



부산직할시 영도지역의 정호간 지하수 간섭에 관한 수리지질 특성 연구

A Study of Hydrogeological Properties Concerning to Groundwater
Interference between Wells in the Yeongdo Island, Pusan, Korea

金 恒 默*
Kim Hang Mook

ABSTRACT

This is about an environmental study of groundwater interference by hydrodynamic dispersion between the well A and well C in Dongsam-dong, the Yeongdo Island, Pusan, Korea. The groundwater in the study wells come from the fracture zones deeply seated in welded lapilli rhyodacitic tuff of the Late Cretaceous Yucheon Group. The boring depth at the well A is 190 meters, and the optimal pumping rate of the well A is about 100 cubic meters per day therein.

The fractured aquifers in impermeable welded tuff show the conjugate fracturing type and are of anisotropic. The aquifers along two fracture zones in the well A are 80 and 100 meters in depth, respectively. It is not suggested that those fractured aquifers are simply connected between the well A and C.

The sea level fluctuation by ebb and high tides in a day is not effective to the groundwater table in the well A. The pumping for 15 days at the well A doesn't give rise to any changes of the groundwater levels in the neighbor well C. The radius of influence of the well A is measured as less than 200 meters.

The measuring electric conductivity for the test of salt tracer doesn't testify any relationship between the well A and the well C. There is the main difference between the well A and the well C on the basis of the water analysis of those wells: the well A is located in the high content zone of salt much over the standard value for drinking, whereas the other wells B, C, D are in the low content area of salt below the standard value. It is elucidated for the high content zone of salt in Yeongdo around the well A to have been uplifted over 20 meters.

1. 서 론

예로부터 부산의 영도지역은 화산체이므로

지하수를 개발하기 전에는 물이 귀하기로 유명하여 영도의 주봉을 봉래산이라고도 하나 물이 귀해 고갈산이라고도 불리운다. 부산이 직할시

*應用地質技術士. 理學博士. 釜山大學校 自然大地質學科教授

로 되면서 물의 수요가 증대됨에 따라 지하수를 개발함으로써 물 공급문제를 크게 해소하고 있으나 연구지역인 동삼동 일대는 아파트 단지가 대규모로 들어섬에 따라 식수부족이 가장 큰 행정문제로 대두되고 있다.

용수자원의 공급량은 일정한데 수요량이 급증함에 따라 도시 주거지에서는 이웃 주택간 지하수 영향 문제로 법정투쟁으로 비화되는 사례가 빈발하므로 정호간 수리간섭연구는 중요하다. 이번 연구는 부산직할시 영도구 동삼동에서 개발한 A정호와 230m 이상 떨어져 있는 영도구 동삼1동 기존의 C정호가 상호 어떤 수리 분산 관계가 있는지를 알아보려고 한다. 이 지역은 고신대학 바로 아래 경사지이다. 즉 A정호에서 지하수를 취수할 경우 B, C, D정호의 지하수 환경에 어떤 영향을 미치는지 그 내용을 알아보고 양정호간 대수층이 상이한가 아니면 상통하는가를 조사하며 수질의 차이점을 규명하는 등 수리지질 특성과 지하수의 기초 환경을 연구한다. 미래추계를 위한 Computer simulation 연구는 포함되지 않았으며 후속연구에 돌린다. 또 이번 연구의 결과가 도시 개발된 이후 미래의 장기적 예측에 관한 연구일 수는 없으며 현재의 지하수 환경을 파악해 둬으로써 영도 전지역 수리지질 특성을 파악하는데 준거(Reference)가 될 것이다(한, 1993).

2. 지질(Geologic setting)

조사지역의 지질은 백악기 경상계 화산활동의 산물인 유천층군에 속하는 유문석영안산암질 응회암(Rhyodacite tuff)으로 구성되어 있다(김: 1984, 김 et al., 1985).

야외조사에서 동삼동 일원의 유문석영안산암질 응회암은 암흑색의 유리질로서 다량의 각력을 포함함이 관찰된다. 또한 화산 활동시 대기중으로 상승된 대규모의 고열 화산재가 지표로 갑작스럽게 하강 매몰됨으로써 생긴 용결구조(Welded structure)를 갖고 있다. 이 암석들은 치밀하기 때문에 입자간 공극의 연결을 기

대할 수 없다. 그러므로 암석내에서 지하수가 공극을 통하여 이동되기는 극히 어렵다. 조사지역의 유문석영안산암은 지하수학적으로 보아 불투수층으로 분류된다. 그러나 본 지역의 암석들은 부산일원에서부터 경상북도 영덕에 이르기까지 대규모로 기반암을 절단하고 있는 양산단층(연양단층) 및 동래단층과 인접하여 절리와 소규모 단층들에 의해 파쇄대와 단층계에 수반된 절리계가 발달하고 있다. 그러므로 기반암내의 지하수는 화산암 특유의 파쇄대와 절리, 단층 균열을 비롯한 상기 단열대와 파쇄대를 따라서 이동 분산되는 것으로 해석된다.

조사지역의 지하수 유동에 미치는 지질특성은 화산암체내에 일반적이고 흔히 나타나는 국지적 소규모 단열대가 지하수 유동의 주통로라는 사실이다. 다공질 응회암이나 기타 층상 지하대수층은 확인 되지 않았다.

3. 구조선 분석

지표에 기반암이 노출되어 있는 동삼1동 미륵사부근 및 동삼여자중학교 부근 아파트 공사현장, 영진교회 뒷산일대 그리고 고신대학 주변에서 절리 및 단층들을 관찰조사하였다. 그림 2는 야외에서 측정된 절리 및 단층면의 자세(주향 및 경사)의 극점(Pole)을 등적망(Equal-area net)에 투영한 빈도도(Contouring map)이다. 빈도도에서 보여주는 바와 같이, 이 지역의 파쇄양상은 80°이상의 고각도의 경사를 유지하며 N52°W, N38°E 두 방향으로 현저하게 우세한 자세를 보이는 공액성 단열형(Conjugate fracturing type)이다. 이로 볼 때 이 지역의 기반암내에서 흐르는 지하수는 이들 파쇄대를 따라 주로 N52°W와 N38°E의 방향으로 흘러 이동되고 있음이 시사된다. 불투수성의 기반암을 통과하는 조사지역 지하수는 열극수(Fissure water)이며 열극(Fracture)은 등방성(Isotropic)이 아니라 이방성(Anisotropic)을 띤다.

영도구 동삼동 227 소재 목욕탕 예정지의 정

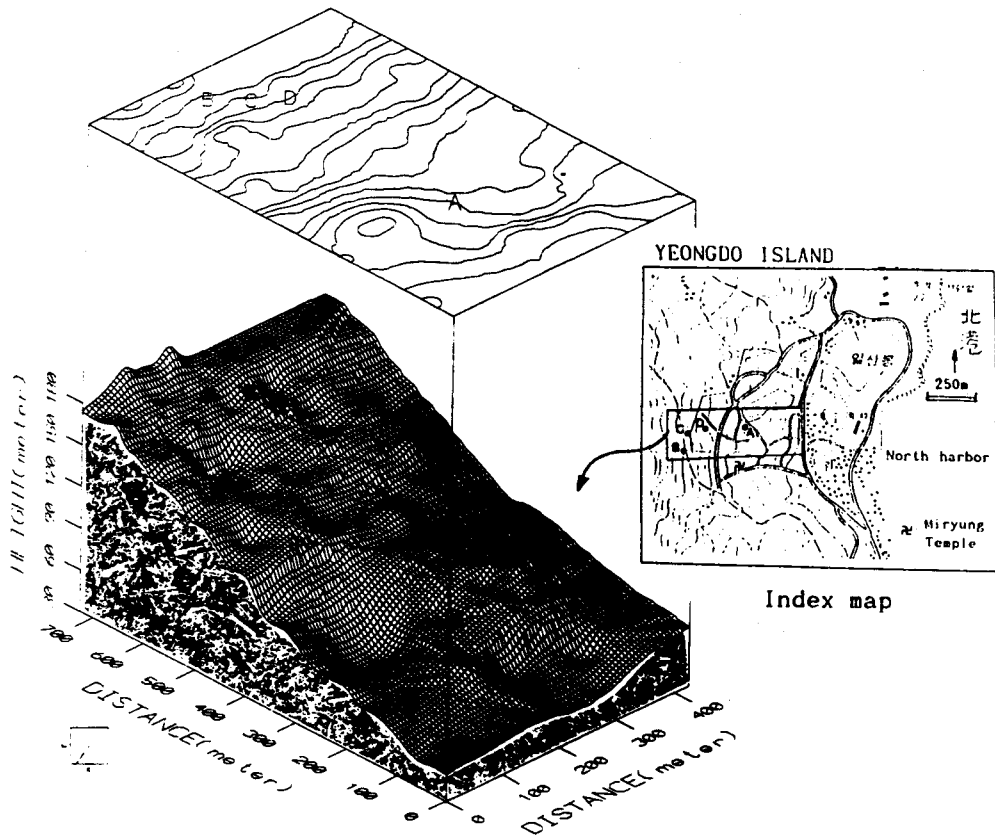


Fig.1 Computer designed 3-D topography of study area.
A : Well for bath, B · C · D : Existed wells.

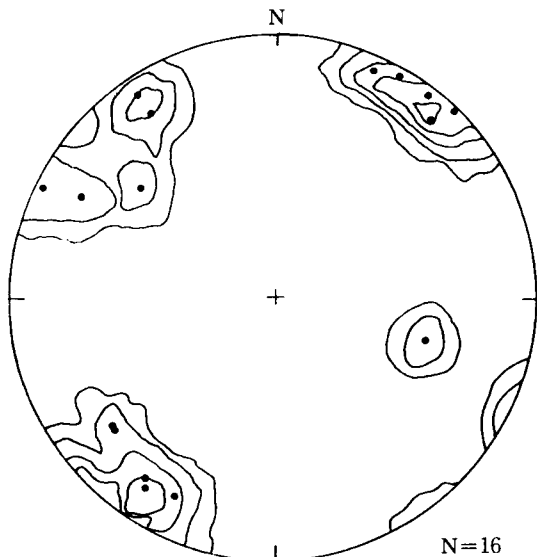


Fig.2 Equal area net projection of fracture zones in the study area.

호(이하 "A")는 표고 약 95m에 위치하며 인근의 기존 취수정호 중 고신대학 정분 북쪽 약 40m지점의 정호(이하 "B"), 고신대 아래 모자원내에 설치된 정호(이하 "C") 그리고 그 동쪽 인근 소재정호(이하 "D")와의 수평거리는 각각 약 385m, 345m, 230m, 그리고 표고차는 각각 60m, 55m 그리고 35m이다. 즉 A와의 가장 근거리가 230m이다.

구조선과 대수층관계 : A지점과 B, A지점과 C 그리고 A지점과 D지점을 각각 이은 직선들의 진북 방향은 각각 약 N65°E, N80°E 그리고 N75°E이다. 이들 직선의 방향을 미륵사 남쪽에서 관찰된 공액성 파쇄방향과 비교해 보면 지하 대수층의 연결 가능성을 예상할 수 있다. 먼저 공액성 파쇄방향 N52°W와 비교키로 한다. AB, AC 그리고 AD를 이은 선들은 파쇄방

향과 각각 63°, 48° 그리고 53°의 각도 차를 보여준다. 그러므로 만약, B, C 그리고 D 정호에서 흐르는 지하수가 상기 지점에서 N52°W의 방향으로 흘러간다면 A정호의 빗겨날 산술적인 거리는 $a \times \sin \theta$ (단, θ 는 각도 차, a 는 A와 각각 정호간의 거리)로 각각 약 343m, 256m 그리고 184m이다. 이로 볼 때, B, C, D정호에서 흐르는 지하수가 상기의 파쇄방향으로 이동한다면 A정호와 연결될 가능성은 극히 적은 것으로 보인다.

공액성 파쇄방향 N38°E와 비교해 본다. 이 방향과 AB, AC, AD 직선이 이루는 각도는 각각 27°, 42°, 37°이다. 그러므로 상기 산술식의 각 B, C, D정호의 지하수 유동통로가 A정호와 빗겨날 산술적인 거리는 각각 약 175m, 231m, 138m가 된다. 그러므로 C, D정호는 A정호와 대수층이 연결될 가능성은 거의 없는 것으로 예상되나 B 정호는 A정호와 연결될 가능성이 C나 D정호 보다는 다소 높다고 하겠으나 일단 연장선에서 벗어난다.

이상의 결과들을 종합해 볼 때, C, D정호는 A정호와 연결될 가능성은 거의 없는 것으로 생각되며, B정호는 N38°E의 파쇄대를 따라 A정호와 보다 가깝다. 그러나 B정호와 A정호와의 거리(385m)와 표고차가 가장 크고(60m), A정호는 깊이가 190m이며 약 20m까지 casing이 설치되어 있으므로 약 30m의 얇은 정호깊이를 가진 B정호에 미치는 영향을 무시해도 좋은 것으로 해석된다.

그러나 지하수의 통로가 된 열극들이 단열망(Fracture network)을 형성할 가능성이 있다. 이 경우 지하수량이 풍부할 가능성이 있으므로 적정양수량을 잘 유지하면 B.C.D 정호에 별다른 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다.

4. 착정분석 및 지하수량 확인

A정호는 사용수를 심층지하수로 충족하고자 T-4W형 고성능 굴착기로서 Air hammer 빗트에 의한 D.H.H공법으로 청호구경 6", 정호

심도 190m의 착정굴착을 시공한 결과 주상도(그림 3)와 같은 지질이 확인된 바 있다(신일지질, 1992). 토양과 암편의 상부 표층과 풍화함에 대해서는 정호를 보호하고 표층 지하수 및 지표수의 유입을 방지하기 위하여 지하 20m까지 철저한 케이싱(Casing)을 설치하였으며 케이싱 주위에는 점토충진(充填) 실시하였다. 개발정호의 지하수는 심층지하수이며 정호의 암반붕괴를 예방하였다. 즉 대수층은 심도 80m와 100m 수준의 암반내 2암열대였다. 풍화암은 지표면 하 약 10m까지이고 반풍화암은 풍화암 아래 약 10m 구간이다. 신선암은 지표로부터 약 20m 수준 이하가 된다. 지표지질의 특징과 시추 당시에 작성된 주장도로 보아 이곳 지하수는 지층지하수(Stratum water)가 아니라 화산암인 유문석 영안산암내에 발달하는 열극지하수(Fissure water)임이 확실하다.

개발 당시 양수량은 수증모타 펌프에 의해 삼각늪치를 사용하여 측정되었고 채수량은 개발 당시 200m³/D였으나 이번 연구시에는 계량기 사용 양수시험 결과 200m³/D이상으로 실측되었다. 이번 연구에서 양수시험은 15일간에 걸쳐 이루어졌으므로 양수량 검정시간이 충분했으며 수위하강 및 수위회복을 잘 측정하였다.

5. 지하수의 유동

5-1. 수리 분산

용질의 이동은 동구수배에 의해 발생하는 이송작용(Advection)과 수력학적인 분산(Hydrodynamic dispersion)에 의한다. 암석의 열극 및 파쇄대 내에서의 지하수 이동은 다공질 매체내에서의 지하수 이동과 동일과정에 의해 지배되지만 파쇄공극의 폭이나 파쇄면의 조도에 따라 그 공극유속이 매우 클 수도 있다. 파쇄대 내에서의 지하수 이동성은 이방성을 띠는 것은 진술한 바와 같다. 파쇄암체의 효율 파쇄공극률은 일반적으로 매우 적어 대체로 10^{-2} - 10^{-5} 정도로 알려져 있다(한, 1988).

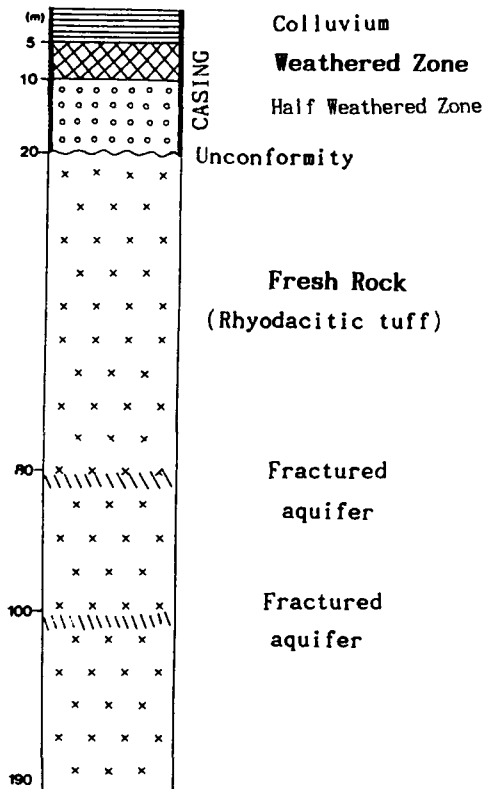


Fig.3 Well log of the Well A.

필자는 영도지역 화산암체내의 파쇄대에 발달하는 지하수의 수리분산을 파악하기 위해 양수시험, 전기전도도 및 추적자 염도 측정, 수질 분석의 결과를 사용하였다.

화강암체 파쇄대내의 공극유속을 보면(한, 1988), 암체의 수리 전도도 $5.0 \times 10^{-9} \text{m/s}$, 평균공극률 0.0001, 지하수의 동수구배 1/150이라면 지하수의 공극유속(Pore water velocity)은 10.5m/년 ($5.0 \times 10^{-9} \times 1/150 / 0.0001 \times 86,400 \times 365$) 정도이다. 영도 지역도 대체로 이에 준한다고 본다면 이처럼 지하수의 이동속도가 느리기 때문에 영도구 동삼동의 정호간 수리간섭은 장기적일 것이다. 왜냐하면 A와 B, C, D 3개의 정호간 거리가 최소한 230m 이상으로서 15일간의 양수시험에서도 수리간섭현상이 감지되지 않았기 때문이다.

5-2. 양수시험

5-2-1. 양수 관측

동삼동 227에 있는 A정호에 대한 양수시험은 이 정호의 지하수 개발이 인근지역 정호(B, C, D)에 어떤 영향을 미치는지 여부를 알아보기로 고사 수행 되었다. 이 양수시험은 총 15일간에 걸쳐서 욕탕 사용 인원에 따른 추정 지하수 사용량에 따라 1차, 2차, 3차로 나누어 시행되었다. 추정 사용량에 기초하여 1차 양수시험에서 하루 84톤의 지하수를 양수하였고, 2차, 3차 양수시험에서 100톤, 165톤으로 양수량을 증가시키면서 총 1300톤의 지하수를 양수하였다.

(그림4)

실제 지하수의 사용량은 1일 80톤에서 120톤 내외로 추정되었다.

목욕탕 개발 정호의 특징은 아래와 같다.

Table 1. Enumeration of the well A.

Diameter	Well depth	Casing depth	Aquifer
6"	-190m	-20m	-80, -100m

위 목욕탕 개발 정호에 대하여 시추 당시 양수 시험한 결과는 <표2>와 같다. 당시 양수공사시 인근의 기존 정호(B,C,D)의 지하수위가 하강되지 않았던 것으로 알려져 있다. 이 양수시험으로 이 정호는 공중 목욕탕 개발에 급수 가능 정호로 결정되었다. 이번 장기간의 양수시험을 통하여는 A정호의 지하수 사용으로 B, C정호 지하수의 수위에 영향을 주는지 여부를 결정하기 위하여 7월 이후 C정호와 미류사 정호의 수위 확인결과 수위변동이 일어나지 않았다. D에 대한 양수시험은 시추당시 양수자료에 의존하였다. 이번 시험에서도 양수 시험이 끝날때까지 양수 공사가 B, C, D의 식수공급에 영향을 주는 하등의 사항은 발생하지 않았다. 따라서 일 양수량 $84 \text{m}^3/\text{일}$, $100 \text{m}^3/\text{일}$, $165 \text{m}^3/\text{일}$, 그리고 양수기간 15일간의 각 양수 시험에서는 A정호가 B, C의 취수량에 영향을 준다고 볼 수 없다. 따라서 적정양수량을 $165 \text{m}^3/\text{일}$ 이라봐도 무방할 것으로 판단된다.

시추시 양수 결과와 이번의 양수 상황으로 보아 판단할 때 특히 금번 양수시험에서는 24시간 계속 양수한 사실과 이 지역의 풍부한 지하수를 감안한다면 비록 A정호가 개발시행되더라도 24시간 연속 양수하는 것이 아니라 실제 하루 15시간 100m³/일 정도 양수한다면 A정호의 양수는 기존 정호의 식수 취수량에 영향을 준다고 판단할 수 없다. 수위측정을 위해 전기 수위측정기를 자체 제작하여 사용하였다. A정호의 지하수하강심도는 -14.5m에 불과했다(그림 5).

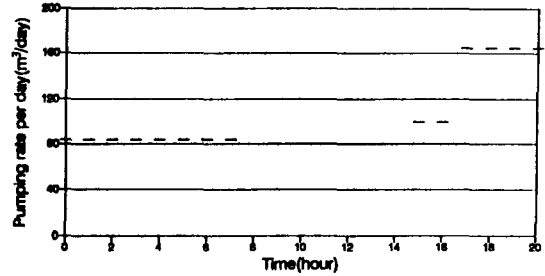


Fig.4 Pumping water quantity of the well A in days.

Table 2. Pumping test of the well A at the time of boring.

Groundwater level(m)	Stabilized level(m)	Pumping quantity per day (m ³ /day)
-5.2	-46.5	207

5-2-2. 지하수위 변화와 潮汐의 영향

A정호의 양수 시험과 함께 시간에 따른 지하수위의 변화를 측정하여 조사지역의 방수량(Discharge)과 충전량(Recharge)의 관계를 유추했다. 실험에 대한 결과는 그림 5와 같다. 우선 'a'구간에서 단기적인 해수의 영향에 대해서 조사를 실시 하였다. 그 결과 해수의 일변화(밀물과 썰물)에 따른 영향이 전혀 없었다. 'b'구간에서는 하루 84m³/일의 지하수를 양수하는 것과 동시에 지하수위의 변화와 수위의 회복에 대하여 조사한 것으로 시간당 3cm의 수위 하강을 보이며, 양수 중단 후 1시간 내에 원상태로 회복 되었다. 'c'구간에서는 4일간 연속으로 양수를 실시하였다. 양수 초기 시간당 3cm의 수위 강하는 -12.7m 전후에서 시간당 1cm로 줄어들었으며, 이후 안정되었다. 이것은 하루 84톤의 지하수를 양수 할 경우 -14.1m에서 수위가 안정되고 있음을 보여 준다. 'e'에서는 하루 165m³/일의 지하수를 5일간 계속 양수하였으며, 양수 초기 시간당 6cm의 수위 강하를 나타내었으며, -21.3m 전후로 시간당 수위 강하가 1내지 2cm로 안정되기 시작하였고 -21.4m에서 안정되었다. 하루 165m³/일

의 양수는 본 정호의 용도와 비교할 경우 충분이 많은 양이고 또한 이 실험이 24시간 연속적인 양수임을 고려 한다면 목욕탕 정호사용 개발 등 차후의 수위는 이 보다 높은 지점에서 유지 될 것으로 사료 된다. 전기에는 안정수위가 -21m까지 하강할 수 있을 것으로 짐작 된다.

B, C, D정호 보다 아래 수준에 위치하고 심층지하수가 개발되어 있는 미륵사 정호의 지하수위를 측정하였으나 양수에 따른 수위 하강현상은 일어나지 않았다. B, C, D취수정호보다 해발고도에서 하위에 위치하고, A 개발 정호로부터 근거리에 있는 미륵사 정호에 수위변동이 없다는 것은 B, C, D취수정호에도 장기간의 양수기간(Test duration)이었음에도 수위변동이 일어나지 않음을 시사한다.

이곳 안정수위란 조사지역 지하수의 양수량과 충전량이 평형을 이루어 양수를 하더라도 지하수위가 하강하지 않는 안정되어 있는 상태를 의미한다. A정호의 경우 충전량은 목욕탕 사용량보다 많을 것으로 판단된다. 단열대 대수층 지하수는 일반적으로 비정상류(Non-steady state flow)로써 지속적인 양수를 하는

경우 Theis식에서 알 수 있는 것처럼 수위는 계속 하강(Drawdown)한다(Hamm, 1994). 그러나 A정호의 경우 안정수위에 도달한 이후 정상류(Steady state flow)처럼 수위변동이 없음은 대수층 상부로부터 누수유입(Leakage)의 집수현상이 있는 것으로 해석된다.

양수시험을 실시하기 전 조석간만의 영향 여부를 판정하기 위해 시간에 따른 수위 변동을 계속측정했으나 지하수위는 고정되어 있었으므로 간섭에 따른 수위의 일변화는 없는 것으로 판명되었다. 연구 지역이 바닷가이기는 하나 충적층이 아닌 고결 화산암체내에서 심층지하수를 개발하기 때문에 조류에 의한 해수면의 승강운동이 연구 지역 지하수위에 민감하게 작용 불가능한 것으로 해석되었다. 심층지하수의 유동속도(단열대내 공극유속 약 10.5m/년)가 조석현상에 영향을 줄 정도로 빠른 것이 아님을 알 수 있었다.

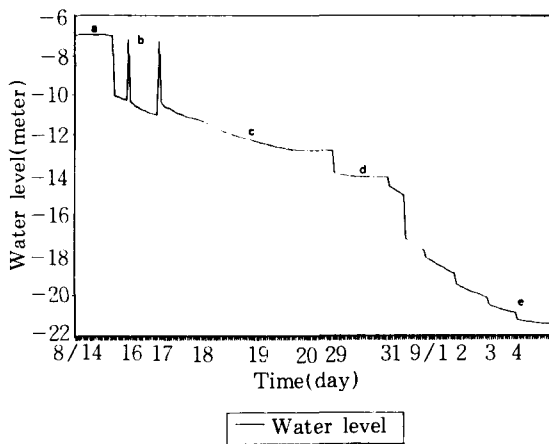


Fig.5 Fluctuations of groundwater table by the hour according to the pumping quantity of well A.

5-2-3. 영향반경 고찰

A정호의 영향반경 결정을 위해 223m 떨어진 미륵사 앞 정호도 측정되었는데 양수 시험 때 아무런 영향이 없는 것으로 나타났다. 이곳 지하수는 유문석영안산층회암의 신선암내에 발달하는 간극수이고 양수에 따른 지하수위의

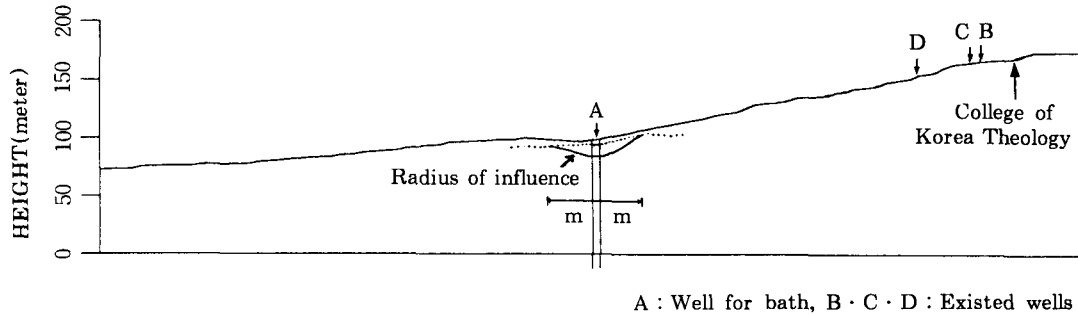
하강속도 및 A정호 개발시 사용량(100톤 내외)과 일당 사용시간(15시간)을 감안하고 안정수위의 변동과 영도지역 심층지하수의 풍부성을 감안할 때 영향반경은 A개발 정호에서 미륵사 정호까지 결코 이르지 않을 것으로 보인다(그림 6). 일 양수량이 84m³/일, 100m³/일, 165m³/일 일 때 안정수위는 각각 -12.7m, -14.1m, -21.4m이었다. B, C, D정호로부터 조사정인 A 정호로 직선 연결되어 있다고 생각되는 지하단층은 A정호의 이번 양수로 C정호의 水位變動을 초래하지 않았을 뿐 아니라 A정호 자체의 수위도 14.5m정도 下降(Drawdown)했을 뿐이므로 영향반경을 실제 B.C.D정호에 결코 못미치는 것으로 판단되었다. 충적층 지하수의 경우 우리나라에의 주택용 사례를 보면 영향권은 200m이내로 간주함이 보통이다. 즉 정호간 거리가 200m 이상이 되면 상호 간섭을 일으키지 않는 정호로 간주한다는 것이다. 연구지역의 지하수는 화산암 단열대 지하수이므로 그 영향반경은 충적층에 미달하여 200m보다는 훨씬 짧을 것임이 시사된다.

5-3. 추적자 투입과 수질 분석

5-3-1. 추적자 투입

A정호와 B, C, D 정호와의 연관성을 조사하기 위하여 1차양수시험 동안 A정호와 인근의 정호들의 염도와 전기전도도를 계속적으로 측정, 비교 하였으며, 1차양수시험이 끝난 후 고신대학앞과 모자원 내의 B, C 정호에 각각 3.5kg과 2.5kg의 NaCl(식염)을 추적자(Tracer)로 투여하였다(Hoehen & Roberts:1982, Moreno & Neretnieks:1985). 아래에 A정호에서 6일간 하루 160m³/일 씩의 지하수를 양수함과 동시에 전기전도도 및 염도의 변화를 측정하여 추적자 투여전 1차양수시험때의 지하수의 염도와 전기전도도의 변화를 비교, 조사함으로써 추적자 투여 정호가 A정호에 어떤 영향을 주는지 탐지 하였다. 측정 내용은 다음 두 항에 취급한다.

PROFILE OF STUDY AREA



A : Well for bath, B · C · D : Existed wells

Fig.6 Profile of the study area.

5-3-2. 전기 전도도(Electric Conductivity) 측정

전기전도도는 식염과 같은 전해질의 양이 많을수록 지하수는 높은 값을 보이게 된다. 1차 양수시험동안 측정한 A정호와 주위 정호들의 관계를 비교하면 상당한 차이를 보인다. A정호의 전기전도도가 820(μS)에서 거의 안정되고 있음을 보여주는(그림7, 8 및 12) 반면 B, C, D정호는 전기전도도가 100(μS) - 300(μS)까지의 분포를 보여주고 있다. 즉 B, C, D 취수정호의 경우 A정호와와는 완전히 떨어져 별개의 지하수로 생각할 수 있다. 미륵사 주위 정호의 경우 700(μS) 정도의 전기전도도가 나타난다. 이것은 이 정호의 대수층 심도가 100m내외로 본 정호와 거의 동일하고 동일한 방향의 단열대 대수층에 의한 동일 지하수임을 생각할 수 있다. 그러나 B, C, D 정호와 고신대학에 위치한 정호는 A와 전기전도도의 값을 완전히 달리하고 상위에 있는 정호들의 지하수가 A정호 지하수에 영향을 주지 않으므로 원칙적으로 대수층이 다른 별개의 지하수로 시사되었다.

추적자(NaCl)의 투입후 1차 양수시험에서 보다 2배의 지하수를 양수함과 동시에 시간단위로 전기전도도의 변화를 측정하였다. A정호와 B, C, D의 지하수가 양수에 따라 영향을 준다면 염도와 전기전도도는 당연히 1차 양수시

험때 보다 월등히 큰값을 가져야 될 것이다(그림8 및 9). 그러나 본 시험 결과 염도와 전기전도도는 1차 양수시험 때와 동일한 값으로 측정되었다. A정호의 주어진 양수량과 양수기간이 안정 수위면까지 도달할 때까지 충분했고 시험기간내에는 결코 측정치에 이상이 없었으므로 1차 양수시에도 양수를 함에 따라 기존 취수정호의 지하수가 A정호 지하수 수질에 아무런 영향을 주지 않음이 확인되었으므로 주어진 양수량과 양수기간으로는 기존정호의 지하수가 A정호에 영향을 끼치지 못하는 것으로 해석된다.

전기전도도로부터 증발잔류물을 평가하면 증발잔류물(ppm)을 전기전도도의 약 0.65배에 해당된다(Todd, 1982).

다음의 관계가 있다.

<표 3>는 각 지역별 전기전도도의 평균값이다.

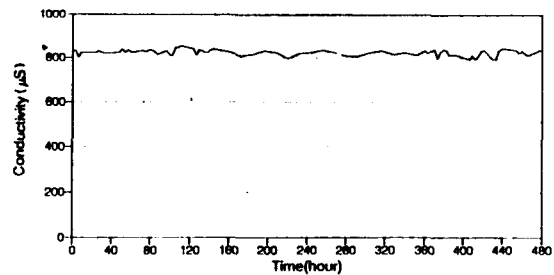


Fig.7 Changes of electric conductivity by the hour of the well A.

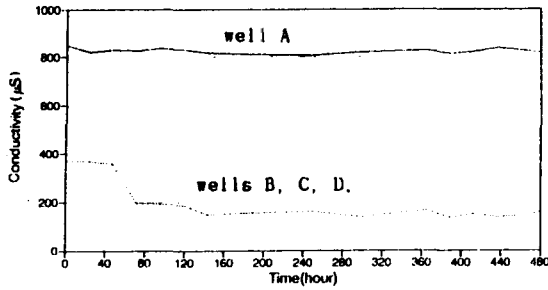


Fig.8 Changes of electric conductivity by the hour between the well A and the wells B, C, D.
A : Well for bath Existed wells A:B, C B :

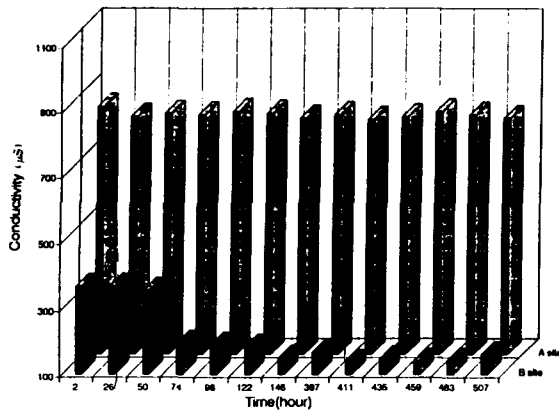


Fig.9 Comparison of changes of electric conductivity by the hour between the well A and the wells B, C, D.
A : Well for bath. B : Existed wells

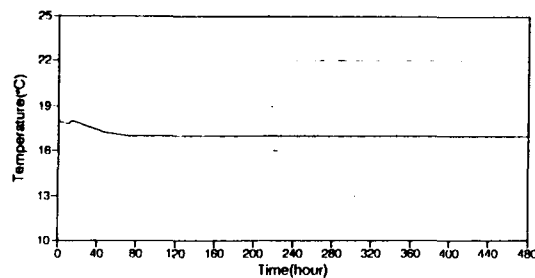


Fig.10 Changes of temperature according to pumping quantities of groundwater of the well A.

A 정호는 미룡사정호와 함께 염도에서처럼 전기전도도가 <표 3>과 같이 매우 높으나 기존 취수 정호의 수치는 낮다. 전기전도도는 다음

Table 3. Electric conductivity of the wells in the study area.

wells quality	A	B	C	D	Miryung temple
electric conductivity(μS)	820	165	184	366	728

에 설명한 염도와 함께 매우 높으나 15일간의 계속적인 양수작업에도 불구하고 전도도가 불변하고 일정한 값을 보임은 전도도가 매우 낮은 B, C, D 정호의 지하수가 전혀 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 전기전도도와 염도는 양수 매시간마다 측정되었다. 물리적 측정에 의한 전기전도도와 염도, 화학분석에 의한 염소이온에 있어서 목욕탕 정호와 주민 취수정호 사이에는 1)현격한 차이점을 보이고 있고 2)A정호 양수시험에서 C정호의 지하수의 자연수위에 영향을 주지 않음이 밝혀졌으며 3)구조선의 연결되지 않으므로 양 지점의 지하수는 동일한 것이 아니라 상이한 대수층일 가능성이 높은 것으로 시사되었다.

A정호의 양수량에 따른 온도변화를 보면 그림 10과 같다.

5-3-3. 염도 측정

고신대학 주변 지하수의 염도가 B, C, D 정호와 거의 동일한 0.04~0.08ppm 내외의 값을 보여주는 반면 A정호의 지하수는 0.40ppm의 거의 고정된 값을 나타낸다.

이 실험에 선행하여 실시된 수위 조사에서 해수의 만조와 간조에 따른 수위 변화가 없고 염분함유량으로 보아 단기적인 현재 해수의 영향은 없다(그림 11). 이같이 염도의 현격한 차이는 A정호 및 미룡사 정호는 과거 해수준면이 상승되었을 당시의 잔류염분에 의한 잔류염도(Residual salinity)인 것으로 해석된다.

목욕탕 지하수의 염도는 B, C, D정호의 염도보다 약 10배에 달한다(표 4). 목욕탕 정호에 대해 15일간 84m³/일, 100m³/일, 165m³/일의 단계로 양수를 하였으나 염도는 양수에 따라 변하지 않고 일정하였다. 이것은 인근의

염도가 낮은 B, C, D정호의 지하수가 목욕탕 지하수에 전혀 영향을 주지 않고 있다는 증거가 된다(그림 13). 다음의 전기전도도 역시 동일한 결과를 보인다.

Table 4. Salinity of the wells.

Wells	A	B	C	D	Miryung temple
Salinity(ppm)	0.39~0.41	0.06	0.08	0.17	0.35

5-4. 수질 분석과 오염

아래 표에서와 같이 A 개발정호와 기존 취

수정호의 원소 이온 농도는 대부분 비슷하나 (동아대학교 환경 연구소 수질분석자료와 부산시 보건환경연구소의 분석자료 참조, 표5,6) 염소이온과 증발잔류물의 양에서 양 정호의 상호 성분에서 현격한 차이를 나타낸다. 시험 양수 기간을 특별히 장기간으로 늘여 시행한 이번 A정호에 대한 양수시험에서 B, C, D정호일때의 지하수 수질이 영향을 끼치는 흔적이 전혀 나타나지 않았다. 즉 양수기간동안 B, C, D정호의 지하수가 하류구배간에 위치하는 A정호로 유입되지 않은 것으로 해석된다.

Table 5. Comparison of the main water qualities between wells

well	quality	Electric conductivity (μ s)	Salinity (ppm)	Evaporation Residue (ppm)	Cl ⁻ (ppm)
A		820	0.40	533	111
B, C, D		165-366	0.06~0.17	107~238	41.3

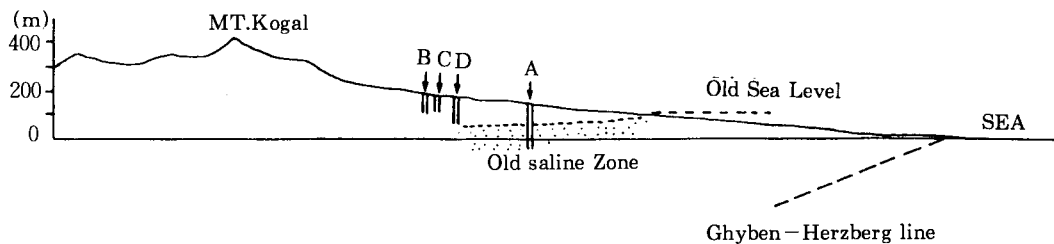


Fig.11 Influence of the sea levels to the groundwater table in the study area.
A : Well for bath B, C, D : Existing wells

인근에 있는 미륵사 정호의 경우 일반세균, 대장균군, 질산성질소, 증발잔류물 및 경도가 과다하여 부산시 보건 환경연구소로부터 음료수로서 “부적합” 판정이 내려진 바 있다. 따라서 연구지역 일대의 지하수 개발정호의 수질관리를 위해 지하수 오염요인을 방지하고 오염현상이 없도록 정호 주변을 청결히 해야 할 것이다. 지하수가 한번 오염되면 장기적으로 문제점이 생길수 있으므로 정호자체의 자연적인 박테리아 번식을 예방토록 정호관리에 만전을 기해야 할 것이다.

특히 정호의 안전관리를 위해 적정양수량 (Optimal yield) 165m³/D을 초과하지 않도록 유의해야한다. 여기서 적정양수량이란 A정호와 양수로 B, C, D정호에 영향을 주지 않는 양수량중 최대치를 의미했다. 지하수를 일정량 초과하여 과다량 양수하면 대수층의 파괴 및 지하수위 감소현상이 일어날 수도 있으므로 주기적인 수위변동을 확인함으로써 안전관리에 유의해야 한다. 과다 양수하면 경우에 따라서는 시설물에 영향을 주는 사례도 허다하다. 그러므로 항상 적정량을 양수해야 한다(Keller,1976).

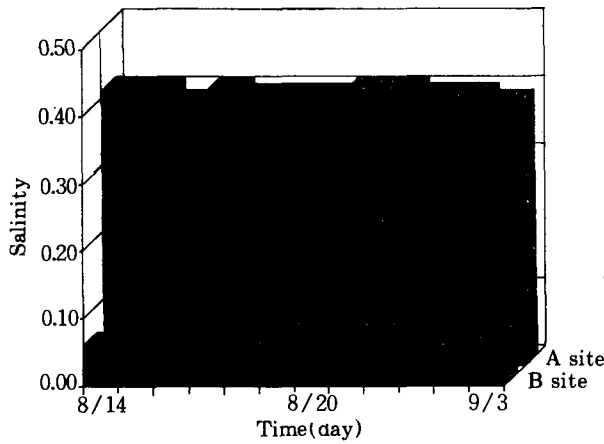


Fig.12 Comparison of salinity changes by the hour between the well A and the wells B, C, D.
A : Well for bath, B, C, D : Existed wells

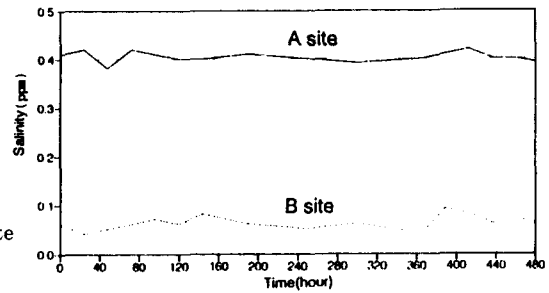


Fig.13 Changes of salinity by the hour between the well A(A site) and the wells B, C, D(B site)

Table 6. Comparison of groundwater analysis among the well for bath(A), the existed wells(B), and the Miryung temple well(C) with the standard quality.

Item	Sample	A	B	C	Standard for drinking
pH		6.6	6.7	7.4	5.8~8.5
NO ₂ -N(mg/l)		N.D	N.D	N.D	<0.5
NO ₃ -N(mg/l)		3.1	5.6	15.4	<10
Cl ⁻ (mg/l)		125.1	41.3	116	<150
Consumed KMnO ₄ (ml)		3.48	4.07	6.6	<10
E. Coli(mpn/100ml)		17	33	650	<100
Turbidity(Degree)		0.4	0.2	<2	<2
SS(mg/l)		1.0	1.0		
T-Hardness(mg/l)		78.0	96.0	340	<300
SO ₄ ²⁻ (mg/l)		26.3	12.3	39	<200
ABS(mg/l)		N.D	N.D	N.D	<0.5
PO ₄ ³⁻ P(mg/l)		N.D	N.D		
Zn(mg/l)		1.23	0.02	1.34	<1.0
Cu(mg/l)		0.014	0.006	N.D	<1.0
Pb(mg/l)		0.034	0.026	N.D	<0.1
CODmn(mg/l)		0.8	1.0		

N.D : Not detected

6. 결 론

이 논문은 정호간 수리분산 현상의 분석에 의한 지하수 환경의 파악에 관한 것이다.

부산직할시 영도구 동삼동 고신대학 교정 아래 해안 경사지에서 개발된 A정호와 B, C, D정호의 지하수는 후기 백악기 유천층군 용결 유문석영안산암질 응회암에 발달하는 단열대 수층(Fractured aquifer)으로부터 산출되는 심층지하수이다. A정호의 착정깊이는 190m, 산정 양수량은 $200\text{m}^3/\text{D}$ 이다. 컴퓨터 그래픽에 의하여 삼차원 지형기복 모델이 제작되었으므로 연구지역 정호간 지형적 배치 관계를 입체적으로 파악할 수 있다.

용결응회암의 불투수성 기반암 중에서 지하수를 배태하고 있는 단열대는 공액성 단열형(Conjugate fracturing type)으로서 열극수를 산출하고 이방성(Anisotropic)을 띠나 A정호와 B, C, D정호가 단순 지하수 통로로 직접연결된 것으로는 시사되지 않는다. 단열대내의 공극유속(Pore water velocity)은 매우 느린 것으로 추정되므로 정호간 수리간섭이 있다면 장기성을 띠는 것으로 보아야 한다. 연구지역 대수층이 된 2암열대의 심도는 각각 -80m , -100m 이다.

A정호의 지하수 수위 측정에 대한 결과 이 지역 지하수는 조석현상의 영향을 받지 않는 것으로 밝혀졌다. A정호의 양수시험 결과(15일간: $84\text{m}^3/\text{일}$, $100\text{m}^3/\text{일}$, $165\text{m}^3/\text{일}$ 3차 시험) 첫째로, 시험기간 중에 C정호와 인접의 관측 정호인 미룡사 정호의 지하수위에 변동이 없었고,

둘째로 B, C, D정호에 식염 추적자를 투입하고 A정호에서 6일간 $165\text{m}^3/\text{일}$ 양수하면서 전기전도도(Conductivity)를 측정하여 염도변화를 조사했으나 전혀 변화가 없었으며, 셋째로 이번의 전체양수작업을 통하여 염소이온등 수질분석치에 의하면 C지역 수질이 A정호에 전혀 영향을 주지 않은 것으로 밝혀졌다. 넷째로 지표에서 측정된 지질구조선(단열대)은 A

와 C지역간을 갈라놓는 방향으로 발달되어 있다.

이상의 조사연구결과 A정호의 주어진 양수 조건(일 15시간 100m^3 양수)으로는 C정호에 어떤 간섭현상이나 영향을 야기시킨다고는 할 수 없다. A정호의 수위변동 및 기타사항을 고려할 때 그 영향반경은 C정호까지 비칠 수 없을 것으로 보인다. 수질분석에 의하여 A정호는 염분이 표준치 이상인 古鹽分지역에, B, C, D정호는 음용표준치 이하인 지역에 위치한다. 전자는 과거 해수준면이 현재보다 높은 시대에 해수의 유입이 있었던 것으로, B, C, D정호는 古鹽分帶에 도달하지 않은 것으로 해석된다. 이는 영도지역이 융기(隆起)되었음을 의미한다.

구조선 분석, 양수시험, 정호간 수질비교, 추적자 시험, 수질 분석을 토대로 수리분석 결과 A정호에서 $100\text{m}^3/\text{일}$ 양수는 B, C, D정호의 취수량에 영향을 주는 것이 아니라고 해석된다. 연구지역의 수리지질 특색연구는 영도지역 지하수 자원의 최적개발과 보전관리계획 수립 시 지하수법 시행령(1994)에 의거하여 충분히 응용될 수 있겠다.

7. 감 사 말

이번 연구를 위해 소요된 연구기간은 1993년 5월 25일 부터 10월 4일 까지였다. 예비연구기간은 1993년 5월 25일~7월 24일, 실측연구기간은 1993년 7월 25일~9월 5일, 실내연구기간은 1993년 9월 6일~10월 4일 이다. 이중 양수 시험은 15일간에 걸쳐 수행되었다.

이번 연구를 위해 사용된 참고 문헌의 저자 이고 고견과 충고를 해준 한정상, 전기전도도 측정기를 제공해 준 국립부산수산대학교 정상용에게 깊은 감사를 드리며 원고를 정밀 검토해 준 여러분에게 감사드린다. 현지 조사와 실내자료정리에 참가하여 수고를 아끼지 않은 김성욱, 손문, 구경환 군의 노고에 감사드린다. 특히 주야로 양수시험을 수행하는데 있어 성실

하게 도와준 일반인들과 부산대학교 참여 학생들에게도 감사를 드리는 바이다.

이 연구를 수행할 수 있도록 연구경비를 지원해 준 부산고등법원과 행정협조를 해준 부산대학교에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김항목(1984) 부산직할시 영도지역의 층서 설정과 구상암에 관한 연구, 광산지질 17권 4호, p. 299-314.
- 김형식(1985) 부산 영도 일대의 구상 혼펠스에 대한 연구, 지질학회지 21권 1호, p.50-62.
- 환경보전(1994) 지하수법 시행령(1994년 7월 23일)
- 신일지질(주)(1992) 영도 동삼동 지하수 개발 보고서
- 한정상(1988) 환경수리지질학, 430pp.
- 한정상(1994) 제주도 지하수 자원의 보호전략에 관한 연구, 지질학회지 30권 3호, 325-340
- Hahn, J.S.(1981) Groundwater of Bedrocks in South Korean Peninsula. J.Kor. Asso. Hyd. Sci. v.14, n.4, p.73-81.
- Hamm, S.Y.(1994) New Fractal Models of Flow in Fissured Media Application to Pumping Data in South Korea(in French). 243 pp.
- Hoehen, E. and Roberts, P.V.(1982) Advection-Dispersion Interpretation of Tracer Observations in an Aquifer.v.20, n.4.
- Keller, E.A.(1976) Environmental Geology. Charles E. Merrill Pub. Co. p.277-279.
- Moreno, L and Neretnieks, I.(1985) Analysis of Some Laboratory Tracer Runs in Natural Fissures.WRR(Water Resources Research), v.21, n.7.
- Todd, D.K.(1982) Ground Water Hydrology