자원환경지질, 제41권, 제4호, 443-451, 2008
Econ. Environ. Geol., 41(4), 443-451, 2008

유역수문모형과 빈도해석을 이용한 충주댐 상류유역 지하수 개발가능량의 평가

이정은 · 김남원 · 정일문* · 이정우
한국건설기술연구원 수문연구실

Evaluation of Potential Amount of Groundwater Development in Chungju Basin by Using Watershed Hydrologic Model and Frequency Analysis

Jeong Eun Lee, Nam Won Kim, Il Moon Chung* and Jeongwoo Lee
Korea Institute of Construction Technology

Memon(1995) pointed out that the groundwater recharge from the precipitation is affected by various factors such as the occurrence, intensity, duration, and seasonal distribution of rainfall; air temperature, humidity, and wind velocity; the character and thickness of the soil layer above the water table; vegetated cover, soil moisture content, depth to the water table, topography; and land use. To reflect above factors, groundwater recharge in Chungju basin is computed by using the SWAT-K which is a longterm continuous watershed hydrologic model. Frequency analysis is adopted to evaluate the existing values of potential amount of groundwater development which is made by the 10 year drought frequency rainfall multiplied by recharge coefficient. In this work, the recharge rates of 10 year drought frequency in subbains were computed and compared with the existing values of potential amount of groundwater development. This process could point out the problems of existing precesses used for computing potential amount of groundwater development.

Key Words : groundwater recharge, potential amount of groundwater development, SWAT-K, frequency analysis

지하수 함양은 수문학적으로 복잡한 프로세스로서 강우의 빈도, 강도, 지속시간, 계절적 분포 뿐 아니라 온도, 습도, 풍속과 같은 기상인자, 그리고 지하수위 상부에 존재하는 토양 및 암반층의 특성과 깊이, 지표의 지형과 식생분포 및 토지이용과도 관련된다(Memon, 1995). 이러한 지하수 함양량의 영향요소를 반영하기 위해 연속 유역수문모형인 SWAT-K를 이용하여 충주댐 상류 유역의 지하수 함양량을 계산하였다. 우리나라에서는 10년 빈도 갈수시 강수량에 함양계수를 곱하여 지역별 개발가능량을 산정한다. 본 연구에서는 빈도해석을 통한 10년 빈도 갈수시의 함양량을 추정, 이를 기존 개발가능량 값과 비교, 검토하는 방식으로 충주댐 상류유역의 지하수 개발가능량을 평가하였으며, 이같은 계산 절차를 통해 지하수 개발가능량을 산정하는 기존 절차의 문제점을 제시할 수 있었다.

주요어 : 지하수 함양, 지하수 개발가능량, SWAT-K, 빈도해석

1. 서 론

지하수 개발가능량을 추정하는 것은 지하수 관리의 최상위 선결요건이다. 이러한 개발가능량 추정에 있어서 지하수 함양과 유출특성을 파악하는 것은 필수적인 사항으로 지하수자원개발 뿐 아니라 대수층과 연결된 하천의 오염방지를 위해서도 중요한 요소가 된다. 지하수 함양은 수문학적으로 복잡한 프로세스로서 강우의 빈도, 강도, 지속시간 뿐 아니라 온도, 습도, 풍속과 같은 기상인자, 그리고 지하수위 상부에 존재하는 토양 및 암반층의 특성과 깊이, 지표의 지형과 식생분포 및 토지이용과도 관련된다(Memon, 1995). 이러한 지하수 함양량을 추정하기 위해 국내외적으로 적용되는 기법으로는 기저유출분리법, 지하수위 변동곡선법, 환경동위원소 추적법, SCS-CN법, 물리기반의 모델링에 의한 방법 등이 있다(Chung *et al.*, 2007). 한편, 국내

*Corresponding author: imchung@kict.re.kr

에서는 10년 빈도 갈수년에 해당하는 연 함양량을 지하수 개발가능량으로 정의해 오고 있으며, 이를 위해 10년 빈도 갈수시 강수량을 구한 후 함양계수를 곱하여 지역별 함양량을 산정한다(MOCT, 2002). 본 연구에서는 유역수문모형인 SWAT-K(KICT, 2007)를 이용하여 소유역별 함양량을 구한 후, 빈도해석을 통한 개발가능량을 추정, 이를 기존 개발가능량 값과 비교, 검토하는 방식으로 충주댐 상류유역의 지하수 개발가능량을 평가하였다. 유역 수문해석 모형인 SWAT-K의 활용을 통해 기후, 토양, 토지이용, 지형조건 등 유역의 비균질한 특성을 반영하여 시공간적 변동성을 가지는 지하수 함양량을 산정함과 동시에 기존 지하수 개발가능량 산정방법의 문제점도 제시하고자 한다.

2. 연구개념 및 방법

국내의 지하수 함양량과 지하수 개발가능량의 정의를 살펴보면, 1996년도 지하수관리 기본계획 보고서(MOCT, 1996)에서는 기저유출분리법을 이용하여 유역별 지하수 함양계수를 구한 후, 평균강수량과 유역면적을 곱하여 산정한 지하수 함양량을 지하수 개발가능량으로 정의하였다. 즉, 지하수 함양량이 곧 개발가능량과 같다는 안전채수량(Safe yield)의 개념을 적용한 것이다. 이후 2002년도 지하수관리 기본계획 보고서(MOCT, 2002)에서는 평년 기준의 강수량을 적용하여 지하수 함양량을 산정한 후, 안전채수량 개념을 보완하기 위해 10년 빈도 갈수시 강수량에 함양계수를 곱하여 산정된 지하수 함양량(이하 10년 빈도 갈수시 지하수 함양량)을 지하수 개발가능량으로 정의하여 이수안전도 측면을 고려하였다. 그러나 이와 같이 강수량으로부터 대표 함양계수를 통해 함양량을 구하면, 수문순환과정에서 발생하는 함양의 물리적 성질을 반영하지 못하는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 충주댐 유역을 대상으로 SWAT-K모형을 이용하여, 각 소유역별로 수문성분 해석을 통해 산정한 지하수 함양량을 바탕으로 실제 빈도해석을 수행하여 기존 방법에 따른 10년 빈도 함양량(지하수 개발가능량)과 비교 분석하였다.

3. SWAT-K를 이용한 소유역별 함양량의 모의

3.1. 대상유역 및 모형구축 현황

SWAT-K모형은 미 농무성에서 개발한 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)모형에 인위적, 자연적인 물순환 구조변화와 지표수-지하수 연계 해석 등을 개선하여, 강우 · 증발산 · 토양수분 · 지표수 · 지하수의 시공간적 분포를 정량적으로 산정하는 장기 유출해석 모형이다(KICT, 2007). 수문순환은 다음과 같은 물수지 방정식에 근거하여 일별로 모의된다(Neitsch *et al.*, 2001).

$$SW_t = SW_O + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

여기서, SW_t와 SW_o는 각각 모의기간의 최종 및 초기 토양 수분량(mm), t는 시간(day), R_{day}는 강수량(mm), Q_{surf}는 지표면 유출량(mm), E_a는 증발산량(mm), W_{seep}는 토양 최하부로부터 대수층으로 투수되는 총량(mm), Q_{gw}는 하천으로의 회귀수량(mm)이다.

지표면 유출량은 토양수분량이 고려된 SCS 유출곡선지수(Curve Number) 방법을 이용하여 계산된다. 기존 유출모형은 토양형, 토지이용 및 관리, 유출량의 관계로부터 산정되나 SWAT-K모형에서는 이러한 관계에 토양수분 변화량을 고려하여 CN값을 일단위로 산정하게 되어 더욱 정확하게 유출량이 산정된다. 식물, 토양, 눈(snow)의 증발은 잠재증발산량으로부터 각각 산정되고, 식물의 증산은 가용토양수분, 엽면적지수, 잠재증발산량에 관한 함수로부터 산정된다. 잠재증발산은 Penman Monteith, Priestley Taylor, Hargreaves의 3가지 방법으로 산정할 수 있으며, 통상 Penman Monteith 방법이 가장 많이 이용된다. 얕은 대수층의 지하수 거동은 지표면 위로의 증발산, 하천으로의 기저 유출, 깊은 대수층으로의 침투과정으로 구성된다(Kim *et al.*, 2006).

모형의 평가를 위해 충주댐 상류부 유역을 적용대상 유역으로 선정하였다. 유역면적은 6,648 km^{2}이며, 표고는 El. 124~1,560 m로 비교적 기복이 심한 편이다. 대상유역을 10개의 소유역으로 구분하였으며, 모의에 필요한 강우량, 기온, 풍속, 일사량, 상대습도 등의 기상자료는 기상청 기상대의 9개소의 자료를 사용하였다. 사용된 기상관측소명은 대관령, 동해, 원주, 영월, 충주, 태백, 제천, 춘양, 영주 등이다(Fig. 1, Table 1).

모형의 지형자료를 구축하기 위해서 유역의 형상을 나타내는 수치표고모델(DEM), 유역내 토지이용상황을 나타내는 토지이용 또는 토지피복도, 그리고 토양에 대한 특성을 나타내는 토양도 등의 GIS 데이터를 필요로 한다. 본 연구에서는 모형의 계산시간, 모형결과의 정확도 등을 판단하여 30 m 공간해상도를 가지는 DEM을 300 m 공간해상도로 가공하여 사용하였다. 토지이용도의 경우 다양한 토지이용상태를 반영할 수 있도록 중분류 토지이용도를 사용하였다. Table 2에 따

르면 산림지역이 약 83.5% 이내로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며, 논과 밭을 포함한 농경지가 약 12.56%, 도시지역이 약 1.61% 정도인 것으로 나타났다. 각 토지이용항목에 대한 면적은 Table 2와 같으며, 소유역별 주요 토지이용현황은 Table 3에 나타내었다.

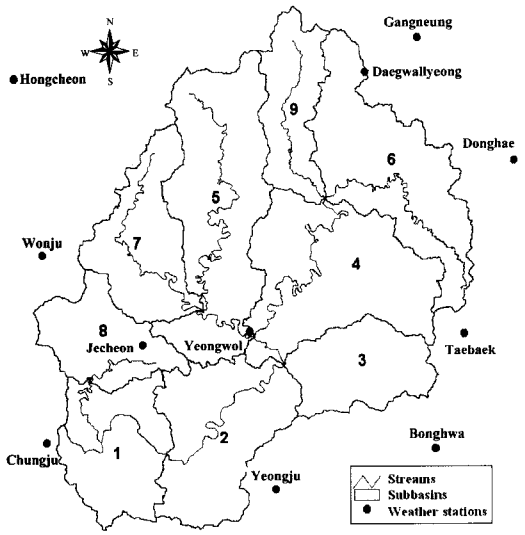


Fig. 1. Watershed delineation in Chungju basin.

토양도는 농업과학기술원에서 실시하고 있는 토양도 전산화 사업을 통해 구축된 1:25,000 축척의 정밀토양도를 사용하였다. 대상유역 내에는 41개의 토양통이 분포하고 있으며, 소유역별 주요 토양통의 종류와 구성비를 Table 4에 나타내었다.

3.2. SWAT-K를 이용한 유역수문성분 모의결과

1986~2005년간의 모의유량과 충주댐 지점에서의 관측유량을 비교한 결과, 모의치는 관측치에 비교적 잘 적합하며, 상관계수가 약 0.82로 전체적인 상관성이 양호하였다. 또한, Table 5에서와 같이 모의된 연평균 총유출량의 관측치와 모의치간의 상대오차가 매우 작은 것을 알 수 있다.

Table 6은 SWAT-K에 의해 산정된 충주댐 지점에서의 물수지 결과로서 강수대비 평균 함양량은 약 12.3%인 것으로 계산되었다.

Table 1. Characteristic factors in subwatersheds.

No.	Area (km^2)	Main Stream Length (km)	Mean width (m)
1	615.0	10.9	253.7
2	814.0	59.2	228.2
3	497.2	0.4	207.6
4	1080.0	106.1	194.3
5	1161.4	147.2	114.6
6	965.3	93.0	79.7
7	606.4	81.7	60.3
8	462.7	28.8	51.3
9	450.8	53.1	50.5

Table 2. Classification of land use.

Type	Land use specification	Area (km^2)	Percent (%)
AGRC	Agricultural Land-Close-grown	69.7	1.11
AGRR	Agricultural Land-Row Crops	577.2	8.68
FRSD	Forest-Deciduous	1666.4	25.05
FRSE	Forest-Evergreen	2498.2	37.55
FRST	Forest-Mixed	1386.0	20.83
ORCD	Orchard	12.2	0.18
PAST	Pasture	29.5	0.44
RICE	Rice	186.3	2.80
UCOM	Commercial	3.9	0.06
UIDU	Industrial	4.9	0.07
UINS	Institutional	5.8	0.09
URLD	Residential-Low Density	56.0	0.84
UTRN	Transportation	38.3	0.58
WATR	Water	103.0	1.55
WETL	Wetlands-Mixed	15.5	0.23

Table 3. Area ratio for land use type.

Watershed	Land use type				
	Urban(%)	Agricultural (%)	Forest (%)	Others (%)	Area (km^2)
1	1.27	12.92	76.17	9.64	615.0
2	2.20	12.82	82.63	2.31	814.0
3	0.64	5.89	92.81	0.62	497.2
4	1.65	11.49	84.88	1.84	1080.0
5	1.42	13.86	82.88	1.74	1161.4
6	1.08	13.02	84.35	1.52	965.3
7	1.22	15.10	82.14	1.51	606.4
8	4.16	18.05	75.60	2.17	462.7
9	1.05	7.54	90.20	1.20	450.8
전체	1.58	12.53	83.43	2.40	6,652.8

Table 4. Area ratio for soil classification. (unit : %)

Soil type	Watershed									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	whole
CHEONGSIM	-	12.51	6.22	17.77	7.04	14.23	0.27	-	33.89	10.50
JANGSEONG	12.21	7.29	13.98	26.61	7.84	9.28	0.62	3.44	0.92	10.46
DEOGSAN	2.97	15.62	44.22	0.32	0.82	6.85	16.58	4.36	-	8.49
SONGSAN	1.50	6.38	8.47	1.98	0.16	2.39	25.48	41.54	-	7.46
MOSAN	1.27	25.90	2.75	3.92	15.37	-	4.21	1.08	-	7.27
GWARIM	5.56	0.40	0.16	24.68	-	12.69	-	0.04	0.84	6.48
SAMGAG	12.48	6.46	3.55	0.17	0.92	14.04	9.85	15.03	-	6.38
WEOLJEONG	-	-	-	-	16.32	8.56	4.69	-	21.47	5.97
ODAE	-	-	-	-	19.73	2.93	5.28	-	21.37	5.80
OESAN	12.23	-	3.92	0.12	1.92	2.03	6.28	1.88	0.08	2.78
GWANAG	14.02	5.94	-	-	-	-	-	-	-	2.02
Etc.	37.76	19.50	16.73	24.43	29.88	27.00	26.74	32.63	21.43	26.39

Table 5. Comparison between simulated and measured stream flows.

Item	Measured	Simulated	Relative error
Mean[mm]	806.7	807.3	-0.08(%)
Runoff ratio[%]	61.89	61.94	

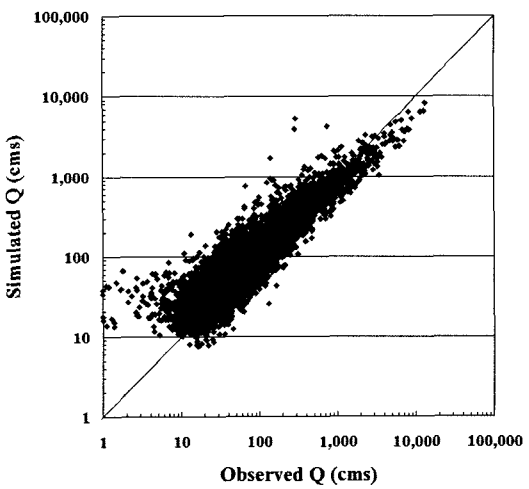


Fig. 2. Comparison between simulated flow and measured flow at Chungju dam site.

충주댐 유역의 1986~2005년까지 일단위로 모의된 함양량을 월별로 누가하여 Fig. 3에 나타내었다. 함양은 8~10월에 집중되고 있으며, 월별 변동이 선명하게 확인되고 있다.

다음으로 충주댐 유역의 각 소유역별 함양량의 월별 특성 및 강우량과의 관계를 분석하고자 하였다. Fig. 4는 각 소유역별 함양량의 월별 분포특성을 나타낸 것으로, 모든 소유역에 대하여 2월에는 가장 적은 함양이 이루어지며, 9월에는 함양이 가장 많이 이루어지는 것으로 나타났다. Fig. 5는 각 소유역별 강우량 대비 함양량의 월별 분포특성을 도시한 것으로, 값이 클수록 강우 대비 함양이 많이 이루어지는 것을 의미한다. 다른 소유역들에 비하여 8번 소유역은 강우에 비해 함양이 가장 많이 이루어지며, 9번 소유역은 가장 적게 이루어짐을 알 수 있다.

Table 6. Simulated hydrological components. (1986-2005)

Year	Precipitation (mm)	Water yield (mm)	Evapotranspiration (mm)	Recharge (mm)
1986	1100	618	489	125
1987	1551	1075	459	198
1988	1068	674	419	115
1989	1412	901	452	174
1990	1784	1268	479	253
1991	1225	782	431	178
1992	1084	590	483	133
1993	1358	895	437	189
1994	1044	629	443	123
1995	1286	819	452	138
1996	969	493	455	118
1997	1270	724	511	145
1998	1461	960	494	206
1999	1484	959	504	162
2000	1175	691	489	132
2001	854	435	435	106
2002	1431	888	484	117
2003	1717	1215	471	259
2004	1443	970	490	179
2005	1357	821	507	161
Average	1303	820	469	160
Percentage (%)	100 %	62.9 %	36.0 %	12.3 %

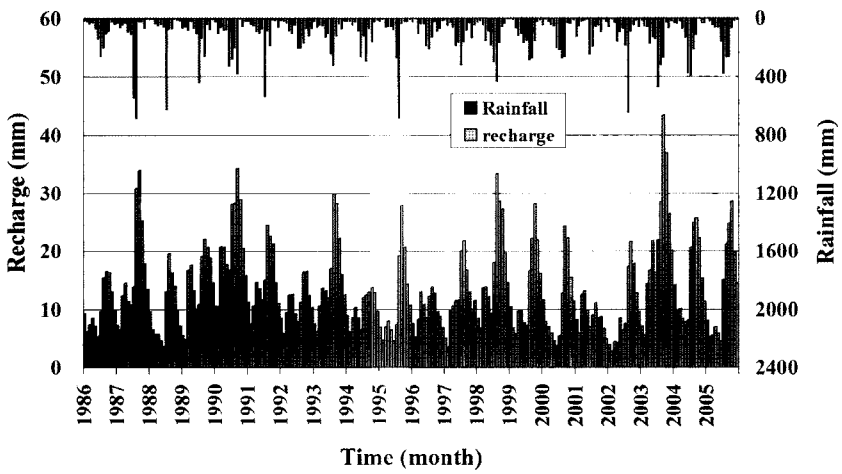


Fig. 3. Monthly groundwater recharge in Chungju watershed.

4. 소유역별 함양량의 빈도해석

본 연구에서는 충주댐 유역을 대상으로 SWAT-K를 이용하여 우선 각 소유역별로 산정한 지하수 함양량을 바탕으로 아래 두 방법을 이용하여 10년 빈도 함양량 즉, 지하수 개발가능량을 산정하였다.

방법 1 : 10년 빈도 가뭄시에 해당하는 강수량에 각 소유역별 함양률을 적용하여 10년 빈도 지하수 함양량 산정

방법 2 : 각 소유역별로 산정된 지하수 함양량에 대하여 빈도해석을 수행하여 10년 빈도 지하수 함양량 산정

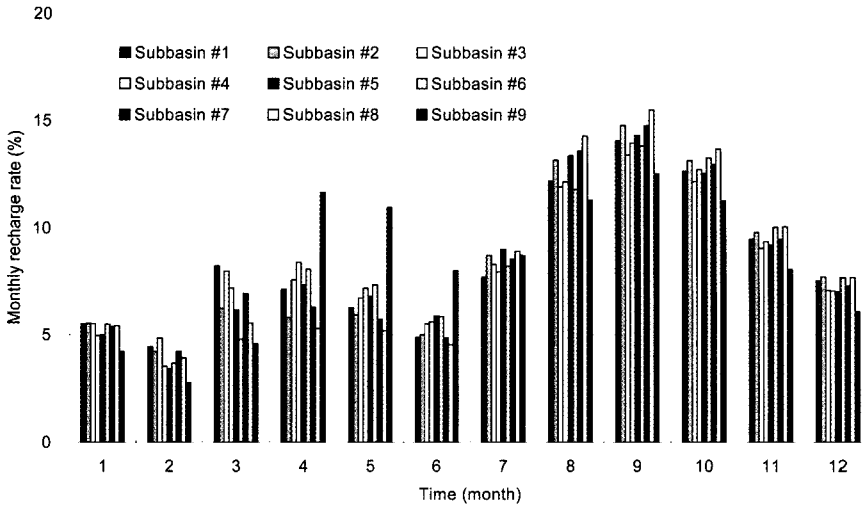


Fig. 4. Charicteristics of Monthly groundwater recharge in Chungju basin.

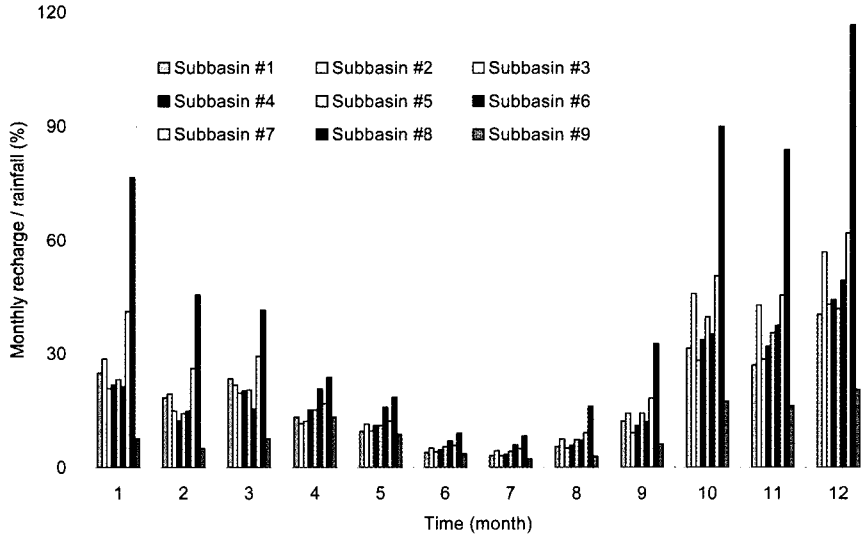


Fig. 5. Charicteristics of Monthly groundwater recharge versus rainfall in Chungju basin.

Table 7. Statistics for recharge time series.

Watershed	Period(yr)	L-coefficient of variation	L-Skewness	L-kurtosis	Discrepancy measure(D_i)
1		0.1581	0.2150	0.1747	0.52
2		0.1734	0.1667	0.1255	0.08
3		0.1550	0.1269	0.2630	1.62
4		0.1773	0.2310	0.1111	1.01
5	20	0.1469	0.2060	0.1676	0.52
6		0.2056	0.0862	0.0307	1.61
7		0.1500	0.1203	0.1888	0.55
8		0.1634	0.1064	0.1077	0.64
9		0.2668	0.1605	0.1328	2.45

Table 8. Recharge for 10year drought frequency according to diffetent methods.

Watershed	Rainfall for 10 year frequency(mm)	Recharge rate(%)	Recharge for 10year drought frequency(mm)	
			Method 1	Method 2
1	964	10.1	97	83
2	895	12.3	110	95
3	918	9.1	83	72
4	895	10.2	91	79
5	995	11.6	116	99
6	1,021	13.4	137	117
7	1,038	14.7	153	131
8	1,024	24.6	252	217
9	956	5.8	56	48

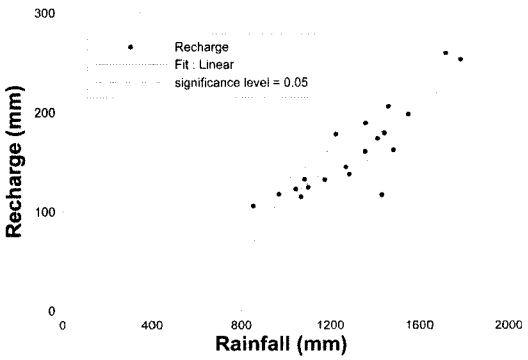


Fig. 6. Relation between annual rainfall and recharge.

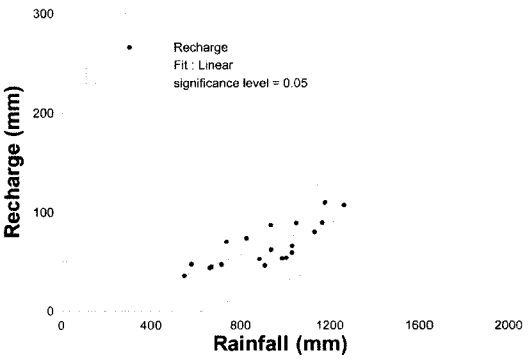


Fig. 7. Relation between annual rainfall and recharge (rainy season).

지하수 함양량 빈도해석을 위하여 충주댐 상류유역에 대하여, 지역빈도분석을 수행하였다. 지역빈도분석의 절차는 Kim and Won(2004)이 수행한 절차를 이용하였다. 확률분포형으로는 Extreme-Type III 분포를 이용하였으며, 매개변수 추정방법으로는 Hosking(1990)의 L-moment 방법을 이용하였다. 지역빈도분석에 있어서 자료의 검침과 유역의 동질성에 대한 검토는 반드시 수행되어야 하며, 이를 위해 지역내 지점자료를

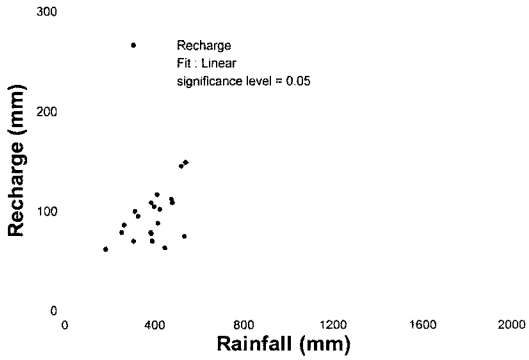
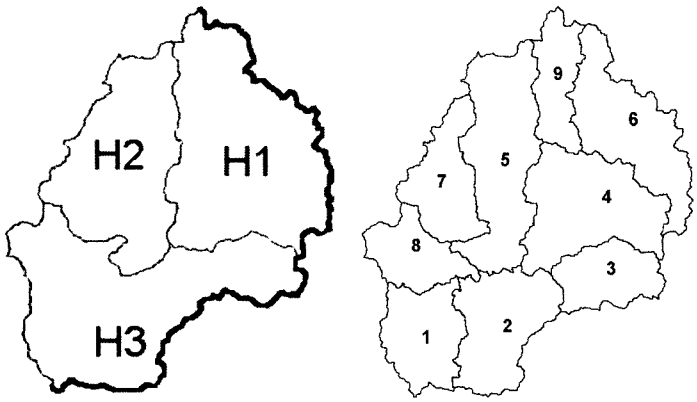


Fig. 8. Relation between annual rainfall and recharge (dry season).

하나의 그룹으로 간주하는 기준으로 불일치 척도($D_i \le \frac{N-1}{3}$), 수문학적인 동질성을 평가하기 위한 기준으로 이질성 척도(H<2)를 검토하였다. 불일치 척도의 경우 모든 해당 지점에서 Hosking and Wallis(1997)가 제안한 2.67(=(지점개수(9)-1)/3)보다 작은 값을 보임으로써 조건을 만족하였으며, 이질성 척도는 Hosking and Wallis(1993)의 기준인 2보다 작은 값을 보임으로써 기준을 만족하였다. Table 7에는 소유역별 함양량 계열에 대한 통계치를, Table 8에는 지하수 함양량 빈도해석을 통하여 산정된 각 소유역별 10년 빈도강수량에 함양률을 적용한 방법 1의 결과와 각 소유역별 함양량을 빈도해석한 방법 2의 결과를 나타내었다.

Fig. 6~Fig. 8은 각각 년단위, 홍수기, 비홍수기에 대한 연별 강수량과 함양량의 관계를 도시한 결과이다. 연도별로 강수량이 증가할수록 지하수 함양량이 증가하는 경향을 확인할 수 있으며, 점선은 95%의 신뢰구간을 의미하고 있다(Fig. 6). 홍수기와 갈수기의 경우로 강수대비 함양을 분리하여 도시한 결과 홍수기에 해당하는 강수-함양의 관계는 95% 신뢰구간내에서 만족함을 보여주었고, 갈수기의 경우는 신뢰구간을 약간 벗



(a) Watershed division in previous report(MOCT, 2002) (b) Watershed division in this study

Fig. 9. Watershed division.

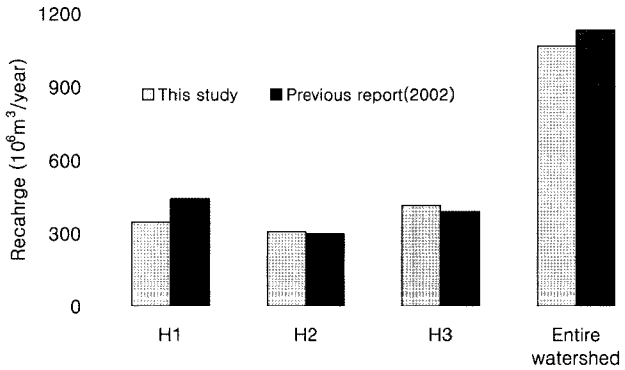


Fig. 10. Comparison of groundwater recharge.

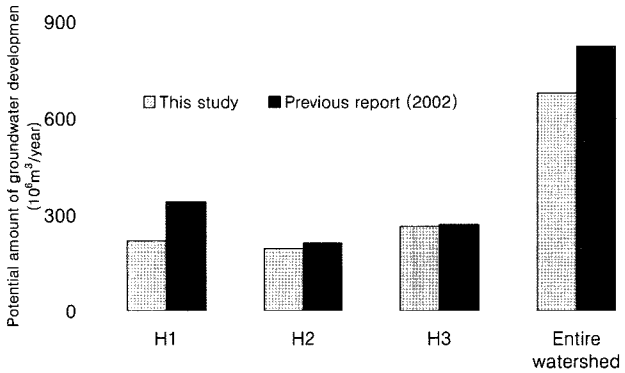


Fig. 11. Comparison of potential amount of groundwater development.

어나는 경향도 볼 수 있었다. 이같은 결과는 강수와 지하수 함양이 기본적인 선형성을 유지하지만, 계절별로 선형성의 정도가 다름을 보여주는 것으로서 연강수량 기반의 함양량을 대푯값으로 선정하는데 한계가 있음을 간접적으로 시사한다.

또한, 2002년 지하수관리 기본계획 보고서와 본 연구에서 산정한 지하수 함양량과 지하수 개발가능량을 비교하였다. Fig. 9는 2002년 지하수관리 기본계획 보고서와 본 연구에서의 충주댐 유역에 대한 소유역 구분을 나타낸 것으로, H1은 4, 6, 9번 소유역, H2는 5, 7번 소유역, 그리고 H3는 1, 2, 3, 8번 소유역에 해당된다.

Fig. 10은 2002년 지하수관리 기본계획 보고서(2002)

와 본 연구에서 각각 산정된 지하수 함양량을 비교한 것이다. 2002년 결과에 비해 본 연구에서의 지하수 함양량은 H1 지역에 대해 22.1% 작게 산정되었으며, H2, H3 지역에 대해 각각 2.8, 6.6 % 크게 산정되었다. 또한, 충주댐 유역전체에 대해 산정된 지하수 함양량은 5.6 % 작은 결과를 보였다. Fig. 11은 지하수 개발가능량을 비교한 것으로, 본 연구에서 채택한 지하수 개발가능량은 각 소유역별로 산정된 함양량을 빈도해석하여 산정한 10년 빈도 함양량 즉, 방법 2의 결과이다. 본 연구에서 산정된 지하수 개발가능량은 2002년 결과에 비해 H1, H2, H3 지역과 충주댐 유역전체에 대해 각각 35.6, 8.1, 2.1, 17.6 % 작은 결과를 보였다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 유역 수문해석 모형인 SWAT-K의 활용을 통해 유역의 비균질한 특성을 반영하여 시공간적 변동성을 가지는 지하수 함양량을 산정하였고, 지하수 개발가능량 산정에 사용되어 온 기존의 10년 빈도 갈수시 강수량 자료를 이용한 방법 대신, 빈도별 함양량을 산정하여 지하수 개발가능량 산정을 위한 지표로서 활용하는 새로운 접근을 시도하였다. 본 연구에서 제시한 방법을 활용할 경우, 소유역별, 빈도별 함양량이 계산됨으로써 시공간적 분포가 고려된 지하수 함양량 산정 및 개발가능량에 대한 지역화 방안 수립이 가능할 것으로 기대된다. 또한 강수량과 함양량의 월별 분포가 상이하게 나타나므로 기존의 개발가능량과 같이 연평균 함양량에 의존하는 방법이 개선되어야 함을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원이 위탁시행한 2005년도 건설기술기반구축사업(05기반구축 A03-01)과 21세기 프론티어 연구사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업(2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Chung, I.M., Kim, N.W. and Lee, J.W. (2007) Estimation of Groundwater Recharge by Considering Runoff Process and Groundwater Level Variation in Watershed, Journal of KOSSGE, 12(5), p. 19-32.

Hosking, J.R.M. (1990) L-moment: Analysis and Estimation of Distribution Using Linear Combination of Order Statistics, Journal of Royal Statistical Society, Series B. 52, p. 105-124.

Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. (1993) Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis, Water Resources Research, Vol. 29, No. 2, p. 271-281.

Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. (1997) Regional Frequency Analysis, An Approach Based on L-moment, Cambridge University Press.

Kim, N.W. and Won, Y.S. (2004) Estimates of Regional Flood Frequency in Korea, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 37, No. 12, pp. 1019-1032.

Kim, N.W., Lee, B.J. and Lee, J.E. (2006) An Evaluation of Snowmelt Effects Using SWAT in Chungju Dam Basin, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 39, No. 10, p. 833-844.

Kim, N.W., Lee, B.J. and Lee, J.E. (2007) Analysis of the Characteristics of Low-flow Behavior Based on Spatial flows, J. of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 27, No. 4B, p. 431-440.

Korea Institute of Construction Technology (2007) Development of Analyzing System for Surface Hydrological Component, Ministry of Science and Technology.

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

Ministry of Construction and Transporation (1996) Report on Basic Plan of Groundwater Management.

Ministry of Construction and Transporation (2002) Report on Basic Plan of Groundwater Management.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams J.R. (2001) Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Ver. 2000.

2008년 7월 29일 원고접수, 2008년 8월 24일 게재승인.