

기상자료기반 다중선형회귀분석에 의한 농업용 저수지 월단위 저수율 예측 및 저수지 가뭄지수(RDI) 추정*

이지완¹ · 김진욱² · 정충길^{1*} · 김성준³

Forecasting Monthly Agricultural Reservoir Storage and Estimation of Reservoir Drought Index (RDI) Using Meteorological Data Based Multiple Linear Regression Analysis*

Ji-Wan LEE¹ · Jin-Uk KIM² · Chung-Gil JUNG^{1*} · Seong-Joon KIM³

요 약

본 논문의 목적은 농업용 저수지 저수율 계측자료와 기상인자와의 다중선형회귀분석을 통해 저수율 예측 월단위 회귀식을 산정하는데 있다. 2002년부터 2016년까지의 한국농어촌공사 저수지 3,067개에 대한 저수율 관측자료와 기상청 63개 지점 관측자료를 수집하여 저수율 예측 다중선형 회귀식을 도출하였으며, 개발된 월별 회귀식에 대한 R²는 0.51~0.95로 분석되었다. 또한 회귀식의 적용성 평가를 위해 9개 대표저수지에 대해 관측값과 비교한 R²는 0.44~0.81로 나타났다. 회귀식을 이용하여 평년(1976~2005) 대비 저수지 가뭄지수(Reservoir Drought Index, RDI)를 산정하여 ROC 분석을 수행한 결과, 극심한 가뭄의 경우 2년(2015~2016) 평균 적중률은 0.64로 겨울의 적중률이 0.70으로 가장 높았고, 여름의 적중률이 0.58로 가장 낮게 나타났으며, 봄과 가을의 적중률은 각각 0.59, 0.68로 분석되었다. 본 연구에서 도출한 회귀식은 가용한 관측자료 및 1~3개월의 장기 기상전망자료 기반의 월단위 저수율 전망자료 생산이 가능하므로, 이를 기반으로 농업가뭄 전망정보의 생산이 가능할 것으로 판단된다.

주요어 : 농업용 저수지, 저수율, 기상인자, 다중선형회귀분석, 저수지 가뭄지수

2018년 07월 06일 접수 Received on July 6, 2018 / 2018년 08월 20일 수정 Revised on August 20, 2018 / 2018년 08월 20일 심사완료 Accepted on August 20, 2018

- * 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B083066-05)
1 건국대학교 사회환경시스템공학과 Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Konkuk University
2 건국대학교 사회환경플랜트공학과 Dept. of Civil, Environmental & Plant Engineering, Konkuk University
3 건국대학교 사회환경공학부 Dept. of Civil & Environmental Engineering, Konkuk University
※ Corresponding Author E-mail : wjd0823@konkuk.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate monthly agricultural reservoir storage with multiple linear regression model (MLRM) based on reservoir storage and meteorological data. The regression model was developed using 15 years (2002 to 2016) of 3,067 reservoirs by KRC (Korea Rural Community) and 63 meteorological stations by KMA (Korean Meteorological Administration), and the MLRM showed the determination coefficient (R^2) of 0.51~0.95. The MLRM was applied to 9 selected reservoirs among the whole reservoirs and validated with R^2 of 0.44~0.81. The ROC (Receiver Operating Characteristics) analysis of Reservoir Drought Index (RDI) classified by comparing the present reservoir storage with normal year (1976~2005 average) reservoir storage showed average value of 0.64 for 2 years (2015~2016) with the highest value of 0.70 for winter period, lowest value of 0.58 for summer period. If 1 to 3 months weather forecasting data such as GloSea5 produced by KMA are applied, the predicted monthly reservoir storage from the MLRM can be a useful information for agricultural drought pre-preparation.

KEYWORDS : *Agricultural reservoir, Reservoir storage, Meteorological factors, Multiple linear Regression, Reservoir Drought Index*

서 론

우리나라 농업용 저수지의 유효저수량은 31억 m^3 (17,401개소) 규모로 전체 농업용수량의 75% 이상을 기여하고 있으며(Kim *et al.*, 2016) 이러한 저수량 관리는 농업용수의 효율적인 관리 측면에서 가장 중요한 요소이다. 우리나라는 논관개가 대부분을 차지하며 논벼 생육 기간인 4~9월에 대부분의 관개가 이루어진다. 또한 연간 약 1,400mm의 강수 중 대부분이 6~9월에 이뤄지며 이는 우리나라 관개 계획에 매우 큰 영향을 미치는 요소 중 하나이다(Bang *et al.*, 2017). 따라서 저수지의 저수량이 충분하지 않을 경우 적은 저수량이 이뤄되어 작물재배에도 지속적인 영향을 미칠 수 있으며 한발이 올 경우 심각성은 증가한다. 이에 우리나라 농업용 저수지에서는 강우집중기간의 강수를 최대한 저수하는 것이 지속가능한 작물재배에 있어 중요하게 여겨진다.

저수지의 가뭄대응 능력 및 저수지 운영에 관한 연구는 주로 모의 용수량 산정 및 관개효율

에 초점을 두고 있다(Lee *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2008; Jang *et al.*, 2012; Kang *et al.*, 2014; Song *et al.*, 2015). 또한 댐, 저수지 등의 저수율 예측은 주로 상류 유입량을 예측하여 물수지를 산정하는 연구를 중심으로 진행되었고, 이는 수문순환 과정의 기본적인 요소로서 수공학적 구조물 운영 시 방류량을 결정하는 기초자료로 활용 되었다.

저수지 운영개선이나 저수지의 용수공급 능력을 제고하기 위해서는 우선 저수지 저수량을 합리적으로 예측 할 수 있어야 하며 이러한 농업용 저수지의 저수율을 모의하기 위해서는 저수지유입량, 필요수량, 강수량 등의 물수지를 통하여 이루어지는 것이 일반적이다(Park *et al.*, 2016). 그러나 물수지 분석을 위해서는 실제로 방류나 관개되어지는 유량이 불확실 하여 신뢰성있는 저수율을 모의하기에 한계가 있다. 이러한 한계점을 개선하기 위해 최근 예측에 대한 정확도를 높이고 불확실성을 줄이는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

최근 많은 국내외 연구자들이 통계분석을 이용하여 저수지 수위 및 방류량을 예측 방법을

제시하고 있는데(Jain *et al.*, 1999; Coulibaly *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2009; Valipou *et al.*, 2013) 국내의 연구사례를 주로 살펴보면 Lee(2004)는 안성시 내 금광저수지와 고삼저수지를 대상으로 자기회귀오차모형을 이용하여 시기별 저수량을 예측하였고, 동일한 저수지에 대해 Ahn *et al.*(2007)은 기상인자와 농업용저수지의 상관성 분석을 실시하고 다중선형회귀분석을 통해 관개기, 비관개기에 따른 저수율을 산정했다. Bae(2011)는 실측 관측자료와 하천 수위 자료의 상관성 분석을 통해 하천의 수위 변화를 분석한 바 있으며, Kang *et al.*(2014)은 남방진동지수, 해수면온도, 지위고도 자료로부터 예측인자를 선정하고 이를 다중선형 회귀 분석으로 안동댐 계절별 유입량을 산정했다. Kwon *et al.*(2016)은 보령댐을 대상으로 핵밀도 함수를 활용하여 유입량의 불확실성을 고려한 확률론적 저수율 예측연구를 수행했으며, Cho *et al.*(2016)은 안동댐 유역을 대상으로 미국 NOAA에서 제공하는 전지구기후지수의 강수 및 기온을 원격상관으로 예측하고 다양한 유입량 예측 방법을 통해 1개월 선행 댐 유입량을 산정하여 예측 성능을 비교했다. Park *et al.*(2016)은 월강우량과 월별 저수율 변화량에 대한 회귀분석을 실시하여 월별로 저수율 변화를 추적하는 연구를 수행한 바 있으며, Kim *et al.*(2017)은 베이지안 기법 기반의 댐 예측 유입량 산정기법을 개발하여 충주댐 유역에 적용한 바 있다.

기존의 자기회귀모델, 이동평균모델 등의 추계학적 모델을 통해 많은 연구가 이루어졌으나 기후변화와 복잡해진 자연현상을 예측하기 위해서 보다 더 정확한 예측 모델이 요구되어졌다. 그러나 저수지 유입량과 필요수량 등을 통한 저수율 예측은 불확실성이 크다는 취약점이 있고, 기존의 저수지 물관리 관행을 포함한 수리, 수문특성이 반영되기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 단점이 개선된 저수율 모의를 위해서는 과거 월 기상자료와 과거 저수율 운영 실적을 통해 관행적인 운영모의가 반영된 저수율 관측자료를 이용한 회귀분석이 요구된다.

따라서, 본 연구는 전국 수위계측기가 설치되어 관측자료가 장기간 축적된 한국농어촌공사 농업용 저수지를 대상으로 저수율 계측자료와 기상관측소에서 관측 중인 기상인자와의 다중선형회귀분석을 통해 월별 저수율 예측 회귀식을 산정하는데 목적이 있다.

연구과정 및 방법

본 연구에서는 한국농어촌공사 관할 저수지 3,067개에 대한 저수율 관측자료와 기상청 지상관측소 63개 지점에 대한 기상관측자료를 수집하여 저수율과 기상인자를 독립변수로 하는 저수율 예측 다중선형 회귀식을 도출하였다. 최적의 회귀식도출을 위해 단계적으로 독립변수를 선정 하였고, 회귀식의 정확도 검증을 위해 전국 행정구역별 대표저수지와의 관측 자료와의 상관성분석 및 저수지가뭄지수 RDI를 산정하여 상관성 분석을 수행하였다(그림 1).

1. 농업용저수지 저수율자료, 전국 기상관측자료

국내에는 17,500여개의 농업용 저수지가 전국적으로 분포하고 있으며, 농업용 저수지의 총 유효 저수량은 2,838백만 m^3 에 달하고 있다. 그러나 농업용 저수지는 축적된 수문자료가 빈약하고, 다목적 댐과 같은 대댐과는 달리 농업용 저수지 관개면적에 비하여 수문계측기 설치 및 운영에 소요되는 비용이 과다하여 모든 저수지에 대한 계측자료를 확보하기 어렵다. 따라서 본 연구는 수위계가 설치된 한국농어촌공사 저수지를 대상으로 농업기반시설관리시스템 RIMS(Rural Infrastructure Management System)에서 제공하는 농업용 저수지 일저수율 자료를 수집하였다. RIMS에서는 전국 저수율 현황, 한국농어촌공사의 각 지사별 관할저수지 저수율 상황, 저수율 30%미만 저수지 개소수, 50%미만 저수지 개소수, 고갈저수지 개소수 등의 자료를 일별로 제공하고 있다(Kim *et al.*, 2016).

저수율 예측 회귀식 산정을 위해 한국농어촌공사에서 관리중인 전국 3,067개에 대한 농업

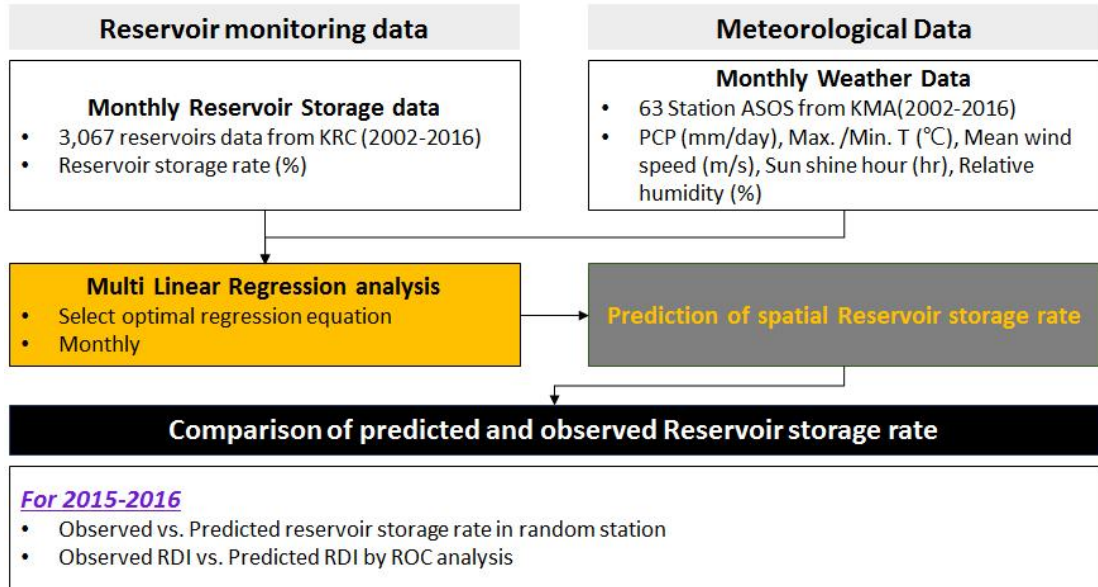


FIGURE 1. Flowchart of this study

용 저수지 저수율 관측자료 수집하였다. 수집된 일별자료를 월별로 정리하여 분석에 활용 했으며, 수집된 자료 중 이상값과 결측자료는 선행 연구와 같이(Lee *et al.*, 2016)내삽 혹은 배제 하였다.

그림 2는 2015년부터 2016년 까지 수집한 월별 저수율을 GIS DB로 구축 하여 나타낸 것으로 전국 시군 중 농어촌공사 관할 저수지가 가장 많은 지역은 전라남도도 937개(30.2%)의 저수지를 보유하고 있으며, 그 다음은 경상북도(19.3%), 경상남도(16.1%)의 순으로 관할저수지가 많은 것으로 나타났다.

기상자료는 결측이 없고, 과거 기상자료를 30년 이상 보유하고 있는 기상청 ASOS 63개 기상관측소자료를 사용하였는데, 저수량에 영향을 미칠 것으로 판단되는 총 5개의 기상인자(강수, 평균기온, 최고기온, 최저기온, 평균풍속) 자료를 사용하였다.

예측된 저수율의 정확도 평가를 위해 저수지 가뭄지수(Reservoir Drought Index, RDI)를 산정하여 관측 자료와의 예측정확도 분석을 수행하였다. RDI는 다음과 같은 수식으로 산정된다.

$$RES = \frac{RES_{obs} - RES_{nor}}{RES_{obs}} \quad (1)$$

여기서, RES_{obs} 는 특정 월의 관측 저수지 저수율, RES_{nor} 는 과거 30년 평균 저수지 저수율(평균 저수율, 1976-2005년)을 의미하며, -0.25~-0.5는 보통 가뭄, -0.5~-1.0 심한 가뭄, -1 이하는 극한 가뭄의 단계를 나타낸다. RDI 산정을 위해 사용된 평균 저수율 자료는 농어촌공사로부터 제공 받았다.

2. 저수율 예측 회귀식 선정

회귀분석은 한 변수를 종속변수(Dependent Variable)로 설정하고 다른 변수를 독립변수(Independent variable)로 설정하여 이들 간의 관계를 분석하는 것을 말하며, 다중선형 회귀분석이란 객관적으로 나타난 자료를 바탕으로 2개 이상의 독립변수(independent variable)와 종속변수(dependent variable)간의 상호관계(선형, 비선형 관계 등)를 분석하는 기법이다. 일반적으로 대부분의 자연적 현상을 설명하는데 있

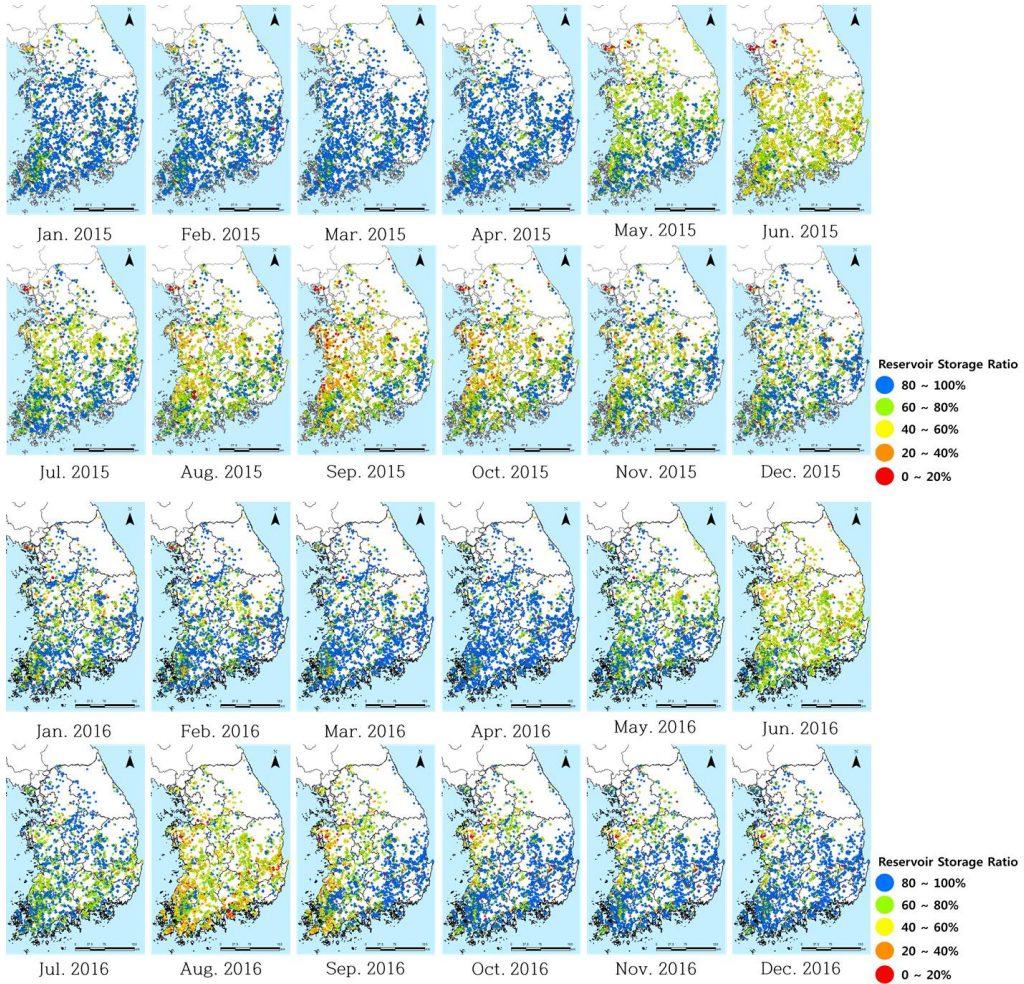


FIGURE 2. Monthly Reservoir storage rate (2015–2016)

여 종속변수(Y),는 두 개 이상의 독립변수에 의해 좌우되는 경우가 있으며, 설명력 있는 적절한 독립변수를 여러 개 선택하여 이들의 함수로 종속변수를 나타낼 경우 회귀식의 정확도가 향상된다(Yun *et al.*, 2009). 종속변수를 설명하는데 k 개의 독립변수인 X_1, X_2, \dots, X_k 를 도입할 때 다중회귀모형은 다음과 같이 정의된다(Choi *et al.*, 2012).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \epsilon_i \quad (2)$$

여기서, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 는 회귀계수 또는 매개변수를 의미하고 ϵ_i 는 서로 독립이고 동일한 분포 $N(0, \sigma^2)$ 을 따르는 오차항이다. $\beta_j (j=1, \dots, k)$ 는 j 번째 독립변수 X_j 의 회귀계수(기울기)를 의미하는데, X_j 를 제외한 다른 모든 독립변수의 값이 고정된 상태에서 X_j 의 값이 한 단위 증가할 때의 Y 값의 평균변화량을 나타낸다. 그리고 X_{ji} 는 독립변수 X_j 의 i 번째 관측치를 의미한다.

다중회귀분석을 실시할 때 독립변수를 선택하는 방법은 동시입력방식(enter)과 단계입력방식(stepwise) 방식이 주로 사용되는데, 본 연구에

서는 단계입력 방식을 사용하여 월 저수율을 종속변수로 기상인자 및 전월 저수율을 독립변수로 하는 회귀분석을 수행하였다.

3. 모형의 평가 방법

회귀모형에 의해 모의된 저수율을 평가하는 방법으로는 결정계수(coefficients of determination, R^2)와 root-mean square error (RMSE), percent bias (PBIAS)를 사용하였다. R^2 은 1에 가까울수록 관측 값과 모의 값이 완벽하게 일치함을 나타내며, RMSE는 실측치와 모의치의 오차를 나타내는 것으로 0에 가까울수록 오차가 작음을 의미한다. PBIAS는 관측치와 모의치의 오차를 퍼센트로 나타낸 것으로 오차값이 작을수록 모형의 효율이 높음을 나타낸다(Lee *et al.*, 2018).

또한 2015-2016 가뭄기간에 대해 농업용저수지 가뭄지수인 RDI를 산정하고, ROC (Receiver Operating Characteristics) 분석을 통해 산정된 전국 저수율의 시공간적 예측 능력을 평가하였다. ROC 모형은 주로 기상분야에서의 확률예보의 정성적 검증에 활용되는 기법으로(Mason, 1982), Kim and Lee(2011)는 실제 가뭄 사례와 가뭄지수와의 정량적인 평가를 위해 통계적 기법인 ROC 분석을 적용한 바 있다. 이러한 ROC 분석을 위해 본 연구에서는 관측자료 기반의 RDI와 회귀식 기반의 RDI와 비교 분석 하였다.

본 연구에서서는 가뭄지수를 활용한 실제 가뭄의 재현능력을 평가하기 위해 표 1과 같이 ROC 모형을 설정하였다. 2015-2016년 동안의 관측자료 기반의 RDI를 “관측 결과(Observed value)”로 설정하고, 해당 시점을 대상으로 계산된 가뭄지수를 “예측 결과(Prediction value)”로 분류하여 “가뭄(O)” 과 “가뭄(X)” 에 의해 각각 2

가지씩 분류 하였다.

본 연구에서 설정한 모형은 실제 가뭄(관측자료기반 RDI)이 발생한다고 기록된 경우에 회귀식 기반 RDI에서도 가뭄이 발생했다고 나타내면 “성공(Hit, H)”, 그렇지 않다면 “잘못(Missing, M)”으로 나타내었다. 반면, 실제 가뭄이 발생하지 않을 경우 예측결과에서 가뭄이 발생한다면 “실패(False, F)” 그렇지 않다면 “음의 성공(Negative hit, N)”으로 나타내었다. 이중 H와 N을 참의 값으로 판단하고, M과 N은 거짓의 값으로 결정한다.

위와 같이 분류된 4가지의 구분을 통해 적중률과 비적중률 각각 계산하여 ROC 곡선을 구성할 수 있다. ROC 값의 범위는 0에서 1사이의 값을 가지며, 곡선 아래의 면적(Area Under Curve, AUC)이 산정 된다. AUC 값이 1에 가까울수록 가뭄지수의 가뭄 재현능력이 우수하다고 판단할 수 있다.

결과 및 고찰

1. 저수율 회귀모형

본 연구에서는 5개의 기상관측자료와 농업용저수지 저수율을 독립변수로 활용하여 다중선형 회귀모형을 구축하였다. 일반적으로 월단위에 비해 일단위 모의 결과가 실측치를 잘 반영하지 못하므로(Kim *et al.*, 2018) 기상관측자료는 기상청 2002~2016년의 전국 63개 지상기상관측 지점에서 얻은 일 기상관측자료를 강수는 누적, 그 외의 기상자료는 평균하여 월 기상관측자료로 가공하였고, RIMS에서 제공받은 2002~2016년의 일 농업용저수지 저수율 관측자료는 월별로 평균하여 월 농업용저수지 저수율 관측자료로 가공하였다. 회귀식의 회귀결과가 R^2 0.5이 하일 경우 회귀식을 재산정하여 최적의 회귀식을

TABLE 1. ROC Model

Drought Index (RDI)	Previous drought records	
	Drought	Non-Drought
Drought	Hit (H)	False (F)
Non-Drought	Missing (M)	Negative hit (N)

도출하였다. 도출된 회귀식은 아래와 같다.

$$RES_{pdt} = \alpha PRCP + \beta T_{max} + \gamma T_{min} + \delta T_{avg} + \epsilon WSPD + \eta RES + C \quad (3)$$

여기서, RES_{pdt}는 예측시점의 예측저수율(%), PRCP 강수(mm), T_{max}는 최고기온(°C), T_{min}은 최저기온(°C), T_{avg}는 평균기온(°C), WSPD는 평균풍속(m/s), RES는 예측 시점 전월 저수율(%), C는 상수이다.

본 연구에서는 최적의 회귀식 도출을 위해 Stepwise 방법을 이용하여 전월 저수율, 월 강수량, 평균, 최고, 최저 기온 및 평균풍속을 순차적으로 적용하여 회귀식에 가장 지배적인 영향을 주는 인자를 도출하고자 했다. 분석결과 6개의 독립변수를 모두 적용하였을 경우 0.76으로 상관성이 가장 높았으며, 저수율과 월 강수량만을 고려한 회귀식의 R²은 0.74로 분석되었다.

도출된 최적 회귀식의 독립변수 중 최고·최저 기온은 저수율에 가장 큰 영향을 증발산량 추정을 위해 독립변수로 채택된 것으로 판단되며, 이는 증발량 추정 시 기온자료를 활용하는 선행 연구(Rim, 2017)와 동일한 결과를 나타내었다. 또한 본 회귀식에서는 일조시간을 고려하지 않음에 따라 Lee *et al.*(1995)의 연구결과와 같이 일조시간과 상관관계가 있는 평균기온이 독립변수로 채택 된 것으로 생각된다. 따라

서 본 연구에서는 6개의 독립변수가 모두 고려된 회귀식을 채택하여 분석하였다.

다중선형 회귀분석을 통해 월별 회귀계수 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \eta, C$ 의 값을 산정하고 회귀결과 R²를 산정하였다. 산정된 월별 선형회귀계수는 표 2와 같으며 개발된 회귀식에 대한 R²는 0.51~0.95로 분석되었다. 1월이 0.95로 상관성이 가장 높았으며, 8월이 0.51로 상관성이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 그 이유로는 기상인자들만에 의한 저수율 감소예측은 현장에서의 낮은 관개효율 즉, 수로손실량, 관리손실량에 의한 저수율 감소, 그리고 필요담수심이상으로 농민들의 담수심 초과확보 성향 등의 인자들이 작용하기 때문에, 관측치의 감소율을 따라가지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 농업용 저수지의 담수시기에는 R²가 높고, 농업용수의 사용시기가 많은 관개기의 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

또한 모든 월의 저수율 회귀식이 전월 저수율 회귀계수인 η 가 설명변수로 채택되는 경향을 보였으며, 특히 8월의 경우 전월 저수율의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났다. 1~8월의 최고, 최저 기온은 저수율과 음의 관계가 있는 것으로 분석된 반면에 평균 기온은 9~12월에 음의 관계가 있었다. 강수량의 경우 논 관개 종료 후 저수지 담수시점인 9~10월의 강수량이 농업용저수지 저수율에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었으며 저수율 회복 이후(11월~1

TABLE 2. Regression coefficients of multiple linear regression for each month

Month	α	β	γ	δ	ϵ	η	C	R ²
1	0.0013	-0.90	-0.20	1.06	-0.83	0.96	9.10	0.95
2	0.0189	-1.04	-0.77	1.67	0.10	0.91	10.11	0.93
3	0.0164	-2.40	-0.75	3.13	-0.97	0.84	28.52	0.86
4	0.0065	-1.25	-0.11	1.16	-0.45	0.83	27.22	0.87
5	0.0426	-4.07	-2.03	6.95	0.10	0.78	9.74	0.76
6	0.0457	-7.65	-5.22	12.72	-3.77	0.75	22.52	0.52
7	0.0376	-5.05	-2.64	7.42	-1.70	0.72	38.53	0.56
8	0.0490	-10.17	-8.06	15.25	-4.58	0.58	125.47	0.51
9	0.0565	11.25	11.84	-26.21	8.15	0.79	47.99	0.70
10	0.1043	-0.56	2.67	-3.85	-2.34	0.90	46.70	0.77
11	0.0361	1.38	3.77	-5.89	-1.53	0.95	22.68	0.89
12	0.0257	-1.87	0.001	1.82	-2.25	0.92	21.04	0.89

월)로 강수량의 영향이 상대적으로 작아지는 경향이 있었다.

본 연구에서는 전국에 분포되어 있는 3,000여개의 농업용 저수지의 저수율 예측 회귀식을 1개의 대표 회귀식으로 나타내었다. 이는 전국적으로 활용 할 수 있는 대표 회귀식을 산정하였다고 할 수 있으나, 지역적인 기상요소나 저수율 특성을 본 대표 회귀식으로 특정 지을 수 없는 특이성이 존재 할 수 있다. 따라서 각 지역 별, 규모별 저수지의 정확한 저수율 예측을 위해서는 우선 저수지 형태별 군집분석이 선행되어야 할 것이며, 이를 통해 군집별 회귀식을 도출하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

2. 행정구역별 대표저수지 월 저수율 산정 및 적용성 검토

개발된 월 저수율 추정 회귀식의 적용성 평가를 위해 선행연구에서 제안한 전국 9개의 대표저수지를 대상 저수지로 선정하고(KRC, 2017), 산정된 회귀식을 적용하여 저수율을 추정하여 이를 관측치와 비교하였다. 일반적으로 저수지 저수율 관리를 위하여 행정구역 혹은 저수지 용수구역에 따른 저수율 및 유입량 산정 시 기상자료는 대부분 지배 관측소를 기준으로 계산되고 있음에 따라 본 연구에서는 선정한 대표저수지에 대하여 과거 5년(2012~2016) 저수율 관측자료와 지배 기상관측소의 기상자료를 수집하여 회귀식에 적용하였다.

표 3과 그림 3은 선정한 대표저수지의 제원

과 회귀식 적용결과를 나타낸 것이다. 관측저수율과의 상관성 분석결과 과거 5년 평균 R²는 0.44~0.81로 나타났으며, RMSE는 1.33~2.51%, PBIAS는 -3.81~30.21%로 모의 결과는 실측치의 경향성과 크기를 잘 모의 하는 것으로 분석되었다. R²가 가장 낮은 옥천 저수지의 경우 여름철 저수율의 증감패턴이 관측치와 상이하었는데, 이는 이 시기의 다중선형 회귀식의 R²가 0.51~0.56으로 상대적으로 낮은 상관성을 나타내었기 때문인 것으로 판단된다. PBIAS가 30.21%로 상관성이 낮았던 호민 저수지의 경우 저수량 증감 패턴은 관측값과 크게 차이나지는 않았지만, 일정 기간 lag 되는 경향을 보임에 따라 상관성이 낮게 분석된 것으로 생각된다.

또한 각 행정구역별로 선택된 대표저수지의 제원을 살펴보면, 유역면적이 530~4,830ha, 유효저수량이 464~12,407 103m³으로 다양한 규모로 선택되었는데 회귀식의 정확도는 규모와는 크게 상관성이 나타나지 않았다. 다만, 가장 낮은 상관성을 보인 구시, 옥천저수지는 각각 전라남도 경상남도에 위치하고 있어, 남부지방에 위치한 저수지에서의 저수율 예측력이 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있었다.

일반적으로 농업용 저수지의 저수율은 이앙기 전에 만수위 가까이 유지하다가 연중 농업용수 수요가 가장 큰 시기중 하나인 이앙기(5~6월)를 거치면서 급감하고 추수기(9~10월)를 지나면서 다시 회복하는 패턴을 나타낸다(Kim *et*

TABLE 3. Representative Reservoir Specifications and Correlation Analysis Results

Name	Province	Watershed (ha)	Effective reservoir storage (1,000m ³)	R ²	RMSE (%)	PBIAS (%)
Geumju	Gyeonggi	820	654	0.69	1.79	1.84
Geumgwang	Gyeonggi	4,830	12,047	0.74	2.00	4.15
Youngho	Chungbuk	750	501	0.52	1.33	-3.81
Gyeryong	Chungnam	1,574	4,670	0.81	1.88	4.83
Naejang	Jeonbuk	2,300	4,828	0.65	2.27	2.67
Homin	Gyeongbuk	530	464	0.64	2.51	30.21
Oro	Gyeongbuk	810	1,890	0.76	1.77	2.97
Gusi	Jeonnam	1,390	2,549	0.49	1.74	-1.09
Okchun	Gyeongnam	2,660	1,567	0.44	1.89	3.72

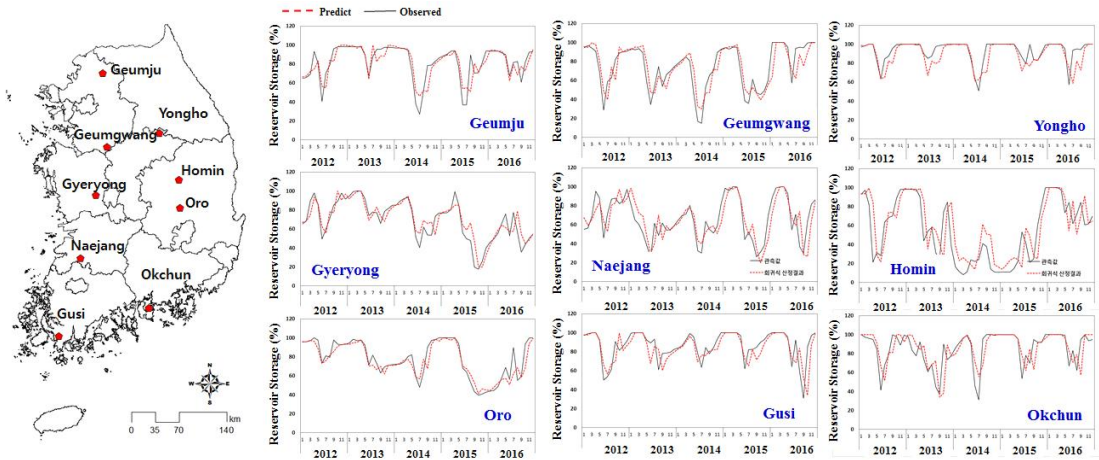


FIGURE 3. Comparison of Observed and Predicted Reservoir Storage rate

al., 2017). 또한 2015년과 같이 극심한 가뭄을 겪은 경우 해당년도에 낮은 저수율이 다음 해 까지 이월되는 현상이 나타나게 되는데, 회귀식 산정 시 전월 저수율을 독립변수로 입력함에 따라 회귀식의 모의 결과는 농업용 저수지의 운영 패턴을 잘 반영 한 것으로 분석된다.

3. ROC 분석을 통한 회귀식의 저수율 예측 능력 평가

ROC 분석을 위해 산정된 회귀식을 이용하여 전국 저수율을 도출하고 RDI를 산정하였으며, 이를 관측자료와의 비교를 통해 회귀식의 재현 성능을 평가하였다. 전국 저수율 산정은 회귀식의 독립변수인 5개의 기상인자와 전월 저수율을 공간분포시켜 GIS DB화 하였으며, 이를 ArcGIS 내 Raster Calculator 기능을 이용하여 전국 RDI를 산정하였다.

그림 4는 2015~2016년을 대상으로 예측된

TABLE 4. The Seasonal Results of ROC Score for RDI (2015 and 2016)

Seasons	Degree	Moderate dry	Severely dry	Extreme dry
2015	Spring	0.58	0.62	0.59
	Summer	0.62	0.60	0.61
	Autumn	0.73	0.73	0.69
	Winter	0.71	0.74	0.69
	Average	0.66	0.67	0.64
2016	Spring	0.66	0.66	0.60
	Summer	0.56	0.56	0.54
	Autumn	0.73	0.72	0.67
	Winter	0.74	0.72	0.71
	Average	0.67	0.67	0.63
2 year (2015- 2016)	Spring	0.62	0.64	0.59
	Summer	0.60	0.58	0.58
	Autumn	0.73	0.73	0.68
	Winter	0.73	0.73	0.70
	Average	0.67	0.67	0.64

저수율과 관측저수율을 이용하여 RDI를 산정한 결과를 월별로 도시하였다. 결과를 살펴보면 담수시기인 11월~4월까지의 RDI는 관측치와 유사한 패턴을 나타내었고, 5~6월 이양기의 경우 2015년 2016년 모두 관측자료에 비해 저수율을 과다하게 산정하여 가뭄단계에 진입하지 않은 것으로 분석되었다.

산정된 회귀식의 예측성능분석을 위해 동일기

간에 대해 예측된 저수율과 관측저수율 자료의 가뭄 심도별 ROC 분석을 수행한 결과는 표 4와 같다. 보통가뭄(Moderate dry)의 경우 2년 평균 적중률은 0.67로 분석되었으며, 계절별로 살펴보면 가을(9~11월)과 겨울(12~2월)의 적중률이 0.73으로 가장 높았으며 봄(3~5월)의 적중률은 0.62, 여름(6~8월) 0.60으로 나타났다. 극심한 가뭄(Extreme dry)의 경우 2년 평

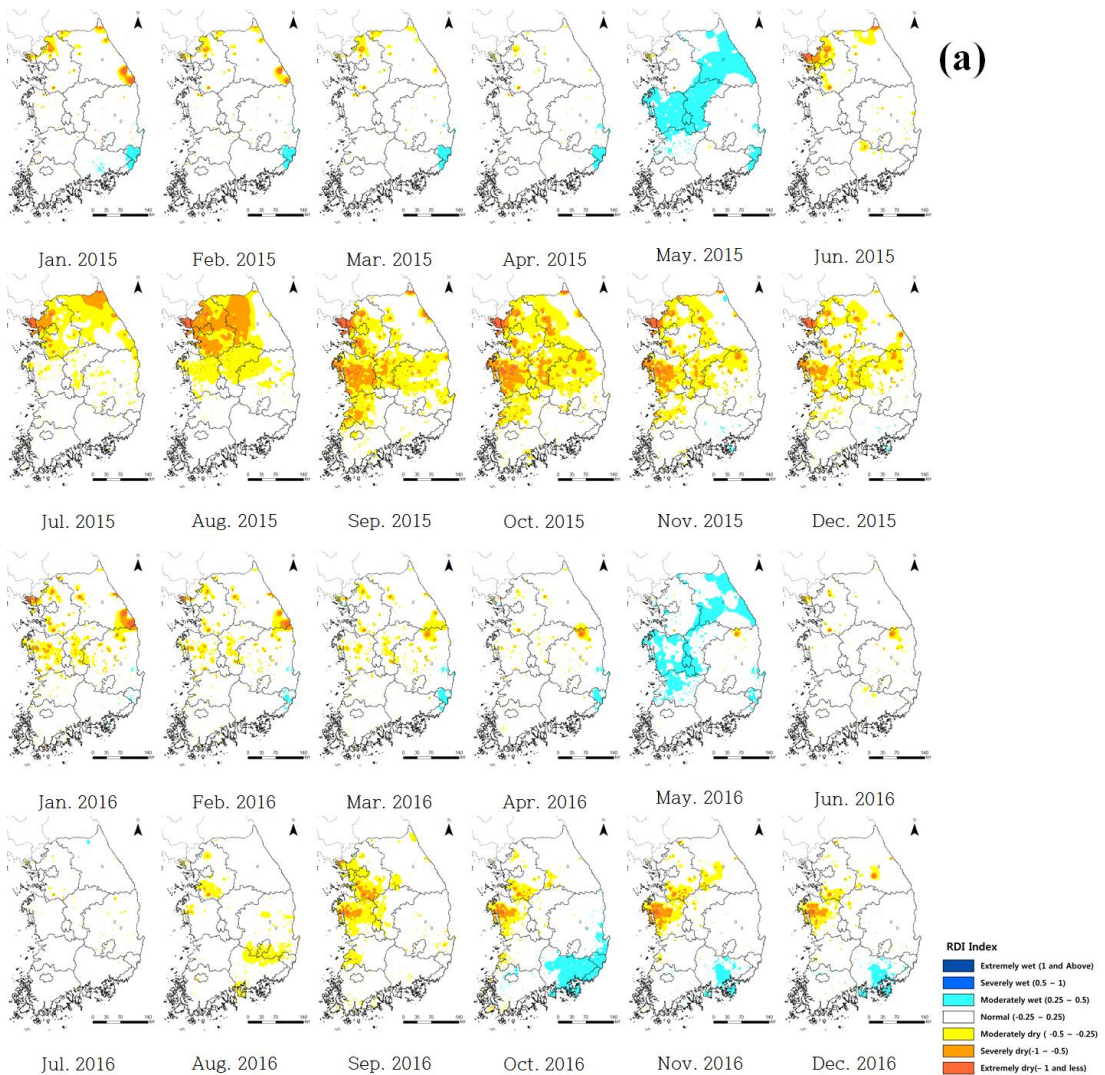


FIGURE 4. The results of RDI (a) Prediction results using multi Regression equation (b) Observed data

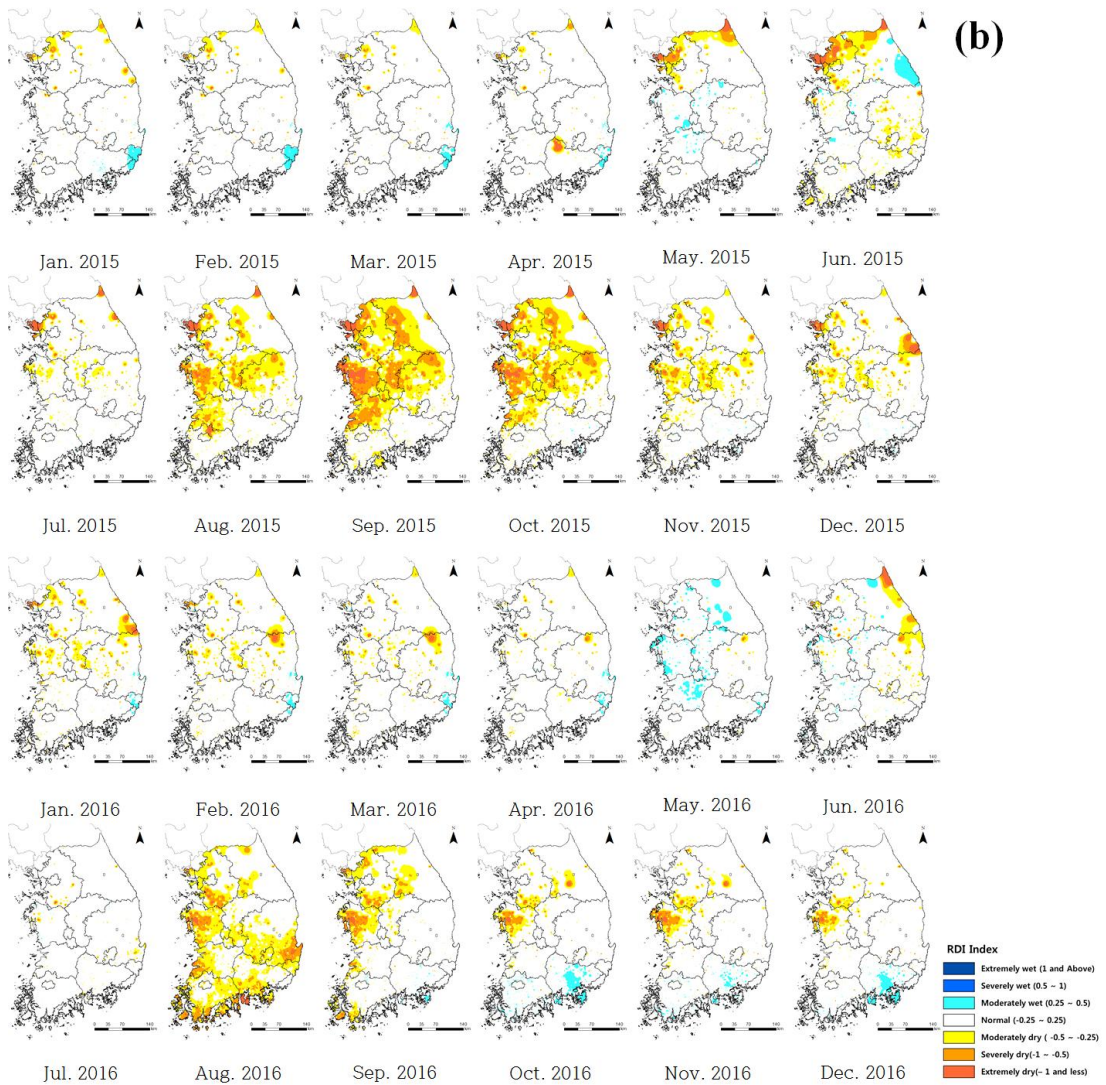


FIGURE 4. Continued

균 적중률은 0.64로 겨울의 적중률이 0.70으로 가장 높았고, 여름의 적중률이 0.58로 가장 낮게 나타났다.

봄과 여름의 적중률은 이양기의 용수 공급 패턴을 일정 하지 않아 정확도가 낮은 것으로 판단됨에 따라 이 시기의 회귀식 정확도 향상을 위해서는 증발산량을 혹은 관개효율 등의 인자를 고려한 회귀분석을 추가 수행해야 할 것으로

판단된다.

결론

본 연구는 전국 저수율 예측정보를 생산하기 위해 한국농어촌공사 저수지 3,067개에 대한 저수율 관측자료와 전국 기상관측자료 63개 지점자료를 수집하여, 저수율과 기상인자를 독립

변수로 하는 저수율예측 다중선형 회귀식을 도출하였다. 최적의 회귀식 도출을 위해 단계적으로 독립변수를 선정하였고, 회귀식의 정확도 검증을 위해 관측 자료와의 상관성분석을 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 5개의 기상관측자료와 농업용저수지 저수율을 독립변수로 활용하여 다중선형 회귀모형을 도출하였다. 다중선형 회귀식의 독립변수는 단계입력방식을 통해 선정된 기상인자와 저수율의 연속적인 특성을 반영할 수 있도록 전월 저수율을 선택하였으며, 회귀식의 R^2 는 0.51~0.95로 분석 되었다. 농업용 저수지의 담수시기에는 R^2 가 높고, 농업용수의 사용시기가 많은 관개기()의 상관성이 낮게 나타났다.

둘째, 개발된 월저수율 추정회귀식의 적용성 평가를 위해 전국 9개의 행정구역별로 대표저수지를 선정하여 저수율을 추정하였다. 관측저수율과의 상관성 분석결과 R^2 는 0.44~0.81로 나타났으며, RMSE는 1.33~2.51%, PBIAS는 -3.81~30.21%였다. 일반적으로 농업용 저수지의 저수량은 이앙기전에 만수위 가까이 유지하다가 연중 농업용수 수요가 가장 큰 시기중 하나인 이앙기(5~6월)를 거치면서 급감하고 추수기(9~10월)를 지나면서 다시 회복하는 패턴을 나타내는데, 회귀식 산정시 전월 저수율을 독립변수로 입력함에 따라 회귀식의 모의 결과는 농업용 저수지의 운영 패턴을 잘 반영한 것으로 생각된다.

셋째, 산정된 회귀식을 이용하여 전국 저수율을 도출하고 저수지 가뭄지수인 RDI를 산정하였으며, 이를 관측자료와의 비교를 통해 회귀식의 재현성능을 평가한 결과, 보통가뭄(Moderate dry)의 경우 2년 평균 적중률은 0.67로 분석되었으며, 계절별로 살펴보면 가을(9~11월)과 겨울(12~2월)의 적중률이 0.73으로 가장 높았으며 봄(3~5월)의 적중률은 0.62, 여름(6~8월) 0.60으로 나타났다. 극심한 가뭄(Extreme dry)의 경우 2년 평균 적중률은 0.64로 겨울의 적중률이 0.70으로 가장 높았고, 여름의 적중률이 0.58로 가장 낮게 나타났다. 그 이유로는 기상인자들만에 의한 저수율 감소예측은 현장에서

의 낮은 관개효율 즉, 수로손실량, 관리손실량에 의한 저수율 감소, 그리고 필요담수심이상으로 농민들의 담수심 초과확보 성향 등의 인자들이 작용하기 때문에, 관측치의 감소율을 따라가지 못하는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 관측자료 기반의 농업용 저수지 저수율 예측 다중선형 회귀식을 산정하여 관측자료와의 상관성을 분석 한 결과, 전국적으로 0.64~0.67의 저수율 예측 정확도를 나타내었다. 기존의 저수율 예측은 저수지 유역 상류의 유입량을 예측하여 이를 기반으로 저수율을 산정하는 방식으로 이뤄져 왔으며, 이러한 방법은 농업용 저수지의 물공급 전망 및 농업기름 전망에 활용 가능하지만 전국적인 정보를 한 번에 생산 및 포출하기에는 한계가 있었다. 본 연구에서 도출한 회귀식은 가용한 관측자료 기반의 다중선형 회귀식으로 이러한 전국적인 농업용 저수지 저수율 전망정보의 생산이 가능하다.

또한 기상자료 및 전월 저수율 기반의 회귀식을 도출함으로써 기상자료는 기후변화 시나리오 혹은 기상청에서 제공 중 인 3개월 전망 자료(Glosea 5) 등과 같은 미래 예측 자료를 입력하여 저수율 전망 자료를 생산할 수 있으며, 이를 기반으로 가뭄, 홍수와 같은 자연재해에 대비할 수 있는 정보의 생산 가능할 것으로 판단된다. 다만, 저수지의 물 사용량이 급증하는 시기인 6~8월의 경우 예측 저수율이 과대하게 산정되는 경향이 있어 회귀식 정확도 향상을 위해 저수지의 관개효율 등을 고려하는 연구를 추가로 수행할 필요가 있을 것으로 생각된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Ahn, S.R., M.J. Park, G. Park and S.J. Kim 2007. The effect of meteorological factors on the temporal variation of agricultural reservoir storage. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 49(4):3-12 (안소라, 박민지, 박근애, 김성준. 2007. 기상인자가 농업용 저수지 저수율에 미치는 영향연구. 한국농공학

- 회논문집, 49(4):3-12)
- Bae, S.H., 2011. Analysis of peak flow changes using the measured data, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 14(2): 1-13 (배선학. 2011. 실측자료를 이용한 하천의 수위변화 분석 -강원도를 사례로-, 한국지리정보학회지, 14(1):1-13).
- Bang, J.H., S.H. Lee, J.Y. Choi and S.H. Lee. 2017. Evaluation of reservoir drought response capability considering precipitation of non-irrigation period using RCP scenario. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 59(1):31-43 (방재홍, 이상현, 최진용, 이성학. 2017. RCP 시나리오에 따른 비관개기 누적강수량을 고려한 독높이기 저수지의 미래 가뭄대응능력 평가. 한국농공학회논문집, 59(1):31-43).
- Cho, J., I.W. Jung, C.G. Kim and T.G. Kim. 2016. One-month lead dam inflow forecast using climate indices based on tele-connection. Journal of Korea Water Resources Association, 49(5):361-372. (조재필, 정일원, 김철겸, 김태국. 2016. 원격상관 기후지수를 활용한 1 개월 선행 댐유입량 예측. 한국수자원학회 논문집, 49(5):361-372).
- Choi, S.Y., K.Y. Han and B.H. Kim. 2012. Comparison of different multiple linear regression models for real-time flood stage forecasting. Journal of The Korean Society of Civil Engineers, 32(1B):9-20. (최승용, 한건연, 김병현. 2012. 실시간 수위 예측을 위한 다중선형회귀 모형의 비교. 대한토목학회논문집 32(1B):9-20).
- Coulibaly, P., F. Anctil and B. Bobee. 2000. Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach. Journal of Hydrology, 230(3-4):244-257.
- Jain, S.K., A. Das and D.K. Srivastava. 1999. Application of ANN for reservoir inflow prediction and operation. Journal of water resources planning and management, 125(5):263-271.
- Jang, C.H., H.J. Kim, J.T. Kim. 2012. Prediction of reservoir water level using CAT. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 54(1):27-38 (장철희, 김현준, 김진택, 2012. CAT을 이용한 저수지 수위 예측. 한국농공학회논문집, 54(1):27-38).
- Jeong. G.I., I.W. Jung and H.H. Kwon. 2015. A study on regionalization of parameters of continuous rainfall-runoff model for ungauged watershed. Korean Society of Hazard Mitigation Conference Proceedings. 279 (정가인, 정일원, 권현한, 2015. 미계측 유역의 저수지 유입량 산정을 위한 연속 강우-유출모형의 지역화에 관한 연구. 한국방재학회 학술대회 논문집, 2015, 279).
- Kang, J.W. 2013. Forecasting of seasonal inflow to reservoir using multiple linear regression. Journal of Environmental Science International, 22(8):953-963 (강재원. 2013. 다중선형회귀분석에 의한 계절별 저수지 유입량 예측. 한국환경과학회지, 22(8):953-963).
- Kang, M.G., S.T. Oh and J.T. Kim. 2014. Estimation of amounts of water release from reservoirs considering customary irrigation water management practices in paddy-field districts. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 56(5):1-9 (강민구, 오승태, 김진택. 2014. 관개지구의 관행 물관리를 고려한 저수지 용수공급량 추정. 한국농공학회논문집, 56(5):1-9).

- Kim, K.W. and J.W. Lee. 2011. Evaluation of drought indices using the drought records, *Journal of Korea Water Resources Association*, 44(8):639-652. (김광섭, 이준원. 2011. 관측 자료를 이용한 가뭄지수의 평가. *한국수자원학회 논문집*, 44(8):639-652).
- Kim, S.H., J.M. So, S.U. Kang and D.H. Bae. 2017. Development and evaluation of dam inflow prediction method based on Bayesian method, *Journal of Korea Water Resources Association*, 50(7):489-502 (김선호, 소재민, 강신욱, 배덕호. 2017. 베이지안 기법 기반의 댐 예측유입량 산정기법 개발 및 평가. *한국수자원학회 논문집*, 50(7):489-502).
- Kim, H.D., J.N. Lee, H.J. Shin and S.M. Kang. 2016. Development of the prediction system of agricultural reservoir water level under climate change, *Korean Society of Agricultural Engineers Conference Proceedings*, pp.104 (김해도, 이재남, 신형진, 강석만. 2016. 기후변화 대비 농업용저수지 저수위 예측 시스템 개발. *한국농공학회 학술대회초록집*, 2016, 104쪽).
- Korea Rural Community Corporation(KRC). Rural Infrastructure Management System (RIMS). <http://rims.ekr.or.kr> (한국농어촌공사, 농업기반시설관리, <http://rims.ekr.or.kr>).
- Korea Rural Community Corporation(KRC). 2018. Establishment of survey and management plan for the evaluation of climate change impacts and vulnerabilities in farming and fishing water and agricultural production infrastructure, Report, pp.203-204 (한국농어촌공사, 2018, 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태(시범)조사 및 관리방안 수립, 연구보고서, 203-204쪽).
- Kwon, M.S., D.H. Park, K.S. Jeon, and T.W. Kim. 2016. Probabilistic prediction of reservoir storage considering the uncertainty of dam inflow, *Journal of Korea Water Resources Association*, 49(7):607-614. (권민성, 박동혁, 전경수, 김태웅. 2016. 댐 유입량의 불확실성을 고려한 저수량의 확률론적 예측. *한국수자원학회 논문집*, 49(7):607-614).
- Lee, J.T., S.H. Yoon and M.E. Park. 1995. Relationships between seasonal duration of sunshine and air temperature in Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 14(2):155-162 (이정택, 윤성호, 박무언. 1995. 우리나라의 계절별 일조시간과 (日照時間) 기온의 상관관계 및 분포에 관한 연구. *한국환경농학회지*, 14(2):155-162).
- Lee, J.W., S.S. Jang, S.R.Ahn, K.W. Park and S.J. Kim. 2016. Evaluation of the relationship between meteorological, agricultural and In-situ big data droughts, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 19(1):64-79 (이지완, 장선숙, 안소라, 박기욱, 김성준. 2016. 기상학적 가뭄, 농업 가뭄 및 빅데이터 현장가뭄간의 상관성 평가. *한국지리정보학회지*, 19(1):64-79).
- Lee, J.W., C.G. Jung, D.R. Kim and S.J. Kim. 2018. Assessment of future climate change impact on groundwater level behavior in Geum river basin using SWAT. *Journal of Korea Water Resources Association*, 51(3):247-261 (이지완, 정충길, 김다래, 김성준. 2018. SWAT을 이용한 미래기후변화에 따른 금강유역의 지하수위 거동 평가. *한국수자원학회 논문집*, 51(3):247-261).

- Lee, J.Y. 2004. A Study on a reservoir operation plan coupled with storage forecasting models in existing agricultural reservoir. Master dissertation, Hankyong University (이재영. 2004. 농업용 저수지에서 저수량 예측모형과 연계한 저수지 운영 개선 방안의 모색, 석사학위논문, 한경대학교).
- Lee, Y.J., M.J. Park, K.W. Park and S.J. Kim. 2008. Analysis of hydrologic behavior including agricultural operation using SWAT model, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 11(1):20-30 (이용준, 박민지, 박기욱, 김성준. 2008. 농업용 저수지 운영을 고려한 SWAT 모형의 수문학적 거동 분석, 한국지리정보학회지, 11(1):20 - 30).
- Lee, Y.J., S.J. Kim, P.S. Kim, U.J. Joo and Y.S. Yang. 2006. Study on the effective calculation method of irrigation water in a paddy fields area. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 48(3):11-20 (이용직, 김선주, 김필식, 주옥중, 양용석, 2006. 합리적 관개 용수량 산정에 관한 연구, 한국농공학회논문집, 48(3):11-20).
- Mason I. 1982. A model for assessment of weather forecasts. Australian Meteorological Magazine, 30:291-303.
- Nam, W.H., E.M. Hong, T. Kim and J.Y. Choi. 2014. Projection of future water supply sustainability in agricultural reservoirs under RCP climate change scenarios. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 56(4):59-68 (남원호, 홍은미, 김태곤, 최진용. 2014. 기후 변화 시나리오를 고려한 농업용 저수지의 미래 용수공급 지속가능성 전망. 한국농공학회 논문집, 56(4):59-68).
- Park, C.E. 2016. Water storage rate simulation by regression using monthly precipitation in agricultural reservoir, Korean Society of Agricultural Engineers Conference Proceedings. 84 (박창언. 2016. 월강우량 회귀분석에 의한 농업용 저수지 저수율 모의. 한국농공학회 학술대회초록집, 2016, 84).
- Rim, C.S. 2017. Estimation of small pan evaporation using temperature data, Journal of Korea Water Resources Association, 50(1):37-53 (임창수. 2017. 기온자료를 이용한 소형증발접시 증발량 산정, 한국수자원학회 논문집, 50(1):37-53)
- Solomatine, D.P., & Ostfeld, A. 2008. Data-driven modelling: some past experiences and new approaches. Journal of hydroinformatics, 10(1):3-22.
- Song, J.H., I. Song, J.T. Kim and M.S. Kang. 2015. Simulation of agricultural water supply considering yearly variation of irrigation efficiency. Journal of Korea Water Resources Association, 48(6):425-438 (송정현, 송인홍, 김진택, 강문성. 2015. 연단위 관개효율 변화를 고려한 관개 지구 용수 공급량 모의. 한국수자원학회 논문집, 48(6):425-438).
- Valipour, M., M.E. Banihabib and S.M.R. Behbahani. 2013. Comparison of the ARMA, ARIMA and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir. Journal of hydrology, 476:433-441.
- Wu, C.L., K.W. Chau and Y.S. Li. 2009. Methods to improve neural network performance in daily flows prediction. Journal of Hydrology, 372(1-4):80-93.
- Yun, H.S., M.J. Um, W.C. Cho and J.H. Heo. 2009. Orographic precipitation analysis with regional frequency analysis

and multiple linear regression. Journal of Korea Water Resources Association, 42 (6):465-480 (윤혜선, 엄명진, 조원철, 허준

행. 2009. 지역빈도해석 및 다중회귀분석을 이용한 산악형 강수해석. 한국수자원학회 논문집, 42(6):465-480). **KAGIS**