

〈論 文〉

河川流量的 模擬發生을 위한 Monte Carlo 方法과 Autoregressive 方法의 比較

A Comparative Study of Monte Carlo and Autoregressive Methods
for the Synthetic Generation of River Flows

尹 龍 男*

Yong-Nam Yoon

李 殷 泰**

Eun-Tae Lee

Abstrat

The purpose of stochastic models for synthetic generation of river flows based on the short-term observed data is to provide abundant input data to the water resources systems of which the system performance and operation policy are to be determined beforehand.

Among many of such models the Monte Carlo Method of synthetic generation, which is usually known to be appropriate for annual data generation, is employed to check if it can be applied for the generation of monthly flows. For the purpose of comparisons the statistical parameters of the generated monthly flows by Monte Carlo model based on the appropriate probability distribution for each month were compared with those of the generated flows by Thomas-Fiering multiseason model and with those of the observed monthly flows.

On the other hand, the statistical parameters of the annual river flows obtained by adding the generated monthly flows year by year based on the Monte Carlo and Thomas-Fiering models were compared with those of the annual flows generated directly by annual Monte Carlo model with reference to those for the observed annual river flows.

Based on the above comparative studies, the discussions are made and conclusions derived.

要 旨

推計學的 理論을 근거로 하는 河川流量의 模擬發生 模型에는 여러가지가 있으며 이는 限定된 짧은 期間동안의 流量 實測值의 統計學的 特性을 再現시키는 일련의 長期間 流量資料를 인위적으로 발생시켜 水資源 시스템의 舉動豫測이나 操作基準을 보다 완벽하게 設定하기 위한 풍부한 入力 資料를 제공하자는데 目的이 있다. 本研究에서는; 年流量의 模擬發生에 주로 사용되는 Monte Carlo 模型을 年流量資料를 구성하는 月別 河川流量의 發生에 적용 가능한가를 研究 검토하였다. 比較檢討의 目的으로 실측된 月別 流量의 適定分布型을 설정한 후 Monte Carlo 方法에 의해 발생한 月流量과 Autoregressive 模型중의 하나인 Thomas-Fiering 의 多季節模型에 의해 발생한 月流量의 統計學的 特性值를 實測值의 特性值와 比較하였다.

한편, 月流量 發生資料의 合成에 의한 年流量資料의 特性值가 實測 月流量의 合成에 의한 年流量 特性值를 얼마나 잘 再現시키는지를 檢査하기 위해 Monte Carlo 및 Thomas-Fiering 模型에 의해 발생시킨 年流量의 統計學的 特性值를 實測流量의 統計特性值와 比較評價하였다.

* 高麗大 工大 教授

** 慶熙大 工大 助教授

1. 序 論

推計學的 理論에 의해 河川流量을 模擬發生하는 근본적인 목적은 한정된 기간의 짧은 流量記錄만으로는 水資源시스템의 舉動 豫測이나 시스템 操作基準의 설정을 정확하게 할 수 없기 때문에 可用한 짧은 流量記錄의 統計學的 特性을 유지하는 장기간의 河川流量을 發生시켜 시스템에 入力시킴으로서 보다 완전한 시스템 분석을 실시하자는 데 있다.

河川流量의 模擬發生 방법은 일반적으로 流量資料系列이 水文學的 持續性을 가지는지의 與否에 따라 2 가지 각각 다른 推計學的 방법을 사용한다. 持續性을 가지지 않는 경우에는 소위 Monte Carlo 방법^{3,7,9,14,17}을 사용하는 것으로서 流量資料 系列의 適正 確率分布를 既存流量資料로부터 산정하고 亂數의 發生에 의해 流量資料를 模擬發生하는 방법이며, 月河川 流量의 경우에는 이 방법의 適用은 불가한 것으로 알려져 왔다.

資料系列이 持續性을 가진 경우에는 水文變量的의 模擬發生을 위해 Auto Regressive model,⁴ Moving Average model,¹⁸ ARMA model^{8,18,21} ARIMA model^{2,8} 및 Fractional Gaussian Noise model^{6,9,10,11,12,13} 등이 사용되며, 月流量과 같이 多季節性을 가지는 時系列의 發生을 위해서는 Auto Regressive Seasonal model¹⁵ Thomas-Fiering 型 模型¹⁶ 및 Box & Jenkins 模型¹⁷ 등이 사용되어 왔으며 이 중 Thomas-Fiering 의 多季節 模型과 Box & Jenkins 模型에 속하는 ARIMA(1,0,1)模型이 대체로 月流量의 發生에 適合한 Univariate 模型으로 알려져 있다. 이들 多季節 模型에 의한 月流量의 模擬發生을 위해서는 模型의 變數를 결정하는 것이 큰 문제로 되어 있다.

本 研究에서는 年 發生模型으로서의 Monte Carlo 模型을 月流量의 模擬發生 模型으로 적용 가능한가를 밝혀보기 위해 月流量을 Monte Carlo 方法으로 發生시킨 후 發生資料의 統計學的 特性值를 月流量의 模擬發生 模型으로 많이 사용되고 있는 Thomas-Fiering 模型에 의해 發生된 月流量 및 實測 月流量의 統計特性值와 比較분석 하고져 한다.

2. 模擬發生模型의 理論的 考察

1) 單一季節 模型

本 연구에서 사용한 單一季節模型(Single Season model)은 Monte Carlo model로서 分布形이 正規分布

對數正規分布, 2 變數 Gamma 分布⁶⁾의 경우에 대하여 검토하였다.

正規分布의 경우 Monte-Carlo model의 일반식은 正規分布의 標準正規化에서부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Y = \mu + \sigma Z_t \dots\dots\dots(1)$$

여기서 Y는 發生되는 資料系列을 의미하며, μ 은 實測資料의 平均을, σ 는 實測資料의 標準偏差를, 그리고 Z_t 는 分散이 1이고 平均이 0인 正規亂數를 나타내고 있다.

對數正規分布의 경우는 資料의 對數值들이 正規分布로 이루고 있으므로 다음과 같이 標示한다.

$$Y = \exp(\mu + \sigma Z_t) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 Y는 發生資料系列을 의미하며, μ 는 實測資料의 對數值를 취한 값들의 平均을, σ 는 實測資料의 對數值를 취한 값들의 標準偏差를, Z_t 는 分散이 1이고 平均이 0인 正規亂數를 표시한다.

2 變數 Gamma 分布의 경우는 正規分布와 같으나 사용亂數를 正規亂數대신 Gamma 亂數를 사용하며 이때 Gamme 亂數를 y라 하면 (1)式의 Z_t 대신 y를 사용하면 된다. Gamma 亂數는 주어진 資料의 歪曲度係數를 g_y 라 할 때 다음과 같이 구한다.⁵⁾

$$g_y = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right)^{1.5}} \dots\dots\dots(3)$$

$$g_\epsilon = \frac{1 - \gamma_1^3}{(1 - \gamma_1^2)^{3/2}} g_y \dots\dots\dots(4)$$

$$y = \frac{2}{g_\epsilon} \left(1 + \frac{g_\epsilon}{6} Z_t - \frac{g_\epsilon^2}{36}\right)^3 - \frac{2}{g_\epsilon} \dots\dots\dots(5)$$

여기서 x_i 는 實測 時系列이며, \bar{x} 는 그 時系列의 平均, n는 주어진 時系列의 資料數, g_y 는 주어진 時系列의 歪曲度係數, g_ϵ 는 Gamma 亂數의 歪曲度係數이며 γ_1 는 주어진 時系列의 Lag-One 系列相關係數이고 Z_t 는 正規亂數이다.

2) 多季節 模型

本 연구에서 사용한 模型은 Thomas Fiering 모형^{5,16)}으로 이 모형은 1차 Markov 형의 모형이며 月流量資料의 發生에 주로 사용되며 發生方程式은 다음과 같다.

$$Q_{ij} = \bar{Q}_j + r_j \frac{S_j}{S_{j-1}} (Q_{ij-1} - \bar{Q}_j) + Z_{ij} S_j \sqrt{1 - r_j^2} \dots\dots(6)$$

여기서 Q_{ij} 는 i년 j월의 模擬發生流量이며, \bar{Q}_j 은 j월의 平均流量, r_j 은 j 및 (j-1)월의 流量間의 系列相關係數, S_j, S_{j-1} 은 각각 j월과 (j-1)월 流量의 標準偏差

이고 다음 식들에 의해 標本 月流量들로부터 구해지며 Z_{ij} 은 正規分布 혹은 2變數 Gamma 分布를 갖는 亂數이다.

$$\bar{Q}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{ij} \dots\dots\dots (7)$$

$$S_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_{ij} - \bar{Q}_j)^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ij} - \bar{Q}_j) (Q_{ij+1} - \bar{Q}_{j+1})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{ij} - \bar{Q}_j)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{ij+1} - \bar{Q}_{j+1})^2}} \dots\dots\dots (9)$$

간일 月流量 Q_{ij} 가 對數正規分布를 갖는 時系列이라면 流量의 對數值로 標示된 것이므로 發生되는 流量은 이를 變換하여 얻게 된다.

$$Q_{ij}^* = \exp(Q_{ij}) \dots\dots\dots (10)$$

또한 2變數 Gamma 分布의 Gamma 亂數 Z'_{ij} 는 正規亂數를 Z_{ij} 이라 할 때 다음과 같이 구하였다.⁵⁾

$$g_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{ij}^3 - 3S_j^2 \bar{Q}_j + Q_j^3}{S_j^3} \dots\dots\dots (11)$$

$$g_j' = \frac{g_j - r_j^3}{(1 - r_j^2)^{1.5}} \dots\dots\dots (12)$$

$$Z'_{ij} = \frac{2}{g_j'} \left(1 + \frac{g_j' Z_{ij}}{6} - \frac{g_j'^3}{36} \right)^3 - \frac{2}{g_j'} \dots (13)$$

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

3. 資料 및 分析方法

본 研究에 사용한 資料는 漢江本流의 華川댐 지점의 과거 30年間の 月流量 實測 資料(1953~1982)와 南漢江 上流 槐山地點의 과거 25年間 月流量 實測 資料(1958~1982)를 그 대상으로 하였다.²⁰⁾

Monte-Carlo model 은 원래 年流量 發生 모델이지만 본 研究에서는 각각의 月을 單一季節(Single Season)로 생각하여 月流量을 模擬發生시켰다. 물론 單一季節模型(Single Season model)에는 持續性 與否에 따라 AR, MA, ARMA, ARIMA 模型 등이 있으나 본 研究에 사용한 地點의 月流量 資料들을 月別로 持續性 檢査(Persistence Test)를 한 결과^{3,6,9)} 모두 持續性이 缺如되었으므로 年流量 資料 역시 持續性이 缺如

된 것이 判明되어 Monte Carlo 模型을 適用하되 각각의 最適 分布函數에 따라 發生시키고 또한 모든 月을 같은 分布(正規, 對數正規, 2變數 Gamma)라고 假定하고 각각의 分布로 發生시켰다. 또한 多季節 模型(Multi-Season model)인 Thomas-Fiering 模型을 適用하되 역시 正規, 對數正規, 2變數 Gamma 分布라고 했을 때 각각에 대하여 月流量을 發生시켰으며 月流量의 合計를 年流量으로하여 각각 비교하였다 또한 각 月에 대하여 Smirnov-Kolmogorov Test^{6,9)}에 의해 適合性(Goodness-Fit Test)를 검정하여 각 月의 適正分布가 다르다고 생각하고 發生시켜 보았다. 비교의 방법으로 먼저 月流量들을 하나의 時系列로 생각하여 Correlogram을 그리고 Young-Pisano¹⁹⁾의 Standardization에 의한 月流量을 다른 하나의 時系列로 하여 Correlogram을 비교하였다. 이때 比較値로는 Monte Carlo 方法에 의한 發生 月流量과 Thomas-Fiering 模型에 의한 月流量系列 및 實測値를 비교하였다. 또한 統計特性値로서 平均, 標準偏差, 歪曲度 係數, 月別 相關係數 등을 比較하였으며 年流量에 대하여도 같은 방법으로 비교하였다.

4. 結果의 分析 및 檢討

앞에서 言及한 바와 같이 Mone Carlo 模型을 각 月別로 적용하여 模擬發生시킨 結果를 종합하여 붙여 2變數 Gamma 分布가 實測資料의 統計特性値와 가장 가까운 結果를 주었으므로 이에 대하여 Correlogram과 각종 統計特性値를 比較 檢討하였다. 참고로 각 月別 最適 分布라고 판단되는 分布로 각각의 月을 다르게 하여 模擬發生시킨 月流量 系列에 대하여도 檢討하였다. 多季節 模型으로서는 Thomas-Fiering 模型의 경우에 있어서도 正規, 對數正規, 2變數 Gamma 分布를 이용하여 각각에 대하여 模擬發生시켰으나 對數正規分布의 경우가 最適分布型인 것으로 判斷되어 이를 Correlogram 및 각종 統計特性値의 比較에 사용하였다.

1) 年模型에 의한 月流量의 Correlogram 比較

Correlogram은 時系列을 구성하는 確正性分을 把握하는 데 유용하게 사용되는데 槐山地點의 實測 月流量으로부터 月流量系列의 Correlogram을 그렸을 때 12개월을 週期로하여 진동하고 있음을 보이고 있으며, 年模型인 Monte Carlo 模型을 月流量 發生에 適用하여 12個月 各 月의 200年値의 流量을 發生시킨 후 Corre-

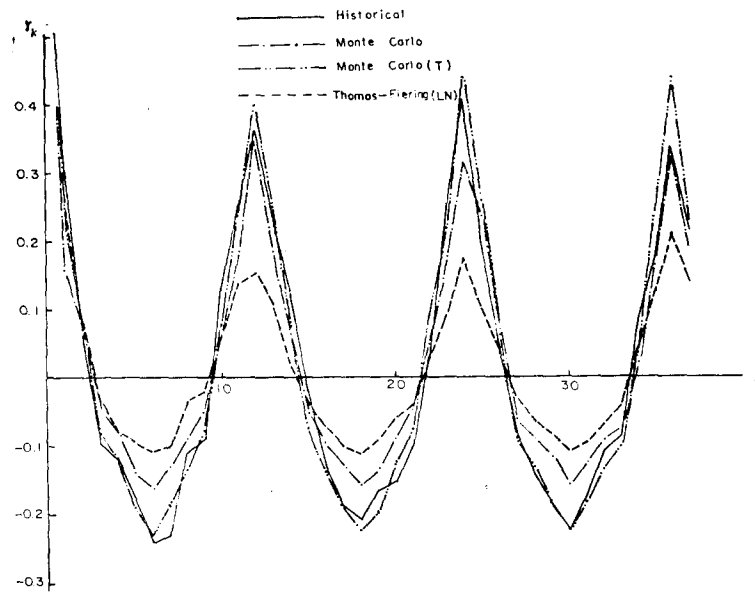


Fig. 1 Correlograms for Monthly Streamflows at Goesan

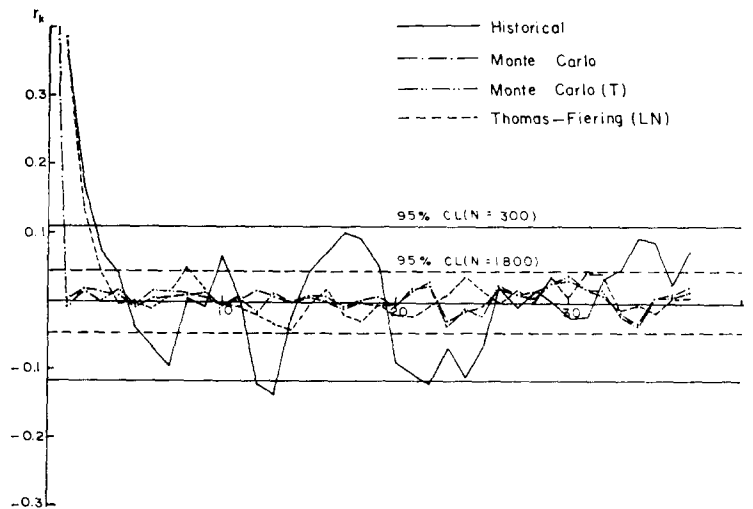


Fig. 2 Correlograms for Standardized Monthly Streamflows at Goesan

logram 을 그린 결과가 Fig. 1에 있으며 여기서 알 수 있는 바와 같이 實測値와 比較할 때 振幅은 미소한 차이가 있으나 週期性은 같은 양상을 보임을 알 수 있다. 따라서 年模型인 Monte Carlo 模型으로 각 月流量을 發生시키더라도 實測資料의 週期性을 잘 再現시켜

주고 있다고 할 수 있을 것이다. 이는 華川 地點의 경우도 같은 결과를 보였다. 그러나 Fig. 2에서 보듯이 Young-Pisano의 標準化 過程을 거친 資料에 있어서는 實測資料 및 Thomas-Fiering 模型에 의해 發生된 資料는 持續性 存在이나 Monte Carlo 模型의 경우는

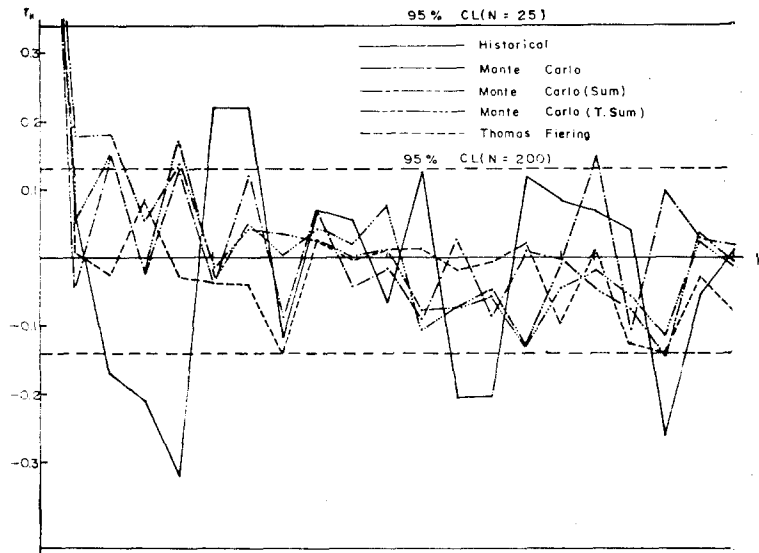


Fig. 3 Correlograms for Annual Streamflows at Goesan

持續性 不在로 나타났다.

2) 多秀節 模型에 의한 月流量의 Correlogram 比較

Thomas-Fiering 模型의 正規分布, 對數正規分布 2 變數 Gamma 分布에 의해 月流量을 각각 發生시킨 결과 對數正規分布의 경우가 實測值를 가장 잘 再現시켜 주고 있었으며, 그때의 Correlogram 이 Fig. 1에 나타나 있다. 여기서도 대체로 實測值와 같은 週期性을 보이고 있음을 알 수 있으며 標準化 過程을 거친 資料系列 역시 實測值와 같이 持續性存在로 나타났다.

3) 年流量의 Correlogram 比較

年模型(Monte Carlo model)에 의한 경우와 實測值, 그리고 Monte Carlo model 模型에 의해 發生시킨 各月流量系列의 合으로부터 구한 年流量系列 및 月流量模型인 Thomas-Fiering 模型으로 부터 發生시킨 各月流量을 合成하여 구한 年流量系列에 대한 Correlogram 을 比較한 결과가 Fig. 3에 表示되어 있으며 發生資料系列들이 實測值의 特性을 잘 再現시켜 주고 있음을 알 수 있다. 그러나, 年模型인 Monte Carlo 模型에 의해 月別 分布特性을 고려하여 發生시킨 月流量의 合成에 의한 年流量系列은 持續性 存在로서 實測 年流量系列의 持續性 不在와는 다른 結果를 보여 주었다.

4) 統計特性值의 比較

實測 流量資料와 多秀節 模型인 Thomas-Fiering 模

型, 年模型에 의한 月流量 發生系列들의 月 및 年에 대한 統計特性值를 정리한 결과는 표-1, 2, 3, 4와 같다. 표에서 알 수 있듯이 Monte Carlo 模型으로서 月別 適正 分布特性을 고려한 경우보다 모든 月을 2 變數 Gamma 分布로 하여 發生시킨 月流量資料가 實測值의 統計特性值의 再現에 有利함을 보이고 있다. 平均值는 相對誤差가 대체로 0.3~48.9%에 걸쳐 있으며 歪曲度에 있어서는 전반적으로 相對誤差가 1.3~770.8%, 標準偏差에 있어서는 相對誤差 1.0~327.5%로서 年模型인 Monte Carlo 模型에 의해 月流量을 發生시켰을 경우가 Thomas-Fiering 模型보다 相對誤差가 작게 나타나고 있음을 보이고 있다.

年流量의 경우에 있어서는 年模型에 의해 月別로 發生시킨 후 合成하여 年流量系列을 형성한 경우보다는 實測資料로부터 바로 年流量을 Monte Carlo 模型에 의해 發生시킨 경우가 實測值의 統計特性值를 잘 再現시키고 있음을 보이고 있으나, Thomas-Fiering 模型에 의해 月流量을 發生시킨 후 合成한 年流量系列에 비해서는 年模型에 의해 月流量을 發生시킨 후 合成한 年流量系列이 實測值의 統計特性值를 더 잘 再現해 주고 있음을 보이고 있다.

5) 適正 分布函數 比較

본 연구에서는 각 月에 대한 適正分布函數 檢正을 위해 Smirnov-Kolmogorov Test 를 사용하였는데 어느 月에 있어서는 有意水準(Significance Level) 95%

表 1. 월 유량계열의 통계특성치 비교

(槐山嶺)

월	통계치 구분 모형	평균치		표준 편차		왜곡도 계수		상관계수($j \sim j-1$ 월)	
		절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
1	Historical	79.36		79.81		3.1520		-0.0793	
	M-C	75.4	5.0	51.7	35.2	2.1568	31.6	0.0818	203.2
	M-C(T.P.G)	77.3	2.6	76.0	4.8	2.9953	5.0	0.0694	187.5
	T-F(LN)	76.7	3.4	51.0	36.1	1.4646	53.5	-0.8926	1025.6
2	Historical	114.49		94.23		1.5844		0.4371	
	M-C	112.4	1.8	83.3	11.6	1.4336	9.5	-0.0252	105.8
	M-C(T.P.G)	112.4	1.8	83.3	11.6	1.4336	9.5	-0.0146	103.3
	T-F(GN)	121.3	5.9	100.9	7.1	2.7917	76.2	-0.1114	125.5
3	Historical	289.79		305.39		2.2111		0.2798	
	M-C	263.7	9.0	226.0	26.0	2.2396	1.3	-0.0472	116.9
	M-C(T.P.G)	269.7	6.9	263.0	13.9	1.9899	10.0	-0.0384	113.7
	T-F(LN)	288.0	0.6	258.2	15.5	2.0245	8.4	-0.0496	117.7
4	Historical	442.8		448.26		2.1851		-0.0395	
	M-C	481.4	8.7	512.0	14.2	2.7290	24.9	0.0734	285.8
	M-C(T.P.G)	463.4	4.7	422.0	4.9	1.7147	21.5	0.0441	211.6
	T-F(LN)	533.3	20.4	988.8	120.6	6.5542	199.9	-0.2556	547.1
5	Historical	311.08		327.29		1.5129		0.4612	
	M-C	399.70	20.7	558.0	70.5	3.3800	153.2	0.1160	74.8
	M-C(T.P.G)	349.0	5.4	340.0	3.9	1.3164	13.0	0.0404	91.2
	T-F(LN)	492.9	48.9	1398.4	327.3	9.4482	524.5	0.7524	63.1
6	Historical	379.80		529.8		1.4665		0.3331	
	M-C	359.6	5.3	610.0	15.1	4.5390	209.5	-0.0005	100.2
	M-C(T.P.G)	377.5	0.6	513.0	3.2	1.1527	21.4	0.0238	92.9
	T-F(LN)	550.6	45.0	1326.5	150.4	5.0590	245.0	0.5779	73.5
7	Historical	1507.22		1086.18		1.3610		0.0495	
	M-C	1646.9	9.2	1280.0	17.8	1.8258	34.2	0.1356	173.9
	M-C(T.P.G)	1646.6	9.2	1280.0	17.8	1.8258	34.2	0.0854	72.5
	T-F(LN)	1654.4	9.8	2117.4	94.9	6.9335	409.4	0.2431	391.1
8	Historical	1188.66		865.4		1.0109		-0.0426	
	M-C	1315.5	10.7	1390.0	60.0	2.5257	149.8	-0.0891	109.2
	M-C(T.P.G)	1184.6	0.3	891.0	3.0	1.1094	9.7	-0.1035	143.0
	T-F(LN)	1555.3	30.8	1641.6	89.7	2.8840	185.3	-0.3535	729.8
9	Historical	901.8		750.23		0.8224		0.1189	
	M-C	1080.9	19.9	1650.0	119.9	5.8219	607.9	0.0067	94.4

월	통계치 구분 모형	평균치		표준 편차		왜곡도 계수		상관계수($j \sim j-1$ 월)	
		절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
		M-C(T.P.G)	959.3	6.4	743.0	1.0	1.0884	32.3	-0.0239
T-F(LN)	1201.6	33.2	2084.7	177.9	7.1613	770.8	-0.0247	120.8	
10	Historical	170.75		123.65		1.3990		0.5293	
	M-C	176.4	3.3	116.0	6.2	1.4276	2.0	-0.1141	121.6
	M-C(T.P.G)	176.4	3.3	116.0	6.2	1.4276	2.0	-0.1012	119.1
	T-F(LN)	211.2	23.7	256.5	107.4	8.0693	476.8	0.7669	44.9
11	Historical	135.00		99.81		1.6353		0.7338	
	M-C	136.0	0.7	92.1	7.7	1.5374	6.0	-0.0376	105.1
	M-C(T.P.G)	136.8	1.3	96.6	3.2	1.3046	20.2	-0.0322	104.4
	T-P(LN)	154.6	14.5	113.7	13.9	1.7566	7.4	0.2295	68.7
12	Historical	105.4		70.39		1.3952		0.8413	
	M-C	118.8	12.7	86.4	22.7	1.6853	20.8	-0.0021	100.2
	M-C(T.P.G)	118.8	12.7	86.4	22.7	1.6853	20.8	0.0043	99.5
	T-F(LN)	105.1	0.3	57.4	18.0	1.1829	15.2	0.0686	91.8

註 Historical : 실측자료

M-C : Monte Carlo model 로 각월의 적정확률분포에 따른 경우

M-C(T.P.G) : Monte Carlo model 로 Two-Parameter Gamma 분포의 경우

T-F(LN) : Thomas-Fiering model 로서 대수정규분포의 경우

表 2. 월유량계열의 통계특성치 비교

(華川댐)

월	통계치 구분 모형	평균치		표준 편차		왜곡도 계수		상관계수($j \sim j-1$ 월)	
		절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
		1	Historical	406.82		140.25		0.6063	
	M-C	408.1	0.3	136.0	3.0	0.7083	16.8	0.0928	28.6
	M-C(T.P.G)	408.1	0.3	139.0	3.0	0.7083	16.8	0.0928	28.6
	T-F(LN)	413.6	1.7	148.5	5.9	0.7520	24.0	-2.2605	1840.2
2	Historical	439.23		200.89		2.6118		0.4979	
	M-C	429.5	2.2	169.0	15.9	2.7866	6.7	-0.0300	106.0
	M-C(T.P.G)	429.5	2.2	169.0	15.9	2.7866	6.7	-0.0300	106.0
	T-F(LN)	451.6	2.8	173.8	13.5	1.2113	53.6	-1.6988	441.2
3	Historical	1390.35		1193.85		2.2363		0.2598	
	M-C	1292.8	7.0	876.0	26.6	1.7130	23.4	-0.0227	108.7
	M-C(T.P.G)	1314.0	5.5	1040.0	12.9	1.8305	18.1	-0.0198	107.6
	T-F(LN)	1394.4	0.3	1004.3	15.9	1.7242	22.9	-0.7030	370.6
4	Historical	3148.40		2964.34		2.4907		0.1483	
	M-C	3220.8	2.3	2460.0	17.0	1.8809	24.5	0.0556	62.5

월	통계치		평균치		표준 편차		왜곡도 계수		상관계수(j~j-1월)	
	구분	모형	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
	M-C(T.P.G)		3270.5	3.9	2770.0	6.6	1.8519	25.6	0.0466	68.6
	T-F(LN)		3280.0	4.2	3299.3	11.3	4.1895	68.2	-0.3329	324.5
5	Historical		1780.12		1297.90		1.7717		0.6476	
	M-C		1851.9	4.0	1350.0	4.0	1.7868	0.9	0.494	23.7
	M-C(T.P.G)		1851.9	4.0	1350.0	4.0	1.7868	8.9	0.0549	91.5
	T-F(LN)		1947.6	9.4	1814.4	39.8	4.4752	152.9	0.3524	45.6
6	Historical		2187.30		1995.67		1.2508		0.1887	
	M-C		2178.6	0.4	1950.0	2.3	0.9648	22.9	0.0393	79.2
	M-C(T.P.G)		2178.6	0.4	1950.0	2.3	0.9648	22.9	0.0393	79.2
	T-F(LN)		2769.4	26.5	4018.6	101.4	5.3772	329.9	0.3811	102.09
7	Historical		10180.92		7050.72		0.8518		0.4039	
	M-C		11041.8	8.5	8010.0	13.6	1.3497	58.5	0.0763	81.1
	M-C(T.P.G)		11041.8	8.5	8010.0	13.6	1.3497	58.4	0.0763	81.1
	T-F(LN)		11073.9	8.8	13155.5	86.6	7.1206	735.9	0.1469	-63.6
8	Historical		9513.28		4798.74		0.8374		-0.0295	
	M-C		9709.3	2.1	5960.0	24.2	1.6406	95.9	-0.1010	242.3
	M-C(T.P.G)		485.2	0.3	4920.0	2.5	0.8952	6.9	-0.1115	277.9
	T-F(LN)		10835.2	13.9	480.3	35.0	1.7880	113.5	-0.5777	1858.3
9	Historical		5298.60		4037.56		1.0049		-0.0007	
	M-C		5589.4	5.4	4050.0	0.3	1.4228	31.5	-0.0193	2657.1
	M-C(T.P.G)		5589.4	5.4	4050.0	0.3	1.4228	41.5	-0.0301	4200.0
	T-F(LN)		6063.1	14.4	6618.0	63.9	0.7361	371.3	-0.3645	51971.4
10	Historical		1324.53		1021.74		3.5346		0.1877	
	M-C		1326.5	0.1	701.0	31.39	1.8351	44.9	-0.1097	158.4
	M-C(T.P.G)		1305.9	1.4	955.0	6.53	3.4790	4.3	-0.1175	162.6
	T-F(LN)		1491.1	12.5	1075.0	5.21	5.0032	50.0	0.4456	137.4
11	Historical		974.60		556.21		1.6574		0.6137	
	M-C		984.9	1.1	542.0	2.6	1.1902	28.2	0.0381	106.2
	M-C(T.P.G)		984.9	1.1	542.0	2.6	1.1902	28.2	0.0554	109.0
	T-F(LN)		1071.3	9.9	571.5	2.7	1.2981	21.7	0.0557	109.1
12	Historical		653.27		319.86		1.4742		0.9000	
	M-C		713.8	9.3	391.0	22.2	1.6169	9.7	0.0050	99.4
	M-C(T.P.G)		713.8	9.3	391.0	22.2	1.6169	9.7	0.0050	99.4
	T-F(LN)		658.4	0.8	261.8	18.2	0.8597	41.7	-0.5681	163.1

表 3. 년유량 계열의 통계특성치 비교 (槐山댐)

모형	통계치		표준편차		왜곡도 계수	
	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
Historical	5646.15		2005.19		-0.0613	
M-C	5591.9	1.0	1890.0	5.7	-0.1108	80.8
M-C(Sum)	6166.4	9.2	2850.0	42.1	2.4675	4125.3
M-C(T.P.G)	5594.4	0.9	1890.0	5.7	-0.1559	154.3
M-C(T.P.G,Sum)	5871.8	4.0	1960.0	2.3	0.9984	1728.7
T-F(LN)	6945.0	23.0	4941.1	146.4	3.9252	6503.3

表 4. 년유량 계열의 통계특성치 비교 (華川댐)

모형	통계치		표준편차		왜곡도 계수	
	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)	절대치	상대오차(%)
Historical	37297.43		12007.36		0.5666	
M-C	36972.9	0.9	11300.0	5.9	-0.1108	119.6
M-C(Sum)	38747.2	3.9	11400.0	5.1	0.9835	73.6
M-C(T.P.G)	36837.7	1.2	11100.0	7.6	0.3212	43.3
M-C(T.P.G, Sum)	38573.4	3.4	11000.0	8.4	0.9818	73.3
T-F(LN)	41446.7	11.1	19001.7	58.25	3.5017	518.0

註, Sum : 月流量的 合成에 의한 年流量

에서 대체로 어느 分布이든 適合性이 있는 것으로 나타났다. 그러나 어느 有意水準(本 研究의 경우 95%)에서의 限界値보다 어느 分布의 경우든 檢正值가 작은 경우 가장 작은 檢正值를 보이는 分布를 그 水文資料의 適正確率分布로 결정하기는 어려움을 보이고 있다. 이는 Monte Carlo 模型의 경우든 Thomas-Fiering 模型의 경우든 같은 結果를 보이고 있으며 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 適正分布(檢正值가 가장 작은 값을 갖는 分布로 정의)라고 判斷되는 分布로 생각하여 發生시킨 경우(여기서는 M-C로 표시된)가 統計特性值나 Correlogram을 比較하였을 때 實測值의 統計特性을 더 잘 再現해 주고 있음을 확인할 만한 結果를 보여 주지 못하고 있었다. 참고로 槐山地點의 경우 95% 有意水準에서 檢正值가 가장 작은 것을 最適分布라고 했을 때 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11 月은 對數正規分布에 잘 맞으며 2, 7, 10, 12 月은 2變數 Gamma 分布, 그리고 年流量系列은 正規分布에 잘 맞는 것으로 判明되었고, 華川地點의 경우는 3, 4, 8, 10 月은 對數正規分布, 1, 2, 5, 6, 7, 9, 11, 12 月은 2變數 Gamma 分布, 年流量系列은 正規分布에 잘 맞는 것으로 Smirnov-Kolmogorov Test 結果는 나타내고 있었다.

5. 結 論

年模型인 Monte Carlo 模型을 月流量發生에 適用시키고 月模型으로 일반화되어 있는 Thomas-Fiering 模型을 이용하여 發生시킨 結果 및 實測值와를 比較하여 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 年模型인 Monte Carlo 模型을 月流量發生에 적용하여 發生시킨 月流量系列과 月模型인 Thomas-Fiering 模型을 이용한 경우의 月流量系列은 다같이 實測流量系列과 같은 週期성을 뚜렷이 보이고 있다.

2) 年模型인 Monte Carlo 模型을 이용하여 發生시킨 年流量系列이 Monte Carlo 模型을 이용한 月流量發生系列로부터 合成한 年流量系列이나 Thomas-Fiering 模型으로부터 發生된 月流量系列의 合成에 의한 年流量系列보다는 實測值의 統計的 特性值를 잘 再現해 주고 있다.

3) 年模型인 Monte Carlo 模型에 의한 發生 月流量系列의 統計特性值가 Thomas-Fiering 模型에 의한 發生 月流量系列의 統計特性值보다는 다소 實測值의 月流量 統計特性值를 잘 再現해 주고 있다.

4) 年模型인 Monte Carlo 模型에 의해 發生된 月流量系列의 標準化 過程을 거친 系列의 Correlogram 은 持續性 不在로 나타났으나 實測值나 Thomas-Fiering 模型의 경우는 持續性 存在로 나타났다.

5) 月流量 發生을 위해 月別로 適正 分布型을 결정하기 위해 Smirnov-Kolmogorov Test 를 한 결과 有意水準 95%에서는 어느 分布나 適正한 것으로 나타난 경우 檢正值가 가장 작은 값을 最適分布라고 判斷한 수는 없음을 보이고 있었다.

6) Thomas-Fiering 模型의 경우는 月別로 適正分布 檢正을 하여 各月에 대하여 適正分布라고 判斷되는 亂數를 適用하는 것은 合理的이 아니며, 또한 12個月중 適正分布라 判斷되는 어떤 한 分布가 많은 경우 그것을 一률적으로 適用하는 것은 꼭 模擬發生된 資料가 實測值를 잘 再現해 주는 것은 아님을 알 수 있었다.

7) 어느 模型을 쓰든 各各의 分布에 대하여 發生시킨 후 各各의 統計特性值를 比較하고, Correlogram 을 比較한 후 實測值의 諸特性을 잘 再現해 주고, 문제점이 적은 分布形을 택하는 것이 좋은 것으로 判斷된다.

이상을 요약하면 月流量 模擬發生에 있어서는 Monte Carlo 模型의 適用이 不可한 것으로 인식되어 오고 있었으나 Monte Carlo 模型을 月流量의 模擬發生에 적용해 본 결과 지금까지의 比較 分析방법으로 볼 때는 그것을 확인할 수 있는 結果를 얻지 못했으며 年流量의 模擬發生에 있어서는 Monte Carlo 模型에 의한 月流量으로부터의 合成 年流量이나 Thomas-Fiering 模型으로부터의 月流量의 合成에 의한 年流量系列보다는 Monte Carlo 模型에 의한 年流量의 模擬發生系列이 實測值의 統計的 特性을 잘 再現해 주고 있음이 확인되었다.

參 考 文 獻

1. Box, G.E.P., and Jenkins, G.M., *Time Series Analysis: Forecasting and control*, San Francisco, Holden-Day Inc., 1970.
2. Ciriani, T.A., Maione, U., and Wallis, J.R., *Mathematical Models for Surface Water Hydrology*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1977.
3. Clarke, R.T., *Mathematical Models in Hydrology*, Irrigation and Drainage paper No.19, FAO, Rome, 1973.
4. Fiering, M.B., *Streamflow Synthesis*, Macmillan, London, 1967.
5. Fiering, M.B. and Jackson, B.B., *Synthetic Streamflows*, American Geophysical Union, Water Resources Monograph, 1, 1971.
6. Hean, C.T., *Statistical Methods in Hydrology*, Iowa State University Press, Ames, 1977.
7. Hammersley, J.M. and Handscomb, D.C., *Monte Carlo Methods*, Methuen, London, 1964.
8. Kottegoda, N.T., *Stochastic Water Resources Technology*, Macmillan Press, London, 1980.
9. Lewis, P.A.W., Goodman, A.S. and Miller, J.M., A Pseudo-Random Number Generator for the System 360, IBM Systems Journal, Vol. 8, No.2, 1969.
10. Mandelbrot, B.B., and Wallis, J.R., Computer Experiments with Fractional Gaussian Noiss, Part 1-Averages and Variances, Water Resources Research, Vol. 5, No.1, 1969(a)
11. Mandelbrot, B.B. and Wallis, J.R., Computer Experiments with Fractional Gaussian Noises, Part 2-Rescaled Ranges and Spectra, Water Resources Research, Vol.5, No.1, 1969(b)
12. Mandelbrot, B.B. and Wallis, J.R., Computer Experiments with Fractional Gaussian Noises, Part 3-Mathematical Appendix, Water Resources Research, Vol.5, No.1, 1969(c)
13. Matalas, N.C., and Wallis, J.R., Statistical Properties of Multivariate Fractional Noise Processes, Water Resources Research, Vol.7, No.6, 1971.
14. Neave, H.R., On Using the Box-Müller Transformation with Multiplicative Congruential Pseudo-Random Number Generator, Journal, Royal Statistical Society, Series C., Vol.22, No.1, 1973.
15. Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L., *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications, Littleton, Colo., 1980.
16. Thomas, H.A., and Fiering, M.B., Mathematical Synthesis of Streamflow Sequences for the Analysis of River Basins by Simulation, In "Design of Water Resources Systems" by Maas, A. et. al., Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.
17. Wallis, J.R., Matalas, N.C. and Slack, J.R.,

- Monte Carlo Evaluation of the Distributions of the First Three Moments of Small Samples for Some Well-Known Distributions, COMSTAT Symposium, Vienna, 1974.
18. Yevjevich, V., *Stochastic Processes in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colo. 1972.
 19. Young, G.K. and Pisano, W.C., Operational Hydrology Using Residuals, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 94, No. HY4, Proceeding paper 6034, 1968.
 20. 韓國電力公社, 華川댐 및 槐山댐 流入量資料, 1985
 21. 尹龍男, 全時永, ARMA(1,1) 多季節模型에 의한 河川流量의 模擬發生, 韓國水文學會誌, 18卷 1號 1985. 3