

# Tank Model 매개변수의 민감도 분석

## Sensitivity Analyses of the Tank Model Parameters

김 지 용\*, 정 상 옥\*\*  
Kim, Ji-Yong, Chung, Sang-Ok

### Abstract

This study was performed to analyse the sensitivity of the Tank model parameters. First of all, the proper values of the parameters which have the least simulation error to the observed data, were estimated. These were used as the standard values which are compared against the varied parameter values. The Sangwha basin(105.90km<sup>2</sup>) in the Geum river system was selected for this study. The hydrological data from June through November, 1999 were used. In order to analyse the sensitivities of the parameters, the parameter values were changed from -50% to +50%, and the results were compared with the standard results in runoff depth. The results showed that the most sensitive parameters were b1 and h12, and moderately sensitive parameters were a11, a12, b1, and h12. The sensitive parameter in low flow was b2. This results can be used in the parameter estimation when using the Tank model for runoff analyses in watersheds.

### I. 서론

장기 유출량을 정확하게 예측하는 것은 이수 측면에서 대단히 중요하다. 특히, 일 단위의 장기 유출 해석은 저수지의 저수 용량 결정과 저수지 관개용수의 다목적 이용, 담수호 부영양화 현상의 해석을 위한 일 유입량의 추정, 유수량 계산, 하천 유지 용수량 결정 등 합리적인 수자원의 개발, 관리와 계획 수립에 이용된다. 따라서, 일 단위 정도의 장기 유출량을 정확하게 추정할 수 있는 유출 해석기법이 필요하다(김태철 외, 1996 ; 노재경, 1991).

Tank model은 우리 나라에서 이수계획시 필요한 일단위 장기유출량을 추정하는데 많이 사용하고 있는 모형으로 대부분의 다른 유출 모형이 복잡한 구조를 가지고 있으며, 매개변수를 보정하는 데 있어 많은 실측자료를 필요로 하고 있는 데 반하여, Tank model은 일유출량을 추정하는 데 있어 구조의 단순성과 적은 양의 입력자료가 요구된다는 점에서 좋은 모형으로 간주할 수 있다. 그러나 매개변수의 초기값 추정과 매개변수결정 과정에서 시산의 번거로움 등 단점도 있다(김양수 외, 1989 ; Linsley, et al., 1975). 따라서, Tank model을 사용하여

\* 경북대학교 대학원 (kimjiyong1@hanmail.net)

\*\* 경북대학교 농과대학 (sochung@kyungpook.ac.kr)

키워드 : Tank model, 매개변수, 민감도 분석, 유출해석

일단위 장기유출량을 추정할 때는 주요 매개변수 값들의 적절한 결정과 그 특성을 이해하는 것이 중요하다.

지금까지의 관련연구를 보면, 菅原(1978)은 유역을 직렬 4단의 Tank로 구성된 것으로 보고 유출해석을 할 수 있는 Tank model을 개발하였다. 변반연(1984)은 직렬 4단의 Tank model을 영산강 유역의 홍수유출해석에 적용하였으며, 김현영 등(1986)은 유역면적과 유역의 토지이용 상태에 따른 Tank model 매개변수의 변화를 연구하였다. 또한, 김현영(1988)은 우리나라 관개용 저수지의 유역면적이 소규모인 점에 착안하여 Tank model의 매개변수 보정과 검증에 많은 시간과 비용이 소요되는 문제점을 해결하기 위해 직렬 3단 Tank model을 최초로 개발하여 우리나라 중소하천에서의 적용을 시도하였으며, 그 결과 이들 유역의 장기유출해석에 큰 무리가 없음을 발표하였다. 한성호(1994)는 직렬 3단의 Tank model을 평창강 유역에 적용하여 모형 매개변수의 산정 및 민감도 분석을 실시하였다. 권순국 등(1996)은 농촌 유역으로부터 유출되는 오염물질의 양을 산정하기 위하여 수문모형인 Tank model에 오염부하 계산식을 첨가한 오염부하 산정모형을 구성하여, 경기도 이천시 등에 위치한 복하천에서의 일별 오염부하량을 산정한 바 있다. 김선주 등(2000)은 Tank model의 매개변수와 지상인자간의 관계를 규명하고, 이를 토대로 매개변수 회귀식을 만들어 실측유출량 자료가 없는 미계측 유역에서도 일유출량을 추정할 수 있도록 하였으며, 지금은 농업기반공사의 HOMMWRS 모형에 적용되고 있다. 田中 등(2001)은 다목적 계획법(Multi-objective programming)을 이용한 Tank model 매개변수의 최적화에 대해서 연구하였다.

본 논문에서는 Tank model의 이론과 구조를 설명하고, 상주 상화지구의 자료를 사용하여 모형의 매개변수를 산정하고 이를 기준값으로 하여 각 매개변수들의 특성을 파악하고자

민감도 분석을 실시하였다.

분석에 이용된 강우자료는 대상유역내 면사무소에 설치된 자동 우량계를 사용하여 관측하였으며, 유량관측은 경북 상주시 모동면 용호리 터골교에서 수행하였다.

Tank model 매개변수의 민감도 분석에 앞서 실측 유출량에 가장 근사한 추정치를 갖는 적정 매개변수의 보정이 선행되었으며, 민감도는 보정된 각 매개변수를 -50%에서 +50%까지 변화시켰을 때의 유출량의 변화를 비교하여 분석하였다.

민감도 분석을 통해서 얻어진 Tank model 매개변수들의 특성은 앞으로 Tank model 매개변수 값을 보정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

## II. Tank Model의 기본이론

Tank model에 의한 유출해석은 Sugawara (1956)가 유역의 강우-유출관계를 단일 Tank의 선형시스템 모형으로 나타낸 것이다. 菅原(1978)이 발표한 Tank model은 유역의 지표, 중간 및 기저 유출현상을 각 성분별로 개념화하였다. 즉, 4개의 Tank를 직렬로 연결하고 1단 Tank의 유출공의 수는 2~3개이며 나머지 Tank의 유출공 및 침투공의 수는 각각 한 개씩이었다. 이에 비해, 본 연구에서 사용된 Tank model은 <Fig. 1>과 같이 김현영(1988)이 제시한 직렬 3단 Tank model을 기초로 하여 허유만(1992)의 장기유출해석에서 증발산성분의 비중을 고려하여 나타낸 것이다.

임의시간에 내린 강우는 최상단의 Tank I에 유입하고 유입된 강우는 토양수분이 포화된 후 일부는 우측 유출공을 통하여 유출하고 일부는 바닥 침투공을 통하여 제2단 Tank로 이동한다. Tank II는 Tank I로부터 유출된 물을 받아 토양수분이 포화되면 일부는 우측 유출공을 통하여 유출하고 일부는 바닥 침투공을 통하여 제3단 Tank로 이동한다.

직렬로 배치된 각 Tank의 우측 유출공과 바

다 침투공은 강우가 발생하면 Tank에 저류하여 해당 유출공의 수심에 도달하면 Tank I에서 II로 유출한다는 이론으로써 각단의 유출공에서 유출되는 유출량의 합계를 유역의 유출량으로 하는 이론이다.

각 Tank에서의 저류량 S는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$S_{i, t} = S_{i, t-1} + U_{i, t} - q_{i, t} - ET_{i, t} - D_{i, t} \quad (1)$$

여기서,  $S_{i, t}$  = t일의 i Tank의 저류량,  $S_{i, t-1}$  = t-1일의 i Tank의 저류량,  $U_{i, t}$  = t일의 강우량 또는 i-1번 Tank로부터의 유입량,  $q_{i, t}$  = t일의 i Tank의 유출량,  $ET_{i, t}$  = t일의 i Tank의 증발산량,  $D_{i, t}$  = t일의 i+1번 Tank 또는 저류권역 아래로의 침투량이다.

각 Tank로부터 그 하단의 Tank 또는 저류권역 아래로의 침투량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

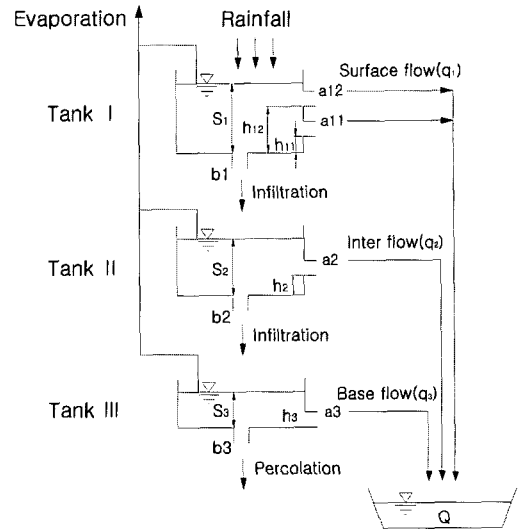
$$D_i = b_i \cdot S_i \quad (2)$$

여기서,  $D_i$  = i Tank에서의 침투량,  $S_i$  = i Tank의 저류량,  $b_i$  = i Tank의 침투계수이다.

또한, 각 Tank로부터의 증발산량은 t일의 실제 증발산량 중 상부 Tank에서의 증발산량의 잔량으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$ET_i = ET_a - \sum_{j=1}^{i-1} ET_j \quad (3)$$

여기서,  $ET_i$  = i Tank의 증발산량,  $ET_a$  = 실제 증발산량,  $\sum_{j=1}^{i-1} ET_j$  = 상부 Tank에서의 증발산량의 합이 된다.



<Fig. 1> Schematic of the Tank model

### Ⅲ. 대상유역 및 관측자료

#### 1. 대상유역

연구 대상유역은 금강 수계의 상화지구로 경상북도 상주시 화서면, 화동면, 모서면 일대를 포함하며, 동경 127° 53' 00" ~ 128° 02' 00", 북위 36° 19' 00" ~ 36° 28' 00" 에 위치한다. 유역면적은 105.90km<sup>2</sup>이며, 이 중 논이 16.4%, 밭이 12.7%, 산림이 66.6%, 기타가 4.3%이다. 대상유역의 동서길이는 16km, 남북길이는 24.4km이며, 주하천 평균 경사는 2.9%를 나타내었다. <Table 1>은 대상 지역의 토지이용 현황을 나타내며, <Fig. 2>는 대상지역의 유역경계와 유량 측정 지점을 보여 주고 있다.

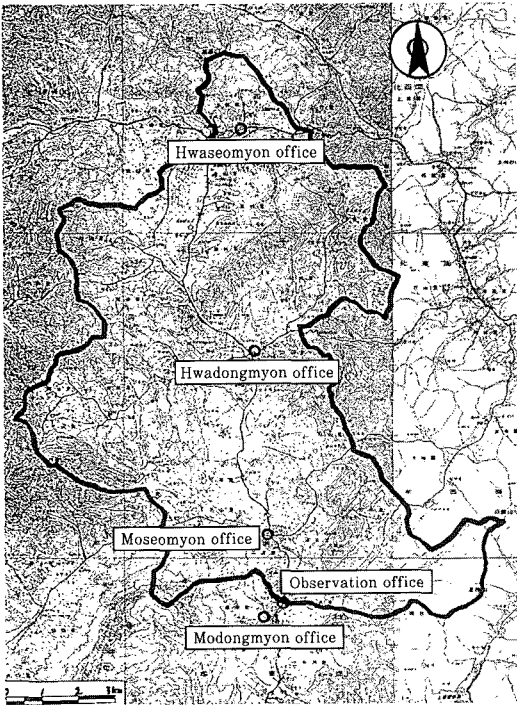
<Table 1> Land use of the study area

(unit : km<sup>2</sup>)

Area	Paddy	Upland	Forest	Others				
				Town	Farmhouse	Road	Reservoir	Subtotal
105.90 (100%)	17.35 (16.4%)	13.45 (12.7%)	70.50 (66.6%)	0.55 (0.5%)	3.32 (3.1%)	0.57 (0.5%)	0.18 (0.2%)	4.62 (4.3%)

### 2. 강우자료

강우자료는 유역내의 상주시 화동면, 화서면, 모동면, 모서면사무소의 자동 우량계를 사용하여 관측한 일별 강우량자료를 수집하였으며, 4개면사무소의 강우량이 큰 차이가 없어 유량관측지점과 가장 가까운 모동면사무소의



〈Fig. 2〉 Geographic map of the study area

자료를 이용하였다. 우량관측소의 위치는 〈Fig. 2〉에 나타나 있다.

### 3. 유량관측

본 연구에서는 평·저수시와 홍수시로 나누어 유량관측을 실시하였다. 유량관측 지점은 상주시 모동면 용호리 터골교이며, 평·저수시 유량관측은 1999. 6. 1부터 1999. 11. 10까지 사이에 평균 10일 간격으로 관측하였고, 홍수시 유량관측은 호우주의보 또는 호우 경보가 발령되면 관측지점에 가서 평수위에서 홍수위

를 거쳐 다시 유량변화가 거의 없어질 때까지 10내지 24시간에 걸쳐서 관측하였다. 일 유출자료는 관측지점에서 자기 수위계를 이용하여 관측한 시간단위의 유량자료를 유출심으로 환

〈Table 2〉 Stage-discharge relationships

Rating curve	R <sup>2</sup>
$Q=74.466*h^{3.6253}$ (0.0≤h≤0.7)	0.946
$Q=33.70*h^{1.5373}$ (0.7≤h≤2.0)	0.952

Q : Discharge (m<sup>3</sup>/s), h : Stage (m)

산하여 적용하였으며, 수위-유량관계식은 〈Table 2〉와 같다.

### IV. Tank model의 적용

Tank model 매개변수의 민감도 분석에 앞서 실측 유출량에 가장 근사한 추정치를 갖는 적정 매개변수의 추정이 선행되었다. Tank model의 매개변수 값은 여러 번의 시행착오를 반복하여 각 Tank의 침투계수와 유출계수 및 유출공 높이를 결정한다.

이때, Tank model 매개변수 값의 결정을 위한 초기계산은 근사 유역에서 기왕에 개발된 값을 이용하거나 그렇지 않을 경우 대체로 〈Table 3〉의 경험치를 사용한다(김석용, 1985 ; 변반연, 1984).

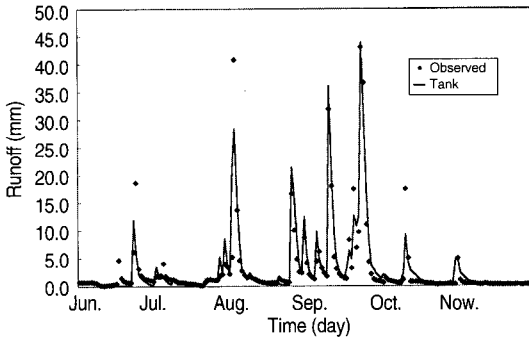
모형의 보정에 사용된 자료는 1999년에 수행한 “농촌용수 수요량조사 용역(선장, 상화지구)보고서(경북대학교, 1999)”의 강우량과 일 유출량 자료를 이용하였으며, 증발량자료는 기상청에서 발간된 기상월보를 참고하였다.

1999년 6월부터 11월까지의 수문자료를 이용하여 보정된 매개변수 값들이 〈Table 3〉에 나타나 있으며, 이 값들을 이용하여 유출 해석한 결과는 〈Fig. 3〉과 같다.

보정기간(1999년 6월~11월)에 대해서 관측된 유출량의 합은 513.7mm, 유출율은 45.2%였으며, Tank model이 추정 한 유출량은

<Table 3> Empirical range and calibrated values of the Tank model parameters

Parameters	Description	Empirical range	Calibrated values
a11	lower runoff coefficient at first tank	0.10~0.20	0.08
a12	upper runoff coefficient at first tank	0.10~0.30	0.25
a2	runoff coefficient at second tank	0.02~0.01	0.02
a3	runoff coefficient at third tank	0.001~0.01	0.002
b1	infiltration coefficient at first tank	0.05~0.15	0.1
b2	infiltration coefficient at second tank	0.02~0.10	0.055
b3	infiltration coefficient at third tank	0.005~0.02	0.009
h11	lower outlet height at first tank	10~20 mm	10.8 mm
h12	upper outlet height at first tank	30~50 mm	35.9 mm
h2	outlet height at second tank	10~20 mm	15.3 mm
h3	outlet height at third tank	0.0 mm	0.0 mm



<Fig. 3> Comparison of observed and calibrated hydrographs

567.8mm, 유출율은 49.9%이었다. 또한, 일별 유출량 추정치와 실측치를 비교 분석한 결과 결정계수  $R^2$ 은 0.85였으며, RMSE는 2.47mm이었다.

## V. 민감도 분석

### 1. 민감도 분석의 개요

민감도는 다른 요소의 변화에 대한 한 요소의 변화율을 의미하며, 절대민감도  $S$ 는 일반적으로 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \frac{\partial R}{\partial P} \quad (4)$$

여기서,  $P$ 는 매개변수를 나타내며  $R$ 은 해당 매개변수 값에 대한 모형의 결과치를 나타낸다.

식 (4)에서 계산된 값들은  $R$  또는  $P$ 의 어느 한 요소의 크기에 따라 일정하지 않기 때문에 모형 매개변수 값들의 민감도 분석에는 적절하지 못하다. 따라서 식 (4)의 분자를  $R$ 로, 분모를  $P$ 로 각각 나누면  $P$ 의 상대적 변화에 대한  $R$ 의 상대적 변화를 식 (5)와 같이 추정할 수 있으며 이를 상대민감도라고 부른다(Haan, et al., 1982).

$$S_r = \frac{\partial R / R}{\partial P / P} \quad (5)$$

상대민감도는 매개변수들의 상대적 중요성을 나타내는 것으로 모형의 결과에 미치는 영향을 알 수 있다.

본 논문에서는 매개변수 값의 변화에 따른 유출해석을 실시하여 각 매개변수가 모형의 결과에 미치는 영향과 각 매개변수의 상대적인 민감도를 분석하였다.

## 2. 매개변수의 민감도 분석

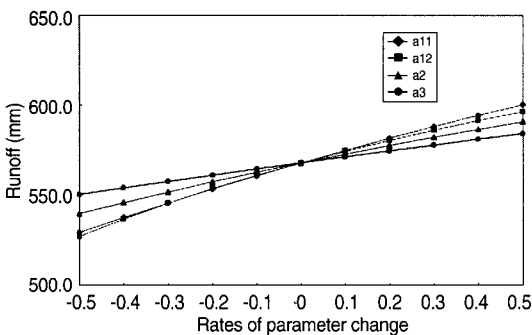
본 모형에서 보정된 매개변수가 모형의 거동에 미치는 영향을 검토하여 매개변수의 특성을 파악하기 위해서 민감도 분석을 실시하였다. 본 모형의 변수 민감도 분석에서 이용된 초기 변수 값은 <Table 3>의 보정값을 사용하였다. 각 변수의 민감도 분석을 실시하기 위해서는 분석변수를 제외한 다른 모든 변수들은 초기값으로 고정시키고 분석변수만을 변화시켜야 한다.

본 민감도 분석에서는 보정된 매개변수 값들을 각각 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 계산한 유출량을 보정된 매개변수 값을 사용하여 구한 유출량과 비교하였다.

### 가. a11 (제1단 Tank의 아래쪽 유출공의 유출계수)

a11의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 4>에 나타내었다. a11을 -50%까지 감소시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 38mm 감소하였으며, +50%까지 증가시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 33mm 증가하였다. 민감도는 0.13을 나타내었다.

a11의 값이 커짐에 따라 유출공을 통한 유출량이 많아지고 유출이 빨라지기 때문에 수문곡선의 유출량이 증가하게 된다. 또한 직렬 3단 Tank model인 경우 제1단 Tank는 홍수시 유출과 관련이 있는 부분으로서, a11값의 증감에



<Fig. 4> Sensitivity of runoff coefficients

따른 각각의 수문곡선들을 비교·분석한 결과 저수시 유출량에는 별다른 변화가 없었으나 홍수시 유출량은 감소 또는 증가하는 것으로 나타났다.

### 나. a12 (제1단 Tank의 위쪽 유출공의 유출계수)

a12의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 4>에 나타내었다. a12를 -50%까지 감소시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 40mm 감소하였으며, +50%까지 증가시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 29mm 증가하였다. 민감도는 0.12를 나타내었다.

a11과 마찬가지로, a12의 값이 커짐에 따라 유출공을 통한 유출량이 많아지고 유출이 빨라지기 때문에 수문곡선의 유출량은 증가하게 된다. 또한 a12값의 증감에 따른 각각의 수문곡선들을 비교·분석한 결과 a12는 홍수시 유출량에만 영향을 끼쳤으며, 이때 홍수시 유출량의 변화 정도는 a11의 경우보다 크게 나타났다. 따라서 제1단 Tank의 유출계수 중에서 홍수시 유출에 가장 민감한 부분은 a12인 것으로 나타났다.

### 다. a2 (제2단 Tank의 유출공의 유출계수)

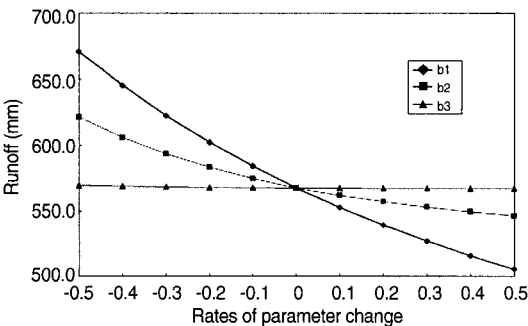
a2의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 4>에 나타내었다. a2를 -50%까지 감소시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 28mm 감소하였으며, +50%까지 증가시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 23mm 증가하였다. 유출량의 변화는 제1단 Tank의 유출공 유출계수보다 작게 나타났으며, 민감도는 0.09였다.

Tank model에서 제2단 Tank는 중간유출과 관련이 있는 부분으로서, a2의 값이 커짐에 따라 제3단 Tank의 유입보다 측벽 유출공을 통한 유출이 많아지므로 중간유출량이 증가하게 된다.

라. a3 (제3단 Tank의 유출공의 유출계수)  
 a3의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 4>에 나타내었다. a3를 -50%까지 감소시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 17mm 감소하였으며, +50%까지 증가시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 17mm 증가하였다. 민감도는 본 분석에 이용된 Tank model의 유출계수 중에서 가장 낮은 0.06을 나타내었다.

마. b1 (제1단 Tank의 침투공의 침투계수)  
 b1의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 5>에 나타내었다. b1을 -50%까지 감소시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 103mm 증가하였으며, +50%까지 증가시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 62mm 감소하였다. 민감도는 -0.28을 나타내었다.

b1의 값이 커짐에 따라 제2단 Tank로의 유입이 많은 반면, 측유출공의 유출량이 적어지므로 수문곡선의 유출량이 감소하게 된다. 반대로, 침투계수가 작을수록 제2단 Tank로의 유입이 적은 반면, 측유출공의 유출량이 많아져서 수문곡선의 유출량이 증가하게 된다. 또한 b1값의 증감에 따른 각각의 수문곡선들을 비교·분석한 결과 b1은 홍수시 유출량에만 영향을 미칠 뿐, 저수시의 유출에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.



<Fig. 5> Sensitivity of infiltration coefficients

바. b2 (제2단 Tank의 침투공의 침투계수)  
 b2의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 5>에 나타내었다. b2를 -50%까지 감소시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 54mm 증가하였으며, +50%까지 증가시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 21mm 감소하였다. 민감도는 -0.12를 나타내었다.

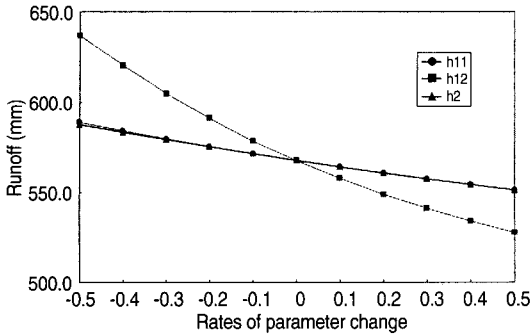
b2값의 증감에 따른 각각의 수문곡선들을 비교·분석한 결과 변수 b1이 홍수시 유출량에 영향을 끼친 반면, 변수 b2는 저수시의 유출에 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

사. b3 (제3단 Tank의 침투공의 침투계수)  
 b3의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 5>에 나타내었다. 분석 결과, 유출량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

아. h11 (제1단 Tank의 아래쪽 유출공의 높이)  
 변수 h11의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 6>에 나타내었다. h11을 -50%까지 감소시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 22mm 증가하였으며, +50%까지 증가시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 16mm 감소하였다. 민감도는 -0.07을 나타내었다.

h11의 값이 커짐에 따라 유출공을 통한 유출량이 적어지므로 총유출량 또한 감소하는 것으로 나타났다.

자. h12 (제1단 Tank의 위쪽의 유출공의 높이)  
 h12의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, <Fig. 6>에 나타내었다. h12를 -50%까지 감소시켰을 때 유출량은



〈Fig. 6〉 Sensitivity of outlet heights

567.8mm에서 69mm 증가하였으며, +50%까지 증가시켰을 때 유출량은 567.8mm에서 40mm 감소하였다. 민감도는 -0.19를 나타내었다.

또한, h12값의 증감에 따른 각각의 수문곡선들을 비교·분석한 결과 h12는 저수시보다 홍수시 유출량에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 이는 h12의 높이가 제1단 Tank의 유출공 중에서 가장 높아 적은 양의 강우로는 h12의 높이를 채울 수 없기 때문인 것으로 판단된다.

차. h2 (제2단 Tank의 유출공의 높이)

h2의 민감도 분석은 보정된 매개변수 값을 -50%에서 +50%까지 변화시켜 나가면서 유출량을 비교하였고, 〈Fig. 6〉에 나타내었다. h2

는 〈Fig. 6〉에 나타난 바와 같이, h11과 거의 동일한 반응을 나타냈으며 유출량의 변화도 -16~20mm로 h11과 거의 같게 나타났다.

### 3. 민감도 분석결과

Tank model 매개변수의 민감도 분석결과를 〈Table 4〉에 나타내었고, 변수 중에서 b1과 h12가 가장 민감한 변수임을 알 수 있다. 또한 각 변수 값들의 변화에 따른 각각의 수문곡선들을 비교해 본 결과, 홍수시의 유출량 추정시 민감한 변수들은 a11, a12, b1 및 h12로 나타났으며, 저수시의 유출량 추정시 민감한 변수는 b2인 것으로 나타났다.

한성호(1994)의 연구에 의하면, Tank model의 매개변수 중에서 변수 a11, b1, b2 및 h11 등이 민감한 것으로 나타나 본 분석의 결과와 큰 차이가 없었다.

## VI. 결론

본 논문에서는 상주 상화지구를 대상으로 우리나라에서 일단위 장기유출량을 추정하는 데 많이 사용하고 있는 Tank model의 주요 매개

〈Table 4〉 Relative sensitivity of the Tank model parameters

Parameters	Description	Relative sensitivity
a11	lower runoff coefficient at first tank	0.13
a12	upper runoff coefficient at first tank	0.12
a2	runoff coefficient at second tank	0.09
a3	runoff coefficient at third tank	0.06
b1	infiltration coefficient at first tank	-0.28
b2	infiltration coefficient at second tank	-0.12
b3	infiltration coefficient at third tank	-0.004
h11	lower outlet height at first tank	-0.07
h12	upper outlet height at first tank	-0.19
h2	outlet height at second tank	-0.07



변수 값들을 보정하고, 이 변수들의 민감도를 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 1999년 6월부터 11월까지 관측된 유출량의 합은 513.7mm, 유출율은 45.2%였으며, Tank model이 추정 한 유출량은 567.8mm, 유출율은 49.9%를 나타내었다.
2. 보정기간(1999년 6월~11월)의 일별 유출량 분석결과 Tank model의 결정계수  $R^2$ 은 0.85, RMSE는 2.47mm를 나타내었다.
3. Tank model 매개변수의 민감도 분석결과, 매개변수 b1과 h12가 가장 민감한 것으로 나타났다. 따라서, 이들 변수 값의 결정에 주의해야 한다.
4. 매개변수 값들의 변화에 따른 각각의 수문 곡선을 비교·분석한 결과, 변수 a11, a12, b1 및 h12는 홍수시의 유출에 영향을 크게 끼치는 것으로 나타났으므로 Tank model을 홍수유출에 적용할 경우에는 이들 변수 값의 결정에 주의해야 한다.
5. 매개변수 값의 변화에 따른 각각의 수문 곡선을 비교·분석한 결과, 변수 b2는 저수시의 유출에 영향을 크게 끼치므로 Tank model을 저수유출에 적용할 경우에는 b2 값의 결정에 주의해야 한다.

#### 참고문헌

1. 경북대학교 농업과학기술연구소, 1999. 농촌용수 수요량조사 용역(선장, 상화지구)보고서.
2. 권순국 외, 1996. 탱크모형을 이용한 일별 오염 부하량의 산정, 한국농공학회지, 제38권 제3호, pp.92~100.
3. 김석용, 1985. TANK MODEL에 의한 유출해석에 관한 연구, 석사학위논문, 동국대학교.
4. 김선주 외, 2000. 미계측유역의 일유출량 추정을 위한 탱크모형 매개변수의 회귀식 산정, 2000년도 한국농공학회 학술발표회 발표 논문집, pp.412~418.
5. 김양수 외, 1989. 일유출량 모의 모형의 개발, 한국수문학회지, 제22권 제3호, p.307.
6. 김태철 외, 1996. 한국 하천의 일 유출량 모형, 한국수자원학회지, 제29권 제5호, pp.223~233.
7. 김현영 외, 1986. 유역특성에 따른 탱크모형 매개변수의 변화, 한국농공학회지, 제28권 제2호, pp.42~52.
8. 김현영, 1988. 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생, 박사학위논문, 서울대학교.
9. 노재경, 1991. 토양 수분 저류에 의한 일 유출량 유역 모형, 박사학위논문, 서울대학교.
10. 변반연, 1984. 영산강 유역의 유출해석에 관한 연구, 석사학위논문, 조선대학교.
11. 한성호, 1994. 유출해석을 위한 강우-유출 모델의 적용, 석사학위논문, 강원대학교.
12. 허유만, 1992. 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망 모형의 개발, 박사학위논문, 서울대학교.
13. Haan, C. T., Johnson, H. P., Brakensiek, D. L., 1982. Hydrologic Modeling of Small Watersheds, American Society of Agricultural Engineers, pp.437~472.
14. Linsley, R.K. et al., 1975. Hydrology for Engineers, Second Edition, McGraw-Hill Co., p.81.
15. Sugawara, M. and Maruyama, F., 1956. A Method of Revision of the River Discharge by Means of a Rainfall Model, 水文 諸量の豫知に關する研究論文輯, pp.14~18.
16. 菅原正巳, 1978. 流出解析法, 共立出版(株).
17. 田中丸治哉, 藤原洋一, 畑 武志, 多田明夫, 2001. Parameter Optimization of Tank Model #using #Multi-objective Programming, 2001年度 農業土木學會大會講演會 講演要旨集, pp.126~127.