

中小流域의 日別 用水需給解析을 위한 河川網模型의 開發 (I)

— 中小流域의 日流出量 推定 —

A Streamflow Network Model for Daily Water Supply and Demands on Small Watershed (I)

— Simulating Daily Streamflow from Small Watersheds —

許 遺 萬* · 朴 承 禹** · 任 相 浚***
Huh, Yoo Man · Park, Seung Woo · Im, Sang Jun

Summary

The Objectives of this paper were to develop a modified tank model that is capable of simulating daily streamflow from a small watershed using daily watershed evapotranspiration and to test the applicability of the model to different watersheds. Tank model was restructured to consist of three series of tanks, each of which may mathematically reflect watershed runoff mechanisms from different components of surface runoff, interflow, and baseflow. And pan evaporation was correlated to potential evapotranspiration estimated from a combination method, and was multiplied by monthly crop and landuse coefficients, and watershed storage coefficient to estimate the watershed evapotranspiration losses.

Ten watersheds were selected to calibrate model parameters that were defined using an optimization scheme, and the results were correlated with watershed parameters.

Simulated daily runoff was compared to the observed ones from the tested watersheds. The simulating results were in good agreement with the observed values when optimal and calibrated parameters were used. Ungaged conditions were also applied to compare simulated values to the observed. And the results were in fair conditions for all the tested watersheds which differ considerably in their sizes, landuse types, and physiological features.

* 農林水産部 農漁村開發局

** 서울大學校 農業生命科學大學

*** 서울大學校 大學院

키워드: 中小流域, 河川網, 用水需給解析, 日流出量
修正 Tank模型, 流域蒸發散

I. 緒 論

近年에 이르러 급격한 都市化, 産業化와 生活水準의 向上으로 물의 需要가 크게 增加하고 있다.

우리나라의 물 利用量의 대부분은 農業用水로서, 전체의 약 60%를 차지하고 있다.¹³⁾ 農業用水는 貯水池, 揚水場, 沕 등의 取水施設로부터 供給되는데 農業用 貯水池중에서 比較的 規模가 큰 農地改良組合管理 貯水池의 80%가 流域面積 100km²이하의 中小河川 區間에 설치되어 있다.¹²⁾ 또한 全國 地方河川中에서 400km²이하의 中小河川이 59%에 달하고 있어 長期的인 用水不足에 대한 解決方案의 하나로서 中小河川 開發의 重要性이 強調되고 있다.^{12, 13)}

특히 農漁村地域의 生活環境改善과 農工團地, 農漁村 休養施設 등의 擴散으로 生工用水의 供給이 절실히 要望되고 있으며 自然生態界 保全을 위한 環境用水의 供給必要性도 점차 高調되고 있다. 이와같은 農漁村의 多樣한 用水需要에 對應하기 위하여 中小河川流域의 綜合的이고 合理的인 利用體系가 提示되어야 한다.^{10, 12)}

그런데, 1904년부터 시작된 河川水位 및 流量觀測은 주로 規模가 큰 大河川에서 實施되어 왔고, 中小河川에서는 水文觀測資料가 거의 없는 實情이다.⁹⁾ 또한, 農漁村地域의 生活用水 등은 대부분 자가우물이나 簡易上水道施設 등으로부터 供給되고 있어 用水需要에 대한 精確한 基準이나 資料가 不足한 것이 現實이다. 따라서 中小河川流域의 用水需給解析을 위한 精確한 道具의 開發이 필요하다.¹³⁾

中小河川流域의 用水需給分析을 위하여는 流出量과 需要量의 時間的, 空間的, 變化에 대한 精確한 解析이 이루어져야 한다. 用水需要가 生工用水일 경우 時間的 變化가 比較的 크지 않으나, 農業用水는 當일의 氣象條件에 따라 作物의 必要水量이 크게 변하고 이에 따라 用水供給量도 달라져야 하므로, 中小河川流域의

流出量은 日別 變化를 推定하는 것이 필요하다.^{6, 7, 9, 10)}

지금까지 開發된 用水需給解析模型으로서 USBR의 HYDROSS, 유럽의 SHE^{1, 2)} 등의 水文模型이 있으나 地域特性 및 流域規模面에서 우리나라 中小河川流域과 현격한 차이가 있으며 복잡한 媒介變數와 實測值의 도입을 전제로 하기 때문에 農漁村用水需給解析에는 適用이 어려운 실정이다.

本 研究의 目的은 農漁村地域의 未計測 中小河川에서 區間別, 日別, 用水需給解析이 가능하도록 小流域別 日流出量 推定을 위한 水文模型을 構成하고, 中小河川의 河川網(streamflow network)에 의한 流出量 合成과 需要量 推定을 통하여 임의의 地點에서의 日別 用水需給解析模型(DSD: Daily Water Supply and Demands Model)을 開發하여 中小河川流域에 대하여 模型의 適用性을 分析, 檢討하는데 있다.

本 報에서는 小流域에서의 日流出量 推定을 위한 水文模型의 開發과 應用을 다루고, 第 2, 3報에서는 用水需給을 위한 水文學的 河川網模型의 開發과 應用에 대하여 詳述하도록 하였다.

II. 模型의 開發

1. 基本概念

中小河川流域의 日別流出量 模擬發生을 위한 流域水文模型으로 Sugawara(1978)의 tank模型을 우리나라의 小流域 流出特性에 맞도록 매개변수를 보정하고 tank모형의 蒸發散成分은 流域蒸發散量 추정방법을 도입하여 장기유출해석의 精確도를 개선할 수 있도록 시도하였다.

Fig. 1의 tank모형에서 tank의 수와 각 tank의 유출공의 수는 流域特性과 관계된다. Suwagara(1978)는 大流域의 경우 tank의 수를 4~5개로 하고 유출공의 수를 2~3개로 하는 등의 제안을 한 바 있다.

金, 朴(1989)은 Fig. 1과 같이 tank模型의

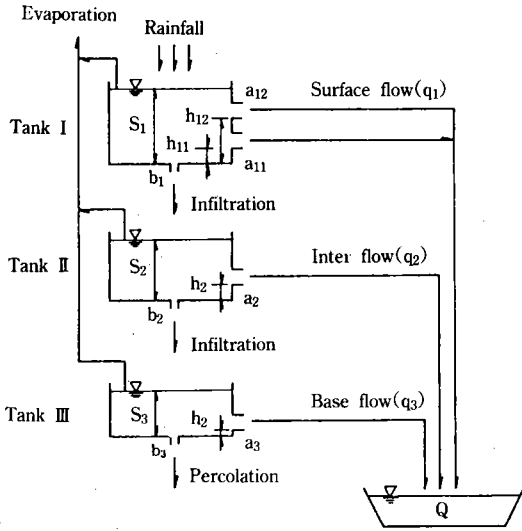


Fig. 1. Schematic of modified tank model

사용을 보다 쉽게하고 入力資料의 수를 줄이기 위하여 1단tank의 유출공의 수를 2개로하고, 中小流域에서의 유출지체시간이 짧고 기저유출 부분의 기울기가 급하다는 점을 감안하여 4단 tank를 생략하여 우리나라의 中小河川에서의 적용을 시도하였으며, 그 결과 이들 유역의 長期流出解析에 큰 무리가 없음을 발표하였다.

本 研究에서는 tank模型을 Fig. 1과 같이 3 단tank와 4개의 유출공을 갖는 것으로 정하고 유역에 따른 tank의 수나 유출공의 수는 조정 하지 않는 것으로 하였다. 金, 朴(1989)은 蒸發散成分을 상수로 처리하여 流出解析에서 蒸發散成分의 중요도를 크게 고려하지 않고 蒸發散成分의 변화와 오차는 매개변수로 처리하였으나, 본 연구에서는 長期流出解析에서 蒸發散成分의 비중을 고려하여 유역의 土地利用狀態와 土壤水分貯溜量의 일별변화를 고려한 流域蒸發散概念을 도입하여 별도항으로 처리하므로서 tank模型의 개선을 도모하였다.

2. 流出量

Fig. 1의 tank模型으로 부터 流出量은 다음과 같이 정의된다.

$$Q_t = q_1 + q_2 + q_3 \dots\dots\dots(1)$$

여기서, $Q_t = t$ 일의 日流出量, $q_1 =$ 상단tank로부터의 流出量成分, $q_2 =$ 중간tank의 流出量成分, $q_3 =$ 하단tank의 流出量成分이다. 그런데, 상단tank의 流出量成分은 降雨즉시 발생하는 流出量으로 지표유출현상과 유사한 특성을 나타내므로 이를 지표 유출성분으로 하고, 마찬가지로 중간tank 유출량성분은 중간유출량, 하부tank는 기저 유출량성분을 각각 표시하는 것으로 가정할 수 있다.

가. 地表流出, q_1

地表流出量 q_1 은 Fig. 1의 상단tank에 있는 2개의 유출공으로 부터의 유출량의 합으로 정의된다. 즉,

$$q_1 = q_{11} + q_{12} \dots\dots\dots(2)$$

여기서, $q_{11} =$ 상단tank의 상부유출공으로 부터의 流出量, $q_{12} =$ 상단tank의 하부유출공으로 부터의 流出量이다.

각 유출공으로 부터의 流出量은 식(3), (4)의 貯溜量-流出量의 관계로 부터 다음과 같이 정의된다.

$$q_{11} = a_{11}(S_1 - h_{11}) \quad \text{when } S_1 > h_{11} \dots\dots(3)$$

$$q_{12} = a_{12}(S_1 - h_{12}) \quad \text{when } S_1 > h_{12} \dots\dots(4)$$

여기서, $S_1 =$ 상단tank의 貯溜量, $h_{11} \cdot h_{12} =$ 상단tank의 유출공의 높이, $a_{11} \cdot a_{12} =$ 각 유출공의 貯溜係數이다.

나. 中間流出, q_2

中間流出 q_2 는 다음과 같다.

$$q_2 = a_2(S_2 - h_2) \quad \text{when } S_2 > h_2 \dots\dots(5)$$

여기서, $S_2 =$ 중간tank의 貯溜量, $h_2 =$ 유출공의 높이, $a_2 =$ 貯溜係數이다.

다. 基底流出, q_3

基底流出 q_3 는 다음과 같다.

$$q_3 = a_3(s_3 - h_3) \quad \text{when } s_3 > h_3 \dots\dots(6)$$

여기서, S_3 = 하단 tank의 貯溜量, h_3 = 유출공의 높이, a_3 = 貯溜係數이다.

3. 貯溜量과 排水量

가. 貯溜量

각 tank에서의 貯溜量 S 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$S_{i,t} = S_{i,t-1} + U_{i,t} - q_{i,t} - E_{i,t} - D_{i,t} \dots\dots\dots(7)$$

여기서, $S_{i,t}$ = t일의 i tank의 貯溜량, $S_{i,t-1}$ = t-1일의 貯溜량, $U_{i,t}$ = t일의 강우량 또는 i-1번 tank로 부터의 유입량, $q_{i,t}$ = t일의 유출량, $E_{i,t}$ = 증발산량, $D_{i,t}$ = i+1번 tank 또는 貯溜권역 아래로의 배수량이다.

식(7)에서 U의 값은 상단 tank의 경우는 R, 중간과 하부 tank에서는 각각 D_1 , D_2 가 된다. R은 日降雨量이다.

나. 排水量

각 tank로 부터 그 하단의 tank 또는 貯溜권역 아래로의 排水量은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_i = b_i \cdot S_i \dots\dots\dots(8)$$

여기서, D_i = i tank의 排水量, S_i = 貯溜量, b_i = 排水係數이다.

다. 蒸發散量

각 tank로 부터의 蒸發散量은 t일의 실제 증발산량 중 상부 tank에서의 증발산량의 잔량으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$ET_i = ET_a - \sum_{j=1}^{i-1} ET_j \dots\dots\dots(9)$$

여기서, ET_i = i tank의 증발산량, ET_a = 실제 증발산량이며 $\sum ET_j$ 항은 상부 tank에서의 증발산량의 합이 된다.

4. 流域蒸發散量

tank模型에서의 장기간의 流出量은 궁극적으로 총 강수량으로부터 총 증발산량과 하단

tank의 총 배수량의 합을 뺀 값으로 정의된다. 각 tank의 貯溜量과 유출공으로 부터의 媒介變數 등은 有效雨量의 시간적 분포를 좌우한다. 그런데, 貯溜권역 이하로의 침윤량은 상대적으로 작은 값이므로, 流域으로 부터의 蒸發散量의 추정결과에 따라 流出量이 결정되게 된다. 따라서, 流域蒸發散量의 정확한 추정은 日流出量의 推定에 있어서 매우 중요하다.

가. 蒸發散量

한 지점에서의 蒸發散量은 다음과 같이 표시된다.

$$ET_a = K_s \cdot K_c \cdot ET_p \dots\dots\dots(10)$$

여기서, K_s = 土壤水分係數, K_c = 作物 및 流域被覆係數이다. 土壤水分係數는 토양수분이 포화상태에서 포장용수량 이하로 감소함에 따라 作物이 받는 수분스트레스로 인하여 蒸發散量의 감소되는 정도를 나타낸다. 반면에, 作物 및 유역피복계수는 作物의 생육시기별, 피복정도별 실제증발산량의 증감을 표시한다.

나. 潛在蒸發散量

潛在蒸發散量의 推定方法은 여러가지가 있으나, Doorenbos(1977), Jensen(1973) 등은 그중 Penman(1948)식이 가장 적절한 것으로 추천하고 있다. 그런데, Penman식에 의한 潛在蒸發散量의 推定에는 식(22)에서와 같이 기온, 풍속, 상대습도, 일조시간 등의 氣象資料가 필요하다. 그러나, 이들의 氣象資料는 대부분의 中小河川流域에 자료가 부족한 실정이다. 따라서, 氣象資料의 구득이 불가능하거나 번거로운 경우 비교적 계측이 쉽고, 資料의 구득이 용이한 pan蒸發量資料와 Penman식의 潛在蒸發散量式에 의한 계산결과를 비교하여 蒸發量資料를 활용하였다.

pan蒸發量과 Penman식에 의한 潛在蒸發散量의 관계는 다음과 같은 선형회귀식으로 표시하였다.

$$ET_p = a E_{pan} + b \dots\dots\dots(11)$$

여기서, E_{pan} 증발량, $a \cdot b$ 는 회귀식의 계수이다.

식(11)로 부터 전국 15개의 측후소 및 기상 관측소의 일별 기상자료를 이용하여 Penman식에 의한 潛在蒸發散量과 pan증발량의 관계를 표시한 결과, 이들의 관계는 청명일과 우천일에 대하여 각각 상이한 결과를 나타내고 있으므로 별도의 회귀식을 추정하였다. 회귀식에 결정계수는 0.512~0.914의 범위를 보였다.

다. 土壤水分係數

土壤水分의 감소에 따른 실제증발산량은 流域의 貯溜量에 따른 지수함수적인 변화를 고려하여 Beken(1979)등이 제시한 方法을 이용하여 다음과 같이 표시하였다.

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

여기서, α =媒介變數, S =流域의 총 貯溜量이다.

식(12)의 α 값은 유역증발산량의 추정을 통하여 $\alpha=0.1$ 로 하였다.

라. 流域被覆係數

실제증발산량은 流域의 作物 및 植生등의 피복상태에 따라 동일한 잠재증발산량에 대하여 상이한 값을 보이는 것으로 알려져 있다. 잠재증발산량에 대한 실제증발산량의 비를 流域被覆係數 또는 作物係數라고 한다. 流域의 경우

토지이용상태는 농경지 이외에 산림지, 대지 등 여러가지 被覆狀態를 갖게 되므로 유역피복계수라고 할 수 있다. 따라서, 토양수분이 충분할 때 ($K_s=1.0$ 일 때)의 실제증발산량은 다음과 같다.

$$ET_a = K_c \cdot ET_p \dots\dots\dots(13)$$

여기서, K_c =流域被覆係數(作物係數)이다.

本 研究에서는 流域의 토지이용상태를 Table-1과 같이 산림지, 논, 밭, 대지 등의 4종류로 구분하고 산림지는 다시 침엽수, 활엽수, 혼성림으로 세분하였으며 농경지, 기타 등으로 구분하여 월평균 유역피복계수를 추정하였다. Table-1의 값에서, 논은 5~11월의 기간에는 논벼를 재배하고 12~4월은 나지상태로 가정하여 推定하였으며, 밭은 4~11월 기간 중 2모작으로 하여 추정하였다.

복합적인 土地利用狀態를 갖는 流域의 平均 流域被覆係數는 각 토지이용상태별 월별 유역피복계수를 구하여 面積加重值를 適用하여 구하도록 하였다. 즉,

$$K_{Cave} = \frac{\sum K_{Ci} \cdot A_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots(14)$$

여기서, K_{Cave} =平均 流域被覆係數, K_{Ci} =土地利用區分別 流域被覆係數, A_i =土地利用區分

Table-1. Monthly landuse coefficients for watershed evapotranspiration

Land use	Monthly evapotranspiration coefficients, K_c												Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Conifer	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6
Broad-leaf	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.7
Mixed	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.7
Paddy	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.0	0.6	0.5	0.4	0.7
Upland	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	0.8	1.3	0.8	0.4	0.8
Others	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.4	0.6
Average	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	0.8	0.7	0.6	0.4	0.7

* Source : 1) USDA Forest Service(1976)

2) Agricultural Development Institute, SNUA(1966)

의 面積이다.

5. 模型의 構成

가. 入力資料

修正 tank模型의 入力資料는 1) 流域의 지상 인자, 2) 模型의 媒介變數, 3) 模型의 初期貯溜量, 4) 증발산추정 기준측후소 번호, 5) 계산기간, 6) 日別 降雨量과 pan蒸發量資料 등으로 구성된다.

나. 模型의 構成

修正tank模型의 계산과정은 다음과 같다.

- 1) 모형의 入力資料를 읽는다.
- 2) 기준측후소로부터 식(11)의 潛在蒸發散量 추정식의 계수를 정하고, 식(13)으로 부터 流域의 월별 평균작물피복계수를 정한다.
- 3) 계산의 초일의 pan蒸發量으로 부터 潛在蒸發散量을 구한다.
- 4) 초기저류량으로 부터 각 tank별로 토양수분계수를 식(12)로 부터 정하고, 실제증발산량을 정한다.
- 5) 초기저류량으로 부터 각 tank별 流出量과 排水量을 구한다.
- 6) 초기저류량, 유입량, 유출량, 배수량으로 부터 식(7)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 日別 流出量, 蒸發散量을 정한다.

9) 추정기간의 日別 流出量, 蒸發散量으로부터 旬別, 月別, 年度別 누계를 구하고 결과를 출력한다.

다. 출력자료

修正tank模型의 出力資料는 1) 入力資料의 結果, 2) 유역의 월평균 작물피복계수, 3) 日別, 旬別, 月別, 降雨別, 流出量 등으로 구성된다.

III. 模型의 應用

1. 對象流域

修正tank模型의 適用성을 분석하기 위한 對象流域은 Table-2와 같이 10개소이다.

Table-2. Watershed characteristics and land uses

Watershed	Watershed area (km ²)	Stream length (km)	Paddy rate (%)	Upland rate (%)	Forest rate (%)	Others rate (%)	Shape factor (f)
Banweol # 1	2.75	3.83	31.0	14.0	40.0	4.0	0.19
Banweol # 3	4.80	3.85	7.0	5.0	68.0	1.0	0.32
Bosung	275.00	41.50	18.4	7.3	64.5	10.0	0.32
Yongdam	937.00	64.30	8.2	6.0	78.0	7.8	0.16
Gidae	346.00	30.30	10.4	10.0	68.2	11.4	0.38
Naju	2,060.30	75.10	18.6	8.5	58.2	14.7	0.37
Goesan	671.00	79.20	8.7	10.7	71.8	29.0	0.11
Py.chang # 1	519.69	51.85	3.3	8.4	85.7	2.7	0.19
Bocheong # 2	346.53	30.31	13.4	6.0	76.0	4.6	0.38
Wiecheon # 4	109.73	18.90	3.2	4.8	90.8	1.2	0.31

2. 媒介變數의 補正

修正tank模型의 媒介變數의 補正을 위하여 最適化技法을 적용하도록 하였으며, 직접탐사법의 일종인 Rosenbrock의 회전방향법(rotating coordinate method)중 제약조건 알고리즘을 적용하였다. 최적기법에 의하여 일별 실측유출량과 추정치와의 잔차의 평방제곱근을 최소로 하는 매개변수를 구하였다.

유역별 最適媒介變數와 地相因子와의 상관성을 규명하기 위하여 流域別 地相因子와 流域別 最適媒介變數와의 상관관계를 분석하였다. 여기서는 이들 변수의 정상치, 대수치 등의 조합에 대하여 Stepwise方式에 의한 多重回歸分析을 실시하였다. 그 결과, 模型의 媒介變數에 영향을 주는 인자로 ① 流域面積, ② 形狀係數, ③

논구성비, ④ 발구성비, ⑤ 임야구성비 등의 5가지로 압축하였다. 流域別 媒介變數와 이들 각 인자, 혹은 인자의 조합과의 관계를 고려하여 Table-3과 같이 補正媒介變數 推定植을 決定하였다.

3. 補正結果

補正tank模型의 補正 媒介變數를 이용하여 일별, 순별, 월별 유출량을 계산하여 그 結果를 補正期間동안 일별 실측치와 비교하였다. 媒介變數補正에 사용한 10개 對象流域 중 7개 流域에 대하여 Table-4와 같이 일별 유출량의 월별 합산치를 비교하였다.

補正媒介變數를 이용한 보성지점의 일별 실측치와 모의발생치를 Fig. 2와 같이 도식적으로 비교한 結果, 대부분의 폭우사상에 대하여는

Table-3. Empirical equations for estimating the parameters of the modified tank model

parameter	Regression equations	r ²
a ₁₁	a ₁₁ =0.107+0.01 log (Area)	0.561
a ₁₂	a ₁₂ =-0.192+0.001 (forest)-0.001(length)	0.756
a ₂	a ₂ =0.089+0.004 log (Area)-0.002 (upland)	0.860
a ₃	a ₃ =0.005+0.00026 (length)	0.742
b ₁	b ₁ =0.616-0.042 log (Area)-0.002 (forest)	0.949
b ₂	b ₂ =0.067	
b ₃	b ₃ =0.005654+0.021784(f)-0.0015781 log (length)	0.640
h ₁₁	h ₁₁ =5.495+0.564 log (Area)	0.518
h ₁₂	h ₁₂ =-70.256+1.283 (forest)+188.991(f)	0.970
h ₂	h ₂ =-2.060+5.8821 log (Area)-0.369 (length)	0.733
h ₃	h ₃ =0	

*Area : km², Length : km, Paddy, Upland, Forest ; %

Table-4. Comparison of observed and simulated monthly streamflow using calibrated parameters

Station		JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	Total	%	Remarks
Banweol #1 1986	P	-	-	-	29.5	70.0	86.4	180.1	274.4	58.5	-	-	-	698.9		P : Precipitation Q _o : Observed Q _e : Estimated
	Q _o	-	-	-	4.5	3.9	12.8	63.2	141.2	108.2	-	-	-	275.2	39.4	
	Q _e	-	-	-	5.6	10.8	16.5	39.7	80.3	38.7	-	-	-	191.4	40.7	
Banweol #1 1986	P	-	-	-	29.5	70.0	86.4	180.1	274.4	58.5	-	-	-	698.9		Q _o : Observed Q _e : Estimated
	Q _o	-	-	-	9.0	10.4	3.8	51.2	161.9	79.7	-	-	-	315.8	45.2	
	Q _e	-	-	-	7.3	12.5	23.2	71.6	115.2	48.7	-	-	-	278.4	39.8	

中小流域의 日別 用水需給解析을 위한 河川網模型의 開發 (I)

Station		JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	Total	%	Remarks
Bosung	P	7.1	156.2	56.6	178.9	110.6	251.3	142.1	250.9	42.2	47.5	25.9	42.5	1311.8		P : Precipitation
	Qo	14.1	53.8	33.0	54.1	56.5	213.3	60.7	78.4	39.4	24.9	16.7	14.9	659.8	50.3	
	Qe	70.0	70.1	31.3	56.3	58.6	169.2	49.0	75.5	29.1	5.4	7.7	10.0	579.2	44.2	
Bosung	P	0.0	1.0	96.7	270.2	188.5	125.8	163.9	7.8	56.4	5.4	73.5	22.8	1080.0		Qo : observed
	Qo	11.0	8.0	14.5	129.1	77.5	69.8	88.8	18.2	20.8	10.2	11.8	11.4	471.1	43.6	Qe : Estimated
	Qe	6.6	0.7	17.5	156.8	114.6	94.4	99.7	26.1	20.5	2.1	19.0	9.5	567.4	52.5	
Bosung	P	25.7	111.1	111.1	173.1	193.2	426.5	217.4	418.2	176.2	14.9	18.7	63.1	1950.2		Qo : observed
	Qo	11.0	40.7	25.5	81.6	111.8	238.4	164.0	482.4	130.9	27.1	15.1	24.9	1353.4	69.4	
	Qe	5.5	53.3	55.2	125.2	137.9	263.1	159.5	311.0	172.9	44.4	15.6	26.1	1369.7	70.2	
Yongdam	P	18.4	78.3	15.6	108.6	81.2	169.4	358.1	177.2	344.4	82.9	35.6	27.6	1497.3		Qo : observed
	Qo	10.9	27.1	21.3	65.0	27.7	36.1	285.6	124.9	216.5	36.5	29.8	24.8	906.2	60.5	
	Qe	16.3	33.7	16.4	48.2	20.5	53.1	265.0	89.0	258.2	56.4	24.9	22.6	904.3	60.4	
Yongdam	P	48.4	46.0	39.9	49.7	86.5	245.6	305.1	199.2	166.8	177.7	23.6	19.9	1256.3		Qo : observed
	Qo	20.3	40.6	44.3	23.6	28.4	68.2	271.7	145.4	78.0	21.1	12.4	13.0	767.0	61.1	
	Qe	18.2	22.5	22.9	10.4	28.8	107.2	240.5	153.5	119.9	32.9	13.4	9.1	779.3	62.3	
Yongdam	P	93.5	34.8	171.9	57.7	143.4	76.9	280.1	394.2	110.8	83.7	119.5	29.0	1552.9		Qo : observed
	Qo	24.9	34.1	112.8	69.3	122.4	15.8	164.6	198.5	70.8	25.5	69.2	49.6	957.5	61.7	
	Qe	29.1	30.7	81.4	62.7	82.3	26.6	202.2	260.7	107.1	33.8	67.0	26.1	1009.6	65.0	
Yongdam	P	70.9	25.5	9.0	150.4	107.1	79.3	200.0	259.5	179.4	107.9	51.9	24.9	1265.8		Qo : observed
	Qo	54.8	28.6	17.0	76.1	54.3	15.2	33.3	188.8	105.2	51.0	34.4	19.2	676.9	53.5	
	Qe	36.6	20.0	10.4	76.8	54.9	18.6	83.5	199.1	116.0	73.2	40.3	19.9	749.4	59.2	
Gidae	P	10.8	30.8	71.4	153.0	56.8	172.7	348.9	133.8	195.3	25.8	33.8	20.7	1253.8		Qo : observed
	Qo	0.0	0.0	40.5	97.0	38.1	41.8	213.6	32.6	114.0	14.2	6.1	3.7	601.6	48.0	
	Qe	12.8	8.0	14.2	33.9	19.8	55.8	186.1	57.8	103.6	22.0	6.9	7.4	526.9	42.0	
Gidae	P	7.6	9.3	28.3	143.8	59.0	211.5	249.8	109.9	172.4	27.4	85.8	20.4	1125.2		Qo : observed
	Qo	3.1	2.9	3.2	43.9	23.9	60.3	120.3	26.2	88.1	12.0	13.5	9.3	406.7	36.1	
	Qe	5.3	1.1	2.8	42.5	31.3	97.0	147.5	48.5	125.5	38.4	38.7	21.4	611.0	54.3	
Naju	P	6.9	56.8	11.9	109.6	99.0	167.9	372.3	140.5	294.8	108.7	29.1	12.1	1409.6		Qo : observed
	Qo	12.5	4.9	9.2	20.1	26.6	32.5	329.1	43.9	218.9	42.5	16.2	9.3	765.7	54.3	
	Qe	20.5	15.1	7.3	36.1	24.8	53.6	261.7	34.0	211.4	61.6	22.1	10.3	768.5	54.5	
Naju	P	60.8	55.2	41.7	54.8	88.0	279.0	351.1	239.1	155.1	21.2	32.0	19.6	1397.6		Qo : observed
	Qo	15.8	34.6	24.4	14.6	7.9	110.8	370.4	181.9	60.5	17.2	7.1	4.1	849.3	60.8	
	Qe	19.4	20.1	16.4	9.1	25.9	141.8	254.6	191.3	110.5	22.8	8.8	6.3	827.1	59.2	
Naju	P	64.1	46.4	11.8	151.4	182.6	88.2	216.5	128.7	176.3	82.4	22.9	33.8	1205.1		Qo : observed
	Qo	40.3	21.6	9.5	68.8	119.9	11.7	78.6	78.1	87.7	35.4	18.7	9.4	579.7	48.1	
	Qe	40.9	24.4	9.7	75.8	122.0	29.4	100.6	89.6	101.8	42.3	18.5	8.9	663.8	55.1	
Naju	P	23.4	43.0	55.2	201.3	208.4	119.3	242.2	340.2	37.5	135.9	26.6	41.6	1770.3		Qo : observed
	Qo	9.9	13.7	28.9	62.4	154.9	32.5	149.3	262.0	77.2	94.8	14.7	12.3	1113.5	62.9	
	Qe	10.3	8.7	28.6	103.2	134.4	65.6	317.6	241.6	138.0	94.6	8.5	11.5	1162.6	65.7	
Goesan	P	4.5	77.1	58.9	72.9	17.7	62.6	120.5	658.2	16.3	56.5	35.3	36.1	1161.7		Qo : observed
	Qo	6.6	32.3	27.8	13.8	18.0	7.8	10.5	343.3	34.6	10.6	9.7	14.2	529.1	45.5	
	Qe	8.3	27.6	17.0	11.9	9.3	15.6	33.6	431.5	61.7	15.6	15.0	22.0	666.1	57.3	
Goesan	P	15.6	29.5	69.0	93.5	105.1	317.4	147.3	168.7	149.0	41.2	30.9	29.9	1197.1		Qo : observed
	Qo	5.3	10.2	30.8	50.9	36.9	230.5	84.2	136.0	108.1	20.6	9.8	9.5	732.8	61.2	
	Qe	2.6	7.5	26.3	54.3	48.7	192.6	122.7	121.6	104.5	29.8	9.2	9.8	729.5	61.0	

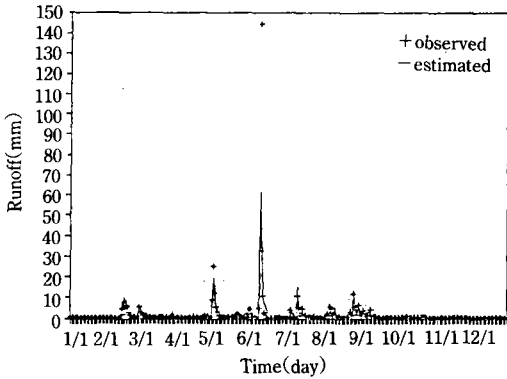


Fig. 2. Observed and calibrated hydrographs at Bosung (1976)

모의발생치가 관측치보다 적게 나타나는 경향을 보이고 있어 본 모델이 홍수부분의 流出解析에는 적합도가 약하나 低水시에는 추정치와 실측치의 일치도가 높게 나타나고 있으므로 이 수측면의 水資源利用計劃 수립을 위한 長期流出分析에는 본 모델이 좋은 성과를 보이고 있음을 알 수 있었다.

IV. 模型의 檢定

模型의 檢定을 위하여 媒介變數 補正에 사용된 10개 流域 중 7개 流域을 對象으로 하여 補正期間에 사용했던 기상, 수문자료와 년도를 달리하여 실시하였다. 檢定에 사용한 媒介變數

는 해당구역의 補正된 값을 이용하여 日別 流出量을 추정하고 실측된 日別 流出량으로 검증하였다.

Table-5는 실측치와 추정치간의 日別 流出量에 대한 상관관계와 RMS오차를 分析한 結果이다. 檢定된 상관계수는 0.520~0.894로서 평균 0.777을 나타내고 있어 補正時의 상관계수 0.769와 비슷한 상관성을 보이고 있으며, RMS오차의 범위는 2.63~3.55mm이고 平均 RMS는 2.81mm로서 역시 補正時의 RMS오차 3.32mm보다 다소 줄어든 값을 나타내고 있어 상관계수와 RMS오차 모두가 補正結果의 범위내에 있으므로 檢定結果가 양호함을 알 수 있다.

Fig. 3은 보성지점에 대한 日別 流出量의 實

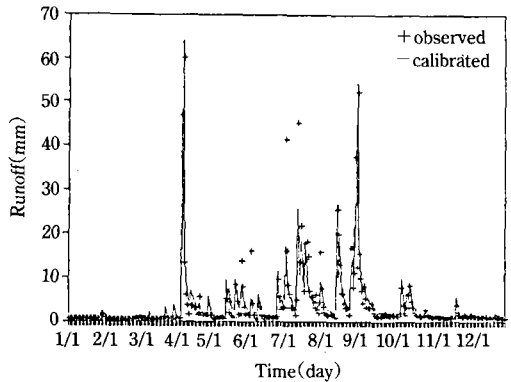


Fig. 3. Observed and simulated hydrographs using verification schemes (1980)

Table-5. Comparison of observed and simulated daily streamflow

Watershed	Verification period	Annual streamflow		Correlation coefficient (r)	RMS (mm)
		Observed (mm)	Calibrated (mm)		
Banweol # 1	88	165	331.8	0.520	2.63
Banweol # 3	88	380.6	337.0	0.895	3.07
Bosung	80, 82, 83	858.0	1007.1	0.816	3.55
Yongdam	74, 75, 76	698.7	789.8	0.804	2.89
Gidae	85, 86	731.2	857.3	0.827	2.56
Naju	75, 76, 77, 79	536.9	668.0	0.795	2.07
Goesan	83, 85	682.3	772.8	0.780	2.87
Average		579.0	680.5	0.777	2.81

側値와 推定値에 대한 hydrograph를 도식적으로 나타낸 것이다. 日別 流出量 hydrograph를 관찰하면 보정시와 마찬가지로 洪水流出에 대하여 模型의 推定値와 實側値간에 큰 오차를 나타내고 있으나 저수유출에는 비교적 일치된 값을 나타내고 있어 中小河川의 長期流出解析에는 적용성이 있음을 알 수 있다.

V. 要約 및 結論

1. 中小河川의 日流出量의 推定을 위한 水文模型의 開發을 위하여, 修正tank模型을 流域蒸發散을 고려하도록 수정하여 模型을 구성하였으며, 대상유역을 선정하여 최적매개변수를 정하고, 매개변수와 유역특성과의 관계를 규명하여 未計側 流域에의 적용성을 평가하도록 하였다.

2. 流出量模型의 구성은 tank模型을 단순화하여 流域蒸發散量과 지중침윤을 손실량으로 하는 水文模型으로 하였으며, 流域蒸發散量은 잠재증발산량으로 부터 流域被覆狀態와 土壤水分程度를 고려하여 추정하였다.

3. 流出量模型의 入力資料는 日降水量과 계기증발량을 사용하도록 하였으며, tank模型의 매개변수 등으로 부터, 日別, 流出量을 구하고, 旬別, 月別, 流出量을 산술적으로 계산하도록 구성하였다.

4. 開發된 流出量模型의 매개변수와 지상인자의 관계를 규명하기 위하여 10개의 유역을 대상유역으로 선정하였으며, 中小河川에 적용할 수 있도록 500km²이하를 주대상유역(6개소)으로 하였으며, 그 이상의 유역에 대하여도 검토하였다.

5. 流出模型의 매개변수를 보정하고, 매개변수와 지상인자와의 관계를 규명하였다.

6. 보정된 매개변수를 이용하여, 未計側 流域條件에서의 流出量을 모의발생하고 실측치와 비교하였으며, 그 결과로부터 模型의 적용성이 있음을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

1. Abbot. M. B., J. C. Bathurst, J. A. Cunge, P. E. O'Connell and J. Rasmussen, 1986, An Introduction to the European Hydrological System; SHE, 1: History and Philosophy of a physically-Based, Distributed Modeling system, Journal of Hydrology 87, pp. 45-59.
2. Abbot. M. B., J. C. Bathurst, J. A. Cunge, P.E. O'Connell and J. Rasmussen, 1986, An Introduction to the European Hydrological System; Structure of a Physically-Based, Distributed Modeling System, J. of Hydro. 87, pp. 61-77.
3. Beken, A. V., 1979, a Monthly Water Balance Model Applied to two Different Watersheds, Surface and Subsurface Hydrology, Water Res. Pub., pp. 178-189.
4. Chow, V. T., D. R. Maidment and L. W. Mays, 1988, Applied Hydrology, McGraw-Hill Co., p. 572.
5. Corps of Engineers, 1972, SSARR Program Description and User's Manual, U. S. Army, COE.
6. FAO, 1977, Crop Water Requirement, Irrigation and Drainage Paper 24.
7. 金顯榮, 朴承禹, 1988, 灌溉用貯水地の 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.
8. 盧載卿, 1991, 土壤水分貯留에 의한 日流出量 流域 模型, 서울 大學校 大學院 博士學位 論文.
9. 農漁村用水開發 企劃團, 1989, 農漁村用水利用合理化 計劃.
10. 許遺萬, 1992, 中小流域의 日別 用水需給解析을 위한 河川網模型의 開發, 서울 大學校, 大學院 博士學位 論文.