

灌漑用 貯水池의 日別 流入量과 放流量의 模擬發生(I)

- 線型 貯水池 模型에 의한 流入量의 推定 -

Simulating Daily Inflow and Release Rates for Irrigation Reservoirs(1)

Modeling Inflow Rates by A Linear Reservoir Model

金 顯 榮* · 朴 承 禹**

Kim, Hyun Young · Park, Seung Woo

Summary

This study refers to the development of a hydrologic model simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoirs. A daily-based model is needed for adequate operation of an irrigation reservoir sufficing the water demand for paddy fields which is closely related to meteorological conditions. Inflow rates to a reservoir need to be accurately described, which may be simulated using a hydrologic model from daily rainfall data. And the objective of this paper is to develop, test, and apply a hydrologic model for daily runoff simulation.

A well-known tank model was selected and modified to simulate daily inflow rates. The model parameters were calibrated using observed runoff data from twelve watersheds. Relationships between the parameters and the watershed characteristics were derived by a multiple regression analysis.

The simulation results were in agreement with the data. The inflow model was found to simulate low flow conditions more accurately than high flow conditions, which may be adequate for water resources utilization.

I. 緒 論

灌漑用水를 供給하는 貯水池는 必要한 時期에 必要한 水量을 供給할 수 있어야 하며 이와 關聯하여 實際 貯水池 操作에 必要한 基礎資料를 提 供하기 위해서는 貯水池로 流入하는 水量과 流出 하는 水量이 시간이 경과함에 따라 어떻게 변화

할 것인가를 推定 또는 예측할 수 있어야 공급대 책을 수립할 수 있을 것이다. 이와 동시에 流入 流出水量에 따라 貯水池 水位나 貯水量의 變化를 될수록 정확히 追跡할 필요도 있을 것이다.

貯水量의 變化에 직접 영향을 미치는 流入量과 放流量의 경우 貯水池 操作의 目的에 비추어 보 아 사용 費料의 年數가 부족할 경우도 있고, 특히

* 農業振興公社 卍萬金事業團

** 서울大學校 農科大學

灌漑用貯水池의 日別流入量과 放流量의 模擬發生(I)

流入量의 경우 우리나라의 灌漑用貯水池流域에는 水文觀測施設이 거의 없는 실정이므로 降雨量資料로부터 流入量의 推定이 한층 요구되고 있다. 또한 放流量의 경우에도 作物의 必要水量이 當日의 氣象變化에 따라 민감하게 변하기 때문에 이의 推定도 必要할 것이다.

流入量과 放流量을 模擬發生함에 있어 貯水池의 用途에 따라 模擬發生의 대상과 時間單位가 상이하게 된다. 예를 들면 生工業用水를 공급하는 貯水池일 경우, 이는 月別 변화로 인해 月單位의 模擬發生²⁾이 일반적이지만 灌漑用水의 공급이 主目的이면 放流量의 대상은 作物의 必要水量이 되고 이 水量은 當日의 기상에 따라 변하기 때문에 日單位의 模擬發生이 요구된다^{15),19),28)}. 이때 流入量과 放流量의 模擬發生 시간간격을 日別로 함으로서 精確한 貯水量의 日別 변화를 추적할 수 있을 것이다.

本論文은 3個編으로 構成하였으며 本編에서는 소위 탱크모형으로 불리우는 概念的 線型貯水池 模型에 의해 流入量을 模擬發生하는 模型에 關한 것이며, 貯水池 樋管에서의 放流量 推定과 이를 包含하여 流入量 模型과 함께 貯水池의 日別 模擬操作 模型의 應用에 對해서는 추후(II), (III)編에서 考察할 예정이다.

流入量을 模擬發生하기 위해서는 여러 종류의 水文模型을 利用할 수 있지만 일반적으로 降雨量을 入力하여 流域의 流出量을 모의발생하는 確定論的 模型^{1),13)}을 대개 使用한다. 日單位 流出模型은 洪水流出 模型과 같이 地表流出(surface runoff)成分만을 취급하지 않고 中間流出 및 基底流出(interflow and baseflow)까지 포함해야 하므로 연속적으로 流域의 土層水分의 變化를 追跡할 수 있는 알고리즘을 일반적으로 갖추게 된다²²⁾. 이러한 模型은 SWM 模型¹⁹⁾이나 USDAHL 模型¹⁶⁾ 등과 같이 몇개의 土層內에서 水分變化를 표시하는 물리적인 의미의 媒介變數를 사용하기도 하지만, 概念的 線型貯水池(linear reservoir model : e.g. Sugawara et al.³⁴⁾ 1956; Nash²⁵⁾, 1957)를 數個 조합하여 이들이 각 土層의 水分變化를 표현할 수 있도록 하는 模型^{6), 27), 35)}도 있다. 線型貯水池 模型은 적어도 數個 이상의 媒介變數가 개념화되기 때문에 實測 流出量 자료로부터 補正(calibration)되어야 사용 가능하며 無計測 流域에서는 적용할 수 없는 단점을 가지고 있다³⁶⁾. 만약 無計測 流域에 적용하고자 할 때는 模型의

媒介變數가 물리적 의미가 있거나 현장에서 측정 가능한 인자와의 관계를 사전에 준비하여야 한다.

日別 流出模型 중에서 ARM,⁹⁾ USDAHL,¹⁶⁾ KWM,¹⁸⁾ SSARR,⁸⁾ 및 SWM¹⁰⁾ 模型은 입력자료가 많은 복잡한 구조를 갖는 模型인데 反해 TV-A, SSAM,⁵⁾ Knisel,²⁰⁾ Yazicigil,³⁸⁾ DATTA¹¹⁾ 및 Tank^{34),35)} 模型은 비교적 입력자료의 數는 적으나 媒介變數를 實測 流出量 자료로부터 補正해야 하는 매개변수 보정(fitted parameter) 模型이다. 또한 TWM,⁷⁾ SCS,³⁶⁾ PRMS,⁶⁾ 및 Onstard²⁷⁾ 模型은 매개변수를 實測하거나 推定值를 사용하는 매개변수 실측(measured parameter) 模型이지만 어느것은 流域의 土地利用 상태가 특정상태에서만 적용할 수 있도록 되어 있다.

탱크모형과 같이 媒介變數 補正 모형들은 補正流域과 다른 流域에 適用하기 위해 유역면적과 같은 유역의 地相因子와 媒介變數와의 관계를 연구하기도 한다. 이러한 연구로서는 日單位 流出量은 아니지만 Snyder³¹⁾ (1938)의 合成單位圖의 유도가 시초일 것이다. 우리나라에서는 建設部³⁹⁾ (1975), 徐⁴⁹⁾ (1975) 및 李⁵⁰⁾ (1977) 등도 유사한 연구를 수행한 바 있다. Wilson³⁷⁾ (1979)의 5日單位 受水量(Five Day Water Yield) 模型과 Han¹⁴⁾ (1976)의 月流出量 模型등이 매개변수와 流域特性因子와의 관계를 맺은 바 있으며, 既 개발된 모형을 流域 特性이 다른 곳에 適用하기 위해 流域特性과 模型의 媒介變數와의 관계를 연구한 것으로는 Nuckols 등²⁶⁾ (1979)이 TVA 流出模型을 小流域의 日 流出量 推定에, Bengston 등³⁾ (1980)이 USDAHL 模型을 草地에 各各 적용한 바 있다.

우리나라의 경우 金⁴²⁾ (1986) 등이 菅原正己³⁵⁾ (1978)의 탱크模型을 기초로 하여 流域面積과 流域의 토지이용 상태에 따라 模型의 媒介變數의 變化를 연구한 바 있으며, 權⁴⁵⁾ 등은 USDAHL-74 模型을 기초로 우리나라 小流域에 적용할 수 있도록 매개변수를 보정한 바 있다.

本研究의 目的은 概念的 線型貯水池 模型의 하나인 탱크모형을 우리나라 灌漑用貯水池가 小流域인 特性을 고려하여 修正하고 流域特性因子와 模型의 媒介變數와의 關係式을 유도함으로써 媒介變數의 推定을 容易하게 하는 데 있다.

II. 模型의 基本理論

貯水池의 日別 流入量을 模擬發生하기 위해 菅

原正巳³⁵⁾(1978)의 탱크 모델을 선정하여 우리나라 灌溉用 貯水池의 流域 特性에 맞게 修正하였다. 模型을 選定함에 있어서는 여러가지 條件들^{1), 14), 17)}을 고려할 수 있으나, 탱크 모델을 선정한 重要理由로는 降雨量으로 부터 日別流入量을 얻을 수 있고, 入力資料의 數가 적으며, 무엇보다 우리나라에서 많이 사용한 적이 있다는 점을 들 수 있다^{23), 46), 51)}.

탱크 모델의 修正은 사용의 容易性和 最少限의 입력자료를 갖는 방향에서 流出現狀을 표현할 수 있도록 되어야 한다. 탱크 모델의 탱크數와 각 탱크의 流出孔의 數는 媒介變數의 數와 관련되기 때문에 이들의 數를 줄이는 것은 사용의 容易性을 개선하고 媒介變數의 보정에 소요되는 시간과 노력을 절감하게 된다. 菅原正巳(1978)는 日本의 主要 水系에 대한 탱크 模型을 개발하였는 바, 4개의 탱크를 直列로 연결하고 1段 탱크의 流出孔의 數는 2~3개이며 나머지 탱크의 流出孔 및 浸透孔의 數는 각각 한개씩이었다. 이들 流域面積의 크기는 150km²~3,378km²정도의 것이다.

이에 비해 우리나라 灌溉用 貯水池는 農地改良 組合 貯水池 2,257개중 약 89%가 100km²이하의 소규모이다⁴⁷⁾. 따라서 본 연구의 탱크 모델은 洪水부분의 精度가 감소하더라도 1段 탱크의 流出孔의 數를 2개로 하고, 小流域의 流出遲滯 시간이 짧고 기저 유출 부분의 기율기가 급하다는 점을 감안하여 4段 탱크를 생략하므로써 模型의 단순화를 시도하였다.

Fig. 1.1 은 탱크 모델을 기초로 한 灌溉用 貯水池의 수정된 降雨-流出模型을 보여주고 있다. 본 그림에서와 같이 1段 탱크는 流出의 成分中 地表 流出을 概念化한 것이고 2段 및 3段은 각각 中間 流出 및 基底流出을 개념화한 것이다. 1段 탱크의 流出孔의 數를 2개 둔 것은 洪水流出時의 오차를 1個일 때 보다 감소시키기 위한 것이다. 3段 탱크의 流出孔의 높이를 "0"으로 한 것은 降雨가 없을 경우 初期 基底流出을 표현하자면 貯溜水深 ST는 항상 流出孔의 높이보다 커야 하기 때문이다.³⁵⁾ 따라서 통상 大流域에서 4개 탱크를 사용할 때 보다 媒介變數의 數는 19개에서

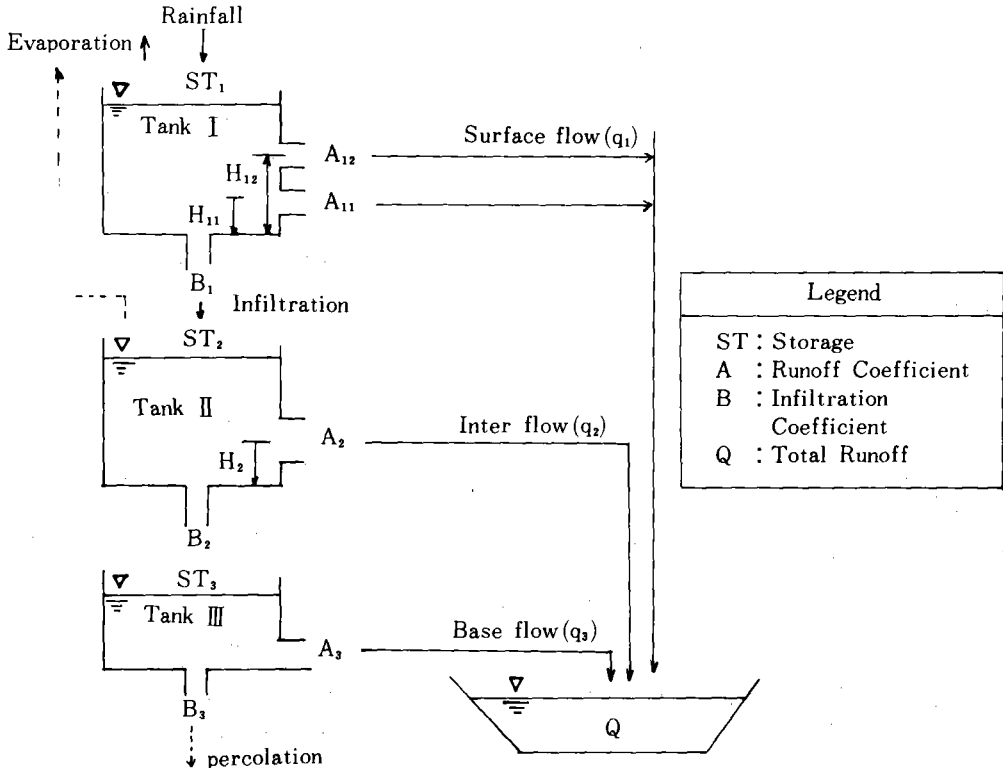


Fig. 1.1. Inflow Model development for modeling dally rainfall-runoff relationship.

灌漑用貯水池의 日別流入量과 放流量의 模擬發生(I)

13개로 감소하게 된다.

탱크模型에 의한 流域의 流出量은 日別 降雨量으로 부터 다음 式(1.1)에 의하여 계산한다. 즉,

$$Q_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (1.1)$$

이다. 여기서 Q_t =t일의 總流出量(mm), i =탱크의 數, j =i 탱크의 流出孔의 數, $ST_{i,t}$ =t일의 i 번째 탱크의 貯溜水深(mm), H_{ij} = i 탱크의 j 번째 流出孔의 높이(mm) 및 A_{ij} =流出孔의 斷面積(無次元)이다. 또한 貯溜水深 ST 는 單位時間 t 에 따라 다음 式과 같이 계산한다. 즉,

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + Rt - Et - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (1.2)$$

이다. 여기서 $ST_{i,t-1}$ = $t-1$ 일의 i 번째 탱크의 수심(mm), R_t = t 일의 降雨量(mm), E_t =蒸發量(mm), $Q_{i,t-1}$ = i 번째 탱크의 $t-1$ 일의 流出量이다. R_t 의 경우 2段 탱크 부터는 前 탱크의 浸透量 $I_{i-1,t}$ 로 대체되며, E_t 의 경우 各 탱크에서 $ST=0$ 일때 다음 탱크로 부터 蒸發된다. 한편 浸透量 $I_{i,t}$ 는 다음(1.3)式과 같이 계산한다. 즉,

$$I_{i,t} = ST_{i,t} * B_i \quad (1.3)$$

이다. 여기서 B_i = i 번째 탱크의 浸透孔의 斷面積(無次元)이다. 式(1.1)~(1.3)에서 보는 바와 같이 流出量을 模擬發生하기 위해서는 매개 변수 A, H, ST 및 B 값의 추정치 문제가 된다.

Ⅲ. 模型의 適用

流入量 模型을 實測資料에 의해 適用하는 과정은 다음과 같다. 즉,

- ① 日別 降雨量 및 실측 流出量 자료를 입력자료로 준비한다.
- ② 式(1.1)과 같이 탱크모형의 매개변수는 既往에 補正된 인접流域의 값으로 가정하여 유출량을 日別로 계산한다.
- ③ 實測 및 計算 流出水文 曲線을 컴퓨터의 Graphic Terminal에서 비교하고 兩曲線이 접근할 때까지 매개변수의 값을 시산한다.
- ④ 이중 가장 근접도가 높은 3~4쌍의 媒介變數 組合를 선정한다.
- ⑤ 선정된 매개변수 조합중 日別 流出量의 RMS⁴²⁾와 Bias가 최소로 되고 月別 流出量의 相關係數 및 散布圖⁴¹⁾(scatter diagram)로부터 매

개변수의 最適 推定值인 1쌍의 조합을 선택하면 1차로 매개변수의 補正은 완료된다.

- ⑥ 1차 補正된 매개변수가 流域面積 및 流域의 土地利用比에 따라 어떻게 변하는가를 그림으로 고찰한 다음 流域 特性因子別로 분류한다.
- ⑦ 매개변수와 유역 特性인자와의 관계를 smooth curve로 表示하고 이 curve에 따라 매개변수의 값을 再 調整한다.
- ⑧ 再 調整된 매개변수와 유역 特性치와의 回歸式을 最小 自乘法에 의해 구하고 ANOVA 검정을 실시한다.
- ⑨ 유역과 실측자료를 달리하여 모형을 檢證한다.

1. 對象流域 및 資料

流入量 模型의 適用을 위한 研究對象流域은 Table 1.1과 같이 京畿道 華城郡 半月面의 半月貯水池와 그 인접유역에서 5個所, 忠南 論山郡의 塔亭池 流域에서 1個所 및 建設部의 國際 水文 開發計劃(IHP)⁴⁰⁾에 의한 6個 流域等 12個 流域에서 26 個年의 日別 降雨量과 流出量 資料를 이용하였다. 半月 流域은 서울大學校 農工學科⁴⁴⁾에서 '85년부터 調査한 바 있으며 塔亭池 流域은 '83~'84에 걸쳐 農業振興公社에서 水文調査를 수행한 바 있다.

2. 媒介變數의 補正

Table-1.1.에 주어진 流域의 實測 降雨量으로부터 式(1.1)에 의해 日別 流出量을 計算하고 實測 流出量에 의해 流入量 模型의 媒介變數를 補正한 後 該當流域의 地相因子에 따라 媒介變數의 變化를 圖示하면 Fig.1.2의 점선의 모양으로 된다.

Fig. 1.2(a)는 流域面積(km²)에 따라 변하는 媒介變數의 값을 보여주며 그 媒介變數로는 H12, B1, B3 및 ST3의 4개로서 여기서 流域面積의 분포는 自然對數와의 關係를 보여준다. Fig.1.2(b)는 田面積의 構成比에 따라 변하는 媒介變數를 표시한 것으로 A2, H2 및 A3이다. 또한 Fig.1.2(c) 및 (d)는 각각 畚面積構成比와 山林面積比에 따라 변하는 媒介變數를 표시한 것으로서 A11과 B2는 畚 構成比에 따라, A12는 山林 構成比에 따라 각각 변화하는 媒介變數임을 보여주고 있다.

Fig. 1.2에서 점선으로 表示된 曲線은 1次 補正된 媒介變數의 最適 推定值과 流域特性值와의 關係를 表示하는 것이기는 하나, 이것만으로는 任意的 流域特性值에 따른 媒介變數의 값을 一貫性

Table-1.1. Watersheds studied and years of record used

Watersheds/ Stations		Data	Years of Record	Data Use	Basin Area (km ²)	Irriga- tion A- re (ha)	Locations	Measur- ing A- gency	Meteorol- ogic Statio- ns
Banweol	WS # 1	Rainfall-Runoff	'85~'86	Inflow Calibration	2.75	-	Kyunggi, Hwaseong	SNU ¹⁾	Suweon
	WS # 3	"	'74~'75	" "	4.8	-		ADC ²⁾	-
		"	'85~'86	" Verification	4.8	-		SNU	-
	WS # 5	"	'85~'86	" Calibration	0.47	-		"	-
	WS # 6	"	'86	" Verification	27.5	-		"	-
	WS # 8	"	'74~'75	" Calibratidn	3.7	-		ADC	-
		"	'86	" Verification	3.7	-	SNU	-	
Pyungc- hang	NO. 4	Rainfall-Runoff	'84~'85	Inflow Calibration	140.5	-	Kangweon, Pyungchang	MOC ³⁾	-
	NO. 5	"	'84~'85	" "	105.7	-		"	-
	NO. 6	"	'84~'85	" "	56.0	-		"	-
Bocheo- ng	NO. 4	Rainfall-Runoff	'84~'85	Inflow Calibration	79.5	-	Chungbuk,	MOC	-
	NO. 5	"	'84~'85	" "	53.7	-			
Wiecheon	NO. 5	Rainfall-Runoff	'84~'85	Inflow Calibratton	33.6	-	Kyungbuk	MOC	-
Tabjeong	Incheon	Rainfall-Runoff	'83~'84	Inflow Calibration	137.0	-	Chungnam, Nonsan	ADC	Taejeon "

- 1) SNU : Seoul National University, Agricultural Engineering Department
- 2) ADC : Agricultural Development Corporation
- 3) MOC : Ministry of Construction, International Hydrologic Development Project

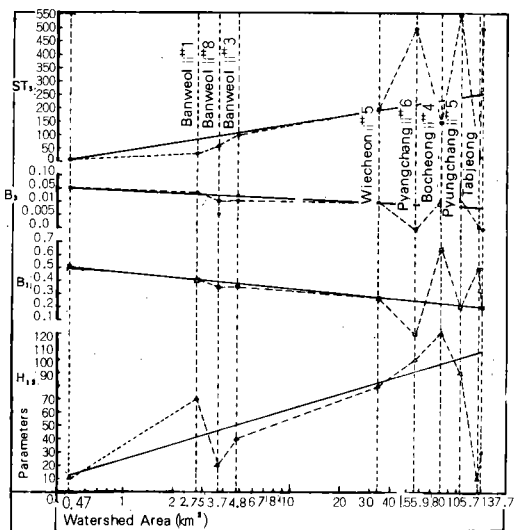


Fig.1.2 (a) Variations of the Tank Model parameters with watershed area (km²).

있게 추정하기가 곤란하다. 원래 탱크 모델의 매개변수는試算법에 의해 補正하게 되고 매개변數相互間에 非線型 종속 관계를 이루고 있으므로

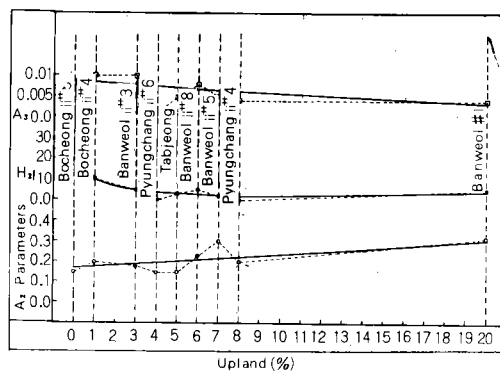


Fig.1.2. (b) Variations of the Tank Model parameters with upland percent.

Global optimum³⁰⁾을 얻기가 거의 불가능한 것으로 알려져 있다.^{35), 42)} 따라서 1次 補正된 매개변수의 조합은 Local optimum 이 될 가능성이 있으며 이는 또다른 Local optimum 의 존재를 암시한다고 하겠다. 그러므로 임의의 流域特性值에 따라 매개변수의 추정을 가능하게 하면서 추정된 매개변수가 Local optimum 이 되도록 Fig.1.2의 점선을 Smooth curve(실선)로 補正하고, 이 曲線에 의

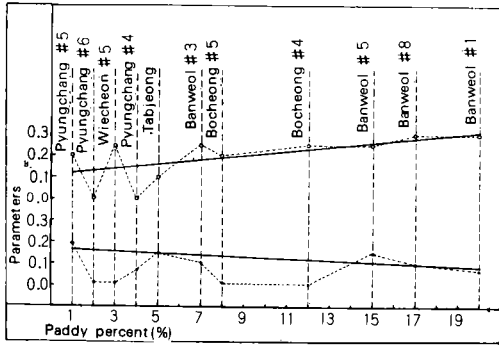


Fig. 1.2. (c) Variations of the Tank Model parameters with paddy percent.

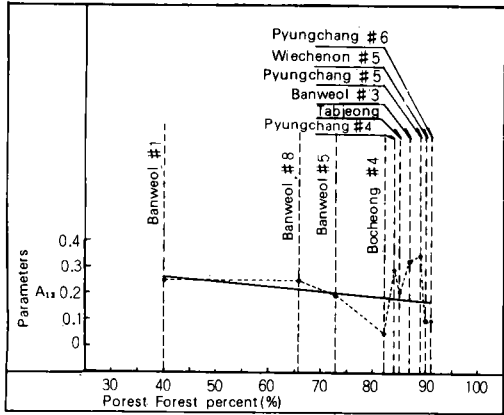


Fig. 1.2. (d) Variations of the Tank Model parameters with forest percent.

해 얻은 매개변수의 값과 1次 補正된 媒介變數의 값으로 모의발생한 流出量을 비교하여 별 차이가 없음을 증명하였다. 특히 smooth curve로 補正함에 있어 流域特性因子와 媒介變數의 종류에 따라 smooth curve로부터 크게 이탈한 경우도 있으나(主로 IHP 流域中 實測資料와 誤差가 큰 경우) 대체적으로 이 曲線의 방향을 左右할 정도로 많지는 않았다. 1次 補正된 매개변수와와의 差異를 밝히기 위해 Fig. 1.3과 같이 RMS 및 月流出量의 相關係數를 함께 表示하는 散布圖을 作成하였으며 이들의 내용을 종합하면 Table-1.2와 같다.

Table-1.2에서 보는 바와 같이 平昌, 報靑 및 胃川流域等 IHP 流域을 제외한 半月 및 塔亭流域은 初期 補正에 의한 流出量이나 smooth curve에 의해 調整된 것이나 RMS와 相關係數에 있어

별 차이를 보이지 않고 있다. 즉 RMS의 경우 初期 補正時 變化범위는 半月 #5 流域의 3.68mm로부터 半月 #3 流域의 1.48mm까지 인데 비해 smooth curve에 의한 調整시는 半月 #8 流域의 1.28mm에서 半月 #5 流域의 3.47mm까지 變化하여 오히려 더 좁은 범위를 보여주고 있다. 相關係數의 경우에도 初期 補正時 半月 #5 流域의 0.934에서 半月 #8 流域의 0.987까지 變換 반면 再調整時는 半月 #5 流域의 0.937에서 半月 #1 流域의 0.982를 보이므로서 비슷한 變化범위를 나타내고 있다. 이러한 사실은 實測值의 정도가 높다는 것 외에 初期 補正時의 값이 합리적으로 推定되었음을 말해주며 이에 따른 재 調整된 매개변수의 조합도 또다른 local optimum이 됨을 보여준 것으로 판단된다.

IHP 流域中 報靑 및 平昌 #4 流域은 Table-1.2에서와 같이 初期 補正時의 RMS는 1.72mm~4.34mm로 계산되었고, 相關係數의 경우 0.881~0.924를 보여 半月流域과 비슷한 범위를 보였으나 散布圖에서 EVL로부터의 이탈량이 다소 큰 것으로 나타났다. smooth curve에 의한 경우도 初期 補正時의 RMS와 相關係數에 있어서 거의 동일한 범위를 보여주었다. 그와 IHP 流域의 경우는 補正의 精度가 좋지 못한 것으로 나타났으며 이는 實測值에 誤差가 多少 포함되었기 때문으로 推料된다.

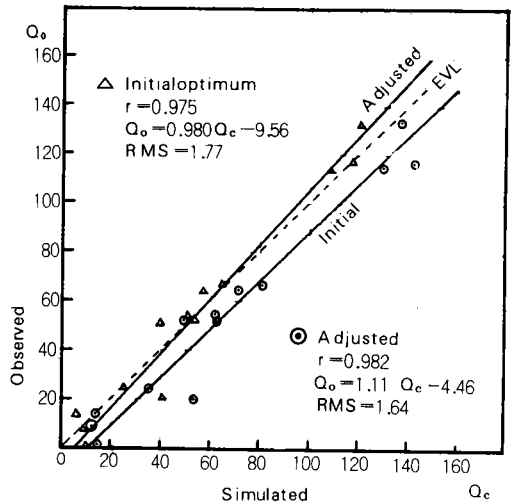


Fig. 1.3 Scatter diagram of monthly runoff, Banweol #1.

Table-1.2 Comparative correlation coefficients and daily root-mean-square(RMS) with the results of parameter calibration for the inflow model.

Watersheds	Initial Optimum Parameter			Adjusted Parameter		
	Correlation of monthly runoff	Daily RMS	Auto-Correlation (Lag=1)	Correlation of monthly runoff	Daily RMS	Auto-Correlation (Lag=1)
Banweol #1	0.975	1.77	1.57	0.982	1.64	0.15
	0.945	1.48	0.41	0.948	1.33	0.15
	0.934	3.68	0.18	0.937	3.47	0.12
	0.987	1.82	-0.02	0.981	1.28	0.02
Pyungchang #4	0.881	4.34	0.57	0.893	4.90	0.60
	0.676	9.25	0.72	0.668	9.80	0.39
	* 0.921	9.55	0.66	0.909	8.89	0.65
Bocheong #4	0.886	1.72	0.79	0.847	1.73	0.76
	0.924	2.68	0.42	0.923	2.50	0.43
Wiecheon #5	0.225	4.21	0.69	0.186	4.80	0.68
Taajeong	0.949	2.57	0.23	0.949	3.01	-0.11

* Those are called the IHP (International Hydrologic Project) Watersheds by MOC.

媒介變數의 補正後, 補正된 媒介變數가 最適推定值인가의 여부를 확인하기 위해 實測值와 模擬發生值와의 誤差에 대한 크기 및 분포상태를 고찰하고 오차차료에 대한 自己 相關係數를 구하였다.

誤差의 크기 및 分布는 Fig.1.4와 같이 日別 hydrograph에 함께 表示하였으며 또한 誤差의 평균(ϵ)과 標準偏差(σ)도 계산하였다. Fig.1.4에서 보는 바와 같이 대부분의 誤差는 첨두 유출이 발생 할때 큰 값을 나타내고 있다. 특히 最大 誤差는 7月~8月の 洪水기에 발생하므로 이 模型은 洪水 部分의 流出 해석에 문제가 있음을 알 수 있다. 그러나 水資源의 利用 側面에서는 洪水流出보다 低水流出이 더 중요하기 때문에 첨두부분에서 오차가 어느정도 발생하더라도 低水부분의 誤差가 더 적은 것이 바람직할 수도 있다. 한편 Fig.1.4에서 알 수 있는 것은 初期 補正에 의한 流出量과 再調整된 것에 의한 流出量이 몇개 구간을 제외하고 거의 일치함으로써 두 媒介變數의 조합사이에는 별 차이가 없음을 다시 한번 확인할 수 있다.

模型의 媒介變數가 最適推定值인 가를 결정하는 수단중의 또 하나는 殘差의 特性을 분석하는 것으로 그 방법은 誤差의 시계열의 白色雜音(white noise) 여부를 검사하는 것이다.³⁸⁾ 이 白色雜

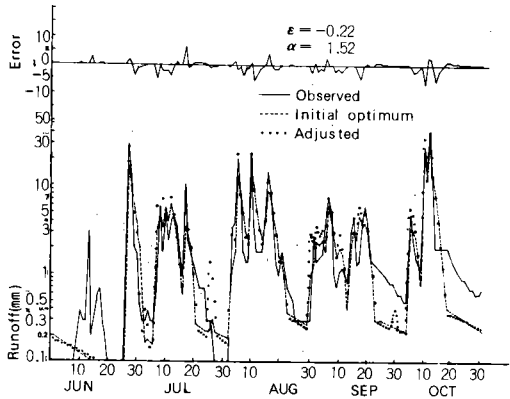


Fig. 1.4. Daily observed and simulated runoff hydrograph at Banweol #1 watershed 1985.

音은 Lagk를 갖는 誤差의 시계열간에는 相關性(serial correlation)과 週周期性(periodicity)을 가지고 있지 않으며 일반적으로 測定 誤差의 特性으로 알려져 있고, 그 분포함수는 독립적이고 대칭적인 Gaussian-분포를 한다.³³⁾ 이때 殘差의 自己 相關性을 검사하는 방법으로서 Lag k에 따른 殘差의 自己 相關圖^{12), 21)} (correlogram)을 사용하는 것이다.

Fig. 1.5는 半月#8 流域을 대표로 誤差의 시계

열을 lag=0~20일까지 日 단위로 自己 相關係數를 計算하여 自己 相關圖를 作成한 것이다. 이 中에서 自己 相關係數만을 要約 整理하면 Table-1.2의 內容과 같다. 이에 의하면 IHP 流域과 半月 #1, #3 및 塔亭 流域을 除外하고 媒介變數의 初期 補正時와 再 調整時 모두 殘差의 自己 相關性은 발견되지 않았으며, IHP 流域中 報青 #5 流域과 半月 #1, #3 및 塔亭 流域의 初期 補正時에는 95% C.L.를 초과하기는 하나 lag=1日에서 相關係數가 0.4이내의 적은 값을 보였다. 그 외 IHP 流域의 경우 0.6 以上の 自己 相關性을 나타내었다.

3. 媒介變數와 流域特性因子와의 關係

Nuckols 等²⁶⁾(1979)이 TVA 日 流出量 模型을 Kentucky의 小流域에 적용하기 위하여 사용한 流域特性因子는 流域面積, 流路長, 起伏量, 土地利用 構成化, 河川傾斜, 流域土層의 透水性, 土層의 깊이, 地下水 指數(ground water index)等이었다. 이 中에서 透水性(permeability), 土層이 깊이(soil depth) 및 地下水 指數등의 因子는 우리나라의 土壤과 土地利用 特性에 비추어 볼때 토지 이용 상태 안에 모두 포함시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 流域의 傾斜도와 같은 인자도 토지 이용과 밀접한 關係를 가지고 있기 때문에 이 인자로서 대치를 하더라도 별 문제가 없을 것으로 보인다. 따라서 本 流入量 模型의 단순화를 염두에 두고 流域 特性 인자는 流域面積과 流域의 土地利用 構成比만으로 流出特性을 표현하도록 시도하였다.

流域의 土地利用 構成比는 우리나라의 경우 SCS(Soil Conservation Service)의 分類法³²⁾과 같

이 통일된 기준이 없으므로 지형도를 이용하여 구해야 한다. 이와같은 경우 일반적으로 畚, 田, 山林 및 其他(마을, 道路, 河川 等)로 구분할 수 있다. 이 中 畚, 田 및 山林이 차지하는 比率이 Table 1.3에서 보는 바와 같이 평균 약 95%이며 기타의 토지이용比는 5% 정도에 그치고 있다. 따라서 토지이용 구성비中 畚, 田 및 山林 구성비만을 이용하여 兩者의 關係式을 구하였다.

이 분석에 사용되는 수법은 주로 回歸分析이다. 4), 24), 26), 41) 즉, 流域 特性值를 獨立 變數로 하고 補正된 媒介變數를 從屬變數로 하여 이들의 回歸 方程式을 最小自乘法로 구하였다.

먼저 流入量 模型의 개발을 위해 선정된 11개 流域의 特性值를 구하면 Table-1.3과 같다.

Table-1.4. (a)~(b)는 兩者의 關係式을 구하기 위하여 Fig.1.2의 실선과 Table-1.3으로부터 각각 작성한 자료이며 回歸分析 結果인 關係式과 ANOVA table에 의한 검정 結果를 함께 요약한 것이다. Table-1.4(a)에서 보는 바와 같이 媒介變數 H12, B1, B3 및 ST3는 流域面積A(km²)의 對數 변환치의 線型 回歸式으로 나타났고, A12는 山林 構成比 F(%)의 線型 回歸式을 얻었다. 또한 Table1.4(b)에서 A11 및 B2는 畚 構成比 P(%)의 함수로, A2, H2 및 A3는 田面積 構成比 U(%)의 函數式을 얻을 수 있었다. 특히 H₂는 對數 변환하여 回歸式을 구하였으나 ANOVA 검정 結果 5% 수준에서 유의성이 있는 것으로 나타났다. H2를 제외하고 모든 回歸式은 1% 수준에서 유의성을 나타내었다.

IV. 模型의 檢證

流入量 模型의 檢證에 사용된 流域은 Table-1.1 에서와 같이 半月 #3, #6 및 #8 流域이다. 半月 #3 및 #8 流域은 媒介變數 補正時 사용했던 자료와 년도를 달리하여 적용하였고, 半月 #6 流域은 流域을 달리하여 적용하였다. 이때 媒介變數의 값은 1 : 25,000 지형도에서 流域特性值 로 부터 구하였으며 이 媒介變數에 의해 日別 流出量을 추정하고 實測 流出量으로 檢證하였다.檢證 방법은 媒介變數 補正時와 동일하게 日別 流出量은 RMS와 Bias, 月別 流出量은 相關係數와 散布圖를 이용하였다. 또한 媒介變數가 최적 추정치인가를 확인하기 위해 오차의 自己 相關圖도 동시에 작성하였다.

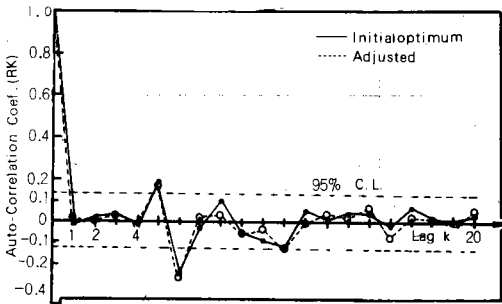


Fig. 1. 5. Correlogram of the error series, Banwool #8

Table-1.3 Watershed Characteristics.

Watersheds	Drainage Area (km ²)	Land Use Percentage (%)				Remarks
		Paddy	Upland	Forest	Others	
Banweol						
# 1	2.75	20	22	40	8	
# 3	4.80	7	5	87	1	
# 5	0.47	15	9	73	3	
# 6	27.50	14	6	79	6	
# 8	3.70	17	8	66	9	
	(2.54) *	(21)	(9)	(61)		
Pyungchang						
# 4	140.45	4	10	84	2	
# 5	105.75	1	7	89	3	
# 6	55.93	2	6	91	1	
Bocheong						
# 4	79.52	12	3	82	3	
# 5	53.70	8	2	87	3	
Wiecheon						
# 5	33.63	3	6	90	1	
Tabjeong	137.75	5	7	85	3	
Average	56.22	8.5	7.7	79.5	4.3	

* () means the area which the drainage area of Gal-chi reservoir is excluded from the Banweol #8 watershed.

Fig. 1. 6은 流入量 模型의 檢證을 위하여 實測 및 模擬發生 流出 水文 曲線을 비교하고 있으며 數值的인 檢證 結果를 Table-1.5에 要約하였다. Fig. 1. 6에서와 같이 최대 오차는 7, 8월의 홍수기에 발생하였다. 또한 Table-1.5에서 보는 바와 같이 오차의 평균은 半月 #8 流域의 -1.03을 제외하고 半月 #3 및 #6 流域이 각각 0.44와 -0.25를 보였고 오차의 표준편차도 각각 2.60과 1.64를 나타내었다. 이러한 수치는 媒介變數 補正時 얻은 오차의 평균 -0.41~0.03의 범위 내에 있고 표준편차도 1.22~2.61의 범위 내에 있어 檢證 結果가 양호함을 알 수 있다.

그러나 半月 #8 流域의 경우 오차의 평균이 -1.03을 보인 것은 實測值보다 더 많이 모의발생 되었기 때문이다. 半月 #8 流域에 있어서 補正時 사용된 자료는 1974~1975년의 것이었고, 반면에 檢證時 사용한 자료는 1986년의 것으로 인하여 그 동안 流域特性이 상당히 변화했기 때문으로 사료된다. 그 실례로 Table-1.3에서 보는 바와 같이 약 116ha의 流域面積을 갖는 저수지가 同 流域안에 설치된 바 있다.

한편 Table- 1.5와 같이 檢證에 사용된 3개 流域의 相關係數는 0.874~0.999이고, RMS는 1.72~2.75mm인데 비해 媒介變數 補正時의 相關係數와 RMS는 각각 0.934~0.987이고 1.28~3.47mm임을 비교할 때 檢證의 結果가 補正時 얻은 범위 내에 있음을 알 수 있다.

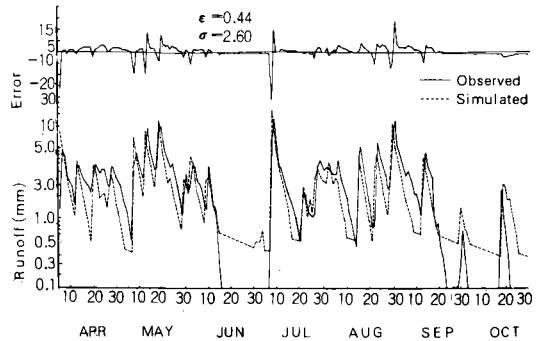


Fig. 1.6. Observed and simulated daily runoff hydrograph for verification at Banweol # 3, 1974.

灌溉用貯水池의 日別流入量과 放流量의 模擬發生 (I)

Table-1.4(a). Regression of the adjusted parameters and the watershed characteristics.

Independent	Dependent variables				Independent	Dependent
Watershed area (A)	H12	B1	B3	ST3	Forest (F)	A12
Banweol # 5 0.47 km ²	12	0.50	0.05	5.0	Banweol # 1 40 %	0.26
Banweol # 1 2.75	41	0.40	0.025	80	Banweol # 8 66	0.22
Banweol # 8 3.70	46	0.38	0.022	95	Banweol # 5 73	0.21
Banweol # 3 4.80	50	0.36	0.020	105	Bocheong # 4 82	0.19
Wiecheon # 5 33.60	82	0.27	0.01	190	Pyungchang # 4 84	0.185
Bocheong # 5 53.70	90	0.24	0.0092	210	Tabjeong 85	0.182
Pyungchang # 6 55.93	92	0.24	0.0092	215	Banweol # 3 87	0.180
Bocheong # 4 79.52	98	0.22	0.0090	230	Bocheong # 5 87	0.180
Pyungchang # 5 105.75	102	0.21	0.0085	240	Pyungchang # 5 89	0.177
Tabjeong 137.75	106	0.20	0.0082	250	Wiecheon # 5 90	0.175
Pyungchang # 4 140.50	107	0.20	0.0080	255	Pyungchang # 6 91	0.172
Regression equations		Correlation			F-values	Remarks
H12 = 16.68(ln A) + 24.20		0.9998			34408.0	F1, 10 = 10.04
B1 = -0.070(ln A) + 0.470		-0.969			138.37	(1%)
B3 = -0.00618(ln A) + 0.0351		-0.931			58.89	F1, 10 = 4.96
ST3 = 43.686(ln A) + 37.159		0.9998			29674.0	(5%)
A12 = -0.00175F + 0.333		-0.996			1312.5	
Regression equations		Correlation a	F-values	Remark		
A11 = -0.00414P + 0.169		0.996	1302.1	F1, 10 = 10.04 (1%)		
B2 = 0.00998P + 0.111		0.998	4177.5			
A2 = 0.00657U + 0.163		0.985	303.2	F1, 10 = 4.96 (5%)		
A3 = -0.000267U + 0.00912		-0.972	155.7			
*lnH2 = -0.0934U + 2.0904		-0.688	8.1			

V. 要約 및 結論

저수지의 日別 流入量 추정을 위해 實測 자료를 보유하고 있는 12개 流域에서 媒介變數를 補正하고 流域 特性值와의 回歸式을 구한후 이를 檢證한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 日別 流出 特性과 가장 關係가 깊은 流域 特

性因子는 우리나라의 토지 이용 構成比와 유역면적이 중요함을 알 수 있었다.

② 媒介變數의 補正결과를 이용하여 流域 特性因子와의 關係를 살펴본 결과 流域面積에 따라 변하는 媒介變數는 H12, B1, B3 및 ST3 이고, 田面積 構成比에 따라 변하는 것은 A2, H2 및 A3이며, 畚 및 山林 構成比에 따라 변

Table-1.4(b). Regression of the adjusted parameters and the watershed characteristics.

Independent Paddy Percent (P)	Dependent variables		Independent Upland Percent (U)	Dependent variables		
	A11	B2		A2	H2	A3
Pyungchang # 5 1(%)	0.17	0.12	Bocheong # 5 2(%)	0.17	20	0.009
Pyungchang # 6 2	0.16	0.13	Bocheong # 4 3	0.18	10	0.0085
Wiecheon # 5 3	0.155	0.14	Banweol # 3 5	0.19	5	0.0075
Pyungchang # 4 4	0.150	0.15	Pyungchang # 6 6	0.20	4	0.0072
Tabjeong 5	0.150	0.16	Wiecheon # 5 6	0.20	4	0.0082
Banweol # 3 7	0.14	0.18	Pyungchang # 5 7	0.21	3	0.0070
Bocheong # 5 8	0.135	0.20	Tabjeong 7	0.21	3	0.0070
Bocheong # 4 12	0.12	0.23	Banweol # 8 8	0.22	3	0.0070
Banweol # 5 15	0.11	0.26	Banweol # 5 9	0.23	2	0.0065
Banweol # 8 17	0.10	0.28	Pyungchang # 4 10	0.24	2	0.0062
Banweol # 1 20	0.085	0.31	Banweol # 1 22	0.30	2	0.0035

Table-1.5 Verification results of the inflow model.

Watersheds	Correlation coeff. of monthly runoff	Daily RMS	Mean of daily errors	S. D. of daily errors	Auto-Correlation (Lag=1)
Banweol # 3	0.965	2.75	0.44	2.60	-0.05
# 6	0.999	1.72	-0.25	1.64	0.46
# 8	0.874	1.82	-1.03	1.08	0.51

하는 것으로는 각각 A11과 B2 및 A12였다. 또한 나머지 H11, ST1, ST2 및 H3은 각각 5.0, 0.0, 0.0, 0.0의 일정한 값을 얻었다.

- ③ 1차 補正된 媒介變數와 재 조정된 媒介變數와의 關係는 RMS 및 상관계수와 散布圖를 비교한 결과 상호 local optimum의 關係에 있음을 발견하였다.
- ④ 模型의 媒介變數와 流域 特性 因子와의 關係式을 유도한 결과 Table-1.4와 같은 回歸方程式을 얻었다.
- ⑤ 回歸式을 이용하여 媒介變數를 추정하고 檢證한 결과 당초 補正時와 비교할때 RMS, 相關係數 및 散布圖에서 별 차이를 보이지 않았으

며 殘差의 自己 相關圖로 分析한 결과도 동일하였다. 따라서 이 回歸方程式은 모형의 매개 변수 추정을 용이하게 할 수 있을 것으로 판단되었다.

- ⑥ 본 流入量 模型은 홍수시 침투 부분에서 오차가 크고 低水時 오차가 적은 關係로 수자원 이용 측면에서 가치가 높다.
- 끝으로 本研究은 第1 著者의 學位 論文의 一部이며, 이 論文을 審査하여 주신 徐承德, 鄭夏禹, 李淳赫, 權純國博士님께 감사를 드립니다. 또한 學位過程을 수행하는데 物心兩面으로 도움을 준 農業振興公社 關係 諸位께 謝意를 표합니다.

參 考 文 獻

1. Anderson, M.G., & T.P. Burt, 1985. Modeling strategies, hydrological forecasting Edited by M.G. Anderson, John Wiley & Sons.
2. Askew, A.J., W.W-G, Yeh, & W.A. Hall, 1971. Use of Monte Carlo Techniques in the design and operation of a multipurpose reservoir system. WRR., Vo. 7, No.4.
3. Bengston, R.L., F.R. Crow. & A.D. Nicks, 1980. Calibrating the USDAHL hydrologic model on grassland watersheds. Transactions of the ASAE.
4. Benson. M.A., & N.C.Matalas, 1967. Synthetic hydrology based on regional statistical parameters, Water Resour, Resea., Vol.3, No.4
5. Betson, R.P., & E.P.Harold. 1982. TVA Stream Simulation and Analysis Model (SSAM), Tennessee Valley Authority, Hydrology of Watersheds Edited by C.T. Haan et al. pp.510~511, ASAE Monograph No. 5.
6. Brendecke, C.M., D.R. Laiho, & D.C. Holden. 1985. Comparison of two daily stream-flow simulation models of an alpine watershed. J. of Hydrology. No. 77. Elsevier Science.
7. Claborn, B.J., & W.Li Moore. 1982. Texas Watershed Model(TWM), Hydrologic Modeling of Small Watersheds. Edited by C.T.Haan et al. pp.512. ASAE Monograph No.5.
8. Corps of Engineer, North Pacific Div., 1972. SSARR program description and user manual, U.S. Army, COE. Portland, Oregon.
9. Crawford, N.H. & A.S. Donigian, 1982. Jr. Pesticide transport and runoff model for agricultural lands, Hydrologic Modeling of Small Watersheds, Edited by C.T.Haan et al, pp.513. ASAE Monograph No.5.
10. Crawford, N.H. & R.K. Linsley. 1982. Stanford Watershed Model(SWM), Hydrology for Engineers by R.K. Linsley et al, McGraw Hill, Inc.
11. Datta, B. & D.P. Lettenmaier. 1985. A nonlinear time-variant constrained model for rainfall-runoff, J. of Hydrology, No.77. Elsevier Science.
12. Fiering, M.B. & B.B. Jackson. 1971. Synthetic streamflow, Water Resour. Monograph 1, American Geophysical Union, Washington, D.C.
13. Fleming, G., 1977. Computer simulation techniques in Hydrology. pp. 315~319. Elsevier North-Holland, Inc.
14. Haan, C.L., 1976. Evaluation of a monthly water yield. Transactions of the ASAE.
15. Hanson, C.L., 1976. Model for predicting evapotranspiration from native rangelands in the Northern Great Plains, Trans. ASAE, 19SW.
16. Holtan, H. N., G. H. Stiltner, W. H. Henson, & N. C. Lopez. 1975. USDAHL-74 Model of Hydrology. USDA, TECH. BULL. No. 1518.
17. Jackson. T. J., 1982. Application & selection of hydrologic models. Small Watershed Modeling pp.475~504, Edited by C.T. Haan et al. ASAE Monogr.
18. James. L. D., 1972, Hydrologic modeling, parameter estimation, and watershed characteristics. J. of Hydrology, Elsevier Scien., Vol.17.
19. Jensen, M.E. 1973. Consumptive use of water and irrigation water requirements. Report, Tech. Comm. on Irrig. and Water Requir., J. of Irrig. and Drain. Div., ASCE.
20. Knisel, W.G., R.W. Baird & M.A. Hartman. 1969. Runoff volume prediction from daily climate data. WRR, Vol.5, No.1.
21. Kottegoda, N.T., 1980, Stochastic Water Resources Technology, the McMillan Press ltd.
22. Larson, C.L., 1982, Some particular watershed models, Hydrologic Modeling of Small Watersheds Edited by C.T. Haan et al. ASAE Monogr. No 5.

23. Ministry of Construction(MOC), 1973. Dae—Cheong multipurpose dam feasibility study, Nippon Koei, Co. LTD.
24. Mimikou, M. & A.Ramachandra Rao, 1983. Regional monthly rainfall—runoff model. J. of the Water Resour. Plann. & Manage. Div., Vol.109. ASCE.
25. Nash,J.E., 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph, Intern. Assoc. Hydrology Pub.45. Vol.3. pp.114~121.
26. Nuckols,J.R. & C.T. Haan, 1979. Evaluation of TVA streamflow model on small Kentucky Watersheds. Transcations of the ASAE.
27. Onstard. C.A. & D.G. Jamieson, 1970. Modeling the effect of land use modifications on Runoff. Water Resour. Research, Vol.6. No.5.
28. Rhenals, A.E. & R.L. Bras, 1981. The irrigation scheduling problem and evapotranspiration uncertainty. WRR, Vol. 17. No.5.
29. Schertzer W.M., E.B. Bennett, & F.Chiochio, 1979. Water balance estimate for Georgian Bay in 1974. WRR, Vol.15. No.1.
30. Smith, A.A., E.Hinton, & R.W. Lewis. 1983. Civil Engineering Systems Analysis and Design. John Wiley & Sons.
31. Snyder,F.F., 1938. Synthetic unitgraphs. Trans. Amer. Union, pp.447—454.
32. Soil Conservation Service(SCS), 1971. Hydrology, National Engineering Handbook, Sec.4.
33. Sorenson, H.W., 1980. Parameter estimation principles and problems, pp.135~168. Marcel Dekker, Inc.
34. Sugawara, Masami & Funiyuki Maruyama. 1956. A method of revision of the river discharge by means of a rainfall model. 水文諸量の像知に關する研究論文輯 pp.14~18.
35. 菅原正己, 1978. 流出解析法, 公立出版株式會社
36. Williams. J.R. & W.V. LaSeur. 1976. Water yield model using curve numbers ASCE. J. of HY. Div., Vol.102. No.HY9.
37. Wilson. T.V., J.T. Ligon, & A.G.Law. 1979. Evolution and testing of a five—day water yield model. Transaction of the ASAE.
38. Yazicigil, H.,A.R. Rao, & G.H. Toebes, 1982. Investigation of daily flow forecasting models. J. of the Water Resour. Plann. & Manage. Div., ASCE, Vol.103. No. WRL.
39. 建設部, 1975. 洪水量 推定을 위한 合成單位圖 誘導
40. _____, 1983~1985. 國際 水文開發計劃(IHP) 代表 流域研究調查報告書.
41. 金泰喆·朴成宇, 1984. 韓國 河川의 月流出量 추정을 위한 地域化 回歸模型, 韓國農工學會誌, Vol. 26, No. 2.
42. 金顯榮·朴承禹, 1986. 流域特性에 따른 탱크模型 媒介變數의 變化, 韓國農工學會誌, Vol. 28, No. 2.
43. 農水産部, 農業振興公社. 1984, 榮山江 開發誌(Ⅱ段階 農業綜合開發)
44. 農業開發研究所, 1985~1986, 貯水池 管理研究, 農水産部, 農業振興公社
45. _____, 1986, 流出量 推定 電算模型開發, 農水産部, 農業振興公社
46. 農業振興公社, 1983, 錦江 河口等 水文調查報告書
47. _____, 農水産部, 1985, 農業基盤造成事業 統計年報.
48. _____, 1975, 農業土木 試驗研究報告書
49. 徐承德, 1975. 流域特性에 의한 合成單位圖誘導에 관한 研究(I, II), 韓國農工學會誌, Vol. 17, No. 1~2.
50. 李淳赫, 1977. 韓國 主要手系의 小流域에 대한 瞬間 單位圖 誘導에 관한 研究(I, II), 韓國農工學會誌, Vol. 19, No. 1~2.
51. 韓相昱, 鄭鐘壽, 1976, 榮山江의 長期 流出量에 관한 考察, 韓國農工學會誌, Vol. 18, No. 3.