

# 농업용(전작 및 답작용) 지하수 이용량 추정을 위한 회귀나무 모형의 적용

김규범<sup>1\*</sup> · 황찬익<sup>2</sup>

<sup>1</sup>대전대학교 건설안전방재공학과 교수, <sup>2</sup>대전대학교 산학협력단 연구원

## Application of Regression Tree Model for the Estimation of Groundwater Use at the Agricultural (Dry-field Farming and Rice Farming) Purpose Wells

Gyoo-Bum Kim<sup>1\*</sup> · Chan-Ik Hwang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Construction Safety and Disaster Prevention, Daejeon University

<sup>2</sup>Researcher, Industry-Academic Cooperation Foundation, Daejeon University

### Abstract

Agricultural groundwater use accounts for 51.8% of total groundwater use, so accurate estimation of groundwater use is important for efficient groundwater management. The purpose of this study is to develop a method for estimating the groundwater use of agricultural (rice farming and dry-field farming) wells using regression tree model based on the measured data of 370 wells. Three input variables of the model were evaluated as being significant: well depth, pipe diameter, and pump capacity, and the importance of each variable was 75% for well depth, 17% for pipe diameter, and 8% for pumping capacity. The daily usage of agricultural (rice farming and dry-field farming) wells by the regression tree model was estimated to be very similar to the actual usage, compared to the previous estimation method proposed by the Ministry of Construction and Transportation. In the future, it is expected that the reliability of the usage statistics will be improved if additional observed data is secured and this classification method is modified.

**Keywords:** agricultural groundwater use, regression tree, water demand

### OPEN ACCESS

\*Corresponding author: Gyoo-Bum Kim  
E-mail: geowater@dju.ac.kr

Received: 11 October, 2019  
Revised: 9 December, 2019  
Accepted: 16 December, 2019

© 2019 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 초 록

농업용 지하수 이용은 국내 지하수 이용량의 51.8%를 차지하고 있어 정확한 이용량 산정은 지하수의 효율적 정책 추진을 위하여 중요하다. 본 연구에서는 370개 관정의 이용량 실측 자료를 토대로 회귀나무 모형을 적용한 농업용(전작 및 답작용) 관정의 지하수 이용량의 산정 기법을 개발하고자 하였다. 모델의 입력 변수는 우물의 심도, 토출관 구경, 양수능력 등 3개가 유의한 것으로 평가되었으며, 모델에서의 각 변수의 중요도는 우물의 심도가 75%, 토출관 구경이 17%, 양수능력이 8%로 나타났다. 회귀나무 모형에 의한 농업용(전작 및 답작용) 관정의 일 이용량은 실측 이용량과 매우 유사한 것으로 평가되었으며, 기존의 국토교통부에서 제시한 추정식에 비하여 실측 이용량에 보다 근사한 것으로 나타났다. 향후 추가적인 실측 표본 자료를 확보하여 본 방법을 보완, 적용한다면 지하수 이용량 통계의 신뢰도가 크게 향상될 것으로 기대된다.

**주요어:** 농업용 지하수 이용량, 회귀나무, 용수수요량

## 서론

2017년 현재 우리나라의 지하수 이용은 총 1,690,165개소에서 33.8억 $m^3$ /년에 이르고 있으며, 이중에서 농업용 관정은 800,677개에서 17.5억 $m^3$ /년을 차지하고 있다(MOCT, 2018). 농업용 관정을 통한 지하수 이용은 수요 농경지 및 농업 활동의 특성에 따라 매우 다양할 수 있어 개별 관정의 이용량을 정확하게 추정하는 것은 쉽지 않다. 그러나 농업용수의 공급 계획을 수립하기 위해서는 필요 수량, 공급가능량 및 실제 이용량에 대한 정확한 평가가 이루어져야 한다.

일반적으로 농업용수 이용량은 기후, 토양, 지역별 재배 특성 등에 따라 다양하게 나타날 수 있으므로 수요량을 추정하는 방법을 이용하여 용수 공급 계획을 수립하게 된다. 농업용수 수요량은 논과 밭 등에서 작물 재배에 필요한 용수량이라 정의할 수 있으며, 구체적으로는 작물 재배에 소요되는 전체 용수량에서 강우에 의해 공급되는 양을 제외한 수량으로 볼 수 있다(Kim et al., 1994). 현재 농업용수 수요량의 추정 방법은 현장에서 직접 실측하는 방법, 대표 작물을 대상으로 계측한 후 일반화하는 방법, 증발산 이론에 의하여 추정하는 방법 등으로 구분이 되며, 최근에 광역적인 분석에는 증발산 이론에 의한 추정 방법을 주로 사용하고 있다(Lee, 1988; MLTMA, 2011; Kim and Kim, 2015).

농업용수 수요량의 개념은 작물의 생산성과 관련된 공급 시스템의 관점에서 고려되는 필요수량과 실제 유역내에서 물 사용으로 증감된 물의 총량을 산정하는 순물소모량으로 구분할 수 있는데, 대부분의 농업용수 공급 시스템에서는 물의 이송, 손실 등이 공급과정에서 발생되고 있어 필요수량은 경작에 필요한 순용수량보다 큰 것으로 고려된다.

농업용 지하수 관정에서의 이용량의 산정은 국가의 수자원 정책 수립 및 시행을 위한 기초 통계를 구하는 것으로서, 기후 변화 시대에 지하수의 과다 개발을 방지하고 체계적인 이용 관리를 위한 기반을 확보하는 것이다. 우리나라의 지하수 이용량의 추정은 유량계, 시간계 등을 이용하여 직접 조사하여야 하나 실질적으로는 행정 인력의 부족 등으로 인하여 현장조사가 불가능할 뿐 아니라 전체 시설의 약 70%가 넘는 소형시설(약 104만공)에는 유량계, 시간계 등이 설치되어 있지 않은 것이 현실이다(Kim et al., 2013). 따라서 일부 지방자치단체에서는 지하수 개발이용 허가 또는 신고 시 제출한 취수 계획량을 이용량으로 적용하는 경우가 많아 과다 산정에 대한 우려가 제기되기도 하였다. 이를 해결하고자 국토교통부에서는 2006년부터 2012년까지 전국 32개 시군의 7,693개 지하수 관정을 대상으로 월별 지하수 이용량에 대한 실측 조사 및 연간 이용량 조사를 실시한 바 있다. 이 결과를 토대로 국토교통부는 2013년에 지하수 이용량 산정 기준을 수립하여 현재까지 활용되고 있다(MOCT, 2013). 농업용 지하수 관정의 이용량은 시군을 강우량에 의하여 평균 미만, 평균 및 평균 이상 지역으로 구분한 후 각 지역별로 선형회귀식에 의하여 이용량을 추정토록 하고 있으며, 연간 이용량은 전작용은 270일, 답작용은 180일 및 월예용은 365일을 적용하여 산정토록 하고 있다.

본 연구에서는, 현장에서 수개월간 실측된 월간 지하수 이용량 자료를 활용하여 전작 및 답작용 지하수 관정의 연간 이용량 추정 기법을 도출하고 실제 현장의 농업용수 수요량과의 비교 분석을 통하여 추정 기법의 적정성을 평가하고자 하였다.

## 표본의 추출

국토교통부에서는 2006년부터 2012년에 걸쳐 전국 32개 시군의 7,693개 관정을 대상으로 약 1년 간 지하수 이용량을 실측한 바 있으며, 충청남도 및 한국농어촌공사에서는 2016년부터 2018년까지 충청남도 지역내 362개 관정의 지하수 이용량을 실측한 바 있다. 지하수 이용량의 측정은 매월 동일하게 현장을 방문하여 유량계, 시간계 또는 전력계를 조사하는 방식으로 수행되었는데, 조사항목은 월간 지하수 이용량, 급수인구, 급수가구, 관정구경, 관정심도, 토출관구경, 펌프 마력, 양수능력, 가축사육두수, 가축사육종, 측정방법 등으로서, 지하수 개발이용 신고서에 포함된 항목이 포함되도록 하였다(Kim et al., 2019).

이들 조사 자료 중에서 농업용 관정은 총 3,065개소로서 단순 산술평균에 의한 일 이용량은 약 40.1 m<sup>3</sup>/일로 나타났으며, 전작용은 16.9 m<sup>3</sup>/일, 답작용은 22.3 m<sup>3</sup>/일, 원예용은 30.4 m<sup>3</sup>/일, 축산용은 19.0 m<sup>3</sup>/일에 해당한다. 측정방법별로 이용량을 보면 유량계에 비하여 시간계나 전력계가 설치된 관정에서의 이용량이 훨씬 높게 산정되는 것으로 조사되었다(Table 1). 이와 같은 특성을 고려할 때 시간계와 전력계에 의하여 조사된 이용량 자료는 오차가 큰 것으로 고려되어 본 연구의 분석 대상에서 제외하였다. 한편, 원예용과 축산용의 경우에는 재배 작물과 가축 두수 등이 이용량과 밀접한 연관성이 있어 이들 자료를 입력인자로 설정하여야 하나, 모델의 실제 적용 시 관정 시설과 연계된 재배 작물과 가축 두수 자료를 취득하는 것이 매우 어렵기 때문에 본 분석에서는 제외하였으며, 농업용으로 가장 많은 용도를 갖고 있는 전작 및 답작용 관정의 이용량을 모델 개발 대상으로 설정하였다.

**Table 1.** Average groundwater use measured by using three different methods at the agricultural purpose wells

Purposes	Average use amount by each measurement method (m <sup>3</sup> /d)			
	Total	Flow meter	Time meter	Watt hour meter
Dry field farming	16.9	14.9	97.0	20.1
Rice farming	22.3	15.8	142.7	36.8
Floriculture	30.4	12.2	558.2	42.3
Livestock	19.0	7.4	11.1	114.7

지하수 이용량 추정 모델을 구축하기 위한 모델의 입력인자 조건으로는 데이터 취득의 용이성, 대표성, 균질성, 정확성 등이 확보되어야 한다. 이와 같은 입력 조건을 고려하였을 때 지하수 관정의 개발 이용 신고서상에 명시된 자료를 입력인자로 고려하는 것이 가장 합리적인 것으로 보였다. 지하수 개발이용 신고서에는 시설의 위치, 관정의 제원(구경, 심도, 양수능력, 펌프 마력 등), 세부용도 등이 포함되어 있으므로 이들을 활용한 모델 개발 가능성을 검토하였다.

모델에 사용된 표본의 선별 과정은 다음과 같다.

첫째, 위에서 언급한 바와 같이 시간계와 전력계에 의하여 측정된 이용량 자료는 분석 대상에서 제외하였다.

둘째, 현장 실측된 시설 중에서 입력인자를 충분히 갖추고 있는 자료를 표본으로 선정하였으며, 심도, 구경, 양수능력 등 일부 시설 제원이 누락된 자료는 제외하였다.

셋째, 데이터의 분포상 산술평균의 약  $\pm 1.5\sigma$  (여기에서  $\sigma$ 는 표준편차)를 벗어나는 자료는 이상값으로 보아 분석 대상에서 제외하였다(Kim et al., 2013). 이상 과정을 통하여 최종적으로 모델 개발을 위한 표본을 결정하였다(Table 2). 이들 이상값은 전체의 약 5%에 불과하고 일부 지나치게 높은 값을 포함하여 자료의 신뢰도가 낮을 수 있다는 점을 고려하여 모델 구축에 악영향을 초래할 것으로 보아 제외하였다. 물론, 보다 많은 표본에 의한 추가적인 분석이 수행된다면 이상값의 기여도에 대한 재평가도 가능할 것이나 본 연구에서는 다루지 않았다.

**Table 2.** Statistics of the samples used for the model development of groundwater use at the agricultural purpose wells

Sub-group	Number of wells	Average daily use (m <sup>3</sup> /d)	Standard deviation (m <sup>3</sup> /d)
Dry field farming	208	6.95	9.48
Rice farming	162	12.84	12.48
Total	370	9.53	11.27

## 분석 방법

기 개발되었던 선형회귀식에 의한 시군별 농업용 지하수 이용량 추정 방법은 농업용 이용 특성의 복잡성에 비하여 지나치게 단순화된 경향이 있어 보다 좁은 지역에서의 이용량 추정에는 한계가 있다. 데이터의 선형성, 정규성 및 등분산성 등의 가정을 전제로 하는 선형회귀식과 달리 회귀나무 분석법은 집단 간의 분산과 집단 내의 분산의 비를 이용하는 것으로서 분류를 위한 용도로 많이 활용되고 있다. 회귀나무 분석 결과는 나무 구조로 나타내어지기 때문에 이해가 쉽고 하위의 변수가 결합하여 상위의 목표 변수에 어떻게 영향을 주는지 파악하기 용이한 장점이 있다. 그러나 회귀나무 분석법에서는 분리에 의한 구획화가 존재하게 되어 분리의 경계점에서는 예측 오류가 발생할 가능성도 있으므로 유의해야 한다.

본 연구에서 사용된 회귀나무 분석방법은 의사결정나무(Decision tree) 분석 방법의 하나로서 데이터를 분석하여 이들 사이에 존재하는 패턴을 예측 가능한 규칙들의 조합으로 나타내게 되는 것이다. 회귀나무 분석법은 종속변수가 연속형 자료일 때 적용 가능한 의사결정나무로서, 변수의 분류와 분류 기준값의 선택 방법으로 F-통계량을 사용한다. F-통계량은 집단 간 분산과 집단 내 분산의 비를 나타내는 것으로서 일원배치법에서의 검정 통계량과 동일하며 그 값이 클수록 오차의 변동에 비해 처리의 변동이 크다는 것을 의미하며, 이는 자식 노드들이 서로 이질적임을 의미하므로 이 값이 커지는 방향으로 가지 분할을 수행하는 과정으로 이루어진다. F-통계량은 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$F = \frac{MST}{MSE} = \frac{SST/(k-1)}{SSE/(n-k)} \quad (1)$$

여기서,  $MST$ 는 총제곱평균(Mean squares for treatments),  $MSE$ 는 잔차제곱평균(Mean squares for error),  $SST$ 는 총제곱합(Sum of squares for treatments)으로서  $\sum(\hat{y} - \bar{y})^2 + \sum(y - \hat{y})^2$ 이며,  $SSE$ 는 잔차제곱합(Sum of squares for error)으로서  $\sum(y - \hat{y})^2$ 을 의미하며,  $k$ 는 입력변수의 갯수,  $n$ 은 데이터의 갯수,  $\hat{y}$ 는 예측값,  $\bar{y}$ 는 관측값  $y$ 의 평균을 의미한다.

## 모델 개발

농업용(전작 및 답작용) 지하수 관정의 이용량 추정 모델 개발을 위하여 출력변수는 현장에서 측정된 일이용량, 입력 변수는 읍면동의 구분(지역 특성에 따른 농업 활동의 차이 가능성에 대한 접근), 상기 2개의 세부 용도(전작 및 답작용), 우물의 심도, 관정의 구경, 펌프 마력, 토출관 구경, 양수능력, 급수인수, 가구수 등을 대상으로 하였다. 이들 변수를 입력 변수에 포함 또는 제거하는 등 반복적인 과정을 거쳐 최적 모델을 도출하였다. 이 과정을 통하여 최종적으로 실제값과 예측값의 상관계수가 가장 크게 제시된 모델은 우물의 심도, 토출관 구경, 양수능력 등 3개를 입력변수로서 사용하는 것으로서, 각 변수의 모델상의 중요도는 우물이 깊이가 약 75%, 토출관 구경이 약 17%, 양수능력이 약 8%를 차지하였다.

이상 회귀나무 분석법을 통하여 농업용(전작 및 답작용) 지하수 이용량의 추정을 위한 분류 기준을 도출하였다(Fig. 1). 수정된 p-value가 모든 분류에 대하여 0.05보다 작아 유의한 것으로 분석되었다. 일차적으로 우물의 심도에 따라서 지하수 이용량의 그룹이 분류가 되는데 25 m 이하, 25~70 m, 70~94 m, 94~100 m, 100 m 초과 심도 우물 등의 그룹으로 구분되어 이용량이 달라짐을 보여주며, 이 중에서 25~70 m와 70~94 m 구간의 경우는 다시 토출관 구경, 양수능력에 의하여 이용량에 차이가 존재함을 나타낸다. 이와 같은 하부 분류 기준에 따라서 농업용(전작 및 답작용) 지하수 이용량은 총 8개의 하부 그룹으로 나누어짐을 알 수 있다.

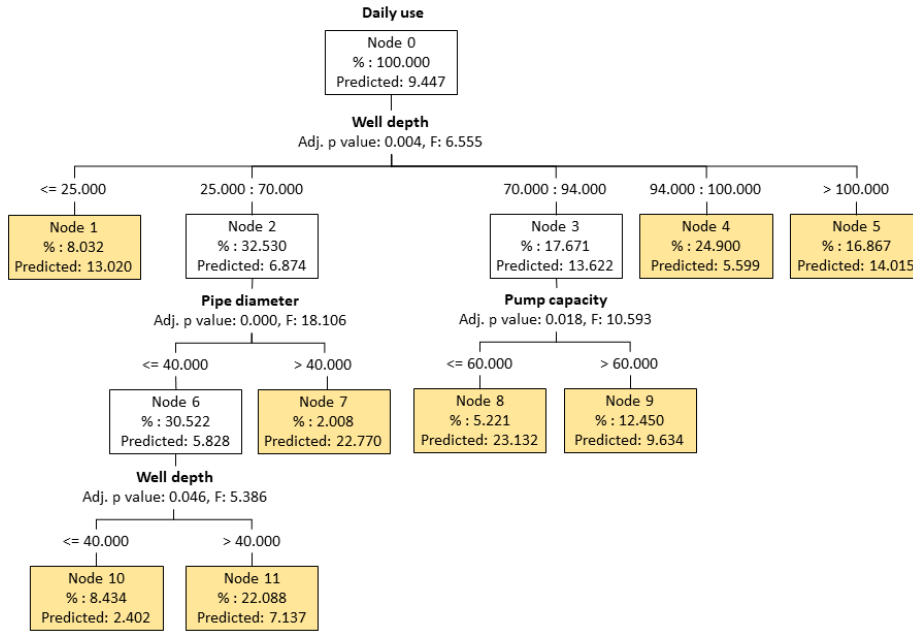


Fig. 1. Regression tree model for agricultural (dry field farming and rice farming) groundwater use estimation.

### 적정 지역단위의 설정

위에서 개발된 농업용(전작 및 답작용) 지하수 이용량은 370개의 표본을 이용하여 분석한 것으로서 추정 오차가 거의 변화하지 않는 최적의 표본 갯수인 대표요소갯수(Representative elementary count)를 검토해 보았다. 표본은 10개, 30개, 50개, 100개, 150개, 200개, 250개, 300개 등을 임의로 추출하였으며, 총 10개의 표본에 대한 공당 이용량의 평균값을 도 시해 보았다(Fig. 2). 그림에서 보는 바와 같이, 표본의 수가 약 150개를 넘어가게 되는 경우 표본에 상관없이 비슷한 공당 이용량이 산정됨을 알 수 있다. 즉, 상기에서 개발된 회귀나무 모델을 이용하여 행정구역별 지하수 이용량을 추정할 경우 표본의 수가 150개 정도를 초과하게 되면 이용량의 오차가 거의 발생되지 않아 유용함을 알 수 있다. 울릉군을 제외한 전 국 79개 군 지역의 전작 및 답작용 관정의 평균 갯수는 1,202 및 3,110개 정도이며(MOCT, 2018), 군별 읍면의 수를 고려 한다면 약 150개 이상의 관정이 위치하므로 읍면별 이용량 추정에 상기 모델의 적용이 가능할 것이다.

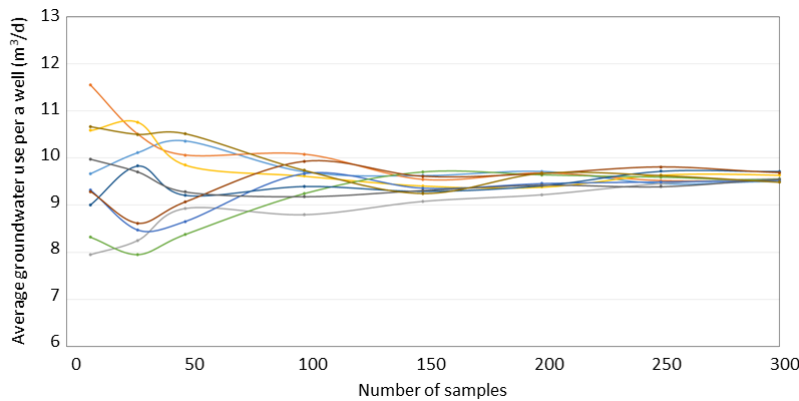


Fig. 2. Representative elementary counts distribution for groundwater use estimation of agricultural purpose wells.



## 모델 적용성 평가

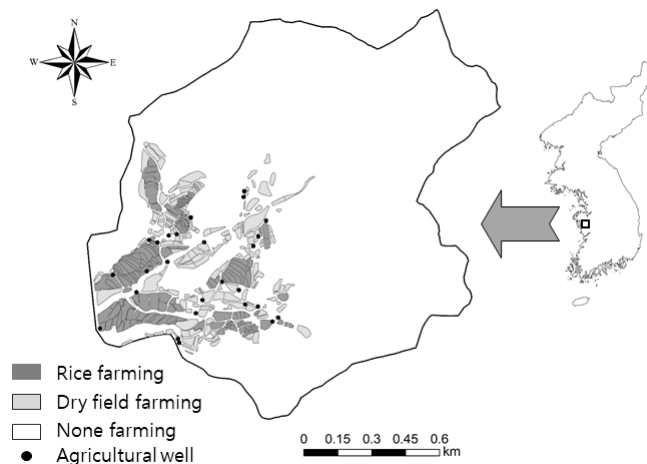
상기 표본에 대하여 환경부에서 기 제시한 이용량 추정 방법에 의한 추정량과 본 연구에 의한 모델의 추정값을 비교해 보았다(Table 3). 공당 평균 이용량의 경우 실제 이용량은 9.53 m<sup>3</sup>/d인 반면에 환경부의 추정식에 의한 이용량은 6.92 m<sup>3</sup>/d으로서 약 27%의 오차가 발생한 반면, 본 모델에 의한 추정 이용량은 9.57 m<sup>3</sup>/d으로서 0.4%의 오차에 불과한 것으로 평가되었다.

**Table 3.** Comparison of groundwater use estimated by the MOCT (2013) method and this research

Content	Estimated groundwater use		Actual use
	MOCT (2013)	This research	
Number of wells	370	370	370
Average use per a well (m <sup>3</sup> /d)	6.92	9.57	9.53
Total use (m <sup>3</sup> /d)	2,559.0	3,541.1	3,525.5

한편, 지하수를 농업용수로 사용하고 있는 지역인 홍성군 갈산면 신곡리에 대한 농업용수 수요량 추정 결과와 본 연구의 관정의 이용량 추정 결과를 비교하여 본 농업용 관정의 이용량 추정 방법의 적용성을 검토하였다. 본 지역은 분지 내에 저수지가 없으며 갈수기의 소하천 유량이 거의 없는 지역으로서 지하수 관정에 의하여 농업용수를 공급받고 있는 지역이다.

농업용수 수요량의 추정은 전작지와 답작지로 구분하여 관개용수에 필요한 수량을 산정하는 방식으로 이루어진다. 홍성군 갈산면 신곡리의 현장 답사를 통하여 실제 경작 지역과 품종을 조사하였으며, 각 품종의 생육기별 필요수량을 HOMWRS 프로그램을 활용하여 산정하였다(Korea Rural Community Corporation, 2017; Fig. 3). 연구지역은 전체 면적 2.11 km<sup>2</sup>로서 전작지는 0.12 km<sup>2</sup>, 답작지는 0.13 km<sup>2</sup>로서 이중 실제 경작되고 있는 답작지는 0.8 km<sup>2</sup>에 해당한다.



**Fig. 3.** Distribution of agricultural land-use type in Singok-ri, Galsan-myeon, Hongseong-gun.

벼 재배를 위한 4월부터 9월까지의 생육 기간 중에서 모내기 기간(4월 10일~5월 30일, 50일간)은 필요 수량이 강우로 채워지지 않는다면 전량 지하수에 의하여 공급받아야 한다. 즉, 이 기간 동안에 강우가 거의 없었다면 필요 수량은 지하수

관정에 의하여 공급됨을 의미한다. 2007년부터 2016년까지 이들 기간 동안의 전작 용수 수요량을 산정한 결과 평균 수요량은 약 193 m<sup>3</sup>/d로 분석되었다(Table 4).

**Table 4.** Water quantity required for rice farming from April 10 to May 30 in Singok-ri area

Year	Required quantity (m <sup>3</sup> )	Required quantity (m <sup>3</sup> /d)
2007	8,900	178
2008	9,600	192
2009	9,200	184
2010	6,100	122
2011	10,900	218
2012	12,300	246
2013	6,900	138
2014	11,600	232
2015	12,200	244
2016	8,600	172
Aver.	9,630	193

경작이 이루어지는 답작지는 약 0.8 km<sup>2</sup>로서 감자, 고구마, 고추, 과수, 무, 배추, 수박, 양파, 깨, 콩 등이 재배되고 있으며, 2007년부터 2016년까지 평균 수요량을 산정한 결과 약 11,500 m<sup>3</sup>/y으로서 일 평균으로 환산하면 약 31.5 m<sup>3</sup>으로 나타났다(Table 5).

**Table 5.** Water quantity required for dry-field farming in Singok-ri area

Crops	Area (m <sup>2</sup> )	Required quantity (2007~2016 Average, m <sup>3</sup> /y)	Required quantity (2007~2016 Average, m <sup>3</sup> /d)
Potato	7,239	1,200	3.3
Sweet potato	1,848	300	0.8
Pepper	9,996	1,100	3.0
Fruit tree	9,587	2,800	7.7
Radish	960	100	0.3
Chinese cabbage	4,703	300	0.8
Water melon	6,107	700	1.9
Onion	3,818	800	2.2
Sesame	31,738	3,900	10.7
Bean	1,672	300	0.8
Sum	77,668	11,500	31.5

이상에서 보는 바와 같이, 연구지역에서의 봄철 모내기 기간 동안의 농업용 필요 수량은 평균적으로 약 225 m<sup>3</sup>/d에 해당한다. 본 지역 내에 개발된 농업용 관정은 총 26개소로서, 관정의 심도는 약 20~90 m, 양수능력은 약 25~120 m<sup>3</sup>/d, 토출관 구경은 25~60 mm로 설치되어 있으며 이들로부터 취수되는 이용량을 상기 회귀나무 모델로 산정한 결과 약 219.8 m<sup>3</sup>/d로 추정되었다(Table 6).

**Table 6.** Statistics of irrigational groundwater usage estimated by using the regression tree model in the study area

Detailed purpose of wells	Number of wells	Range of well depth (m)	Range of pumping capacity (m <sup>3</sup> /d)	Range of pipe diameter (mm)	Estimated usage (m <sup>3</sup> /d)
Rice field supply	11	20~90	30~120	25~40	95.7
Dry field supply	15	20~70	25~66	25~60	123.8
Total	26	-	-	-	219.5

상기 농업용 관정의 이용량 추정 결과는 봄철 일평균 농업용 필요수량 225 m<sup>3</sup>/d과 비교하여 거의 유사한 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는, 본 연구지역의 경우 지하수를 제외한 타 용수원이 거의 존재하지 않는다는 점과 농지 정리가 되어 있지 않고 농업용수 공급 시스템이 제대로 갖추어지지 않았다는 점을 고려할 때 상시 물 부족이 발생하였을 것으로 추정할 수 있으며, 실제 상습 가뭄 지역으로 평가되는 지역에 해당한다. 이와 같이 지하수 관정에 의한 추정 이용량은 실제 현장에서 필요로 하는 농업용수를 거의 반영하는 것으로 파악되며, 대수층이 매우 잘 발달되어서 필요 이상의 과다 채수가 이루어지지 않는다면 상기 회귀나무 모형에 의한 농업용 지하수 이용량 추정이 실제와 유사할 것으로 예상할 수 있다. 이와 같이 타 농업용수원이 없고 지하수가 유일한 수원이라면 비록 관정의 수가 150개를 넘지 않더라도 본 모델의 적용을 고려해 볼 수 있을 것이다.

## 토론 및 결론

농업용수 이용량 추정은 저수지나 하천과 같은 지표수 관개시설에 의한 공급과 지하수에 의한 공급으로 구분될 수 있으며, 관개 시스템이 체계적으로 구축된 경우에는 농작물의 경작에 필요한 필요수량을 공급하는 방식으로 이루어진다. 지표수 관개시설이 체계적으로 갖추어져 있음에도 불구하고 농업용 관정에 의한 개별 용수 공급이 병행되고 있기 때문에 농업용 지하수 실이용량을 정확히 추정하는 것은 용이하지 않다. 지하수 관정의 관점에서 농업용 지하수 이용량은 필요수량이 아니라 실제 사용하는 수량으로 평가되어야 한다. 본 연구에서 제시된 회귀나무 모형에 의한 전작 및 답작용 지하수 관정의 이용량 추정 기법은 무작위 지역에 대한 표본 관정의 실측 자료를 기반으로 개발되었다는 점에서 기존 관개 시스템의 존재 유무와 상관없이 적용 가능한 추정 방법에 해당한다. 모델에 사용된 표본이 370개에 불과하나 각 분류의 p value가 모두 유의한 것으로 평가되었으며, 기존의 국토교통부에서 제시한 선형방정식에 의한 이용량 추정 결과보다 실측값에 보다 근사한 것으로 나타났다. 또한, 약 150개 이상의 관정이 분포하는 지역에 대한 농업용 지하수 이용 총량 추정 시 적용성이 높은 것으로 분석되었다. 향후 회귀나무 모형에 의한 이용량 추정 방법의 적용성을 보다 증대하기 위해서는 보다 많은 수의 실측 표본을 이용한 모델 보완도 필요할 것이다.

## 사사

본 연구는 환경부(한국환경산업기술원)의 수요대응형 물공급 서비스사업 과제(상시 가뭄지역의 지하수 최적공급 관리를 위한 IoT 기반 인공함양 및 Well network 기술 개발, #146523)의 지원으로 수행되었습니다.



## References

- Kim, C.G., Kim, N.W., 2015, Altitudinal pattern of evapotranspiration and water need for upland crops in Jeju island, *Journal of Korea Water Resources Association*, 48(11), 915-923 (in Korean with English abstract).
- Kim, G.B., Kim, J.W., Shin, H.J., 2019, Estimation of groundwater usage for the living (domestic and business) purpose wells by using a regression tree method, *Journal of the Geological Society of Korea*, 55(6), 683-691 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.W., Jun, H.P., Lee, C.J., Kim, N.J., Kim, G.B., 2013, Groundwater-use estimation method based on field monitoring data in South Korea, *The Journal of Engineering Geology*, 23(4), 1-10 (in Korean with English abstract).
- Kim, N.W., Lee, D.R., Hong, I.P., 1994, Re-examination on estimation method of agricultural water need, *Proceedings of Water Engineering Research Presentation*, 343-352.
- Korea Rural Community Corporation, 2017, Hydrological operation model for water resources system, 77p.
- Lee, N.H., 1988, Simulating daily operation of water management systems of irrigation districts, Ph.D. Dissertation, Seoul National University.
- MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), 2011, The long-term comprehensive plan for water resources, 2011-2020.
- MOCT (Ministry of Construction and Transportation), 2013, Manual for groundwater use estimation.
- MOCT (Ministry of Construction and Transportation), 2018, Annual report of groundwater.