

해안가 암반대수층에서 양수시험 시 조석효과에 의한 수리특성

The hydraulic characteristics with tidal effect for pumping test at the costal rock aquifer

김태영*, 강동환**, 김성수***, 김동수****, 정상용*****

Tae Yeong Kim, Dong Hwan Kang, Sung Soo Kim, Dong Soo Kim,
Sang Yong Chung

요 지

조석에 의한 지하수위변동이 발생하는 해안가 암반대수층에서 고조(high tide)과 저조(low tide) 조건에서의 차이를 규명하기 위한 양수시험이 수행되었다. 본 연구에서 양수시험이 수행된 시험대수층은 암반층으로서 시험공들은 해안가에서 약 180 m 이격되어 있으며, 양수정(MW1공)과 관측정(MW2공)의 이격거리는 8.05 m 이다. 양수정과 관측정 모두 공 내경은 0.205 m 이며, 케이싱심도는 지표면하 19 m 정도이다. 그리고, 양수정과 관측정의 지하수위는 지표면하 5 m 정도에 형성되어 있으며, 시험대수층의 두께는 약 40 m 정도이다. 양수시험은 총 3회 수행되었으며, 모든 시험에서 수증모터 설치심도는 지표면하 30 m 이고 양수율은 75 m³/day로서 동일하였다. 그러나, 양수시작 시간의 차이를 두어 고조 후 1회(1차 시험), 저조 후 2회(2차 및 3차 시험) 수행되었다. 양수정과 관측정에서 자동수위측정기(Model 3001, Solinst)를 설치하여 관측된 지하수위변동 자료에 의하면, 조석현상 발생 후 시험공 내 지하수위변동 경과시간은 고조(high tide) 후 2시간, 저조(low tide) 후 1시간 정도인 것으로 나타났다. 따라서, 양수시험 시 1차 시험은 고조 후 2시간 경과한 시점에서, 2차 및 3차 시험은 저조 후 1시간 경과한 시점에서 양수가 시작되었다. 양수시험에 의한 경과시간에 따른 수위강하량 그래프에서는 고조조건이 저조조건에 비해 수위강하량이 더 적은 것으로 나타났다. 이러한 원인은 저조에 비해 고조 조건에서는 해수에 의한 지하수위가 상승하여, 동일한 양수조건에서 수위강하량이 적게 나타난 것이다. 양수시험 자료가 AQTESOLV 3.5 프로그램을 이용하여 해석되었다. Theis method에 의해 산정된 수리전도도는 고조 조건의 양수시험에서는 4.159×10^{-6} m/sec, 저조 후에는 각각 3.818×10^{-6} m/sec와 3.926×10^{-6} m/sec 이었다. 저조 후에 비해 고조 후의 수리전도도가 5% 이상 높은 것으로 산정되었다. 이상의 연구 결과들에 의해, 해안가 암반대수층에서는 양수시험 시 조석효과에 의한 수리적인 변동을 고려한 설계와 해석이 수행되어야함을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 암반대수층, 조석효과, 양수시험, 수위강하량, 수리전도도

* 부경대학교 환경지질학과 석사과정생 · E-mail : kimty@pknu.ac.kr
** 정회원 · 부경대학교 환경지질학과 계약교수 · E-mail : dhkang@pknu.ac.kr
*** 부경대학교 환경지질학과 석사과정생 · E-mail : kimss@pknu.ac.kr
**** 부경대학교 환경지질학과 학부과정생 · E-mail : dongsookim@pknu.ac.kr
***** 부경대학교 환경지질학과 교수 · E-mail : chungsy@pknu.ac.kr

1. 서론

양수시험은 대수층의 수리전도도, 투수량계수 및 저류계수와 같은 수리상수를 산출하여 시험대수층의 수리특성을 규명하는데 가장 널리 이용되고 있다(성현정 외, 2005; 이철우 외, 2002). 양수시험을 통해 대수층의 수리상수를 결정하기 위한 수학적 모델과 그 해는 Theis(1935)에 의해 정립되었으며, 이후 여러 연구자들에 의해 연구·발전되어 왔다. 양수시험의 해석방법은 대수층 종류에 따라 피압대수층(Papadopulos-Cooper, 1967), 자유면대수층(Moench, 1997), 누수대수층(Moench, 1985) 및 단열암반대수층(Moench, 1984) 조건에서 연구되었다. 시험대수층 구간이 동일할지라도, 해안지역에서 조석(tide)과 같은 수리환경의 변화에 따른 수리상수는 상이하게 산정될 것이다. 그리고, 기존의 연구에서는 해안가 지역의 암반대수층에서 양수시험 시 조석에 의한 수리전도도 산정 오차에 대해 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 해안가 암반대수층에서 양수시험 시 조석의 영향에 의한 수리전도도의 차이를 규명하고, 이에 대한 원인을 분석하고자 한다.

2. 수리지질특성

양수시험이 수행된 시험부지는 부산광역시 부경대학교(대연캠퍼스) 내에 위치하며(Fig 1), 응회질퇴적암과 이를 둘러싼 안산암 및 안산암질화산각력암의 경계지역이다(Fig. 2). 시험부지는 부산의 동남해안에 위치하며, 동쪽으로는 용호만에 인접한 해안가 지역이다.

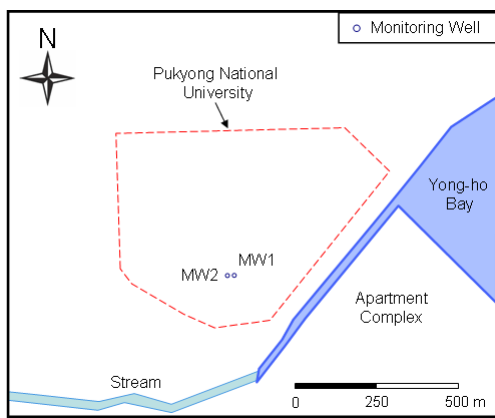


Fig 1. Location map of study area

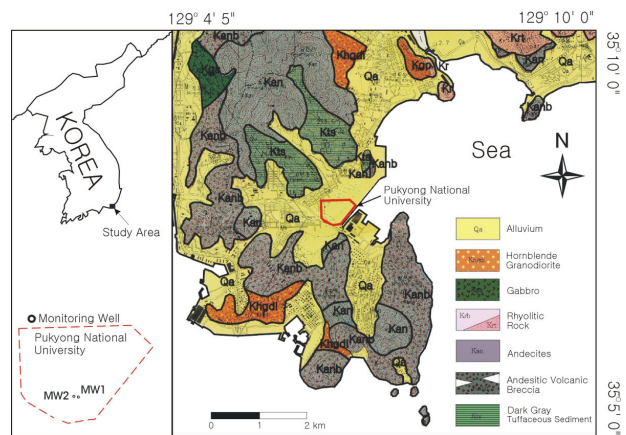


Fig 2. Geological map of study area

본 연구에서 수행된 양수시험에는 1개의 양수정(MW1공)과 1개의 관측정(MW2공)이 사용되었다. 시험공들은 용호만의 해안가로부터 약 180 m 정도 이격되어 있으며, 양수정과 관측정은 8.05 m 이격되어 있다. 양수정과 관측정의 내경은 0.205 m, 케이싱심도는 지표면하 19 m, 개발심도는 MW1공은 지표면하 120 m, MW2공은 지표면하 45 m 정도이다(Table 1).

Table 1. Designs of pumping test wells

Well No.	Condition	Well depth (m)	Casing depth (m)	Inner diameter (m)
MW1	Pumping	120	19	0.205
MW2	Monitoring	45	19	0.205

시험대수층 내에서 지하수위의 조석효과를 확인하기 위하여 2개의 시험공에 자동수위측정기 (Levellogger, Gold model 3001, Solinst)를 설치하였다. 조석자료와 지하수위 관측 자료를 비교 분석하여 조석에 의한 지하수위의 최대변동 경과시간을 추정하였다. 본 연구지역의 해안대수층에서 조석 발생 후 지하수위변동 경과시간은 고조 후 2시간, 저조 후 1시간 정도인 것으로 나타났다 (Fig. 3). 조석에 의한 지하수위변동 경과시간은 양수시험 수행 시 고조와 저조 조건에서의 양수시험 수행시간을 결정하기 위해 추정하였다.

3. 수리전도도의 조석효과

본 연구지역의 해안대수층에서 조석효과에 따른 수리전도도 추정오차를 분석하기 위해 3회에 걸쳐 양수시험이 수행되었다. 양수시험은 고조(1차 시험)와 저조(2차 및 3차 시험) 조건에서 실시되었다. 조석과 지하수위 변동자료의 분석을 반영하여 1차 시험은 고조 후 2시간, 2차와 3차 시험은 저조 후 1시간 경과한 시점에서 양수가 시작되었다. 양수량은 모든 시험에서 75 m³/day로 일정하게 유지하였으며, 양수정과 관측정의 지하수위는 자동수위측정기를 이용하여 관측하였다.

양수시험 시 양수 후 경과시간에 따른 지하수위 강하량을 Fig. 3에 작성하였으며, 고조조건에서의 수위강하량이 저조조건에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타났다. MW1공에서는 양수 시작 후 약 20분 후부터 약 20 cm, MW2공에서는 양수시작 후 1시간 후부터 약 5 cm 이상 고조 조건에서의 지하수위 강하량이 적게 나타났다. 이러한 결과는 저조 시에 비해 고조 시 대수층의 저유량이 많아서(고조효과에 의한 지하수위 상승으로 인함), 동일한 양수율에 의한 지하수위 변동량이 적었기 때문이다.

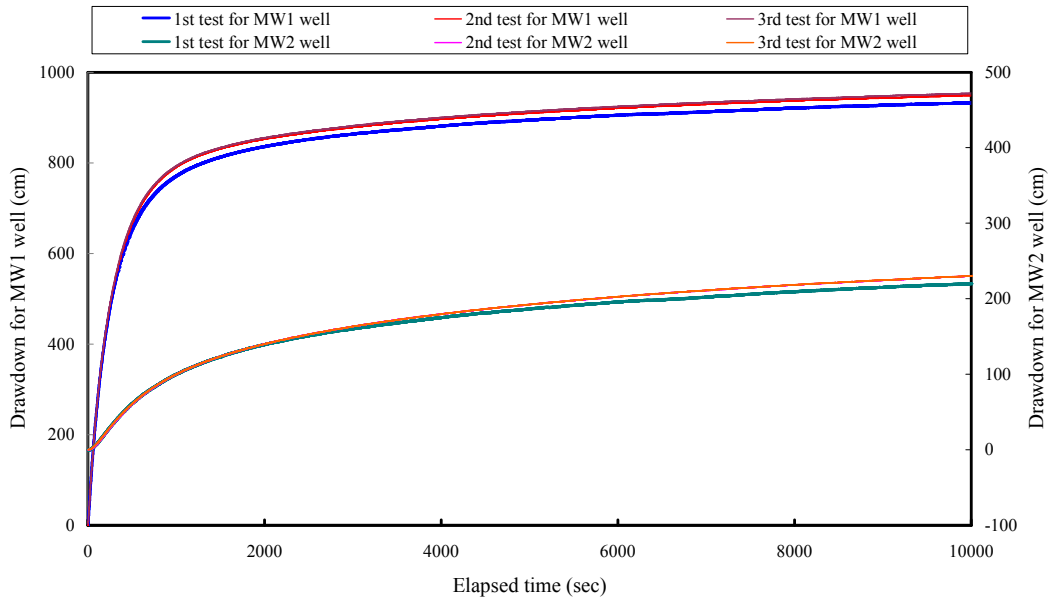


Fig. 3. Drawdown versus elapsed time plotting for pumping tests

수리전도도 산정을 위해, 양수 후 경과시간에 따른 지하수위 강하량 자료와 시험조건을 고려하여 AQTESOLV 3.5 프로그램에서 Theis solution을 적용하였다. 본 시험자료에 가장 적합한 해석 방법에 의해 산정된 수리전도도는 Table 2에 정리되어 있다. 고조조건에서 산정된 수리전도도는 4.159×10^{-6} m/sec, 저조조건에서 수행된 2차와 3차 시험 시의 수리전도도는 각각 3.818×10^{-6} m/sec 와 3.926×10^{-6} m/sec 이었다. 산정된 수리전도도에 의하면, 고조조건이 저조조건에 비해 약 5% 이상 높은 것으로 나타났다. 이는 고조조건에서의 많은 저유량으로 인해 지하수위 강하량이 적었기 때문에, 수리전도도 산정 시 상대적으로 과대추정(overestimate)된 것으로 판단된다. 이와 반대로, 저조조건에서는 지하수위 강하량이 많았기 때문에, 수리전도도 산정 시 과소추정(underestimate)된 것으로 사료된다.

Table 2. Estimated hydraulic conductivity through pumping tests

Pumping test	Tide condition	Hydraulic conductivity (m/sec)
1st	Flood tide	4.159×10^{-6}
2nd	Ebb tide	3.818×10^{-6}
3rd	Ebb tide	3.926×10^{-6}

4. 결론

본 연구에서는 해안가 암반대수층에서 조석효과에 의한 수리특성을 규명하기 위해 동일 시험공에서 3회의 양수시험이 수행되었으며, 그 결과는 다음과 같이 분석되었다.

1. 양수시험에 이용된 시험공 내에서 조석에 의한 지하수위 변동을 관측한 결과, 조석에 의한 지하수위 변동 경과시간은 고조 후 2시간, 저조 후 1시간 정도인 것으로 추정되었다.

2. 고조조건에서 수행된 1차 양수시험에 의해 산정된 수리전도도는 4.159×10^{-6} m/sec, 저조조건에서 수행된 2차와 3차 양수시험 시의 수리전도도는 각각 3.818×10^{-6} m/sec, 3.926×10^{-6} m/sec 이었다. 고조조건에서 산정된 수리전도도가 저조조건 보다 약 5% 이상 높게 산정되었으며, 이는 시험대수층에서의 저유량이 고조조건에서 상대적으로 많았기 때문이다.
3. 본 연구를 통해 해안가 암반대수층 지역에서 양수시험에 의한 수리전도도 산정 시 고조조건에서는 과대추정, 저조조건에서는 과소추정이 발생함을 확인하였다. 따라서, 해안대수층에서 양수시험에 의한 수리전도도 산정 시 조석효과를 고려한 해석이 필요할 것으로 판단되며, 향후에는 이에 대한 연구를 수행하고자 한다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 3-3-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 성현정, 김용제, 이철우, 김구영, 우남칠(2005). 균열암반에서의 양수시험자료 해석과 일반 방사상 유동모델의 적용성 연구, 자원환경지질, 제38권 제2호, pp.177-185.
2. 이철우, 이대하, 정지곤, 김구영, 김용제(2002). 양수시험시 방사상흐름을 보이는 균열암반 대수층에서의 우물손실, 한국지하수토양환경, 제7권 제4호, pp.17-23.
3. Moench, A.F.(1984). Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with fracture skin, Water Resources Research, vol. 20, no. 7, pp. 831-846.
4. Moench, A.F.(1985). Transient flow to a large-diameter well in an aquifer with storative semiconfining layers, Water Resources Research, vol. 21, no. 8, pp. 1121-1131.
5. Moench, A.F.(1997). Flow to a well of finite diameter in a homogeneous, anisotropic water table aquifer, Water Resources Research, vol. 33, no. 6, pp. 1397-1407.
6. Papadopoulos, I.S. and Cooper, H.H.(1967). Drawdown in a well of large diameter, Water Resources Research, vol. 3, pp. 241-244.
7. Theis, C.V.(1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Am. Geophys. Union Trans., vol. 16, pp. 519-524.