

〈論 文〉

Simulation Technique에 의한 水資源의 變動樣相 및 그 模擬發生모델에 관한 研究

Studies on the Variation Pattern of
Water Resources and their Generation
Models by Simulation Technique

李	舜	鐸*
Lee,	Soon	Tak
安	慶	洙**
Ahn,	Kyung	Soo
李	義	洛***
Lee,	Eui	Rak

Abstract

These studies are aimed at the analysis of systematic variation pattern of water resources in Korean river catchments and the development of their simulation models from the stochastic analysis of monthly and annual hydrologic data as main elements of water resources, i.e. rainfall and streamflow. In the analysis, monthly & annual rainfall records in Seoul, Taegu, Pusan and Kwangju and streamflow records at the main gauging stations in Han, Nakdong and Geum river were used.

Firstly, the systematic variation pattern of annual streamflow was found by the exponential function relationship between their standard deviations and mean values of log-annual runoff.

Secondly, stochastic characteristics of annual rainfall & streamflow series were studied by the correlogram and spectrum analysis, and then a log-normal model (LN-model) based on the log-normal distribution & Monte Carlo method and a single season model of 1st-order Markov type were applied and compared in the simulation of annual hydrologic series.

In the simulation, single season model of Markov type showed better results than LN-model and the simulated data were fit well with historical data. But it was noticed that LN-model gave quite better results in the simulation of annual rainfall.

Thirdly, stochastic characteristics of monthly rainfall & streamflow series were also studied by the correlogram and spectrum analysis, and then the Model-C, which was developed and applied for the synthesis of monthly perennial streamflow by 1st author and is a Markov type model with transformed skewed random number, was used in the simulation of monthly hydrologic series. In the simulation, it was proved that Model-C was fit well for extended area in Korea and also applicable for monthly rainfall as well as monthly streamflow.

* 本會理事·嶺南大學校 工科學 副教授·工學博士

** 正會員·嶺南大學校 大學院 土木工學科(水工學專攻)

*** 正會員·嶺南大學校 大學院 土木工學科(水工學專攻)

要 旨

本 研究은 우리나라의 漢江, 洛東江, 錦江 및 榮山江流域을 包含한 廣域의인 河川流域에 있어서의 年 및 月流量과 降雨量에 대하여 Correlogram 및 Spectrum 分析을 통한 時系列의 解析과 그 變動樣相을 究明하고 이 特性을 기초로 해서 年 및 月水文學의 長期間의 Simulation을 위한 推計學的모델의 開發과 檢討에 그 目的을 두었다.

먼저 水文學의 變動樣相의 分析에 있어서는 美國, 유럽 및 濠洲大陸의 流量分析의 結果와 對比하면서 流量母集團의 標準偏差(σ)를 年流量의 對數平均値(L)에 대하여 指數函數의 關係式으로 表示하여 水資源量의 變動樣相을 究明하였다.

다음 年水文學(流量 및 降雨量)의 時系列의 各成分을 알기 위하여 Correlogram 및 Spectral density 分析을 행하였으며, 그 Simulation을 위한 單一季節 모델로서는 年水文學의 適正分布型인 對數正規分布와 Monte Carlo 方法에 기초를 둔 LN모델(Log-Normal Model)과 1次線形 自己回歸모델인 Markov모델을 設定하여 比較·검토하였다.

다음으로 月水文學(流量 및 降雨量)의 時系列 및 推計學的 成分 역시 Correlogram 및 Spectral density 分析에 의하여 究明하였으며, 그 Simulation에 있어서는 이 時系列特性和 洛東江 資料에 의하여 研究, 檢討된 바 있는 常流川 月流量의 模擬發生모델을 廣域의으로 적용시키고 또한 月降雨量에 대해서도 적용시켜서 이 모델의 적용성과 아울러 廣域의인 月水文學의 模擬發生모델을 確立토록 하였다.

1. 序 言

Simulation 技法이 水資源시스템의 설계에 사용된 것은 극히 최근의 일이다. 이것은 OR 및 시스템分析의 급속한 발전과 컴퓨터의 이용과 더불어 水資源의 計劃者 및 水工技術者들에 의하여 사용되기 시작하였으며 각종 水資源의 變數들간의 복잡성이나 상호관계를 보다 有效하게 解 決할 수 있음을 발견하였다.¹⁾

일반적으로 여기서 Simulation이란 컴퓨터에서 행하는 數值實驗의 한 技法으로서 水資源시스템의 현상을 표시하는 數學的 혹은 논리적 모델의 어떤 型으로 이루어진다. 이 Simulation에 있어서는 “Operational gaming”과 “Monte Carlo 分析”의 두 중요한 요소가 있는데²⁾ 이 가운데 後者가 推計學的 혹은 確率的 性質을 갖는 문제에 대한 Simulation 技法으로서 水資源의 Sim

ulation에 있어서 지금까지 많이 사용되어 왔으며, 본격적으로 水資源시스템에 응용된 것은 Maass等³⁾에 의한 Harvard Water Program 이후부터 이었다.

水資源을 하나의 시스템으로 보아 廣域의인 설계와 물配分 및 操作을 함에 있어서 水資源인 降雨量, 河川流量의 時間的 및 地域的 變動特性和 그 樣相을 분석하고 보다 長期的인 資料의 Simulation으로 부터 시스템을 설계하는 技法이 그 기본이 되고 있다.

따라서 본 논문에서는 水資源量의 變動樣相을 해석하고 그 推計學的 特性을 究明하여 Simulation 技法에 의한 長期的인 發生모델을 검토코저 함이며, 이 發生모델에 의한 Simulation量은 水資源의 시스템分析이나 貯留 및 調節기능의 해석에 있어서 중요한 性 質과 因 子를 公 급하게 되는 것이다.

지금까지 降雨量, 流量을 비롯한 水資源量의 變動樣相에 대해서는 각종 時系列해석에 의하여 많이 연구되어 왔으며^{4,5)} 특히 Waitt 및 O'Neill⁶⁾은 세계 여러 河川의 年流出量에 대한 統 計的인 變動樣相을 比 較分析하였으며, 菅原正巳^{7,8,9)}氏는 日本의 諸河川에 대한 雨量 및 流量의 해석으로부터 水資源의 變動樣相을 연구

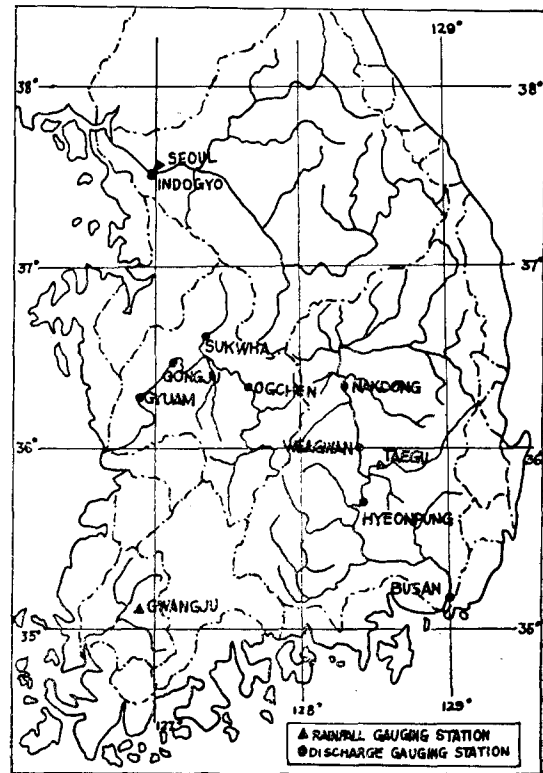


Fig. 1. Location of Gauging Stations for Hydrologic Data

한 바 있다.

그리고 水資源量의 模擬發生手法은 1962年 Thomas & Fiering^{3,10)} 이후 그동안 많은 연구가 있었으며^{11), 12,13)} 우리나라의 河川水文量에 대해서도 지금까지 推計學的 Simulation 모델에 대한 몇가지 연구가 있었다^{14),15,16)}. 그러나 지금까지의 연구에서는 주로 洛東江유역의 河川月流量資料를 기초로 하여 모델을 開發하였으므로 본 논문에서는 洛東江뿐만 아니라 漢江, 錦江 및 榮山江유역의 年 및 月流量資料와 전국 주요 지점의 年 및 月降雨量資料까지 적용시켜서 廣域의인 水文量, 즉 水資源量의 Simulation 모델을 설정, 개발코저 하였다.

分析에 사용한 資料는 Fig. 1.에 표시된 바와같이 流量에 있어서는 우리나라의 主要河川인 漢江, 洛東江, 錦江 및 榮山江에서 비교적 長期間의 資料를 얻을 수 있는 8個地點, 降雨量에서는 서울, 釜山, 大邱, 光州 등의 4個地點에서 관측된 기록치를 사용토록 하였으며, 대개 30~70년이상의 기록치를 얻을 수 있는 地點을 선정하였다.

2. 水資源의 變動樣相

水資源量의 系統的인 變動樣相(Systematic Variation Pattern)으로서 年流出量의 平均과 標準偏差間의 관계에 의하여 表示하도록 하였다. 따라서 年流出量에 대한 Markovic¹⁷⁾의 分析에서 Gamma와 對數正規分布에 있어서 그 適合性的 差異가 없다는 理論을 근거로 한 Waitt & O'Neill⁶⁾의 연구 결과와 우리나라의 年流出

量에 대한 對數正規分布의 適合性으로부터¹⁸⁾ 年流出量의 變動樣相은 다음과 같은 標準偏差와 平均値의 關係式으로 表示할 수 있다고 한다. 즉,

$$\sigma = ae^{-bL} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 σ 는 母集團의 標準偏差, L 는 $L = \overline{\log_{10}Q}$ 인 對數平均値, a 및 b 는 回歸係數이다.

年流出量의 平均이 變數로서 주어진 이 식은 복잡한 地域的인 要素의 單純化를 내포하고 있으며 年流出量의 變動樣相이 있다는 가정에 기초한 것으로서 이를 선형화시켜 이 식의 特性值인 a, b 의 回歸係數를 구할 수 있다.

따라서 이 關係式의 가정하에 洛東江, 漢江 및 錦江의 年流出量資料를 分析하여 Table-1과 같은 變數들을 얻었으며 이들로 부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= 0.995e^{-0.5607L} \text{ (洛東江)} \\ \sigma &= 0.2463e^{-0.0267L} \text{ (韓國河川)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

이 關係式을 푸룻트하면 Fig.-2 및 Fig.-3과 같이 되며 특히 Fig-2에서는 美國, 濠洲 및 유럽大陸의 分析結果와 함께 표시하여 對比할 수 있도록 하였다.

이들 그림에서 알 수 있는 바와같이 우리나라의 河川에 대해서 平均値의 對數值가 $L=2.6$ 가 이상, 3.6 미만이며 標準偏差는 $\sigma=0.4$ 미만으로서 L 의 증가에 대한 σ 의 증가가 대략 $0.2 \sim 0.4$ 의 범위로 감소함을 알 수 있다.

또한 外國의 河川에 대한 결과와 비교해 보면 美國, 濠洲 및 유럽의 河川에서는 L 의 變動범위가 낮은 값에서 큰값까지 광범위한 반면 우리나라의 경우는 L 의

Table 1. Parameter Analysis (Korean Rivers)

Number	River	Station	Years	Area (km ²)	St. Dev.	Mean	Skewness	Geometric	$\bar{\sigma}/\sigma$
1	Nakdong	An Dong	13	1620.9	0.171	3.123	-0.928	1328.00	0.755
2		Nak Dong	36	9369.5	0.312	2.747	-1.259	558.05	1.363
3		Wae Gwan	34	11074.4	0.260	2.629	-0.984	425.85	1.132
4		Dong Chon	13	1543.9	0.226	2.629	-0.352	509.01	0.986
5		Ko Ryoung	16	1393.0	0.176	2.629	-0.411	452.84	0.767
6		Hyeon Pung	33	14000.9	0.269	2.640	-0.324	436.82	1.172
7		Chin Dong	16	2031.1	0.165	2.749	-0.586	560.54	0.721
8		Il Sun	13	9501.7	0.187	2.638	-0.537	434.88	0.815
9		Chang Ri	11	924.6	0.189	2.930	-0.445	850.67	0.830
10	Geum	Og Cheon	36	1150.5	0.205	3.281	-0.445	1909.20	0.909
11		Gong Ju	32	1022.3	0.300	3.376	-0.769	2376.72	1.333
12		Gyu Am	38	1039.8	0.242	3.546	-0.871	3518.86	1.080
13		Suk Hwa	34	842.7	0.280	3.447	-0.348	2796.88	1.157
14	Han	In Do Gyo	30	25342	0.304	2.738	-1.093	547.13	1.328

큰값(2.6~3.6)범위내에 있으며 L의變化에 대한 σ 의變動범위, 즉 平均値의 對數値L의 증가에 대한變動率이 他大陸의 값보다 작음을 알 수 있다.

한편 Fig-2 및 Fig-3에서 95% 信賴區間을 표시하였는데 (2)식의 영향을 받아 완곡곡선으로 얻어졌으며 모든 기록치들은 이 범위내에 들어가고 있다. 또한 Table-1에서 標本値의 標準偏差($\bar{\sigma}$)와 母集團의 標準偏差(σ)와의比率($\bar{\sigma}/\sigma$)이 0.7~1.4의 범위의 값으로 얻어졌으며 이것은 (2)식의 적합성을 보여주고 있다.

3. 年水文量의 Simulation

3.1 Correlogram 및 Spectrum分析^{19,20)}

年降雨量 및 年流量의 時系列구조를 해석하기 위하여 이들 水文量에 대한 Correlogram과 Spectral density를 구하도록 하였다.

Correlogram은 系列相關係數 ρ_k 를 次數k에 대하여 다음과 같은 관계에 의하여 얻어지며,

$$\rho_k = \frac{COV[X_t \cdot X_{t+k}]}{[\text{VAR } X_t \cdot \text{VAR } X_{t+k}]^{1/2}} \dots\dots\dots(3)$$

Spectral density는 다음 식과 같이 표시되는 V_k 에 次數m의 逆數를 곱한 값으로 부터 얻어지는 것으로서 度數(f)에 대해

$$V_k = C_0 + 2 \sum_{L=1}^{m-1} C_L \cos \frac{KL\pi}{m} + C_m \cos k\pi \dots\dots\dots(4)$$

여기서 $L=0, 1, 2, \dots\dots\dots m$

$$0 \leq k \leq m$$

C_L : logL와 水文量 X_t 의 共分散

C_0 및 C_m : log0 및 logm와 X_t 의 共分散

서도 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$f = \frac{k}{2m\Delta t} \dots\dots\dots(5)$$

여기서 $k=0, 1, 2, \dots\dots\dots m$

Δt : 시간간격(예컨대 1年, 1月등)

f : 度數(frequency)로서 cycle/ Δt 이며

범위는 $0 < f < 0.5$ 이다.

따라서 (3)~(5)식에 의한 Correlogram 및 Spectral density를 서울, 釜山, 大邱 및 光州의 年降雨量과 洛東江(洛東, 倭館, 玄風), 錦江(沃川, 公州, 卍安, 石花), 漢江(人道橋)유역의 年流量에 대하여 구하여 본 결과 그 대표적인 것이 Fig-4와 같다. 여기서 年水文量의 定常時系列化를 위하여 1次變換資料를 구하여 이에 의한 Correlogram과 Spectral density도 역시 동시에 푸룻해서 原資料의 그것과 비교하여 보았으나 큰 差가 없으며 따라서 年水文量資料의 定常時系列을 가정하여도 무방하다고 볼 수 있었다. 즉, 年水文量에 대해서는 일반적으로 행하여지는 資料의 變換法은 사용할 필요가 없음을 알 수 있었다. 그리고 Spectral density의 계산에 있어서는 Hanning方法^{19,20)}을 채택하였다.

이와같이 얻어진 Correlogram 및 Spectral density를 고찰해 보면 대체적으로 일정한 季節成分 혹은 周期成分은 發見할 수 없으며 持續性과 偶然成分만으로 구성되어 있음을 볼 수 있다. 그리고 Correlogram에 있어서 Lagk에 대한 ρ_k 의 값이 거의 모두 95%信賴範圍內에 들어가며 理論的인 1次 Markov모델에 대략 유사함이 判明되었다. 한편 長期變動成分은 年水文量의 성질상 및 統計的인 검토로부터 그 존재성을 가질 수 있었다.

3.2 Simulation 모델

年水文量을 Simulation하기 위한 單一季節모델(Single Season model)로서는 우리나라 年水文量의 適正確率分布型인 對數正規分布를 기초로 하여 Monte Carlo方法에 의하여 模擬發生시키는 LN모델(Log-Normal model)과 앞의 Correlogram 및 Spectral density分析에서 究明된 年水文量의 持續性 및 相關性과 偶然成分에 기초를 둔 線型自己回歸모델인 Markov모델을 사용하여 비교·검토하였다.

(1) LN모델(Log-Normal model)

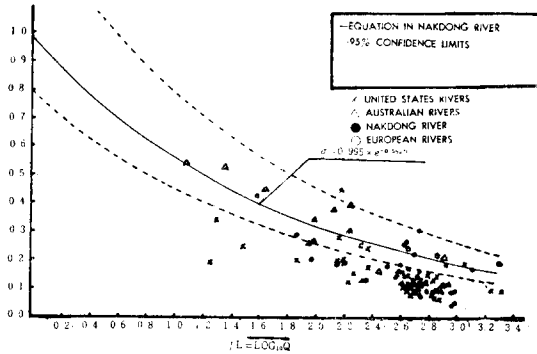


Fig. 2. Variability of Annual Flow in Nakdong River.

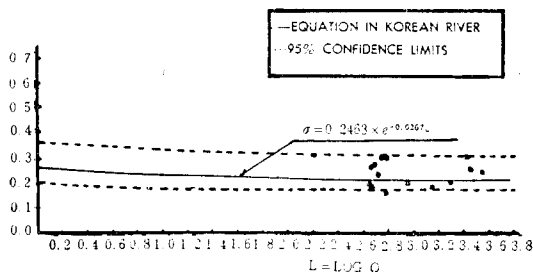


Fig. 3. Variability of Annual Flow in Korean Rivers.

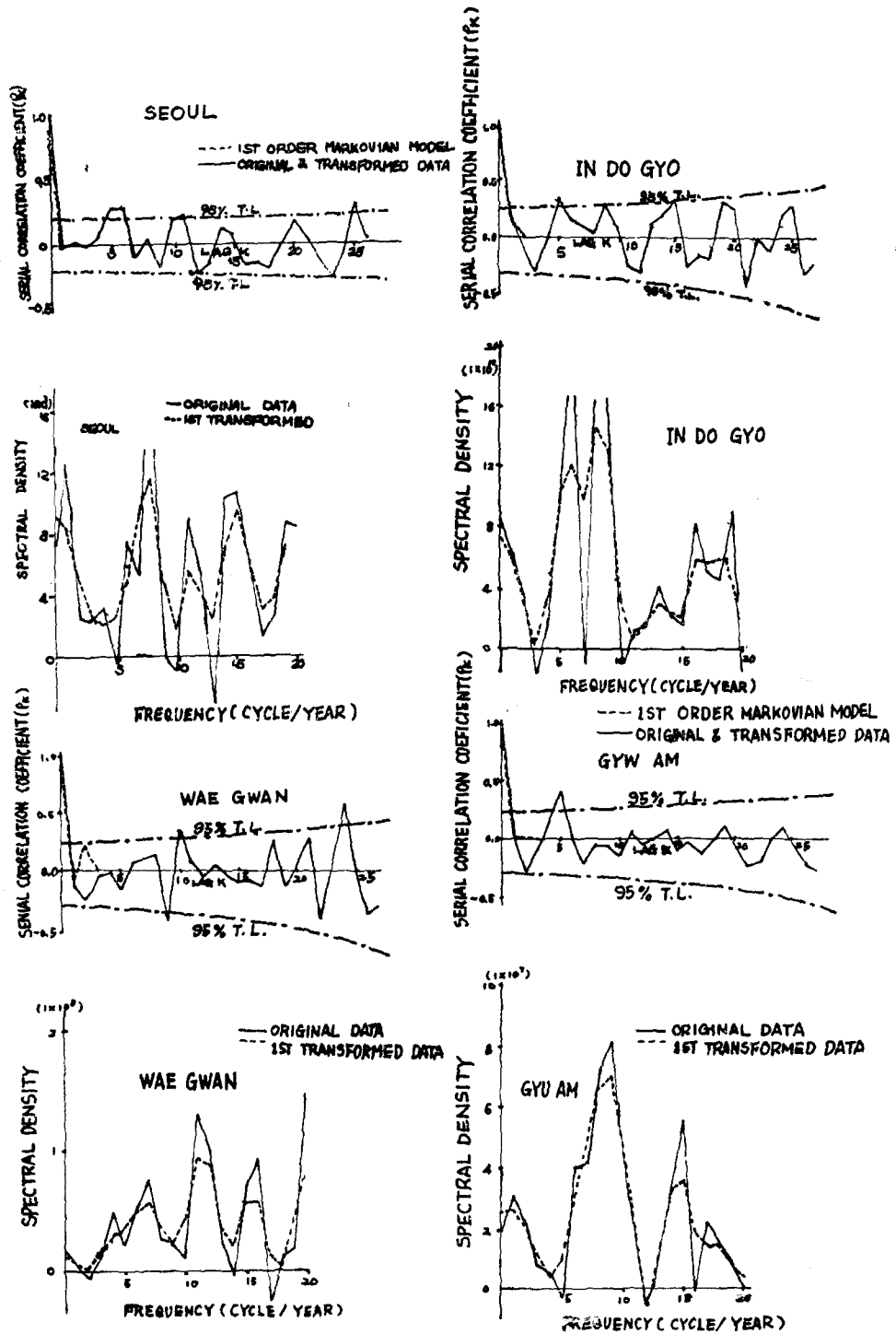


Fig. 4. Correlogram and Spectral density of Historical Annual Rainfall and Streamflow

Table 2. Statistics of Historical and Synthetic Annual Streamflow and Rainfall

Statistics	Model	Stations		Mean		Standard Deviation		Skewness	
Gwang Ju (Rainfall)	Historical	1223.63	%	302.71	%	0.467	%		
	LN-Model	1227.64	0.32	328.48	8.51	0.841	80.08		
	Markov-Model	1255.29	2.58	317.68	4.94	-0.047	110.06		
Dae Gu (Rainfall)	Historical	975.71		247.94		0.602			
	LN-Model	966.87	0.91	232.58	6.20	0.686	13.95		
	Markov-Model	991.88	1.66	245.54	0.97	-0.170	128.24		
Busan (Rainfall)	Historical	1402.19		346.82		0.368			
	LN-Model	1408.45	0.45	383.57	10.54	0.844	129.35		
	Markov-Model	1402.67	0.03	341.85	1.43	0.148	59.78		
Seoul (Rainfall)	Historical	1300.17		336.02		0.312			
	LN-Model	1294.57	0.43	358.69	6.74	1.264	304.81		
	Markov-Model	1329.00	2.21	343.22	2.14	-0.177	156.73		
Nak Dong (Streamflow)	Historical	72590.94		45079.53		1.189			
	LN-Model	77696.50	7.03	62360.31	38.33	2.462	107.06		
	Markov-Model	68314.87	5.89	39528.41	12.31	0.056	95.29		
Wae Cwan (Streamflow)	Historical	61688.97		28427.19		0.161			
	LN-Model	63576.36	3.06	37308.69	31.24	1.622	907.45		
	Markov-Model	63176.96	2.41	26859.53	5.51	0.012	92.55		
Hyeon Pung (Streamflow)	Historical	87370.06		45480.56		0.436			
	LN-Model	85449.06	2.20	52631.37	15.72	2.339	437.70		
	Markov-Model	86454.75	1.05	47488.66	4.42	-0.244	156.09		
Og Cheon (Streamflow)	Historical	27025.48		13048.21		0.589			
	LN-Model	29112.09	7.72	19240.80	47.46	2.590	339.90		
	Markov-Model	25747.08	4.73	13616.12	4.35	-0.191	132.43		
Gongu (Streamflow)	Historical	30718.08		20908.66		0.499			
	LN-Model	39488.92	28.55	60865.09	191.10	5.263	954.71		
	Markov-Model	26431.05	13.96	21884.67	4.67	0.416	16.63		
Gyu Am (Streamflow)	Historical	48265.37		22793.31		0.446			
	LN-Model	48564.04	0.62	27468.81	20.51	1.760	195.28		
	Markov-Model	50584.50	4.80	22247.64	2.39	-0.040	108.76		
Suk Hwa (Streamflow)	Historical	36739.78		26722.39		1.439			
	LN-Model	36831.12	0.25	28780.27	7.70	3.143	118.42		
	Markov-Model	42494.16	15.66	27616.12	3.34	-0.249	117.30		
In Do Goy (Streamflow)	Historical	161087.60		107801.40		0.895			
	LN-Model	174776.10	8.50	183004.40	69.76	3.245	262.57		
	Markov-Model	165468.90	2.72	108570.40	0.71	0.105	88.27		

이 LN모델에서 사용되는 數學的 모델은 2-變數 對數正規分布函數로 부터 유도되는 다음 식을 사용한다.

$$x = \exp \left[\mu_y + \sigma_y \left(\frac{k}{12} \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^k r_i - \frac{k}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (6)$$

여기서 x : 模擬發生變量

μ_y, σ_y : $(y = \log x)$ 의 平均 및 標準差
 r_i : $N(0, 1)$ 의 값을 갖는 均等分布의 亂數

k : 亂數의 數로서 여기서는 $k=12$ 로 取함.

이 관계식을 Simulation하기 위한 FORTRAN으로 바꾸어 쓰면,

$$x = \text{EXP}(EY + \text{STDY} * (\text{SUMR} - 6.0)) \dots (7)$$

와 같이 되며 이 (6) 및 (7)식은 우리나라의 常流川 月流量에 적용 개발된 模擬發生모델-A¹⁶⁾로서 여기서는 이것을 年水文量에 적용토록 한 것이다.

(2) Markov모델

Markov모델에 사용된 數學的모델은 1次線形自己回歸 모델(1st-order linear autoregressive model)로서 다음과 같이 單一季節의 模擬發生모델로 變形한 것이다.[•] 즉,

$$x_{i+1} = \bar{x}_i + \rho_1(x_i - \bar{x}_i) + \sigma \cdot r_i(1 - \rho_1^2)^{1/2} \dots (8)$$

여기서 x_i 및 x_{i+1} : i 및 $(i+1)$ 년의 模擬發生變量

\bar{x}_i : i 年間기록치의 平均值

ρ_1, σ : i 年기록치의 1次系列相關係數 및 標準偏差

r_i : $N(0, 1)$ 의 正規分布의 亂數

이 모델역시 常流川 月流量에 대하여 개발된 模擬發生모델-B 및 C¹⁶⁾를 年水文量에 적합한 單一季節의 모델로 變形, 유도한 것이다.

3.3 Simulation 및 結果의 考察

이상과 같이 設定한 두 모델과 기록치로부터 얻어진 變數值들을 사용해서 FACOM 230/25에 의하여 數回에 걸쳐 500年間的 年水文量의 模擬發生資料를 Simulation하였다.

이 Simulation된 資料들의 신빙성과 유효성을 검토하기 위하여 기록치의 각 特性들과 비교하였다. 먼저 두 資料系列에 대한 基本統計值를 구하여 비교하여 보면 Table-2와 같으며, 이 표로부터 알 수 있는 바와 같이 年降雨量에 있어서 平均值는 LN모델이 기록치와 매우 가까운 값을 發生시켜 주는 반면(오차가 0.32~0.91% 범위내) Markov모델은 이 보다는 다소 차이가 있는 값을 發生시켜주고 있다. 그러나 2次모멘트 이상에서는 LN모델보다 Markov모델이 더 우수한 결과를 주고 있음은 LN모델이 降雨量分布의 變動性發生에 있어서는 다소 充分치 못함을 의미하고 있다.

한편 年流量에 있어서는 Markov모델이 모든 統計值에 있어서 LN모델보다 우수한 결과를 模擬發生시켜 주고 있음이 명백하다.

다음 이들 Simulation된 資料로부터 Correlogram과 Spectral density를 구하여 기록치의 그것과 비교하여 본 결과 그 대표적인 것이 Fig.5와 같으며 이로부터도 역시 앞의 統計值의 비교결과와 대략 일치함을 알 수

있다. 또한 기록치와 Simulation資料의 頻度分析을 향하여 각 발생확율에 대한 年降雨量 및 年流量을 비교하여 본결과 그 대표적인 것이 Fig.6과 같으며 서로 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다.

4. 月水文量의 Simulation

4.1 Correlogram 및 Spectrum分析

月水文量의 時系列特性을 알기 위하여 앞의 (3)~(5)식에 의한 Correlogram 및 Spectral density를 年水文量에서와 마찬가지로 서울, 釜山, 大邱 및 光州의 月降雨量과 洛東江(洛東, 倭館, 玄風), 錦江(沃川, 公州, 尙安, 石花), 漢江(人道橋)유역의 月流量에 대하여 구하였으며 그 대표적인 것을 보면 다음 Fig.7과 같다. 이로부터 알 수 있는 바와 같이 각 지점마다 다소 차이는 있으나 一年을 周期로 하는 거의 같은 型의 波가 되풀이 되고 있으며 洛東江資料에 의한 常流川의 研究¹⁶⁾에서 考察한 바와 같이 우리나라의 月水文量의 時系列이 12개월을 周期로하는 周期成分 또는 季節成分이 있음을 말해주고 있다. 다음 이 月水文量資料의 正規化, 또는 定常時系列化를 위하여 1次 및 2次變換資料까지 구하여 검토하였다. 1次 및 1次變換에 의하여 平均은 零, 標準偏差는 거의 1에 가까워지게 되며 이 變換資料에 대한 Correlogram 및 Spectral density를 구하여본 결과 Fig.8과 같이 된다. 앞의 Fig.7의 결과와 비교하여 볼 때 資料를 變換시킴으로써 周期的인 波動은 거의 제거되고 거의 0에 가까운 미소파동을 일으켜 대개 95%의 信賴範圍內에 들어가게 된다. 즉 時系列은 季節成分이 거의 제거되어 持續性과 偶然成分만으로 구성되게 된다. 그리고 1次變換이나 2次變換의 결과가 거의 같기 때문에 月水文量에 있어서 1次變換만 시켜도 무방함을 알 수 있다.

다음에 이 變換資料가 어떤 理論的모델을 이루고 있는가를 알기 위하여 Fig.8에서와 같이 1次Markov모델의 理論的 Correlogram 및 Spectral density와 비교해본 결과 常流川流量의 研究결과와 마찬가지로 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있으며 특히 降雨量에 있어서도 같은 결과를 주고 있음을 알 수 있다.

4.2 Simulation모델

이상에서 검토한 바와 같이 月水文量時系列의 特性이 常流川流量의 分析結果와 同一하기 때문에 洛東江의 月流量資料를 사용하여 常流川流量에 가장 적합한 Simulation모델로서 적용·개발된 모델-C¹⁶⁾를 우리나라의 月水文量의 Simulation모델로하여 廣域的인 月降雨量 및 月流量에 적용·검토토록 하였다.

이 모델-C는 歪曲된 資料에 대하여 變換된 亂數를

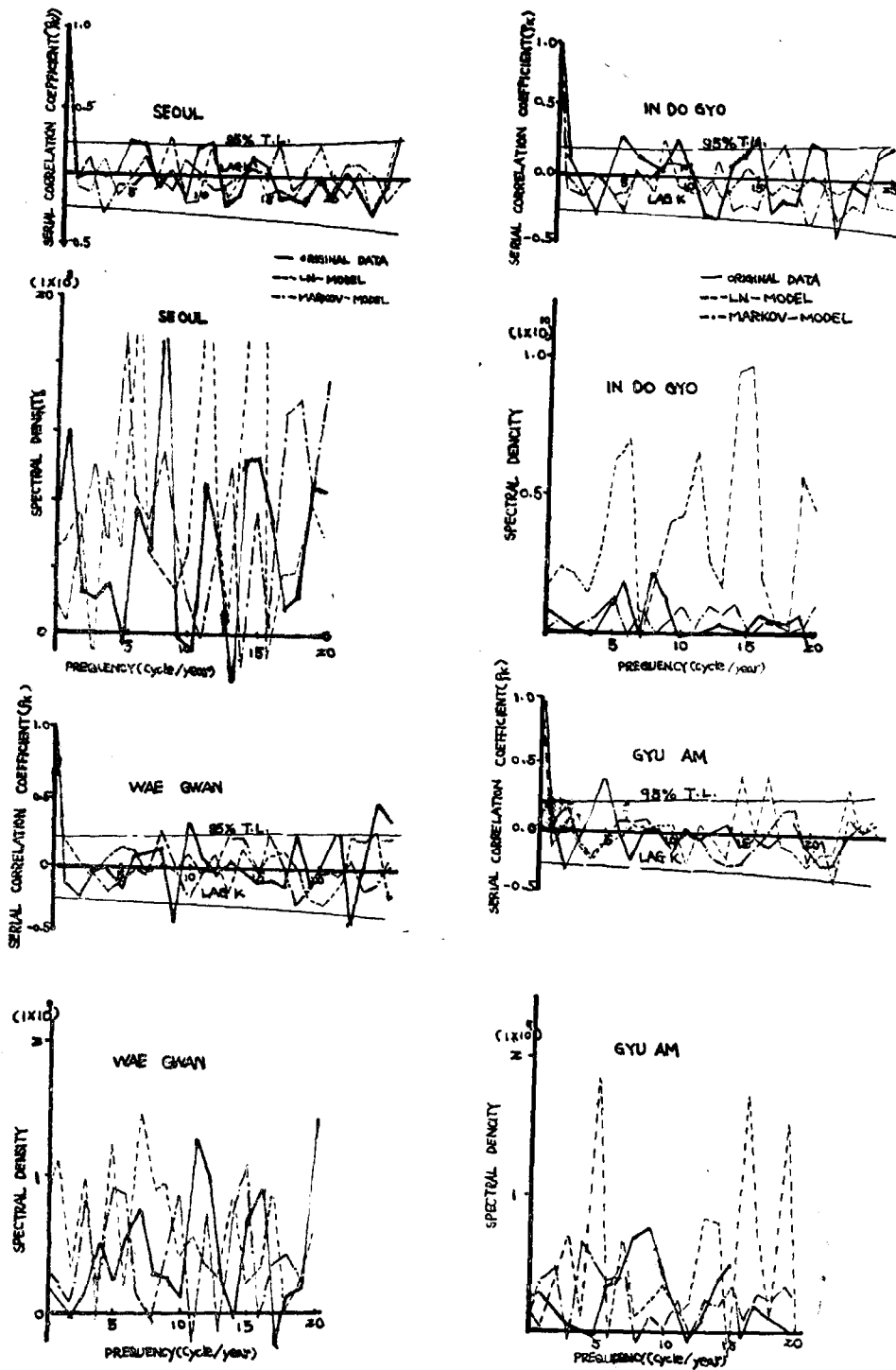


Fig. 5. Correlogram and Spectral density of Historical and Synthetic Annual Rainfall and Streamflow.

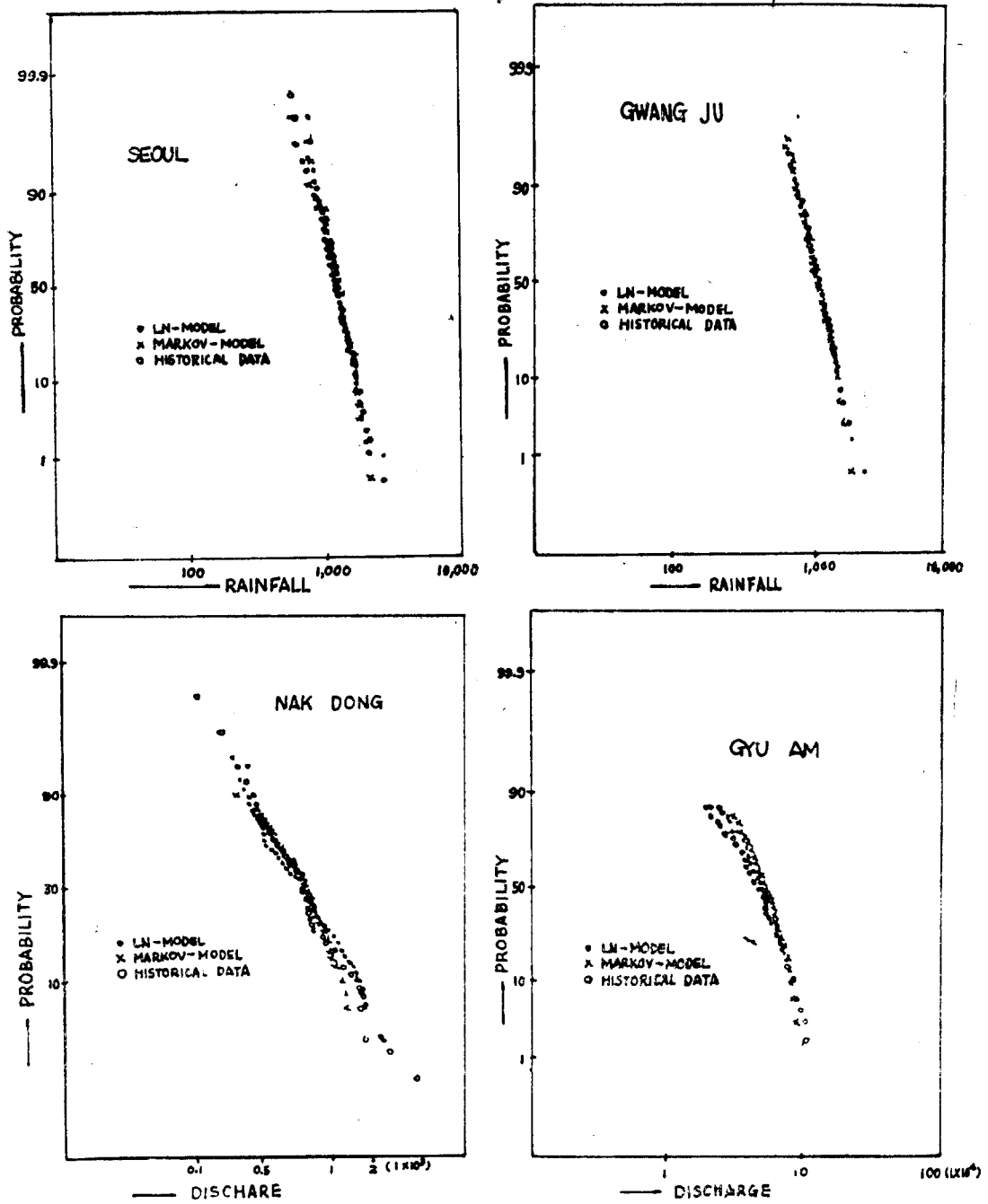


Fig. 6. Frequency Analysis of Historical and Sythetic Annual Rainfall and Streamflow.

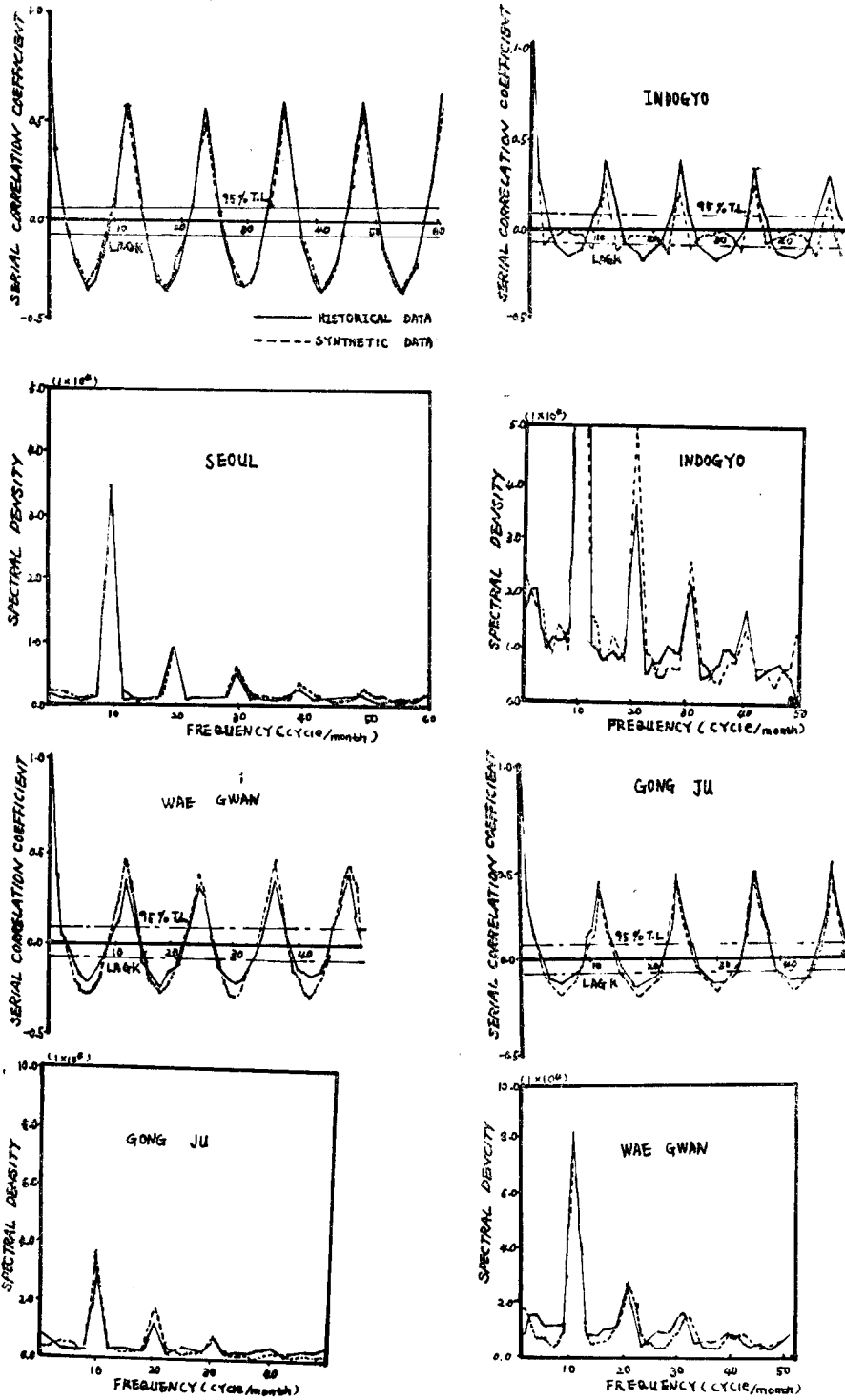


Fig. 7. Correlogram and Spectral density of Historical and Synthetic Monthly Rainfall and Streamflow.

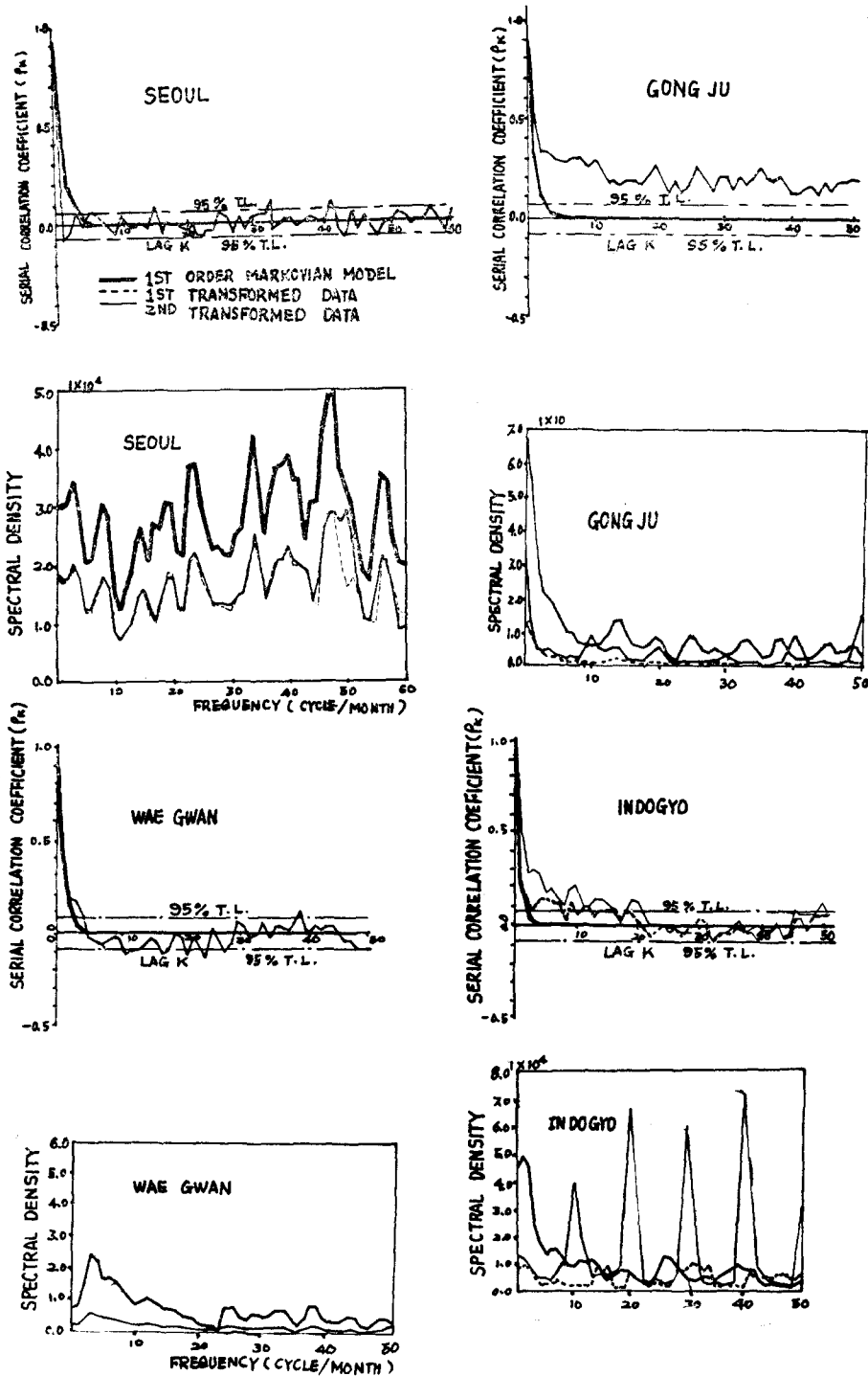


Fig. 8. Correlogram and Spectral density of 1st & 2nd Transformed data and 1st Markovian model.

사용하는 多季節 1次 Markov과정의 모델로서 다음과 같다. 즉,

$$\left. \begin{aligned} x_{i,j} &= \bar{x}_j + \sigma_j \cdot \rho_1(j) \left(\frac{x_{i,j-1} - \bar{x}_{j-1}}{\sigma_{j-1}} \right) \\ &\quad + \sigma_j \cdot r'_{i,j} [1 - (\rho_1(j))^2]^{1/2} \\ g'_j &= \frac{g_j - (\rho_1(j-1))^2 \cdot g_{j-1}}{[1 - (\rho_1(j))^2]^{1.5}} \\ r'_{i,j} &= \frac{2}{g'_j} \left[1 + \frac{g'_j \cdot r_{i,j}}{g} - \frac{(g'_j)^2}{36} \right]^3 \\ &\quad - \frac{2}{g'_j} \end{aligned} \right\} \dots(9)$$

여기서 $\bar{x}_j, \sigma_j, \rho_1(j)$; 기록치의 j 月的 平均, 標準偏差, 및 1次系列相關係數
 $x_{i,j}$; 任意地點의 i 年 j 月的 模擬發生變量
 $r_{i,j}$; $N(0,1)$ 의 正規分布의 亂數
 g_j ; j 月에 대한 기록치의 歪度係數
 g'_j ; j 月에 대한 變換歪度係數
 $r'_{i,j}$; 歪曲된 資料에 대하여 變換된 亂數

4.3 Simulation 및 結果의 考察

(9)식으로 표시되는 모델과 기록치의 각 變數值들을

사용해서 역시 FACOM 230/25에 의하여 數回에 걸쳐 長期間의 月水文量의 模擬發生資料를 Simulation하였으 며 그 結果를 기록치의 諸特性值들과 비교하여 보았다. 먼저 두 資料群에 대한 基本統計值들을 비교하여 보면 Table-3(a) 및 (b)에서와 같이 月降雨量 및 月流量 모두 다 Simulation 結果와 기록치가 잘 일치하고 있으며 餘他 地點의 結果도 역시 同一함이 발견되었다.

이것은 또한 Fig.7의 Correlogram 및 Spectral density의 結果를 비교해 보아도 Simulation 結果가 기록치와 매우 일치됨을 명백히 해주고 있다.

따라서 常流川月流量에 대하여 개발된 모델-C가 우리나라의 廣域的인 月水文量의 Simulation, 즉 模擬發生에 적합함을 의미하며 특히 月降雨量의 경우에도 Simulation 모델로서 사용할 수 있음은 特記할만 하다

5. 結 論

年 및 月水文量의 推計學的 解析으로 부터 究明된 水資源의 變動樣相과 그 模擬發生 모델에 대한 結果를 요약하면 다음과 같다.

Table 3. (a) Statistics of Historical and Synthetic Monthly Rainfall in Seoul

(Unit: mm)

Month	Mean		Standard Deviation		Coefficient of Skewness		Coefficient of Correlation		Coefficient of Variation(%)	
	Historical	Synthetic	Historical	Synthetic	Historical	Synthetic	Historical	Synthetic	Historical	Synthetic
Jan.	22.04	20.47	20.68	18.81	1.5866	0.6105	0.1042	0.4178	93.831	91.904
Feb.	21.24	21.48	22.34	22.62	2.0067	1.4225	-0.2050	0.0718	10.521	105.270
Mar.	27.05	44.54	45.23	50.51	1.8156	2.5148	-0.0583	0.1936	95.711	113.400
Apr.	78.11	90.88	55.61	57.71	2.1190	1.7466	-0.0874	0.2909	71.201	63.392
May.	84.73	89.14	42.62	43.89	0.5683	1.443	-0.0246	0.0444	50.301	49.238
Jun.	144.28	145.01	103.00	98.31	1.7058	0.4504	0.1020	0.4520	71.392	67.796
Jul.	359.48	355.36	177.17	234.79	1.0418	2.2998	-0.0273	0.0698	49.286	66.070
Aug.	243.41	233.95	146.67	129.94	1.1446	0.8109	0.1516	0.2588	60.255	55.541
Sep.	134.53	134.47	96.56	84.94	0.9095	0.8138	-0.0894	-0.1121	71.770	63.169
Oct.	46.47	46.89	28.15	30.41	0.6398	0.3802	-0.1977	0.0752	60.592	64.859
Nov.	41.57	38.24	22.41	20.84	0.4040	1.0197	-0.2121	-0.0106	53.925	54.513
Dec.	28.07	31.84	21.45	23.53	1.4566	0.0189	-0.2744	-0.0634	76.392	73.901
Total Monthly	1250.98	1252.27	781.89	816.20	15.3978	13.5494	-0.8184	1.6881	765.177	869.053

(1) 우리나라 年流出量의 系統的인 變動樣相은 그 平均值와 標準偏差間에 다음과 같은 관계式으로 표시할 수 있고,

$$\sigma = 0.995e^{-0.5607L} \text{ (洛東江)}$$

$$\sigma = 0.2463e^{-0.0267L} \text{ (韓國河川)}$$

平均值的 對數值 L의 증가에 대한 標準偏差 σ 의 變動

範圍는 다른 大陸의 河川보다 작으며 L는 큰 값의 범 위내에 있다.

(2) 年水文量, 즉 年降雨量 및 年流量은 거의 定常時系列化되어 있으며, 時系列에 있어서 季節成分 혹은 周期成分은 거의 없고 대체적으로 不規則的인 偶然成分 및 持續成分이 있음이 발견된다.

(3) 年水文學의 Simulation에 있어서 대체적으로 보아 1次 Markov型의 單一季節모델이 對數正規分布型과 Monte Carlo技法에 기초를 둔 LN모델(Log-Normal model)보다도 기록치에 더 가까운 資料를 Simulation시켜준다. 그러나 年降雨量의 Simulation에 있어서는 平均値에 관한限 LN모델이 극히 우수한 결과를 주고 있는 반면 2次모멘트이상의 값은 Markov모델의 결과보다 떨어져서 LN모델이 降雨量分布의 變動性發生에 있어서 충분치 못함을 알 수 있다.

(4) 廣域의인 月水文學, 즉 月降雨量및 月流量의 時系列은 常流川月流量의 경우와 같이 12개월을 周期로 하는 季節成分이 있음이 판명되며 1次變換을 시켰을 때 季節成分이 제거되고 系列相關成分과 偶然成分만

남게 되어 대체적으로 定常時系列을 이루게 됨이 발견된다.

(5) 年水文學의 Simulation모델로서는 常流川月流量에 대하여 개발된 1次 Markov型의 모델-C(歪曲된 資料에 대한 變換亂數를 사용하는)가 廣域의으로 가장 적합하며 Simulation결과와 기록치가 잘 일치됨이 발견된다. 그리고 특히 降雨量에서도 좋은 결과를 주고 있음은 이 모델-C의 降雨量에의 적용성을 보여주고 있다.

끝으로 本 研究가 可能하게끔 助力해주신 産學協同財團 當局에 깊은 感謝를 드리며, 또한 컴퓨터 Simulation에 협조해 준 嶺南大學校 電子計算所여러분들의 勞苦에 대하여 아울러 謝意를 表하는 바이다.

Table 3. (b) Statistics of Historical and Synthetic Monthly Streamflow in Ogcheon

(Unit: m³/sec·day)

Month	Mean		Standard Deviation		Coefficient of Skewness		Coefficient of Correlation		Coefficient of Variation (%)	
	Historical	Synthetic	Historical	Synthetic	Historical	Synthetic	Historical	Synthetic	Historical	Synthetic
Jan.	552.8	507.6	226.8	255.8	0.732	-3.101	0.583	0.628	41.022	50.394
Feb.	567.0	565.3	374.7	346.3	3.716	0.757	0.227	0.438	66.080	61.264
Mar.	952.2	908.0	811.3	795.4	2.531	1.889	0.396	0.484	85.198	87.596
Apr.	1605.7	1373.4	1422.5	1027.3	1.601	1.618	0.163	0.122	88.586	74.798
May.	1307.2	1380.3	951.3	952.3	0.934	1.102	0.463	0.230	72.777	68.992
Jun.	1980.1	1561.4	2992.7	2578.2	3.051	0.363	0.396	0.470	151.140	165.120
Jul.	8609.2	5511.8	7446.7	8679.4	1.401	2.237	0.031	0.282	86.497	157.800
Aug.	4673.1	4087.1	3737.7	3850.1	0.820	1.323	0.424	0.432	79.983	94.202
Sep.	4396.0	5600.1	5243.0	6357.8	3.032	0.728	-0.018	0.342	119.270	113.530
Oct.	1079.2	901.6	1009.4	1101.8	2.237	2.067	-0.134	0.245	93.534	122.200
Nov.	725.5	791.5	466.6	546.0	3.416	1.083	0.613	0.602	64.312	68.982
Dec.	577.4	497.6	216.6	395.2	0.769	-4.163	0.354	0.595	37.519	79.411
Total Monthly	27025.4	23685.7	24898.2	26885.6	24.240	9.903	3.398	4.870	985.92	1144.290

參 考 文 獻

- 1) Hufschmidt, M.M. & M.B. Fiering; Simulation Techniques for Design of Water Resource Systems, Macmillan, London, 1966.
- 2) Naylor, T.H. & et. al.; Computer Simulation Techniques, John Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1966.
- 3) Maass, A. & et. al.; Design of Water Resources Systems, Harvard University Press, 1962
- 4) Kisiel, C.C.; Time Series Analysis of Hydrologic Data, Advances in Hydrosience, ed. by V.T. Chow, Academic Press, Inc., N.Y., pp.1-120, 1969.
- 5) Quimpo, R.G.; Autocorrelation and Spectral Analysis in Hydrology, J. Hyd. Div., ASCE, Vol. 94, No. HY2, pp.363-373, Mar. 1968.
- 6) Waitt, F.W.F. & I.C. O'Neill; Systematic Variation Pattern of Annual River Flows, J. Hyd. Div., ASCE, Vol. 95, No. HY3, May, 1969.
- 7) 菅原正己; 水資源의 變動樣相에 關する 調査報告, 日本科學技術廳 資源調査會報告, 第34號, Oct. 1966.

- 8) 菅原正己; 水收支の長期變動: 水收支に 影響する 諸要因に 關する 研究(井口昌平編), 東京大學 生産技術研究所, Mar. 1970.
- 9) 菅原正己・勝山ヨシ子; 氣象資料の長期變動につ いて, 日本國立防災科學技術センター, 研究報告 第1號, Mar. 1968.
- 10) Fiering, M.B.; Stremflow Synthesis, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1967.
- 11) Fiering, M.B. & B.B. Jackson; Synthetic Streamflows, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1971.
- 12) Chow, V.T. & D.D. Meredith; Water Resources Systems Analysis, Part III, Review of Stochastic Processes, Dept. of Civil Engineering, University of Illinois, Hydraulic Engineering Series, No. 21, July, 1969.
- 13) McMahon & T. et. al.; Stochastic Generation of Streamflow Data, Civil Eng. Research Reports, No. 2, Monash University, Mar. 1972.
- 14) 李舜鐸; 河川流量의 Sequential Generation에 관한 研究, 大韓土木學會誌, Vol. 19, No. 3, Dec. 1971.
- 15) 李舜鐸; 河川流量의 Simulation 모델에 對하여, 河川流量의 推計學的 模擬發生에 關한 研究(I), 韓國水文學會誌, Vol. 7, No. 1, June, 1974.
- 16) 李舜鐸; 常流川月流量의 推計學的 模擬發生모델, 大韓土木學會誌, Vol. 23, No. 4, 1975.
- 17) Markovic, R.D.; Probability Functions of Best Fit to Distributions of Annual Precipitation and Runoff, Hydrology Paper No. 8, Colorado State University, Aug. 1965.
- 18) 李舜鐸・曹圭相; 年流出量의 適正確率分布型에 關한 研究, 韓國水文學會誌, Vol.7, No.2, Dec. 1974.
- 19) Roesner, L.A. and V. Yevjevich; Mathematical Models for Time Series of Monthly Precipitation and Monthly Runoff, Hydrology Paper, Colorado State University, Oct. 1966.
- 20) Yevjevich, V.; Stochastic Processes in Hydrology, Water Resources Publication, For Collins, Colorado, 1972.

이 우람한 국토개조사업은 우리 국민들이 그동안 한덩어리로 뭉쳐서 근면, 자조, 협동의 새마을정신으로 땀흘려 일해온 결실이며 또한 민족저력의 결정이라고 확신하면서 영원히 우리 후손들에게 물려줄 부강한 나라건설에 국민 여러분의 가일층 분발있기를 당부하는 바입니다.

유유히 구비치는 안동 대호수의 물결을 바라보며 우리는 유구한 민족의 역사와 문화를 다시 한번 생각하고 한민족의 웅비와 무궁무진한 발전을 마음속 깊이 다짐합니다.

<박대통령 각하 안동댐준공 치사중에서>

.1976. 10. 28