

농촌 소유역에서 지하수 유동 모형의 매개변수 민감도 분석

Sensitivity Analysis of the Groundwater Flow Model Parameters in a Small Rural Watershed

박기중* / 정상옥**
Park, Ki Jung / Chung, Sang Ok

Abstract

The MODFLOW simulated results with varying input parameter values were compared and analyzed. To understand the relative importance of the input parameters, sensitivity analysis was carried out. The amount of sustainable yield was analyzed with respect to the hydraulic conductivity, specific yield, specific storage, aquifer thickness and the distance of the wells from the river. The results of sensitivity analysis showed that inflow from the river and the aquifer storage were sensitive to the specific yield and aquifer thickness. Sustainable yield was sensitive to the hydraulic conductivity and aquifer thickness. The results of this study can be used as a basic information for groundwater development and management plannings considering regional characteristics.

keywords : sensitivity analysis, parameter, MODFLOW, sustainable yield, regional characteristics

요 지

관측한 유역특성 자료와 지하수 유동 매개변수 값을 변화시키면서 MODFLOW 모형으로 시뮬레이션 한 결과를 비교·분석하였으며, 민감도 분석을 통하여 매개변수들의 상대적인 중요성을 파악하였다. 투수계수, 비산출율, 비저류계수, 대수층 두께 및 양수정 위치 등의 다양한 매개변수들에 대한 지속가능개발량 반응을 분석하였다. 매개변수에 대한 민감도 분석 결과, 하천에서 지하수체로 유입하는 량과 저류량은 비산출율과 대수층 두께에 민감하였으며, 지속가능개발량은 투수계수와 대수층 두께에 민감한 것으로 나타났다. 본 연구결과는 지역특성을 고려한 지하수 개발 및 관리계획 수립을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 민감도 분석, 매개변수, MODFLOW, 지속가능개발량, 지역특성

1. 서 론

건교부는 지하수법뿐만 아니라 타법에 의한 지하수 관리를 통합하는 법정계획인 『지하수관리 기본계획』(2002)을 수립함으로써 종합적인 지하수 관리체

를 구축하였다. 특히 기존의 우리나라 전체 또는 대규모 유역을 대상으로 하는 광역적인 지하수 지속가능개발량 평가와 연계하여, 2001년 개정된 지하수법 제 6조의 2 항에 근거한 『지역지하수관리계획』을 지자체별로 수립·시행토록 규정함으로써 지역특성을

* 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)

고려한 현실적이며 합리적인 개발과 관리를 도모하였다. 지역특성을 고려한 지속가능개발량 평가를 위해서는 강우분포, 토지이용현황 및 대수층 특성 등 다양한 자연적, 인위적인 인자들의 정밀한 조사가 필요하다. 그러나 현실적으로 이러한 기초자료들의 조사 및 분석을 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하며, 정확성을 확보하기는 매우 어렵다. 따라서 여러 입력인자들 중 지속가능개발량에 상대적으로 큰 영향을 미치는 매개변수를 알아봄으로써 지속가능개발량 평가의 합리적인 수행이 가능하도록 하여야 할 것이다.

본 연구에서는 시험유역을 선정, 관측한 유역특성 자료를 기본값으로 하여 모형에 적용한 결과와 지하수 유동 매개변수 값의 변동시 시뮬레이션 결과를 비교·분석하였으며, 민감도 분석을 하여 매개변수들의 상대적인 중요성을 파악하였다. 본 연구결과는 지역특성을 고려한 지하수 개발 및 관리계획 수립을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

2. 시험유역

본 연구의 시험유역은 경북 상주시 신흥동 양촌리 일대(그림 1)로, 생활용수 및 밭과 과수원, 그리고 일부 논농의 용수원으로 지하수를 이용하고 있다. 유역의 크기는 길이 3.12 km, 폭 1.25 km로 유역면적은 약 3.89 km²이며, 토지이용은 전체면적의 52%를 임야가 차지하며, 논 23%, 과수원 11%, 밭 10%, 그리고 대지 4%의 순으로 나타났다.

시험기간은 1973 ~ 2002년까지 강우자료에 대한 빈도분석을 통하여 평년, 10년 및 30년 빈도 한발년인 1992년, 1994년 및 1982년을 선정하였다. 표 1은 시험기간의 월별 강우량을 나타낸다.

시험유역은 자유 대수층으로, 평균 대수층의 두께는 약 10 m로서 양수시험을 통한 투수계수는 1.28×10^{-5} m/s, 비산출율은 0.102이고, 비저류계수는 $0.3 \times 10^{-3} m^{-1}$ 로 조사되었다.



그림 1. 시험유역

3. 지속가능개발량

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 양수할 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).

시험유역의 지하수 지속가능개발량 평가는 박기중과 정상욱(2004)에 의해 수행된 바 있다. 이들은 visual

표 1. 시험기간의 월별 강우량

(unit : mm)

	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

MODFLOW v2.6(Waterloo Hydrogeologic Inc., 1997)을 이용하여 평년, 10년 및 30년 빈도 한발년에 대하여 시험구역 지속가능개발량을 평가하였다. 지속가능개발량은 시뮬레이션 종료 후의 추정 수위가 초기 수위를 회복하고 시뮬레이션 전기간에 걸쳐 고갈셀이 나타나지 않는 범위내의 양수량으로 하였다.

모형의 입력자료인 침투량은 크게 지표수를 용수원으로 하는 논 지대와 지하수를 이용하는 기타 지역으로 나누어 적용하였다. 재배기간 논 지대 침투량은 침투계를 이용하여 관측한 0.004 m/day를 식(1)에 적용하여 산정하였으며, 비재배기 논 및 기타 지역의 침투량은 강수량에서 직접유출량을 뺀 나머지로 하였다.

$$Infiltration = Precipitation + Channel\ inflow - Direct\ runoff \quad (1)$$

여기서, Channel inflow는 타수역에서의 지표수 유입량을 나타낸다.

모형에서 증발산량은 지하수면이 증발산 표면(ET surface) 보다 높거나 같은 지점에 위치할 경우 사용자가 지정한 증발산량이 발생하고, 지하수면이 고엽 깊이(extinction depth) 이하로 내려가면 지하수면으로부터의 증발산량은 발생하지 않으며, 그 사이에 지하수위가 존재하면 증발산량은 선형적으로 변화한다. 증발산량은 Allen (Utah State University, 1991)이 개발한 REF-ET v2.15를 이용하였으며, 논에 대해서는 수정 Penman 법을, 그밖에는 FAO Penman-Monteith 방법을 각각 적용하여 계산한 값에 농촌용수 수요량 조사 종합 보고서 (농림부, 1999)의 작물계수를 곱한 실제 증발산량을 입력하였다.

시험구역의 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 평년 빈도 한발년 14.5%, 10년 빈도 한발년 15.1%, 30년 빈도 한발년 15.2%로 각각 나타났다.

표 2. 시험기간의 연간 지속가능개발량

년도 (빈도)	유입(m ³)		유출(m ³)			저류량의 변화량(m ³)	지속가능개발량 (양수량/침투량)
	침투량	하천	하천	양수량	증발산량		
1992(평년)	3,475,875	7,541	133,560	502,692	1,309,371	1,537,793	14.5 %
1994(10년)	2,712,745	8,877	89,590	409,001	1,507,834	715,197	15.1 %
1982(30년)	2,648,874	8,447	88,319	402,282	1,394,727	771,993	15.2 %

그림 2는 시험기간의 연간 지하수위 변동은 나타내고, 표 2는 시험기간의 연간 지속가능개발량을 나타낸다.

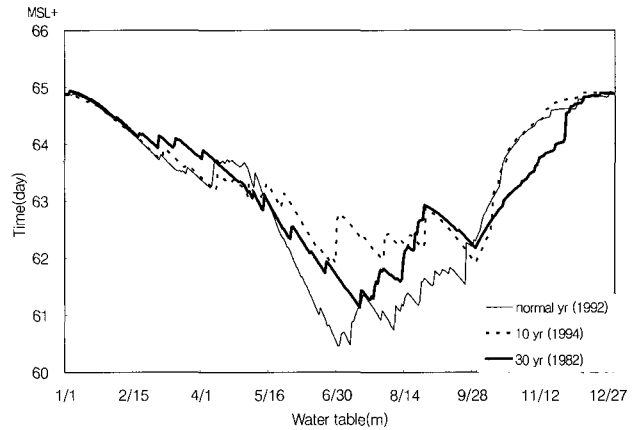


그림 2. 시험기간의 연간 지하수위 변동

4. 매개변수 선정

여러 가지 매개변수들의 변동에 대한 지속가능개발량 반응 및 민감도 분석을 위해 모형에 적용한 매개변수 및 적용범위는 표 3과 같다.

관측한 유역특성 자료에 ±50%를 변화시키면서 모형으로 시뮬레이션 결과를 분석하였으며, 하천과 200m 떨어진 세 군데 지점에 임의의 양수정을 위치시켜 시뮬레이션 한 결과와 하천에서 300m 떨어진 곳에 양수정을 위치시킨 경우 및 하천에서 100m 떨어진 곳에 양수정을 위치시킨 경우에 대하여 시뮬레이션 한 결과를 비교하였다.

5. 지속가능개발량 반응 분석

5.1 투수계수

기준값(K = 1.28 × 10⁻⁵ m/s, case ①)에 +50%를 변화시킨 경우(case ②)와 기준값에 -50%를 변화시킨 경우(case ③)에 대하여 지속가능개발량을 추정한 결과는 표 4와 같이 나타났으며, 그림 3은 10년 빈도 한발년의 투수계수 변화에 따른 지하수위 변동을 나타낸다.

평년 빈도 한발년(1992)의 지속가능개발량은 기준값을 사용하였을 때보다 case ②는 59,279 m³(11.8%)가 증가하였으며, case ③은 116,659 m³(23.2%)이 감소하였다. 10년 빈도 한발년(1994)에는 case ②는 43,759 m³(10.7%)가 증가하였으며, case ③은 79,099 m³(19.3%)이 감소하였다. 30년 빈도 한발년(1982)에는 case ②는 50,489 m³(12.6%)가 증가하였으며, case ③은 85,580 m³(21.3%)이 감소하였다.

5.2 비산출율

기준값(Sy = 0.102, case ①)에 +50%를 변화시킨 경우(case ④)와 기준값에 -50%를 변화시킨 경우(case ⑤)에 대하여 지속가능개발량을 추정된 결과는 표 5와 같이 나타났으며, 그림 4는 10년 빈도 한발년의 비산출율 변화에 따른 지하수위 변동을 나타낸다.

평년 빈도 한발년(1992)의 지속가능개발량은 기준값을 사용하였을 때보다 case ④는 33,660 m³(6.7%)이 감소하였으며, case ⑤는 6,655 m³(1.3%)이 감소하였다.

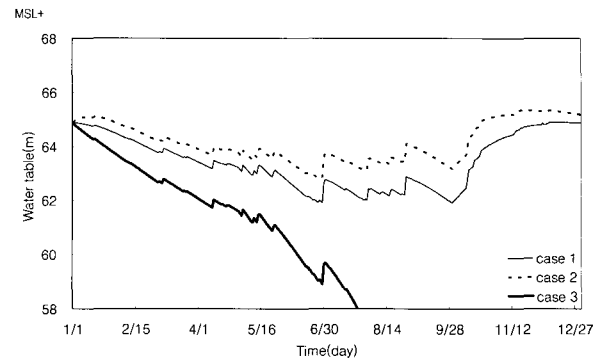


그림 3. 투수계수 변동에 따른 지하수위 변동 (1994)

표 3. 매개변수의 적용범위

매개변수	설명	Case	값	
K	hydraulic conductivity	②	+ 50 %	1.92×10^{-5} m/s
		①	observed	1.28×10^{-5} m/s
		③	- 50 %	0.64×10^{-5} m/s
Sy	specific yield	④	+ 50 %	0.153
		①	observed	0.102
		⑤	- 50 %	0.051
Ss	specific storage	⑥	+ 50 %	0.45×10^{-3} m ⁻¹
		①	observed	0.30×10^{-3} m ⁻¹
		⑦	- 50 %	0.15×10^{-3} m ⁻¹
H	aquifer thickness	⑧	+ 50 %	15 m
		①	observed	10 m
		⑨	- 50 %	5 m
D	well distance from the river	⑪	300 m	
		⑩	200 m	
		⑫	100 m	

표 4. 투수계수 변동에 따른 시뮬레이션 결과

년도 (빈도)	Case	유입 (m ³)		유출 (m ³)			저류량의 변화량 (m ³)
		침투량	하천	하천	양수량	증발산량	
1992 (평년)	①	3,475,875	7,541	133,560	502,692	1,309,371	1,537,793
	②	3,475,875	6,389	147,014	561,971	1,277,647	1,495,632
	③	3,475,875	9,631	116,757	386,033	1,375,925	1,606,791
1994 (10년)	①	2,712,745	8,877	89,590	409,001	1,507,834	715,197
	②	2,712,745	7,213	99,342	452,760	1,471,501	696,355
	③	2,712,745	11,693	78,862	329,902	1,563,504	752,170
1982 (30년)	①	2,648,874	8,447	88,319	402,282	1,394,727	771,993
	②	2,648,874	6,615	97,291	452,771	1,368,810	736,617
	③	2,648,874	11,724	78,068	316,702	1,446,684	819,144

10년 빈도 한발년(1994)에는 case ④는 11,779 m³(2.9%)이 감소하였으며, case ⑤는 5,060 m³(1.2%)가 증가하였다. 30년 빈도 한발년(1982)에는 case ④는 11,451 m³(2.8%)이 감소하였으며, case ⑤는 1,650 m³(0.4%)이 감소하였다.

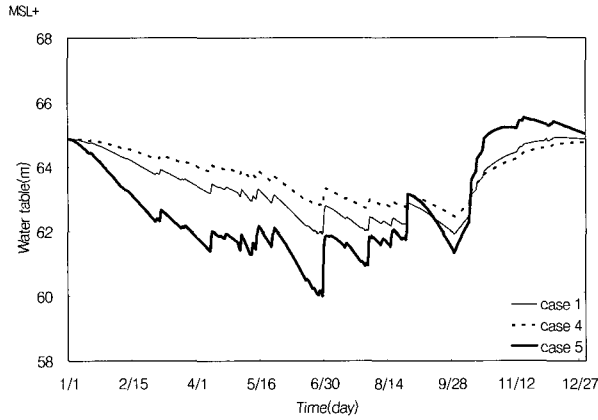


그림 4. 비산출율 변동에 따른 지하수위 변동 (1994)

5.3 비저류계수

기준값 ($S_s = 0.30 \times 10^{-3} m^{-1}$, case ①)에 +50%를 변화시킨 경우(case ⑥) 및 기준값에 -50%를 변화시킨 경우(case ⑦)에는 시뮬레이션 결과에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

5.4 대수층 두께

기준값 ($H = 10 m$, case ①)에 +50%를 변화시킨 경우(case ⑧)와 기준값에 -50%를 변화시킨 경우(case ⑨)에 대하여 지속가능개발량을 추정된 결과는 표 6과 같이 나타났으며, 그림 5는 10년 빈도 한발년의 대수층 두께 변화에 따른 지하수위 변동을 나타낸다.

평년 빈도 한발년(1992)의 지속가능개발량은 기준값을 사용하였을 때보다 case ⑧은 42,130 m³(8.4%)가 증가하였으며, case ⑨는 208,719 m³(41.5%)이 감소하였다. 10년 빈도 한발년(1994)에는 case ⑧은 28,612 m³(7.0%)가 증가하였으며, case ⑨는 166,605 m³(40.7%)이 감소하였다. 30년 빈도 한발년(1982)에는 case ⑧은 30,304 m³(7.5%)가 증가하였으며, case ⑨는 174,703 m³(43.4%)이 감소하였다.

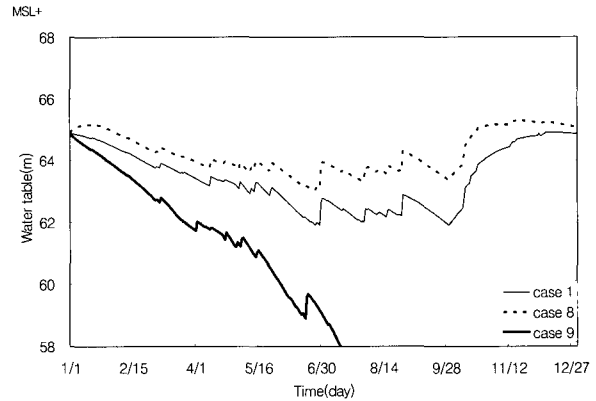


그림 5. 대수층 두께 변동에 따른 지하수위 변동 (1994)

5.5 우물 위치

양수우물과 하천과의 거리에 대한 지속가능개발량의 변동을 분석하기 위하여 하천과 200m(기준값, case ⑩) 떨어진 세 군데 지점에 임의의 양수정을 위치시켜 이를 시뮬레이션 한 결과와 하천에서 300m 떨어진 곳에 양수정을 위치시킨 경우(case ⑪), 그리고 하천에서 100m 떨어진 곳에 양수정을 위치시킨 경우(case ⑫)에 대한 시뮬레이션 결과(표 7)를 비교하였다.

평년 빈도 한발년(1992)의 지속가능개발량은 기준값

표 5. 비산출율 변동에 따른 시뮬레이션 결과

년도 (빈도)	Case	유입 (m ³)		유출 (m ³)			저류량의 변화량 (m ³)
		침투량	하천	하천	양수량	증발산량	
1992 (평년)	①	3,475,875	7,541	133,560	502,692	1,309,371	1,537,793
	④	3,475,875	12,560	131,959	469,032	1,251,389	1,636,064
	⑤	3,475,875	4,038	143,878	496,037	1,437,252	1,402,746
1994 (10년)	①	2,712,745	8,877	89,590	409,001	1,507,834	715,197
	④	2,712,745	12,569	131,959	469,032	1,251,389	778,196
	⑤	2,712,745	4,038	143,878	496,037	1,437,252	614,436
1982 (30년)	①	2,648,874	8,447	88,319	402,282	1,394,727	771,993
	④	2,648,874	11,941	88,902	390,831	1,362,597	818,485
	⑤	2,648,874	5,734	90,070	400,632	1,471,427	692,479

을 사용하였을 때보다 case ①은 22,323 m³(16.1%)이 감소하였으며, case ②는 14,216 m³(10.3%)가 증가하였다. 10년 빈도 한발년(1994)에는 case ①은 23,945 m³(27.7%)이 감소하였으며, case ②는 21,110 m³(24.4%)가 증가하였다. 30년 빈도 한발년(1982)에는 case ①은 20,948 m³(25.3%)이 감소하였으며, case ②는 19,528 m³(23.5%)가 증가하였다.

6. 민감도 분석

지역특성을 고려한 지속가능개발량 평가를 위해서는 경우분포, 토지이용현황 및 대수층 특성 등의 다양한 자연적, 인위적인 인자들의 기초자료가 필요하지만 현실적으로 이러한 기초자료들의 정확성을 확보하기는 매

우 어렵다. 따라서 여러 인자들 중에서 지속가능개발량에 상대적으로 큰 영향을 미치는 매개변수를 찾음으로써 이 매개변수값 선정시에 주의를 기울여야 할 것이다. 본 고에서는 지속가능개발량 산정시 여러 가지 매개변수에 대한 상대적 중요성을 조사하기 위하여 상대민감도를 분석하였다. 상대민감도(Sr)는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$S_r = \frac{\partial R}{R} / \frac{\partial P}{P} \quad (2)$$

여기서, ∂ 는 미소변화량, P는 매개변수, R은 해당 매개변수 값에 대한 모형의 결과치를 나타낸다.

민감도 분석을 위한 모형의 매개변수는 투수계수(K),

표 6. 대수층 두께 변동에 따른 시뮬레이션 결과

년도 (빈도)	Case	유입 (m ³)		유출 (m ³)			저류량의 변화량 (m ³)
		침투량	하천	하천	양수량	증발산량	
1992 (평균)	①	3,475,875	7,541	133,560	502,692	1,309,371	1,537,793
	⑧	3,475,875	6,062	153,360	544,823	1,365,534	1,418,220
	⑨	3,475,875	10,518	101,030	293,973	1,325,659	1,765,731
1994 (10년)	①	2,712,745	8,877	89,590	409,001	1,507,834	715,197
	⑧	2,712,745	6,770	104,462	437,613	1,589,303	588,137
	⑨	2,712,745	12,951	65,198	242,396	1,490,779	927,323
1982 (30년)	①	2,648,874	8,447	88,319	402,282	1,394,727	771,993
	⑧	2,648,874	6,138	102,824	432,586	1,486,690	632,912
	⑨	2,648,874	12,943	64,813	227,579	1,355,319	1,014,106

표 7. 우물위치 변동에 따른 시뮬레이션 결과

년도 (빈도)	Case	유입 (m ³)		유출 (m ³)			저류량의 변화량 (m ³)
		침투량	하천	하천	양수량	증발산량	
1992 (평균)	⑩	3,475,875	7,223	93,571	138,563	1,566,654	1,684,310
	⑪	3,475,875	7,645	105,813	116,240	1,591,784	1,669,683
	⑫	3,475,875	9,337	97,183	152,779	1,543,642	1,691,608
1994 (10년)	⑩	2,712,745	8,340	90,577	86,515	1,662,257	881,736
	⑪	2,712,745	7,955	103,784	62,570	1,659,631	894,715
	⑫	2,712,745	11,287	82,560	107,625	1,685,422	848,425
1982 (30년)	⑩	2,648,874	8,190	93,577	82,930	1,514,680	965,877
	⑪	2,648,874	7,633	107,384	61,982	1,557,638	929,503
	⑫	2,648,874	11,082	82,560	102,458	1,508,365	966,573

표 8. 매개변수에 대한 상대민감도

매개변수	하천유입량	하천유출량	지속가능개발량	증발산량	저류량의 변화량
K	0.513	0.225	0.329	0.064	0.086
Sy	0.970	0.043	0.040	0.104	0.181
H	0.698	0.420	0.495	0.063	0.398
D	0.176	0.099	0.212	0.013	0.017

비산출물(Sy), 대수층 두께(H), 양수우물 위치(D)이며, 각 매개변수의 기준값에 표 3과 같이 변화시켰을 때 대수층 반응을 살펴보았다. 표 8은 시뮬레이션 결과에 대한 매개변수의 상대민감도를 나타낸다.

하천에서 지하수체로 유입하는량(River-inflow)과 저류량 변화량(ΔS)은 비산출물과 대수층 두께에 민감하였으며, 지속가능개발량(Qwell)은 투수계수와 대수층 두께에 민감한 것으로 나타나 매개변수 선정시 주의를 기울여야 할 것이다. 특히 투수계수는 다른 매개변수에 비하여 값의 변화가 크므로 적용시 주의를 하여야 한다.

7. 요약 및 결론

지역특성을 고려한 지속가능개발량 평가를 위해서는 강우분포, 토지이용현황 및 대수층 특성 등의 다양한 자연적, 인위적인 인자들의 기초자료가 필요하지만 현실적으로 이러한 기초자료들의 조사 및 분석을 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하며, 정확성을 확보하기는 매우 어렵다. 따라서 여러 입력인자들 중에서 지속가능개발량에 상대적으로 큰 영향을 미치는 매개변수를 파악함으로써 지속가능개발량 평가의 합리적인 수행이 가능하도록 하여야 할 것이다.

본 연구에서는 시험유역을 선정하고 관측한 유역특성 자료를 기본값으로 하여 모형에 적용한 결과와 지하수 유동 매개변수 값의 변동시 시뮬레이션 결과를 비교·분석하였으며, 민감도 분석을 하여 매개변수들의 상대적인 중요성을 살펴보았다.

평년(1992), 10년(1994) 및 30년(1982) 빈도 한발년의 매개변수 변동에 따른 지속가능개발량 반응 분석 결과, 투수계수를 기준값에서 +50% 변화시킨 경우에는 10.7~12.6%가 증가하였으며, -50%로 변화시켰을 때에는 19.3~23.2%가 감소하였다. 비산출물을 기준값에서 +50% 변화시킨 경우에는 2.8~6.7%가 감소하였으며, -50%로 변화시켰을 때에는 1992년과 1982년의 경우 각각 1.3%, 0.4%가 감소하였으나, 1994년의 경우에는 1.2%가 증가하였다. 비저류계수는 기준값에 $\pm 50\%$ 변화시킨 경우에는 시뮬레이션 결과에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 대수층 두께를 기준값에서 +50% 변화시킨 경우에는 7.0~8.4%가 증가하였

으나, -50% 변화시켰을 때에는 40.7~43.4%가 감소하였다. 양수우물 위치에 따른 지속가능개발량 변동 분석 결과, 하천에서 300m 떨어진 곳에 양수정을 위치시킨 경우에는 16.1~27.7%가 감소하였으며, 하천에서 100m 떨어진 곳에 양수정을 위치시킨 경우에는 10.3~24.4%가 증가하였다.

하천에서 지하수체로 유입하는 량과 저류량은 비산출물과 대수층 두께에 민감하였으며, 지속가능개발량은 투수계수와 대수층 두께에 민감한 것으로 나타났다.

본 연구 결과는 지역특성을 고려한 지하수 개발 및 관리계획 수립을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참고 문헌

- 건설교통부 (2002). *지하수관리기본계획*. 건설교통부, pp. 112.
- 농림부 (1999). *농촌용수 수요량조사 종합보고서 : 부록 I*. 농림부, 농어촌진흥공사, pp. 725-728.
- 박기중, 정상욱 (2004). "농촌 소유역의 지하수 지속가능개발량 평가." *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제37권, 제7호, pp. 581-587.
- Domenico, P.A. (1972). *Concepts and models in groundwater hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A. (1979). *Ground-water*. Prentice-Hall, Inc.
- 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*.

(논문번호:04-42/접수:2004.04.22/심사완료:2004.07.27)