

日降水系列의 推計學的 模擬發生 模型

Stochastic Generation Model of Daily Precipitation Series

강관원* 박찬영** 김주환***

1. 序 論

水資源 확보의 주 공급원은 河川 地表水에 의존하고 있으며 河川 流下水의 水資源으로서의 고도 이용 및 개발에는 장기간에 걸친 河川 流況의 파악과 예측이 기초가 되기 때문에 하천 流出의 공급원이 되는 降水系列의 충분한 量의 자료 확립이 필요하다.

乾燥·濕潤持續期間에 대한 事前 정보의 필요성은 洪水 및 旱魃期間 동안의 정확한 水資源의 효율적인 시스템 운영과 계절에 적합한 농업계획등과 같은 水資源의 확보 및 用水供給 체계의 개선을 위하여 乾燥·濕潤日 및 降水量 등과 같은 수문학적으로 기본적인 강수계열에 관한 資料들이 필요하다 하겠다.

降水現象은 시간적 및 공간적으로 매우 복잡한 양상을 띠고있기 때문에 확정적 單一模型에 의한 降水系列의 예측은 많은 어려움이 있지만 降水事象이 시간에 따라 어떤 과정으로 변화되어 가는지에 대한 상태 분석과 降水의 공간적 변화상태를 분석하여 이를 수학적으로 模型화 시킨 單一模型에 의해 降水量, 乾燥·濕潤日數, 乾燥·濕潤 持續期間 등 降水系列의 基本資料를 推定하고자 한 것이다.

본 연구에서는 間歇 水文事象인 日 降水過程의 推計學的 解析을 통하여 건조일, 습윤일 및 강수량 등 降水系列에 관한 정보를 사전 예측할 수 있는 日 降水事象의 推計學的 模擬發生模型의 확립과 그 적용 가능성을 제시하고자 한다. 즉, 間歇 水文事象의 대상으로 日 降水事象을 택하고 水文資料系列의 模擬發生에 널리 이용되고 있는 Markov 連鎖理論을 보다 구체화하여 건조일 및 습윤일에 관한 降水發生 過程과 습윤일에 강수량을 동시에 발생 시킬 수 있는 單一模型을 구축하고 그 결과를 水文系의 降水系列 예측을 위한 자료로 사용할 수 있는 模型을 開發하도록 한다.

* 인하대학교 토목공학과 교수

** 인하공업전문대학 토목과 교수

*** 인하대학교 토목공학과 박사후과정 연구원

2. 模型의 構成

2.1 日 降水系列의 構造

日 降水系列은 Fig.1 (b)와 같이 건조기간과 습윤기간이 교대로 계속되는 連續系列로 이루어져 있으며 습윤일에는 강수량이 발생하는 계열로 구성되어 있다.

Fig.1 에서 D_1, D_2, D_3, \dots 는 건조일의 지속기간을 의미하며, W_1, W_2, W_3, \dots 는 습윤일의 持續期間을 의미하고 R_1, R_2, R_3, \dots 는 습윤일이 계속되는 동안에 발생한 降水量이다. 습윤일의 정의는 陽(+)^의 降水量을 기록한 날로 정의할 때 이슬이나 안개 등과 같이 극히 작은 량에 의해서도 초래될 수도 있다. 이러한 문제를 피하기 위하여 어떤 기준이 되는 降水 記錄量(threshold or trace)보다 작은 날을 건조일로 할 수 있으며 이는 水文學的 無降雨의 基準值인 0.1mm/day 이하를 건조일로 가정할 수 있다. 또한 건조 계속기간이라 함은 어떤 기간의 모두 양쪽이 습윤일로 제한되는 기간으로 정의하며 이와 동일한 방법으로 습윤 계속기간은 양쪽이 모두 건조일로 제한되는 기간으로 정의할 수 있다.

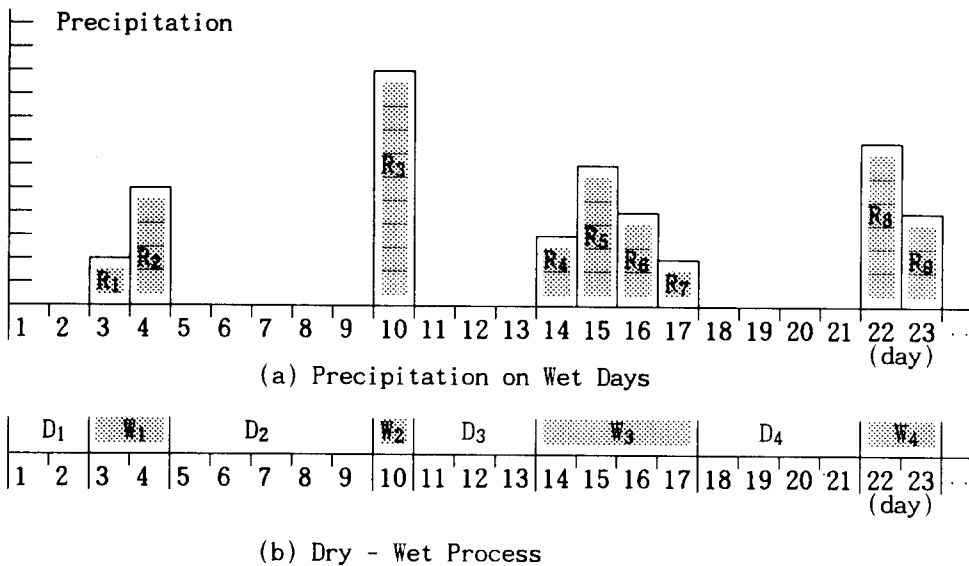


Fig. 1 Structure of Daily Precipitation Series

2.2 Markov 連續模型

日 降水系列의 구조적 특성을 고려하여 降水系列의 구성 성분인 건조계속기간, 습윤계속기간 및 습윤일의 강수량을 模型化하기 위하여 건조일과 습윤일 및 降水量 분포에 대하여 적절한 확률적 정의가 필요하며 이들 모두를 고려한 降水系列의 單一 模擬發生 模型이 필요하다. 降水系列의 模擬發生模型에서 交代再生過程 模型을 이용할 경우, 건조·습윤 계속기간 계열을 나타내기 위한 離散型 降水發生 과정인 건조·습윤일 과정과 습윤일의 降水量 發生 過程으로 나누어 解析하는것이 일반적인 추세였다. 그러나, Markov 連鎖를 이용할 경우

降水系列을 건조일 및 습윤일의 두가지 상태로 보고 이 두 상태의 변화를 Markov 連鎖의 遷移確率로서 표현하여 건조일 및 습윤일 계열을 推定하며 降水量의 발생은 連續確率分布에 의한 模擬模型으로 부터 推定할 수 있다. 이러한 건조·습윤일 발생 과정과 降水量 模擬發生 과정으로 2단계 걸친 모형화가 종래의 일반적인 해석방법이었다.

본 연구에서는 全 期間을 습윤 계속기간으로 가정하여 이 기간 동안 발생한 강수량에 대한 상태 변화를 분석하여 건조·습윤일수 및 강수량 등을 일괄적으로 推定할 수 있는 單一模型을 개발하였다.

건조·습윤일 및 降水量을 동시 발생시키기 위한 상태- m 의 Markov 連鎖模型의 次數는 1 次에 한하였고 降水狀態의 수는 降水發生 유무인 상태-2(wet 및 dry)와 실제 降水量의 크기를 가능한 한 근사하게 표현할 수 있도록 강수량의 크기별 강수의 발생빈도와 강수량의 크기를 고려하여 다양한 간격으로 강수량을 세분화시킨 상태-30의 두 종류로 제한하였으며 이와같은 조건을 고려하여 模擬發生시킨 降水系列은 다음과 같다.

- (1) 乾燥日 數
- (2) 濕潤日 數
- (3) 乾燥繼續日 數
- (4) 濕潤繼續日 數
- (5) 降水量
- (6) 狀態別 降水의 發生頻度

Markov 連鎖模型에서 事象의 發生과 非發生을 나타내는 確率的 體系는 遷移確率에 의하여 결정되며 각 상태에 따른 확률값을 발생시켜 이를 遷移確率과 비교하므로써 모의발생시키는 구조를 갖는다.

Markov 連鎖模型에서 m 개의 상태를 갖는 시스템 S_1, S_2, \dots, S_m 의 상태변화의 확률 즉, 遷移確率(transition probability)을 行列(matrix)로 표시하면 식(2-1)과 같다.

$$P = \begin{pmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,m} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,m} \\ P_{3,1} & P_{3,2} & \dots & P_{3,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m,1} & P_{m,2} & \dots & P_{m,m} \end{pmatrix} \quad (2-1)$$

여기서 行列 P 를 1단계 遷移確率行列이라하며 行列의 元素 $P_{i,j}$ 는 상태 S_i 에서 상태 S_j 로 천이되는 확률을 나타내며 상태 S_i 에서는 반드시 S_1, S_2, \dots, S_m 중 한 곳으로 遷移되므로 다음식과 같이 각 行의 합이 1 이 된다

$$\begin{aligned} P_{1,1} + P_{1,2} + \dots + P_{1,m} &= 1 \\ P_{2,1} + P_{2,2} + \dots + P_{2,m} &= 1 \\ P_{3,1} + P_{3,2} + \dots + P_{3,m} &= 1 \\ \dots & \\ \dots & \\ P_{m,1} + P_{m,2} + \dots + P_{m,m} &= 1 \end{aligned} \quad (2-2)$$

Markov 連鎖理論을 降水發生 過程에 적용하기 위하여 降水過程 $\{X_t, t = 1, 2, \dots\}$ 을 t 日이 乾燥日이라면 $X_t = D$ 로, t 日이 濕潤日이라면 $X_t = W$ 로 표시한 가장 간단한 狀態-2 (2-State)의 1次 Markov 連鎖에 대한 降水發生 과정에는 Table 2.1과 같은 遷移確率 行列 (transition probability matrix)이 존재한다.

Table 2.1에서 $0 \leq \alpha \leq 1$ 이며 $0 \leq \beta \leq 1$ 로서, α 는 건조일 다음에 습윤일이 발생할 확률이고 β 는 습윤일 다음에 건조일이 올 확률이며 j 次 列의 i 번째 行은 $P_{i,j}(X_t = j, X_{t+1} = i)$ 이다. 또한 이와같은 狀態變化의 遷移確率을 그림(transition diagram)으로도 나타낼 수 있다.

2.3 降水資料의 再構成

상태-2의 Markov 連鎖모형을 이용할 경우 습윤일이 발생되면 그 습윤일에 해당되는 강수량을 다시 추정하여야 하는 과정을 거쳐야하는데 이러한 2단계에 걸친 강수계열의 발생과정을 보다 간편하고 실제 降水事象을 거의 비슷하게 재현할 수 있는 강수계열을 얻기 위해서는 건조일 및 습윤일 뿐만 아니라 강수량까지도 동시에 발생시킬 수 있는 보다 간편하고 정확한 單一模型의 개발이 바람직하다.

특히 Markov 連鎖模型에 의한 강수계열 모의발생치의 정확성 여부는 실제 降水事象의 표현 및 入力資料의 정확성에 있으므로 실제 降水事象을 사실에 가깝게 표현 하여야 한다.

실측 강수계열의 건조 및 습윤일은 단 2가지 상태 즉, 無降水와 降水로 그 상태가 명확히 구분되나 습윤일에 발생하는 강수량의 크기는 대단히 다양하고 그 偏差도 크며 계절적으로도 차이가 있어 실제 강수량을 사실 그대로 입력하는 것은 어려움이 있지만 가능한한 日 降水量의 크기를 세분하여 실제 상황에 近似하도록 표현하여 模型의 入力자료로 사용하는 것이 좋다. 이를위해 습윤일 동안의 강수량을 等間隔(Uniform Interval)과 不等間隔(Non Uniform Interval)으로 구분한 상태에 의하여 실측 강수자료를 재구성할 수 있으며 Table 2.2는 상태의 수를 30으로 제한한 경우 각 상태에 해당되는 강수량 간격을 나타내고 있다.

3. 降水資料의 模擬發生 結果 및 分析

狀態別 降水의 遷移確率行列인 狀態空間이 구축되고 降水의 初期狀態가 지정되면 均等 分布亂數를 발생시켜 지점별로 강수의 상태를 推定할 수 있다. 본 연구에서 강수계열의 모의발생은 狀態-2 Markov 連鎖模型(2-State Markov Chain Model; M1) 과 狀態-30 Markov 連鎖模型(30-State Markov Chain Model; M2)을 이용하였다. 模擬發生시킨 資料의 期間은 해당 지점에서 보유하고있는 降水資料의 記錄年數 와 100年 및 200년간이며 이를 實測 降水系列 資料와 비교검토 하였다. 模擬發生시킨 資料의 형태는 降水의 狀態이지만 이를 降水量, 乾燥·濕潤日數, 乾燥·濕潤繼續期間(Run Length), 平均 乾燥·濕潤日數 및 狀態別 降水등으로

변환하게 된다. 乾燥·濕潤繼續期間과 降水別 狀態의 數는 離散型 變量이므로 觀測頻度 또는 期待頻도가 0인 경우가 발생하기 때문에 χ^2 의 값을 이용한 適合度 판단은 불가능하다. 따라서 觀測値와 模擬發生値와의 一致度を 파악하기 위하여 殘差제곱의 합(Residual Sum of Squares)을 이용하여 實測値와 發生値의 適合度を 확인하였다.

Table 3.1 및 3.2는 그 中 서울 관측소의 M1 및 M2 模型에 의한 건조·습윤계속기간의 모의발생 결과를 실측치와 비교한 것이며 觀測系列과 模擬發生系列은 일반적으로 잘 일치하고 있으며 최대 습윤계속일수는 19日이다.

Fig 3.1은 Table 3.1 및 3.2에서 6월에 해당하는 건조·습윤계속기간을 圖示한 것으로 습윤일의 경우 습윤계속일수가 2일인 경우를 제외하곤 전반적으로 잘 일치하고 있다.

Table 3.3은 大邱관측소의 실측치와 두 模型에 의한 遷移確率 α, β 의 값이다. 이것에 의하면 α 값은 습윤일이 가장 많은 7, 8, 9월에 큰 값을, β 값은 건조일이 많은 12월과 1월에 큰 값이 나타나고 있다. α 의 값이 클수록 강수의 발생확률이 크고 β 값이 클수록 건조일의 발생확률이 크다.

Table 3.4는 Markov 連鎖模型의 천이확률을 이용하여 모의발생시킨 木浦 觀測所의 평균 건조·습윤 지속기간 결과를 實測資料와 비교한 것이며 여기에서는 계절적 특성이 각 月別 持續日數에 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 건조일인 경우 4월과 12월에 약간의 차이를 보일뿐 대체적으로 실측치에 근접하였으며 또 平均 濕潤持續日數도 관측자료와 큰 차이를 보이지 않았다.

Fig. 3.2는 釜山 관측소의 乾燥日數와 濕潤日數에 대한 모의발생치와 실측치를 비교한 것이다. M1模型인 경우는 건조일과 습윤일의 연속과정이 발생되고 M2 模型인 경우는 30개의 상태별 강수가 발생되므로 狀態-1을 乾燥日로 그외 나머지 狀態 모두는 濕潤日에 해당된다. 이것에 의하면 1년 동안의 건조일 및 습윤일은 관측자료와 비슷한 변동을 보여주고 있으며 건조일과 습윤일의 변동 특성은 서로 상반된 변동경향을 갖음을 알 수 있다.

乾燥日數의 경우 M1 및 M2模型 모두 5월에, 濕潤日數는 5월 및 7월에 實測値와 發生値에 약간의 차이를 보였으며 나머지는 대체로 잘 맞고 있다.

Fig. 3.3은 M2 模型으로 부터 얻은 목포지점의 模擬發生 결과에 대한 月平均 降水量과 標準偏差를 圖示한 것이며 강수량의 경우 월평균 강수량의 계절적 변동 특성을 잘 반영하고 있으나 모의발생치가 관측치보다 조금 큰 값을 보여주고 있으며 표준편차의 경우에 월별로 실측치와 비슷한 경향을 가지나 계절적 변동이 雨期인 6월, 7월 및 9월에 실측치 보다 오히려 偏差가 작게 나타나고 있다.

Fig. 3.4는 부산지점에 대하여 降水狀態 數와 狀態別 降水의 間隔을 각각 等間隔과 不等間隔으로 구분하여 실측자료 보유년수, 100년, 200년 및 300년간 강수자료를 모의 발생시켜 관측치와 비교한 것이다. 두 경우 모두 실측치와 큰 차이는 없었지만 특히 7월의 경우 등 간격보다는 不等間隔으로 강수상태를 놓았을 때가 실측치에 근접함을 알 수 있었으며 해당

지점의 강수량의 최대값을 고려하여 강수량의 상태를 결정하는 것이 좋은 결과를 얻을 수 있었으며 이는 우기에 발생하는 최대강수량의 상태를 천이확률에 반영할 수 있기 때문이다. 따라서 강수의 상태별 강수량의 크기를 일정하게 구분하는 경우보다는 강수의 크기 및 빈도를 파악하여 상태를 결정하는 것이 바람직하며 모의발생 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 우기에 대한 적합성이 우수함을 알 수 있다.

Fig. 3.5와 Fig.3.6은 서울 관측소의 8월과 9월의 降水狀態別로 관측치와 모의발생치의 頻度를 비교한 것이며 실측자료의 상태별 頻度와 잘 일치함을 알 수 있다.

4. 結 論

본 연구에서는 강수량에 대한 상태별 강우량의 변화를 遷移確率인 狀態空間을 推定하여 狀態-30의 Markov 連鎖模型을 構築하고 降水資料의 擴充과 未來에 發生 可能할 水文資料로서 건조·습윤일수 및 강수량을 일괄적으로 모의발생 할 수 있는 單一模型을 개발하였으며 이 모형의 適合性を 比較 檢討하였다.

模型의 狀態數는 實際의 降水事象을 가능한 한 모든 강수사상을 표현할 수 있도록 降水量의 크기별 發生頻度와 遷移確率行列의 規模等を 考慮하여 狀態-30의 狀態空間을 構築하였고 그 결과, 우리나라에서 發生되는 대부분의 降水를 狀態(Markovian State)에 포함시킬 수 있었으며 模擬發生值가 實測值와 잘 일치되었다.

降水系列資料의 擴張을 위해 本 研究에서 適用한 狀態-30의 Markov 連鎖模型은 기존의 水文模型에 비해 模型의 構成 및 運營이 간편하고 適用이 용이함을 들 수 있으며 降水量만을 發生시킬 수 있는 單一模型으로도 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각되며 降水의 時間分布를 分析한 추가적인 Markov 連鎖模型에 대한 研究가 요구된다.

參考文獻

1. Caskey, J.E., "A Markov Chain Model for the Probability of Precipitation Occurrence in Intervals of Various Length," Mon. Weath. Rev., Vol. 91, No. 6, 1963, pp. 298-301.
2. Weiss, L.L., "Sequences of Wet or Dry Days Described by a Markov Chain Probability Model," Mon. Weath. Rev., Vol. 92, No. 4, 1964, pp. 169-176.
3. Hopkins, J.W. and Robillard, P., "Some Statistics of Daily Rainfall Occurrence for the Canadian Prairie Provinces," Jour. Appl. Meteor., Vol. 3, 1964, pp. 600-602.
4. Feyerherm, A.M. and Bark, L.D., "Statistical Methods for Persistent Precipitation Patterns," Jour. Appl. Meteor., Vol. 4, 1965, pp. 320-328.
5. Adamowski, K. and Smith, A.F., "Stochastic Generation of Rainfall," Jour. Hydr. Div., Proc. ASCE, Vol. 98, No. HY11, 1972, pp. 1935-1945.
6. Nord, J., "Some Applications of Markov Chains," Fourth Conf. on Prob. and

Statist. in Atmos. Sci., Nov. 18-21, 1975, Tallahassee, pp. 125-130.

7. Khanal, N.N. and Hamrick, R.L., "A Stochastic Model for Daily Rainfall Data Synthesis," PROCEEDINGS SYMPOSIUM ON STATISTICAL HYDROLOGY 1974, Agricultural Research Service United States Department of Agriculture, pp. 154-196.
8. Haan, C.T., Allen, D.M., and Street, J.O., "A Markov Chain Model of Daily Rainfall," Water Resour. Res., Vol. 12, No. 3, 1976, pp. 443-449.
9. 이재준, "강수계열의 모의발생모델 개발" 연세대학교 대학원 박사학위논문, 1986
10. Yong Q. Kang, "Markov Chain Model for Daily Amount of Cloud in Korea," 韓國氣象學會誌 第 23卷 第 3號, 1987, pp.1-11.
11. 建設部, "國際水文開發計劃(IHP) 研究報告書," 1993.12, pp.2-1 ~ 2-96.
12. Srinivasan, V.S, and Gomes, H.P., "Generation of Synthetic Sequence of Multiple Stations Using the Analysis of Variance Model," Computer Methods and Water Resources : Computational Hydrology, 1988, pp.37-49.
13. Smith, J.A., "Statistical Modeling of Daily Rainfall Occurrences," Water Resources Research, Vol.23, No.5, 1987, pp.885-893.

Table 2.1 Transition Probability Matrix of 1st-Order 2-State Markov Chain

	t (day)	Dry	Wet
t-1 (day)	Dry	$1 - \alpha$	α
	Wet	β	$1 - \beta$

Table 2.2 State Grouping of the Each Interval for Daily Precipitation

Precipitation Interval (mm)		State	Remark
Uniform Interval	Non Uniform Interval		
	$S_1 \leq 0.1$	1	Dry Day
0.1 < $S_2 \leq 5.0$	0.1 < $S_2 \leq 5.0$	2	
5.0 < $S_3 \leq 10.0$	5.0 < $S_3 \leq 10.0$	3	
10.0 < $S_4 \leq 15.0$	10.0 < $S_4 \leq 15.0$	4	
15.0 < $S_5 \leq 20.0$	15.0 < $S_5 \leq 20.0$	5	
20.0 < $S_6 \leq 25.0$	20.0 < $S_6 \leq 25.0$	6	
25.0 < $S_7 \leq 30.0$	25.0 < $S_7 \leq 30.0$	7	
30.0 < $S_8 \leq 35.0$	30.0 < $S_8 \leq 35.0$	8	
35.0 < $S_9 \leq 40.0$	35.0 < $S_9 \leq 40.0$	9	
40.0 < $S_{10} \leq 45.0$	40.0 < $S_{10} \leq 45.0$	10	
45.0 < $S_{11} \leq 50.0$	45.0 < $S_{11} \leq 50.0$	11	
50.0 < $S_{12} \leq 55.0$	50.0 < $S_{12} \leq 55.0$	12	
55.0 < $S_{13} \leq 60.0$	55.0 < $S_{13} \leq 60.0$	13	
60.0 < $S_{14} \leq 65.0$	60.0 < $S_{14} \leq 65.0$	14	
65.0 < $S_{15} \leq 70.0$	65.0 < $S_{15} \leq 70.0$	15	
70.0 < $S_{16} \leq 75.0$	70.0 < $S_{16} \leq 80.0$	16	
75.0 < $S_{17} \leq 80.0$	80.0 < $S_{17} \leq 90.0$	17	
80.0 < $S_{18} \leq 85.0$	90.0 < $S_{18} \leq 100.0$	18	
85.0 < $S_{19} \leq 90.0$	100.0 < $S_{19} \leq 110.0$	19	
90.0 < $S_{20} \leq 95.0$	110.0 < $S_{20} \leq 120.0$	20	
95.0 < $S_{21} \leq 100.0$	120.0 < $S_{21} \leq 130.0$	21	
100.0 < $S_{22} \leq 105.0$	130.0 < $S_{22} \leq 140.0$	22	
105.0 < $S_{23} \leq 110.0$	140.0 < $S_{23} \leq 150.0$	23	
110.0 < $S_{24} \leq 115.0$	150.0 < $S_{24} \leq 200.0$	24	
115.0 < $S_{25} \leq 120.0$	200.0 < $S_{25} \leq 250.0$	25	
120.0 < $S_{26} \leq 125.0$	250.0 < $S_{26} \leq 300.0$	26	
125.0 < $S_{27} \leq 130.0$	300.0 < $S_{27} \leq 350.0$	27	
130.0 < $S_{28} \leq 135.0$	350.0 < $S_{28} \leq 400.0$	28	
135.0 < $S_{29} \leq 140.0$	400.0 < $S_{29} \leq 450.0$	29	
140.0 < S_{30}	450.0 < S_{30}	30	

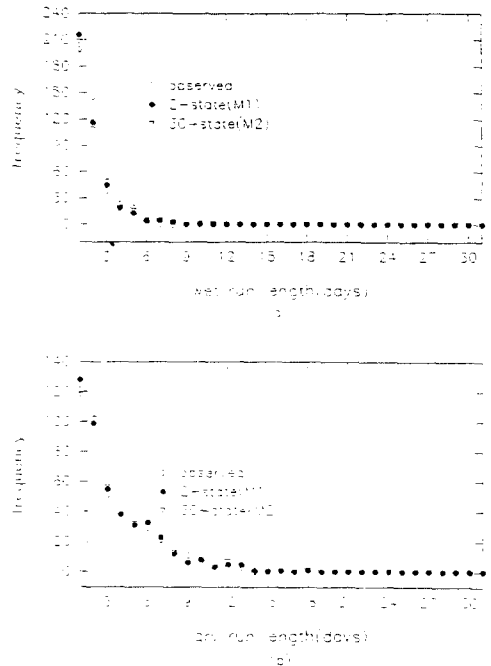


Fig.3.1 Comparison of observed and generated frequency of (a) wet and (b) dry run length in June at Seoul.

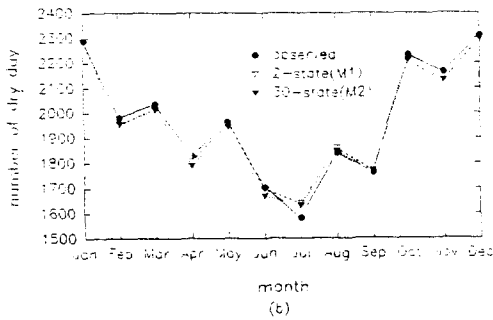
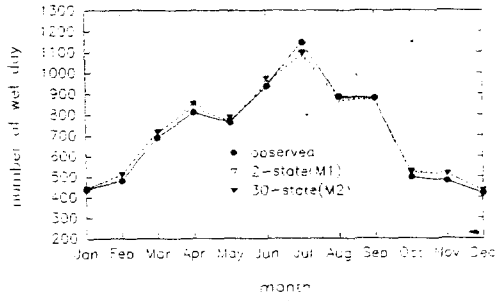


Fig.3.2 Comparison of observed and generated number of (a) wet day and (b) dry day for each month at Pusan.

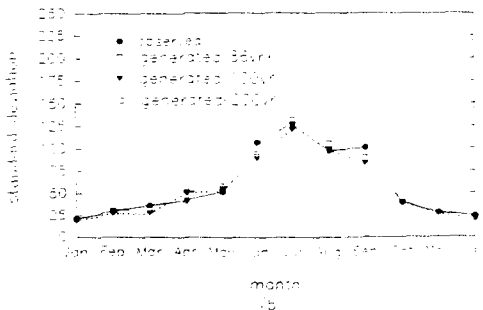
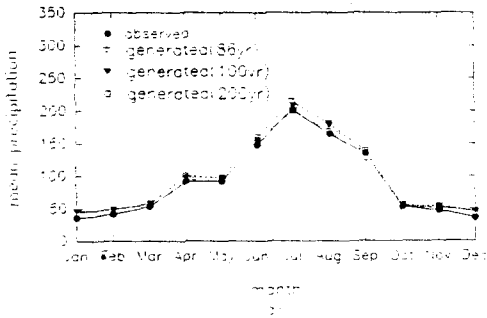


Fig.3.3 Comparison of observed and generated (a) monthly mean and (b) standard deviation at Mokpo.

Table 3.3 Comparisons of the Observed and Generated Transition Probability α and β at Taegu

Month	α (D - W)			β (W - D)		
	Obs.	M1	M2	Obs.	M1	M2
Jan.	.11101	.11918	.11847	.63296	.69893	.68617
Feb.	.12823	.12118	.12342	.55825	.62162	.62903
Mar.	.18061	.17221	.17085	.68214	.63670	.63774
Apr.	.24312	.21484	.21341	.59249	.59048	.56656
May	.20106	.21245	.21697	.60938	.59756	.60790
Jun.	.24645	.28025	.28422	.53476	.48961	.48630
Jul.	.28731	.25917	.25483	.38674	.43070	.40166
Aug.	.25459	.27573	.27749	.45824	.45243	.44352
Sep.	.20736	.21971	.21957	.44417	.46543	.45526
Oct.	.12334	.12811	.12607	.62621	.63084	.65366
Nov.	.14286	.16925	.16958	.63393	.63855	.65306
Dec.	.11711	.13658	.13619	.74252	.67136	.68095

Table 3.4 Comparisons of the Observed Average Wet and Dry Days at Mokpo

Month	Average Wet Continuous Period			Average Dry Continuous Period		
	Obs.	M1	M2	Obs.	M1	M2
Jan.	2.1004	1.9913	2.0000	3.5207	3.5943	3.5633
Feb.	2.1399	1.9026	1.9031	3.7847	3.9479	3.9198
Mar.	1.8761	1.6791	1.7116	4.2069	4.1013	4.0717
Apr.	1.8203	1.7854	1.8029	3.6680	4.1810	4.1216
May	1.7645	1.7400	1.7206	3.9958	4.3973	4.3070
Jun.	2.0939	2.1557	2.2358	3.8539	3.6858	3.6267
Jul.	2.3946	2.4521	2.5047	3.5198	3.4310	3.5422
Aug.	2.0657	2.1705	2.2083	3.9167	3.7155	3.7217
Sep.	1.9220	1.9300	1.8812	4.1290	4.2047	4.1935
Oct.	1.6012	1.7184	1.7045	5.1262	5.1960	5.0887
Nov.	1.7810	1.8938	1.9107	3.9145	3.5917	3.6371
Dec.	1.8489	1.9508	1.9553	3.8050	3.3346	3.2896

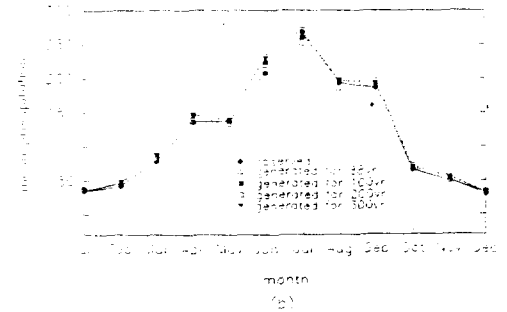
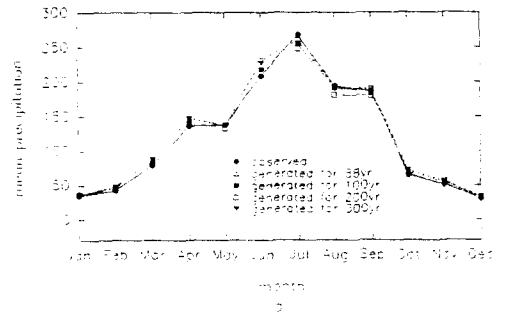


Fig.3.4 Comparison of observed and generated (a) monthly mean and (b) standard deviation for each generating period at Pusan.

Table 3.1 Comparisons of the Observed and Generated Run Length of Wet Days at Seoul.

Month	Jan			Feb			Mar			Apr			May			Jun			Jul			Aug			Sep			Oct			Nov			Dec			
	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	
1	255	260	258	205	224	218	228	240	246	197	213	209	216	229	224	199	216	208	142	139	154	172	172	166	203	205	200	197	210	216	278	288	286	292	294	285	
2	77	86	83	77	72	70	117	94	89	119	94	91	125	100	96	145	116	108	124	113	99	122	119	116	105	99	95	102	84	89	122	112	109	98	101	102	
3	17	15	15	14	16	18	15	16	23	36	31	30	35	37	38	38	45	49	56	62	69	50	56	52	49	33	39	24	26	21	22	27	26	21	20	22	
4	4	2	4	3	4	4	11	7	8	10	14	15	12	15	15	23	19	19	47	50	49	31	32	36	20	16	19	6	10	11	11	12	15	9	5	6	
5	2	4	4	3	4	4	2	7	5	4	11	10	4	9	9	19	13	15	22	29	26	27	19	20	7	13	10	0	7	3	6	7	6	1	5	4	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	2	1	3	2	4	6	15	12	13	10	10	5	2	3	2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
7	1	0	0	0	0	0	0	2	1	2	3	3	2	3	2	0	5	4	10	12	13	8	7	5	1	4	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	1	0	3	3	6	8	6	6	6	6	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	5	10	0	2	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	2	5	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	2	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RSS.	119	54		391	236		858	1186		977	1038		843	951		1269	1632		273	952		122	434		363	189		563	575		227	266		46	85		

M1 : 2-State Markov Chain Model
M2 : 30-State Markov Chain Model

Table 3.2 Comparisons of the Observed and Generated Run Length of Dry Days at Seoul.

Month	Jan			Feb			Mar			Apr			May			Jun			Jul			Aug			Sep			Oct			Nov			Dec		
	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2	Ob.	M1	M2
1	70	96	92	60	70	63	70	97	94	76	92	89	98	105	101	121	128	119	190	164	174	155	141	133	102	99	96	72	79	78	98	136	135	122	127	122
2	51	63	65	51	61	62	74	69	68	84	76	72	74	77	75	102	99	101	94	97	96	94	89	98	78	75	73	64	53	59	129	97	95	74	81	81
3	51	60	62	47	59	59	61	65	64	57	58	59	63	70	68	51	55	56	45	77	77	51	70	68	66	55	57	44	64	63	76	75	74	55	67	73
4	46	43	41	52	30	32	56	38	38	41	29	30	40	45	47	46	38	38	34	47	45	39	49	45	42	35	33	35	37	38	54	33	34	51	49	45
5	35	25	26	26	26	25	31	23	25	38	30	28	45	23	22	32	31	32	34	27	26	29	21	21	33	32	29	26	24	22	34	32	32	33	23	23
6	29	30	29	18	30	30	24	31	31	28	32	33	28	28	29	29	33	30	12	16	17	17	24	27	30	29	30	21	27	29	22	34	34	30	28	28
7	21	18	17	17	14	13	22	21	22	19	27	28	28	25	27	21	23	21	12	9	8	22	16	15	20	26	27	17	16	15	13	27	26	22	28	28
8	15	14	14	22	12	12	19	13	15	13	16	16	14	13	13	12	12	13	11	2	2	8	9	9	9	16	16	12	12	14	18	14	15	19	14	15
9	19	12	13	14	10	12	16	11	11	13	5	6	10	9	9	11	6	6	8	3	3	6	7	7	14	9	8	14	12	11	6	5	5	9	9	9
10	6	18	18	9	13	12	9	20	17	10	11	12	6	14	14	8	8	8	1	1	1	4	10	10	4	10	11	12	23	20	5	11	10	11	15	14
11	7	7	6	12	11	11	8	6	7	7	4	4	8	5	5	4	3	3	1	4	4	3	3	3	3	3	3	11	9	4	3	4	3	4	6	6
12	2	2	1	3	2	2	7	3	3	4	5	4	8	4	4	4	5	7	1	1	1	5	5	4	3	5	11	2	3	3	4	4	5	4	4	
13	13	7	8	4	4	4	5	4	4	3	5	5	4	3	2	3	5	4	2	0	0	2	2	1	3	5	5	2	6	7	3	5	6	5	3	3
14	5	3	3	1	5	5	7	5	5	4	5	4	2	5	4	0	1	0	0	1	1	3	3	3	2	7	6	6	3	3	3	2	1	5	4	4