

# 가뭄대책 행정지원을 위한 지역는가뭄평가모형 ADEM의 개발

장민원<sup>\*</sup> · 정하우<sup>\*\*</sup> · 박기욱<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>서울대학교 대학원 · <sup>\*\*</sup>서울대학교 생물자원공학부

## Development of An Agricultural Drought Evaluation Model for Administrative Decision Support

Jang, Min-Won<sup>\*</sup> · Chung, Ha-Woo<sup>\*\*</sup> · Park, Ki-Wook<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Graduate School, Seoul National Univ.

<sup>\*\*</sup>School of Biological Resources and Materials Engineering, Seoul National Univ.

**ABSTRACT** : The objectives of this study are to develop an agricultural drought evaluation model based on administrative boundaries and to assist the effective drought-related decision-making of local governments. The model which was named ADEM(Administrative Drought Evaluation Model for Paddies) is designed to simulate daily water balance between available water quantities from various agricultural water facilities such as reservoirs, wells, pump stations, etc. and water requirements in paddies. And in order to numerically describe the agricultural drought severity, two indices were defined; One is ADFP (Agricultural Drought Frequency for Paddies) which is calculated with a frequency analysis of monthly water deficit, and the other is ADIP(Agricultural Drought Index for Paddies) with a scale of -4.2~+4.2. The developed model was applied to Yeosu district and showed good correspondence with the historical records of drought.

**Key words** : Agricultural drought, Drought evaluation

### 1. 서론

수자원이 충분하지 않은 우리나라는 매년 심각한 가뭄위험에 노출되어 왔고, 지금까지 안정적인 용수확보를 위한 계속적인 노력을 해 왔다. 전국에 걸쳐 약 18,000여개의(농림부, 농업기반공사, 2001) 저수지를 건설하였고, 관정, 보, 양수장 등 지역 실정에 따라 많은 수원공을 개발하였을 뿐만 아니라 이들을 관리하고, 효율적인 용수이용이 될 수 있도록 하기 위해 상당한 학문적, 기술적 노력과 연구를 병행해 왔다. 그러나 가뭄발생의 피해를 줄이고, 이를 극복하기 위해서는 시설자원의 확충이나 기술적 진보와 함께 행정적 지원체계의 효율화와 과학적인 대처 방안의 마련도 요구된다. 특히 가뭄발생시에 신속하고 빠르게 대처할 수 있는 가뭄대책 행정체계의 구축 여부는 가뭄극복을 위한 가장 중요

한 요인이다(Chung 등, 1997). 미국의 경우 NDMC(National Drought Mitigation Center)는 가뭄관련 연구와 자료관리/서비스를 하고 있으며, 가뭄발생시 가뭄상태를 평가, 안내하는 예경보체계를 구축하고, 각 가뭄단계별 행정지침을 마련하고 있다. 각 지방정부별로도 비슷한 기관들이 있어 가뭄대책 관련 정보와 행정을 지원하고 있다(Wilhite 등).

우리나라는 농림부를 중심으로 각 시군 자치단체와 농업기반공사에서 농업용수의 관리 및 농업가뭄대책 업무를 책임지고 있다. 그러나 비교적 전문가 그룹이라 할 수 있는 농업기반공사와는 달리 시군의 경우는 행정담당자들의 농업용수관리에 관한 기술적 훈련수준과 관심이 낮고, 해당 업무의 책임이 명확히 규정되지 않는 경우가 많다. 지역 가뭄대책의 행정 주체와 책임이 해당 시군 자치단체 혹은 농업기반공사 지부에 있는 상황에서 이들 관할지역별로, 즉 이들 행정책임 범위내의 가뭄대책의 수립과 시행을 위한 적절한 행정기준과 이를 뒷받침할 수 있는 기술적, 과학적 근거가 필요하

Corresponding author : Chung, Ha-Woo  
Tel : 02-880-4586  
E-mail : hwchung@snu.ac.kr

다. 무엇보다 해당 지역의 정확한 가뭄상황을 분석하고 평가할 수 있는 방법이 필요하며, 이를 바탕으로 한 지역 내에 있는 수리시설의 능력을 고려하여 관할지역의 가뭄을 평가할 때에 부족한 용수를 보완할 수 있는 적절한 가뭄대책과 이의 예산지원계획의 수립이 가능할 것이기 때문이다.

기존 행정기관에서 사용하는 가뭄분석 방법들인 월 강우량의 평년비(%)나 지역 평균저수율(%) (김현영 등, 1996, 안병기 등, 1998) 등은 계산이 간단하고 광역적인 가뭄 현황과 경향을 파악하는 데는 도움이 되지만, 기상학적 가뭄과 농업가뭄을 구분하기 어렵고 지역의 내한능력을 반영해서 해당지역에서 느끼는 실질적인 가뭄스트레스를 설명하기에는 부족하다 (Werick와 Whipple, 1994). 이들 방법 외에 농업가뭄을 분석하기 위하여 유역 유출량, 토양수분 (김상민, 1999, 배승중, 1998) 등의 수문학적 조건을 분석하는 방법 등도 있으나 행정적 요구보다는 학술적 필요에 의해 사용되는 경우가 대부분이다. 이 방법들의 대부분은 지역의 가뭄대책 노력으로 높아진 용수공급능력을 고려하지 않아 실제 가뭄발생의 영향을 제대로 반영하지 못하는 경우가 많다. 예를 들면, 하천양수가 주 수원인 지역의 경우 강수량 부족은 직접적인 가뭄발생의 원인이 아니다. 하천수량이 충분하고, 양수시설이 충분하다면 기상학적 가뭄의 영향을 받지 않는다. 또 작물의 생육단계 혹은 경작방법에 따라 필요한 용수량이 다르므로 동일한 기상조건과 수문조건이라도 시기에 따라 다른 의미로 해석되어야 한다. 못자리기간 동안과 모내기기간에 비록 동일한 강우량이 내리더라도 증발산량이 적고, 재배면적이 작은 못자리기간 보다는 모내기기간에 있어서 물이용에 제약이 클 수밖에 없다. 그리고 이러한 방법들은 비록 과학적 접근 방법을 따르고 있다 할지라도 행정적 측면에서, 또 영농적 측면에서 연계가 어려운 문제점을 가지고 있다.

그러므로 가뭄대책을 수립하고 추진하기 위해서는 실천적 의미에서의 농업가뭄분석과 평가 방법이 필요하며, 이것은 강수량뿐만 아니라 관할지역내 작물의 생육시기별 필요수량과 용수공급능력을 모두 고려할 수 있고 가뭄의 강도와 피해규모를 공간적으로 시간적으로 비교할 수 있어야 한다. 이러한 평가결과는 다시 지역간 비교와 판단을 통해서 가뭄대책행정의 우선순위와 예산배정에 유용하게 이용될 수 있다.

따라서 본 연구는 가뭄대책의 책임이 있는 지방자치단체가 관할지역의 가뭄대책을 합리적으로 수립하고 추진할 수 있도록 행정단위 농업가뭄 분석방법을 제안하고자 하며, 이에 지역의 필요수량과 용수공급능력을

평가하여 시기별 부족수량을 제시하고, 가뭄강도를 정량화하여 나타낼 수 있는 지역농가뭄평가모델 ADEM (Administrative Drought Evaluation Model for Paddies)을 개발하는데 목적이 있다.

## II. 모형의 개발

행정단위별 답작물 가뭄분석을 위하여 그림 1에서 보는 것과 같이 모형을 자료수집, 일별 물수지분석, 농업가뭄평가의 3단계로 구성하였고, ADEM (Administrative Drought Evaluation Model for Paddies)라 명명하였다. 먼저 해당지역의 입력자료를 수집하고, 일별 논물수지분석과 지역용수수급해석을 통하여 월별 부족수량을 산정한 후, 이들 월부족수량 시계열자료에 대하여 빈도분석을 실시한다.

### 1. 모형의 입력자료

본 모형에 사용되는 입력자료는 기상자료, 수원공자료, 영농자료 등 크게 3개 분류로 구분한다. 기상자료에는 일강수량을 비롯하여 상대습도, 풍속, 최고/최저온도, 일조시간 등과 기상관측소 정보가 포함되고, 영농자료는 지역별 이앙/관개기간, 모내기/경지면적, 물고높이 등 답 경작과 관련된 값이다. 지역의 용수공급능력의 평가

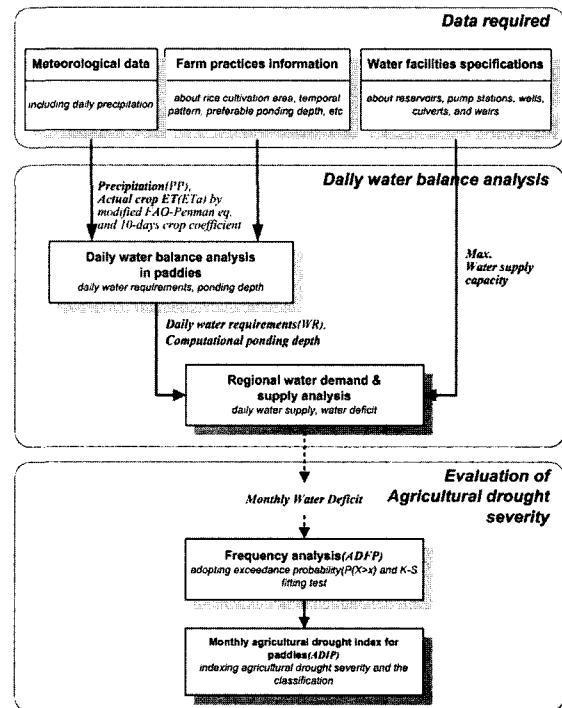


그림 1. A procedure diagram for ADEM

에 필요한 수원공 자료는 지역의 보유하고 있는 수원공의 수, 취수능력이며, 저수지, 양수장, 관정(암반/소형), 보, 집수암거 등이 그 대상이다. 각 자료는 행정기관의 현실적 제약을 감안하여 정부전산망 혹은 자체 통계자료에서 얻을 수 있는 항목들로 설정하였고, 이로써 모형의 현장 활용에 대한 실효성의 향상을 기대할 수 있다.

## 2. 일 논물수지분석 모형

논물수지분석은 포장내로 공급되는 용수와 증발산, 침투, 배수량의 대수적 관계로부터 일별 필요수량 및 담수심을 모의한다. 계측하기 어렵고 정의하기 힘든 지표유입량, 지하횡유입/출량 등을 제외하면 논물수지는 그림 2와 같이 간단히 나타낼 수 있고 식 (1)과 같이 정리된다.

$$IR(t) + PP(t) = ET_a(t) + DP(t) + SFO(t) + \Delta D(t) \quad (1)$$

여기서,  $IR(t)$ 는 t일의 관개량(mm/day),  $PP(t)$ 는 t일의 강수량(mm/day),  $ET_a(t)$ 는 t일의 작물증발산량(mm),  $DP(t)$ 는 t일의 강하침투량(mm),  $SFO(t)$ 는 지표유출량(mm/day),  $\Delta D(t)$ 는 t일의 담수심과 (t-1)일의 담수심의 차이이다.

t일의 담수심  $D(t)$ 는 다음 식 (2)로 계산되며, 이때  $\Delta D(t)$ 는 식 (3)과 같다.

$$D(t) = D(t-1) - ET_a(t) - DP(t) - SFO(t) + IR(t) + PP(t) \quad (2)$$

$$\Delta D(t) = D(t) - D(t-1) \quad (3)$$

이때  $IR(t)=0$ 으로 산정하여 담수심을 계산하고, 후에 지역 용수공급능력에 따라 결정된 관개량을 사용한다. 일별 물수지식으로부터 논물 필요수량( $REQ(t)$ )은 식 (2)의  $D(t)$ 가 0보다 작은 값을 갖게 될 때 발생하며 유효우량( $ER(t)$ )을 고려하여 식 (5)와 같이 결정한다.

$$\begin{aligned} REQ(t) &= ET_a(t) + DP(t) + SFO(t) - PP(t) - D(t-1) \\ &= ET_a(t) + DP(t) - ER(t) - D(t-1) \end{aligned} \quad (4)$$

$$ER(t) = PP(t) - SFO(t-1) \quad (5)$$

논에서의 일증발산량( $ET_a(t)$ )은 수정 FAO-Penman식을 이용하여 계산하고 이때 사용된 순별 작물계수는 서울대학교 농업개발연구소(1995)(농림부, 농어촌진흥공사, 1997, 농업개발연구소, 1986)에서 발표한 것을 사용하였다. 강하침투량( $DP(t)$ )은 토양의 성질, 토양수분조건 등에 따라 달라지지만 평균적으로 약 4.0~6.0 mm/day값을 사용하는 것이 일반적이다(이남호, 1988). 지표유출량은

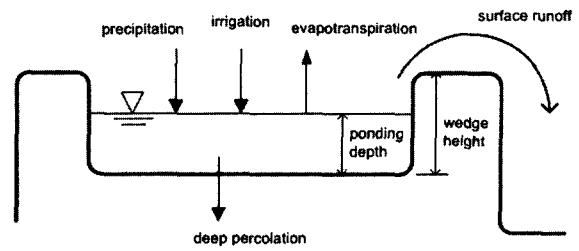


그림 2. A schematic diagram of simplified water balance components in paddies

물고높이(H)에 따라 결정되는데, 본 연구에서는 농업개발연구소와 농촌진흥청 등에서 제시한 생육기별 적정담수심을 사용하지 않고 물고높이를 60 mm로 고정하였다. 다만 6월 하순의 중간낙수 기간에는 담수심을 0으로 설정하였다. 유효우량( $ER(t)$ )은 강우량에서 포장에 직접 저류되는 양으로서, 식 (6)에서와 같이 포장의 물고높이(H)와 강우 전 담수심 조건에 따라 결정한다.

$$\begin{aligned} RD(t) &= H - D(t-1) + ET_a(t) + DP(t) \\ \text{if } RD(t) &\leq PP(t), \quad ER(t) = RD(t) \\ \text{else} \quad \quad \quad ER(t) &= PP(t) \end{aligned} \quad (6)$$

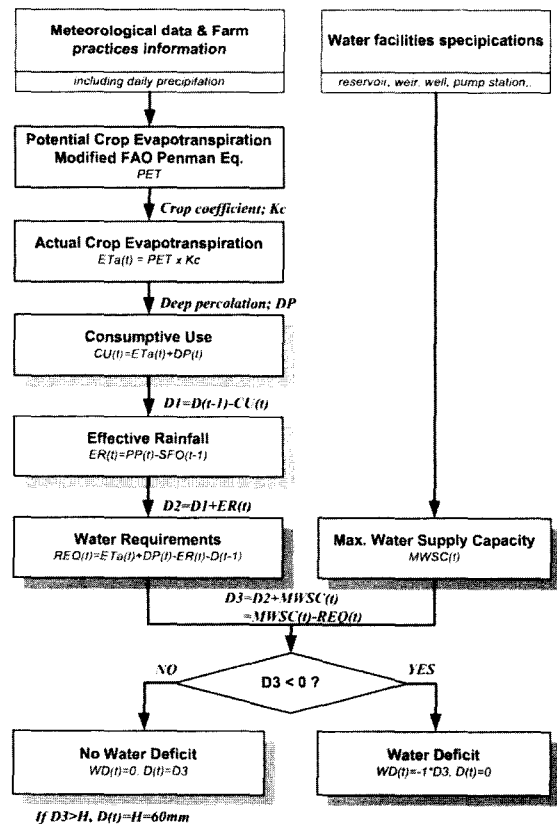


그림 3. A process diagram of regional water demand and supply analysis

전체 벼 재배기간 중 못자리기간과 이앙기는 농업용수 이용에 있어 가장 중요하게 고려해야 할 기간이다. 지역에 따라 차이가 있을 수 있으나 기본적으로 못자리용수는 4월 하순부터 5월 상순까지, 이앙은 5월 하순부터 6월 상순까지 각 20여 일 동안 등면적관개를 하는 것으로 설정한다.

### 3. 지역용수수급분석모형

일 논물수지분석 모형에서 계산된 필요수량과 지역 내 농업용수공급이 가능한 모든 수리시설, 즉 저수지, 양수장, 관정, 보, 집수암거 등과 들샘 등의 간이용수원으로부터 취수, 관개할 수 있는 시설공급가능수량의 일별 모의를 통해서 지역 농업용수의 월별 부족수량을 산정한다. 모든 농업수리시설에 있어서 가용할 수 있는 수자원량은 강우량에 따라 변하지만 이러한 관계를 규명하는 것은 쉽지 않다. 그리고 가뭄대책 행정은 기상, 지형 등 자연조건의 제약에 의한 수자원량의 한계로 발생하는 가뭄문제가 아니라 투입자원의 부족과 불합리한 계획으로 인해 일어날 수 있는 가뭄의 피해를 줄이기 위한 노력이므로 하천수위의 저하와 같은 취수원 제약은 고려의 대상이 되지 않는다.

수리시설의 공급가능수량은 각 시설별 제원으로부터 결정하며, 지역 최대공급가능수량(TWS(t))은 각 시설별 단위취수량(m<sup>3</sup>/sec 또는 m<sup>3</sup>/day)의 합으로 정의한다. 다만, 저수지의 경우는 저수량과 해당 수혜면적에 대하여 저수위를 일별 모의함으로써 부족수량 발생여부를 판단한다(장민원, 2000).

부족수량(WD(t))은 논물수지분석을 통해서 계산된 필요수량(REQ(t))에 대하여 지역 최대공급가능수량으로 식 (7)과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} WD(t) &= TWS(t) - REQ(t) \\ \text{if } REQ(t) > 0 \text{ and } WD(t) \leq 0, \quad WD(t) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

필요수량이 발생했지만 그 값이 지역 최대공급가능수량보다 적은 경우에는 부족수량이 발생하지 않은 것으로 하고, 대신 담수심이 물고높이 60 mm에 도달할 때까지 관개를 시행하는 것으로 한다. 반대로 지역 최대공급가능수량보다 많은 경우엔 부족수량이 발생하고, 이때 지역 최대공급가능수량 전체가 모두 담수심에 기여하게 되고 담수심(D(t))은 식 (2)로 계산한다. 만약 담수심(D(t))가 0보다 작게 계산되는 경우에는 0으로 초기화시킨다. 이때 월부족수량은 일별 계산된 부족수량의 합이 된다.

### 4. 지역논가뭄빈도 ADFP 산정

지역 용수수급분석모형에서 산정한 월부족수량에 대해서 가뭄발생의 위험과 크기를 빈도개념을 이용하여 나타낸다. 월별 부족수량 시계열에 대한 빈도분석을 시행함으로써 가뭄발생의 위험을 재현기간과 크기로 추정하고 지역간 용수공급능력, 즉 가뭄에 대한 저항능력의 상대적 평가가 가능하게 된다. 확률분포의 사용은 어떤 현상의 관측 자료를 적당한 이론적 분포형에 맞추므로써 그 현상의 특성을 구명하고, 앞으로의 발생양상이 어떠한 것인가를 예측할 수 있게 한다. 월부족수량에 대한 가뭄평가를 위해서 확률분포의 초과확률  $P(X \geq x)$  개념을 사용하고 K-S검정(Kolmogorov-Smirnov Test)으로 월부족수량의 월시계열에 대한 최적 확률분포함수를 찾는다. 가뭄의 자료치 계열은 가뭄이 홍수량처럼 순간적인 극치가 주요한 것이 아니라 지속되는 기간동안의 총부족량이 관심이므로 극치계열(extreme value series)보다는 부분기간치 계열(partial duration series)을 선정한다(장민원, 2000). 본 모형에서 정의하는 지역논가뭄빈도 ADFP(Agricultural Drought Frequency for Paddies)는 K-S검정으로 선택된 최적 확률분포형으로부터 월부족수량의 초과확률을 계산하여 구한다.

### 5. 지역논가뭄지수 ADIP 산정

지역 농업가뭄의 정성적인 판단기준을 제공하고 가뭄예정보 기준을 제시하기 위하여 지역논가뭄빈도 ADFP를 표준화한 지역논가뭄지수(Agricultural Drought Index for Paddies; ADIP)를 산정한다. 설원, 강수, 유출, 저수량 등 4개 수문인자들의 비초과확률로부터 지수화한 SWSI(Surface Water Supply Index)나 김선주(1998) 등이 제시한 관개용저수지 용수공급지수 IRWSI(Irrigation Reservoir Water Supply Index)를 참조하여 지역 용수공급능력을 고려하여 계산한 월부족수량의 초과확률에 대하여 다음 식 (8)과 같이 ADIP를 정의하였다.

$$ADIP = \frac{P_{WD} - 50}{12} \quad (8)$$

여기서,  $P_{WD}$ 는 월부족수량의 초과확률(%)이다.

ADIP는 SWSI와 같이 -4.2에서 +4.2사이의 값을 갖으며 값이 낮을수록 가뭄정도가 심한 것을 뜻한다. ADIP와 ADFP를 표 1과 같이 수리는 한발빈도 10년을 기준으로 정상상태(normal), 약한가뭄(mild), 보통가뭄(mode-rate), 심한가뭄(severe), 극한가뭄(extreme)의 5단계로 정의하고, 각각의 예경보수준을 Level0에서 Level4까지 설정하였다.

표 1. Classification of drought stages with ADFP

Drought Emergency Level	Monthly ADFP	Monthly ADIP	Classification
Level 0	3 years below	+4.20 ~ -1.39	Normal
Level 1	3 ~ 5 years	-1.39 ~ -2.50	Mild drought
Level 2	5 ~ 10 years	-2.50 ~ -3.33	Moderate drought
Level 3	10 ~ 30 years	-3.33 ~ -3.89	Severe drought
Level 4	30 years above	-3.89 ~ -4.20	Extreme drought

### III. 모형의 적용

#### 1. 시험지역의 선정

경기도 여주군 관할지역을 시험지역으로 선정하고, 이 지역 관할의 경지현황, 수원공현황, 기상자료를 수집, 처리하였다<그림 4>. 이 지역은 경기도내에서 가뭄 빈도가 가장 높은 지역으로 보고된 바 있다(농림수산부, 1995). 관할지역의 수리는 면적은 약 4,510ha이고, 이중 저수지 수혜면적은 약 183.7ha(4.1%)이다. 1999년 기준으로 지역 내 수원공은 저수지 14개소, 양배수장 5개소, 보 53개소, 집수암거 48개소, 관정 222개소 등이고, 저수지를 제외한 지역의 최대공급가능수량은 하루 232,760톤으로 계산되었다. 이천축후소의 1973년부터 1998년까지 26년치 기상자료를 이용하여 가뭄분석을 실시하였다.

#### 2. 지역용수수급분석의 결과

수정 FAO-Penman식과 우리나라 중부지역의 순별 작물계수(농림부, 농어촌진흥공사, 1997, 서울대학교 농업개발연구소, 1986)를 이용하여 일별 증발산량을 1973년에서 1998년까지 계산하였다. 그림 5는 주요 가뭄발생년 1977, 1982, 1994년의 관개기간동안 일별 증발산량의 변화를 나타낸 것이다. 그리고 물수지식으로 계산된 연도별 강우량과 유효우량은 그림 6과 같다. 여주지역의 연평균 강우량은 약 1,296 mm이고, 주요 가뭄발생년도인 1976~1977년, 1981~1982년, 1994~1995년의 평균 강우량이 평년보다 약 100 mm정도 적었으나 생육기간중 강우량만 비교하여 보면 오히려 가뭄발생년의 강우량이 954.0 mm로 평년값 930.0 mm보다 더 컸다. 이에 비해 유효우량은 가뭄발생년에 420.5 mm(46.5%)로 평년의 513.3 mm(57.7%)보다 오히려 적었는데, 이런 결과는 농업가뭄의 평가에 있어 강우량의 절대량보다는 비록 적은 량일지라도 강우의 시간적 분포가 주요하며, 일본물수지분석이 농업가뭄을 분석하는데 있어서 유용함을 보여준다.



그림 4. Location of the pilot area

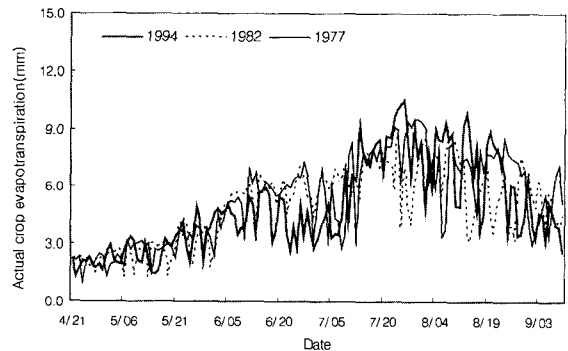


그림 5. Daily actual crop evapotranspiration in drought years

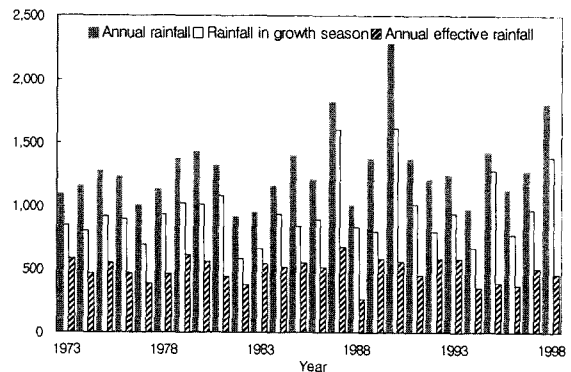


그림 6. Annual variation of rainfall and water deficit (unit : mm)

#### 3. 적정 확률분포형의 선정

지역용수수급분석으로부터 구하여진 월부족수량에 대한 시계열을 작성하고, 벼 재배기간(4월~9월) 중 6개

표 2. Evaluation of the optimal probability distribution by K-S G.O.F test

Month	Gaussian Normal		Pearson Type III		Log Gamma (Log Pearson TypeIII)	
	Monthly water deficit	Monthly rainfall	Monthly water deficit	Monthly rainfall	Monthly water deficit	Monthly rainfall
April		0.137		0.171		0.091
May	0.226	0.165	0.258	0.173	0.167	0.106
June	0.160	0.150	0.163	0.133	0.119	0.096
July	0.214	0.157	0.134	0.183	0.100	0.119
August	0.133	0.216	0.248	0.206	1.115	0.122
September	0.188	0.333	0.156	0.234		0.192

시계열에 대하여 적정 확률분포형을 결정하였다. Gaussian normal, Pearson type III, 그리고 Log Pearson type III 확률분포함수에 대하여 K-S검정을 실시하였고, 월별로 표 2와 같이 적정 확률분포형을 선택하였다. 4월은 부족수량이 발생하지 않았고, 유의수준 5%에서 K-S한계값 0.264, Chi-sq 9.49(자유도 4)에 대하여 5월부터 7월까지 Log Gamma, 8월엔 Gaussian normal, 9월엔 Pearson type III 확률분포형이 가장 적합하였다. 월강수량 시계열자료에 대해서는 4월부터 9월까지 모두 Log Gamma 확률분포가 가장 적합하였다.

#### 4. 지역논가뭄분석의 결과

월부족수량과 월강수량에 대한 빈도분석의 결과 표 3과 같다. 지역논가뭄빈도 ADFP의 산정 결과 1994년 7월의 가뭄이 가장 극심한 것으로 평가되었고, 그림 10에서 보는 바와 같이 1973년 7월과 1994년 9월에서도 25년 이상의 ADFP값을 보였다. 1994년 7월에 월ADFP가 56년으로 가장 높았는데, 이 시기 저수율 기록을 보면 전체 기록자료 중 가장 최소값인 27%까지 내려갔었고, 8월 초순이 끝나갈 때에 다시 회복하는 것을 볼 수 있어 분석결과를 확인할 수 있었다. 1977년도 7월과 8월에 이어 10년 이상의 높은 빈도의 가뭄이 발생했던 것으로 계산되었다.

가뭄기록이 있는 1976~1977년, 1981~1982년, 1987~1988년, 그리고 1994~1995년에 역시 월 ADFP가 높게 나타났으며, 10년 이상 가뭄빈도가 두 달 이상 발생한 것으로 분석되었다. 연도별 가뭄발생 특징을 살펴보면, 1988년의 가뭄은 모내기 용수의 부족은 심하지 않으나 8월과 9월에 강우량이 절대적으로 부족하였고, 용수부족도 매우 심각하였던 것을 알 수 있다. 1976년의 경우에는 모내기가 있는 5월의 가뭄이 심하였고, 1982년과 1983년에도 특히 이앙이 늦은 논외의 경우 심한 물

부족을 겪었을 것으로 추정된다. 그림 7과 그림 8은 각각 6월과 8월의 월ADFP 값을 연도별로 비교한 것이다.

주요 가뭄발생 기록이 있는 년도의 월별 부족수량을 그림 9와 같이 도시하였다. 그림 10과 비교할 때 6, 7, 8월의 부족수량의 크기가 비슷함에도 가뭄강도는 차이가 크게 나는 것은 월별 작물의 생육단계가 다르고, 6월 장마, 8~9월 태풍과 같이 월별 기상조건의 특징이

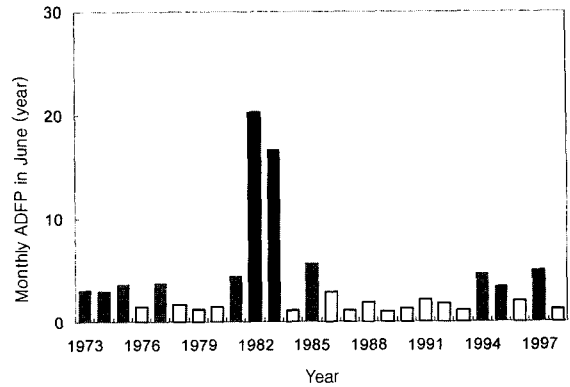


그림 7. Annual variation of monthly ADFP in June

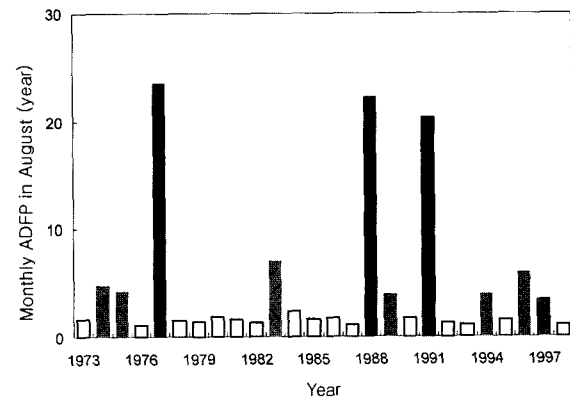


그림 8. Annual variation of monthly ADFP in August

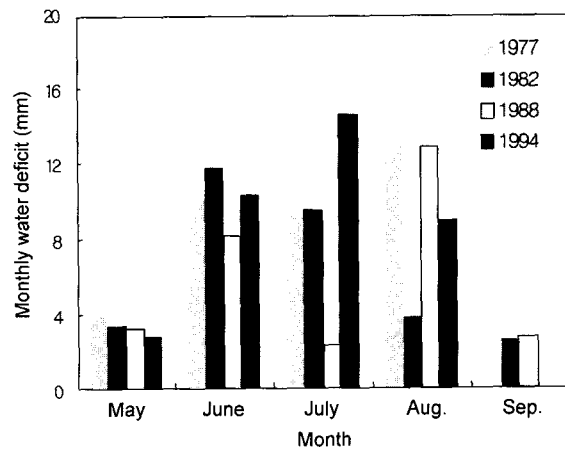


그림 9. Monthly water deficit in drought years

가뭄대책 행정지원을 위한 지역논가뭄평가모형 ADEM의 개발

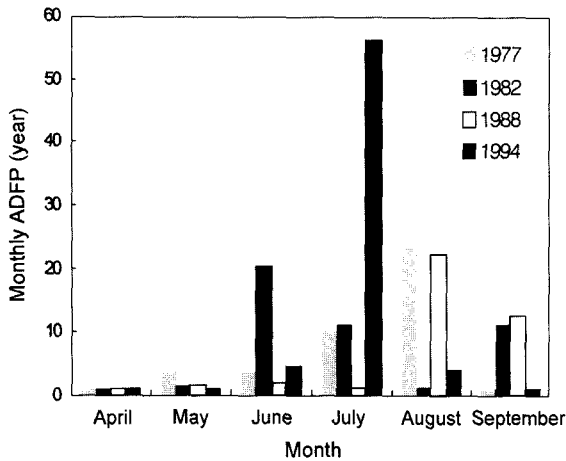


그림 10. Monthly ADFP in drought years

있기 때문이다. 일물수지분석과 지역용수수급해석으로 산정한 부족수량의 크기와 가뭄대책의 효과를 고려한 경제성 분석을 실시함으로써 월별 적절한 가뭄대책 규모를 결정하고 예산을 편성하는 것이 합리적인 가뭄대책 의사결정과정이 될 것이다. 그러므로 부족수량의 계산은 가뭄의 평가와 함께 가뭄대책의 수립과 추진을 위한 행정에 있어 포함되어야 하는 요소이다.

연도별 비교를 위해 표 4와 같이 연간 총부족수량에 대한 시계열을 작성하고 빈도분석을 실시하였으며, K-S 검정결과 최적 확률분포함수로 Log Gamma를 선택하였다. 1994년 가뭄이 가장 극심한 것으로 나타났고, 1977년도 30년 이상의 극심한 가뭄이었음을 보이고 있다. 1982년과 1988년의 가뭄은 상대적으로 심하지 않은 보

표 3. Monthly ADFP and return period of monthly rainfall during irrigation season

Year	May			June			July			August		
	Monthly rainfall (year)	Monthly water deficit		Monthly rainfall (year)	Monthly water deficit		Monthly rainfall (year)	Monthly water deficit		Monthly rainfall (year)	Monthly water deficit	
		ADFP	ADIP		ADFP	ADIP		ADFP	ADIP		ADFP	ADIP
1973	1.4	2.5	-0.83	1.3	3.1	-1.48	24.4	34.6	-3.93	1.7	1.6	+1.04
1974	1.0	1.3	+2.24	6.3	3.0	-1.39	2.0	2.4	-0.69	7.6	4.7	-2.39
1975	1.7	1.3	+2.24	6.2	3.7	-1.91	1.1	1.2	+2.78	4.3	4.2	-2.18
1976*	7.0	24.3	-3.82	3.5	1.5	1.39	7.7	6.3	-2.84	1.1	1.1	+3.41
1977*	2.5	3.8	-1.97	3.3	3.8	-1.97	3.2	10.0	-3.33	40.0	23.5	-3.81
1978	7.0	3.3	-1.64	1.1	1.7	+0.74	3.4	2.3	-0.54	1.5	1.5	+1.39
1979	1.6	1.2	+2.78	1.1	1.2	+2.78	4.4	3.4	-1.72	1.5	1.4	+1.79
1980	1.8	2.4	-0.69	1.3	1.4	+1.79	1.4	1.5	+1.39	2.0	1.8	+0.46
1981*	2.2	2.2	-0.38	5.0	4.5	-2.31	1.1	1.5	+1.39	1.9	1.6	+1.04
1982*	1.4	1.6	+1.04	125.0	20.3	-3.76	5.3	11.1	-3.42	1.8	1.3	+2.24
1983	3.0	2.8	-1.19	3.5	16.7	-3.67	2.1	1.1	+3.41	8.7	7.0	-2.98
1984	14.0	3.9	-2.03	1.8	1.1	+3.41	1.7	2.7	-1.08	3.9	2.4	-0.69
1985	1.1	3.8	-1.97	4.0	5.7	-2.70	5.6	5.8	-2.73	1.8	1.6	+1.04
1986	2.0	5.0	-2.50	1.7	2.9	-1.29	1.9	2.0	+0.00	2.0	1.7	+0.74
1987*	1.4	1.0	+4.17	1.8	1.1	+3.41	1.0	1.4	+1.79	1.1	1.1	+3.41
1988*	3.5	1.5	+1.39	3.0	1.9	+0.22	1.0	1.1	+3.41	28.0	22.2	-3.79
1989	2.5	3.2	-1.56	1.4	1.0	+4.17	1.7	1.5	+1.39	2.4	3.9	-2.03
1990	1.6	1.4	+1.79	1.0	1.3	+2.24	1.6	1.0	+4.17	1.7	1.7	+0.74
1991	1.2	1.0	+4.17	2.3	2.1	-0.20	1.3	1.3	+2.24	6.3	20.3	-3.76
1992	1.4	2.6	-0.96	5.2	1.8	+0.46	3.7	2.2	-0.38	1.4	1.3	+2.24
1993	1.4	2.9	-1.29	1.5	1.1	+3.41	1.4	1.6	+1.04	2.2	1.1	+3.41
1994*	1.4	1.2	+2.78	2.1	4.7	-2.39	142.0	56.0	-4.02	1.4	3.9	-2.03
1995*	2.5	2.6	-0.96	13.3	3.5	-1.79	1.7	1.9	+0.22	1.0	1.5	+1.39
1996	100.0	2.9	-1.29	1.1	2.0	+0.00	1.7	1.8	+0.46	7.7	5.9	-2.75
1997	1.1	1.0	+4.17	1.7	5.0	-2.50	1.7	1.4	+1.79	1.9	3.5	-1.79
1998	1.7	5.6	-2.68	1.2	1.2	+2.78	2.0	1.5	+1.39	1.9	1.1	+3.41

\* historic drought years

표 4. Annual ADFP and ADIP from annual water deficit

Year	ADFP	ADIP	Year	ADFP	ADIP	Year	ADFP	ADIP	Year	ADFP	ADIP
1973	5.9	-3.22	1980	1.4	+2.52	1987	1.0	+4.14	1994	40.0	-3.73
1974	3.7	-1.22	1981	1.7	-0.53	1988	4.4	-1.86	1995	1.6	+0.81
1975	2.4	-0.94	1982	6.5	-2.75	1989	1.3	+0.78	1996	3.3	-2.62
1976	1.4	+0.51	1983	3.6	-2.53	1990	1.1	+2.80	1997	3.0	-0.59
1977	30.3	-3.86	1984	1.6	+1.61	1991	2.7	+0.31	1998	1.1	+3.50
1978	1.7	+0.21	1985	3.3	-2.17	1992	1.3	+1.30			
1979	1.4	+2.39	1986	1.9	-0.33	1993	1.2	+3.42			

통수준인 것으로 나왔으나 그림 6의 생육기간중 강우량을 보면 1982년 577 mm, 1988년 833.2 mm로 매우 작은 값을 보였다. 월ADFP와 월강우빈도에서 보는 바와 같이 강우의 시간분포가 농업가뭄 발생과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며, ADFP가 이러한 점을 잘 반영하고 있다는 것을 알 수 있다.

표 3에서 대체적으로 월강우량을 기준으로 한 빈도 분석의 결과와 월 ADFP가 비슷하게 변하는 것을 관찰할 수 있는데, 두 방법간에 분산분석(Analysis Of Variance)을 실시한 결과로는 유의확률  $P(F \geq f)$ 이 0.13으로서 유의수준 5%에서 두 방법의 결과에 유의한 차이가 없는 것을 확인하였다. 그러나 1996년 5월, 1983년 6월 및 1995년 6월에는 월강우량의 빈도가 월 ADFP에 비해 크게 나타나는데, 이는 기상조건이 열악하여도 작물의 생육단계에 따라 달라지는 용수 수요에 대해서 지역의 용수공급능력, 즉 수리시설의 관개능력이 뒷받침되면 가뭄강도를 낮추고 가뭄피해를 줄일 수 있음을 보여준다. 그리고 전반적으로 월 ADFP의 범위가 강우빈도의 그것보다 좁게 나타나는 것은 강우량이 부족한 기상학적 가뭄에 대해 지역 수원공, 관개시설이 완충 역할을 하고 있는 것으로 통계적으로 확인할 수 있다. 즉, 농업가뭄과 기상학적 가뭄의 이해와 적용에 차이가 있어야 함을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 지역별 가뭄대책 행정업무의 지원을 위하여 행정단위별 농업가뭄의 크기와 강도를 나타낼 수 있는 지역논가뭄평가모형 ADEM(Administrative Drought Evaluation Model for Paddies)를 개발하였다. 기존의 자료만으로도 사용할 수 있는 일논물수지분석모형과 지역용수수급해석모형을 구성하였고, 산정된 월별 부족수량에 대하여 빈도분석을 실시하고, 표준화 과정을 거쳐 지역논가뭄빈도 ADFP(Agricultural Drought Frequency for Paddies)와 지역논가뭄지수 ADIP(Agricultural Drought

Index for Paddies)를 정의하였다. 또한 통계적으로 표현된 가뭄강도를 정성적으로 나타낼 수 있도록 ADFP와 ADIP를 정상상태(normal), 약한가뭄(weak), 보통가뭄(moderate), 심한가뭄(severe), 극심한가뭄(extreme)의 5단계로 구분하였다.

개발된 모형을 경기도 여주군 관할지역에 대하여 1973년부터 1998년까지 적용하여 농업가뭄분석을 실시한 결과, 기존 강우량을 이용한 방법과 비교하여 가뭄강도의 변화추세가 잘 일치하는 것으로 나타났고, 주요 가뭄기간인 1976~1977년, 1981~1982년, 1987~1988년, 그리고 1994~1995년에서 20년 이상의 ADFP값을 보여 가뭄기록과도 잘 일치하는 것으로 확인되었다. 그리고 작물생육시기별 필요수량과 지역내 수원공의 용수공급능력을 고려한 결과로 기존의 방법에서 제시하지 못했던 부족수량을 추정할 수 있었고, 관할지역내 수리시설에 의한 용수공급능력과 작물 생육단계에 따른 용수 수요의 차이가 반영됨으로써 기상학적 가뭄을 완화시켜서 현장의 가뭄강도 크기를 잘 반영하는 것으로 판단되었다.

본 연구의 지역논가뭄평가모형 ADEM은 지방자치단체에서 가뭄대책 행정을 합리적으로 추진하는데 있어 필요한 지역의 농업가뭄 내한능력과 대책규모를 파악하고, 지역 농업용수의 수요와 공급의 양적, 시간적 분포를 고려하여 개발했다. 이 모형은 행정단위의 실제적인 농업가뭄의 크기를 평가할 수 있고, 시기별, 지역별 농업가뭄의 비교와 가뭄대책 수립을 위한 객관적 기준을 제공한다. 또한 모형의 입력자료를 각 행정기관에서 보유하고 있는 기존 자료를 활용할 수 있도록 모형 활용의 실효성을 높였다.

전국적인 농업용수관련 자료관리의 문제가 해결되고 지역별 논 물관리 패턴이 현재보다 구체적으로 반영시킬 수 있다면, 본 지역논가뭄평가모형 ADEM의 활용으로 지방자치단체뿐만 아니라 중앙정부 차원에서도 실질적인 농업가뭄대책 행정업무의 정확성과 효율성을 기하는데 도움이 될 것이다.



## 참고문헌

1. 김병진, 1993, 기상예보를 고려한 관개용 저수지의 최적 조작 모형, 서울대학교 박사학위논문
2. 김상민, 1999, 우리나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교, 서울대학교 석사학위논문
3. 김선주, 이광야, 신동원, 1998, 관개용 저수지의 용수공급지수(IRWSI)의 확률통계분석, 한국농공학회 40(4) : 58-66
4. 김현영, 서영제, 오수훈, 1996, 우리나라 가뭄평가방법에 관한 연구, 한국관개배수 3(1) : 20-31
5. 농림부, 농어촌진흥공사, 1997, 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구
6. 농림부, 농업기반공사, 2001, 농업생산기반정비사업 통계연보
7. 농림수산부, 1995, '94~'95 가뭄극복
8. 농촌진흥청, 1993, 논 물관리조직의 자동화 연구(III)
9. 배승중, 1998, 토양수분물수지모형과 지리정보시스템을 이용한 가뭄분석에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문
10. 서울대학교 농업개발연구소, 1986, 작물소비수량 산정방법의 정립
11. 안병기, 김태철, 정도웅, 1998, 농업한발지수 설정에 관한 연구, 한국농공학회지 30(1)
12. 이남호, 1988, 관개지구 물관리조직의 일별 모의조작, 서울대학교 박사학위논문
13. 장민원, 2000, 관개용 저수지에 의한 논작물의 농업가뭄분석 및 평가에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문
14. Chung, H. W., D. S. Kim, J. J. Lee, J. Y. Choi, H.J. Kim, and K. S. Yoo, 1997, Development of a Drought Plan Support System of Agriculture Using GIS and DB in Republic of KOREA, ASAE Paper No. 972222A, American Society of Agricultural Engineers
15. Werick, W. J. and W. Whipple, Jr., 1994, Managing Water for Drought, IWR Report 94-NDS-8, U.S. Army Corps of Engineers, Water Resources Support Center, Institute of Water Resources
16. Wilhite, D. A., 1993, Drought Assessment, Management, and Planning: theory and case studies, Kluwer Academic Publishers
17. Wilhite, D. A., M. Hayes, C. Knutson, and K. Smith, The Basics of Drought Planning: A 10-Step Process, National Drought Mitigation Center, Available at <http://enso.unl.edu/ndmc/handbook/10step/process.htm>