

〈論 文〉

貯留函數法에 의한 降雨—流出模型의 變數推定

Parameter Determination of Rainfall Runoff Model by
Storage Function Model.南 宮 達*
Nam Kung, Tal

Abstract

This paper discusses the possibility of synthesizing flood hydrographs by the storage function model.

Eight small watersheds from Han, Gum, Nakdong, Youngsan river systems were selected for this purpose.

The optimum constants are computed from the chi square criterion by the SDFP method. Based on these constants, equations for the storage constant and Lag time are derived from the kinematic wave theory and storage function theory.

These relations are examined by using optimum constants of the storage function model and assumptive constant of the kinematic wave model.

Main results are summarized as follows.

1. Constants of the storage function model are closely related to those of the kinematic wave model.

The formula obtained theoretically is difficult to use practically because of the unclarified definition of factors.

2. In order to estimate constants of the storage function model for the practical purpose, new equations are also proposed for mountaneous area.
3. The verification of proposed equation is made for several recorded floods for mountaeous areas.

要 旨

本研究은 流出解析을 爲하여 貯留函數모델의 常數와 流域의 水文因子 및 地形因子와의 關係를 明白히 할 수 있는 方法에 對하여 考察하였다.

研究對象流域은 우리나라의 重要水系에 屬하는 漢江 錦江 洛東江 榮山江 流域의 8個小流域을 擇하였다.

最通常數의 探索은 數學的 最適值 探索方法의 하나인 SDFP法을 使用하였으며 適合性 檢定에는 x^2 -基準을 適用하였다.

貯留函數法과 kinematic wave 理論에 依하여 貯留常數와 運帶時間을 求하는 公式을 認導하였으며 kinematic wave 모델의 假定值와 貯留函數 모델의 最通常數를 基準으로하여 檢討하였다.

主要한 統果를 要略하면 다음과 같다.

- 1) 貯留函數法과 kinematic wave 모델의 常數 사이에는 서로 공통된 관계가 있다. 따라서 이 두 모델의 關係로부터 公式을 얻었다.
- 2) 위에서 求한 公式을 簡單히 하여 山地流域에서 實際적으로 適用될 수 있는 새로운 公式을 提案

* 忠南大學校 農科大學 農工學科

하였다.

- 3) 여기에서 提案된 方程式의 適合性を 檢定하기 爲하여 山地流域의 몇개 地點에 몇개의 洪水資料를 適用하여 이 方程式으로 求한 常數를 갖이고 貯留函數法에 依하여 流出解析을 하여 提案式的 妥當性を 確認하였다.

하였다.

I. 序 論

流出解析法에는 여러가지 方法이 있다. 그 가운데서도 貯留函數法은¹⁾ 다른 方法에 比하여 많은 長點을 가지고 있다. 그러나 이 方法에도 아직 解決되지 않은 問題點이 남아 있다. 特히 貯留函數法을 適用하여 流出解析을 할 때 이 方法에 포함되어 있는 常數를 어떻게 推定할 것인가 하는 問題는 이 方法에서도 實用上 큰 課題라 아니할 수 없다. 이와 같은 問題點을 解決하고 實用性を 높이기 爲하여 常數와 流域의 水文因子 및 地形因子와의 關係를 明白히 할 수 있는 貯留函數法の 常數에 關한 綜合的인 研究가 要望된다. 永井²⁾는 常數와 水文因子 및 地形因子의 相互關係를 本村³⁾는 水文因子의 回歸關係를 基礎로 하여 綜合化에 關한 研究結果를 報告하였다. 그러나 우리나라에서는 木材의 平均流入係數法에 依한 研究가 되어 있을 뿐 綜合化의 研究는 아직 이루어지지 않고 있는 실정이다.

本研究에서는 우리나라의 8個河川의 12個流域에서 얻은 資料를 基礎로 해서 SDFP法(Standardized Davidon-Fletecher-powell)⁴⁾⁵⁾에 依하여 推定된 常數 卽 最適化常數와 流域의 水文因子 및 地形因子와의 關係에 對해서 檢討考察하여 貯留函數法の 綜合化를 試圖

II. 研究對象流域과 對象洪水 및 有效雨量

1) 對象流域

研究의 對象流域은 Table 1에 表示되어 있는 바와 같이 流域面積 55.9km²~558.1km²의 範圍에 屬하는 8個河川의 12個流域을 對象으로 하였다. 이들을 水系別로 分類하면 漢江 錦江 洛東江 榮山江의 4水系로 大別된다.

첫째, 漢江은 三大支川을 包含해서 34支川으로 構成된 河川이다. 여기에서는 水文資料의 蒐集이 可能한 滄江 平昌江 昭陽江의 3個支川의 上流를 研究對象流域으로 選定하였다.

둘째, 錦江은 우리나라의 中西部에 位置한 西海로 流入하는 河川으로써 이 流域의 大部分은 丘陵地帶와 平野로 되어 우리 나라의 重要한 穀倉地帶를 이루고 있다. 이 水系의 研究對象流域으로는 上流에 位置하고 있는 報靑川流域을 選定하였다.

셋째, 洛東江은 中部以南을 縱斷해서 南海로 流入하는 우리나라 最長의 河川으로 40餘個의 支川을 가지고 있다. 이 水系에서는 上流에 位置한 渭川 錦川 南江의 3個支川 流域을 研究對象流域으로 選定하였다.

Table 1. Characteristics of Watershed for Study.

River System	Stream Name	Subwatershed	Catchment Area(km ²)	Stream Length(km)	River Slope	Mean Width(km)	Shape Factor
Han River	Suam gang	Heng Seong	443.0	44.8	1/250	8.1	0.15
"	Soyang gang	Won tong	500.3	55.0	1/350	9.9	0.17
"	Pyumgcha nggang	Janpyung	105.8	23.0	1/100	4.6	0.20
"	Soksa chyun	Iimok jyung	55.9	14.5	1/100	3.9	0.27
Gum River	Bochyung chyun	Gidae	351.6	34.4	1/350	10.2	0.30
"	"	Sange	482.6	53.9	1/400	8.9	0.17
"	"	Tanbu	127.4	19.2	1/250	6.3	0.35
Nakdong River	Gum chyun	Supyung	85.5	18.2	1/100	4.7	0.26
"	Nam gang	Taesu	316.7	25.2	1/300	12.2	0.49
"	"	Byung chyun	302.1	40.7	1/300	7.4	0.18
Youngsan River	Jisak chyun	Nam pyung	581.0	43.0	1/500	13.5	0.31
"	"	Ibgyo	97.5	16.0	1/100	6.1	0.38

셋째, 榮山江은 우리나라의 西南端에 位置한 河床勾配가 緩慢한 河川으로 丘陵地帶를 이루고 있다. 이 水系는 流域面積이 적은데 비해 廣大한 平野를 가지고 있다. 이 水系의 研究對象流域으로써는 上流에 位置한 趾石川流域을 選定하였다. 全流域의 地質構造는 花崗岩과 花崗片麻岩系가 主로 分布되어 있고 山林狀態는 大體로 良好하나 雜木이 主種을 이루고 있다.

以上에서 說明한 研究流域의 特性은 Table 1과 같고 各流域의 位置는 Fig.1에 圖示하였다.

上記研究對象流域의 地形法則 特別히 여기에서는 1/50,



Fig. 1. Location for Study Basin.

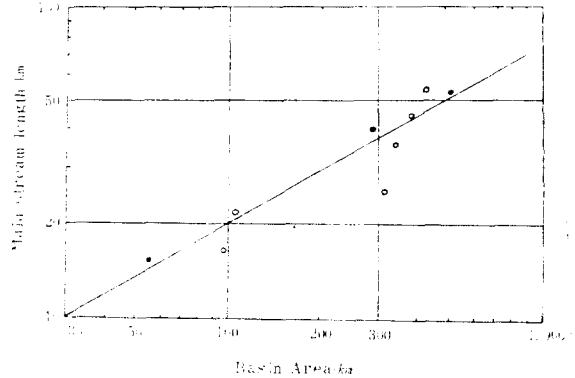


Fig. 2. Relationship between Basin Area and Main Stream Length in Objective Watershed.

000 地形圖에서 求한 流域面積 A와 河川長 L의 關係를 兩對數方眼紙에 圖示하여 Fig 2를 얻었다. Fig 2에서 L와 A의 關係는 거의 直線關係를 나타내고 있으며 上記流域에 있어서 Hack의 法則 $L = UA^V$ 가 成立한다. 여기에서 最少自乘法에 依하여 U와 V를 求하면 $U=1,487$, $V=0.558$ 이 된다. 이러한 結果는 一般的인 流域의 값($V=0.52\sim0.7$ 즉 $V=0.6$ 으로 固定했을 때 $U=1.29\sim1.89$)에 屬하는 것으로 本研究對象流域은 一般의 地形特性을 갖인 流域임을 나타내고 있다.

2) 對象洪水

本解析에서는 建設部 漢江洪水統制所 釜山地方國土管理廳 大田地方國土管理廳 原州地方國土管理廳 產業基地開發公地의 昭陽댐 管理事務所 南江댐 管理事務所

Table 2. Records of Rainfall and Discharge used for Runoff Analysis.

River System	Stream Name	Subwatershed	Total Rainfall(mm)	Peak Discharge(mm/hr)	Base Flow (mm/hr)	Number of Flood	Number of Rain Gauge
Han River	Suam gang	Heng Seong	71.4~104.1	1.57~2.59	0.01~0.16	3	2
"	Soyang gang	Wontong	114.0~235.0	1.14~4.18	0.08~0.09	2	2
"	Pyungchang gang	Jangpyung	59.1~212.8	0.8~10.74	0.20~1.28	2	2
"	Soksa chyun	Imok Jyung	67.7~194.0	0.13~5.5	0.16~0.45	2	1
Gum River	Bochyung chun	Gidae	47.0~107	1.48~1.74	0.09~0.48	2	8
"	"	Sange	50.2	1.33	0.3	1	11
"	"	Tanbu	49.2	3.52	2.13	1	3
Nakdong River	Gum chun	Supyung	60.0~99.0	1.16~3.41	0.04~0.26	3	2
"	Nam gang	Taesu	132.0~253.0	5.06~5.49	1.41~1.46	2	1
"	Wichun	Byung chyun	49.0~62.4	1.04~5.81	0.01~0.78	3	2
Youngsan River	Jisak chun	Nam pyung	146~150	4.59~4.9	0.04~0.05	2	3
"	"	Ibgyo	89.0	4.11	0.05	1	1

農業振興公社 등에서 蒐集한 8個河川流域의 水文資料中에서 (流出高 0.8mm/hr/km²~9.7mm/hr/km²) 24個의 良好한 資料만을 使用하였다.

이 水文資料의 概要는 Table 2 에 表示하였다.

3) 有効雨量

有効雨量는 面積雨量으로부터 雨水保留量曲線을 作成하여 算出하였으며 이 方法은 最初中安에 依하여 提示된 方法이다.^{5,6,7)}

이 方法을 適用할 때는 우선 ①, ②式으로 부터 流域保留量 F 를 各降雨마다 求하여 F 와 R 의 關係 即 雨水保留量曲線을 미리 作成한다.

$$F = R - R_E \dots\dots\dots ①$$

$$R_E = \Delta T \sum Q_i / A \dots\dots\dots ②$$

여기에서 F : 流域의 集留量

R_E : 直接流出高

ΔT : 一定時間間隔

R : 降雨強度

A : 流域面積

Q_i : 直接流出量

따라서 求하여진 雨水保留量曲線을 利用하여 各時刻마다 累加雨量, 累加保留量을 推定한다. 그러면 ①式으로 부터 累加雨量과 有効雨量이 推算된다. 또한 基底流出의 分離는 水平分離法을 適用하였다.

面積雨量은 原則的으로 Thiessen 法을 適用하였고 雨量觀測點이 1個所 및 2個所의 流域에서는 各各 地點雨量 및 2地點雨量의 算術平均値를 面積雨量으로 取하였다.

여기에 使用된 雨水保留量曲線의 一例를 同示하면 Fig 3과 같다.

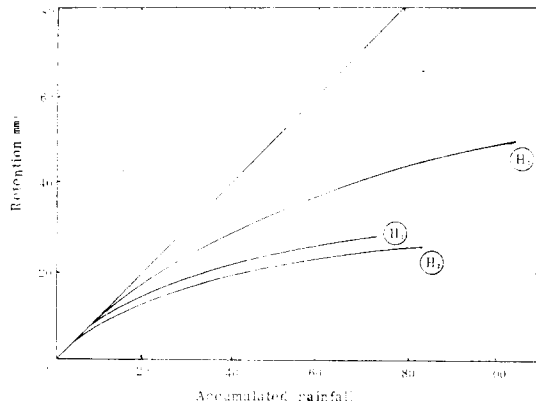


Fig. 3. Accumulated Rainfall Loss Curve at Heng-seoung Basin

Ⅲ. 洪水流出 모델

1) 貯留函數法

流域에 對한 洪水流出 進跡의 基本方程式은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} S_i &= K Q_i^P \\ dS_i/dt &= r_e - Q_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ③$$

S_i : 遲滯時間 T_i 을 考慮한 總보기 貯留高

$$\left(\int_0^T (r_e - Q_i) dt \right)$$

Q_i : 遲滯時間 T_i 를 考慮한 直接流出高

$$(Q_i(t) = Q_0(t + T_i))$$

r_e : 有効降雨強度

K, P : 常數

T_i : 遲滯時間

本研究에서는 T_i 도 常數로 看做하여 K, P, T_i 의 3個 常數의 最適値를 powell의 共役方向法(DFP 法)을 改良한 SDFP 法^{7,8)}에 依하여 求하였다. 그리고 流出計算은 ③式에서 얻어지는 다음의 ④式을 Rungekutta 法으로 解析하였다.

$$dQ_i/dt = \frac{1}{KP} (r_e - Q_i) Q_i^{1-P} \quad Q_i(t_0) = \epsilon_q \dots\dots\dots ④$$

ϵ_q : 直接流出高의 初期值 ($\epsilon_q = 10^{-6}$ mm/hr)

$Q_i(t)$ 가 既知일 때 ④式에 依하여 $Q_i(t + \Delta t)$ 를 求하는 알고리즘은 다음과 같다.⁹⁾

- i) $Q_i(t)$ 를 ④式의 右邊에 代入하고 $(dQ_i/dt)_0$ 를 求한다.
- ii) $Q_{i1} = Q_i(t) + (dQ_i/dt)_0 \cdot \Delta t/2$ 라 하고 $(dQ_i/dt)_1$ 을 求한다.
- iii) $Q_{i2} = Q_i(t) + (dQ_i/dt)_1 \cdot \Delta t/2$ 라 하고 $(dQ_i/dt)_2$ 를 求한다.
- iv) $Q_{i3} = Q_i(t) + (dQ_i/dt)_2 \cdot \Delta t/2$ 라 하고 $(dQ_i/dt)_3$ 를 求한다.
- v) $Q_i(t + \Delta t) = Q_i(t) + \frac{\Delta t}{6} \left\{ \left(\frac{dQ_i}{dt} \right)_0 + 2 \left(\frac{dQ_i}{dt} \right)_1 + 2 \left(\frac{dQ_i}{dt} \right)_2 + \left(\frac{dQ_i}{dt} \right)_3 \right\}$ 으로 한다.

流出解析과 最適値探索에 利用된 Flow chart는 그림 4와 같다.

最適値探索에 適用된 目的函數로써는 다음의 最少 x^2 -基準을 使用하였고 또한 相對誤差基準도 併用하였다.

$$J_{XS} = \frac{1}{M} \sum \frac{(Q_0 - Q_C)^2}{Q_0} \dots\dots\dots ⑤$$

$$J_{Re} = \frac{100}{M} \sum \frac{|Q_0 - Q_C|}{Q_0} \dots\dots\dots ⑥$$

J_{XS} : x^2 -基準 J_{Re} : 相對誤差基準

Q_0 : 實測流量 Q_C : 計算流量 M : 數據數

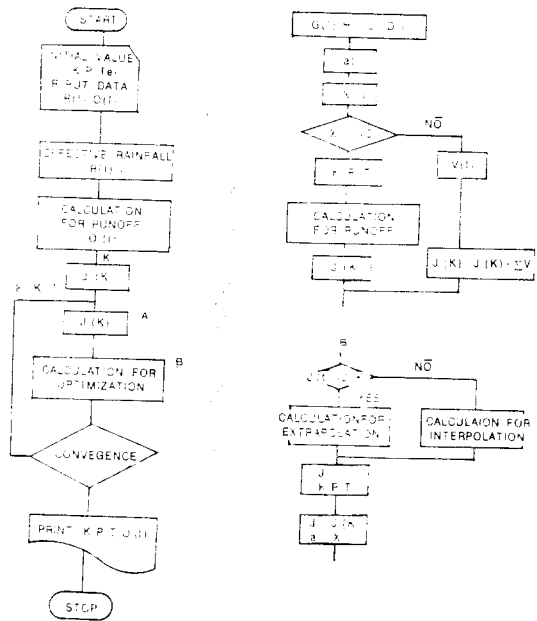


Fig. 4. Flow Chart of SDFP Method

2) Kinematic wave 法

kinematic wave 모델에서는 斜面上的 雨水流出과 河道의 流出로 이루어진다는 生覺에서 基礎式을 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\text{斜面流 } h_s = K_s q^{Ps}, \quad \frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \dots\dots\dots ⑦$$

$$\text{河道流 } W = K_c Q_c^{Pc}, \quad \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l \dots\dots\dots ⑧$$

- h_s : 水深 q : 斜面單位幅當流量
- r_e : 有效雨量 W : 河道斷面積
- Q : 流量 q_l : 河川單位幅當 橫方向流入量
- x : 距離 t : 時間

$K_s P_s, K_c P_c$: 常數(斜面 및 河道流)

斜面流常數 K, P 는 다음의 意味를 갖고 있다.

$$\text{層流型表面流 } K = \{3\nu / (g \cdot S)\}^P, \quad P = \frac{1}{3} \dots\dots\dots ⑨$$

$$\text{manning 型表面流 } K = (N / \sqrt{S})^P, \quad P = \frac{3}{5} \dots\dots\dots ⑩$$

$$\text{Darcy 型中間流 } K = \lambda / (K_1 S), \quad P = 1 \dots\dots\dots ⑪$$

- ν : 動粘性係數 g : 重力加速度
- λ : 表層上的 有効間隙率
- K_1 : 表層上的 透水係數
- N : 等價粗度
- S : 勾配

河道常數 K_c, P_c 는 現地踏査에 依하여 河道測量結果를 基礎로하여 決定한다.¹⁰⁾

단 本解析에서는 調査資料에 나타난 結果를 參考로하여 決定하였고 最適值探索은 하지 않았으며 流出解析은 特性曲線을 利用하여 遂行하였다.¹¹⁾

IV. 貯留函數法과 kinematic wave 法の 關係

貯留函數法에 包含되어 있는 常數 P, K 와 kinematic wave 法에 包含되어 있는 常數의 關連性 다시 말하면 P, K 의 物理的 意義를 明白히 하기 위한 檢討과 Fig 5 와 같은 모델流域의 洪水現象에 對해서 檢討한다.^{12,13, 14)}

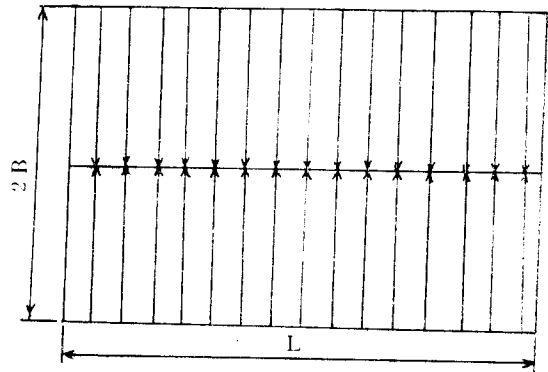


Fig. 5. Model of the Watershed for Kinematic Wave Analysis

流域이 길이 L 인 河道의 兩側에 幅 B 의 矩形斜面을 가지고 있는 單一-블럭으로 綜合化할 수 있다고 生覺한다.

여기에서 有效降雨強度 r_e 가 一定하게 繼續할 때의 peak 貯留量 V 는 ⑦⑧式으로부터 다음과 같이 表示된다.⁹⁾

$$V = 2L \int_0^B h_s dx + \int_0^L W dx$$

$$= \frac{K_c L}{1 + P_c} \left(\frac{1 + P_c}{1 + P_s} \frac{t_s}{t_c} + 1 \right) Q^{P_c} \dots\dots\dots ⑫$$

여기에서 t_s, t_c 는 斜面 및 河道에서의 雨水의 傳播時間으로 다음과 같이 表示된다.⁹⁾

$$t_p = t_s + t_c$$

$$t_s = \frac{KB^P}{r_e^{1-P}} \div \frac{K(\epsilon/U)^P}{r_e^{1-P}} A^{(1-P)P} \dots\dots\dots ⑬$$

$$t_c = \frac{KL}{(r_e A)^{1-P}} \div \frac{KU}{r_e^{1-P}} A^{P+1}$$

여기에서 L : 河川의 길이

T_p : 洪水到達時間

B: 斜面長

ε: 主河道를 包含하는 流域의 幅에 對한 最大 斜面長北

U, V: 流域形狀에 關連된 常數(Hack의 常數)

⑫式은 河道貯留量에 主眼點을 둔 表現이므로 이것을 斜面에 主眼點을 둔 表現으로 바꾸어 貯留量도 水深 S 로 表示하면 다음과 같다.

$$S = \frac{K_s B P^s}{1 + P_s} \left(1 + \frac{1 + P_s}{1 + P_c} \frac{t_c}{t_s} \right) r_e^{P_s} \dots\dots\dots ⑭$$

여기에서 ⑭式과 貯留函數式 $S_t = K Q_t^P$ 와의 對應關係에 依하여 다음의 關係式이 얻어진다.

$$P = P_s \sim P_c, K = \frac{K_s B P^s}{1 + P_s} \left(1 + \frac{1 + P_s}{1 + P_c} \frac{t_c}{t_s} \right) \dots\dots\dots ⑮$$

流域面積이 작은 경우에는 河川 보다는 斜面이 더 크게 洪水現象에 影響을 미칠 것으로 生覺되므로 貯留函數法의 常數 P, K 는 각각 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$P = P_s, K = K_s B^{P_s} / (1 + P_s) \dots\dots\dots ⑯$$

여기에서 S_t 를 mm, Q_t 를 mm/hr 單位로 表示하고 Manning 型 表面流로 生覺하면 ⑯式은 다음과 같다.

$$P = 0.6, K = \frac{\alpha}{1 + P_s} \left(\frac{NB}{\sqrt{I}} \right)^P \dots\dots\dots ⑰$$

$$\alpha = (3.6 \times 10^6)^{-0.6} \times 10^3 = 0.116$$

⑯⑰式으로부터 알 수 있는 바와 같이 小流域에서는 貯留函數法의 常數 P 는 kinematic wave 法의 基礎式인 ⑦式의 常數 P_s 와 같게 된다. 또한 貯留常數 K 는 ⑦式의 常數 P_s, K_s 및 斜面長 B 에 依하여 決定된다. 即 斜面流域의 精粗를 表示하는 粗度(等價粗度) N 및 表面流의 抵抗法則이 明白해지면 常數 P 와 K 의 推定은 可能하다.

V. 貯留函數法의 最適常數

對象洪水에 對해서 貯留函數法에 包含되어 있는 常數 P, K, T_i 의 最適值을 SDFP 法에 依하여 算出하였다. 다음에 指數常數 P 를 0.6, 0.7 로 固定하고 다른 常數 K, T_i 의 最適值을 같은 方法으로 求하였다. 그 結果를 Table 3 에 表示하였다. 또한 이들이 最適常數인가의 與否를 檢定하기 爲하여 여기에서 求한 常數를 適用하여 Runge-Kutta 法에 依하여 洪水流出解析을 行하였다. 그 結果의 一例를 表示하면 Fig. 6, 7 과 같고 實測值과 計算值의 peak 流量을 比較한 結果는 Fig 8 과 같다. 이 그림에는 kinematic wave 法($P=0.6$ $N=1.2$)에 依하여 解析한 結果도 함께 圖示하였다. 이 그림들에서 나타난 바와 같이 解析值는 實測 hydrograph 를 거의 再現시키고 있다. 또한 Table 3 에서는 最適化한 常數 P, K, T_i 로 計算한 解析值와 實測值의

相對誤差는 P 를 0.6, 0.7 로 固定하고 다른 2 個의 常數 T_i, K 를 最適化하여 求한 計算值와 實測值의 相對誤差 보다는 적게 나타났다. 그리고 常數 P 의 값은 0.47~1.41 로 廣範圍하게 散在되어 있다. 그러나 그 값은 80% 以上이 0.6~0.8 의 範圍에 集中되어 있음을 나타내고 있다.

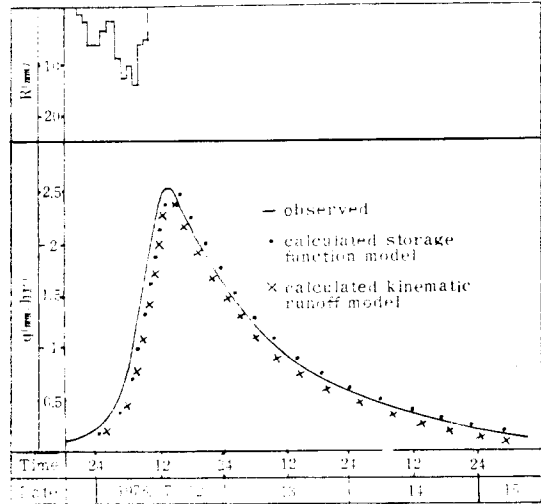


Fig. 6. An Example of the Hydrograph Calculated by the Storage Function Model and Kinematic Wave Model in the Heng Seong Basin.

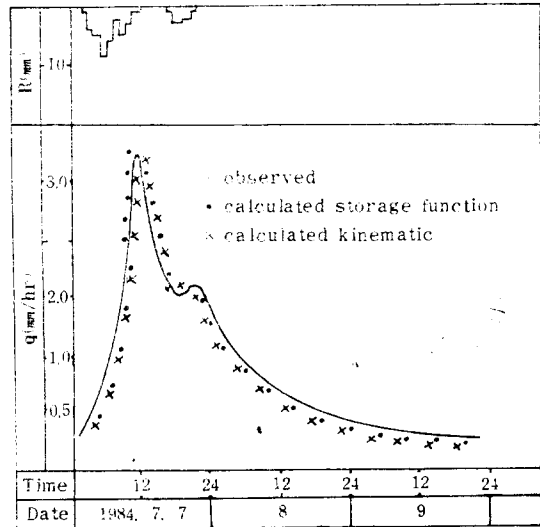


Fig. 7. An Example of the Hydrograph Calculated by the Storage Function Model and Kinematic Wave Model in the Byungchyun Basin.

Table 3. Optimum Paramoters and Erros in the Storage Function Model

watershed	date	Flood Na	p=0.6				J _X	J _R (%)	p=0.7				J _X	J _R (%)	[KPT] _{OPT}			J _X	J _R (%)
			K	P	T _L				K	P	T _L				K	P	T _L		
Hoeng seong	78.7.27	H ₁	24.7	0.6	4.5	0.07	21	22.4	0.7	4.6	0.05	19	21.16	0.78	5.1	0.02	13		
"	78.7.11	H ₂	24.0	0.6	4.8	0.04	19	22.4	0.7	4.8	0.03	17	17.38	1.14	4.9	0.01	6		
"	80.7.13	H ₃	31.0	0.6	3.0	0.05	26	31.0	0.7	3.0	0.04	22	31.0	0.67	2.5	0.01	9		
Wontong	81.6.21	W ₁	41.0	0.6	3.0	0.01	12	43.53	0.7	3.2	0.01	16	41.0	0.6	3.0	0.01	12		
"	81.9.11	W ₂	35.5	0.6	2.3	0.22	27	27.54	0.7	2.7	0.22	31	35.5	0.6	2.5	0.22	27		
Jang pyung	83.8. 3	J ₁	21.7	0.6	1.5	0.04	20	24.9	0.7	1.5	0.03	18	22.8	1.41	1.0	0.02	15		
"	84.7. 3	J ₂	23.0	0.6	1.5	0.17	14	23.0	0.7	1.0	0.13	11	28.4	0.79	1.0	0.12	1		
Imok-Jyung	83.9. 8	L ₁	20.0	0.6	2.0	0.04	16	18.0	0.7	2.0	0.03	14	17.6	0.72	1.0	0.04	16		
"	84.7. 3	L ₂	17.0	0.6	1.2	0.11	19	17.0	0.7	1.2	0.08	15	18.0	0.66	1.0	0.09	15		
Gidae	83.7.19	G ₁	41.1	0.6	2.0	0.01	6	40.0	0.7	2.0	0.01	9	41.0	0.57	1.5	0.01	6		
"	84.7.12	G ₂	20.0	0.6	2.0	0.02	17	16.4	0.7	2.0	0.01	12	20.0	0.6	1.5	0.02	16		
Sange	84.7.12	S	20.0	0.6	2.0	0.02	14	15.8	0.7	2.6	0.01	10	20.0	0.6	2.0	0.02	14		
Tan bu	84.7.12	T	20.0	0.6	2.0	0.02	6	16.7	0.7	1.7	0.01	4	20.0	0.6	1.5	0.00	6		
Supyung	74.4. 7	S ₁	32.0	0.6	2.0	0.02	14	31.7	0.7	2.0	0.01	12	32.1	0.81	1.5	0.05	8		
"	77.7.12	S ₂	25.8	0.6	1.5	0.07	22	25.8	0.7	1.2	0.07	17	25.8	0.55	1.2	0.02	14		
"	77.8. 7	S ₃	26.5	0.6	2.0	0.02	18	26.5	0.7	2.0	0.02	15	24.9	0.94	1.5	0.01	12		
Byung chun	83.7.22	B ₁	17.8	0.6	2.9	0.09	18	17.0	0.7	1.3	0.09	18	16.1	0.47	2.0	0.07	18		
"	84.7. 4	B ₂	29.0	0.6	2.0	0.02	7	29.0	0.7	1.5	0.02	8	29.0	0.6	1.5	0.01	7		
"	84.7. 7	B ₃	21.0	0.6	2.5	0.06	11	20.0	0.7	2.0	0.06	12	20.0	0.6	1.5	0.06	17		
Taesu	80.8.28	T ₁	23.9	0.6	2.0	0.08	14	20.0	0.7	1.5	0.07	12	19.7	0.67	1.0	0.07	14		
"	80.7.28	T ₂	25.0	0.6	2.0	0.02	8	25.0	0.7	1.5	0.01	5	25.2	0.78	1.0	0.01	4		
Nampyung	79.8.17	N ₁	17.7	0.6	4.3	0.03	18	16.3	0.7	4.8	0.04	25	20.0	0.6	3.0	0.06	18		
"	79.8.27	N ₂	21.7	0.6	4.3	0.31	37	19.1	0.7	4.4	0.47	45	37.9	0.47	3.7	0.20	18		
Ibgyo	75.7.11	I	23.4	0.6	1.5	0.08	19	20.0	0.7	1.5	0.19	20	21.0	0.7	1.2	0.06	19		

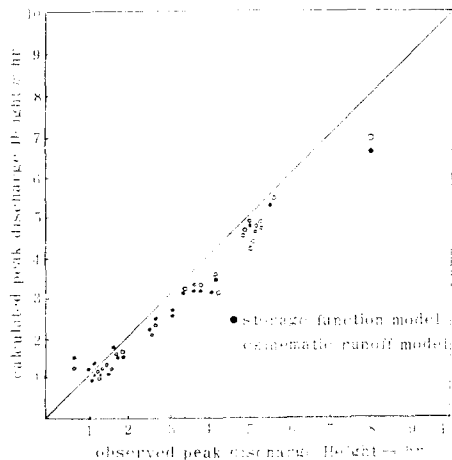


Fig. 8. Comparisison between Observed and Calculated Peak Discharge Height Obtained by two Flood Run-off Model in All the Basin.

VI. 常數의 推定式

여기에서 Table 3에 整理되어 있는 最適常數 K, T_L와 流域面積 A의 關係에 對해서 檢討하여 理論的考察에서 밝혀진 推定式을 再吟味하고자 한다.

上述한 바와 같이 本研究流域은 Hack의 法則이 成立하는 一般流域이므로 ⑬式에 Hack의 法則을 適用하여 다음과 같은 式을 얻었다.

$$K = \frac{1}{1+P_s} \left(\frac{1}{2U} \right)^{P_s} \left(1 + \frac{1+P_s}{1+P_c} \frac{t_c}{t_s} \right) K_s A^{P_s(1-V)} \dots\dots\dots ⑭$$

여기에서 洪水現象이 河川보다 斜面의 影響을 더 크게 받는 작은 流域 即 t_c << t_s 일 때는 ⑭式을 다음과 같이 簡單히 할 수 있을 것이다.

$$K = \frac{1}{1+P_s} \left(\frac{1}{2U} \right)^{PS} K_s A^{PS(1-V)} \dots\dots\dots(19)$$

더욱이 manning 法則에 屬하는 地表流($P_s=0.6$)로 假定하고 Fig 10에서 求한 $U=1,487$, $V=0.558$ 을 適用하면 19式은 다음과 같다.

$$K = 0.79 K_s A^{0.26} \dots\dots\dots(20)$$

위의 式은 對象流域의 特性和 水文 및 地形因子로 부터 求해지는 常數 K 의 推定式이다.

한편 T_l 는 洪水到達時間 T_P 와 密接한 關係가 있는 것으로 알려져 있다. 그리고 peak 流量發生 條件에 依하여 推算되는 T_l 와 水理學的洪水到達時間 T_P 의 關係는 Fig 9와 같은 關係가 있는 것으로 報告되어 있다.^{15,16)}

따라서 常數 T_l 는 13式과 Hack의 法則으로 부터 求한 常數를 가지고 다음과 같이 表示할 수 있다.

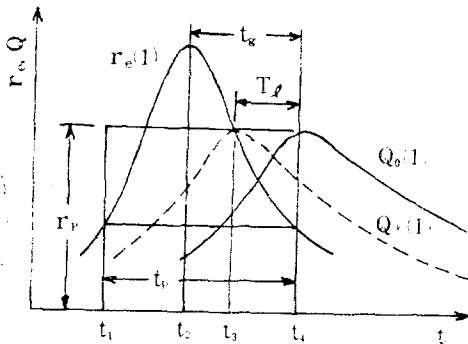


Fig. 9. A Definition of the Lag Time T_l in the Storage Function Model.

$$T_l = \beta T_P = \beta \left(\frac{1}{2u} \right)^{PS} \left(1 + \frac{t_c}{t_s} \right) K_s A^{PS(1-V)} r_e^{PS-1} \dots\dots\dots(21)$$

여기에서 $T_c \ll t_s$ 일 때는 21式은 다음과 같이 簡略化될 수 있다.

$$T_l = \beta \left(\frac{1}{2u} \right)^{PS} K_s A^{PS(1-V)} r_e^{PS-1} \dots\dots\dots(22)$$

위에서 常數 K 를 求할 때와 같이 $P_s=0.6$ $U=1,487$, $V=0.558$ $\beta = \frac{1}{9}$ 이라고 假定하면 22式은 다음과 같다.^{2,16)}

$$T_l = 0.148 K_s A^{0.26} r_e^{-0.4} \dots\dots\dots(23)$$

上述한 常數推定式(20,23)은 土地利用形態의 變化를 쉽게 利用할 수 있다는 長點을 가지는 한편 K_s 에 포함되어 있는 等價粗度(N)가 水理學的으로 그 意義가 充分히 解明되지 않았으므로 現在로써는 實用性 있는 簡便한 推定式이라고는 하기 어렵다. 그래서 여기에서는 20式을 參照해서 表 3의 最適常數 K , T_l 와 流域面積 A 의 直接的인 關連性을 考慮하여 K 와 A 의 關係,

$T_l/r_e^{-0.4}$, 및 $T_l/r_e^{-0.3}$ 과 A 의 關係를 雨對數方眼紙에 圖示하였으며 最少自乘法에 依하여 다음의 推定式을 求하였다.

$$K = 10.7 A^{0.14} \quad p = 0.6 \dots\dots\dots(24)$$

$$T_l = 0.9 A^{0.22} r_e^{-0.4} \quad p = 0.6 \dots\dots\dots(25)$$

$$K = 9.8 A^{0.14} \quad p = 0.7 \dots\dots\dots(26)$$

$$T_l = 0.92 A^{0.2} r_e^{-0.3} \quad p = 0.7 \dots\dots\dots(27)$$

24~27式의 關係를 圖示하면 Fig. 10, 11, 12, 13과 같다.

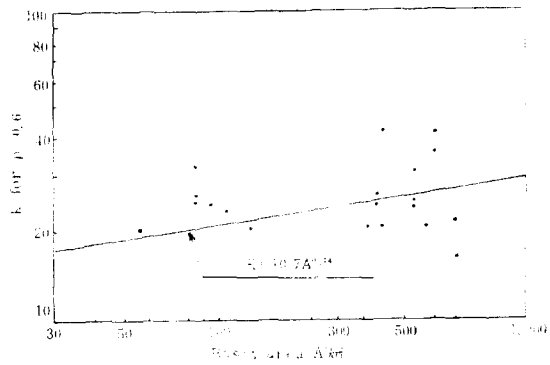


Fig. 10. A Practical Formula for Estimating a Constant K in the Storage Function Model.

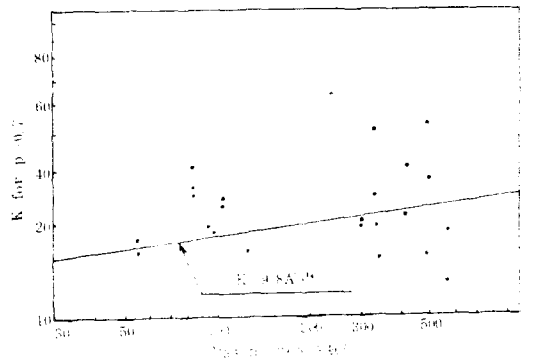


Fig. 11. A Practical Formula for Estimating a Constant K in the Storage Function Model.

그림에 나타난 바와 같이 流域面積이 커지는데 따라 各點들이 크게 散在되고 있다. 그러나 流域面積이 200 $km^2 \sim 300 km^2$ 의 流域에서는 比較的 좋은 結果를 나타내고 있다.

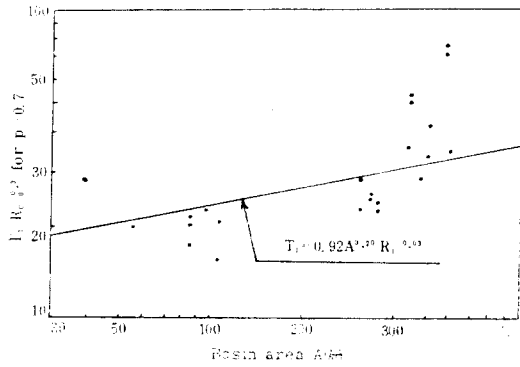


Fig. 12. A Practical Formula for Estimating a Constant T_1 in the Storage Function Model.

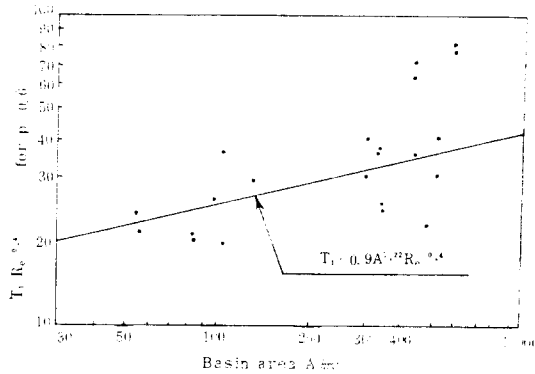


Fig. 13. A Practical Formula for Estimating a Constant T_1 in the Storage Function Model.

Ⅶ. 綜合常數 推定式의 檢定

여기에서는 6個 洪水를 資料로하여 前節에서 提案한 常數 推定式을 檢討하였다. 또한 檢討에 있어서는 常數 推定式 決定에 使用되지 않았던 資料도 包含시켰다. 먼저 綜合化常數 推定式 22式에 依하여 推定된 常數를 가지고 貯留函數法으로 洪水流出 解析을 하여 解析值과 實測值의 hydrograph 및 peak 流量을 比較하면 Fig 14, 15, 16와 같다.

한편 解析值과 實測值의 相對誤差를 表로 나타내면 Table 4와 같다.

이상의 結果에서 나타난 바와 같이 解析值은 實測值의 hydrograph를 잘 再現하고 있다. 특히 $p=0.7$ 로 할 때 22式은 小洪水에서 實用性있는 常數 推定式이라고 할 수 있다.

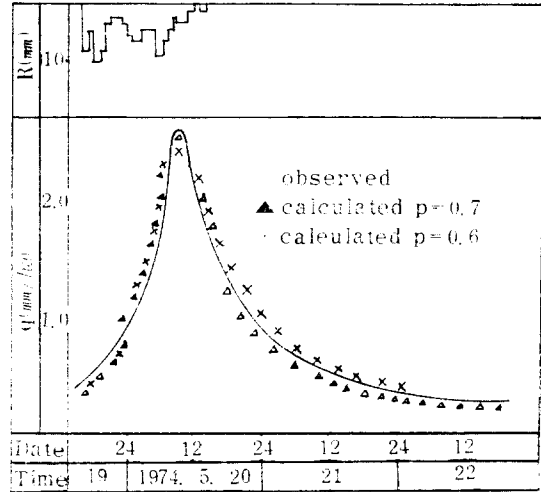


Fig. 14. An Example of the Hydrograph Calculated by the Storage Function Model in the Supyung Basin.

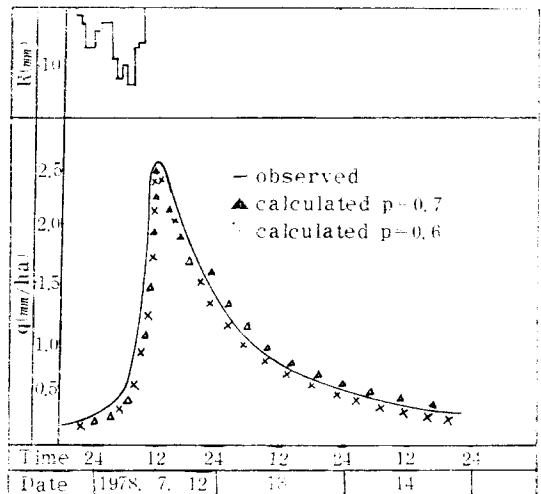


Fig. 15. An Example of the Hydrograph Calculated by the Storage Function Model in the Hengseong Basin.

Table 4. Evaluated Constants and Errors in the Storage Function Model.

Watershed	Date	$p=0.7$		J_X (mm/hr)	J_R (%)	$p=0.6$		J_X (mm/hr)	J_R (%)
		K	T_l			K	T_l		
Hoeng seong	1978. 7. 11	23.0	2.4	0.06	19.0	25.1	4.2	0.07	20.0
Jang pyung	1984. 7. 3	18.8	1.2	0.15	13.0	20.5	1.0	0.20	15.0
Tanbu	1984. 7. 11	19.3	1.7	0.01	5.0	21.1	1.6	0.81	6.0
Taesu	1980. 7. 28	22.0	1.8	0.02	7.0	24.0	1.7	0.02	8.0
Byung chun	1982. 8. 21	21.8	1.0	0.06	11.0	23.8	1.0	0.05	10.0
Supyung	1974. 5. 19	18.3	1.7	0.03	12.2	20.0	1.6	0.03	13.2

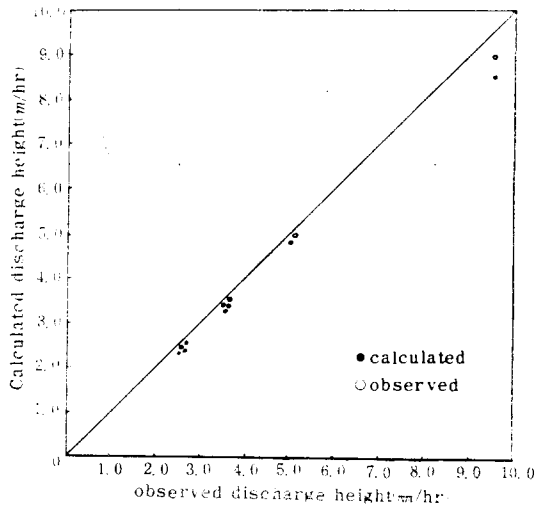


Fig. 16. Comparison between Observed and Calculated Peak Discharge Height obtained by Two Flood Runoff Model in the Hen, Tae, Tan, Byu, and Sup. basin.

VIII. 結 論

本研究에서는 貯留函數法을 實用化 하기 爲하여 우리나라의 8 個河川의 12 個流域의 24 個資料를 利用하여 求한 最適常數를 가지고 貯留函數法의 綜合化 即水文 및 地形因子의 相互關係에 依하여 얻어지는 常數推定式에 對하여 檢討하였다. 그리고 이 式들의 適合性을 檢定하기 爲하여 洪水流出 解析을 하였다.

여기에서 얻어진 結果를 要略하면 다음과 같다.

1) 貯留函數法과 kinematic wave 法에 依한 地表流의 理論的 考察과 Hack의 地形法則을 基礎로 해서 綜合化常數推定式으로 ㉔㉕式이 成立됨을 考察하였다.

2) ㉔㉕式을 基礎로 해서 우리나라의 8 個河川의 12 個流域에서 얻은 資料를 가지고 算出한 最適化常數와

流域面積의 關係로 부터 綜合化常數推式을 求하였다.

參 考 文 獻

- 1) 本村俊晃; 貯留關數による 洪水流出追跡法 建設省 土木研究所(1961).
- 2) 永井明博 角屋睦 杉山博信 鈴木克英; 貯留關數法の 綜合化 京都大學防災研究所 年報 第25號 B-2 pp. 207~220(1982).
- 3) 木村俊晃; 貯留函數法 河鍋書店 pp. 36~49(1975).
- 4) たとえば 高山茂美; 河川地形 共立出版 pp. 65~67 (1974).
- 5) 角屋睦; 流出解析手法(その 1) 農土誌 47 pp. 63~73(1979).
- 6) 中安米藏; 雨量より 洪水量の 推定に就て 建設省 直 割工事 第四回技術研究報告 pp. 159~194(1951).
- 7) 南宮達; 貯留函數法과 그 應用에 關한 基礎的 研究 韓國農工學會誌 Vol. 26, No. 3 pp. 90~99(1984).
- 8) 角屋睦 永井明博; 流出解析手法(その 11) 農土誌 No. 48 pp. 65~70(1980).
- 9) 永井明博 角屋睦; 洪水流出モデル의 適用比較 京都 大學防災研究所年報 第21號 B-2 pp. 235~249(1978).
- 10) 角屋睦; 流出解析法(その 6) 農土誌 No. 48, pp. 37~43(1980).
- 11) 末石富太郎; 特性曲線による 出水解析について 土木學會論文集 No. 29 pp. 74~87(1955).
- 12) 角屋睦 福島辰 佐合純造; 丘陵山地流域モデルと 洪水流出モデル 京都大學防災研究所 年報 第21號 B-2 pp. 219~233(1978).
- 13) 永井明博 角屋睦; 洪水流出モデル의 最適定數 京都 大學防災研究所年報 第24號 B-2 pp. 183~196(1981).
- 14) 藤田睦博; 斜面長の變動を考慮した貯留關數法に關

- する研究 土木學會論文報告集 第314號 pp. 75～86 (1981).
- 15) 角屋睦 福島晟; 中小河川の洪水到達時間京都大學防災研究所年報 第19號 B-2 pp. 143～152(1976).
- 16) 永井明博 角屋睦; 流出モデル定數の最適化手法 京都大學防災研究所年報 第22號 B-2 pp. 209～224 (1979).