

## 유형이 다른 영농형 태양광발전시설 하부 재배 환경 및 벼 생산성 평가

반호영 · 정재혁\* · 황운하 · 이현석 · 양서영 · 최명구 · 이충근  
농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과, 전라북도 완주군 이서면 혁신로 181  
(2020년 6월 24일 접수; 2020년 7월 31일 수정; 2020년 8월 24일 수락)

### Evaluating Cultivation Environment and Rice Productivity under Different Types of Agrivoltaics

Ho-Young Ban, Jae-Hyeok Jeong\*, Woon-Ha Hwang, Hyeon-Seok Lee,  
Seo-Yeong Yang, Myoung-Goo Choi, Chung-Keun Lee

*Division of Crop Physiology and Production, National Institute of Crop Science, Rural Development  
Administration, Hyeoksins-ro 181, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, Republic of Korea*

(Received June 24, 2020; Revised July 31, 2020; Accepted August 24, 2020)

#### ABSTRACT

The agrivoltaic can produce electricity and grow crops on fields at the same time. It is necessary to analyze the cultivation environment and evaluate the crop productivity under agrivoltaic because the shading point changes according to structure of agrivoltaic and sun's position. Two types of "fixing" and "tracing" agrivoltaic were installed, and a rice cultivation experiment was conducted in the fields under each agrivoltaic and without shading (control). "Hyunpoombyeo" was transplanted on June 7, 2019, and grown with fertilization of 9.0-4.5-5.7 kg/10a (N-P-K). Fifteen weather stations were installed under each agrivoltaic to measure solar radiation and temperature, and yield and yield-related elements were investigated by points. The accumulated solar radiation during the rice growing season in fixing was no much difference between points, and that in tracing was much difference between points. However, the average solar radiations of two agrivoltaics were similar. The mean temperature, yield, and yield-related elements showed a significant difference for the shading rate, and decreased with increasing the shading rate except ripening grain rate and 1000 grain weight of fixing agrivoltaic. In the relationship between shading rate and yield, fixing and tracing were fitted to a logistic equation and a simple linear equation, respectively, and showed a high correlation (tracing:  $R^2 = 0.62$ , fixing:  $R^2 = 0.73$ ). The shading rate variation by point for two types was large despite similar yield variation. Thus, it needs to be more closely examined the relationship of the shading rate for a specific period rather than the shading rate during the whole growing season.

**Key words:** Agrivoltaic, Rice, Temperature, Solar radiation, Yield, Yield-related elements



\* Corresponding Author : Jae-Hyeok Jeong  
(rodnf2010@korea.kr)

## I. 서 언

태양광은 무한정 이용 가능한 청정 에너지이며 (Emetere *et al.*, 2016), 태양광 패널을 이용하여 태양광 에너지를 전기에너지로 변환하여 전기로 이용할 수 있다(Jakubiec and Reinhart 2013; Sathyanarayana *et al.*, 2015). 태양광 패널은 소규모인 가정용과 차량용에서부터 대규모 태양광 발전소에 이르기까지 다양한 규모로 널리 활용되고 있다(“Solar panel”, 2020). 건물이나 다른 구조에 의한 간섭이 없는 농지의 경우 태양광을 최대한 이용할 수 있으며, 농지 위에 태양광 패널을 설치하여 전기를 생산하면서 작물도 같이 생산할 수 있는 영농형 태양광발전시설이 각광받고 있다.

태양광 발전시설은 태양광을 흡수하여 전기를 생산하기 때문에 농지 위에 구조를 설치할 경우 태양광 발전시설 하부는 음영이 생길 수 밖에 없다(Dinesh and Pearce 2016; Sebbagh *et al.*, 2018). 영농형 태양광발전시설은 크게 두가지 구조의 유형이 있다. 첫번째는 “고정형”으로 고정된 구조물에 태양광 패널을 부착하는 형태로 현재 가장 많이 설치된 유형이며, 두번째는 “추적형”으로 태양광 효율을 극대화하기 위해 태양의 위치에 따라 태양을 추적하여 태양을 수직을 바라보게 하는 유형이다. 이들 유형의 발전시설에서 차광으로 인해 작물 생장에 필수 요소인 일사가 감소하게 되며, 일사 감소는 작물 생육 및 최종 수량에 영향을 미치게 된다(Chen *et al.*, 2019; Dupraz *et al.*, 2011; Kläring and Krumbein, 2013).

일사 감소에 따른 작물 생육 및 생산성에 관한 여러 연구들이 진행되었다(Barmudoi and Bharali, 2016; Lee *et al.*, 2014; Restrepo and Garces, 2013; Yang

*et al.*, 2007). 이러한 연구들은 특정 시기에 대한 일사 감소나 생육기간동안 일률적으로 차광율을 일정하게 설정하여 태양광 차광 정도에 따른 생육 특성 및 생산성에 관한 연구들이다. 시시각각 변화하는 태양의 위치에 따라 태양광발전시설 하부 지점들의 차광 양상이 변화하게 되며, 지점 별로 환경의 변화를 분석할 필요가 있다. 또한 차광에 따른 지점 별 벼의 생산성도 평가할 필요가 있다. 국내에서 고정형 영농형 태양광발전시설의 경우 태양광 발전시설 하부 음영에 따른 지점 별 일사량을 측정하였고 초기 벼 생육을 연구하였다(Yoon *et al.*, 2019). 추가로 다른 유형의 영농형 태양광발전시설에 대한 하부 환경과 수량 및 수량 관련 요소도 평가할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 영농형 태양광발전시설의 유형에 따른 재배 환경과 벼의 생산성을 평가하여 향후 영농형 태양광발전시설을 병행한 벼 재배에 있어 최적의 벼 재배법 개발을 위한 기초자료로 활용하기 위해 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

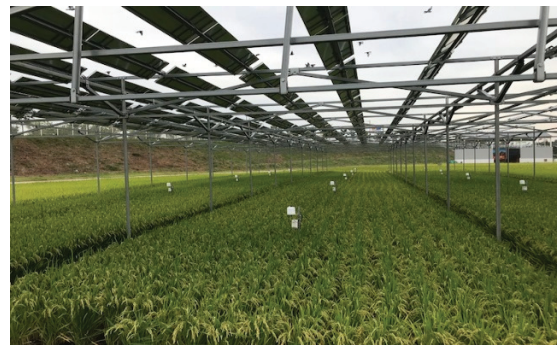
### 2.1. 영농형 태양광 발전시설

전라북도 완주군 이서면에 위치한 국립식량과학원(35°50'2.0"N, 127°2'44.2"E)에 두 가지 유형의 영농형 태양광 발전시설을 설치하였다(Fig. 1). 한 유형은 고정형으로 보편적으로 사용되는 태양광 패널이 고정된 형태이며, 다른 유형은 추적형으로 태양의 위치를 추적하여 태양광을 최대한으로 받을 수 있도록 태양광 패널이 태양복사 입사각과 수직이 되게 움직이는 형태이다.

두 유형의 발전 용량(43.2kW/h)이 동일하도록 설계

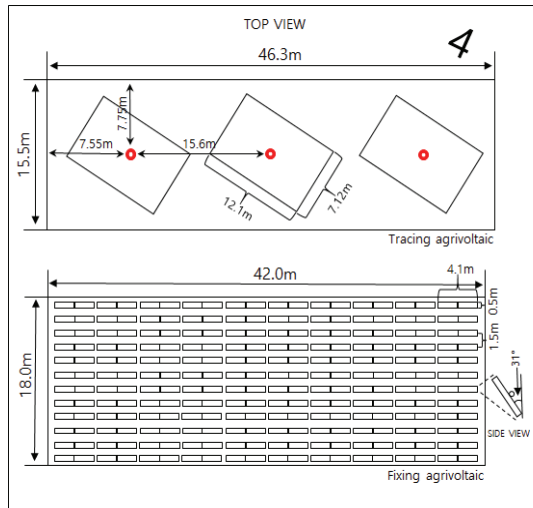


(a)



(b)

Fig. 1. Tracing (a) and fixing (b) agrivoltaic.



**Fig. 2.** Diagram for solar panels of tracing and fixing agrivoltaic.

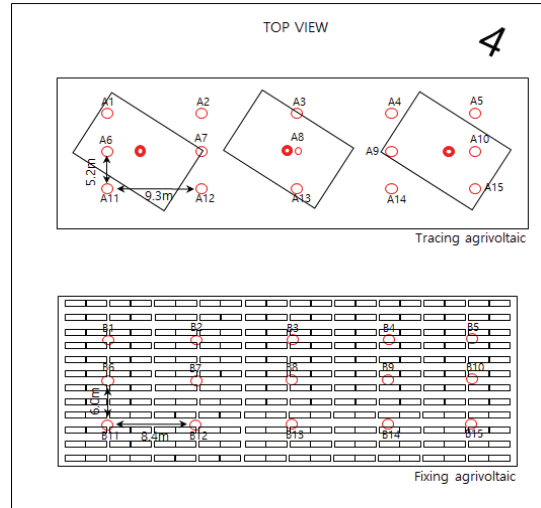
하였다. 추적형 태양광 발전시설은 5m 높이의 기둥 위에 태양광패널을 설치하였으며, 고정형 태양광발전 시설은 태양광 패널을 4m 높이의 구조 위에 설치하였다. 고정형 태양광 발전시설의 태양광 패널들은 기울 기를 31°로 고정하였다(Fig. 2).

**2.2. 벼 재배 정보와 기상관측**

태양광발전시설이 설치된 농지에서 태양광 차광에 따른 생산성 평가를 위한 벼 재배 실험을 수행하였다. 태양광 차광이 없는 인접 농지에 대조구(control)를 설정하여 동일한 벼 재배 실험을 수행하였다. 품종은 중만생인 종인 현품이었다. 이앙 날짜는 2019년 6월 8일이며, 재식 간격을 30cm x 15cm로 하여 기계 이앙하였다. 농촌진흥청 권장 표준시비량에 따른 N-P-K=9.0-4.5-5.7 kg/10a 수준으로 기바-분얼-수비를 5:2:3, 10:0:0, 그리고 7:0:3으로 각각 나누어 시비하였으며, 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 의거 수행하였다.

영농형 태양광발전시설 하부 일사와 기온을 관측하기 위해 추적형과 고정형 영농형 태양광발전시설 하부 농지에 1.3m의 높이로 15개의 기상관측대를 농지의 면적에 맞게 일정한 간격으로 설치하였다(Fig. 3).

일사는 광합성 유효방사(PAR)를 측정하는 쿼텟센서(SQ-110, Apogee instruments Inc., UT, USA)로 측정하였고 기온은 디지털 온도센서(STL-STHS, STA corporation, Seoul, South Korea)로 측정하였다. 일사와 기온 자료들을 저장하기 위해 AA건전지 3개로 구



**Fig. 3.** Diagram for the weather measuring points and solar panels of tracing and fixing agrivoltaic.

동 가능한 소형 자료수집장치(MSTL, STA corporation, Seoul, South Korea)를 이용하여 10분 간격으로 이들 기상자료들을 저장하였다. 10분 간격의 기상 자료들을 일별 자료로 변환하여 일별 일사량과 평균 기온을 계산하였고, 벼 생육기간 동안의 일별 일사량을 누적하여 대조구의 누적 일사량 대비 지점 별 누적 일사량으로 지점들의 차광율(%)을 계산하였다.

**2.3. 벼 수량 조사**

벼의 생산성을 평가하기 위하여 기상관측 지점마다 기상관측대를 기준으로 대각선 4군데에 가로세로 1m의 정사각형 구역 내부에서 수량관련요소들을 조사하였고, 조사한 자료들을 지점 별로 평균하였다. 조사항목은 m<sup>2</sup>당립수(천개), 등숙률(%), 천립중(g)이며, 최종적으로 수량(kg/10a)을 계산하였다(Eq. 1).

$$\text{벼 수량} \left( \frac{\text{kg}}{10\text{a}} \right) = \text{m}^2\text{당립수 (천개)} \times \text{천립중 (g)} \times \text{등숙률 (\%)} \quad (\text{Eq. 1})$$

**2.4. 통계 분석**

본 연구에서 관측한 결과값은 통계 계산을 위한 오픈 소스인 R v.4.0.0(R Core Team, 2020)을 이용하여 ANOVA 분산 분석을 수행하였다. 고정형 태양광발전 시설 하부 벼 생육기간 동안의 차광율과 평균 기온

및 수량과의 관계는 1차선형방정식으로 나타내었으며, 추적형 태양광발전시설 하부 생육기간 동안의 차광율과 평균 기온 및 수량과의 관계는 다음과 같은 로지스틱식으로 나타내었다(Eq. 2).

$$y = \frac{c}{1+e^{a(x-b)}} \quad (\text{Eq. 2})$$

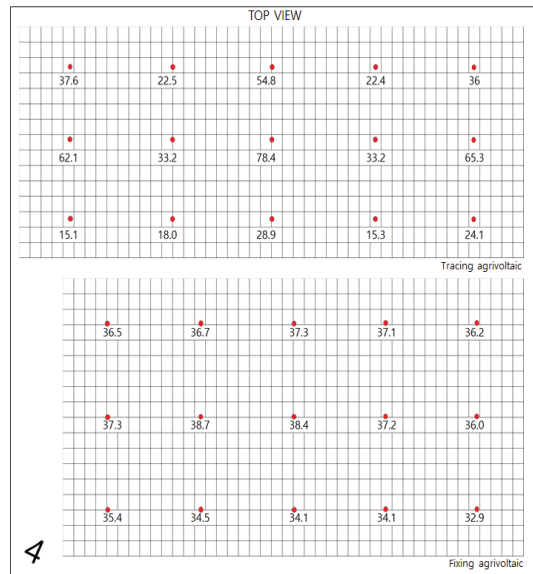
x는 차광율, a는 감소 속도, b는 y가 50%에 해당하는 차광율, 그리고 c는 y의 최대값을 나타낸다.

### III. 결 과

#### 3.1. 재배 환경

##### 3.1.1. 일사와 차광율

추적형 하부 누적일사값들은 지점들 간 차이가 크게 나타났지만, 고정형 누적일사값들은 지점들 간 차이가 크게 나타나지 않았다(Table 1). 추적형과 고정형의 지점들 평균 누적일사값은 각각 2801 과 2815 Mmol m<sup>-2</sup>로 비슷한 값을 나타냈다.



**Fig. 4.** Diagram for the shading rate of the weather measuring points under tracing and fixing agrivoltaic.

관측 지점들의 차광율은 설치된 태양광 발전 설비 유형에 따라 상이한 공간적 양상이 나타났다(Fig. 4)

**Table 1.** Accumulated solar radiation during the growing season and the shading rate by region under tracing and fixing agrivoltaic

Tracing	Accumulated solar radiation (Mmol m <sup>-2</sup> )	Shading rate (%)	Fixing	Accumulated solar radiation (Mmol m <sup>-2</sup> )	Shading rate (%)
A1	2751	37.6	B1	2799	36.5
A2	3419	22.5	B2	2789	36.7
A3	1992	54.8	B3	2763	37.3
A4	3421	22.4	B4	2775	37.1
A5	2822	36.0	B5	2812	36.2
A6	1669	62.1	B6	2764	37.3
A7	2947	33.2	B7	2703	38.7
A8	954	78.4	B8	2718	38.4
A9	2946	33.2	B9	2771	37.2
A10	1528	65.3	B10	2821	36.0
A11	3742	15.1	B11	2847	35.4
A12	3614	18.0	B12	2887	34.5
A13	3135	28.9	B13	2906	34.1
A14	3733	15.3	B14	2906	34.1
A15	3344	24.1	B15	2959	32.9
Average	2801	36.5	Average	2815	36.2
Control	4409	0.0	-	-	-

추적형은 태양광 발전시설 기둥과 가까운 지점인 A6, A8, A10이 다른 지점들에 비해 차광율이 높게 나타났으며, 특히 기둥과 가장 가까운 A8 지점이 가장 높은 차광율을 나타냈다. 고정형은 중간 지점인 B7이 가장 낮은 차광율을 나타냈으며, 추적형과 고정형 모두 북쪽 지점들의 차광율이 남쪽 지점들에 비해 다소 높게 나타냈다.

3.1.2. 기온

추적형과 고정형 태양광발전시설 하부 지점들의 벼 생육기간 동안 평균 및 누적 기온을 비교한 결과 발전 시설 별 차이가 크지 않았다(Table 2).

그러나, 추적형과 고정형 영농형 태양광발전시설 하부 평균 및 누적 기온은 대조구에 비해 낮은 경향을 보였다. 평균 및 누적 기온은 차광율에 대해 유의한 차이를 나타냈다(Table 2).

관측 지점들의 평균 기온은 차광율의 공간적인 양상과 유사하였다(Fig. 5).

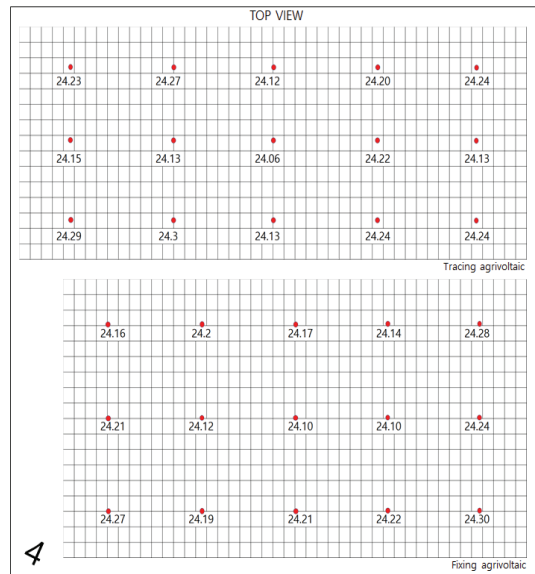


Fig. 5. Diagram for the mean temperature of the weather measuring points under tracing and fixing agrivoltaic.

Table 2. Mean and accumulated temperature during the growing season by region under tracing and fixing agrivoltaic

Tracing	Mean temperature (°C)	Accumulated temperature (°C)	Fixing	Mean temperature (°C)	Accumulated temperature (°C)
A1	24.23	2859	B1	24.16	2851
A2	24.27	2864	B2	24.20	2856
A3	24.12	2846	B3	24.17	2852
A4	24.20	2856	B4	24.14	2848
A5	24.24	2861	B5	24.28	2865
A6	24.15	2849	B6	24.21	2857
A7	24.13	2847	B7	24.12	2846
A8	24.06	2839	B8	24.10	2844
A9	24.22	2858	B9	24.10	2844
A10	24.13	2847	B10	24.24	2861
A11	24.29	2866	B11	24.27	2863
A12	24.30	2867	B12	24.19	2854
A13	24.23	2860	B13	24.21	2857
A14	24.24	2861	B14	24.22	2859
A15	24.24	2861	B15	24.30	2867
Average	24.20	2856	Average	24.19	2855
Control	24.52	2894	-	-	-
F-value	32.83***	34.22***	F-value	41.18***	43.06***

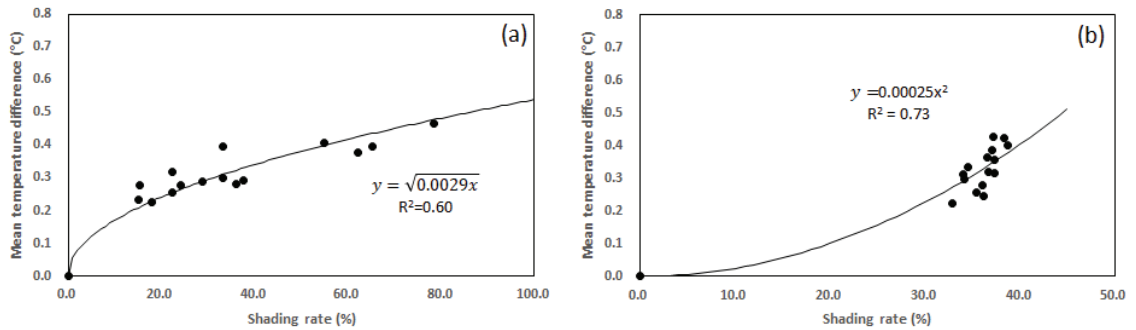
- \*\*\*: significance at 0.1% probability level.

추적형은 태양광 발전시설 기둥과 가까운 지점인 A6, A8, A10이 다른 지점들에 비해 평균 기온이 낮게 나타났으며, 특히 기둥과 가장 가까운 A8 지점이 가장 낮은 평균 기온을 나타냈다. 고정형은 중간 지점인 B8과 B9이 가장 낮은 평균 기온을 나타냈으며, 추적형과 고정형 모두 북쪽 지점들의 평균 기온이 남쪽 지점들에 비해 다소 낮게 나타냈다.

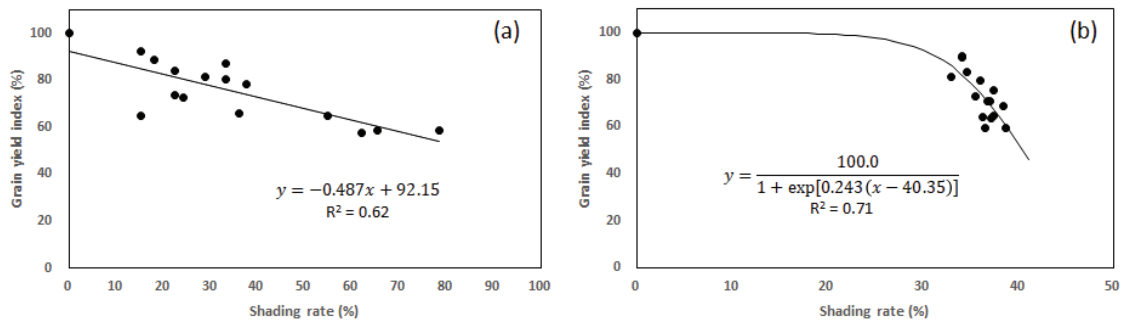
벼 생육 기간 동안에 대조구의 평균 기온과 지점별 평균 기온의 차이가 차광율이 증가함에 따라 커지는 경향을 보였다(Fig. 6). 다시 말해, 차광율이 증가함에 따라 지점의 평균 기온이 감소하는 것을 나타낸다. 고정형은 차광율에 따른 대조구의 평균 기온과 지점별 평균 기온의 차이가 이차함수로 나타났으며, 추적형은 무리함수로 서로 다른 형태로 나타났다.

### 3.2. 벼 수량 및 수량 관련 요소

추적형과 고정형 태양광발전시설 하부 지점들의 수량 및 수량 관련 요소들의 값들을 나타내었다(Table 3). 추적형은 영화수, 등숙률, 그리고 천립중 모두 차광율에 대해 유의한 차이를 나타내었으며, 최종 수량도 유의한 차이를 나타내었다. 고정형은 영화수와 수량만 차광율에 대해 유의한 차이를 나타내었으며, 등숙률과 천립중은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 유의한 차이를 나타낸 모든 요소들이 차광율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 추적형의 영화수가 고정형의 영화수보다 근소하지만 많았으며, 등숙율은 고정형이 약간 높았다. 천립중은 동일하게 나타났으며, 최종수량은 거의 비슷하게 나타났다. 차광율과 대조구의 수량을 100%로 표현한 수량지수와의 관계가 고정형은 로지스틱식으로 나타났으며, 추적형은 1차선형방정식으로 서로 다른 형태로 나타났다(Fig. 7).



**Fig. 6.** Relationship between the shading rate and temperature under tracing (a) and fixing (b). The y-axis denotes difference between mean temperature during the growing season in control and by region.



**Fig. 7.** Relationship between the shading rate and grain yield index under tracing (a) and fixing (b) agrivoltaic. The y-axis denotes the percentage for grain yield of control.

**Table 3.** Yield and yield-related elements of a rice by region under tracing and fixing agrivoltaic

Tracing	No. of spikelet (1000ea m <sup>-2</sup> )	Ripening grain rate (%)	1000 grain weight (g)	Grain yield (kg 10a <sup>-1</sup> )	Fixing	No. of spikelet (1000ea m <sup>-2</sup> )	Ripening grain rate (%)	1000 grain weight (g)	Grain yield (kg 10a <sup>-1</sup> )
A1	25.0	90.1	23.9	538	B1	18.6	91.3	24.1	409
A2	23.2	90.1	24.2	506	B2	21.9	92.6	24.0	487
A3	21.6	88.8	23.2	445	B3	23.6	91.3	24.1	519
A4	25.9	91.5	24.3	576	B4	21.9	92.3	24.1	487
A5	21.2	88.9	24.0	452	B5	19.7	92.5	24.2	441
A6	18.2	91.5	23.7	395	B6	19.8	92.9	24.0	441
A7	28.9	86.8	23.8	597	B7	18.0	93.2	24.3	408
A8	22.2	78.9	22.9	401	B8	20.9	92.7	24.3	471
A9	25.5	89.4	24.2	552	B9	19.4	92.9	24.1	434
A10	19.3	87.8	23.7	402	B10	24.4	92.1	24.3	546
A11	19.6	92.9	24.4	444	B11	23.5	88.9	23.9	499
A12	27.1	92.1	24.3	607	B12	27.2	89.1	23.5	570
A13	25.2	90.6	24.4	557	B13	29.5	89.0	23.5	617
A14	27.9	92.4	24.5	632	B14	28.5	89.6	24.0	613
A15	22.8	89.4	24.5	499	B15	25.1	92.1	24.1	557
Average	23.6	89.4	24.0	507	Average	22.8	91.5	24.0	500
Control	31.3	92.1	23.8	686	-	-	-	-	-
F-value	9.406**	15.19**	19.19***	23.28***	F-value	9.277**	0.005 <sup>ns</sup>	1.745 <sup>ns</sup>	11.81**

-ns, \*\*, and \*\*\*: no significance, significance at 1% and 0.1% probability levels, respectively.

#### IV. 고 찰

본 연구에서 수행된 유형이 다른 영농형 태양광발전시설의 하부 재배 환경과 벼의 생산성 비교 결과는 향후 영농형 태양광발전시설을 병행한 벼 재배에 있어 최적의 벼 재배법 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 두가지 유형의 영농형 태양광발전시설을 설치하여 시설 하부 농지에 벼 재배 실험을 실시한 결과, 차광율의 차이가 확인되었으며, 차광율에 따른 평균 및 누적 기온 역시 수량 및 수량 관련 요소들에 영향을 주는 것으로 나타났다.

벼 생육기간 동안의 누적 일사의 경우 추적형 발전시설 하부에서는 관측지점들 간 차이가 크게 나타났지만, 고정형 하부에서는 지점들 간 차이가 크지 않게 나타났다. 태양광 발전 효율을 높이기 위해 태양의 위치에 따라 태양광 패널이 태양을 추적하게 설계되어 있는 추적형의 경우 기동 주위는 차광율이 높은 것으로 판단되었다. 고정형의 경우 태양광 패널 사이의 간격이 균일하게 고정되어 있어, 태양의 위치에 따른 일사량 차이는 있지만 일별 일사량은 차이가 크지 않다 (Yoon *et al.*, 2019). 북쪽 지점들의 차광율이 남쪽 지점들의 차광율보다 높은 것은 태양의 남중 고도에 의해 태양광 패널의 그림자가 북쪽으로 드리우기 때문이었다(Lee, 2007).

벼 생육기간 동안 평균 및 누적 기온은 추적형과 고정형 모두 차광율에 대해 유의한 차이를 나타냈으며 (Table 2), 차광율이 증가할수록 기온이 감소하는 경향을 나타냈다(Jung *et al.*, 2019). 지점들 간 평균 및 누적 기온은 추적형(평균 기온: 24.06~24.3°C, 누적 기온: 2839~2867°C)과 고정형(평균 기온: 24.1~24.3°C, 누적 기온: 2844~2867°C) 간 차이가 거의 없었다. 벼 생육 기간 동안에 대조구의 평균 기온과 지점 별 평균 기온의 차이가 차광율이 증가함에 따라 커지는 경향을 보였다(Fig. 6). 다시 말해, 차광율이 증가함에 따라 지점의 평균 기온이 감소하는 것을 나타낸다. 고정형은 지점들 간 차광율(32.9~38.7%)의 차이가 거의 없지만, 추적형은 지점들 간 차광율(15.1~78.4%)의 차이가 컸다. 다시 말해, 고정형은 평균 및 누적 기온이 집중되는 있는 경향이 있으며, 추적형은 분산되어 있는 경향으로 인해 서로 다른 형태의 회귀식으로 나타난 것으로 판단된다. 지점 별 평균 기온의 공간적인 양상은 차광율의 양상과 비슷하게 나타났다(Fig. 5 and Fig. 6). 일사가 온도에 영향을 주지만 그것은 일사가 받는

지점이며(Ahn *et al.*, 2016), 1.3m 높이의 기온 측정 지점과 일사를 받는 지점(작물) 차이로 인해 차광율과 평균 기온의 공간적인 양상이 완전히 일치하지 않은 것으로 판단된다.

생육 기간 동안 차광율이 일정한 것이 아니라 광조건에 따라 차광율이 매일 변화하며, 생육 기간 전체의 차광율이 아닌 특정시기의 시간 별 차광 양상을 세밀히 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다. 영화수는 일사량에 정의 상관관계가 있다고 알려져 있다(Kim *et al.*, 1991; Yang *et al.*, 2007). 추적형과 고정형을 비교해 보면, 추적형과 고정형의 지점들 평균 누적일사량은 각각 2801 과 2815  $\text{Mmol m}^2$ 로 비슷하지만 고정형이 약간 높았다. 반면, 근소한 차이더라도 영화수는 오히려 추적형에서 많았다. 같은 포장내에서도 공간적으로 생육 및 수량의 차이를 보인다(Lee *et al.*, 2019), 만약, 이러한 공간적 차이가 적었다고 가정한다면, 이러한 영화수의 차이는 태양의 위치에 따른 시간 별 일사량의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 다시 말해 추적형은 지점들의 차광 양상이 특정 시간동안 일률적으로 차광이 되며, 고정형은 태양광 패널의 간격으로 인해 차광과 비차광의 패턴으로 반복적으로 변화하게 된다. 따라서, 시간별 태양의 위치 및 초형으로 인해 흡수하는 일사량이 달라진다(Chung and Kim, 2017). 또한 벼 생육 시기에 따라 일사에 대한 영향 정도의 차이가 있다(Lee *et al.*, 2016). 최종 수량에 가장 높은 비중을 차지하는 수량관련요소는 영화수이며, 영화수의 유의한 차이가 최종 수량의 유의한 차이를 초래한다(Seyoum *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2015). 따라서, 시간적으로 상세한 규모에서 보다 정밀한 생육 반응의 특성을 연구하기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 종합해 볼 때, 두개의 다른 유형의 영농형 태양광발전시설 하부 환경 특히 생육기간동안의 차광율에 따른 누적 일사의 지점 간 차이가 크지만 전체 평균으로 보았을 때 큰 차이가 없으며, 최종적으로 지점들의 평균 수량 또한 비슷한 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고, 지점들 간 차광율과 수량과의 관계가 선형비선형식으로 다르게 나타났으며, 전체 생육 기간 동안에 차광율보다는 특정 시기에 차광율과의 관계를 좀 더 세밀히 검토할 필요가 있다. 또한, 태양광 발전시설 하부 벼 재배에 있어 최종 수량을 증대시킬 수 있는 방안을 모색하기 위해 일사의 공간적인 양상을 좀 더 분석하고 광 이용률을 높이기 위한 재식밀도 및 질소소비량에 관한 추가 실험이 필요할 것이다.



## 적 요

영농형 태양광발전시설은 농지에 설치하여 전기도 생산하면서 동시에 작물도 재배할 수 있다. 영농형 태양광발전시설의 구조와 태양의 위치에 따라 차광 지점이 변화하기 때문에 시설 하부 환경을 분석할 필요가 있으며, 작물생산성도 평가되어야 한다. 영농형 태양광발전시설은 “고정형”과 “추적형” 두가지 유형을 설치하였으며, 시설을 설치한 농지와 차광이 되지 않는 일반 농지(control)에 벼 재배 실험을 실시하였다. 현 품벼를 2019년 6월 7일에 기계 이앙하였으며, 시비량은 N-P-K= 9.0-4.5-5.7 kg/10a 이었다. 각 태양광발전 시설 하부 15개 지점에 일사와 온도 센서를 설치하여 기상을 측정하였고, 지점 별로 수량 및 수량관련요소들을 조사하였다. 벼 생육기간동안 누적 일사는 고정형의 경우 지점들 간 차이가 크지 않았으며, 추적형의 경우 지점들 간 차이가 크게 나타났지만, 두 유형의 평균 누적 일사량은 비슷하였다. 고정형의 등숙률과 천립중을 제외하고 평균 기온과 수량 및 수량 관련요소들 모두 차광율에 대해 유의한 차이를 나타냈으며 차광율이 커질수록 감소하였다. 차광율과 수량과의 관계에서 고정형은 로지스틱식으로 추적형은 1차방정식으로 각기 다르게 나타났으며, 두 유형 모두 높은 상관을 보였다(추적형:  $R^2 = 0.62$ , 고정형:  $R^2 = 0.73$ ). 두 유형의 지점 별 차광율 변동은 두 유형 간 비슷한 수량 변동에도 불구하고 크게 나타났다. 따라서, 전체 생육기간의 누적 일사에 대한 차광율보다는 특정 시기의 차광율과의 관계를 좀 더 세밀히 검토할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 작물시험연구사업(과제 번호: PJ01453201)의 지원에 의해 수행되었다.

## REFERENCES

- Ahn, S., I. Zo, J. Jee, B. Kim, D. Lee, and K. Lee, 2016: The estimation of monthly average solar radiation using sunshine duration and precipitation observation data in Gangneung region. *Journal of the Korean Earth Science Society* **37**(1), 29-39. <https://doi.org/10.5467/JKESS.2016.37.1.29>
- Barmudoi, B., and B. Bharali, 2016: Effects of light intensity and quality on physiological changes in winter rice. *International Journal of Environmental & Agriculture Research* **2**(3), 65-76.
- Chen, H., Q. Li, Y. Zeng, F. Deng, and W. Ren, 2019: Effect of different shading materials on grain yield and quality of rice. *Scientific Reports* **9**, 9992. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46437-9>
- Chung, I., and K. Kim, 2017: QTL Analysis of concerned on ideal plant form in rice. *Korean Journal of Plant Resources* **30**(2), 213-218.
- Dinesh, H., and J. M. Pearce, 2016: The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **54**, 299-308. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- Dupraz, C., H. Marrou, G. Talbot, L. Dufour, A. Nogier, and Y. Ferard, 2011: Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimizing land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* **36**, 2725-2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
- Emetere, M. E., U. Okoro, B. Etete, and G. Okunbor, 2016: Free energy option and its relevance to improve domestic energy demands in southern Nigeria. *Energy Report* **2**, 229-236.
- Lee, M., S. Kang, W. Sang, B. Ku, Y. Kim, H. Park, and J. Lee, 2014: Change of photosynthetic efficiency and yield by low light intensity on ripening stage in japonica rice. *Korean Journal of Agricultural Science* **41**(4), 327-334. <https://doi.org/10.7744/CNUJAS.2014.41.4.327>
- Lee, S., E. Son, S. Hong, S. Oh, J. Lee, J. Park, S. Woo, and C. Lee, 2016: Growth and yield under low solar radiation during the reproductive growth stages of rice plants. *Korean Journal of Crop Science* **61**(2), 87-91. <https://dx.doi.org/10.7740/kjcs.2016.61.2.087>
- Jakubiec, J. A., and C. F. Reinhart, 2013; A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations. *Solar Energy* **93**, 127-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.022>
- Jung, S. M., Y. Y. Hur, D. J. Im, and K. H. Chung, 2019: Temperature changes under plastic film rain shelter using different concentration of shading paint in vineyard. *Protected Horticulture and Plant Factory* **28**(4), 328-334. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2019.28.4.328>
- Kim, K. S., S. K. Kim, B. L. Huh, and K. M. Yoon, 1991: Effects of shading at heading stage on yield components in rice. *Journal of Korean Society of Crop Science* **36**(2), 127-133.

- Kläring, H. P., and A. Krumbein, 2013: The effect of constraining the intensity of solar radiation on the photosynthesis, growth, yield and product quality of tomato. *Journal of Agronomy and Crop Science* **199**, 351-359. <https://doi.org/10.1111/jac.12018>
- Lee, B. K., 2007: Determination of direction, Sun's meridian transit time and altitude by the observations of the Sun's shadow as a experimental activity. *School Science Journal* **1**(2), 107-112.
- Lee, K., H. An, C. Park, K. So, S. Na, and S. Jang, 2019: Estimation of rice grain yield distribution using UAV imagery. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* **61**(4), 1-10. <https://doi.org/10.5389/KSAE.2019.61.4.001>
- Lee, S., E. Son, S. Hong, S. Oh, J. Lee, J. Park, S. Woo, and C. Lee, 2016: Growth and yield under low solar radiation during the reproductive growth stages of rice plants. *Korean Journal of Crop Science* **61**(2), 87-91. <http://dx.doi.org/10.7740/kjcs.2016.61.2.087>
- R Core Team, 2017: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Restrepo, H., and G. Garces, 2013: Evaluation of low light intensity at three phenological stages in the agronomic and physiological responses of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Agronomia Colombiana* **31**(2), 195-200.
- Sathyanarayana, P., R. Ballal, P. S. L. Sagar, and Girish Kumar, 2015: Effect of shading on the performance of solar PV panel. *Energy and Power* **5**(1A): 1-4.
- Sebbagh, T., R. Kelaiaia, and Zaatri, 2018: An experimental validation of the effect of partial shade on the I-V characteristic of PV panel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **96**, 4165-4172. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1858-4>
- Seyoum, M., S. Alamerew, and K. Bantte, 2012: Genetic variability, heritability, correlation coefficient and path analysis for yield and yield related traits in upland rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Sciences* **7**(1), 13-22. <https://doi.org/10.3923/jps.2012.13.22>
- Solar panel. (2020, June 2). In *Wikipedia*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_panel](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel)
- Xu, Q., W. Chen, and Z. Xu, 2015: Relationship between grain yield and quality in rice germplasms grown across different growing areas. *Breeding Science* **65**, 226-232. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.226>
- Yang, W., S. Peng, and M. L. Dionisio-Sese, 2007: Morphological and photosynthetic responses of rice to low radiation. *Korean journal of Crop Science* **52**(1), 1-11.
- 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. <https://doi.org/10.5532/KJAFM2019.21.4.358>