

# 氣象豫報를 考慮한 灌溉用 貯水池의 最適 操作 模型 (I)

— 日降水量 · 日蒸發量 資料發生 —

## Optimal Reservoir Operation Models for Paddy Rice

### Irrigation with Weather Forecasts (I)

— Generating Daily Rainfall and Evaporation Data —

金 秉 辰\* · 朴 承 禹\*\*  
Kim, Byeong Jin · Park, Seung Woo

### Summary

The objective of the study is to develop weather generators for daily rainfall and small pan evaporation and to test the applicability with recorded data. Daily rainfall forecasting model(DRFM) was developed that uses a first order Markov chain to describe rainfall sequences and applies an incomplete Gamma function to predict the amount of precipitation. Daily evaporation forecasting model(DEFM) that adopts a normal distribution function to generate the evaporation for dry and wet days was also formulated.

DRFM and DEFM were tested with twenty year weather data from eleven stations using Chi-square and Kolmogorov and Smirnov goodness of fit tests. The test results showed that the generated sequences of rainfall occurrence, amount of rainfall, and pan evaporation were statistically fit to recorded data from eleven, seven, and seven stations at the 5% level of significance. Generated rainfall data from DRFM were very close in frequency distribution patterns to records for stations all over the country. Pan evaporation for rainy days generated were less accurate than that for dry days. And the proposed models may be used as tools to provide many mathematical models with long-term daily rainfall and small pan evaporation data. An example is an irrigation scheduling model, which will be further detailed in the paper.

\* 서울대학교 大學院

키워드: 最適 貯水池 操作, 氣象豫測, 降水量, 小型

\*\* 서울대학교 農業生命科學大學

Pan 蒸發量

## I. 緒 論

貯水池 操作은 해당 저수지의 이용 목적에 부응하도록 저수지의 流入量과 현재의 貯水量을 감안하여 저수량을 放流·調節하는 일련의 작업이다.<sup>8)</sup> 이는 저수량을 給水하고, 洪水時 시설 피해의 경감을 위하여 放流하며, 시설의 維持管理를 위한 操作 政策이나 規則을 정하는 제반 사업을 포함한다. 따라서, 灌溉를 목적으로 하는 저수지는 圃場에서의 作物 必要水量을 충족시킬 수 있도록 조작되어야 한다.

저수지 조작은 대부분 경험적으로 이루어지고 있는 실정므로, 관개조직에서의 漏水, 不適切한 물管理 등과 함께 灌溉效率이 낮은 주요 원인이 되고 있다.<sup>13,14)</sup> 특히, 저수지의 給水 操作은 관개지역의 관개 효율에 직접적인 영향을 주게 되므로, 적절한 조작 법칙을 통하여 관개효율을 높이는 것이 중요하다.<sup>14)</sup>

그런데, 기존의 조작 모형은 대부분 과거의 氣象條件 또는 貯水率 資料를 근거로 하고 있기 때문에, 실제 상황의 實時間 貯水池 給水調節에는 여러가지 문제가 있다. 관개지역의 필요 수량과 저수지 유입량 등은 기상조건 특히 降水의 時空間 分布의 밀접한 관계를 갖게 된다. 앞으로의 강수 등 기상상황을 고려하지 않고 현재의 저수 상태와 과거 저수율 자료만을 가지고 저수지를 조작할 경우, 관개기간 중 저수량이 枯渴되거나 혹은 충분히 급수되지 않음으로써 作物生育에 支障을 초래할 수도 있게 된다. 따라서, 적절한 저수지 조작을 위해서는 미래 기상 상황을 예측함으로써 적합한 給水量 및 時期를 조절하여야 한다.

本研究의 目的은 氣象豫測으로부터 계산된 저수지 流入量과 貯水量 등을 이용하여, 貯水池 最適 運營을 위한 방류량을 조절할 수 있는 貯水池 操作 模型을 개발하는데 있다. 이를 위하여 氣象豫測 模型을 개발하고, 저수지의 日 操作 模型을 구성하며, 저수지 조작 방법을

평가할 수 있도록 관개지역의 作物 必要水量의 充足程度를 표시하는 指數를 개발하였다.

본 연구에서 개발된 模型의 應用性을 평가하기 위하여 주요 측후소의 기상자료를 이용, 모형을 검증하였고, 대상 저수지를 선정하여 실측자료와 비교하여 저수지 조작 방법에 따른 관개 방법의 타당성을 비교하도록 한다. 그리고, 기상예측을 현재부터 관개 종료일까지 無作為 抽出을 통한 降水日, 降水量, 蒸發量 豫測을 실시하는 長期 氣象豫測과, 기상청의 강수 발생 예보를 입력하여 降水時의 降水量만을 모의발생하고 이에 따른 蒸發量을 예측하는 短期 氣象豫測의 두가지로 구분하여 효율적인 물관리를 위한 저수지 조작 방법의 개선을 시도하도록 한다.

本 報에서는 日降水量 및 日 小型 Pan 蒸發量 豫測 模型의 開發과 應用을 다루고, 第2, 3報에서는 저수지 조작을 위한 放流係數 決定 方法과 實施間 操作 模型의 開發 및 應用에 대하여 상술하였다.

## II. 模型의 開發

### 1. 日降水量 模型

추계학적 일강수모형은 청명일과 우천일의 순서로 나타나는 단일사상의 발생과정을 해석하고 이론적인 분포함수를 이용하여 일강수량을 재현해 내는 2부분으로 구성된다. 여기서 우천일은 0.1mm 이상의 강수량이 발생한 날로 정의하였다.

본 연구에서는 예측지점의 월별 Markov 천이행렬을 이용하여 강수발생일을 모의발생하고, incomplete gamma function을 사용하여 강수량을 계산하는 日降水量 豫測模型(Daily Rainfall Forecasting Model, DRFM)을 구성하였다. 이 방법은 Larsen과 Pense(1982),<sup>5)</sup> Richardson과 Wright(1984)<sup>6)</sup> 등에 의하여 종합적 기상 모의모형에 응용되었으며, Chin(1977),<sup>1)</sup>

Roldan과 Woolhiser(1982)<sup>7,10)</sup> 등에 의해서 미국내 여러 지점에 응용되어 만족할 만한 결과를 얻었다. 또한 Geng et al.(1986)<sup>2)</sup>, Villalobos와 Fereres(1989)<sup>9)</sup> 등이 관계량 추정 모형 등에 응용한 바 있다.

가. 雨天日 決定

어떤 지점의 우천일 결정은 1차 Markov chain을 이용한 청명-우천일의 천이확률 매트릭스를 이용하여, 等分布(uniform distribution) 함수  $U(0, 1)$ 를 만족하는 0.1~1.0의 난수를 발생시켜 천이확률과 비교함으로써 청명일, 우천일을 모의발생하도록 하였다.

천이확률은 식(1)로 부터 구하였다.

$$\begin{bmatrix} P_{dd} & P_{dw} \\ P_{wd} & P_{ww} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{dd}/ND & N_{dw}/ND \\ N_{wd}/NW & N_{ww}/NW \end{bmatrix} \dots(1)$$

여기서,  $P_{dd}$ : 청명일에 이어 청명일이 지속될 확률

$P_{dw}$ : 청명일에 이어 우천일이 될 확률

$P_{wd}$ : 우천일에 이어 청명일이 될 확률

$P_{ww}$ : 우천일에 이어 우천일이 지속될 확률

$N_{dd}$ : 청명일에 이어 청명일이 지속된 횟수

$N_{dw}$ : 청명일에 이어 우천일이 된 횟수

$N_{wd}$ : 우천일에 이어 청명일이 된 횟수

$N_{ww}$ : 우천일에 이어 우천일이 지속된 횟수

$ND=N_{dd}+N_{dw}$ , 그리고,  $NW=N_{wd}+N_{ww}$ 이다.

천이확률 매트릭스의 계산은 월단위로 하여, 과거의 기상자료로부터 월별 천이확률을 구하고, 그 결과로부터 난수 발생에 의한 확률사상을 생성하여 강우일을 결정하였다.

월별 천이확률 매트릭스를 이용한 우천일 모의발생 과정을 정리하면 다음과 같다.

① 임의의 시작일  $t$ 를 정한다.

②  $t-1$ 일의 강수 여부를 정한다.

③ 무작위 변수 추출상수 DSEED1을 초기화한다.

④  $t$ 일에 대한 등분포 함수( $U(0, 1)$ )를 만족하는 0.0~1.0 사이의 무작위 변수  $R_t$ 를 추출하고 새로운 DSEED1을 정한다.

⑤ 무작위 변수  $R_t$ 를  $t$ 일의 강수발생 확률로 한다.

⑥  $R_t$ 를 해당 월별 천이확률과 비교하여 청명일 또는 강우일을 다음과 같이 정한다.

㉞  $t-1$ 일이 청명일의 경우는,  $t$ 일은

if  $R_t \leq P_{dd}$ : No rain

if  $R_t > P_{dd}$ : Rain

㉟  $t-1$ 일이 우천일의 경우,  $t$ 일은

if  $R_t \leq P_{wd}$ : No rain

if  $R_t > P_{wd}$ : Rain

⑦  $t$ 일이 계산 종료일이면 프로그램을 종료, 그렇지 않으면 ④로 간다.

나. 日降水量 豫測

일강수량의 월별 분포는 식(2)의 Gamma 함수로써 표시하였다.

$$f(X) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{X}{\beta}\right)^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{X}{\beta}} \dots\dots\dots(2)$$

여기서,  $f(X)$ : incomplete gamma function의 확률밀도함수

$\Gamma(\alpha)$ : Gamma 함수

$\alpha, \beta$ : 매개변수이다.

월별 매개변수  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\beta = -2.16 + 1.83 q \dots\dots\dots(3)$$

$$\alpha = q/\beta \dots\dots\dots(4)$$

$$q = MP/d \quad \dots\dots\dots(5)$$

여기서, MP : 월평균 강수량(mm)  
d : 월평균 강수 발생 일수이다.

식(2)의 Gamma 함수를 이용한 일강수량 추정방법은 다음과 같다.

① 무작위 변수 추출상수 DSEED2를 초기화한다.

② 우천일 예측모형으로 부터, 우천일인 경우는 ③으로 가고 그렇지 않으면 ⑤로 간다.

③ 당 월의  $\alpha$ ,  $\beta$  값으로 부터 Gamma 함수의  $x$ 를 추정하고, DSEED2를 생성한다.

④ 일강수량  $PP_t$ (mm)는 다음 식(6)으로 계산한다.

$$PP_t = \beta x \quad \dots\dots\dots(6)$$

⑤ 최종일의 경우 프로그램을 종료하고, 그렇지 않으면 ②로 간다.

본 연구에서 사용된 U(0, 1) 및 Gamma 함수 발생은 IMSL routine을 사용하였다.

이상의 일강수량 예측모형의 계산과정을 도시하면 Fig. 1과 같다.

## 2. 日蒸發量 模型

논비의 증발산량은 Pan 증발량과 Pan 증발량에 대한 작물계수를 곱함으로써 계산할 수 있다. 朴(1991),<sup>12)</sup> 許(1992)<sup>15)</sup> 등은 전국 15개 지점의 Pan 증발량 자료로 부터 증발산을 추정하는 회귀식을 제안한 바 있다.

일별 대형 Pan 증발량은 Jensen과 Wright (1976)<sup>3)</sup>에 의하면 식(7)의 정규 분포함수를 만족한다고 보고한 바 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 일별 소형 Pan 증발량도 정규분포함수를 만족한다고 가정하였다.

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{s}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

여기서,  $\bar{x}$  : 월평균 증발량(mm)  
s : 표준편차이다.

일별 Pan 증발량은 청명일과 우천일에 따라 차이를 보이는 것이 보통이다. 본 연구에서는 청명일과 우천일 각각에 대하여 일별 소형 Pan 증발량의 평균과 표준편차를 구하고 이를 이용하여 임의일에 대한 소형 Pan 증발량을 모의 발생하였다.

日蒸發量 豫測模型(Daily Evaporation Forecasting Model, DEFM)의 계산 순서는 다음과 같다.

- ① 임의의 시작일 t를 정한다.
- ② 무작위 변수 추출상수 DSEED3를 초기화한다.
- ③ 강수예측모형으로 부터 t-1일의 청명, 강수를 구분한다.
- ④ 정규분포함수 N(0, 1)를 만족하는 0.0~1.0 사이의 무작위 변수  $R_{Nt}$ 를 모의 추출하고 새로운 DSEED3를 정한다.

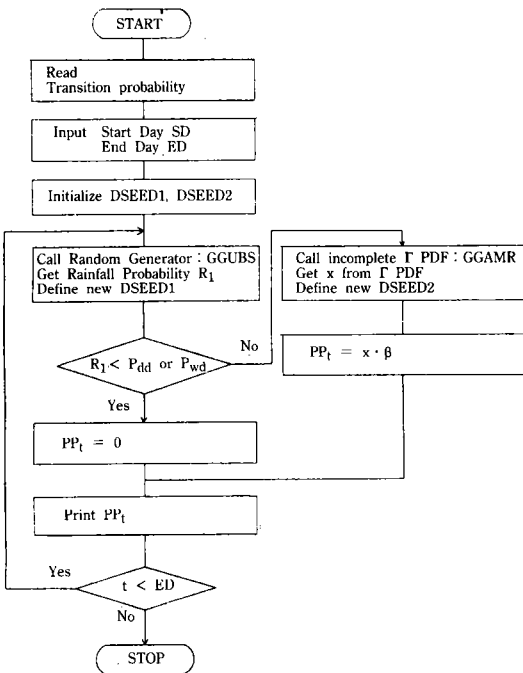


Fig. 1. Flow chart of daily rainfall forecasting model, DRFM

⑤ 해당일의 청명일 또는 우천일의 일증발량 평균  $\bar{x}_j$ 와 표준편차  $s_j$ 로부터 식(8)과 같이 t일의 증발량 ( $E_{j,t}$ )을 계산한다.

$$E_{j,t} = \bar{x}_j + s_j \cdot R_{Nt} \dots\dots\dots(8)$$

여기서, j: 청명일, 우천일을 구분하는 첨차이다.

⑥ t일이 종료일인 경우 프로그램을 정지하고, 그렇지 않으면 ③으로 간다.

일증발량 모형에 적용한 정규분포함수의 모의발생은 IMSL routine을 사용하였으며, 이를 도시하면 Fig. 2와 같다.

### III. 模型의 應用

#### 1. 對象測候所 및 資料

일강수량 예측모형(DRFM) 및 일증발량 예측모형(DEFM)의 적용성 분석에 사용된 측후소 및 기상관측소는 전국 11개소로서 Table-1과 같다. Table-1은 대상 지점의 측후소 일련번호, 위도, 경도, 표고 등을 보여 준다. 대상측후소 10개 지점은 전국 주요 측후소로서 도별로 1~2개소를 선정하였으며, 기상관측소로서 포함된 利川 지점은 저수지 조작모형의 응용을 위하여

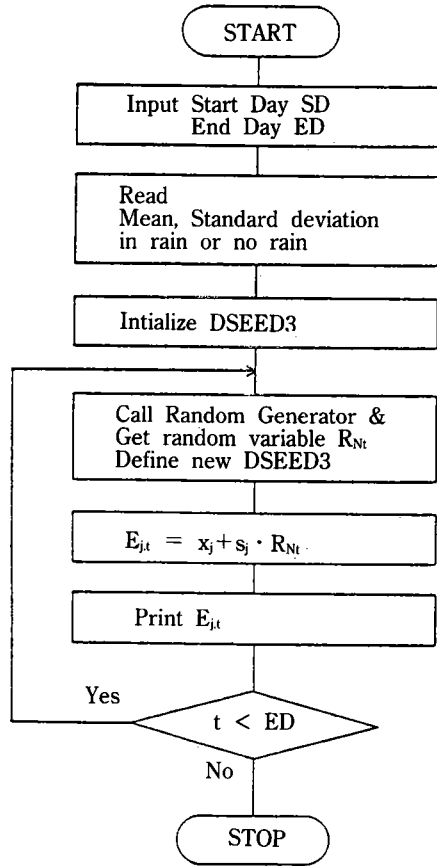


Fig. 2. Flow chart of daily evaporation forecasting model, DEFM

Table-1. Weather stations and data used for weather forecasting models

No.	Station	Location			Dataused		Remarks
		Latitude (Deg.)	Longitude (Deg.)	Elevation (m)	Data	Period	
105	Gangneung	37.45	128.54	26.0	P, E	1968~1987	P : Precipitation E : Small Pan Evaporation
108	Seoul	37.34	126.58	85.0	〃	〃	
119	Suwon	37.16	126.59	36.0	〃	〃	
131	Cheongju	36.38	127.26	59.0	〃	〃	
133	Daejeon	36.18	127.24	77.1	〃	〃	
143	Taegu	35.53	128.37	57.8	〃	〃	
146	Jeonju	35.49	127.09	51.2	〃	〃	
156	Kwangju	35.08	126.55	70.9	〃	〃	
165	Mokpo	34.47	126.23	53.4	〃	〃	
192	Jinju	35.12	128.06	21.5	〃	〃	
203	Icheon	37.17	127.26	75.0	〃	1972~1991	

선정하였다.

예측모형의 적용성 분석에서는 1968~1987의 20년간의 일별 강수량과 Pan 증발량 자료를 사용하였다. 다만, 이천 기상 관측소의 경우는 1972~1991년의 20년의 자료를 사용하였다.

대상측후소 및 기상 관측소의 월별 평균 우천일수는 光州 지점이 117일로 최고치를 보였으며 대구는 84일로서 최저치를 나타냈는데 일반적으로 全南·北 및 忠南 지역의 측후소가 높았으며 忠北, 서울, 京畿 등이 그 다음의 값을 나타낸다.

지점별 년평균 강수량은 우천일수의 경우와

마찬가지로 광주지점이 1333.3mm로 최대였고, 대구지점이 1007.3mm로 최소치를 보였으며 대상측후소 전체평균은 1254.1mm를 보였다.

일별 소형 Pan 증발량은 청명일과 우천일을 구분하여 평균 및 표준편차를 구하였다. 청명일의 경우의 증발량의 평균값은 3.1~4.1mm의 범위였으나 우천일에는 1.8~2.6mm의 범위를 보였다. 이와 같은 결과는 증발량은 청명일의 값이 우천일 보다 1.2~2.3배 만큼 큰 것을 나타내고 있다. 표준편차의 경우에는 0.22~2.70 mm의 범위였는데, 대부분 6~8월의 하절기 표준편차가 큰 값을 보였다.

Table-2. Observed and simulated monthly number of rainy days

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	$x^2$	GOF	
Gangneung	Observed	4	6	7	7	7	10	13	14	10	7	6	4	95	2.38	S
	Simulated	5	5	9	8	8	10	12	13	8	8	5	3	94		
Seoul	Observed	6	6	6	8	8	9	15	13	8	6	9	7	101	0.69	S
	Simulated	6	5	6	9	7	10	15	13	8	7	9	7	102		
Suwon	Observed	6	6	6	8	7	8	14	13	8	7	9	8	100	1.55	S
	Simulated	7	6	6	10	7	8	15	12	9	7	8	6	101		
Cheongju	Observed	8	8	8	8	8	9	15	13	8	7	10	8	106	0.44	S
	Simulated	8	7	8	8	8	10	14	13	8	6	10	8	108		
Daejeon	Observed	8	8	7	9	8	9	15	14	8	7	9	9	111	1.24	S
	Simulated	9	7	9	8	7	9	15	13	8	7	9	10	111		
Taegu	Observed	4	5	6	8	7	8	13	11	8	5	5	4	84	1.96	S
	Simulated	3	4	5	8	8	9	15	11	9	4	6	5	87		
Jeonju	Observed	8	9	8	9	8	10	14	14	9	6	9	9	113	1.46	S
	Simulated	8	8	8	10	7	12	14	14	11	7	9	8	116		
Kwangju	Observed	9	10	8	10	8	10	14	12	10	7	9	10	117	1.23	S
	Simulated	10	9	7	9	7	11	14	14	10	8	9	11	119		
Mokpo	Observed	10	10	8	9	8	9	12	10	8	7	9	10	110	0.25	S
	Simulated	10	10	8	9	8	9	12	10	8	6	8	10	108		
Jinju	Observed	3	6	6	9	8	10	14	11	9	5	5	4	90	0.90	S
	Simulated	4	6	5	10	8	10	14	10	9	5	6	4	91		
Icheon	Observed	7	6	7	7	7	9	14	11	8	6	8	7	97	0.90	S
	Simulated	6	6	8	8	7	8	15	11	7	5	8	7	96		
Mean	Observed	7	7	7	8	8	9	14	12	9	6	8	7	103	1.18	
	Simulated	7	7	7	9	7	10	14	12	9	6	8	7	103		

GOF : Goodness of fit

S : Significant

2. 日降水量 模型

가. 媒介變數

대상 지점의 사용 자료에 대한 청명일, 우천일의 발생 회수로 부터 식(1)에 의한 11개 지점의 천이확률  $P_{dd}$ ,  $P_{dw}$ ,  $P_{wd}$ ,  $P_{ww}$ 의 평균 값은 0.76, 0.24, 0.54, 0.46 등으로 청명일-청명일의 순서 사상의 발생확률이 높았으며, 그 다음은 우천일-청명일, 우천일-우천일, 그리고 청명일-우천일이 가장 낮은 값을 보였다.

강수량 자료를 이용하여 계산된 incomplete Gamma 함수의 11개 지점의 평균  $\alpha$  값은 0.61~

0.69의 범위로 평균 0.66이었고,  $\beta$  값은 15.05~19.41의 범위로 평균 16.39였다. 11개 지점의 월별 평균치는  $\alpha$  값이 0.58~0.84의 범위로 나타났고  $\beta$  값은 4.79~34.3의 변화를 보여,  $\alpha$ ,  $\beta$  값은 지역적 변화는 심하지 않았으나 월별 변화는 큰 폭으로 나타났다. 특히,  $\beta$  값은 1, 2, 11, 12월에는 4.79~9.33의 작은 값은 6~9월에는 23.16~34.30의 큰 값을 나타내어 우리나라의 강수 특성을 그대로 보여주고 있다.

나. 模型의 檢證

강수량자료로부터 계산된 매개변수를 이용하여 각 지점의 강수를 모의 발생하고, 월별 강수발생

Table-3. Observed and simulated monthly mean rainfall

Station		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	$\chi^2$	GOF
Gangneung	Observed	51.9	59.3	61.5	81.4	72.0	91.7	208.9	268.6	178.1	109.9	69.8	39.3	1292.7	34.01	NS
	Simulated	50.5	35.2	62.5	97.6	70.1	100.9	247.5	252.7	152.7	84.0	77.9	32.0	1264.2		
Seoul	Observed	21.7	23.9	40.0	86.0	100.2	106.1	323.7	305.0	143.8	53.1	47.8	24.2	1276.0	14.48	S
	Simulated	21.8	19.3	33.9	71.6	95.6	113.1	317.7	263.6	161.5	61.1	50.4	27.1	1237.0		
Suwon	Observed	23.5	26.9	41.2	92.3	90.6	107.7	300.9	284.2	131.1	64.6	49.2	22.4	1235.0	33.88	NS
	Simulated	28.6	29.6	33.2	119.9	77.7	89.1	333.3	283.1	173.3	65.7	46.2	19.2	1299.4		
Cheongju	Observed	27.0	28.3	49.1	84.4	86.6	123.0	270.2	256.2	135.6	54.9	46.8	24.2	1186.9	16.81	S
	Simulated	34.2	25.2	48.0	79.2	74.8	143.0	245.2	256.2	163.2	57.5	54.5	25.7	1207.1		
Daejeon	Observed	24.5	35.1	57.0	96.5	92.7	133.2	285.9	285.0	146.6	61.4	49.3	29.7	1297.2	10.48	S
	Simulated	24.9	29.4	70.8	94.0	82.1	118.3	273.2	272.6	137.8	66.9	48.7	35.4	1254.4		
Taegu	Observed	16.6	25.4	44.6	78.4	72.4	125.6	212.1	209.5	124.0	49.9	34.2	13.9	1007.2	22.45	NS
	Simulated	15.5	18.6	44.6	79.9	99.2	130.6	255.3	195.8	119.4	46.3	35.7	15.5	1056.9		
Jeonju	Observed	31.8	39.4	55.2	95.2	101.1	139.4	255.5	254.1	139.3	65.7	56.4	32.0	1265.5	48.32	NS
	Simulated	28.0	39.3	55.4	129.2	87.9	185.5	245.4	268.1	176.1	87.7	56.7	27.8	1387.6		
Kwangju	Observed	33.4	44.4	57.9	111.3	102.8	172.3	261.2	237.5	155.6	71.3	51.4	33.7	1333.3	13.18	S
	Simulated	34.3	46.0	59.2	102.2	94.8	187.6	264.7	285.6	159.3	76.1	50.0	35.7	1395.9		
Mokpo	Observed	29.6	46.5	50.5	92.2	89.8	157.8	206.3	163.9	147.7	59.1	46.9	30.5	1121.2	8.16	S
	Simulated	29.7	47.9	56.1	91.5	74.7	166.2	196.9	168.5	129.7	56.5	40.2	35.0	1093.2		
Jinju	Observed	21.7	40.9	64.1	148.5	133.3	205.0	284.4	277.6	163.9	64.9	47.2	22.6	1474.4	15.45	S
	Simulated	26.4	44.4	59.9	167.4	134.0	210.5	279.2	249.0	155.5	61.4	63.2	29.6	1480.9		
Icheon	Observed	26.9	24.8	53.8	92.4	93.3	133.7	330.8	267.2	160.2	44.0	51.3	26.1	1305.0	19.38	S
	Simulated	25.7	24.1	72.0	112.7	78.7	113.4	342.8	251.4	161.6	48.4	42.8	25.3	1299.3		
Mean	Observed	28.0	35.9	52.2	96.2	94.1	135.9	267.3	255.3	147.8	63.5	50.0	27.1	1254.1	21.51	
	Simulated	29.1	32.6	54.2	104.1	88.1	141.6	272.8	249.7	153.6	64.7	51.5	28.0	1270.5		

GOF : Goodness of fit

NS : Not significant

S : Significant

회수와 월별 강수량을  $\chi^2$  검증을 통해 DRFM 모형의 적용성을 살펴 보았다. Table-2에서와 같이 관측치와 모의발생과의  $\chi^2$  값은 0.44~2.38의 범위로서 모두 그 적합성이 인정되었다.

강수량의 경우에는 Table-3에서와 같이  $\chi^2$  값이 8.2~48.3의 분포를 보여 5% 수준에서 적합성이 인정된 지점은 서울, 淸州, 大田, 光州, 木浦, 晉州, 利川 등의 7개 지점이었는데 지역적으로 볼 때 전국에 걸쳐 고르게 분포되어 있었다. 이중 木浦 지점의 월별 강수 횟수와 강수량 월별 변화를 나타내면 Fig. 3, 4와 같다.

### 3. 日蒸發量 模型

Pan 증발량 분포함수로 가정된 정규 분포함수의 적합성 검사에서는 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 적합도 검증방법을 이용하였다. 그 결

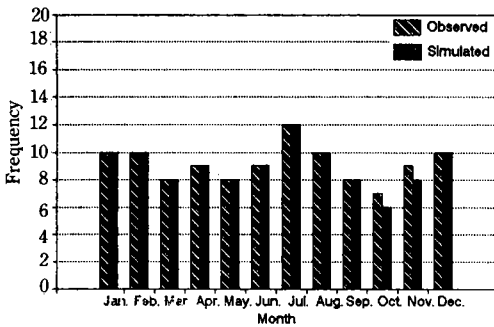


Fig. 3. Observed and simulated mean rainfall frequencies (Mokpo)

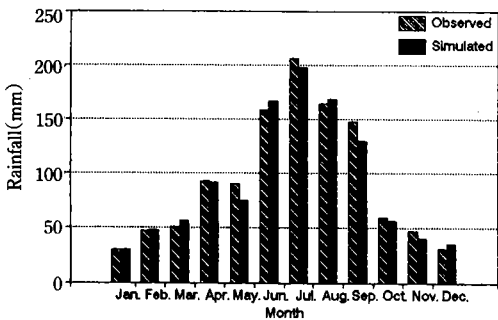


Fig. 4. Observed and simulated mean monthly rainfall (Mokpo)

과는 Table-4와 같은데, 서울 지점이 0.0503으로 최소치를 木浦 지점이 0.1164로 최대치를 보였다. 이와 같은 결과는 木浦와 水原 지점의 값이 한계치 0.0853 보다 크게 나타나 기각되었으나 전국적으로 볼 때 본 모형의 적합도가 인정된다고 볼 수 있다.

대상 11개 지점의 일 소형 Pan 증발량 자료로부터 계산된 평균과 표준편차를 이용하여 모의발생한 결과,  $\chi^2$ 의 값은 3.9에서 46.5까지 변화

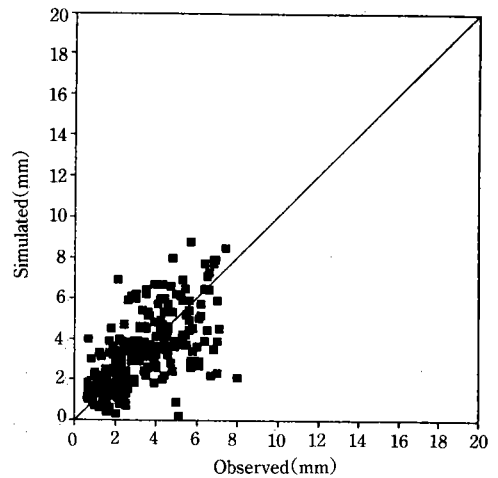


Fig. 5. Scatter diagram of small pan evaporation for dry days (Seoul)

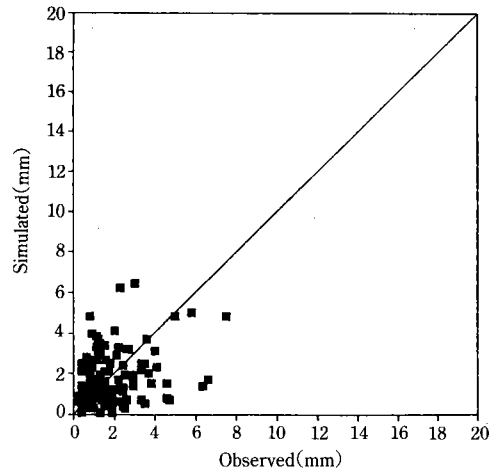


Fig. 6. Scatter diagram of small pan evaporation for wet days (Seoul)



Table-4. Observed and simulated small pan evaporation for the stations

Station		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	$x^2$	GOF
Gangneung	Observed	68.2	63.0	77.0	143.8	178.3	160.3	138.7	87.6	105.5	93.9	61.6	71.8	1249.7	20.0	NS
	Simulated	67.0	71.8	78.7	136.7	194.1	140.8	152.9	91.4	97.7	67.1	69.7	64.9	1232.8		
Seoul	Observed	34.4	44.3	73.3	101.4	150.2	147.9	91.3	86.1	111.1	87.1	51.2	41.3	1019.6	3.9	S
	Simulated	29.2	43.1	83.7	104.2	137.8	146.3	90.0	84.6	108.9	90.3	48.2	40.7	1007.0		
Suwon	Observed	19.8	38.9	62.1	93.6	124.6	161.5	142.4	100.4	112.3	100.2	51.5	41.9	1049.2	24.7	NS
	Simulated	27.0	48.8	75.6	110.2	128.3	166.6	110.8	95.1	97.5	90.1	40.7	41.0	1031.7		
Cheongju	Observed	38.9	47.2	73.3	108.1	140.3	144.8	81.0	97.4	105.8	79.5	45.5	39.4	1001.2	46.5	NS
	Simulated	35.7	41.0	87.3	131.9	169.3	123.6	127.4	136.8	109.2	70.0	49.8	37.3	1119.3		
Daejeon	Observed	34.6	42.6	77.2	98.1	146.6	163.9	98.9	99.2	116.2	89.6	49.0	31.4	1047.3	8.9	S
	Simulated	36.5	45.2	75.7	100.0	152.4	136.2	106.0	103.6	128.6	88.9	54.9	34.0	1062.0		
Taegu	Observed	50.8	60.2	88.8	130.8	163.9	169.6	126.4	98.5	120.2	110.9	59.1	50.1	1229.3	9.7	S
	Simulated	58.9	61.9	88.1	122.3	177.3	167.3	139.2	110.7	105.5	101.0	51.0	52.0	1235.2		
Jeonju	Observed	46.3	50.8	66.0	101.1	117.2	131.5	83.5	88.8	109.5	97.3	69.4	56.2	1020.6	11.3	S
	Simulated	53.8	52.1	73.7	92.4	131.3	135.1	105.2	102.1	118.7	105.0	71.0	53.7	1094.1		
Kwangju	Observed	34.6	40.6	60.6	99.6	144.8	149.1	89.9	121.2	119.7	102.1	55.3	35.8	1053.3	11.0	S
	Simulated	38.5	38.7	53.4	85.4	149.8	132.4	96.0	139.1	106.5	103.0	50.1	35.0	1027.9		
Mokpo	Observed	43.1	45.5	64.7	114.7	152.3	152.6	91.5	110.5	111.7	88.7	55.8	46.7	1077.8	9.1	S
	Simulated	39.8	37.1	71.4	106.9	162.5	148.5	111.8	113.1	108.9	93.8	63.0	45.2	1102.0		
Jinju	Observed	51.2	58.2	68.2	116.6	133.0	142.8	96.1	91.6	113.6	93.1	60.3	52.5	1077.2	27.3	NS
	Simulated	47.0	65.8	71.4	77.5	147.3	137.3	100.9	105.7	118.6	83.3	56.5	46.1	1057.4		
Icheon	Observed	35.5	40.8	61.1	111.1	128.5	135.6	105.9	135.5	94.1	89.8	48.3	29.7	1015.9	12.4	S
	Simulated	39.5	39.5	70.2	119.9	110.9	162.5	107.6	118.6	88.3	90.4	48.4	29.0	1024.8		
Mean	Observed	41.9	48.4	70.2	110.8	143.6	150.9	104.1	101.5	110.9	93.8	55.2	45.2	1076.5	2.7	
	Simulated	43.0	49.5	75.4	107.9	151.0	145.1	113.4	109.2	108.0	89.4	54.8	43.5	1090.4		

GOF : Goodness of fit

NS : Not significant

S : Significant

#### IV. 結 論

하였는데 5% 수준의  $x^2$  한계치 보다 작아 적합성이 인정된 지점은 서울, 水源, 大邱, 全州, 光州, 木浦, 利川 등의 7개 지점으로 전국에 고르게 분포하고 있음을 알 수 있다. 따라서 전국적으로 볼 때 본 DEFM 모형의 응용성이 인정되었다. Fig. 5, 6은 서울지점의 청명일, 우천일 각각에 대한 증발량의 관측치, 모의발생치의 산포도이다. 청명일의 경우에는 비교적 높은 상관성을 나타냈으나 우천일의 경우에는 비교적 낮은 상관성을 보였다. 이는 7, 8월의 장마기의 증발량에서 많은 차이가 있음을 나타낸 것이다.

1. 일강수량의 예보를 위하여 first order Markov chain과 incomplete Gamma function을 이용하여 일강수량 예측 모형(DRFM)을 개발하였으며, 일증발량 예보를 위하여 정규분포함수를 이용하여 일증발량 예측 모형(DEFM)을 개발하였다.

2. DRFM과 DEFM의 검증을 위하여 전국 도별 주요 측후소 10개소와 저수지 조작 모형의 적용을 위한 대상지구의 기상관측소를 선정하여  $x^2$ , K-S 적합도 검정을 실시하였다.

3.  $x^2$ , K-S 적합도 검증 결과, 강수발생 빈

도에 있어서는 전 지역에서 5% 수준의 적합도를 보였으며, 월별 강수량에 있어서는 서울, 청주, 대전, 광주, 목포, 진주, 이천 등 7개 지점에서 5% 수준의 적합도를 보였으나 강릉, 수원, 대구, 전주 등 나머지 지점은 적합성이 기각되었다.

4. 증발량 분포의 경우에는 목포와 수원지점을 제외한 9개 지점의 적합성이 인정되었고 월별 증발량의 검정에서는 강릉, 청주, 수원, 진주 지점을 제외한 7개 지점에서 적합성이 인정되었다.

5. 개발된 모형의 검증 결과에서와 같이 DRFM은 일부 지역에서는 그 적합성이 기각되었으나 전국에 걸쳐 고르게 인정되어 그 응용이 가능할 것으로 생각되었다.

6. DEFPM은 우천일의 경우에는 그 정도가 떨어지는 결과를 보였으나, 청명일에는 비교적 높은 상관성을 나타내어 관계 필요수량의 산정에 그 응용성이 높음을 알 수 있다.

### 參 考 文 獻

1. Chin, E. H., 1977. Modeling daily precipitation occurrence process with Markov chain, *Water Resour. Res.*, 13, pp. 949-956.
2. Geng, S., F. W. T. Penning de Vries and I. Supit., 1986. A simple method for generating daily rainfall data, *Agricultural and Forest Meteorology*, 36, pp. 363-376.
3. Jensen, M. E. and J. L. Wright, 1976. The role of simulation models in irrigation scheduling, Annual Meeting, ASAE.
4. Lane, L. J. and M. A. Nearing(Editors), 1989. USDA-Water erosion prediction project : Hillslope profile model documentation, NSERL report No. 2, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana, 47907.
5. Larsen, G. A. and R. B. Pense, 1982. Stochastic simulation of daily climatic data for agronomic models, *J. Agron*, 74, pp. 510-514.
6. Richardson, C. W. and D. A. Wright, 1984. WGEN : A model for generating daily weather variables, ARS-8, USDA, Agriculture Research Service, Washington, D. C.
7. Roldan, J. and D. A. Woolhiser, 1982. Stochastic daily precipitation models : 1. A comparison of occurrence processes, *Water Resour. Res.*, 18(5), pp. 1451-1459.
8. Viessmann, Jr., W. and C. Welty, 1985. Water management technology and institutions, Harper & Row, Publishers, Inc., 618 p.
9. Villalobos, F. J. and E. Fereres, 1989. A simulation model for irrigation scheduling under variable rainfall, *Trans. of the ASAE*, 32(1), pp. 181-188.
10. Woolhiser, D. A. and J. Roldan, 1982. Stochastic daily precipitation models : 2. A comparison of distributions of amounts, *Water Resour. Res.*, 18(5), pp. 1461-1468.
11. 金秉辰, 1993. 氣象豫報를 考慮한 灌溉用貯水池의 最適 操作 模型, 서울大學校 大學院 博士學位 論文.
12. 朴承禹, 1991. 農漁村用水의 開發 및 最適 利用 模型化 研究 (I), 農林水産部, 農漁村 振興公社, 서울大學校 農科大學 附屬 農業 開發研究所.
13. 李南鎬, 鄭夏禹, 朴承禹, 1990. 灌溉地區 水 管理 組織의 日別 模擬操作, 韓國農工學會 誌, 32(3), pp. 67-78.
14. 鄭夏禹, 朴承禹, 1985-1988. 貯水池 水管理 研究(I)-(IV), 農水産部, 農業振興公社, 서울大學校 農科大學 附屬 農業開發研究所.
15. 許遺萬, 1992. 中小流域의 日別 用水需給解 析을 위한 河川網 模型의 開發, 서울大學校 大學院 博士學位 論文.