

諸水源工 設計를 위한 長期間 連續受水量 推定模型의 開發

-中小流域을 中心으로-

A Development of Numerical Model on the Estimation of the Log-term Run-off for the Design of Riverheads Works

-With Special Reference to Small and Medium Sijed Catchment Areas-

嚴 柄 鉉*
Um, Byong Hoyn

Summary

Although long-term runoff analysis is important as much as flood analysis in the design of water works, the technological level of the former is relatively lower than that of the latter. In this respect, the precise estimation model for the volume of successive runoff should be developed as soon as possible. Up to now, in Korea, Gajiyama's formula has been widely used in long-term runoff analysis, which has many problems in applying in real situation. On the other hand, in flood analysis, unit hydrograph method has been exclusively used.

Therefore, this study aims at trying to apply unit hydrograph method in long-term runoff analysis for the betterment of its estimation.

Four test catchment areas were selected : Maesan area in Namhan river as a representative area of Han river system, Cheongju area in Musim river as one of Geum river system, Hwasun area in Hwasun river as one of Yongsan river system, and Supyung area in Geum river as one of Nakdong river system.

In the analysis of unit hydrograph, seperation of effective rainfall was carried out firstly. Considering that effective rainfall and moisture condition of catchment area are inside and outside of a phenomenon respectively and the latter is not considered in the analysis, Initial base flow(q_b) was selected as an index of moisture condition. At the same time, basic equation(Eq.7) was established, in which q_b can take a role as a parameter in relating between cumulative rainfall(P) and cumulative loss of rainfall(Ld).

Based on the above equation, computer program for estimation model of q_b was seperately developed according to the range of q_b . Developed model was applied to measured hydrographs and hyetographs for total 10 years in 4 test areas and effective rainfall was estimated. Estimation precision of model was checked as shown in Tab-6 and Fig.8.

In the next stage, based on the estimated effective rainfall(R) and runoff(Qd), a runoff distribution

* 全南大學校 農科大學

ratio was calculated for each test area using by computerised least square method and used in making unit hydrographs in each test area.

Significance of induced hydrographs was tested by checking the relative errors between estimated and measured runoff volume(Tab-9,10). According to the results, runoff estimation error by unit hydrograph itself was merely 2 or 3 %, but other 2 or 3 % of error proved to be transferred error in the seperation of effective rainfall.

In this study, special attentioning point is that, in spite of different river systems and forest conditions of test areas, standardized unit hydrographs for them have very similar curve shape, which can be explained by having similar catchment characteristics such as stream length, catchment area, slope, and vegetation intensity. That fact should be treated as important factor ingeneralization of unit hydrograph method.

I. 緒 論

1. 研究의 必要性

지금까지 우리나라 諸水源工 計劃에 많이 適用되고 있는 月別 受水量公式인 梶山式은 大體로 다음과 같은 問題點이 指摘되어지고 있다.

가. 梶山式(1929)¹⁷⁾은 本來 大河川을 爲主로 하여 導出된 模型이기 때문에 現行 農業用水開發의 主水源이 되는 中小河川의 受水量 推定方法으로서는 合理性이 적은 傾向이 있다.

나. 이 公式은 月單位 降水量에 對한 月 總受水量을 算定하는 式으로서 模型의 構造自體가 다른 連續的인 流況把握에는 타당성이 적다. 그러므로 貯溜型 水源工計劃에서는 일단 물을 貯水하기 때문에 流況의 時系列性이 無視되어도 水文處理上 發生되는 瑕疵는 直刻 露出되지 않고 있기 때문이다.

다. 그러나 흐르는 自然河川水를 水源으로 하는 流去型 水源工(揚水場, 取入沢)의 境遇는 流況動態는 連續的 變化를 한다. 이것을 1個月 또는 10日單位로 묶어서 물이 貯溜하고 있는 것으로 看做하고 計算한다는 것은 現實的으로 大端히 不合理하다.

以上에서 提示하는 現行方法의 問題點을 解決하기 爲해서는 只今까지 使用하고 있는 梶山式에 對應할 수 있는 時間 또는 日單位 受水量 推定方法이 必히 再定立 되어야 할 것이다.

2. 研究의 目的

本 研究는 從來까지 洪水流出解析에만 汎用해 왔던 單位圖法을 長期間 受水量解析에 適用하고 우선 우리나라 中小河川流域에서도 長期間의 水

文資料를 蒐集할 수 있는 主要示範流域(梅山, 淸州, 水平, 和順)을 對象으로 試驗期間에 發生한 여러가지 形態의 降雨~流出關係를 利用하여 數學的으로 統計處理하고 새로운 Model을 開發導出함으로써 現在까지 水文處理에서 가장 難解性으로 指摘되어 왔던 諸 水源의 長期受水量 解析을 月, 旬單位에서 時間 또는 日單位로 精度높게 推定함을 目的으로 한다.

3. 研究의 範圍

가. 對象流域: 漢江水系 梅山流域, 錦江水系 淸州流域, 洛東江水系 水平流域, 榮山江水系 和順流域.

나. 試驗期間: 1973年~1975年 3個年間

다. 水文資料: 日單位 降水量, 日單位 水位, 日單位 流量.

라. 分析範圍: (1) 流域 平均降水量 分析(實測分). (2) 長期間流量 및 雨量 水文曲線圖 作成. (3) 長期流量 水文曲線圖의 成分 分離. (4) 有効雨量 分析(損失雨量). (5) 電算處理에 의한 有効雨量 推定模型 및 單位圖模型 誘導. (6) 季節變化에 따른 單位圖 特性 分析 (7) 單位圖模型 適用 長期間 受水量 推定. (8) 單位圖 有意性 檢定. (9) 結果에 對한 考察.

II. 資料 및 方法

1. 試驗流域 概要 13), 14), 15).

2. 水文觀測 概要 13), 14), 15).

3. 水文資料蒐集 13), 14), 15).

諸水源工 設計를 위한 長期間 連續受水量 推定模型의 開發

1. 試驗流域 概要 13), 14), 15)

區分	清州流域	和順流域	水平流域	梅山流域
水系	錦江	榮山江	洛東江	漢江
位置	127°28'00"~ 127°38'00"	126°57'30"~ 127°06'20"	128°13'20"~ 128°22'20"	127°13'~127°41'
	北緯 36°31'15"~ 36°37'20"	34°59'00"~ 35°06'00"	36°42'40"~ 36°49'20"	36°54'~37°13'
流域面積	88.0km ²	97.5km ²	85.8km ²	125.5km ²
流域周邊長	49.0km	45.0km	46.5km	61.9km
密集度	0.71	0.78	0.74	0.64
河道長	17.8km	17.3km	16.6km	19.1km
河川傾斜	1/150	1/100	1/120	1/200
河幅	5.2m	5.3m	5.8m	6.5m
河川密度	0.2	0.78	0.74	0.17
滲透量	5.6mm/day	5.8mm/day	4.3mm/day	3.8mm/day

2. 水文觀測 概要 13,14,15

가. 雨量觀測狀況

區分	清州流域		和順流域		水平流域		梅山流域	
觀測所名	清州	高隱	和順	同福	水平	東魯	梅山	長湖院
測種別	自記	普通	普通	自記	自記	普通	普通	自記
所管	M.O.C	A.D.C	M.O.C	M.O.C	A.D.C	M.O.C	A.D.C	M.O.C
觀測時間	每日午前 10時에 觀測하여 1日 降雨量으로 보았다							

나. 水位流量 觀測狀況

區分	清州流域		和順流域		水平流域		梅山流域	
觀測所名	高	隱	和	順	水	平	梅	山
測器種別	日本水研 62型		日本水研 62型		日本水研 62型		日本水研 62型	
測種別	自記		自記		自記		自記	
所管	A.D.C		A.D.C		A.D.C		A.D.C	
觀測時間	日 2回 (08時, 20時)測定하여 平均하였다							

note: MOC: Ministry of Construction
ADC: Agricultural Development Corporation

3. 水文資料蒐集 13,14,15

가. 降水記錄

區分	清州流域	和順流域	水平流域	梅山流域
記錄年數	自1973. 1. 1 }3個年間 至1975. 12. 31	自1974. 1. 1 }2個年間 至1975. 12. 31	自1973. 1. 1 }3個年間 至1975. 12. 31	自1974. 1. 1 }2個年間 至1975. 12. 31
記錄單位	日單位 (mm/day)			

나. 水位記錄

區分	清州流域	和順流域	水平流域	梅山流域
記錄年數	自1973. 1. 1 }3個年間 至1975. 12. 31	自1974. 1. 1 }2個年間 至1975. 12. 31	自1973. 1. 1 }3個年間 至1975. 12. 31	自1974. 1. 1 }2個年間 至1975. 12. 31
蒐集延日數	1,095日間	730日間	1,095日間	730日間
記錄單位	日平均水位值 (m)			



Fig. 1. Schematic Map of Cheung-Ju Catchment area

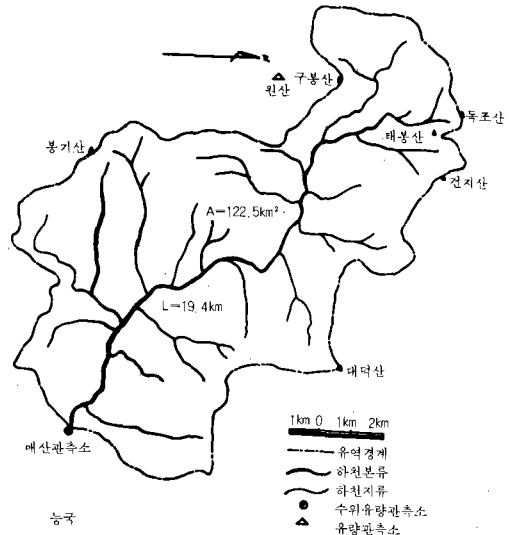


Fig. 4. Schematic Map of Mae-San Catchment area

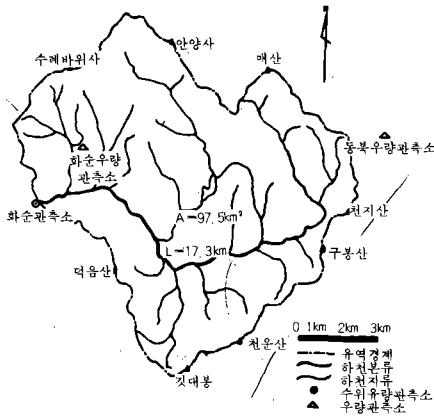


Fig. 2. Schematic Map of Hwa-Sun Catchment area

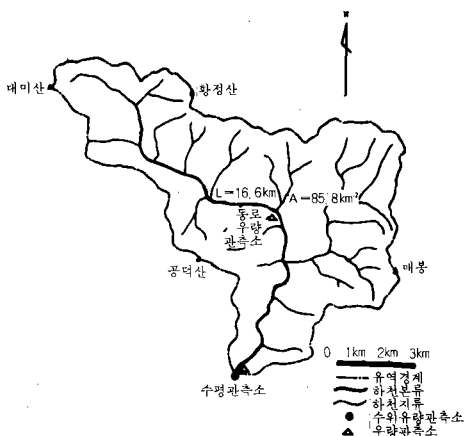


Fig. 3. Schematic Map of Su-Pyung Catchment area

4. 資料分析

各試驗流域別面積雨量算定은 Thiessen's Polygon法¹²⁾(公式1, Table-1)에 의하였으며 實測分의水位記錄에서日單位長期流量的換算은 A.D. C가 이미 導出해둔地點別 Rating Curve 方程式 Table-2¹³⁾에 依據 算定하였다. 그리고 長期流量 Hydrograph와 Hyetograph는 半對數紙를 使用하여 同一紙上에 作圖하였으며 流量(m³/sec)單位는 降雨單位(mm)와 같게 하기 위하여 流出高(深)(mm)로 換算하였다(公式 2).

다음 長期流量Hydrograph의 成分內容 및 分離作業은 아래와 같이 取扱하였다.

가. Hydrograph의 成分內容 : (1) 表面流出 + 中間流出 + 地下水流出 + 河川降水 = 全流出(Q_T mm), (2) 表面流出 + 中間流出 + 河川降水 = 直接流出(Q_d mm), (3) 地下水流出 + 其他 = 基底流出(Q_b mm).

나. 直接流出Q_d와 基底流出Q_b의 分離 : 지금까지 여러가지 方法이 提案되고 있으나 本 研究에서는 一律의 水平分離法^{4), 5), 6), 8), 9)}을 適用하였다.

다음 有効雨量(損失雨量)分離에 關해서는 從來까지 使用되고 있는 몇가지 方法에서 恒常問題視되고 있는 流域의 乾濕條件의 不考慮點에 對하여 本 研究에서는 充分히 勘案하고 그 指標(乾濕條件의 Index)^{22), 23), 24)}로서 初期低水流量(Q₀)을

Table-1. Area ratio of Thiessen's Polygon(W-Values)

Catchment area	Total Area (km ²)	Observation station	Area (km ²)	Area ratio
Cheung-Ju	88.0	Go-Eun	88.00	1.000
Hwa-Sun	97.5	Hwa-Sun	78.30	0.803
		Dong-Bok	19.20	0.197
Su-Pyung	85.8	Dong-No	66.93	0.780
		Su-Pyung	18.87	0.220
Mae-San	122.5	Neung-Guk	28.75	0.235
		Won-Sam	93.75	0.765

Table-2. Rating Curve Equation

Observation Station	Rating Curve Equation	Remark
Go-Eun	$Q = 107.0852 \cdot H^2 - 176.3602 \cdot H + 72.6126$	$1.0 \leq H < 1.60M$
Hwa-Sun	$Q = 135.3383 \cdot H^2 - 127.3264 \cdot H + 29.9472$	$0.50 \leq H < 0.70M$
	$Q = 406.0269 \cdot H^2 - 481.3039 \cdot H + 42.6343$	$0.70 \leq H < 1.0 M$
Su-Pyung	$Q = 374.6160 \cdot H^2 - 618.7252 \cdot H + 255.4755$	$0.83 \leq H < 1.2 M$
Mae-San	$Q = 49.6019 \cdot H^2 - 3.9179 \cdot H + 0.0774$	$0.04 \leq H < 0.6 M$

採擇하여 이 값을 累加雨量 ~ 累加損失雨量關係의 第3可變數(Parameter)로 導入시켜 다음과 같은 方法으로 分離하였다.

b_0, b_1, b_2 = 各 回歸係數, x : 指定函數, p = 累加雨量 (mm)

$$P_n = W_1P_1 + W_2P_2 + \dots + W_nP_n \dots (1)$$

$$W_1 = A_1/\Sigma A, W_2 = A_2/\Sigma A \dots W_n = A_n/\Sigma A$$

$$Q_r(\text{mm}) = q \cdot 864 \times 10^6 / A \cdot 10^6 \dots (2)$$

$$\text{○ 淸州流域 : } Q_r(\text{mm}) = 0.9818181 \cdot q \dots (3)$$

$$\text{○ 和順流域 : } Q_r(\text{mm}) = 0.8861538 \cdot q \dots (4)$$

$$\text{○ 水平流域 : } Q_r(\text{mm}) = 1.006993 \cdot q \dots (5)$$

$$\text{○ 梅山流域 : } Q_r(\text{mm}) = 0.705306 \cdot q \dots (6)$$

Table-3. Range of index value

Case	Range of index value (q_b)	Remarks
Case I	0.0 ~ 0.3 mm	
Case II	0.3 ~ 0.6 mm	
Case III	0.6 ~ 0.9 mm	
Case IV	0.9 mm 이상	

5. 有效雨量 (損失雨量) 推定模型

誘導方法^{22), 23), 24), 30)}.

流域의 乾濕狀態를 精密하게 索出하기 위하여 乾濕指標인 q_b 를 아래 (Table-3)와 같이 4Case로 區分하여 取扱기로 하였다. 即 指標의 規模別에 따라 降水量의 增加에 의한 流域貯留能力의 減退性을 考慮하고 兩者關係를 二次回歸分析으로 推定模型을 誘導기로 하였다. 그리고 二次回歸式의 各項의 回歸係數는 Matrix Method에 의하여 求하였다.

가. 二次回歸方程式 (基本式)

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 x^2 \dots (7)$$

$$L, L_a = b_0 + b_1 \cdot p + b_2 p^2$$

여기서 : y = 目的函數, L, L_a = 累加損失雨量 (mm),

나. 各項 回歸係數 算定式 (Matrix Method)

$$b_0 = \begin{bmatrix} \Sigma L_a & \Sigma P & \Sigma P^2 \\ \Sigma P \cdot L_a & \Sigma P^2 & \Sigma P^3 \\ \Sigma P^2 \cdot L_a & \Sigma P^3 & \Sigma P^4 \end{bmatrix} \dots (8)$$

$$b_1 = \begin{bmatrix} n & \Sigma L_a & \Sigma P^2 \\ \Sigma P & \Sigma P \cdot L_a & \Sigma P^3 \\ \Sigma P^2 & \Sigma P^2 \cdot L_a & \Sigma P^4 \end{bmatrix} \dots (9)$$

$$b_2 = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum P & \sum L_a \\ \sum P & \sum P^2 & \sum P \cdot L_a \\ \sum P^2 & \sum P^2 & \sum P^2 \cdot L_a \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum P & \sum P^2 \\ \sum P & \sum P^2 & \sum P^3 \\ \sum P^2 & \sum P^2 & \sum P^4 \end{vmatrix}} \dots\dots\dots (10)$$

다. 相關係數 R 및 寄與率 R² (決定 Coefficient)

$$R = \sqrt{\frac{\{(b_1) \cdot (\sum P \cdot L_a - n \cdot \bar{p} \cdot \bar{L}_a)\} + \{(b_2) \cdot (\sum P^2 \cdot L - n \bar{p}^2 \cdot \bar{L}_a)\}}{\sum L_a^2 - n \cdot \bar{L}_a^2}} \dots\dots\dots (11)$$

6. 長期流出 推定模型 (單位圖) 誘導方法^{23), 26), 29), 30)}

가. 單位時間 및 基底長의 決定

本 研究에서는 示範流域의 最長流路長이 大體로 17km~19km範圍內에 있으며 出水到達時間도 모두 1日以內에 流下됨을 調査, 確認하였다. 그러므로 4個流域 共히 單位時間은 1日間으로 決定하였다.

한편 單位圖의 基底長은 一般的으로 그 流域의 減水日數에 의하여 左右된다. 그리고 여기서 말하는 減水日數는 有效雨量의 終了時點에서 直接流出量의 終了時點(直接流出量이 Zero가 되는 時點)까지의 所要日數를 말한다. 本 研究對象流域 4個所의 試驗期間에 觀測된 各各의 Hydrograph에 對하여 調査分析한 바 거의 全部의 減水日數가 3日間이어서 本 4個流域의 單位圖 基底長을 3日로 決定하였다.

나. 單位圖 算定法의 選定

지금까지 提案되고 있는 各國의 單位圖 算定法은 Sherman(1932)¹⁰⁾以後 100餘種에 達하나 實際로 使用하려면 많은 問題點이 따른다. 本 研究에서는 現在 우리나라에서 洪水流出解析에 많이 利用되고 있는 Snyder의 相關法¹¹⁾을 適用키로 하였다. 이 方法은 流域이 單純하지 않고 複雜할 경우 水文資料內에 包藏된 誤差를 最大限으로 平準化하여 同定 (identification)¹¹⁾化를 피하는 方法의 하나이다. 이 方法의 基本은 最小自乘法을 바탕으로 한 重回歸法, 即 重回歸法으로서 線形聯立方程式으로 表現된다.

다. 重回歸法(最小自乘法)의 適用方法^{23), 26)}

1) 重回歸法의 基本式

어떤 時點(i)의 推定流量 q(i)는 그것보다 몇 일 前의 降雨에 單位圖의 配分率 α를 곱한 積和로서 아래식과 같은 線形多項式으로 表示할 수 있다.

$$q_i = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \gamma_{(i)} + \alpha_2 \cdot \gamma_{(i-1)} + \dots + \alpha_k \cdot \gamma_{(i-k-1)} \dots\dots\dots (12)$$

여기서 q_i: 單位圖에 의하여 算定되는 推定流量 (mm/day), α₀: 基底流量 (mm/day), k: 基底長經 (day), α₁, ..., α_k: 單位圖 配分率, γ_(i): i日째의 有效雨量

2) 實測流量과 推定流量間의 殘差의 二乘和 E를 生覺하고 이 값이 最小가 되도록 單位圖의 配分率 α₁~α_k를 決定한다. 即 이를 式으로 表示하면 다음과 같다.

$$E = \sum_{i=1}^N (Q_{(i)} - q_{(i)})^2 \dots\dots\dots (13)$$

$$= \sum_{i=1}^N \{Q_{(i)} - (\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \gamma_{(i)} + \alpha_2 \cdot \gamma_{(i-1)} + \dots + \alpha_k \cdot \gamma_{(i-k+1)})\}^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial \alpha_1} = -2 \sum_{i=1}^N \gamma_{(i)} [Q_{(i)} - (\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \gamma_{(i)} + \dots + \alpha_k \cdot \gamma_{(i-k+1)})] = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial \alpha_2} = -2 \sum_{i=1}^N \gamma_{(i-1)} [Q_{(i)} - (\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \gamma_{(i)} + \dots + \alpha_k \cdot \gamma_{(i-k+1)})] = 0 \dots\dots\dots (14)$$

지금 V_i = ∑_{j=1}^N r_(i-j+1) Q_(j), V_{jk} = ∑_{i=1}^N r_(i-j+1) r_(i-k+j) 라 고 하면 다음과 같은 聯立方程式으로 整理될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{1k} \\ V_{21} & \dots & V_{2k} \\ \dots & \dots & \dots \\ V_{j1} & \dots & V_{jk} \\ \dots & \dots & \dots \\ V_{k1} & \dots & V_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_j \\ \vdots \\ \alpha_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_j \\ \vdots \\ V_k \end{bmatrix} \dots\dots (15)$$

따라서 Q_(i), r_(i)를 주어 V_j를 만들고, α_i (i=1~N)에 對한 것을 上式을 通해 풀면 單位圖의 α₁, α₂, ..., α_k가 얻어질 수 있다.

라. 單位圖 模型을 誘導하기 爲한 電算作業 및 入力資料

1) 電算處理 作業順序 (Fig. 5. 參照)

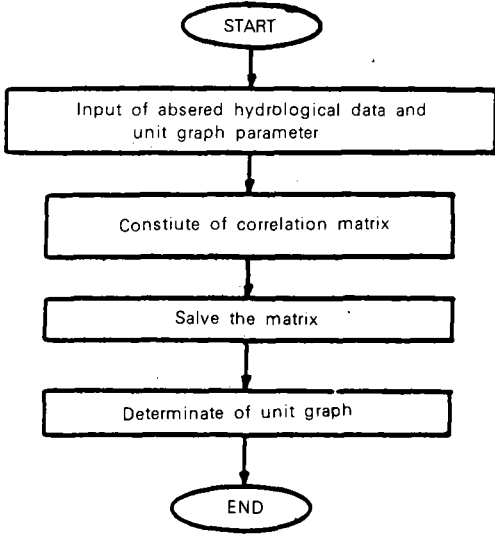


Fig. 5. Flow Chart of Computational Works

2) 入力資料 : 本 研究에서는 流域의 複雜性에 따른 降雨特性의 變化, 林相植性的 變化, 土壤狀態의 變化 등으로 單位圖의 性格도 季節別로 變化할 것으로 看做하고 이것을 判斷하기 위하여 標準單位圖 以外에도 季節單位圖(乾期, 半乾期, 雨期)를 誘導하고 現實의으로 얼마만큼 有意한가를 比較檢討하였다. 따라서 入力資料도 여기에 對備하여 上述한 4가지 境遇의 單位圖에 對象資料別로 分別 入力시켰다. 入力供試資料를 크게 分類하면 (1) 年度數, (2) 月數, (3) Hydrograph數, (4) 基底長값, (5) 單位時間, (6) 實測有效雨量, (7) 實測流出量 等이다.

III. 結果 및 考察

1. 有效雨量(損失雨量)推定結果

가. 從來方法에 의한 有效雨量 推定 Model 導出

流域의 乾濕條件을 全然 無視한 從來方法(累加雨量~累加損失雨量曲線法)을 電算 program(二次回歸方程式 7式~11式을 바탕으로 program을 作成하였음)에 의하여 誘導한 流域別 有效雨量(損失雨量) Model은 다음(Fig. 6, Table-4)과 같다.

나. 本法(q_0 指標法)에 의한 有效雨量 推定 Model 導出

流域의 乾濕條件인 Hydrograph上昇直前의 初

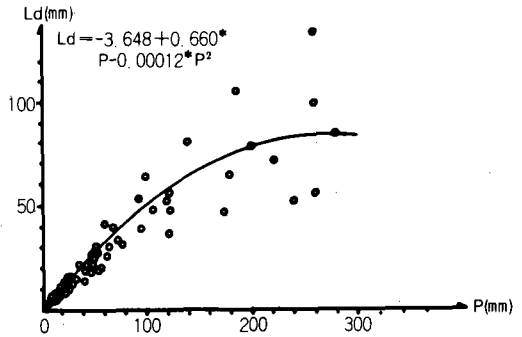


Fig. 6. Relation between precipitation(p) and Water losses(Ld) by the Conventional method (Cheung-Ju)

Table-4. Model for Estimation of Effective Rainfall by Conventional Method

A standard Model(formula) : $Ld = b_0 + b_1 \cdot P + b_2 \cdot P^2$

Classification	Regression Coefficient		
	b_0	b_1	b_2
Cheung-Ju	-3.648351	0.660011	-0.000123
Hwa-Sun	2.888597	0.423165	0.000093
Su-Pyung	-1.596864	0.519250	-0.000102
Mae-San	1.027110	0.414160	0.000088

期基底流量(q_0)의 값을 規模別(Table-3 參照)로 區別하고 이 값을 다시 Fig.7에서 表示한 바와 같이 相異한 4個의 圖形으로 分別하여 座標上에 plot하였다. 그리하여 各 Case別에 對한 累加雨量~累加損失雨量曲線을 二次回歸方程式(7式~11式)에 의하여 새로운(指標法) 有效雨量推定 Model을 導出하였다(Fig.7, Table-5)

다. 有效雨量(損失雨量) 推定 Model 適用結果 및 考察

1) 結果

(Table-6, Fig. 8)

2) 考察

上記 Model(從來法 : Table-4, Fig. 6, 本法 : Table-5, Fig. 7)을 利用하여 4個 示範流域을 對象으로 各 降雨別로 有效雨量(損失雨量)을 推定하고 各各의 推定值와의 相對誤差率[(實測值-推定值)÷實測值×100]을 算定한 結果인 Table-6에서 提示하고 있는 바와 같이 從來法에 比하여 本法에 의한 推定精度가 比較의 良好함을 알 수 있

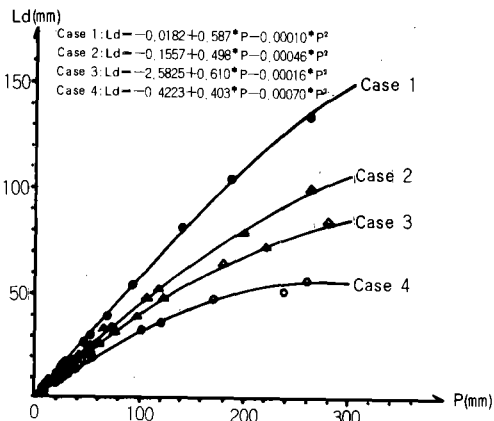


Fig. 7. Relation between precipitation (P) and water losses (Ld) by q_b Index method (Cheung-Ju)

다. 그리고 본법을適用하므로써 本來의 降雨~有效雨量(損失雨量)關係의 非線形性(Fig. 6. 參照)을 多少나마 線形的인 相關關係(Fig. 7. 參照)로 誘導 接近시킬 수 있음을 確認할 수 있었다. 特히 Table-6에서 보면 從來法에 比하여 本法의 推定誤差(相對誤差率)는 大體로 1.0~4.8% 로서 從來法의 誤差를 10.3~18.8%程度 줄일 수 있음을 알 수 있다. 그리고 檢定圖(Fig. 8)에서도 從來法에 比하여 本法의 推定값들이 檢定線(45°線)에 均等하게 Approach되고 있으며 分散狀態가 散漫치 않음을 視眼的으로 判定할 수 있다.

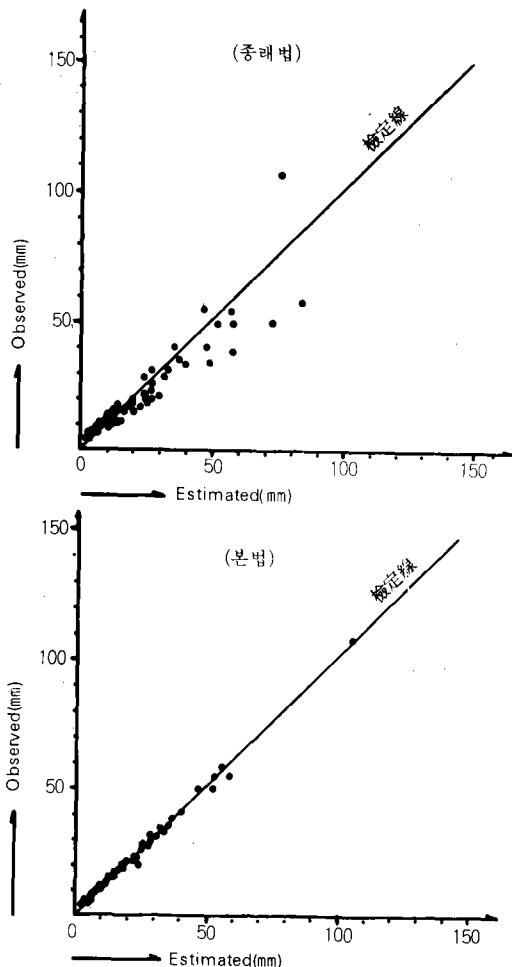


Fig. 8. Comparison between observed value and estimated value in the effective rainfall (Cheung-Ju)

Table-5. Model for Estimation of Effective Rainfall by q_b Index method

A standard Model(formula) : $Ld = b_0 + b_1 \cdot P + b_2 \cdot P^2$

Classification	Case 1. : $q_b = 0 \sim 0.3$ mm			Case 2. : $q_b = 0.3 \sim 0.6$ mm		
	b_0	b_1	b_2	b_0	b_1	b_2
Cheung-Ju	-0.018165	0.58716	-0.000103	0.155727	0.497964	-0.000456
Hwa-Sun	0.111144	0.603836	-0.000354	0.235455	0.489828	-0.000079
Su-Pyung	-0.803480	0.563323	-0.000746	-0.315683	0.480202	-0.000707
Mae-San	0.00111	0.60291	-0.00029	0.22895	0.49881	-0.00080
Classification	Case 3. : $q_b = 0.6 \sim 0.9$ mm			Case 4. : $q_b = 0.9$ mm以上		
	b_0	b_1	b_2	b_0	b_1	b_2
Cheung-Ju	-2.582489	0.609856	-0.000160	-0.422260	0.402631	-0.000702
Hwa-Sun	-1.984967	0.544006	-0.000572	1.070578	0.513390	-0.00051
Su-Pyung	-0.190164	0.439238	-0.000777	-0.296352	0.413820	-0.000793
Mae-San	-1.97586	0.54391	-0.00058	1.06960	0.51299	-0.00049

Table-6. Estimated comparison between conventional method and q_b index method

Catchment area	Method	Correlation coefficient (R)	Contribution ratio (R^2)	Estimated accuracy Relative error (%)
Cheung-Ju	Conventional	0.90	0.81	23.6
	q_b index	0.99	0.98	4.8
	Effect	+0.09	+0.17	18.8
Hwa-Sun	Conventional	0.91	0.82	12.6
	q_b index	0.99	0.98	2.1
	Effect	+0.09	+0.16	10.5
Su-Pyung	Conventional	0.95	0.90	12.4
	q_b index	0.99	0.98	1.0
	Effect	+0.04	+0.08	11.4
Mae-San	Conventional	0.90	0.83	12.5
	q_b index	0.99	0.97	2.2
	Effect	+0.09	+0.14	10.3

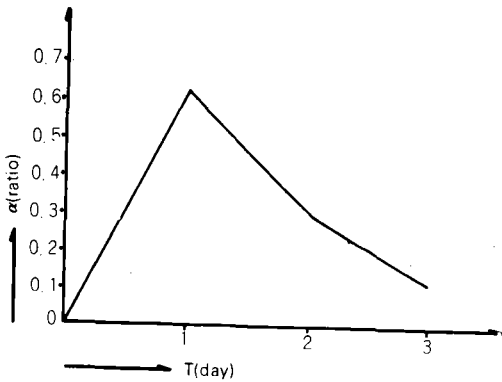


Fig. 9. Standard Unit Hydrograph (Cheung-Ju Catchment area)

2. 單位圖 Model에 의한 長期受水量 推定 結果

가. 電算處理에 의한 單位圖 Model 導出

上記(II-6-3)에서 提示한 重回歸法을 基本式(12~15式)으로 하고 入力資料에 의거 4가지 單位圖(乾期, 半乾期, 雨期, 標準)에 對한 電算program(Table-7)을 作成하여 Fig. 5의 作業順序대로 入力한 結果는 다음(Table-8)과 같다. 그리고 Table-8에 表示되고 있는 4가지 單位流量配分表를 使用하여 Fig. 9, 10(淸州流域의 例)과 같이 橫軸을 基底長經T(day)로 하고 縱軸을 配分率 α (比)로 하여 4個示範流域에 對한 4가지 type(標準, 乾期, 半乾期, 雨期)의 單位圖를 作成하였다.

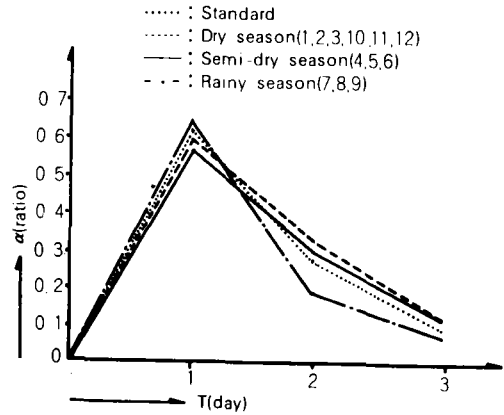


Fig. 10. Comparison of Unit Hydrograph for 4-Season respectively (Cheung-Ju Catchment area)

나. 單位圖 Model에 對한 考察

上記 Fig. 9, 10, 11에서 提示한 各示範流域의 單位圖配分率에서 보는 바와 같이 大體로 流出配分率의 Peak가 全部 1日째에 發生하고 있으며 Peak의 配分率도 1日째에 4個流域 모두 全配分率의 58%~69%를 占有하고 있다. 말하자면 이번 研究對象流域의 單位圖는 中央 또는 後方突起型이 아닌 前方突起型으로서 흔히 中小流域 등에서 볼 수 있는 早期出水型의 標準인 Type으로 看做할 수 있다. 그리고 季節別 各 單位圖의 波形의 全體의인 形狀도 Fig. 10, 11에서 보는 바와 같이 거의 비슷한 樣相을 나타내고 있다. 이것은 春夏秋冬季節의 變化에 따라 流域의 林相狀態가

Table-7. Computer program and Unit hydrograph model by this program (Cheung-Ju catchment area)

\$	CONTROL USLIMIT		
C	NO 1	41	CONTINUE
	DIMENSION Q(8)		DO 20 IP=1,4
	DIMENSION D(2000,2)		IF(IP-K) 21,20,21
	DIMENSION R(8)	21	AIK=V(IP,K)
	DIMENSION V(4,5)		DO 30 JJ=K,5
	DATA V1,V2,V3,V4/4*0,0/		V(IP, JJ)=V(IP, JJ)-AIK*V(K, JJ)
	DATA R,Q/16*0,0/	30	CONTINUE
	DATA V/20*0,0/	20	CONTINUE
	DATA D/4000*0,0/	40	CONTINUE
	IH=1		WRITE(6,1000) (IK, V(IK,5), IK=1,4)
72	READ(5,10,END=150) (R(I), Q(I), I=1,8)	1000	FORMAT (1 HO, 1 OX, "X(", I2, ")
10	FORMAT(8 (F4,2, F5,3))		STOP
	IP=1		END
11	IF(R(IP),		PROGRAM UNIT MAIN' COMPILED
	EQ,99,99) GO TO 72		**** GLOBAL STATISTICS ****
	IF(IP,GT,8) GO TO 72		**** NO ERRORS, NO WARNINGS ****
	D(IH+3,1)=R(IP)		TOTAL COMPILATION TIME 0:00:02
	D(IH,2)=Q(IP)		TOTAL ELAPSED TIME 0:00:30
	IH=IH+1		END OF COMPILE
	IP=IP+1		END OF PREPARE
	GO TO 11		
150	DO 22* I=1, IH-1		
	JR=I+3		N=491.
	V1=V1+D(I+3,1)*D(I,2)		X(1)=- .62177110
	IA=JR-1		X(2)=- .29624593
	IB=JR-2		X(3)=- .11256073
	IC=JR-3		X(4)=- :00000000
	V2=V2+D(IA,1)*D(I,2)		
	V3=V3+D(IB,1)*D(I,2)		N=171.
	V4=V4+D(IC,1)*D(I,2)		X(1)=- .59522069
	V(1,1)=V(1,1)+D(I+3,1)*D(I+3,1)		X(2)=- .32147998
	V(1,2)=V(1,2)+D(I+3,1)*D(IA,1)		X(3)=- .14566147
	V(1,3)=V(1,3)+D(I+3,1)*D(IB,1)		X(4)=- .00000000
	V(1,4)=V(1,4)+D(I+3,1)*D(IC,1)		
22	CONTINUE		N=155.
	WRITE(6,500) IH-1		X(1)=- .58161449
500	FORMAT(1 HO, 1 CX, "N=", F6, 0)		X(2)=- .30442703
	V(2,1)=V(1,2)		X(3)=- .14706534
	V(2,2)=V(1,1)		X(4)=- .00000000
	V(2,3)=V(1,2)		
	V(2,4)=V(1,3)		
	V(3,1)=V(1,3)		
	V(3,2)=V(2,3)		X(1)=- .58161449
	V(3,3)=V(1,1)		X(2)=- .30442703
	V(3,4)=V(1,2)		X(3)=- .14706534
	V(4,1)=V(1,4)		X(4)=- .00000000
	V(4,2)=V(2,4)		
	V(4,3)=V(3,4)		
	V(4,4)=V(1,1)		
	V(1,5)=V1		N=165.

$$V(2, 5) = V_2$$

$$V(3, 5) = V_3$$

$$V(4, 5) = V_4$$

$$DO\ 40\ K = 1, 4$$

$$P = U(K, K)$$

$$DO\ 41\ JP = K, 5$$

$$V(K, JP) = V(K, JP) / P$$

$$X(1) = .64389038$$

$$X(2) = .23979403$$

$$X(3) = .09339442$$

$$X(4) = .00000000$$

Table-8. Runoff distribution ratio of unit Hydrograph for 4-season respectively(4-Catchment area)

Classification	Cheung-Ju			Hwa-Sun			Su-Pyung			Mae-San		
	1 day α_1	2 day α_2	3 day α_3	1 day α_1	2 day α_2	3 day α_3	1 day α_1	2 day α_2	3 day α_3	1 day α_1	2 day α_2	3 day α_3
Standard	0.62	0.29	0.11	0.62	0.25	0.13	0.51	0.30	0.19	0.62	0.24	0.14
Dry-Season	0.59	0.32	0.14	0.69	0.29	0.07	0.52	0.30	0.18	0.68	0.30	0.07
Semi-Dry season	0.58	0.30	0.14	0.59	0.27	0.13	0.51	0.30	0.19	0.59	0.28	0.12
Rainy-Season	0.64	0.20	0.09	0.62	0.24	0.13	0.52	0.30	0.18	0.63	0.23	0.13

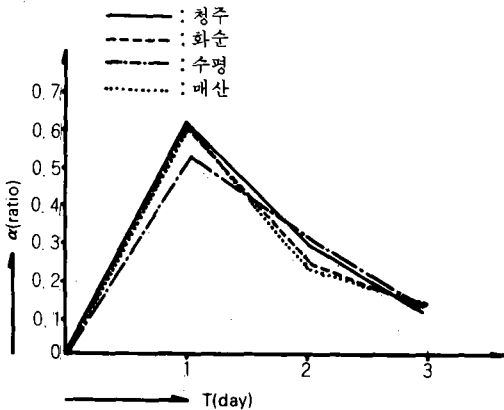


Fig.11. Comparison of Unit Hydrograph for 4-Catchment area respectively (Standard Unit Hydrograph)

變化하더라도 有效雨量分離時 流域의 乾濕條件만 잘 考慮해 준다면 流出Model인 單位圖 自體에 미치는 林相Factor의 影響은 그다지 크지 않음을 말해 주고 있다. 따라서 本 研究對象流域의 경우는 標準單位圖 하나만으로서도 充分히 可能한 것으로 判定된다.

다. 長期受水量 推定結果

流域別 各 單位圖模型에 의한 受水量 推定은 電算處理에 의하여 4個流域 共히 日單位로 連續하여 推定하였다. 그리고 이 推定値와 實測値와 의 相對誤差率도 出力시켰다. 여기서 各 流域別

로 標準單位圖를 使用하여 受水量을 推定할 경우는 試驗全期間에 對하여 日單位로 推定하였고 各 期別 單位圖를 使用했을 경우는 該當月에 限하여 日別로 推定하였다. 即 乾期는 1月, 2月, 3月, 10月, 11月, 12月, 半乾期는 4月, 5月, 6月, 雨期는 7月, 8月, 9월에 對하여 各 日別로 推定하고 實測値와 比較하였다. 그 結果를 總括하면 다음 (Table-9, 10)과 같다. 그리고 總括表에는 參考의 湄山式에 의한 月別受水量推定値도 算定하여 月單位 그대로 對照시켰다 (湄山式의 月別受水量推定값은 1972~1975년에 A.D.C에서 實施한 바 있는 受水量公式補完示範事業報告書 綜合編에서 拔取한 것임).

라. 受水量 推定結果에 對한 考察

上記 Table-9, 10에서 提示하고 있는 바와 같이 4個試驗流域 共히 湄山式에 의한 推定精度(相對誤差率 17%~58%)에 比하여 單位圖 Model의 推定精度(相對差率)가 2%~9%로서 月單位推定의 湄山式보다 日單位推定의 單位圖Model이 大端히 優秀함을 보여주고 있다. 그리고 單位圖Model 適用에 있어서도 季節單位圖를 該當季節에 適用했을 때나 標準單位圖 하나만으로서 全期間에 適用했을 때나 그 結果에 對해서는 큰 差異가 없음을 Table-9, 10에서 提示하고 있다. 이것은 곧 同一流域에서의 單位圖는 唯一할 뿐 여러개가 存在하지 않음을 主張한 Sherman(1929年)의 單位圖 基本性格을 實質의 立證하고 있는 셈이 된다.

Table-9. Results compared with observed values when estimated by the unit-hydrograph (Case 1: Application of Standard Unit Hydrograph)

Season	Method	Estimated accuracy(Relative error %)			
		Cheung-Ju	Hwa-Sun	Su-Pyung	Mae-San
Dry-season	Kazyama	17.0	37.0	30.0	39.0
	Unit Hydrograph	5.9	9.3	9.2	9.2
Semi-dry season	Kazyama	34.0	56.0	112.0	58.0
	Unit Hydrograph	5.2	3.0	4.0	3.0
Rainy-Season	Kazyama	17.0	32.0	20.0	83.0
	Unit Hydrograph	8.0	3.2	3.0	3.1
All-Season (mean)	Kazyama	24.0	41.0	54.0	45.0
	Unit Hydrograph	6.4	5.2	5.4	5.1
	Effect	17.6	35.8	48.6	39.9

Table-10. Results compared with observed values when estimated by the Unit-Hydrograph (Case 2: Application of 4-season Unit Hydrograph)

Season	Method	Estimated accuracy(Relative error %)			
		Cheun-Ju	Hwa-Sun	Su-Pyung	Mae-San
Dry-Season	Kazyama	17.0	37.0	30.0	39.0
	Unit Hydrograph	5.2	8.1	8.5	8.0
Semi-dry Season	Kazyama	34.0	56.0	112.0	58.0
	Unit Hydrograph	5.0	2.0	3.0	3.0
Rainy-Season	Kazyama	17.0	32.0	20.0	38.0
	Unit Hydrograph	7.0	2.8	2.0	3.0
All-Season (mean)	Kazyama	24.0	41.0	54.0	45.0
	Unit Hydrograph	5.7	4.3	4.5	3.0
	Effect	18.3	36.7	49.5	42.0

한편 다음에提示하는 Fig. 12에서의 日別推定 受水量과 實測受水量과의 比較圖를 살펴보면 그렇게 無理하지 않고 推定線(點線)이 實測線(實線)에 Approach되고 있음을 알 수 있다. 이와같이 本 研究에서 開發한 中小規模流域에서의 長期間用 單位圖Model의 有意水準은 比較的 높게 評價될 수 있다.

그러나 長期流出解析에 있어서 單位圖法의 問題點은 有効雨量推定の 正確度이다. 本 研究에서는 有効雨量推定을 q_0 指標法을 使用하여 大端한 效果를 얻을 수 있었으나 q_0 指標法을 引用할 경우 流出量 觀測記錄이 全無한 流域은 計劃水文地點의 初期基底流量值인 q_0 를 얻을 수 없기 때문에 流域의 乾濕條件을 q_0 아닌 다른 Parameter로 代置하지 않으면 안될 問題點이 있다. 例를 들면 流出量 觀測記錄이 없는 流域에 雨量觀測이 있을 때는 Linsley(1949) 등이 提案한 API法 또는 US-

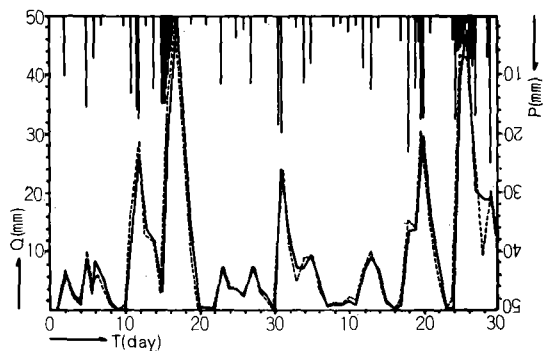


Fig. 12. Estimated Run-off Hydrograph for Rainy Season Using the Rainy Season Unit Hydrograph (Cheung-Ju)
(—: observed, ...: estimated)

DA, SCS의 Curve number法等を 適用하여 有効雨量推定の 精度를 向上시킬 必要가 있을 것이다.

IV. 摘 要

本 研究는 諸水源工 設計를 위한 長期間 連續受水量 推定模型의 開發에 關한 研究로서 洪水流出解析보다 實質的으로 顯著하게 뒤떨어져 있는 長期受水量解析에 關하여 現行 널리 使用하고 있는 梶山式의 問題點을 補完改善하기 위하여 이에 對應할 수 있는 새로운 方法의 하나로 只今까지 우리나라에서는 洪水流出解析에서 專用하고 있는 單位圖法을 長期受水量解析에 導入하고 檢討한 것이다.

試驗流域은 우리나라 主要水系인 漢江水系 南漢江·梅山流域과 錦江水系 無心川·淸州流域, 榮山江水系 和順川·和順流域 및 洛東江水系 錦川·水平流域 等 4個 示範流域을 對象으로 하였다.

먼저 單位圖分析에서는 先行作業으로 分析되는 有效雨量分離에 關하여 檢討하였고 여기서는 有效雨量和 表裏一體의 關係가 있는 流域의 乾濕條件의 不考慮點에 着目하여 一連降雨에 對한 Hydrograph의 上昇前의 初期基底流出量 Q_0 를 流域의 乾濕條件의 指標로 採擇하고 同時에 이 Q_0 가 累加雨量(P)~累加損失雨量(L_a)의 相關關係의 第3의 Parameter로서 役割을 할 수 있는 基本式(7式)을 設定하고 이것을 바탕으로 하여 有效雨量(損失雨量)의 推定Model을 電算program化하여 Q_0 의 規模別로 區分시켜 誘導하였다. 다음 이 Model을 利用하여 4個試驗流域(淸州流域 3年間, 和順流域 2年間, 水平流域 3年間, 梅山流域 2年間)의 實測 Hydrograph 및 Hyetograph에 對하여 有效雨量(損失雨量)을 推定하였다. 同時에 推定Model의 有効性도 Table-6, Fig. 8 과 같이 點檢하였다.

다음은 推定한 有效雨量R(損失雨量 L_a)과 實測된 流出量 Q_0 를 利用하여 重回歸法(最小自乘法)에 依據 4個 示範流域別로 4가지 受水量推定Model(標準型, 乾期型, 半乾期型, 雨期型)의 流量配分率(Table-8)을 電算program(Table-7)에 의하여 算出하였다. 算定한 이 流量配分率을 바탕으로 Fig. 9, 10(淸州流域의 例) 및 Fig. 11(4個示範流域)과 같이 單位圖를 作成하였다.

한편 本 單位圖의 有意性的의 檢定은 Table-9, 10과 같이 推定流出量과 實測流出量의 相對誤差를 點檢하므로써 確認될 수 있었다. 即 單位圖에 的하여 推定한 結果를 考察하면 單位圖 自體에서 推定한 流出量 誤差는 事實 2~3%에 不過하며

나머지 2~3%는 주로 有效雨量分離時 發生한 誤差가 그대로 移越된 것으로 判明되었다. 그리고 本 研究에서 實施한 4個流域의 경우는 구태여 季節單位圖를 別途로 使用할 必要性은 없는 것으로 思料된다.

그리고 本 研究에서 찾아볼 수 있는 것은 水系가 相異하고 林相條件의 差異가 있는 4個示範流域인데도 불구하고 4個流域 標準單位圖를 하나의 座標上에 Plot한 Fig. 11.을 보면 그 模型이 類似的 波形을 이루고 있음을 알 수 있다.

參 考 文 獻

1. Collins, W. T. : Runoff Distribution on Graphs from precipitation occurring in more than One Time. Unit Trans ASCE, Vol. 100, pp. 347~395 (1935)
2. Hydrologic Annual Report in Korea (1966~1972). Minstry of Construction.
3. Kohler, M. A. and R. K. Linsley. 1951. Predicting the runoff from storm rainfall, U. S. Weather Bur. Res. Rap. 34.
4. LINSLEY, R. N. and ACKERMANN, W. C. (1942) : A Method of Predicting the Runoff from Rainfall Trans ASCE Vol. 107, pp. 825~835.
5. Linsley, R. K. 1975. Hydrology for Engineers. Mcgraw-hill Ltd. Co. : 177~181, 278~280.
6. Linsley, R. K. and J. B. Franzini, 1972. Water resources engineering. Mcgraw-hill Ltd. Co. : 52~54. 167.
7. R. E. Horton : Discussion on distribution of intense rainfall. Trans. ASCE, Vol. 85(-1933)
8. R. K. Linsley, M. A. Kohler I. L. H. Paulhus : Applied Hydrology, Mcgraw-hill Co Inc. NY(1933)
9. R. K. Linsley, J. M. A. Kohler, Joseph L. H. Paulhus: Hydrology for Engineers Record, Vol 108, pp. 501~505(1932)
10. Sherman, L. K. : Steamflow from Rainfall by Unitgraph method. Engineers Record, Vol. 108, pp. 501~505(1932)
- 11) Snyder, FF. : Synthetic Unit Hydrographs.

- Trans. AGU. Vol. 19,(1938).
- 12) THIESSEN, A. H. : Precipitation Averages for Large, Monthly Weather Review. 39, pp. 1082~1084.
 13. 農水産部：1975, 受水量公式補完 示範事業報告書(綜合編)
 14. 農水産部：1978, 漢江流域調査 報告書
 15. 農水産部：1979, 錦江流域調査 報告書
 16. 農水産部：1979, 韓國水文調査書(雨量, 水位) 1962~1978.
 17. 朝鮮總督部：朝鮮河川調査書(1929).
 18. 嚴柄鉉：韓國河川の長期的低水流出流況에 관한 研究, 日本農業土木學會誌(京都支論誌 Sss pp. 80~86) (1980).
 19. 嚴柄鉉：韓國河川の基底流量의 季節變動에 관한 研究, 日本農業土木學會誌(京都支論誌 Sss pp. 86~94) (1980).
 20. 嚴柄鉉：試驗流域의 季節別 蒸發散量推定을 爲한 Water balance法의 試圖, 日本農業土木學會論文集 88號(pp. 8~14) (1980).
 21. 嚴柄鉉：長期流出解析을 爲한 單位圖法의 性格檢討：日本京大農工誌(90卷)(pp. 75~80) (1980)
 22. 嚴柄鉉：降雨前의 低水流量을 指標로한 有効雨量 推定(日本 Gami Gano 流域) 日本農業土木學會論文集 第91號(pp. 26~33) (1981).
 23. 嚴柄鉉：韓國錦江流域에서의 流域蒸發散量과 有効雨量 및 單位圖法에 依한 長期流出解析, 日本京大大學學位論文集, 日本國會圖書論文(京大編) (pp. 80~140) (1981).
 24. 嚴柄鉉：長期流出解析에서의 有効雨量分離에 관한 檢討(韓國流域)：全南大學農漁村開發研究 第17卷 2號(pp. 114~123) (1982).
 25. 물收支法에 依한 우리나라 河川流域의 蒸發散量推定에 관한 研究 韓國農工學會 第25卷 第2號(pp. 42~53) (1983)
 26. 嚴柄鉉單位圖模型을 利用한 大流域의 長期流出 解析研究(忠州流域)：農業用水開發試驗研究報告書(農水産部) (pp. 109~157) (1983).
 27. 嚴柄鉉：全南地域을 中心으로한 作物의 消費水量型態에 관한 研究. 農業用水開發試驗研究報告書(農水産部) (pp. II. 5~103) (1983).
 28. 嚴柄鉉：長期流出解析의 새로운 方案과 早劃對策의 基本的인 問題研究：農業振興公社研修院 1984年度 專門教科(pp. 43~134) (1984).
 29. 嚴柄鉉：長期流出의 數學的 模型開發을 爲한 單位圖 誘導(鴨綠流域)：農業用水開發試驗研究報告書(農水産部) (1984).
 30. 嚴柄鉉：韓國의 長期流出解析方法의 展望에 關하여(Tank model의 問題點과 單位法의 效果：日本京大大學 農工會學術 세미나(pp. 미정) (1984).
 31. 韓國水系別 水文調査報告書：韓國農水産部 農業振興公社 調査設計部(1972).