

日 流出量 推定을 위한 單位圖 模型

Unit-graph Model for Daily Streamflow Estimation

金 泰 喆*
Kim, Tai Cheol

Summary

Unit-graph model to estimate the daily streamflow was developed on the basis of distribution graph method.

The results of evaluating the application of the model to Nakdong watersheds were generally satisfactory and this model would be the groundwork of the "Unit-graph model for daily streamflow in Korean watersheds".

I. 緒 論

河川에서 水資源의 空間的, 時間的 流況分布의 正確한 解析은 水資源의 計劃, 設計 및 管理에 있어 가장 基本的이고 重要한 문제이다. 現在 우리나라에서 使用되고 있는 受水量公式이나 地域化 回歸模型¹⁾ 등은 中·大規模 流域 水文地點에서의 水 管理 및 貯水容量 決定을 위한 月 單位의 長期 流出解析에는 適合할 것이나, 小流域 流出解析과 日別流況變化의 把握에는 다소 不利하다.

따라서 日 降雨量에 流量配分率을 適用하여 日 流出量을 推定하는 Bernard의 流量配分圖法²⁾을 基本理論으로 우리 나라의 어느 河川에서나 流況分析이 可能한 "韓國河川의 日 流出量 推定을 위한 單位圖模型"의 開發을 위해 그 基礎作業으로 우선 洛東江水系의 比較的 中·大規模 流域인 臨河, 倭館, 津洞, 鼎岩 등 4個 水文地點의 日 降雨流量 資料를 分析하여, 이들과 隣接한 地點 또는 流域特性이 類似한 地點에서 日 流出量을 推定할 수 있는 單位圖模型을 誘導하고자 試圖한 것이다.

II. 資料 및 分析方法

1. 資料

가. 流域概要

洛東江 流域은 韓半島 東南端에 位置한 流域面積이 23,859.3km²이며, 河川延長이 525.7km로 四邊形에 가까운 山岳地帶로서 地質 構造와 地表面의 植生狀態는 좋지 못한 實情이다. 分析한 水文地點의 流域圖와 流域特性은 Fig.1 및 Table-1과 같다.

나. 氣象·水文資料

1) 流出量 資料

建設部(1978)의 새마을 事業 水文報告書³⁾의 日 流出量을 流出深(高)로 使用하였으며 內容要略은 Table-2와 같다.

2) 氣象資料

中央氣象臺의 氣象月報로 부터 流域內外 降雨地點의 日 降雨量을 Thiessen法으로 日 平均 流域降雨量을 算定하였다.

* 忠南大學校 農科大學

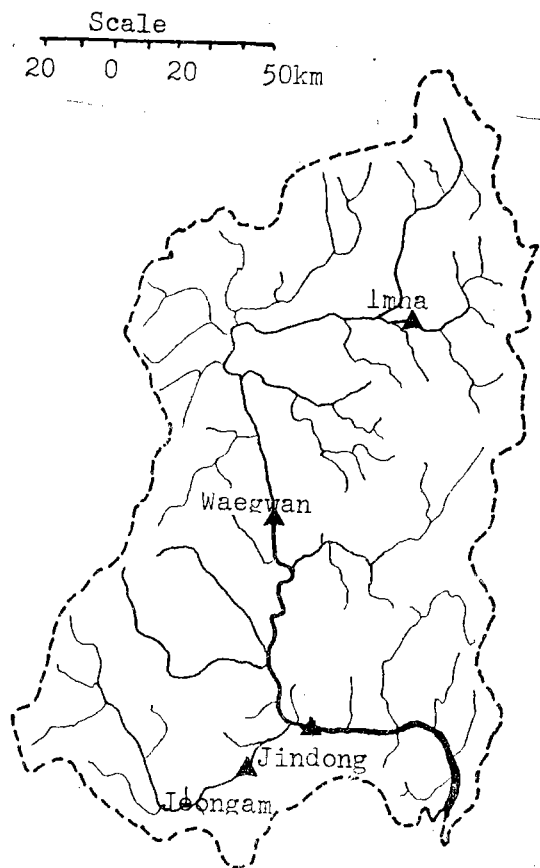


Fig. 1. Location map of hydrologic stations in Nakdong watersheds

2. 分析方法

가. 日 降 雨 - 流 量 圖 的 作 成

日別로 降 雨 - 流 量 的 關 係 를 圖 示 한 Hyeto-hydrograph를 作 成 하 였 다. (Fig.2 參 照)

나. 長 期 流 出 的 成 分 分 離

河 川 的 流 出 成 分 是 表 面 流 出, 中 間 流 出, 地 下 水 流 出, 河 川 降 雨 的 成 分 由 區 分 되 며 크 게 是 直 接

流 出 과 基 底 流 出 成 分 由 兩 分 되 ン だ.

全 流 出 量 = 直 接 流 出 量 + 基 底 流 出 量(1)

1) 直 接 流 出 成 分 (Q_d) 과 基 底 流 出 成 分 (Q_b) 的 分

各 流 出 別 由 水 平 分 離 法 을 原 則 由 分 離 하 였 다.

2) 減 水 曲 線 係 數

水 文 曲 線 上 的 頂 點 을 지 나 면 直 接 流 出 은 下 降 曲 線 을 그 리 며 漸 減 하 여 結 局 流 出 이 끝 나 게 되 며, 이 減 水 曲 線 은 指 數 函 數 로 나 타 내 다.

$Q_t = Q_0 e^{-Kt}$ (2)

여 기 서 Q_0 : 初 期 流 量

Q_t : t 時 間 後 的 流 量

K : 減 水 曲 線 係 數

洪 水 直 前 的 流 出 量 (Q_b) 보 다 큰 部 分 的 減 水 曲 線 을 洪 水 時 直 接 流 出 減 水 曲 線 係 數 (K_1), 작 은 部 分 的 減 水 曲 線 을 平 常 時 基 底 流 量 減 水 曲 線 係 數 (K_2) 로 取 하 였 다.

다. 有 効 雨 量 算 定 方 法

有 効 雨 量 的 크 기 에 直 接 的 由 影 響 을 미 치 는 因 子 是 流 域 內 土 壤 的 種 類, 植 生 被 覆, 土 地 利 用 狀 態, 總 降 雨 量 的 크 기 및 持 續 時 間 等 이 며 이 들 的 複 合 的 關 係 를 正 確 히 解 析 하 는 것 이 流 出 解 析 上 最 重 要 的 問 題 이 다.

1) 流 出 數 (Curve number) 算 定 方 法

美 國 土 壤 保 全 局 是 美 國 全 域 的 小 流 域 水 文 資 料 로 부 터 土 壤 被 覆 型 別 로 平 均 流 出 數 를 決 定 해 놓 고 式 (3) 由 有 効 雨 量 을 求 하 는 方 法 을 擇 하 고 있 다.

$P_e = Q_d = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$ (3)

여 기 서 $P_e(Q_d)$ = 有 効 雨 量 또는 直 接 流 出 量 (mm)

P : 總 降 雨 量 (mm)

S : 最 大 潛 在 貯 溜 能 (mm)

潛 在 貯 溜 能 (S) 是 流 域 的 乾 濕, 被 覆 等 的 條 件 을 나 타 내 는 先 行 土 壤 含 水 條 件 (Antecedent Moisture

Table-1. Watershed characteristics of hydrologic station

	Unit	Imha	Waegwan	Jindong	Jeongam
Location	Deg.	36.5N 128.9E	36.0N 128.4E	35.4N 128.5E	35.3N 128.3E
Drainage area	Sq. Km	1,360	11,074	20,311	2,990
Channel length	Km	97.2	363.9	476.9	150.0
Elevation	El.+m	102.5	19.1	2.7	6.4
Slope of basin	m/km	2.4	0.9	0.7	1.9

Table-2. Summary of meteorologic and hydrologic stations

	Unit	Imha	Waegwan	Jindong	Jeongam
Analysis period	yrs.	1969—74	1965—72	1965—69	1965—69
No. of storms	ea.	57	73	53	54
Season	Dry	7	15	13	12
	Semi.	24	14	15	18
	Wet	26	44	25	24
Verification period	yrs.	1975—76	1973—74		

Condition)에 따라 다른 流出數로 求한다.

2) 五日 先行降雨 方法

同一한 降雨量에 대하여 先行降雨量 (Antecedent Precipitation)이 많으면 流域土壤의 濕潤度가 높아 有效雨量이 커진다. 先行 土壤含水條件은 決定하기 어려우나 대체로 세가지로 區分하며 五日 先行降雨量과 季節에 따라 分類한다. 따라서 總降雨量과 五日 先行降雨量을 變數로 有效雨量을 推定하는 方法이다.

3) 洪水 直前의 流量을(Q_b) 流域 乾濕의 指標로 取하는 方法¹⁰⁾

洪水流出 直前의 基底流出量(Q_b)을 流域의 乾濕 정도를 나타내는 指標로 取하여, 基底流量의 規模別로 總降雨量과 有效雨量과의 關係를 誘導하는 方法이다. 降雨量이 커지면 流域의 貯溜能이 작아져 直接流出成分이 커지며, 降雨가 없으면 有效雨量도 없으므로 截片없는 二次 線型 回歸方程式으로 求한다嚴⁴⁾은 漢江水系 忠州地點에서 洪水 直前流出量(Q_b)의 規模에 따라 損失雨量 算定式을 誘導하였으며, 金⁵⁾은 洛東江水系 加東地點에서 洪水直前流量과 前期降雨와의 相關關係가 큰 것을 究明하였다.

라. 單位圖 模型 誘導

1) 單位時間의 決定

洪水 流出解析에서는 單位時間의 크기를 流域 地체시간의 1/4 정도를⁸⁾ 取하지만 長期 流出解析에서는 一般의으로 日 單位時間¹⁰⁾을 定하므로 流域지체時間에 關係없이 各 水文地點에서 日 單位時間을 擇하였다.

2) 基底時間

降雨形態와 流域規模에 따라 다르지만 Snyder의 基底時間 公式(4)의⁸⁾ 流量配分圖¹²⁾에 따라 決定하였다.

$$T = 3 + 3 \frac{t_p}{24} \dots\dots\dots(4)$$

여기서

T : 基底時間 (Days)

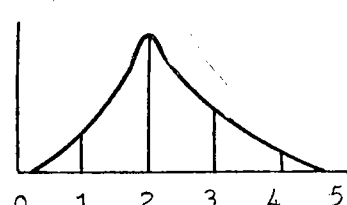
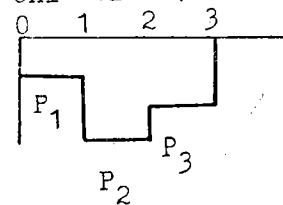
t_p : 지체時間 (Hrs)

지체 時間이 6時間 以下인 小流域에서는 T=3日로 取하였다.

3) 單位圖(流量配分率) 決定

計算된 有效雨量과 分離된 直接流出量과의 關係

Unit. time (days)



Unit time (days)

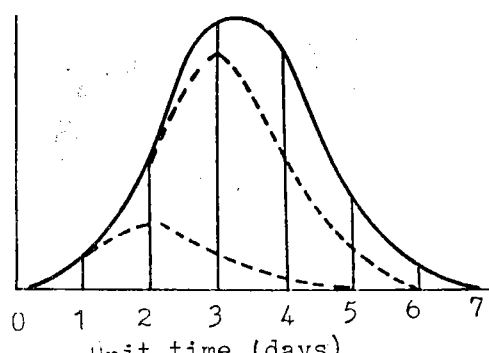


Fig. 2. Unit hydrograph relations

로부터 日別 流出配分率을 決定하는 方法은 다음과 같다^{6,10,14}).

Fig. 2의 水文曲線의 縱距(U_i)는 다음式(5)로 表示할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_1U_1 &= Q_1 \\ P_2U_1 + P_1U_2 &= Q_2 \\ P_3U_1 + P_2U_2 + P_1U_3 &= Q_3 \\ P_3U_2 + P_2U_3 + P_1U_4 &= Q_4 \dots\dots\dots (5) \\ P_3U_3 + P_2U_4 &= Q_5 \\ &+ P_1U_4 = Q_6 \end{aligned}$$

單位圖와 雨量柱狀圖 및 水文曲線의 時間區間數 사이에는 다음과 같은 關係가 成立한다.

$$n = i + j - 1 \dots\dots\dots (6)$$

- 여기서 n : 洪水 水文曲線의 從距數
- i : 雨量柱狀圖의 時間區間數
- j : 單位圖의 從距數

이 關係를 行列式으로 나타내면 다음式(7)과 같다.

$$PU = Q \dots\dots\dots (7)$$

$$P^{-1}PU = P^{-1}Q \dots\dots\dots (8)$$

$$U = P^{-1}Q \dots\dots\dots (9)$$

여기서 P 가 Square matrix가 아니므로式(10)으로 變換하여 求한다.

$$U = (P^T P)^{-1} P^T Q \dots\dots\dots (10)$$

4) 單位圖 模型의 誘導

Fig. 2와 式(10)과 같은 方法으로 分析된 內容을 綜合하여 單位圖模型을 誘導한다. 卽 日 平均 流域 降雨量을 算定하고 基底流量 規模別로 有効雨量을 推定하여 單位圖(流量配分率)를 適用하고 基底流量을 加算하므로써 洪水流出量을 求하고 基底時間以後의 減水曲線上的 流出量은 基底流量減水曲線係數를 適用하여 平常時의 日 流出量을 求한다.

III. 結果 및 考察

1. 單位圖의 誘導

가. 日 降雨-流量曲線 作成

有効雨量 推定公式, 減水曲線係數, 流量配分率 등을 求하기 위하여 洛東江 水系의 臨河, 倭館, 津洞 鼎岩 等 4個 水文地點에서의 日 降雨-流量曲線을 年度別로 作成하여 直接流出과 基底流出을 分離하였다.

나. 有効雨量 算出方法

洪水直前 基底流量을 流域의 先行 土壤含水條件의 指標로 取하는 方法을 擇하였다.

水文地點別, 基底流量 規模別로 有効雨量을 算定하기 위한 回歸係數는 Table-3과 같다.

相關係數(r)와 回歸係數의 有意性 檢定, 回歸係數 符號의 物理的 意味 等에서 좋은 結果를 보이고 있다. 一般的으로 基底流量規模가 클수록 回歸係數의 값이 커지며, 水文地點의 流域規模가 클수록 回歸係數의 값은 작아지는 性向을 보이고 있어 流域의 水文反應을 잘 나타내고 있다. 臨河地點의 基底流量別 $P-Pe$ 關係圖와 水文地點別 $Q_b < 0.6mm$ 인 경우의 $P-Pe$ 關係圖는 Fig.3, 4와 같다.

5日 先行降雨 方法과 降雨規模에 따른 有効雨量 算定方法 等도 檢討하였으나⁹ 洪水直前 基底流量 規模別로 有効雨量을 算定하는 方法이 가장 좋은 結果를 나타내었다. 우리나라 어느 河川의 水文地點에서나 適用 可能한 一般化 模型을 開發하기 위해서는 流域水文反應의 物理的 意味 범위內에서 有効雨量 算定을 위한 Table-3의 回歸係數 調整이 必要하다.

Table-3. Prediction-equation of effective rainfall considering the base flow range ($P_e = a * P + b * P^2$)

Station	Q_b			0—0.6mm			0.6—0.9mm			0.9—1.8mm			1.8mm—		
	Coeff.			a	b	r	a	b	r	a	b	r	a	b	r
Imha	*	**			**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	
	0.139	0.0012	0.975	0.147	0.0021	0.9890	0.273	0.0026	0.969	0.450	0.0019	0.993			
Waegwan		**		*	*		**	*		*	*		*	*	
	0.140	0.0012	0.970	0.191	0.0021	0.926	0.322	0.0012	0.954	0.348	0.0009	0.984			
Jindong	**	**		**	**		**	**		**	**		**	**	
	0.173	0.0008	0.980	0.180	0.014	0.997	0.2025	0.0014	0.959	0.243	0.0011	0.962			
Jeongam	*	*		*	**		*	*		*	*		*	*	
	0.179	0.0010	0.875	0.131	0.0026	0.970	0.170	0.0007	0.981	0.377	0.0016	0.787			

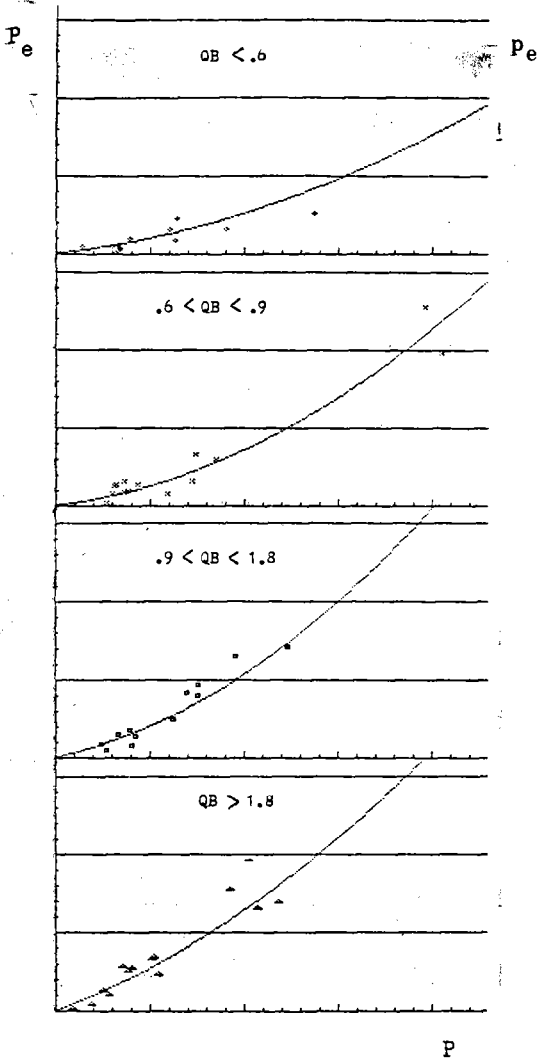


Fig. 3. Effective-total rainfall relationships in the range of baseflow at Imha station

다. 減水曲線係數

洛東江 4個 水文地點의 全資料에 의한 季節別 減水曲線係數 K_1 , K_2 는 Table-4와 같다.

Table-4. Coefficients of recession curve in each season

Season	Dry	Semi Dry	Wet
K_1	0.0923	0.1278	0.1590
K_2	0.0188	0.0422	0.0390

라. 日別 流量配分率

洛東江 4個 水文地點의 遲滯時間과 適用한 基底

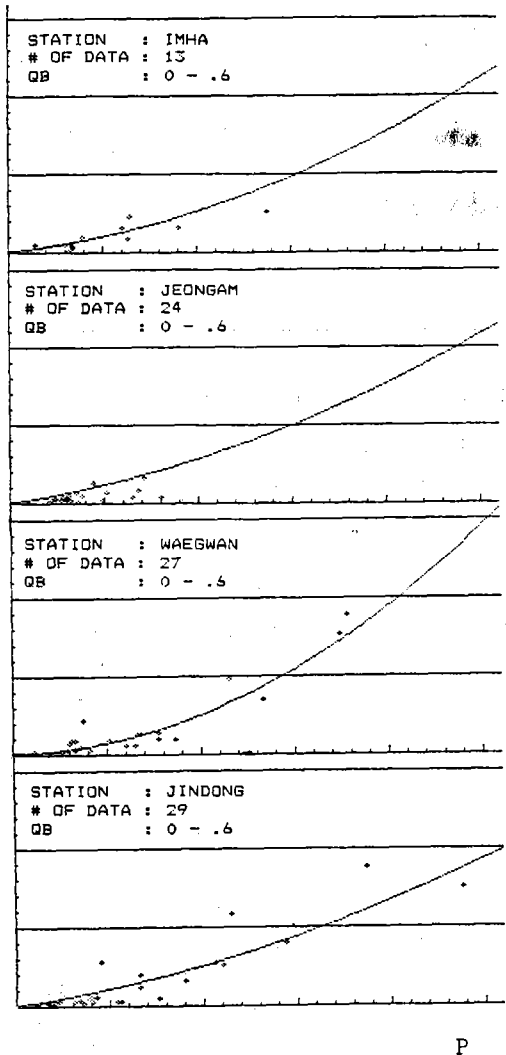


Fig. 4. Effective-total rainfall relationships at each station in the baseflow less than 0.6mm

時間은 Table-5와 같고, 各 地點別로 基底時間에 대한 流量配分率은 Table-6과 같으며 季節의 性向이 뚜렷하였다. $\sum U_i = 1.0$ 되도록 조정하였다.

Table-5. Basin lag-time and applied base time in each station

	Drainage area (km ²)	Lag-time (hrs)	L (km)	L_c (km)	Base time (days)
Imha	1,360.5	7.1	97.2	42.0	3
Waegwan	11,074.4	32.8	363.9	201.2	5
Jindong	20,311.3	48.3	476.9	200.0	6
Jeongam	2,990.0	12.0	150.0	71.5	4

Table-6. Daily distribution ratio in each season and station

Station	Imha			Jeongam			Waegwan			Jindong		
	Dry	Semi Dry	Wet	Dry	Semi Dry	Wet	Dry	Semi Dry	Wet	Dry	Semi Dry	Wet
U ₁	0.245	0.470	0.621	0.53	0.40	0.26	0.36	0.31	0.26	0.15	0.22	0.30
U ₂	0.473	0.350	0.204	0.24	0.39	0.55	0.38	0.41	0.57	0.27	0.28	0.24
U ₃	0.282	0.180	0.175	0.15	0.12	0.13	0.25	0.13	0.08	0.16	0.20	0.21
U ₄				0.08	0.09	0.06	0.01	0.10	0.06	0.16	0.11	0.12
U ₅							0.00	0.05	0.03	0.14	0.11	0.07
U ₆										0.12	0.08	0.06

2. 單位圖 模型의 開發

가. 模型의 設定

單位圖 模型의 基本構造는 Fig. 5와 같으며,

BASIC 프로그램 리스트는 農業用水開發 試驗研究⁶⁾(Ⅱ) (1984)에 掲載하였다.

나. 模型의 檢定

開發된 單位圖 模型을 臨河地點의 1975, 1976年

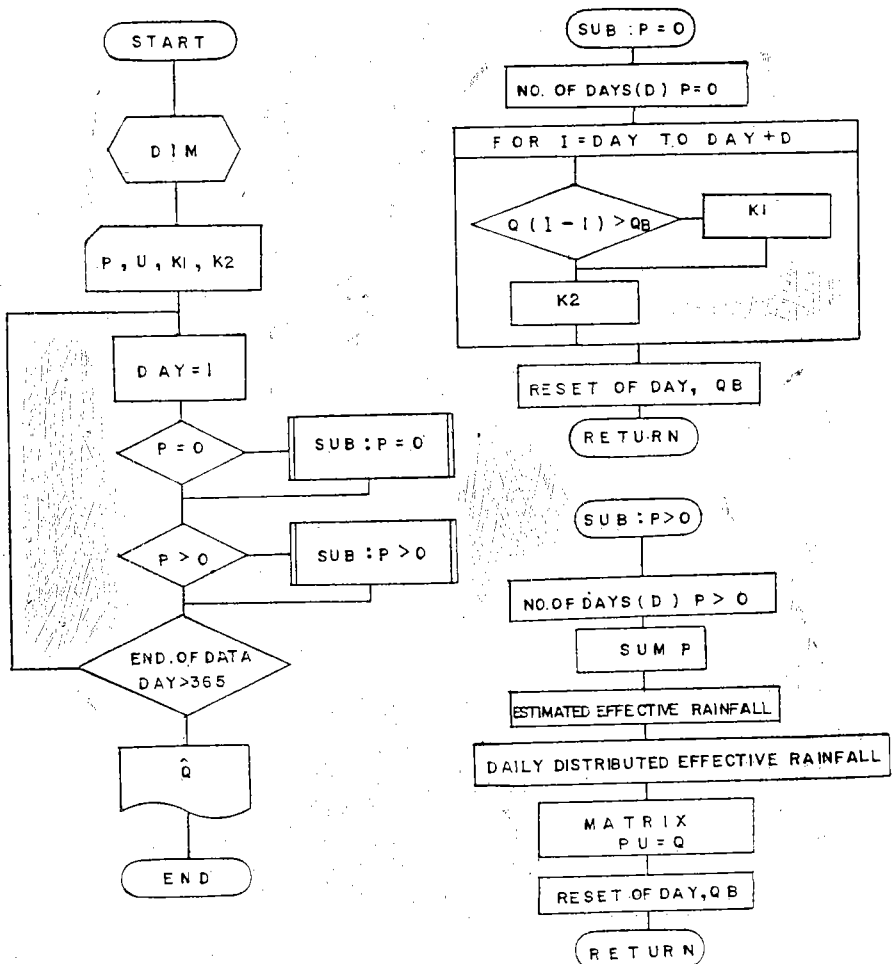
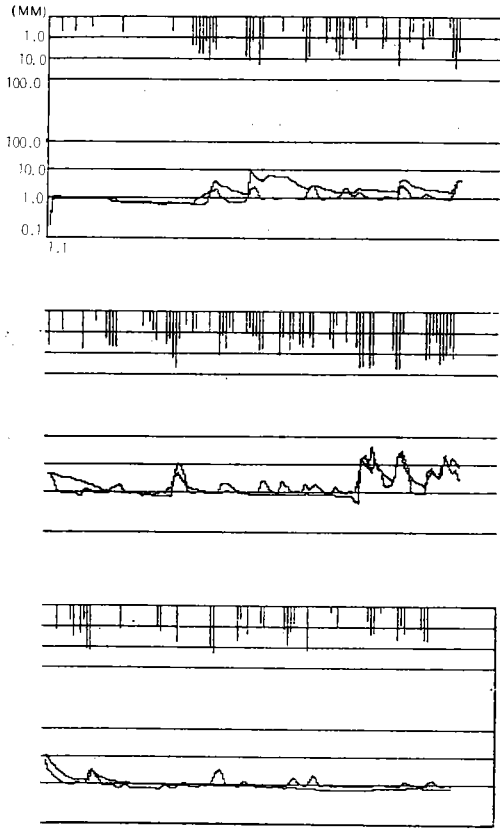


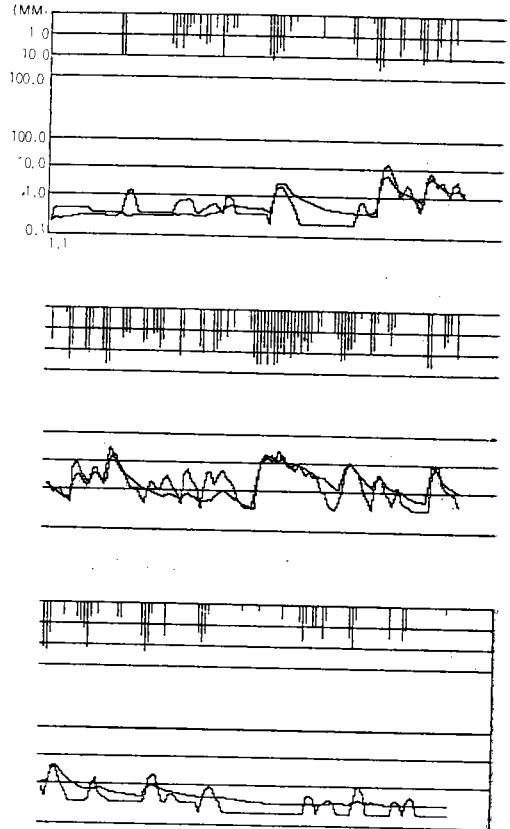
Fig. 5. Flowchart of Unit-graph model

日 流 出 量 推 定 을 위 한 單 位 圖 模 型



12.31

Fig. 6. Observed-estimated daily hydrograph at Imha station in 1976



12.31

Fig. 7. Observed-estimated daily hydrograph at Waegwan station in 1974

과 倭館地點의 1973, 1974年の 流出資料에 適用, 檢定하였다. 臨河의 1976年, 倭館의 1974年の 觀測流出量과 推定流出量을 比較하였으며 Fig. 6, 7과 같다

臨河地點의 1976年の 年降雨量은 978.5mm, 年流出量은 708.4mm로서 72.4%의 流出率인데, 推定年流出量은 598.5mm로서 61.2%의 流出率이므로 -15.5%의 誤差百分率을 나타내고 있으나, 季節別流出率을 檢討하면 觀測流出量의 경우, 乾期 99% 半乾期 77%, 雨期 59.5%이며, 推定 流出量의 경우, 乾期 75.6%, 半乾期 61.3%, 雨期 54.9%로서 乾期의 觀測誤差를 考慮한다면 Fig. 6에서와 같이 대단히 滿足스러웠다. 豐水年인 1969年(年降雨量: 1,312.7mm)의 경우, 觀測 流出率 58.9%, 推定 流出率 61.7% (誤差百分率 +4.7%)로 季節別 流出率도 近似한 값을 보이고 있다. 한편 倭館地點의 比較的 渴水年인 1973, 1974年の 觀測-推定 流出量의 結果도 誤差百分率의 경우 各各 -5.5%, +3.0%

이며 季節別 流出率도 滿足스러웠다.

IV. 結 論

流量配分圖法을 基本理論으로 洛東江 4個 水文地點의 長期流出資料를 分析하여 다음 基準에 따라 單位圖 模型을 設定하였다.

1. 有効雨量은 洪水直前의 基底流量規模에 따라 截片없는 二次 線型 回歸方程式으로 推定하였다.
2. 減水曲線係數는 季節別로 直接流出 減水曲線係數(K_1)와 基底流出 減水曲線係數(K_2)로 나누어 適用하였다.

3. 流域 遲滯時間에 따라 基底時間을 決定하고, 이에 따라 季節別로 流量配分率을 求하였다.

開發된 日 流出量 推定을 위한 單位圖 模型은 檢定 結果, 대단히 滿足스러웠으며, 앞으로 開發될 韓

國河川の日流出量推定을 위한單位圖模型의基礎가 될 것이다.

參 考 文 獻

1. 國際水文開發計劃(IHP) 代表試驗流域研究調查報告書, 1975, 建設部 pp.236~262.
2. 金泰喆, 1984, 韓國河川の月流出量推定을 위한地域化回歸模型, 韓國農工學會誌, 第26卷第2號, pp. 106~124.
3. 金熙鍾外, 1984, 韓國河川の流出率과流出指標로서의洪水直前流量, 東亞大 大學院 論文集 第9輯 pp. 299~320.
4. 農業用水開發 試驗研究(Ⅱ), 1983, 農水産部, pp. I. 109~157.
5. 農業用水開發 試驗研究(Ⅲ), 1984, 農水産部, pp. 129-166.
6. Beard, L.R., 1973, Hydrograph analysis, HEC, Corps of Engineers, U.S. Army, Davis, California pp.5-01~25.
7. Bernard, M.M., 1935, An approach to determine streamflow Trans. of ASCE.
8. Linsley, R.K., 1975, Hydrology for Engineers. 3rd. Ed. Mcgraw-hill Ltd. Co., pp.213~233.
9. M.O.C., 1978, Hydrologic services, Rural structure project, Final technical report. Vol.3. App. H. Riverflow data.
10. Raudkivi, A.J., 1979, Hydrology. pergamon press. pp.192~198.
11. USDA SCS, 1956, Hydrology guide for use in watershed planning, National engineering handbook, section 4, Hydrology, supplement A: pp.3.4-1~3.10-8.
12. 本間仁, 1958, 河川工學, コロナ社, pp. 68~76.
13. 池淵周一, 1971, 河川流況の長期間豫測に關する水文學的研究, pp.1~147.
14. 佐藤勝夫, 1982, 洪水流出計算法, 山海堂, pp. 123~314.
15. 日野幹雄, 長谷川正彦, 1982, 流出率と濕潤指標としての洪水直前流量, 土木學會 論文報告集, 第328號 pp.41~46.