

도수로터널 굴착에 따른 주변지역의 지하수위 변동과 단열구조의 관련성 연구

Relation between a Change of Groundwater Level in the Vicinity of the Tunnel Resulted from Tunnel Excavation and a Fracture

이병대 (Byeong-Dae Lee)

한국자원연구소 환경지질연구부

성익환 (Ig-Hwan Sung)*

한국자원연구소 환경지질연구부

조병욱 (Byong-Wook Cho)

한국자원연구소 환경지질연구부

함세영 (Se-Yeong Hamm)

부산대학교 지구환경시스템학부

박재현 (Jae-hyun Park)

한국수자원공사

1. 서 론

오늘날과 같은 고도 산업사회에서는 방사성 폐기물 저장소, 유류 저장탱크를 위한 대규모 동굴건설 및 고속전철의 지하 터널공사, 도수로터널 등의 각종 지하구조물 시설은 필수적이라 할 수 있다. 이와같은 지하구조물 건설시 거의 반드시 발생하는 현상중의 하나는 지하수 누수 현상이다.

특히 도수로터널 주변지역에서의 지하수 고갈현상은 매우 일반적인 현상이다. 이러한 지하수 고갈현상은 터널 굴착으로 인한 터널내로의 지하수 누수에 기인된다. 연구지역은 경북 청송군 현서면과 안덕면 일대로 임하댐-영천댐 도수로터널 시공구간 내에 위치하고 있다.

본 연구는 영천댐 도수로터널 굴착으로 인하여 야기된 주변지역의 지하수위 변동 양상을 파악하고 단열구조와의 관련성을 규명하기 위한 것으로, 이를 위하여 도수로터널 좌, 우측에 굴착된 120여개의 지하수공들을 대상으로 1997년 1월부터 1998년 2월까지 14개월간의 정기적인 지하수위를 관측하였다(Figure 1).

2. 수리지질 및 단열구조

연구지역은 경상퇴적분지 하양층군의 퇴적암류와 유천층군의 화산암류 및 이를 관입한 불국사 관입암류들이 분포한다.

퇴적암류는 사암과 셰일의 호층이며, 암색은 저색, 녹회색 및 회색으로, 이 층은 접촉변성 작용을 받아 대부분이 호온펠스화 되어 있다. 층리는 EW 내지 WNW 방향의 주향에 15°에서 25°의 경사각을 가지며, 층리발달이 아주 양호하며, 부분적으로 파쇄된 사암층은 이 지역의 주대수층을 형성하고 있으며 지하수의 주요 통로 역할을 하고 있다. 이는 터널내에서 주로 파쇄된 사암층 및 층리면을 따라 지하수가 누출되고 있음이 확인된다.

유천층군의 산성 화산암류는 유문암질 응회암, 용결응회암 및 유문암들로 이루어져 있으며, 불국사 관입암류들의 주된 암석은 화강암류로 구성되어 있다.

결정질 암반 내에서 지하수의 흐름을 해석하기 위해서는 단열의 특성을 파악하는 것이 매우 중요한 일이다(Morin et al, 1997). 연구지역내 절리조는 퇴적암의 층리면과 아평행한 층리절리 및 화강암류의 평판절리와 같은 저각의 경사를 가지는 부분과 75° 이상의 고각의 경사를 가지는 부분의 두 개의 뚜렷한 절리군으로 형성되어 있다. 연구지역내에 발달되어 있는 많은 단열구조들중 터널내에서 확인된 지하수유동과 관련된 유동성 단열들은, 퇴적암 구간에서는 주로 EW 내지 WNW 방향의 층리면을 따라 지하수가 유동되고 있으며, 화강암 구간에서는 N70-75°W 및 N40-50°E·85°SE 와 N65-70°E·80°SE의 단층대와 단층과 관련된 파쇄대가 지하수유동을 지배하는 구조요소이다. 그리고 화산암 구간에서는 N60-70°W 방향의 연장성이 양호한 단층 및 단층파쇄대가 유동성 단열 역할을 하고 있다.

3. 터널굴착에 따른 지하수위 관측

터널 굴착시 발생하는 지하수 누수로 기인된 주변 지역의 지하수 고갈 현상을 연구하기 위하여 터널 좌, 우측에 굴착된 120여개의 지하수공들을 대상으로 1997년 1월부터 1998년 2월까지 14개월간의 정기적인 지하수위 관측을 하였다.

지하수위 변화 분석을 위하여 각 지하수공들간의 수위 변화 양상 비교, 지하수위와 터널로부터의 거리와의 관계, 지형고도와 지하수위와의 관계, 지하수공이 놓인 지점의 단열발달

상태, 지하수위 하강 정도와 단열 방향과의 관계 등을 파악하였다.

본 연구는 터널 굴착이 시작된 이후에 수행된 관계로 터널 굴착이전의 지하수위에 대한 정보가 없었다. 그래서 터널로부터 약 3km 이상 떨어져 있고, 터널 굴진에 의한 영향을 전혀 받지 않은 지역인 화목리 지역의 수위값인 5m~10m 값을 연구지역의 터널굴착 이전의 초기 수위 값으로 인정하였다.

4. 지하수위 분석

연구기간동안 관측공들의 지하수위는 수m에서 234.80m까지의 다양한 분포를 보여주고 있다. 지하수위 분포는 터널 굴착으로 인하여 연구기간 초기에 이미 지하수위가 50m 이상으로 아주 큰 폭으로 하강되어 있는 지역과 터널 굴진이 다시 시작된 7~8월 이후에 하강된 지역, 그리고 영향을 받지 않은 지역으로 구분 할 수 있다.

일반적으로 지하수위는 지형고도에 비례적으로 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다 (Fetter, 1988). 연구지역 내 지하수공들의 지하수위와 지형고도와의 관계는 수위가 미약하게 상승하거나 변화가 거의 없는 지역은 거의 정비례 관계를 보이고 있으며, 터널 굴착으로 인하여 수위 하강폭이 심한 여우동, 소근리, 간산, 조뜸이, 말암동 지역들의 수위는 정비례 관계를 보이는 공들에 비해 약 50m에서 200m까지 낮은 지점에 위치하고 있음을 알 수 있다(Fig 2). 수위 하강폭이 아주 큰 관측공들 이외에도 대부분의 수위 하강 영향권내의 공들은 대부분 비영향권 공들에 비해 최소한 10m 이상 낮은 지점에 위치하고 있다.

지하수위의 변화 양상은 터널로부터 떨어진 거리와 매우 밀접한 관계를 보여주고 있으며 또한 터널 굴진 시기와도 밀접한 관계가 있다. Figure 3은 1사갱 여우동 및 소근리 지역의 11개 관측공에 대한 터널 굴진 시기에 따른 지하수위 하강 양상을 나타낸 그림이다. 터널 굴진 현황은 연구기간 초기인 1997년 1월초경에 1사갱에서 남쪽으로 2,070m되는 지점을 통과하였는데, 이 지점은 소근리의 cs-18공을 제외한 모든 관측공들이 놓여 있는 곳을 통과한 지점으로 cs-16, cs-17공이 위치하고 있는 부근이다. 초기의 지하수위는 터널이 통과되지 않은 cs-18은 자분하고 있었으며, 터널이 관통된 부근인 cs-16, cs-17은 15m~30m의 수위 값을, 그리고 나머지 관측공들은 이미 100m 혹은 그 이상 하강되었으며 연구기간 후반까지 비슷한 양상을 나타내고 있다. cs-16, cs-17, cs-18은 굴진 작업이 일시 중단된 기간동안은

거의 수위 변화가 없는 평행한 양상을 보이다가, 굴진 작업이 다시 시작된 7월부터 서서히 하강하다가 cs-16, cs-17이 위치한 지점을 완전히 통과한 10월의 지하수위는 각각 77.38m, 114.58m를 기록하였다. cs-18의 경우는 10월 20일경 이 지점을 통과하였는데, 11월의 지하수위는 92.55m로 10월의 8.18m에 비해 1개월만에 84.37m가 하강되었다. 또한 마지막 일시의 지하수위는 터널에서 가까이 위치한 cs-18이 133.53m로 11개의 관측공들중 가장 많이 하강되었다. 이와같이 도수로터널 굴착에 따른 지하수위 하강은 터널로부터 떨어진 거리 및 굴진 시기와 상관관계가 있음을 나타낸다. Figure 3에서 cs-18의 지하수위 하강 양상은 일직선으로 급격하게 떨어지는 홈통형태의 하강 양상을 보여주고 있는데, 이는 터널내로의 지하수 누수에 대한 주위 대수층의 반응이 터널로 향하는 방사상의 흐름이 아니라 선형적인 흐름이라는 강력한 증거이다(Smith, 1985).

5. 지하수위와 단열구조와의 관계

각 관측공들의 지하수위 분포는 공들이 놓인 지점의 단열구조 발달에 따라 큰 차이를 보이고 있다(Sidle and Lee, 1995).

연구지역의 지하수공들중 터널을 관통하고 있는 단열들 위에 위치한 관측공은 52개로서 이중 N80° W와 N20° E 방향의 단열들이 가장 우세하다. 관측공들의 평균 지하수위는 0.85m에서 222m까지의 범위를 보이고 있다. Figure 4는 지하수위와 단열구조와의 관계를 규명하기 위하여 터널로부터 1,130m~1,200m의 거의 비슷한 거리에 위치하고 있는 9개의 관측공들을 대상으로 터널을 관통하고 있는 단열구조상에 놓인 관측공, 단열구조가 터널방향과 직교 혹은 사교하는 방향으로 발달하나 터널을 관통하지 않는 단열구조위에 놓인 관측공, 그리고 단열구조가 발달되지 않은곳에 위치한 관측공들의 시간에 따른 지하수위 하강을 도시한 그림이다. 이 그림에서 각 관측공들의 지하수위 하강은 단열구조의 발달 양상에 따라 잘 구분이 되고 있다. 구조선이 터널을 관통하고 있는 cs-23, cs-151, A-6의 지하수위는 각각 54.47m, 64.51m, 45.46m로서 가장 많이 하강되었으며, cs-51, cs-91, cs-148과 같이 단열구조는 발달하나 터널을 관통하지 않는 곳에 위치한 공들 역시, 전자에 비해서는 하강폭이 적지만 연구기간 마지막 시점의 지하수위는 각각 28.46m, 17.68m, 35.13m로 초기수위로 인정한 값에 비하여 거의 10m~30m 가까이 하강하였다. 그러나 단열구조가 발달하지 않은

곳에 위치한 cs-36, cs-55, cs-74의 경우는 연구기간동안 지하수위 변화가 거의 없거나 아주 미약하다.

Figure 5는 터널로부터 300m 이내의 아주 가까운 거리에 위치하고 있는 14개의 관측공들에 대한 시간에 따른 지하수위 하강을 도시한 그림이다. 지하수위 변동 양상은 연구기간 초기의 수위는 터널 굴진 일시로 인하여 다양하게 나타나지만, 터널 굴착지점이 각 공이 위치한 지역을 통과한 후인 연구기간 후반부의 지하수위 분포는 50.12m~167.99m로서 단열구조의 발달여부와 관계없이 많이 하강되어 있다. 그러나 이 관측공들 역시, 단열구조상에 위치하고 있는 cs-7, cs-10, cs-29, cs-66, cs-79, cs-81, cs-134는 단열구조위에 놓여 있지 않은 관측공들에 비해 상대적으로 더 많이 하강하였다.

동일한 방향의 단열구조상에 위치한 관측공들 사이의 지하수위 하강 양상을 파악하기 위하여 N20° E 방향의 단열위에 놓인 8개의 관측공에 대한 시간에 따른 지하수위 하강을 도시하였다(Figure 6). 이 8개의 공들은 모두 터널로부터 1,125m~2,543m로 아주 멀리 떨어진 공들이나 터널과 사교하는 N20° E 방향의 단열구조의 영향으로 각 관측공들의 지하수위가 초기에 비하여 많이 하강되어 있다. Figure 6에서 같은 방향의 단열위에 분포하고 있는 관측공들의 지하수위 하강은 터널로부터 떨어진 거리와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. cs-21, cs-63, cs-144, 152와 같이 다른 공들에 비해 터널로부터 비교적 가까운 곳에 위치하고 있는 관측공들의 지하수위가 가장 많이 하강되었으며, 그리고 터널로부터 2,225m, 2,543m로 가장 먼 거리에 위치하고 있는 cs-20, cs-143의 지하수위 하강폭은 초기에 비해 약 20m 정도로 N20° E 방향의 단열구조상에 분포하는 관측공들중 가장 미약한 하강 양상을 보이고 있다.

6. 결 론

연구지역에서의 지하수위 하강폭 및 하강 양상은 지하수공이 터널로부터 떨어진 거리 및 단열구조 발달상태와의 복합적인 요인에 따라 그 양상을 달리하고 있다. 즉 지하수공이 구조선위에 놓여 있지 않지만 터널에서 가까운 곳에 위치한 경우, 혹은 터널로부터 멀리 떨어져 있지만 연장성이 양호하고 잘 발달된 구조선위에 놓여 있는 경우, 그리고 터널에서 가까이 위치하고 동시에 구조선위에 놓인 경우가 그 것이다.

연구지역에서 가장 큰 수위하강 영역은 터널과 직교 혹은 사교하는 서북서 방향과 북동 및 동북동 방향의 단층파쇄대 부분과 퇴적암 지역의 습곡축이 위치한 부분과 잘 일치한다. 이는 수위가 크게 하강된 지역의 수리전도도가 주위의 기반암 자체의 수리전도도보다 단층 파쇄대 및 열극이 잘 발달된 습곡축을 따라서 더 큰 수리전도도를 가지는데 기인하며 지하 수 흐름과 관련하여 구조적인 영향이 지배적이라고 할 수 있다.

참고문헌

1. Fetter, C. W., 1988, Hydrogeology, University of Wisconsin-Oshkosh, 691p.
2. Morin, R. H., Carleton, G. B., and Poirier, S., 1997, Fractured-aquifer hydrogeology from geophysical logs: The Passic formation, New Jersey, Ground-Water, 35(2), p. 328-338.
3. Sidle, W. C. and Lee, P. Y., Estimation local ground-water flow conditions in a granitoid: Preliminary assessments in the Waldoboro pluton complex, Maine, Ground-Water, 33(2), p. 291-303.
4. Smith, E. D. and Vaughan, N. D., 1985, Aquifer test analysis in nonradial flow regimes: A case study, GroundWater, 23(2), p. 167-175.

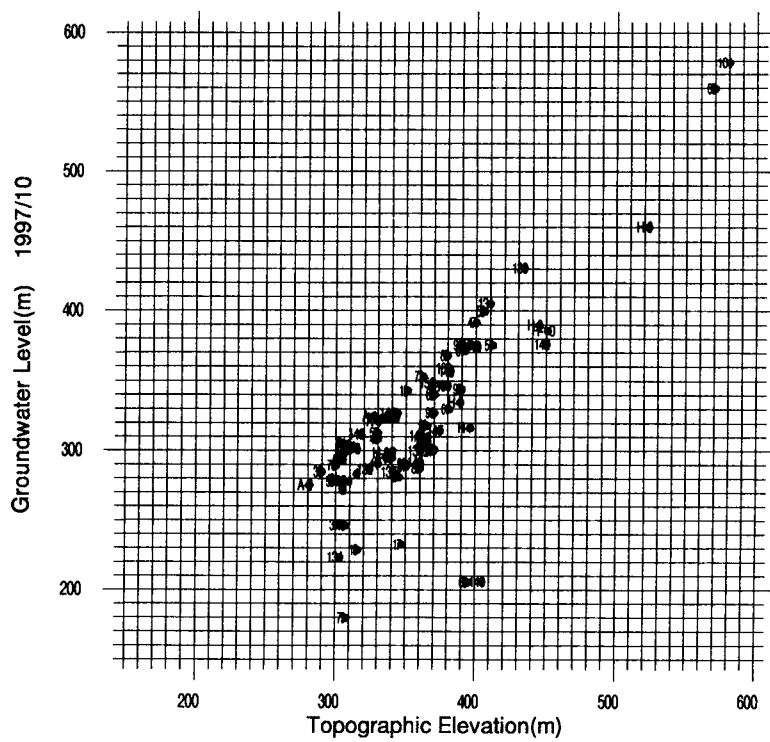
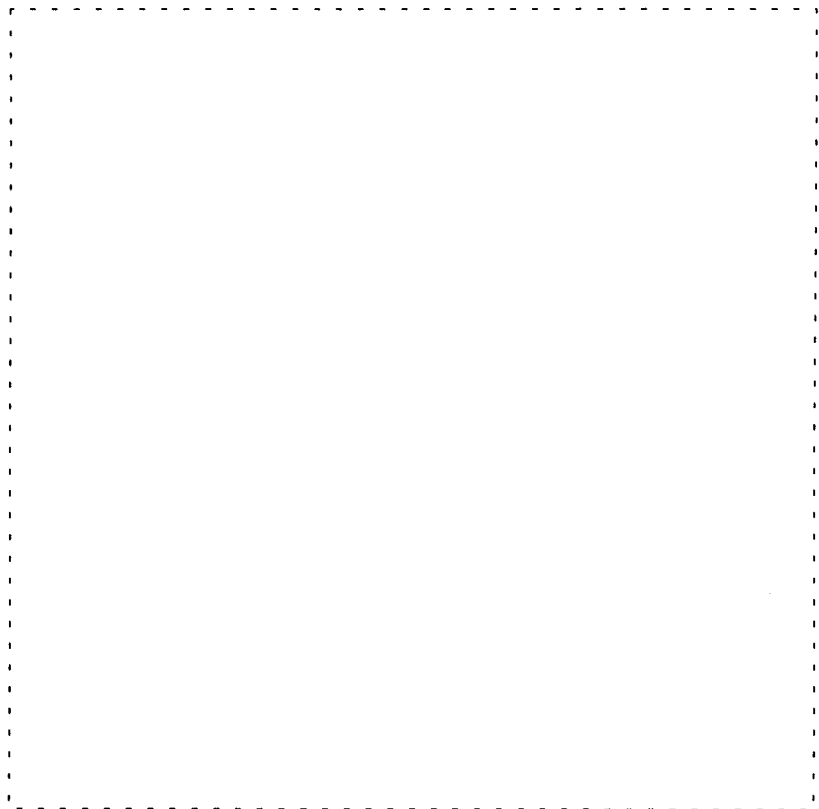


Figure 2. Relation between groundwater level and topographic elevation

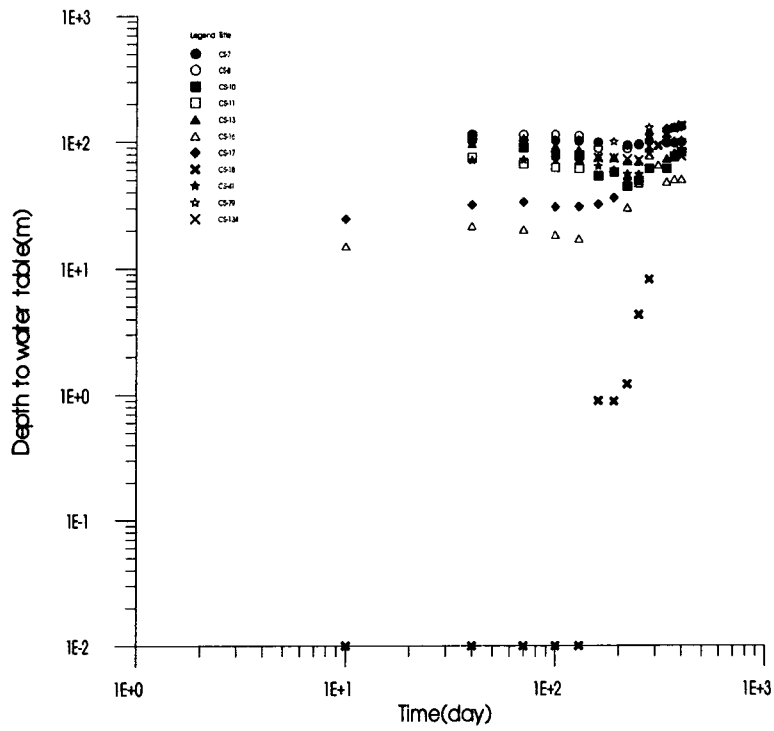


Figure 3. A pattern of groundwater level drawdown of Yeowoodong and Sokunri area resulted from tunnel excavation.

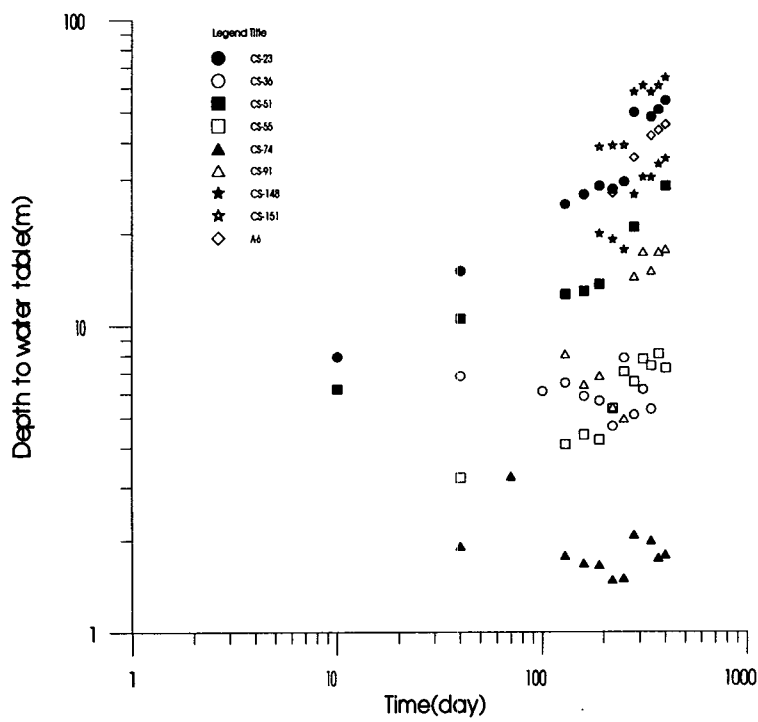


Figure 4. Groundwater level of observation wells located in the distance of 1,125~1,200m from tunnel.

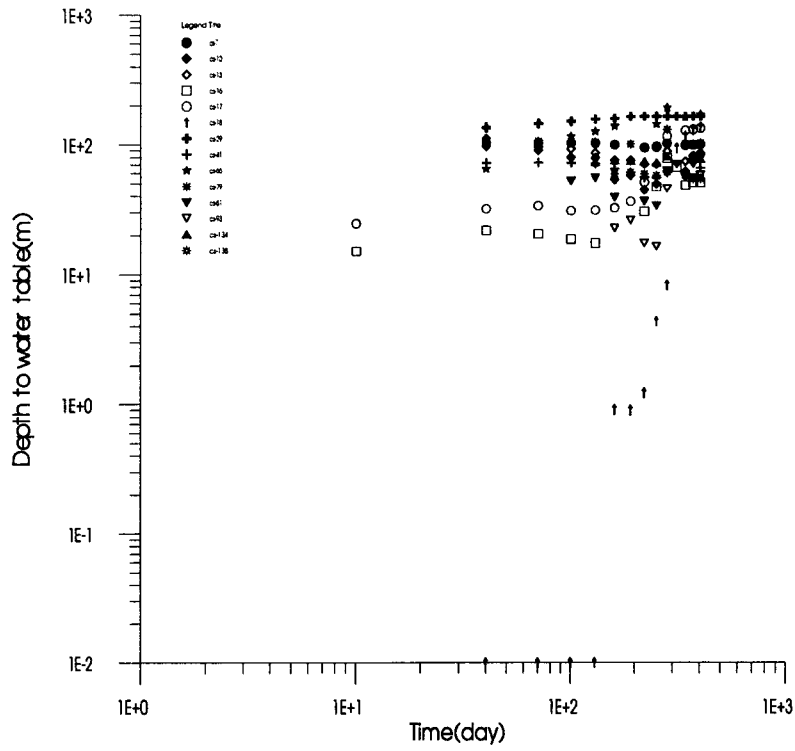


Figure 5. Groundwater level of observation wells located in the close range of 300m from tunnel

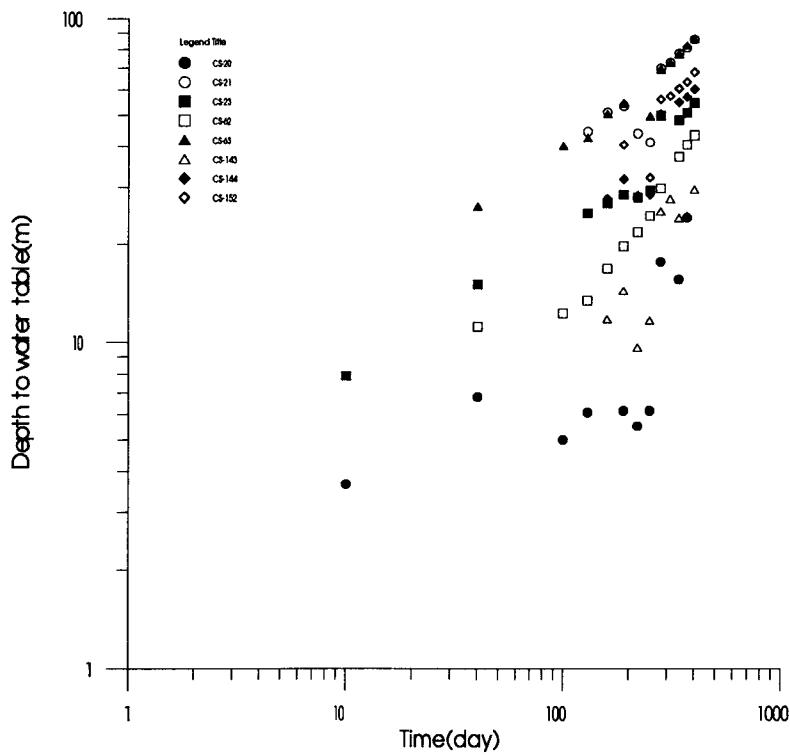


Figure 6. Groundwater level of observation wells located in the N20°W fracture.