

# 토양의 물리적 특성을 고려한 DAWAST 모형의 매개변수결정

## Estimation of DAWAST Model Parameters by the Soil Physical characteristics

박승기(충남대), 문종필(충남대),  
김태철(충남대), 안병기(충남대), 김병규(농진공)

### Abstract

DAWAST model considering the meteorologic and geographic characteristics of the Korean watersheds was newly developed to simulate the daily streamflow. From the condition of soil water storage just before the storm event from DAWAST model, real-time flood can be forecasted by FLOCON model. The purpose of study is that Umax and FC of DAWAST model parameter is obtained by the soil physical characteristics.

### I. 서론

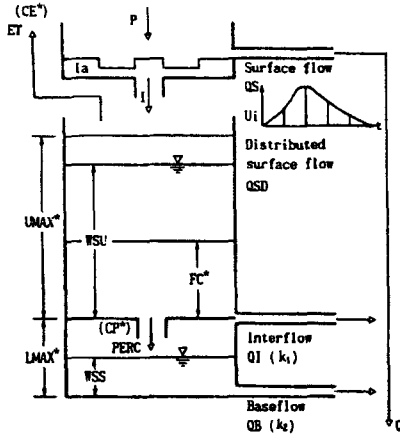
김태철 등(1991, 1995, 1996)은 우리나라 기초 수문자료를 이용하여 일 유출량 추정이라는 개발목적에 부합되고 어느 하천에서도 일반적으로 적용할 수 있도록 간단한 입력자료와 단순한 구조의 집중형 모형을 선택하여 유역 토양수분 상태를 일별로 추정하여 일 유출량을 모의발생할 수 있는 “한국 하천의 일 유출량 모형(DAWAST Model)”을 개발하였다. 또 DAWAST 모형을 발전시켜 유역의 변화와 홍수유출해석 등을 위하여 장단기 유출모형으로 개선하려는 시도를 하고 있다. 장단기 유출모형은 유역 토양수분 상태를 일별로 추정하다가 유역내에서 특정한 수문지점의 홍수도달시간을 고려하여 강우강도를 정하고 강우 발생시 침투량을 산정하고 직접유출량을 산정한다. DAWAST 모형의 매개변수는 수문자료의 유무에 따라 최적화모형, 일반화모형 및 수계화모형으로 구하였다.

그러나, 이 연구에서는 강우-유출현상해석에 중요한 인자인 최대저류능 및 포장용수량을 유역의 토양 물리적 특성 및 지형적인 특성을 GIS System을 이용하여 결정하고 이에 대한 적용성을 검토하고자 한다.

### II. 불포화 토양층의 토양수분 예측

#### 1. 불포화 토양층의 물수지

김 등(1996)은 토양층을 Fig. 1과 같이 지표면층, 불포화층(U<sub>MAX</sub>)과 포화층(L<sub>MAX</sub>)의 3개 저수층으로 단순화하여 강우-유출의 유역수문반응을 개념화하였다. 즉, 유역에 강우(P)가 있으면 차단, 증발, 지표면저류 등 초기손실(I<sub>a</sub>)이 일어나고, 강우가 계속되어 초기손실량보다 크게 되면 침투(I)와 함께 표면유출(QS)이 일어난다. 침투에 의해 불포화 토양층의 토양수분량(W<sub>SU</sub>)은 점차 증가되고 침투가 계속되어 토양수분량이 포장용수량(FC) 이상되면 증력에 의해 포화토양층으로 심층침투(PERC)가 이루어져 포화층의 토양수분량(W<sub>SS</sub>)도 증가하게 된다. 이 포화층의 토양수분량이 일정량(L<sub>MAX</sub>) 이상되면 불포화층과 포화층 사이에서 중간 유출(QI)이 발생한다. 무강수기에는 불포화층의 토양수분량은 유역증발산량(ET)에 의하여 감소되고, 포화층의 토양수분량은 기저유출(QB)로 누출되어 감소하게 된다. 이 가운데 불포화층의 토양수분상태 변화량을 식(1)과 같이 일별로 추정할 수 있다.



$$WSU_{i+1} = WSU_i + I_i - ET_i - PERC_i \quad (1)$$

여기서  $WSU_i$  :  $i$ 일의 불포화층 토양수분량,  $I_i$  :  $i$ 일의 침투량,  $ET_i$  :  $i$ 일의 유역증발산량,  $PERC_i$  :  $i$ 일의 심층 침투량이며 단위는 mm이다.

침투량, 증발산량과 심층침투량을 각각 식(2), (3), (4)로 일별로 추정하므로 불포화층의 토양수분변화량을 식(1)의 물수지로부터 개념적으로 파악할 수 있다.

$$I_i = P_i \text{ if } P_i < I_a, \quad I_i = P_i - QS_i \text{ if } P_i > I_a \quad (2)$$

$$ET_i = E_{oi} (1 - e^{-CE \times WSU_i}), \quad E_{oi} = C \times EP_i \quad (3)$$

$$PERC_i = CP \times (WSU_{i-1} - FC) \times \frac{WSU_{i-1}}{UMAX}, \quad (4)$$

if  $P_i > 0$  and  $WSU_{i-1} > FC$

그림 1. DAWAST 모형의 기본개념도, 여기서  $P_i$  :  $i$ 일의 강수량,  $QS_i$  :  $i$ 일의 표면유출량,  $I_a$  : 초기손실량,  $E_{oi}$  :  $i$ 일의 잠재증발량,  $EP_i$  : 계기 증발량,  $WSU_i$  : 불포화층의 현재 토양수분량,  $PERC_i$  :  $i$ 일의 심층침투량,  $FC$  : 포장용수량이며 단위는 mm 이다.  $C$  : 증발접시계수,  $CE$  : 유역증발산계수,  $CP$  : 심층침수계수이다.

## 2. 갈수기와 홍수기의 유역토양수분량 추정

현재의 유역토양수분상태인 유효저류능  $S_a$ 를 SCS의 AMC 1, 2, 3로 단절된 유역토양수분 조건의 Curve number로부터 구하지 않고 식(1)의 일별 불포화 토양층 물수지 분석으로 연속적인 유역토양수분상태를 추적하면 갈수기의 유역토양수분상태를 보다 정확하게 추정하여 유역의 가뭄진행을 예측할 수 있다.

호우가 발생하면 (5)식의  $S_{ai}$  를 (6)식에 대입하여 처음 단위시간 강수량  $P_t$  으로부터 처음 시간의 유효우량  $Q_{st}$ 를 구하고, 그 다음 시간의 유효우량은 다음 시간의 강수량  $P_t$ 와 전 시간의 유효저류능  $S_{at-1}$ 에 (7)식으로 구한 단위시간의 침투량을 뺀 (8)의 유효저류능  $S_{at}$  값을 (6)식에 대입하여 구한다. 이와같이 시간별로 불포화층의 유효저류량  $S_a$  를 연속적으로 추적하여 보다 정확하게 시간별 유효우량과 홍수유입량을 예측할 수 있다.

$$S_{ai} = U_{max} - WSU_i, \quad U_{max} > WSU_i \quad (5)$$

$$Q_{st} = \frac{(P_t - 0.2S_{at})^2}{(P_t + 0.8S_{at})} \quad (6)$$

$$I_t = P_t - Q_{st} \quad (7)$$

$$S_{at} = S_{at-1} - I_t \quad (8)$$

여기서  $i$  : 일 단위(day),  $S_a$  : 유효저류능(mm),  $U_{max}$  : 불포화층의 최대 토양수분저류능(mm),  $WSU_i$  : 불포화층의 현재 토양수분량(mm),  $I_a$  : 초기손실량(mm)  $t$  : 시간단위 (hours) 이다.

Kumar 등(1982)의 해석방법과 같이 식(7)로 부터 누가침투량  $F$  는 식(9)와 같이 정의할 수 있으며, 식(9)에  $Q_{st}$  를 적용하면 식(10)과 같다.

$$F = (P_t - I_a) - Q_{st} \quad (9)$$

$$F = (P_t - I_a) S_{at} / (P_t - I_a) + S_{at} \quad (10)$$

시간  $t$  에 대한 침투율  $f(t)$ 는 식(10)을 미분하여 식(11)과 같이 구할 수 있으며, 강우강도상수  $I_c$  를 적용하면 식 (11)은 식(12)로 되며,  $t=0$  일 때 식(12)은 식(13)과 같이 정리할 수 있다.

$$f(t) = dF/dt = S_{at}^2 / (P_t - I_a + S_{at})^2 dP/dt \quad (11)$$

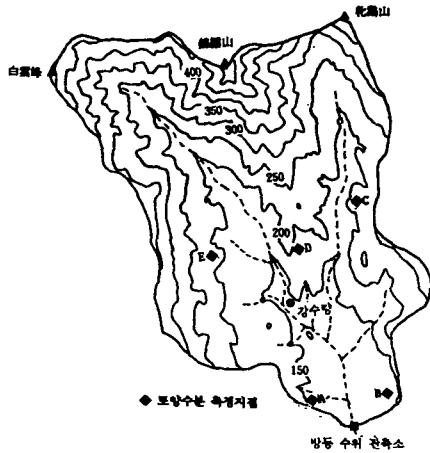
$$f(t) = S_{at}^2 I_c / (I_c t - I_a + S_{at})^2 \quad (12)$$

$$f(t) = S_{at}^2 I_c / (S_{at} - I_a)^2 \quad (13)$$

여기서  $P_t$  는 시간  $t$  에서의 누가강우량,  $f(t)$ 는 시간  $t$  에서의 침투율,  $I_c$  는 강우강도 상수이다.

### III. 자료 및 방법

#### 1. 대표시험유역특성과 수문자료



대표시험유역은 대전광역시 서부지역인 유성구 성북동 金谷川의 상류에 위치하며 1992년 3월 충남대학교 농공학과에서 개설하여 수위관측, 우량관측, 유량측정을 하고 있으며, 기타 필요한 기상자료는 대전기상청의 측정값을 사용한다. 이 지역은 개발제한구역내에 위치하고 있는 관계로 급속한 도시화가 억제되고 있으며 전형적인 도시근교 농업의 특색을 보이고 있는 지역으로 부족한 농업용수를 공급하기 위하여 소규모 관정이 개발되어 있다. 그림. 2와 같이 북쪽 중앙부에 錦繡山 (El. 532m), 좌측에 白雲峰 (El. 536m), 우측에 牝鷄山 (El. 415m) 에서 발달한 산지가 남동쪽으로 발달되어 있어 하천의 경사가 급하여 유출이 신속히 이루어지고 있다.

그림. 2 대표시험유역 유역도 및 관측시설배치도

#### 2. 토양통 물리적 특성을 고려한 DAWAST모형의 물수지매개변수

##### 가. DAWAST모형의 물수지매개변수

DAWAST모형에서는 미계측 소유역의 물수지매개변수를 구하기 위하여 유역의 물리적특성을 고려한 회귀식을 식(14), (15)과 같이 제시하였다.

$$UMAX = 289.94 + 0.3154 X_1 - 1.4036 X_3 + 1.4545 X_{11} - 0.6739 X_{13} \quad (14)$$

$$FC = 90.3 + 1.9205 X_2 - 0.4113 X_3 + 4.6079 X_4 + 6.8372 X_5 \quad (15)$$

##### 나. 토양통의 물리적특성을 고려한 DAWAST모형의 물수지매개변수

농촌진흥청(1980)에서는 발간한 1:25,000 정밀토양도와 국립지리원에서 발간한 1:5,000 지형도를 이용하여 GIS Coverage를 작성하고, 2m×2m Grid 로 변환하여 분석에 적용한다. 정밀토양도의 주요 속성인자는 각 토층의 토심, 수분장력, 투수성 및 1/10, 1/3, 15기압하의 보수력이며, 지형도를 이용하여 경사, 향, 및 토지이용현황을 분석한다. 최대토양수분저류능(Umax)과 포장용수량(FC)은 지형의 경사 및 토양통의 유효토심 및 보수력을 사용하여 구한다. 보수력은 각

층의 토심을 고려한 가중평균치를 구한다.

#### IV. 결과 및 고찰

##### 1. 토양의 물리적 특성을 고려한 DAWAST모형의 물수지매개변수

###### 가. 정밀토양도의 토양통

우리나라 전체 토양통은 375개로 토양조사에서 사용하는 토양통은 토양분류의 최저단위로, 이는 표토의 토성을 제외한 토양단면의 형태적, 물리적 및 화학적 특성에 기준을 둔 토양의 구분이다. 표 1은 대표시험유역에 분포하고 있는 토양통의 특성을 정리하였으며, 토양의 모재는 화강암 내지 화강편마암 계통이며 토양배수는 양호 내지 매우 양호한 지역이다.

정밀토양도와 지형도를 이용하여 그림.3, 4와 같이 GIS Coverage를 작성하고, 2m×2m Grid로 변환하여 분석에 적용하였다. 유역면적은 4.938 km<sup>2</sup>이며 모재가 화강편마암이며 산악지에 분포하는 삼각통이 2.833km<sup>2</sup>로 전체 면적의 57.4%를 점유하고 있다.

###### 나. 최대토양수분저류능 및 포장용수량 산정

대표시험유역(성북동)에 분포하는 토양통을 표토(A층), 심토(B층) 및 기층(C층)으로 구분하고 지표면을 기준으로 표토층과 표토 및 심토층 그리고 전체층으로 구분하여 표. 3과 같이 층위별로 토양의 물리적 특성을 구하였다.

표. 1 대표시험유역에 분포하는 토양통의 특성

토양통	토양 모재	토성			토양 배수	투수성	유 거
		표토	심토	기층			
오산	화강편마암	양토	양토	사양토	양호	보통	빠름
화봉	하성층적층	사질양토		사질양토, 사토	매우양호	매우빠름	느림
월곡	곡간층적층	양토	양토, 사양토	사양토	약간양호	약간빠름	보통
용지	곡간층적층	미사질양토	미사질양토	미사질양토	약간양호	매우느림	느림, 매우느림
풍천	하성층적층	양토	양토	사양토	양호	약간빠름	보통 내지 느림
석토	화강암	미사질양토	미사질양토	미사질양토	양호	보통	약간빠름, 빠름
수암	산성암	양토	-	사양토	양호	보통	약간빠름
삼각	화강편마암	사양토	-	-	매우양호	약간빠름	빠름
송산	변성암	사양토	사양토	양질사토	매우양호	약간빠름	빠름, 매우빠름



그림. 3 대표시험유역 음영도



그림. 4 대표시험유역 토양분포도

표. 2 대표시험유역에 분포 면적

토양통	분포지역	분포수	면적 (m <sup>2</sup> )			
			총계	평균	최소	최대
오산통	사구지	13	643,469.5	49,497.7	4,539.4	218,696.8
화봉통	하성평단지	6	109,735.7	18,289.3	2,879.7	31,372.1
용지통	곡간선상지	2	20,816.6	10,408.3	2,530.9	18,285.7
월곡통	곡간선상지	10	277,798.3	27,779.8	2,182.8	113,646.5
풍천통	곡간선상지	3	1,838.0	612.7	155.0	1,023.7
석토통	산록경사지	13	275,483.5	21,191.0	2,528.4	95,406.5
수암통	산록경사지	16	418,245.9	26,140.4	3,008.5	105,903.7
삼각통	산악지	38	2,833,249.8	74,559.2	1,503.8	392,155.0
송산통	산악지	4	358,242.2	89,560.6	1,784.3	340,233.9
합계		105	4,938,879.5			

표. 3 대표시험유역 토양의 물리적 특성(층위별)

통명	토층	토심 (cm)	역함량 (%)	입경(%)					수분장력(%)		
				조사	중사	세사	미사	점토	1/10 기압	1/3 기압	15 기압
오산	A	12	27.2	23.2	13.7	18.9	24.7	19.5	30.7	23.3	-
	A-B	50	14.5	17.8	14.0	18.5	30.8	18.9	31.4	24.9	8.6
	전체	150	8.6	21.1	13.7	19.8	31.0	14.4	30.8	23.2	9.3
화봉	A	11	7.0	13.3	18.8	49.8	15.0	3.1	15.0	9.0	3.7
	A-B	39	29.8	31.4	25.9	29.7	11.1	1.9	9.7	5.4	2.4
	전체	175	10.2	22.1	30.6	34.2	11.3	1.8	9.7	6.1	2.7
월곡	A	26	9.0	17.2	14.0	23.5	35.3	10.0	31.4	21.3	7.9
	A-B	70	28.0	13.6	12.6	24.5	40.3	9.0	29.0	19.8	7.2
	전체	110	57.6	21.3	17.8	23.0	30.5	7.4	26.8	18.6	7.4
용지	A	16	5.0	7.7	3.8	6.8	54.1	27.6	39.7	36.6	13.8
	A-B	120	1.45	3.9	1.9	4.8	58.6	30.8	43.3	41.5	19.3
	전체	120	1.45	3.9	1.9	4.8	58.6	30.8	43.3	41.5	19.3
풍천	A	15	-	21.5	9.9	15.0	40.7	12.9	31.4	18.3	8.7
	A-B	70	-	15.7	10.0	19.7	40.3	14.3	25.9	17.8	10.0
	전체	100	-	15.7	10.0	19.5	40.1	14.7	25.4	17.8	9.5
석토	A	10	35.8	5.9	4.5	6.8	58.0	24.8	18.0	32.5	13.1
	A-B	52	19.2	4.5	3.5	5.9	57.4	28.7	17.7	30.1	13.8
	전체	80	16.1	5.3	4.0	7.5	59.1	24.1	18.0	31.6	12.4
수암	A	15	11.3	18.8	18.6	37.4	19.7	5.5	18.0	14.8	6.2
	A-B	40	13.1	18.9	16.2	37.2	20.6	7.1	17.7	15.2	6.0
	전체	120	13.9	17.3	16.7	38.0	20.8	7.2	18.0	14.9	5.8
삼각	A	12	11.4	35.4	12.0	12.4	30.0	10.2	29.9	20.7	9.5
	A-B	32	12.3	38.4	12.4	13.6	27.2	8.4	29.8	20.1	8.5
	전체	65	15.2	42.3	12.1	12.8	24.8	8.0	28.4	19.4	8.6
송산	A	18	7.7	17.2	14.3	26.2	25.0	17.3	29.9	22.0	-
	A-B	82	15.1	17.2	14.5	31.6	22.5	14.2	29.8	21.0	-
	전체	120	19.4	17.9	15.9	33.7	20.3	12.2	28.4	18.1	-

농촌진흥청(1980)에서 조사한 수분장력을 pF값으로 환산하면 1/10기압, 1/3기압 및 15기압은 2.014 pF, 2.537pF 및 4.109 pF로 정의할 수 있다. 민병섭(1980) 등은 pF 2.7~4.2 에 해당하는 토양수분을 모관수로 정의하였으며, 조인상(1989) 등은 1/3~1/10Bar 에 해당하는 토양수분량을 최대용수량으로 정의하였다. 본 연구에서는 표. 3과 같이 1/10Bar에 해당하는 토양수분량을 해당 토양통의 최대용수량으로 정하였고, 1/3Bar에 해당하는 토양수분량을 모관수의 한계로 정하였다.

표. 3 토양의 특성에 의한 최대용수량(Umax)과 모관수(Fc)

구분	A층		A-B층		전체	
	용량(m <sup>3</sup> )	깊이(cm)	용량(m <sup>3</sup> )	깊이(cm)	용량(m <sup>3</sup> )	깊이(cm)
1/10기압	186813.3	3.783	582243.3	11.789	1167450.6	23.638
1/3 기압	297978.1	2.794	411843.7	8.339	833570.1	16.878

위의 기준을 적용하여 대표시험구역에서 구한 최대용수량(Umax)은 23.638Cm이며, 포관수(Fc)는 16.878Cm 이다. DAWAST모형의 최적화모형과 일반화모형으로 구한 값은 표. 4와 같다. 각각의 방법으로 구한 값들은 비교적 안정적인 값을 나타내고 있다.

표. 4 대표시험구역의 DAWAST모형의 매개변수값 비교(mm)

구분	최적화모형	일반화모형	토양통특성이용
Umax	284	300	236.4
Fc	157	170	168.7

## 2. 토양의 물리적 특성을 고려한 DAWAST모형의 물수지매개변수 적용

### 가. 장기유출모형

토양의 물리적 특성으로 구한 최대토양수분저류능(Umax)과 포장용수량(Fc)을 DAWAST모형의 최적화모형에 적용하여 나머지 물수지 매개변수를 구하여 적용성을 검토한다.

### 나. 단기유출모형

장기유출모형에서 구한 물수지매개변수와 포화 투수계수와 Matric Flux Potential값을 적용하고 불포화층의 토양수분거동을 해석하여 FLOCON모형에 적용한다.

## IV. 결론

유역환경의 급격한 변화와 지구온난화에 기인하는 기상이변으로 인하여 수자원관리의 중요성이 강조되고 있다. 따라서 이 연구는 토양통의 특성을 고려한 우리나라 고유 분산형모형 개발의 기초연구로 수행하였다. DAWAST 모형의 최대저류능(Umax) 및 포장용수량(Fc)을 유역을 구성하고 있는 토양통의 물리적 특성 및 지형적인 특성을 토양층 각층의 가중평균치를 적용, 2m×2m Grid로부터 구하였다. 기존 DAWAST모형의 최적화모형, 일반화모형 및 토양통의 특성을 이용한 방법으로 구한 최대용수량(Umax)은 각각 284mm, 300mm, 236.4mm 이며, 모관수(Fc)는 157mm, 170mm 168.8mm 이었다.

## 참고문헌

1. 김태철, 노재경, 박승기. 1991. 유역 토양수분추적에 의한 유출모형, 한국농공학회지, 33(4), pp. 61-72
2. 김태철, 박승기, 문종필. 1995. 유역토양수분추적에 의한 실시간 홍수예측 모형, 한국농공학회지, 37(5), 81-89
3. 김태철, 박승기, 안병기, 1996, 한국하천의 일 유출량 모형, 한국수자원학회지, Vol.29(5) pp. 223-233
4. 조인상, 조영길, 민경범, 엄기태, 조성진, 1989, 토성 및 유효토심의 차이가 토양수분 변화에 미치는 영향, 농시연보, Vol. 31(1) pp. 6-13
5. 민병섭 등, 1989, 신재 농업수리학, 향문사
6. Smith, R.E., and R.H.B, Hebbert, 1979, A Monte Carlo analysis of the hydrologic effects of spatial variability of infiltration, Water Resour. Res., Vol.15(2), pp.419-429.
7. Smith, R.E., and J. Y. Parlange, 1978, A Parameter-Efficient Hydrologic Infiltration Model, WRR, Vol. 14(3), pp. 533-538.