

〈論文〉

南漢江水系の 月降雨量과 月流出量の 時系列 算術模型

—Mathematical models for time series of monthly
Precipitation and monthly run-off on South Han river basin—

李 種 南*
Chong Nam Lee

—ABSTRACT—

This study is established of simulation models from the stochastic and statistic analysis of monthly rainfall and monthly runoff on South Han river.

The time series simulation of monthly runoff is introduced with a linear stochastic model for simulating synthetic monthly runoff data.

And, time series model of monthly precipitation and monthly runoff is introduced to be a pure random time series with known statical parameter, which is characterized by an exponential recession curve with one parameter, and is developpe expressing the statistical parameter for length of carryover.

要 旨

이 研究는 南漢江流域의 月降雨量과 月流出量을 推計學的 및 統計學的으로 分析하여 二個의 時系列 模型式을 設定하였다.

月流出量의 時系列 模擬技法은 模擬合成하는 月流出量資料로 線型推計學的 模型을 誘導하였다.

또한, 月降雨量과 月流出量의 時系列模型은 既知 統計學的 變數를 갖는 任意 時系列이라 하여 誘導 하였으며, 이는 月流出量이 한 變數를 갖는 指數減少曲線의 特性과 移越期間에 對한 統計學的 變數로 展開되었다.

1. 序 論

國土開發에 있어 水資源의 利用 및 부존量 파악은 現時點에서 가장 重要한 要素이고, 貯水地를 비롯한 水工計劃 및 構造物設計에 있어 河川의 長期間連續된 流出量資料가 必要하다. 特히 우리나라에서는 流出量 資料는 大部分의 境遇, 極히 짧거나 水位觀測은 하였으나 流量測定記錄이 없는 곳이 많다.

따라서 1927年에 誘導한 우리나라 河川에 適應된다는 梶山(日本人)氏의 河川受水量公式⁹⁾만이 있으며, 現在까지 降雨量資料로 流出量을 算出하고 있어, 公式 誘導概要와 流出量을 算出하여 比較檢討하는 것으로 한다.

長期間의 連續된 流出量 算出方法으로 (1) 過去流出量記錄의 統計值를 根據로 流量時系列의 模擬發生方程式을 誘導하여 資料를 擴充補完하는 技法^{10), 11), 12)} (2) 過去の 降雨量農料로 그레그제의 流出量을 算出하는 方式^{1), 4), 6)} (3) 降雨와 氣溫蒸發, 浸透, 土壤含水 등으로 流出量을 算出하는⁷⁾ 式 등이 있다.

本 研究는 流出量의 統計值로서 流出量時系列의 模擬發生方程式과 過去の 降雨量資料로 流出量의 減水理論^{2), 3), 5), 7)}을 適用시켜 流出量의 時系列模型의 二種類의 式을 誘導하였다. 算出式에는 日間, 旬間月間 또는 季節別의 流出量式이 있으나 計劃과 設計에 많이 應用되는 月流出量算出式을 對象으로 하여 分析하였다. 또 한 本 流出量式에는 月別에 各 因子와 要素에 따른 變

*本 學會 理事 慶熙大學校 工科大學 土木學科 副教授

數(Parameter)^{5),6)}로 調整한다.

특히 우리나라의 1960年 以前의 降雨量資料는 主로 月間記錄資料로서 月流出量公式이 있으면 長期間의 流出量計算資料를 求할 수 있다.

流出量算出式은 各水系別, 大, 中, 小 流域別로 各已 그 流域因子와 要素가 適應되는 誘導式을 算出하여 야 한다.

1980年度 文敎部 研究費로서 本 研究를 進行하였으 며 이번 韓水文學誌에 發表하는 것이다.

2. 資 料

南漢江의 忠州, 寧越, 旌善 地點 流域內의 月降雨量과 月流出量을 算出하기 爲한 資料는 먼저 1945年 以前인 朝鮮總督府에서 調査한 것과 解放後인 1946年에서 1959년까지 調査한 水位 및 雨量記錄을 韓國河川調査書의 水位編과 雨量編이 있다. 이 지역의 流域內의 雨量觀測所는 大略 600~700km²에 1個地點 程度이고, 이것도 下流와 本流河川邊에 치우친 便으로서 流域內의 總降雨量의 誤差는 現在보다 觀測點이 적어서 크다. 1960年後는 雨量觀測所가 200~300km²에 1個地點으로 總降雨量의 分析精度는 높은 것이며, 其間에 流域內의 林相, 產業施設, 用水供給計劃用, 人口增加 等에 依한 河川流出量도 變化는 있을 것으로 1960年頃以後의 水文資料로서 分析對象으로 한다.

또한 1959年 以前의 寧越 및 旌善의 流量測定資料는 희박하며, 朝鮮總督府 鑛工局刊行 河川流量調査書의 旌善德松里(1927年 3月~1930年 4月)와 寧越八槐里

(1926年 6月~1935年 12月) 觀測所의 流量測定調査資料를 分析한 바 降雨量에 對한 流出量이 德松里觀測所의 1月에 141%, 八槐里觀測所의 3月에 122%, 4月에 124% 많게 算出되었던바 主로 降雨觀測點의 密度가 稀薄한 것 등이 큰 原因일 것으로 思慮하는 바이다.

1960年 以後의 旌善水位觀測所에는 水位단을 觀測하였을 뿐 流量測定資料가 全無하여 旌善地點에 水位流出量分析은 할 수 없게 되었다. 또한 寧越水位觀測所의 流量測定을 1963年에서 1965年까지 建設部에서 實施한바 低水位와 高水位時에 流量測定을 하였으며, 中間水位에서 流量算出이 모호하며, 低水時에 流量算出이 多少 많게 算出되어 이 地點의 水文量分析도 精度가 低下될 것으로 分析하지 않았다.

忠州地點의 水位觀測所는 產業基地開發公社가 1956年 3月에 設置하여 1974년까지 觀測하여 水文分析을 爲한 流量을 測定하여 算出하였으며, 그後에 現在까지 水位는 계속 觀測하고 있고 現在 建設中인 忠州埋地點 下流 2km 떨어진 位置에 있다. 流域面積은 6,628km² 이며, 自記 및 普通水位觀測所로 零點標高는 EL 92m 이다.

流出量算出 資料中에서 가장 精度가 높은 1960年 1月에서 1971年 12月까지 資料를 採擇하여 水文量을 算出하는 公式誘導에 利用하고자 한다.

忠州水位觀測所의 流域內에 年平均 降雨量은 1,191.20mm로서 年平均 流出量 766.24mm인 64.3%가 河川으로 流出하는 것이 된다. 流出率은 많은 便이며 따라서 流域消費量은 年平均 424.76mm로 적은 便이다.

表 1 忠州 觀測所 流域 降雨量

(單位 : mm)

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
1960	10.50	11.30	94.00	22.40	151.00	229.90	243.60	45.40	182.30	35.80	57.00	28.50	1,111.70
1961	16.10	17.80	71.20	109.60	105.90	86.90	410.00	223.80	146.70	143.00	87.70	33.60	1,452.30
1962	14.10	21.40	11.80	77.60	22.40	95.90	128.60	278.10	261.60	22.00	39.50	13.20	986.20
1963	19.80	8.40	46.40	168.00	64.70	223.10	435.40	156.50	22.90	13.50	19.50	32.20	1,211.40
1964	34.90	20.40	42.30	396.70	74.20	87.80	423.90	249.30	320.70	49.80	20.20	3.80	1,724.00
1965	30.00	14.10	50.10	27.80	53.20	42.30	538.70	129.90	18.20	22.20	86.90	12.40	1,027.80
1966	11.20	48.70	133.90	32.50	62.40	145.50	469.10	180.60	197.00	60.00	48.60	6.40	1,395.90
1967	20.20	11.00	48.40	83.60	43.70	104.70	177.70	156.10	155.10	20.10	73.50	56.00	945.10
1968	8.90	7.60	34.20	17.40	43.10	81.80	281.20	213.80	63.60	109.40	33.60	20.50	915.10
1969	59.70	43.70	16.50	178.30	93.60	49.80	359.20	380.10	173.30	6.80	20.90	17.30	1,399.20
1970	6.10	56.70	15.10	35.70	78.80	93.80	272.70	193.20	335.50	49.30	18.70	15.10	1,170.70
1971	23.90	32.49	30.35	26.71	60.35	132.91	357.00	176.16	83.40	8.79	10.84	12.00	954.92
計	255.40	293.59	594.25	1,176.31	853.35	1,374.41	4,092.10	2,383.06	1,960.33	540.69	516.94	252.00	14,294.43
平均	21.28	24.47	49.52	98.03	71.11	114.53	341.01	198.59	163.36	45.05	43.08	21.00	1,191.20

表 2

忠州 觀測所 流出量 (實測)

(單位 : mm)

月 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
1960	7.51	5.55	55.96	47.02	44.16	104.00	198.78	19.97	38.78	27.48	22.17	18.76	590.14
1961	7.21	5.76	47.98	88.98	29.11	18.41	266.56	128.30	98.72	105.50	56.32	18.19	871.04
1962	15.28	13.29	16.95	47.70	18.08	21.34	26.53	167.60	219.10	31.85	14.93	11.43	604.08
1963	5.52	4.52	11.46	144.04	77.70	70.77	377.39	104.38	21.58	10.63	6.11	6.69	840.79
1964	6.30	4.10	14.03	260.24	84.24	36.08	268.50	159.08	311.81	45.45	18.45	5.29	1,213.57
1965	6.48	6.81	14.34	17.54	14.72	6.49	374.60	63.24	22.07	9.83	19.70	9.11	564.93
1966	4.21	8.48	69.86	21.19	30.33	38.95	292.32	136.53	204.66	24.27	21.19	15.87	867.56
1967	6.75	10.72	26.34	53.73	30.72	14.19	101.02	64.29	151.15	19.04	14.33	18.36	510.64
1968	5.69	3.64	13.66	23.53	7.97	13.71	224.48	132.92	41.06	51.56	41.35	9.18	568.75
1969	9.72	19.95	10.64	146.76	75.14	16.66	260.58	345.50	107.03	28.57	11.47	9.24	1,041.26
1970	4.23	7.69	10.64	29.55	23.87	23.67	244.96	131.35	286.72	33.30	22.48	10.56	829.02
1971	8.86	9.38	28.00	32.47	54.45	17.33	308.17	157.29	46.86	17.49	8.66	5.08	694.04
計	87.76	99.89	319.86	912.74	490.49	381.60	2,943.89	1,610.45	1,549.54	404.97	257.16	137.76	9,195.82
平 均	7.31	8.32	26.66	76.06	40.87	31.80	245.32	134.20	129.13	33.75	21.43	11.48	766.24

3. 南漢江水系의 月降雨量과 月流出量의 時系列 算術模型式 誘導

南漢江水系中에서 月降雨量과 月流出量의 資料中에서 선빙도가 높은 忠州地點의 水位觀測所의 既往 1960 年에서 1971年間의 記錄資料로서 分析하였다.

우선 먼저 月流出量의 統計值을 引用하여 推計學的으로 月流出量의 時系列 模擬發生方程式을 誘導하였으며, 또한 月間降雨量에 對한 長期間의 月流出量의 減少原理를 適用시켜 移越流出量變數와 月別流出率變數를 사이시킨 月流出量의 時系列模型式을 誘導하였다.

3.1 月流出量의 時系列 模擬發生技法

忠州水位觀測所의 表 (1)의 資料로서 時系列 模擬發生式을 誘導作成하고자 한다. 이는 水資源利用의 最適化와 運營操作을 容易하게 評價하는데 利用하고자 하는 것이며, 月流出量을 對象으로 한다. 月流出量은 月區間單位로 分析하여야 할 것이며, 統計值는 月間에 따라 各各 다른 值를 가지게 된다. Markov 模型은 單一值를 갖는 模型으로 月別相異한 流出特性을 반영하면서 Markov 模型을 若干 修正하여 適應시키는 方式을 擇하였다. 이 경우에 두個의 指數를 使用하여서 特定流出量 $Q_{k,i}$ 로 표시하며, 첫번째 指數 k 는 年流出量 系列中의 어떤 年에 속하는 流出量인가를 표시하며 두번째 指數 i 는 1月에서 12月까지의 해당하는 月的 流出을 표시하는 月的 番號이다. 確率分布型을 冪마 (Gamma) 分布를 갖는 流出量이라 하고, 標本流出量이 冪마分布를 가지는 流出系列 $Q_{2,1}, Q_{1,2}, \dots, Q_{2,1}$,

$Q_{2,2}, \dots, Q_{n,12}$, 이라면 이들 流出量資料는 12個의 月에 對한 n 個年의 流出量資料이며, 模擬發生을 爲한 統計值를 計算하여야 하며, 優先標本의 平均値 \bar{Q}_i 와 分散 S_i^2 는(여기서 k 는 年度順이며, i 는 月順이다)

$$\bar{Q}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Q_{k,i} \dots\dots\dots (1)$$

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n Q_{k,i}^2 - \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{k=1}^n Q_{k,i} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

또한 i 月과 $(i-1)$ 月流出量의 1次系列 相關係數는

$$\gamma(i) = \frac{\sum Q_{k,i} Q_{k,i-1} - n \bar{Q}_i \bar{Q}_{i-1}}{S_i S_{i-1} (n-1)} \dots\dots\dots (3)$$

S 는 標準偏差이며 分散의 平方根이다. 流出系列의 模擬發生을 爲하여 $t_{1,1}, t_{1,2}, \dots, t_{1,12}, t_{2,1}, t_{2,2}, \dots, t_{k,i}$ 를 平均値가 零이고 分散이 1인 一聯의 正規無作爲變量으로 한다.

流量이 冪마分布를 가지므로서 流量歪曲度係數 g_i 는 다음 式으로 求하여진다.

$$g_i = \frac{\frac{1}{n} \sum (Q_{k,i} - \bar{Q}_i)^3}{\left[\frac{1}{n} \sum (Q_{k,i} - \bar{Q}_i)^2 \right]^{1.5}} \dots\dots\dots (4)$$

1月에서 12月 사이에 값을 가지는 各 i 에 對한 $g_{i,i}$ 와 $t_{k,r,i}$ 를 다음과 같이 定義한다. $g_{i,i}$ 는 流量系列의 無作爲成分이 가지는 歪曲度係數이다.

$$g_{i,i} = \frac{g_i - \gamma^3(i) g_i}{[1 - \gamma^2(i)]^{1.5}} \dots\dots\dots (5)$$

$$t_{k,r,i} = \frac{2}{g_{i,i}} \left(1 + \frac{g_{i,i} t_{k,i}}{6} - \frac{g_{i,i}^2}{36} \right) - \frac{2}{g_{i,i}} \dots\dots\dots (6)$$

여기이 k 年 값은 12個月에 對하여서는 固定되지만

i 월이 $(12+1)$ 월번째는 $k=k+1$ 이 되며 i 월은 1이 되 여, 이 과정은 模擬發生이 끝날 때까지 反復된다.

表 3 $t_{k,r,i}$

i	k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0.08	-0.62	1.52	-0.41	0.13	2.60	-0.48	-1.48	-0.91	-0.25	-0.05	1.54
2		-0.02	-0.59	1.10	0.19	-0.47	-0.50	0.23	-0.07	-0.31	2.92	2.60	1.33
3		2.76	1.13	-0.50	-0.40	-0.91	-0.39	-2.26	0.44	0.91	-0.07	-0.47	0.00
4		-0.62	-0.86	-0.79	0.97	1.45	1.41	1.38	-0.38	-1.07	-0.94	-1.12	-1.04
5		-0.36	-0.95	-0.66	2.62	1.70	0.16	0.23	0.31	1.82	0.49	-0.22	-1.12
6		-0.28	-0.33	-0.63	-0.84	-1.04	-0.98	1.32	-0.93	-1.07	-0.98	-0.13	-0.50
7		-1.08	0.04	2.24	-0.78	-0.42	0.27	0.48	0.03	0.75	-0.39	-0.02	0.92
8		-0.21	0.54	-0.01	-0.32	-0.41	-0.68	-1.52	-0.90	0.22	-0.59	-0.53	1.44
9		-0.57	-1.07	-0.68	-0.75	-1.30	-0.68	-0.20	0.00	-0.87	0.69	1.47	-0.48
10		0.84	2.62	-0.83	1.00	1.36	-0.57	0.16	2.72	-0.22	-0.21	-0.65	-0.46
11		-1.08	-0.15	-0.83	-0.66	-0.69	-0.31	0.00	-0.03	1.57	-0.01	0.08	-0.19
12		0.54	0.24	0.07	-0.62	0.54	-0.53	0.66	0.29	-0.82	-0.66	-0.96	-1.44

以上の 月別 各數値는 下記 表 (4)와 같다.

表 4

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
\bar{Q}_i	7.31	8.32	26.66	76.06	40.87	31.80	245.32	134.20	129.13	33.75	21.43	11.48
S_i^2	9.06	21.63	404.19	5,374.07	607.19	806.57	10,257.11	6,438.71	10,874.60	668.13	201.58	25.79
S_i	3.01	4.65	20.10	73.31	24.64	28.40	101.28	80.24	104.28	25.85	14.20	5.08
$r(i)$	-0.06	0.58	-0.16	-0.31	0.88	0.39	-0.09	0.00	0.22	0.14	0.79	0.43
g_i	1.55	1.36	1.13	1.49	0.64	1.65	-0.80	1.34	0.57	1.88	1.43	-0.67
$g_{i,i}$	1.56	2.02	1.18	1.79	1.91	1.99	-0.81	1.34	0.61	1.93	3.58	-0.84

또한 式 (6)을 月別로 各 統計數値를 代入하여 整理 하려는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 t_{k,r,1} &= 1.28(0.93 + 0.26t_{k,1})^3 - 1.28 \\
 t_{k,r,2} &= 0.99(0.89 + 0.34t_{k,2})^3 - 0.99 \\
 t_{k,r,3} &= 1.70(0.96 + 0.20t_{k,3})^3 - 1.70 \\
 t_{k,r,4} &= 1.12(0.91 + 0.30t_{k,4})^3 - 1.12 \\
 t_{k,r,5} &= 1.05(0.90 + 0.32t_{k,5})^3 - 1.05 \\
 t_{k,r,6} &= 1.01(0.89 + 0.33t_{k,6})^3 - 1.01 \\
 t_{k,r,7} &= -2.47(0.98 + 0.14t_{k,7})^3 + 2.47 \\
 t_{k,r,8} &= 1.49(0.95 + 0.22t_{k,8})^3 - 1.49 \\
 t_{k,r,9} &= 3.28(0.99 + 0.10t_{k,9})^3 - 3.28 \\
 t_{k,r,10} &= 1.04(0.90 + 0.32t_{k,10})^3 - 1.04 \\
 t_{k,r,11} &= 0.56(0.64 + 0.60t_{k,11})^2 - 0.56 \\
 t_{k,r,12} &= -2.38(0.98 - 0.14t_{k,12})^3 + 2.38 \dots \dots (7)
 \end{aligned}$$

감마分布를 갖는 流量의 模擬發生方程式은 다음과 같다.

$$Q_{1,1} = \bar{Q}_1 + \frac{r(1)S_1}{S_{12}}(Q_{0,12} - \bar{Q}_{12}) + t_{1,r,1}S_1\sqrt{1-\gamma^2(1)}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{1,2} &= \bar{Q}_2 + \frac{r(2)S_2}{S_1}(Q_{1,1} - \bar{Q}_1) + t_{1,r,2}S_2\sqrt{1-\gamma^2(2)} \\
 &\quad \vdots \\
 Q_{k,i} &= \bar{Q}_i + \frac{r(i)S_i}{S_{i-1}}(Q_{k,i-1} - \bar{Q}_{i-1}) \\
 &\quad + t_{k,r,i}S_i\sqrt{1-\gamma^2(i)} \dots \dots \dots (8)
 \end{aligned}$$

表 2의 忠州水位觀測所 資料를 가지고 (1)~(6)식의 各 統計數値를 算出하고, 이 數値를 (8)式에 代入하면 下記 (9)式이 誘導되어 $t_{k,r,i}$ 는 表 (3)을 利用한다.

$$\begin{aligned}
 Q_{k,1} &= 7.31 - 0.035(Q_{k-1,12} - 11.48) + 3.00t_{k,r,1} \\
 Q_{k,2} &= 8.32 + 0.896(Q_{k,1} - 7.31) + 3.79t_{k,r,2} \\
 Q_{k,3} &= 26.66 - 0.692(Q_{k,2} - 8.32) + 19.88t_{k,r,3} \\
 Q_{k,4} &= 76.06 - 1.131(Q_{k,3} - 26.66) + 69.70t_{k,r,4} \\
 Q_{k,5} &= 40.87 + 0.296(Q_{k,4} - 76.06) + 11.70t_{k,r,5} \\
 Q_{k,6} &= 31.80 + 0.446(Q_{k,5} - 40.87) + 26.15t_{k,r,6} \\
 Q_{k,7} &= 245.32 - 0.321(Q_{k,6} - 31.80) + 160.37t_{k,r,7} \\
 Q_{k,8} &= 134.20 + 80.24t_{k,r,8} \\
 Q_{k,9} &= 129.13 + 0.286(Q_{k,8} - 134.20) + 101.72t_{k,r,9} \\
 Q_{k,10} &= 33.75 + 0.035(Q_{k,9} - 129.13) + 25.60t_{k,r,10}
 \end{aligned}$$

$$Q_{k,11} = 21.43 + 0.489(Q_{k,10} - 33.75) + 6.48t_{k,7,11}$$

$$Q_{k,12} = 11.48 + 0.154(Q_{k,11} - 21.43) + 4.59t_{k,7,12}$$

.....(9)

上記式이 時系列 模擬技法의 求하고자 하는 式이며 過去流出量 記錄을 土臺로 先行 流出量資料를 順次的으로 擴充補完하여 豐富한 資料를 획득하는 時系列 模擬技法式이다.

實測流量資料를 月別로 正規確率紙에 푸르트(Plot)한바 大部分 直線에 近似치 못하여 正規分布로는 볼 수 없으며, 標本流量이 감마分布를 갖는 것으로 보았다. 또한 감마分布의 特殊型은 模擬技法發生 理論으로 定立되어 있질 않아 利用될 못하였다.

3.2 月降雨量에 依한 月流出量의 時系列 模型式의 誘導

流域의 流出은 많은 要素와 因子가 包含이 되어 單純히 數學的으로 表示는 할 수 없으나, 이들은 各 流域에 있어서 事實上 同一하게 變하고 있다.

그러나 하나의 선형 貯溜池로, 하나의 水路로, 또는 時間對面積曲線(Chow)⁴⁾으로서 適應할 수 있는 하나의 流域으로 묘사할 수 있다.²⁾

따라서 流域은 하나의 一次의 貯水地로 하고, 여기에 貯溜量 S는 一定比例로 流出量 q라 하며는

$$S = Cq \text{(10)}$$

가 되고, 이것이 t時間에 用水를 放流하는 것으로 보고, 이 期間에 降雨가 없다고 하면 다음 式이 주어진다.

$$q = q_0 e^{-(t-t_0)/c} \text{(11)}$$

여기서 q₀는 t₀時間의 流出量이다. 이 式은 많은 自然現象을 通괄하는 단순한 低下指數曲線型이다. 여기서 t₀=0으로 하며는 式(12)과 같이 더 單純型으로 쓸 수 있으며 b는 단일變數로 하였다.

$$q = q_0 e^{bt} \text{(12)}$$

이 方程式은 有效降雨量에 對한 流出量의 時系列 變化를 나타낸다.

流域內의 有效雨量은 同一月間에 流出하는 것이 아니고, 恒常 다음 달로 이월되어 흐른다. t=0에서는 (12)式을 언제나 形成시킨다. 自然河川에서 흐름이 移越擴大하는 것은 貯水地와 河川水路와 같이 土砂中에 有效貯溜量이 있기 때문이다. 流域面積이 極히 큰 境遇는 移越期間은 相當히 길어지며 流域面積이 작은 境遇는 移越期間이 짧아진다는 것이다.

移越量의 期間을 展開시킨 關係圖은 아래와 같다.

有效雨量 P_i에 對한 i月流出量의 相關性을 볼 수 있다.

모든 流域內의 流水의 流入과 流出은 有效降雨量(P)

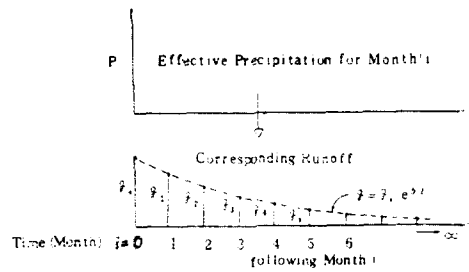


Fig. 1. Graphical representation of precipitation-runoff equation.

=流出量(Q)으로 쓸 수 있다. 이것은 그림 1과 뒷式으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P = \sum_{i=0}^{\infty} q_i = q_0 \sum_{i=0}^{\infty} e^{bi} \text{(13)}$$

式(14)를 幾何學的 過程으로 代置하면

$$P = \frac{q_0}{1 - e^b} \text{(14)}$$

有效雨量 P_i에 依한 i月間의 流出率은

$$q_{0,i} = P_i (1 - e^b) \text{(15)}$$

이며, 그리고 j月的 移越流出量은 i월에 있어서

$$q_{i,i} = P_i (1 - e^b) e^{bj} \text{(16)}$$

i月的 總流出量 Q_i은 前月로부터의 直接 移越流出量의 합으로 이루어졌으며

$$Q_i = q_{0,i} + q_{1,(i-1)} + q_{2,(i-2)} + \dots \text{(17)}$$

(16)式을 (17)에 代入하면

$$Q_i = (1 - e^b) (P_i - P_{i-1}e^b + P_{i-2}e^{2b} + \dots) \text{(18)}$$

또는

$$Q_i = (1 - e^b) \sum_{j=0}^{\infty} P_{i-j} e^{jb} \text{(19)}$$

$$Q_i = (1 - e^b) \sum_{j=0}^{\infty} K_{m-j} R_i e^{jb} \text{(20)}$$

K_m : m月的 降雨에 對한 流出率이며, 月別로 다르다.

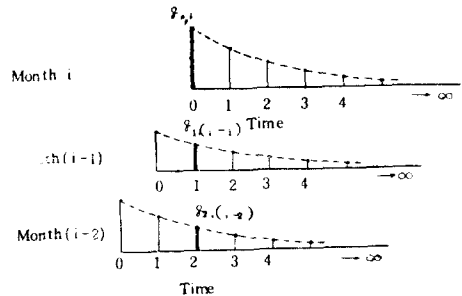


Fig. 2. Accumulation of runoff

R_i : i月的 降雨量(mm) P_i : i月的 有效雨量(mm)
K_m : m月的 流出率

式 (19)과 (20)은 前月들과 同月の 有效雨量 및 降雨量에 依한 總流出量을 算出하는 式이다. 그리고 이 式들은 無限의 時系列의 連續式인 故로, 適當한 正確度를 갖는 어느 程度의 先月에서 區切하여야 할 것이다.

移越流出率이 1% 以下되는 곳에서 區切하거 이는 S 月에서 發生한다고 하면

$$q_i = q_0 e^{b^i} = 0.01 q_0 \dots \dots \dots (21)$$

式 (21)에서 b를 算出하며

$$b = \frac{\ln 0.01}{S} \dots \dots \dots (22)$$

또한 式 (22)에서 b變數를 假定하고 $\sum Q_i$ 를 計算하여 實測總流出量과 같은 該當變數로 決定할 수 있다. 또는 日別 流出量曲線이 있으면, 流出量減水曲線을 推定하여 e^{b^i} 式에서 b를 算出할 수 있을 것이다.

每月別의 流出率의 差는 相當한 差異가 있다. 同月에 있어 渴水期는 降雨量과 流出量의 曲線上에서 相當히 分散되어 流出率은 같게 취하거, 豐水期는 流出率이 降雨量增加에 따라 相關式으로 作成한다.

以上の 式에서 忠州地點의 變數 b를 決定하고자 한다. 1964年 9月에서 12月까지와 1970年 9月에서 12月까지의 減水曲線으로 그리고 1963年 7月에서 10月까지와 1965年 7月에서 10月까지의 減水曲線으로 檢討한바 K는 2.5個月後에 流出量減少가 0.01 程度가 되어서 式 (22)으로 算出한바 $b = -1.84$ 였다. 또한 1960年 1月에서 1971年 12月の 12個年間의 月降雨量과 月流出量의 資料로서 $b = -2.3$, $b = -1.9$, $b = -1.8$, $b = -$

1.5를 式 (20)에 代入하고, K_m 는 順次로 數值變更시키며 月別同一流出率로 하여서 月別總流出量이 같을 때까지 調整하여 計算하므로써 $b = -1.9$ 에서 實流出量과 計算流出量의 標準偏差(S)가 20.48mm로 最小여서 結果值를 勘案하여 $b = -1.9$ 로 決定한다.

다음으로 K_m 의 流出率로는 12個年의 月平均降雨量과 月平均流出量으로 式 (20)에서 10月부터 다음해 5 까지의 8個月間은 一定한 流出率로 算出하였고, 6月에서 9月까지의 4個月間은 12個年間의 月降雨와 月流出量資料로 最小自乘法에 依하여 算出하였던바 다음 表 (5)와 같다.

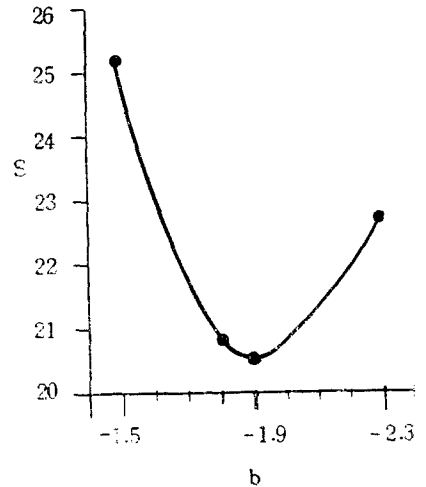


Fig. 3. S~b Curve

表 5

K_m 值

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_m	0.309	0.351	0.603	0.864	0.484	$0.1R^{0.69}$	$\frac{4.65(R-120)^{0.77}}{R}$	$\frac{7.34(R-130)^{0.69}}{R}$	$0.278R^{0.19}$	0.395	0.455	0.485

따라서 前記 (20)式을 再整理하면 $b = -1.9$ 로서

$$Q_i = 0.85K_m R_i + 0.128K_{m-1} R_{i-1} + 0.019K_{m-2} R_{i-2} + 0.003K_{m-3} R_{i-3} \dots \dots (23)$$

(23)式이 忠州水位觀測所의 月別流出量公式이 된다.

上記式을 좀더 簡便하게 右便의 第四項인 $0.003K_{m-3} R_{i-3}$ 以下를 省略略 하면 大略 0.3% 程度의 差로 큰 精度를 要치 않는 경우에 使用할 수 있 다.

實測流出量과 本計算流出量과의 差異는 後記 4章의 掘山受水量式의 計算流出量보다 表 (7)를 參照하면 相當히 적으며, 또한 그림 4와 같은 實測流出量과 計算流出量曲線으로 보아 大體의 近似함을 알 수 있다.

3.3 適用例

忠州水位觀測所의 k年의 1月에서 4月까지의 月降雨量은 아래와 같으며 이때의 4月の 月流出量을 計算하며, 아울러 다음달 5月の 月流出量을 流量時系列의 模擬技法으로 算出하여 보아라.

月流出量 { 1月...19.80mm, 2月...25.01mm }
 { 3月...39.70mm, 4月...94.20mm }

우선 4月の 月間流出量을 計算하려면 (23)式에 依하여 (表 5 參照하고)

$$Q_i = 0.85K_m R_i + 0.128K_{m-1} R_{i-1} + 0.019K_{m-2} R_{i-2} + 0.003K_{m-3}$$

R_{i-3} 에서 (여기서 $m=i$ 인 同一月이 됨)

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= 0.85K_4R_4 + 0.128K_3R_3 + 0.019K_2R_2 \\
 &\quad + 0.003K_1R_1 \\
 &= 0.85 \times 0.864 \times 90.20\text{mm} + 0.128 \times 0.603 \\
 &\quad \times 39.70\text{mm} + 0.019 \times 0.351 \times 25.01\text{mm} + 0.003 \\
 &\quad \times 0.309 \times 19.80\text{mm} \\
 &= 66.24\text{mm} + 3.06\text{mm} + 0.17\text{mm} + 0.02\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$= 69.49\text{mm}$$

5月的 月流出量은 ($t_{k,7,5}$ 를 -0.28 로 함) (9)式에서

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= 40.87 + 0.296(Q_4 - 76.06) + 11.70t_5 \\
 &= 40.87 + 0.296(69.49 - 76.06) + 11.70(-0.28) \\
 &= 37.00(\text{mm})
 \end{aligned}$$

表 6 忠州 觀測所 計算 流出量

(單位: mm)

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
1960	4.99	4.05	48.79	23.76	65.58	92.98	176.85	26.17	119.43	29.47	25.97	15.28	633.32
1961	7.01	6.24	37.43	86.05	56.47	24.40	315.74	166.64	114.38	64.19	42.44	19.98	940.97
1962	4.85	7.06	7.10	58.02	17.95	21.63	24.02	164.22	194.68	37.79	20.03	7.87	565.22
1963	7.37	3.58	24.25	126.93	35.76	85.84	345.25	104.28	25.14	7.12	8.28	14.49	788.39
1964	9.58	7.51	22.83	294.58	75.00	27.31	326.62	188.66	255.08	54.01	15.22	3.12	1,279.51
1965	9.35	5.57	26.51	24.36	25.51	8.50	414.80	62.31	16.69	8.58	34.15	10.24	646.55
1966	3.75	15.02	71.96	34.51	30.73	42.82	366.09	144.89	147.09	41.08	24.27	5.89	928.10
1967	9.37	4.59	25.45	65.17	27.77	26.08	93.94	66.00	105.41	22.30	30.95	27.43	504.46
1968	3.88	2.74	17.93	15.45	20.02	17.47	201.09	141.13	54.22	44.22	19.02	11.25	548.42
1969	16.94	15.57	10.79	132.45	58.45	14.94	271.15	266.45	149.08	23.75	10.68	8.37	978.62
1970	2.79	17.28	10.04	27.76	36.52	23.76	194.24	121.40	257.51	54.66	14.93	7.69	768.58
1971	7.11	10.75	17.17	22.28	28.09	37.14	272.63	116.19	62.99	11.51	5.57	5.63	596.46
計	86.99	99.96	320.25	911.32	477.85	422.87	3,002.42	1,568.34	1,501.70	398.68	251.51	137.24	9,178.61
平均	7.25	8.33	26.69	75.94	39.82	35.24	250.20	130.69	125.14	33.22	20.96	11.43	764.88

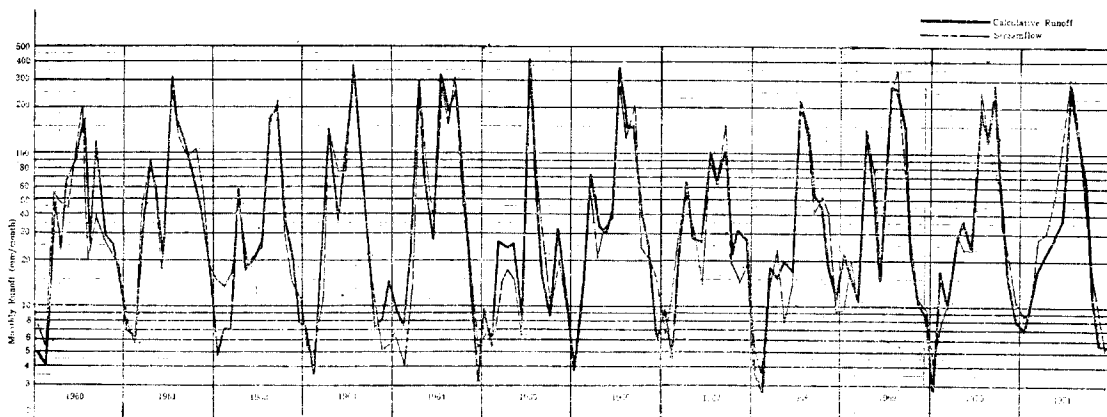


Fig. 4. Runoff At Chung-Ju Stream Gauge

4. 우리나라 現存하는 梶山(KAZI YAMA)의 受水量 公式²⁾의 比較 檢討

우리나라에서 1929년부터 現在까지 使用하고 있는 梶山受水量公式이 있다.

梶山氏는 朝鮮總督府의 技士로서 우리나라의 73個所의 大小河川에서 1916년부터 1927년까지의 觀測記錄을

整理하고, 이 가운데서 記錄資料의 信賴性이 많은 24個所의 값만을 取하고 分析檢討하여 韓國河川에 適應이 되는 受水量公式을 誘導作成하였다.

梶山受水量公式을 誘導하는에는 前記河川流出高와 降雨高를 長期間(最長記錄이 12個年임)에 調査結果로서 月降雨量과 流出量曲線은 雙曲線이라는 假定으로 降雨量에 對한 受水量(流出量) 公式을 誘導하였으며

1927年 以來에 現在까지 오래동안 使用하고 있다.

忠州地點의 表 (1) 및 表 (2)의 月降雨量과 月流出量의 資料를 引用하여서 算出한 忠州地點의 月間的 梘山受水量公式은 (24)式과 같다.

$$C = \sqrt{R^2 + (102.5 + 11.9)^2} - 102.5 \pm E \dots\dots(24)$$

C : 流出量(mm) R : 降雨量(mm)

E : 月別更正數值

를 算出시켰으며, 이를 다음과 같이 分析檢討한다.

本式을 引用하여 1960年에서 1971年間的 流出量을 算出하였던바 表 (7)과 같으며 實測流出量에 比較하여 算術模型式보다 本 梘山受水量式의 計算流出量의 差가 相異하게 크며, 特히 月別平均流出量의 差는 더욱 크다.

梘山受水量式은 雙曲線函數를 갖는다는 것과 無雨月에도 α 값단한 流出量이 있고, 流域內의 最大 침투량이 K값을 가진다는 것은 수궁할 수는 있다.

그러나 問題點으로 다음 몇가지를 들 수 있다.

表 7 忠州 觀測所 流出量 比較

(單位 : mm)

年間流出量				月平均流出量				實測流出量과의 差		
年度	實測值	時系列模型	梘山式	月別	實測值	時系列模型	梘山式	區分	時系列模型	梘山式
1960	590.14	633.32	670.97	1	7.31	7.25	12.91	12個年間的 差	17.21	176.16
1961	871.04	940.97	909.95	2	8.32	8.33	13.81			
1962	604.08	565.22	644.16	3	26.66	26.69	25.60	最大累加流出差	236.94	334.57
1963	840.79	788.39	913.60	4	76.06	75.94	76.45	年別最大流量差	97.58	155.07
1964	1,213.57	1,279.51	1,234.08	5	40.87	39.42	34.35		(1971年)	(1965年)
1965	564.93	646.55	720.00	6	31.80	35.24	52.15	月平均流出量 最大差	4.88	20.35
1966	867.56	928.10	912.92	7	245.32	250.20	260.18	年別最大流量差	(7月)	(5月 164%)
1967	510.64	504.46	531.78	8	134.20	130.69	130.61		標準偏差	20.83
1968	568.75	548.42	579.89	9	129.13	125.14	116.06			
1969	1,041.26	978.62	967.92	10	33.75	33.22	30.53			
1970	829.02	768.58	773.82	11	21.43	20.96	22.12			
1971	694.04	596.46	619.99	12	11.48	11.43	14.58			
計	9,195.829	9,178.619	9,371.98	計	766.24	764.88	781.00			

5. 結 論

月降雨量과 月流出量의 時系列 模擬方程式과 月降雨量에 依한 月流出量의 誘導式을 算出한 結果는 다음과 같다.

1) 月降雨量에 對한 月流出量의 流出率은 月別로 差異가 크며, 渇水期中에는 더욱 현저하게 크다.

2) 月流出量의 減水曲線에서 月間減水率은 $e^{-1.0}$ 에 該當하며, 減水率은 큰便이고, 同月中의 有效降水量의 大略 85%가 同月に 流出한다.

첫째로, α 와 K의 값을 單純히 算術平均하여 算出하는 것은 석연치 못하며,

둘째로, α 값을 求하기 爲한 無雨月의 降雨量을 어느 範圍內로 할 것인가는 애매하며,

셋째로, 月別降雨量에 對한 月別流出量의 更正數值 E가 우리나라 全國河川에 同一하게 使用한다는 것은 모순이라는 것이며,

네째로, 流域의 大小를 莫論하고 그 달 降雨量이 그 달에 河川流出量으로 算出하는 函數關係는 많은 모순을 가져오며, 誤差는 클 것이다.

또한 全國河川은 同一性格을 갖는 것으로 하여, 各因자는 多樣하며, 千差萬別할 것이나 一律의으로 取扱하여 受水量式을 誘導한 것은 지나친 것으로 볼 수 있고 不合理하다. 그리고 實測流出量과 計算流出量과의 差異도 月間流出量의 時系列 模型式보다 梘山受水量式이 相當히 크다.

3) 既存 梘山受水量公式은 當月降雨가 그달에 流出한다는 것 등으로 不合理한 點이 많고, 計算流出量과 實測流出量과의 差에 있어도 時系列 模型式에 依한 差異보다 梘山受水量公式에 依한 差異가 相當히 크다.

4) 流出量資料가 짧은 南漢江水系에서는(流域面積 2,000km² 以上) 流別量時系列 模擬發生式 (9)에 依하여 流出資料를 擴充補完할 수 있다.

5) 月降雨量에 依한 月流出量의 時系列 算術模型式 (23)은 簡便하고, 計算流出量은 實測流出量과 大體의으로 近似하며 差異는 적은 便이다. (그림 4 참조)

6) 南漢江의 영월 下流에서의 本誘導公式을 利用할 수 있을 것이다.

参 考 文 獻

1. F. Melone; D. Piccolo: *Stochastic Modeling of Monthly flows for some Italian river, International Symposium on Stochastic Hydraulics*, August 1980. pp. 153—163.
2. E. O. Frind: *Rainfall-Runoff relationships expressed by distribution parameter*, J. of Hydrology 9, 1967. pp. 405—426.
3. V.M. Yevdjevich : *Fluctuations of wet and dry years. Hydrology Papers*, No. 4, Colorado State University, Fort Collins, Colorado 1964, 509.
4. L.A. Roesner & V.M. Yevdjevich : *Mathematical models for Time series of monthly precipitation and monthly Runoff*. Hydrology papers No. 5, Colorado State University, Fort collins, Colorado 1966. 509.
5. E. Moss : *Autocorrelation structure of monthly stream flow*, Water Resources Research 10—4 August 1974. pp. 737—744.
6. S. Tuffuor : *A nonlinear time variant rainf-
all-runoff model for augmenting monthly data*, Water Resources Research 10—6 Dec. 1974. pp. 1161—1166.
7. J. Lee : *The Estimation of runoff from rain-fall for New Brunswick Watersheds*, J. Hydrology 9, 1969. pp. 427—437.
8. 土木學會法 : 長期流出, 水理公式集, 1977, pp. 127~131.
9. 朴成宇 : 우리나라 現存하는 몇個의 水文學的 公式 農業土學會誌 2卷 2號, 1959. pp. 19—26.
10. 尹龍男 : 水文學, 1976, 1 pp. 353~374.
11. A. I. Mcker : *Application of Seasonal parametric linear stochastic models to monthly flow data*, Water Resources Research 10—2 1974, pp. 246—255.
12. K.P. Singh : *Two-distribution methoc for modeling and sequential generation of monthly stream flows*, Water Resources Research 10—4 1974. pp. 763—773.
13. Yevjerich, V., *Stochastic Processes in Hydrology*, Water Resources Publications, colorado state university, Feort Collins, Colo. 1972.
14. V.T. Chow, *Handbook of applied Hydrology*, Mc-Graw-Hill Book Co. pp. 14—27.