

論 文

SSARR模型에 의한 流域流出 解析

Watershed Runoff Analysis by SSARR Model

安相鎭 · 李鎔壽

Ahn, Sang Jin · Lee, Yong Soo

Abstract

An attempt is made to describe the theory and computer algorithm of the SSARR model, and to try it's application to the small watershed, by using the estimation of the model parameters with the data of Bocheon stream basin.

The selected period of the hydrological data is from 1982 to 1988 for the modeling. The selected basin is the Bocheon stream basin which is one of the tributaries of Geum river. The estimation of model parameters and sensitivity test are carried out for the analysis of the characteristics of model parameters.

要 旨

본 연구는 SSARR 모형의 이론과 구조를 설명하고 보청천 유역의 자료를 사용, 모형의 매개변수를 추정하여 소유역에의 적용가능성을 파악하고자 하였다.

모형에 사용된 자료기간은 1982~1988년까지이며 사용된 자료는 금강수계의 하나인 보청천 유역이다.

모형의 매개변수의 산정과 사용된 매개변수의 특성을 파악하고자 민감도 분석을 실시 하였다.

1. 序 論

SSARR(Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation)模型은 1956年 美陸軍工共團 北太平洋 事務所(U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division)에서 自體 水資源事業의 計劃과 設計 및 運營에 必要한 水資源 시스템의

解析을 위한 水文學的 模擬模型으로 開發되었으 며, 그동안 몇차례의 修正補完 作業을 거쳐 오늘 날에는 水資源 事業의 計劃, 設計 및 運營뿐만 아니라 河川의 洪水豫報 및 물管理에도 應用할수 있는 模型으로 修正되었다.

本 研究은 SSARR模型의 理論的 背景 및 構造를 檢討分析하여 模型의 特性을 파악하고 必要한 修正을 함으로써 韓國河川 流域에의 適用可能性

*忠北大學校 工科大學 教授

**忠北大學校 大學院 碩士 卒業

을 파악하고자 現在 國際水文開發計劃(I.H.P)의 代表流域인 錦江水系 報靑川 流域의 1982~1988 年까지의 實測 水文資料를 利用하여 各種變數의 算定 및 敏感度 分析을 하였다.

2. 理論的 背景

本 模型은 流出過程을 連續性있게 模擬할 수 있도록 貯溜追跡方法을 採擇하고 있으며 流域 및 河道의 水文學的 特性變數는 試行錯誤法을 使用하여 얻었다. 또한 尖頭 流出量 算定 등의 特定 條件에 適用할 수 있도록 構成함으로써 어떠한 流域이나 河川의 水文資料를 使用하여 流出을 合成 해내는 水文模型으로서 根本的으로 다음의 세 가지 成分 模型으로 構成되어 있다.

첫째 全 流域을 流域特性이 類似한 小流域으로 分割하여 降雨나 降雪로 부터 各 小流域별 로 流出을 合成해 내는 流域流出模型 (Watershed Runoff Model)

둘째 流域流出 計算結果를 利用하여 土流로부터 下流로 流下하는 流出量을 追跡하는 河道追跡模型(River Routing Model)

셋째 위의 두 成分 模型을 合成하여 貯水池群의 流入量으로 부터 貯水池의 貯溜量과 放流量을 計算하는 貯水池 調節模型(Reservoir Regulation Model)

이상의 成分模型중 本 流域에서는 流域流出 模型을 使用하였다. 流域流出 模型의 理論을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 基本 追跡 理論

本 模型에서 採擇하고 있는 基本 追跡方程式은 流域이나 河道 惑은 貯水池를 통한 洪水流의 連續方程式인 貯溜方程式이다. 이를 式으로 表示하면 다음과 같다.

$$\left[\frac{I_1+I_2}{2}\right]t - \left[\frac{O_1+O_2}{2}\right]t = S_2 - S_1 \dots\dots\dots (1)$$

여기서

I_1 = 時間區間 始點에서의 流入量

I_2 = 時間區間 終點에서의 流入量

O_1 = 時間區間 始點에서의 流出量

O_2 = 時間區間 終點에서의 流出量

S_1 = 時間區間 始點에서의 貯溜量

S_2 = 時間區間 終點에서의 貯溜量

t = 時間區間

式(1)을 임의 時間 t 에 관한 微分式으로 表示하면 流入量 I_t 는

$$I_t = O_t + dS/dt \dots\dots\dots (2)$$

여기서

I_t = 임의 時刻 t 에서의 流入量

O_t = 임의 時刻 t 에서의 流出量

어떤 水面 標高에서의 貯溜量 S 와 流出量 O 간의 關係가 自然湖水의 경우 처럼 線型性을 가진다고 假定하면

$$S = T_s O \dots\dots\dots (3)$$

여기서 T_s 는 $S \sim O$ 간의 比例常數로서 貯溜常數(Storage Constant)라 한다. 式(3)을 時間에 關해 微分하면

$$\frac{dS}{dt} = T_s \frac{dO}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

式(4)를 式(2)에 代入하고 整理하면

$$\frac{dO}{dt} = \frac{I_t - O_t}{T_s} \dots\dots\dots (5)$$

式(5)는 Fig. (1)¹⁾에 表示된 追跡方法을 說明하는 貯溜方程式의 基本形이라 할 수 있으며 流域 惑은 河川 시스템 追跡은 결국 流域이나 河道가 一連의 작은 湖水로 構成되어 있다고 假定하여 上流로 부터 下流로 進行함에 따라 自然的으로 流出이 遲延 鈍化되어 간다고 보는 것이다.

Fig. 2는 式(5)의 關係를 模式的으로 圖示한 것이다.

Fig. 1, 2를 參考로 하여 式(5)에 의한 追跡計算을 컴퓨터 計算에 편리하도록 表示하면 다음과

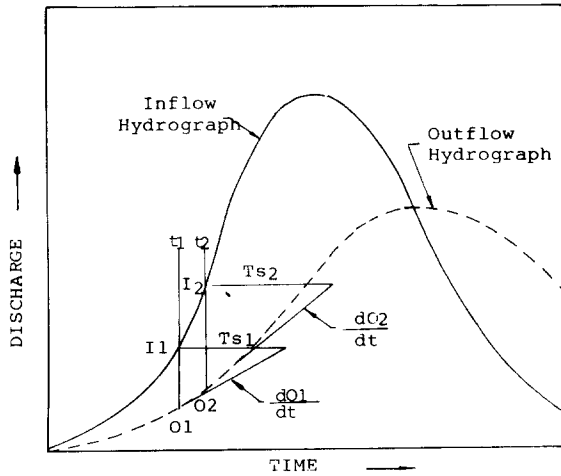


Fig. 1 Basic storage routing procedure

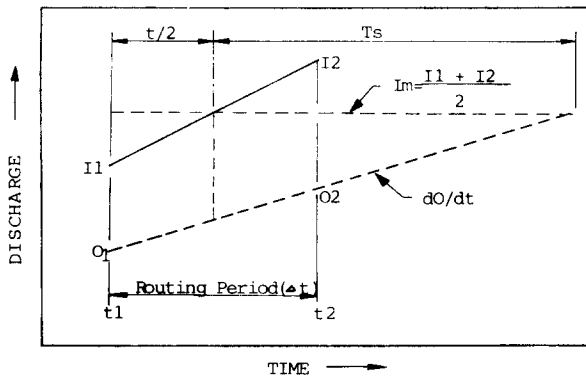


Fig. 2 One increment of storage routing

같다.

式(1)에서 Δt 시간 동안의流入量의 平均値를 $(I_1 + I_2) / 2 = I_m$ 이라 하면

$$I_m - \frac{1}{2}(O_1 + O_2) = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \dots\dots\dots (6)$$

(6)式의 兩邊에서 各各 O_1 를 빼고 整理하면

$$I_m - O_1 = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} + \frac{1}{2}(O_2 - O_1) \dots\dots\dots (7)$$

(7)式의 兩邊을 $\Delta t / (O_2 - O_1)$ 로 곱하면

$$(I_m - O_1) \frac{\Delta t}{(O_2 - O_1)} = \frac{S_2 - S_1}{(O_2 - O_1)} + \frac{\Delta t}{2} \dots\dots\dots (8)$$

따라서

$$I_m - O_1 = \frac{O_2 - O_1}{\Delta t} (T_s + \frac{\Delta t}{2}) \dots\dots\dots (9)$$

여기서 $T_s = (S_2 - S_1) / (O_2 - O_1) = dS/dO$ 로서 貯溜常數이다.

式(9)를 O_2 에 關해 풀면

$$O_2 = O_1 + \left[\frac{I_m - O_1}{T_s + 0.5\Delta t} \right] \Delta t \dots\dots\dots (10)$$

式(10)에서 $\Delta t / (T_s + 0.5\Delta t) = \Delta t^*$ 는 追跡期間 Δt 와 貯溜常數 T_s 만으로 표시되고 流域이나 河道區間의 條件에 따라 決定되는 常數이므로

$$O_2 = O_1 + (I_m - O_1) \Delta t^* \dots\dots\dots (11)$$

따라서 式(10) 或은 式(11)에서 Δt 의 始點 및 終點時刻에서의 流入量 I_1, I_2 와 始點流出量 O_1 을 알고 T_s 및 Δt 가 決定되면 終點時刻의 流出量 O_2 를 計算할 수 있고, 이를 다시 다음 追跡期間의 始點流入量으로 하여 다시 計算을 反復하게 된다.

以上の 展開에서 알 수 있는 바와 같이 本模型에서의 追跡方法은 貯溜量과 流出量 사이의 關係가 線形的 이라는 假定을 前提로 하고 있기 때문에 流域 및 河道의 區間을 가능한 限 작게 할 必要가 있다.

2.2 流域追跡 理論

流域追跡模型은 流域으로 부터의 流出을 合成하기 위해 水文循環過程을 構成하는 여러 成分過程을 各各 模式化하고 이를 降雨-流出關係 模型으로 發展시킨 것이다. 模型에서 考慮된 成分過程간의 關係와 指標를 要約하면 다음과 같다.

a. 流域 平均降雨量(Rainfall)

流域의 數個 觀測點에서 實測된 點雨量 으로부터 加重法에 의해 時間區間別 流域 平均降雨量이 算定된다.

b. 土壤水分(Soil Moisture Input)

流出에 直接 寄與하는 降雨의 有效成分을 決

- 定하는 土壤水分의 變動樣相을 代表하기 위해 時間에 따라 變化하는 流出指標로 決定된다.
- c. 蒸發散 損失(Evapotranspiration Loss)
流域의 潛在蒸發散으로 부터 決定되며 日蒸發量 資料로 부터 決定되거나 惑은 月平均 蒸發量으로 부터 決定된다.
 - d. 有效 流出成分(Runoff)
流域의 平均雨量으로 부터 蒸發散, 浸漏 및 土壤水分補給 등으로 인한 損失을 제외함으로써 決定되며 이는 河川流出의 3個 構成成分인 地表流出, 地表下流出 및 基底流出의 入力이 된다.
 - e. 地表面 貯溜(Surface Storage)
地表面에서의 貯溜效果를 나타내며 總 流出中の 地表面 特性에 의한 遲滯影響을 考慮하기 위하여 使用된다.
 - f. 地表下 貯溜(Subsurface Storage)
地表下 中間 帶水層의 貯溜效果를 나타내며 總 有出中の 地表下 流出成分의 時間遲延 影響을 考慮하기 위해 使用된다.
 - g. 地下貯溜(Groundwater or Baseflow Storage)
地下 帶水層에 到達하여 흐르는 流出의 貯溜效果를 나타낸다.
 - h. 流出成分의 配分關係(Flow Separation)
地表面, 地表下 및 地下 貯溜空間으로 配分되는 有效 流出成分의 比率를 決定하기 위해 使用된다.

以上에서 要約한 指標와 成分過程間的 關係를 使用하여 構成한 SSARR模型中 流域流出模型의 計算過程은 Fig. 3과 같다.²⁾

3. 入力 資料 및 變數算定

3.1 資料

本 研究에 使用된 資料는 國際水文開發計劃 (IHP)의 一環으로 調查分析된 報青川 流域의 各 水位標 地點中 其大地點의 1982年 부터 1988年까지 7年間的 實測資料를 募集하여 分析하여 使用

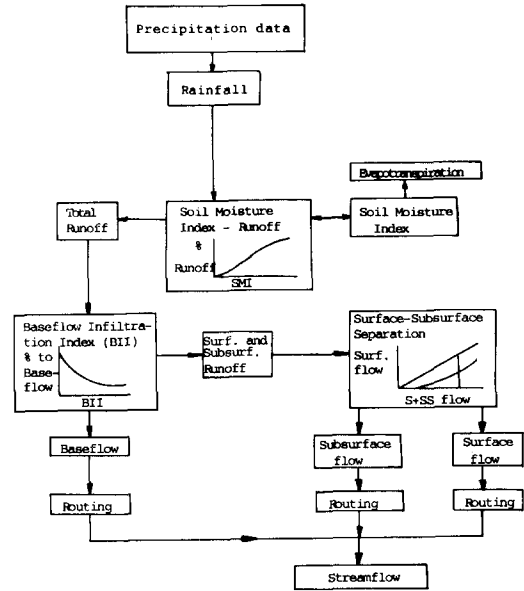


Fig. 3 General structure of SSARR watershed model

하였다. 其大地點의 流域特性은 面積 353.3km², 河川길이 30.3km인 山地型 流域이다. 또한 模型에서 要求되는 降雨 및 蒸發量은 本 流域의 内外에 位置한 10個 觀測所의 自記雨量記錄 및 蒸發記錄를 使用하였으며 流出量 資料는 7 年間 實測資料로부터 算定된 Rating Curve와 實測 水位記錄으로 부터 求하였다.

3.2 變數 算定

本 模型의 變數들을 決定하는 一般的인 方法은 分割된 小流域 및 河川 시스템別로 模型에 의한 流出水文曲線이 實測水文曲線에 近似하도록 試行錯誤法으로 最適 變數值를 決定하는 이른바 流出再演法(Streamflow Reconstitution)을 使用한다. 特히 流域流出模型의 境遇에는 決定해야 할 變數의 數가 많으므로 同時에 모든 變數값을 決定할 수는 없다. 따라서 變數의 初期值로 類似地域에 대한 既存 文獻이나 이미 SSARR模型化된 流域의 變數值를 택하여 流出再演法에 의해 各 變數를 最適值로 修正해야 한다. 이렇게 볼 때 本 模型의 變數를 決定하는 方法에는 妙案이 없고 試行錯誤的인 方法밖에 없다. 따라서 本 研究

의 境遇 이미 漢江流域에 適用한 바 있는 變數를 入力初期值로 하여 實測水文曲線에 맞게 變數의 修正을 加하였다. 이렇게 하여 求한 模型의 變數中 圖表의 形式으로 表現함으로써 活用을 容易하게 할 수 있는 變數의 關係圖表는 Fig. 4,5,6,7과 같으며, 數值로 表現이 可能한 變數는 Table 1과 같다. Table 1의 變數값은 既往의 資料로 부터 試行錯誤法을 使用하여 각 豪雨 사상별로 信賴度 95%에 부합되도록 變數값의 修正을 反復한 결과에 대한 평균값이다. Fig. 4는 降雨強度와 SMI

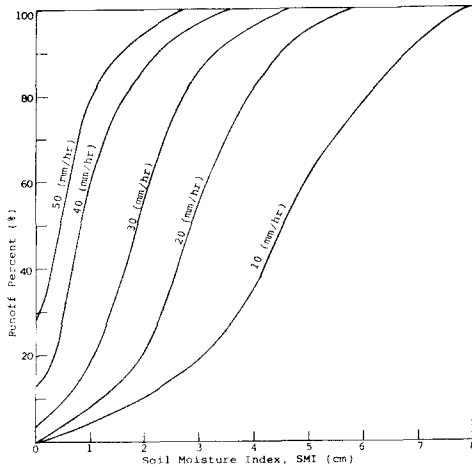


Fig. 4 Soil moisture index(SMI) vs. runoff percent(ROP) relationship

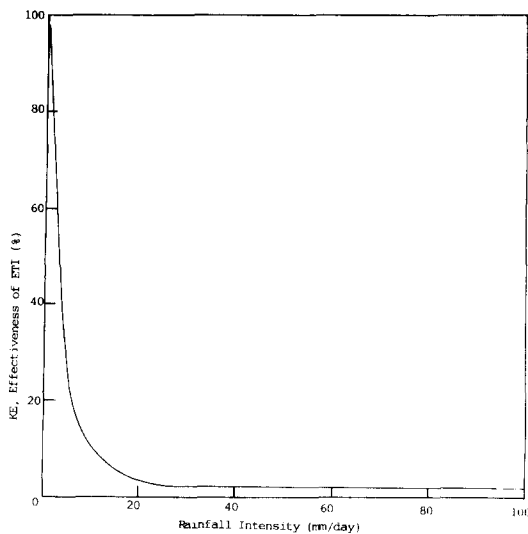


Fig. 5 Effectiveness of ETI (KE) vs. rainfall intensity

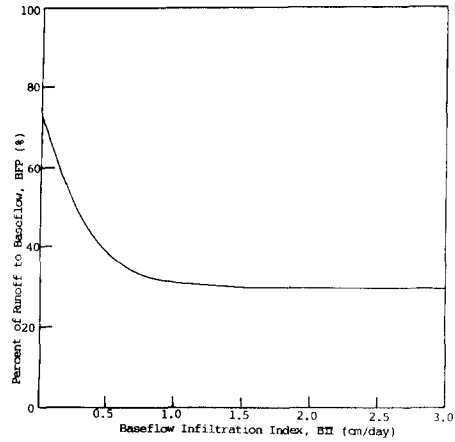


Fig. 6 Baseflow infiltration index(BII) vs. percent of runoff to baseflow(BEP)

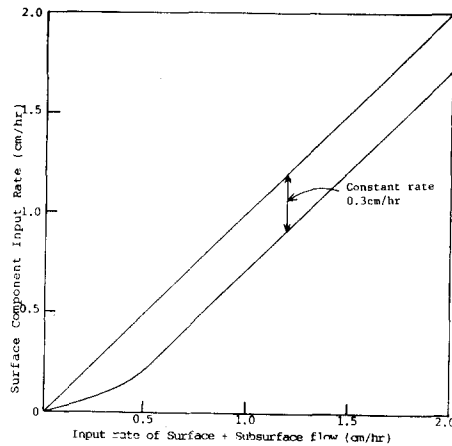


Fig. 7 Surface-subsurface separation curve

Table. 1 Parameter estimation for SSARR Watershed model(GI DAE)

Parameter	Value	Unit
BII _{max}	1.0	(cm/day)
T _{SBII}	35	(hr)
KSS	0.3	(cm/hr)
Phase(Surface)	2	
Phase(Subsurface)	1	
Phase(Base)	1	
T _s (Surface)	5	(hr)
T _s (Subsurface)	14	(hr)
T _s (Base)	150	(hr)

의 關係를 나타낸 것인데 降雨強度가 增加함에 따라 SMI도 增加함을 알수있다. Fig. 5는 降雨強度와 KE의 關係를 圖示 한것인데 그림에서와 같이 降雨強度가 20mm/day에 이룰때까지는 KE가 급격히 減少하다가 降雨強度가 더욱 增加하면 일정한 값을 持續하고있다. Fig. 6은 BII와 BFP의 關係曲線이다. BII가 0.8cm/day이 이룰때까지 BFP는 漸次 減少하다가 以後에는 一定值(30%)를 維持하고 있음을 알수 있다. Fig 7은 總流出중 基底流出을 뺀 나머지 成分중에서 地表面流出을 分離하기 위한 曲線이다. 그림에서 KSS값은 대략 0.3cm/hr임을 알수 있다.

4. 모델의 適用 및 結果 分析

4.1 모델變數의 敏感度 分析

本 模型에서 使用되는 各種 變數값의 變化가 流出量에 미치는 反應程度를 分析 하므로써 變數의 特性을 파악하고 모델補正 및 檢證時 變數의 選擇順序를 決定하고자 모델變數의 敏感度를 分析하였다.

模型에서 使用되는 變數는 總降雨量中 損失量을 決定하는 SMI, 直接流出과 基底流出을 分離하기위한 BII, 直接流出中 地表面 流出과 地表下流出을 分離하는 S/SS, 各 流出成分의 追跡時 追跡回數를 決定하는 Phase, 各 Phase당 貯溜時間인 Ts, 流出遲延時間 TSBII와 BIIMAX, KSS, KE등이 있으나 流出特性에 比較的 重要한 影響을 미칠것으로 判斷 되는 SMI, BII, TSBII, S/SS, Phase Ts를 中心으로 敏感度를 分析하였

다.

敏感度의 分析 方法으로 SMI와 BII는 ROP를 10%에서 90%까지 變化 시키며 尖頭流量을 比較 하였으며, S/SS는 直接流出入力 10cm당 地表面 流出分을 1cm에서 9cm까지 變化시켰고, TSBII의 境遇 10時間에서 90時間 까지 變化 시켰으며, Phase의 境遇에는 No.1에서 No.9까지 變化시켰다. 또한 TS의 境遇 1時間에서 9時間 까지 變化 시켰다. 9個의 變化區間中 5번째 區間の 尖頭流量을 100%로 했을 境遇의 1區間과 9區間 에서의 變數값의 變化量은 各各 -80에서 +80까지이며 그에 따른 尖頭流量의 變化量은 Table 2와 같다. Table 2에서 q_p 은 變化區間 5번째의 尖頭流量에 대한 各 變化區間에서의 尖頭流量에대한 變化率이다.

敏感度 分析結果 Table 2에서와 같이 SMI, BII, TS, Phase, S/SS, TSBII등의 順으로 敏感度가 큰 것으로 나타났다. 또한 豪雨의 特性에 따른 流出特性을 파악하고자 豪雨特性이 서로 다른 1987年 6月 1日의 豪雨와, 1987年 6月 7日의 豪雨를 택하여 流出水文曲線을 比較 分析하였다. 比較的 長時間에 걸쳐 一定한 豪雨가 發生한 6月 1日의 境遇 Fig. 8에서와 같이 上昇部와 下降 始點에서는 模擬發生值가 더 높게 나타났으나 尖頭流量 및 基底流出 部分에서는 比較的 잘 一致함을 알 수 있었다. 그리고 짧은 期間에 集中的으로 豪雨가 發生한 6月 7日의 境遇 Fig. 9에서와 같이 全 期間에 걸쳐 觀測水文曲線에 近接함을 알 수 있었다.

Table. 2 Sensitivity test for major parameter

parameter	Range of Increment	Mean	Qp		max/min	Order
			min.	max.		
SMI	10-90(%)	50	13.45	231.97	17.24	1
BII	10-90(%)	50	35.80	171.43	4.79	2
S/SS	1- 9(10cm)	50	87.06	114.97	1.32	5
TSBII	10-90(hr)	50	92.89	104.10	1.12	6
Phase	1-90(No.)	5	72.22	311.11	4.31	4
Ts	1- 9(hr)	5	57.48	264.97	4.61	3

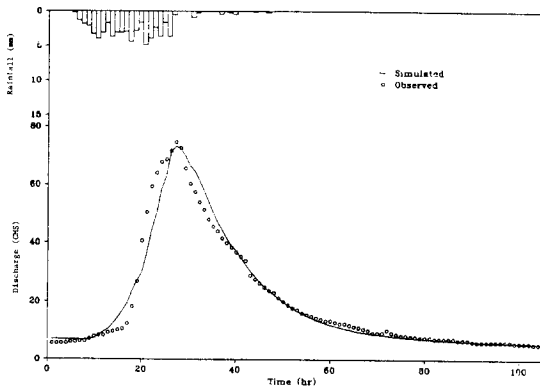


Fig. 8 Simulated hydrograph for mild storm

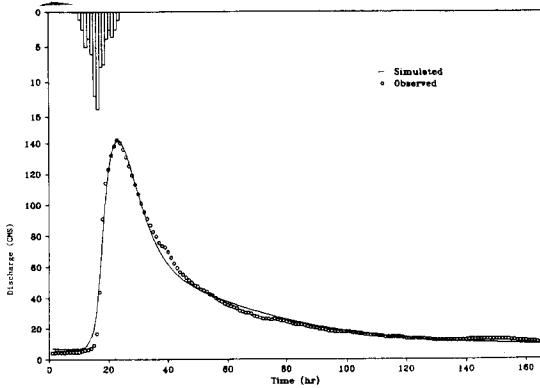


Fig. 9 Simulated hydrograph for steep storm

4.2 適用性 檢討

本 模型에서 1982年 부터 1987年 까지의 資料를 使用하여 各種 變數의 算定 및 敏感度 分析을 實施하여 얻어진 變數와 關係曲線을 利用하여 報 淸川 其大 地點의 1988年 7月 11日부터 1988年 7月 31日 까지의 時流量을 模擬한 結果는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에서와 같이 模擬流出水文曲線은 實測水文曲線에 잘 接近하고 있음을 알수있다. 이로부터 本 模型을 利用할 境遇 其大 地點과 流域特性 및 地形特性이 類似한 他流域에의 適用 可能性을 알 수 있으며 追後 河道追跡 및 貯水池追跡에 關한 研究가 補完 된다면 河川의 治水 및 利水部分에서의 洪水豫警報에도 利用 可能 하리라 본다. 特히 錦江 流域의 境遇 洪水豫警報 시스템의

導入이 時急한 實程이므로 本 模型을 좀 더 改良하여 實時間 運營에 適合하도록 研究를 進行하면 洪水豫警報 시스템에 適用할 수 있을 것으로 思料 된다.

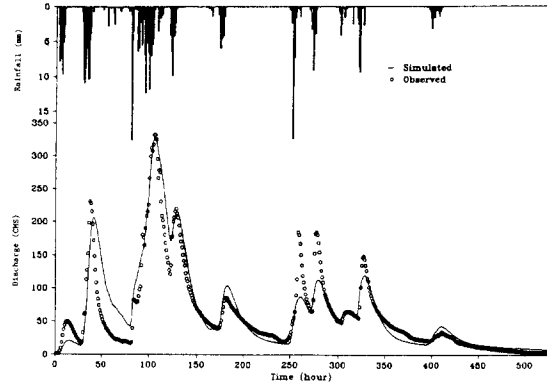


Fig. 10 Simulated hydrograph

5. 結 論

SSARR模型을 修正하여 錦江水系인 報淸川 流域에 대한 流域流出을 模擬한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 모델變數中 尖頭流量 發生時間에 가장 큰 影響을 미치는 變數는 Phase 및 Ts임을 確認하였다.
2. 變數의 敏感度 分析結果 土壤水分指標 (SMI), 基底流出浸透指標(BII), 地表流出分離指標(S/SS)등이 比較的 敏感한 것으로 나타났다.
3. 模擬結果 流出量의 模擬發生値는 時 雨量은 물론 日 雨量 資料를 使用한 境遇에도 實測値와 잘 附合하는 것으로 나타났다.
4. SSARR模型은 開發當時 大河川流域을 對象으로 하였으며 隆雪을 包含하는 模型으로 開發되었으나 模型中 隆雪에 의한 流出解析部分을 除外하고 降雨에 의한 報淸川 其大 地點의 流出을 解析한 結果 地形特性 및 豪雨特性이

類似的한 他 流域에도 適用할 수 있을 것으로 思料된다.

參考文獻

1. U.S. Army Corps of Engrs., "Program Description and User Manual for SSARR Model," North Pacific Division, Portland, OR., 1975
2. Rockwood, D.M., "Application of Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation -SSARR-Program to the Lower Mekong River," in "The Use of Analog and Digital Computer in Hydrology," Symposium International Association of Scientific Hydrology, UNESCO, Dec., 1968
3. Schermerhorn, V.P., and Kuehl, D.W., "Operational Streamflow Forecasting with SSARR Model," in "The Use of Analog and Digital Computer in Hydrology," Symposium, International Association of Scientific Hydrology, UNESCO, Dec., 1968.
4. Haan, C.T., Johnson, H.P., and Brakensiek, D.L., "Hydrologic Modeling of Small Watersheds," An ASCE Monograph No. 5, ST., Joseph, Michigan, 1982.
5. Kraijenhoff, D.A., and Moll, J.R., "Riverflow Modeling and Forecasting," D. Reiddel, Dordrecht, Holland, 1986.
6. Fleming, G., "Computer Simulation Techniques in Hydrology," Elsevier, New York, 1975
7. Nemeec, J., "Hydrological Forecasting," D. Reidel, Dordrecht Holland, 1986.
8. 建設部 "國際水文開發計劃 代表流域 研究調查報告書," (1982~1987)
9. 建設部, 漢江洪水統制所, "漢江 洪水豫警報," Dec., 1985.
10. 建設部, 漢江洪水統制所, "洛東江 洪水豫警報 및 물 管理施設 基本設計," May, 1985
11. 建設部 漢江洪水統制所, "忠州多目的 댐 建設에 따른 漢江洪水豫警報 프로그램 改善報告書," Dec., 1985.
12. 產業基地開發公社, "河川流域 물 收支 시뮬레이션 모델 研究報告書," Apl., 1988.
13. 이상훈외 3인, "中小水系的 河川流出量 追跡모델 開發," 國土開發研究院 Dec., 1987.