

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/358164204>

# Agro-Environmental Observation in a Rice Paddy under an Agrivoltaic System: Comparison with the Environment outside the System

Article in *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* · September 2021

DOI: 10.5532/KJAFM.2021.23.3.141

CITATIONS

5

READS

326

6 authors, including:



**Minseok Kang**

National Center for AgroMeteorology, Seoul, South Korea

94 PUBLICATIONS 2,639 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Juhan Park**

National Center for Agro Meteorology

33 PUBLICATIONS 270 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Sungsik Cho**

26 PUBLICATIONS 259 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

## 영농형 태양광 시설 하부 논에서의 농업환경 관측 및 시설 외부 환경과의 비교

강민석<sup>1\*</sup>, 손승원<sup>1</sup>, 박주한<sup>1</sup>, 김종호<sup>1</sup>, 최성원<sup>1</sup>, 조성식<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>국가농림기상센터, <sup>2</sup>서울대학교 협동과정 농림기상학전공  
(2021년 9월 3일 접수; 2021년 9월 27일 수정; 2021년 9월 29일 수락)

## Agro-Environmental Observation in a Rice Paddy under an Agrivoltaic System: Comparison with the Environment outside the System

Minseok Kang<sup>1\*</sup>, Seungwon Sohn<sup>1</sup>, Juhan Park<sup>1</sup>, Jongho Kim<sup>1</sup>,  
Sung-Won Choi<sup>1</sup>, Sungsik Cho<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>National Center for AgroMeteorology, 1, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, South Korea

<sup>2</sup>Interdisciplinary Program in Agricultural & Forest Meteorology, Seoul National University,  
1, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, South Korea

(Received September 3, 2021; Revised September 27, 2021; Accepted September 29, 2021)

### ABSTRACT

Agrivoltaic systems, also called solar sharing, stated from an idea that utilizes sunlight above the light saturation point of crops for power generation using solar panels. It is expected that agrivoltaic systems can realize climate smart agriculture by reducing evapotranspiration and methane emission due to the reduction of incident solar radiation and the consequent surface cooling effect and bring additional income to farms through solar power generation. In this study, to evaluate that agrivoltaic systems are suitable for realization of climate smart agriculture, we conducted agro-environmental observations (i.e., downward/upward shortwave/longwave radiations, air temperature, relative humidity, water temperature, soil temperature, and wind speed) in a rice paddy under an agrivoltaic system and compared with the environment outside the system using automated meteorological observing systems (AMOS). During the observation period, the spatially averaged incoming solar radiation under the agrivoltaic system was about 70% of that in the open paddy field, and clear differences in the soil and water temperatures between the paddy field under the agrivoltaic system and the open paddy field were confirmed, although the air temperatures were similar. It is required in the near future to confirm whether such environmental differences lead to a reduction in water consumption and greenhouse gas emissions by flux measurements.

**Key words:** Agrivoltaic system, Rice paddy, Micrometeorology, Automated Meteorological Observing System (AMOS), Radiation balance



\* Corresponding Author : Minseok Kang  
(ms-kang@ncam.kr)

## I. 서 론

탄소중립을 위한 그린 뉴딜 추진에 있어서 농업 분야도 예외는 아니다. 그린 뉴딜은 기후 변화와 경제적 문제를 아울러 해결하기 위해 제시한 정책과 법안을 이야기하며, 신재생에너지의 확산, 온실가스 감축 등을 통해 탄소를 배출한 만큼 흡수하는 대책을 세워 순 배출량을 제로로 만드는 탄소중립을 위한 한국판 뉴딜이 현재 진행 중에 있다(Ministry of Environment, 2021). 농업 분야의 탄소중립과 관련된 기술들은 크게 배출량 산정, 배출량 저감, 재생에너지 활용, 탄소 흡수 기능 강화 등으로 나눌 수 있으며, 이와 연관된 농업기상학 분야의 현재 화두는 1) 지속 가능한 생산력 및 소득의 증대, 2) 기후변화에 적응하는 탄력 구축, 3) 온실가스 방출의 감축을 동시에 추구하는 기후 스마트 농업의 실현으로 볼 수 있다(Lipper *et al.*, 2014). 이러한 세 가지 목표가 시너지를 낼 수도 있지만 보통은 트레이드-오프인 관계로 현실에서 세 마리 토끼를 동시에 잡기란 쉽지 않다.

농경지 상부에 일정한 간격을 두고 태양광 패널을 설치하는 영농형 태양광은 그린 뉴딜과 함께 기후 스마트 농업을 실현하는 한 방법이 될 수 있다. 솔라 웨어링이라고도 불리는 영농형 태양광은 작물의 광포화점 이상의 태양광을 태양광 패널을 이용한 발전에 활용한다는 개념으로, 재생에너지의 확산과 이로 인한 부가소득 창출을 통해 지속 가능한 농업을 가능하게 한다(Yoon *et al.*, 2019). 영농형 태양과 시설에 의한 잉여 태양광 차단 효과로 지면에 입사하는 태양복사 에너지가 감소하게 되는데, 이에 따른 증발산량 감소와 지면 냉각 효과로 인한 온실가스 배출량 감소 효과를 기대해 볼 수 있다.

영농형 태양광 시설이 보급되기 시작한 것은 비교적 최근의 일로, 기후 스마트 농업의 관점에서 영농형 태양광 발전을 평가하기 위한 관련 연구가 필요한 상황이다. 우리나라에서는 처음으로 (주)솔라팜이 2016년 충청북도 청주시 청원구 오창읍에 영농형 태양광 시설을 벼 논과 배추밭에 설치한 이래, 인천 영흥 포도밭(설치기관: (주)한국남동발전), 경북 경산 보리/대파 밭(영남대학교), 전남 보성 녹차밭((재)녹색에너지연구원) 등에 보급되었다. 영농형 태양광 시설의 보급 역사가 짧은 만큼 관련 연구도 많지 않은데, 대부분의 연구들이 태양광 시설 하부에서 감쇄되는 일사량의 관측 및 모의, 그리고 차광에 따른 생산량 감소에 집중되어 있다(e.g.,

Yoon *et al.*, 2019; Ban *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2020). Cho *et al.*(2020) 이 전남 보성의 영농형 태양광 시설에서 가을보리 재배기간 동안(11월부터 이듬해 5월까지) 관측된 미기상 자료를 시설 하부의 광 조건 변화에 대한 미기상 연구와 영농형 태양광 시설의 작물 생육 및 태양광 전력 생산량 모델링에 활용하기 위해서 데이터 논문의 형태로 발표한 적은 있으나, 영농형 태양광 시설 하부와 외부 미기상의 차이, 그리고 이로 인한 증발산량과 온실가스 배출량의 변화 등이 분석되고 논의된 적은 없다. 따라서 본 연구에서는 자동기상관측시스템(Automated Meteorological Observing System, AMOS)을 이용하여 파주 논에 위치한 영농형 태양광 시설 관측한 농업환경의 하부와 외부의 차이를 확인하고, 해당 시설에서 벼 재배 시 물 소비량 및 온실가스 배출량 감축 가능성에 대해 논의한다.

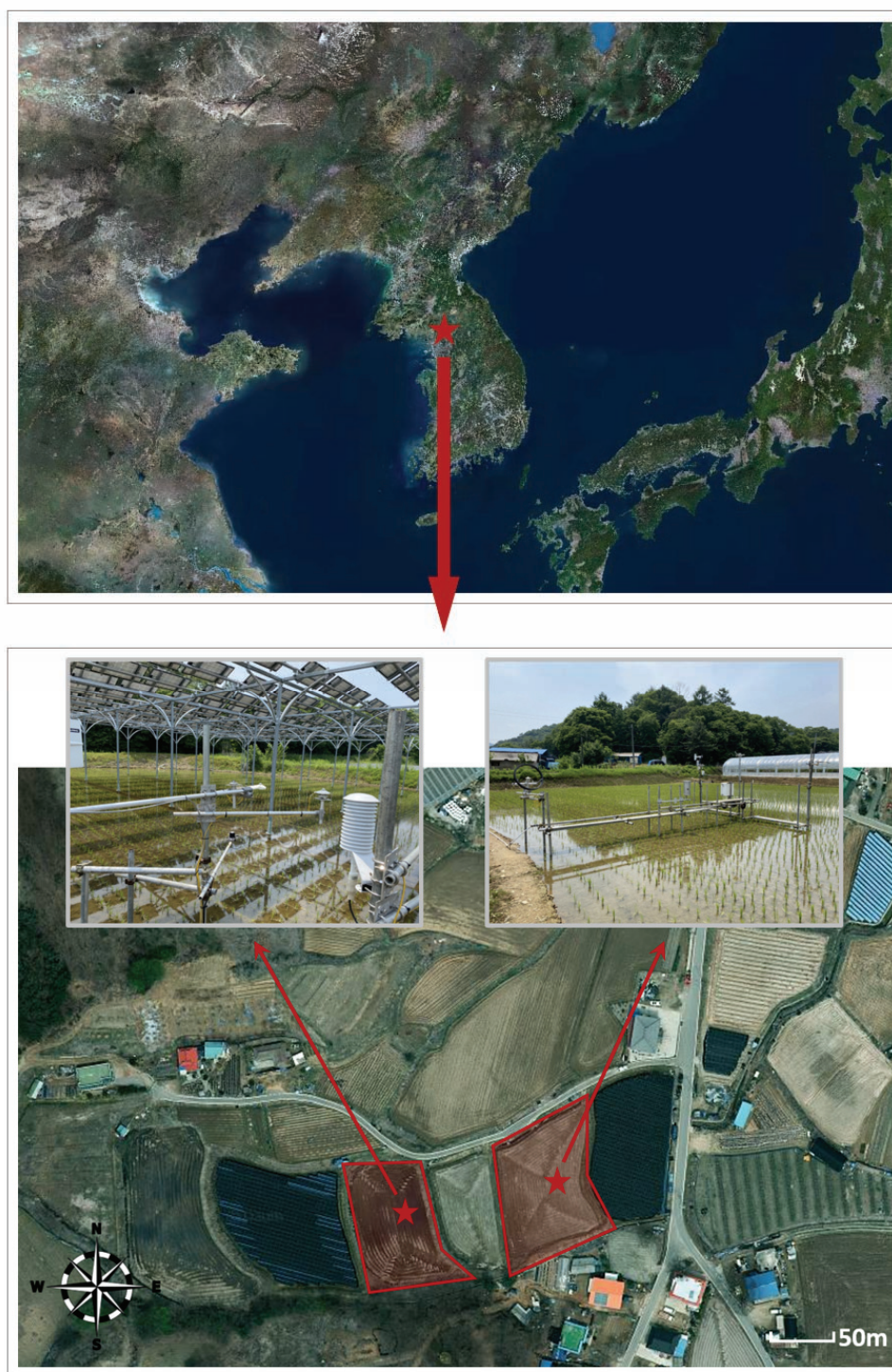
## II. 재료 및 방법

### 2.1. 파주 논 영농형 태양광 시설

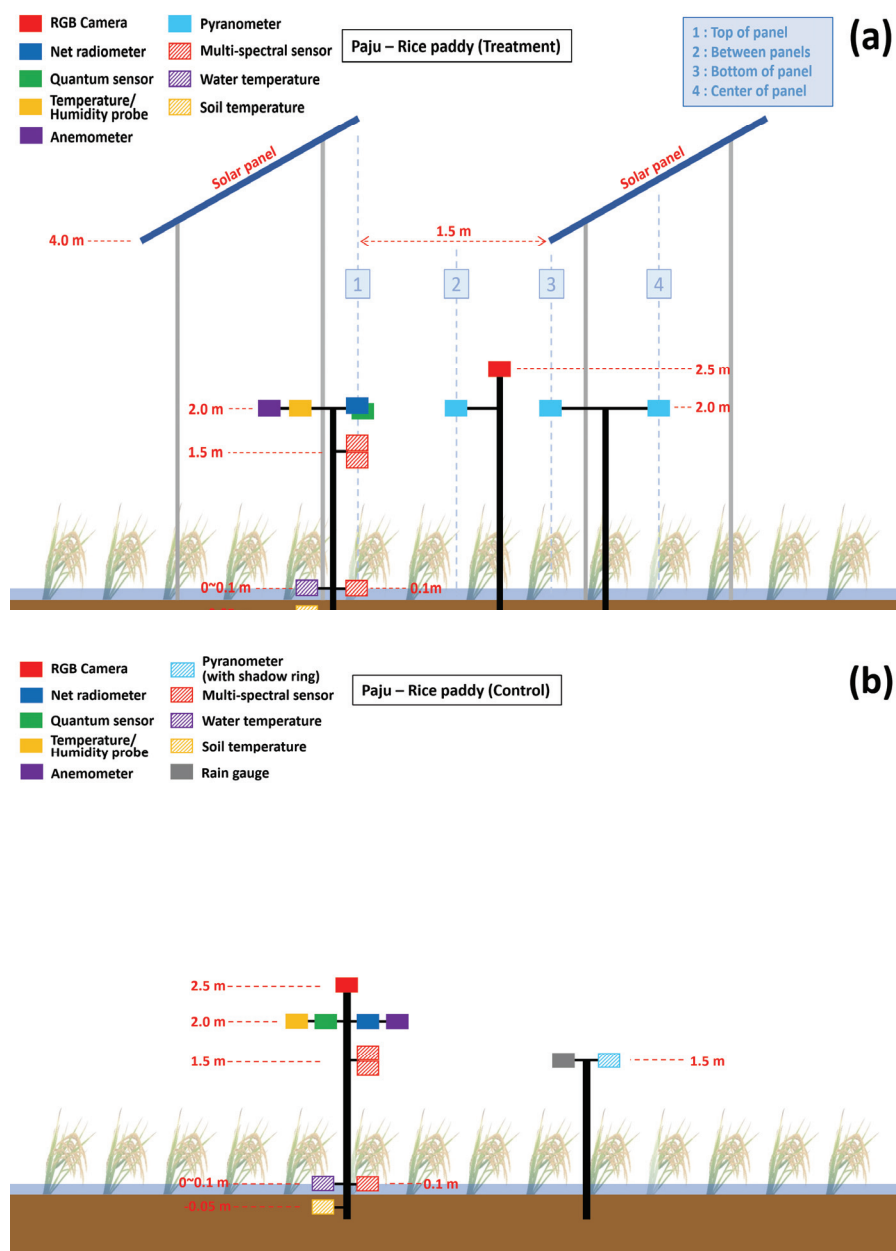
영농형 태양광 시설은 경기도 파주시 적성면 객현리 553-1 논에 위치하며 2020년 4월 24일에 준공되었다(Fig. 1). 0.68×1.35 m의 크기와 160 Wp의 용량을 갖는 태양광 패널 310개와 50 kW 인버터 1개로 구성되었으며, 전체 설치면적은 1,030 m<sup>2</sup>이고 설비 용량은 49.6 Wp이다. 패널의 설치 간격 1.5 m, 높이 4 m, 설치 각도 30°로 패널에 의한 차광률이 27.6%가 되도록 설치되어 있다. 패널의 수광면은 남쪽에서 다소 동쪽으로 치우친 남남동 방향을 바라보고 있다. 영농형 태양광 시설 외부 환경과 비교를 위한 대조구 논은 시설이 위치한 논으로부터 50 m 정도 동쪽으로 떨어져 있다. 처리구와 대조구 모두 벼 품종은 삼광, 이앙 시기는 2021년 5월 18일, 재식밀도는 70주/평(3.3 m<sup>2</sup>), 시비량은 110 kg N ha<sup>-1</sup>로 동일하였다.

### 2.2. 자동기상관측시스템

영농형 태양광 시설 하부 논(처리구) 및 외부 논(대조구)에서의 농업환경을 연속적으로 측정하기 위해 자동기상관측시스템을 각각 두 곳에 설치하여, 2021년 6월 3일부터 8월 5일까지 관측을 수행하였다(Fig. 2). 관측요소로 복사(상/하향 장/단파 복사), 기온, 습도, 풍향 및 풍속, 수온, 지온 등을 포함하고 있다. 자료집록기(Models CR3000 and CR1000, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA)를 통해 30초당 1회씩 측정되며



**Fig. 1.** Location (modified Kakao map) of the Automated Meteorological Observing Systems (AMOS) for the treatment plot under an agrivoltaic system (west) and the control plot (east).



**Fig 2.** Schematics of the Automated Meteorological Observing Systems (AMOS) for the treatment plot under an agrivoltaic system (a) and the control plot (b). The systems includes the net radiometers (Model CNR4, Kipp and Zonen B.V., Delft, Netherlands), the quantum sensors (Model LI-190, LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA), the air temperature and humidity probes (Model HMP155, Vaisala Oyj., Helsinki, Finland), the anemometers (Model 05103-L, R.M. Young Company, Traverse City, MI, USA), the pyranometers (Model CMP3, Kipp and Zonen B.V., Delft, Netherlands), the multi-spectral sensors (Model SD-500, Soldan, Inc., Seoul, Korea), the water temperature probes (Model TCAV-L, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA), the soil temperature probes (Model 107-L, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA), the rain gauge (Model WDR-200, WEDAEN, Co., Seoul, Korea), and the dataloggers (Models CR3000 and CR1000, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA).



측정값은 10분 평균하여 저장된다. 일반적인 관측값을 얻기 위해, 논 안쪽으로 들어갈 수 있는 발판을 설치하고 이를 이용해 관측 장비를 설치하여 논 내부의 환경을 측정하도록 하였다. 일사의 경우 태양광 패널 위치에 따른 시설 하부의 공간 비균질성을 파악하기 위해 패널 윗단, 사이, 밑단, 중앙 바로 아래쪽에서 관측을 수행하였다. 추가로 작물의 식생 계절 변동을 모니터링 하기 위한 라즈베리파이 기반의 카메라와 LED 기반의 다중 분광센서(Model SD-500, Soldan, Inc., Seoul, Korea)가 설치되어 있으며, 본 연구에서는 다중분광센서에서 태양고도가 가장 높은 12시 30분에 측정된 상향 및 하향 복사 조도를 이용하여 분광반사율을 구하고 이를 이용해 정규식생지수(NDVI, normalized difference vegetation index)를 계산하였다(Tucker, 1979).  $\rho_{NIR}$ 과  $\rho_{RED}$ 는 각각 근적외선과 적색 파장의 분광반사율이다.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (\text{Eq. 1})$$

추가적으로 영농형 태양광 시설 하부에서 관측된 NDVI의 경우, 태양광 패널에 의한 하향 복사 성분의 공간 비균질성에 따른 NDVI의 차이를 맑은 날(비균질성이 큼)과 흐린 날(비균질성이 적음) 간의 비교를 통해 확인했지만 그 차이가 5% 이내로 크지 않았다.

### III. 결과

#### 3.1. 일사

Fig. 3은 영농형 태양광 시설 외부(대조구, 노지 논)와 하부(처리구, 태양광 패널 하부 논, 패널 윗단(1번 지점), 패널 사이(2번 지점), 패널 밑단(3번 지점), 패널 중앙(4번 지점))에서 관측된 일적산 전천일사량의 시계열을 보여준다. 태양광 패널에 의해 태양복사가 차단된 만큼 시설 하부의 일사량이 노지에서 관측된 값보다 작으며, 관측 기간(2021년 6월 3일부터 8월 5일까지) 평균을 보면 시설 하부의 일사량은 노지 일사량의 약 70%이었다. 직달광보다 산란광이 우세한 흐린 날은 시설 하부의 지점 간 일적산값 차이가 크지 않았지만 맑은 날에는 지점 간에 명확한 차이가 존재하였다.

이러한 차이를 구체적으로 살펴보고자 맑은 날(6월 4일과 7월 23일)과 흐린 날(6월 3일과 8월 2일)에 10분 간격으로 관측된 일사량의 시계열을 살펴보았다(Fig. 4). 맑은 날의 전천 일사가 어떻게 시설 하부를

통과했는지 보면 관측 지점에 따라 감쇄되는 시간과 정도가 다른 것을 확인할 수 있다. 태양광 패널 윗단(패널 및 시설물에 의한 차광률: 29%, 이하 차광률은 패널 및 시설물에 의한 차광률을 의미), 패널 밑단(19%), 패널 중앙(22%)의 경우, 오전에는 잠깐 일사가 차단되며 오후에 한 시간 이상 차단되는 시점이 존재한다. 패널 사이의 경우 오전에는 대부분의 일사가 차단되며, 결과적으로 전체 일사의 절반만이 통과하게 된다(차광률: 46%). 이러한 차이는 태양 방위각과 천

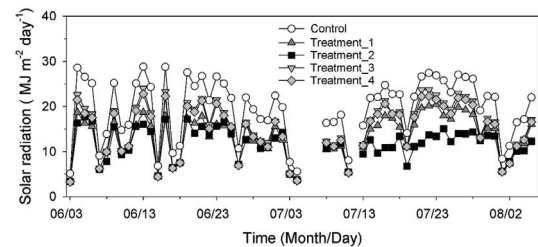


Fig. 3. Daily integrated incoming solar radiation at the treatment (under the agrivoltaic system) and control (outside the system) plots.

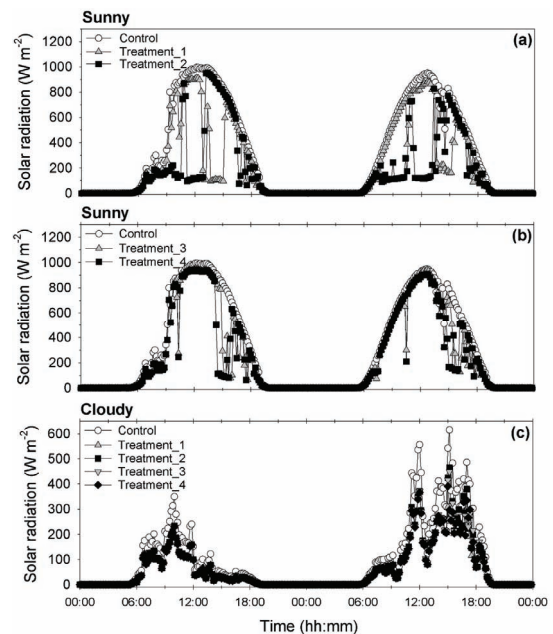


Fig. 4. 10-minute averaged incoming solar radiation at the treatment (under the agrivoltaic system) and control (outside the system) plots on the sunny days (June 4 and July 23, a and b) and the cloudy days (June 3 and August 2, c).

정각의 변화에 따라 패널에 의해서 차단되는 일사량이 달라지기 때문인 것으로 보인다. 흐린 날의 경우 지점별 차광률 차이는 크지 않았으며(32~35%), 평균 차광률은 흐린 날이 34%로 맑은 날(29%)에 비해 높았다.

### 3.2. 식생 계절 변동

이러한 30% 정도의 차광률은 벼 생장에 영향을 미친다. 영농형 태양광 시설 하부와 외부 논외의 벼 생장의 차이를 자동으로 관측하기 위해 카메라를 이용한 영상 촬영과 함께 다중분광센서로 NDVI를 연속적으로 측정하였다. 촬영한 영상으로 대조구인 노지와 처리구인 시설 하부 모의 생장을 보면, 초기(모내기 5월 18일 실시)에는 육안으로 처리구의 생장이 느린 것을 확인할 수 있지만 7월 초중순부터는 그 차이를 확인하기 어려웠다(not shown here). NDVI의 시계열을 보면 NDVI가 포화되기까지 시설 하부와 노지 간 일주일에서 열흘 정도되는 벼 생장의 시간 차이가 존재하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 5).

### 3.3. 온도

Fig. 6은 영농형 태양광 시설 외부 논과 하부 논외의 기온, 수온(물이 없을 때는 지상 온도, 수위계가 도중에 설치되어 관측 기간 내 담수 여부 확인이 어려움), 지온의 시계열을 보여준다. 시설 하부 논과 노지 논에서 기온은 거의 차이가 없지만, 수온과 지온은 명확한 차이가 확인되었다. 이러한 차이는 논으로 입사하는 태양복사의 차이가 나타나는 낮에 주로 나타나며, 밤에는 그 차이가 줄어들어 최저 온도는 둘 간의 차이가 거의 없었다. 그러나 낮 동안의 차이도 벼가 자라면서 지면이 식생으로 충분히 덮이는 과정에서 줄어들었다(Fig. 7). 실제로 관측 기간을 21일씩 나눠(6월 3일부터 23일, 6월 24일부터 7월 14일, 7월 15일부터 8월 5일) 일 최고 지온(수온)의 평균값을 계산하고 대조구와 처리구 간의 차이를 보면 2.6(1.2)°C, 1.3(0.6)°C, 1.1(0.4)°C로 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.4. 바람

영농형 태양광 시설 하부 논에서 측정한 풍속이 대조구 논에서 측정한 것보다 20% 정도 약했다(평균 풍속 각각 0.65 m s<sup>-1</sup> 와 0.52 m s<sup>-1</sup>, Fig. 8). 처리구와 대조구의 풍속의 차이가 시간과 식생 계절 변동에 관계없이 비슷하게 나타나는 것으로 보아, 이러한 차이

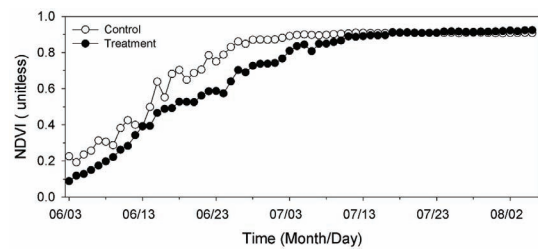


Fig. 5. Time series of the normalized difference vegetation index (NDVI) at the treatment (under the agrivoltaic system) and control (outside the system) plots.

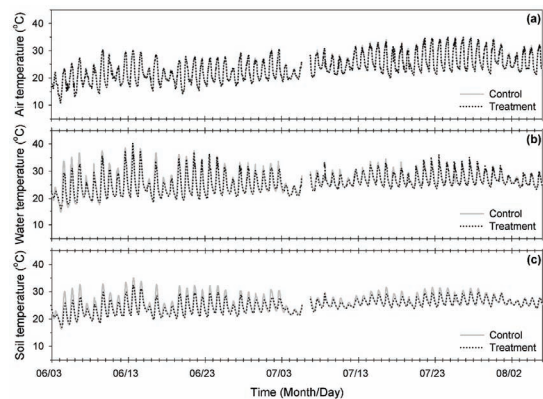


Fig. 6. Time series of the air (a), water (b), soil (c) temperatures at the treatment (under the agrivoltaic system) and control (outside the system) plots.

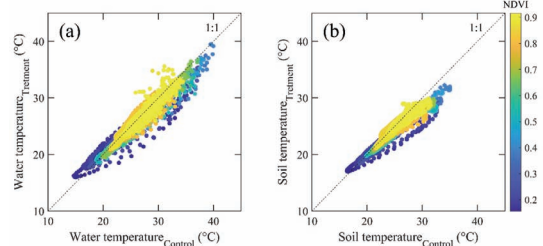
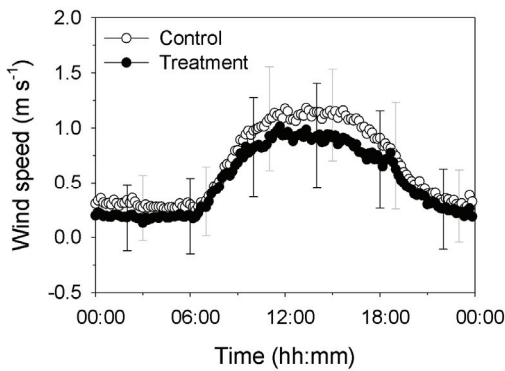


Fig. 7. Comparison of water (a) and soil (b) temperatures between the treatment (under the agrivoltaic system) and control (outside the system) plots for the different normalized difference vegetation indices (NDVI).

가 주로 태양광 시설물에 의한 거칠기 증가로 인해 생기는 것으로 유추해볼 수 있다.

### 3.5. 복사수지

Fig. 9는 영농형 태양광 시설 외부 논과 하부 논외



**Fig. 8.** Mean diurnal variations of the wind speed at the treatment (under the agrivoltaic system) and control (outside the system) plots. Error bars indicate the standard deviation at a given time.

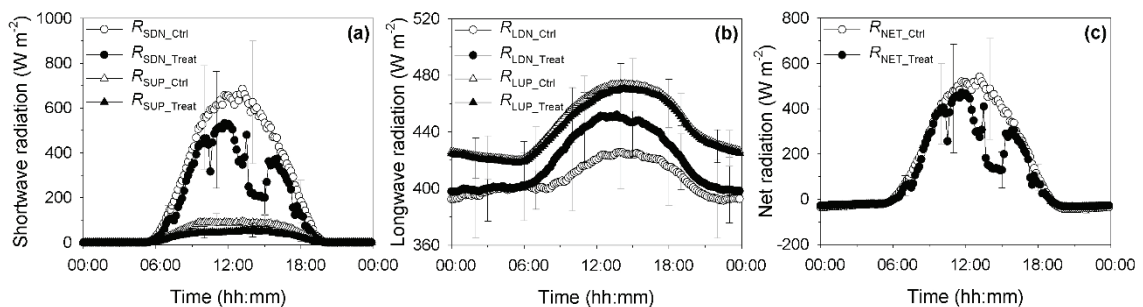
관측 기간 동안 평균 지면 복사 수치를 보여준다. 영농형 태양광 시설 하부의 복사 수치 관측은 앞선 일사량 분석에서 언급했던 1번 지점(영농형 태양광 패널 윗단 아래)에서 이뤄졌다. 먼저 단파 복사의 지면 알베도를 보면 노지 논(0.164)이 시설 하부(0.137)보다 높았는데, 이는 시설 하부에서 태양광 시설로 인해 지면으로 입사하는 빛의 산란광 비중이 노지 논보다 높았기 때문으로 생각된다. 이러한 차이는 대조구와 처리구의 NDVI가 유사할 때에도 동일하게 나타났다. 상향 장파 복사의 경우 지온과 수온이 더 높았던 노지 논에서 기대했던 대로 더 컸으나, 상향 장파 복사의 차이보다는 하향 장파 복사의 차이가 훨씬 두드러졌다. 이러한 차이는 태양광 시설이 태양복사를 차단함으로써 데워지고, 데워진 만큼 장파 복사 방출을 일으키기 때문이다. 태양광 시설 하부 논의 낮은 알베도와 시설에서 방출되는 하향 장파 복사로 인해, 실제 대조구와 처리

구의 순복사 차이(대조구:  $13.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ , 처리구:  $9.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ , 처리구/대조구: 0.73)는 태양광 시설에 의해 차단되어 발생하는 하향 단파 복사(일사) 차이(대조구:  $19.6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ , 처리구:  $13.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ , 처리구/대조구: 0.68)보다 적었다.

#### IV. 토의 및 제언

영농형 태양광 시설 하부에서 벼를 경작할 경우, 일반 노지 논과 비교하여 물 소비량이 절감되고 온실가스 배출량이 줄어들 수 있는 환경요인이 분명히 존재함을 자동기상관측시스템을 이용한 실측을 통해 확인하였다. 먼저 물 소비량의 경우, 일반 노지 논보다 30% 정도 작은 순복사 에너지, 20% 정도 약한 풍속, 한낮에  $1^\circ\text{C}$  이상 낮은 수온을 이유로 영농형 태양광 시설 하부 논 중발산량이 더 적어질 것으로 예상된다(e.g., Kang *et al.*, 2009). 메탄 배출량의 경우, 더 낮은 수온과 지온으로 인해 메탄 생성이 줄어들고, 결과적으로 메탄 배출량 또한 적어질 가능성이 있다(e.g., Hwang *et al.*, 2020). 그러나 온도에 의한 영향은 벼가 자라면서 식생이 지면을 덮을수록 줄어들 것이기에, 영농형 태양광 시설의 메탄 배출량 감소 효과는 중간낙수 전까지 있을 것으로 예상된다. 오히려 식생이 없는 휴경기에 지면 냉각 효과가 두드러져 이에 따른 이산화탄소 배출량(연간 배출량의 약 40%를 차지, Hwang *et al.*, 2020)의 감소 효과가 있을 것으로 기대된다.

실제로 이러한 환경의 차이가 물 소비량 및 온실가스 배출량 감소로 이어지는지는 플렉스 실측을 통한 확인이 필요하다. 본 연구에서 관측하지 않은 환경 변수들 중에 물 소비량과 온실가스 배출량에 큰 영향을 미칠 수 있는 요소가 바로 물 수위(낙수 시에는 토양수



**Fig. 9.** Mean diurnal variations of the downward and upward shortwave radiations ( $R_{SDN}$ ,  $R_{SUP}$ , a), downward and upward longwave radiations ( $R_{LDN}$ ,  $R_{LUP}$ , b), and net radiations ( $R_{NET}$ , c) at the treatment (under the agrivoltaic system,  $Treat$ ) and control (outside the system,  $Ctrl$ ) plots. Error bars indicate the standard deviation at a given time.



분)이다. 지면에 가용한 물의 양에 따라 보웬비(현열 플럭스와 잠열 플럭스의 비)가 달라질 수 있으며, 토양이 물에 잠겨 있지 않은 경우 메탄 생성은 현저히 줄어든다. 본 연구와 같이 대조구와 처리구가 같은 필지 안에 있지 않는 경우라면, 물 수위 제어에 세심한 주의를 기울여야 물 소비 및 온실가스 배출 감소량 평가를 위한 신뢰성 있는 플럭스 자료 획득이 가능할 것이다.

## 적 요

솔라 셰어링이라고도 불리는 영농형 태양광은 작물의 광포화점 이상의 태양광을 솔라 패널을 이용한 발전에 활용하는 개념으로, 잉여 태양광 차단에 따른 지면에 입사하는 태양복사 에너지의 감소로 인한 증발산량 감소와 함께 지면 냉각 효과로 메탄 배출량도 줄이는 효과를 가져올 수 있어 기후 스마트 농업을 구현할 수 있는 기술로 기대되고 있다. 본 연구에서는 파주 영농형 태양광 시설 하부 및 외부 눈에 상/하향 장/단파 복사, 기온, 습도, 지온, 수온, 풍향, 풍속 등을 관측하는 자동기상관측장비를 설치하여 시설 하부와 외부의 농업환경을 관측하고 비교함으로써, 영농형 태양광이 농가에 태양광 발전을 통한 부가적인 수입을 안기면서 재배 시 발생하는 물 소비와 메탄 배출을 줄이는 기후 스마트 농업 실현에 적합한지 그 가능성을 확인해 보았다. 관측 기간 동안 영농형 태양광 시설 하부의 평균 일사량은 노지 일사량의 약 70% 정도였으며, 영농형 태양광 시설 하부 논과 노지 논에서 기온의 차이는 거의 없었지만 지온과 수온은 명확한 차이가 확인되었다. 실제로 이러한 환경의 차이가 물 소비량 및 온실가스 배출량 감소로 이어지는지 플럭스 실측을 통한 확인이 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농업에너지자립형 산업모델 기술개발 사업의 지원을 받아 수행되었습니다(321075-02-1-HD 030). 본 연구를 수행하는데 많은 도움을 주신 농업회사법인솔라팜(주) 임직원분들, 김태영 이장님, 그리고 전남대학교 응용식물학과 조재일 교수님과 기후작물생리학 연구실 연구원분들께 감사드립니다. 논문의 품위를 높여 주신 두 분의 심사위원분들께 감사드립니다.

## REFERENCES

- Ban, H.-Y., J.-H., Jeong, W.-H. Hwang, H.-S. Lee, S.-Y. Yang, M.-G. Choi, C.-K. Lee, 2020: Evaluating cultivation environment and rice productivity under different types of agrivoltaics. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **22**(4), 258-267. (in Korean with English abstract)
- Cho, Y., Yoon, C., H. Kim, H. Moon, K.-N. An, and J. Cho, 2020: Meteorological data measured under agrivoltaic systems in Boseong-gun during winter barley season. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **22**(3), 144-151. (in Korean with English abstract)
- Hwang, Y., Y. Ryu, Yan Huang, J. Kim, H. Iwata, and M. Kang, 2020: Comprehensive assessments of carbon dynamics in an intermittently-irrigated rice paddy. *Agricultural and Forest Meteorology* **285**, 107933.
- Kang, M., S. Park, H. Kwon, H. T. Choi, Y.-J. Choi, and J. Kim, 2009: Evapotranspiration from a deciduous forest in a complex terrain and a heterogeneous farmland under monsoon climate. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**, 175-191.
- Lee, S.-I., J.-Y. Choi, S.-J. Sung, S.-J. Lee, J. Lee, and W. Choi, 2020: Simulation and analysis of solar radiation change resulted from solar-sharing for agricultural solar photovoltaic system. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* **62**(5), 63-72. (in Korean with English abstract)
- Lipper, L., P. Thornton, B. M. Campbell, T. Baedeker, A. Braimoh, M. Bwalya, P. Caron, A. Cattaneo, D. Garrity, K. Henry, and R. Hottle, 2014: Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change* **4**(12), 1068-1072.
- Ministry of Environment, 2021: available at: <http://www.me.go.kr/GreenNewDeal/> (last access: 31 August 2021).
- Tucker, C. J., 1979: Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* **8**(2), 127-150.
- 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 Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**(4), 358-365. (in Korean with English abstract)