

流域特性에 따른 탱크모델 媒介變數의 變化

An Evaluation of Parameter Variations for a Linear Reservoir (TANK) Model with Watershed Characteristics

金 顯 榮* · 朴 承 禹**
Kim, Hyun Young · Park, Seung Woo

Summary

This study involves the estimation of optimal ranges of parameters for a linear watershed model. A well-known TANK model was chosen and a linear combination of four tanks assumed. The model was used to simulate daily streamflow for six watersheds of different sizes and by a trial-and-error approach a set of optimal parameters defined. The parameters were related to watershed sizes and land use conditions. Optimal parameters for ungaged conditions were defined from the relationships; daily streamflow simulated and compared to the observed data. The simulated results were in a general agreement with the data.

I. 緒 論

流域으로 부터의 日別 流出量은 水資源施設物을 計劃하고 管理하는 데 있어 매우 重要한 要素이다. 貯水池의 경우 중건의 旬別 또는 月別 受水量으로 是 日單位로 變化하는 必要水量을 合理的으로 對應 시키기는 어렵다. 特히 河口淡水湖의 淡水化過程이나 貯水池의 水管理의 경우 1日 單位의 水收支計算이 必須의이며 나아가 貯水池와 揚水場 또는 沢 等의 複合施設物을 計劃할 때 相互 耐旱能力을 分析하기 爲하여도 日流出量은 必要할 것이다.

一般的으로 長期流出量을 推定할 수 있는 水文模型의 開發은 現在까지 매우 많은 數에 이르고 있다 Linsley¹⁾에 依하면 그 代表的인 것으로서 SWM (Stanford Watershed Model), TVA Stream Flow Model, USDAHL, SSARR 및 TANK Model 등이

있다. 우리나라에서는 金¹⁸⁾ 等의 回歸模型과 嚴²⁴⁾ 等의 單位圖 模型 等을 들 수 있다. 이 중에서 日 單位 流出量을 推定할 수 있는 것으로는 앞에서 Linsley가 提示한 模型은 大部分 이에 屬한다고 볼 수 있다.

水文模型을 開發하거나 하나의 模型을 選定함에 있어서 다음 事項을 留意에 들 必要가 있다. 즉 使用目的의 符合性, 構造의 單純性, 使用의 容易性, 및 最少限의 入力資料等이다. (Haan, 1976) Linsley¹⁾가 提示한 模型中 TANK 模型을 除外하고 거의 모두가 複雜한 構造를 가지고 있으며, 媒介變數를 補定(Calibration)하는 데 있어 많은 現場實測資料를 必要로하고 있는 데 反하여, 탱크 模型은 日 流出量을 推定하는 데 있어 構造의 單純性과 적은 量의 入力資料가 要求된 點에서 좋은 模型으로 간주할 수 있으나 使用하는 데 있어 많은 노력과 時間이 所要된다.

*서울대학교 大學院

**서울대학교 農科大學

탱크 模型의 概念이 Sugawara¹³⁾에 依해 發表된 이래 日本에서는 많은 流域에 對해 媒介變數를 確定하여 活用하고 있다. 우리나라에서는 大清潭¹²⁾ 榮山江流域¹⁹⁾ 및 錦江河口²¹⁾ 등의 事業에 使用한바 있으며 韓²⁰⁾ 등이 榮山江의 流出量을 推定하는 데 活用한 바 있다. 한편 向後 탱크模型을 손쉽게 使用하기 위하여는 實測流量資料가 없는 流域에서도 媒介變數의 推定이 可能하거나 流量資料가 있는 流域이라도 媒介變數의 Calibration이 容易하도록 함이 要望되고 있다. 이를 爲하여 우선 탱크模型의 媒介變數와 該當 流域의 流域面積과 같은 流域特性과의 關係를 研究할 必要가 있다.

流域의 特性과 模型의 媒介變數와의 關係를 利用하여 流出量 推定 模 을 研究한 것으로는 Wilson¹⁷⁾의 Five-Day Water Yield 模型과 Haan¹⁹⁾의 月流出量 模型 등을 들 수 있으며 既 開發된 模型을 流域特性이 다른 곳에 適用한 研究로서는 Nuckols¹⁸⁾ 등이 TVA Stream Flow Model을 小流域의 日流出量 推定에, Bengtson²⁾ 등은 USDAHL 模型을 草地에 各各 適用한 바 있다.

本 研究의 目的은 實測 流量資料가 있는 7個 流域을 選定하여 탱크模型의 媒介變數를 Calibration 하고 이의 檢證을 통해 流域特性值에 따라 媒介變數의 變化範圍를 밝힘으로서 탱크 模型을 좀더 쉽게 利用할 수 있도록 하는데 있다.

II. 탱크模型의 基本理論

탱크模型은 Sugawara¹³⁾에 依해 Linear system 模型의 概念에서 출발된 것으로서 Chow²⁾는 線形 貯水池 模型으로 規定하고 있다. 이는 確定論的 水文模型으로서 Lumped, Linear 및 time-invariant 模型에 속하며 Continuous 模型으로서 洪水 및 底水 流出도 解析할 수 있다.

Fig.1은 流域의 流出現狀을 各 成分別로 概念化한 것을 나타낸다. 地表流出은 第1段 탱크에 依해 表現되고, 地表下로 滲透된 降雨은 短期間에 걸쳐 地下流出을 形成하게 되며 이 中間流出成分은 第2段 탱크로서, 基底流出成分은 第3,4段 탱크에 依해 概念化되고 있다.

流出過程을 概念化함에 있어서 降雨가 增加하면 流出이 加速되는 現狀은 第1段 탱크에 流出孔의 數를 2個 以上 들으면서 可能하며, 初期 損失 및 流出의 지체 現상은 各各 第1段 탱크의 流出孔의

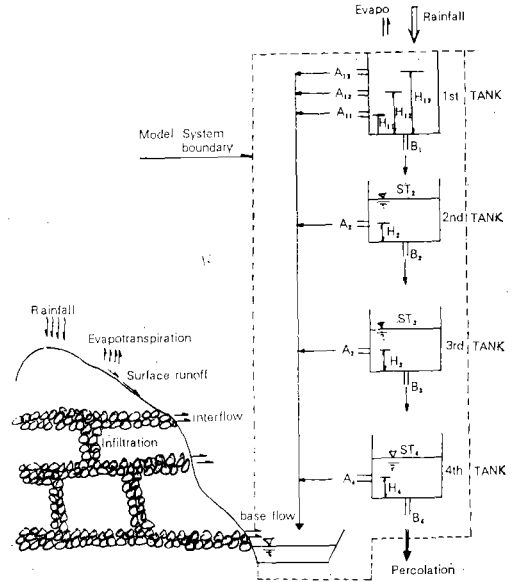


Fig. 1. General Schematic Rinoff System of TANK Model

높이와 數個 탱크를 (여기서는 4個 탱크) 組合함으로써 表現될 수 있다.

또한 長期 流出의 重要한 因子인 蒸發 損失量도 日別 또는 季節別로 고려할 수 있다.

各 탱크의 流出量의 合計는 다음式으로 주어진다

$$Q_{ij} = \sum_{j=1}^n (ST_{ij} - H_j) A_j \dots\dots\dots ①$$

여기서 Q = 流出量(mm), i = 單位時間(日) j = 탱크번호, n = 탱크의 數, ST = 貯溜水深(mm), H = 流出孔의 높이(mm), 및 A = 流出孔의 斷面積(無次元) 등이다. 貯溜水深, ST 는 單位時間에 따라 變하며 다음式 ②와 같이 規定된다.

$$ST_{ij} = ST_{i-1,j} + R_i - E_i - I_{i,j} - Q_{i-1,j}, \dots\dots ②$$

여기서 R_i = i 單位時間의 降雨量(mm)으로서 $j \geq 2$ 때 $R_i = I_{i,j-1}$ 이다. 또한 E = 流域의 蒸發損失量(mm), I_{ij} = i 時間 때 j 번째 탱크의 滲透量으로서 다음式 ③과 같이 表示된다.

$$I_{ij} = (ST_{ij} - H_j) B_j \dots\dots\dots ③$$

여기서 B_j = j 번째 탱크의 滲透孔의 斷面積(無次元)이다.

Ⅲ. 탱크模型的 適用

1. 流域의 特性

流域의 特性은 流域面積, 流路長, 形狀係數, 起伏量比, 平均傾斜 및 土地利用狀態 등을 들수 있다 (Chow, 1964, 朴成宇, 1984)

流域特性值를 分析하기 爲한 對象流域은 河川 流量資料가 있는 곳을 中心으로 7個 地點을 選定하였다. 이는 京畿道 華城郡 半月面에 3個所, 忠南 論山郡 論山川 上流의 仁川里(塔亭地), 錦江 上流의 松浦地點, 錦江 下流의 公州地點 및 榮山江의 羅州地點等に 各 1個所씩이다. Table-1은 研究對象流域의 位置, 使用된 水文資料의 期間 등을 表示하고 있다.

Table-2는 各 流域別 流域特性值를 分析한 結果이다. 이는 小流域인 경우 1/25,000 또는 1/50,000 地形圖에 依해 求하였고, 大流域인 경우 流域面積 및 土地利用, 狀態만을 既存資料에 依해 求하였다. (農水産部, 農振公, 1971) Table-2에서 보는 바와 같이 流域面積은 半月#1 流域이 2,75km²로서 가장 작으며 公州流域이 7,126km²로서 가장 크다. 土地利用分布는 塔亭池流域이 畝 構成比가 全體의 5%로서 가장 작고 半月 #1流域이 31%로서 가장

크다. 또한 基底流量과 關聯이 깊은 山地面積의 構成比가 가장 큰 流域은 半月#3流域으로서 87%를 點하고 있다.

2. 模型的 構成과 入力資料

탱크 模型的 構成은 탱크의 數, 各 탱크의 流出孔의 數 및 各 탱크의 배열 등을 포함한다. 韓²⁵⁾ 등의 탱크模型은 4個 탱크로서 1段 탱크의 流出孔의 數가 4個이며 2, 3, 4段 탱크는 各各 1孔씩이다. 農水産部²¹⁾의 탱크模型은 4段 탱크에 1段의 流出孔이 3個인 模型이다. 1段 탱크의 流出孔의 數가 많으면 洪水部分을 잘 表現할 수는 있으나 計算이 번거로우며 日單位의 流出解析인 경우 洪水部分에 너무 집중하여 流出孔의 數를 많이 할 必要는 없다.

本 研究에서 탱크의 構成은 다음과 같이 하였다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 탱크의 數는 4段, 배열은 直列로 하고 流出孔의 數는 第1段 탱크의 경우 3孔, 나머지 탱크는 各 1孔씩으로 한다. 이는 各 流域間의 模型 媒介變數의 變化를 比較分析할 수 있도록 모든 對象流域에 同一하게 適用토록 하였다. 한편 第1段 탱크의 流出孔의 數를 나머지 3個 탱크의 流出孔 數보다 많이 한 것은 洪水 流出部分이 時間에 따라 매우 劇된 反應을 보이는 反面中

Table-1. Watersheds Studied and Years of Record used for Calibration and Verification

Watersheds	Location	Years of Record		Measuring Agency	Remarks
		Calibration	Verification		
BANWEOL #1	Kyunggi, Whaseong, Banweol-Myun		Jun. 1985- Sep. 1985	SUN	
BANWEOL #2	"	Apr. 1974- Oct. 1975		ADC	Irrigation Period
BANWEOL #3	"	Apr. 1974- Oct. 1975	Jun. 1985- Sep. 1985	SNU & ADC	"
TABJEONG	Chungnam, Nonsan, Yangchon-Myun	Jan. 1983- Dec. 1984		ADC	
NAJU	Cheon nam, Naju	Jan. 1980- Dec. 1981	Jan. 1979- Aug. 1980	MOC	
SONGPO	Chungbuk, Boyeun, Whoenam-Myun	Jan. 1972- Dec. 1973		MOC	
GONGJU	Chungnam, Gongju	Jan. 1972- Dec. 1973		MOC	

*SNU : Agricultural Engineering Dep. Seoul National University
 ADC : Agricultural Development Corporation
 MOC : Ministry of Construction

Table-2. Summary of Watershed Characteristics

Factors	BANWEOL # 1	BANWEOL # 2	BANWEOL # 3	TABJEONG	NAJU	SONGPO	GONGJU
Area(km ²)	2.75	4.10	4.70	137.75	2,063.0	3,882.0	7,126.0
Stream Length(km)	3.83	2.96	3.85	25.54	—	—	—
Shape Factor	0.187	0.467	0.317	0.211	—	—	—
Relief Ratio	0.021	0.083	0.113	0.029	—	—	—
Stream Mean Slope(m/km)	13.77	33.89	21.83	6.35	—	—	—
Land Use (%)							
Rice Paddy	31.0	23.4	7.0	5.0	21.3	8.4	12.4
Up-land	14.0	11.5	5.0	7.0	12.9	9.6	11.7
Woods	51.0	62.2	87.0	85.0	53.6	76.7	68.9
Village or Others	—	2.9	1.0	3.0	12.2	5.3	7.0

間 및 底水 流出部分은 그 變化가 완만하기 때문이다. (菅原正巳, 1978)

탱크 模型에 必要한 入力資料는 ① 流域面積, ② 降雨과 流出時刻의 Lag time, ③ 流出期間동안 流域의 蒸發損失量, ④ 模型媒介變數의 初期值 및 ⑤ Calibration을 爲한 實測流量 資料等이다.

各 入力 資料別로 살펴보면 降雨量資料는 日別 流出解析인 경우 日單位の 降雨量이며 大流域인 경우 數個 觀測所의 流域平均 降雨量으로 하였다. Lag time은 小流域인 경우 降雨과 流出은 同一한 날에 發生하고 大流域인 경우 1日 後에 流出되는 것으로 보았다. 蒸發損失量은 季節的인 傾向만 파악하면 되므로 (菅原正巳 1978) 月別로 相異한 값을 推定하되 과도한 값이 되지 않도록 非灌溉期는 1.0~1.5mm/day, 灌溉期는 最高 2.0mm/day로 推定 하였다. 媒介變數의 初期值는 菅原正巳¹⁶⁾의 값을 基礎로 인접 유역 또는 先 計算流域의 값을 使用하였다. 이는 Calibration의 時間을 단축할 뿐이며 最終值에는 아무런 影響을 미치지 않는 것이다. 實測 流量資料는 그 測定 精度가 Calibration의 精度를 左右하게 되며 水位 流量曲線을 作成할때 많은 誤差를 包含하게 되고 특히 小流域인 경우 日平均水位計算時 洪水 지속시간이 짧아 1日 平均水位로서 代表하는 데도 誤差를 包含하게 되므로 (Haan, 1982) 이를 염두에 두고 入力資料를 作成하였다.

3. 媒介變數의 補定

일단 模型의 數式化가 이루어지면 준비된 資料를 利用하여 媒介變數를 推定하여야 한다. Haan⁸⁾ 등은 이러한 Calibration의 수단으로서 圖解法(Graphical method)와 數值解法(Numerical method)으로 區分하고 있다.

Graphical method는 實測值와 計算值를 연속적인 time-series로서 半對數紙에 plot하여 eye-fitting 하는 方法과 mass curve¹¹⁾를 作成하여 平均値로 부터의 離脫量을 관찰하는 方法 및 實測值와 計算值를 Scatter diagram으로 表示하는 方法 등을 생각할 수 있다. 이 方法들은 Chow⁹⁾, Fread⁷⁾, Wilson¹²⁾ 및 Haan¹⁰⁾ 등이 使用한 바 있다. 특히 Scatter diagram을 使用할 때는 相關係數를 부가하여 表示하기도 한다. 이러한 Scatter diagram은 Chow⁹⁾, Bengtson¹³⁾ 및 Haan¹⁰⁾ 등이 使用하였다.

Numerical method에는 여러가지 統計的 方法이 있으나 基本的인 것은 絕對誤差와 相對誤差를 計算하는 것이다. (Haan, 1982) 특히 이러한 error series를 基礎로 하여 Clarke⁵⁾에 依해 그 測定方法이 研究된 바 있으며, Aitken¹⁴⁾은 觀察에 의한 mass curve Coefficient를 利用한 方法을 使用하였고 Dawdy⁶⁾, Nuckols¹⁵⁾ 및 Wilson¹²⁾ 등이 이러한 Numerical method를 使用한 바 있다. 또한 Fread⁷⁾는 時間別 河川水位의 實測值와 計算值를 比較하기 爲해 絕對誤差의 一種인 Root-mean-Square(RMS)와

Bias⁽⁴⁾를 사용하였다. 그러나 RMS는 流出量의 絕對값이 커지는 洪水時와 작아지는 平, 渴水時의 誤差를 平均하여 그 程度를 같이 취급하는 단점이 있다. RMS와 Bias는 다음과 같이 計算한다.

$$RMS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (OB_i - CO_i)^2}{n} \right]^{1/2} \dots\dots\dots ④$$

$$Bias = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (OB_i - CO_i)}{n} \right] \dots\dots\dots ⑤$$

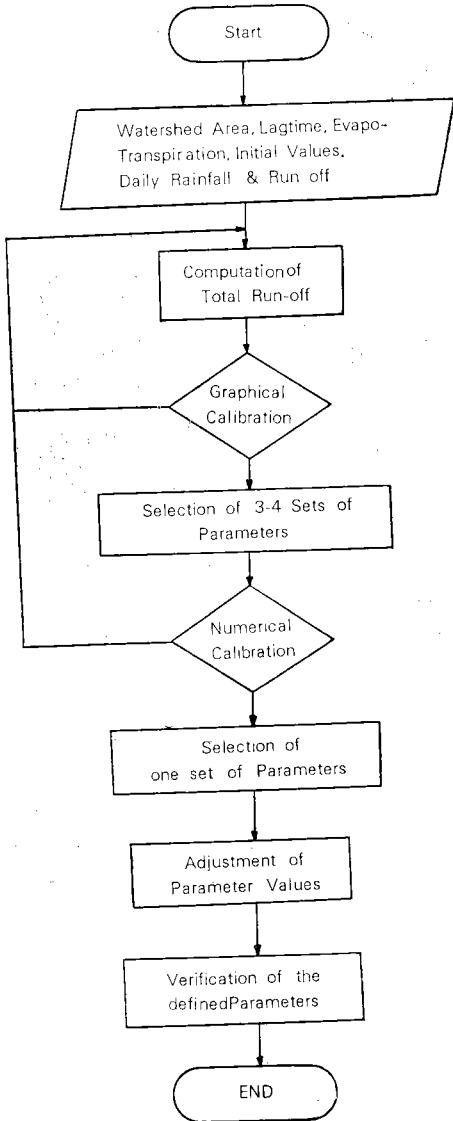


Fig. 2. Flow chart for Calibrating the parameters of TANK Model

여기서 OB =實測值, CO =計算值, n =計算日數等이다.

本 研究에서 Calibration은 Fig.2의 Flow Chart와 같이 3段階로 區分된다. 첫째, 模擬發生된 流出量을 實測 流出量과 함께 半對數紙上(實際는 農振公의 PRIME 550 Graphic terminal을 利用)에서 比較하고 이중 3~4個를 선택한다. 둘째, 이 3~4個의 媒介變數 組合中 RMS와 Bias가 가장 적은 組合 1個를 선정하고 各 流域別 流域特性值에 따라 媒介變數의 變化를 觀察한다. 셋째, 流域特性值에 따른 媒介變數의 曲線이 Smooth 하게 되도록 媒介變數를 再調整하여, 流出量의 日別 變化는 RMS 및 Bias로, 月別 變化는 Scatter diagram 및 相關係數에 依해 媒介變數를 確定한다. Fig.3(a)~(c)는 流域特性值에 따라 1次 確定된 媒介變數의 變化(점선 부분)와 再調整된(Smooth Curve: 실선 부분)것을 보여준다. 또한 Fig.4(a)~(f)는 媒介變數의 調整前後에 있어 日流出量의 Scatter diagram 및 相關係數와 日 流出量의 RMS를 表示하고 있다. 한편

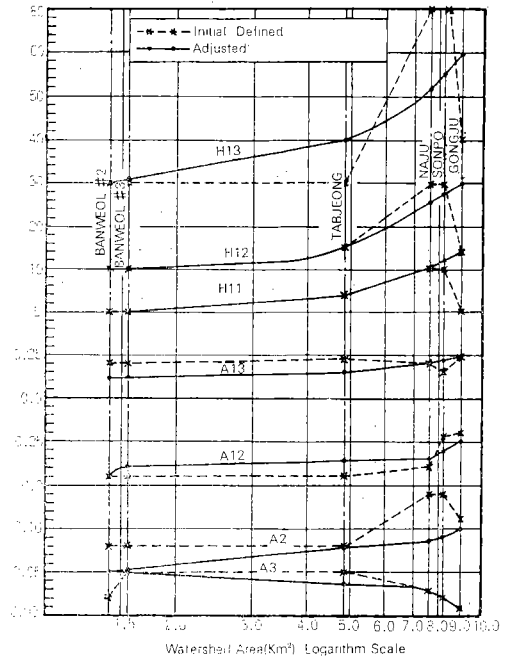


Fig.3(a). Initial Defined and Adjusted Parameters with Watershed Area

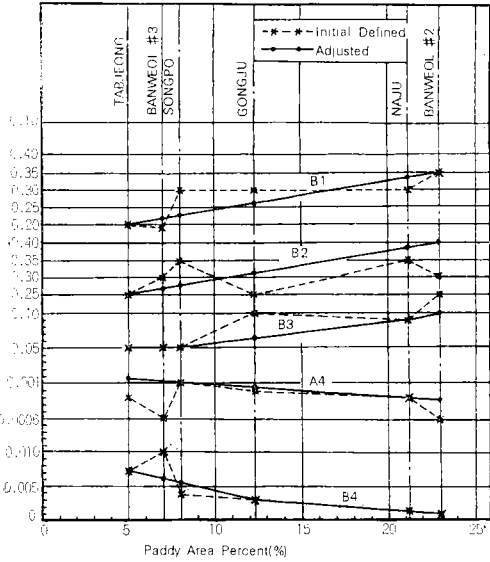


Fig.3(b). Initial Defined and Adjusted Parameters with Paddy Area Percent

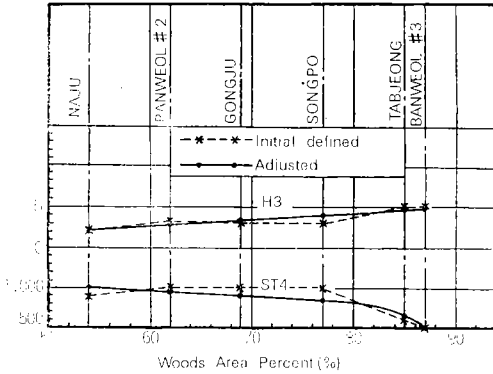


Fig.3(c). Initial Defined and Adjusted Parameters with Woods Area Percent

Table-3은 媒介變數의 最終值에 依한 RMS 및 Bias의 月 平均값을 表示하고 있으며 Table-4에는 媒介變數의 最終 確定值를 수록하였고 Fig.5에는 實測 및 計算流出量의 日別 變化를 羅州地點을 代表로 表示하였다. 이와 같이 3段階에 걸쳐 Calibration 한 結果를 考察하면 다음과 같다.

① Table-4에서와 같이 流域特性值의 變化에 對해 一定한 값을 갖는 變數들은 A_{11} , H_2 , ST_3 , 및

H_4 ,로서 그 값은 각각 0.10, 5.0, 0.0, 및 0.0이 었다. 이는 各 媒介變數間의 交互作用 또는 非線形 종속 관계에 依해 다른 媒介變數로 轉移된 것으로 判斷된다.

② 確定된 媒介變數 中 Fig.3(a)~(c)에서와 같이 流域面積에 따라 變하는 것은 A_{12} , A_{13} , A_2 , A_3 , H_{11} , H_{12} , 및 H_{13} 等 7個이며 畝面積의 構成比에 따라 變하는 것은 B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , 및 A_4 等 5

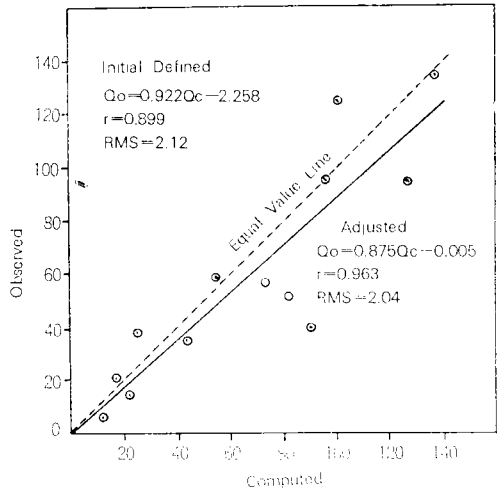


Fig.4(a). Scatter Diagram of Monthly Runoff, BANWEOL #2

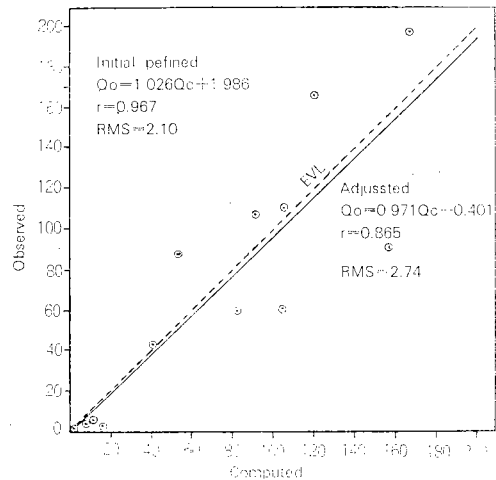


Fig.4(b). Scatter Diagram of Monthly Runoff, BANWEOL #3

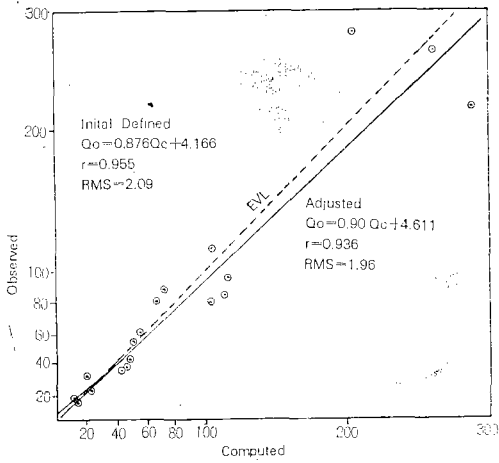


Fig.4(c). Scatter Diagram of Monthly Runoff, TABJEONG

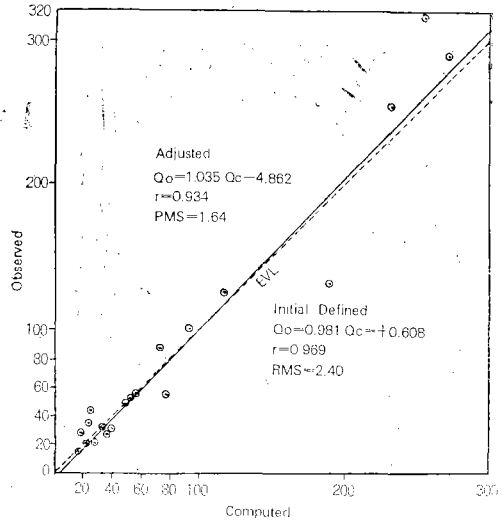


Fig.4(d). Scatter Diagram of Monthly Runoff, NAJU

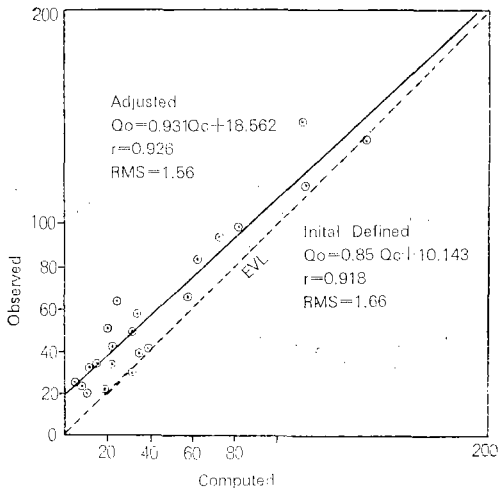


Fig.4(e). Scatter Diagram of Monthly Runoff, SONGPO

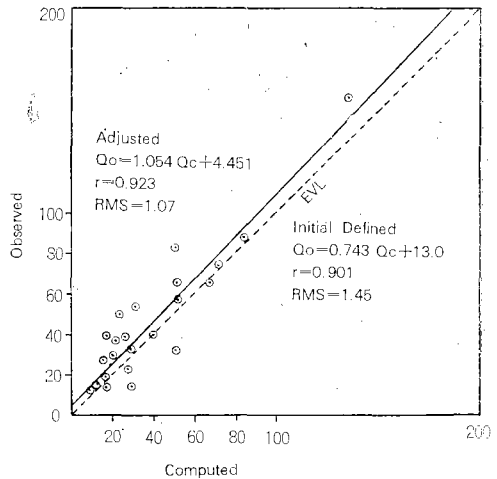


Fig.4(f). Scatter Diagram of Monthly Runoff, GONGJU

Table-3. Numerical Calibration for defining the Parameters

Watershed	BANWEOL # 2		BANWEOL # 3		TABJEONG		NAJU		SONGPO		GONGJU		Mean RMS
	RMS	Bias	RMS	Bias	RMS	Bias	RMS	Bias	RMS	Bias	RMS	Bias	
1st Year													
Jan.	—	—	—	—	0.22	-0.08	0.41	-0.19	0.28	-0.04	0.59	-0.48	0.38
Feb.	—	—	—	—	0.54	0.35	0.88	-0.09	0.23	0.16	0.23	-0.18	0.47
Mar.	—	—	—	—	0.99	0.41	0.44	-0.22	2.91	1.29	1.93	0.45	1.57
Apr.	2.14	-1.03	4.06	0.49	1.38	0.54	2.64	0.29	1.09	0.30	0.91	-0.01	3.06
May	5.14	0.01	4.96	1.02	0.66	-0.24	1.91	-0.71	2.74	0.69	0.93	0.19	2.72

流域特性에 따른 탱크模型 媒介變數의 變化

Jun.	0.84	-0.30	1.62	-0.05	1.61	-0.67	0.01	0.01	0.18	0.08	0.22	-0.14	2.02
Jul.	1.45	0.01	5.28	0.16	4.99	-0.31	6.46	0.54	4.56	0.13	2.18	0.08	4.15
Aug.	2.97	0.72	4.36	1.47	1.68	-0.92	7.83	1.95	5.95	1.15	5.91	0.70	4.78
Sep.	1.16	0.15	2.65	1.18	0.87	0.37	0.93	0.51	1.39	0.69	1.60	1.10	1.48
Oct.	0.52	0.42	0.30	-0.19	0.16	-0.02	0.88	-0.00	0.42	0.41	0.53	0.52	0.47
Nov.	—	—	—	—	0.38	0.05	0.80	-0.09	3.51	-0.46	0.84	0.75	0.92
Dec.	—	—	—	—	0.07	-0.05	0.39	0.35	1.09	1.02	0.77	0.73	0.58
mean	2.03	—	3.32	—	1.13	—	1.96	—	2.03	—	1.39	—	1.98
2nd Year													
Jan.	—	—	—	—	0.07	0.05	0.48	0.39	1.69	1.31	1.14	0.83	0.85
Feb.	—	—	—	—	0.08	0.05	1.13	0.63	0.72	0.71	0.50	0.47	0.61
Mar.	—	—	—	—	0.36	0.30	0.35	0.32	0.49	0.48	0.14	0.11	0.34
Apr.	—	—	—	—	1.93	0.41	0.28	-0.06	1.32	0.54	1.26	0.0	1.20
May	0.47	-0.26	0.66	-0.44	0.83	0.13	0.09	-0.01	0.93	0.75	0.50	0.43	0.58
Jun.	0.30	-0.27	0.13	-0.07	1.56	-0.82	0.01	0.01	0.34	0.31	2.09	0.65	0.74
Jul.	5.13	-1.03	4.16	-2.20	8.69	1.91	8.24	0.73	0.39	0.07	1.57	-0.63	4.70
Aug.	2.99	-0.55	3.26	-0.78	1.05	0.01	1.95	0.17	3.71	-0.06	0.90	0.09	2.31
Sep.	3.15	-1.69	4.44	-1.53	16.48	-2.58	10.17	-1.94	1.40	0.62	0.31	0.12	5.99
Oct.	0.26	0.12	0.35	-0.13	2.39	-0.28	1.11	-0.22	0.70	0.64	0.19	0.09	0.83
Nov.	—	—	—	—	0.07	-0.06	0.09	-0.04	0.72	0.71	0.15	0.10	0.26
Dec.	—	—	—	—	0.03	0.02	0.04	-0.02	0.58	0.58	0.17	0.16	0.21
mean	2.05	—	2.17	—	2.79	—	1.33	—	1.08	—	0.74	—	1.69
Total Mean	2.04	—	2.74	—	1.96	—	1.64	—	1.56	—	1.07	—	1.84

Table-4. The tank model parameters defined

Watersheds Parameters	Sugawara's range	BANWEOL # 2	BANWEOL # 3	TABJEONG	NAJU	SONGPO	GONGJU
A11	0.1—0.5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
A12		0.05	0.10	0.13	0.15	0.20	0.25
A13		0.10	0.13	0.15	0.20	0.22	0.25
H11	5—10	5	5	7	10	11	12
H12	10—30	10	10	15	25	28	30
H13	30—60	30	31	40	52	56	60
B 1	0.1—0.5	0.35	0.22	0.20	0.34	0.23	0.26
A 2	0.03—0.10	0.05	0.055	0.08	0.085	0.09	0.10
H 2	0 — 50	5	5	5	5	5	5
B 2	0.01—0.10	0.40	0.255	0.25	0.38	0.26	0.31
A 3	0.005—0.01	0.05	0.048	0.036	0.03	0.02	0.01
H 3	0—30	3	5	5	2	4	3
B 3	0.005—0.01	0.10	0.05	0.05	0.09	0.05	0.065
ST	10—100	—	—	—	—	—	—
A 4	0.0005— 0.005	0.00075	0.001	0.0015	0.0008	0.001	0.0009
H 4	0—10	0	0	0	0	0	0
B 4	0—0.005	0.001	0.006	0.007	0.0015	0.004	0.003
ST4	100—500	950	500	600	1,000	850	900

있는 것이다. (菅原正巳, 1978)

IV. 탱크模型的 檢證

Table-1에서 보는 바와 같이 本 模型의 媒介變數의 檢證에 使用된 流域은 半月 #1, 半月 #3 및 羅州流域 等 3個 流域이다.

半月 #1 流域의 流域特性值은 Fig.3(a)~(c)에서와 같이 Calibration에서 使用된 範圍를 벗어나고 있다. 따라서 檢證에 使用된 媒介變數의 값은 流域特性值에 따라 extrapolation을 하지 않고 境界值인 上下限의 값을 使用하였다. 檢證方法은 實測된 水文資料가 約 4個月 程度이므로 日別 流出量의 Scatter diagram 및 相關係數와 RMS를 使用하였다. 檢證結果는 Fig.6(a)와 같다.

半月 #3 流域은 半月 #1 流域과 同一 期間의 水文資料를 使用하였기 때문에 檢證方法은 半月 #1 流域과 同一하며 단지 媒介變數의 값은 Table-4와 같이 Calibration에서 確定된 값 그대로 이다. 結果는 Fig.6(b)와 같다.

또한 羅州流域은 檢證에 必要한 資料가 2個年間이므로 Calibration 方法과 同一하게 RMS와 Scatter diagram 및 相關係數를 求하여 Calibration 結果와 比較할 수 있도록 하였다. Fig.6(c)는 이의 結果를 表示하고 있다.

이와같이 3個 流域에 對하여 Calibration된 模型

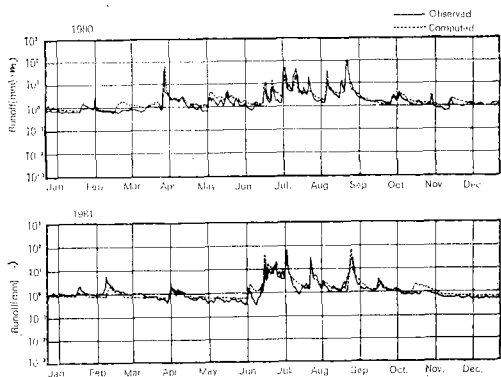


Fig. 5. Observed and Computed Daily Runoff Hydrographs, NAJU

個로서 主로 滲透孔이 이에 속한다. 또한 山地面積의 構成比에 따라 變하는 것으로는 H_s 및 ST_s 等 2個인 것으로 나타났다.

③ 1次 確定된 媒介變數와 再 調整된 것과의 誤差는 Fig.4(a)~(f)에서 보는 바와 같이 塔亭池 流域과 半月 #3 流域을 除外하고 RMS가 모두 감소하여 더 좋은 結果를 보여주고 있다. 月 流出量의 相關係數는 塔亭池, 半月 #3 流域外 羅州流域에서 相關係數가 낮아졌다. 이러한 事實은 Fig. 3에서와 같이 1次 確定된 媒介變數의 組合과 再 調整된 것과는 相互 轉移現狀은 있을 지라도 Calibration의 結果에는 별 影響을 미치지 않고 있음을 말해 주고 있다. 이러한 Smooth Curve는 實用上 매우 重要한 意味를 가지고 있다고 하겠다.

④ 再 調整된 媒介變數에 依한 RMS의 變化를 보면 Table-3에서와 같이 洪水가 頻發하는 月에는 實測值에 對한 誤差가 增加하여 6個 流域 平均 最大 5.99를 記錄하였고 降雨가 적은 季節에는 誤差가 比較的 적어 最小 0.21을 보여주고 있다. 이는 絕對 誤差인 RMS가 流出量의 크기에 左右되고 있음을 알 수 있다. 따라서 탱크模型은 洪水時 流出部分과 底水時 流出部分을 同時에 만족시키기는 어렵고 使用目的에 따라 適切히 어느 한 部分에 重點을 두어 活用해야 할 것이다.

⑤ 菅原正巳의 一般값과 最終 確定된 媒介變數값을 比較해 보면 Table-4에서와 같이 B_2 , A_3 및 B_3 의 값을 除外하고 모두 菅原正巳의 一般값의 範圍內에 있다. 이러한 例外는 實測資料의 誤差에 起因하기도 하지만 流域特性이 平坦地가 많고 滲透能이크며 農業用水 取水量이 많은 곳에서는 예상될 수

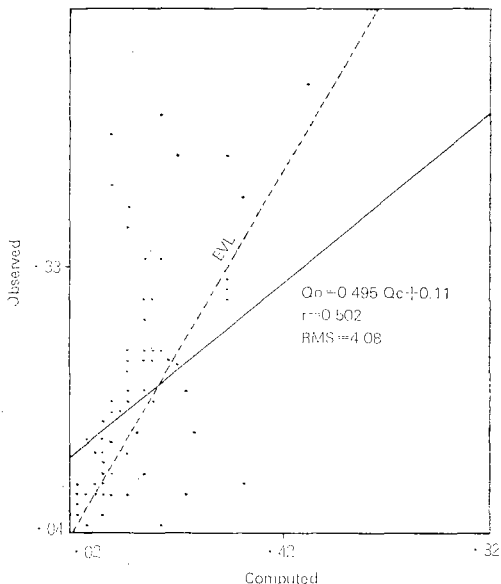


Fig.6(a). Daily flow Scatter Diagram for verification, BANWEOL #1

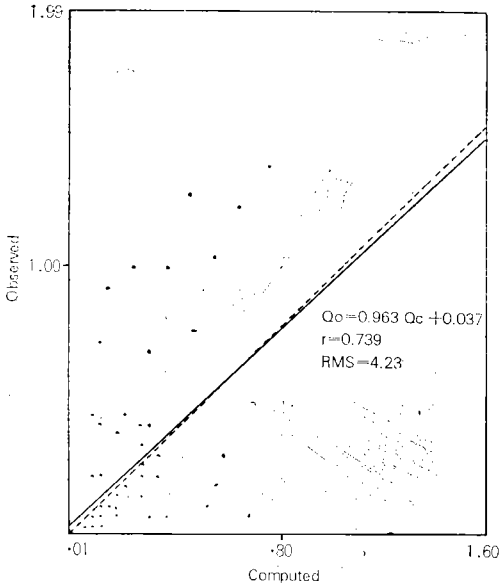


Fig.6(b). Daily flow scatter Diagram for verification, BANWEOL #3

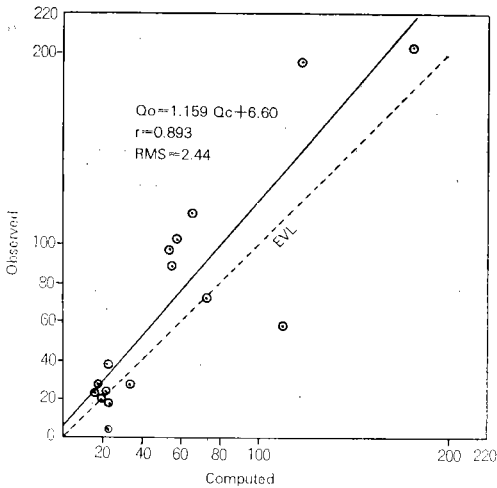


Fig.6(c). Monthly flow scatter Diagram for verification, NAJU

의 媒介變數를 檢證한 結果를 考察하면 다음과 같다.

① Fig.6(a)에서 보는 바와 같이 半月 #1 流域의 경우 日流出量의 相關係數는 0.502로서 有意성을 發見할 수 없었다. 따라서 半月 #1 流域과 類似한 特性을 나타내는 流域에 對해서는 媒介變數의 Calibration을 再 시도할 필요가 있다.

② 其他 半月 #3 流域과 羅州流域에 對하여는

Fig.6(b) 및 (c)에서와 같이 相關係數가 各各 0.739 및 0.893으로서 當初 Calibration된 값 Fig.4(b) 및 (d) 0.865와 0.934를 比較할 때 檢證의 結果가 有意함을 알 수 있다.

V. 要約 및 結論

Table-1의 7個 流域에 對하여 Calibration과 檢證을 거친 結果 流域特性值에 따른 탱크模型의 媒介變數 變化에 關하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

① 탱크模型의 媒介變數는 各 變數間에 交互作用 또는 非線形 중속관계가 있기 때문에 Fig.3에 提示된 流域特性值의 範圍內에서 各 媒介變數를 組合한 다면 實測 流量資料가 없는 流域에서도 本 탱크模型을 使用하여 日流出量을 推定할 수 있을 것이다.

② 實測 流量資料가 있는 곳에서는 Fig. 3 및 Table-4의 結果를 利用하여 Calibration의 時間을 단축할 수 있어 本 模型의 利用性이 增大될 수 있을 것이다.

③ 탱크模型은 洪水와 底水流出에 있어 Calibration의 精度가 相異하므로 模型의 使用目的에 따라 媒介變數의 값이 다르게 Calibration 될 수 있다. 本 研究의 結果는 底水流出部分에서 誤差가 적기 때문에 地表水 利用 目的에 더 有用할 것이다.

④ 向後 좀더 다양한 流域特性值를 包含한 水文資料에 依하여 本 研究의 活用 範圍가 擴大되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. Aitken, A. P., Assessing Systematic errors in rain fall-runoff models, Journal of Hydrology 20 : 121, 136, 1973
2. Bengtson, R. L., F.R. Crow & A. D. Nicks, Calibrating The USDAHL Hydrologic Model on grassland watersheds, Transaction of the ASAE, 1980
3. Chow, Ven te & V.C. Kulandaiswamy, General Hydrologic System Model, J. of HY. Div., HY6 Proc. of ASCE, pp.8176, June, 1971
4. Chow, Ven te, Handbook of Applied Hydrology, Sect. 4- II pp.4-39~4-73, Sect. 14 pp. 14-27~14-51, McGraw-Hill, 1964
5. Clarke, R.T., A review of some mathema-

- tical models used in hydrology with Observation on their Calibration and use, Journal of Hydrology. 19 : 1-20, 1973
6. Dawdy, D.R. & O'Donnell T., Mathematical models of Catchment behaviour, J. of HYD. Div. Proc. of ASCE Vol.91, HY1 No.4 pp. 123-137, 1965
7. Fread, D.L. & G.F. Smith, Calibration Techniques for one-dimensional unsteady flow models, Journal of Hydrology, ASCE Vol. 104, July 1978
8. Haan, C.T., H.P. Johnson & D.L. Brakensiek Hydrologic Modeling of Small Watersheds, Chap. 11, p. 437~472, ASAE Monograph Number 5, 1982
9. —, Statistical method in Hydrology p.222 ~235, Iowa State University Press, 1977
10. —, Evaluation of a Monthly Water Yield Transaction of the ASAE, 1976
11. Linsley, R.K. et al., Hydrology for Engineers, p.81 Second Edition, McGraw-Hill, New York, 1975
12. Ministry of Construction, Dae-cheong Multipurpose Dam, Feasibility Study, 1973
13. Nuckols, J.R. & C.T. Haan, Evaluation of TVA Stream-flow model on Small Kentucky Watersheds, Transactions of the ASAE, 1979
14. Siegmund Brandt, Statistical and Computational Methods in Data Analysis Chap. 6-4, pp.102~103, North-Holland, 1978
15. Sugawara, Masami & Funiyuki Maruyama, A method of revision of the river discharge by means of a rainfall model, 水文諸量の豫知に関する研究論文集, p. 14-18, 1956
16. 菅原正巳, 流出解析法, 共立出版株式會社, 1978
17. Wilson, T.V., J.T. Ligon & A.G. Law, Evolution and Testing of a Five-day Water Yield Model, Transaction of the ASAE, 1979
18. 金泰喆, 鄭夏禹, 多重回歸分析에 의한 河川 月流出量의 推計學的 推定에 관한 研究, 農工學會誌, 1980.9
19. 農水産部, 農業振興公社, 榮山江 開發誌(Ⅱ段 階 農業綜合開發) p. 75~78, 1984
20. —, —, 4大江 流域調查報告書, 1971
21. —, —, 錦江 河口堰 水文 調查報告書, 1983
22. 農業振興公社, 農業土木試驗研究報告書, 1975
23. 朴成宇外, 應用水文學, 郷文社, p. 137~145, 1984
24. 嚴柄鉉, 朴根洙, 長期 流出의 水文學的 模型 開發을 爲한 主要水系別 單位圖 誘導, 韓國農工學會誌, 1984. 12
25. 韓相昱, 鄭鍾壽, 榮山江의 長期 流出量에 관한 考察 韓國農工學會誌, Vol.18 No.3, 1976