

# Markov模型에 의한 月流出量の 模擬發生에 관한 研究

## A Study on the Simulation of Monthly Discharge by Markov Model

李 淳 赫\* · 洪 聖 杓\*\*  
Lee, Soon Hyuk · Hong, Seong Pyo

### Summary

It is of the most urgent necessity to get hydrological time series of long duration for the establishment of rational design and operation criterion for the Agricultural hydraulic structures. This study was conducted to select best fitted frequency distribution for the monthly runoff and to simulate long series of generated flows by multi-season first order Markov model with comparison of statistical parameters which are derivated from observed and synthetic flows in the five watersheds along Geum river basin.

The results summarized through this study are as follows.

1. Both two parameter gamma and two parameter lognormal distribution were judged to be as good fitted distributions for monthly discharge by Kolmogorov-Smirnov method for goodness of fit test in all watersheds.
2. Statistical parameters were obtained from synthetic flows simulated by two parameter gamma distribution were closer to the results from observed flows than those of two parameter lognormal distribution in all watersheds.
3. In general, fluctuation for the coefficient of variation based on two parameter gamma distribution was shown as more good agreement with the observed flow than that of two parameter lognormal distribution. Especially, coefficient of variation based on two parameter lognormal distribution was quite closer to that of observed flow during June and August in all years.
4. Monthly synthetic flows based on two parameter gamma distribution are considered to give more reasonably good results than those of two parameter lognormal distribution in the multi-season first order Markov model in all watersheds.
5. Synthetic monthly flows with 100 years for each watershed were simulated by multi-

---

\* 忠北大學校 農科大學

\*\* 忠北大學校 大學院

season first order Markov model based on two parameter gamma distribution which is acknowledged to fit the actual distribution of monthly discharges of watersheds. Simulated synthetic monthly flows may be considered to be contributed to the long series of discharges as an input data for the development of water resources.

6. It is to be desired that generation technique of synthetic flow in this study would be compared with other simulation techniques for the objective time series.

## I. 緒 論

우리나라의 主産業인 農業의 生産性 提高를 위해서는 大單位 農業用水 開發計劃과 安全하고 合理的인 水利構造物의 設計및 施工이 重且 大한 課題로 제시되고있다. 그러나 우리나라는 아직도 流出量 觀測記錄이 없는 곳이 많은 實情이며, 있다하더라도 一般的으로 短期間의 資料로서 長期間의 水文事象을 代表할 수 없기 때문에 農業水利構造物의 設計 및 運營基準의 設定에 어려움과 危險度가 항상 다르게 된다. 따라서 이러한 問題解決을 위해 短期間의 水文時系列을 推計學的으로 模型化하여 長期間의 時系列을 模擬發生시킴<sup>29,33)</sup>은 貯水池와 같은 農業用水源의 適正規模 設定과 함께 貯水池의 最適運營의 合理化를 꾀하는데 무엇보다도 重要な 일이 아닐 수 없다.

이에 本 研究에서는 우리나라 四大江中의 하나인 錦江水系의 五個 流域을 對象流域으로 選定하여 各 流域의 月流出量을 資料로 하여 適合度 檢定에 의한 適正確率分布型을 設定하고 適正分布型에 따른 多季節 1次 Markov模型의 比較分析和 함께 各 流域에 대한 合成月流量을 模擬發生시킴으로서 綜合的인 水資源開發을 위한 計劃과 設計에 必要한 基本資料를 提供하고자 하는데 本 研究의 目的이 있다.

## II. 研究史

水文資料의 模擬發生手法이란 것은 Monte Carlo方法을 利用하여 經驗的 資料로 부터 샘플링

플링技法이나 亂數發生機構를 통해서 模擬發生시키는 것으로부터 出發하였다.<sup>4,19)</sup> 1914년에 Hazen<sup>9)</sup>은 14個 河川의 年平均流量을 組合하여 300年間の 流出量資料를 作成하였으며, 1927년에 Sudler<sup>23)</sup>는 Hazen의 方法을 擴張한 것으로 代表的인 年流量이 프린트된 50枚의 카아드를 20회처리하여 1000年間の 模擬發生流量資料를 作成하였고, 1955년에 Barns<sup>1)</sup>도 Sudler와 類似한 方法에 의하여 流量을 發生시켰다. 그러나 이 方法들은 대개 카아드의 샘플링이나 亂數의 表를 利用한 것이며, 1960年代에 들어와서 統計學과 確率論의 應用으로 많은 發展을 이룩하여 自己回歸模型이나 確率模型等の 數學的模型에 의한 模擬發生이 시작되어 Julian 및 Brittan<sup>4)</sup>에 의하여 간단한 一次 Markov 모델이 流量의 模擬發生에 사용되었으며, 1962年 Thomas-Fiering<sup>6,13)</sup>에 의하여 一次 Markov 과정의 模型을 發表한 이후부터 本格的인 推計學的 模擬發生 模型이 研究되었다. Quimpo<sup>21)</sup> 및 Quimpo & Yevjevich<sup>22)</sup>는 日流量의 模擬發生을 위하여 Julian이 사용한 간단한 1次 自己回歸模型을 사용하였으며, Matalas<sup>14)</sup> 역시 Thomas & Fiering이 사용한 모델과 本質的으로 同一한 模型을 사용하였다. 그러나 이 模型들은 流量이 正規分布를 이룬다는 假定으로, 流量이 對數正規分布나 Gamma分布와 같은 다른 分布型을 갖거나 그 歪曲度가 큰 경우에는 適合치 못하다<sup>7,17)</sup>. 이러한 缺點을 보충하기 위해 McMahan<sup>17,18)</sup>, Harms & Campbell<sup>8)</sup>, Beard<sup>2)</sup>, Klenmés & Borůvka<sup>11)</sup> 등에 의하여 많은 研究가 되었고, 이들과 비슷한 Markov 과정 模型을 이용하는 模擬發生의 研

究로서 Murota & Kanda<sup>20)</sup>, Kottegoda<sup>12)</sup>, Mc-kerchar & Delleur<sup>16)</sup> 等の 研究가 있으며, 多地點間의 模擬發生을 위한 多變模型에 대한 研究로는 Fiering<sup>5)</sup>의 成因分析法, Beard<sup>12,3)</sup>의 多重回歸模型, Matalas<sup>15)</sup>의 多重定常時系列 模型 等の 研究가 있다.

한편, 우리나라 河川에 있어서의 水文量의 模擬發生에 관한 研究로는 李<sup>31,32)</sup>가 常流川 月流量의 推計學의 特性으로부터 模擬發生 模型을 開發토록 하였으며, 徐, 尹, 姜<sup>28)</sup>은 Thomas-Fiering의 2變數 模擬發生모델을 適用하여 洛東江流域의 月流量資料를 模擬發生시켰고, 千, 崔<sup>35)</sup>에 의한 洛東江 倭館地點의 年流量과 月流量의 模擬發生 및 比較가 있다. 李<sup>34)</sup>는 南漢江의 3個地點을 資料로 하여 南漢江流域에 대한 二個의 時系列模型式을 設定하였으며, 崔, 崔, 金<sup>36,37)</sup>은 單一目的댐 3個地點과 多目的댐 3個地點의 水文記錄에 의거 Thomas-Fiering法과 第2次 Markov理論을 導入하여 推計學의 貯水容量을 구하는 公式를 誘導하였고, 尹, 李<sup>30)</sup>는 漢江의 華川과 槐山地點에 대해 Monte Carlo方法과 Thomas-Fiering의 多季節模型에 의해 月流量을 模擬發生시켰다. 그리고 朴, 徐<sup>26)</sup>는 洛東江 2個地點을 資料로 하여 分解模型과 Thomas-Fiering模型을 利用해 月流量을 模擬發生 시킨바 있다.

### III. Markov模型의 理論

自己回歸模型은 觀測資料系列이 水文學의 持續的을 가질경우 模擬發生하는 方法으로 Markov模型은 河川流量系列의 模擬發生에 널리 사용되며 一般의인 方程式은 식(1)과 같다.

$$q_t = d_t + e_t \dots \dots \dots (1)$$

- $q_t$  : 合成流量
- $d_t$  : 確定論的 成分
- $e_t$  : 無作爲 成分

連續되는 流量間의 持續性을 表示하는 確定論的 區分은 다음과 같은 線型自己回歸式으로 表示될 수 있다.

$$d_t = \beta_0 + \beta_1 q_{t-1} + \beta_2 q_{t-2} + \dots + \beta_m q_{t-m} \dots \dots \dots (2)$$

$d_t$ 은  $m$ 個의 先行流量의 線型組合으로 가장 간단한 경우는  $m=1$ 일때의 식(3)과 같은 1次 Markov模型이다.

$$q_t = \beta_0 + \beta_1 q_{t-1} + e_t \dots \dots \dots (3)$$

위 模型에서는 現時點에서의 流量이 바로 前時點에서의 流量에 의해서만 영향을 받는다고 假定하는 것으로서 실제와는 어느 정도 差異가 있으나 連續되는 流量間의 獨立性을 假定하는 模型보다는 正確한 結果를 줄 뿐 아니라 模型自體가 단순하므로 여러가지 水資源計劃을 위한 流量의 模擬發生에 가장 많이 사용되어 왔다.

#### 1. 單一季節 1次 Markov模型

流量系列이 年流量처럼 單一季節동안의 流量으로 構成되어 系列의 平均值, 分散 및 系列相關係數 등이 單一值를 가지는 경우에 대해 적용하는 1次 Markov模型으로서 流量系列의 分布型에 따라 다음과 같이 分類된다.

- 가. 正規分布를 갖는 流量系列  
正規分布의 一般式은 식(4)와 같다.

$$q_t = \mu + \rho(q_{t-1} - \mu) + e_t \dots \dots \dots (4)$$

- $\mu$  : 流量 母集團의 平均值
- $\rho$  : 流量 母集團의 1次系列相關係數

平均值,  $\mu$ 를 가지는 식(4)의  $q_t$ 의 分散은 식(5)와 같은 關係를 가진다.

$$\text{Var}(q_t) = \sigma^2 = E\{(q_t - \mu)^2\} = E\{[\mu + \rho(q_{t-1} - \mu) + e_t - \mu]^2\} = \rho^2 \sigma^2 + \sigma_e^2 \dots \dots \dots (5)$$

- $E$  : 期待值
- $\sigma_e^2$  :  $e_t$ 의 分散
- (5)式을 整理하면

$$\sigma_e^2 = \sigma^2(1-\rho^2) \dots \dots \dots (6)$$

$t_1$ 의 平均值가 0이고 標準偏差가 1이며 系列 相關性이 전혀없는 正規分布를 가지는 變量이라고 假定한다면  $e_i = t_i \sigma \sqrt{1-\rho^2}$ 은 平均值가 0이며 標準偏差  $\sigma_e = \sigma \sqrt{1-\rho^2}$ 인 正規分布가 되고 模擬發生 方程式은 식(7)과 같이 된다.

$$q_i = \mu + \rho(q_{i-1} - \mu) + t_i \sigma \sqrt{1-\rho^2} \dots \dots \dots (7)$$

$t_i$ : 標準正規亂數

나. 2變數 對數正規分布를 갖는 流量系列

Markov의 模擬發生技法을 사용하여 2變數 對數正規分布를 가지는 流量을 發生코자할 경우에는 標準流量系列의 對數值의 平均值, 標準偏差, 系列相關係數 및 歪曲度係數와 同一한 값을 가지도록 流量系列을 發生해야 하므로 Matalas<sup>15)</sup>는 地點流量의 下限值에 가까운 값을  $a$ 라하고  $X$ 를 特定流量이라 할때  $y = \log(X-a)$ 가 正規分布를 가진다고 假定하였으며  $X$ 의 統計值들은  $y$ 의 統計值와 다음과 같은 식(8), (9), (10) 및 (11)의 關係를 갖는다.

$$\mu(x) = a + \exp\{\sigma^2(y)/2 + \mu(y)\} \dots \dots \dots (8)$$

$$\sigma^2(x) = \exp\{2[\sigma^2(y) + \mu(y)] - \exp[\sigma(y) + 2\mu(y)]\} \dots \dots \dots (9)$$

$$\gamma(x) = \frac{\exp\{3\sigma^2(y) - 3\exp[\sigma^2(y)] + 2\}}{\{\exp[\sigma^2(y)] - 1\}^{3/2}} \dots \dots \dots (10)$$

$$\rho_1(x) = \frac{\exp[\sigma^2(y)] \rho_1(y) - 1}{\exp[\sigma^2(y)] - 1} \dots \dots \dots (11)$$

Matalas<sup>15)</sup>는 觀測流量系列의 對數值의 統計值보다 流量資料自體의 統計值를 재연할 수 있도록 標本流量의 統計值인  $\bar{X}$ ,  $S^2(x)$ ,  $g(x)$ ,  $\gamma_1(x)$ 를 計算하여 식(8)~(11)을 이용하므로써  $\mu(y)$ ,  $\sigma^2(y)$ ,  $\rho(y)$ ,  $a$ 를 결정하도록 권장하였다. 실제로 發生되는 流量의 값은 식(12)에 의해 구하게 된다.

$$q_i = \exp(h_i) + a \dots \dots \dots (12)$$

$h_i$ : 合成流量의 對數值

다. 2變數 Gamma分布를 갖는 流量系列

Markov模型은 平均值,  $\mu$  分散,  $\sigma^2$  및 歪曲度係數,  $\gamma_x$  인 2變數 Gamma分布<sup>11)</sup>를 가지는 流量의 模擬發生에 사용된다. 2變數 Gamma分布를 갖는 歪曲度係數는 다음의 식(13)으로 구한다.

$$\gamma_e = \frac{1-\rho^3}{(1-\rho^2)^{1.5}} \gamma_x \dots \dots \dots (13)$$

$\rho$ : 流量系列의 一次系列相關係數

$\gamma_x$ : 流量系列의 歪曲度係數

$N(0,1)$ 인 2變數 Gamma分布를 갖는 亂數는 식(14)로 變換한다.

$$\varepsilon_1 = \frac{2}{\gamma_e} \left\{ \left( 1 + \frac{\gamma_e t_1}{6} - \frac{\gamma_e^2}{36} \right)^3 - 1 \right\} \dots \dots \dots (14)$$

$\gamma_e$ : 2變數 Gamma分布를 갖는 歪曲度係數  
 模擬發生 方程式은 식(15)와 같으며 正規分布를 갖는 식(7)과 비슷한 形態를 가지게 된다.

$$q_i = \mu + \rho(q_{i-1} - \mu) + \varepsilon_i \sigma \sqrt{1-\rho^2} \dots \dots \dots (15)$$

$\varepsilon_1$ : 2變數 Gamma分布를 갖는 亂數

2. 多季節 1次 Markov模型

月流量과 같이 1年을 몇개의 時間區間으로 나누어 流量資料를 分析할 경우 統計值가 單一값을 가지지 않을 경우에 적용하는 1次 Markov模型을 말한다. 1年을  $m$ 個의 相異한 季節로 구분했을 경우 各 季節流量에 Markov模型을 적용할때 두개의 指數를 사용해서 特定流量  $q_{ij}$ 를 表示하는데 첫번째 指數 $i$ 는 年流量 系列中的 어떤 年에 속하는 流量인가를 表示하며, 두번째 指數 $j$ 는 1부터  $m$ 까지 값을 가지는 季節中 어떤 季節에 해당하는 流量인가를 表示하는 季節번호이다.  $j$ 季節流量과  $(j-1)$ 季節流量間의 1次系列 相關係數는 식(16)과 같이 定義된다.

$$\rho_{(j)} = \{E[(X_{ij} - \mu_j)(X_{i,j-1} - \mu_{j-1})]\} / (\sigma_j \sigma_{j-1}) \dots (16)$$

多季節 1次 Markov模型<sup>7)</sup>의 一般式은 식 (17)과 같다.

$$q_{ij} = \mu_j \frac{\rho \sigma_j}{\sigma_{j-1}} (q_{ij-1} - \mu_{j-1}) + t_{ij} \sigma_j \sqrt{1 - \rho^2} \dots (17)$$

$t_{ij}$ : 標準正規亂數

正規分布와 2變數 對數正規分布를 가질 경우는 앞의 單一季節과 같으며 2變數 Gamma分布<sup>7)</sup>를 가질 경우 標本의 歪曲度係數는 다음의 식 (18)로 구해진다.

$$\gamma_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}^3 - 3\sigma_j^2 \bar{X}_j + \bar{X}_j^3}{\sigma_j^3} \dots (18)$$

또한 變換歪曲度係數는 식(19)와 같다.

$$\gamma_{t_{ij}} = \frac{\gamma_j - \rho^3 \gamma_{j-1}}{(1 - \rho^2)^{1.5}} \dots (19)$$

$\gamma_j$ : 標本의 歪曲度係數

Skewed data에 대하여 變換된 亂數는 다음의 식(20)으로 變換되어진다.

$$t_{i,r,j} = \frac{2}{\gamma_{t_{ij}}} \left\{ \left( 1 + \frac{\gamma_{t_{ij}} t_{ij}}{6} - \frac{\gamma_{t_{ij}}^2}{36} \right)^3 - 1 \right\} \dots (20)$$

$t_{ij}$ :  $N(0,1)$ 의 正規分布의 亂數

$\gamma_{t_{ij}}$ : 變換歪曲度係數

#### IV 資料 및 分析方法

##### 1. 使用 資料

本 分析에 使用된 對象流域은 錦江水系의 5 個流域인 龍潭, 錦山, 沃川, 公州 및 窺岩流域을 選定하였고, 이들 流域에 대한 月流量을 使用하였으며 流域面積은 最少인 龍潭의 937km<sup>2</sup>로부터 最大는 窺岩의 8273km<sup>2</sup>이고 또한, 全流域 共히 27年間의 觀測期間을 갖으며 이들 流域에 관한 流域概要는 Table-1. 및 Fig.1. 과 같다<sup>27)</sup>.

##### 2. 分析方法

##### 가. 確率分布型의 適合度 檢定

Table-1. Gauging stations.

Observatory	Area(km <sup>2</sup> )	Observed duration	Location
Yong Dam	937	1958~1984(27년)	Long : 127°32' Lat : 35°28'
Geum San	1628	1958~1984(27년)	Long : 127°34' Lat : 36°07'
Og Cheon	2943	1958~1984(27년)	Long : 127°39' Lat : 36°16'
Gong Ju	7126	1958~1984(27년)	Long : 127°08' Lat : 36°28'
Gyu Am	8273	1958~1984(27년)	Long : 126°04' Lat : 36°16'

No	Name of Gauges
1	Yong Dam
2	Geum San
3	Og Cheon
4	Gong Ju
5	Gyu Am

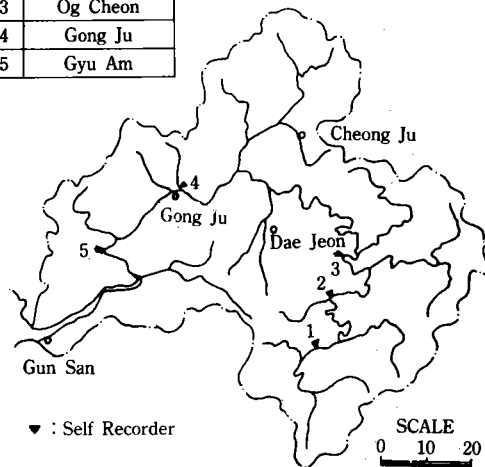


Fig. 1. Location of Stream Gauges in the Geum River Basin.

月流量資料의 確率分布型으로는 一般的으로 使用되는 2變數 Gamma分布와 2變數 對數正規分布型을 採擇하여 流域別 適正確率分布型을 Kolmogorov-Smirnov Test에 의해 檢定하였다.

##### 나. 基本統計特性值

實測資料의 基本統計特性值로서 平均值, 分散, 標準偏差 및 系列相關係數等을 다음의 식

(21), (22) 및 (23)에 의해 流域별로 구하였다.

$$\bar{Q}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{ij} \dots\dots\dots (21)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_{ij} - \bar{Q}_j)^2 \dots\dots\dots (22)$$

$$\gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ij} - \bar{Q}_j) (Q_{i,j+1} - \bar{Q}_{j+1})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{ij} - \bar{Q}_j)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{i,j+1} - \bar{Q}_{j+1})^2}} \dots (23)$$

다. 模擬發生方程式 誘導

本 分析에 使用된 模型은 多季節 1次 Markov模型<sup>7)</sup> 으로 이에 대한 模擬發生方程式은 식 (24)와 같다.

$$Q_{ij} = \bar{Q}_j + \gamma_j \frac{S_j}{S_{j-1}} (Q_{i,j-1} - \bar{Q}_{j-1}) + Z_{ij} S_j \sqrt{1 - \gamma_j^2} \dots (24)$$

여기서  $Q_{ij}$ 는  $i$ 년  $j$ 월의 模擬發生流量이며  $\bar{Q}_j$ 는  $j$ 월의 平均流量,  $\rho_j$ 는  $j$  및  $(j-1)$ 월의 流量間系列相關係數,  $S_j, S_{j-1}$ 은 各各  $j$ 월과  $(j-1)$ 월流量의 標準偏差이고  $Z_{ij}$ 는 正規分布 또는 2變數 Gamma分布를 갖는 亂數이다.

模擬發生模型에 基本統計 特性值를 利用하여 各 流域별로 月別 模擬發生方程式을 誘導하였으며, 만일 月流量  $Q_{ij}$ 가 2變數 對數正規分布를 갖는 時系列은 流量이 對數值로 變換된 것으로 發生되는 流量은 이를 다음과 같이 變換하여 구한다.

$$Q'_{ij} = \exp(Q_{ij}) \dots\dots\dots (25)$$

또한 2變數 Gamma分布의 Gamma亂數,  $Z'_{ij}$ 는 正規亂數를  $Z_{ij}$ 라 할때 다음과 같이 구한다<sup>7)</sup>.

$$g_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{ij}^2 - 3S_j^2 \bar{Q}_j + Q_j^3}{S_j^3} \dots\dots\dots (26)$$

$$g'_j = \frac{g_j - \gamma_j^3 g_{j-1}}{(1 - \gamma_j^2)^{1.5}} \dots\dots\dots (27)$$

$g_j$  : 歪曲度係數

$$Z'_{ij} = \frac{2}{g_j} \left( 1 + \frac{g'_j Z_{ij}}{6} - \frac{g'_j}{36} \right)^3 - \frac{2}{g'_j} \dots\dots\dots (28)$$

$g'_j$  : 變換歪曲度係數

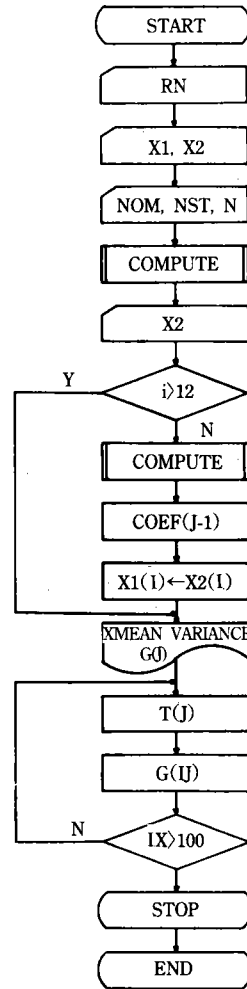


Fig. 2. Flow Chart of Multi-Season First-Order Markov Model for Streamflow Generation.

$Z_{ij}$  : Gamma亂數

여기서  $n$ 은 流量時系列의 年數이며,  $Q_{ij}$ 는  $i$ 년  $j$ 월의 流量,  $\bar{Q}_j$ 는  $j$ 월流量 平均值  $S_j$ 는  $j$ 월流量의 標準偏差,  $\gamma_j$ 는  $j$ 월과  $(j-1)$ 월사이의 月流量의 相關係數를 의미한다.

또한, 多季節 1次 Markov模型의 模擬發生을 위한 Flow Chart는 Fig.2와 같으며 program의 役割은 Table-2와 같다.

라. 統計特性值 및 模擬發生流量의 比較  
 模擬發生方程式에 의해 發生된 合成流量과

Table-2. Main and Subroutine Program and their Function.

Program name	Function
COEF(J)	Coefficient of correlation of monthly river discharges between month j-1 and j
G(J)	Skewness of random variate of month j
N	Number of years of records
NOM	Number of river basin
NST	Number of gauging stations
G(I,J)	Synthetic streamflows generated by Markov model
RN	Random numbers distributed with zero mean and unit variance
SKEW	Coefficient of skewness of hydrologic data
SUM	Sum of monthly river discharges
SUMS	Sum of sq of monthly river discharges
SUMT	Sum of cubic of monthly river discharges
T(J)	Transformed random sampling deviate of month j
VAR	Variance of hydrologic data
XJ	Hydrologic data of month j
XMEAN	Sample mean of hydrologic data

實測值와의 統計特性值로서 平均值, 標準偏差, 變動係數 및 歪曲度係數等을 比較하였으며, 또한 流域別 模擬發生 月流量과 實測值를 比較하였다.

## V. 結果 및 考察

### 1. 確率分布型의 適合度 檢定

2變數 Gamma分布型과 2變數 對數正規分布를 Kolmogorov-Smirnov Test<sup>10,25)</sup>에 의해 Goodness of Fit Test를 遂行하므로서 그 適合性 與否를 判斷하였으며 그 結果值는 Table-3과 같다.

以上の K-S Test 結果에서 보건데 全流域에 걸쳐 2變數 Gamma分布 및 2變數 對數正規分布型의 適合性에 共히 認定되었다.

### 2. 統計 特性值의 比較

實測 月流量 資料와 多季節 1次 Markov模型

Table-3. Kolmogorov-Smirnov Test of each station.

Stations	Dn(5%)	Dn(max)	
		T.P.L	T.P.G
Yong Dam	0.076	0.072	0.052
Geum San	0.076	0.071	0.050
Og Cheon	0.076	0.072	0.059
Gong Ju	0.076	0.052	0.057
Gyu Am	0.076	0.055	0.058

T.P.L : Two Parameter Lognormal distribution

T.P.G : Two Parameter Gamma distribution

에 의해 模擬發生된 月流量에 대해 統計特性值를 各 流域별로 整理한 結果는 Table-4,5,6,7 및 8과 같다. 우선 平均值의 結果를 보면 錦山 地點의 8月이 1.63~3.30%로 가장 작고 公州 地點의 2月이 20.60~54.00%로 가장 크며 標準偏差는 沃川의 1月이 0.57~3.05%로 가장 작고 窺岩의 2月이 8.92~306.08%로 가장 컸으며, 變動係數는 沃川의 4月이 2.03~3.17%로 가장 작고

Table-4. Relative Error for the Statistics of Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Yong Dam Gauging Station in Geum River.

통계치		평균치		표준편차		변동계수		왜곡도 계수	
월	모형	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
1	Hist.	6.93		4.330		0.625		1.24	
	Sim.(LN)	6.123	11.65	4.116	4.94	0.672	7.52	2.226	79.23
	Sim.(TPG)	6.189	10.69	4.292	0.88	0.693	10.88	1.762	41.87
2	Hist.	12.70		9.872		0.777		1.84	
	Sim.(LN)	14.568	14.67	12.342	25.02	0.847	9.01	1.990	8.21
	Sim.(TPG)	15.831	24.61	10.763	9.03	0.680	12.48	0.698	62.04
3	Hist.	19.33		13.957		0.722		1.40	
	Sim.(LN)	20.041	3.70	16.147	15.69	0.806	11.63	1.945	38.93
	Sim.(TPG)	18.286	5.38	10.702	23.32	0.585	18.98	0.955	31.79
4	Hist.	27.76		17.943		0.646		1.68	
	Sim.(LN)	26.412	4.84	18.923	5.46	0.716	10.84	1.552	7.78
	Sim.(TPG)	26.560	4.31	18.346	2.25	0.691	6.97	1.335	20.68
5	Hist.	18.55		12.665		0.683		0.80	
	Sim.(LN)	21.432	15.52	21.142	66.93	0.986	44.36	1.565	94.89
	Sim.(TPG)	19.087	2.88	11.619	8.26	0.609	10.84	1.295	61.27
6	Hist.	22.44		25.769		1.148		1.96	
	Sim.(LN)	25.937	15.60	25.974	0.80	1.001	12.81	1.417	27.85
	Sim.(TPG)	27.359	21.94	22.964	10.89	0.839	26.92	1.096	44.20
7	Hist.	76.93		45.696		0.594		0.09	
	Sim.(LN)	60.695	21.10	42.887	6.14	0.707	19.02	0.986	995.56
	Sim.(TPG)	67.903	11.73	34.714	24.03	0.511	13.97	0.203	125.56
8	Hist.	45.09		28.411		0.630		0.44	
	Sim.(LN)	44.611	1.06	47.648	67.71	1.068	69.52	2.021	362.47
	Sim.(TPG)	44.598	3.32	26.832	5.56	0.615	2.38	1.368	213.04
9	Hist.	37.74		25.886		0.686		0.73	
	Sim.(LN)	34.505	8.56	25.307	2.24	0.733	6.85	2.318	217.10
	Sim.(TPG)	38.502	2.03	20.509	20.77	0.533	22.30	1.518	107.66
10	Hist.	11.98		8.060		0.673		2.22	
	Sim.(LN)	11.459	4.36	6.094	24.40	0.532	20.95	0.322	85.48
	Sim.(TPG)	11.978	0.03	6.446	20.03	0.538	20.06	0.461	79.22
11	Hist.	11.51		6.019		0.523		0.73	
	Sim.(LN)	9.034	21.55	4.879	18.94	0.540	3.25	0.884	21.93
	Sim.(TPG)	9.345	18.85	4.051	32.70	0.433	17.21	1.568	116.28
12	Hist.	9.11		4.158		0.456		0.62	
	Sim.(LN)	7.474	18.00	3.950	5.00	0.528	15.79	0.906	46.13
	Sim.(TPG)	8.650	5.10	2.274	45.31	0.263	42.33	2.093	237.58

Hist. : Historical Data.

Sim.(LN) : Simulated by Two-Parameter Lognormal distribution.

Sim.(TPG) : Simulated by Two-Parameter Gamma distribution.



Table-5. Relative Error for the Statistics of Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Geum San Gauging Station in Geum River.

통계치		평균치		표준편차		변동계수		왜곡도 계수	
월	모형	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
1	Hist.	10.41		6.440		0.619		1.58	
	Sim.(LN)	9.319	10.49	6.202	3.71	0.666	7.59	2.215	39.92
	Sim.(TPG)	9.325	10.43	6.619	2.76	0.710	14.70	2.020	27.61
2	Hist.	19.17		12.527		0.653		1.07	
	Sim.(LN)	23.610	23.16	24.437	95.07	1.035	58.50	2.478	131.37
	Sim.(TPG)	22.768	18.77	14.290	14.07	0.628	3.83	0.183	82.91
3	Hist.	31.92		23.508		0.736		1.61	
	Sim.(LN)	31.279	2.01	22.168	5.70	0.709	3.67	1.638	1.93
	Sim.(TPG)	29.911	6.29	18.375	21.84	0.614	16.58	1.025	36.22
4	Hist.	46.66		30.072		0.644		1.64	
	Sim.(LN)	44.276	5.12	31.686	5.37	0.716	11.18	1.547	5.73
	Sim.(TPG)	44.646	4.32	30.746	2.24	0.689	6.99	1.325	19.26
5	Hist.	31.50		21.587		0.685		0.83	
	Sim.(LN)	35.853	13.80	34.802	61.22	0.971	41.75	1.599	91.73
	Sim.(TPG)	32.432	2.95	19.907	7.78	0.614	10.37	1.326	58.99
6	Hist.	39.17		43.228		1.104		2.03	
	Sim.(LN)	43.573	11.24	41.217	4.65	0.946	14.31	1.492	26.39
	Sim.(TPG)	47.220	20.55	38.092	11.88	0.807	26.90	1.192	41.19
7	Hist.	129.13		76.172		0.590		0.05	
	Sim.(LN)	104.347	19.19	76.238	0.09	0.731	23.90	1.004	1725.45
	Sim.(TPG)	114.323	11.47	57.964	23.90	0.507	14.07	0.185	236.36
8	Hist.	77.27		48.054		0.622		0.45	
	Sim.(LN)	76.007	1.63	79.351	65.13	1.044	67.85	1.984	342.86
	Sim.(TPG)	74.722	3.30	45.403	5.52	0.608	2.25	1.375	206.92
9	Hist.	61.79		40.702		0.659		0.68	
	Sim.(LN)	57.292	7.38	41.494	1.95	0.724	9.86	2.279	234.16
	Sim.(TPG)	63.195	2.28	32.230	20.81	0.510	22.61	1.485	117.74
10	Hist.	18.00		11.166		0.620		0.94	
	Sim.(LN)	17.343	3.67	9.504	14.89	0.548	11.61	0.324	65.68
	Sim.(TPG)	17.831	0.96	11.185	0.16	0.527	1.13	-0.104	111.02
11	Hist.	18.30		9.547		0.522		0.70	
	Sim.(LN)	14.604	20.20	8.235	13.74	0.564	8.05	0.921	32.14
	Sim.(TPG)	14.941	18.36	6.184	35.23	0.414	20.69	1.594	128.69
12	Hist.	14.44		6.316		0.437		0.67	
	Sim.(LN)	12.135	15.97	6.157	2.52	0.507	16.02	0.985	32.99
	Sim.(TPG)	13.895	3.78	3.736	40.85	0.269	38.44	1.933	187.22

Hist. : Historical Data.

Sim.(LN) : Simulated by Two-Parameter Lognormal distribution.

Sim.(TPG) : Simulated by Two-Parameter Gamma distribution.

Table-6. Relative Error for the Statistics of Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Ogcheon Gauging Station in Geum River.

통계치		평균치		표준편차		변동계수		왜곡도 계수	
월	모형	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
1	Hist.	17.61		10.114		0.574		0.14	
	Sim.(LN)	16.020	9.03	10.056	0.57	0.628	9.41	2.148	24.09
	Sim.(TPG)	15.922	9.59	10.422	3.05	0.655	14.11	2.076	19.93
2	Hist.	32.33		25.307		0.783		0.18	
	Sim.(LN)	43.535	34.67	60.871	140.53	1.398	78.54	2.915	109.41
	Sim.(TPG)	40.238	24.48	29.364	16.03	0.730	6.77	0.320	77.01
3	Hist.	48.29		37.545		0.777		0.23	
	Sim.(LN)	48.486	0.42	41.869	11.52	0.864	11.20	2.142	13.63
	Sim.(TPG)	44.639	7.55	28.261	24.73	0.633	18.53	1.235	34.48
4	Hist.	72.41		57.053		0.788		-0.01	
	Sim.(LN)	65.261	9.88	49.821	12.68	0.763	3.17	1.645	26.33
	Sim.(TPG)	69.744	3.69	56.069	1.73	0.804	2.03	1.874	16.08
5	Hist.	48.03		32.220		0.671		0.47	
	Sim.(LN)	54.024	12.49	54.094	67.89	1.001	49.18	1.637	126.73
	Sim.(TPG)	49.440	2.94	29.019	9.93	0.587	12.52	1.242	72.02
6	Hist.	59.25		66.666		1.125		0.36	
	Sim.(LN)	65.801	11.05	65.528	1.71	0.996	11.47	1.570	16.36
	Sim.(TPG)	72.640	22.60	62.486	6.27	0.860	23.56	0.920	50.99
7	Hist.	224.27		138.786		0.619		0.12	
	Sim.(LN)	176.638	21.24	129.259	6.86	0.732	18.26	1.009	251.57
	Sim.(TPG)	194.681	13.19	103.673	25.30	0.533	13.89	0.286	0.35
8	Hist.	129.04		85.867		0.665		-0.07	
	Sim.(LN)	134.028	3.86	162.993	89.82	1.216	82.86	2.208	435.92
	Sim.(TPG)	124.561	3.47	81.107	5.54	0.651	2.11	1.353	228.40
9	Hist.	123.26		104.754		0.850		0.34	
	Sim.(LN)	110.068	10.70	102.312	2.33	0.930	9.41	2.476	132.27
	Sim.(TPG)	122.521	0.60	82.646	21.10	0.675	20.59	1.744	63.60
10	Hist.	33.38		31.221		0.935		0.09	
	Sim.(LN)	30.404	8.92	17.191	44.94	0.565	39.57	0.432	88.37
	Sim.(TPG)	31.307	6.21	18.615	40.37	0.595	36.36	0.974	73.79
11	Hist.	27.13		13.812		0.509		0.32	
	Sim.(LN)	21.081	22.28	9.436	31.68	0.448	11.98	0.666	29.67
	Sim.(TPG)	21.808	19.60	9.903	28.30	0.454	10.81	1.733	83.00
12	Hist.	22.28		9.887		0.444		0.64	
	Sim.(LN)	18.076	18.86	8.263	16.43	0.457	2.93	0.570	41.18
	Sim.(TPG)	21.120	5.20	5.936	39.96	0.281	36.71	2.509	158.93

Hist. : Historical Data.

Sim.(LN) : Simulated by Two-Parameter Lognormal distribution.

Sim.(TPG) : Simulated by Two-Parameter Gamma distribution.

Table-7. Relative Error for the Statistics of Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Gong Ju Gauging Station in Geum River.

통계치		평균치		표준편차		변동계수		왜곡도 계수	
월	모형	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
1	Hist.	41.01		20.136		0.491		1.74	
	Sim.(LN)	37.629	8.26	18.706	7.10	0.497	1.22	1.897	8.96
	Sim.(TPG)	37.814	7.80	20.616	2.38	0.545	11.00	2.246	29.01
2	Hist.	68.39		47.959		0.701		1.16	
	Sim.(LN)	105.313	54.00	193.704	303.90	1.839	162.34	3.439	195.45
	Sim.(TPG)	82.470	20.60	52.350	9.16	0.635	9.42	0.318	72.68
3	Hist.	93.47		59.289		0.634		1.24	
	Sim.(LN)	96.720	3.47	88.131	48.65	0.911	43.69	2.514	102.42
	Sim.(TPG)	88.986	4.80	46.920	20.86	0.527	16.88	0.821	33.90
4	Hist.	143.30		98.924		0.690		1.50	
	Sim.(LN)	127.779	10.84	91.691	7.31	0.718	4.06	1.329	11.16
	Sim.(TPG)	135.739	5.28	102.674	3.79	0.756	9.57	1.153	22.93
5	Hist.	104.62		76.998		0.736		0.96	
	Sim.(LN)	123.729	18.26	137.296	78.31	1.110	50.82	1.427	48.03
	Sim.(TPG)	106.998	2.27	64.490	16.24	0.603	18.07	1.956	102.91
6	Hist.	124.52		133.075		1.069		1.80	
	Sim.(LN)	143.590	15.32	156.767	17.80	1.092	2.15	1.813	0.61
	Sim.(TPG)	155.089	24.55	130.838	1.68	0.844	21.05	0.688	61.82
7	Hist.	420.25		233.720		0.556		-0.13	
	Sim.(LN)	342.909	18.40	241.489	3.32	0.704	26.62	0.966	848.84
	Sim.(TPG)	375.955	10.54	177.724	23.96	0.473	14.93	0.163	226.36
8	Hist.	294.79		174.560		0.592		0.87	
	Sim.(LN)	287.697	2.41	275.471	57.81	0.958	61.82	1.853	113.48
	Sim.(TPG)	265.174	10.05	189.909	8.79	0.716	20.95	1.191	37.21
9	Hist.	272.32		217.145		0.797		1.16	
	Sim.(LN)	238.483	12.42	211.643	2.53	0.887	11.29	2.464	111.68
	Sim.(TPG)	264.351	2.93	177.792	18.12	0.673	15.56	1.618	39.00
10	Hist.	83.34		43.370		0.520		0.78	
	Sim.(LN)	75.941	8.87	34.513	20.42	0.454	12.69	0.826	5.22
	Sim.(TPG)	82.746	0.71	39.623	8.64	0.479	7.89	-0.094	111.98
11	Hist.	65.67		29.478		0.449		0.66	
	Sim.(LN)	51.656	21.34	20.786	29.49	0.402	10.47	0.549	17.119
	Sim.(TPG)	54.416	17.13	21.628	26.63	0.397	11.58	1.343	102.56
12	Hist.	54.33		21.133		0.389		0.78	
	Sim.(LN)	46.167	15.03	16.229	23.21	0.352	9.51	0.427	45.54
	Sim.(TPG)	52.814	2.80	14.028	33.62	0.266	31.62	1.855	136.62

Hist. : Historical Data.

Sim.(LN) : Simulated by Two-Parameter Lognormal distribution.

Sim.(TPG) : Simulated by Two-Parameter Gamma distribution.

Table-8. Relative Error for the Statistics of Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Gyu Am Gauging Station in Geum River.

통계치		평균치		표준편차		변동계수		왜곡도 계수	
월	모형	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
1	Hist.	47.62		23.378		0.491		1.74	
	Sim.(LN)	43.688	8.26	21.705	7.16	0.497	1.22	1.896	8.72
	Sim.(TPG)	43.905	7.80	23.937	2.39	0.545	11.00	2.249	28.96
2	Hist.	79.76		55.372		0.694		1.18	
	Sim.(LN)	122.439	53.51	224.856	306.08	1.836	164.55	3.460	193.47
	Sim.(TPG)	96.083	20.47	60.313	8.92	0.628	9.51	0.331	71.93
3	Hist.	108.53		68.838		0.634		1.24	
	Sim.(LN)	113.360	4.45	107.144	55.65	0.945	49.05	2.589	108.45
	Sim.(TPG)	103.310	4.81	54.500	20.83	0.528	16.72	0.820	33.98
4	Hist.	166.38		114.852		0.690		1.50	
	Sim.(LN)	148.185	10.94	106.220	7.52	0.717	3.91	1.310	12.43
	Sim.(TPG)	157.603	5.28	119.207	3.79	0.756	9.57	1.154	22.86
5	Hist.	121.47		89.402		0.736		0.96	
	Sim.(LN)	143.499	18.13	159.323	78.21	1.110	50.82	1.427	48.03
	Sim.(TPG)	124.237	2.27	74.875	16.25	0.603	18.07	1.957	103.01
6	Hist.	144.57		154.506		1.069		1.80	
	Sim.(LN)	166.658	15.28	181.991	17.79	1.092	2.15	1.818	0.89
	Sim.(TPG)	180.057	24.55	151.925	1.67	0.844	21.05	0.688	61.82
7	Hist.	487.94		271.323		0.556		-0.13	
	Sim.(LN)	398.130	18.41	280.235	3.28	0.704	26.62	0.966	848.84
	Sim.(TPG)	436.512	10.54	206.311	23.96	0.473	14.93	0.163	226.36
8	Hist.	342.26		202.681		0.592		0.87	
	Sim.(LN)	334.047	2.40	319.852	57.81	0.958	61.82	1.853	113.48
	Sim.(TPG)	307.866	10.05	220.496	8.79	0.716	20.95	1.191	37.21
9	Hist.	316.17		252.121		0.797		1.16	
	Sim.(LN)	276.889	12.42	245.713	2.54	0.887	11.29	2.464	111.68
	Sim.(TPG)	306.930	2.92	206.441	18.12	0.673	15.56	1.618	39.00
10	Hist.	96.76		50.346		0.520		0.78	
	Sim.(LN)	88.173	8.87	40.069	20.41	0.454	12.69	0.826	5.36
	Sim.(TPG)	96.070	0.71	46.002	8.63	0.479	7.89	-0.094	111.99
11	Hist.	76.25		34.236		0.449		0.66	
	Sim.(LN)	59.973	21.34	24.143	29.48	0.403	10.25	0.549	17.07
	Sim.(TPG)	63.183	17.13	25.126	26.61	0.398	11.36	1.345	103.17
12	Hist.	63.08		24.536		0.389		0.78	
	Sim.(LN)	53.061	15.02	18.835	23.24	0.351	9.77	0.427	45.54
	Sim.(TPG)	61.335	2.76	16.295	33.59	0.266	31.62	1.854	136.48

Hist. : Historical Data.

Sim.(LN) : Simulated by Two-Parameter Lognormal distribution.

Sim.(TPG) : Simulated by Two-Parameter Gamma distribution.

窺岩의 2月이 9.51~164.55%로 가장 컸으며, 歪曲度係數는 錦山의 4月이 5.73~19.26%로 가장 작고 錦山의 7月이 236.36~1725.45%로 가장 크게 나타났다. 以上の 統計特性值에서 特히 2變數 對數正規分布에 의한 歪曲度係數의 相對誤差가 一般의로 크게 나타난 것은 尹, 李<sup>30)</sup>의 華川댐과 槐山地點에서의 分析結果와 비슷한 樣相을 나타내고 있다. 또한 全流域에 걸쳐 2變數 Gamma분포와 2變數 對數正規分布별로 平均值의 相對誤差를 보면 0.03~24.61%와 0.42~53.51%에 걸쳐 있으며 標準偏差는 0.16~45.31%, 0.09~306.08%이고 歪曲度에서는 0.35~237.58%, 0.61~848.84%로 各各 나타난 사실에 비추어 結果的으로 2變數 對數正規分布보다는 2變數 Gamma分布에 의해 模擬發生시킨 月流量

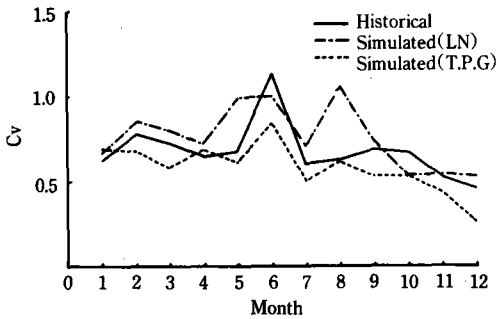


Fig. 3. Comparison between Variation of Historical and Synthetic Streamflow Sequences at Yong Dam Watershed.

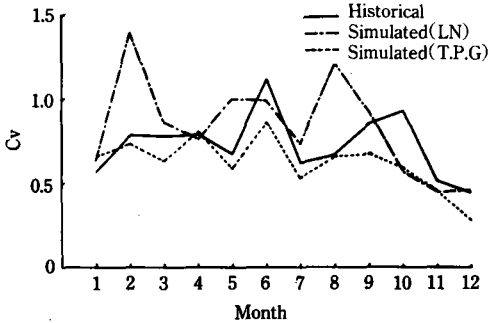


Fig. 4. Comparison between Variation of Historical and Synthetic Streamflow Sequences at Geum San Watershed.

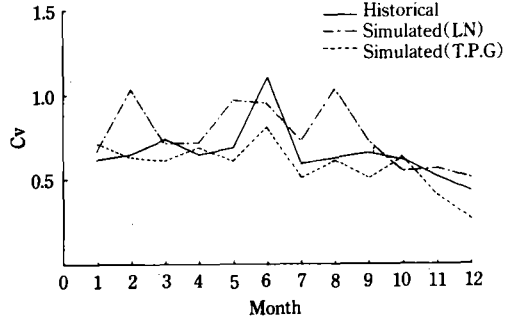


Fig. 5. Comparison between Variation of Historical and Synthetic Streamflow Sequences at Og Cheon Watershed.

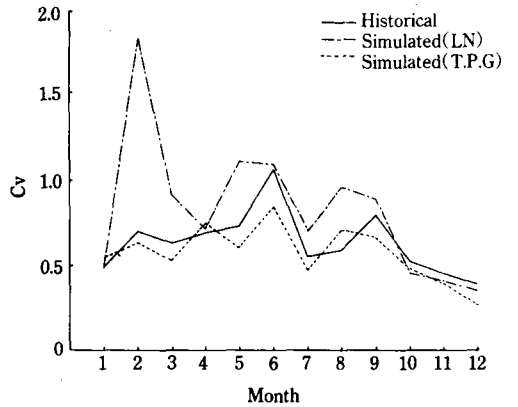


Fig. 6. Comparison between Variation of Historical and Synthetic Streamflow Sequences at Gong Ju Watershed.

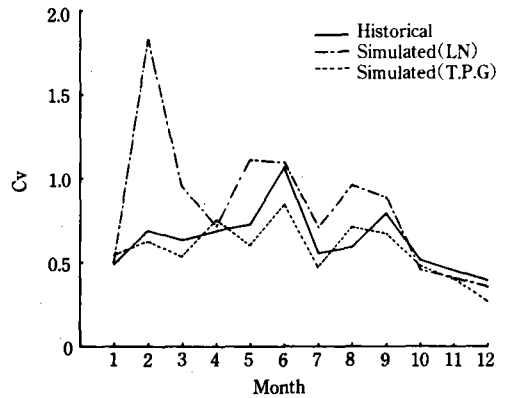


Fig. 7. Comparison between Variation of Historical and Synthetic Streamflow Sequences at Gyu Am Watershed.

資料가 實測值의 統計特性值의 再現에 더욱 近以함을 보여주고 있다.

특히 이들 統計特性值 中에서 河川流量變化의 樣相을 究明하기 위하여 各 地點에 대해 實測된 月流量과 模擬發生된 月流量의 變動係數의 變化를 各 流域별로 圖示한 結果는 Fig-3, 4, 5, 6 및 7과 같다. 2個確率分布를 總괄한 實測值에 대한 相對誤差를 流域별로 보면 龍潭地點은 2.38~69.52%, 錦山地點에서는 1.13~67.85%, 沃川地點에서는 2.03~82.86%, 公州地點에서는 1.22~162.34% 및 窺岩地點에서는 1.22~164.55%로 나타났음에 비추어 結果적으로 沃川地點의 相對誤差가 가장 작고 窺岩地點의 相對誤差가 가장 크게 나타났다. 이를 다시 分布型별로 나누어 2變數 Gamma分布와 2變數 對數正規分布에 의해 模擬發生된 流量值에 관한 相對誤差를 보면 全般的으로 2變數 Gamma分布가 1.13~42.33%로서 2變數 對數正規分布의 1.22~164.55%에 비해 훨씬 적은 相對誤차를 나타내었고 특

히 6,7,8月の 장마기에 實測 月流量의 變化에 비슷한 樣相으로 나타났음으로보아 2變數 Gamma分布가 2變數 對數正規分布보다 훨씬 接近되는 좋은 結果를 나타내 주고 있음이 確認되었다. 反面에 2變數 對數正規分布에 의한 各 流域별 2月の 變動係數는 共히 實測 變動係數와 상당한 差를 나타내고 있음을 볼 수 있다.

### 3. 模擬發生 流量의 比較

多季節 1次 Markov模型을 利用하여 實測流量의 適正確率分布型으로 檢證된 2變數 Gamma分布 및 2變數 對數正規分布에 의한 各 流域별 月流出量 模擬發生式을 誘導하였고 이들 流域의 100年에 걸친 合成月流量을 模擬發生시켰으며 實測值와 두개 分布에 의해 模擬發生된 月流量을 流域별로 圖示한 結果는 Fig-8, 9, 10, 11 및 12와 같다. 이를 流域별로 살펴보면 대체적으로 全流域에 流量變化 傾向에 類似함을 認할 수 있으며 특히 流域面積이 작은 龍潭 및

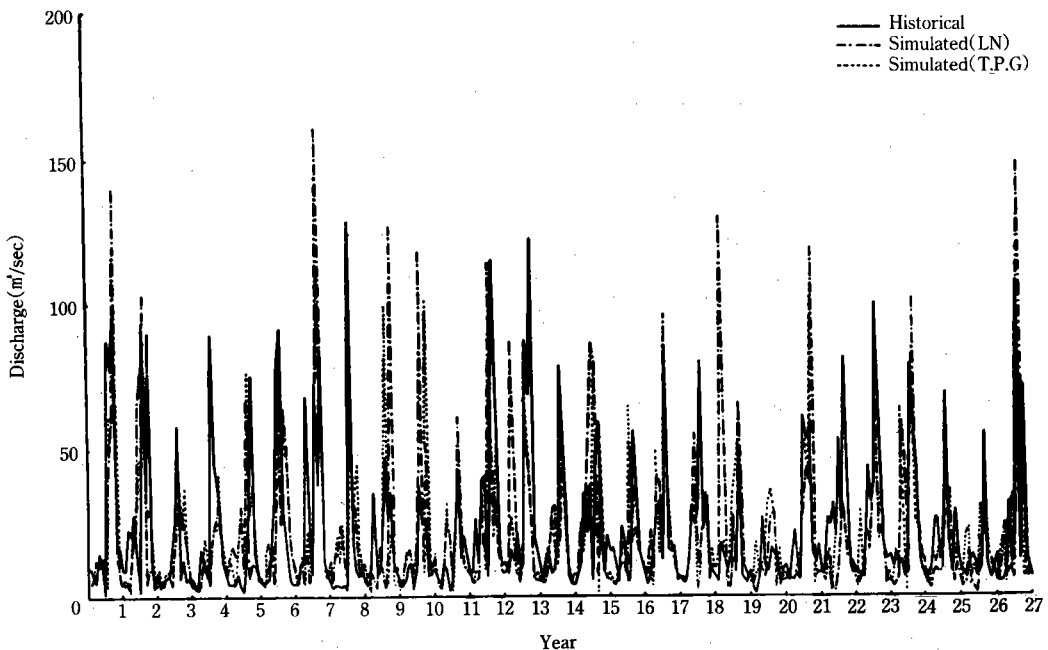


Fig. 8. Comparison between Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Yong Dam Watershed.

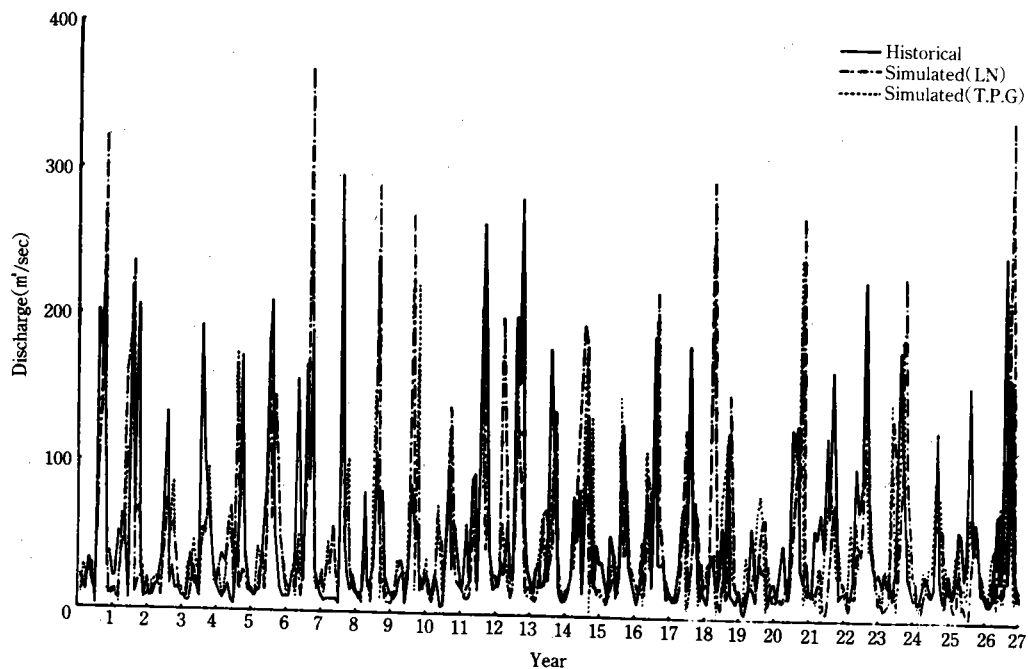


Fig. 9. Comparison between Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Geum San Watershed.

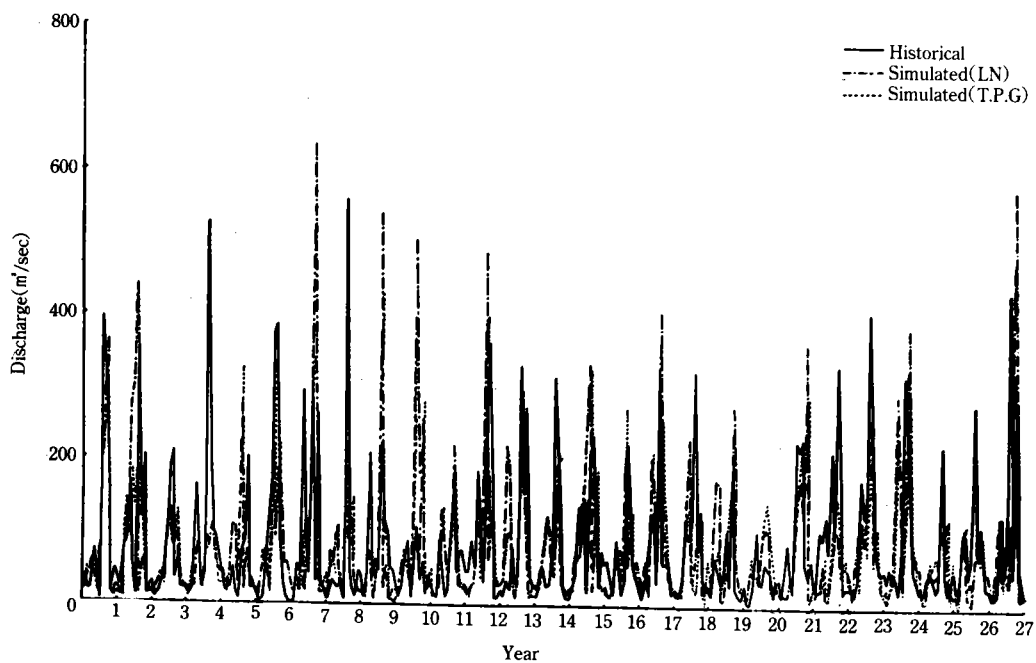


Fig. 10. Comparison between Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Og Cheon Watershed.

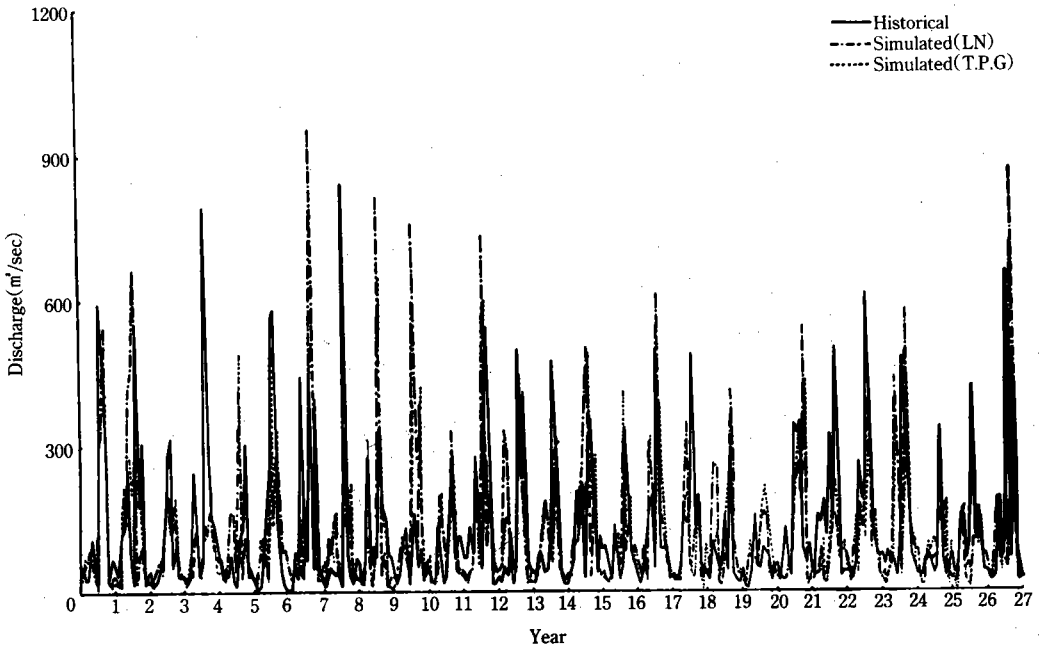


Fig. 11. Comparison between Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Gong Ju Watershed.

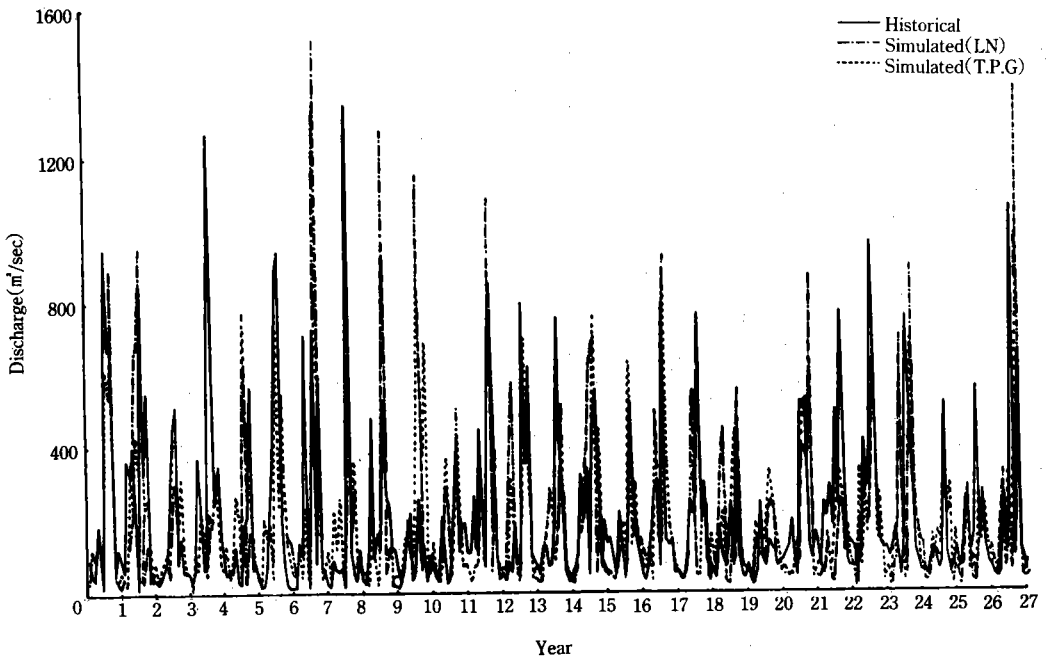


Fig. 12. Comparison between Historic and Synthetic Streamflow Sequences at Gyu Am Watershed.



錦山 流域은 沃川流域보다 實測值와 模擬發生 流量值間의 差가 작은편이나 流域面積이 큰 公州 및 窺岩流域은 實測值와의 差가 다소 크게 나타났음을 보여주고있다. 또한 全流域에 걸쳐 月별로 살펴보면 7,8月の 尖頭流量에서는 全般的으로 實測值보다 模擬發生值가 큰편이었으며 이중에도 2變數 對數正規分布에 의한 模擬發生值가 2變數 Gamma分布의 경우보다 대체로 더 큰 값을 나타내었고, 11, 12, 1 및 2月の 갈수기에는 全般的으로 實測值보다 模擬發生值가 작은편으로서 특히 2變數 對數正規分布가 2變數 Gamma分布의 경우보다 대체로 작은값을 나타내었다. 以上과 같은 結果를 綜合的으로볼 때 錦江水系의 5個 流域에서는 一般的으로 2變數 Gamma分布에 의한 模擬發生值가 2變數 對數正規分布의 模擬發生值보다 훨씬더 實測值에 接近되는 좋은 結果를 가져왔다. 이는 Wang<sup>24)</sup>이 流域面積이 754km<sup>2</sup>에서 3,056km<sup>2</sup>인 臺灣 7個 流域을 對象으로 2變數 Gamma分布에 의해 模擬發生한 結果와도 近似한 傾向을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

## VI. 結 論

農業水利構造物의 合理的인 設計 및 運營基準의 設定을 위해서는 무엇보다도 長期間의 水文時系列의 확보가 급선무라 아니할 수 없다. 따라서 本 研究에서는 錦江水系의 5個流域을 對象으로 月流出量에 관한 適正分布型을 찾아내고 適正分布型에 따른 多季節 1次 Markov模型의 적용으로서 統計特性值間의 比較分析과 함께 模擬發生에 의한 合成流量을 實測值와 比較檢討한바 그結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 月流出量資料의 適正確率分布型 設定을 위해 Kolmogorov-Smirnov Test를 遂行한 結果 全流域에 걸쳐 2變數 Gamma分布 및 2變數 對數正規分布의 適合度가 共히 認定되었다.

2. 模擬發生된 月流量과 實測值間의 統計特

性值를 比較分析한 結果 全流域에 걸쳐 2變數 Gamma分布를 갖는 模型에 의해 發生된 月流量系列의 統計特性值가 2變數 對數正規分布의 統計特性值보다 一般的으로 實測值의 月流量 統計特性值를 잘 再現해 주고 있음을 보여주고 있다.

3. 模擬發生된 月流量과 實測值에 대한 變動係數의 變化를 보면 2變數 Gamma分布가 2變數 對數正規分布에 비해 實測值의 變動係數에 全般的으로 더욱 接近되는 良好한 結果를 나타냈으며, 특히 2變數 Gamma分布에 의한 6月~8月の 變動係數가 實測值의 것과 비슷한 樣相을 보여주고있다.

4. 多季節 1次 Markov模型에 의한 月流量 模擬發生을 實測流量의 適正確率分布型으로 檢證된 2變數 Gamma分布 및 2變數 對數正規分布에 의해 月流量을 各各 模擬發生시켜 實測值와 比較檢討한 結果 2變數 Gamma分布에 의한 模擬發生值가 2變數 對數正規分布의 것보다 훨씬더 實測值에 接近되는 좋은 結果를 나타내었다.

5. 本 分析 對象流域에 適正模擬發生模型으로 判定된 2變數 Gamma分布의 多季節 1次 Markov模型에 의해 各 流域별로 100年 合成月流量을 模擬發生시켰으며 이는 장차 水資源 綜合開發을 위한 長期間의 流量系列의 入力資料로서 기여할 수 있으리라 사료된다.

한편 本 分析에서 使用된 合成流量 發生技法과 他 水文時系列 模擬發生技法과의 比較分析에 관하여는 계속 研究가 要望된다.

## 參 考 文 獻

1. Barns, F.B.; Storage Required for a City Water Supply, J.I.E. Aust., Vol. 26, p. 198, 1954.
2. Beard, L.R.; Use of Interrelated Records to Simulate Streamflow, J.Hy. Div. ASCE, Vol.91, HY5, pp. 13~22, Sept. 1965.

3. \_\_\_\_\_ ; Streamflow Synthetic for Ungaged Rivers, Proc. IASH, 1967.
4. Chow, V.T.,(ed.) ; Sequential Generation of Hydrologic Information, Handbook of Applied Hydrology, Chap. 8-IV, pp.8-91~8-96, McGraw-Hill, N.Y., 1964.
5. Fiering, M.B. ; Multivariate Technique for Synthetic Hydrology, J.Hy. Div. ASCE, Vol.90, HY5, pp.43~60, 1964.
6. \_\_\_\_\_ ; Streamflow Synthetic, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1967.
7. \_\_\_\_\_ and Jackson, B.B. ; Synthetic Streamflow, American Geophysical Union, Water Resources Monograph, 1, 1971.
8. Harms, A.A. and T.H. Campbell ; An Extension to the Thomas-Fiering Model for the Sequential Generation on Streamflow, Water Resources Research, Vol.3, No.3, 1967.
9. Harzen, A. ; Storage to be Provided in Impounding Reservoirs for Municipal Water Supply, Trans. ASCE. Vol. 77, p.1539, 1914.
10. Hean, C.T. ; Statistical Method in Hydrology, Iowa State University Press, Ames, pp.97~158, 1977.
11. Klenmēs, V. and L. Borůvka ; Simulation of Gamma-Distribution First-Order Markov Chain, Water Resources Research, Vol. 10, No. 1, pp. 87~91, Feb. 1974.
12. Kottegoda, N.T. ; Stochastic Five Daily Stream Flow Model, J.Hy.Div., ASCE, Vol.98, HY9, Sept.1972.
13. Maass, A., et al ; Design of Water Resources Systems, Harvard University Press, 1962.
14. Matalas, N.C. ; Statistics of a Runoff-Precipitation Relation, U.S.Geological Survey, Professional Paper 434-D, 1963.
15. \_\_\_\_\_ ; Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology, Water Resources Research, Vol. 3, No. 4, 1967.
16. Mckerchar, A. I. and J. W. Delleur ; Application of Seasonal Parametric Linear Stochastic Models to Monthly Flow Data, Water Resources Research, Vol. 10, No. 2, Apr., 1974.
17. McMahon, T.A., et al ; Stochastic Generation of Streamflow Data, Civil Engineering Research Reports, No. 2, Monash University, Aust., Mar. 1972.
18. \_\_\_\_\_ and A.J. Miller ; Application of Thomas-Fiering Model to Skewed Hydrologic Data, Water Resources Research, Vol. 7, No. 5, 1971.
19. Meyer, H.A.(ed.) ; Symposium on Monte Carlo Methods, John Wiley & Sons Inc., N.Y., 1956.
20. Murota, A and T. Kanda ; A Stochastic Model to Simulate Monthly River Flow Sequences, Proc. 13th Cong. IAHR, Vol.1, pp.163~170, 1969.
21. Quimpo, R.G. ; Stochastic Analysis of Daily River Flows, J. Hy. Div., ASCE, Vol. 94, HY 1, PP. 43~57, 1968.
22. \_\_\_\_\_ and V. Yevjevich ; Stochastic Description of Daily River Flows, Proc. Intern. Hydrol. Symposium, Vol.1, pp.290~297, Ft. Collins, Colorado, 1967.
23. Sudler, C.E. ; Storage Required for Regulation of Streamflow, Trans. ASCE, Vol.91, p.622, 1927.
24. Wang, Ru Yi ; A Study on the Simulation of Monthly Streamflows of Watersheds in Taiwan, Journal of Chinese Agricultural Engineering, Vol.20, No. 4, pp.1~17, 1974.

25. Yevjevich, V. ; Stochastic Processes in Hydrology, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, pp.249~259, 1972.
26. 朴贊寧, 徐炳夏 ; Dissagregation模型에 의한 月流量的 推計學的 模擬發生, 韓國水文學會誌, Vol.19, No.2, pp.167~179, June, 1986.
27. 産業基地開發公社 ; 錦江流域調查報告書, 1986.
28. 徐炳夏, 尹龍男, 姜瑄沅 ; BIVARIATE ANALYSIS에 의한 月流量的 模擬發生에 관한 研究, 韓國水文學會誌, Vol.12, No.2, pp.63~69, Dec. 1979.
29. 尹龍男 ; 工業水文學, 淸文閣, pp.495~530, 1988.
30. \_\_\_\_\_, 李殷泰 ; 河川流量의 模擬發生을 위한 Monte Carlo方法과 Autoregressive方法의 比較, 韓國水文學會誌, Vol.18, No.4, pp.335~345, Dec. 1985.
31. 李舜鐸 ; 河川流量의 模擬發生에 관한 推計學的 研究, 博士學位論文, 高麗大學校, 大學院, 土木工學科, 1974.
32. \_\_\_\_\_, 安慶洙, 李義洛 ; Simulation Technique에 의한 水資源의 變動樣相 및 그 模擬發生모델에 관한 研究, 韓國水文學會誌, Vol.9, No.2, pp.87~100, Dec. 1976.
33. 李淳赫外 ; 應用水文學, 鄉文社, pp.302~324, 1984.
34. 李種南 ; 南漢江水系의 月降雨量과 月流出量의 時系列 算術模型, 韓國水文學會誌, Vol.14, No.2, pp.71~79, June, 1981.
35. 千德鎮, 崔榮博 ; 水文學的 模擬技法에 대한 研究, 韓國水文學會誌, Vol.13, No.1, pp.49~56, Mar. 1980.
36. 崔漢圭, 崔榮博, 金治弘 ; 河川流量의 水文學的 模擬技法에 관한 研究(I), 韓國水文學會誌, Vol.15, No.2, pp.33~39, June, 1982.
37. \_\_\_\_\_ ; 推計學的 貯水容量 決定에 관한 研究, 韓國水文學會誌, Vol.19, No.2, pp.149~155, June, 1986.