

폴더 개폐식 영농형 태양광 발전시스템 연구 (A Study on a Foldable Open-Close Agrivoltaic System)

정 현*

(Heon Jeong)

요약

본 논문은 농업활동과 태양광 발전의 병행을 가능하게 하는 폴더 추적식 영농형 태양광 발전 시스템을 제안한다. 본 연구에서는 리니어 모터 기반의 폴더 추적 구조를 도입하여, 태양의 고도와 작물의 생육 단계에 따라 태양광 모듈의 각도를 자동 제어함으로써 최적의 채광률과 발전 효율을 동시에 달성할 수 있는 시스템을 설계하였다. 8kW급 실험 시스템을 구축하여 실증한 결과, 고정식 대비 발전 효율이 약 10% 향상되었음을 확인하였다. 또한, 동서형 배열의 특성으로 인해 에너지 발전의 분산 효율성이 약 32% 개선되었다. 본 시스템은 향후 지속가능한 농업과 재생에너지 융합을 위한 핵심 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

■ 중심어 : 영농형 태양광 ; 폴더 추적식 시스템 ; 리니어 모터 제어 ; 최적발전제어 ; 동서형발전

Abstract

A linear motor - based folding tracking mechanism is introduced to automatically adjust the tilt angle of the PV modules according to the sun's altitude and the crop growth stage, thereby achieving optimal light utilization and power generation efficiency. An 8 kW experimental prototype was constructed and tested, demonstrating that the proposed system improves power generation efficiency by approximately 10% compared with a fixed installation. Additionally, due to the east - west dual-array configuration, energy distribution efficiency was improved by about 32%. The proposed system is expected to serve as a core technology for the integration of sustainable agriculture and renewable energy in the future.

■ keywords : Agricultural solar power ; folder tracking system ; linear motor control ; optimal power generation control ; east-west power generation

I. 서론

태양광 발전사업을 하기 위한 적합한 부지에는 주거지, 상업지, 농경지 등 다양한 용도로 이미 활용이 되고 있는 땅이 많기 때문에 적절한 조건을 갖춘 태양광 발전부지가 절대적으로 부족한 실정이다[1]. 따라서, 이미 효율적인 태양광 발전의 최적 조건을 갖고 있는 농경지 위에서 작물 재배와 전력 생산을 동시에 수행하는 영농형 태양광 발전 시스템은 이러한 문제의 해법으로 제

시되고 있다[2].

영농형 시스템은 농업 생산성과 전력 생산 효율 간의 균형을 맞추는 것이 핵심이다, 즉, 영농 활동을 수행하는 농경지 위에 설치되는 태양광 발전소로서 작물 재배를 위함과 태양광 발전을 위함의 두가지 목적을 동시에 충족시켜야만 한다.

따라서, 작물의 생육 단계에 따라 필요한 채광량이 달라지므로 태양광 모듈의 각도를 실시간으로 조절할 수 있어야 하며[3,4], 작물을 재배하지 않을 경우 태양광 모듈이 태양으로부터 최대

* 정희원, 초당대학교 소방행정학과

- 이 논문은 (주)유에너지[대표 : 최태원, 순천시]와 함께 수행한 연구의 결과물로서, 초당대학교 교비의 지원을 받아 수행된 연구임.

접수일자 : 2025년 11월 02일

게재확정일 : 2025년 11월 25일

교신저자 : 정 현 e-mail : hjeong@odu.ac.kr

한 많은 태양광을 받아 최대 발전량 도출할 수 있도록 구조물 상부에 모듈의 개폐 제어 기능이 요구된다.

기존 고정식 시스템은 태양의 일사각 변화에 따라 발전효율이 저하되며, 작물 생육에도 일정한 광량을 유지하지 못하는 문제가 있다 [5]. 이에 따라 태양의 고도를 추적하며, 동시에 작물의 광포화점을 고려한 동적 채광 제어 시스템의 필요성이 제기되었다 [6]. 또한, 정해진 공간에 최대의 태양광모듈이 설치될 수 있도록 설계하여 설치 공간의 효율성을 개선할 필요가 있다.

본 연구에서는 리니어 모터 기반 폴더 추적 구조를 설계하여 태양의 고도와 작물 생육단계에 따라 모듈 각도를 자동 조절하는 영농형 태양광 발전시스템을 제안한다. 또한 정해진 공간에 최대의 태양광모듈이 설치될 수 있도록 설계하여 공간의 효율성을 개선하며, 계절별·시간대별 광 환경에 적응하며, 작물 보호를 위한 냉해 차단 및 광포화점 제어 기능과 태양광 모듈 각도제어를 통해 최적 발전량 도출 방법을 구현하였다.

II. 영농형 태양광 발전시스템

1. 영농형 태양광 발전시스템 개요

영농형 태양광 발전소(Agrivoltaics)는 농업과 태양광 발전을 동시에 수행하는 복합형 시스템으로, 농지의 효율적인 활용과 재생에너지 보급 확대를 통해 지속가능한 농촌 사회를 구현하기 위한 중요한 대안으로 부상하고 있다. 최근 기후 변화로 인한 농업 생산성 불안정, 농촌 고령화, 에너지 수급의 불확실성 등 복합적인 문제가 대두되면서, 영농형 태양광은 농업과 에너지 문제를 동시에 완화할 수 있는 융합 기술로서 필요성이 커지고 있다 [7,8].

가. 농업적 측면의 필요성

농업적 관점에서 영농형 태양광은 농가 소득의 안정화에 기여한다. 농산물 가격 변동이나 기후 요인으로 소득이 불안정한 농가들에게 태양광

발전 수익은 추가적·안정적 소득원으로 작용할 수 있으며, 실제 국내 연구는 영농형 태양광 설치가 농외소득을 증가시켜 농가 전체 소득 구조에 긍정적 영향을 미친다는 결과를 보고하고 있다 [9].

기후적응성 측면에서도 영농형 태양광은 의미가 있다. 태양광 모듈이 부분적인 차광을 제공해 여름철 과다 일사로부터 작물을 보호하고 토양의 증발을 줄여 주는 효과가 있어, 일부 작물의 생육환경을 개선해 생산성을 유지하거나 향상시키는 사례가 보고되고 있다. 이러한 생태·농업적 이점은 영농형 태양광이 단순한 전력생산 수단을 넘어 기후변화 대응형 농업기술로 기능할 수 있음을 시사한다 [10].

나. 에너지 측면의 필요성

에너지 측면에서도 영농형 태양광의 필요성은 크다. 2050 탄소중립 목표를 실현하기 위해서는 재생에너지 보급이 필수적인데, 영농형 태양광은 추가적인 토지 개발 없이 신재생에너지를 확대할 수 있는 방법이다 [11]. 특히 농촌 지역은 넓은 부지와 낮은 인구 밀도를 갖고 있어 분산형 전력 생산 거점으로 활용하기에 적합하다. 이를 통해 지역 단위의 에너지 자립이 가능해지고, 송전 손실을 줄이는 효과도 기대된다.

또한 영농형 태양광은 스마트팜, IoT, 에너지관리시스템(EMS) 등 첨단 기술과의 융합을 통해 농업과 에너지가 결합된 새로운 산업 생태계를 창출할 수 있다. 이는 청년 농업인의 창업 기회를 넓히고, 농촌 일자리 창출에도 긍정적인 영향을 미친다.

다. 환경 및 사회적 측면의 필요성

환경적인 측면에서도 영농형 태양광의 도입은 여러 이점을 가진다. 대규모 태양광 발전소와 달리 농지를 그대로 유지하기 때문에 생태계 파괴나 토양 침식 등의 부작용이 적다 [12]. 또한 작물이 계속 재배되므로 녹지 공간이 유지되고, 탄소흡수원 역할도 지속된다. 이로써 영농형 태양

광은 발전과 보전이 조화를 이루는 친환경형 발전 모델로 평가된다.

사회적 관점에서 보면, 영농형 태양광은 농촌 지역의 활력 회복에도 기여한다. 발전소 설치 및 운영 과정에서 지역 내 일자리가 창출되고, 에너지 자립 마을 조성을 통해 지역 공동체의 지속가능성이 강화된다.

2. 영농형 태양광 발전시스템 관련 연구

이론적으로 영농형 태양광의 개념은 1980년대 초반 독일의 Adolf Goetzberger와 Armin Zastrow가 농업용지 위에 태양광 모듈을 설치하고 작물 재배를 병행할 수 있다는 가능성을 제시하면서 비롯되었다. 이후 일본에서도 2000년대 중반부터 ‘solar sharing’ 방식의 실증 프로토타입이 등장하였으며, 여러 유럽 국가에서 2010년대 초부터 다양한 파일럿 사업이 진행되기 시작하였다 [13,14]. 이 초기 연구들은 주로 “태양광 설비가 작물에 미치는 그늘·광분포 변화”, “농업 생산성과 태양광발전량의 trade-off” 등에 집중하였고, 본격적인 ‘영농형 태양광’이라는 용어가 등장하기 전 연구들이었다.

한국에서는 태양광 보급과 농지이용 갈등이 맞물리면서 영농형 태양광에 대한 관심이 증가하였다. 국내 논문 ‘영농형 태양광 발전시스템의 특성 및 연구동향’에서는 한국의 연구 동향을 중심으로 2020년대 초반까지의 흐름을 정리하고 있다. 그러나 제도적 측면에서는 농지법상 농지를 다른 용도로 전용할 수 있는 기간이 8년으로 제한되는 등 현실적 장벽이 존재하였다. 예컨대 “8년 후 설비 해체” 규정이 경제성 확보를 어렵게 한다는 지적이 있었다 [15]. 이러한 제약 속에서도 2016년경부터 농업·발전 병용 실증사업이 국내에서 시작되었고, 최근에는 ‘정책 인센티브 확대’ 움직임도 나타나고 있다. 학술적으로도 국내 논문 및 실증연구가 증가하고 있으며, 작물별 재배밀도·광환경·실증데이터 등에 대한 연구가 누적되고 있다 [16-20]. 이러한 흐름은 영농형

태양광이 ‘농지+에너지’라는 복합적 과제 속에서 현실적 대안으로 자리 잡고 있음을 보여준다.

3. 기존 시스템의 한계

그림 1에 다양한 영농형 발전시스템의 문제점들을 나타내었다. 그림 1 (a)는 기둥에 의한 작업 공간의 제약사항 발생으로 영농활동에 지장을 주는 문제점을 나타내었다. 또한 그림 1 (b)는 고정식 구조물에 의한 태양의 이동에 따라 입사각이 변함으로써 발전량이 감소하는 문제점을 나타내었다. 그림 1 (c)는 재배작물의 특성에 따른 요구되는 채광량이 제어되지 않고 작물과 무관하게 채광량이 고정되어 작물 생육의 저해를 야기하는 문제점을 나타내었다.

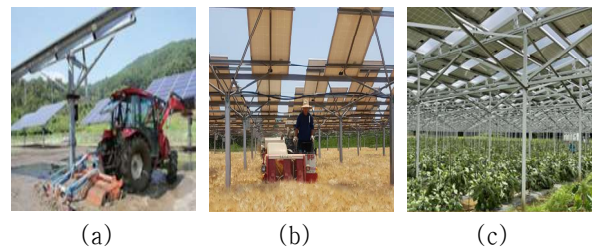


그림 1. 다양한 영농형 발전시스템의 문제점

4. 전력 생산의 분산화 필요

동서형으로 태양광 발전시스템을 구축하면 발전량이 특정 시간대에 집중되는 남향 단일배치 대비 하루 전력생산이 보다 고른 시간대에 분산되는 이점이 있다. 실제로 국내 연구에서는 동서향 태양광 설비가 초기 아침부터 저녁까지 발전 가능시간을 확대함으로써 전력계통 상의 피크 시간대 편중을 완화하고 운용안정성을 제고할 수 있음이 확인되었다 [21]. 이러한 전력분산화는 송·배전망의 과부하 및 혼잡 리스크를 낮추고, 재생에너지 확충 시 계통 연계 문제를 사전에 완화할 수 있는 기반을 마련해 준다 [22].

또한, 국내 에너지 정책 관점에서도 분산형 전원의 확대가 중요한 과제로 제시되어 왔으며, 동서형 배치 방식은 그 방향성과 부합된다. 동서형 태양광은 지리적·시간대별로 전력생산이 분산되기 때문에 계통연계 시 안정성 향상, 품질관리

비용 절감, 송변전 설비 운용 효율 개선 등의 추가적인 사회적·경제적 편익을 기대할 수 있다 [23].

III. 폴더 추적식 영농형 태양광 시스템

1. 시스템 개요

본 연구에서는 리니어 모터 기반 폴더 추적 구조를 도입하여 태양의 고도와 작물 생육단계에 따라 태양광 모듈의 각도를 자동 제어함으로써, 최적의 채광률과 발전 효율을 동시에 달성하는 시스템을 제안한다. 또한 정해진 공간에 최다의 태양광모듈이 설치될 수 있도록 설계하여 공간의 효율성을 개선한 영농형 태양광 발전시스템을 제안한다. 또한, 계절별·시간대별 광환경에 적응하며, 작물 보호를 위한 냉해 차단 및 광포화점 제어 기능을 하도록 개폐기능을 부여하며, 태양광 모듈 각도제어를 통해 최적 발전량 도출 방법을 제안한다.

- 채광률 제어를 위한 개폐식 태양광 발전시스템
- 철골 구조를 통한 넓은 작업 공간
- 정해진 공간에 최다의 태양광 모듈 설치
- 생육 모드와 발전 모드 제어
- 동서 방향으로 설치로 인한 전력 분산
- 고정형에 비해 추적형 채택을 통한 발전량 증대

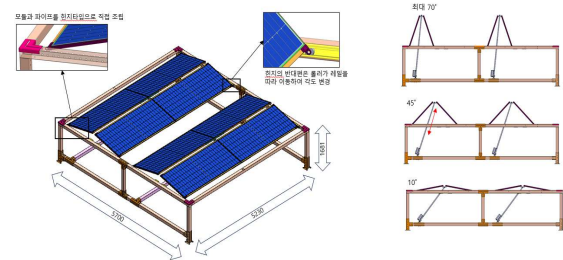
2. 시스템 구조

제안하는 영농형 태양광 시스템을 그림 2와 같이 나타내었다. 제안하는 시스템은 크게 태양광 모듈, 철골고정프레임, 구동프레임, 각도제어용 모터, 접속반, 발전용 인버터, 통합제어 및 모니터링프로그램으로 구성된다.

태양광모듈은 구동프레임에 장착되어 태양의 고도에 따라 시간별로 각도제어용 모터의 제어에 따라 모듈의 각도를 제어조절하는 시스템으로 통합제어프로그램에 의해 최적발전량이 얻어질 수 있도록 동작한다.

그림 2(a)의 구동프레임은 500W의 모듈이 8장으로 구성된 모델로서 4kW 발전시스템을 나타낸 것이다. 그림 2(b)에서와 같이 구동프레임은 철

골고정프레임위에 설치하여 영농작업공간을 넓게 확보할 수 있도록한다.



(a) 구동프레임의 동작 형상



(b) 철골고정프레임과 구동프레임

그림 2. 제안하는 영농형 태양광발전 시스템의 개념도

3. 모듈 각도 제어

각도제어용 모터로서는 DC 리니어 모터를 사용하였다. 또한 세부적인 각도제어를 위하여 전용의 모터제어기를 설계하였다. 그림 3에는 설계한 모터제어기의 회로도와 외형사진을 나타내었다. 모터제어기는 STM32F103의 마이크로프로세서를 사용하였으며, H-브릿지 모터 제어회로를 적용하여 PWM신호에 의한 모듈의 각도제어가 이루어지도록 하였다.

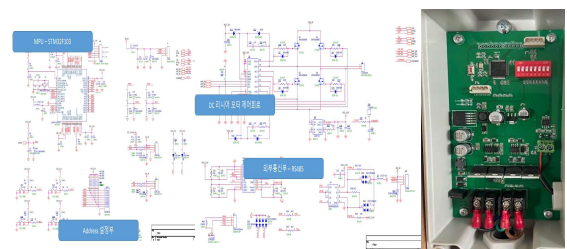


그림 3. DC 리니어모터 제어장치 회로도

그림 4는 500kW 태양광발전소의 구성도를 나타내었다. 태양광모듈의 접속반, 발전용 인버터, 통합제어 및 모니터링프로그램으로 구성된다.

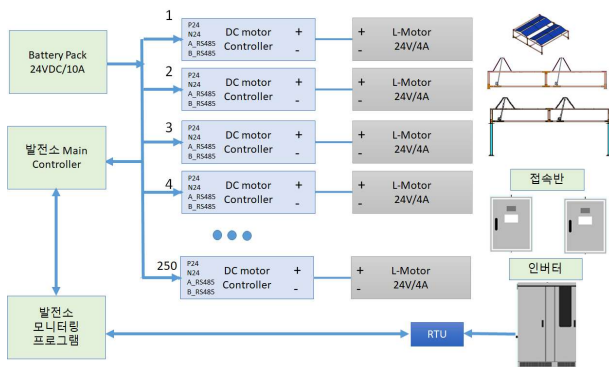


그림 4. 500kW 태양광 발전소 구성도

4. 각도 제어 알고리즘

본 연구에서는 태양의 움직임을 추적하여 모듈의 법선 벡터가 태양광 입사각과 평행을 유지하도록 설계된 시간 기반 알고리즘을 제안한다. 이러한 모듈 각도 제어는 모듈이 하루 종일 태양광에 노출되는 시간을 최대화하여 에너지 발전 효율을 최적화하도록 설계하였다.

식 1에 나타낸 것과 같이 리니어 모터 제어값 M 은 입력된 정보(연 yy , 월 mm , 일 dd , 시 hh , 분 mm , 위도 ϕ , 경도 λ)를 통해 도출된다. 동서형 배열에 적합한 제어입력 M 을 도출한다. 리니어 모터는 0에서 100사이로 얻어진 제어입력 M 을 사용하여 모듈 간 각도 θ 를 조절한다.

$$M = f(yy, mm, dd, hh, mm, lat = \phi, lon = \lambda) \quad (1)$$

$$M \in [0, 100]$$

식 2를 사용하여 특정 날짜와 시간에 대해 태양의 위치(고도 α , 방위각 A)를 계산하고, 태양광모듈 법선과 태양벡터의 입사각 코사인을 최대화하는 최적 각도 θ_T 를 도출한다.

식 2에서 θ_T 는 모듈의 최적 각도, α 는 태양의 고도, A 는 태양방위각, δ 는 태양기울기, H 는 시간각, LST 는 로컬태양시각, λ_{std} 는 KST 표준경도(=135), E_t 는 보정된 시간, n 은 일년 중 일차를 의미하고 있다.

$$\theta_T = \text{atan2}(-\cos\alpha\cos A, \sin\alpha) \quad (2)$$

$$\alpha = \arcsin(\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos H)$$

$$A = \text{atan2}(\sin A, \cos A)$$

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (284 + n)\right) [\text{deg}]$$

$$H = 15 \cdot (LST - 12) [\text{deg}]$$

$$LST = \left[\text{hour} + \frac{\text{minute}}{60} \right] + \frac{4 \cdot (\lambda_{std} - \lambda)}{60} + \frac{E_t}{60}$$

$$E_t = 9.87 \cdot \sin(2B) - 7.53 \cdot \cos(B) - 1.5 \cdot \sin(B) [\text{min}]$$

$$B = \left(\frac{360}{364} \right) \cdot (n - 81) [\text{deg}]$$

$$n = \text{day}_{year}(\text{year}, \text{month}, \text{day})$$

그림 5와 같이 동·서형 배열에서 두 모듈의 주축이 동-서 방향으로 배치되어 있으므로, 태양이 동쪽 또는 서쪽에 가까울수록 한쪽 모듈이 태양을 더 정면으로 받아야 한다.

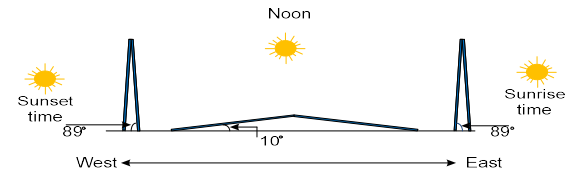


그림 5. 동서형 배열에 따른 모듈 각도 제어

태양의 방위각을 A (0° =북, 90° =동, 180° =남, 270° =서)로 구한다. 동·서 축(이 배열의 ‘단힘’ 기준)은 90° (동)과 270° (서)이다. 태양이 정동 또는 정서(동/서)에 가까울수록 폴더는 닫혀야 하며, 즉 모터 제어 값 M 은 100에 가까워지며, 태양이 정남(또는 정북)에 가까울수록 폴더는 펼쳐야 하고, 모터값은 0이 될 것이다.

도출된 모듈의 최적 각도 θ_T 를 통해 식 3을 이용하여 리니어 모터값을 도출한다. 식 3에서 γ 는 방위 A 와 동서의 수평각을 나타내며 angdif 는 두 각의 최소 절대각을 나타낸다. θ 는 폴더각도를 나타내며 M 은 모터 제어 값을 나타낸다.

$$\gamma = \min(\text{angdif}(A, 90^\circ), \text{angdif}(A, 270^\circ)) \quad (3)$$

$$\theta_T = 2\gamma \quad (\gamma \in [0, 90^\circ], \theta_T \in [0, 180^\circ])$$

$$M = 100 \left(1 - \frac{\theta_T}{180} \right) = 100 \left(1 - \frac{\gamma}{90} \right)$$

IV. 발전실험

동서형으로 배치된 폴더 개폐식 영농형 태양광 발전시스템의 성능평가를 수행하기 위해 그림 6과 같은 물리적 인프라를 구축하였다. 그림 6에서 볼 수 있는 것과 같이 500W의 태양광 모듈 4장을 구동프레임에 폴더식으로 구성하고 이를 4쌍으로 배열하였다. 1쌍과 2쌍은 태양광 고도에 따라 추적하도록 설정하였으며, 3쌍과 4쌍은 폴더 각도를 움직이지 않고 고정형태로 설정하였다.

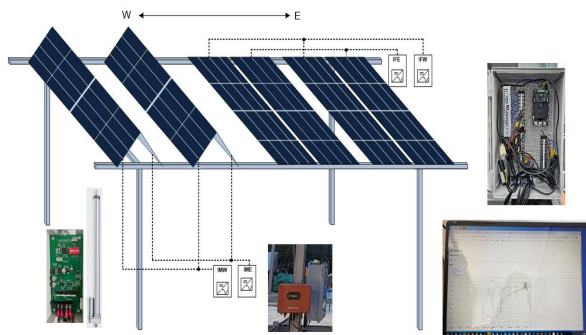


그림 6. 동서형 폴더 개폐식 태양광 발전 실험장치

발전 효율을 분석하기 위해 3.5kW 인버터를 1쌍과 2쌍의 동쪽 모듈에 연결하여 IME(Inverter Movable East)라고 하였으며, 이 쌍들의 서쪽 모듈들은 IMW(Inverter Movable West)에 연결하였다. 또한 마찬가지로 3쌍과 4쌍의 동쪽과 서쪽 모듈은 각각 IFE(Inverter Fixed East)와 IFW(Inverter Fixed West)에 연결하였다.

1. 데이터 취득

태양광 에너지 실험을 위한 물리적 인프라는 대한민국 순천시에 위치한 (주)유에너지 회사 내에 구축하였다. 본 연구에 사용된 태양광 모듈은 최대출력은 500 [Wp], 단락전류는 11.57 [A], 개방전압은 54.7 [V], 모듈효율은 21.6 [%]의 특징을 나타내는 제품을 사용하였으며, 최대 정격 전력이 3.5kW인 무변압기 단상 인버터를 사용하였다. 이 인버터는 100~500V의 전압 범위에서 작동하며, 최대 전력점 추적(MPPT) 범위는 260~400V이다. 전력 데이터는 인버터에서 10분 간격

으로 kW 단위로 수집하였다.

2. 발전량 평가

2023년 11월 15일에 얻어진 인버터 발전데이터를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 볼 수 있는 것과 같이 오전에는 IME 값이 높게 나왔으며, 오후에는 IMW가 높게 나왔다. 고정형인 IFE와 IFW는 서로 유사한 패턴을 보였다.

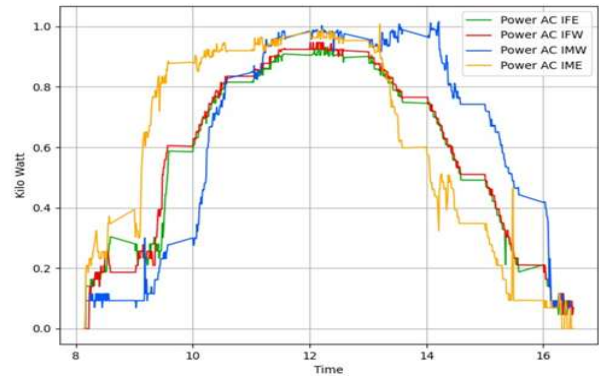


그림 7. 동서형 폴더 개폐식 태양광 발전 실험장치(day1)

폴더추적형의 발전효율성과 피크분산개선율을 식 4와 같이 개선 적용하여 분석하였다. 폴더추적형 동작에 의해 얻어진 평균발전량 S_M 과 고정형 인버터들로 부터 얻어진 평균발전량 S_F 를 비교하여 발전량 개선비율 Gain을 산출하였다.

$$S_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{IME} + P_{IMW}) \quad (4)$$

$$S_F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{IFE} + P_{IFW})$$

$$Gain = \frac{S_M - S_F}{S_F} \times 100\%$$

표 1. 폴더추적형 영농형 태양광의 발전효율성 실험결과

일자	IFE	IFW	IME	IMW	S_F	S_M	Gain
day1	632.211	654.440	804.069	611.644	1286.650	1415.713	10.03
dat2	593.927	607.987	626.788	690.828	1201.914	1317.617	9.63

표 1에 폴더추적형 영농형 태양광의 발전효율성 실험결과를 나타내었다. 폴더추적형 영농형 태양광이 고정형의 태양광발전시스템 보다 약 10%정도 발전효율성이 높은 것으로 확인하였다.

3. 전력 분산 발전효율성

폴더추적형은 동서형으로 설치하여 전력 분산발전의 효율성을 갖는다. 이에 대한 성능검증 위해 식 5를 사용하였다. 폴더 추적형과 고정형 모두 얻어진 동쪽과 서쪽의 인버터 전력값중에서 큰값을 선택하고 얻어진 폴더추적형 최대값(S_m)과 고정형 최대값(S_f)의 표준편차를 구하여 전력 분산 발전 개선율(I)를 도출한다.

$$\begin{aligned} S_m &= STDEV(\max(P_{IME}, P_{IMW})) \\ S_f &= STDEV(\max(P_{IFE}, P_{IFW})) \\ I &= \frac{S_f - S_m}{S_m} \times 100\% \end{aligned} \quad (5)$$

그림 8과 같이 전력 분산 발전 효율성 연산을 위한 순시최대값들(S_m , S_f)을 나타내었다.

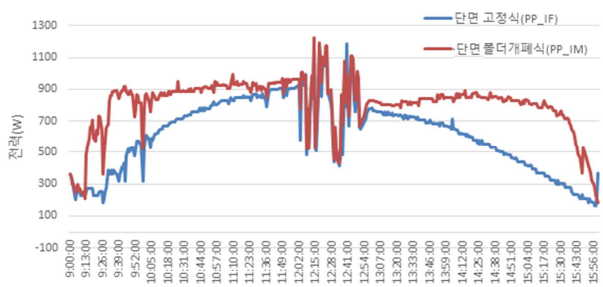


그림 8. 전력 분산 효율성 연산을 위한 순시 최대값 (day2)

표 2에 폴더추적형 영농형 태양광의 분산 발전 효율성 실험결과를 나타내었다. 폴더추적형 영농형 태양광이 고정형의 태양광발전시스템 보다 약 32%정도 분산 발전 효율성이 높은 것으로 확인하였다.

표 2. 분산 발전 효율성 실험결과

일자	S_m	S_f	I
day1	170.26	225.26	32.30
dat2	173.06	228.21	32.87

V. 결 론

본 논문에서는 태양광모듈의 설치 구조를 폴더 추적식 구조물에 부착하여 태양광 모듈이 태양의 움직임을 추적하도록 추적하고, 영농 활동에

적합한 요구 차광률이 제어될 수 있는 폴더 추적식 영농형 태양광 발전 설비를 제안하였다. 리니어 모터 기반 폴더 추적 구조를 도입하여 태양의 고도와 작물 생육단계에 따라 태양광 모듈의 각도를 자동 제어함으로써, 최적의 차광률과 발전 효율을 동시 달성하는 시스템을 설계하였다. 특히 태양의 움직임을 추적하여 모듈의 법선 벡터가 태양광 입사각과 평행을 유지하도록 설계된 시간 기반 알고리즘을 제안하여 모듈이 하루 종일 태양광에 노출되는 시간을 최대화하여 에너지 발전 효율을 최적화하도록 설계하였다. 8kW 급 실험 시스템을 구축하여 실증한 결과, 발전 효율은 고정식 대비하여 약 22%가 향상될 수 있음을 확인하였다. 또한, 동서형의 배치의 특성으로 에너지 발전의 분산 효율성이 약 32% 개선되었다. 본 논문에서 제안한 영농형 태양광 발전 시스템은 생육을 위한 차광률 제어 기능이 부여된 개폐식구조의 특징, 철골 구조를 통한 넓은 작업 공간, 고정형에 비해 추적형 채택을 통한 발전량 증대 및 동서 방향으로 설치로 인한 전력 분산 발전의 특성을 나타낸다. 본 시스템은 향후 지속 가능한 농업과 재생에너지 융합의 핵심 기술로 활용 가능할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] 정재학, “영농형 태양광 발전 시스템의 현황과 전망,” *한국태양광발전학회지*, 제6권, 제2호, 25 - 33 쪽, 2020년
- [2] National Renewable Energy Laboratory (NREL), “The 5 Cs of Agrivoltaic Success Factors in the United States: Lessons from the InSPIRE Research Study,” NREL/TP-6A20-83566, 2022.
- [3] IEA-PVPS, “Agrivoltaic Systems: State of the Art and Future Prospects,” *Technical Report T13-20*, 2023.
- [4] M. Riaz, H. Imran, H. A. Alam, and N. Z. Butt, “Crop-specific optimization of bifacial PV arrays for agrivoltaic production,” *arXiv preprint*, 2021.
- [5] S. Zainali, M. Hamid, H. Hizam, et al., “Direct and diffuse shading factors modelling for agrivoltaic layouts,” *Renewable Energy*, 2022.
- [6] P. E. Campana, M. Hammar, and J. Yan, “Optimization of vertically mounted agrivoltaic

systems,” *Applied Energy*, 2021.

- [7] 장석진, 박진주, 이준신, “영농형 태양광 발전시스템의 특성 및 연구동향,” *Current Photovoltaic Research*, 제12권, 제3호, 74 - 79쪽, 2024년
- [8] 정학균, 채광석, 유찬희, 최재현, 임준혁, “영농형 태양광 도입의 경제성 분석과 정책적 시사점,” *KREI 연구보고서*, 2024년 4월
- [9] 순병민, 신동원, “영농형 태양광 설치에 따른 농가 소득 영향분석,” *한국기후변화학회지*, 제12권, 제5호, 409 - 419쪽, 2021년
- [10] 국내 영농형 태양광 발전 시스템 개발 및 하부 작물 생육 관련 연구, (국내 실증·기술 사례 보고서/논문 자료), 미상.
- [11] 김종익, 조상민, “영농형 태양광 경제성 제고를 위한 정책 방안,” *신·재생에너지*, 제20권, 제1호, 15 - 25쪽, 2024년
- [12] A. A. Zahrawi and A. M. Aly, “A review of agrivoltaic systems: Addressing challenges and enhancing sustainability,” *Sustainability*, vol. 16, no. 18, p. 8271, 2023.
- [13] L. Strub, M. Wittke, M. Trommsdorff, et al., “Assessing the economic performance of agrivoltaic systems in vineyards,” *Frontiers in Horticulture*, vol. 3, 2024.
- [14] Y. Yang, H. Zhang, C. Li, et al., “Optimization of agrivoltaic structure design for crop growth and power generation,” *Solar Energy*, vol. 240, pp. 141 - 152, 2023.
- [15] J. Lee, H. Park, S. Kim, et al., “Seasonal light distribution control in dual-axis agrivoltaic systems,” *Applied Energy*, vol. 335, 2024.
- [16] D. Oh and S. Han, “Smart control of PV angle for irradiance adjustment in farmland,” *Journal of Smart Agriculture*, vol. 10, no. 3, 2023.
- [17] H. Kim, J. Park, and T. Choi, “AI-based control algorithm for crop-specific irradiance optimization,” *Renewable Energy Focus*, vol. 44, 2022.
- [18] J. Kang, Y. Kim, and J. Seo, “Data-driven control strategy for agrivoltaic energy optimization,” *Energies*, vol. 17, no. 1, 2024.
- [19] K. Seo, D. Lee, and M. Han, “IoT-based monitoring and actuation for smart agrivoltaic systems,” *Sensors*, vol. 22, no. 18, 2022.
- [20] S. Kim and J. Lee, “Crop-light interaction modeling in adjustable solar farms,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 325, 2021.
- [21] 김용하, 한규림, 이혜선, 김유리, “동서향으로 배치된 태양광발전시스템이 전력계통의 운용에 미치는 영향 평가 방법론 개발,” *한국태양에너지학회 논문집*, 제43권, 제5호, 19 - 32쪽, 2023년
- [22] 기재홍, “국내 사업용 태양광 발전시설의 현황 및 보급 특성: 정책변화와 수용성의 관점,” *특정주제*

연구자 최종결과보고서, 2020년 10월

저 자 소 개



정 헌(정회원)

1992년 조선대학교 제어계측공학과
학사 졸업.

2000년 조선대학교 제어계측공학과
석사 졸업.

2004년 조선대학교 제어계측공학과
박사 졸업.

<주관심분야 : 소방시설, 인공지능,
비전시스템, 로봇제어, 에너지 >