

## 빈도 분석법을 이용한 논벼의 한발 기준 10년 빈도 작물 증발산량 산정

### Estimating Paddy Rice Evapotranspiration of 10-Year Return Period Drought Using Frequency Analysis

유승환\* · 최진용\*\*† · 장민원\*\*\*

Yoo, Seung-Hwan · Choi, Jin-Yong · Jang, Min-Won

#### Abstract

Estimation of crop consumptive use is a key term of agricultural water resource systems design and operation. The 10-year return period drought has special aspects as a reference period in design process of irrigation systems in terms of agricultural water demand analysis so that crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) about the return period also has to be analyzed to assist understanding of crop water requirement of paddy rice. In this study, The ET<sub>c</sub> of 10-year return period drought was computed using frequency analysis by 54 meteorological stations. To find an optimal probability distribution, 8 types of probability distribution function were tested by three the goodness of fit tests including  $\chi^2$  (Chi-Square), K-S (Kolmogorov-Smirnov) and PPCC (Probability Plot Correlation Coefficient). Optimal probability distribution function was selected the 2-parameter Log-Normal (LN2) distribution function among 8 distribution functions. Using the two selected distribution functions, the ET<sub>c</sub> of 10-year return period drought was estimated for 54 meteorological stations and compared with prior study results suggested by other researchers.

*Keywords* : Potential evapotranspiration(PET), Crop evapotranspiration, FAO Penman-Monteith, 10-year return period, Frequency analysis

#### 1. 서 론

우리나라 전체 수자원의 48%를 차지하는 농업용수는 자연적, 사회적 및 인위적인 요인에 의해 가용수 자원의 공급비율이 감소하는 추세에 있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 농업용수의 실제사용량에 대한 효율성을 높이는 관리방식으로서의 개선과 함께 종합

적인 물관리의 필요성이 강조되고 있는 실정이다. 이를 위해서는 농업용수의 정확한 수요 분석이 선행되어야 한다. 즉, 정확한 농업용수 수요량을 산정한다는 것은 농업용수개발과 물의 효율적인 관리계획 수립에 있어서 대단히 중요한 사항이다.

우리나라에서는 농업용수 수요량 산정 시 관계계획 기준치(설계빈도)는 원칙적으로 지구의 가뭄피해 자료에 따라 결정하지만 보통 10년 빈도 한발(10년에 한 번 일어날 정도의 한발)을 극복할 수 있도록 결정한다. 설계 기준에 의하면 관계계획기준치를 구하는 방법에는 크게 10년 빈도에 해당하는 계획기준년을 선정하여 구하는 방법과 전체 관측 자료로 10년 빈도에

\* 서울대학교 조경 · 지역시스템공학부 대학원

\*\* 서울대학교 조경 · 지역시스템공학부 조교수

\*\*\* 서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4583

Fax: +82-2-873-2087

E-mail address: iamchoi@snu.ac.kr

해당되는 값을 확률 계산하는 방법 두 가지로 나눌 수 있는데, 이 두 방법 중 전체 관측 자료에 대하여 통계와 확률이론으로 10년 빈도의 관계계획기준치를 구하는 방법이 더 합리적이라고 추천하고 있다(농림부, 1998). 관계수량의 결정에는 증발산량, 침투량, 재배 관리용수량, 시설관리용수량, 유효수량 등의 여러 인자를 고려해야 한다. 이 중에서도 생육단계나 기상 조건에 따라 그 변화가 심한 증발산량은 관계수량 산정의 기본 요소이므로 정확한 산정이 필수적이다(유승환 등, 2006). 따라서 농업용수 수요량 산정 시 기초가 되는 증발산량에 대해서 전 자료 기간으로부터 작물증발산량을 계산하고, 확률 분석을 통한 관계계획기준치에 해당되는 작물증발산량을 산정하는 것이 합리적일 것이다.

10년 빈도에 해당하는 작물증발산량을 산정하기 위하여 지금까지 여러 연구가 진행되어 왔다. 정하우 등(1989)은 수원지방의 기상자료를 이용하여 수도생육기간에 대한 과우빈도를 월별, 순별 및 반순별로 확률과우일수를 결정하고 이를 근거로 한 순별 및 반순별 기대증발산량(probable evapotranspiration)을 빈도별로 산정하였다. 김현수와 정상욱(1998)은 전국 13

개 기상관측 지점의 강우자료를 빈도 분석하여 지점별 관계계획기준년을 선정하고 계획기준년의 일별 기상자료를 이용, 기준작물에 대한 증발산량을 추정하였다. 하지만 이러한 연구들은 작물 증발산량을 시계열로 구성하여 빈도분석을 실시한 것이 아닌 강수량 자료를 바탕으로 한 빈도분석을 실시하여 간접적으로 10년 빈도 증발산량을 산정하였다.

본 연구에서는 각 지역별, 논벼의 한발 기준 10년 빈도 작물증발산량을 산정하기 위하여 전국 54개 측후소를 대상으로 1975~2004년까지의 관계 기간(6월 초순~9월 초순) 동안의 논벼의 작물증발산량을 시계열로 구성하고, 빈도해석을 실시하였다. 이를 위해 논벼의 작물증발산량의 빈도 해석 시 선택하여 사용할 수 있는 적정 확률분포형을 선정하기 위하여 8가지 이론 확률분포에 대한 적합도 검정을 실시하였다. 또한 본 연구 결과를 강우량을 바탕으로 한 기존 10년 빈도 증발산량 연구 결과와 비교·검토하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상 지역 선정

우리나라 전체 77개 기상측후소 중 지리적, 환경적 차이가 있는 섬 지역을 제외한 한반도 내에 위치한 대상측후소 중 30년 이상 기상 관측이 이루어진 지역으로 제한하여 대상 지역을 선정하였다. 따라서 제주도 에 위치한 측후소 4개소, 기타 도서에 위치한 7개소, 30년 미만 관측이 이루어진 12개소를 제외한 54개소를 대상 지역으로 선정하였다. Fig. 1은 본 연구에서 선정된 지역을 나타낸 그림이다.

### 2. 작물 증발산량 산정

#### 가. 잠재증발산량

본 연구에서는 국제식량농업기구에서 1998년에 추천한 FAO Penman-Monteith 공식을 이용하여 잠재증발산량을 산정하였다. 이 방법은 1965년에 제안된 Penman 공식을 보완한 방법으로 공기동역학 조건에 작물형(crop type)에 따른 기공저항(stomatal resistance)을 포함하여 수정한 방법이다. 기공 저항은 엽

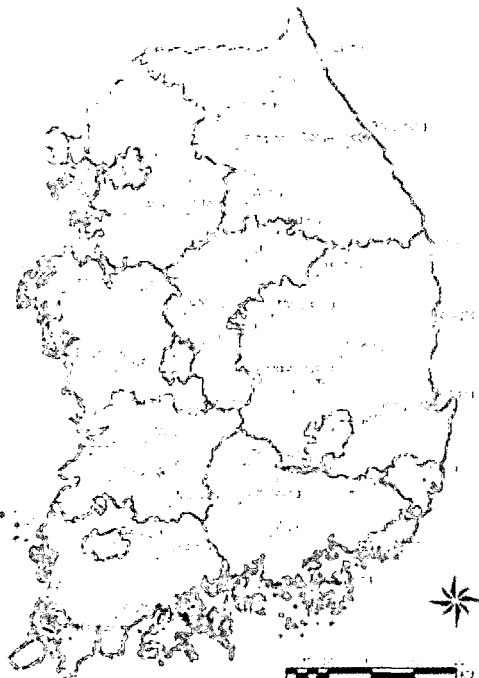


Fig. 1 Meteorological station

온과 밀접한 관련이 있는 것으로 공기동역학항에 온도에 의한 식이 추가되어 있다. 이 공식은 다음과 같다(Allen et al., 1998).

$$PET = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

여기서,  $PET$  = 잠재증발산량(mm/day),  $\Delta$  = 증기압 곡선의 기울기(kPa/°C),  $R_n$  = 순일사량(MJ/m<sup>2</sup>day),  $G$  = 토양 열 유속 밀도(MJ/m<sup>2</sup>day),  $\gamma$  = 건습계 상수(kPa/°C),  $T$  = 2 m 높이에서 일평균기온(°C),  $u_2$  = 2 m 높이에서 풍속(m/s),  $e_s$  = 포화증기압(kPa),  $e_a$  = 실제증기압(kPa)이다.

#### 나. 작물증발산량

논벼의 작물증발산량을 산정하기 위하여 Table 1의 작물계수를 사용하였는데 이 작물계수는 FAO Penman-Monteith 공식을 바탕으로 논벼의 작물계수를 산정한 것으로, 이앙 후 경과 일수에 따라 그 값이 결정된다(유승환 등, 2006). 따라서 이 작물계수를 적용하기 위하여 이앙일을 5월 말일로, 관개 기간은 6월 초순~9월 초순(102일)으로 가정하였다.

### 3. 빈도 분석

#### 가. 시계열자료 작성

본 연구에서는 빈도분석을 이용한 지역별 한발 기준 10년 빈도 작물증발산량을 산정하기 위하여 시계열을 작성하였다. 이를 위해서 54개 지역의 기상자료를 이용하여 지난 30년(1975~2004년)동안의 일별 작물증발산량을 산정하였다. 산정 결과 중 관개 기간(6월 초순~9월 초순)동안의 작물증발산량의 합을 이용하여 시계열을 작성하였다. Fig. 2는 본 연구에서 이루어진 빈도분석 과정을 나타낸 것이다.

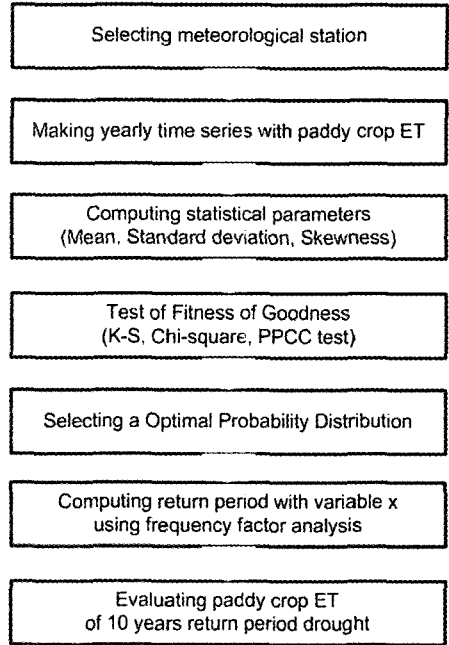


Fig. 2 Flowchart of Frequency Analysis

#### 나. 적정 확률분포형의 선정

일반적으로 각종 수문사상의 통계학적 특성을 구명하기 위하여 여러 가지 이론적인 확률분포형이 사용된다. 이러한 이론 확률분포형은 자연현상을 틀림없이 정확하게 표시할 수는 없지만 단지 어떤 현상의 관측자료를 이용하여 적합한 이론 확률분포형에 맞추므로써 그 현상의 특성을 유추하고 앞으로의 발생양상을 예측할 수 있다(윤용남, 2002). 따라서 본 연구에서는 가장 적합한 확률분포형을 선정하기 위하여 2변수 Gamma 분포형(GAM2), 3변수 Gamma 분포형(GAM3), GEV 분포형(GEV), Gumbel 분포형(GUM), 2변수 Log-normal 분포형(LN2), 3변수 Log-normal 분포형(LN3), 2변수 Weibull 분포형(WBU2), 3변수 Weibull 분포형(WBU3) 등 8개 분포에 대하여 L-moment 법을 이용하여 매개변수를 추정하고, 적합도 검정을 실시하였다.

Table 1 Crop coefficient ( $K_c$ ) of paddy rice for FAO Penman-Monteith

10-Days (days)	6-E (0~10)	6-M (11~20)	6-L (21~30)	7-E (31~40)	7-M (41~50)	7-L (51~61)	8-E (62~71)	8-M (72~81)	8-L (82~92)	9-E (93~100)
$K_c$	0.78	0.97	1.07	1.16	1.28	1.45	1.50	1.58	1.46	1.45

다. 적합도 검정

임의의 이론 확률분포형에 대한 적합도 검정은 그 확률분포의 상대도수함수와 누가도수함수의 이론값과 표본값을 비교하여 그 정도를 판별하게 된다. 본 연구에서는 적정 확률분포형을 찾기 위한 적합도 검정 방법으로  $\chi^2$ (Chi-Square) 검정, Kolmogorov-Smirnov (K-S) 검정, 확률도시 상관계수 검정 방법(PPCC, Probability plot correlation coefficient)을 사용하였다. 사용된 3가지 검정법에 대하여 간단히 살펴보면 다음과 같다.  $\chi^2$ -검정 방법은 가정한 이론확률밀도함수와 근집화된 자료를 이용한 빈도해석을 통하여 구해지는 경험적 확률밀도함수를 비교하는 검정 방법으로 자료의 크기에 의해  $m$ 개의 계급구간으로 나누고 이론값과 자료값의 절대도수를 비교하는 방법이다. K-S 검정 방법은  $\chi^2$ -검정 방법과는 달리 확률밀도함수 대신 누가분포함수에 대해 검정하는 방법으로 표본자료의 누가분포함수와 가정한 이론 확률분포의 누가분포함수를 비교하여 양자의 최대편차 크기로 기각 여부가 결정된다. 또한 PPCC 검정 방법은 유의수준 및 자료의 크기에 따른 검정통계량을 유도하여 검정하는 방법으로, 자료의 적모멘트 상관계수를 이용하여 적합도 검정을 수행하는 방법이다.

라. 빈도계수법

적합도 검정을 통하여 적정 확률분포형을 구한 후,

한발 기준 10년 빈도 작물 증발산량을 산정하기 위하여 빈도계수법을 이용하였다. 빈도계수법은 Chow에 의해 제안된 빈도계수식을 사용하여 적정 확률분포형에 적용함으로써 특정 재현기간을 가지는 변량을 결정할 수 있다. 이 식을 적용하기 위해서는 특정 재현기간에 상응하는 빈도계수를  $K_T \sim T$  관계로부터 구하여  $x_T$ 의 크기를 결정한다(Chow, 1951).

$$x_T = \bar{x} + sK_T \tag{2}$$

여기서,  $x_T$ 는 재현기간  $T$ 에 대한 확률값,  $\bar{x}$ 와  $s$ 는 자료의 평균과 표준편차,  $K_T$ 는 빈도계수이다.

III. 결과 및 고찰

가. 논벼의 작물증발산량 산정

한발 기준 10년 빈도 작물증발산량을 산정하기 위하여 연구 대상 측후소로 선정된 54개 측후소에 대하여 FAO Penman-Monteith 공식을 이용하여 1975년부터 2004년간의 일별 잠재증발산량을 산정하였다. 이 결과를 바탕으로 논벼의 작물 계수를 곱하여 작물증발산량(ETc)을 산정하였다. Fig. 3은 54개 지역 중 9개 지역의 관개 기간(6월 초순~9월 초순) 동안의 순별 평균 작물증발산량을 나타낸 것이다. 이 결과를 살펴보면, 모든 지역에서 관개 기간 동안 중

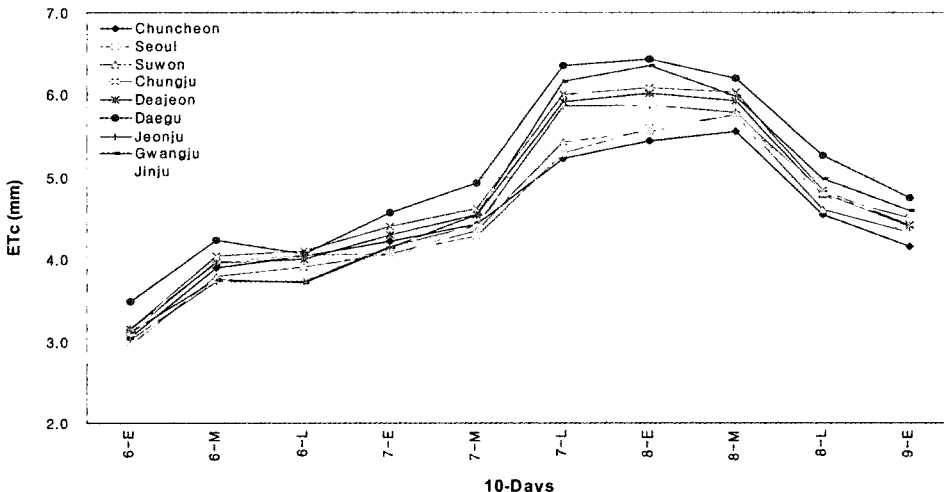


Fig. 3 30 years average 10-days crop evapotranspiration in 9 selected regions

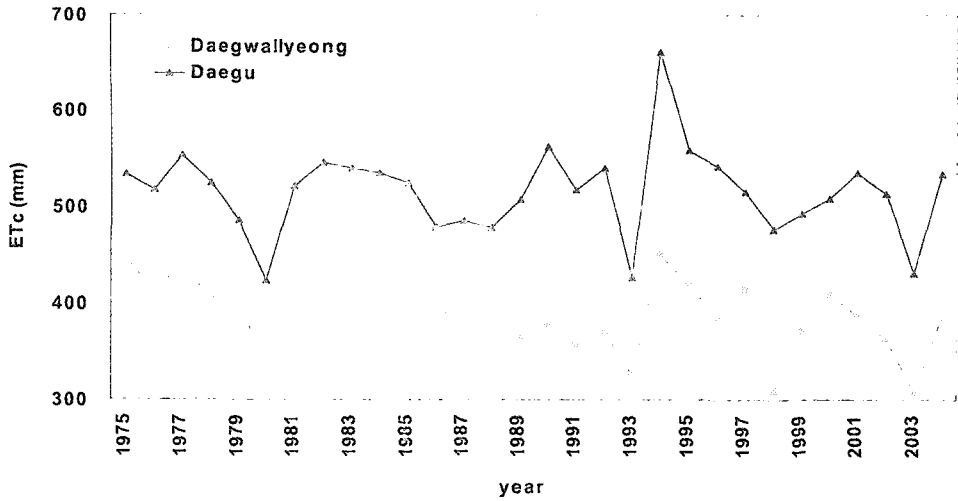


Fig. 4 Paddy crop evapotranspiration in Daegu and Daegwallyeong (1975~2004)

6월 초순에 가장 작은 작물증발산량을 나타내었고, 6월 중순부터 7월 중순까지 서서히 증가하였다. 하지만 7월 중순과 7월 하순 사이에 크게 증가한 후 7월 중순과 8월 중순 사이에 최대값을 나타내고 8월 하순부터 크게 감소하는 경향을 보였다. 관개 기간 중 최대값은 8월 초순에 대구 지역에서 6.43 mm로, 최소값은 6월 초순에 진주 지역에서 2.92 mm로 나타났다.

나. 시계열 작성

산정된 1975~2004년의 일별 작물증발산량의 결과를 관개 기간(6월 초순~9월 초순) 동안의 총합을 이용하여 각 지역별로 시계열을 작성하였다. 그리고 각 지역별 30개의 시계열에 대하여 각각의 평균, 최대, 최소, 표준편차, 분산도 및 왜곡도 등의 확률매개변수를 구하였다. 54개 지역의 30년 평균은 최소 387.9 mm(대관령)~최대 514.5 mm(대구) 범위로 나타났다. Fig. 4는 대구와 대관령 지역의 작물증발산량의 시계열을 연도별로 나타낸 것으로 최대값은 두 지역 모두 1994년에 각각 660.6 mm, 449.9 mm, 최소값은 대구 지역은 1980년에 423.2 mm, 대관령 지역은 2001년에 307.5 mm이었다.

다. 적합도 검정

작성된 시계열을 바탕으로 L-moment 법을 이용하여 8개의 분포형에 따른 매개변수를 추정하였다. 추

정된 이론 확률분포형에 대하여 지역별로 유의수준 5%의 적합도 검정을 실시하였는데 그 결과는 Fig. 5와 같다. 적합도 검정 결과를 살펴보면 GAM2와 GAM3 분포형의 경우, PPCC 검정에서 각각 54, 47지역에서 기각되었다. GEV, GUM 및 LN3 분포형은 K-S 검정에서는 모든 지역이 유의수준 5% 모두 만족하였지만,  $\chi^2$ (Chi-square)와 PPCC 검정에서 12~35여 지역이 만족하지 못하는 결과를 보였다. 한편 WBU2와 WBU3 분포의 경우, 3가지 검정 방법을 모두 만족하지 못하는 지역이 각각 10지역( $\chi^2$  검정-4지역, PPCC 검정-6지역, 중복지역 포함)과 13지역( $\chi^2$  검정-6지역, K-S 검정, 2지역, PPCC 검정-5지역, 중복지역 포함)이었다. 한편 LN2 분포의 경우, 3가지 검정 방법을 모두 만족하지 못하는 지역이 8지역( $\chi^2$  검정-4지역, PPCC 검정-4지역, 중복지역 포함)으로, 8개 확률분포형 중 가장 많은 지역에서 유의 수준 5% 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

LN2와 WBU2 분포의 적합도 검정 결과를 지역별로 자세히 살펴보면 LN2 분포형의 경우,  $\chi^2$ 검정은 3지역(이천, 홍천, 해남), PPCC 검정은 2 지역(대구, 천안),  $\chi^2$  및 PPCC 검정은 1지역(대전) 등 총 7지역에서 유의수준 5%를 만족하지 못하였다. 반면에 WBU2 분포형의 경우에는  $\chi^2$ 검정은 2지역(대전, 보은), PPCC 검정은 4지역(충주, 광주, 인제, 천안),  $\chi^2$  및 PPCC 검정은 2지역(대구, 홍천) 등 총 8개 지역에서 유의

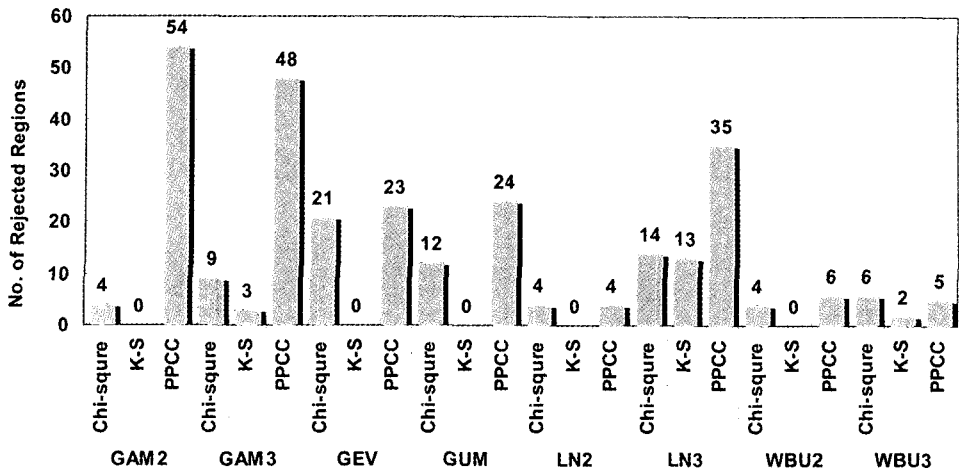


Fig. 5 Result of fitness of goodness test (significance level  $\alpha = 5\%$ )

수준 5%를 만족하지 못하였다. 두 분포형 모두 다른 분포형에 비하여 상대적으로 좋은 결과를 나타내고 있지만 그 중 더 많은 지역에서 적합도 검정을 만족한 LN2 분포형을 적정 확률분포형으로 선정하였다.

라. 한발 기준 10년 빈도 작물증발산량 적합도 검정을 통하여 적정 확률분포형으로 선정

된 LN2 분포형을 이용, 빈도계수법으로 54개 지역에 대하여 논벼의 한발 기준 10년 빈도 작물증발산량을 산정하였는데 그 결과는 Table 2와 같다. 또한 확률 분포형에 따른 값의 차이를 살펴보기 위하여 WBU2 분포형의 10년 빈도값도 산정하여 함께 나타내었다. LN2 확률분포형의 경우, 최대값은 부여 지역에서 586.7 mm, 최소값은 대관령 지역에서 441.5 mm로 나타났

Table 2 10 year return period drought ETc in 54 regions

(unit: mm)

region	LN2	WBU2	region	LN2	WBU2	region	LN2	WBU2
Sokcho	469.9	464.2	Ulsan	529.3	521.7	Imsil	536.3	525.5
Daegwallyeong	441.5	432.0	Gwangju	538.5	533.3	Jeongeup	565.1	552.6
Chuncheon	492.0	488.0	Busan	552.2	541.9	Namwon	523.5	520.3
Gangneung	506.7	502.9	Tongyeong	522.3	514.5	Suncheon	508.9	506.1
Seoul	511.4	507.7	Mokpo	565.7	554.2	Jangheung	518.4	513.1
Incheon	512.6	506.7	Yeosu	548.8	539.9	Haenam	567.6	557.4
Wonju	539.0	532.6	Jinju	516.3	511.6	Goheung	572.1	560.8
Suwon	503.6	499.2	Yangpyeong	531.0	522.5	Yeongju	540.7	530.8
Chungju	533.0	528.5	Icheon	538.6	528.8	Mungyeong	562.8	548.6
Seosan	501.2	497.5	Inje	506.7	499.1	Yeongdeok	560.0	547.9
Uljin	523.1	512.2	Hongcheon	506.2	504.5	Uiseong	529.1	517.5
Cheongju	536.4	529.3	Jecheon	519.6	515.8	Gumi	531.0	521.4
Daejeon	535.1	525.7	Boeun	533.0	526.6	Yeongcheon	535.2	527.0
Chupungnyeong	501.4	492.3	Cheonan	571.7	561.7	Geochang	529.5	519.4
Pohang	546.2	538.2	Boryeong	567.0	561.2	Hapcheon	542.2	533.2
Gunsan	537.3	527.5	Buyeo	586.7	574.3	Miryang	540.4	531.1
Daegu	574.3	569.9	Geumsan	540.7	531.9	Sancheong	519.3	512.4
Jeonju	509.4	504.6	Buan	480.7	467.8	Namhae	554.4	543.3

**Crop Evapotranspiration**  
(10 year return period, LN2)

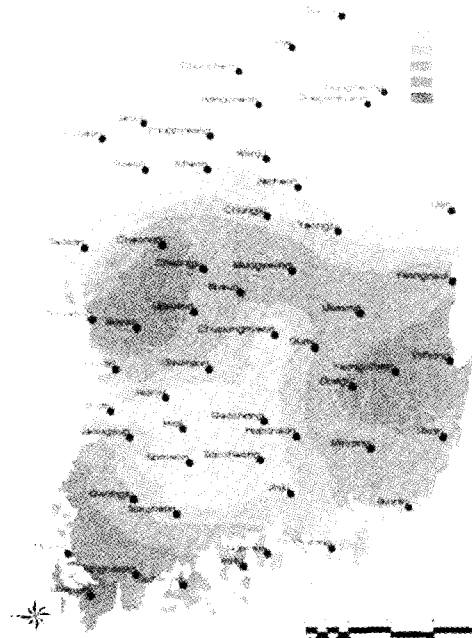


Fig. 6 10 year return period drought ETc (LN2).

**Crop Evapotranspiration**  
(10 year return period, WBU2)

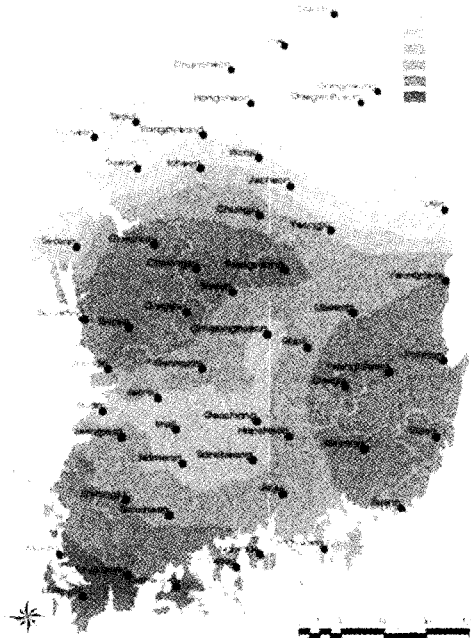


Fig. 7 10 year return period drought ETc (WBU2)

다. 또한 WBU2 확률분포형도 LN2 분포형과 마찬가지로 부여와 대관령에서 각각 최대값 574.3 mm, 최소값 432.0 mm를 나타내었다. Fig. 6~7은 전국 54개 지역에서 산정된 10년 빈도 작물증발산량을 이용하여 공간 분포를 나타낸 것이다. 10년 빈도 작물증발산량의 분포를 살펴보면 부여를 중심으로 한 충청남도 지역, 대구, 포항을 중심으로 한 경상북도 지역, 해남 지역을 중심으로 남해안 일부 지역에서 큰 값을 나타내었고, 강원도 지역이 가장 작은 값을 보였다. 추풍령, 거창, 남원 지역을 중심으로 한 일부 지역이 주변 지역보다 상대적으로 작은 경향을 나타내었다.

두 확률분포형에 따라 산정된 10년 빈도 작물증발산량을 비교해보면, LN2 분포형(530.8 mm)이 WBU2 분포형(522.9 mm)보다 모든 지점에서 더 큰 값을 나타내었는데 평균적으로 약 7.9 mm 더 크게 산정되었다. 가장 큰 차이를 나타낸 곳은 문경 지역으로 LN2 분포형이 14.2 mm 더 크게 산정되었다.

마. 한발 기준 10년 빈도 작물증발산량 비교

기존에 이루어진 두 번의 10년 빈도 작물증발산량 산정 연구 결과를 살펴보면 다음과 같다. 수원 지역을 대상으로 빈도별 반순 및 순기간의 확률과우일수와 실측증발산량(1982~1986년)을 이용하여 구한 반순 및 순기간의 10년 빈도 기대증발산량(probable evapotranspiration)은 각각 771.2 mm, 755.2 mm이다(정하우 등, 1989). 또한 전국 13개 기상관측 지점의 강우자료를 빈도분석법으로 분석하여 관계계획 기준년을 선정하고 계획기준년의 일별 기상자료를 적용, 기준작물에 대한 증발산량을 추정한 결과는 Table 3과 같다. Table 3은 지점별 기준년도(design year)와 추정방법별 기준 작물생육기간(4~10월)인 7개월 동안의 일평균 기준증발산량(ET<sub>c</sub>)을 나타낸 것이다(김현수와 정상옥, 1999). 또한 Table 3에는 1986년에 산정된 북부, 중부, 남부 지역의 FAO Modified Penman(FMP)과 FAO Blaney-Cridle(FBC) 공식의 논벼 작물계수(K<sub>c</sub>)를 이용하여(정하우, 1986), 본 연구에서 정한 관계기간 동안의 논벼의 작물 증발산량(ET<sub>c</sub>) 산정하여 그 결과를 나타내었다.

Table 3 10 year return period  $ET_c$  in 13 regions (adapted from Kim & Chung, 1999) (unit: mm)

region	Design year	$ET_o$ (avg.)		$K_c$ (avg.)		$ET_c$		
		FMP <sup>1)</sup>	FBC <sup>2)</sup>	FMP	FBC	FMP	FBC	FPM <sup>3)</sup>
Sokcho	1988	4.2	3.6	1.11	0.87	475.5	319.5	469.9
Chuncheon	1977	4.3	3.9	1.11	0.87	486.8	346.1	492.0
Suwon	1982	4.1	3.6	1.31	0.80	547.8	293.8	503.6
Seosan	1982	4.3	4.0	1.31	0.80	574.6	326.4	501.2
Cheongju	1973	4.4	3.8	1.31	0.80	587.9	310.1	533.0
Chupungnyong	1994	4.6	4.1	1.31	0.80	614.7	334.6	501.4
Pohang	1982	4.7	4.1	1.09	0.86	522.5	359.7	546.2
Gunsan	1976	4.6	3.8	1.09	0.86	511.4	333.3	537.3
Daegu	1976	4.5	4.0	1.09	0.86	500.3	350.9	574.3
Ulsan	1971	4.3	3.7	1.09	0.86	478.1	324.6	529.3
Gwangju	1988	4.6	4.0	1.09	0.86	511.4	350.9	538.5
Mokpo	1992	4.8	4.1	1.09	0.86	533.7	359.7	565.7
Jinju	1977	4.0	3.6	1.09	0.86	444.7	315.8	516.3

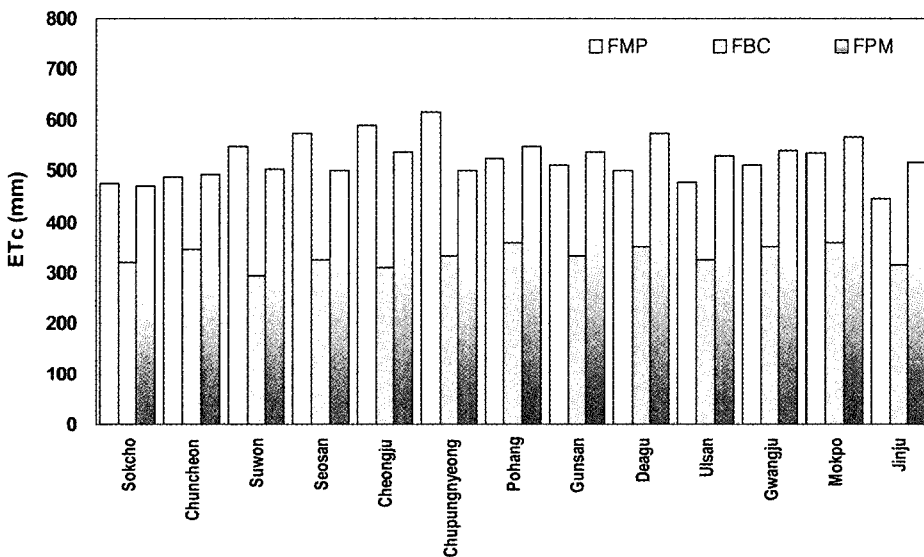
1) FMP: FAO Modified Penman (Kim & Chung, 1999)

2) FBC: FAO Blaney-Criddle (Kim & Chung, 1999)

3) FPM: FAO Penman-Monteith (this study's result)

기존에 산정된 10년 빈도 작물증발산량과 본 연구에 산정된 결과를 비교해보면, Fig. 8과 같다. 수원 지역의 반순 및 순기기간의 기대 증발산량의 경우, 본 연구 결과에 비하여 각각 153.1%, 150.0% 크게 산정되어 큰 차이를 나타내었다. 반면에 계획기준년을

바탕으로 한 증발산량과 비교해보면, FAO Blaney-Criddle의 경우 본 연구 결과와 비교하여 모든 지역에서 작게 산정되었는데 평균적으로 기존 연구 결과가 36.4% 작게 산정되어 큰 차이를 보였다. FAO Modified Penman의 경우, 수원, 속초, 서산, 청주, 추



FMP: FAO Modified Penman (Kim & Chung, 1999), FBC: FAO Blaney-Criddle (Kim & Chung, 1999), FPM: FAO Penman-Monteith (this study's result)

Fig. 8 Comparisons of 10 year return period  $ET_c$  with prior study results



풍령 지역에서는 본 연구 결과가 기존 연구결과보다 작게 산정되었고, 그 외 8지역에서는 반대의 경향을 나타내었다. 두 연구 결과, 가장 작은 차이를 나타낸 곳은 춘천 지역으로 약 5.2 mm 정도의 차이를 나타내었다. 반면에 가장 큰 차이를 나타낸 곳은 추풍령 지역으로 113.3 mm 정도의 차이를 나타내었다. 지역 별로 나누어 차이를 살펴보면 북부 지방(속초, 춘천)의 경우 평균적으로 약 1% 정도의 차이를 나타내었고, 중부 지방(수원, 서산, 청주, 추풍령)의 경우 본 연구 결과가 평균 15.6%정도 작게 산정되었고, 남부 지방(포항, 군산, 대구, 울산, 광주, 목포, 진주)의 경우 평균 8.0% 크게 산정되었다. 즉 북부 지방의 경우 두 연구가 비슷한 경향을 나타내었지만, 중부 지방의 본 연구 결과가 기존 연구 결과보다 큰 경향을 보였고, 남부 지방의 경우 반대 경향을 나타내었다. 또한 전체적으로는 약 8.8%의 차이를 보이지만, 앞의 기존 연구 결과와 비교하여 상대적으로 비슷한 결과를 나타내었다. 동일한 계획기준년을 대상으로 한 FAO Blaney-Criddle의 공식의 경우, FAO Modified Penman 공식의 연구 결과 및 본 연구 결과와 비교하여 현저히 작은 값을 나타내었는데, 이는 FAO Blaney-Criddle 공식이 공식 특성상 기온을 주요 인자로 하여 증발산량을 산정하기 때문에 우리나라의 다양한 기상 조건을 반영하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 농업용수 수요량 산정에 기초가 되는 작물증발산량에 대하여 통계 분석을 통한 관계계획기준치에 해당되는 작물증발산량을 산정하기 위하여 빈도 분석법을 통한 논벼의 한발 기준 10년 빈도 작물증발산량을 산정하였다.

1) 우선 전국 54개 측후소를 대상으로 1975~2004년까지의 관개 기간(6월 초순~9월 초순) 동안의 논벼의 작물증발산량을 산정하고, 각 측후소별 시계열을 작성하였다.

2) 시계열 자료를 바탕으로 한발 기준 10년 빈도 작물증발산량 산정에 필요한 적정 확률분포형을 선정하기 위하여 GAM2, GAM3, GEV, GUM, LN2, LN3,

WBU2, WBU3 등 8가지 분포형에 대하여  $\chi^2$ , K-S 및 확률도시 상관계수(PPCC)법을 이용한 적합도 검정을 실시하였다.

3) 적합도 검정 결과 LN2(2변수 Log Normal) 분포가 가장 적합한 것으로 판단되어 이 분포를 적정 확률분포로 선정하고, 빈도계수법을 이용하여 각 측후소별 한발 기준 10년 빈도 작물증발산량을 산정하였다.

4) 논벼의 한발 기준 10년 빈도 증발산량을 살펴보면 부여를 중심으로 한 충청남도 지역, 경상북도 지역, 남해안 일부 지역에서 큰 값을 나타내었고, 강원도 지역이 작은 값을 보였다. 또한 최대값은 부여 지역에서 586.7 mm로 나타났고, 최소값은 대관령에서 441.5 mm 나타났다. 또한 확률분포형에 따른 차이를 살펴보기 위하여 WBU2(2변수 Weibull) 분포의 10년 빈도값을 산정하여 비교한 결과, LN2 분포의 결과가 평균적으로 7.9 mm더 크게 산정되었다.

5) 본 연구 결과를 기존에 연구 결과와 비교하였는데, 과우일수를 분석하여 산정된 10년 빈도 기대증발산량의 경우, 본 연구 결과와 비교하여 150% 이상 큰 값을 나타내었고, 강우량을 분석하여 산정된 10년 빈도 기준작물증발산량의 경우, FAO Blaney-Criddle 방법으로 산정된 결과는 본 연구 결과와 비교하여 42.3% 작게 산정되었지만, FAO Modified-Penman 방법의 경우에는 본 연구 결과와 비교적 비슷한 경향을 나타내었다.

#### References

1. 기상청, 1975-2004, 기상연보
2. 김현수, 정상옥, 1999. 우리 나라 주요지점의 기준작물 증발산량 산정과 비교, 한국관개배수 Vol. 6, No. 2, pp. 37~46
3. 농림부, 1998. 농업생산기반정비사업계획설계기준 관계편(기준 및 편람)
4. 윤용남, 2002. 공업수문학, 청문각
5. 유승환, 최진용, 장민원, 2006. 논벼에 대한 Penman-Monteith와 FAO Modified Penman 공식의 작물계수 산정, 한국농공학회 Vol. 48, No. 1, pp. 13~23

6. 정하우, 1986. 작물 소비수량 산정방법의 정립, 농수산부 & 농업진흥공사
7. 정하우, 박성우, 김성준, 1989. 수원지방의 확률과우일수를 이용한 기대증발산량의 산정, 한국농공학회 Vol. 31, No. 4, pp.81~89
8. Allen, R. G., L. S. Periera, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements, Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
9. Chow, V. T., 1951. A general formula for hydrologic frequency analysis, Transactions, American Geophysical Union, Vol. 32, pp. 231~237