

농촌 소유역의 지하수 지속가능개발량 평가

Evaluation of Sustainable Yield for a Small Rural Watershed

박기중* / 정상옥**

Park, Ki Jung / Chung, Sang Ok

Abstract

An experimental watershed was selected and sustainable yield was evaluated. The study area(3.89 km²) was located in Kyungpook Sangju Yangchon-dong. The visual MODFLOW was verified by comparing the observed and estimated groundwater table. The analysis of the observed and estimated groundwater table from 19 March 2003 to 18 March 2004 showed that the average error was 0.0009 m, the error sum of squares 7.245 m², absolute mean error 0.094 m, root mean square error 0.141 m, and the model efficiency was 92%. The normal, 10- and 30- year drought frequency years were selected and sustainable yield was evaluated in these periods. Ratios of sustainable yield to the annual infiltration were 14.5% for the normal year(1992), 15.1% for the 10-year(1994), and 15.2% for the 30-year drought frequency year(1982). The results of this study can be used as a basic information for groundwater development and management planning considering regional characteristics.

Keywords : sustainable yield, MODFLOW model, drought frequency, infiltration

요 지

실제유역을 선정하여 지속가능개발량을 평가하였다. 시험유역은 경북 상주시 양촌리 일대(3.89 km²)이며, 관측수위와 모형 추정수위를 분석함으로써 visual MODFLOW 모형을 검증하였다. 2003년 3월 19일부터 2004년 3월 18일까지 모형 추정수위와 관측수위를 분석한 결과, 잔차의 평균은 0.0009 m, 잔차 제곱합은 7.245 m², 절대평균오차는 0.094 m, 제곱근오차는 0.141 m 였으며, 모형의 효율은 92%로 나타났다. 강우자료를 분석하여 평년, 10년, 30년 빈도 한발년을 선정하고, 이들에 대한 지속가능개발량을 평가하였다. 시험유역 침투량에 대한 지속가능개발량의 비는 평년 빈도 한발년(1992)은 14.5%, 10년 빈도 한발년(1994)은 15.1%, 30년 빈도 한발년(1982)은 15.2%로 각각 나타났다. 본 연구결과는 지역특성을 고려한 지하수 개발 및 관리계획 수립을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 지속가능개발량, MODFLOW 모형, 한발 빈도, 침투량

1. 서 론

수자원장기종합계획(건교부, 2001)에 따르면 전국 용수 수요는 꾸준히 증가하여 2020년에는 약 11.9억 m³/year의 용수 부족이 예측되고 지표수자원 개발이 한

계에 도달함으로써 수자원 이용에 대한 경쟁이 심화될 것으로 전망하였다. 이에 대한 대안으로 안정적인 수자원 공급을 위하여 지하수자원의 개발을 제시하였다. 그러나 지하수자원은 수문 순환의 한 축을 이루는 중요성 뿐만 아니라 지표수와 비교하여 많은 장점을 가지고 있

* 경북대학교 농업토목공학과 박사수료

Ph.D. Candidate, Dept. of Agricultural Civil Engrg., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea
(E-mail : yurang@hanmail.net)

** 경북대학교 농업토목공학과 교수

Professor, Dept. of Agricultural Civil Engrg., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea
(E-mail : sochung@knu.ac.kr)

음에도 불구하고 과소평가됨으로써 합리적이며 체계적인 개발과 관리가 이루어지지 않고 있다. 특히 지역 특성을 고려하지 않은 무분별한 지하수 개발은 지하수의 고갈 및 해수 침입 등과 같은 지하수 장애를 발생시켰다.

건교부는 이러한 현안에 대하여 지하수법뿐만 아니라 타법에 의한 지하수 관리를 통합하는 법정계획으로서 지하수 개발·관리에 관한 국가의 정책방향을 담고 있는 지하수에 관한 우리나라 최상위 계획인 『지하수 관리 기본계획』(2002)을 수립함으로써 종합적인 지하수 관리체계를 구축하였다. 기존의 우리나라 전체 또는 대규모 유역을 대상으로 하는 광역적인 지하수 지속가능개발량 평가와 연계하여 2001년에 개정된 지하수법 제6조의 2항에 근거한 강우분포, 토지이용현황 및 대수층 특성 등의 다양한 자연적, 인위적인 여건에 따라 부존 및 산출 양상에 영향을 받는 지하수자원의 특성을 고려한 『지역지하수관리계획』을 지자체별로 수립·시행토록 규정함으로써 지역특성을 고려한 현실적이며 합리적인 개발과 관리를 도모하였다.

지역적인 의미의 지하수 함양량 및 지속가능개발량 평가와 관련한 국내·외 연구를 살펴보면, 최병수와 안중기(1997)는 지하수 이용계획 수립 또는 지하수 환경영향 평가 등에 대하여 세부단위의 소유역별 지하수 함양량 평가의 필요성을 주장하였다. 최병수와 안중기(1998)는 전국 22개 소유역에 대하여 SCS-CN 방법, 지하수위 강하곡선법 등을 이용하여 함양량을 추정하였다. 박재성 등(1999)은 충북 청원군 초정리 일원의 소유역에 대하여 물수지방법, 유출수문곡선 분석법, SCS-CN 방법 및 지하수위 강하곡선법을 적용하여 지하수 함양량을 산정하였다. 정영훈과 김경호(2000)는 청원군 미원면 일원의 지하수 함양량을 SCS-CN 방법에 의해 추정하였다. 김형수와 원이정(2001)은 금강유역 용담, 공주, 규암 지역의 지하수 개발가능량을 기저유출 분리방식으로 산정하였다. 정상욱(2004)은 일본 쿠슈지방 구마모토지역의 논 면적 감소로 인한 지하수위 저하 및 대책과 관련한 연구사례를 소개함으로써 유역 특성을 고려한 지하수 계획수립의 필요성에 대하여 발표하였다.

국외 연구로는 Meinzer(1920)는 지하수 함양량을 산정하는 방법으로 intake 방법, discharge 방법, water table 방법 및 underflow 방법을 제시하고, 지하수 함양량을 지하수 안전채수량으로 제안하였다. Freeze(1971)는 3차원 비포화-포화 부정류 흐름 방정식을 적용하여 양수량의 증가에 따른 함양량 및 지하수 유출량의 반응을 시뮬레이션하여 유역의 최대안전채수량을 산출하는 방법을 제안하였다. Welby(1984)는 미국 North Carolina주 Wake County 지역 소유역의 지하수 개발 가능성을 평

가하기 위하여 미계측 하천의 갈수량을 추정함으로써 지하수 안전채수량을 평가하였다. He(1999)는 장기간에 걸쳐서 지하수 유입과 유출이 평형을 이룬다는 가정하에 지하수 개발량을 물수지 방정식에 기초하여 추정하였으며, 미국 Saginaw Bay 유역에서 관개용수 공급을 위한 지하수 개발량을 결정하였다.

본 연구에서는 실제 유역을 선정, 지하수위를 관측하였으며, 유역특성 자료를 MODFLOW 모형에 적용하여 시험기간에 대한 지하수 거동을 시뮬레이션 하였다. 관측한 지하수위와 모형 추정수위와의 비교를 통하여 모형을 검증하였으며, 평년 빈도 한발년, 이수 안정측면에서 수자원시스템 설계에 사용하는 10년 빈도 한발년 및 수자원 계획의 목표수준인 30년 빈도 한발년에 대하여 시험유역 지하수 지속가능개발량을 추정하였다. 본 연구결과는 지역 특성을 고려한 지하수 관리계획 수립을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

2. 물수지식

지하수 물수지는 강우, 침투, 함양, 지표유출, 기저유출 등으로 구성된다. 침투란 물이 지표면을 통하여 토양 속으로 유입하는 것이며, 함양이란 이러한 침투수가 지하수위에 도달하는 것이다(Freeze와 Cherry, 1979). 지하수 개발량 관련 용어는 안전채수량(safe yield), 지속가능개발량(sustainable yield or perennial yield), 적정개발량(optimal yield) 등이 있다. 안전채수량이란 연간 함양량에서 자연배수는 무시하고 지하수량 고갈, 지반 침하, 지하수질 오염 및 해수 침입 등의 「undesirable results」를 발생시키지 않고 양수 할 수 있는 양이며(Domenico, 1972), 지속가능개발량이란 장기간에 걸쳐 지하수 장애를 발생시키지 않고 양수할 수 있는 양이다(Todd, 1980). 적정개발량이란 사회-경제적인 목적에 가장 적합한 지하수 개발량이다(Freeze와 Cherry, 1979).

지하수량 평가를 위한 농촌 유역의 수문순환과정은 Fig. 1과 같다. 물수지식은 Eqn. (1)과 같이 강우량과 타수역으로부터의 지표수 유입량의 합은 지표유출량, 중간유출량, 기저유출량, 저류량의 변화량 및 증발산량의 합으로 표현할 수 있다.

$$Precipitation + Channel\ inflow = Direct\ runoff + Interflow \pm Base\ flow + \Delta Sus + \Delta Sg + ET \quad (1)$$

$$ET = ETa + ETs + ETus + ETg \quad (2)$$

여기서, Channel inflow는 타수역에서의 지표수 유입량, ΔSus 는 불포화영역에서 저류량의 변화량, ΔSg 는

포화영역에서 저류량의 변화량, ETa 는 대기중의 증발산량, ETs 는 지표면에서 증발산량, $ETus$ 는 불포화영역의 증발산량, ETg 는 포화영역의 증발산량을 나타낸다.

함양량은 Eqn. (1)에서 기저유출량, 포화영역 저류량의 변화량 및 포화영역 증발산량의 합으로 볼 수 있으며, Eqn. (1)을 함양량에 대하여 정리하면 Eqn. (3)과 같다.

$$\begin{aligned} Recharge &= \pm Base\ flow + \Delta Sg + ETg \\ &= Precipitation + Channel\ inflow - Direct\ runoff - Interflow + \Delta Sus - (ET - ETg) \end{aligned} \quad (3)$$

Eqn. (3)에서 타수역에서의 지표수 유입이 없고 지하수가 개발되지 않은 경우에는 장기간에 걸쳐서 지하수 유입과 유출이 평형을 이루는 정상상태에 도달하므로 저류량의 변화는 없을 것이다. 따라서 정상상태 물수지 방정식은 Eqn. (4)와 같이 간단히 나타낼 수 있으며 (Freeze와 Cherry, 1979), 일반적으로 광역적인 의미의 지하수 함양량 산정시 이용한다.

$$Recharge = Precipitation - Direct\ runoff - ET \quad (4)$$

그러나 농촌 소유역에서는 함양과 배수가 수시로 변화하는 비정상상태이고 지표수 유입량이 있으므로 Eqn. (4)를 적용하기가 어렵다. 또한 Eqn. (3)에서 우변의 중간유출량, 불포화영역 저류량의 변화량 및 포화영역 증발산량의 추정은 현실적으로 매우 어렵다.

따라서 본 고에서는 침투량을 강우량과 타수역에서의 지표수 유입량의 합에서 직접유출량을 뺀 Eqn. (5)와 같이 나타내었으며, 이를 Eqn. (1)에 대입하여 지하수 물수지식 Eqn. (6)을 유도하였다.

$$Infiltration = Precipitation + Channel\ inflow - Direct\ runoff \quad (5)$$

$$Infiltration + Base\ inflow = Interflow + Base\ outflow + Qwell + \Delta S + ET \quad (6)$$

Eqn. (6)에서, $Base\ inflow$ 는 하천에서 대수층으로 유입량, $Interflow$ 와 $Base\ outflow$ 의 합은 대수층에서 하천으로 유출량, $Qwell$ 은 우물 양수량, ΔS 는 저류량의 변화량을 나타낸다.

본 고에서는 visual MODFLOW 모형의 입력자료로 Eqn. (5)로 구한 침투량과 하천, 우물 및 증발산 등의 패키지와 함께 시험유역 지하수 거동을 시뮬레이션 하였다.

3. 시험유역

시험유역은 부족한 지표수자원을 보완하기 위하여 생활용 및 일부 농업용으로 지하수를 연계 운영하고 있는 지역을 선정하였으며, 시험기간은 지하수위를 관측한 2003년 3월 19일부터 2004년 3월 18일까지와 1973~2002년까지 강우자료에 대한 빈도분석을 통하여 평년, 10년 및 30년 빈도 한발년인 1992년, 1994년 및 1982년을 선정하였다.

시험유역은 경북 상주시 신흥동 양촌리 일대(Fig. 2)로, 생활용수 및 밭과 과수원, 그리고 일부 논의 용수원으로 지하수를 이용하고 있다. 유역내 평야부의 경사도는 동서방향 1/200 ~ 1/300, 남북방향 1/300 ~ 1/400 정도이며, 갑장산, 남산, 원장산, 묘산 등으로 둘러싸여 있는 남동쪽 산지부의 경사는 1/4 정도이다. 북서쪽으로는 병성천이 유역에 연하여 흐르며, 지표수와 지하수의 경계를 이루고 있다. 유역의 크기는 길이 3.12 km, 폭 1.25 km로 유역면적은 약 3.89 km²이다.

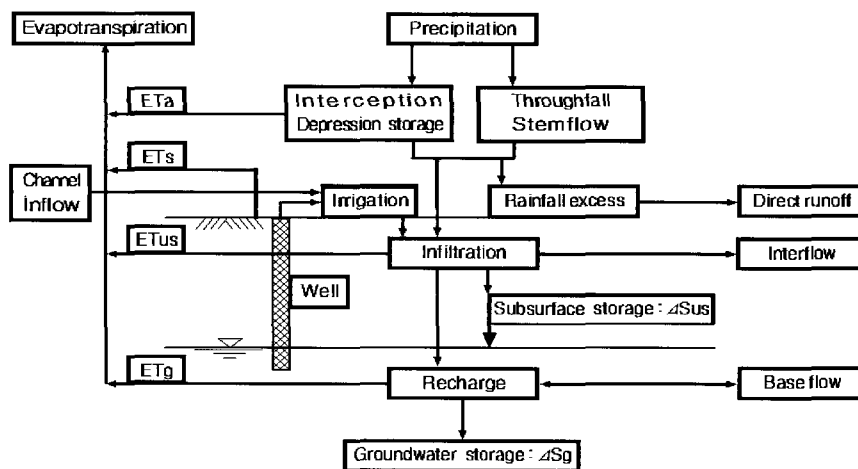


Fig. 1. Schematic diagram of the Hydrologic Cycle



Fig. 2. Map of experimental watershed

시험유역의 토지이용은 전체면적의 52%를 임야가 차지하며, 논 23%, 과수원 11%, 밭 10%, 그리고 대지 4%의 순으로 나타났다. 시험유역의 토성분석은 논 2개 지점, 밭 1개 지점, 과수원 1개 지점 및 임야 1개 지점에 대하여 하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

시험유역은 대륙성 기후를 나타내며, 연평균 기온은 11.7 °C, 연평균 풍속은 1.5 m/s 이다. Table 2는 평년 빈도 한발년인 1992 년과 10년 빈도 한발년인 1994 년, 30년 빈도 한발년인 1982 년, 그리고 2003 년 3 월 19 일부터 2004 년 3 월 18 일까지의 월별 강우량을 나타낸다.

시험유역의 직접유출량은 1960 년대 미국 농무성 토

양보전국(SCS)에서 선행토양수분상태 및 수문학적 토양균별 유출곡선지수(CN)와 최대잠재저류량(S) 및 강우와의 관계를 구명함으로써 개발한 미계측유역의 유출량 추정에 이용하는 SCS-CN 방법을 이용하여 산정하였다(SCS, 1971).

직접유출은 초기손실량을 초과한 강우량에 의해 발생하는 것이므로 초기손실량보다 적은 강우에 대해서는 직접유출이 발생하지 않으며, 초기손실보다 큰 강우에 대해서는 Eqn. (7)을 이용하여 지표유출량(Q, mm)을 계산하였다.

$$Q = \frac{(P - 0.2 \times S)^2}{P + 0.8 \times S} \quad (P > Ia) \quad (7)$$

침투량은 크게 지표수를 용수원으로 하는 논 지대와 지하수를 이용하는 기타 지역으로 나누어 적용하였다. 시험유역 논에는 낙동강에서 도수해온 지표수를 공급하며, 재배기간 논 담수심에 의한 침투량은 침투계를 이용하여 관측한 0.004 m/day를 적용하였다. 비재배기 논 및 기타 지역은 강수량에서 직접유출량을 뺀 나머지를 침투량으로 하였다.

증발산량의 산정은 Allen(Utah State University, 1991)이 개발한 REF-ET v2.15를 이용하였으며, 논에 대해서는 수정 Penman 법을, 그밖에는 FAO Penman-Monteith 법을 각각 적용하여 계산한 값에 농촌용수 수요량 조사 종합 보고서(농림부, 1999)의 작물계수를 곱하여 실제 증발산량을 추정하였다.

Table 1. Soil texture of experimental watershed

	Paddy 1	Paddy 2	Upland field	Orchard	Wood
Sand(%)	37.2	28.8	52.8	52.3	36.9
Silt(%)	30.8	31.0	30.2	23.4	45.1
Clay(%)	32.0	40.2	17.0	24.4	18.0
Dry density(g/cm ³)	1.4	1.5	1.7	1.6	1.5
Organic matter(%)	2.1	1.7	2.7	1.6	3.3
Soil texture	clay loam	clay	sandy loam	sandy clay loam	loam

Table 2. Monthly precipitation of experimental periods

(unit : mm)

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1982	9.0	18.1	50.9	21.2	88.2	37.3	163.7	213.6	4.1	12.9	95.1	29.8	743.9
1992	6.0	4.2	37.9	100.0	68.8	42.0	291.8	216.2	200.6	56.1	18.3	42.7	1,084.6
1994	5.8	5.8	37.6	46.5	156.0	145.0	60.0	211.0	1.5	159.0	20.5	9.1	857.8
2003	-	-	3.0	180.3	218.0	196.8	512.0	330.4	240.6	18.3	40.0	16.2	1,755.6
2004	6.5	23.2	29.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58.8

시험유역은 자유 대수층으로, 평균 대수층의 두께는 약 10 m로서 양수시험을 통하여 조사한 수리상수는 투수계수 1.28×10^{-5} m/s, 비산출율 0.102, 비저류계수 0.0003 m^{-1} 로 나타났다.

4. 모형의 검증

본 고에서는 시험유역의 지하수 거동을 분석하기 위하여 visual MODFLOW v2.6 (Waterloo Hydrogeologic Inc., 1997)을 이용하였다.

기본적인 입력 자료는 양수량, 대수층 수리상수, 하천수위, 증발산 및 침투량 등이다. 모형에서 증발산량은 지하수면이 증발산 표면(ET surface) 보다 높거나 같은 지점에 위치할 경우 사용자가 지정한 증발산량이 발생하고, 지하수면이 고엽깊이(extinction depth) 이하로 내려가면 지하수면으로부터의 증발산량은 발생하지 않으며, 그 사이에 지하수위가 존재하면 증발산량은 선형적으로 변화한다.

양수량은 2003년 3월 19일부터 2004년 3월 18일까지는 관측한 실제 양수량을 적용하였으며, 지속가능개발량 산정을 위한 1982년과 1992년 및 1994년에는 농업·농촌용수 종합이용계획(농림부, 1999)의 농촌 인구 1인당 수요량인 $0.35 \text{ m}^3/\text{day}$ 와 논용수 수요량인 $0.010 \text{ m}^3/\text{day}$, 그리고 밭용수 수요량인 $0.003 \text{ m}^3/\text{day}$ 를 기본 양수량으로 하여 지하수 고갈 및 관측정의 수위저하가 발생하지 않는 범위 내에서 증감시켜 지속가능개발량을 추정하였다.

지하수위를 관측한 2003년 3월 19일부터 2004년 3월 18일까지 실제 양수량을 적용하여 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 3과 같으며, 시뮬레이션 전 기간에 걸쳐 고

갈 셀은 나타나지 않았다. 관측값과 모형 추정값을 분석한 결과 잔차의 평균은 0.0009 m , 잔차 제곱합은 7.245 m^2 , 절대평균오차는 0.094 m , 제곱근오차는 0.141 m 로 나타났다. 모형 추정값의 정확도를 평가하기 위해 모형의 효율을 Eqn. (8)을 이용하여 구한 결과 92%로 나타났다.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (Xi - Xav)^2 - \sum_{i=1}^n (Xi' - Xi)^2}{\sum_{i=1}^n (Xi - Xav)^2} \quad (8)$$

여기서, Xi 는 모형 추정값, Xi' 는 관측값, Xav 는 모형 추정값의 평균이다.

5. 지속가능개발량

평년, 10년 및 30년 빈도 한발년에 대하여 시험유역 지속가능개발량을 평가하였다. 지속가능개발량은 시뮬레이션 종료 후의 추정 수위가 초기 수위를 회복하고 시뮬레이션 전 기간에 걸쳐 고갈셀이 나타나지 않는 범위내의 양수량으로 하였다.

시험기간의 지하수위 변화는 Fig. 4와 같으며, 모형에 의한 물수지 시뮬레이션 결과는 Table 3과 같다.

시험유역의 지속가능개발량은 평년 빈도 한발년(1992) $502,692 \text{ m}^3/\text{year}$, 10년 빈도 한발년(1994) $409,001 \text{ m}^3/\text{year}$, 30년 빈도 한발년(1982) $402,282 \text{ m}^3/\text{year}$ 로 각각 나타났으며, 침투량에 대한 지속가능개발량의 비는 평년 빈도 한발년 14.5%, 10년 빈도 한발년 15.1%, 30년 빈도 한발년 15.2%로 각각 나타났다. 농업·농촌용수 종합이용계획(농림부, 1999)에 기초로 한 2011년 이후 시험유역의 용수 수요량인 $456,889 \text{ m}^3/\text{year}$ 에 대하여 평년 빈도 한

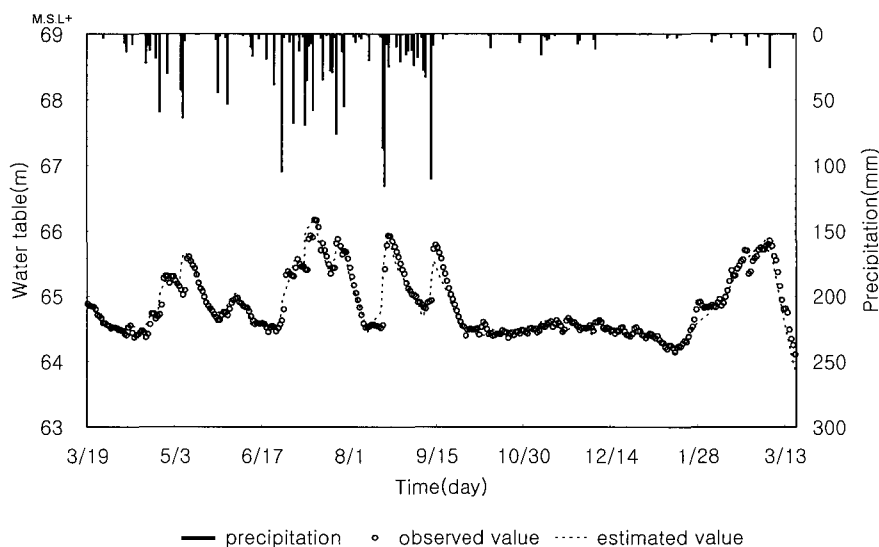


Fig. 3. Comparison of observed and simulated water table (2003.3.19~2004.3.18)

발년에는 용수 수요량을 충족하는 것으로 나타났으며, 10년 빈도 및 30년 빈도 한발년에 대해서는 용수 수요량에서 각각 47,888 m³/year 및 54,607 m³/year이 부족한 것으로 나타났다.

따라서 2011년 이후 10년 빈도 및 30년 빈도 한발

년의 시험유역 부족 수량을 보완하기 위해서는 지표수 개발, 우수 활용시설 도입, 인공함양, 수자원의 합리적 이용 및 질수에 대한 교육 등의 대책을 마련하여야 할 것이다.

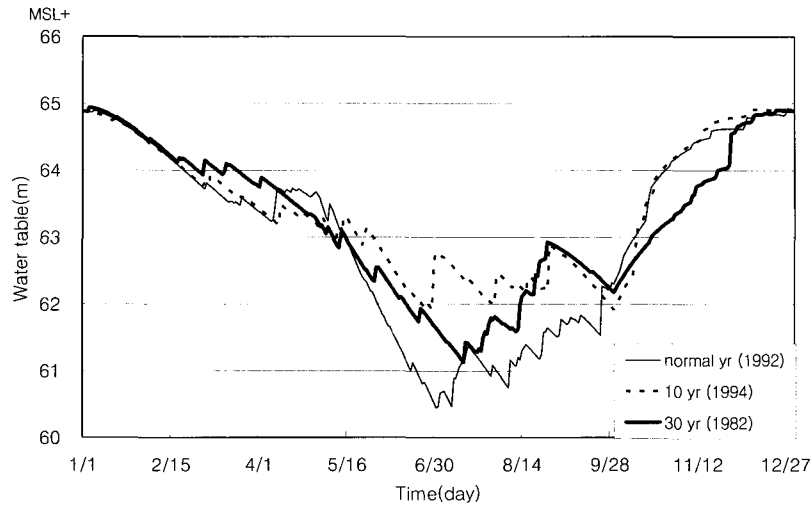


Fig. 4. Fluctuation of groundwater table according to the drought frequency

Table 3. Results of groundwater balance simulation using the visual MODFLOW

Year (Drought Frequency)	Inflow (m ³)		Outflow (m ³)			ΔS (m ³)	Sustainable yield (Qwell/Infiltration)
	Infiltration	River	River	Qwell	ET		
1992(normal yr)	3,475,875	7,541	133,560	502,692	1,309,371	1,537,793	14.5 %
1994(10 yr)	2,712,745	8,877	89,590	409,001	1,507,834	715,197	15.1 %
1982(30 yr)	2,648,874	8,447	88,319	402,282	1,394,727	771,993	15.2 %

6. 요약 및 결론

농촌 소유역의 지하수 이용 특성은 지표수와 연계되어 운영되며, 함양과 배수가 수시로 변화하는 비정상상태이다. 본 고에서는 visual MODFLOW v2.6을 이용하여 시험유역의 지하수 지속가능개발량을 평가하였다.

시험은 지표수와 지하수를 연계 운영하고 있는 실제 유역을 선정하여 수행하였다. 2003년 3월 19일부터 2004년 3월 18일까지 관측한 지하수위와 추정수위를 비교, 모형을 검정하였다. 1973 ~ 2002년까지 강우자료에 대한 빈도분석을 하여 평년과 10년 및 30년 빈도 한발년에 대하여 시험유역 지속가능개발량을 평가하였다.

모형의 입력자료인 침투량은 크게 지표수를 용수원으로 하는 논 지대와 지하수를 이용하는 기타 지역으로 나누어 적용하였다. 실제 증발산량은 REF-ET v2.15를

이용, 논에 대해서는 수정 Penman 법을, 그밖에는 FAO Penman-Monteith 법을 각각 적용하여 계산한 값에 농촌용수 수요량조사 종합보고서의 작물계수를 곱하여 계산하였다.

지하수위를 관측한 2003년 3월 19일부터 2004년 3월 18일까지 실제 양수량을 적용하여 시뮬레이션 한 결과, 시뮬레이션 전 기간에 걸쳐 고갈 셀은 나타나지 않았으며, 모형 추정수위와 관측수위를 분석한 결과 잔차의 평균은 0.0009m, 잔차 제곱합은 7.245 m², 절대평균오차는 0.094m, 제곱근오차는 0.141m로 나타났으며, 모형의 효율은 92%로 나타났다.

시험유역의 지속가능개발량은 평년 빈도 한발년(1992) 502,692 m³/year, 10년 빈도 한발년(1994) 409,001 m³/year, 30년 빈도 한발년(1982) 402,282 m³/year로 각각 나타났으며, 침투량에 대한 지속가능개발량의 비는 평

년 빈도 한발년 14.5%, 10년 빈도 한발년 15.1%, 30년 빈도 한발년 15.2%로 각각 나타났다. 10년 빈도 및 30년 빈도 한발년에는 2011년 이후 시험유역 용수 수요량을 충족시키지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 2011년 이후 10년 빈도 및 30년 빈도 한발년의 시험유역의 부족 수량을 보완하기 위해서는 지표수 개발, 우수 활용시설 도입, 인공함양, 수자원의 합리적 이용 및 절수에 대한 교육 등의 대책을 마련하여야 할 것이다. 본 연구결과는 지역특성을 고려한 합리적인 지하수 관리계획 수립을 위한 기초자료로서 이용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(3-3-1)에 의해 수행되었음.

참고 문헌

건설교통부 (2001). **수자원장기종합계획(Water Vision 2020)**.
 건설교통부 (2002). **지하수관리기본계획**. 건설교통부, pp. 112.
 김형수, 원이정 (2001). “금강 용담, 공주, 규암 수문자료를 이용한 기저유출 분리방식 지하수 개발 가능량 예비 산정.” **한국지하수토양환경학회 추계학술대회 논문집**, 한국지하수토양환경학회, pp. 143-147.
 농림부 (1999). **농업·농촌용수 종합이용계획**. 농림부, 농어촌진흥공사, pp. 104-145.
 농림부 (1999). **농촌용수 수요량조사 종합보고서 : 부록 I**. 농림부, 농어촌진흥공사, pp. 725-728.
 박재성, 김경호, 전민우, 김지수 (1999). “소유역의 지하수 함양을 추정기법.” **한국지하수환경학회지**, 한국지하수환경학회, 제6권, 제2호, pp.76 ~ 86.
 정상욱 (2004). “일본 큐슈 구마모토 지역의 지하수 관리.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제37권, 제2호, pp. 74-81.
 정영훈, 김경호 (2000). “SCS-CN 방법에 의한 미원면의

지하수 함양량 추정.” **충북대학교 건설기술연구소 논문집**, 충북대학교, 제19권, 제2호, pp.181-190.
 최병수, 안중기 (1997). “소유역의 지하수 함양량 산정에서 SCS-CN 방법의 적용.” **농공기술**, 농업기반공사, 제56권, pp. 11-20.
 최병수, 안중기 (1998). “지역단위 지하수 자연함양을 산정방법 연구.” **한국지하수환경학회지**, 한국지하수환경학회, 제5권, 제2호, pp. 57-65.
 Domenico, P.A. (1972). *Concepts and models in groundwater hydrology*. McGraw-Hill, New York.
 Freeze, R.A. (1971). “Three-Dimensional, Transient, Saturated-Unsaturated Flow in a Groundwater Basin.” *Water Resources Research*, Vol. 7, No. 2, pp. 347-366.
 Freeze, R.A., and Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc.
 He, C. (1999). “Use of hydrologic budget and chemical data for groundwater assessment.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 125, No. 4, pp. 234-238.
 Meinzer, O.E. (1920). “Quantitative methods of estimating groundwater supplies.” *Bulletin of the Geological Society of America*, Vol. 31, pp. 329-338.
 SCS (1971). *National Engineering Handbook : Section 4. HYDROLOGY*. USDA, USA.
 Todd, D.K. (1980). *Groundwater Hydrology : Second Edition*. John Wiley Sons.
 Utah State University (1991). *REF-ET : Reference evapotranspiration calculation software*. pp. 40.
 Waterloo Hydrogeologic Inc. (1997). *Visual MODFLOW User's Manual*.
 Welby, C.W. (1984). “Ground water yields and inventory for land-use planning in crystalline rock areas of Wake County, North Carolina.” *Water Resources Bulletin*, Vol. 20, No. 6, pp. 875-882.
 (논문번호:04-43/접수:2004.04.22/심사완료:2004.06.29)