

일 유출모형의 물수지 분석에 의한 지하수 함양량 추정

Estimation of Groundwater Recharge by the Water Balance Analysis
using DAWAST Model

이덕주(충남대 농과연) · 이호천(충남대 대학원) · 이순광(충남대 대학원) · 김태철(충남대)
Lee, Duk-Joo · Lee, Ho-Chun · Lee, Soon-Kwang · Kim, Tai-Cheol

Abstract

This research developed a method for the estimation of groundwater recharge by yielding daily soil moisture content and watershed evapotranspiration from the water balance concept of the unsaturated and saturated layers in rainfall-runoff model called DAWAST. The goal of the research is to estimate the groundwater recharge fulfilling conditions of the safe discharge for any season. To meet this goal, the data of groundwater level and stream flow rate have been monitored in a study area and used to validate the model.

I. 서론

본 연구에서는 특히 소유역별 토양, 지형경사, 임상상태를 고려한 직접유출을 산출기법을 DAWAST모형(1992, 김태철)의 기본 방정식으로부터 지하수 함양량에 대한 물 수지 방정식을 이론적으로 확립하고 시범 연구지역에서 모형의 매개변수에 대한 값을 각각 실측하여 물리적으로 검정하므로써 신뢰성 있는 직접 유출량 산정에 의한 지하수 함양량 산출기법을 개발하였다. 또한 지하수 함양율을 실측하여 DAWAST모형에 의한 지하수 함양량 산출기법을 검정하므로써 특히 우리나라 지형, 지질에 적합한 직접 유출을 산출기법을 제시하고자 한다.

II. 자료 및 방법

2.1 시험유역 선정 및 관측 장비의 설치

충북 청원군 북이면 초정리 미원지구를 시험유역으로 선정하였으며, 유역면적은 28.3km²이고 유역경사가 8%이며 주하천장은 6.75km이다. 하천 유출량 관측을 위해 초정리의 서당교에 자동수위계를 설치하였고, 인근 비룡저수지 부근에 토양수분측정장치를 30, 50, 80cm 깊이에 설치하여 2000년 3월부터 2003년 8월 현재까지 시간별로 측정하였다. 유량측정은 평상시에는 월 2회씩 정기적으로 하였으며, 홍수시에는 수위별로 측정하였다.

2.2 DAWAST 모형에 의한 지하수 함양량 추정방법

DAWAST모형은 기상특성과 유역특성의 입력자료를 간단히 하고, 모형의 구조와 매개변수를 단순화하여 개발되었으며, 개념화모형을 기본모형으로 최적화모형, 일반화모형, 수계화 모형의 3개 부모모형으로 구성되어 있다. 기본모형은 유역을 지표면, 불포화층, 포화층의 3개 저수층으로 단순화하고 일 단위의 물 수지 분석을 실시하였다.

모형은 UMAX, LMAX, FC, CP, CE 등 5개의 물수지 매개 변수와 U_i , k_1 , k_2 등 3개의 추적매개변수로 구성되어 있으며, 이들 매개변수는 최적화 기법으로 보정하여 입력한다. 입력자료는 유역면적과 일 강우량과 일 증발량이며 출력자료는 일 유출량 자료이다.

2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

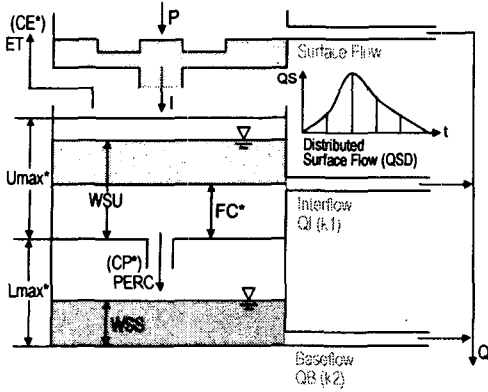


Fig.1 Schematic Representation of DAWAST Model

유역 물수지식은 다음의 (1)식과 같이 표현된다.

$$ET = P - Q - \Delta G - \Delta S \quad (1)$$

여기서, ET : 유역증발산량, P : 강수량

Q : 유출량, ΔG : 토양수분변화량

ΔS : 지하수위 변화량

지하수 함양량 (RG)은 지하로 침침 침투되어 저류되어 있는 지하수 저류량(ΔS_g)인 협의의 지하수 함양량과 지하로 침침 침투되었다가 기저유출 형태로 하천으로 회귀되는 기저유출량을 포함하는 광의의 지하수 함양량으로 나타낼 수 있으며 이는 (2)식으로 표현된다.

$$RG = QB + \Delta S_g \quad (2)$$

(2)식을 고려한 유역 물수지식은

$$\Delta S_g = P - Q - ET + \Delta Q_g - \Delta S_s \quad (3)$$

여기서, ΔS_g : 지하수 저류변화량, ΔS_s : 유역토양수분변화량

ΔQ_g : 타 유역에서의 지하수 유입량 또는 타 유역으로의 지하수 유출량

유역내외로 출입하는 지하수 유입량(Q_{g1})이나 유출량(Q_{g2})가 같다고 가정하면 $\Delta Q_g = 0$ 이 된다. 또한 유출량(Q)을 직접유출량(QD)과 기저유출량(QB)으로 구분하고, ΔS_s 와 ΔS_g 를 각각 DAWAST모형의 ΔWSU , ΔWSS 로 대체하면 협의의 지하수함양량은 (4)식으로 정의된다.

$$\Delta WSS = P - QD - QB - ET - \Delta WSU \quad (4)$$

여기서, ΔWSS : 지하수저류변화량, QD : 직접유출량, QB : 기저유출량, ΔWSU : 유역토양수분변화량 따라서, 기저유출량을 포함하는 광의의 지하수 함양량(RG)은 (5)식으로 정의할 수 있다.

$$RG = \Delta WSS + QB = P - QD - ET - \Delta WSU \quad (5)$$

III 결과 및 고찰

3.1 자료의 측정

서당교의 시간별 수위자료는 정기적으로 실시한 유량 측정을 통하여 Table 1과 같은 수위-유량곡선식으로 유도되었다.

토양수분변화량은 토양수분측정기에서 계측된 토양함수비(%v)를 WSU 값(mm)으로 변환하였으며 관계식(6)을 유도하여 일별 WSU 값을 구하였다.

$$SMC(\%v) = 0.448 + 0.086 \times WSU(mm) \text{서, } WSU = (SMC - 0.448) / 0.086 \quad (6)$$

식(6)에 의하여 변환된 SMU 값은 Fig.2에 나타내었다.

지하수위는 공동연구중인 농업기반공사에서 측정한 자유수면 지하수공의 측정자료를 사용하였으며, 지하수위변화량은 연단위로 보았을 때는 큰 변화를 보이지 않았다.

3.2 물수지 분석과 유역 증발산량 추정

관측한 강수량, 유출량, 토양수분변화량, 지하수변화량으로부터 물수지에 의하여 증발산량을 추정하였으며, 이를 수정한 Beken식에 적용하여 월평균 유역증발산계수(CE)를 구하였다. 일별 및 월평균 CE 는 식(7)에 의해 구하였다. 관측자료에 의한 물수지 분석은 Table 2에 나타내었고 일별 및 월평균 CE 는 각각 Fig.3과 Table 3 및 Fig.4에 나타내었다.

Table 1 Rating Curve Equations for Seodang Station

Year	Rating Curve Equation
2001	$Q=12.451 \times (h-0.307)^{2.306}$
2002	$Q=0.180 \times (h+0.749)^{1.034}$
2003	$Q=9.570 \times (h+0.314)^{1.109}$

$$\text{수정 Beken식 : } ET_i = EO_i(1 - e^{-CE \times WSU}), \quad EO_i = C \times EP_i \quad (7)$$

ET_i : 일 증발산량(mm), EO_i : 일 잠재증발산량(mm), CE : 유역 증발산계수, S : 토양수분량(mm)
 WSU : 불포화층의 토양수분량(mm), C : 월별 증발접시계수, EP_i : 일 증발접시증발량(mm)

Table 2. Water Balance Analysis with Observed Data. (unit:mm)

Classification	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum	
2001	P			12.7	8.0	8.9	233.47	122.79	70.82	7.0	46.6	6.8	8.4	525.48
	Q			5.3	6.0	6.2	120.0	67.0	24.6	6.2	25.6	6.0	7.3	274.20
	ΔWSU			7.35	-5.93	-16.86	25.93	27.79	-32.79	-49.93	0.65	-3.61	-3.8	-51.20
	ΔG			0.0	0.0	-0.13	-2.41	0.73	-0.17	0.36	0.09	0.08	0.16	-1.29
	ET			0.05	7.93	19.69	89.95	27.27	79.18	50.37	20.26	4.33	4.74	303.77
2002	P	52.0	6.0	36.0	144.0	102.5	57.5	175.0	596.0	96.5	59.0	17.5	58.5	1,400.50
	Q	15.0	5.6	9.7	82.5	45.0	8.2	94.5	436.4	27.6	23.4	6.2	31.2	785.30
	ΔWSU	34.39	-4.84	-1.95	-4.94	-14.04	-23.37	36.98	41.16	-0.47	-18.49	-12.98	18.8	50.25
	ΔG	-0.15	0.06	-0.01	-0.24	0.8	0.35	-0.22	-0.59	0.12	0.57	-0.7	-0.25	-0.26
	ET	2.76	5.18	28.26	66.68	70.74	72.32	43.74	119.03	69.25	53.52	24.98	8.75	565.21
2003	P	15.5	18.5	48.5	205.5	131.0	145.5	361.5	371.0	Still accumulating data				1,297.00
	Q	13.1	6.1	9.1	140.0	72.0	65.1	238.3	249.0					792.70
	ΔWSU	-30.31	0.34	18.63	41.05	-20.47	12.67	5.7	2.67					30.28
	ΔG	2.82	0.54	1.12	-0.22	1.0	0.01	1.07	0.39					6.73
	ET	29.89	11.52	19.65	24.67	78.47	67.72	116.43	118.94					467.29

*Observation period : 2001.3.08~2003.8.30

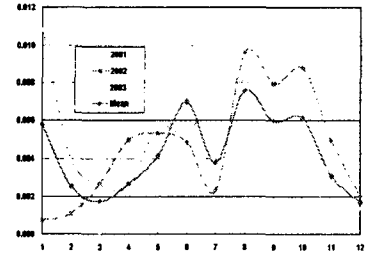
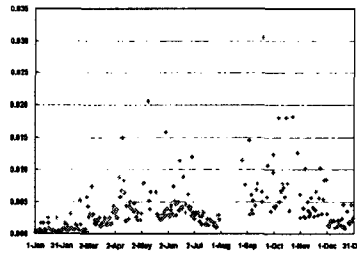
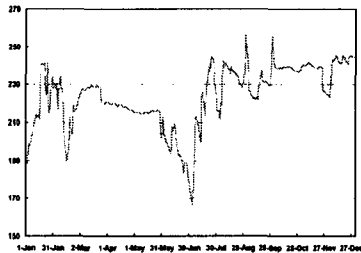


Fig.2 Transformation of SMC into WSU in 2002

Fig.3 Daily CE calculated from the water balance analysis in 2002

Fig.4 Monthly CE calculated from the water balance analysis

Table 3. Monthly Coefficient of Watershed Evapotranspiration (CE)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2001			0.000006	0.000440	0.001162	0.008979	0.001825	0.004166	0.003677	0.003560	0.001435	0.001732
2002	0.000934	0.001192	0.002660	0.004113	0.005339	0.004561	0.001997	0.001325	0.006489	0.007137	0.005981	0.002753
2003	0.015625	0.003500	0.002528	0.003129	0.004582	0.004477	0.010809	0.009744	Still accumulating data			
Mean	0.008280	0.002346	0.001712	0.002561	0.003694	0.006006	0.004877	0.005078	0.005083	0.005349	0.003708	0.002243

Table 4. Result Comparison of Single CE value and Mean Monthly CE's applied to the Model

월평균 CE값을 적용한 모델은 관측된 유출량과 비교할 때 기존의 0.006을 적용하던 모델보다 개선된 결과를 나타내었으며 그 결과는 Table 4와 같다.

Year	P (mm)	Observed Runoff (mm)	Estimated Runoff (mm)	
			Single CE	Mean Monthly CE
2001	525.5	274.2	208.3 (0.760)	248.2 (0.905)
2002	1400.5	785.3	733.1 (0.934)	815.2 (1.038)
2003	1297.0	792.7	778.2 (0.983)	800.6 (1.010)

3.3 DAWAST모델을 이용한 지하수함양량 추정

모의발생한 결과는 Fig.5와 같으며, 이를 각 유출성분으로 분리한 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Simulated Results of DAWAST Model for Chojeong Station

(unit : mm)

Year	Precip.	Observed runoff (Q)	Estimated runoff (EQ)			Evapotranspiration (ET)	Δ WSU (Δ Ss)	Δ WSS (Δ Sg)	RG		
			Direct runoff (QD)	Base runoff (QB)	Sum				Narrow sense	Broad sense	RG Rate
2001	525.5	274.2	175.5	72.7	248.2	303.6	-51.30	-3.4	-3.4	59.3	0.138
2002	1,400.5	785.3	594.6	220.6	815.2	476.2	50.26	4.6	4.6	225.2	0.161
2003	1,297.0	792.7	604.5	196.1	800.6	396.3	30.28	-4.6	-4.6	189.6	0.151

시험기간동안의 추정유출율은 2001년의 47.2%, 2002년의 58.2%, 2003년의 61.7%로 나타났으며, 유출량에 대한 관측치와 추정치의 오차는 각각 9.5%, 3.8%, 1.0%로 나타났다.

Δ WSS로 표현된 협의의 지하수함양량은 2001년에 -3.4mm, 2002년에 4.6mm, 2003년에 -4.6mm로써 년 강수량에 대하여 1%미만으로 나타났다. 물수지 분석의 결과로부터, 이는 심층 침투량 대부분이 기저유출로 흐르는(Deplete) 것을 알 수 있었고 무시할 만한 양으로 나타났다.

광의의 지하수함양량은 2001년에 59.3mm, 2002년에 225.2mm, 2003년 8월 현재 189.6mm로써 년 강수량에 대한 지하수 함양율이 각각 13.8%, 16.1%, 15.0%로 나타났다. 이는 유출량에 대한 광의의 지하수 함양량의 비율이 대체로 24%~28% 수준임을 나타내었다.

Δ WSU로 표현된 토양수분 변화량은 년평균 50mm정도로써 년 강수량의 약 4%로 나타나 지하수 함양율과 비교할 때 무시할 수 없는 양임을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 DAWAST모델의 불포화층과 포화층의 물수지 개념을 이용하여 토양수분과 유역증발산량을 구하고 지하수 함양량을 추정하는 방법을 제시하였으며, 지하수함양량의 정의를 협의의 지하수함양량과 광의의 지하수함양량으로 구분하여 제시하였다.

1. 협의의 지하수 함양량은 강수량과 비교할 때 1%미만으로 나타났으며, 물 수지 분석 결과, 이는 심층 침투량 대부분이 기저유출로 흐르는(Deplete) 것을 알 수 있었다.
2. 광의의 지하수 함양량은 2001년 59.3mm/year로써 수량으로는 1.7백만m³/year로 나타났고, 2002년에는 225.2mm/year로 6.4백만m³/year의 수량으로, 2003년은 8월 현재 189.6mm로 5.4백만m³/year의 수량으로 나타났다. 유출량에 대한 광의의 지하수 함양량의 비율은 대체로 24%~28% 수준이었다.

참고문헌

김태철, 1992, 한국하천의 일유출 모형 구조와 사용 지침, 충남대학교 농업과학연구소.
 박찬제, 2003, 물수지분석에 의한 지하수 함양량 추정, 충남대학교 석사학위 논문.
 한영민, 2002, 토양수분량을 고려한 유역 증발산량 추정, 충남대학교 석사학위 논문.
 Su. N., 1994, A formula for computation of time-varying of groundwater, Journal of Hydrology, 160, pp.123-135.