



## 농업가뭄대응을 위한 가뭄기상시나리오 모델 개발 및 적용

### Developing Model of Drought Climate Scenarios for Agricultural Drought Mitigation

유승환\* · 최진용\*\*† · 남원호\*\*\* · 김태곤\*\*\* · 고광돈\*\*\*\*

Yoo, Seung-Hwan · Choi, Jin-Yong · Nam, Won-Ho · Kim, Taegon · Go, Gwang-Don

#### ABSTRACT

Different from other natural hazards including floods, drought advances slowly and spreads widely, so that the preparedness is quite important and effective to mitigate the impacts from drought. Evaluation and forecast the status of drought for the present and future utilizing the meteorological scenario for agricultural drought can be useful to set a plan for agricultural drought mitigation in agriculture water resource management. In this study, drought climate scenario model on the basis of historical drought records for preparing agricultural drought mitigation was developed. To consider dependency and correlation between various climate variables, this model was utilized the historical climate pattern using reference year setting of four drought levels. The reference year for drought level was determined based on the frequency analysis result of monthly effective rainfall. On the basis of this model, drought climate scenarios at Suwon and Icheon station were set up and these scenarios were applied on the water balance simulation of reservoir water storage for Madun reservoir as well as the soil moisture model for Gosam reservoir watershed. The results showed that drought climate scenarios in this study could be more useful for long-term forecast of longer than 2~3 months period rather than short-term forecast of below one month.

**Keywords:** Drought; drought climate scenario; drought reference year; frequency analysis

#### 1. 서 론

가뭄은 홍수 등 기타 자연 재해와는 달리 진행속도가 느려 시간적으로 대처할 여유가 많기 때문에 비록 진행 중인 상태라 하더라도, 그 진행 상황을 초기에 감지한다면 피해를 최소화할 수 있다. 즉 가뭄의 진행상황을 모니터링하여 물 관리 담당자에게 알려줄 수 있다면 신속한 대처와 피해경감효과를 기대할 수 있다 (Kim et al., 2006). 가뭄 진행 상황을 파악하기 위하여 일반적으로 사용되는 방법은 가뭄지수를 활용하는 방법으로, 일반적으로 사용하는 가뭄지수는 파머가뭄심도지수 (Palmer Drought Severity Index, PDSI), 표준강수지수 (Standardized Precipitation Index, SPI) 및 지표면 물공급지수 (Surface Water Supply Index, SWSI)

등이 있는데, 이처럼 국내의 수문, 기상학적 자료를 이용하여 여러 가지 형태의 가뭄지수를 사용하고 있다. 농업수자원 분야에서 사용되는 가뭄지수는 강수량 자료를 바탕으로 한 평년 강우 지수, 무강우 지수 및 과우일수, 농업용저수지의 저수량을 바탕으로 한 월평균 저수율 및 PDI (Paddy Drought Index), IRWSI (Irrigation Reservoir Water Supply Index), 토양수분을 바탕으로 한 SMI (Soil Moisture Index), 농업용저수지의 저수량, 유입량 등을 고려한 ASWSI (Agricultural Surface Water Supply Index), 농업용수리시설의 물수지 네트워크를 고려한 MODSIM (Modified SIMYLD) 등이 활용되고 있다 (Jang et al., 2004; Park et al., 2006; Kim et al., 1998; Kim et al., 2006; Ahn et al., 2009a; Ahn et al., 2009b). 이와 같은 다양한 가뭄지수는 기상청의 가뭄정보, 한국농어촌공사 농촌용수종합정보시스템, 농어촌연구원 농업가뭄정보, 한국수자원공사의 가뭄정보시스템 등이 중심이 되어 다양한 현재의 가뭄 현황을 모니터링하고 가뭄정보를 축적하여 관련 기관과 국민들에게 제공하고 있다.

하지만 가뭄지수는 현재의 가뭄 상태를 나타낼 뿐, 향후 진행 상황에 대한 전망 정보를 제공하는데 한계가 있어 물관리와 같은 현장 업무나 관련 정책 수립의 의사결정을 지원에 있어서는 제한적이라 할 수 있다. 이에 기존에 개발된 농업가뭄 분석 및 평가 기술뿐만 아니라 지역별 농업가뭄의 위험과 피해를 예측

\* 서울대학교 농업생명과학대학 연수연구원  
 \*\* 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원 겸무원  
 \*\*\* 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 대학원  
 \*\*\*\* 한국농어촌공사 수자원관리처 수자원운영팀 차장  
 † Corresponding author Tel.: +82-2-880-4583  
 Fax: +82-2-873-2087  
 E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

2011년 12월 29일 투고  
 2012년 2월 24일 심사완료  
 2012년 3월 6일 게재확정

하여 실제 물관리 및 가뭄대책 업무에 반영할 수 있는 방법이 필요하다. 즉 예상되는 가뭄상황을 설정하여 장기적인 대책을 마련할 수 있는 분석 방법이 있다면 향후 물관리 및 가뭄대책에 있어서 유용할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 농업가뭄대응을 위한 기상시나리오를 설정하여, 현재의 가뭄 정도를 파악하고 향후 이 가뭄 상태가 어떻게 진행될 것인가에 예측한다면 보다 손쉽게 농업가뭄대응책 수립 및 농업수자원관리의 의사결정을 할 수 있을 것으로 판단된다.

수문 분야에서 기상시나리오 설정하는 일반적인 방법은 추계학적 방법으로 과거 관측 자료의 추계학적 특성에 근거하여 시나리오를 개발하고, 필요한 수문자료계열을 인위적으로 생성하는 것이다. 이와 같이 기상시나리오 설정 및 수문예측 기법 중 대표적인 방법은 앙상블 예측모형으로, 이 방법은 예측시점에서의 초기 조건과 확률적 대표성을 갖는 미래에 재현 가능한 기상자료를 결합하여 확률론적 예측이 가능한 확률론적 예측모형 중 가장 대표적인 방법이라 할 수 있다 (Jeong and Kim, 2002). 앙상블 유량예측 모형은 미국 기상청 공식 유량예측 기술로서 River Forecast System의 장기 하천 유출량 모델로 개발되어 이용되고 있으며 (Fread, 1998), 과거의 기상 패턴이 미래에도 재현될 것이라는 가정 하에 확률적 대표성을 갖는 기상앙상블을 생성하여 물리적 강우-유출모형과 결합하는 방법으로 구성된다. 국내에는 Kim et al. (2001)이 앙상블 유량예측 기법을 이용하여 공주지점에 적용한 이후 최근 용담댐 월 유출전망 연구 (Lee et al., 2010)까지 꾸준한 연구가 지속되고 있다. Lee et al. (2010)은 SSARR모형을 이용하여 과거 강우 시나리오 분석에 의한 장래 유출량 예측과 기상청에서 제공되는 정성적 기상예보와 연계한 ESP (Ensemble Streamflow Prediction)를 활용하여 용담유역을 대상으로 기법별의 비교 분석을 통해 유출예측의 개선효과를 평가하였다.

일반적으로 강우-유출모형은 강우인자가 지배적인 데 반하여 저수지 물수지 모형이나 토양수분모형 등은 강우인자 외에 기온, 풍속, 습도, 일사량을 바탕으로 한 증발산량 등의 추가 인자가 고려되어야 한다. 기상앙상블을 구성함에 있어서 다양한 기상 인자들이 서로 독립적이기 않기 때문에 이를 고려하여 구성하여야 한다. 기상 데이터 생성 모델에서 자료를 제공하는 경우에는 모델의 결과를 이용하여 기상앙상블을 구축할 수 있지만 (Hong et al., 2009), 수자원 모형에 이용되는 입력 자료인 기상요소를 제공하지 못하는 경우에는 이용할 수 없는 한계가 있다.

한편 농림부 (현 농림수산식품부)에서는 가뭄 대책지원프로그램을 개발하여 가뭄대책지원 업무에 시범 운영하여 활용하였는데, 이 시스템에서 강수상황을 평년, 평년의 70%, 평년의 50%, 평년의 0%로 각각 설정하고 강수상황에 따른 시·군별 가뭄대책 수립과 추진상황을 검색할 수 있도록 하였다. 하지만 강수시

나리오 있어서 평년 대비 비율에 따라 시나리오를 설정하였기 때문에 시기별 강우 분포에 대해서는 고려하지 못하였다 (MAF, 1998b).

본 연구에서는 과거 가뭄이 발생했던 기록을 바탕으로 농업가뭄대응을 위한 가뭄단계별 기상시나리오를 설정할 수 있는 모델을 개발하고, 이를 저수지물수지분석 및 토양수분모형에 적용하였다. 기상시나리오를 구축함에 있어서 다양한 기상 인자간의 의존성을 해결하기 위하여 가뭄단계별 기준년도를 설정하고, 과거 기상 패턴을 이용할 수 있는 모델을 구성하였다. 가뭄단계는 4단계로 설정하였는데, 단계별 기준년도는 시기별 유효우량의 빈도 분석 결과를 바탕으로 결정하였다.

## II. 가뭄기상시나리오 모델 개발

본 연구의 가뭄기상시나리오는 추계학적 방법을 통한 수문자료 발생이 아닌 과거에 발생했던 가뭄 사상이 현 상황에서 발생한다면 어떻게 될 것인가에 초점을 맞춘 것이다. 즉, 5월 31일 현재 상태에서 향후 '1994년 6월 정도'의 기상 조건이 유지된다면 향후 가뭄이 어떻게 진행될 것인가를 예측하기 위한 가뭄기상시나리오 개발을 목표로 하였다.

일반적으로 관개시설의 설계 기준에서는 저수지 필요저수용량과 하천의 취수가능량 등의 농업용 수리시설물 수문량의 설계빈도를 산정하는 방법은 일반적으로 계획기준년 방법과 확률처리 방법을 제안하고 있다. 계획기준년 방법은 유효우량, 연속한발일수, 증발량 또는 하천유량 등의 수문량 가운데 하나를 선택하여

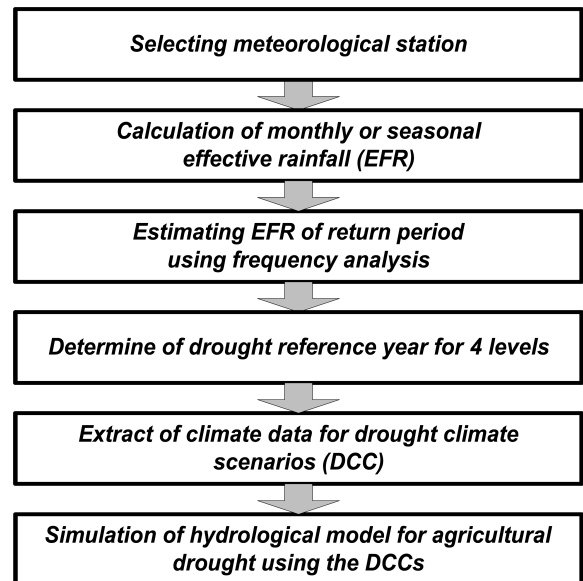


Fig. 1 A procedure diagram of drought climate scenarios for agricultural drought

전체년도의 수문자료를 확률처리하여 10년빈도에 해당되는 특정 연도를 계획기준년으로 결정하고, 그 연도의 필요저수용량 또는 하천 취수가능량을 통계수문량으로 결정하는 방법이다 (MAF, 1998a).

따라서 본 연구에서는 위 방법을 응용하여 가뭄단계별 과거 가뭄기준년도를 선정하고, 그 연도에 과거에 발생하였던 강우, 기온, 풍속 등의 기상 패턴을 이용하여 가뭄단계별 기상시나리오를 설정하는 모델을 구성하였다. Fig. 1은 본 연구에서 개발한 가뭄 기상시나리오 모델의 연구 방법을 나타낸 것이다. 가뭄기준년도 설정을 위하여 기상시나리오의 대표치인 강수량을 기간별로 구분하여 빈도분석을 실시하고, 빈도분석 결과를 바탕으로 가뭄단계별 기준년도를 선정하였다. 자세한 연구 방법은 다음과 같다.

### 1. 유효우량 산정

강우가 발생하게 되면 두 가지 측면에서 농업수자원에 영향을 미치게 되는데, 토양수분 및 눈 담수를 통한 작물 직접적인 이용과 유역 유출로 인한 농업용 수리 시설물 유입으로 나누어 볼 수 있다. 하지만 너무 적은 강수량은 염면 차단 및 증발 등으로 가뭄에 있어서 무의미하다. 또한 호우의 경우, 농업용 수리 시설물이나 작물에 있어서 무효 월류량 등으로 유출되어 비록 강수량이 많을지라도 농업적인 측면에서 보면 그 사용에 있어서 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 포장 및 유역에서의 강우로 인하여 농업용수로 사용될 수 있는 강우량을 유효우량으로 정의하였는데, 이를 위해서는 강우량의 상한값과 하한값을 이용한 유효우량 산정이 적합할 것으로 판단된다. 이러한 유효우량의 상한과 하한 설정은 목적 및 방법 등에 따라서 다양하게 설정이 가능하다. 본 연구에서는 논에서의 유효우량 산정 방법을 응용하여 상한은 80 mm, 하한은 5 mm로 설정하였다 (Chung et al., 2009). 즉 5 mm 이하의 강우는 무효 강수량 (0 mm)으로, 80 mm 이상의 강우는 80 mm로 설정하였다. 또한 기간 설정에 있어서 관개기간 (4~10월)에 해당하는 기간에는 월별로, 비관개기간 (11월~3월)에는 하나의 기간으로 간주하였다. 즉 총 8개 기간 (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11~3월)으로 구분하여 유효우량 자료를 산정하였다.

### 2. 빈도 분석

일반적으로 빈도분석 방법은 시계열 작성, 확률분포형 매개변수 추정, 적합도 검정을 통한 최적확률분포형 선정, 빈도치 산정 순으로 이루어진다. 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 통하여 빈도분석을 실시하고 빈도별 유효우량을 산정하였다.

· 월별 (또는 기간별)로 산정된 유효우량 자료를 바탕으로 시계

열을 작성

- Gamma, GEV, Gumbel, Log-normal, Weibull 등의 확률분포형에 대한 확률가중모멘트법 등을 통한 매개변수 추정
- $\chi^2$  (Chi-Square), Kolmogorov-Smirnov (K-S) 검정, 확률도시 상관계수 검정 (PPCC, Probability plot correlation coefficient) 등을 통한 최적확률분포형 선정
- 최적확률분포형과 빈도계수법 (Chow, 1951)을 통한 한발기준 2년, 5년, 10년 및 20년빈도 유효우량 산정

### 3. 가뭄단계별 기준년도 설정 및 기상시나리오 구성

각 기간에 따른 한발기준 2, 5, 10, 및 20년빈도 유효우량 결과를 바탕으로 농업가뭄 대응을 위한 가뭄단계를 0단계 (2년빈도)부터 3단계 (20년빈도)까지 총 4단계로 구분하였다. 각 단계의 빈도 결과와 가장 유사한 값을 나타내는 연도를 기준년도로 설정하고, 해당되는 특정 기간의 강수량, 온도, 풍속, 일조시간 및 증발량 등의 과거 기상 상황을 기간별 가뭄시나리오로 결정하였다. 즉, 예를 들어 6월의 빈도분석 결과 중 2년 빈도가 70.7 mm이고, 1984년 유효우량이 70.0 mm로 가장 비슷하다고 가정한다면, '6월-가뭄 0단계'에 해당되는 시나리오는 1984년 6월의 기상 조건이 되는 것이다.

## III. 가뭄기상시나리오 모델 적용

### 1. 연구 대상 지역 선정

농업가뭄대응을 위한 기상시나리오 모델을 적용하기 위하여 수원과 이천을 대상 축후소 선정하여 가뭄단계별 기상시나리오를 설정하고, 이를 DIROM을 통한 마둔저수지의 물수지 분석과 고삼저수지의 유역의 토양수분모델에 적용하여 그 결과를 고찰하였다.

### 2. 유효우량 산정

수원과 이천 축후소의 44년간 (1967년~2010년) 및 37년간 (1974년~2010년)의 강수량을 자료를 활용하여 유효우량을 산정하였는데, Fig. 2와 3은 수원과 이천의 연강수량과 유효우량을 연도별로 각각 나타낸 것이다. 수원의 경우, 연강수량 중 최대, 최소값을 나타낸 연도는 각각 1990년과 1988년이었고, 평균은 1,304.2 mm이었다. 유효우량 중 최대, 최소값을 나타낸 연도는 각각 1990년과 1988년이었고, 평균은 1,107.6 mm로 나타났다. 연강수량과 유효우량의 차이가 가장 큰 연도는 1972년으로 475.7 mm 차이가 발생하였다. 이천의 경우, 연강수량 중 최대, 최소값

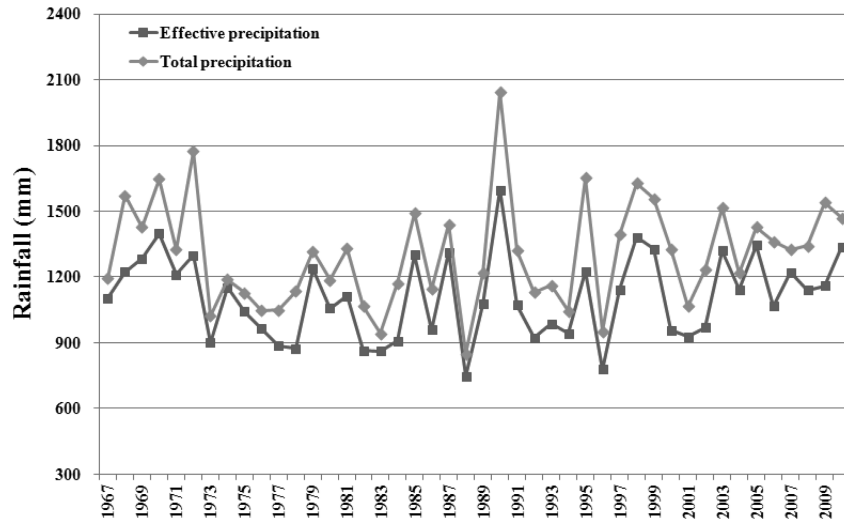


Fig. 2 The result of annual total and effective rainfall at Suwon station during 1967 to 2010

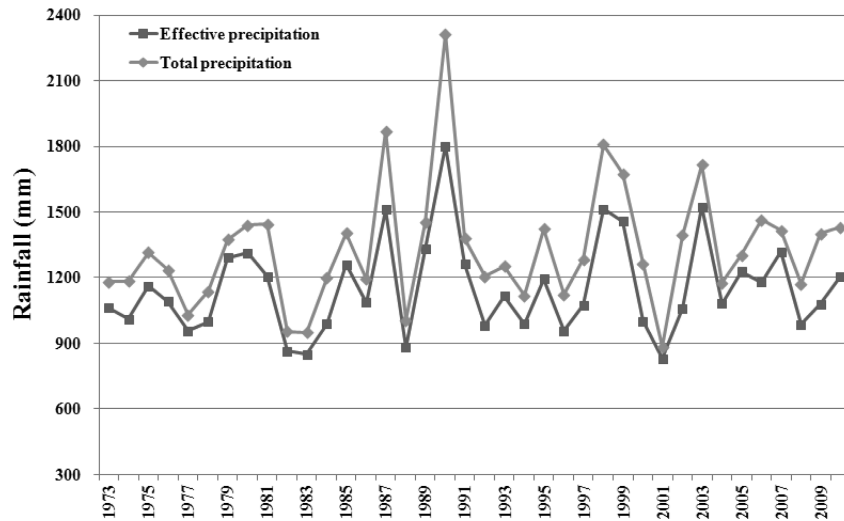


Fig. 3 The result of annual total and effective rainfall at Ichoen station during 1973 to 2010

을 나타난 연도는 각각 1990년과 2001년이었고, 평균은 1,330.9 mm이었다. 유효우량 중 최대, 최소값을 나타낸 연도는 연강수량과 동일하였고, 전체 기간 동안은 평균은 1,150.0 mm이었다. 연강수량과 유효우량의 차이가 가장 큰 연도는 1990년으로 511.8 mm 차이가 발생하였다. 1976~1977, 1982~1983, 1994~1995, 2000~2001년은 우리나라에 큰 가뭄이 발생했던 기간으로써 이 기간 동안의 수원과 이천 지역의 유효우량의 평균은 각각 953.8 mm와 972.2 mm로, 전체 평균과 비교하여 약 154 mm와 178 mm 정도 적은 것으로 나타났다.

### 3. 빈도 분석

수원과 이천 지역의 월별 (또는 기간별) 유효우량을 산정하기

위하여 시계열을 작성하고, 확률분포형의 매개변수를 추정한 후 적합도 검정을 통하여 Weibull 분포형을 최적확률분포형으로 선정하였다. 이 분포형을 통하여 한발기준 2, 5, 10년 및 20년빈도 유효우량을 산정하였는 그 결과는 Fig. 4와 같다.

수원의 경우, 건기에 해당하는 4월과 5월의 빈도별 유효우량 결과는 2년빈도의 경우, 각각 60.5 mm 및 85.1 mm이고, 5년 빈도는 26.5 mm 및 46.3 mm이고, 10년빈도는 15.4 mm 및 31.0 mm이고, 20년빈도는 9.1 mm 및 21.1 mm로 분석되었다. 비관개기에 해당하는 11월부터 3월까지의 빈도별 결과는 2년빈도는 121.5 mm, 5년빈도는 81.7 mm, 10년빈도는 65.7 mm, 20년빈도는 55.1 mm로 산정되었다. 이천의 경우, 건기에 해당하는 4월과 5월의 빈도별 유효우량 결과는 2년빈도의 경우, 각각 66.5 mm 및 83.4 mm이고, 5년빈도는 29.8 mm 및 44.8 mm

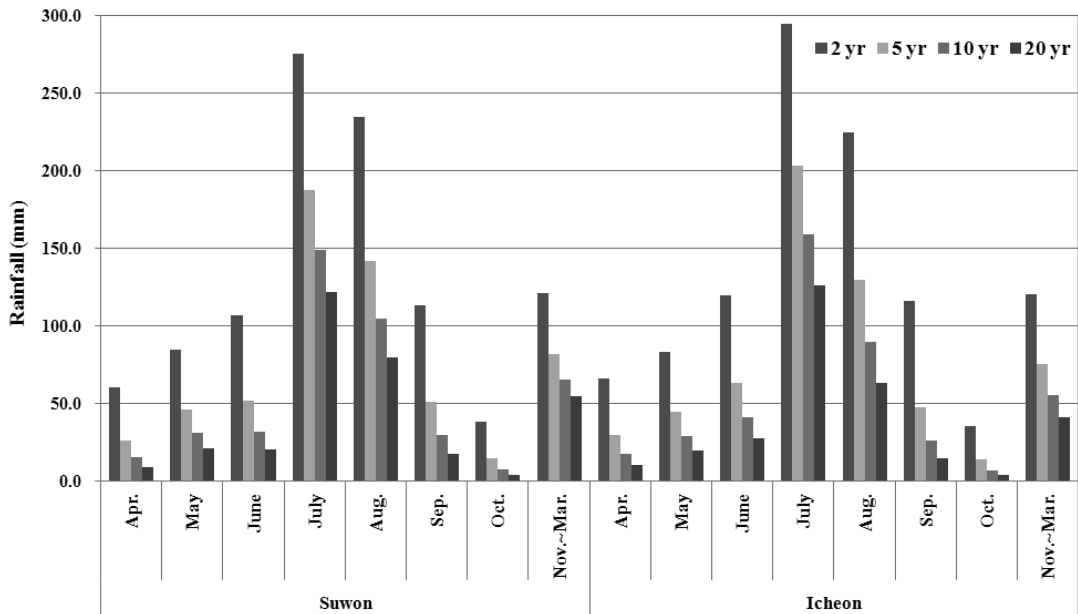


Fig. 4 Monthly or seasonal effective rainfall for 2, 5, 10 and 20 year return period at Suwon and Icheon stations

이고, 10년빈도는 17.5 mm 및 29.5 mm이고, 20년빈도는 10.5 mm 및 19.6 mm로 분석되었다. 비관개기에 해당하는 11월부터 3월까지의 빈도별 결과는 2년빈도는 120.3 mm, 5년빈도는 75.7 mm, 10년빈도는 55.7 mm, 20년빈도는 41.5 mm로 산정되었다.

두 지역의 결과를 비교해보면 4월, 6월, 7월에 이천 측후소가 빈도치 산정 결과가 더 큰 것으로 나타났고, 그 외 기간인 5월, 8월, 9월, 10월, 비관개기에서는 수원측후소의 빈도 결과가 더 큰 것으로 추정되었다. 한편 수원 측후소의 4월부터 비관개기까지의 50년빈도 결과는 각각 4.6 mm, 12.8 mm, 11.3 mm, 97.3 mm, 58.3 mm, 9.4 mm, 1.9 mm 및 42.2 mm이고, 이천 측후소의 월별 50년빈도 결과는 각각 5.4 mm, 11.4 mm, 16.2 mm, 93.0 mm, 40.4 mm, 7.2 mm, 1.9 mm 및 23.3 mm이었다. 20년빈도 결과와 비교하여 빈도는 20년에서 50년으로 증가하더라도 강수량 차이는 상대적으로 크지 않은 것을 알 수 있다. 또한 그 값 자체가 우기가 아닌 건기 기간에서는 매우 적기 때문에 가뭄 단계 설정시 한발기준 20년 이상의 가뭄 단계를 설정하더라도 유의미한 차이는 없을 것으로 판단되었다.

#### 4. 단계별 가뭄시나리오 기준년도 설정

각 기간에 따른 한발기준 2, 5, 10 및 20년빈도 유효우량 결과를 바탕으로 농업 가뭄대응을 위한 단계별 기상시나리오에 해당되는 기준 연도를 결정하였는데, 그 결과는 Table 1에 나타내었다.

수원의 경우, 평년에 해당하는 0단계의 가뭄 기준연도는 『4월

Table 1 Drought reference year for each levels of drought climate scenario at Suwon and Icheon stations

Station / Level	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov. ~ Mar.	
Suwon	0	1984	1987	1984	1983	1992	1986	1975	2000~2001
	1	1968	1968	1988	2010	1970	2009	1973	1969~1970
	2	2007	1988	1968	1986	1993	1988	2007	1999~2000
	3	2001	1984	1969	1976	1991	2001	1988	2001~2002
Icheon	0	1976	2008	2004	1986	1986	1983	1978	1985~1986
	1	1996	1988	2002	1992	1984	1978	2008	1973~1974
	2	1994	1976	1975	1982	1983	1976	1997	1994~1995
	3	2001	1984	1995	1976	1977	2006	1977	1999~2000

(1984년) - 5월 (1987년) - 6월 (1984년) - 7월 (1983년) - 8월 (1992년) - 9월 (1986년) - 10월 (1975년) - 11~3월 (2000~2001년)』로 선정되었다. 또한 가장 높은 3단계에 해당되는 가뭄 기준연도는 『4월 (2001년) - 5월 (1984년) - 6월 (1969년) - 7월 (1976년) - 8월 (1991년) - 9월 (2001년) - 10월 (1988년) - 11~3월 (2001~2002년)』로 나타났다. 이천의 경우, 『4월 (1976년) - 5월 (2008년) - 6월 (2004년) - 7월 (1986년) - 8월 (1986년) - 9월 (1983년) - 10월 (1978년) - 11~3월 (1985~1986년)』로 선정되었다. 또한 가장 높은 3단계에 해당되는 가뭄 기준연도는 『4월 (2001년) - 5월 (1984년) - 6월 (1995년) - 7월 (1976년) - 8월 (1977년) - 9월 (2006년) - 10월 (1977년) - 11~3월 (1999~2000년)』로 나타났다.

위와 같이 설정된 0단계 (평년)부터 3단계 (20년빈도)까지의

가뭄 기상시나리오를 강수량에 국한된 것이 아닌 기온, 습도, 풍속, 일조시간 및 증발량 등의 기상인자를 바탕으로 유출 모델, 가뭄 지수 등을 산정하여 현재 상황에서 향후 가뭄이 어떻게 진행될 것인가에 예측하여 다양한 경우에 대한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

5. 가뭄기상시나리오의 물수지분석 모델 적용

수원 측후소의 가뭄기상시나리오를 바탕으로 저수지물수지 분석을 통한 일별 저수량 모의 적용하고, 그 결과를 검토하였다. 이를 위하여 1975년부터 2010년까지의 마둔저수지의 일별 저수량을 모의하고, 이 중 1977년 10월 1일을 시점으로 수원 지역의 단계별 가뭄기상시나리오를 적용하였다. 일별 저수량 모의를 위하여 사용된 저수지 물수지 분석 모형은 DIROM (Daily Irrigation Reservoir Operation Model, Kim and Park, 1988)으로, 저수지 유입량은 수정 3단 탱크모형으로, 방류량은 수정 Penman식으로 산정된다. 마둔저수지의 기본제원은 유역면적 1,300 ha, 관개면적 305.8 ha, 유효저수용량 3,466,100 m<sup>3</sup>이고, 관개지구의 침투량은 6.5 mm/day, 수로손실은 20 %이다.

1977년 9월 30일 기준으로 마둔저수지의 저수용량은 1,553,600 m<sup>3</sup>로 저수율은 44.8 %로 모의되었다. 모의 기간 35년 동안의 9월 30일 기준 평년 저수율은 93.7 %로, 1977년 10월 1일의 저수율은 평년 저수율과 대비하여 상대적으로 매우 낮은 것을 알 수 있다. 이 시기를 시점으로 단계별 가뭄기상시나리오를 바탕으로 3월 31일의 저수량을 예상한 결과는 Fig. 5와 같다. 0

단계의 경우 저수용량이 3,019,500 m<sup>3</sup> (저수율 87.1 %), 1단계의 경우 저수용량이 2,693,600 m<sup>3</sup> (저수율 77.7 %), 2단계의 경우 저수용량이 2,115,800 m<sup>3</sup> (저수율 61.0 %), 4단계의 경우 저수용량이 1,870,500 m<sup>3</sup> (저수율 54.0 %)로 예측되었다. 이는 평년빈도의 강우가 발생하더라도 평년빈도의 저수율을 확보하지 못할 수 있음을 의미한다. 일반적으로 9월 30일은 관개가 종료된 기간으로, 이 기간에 충분한 저수용량을 확보하지 못한 상태에서 이듬해의 이앙기까지 충분한 강우가 발생하지 않는다면 이앙기에 관개용수가 부족한 상황이 발생할 수 있다. 가뭄기상시나리오가 아닌 1977년 10월부터 1978년 3월까지의 실제 모의 결과는 1단계의 결과와 유사한 경향을 보였는데, 1977년~1978년은 우리나라에 큰 가뭄이 발생했던 기간이다. 이처럼 저수지 물관리의 중요 시기에서 현재 저수용량과 가뭄기상시나리오를 바탕으로 한 단계별 예상 저수량이 추정된다면, 농업가뭄대응을 위한 물관리 의사결정에 유용할 것으로 판단된다.

1991년부터 2010년까지의 고삼저수지 유역의 토양수분을 모의하고, 큰 가을 가뭄이 있었던 2006년 8월 1일을 시점으로 이천 지역의 가뭄기상시나리오를 적용하였다. 토양수분 모의 사용된 토양수분모형은 Bae et al. (1999), Kim et al. (2006), Nam et al. (2008, 2012)이 농업가뭄지수인 토양수분지수 (SMI, Soil Moisture Index)를 산정에 활용된 모델이다. 고삼저수지 유역의 물리적 특성자료는 CN은 58, 유효토심은 300 mm, 포장용수량은 27.9 %, 위조점은 12.9 %로 추정되었다.

Fig. 6은 2006년 8월 1일 시점으로 실제 2006년 기상 상황과 가뭄단계별 기상시나리오를 적용한 결과이다. 유효토심의 위조점

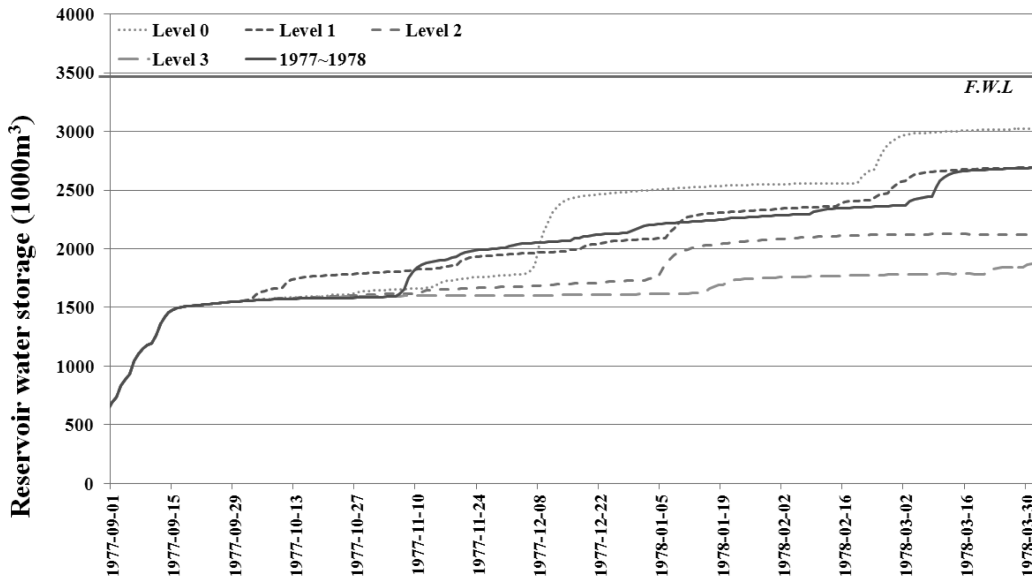


Fig. 5 Simulation result of reservoir water storage applied to drought climate scenarios for Madun reservoir (Suwon station) (1 Oct. 1977~30 Mar. 1978) (F.W.L.: full water level)

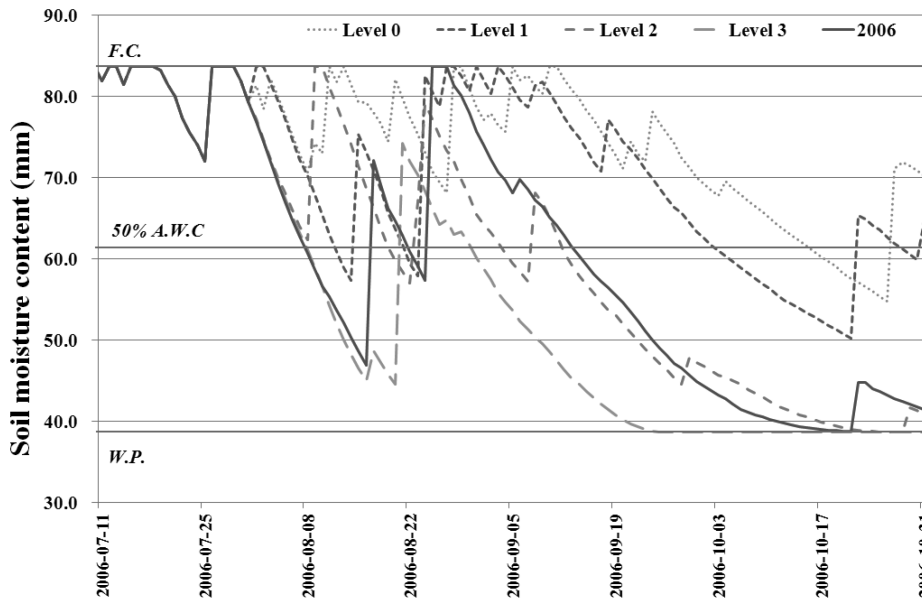


Fig. 6 Simulation result of soil water applied to drought climate scenarios for Gosam reservoir watershed (Icheon station) (1 Aug. 2006~31 Oct. 2006) (F.C.: field capacity, W.P.: wilting point, A.W.C.: available water content)

과 포장용수량 범위인 38.7~83.7 mm 사이에서 토양수분량이 모의되었는데, 대상지역의 2006년 7월 31일 토양수분은 79.3 mm로 나타났다. 단계별 예측 결과를 보면 8월의 경우, 3단계를 제외하고는 나머지 세 단계에서는 유효수분함량의 50% (61.2 mm)를 대부분 상회하는 경향을 보였는데, 이는 8월에는 비교적 강우량이 많기 때문에 기상시나리오별 예측 결과 차이가 크지 않은 것으로 판단된다. 하지만 여름철보다 강수량이 상대적으로 적은 9~10월에는 단계별 결과가 비교적 큰 차이를 보였다. 토양수분량이 0단계에는 유효수분함량의 50% 이하로 10월 16일부터 11일간, 1단계에서는 10월 4일부터 18일간 유효수분함량의 50%를 이하의 값을 보였고, 위조점 이상을 토양수분은 유지하였다. 한편 2단계의 경우, 9월 12일부터 유효수분함량의 50% 이하로 내려가서 10월 24일에 위조점까지 떨어졌고, 3단계에서는 8월 18일부터 유효수분함량의 50% 이하로 내려가서 9월 20일에 위조점까지 내려가서 41일간 지속되는 것으로 나타났다. 따라서 8월에 높은 토양수분을 유지하여도 한발기준 평년 및 5년빈도의 기상 상황이 유지될 경우, 가을 가뭄이 발생하지 않지만 10년 또는 20년빈도의 기상 상황이 발생한다면, 9월 중순 이후부터 가뭄이 시작될 수 있을 것으로 분석되었다. 매우 심한 가뭄이 발생했던 2006년 가을 경우, 토양 수분 패턴이 가뭄 2단계 적용 결과와 유사한 것으로 나타났다.

위 두 적용 결과를 보면, 본 가뭄기상시나리오 모델은 과거 강우 사상을 적용하기 때문에 강우 발생 시기에 따라 시나리오 분석 결과가 단계별로 일부 기간에서 역전되는 현상이 발생하였는데, 가뭄기상시나리오의 설정 기간인 1개월 이후부터는 비교적

적정한 결과를 나타냈다. 따라서 1개월 미만의 단기 예측보다는 2~3개월 이상의 장기 예측에서 더 유용한 것으로 판단된다.

#### IV. 요약 및 결론

기존 개발된 농업가뭄 분석 및 평가 기술은 현재의 가뭄 상태를 나타낼 뿐, 향후 진행 상황에 대한 전망 정보를 제공하는데 한계가 있어 물관리와 같은 현장 업무나 관련 정책 수립의 의사 결정을 지원에 있어서는 제한적이라 할 수 있다. 이에 지역별 농업가뭄의 위험 등을 예측하여 실제 물관리 및 가뭄대책 업무에 반영할 수 있는 방법이 필요하다. 즉 예상되는 가뭄상황을 설정하여 장기적인 대책을 마련할 수 있는 분석 방법이 있다면 향후 물관리 및 가뭄대책에 있어서 유용할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 농업가뭄대응을 위한 기상시나리오를 설정하여, 현재의 가뭄 정도를 파악하고 향후 이 가뭄 상태가 어떻게 진행될 것인가에 예측한다면 보다 손쉽게 농업가뭄대응책 수립 및 농업수자원관리의 의사결정을 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 과거 가뭄이 발생했던 기록을 바탕으로 농업가뭄대응을 위한 가뭄단계별 기상시나리오를 설정할 수 있는 모델을 개발하였다. 다양한 기상 인자간의 의존성을 해결하기 위하여 가뭄단계별 기준년도를 설정하고, 과거 기상 패턴을 이용할 수 있는 모델을 구성하였다. 가뭄단계는 4단계로 설정하였는데, 단계별 기준년도는 시기별 유효수량의 빈도분석 결과를 바탕으로 결정하였다. 본 모델을 바탕으로 수원과 이천 지역의 가뭄기상시나리오 자료를 구축하고, 이를 마둔 저수지의 저수용량과 고삼

저수지 유역의 토양수분모델에 적용하였다. 그 결과 본 가뭄기상 시나리오 모델은 과거 강우 사상을 적용하기 때문에 강우 발생 시기에 따라 시나리오 분석 결과가 일부 역전되는 현상이 발생하는 것으로 분석되었는데, 가뭄기상시나리오의 설정 기간인 1개월 이후에서는 비교적 적절한 결과를 나타냈다. 따라서 1개월 미만의 단기 예측보다는 2~3개월 이상의 장기 예측에서 더 유용한 것으로 판단된다.

본 연구는 한국농촌공사의 'Web 및 GIS 기반 가뭄 관리 시스템 구축' 용역의 일환으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

1. Ahn, S. R., G. A. Park, Y. H. Shin and S. J. Kim, 2009a. Assessment of the Potential Water Supply Rate of Agricultural Irrigation Facilities Using MODSIM - For Geum River Basin -, *Journal of Korea Water Resources Association* 42(10): 825-843 (in Korean).
2. Ahn, S. R., J. Y. Park, I. K. Jung, S. J. Na and S. J. Kim, 2009b. Hydrological Drought Assessment of Agricultural Reservoirs based on SWSI in Geum River Basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(5): 35-49 (in Korean).
3. Bae, S. J., H. W. Chung and J. Y. Choi, 1999. Agricultural Drought Analysis using Soil Water Balance Model and Geographic Information System. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 41(6): 33-43 (in Korean).
4. Chow, V. T., 1951. A General Formula for Hydrologic Frequency Analysis. *Transactions American Geophysical Union* 32: 231-237.
5. Chung, H. W., S. J. Kim, J. S. Kim, J. K. Noh, K. W. Park, J. G. Son, K. S. Yoon, G. H. Lee, N. H. Lee, S. O. Chung, J. D. Choi and J. Y. Choi, 2009. *Irrigation and Drainage Engineering*. Seoul: Dongmyeongsa.
6. Fread, D. L., 1998. A Perspective on Hydrologic Prediction Trends. *Special Symposium on Hydrology* AMS, Phoenix, Arizona.
7. Hong, E. M., J. Y. Choi, S. H. Lee, S. H. Yoo and M. S. Kang, 2009. Estimation of Paddy Rice Evapotranspiration Considering Climate Change Using LARS-WG. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(3): 25-35 (in Korean).
8. Jang, M. W., H. W. Chung, J. Y. Choi, K. W. Park and B. S. Jong, 2004. Development of A Single Reservoir Agricultural Drought Evaluation Model for Paddy. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(3): 17-30.
9. Kim, H. Y. and S. W. Park, 1988. Simulating Daily Inflow and Release Rates for Irrigation Reservoirs (III) - Model Application to Daily Reservoir Operations -. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 30(3): 95-105 (in Korean).
10. Jeong, D. I. and Y. O. Kim, 2002. Forecasting Monthly Inflow to Chungju Dam using Ensemble Streamflow Prediction. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers B*. 22(3B): 321-331.
11. Kim, O. K., J. Y. Choi, M. W. Jang, S. H. Yoo, W. H. Nam, J. H. Lee and J. K. Noh, 2006. Watershed Scale Drought Assessment using Soil Moisture Index. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(6): 3-13 (in Korean).
12. Kim, S. J., K. Y. Lee and S. J. Kang, 1998. Statistical Analysis of Irrigation Reservoir Water Supply Index. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(4): 58-66 (in Korean).
13. Kim, Y. O., D. I. Jeong and H. S. Kim, 2001. Improving Water Supply Outlooks in Korea with Ensemble Streamflow Prediction. *Water International* 26(4): 563-568.
14. Lee, S. J., J. C. Kim, M. H. Hwang and S. J. Maeng, 2010. Forecasting Monthly Runoff Using Ensemble Streamflow Prediction. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(1): 13-18 (in Korean).
15. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), 1998a. Design Criteria of Land and Water Development Plan for Agriculture (Irrigation). Ministry of Agriculture and Forestry (in Korean).
16. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), 1998b. Development of Calamity Preventing and Restoration Affairs Supporting System of the Ministry of Agriculture and Forest. Ministry of Agriculture and Forestry (in Korean).
17. Nam, W. H., J. Y. Choi, S. H. Yoo and B. A. Engel, 2012. A Real-time Online Drought Broadcast System



- for Monitoring Soil Moisture Index. *KSCE Journal of Civil Engineering* 16(3): 357-365.
18. Nam, W. H., S. H. Yoo, J. Y. Choi and M. W. Jang, 2008. Analysis of Autumn Drought using Soil Moisture Index. *KCID (Korea National Committee on Irrigation and Drainage) Journal* 15(1): 21-33 (in Korean).
19. Park, K. W., J. T. Kim, U. J. Ju and Y. J. Lee, 2006. Application of Drought Indices for Agricultural Drought Evaluation. *KCID (Korea National Committee on Irrigation and Drainage) Journal* 13(1): 72-81 (in Korean).