

〈論 文〉

## Tank模型 셸프로그램을 이용한 中小河川의 日流出量 推定 A Tank Model Shell Program for Simulating Daily Streamflow from Small Watersheds

朴 承 禹\*  
PARK, Seung Woo

**Abstract** □ A menu-driven shell program DSFS (Daily Streamflow Simulation Model), that can process the input data, optimize the parameters, execute the program, and graphically display the results of a modified tank model, was developed and applied to simulating daily streamflow from small watersheds. The model defines daily watershed evapotranspiration losses from potential values multiplied by monthly landuse coefficients and correction factors for soil water storage levels. The parameters were calibrated using observed hydrologic data for fifteen watersheds, and the results were correlated with watershed parameters to define empirical relationships. The proposed model was tested with streamflow data of ungaged conditions, and the simulation results overestimated the annual runoff.

**요 지 :** 修正 tank 모형의 入力, 驅動, 出力 및 매개변수의 補正을 실시할 수 있는 셸 프로그램 DSFS를 개발하고, 중소 유역의 일 유출량의 추정에 적용하도록 하였다. 수정 tank 모형은 유역의 일별 蒸發散 損失을 추정함으로써 유출량을 정의하도록 하였으며, 증발손실량은 潛在 蒸發散量에 토양수분계수 및 토지이용상태에 따른 월별 작물피복계수를 써서 조정하도록 하였다. 모형의 매개변수를 보정하고, 매개변수와 유역 특성인자와의 관계를 얻었다. 개발된 셸 프로그램을 미계측유역에 적용하였으며, 일유출량 추정에서 최적화 결과와 유사한 값을 보였으나, 년 유출량은 10% 정도 큰 값을 보였다.

### I. 序 論

근래에 이르러 中小河川流域의 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 生工用水 수요의 증가와 水質에 대한 관심의 증대, 農漁村 用水 開發 등으로 水資源의 절대 수요가 크게 증가하고 있으나, 대규모 댐의 適地 감소, 環境에 대한 認識의 제고, 水沒 住民의 저항 등으로 새로운 水資源의 개발에는 상당한 제약이 있는 것이 사실이다. 따라서, 중소 하천 유역의 개발이 계획되고 있으며, 부안, 보령, 섬진, 적성 댐 등이 그 예이다 (建設部, 1990).

수자원 개발이나 수질 보전 등의 계획을 위하여는 유역의 장기간의 河川 流況 資料가 필요하다.

그런데, 1904년 이래 실시되어온 하천 수문 조사는 대부분 大流域을 중심으로 이루어져, 중소 유역에 대한 자료가 부족한 실정이다. 따라서, 중소 유역의 개발에는 여러가지 방법을 이용한 유황 자료의 추정을 실시하고 있다. 河川 流況의 추정 방법으로는 降雨量에 의한 經驗式, 簡易 물 收支式, 하류 유황 자료의 외삽법, 水文 模型 등 여러가지 방법이 사용되고 있다. 경험식의 대표적인 것은 月收水量 계산식으로 널리 쓰이고 있는 가지야마식이나, 旬 月別 回歸式 (김태철, 1984) 등이 있다. 물 收支式에는 月別, 旬別 受水量模型 등이 있다 (국토개발연구원, 1987). 수문 모형은 유역의 수문 순환 과정을 수식화하여 수문 기상 자료로 부터 유출량 또는 기타 수문, 수질 변량 등을 추정하는 것은

\* 서울대학교 농업생명과학대학 부교수

로, 일유출량을 위한 수문 모형 중, 우리나라에서 적용된 예에는 Stanford 모형 (권순국, 1985), USDAHL (권 등, 1987), SSARR, tank 모형 (김 등, 1988) 등이 있다. 그러나, 水文 모형의 적용은 주로 研究 開發 단계에 국한되고 있어, 실용화에는 못미치고 있는 실정이다. 그 원인은 우리나라 유역에 대하여 檢定된 모형이 많지 않고, 이들 모형의 대부분도 그 入力資料의 불확실성 등으로 未計測 流域에의 적용이 쉽지 않다. 또한, 모형의 운전에 있어서 상당한 기술이 필요한 것으로 인식되고 있어, 소위 汎用화된 모형이 없다. 특히, 중소 유역의 경우에는 수문 자료의 부족으로 충분히 검정된 모형을 찾기 어렵다.

본 研究의 目的은 修正 tank 모형을 구성하여, 중소 유역의 일유출량을 模擬發生할 수 있는 수문 모형으로 개발하고, 실측 자료를 이용 媒介變數를 보정하여 地相서了 등과의 관계를 시도하고, 모형의 入力자료 처리, 구동, 출력, 매개변수의 최적화 등의 일련의 작업을 시행할 수 있는 셸 프로그램 (shell program)을 구성하며, 메뉴식 프로그램을 개발하고, 그 응용성을 검토하는 데 있다.

## II. 流域 蒸發散 tank 模型

### 1. 基本 概念

유역의 貯溜量의 변화를 連續方程式으로 부터 구하여,  $t+1$ 일의 貯溜量을 표시하면 다음과 같다.

$$S_{t+1} = S_t + R_t - Q_t - E_t - D_t \quad (1)$$

여기서,  $S$  = 貯溜量,  $R$  = 강수량,  $Q$  = 유출량,  $E$  = 유역 증발산량,  $D$  = 지하 배수량, 첨자  $t$  = 일수이다.

유역의 유출량은 貯溜량과의 관계를 다음과 같은 선형식으로 가정할 수 있다.

$$Q = a(S - S_0) \quad (2)$$

여기서,  $a$  = 流出係數,  $S_0$  = 限界貯溜量으로 유출이 발생하지 않는 土壤空隙水量을 나타낸다. 식 (2)에서  $S_0 = 0$ 의 경우는 線形貯水池模型이 된다.

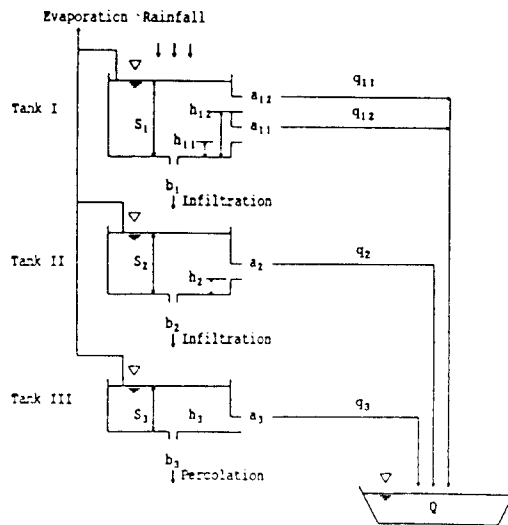


그림 1. 수정 tank 모형의 모식도

Sugawara(1978)는 식 (1)과 (2)를 이용하여 유역의 저류량과 유출량의 관계를 그림 1과 같이 수개의 저수지의 조합으로 개념화한 tank 모형을 구성하였다. 식(2)의 限界貯溜量을 流出孔의 높이로서 표시함으로써 저류량이 그 값 이상일 때 유출되는 것으로 표시하였다. 또한, 수개의 tank는 유역의 유출 지체효과를 표시하는 데 유리하며, 상하부 tank간에는 상부의 排水量이 하부로 유입하는 것으로 하여, 수문 곡선의 減水部를 수치적으로 표현하였다. 그림 1의 tank 모형에서 tank의 수와 각 tank의 유출공의 수는 流域特性과 관계된다. Sugawara (1978)는 대유역의 경우 tank의 수를 4~5개로 하고 유출공의 수를 2~3개로 하는 제안을 하였다. 우리나라의 경우, 금강 하구둑의 기본 조사에서 4단 tank를 채택한 바 있다 (김 등, 1988). tank 수나 유출공의 수가 증가하면 매개변수가 증가하게 되며, 적절히 보정된 매개변수를 적용할 경우 유출량의 추정결과가 실측치와 가깝게 될 수 있다. 반면에 매개변수의 증가는 그만큼 보정횟수가 늘게되는 단점이 있다. 김, 박(1988)은 우리나라 中小 河川에서 그림 1과 같이 3개의 tank와 4개의 流出孔을 사용하여 검토하였으며, 이들 유역의 기저 유출 성분을 모의발생하였다.

본 연구에서는 tank모형의 수와 유출공을 그림 1과 같이 정하고, 이들 값을 不變子로 하여 유역에 따른 tank수나 유출공의 수가 조정되지 않는 것으로 가정하였다. 또한, 유역 증발산량을 기상요소와 토지이용상태 및 근역에서의 토양 수분량 등으로 부터 추정하고 유역 특성인자로 부터 추정이 가능하도록 하였다. 또한, 모형의 매개변수 등을 보정하고 유역 특성과의 관계를 구하여, 미세측 유역에의 적용이 가능하도록 하였으며, 이를 일련의 메뉴식 쉘 프로그램 (shell program)을 구성함으로써 범용성을 높히도록 시도하였다.

2. 流域貯溜量

그림 1의 각 tank 에서의 貯溜量 S 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$S_t = S'_t + U_t - q_t - E_t - D_t \tag{3}$$

여기서, S=tank의 貯溜量, S'=전일 (t-1)의 貯溜量, U=降雨量 또는 流入量, q=流出量, E=蒸發散量, D=排水量이며, 첨자 i는 i번째의 tank를 칭한다. 그림 1로 부터 유역의 유출량은 다음과 같이 정의된다.

$$Q_t = q_{t1} + q_{t2} + q_{t3} \tag{4}$$

여기서, Q<sub>t</sub>=t일의 일유출량, q<sub>t1</sub>, q<sub>t2</sub>=상단 tank의 상부, 하부 유출공으로 부터의 유출량 성분, q<sub>t</sub>=중간 tank의 유출량 성분, q<sub>t3</sub>=하단 tank의 유출량 성분이다.

그런데, 상단 tank의 유출량 성분은 강우 즉시 발생하는 유출량으로 地表流出現象과 유사한 특성을 나타내므로 이를 地表流出量 성분으로 하고, 마찬가지로 중간 tank 유출량 성분은 中間流出量, 하단 tank는 基底流出量 성분을 각각 표시하는 것으로 가정할 수 있다. 그러나, 본 모형은 개념화 모형으로 tank모형의 결과가 곧 실제유역에서의 유출성분의 구분을 의미하는 것은 아니다. 한편, 각 유출공의 유출량은 다음과 같은 선형식으로 가정할 수 있다.

$$q_i = a_i(S_t - h_i) \text{ if } S_t > h_i \\ q_i = 0 \text{ if } S_t < h_i \tag{5}$$

여기서, a<sub>i</sub>=유출 계수, h<sub>i</sub>=유출공의 높이로서 식(2)의 한계 저류량을 의미한다.

각 tank로 부터 그 하단의 tank 또는 저류층 아래의 排水量은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_i = b_i \cdot S_i \tag{6}$$

여기서, D<sub>i</sub>=i번 tank의 排水量, b<sub>i</sub>=排水係數이다.

3. 蒸發散量

각 tank로 부터의 蒸發散量은 t 일의 實際蒸發散量 중 i:部 tank에서의 증발산량의 차이로 나타낼 수 있다. 즉,

$$E_i = E_a - \sum_{j=1}^{i-1} E_j \quad (7)$$

여기서,  $E_i$  =  $i$ 번 tank의 蒸發散量,  $E_a$  = 實際蒸發散量이며,  $\sum E_j$ 은 그 上部 tank에서의 蒸發散量의 합이다.

實際 蒸發散量은 다음과 같다.

$$E_a = K_s \cdot K_c \cdot E_o \quad (8)$$

여기서,  $K_s$  = 土壤水分係數,  $K_c$  = 作物 및 被覆係數이다.

土壤水分係數는 잠재증발산량이 最適 水分 條件에서의 증발산량인데, 토양수분이 飽和狀態에서 圃場用水量으로, 혹은 그 이하로 감소할 때에 따라 작물이 받는 水分 스트레스로 인하여 증발산량의 감소되는 정도를 나타낸다. 반면에, 작물 및 피복 계수는 작물의 生育時期別, 被覆程度別에 따른 실제 증발산량의 증감을 표시한다.

(1) 潛在 蒸發散量

潛在蒸發散量의 추정방법은 여러가지가 있으나, 그 중 Penman식이 가장 적절한 것으로 추천되고 있다. FAO (1977)의 Penman 식은 다음과 같다.

$$E_o = C[W \cdot R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] \quad (9)$$

여기서,  $E_o$  = 潛在 蒸發散量(mm/day),  $W$  = 기온과 관련된 加重係數,  $R_n$  = 純日射量(mm/day),  $f(u)$  = 風速과 관련된 함수,  $e_a - e_d$  = 飽和蒸氣壓과 實際蒸氣壓의 蒸氣壓差(mb) 및  $C$  = 晝夜의 氣溫差에 따른 補正係數 등이다.

Penman식에 의한 잠재증발산량의 추정에는 기온, 풍속, 상대습도, 일조시간 등의 氣象資料가 필요하므로 상당량의 입력 자료가 필요하게 된다. 본 연구에서는 pan 蒸發量 자료를 사용할 수 있도록 Penman식의 결과와의 관계를 구하였다.

pan 증발량과 Penman식에 의한 潛在蒸發散量의 관계를 구하기 위하여 표 1과 같이 전국의 15개 측후소 또는 관측소의 1981~1985년의 5개년

간의 氣象資料를 사용하여 다음의 회귀식을 얻었다.

$$E_o = d_1 E_{pan} + d_2 \quad (10)$$

여기서,  $E_o$  = Penman식에 의한 潛在 蒸發散量(mm),  $E_{pan}$  = pan蒸發量(mm),  $d_1$ ,  $d_2$  = 回歸係數이다.

표 1은 지점별 청명일과 우천일에 대한 잠재증발산량의 회귀계수와 회귀방정식의 決定係數  $r^2$ 의 값을 보여준다. 回歸係數 등은 지점별로 차이를 보였으며,  $r^2$ 의 값은 0.76~0.91의 범위로서 고도의 有意性을 보여주었다. 한편, 10개 지점의 회귀계수의 평균은 청명일의 경우  $d_1$ 는 0.867이고,  $d_2$ 는 0.229이었으며, 우천일의 경우는  $d_1$ 은 0.71,  $d_2$ 는 1.055이었으며, 청명일과 우천일의 회귀계수는 통계적으로 상이한 결과를 나타냈다.

(2) 土壤水分係數

토양수분의 감소에 따른 실제 증발산량의 변화는 다음 식으로 표시하였다.

$$E_a = K_s \cdot E_o \quad (11)$$

여기서,  $E_a$  = 작물 및 피복계수가 1.0일 때의 실제증발산량,  $K_s$  = 土壤水分係數이다. 토양수분 변화에 따른 토양수분계수  $K_s$ 에 관한 모형에는 1) 토양수분의 영향을 무시한 경우( $K_s=1.0$ ), 2) 토양수분부족량,  $D_s$ 에 대하여 선형적인 관계로 표시하는 경우 ( $K_s=D_s$ , 여기서는 상수이다.), 3) 토양수분의 指數函數로 표시하는 경우 등이 있다. 본 연구에서는 유역의 貯溜量에 따른 지수함수적인 변화를 고려하여 다음과 같이 표시하였다.

$$K_s = 1 - \exp(-\alpha \cdot S) \quad (12)$$

여기서,  $\alpha$  = 媒介變數,  $S$  = 流域의 貯溜量이다. 식(12)의 流域貯溜量  $S$ 와  $\alpha$ 의 값에 대한  $K_s$ 의 값은  $S$ 값에 대하여  $\alpha$ 가 1.0에 가까울수록 클수록  $K_s$ 의 값이 크고, 0.1에 가까울수록 작게된다. 또한,  $\alpha$ 값이 일정할 경우,  $K_s$ 는  $S$  값이 작으면 0에 가까워지고, 클수록 1.0에 수렴되는 것을 나타낸다.

표 1. 주요 측후소의 잠재 증발산량 추정식의 회귀 계수

측 후 소	청 명 일		우 천 일		비 고
	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	
춘 천	0.871	-0.001	0.635	1.075	
강 룡	0.833	0.693	0.761	0.975	
서 울	0.933	0.527	0.899	0.575	
수 원	0.827	0.255	0.762	0.582	
청 주	0.890	0.335	0.781	0.882	
대 전	0.912	-0.064	0.677	0.981	
대 구	0.882	0.403	0.678	1.368	
전 주	0.870	0.143	0.673	1.122	
광 주	0.811	0.334	0.681	1.122	
목 포	0.875	0.872	0.739	1.469	
진 주	0.914	-0.515	0.518	1.519	
이 천	0.750	0.431	0.968	1.045	
부 여	0.970	-0.031	0.913	0.635	
의 성	0.743	-0.052	0.566	1.211	
합 천	0.925	-0.263	0.654	1.271	
평 균	0.867	0.229	0.710	1.055	

매개변수  $\alpha$ 의 값은 유역 증발산량의 추정을 위한 별도의 물수지 모형에 의한 최적화를 실시한 결과 0.1~0.5의 범위로서, 유역 특성에 따라 변화를 보였으나, 여기서는  $\alpha=0.1$ 로 하여 불변인자로 가정하였다.

그것은  $\alpha$ 값의 변화에 따른 유출량의 영향이 작기 때문이었다.

(3) 作物被覆係數

實際 蒸發散量은 작물 및 피복상태에 따라 동일한 潛在 蒸發散量에 대하여 상이한 값을 보인다. 잠재 증발산량에 대한 실제 증발산량의 비를 作物係數로 정의한다. 토양수분이 충분할 때의 실제 증발산량  $E_a$ 는 다음과 같다.

$$E_a = K_c \cdot E_o \tag{13}$$

여기서,  $K_c$  = 作物 被覆 係數이다.

作物被覆係數는 토지이용상태, 작물의 종류, 피복정도에 따라 시기별로 변화를 갖는다. 본 연구에서는 유역의 토지이용상태를 표 2와 같이 산림지, 논, 밭, 기타 등의 4종류로 구분하고 山林地는 침엽수, 활엽수, 혼성림으로 세분하여 총 6 종류의 토지이용 상태로 구분하였다.

표 2는 토지이용구분에 대한 월별 작물피복계수를 추정된 값으로서 산림지의 침엽수와 활엽수 등은 USDA Forest Service의 증발산량자료로부터 추정하였고, 혼성림은 침엽수와 활엽수의  $K_c$ 의 값을 평균을 적용하였다. 논, 밭의 경우는 5~11월의 기간에는 논벼를 재배하되, 12~4월은 나지 상태를 가정하여 추정하였으며, 밭은 4~11월 기간중 2모작으로 하였으며, 기타는 대지, 도로, 기타 잡종지로 정하였다.

複合的인 土地利用狀態를 갖는 유역의 평균 작물 피복계수는 각 토지이용구분별 월별 작물계수를 구

표 2. 토지 이용 상태별 월별 작물 피복 계수

토지이용 구 분	작물 피복 계수, K <sub>c</sub>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
침엽수	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4
활엽수	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4
혼성림	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
논	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.0	0.6	0.5	0.4
밭	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	0.8	1.3	0.8	0.4
기타	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.4
평균	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	0.8	0.7	0.6	0.4

하여 面積加重平均을 적용하여 구하도록 하였다.

그 명칭 등은 참고문헌에서와 같이 사용하였다.

### III. 媒介變數의 推定

#### 1. 對象流域

수정 tank모형의 매개변수의 추정과 모형의 검증 등을 위한 적용 대상 유역을 표 3과 같이 총 15개소로 선정하였다. 표 3의 유역은 수위-유량 관계를 갖는 수문 관측지점 중에서 선정된 것으로

표 3은 15개 유역의 지상 인자와 토지이용 및 피복상태의 조사 결과이다. 유역면적은 10km<sup>2</sup>이하 2개소, 10~100km<sup>2</sup> 3개소, 100~500km<sup>2</sup> 범위가 6개소 등으로 500km<sup>2</sup> 이하가 11개소이었으며, 추후에 언급될 매개변수와 지상인자와의 관계를 구명하는데 활용할 수 있도록 500km<sup>2</sup> 이상의 유역 4개소도 포함하고 있다.

대상 유역의 특징을 정의하기 위해 그 지상인자로서 기하학적 특성과 土地利用 및 被覆狀態로 구

표 3. 대상 유역 및 수문 자료

구 분	유역명	유역면적 (km <sup>2</sup> )	자료 사용 기간		인 용 문 헌
			보 정	검 정	
반 월	WS#1	2.75	1986	1987-88	정, 박 (1989)
	WS#3	4.80	1986	1987	
평 창 강	PC#1	519.69	1983-85	1986-88	IHP수문 조사년보
	PC#4	142.26	1983-85	1986-88	
	PC#6	55.93	1983-85	1986-88	
보 청 강	BC#2	346.53	1984-86	1987-88	"
	BC#4	79.52	1984-86	1987-88	
	BC#5	53.70	1984-86	1987-88	
위 천	WC#2	302.13	1984-86	1987-88	"
	WC#4	109.73	1984-86	1987-88	
보 성	SB	275.00	1976-79	1980-83	노(1991)
	YD	937.00	1970-73	1974-76	
용 담	GD	346.60	1983-84	1985-86	"
기 대	NJ	2060.30	1970-74	1975-79	"
나 주	GS	671.00	1976-80	1981-85	"
괴 산					
계	15개소		46년	41년	

분하여 조사하였다. 기하학적 특성으로는 유역 면적, 유로장, 형상계수를 조사하였으며, 토지이용 및 피복상태는 표 2의 토지이용구분에 따라 유역별 면적을 정하였다.

한편, 대상 유역의 유로장은 표 4와 같이 3.8~79km 였는데, 유역면적 500km<sup>2</sup> 이상의 유역에 대한 유로장은 水理構造物의 영향을 받지 않는 하천의 최대길이로서 구한 결과이다. 형상계수는 0.1~0.38의 범위로서 변화 폭이 컸다.

대상 유역의 토지이용 및 피복상태는 林野面積의 구성비가 40%~92%로서 다양한 토지이용 상태를 갖는 유역임을 알 수 있었고, 논 면적의 構成比도 1~31%의 범위를 보였다. 특히, 유역내의 대지나 도시면적등은 1.0~29%의 범위를 나타내고 있어 대도시의 유역을 제외한 우리나라의 대부분의 토지이용 상태를 대표할 수 있는 값으로 생각되었다.

對象流域의 氣象水文因子 중 년강우량, 증발량과 유출량은 표 5와 같았다. 표 5에서 半月流域은 유출량자료가 4월~11월의 기간동안만 測定되었기

때문에 이 期間에 국한하여 정리한 것이다. 분석기간중 년강우량은 1,106~1,544mm의 분포를 보여 유역에 따라 상이하였는데, 이는 자료의 사용기간의 차에 기인 된 것이다. 유역의 pan증발량은 786~1,249mm의 분포를 보였다. 특히, 유출량 계산을 위한 일강우량자료는 각 지점에 대한 Thiessen망에 의하여 면적우량으로 산정하였다.

표 5의 대상유역의 年流出量은 위천#4 지점의 491mm가 가장 작은 값이었고 보청#5의 4,084.5mm가 가장 큰 값이었는데, 평창, 보청등의 자료 중 일부는 수위-유량관계자료가 불충분한데서 강우량보다 큰 유출량을 나타내고 있는 것이 아닌가 생각되었다. 한편, 年降雨量에 대한 년유출량의 비로서 정의되는 流出率은 반월WS#1의 0.29가 최소값이었고 보청#5의 3.46이 최대값이었다. 평창, 보청, 위천 유역의 자료를 제외할 경우 유출률은 0.29~0.81의 분포를 나타냈으며 보성, 용담, 기대, 나주, 괴산지점 등 비교적 流域面積이 큰 지역의 유출률은 0.48~0.57의 범위로서 변화폭이 작았다.

표 4. 대상유역의 유역특성 및 토지 이용 상태

유역	면적 (km <sup>2</sup> )	유로장 (km)	형상 계수	토지이용 백분율, %					
				침엽수	활엽수	혼용림	논	밭	기타
WS#1	2.75	3.83	0.19	20.0	3.0	17.0	31.0	14.0	4.0
WS#3	4.80	3.85	0.32	43.0	8.0	17.0	7.0	5.0	1.0
PC#1	519.69	51.85	0.19	39.8	23.9	22.0	3.3	8.4	2.7
PC#4	142.26	22.95	0.27	38.9	23.3	21.5	3.9	9.6	2.8
PC#6	55.93	16.55	0.20	42.5	25.5	23.5	1.4	5.8	1.3
BC#2	346.53	30.31	0.38	50.2	4.4	31.4	13.4	6.0	4.6
BC#4	79.52	16.80	0.28	43.3	4.8	33.8	12.0	2.7	3.5
BC#5	53.70	13.01	0.32	46.1	5.1	36.0	8.2	2.1	2.6
WC#2	302.13	40.65	0.18	66.0	14.6	6.6	4.1	7.1	1.5
WC#4	109.73	18.90	0.31	68.7	15.2	6.9	3.2	4.8	1.2
BS	275.00	41.50	0.16	52.6	4.6	7.3	18.4	7.3	10.0
YD	937.00	64.30	0.23	49.0	19.2	9.8	8.2	6.0	7.5
GD	346.60	30.30	0.38	36.0	4.0	28.2	10.4	10.0	11.4
NJ	2060.30	75.10	0.37	42.2	7.4	8.6	18.6	8.5	14.7
GS	671.00	79.20	0.11	35.5	11.4	24.9	8.7	10.7	29.0
평균	184.71	33.94	0.26	44.3	11.6	19.6	10.12	7.20	6.54
σ	409.69	24.36	0.09	11.87	8.07	10.17	7.82	3.13	7.48

표 5. 대상 유역의 기상 수문 특성

유역명	기간	강우량(A) (mm)	증발량(B) (mm)	유출량(C)	유출율(C/A)	감수계수
반월 #1	1986-1988	975.4*	812.7	278.1	0.29	0.787
반월 #3	"	1045.0*	858.3	844.1	0.81	0.805
보성	1976-1983	1543.8	1168.0	857.2	0.56	0.807
용담	1970-1976	1351.7	981.3	771.1	0.57	0.842
기대	1983-1986	1290.9	786.6	616.1	0.48	0.785
나주	1970-1979	1406.0	1249.2	715.4	0.51	0.750
괴산	1976-1985	1127.9	1060.1	636.4	0.56	0.801
평창 #1	1983-1988	1313.2	1180.4	1027.3	0.78	0.866
평창 #4	"	1484.0	1180.4	2354.8	1.59	0.909
평창 #6	"	1216.8	1180.4	1943.6	1.60	0.909
보청 #2	1984-1988	1280.0	1070.9	967.2	0.76	0.849
보청 #4	"	1229.9	1070.9	1416.2	1.15	0.835
보청 #5	"	1181.5	1070.9	4084.5	3.46	0.976
위천 #2	"	1308.1	1290.9	2859.7	2.19	0.526
위천 #4	"	1106.1	1290.9	491.4	0.44	0.278

(\* 수문조사기간 4~11월의 강우량)

일유출량 자료로부터 비교적 장기간 동안 수위의 감소를 나타낸 暴雨事象에 대한 유출량의 水文曲線을 분리하여 減水係數를 추정하였으며, 그 결과는 표 5와 같이 위천유역은 0.28~0.53의 범위였고 그 밖의 유역에서는 0.75~0.91의 변화를 나타냈다.

## 2. 媒介變數의 補正

修正 tank模型의 매개변수의 보정을 위하여 수학적 最適化技法을 적용하였다. 본 연구에서는 매개변수 보정에서는 직접 탐사법의 일종인 Rosenbrock의 回轉座標法(rotating coordinate method) 중 제약 조건 알고리즘 (Kuester & Mize, 1973) 을 적용하도록 하였다.

표 6은 最適化 模型에 의한 보정기간의 자료에 대한 유역별 최적 매개변수의 값을 보여준다. 最適 媒介變數의 유역별 변화를 살펴보면 다음과 같다. 유출계수는 상부 tank의 경우  $a_{11}$ 과  $a_{12}$ 의 相對誤差는 0.22, 0.36이었으며, 중간 tank의  $a_2$ 는 0.12인 반면 하부 tank의  $a_3$ 는 0.50으로 하부 tank의 계수가 가장 큰 변화를 보였다. 배수계수는 상단

tank의 계수  $b_1$ 의 상대오차가 0.38, 중간 tank의  $b_2$ 는 0.25이고 하부는 0.46으로 하부 tank의 값이 가장 적었다. 그런데, 유출공의 높이는 상단 tank의 경우 상대오차가 0.18, 0.35이고 중간 tank의  $h_2$ 는 0.73, 하부 tank는 0.0로서 중간 tank의 값이 상대적으로 큰 변화를 나타냈다.

유역에 따른 매개변수 중  $a_{11}$ ,  $h_{11}$ ,  $a_2$  등의 값은 변이가 크지 않은 반면  $a_3$ 과  $h_2$  등이 큰 변이를 보였다.

## 3. 媒介變數와 地相因子와의 關係

표 6의 유역별 모형의 매개변수와 유역 특성 인자와의 관계를 구명하기 위하여 1) 매개변수 상호간의 Pearson의 상관성 매트릭스(correlation matrix) 분석을 실시하고, 2) 매개변수와 지상인자간의 상관성 분석 등을 시도하였다. 특히, 매개변수와 지상인자간의 상관성 분석에서는 正常値와 對數値 등의 조합에 대하여 검토함으로써 매개변수의 변이를 통계적으로 설명할 수 있는 적합한 변수를 정할 수 있도록 하였다.

Pearson 상관성 매트릭스에 의한 相關係數가 5



표 6. 유역별 최적 매개변수

유역	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	h <sub>11</sub>	h <sub>12</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>
반월 # 1	• 100	• 058	• 054	• 0051	• 500	• 081	• 0095	5.31	11.06	3.00	0.0
반월 # 3	• 110	• 231	• 087	• 0073	• 385	• 063	• 0089	6.14	80.55	5.00	0.0
보성	• 230	• 260	• 100	• 014	• 273	• 086	• 0009	9.45	48.01	23.08	0.0
용담	• 173	• 216	• 095	• 022	• 176	• 063	• 008	8.64	79.14	15.05	0.0
기대	• 225	• 361	• 095	• 0078	• 216	• 063	• 0097	10.0	88.03	19.35	0.0
나주	• 191	• 127	• 095	• 022	• 145	• 063	• 0074	8.59	72.44	14.65	0.0
괴산	• 165	• 215	• 095	• 018	• 192	• 086	• 0010	9.96	47.83	7.47	0.0
평창 # 1	• 160	• 308	• 095	• 021	• 200	• 018	• 0014	6.82	63.44	8.56	0.0
보청 # 2	• 157	• 406	• 097	• 018	• 158	• 080	• 0056	10.0	103.2	25.38	0.0
위천 # 4	• 238	• 447	• 095	• 0076	• 216	• 063	• 0096	9.25	102.08	15.32	0.0
평균	• 183	• 287	• 089	• 012	• 286	• 073	• 0068	8.25	76.189	10.49	0.0
표준편차	• 041	• 104	• 011	• 006	• 108	• 018	• 0031	1.44	26.927	7.67	0.0
상대오차	• 224	• 36	• 12	• 50	• 38	• 25	• 46	0.18	0.35	0.73	0.0

% 有意水準에서 상관성이 인정되는 변수 등은 h<sub>11</sub> 과 a<sub>11</sub>, h<sub>11</sub>과 a<sub>2</sub>, h<sub>12</sub>와 a<sub>12</sub> 등이었으며 b<sub>1</sub>과 a<sub>2</sub>, b<sub>1</sub> 과 a<sub>3</sub>는 1%의 유의수준에서 부의 상관성이 있었다.

유역별 최적 매개변수와 지상 인자와의 단순상관 계수는 대체적으로 낮은 값을 보여주었다. 상단 tank의 유출계수 a<sub>12</sub>의 경우, 유역의 논 구성비나 임야 구성비와 유의성이 있었으며, 중간 tank의 유출계수 a<sub>2</sub>는 밭과 임야구성비와 a<sub>3</sub>는 유역면적, 유로장과의 상관성이 있었고, 유출계수 b<sub>1</sub>은 林野 構成比, 유출공 높이 h<sub>12</sub>는 土地利用 構成比와 h<sub>2</sub> 는 유로장과 각각 상관성을 보였다.

유역별 최적 매개변수와 지상인자의 상용대수 값 과의 상관계수는 a<sub>11</sub>, a<sub>12</sub>와 밭 구성비, b<sub>1</sub>과 h<sub>2</sub>가 유역면적, h<sub>12</sub>가 논 구성비, h<sub>2</sub>와 기타 구성비 등과 유의성이 있었으나, 그 밖의 매개변수와 지상인자 의 대수값과는 상관성이 없었다.

한편, 매개변수와 유역 특성의 대수치 간의 상관 관계에서는 流出係數 a<sub>11</sub>은 유역면적, a<sub>12</sub>는 논, 임 야면적, 구성비 a<sub>2</sub>는 유역면적, 임야구성비, a<sub>3</sub>는 유역면적, 유로장과 상관성이 있었다. 유출계수 b<sub>1</sub> 은 유역면적과 유로장, 임야 구성비 b<sub>2</sub>는 논 면적 구성비와의 상관성의 유의성이 있었다. 流出孔의 높이는 h<sub>11</sub>은 유역면적과 h<sub>12</sub>는 밭, 임야 구성비와 h<sub>2</sub>는 유역면적, 유로장 등과 상관성이 있었다. 이 상의 상관 관계를 고려하여 매개변수와 지상인자와

의 관계를 가장 적합한 단순 또는 다중 회귀식으로 표시하였으며 그 결과는 다음과 같았다.

상단 tank의 유출계수 a<sub>11</sub>, a<sub>12</sub>의 회귀식은 다음 과 같았다.

$$a_{11} = 0.10 + 0.01 \log(\text{Area}) \quad (14)$$

$$a_{12} = -0.192 + 0.007(\text{Forest}) - 0.001(\text{Length}) \quad (15)$$

여기서, Area = 유역면적(km<sup>2</sup>), Forest = 임야면 적구성비(%), Length = 유로장(km)이다. 회귀식 의 결정계수는 식(14)는 0.561, 식(15)는 0.756 으로 유의성이 있었다.

중간 및 하단 tank의 유출계수 a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>의 회귀식 은 다음과 같았다.

$$a_2 = 0.089 + 0.004 \log(\text{Area}) - 0.002(\text{Upland}) \quad (16)$$

$$a_3 = 0.005 + 0.00026(\text{Length}) \quad (17)$$

여기서, Upland = 밭 면적 구성비(%)이다. 식 (16)의 決定係數는 0.860, 식(17)의 결정계수는 0.742로서 각각 고도의 有意性이 있었다.

tank 모형의 배수계수 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>의 회귀식 등은 다음과 같았다.

$$b_1 = 0.616 - 0.042 \log(\text{Area}) - 0.02(\text{Forest}) \quad (18)$$

$$b_2 = 0.0670 \quad (19)$$

$$b_3 = 0.005654 - 0.021784(f) - 0.001578 \log(\text{Length}) \quad (20)$$

여기서, f = 形狀係數이다. 식(18)의 決定係數는 0.949, 식(19)는 0.640으로 고도의 유의성이 있었다.

tank 모형의 각 tank의 유출공의 높이에 대한 회귀식 및 推定式은 다음과 같았다.

$$h_{11} = 5.495 + 0.564 \log(\text{Area}) \quad (21)$$

$$h_{12} = -70.256 + 1.283(\text{Forest}) + 188.991(f) \quad (22)$$

$$h_{13} = -2.060 + 5.882 \log(\text{Area}) - 0.369(\text{Length}) \quad (23)$$

식(21), (22), (23)의 결정계수는 각각 0.518, 0.970, 0.733으로 식(21)은 有意性이, 식(22)와 (23)는 고도의 유의성이 있었다.

#### IV. 메뉴식 셸 프로그램

##### 1. 셸 프로그램

수정 tank모형의 PC환경에서 사용자의 편의를 제공하기 위하여 메뉴식 자료 입력프로그램과 실행, 결과처리 등의 기능을 갖는 便宜 시스템 DSFS (Daily StreamFlow Simulation Model)을 C언어에 의하여 구성하였다. 편의 시스템은 주메뉴와 부메뉴로 구성되는데, 주메뉴는 그림 2와 같이 입력자료 처리(Inputfile), 최적화(Optimz), 실행(Exec), 출력자료처리(Postpross), 종료(Quit) 등으로 구성하였다. 부메뉴는 그림 2에서와 같이 각 주메뉴 선택항목마다 1~4개의 세부 選擇事項을 시행할 수 있도록 구성하였다.

메뉴는 풀다운(Pull-down)식으로 주메뉴상의 특정기능을 선택할 경우 부메뉴 선택이 화면에 제공됨으로서 실행되도록 하였다.

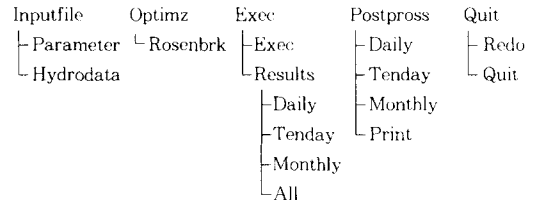


그림 2. DSFS의 선택 메뉴

##### 2. 入力資料 處理

tank 모형의 입력자료는 1) 유역의 地相서지, 2) 모형의 媒介變數, 3) 모형의 初期貯溜量, 4) 증발산 추정 기준 측후소 번호, 5) 계산기간, 6) 일별 강우량과 Pan증발량 자료 등으로 구성된다.

人力資料處理 (Inputfile)는 그림 2와 같이 매개변수 입력 프로그램(Parameter)과 수분 기상 자료 입력 프로그램(Hydrodata)로 구성하였다.

모형의 매개변수는 앞에서 논의한 바 있는 유역 특성과의 관계로 부터 정의하거나, 혹은 유출량 자료가 있는 경우는 매개변수의 최적화의 시행 결과로부터 얻어 사용할 수 있도록 하였다.

기상 자료는 계산 기간 동안의 일 강수량 및 pan 증발량 자료로서 구성되는 데, 해당 유역의 기준 측후소가 주어진 경우 수분 데이터 베이스 등으로 부터 직접 읽거나, ASCII 형의 입력 파일로부터 얻을 수 있도록 하였다.

##### 3. 最適化

셸 프로그램에서 지원하는 최적화 선택 (Optimz)에서의 적용 기법은 앞서 논의한 바 있는 매개변수의 보정에서 사용한 Rosenbrock법을 적용하도록 하였으며, 최적화에서 적용되는 초기값은 지상인자와의 관계식 (식 (14)~(24))를 사용하도록 하였다.

Rosenbrock법은 非線形 不等 制限範圍를 갖는 多變量, 비선형 목적 함수의 최대값이나 최소값을 정의하는 것으로, 변수의 제조건(constraint)은 상수 혹은 함수관계로서 주어진 경우이다.

목적함수는 일별 유출량 추정치의 실측치에 대한 평방 제곱근 평균으로서 정의하였다. 즉

$$\text{Min}(F = \frac{\sqrt{\sum(Q_{in} - Q_{out})^2}}{n}) \quad (24)$$

制約條件은 각 매개변수의 값의 하한치와 상한치로서 정의하였는데, 하한치는 0 또는 그 이상으로 하고, 상한치는 유출공의 높이는 tank의 위치별로 상한치를 주었으며, 유출계수와 배수계수는 1.0이하로 하였다.

#### 4. 實行

실행 선택 (Exec) 은 그림 2와 같이 프로그램을 실행시키는 구동명령 (Exec)와 결과의 출력을 위한 결과 (Results)의 선택이 가능하다. 모형에서의 計算 過程은 다음과 같다.

- 1) 人力資料를 읽는다.
- 2) 기준측후소로 부터 潛在蒸發散量 推定式의 계수를 정하고, 유역의 월별 평균 작물피복계수를 정한다.
- 3) 계산의 첫일의 pan증발산량으로 부터 잠재 증발산량을 구한다.
- 4) 初期貯溜量으로 부터 각 tank별로 土壤水分係數를 식(12)로 부터 정하고, 실제 증발산량을 정한다.
- 5) 初期貯溜量으로 부터 각 tank별 流出量과 배수량을 구한다.
- 6) 初期貯溜量, 流入量, 流出量, 排水量으로 부터 식(3)을 이용하여 증발산량을 무시하고 각 tank별 저류량을 정한 다음, 저류량이 0이상의 경우에는 증발산량을 감하고 당일의 저류량을 정한다.
- 7) 각 tank별 유출량과 증발산량을 더하여 당일의 유출량과 증발산량을 계산한다.
- 8) 각 tank별 저류량을 초기저류량으로 하고 3)~8)을 반복하여 추정기간에 대한 일별유출량, 증발산량을 정한다.
- 9) 추정기간의 일별유출량, 증발산량으로 부터 순별, 월별, 년도별 누계를 구하고 결과를 출력한다.

계산 결과는 일별유출량 출력자료 (Daily), 순별 자료 (Tenday), 월별자료 (Monthly), 전체자료

(All)의 선택이 가능하며, 각 선택에 따라 출력자료를 제공하도록 하였다.

#### 5. 出力資料處理 및 終了

出力資料處理 선택 (Postpross) 은 그림 2과 같이 실행선택에서 생성된 출력자료를 그래픽 화면 또는 인쇄를 하는 것으로, 일별자료 (Daily), 순별자료 (Tenday), 월별자료 (Monthly), 인쇄 (Print)의 4선택으로 구성된다. 일별, 순별, 월별 자료는 결과를 그래픽 화면으로 출력하여 보여주며, 인쇄는 출력자료를 인쇄하는 것이다.

終了 선택 (Quit)은 그림 2와 같이 재시행 (Redo)과 종료 (Quit)로 구분되는데, 재시행은 주 메뉴로 복귀하여 선택되도록 하는 것이며, 종료에서는 생성된 출력자료를 지우고 프로그램을 종료하게 된다.

사용자 편의 시스템의 항목 선정을 키보드의 화살표 키를 이용하여 선택메뉴로 위치하여 입력키를 누르거나 선택메뉴의 대표문자 (화면에 대문자 표시됨)를 입력하면 구동하도록 구성하였다.

#### 6. 프로그램의 制限事項

수정 tank모형의 메뉴식 셸 프로그램 (DSFS)는 국제수문개발 계획 (IHP)에 따라 시행된 것으로 프로그램의 구독은 저자에게 연락하면 프로그램 실행 디스켓을 제공받을 수 있다. 셸 프로그램 DSFS는 PC에서 구동하며, Intel 80287/387이상의 coprocessor의 사용을 표준으로 하였다. DSFS의 出力畫面은 VGA Color graphic board를 사용할 경우 3색 이상의 칼라 화면으로 제공된다. 그러나, Hercules graphic card에서의 실행을 위해서 별도의 실행 프로그램을 제공하도록 하였다.

DSFS에서는 수문 모형의 적용범위를 500km<sup>2</sup> 이하로 제한하였는데, 이는 매개변수의 보정의 범위에 기인하는 것으로 그 이상의 유역에서도 사용이 불가능한 것은 아니다. 또한, 매개변수의 추정에서 사용되는 유역 지상인자의 범위를 초과하는 경우를 위해서, 보정치에 상하한값의 15% 내외의 범위에 서 매개변수를 정하도록 하였다. 따라서, DSFS의

출력으로 얻어지는 매개변수의 값은 식 (14)~(23)과 상이한 값이 될 수 있을 것이다.

### V. 模型의 應用

#### 1. 補正 結果

補正 媒介變數를 이용하여 일별유출량의 推定値와 實測値를 각 유역별, 년도별로 구하여 비교한 결과는 그림 3과 같다. 그림 3은 보성지점의 1976년도 보정결과이며, 수정 tank모형은 큰 홍수량의 값에 대하여는 작은 값을 추정하는 경향을 나타내나 水文曲線의 형태나 저수유출 등의 값에서는 유사한 경향을 보여주는 것을 알 수 있었다.

한편, 각 유역별 最適 變數를 적용할 경우의 일 유출량의 추정치와 실측치의 값에 대한 평방제곱근 평균오차는 표 7과 같았다. 표 7과 같이 반월유역의 1986년 자료가 1.35~2.23mm/day으로 가장 작

은 값이었고, 평창 #1 유역에서 11.47mm의 값으로 큰 값이었다. 10개유역에 대한 평균값은 4.01mm이었다.

그런데, 표6에서 고찰한 바와 같이, 평창, 보청, 위천 등의 유역에서의 유출율이 1.0 이상인 큰 값을 나타내고 있어 자료의 신빙성에 의문이 있는 까닭에 차후 검증에서는 사용하지 않았다.

#### 2. 檢定 結果

모형의 검정을 위하여 DSFS를 이용하여 대상 유역의 수문자료 중 매개변수의 보정에 사용하지 않는 기간에 대한 일별유출량을 추정하고, 그 결과로부터 순별, 월별, 년도별 유출량을 구하여 실측 자료와 비교하였다. 이와 같은 기간의 자료는 소위 미세측 유역 조건을 제공하는 것으로 모형의 검정을 위한 것이다.

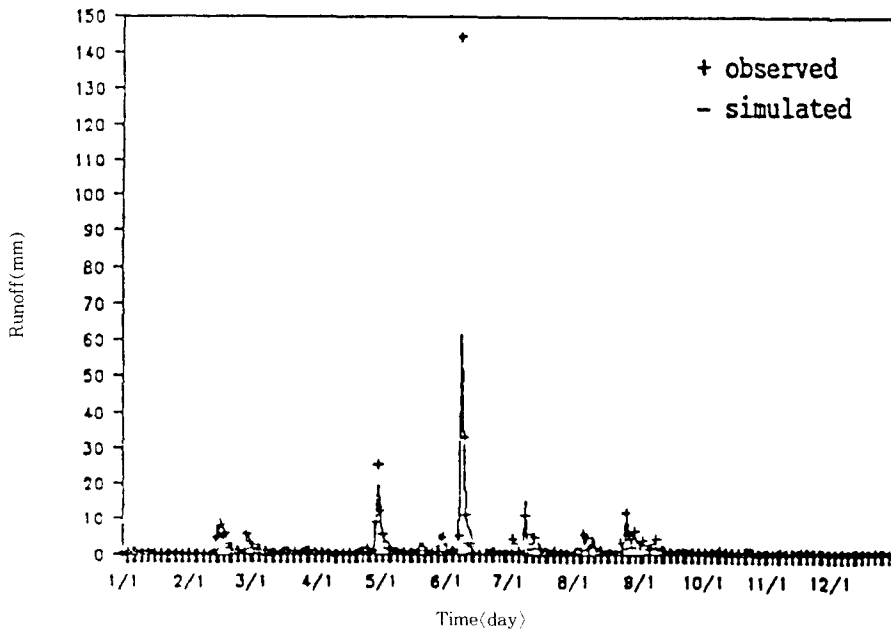


그림 3. 보성지점의 보정치와 실측 유출량의 비교 (1976)

표 7. 매개변수의 보정치와 최적치에 대한 유출량 추정오차

유역명	기간	제곱평균 (mm)		비고
		최적변수	보정변수	
반월 # 1	1986	1.35	1.43	4.1-9.30
반월 # 3	1986	2.23	2.23	4.1-9.30
보성	1976-1979	4.87	5.14	
용담	1970-1973	4.28	4.32	
기대	1983-1984	2.31	2.27	
나주	1970-1974	3.81	3.85	
괴산	1976-1980	3.72	3.75	
평창강 # 1	1983-1985	11.47	11.43	
보청천 # 2	1984-1986	2.38	2.43	
위천 # 4	1984-1986	3.72	3.87	
평균		4.01	4.07	

(1) 日流出量

유역별 일유출량 水文曲線 비교의 예는 그림 4와 같았다. 그림 4는 반월 #3 유역에의 1988년 자료에 대한 비교 결과로서, 추정치가 실측치와 유사하였으나, 6월 상순에서는 실측초과우량이 큰 것

으로 계산되었다. 그밖에도, 보성, 기대, 괴산, 용담, 나주 지점 등에 대한 미 계측조건의 모의발생 결과는 실측치와 유사한 값을 나타내었다.

(2) 旬別, 月別 流出量

표 8은 유역별 년도별 강우량, 유출량의 관측결

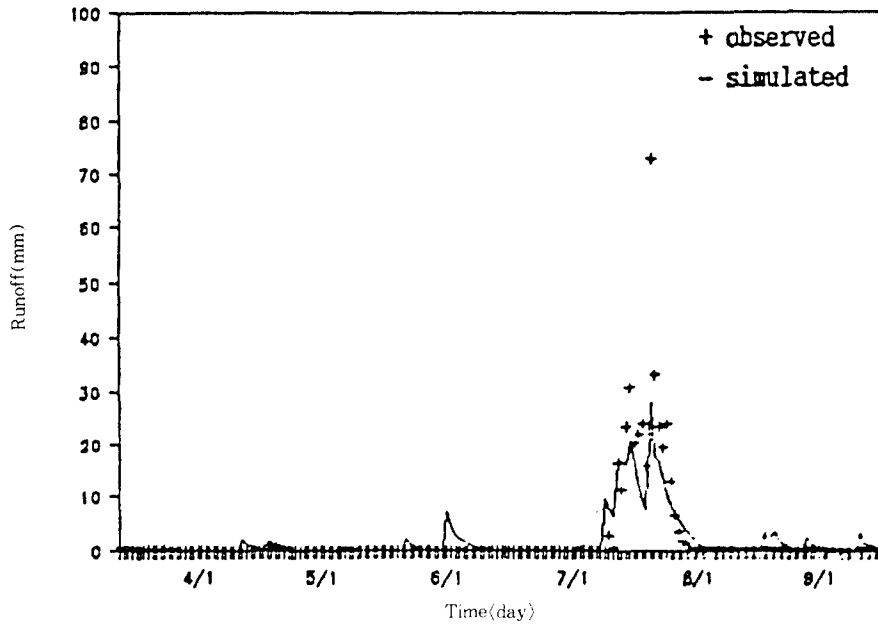


그림 4. 반월 #3 유역의 일유출량의 추정치와 실측치의 비교 (1988)

표 8. 미계측 조건의 모형의 검정 결과

유역명	검증기간	년 유출량 (mm)		상관계수	RMS오차(mm)
		관측치	추정치		
반월 # 1	1988	165.0	331.8	0.520	2.63
반월 # 3	1988	380.6	337.0	0.895	3.07
보성	'80, 82, 83	858.0	1007.1	0.816	3.55
용담	'74-76	698.7	789.8	0.804	2.89
기대	'85-86	731.2	857.3	0.827	2.56
나주	'75-77, 79	536.9	668.0	0.795	2.07
괴산	'83, 85	682.3	772.8	0.780	2.87
평균		579.0	680.5	0.777	2.81

과와 추정유출량의 순별, 월별, 년도별 값을 정리한 것이다.

보성지점의 경우 유출량의 추정오차는 연간 83.9~244.2mm의 범위였으며, 용담지점에는 6.17~157.8mm, 기대지점은 117.1~136.4mm, 나주지점에서는 110.2~517mm 등이었고, 괴산지점은 87.02~234.6mm, 반월 #1은 166.6~236.7mm, 반월 #3 유역에서는 43.7~623.6mm의 변화를 나타내어 상당한 차이를 보였다.

이상의 검정 결과에서는 실측치보다 약 10% 정도 큰 값을 나타내고 있는데, 이는 유역 증발산량의 추정치가 약간 작은 값에 기인되는 것으로 생각되었으며, 이에 대한 추후의 검토가 요망되었다. 그러나, 검정에서 사용된 일부 유역의 기간별 유출량 추정치를 고찰해보면 대부분의 오차가 7~9월의 集中豪雨로 인한 洪水流出에 대한 추정오차에 기인하였다. 따라서, 모형의 적용성은 저수유출 부분에 높은 반면 高水期에는 추정의 정확성이 떨어지고 있음을 의미한다. 따라서, 모형의 정도를 개선할 수 있도록 지속적인 연구 보완이 필요할 것으로 생각되었다.

## VI. 要約 및 結論

中小河川의 일 유출량을 추정할 수 있는 수분모형의 개발을 위하여 中大流域에 적용하는 경험적 수분모형인 tank모형을 토지이용 및 피복상태와

유역저류량을 고려한 증발산량을 이용하는 수정 tank모형을 개발하고, 대상유역을 선정하여 적용성을 검토하였다. 모형의 매개변수를 最適化模型을 이용하여 추정하여, 그 결과와 지상인자와의 관계를 결정하여 미계측 조건의 유역에 대한 적용성을 검토하였다. 모형의 실용성을 높이기 위하여 입력 자료 처리, 매개변수 최적화, 실행, 결과 출력 등의 일련 작업을 쉘 프로그래밍화하고, 사용자 편의 시스템을 구성하여 메뉴식 조작이 가능하도록 하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 유역 저류량과 유출량의 관계를 선형화하여 3단 저류 tank를 갖는 修正 tank모형을 개발하였다.

(2) 유역 蒸發散量을 잠재증발량에 토양수분계수와 작물피복계수를 고려하여 추정하였다.

(3) 作物被覆係數의 값은 토지이용구분에 따라 월평균 작물계수를 유도하여 정하도록 하였고, 토지이용구분비를 이용하여 유역의 가중평균을 사용하였다.

(4) 수정 tank 모형의 적용을 위해 15개 유역을 對象流域으로 선정하고, 모형의 매개변수를 직접탐사법의 회전 방향법에 의하여 補正하였다.

(5) 보정 매개변수와 유역의 지상인자와의 相關性을 分析하고 회귀식을 구하여 미계측 유역에의 매개변수의 추정이 가능하도록 하였다.

(6) 모형의 실용화를 위하여 메뉴식 使用者便宜 시스템을 개발하였으며 입력 및 출력자료의 처리

및 해석이 편리하도록 하였다.

(7) 미계측 유역에의 適用性 分析結果 일유출량 변화의 경향은 잘 일치하였으나, 홍수 유출량의 추정치는 실측치보다 작은 값을 나타냈다. 연유출량은 평균 10%내외의 오차를 보였다.

(8) 본 모형에서의 유역의 일 증발산량의 추정 방법의 개선을 위한 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

### 謝 辭

본 연구는 91년도 국제수문개발계획 (IHP)사업의 일환으로 수행되었으며, 이를 지원한 建設部에 謝意를 표합니다.

### 參 考 文 獻

1. 菅原正巳, 1978, 流出解析法, 共立出版(株).
2. 建設部, 1984-89, 國際水文開發計劃(IHP) 綜合報告書.
3. 建設部, 1990. 水資源 長期綜合計劃 (1991~2011), 89 p.
4. 國土開發研究院, 1987. 中小 河川의 河川 流出量 推定 모델 開發.
5. 權純國, 1987. 流出量推定 電算模型의 開發, 農水產部, 農業振興公社, 서울大學校 農業開發研究所.
6. 權純國, 高德九, 1987. 山岳地域에 대한 USDAHL-74 流域水文模型의 長期流出 解析 應用, 韓國農工

- 學會 29(2) pp. 53-63.
7. 金泰喆, 1984. 韓國 河川의 月 流出量 推定을 위한 地域化 回歸模型, 韓國農工學會誌 26(2), pp. 106-124.
8. 金顯榮, 朴承禹, 1988, 灌溉用貯水池의 日別流入量과 放流量의 模擬發生, 韓國 農工學會誌 30(1), pp. 50-62.
9. 盧載卿, 1991. 土壤水分 貯溜에 의한 日 流出量 流域 模型, 서울大學校 大學院, 131 p.
10. 鄭夏禹, 朴承禹, 1985-1988, 貯水池 물管理研究 (I-IV), 서울大學校 農業開發研究所, 農林水產部, 農業振興公社.
11. Anderson, H.W., M.D. Hoover and K.G. Reinhart, 1976, Forest and Water: Effect of Forest management on flood, Sedimentation, and Water Supply, Pacific Southwest Forest and Range Experimental Sta. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-18/1976, Berkeley. CA.
12. Bengston, R.L., F.R.Crow and A.D.Nicks, 1980, Calibrating the USDAHL Hydrologic Model on Grassland Watersheds, Transactions of the ASAE.
13. FAO, 1977. Crop water requirement, Irrigation and Drainage Paper 24.
14. Kuester, J.L. and J.H. Mize, 1973, Optimization Techniques with Fortran, McGraw-Hill, New York.