

# 영농형 태양광 발전시스템의 특성 및 연구동향

장석진<sup>1)</sup> · 박진주<sup>2)\*</sup> · 이준신<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup>미래에너지공학과, 성균관대학교, 수원, 16419, 한국

<sup>2)</sup>에너지융합공학과, 청주대학교, 충청북도 청주, 27739, 한국

<sup>3)</sup>정보통신대학, 성균관대학교, 수원, 16419, 한국

## Characteristics and Research Trend of Agrivoltaics

Seok Jin Jang<sup>1)</sup> · Jinjoo Park<sup>2)\*</sup> · Junsin Yi<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup>Department of Future Energy Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

<sup>2)</sup>Department of Energy Convergence Engineering, Cheongju University, Cheongju, Chungcheongbuk-do, 27739, Korea

<sup>3)</sup>College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

Received September 9, 2024; Revised September 19, 2024; Accepted September 20, 2024

**ABSTRACT:** Photovoltaics (PV) is gaining attention as an alternative energy source to fossil fuels. Although the demand for PV is increasing, it requires more than three times the space compared to conventional power generation, leading to limitation of available land for PV installations. Agrivoltaics is combined with agriculture and solar power generation at the same space, making it highly efficient in terms of land use. This review explores various forms of agrivoltaics systems currently being researched and examines the relationship between energy production and agricultural productivity in these systems. With agrivoltaics, about 70-80% of the energy production of conventional solar power can be achieved, while agricultural yields can reach up to 90% of those produced through conventional farming methods.

**Key words:** Agrivoltaics, Irradiance, Vertical PV, PAR, Light saturation point

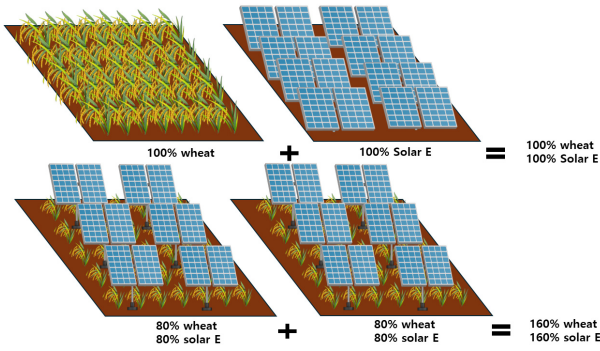
### 1. 서론

지구온난화가 가속화 되고 전 세계 적으로 탄소중립과 RE 100 달성을 위하여 이산화탄소를 배출하지 않는 청정 에너지 원에 대한 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 가운데 실리콘 웨이퍼 기반의 태양광 발전이 가장 유력한 후보로 떠오르고 있다. 태양광 발전은 풍력발전과 같은 다른 신재생 에너지원에 비해 초기비용이 낮고 적은 면적에서 발전이 가능한 장점이 있다<sup>1-3)</sup>. 현재 고효율 실리콘 웨이퍼를 기반으로 한 대용량 패널에 대한 수요가 증가하고 있는 상황인데 태양광 발전의 경우 화력발전소, 원자력 발전소에 비해 약 3.5배의 면적이 필요하고 한국의 경우 토지 면적의 약 60% 이상이 산지로 구성되어 있고 농지의 비율도 약 15% 이상 이기 때문에 대면적의 태양전지를 설치하기 위한 절대적인 공간이 부족하다. 이러한 이유로 Building Integrated Photovoltaic (BIPV)나 수상형 태

양전지와 같이 설치공간의 제약이 비교적 적은 방식의 연구가 진행 되고 있는데 이 중에서 영농형 태양광은 가장 유력한 대안으로 떠오르고 있다. 영농형 태양광이란 곡물을 재배하고 있는 논과 밭 위에 태양광 패널을 설치하여 특정 면적으로 들어오는 빛을 이용하여 전력생산과 작물생산을 동시에 가능하게 하는 태양전지이다. 농경지, 목초지나 비닐하우스를 포함하는 모든 농경지에 적용이 가능하다<sup>4), 5)</sup>.

영농형 태양광은 다양한 장점을 가지고 있다. 첫 번째로 농지 이용효율성을 증가시킬 수 있다. 2014년 이후로 농지전용 면적이 가파르게 감소하고 있는 추세이고 신재생에너지 발전을 위해 농지를 발전소로 용지변경 하는 경우가 증가하여 농작물 생산을 위한 농경지 면적이 지속적으로 줄어드는 추세이다. 이러한 상황에서 동일한 면적에서 농작물 생산과 에너지 생산을 동시에 할 수 있는 것은 큰 장점으로 작용할 수 있다<sup>5), 6)</sup>. Fig. 1을 보게 되면 동일한 2헥타르 면적에 태양광 발전과 작물 생산을 진행하였을 때 영농형 태양광을 사용 하였을 때 약 1.6 배 정도 에너지 생산과 작물 생산량이 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 두 번째로 농작물위에 설치되어 있는 패널이 재배 작

\*Corresponding author: junsin@skku.edu (Junsin Yi)  
jwjh3516@cju.ac.kr (Jinjoo Park)



**Fig. 1.** Solar power system operates independently (above), power system operates using agrivoltaics (below)

물을 보호할 수 있다. 태양광 패널의 어레이가 눈이나 우박 같이 작물의 성장에 부정적인 요소로 작용할 수 있는 부분을 억제해 줄 수 있다. 전통적으로 에너지 생산 활동과 농업은 독립적으로 이루어져 왔기 때문에 제한된 공간을 두고 에너지 발전과 농업 활동 간의 상호작용을 위해서 영농형 태양광의 적용은 앞으로 태양광 산업에서 반드시 필요한 연구 분야이다. 이 리뷰에서 영농형 태양광을 설치하는 다양한 방식과 농업 생산량을 늘리기 위한 전략에 대해 확인해 볼 예정이다.

## 2. 작물 생성 특성

영농형 태양광은 농작물 생산의 입장에서 불리한 점으로 작용하기도 한다. 우선 태양광 패널이 들어오는 빛의 약 30% 정도를 차단하기 때문에 아래 농작물로 향하는 빛의 양이 줄어들게 되고 비나 물이 토지에 골고루 도달하지 못하기 때문에 오히려 생산성이 감소하게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 태양광 패널에 대한 이해뿐만 아니라 아래에서 재배하는 작물의 특성까지 이해까지 수반되어야 영농형 태양광의 설계 효율을 최적화할 수 있다. 일반적으로 영농형 태양광 시스템에서 중요하게 고려해야 하는 특성은 광포화점과 광합성 유효 방사(Photosynthetically Active Radiation, PAR)이다.

### 2.1 광포화점

농작물들은 빛을 받아 CO<sub>2</sub>를 흡수해서 녹말을 만들어 내는 광합성을 하게 되는데 들어오는 빛의 100%를 흡수해서 광합성을 하는 것이 아니다. 식물에 흡수되는 광도를 높일수록 광합성량이 증가하다가 어느 일정 광도에서 더 이상 광합성량이 증가하지 않는 지점이 나타나게 되는데 이때의 광도를 광포화점이라고 한다. 즉 광포화점 이상의 빛을 받게 되면 광합성 반응이 일어나지 않고 오히려 녹말이 손상되는 역효과가 나타나게 된다<sup>(6, 8, 9)</sup>. 일반적인 양식식물의 경우 10,000 Lux가 광포화점인데 작물에 따라서 다양한 광포화점을 가진다. Table 1을 보게 되면 다양한 재배 작물들의 광포화점이 나타난다.

**Table 1.** Light saturation point of various crops

Crops	Light saturation point (Lux)
Rice	40,000~50,000
Potato	30,000
Sweet potato	30,000~35,000
Maize	80,000~90,000
Bean	20,000~25,000

2021년 작물 생산 비율을 보게 되면 쌀이 약 73%로 가장 높고 서류가 약 18%로 쌀과 서류가 약 90%를 차지한다. 일반적으로 화창한 날씨일 때 100,000~120,000 Lux의 태양광이 조사되는데 쌀과 감자와 옥수수가 각각 50,000 Lux, 30,000 Lux, 45,000 Lux 이므로 지면으로 입사되는 태양광의 40~50%으로도 식물의 성장에 필요한 모든 빛을 사용할 수 있다. 이러한 이유로 농경지 위에 태양광 패널을 설치하여 빛의 일부를 가리게 되더라도 아래 작물의 성장에는 큰 영향을 주지 않게 된다<sup>(7, 8)</sup>.

### 2.2 광합성 유효 방사(PAR)

영농형 태양광 시스템에서 생각해야 하는 것은 광합성 유효 방사(PAR)이다. 태양빛으로부터 나오는 빛은 다양한 파장을 가지고 있는데 PAR은 식물의 광합성에 사용되는 빛의 파장으로 400 nm에서 700 nm 사이의 가시광선 파장대 빛의 범위를 나타내는 수치이다. PAR은 작물의 생산성을 예측하는 중요한 지표이다. 식물이 충분한 PAR을 받지 못하게 된다면 식물의 성장속도가 느려지고 생산성이 감소한다. 태양광 패널을 농작물 위에 설치하게 되면 자연광을 차단하게 되고 빛의 반사정도 역시 달라지기 때문에 PAR의 양이 달라진다<sup>(6-8, 10)</sup>.

일반적으로 태양광 패널을 설치하지 않은 공간의 경우 봄과 여름에 약 700~800 μmol/s사이의 값을 가지게 되고 겨울에는 더 낮은 약 400~500 μmol/s의 PAR값을 가진다. 하지만 태양광 패널을 설치하게 되면 모듈의 설치 방식에 따라 약 15~40%정도 PAR값이 감소하게 된다<sup>(17, 18)</sup>. 이렇게 될 때 쌀, 감자, 고구마와 같은 양식식물 들은 줄어든 PAR에 의해 흡수되는 빛의 양이 감소하게 되어 광합성 되는 속도와 양이 감소하게 되어 작물생성에 부정적인 영향을 주게 된다<sup>(6, 9, 14)</sup>.

패널을 설치하지 않은 노지에서는 재식밀도가 변화하더라도 포기당 이삭수, 간장, 품질이 크게 변화하지 않는다. 하지만 영농형 태양광을 설치하면 PAR이 감소하게 되어 노지에 비해 포기당 이삭수가 감소하고 이삭의 품질이 감소하게 된다. Table 2는 노지에서 생산되는 양식식물의 양을 1로 가정하고 상대적인 감소량을 나타내는데 동일한 차광률을 적용할 때 양식식물의 생산량이 약 18~20%정도 감소하는데 쌀은 다른 식물들에 비해 더 많이 감소하게 되고 약 16~30%의 감소량을 보인다<sup>(6, 10, 17, 18)</sup>.

PAR은 토지에 직접적으로 전달되는 빛의 파장이나 공기에

**Table 2.** Relative yield of crops according to Shading Rate

Crops	Ref	Shading 15%	Shading 30%
Rice	1	0.84	0.73
Maize	1	0.88	0.81
Potato	1	0.89	0.82
Mushroom	1	0.95	0.93

의해 확산, 반산되어 전달되는 PAR의 총합인데 특히 작물의 광합성에 중요한 빛의 파장대는 610~700 nm 사이의 적색부와 400~510 nm사이의 청색영역이다. 즉 PAR을 최대한로 획득하기 위해서는 이 파장대의 빛을 더 많이 흡수해야 한다. 최근에 이러한 빛을 많이 흡수시키기 위하여 특수조명이나 LED를 패널 아래에 설치하여 가시광선 영역대의 빛을 추가적으로 조사해 준 결과 PAR이 약 10~20%이상 증가하게 되고 이에 따라 농업 생산량이 증가한다<sup>8), 10), 11)</sup>. 특히 패널을 낮게 설치할 때 LED 조명이 더 효율적으로 나타나는데 자연광이 패널아래로 도달하지 않을 경우 LED 조명은 균일한 빛을 패널아래에 제공하기 때문에 자연광이 부족한 부분을 보완할 수 있다.

### 3. 태양광 패널 설계

태양광 패널을 설계할 때 에너지 생산과 농산물 생산을 모두 극대화할 수 있는 설계 방식을 디자인해야 한다. 패널 디자인을 최적화하기 위해서 패널 설치 높이, 패널 간의 간격, 패널의 설치 기울기등 다양한 조건을 고려해야 한다.

$$\text{차광률} = \frac{\text{태양광 패널 설치면적}}{\text{전체 토지면적}} \tag{1}$$

차광률은 식 (1)과 같이 전체 토지면적 대비 설치된 태양광 패널의 면적을 의미한다. 차광률이 달라지면 패널아래에 형성되는 그림자의 양과 패널아래로 들어가는 빛의 양이 달라지기 때문에 차광률을 고려한 패널 설계가 필요하다. 일반적으로 차광률이 높아지게 되면 단위 면적당 패널의 설치면적이 증가하기 때문에 에너지생산의 측면에서는 이점이 생기지만 패널 아래에 형성되는 그들의 면적이 증가하게 되고 이에 따라 PAR이 감소하여 작물생산량이 감소하기 때문에 이러한 trade-off 관계에서 2가지 특성을 모두 최적화할 수 있는 패널 설계 방식이 필요하다.

#### 3.1 패널 설치 높이

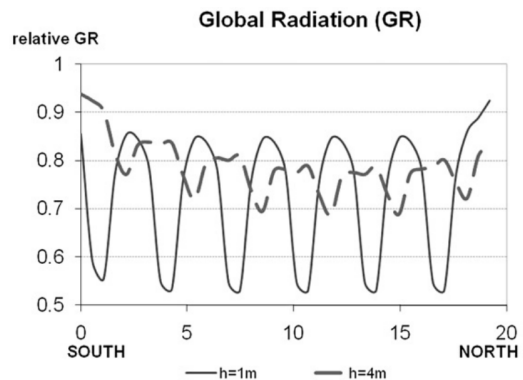
일반적인 태양광 패널과 다르게 영농형 태양전지는 1 m 이상의 높은 위치에 설치한다. 그 이유는 패널이 토지와 1 m 이내로 가깝게 되면 작물이 성장하기 어렵고 shading이 강하게 생

겨 작물의 성장을 방해하기 된다. 추가적으로 패널의 높이를 낮게 설치하게 되면 트랙터와 같은 농기구들을 사용하는데 제약이 생기게 된다<sup>9), 11)</sup>. 미국이나 유럽의 대형 밀 혹은 옥수수 농장의 경우에는 2 m이상의 콤바인과 같은 큰 농기구를 사용하기 때문에 일반적으로 패널을 2.5 m 이상으로 설치하게 되고 한국이나 일본의 경우에는 쌀, 감자, 고구마 같이 대규모 경작을 하는 것이 아닌 소규모로 1~2 m사이의 트랙터를 이용한 경작을 많이 하기 때문에 2 m 높이가 이상으로 설치하는 것이 일반적이다<sup>4), 9), 12)</sup>.

Fig. 2와 같이 태양광 패널 높이를 변화시키며 특성을 비교할 때 설치 높이와 상관없이 패널아래의 농작물에 도달하는 빛의 양이 큰 차이 없이 일정하게 유지된다. 그 이유는 패널 설치 높이를 다르게 하게 되면 형성되는 그들의 비율과 농도가 달라지기 때문이다. 태양광 패널을 높게 설치하게 되면 그림자 부분이 넓게 형성하게 되지만 그들의 농도가 떨어지기 때문에 작물에 도달하는 빛의 양이 상대적으로 더 많아지고 빛의 양이 더 균일하게 유지되기 때문에 작물생산에 덜 부정적인 영향을 준다. 반대로 태양광 패널을 낮게 설치하면 지면에 도달하는 직접광이 패널에 의해 많이 차단되고 패널에서 반사되거나 대기 중에서 다양한 방향에서 산란된 확산광이 형성되기 때문에 작물에 빛이 불균일하게 도달한다<sup>8), 19), 20)</sup>.

태양광 패널의 설치 높이를 변화시키면 PAR역시 달라지게 된다. 앞서 언급한대로 패널의 설치 높이가 낮아지게 되면 직접광 보다 확산광이 작물에 도달하기 때문에 작물의 광합성에 필요한 충분한 빛을 제공하지 못하므로 PAR이 상대적으로 낮아지게 된다. 패널의 설치높이가 달라지게 되면 계절에 따라 특성이 달라지게 되는데 여름철에는 태양의 고도가 높아지고 일조 시간이 길어져서 패널을 3 m 이상으로 높게 설치하게 되면 그들이 넓게 분산되고 이렇게 형성된 그늘에 의해 여름철 지면 온도를 낮춰 수분증발을 감소시켜 성장에 부정적으로 적용되는 영향을 줄일 수 있다<sup>6-8)</sup>.

패널을 수직으로 설치하게 되면 일반적인 설치형태와 다르게 지면에서부터 설치가 가능하기 때문에 설치높이의 제약이



**Fig. 2.** Solar radiation change at panel height of 1 m, 4 m

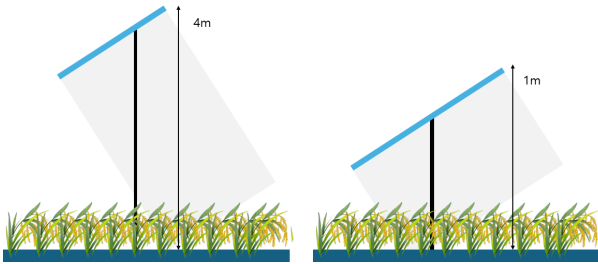


Fig. 3. Agrivoltaic system based on panel installation height

발생하지 않는다. 패널을 지면에 설치할 수 있기 때문에 추가적인 설치비용이 들지 않고 태양빛이 패널에 가려지는 부분 없이 지면으로 조사될 수 있고 농기구를 사용하는데 제약이 적기 때문에 미국이나 유럽의 대규모 농장에 적용하는 영농형 태양광으로 많이 사용되고 있다<sup>10), 13)</sup>.

### 3.2 패널 설치 각도

일반적인 평지에 태양광 패널을 설치하는 경우 패널이 남쪽-북쪽 바라보게 35~40도의 각도를 가지고 설치하거나 패널을 수직으로 설치하여 설치지역의 기후 환경과 목적에 따라 다양한 방식으로 패널의 각도를 조절한다. 영농형 태양광도 이와 동일하게 패널의 설치 각도를 조절하여 설치하게 되는데 설치 각도가 달라지면 계절의 변화와 태양의 이동에 따라 빛의 세기가 달라지고 이에 따라 그림자의 세기와 PAR이 달라지므로 작물의 성장에도 영향을 준다.

영농형 태양광 패널을 설치할 때 크게 3가지 방식으로 설치하게 된다. 1) 남-북쪽 혹은 동-서쪽으로 특정한 기울기를 가지고 설치되는 방식 2) 패널에 각도를 적용하지 않고 완전히 수평으로 설치하는 방식 3) 패널을 수직으로 설치하여 입사되어 들어오는 빛이 100% 아래 토지로 이동하게 하는 방식으로 크게 구분할 수 있다.

먼저 태양광 발전의 관점에서 보게 되면 특정 각도를 가지고 설치된 방식을 사용할 때 가장 높은 에너지 발전량을 나타낸다. 그 이유는 수평과 수직으로 설치된 패널과 달리 패널이 특정방향으로 기울어져 있는 형태이기 때문에 정오를 제외한 시간에도 비교적 많은 양의 빛을 흡수할 수 있고 비교적 일정

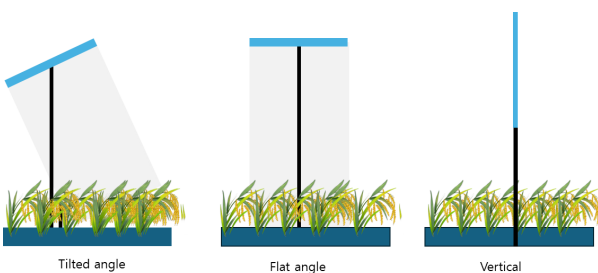


Fig. 4. Agrivoltaic system based on panel installed angle

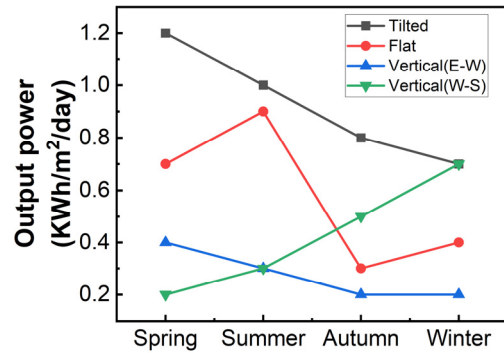


Fig. 5. Changes of output power according to the panel installation angle

한 양의 태양빛을 흡수할 수 있다. 특정 각도를 가지는 패널의 경우 설치된 기울기와 패널이 바라보고 있는 방향에 따라 특성이 달라진다. 우선 기울기의 경우 약 30~40도의 경사를 가질 때 가장 최적의 효율을 획득할 수 있다. 그 이유는 계절의 변화나 시간의 변화에 따른 태양빛의 고도, 위치에 상관없이 균일한 에너지 생산이 가능하다. 기울기를 30도 보다 낮게 설정하면 태양의 고도가 높은 여름에는 많은 양의 빛을 흡수할 수 있어 발전효율이 증가하지만 겨울에는 에너지 생산효율이 떨어지게 된다. 다음으로 패널을 바라보는 방향에 따라서도 특성이 달라진다<sup>21), 22)</sup>. 수직으로 설치한 모듈의 경우 태양빛이 가장 강한 낮 시간에는 태양빛이 수직으로 입사되는데 패널이 수직으로 설치되어 있기 때문에 많은 양의 태양빛을 흡수하지 못하게 되고 지면에서 반사되는 빛을 사용하기 어려워지기 때문에 에너지 발전성이 떨어지게 된다. 하지만 수직으로 설치하게 되면 공간 효율성을 극대화 할 수 있고 에너지 생산의 변동성을 줄일 수 있다. 추가적으로 동-서 방향으로 패널을 설치하게 되면 아침, 저녁 시간에 일사량을 최대화 할 수 있고 태양빛을 하루 동안 일정하게 제공받을 수 있고 태양빛이 더 높이 형성되는 여름철에 발전량이 증가한다. 서-남 방향으로 패널을 설치하면 태양빛의 고도가 낮은 가을과 겨울에 발전량을 증가시킬 수 있다<sup>13-16)</sup>. 모듈을 수평으로 설치할 때는 수직으로 설치된 패널과 반대로 가장 강한 태양빛을 받을 수 있는 정오시간에 높은 에너지 발전량을 가진다. 수평으로 패널을 설치하게 되면 정오에 집중적으로 발전이 일어나고 태양의 고도가 낮은 아침, 저녁에 발전량이 낮아져서 에너지 생산의 변동성이 커진다. 수평으로 모듈을 설치하면 태양이 높게 위치하는 봄과 여름에 상대적으로 높은 에너지 발전을 나타낸다<sup>12), 13), 21), 22)</sup>.

농작물 생산의 측면을 고려하게 된다면 태양광 패널 구조별 발생하는 그늘의 양과 PAR을 고려해야한다. 모듈을 수평으로 설치할 때 농산물 생산이 가장 저조하게 나타나는데 그 이유는 패널이 수평하게 설치가 되어 있으면 토지의 대부분 공간에 넓게 그늘이 형성되게 되고 수직으로 태양으로 들어가게 되는 태양빛의 대부분을 가리기 때문에 충분한 양의 직사광이 농지로

도달하지 못하게 되고 이러한 특성은 PAR을 감소시키게 되어 하부 작물의 생산에 부정적인 영향을 주게 된다. 모듈의 수직형 패널의 경우 토지의 수평위치에 장애요소가 없기 때문에 대부분의 태양빛을 토양에 도달할 수 있고 수직으로 세워진 모듈이 반사판의 역할을 할 수 있기 때문에 추가적인 태양빛이 토양으로 이동할 수 있다. 그리고 그늘이 상대적으로 균일하게 형성되기 때문에 균일한 빛의 세기가 전달되어 농업 생산성을 증가시킬 수 있습니다<sup>6), 12-14)</sup>. 하지만 패널을 수직으로 설치하게 되면 대부분의 직사광이 농지로 도달이 가능하다는 장점이 있지만 우박이나 집중호우와 같은 이상기후로부터 패널아래의 작물을 보호해주는 보호막 역할을 하지 못하게 된다. 봄과 가을의 경우 기울기를 가지는 패널과 수직형 패널의 생산량이 크게 변하지 않는데 여름과 겨울의 경우 수직형 패널이 크게 감소하게 되는데 그 이유는 여름의 경우 35도 이상의 폭염이 지속되게 되면 농지의 작물에게 열 스트레스를 가하게 되어 작물의 광합성과 성장을 방해하게 되는데 기울기를 가지는 패널의 경우 어느 정도 태양빛을 보호하는 작용을 하고 그늘을 형성하여 패널아래의 온도를 2-3도 감소시키게 된다. 추가적으로 장마철 집중호우로부터 패널이 비를 막아주고 물이 고이는 것을 방지해주기 때문에 수직형으로 설치한 패널에 비해 생산량이 약 10~15%증가하게 된다. 추가적으로 겨울에 우박이나 폭설이 내리게 되면 기울기를 가지고 설치된 패널이 보호작용을 하여 수직으로 설치된 패널에 비해 약 5~10%정도 높은 생산성을 보이게 된다<sup>13), 20), 23)</sup>.

### 3.3 패널 설치 간격

패널을 설치할 때 패널을 설치하는 높이뿐만 아니라 패널들 사이의 간격도 고려해야 한다. 일반적으로 영농형 태양광을 설치할 때 농지에 햇빛이 잘 들어가게 하기 위해서 일반적인 태양광 모듈보다 간격을 넓게 하기 때문에 약 1.3~1.5배의 면적이 필요하게 된다. 태양광 패널 설치 간격이 달라지면 차광률이 달라지기 때문에 패널의 설치간격을 2~12m 사이로 차이를 두었을 때 에너지 생산성과 농업 생산성에서 차이가 나타난다. 먼저 패널 사이의 거리가 짧아지게 된다면 동일한 면적 내에 더 많은 패널을 설치할 수 있기 때문에 높은 에너지 생산성을 나타낸다(Table 3). 패널 사이의 간격이 2m에서 6m까지 증

가할 때 에너지 생산성이 20~30% 정도 가장 크게 감소하게 되고 이후 6m이상일 때는 비교적 비슷하게 생산성이 비교적 큰 격차 없이 일정하게 유지된다. 이러한 결과를 바탕으로 영농형 태양광 패널을 설치할 때는 2m이내의 간격을 가지는 것이 전면으로 들어오는 태양빛을 최대한으로 흡수할 수 있고 넓게 형성된 그늘에 의한 Shading effect로 인해 더 많은 빛이 후면으로 반사되어 들어가기 때문에 더 높은 에너지 생산성을 얻을 수 있다<sup>14-16)</sup>.

농업 생산의 관점에서 보게 되면 반대의 결과가 나타나게 된다. 패널간의 간격이 줄어들게 되면 패널 단위면적당 설치되는 패널의 수가 증가하게 되어 차광률이 높아지게 된다. 차광률이 증가하게 되면 패널아래에 그늘이 형성되는 면적이 증가하게 되고 패널아래의 작물로 도달하게 되는 직사광이 줄어들게 되어 PAR값이 작아지게 된다. 패널사이의 간격이 4m 이상으로 증가하게 될 때 PAR이 약 20%이상 크게 상승하고 8m 이상으로 패널 간격을 설정하게 되면 비교적 일정하게 PAR이 유지되게 된다.

에너지 생산과 농업 생산량을 증대시키기 위해서 패널간의 간격을 5~7m 사이로 조정하게 될 경우 패널간의 간섭이 줄어들게 되어 shading loss가 감소하게 되고 투과해서 들어오는 빛의 양도 증가하게 되어 농업 생산성이 증가하게 된다.

## 4. 결론

영농형 태양광은 에너지 생산과 농업 생산이라는 2가지 목표를 동일한 공간에서 달성할 수 있는 해결책을 제공할 수 있는 발전방식입니다. 영농형 태양광의 특성은 태양광 패널의 설치 방식과 재배 작물의 종류, 재배환경에 따라 크게 달라질 수 있다. 패널의 설치 높이를 약 4m 정도로 높게 설치하여 태양광이 지면에 더 균일하게 조사되도록 할 수 있고 패널의 설치 각도를 조절하여 계절, 강수량, 설치지역에 따라 에너지 생산량과 농업 생산량을 증가시킬 수 있으며 설치 패널들 간의 간격을 조절해서 에너지생산 효율과 농업생산 효율을 증가시킬 수 있다. 영농형 태양광은 신재생에너지 발전과 농촌 보호라는 미래의 중요한 2가지 요소를 모두 가능하게 하는 형태의 발전이기 때문에 지속적인 연구개발을 진행해야 한다.

## 후 기

This research was supported by grants from the New & Renewable Energy Technology Development Program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) funded by the Korean Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE) (Project No. 2022400000360)

**Table 3.** Power and PAR changes according to module

Pitch	Power (%)	PAR (%)
2 m	95	58
4 m	84	63
6 m	81	80
8 m	65	84
10 m	60	88
12 m	58	92

## References

1. P. Borawski, L. Holden, A.B-Borawska, Perspective of photovoltaic energy market development in the European Union. *Energy*. 270, 126804 (2023).
2. H. J. Kim, G. Y. Yang, C. R. Nam, S. H. Jeong, S. H. Jeong, Solar photovoltaic industry in Korea: Current status and perspective. *J Korean Soc Environ Eng*. 45, 107-118 (2023).
3. Y. Majeed, M. U. Khan, M. Waseem, U. Zahid, F. Mohmood, F. Majeed, M. Sultan, A. Raza, Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Rep*. 10, 344-359 (2023).
4. A. Sarr, Y. M Sora, A. K. Tossa, L. Diop, Agrivoltaic, a synergistic co-location of agricultural and energy production in perpetual mutation: A comprehensive review, processes. 11, 948 (2023).
5. S. Gorjian, F. J. Jamshidian, A. Gorjian, H. Faridi, M. Vafaei, F. Zhang, W. Liu, P. E. Campana, Technological advancements and research prospects of innovative concentration agrivoltaics. *Appl. Energy*. 337, 120799 (2023).
6. M. S. Kang, S. W. Sohn, J. H. Park, J. H. Kim, S. W. Choi, S. S. Cho, Agro-Environmental observation in a rice paddy under an Agrivoltaic system: Comparison with the environment outside the system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 23, 141-148 (2021).
7. S. M. Lu, S. Zainai, B. Stridh, A. Avelin, S. Amaducci, M. Colauzzi, P. E. Campana, Photosynthetically active radiation decomposition models for agrivoltaics. *Sol. Energy*. 244, 536-549 (2022).
8. V. Prakash, M. M. Lunagaria, A. P. Trivedi, A. Upadhyaya, R. Kumar, A. Das, A. K. Gupta, Y. Kumar, Shading and PAR under different density agrivoltaics system, their simulation and effect on wheat production. *Eur. J. Agron*. 149, 126922 (2023).
9. Y. J. Jeong, S. I. Lee, J. H. Lee, B. H. Seo, D. S. Kim, W. Choi, Development of solar radiation distribution model under agrivoltaic systems. *Journal of Korean Society of Agriculture Engineers*. 64, 1-13 (2022).
10. B. M. Kim, S. G. Suh, W. Oh, S. Y. Oh, J. H. Jung, Growth and agronomic traits of green onion under the agrivoltaic system with red supplemental LED lighting. *J. People Plants Environ*. 26, 1-8 (2023).
11. M. H. Velasco, Enabling year-round cultivation in nordic-agrivoltaics and adaptive LED lighting control of daily light integral. *Agriculture*. 11, 1255 (2021).
12. Z. Tahir, N. Z. Butt, Implications of spatial-temporal shading in agrivoltaics under fixed tilt & tracking bifacial photovoltaics. *Renewable Energy*. 190, 167-176 (2022).
13. P. E. Campana, B. Stridh, S. Amaducci, M. Colauzzi, Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems. *J. Cleaner Prod*. 325, 129091 (2021).
14. M. S. Ahmed, M. R. Khan, A. Haque, M. R. Khan, Agrivoltaics analysis in a techno-economic framework: Understanding why agrivoltaics on rice will always be profitable. *Appl. Energy*. 323, 119560 (2022).
15. M. Cossu, M. T. Tiloca, A. Cossu, P. A. Deligios, T. Pala, L. Ledda, Increasing the agricultural sustainability of closed agrivoltaic system with the integration of vertical farming: A case study baby-leaf lettuce. *Appl. Energy*. 344, 121278 (2023).
16. M. Hussain Riaz, H. Imran, R. Younas, N. Z. Butt, M. A. Alam, Module technology for Agrivoltaics: Vertical Bifacial Versus Tilted Monofacial Farms, *IEEE Journal of Photovoltaics*, 99, 1-9 (2021).
17. H. Jo, Comparison of yield components of several crops grown under agro-photovoltaic system in Korea. *Agriculture*. 12, 619 (2022).
18. H. J. Lee, S. Asekova, M. A. Bayat, L. Ali, J. T. Song, Y. S. Ha, D. H. Hong, J. D. Lee, Crop cultivation underneath agro-photovoltaics system and its effects on crop growth, yield and photo synthetic efficiency. *Agronomy*. 12, 1842 (2022).
19. S. Touil, A. Richa, M. Fizir, B. Bingwa, Shading effect of Photovoltaic panels on horticulture crops production: A mini review. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technol*. 20, 281-296 (2021).
20. A. Weselek, A. Bauerle, J. Hartung, S. Zikeli, I. Lewandowski, P. Hogy, Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agron. Sustainable Dev*. 41, 59 (2021).
21. X. Hou, J. C. Baltazar, Potential electricity production of vertical solar photovoltaic array. *ASES SOLAR 2023*, Arizona, United States of America, 80-86 (2023).
22. M. Ali Kallioglu, A. S. Avci, A. Sharma, R. Khargotra, T. Singh, Solar collector tilt angle optimization for agrivoltaics. *Case Stud. Therm. Eng*. 54, 103998 (2024).
23. B. Monteleone, I. Borzi, B. Bonaccorso, M. Martina, Quantifying crop vulnerability to weather-related extreme events and climate change through vulnerability curves. *Nat. Hazard*. 116, 2761-2796 (2023).