

미계측유역의 일유출량 추정을 위한 탱크모형 매개변수의 회귀식 산정

A Regression Equation of Tank Model Parameters for Daily Runoff
Estimation in a Region with Insufficient Hydrological Data

김 선 주 · 김 필 식 · 윤 찬 영 *(건국대)
Kim, Sun Joo · Kim, Pill Sik · Yoon, Chan Young

Abstract

The purpose of this study is estimation of daily runoff in the watershed with insufficient hydrological data using tank model. In order to estimate, twentysix watersheds were selected to calibrate tank model parameters that were defined by a trial and error method. Results were correlated with characteristics of watershed. Relationships between the parameters and the watershed characteristics were derived by a multiple regression analysis. The simulation results were in agreement with the observed data.

1. 서 론

하천이나 유역의 수자원을 보다 합리적으로 이용하며 관리하기 위해서는 시간적 공간적으로 유출량을 정확히 추정할 수 있어야 한다. 그러나 유출량을 정확히 추정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 1904년 이래 실시되어온 하천 수문 조사는 대부분 대유역을 중심으로 이루어져, 중소 유역의 개발에는 일관성이 없이 여러 방법을 사용하여 유황자료의 추정을 하고 있다. 하천 유황의 추정 방법으로는 강우량에 의한 경험식, 물 수지식, 하류 유황자료의 외삽법, 수문모형등 여러 가지 방법이 사용되고 있다. 경험식의 대표적인 것은 월수수량 계산식으로 널리 쓰이고 있는 가지야마식, 순·월별 회귀식(김태철, 1984) 등이 있다. 물 수지식에는 월별, 순별 수수량 모형 등이 있다(국토개발연구원, 1987). 수문 모형은 유역의 수문 순환과정을 수식화하여 수문 기상자료로부터 유출량 또는 기타 수문, 수질 변량 등을 추정하는 것으로, 일유출량을 위한 수문 모형 중 우리나라에서 적용된 예는 Stanford모형(권순국, 1985). USDAHL(권 등, 1987). SSARR, Tank모형(김 등, 1988)등이 있다. 그러나, 수문 모형의 적용은 주로 연구 개발단계에 국한되고 있어, 실용화에는 미치지 못하고 있는 실정이다.

본 연구의 목적은 수문자료가 부족한 지역에서도 수자원을 계획하는데 사용할 수 있도록 일반적으로 널리 알려져 있는 tank모델의 매개변수와 지상인자간의 관계를 규명해 보고, 이를 토대로 매개변수 회귀식을 만들어 사용자가 실측유출량 자료가 없는 지역에서도 일유출량을 모의할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. tank모형의 이론

1단 탱크는 유출성분 중 지표유출을 개념화한 것이고 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다. 1단 탱크의 유출공수를 2개로 한 것은 홍수유출시 오차를 1개일 때 보다 감소시키기 위한 것이다. 3단 탱크의 유출공 높이를 "0"으로 한 것은 강우가 없을 경우의 초기기저유출량을 표현 하기 위한 것이며 또한 저류수심 ST가 항상 유출공의 높이 보다는 커야하기 때문이다. 따라서 대유역에서 4개의 탱크를 사용할 때 보다 매개변수의 수는 통상 19개에서 13개로 감소하게 된다.

탱크모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로부터 식(1)에 의하여 계산한다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) \times A_{ij} \quad \dots \dots \dots (1)$$

여기서, $Q_{ij} = t$ 일의 총유출량(mm), $i =$ 탱크의 수, $j =$ 탱크의 유출공수, $ST_i = i$ 탱크의 저류 수심(mm), $H_{ij} = i$ 탱크의 j 번째 유출공의 높이(mm), $A_{ij} =$ 유출공의 단면적(무차원)이다. 또한 저류수심 ST는 단위시간 t 에 따라 다음 식(2)과 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + Rt - Et - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad \dots \dots \dots (2)$$

여기서, $ST_{i,t-1} = t-1$ 일의 i 번째 탱크의 수심(mm), $Rt = t$ 일의 강우량(mm), $Et =$ 증발량(mm), $Q_{i,t-1} = i$ 번째 탱크의 $t-1$ 일의 유출량이다. 증발량 $I_{i,t}$ 는 다음 식(3)와 같이 계산한다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad \dots \dots \dots (3)$$

여기서 $B_i = i$ 번째 탱크의 침투공 단면적(무차원)이다. 식(1)~식(3)에서 보는 바와 같이 유출량을 모의발생하기 위해서는 매개변수 A, H, ST 및 B의 추정이 문제가 된다. 기존의 tank모델 회귀식에 의해 산정된 매개변수는 실측유출량자료의 부족으로 부정확한점이 발견되어 IHP유역 16개소, 기타지역 10개소, 총 26개소의 실측된 유출량자료와 해당 유역의 수문특성인자로부터 선형 회귀식을 재개발하여 일반화된 회귀방정식을 제안하고, 이를 통해 tank모델의 매개변수를 구하여 유역특성자료 즉, 유역면적, 논비율, 밭비율, 산림비율, 주하천길이, 형상계수, 유역경사등의 자료를 입력하면 일유출량을 모의 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 유역의 지상인자

유역의 일별 유출량은 기상수문인자 및 지상인자와 밀접한 관계를 갖는다. 지상인자는 유역의 기하학적 특성, 배수 특성, 토양, 토지이용상태 및 피복정도등 여러인자로 설명된다. 본 연구에서는 유출에 영향을 주는 모든 인자 즉, 유역의 면적, 토지이용상태와 주하천길이, 형상계수, 유역경사 등을 이용하여 tank모델의 매개변수와 회귀분석을 실시하였으며, 유역의 특성 및 토지이용상태는 Table. 1 과 같다.

Table. 1 유역의 특성 및 토지이용 상태

Watershed	Area (km ²)	Paddy (%)	Upland (%)	Forest (%)	Length (km)	Shape factor(f)	Slope (%)
가장	149.40	10.30	20.20	61.20	18.40	0.441	6.10
고노	109.73	3.19	4.78	90.79	18.90	0.307	3.55
공주	7126.00	9.80	12.00	68.30	277.00	0.093	1.80
괴산	671.00	8.50	15.40	71.10	79.20	0.107	3.60
기대	346.00	10.40	10.00	68.20	30.31	0.297	5.00
나주	2060.00	10.00	19.40	57.40	74.50	0.372	2.60
도척	5.90	7.50	5.70	79.20	3.30	0.542	21.70
동곡	33.63	2.97	5.95	89.82	8.00	0.525	7.75
무성	472.56	4.45	6.05	88.24	42.83	0.258	1.89
미성	171.25	3.18	6.06	89.40	30.90	0.179	2.52
방림	519.78	3.19	8.33	85.87	51.85	0.193	1.62
백옥포	140.50	3.90	9.77	83.52	22.95	0.270	3.50
병천	302.13	4.12	7.14	87.20	40.65	0.183	1.97
보성	275.00	18.4	7.30	64.50	38.50	0.186	4.00
산계	476.49	12.7	6.35	76.25	49.00	0.166	0.32
산성	53.74	8.19	2.14	87.90	13.01	0.185	30.73
상안미	382.05	2.68	8.49	86.34	44.20	0.203	0.81
용담	937.00	6.5	8.00	79.70	56.50	0.294	4.30
이목정	55.93	1.40	5.83	91.51	16.55	0.204	13.30
이평	79.50	9.40	9.10	74.80	16.80	0.203	26.26
장평	105.75	1.87	6.87	89.55	25.95	0.154	1.25
탄부	79.53	11.98	2.69	81.86	19.23	0.345	4.20
하반정	92.73	2.84	6.08	88.71	19.30	0.225	1.32
효령	151.08	4.91	0.98	90.47	21.80	0.318	3.12

III. 결과 및 고찰

1. 최적매개변수

각 유역의 실제유출량 자료를 7~10년 정도 확보하여 시산법에 의해 매개변수를 최적화 시켰으며 대상유역에서 유출률이 30~70%을 벗어나는 범위에 있는 유역은 제외 시켰고 양호한 경향을 보이는 자료만을 사용하여 매개변수를 최적화시켰다. Table. 2는 유역별 최적 매개변수의 값을 보여준다. Table. 3에서와 같이 상부 tank의 저류계수 A11과 A12의 값은 0.1~0.5정도의 범위에 있었으며 중간 tank의 A2도 같은 경향을 보였다. 제일 작은 값은 하단 tank의 A3값이었다. tank별 배수 계수 B의 경우에도 유사한 경향을 나타내었다. 한편, 유출공의 높이 H의

경우는 상부tank와 중간 tank의 값간에 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table. 2 최적 tank 모형 매개변수

	A11	H11	A12	H12	B1	A2	H2	B2	A3	B3
용담	0.17	9.35	0.29	73.29	0.27	0.16	9.15	0.12	0.01	0.03
공주	0.14	13.31	0.22	66.12	0.29	0.23	10.59	0.19	0.01	0.03
보성	0.24	25.00	0.5	50.00	0.38	0.22	4.09	0.29	0.01	0.03
기대	0.14	14.00	0.21	75.00	0.38	0.20	8.25	0.21	0.01	0.03
도척	0.15	34.50	0.12	65.00	0.15	0.10	6.75	0.19	0.01	0.03
이평	0.18	12.33	0.20	52.93	0.34	0.18	3.50	0.20	0.04	0.04
나주	0.12	11.43	0.18	46.71	0.37	0.15	2.43	0.21	0.01	0.03
괴산	0.15	10.70	0.21	52.60	0.37	0.15	4.58	0.20	0.02	0.03
탄부	0.22	0.00	0.25	55.90	0.40	0.18	1.00	0.23	0.01	0.03
이목정	0.23	5.00	0.25	40.00	0.41	0.22	1.00	0.11	0.09	0.03
장평	0.09	10.00	0.16	74.50	0.40	0.04	19.00	0.13	0.01	0.03
상안미	0.16	0.00	0.18	67.27	0.38	0.22	3.66	0.14	0.01	0.03
방림	0.21	8.33	0.34	69.50	0.37	0.08	5.00	0.14	0.03	0.03
고노	0.11	15.00	0.46	58.23	0.40	0.17	5.18	0.14	0.01	0.03
병천	0.13	8.67	0.19	71.33	0.41	0.16	5.23	0.15	0.01	0.03
무성	0.23	7.00	0.46	37.50	0.38	0.23	2.50	0.16	0.01	0.03

2. 상관관계분석

매개변수와 지상인자와의 상관성을 규명하기 위하여 구역별 지상인자와 구역별 최적 매개변수와의 상관관계를 분석하였다. Table. 3은 매개변수와 구역인자의 상관계수를 정리한 것이며, Table. 4는 매개변수와 지상인자의 대수값과의 상관관계를 나타낸 것이다.

Table. 3에서 보는 바와 같이 A11, B2는 논비율과 관계가 있었으며 A2, B1, H11은 형상계수와 구역경사와 B3는 구역경사와 상관관계가 있었다. 나머지 매개변수는 별다른 상관성이 없었다.

Table. 3 매개변수와 구역인자의 정상치 상관계수

Parameters	Area (km ²)	Paddy (%)	Upland (%)	Forest (%)	Length (km)	Shape factor(f)	Slope (%)
A11	0.16	0.56	0.23	0.22	0.13	0.16	0.02
A12	0.08	0.23	0.32	0.40	0.05	0.10	0.32
A2	0.02	0.16	0.20	0.08	0.10	0.65	0.56
A3	0.19	0.40	0.15	0.33	0.19	0.16	0.41
B1	0.25	0.15	0.03	0.21	0.17	0.56	0.50
B2	0.12	0.96	0.22	0.76	0.11	0.09	0.09
B3	0.41	0.02	0.36	0.20	0.47	0.29	0.79
H11	0.02	0.41	0.03	0.37	0.04	0.55	0.43
H12	0.09	0.13	0.09	0.09	0.11	0.03	0.19
H2	0.24	0.16	0.01	0.06	0.25	0.12	0.20

Table. 4의 구역별 최적 매개변수와 지상인자의 상용대수값과의 상관계수는 A3는 논비율, B2와 B3는 구역면적, B2는 임야비율과 상관관계가 인정되었으며 나머지 매개변수는 상관관계가 없었다. 이것에 근거하여 회귀분석을 실시하였다.

Table. 4 매개변수와 유역인자의 대수치 상관계수

Parameters	Area (km ²)	Paddy (%)	Upland (%)	Forest (%)	Length (km)	Shape factor(f)	Slope (%)
A11	0.06	0.07	0.20	0.21	0.03	0.09	0.12
A12	0.15	0.10	0.32	0.39	0.13	0.02	0.22
A2	0.53	0.07	0.19	0.06	0.57	0.49	0.53
A3	0.27	0.84	0.10	0.32	0.21	0.09	0.44
B1	0.22	0.27	0.08	0.18	0.28	0.37	0.41
B2	0.07	0.64	0.12	0.75	0.05	0.03	0.19
B3	0.77	0.12	0.35	0.22	0.73	0.28	0.63
H11	0.35	0.32	0.09	0.36	0.39	0.39	0.46
H12	0.06	0.27	0.03	0.11	0.06	0.03	0.24
H2	0.09	0.12	0.13	0.07	0.13	0.21	0.29

3. 다중회귀분석

모형의 유역별 최적 매개변수와 지상인자와의 관계를 규명하기 위하여 후진제거법(backword elimination method)과 단계적 선택법(stepwise selection method)에 의한 다중회귀분석을 실시하였다. 회귀분석의 결과는 Table. 5와 같다. H12와 H2를 제외한 나머지 매개변수는 양호한 결정계수값을 나타내고 있으며 B1은 디폴트값으로 0.38을 사용하였다.

Table. 5 tank모형의 매개변수 추정식

Parameters	Regression equation	r	r ²
A11	$A11 = 0.104 + 0.01138 (PADDY)$	0.564	0.318
A12	$A12 = -0.240 - 0.01125(UPLAND) + 0.0038(FOREST) + 0.0465\log(SLOPE) + 0.105 \log(AREA)$	0.623	0.388
A2	$A2 = 0.112 - 0.0275 \log(AREA) + 0.534 (SHAPE) + 0.00399 (SLOPE)$	0.714	0.509
A3	$A3 = 0.02981 - 0.0571(SHAPE) - 0.022 \log(PADDY) + 0.02567 \log(SLOPE)$	0.935	0.874
B1	$B1 = 0.38$		
B2	$B2 = 0.111 + 0.01001(PADDY) - 0.000001934(AREA)$	0.99	0.99
B3	$B3 = 0.0341 + 0.00000188(LENGTH) + 0.0000749(SLOPE) - 0.000907 \log(AREA)$	0.859	0.738
H11	$H11 = 124.447 - 9.506 \log(AREA) - 54.212 \log(FOREST) + 3.032 \log(PADDY) + 12.051 \log(UPLAND)$	0.716	0.513
H12	$H12 = -106.298 + 7.912 \log(PADDY) + 85.158 \log(FOREST) - 2.81 \log(SLOPE) + 0.0273(LENGTH)$	0.460	0.212
H2	$H2 = -21.517 + 1.981 \log(PADDY) + 0.000715(AREA) + 0.241(FOREST) + 6.907 \log(UPLAND)$	0.424	0.364

IV. 회귀식의 적용 및 검증

1. 회귀식의 적용

위에서 계산된 회귀식의 적용성을 검증하기 위해 기상, 수문자료와 연도를 달리하여 도척, 이평, 용담, 괴산유역에 적용하여 보았다. 검증에 사용한 매개변수는 해당유역의 지상인자를 이용하여 앞에서 구한 회귀식을 사용하여 그값을 매개변수값으로 사용하였으며 이것으로 일별 유출량을 모의하여 추정하고, 실측된 일별 유출량으로 검증 하였다.

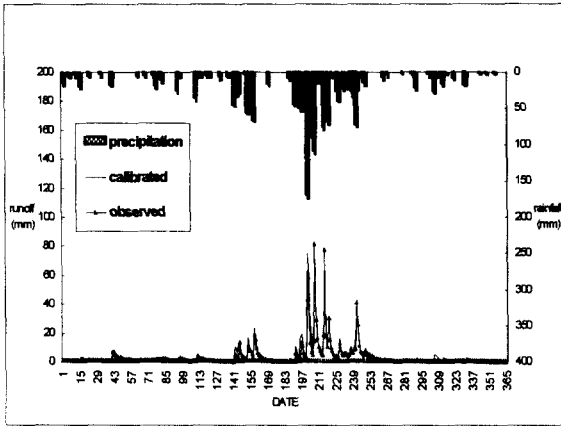


Fig.1. 도척지점의 보정수문곡선과 실측유출량 (1987)

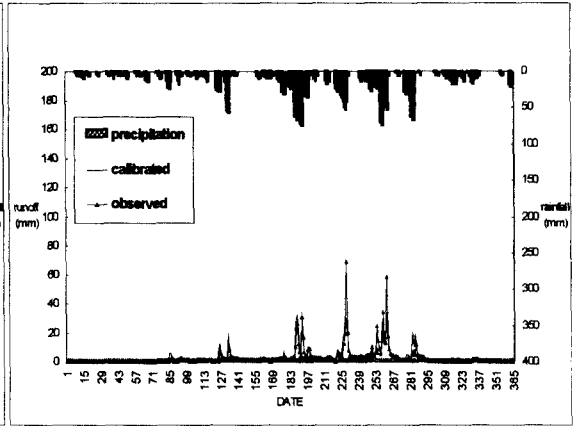


Fig.2. 이평지점의 보정수문곡선과 실측유출량(1985)

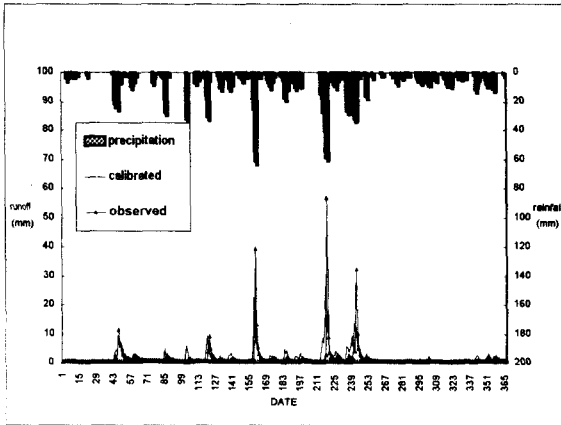


Fig.3. 용담지점의 보정수문곡선과 실측유출량 (1976)

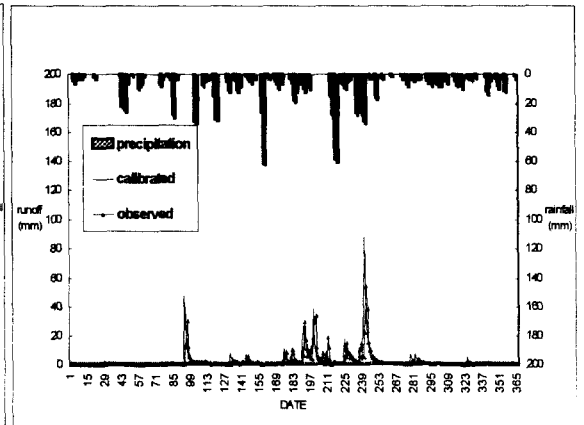


Fig.4. 나주지점의 보정수문곡선과 실측유출량(1980)

도척지점의 경우 계산유출량/실측유출량의 비는 0.95, 이평지점의 경우는 1.03, 용담지점의 경우는 0.99, 나주지점의 경우는 0.94로 나타나 적용성이 있는 것으로 판단된다.

2. 매개변수의 민감도 분석

tank모형에서 매개변수가 유출량에 미치는 영향을 파악하기 위해 이평지점에서 민감도 분

석을 실시하였다. 보정된 매개변수를 0으로 하여 각 매개변수의 값을 $\pm 50\%$ 의 변화를 주어 실시하였다. 각 매개변수중 유출에 영향을 크게 미치는 인자는 유출공계수 A2, A3와 침투공계수 B2, B3로 나타났으며, A3가 가장 민감도가 높은 것으로 나타났다. 연간 유출량의 변화는 A3가 기준값에서 (-108)~(+65)mm정도로 나타나고 있음을 보이고 있다. 나머지 매개변수는 20~60mm의 변화를 나타내므로 tank모형에 의한 장기유출량 추정에서 각 매개변수의 민감도는 그렇게 크지 않음을 알 수 있다.

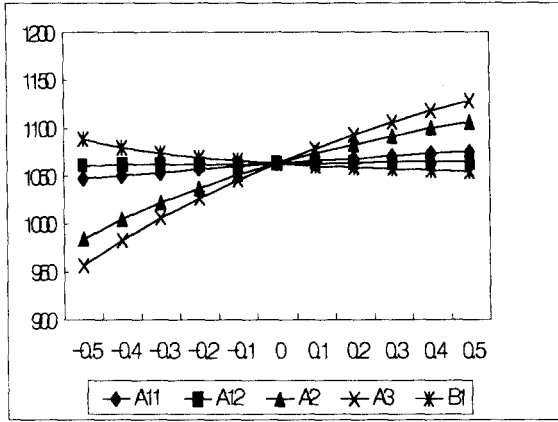


Fig5. 이평지점의 매개변수 민감도의 변화 (I)

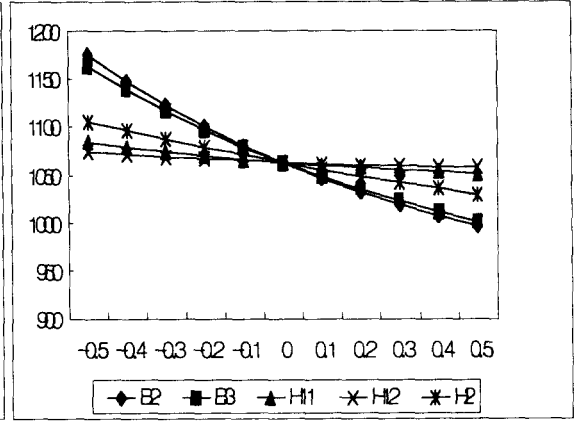


Fig6. 이평지점의 매개변수 민감도의 변화 (II)

V. 요약 및 결론

tank모형의 매개변수와 지상인자와의 관계를 찾기위해 26개 유역을 대상으로 각 유역마다의 유역특성자료와 7~10년간의 강우량을 Thiessen 계수를 사용하여 획득하였으며, 수위자료와 Rating curve를 이용하여 실측유출량자료를 추출하였으며 tank모형의 매개변수와 7개의 지상인자와의 관계를 상관계수를 통하여 규명하였다. 이것을 토대로 다중회귀분석을 실시하여 각 매개변수의 회귀식을 찾아내고, 중소하천에 적용할 수 있도록 하였다. 산정된 매개변수의 회귀식을 사용한다면 미계측 유역조건에서도 유출량의 모의가 가능할 것이라고 판단된다. 범용화를 위해서는 더 많은 양의 수문자료의 획득과 분석이 향후에 필요할 것이라고 생각되며 지속적인 노력과 보완을 통하여 보다 정확한 유출량값을 모의 할 수 있도록 해야할 것이다.

참 고 문 헌

1. 농어촌진흥공사, 1993, 농어촌용수의 개발 및 최적이용모형화연구(II)
2. 김태철, 박승기, 안병기, 1996, 한국하천의 일유출량 모형, 한국농공학회지 29(5), pp.223~233
3. 건설부, 1988~1999 국제수문개발계획(IHP)대표유역 연구조사 보고서
4. 충남대학교농과대학, 1992, 한국하천의 일 유출모형 구조와 사용 지침
5. 박창언, 박승우, 1994, 영산호 운영을 위한 홍수예보모형의 개발(I), 한국농공학회지 36(4)
6. 박승우, 1993, Tank모형 셀프프로그램을 이용한 중소하천의 일유출량 추정, 한국농공학회지 26(3).
7. 허유만, 박승우, 임상준, 1993, 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망모형의 개발(I)