

## 천리안 2A호와 히마와리 8호 기반 일사량 추정값과 종관기상관측망 일사량 관측값 간의 비교

강대균<sup>1</sup>, 조영상<sup>2</sup>, 현신우<sup>3</sup>, 김광수<sup>2,3,4\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 협동과정 농림기상학, <sup>2</sup>서울대학교 식물생산과학부,

<sup>3</sup>서울대학교 농림생물자원학부, <sup>4</sup>서울대학교 농업생명과학연구원

(2023년 02월 07일 접수; 2023년 03월 08일 수정; 2023년 03월 28일 수락)

### Comparison between Solar Radiation Estimates Based on GK-2A and Himawari 8 Satellite and Observed Solar Radiation at Synoptic Weather Stations

Dae Gyoon Kang<sup>1</sup>, Young Sang Joh<sup>2</sup>, Shinwoo Hyun<sup>3</sup>, Kwang Soo Kim<sup>2,3,4\*</sup>

<sup>1</sup>Interdisciplinary Program in Agricultural and Forest Meteorology, Seoul National University

<sup>2</sup>Department of Plant Science, Seoul National University

<sup>3</sup>Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University

<sup>4</sup>Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

(Received February 07, 2023; Revised March 08, 2023; Accepted March 28, 2023)

#### ABSTRACT

Solar radiation that is measured at relatively small number of weather stations is one of key inputs to crop models for estimation of crop productivity. Solar radiation products derived from GK-2A and Himawari 8 satellite data have become available, which would allow for preparation of input data to crop models, especially for assessment of crop productivity under an agrivoltaic system where crop and power can be produced at the same time. The objective of this study was to compare the degree of agreement between the solar radiation products obtained from those satellite data. The sub hourly products for solar radiation were collected to prepare their daily summary for the period from May to October in 2020 during which both satellite products for solar radiation were available. Root mean square error (RMSE) and its normalized error (NRMSE) were determined for daily sum of solar radiation. The cumulative values of solar radiation for the study period were also compared to represent the impact of the errors for those products on crop growth simulations. It was found that the data product from the Himawari 8 satellite tended to have smaller values of RMSE and NRMSE than that from the GK-2A satellite. The Himawari 8 satellite product had smaller errors at a large number of weather stations when the cumulative solar radiation was compared with the measurements. This suggests that the use of Himawari 8 satellite products would cause less uncertainty than that of GK2-A products for estimation of crop yield. This merits further studies to apply the Himawari 8 satellites to estimation of solar power generation as well as crop yield under an agrivoltaic system.

**Key words:** GK-2A, Himawari 8, Satellite, Solar radiation



\* Corresponding Author : Kwang Soo Kim  
(luxkwang@snu.ac.kr)

## I. 서 론

일사량은 농업생태계의 에너지 및 물질 순환을 이해하고 생산성을 예측하기 위해 사용되는 기상변수 중 하나이다(Jeong et al., 2017; Kang et al., 2019). 일사량은 생태계 내의 물 순환 예측을 위한 식물 군락의 증발산량 추정에 사용된다(Mokhtari et al., 2018b; Kaskaoutis et al., 2019). 또한, 작물의 수량을 예측하기 위해 사용되는 작물 모형들은 대부분 일사량을 주요 입력변수로 요구한다(Mokhtari et al., 2018a; Bojanowski et al., 2014; Wang et al., 2017). 일사량 자료를 수집하기 위해 기상관측소에서 제공하는 일사량 관측값들을 사용할 수 있으나, 기상관측소 중 일사량 관측값을 제공하는 지점이 상대적으로 적어 자료 활용에 한계가 있다(Joh et al., 2022). 예를 들어, 기상청에서 운영하고 있는 종관기상관측망 및 방재기상관측망을 구성하는 600여개의 기상관측소 중 2020년 일별 일사량 관측값을 제공하는 관측소는 7.18%인 44개소에 불과하여 우리나라 전역의 일사량을 설명하기에는 부족하다.

일사량 관측값을 확보하기 어려운 지역의 일사량을 추정하기 위해 다양한 방법들이 시도되어왔다(Chen et al., 2019; Hyun and Kim, 2016, Kang et al., 2019). 일례로, 기계학습을 통해 기상변수 사이의 비선형적 관계를 파악하여 일사량을 추정하거나(Meenal et al., 2018), 일사량에 비해 관측자료의 수집이 비교적 용이한 일조시간 관측값을 사용하여 일사량을 추정하는 모델 등이 개발되어 왔다(Antonopoulos et al., 2019). 이러한 방식들은 일사량에 영향을 주는 다른 기상요소들 중 일부만을 사용하기 때문에, 일사량 추정값의 신뢰도에 한계가 있다. 또한, 기상관측소에서 관측된 지점 단위 자료들을 사용하여 일사량을 추정하기 때문에, 공간적인 자료를 확보하기 어렵다.

인공위성 자료를 활용할 경우, 일정 공간 범위에 대하여 농업생태계의 생산성 예측에 필요한 일사량을 추정할 수 있다(White et al., 2011). Jiang et al.(2019)는 일본 기상청에서 운영하는 Multi-functional Transport Satellites (MTSAT) 위성 자료를 사용하여 일사량을 추정하는 인공신경망 모델을 개발하였다. Letu et al.(2020)은 히마와리 8호 위성에서 생산하는 구름과 대기 중 에어로졸 자료를 사용하여 표면도달 일사량을 추정하는 방법을 개발하였다. 국내에서도 Koo et al.(2019)가 천리안 1호 위성 자료를 기반으로 남한지역 기상관측소의 일사량을 추정하는 권역별 인공신경망 모델을 개

발한 바 있다.

인공위성 자료를 기반으로 추정된 일사량의 시간적 및 공간적 신뢰도를 분석하는 것으로 일사량 관측값이 가용하지 않은 지역에서 작물 생산성을 추정할 때 발생할 수 있는 불확도를 예측할 수 있다. 본 연구에서는 작물 생산성 추정을 위한 입력자료로 위성 자료가 사용될 때 발생할 수 있는 오차의 양상을 파악하고자 하였다. 이를 위해, 천리안 2A호와 히마와리 8호 위성 자료를 사용하여 생산된 각각의 일별 일사량 자료의 오차를 분석하고 국내에서 작물 모형 구동에 활용하기에 적합한 일사량 추정 자료를 찾고자 하였다. 결과적으로, 최적의 일사량 추정 자료는 작물 모형을 통한 작황 예측 시 신뢰도 높은 결과를 도출하도록 지원할 수 있을 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 일사량 관측 자료 수집

국내에서는 일사량 관측이 장기간 수행된 20여개소의 기상관측소가 보고된 바 있다(Choi et al., 2010; Hyun and Kim, 2016). 또한, 벼와 콩과 같은 하계 작물에 대한 생산성을 예측한 결과들이 다수 보고되었으며, 일반적으로 하계 작물의 생육기는 5월부터 10월까지로 보고되었다(Seo et al., 2018). 장기간에 걸친 작물 생산성 분석의 신뢰도 평가를 위한 일사량 추정값의 정확도를 비교하기 위해, 이들 기상관측소(Fig. 1)에서 2020년 5월부터 10월까지 관측된 일별 일사량 관측값(SR<sub>4SOS</sub>)을 수집하였다. 자료 수집을 위해 종관기상 관측망 자료를 제공하는 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr>)을 사용하였다.

### 2.2. 천리안 2A호 및 히마와리 8호 위성 자료 수집

천리안 2A호와 히마와리 8호 위성 자료를 사용하여 생산된 표면도달일사량 격자형 자료를 수집하였다. 천리안 2A호(GK-2A) 위성은 천리안 1호 위성(COMS)에 이어 2018년 12월에 발사되었으며, 정지궤도에서 관측된 기상자료를 제공한다(Choi and Suh, 2020). 천리안 2A호는 기존의 천리안 1호에 비해 높은 공간해상도를 가진 가시광선(1km) 및 적외선 채널(2km)을 지원하여 보다 상세한 기상 및 수문 분석에 유리하다.

본 연구에서는 국가위성센터에서 운영하는 웹사이트(<https://nmsc.kma.go.kr>)를 통해 천리안 2A호의 10분



**Fig. 1.** Weather stations used to collect solar radiation observations for validation of solar radiation estimates.

단위 하향단파복사 격자 자료를 수집하였다. 이들 자료들을 일별로 합산하여 일 누적 일사량 자료를 생산하였다. 합산에 사용되는 10분 단위 일사량 자료 중 일부가 누락된 경우, 해당 날짜를 결측처리하였다. 2020년 4월 8일부터 2020년 12월 31일까지의 기간 중에서 결측일을 제외한 265일에 대한 일별 표면도달일사량 자료를 생산하고, 국내 종관기상관측소 20개 지점 위치에 해당하는 일별 일사량 자료( $SR_{GK2A}$ )를 추출하였다.

히마와리 8호 위성은 2014년 10월에 발사된 이후 지구 단위의 다양한 기상 자료들을 제공하고 있다(Bessho *et al.*, 2016). 제공하는 자료에는 16개의 채널에서 관측된 자료 기반의 10분 단위 구름 관련 정보 및 대기운동 벡터 등의 기상 산출물들이 포함된다. 본 연구에서는 미 에너지국 재생에너지 연구소(NREL: National Renewable Energy Laboratory)에서 제공하는 API (Application Programming Interface; <https://developer.nrel.gov/docs/solar/nsrdb/himawari-download>)를 사용하여 일별 기상자료를 수집하였다. 특히, 국내 종관기상관측소 20개 지점 위치에 해당하는 2020년 기간의 일별 일사량 자료( $SR_{Himawari}$ )를 수집하였다.

### 2.3. 일사량 오차 비교

종관기상관측소에서 수집한 일사량 자료( $SR_{ASOS}$ )를 기준으로 서로 다른 위성 자료에 기반한 일사량 자료( $SR_{SAT}$ )의 차이를 비교하였다. 종관관측소 지점에 따른 일사량 자료들의 신뢰도를 분석하기 위해 지점별 오차를 비교하였다. 또한, 일별 일사량과 함께 작물 생육 기간(5~10월) 동안의 누적 일사량을 지점별로 비교하였다.

인공위성 기반 일사량 자료들의 오차를 나타내기 위해 평균 제공근 편차(RMSE: Root Mean Square Error)를 사용하였다. RMSE 값은 다음과 같이 계산하였다:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(SR_{SAT} - SR_{ASOS})^2}{n}}$$

여기서,  $n$ 은 비교에 사용된 자료의 개수를 의미한다.  $SR_{SAT}$ 은  $SR_{Himawari}$ 와  $SR_{GK2A}$ 가 각각 사용되었다. 지점별로 두 일사량 자료들의 오차를 월별로 비교하였다. 월별로 일사량 관측값이 차이가 있기 때문에, 이를 고려하여 정규 평균 제공근 편차(NRMSE: Normalized Root Mean Square Error)를 사용하였다. 특정 월(m)의

NRMSE<sub>m</sub>는 다음과 같이 계산하였다.

$$NRMSE = RMSE \cdot \frac{1}{\overline{SR_{ASOS_m}}} \cdot 100 (\%)$$

$\overline{SR_{ASOS_m}}$ 는  $SR_{ASOS}$ 의 월 평균을 나타낸다. 또한, 두 일사량 자료의 기간에 따른 경향을 분석하기 위해 월별로 모든 지점에 대한 자료를 사용하여 RMSE를 계산하였다.

### III. 결 과

#### 3.1. 일사량 관측값과 인공위성 기반 일별 일사량 추정값의 비교

관측자료가 수집된 20개의 지점에 대하여 2020년 5월부터 10월까지 히마와리 8호와 천리안 2A호 위성 으로부터 얻어진 일별 표면도달일사량의 오차를 비교한 결과,  $SR_{Himawari}$ 가  $SR_{GK2A}$ 보다 관측소별 RMSE가 작은 것으로 나타났다(Fig. 2). 연구기간 동안  $SR_{Himawari}$ 와  $SR_{GK2A}$ 의 지점별 RMSE의 평균은 각각  $2.40MJ m^{-2}$  및  $4.84MJ m^{-2}$ 이었다. 또한, 모든 관측 지점에서  $SR_{Himawari}$ 의 RMSE가  $SR_{GK2A}$ 의 오차보다 작았다.

각 위성자료에서 지점별로 오차가 발생하는 범위는 차이가 있었다.  $SR_{Himawari}$ 는 대전과 원주에서 각각 최소 오차( $1.70MJ m^{-2}$ )와 최대 오차( $3.73MJ m^{-2}$ )가 발생

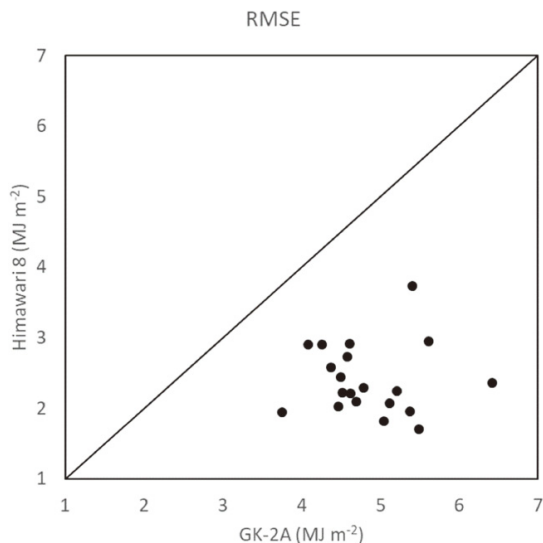


Fig. 2. Scatter plot of root mean square error (RMSE) of solar radiation estimates for Himawari 8 and GK-2A satellite.

했다.  $SR_{GK2A}$ 의 RMSE는 인천과 창원에서 각각 최소값 ( $3.75MJ m^{-2}$ )과 최대값( $6.42MJ m^{-2}$ )이 얻어졌다. 지점별 각 위성자료의 RMSE의 차이는 수원에서 가장 작았고 ( $1.18MJ m^{-2}$ ) 창원에서 가장 큰 것으로( $4.06MJ m^{-2}$ ) 나타났다.

#### 3.2. 일사량 관측값과 인공위성 기반 일사량 추정값의 월별 비교

일사량 추정값의 월별 NRMSE에 대한 지점별 변이는 대부분의 기간에 대해서  $SR_{GK2A}$ 가  $SR_{Himawari}$ 보다 큰 것으로 나타났다(Fig. 3). 예를 들어, 7월에 얻어진  $SR_{GK2A}$ 의 NRMSE는 지점별로 25%부터 60%까지의 범위에서 나타났다. 반면,  $SR_{Himawari}$ 의 NRMSE는 14~39%에 걸쳐서 나타났다.

$SR_{GK2A}$ 의 월별 NRMSE는 여름철보다 가을철에 지점별 변이가 감소하였다. 특히,  $SR_{GK2A}$ 가  $SR_{Himawari}$ 보

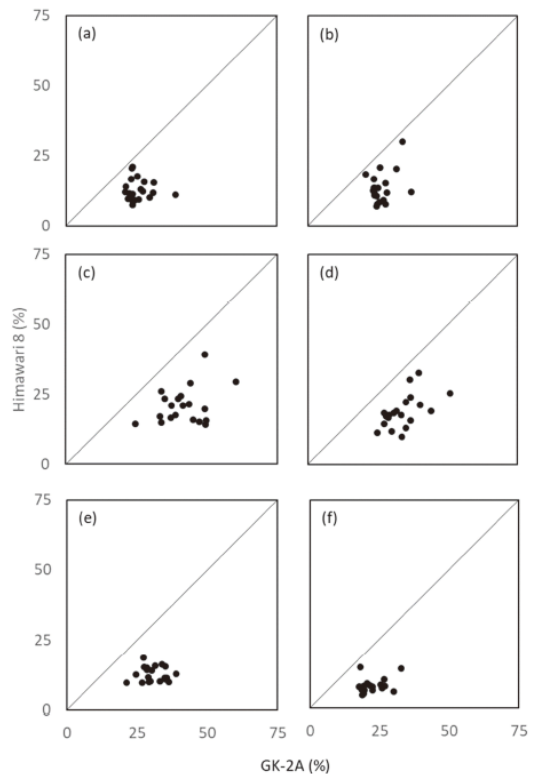


Fig. 3. Scatter plot of normalized root mean square error (NRMSE) of solar radiation estimates for GK-2A and Himawari 8 by weather stations during May(a), June(b), July(c), August(d), September(e) and October(f).

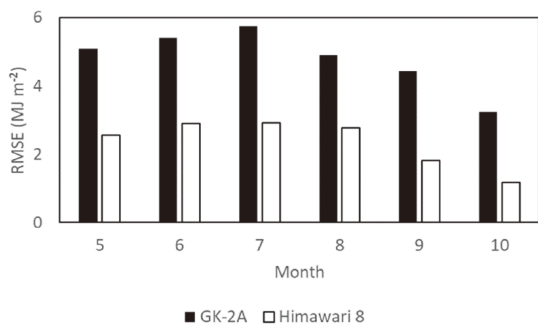
다 월별 NRMSE의 지점별 변이가 빠르게 감소하였다. 예를 들어, 10월에 얻어진  $SR_{GK2A}$ 의 월별 NRMSE는 17%에서 33%까지 분포하여 7월보다 지점별 변이가 감소하였다. 또한,  $SR_{GK2A}$ 와  $SR_{Himawari}$ 의 지점별 NRMSE 최대값은 7월에 각각 60% 및 39%이었으나, 10월에는 33% 및 15%로 감소하였다.

$SR_{Himawari}$ 의 지점별 오차는 월별로 차이를 보였다. 예를 들어,  $SR_{Himawari}$ 의 NRMSE는 원주에서 6월과 7월에 각각 30.15% 및 39.09%로 가장 크게 나타났다. 그러나, 8월에는  $SR_{Himawari}$ 의 NRMSE값이 서울에서 32.72%로 가장 큰 오차가 얻어졌다.  $SR_{GK2A}$  역시, 월별로 지점별 오차에 큰 차이가 있었다.  $SR_{GK2A}$ 의 월별 누적값은 6월과 7월에 창원에서 각각 36.97% 및 60.34% 수준의 지점별 NRMSE값이 얻어졌다. 반면, 8월에는 철원에서 얻어진 50.81%가  $SR_{GK2A}$ 의 지점별 NRMSE 값 중 최대값이었다.

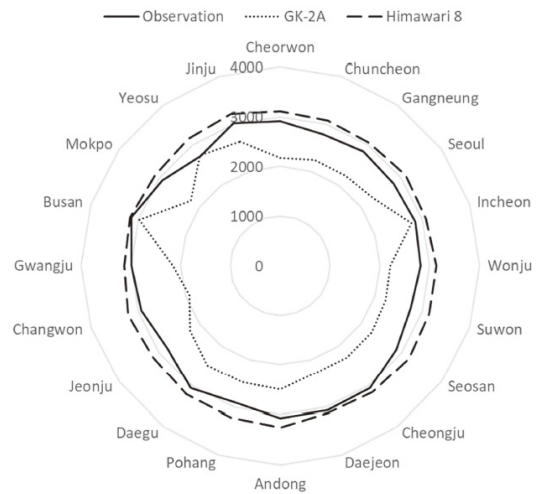
일반적으로 월별 일사량의 오차 값은 계절에 따라 변화하였다(Fig. 4).  $SR_{GK2A}$ 와  $SR_{Himawari}$  모두 오차가 여름철에 증가하고 봄철과 가을철에 감소하는 추세가 나타났다. 두 위성에서 7월에 가장 큰 RMSE 값이 얻어졌으며 9월과 10월에 오차가 빠르게 감소하였다. RMSE 값은  $SR_{Himawari}$ 가  $SR_{GK2A}$ 보다 월등히 낮았으며 이러한 경향은 작물 재배 기간 동안 지속되었다.  $SR_{Himawari}$ 와  $SR_{GK2A}$  사이의 RMSE 값의 차이는 여름철인 7월에 가장 크게 나타났다.

**3.3. 누적 추정값의 비교**

작물 재배 기간 동안  $SR_{Himawari}$ 와  $SR_{GK2A}$ 의 누적값은 서로 다른 양상의 오차를 가졌다(Fig. 5).  $SR_{GK2A}$ 의 누적값은 대체로 과소추정하는 경향이 나타나 20개 지

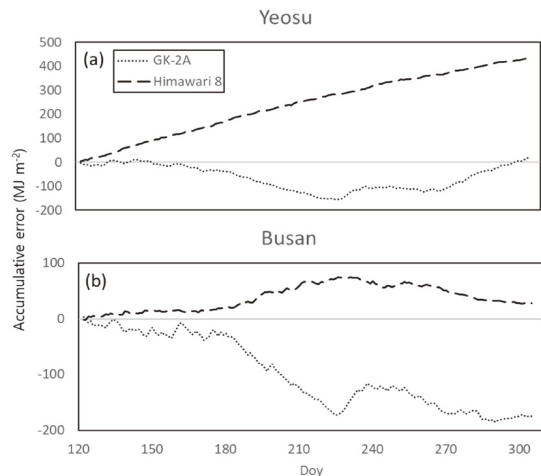


**Fig. 4.** Comparison of root mean square error (RMSE) of solar radiation estimates for GK-2A and Himawari 8 by month.



**Fig. 5.** Accumulation of observed solar radiation, solar radiation estimates for GK-2A and Himawari 8 from May to October.

점 중 19개의 지점에서  $SR_{ASOS}$ 의 누적값보다 작았다. 반면,  $SR_{Himawari}$ 의 누적값은 모든 지점에서  $SR_{ASOS}$ 의 누적값보다 과대추정하였다.  $SR_{Himawari}$ 의 누적값의 오차는 18개의 지점에서  $SR_{GK2A}$ 의 누적값보다 작았다.  $SR_{GK2A}$ 와  $SR_{Himawari}$ 의 일사량 누적값의 최소 오차가 얻어진 지점은 각각 여수(18.86MJ m<sup>-2</sup>)와 부산(28.83MJ m<sup>-2</sup>)이었다(Fig. 6).



**Fig. 6.** Cumulative pattern of solar radiation estimates with GK-2A and Himawari 8 satellite. Each weather station is the station where solar radiation estimates using GK-2A (a) and Himawari 8 satellite (b) had the least error.

#### IV. 고 찰

본 연구결과는 일사량 추정을 위해 천리안 2A호 위성 자료보다 히마와리 8호 위성 자료를 활용하는 것이 유리하다는 것을 보여주었다. Damiani *et al.*(2018)은 일본에 위치한 4개의 관측 지점에서 히마와리 8호 일사량 추정값과 일별 일사량 관측값을 비교하였을 때 비교적 높은 수준의 정확도를 가진 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 히마와리 8호 위성 자료가 천리안 2A 위성 자료를 사용하여 생성된 일사량보다 RMSE와 NRMSE가 모든 검증 지점에서 작은 것으로 나타났다. 따라서, 일사량 관측값을 확보하기 어려운 지역에서는 히마와리 8호 일사량 추정값을 사용하는 것이 상대적으로 작물 생육 예측의 불확도를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

인공위성 자료들은 기상관측 지점 자료와 달리 제공되는 공간적 범위가 넓다는 장점이 있다. 특히, 히마와리 8호 위성 자료는 2km 수준의 공간해상도로 우리나라 전역에 대한 일사량 추정값을 생산할 수 있다. 그러나, 히마와리 위성자료를 국내에 적용하기 위해서는 추가적인 개선이 필요할 것으로 보인다. 우리나라는 복잡한 지형조건에 집약적인 농업환경을 가지고 있는 것이 특징인데, 2km 수준의 해상도로는 복잡지형에서의 일사량 추정값의 정확도에 차이가 발생할 수 있다. 실제로, Yun *et al.*(2021)은 복잡지형을 가진 지역에서 좁은 지역 내에서의 일사량 편차를 확인하였으며, 높은 해상도의 음영기복도가 일사량 추정값의 오차 개선에 활용될 수 있음을 보고하였다. 주변에 장애물이 없는 평지에서 재배되는 식량작물들의 경우, 이러한 추가 분석에서 상대적으로 자유로울 수 있으나, 산간지역에서 재배되는 채소나 과수 등의 생산량 추정을 위해서는 30m 수준의 높은 공간해상도를 가진 자료들이 도움이 될 것이다(Kim *et al.*, 2019). 또한, 히마와리 8호 위성 자료는 사실상 관측자료와 동일한 시점에 제공되기 때문에 작물 재배에 관한 의사결정을 지원하기 위해 필요한 미래 자료를 제공하기는 어렵다. 따라서, 기상 예보자료와 히마와리 8호 위성 자료를 통합하여 사용하였을 때 발생할 수 있는 작물 생산성 예측값의 불확도 분석이 필요할 것으로 사료된다.

천리안 2A호 위성 자료로부터 얻어진 일사량 자료는 히마와리 8호 위성 자료의 일사량 자료보다 정확도가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 국가기상위성센터에서 제공하는 천리안 2A호 위성 일사량 자료는 차세

대 기상영상기(AMI: Advanced Meteorological Imager) 센서를 통해 얻은 자료를 사용하여 능형회귀모형을 통해 산출된다(Kleinbaum *et al.*, 2013). 천리안 2A호에서 단파복사 자료를 생산하기 위해 통계적 근거에 의한 간접방식을 사용하기 때문에 이 과정에서 과적합과 같은 문제가 발생했을 가능성이 있다. 따라서, 천리안 2A호 위성 자료의 일사량 자료를 산출하기 위해 사용되는 알고리즘에 대한 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다. Jiang *et al.*(2022)는 AMI 센서 값을 입력값으로 사용하는 인공신경망의 일종인 합성곱신경망(CNN: convolution neural network) 기반의 일사량 추정 모델을 개발하여 시간별 일사량 변이의 96%를 설명하였다. 따라서, 천리안 2A호의 센서를 통해 관측된 자료를 기계학습 기반의 일사량 추정 알고리즘에 적용한다면 정확도가 개선될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 2020년에 한하여 얻어진 자료들을 분석하여 위성 자료의 신뢰도 분석에 한계가 있었다는 점이 고려되어야 할 것이다. 특히, 2020년의 극단적으로 장기간 지속되었던 강수일수가 위성 자료를 기반으로 일사량을 추정하는 알고리즘에 부정적인 영향을 미쳤을 가능성이 존재한다. 따라서, 후속 연구에서는 본 연구에서 사용되었던 위성 자료들에 대한 3년 이상의 장기간에 걸친 추가적인 분석이 수행되어야 할 것이다. 특히, 일사량이 장기간 관측된 관측소를 활용하여 천리안 1호 위성에서 얻어진 일사량과 2A호 위성 자료를 비교하여 일사량 추정값의 오차 발생 양상을 분석하여 작물 생육 예측에 활용되어야 할 것이다.

인공위성 자료는 구름의 영향을 피하기 어렵기 때문에 기상자료와 위성 자료를 함께 사용하는 방식으로 일사량 추정값의 신뢰도를 높일 수 있다. 특히, 인공신경망(DNN: Deep Neural Network) 모델 등을 활용하여 신뢰도 향상을 기대할 수 있다. 일례로, Peng *et al.*(2020)은 인공신경망을 사용하여 히마와리 8호의 일사량 정확도를 향상시켰다. 인공위성으로 관측된 구름 및 에어로졸과 함께, 기온과 강수량 등의 추가적인 변수를 인공신경망의 입력변수로 사용한다면 학습에 사용되는 입력자료의 범위가 확대되어 일치도를 높일 수 있다. 따라서, 후속 연구에서 인공신경망 모델을 사용하여 추정된 일사량 자료와 인공위성 자료를 비교하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

국내에서는 영농과 태양광 발전을 동시에 수행할 수 있는 체계를 구축하려는 시도가 많이 진행되고 있다(Cho *et al.*, 2019). 일사량은 재생 에너지의 생산성을 평가하

기 위해 중요한 지표로 활용되는 변수이다(Mohammadi *et al.*, 2016). Olatomiwa *et al.*(2015)은 태양광 발전 설비를 설계할 때 일사량이 주요 기상변수라고 제안하였다. 신뢰도가 높은 일사량 추정 자료를 확보하는 것은 상당한 재정적 투자가 요구되는 태양광 설비 구축 시 대상지역 선정에 위한 의사결정에 사용될 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구에서 나타난 결과를 기반으로 히마와리 8호 위성 자료를 활용하여 태양광 발전량과 함께 작물의 생산성을 예측할 때, 영농형 태양광 설비를 구축하였을 때 기대되는 에너지와 식량 생산성을 추정할 수 있을 것이다. 또한, 영농형 태양광 설비가 설치되면 20년 이상 사용될 수 있기 때문에 미래기후변화 시나리오 자료를 사용하여 에너지와 식량 생산성에 대한 체계적인 분석으로 최적 대상 지역을 선별하기 위한 연구가 추진되어야 할 것이다.

## 적 요

일사량은 작물 생산성 평가를 위한 작물 생육 모델의 주요 입력 변수 중 하나로 사용되지만 관측이 어려워 다른 기상 변수들에 비해 관측값의 확보가 어렵다. 천리안 2A호와 히마와리 8호 위성 일사량 자료가 제공되기 시작하면서, 작물 생육과 태양광 발전을 결합한 영농형 태양광 시설 하에서의 작물 생산성 평가를 위한 일사량 자료를 확보하기 용이해졌다. 본 연구의 목적은 이들 인공위성 일사량 자료의 신뢰도를 비교하는 것이다. 이를 위해 2020년 5월부터 10월까지 인공위성 일사량 자료를 수집하여 일별 일사량의 평균 제곱근 편차(RMSE)와 정규 평균 제곱근 편차(NRMSE)를 계산하였다. 인공위성 일사량 자료가 작물 생육 모의 결과의 신뢰도에 미치는 영향을 파악하기 위해 연구기간 동안의 일사량 누적값을 비교하였다. 본 연구의 결과 히마와리 8호 일사량 자료가 천리안 2A호 일사량 자료보다 RMSE와 NRMSE가 작은 것으로 나타났다. 누적 일사량을 비교한 결과에서도 히마와리 8호 일사량 자료 누적값이 천리안 2A호 일사량 자료 누적값보다 오차가 작았다. 본 연구의 결과는 작물 생산성 평가에 히마와리 8호 일사량 자료를 사용하는 것이 천리안 2A호 일사량 자료를 사용하는 것보다 불확도를 줄일 수 있다는 것을 시사한다. 후속 연구에서 히마와리 8호 일사량 자료를 사용한 영농형 태양광 시설 하에서의 작물 생산성 및 태양광 발전량에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농업에너지자립형 산업모델기술개발사업의 지원을 받았습니다(321075-02-1-SB 010).

## REFERENCES

- Antonopoulos, V. Z., D. M. Papamichail, V. G. Aschonitis, and A. V. Antonopoulos, 2019: Solar radiation estimation methods using ANN and empirical models. *Computers and Electronics in Agriculture* **160**, 160-167.
- Bessho, K., K. Date, M. Hayashi, A. Ikeda, T. Imai, H. Inoue, Y. Kumagai, T. Miyakawa, H. Murata, T. Ohno, A. Okuyama, R. Oyama, Y. Sasaki, Y. Shimazu, K. Shinji, Y. Sumida, M. Suzuki, H. Taniguchi, H. Tsuchiyama, D. Uesawa, H. Yokota, and R. Yoshida, 2016: An introduction to Himawari-8/9—Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II* **94**(2), 151-183.
- Bojanowski, J. S., A. Vrieling, and A. K. Skidmore, 2014: A comparison of data sources for creating a long-term time series of daily gridded solar radiation for Europe. *Solar Energy* **99**, 152-171.
- Chen, J.-L., L. He, H. Yang, M. Ma, Q. Chen, S.-J. Wu, and Z.-l. Xiao, 2019: Empirical models for estimating monthly global solar radiation: A most comprehensive review and comparative case study in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **108**, 91-111.
- Cho, Y. H., S. J. Cho, H. S. Kwon, and D. H. Yoo, 2019: Building an Agrophotovoltaic System and Suggesting Activation Plans. *The Journal of Information Systems* **28**(1), 115-132.
- Choi, M.-H., J.-I. Yun, U.-R. Chung, and K.-H. Moon, 2010: Performance of Angstrom-PreScott coefficients under different time scales in estimating daily solar radiation in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**(4), 232-237.
- Choi, Y. Y., and M. S. Suh, 2020: Development of a land surface temperature retrieval algorithm from GK2A/AMI. *Remote Sensing* **12**(18), 3050.
- Damiani, A., H. Irie, T. Horio, T. Takamura, P. Khatri, H. Takenaka, T. Nagao, T. Y. Nakajima, and R. R. Cordero, 2018: Evaluation of

- Himawari-8 surface downwelling solar radiation by ground-based measurements. *Atmospheric Measurement Techniques* **11**(4), 2501-2521.
- Hyun, S., and K. S. Kim, 2016: Assessment of the Angstrom-Prescott Coefficients for Estimation of Solar Radiation in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(4), 221-232.
- Jeong, D. I., A. St-Hilaire, Y. Gratton, C. Bélanger, and C. Saad, 2017: A guideline to select an estimation model of daily global solar radiation between geostatistical interpolation and stochastic simulation approaches. *Renewable energy* **103**, 70-80.
- Jiang, H., N. Lu, J. Qin, W. Tang, and L. Yao, 2019: A deep learning algorithm to estimate hourly global solar radiation from geostationary satellite data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **114**, 109327.
- Joh, Y. S., J. Jung, S. Hyun, and K. S. Kim, 2022: Assessment of region specific Angstrom-Prescott coefficients on uncertainties of crop yield estimates using CERES-Rice model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **24**(4), 256-266.
- Kang, D., S. Hyun, and K. S. Kim, 2019: Development of a deep neural network model to estimate solar radiation using temperature and precipitation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**(2), 85-96.
- Kaskaoutis, D., and J. Polo, 2019: Editorial for the Special Issue "Solar Radiation, Modeling, and Remote Sensing". *Remote Sensing* **11**(10), 1198.
- Kim, D. J., S. O. Kim, J. H. Kim, and E. J. Yun, 2019: Establishment of geospatial schemes based on topo-climatology for farm-specific agrometeorological information. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**(3), 146-157.
- Kleinbaum, D. G., L. L. Kupper, A. Nizam, and E. S. Rosenberg, 2013: Applied regression analysis and other multivariable methods. Cengage Learning.
- Koo, Y., S. M. Kim, M. Oh, and H. D. Park, 2019: Estimation of solar irradiance at weather stations in Korea using regionally trained artificial neural network models. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers* **56**(2), 155-171.
- Letu, H., K. Yang, T. Y. Nakajima, H. Ishimoto, T. M. Nagao, J. Riedi, A. J. Baran, R. Ma, T. Wang, H. Shang, P. Khatri, L. Chen, C. Shi, and J. Shi, 2020: High-resolution retrieval of cloud microphysical properties and surface solar radiation using Himawari-8/AHI next-generation geostationary satellite. *Remote Sensing of Environment* **239**, 111583.
- Meenal, R., and A. I. Selvakumar, 2018: Assessment of SVM, empirical and ANN based solar radiation prediction models with most influencing input parameters. *Renewable Energy* **121**, 324-343.
- Mohammadi, K., S. Shamshirband, D. Petković, and H. Khorasanizadeh, 2016: Determining the most important variables for diffuse solar radiation prediction using adaptive neuro-fuzzy methodology; case study: City of Kerman, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **53**, 1570-1579.
- Mokhtari, A., H. Noory, and M. Vazifedoust, 2018a: Improving crop yield estimation by assimilating LAI and inputting satellite-based surface incoming solar radiation into SWAP model. *Agricultural and forest meteorology* **250**, 159-170.
- Mokhtari, A., H. Noory, and M. Vazifedoust, 2018b: Performance of Different Surface Incoming Solar Radiation Models and Their Impacts on Reference Evapotranspiration. *Water resources management* **32**(9), 3053-3070.
- Olatomiwa, L., S. Mekhilef, S. Shamshirband, K. Mohammadi, D. Petković, and C. Sudheer, 2015: A support vector machine-firefly algorithm-based model for global solar radiation prediction. *Solar Energy* **115**, 632-644.
- Peng, Z., H. Letu, T. Wang, C. Shi, C. Zhao, G. Tana, N. Zhao, T. Dai, R. Tang, H. Shang, S. Jiancheng and L. Chen, 2020: Estimation of shortwave solar radiation using the artificial neural network from Himawari-8 satellite imagery over China. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **240**, 106672.
- Seo, J. H., J. D. Hwang, H. G. Bae, S. Y. Kim, and J. M. Go, 2018: 남부지역 논에서 봄감자-하계식량작물 이모작의 생육기·수량 변화. In *Proceedings of the Korean Society of Crop Science Conference*, The Korean Society of Crop Science, 68pp.
- Wang, L., O. Kisi, M. Zounemat-Kermani, Z. Zhu, W. Gong, Z. Niu, H. Liu, and Z. Liu, 2017: Prediction of solar radiation in China using different adaptive neuro-fuzzy methods and M5 model tree. *International Journal of Climatology* **37**(3), 1141-1155.
- White, J. W., G. Hoogenboom, P. W. Wilkens, P. W. Stackhouse Jr, and J. M. Hoel, 2011: Evaluation of satellite-based, modeled-derived daily



solar radiation data for the continental United States. *Agronomy journal* **103**(4), 1242-1251.

Yun, E. J., D. J. Kim, J. H. Kim, D. G. Kang, S. O. Kim, and Y. Kim, 2021: Relationship between

Solar Radiation in Complex Terrains and Shaded Relief Images. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **23**(4), 283-294.