

## 농업적 활용을 위한 산란일사와 직달일사 관측 자료: 나주에서 2019년 5월부터 2020년 11월까지

김현기<sup>1,2</sup>, 문현동<sup>1,2</sup>, 조유나<sup>1,2</sup>, 신서호<sup>3</sup>, 김종현<sup>4</sup>, 이양원<sup>5</sup>, 조재일<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 농업생명과학대학 응용식물학과, <sup>2</sup>전남대학교 IT-Bio 융합시스템농업교육연구단,  
<sup>3</sup>전남농업기술원 식량작물연구소, <sup>4</sup>(주)솔단, <sup>5</sup>부경대학교 환경해양대학 공간정보시스템공학과  
(2020년 12월 17일 접수; 2021년 5월 26일 수정; 2021년 6월 21일 수락)

### Direct and Diffuse Radiation Data in Naju During May 2019 to November 2020

Hyunki Kim<sup>1,2</sup>, Hyun-Dong Moon<sup>1,2</sup>, Yuna Cho<sup>1,2</sup>, Seo-Ho Sin<sup>3</sup>, Jong-Hyeon Kim<sup>4</sup>,  
Yang-Won Lee<sup>5</sup>, Jaeil Cho<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Plant Science, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro,  
Gwangju 61186, Republic of Korea

<sup>2</sup>BK21 FOUR Center for IT-Bio Convergence System Agriculture, Chonnam National University,  
77 Yongbong-ro, Gwangju 61186, Republic of Korea

<sup>3</sup>Food Crop Research Center, Agricultural Research & Extension Services, 1508, Senam-ro,  
Sanpo-myeon, Naju-si, Jeollanam-do 58213, Republic of Korea

<sup>4</sup>Soldan, Co., Ltd, B-1208, 201, Songpa-daero, Songpa-gu, Republic of Korea

<sup>5</sup>Department of Spatial Information Engineering, Pukyong National University, 45 Yongso-ro,  
Namgu, Busan 48513, Republic of Korea

(Received December 17, 2020; Revised May 26, 2021; Accepted June 21, 2021)

#### ABSTRACT

Global solar radiation consists of direct and diffuse radiations. Both components are necessary for not only atmospheric science and solar energy domains but also agricultural applications. In this study, the data of direct and diffuse radiations are uploaded to Github. It was observed in Naju during May 2019 to November 2020. Using this data, the previous empirical equations using the relation between clearness index and diffuse ratio were validated. All coefficients of determination ( $R^2$ ) and RMSE were similar as 0.79~0.80 and 0.13~0.15. However, to get the lower RMSE, other non-linear approaches will be required with more observation data.

**Key words:** Direct radiation, Diffuse radiation, Diffuse ratio, Extraterrestrial radiation, Clearness index, Global solar irradiance



\* Corresponding Author : Jaeil Cho  
(chojaeil@jnu.ac.kr)

## I. 배 경

직달일사(Direct radiation)는 태양광선의 광자(Photon)가 대기를 통과할 때 이동 방향을 바꾸지 않고 직접 지표면에 도달하는 일사량이며, 산란일사(Diffuse radiation)는 이러한 태양 복사광이 대기 중의 기체 원자, 분자, 입자들에 부딪혀서 입사 방향과 다른 모든 방향으로 진행되는 일사량이다. 전천일사(Global solar radiation)는 수평면에 입사하는 직달일사와 산란일사를 합친 것이다(Orgill and Hollands, 1977).

직달·산란일사 관측 자료는 일반적으로 대기과학과 태양에너지 분야의 전문물로 인식되지만, 농업 분야에서 그 활용 가치는 매우 크다. 예를 들어, 어떤 일정 광량 조건에서 산란광 비율이 높으면 일사광이 다양한 방향으로 초관(Crop canopy) 상층에 입사되어 더 깊은 하층까지 더 많은 광이 침투하게 된다(Hirose, 2004). 결국 보다 많은 하층 잎들의 광 포획량이 증가하여 근각 광합성량은 늘어난다(Mercado et al., 2009). 광합성 체계의 규모나 효율은 작물 수량의 기반이 되는 점을 고려할 때, 농업에서 산란일사광의 중요성은 더욱 강조될 필요가 있다. 그 밖에 농업용 유리온실의 조성 및 관리를 위한 광투과율 평가(Koh et al., 1989)와 영농형 태양광 하부에서 작물의 광 포획량을 추정(Yoon et al., 2019)에 직달·산란일사 관측 자료는 유용하다.

세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)에 준하는 기상청의 표준화된 지상기상 관측지침(기상청훈령 제879호 관측업무규정 제2장, 2017.5.23개정)에 따르면 지상기상관측의 기본 일사 관측 요소로 전천일사량과 직달일사량이 명시되어 있다. 산란일사량의 경우 전천일사량과 직달일사량이 동시에 관측할 경우에 추정할 수 있지만 별도로 언급되어 있지 않다. 실제로 기상청 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)에 공개되어 있는 지상기상관측 자료에는 복사 관련 관측요소로 일사량과 일조량만이 존재하고 직달·산란일사 자료는 없다.

기상청훈령 제867호 기후업무규정 제2장 기후변화 감시 및 원인규명(2017. 3. 23)에 의하면 국립기상과학원장은 WMO지침에 따라 지구대기감시 관측을 수행해야 한다. 국립기상과학원에서 발간한 지구대기감시 업무 매뉴얼(III) (2017. 12)에 따르면 우리나라의 직달·산란일사는 안면도에서 1999년부터 현재까지 직달일사를 MS-54 일사계(Pyreheliometer, EKO사)와

산란일사를 MS-802F(Pyranometer, EKO사)로 관측하고 있으며, 고산에서 2008년부터 현재까지 직달일사를 MS-54 일사계와 산란일사를 MS-802(Pyranometer, EKO사)로 측정하고 있다. 이 같은 자료는 모두 1시간 간격으로서 기상청 기후정보포털(climate.go.kr)에 공개되어 있다.

그 밖에 다양한 기관에서 에어로졸, 미세먼지, 대기투과도·혼탁도 관련 측정 그리고 산림에서의 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 플럭스 보조 관측 목적으로 직달 또는 산란일사가 전천일사와 함께 측정되고 있지만, 직달·산란일사 관측 사이트 구축에 필요한 복수의 일사센서와 태양추적장치(Solar tracker)가 고가라는 점과 일반적인 광센서에 비해 더 세심한 관리가 필요하기 때문에 관측이 활발하게 이루어지지 않고 있다. 우리나라에서 직달·산란일사량 자료가 공식적으로 개방된 사이트는 기상청 지구대기관측소의 안면도와 고산 2곳뿐이다. 더욱이 농업활용의 목적으로 직달·산란일사를 관측한 사례는 거의 전무하다.

본고에서는 직달·산란일사 자료의 농업적 활용에 기여하고자 전남농업기술원 실험 논 포장에 구축된 에디공분산 플럭스 관측 사이트 인근에서 2019년 5월부터 2020년 11월까지 1분 간격으로 관측된 직달일사량과 산란일사량을 공개하였다. 또한 본 자료의 신뢰도를 간접적으로 검증하기 위해 선행연구들의 산란일사량 추정 경험식들과 비교하였다.

## II. 방 법

### 2.1. 직달·산란 태양일사계 설치

나주의 직달·산란일사계는 애초에 에디공분산(EC, Eddy covariance) 논 사이트(RNK, Rice-Naju-Korea)의 보조 관측기기로 설치되었다. 하지만, 태양추적장치(Solar tracker)를 타워 또는 맨 토양 위에 설치하는 것은 어려움이 있으므로, EC 사이트로부터 666m 떨어진 건물 위에 기기를 두어 태양을 가리는 물체 없이 센서 시야각을 확보하고, 콘크리트 지면위에서 안정적으로 운영하였다(Fig. 1).

전라남도 나주시 산포면 산제리 213에 위치한 전남농업기술원 벼 연구동(1층 건물, 위도: 35° 1' 33.8052" N, 경도: 126° 49' 29.9784" E) 옥상에 스테인레스 재질의 70cm 높이 원형테이블을 콘크리트로 바닥에 고정하고, 그 위에 직달·산란 태양일사계(Pyreheliometer and shaded pyranometer, RaZON+, Kipp & Zonen



Fig. 1. The location of Naju observation site for diffuse and direct irradiances (Modified Kakao map).

Inc., NL)를 올려 수평을 맞추었다. 전원은 건물 1층 AC 배전함에서 옥상으로 전기를 공급하고 DC 24V로 전환한 뒤 사용하였다. 건물 자체에 종종 짧은 정전(약 5~10분 이내)이 발생한 이력이 있으므로, 배전함에서 옥상으로 전기선을 올리기 전에 무정전전원장치(UPS, Uninterruptible power supply, APC사, 용량: 600W/1000VA)를 거치도록 하였다.

본고에서 사용한 RaZON+ 직달·산란일사계는 긴 원통 내부의 한 끝에 위치한 직달일사계(PR1 Pyrheliometer, 파장범위 310~2,700nm, 반응시간 95% 0.2s이내)에 다른 한쪽 끝으로부터 태양광선이 직접 들어오도록 자동으로 태양을 추적하여 직달일사를 측정하며, 마찬가지로 산란일사도 차광판(Shading disc)이 태양을 추적하게 하여 직달일사가 일사계(PH1 Pyranometer, 파장범위 310~2,700nm, 반응시간 95% 0.2s이내)에 입사되는 것을 차단하여 측정한다. 60×60×48cm 크기의 본 장비는 회전 반경 천정각이 110°, 방위각이 600°이며 위치 정확도(Pointing accuracy)는

0.2°이다. 관측기기의 설치된 모습은 Fig. 2에 보이는 바와 같다.

## 2.2. 산란계수와 대기청명도

산란계수(Diffuse ratio,  $k$ )는 산란일사량을 전천일사량으로 나눈 값으로써 산란일사량 추정에 필요한 계수이다. 그리고, 이러한 산란계수를 추정하는 경험적 방법으로는 대기청명도(Clearness index,  $k_t$ )를 주로 이용한다. Table 1에 선행연구 경험식 9개를 정리하였다(Orgill and Hollands, 1977; Erbs *et al.*, 1982; Reindl *et al.*, 1990; Hawlader, 1984; Chandrasekaran and Kumar 1994; Miguel *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2002; Karatasou *et al.*, 2003; Soares *et al.*, 2004). 대기청명도는 수평면 전천일사량을 수평면 대기 외 일사량(Extraterrestrial solar irradiance on a horizontal surface)으로 나눈 값으로써, 대기 외 일사량은 대상 지역의 위도, 경도, 그리고 날짜/시간 값을 입력하여 계산되어 진다(Sayigh, 2012). 본고에서는 python 언어를 이용해 코딩하여 산출하였다.

## 2.3. 인접 종관기상관측소과 대기오염관측소

본 연구 관측지로부터 가장 가까운 기상청 종관기상관측소는 직선거리 666 m에 위치한 지점번호 156인 광주지방기상청 관측소(위도: 35° 10' 23.1852", 경도: 126° 53' 29.4504")이다. 일조량(hour)과 일사량(MJ/m<sup>2</sup>)을 비롯하여 전운량(10분위), 중하층운량(10분위), 운형(운형약어), 최저온고(100m) 자료가 1시간 간격으로 정리되어 기상청의 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)에 공개되어 있다.

지상에서 미세먼지(PM<sub>10</sub>)와 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)를 관측하고 있는 가까운 대기오염관측소는 나주 혁신도시(주소: 전남 나주시 빛가람로 719 빛가람동 주민센터 옥상)에 있으며, 에어코리아 홈페이지(<https://www.airkorea.or.kr>)에서 1시간 간격의 관측 자료를 다운로드 받을 수 있다. 비록 본고에서는 이러한 자료들을 이용한 분석 결과를 보이지는 않았지만, 직달·산란일사를 활용할 때 유용하게 이용될 것으로 사료된다.

## III. 자료 및 사용 방법

나주 사이트의 관측 기기에서 산출되는 주요 관측 변수로는 법선면 직달일사량(DNI, Direct normal

**Table 1.** Hourly irradiance models to estimate diffuse ratio in previous studies and correlation results with the data in this study

References	Models	In this study	
		R <sup>2</sup>	RMSE (-)
Orgill and Hollands (1977)	$k = 1.0 - 0.249 k_t$ $k = 1.557 - 1.84 k_t$ $k = 0.177$	<i>for</i> $k_t < 0.35$ <i>for</i> $0.35 \leq k_t \leq 0.75$ <i>for</i> $k_t > 0.75$	0.80 0.132
Erbs <i>et al.</i> (1982)	$k = 1.0 - 0.09 k_t$ $k = 0.9511 - 0.1604 k_t + 4.388 k_t^2 - 16.638 k_t^3 + 12.336 k_t^4$ $k = 0.165$	<i>for</i> $k_t < 0.22$ <i>for</i> $0.22 \leq k_t \leq 0.80$ <i>for</i> $k_t > 0.80$	0.80 0.136
Reindl <i>et al.</i> (1990)	$k = 1.020 - 0.248 k_t$ $k = 1.45 - 1.67 k_t$ $k = 0.147$	<i>for</i> $k_t \leq 0.3$ <i>for</i> $0.3 < k_t < 0.78$ <i>for</i> $k_t \geq 0.78$	0.80 0.130
Hawladar (1984)	$k = 0.915$ $k = 1.1389 - 0.9422 k_t - 0.3878 k_t^2$ $k = 0.215$	<i>for</i> $k_t \leq 0.225$ <i>for</i> $0.225 < k_t < 0.775$ <i>for</i> $k_t \geq 0.775$	0.80 0.140
Chandrasekaran and Kumar (1994)	$k = 1.0086 - 0.178 k_t$ $k = 0.9686 + 0.1325 k_t + 1.4183 k_t^2 - 10.1860 k_t^3 + 8.3733 k_t^4$ $k = 0.197$	<i>for</i> $k_t \leq 0.24$ <i>for</i> $0.24 < k_t < 0.80$ <i>for</i> $k_t \geq 0.80$	0.80 0.131
Miguel <i>et al.</i> (2001)	$k = 0.995 - 0.081 k_t$ $k = 0.724 + 2.738 k_t - 8.32 k_t^2 + 4.967 k_t^3$ $k = 0.18$	<i>for</i> $k_t \leq 0.21$ <i>for</i> $0.21 < k_t < 0.76$ <i>for</i> $k_t \geq 0.76$	0.80 0.131
Oliveira <i>et al.</i> (2002)	$k = 1.0$ $k = 0.97 + 0.8 k_t - 3 k_t^2 - 3.1 k_t^3 + 5.2 k_t^4$ $k = 0.178$	<i>for</i> $k_t \leq 0.17$ <i>for</i> $0.17 < k_t < 0.75$ <i>for</i> $k_t \geq 0.75$	0.79 0.141
Karatasou <i>et al.</i> (2003)	$k = 0.9995 - 0.05 k_t - 2.4156 k_t^2 + 1.4926 k_t^3$ $k = 0.20$	<i>for</i> $0 < k_t \leq 0.78$ <i>for</i> $k_t > 0.78$	0.80 0.143
Soares <i>et al.</i> (2004)	$k = 1.0$ $k = 0.90 + 1.1 k_t - 4.5 k_t^2 + 0.01 k_t^3 + 3.14 k_t^4$ $k = 0.17$	<i>for</i> $k_t \leq 0.17$ <i>for</i> $0.17 < k_t < 0.75$ <i>for</i> $k_t \geq 0.75$	0.79 0.154

irradiance, W/m<sup>2</sup>)과 수평면 산란일사량(DHI, Diffuse horizontal irradiance, W/m<sup>2</sup>)이 있으며, 1초마다 측정(scan)되어 1분 간격으로 집계된다.

$$\text{GHI} = \text{DNI} * \cos(\text{SZA}) + \text{DHI} \quad (\text{Eq. 1})$$

DNI은 태양천정각(SZA, Solar zenith angle)의 코사인을 곱하여 수평면 직달일사량으로 변환한 후 DHI과 더하면 수평면 전천일사량(GHI, Global horizontal solar irradiance, W/m<sup>2</sup>)이 된다. 또한 1초 마다 측정된 DNI을 이용하여 일조시간/일조량(Sunshine duration, hour or kW/h/m<sup>2</sup>)이 계산된다.

약 1달 주기로 관측지를 방문하여 기기와 노트북 간의 와이파이(WiFi) 통신으로 자료를 다운로드 받았다. 이러한 자료를 2019년 5월부터 2020년 11월까지 csv

(Comma-separated value) 파일로 정리하여 깃허브(Github) 웹서비스에 업로드하였다([https://github.com/chojaeil/Diffuse-Direct\\_Naju](https://github.com/chojaeil/Diffuse-Direct_Naju)). 제공되는 자료의 종류는 Table 2에 보이는 바와 같다.

#### IV. 품질관리

장비의 상태 관리를 위해 약 2주 주기로 현장을 방문하여 알코올 묻힌 면봉으로 센서를 닦아주었고, 기기 수평자세를 체크해 주어 일정한 관측 품질이 유지되도록 하였다. 직달·산란일사계에서 관측된 직달일사와 산란일사의 합인 전천일사를 666m 직선거리 에디공분산 사이트의 순복사계(Net Radiometers, RaZON+, Kipp & Zonen Inc., NL)의 일사센서 값과 비교하였다 (Table 3). 다른 계절적 기간에 비해 5월에서 8월의

**Table 2.** The format of the uploaded files in Github

Column	Variables	Description	Unit
01	DateGMT	Date in UTC (GMT)	YYYY-MM-DD
02	TimeGMT	Time in UTC (GMT)	hh:mm:ss
03	DateLocal	Date in local time zone	YYYY-MM-DD
04	TimeLocal	Time in local time zone	hh:mm:ss
05	SolarAzimuth	Solar azimuth angle	Degrees
06	SolarZenith	Solar zenith angle	Degrees
07	Latitude	Latitude in degrees north	Degrees
08	Longitude	Longitude in degrees east	Degrees
09	AirPressure	Air pressure	mBar
10	IrrDiffuse	Diffuse horizontal irradiance	W/m <sup>2</sup>
11	TempDiffuse	Temperature of radiometer measuring diffuse irradiance	Degrees Celsius
12	IrrDirect	Direct normal irradiance	W/m <sup>2</sup>
13	TempDirect	Temperature of radiometer measuring direct irradiance	Degrees Celsius
14	IrrGlobal	Global irradiance	W/m <sup>2</sup>
16	Sunshine*	Sunshine counts in seconds for 1 minute	number of seconds in 1 minute
17	SunshineDuration*	Sunshine duration since solar midnight	hours of today
18	GlobalSum	Global irradiance based energy since solar midnight	KWh/m <sup>2</sup>

\* Irradiance samples of more than 120 W/m<sup>2</sup>

**Table 3.** Comparison between global horizontal irradiance of the sum of direct and diffuse irradiances and solar irradiance measured by net radiometer at distance of 666 meter

Year	Month	Comparison between global (G)* and solar irradiances (S)		
		Correlation Eqs.	R <sup>2</sup>	RMSE(W/m <sup>2</sup> )
2019	12	$S = 1.084 G - 0.106$	0.99	21.13
	1	$S = 1.072 G - 0.295$	0.99	22.62
	2	$S = 1.054 G + 0.843$	0.99	22.27
	3	$S = 1.047 G + 1.025$	1.00	23.99
	4	$S = 1.049 G + 0.229$	1.00	29.75
2020	5	$S = 1.054 G + 2.323$	0.99	42.86
	6	$S = 1.063 G + 3.253$	0.99	39.70
	7	$S = 1.072 G + 4.511$	0.97	47.39
	8	$S = 1.046 G + 4.875$	0.97	52.99
	9	$S = 1.056 G + 2.565$	0.98	39.78
	10	$S = 1.060 G + 1.697$	0.99	31.91

\* global irradiance is the sum of direct and diffuse irradiances

편차 오차(Bias error)가 상대적으로 가장 높았지만, 대부분의 자료는 낮은 불확실성을 나타냈다.

Fig. 3은 본고에서 공개한 자료 기간 중 1년(2019년

6월1일부터 2020년 5월31일)을 대상으로 대기청명도에 대한 산란계수의 분포를 나타낸 모습이다. 대기청명도에 대한 산란계수 경험식이 도출한 기존 연구들은

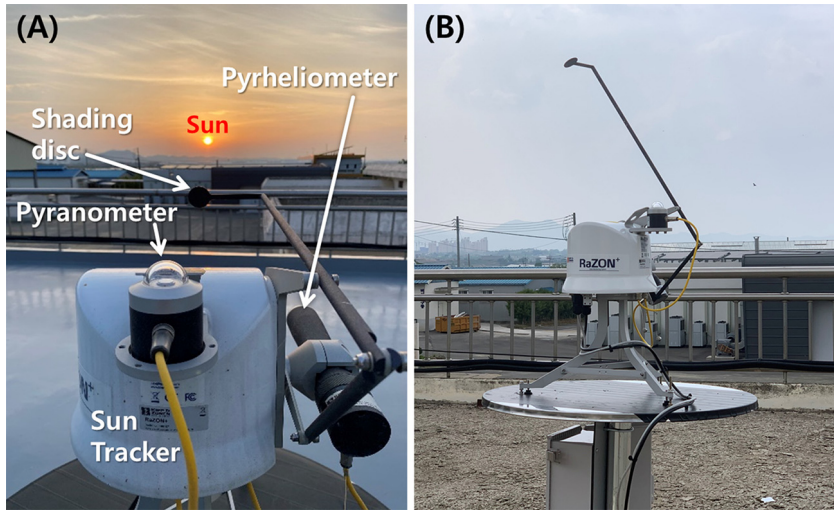


Fig. 2. The instrument of Naju observation site for diffuse and direct irradiances.

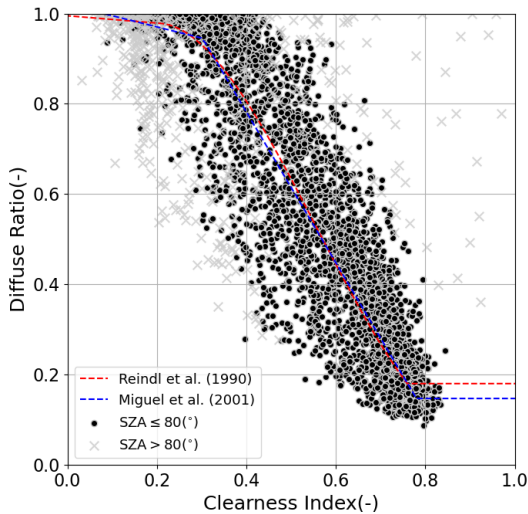


Fig. 3. The scatter diagram of clearness index ( $k_t$ ) and diffuse ratio ( $k$ ) during one year in Naju observation site.

대부분이 1달 또는 1시간 자료를 이용하였다. 따라서 Fig. 3의 결과에서도 공개한 1분 자료를 1시간으로 변환한 후 사용하였다. 또한 1년 자료만을 이용한 이유는, 각 달 또는 계절에 따라 특성이 다를 수 있으므로 전체 패턴이 특정 시기에 의해 편향되지 않게 하기 위한 의도였다.

Table 1에 정리된 기존의 대기청명도와 산란계수 간의 경험식들은 그 수식 형태가 서로 유사하며, 본 자료를 이용한 결정계수( $R^2$ )와 RMSE의 검증 결과도

매우 비슷하였다. 또한 본고에서는 보이지 않았지만, 달 또는 계절별 검증 결과도 뚜렷하게 다르지 않았다. 하지만, 앞으로 산란계수를 추정에 있어 RMSE를 보다 낮추기 위해서는 기존의 경험식이 아닌 다중회귀 방법, 인공지능 기법 등을 이용하여 비선형 방식으로 접근하는 것이 좋겠다.

선행연구 경험식들을 검증할 때, SZA이 80°이하인 자료만 사용하였다. SZA이 90°에 가까워질수록 직달과 산란 일사량 관측에 지형 및 지표피복의 영향이 있을 수 있으며, 관측기기가 설치된 옥상의 해발고도가 약 33m라는 점이 고려되었다. 그 밖에 비 온 날을 제외하는 것이 자료 품질에 긍정적이겠으나, Fig. 3에서는 비 온 시간을 제외하지는 않았다.

### 적 요

농업용 유리온실 또는 플라스틱하우스의 투과율을 산정하거나 영농형 태양광 하부 작물의 수광량을 평가할 때, 그리고 작물 군락 광합성량을 모의하거나 분석할 때에 직달과 산란 일사량을 구분하여 접근할 필요가 있다. 본고에서는 산란과 직달 일사량 자료의 농업적 활용 촉진을 위해 나주에서 2019년 5월부터 2020년 11월까지 측정된 자료를 공개하였다. 또한, 기존 연구에서 9개의 산란계수 추정식을 본 자료로 검증하였다. 추정식들 대부분은 결정계수( $R^2$ )가 0.79~0.80, RMSE가 0.13~0.15의 범위를 가졌다. 직달·산란 일사량의 농업적 활용을 높이기 위해 본 데이터뿐만 아

나라 다양한 자료가 관측되고 공개되어야 할 것이고, 그에 따른 추정식도 정교화될 필요가 있다.

### 감사의 글

이 논문은 기상청의 기상·지진 See·At 기술개발 연구(KMI2018-05510)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

- Chandrasekaran, J., and S. Kumar, 1994: Hourly diffuse fraction correlation at a tropical location. *Solar Energy* **53**(6), 505-510.
- De Miguel, A., J. Bilbao, R. Aguiar, H. Kambezidis, and E. Negro, 2001: Diffuse solar irradiation model evaluation in the north Mediterranean belt area. *Solar Energy* **70**(2), 143-153.
- Erbs, D. G., S. A. Klein, and J. A. Duffie, 1982: Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar Energy* **28**(4), 293-302.
- Hawladar, M. N. A., 1984: Diffuse, global and extra-terrestrial solar radiation for Singapore. *International Journal of Ambient Energy* **5**(1), 31-38.
- Hirose, T., 2005: Development of the Monsi-Saeki theory on canopy structure and function. *Annals of Botany* **95**(3), 483-494.
- Karatasou, S., M. Santamouris, and V. Geros, 2003: Analysis of experimental data on diffuse solar radiation in Athens, Greece, for building applications. *International Journal of Sustainable Energy* **23**(1-2), 1-11.
- Koh, H. K., M. K. Kim, and Y. H. Kim, 1989: Analysis of direct and diffuse radiation in plastic greenhouse. *The Magazine of Korean Solar Energy Society* **9**(3), 3013-3024. (in Korean with English abstract)
- Mercado, L. M., N. Bellouin, S. Sitch, O. Boucher, C. Huntingford, M. Wild, and P. M. Cox, 2009: Impact of changes in diffuse radiation on the global land carbon sink. *Nature* **458**(7241), 1014-1017.
- Oliveira, A. P., J. F. Escobedo, A. J. Machado, and J. Soares, 2002: Correlation models of diffuse solar-radiation applied to the city of Sao Paulo, Brazil. *Applied Energy* **71**(1), 59-73.
- Orgill, J. F., and K. G. T. Hollands, 1977: Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. *Solar Energy* **19**(4), 357-359.
- Reindl, D. T., W. A. Beckman, and J. A. Duffie, 1990: Diffuse fraction correlations. *Solar Energy* **45**(1), 1-7.
- Sayigh, A. A. M., 2012: *Environmental Characteristics. Solar energy engineering: Processes and systems*. S. A. Kalogirou (Eds.), Elsevier, 51-123pp.
- Soares, J., A. P. Oliveira, M. Z. Božnar, P. Mlakar, J. F. Escobedo, and A. J. Machado, 2004: Modeling hourly diffuse solar-radiation in the city of São Paulo using a neural-network technique. *Applied Energy* **79**(2), 201-214.
- Yoon, C., S. Choi, K.-N. An, J.-H. Ryu, H. Jeong, and J. Cho, 2019: Preliminary experiment of the change of insolation under solar panel mimic shading net. *Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology* **21**(4) 358-365. (in Korean with English abstract)