관개계획을 위한 일기예보의 신뢰성과 활용성

Reliability and Applicability of Weather Forecasts for Irrigation Scheduling

이 남 호* · 허 연 정**
Lee, Nam Ho · Heo, Yeon Jeong

Abstract

The purpose of this study is to analyse the accuracy of weather forecasts of temperature, precipitation probability, and sky condition and to evaluate the applicability of weather forecasts for the estimation of potential evapotranspiration for irrigation scheduling. Five weather stations were selected to compare forecasted and measured climatical data. The error between forecasted and measured temperature was calculated and discussed. The accuracy of temperature forecast using relative frequency of the error was calculated. The temperature forecasting showed considerably high accuracy. Average sunshine hours for forecasted sky conditions were calculated and showed resonable quality. From the reliability graphs, the forecasting precipitation probability was reliable. Potential evapotranspirations were calculated and compared using forecasted and measured temperatures. The weather forecast is considered usable for irrigation scheduling.

I. 서 론

일기예보는 관측된 기상 자료를 통신을 통하여 수신한 후 분석과정과 수치해석을 통해 객관적인 예보자료를 생산한 후 모든 자료를 종합하여 생산하고 전달한다(홍, 1993 ; 심, 1995).

일기예보가 우리 인간의 생활과 산업활동에 중요한 요소로 자리잡고 있기 때문에 우리는 이를 떠나서는 살 수 없다. 각종 산업을 위한 일기예보의 적용분야는 다양하다. 특히 농업은 기상과 밀접한 관계를 갖고 있는데 작부체계의 선택, 작물의 생육과 수확, 물관리 등에 영향을 미친다.

물관리란 적정한 양의 물을 적절한 시기에 공급하는 것을 말하며 이를 위해서는 급수량과 급수시기를 결정하는 급수계획이 필요하다. 급수계획에서 중요한 인자는 증발산량과 강수량이다. 증발산량은 급수량 결정에 직접적으로 필요하고 강수의 유무는 간접적으로 활용될 수 있다. 증발산량의 결정에 중요한 기상인자는 일평균기온 및 일조시간 등이 있다.

기상관측에는 많은 오차가 있고 또한 기상역학적 모형들이 실제의 대기현상을 완벽하게 재현할 수 없기 때문에 일기예보는 아직도 필연적인 불확실성을 내포하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결

* 한경대학교 농업생명과학부
** 한경대학교 대학원

키워드 : 일기예보, 급수계획, 숙련도, 신뢰도, 증발산량, 강수확률예보

하기 위한 노력이 계속되고 있고, 새로운 일기예보법에 대한 평가가 계속되고 있다. Sanders(1973)는 일기온과 강수량 예보에 대한 평가를 실시하였고 Murphy와 Winkler(1977)는 일기온과 강수확률예보에 대한 구간추정의 신뢰성을 평가하였다. 이와 김(1983)은 10년 동안의 기온예보기술 향상 여부를 검토하고, 서울지방의 기온예보에 대한 숙련도를 계산하여 일기예보를 평가한 바 있다. 강우예보는 미국에서 1960년경부터 시작되었고 우리나라에서는 1987년부터 시작되었다. 이(1988)는 강수확률예보모형을 개발하고 신뢰도표, Brier 지수, 숙련도, Bias 등을 사용하여 모형의 적용성을 검토하였다. 권과 이(1998)는 국내 측후소별 계절별 강수확률예보를 위한 회귀방정식을 개발하고 그 적용성에 대해 검증하였다. 정(1991)은 확률교정곡선과 Brier 지수를 이용하여 전주지역의 강수확률예보를 평가한 바 있다.

본 연구는 전국의 5개 지역을 대상으로 최저기온, 최고기온, 강수확률, 날씨에 대한 일기예보의 정확성을 평가하고, 일별 급수계획 수립에 필요한 강수의 유무 판단 및 잠재증발산량의 추정을 위한 일기예보의 활용성을 검토하는데 그 목적이 있다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 평가 대상지역 및 자료

일기예보의 평가대상은 1995년과 1996년에 중앙일간신문에 발표된 서울, 대전, 강릉, 광주, 대구 등 5개 지역의 최저기온, 최고기온, 강수확률, 날씨에 대한 예보값을 사용하였다. 평가에는 같은 기간의 각 기상관측소에서 실측된 기상자료가 사용되었는데 날씨예보를 평가하기 위해서는 일조시간이 이용되었다. 평가대상 지역 기상관측소의 개요는 Table 1과 같다. 관개기간을 고려하여 매년 4월 1일부터 10월 31일까지의 기간을 대상으로 하였다.

Table 1. Summary of weather stations

Name	Altitute(m)	Location	
		Lat.(N)	Long.(E)
Seoul	85.5	37° 34′	126° 58′
Taejon	67.2	36° 22′	127° 37′
Kangnung	26.0	37° 45′	128° 54′
Kwangju	73.9	35° 10′	126° 53′
Taegu	57.8	35° 53′	128° 37′

2. 일기예보의 평가방법

일기예보의 정확성을 평가하기 위한 방법에는 Sanders 지수, 확률교정곡선, 신뢰도표, Brier 지수, 숙련도, Bias 등이 사용되고 있는데, 본 연구에서는 기온예보치의 평가를 위해서는 오차의 특성 및 숙련도를, 강수확률예보의 경우에는 신뢰도를 사용하였다.

가. 오차의 특성 분석

기온예보의 평가를 위해서 각 지역별 계절별로 절대오차인 RMS(Root Mean Square)오차를 계산하였고 평균기온의 예보오차에 대한 도수분포를 계산하였다. RMS오차는 다음 식으로 표시된다.

$$Erms=\sqrt{\Sigma(X_p-X_o)^2/(n-1)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

여기서, X_o는 실측치, X_p는 예보치, n는 자료의 수이다.

나. 숙련도(Accuracy) 계산

숙련도는 기상 실측치에 대한 예보치의 적중정도를 나타낸 것이다. 숙련도 계산을 위해 이와 김(1983)은 Sanders의 방법을, 이(1988)는 Brier 지수를 이용하였으나, 본 연구에서는 기온예보의 오차빈도분석 결과를 이용하여 다음과 같이 숙련도를 계산하였다.

$$S=\Sigma C_i \cdot f_i \,/\, 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

여기서, S는 숙련도, C_i는 숙련지수로서 오차의 도수 계급별 지수는 Table 2와 같다. f_i는 상

Table 2. Accuracy index of each class of error

Error(℃)	<1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5
Ci	0	1	2	3	4	5

대도수(%)이다. 숙련도 값이 적을수록 예보의 적중률이 높게 나타난다.

다. 신뢰도 계산

확률예보의 신뢰도를 측정하는 방법으로 각 강수확률을 예보한 일수 중에서 실제 강우일수의 비율을 검토하였다. 각 지역별 신뢰의 정도를 비교하기 위하여 신뢰지수를 사용하였다. 신뢰지수는 실제 강수확률과 예보확률의 차이에 대한 RMS를 이용하였다. 따라서 신뢰지수는 값이 적을수록 예보의 적중률이 높다는 것을 의미한다.

3. 날씨예보와 일조시간

하늘의 상태를 나타내는 날씨는 전 운량(全 雲量)에 의해서 정의하고 있는데 일반적으로 흐림은 8 이상, 맑음은 2 이하를 의미한다(임정남, 1987). 일조시간은 증발산량에 영향을 미치는 인자로서 예보된 날씨상태별 실제 일조시간이 어느 정도인지를 파악하는 것은 중요한 의미를 갖는다. 본 연구에서는 5개 전체지역을 대상으로 실측 일조시간을 11등급으로 구분하여 날씨예보에 따른 일조시간의 도수분포와 평균일조시간을 계산하였다. 평균일조시간은 각 등급에 해당하는 일수에 그 등급의 대표값을 곱한 후 전체 합을 전체 일수로 나누어 계산하였다.

4. 잠재증발산량 계산

관개계획을 수립하는데 예보기온을 활용할 수 있는지의 여부를 판단하기 위하여 기온예보의 오차가 잠재증발산량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석은 예보기온을 이용하여 계산한 증발산량과 실측기온을 이용하여 계산한 증발산량을 비교하였다. 잠재증발산량의 추정을 위해서는 서울과 강릉지역을 대상으로 SCS에 의해 수정된 Blaney-Criddle 공식과 FAO에 의해서 수정된 Penman 공식을 이용하였다.

SCS 수정 Blaney-Criddle 공식(James, 1988)은 다음과 같은데 계산에는 평균기온만을 필요로 하고 주간, 순간, 월간 평균 잠재증발산량을 계산하는데 사용된다.

$$ET = Kt \times P \times ((T / 2.19) + 8.13) \cdots\cdots (3)$$

여기서, Kt는 $0.0311 \times T + 0.24$, P는 주간시간 백분율, T는 평균기온이다.

FAO 수정 Penman 공식(Doorenbos와 Pruitt, 1977)은 다음과 같다. 계산에 사용되는 기상인자들은 기온을 제외하고는 모두 실측자료를 사용하였고, 기온만 예보치와 실측치를 이용한 결과들을 비교하여 예보오차의 결과를 분석하고자 하였다.

$$ET = C \times (W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)) \cdots\cdots (4)$$

여기서, C는 기상조건을 고려하는 보정계수, W는 기온과 관련된 가중인자, R_n는 순복사량, $f(u)$는 풍속함수, e_a는 평균기온에서의 포화수증기압, e_d는 평균기온에서의 수증기압이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 기온예보의 평가

가. RMS 오차

식 (1)을 이용하여 계산한 각 지역별 계절별 평균기온의 RMS 오차는 Table 3과 같다. '95년에는 대구지역에서 4~5월에 1.91℃로 가장 높은 값을, 광주지역에서는 6~8월에 1.04℃로 가장 낮은 오차값을 보였다. '96년에는 강릉지역에서의 4~5월에 3.40℃의 큰 오차값을 보였고, 대전지역에서는 4~5월에 1.03℃의 낮은 오차값을 보였다. 강릉지역을 제외하고는 지역별로 '95, '96년에 연도별 차이는 크지 않았다. 분석기간동안에 강릉과 대구지

Table 3. RMS error of average temperature

Period		Error of each region(℃/Day)				
		Seoul	Taejon	Kangnung	Kwangju	Taegu
'95	Apr. ~ May	1.40	1.39	1.70	1.10	1.91
	June ~ Aug.	1.15	1.10	1.46	1.04	1.45
	Sep. ~ Oct.	1.31	1.20	1.10	1.22	1.26
	Apr. ~ Oct.	1.31	1.24	1.51	1.13	1.61
'96	Apr. ~ May	1.09	1.03	3.40	1.31	1.43
	June ~ Aug.	1.18	1.16	1.83	1.13	1.50
	Sep. ~ Oct.	1.19	1.44	1.55	1.37	1.43
	Apr. ~ Oct	1.22	1.24	2.92	1.27	1.55

Table 4. Frequency distribution of the error

Region / Class	Seoul		Taejon		Kangnung		Kwangju		Taegu	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
〈 1℃	247	57.7	240	56.1	172	40.2	237	55.4	228	53.3
1~2℃	132	30.8	127	29.7	109	25.5	137	32.0	112	26.2
2~3℃	36	8.4	50	11.7	70	16.4	40	9.3	51	11.9
3~4℃	10	2.3	9	2.1	35	8.2	7	1.6	23	5.4
4~5℃	2	0.5	1	0.2	18	4.2	6	1.4	9	2.1
〉 5℃	1	0.2	1	0.2	24	5.6	1	0.2	5	1.2
Sum	428	100	428	100	428	100	428	100	428	100

역에 대한 예보오차가 가장 크게 나타났고, 그 외 지역은 1.5℃ 미만의 RMS 오차값을 나타내었다.

나. 오차의 도수분포

예측 일평균기온과 실측 일평균기온의 오차에 대한 도수분포표는 Table 4와 같다. 지역별 모두 0~1℃ 미만의 오차가 가장 많은 도수(f)를 나타내었고, 강릉을 제외한 모든 지역이 50% 이상의 상대도수를 나타내었다. 0~2℃ 미만의 오차구간에서는 강릉이 65.7%, 대구가 79.5%의 상대도수를 나타내었고, 그 외 지역에서는 80% 이상의 높은 상대도수를 나타내었다.

다. 숙련도

Table 4의 자료를 이용하여 (2)의 식으로 계산한 각 지역별 평균기온의 숙련도는 Table 5와 같다. 각 지역별 예보의 적중률은 서울의 숙련도가 0.58로 제일 높은 예보의 적중률을 보였으며, 대전 0.61, 광주 0.62, 대구 0.80이었으며, 강릉이 1.28로 제일 낮은 예보의 적중률을 보였는데, 이것은 RMS 오차 계산 결과와 오차의 도수분포에서 살펴본 결과와 거의 유사한 것으로 나타났다.

Table 5. Accuracy of temperature forecast

Region / Class	Seoul	Taejon	Kangnung	Kwangju	Taegu
Accuracy	0.58	0.61	1.28	0.62	0.80

2. 강수확률예보의 평가

5개 지역별로 각 강수확률예보의 예보일수 중에서 실제로 강수가 발생된 일수를 조사하고 그 결

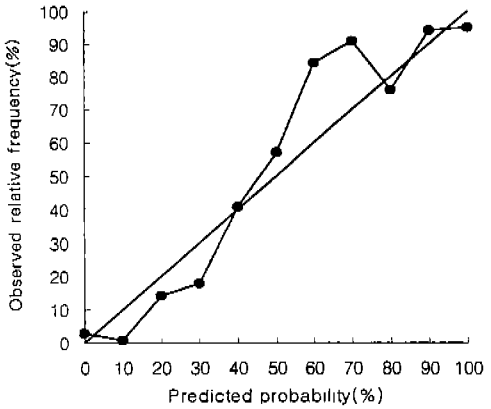

Fig. 1. Reliability of forecasted precipitation probability for Seoul

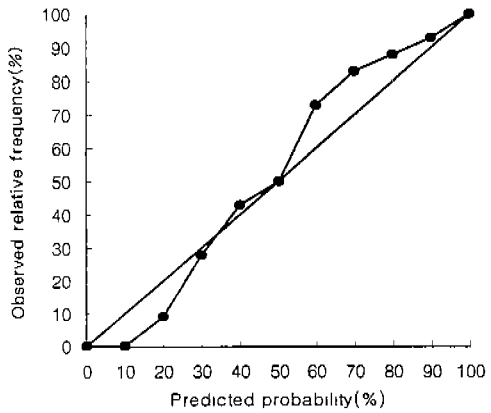

Fig. 2. Reliability of forecasted precipitation probability for Taejon

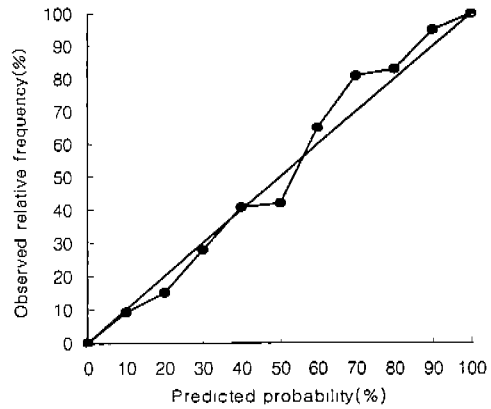

Fig. 3. Reliability of forecasted precipitation probability for Kangnung

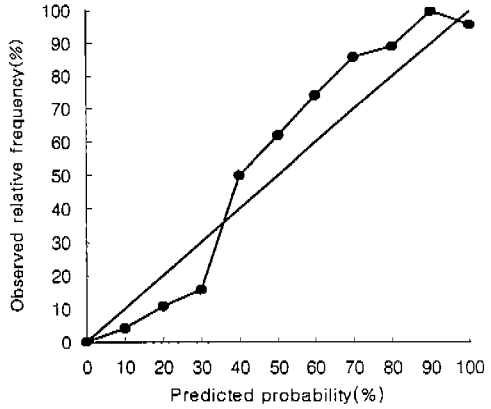

Fig. 4. Reliability of forecasted precipitation probability for Kwangju

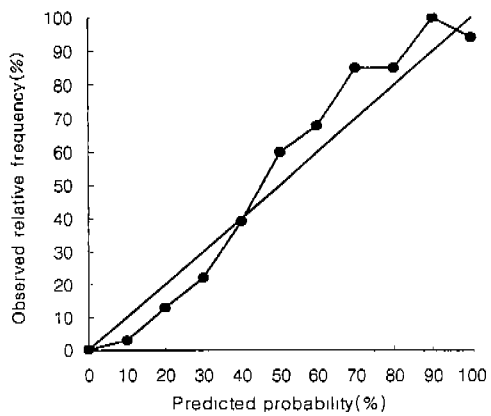

Fig. 5. Reliability of forecasted precipitation probability for Taegu

과를 이용해서 실제강수확률을 계산한 결과는 Table 6과 같은데 강수예보확률과 실제 강수확률이 대체로 일치하였다. 강수예보확률과 실제 강수확률을 X-Y 그래프에 도시하고 그 결과로부터 예보의 신뢰성을 분석하였다. Fig. 1 ~ Fig. 5는 5개 지역에 대한 강수확률예보의 신뢰도를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 강릉지역에서 가장 예보의 신뢰도가 높고, 대전과 대구는 비교적 높은 신뢰도를 보이고 있으며, 서울과 광주는 상대적으로 낮은 신뢰도를 보이고 있다. 신뢰지수를 계산한 결과는 Table 6과 같이 강릉이 4.50으로 제일 낮아 적중률이 가장 높았고, 대전이 5.91, 대구가

6.73, 광주가 6.73이었고 서울은 10.22로 가장 낮은 적중률을 보였다. 5개 지역 전체적인 특성은 10~30%의 낮은 확률의 강수를 예보한 경우에는 실제 강수확률이 낮게 나타났고 60~90%의 높은 강수확률예보의 경우에는 실제로 예보보다 강수발생확률이 높았다.

Table 6. Reliability analysis of forecasted precipitation probability

Forecasted probability	Seoul			Taejon			Kangnung			Kwangju			Taegu		
	A	B	B/A (%)	A	B	B/A (%)	A	B	B/A (%)	A	B	B/A (%)	A	B	B/A (%)
0%	30	1	3.3	28	0	0	15	0	0	36	0	0	22	0	0
10%	75	1	1.3	87	0	0	76	7	9.2	80	3	3.8	90	3	3.3
20%	92	13	14	116	10	8.6	103	15	15	117	13	11	105	14	13
30%	82	15	18	64	18	28	88	25	28	61	10	16	90	20	22
40%	32	13	41	35	15	43	41	17	41	34	17	50	31	12	39
50%	7	4	57	8	4	50	12	5	42	13	8	62	10	6	60
60%	25	21	84	22	16	73	23	15	65	19	14	74	19	13	68
70%	22	20	91	23	19	83	16	13	81	14	12	86	13	11	85
80%	25	19	76	17	15	88	18	15	83	18	16	89	13	11	85
90%	17	16	94	14	13	93	22	21	95	13	13	100	19	19	100
100%	21	20	95	14	14	100	14	14	100	23	22	96	16	15	94
Reliability score	10.22			5.91			4.50			8.17			6.73		

* A : Forecasted rainy days
B : Observed rainy days

Table 7. Forecasted sky conditions and observed sunshine hours

Observed sunshine hours(h)	Forecasted sky conditions															
	clear		partly cloudy		mostly cloudy		cloudy		clear after rain		cloudy after rain		rain		shower	
	days	%	days	%	days	%	days	%	days	%	days	%	days	%	days	%
〈1	34	4	5	4	14	12	18	26	62	25	54	39	172	56	18	10
1-2〉	13	1	4	3	6	5	4	6	13	5	10	7	20	7	12	7
2-3〉	19	2	1	1	7	6	4	6	17	7	9	7	13	4	11	6
3-4〉	20	2	4	3	7	6	5	7	16	6	9	7	21	7	8	5
4-5〉	35	4	11	8	8	7	8	12	15	6	14	10	17	6	13	8
5-6〉	32	3	19	14	4	3	7	10	15	6	8	6	13	4	21	12
6-7〉	47	5	11	8	18	15	6	9	16	6	7	5	11	4	14	8
7-8〉	65	7	17	12	11	9	5	7	26	10	8	6	10	3	16	9
8-9〉	122	13	18	13	16	13	5	7	19	8	4	3	10	3	19	11
9-10〉	155	16	14	10	13	11	3	4	14	6	7	5	9	3	13	8
〉10	407	43	35	25	16	13	3	4	35	14	7	5	10	3	28	16
Sum	949	100	139	100	120	100	68	100	248	100	137	100	306	100	173	100
Average sunshine hours	8.5시간		7.2시간		6.1시간		4.3시간		5.0시간		3.0시간		2.5시간		5.5시간	

3. 날씨예보의 특성

5개 지역 전체에 대해 날씨예보에 따른 일조시간의 도수분포와 평균일조시간을 계산한 결과를 정리하면 Table 7과 같은데, 예보가 날씨별 특성을 어느 정도 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다. 평균일조시간은 「맑음」으로 예보한 경우에 8.5시간, 「약간 흐림」일때 7.2시간, 「구름많음」일때 6.1시간, 「흐림」일때 4.3시간, 「맑은후 비」일때 5시간, 「흐린후 비」일때 3시간, 「비」일때 2.5시간, 「소나기」일때 5.5시간을 나타내었다.

4. 잠재증발산량의 추정

가. Blaney and Criddle 공식의 적용

서울과 강릉지역에 대한 기온 예보자료와 실측 기온자료를 이용하고 SCS에 의해 수정된 Blaney-Criddle 공식을 사용하여 월별 평균 잠재증발산량의 계산 결과는 Table 8과 같다. 전체적으로 강릉보다는 서울의 잠재증발산량의 오차가 적었다. 서울은 '95년 8월이 0.09㎜/day, '96년 7월이 0.16㎜/day으로 오차가 가장 컸으며, 강릉은 '95년 '96년 모두 6월이 각각 0.17㎜/day, 0.76㎜/day으로 오차가 가장 크게 나타났다. 예보된 기상자료를 이용해서 잠재증발산량을 계산하여도 무방한 것으로 나타났다.

나. Penman 공식의 적용

예보된 기온자료와 실측 기온자료를 이용하고 FAO 수정 Penman공식에 의해 일별 잠재증발산량을 계산하고 그 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 도시하였다. RMS 오차를 계산한 결과, 서울은 '95년 0.132, '96년 0.128, 강릉은 '95년 0.163, 96년 0.261로 나타났다. 강릉보다는 서울이 비교적 낮은 오차값을 보였다. Blaney-Criddle 공식에 의한 결과와 마찬가지로 잠재증발산량 계산에 예보된 기온자료의 이용이 가능한 것으로 판단되었다.

Ⅳ. 요약 및 결론

서울, 대전, 강릉, 광주, 대구의 5개 지역을 대상으로 평균기온, 강수확률, 날씨에 대한 일기예보의 적중성을 평가하고 급수계획 수립에 필요한 잠재

Table 8. Potential evaporanspiration by Blaney-Criddle formula

(Unit : ㎜/day)

Section		Seoul			Kangnung		
		By observed data	By forecasted data	Error	By observed data	By forecasted data	Error
'95	April	2.24	2.23	0.01	2.57	2.49	0.08
	May	3.89	3.91	△0.03	3.93	3.99	△0.06
	June	5.42	5.44	△0.02	4.51	4.67	△0.17
	July	6.28	6.33	△0.05	6.57	6.42	0.15
	August	6.40	6.49	△0.09	6.67	6.62	0.05
	September	4.17	4.17	0.00	4.10	4.07	0.03
	October	2.75	2.77	△0.02	2.90	2.87	0.03
'96	April	2.04	2.08	△0.04	2.46	1.86	0.60
	May	4.22	4.24	△0.03	3.71	3.91	△0.20
	June	5.64	5.80	△0.16	4.78	5.55	△0.76
	July	6.24	6.41	△0.16	5.98	6.06	△0.08
	August	6.40	6.42	△0.02	5.63	6.08	△0.45
	September	4.70	4.62	0.08	4.32	4.25	0.07
	October	2.54	2.55	△0.01	2.67	2.66	0.01

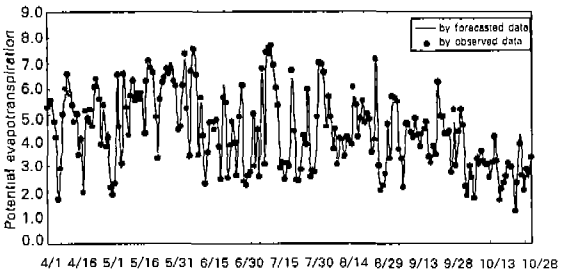

Fig. 6. Comparison of potential evapotranspirations simulated by observed data and forecasted data(Seoul, 1996)

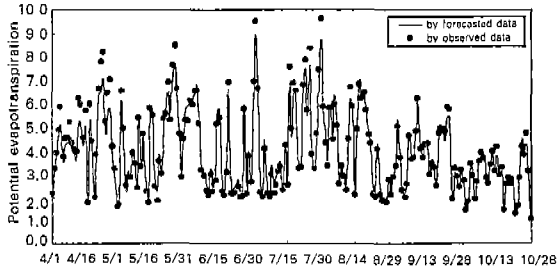

Fig. 7. Comparison of potential evapotranspirations simulated by observed data and forecasted data(Kangnung, 1996)

증발산량의 추정을 위한 일기예보의 활용성을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각 지역별 평균기온예보 값과 실측기온을 이용하여 계절별 RMS 오차를 계산한 결과 광주가 제일 낮은 값을 보였으며, 강릉이 제일 높은 값을 나타내었다.

2. 각 지역별 예보기온의 오차에 대한 도수분포와 숙련도를 계산한 결과는 서울이 예보의 적중률이 가장 높았으며, 강릉이 예보의 적중률이 가장 낮았는데, 기온예보는 전반적으로 적중률이 높은 것으로 나타났다.

3. 각 지역별 강수확률예보에서의 실제강우확률의 신뢰도분석 결과 전반적으로 확률예보의 적중률이 높은 것으로 나타났는데, 강릉, 대전, 대구는 비교적 높은 신뢰도를 보였으며, 서울과 광주는 상대적으로 낮은 신뢰도를 나타내었다.

4. 날씨예보에 따른 실측일조시간의 도수분포와 평균일조시간을 계산한 결과, 날씨예보가 날씨별 특성을 어느 정도 잘 나타내고 있는 것으로 나타났다.

5. 예보된 기상자료의 잠재증발산량 계산에의 활용성을 검토 결과, 잠재증발산량 계산에 예보된 기상자료의 이용이 가능한 것으로 판단되어 물관리 계획 수립에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 권오웅, 이동규, 1988, 한국의 강수확률 예보에 관한 연구, 한국기상학회지, 24(3) : 44-56.
2. 심경섭, 1995, 기상예보 어떻게 이루어지나, 과학과기술, 28(6) : 46-49.
3. 이내영, 김효선, 1983, Sanders의 방법에 의한 기온예보치의 평가에 관하여, 숙명여자대학교 한국생활과학연구원 논총, 31 : 95-100.
4. 이승만, 1988, 한국형 확률예보 기법에 관한 연구, 한국과학재단 연구보고서.
5. 임정남 외 3인, 1987, 농업기상용어해설, 향문사
6. 정병호, 1991, 전주지역 강수확률 예보의 평가, 전북대학교 공학연구 22 : 331-337.
7. 홍성길, 1993, 일기예보 이야기, 교학연구사.
8. James, L. G, 1988, Principles of farm irrigation system design, John Wiley & Sons.
9. Doorenbos, J., and W. O. Pruitt, 1977, Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage paper 24, FAO, United Nations.
10. Murphy, A.H. and R.L. Winkler, 1977, Reliability of subjective probability forecasts of precipitation and temperature, Applied Statistics, 26 : 41-47.
11. Sanders, F., 1973, Skill in forecasting daily temperature and precipitation : Some experimental results, Bull. Am. Meteo. Society, 54 : 1171-1179.