

韓國 河川의 日 流出 模型

金 泰 喆* · 盧 載 卿** · 朴 承 基***
Kim, Tai Cheol · Noh, Jae Kyoung · Park, Seung Ki

1. 緒 論

생활 수준의 향상, 산업의 발달과 환경 보전을 위한 물의 수요는 급격히 증가하고, 이에 따른 생활 오수와 산업 폐수로 수질은 악화되고 있어 수자원은 量과 함께 質的으로 큰 문제가 되고 있다. 또한, 농업 구조 개선에 따른 定住圈개발로 농어촌 용수의 수요도 증가하고 있다.

관개 저수지의 저수량 분석, 저수용량, 다목적 이용, 하천의 利·治水 계획, 하천·저수지의 수질 해석, 이수 계획의 광역화, 침전량 추정, 하천 유지 용수량과 유허 곡선 등 수자원을 종합적, 합리적으로 계획, 설계 및 관리하기 위한 日 流出量의 정확한 추정은 필수적이다.

이를 위하여 우리 나라의 기상과 유역 특성에 적합한 “韓國 河川의 日 流出 模型 (DAWAST)” 모형을 개발하였다. 이 모형은 유출자료의 유무, 유역규모와 유역 특성 인자의 조사 여부에 따라 최적화 모형, 일반화 모형과 지역화 모형으로 구성하였다.

2. 最適化 模型

가. 모형의 기본 구조

1) 유출 모형의 개념화

유역에 강우가 있으면 차단, 증발, 지표면 저류 등의 초기 손실이 이루어지고, 강우가 계속되어 초기 손실량 보다 크게 되면 침투와 함께 表面 流出이 일어난다.

불포화 토양층의 토양 수분은 침투로 점차 증가하고, 침투가 계속되어 토양 수분이 불포화 층의 포장 용수량을 초과하면, 중력에 의하여 하부 포화 토양층으로 심층 침투가 이루어져 포화층의 토양 수분도 증가하게 된다.

이 포화층의 토양 수분이 일정한 값 이상이면 불포화층과 포화층 사이에서 중간 유출이 일어나고, 무강수기에는 이 포화층의 토양 수분이 누출되어 기저 유출로 나타나는 것으로 강우 - 유출의 유역 수문 반응을 개념화하였다.

2) 유역 토양 수분의 물 수지

유출에 가장 큰 영향을 미치는 유역 토양 수분을, 불포화층과 포화층에서 일별로 물 수지를 실시하여 일 유출량을 추정하였다.

* 충남대학교 농과대학 농공학과 교수

** 대전직할시 도시계획상임기획단 연구위원

*** 충남대학교 대학원 박사과정

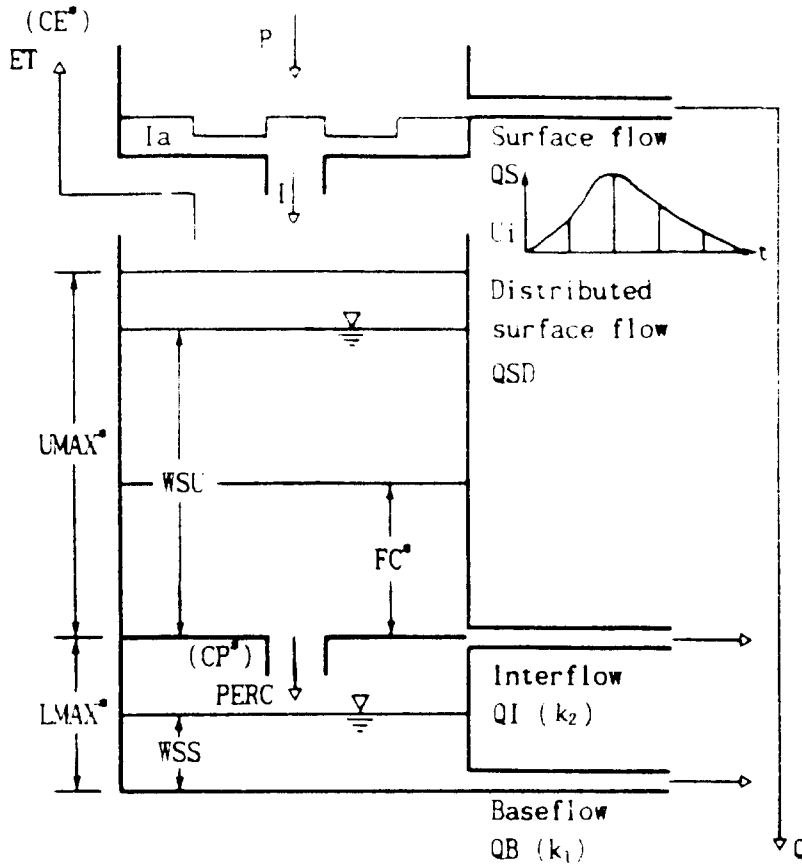


그림 1. 최적화 모형의 개념도

가) 불포화층의 물 수지

불포화층의 토양 수분은 강우에 의한 침투로 증가되고 유역 증발산과 심층 침투에 의하여 감소되며, 불포화층에서의 물 수지 방정식은 식 (1)과 같다.

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

여기서, WSU_i : i 일의 불포화층의 토양수분량 (mm), I_i : i 일의 침투량 (mm)

ET_i : i 일의 유역 증발산량 (mm)

$PERC_i$: i 일의 심층 침투량 (mm)

나) 포화층의 물 수지

포화층의 토양 수분량은 강우시에는 심층 침투에 의해 증가하고, 기저 유출에 의해 감소된다.

$$WSS_{i+1} = WSS_i + PERC_i - QB_i, \text{ if } P_i > 0 \quad (2)$$

$$WSS_{i+1} = WSS_i - QB_i, \text{ if } P_i = 0 \quad (3)$$

여기서, QB_i : i 일의 포화층의 기저 유출량 (mm)

WSS_i : i 일의 포화층의 토양 수분량 (mm)

3) 유출의 성분

유출 성분을 표면 유출, 중간 유출과 기저 유출 성분으로 분류하고, 상기한 방법으로 유역 토양 수분을 고려하여 각 성분을 분석한 후, 합산하여 일 유출량을 추정한다.

$$Q = Q_S + Q_I + Q_B \quad (4)$$

가) 표면 유출

표면 유출은 유효 우량으로 量的으로 가장 크기 때문에 대단히 중요한 성분이다. 이 DAWAST 모형에서는 미국 농무성의 SCS 의 유효 우량 추정 방법 (1972) 을 변형하여 표면 유출을 추정하였다.

$$Q = (P - 0.2 S)^2 / (P + 0.8 S) \quad (5)$$

$$S = 25,400 / CN - 254 \quad (6)$$

여기서, Q : 직접 유출량 (mm), P : 일 강우량 (mm)

S : 최대 잠재 저류능 (mm), CN : Curve number

이 DAWAST 모형은 연속적 모의 발생에 적합하도록 S 를 식 (6) 의 토양의 최대 저류능 개념에서 불포화층의 유효 저류능 S_a 개념으로 변형하여 식 (7)과 같이 최대 저류능과 현재의 토양 수분량의 차이로 정의하였다.

$$S_a = U_{MAX} - WSU, \quad U_{MAX} > WSU \quad (7)$$

$$Q_S = (P - 0.2 S_a)^2 / (P + 0.8 S_a) \quad (8)$$

여기서, S_a : 유효 저류능 (mm), U_{MAX} : 불포화층의 최대 토양 수분량 (mm)

WSU : 불포화층의 토양 수분량 (mm), Q_S : 표면 유출량 (mm)

나) 중간 유출

포화층의 수분량이 최대 수분량에 이르기까지는 우선 수직 방향으로만 심층 침투가 진행되며, 그 이상이 되면 포화층의 최대 수분량 이상의 심층 침투량은 수평 방향의 중간 유출로 나타나는 구조를 적용하였으며, 중간 유출은 감수 곡선 계수 k_1 에 따라 결정된다.

$$Q_{I_i} = (1 - k_1) \times (WSS_i - L_{MAX}), \quad \text{if } WSS_i > L_{MAX} \quad (9)$$

$$Q_{I_i} = 0, \quad \text{if } WSS_i \leq L_{MAX} \quad (10)$$

여기서, Q_{I_i} : i 일의 중간 유출량 (mm), L_{MAX} : 포화층의 최대수분량 (mm)

k_1 : 중간 유출 감수 곡선 계수 ($0 < k_1 < 1$)

다) 기저 유출

포화층의 수분량은 심층 침투에 의해 보충되고, 기저 유출로 누출된다. 기저 유출량은 포화층의 수분량과 기저 유출 감수곡선 계수 k_2 에 따라 결정된다.

$$Q_{B_i} = (1 - k_2) \times WSS_i \quad (11)$$

여기서, Q_{B_i} : i 일의 기저 유출량 (mm), k_2 : 기저 유출 감수 곡선 계수

4) 추적 성분

가) 일별 배분을

일별 배분률은 수 많은 복합 강우 - 유출 사상으로부터, 유효 우량과 유출량과의 관계로부터, 조건이 있는 비선형 Flexible Tolerance 기법으로 구한다.

$$QSD_i = \sum_{j=i-n+1}^i U_{i-j-1} QS_j \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^n U_i = 1.0 \quad (13)$$

나) 감수 곡선 계수

강우가 발생하면 수문 곡선은 상승하여 尖頭部를 지나 표면 유출이 끝나면 중간 유출과 기저 유출로 점차 하강하게 되며, 減水部의 수문 곡선은 식 (14) 와 같이 감수 곡선 계수에 따른 지수 함수 형태를 나타낸다.

$$Q = Q_0 \times k^t \quad (14)$$

여기서, Q : 유출량, Q₀ : 초기 유출량, k : 감수 곡선 계수, t : 단위 시간

3. 一般化 模型

가. 일 유출 관측 수문 지점의 선정

나. 매개 변수의 일반화

최적화 모형을 57 개 수문 지점에 적용하기 위하여, 초기 유효 저류량, 추적 매개 변수, 물 수지 매개 변수 등을 일반화하였다.

1) 초기 유효 저류량 S₀ 의 일반화

식 (7) 의 유효 저류능 S_a 를 일별로 나타내기 위해서는 일 유출량을 모의 발생 하는 첫 날의 S_a 인 초기 유효 저류량 S₀ 를 알아야한다.

$$\begin{aligned} S_0 &= 51.2 - 33.6 QB_0 + 1.224 P_0 \quad (10 \sim 3 \text{ 월 }) \\ S_0 &= 63.5 - 23.6 QB_0 + 0.816 P_0 \quad (4 \sim 6 \text{ 월 }) \\ S_0 &= 79.0 - 16.2 QB_0 + 0.425 P_0 \quad (7 \sim 9 \text{ 월 }) \end{aligned} \quad (15)$$

2) 추적 매개 변수의 일반화

가) 일별 배분률

표.1 유역 규모에 따른 일별 유출량 배분률.

면적 (km ²)	< 250	<1,000	<5,000	<15,000	>15,000
U ₁	0.52	0.37	0.17	0.11	0.22
U ₂	0.37	0.44	0.60	0.45	0.28
U ₃	0.11	0.19	0.23	0.32	0.20
U ₄				0.12	0.16
U ₅					0.14

나) 기저 유출 감수 곡선 계수의 일반화

$$Q = Q_0 \times k^t, \quad k = a + b \times \log_{10} A \quad (16)$$

여기서, A : 유역 면적 (km²), k : 감수 곡선 계수, a, b : 월별 상수

다. 물 수지 매개 변수의 일반화

선정된 57 개 수문 지점에서 모형의 물 수지 매개 변수를 구하였다.

표.2 57 개 수문 지점의 최적합 매개 변수.

지 점	수 계	보정기간	U _{max}	L _{max}	FC	CP	CE
1 도척	한 강	87 ~ 87	380	10	210	.016	.007
2 이목정		83 ~ 89	400	25	150	.017	.009
3 매 산		74 ~ 75	380	20	120	.016	.008
4 경 안		84 ~ 89	345	28	160	.017	.009
5 반월성		74 ~ 75	338	21	160	.018	.008
6 횡성		84 ~ 86	311	22	139	.015	.008
7 장호원		72 ~ 75	330	20	140	.018	.009
8 주천		83 ~ 86	319	23	162	.015	.008
9 괴 산		83 ~ 85	310	30	130	.019	.009
10 후포		83 ~ 85	316	28	116	.019	.008
11 정선		85 ~ 85	338	32	129	.018	.009
12 영월		65 ~ 69	314	40	112	.020	.005
13 소양		74 ~ 76	322	29	127	.019	.009
14 충주		65 ~ 68	322	28	122	.020	.005
15 여주		68 ~ 70	303	30	135	.018	.007
16 수평	낙동강	73 ~ 74	310	30	120	.020	.006
17 가장		69 ~ 71	265	24	159	.015	.009
18 이안		72 ~ 75	287	24	186	.013	.009
19 산양		71 ~ 73	334	29	146	.017	.009
20 송리원		83 ~ 85	305	22	106	.022	.007
21 창리		72 ~ 74	348	27	119	.020	.007
22 월포		74 ~ 83	350	25	160	.018	.008
23 안동		77 ~ 86	335	25	160	.017	.008
24 정암		66 ~ 67	310	30	130	.019	.006
25 왜관		71 ~ 73	284	33	144	.019	.006
26 진동		67 ~ 68	264	26	133	.017	.006
27 고은	금 강	73 ~ 75	380	25	170	.018	.009
28 구통		86 ~ 90	320	25	160	.017	.009
29 기대		83 ~ 86	295	27	162	.015	.008
30 회덕		83 ~ 86	325	32	140	.017	.009
31 용담		70 ~ 73	305	32	129	.018	.009
32 석화		65 ~ 68	354	27	153	.017	.008
33 옥천		67 ~ 68	306	34	138	.017	.008
34 송포		72 ~ 76	305	30	135	.018	.007
35 대청		83 ~ 86	313	34	141	.019	.006
36 공주		67 ~ 69	302	31	138	.017	.009
37 번암	섬진강	86 ~ 89	330	20	130	.018	.006
38 보성		76 ~ 78	377	24	167	.014	.008
39 압록		65 ~ 69	305	30	135	.018	.007

40	송 정	섬진강	65 ~ 71	291	31	139	.017	.009
41	화 순	영산강	74 ~ 75	340	20	160	.018	.009
42	입 교		74 ~ 75	380	30	170	.018	.009
43	남 평		65 ~ 72	260	30	120	.020	.006
44	마 특		78 ~ 80	259	29	117	.017	.006
45	나 주		70 ~ 72	260	30	120	.018	.007
46	이 동	안성천	66 ~ 68	321	20	131	.018	.009
47	송 산		70 ~ 73	275	30	135	.020	.007
48	회 화		70 ~ 72	343	40	113	.021	.006
49	양 령		82 ~ 84	390	25	160	.016	.008
50	유 천		71 ~ 73	275	38	105	.022	.005
51	대 홍4	삽교천	64 ~ 66	320	30	130	.020	.007
52	대 홍2		64 ~ 67	360	25	170	.018	.008
53	대 홍7		64 ~ 66	370	30	160	.017	.008
54	수 촌		83 ~ 88	300	30	130	.020	.006
55	부 안	만경강	87 ~ 88	376	30	159	.016	.007
56	고 창		73 ~ 74	340	25	150	.019	.008
57	양울교	이사천	65 ~ 69	380	30	140	.018	.008

라. 유역 특성 인자와 회귀 모형

표.3 변수의 구분과 내용.

매 개 변 수	변 수 내 용	
종 속 변 수	UMAX : 불포화층의 최대 토양 수분량 (mm)	
	LMAX : 포화층의 최대 수분량 (mm)	
	FC : 포장 용수량 (mm)	
	CP : 심층 투수 계수	
	CE : 유역 증발산 계수	
독 립 변 수	변 수 내 용	
지 형 인 자	X ₁ : 유역 면적 (km ²)	X ₂ : 주하천장 (km)
	X ₃ : 주변장 (km)	X ₄ : 유역 경사 (%)
토 양 인 자	X ₅ : 수문 토양군 A (%)	X ₆ : 수문 토양군 B (%)
	X ₇ : 수문 토양군 C (%)	X ₈ : 수문 토양군 D (%)
토지 이용 인자	X ₉ : 밭 면적 (%)	X ₁₀ : 논 면적 (%)
	X ₁₁ : 산림 면적 (%)	
수문 지질 인자	X ₁₂ : 화성암류 (%)	X ₁₃ : 퇴적암류 (%)
	X ₁₄ : 변성암류 (%)	

물 수지 매개 변수를 종속 변수로 14 개 유역 특성 인자를 독립 변수로 하여 Additive form 으로 Stepwise regression 분석을 실시하였다.

표.4 小流域 매개 변수 예측 방정식 (A < 250 km²).

매개변수	예 측 방 정 식
UMAX	289.94 + 0.3154 X ₁ - 1.4036 X ₃ + 1.4545 X ₁₁ - 0.6739 X ₁₃
LMAX	19.97 - 1.2229 X ₄ + .1150 X ₇ + 0.3332 X ₈ + 0.0769 X ₁₄
FC	90.30 + 1.9205 X ₂ - .4113 X ₃ + 4.6079 X ₄ + 6.8372 X ₅
CP	.0145 - .000063 X ₂ + .000041 X ₇ + .000154 X ₉
CE	.0077 - .000012 X ₁ + .000111 X ₂ - .000032 X ₈

이 모형은 유역 특성이 뚜렷한 약 250 km² 이하의 소유역의 미계측 수문 지점과 소유역 하천 유출을 합성하여 대하천의 유출을 추정하는 河川 網 수문 모형을 구성할 때 적용하는 것이 바람직하다.

4. 地域化 模型

대상 지점의 수계별, 유역 규모별, 지리적 위치에 따라 57 개 수문 지점의 매개 변수를 전용하여 地域化 模型이라 하였다.

가. 한국 하천을 한강, 금강, 낙동강, 영산강, 섬진-탐진강, 안성천, 삽교천, 만경-동진강, 태화-형산강 등의 9 개 수계로 크게 분류하고, 각 수계는 강우 특성과 유역 특성이 동질이라고 가정한다.

나. 유출 특성에 영향을 미치는 가장 큰 지형 인자로 유역 면적으로 취하여 같은 수계내에서는 유역 크기가 가장 비슷한 관측 수문 지점의 既 분석된 매개 변수를 적용한다.

다. 소유역의 경우 (약 250 km²) 는 수계에 관계없이 地理的으로 가장 가까운 관측 수문 지점의 既 분석된 매개 변수를 적용한다.

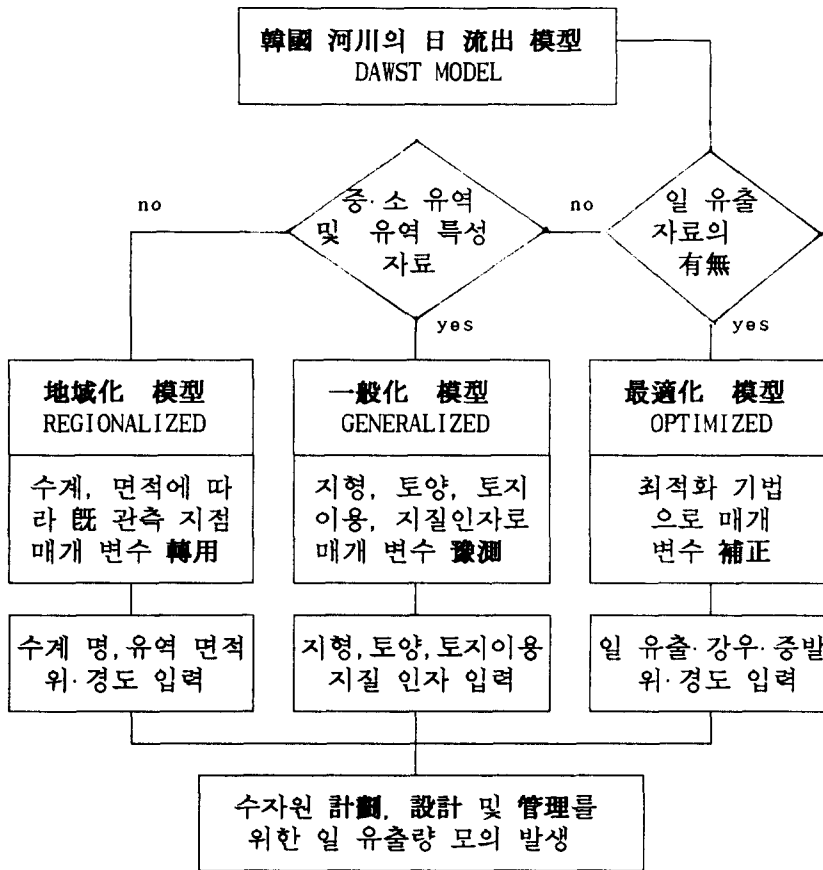


그림 2. DAWST 모형의 구조와 입력 자료.

5. 結 論

“韓國 河川의 日 流出 模型”으로 일 강우량과 증발량의 간단한 자료로 일 유출량을 추정함으로써 저수지 일별 물 수지 분석으로 수자원 계획과 수리 구조물 설계와 관리의 이·치수 기초 자료를 제공한다. 또한 하천 유황 곡선으로 유황 분석, 하천 수질 관리, 하천 정비 계획, 저수지 침전량 추정 등을 수행할 수 있다.

이 모형은 유출 자료의 유무, 유역 규모와 유역 특성 인자의 조사 여부에 따라 최적화 모형, 일반화 모형과 지역화 모형으로 구성하였으며, 가급적 농업 수자원 개발의 대상 지점에서는 적어도 2 ~ 3 년간 수문 자료를 관측하여 최적화 모형을 적용하므로써 합리적으로 수자원을 계획, 설계 및 관리하도록 추천한다.

參考文獻

1. 金泰喆, 盧載卿, 朴承基, 1991, 流域 土壤 水分 追跡에 의한 流出 模型, 韓國 農工學會誌, 33(4), pp.61-72.
2. 농림수산부·농어촌진흥공사, 1992, 농업수자원 종합관리 시스템 개발.