

물리적 기반의 시변성 지하수 함양량 산정 방안

정일문^{1)*} · 김남원²⁾ · 이정우³⁾

1. 서 론

현재 우리나라에서 사용되고 있는 지하수 함양량 산정방식은 유출수문곡선의 지하수 감수곡선을 이용한 함양량의 간접 추정, 관측공의 지하수위 변동량에 의한 함양량의 간접적 추정, 집중형 수문모형(예: 탱크모형 등)의 물수지를 통한 함양의 간접 추정, 기타 환경/열추적자의 활용, 안정동위원소 등을 이용한 방식으로 대별되나 위의 방법들은 지하수 함양량의 시·공간적인 변동성을 파악하기 어렵기 때문에 지역 지하수 관리 계획수립에 상당한 제한이 있다. 본 연구에서는 합리적인 지하수 관리계획 수립과 지하수자원의 지속가능한 개발을 위해 물리적 기반의 시변성 지하수 함양량을 산정하는 기법을 제시하고자 한다. 이를 위해 세계적으로 널리 사용되는 준분포형 유출모형인 SWAT모형(Arnold 등, 1993)을 우리나라 조건에 맞게 토양DB, 지하수 모듈 등을 개선한 SWAT-K모형(김남원 등, 2007)을 기본 모형으로 선정하였고, 함양을 수문학적 과정으로 설명하기 위해 청주지역 무심천 유역을 대상으로 각 수문성분별 모의를 수행하였다. 이 과정에서 토양층을 통과하여 자유면 대수층으로 유입되는 함양의 시간적 지체현상을 반영하기 위해서 모의 함양량 시계열과 관측 지하수위 시계열 자료의 시간 분포형태를 적합시켰다. 이를 위해서 SWAT내의 함양을 계산하는 선형 저수지 모형을 개선한 직렬 다단 저수지 모형 기법을 새롭게 제시하였다. 청주지역 내덕 및 가덕 국가지하수 관측망 자료에 본 기법을 적용한 바, 물리적 기반으로 계산된 자연 지하수 함양량의 시간적인 변동을 정확하게 추정할 수 있었다.

2. 본 론

토양층내에 물이 얇은 대수층으로 함양될 때 발생하는 지체시간(lag time)은 지하수면까지의 깊이, 비포화대 등의 수리지질특성에 따라 좌우된다. 하지만, SWAT모형은 준분포형 모형으로서 비포화대의 수리학적 거동을 Richards 방정식과 같은 수학적 모형으로 표현하지 않고 선형 저류방정식의 형태로 지체시간을 설명하고 있다. 토양층에 물이 존재한 후 대수층의 함양까지의 지체시간을 설명하기 위해 SWAT에서는 강수/지하수 반응모형내의 지수형 감쇠 가중함수(exponential decay weighting function)를 사용한다. 주어진 날의 대수층으로의 함양은 다음과 같이 계산된다.

$$w_{rchr,i} = (1 - \exp[-1/\delta_{gw}]) \cdot w_{seep} + \exp[-1/\delta_{gw}] \cdot w_{rchr,i-1} \quad (1)$$

여기서, $w_{rchr,i}$ 는 i 일의 대수층 함양량(mm), δ_{gw} 는 지질층 전역에 대한 지체시간(days), w_{seep} 는 i 일에 토양층 아래로 빠져나가는 수량(mm), $w_{rchr,i-1}$ 는 $i-1$ 일의 대수층 함양량(mm)이다.

주요어 : 지하수 함양, 지체변수, SWAT-K, 직렬 다단 저수지 모형

1) 한국건설기술연구원 수자원연구부 (imchung@kict.re.kr)

2) 한국건설기술연구원 수자원연구부 (nwkim@kict.re.kr)

3) 한국건설기술연구원 수자원연구부 (ljw2961@kict.re.kr)

그런데 이와 같은 지체시간(δ_{gw})을 직접적으로 측정하는 것은 불가능하며, 서로 다른 δ_{gw} 를 사용하여 대수층 함양을 모의하거나, 지하수면의 모의 변화값과 실측값을 비교하여 추정할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 선형저류 방정식을 직렬식 다단 저수지 개념으로 확장시켜 보다 실제적인 시간적 지체를 반영할 수 있는 기법을 개발하였으며, 이를 무심천 유역의 국가지하수 관측망 2개소에 적용하였다. 선형의 단일 저수지 개념 모형은 함양의 시간적 지체를 구현하는데 한계가 있으며, 특히 지하수면이 토양층 하부에 깊이 위치할수록 그 반응시간은 더욱 느려질 수 밖에 없다. 이에 다단저수지 개념을 도입하여 이와 같은 지체현상을 보다 현실적으로 개선함으로써, 지하수 함양의 다양한 시간적 지체현상을 탄력적으로 모의하고자 하였다. 이 기법을 포함한 SWAT-K모형의 적용대상유역은 미호천 최상류부에 위치한 무심천 유역으로 2001년부터 2004년까지 4년간의 모의를 수행하였다. SWAT-K의 입력자료로서 기온, 풍속, 일사량, 강수량 등의 기상자료는 청주기상대 자료를 이용하였으며, 수치지도를 이용하여 100m×100m의 DEM을 구축하였고, 1:25000의 토지이용도와 토지피복도를 이용하였다. 토양의 물성치는 농업과학기술원과, 농업토양정보시스템 등의 자료를 이용하였다. 적용결과 내덕 및 가덕 지하수 관측소가 포함된 소유역에서 계산된 지하수 함양의 시계열은 그림 1과 같고 내덕 및 가덕 지하수 관측소의 지하수위 시계열 자료는 그림 2와 같다.

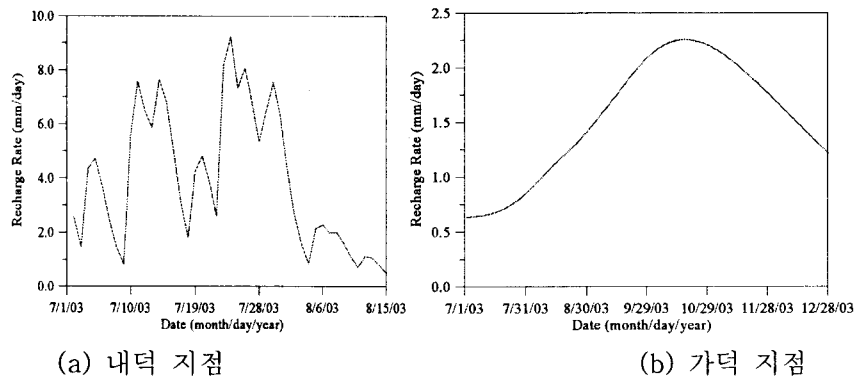


그림 1. 직렬 다단저수지 기법을 이용한 모의 지하수 함양량 시계열

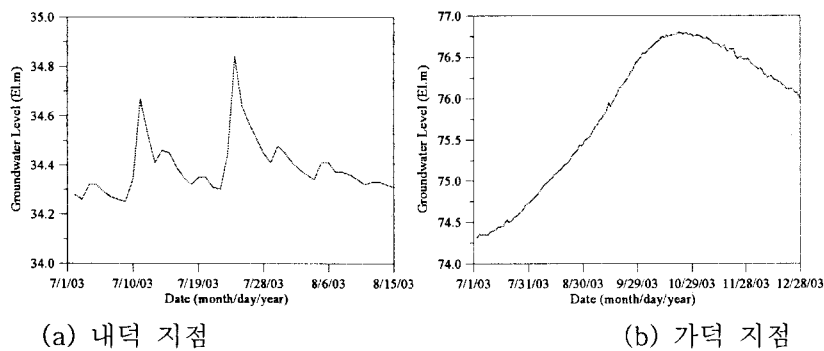


그림 2. 내덕 및 가덕 지하수 관측소의 지하수위 시계열

이와 같이 직렬 다단 저수지 개념을 적용하기 위해서는 지체시간(δ_{gw}) 변수를 다양하게 변화시켜 가면서 지하수위 시계열 자료와 가장 상관성이 높은 경우의 지체변수를 최적값으로 채택해야 한다. 그림 3은 내덕 및 가덕지점 지하수위 시계열과 가장 높은 상관성을 갖는 지체변수를 찾아내기 위한 과정을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 내덕 지점의 경우는

$\exp[-1/\delta_{gw}]$ 값이 약 0.4일 때 상관계수 0.76으로 가장 높은 상관성을 나타냈고, 가덕지점의 경우는 0.97일 때 약 0.99로 매우 높은 상관성을 나타냈다. 이같이 함양의 지체를 나타내는 특성은 관측공별로 매우 상이하게 나타났으며, 특히 관측공이 내덕 관측소와 같이 하천에서 가까운 때와 가덕처럼 상대적으로 내륙에 위치하는 경우 지체양상은 매우 다르게 나타남으로써 이 매개변수는 소유역의 함양특성을 나타내는 주요인자임을 확인할 수 있었다.

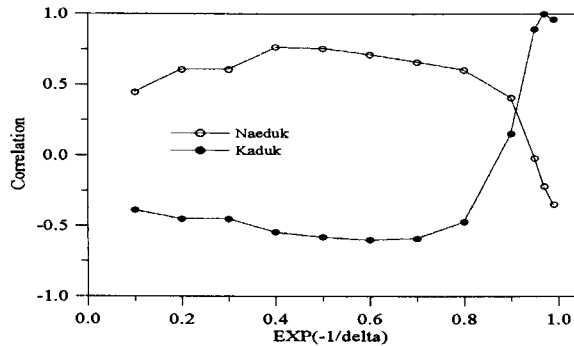


그림 3. 다단 저수지 개념모형에 의한 지체변수와 지하수위의 상관관계

3. 결 론

지하수 함양을 수문학적 과정으로 분석함에 있어서 중요한 요소는 함양량의 시변(time dependent)특성이라고 할 수 있으나 지금까지 우리나라에서는 이같은 요소를 중요하게 다루기 보다는 지하수 함양량을 산정할 때 연평균값 혹은 유역대표값으로 결정해 왔다. 그러나 효율적인 지하수 관리를 위해서는 대수층으로의 입력 인자인 계절별, 월별 지하수 함양특성을 고려하여 효과적인 관리전략을 수립하는 것이 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 물리적기반의 수문성분 해석모형인 SWAT-K모형의 함양량 지체시간 결정시 사용되는 선형 저수지 모형을 직렬 다단 저수지 모형으로 개선하여 함양의 시변성을 보다 현실화 시키는 한편, 실제 지하수위 시계열자료와 합리적인 상관성을 도출함으로써 그 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 기법은 보다 다양한 유역에 적용함으로써 일반화될 수 있을 것으로 판단되며, 이때 국가 지하수 관측망의 시계열 자료는 필수적인 자료로 활용될 것이다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 2단계 연구사업(과제번호 2-2-2)과 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원이 위탁시행한 2005년도 건설기술기반구축사업(05기반구축A03-01)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김남원 (2007). 지표수 수문성분 해석 시스템 개발, 과기부 프론티어 연구사업 2단계 연구 보고서, 과학기술부, 418p.
- Arnold, J. G., Allen, P. M. and Bernhardt, G. (1993). A comprehensive surface-groundwater flow model, *Journal of Hydrology*. Vol. 142, pp.47-69.