

## 변동량 분석을 이용한 암반대수층의 수리학적 매개변수 산출

김범수<sup>1</sup> · 양동철<sup>1,2</sup> · 여인욱<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 지구환경과학부, <sup>2</sup>한국농어촌공사 환경사업팀

## Estimation of Hydraulic Parameters of a Fractured Rock Aquifer Using Derivative Analysis

Bum-Su Kim<sup>1</sup> · Dong-Chul Yang<sup>1,2</sup> · In Wook Yeo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Chonnam National University

<sup>2</sup>Environment Division, Korea Rural Community Coporation

### ABSTRACT

Derivative analysis, based on the derivative of the drawdown as a function of time (i.e., rate of drawdown change), was applied to the evaluation of hydraulic parameters of the aquifer as an aid of the aquifer test interpretation based on the Theis solutions. Pumping tests were conducted at a coastal fractured aquifer in Muan county, Korea, of which the drawdown data, measured at the two observation wells, were used for derivative analysis. Wellbore storage and transition period were hard to identify at conventional log-log and semi long plots, but was easily recognized by distinctive curves of positive unit slope, hump and negative unit slope in the derivative plot. For the observation well of OW-2 at which wellbore storage and transition lasted over an hour, conventional aquifer analysis would suffer from the uniqueness problems and in further result in erroneous hydraulic parameters. Derivative analysis was found to be effective for distinguishing the drawdown data directly reflecting the aquifer property from those reflecting non aquifer effects such as wellbore storage and transition, which offers a unified methodology to yield correct hydraulic parameters from aquifer test data.

**Key words :** Aquifer test, Derivative analysis, Hydraulic parameter, Uniqueness problem, Wellbore storage

### 1. 서 론

대수층의 수리학적 특성 평가에 있어 가장 기본이 되는 것은 대수층 시험을 통해 대수층의 수리학적 매개변수, 즉 수리전도도 및 저류계수를 산출하는 것이다. 대수층 시험의 수위강하자료에는 대수층의 특성뿐만이 아니라 관정저류(wellbore storage) 효과와 영향반경이 확장되면서 나타날 수 있는 경계 효과(boundary effect) 등 다양한 효과가 함께 반영되어 나타난다. 따라서 대수층의 특성만이 반영되어 나타나는 수위강하 구간을 선택하지 않는 경우 부적합한 수리학적 매개변수가 산출될 수 있다. 따라서 대수층의 특성을 반영하는 구간을 파악하여 수리매개변수를 산출하는 것은 대수층의 수리학적 평가에서 있어 매우 중요한 부분이다.

대수층의 수리학적 매개변수를 결정하기 위하여 Theis, Cooper and Jacob, Neuman 방법 등이 이용되고 있다. 하지만 Neuman 및 Theis 방법은 양 대수(log-log) 표준 곡선을 이용하여 측정된 자료를 매칭(matching)하기 때문에, 연구자마다(또는 동일한 연구자라 할지라도) 매칭하는 구간에 따라 상이한 수리매개변수가 산출되는 유일성(uniqueness)의 문제를 내포하고 있다. 또한 대수층의 특성만이 반영되는 수위강하 구간을 찾아내기 쉽지 않다. 반면에, 편 대수(semi-log) 표준 곡선을 이용하는 Cooper and Jacob 방법은 직선구간을 이용하여 수리매개변수를 산출하기 때문에, 상대적으로 유일성의 문제를 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만 2개 이상의 직선이 나타나는 경우, 어떤 직선 구간을 선택하여 수리매개변수를 산출해야 하는지에 대한 문제점이 존재한다(Samani et al., 2006).

\*Corresponding author : iwyeo@chonnam.ac.kr

원고접수일 : 2010. 8. 26 심사일 : 2010. 8. 31 게재승인일 : 2010. 11. 16  
질의 및 토의 : 2011. 2. 28 까지

대수층에 대한 보다 정확한 수리학적 평가를 위해서는 이러한 유일성(uniqueness) 문제를 최소화 할 필요가 있다.

변동량 분석(derivative analysis)은 시간에 대한 수위강하의 1계 미분으로서 순간적인 수위강하량을 계산하는 분석방법이다. 따라서 기존의 시간에 대한 수위강하 자료에서 파악하기 어려운 관정저류 및 스킨 효과와 경계 효과 등을 상대적으로 쉽게 찾아 낼 수 있는 방법이다(Bourdet et al., 1983a, b, 1989; Beauheim and Pickens, 1986; Ehlig-Economides, 1988; Horne, 1995). 또한 양수 시 시간당 수위강하량은 영향반경이 넓어짐에 따라서 만나게 되는 수리지질학적 특성에 의존하게 되므로 변동량 분석은 대수층 흐름 양상의 변화를 해석하는데 매우 유용하다. 변동량 분석은 대수층 시험 해석의 보조적인 수단으로써 여러 연구에 의해 소개되었지만(Karasaki et al., 1988; Spane and Wurstner, 1993; Kevin and Laurence, 1996), 수리지질학 분야에서는 널리 이용되지 않고 있다.

본 연구에서는 변동량 분석을 이용하여 수위강하 자료 중 관정저류 효과 등 대수층의 특성이 아닌 구간과 대수층의 특성을 반영하는 구간을 판별하여 보다 정확한 대수층의 수리학적 매개변수를 산출하고자 하였다. 또한 양 대수 및 편 대수 그래프를 이용하는 기존 방법들의 유일성 문제와 수리전도도 산출에 있어 발생할 수 있는 오류를 최소화 하고자 하였다.

## 2. 변동량 분석(Derivative Analysis)

앞서 언급한 바와 같이 수위강하자료에는 대수층, 관정저류, 스킨, 경계 효과와 같은 다양한 수리적 영향이 모두 포함되어 나타나기 때문에, 대수층의 특성이 반영되는 구간을 찾는 것이 어렵다. Theis 방정식을 기본으로 하는 대수층 해석방법들은 이러한 특성들을 수위강하 그래프로부터 구분해 내기가 매우 어렵다. 따라서 대수층의 수리 매개변수를 결정하는 데 있어 오류가 발생할 수 있으며, 또한 연구자마다 다른 수리매개변수를 갖는 유일성의 문제가 발생할 가능성이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 Karasaki et al.(1988), Spane and Wurstner(1993)는 변동량 분석(derivative analysis)을 제시하였다.

변동량 분석은 시간-수위강하의 1계 미분법으로 기존의 시간-수위강하 곡선으로 파악하기 어려운 미세한 수위변화량을 파악할 수 있는 장점이 있다. 양수 시 시간당 수위강하량( $\Delta h/\Delta t$ )은 영향반경이 넓어짐에 따라서 만나게 되는 대수층의 특성 및 수리지질학적 경계 특성에 의존하므로 순간적인 수위변화량으로 대수층 흐름 양상의 변화를

파악할 수 있다. 따라서 시간-수위강하 자료에 대한 변동량 분석을 이용하여, 대수층의 특성과 대수층의 수리적 특성과 관련 없는 관정저류효과 구간을 판별할 수 있으며 (Fig. 1), 대수층의 특성만이 나타나는 구간을 표준 곡선을 매칭하여 수리매개변수를 산출함으로써 유일성의 문제를 최소화 시킬 수 있다.

변동량은 아래 식(1)과 같이 시간-수위강하 자료의 변동량 분석은 산출하고자 하는 지점 전/후(before/after) 시간의 수위강하 또는 수위를 이용하여 계산한다(McConnell, 1992).

$$t_i \left. \frac{dh}{dt} \right|_i = \frac{dh}{d(\ln t)} \Big|_i = t_i \left\{ \left( \frac{\ln(t_{i+j}/t_i)}{\ln(t_{i+j}/t_{i-k})} \right) \left( \frac{h_i - h_{i+k}}{t_{i-k} - t_i} \right) + \left( \frac{\ln(t_i/t_{i-k})}{\ln(t_{i+j}/t_{i-k})} \right) \left( \frac{h_{i+j} - h_i}{t_i - t_{i+j}} \right) \right\} \quad (1)$$

여기서  $t_i, t_{i+j}, t_{i-k}$ 는 각각 산출하고자 하는 변동량 시간,  $t$ 보다 후(after)의 시간,  $t$ 보다 전(before)의 시간이며  $h_i, h_{i+j}, h_{i-k}$ 는 각각  $t_i, t_{i+j}, t_{i-k}$  때의 지하수위이다. 즉, 식(1)은 시간의 자연로그에 대한 수위강하의 기울기가 된다.

Fig. 1은 대수층의 특성과 경계 조건에 따른 이상적인 수위강하와 변동량을 도시한 그림이다. 대수층 및 관정의 조건에 따라서 관정저류(wellbore storage), 과도기(transition) 구간, 방사상 흐름 구간, 경계 효과 등이 나타난다. 이러한 특성은 기존의 시간-수위강하 곡선(즉 양 대수 또는 편 대수)으로 파악이 어렵지만, 변동량 분석을 적용하여 순간적인 수위강하의 변화를 분석함으로써 파악이 가능하다. 변동량 분석은 시간에 따른 지하수위의 변화를 나타내기 때문에, 변동량 곡선(derivative curve)이 상향하는 것은 우물로의 물의 유입이 원활하지 않는다는 것을 의미하며, 하향하는 것은 물의 유입이 원활하며 수리적 연결성이 좋은 지역까지 영향반경이 넓어졌음을 의미한다.

변동량 곡선의 초기에 양의 단위 기울기(unit slope)로 나타나는 것은 관정저류효과로서, 양수 초기에 관정에서 물이 급격히 빠지면서 대수층에서 관정으로 지하수의 공급이 원활히 일어나지 않기 때문에 일어나는 것으로 대수층의 특성을 반영하지 않는다. 관정저류효과는 단위 기울기와 더불어 변동량 곡선에서 특징적인 “언덕(hump)”을 만들어 내며, 이 언덕의 지속시간과 크기는 관정저류의 정도와 밀접하게 관련된다. 이 언덕구간과 그 이후 음의 단위기울기까지는 과도기 구간으로서 관정저류와 더불어 대수층의 특성을 반영하지 않은 구간이 된다. Fig. 1에서 보듯이, 단순 시간-수위강하 곡선에서는 이러한 관정저류와 과도기 구간이 어디까지 지속되며 어디서 끝나는지 찾

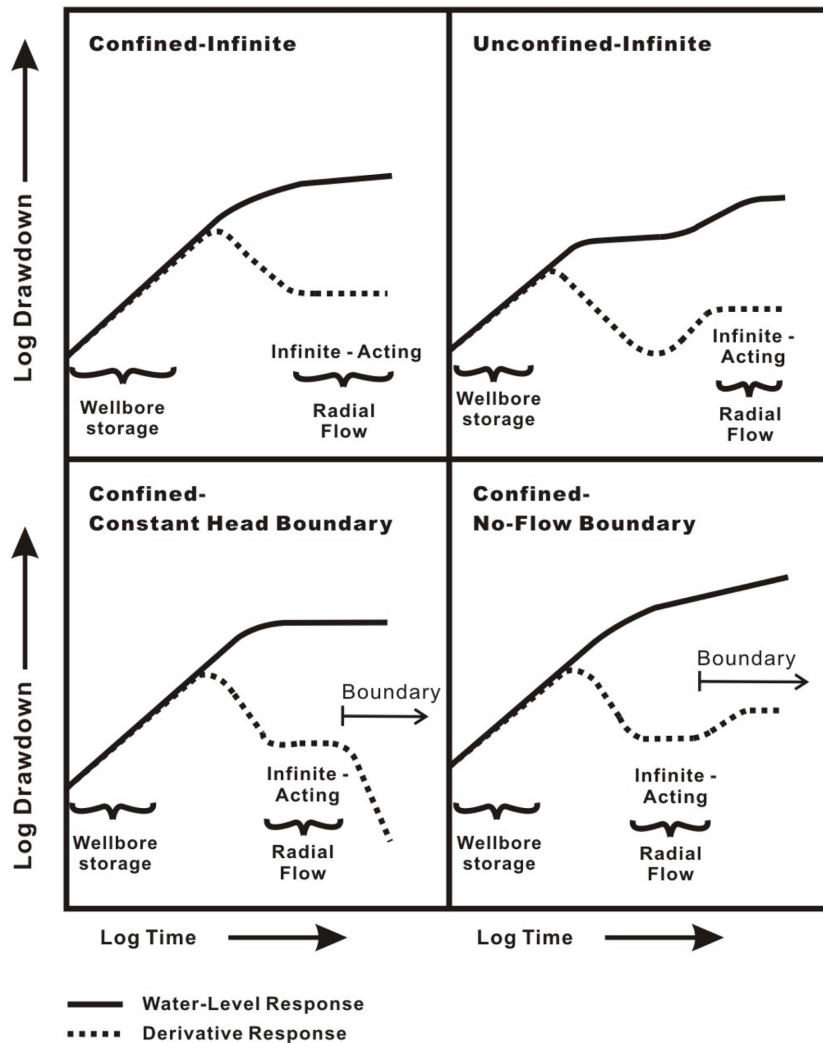


Fig. 1. Characteristic log-log drawdown and derivative plots for various hydrogeologic formation and boundary conditions (from Spane and Wurster, 1993).

아내기 매우 어렵지만, 변동량 곡선에서는 쉽게 찾아낼 수 있다.

관정저류와 과도기 구간 이후 변동량 곡선이 수평으로 나타나는데, 이 구간은 시간에 따른 수위강하량의 변화가 일정한 방사상 흐름 구간을 나타낸다. 방사상 흐름이 나타나는 구간이 Theisian 대수층 해석 해들의 기본가정을 만족하는 구간이며, 이 구간이 대수층의 수리적 특성을 반영하는 구간이 된다. 단 수평구간이 나타나거나 지속되는 정도는 대수층의 특성에 다를 수 있다.

대수층의 수리적 경계가 존재하는 경우, 양수가 계속되는 경우 영향반경이 점차 넓어지다가 이 경계를 만나게 된다. 따라서 흔히 변동량 곡선에서 후기(late stage)는 대수층의 수리적 경계특성과 밀접하게 관련된다. Fig. 1의 왼쪽 아래 그림과 같이, 말기에 음의 기울기를 보이는 것

은 수리적 함양 경계에 도달하여 물의 유입이 원활하게 이루어짐을 의미한다. 반대로 Fig. 1의 오른쪽 아래 그림과 같이, 경계효과 구간에서 양의 기울기를 보이는 것은 영향반경이 불투수성 경계에 도달하여 물의 유입이 원활하지 않는 경우 나타난다(Philippe et al., 2008). 이와 같이 변동량 분석은 대수층의 수리적 매개변수 산출뿐만 아니라 대수층의 수리적 경계조건 해석까지 다양하게 활용될 수 있는 분석방법이다.

### 3. 연구 지역 및 방법

본 연구지역은 전라남도 무안군 운남면 성내리 도원선 착장 부근으로, 선착장으로부터 북쪽으로 약 200 m 떨어진 지점에 위치하고 있다. 연구지역은 마늘과 양파를 재

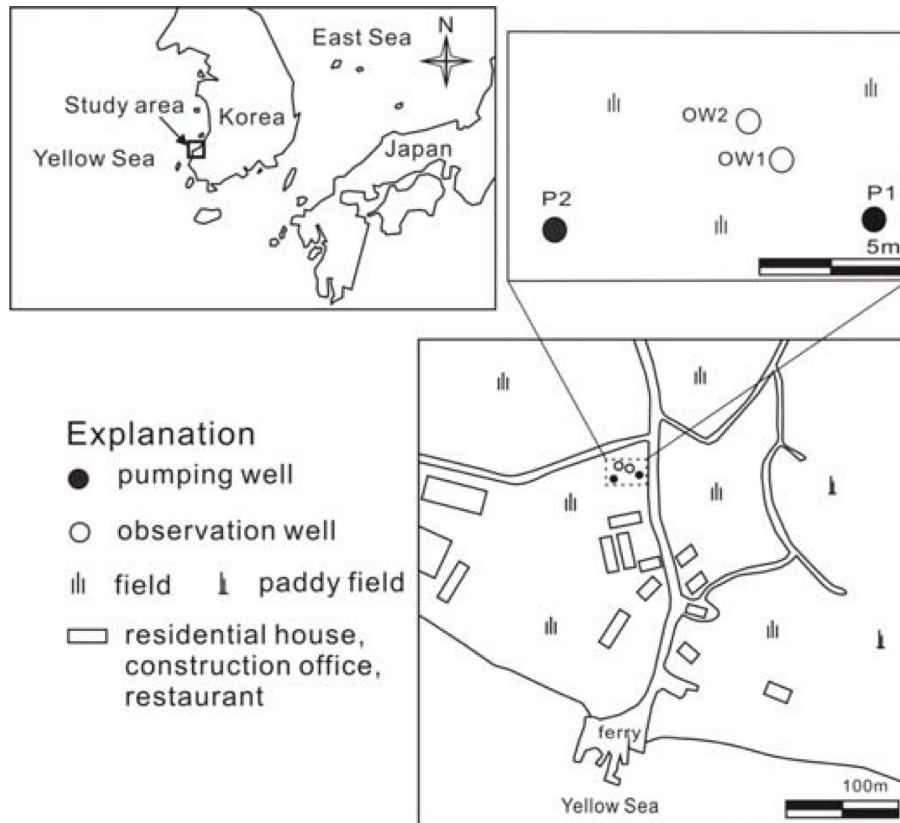


Fig. 2. Diagrams of location and surroundings of the study area of Muan.

배하는 받으로서, 연구지역은 풍화에 매우 약한 시대미상의 화강암질 편마암이 넓게 분포하며, 중생대 백악기 규장암으로 구성된 산성 암맥이 북서방향으로 관입하고 있다(최승오·고중배, 1971).

연구지역에는 양수정 P1, P2과 관측정 OW1, OW2로 총 4개의 관정이 설치되어 있다(Fig. 2). P1과 P2관정은 지상펌프가 설치되어 있어 관정의 심도 등 자세한 관정조건은 파악할 수 없었다. OW1과 OW2 관정은 사용하지 않고 방치되어 있으며, OW1, OW2 관정의 심도는 지표에서부터 각각 71.59 m, 77.72 m, 그리고 케이싱의 심도는 각각 24.29 m, 24.32 m이다. 케이싱의 하부는 나공이며, 각 관정의 직경은 0.15 m이다. OW1, OW2 관정이 설치된 지표의 절대고도는 각각 +10.41 m, +10.44 m이다. 지하수면은 지표로부터 심도 9~10 m를 유지한다(박학운, 2008). 따라서 양수 시 지하수위가 평균 해수면 아래에 위치하기 때문에 해수침투가 활발히 일어나고 있는 지역이다(박학운, 2008).

관정 P1에서 67.71 m<sup>3</sup>/day으로 지하수를 양수하였으며, 관정 OW1, OW2에 자동수위측정기(miniTROLL)를 설치하여 시간에 따른 수위강하를 측정하였다. 시간에 따른 수

위강하를 양 대수(log-log) 및 편 대수(semi-log), 변동량 그래프(derivative plot)로 도시하고, 각 그래프를 이용하여 양수에 따른 대수층의 반응을 비교·검토한 후 대수층의 특성, 관정저류구간 및 과도기 구간을 판별하고자 하였다. 최종적으로 변동량 분석을 활용하여 대수층의 특성이 반영되는 구간을 찾아낸 후, 대수층의 수리매개변수를 산출하고자 하였다.

#### 4. 연구 결과

Fig. 3은 OW1에서 측정된 시간당 수위강하 자료를 양 대수 그래프와, 편 대수 그래프로 나타낸 그림이다. 양 대수로 도시한 그림에서는 특징적인 양상을 보이지 않지만(Fig. 3a), 편 대수로 도시한 그림에서는 약 50초~5분(300초) 구간과 11분 40초(700초) 이후 구간에서 직선 구간이 나타난다(Fig. 3b). Cooper and Jacob 방법은 직선 구간을 이용하여 대수층의 수리매개변수를 산출한다. 따라서 두 개 이상의 직선 구간이 존재하는 경우 유일성의 문제를 발생시킬 수 있다.

OW1에서 측정된 시간당 수위강하 자료에 대해 변동량

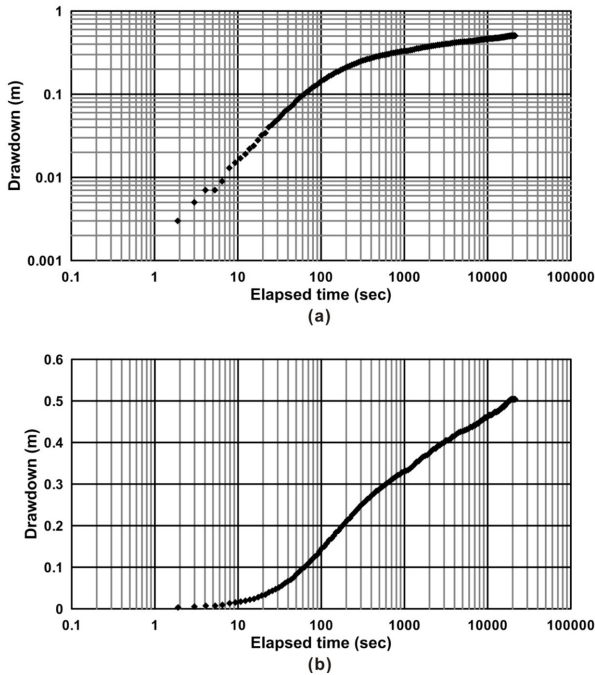


Fig. 3. (a) Log-log and (b) Semi-log graphs of drawdown data measured at OW1.

분석을 수행한 후, 대수층의 수리적 특성을 반영하는 구간을 파악하였다. Fig. 4는 OW1의 수위강하 자료에 대한 변동량 곡선 그래프이다. 수위강하 초기에 변동량 곡선이 단위 기울기로 상승하는 구간이 관정저류에 의한 특성이며, 그 이후 “언덕(hump)”을 형성하고 700초(11분 40초)까지 단위 기울기로 하향하는 것은 과도기(transition period) 구간이다. Horne (1995)에 의하면 이 과도기 구간은 보통 약 1.5 로그 사이클 동안 지속되는 경향이 있다. Fig. 4에서도 과도기 구간이 약 1.5 로그 사이클 동안 지속되는 것을 볼 수 있다. 이 과도기 구간은 Fig. 3(b)에서 첫 번째 직선 구간으로서, 이 구간에 대해 Cooper and Jacob 방법으로 수리전도도를 산출한 결과  $1.05 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ 로 나타났다.

과도기 구간이 끝나는 약 700초(11분 40초)부터 10,000초(2시간 46분)까지 변동량 곡선은 수평으로 나타난다. 이렇게 변동량 곡선이 수평으로 나타나는 것은 시간에 따라 수위변화량이 일정한 것을 의미하는 것으로서, 대수층의 기본 가정인 무한 방사상 흐름(infinite radial flow)을 나타내는 구간이다. 방사상 흐름 구간을 지나 10,000초 후 변동량 곡선이 크게 상승하다가 하강하는 양상을 보인다. 변동량 해석에서, 흔히 후기 변동량 자료는 대수층 주변의 경계효과(불투수성 또는 함양경계)와 밀접하게 관련된다. 그러나 이 변동량 곡선이 연구지역 주변

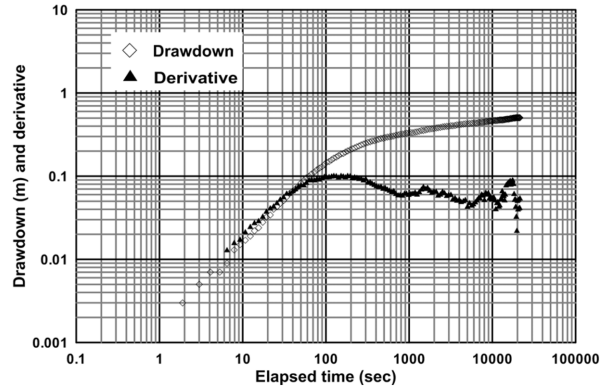


Fig. 4. Diagnostic plot for the drawdown data measured at OW1, which is a simultaneous plot of drawdown and the logarithmic derivative of the drawdown as a function of time in log-log scale.

비다에 의한 함양효과라고 결론 내리기에 다소 무리가 있으며, 경계효과를 판단하기 위해서는 좀 더 긴 시간의 양수와 그에 따른 변동량 분석이 필요하다(여기서 경계효과 분석은 본 연구의 목적이 아니므로 더 이상 다루지 않았다). 변동량 분석결과, OW-1의 경우에는 두 번째 구간, 즉 11분 40초(700초)이후 특히 2시간 46분(10,000초)까지의 수위강하 자료가 대수층의 특성을 잘 반영하는 구간으로 판단할 수 있다. 따라서 이 구간에 대해 Cooper and Jacob방법을 이용하여 수리전도도를 산출한 결과  $1.94 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ 로 나타났다. 박학운(2008)은 동일 관정에 대해 음파식 공내 촬영기(acoustic televiewer)를 통해 파쇄대의 분포를 조사하였다. 그 결과 비교적 관정하부까지 파쇄대가 발달하는 것으로 나타났으며, 이러한 파쇄대의 발달로 인해 비교적 큰 수리전도도를 보인 것으로 판단된다.

OW-2에서 측정된 수위강하자료는 OW-1과는 다른 양상을 보여준다(Fig. 5a). 초기에 완만하게 상승하며 전체적으로 S자의 형상을 보인다. Fig. 5(b)의 편 대수 그래프에 도시된 수위강하에서는 총 세 개의 직선구간이 발견된다. 편 대수 그래프 상으로만 본다면 첫 번째 구간은 관정저류, 두 번째 및 세 번째 직선 구간이 대수층의 수리적 특성을 반영하는 구간으로 판단할 가능성이 높다. 경우에 따라서는 두 번째 구간을 대수층의 특성, 세 번째 직선구간을 경계효과에 의한 특성으로 판단할 가능성이 높다. 편 대수 그래프를 이용하여 해석하는 경우 양 대수 그래프 보다 대수층 시험 해석에 있어서 용이하나, 이렇게 두 개의 직선구간이 나오는 경우 여전히 유일성의 문제 및 대수층의 수리적 특성을 파악하는데 있어 오류가 발생할 수 있다.

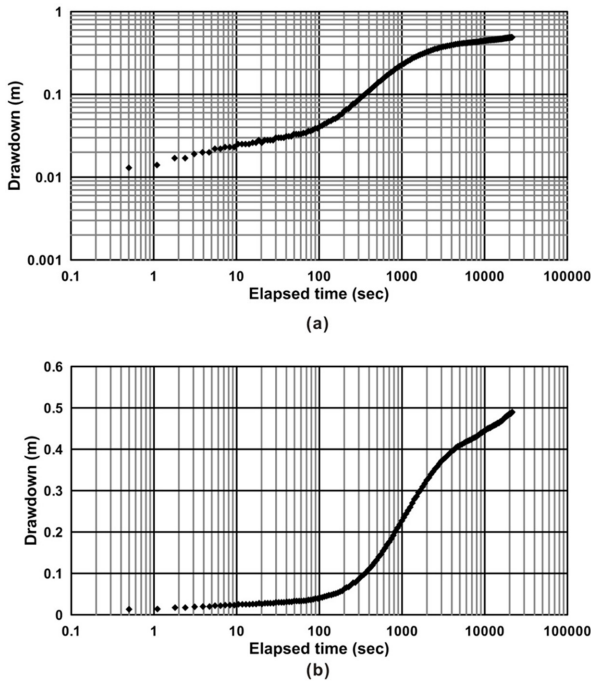


Fig. 5. (a) Log-log and (b) Semi-log graphs of drawdown data measured at OW2.

OW-2에서 측정된 수위강하 자료에 대해 변동량 분석을 수행하여 Fig. 6에 도시하였다. 변동량 곡선에 의하면, 관정저류효과가 약 40초부터 시작하여 200~300초 까지 나타나며, 약 6,000초(1시간 40분)까지 과도기 구간이 지속된다. 앞서 언급하였듯이 관정저류효과의 직접적인 효과가 끝난 후 과도기 구간이 1.5 로그 사이클 동안 지속되는 것을 볼 수 있다. 이 과도기 구간은 편 대수 그래프에서 두 번째 직선구간에 해당한다(Fig 5b). 이 구간에 대해 Cooper and Jacob 방법을 이용하여 수리전도도를 산출한 결과  $6.63 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 로 나타났다. 하지만 이 구간은 대수층의 특성을 반영하지 못하는 구간으로서, 이 수리전도도는 대수층의 진정한 수리적 특성과는 거리가 멀다. 과도기 이후 변동량 곡선은 방사상 흐름을 보이며, 이 구간이 대수층의 특성을 보이는 구간이다. 편 대수 그래프에서는 세 번째 직선구간에 해당하며, 이 구간을 이용하여 대수층의 수리적 매개변수를 결정하는 것이 적절하다. 이 구간에 대해 Cooper and Jacob 방법을 이용하여 수리전도도를 산출한 결과  $1.62 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ 로 나타났다. 두 번째 구간에 대해 구한 수리전도도에 비해 약 2.4배가 크며, 이 수리전도도는 OW1에서 산출한 수리전도도와 유사하다.

대수층의 수리전도도를 산출하는데 있어 변동량 분석을 이용하는 경우, 보다 정확하게 대수층의 특성을 나타내는

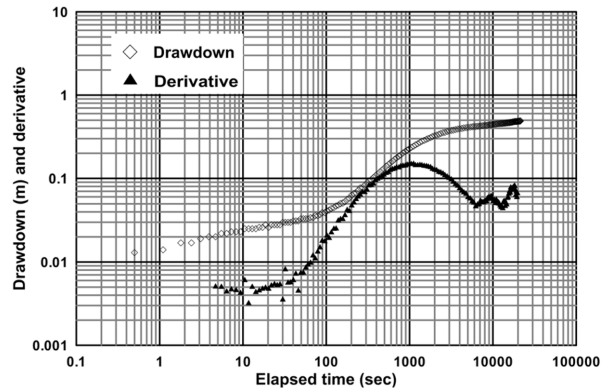


Fig. 6. Diagnostic plot for the drawdown data at OW2.

구간을 찾아낼 수 있었다. 따라서 변동량 분석을 기존 해석방법의 보조방법으로 이용한다면, 지하수 조사에 있어 가장 중요한 대수층의 수리학적 매개변수를 보다 정확하게 산출하는데 기여할 수 있을 것이다.

### 5. 결 론

대수층 시험의 수위강하자료에는 관정저류, 대수층 및 주변 경계조건에 의한 효과들이 복합적으로 반영되어 나타난다. 이러한 각각의 특성을 구분해내지 못한다면, 연구자마다 수리매개변수에 있어 다른 값이 산출되는 유일성의 문제가 발생할 수 있으며, 또한 대수층의 특성을 반영하는 정확한 수리매개변수를 산출할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 변동량 분석(derivative analysis)을 통해, 대수층 시험 해석 시 발생할 수 있는 유일성(uniqueness)의 문제를 최소화하고, 대수층의 수리적 특성이 나타나는 구간을 찾아내어 보다 정확한 수리매개변수를 산출하고자 하였다. 전라남도 무안군의 연안 암반대수층에서 실시한 양수 시험 자료를 양 대수, 편 대수 그래프로 도시하여 나타난 수위강하특성과 변동량 곡선을 비교 연구하였다. 양수 시험 결과 두 관측점 모두에서 대수층의 특성이 나타나기 전 관정저류 효과와 과도기 구간이 나타났다. 관정저류효과는 양수 초기에 관정으로 지하수의 공급이 원활히 일어나지 않기 때문에 일어나는 것으로, 변동량 곡선에서 초기에 단위 기울기로 상향하는 특성을 보인다. 과도기 구간은 특징적인 “언덕(hump)”을 형성한 후 역시 단위 기울기로 하강하는 곡선을 보임으로서 대수층의 특성을 보이는 구간과 확연히 구별되었다.

관정 OW-1의 경우 관정저류(wellbore storage)와 과도기 구간이 짧게 나타난 반면, OW-2의 경우 거의 1시간 40분 동안 지속되었다. 특히 이처럼 관정저류 효과와 과

도기 구간이 길게 나타나는 경우, 기존의 양 대수, 또는 편 대수 그래프에서는 이 특성이 관정저류에 의한 수위강하인지 또는 실제 대수층에 의해서 발생하는 것인지를 구별해내기 매우 어려웠다. 이러한 관정저류 효과가 반영되는 구간(과도기 포함) 역시 편 대수 그래프에서도 직선구간으로 나타나기 때문에 수리매개변수 산출 시 오류를 발생시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 변동량 분석을 이용하여 관정저류효과 구간을 효과적으로 찾아내어 대수층의 특성을 보이는 구간을 판별할 필요가 있다. 관정저류 효과 구간이 끝난 후 두 관측정 모두에서 대수층의 특성이 나타나는 구간이 나타났다. 변동량 곡선에서는 비교적 수평으로 나타났다. 이 구간에 Cooper and Jacob 방법을 이용하여 수리전도도를 산출한 결과, OW1에서는  $1.94 \times 10^{-5}$  m/sec, OW-2에서는  $1.62 \times 10^{-5}$  m/sec로 산출되었다. 두 결과 서로 유사하게 나타났다. 그러나 OW-1과 OW-2에서 관정저류 후 과도기 구간을 이용하여 수리전도도를 산출하는 경우  $1.05 \times 10^{-6}$  m/sec 및  $6.63 \times 10^{-6}$  m/sec로 나타나, 실제 수리전도도 보다 작은 값을 산출할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 수리전도도의 오류는 실제로 지하수 이용개발 시 양수에 따른 지하수위 약 2배의 차이, 그리고 특히 오염지역 오염 운의 장시간 이동 속도 해석 및 예측에 있어 2배의 차이를 만들 수 있다.

수리지질학적 특성을 파악하기 위하여 변동량 분석을 실시한 결과, 수위강하 곡선으로 파악하기 어려운 관정저류, 과도기 수리적 특성 및 대수층의 특성이 나타나는 구간을 비교적 쉽게 구별할 수 있었다. 변동량 분석은 이처럼 복합적인 수리학적 특성을 용이하게 파악할 수 있게 함으로서, 기존의 대수층 시험 해석법의 보완적인 역할로써 효과적인 방법이라고 판단된다. 변동량 분석은 수리매개변수에 있어 유일성의 문제뿐만이 아니라 오류의 가능성을 최소화하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 2008년도 전남대학교 학술연구비 및 환경부 “토양지하수 오염방지 기술개발사업(173-092-009)” 지원에 의해 수행되었습니다. 상세한 지적과 함께 좋은 의견을 주신 강원대학교 이진용 교수님과 익명의 심사위원께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 박학운, 2008, 시계열분석, 물리검층 및 유수시험을 통한 전남 무안 균열암반대에서의 해수침투 특성 연구, 전남대학교 석사학위논문, p. 77.
- 최승오, 고중배, 1971, 한국지질도 무안도폭(1:50,000) 및 설명서, 국립지질조사소, p. 11.
- Beauheim, R.L. and Pickens, J.F., 1986, Applicability of pressure derivative to hydraulic test analysis. *Paper presented at poster session at the Annual Meeting of American Geophysical Union*, Baltimore, 19-22.
- Bourdet, D. and Whittle, T.M., 1983a, A new set of curves simplifies well test analysis, *World Oil*, 95-106.
- Bourdet, D., Ayoub, J.A., Pirard, Y.M., and Kniazeff, V., 1983b, Interpreting well tests in fractured reservoirs, *World Oil*, 77-78.
- Bourdet, D., Ayoub, J.A., and Pirard, Y.M., 1989, Use of pressure derivative in well-test interpretation, *Society of Petroleum Engineers*, **4**, 293-302.
- Ehlig-Economides, C., 1988, Use of the pressure derivative for diagnosing pressure-transient behavior, *Journal of Petroleum Technology*, 1280-1282.
- Home, R.N., 1995, Modern well test analysis: A computer-aided approach. p. 257.
- Karasaki, K., Long, J.C.S., and Witherspoon, P.A., 1988, Analytical models of slug tests, *Water Resources Research*, **24**(1), 115-126.
- Kevin, P.Parks and Laurence, R.Bentley, 1996, Derivative-assisted evaluation of well yields in a heterogeneous aquifer, *Canadian Geotechnical Journal*, **33**, 458-469.
- Philippe Renard, Damian Glenz, and Miguel Mejias, 2008, Understanding diagnostic plots for well-test interpretation, *Hydrogeology Journal*, **20**.
- Samani, N., Pasandi, M., and Barry, D.A., 2006, Characterizing a heterogeneous aquifer by derivative analysis of pumping and recovery test data, *Journal of Geological Society of Iran*, **1**, 29-41.
- Spane, F.A.Jr. and Wurstner, S.K., 1993, Deriv: A computer program for calculating pressure derivatives for use in hydraulic test analysis, *Ground Water*, **31**(5), 814-822.