시군구단위의 지하수 개발가능량 산정방안

Method of estimating potential amount of groundwater development by administrative district

정일문*, 유상연**,이정우***,김남원****

Il Moon Chung, Sang Yeon Yoo, Jeongwoo Lee, Nam Won Kim

요 지

우리나라 지하수 관리 정책의 기조는 지속가능한 미래 청정 지하수의 체계적인 보전 및 관리 기반을 강화하는 것이다. 이를 위해 지하수의 지속적인 조사, 관측 및 체계적인 개발, 이용이 이루어지도록 추진중에 있다. 한편, 현재 우리나라의 지하수 개발가능량은 10년빈도 갈수시 소유역의 연간 함양량으로 정하고 있으며 이와 같은 기준은 1996년 지하수 관리 기본계획시 정해진 기준이다. 현재 우리나라의 지하수 함양량 산정은 기저유출분리법, 물수지 분석법, 지하수위 강하곡선법, 분포형 수문모형기법 중 한 가지를 사용하도록 기초조사 지침에 명기되어 있으며 함양량으로부터 개발가능량을 추론하고 있는 실정이다. 그러나 대부분의 결과는 주로 유역 규모의 연단위 대표 함양량을 추정하는 데 주안점을 두고 있어 개정지하수법 6조 2항에 의해 시군구 단위에서 수행하는 지역 지하수 관리 계획 수립과 같은 세부계획에는 활용이 어려운 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 분포형 지표수-지하수 결합모형인 SWAT-MODFLOW 모형을 이용하여 10년 빈도 갈수년에 해당하는 함양량으로부터 시군구별 개발가능량을 산정하고 이를 지역의 이용수량과 비교하여 과부족을 평가할 수 있는 방안을 제시하였다.

핵심용어 : 분포형 함양량, 10년빈도 갈수년, 개발가능량, SWAT-MODFLOW

1. 서 론

지하수는 물 공급의 측면에 있어 지표수에 비해 안정적인 성격과 양질의 수자원으로써 개발의 효용성이 크다. 따라서 증가하는 물의 수요에 대처하기 위한 방안으로 지하수 개발이 필요한 실정이다. 지하수 관리에 있어서 대수층의 자연함양량에 대한 지식은 개발가능량을 추정하는 근거가 된다. 지하수체로 함양되는 함양원은 대부분이 강수이며 지하수체로 부터의 유출은 대부분 함양에 기인한 기저유출에 있다. 그러나 함양 과정 자체가 매우 복잡한 과정으로 강우의 빈도, 강도, 지속시간 뿐 아니라 온도, 습도, 풍속과 지하수위 상부에 존재하는 토양 및 암반층의 특성과 깊이, 지형과 식생분포 및 토지이용과도 관련이 있다(Memon, 1995). 따라서 지역의 개발가능량을 산정하기 위해서는 기본적으로 유역내 지하수 함양량을 정확히 예측하고 파악하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 정일문 등(2007)에서 제시된 시공간적 변동성을 고려한 지하수 함양량 추정 방안을 근거로 지하수 함양량을 보다 정확히 예측하고 10년 빈도 갈수년에 해당하는 함양량으로부터 지역별 개발가능량을 산정하였다.

* 정회원・한국건설기술연구원 수문연구실・E-mail : imchung@kict.re.kr
** 정회원・한국건설기술연구원 수문연구실・E-mail : syyoo77@kict.re.kr
*** 정회원・한국건설기술연구원 수문연구실・E-mail : ljw2961@kict.re.kr
**** 정회원・한국건설기술연구원 수문연구실・E-mail : nwkim@kict.re.kr

2. SWAT-MODFLOW모형을 이용한 지하수 개발가능량 산정

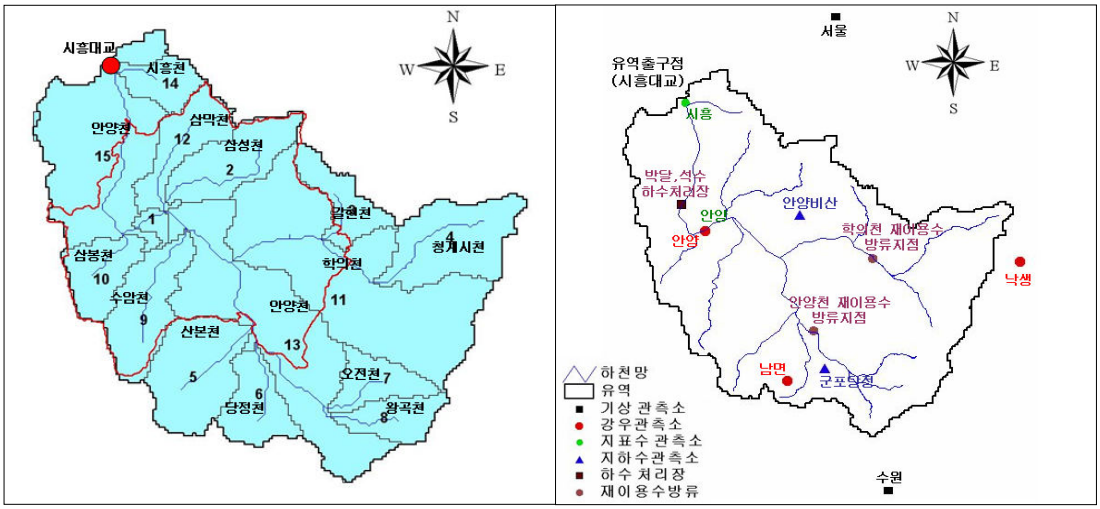
본 연구에서는 지역의 지하수 개발가능량을 산정하기 위하여 분포형 지하수-지표수 결합모형인 SWAT-MODFLOW을 이용하여 유역별 함양량을 산정하였다. SWAT-MODFLOW모형은 SWAT의 지하수 성분을 MODFLOW로 대체시킨 것으로서, MODFLOW가 SWAT내에서 호출되는 형식으로 결합되었으며 일별 함양량의 공간적 분포를 SWAT모형으로부터 추출하여 MODFLOW모형에 입력시키고, 하천과 대수층의 상호작용을 모의하기 위해 MODFLOW의 하천(river)패키지를 사용하였다(김남원 등, 2004a,b).

SWAT모형은 상대적으로 느린 흐름인 지하수 흐름해석에 문제점을 가지고 있으며, MODFLOW는 지하수 흐름 해석을 제외한 나머지 물 순환성분에 대한 해석방법이 포함되어 있지 않아 주요 입력자료인 지하수 함양량의 결정에 어려움이 많다. 따라서 두 모형간의 장점은 유지하면서 단점을 상호 보완한다면 수문순환성분을 요소별로 정량화시킬 수 있을 것이다. 이를 위해 SWAT에서 HRU별로 발생하는 지하수 함양량을 MODFLOW의 입력자료로 이용하여 지하수 흐름을 산정하고 지하수 유출량을 다시 SWAT으로 교환하여 유역의 시·공간 특성을 적절히 반영하였다.

SWAT-MODFLOW 모형에서 격자별 함양량을 값을 산정하고 SWAT-MODFLOW 모형의 격자를 지역 경계와 중첩시켜 하나의 지역경계에 속하는 격자들에 동일 속성을 부여하는 방식으로 격자별 함양량을 지역 경계에 맞게 분포시켰다. 이를 통해 10년 빈도 강수량에 해당하는 함양량으로부터 개발가능량을 산정하였다.

3. 모형의 적용

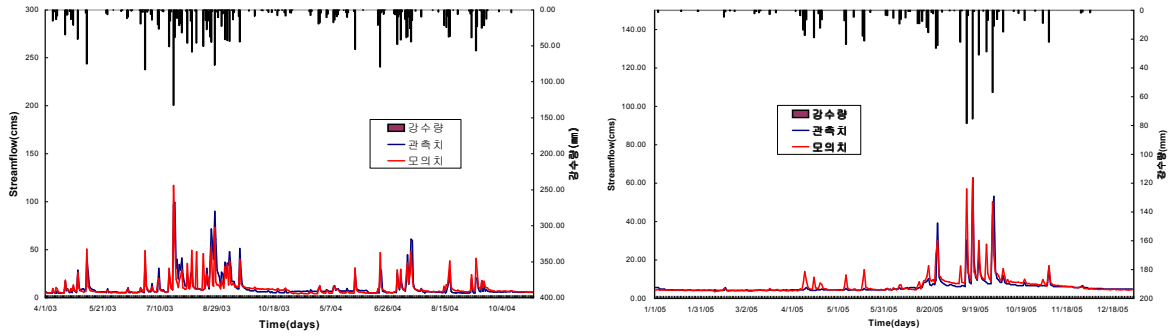
지하수 개발가능량을 산정하기 위해 도시 지역인 안양시를 포함하는 중규모 유역인 안양천 중상류 유역에 대한 SWAT-MODFLOW모델링을 실시하였다. 연구 대상지역은 시흥대교 부근인 시흥수위 관측소를 유역 출구점으로 하고 안양시경계를 포함하는 유역면적 140.72㎢, 주 하도연장은 56km인 지역이다(그림 1a). 또한 지표수 모의를 위해 기상, 강우, 지표수 및 하수 유량 자료 등을 이용하였으며, 지하수 모의를 위해 국가 지하수 관측망 자료를 이용하였다(그림 1b)



a) 소유역 경계 b) 안양시 동별 경계

그림 1 연구대상지역 유역 및 동별 경계

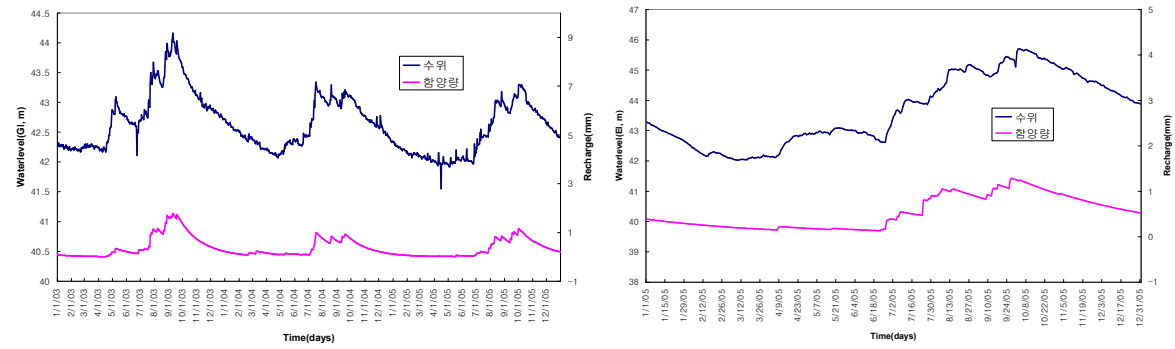
SWAT-MODFLOW를 이용하여 모의된 하천 유출량, 함양량 보정 및 검증 과정을 통하여 모델링 결과의 타당성을 입증하였다. 하천 유출량과 지하수위의 검증을 위해서 관측 자료와의 비교를 수행하였으며, 함양량은 현장 관측 자료가 전무하여 관측치와 모의치간의 직접적인 비교가 불가능하므로 모의 함양량과 관측 지하수위와의 상관관계를 분석함으로써 간접적으로 검증 과정을 수행하였다. 2003~2004년의 기간을 보정기간으로 활용하였으며 관측자료가 없는 1-3월과 11-12월의 갈수 기간은 보정과정에서 제외하였고 결정계수는 0.69정도로 적합했다(그림 2a)). 모형의 보정과정을 통해 보정된 매개변수를 입력하여, 2005년에 대한 모형의 검증을 시도하였으며 결정계수는 0.74로 비교적 양호하게 산정되었다(그림 2b)).



a) 유출량 보정 b) 유출량 검정

그림 2 총 유출량의 검토

지표수와 지하수 함양의 정확한 추정을 위해 본 연구에서는 다단 저수지 저류 추적 모듈의 매개변수인 지체시간 변수에 대한 검정을 수행하였다. 이 변수를 변화시키면서 함양량의 시계열과 지하수위의 시계열의 상관관계가 최대로 될 때의 매개변수를 최적값으로 선정하였다. 이를 위해 유역내 2개소의 국가 지하수 관측망 자료를 사용하였다. 2개 관측소에 대해 상관계수가 최적 매개변수를 적용하였을 때 각 함양의 시계열과 지하수위의 시계열을 비교한 결과 상관계수는 0.94~0.95정도로 나타났다(그림 3a),b)). 이와 같은 그림은 함양이 지하수위에 실질적으로 기여했는지의 여부를 명확하게 나타내는 결과이다.

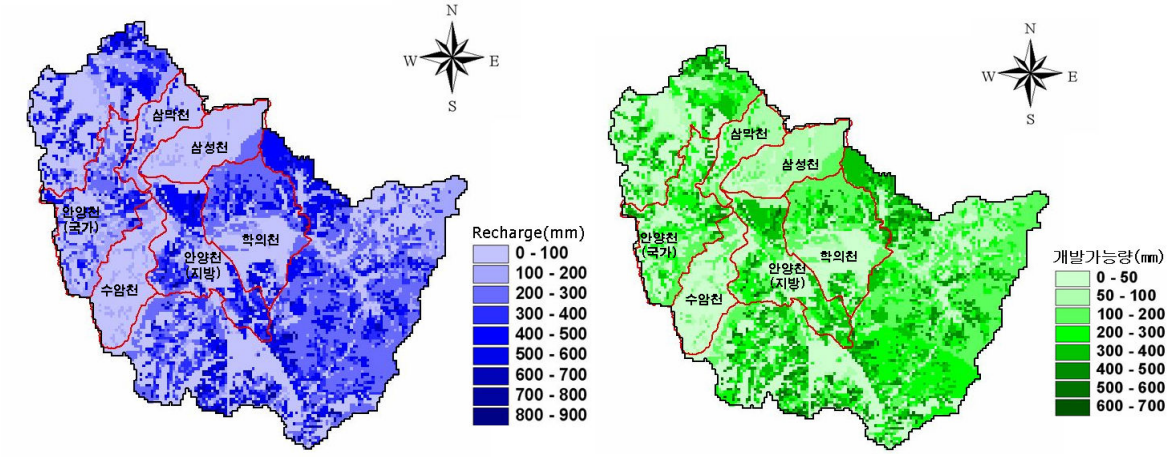


a)군포당정 지하수 관측소 b)안양비산 지하수 관측소

그림 3 관측지하수위와 모의함양량의 시계열 비교

SWAT-MODFLOW모형은 함양량의 시간적 변동성과 함께 HRU(수문응답단위)별 함양량의

공간적 변동성도 고려할 수 있다. 이에 따라 조사지역내 소유역을 모두 포함한 안양천유역에 대해 2003~2006년의 연평균 함양량의 공간분포를 그림 4a)에 나타냈다. 함양량의 경우 유역의 토지이용 및 토양특성, 경사등에 따라 매우 비균질하게 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 지하수 개발가능량은 10년빈도 갈수시 소유역의 연간 함양량으로 정하고 있으며 이를 토대로 개발가능량을 산정해 보았다. 강우량 자료는 안양, 남면, 낙생 강우관측소의 자료가 유역에 적용되었으며 안양관측소의 평균 강우량은 1,302mm이고 10년 빈도 최저 강우량의 경우 968mm, 남면과 낙생 강우관측소의 평균 강우량은 1,341mm이고 10년 빈도 최저 강우량은 1,058mm으로 나타났다. 이를 바탕으로 개발가능량을 산정하였고 개발가능량의 유역별 값과 공간분포는 그림 4b)와 같다.



a) 연평균 함양량 b)연평균 개발가능량

그림 4 대상유역의 함양량 및 개발가능량 공간분포 (2003-2006년)

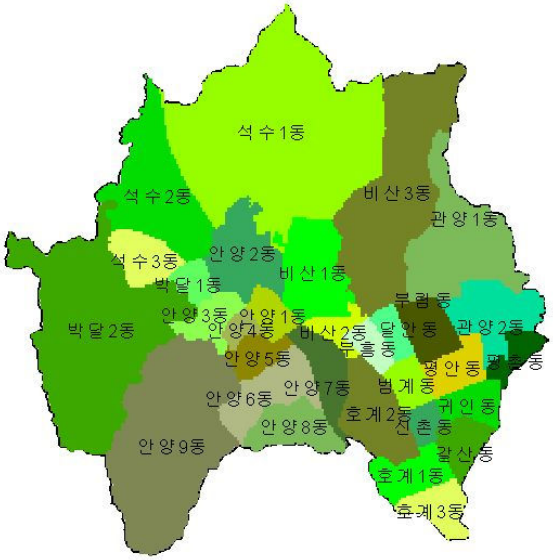


그림 5 안양시 동별 경계

시군구 단위에서 수행하는 지역 지하수 관리 계획 수립과 같은 세부계획에는 활용하기 위하여 개발가능량을 행정구역 단위로 산정하였다. 대상지역인 안양시는 총 31개동으로 구획되어 있고 총 면적은 58.52㎢이다(그림 5). 다음 표 1은 동별 수자원량 및 개발가능량에 대해 나타낸 것이다.

표 4.9 안양시 동별 수자원량 현황 및 개발가능량

유역명		유역면적 (㎢)	함양량 (10^3 ㎥/년)	개발가능량 (10^3 ㎥/년)	유역명		유역면적 (㎢)	함양량 (10^3 ㎥/년)	개발가능량 (10^3 ㎥/년)
총계		58.52	15,018	11,283	총계		58.52	15,018	11,283
순서	동명				순서	동명			
1	갈산동	0.76	292	218	17	신촌동	0.40	175	128
2	관양1동	3.22	1,177	922	18	안양1동	0.58	123	88
3	관양2동	1.65	369	284	19	안양2동	1.78	558	423
4	귀인동	0.72	194	146	20	안양3동	0.72	135	96
5	달안동	0.44	138	102	21	안양4동	0.31	87	61
6	박달1동	0.46	217	157	22	안양5동	0.64	223	165
7	박달2동	7.47	2,290	1,698	23	안양6동	1.44	471	355
8	범계동	0.58	115	83	24	안양7동	1.04	154	113
9	부림동	0.95	215	163	25	안양8동	1.18	503	380
10	부흥동	0.49	133	98	26	안양9동	6.40	660	487
11	비산1동	1.95	902	686	27	평안동	0.83	175	131
12	비산2동	0.47	179	131	28	평촌동	0.53	188	142
13	비산3동	5.49	1,351	1,059	29	호계1동	0.95	338	254
14	석수1동	10.34	1,604	1,188	30	호계2동	1.73	449	339
15	석수2동	3.19	866	640	31	호계3동	0.83	369	278
16	석수3동	0.96	368	270					

5. 결론

본 연구에서는 분포형 지표수-지하수 결합모형인 SWAT-MODFLOW 모형을 이용하여 유역별 함양량의 공간분포와 시군구별 개발가능량을 산정하였다. 안양시 31개 동에 대한 함양량과 개발가능량의 살펴본 결과 총 수자원량 대비 함양량의 경우 8~36%, 개발가능량의 경우 6~26%까지 동별로 다양한 편차를 보여주었다. 이를 통해 함양량의 공간분포가 유역의 토지이용 및 토양특성, 경사등에 따라 매우 비균질하게 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 개발가능량을 각 지역의 실제 이용수량과 비교하여 과부족을 판단하고 추후 시군군 단위의 지역 지하수 관리 기본 계획등에 반영하여 실질적으로 개발할 수 있는 지하수를 평가하는 방안을 제시할 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김남원, 정일문, 원유승 (2004a). "완전 연동형 SWAT- MODFLOW 결합모형, (Ⅰ) 모형의 개발" 한국수자원학회 논문집, 제37권 제6호, pp. 499-507.

2. 김남원, 정일문, 원유승 (2004b). "완전 연동형 SWAT- MODFLOW 결합모형, (Ⅱ) 모형의 적용" 한국수자원학회 논문집, 제37권 제6호, pp. 509-515.

3. 정일문, 김남원, 이정우 (2007). "유역 유출과정과 지하수위 변동을 고려한 분포형 지하수 함양량 산정방안" 한국지하수토양환경학회지, 제 12권 제 5호, pp. 19-32.

4. Memon, B. A. (1995). "Quantitative analysis of springs." Environmental Geology, Vol. 26, 111-120.