

## 長期流出量の 推計學的 模擬發生에 관한 研究 (II)

### Studies on the Stochastic Generation of Long Term Runoff (II)

李 淳 赫\* · 孟 昇 辰\*\* · 朴 鍾 國\*\*  
Lee, Soon Hyuk · Maeng, Sung Jin · Park, Jong Kuk

#### Summary

This study was conducted to get reasonable and abundant hydrological time series of monthly flows simulated by a best fitting stochastic simulation model for the establishment of rational design and the rationalization of management for agricultural hydraulic structures including reservoirs.

Comparative analysis carried out for both statistical characteristics and synthetic monthly flows simulated by the multi-season first order Markov model based on Gamma distribution which is confirmed as good one in the first report of this study and by Harmonic synthetic model analyzed in this report for the six watersheds of Yeong San and Seom Jin river systems.

1. Arithmetic mean values of synthetic monthly flows simulated by Gamma distribution are much closer to the results of the observed data than those of Harmonic synthetic model in the applied watersheds.

2. In comparison with the coefficients of variation, index of fluctuation for monthly flows simulated by two kinds of synthetic models, those based on Gamma distribution are appeared closer to the observed data than those of Harmonic synthetic model both in Yeong San and Seom Jin river systems.

3. It was found that synthetic monthly flows based on Gamma distribution are considered to give better results than those of Harmonic synthetic model in the applied watersheds.

4. Continuation studies by comparison with other simulation techniques are to be desired for getting reasonable generation technique of synthetic monthly flows for the various river systems in Korea.

\* 忠北大學校 農科大學

\*\* 忠北大學校 大學院

키워드: 統計特性值, 調和平均值, 調和標準偏差, 調和合成模型, 模擬發生 月流出量.

### I. 緒 論

우리나라는 近年 經濟發展과 文明의 發達로 인해 農業用水를 비롯한 産業用水 및 生活用水의 急激한 需要增加를 가져오고 있음은 周知의 事實이다.

이에 따라 우리나라 農業의 生産性 提高를 위해서는 大單位 農業用水 開發計劃과 安定性 있고 合理的인 水利構造物의 設計 및 施工이 매우 重要한 課題로 提示되고 있다. 그러나, 우리나라의 實情은 第I報에서 言及된 바와 같이 水工構造物의 安定 設計計劃에 필요한 長期 連續流出量 資料의 觀測年數가 너무나 짧아 水工構造物의 安定性 있는 設計에 커다란 障 碍가 되어 온 것은 어쩔 수 없는 事實이다.<sup>8,10,17)</sup> 이러한 問題解決을 위해서는 推計學的인 模型化에 의해 長期間의 時系列을 模擬發生 시키는 水工構造物의 最適設計와 運營의 合理化를 꾀 하는데 무엇보다도 중요한 일이 아닐 수 없다.

이에 本 研究의 第II報에서는 第I報에서 適正 模擬發生 模型으로 發表된 Gamma分布에 따른 多季節 1次 Markov模型에 의한 模擬發生 月流出量과 本報에서 다루어질 調和合成模型의 結果를 比較 分析하므로써 보다 信憑性 있는 模擬發生技法의 提示가 가능하게 되고 나아가 물 需要와 洪水防禦 對策을 위한 長期的이고 綜合的인 水資源 開發 및 保全對策을 수립하는데 必需的인 基礎資料를 豊富하게 提供하고자 하는데 그 重點을 두고자 한다.

### II. 調和合成模型의 理論的 分析

實測月河川流量資料를 다음과 같이 配列한 후 月別 平均值 및 標準偏差를 구한다.<sup>3,17)</sup>

q <sub>11</sub> ,	q <sub>12</sub> ,	q <sub>13</sub> ,	.....,	q <sub>1,12</sub>
q <sub>21</sub> ,	q <sub>22</sub> ,	q <sub>23</sub> ,	.....,	q <sub>2,12</sub>
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
q <sub>k1</sub> ,	q <sub>k2</sub> ,	q <sub>k3</sub> ,	.....,	q <sub>k,12</sub>

平均值, m<sub>t</sub>,      m<sub>1</sub>   m<sub>2</sub>   m<sub>3</sub>                      m<sub>12</sub>  
 標準偏差, S<sub>t</sub>,      S<sub>1</sub>   S<sub>2</sub>   S<sub>3</sub>                              S<sub>12</sub>

구해진 平均值, m<sub>t</sub>의 값을 式(1)의 調和數, m\*<sub>t</sub>에 적용시킨다.

$$m^*_t = \hat{\alpha}_0 + \sum_{r=1}^p (\hat{\beta}_r \cos \frac{2\pi \gamma t}{12} + \hat{\gamma}_r \sin \frac{2\pi \gamma t}{12}) + \epsilon_t \quad (P < 5) \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $\hat{\alpha}_0 = \sum_t m_t / 12$   
 $\hat{\beta}_1 = (\sum_t m_t \cos \frac{2\pi t}{12}) / 6$   
 .  
 .  
 $\hat{\beta}_r = (\sum_t m_t \cos \frac{2\pi \gamma t}{12}) / 6$   
 $\hat{\gamma}_1 = (\sum_t m_t \sin \frac{2\pi t}{12}) / 6$   
 $\hat{\gamma}_2 = (\sum_t m_t \sin \frac{2\pi \cdot 2t}{12}) / 6$   
 .  
 .  
 $\hat{\gamma}_r = (\sum_t m_t \sin \frac{2\pi \gamma t}{12}) / 6$   
 $\epsilon_t$  ; 無作爲變數

위와 같은 原理에 의거하여 標準偏差 S<sub>t</sub>의 調和數 S\*<sub>t</sub> 역시 式(2)와 같이 表示할 수 있다.

$$S^*_t = \hat{\alpha}'_0 + \sum_{r=1}^p (\hat{\beta}'_r \cos \frac{2\pi \gamma t}{12} + \hat{\gamma}'_r \sin \frac{2\pi \gamma t}{12}) + \epsilon_t \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $\hat{\alpha}'_0 = \sum_t S_t / 12$   
 $\hat{\beta}'_r = (\sum_t S_t \cos \frac{2\pi \gamma t}{12}) / 6$   
 $\hat{\gamma}'_r = (\sum_t S_t \sin \frac{2\pi \gamma t}{12}) / 6$

式(1)과 式(2)에 의해서 구해진 調和數,  $m^*_t$ 와  $S^*_t$ 를 사용하여 實測流量과 관련시킨 標準變量,  $Z_t$ 를 式(3)에 의해 구할 수 있다.

$$Z_t = (q_t - m^*_t) / S^*_t \dots\dots\dots(3)$$

圓滑化 過程으로 인해 標準變量,  $Z_t$ 의 和가 零으로 되지 않기 때문에 一般적으로 계속적인 修正이 必須의이며 이 過程을 위해서 標準變量,  $Z_t$ 의 平均值인  $m_z$ 와 그 標準偏差,  $S_z$ 를 計算하므로써 式(4)와 같은 修正變量,  $W_t$ 가 구해진다.

$$W_t = (Z_t - m_z) / S_z \dots\dots\dots(4)$$

다음  $W_t$ 의 自相關係數,  $\rho_1$ 을 다음의 式(5)에 의해 구한다.

$$\rho_1 = \frac{C_1}{C_0} \dots\dots\dots(5)$$

$$C_1 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-1} (W_t - \bar{W})(W_{t+1} - \bar{W})$$

$$C_0 = \frac{1}{N} \sum_t (W_t - \bar{W})^2$$

이어서 殘差(Residual),  $\varepsilon(t)$ 를 式(6)에 의거하여 計算한다.

$$\varepsilon(t) = W_t - \rho_1 W_{t-1} \dots\dots\dots(6)$$

殘差의 平均值,  $\varepsilon_m$ 과 그 標準偏差,  $\varepsilon_s$ 를 計算한 후 殘差數列  $E(t)$ 가 正規分布(0,1)에 만족되는 값을 구한 후 最終적으로 所期하는 模擬發生을 위한 修正變量  $W^*_t$ 를 式(7)에 의해 구한다.

$$W^*_t = \rho_1 W_{t-1} + E(t) \dots\dots\dots(7)$$

또한 模擬發生을 위한 標準變量  $Z^*_t$ 는 式(8)과 같이 整理될 수 있다.

$$Z^*_t = m_z + S_z W^*_t \dots\dots\dots(8)$$

따라서 調和合成模型에 의해 模擬發生하고자 하는 一般式은 式(9)와 같이 誘導된다.

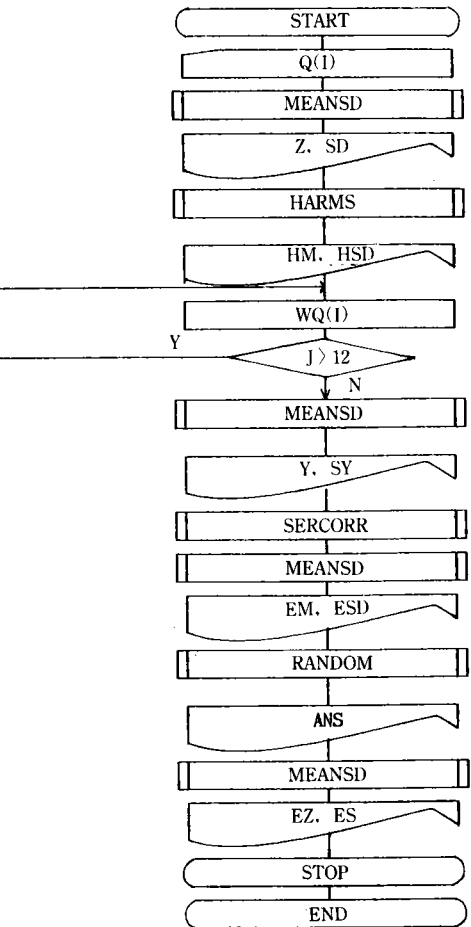


Fig. 1. Flow chart of harmonic synthetic model

$$q^*_t = m^*_t + S^*_t Z^*_t \dots\dots\dots(9)$$

1. 電算 프로그램의 構成

上述한 調和合成模型은 月流出量과 같은 水文資料와 調和數  $m^*_t$ ,  $S^*_t$  및 標準變量  $Z^*_t$ 를 基礎式으로 한 調和合成模型의 模擬發生 一般式을 利用하여 開發된 프로그램은 主프로그램과 4개의 子프로그램으로 構成되어 있다.

이에 관한 흐름도는 Fig. 1과 같고 프로그램의 構成과 役割은 Table-1과 같다.

Table-1. Main and subroutine program and their functions

Q(I)	Observed data
Z, SD	Monthly mean and standard deviation
HM, HSD	Monthly harmonic mean and standard deviation
WQ(I)	A work store to hold adjusted flows
Y, SY	Mean and standard deviation for the adjusted flows
EM, ESD	Mean and standard deviation of residuals
ANS	Generation of residuals
EZ, ES	Mean and standard deviation for the synthetic flows
MEANSD	Subroutine for the mean and standard deviation
HARMS	Subroutine for the harmonic mean and standard deviation
SERCORR	Subroutine for serial correlation
RANDOM	Subroutine for the generation of random number

II. 基本水文資料 및 分析方法

1. 基本水文資料

本 分析을 위한 對象流域으로는 第 I 報에서 言及된 바와같이 榮山江水系의 羅州, 馬勒 및 南坪의 3個 流域과 蟾津江水系의 松亭, 鴨綠 및 赤城의 3個 流域 도합 6個 流域을 選定<sup>4, 14)</sup> 하였으며 分析 對象流域의 流域面積을 위시한 主河川長, 平均幅, 形狀係數, 位置 등은 第 I 報에서의 Table-2와 같다.

2. 分析方法

가. 對象流域별 月流出量 資料의 基本統計值 分析

調和合成模型을 使用하여 月流出量의 模擬發生을 試圖하는데 基本的으로 必要한 基本統計值는 平均值와 標準偏差이며, 月流出量의 分布 狀態를 나타내는 基本統計值는 歪曲度係數와 變動係數이다. 따라서 이들 基本統計值는 本 研究 第 I 報의 式(12), (13), (14) 및 (15)에 의해 流域별로 구하였다.

Table-2. Statistical parameters for the harmonic synthetic model in the applied watersheds

River	Water-shed	Parameter	Month											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yeong	Na	$m_t^*$	7.05	27.77	17.31	48.27	37.46	82.83	168.82	110.09	83.62	34.37	12.37	23.29
	Ju	$S_t^*$	5.39	14.86	22.58	33.58	37.10	113.43	122.29	79.37	72.66	20.21	13.30	11.87
	Ma	$m_t^*$	8.27	11.67	9.76	19.13	15.21	27.85	44.92	33.14	28.12	13.29	8.32	9.53
San	Reug	$S_t^*$	7.98	8.79	9.31	13.39	15.57	31.42	31.29	28.69	30.96	13.21	9.72	9.32
	Nam	$m_t^*$	-0.75	5.88	3.89	13.84	14.41	24.82	43.29	35.91	27.80	6.37	0.88	2.70
	Pyeong	$S_t^*$	1.47	11.47	11.37	11.42	14.21	30.97	30.12	22.66	24.01	5.84	3.22	2.04
Seom	Song	$m_t^*$	14.06	35.17	29.59	93.50	86.15	127.02	281.54	251.64	158.09	57.63	26.02	30.50
	Jeong	$S_t^*$	10.16	25.35	35.45	77.81	98.61	153.01	199.31	188.49	148.76	49.35	23.98	22.26
	Ap	$m_t^*$	11.31	33.80	25.52	61.41	43.77	85.73	183.92	125.67	87.18	35.82	15.22	24.49
Jin	Rog	$S_t^*$	14.14	23.31	24.78	46.29	44.77	116.79	129.36	92.94	93.38	25.30	15.11	16.91
	Jeog	$m_t^*$	6.18	9.36	9.02	17.77	13.70	27.83	46.83	36.73	29.97	11.67	6.82	9.17
	Seong	$S_t^*$	2.78	7.18	5.40	11.58	11.20	31.81	34.97	24.10	34.76	9.65	3.75	8.54

나. 統計特性值 및 模擬發生流量的 比較

本研究의 第I報에서 言及되어진 Gamma分布 및 對數正規分布에 대한 多季節 1次 Markov模型으로 模擬發生된 月流出量과 實測值와의 比較分析에서 全流域에 걸쳐 實測值에 近接하는 分布型으로 判定된 Gamma分布型과 調和合成模型의 模擬發生方程式에 의해 模擬發生된 月流出量을 實測值의 統計特性值인 平均值, 標準偏差, 變動係數 및 歪曲度係數 등과 比較하였으며, 또한 流域別 模擬發生 月流出量과 實測值를 比較分析하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 月流出量 資料의 基本統計值 分析

本分析을 위한 對象流域別 月流出量 資料의 基本統計值로서 平均值, 標準偏差, 歪曲度係數 및 變動係數 등의 基本統計值를 각 流域별로 구한 結果는 第I報의 Table-3 및 Table-4와 같다.

2. 調和合成模型의 統計學的 媒介變數 및 模擬發生 方程式의 誘導

가. 統計學的 媒介變數

調和合成模型의 誘導에 필요한 統計學的 媒介變數인 平均值의 調和數  $m^*$ , 標準偏差의 調和數  $S^*$ 를 流域별로 구한 結果는 Table-2와 같다.

나. 模擬發生 方程式의 誘導

對象流域별로 調和合成模型에 의해 模擬發生 初年度 1月分 方程式만을 標本例로 나타낸 結果는 Table-3과 같다.

3. 統計特性值의 比較

各流域별로 Gamma分布에 따른 多季節 1次 Markov模型과 調和合成模型에 의해 模擬發生된 月流出量의 統計特性值를 實測值의 統計特性值와 比較하였으며 標本例로서 榮山江 水系의 羅

Table-3. Simulated equations of January for the first year in the applied watersheds

Model	River	Watershed	Simulated equation
Sim (HS)	Yeong	Na Ju	$q^*_{11} = 7.05 + 5.39 \times Z^*_{11}$
		Ma Reug	$q^*_{11} = 8.27 + 7.98 \times Z^*_{11}$
		Nam Pyeong	$q^*_{11} = -0.75 + 1.47 \times Z^*_{11}$
	Seom Jin	Song Jeong	$q^*_{11} = 14.06 + 10.16 \times Z^*_{11}$
		Ap Rog	$q^*_{11} = 11.31 + 14.14 \times Z^*_{11}$
		Jeog Seong	$q^*_{11} = 6.18 + 2.78 \times Z^*_{11}$

Sim(HS) : Simulated equations derived by harmonic synthetic model

州 및 南坪 流域과 蟾津江 水系의 松亭 및 鴨錄 流域의 結果는 各各 Table-4, 5, 6 및 Table-7과 같다.

分析된 統計特性值 중 우선 平均值의 結果를 보면 榮山江 水系의 南坪 流域에서는 9月の 相對誤差가 1.00~6.00%로 가장 작고 南坪 流域에서 12月の 相對誤差가 5.97~311.94%로 가장 크며 蟾津江 水系의 松亭 流域에서는 6月の 相對誤差가 1.13~5.03%로 가장 작고, 또한 鴨錄 流域에서는 1月の 相對誤差가 1.24~46.58%로 가장 크게 나타났다. 河川流量의 變化 樣相을 나타내는 變動係數의 結果를 보면 榮山江 係數의 羅州 流域에서는 4月 相對誤差가 2.60~7.79%로 가장 작으며 南坪 流域에서 2月の 相對誤差가 67.04~75.66%로 가장 크게 나타났고 蟾津江 水系의 松亭 流域에서는 7月の 相對誤차가 4.29~15.71%로 가장 작았으며 鴨錄 流域에서는 12月の 相對誤차가 15.71~70.00%로 가장 크게 나타났다. 끝으로 歪曲度係數는 榮山江 水系의 南坪 流域에서는 8月の 相對誤차가 4.55~13.64%로 가장 작게 나타난 反面 7月の 相對誤차가 31.75~146.03%로 가장 크게 나타났으며 蟾津江 水系의 鴨錄 流域에서는 1月の 相對誤차가 20.00~22.35%로 가장 작았고 鴨錄 流域에서 7月の 相對誤차가 194.12~352.94%로 가장 크게 나타났다. 全流域에 걸쳐 Gamma分

**Table-4. Relative error for the statistics of historic and synthetic streamflow sequences at Na Ju watershed in Yeong San River**

Basic Statistics		$\bar{Q}_i$		$S_i$		$C_v$		$C_s$	
M	H & Sim	AV	RE	AV	RE	AV	RE	AV	RE
1	hist	15.02		8.00		0.53		0.92	
	sim(g)	13.94	7.19	6.58	17.75	0.47	11.32	1.22	32.61
	sim(hs)	7.47	50.27	4.93	38.38	0.66	24.53	0.24	73.91
2	hist	19.81		12.26		0.62		0.81	
	sim(g)	19.29	2.62	10.84	11.58	0.56	9.68	1.85	128.40
	sim(hs)	26.00	31.25	14.42	17.62	0.55	11.29	0.65	19.75
3	hist	25.27		25.19		1.00		2.55	
	sim(g)	28.65	13.38	22.88	9.17	0.80	20.00	1.10	56.86
	sim(hs)	20.90	17.29	18.35	27.15	0.88	12.00	1.14	55.29
4	hist	40.31		30.98		0.77		1.63	
	sim(g)	33.77	16.22	24.13	22.11	0.71	7.79	1.43	12.27
	sim(hs)	41.76	3.60	32.81	5.91	0.79	2.60	0.71	56.44
5	hist	45.43		39.71		0.87		1.20	
	sim(g)	42.09	7.35	25.48	35.83	0.61	29.89	0.79	19.17
	sim(hs)	45.60	0.37	29.48	25.76	0.65	25.29	0.24	80.00
6	hist	74.87		110.8		1.48		3.16	
	sim(g)	71.44	4.58	111.89	0.89	1.57	6.08	3.11	1.58
	sim(hs)	99.99	33.55	70.15	36.69	0.70	52.70	0.56	82.28
7	hist	176.78		124.89		0.71		0.47	
	sim(g)	218.93	23.84	126.86	1.58	0.58	18.31	-0.15	131.91
	sim(hs)	192.16	8.70	125.74	0.68	0.65	8.45	0.56	19.15
8	hist	102.12		76.77		0.75		1.17	
	sim(g)	85.74	16.04	53.58	30.21	0.62	17.33	0.21	82.05
	sim(hs)	105.55	3.36	61.35	20.09	0.58	22.67	0.25	78.03
9	hist	91.58		75.26		0.82		1.39	
	sim(g)	82.72	9.69	76.30	1.38	0.92	12.20	1.39	0.00
	sim(hs)	76.23	16.76	44.51	40.86	0.58	29.27	0.26	81.29
10	hist	26.40		17.61		0.67		1.76	
	sim(g)	28.23	6.93	15.40	12.55	0.55	17.91	1.43	18.75
	sim(hs)	38.41	45.49	16.34	7.21	0.43	35.82	0.33	81.25
11	hist	20.34		15.91		0.78		2.37	
	sim(g)	18.57	8.70	10.16	36.14	0.55	29.49	0.64	73.00
	sim(hs)	15.56	23.50	9.99	37.21	0.64	17.95	0.90	62.03
12	hist	15.33		9.27		0.60		1.35	
	sim(g)	11.63	24.14	4.98	46.28	0.43	28.33	2.24	65.93
	sim(hs)	22.14	44.36	10.52	13.48	0.48	20.00	0.21	84.44

H & Sim ; Historical & simulated flows.

hist ; Historical flows.

sim(g) ; Simulated by Gamma distribution.

sim(hs) ; Simulated by Harmonic synthetic model.

AV ; Absolute value RE ; Relative error

Table-5. Relative error for the statistics of historic and synthetic streamflow sequences at Nam Pyeong watershed in Yeong San River

Basic Statistics		$\bar{Q}_j$		$S_j$		$C_v$		$C_s$	
M	H & Sim	AV	RE	AV	RE	AV	RE	AV	RE
1	hist	1.23		2.87		2.23		4.79	
	sim(g)	2.62	113.01	2.10	26.83	0.80	65.67	1.03	78.50
	sim(hs)	1.40	13.8	1.21	57.84	0.86	63.09	1.46	59.52
2	hist	3.80		10.14		2.67		4.44	
	sim(g)	4.25	11.84	2.76	72.78	0.65	75.66	0.66	85.14
	sim(hs)	9.98	162.63	8.79	13.31	0.88	67.04	0.77	82.66
3	hist	6.03		12.80		2.12		3.69	
	sim(g)	14.58	141.79	8.40	34.38	0.58	72.64	0.40	89.16
	sim(hs)	9.18	52.24	6.61	48.36	0.72	66.04	0.78	78.86
4	hist	11.83		10.05		0.85		1.58	
	sim(g)	11.68	1.27	7.41	26.27	0.63	25.88	-0.08	105.49
	sim(hs)	13.32	12.60	7.04	29.95	0.53	37.65	-0.15	109.49
5	hist	16.57		15.61		0.94		1.09	
	sim(g)	19.17	15.69	13.09	16.14	0.68	27.66	0.40	63.30
	sim(hs)	15.27	7.85	13.13	15.89	0.86	8.51	0.99	9.17
6	hist	22.76		29.58		1.30		2.25	
	sim(g)	26.88	18.10	32.52	6.96	1.02	21.53	0.75	66.67
	sim(hs)	33.49	47.14	26.18	11.49	0.78	40.00	0.83	63.11
7	hist	45.41		31.45		0.69		0.63	
	sim(g)	47.75	5.15	23.97	23.78	0.50	27.54	-0.29	146.03
	sim(hs)	35.46	21.91	26.87	14.56	0.76	10.14	0.43	31.75
8	hist	33.89		21.23		0.63		0.44	
	sim(g)	26.72	21.15	13.64	33.75	0.51	19.05	0.50	13.64
	sim(hs)	31.81	6.14	22.27	4.90	0.70	11.11	0.46	4.55
9	hist	30.00		25.30		0.84		0.88	
	sim(g)	29.70	1.00	17.38	31.30	0.59	29.76	1.07	21.59
	sim(hs)	28.20	6.00	19.23	23.99	0.68	19.05	0.23	73.86
10	hist	4.33		4.63		1.07		1.64	
	sim(g)	4.56	5.31	3.62	21.81	0.79	26.17	1.29	21.34
	sim(hs)	5.97	37.88	4.45	3.89	0.75	29.91	0.64	60.98
11	hist	2.90		4.78		1.65		3.05	
	sim(g)	5.59	92.76	2.91	39.12	0.52	68.48	0.10	96.72
	sim(hs)	2.82	2.76	2.55	46.65	0.90	45.45	0.98	67.87
12	hist	0.67		0.49		0.73		3.12	
	sim(g)	0.63	5.97	0.42	14.29	0.67	8.22	0.86	72.44
	sim(hs)	2.72	311.94	1.96	95.92	0.71	2.74	0.77	75.32

H & Sim : Historical & simulated flows.

hist : Historical flows.

sim(g) : Simulated by Gamma distribution.

sim(hs) : Simulated by Harmonic synthetic model.

AV : Absolute value RE : Relative error

**Table-6. Relative error for the statistics of historic and synthetic streamflow sequences at Song Jeong watershed in Seom Jin River**

Basic Statistics		$\bar{Q}_i$		$S_j$		$C_v$		$C_s$	
M	H & Sim	AV	RE	AV	RE	AV	RE	AV	RE
1	hist	19.81		12.56		0.63		0.99	
	sim(g)	19.95	0.71	11.45	8.84	0.57	9.52	0.43	56.57
	sim(hs)	14.41	27.26	8.36	33.44	0.58	7.94	0.23	76.77
2	hist	28.84		21.89		0.76		0.81	
	sim(g)	29.04	0.69	18.37	16.08	0.63	17.11	1.28	58.02
	sim(hs)	33.46	16.02	20.98	4.16	0.63	17.11	0.03	96.30
3	hist	35.23		38.25		1.09		2.22	
	sim(g)	46.95	33.27	37.24	2.64	0.79	27.52	0.84	62.16
	sim(hs)	34.50	2.07	26.87	29.75	0.78	28.44	0.90	59.46
4	hist	87.38		75.00		0.86		1.22	
	sim(g)	71.60	18.06	53.03	29.27	0.74	13.95	0.43	64.75
	sim(hs)	88.52	1.30	67.09	10.55	0.76	11.63	0.77	36.89
5	hist	91.71		101.7		1.11		1.76	
	sim(g)	77.81	15.16	71.56	29.64	0.92	17.12	3.39	92.61
	sim(hs)	89.50	2.41	63.90	37.17	0.71	36.04	0.56	68.18
6	hist	121.1		150.1		1.24		2.27	
	sim(g)	122.47	1.13	133.96	10.75	1.09	12.10	1.81	20.26
	sim(hs)	127.19	5.03	83.32	44.49	0.66	46.77	0.44	80.62
7	hist	287.43		202.22		0.70		0.17	
	sim(g)	314.48	9.41	185.42	8.31	0.59	15.71	-0.23	235.29
	sim(hs)	264.60	7.94	177.45	12.25	0.67	4.29	0.03	82.35
8	hist	245.60		185.78		0.76		1.43	
	sim(g)	150.57	38.69	110.22	40.67	0.73	3.95	2.38	66.43
	sim(hs)	208.38	15.15	114.24	38.51	0.55	27.63	0.62	56.64
9	hist	163.6		152.0		0.93		1.02	
	sim(g)	156.79	4.16	111.23	26.82	0.71	23.66	2.05	100.98
	sim(hs)	147.60	9.78	83.14	45.30	0.56	39.78	0.81	20.59
10	hist	51.51		46.43		0.90		1.61	
	sim(g)	49.71	3.49	40.23	13.35	0.81	10.00	2.90	27.33
	sim(hs)	54.32	5.46	34.87	24.90	0.64	28.89	0.96	49.69
11	hist	31.12		26.20		0.84		1.85	
	sim(g)	38.04	22.24	27.96	6.72	0.74	11.90	0.80	56.76
	sim(hs)	30.07	3.37	18.86	28.02	0.63	25.00	0.98	47.03
12	hist	24.43		19.02		0.78		1.17	
	sim(g)	20.74	15.10	5.86	69.19	0.28	64.10	-0.72	161.54
	sim(hs)	32.66	33.69	17.32	8.94	0.53	32.05	0.53	54.70

H & Sim ; Historical & simulated flows.

hist ; Historical flows.

sim(g) ; Simulated by Gamma distribution.

sim(hs) ; Simulated by Harmonic synthetic model.

AV ; Absolute value RE ; Relative error



Table-7. Relative error for the statistics of historic and synthetic streamflow sequences at Ap Rog watershed in Seom Jin River

Basic Statistics		$\bar{Q}_j$		$S_j$		$C_v$		$C_s$	
M	H & Sim	AV	RE	AV	RE	AV	RE	AV	RE
1	hist	18.57		18.10		0.97		1.85	
	sim(g)	18.34	1.24	13.43	25.80	0.73	24.74	0.68	20.00
	sim(hs)	9.92	46.58	9.62	46.85	0.97	0.00	1.04	22.35
2	hist	27.06		18.92		0.70		0.29	
	sim(g)	27.30	0.89	15.01	20.67	0.55	21.43	0.75	158.62
	sim(hs)	31.13	15.04	22.16	17.12	0.71	1.43	0.36	24.14
3	hist	32.31		28.65		0.89		2.36	
	sim(g)	39.68	22.81	25.38	11.41	0.64	28.09	1.31	44.49
	sim(hs)	20.26	37.29	16.44	42.62	0.81	8.99	1.53	35.17
4	hist	54.48		42.06		0.77		1.05	
	sim(g)	45.53	16.43	31.63	24.80	0.69	10.39	0.24	77.14
	sim(hs)	55.24	1.40	35.80	14.88	0.65	15.58	0.61	41.90
5	hist	50.79		48.78		0.96		1.18	
	sim(g)	45.53	10.36	41.04	15.87	0.90	6.25	2.01	70.34
	sim(hs)	42.99	15.36	28.39	41.80	0.66	31.25	0.59	50.00
6	hist	79.15		112.5		1.42		2.79	
	sim(g)	84.10	6.25	98.53	12.42	1.17	17.61	1.81	35.13
	sim(hs)	96.64	22.10	76.54	31.96	0.79	44.37	1.43	48.75
7	hist	190.88		133.43		0.70		0.17	
	sim(g)	193.14	1.18	112.97	15.33	0.58	17.14	-0.16	194.12
	sim(hs)	166.96	12.53	109.71	17.78	0.66	5.71	0.77	352.94
8	hist	118.74		88.81		0.75		0.84	
	sim(g)	83.28	29.86	58.70	33.90	0.70	6.67	1.47	75.00
	sim(hs)	126.79	6.78	77.50	12.74	0.61	18.67	0.37	55.95
9	hist	94.18		97.46		1.03		1.88	
	sim(g)	75.98	19.32	77.74	20.23	1.02	0.97	2.65	40.96
	sim(hs)	98.91	5.02	54.43	44.15	0.55	46.60	0.52	72.34
10	hist	29.48		20.70		0.70		0.95	
	sim(g)	29.40	0.27	19.28	6.86	0.66	5.71	1.73	82.11
	sim(hs)	36.03	22.22	18.01	13.00	0.50	28.57	0.55	42.11
11	hist	22.49		19.05		0.85		1.77	
	sim(g)	24.13	7.27	13.08	31.34	0.54	36.47	1.57	11.30
	sim(hs)	15.83	29.61	11.58	39.21	0.73	14.12	0.57	67.80
12	hist	18.07		12.60		0.70		1.36	
	sim(g)	14.88	17.65	3.16	74.92	0.21	70.00	-0.03	102.21
	sim(hs)	20.15	11.51	16.23	28.81	0.81	15.71	0.51	62.50

H & Sim ; Historical & simulated flows.

hist ; Historical flows.

sim(g) ; Simulated by Gamma distribution.

sim(hs) ; Simulated by Harmonic synthetic model.

AV ; Absolute value RE ; Relative error

布 및 調和合成模型에 따른 模擬發生値와 實測値의 平均値를 比較해 보면 榮山江 水系에서는 Gamma分布型에서 1.00~141.79%, 調和合成模型에서 0.37~311.94%의 相對誤差를, 蟾津江 水系에서는 Gamma分布型에서 0.27~38.69%, 調和合成模型에서 1.3~46.58%의 相對誤差를 보여주고 있다.

또한, Gamma分布에 따른 多季節 1次 Markov模型 및 調和合成模型에 의해 模擬發生된 各 月의 平均値를 標本例로서 榮山江 水系의 羅州 流域과 蟾津江 水系의 鴨錄 流域의 結果를 圖示한 結果는 各 各 Fig. 2 및 Fig. 3과 같다.

여기에서 장마기인 6, 7月の Gamma分布型과 調和合成模型에 의해 模擬發生된 平均月流出量을 實測値의 同期間 平均値와 比較한 結果 榮山江 水系에서는 Gamma分布型과 調和合成模型이 各 各 4.58~23.84% 및 8.70~47.14%로 그리고 蟾津江 水系에서는 Gamma分布型과 調和合成模型이 各 各 1.13~9.41% 및 5.03~22.10%의 相對誤差를 나타냈다.

以上の 上記한 結果는 곧 Fig. 2 및 Fig. 3에서도 볼 수 있는 바와 같이 榮山江과 蟾津江 水系에서 共히 Gamma分布型에 의해 模擬發生

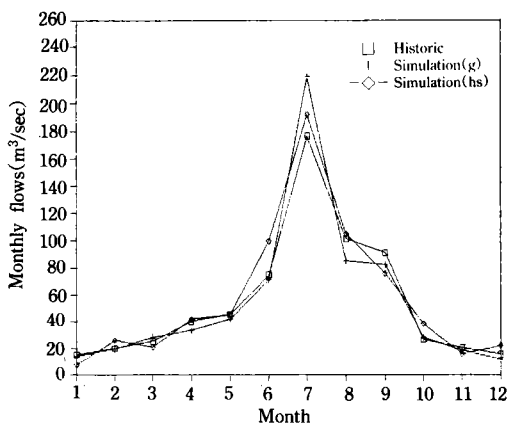


Fig. 2. Comparison between the mean of historic and synthetic streamflow sequences at Na Ju watershed in Yeong San River

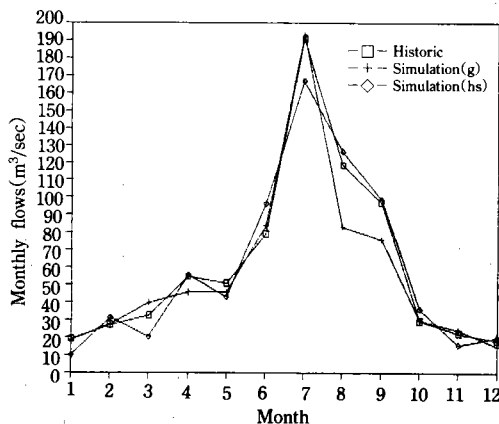


Fig. 3. Comparison between the mean of historic and synthetic streamflow sequences at Ap Rog watershed in Seom Jin River

시킨 月流出量의 平均値가 調和合成模型의 模擬發生値의 것에 비해 實測 月流出量에 보다 더 接近하고 있음을 보여주고 있다. 특히, 이들 統計特性值 중에서 河川 流量變化의 特性을 糾明하기 위하여 各 流域의 實測된 月流出量과 模擬發生된 月流出量의 變動係數의 變化를 標本例로서 榮山江 水系의 羅州 流域과 蟾津江 水系의 鴨錄 流域에 대해 圖示한 結果는 各 各 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다.

Gamma分布型에 의한 多季節 1次 Markov模型과 調和合成模型의 變動係數를 實測値의 것과 流域別로 比較한 結果 榮山江 水系의 羅州 流域은 2.60~52.70%, 南坪 流域은 2.74~75.66%의 相對誤差를 나타냈으며, 蟾津江 水系의 松亭 流域은 3.95~64.10%로 그리고, 鴨錄 流域은 0~70.00% 範圍의 相對誤差를 나타냈다.

특히, 장마기인 6, 7月の Gamma分布型에 의한 多季節 1次 Markov模型과 調和合成模型의 模擬發生値에 대한 變動係數를 實測値의 것과 水系別로 比較하면 榮山江 水系의 Gamma分布型은 6.08~27.54%, 調和合成模型은 8.45~52.70%의 相對誤差를 나타내며, 蟾津江 水系의 Gamma分布型은 12.10~17.61%, 調和合成模型

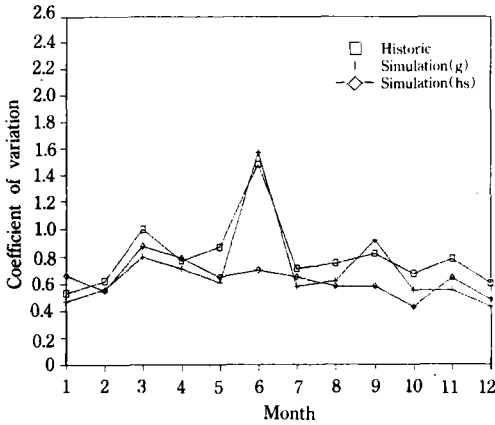


Fig. 4. Comparison between variation of historic and synthetic streamflow sequences at Na Ju watershed in Yeong San River

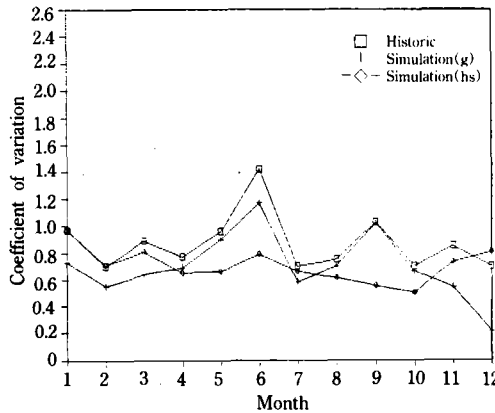


Fig. 5. Comparison between variation of historic and synthetic streamflow sequences at Ap Rog watershed in Seom Jin River

은 4.29~46.77%의 相對誤差를 나타냈다.

以上の 結果를 보건데 榮山江 및 蟾津江 水系의 6個 流域에 있어서 Gamma分布에 의한 變動係數 즉 河川流量 變化 樣相이 調和合成模型의 것보다 實測值에 보다 接近되는 結果를 보여주고 있다.

#### 4. 模擬發生 月流出量의 比較

各 流域별로 誘導되어진 Gamma分布型에 의한 多季節 1次 Markov模型과 調和合成模型의 模擬發生式에 의해서 合成月流出量을 模擬發生시켰으며 實測值와 上記한 2個 模型에 의해 模擬發生된 月流出量의 比較를 위해 標本例로서 榮山江 水系의 羅州 및 南坪 流域과 蟾津江 水系의 松亭 및 鴨錄 流域에 대해 圖示한 結果는 各各 Fig. 6, 7, 8 및 Fig. 9와 같다.

以上の 結果를 流域별로 살펴보면 Gamma分布에 따른 多季節 1次 Markov模型이나 調和合成模型 共히 大體의으로 全流域의 流量變化 傾

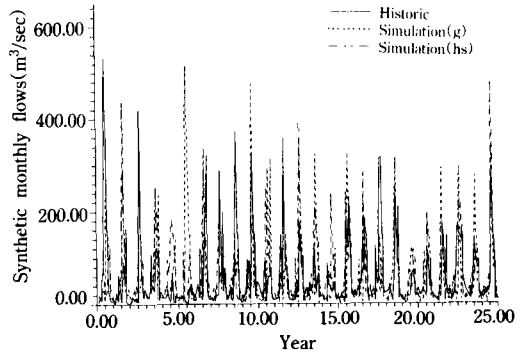


Fig. 6. Comparison between historic and synthetic streamflow sequences at Na Ju watershed in Yeong San River

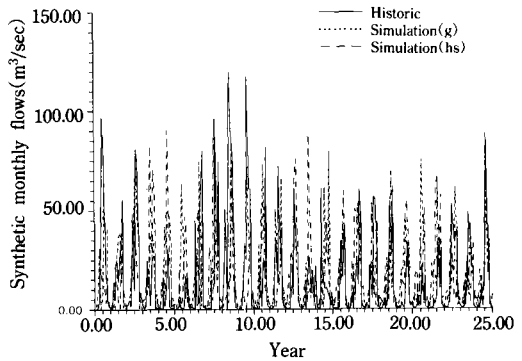


Fig. 7. Comparison between historic and synthetic streamflow sequences at Nam Pyeong watershed in Yeong San River

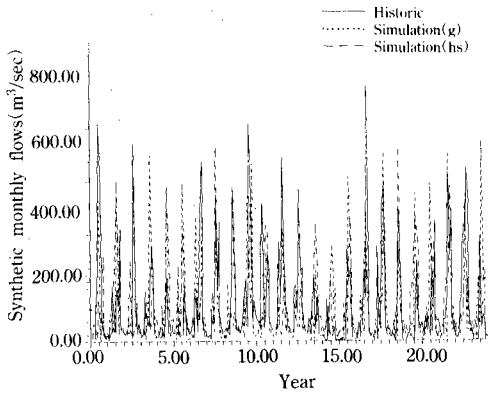


Fig. 8. Comparison between historic and synthetic streamflow sequences at Song Jeong watershed in Seom Jin River

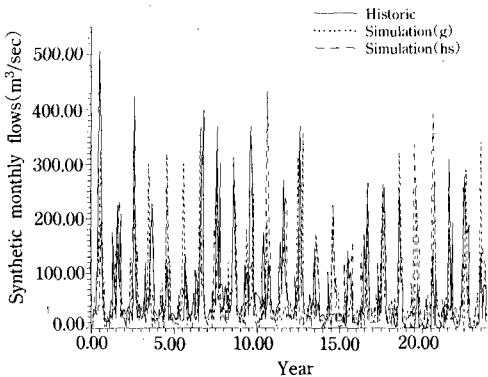


Fig. 9. Comparison between historic and synthetic streamflow sequences at Ap Rog watershed in Seom Jin River

向에 近似함을 얻을 수 있으나 月별로 살펴볼 때 7, 8月の 尖頭流量에 있어서는 Gamma分布에 의한 模擬發生値가 實測値에 보다 接近되어 있는 반면 調和合成模型에 의한 것은 榮山江水系의 羅州 流域을 除外한 全流域에서 實測値에 비해 大體의으로 작게 나타났음이 特徵的이다.

以上과 같은 結果를 綜合的으로 볼 때 榮山江과 蟾津江 水系의 6個 流域에서는 一般的으로 Gamma分布에 따른 多季節 1次 Markov模型에 의한 模擬發生値가 調和合成模型에 의한 것보다 實測値에 보다 接近되는 樣相을 보여주고 있다.

## V. 結 論

本 研究는 適正模擬發生模型의 誘導로 合理的이고 豊富한 長期月流出量의 模擬發生을 可能하게 하므로서 貯水池를 비롯한 各種 水利構造物의 最適設計와 運營의 合理化를 꾀하고자 榮山江과 蟾津江 水系의 6個 流域을 對象으로 本 研究의 第 I 報에서 月流出量의 適正模擬發生技法으로 發表되어진 Gamma分布에 따른 多季節 1次 Markov模型과 本報에서 다루어진 調和合成模型과의 統計特性值간의 比較分析과 함께 Gamma 分布型과 調和合成模型에 의해 模擬發生된 合成月流出量을 實測値와 比較 檢討한 바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 模擬發生된 月流出量과 實測値간의 平均値를 比較 分析한 結果 榮山江 및 蟾津江 水系는 Gamma分布型에 의해 模擬發生된 月流出量의 平均値가 調和合成模型의 結果에 비해 一般的으로 實測値에 보다 더 接近됨을 보여주고 있다.

2. 模型별로 模擬發生된 月流出量의 流量變化指標인 變動係數의 變化를 實測値에 대해 比較한 結果는 榮山江 水系 및 蟾津江 水系 共히 Gamma分布에 따른 變動係數가 調和合成模型에 비해 實測値의 값에 보다 더 近接되는 樣相을 보여주고 있다.

3. 多季節 1次 Markov模型에 따른 Gamma 分布型과 調和合成模型에 의해 模擬發生된 月流出量을 實測月流出量과 比較 檢討한 結果 榮山江과 蟾津江 水系에서 共히 Gamma分布型이 調和合成模型에 비해 實測値에 보다 接近되는 좋은 結果를 나타내었다.

4. 앞으로 本 研究에서 使用된 合成流量 發生技法들과 他 水文時系列 模擬發生 技法과의 比較 分析에 관한 계속적인 研究가 要望視된다.

本 論文은 1992年度 教育部 支援 韓國學術振興財團의 自由公募(地方大學 育成) 課題 學術研究 造成費에 의하여 研究 되었음.

參 考 文 獻

1. Barns, F. B. ; Storage Required for a City Water Supply, J. I. E. Aust. Vol. 26, pp. 198, 1954.
2. Clarke R. K. ; Mathematical models in hydrology, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Institute of Hydrology, Wallingford, U. K., pp. 62-73, 1973.
3. Fiering, M. B. and B. B. Jackson ; Synthetic Streamflow, American Geophysical Union, Water Resources Monograph, 1. 1971.
4. 韓國水資源公社 ; 榮山江流域調查 報告書, 1988. 12.
5. 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.
6. Hean, C. T. ; Statistical Method in Hydrology, Iowa State University Press, Ames, pp. 97-158, 1977.
7. Kottegoda, N. T. ; Stochastic Five Daily Stream Flow Model, J. Hyd. Div., ASEC, Vol. 98, HY9, Sept. 1972.
8. 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.
9. 李淳赫外 ; 應用水文學, 鄉文社, pp. 302-324, 1984.
10. \_\_\_\_\_, 洪聖杓 ; Markov模型에 의한 月流出量の 模擬發生에 관한 研究, 韓國農工學會誌, Vol. 32, No. 4, pp. 31-49, Dec. 1989.
11. Matalas, N. C. ; Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology, Water Resources Research, Vol. 3, No. 4, 1967.
12. McMahon, T. A., et al. ; Stochastic Generation of Streamflow Data, Civil Engineering Research Reports, No. 2, Monash University, Aust., Mar. 1972.
13. Meyer, H. A.(ed.) ; Symposium on Monte Carlo Methods, John Wiley & Sons Inc. N. Y., 1956.
14. 産業基地開發公社 ; 蟾津江流域調查 報告書, 1987, 12.
15. 徐炳夏, 尹龍男, 姜瑄浣 ; BIBARIATE AN ANALYSIS에 의한 月流量의 模擬發生에 관한 研究, 韓國水文學會誌, Vol. 12, No. 2, pp. 63-69, Dec. 1979.
16. Sudler, C. E. ; Storage required for Regulation of Streamflow, Trans. ASCE, Vol. 91, p. 622, 1927.
17. Wang, Ru Yih ; 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.
18. 尹龍男 ; 工業水文學, 清文閣, pp. 495-530, 1988.