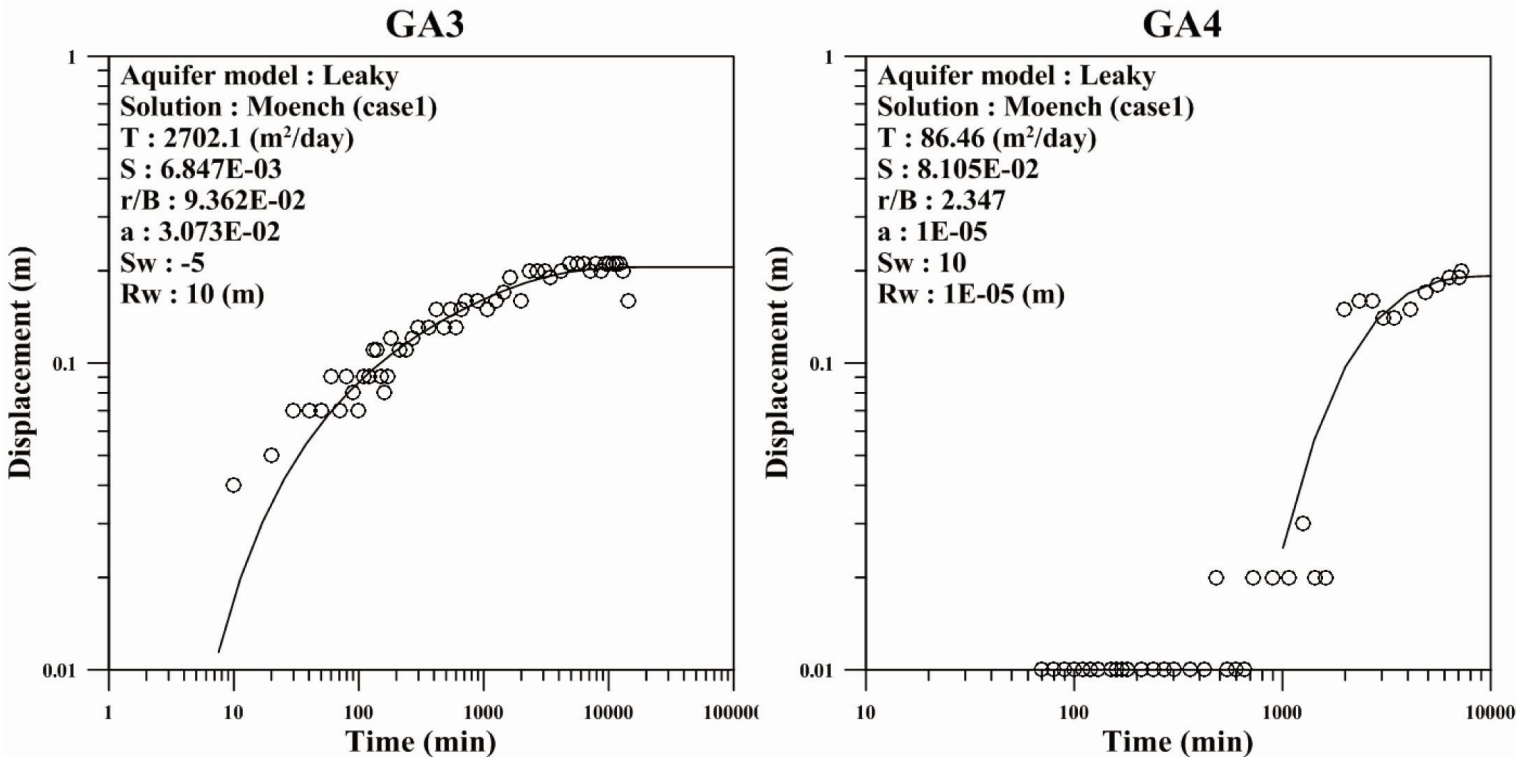

NE5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1011.9 (m²/day)
S : 1.442E-02
r/B : 1.191
a : 3.183E-01
Sw : -5
Rw : 6.858 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
NE6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 3609.4 (m²/day)
S : 8.12E-02
r/B : 3.283E-01
a : 9.082E-02
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)

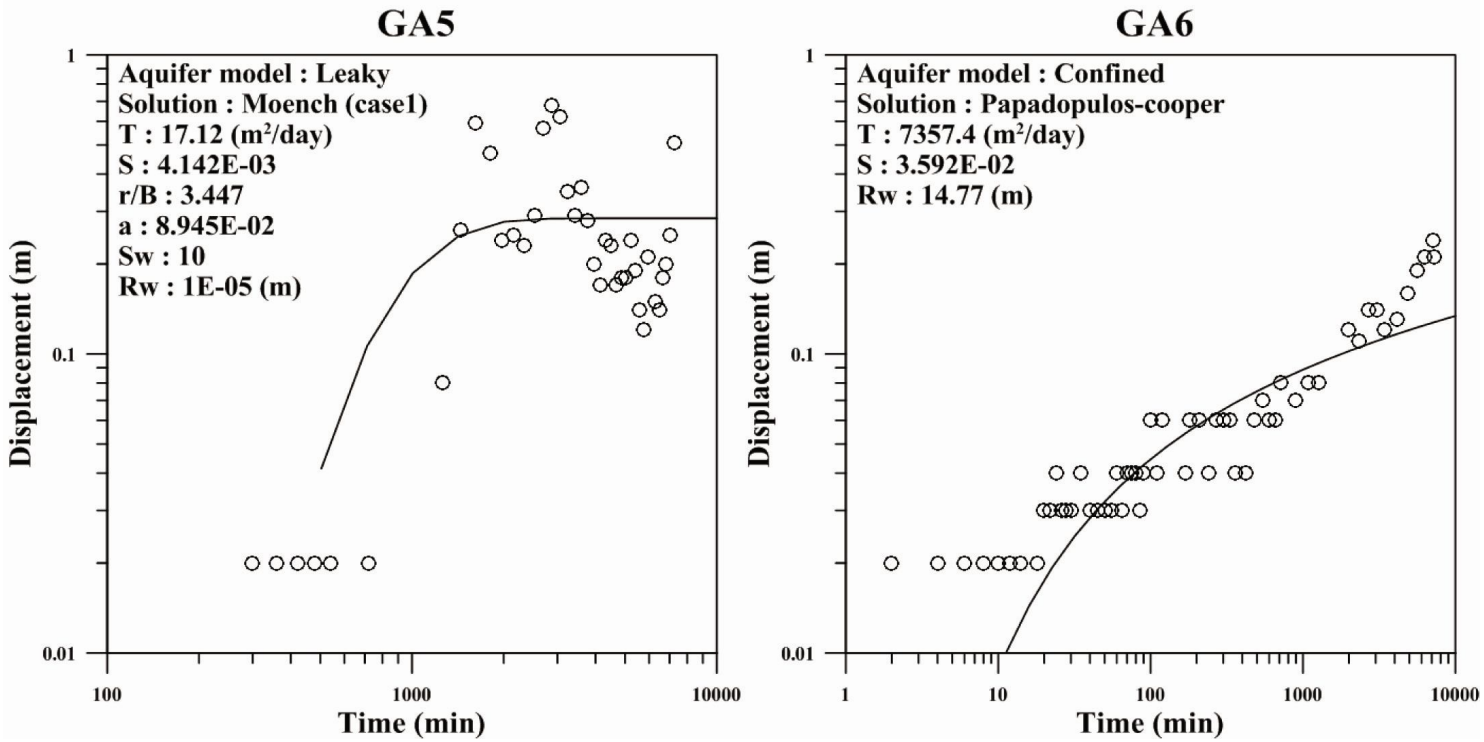

EU1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3487.65 (m²/day)
Displacement (m)
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000
Time (min)
EU2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3708.49 (m²/day)
Displacement (m)
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000
Time (min)

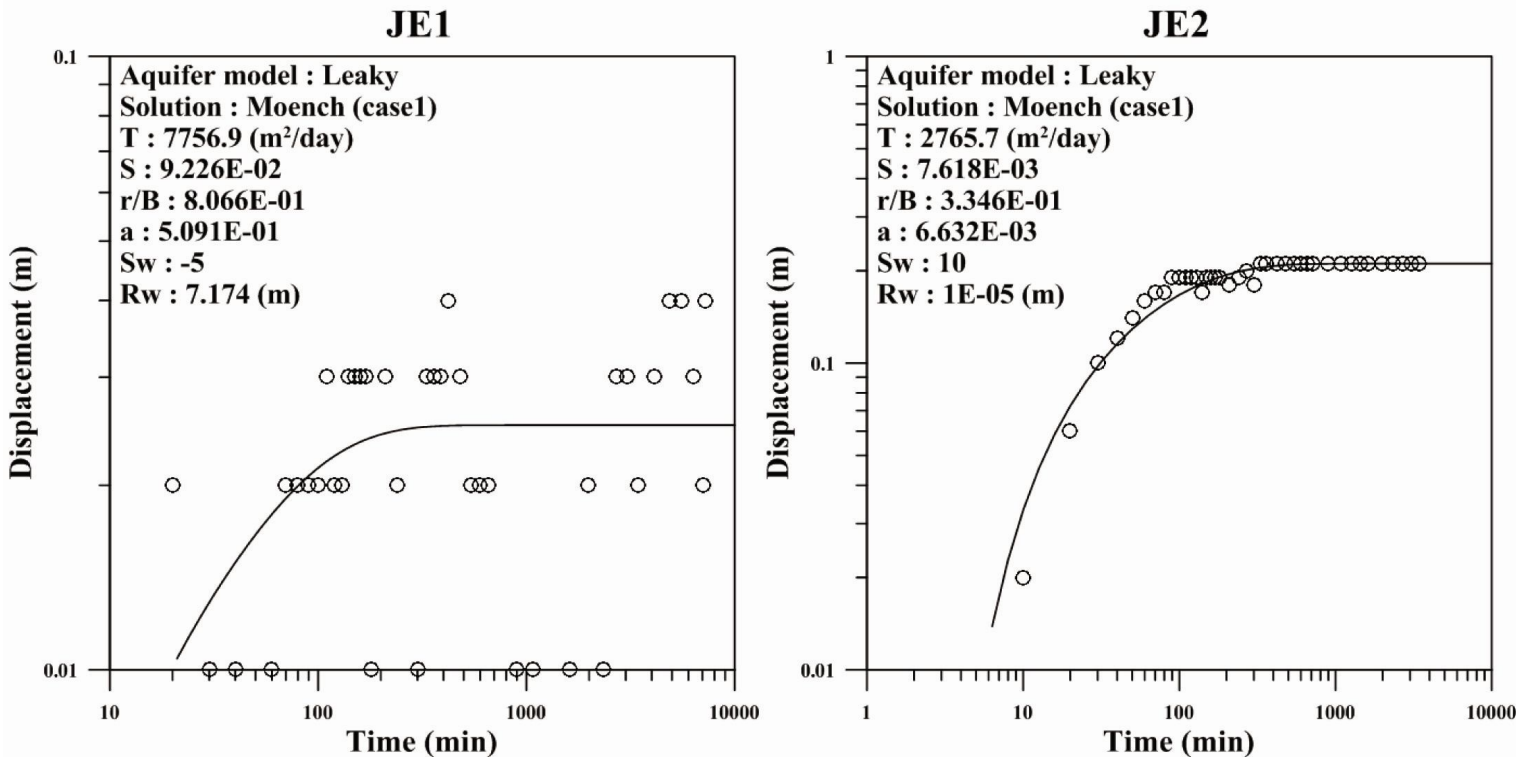

EU3
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 2965.26 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
EU4
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 14608.8 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

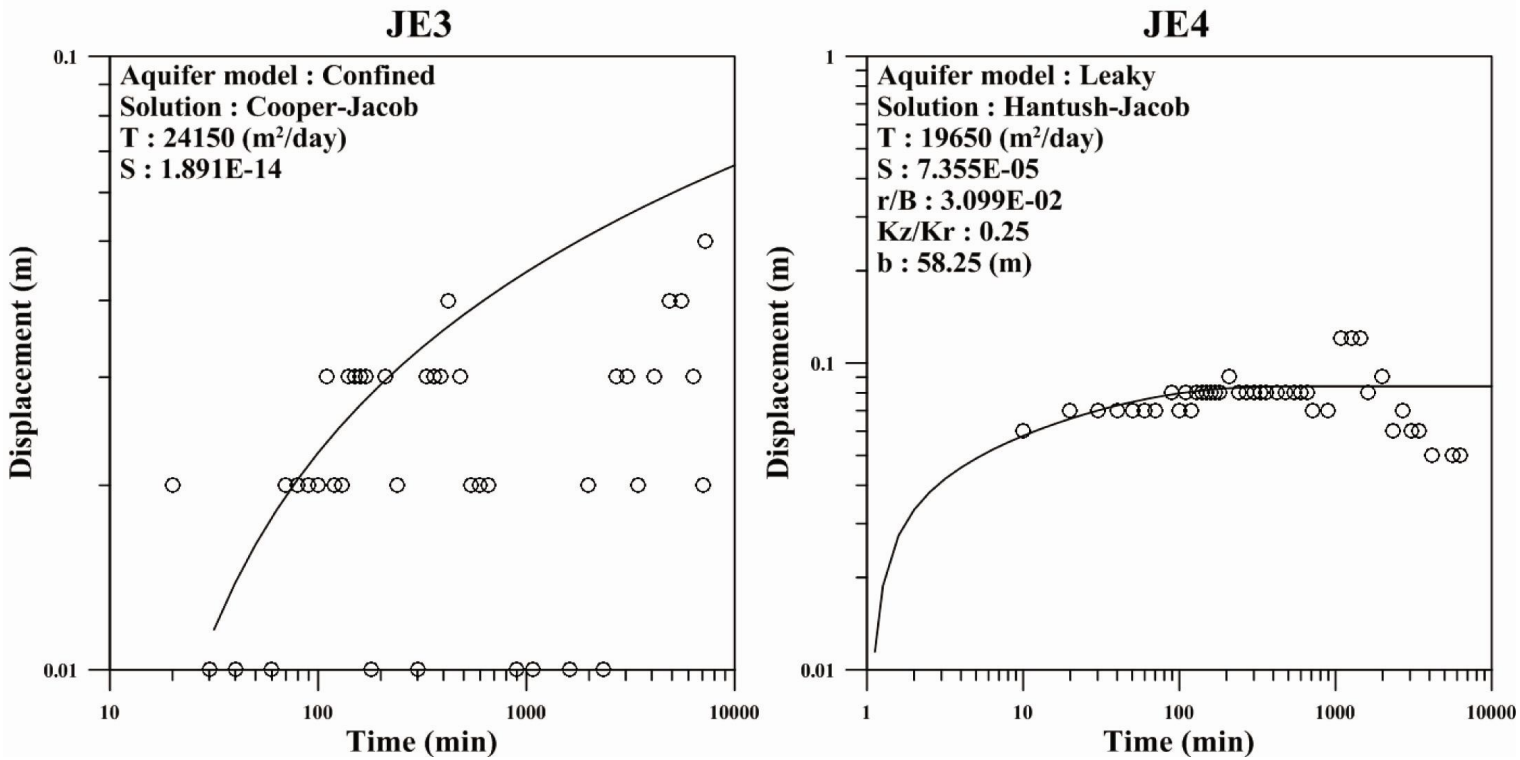

EU5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 4107.8 (m²/day)
S : 4.626E-02
r/B : 1E-05
a : 1E-05
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
EU6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1453.9 (m²/day)
S : 6.017E-01
r/B : 1E-05
a : 1E-05
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)

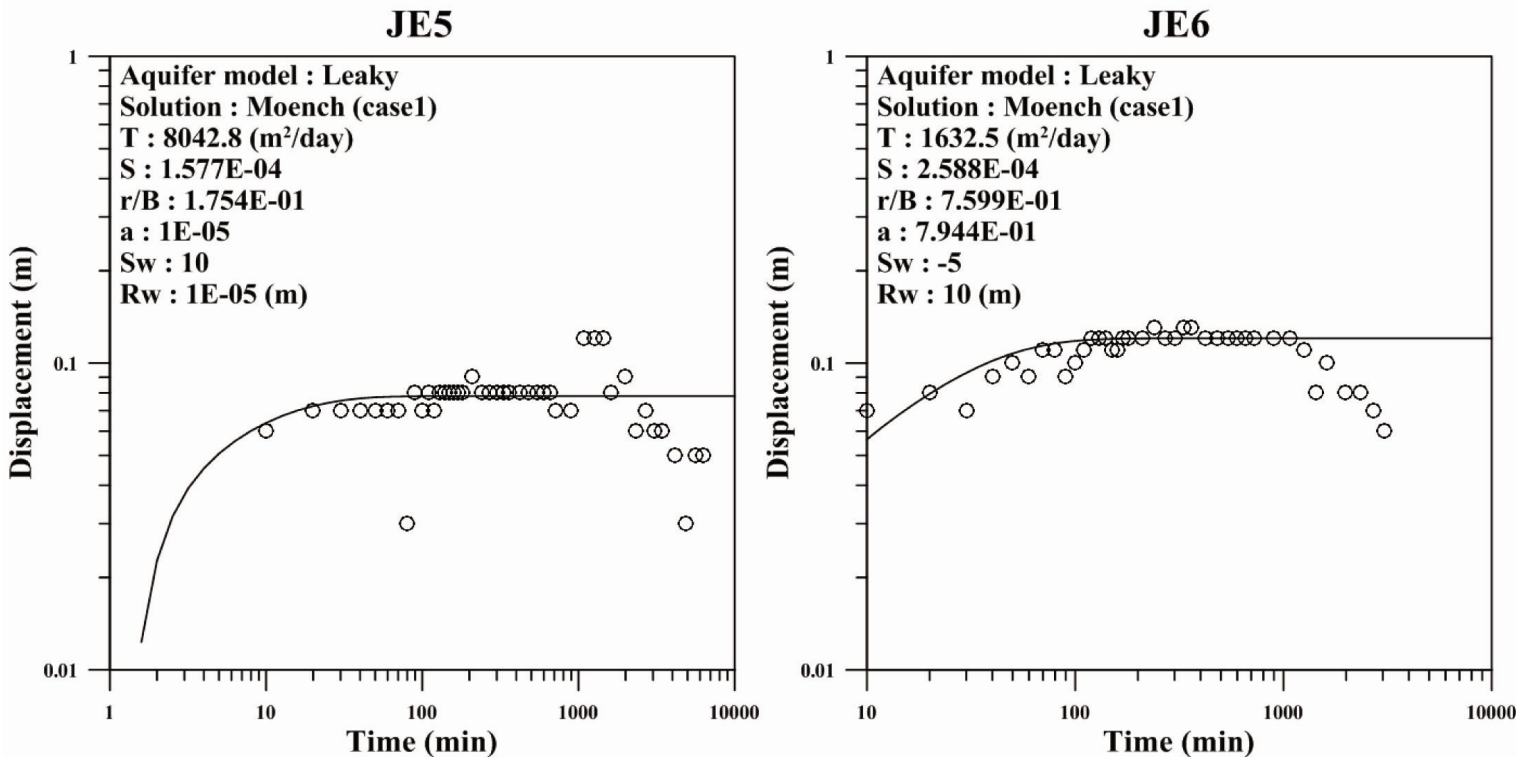

GA1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 245.4 (m²/day)
S : 6.638E-01
r/B : 1E-05
a : 1E-05
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
100
1000
10000
GA2
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 113.1 (m²/day)
S : 6.38E-01
r/B : 5.696E-01
a : 10
Sw : 10
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
100
10
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000

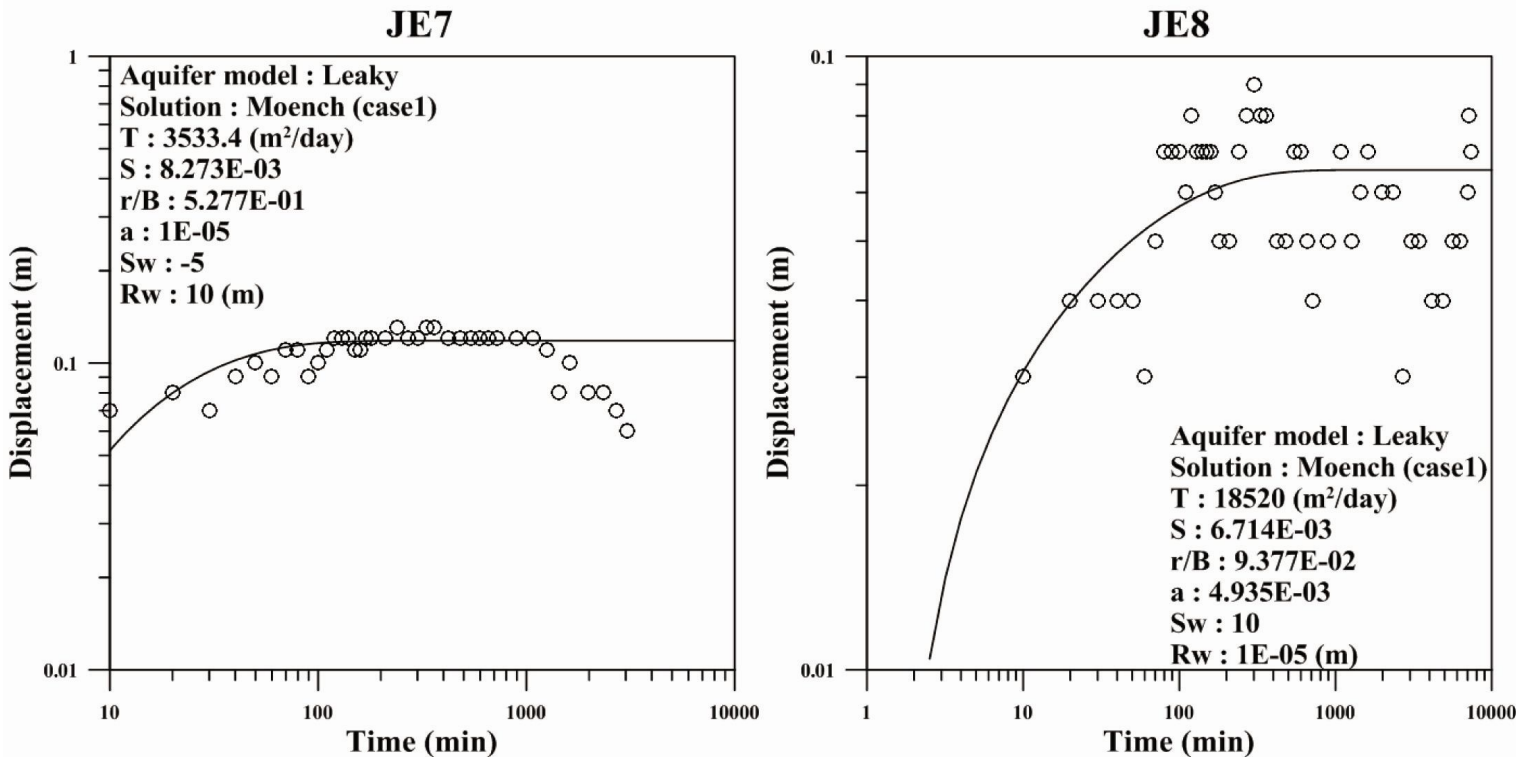

GA3
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2702.1 (m²/day)
S : 6.847E-03
r/B : 9.362E-02
a : 3.073E-02
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
GA4
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 86.46 (m²/day)
S : 8.105E-02
r/B : 2.347
a : 1E-05
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)

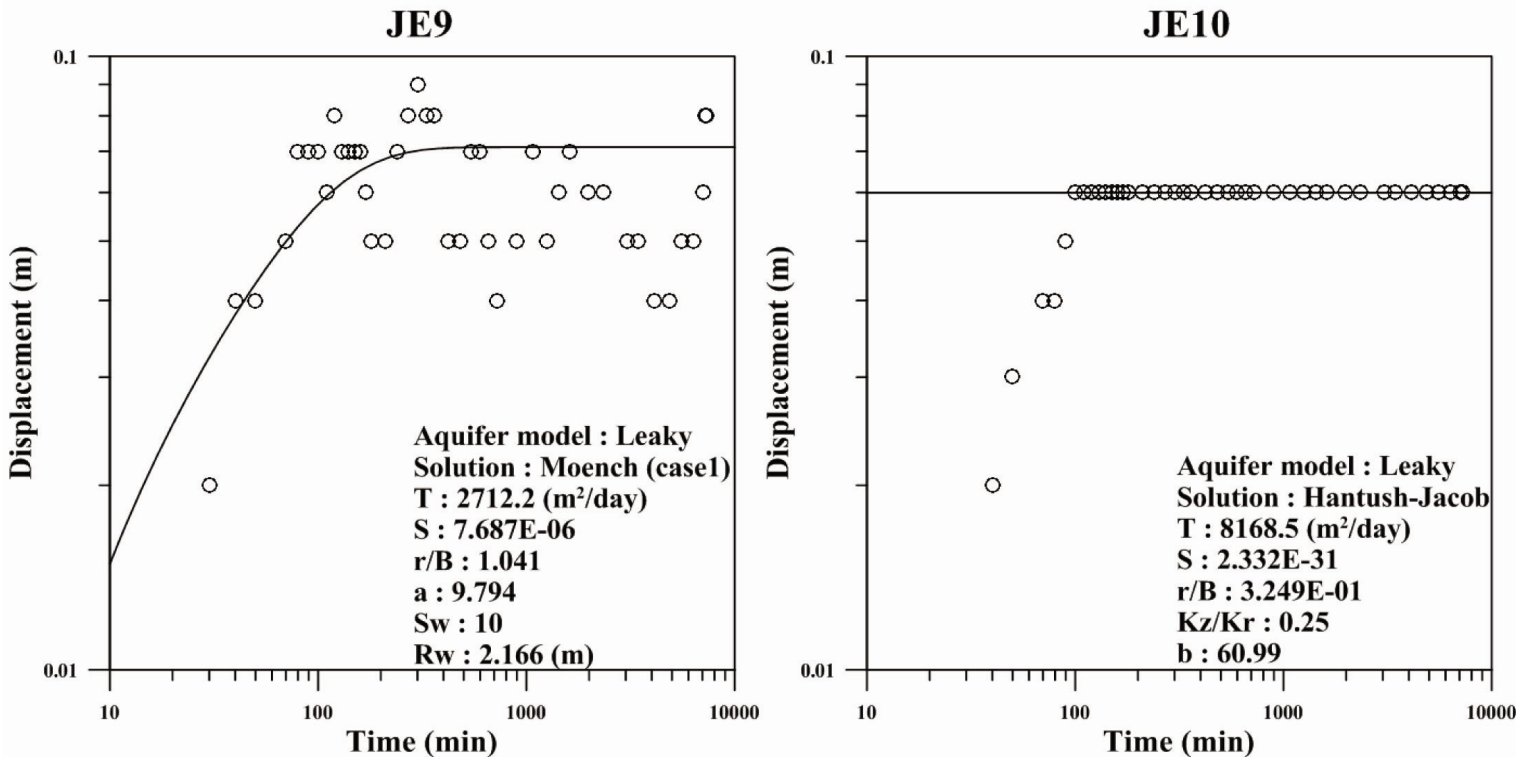

GA5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 17.12 (m²/day)
S : 4.142E-03
r/B : 3.447
a : 8.945E-02
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
100
1000
10000
GA6
Aquifer model : Confined
Solution : Papadopulos-cooper
T : 7357.4 (m²/day)
S : 3.592E-02
Rw : 14.77 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000

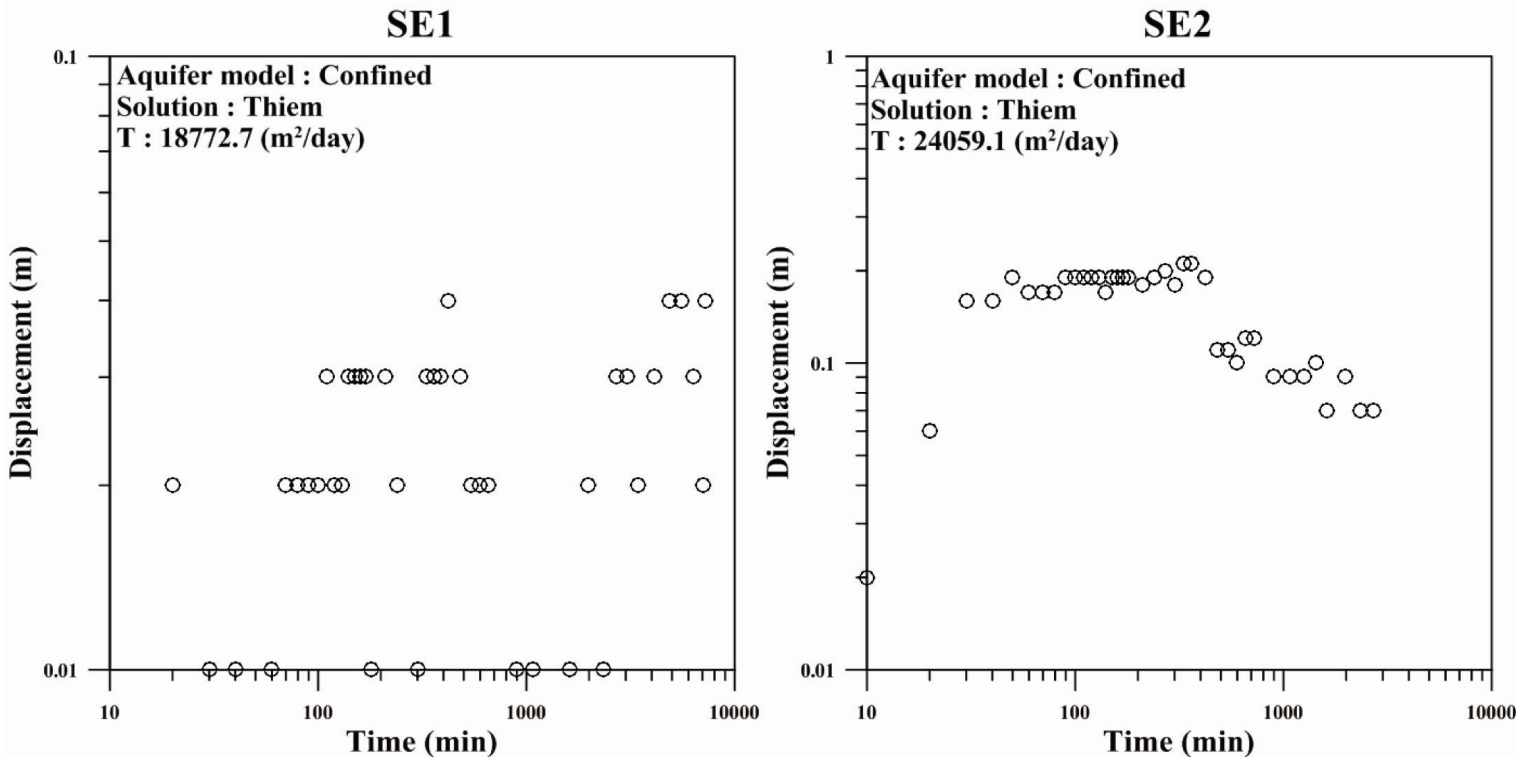

JE1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 7756.9 (m²/day)
S : 9.226E-02
r/B : 8.066E-01
a : 5.091E-01
Sw : -5
Rw : 7.174 (m)
Displacement (m)
Time (min)
0.1
0.01
10
100
1000
10000
JE2
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2765.7 (m²/day)
S : 7.618E-03
r/B : 3.346E-01
a : 6.632E-03
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000

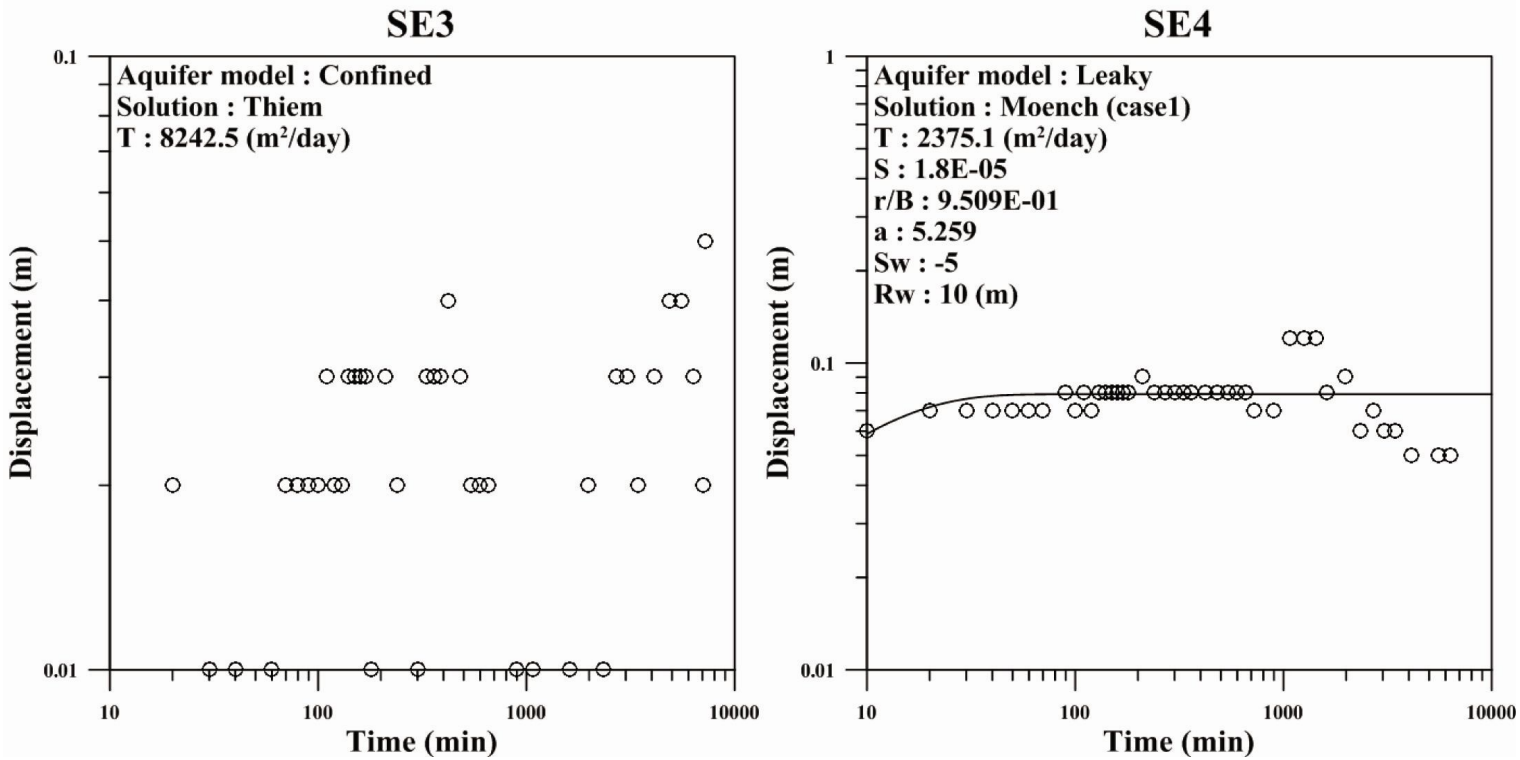

JE3
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 24150 (m²/day)
S : 1.891E-14
Displacement (m)
0.1
0.01
10
100
1000
10000
Time (min)
JE4
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 19650 (m²/day)
S : 7.355E-05
r/B : 3.099E-02
Kz/Kr : 0.25
b : 58.25 (m)
Displacement (m)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
Time (min)

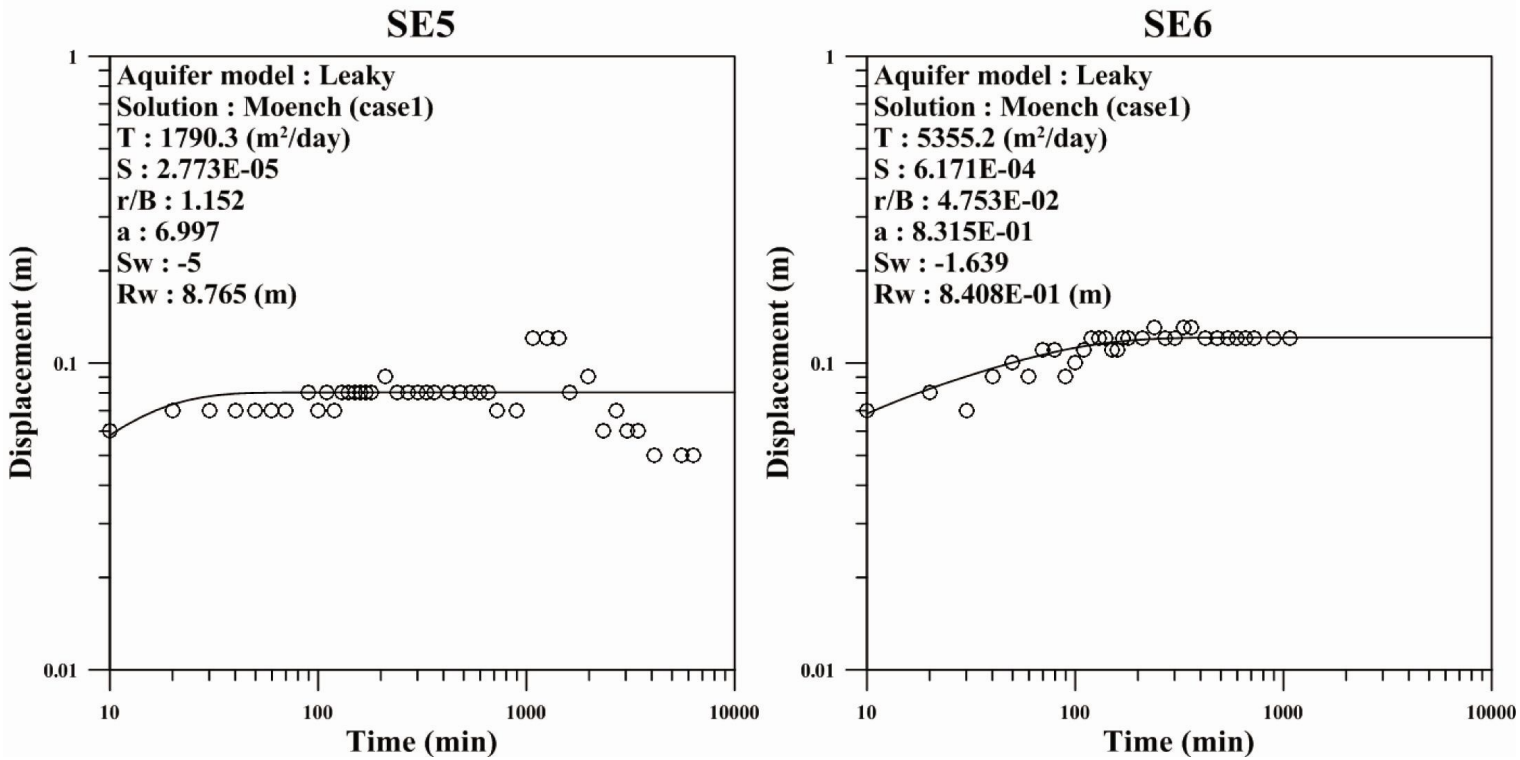

JE5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 8042.8 (m²/day)
S : 1.577E-04
r/B : 1.754E-01
a : 1E-05
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
JE6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1632.5 (m²/day)
S : 2.588E-04
r/B : 7.599E-01
a : 7.944E-01
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000

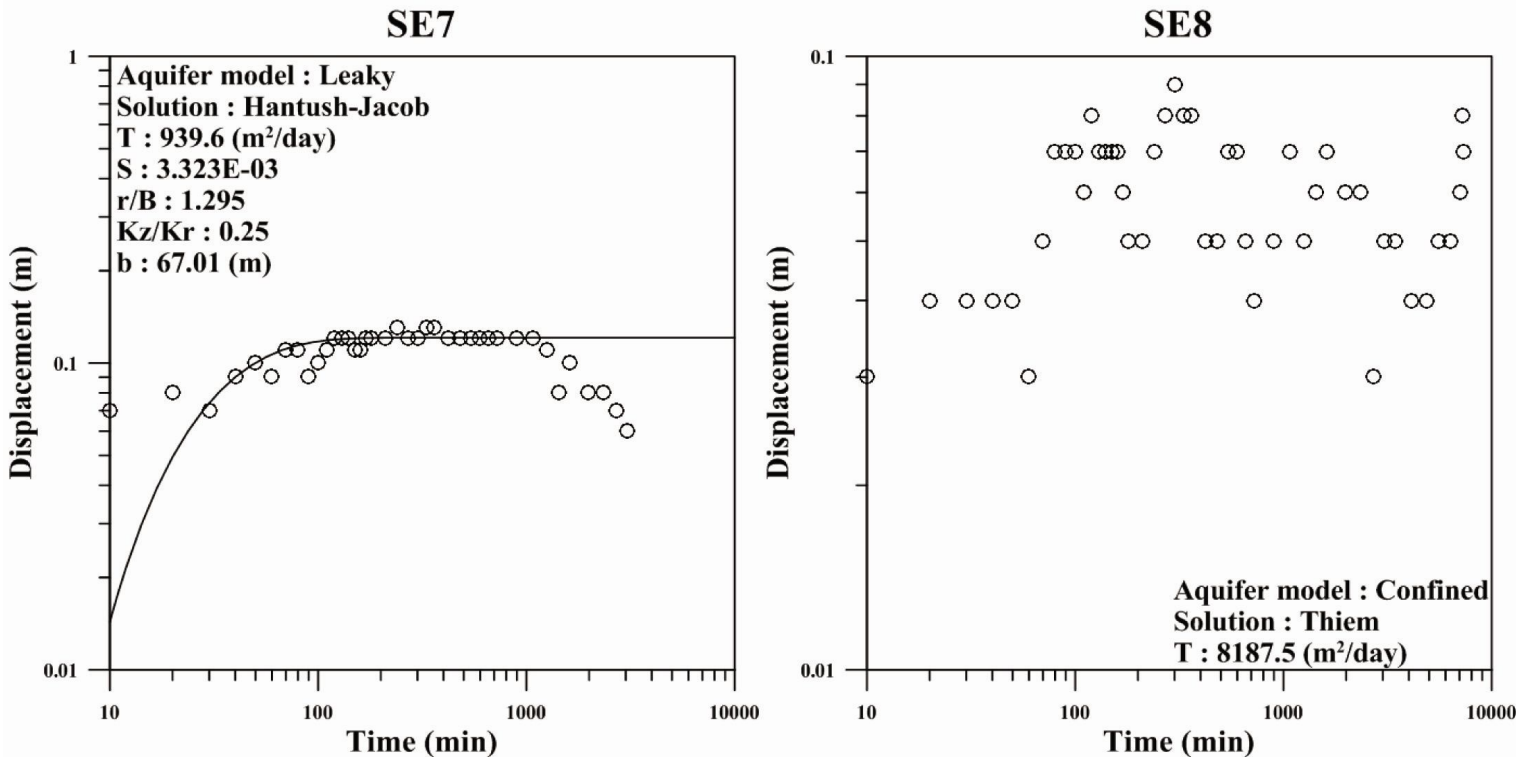

JE7
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 3533.4 (m²/day)
S : 8.273E-03
r/B : 5.277E-01
a : 1E-05
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000
JE8
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 18520 (m²/day)
S : 6.714E-03
r/B : 9.377E-02
a : 4.935E-03
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000

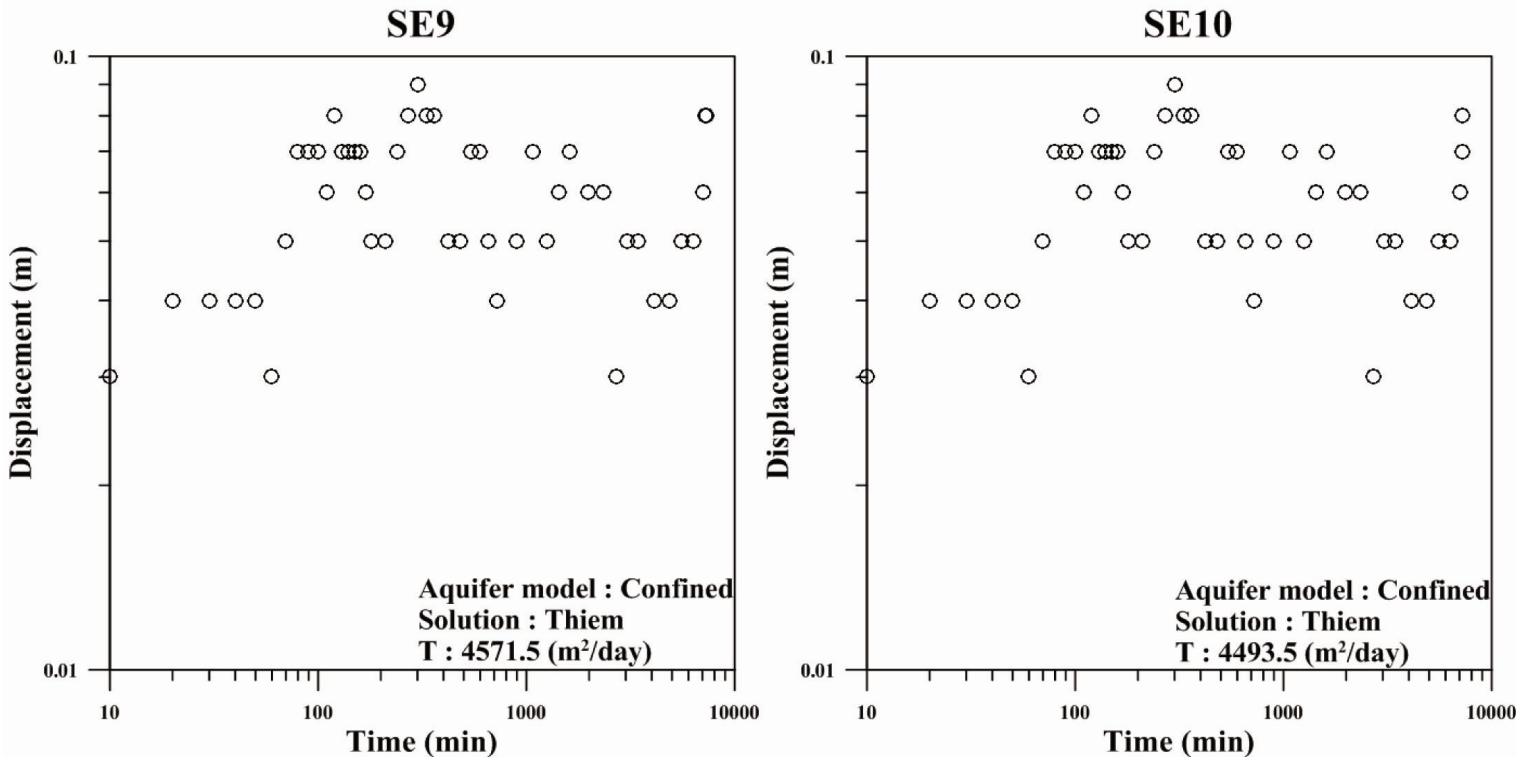

JE9
0.1
0.01
Displacement (m)
10
100
1000
10000
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2712.2 (m²/day)
S : 7.687E-06
r/B : 1.041
a : 9.794
Sw : 10
Rw : 2.166 (m)
JE10
0.1
0.01
Displacement (m)
10
100
1000
10000
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 8168.5 (m²/day)
S : 2.332E-31
r/B : 3.249E-01
Kz/Kr : 0.25
b : 60.99

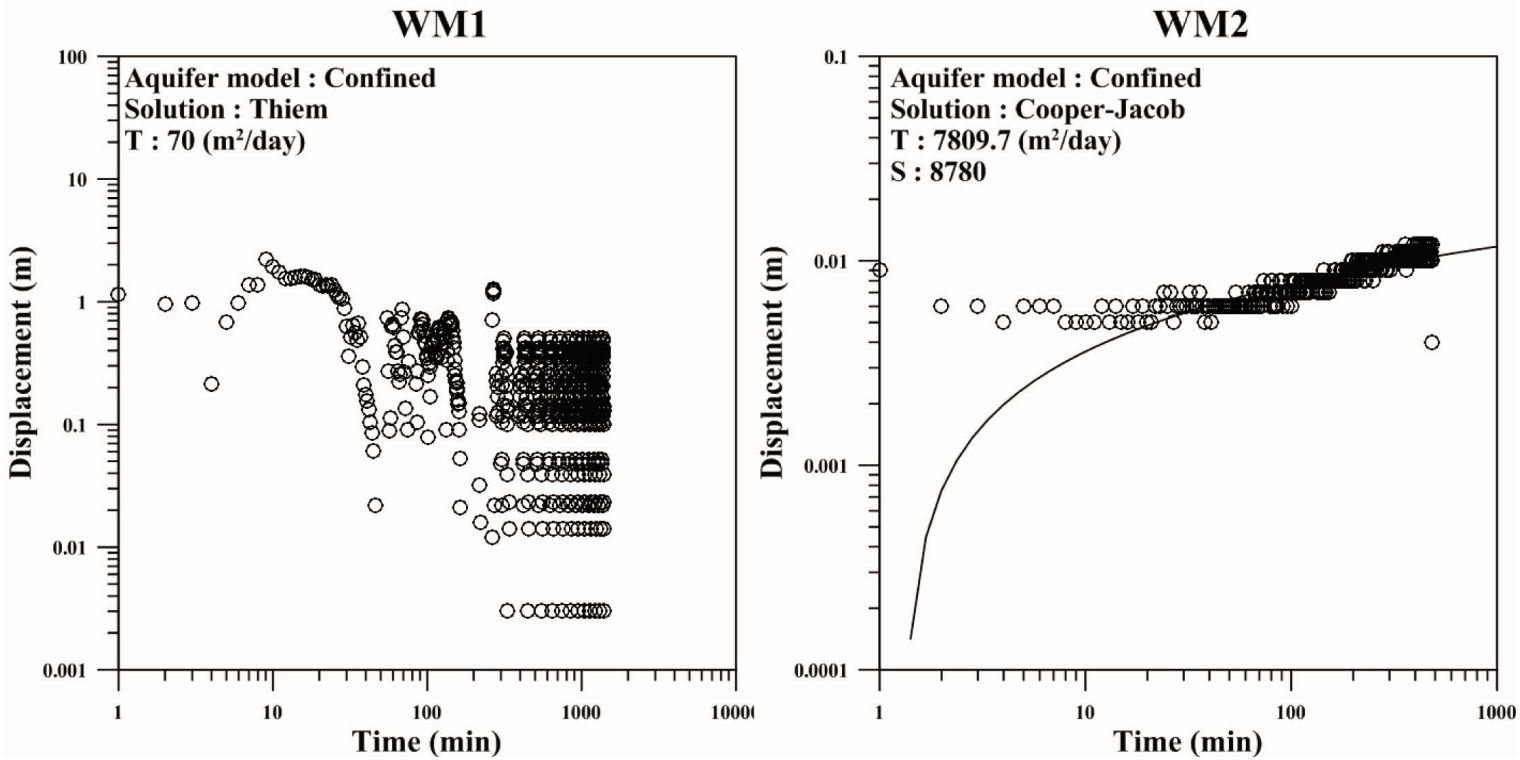

SE1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 18772.7 (m²/day)
Displacement (m)
0.1
0.01
10
100
1000
10000
Time (min)
SE2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 24059.1 (m²/day)
Displacement (m)
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000
Time (min)

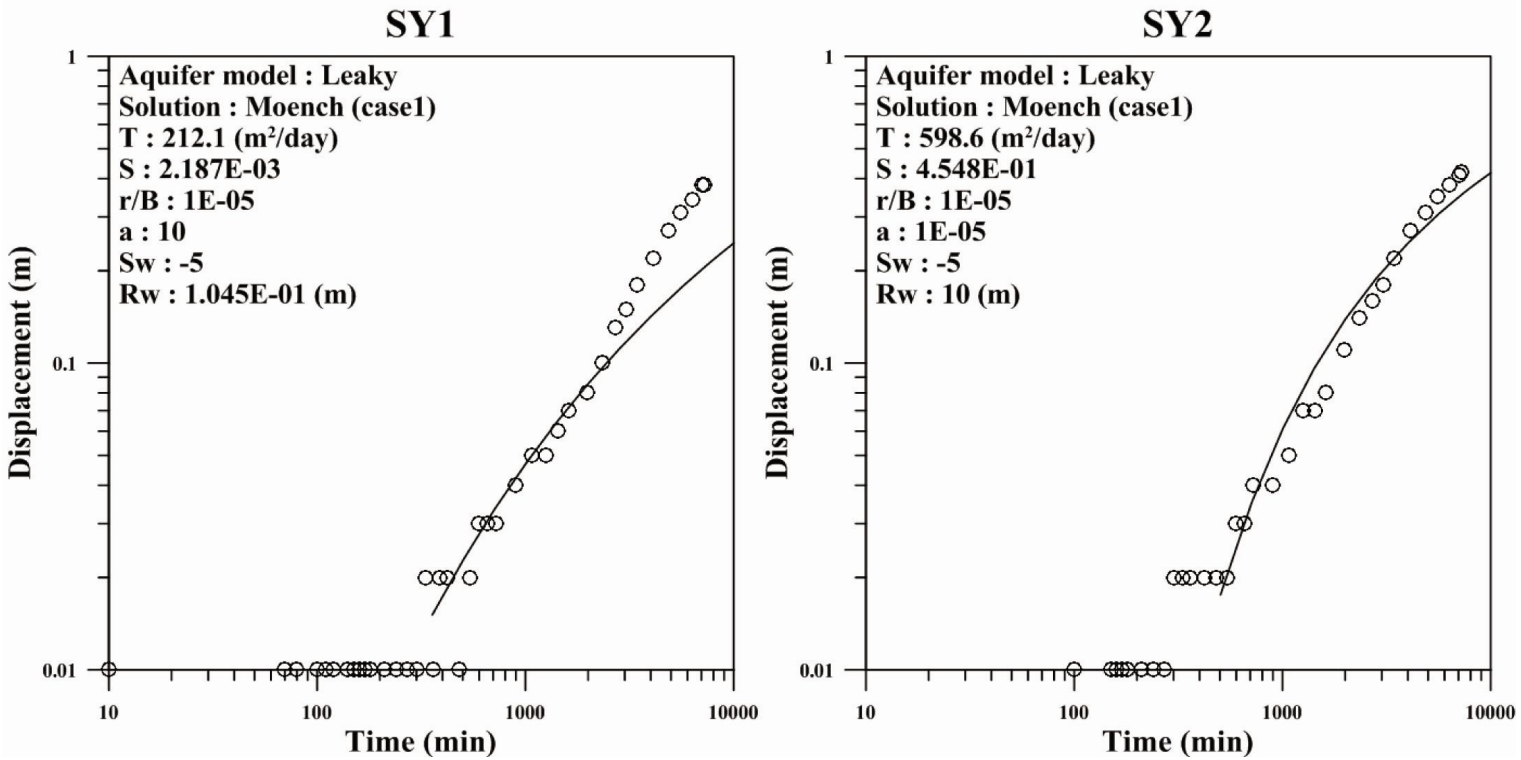

SE3
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 8242.5 (m²/day)
Displacement (m)
0.1
0.01
10
100
1000
10000
Time (min)
SE4
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2375.1 (m²/day)
S : 1.8E-05
r/B : 9.509E-01
a : 5.259
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000
Time (min)

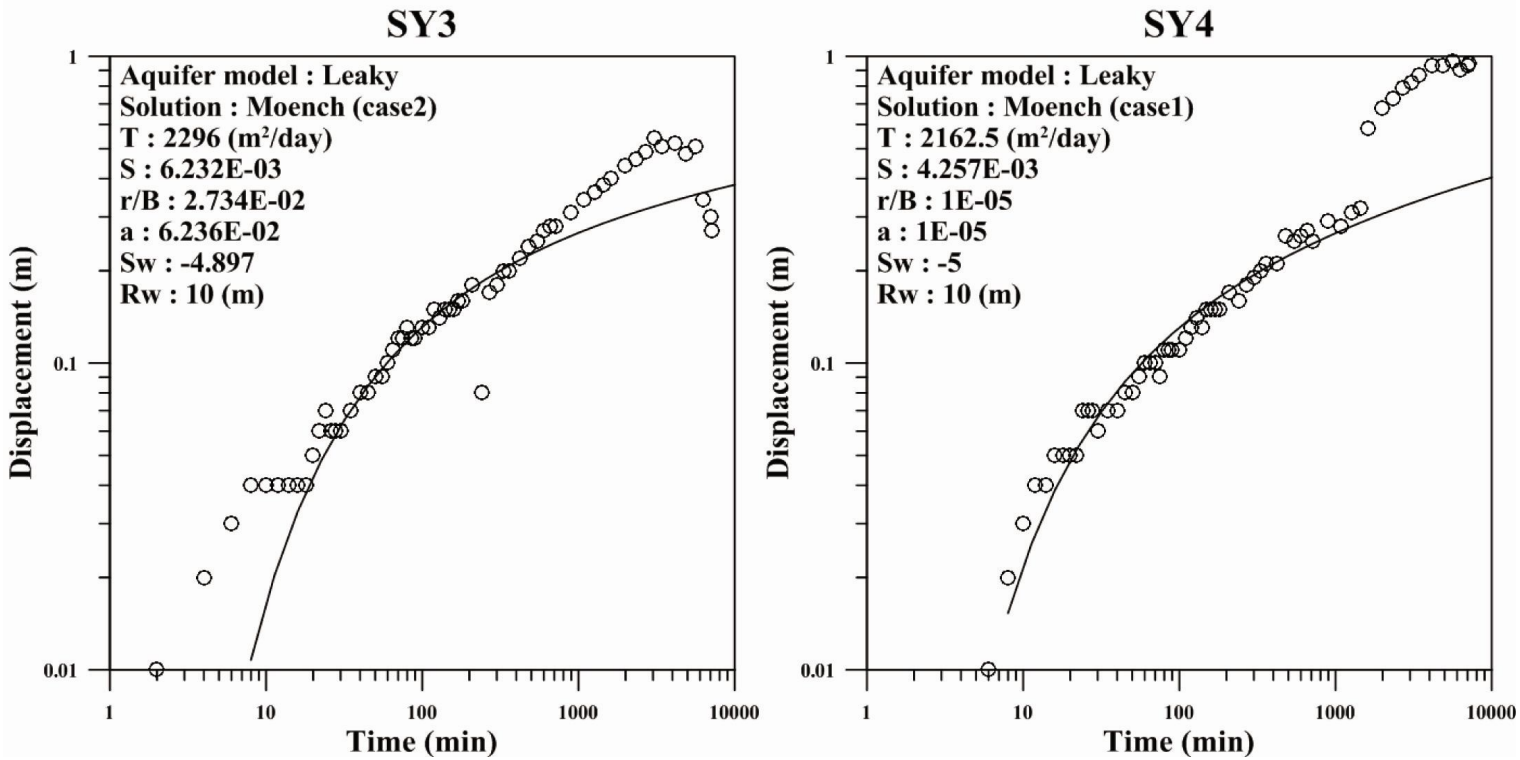

SE5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1790.3 (m²/day)
S : 2.773E-05
r/B : 1.152
a : 6.997
Sw : -5
Rw : 8.765 (m)
Displacement (m)
Time (min)
SE6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 5355.2 (m²/day)
S : 6.171E-04
r/B : 4.753E-02
a : 8.315E-01
Sw : -1.639
Rw : 8.408E-01 (m)
Displacement (m)
Time (min)

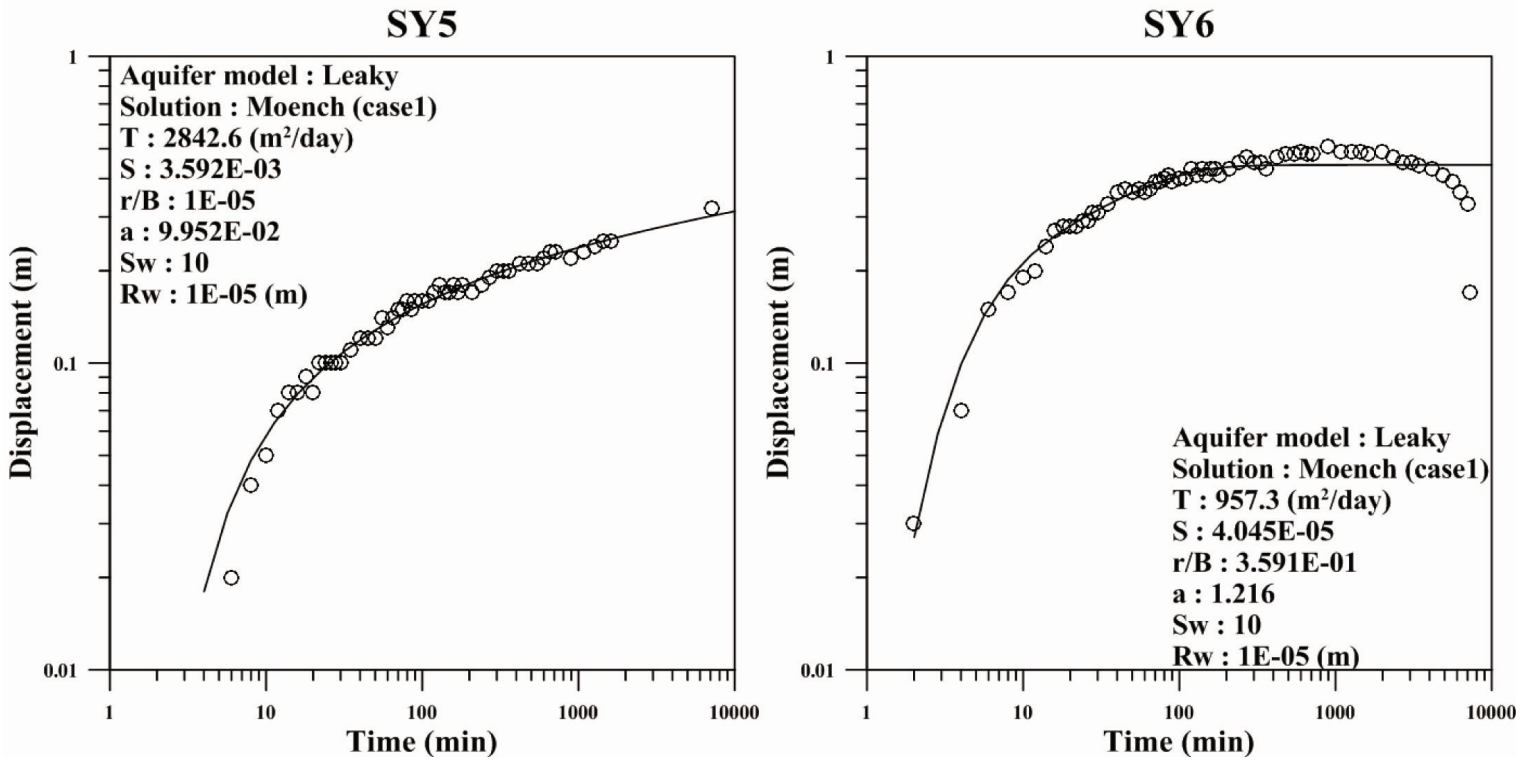

SE7
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 939.6 (m²/day)
S : 3.323E-03
r/B : 1.295
Kz/Kr : 0.25
b : 67.01 (m)
Displacement (m)
Time (min)
SE8
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 8187.5 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

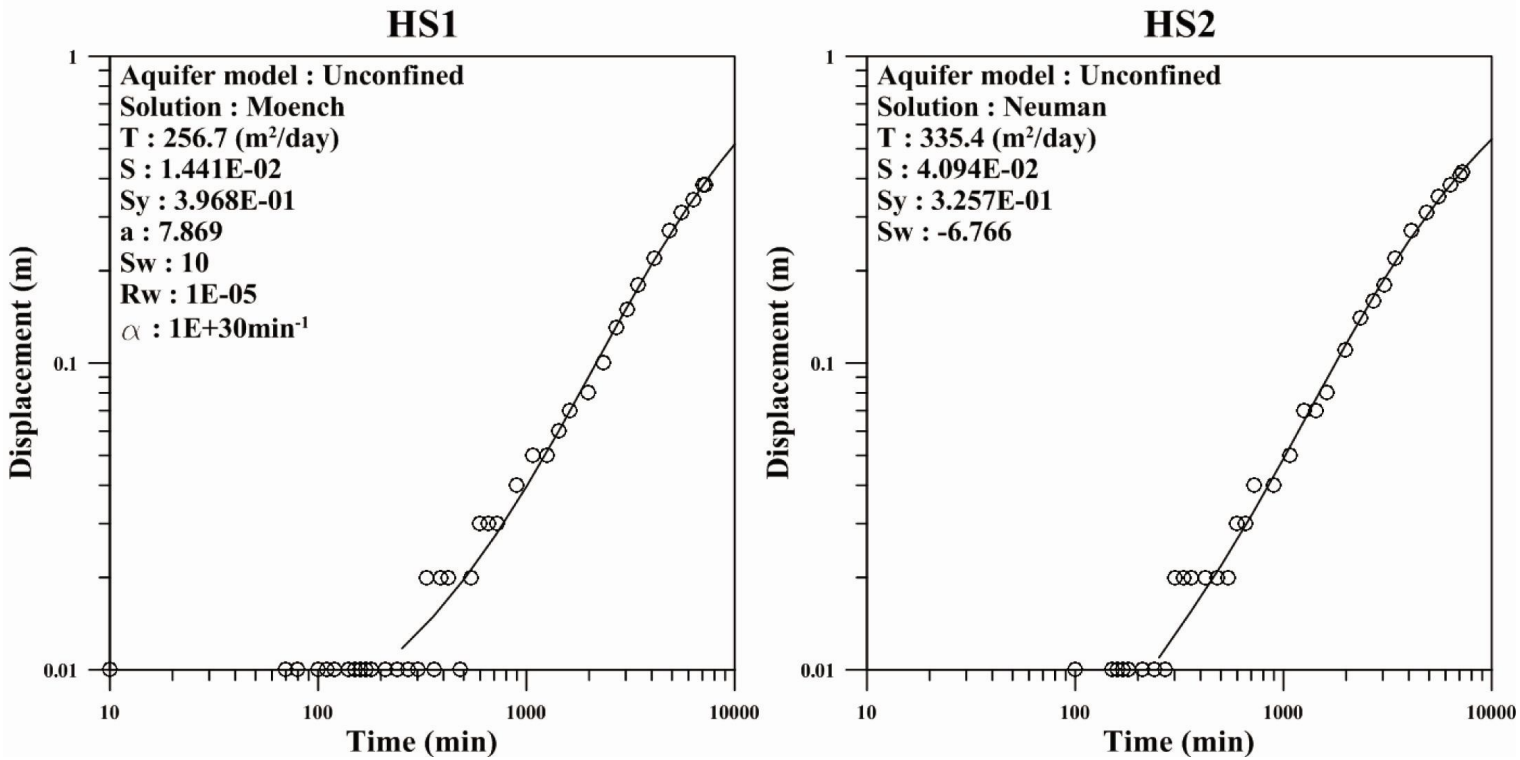

SE9
0.1
0.01
Displacement (m)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 4571.5 (m²/day)
10
100
1000
10000
Time (min)
SE10
0.1
0.01
Displacement (m)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 4493.5 (m²/day)
10
100
1000
10000
Time (min)

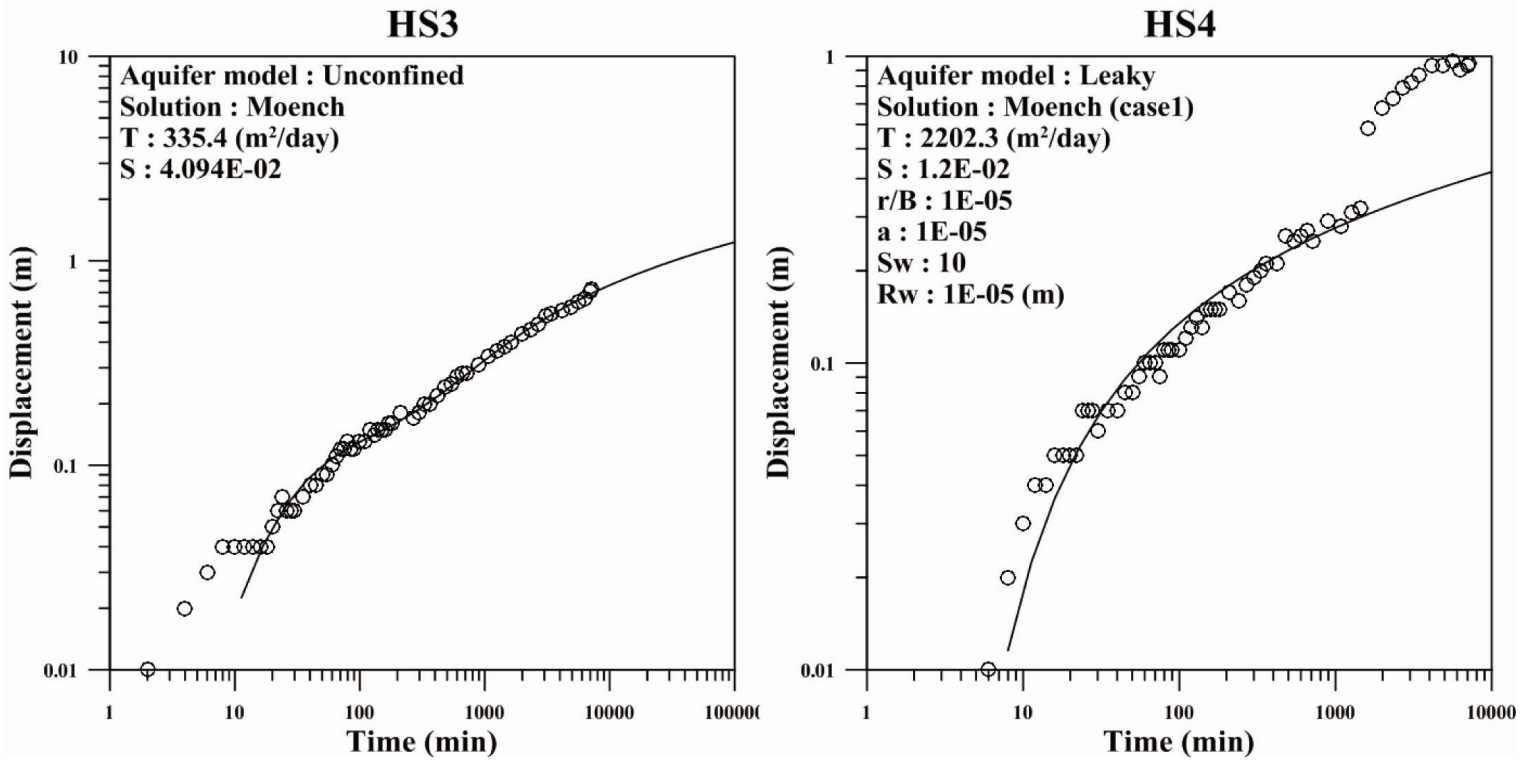

WM1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 70 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
WM2
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 7809.7 (m²/day)
S : 8780
Displacement (m)
Time (min)

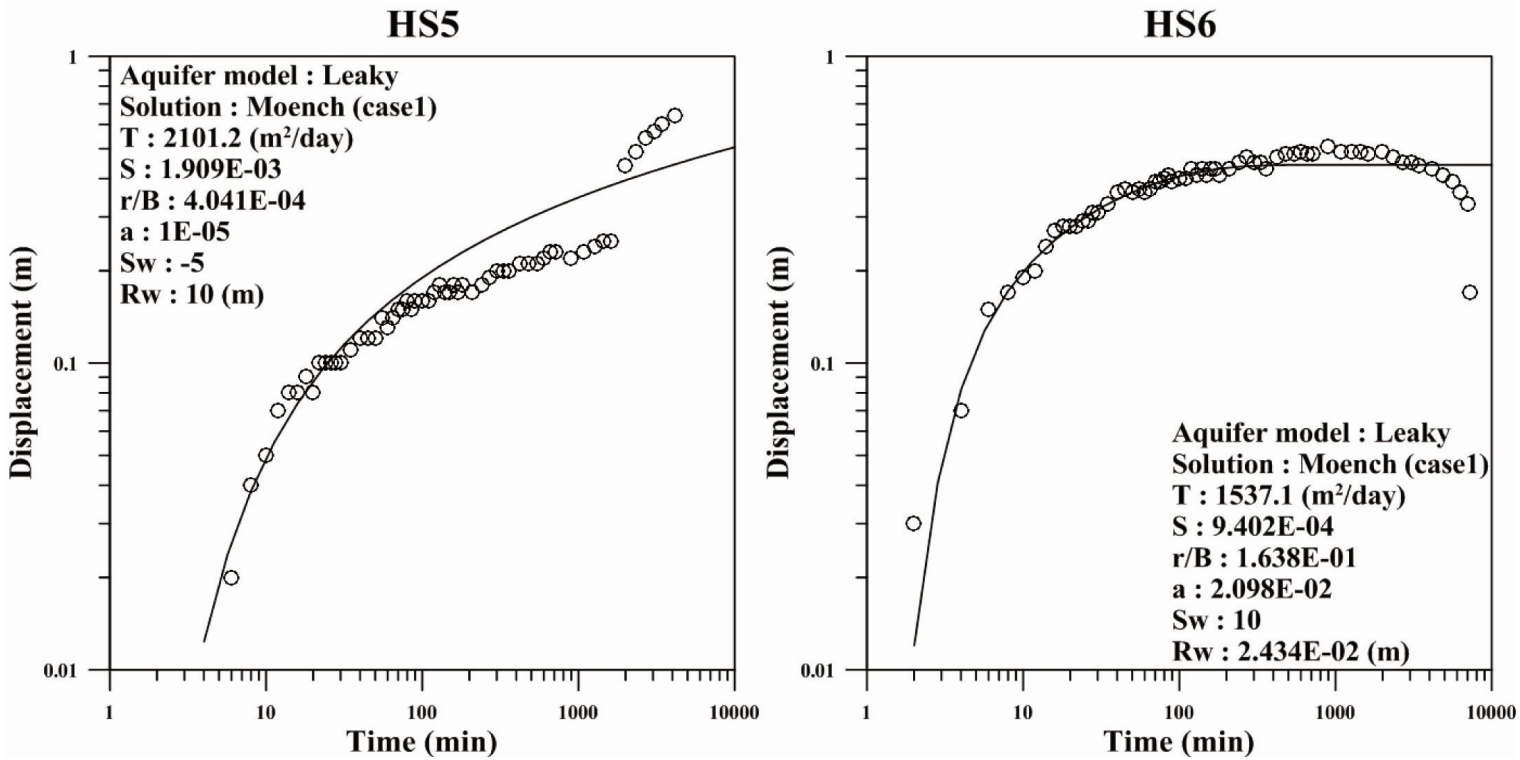

SY1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 212.1 (m²/day)
S : 2.187E-03
r/B : 1E-05
a : 10
Sw : -5
Rw : 1.045E-01 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000
SY2
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 598.6 (m²/day)
S : 4.548E-01
r/B : 1E-05
a : 1E-05
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)

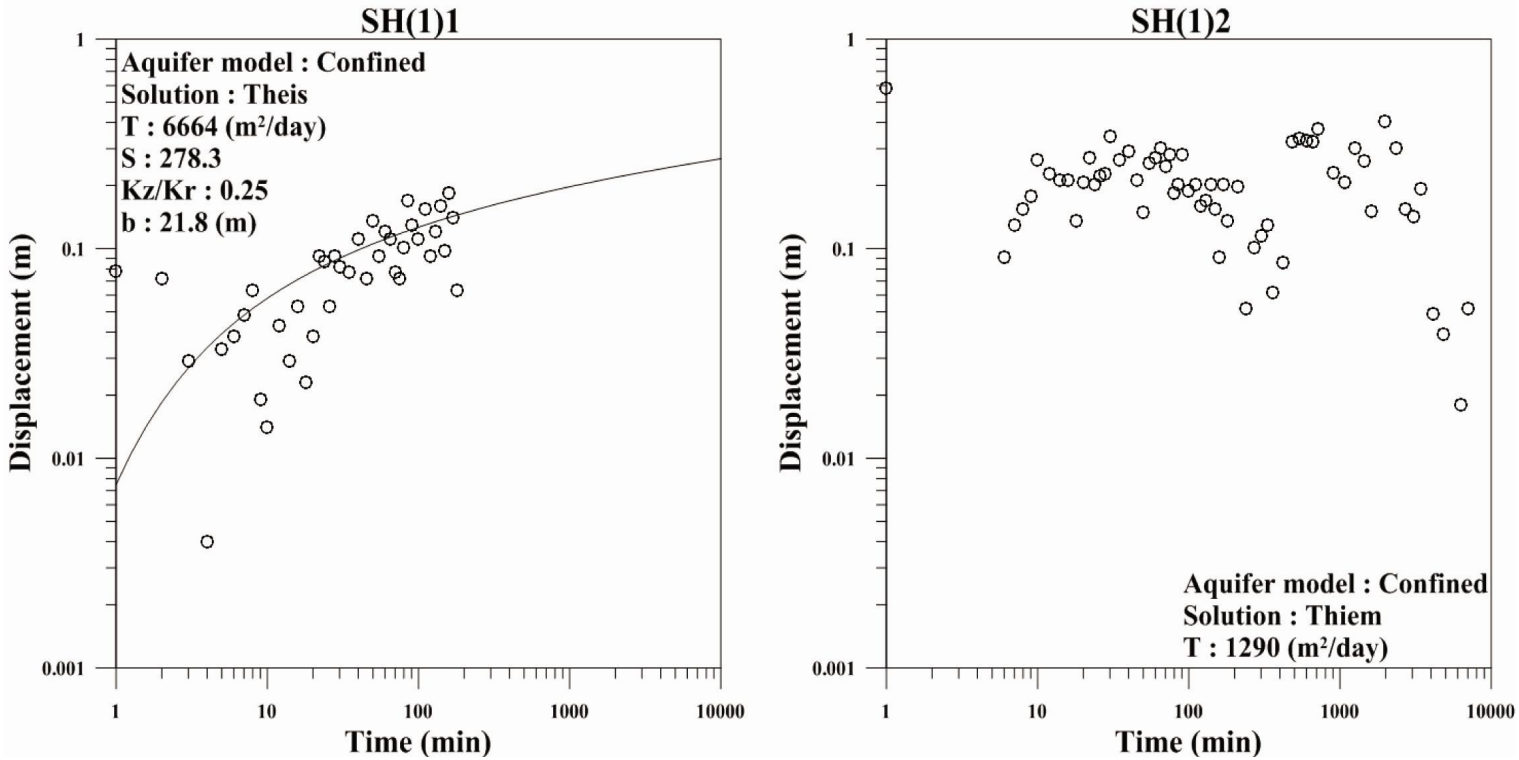

SY3
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case2)
T : 2296 (m²/day)
S : 6.232E-03
r/B : 2.734E-02
a : 6.236E-02
Sw : -4.897
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
SY4
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2162.5 (m²/day)
S : 4.257E-03
r/B : 1E-05
a : 1E-05
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)

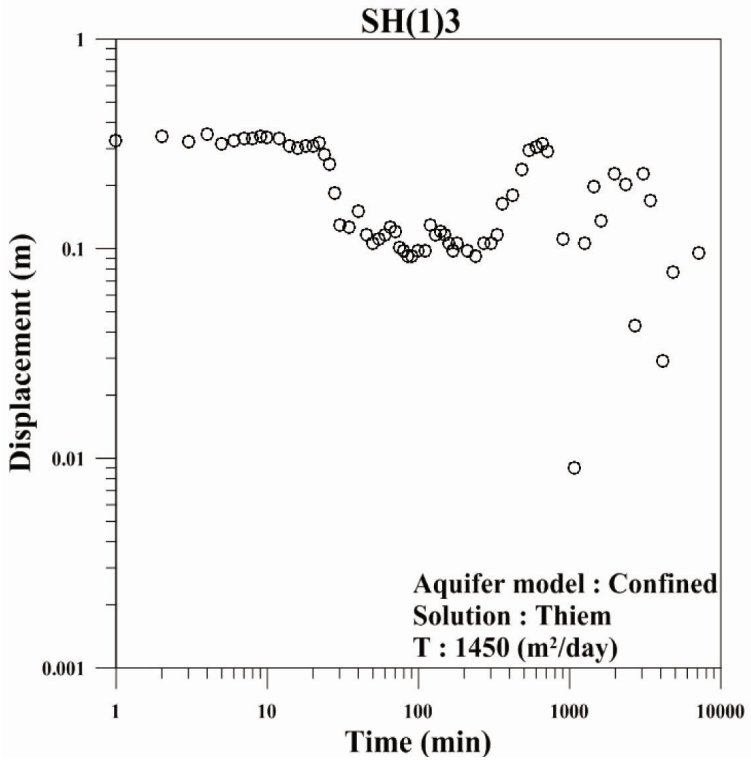

SY5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2842.6 (m²/day)
S : 3.592E-03
r/B : 1E-05
a : 9.952E-02
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
SY6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 957.3 (m²/day)
S : 4.045E-05
r/B : 3.591E-01
a : 1.216
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)

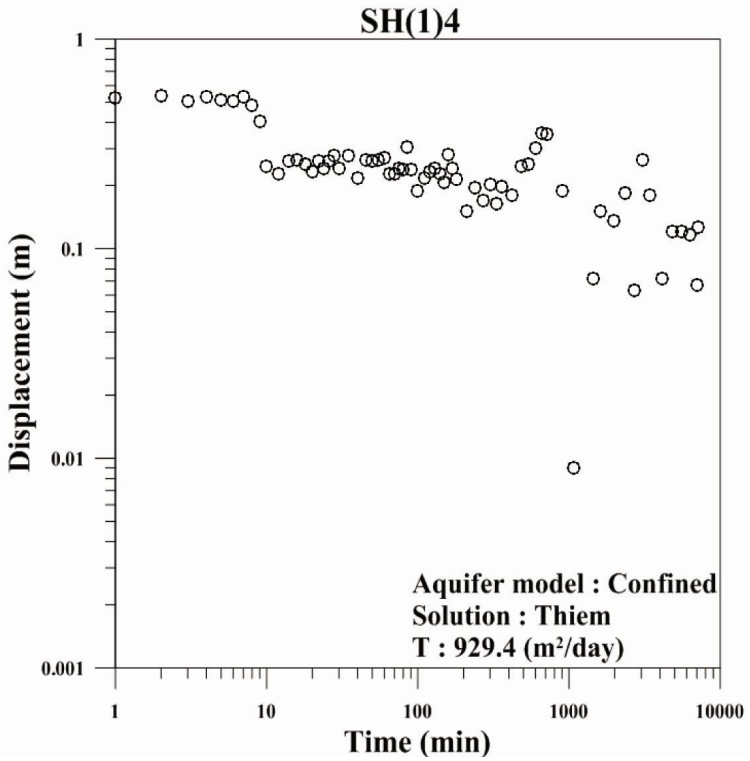

HS1
Aquifer model : Unconfined
Solution : Moench
T : 256.7 (m²/day)
S : 1.441E-02
Sy : 3.968E-01
a : 7.869
Sw : 10
Rw : 1E-05
α : 1E+30min⁻¹
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000
HS2
Aquifer model : Unconfined
Solution : Neuman
T : 335.4 (m²/day)
S : 4.094E-02
Sy : 3.257E-01
Sw : -6.766
Displacement (m)
Time (min)

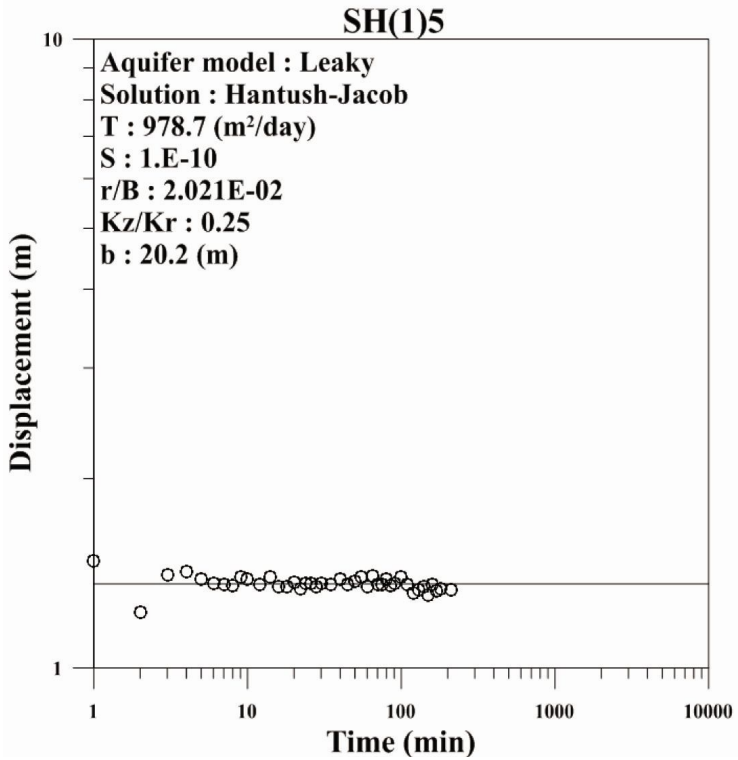

HS3
Aquifer model : Unconfined
Solution : Moench
T : 335.4 (m²/day)
S : 4.094E-02
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
HS4
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2202.3 (m²/day)
S : 1.2E-02
r/B : 1E-05
a : 1E-05
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000

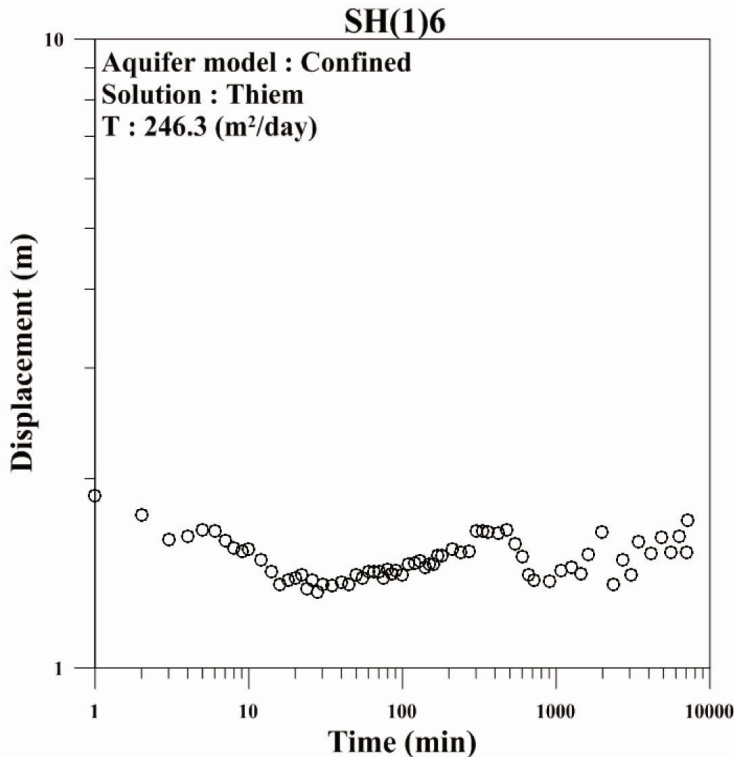

HS5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2101.2 (m²/day)
S : 1.909E-03
r/B : 4.041E-04
a : 1E-05
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
HS6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1537.1 (m²/day)
S : 9.402E-04
r/B : 1.638E-01
a : 2.098E-02
Sw : 10
Rw : 2.434E-02 (m)
Displacement (m)
Time (min)

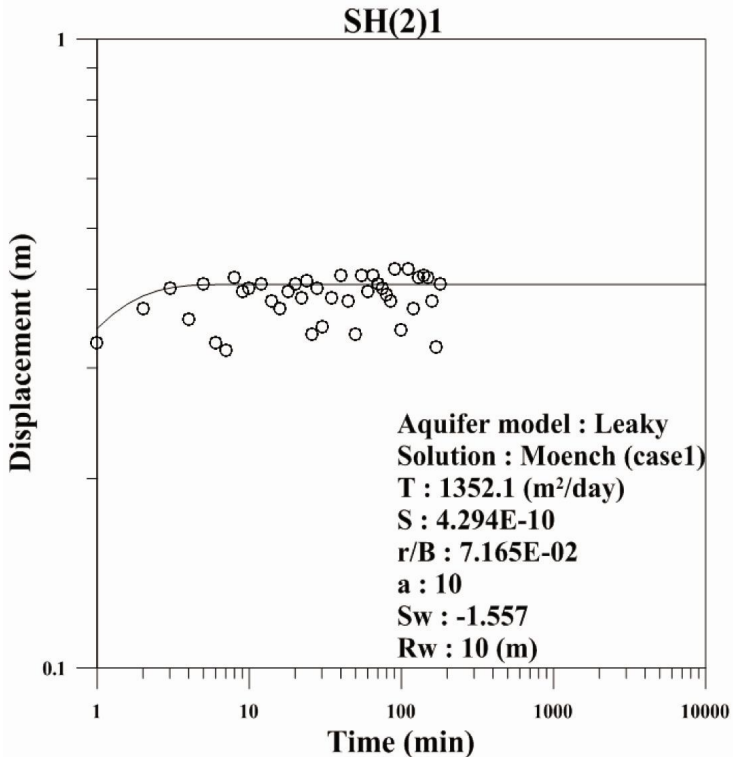

SH(1)1
Aquifer model : Confined
Solution : Theis
T : 6664 (m²/day)
S : 278.3
Kz/Kr : 0.25
b : 21.8 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
0.001
1
10
100
1000
10000
SH(1)2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1290 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

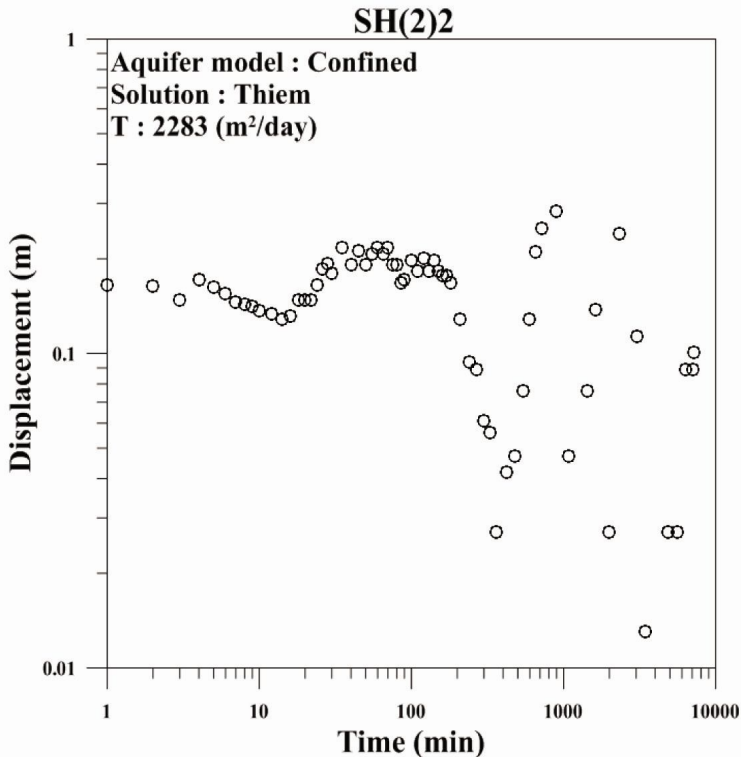

SH(1)3
Displacement (m)
1
0.1
0.01
0.001
1
10
100
1000
10000
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1450 (m²/day)

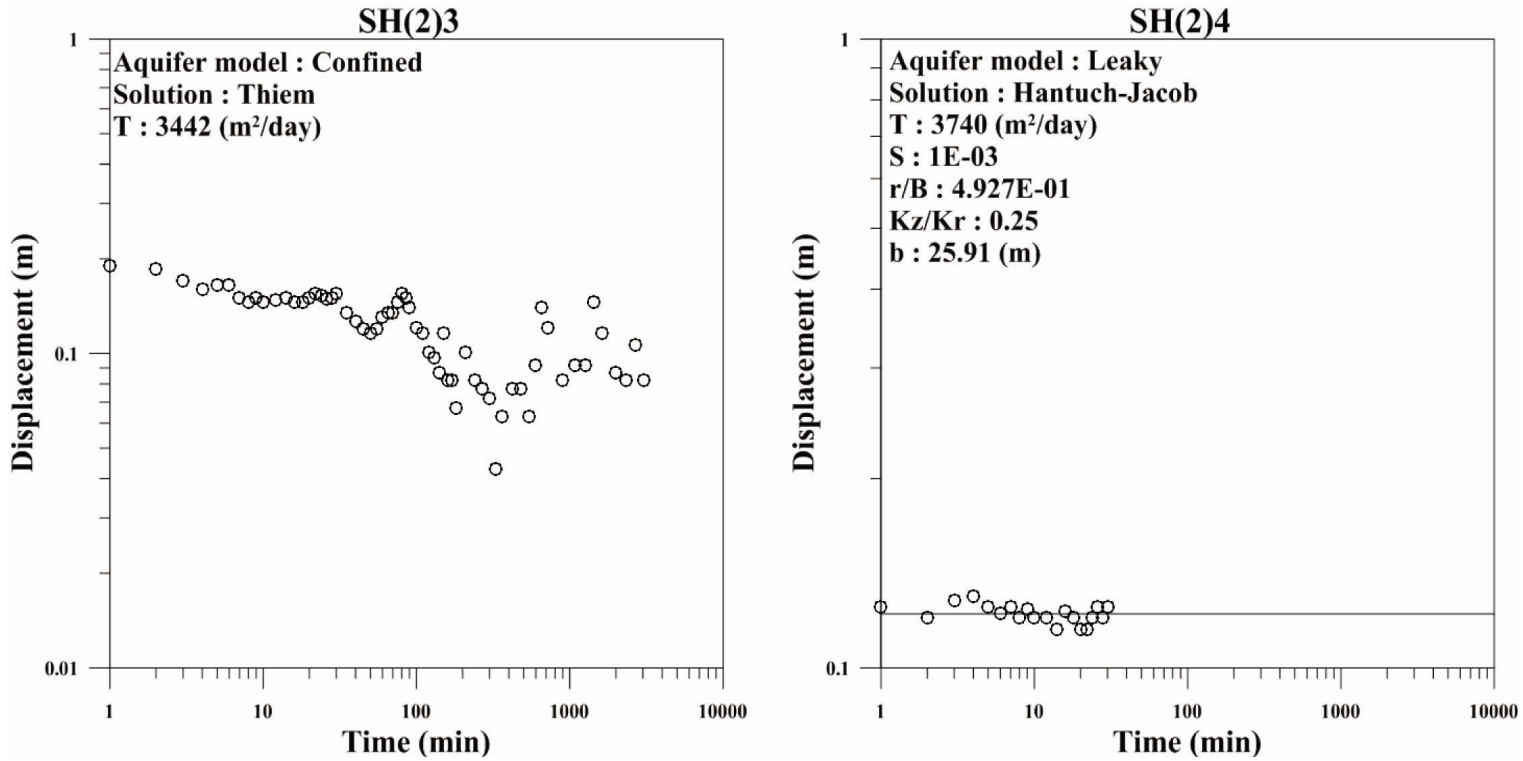

SH(1)4
Displacement (m)
1
0.1
0.01
0.001
1
10
100
1000
10000
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 929.4 (m²/day)

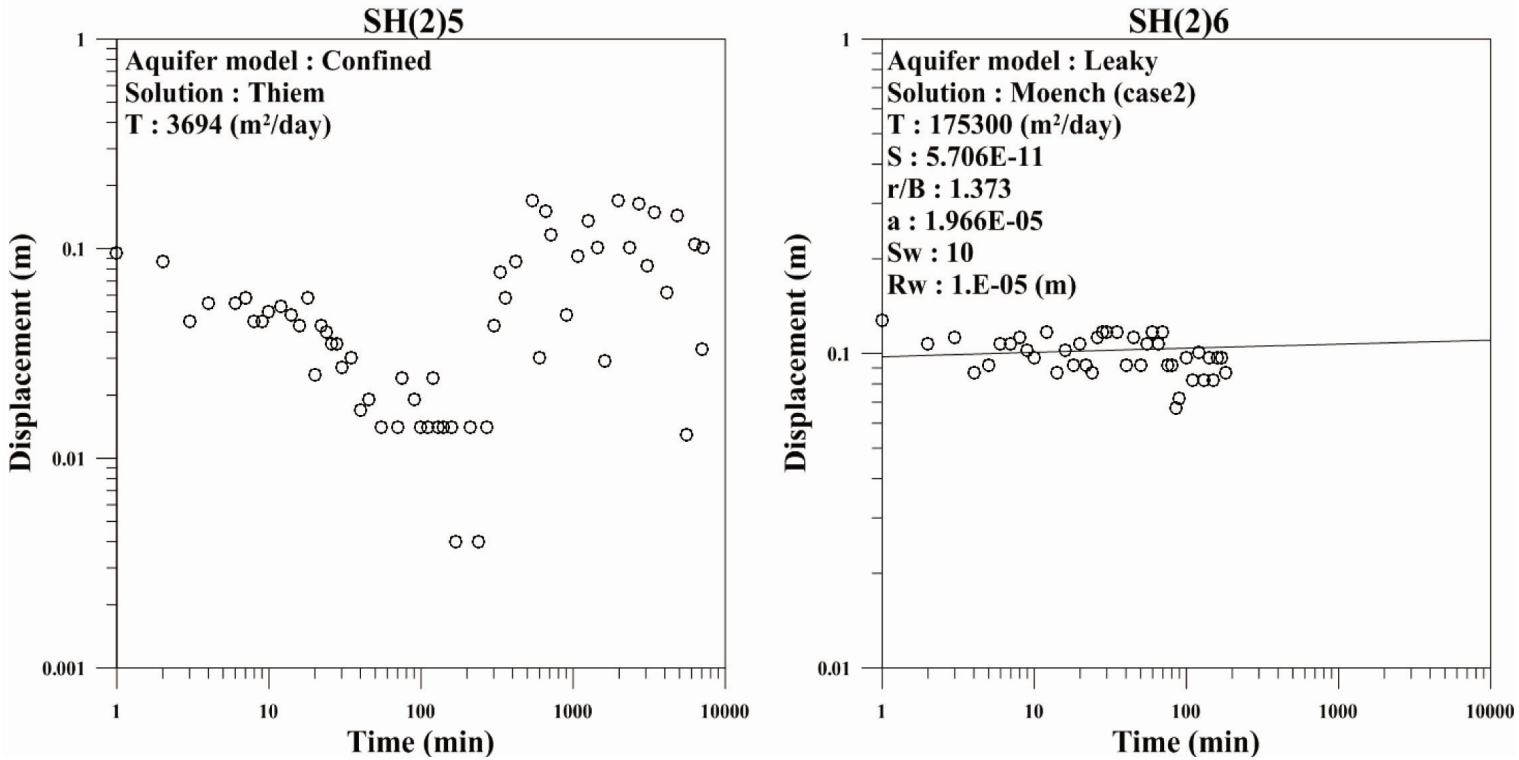

SH(1)5
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 978.7 (m²/day)
S : 1.E-10
r/B : 2.021E-02
Kz/Kr : 0.25
b : 20.2 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000
10000

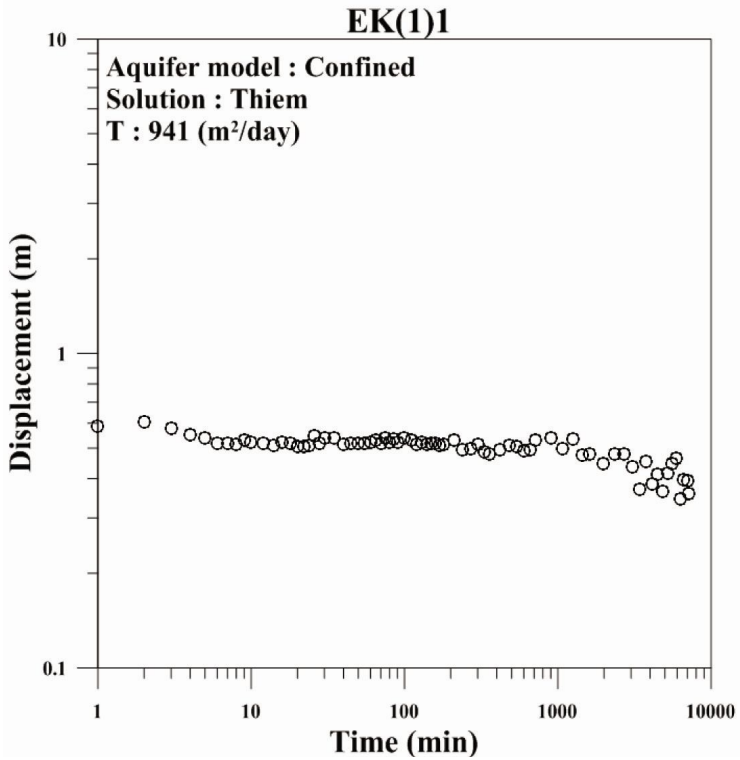

SH(1)6
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 246.3 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000
10000

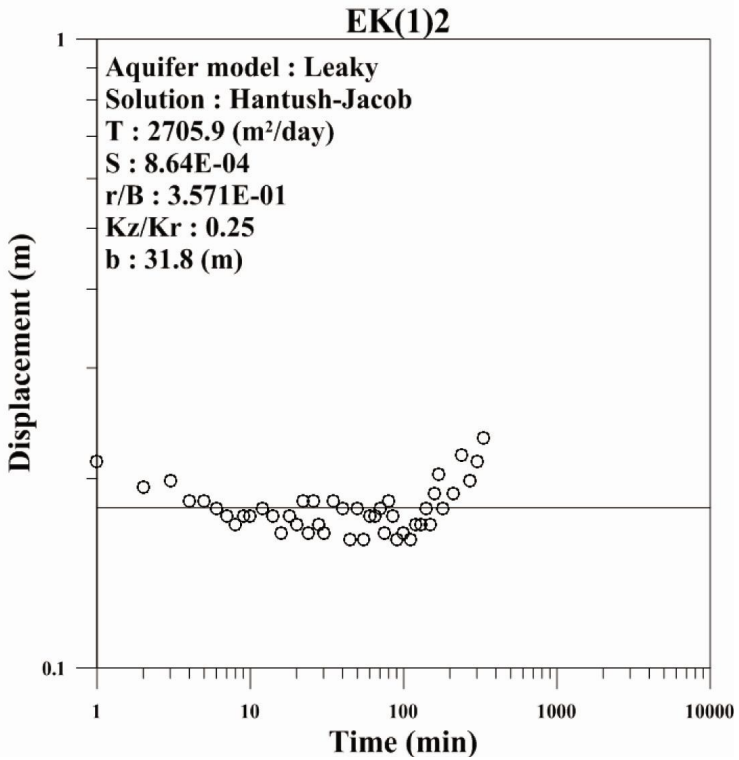

SH(2)1
Displacement (m)
1
0.1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1352.1 (m²/day)
S : 4.294E-10
r/B : 7.165E-02
a : 10
Sw : -1.557
Rw : 10 (m)
1
10
100
1000
10000
Time (min)

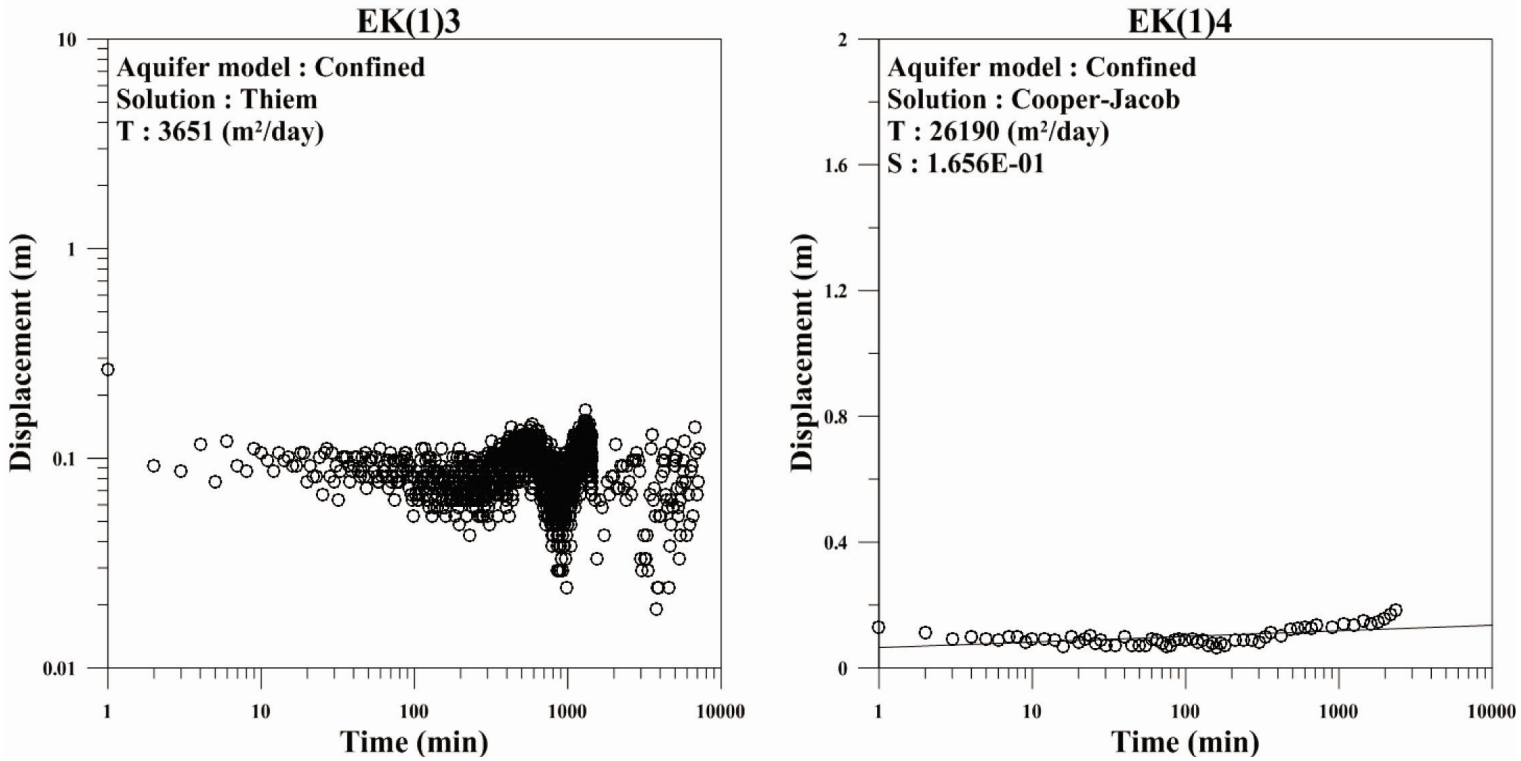

SH(2)2
Displacement (m)
1
0.1
0.01
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 2283 (m²/day)
1
10
100
1000
10000
Time (min)

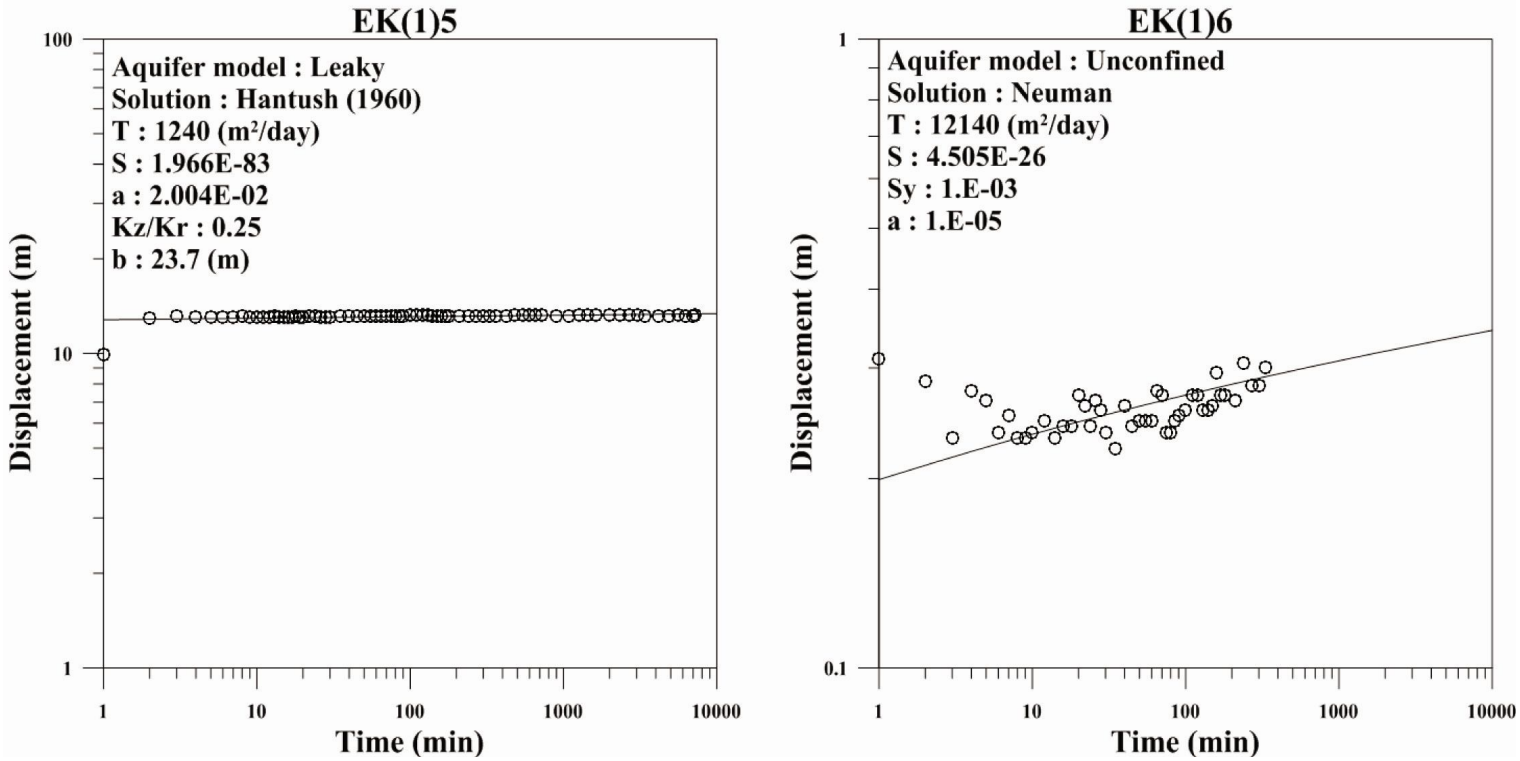

SH(2)3
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3442 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
SH(2)4
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantuch-Jacob
T : 3740 (m²/day)
S : 1E-03
r/B : 4.927E-01
Kz/Kr : 0.25
b : 25.91 (m)
Displacement (m)
Time (min)

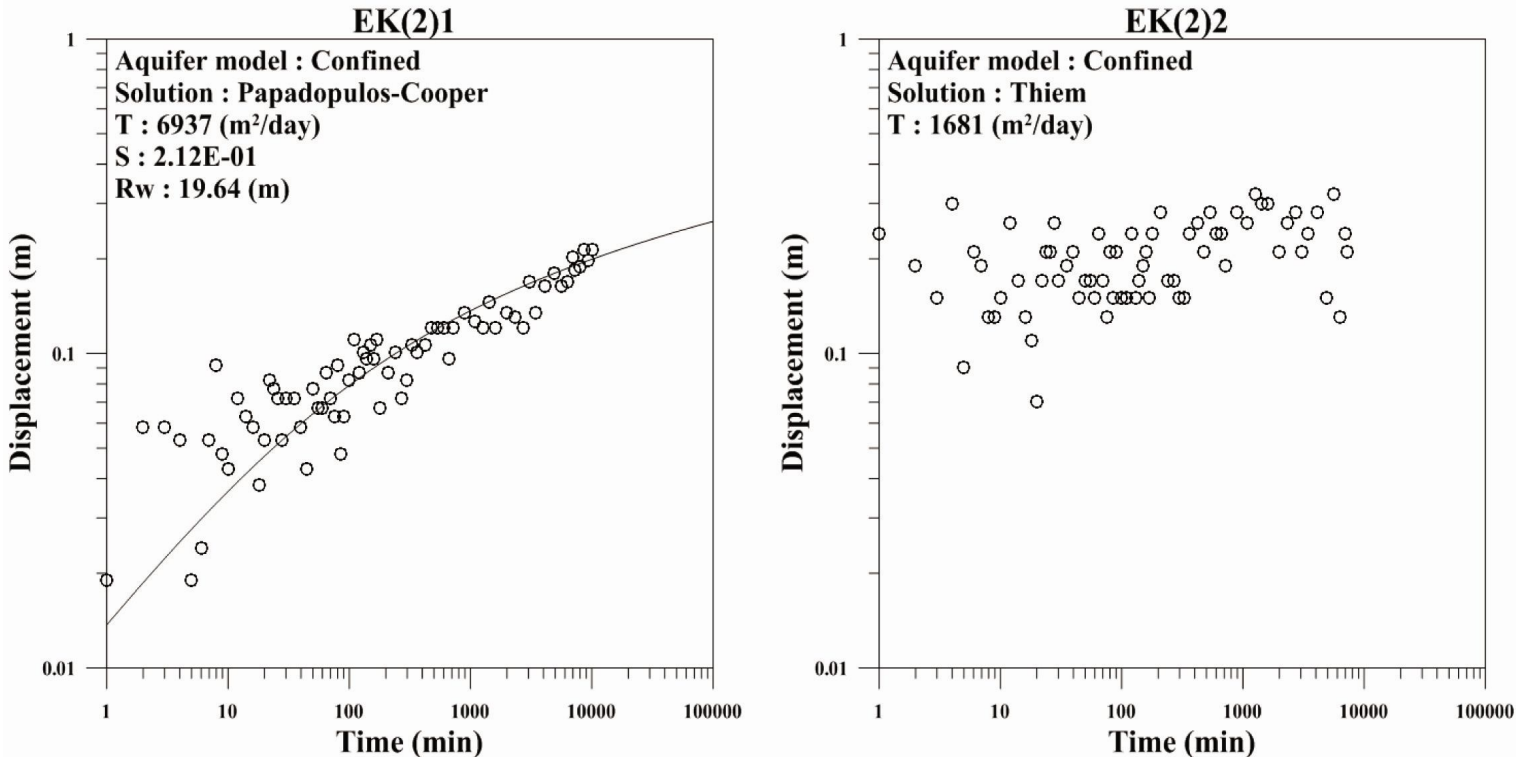

SH(2)5
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3694 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
SH(2)6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case2)
T : 175300 (m²/day)
S : 5.706E-11
r/B : 1.373
a : 1.966E-05
Sw : 10
Rw : 1.E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)

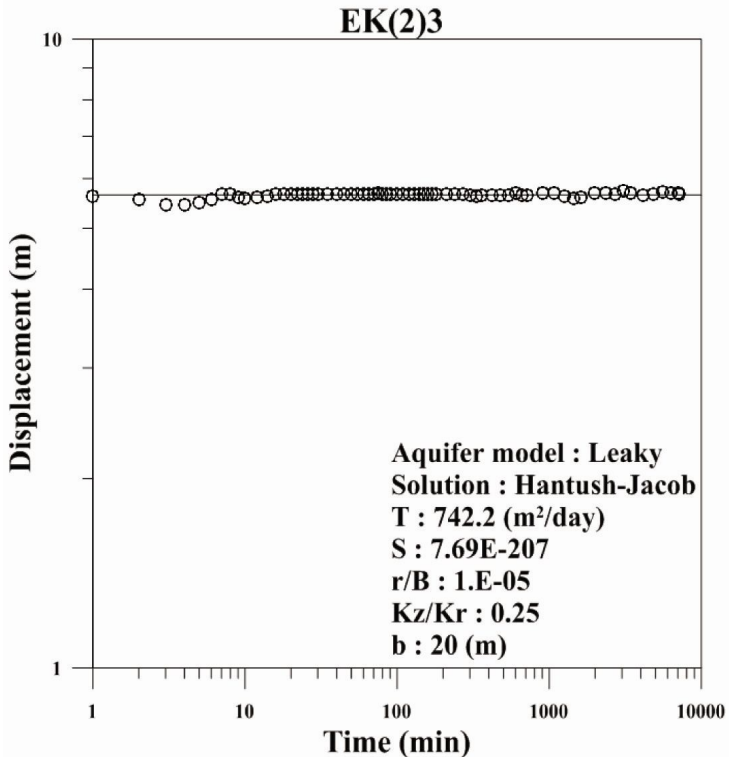

EK(1)1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 941 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
10000

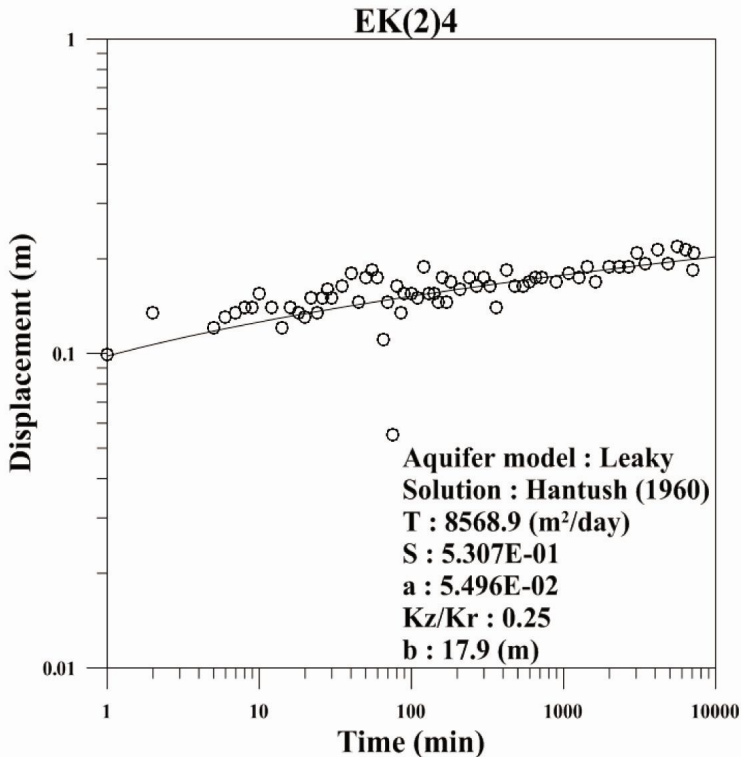

EK(1)2
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 2705.9 (m²/day)
S : 8.64E-04
r/B : 3.571E-01
Kz/Kr : 0.25
b : 31.8 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
1
10
100
1000
10000

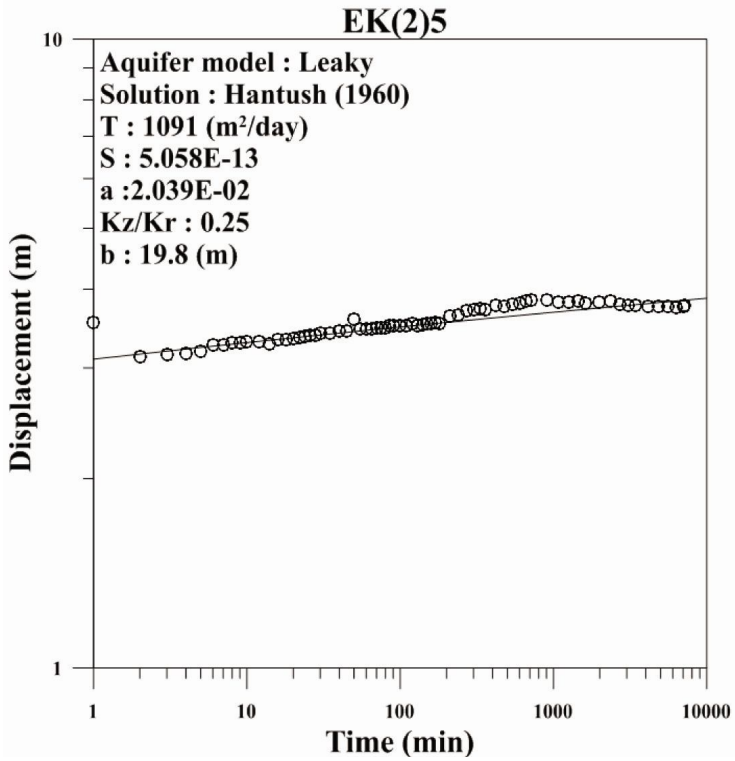

EK(1)3
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3651 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
EK(1)4
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 26190 (m²/day)
S : 1.656E-01
Displacement (m)
Time (min)

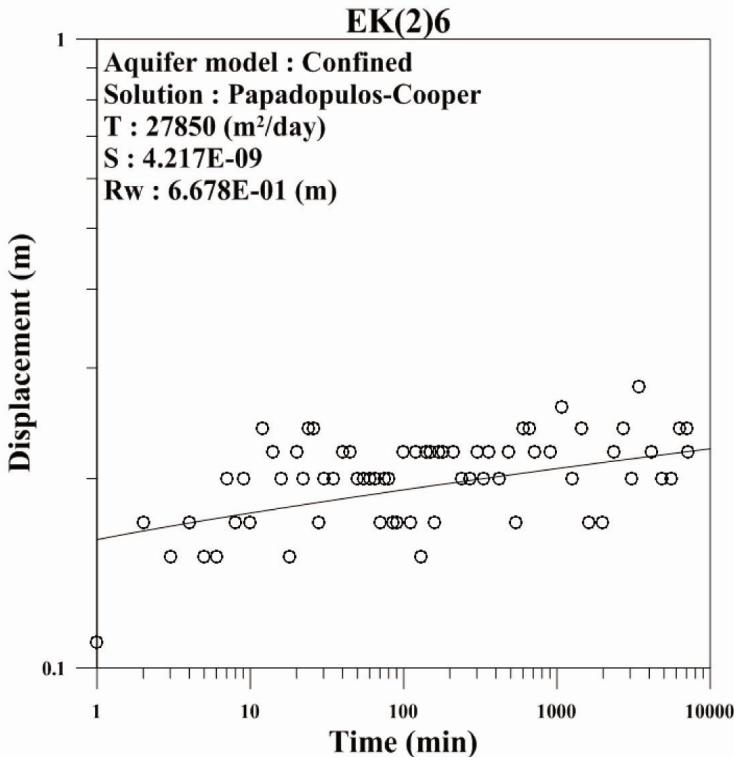

EK(1)5
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 1240 (m²/day)
S : 1.966E-83
a : 2.004E-02
Kz/Kr : 0.25
b : 23.7 (m)
Displacement (m)
Time (min)
100
10
1
1
10
100
1000
10000
EK(1)6
Aquifer model : Unconfined
Solution : Neuman
T : 12140 (m²/day)
S : 4.505E-26
Sy : 1.E-03
a : 1.E-05
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
1
10
100
1000
10000

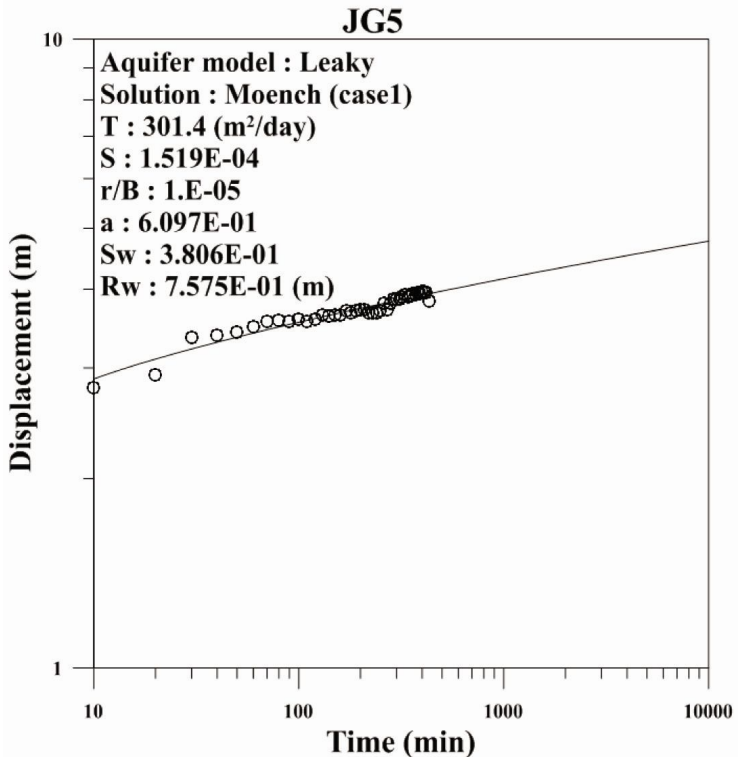

EK(2)1
Aquifer model : Confined
Solution : Papadopulos-Cooper
T : 6937 (m²/day)
S : 2.12E-01
Rw : 19.64 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
100000
EK(2)2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1681 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

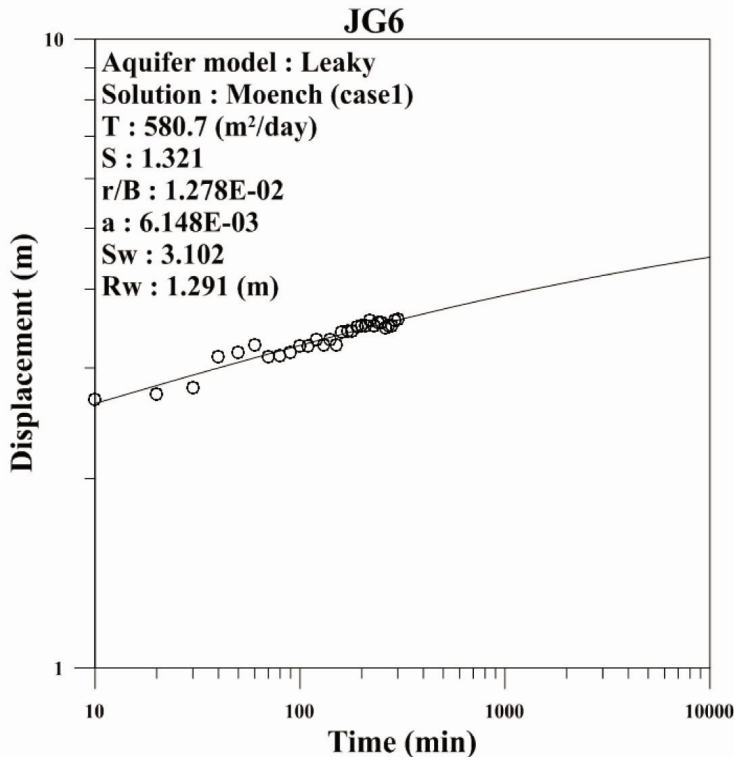

EK(2)3
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000
10000
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 742.2 (m²/day)
S : 7.69E-207
r/B : 1.E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 20 (m)

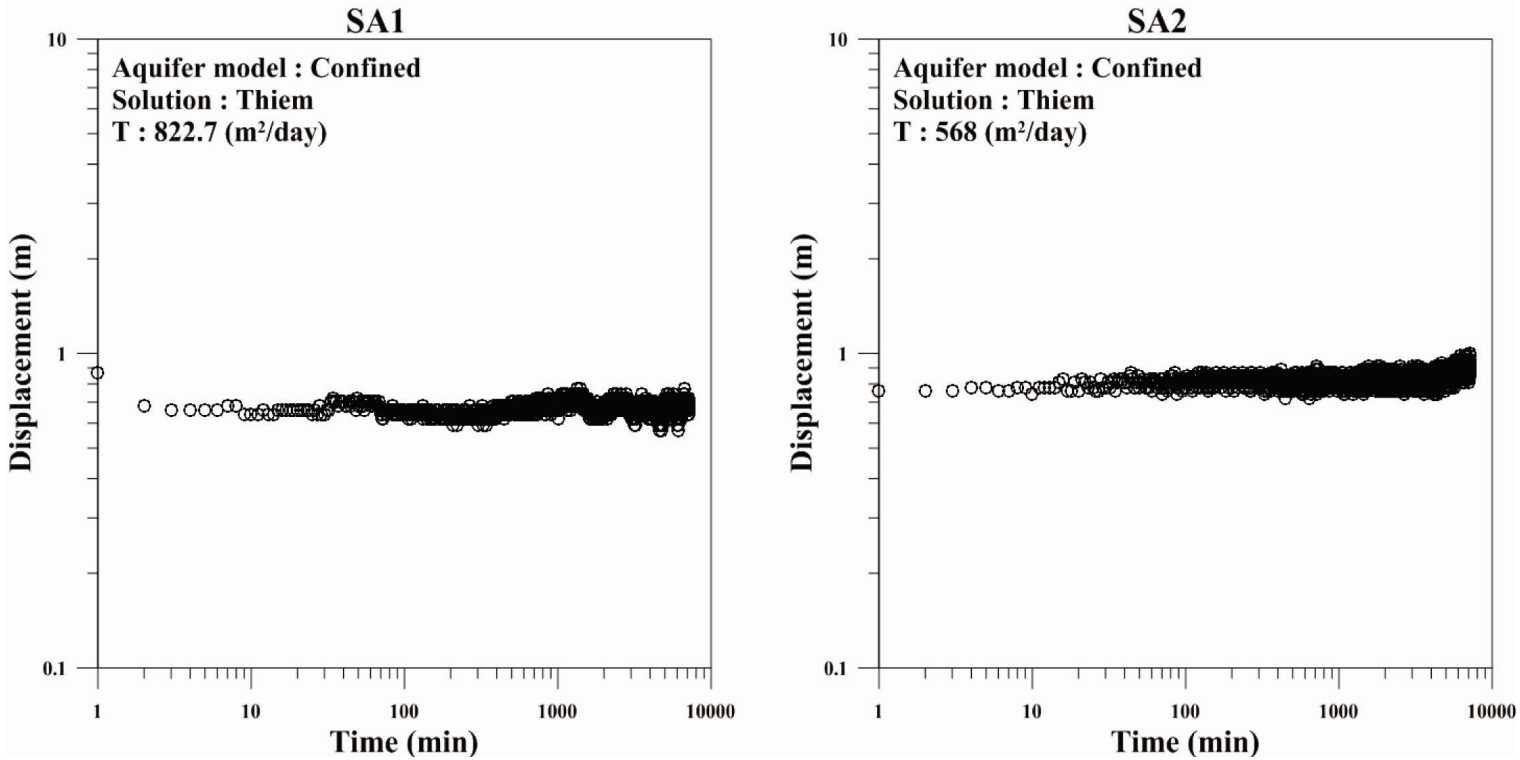

EK(2)4
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 8568.9 (m²/day)
S : 5.307E-01
a : 5.496E-02
Kz/Kr : 0.25
b : 17.9 (m)

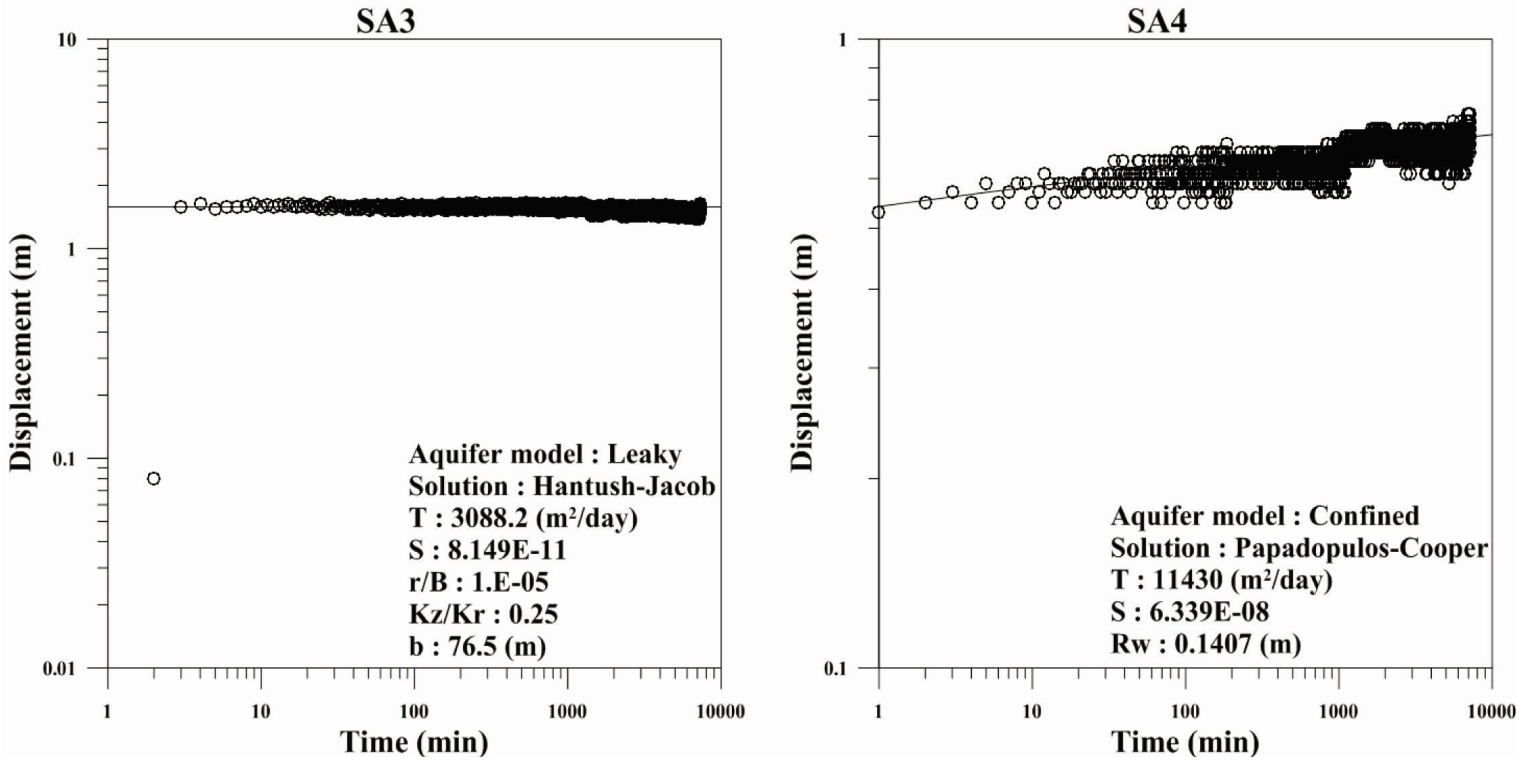

EK(2)5
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 1091 (m²/day)
S : 5.058E-13
a :2.039E-02
Kz/Kr : 0.25
b : 19.8 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000
10000

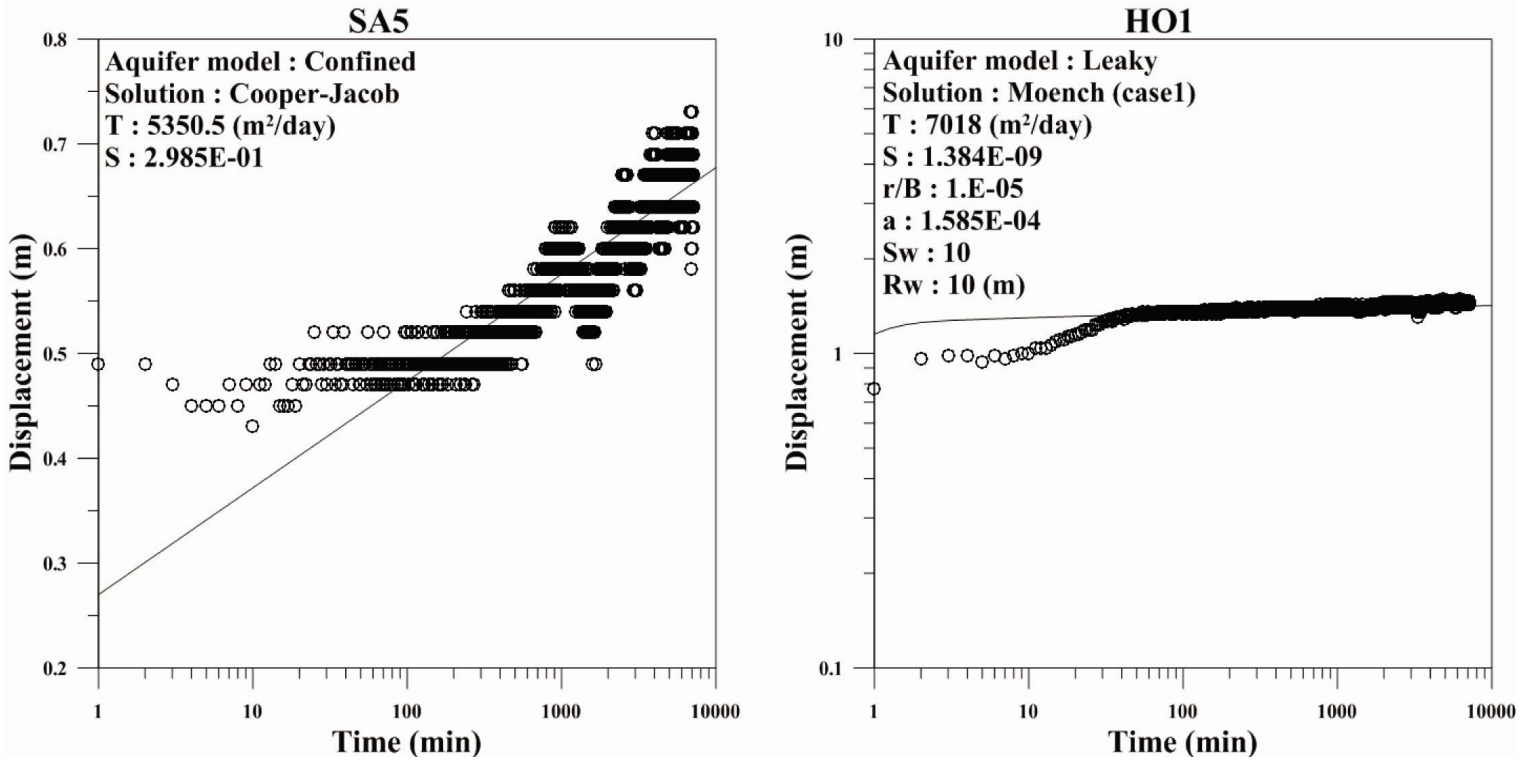

EK(2)6
Aquifer model : Confined
Solution : Papadopulos-Cooper
T : 27850 (m²/day)
S : 4.217E-09
Rw : 6.678E-01 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
1
10
100
1000
10000

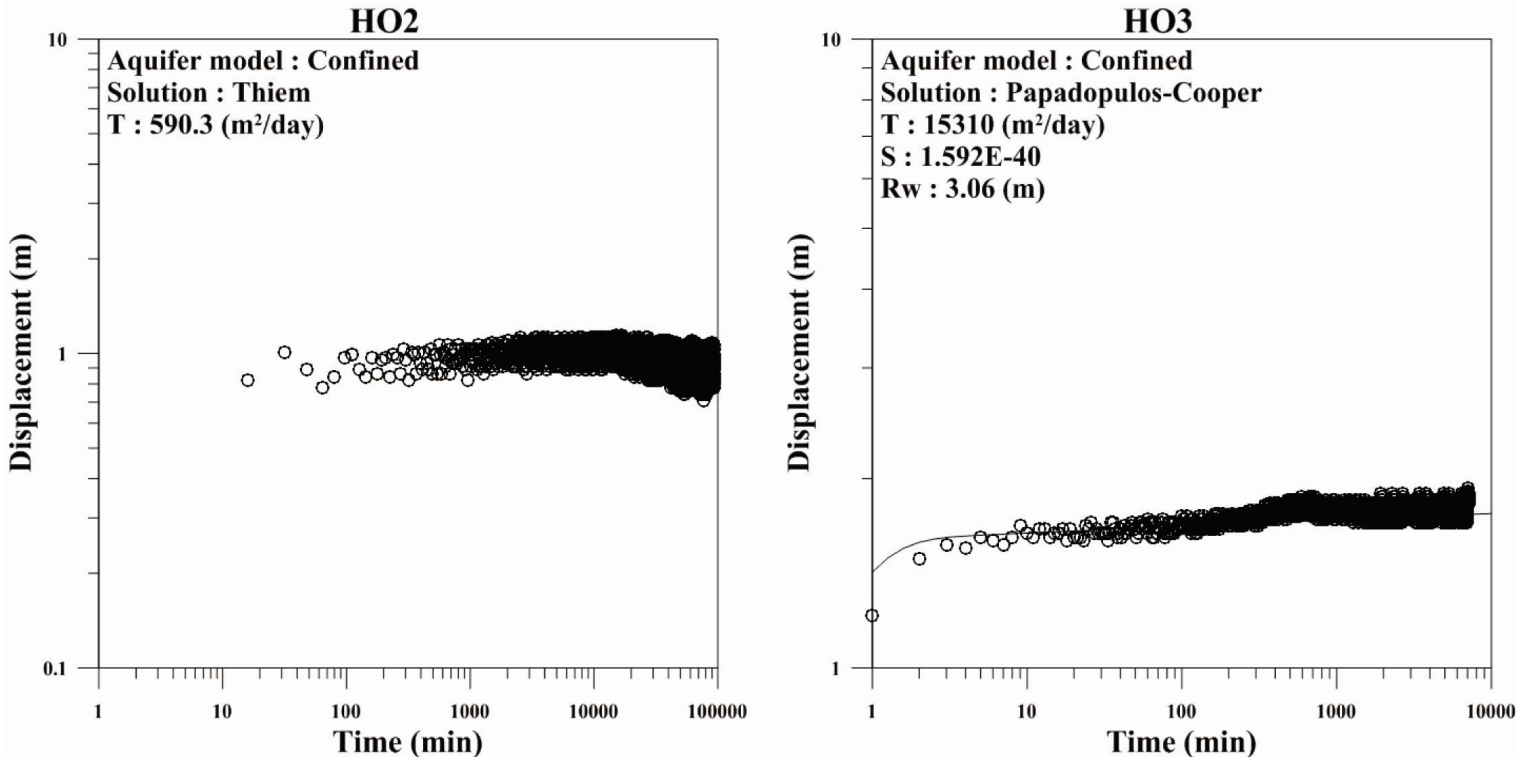

JG5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 301.4 (m²/day)
S : 1.519E-04
r/B : 1.E-05
a : 6.097E-01
Sw : 3.806E-01
Rw : 7.575E-01 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
10
100
1000
10000

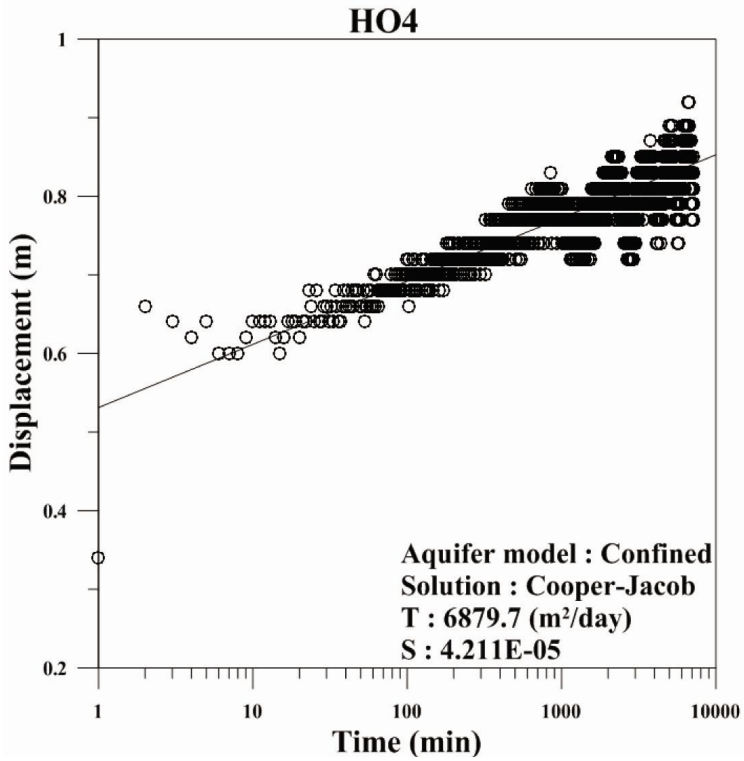

JG6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 580.7 (m²/day)
S : 1.321
r/B : 1.278E-02
a : 6.148E-03
Sw : 3.102
Rw : 1.291 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
10
100
1000
10000

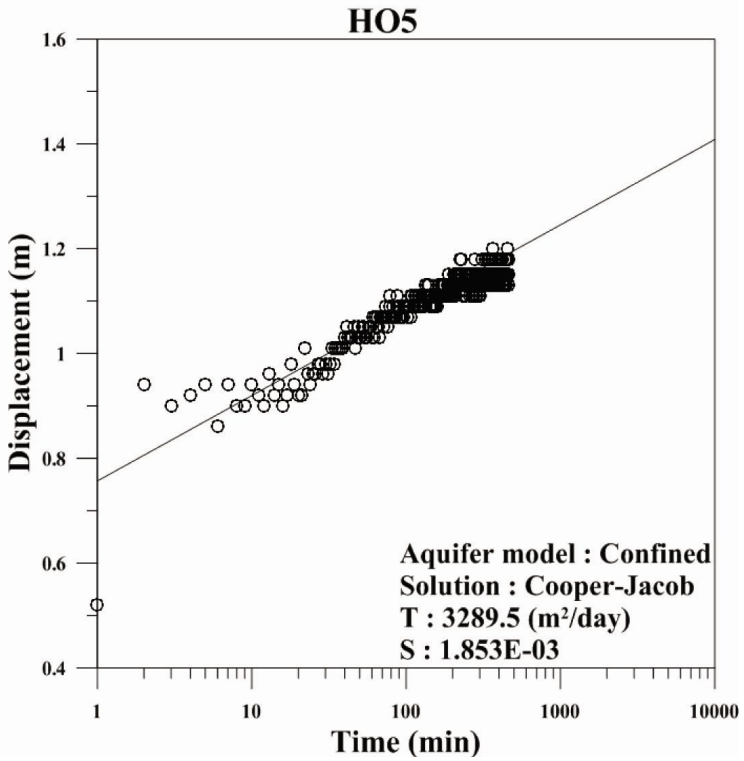

SA1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 822.7 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
10000
SA2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 568 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

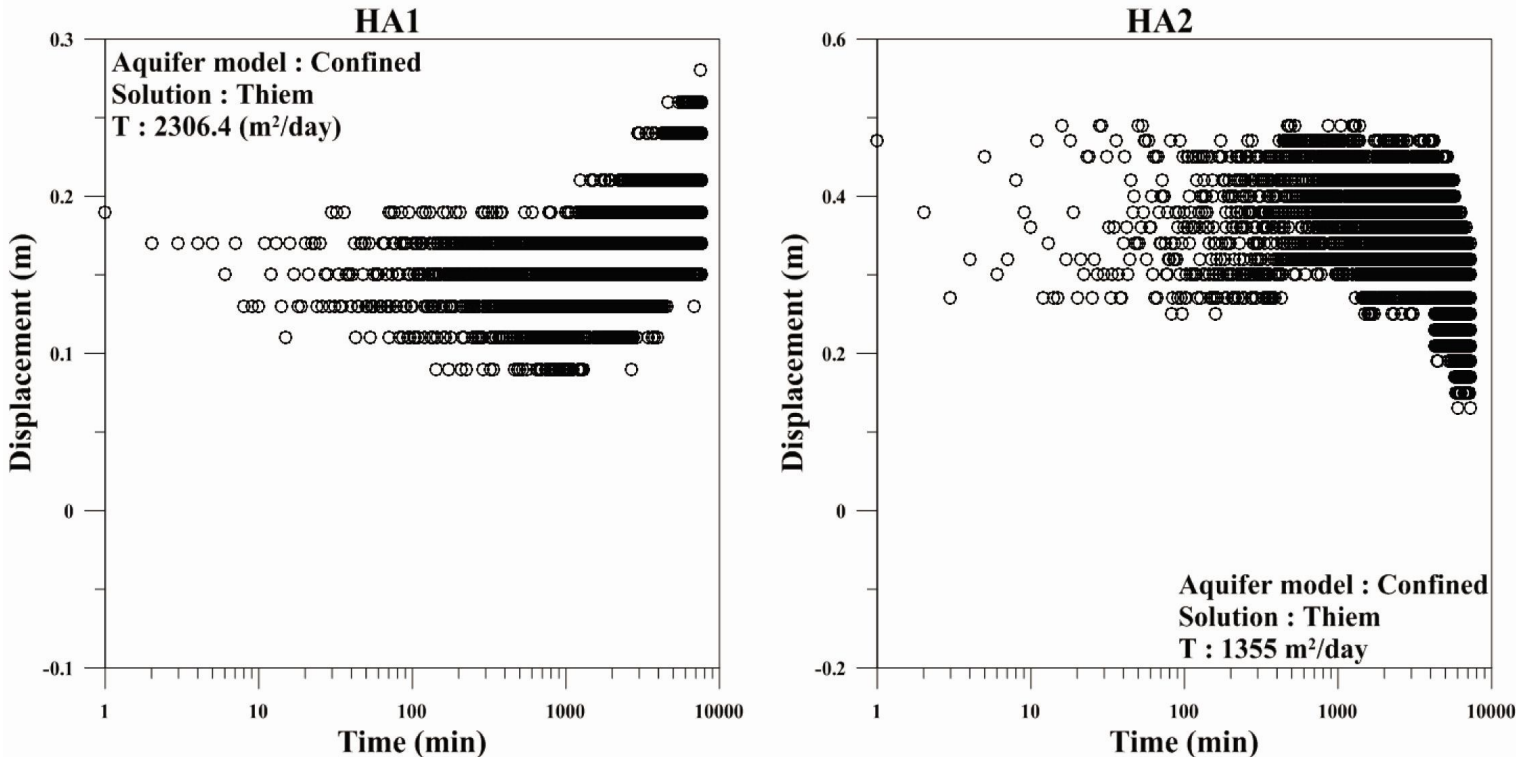

SA3
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 3088.2 (m²/day)
S : 8.149E-11
r/B : 1.E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 76.5 (m)
SA4
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Papadopulos-Cooper
T : 11430 (m²/day)
S : 6.339E-08
Rw : 0.1407 (m)

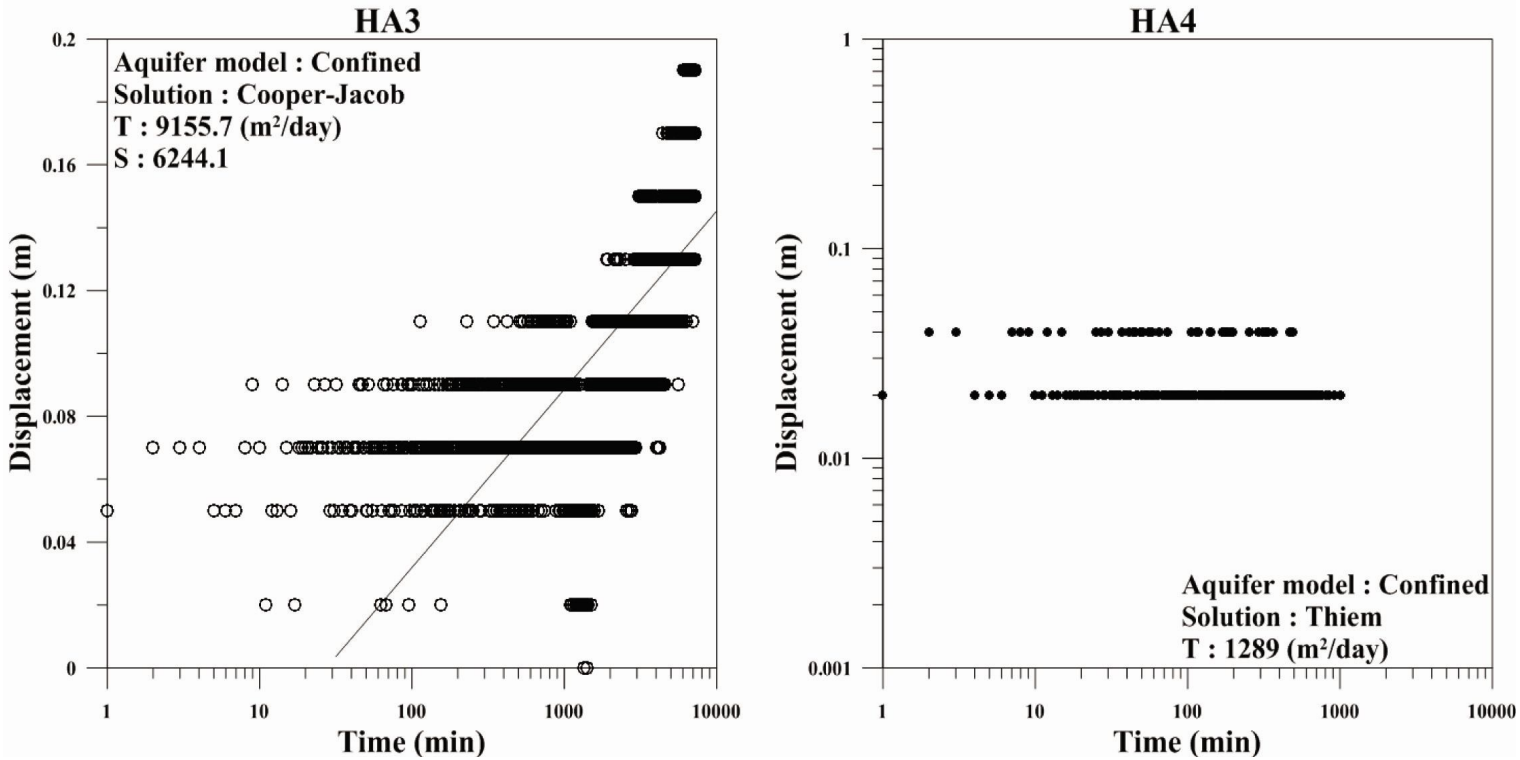

SA5
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 5350.5 (m²/day)
S : 2.985E-01
Displacement (m)
Time (min)
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
1
10
100
1000
10000
HO1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 7018 (m²/day)
S : 1.384E-09
r/B : 1.E-05
a : 1.585E-04
Sw : 10
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
10000

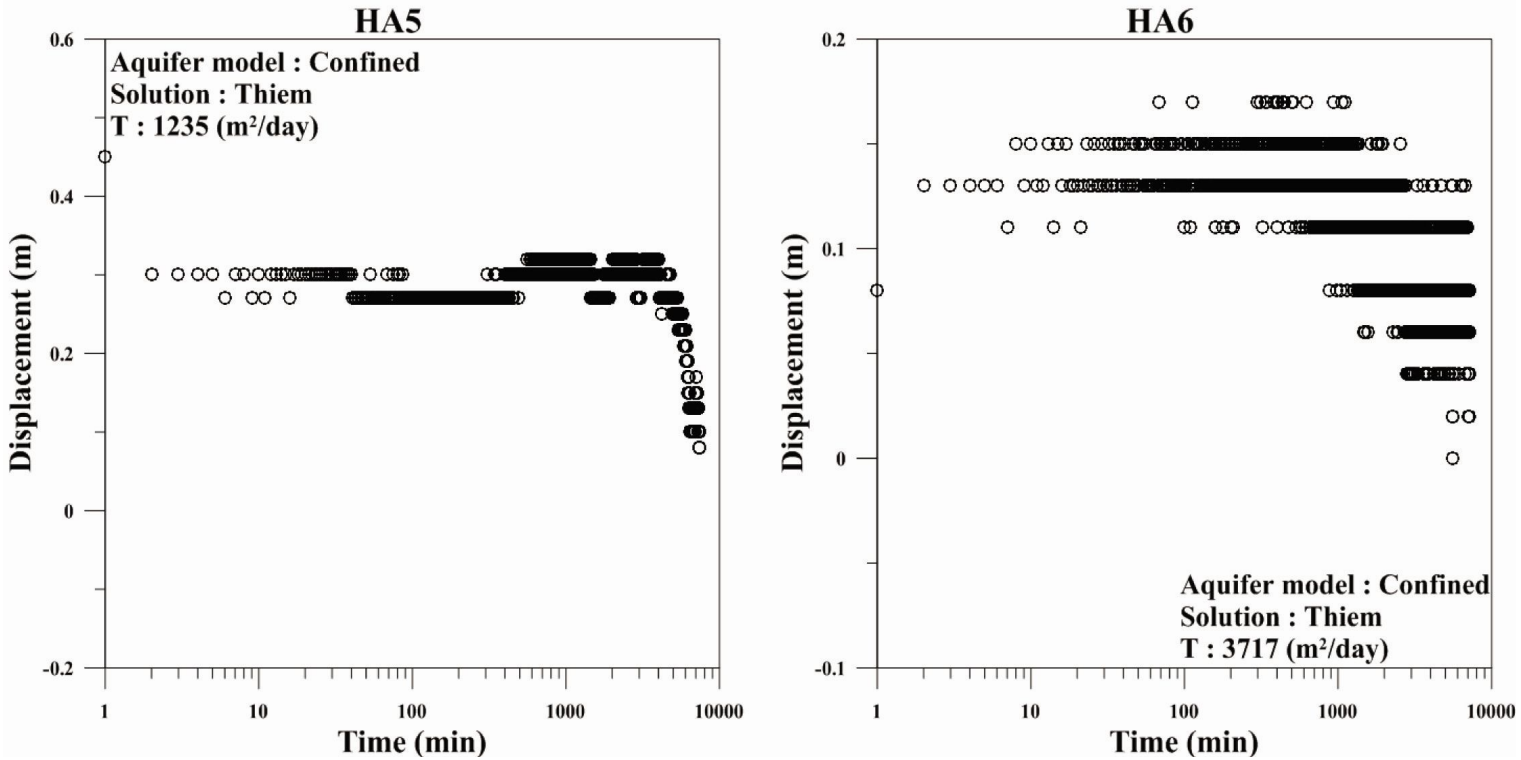

HO2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 590.3 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
10000
100000
HO3
Aquifer model : Confined
Solution : Papadopulos-Cooper
T : 15310 (m²/day)
S : 1.592E-40
Rw : 3.06 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000
10000

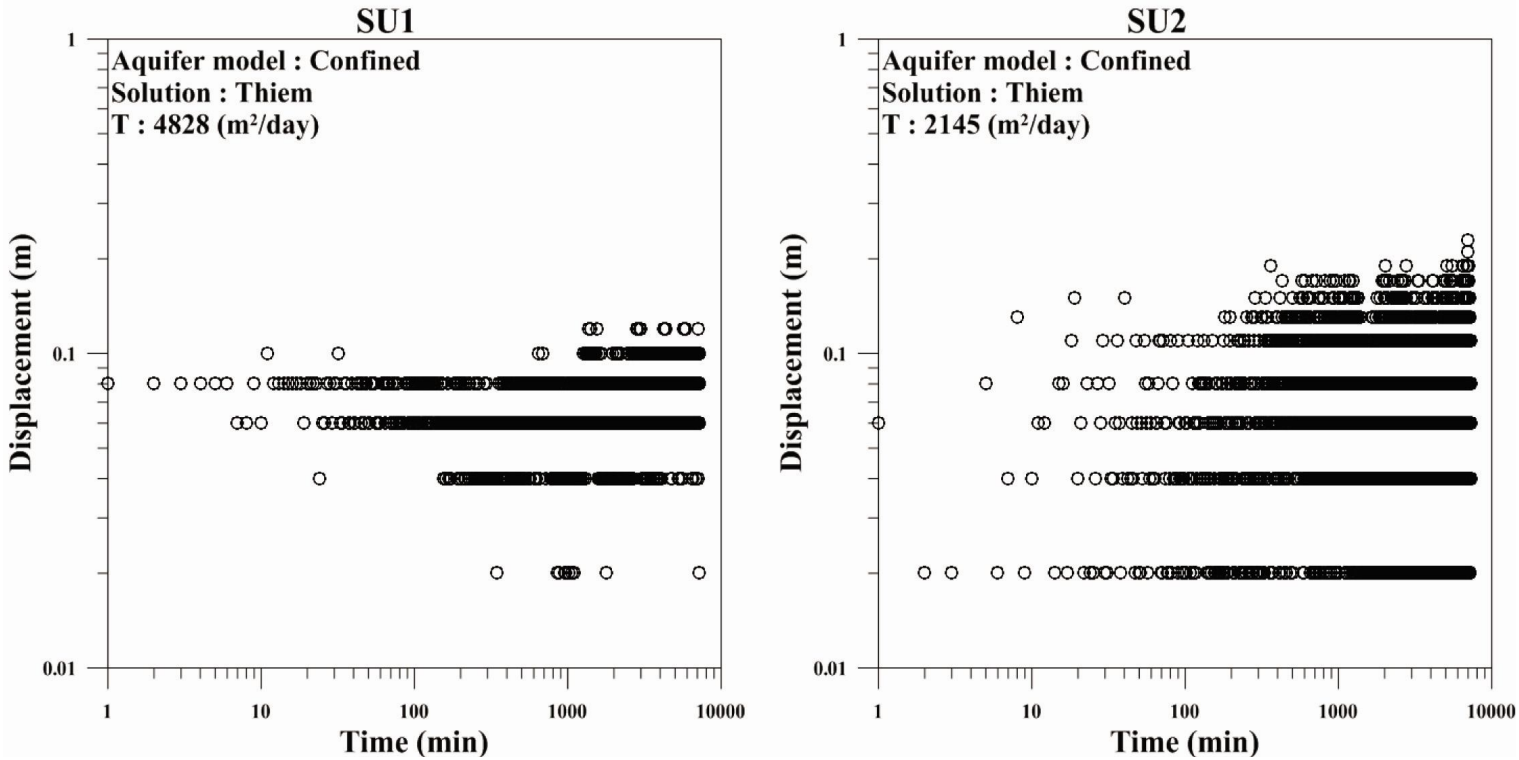

HO4
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 6879.7 (m²/day)
S : 4.211E-05

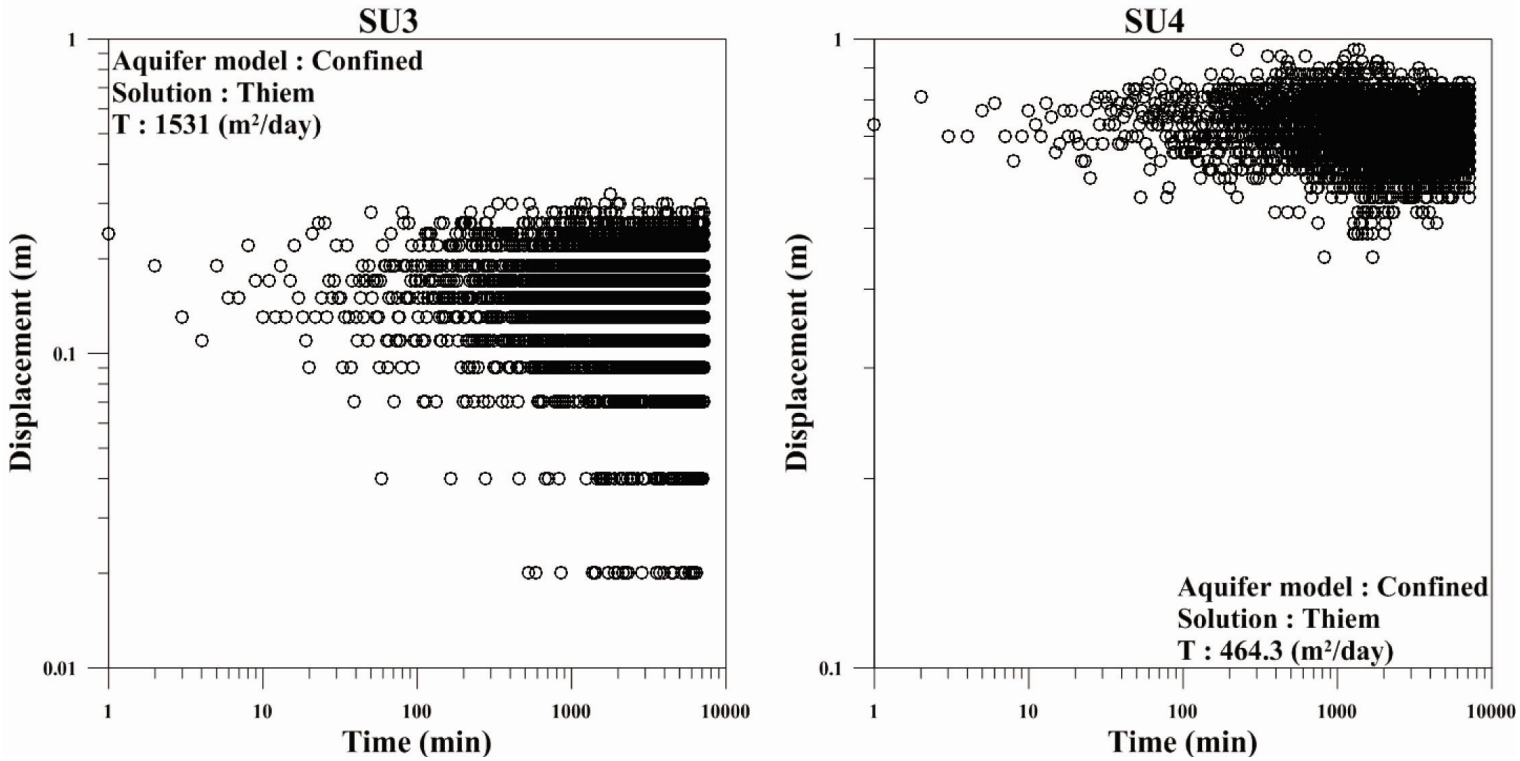

HO5
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 3289.5 (m²/day)
S : 1.853E-03

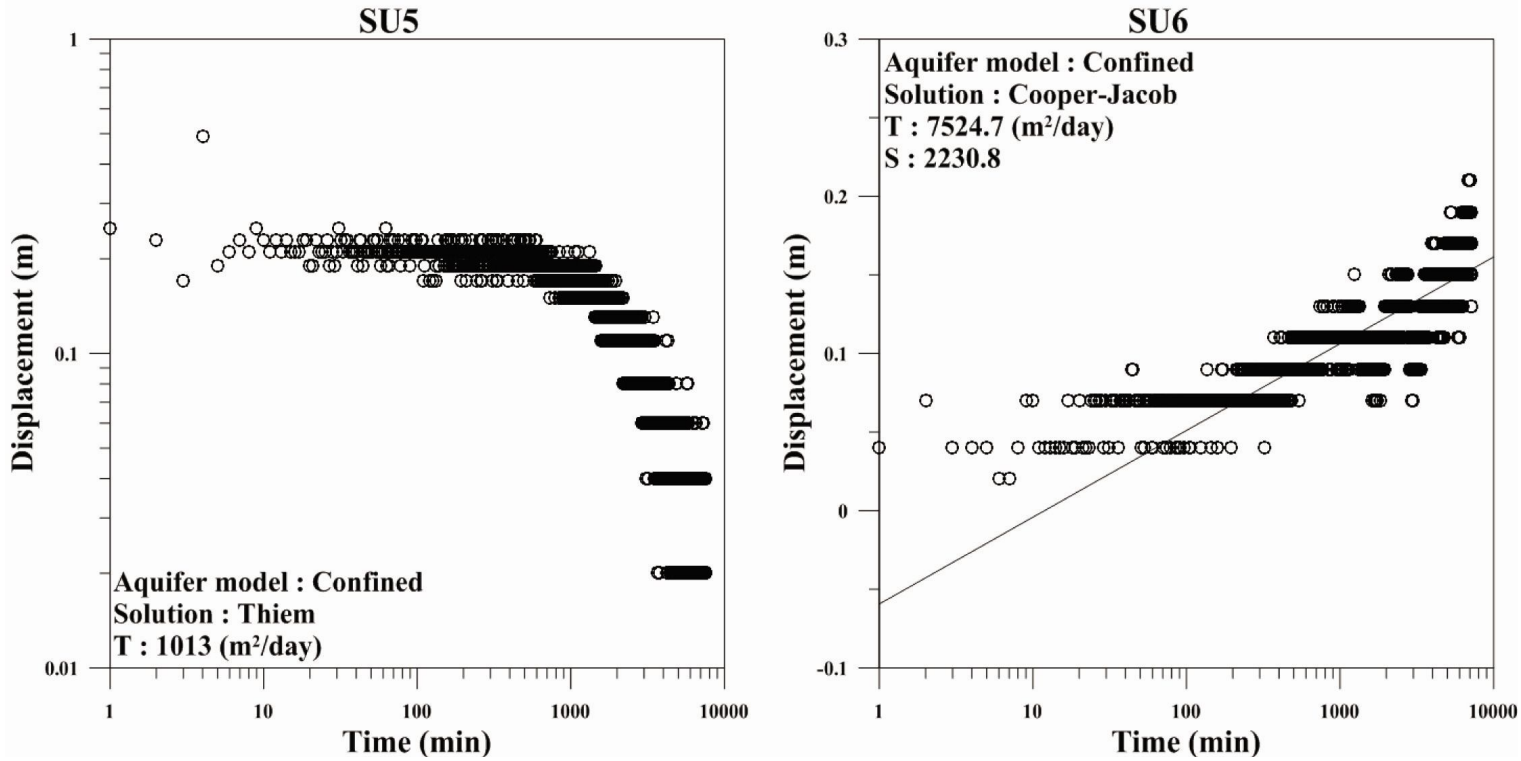

HA1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 2306.4 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
1
10
100
1000
10000
HA2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1355 m²/day
Displacement (m)
Time (min)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2

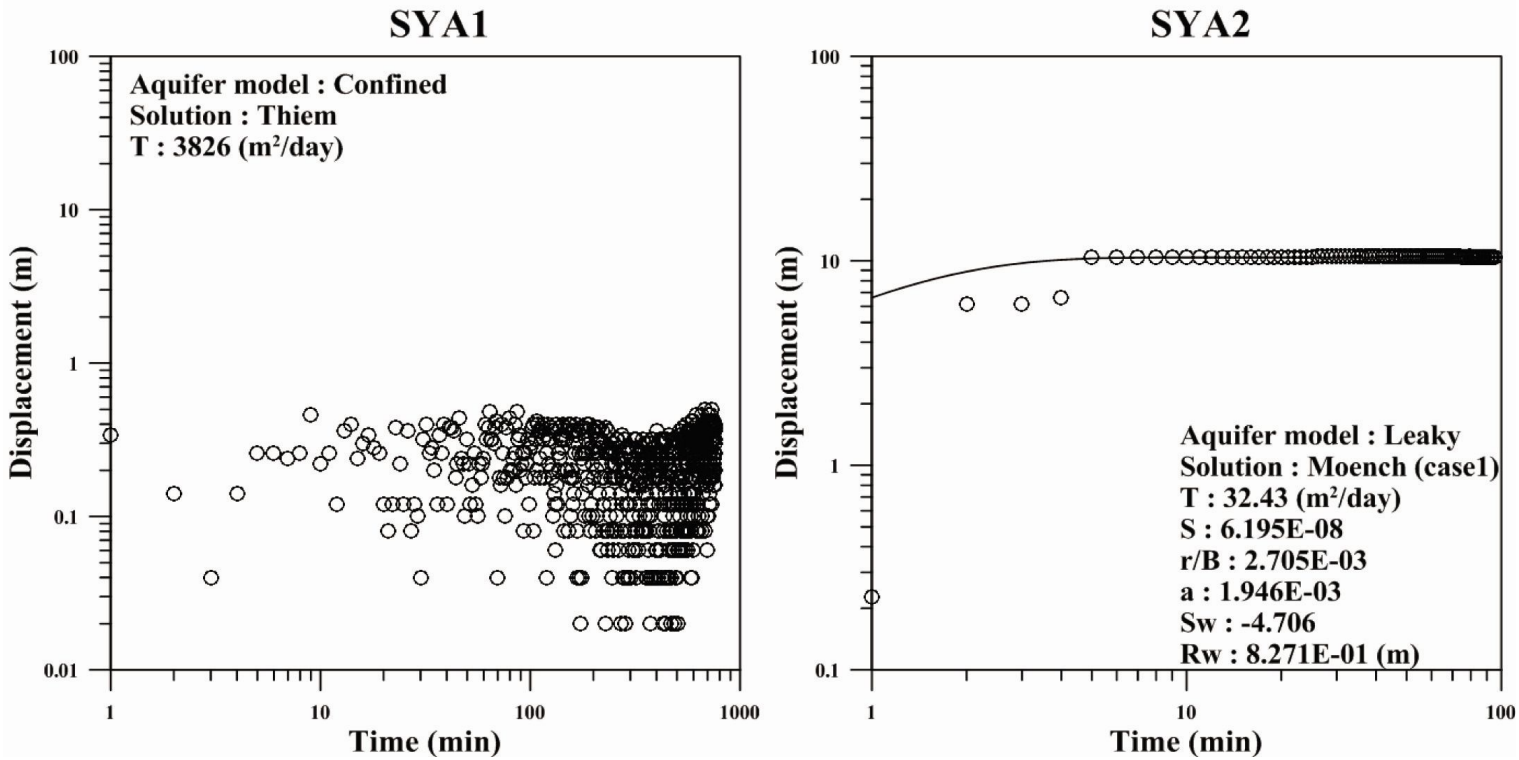

HA3
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 9155.7 (m²/day)
S : 6244.1
Displacement (m)
Time (min)
0.2
0.16
0.12
0.08
0.04
0
1
10
100
1000
10000
HA4
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1289 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
0.001

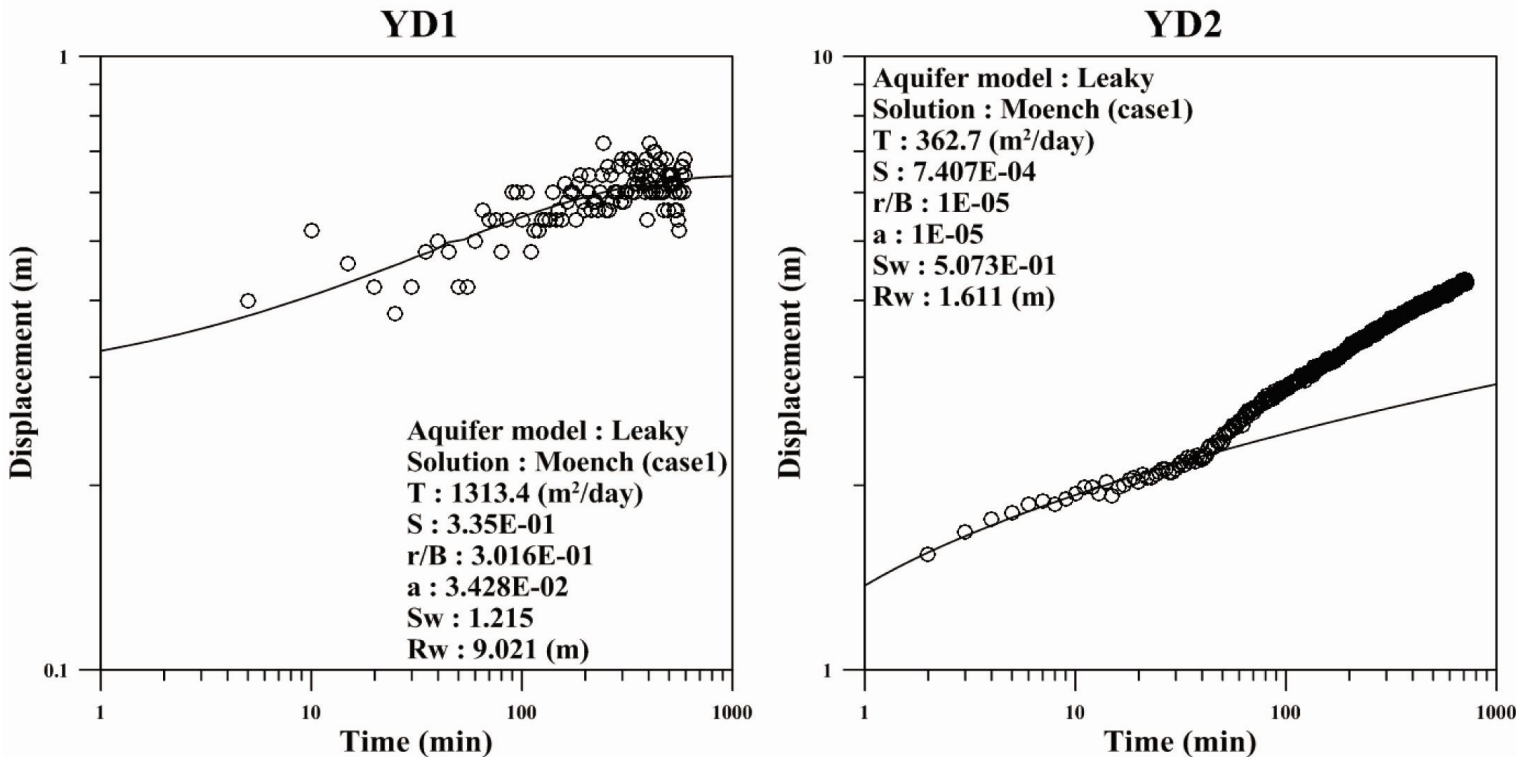

HA5
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1235 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
1
10
100
1000
10000
HA6
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3717 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
0.2
0.1
0
-0.1

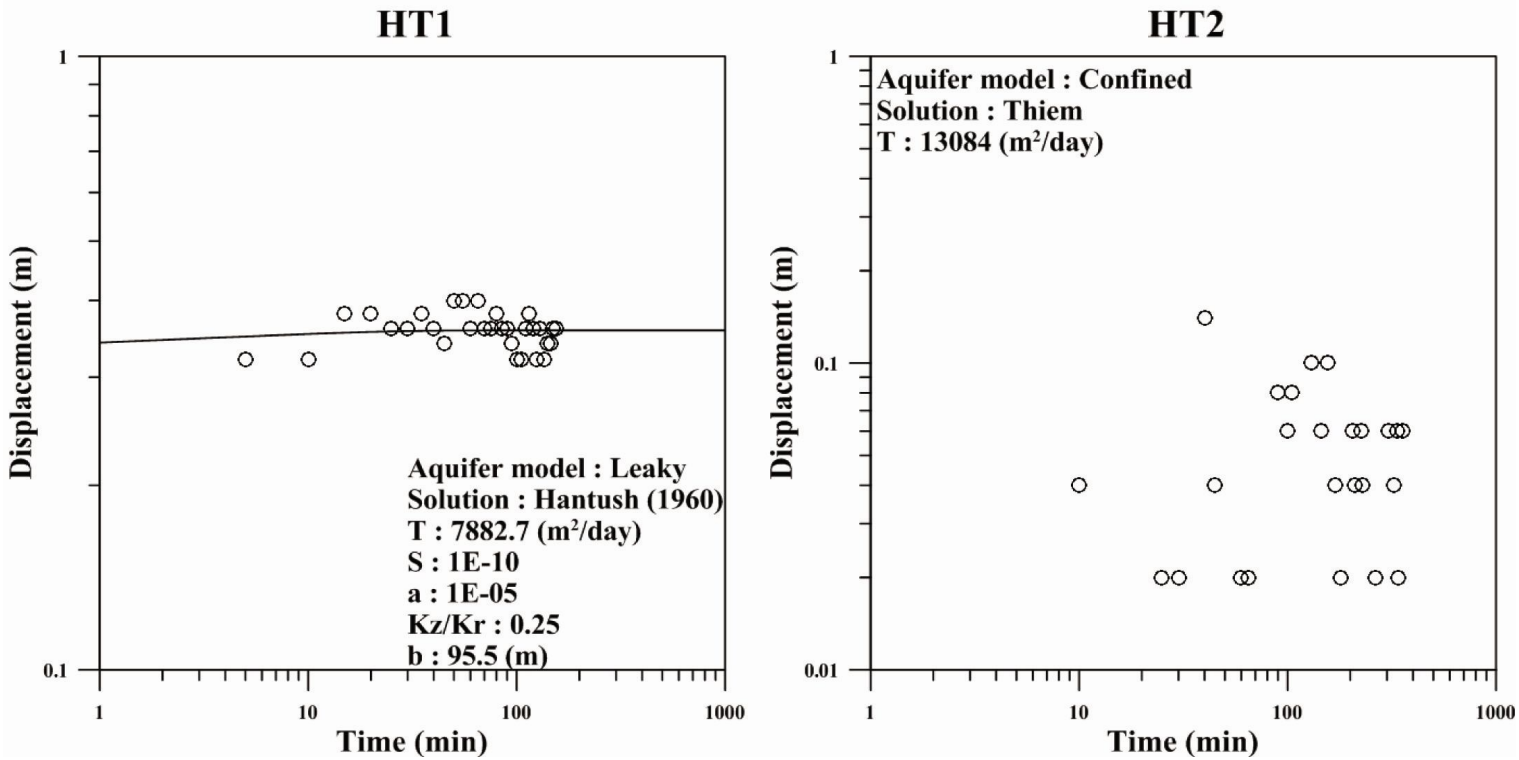

SU1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 4828 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
SU2
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 2145 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)

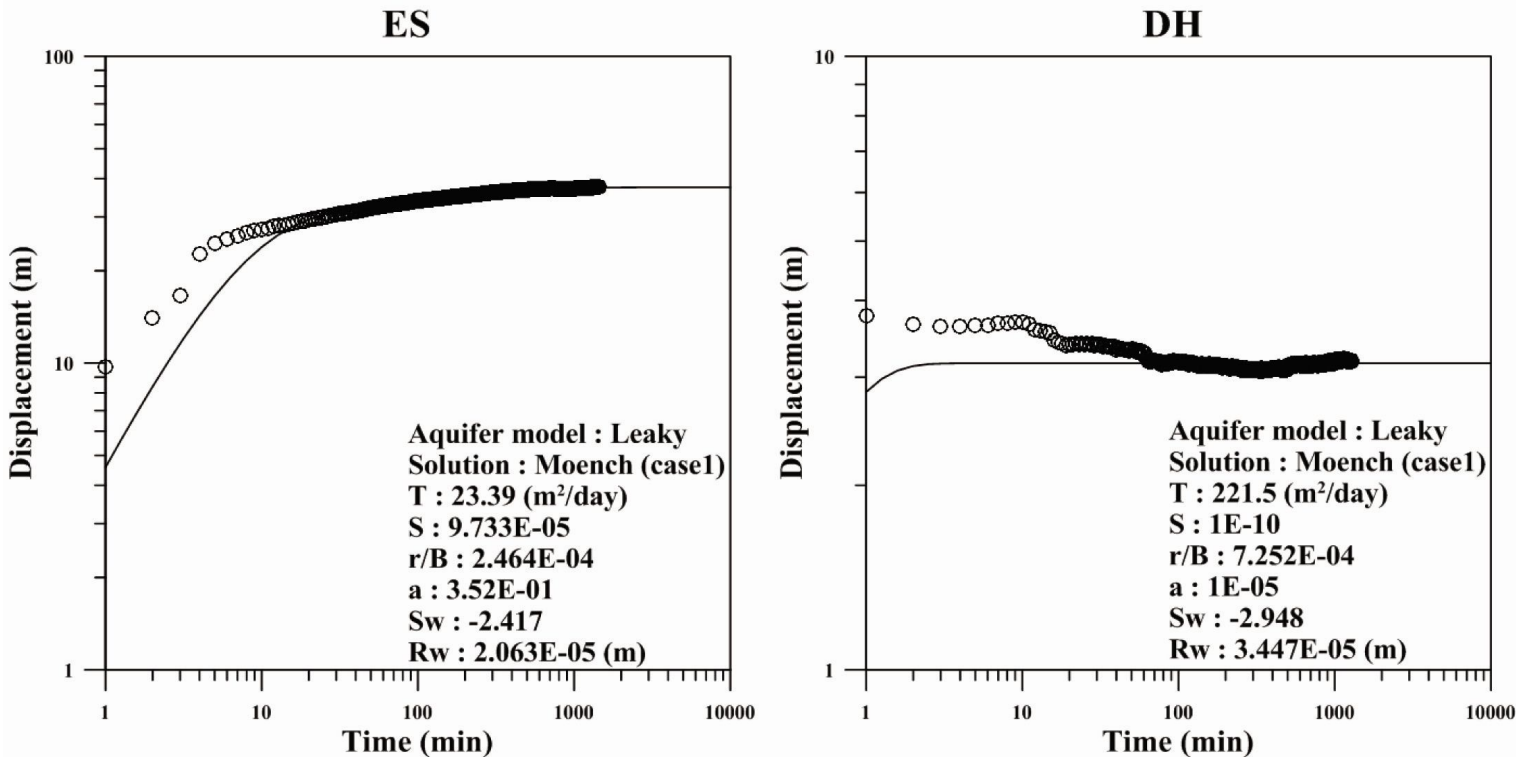

SU3
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1531 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
SU4
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 464.3 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
1
10
100
1000
10000

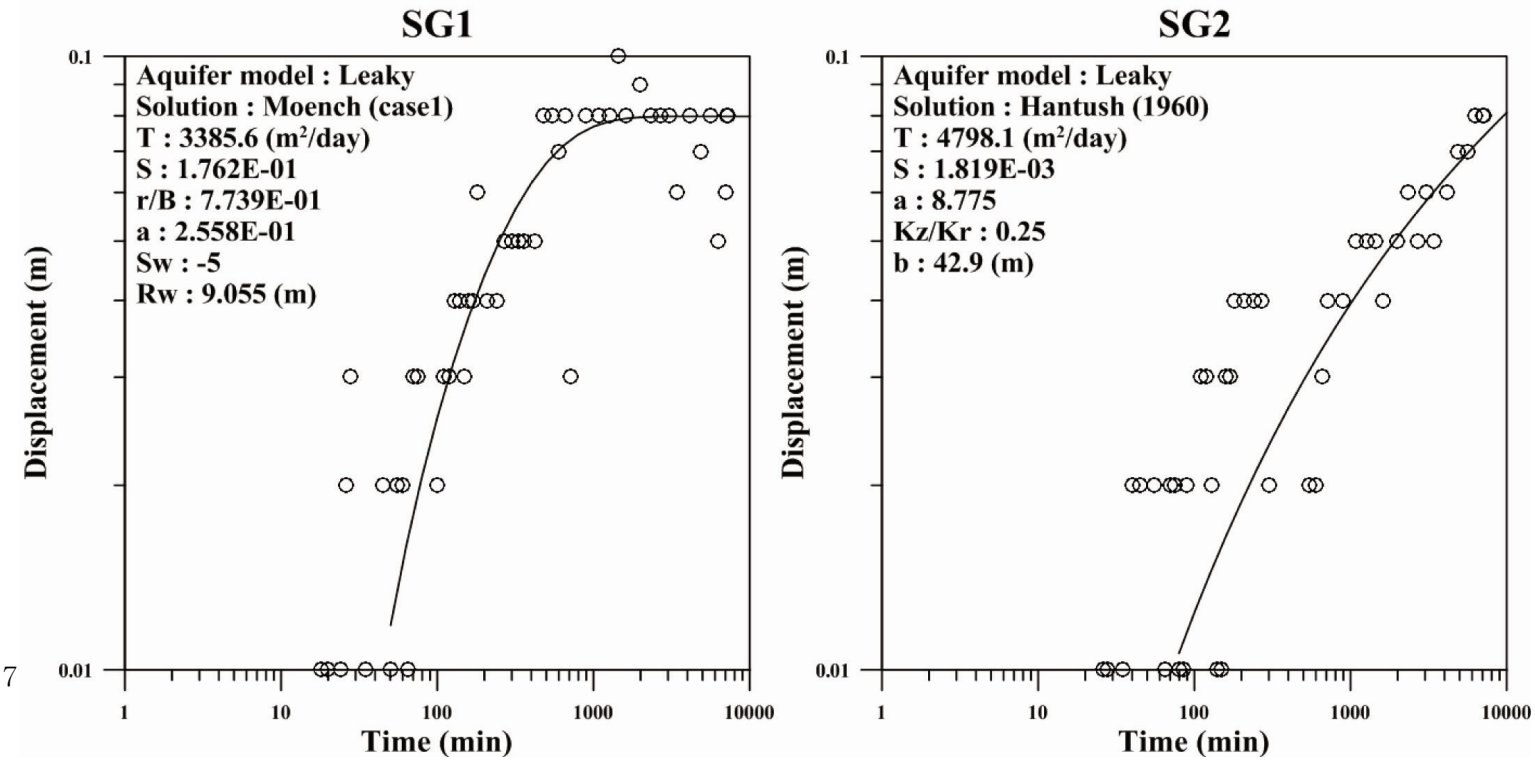

SU5
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 1013 (m²/day)
SU6
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 7524.7 (m²/day)
S : 2230.8

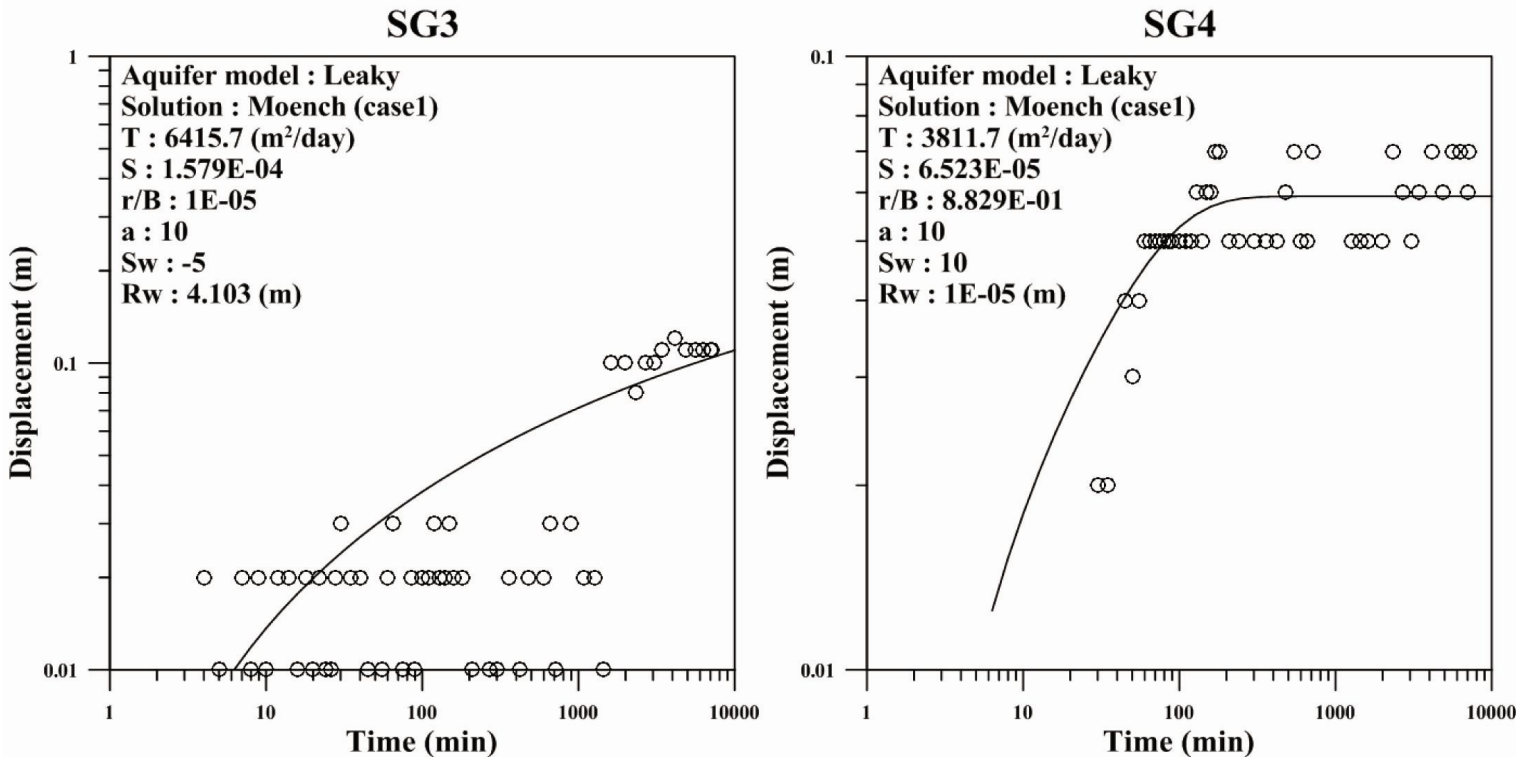

SYA1
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 3826 (m²/day)
Displacement (m)
Time (min)
100
10
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
SYA2
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 32.43 (m²/day)
S : 6.195E-08
r/B : 2.705E-03
a : 1.946E-03
Sw : -4.706
Rw : 8.271E-01 (m)
Displacement (m)
Time (min)
100
10
1
0.1
1
10
100

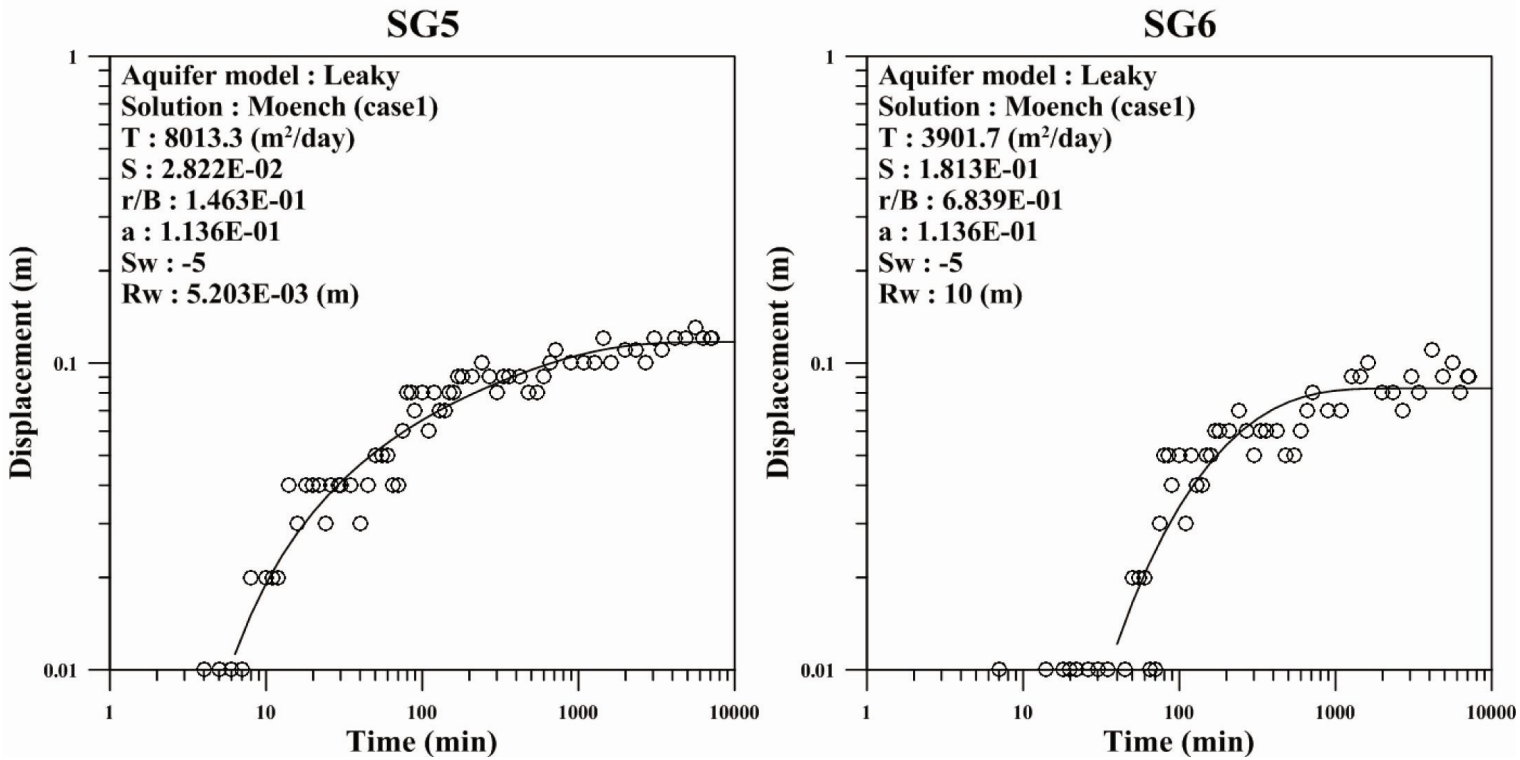

YD1
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1313.4 (m²/day)
S : 3.35E-01
r/B : 3.016E-01
a : 3.428E-02
Sw : 1.215
Rw : 9.021 (m)
YD2
Displacement (m)
Time (min)
10
1
1
10
100
1000
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 362.7 (m²/day)
S : 7.407E-04
r/B : 1E-05
a : 1E-05
Sw : 5.073E-01
Rw : 1.611 (m)

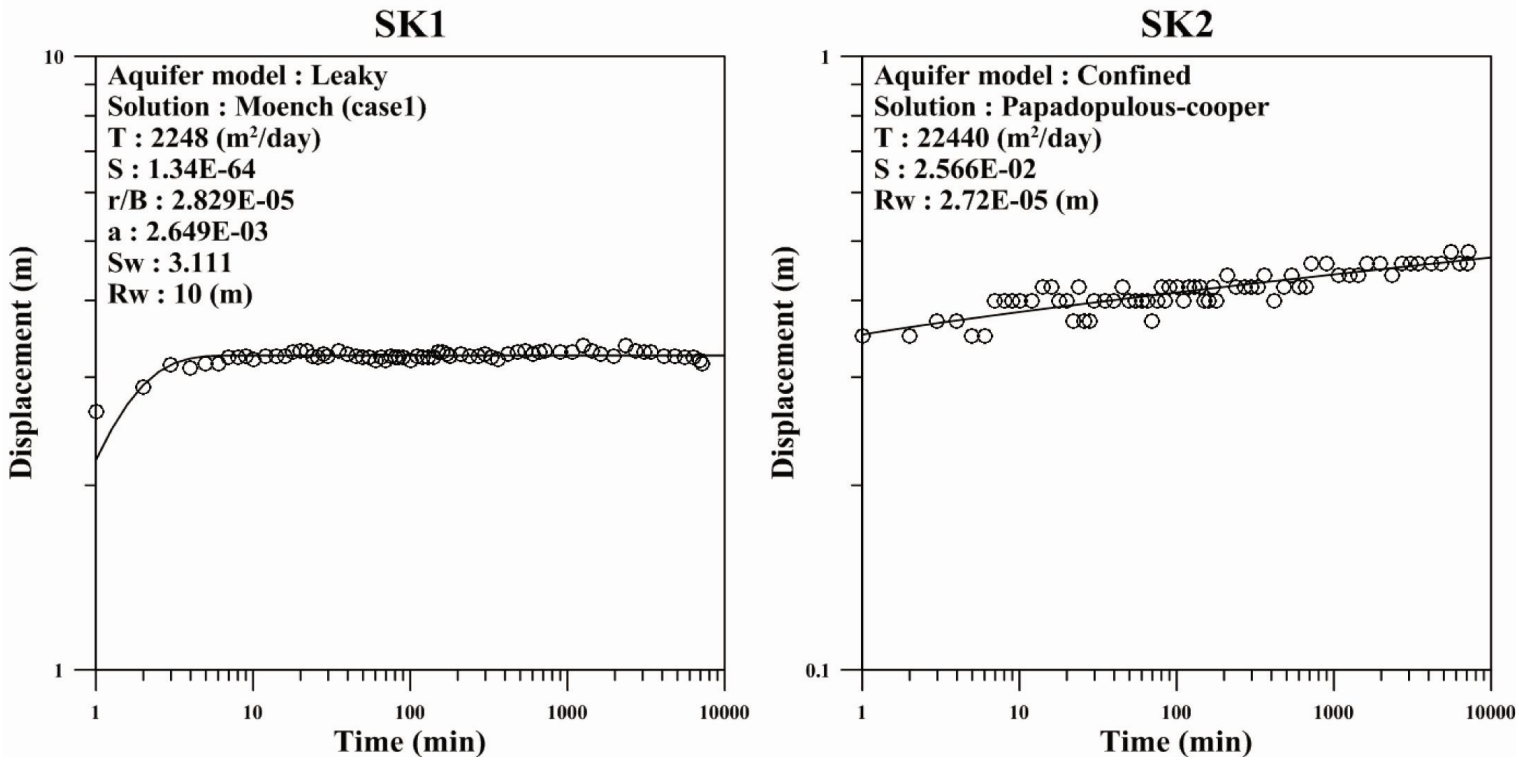

HT1
Displacement (m)
1
0.1
1
10
100
1000
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 7882.7 (m²/day)
S : 1E-10
a : 1E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 95.5 (m)
HT2
Displacement (m)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Thiem
T : 13084 (m²/day)

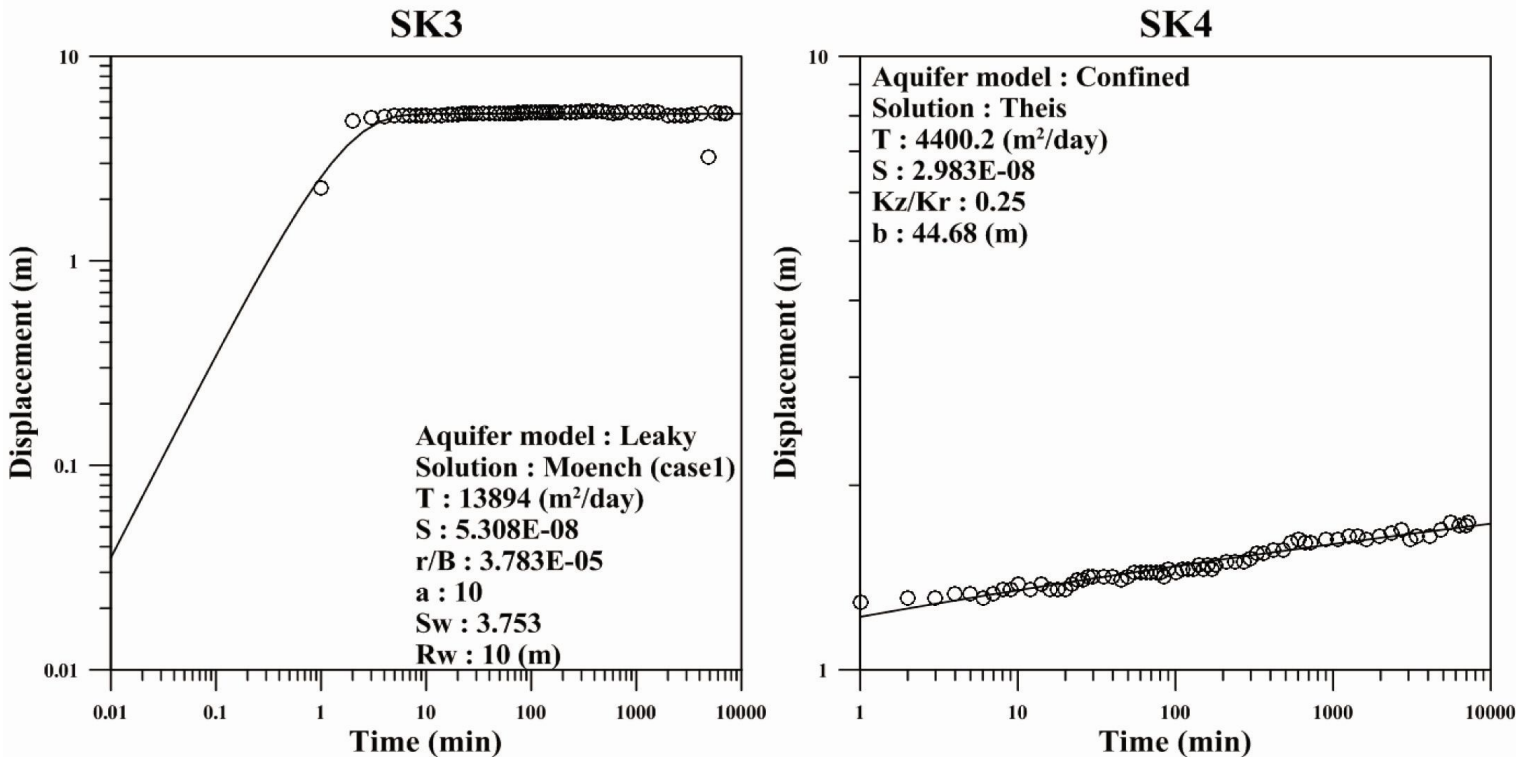

ES
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 23.39 (m²/day)
S : 9.733E-05
r/B : 2.464E-04
a : 3.52E-01
Sw : -2.417
Rw : 2.063E-05 (m)
DH
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 221.5 (m²/day)
S : 1E-10
r/B : 7.252E-04
a : 1E-05
Sw : -2.948
Rw : 3.447E-05 (m)

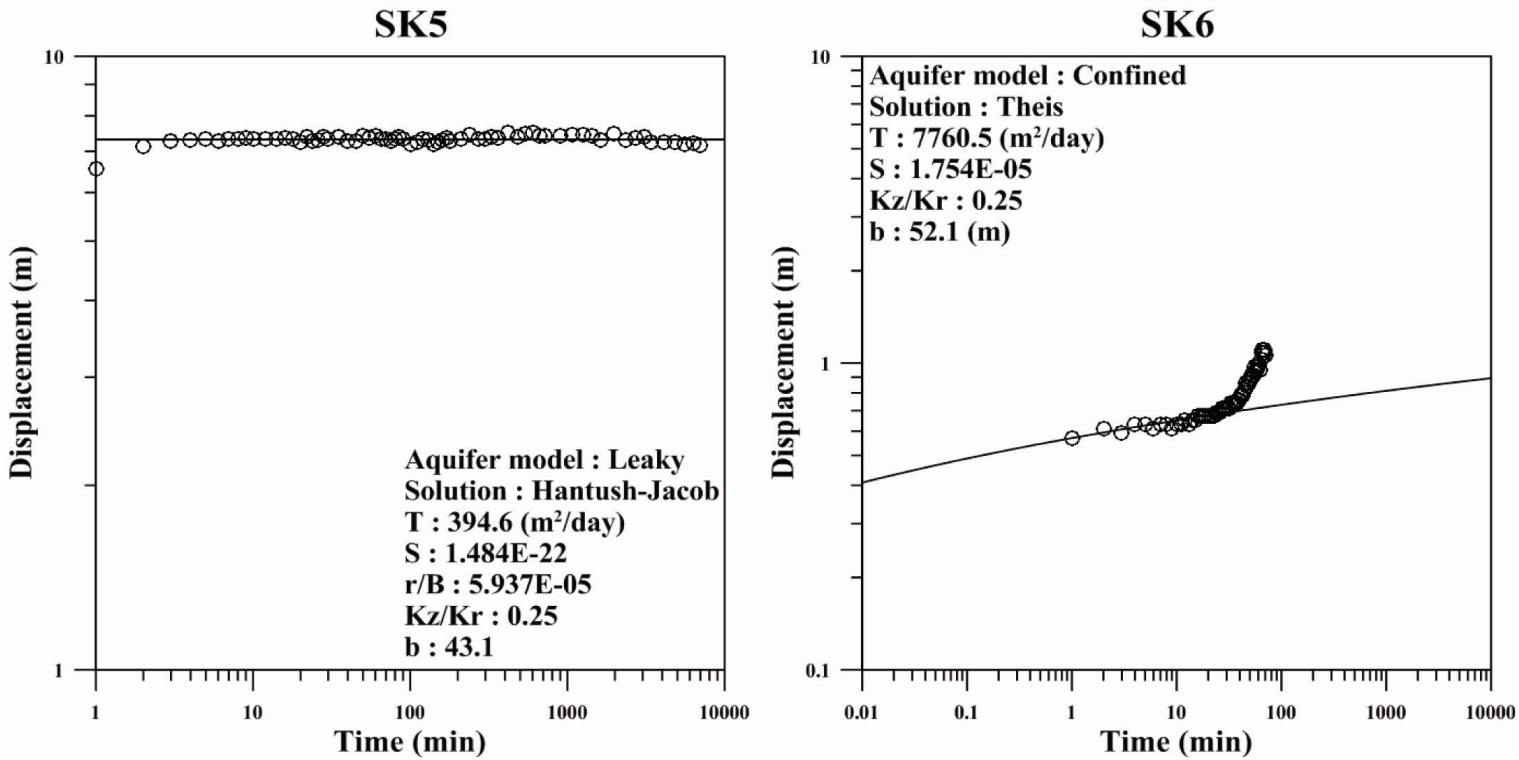

SG1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 3385.6 (m²/day)
S : 1.762E-01
r/B : 7.739E-01
a : 2.558E-01
Sw : -5
Rw : 9.055 (m)
Displacement (m)
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
Time (min)
SG2
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 4798.1 (m²/day)
S : 1.819E-03
a : 8.775
Kz/Kr : 0.25
b : 42.9 (m)
Displacement (m)
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
Time (min)

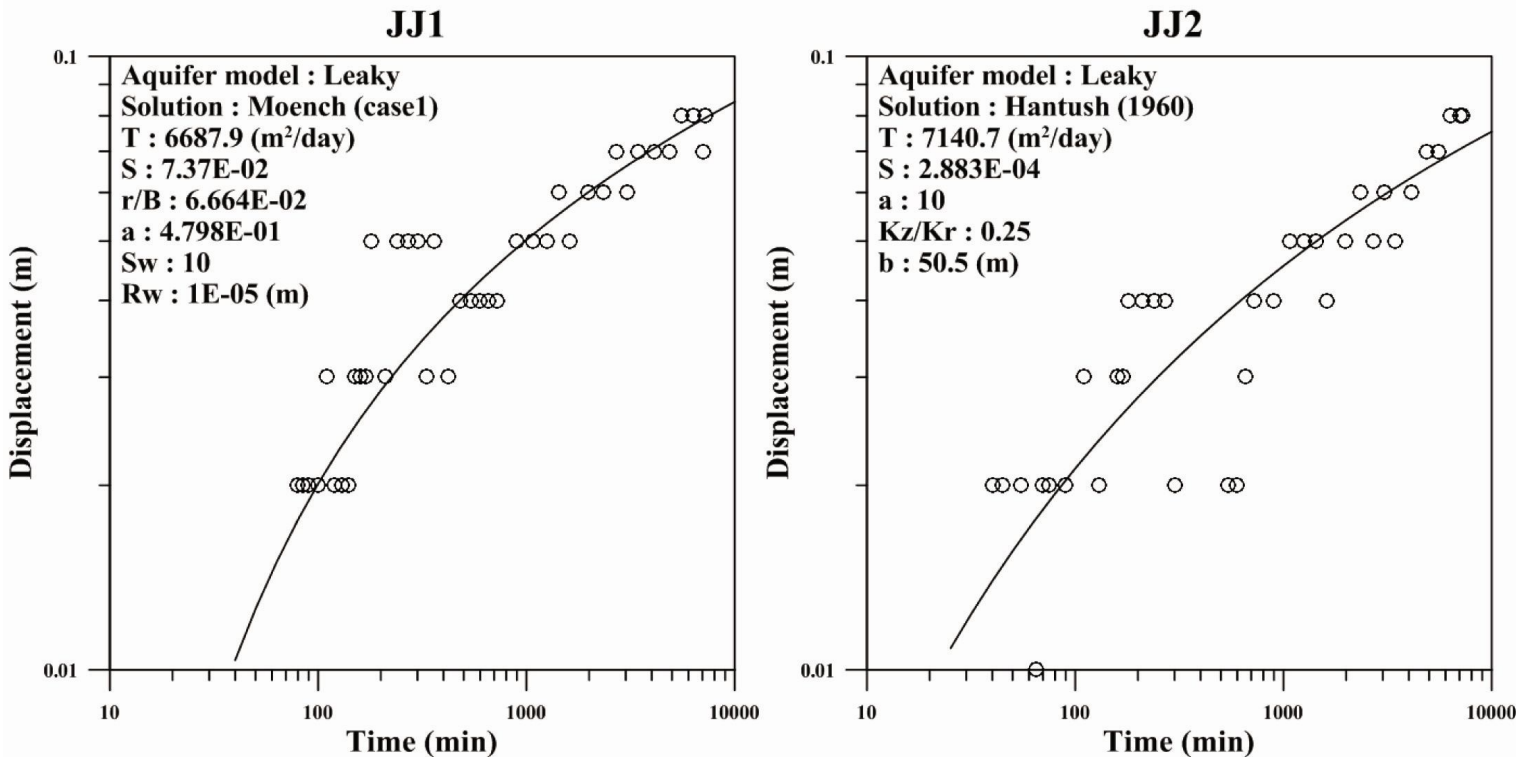

SG3
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 6415.7 (m²/day)
S : 1.579E-04
r/B : 1E-05
a : 10
Sw : -5
Rw : 4.103 (m)
Displacement (m)
Time (min)
SG4
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 3811.7 (m²/day)
S : 6.523E-05
r/B : 8.829E-01
a : 10
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)

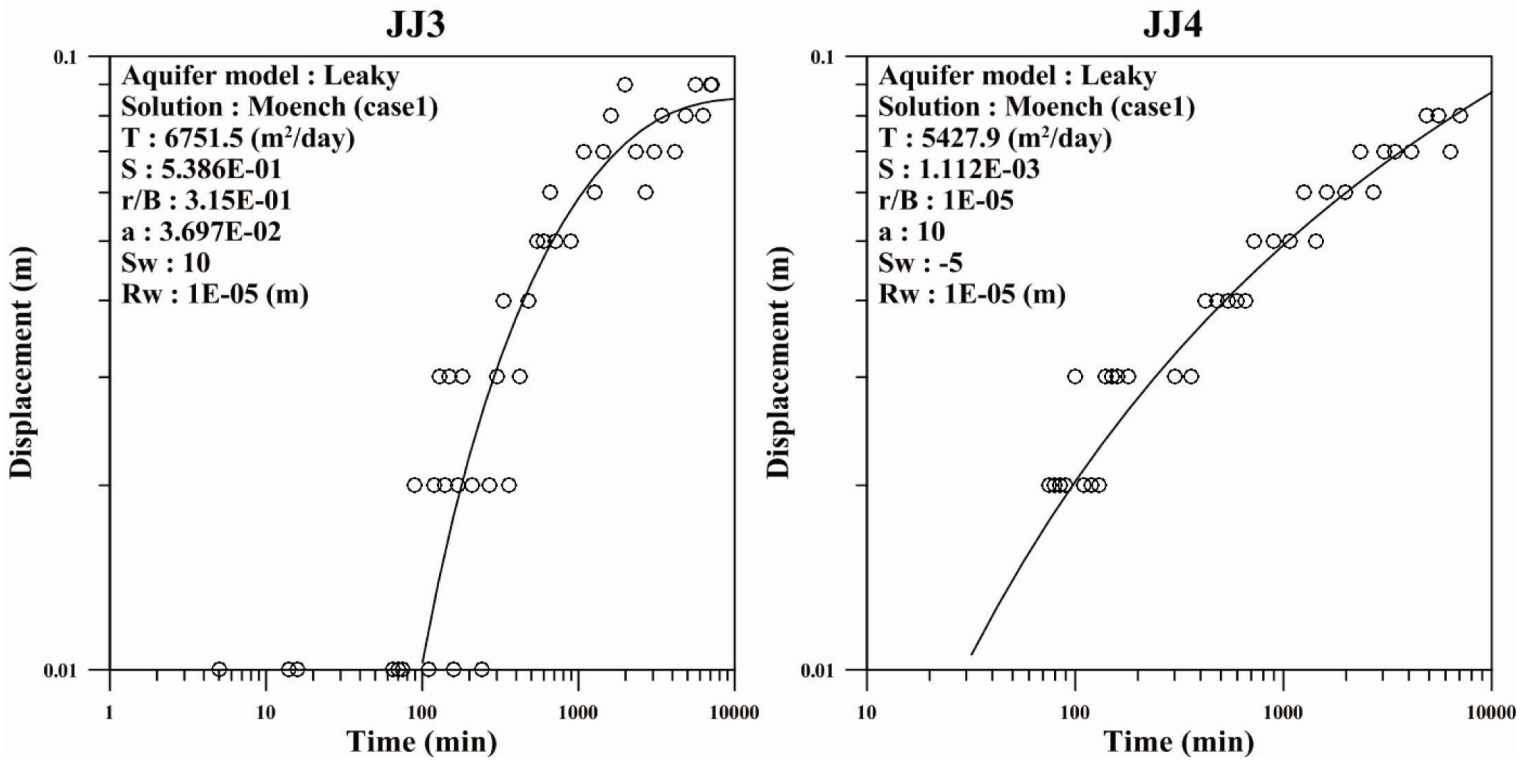

SG5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 8013.3 (m²/day)
S : 2.822E-02
r/B : 1.463E-01
a : 1.136E-01
Sw : -5
Rw : 5.203E-03 (m)
Displacement (m)
Time (min)
SG6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 3901.7 (m²/day)
S : 1.813E-01
r/B : 6.839E-01
a : 1.136E-01
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)

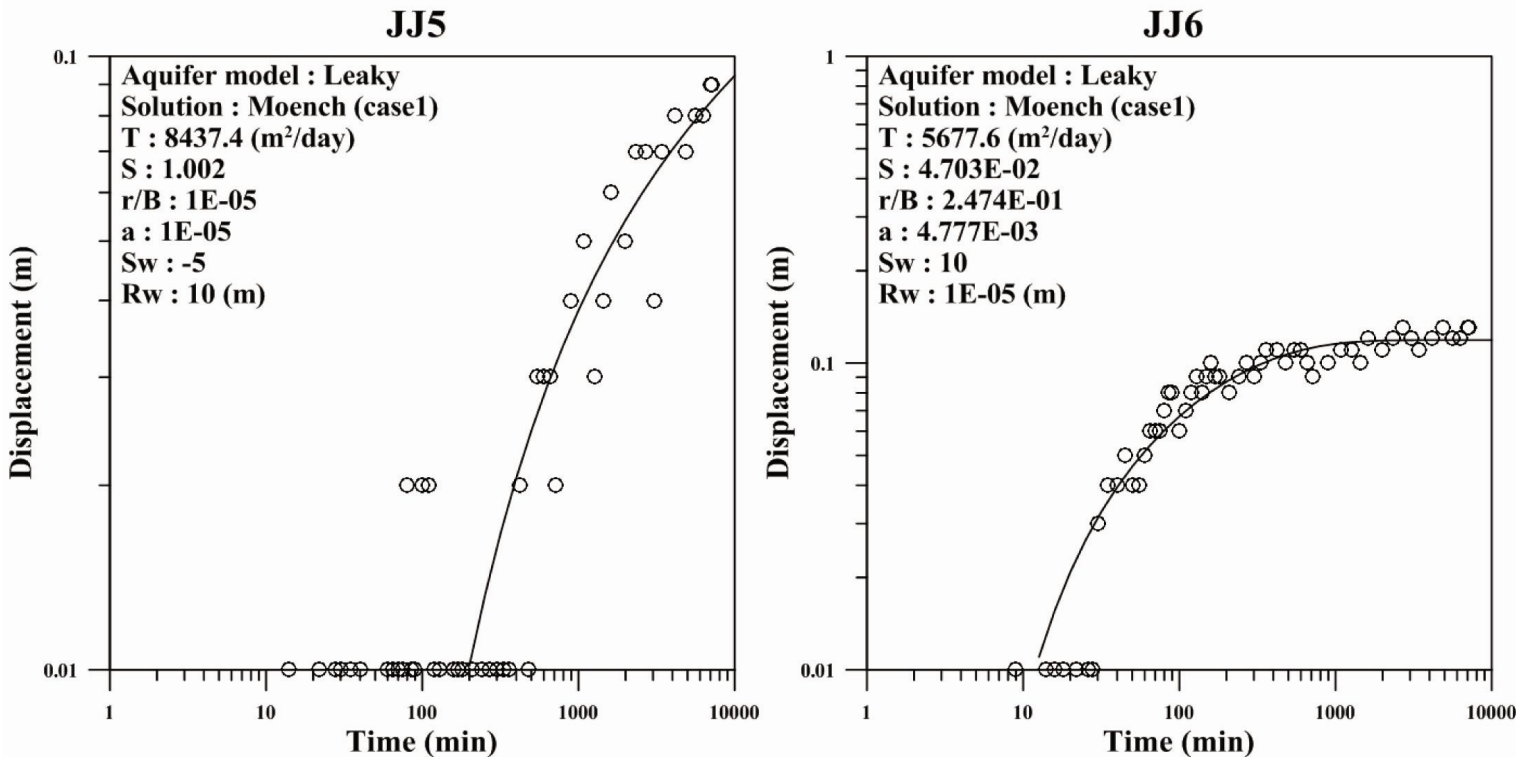

SK1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 2248 (m²/day)
S : 1.34E-64
r/B : 2.829E-05
a : 2.649E-03
Sw : 3.111
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
10
1
1
10
100
1000
10000
Time (min)
SK2
Aquifer model : Confined
Solution : Papadopulous-cooper
T : 22440 (m²/day)
S : 2.566E-02
Rw : 2.72E-05 (m)
Displacement (m)
1
0.1
1
10
100
1000
10000
Time (min)

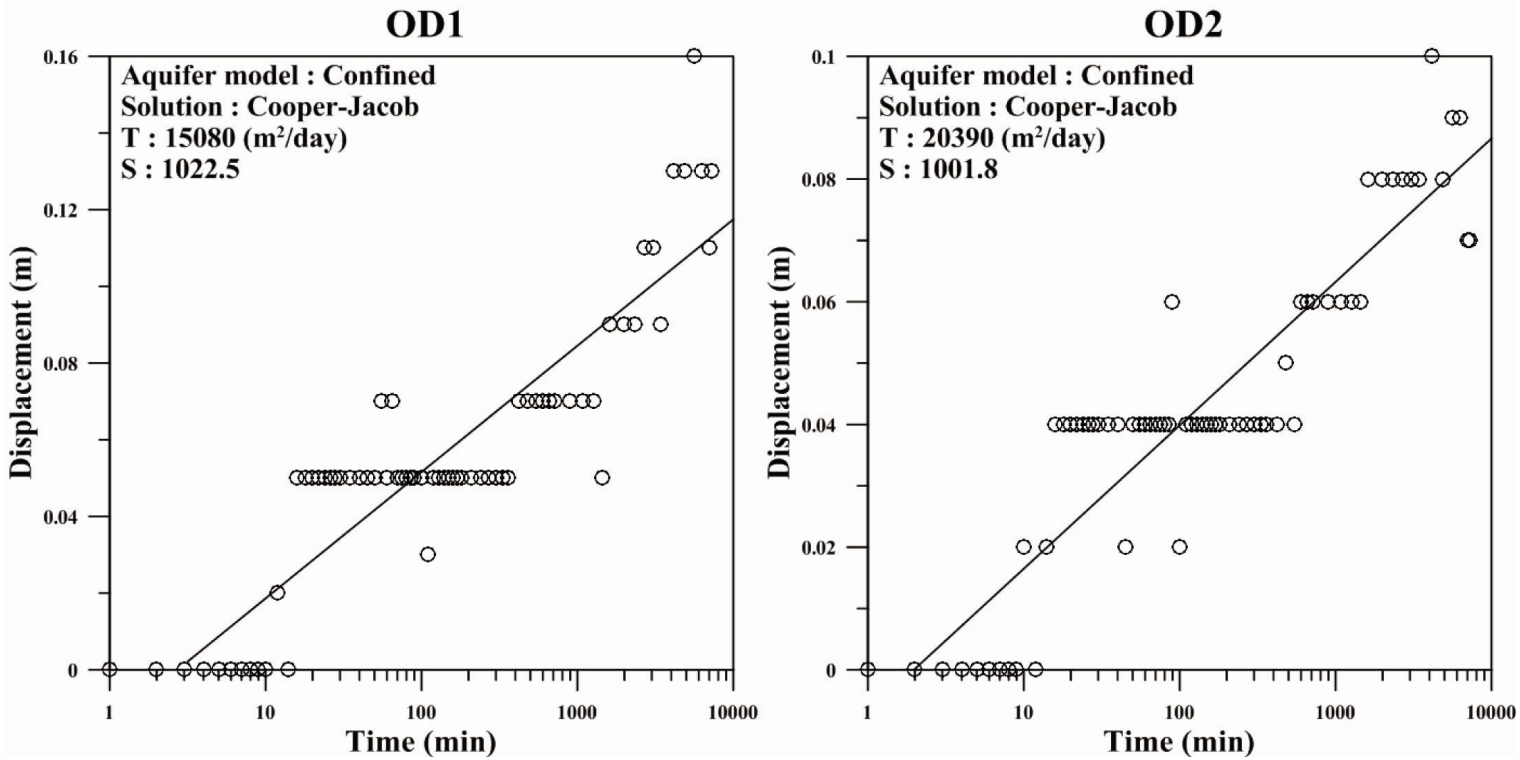

SK3
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 13894 (m²/day)
S : 5.308E-08
r/B : 3.783E-05
a : 10
Sw : 3.753
Rw : 10 (m)
SK4
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Theis
T : 4400.2 (m²/day)
S : 2.983E-08
Kz/Kr : 0.25
b : 44.68 (m)

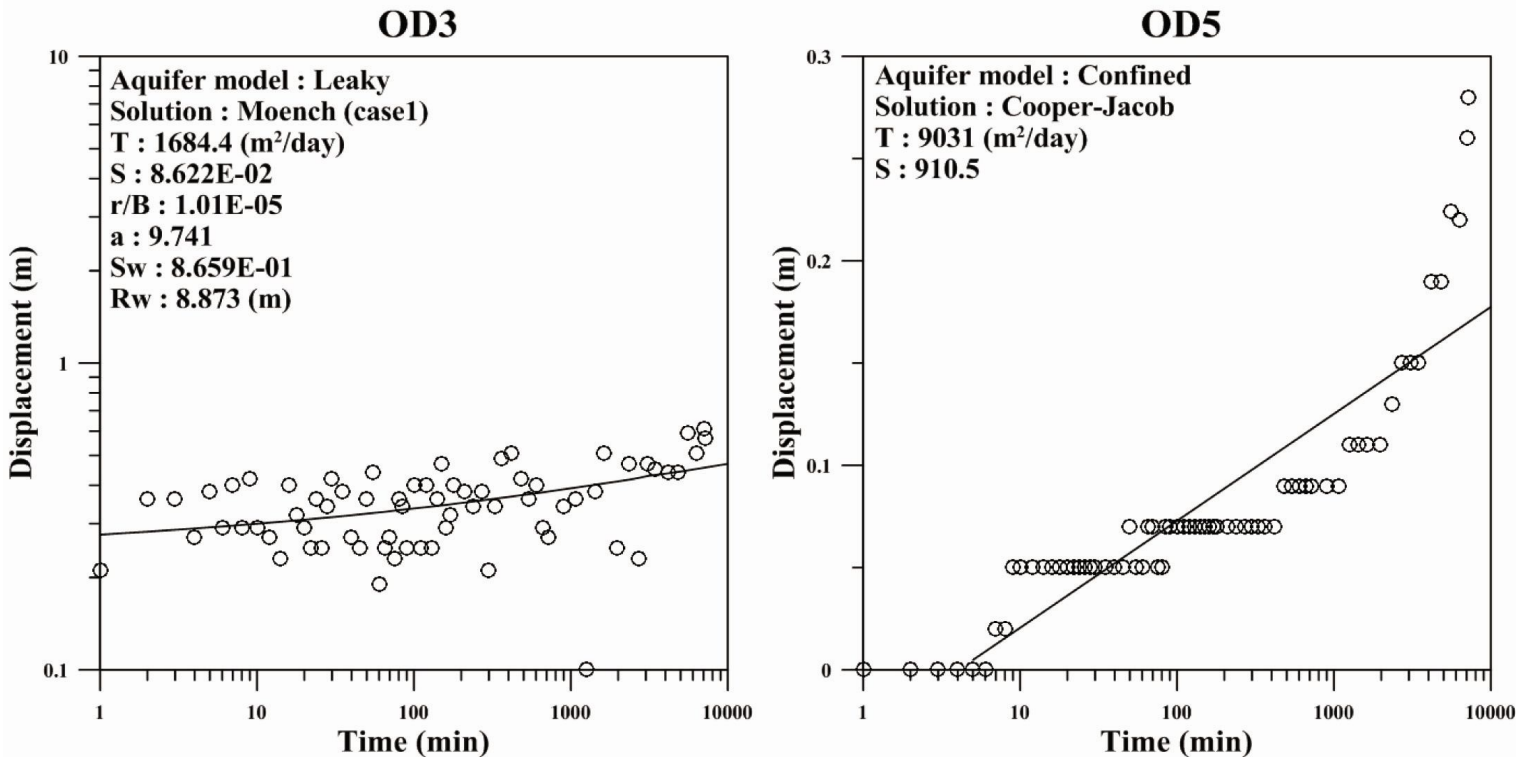

SK5
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush-Jacob
T : 394.6 (m²/day)
S : 1.484E-22
r/B : 5.937E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 43.1
SK6
Displacement (m)
Time (min)
Aquifer model : Confined
Solution : Theis
T : 7760.5 (m²/day)
S : 1.754E-05
Kz/Kr : 0.25
b : 52.1 (m)

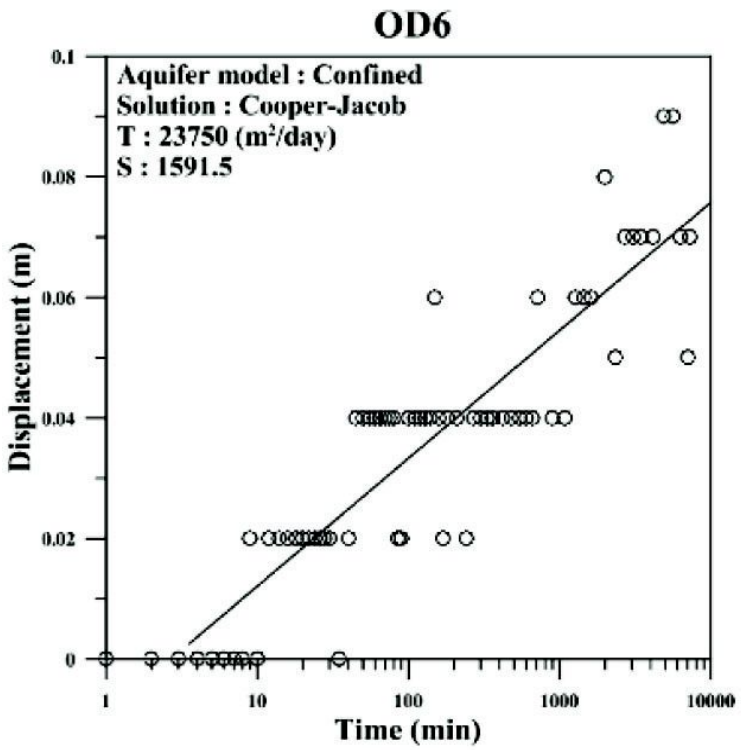

JJ1
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 6687.9 (m²/day)
S : 7.37E-02
r/B : 6.664E-02
a : 4.798E-01
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
0.1
0.01
10
100
1000
10000
JJ2
Aquifer model : Leaky
Solution : Hantush (1960)
T : 7140.7 (m²/day)
S : 2.883E-04
a : 10
Kz/Kr : 0.25
b : 50.5 (m)
Displacement (m)
Time (min)

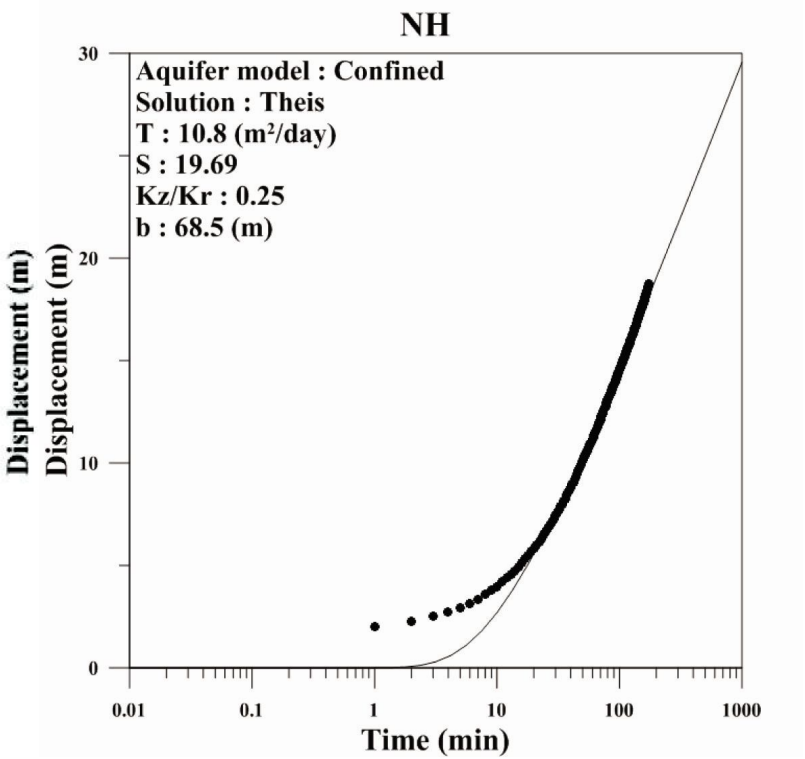

JJ3
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 6751.5 (m²/day)
S : 5.386E-01
r/B : 3.15E-01
a : 3.697E-02
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
Time (min)
JJ4
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 5427.9 (m²/day)
S : 1.112E-03
r/B : 1E-05
a : 10
Sw : -5
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
0.1
0.01
10
100
1000
10000
Time (min)


JJ5
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 8437.4 (m²/day)
S : 1.002
r/B : 1E-05
a : 1E-05
Sw : -5
Rw : 10 (m)
Displacement (m)
Time (min)
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000
JJ6
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 5677.6 (m²/day)
S : 4.703E-02
r/B : 2.474E-01
a : 4.777E-03
Sw : 10
Rw : 1E-05 (m)
Displacement (m)
Time (min)
1
0.1
0.01
1
10
100
1000
10000


OD1
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 15080 (m²/day)
S : 1022.5
Displacement (m)
Time (min)
0.16
0.12
0.08
0.04
0
1
10
100
1000
10000
OD2
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 20390 (m²/day)
S : 1001.8
Displacement (m)
Time (min)
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
1
10
100
1000
10000


OD3
Aquifer model : Leaky
Solution : Moench (case1)
T : 1684.4 (m²/day)
S : 8.622E-02
r/B : 1.01E-05
a : 9.741
Sw : 8.659E-01
Rw : 8.873 (m)
Displacement (m)
Time (min)
10
1
0.1
1
10
100
1000
10000
OD5
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 9031 (m²/day)
S : 910.5
Displacement (m)
Time (min)
0.3
0.2
0.1
0
1
10
100
1000
10000


OD6
Aquifer model : Confined
Solution : Cooper-Jacob
T : 23750 (m²/day)
S : 1591.5
Displacement (m)
Time (min)
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
1
10
100
1000
10000


NH
Aquifer model : Confined
Solution : Theis
T : 10.8 (m²/day)
S : 19.69
Kz/Kr : 0.25
b : 68.5 (m)
Displacement (m)
Displacement (m)
Time (min)
30
20
10
0
0.01
0.1
1
10
100
1000

부록 3. 제주도 화산암층과 투수층의 사진



화산암층 하단부에 형성된 클링커(대륙산업)
-제주시 구좌읍 성읍리-



스코리아층(서일채석장)
-서귀포시 안덕면 상창리-



토양층(점토질의 저투수층)
-제주시 오라동-



화산암층과 클링커층의 반복, 화산재 퇴적층 협재(천암기업)
-서귀포시 안덕면 상창리-



클링커층 시추코어(78.5～83.5m)(제주특별자치도개발공사, 2009.10)
-서귀포시 대포동-



스코리아층 시추코어(240～248m)(제주특별자치도개발공사, 2009.10)
-서귀포시 하원동-



서귀포층(436m)과 하부의 용암류(517m)(한국농어촌공사, 2008)
-서귀포시 중문동-



시추심도 580m 구간의 응회암층(한국농어촌공사, 2008)
-서귀포시 중문동-



지표하 170～450m 구간의 응회암층 시추코어(제주특별자치도개발공사, 2009.10) -서귀포시 대포동-



유리질쇄설암(각력암) 시추코어(제주도, 2002.12)
-제주시 구좌읍 한동리-



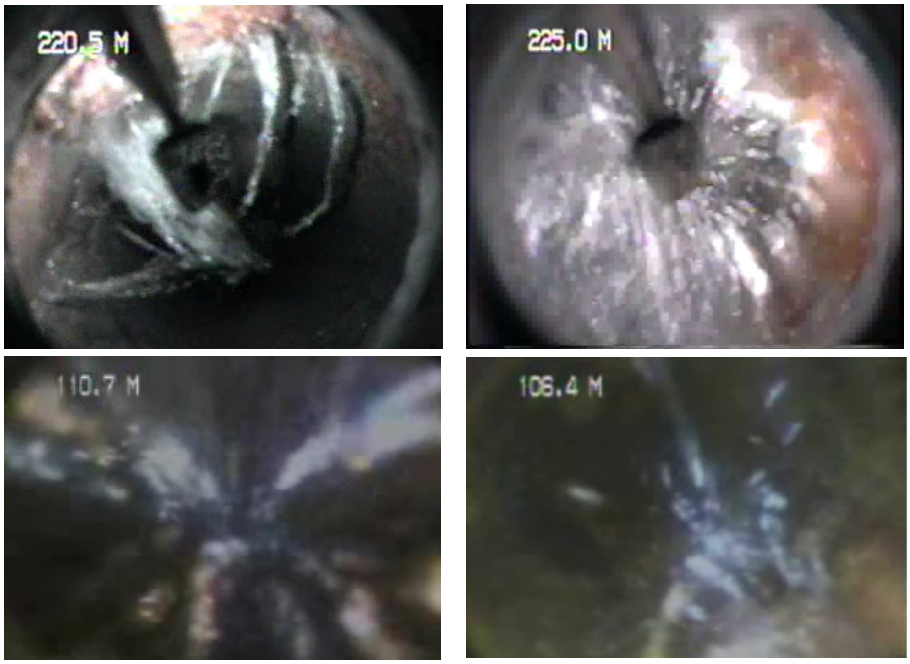
화산암층 균열대에서의 지하수 유출(돈네코물 용천수)
-서귀포시 상효동-



화산암층 균열대에서의 지하수 유출(천제연폭포)
-서귀포시 색달동-



응회암층 상단 경계부에서의 지하수 유출(여이물-용천수)
-서귀포시 대륜동-



화산암층 균열대에서의 지하수 유출(금악수원 공내 CCTV 촬영)
-제주시 한림읍 금악리-

A Study on Hydrogeological Characteristics of Volcanic Rocks in Jeju Island

Bong-Sang Kim

Department of Geology
Graduate School
Pusan National University

ABSTRACT

This study identified hydgeological characteristics of volcanic rocks in Jeju Island, South Korea. The study area was divided in the east, west, south, and north areas according to watersheds. For this study, geological logs and aquifer test data were analyzed from 203 wells: 36 wells in the east area, 55 wells in the west area, 55 wells in the south area, and 57 wells in the north area.

The geology of the study area is mainly composed of bedrock, U formation, tuff, Seogwipo formation, trachybasalt, trachyte, trachyandesite, basalt (acicular feldspar olivine basalt, augite basalt, feldspar basalt, olivine basalt, feldspar olivine basalt, augite feldspar basalt, augite olivine basalt, aphanitic basalt, and aphanitic augite basalt), pyroclastic formation, and clinker.

Basal and lower parabasal groundwater appears in the east area, while upper parabasal groundwater occurs in the west area. In the south

and north areas, lower parabasal groundwater takes place prevalently.

Pumping test data were analyzed by using mainly Moench (1985) case 1 and case 2 models, Hantush-Jacob equation, Hantush (1960) equation, Theis equation, Papadopulos-Cooper equation, Moench (1997) equation, Neuman equation, and Thiem equation. Transmissivity of geometric mean decreases from the north, to west, south, and east areas. Similarly, the median of transmissivity values decrease from the north through west and south to east areas. Specific capacity of geometric mean and median decreases from the east, to north, west, and south areas. Inversely, the top of low permeability layer becomes deeper from the south to west, north, and east areas, which indicates the level of top of low permeability layer is negatively proportional to the specific capacity.

In the east area, the relations of the top of low permeability layer vs. specific capacity and vs. transmissivity appeared very weak. This indicates that low permeability layer can not be a single dominant factor for groundwater productivity. On the other hand, in the west, south, and north areas, specific capacity and transmissivity shows positively strong relationship and the top of low permeability layer vs. specific capacity exhibits a distinct negative relationship.

감사의 글

현장업무에만 전념해온 전문 건설업체의 대표가 짧은 학문적인 소양을 바탕으로 박사학위 논문을 내게 되니 우선 송구한 마음이 앞섭니다. 그러나 제주 지하수업무에 관여한 이십여년 동안의 조사 및 시공경험을 바탕으로, 제주도의 지질과 지하수의 수문지질학적인 특성을 연구하였습니다. 미흡한 점이 많습니다만, 연구 성과를 이렇게 한편의 논문으로 제출하게 되니 본인에게는 큰 의미가 있는 일로 위안이 되기도 합니다.

이 박사학위 논문이 나오기까지, 너무나 부족한 저에게 용기와 격려를 주시고, 휴일 날에도 밤 늦은 시간까지 지도하여주신, 함세영 교수님에게 진심으로 감사드립니다. 또한, 논문심사를 위해서 지도를 아끼지 않으신, 황진연 교수님, 정상용 교수님, 양경희 교수님께 감사를 드립니다. 아울러서 학문적인 가르침을 주신 김항묵 교수님께도 감사드립니다.

그리고 바쁜 시간을 틈내어, 많은 학문적 지도를 해주신 제주광역경제권 선도산업지원단장 고기원 박사님, 여러 가지 자료를 제공하여준 제주특별자치도 수자원본부 박윤석님, 강봉래님, 한국농어촌공사 정차연 박사님, 김창옥 과장님, 신희섭 과장님, 박진홍 과장님께 또한 깊은 감사를 드립니다.

자료정리 분석을 위해서 많은 수고를 하여준 부산대학교 환경수리지질학 실험실 옥순일씨, 차은지씨, 이정환씨, 그리고 한국방사성폐기물관리공단의 정재열 박사에게 감사드립니다. 바쁜 회사 업무에도 불구하고, 이 논문이 나올 수 있도록 자료정리에 수고하여준 주식회사 진산 고택균 부장, 고영실 차장을 비롯한 여러 직원들에게도 감사드립니다.

그리고 오늘날 제가 있기까지 저에게 정신적 지주가 되어준 아버님과 같은 형님, 30여년 변함없는 벗이자 반려인 고마운 아내 최금옥씨, 그리고 사랑하는 두 딸 선희, 선우와 이 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.