

우리 나라 주요지점의 기준작물 증발산량 산정과 비교

Estimation and Comparison of Reference Crop Evapotranspiration at the Selected Stations in Korea

김 현 수*, 정 상 옥**
Kim, Hyun-soo, Chung, Sang-ok

Abstract

This study is performed to select irrigation design year from 10-year return period 7-month(April to October) precipitation and compare reference crop evapotranspiration at 13 stations by REF-ET model.

The three smallest 10-year return period 7-month(April to October) precipitation were 525.5mm in Mokpo, 565.5mm in Taegu, 576.0mm in Pohang, while the three highest were 774.0mm in Chunchon, 767.0mm in Suwon, 763.0mm in Sokcho.

Seven-month growing season average reference crop evapotranspiration values showed low values of 4.0~4.1mm/day by FAO-24 Corrected Penman method, and 3.6mm/day by FAO-24 Blaney Criddle method in Chinju and Suwon, high values of 4.7~4.8mm/day by FAO-24 Corrected Penman method, 4.1mm/day by FAO-24 Blaney Criddle method in Mokpo and Pohang.

Estimated seven-month growing season average reference crop evapotranspirations are 4.4mm/day by FAO-24 Corrected Penman method, 3.8mm/day by FAO-24 Blaney Criddle method, 3.9mm/day by 1985 Hargreaves method, respectively.

I. 서론

물은 농작물의 성장에 있어 필요 불가결의 요소이지만 그 필요량의 정도는 작물의 종류, 재배목적, 재배양식, 생육시기, 기상조건 및 토양조건 등에 의해 다양할 뿐만 아니라 지역에 따라서도 차이가 있다.

관개는 작물성장에 필요한 수분을 공급하기

위하여 토양에 물을 공급하는 목적 이외에도 한발시 작물생산량 감소를 방지하고 작물성장에 최적환경을 유지하기 위하여 토양온도를 조절하며 토양염분을 희석 및 감소시키고 경지의 토양을 부드럽게 하는 등의 작물성장 환경을 양호하게 한다.

강우를 비롯한 기온, 바람, 일조량 등과 같은 작물성장에 영향을 미치는 기상요소들은

* 농어촌진흥공사 농어촌정비처
** 경북대학교 농과대학

키워드 : 관개계획기준년, 기준작물 증발산량

지역별로 상당한 차이를 나타내고 있다. 이는 작물생장에 요구되는 필요수량 또한 지역별로 다르게 나타나는 주원인이라 할 수 있다.

농지생산기반종합정비계획 수립요령(1993)¹⁾에는 보리, 양파, 마늘 등의 Type 3 작물에 대한 10년 빈도 한발년의 연간 필요수량이 서귀포가 10cm로 가장 작고, 대구가 17cm로 가장 많이 나타나 있다. 이는 대구지역의 강우량이 다른 지역에 비해 적고 기온이 높아 증발산량이 많이 발생하기 때문이라 할 수 있다. 따라서 지역별로 재배작물에 대한 필요수량을 제시하는 것은 합리적인 관개계획 수립에 의한 작물의 생산량 증대 및 수로구조물 설계에 중요하다 할 수 있다.

재배작물의 필요수량은 작물의 증산량, 지표면 또는 수면으로 부터의 증발량과 토양내 침투량으로 부터 구할 수 있으며 증발산량은 실측에 의한 방법과 기준작물 증발산량을 추정하고 이에 작물계수를 곱하여 구하는 방법 등이 있다.

본 연구는 전국 13개 기상관측 지점의 강우자료를 빈도분석법으로 분석하여 관개계획기준년을 선정하고 계획기준년의 일(Day) 기상자료를 적용, 기준작물에 대한 증발산량을 추정하여 지점 및 방법별 차이를 비교·검토함으로써 지점별 기상인자들의 특성과 재배작물 등을 고려한 적합한 증발산량 추정방법 결정, 작물계수산정, 소비수량 추정 등의 기초자료 제공에 그 목적이 있다.

II. 연구사

증발산량에 대한 연구는 경지에 공급되는 수량을 측정하여 작물의 소비수량을 측정하는 연구로부터 시작하여 1960년대 각종 측정장비의 발달과 전자계산기의 등장으로 작물의 증발산량에 대한 본격적인 연구가 이루어지기 시작했다. 1970년대 FAO는 Penman, Blaney-Criddle, Radiation, Pan evaporation 등의, 4가지 기준작

물 증발산량 추정방법을 수정하여 제시하였으며 Doorenbos 등⁶⁾, Frevert 등⁷⁾, Allen 등⁹⁾에 의해 계속 연구·보완되어 왔다.

최근 Skaggs 등(1995)⁸⁾은 Penman-Montieth를 비롯한 5가지 방법에 의한 캘리포니아 동북부의 Morehead City, Plymouth, Tarboro 지역의 기상자료를 적용하여 지역별 기준작물 증발산량을 추정·비교 하였다.

국내에서는 날로 늘어나는 벼의 직파재배에 따른 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구(1996)²⁾에서 남·중부지방의 조생종 벼에 대한 일평균 증발산량, 작물계수 등을 제시하였다. 또한 정(1997)³⁾은 논벼의 담수 직파 재배에 따른 기준작물 증발산량을 산정방법별 작물계수를 제시하였으며, 추정방법들 중 FAO-radiation 방법과 Penman-Montieth 방법이 가장 작은 값을 나타내고, Hargreaves 방법과 FAO-24 Corrected Penman방법이 가장 큰 값을 나타냈다고 보고하였다.

이와 같이 최근에는 실측에 의한 증발산량 산정방법 보다는 여러 방법에 의한 기준작물 증발산량을 추정하고 이에 작물계수를 곱하여 구하는 방법이 많이 이용되고 있다.

III. 재료 및 방법

1. 지점선정

본 연구의 적용 대상지점은 기상자료의 이용가능 현황, 경·위도 및 지역을 고려하여 전국 13개 관측지점을 선정하였다. <Table 1>은 적용 관측지점의 현황을 나타낸 것이다.

2. 관개계획기준년 선정

관개계획기준치를 구하는 방법에는 10년 빈도에 해당되는 계획기준년을 선정하여 구하는

〈Table 1〉 List of the weather stations

Station	Lat.(N)	Long.(E)	H(m)	Ht(m)	Ha(m)
Sokcho	38° 15'	128° 34'	17.6	1.5	11.9
Chun-chon	37° 54'	127° 44'	74.9	1.5	13.0
Suwon	37° 16'	126° 59'	36.9	1.5	10.6
Sosan	36° 46'	126° 28'	19.7	1.4	11.8
Chongju	36° 38'	127° 26'	59.0	1.5	18.7
Chupung-nyong	36° 13'	128° 00'	245.9	1.4	16.3
Pohang	36° 02'	129° 24'	2.5	1.4	13.2
Kunsan	35° 59'	126° 42'	26.3	1.5	14.5
Taegu	35° 53'	128° 37'	57.3	1.4	23.6
Ulsan	35° 33'	129° 19'	31.5	1.2	10.8
Kwangju	35° 10'	126° 53'	70.3	1.3	17.5
Mokpo	34° 47'	126° 23'	53.4	1.3	15.8
Chinju	35° 12'	128° 06'	21.5	1.5	10.0

Note H : Height of observation field above mean sea level

Ht : Height of thermometer above the ground

Ha : Height of anemometer above the ground

방법과 전체 관측자료로부터 10년 빈도에 해당하는 값을 확률 계산하는 방법 등이 있으며 본 논문에서는 기준작물 증발산량 계산을 위해 '69~'98년까지 30년간의 강우자료를 이용하여 빈도분석법으로 한발 재현기간 10년에 해당하는 확률강우량을 구하고 이와 실제 강우량이 가장 근사한 강우량을 기록한 해를 계획기준년으로 선정하였다.

3. 증발산량 추정모형

본 연구에는 REF-ET⁵⁾ Calculator V.2.15

모형을 이용 하였다. 이 모형은 1989년 미국 Utah State University의 Allen 등에 의해서 소개되었으며, FAO-24 Corrected Penman, FAO-24 Blaney-Criddle, Radiation method, 1985 Hargreaves 등을 비롯한 9가지의 증발산량 추정방법들을 포함하고 있으며, 이들 방법은 표준화된 기상자료로부터 증발산량을 추정하여 이들의 특징을 서로 비교·검토하는 것을 주목적으로 하고 있다.

이 모형에 적용된 기준작물은 Grass와 Alfalfa이며 기준작물이 균일하게 분포·성장하고 있을 때의 잠재(Potential) 증발산량을 산정한다.

본 연구에서는 Grass를 기준작물로 선정하였으며 Grass는 표면으로부터 대략 8~15cm 크기의 잔디와 비슷한 목초이다. 또한, 이들 기준작물에 의한 이 모형의 추정 증발산량의 비(Ratio : alfalfa/grass)는 1.15이다.

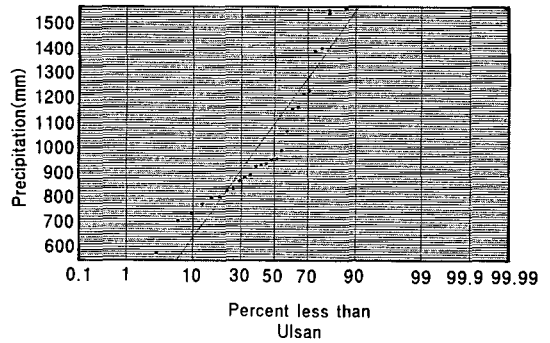
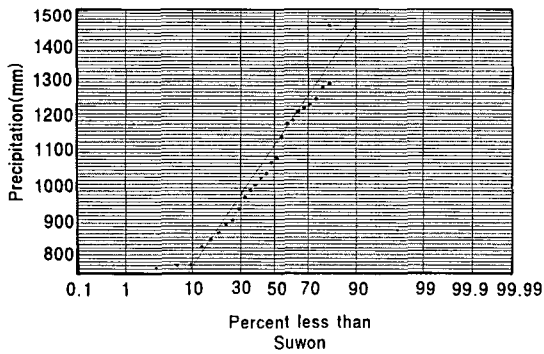
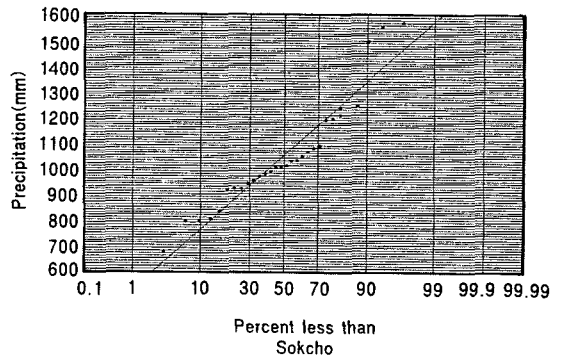
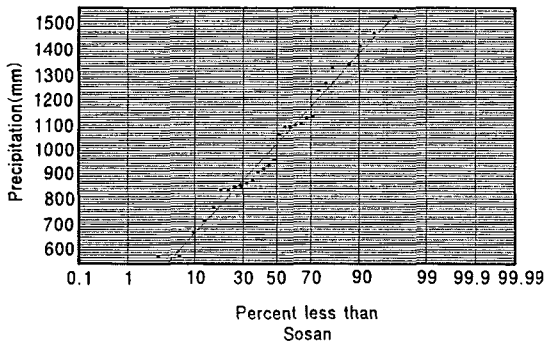
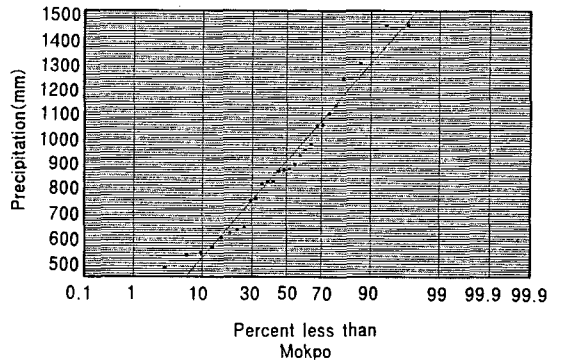
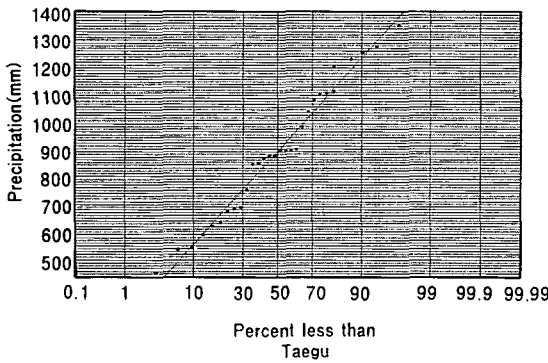
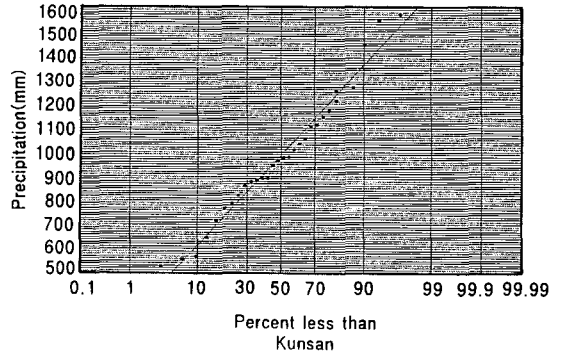
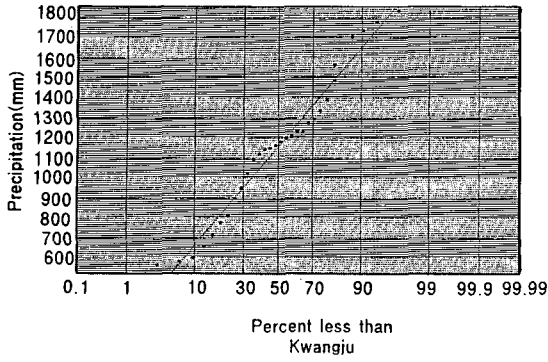
4. 기상자료

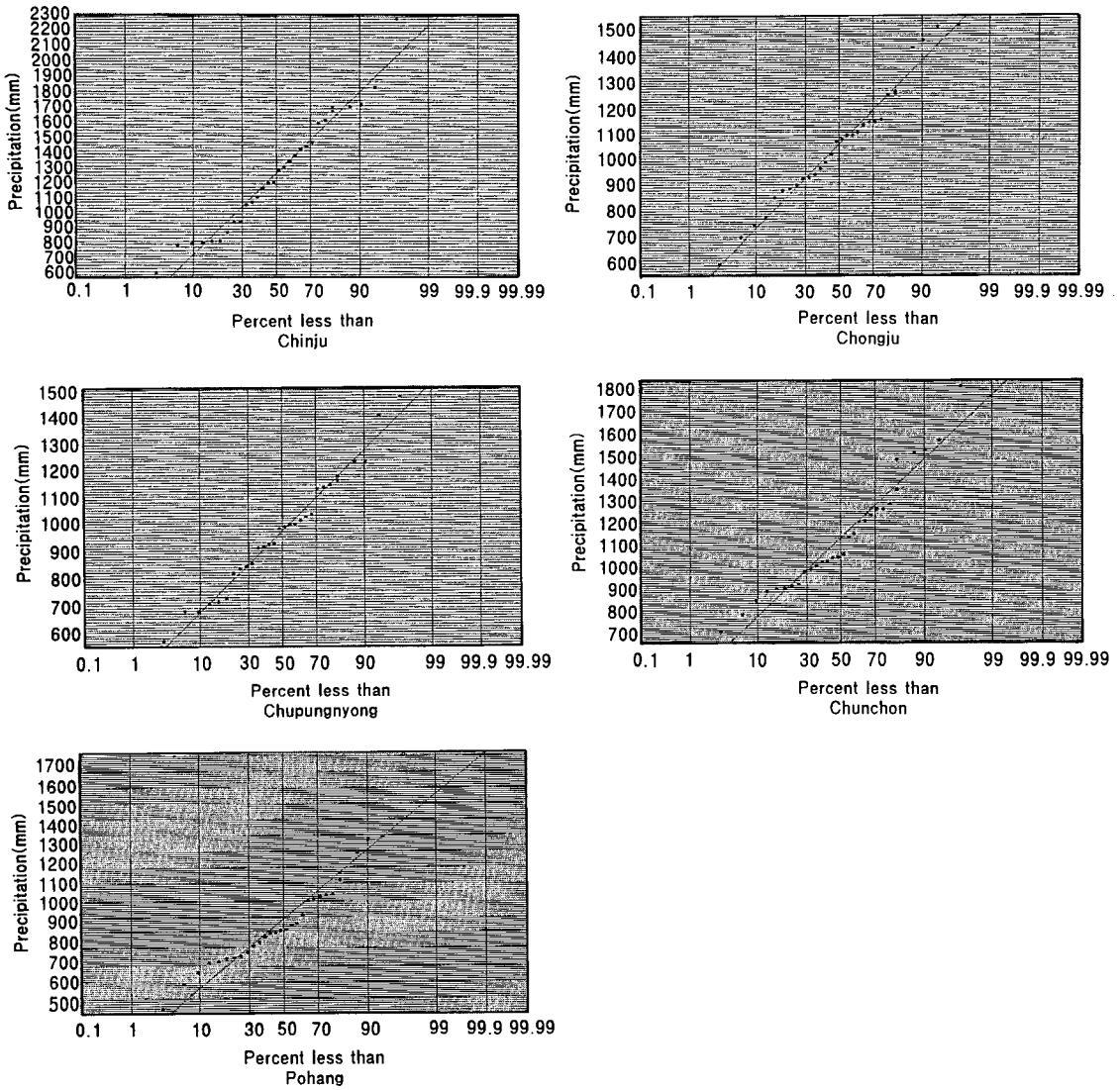
적용된 기상인자들은 각 지점 관개계획기준년의 기준작물 grass의 실제 생육시기로 판단되는 4월~10월까지 기온(평균, 최고, 최저), 평균 이슬점 온도, 상대습도(평균, 최소), 평균 풍속, 증발계 증발량, 강우량, 일조시간 등 이들의 일(Day) 기상자료를 파일로 작성하여 적용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 지점별 관개계획기준년

각 지점의 관개계획기준년은 1969년~1998년의 30년간 강우자료 중 4월~10월의 7개월 총 강우량을 Weibull 확률공식을 적용하여 이들을 <Fig. 1>과 같이 정규분포 확률지에





〈Fig. 1〉 7-month probability plot of precipitation at 13 stations

플로팅하여 재현기간 10년에 해당하는 확률 강우량을 결정하였으며, 그 결과 13개 관측지점 중 목포가 525.5mm로 가장 낮고, 춘천이 774.0mm로 가장 높은 확률 강우량을 나타냈다. <Table 2>는 각 관측지점의 빈도분석 결과 값이다.

또한, 기준년에 대한 지점별 기상인자들의 7개월 동안의 일(Day) 평균값은 <Table 3>과 같으며, <Fig. 2>는 계획기준년의 7개월 강우

량, 일조시간, 일 평균기온 등의 기상인자를 등치선도로 나타낸 것이다. 확률강우량과 이와 가장 근사한 강우량을 기록한 계획기준년의 실제강우량은 목포, 대구, 포항 등의 지점에서 낮게 분포하고 있으며, 일조시간은 추풍령, 수원 등의 지점에서 높게 나타났고, 평균기온은 광주, 목포, 진주 등의 남부지역 지점들에서 높게 나타났다.

〈Table 2〉 7-month probability precipitation amount and selected design year

Station	10-return period Probability precipitation	Design year	Actual precipitation
Sokcho	763.0mm	1988	792.2mm
Chun-chon	774.0mm	1977	788.4mm
Suwon	767.0mm	1982	770.7mm
Sosan	665.0mm	1982	668.1mm
Chongju	734.0mm	1973	743.7mm
Chupung-nyong	673.5mm	1994	676.7mm
Pohang	576.0mm	1982	592.7mm
Kunsan	613.5mm	1976	646.6mm
Taegu	565.5mm	1976	555.6mm
Ulsan	638.5mm	1971	701.9mm
Kwangju	677.5mm	1988	672.2mm
Mokpo	525.5mm	1992	531.5mm
Chinju	750.0mm	1977	816.2mm

〈Table 3〉 7-month mean daily climatologic data at 13 weather stations.

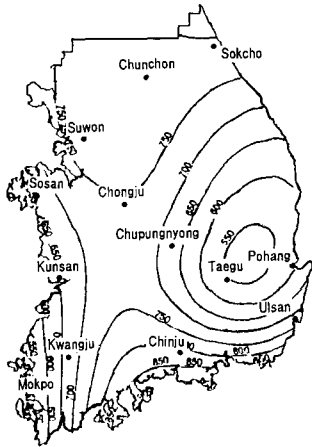
Station	T(°C)				RH(%)		Evap. (mm)	WS (m/s)	SH (h)
	Ave.	Max.	Min.	Dewp.	mean	Min.			
Sokcho	18.7	22.3	15.5	12.5	70	55	4.1	3.0	1,254
Chun-chon	19.1	25.3	13.9	13.6	73	47	4.4	1.6	1,505
Suwon	18.9	24.7	13.6	13.4	73	47	4.1	1.4	1,506
Sosan	19.0	24.8	13.9	14.1	76	48	4.2	2.0	1,591
Chongju	19.4	25.0	14.7	13.7	72	47	4.1	2.3	1,377
Chupung-nyong	20.0	26.4	14.0	13.0	67	43	-	1.8	1,540
Pohang	20.0	25.0	15.8	14.2	72	52	4.4	3.2	1,439
Kunsan	18.6	23.0	15.1	14.3	77	58	4.1	4.1	1,495
Taegu	19.4	25.1	14.7	12.0	65	41	4.3	2.7	1,282
Ulsan	19.6	25.0	15.0	14.9	76	56	4.5	2.3	1,369
Kwangju	20.4	26.0	15.8	14.2	70	46	4.4	2.2	1,457
Mokpo	20.1	25.2	16.1	14.4	73	47	3.9	3.7	1,395
Chinju	20.4	25.9	15.8	14.8	73	47	3.7	1.3	1,305

Note RH : Relative humidity

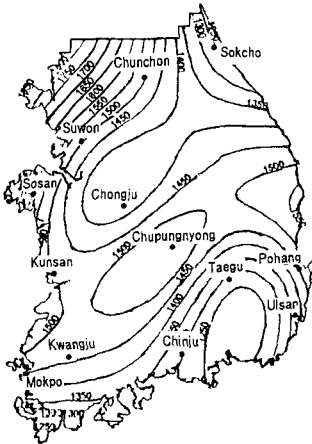
Evap : Pan evaporation

WS : Mean wind speed

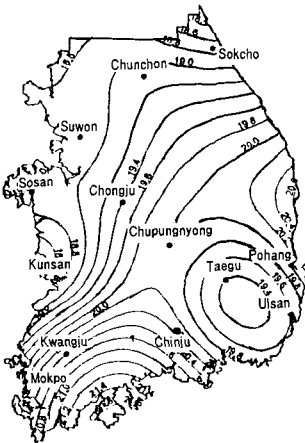
SH : Total sunshine hours



a) Actual Precipitation(mm)



b) Total sunshine hour(h)



c) Mean temperature(°C)

〈Fig. 2〉 7-month weather data contour line of irrigation design year

2. 지점별 증발산량 추정

REF-ET 모형에 포함되어 있는 기준작물 증발산량 추정방법 중 현재까지 국내에서 많이 사용되고 있는 FAO-24 Corrected Penman(이하 FcPn), FAO-24 Blaney-Criddle(이하 FB-C)방법과 1985 Hargreaves Temperature(이하 Harg)방법에 대한 계획기준년에 해당하는 일 기상자료를 적용하여 증발산량을 추정·비교 하였다.

다음의 식 (1), (2), (3)은 각각 FcPn, FB-C, Harg방법의 기본식을 나타낸 것이다.

$$E_{w0} = c [WR_n + (1 - W) 0.27 (1 + 0.01U_2)(e_a - e_d)] \dots (1)$$

여기서,

E_{w0} : Grass reference evapotranspiration, mm d⁻¹

c : FAO-24 correction(calibration) factor

W : Psychrometric weighting function

R_n : Net radiation, mm d⁻¹

U_2 : Mean wind speed at 2m, km d⁻¹

e_a : Saturation vapor pressure at daily mean air temperature, millibars (mb)

e_d : Saturation vapor pressure at daily mean dewpoint, mb

$$E_w = a + b [p(0.46T + 8.13)] \dots (2)$$

여기서,

a and b : Calibration factors that are function of minimum daily relative humidity, RH_{min}, mean ratio of actual to possible sunshine hours, n/N, and U_a.

p : Mean daily percentage of total annual daytime hours

T : Daily mean air temperature, $^{\circ}\text{C}$

$$E_{w0} = 0.0023 R_a TD(T + 17.8) \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

R_a : Extraterrestrial radiation, mm d^{-1}

TD : Difference between mean monthly maximum and mean monthly minimum temperatures, $^{\circ}\text{C}$

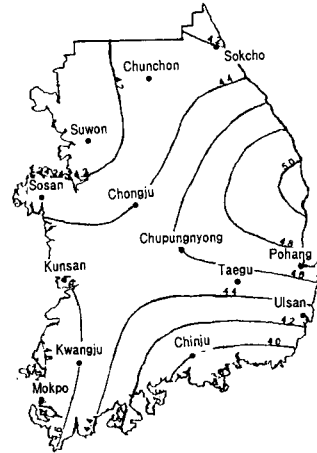
T : Average daily temperature during the time period, $^{\circ}\text{C}$

<Table 4> 7-month mean daily reference evapotranspiration in study stations
(Unit : mm/day)

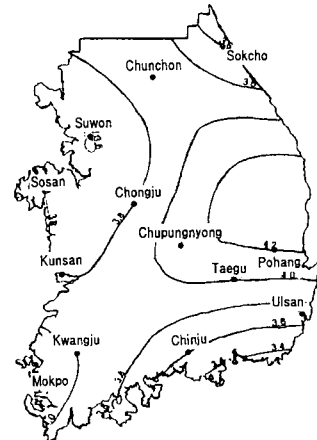
Station	FcPh	FB-C	Harg
Sokcho	4.2	3.6	3.1
Chun-Chon	4.3	3.9	4.1
Suwon	4.1	3.6	4.0
Sosan	4.3	4.0	3.8
Chongju	4.4	3.8	3.9
Chupungnyong	4.6	4.1	4.4
Pohang	4.7	4.1	3.8
Kunsan	4.6	3.8	3.4
Taegu	4.5	4.0	4.0
Ulsan	4.3	3.7	3.9
Kwangju	4.6	4.0	4.0
Mokpo	4.8	4.1	3.8
Chinju	4.0	3.6	4.0
Mean	4.4	3.8	3.9

<Table 4>는 지점 및 추정방법별 기준작물 생육시기인 4월~10월까지 7개월 동안의 일 평균 증발산량을 나타내고 있으며 <Fig. 3>은 이들의 등치선도(Iso-contour line)로 각 추정 방법의 지역적인 분포상태를 나타낸 것이다.

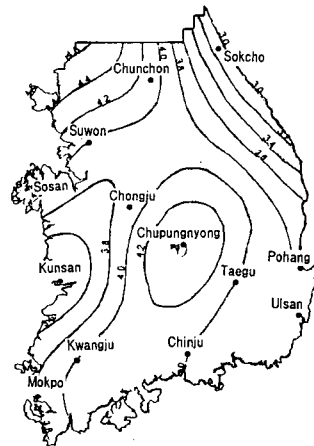
지점 및 추정방법별로 증발산량이 상당한



a) FAO-24 Corrected Penman(mm/d)



b) FAO-24 Blaney-Criddle(mm/d)



c) Hargreaves(mm/d)

<Fig. 3> 7-month reference evapotranspiration contour line of irrigation design year

차이가 나타나고 있는데 지점별로는 진주와 수원이 FcPn방법 4.0~ 4.1mm/day, FB-C방법 3.6mm/day로 낮게 나타났고, 목포, 포항지점이 FcPn방법 4.7~4.8mm/day, FB-C방법 4.1mm/day로 높게 나타났다. 이는 목포와 포항지점의 강우량이 다른 지점에 비해 상대적으로 적고, 기온이 높기 때문인 것으로 판단된다.

추정방법별 적용대상 지점의 일 평균 기준작물 증발산량은 FcPn방법이 4.4mm/day로 FB-C방법 3.8mm/day, Harg방법 3.9mm/day보다 높게 나타났다. 이런 결과는 ASCE Manual 70(Jensen 등, 1990)에서 각 방법의 기준식(Reference ET equations)을 미국 캘리포니아를 비롯한 여러 실험대상지역에서 기준작물 알팔파에 대한 라이시미터 측정 증발산량과 이들 방법의 추정 증발산량의 비(Ratio)가 적용 전기간(All months) 동안은 FcPn방법이 121%로 FB-C, Harg방법의 108%보다 높게 나타났고, 절정기(Peak month)에도 FcPn방법 111%, FB-C방법 106%, Harg방법 101%로 FcPn방법이 FB-C, Harg방법 보다 높게 나타났다고 보고 한 것과 관련이 있다.

각 추정방법의 지점별 증발산량의 차는 FcPn방법이 진주가 가장 낮은 4.0mm/day 목포가 가장 높은 4.8mm/day로 0.8mm/day, FB-C방법은 속초, 수원, 진주 등 3개 지점에서 3.6mm/day로 낮고 추풍령, 포항, 목포 등 3개지점에서 4.1mm/day로 높게 산정되어 그 차이가 0.5mm/day이며, Harg방법은 속초가 가장 낮은 3.1mm/day 추풍령이 가장 높은 4.4mm/day로 그 차이가 1.3mm/day로 가장 큰 차이를 나타냈다. 이는 Harg방법이 FcPn방법과 FB-C방법에 비해 적용 기상인자가 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다.

또한, <Table 2, 3, 4>에서 각 방법과 적용 기상인자들과의 관계에서 FcPn, FB-C방법이 어느 특정기상인자에 의한 연관성이 적은 반

면 Harg방법은 평균기온과 밀접한 관련성을 나타냈다.

V. 결 론

본 연구는 기상자료의 이용가능 현황, 경·위도 및 지역 등을 고려하여 전국 13개 관측지점을 선정하였으며, 이들 지점의 '69년~'98년까지 30년간 기준작물의 생육기간으로 판단되는 4월~10월까지 7개월 동안의 총 강우량을 빈도해석에 의해 한발 10년 빈도의 계획기준년을 선정하여, 그 계획기준년의 7개월 일 기상자료를 REF-ET 모형에 적용 증발산량을 산정하여 적용지점 및 방법으로 비교·검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 7개월 총 강우량을 빈도분석 한 결과 목포, 대구, 포항지역이 각각 525.5mm, 565.5mm, 576.0mm로 낮고, 춘천, 수원, 속초지역이 각각 774.0mm, 767.0mm, 763.0mm의 순으로 높게 나타났다.

2. 지점별 추정 증발산량은 방법별로 차이는 있으나, 진주와 수원지역이 FcPn방법 4.0~4.1mm/day, FB-C방법 3.6mm/day로 낮고, 목포와 포항지역이 FcPn방법 4.7~4.8mm/day, FB-C방법 4.1mm/day로 높게 나타났다.

3. 추정방법별 평균기준작물 증발산량은 FcPn방법이 4.4mm/day로 B-C방법 3.8mm/day, Harg방법 3.9mm/day 보다 높게 나타났으며, 각 방법의 지점별 차는 FcPn방법 0.8mm/day, FB-C방법 0.5mm/day, Harg방법 1.3mm/day로 Harg방법이 가장 큰 차를 나타냈다.

참고문헌

1. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1993. 농지생산기반종합정비계획 수립요령. pp.170.

2. 농림부, 농어촌진흥공사. 1996. 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화연구 (II). pp.288.
3. 정상옥. 1997. 담수직파재배 논벼의 기준작물 잠재증발산량 산정방법별 작물계수의 변화, 한국농공학회지. 39(4) pp.114~121
4. 농어촌진흥공사. 1989. 소비수량산정방법별 실용화 연구. pp.184.
5. Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G., 1990, Evapotranspiration and Irrigation water Requirements, ASAE Manual No.70, pp.332, ASAE.
6. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. Irrigation and Drainage Paper No.24, FAO, Rome. pp.156.
7. Fervert, D. k., Hill, R. E and Braten, B. C. 1983. Estimating of FAO Evapotranspiration Coefficient. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 109(2) pp.265~270. ASCE.
8. Skaggs, R. W. and Gregory, J. D. 1995. Comparision of methods for Estimating REF-ET. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 121(6) pp.427~435. ASCE.
9. Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L., and Burman, R. D. 1989 Operationnal estimates of reference evapotranspiration. Agronomy Journal 81, pp.650~662.
10. Allen, R. G. and pruit, W. O, 1992. FAO-24 reference evapotranspiration factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 117(5) pp.758~773. ASCE.
11. Hargeaves, G. H. and Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture 1(2), pp.96~99.