

제주도 동부 해안대수층에서의 수평 유향 · 유속 검층자료 해석

김구영, 성현정, 김태희, 박기화, 박윤석*, 고기원*, 박원배**, 우남철***
한국지질자원연구원, *제주도광역수자원관리본부, **제주발전연구원, ***연세대학교
(e-mail: kykim@kigam.re.kr)

요 약 문

The horizontal heat-pulse flowmeter was used to measure groundwater flow in volcanic rocks at sites in eastern part of Jeju Island, Korea. Three boreholes, Handong-1, Jongdal-1, and Susan-1, which are located at close distance from the coastline, were selected from the sea water intrusion monitoring wells. To evaluate the direction and velocity of the groundwater flow, 6 to 8 measuring points for each borehole were chosen. There are two major flow directions at Handong-1, which are toward north-east and south-east directions and velocity ranges from 2.2~3.0cm/hr and 0.6~1.0cm/hr, respectively. For Jongdal-1, two major flow directions were detected that are east and north-west and velocity ranges from 1.2~2.0cm/hr. For Susan-1, major flow is toward east direction and the velocity ranges from 2.2~2.7cm/hr at depth 60~70m, and 0.8~0.9cm/hr at depth 70~80m. In order to evaluate the tidal effect on groundwater flow, direction and velocity were measured at specific depth with time. At depth 57m of Susan-1, the velocity increased during the tidal variation. The flow direction and velocity varies with different depths, and they are also affected by tidal fluctuation. Thereafter, care must be taken when flow direction and velocity is estimated indirectly by using hydraulic head at monitoring wells.

key word : heat-pulse, flowmeter, Jeju Island, volcanic rocks

1. 서언

공내 물리검층은 대수층의 암상과 구조적인 특성을 파악하는데 유용하다. 공내 유향·유속 검층기는 일반적으로 수직흐름을 측정하는 것과 수평흐름을 측정하는 검층기로 구분되며, 이 중 수평흐름을 측정하는 유향·유속 검층기는 공내에서 지하수의 유동방향을 알 수 있는 장점이 있다. 이러한 지하수의 유동방향에 대한 정보는 지하수의 오염 연구에 있어 부지 특성화와 복원계획에 유용하며 또한 추가적인 관측점 설치의 위치 선정에 많은 도움을 준다. 이 외에도 지하수 유동 모델링시 수리인자 보정(calibration), 추적자시험 해석의 보완, 공 내부에서의 지하수 유동 평가에 유용하다. 본 연구의 목적은 제주도 동부지역에 설치되어 있는 해수침투 감시관측망에서 지하수의 수평유동에 대한 유향·유속을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

대수층의 수리적 특성은 일반적으로 야외에서 채취한 시료를 실내 규모에서 실험을 통하여 측정하거나, 양수시험 혹은 순간충격시험(slug test)을 통하여 분석한다. 이러한 방법은 관심 대상 부지를 특성화하는데 유용한 정보를 알려주지만 지하수가 유동하는 경로의 특성값을 평균한다는 단점이 있다(Kearl, 1997). 또한 지하수의 수평적인 유속은 Darcy's equation에 의해 수리전도도와 수두구배를 이용하여 간접적으로 추정하는 방법이 이용되었다. 관정내에서 지하수의 유량과 유속을 직접적으로 측정하는 유량·유속 측정기술은 실내규모와 현장규모에 의해 분석된 결과를 상호 비교 검토할 수 있게 하였으며, 관정내 지하수의 유량·유속 검증을 통해 지하수의 유입과 유출 지점 및 오염물질의 예상 이동경로 분석이 가능하게 되었다(Kearl and others, 1994).

작은 규모에서의 대수층의 수리적 특성은 일반적으로 추적자시험이나 임펠러(impeller) 방식의 유량·유속 검층기를 이용하여 분석되어왔다. 그러나 추적자시험은 대개 구간별로 패커(packer)를 설치하여야 하는 불편한 점이 있다. 또한 임펠러 방식의 유량·유속 검층기는 유속의 측정 범위가 2~10ft/min로서 비교적 빠른 유속을 보이는 수직흐름을 측정하는데는 유용하지만, 수평 흐름을 측정하는데에는 어려움이 있다. 열추적을 이용하는 기술 외에도 전자기 방법을 이용하는 유량·유속기도 발표된 바 있다(Molz and Young, 1993). 본 연구에서는 열추적 방식의 수평 유량·유속 검층기(KVA Model 200 GeoFlo meter)를 이용하여 연구지역에 분포하는 화산암에서 지하수의 유량·유속을 측정하였다.

3. 결과 및 해석

제주도에 설치되어 있는 해수침투감시관측망 중에서 동부에 위치한 3개공에서 심도별 지하수 유량·유속을 측정하고, 특정 위치를 선정하여 시간에 따른 유동 변화를 살펴보았다. 관측정은 해수가 내륙으로 수 km까지 들어오는 동부지역 중에서 해안에 가장 가까이 위치해 있는 한동-1, 종달-1, 수산-1호공을 선정하였다. 물리검층 및 유량·유속 검층은 2004년 11월에 수행하였다.

한동-1호공의 시추공 자료를 통해 살펴본 지질은 침상현무암(acicular basalt), 퇴적층(sedimentary layer), 유리질 쇄설암(hyaloclastite) 등이 교대로 나타나고 있다. 물리검층 결과 담수에서의 전기전도도는 1,000 μ S/cm 이내이며, 지표하 57m 지점에서 50,000 μ S/cm 까지 급격히 증가하여 뚜렷한 담-염수 경계가 나타난다. 유량·유속 검층의 경우 한 지점에서 측정하는데 소요되는 시간이 약 20~25분 정도이며, 자료의 신뢰성 확보를 위하여 2~3회 반복 측정이 필요하다. 그 결과 한개 관정에서 전구간에 걸쳐 일정한 간격으로 세밀히 검층하는 것은 많은 시간이 소요되므로 다른 참고자료를 토대로 검층구간을 선택할 필요가 있다. 한동-1호공에서는 지질과 물리검층 자료를 토대로 36, 41, 51, 54, 57, 60, 69, 81m의 8개 지점을 선정하여 측정하였다. 유량·유속 검층은 상부에서 하부로 수행하였으며, 검층 시작시점의 조석은 평균 해수위였으며, 검층하는 동안 만조를 거쳐 검층 종료시점의 조석은 평균 해수위였다. 36, 54, 57m 지점의 경우 지질은 침상현무암이며 지하수는 남동쪽으로 0.6~1.0cm/hr의 유속을 보였다. 41, 51, 60, 69m 지점에서의 지질은 각각 퇴적층, 유리질쇄설암, 침상현무암이며, 지하수는 북동쪽으로 2.2~3.0cm/hr의 유속을 보였다. 지표하 70m 지점까지 지하수 유동방향은 북동과 남동 두 방향으로 나타나며, 유속으로 보아 북동방향의 유동이 우세한 것으로 판단된다. 한동-1호공의 경우 제주도의 북동쪽에 위치하고 있으며, 상부 약 70m 지점까지는 지하수가 해안쪽인 북동 방향으로 유동하고 있다. 그러나 81m 지점의 경우 그 상부와는 반대 방향인 남서쪽으

로 0.8cm/hr의 유속으로 유동하고 있으며, 이는 해수가 내륙쪽으로 유동하고 있음을 알 수 있다(Fig. 1(a)). 조석의 영향에 의한 유향·유속 변화를 살펴보기 위해 한개 관정에서 두개의 지점을 선정하여 30분 간격으로 5~8시간씩 측정하였다. 한동-1호공의 경우 유향이 서로 다른 81m 지점과 60m 지점을 선정하였다. 81m 지점의 경우 간조에서 만조동안 측정하였으며, 유향은 251.6°~270.4°, 유속은 0.5~0.6cm/hr로 큰 변화가 없었다. 지표하 60m 지점의 경우 만조에서 간조동안 측정하였으며, 유향은 26.8°~34.6°, 유속은 1.9~2.2cm/hr로 역시 큰 변화는 보이지 않았다(Fig. 2(a)).

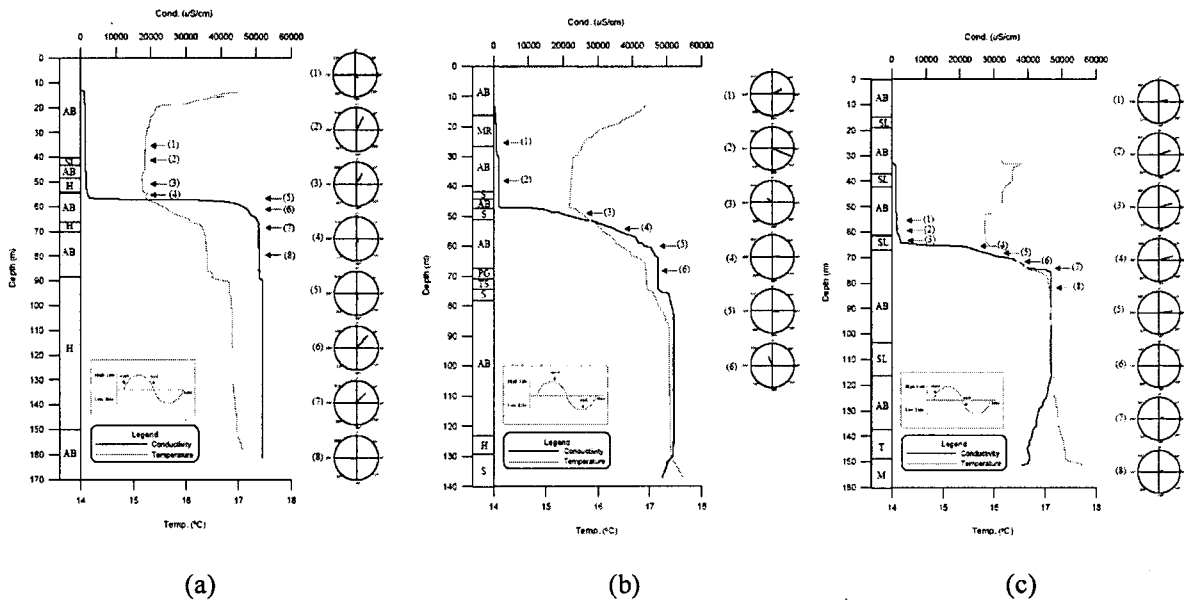


Fig. 1. Groundwater flow directions and velocities at various depths with geological and geophysical log for well HD-1 (a), JD-1 (b), and SS-1 (c).

종달-1호공의 경우 지질은 침상현무암, 사질층, 유리질쇄설암 등이 교대로 나타난다. 물리검층 결과 담수에서의 전기전도도는 1,000 μ S/cm 이내이며, 지표하 48m에서부터 전기전도도값이 증가하여 60m 지점에서는 50,000 μ S/cm 에 이른다. 한동-1호공과는 달리 담-염수 혼합대가 존재하며, 그 두께는 약 12m에 이른다. 지질과 물리검층 자료를 토대로 26, 39, 49.5, 54, 60, 69m의 6개 지점을 선정하여 유향·유속을 측정하였다. 검층 시작시점의 조석은 만조위였으며, 검층하는 동안 평균 해수위를 거쳐 종료시점에서는 간조위였다. 26, 39, 54, 60m 지점의 경우 지하수는 동쪽으로 유동한 반면, 49.5, 69m 지점에서는 북서 방향으로 유동하였다. 유속은 전체적으로 1.2~2.0cm/hr로 나타났으며, 지표하 39m 지점에서 3.7cm/hr의 비교적 빠른 유동을 보였다(Fig.1(b)). 종달-1호공 역시 조석의 영향에 의한 유향·유속 변화를 살펴보기 위해 54m 지점과 49.5m 지점을 선정하였다. 54m 지점의 경우 간조에서 만조동안 측정하였으며, 유향은 76.5°~89.4°, 유속은 1.3~1.8cm/hr로 큰 변화가 없었다. 지표하 49.5m 지점의 경우 만조에서 간조동안 측정하였으며, 유향은 273.8°~313.7°, 유속은 0.9~1.3cm/hr로 역시 큰 변화는 보이지 않았다(Fig. 2(b)).

수산-1호공의 경우 지질은 침상현무암, 사질층, 퇴적층, 응회암 등이 교대로 나타나며, 부분적으로 용암터널로 추정되는 구간이 나타난다. 물리검층 결과 담수에서의 전기전도도는 1,000 μ S/cm 이 내이며, 지표하 65m 지점부터 전기전도도값이 증가하여 약 75m 지점에서는 50,000 μ S/cm 에 이른다. 담-염수 혼합대가 존재하며 그 두께는 약 10m에 이른다. 지질과 물리검층 자료를 토대로 57, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 81m의 8개 지점을 선정하여 유향·유속을 측정하였다. 검층 시작시점의 조석은 평균

해수위였으며, 검층하는 동안 만조를 거쳐 검층 종료시점의 조석은 평균 해수위였다. 8개 지점 모두 북동방향의 유동을 보였으며, 약 60~70m 구간은 2.2~2.7cm/hr의 비교적 빠른 유속을, 약 70~80m 구간은 0.8~0.9cm/hr의 비교적 느린 유속을 보였다(Fig. 1(c)). 조석의 영향에 의한 유향·유속 변화를 살펴보기 위해 66m 지점과 57m 지점을 선정하였다. 66m 지점의 경우 간조에서 만조동안 측정하였으며, 유향은 69.6°~76.6°, 유속은 2.2~2.7cm/hr로 큰 변화가 없었다. 지표하 57m 지점의 경우 만조에서 간조동안 측정하였으며, 유향은 71.9°~81.3°로 큰 변화를 보이지 않았으나 유속의 경우 조석에 변화함에 따라 1.4~4.6cm/hr로 계속 증가하는 경향을 보였다.(Fig. 2(c)).

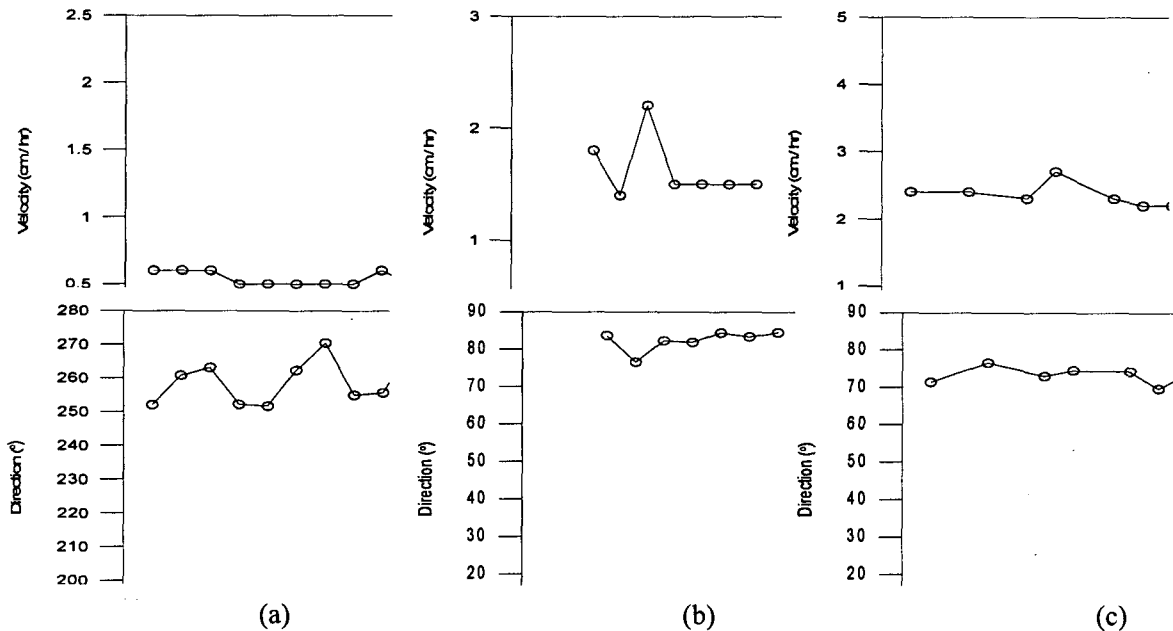


Fig. 2. Flow velocities and directions at specific depths in boreholes HD-1, JD-1, and SS-1.

4. 결론

제주도에 설치되어 있는 해수침투감시관측망 중에서 동부에 위치한 3개공에서 심도별 지하수 유향·유속을 측정하고, 특정 위치를 선정하여 시간에 따른 유향·유속 변화를 살펴보았다. 한동-1호공의 경우 주요 유동방향은 북동과 남동 방향이었으며, 북동방향의 경우 2.2~3.0cm/hr, 남동방향의 경우 0.6~1.0cm/hr의 유속을 보였다. 지표하 81m 지점에서는 내륙쪽인 남서방향으로 나타나 해수가 내륙쪽으로 유동하고 있음을 알 수 있다. 종달-1호공의 경우 주요 유동방향은 동쪽과 북서 방향이었으며, 1.2~2.0cm/hr의 유속을 나타내었다. 수산-1호공의 경우 전체적으로 북동 방향의 유동을 보이며, 60~70m 구간은 2.2~2.7cm/hr, 70~80m 구간은 0.8~0.9cm/hr의 유속을 보였다. 조석에 의한 유동변화를 살펴보기 위해 특정 심도에서 시간에 따른 유향·유속 검층 결과, 수산-1호공 57m 지점에서 만조에서 간조로 변화함에 따라 유속이 계속 증가하는 경향을 보였다. 심도별, 시간별 유향·유속 검층 결과, 제주도 동부해안대수층에서 지하수의 유동은 지층별로 유향과 유속이 다르며 또한 일부 구간에서는 같은 심도에서도 조석의 영향에 의해 변화함을 알 수 있다. 따라서 해안대수층에서 관정내 수위를 이용하여 전체적인 유향 혹은 유속을 판단하는 것은 오류를 범할 수 있으므로 주의를 요한다.

5. 참고문헌

- [1] Karl, P.M., 1997. Observations of particle movement in a monitoring well using the colloidal borescope. *Journal of Hydrology*, v.200, p.322-344.
- [2] Karl, P.M., Korte, N.E., Stites, Mike and baker, Joe, 1994. Field comparison of micropurging vs. traditional groundwater sampling. *Groundwater monitoring and remediation*, v.14, n.4, p.183-190.
- [3] Molz, F.J., and Young, S.C., 1993. Development and application of borehole flowmeters for environmental assessment: *The Log Analyst*, v.34, n.1, p.13-23.