

지하수 수위변동에 따른 중력 변화 양상

엄주영¹⁾, 서기원²⁾, 구민호³⁾, 권병두¹⁾

¹⁾서울대학교 지구과학교육과, ejy1129@snu.ac.kr

²⁾한국해양연구원 부설 극지연구소 지구시스템연구부

³⁾공주대학교, 지질환경과학과

Observation of gravity changes associated with variations of ground water table

Joo-Young Eom¹⁾, Ki-weon Seo²⁾, Min-ho Koo³⁾, Byung-Doo Kwon¹⁾

¹⁾Dept. of Earth Sciences education, Seoul National Univ.

²⁾Division of polar Earth System Sciences, KOPRI, KORDI

³⁾Dept. of Geoenvironmental Sciences, Kongju National Univ.

요약: 지하수 수위 변동에 따른 중력 변화를 이동식 기조력 중력계(PET)를 이용하여 충청남도 금산군에 위치한 국가 지하수 관측소(금산 금산 지하수관측소)에서 측정하였다. 중력 탐사는 2008년 11월부터 2009년 9월까지 약 10개월에 걸쳐 수행되었다. 또한 중력탐사가 수행되는 기간 동안 지하수 수위변화에 대한 자료도 얻었다. 얻어진 중력 자료로부터 지하수의 수위변동에 의한 효과만을 추출해 내기 위하여, 대기압에 의한 효과, 조석 효과, ocean loading 효과, polar motion과 drift 효과를 제거하였다. 이렇게 보정된 중력 자료를 관측점에서 측정한 지하수 수위변동과 직접 비교하여 중력 신호에 대한 지하수 수위 변동의 영향을 알아보았다. 또한 6월에는 지하수 관측소에 대한 양수 작업이 있었다. 이 작업이 수행되는 동안 지하수의 수위 강하와 충전이 있었으며, 이와 연관된 중력변화도 매우 성공적으로 관측되었다. 지하수 수위변동에 의한 중력 효과의 관측은 대수층의 water mass balance와 수자원에 대한 모니터링에 있어서 아주 유용하게 이용될 것으로 보인다.

Abstract: Gravity changes due to variations of groundwater level were measured at a ground water monitoring well, which is located at Kum-san, Korea, from November 2008 to September 2009 using Portable Earth Tide (PET) gravimeter. Groundwater level was monitored simultaneously with gravity observations. To extract gravity information from groundwater, we reduced gravity effect from atmospheric surface pressure, earth tides and its loading effect, polar motion and meter drift. In addition, in June 4, 2009, there was a pumping test at the

observation well, and groundwater level and gravity variations were observed together successfully. Observation of gravity along with groundwater level is potentially useful for monitoring of aquifer water mass balance and water resources.

1. 서론

지하수 관측정에서 측정되는 수위변화로 지하수의 거동을 파악하는 것에는 한계가 있다. 지하수의 거동은 수위 변화 보다는 지하수 자체의 물의 양과 직접적인 연관이 있기 때문이다. 이 water mass의 변화는 자연히 중력값에 영향을 미치는 데, 이를 이용하여 연구지역의 수리지질학적 특성을 알아 낼 수 있다(Montgomery, 1971). 중력 자료를 이용해 수리지질학적 특성을 파악하려는 기존 연구들은 대부분 temporal gravity survey를 자료 획득 방법으로 채택해왔다(Strange and Wessels, 1985; Pool and Eychaner, 1991; Chapman et al., 2008). 이러한 중력 탐사는 임시 중력 기준점과 연구지역 등 여러 지역에서 충분한 시간 간격을 두고 중력을 측정하는 방식으로 이루어진다. 그러나 이 방법은 중력 측정이 이루어지지 않는 기간 동안 발생하는 mass spring의 drift 효과를 보정하는데 있어서 많은 오차를 불러오게 된다(Ferguson et al., 2007). 본 연구에서는, 이와 같은 기존 연구들의 한계를 극복하고자, 이동식 기조력 중력계를 이용하여 중력 자료를 취득하였다. 또한 국가 지하수 관측소 내에 중력계를 설치하여, 관측정에서 측정된 지하수 수위변동과 중력 변화를 직접 비교할 수 있었으며 보다 상세하고 정밀한 분석이 가능하였다.

2. 자료획득 및 분석

국가 지하수 관측소는 한국 수자원 공사에서 관리하며, 지하수위, 수질, 양수량, 대수층 상수, 대수층 지질, 지하수공 체원 등 관련 자료들이 수집, 분석된다. 본 연구에서 사용된 중력 자료는 충청남도 금산군에 위치한 국가 지하수 관측소(금산 금산 지하수관측소)에서 이동식 기조력(PET) 중력계를 사용하여 획득되었다(Fig. 1).



Fig. 1. (a) The ground water observatory located at Kum-san,
(b) P.E.T. gravimeter used in this study.

중력 탐사는 2008년 11월부터 시작되어 2009년 9월까지, 약 10개월에 걸쳐 수행되었으며,

같은 기간 동안 지하수 관측소 내부에 위치한 중적층과 암반층 지하수공에 대한 수위자료도 수집 되었다. 사용된 PET 중력계는 0.01 μ Gal의 해상도로 1초 간격으로 중력을 측정하며, 정밀 보정에 필요한 level, 대기압, 온도 등에 대한 자료도 기록한다(Fig. 2).

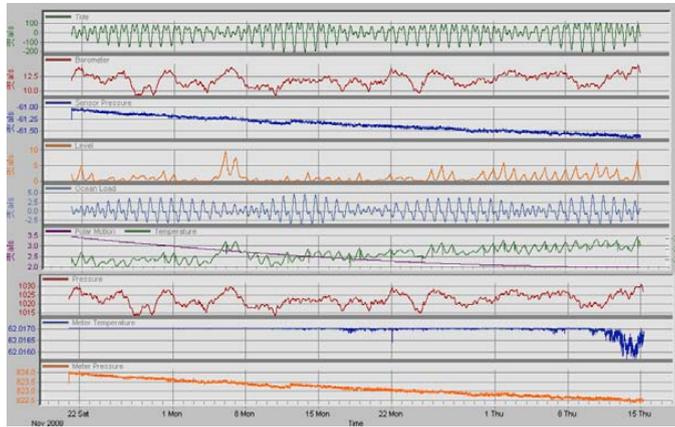


Fig. 2. Filtered environmental factors from PET gravimeter.

중력에 영향을 미치는 여러 요인 중 지하수의 수위변동에 의한 신호만을 추출해내기 위하여, 획득된 중력 자료에 대해 drift, tide, ocean loading, atmosphere surface pressure, polar motion에 의한 효과를 제거하였다(Fig. 3).

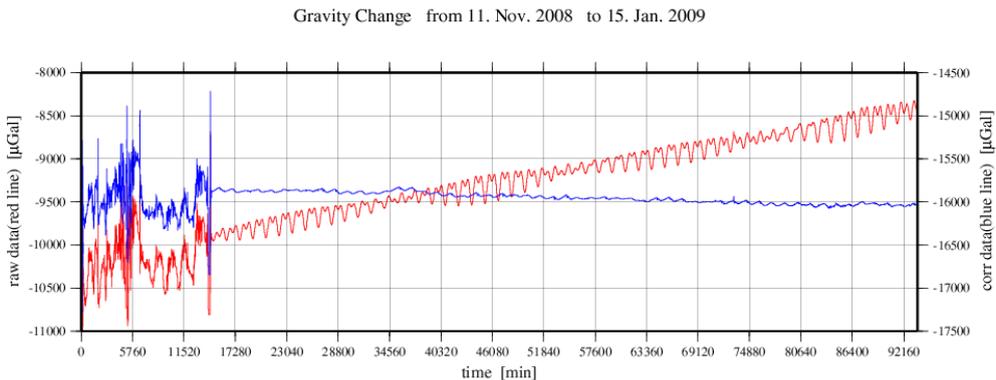


Fig. 3. Raw (red line) and corrected (blue line) gravity value.

지하수 수위 변동에 의한 중력 효과를 같은 기간 동안의 지하수 수위 변동과 비교해보면 서로 비슷한 양상을 보인다(Fig. 4). 설치된 중력계가 안정을 찾고 난 11월 21일부터 이듬해 1월 15일 까지 중력값은 약 200 μ Gal이 감소하였고, 같은 기간 지하수 수위는 약 30cm 정도 하강하였다.

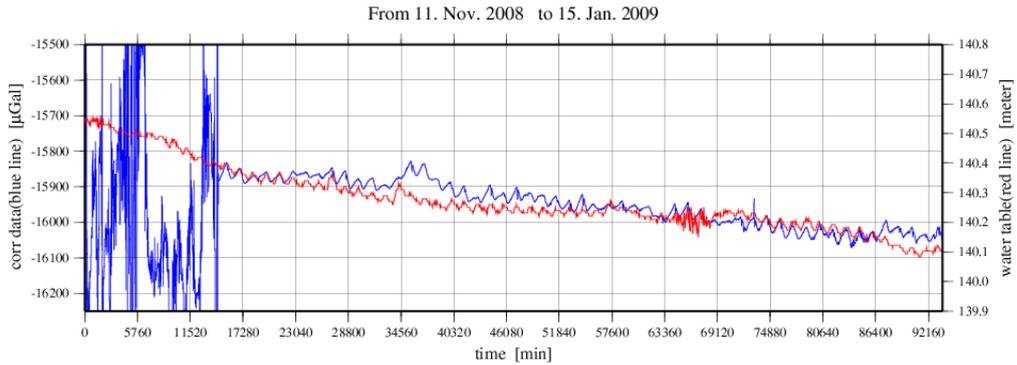


Fig. 4. Corrected gravity (blue line) and groundwater table (red line).

2009년 6월 4일에는 지하수 관측정에 대한 두 차례의 양수작업이 진행되었다. 첫 양수작업은 충적층 관측정에 대하여 약 25분간 행해 졌으며, 다시 30분이 지난 후 약 두 시간 가량 암반층 관측정에 대한 양수작업이 이루어졌다. 양수작업이 수행되는 동안 중력 측정은 계속 되었다. 양수 시에 작동하는 모터의 진동에 의한 잡음이 다소 포함되었지만 지하수의 수위변화에 따른 중력 신호를 볼 수가 있다(Fig. 5).

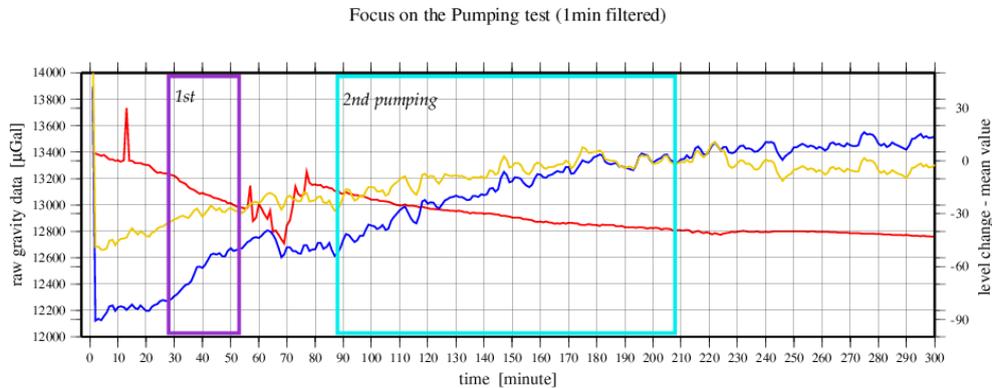


Fig. 5. Gravity (red line) and level of gravimeter change (blue and yellow line) during pumping test. Left and right boxes present shallow and deep well pumping tests time respectively.

충적층에 대한 첫 양수 작업(Fig. 5의 왼쪽 상자)동안 중력값은 줄어들며, 양수작업 종료 후 지하수가 재충전되면서 그에 대한 영향으로 중력값이 다시 상승함을 알 수 있다. 암반층에서도 좀 더 오랜 시간이 걸리지만 같은 양상을 볼 수 있다.

3. 결론

국가 지하수 관측망에서 지하수 수위와 중력 변화를 동시에 측정하였다. 측정된 중력값에서 tide, ocean loading, atmosphere surface pressure, polar motion 등의 효과를 제거한 뒤,

지하수 수위변화와 비교해 보았다. 그 결과 지하수의 수위변화가 중력값에 유의미한 변화를 야기함을 알 수 있다. 또한 두 차례에 걸친 양수 작업에서 지하수의 양수와 재충전에 의한 수위변화가 역시 중력값에 영향을 미침을 알 수 있다.

4. 참고문헌

- Chapman, D. S., Sahn, E., and Gettings, P., 2008, Monitoring aquifer recharge using repeated high-precision gravity measurements: A pilot study in South Weber, Utah, *Geophysics*, 73(6), WA83-WA93.
- Ferguson, J. F., T. Chen, J. Brady, C. L. V. Aiken, and J. Seibert, 2007, The 4D microgravity method for waterflood surveillance: Part II - Gravity measurements for the Prudhoe Bay reservoir, Alaska, *Geophysics*, 72(2), 133-143.
- Montgomery, E. L., 1971, Determination of coefficient of storage by use of gravity measurements, Ph. D. dissertation, Univ. of Arizona, Tucson, 144pp.
- Pool, D. R. and J. H. Eychaner, 1995, Measurements of aquifer-storage change and specific yield using gravity surveys, *Ground Water*, 33(3), 425-432.
- Strange, W. E. and C. W. Wessels, 1985, Analysis of repeat gravity measurements in areas of ground-water withdrawal subsidence, American Geophysical Union, 1985 Spring Meeting.