

## 지붕 설치형 태양광 발전 시스템의 태양 위치 추적 구조물 설계 및 설치 실증 기법의 교육과정 연계

# A Study on Automatic Solar Tracking Design of Rooftop Solar Power Generation System and Linkage with Education Curriculum

우덕건<sup>1</sup>, 서춘원<sup>2</sup>, 이효재<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한국폴리텍대학 충주캠퍼스 지능형기계과, <sup>2</sup>네오솔라텍, <sup>3</sup>한국폴리텍대학 성남캠퍼스 시자동화과

Deok Gun Woo<sup>1</sup>, Choon Won Seo<sup>2</sup>, Hyo-Jai Lee<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Intelligent Machinery, Korea-polytechnics, Chungju 27324, Korea

<sup>2</sup>Department of Development & Production Team, Neo Solartec Inc., Jincheon 52517, Korea

<sup>3</sup>Department of AI Automation, Korea-polytechnics, Sungnam 13122, Korea

### [ 요약 ]

세계적인 탄소 중립에 동참하고자, 대한민국 정부에서도 ‘녹색건축물 조성 지원 법’ 시행령을 통해 2030년까지 모든 건축물에 대해 제로에너지 건축물 인증을 진행할 계획에 있다. 이에 따라 국가적으로도 비교적 생활 밀접 접근성이 좋은 태양광 발전과 관련한 여러 사업을 지원하고 있다. 특히 지붕 설치형 태양광 발전 시스템의 경우 환경 파괴 없이 유휴 공간을 활용하여 에너지를 생산한다는 측면에서 주목받고 있지만, 다른 태양광 발전 설비 대비 낮은 발전효율이 단점으로 지적되고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 부분을 해소하고자, 단축형 태양광 추적을 위한 태양광 패널 구조물에 관한 연구를 통해 효율적인 태양광 패널 각도 가변 시스템을 제안하고 더불어 지붕 설치형 태양광 발전 시스템의 적용 환경을 고려해 태양광 패널의 파손 및 2차 피해 예방을 위한 방안을 제안한다. 더불어 ICT 융합을 통해 태양광 패널을 제어, 사고 예측 안전 시스템 구성을 프로젝트 기반의 교육 프로그램 연계 구성이 가능할 것으로 판단된다.

### [ Abstract ]

To participate in global carbon neutrality, the Korean government is also planning to carry out zero-energy building certification for all buildings by 2030 through the enforcement decree of the ‘Green Building Support Act’. Accordingly, the government is providing various projects related to solar power generation, which are relatively close to life. In particular, roof-mounted photovoltaic power generation systems are attracting attention in terms of using unused space to produce energy without destroying the environment, but low power generation efficiency compared to other photovoltaic power generation facilities is pointed out as a disadvantage. Therefore, in this paper, to solve this problem, we propose an efficient solar panel angle variable system through research on the solar panel structure for single-axial solar tracking, and also consider the application environment of the roof-mounted solar

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2022.387>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 July 2022; Revised 11 August 2022

Accepted 29 August 2022

\*Corresponding Author

E-mail: lhj00199@kopo.ac.kr

power generation system. Suggests measures to prevent damage and secondary damage. In addition, it is judged that it is possible to control the solar panel based on ICT convergence and configure the accident prediction safety system to link the project-based education program.

**Key Words:** Rooftop, Solar energy generation, Solar tracking frame structure, Solar tracking system, Structure actuator

## I. 서론

국제에너지 기구 IEA(International Energy Agency)에서 발표된 World Energy Outlook 2020에서 태양광을 가장 저렴한 재생에너지로 언급하였으며, 시장을 선도할 것으로 예측하였고, 이러한 예측과 맞추어 친환경 열풍이 불고 있고, 전 세계적으로 탄소 중립을 위해 각국이 대책을 마련하고 있으며 그중 태양광 발전이 가장 주목받고 있다[1].

COVID-19 상황에서도 세계적인 태양광 신규 설치량은 2020년 대비 약 29% 이상 증가하였으며, 우리나라는 향후 5년간 13% 증가할 것으로 전망되고 있다. 대형 태양광 프로젝트에 COVID-19가 미치는 영향은 예상보다 적어 경기부양을 위한 투자 계획도 긍정적이다. COVID-19의 안정화에 따라 세계의 각 정부의 경기부양을 위한 인프라 투자와 탄소 중립을 위하여, 친환경이면서도 상대적으로 효율이 좋은 태양광에 투자가 증대될 것으로 예상된다[2,3].

이러한 세계적인 탄소 중립에 동참하고자, 대한민국 정부에서도 '녹색건축물 조성 지원 법' 시행령을 통해 2020년부터 연면적 1,000 m<sup>2</sup> 이상 공공건축물에 대해 제로에너지건축 인증을 의무화하고 있다. 2025년부터는 연면적 1,000 m<sup>2</sup> 이상 민간건축물, 연면적 500 m<sup>2</sup> 이상 모든 공공건축물, 30세대 이상 공동주택 등이 제로에너지건축으로 이어지게 된다. 2030년부터는 연면적 500 m<sup>2</sup> 이상 모든 건축물은 제로에너지건축물이 된다[4].

태양광은 무한하고, 누구나 활용할 수 있으며, 다른 재생에너지에 비해 소음이 적어 생활 속에 가깝게 설치할 수 있으므로 활용도가 높다. 특히 주거 밀집 지역에서의 지붕형 태양광 패널 설치를 통한 발전은 별도의 토지를 전용하지 않고 유휴 공간 활용이 가능하며, 이격 거리에 대한 규제에서도 자유롭다[5].

본 연구는 별도의 토지 면적을 할당하지 않으면서도, 밀집 지역의 지붕에 설치가 가능한 태양광을 추적 프레임 구조물에 적용하는 기술을 개발하기 위해 수행되었으며, ICT 정보 기술을 활용하여, 자연재해 상황에서 태양광 패널의 피해를 줄여줄 수 있는 회피기능이 가능하도록 기존의 각도 가변형 태양광 구조물보다 넓은 가동 범위를 확보하는 것을 목표로

하며, 본 연구에서 개발된 태양 추적식 프레임 구조물의 구현 및 적용 방법을 교육 프로그램으로 연계가 가능할 것으로 판단되었다.

## II. 지붕형 태양광 추적형 발전 시스템 구조물 설계

태양광 패널의 발전 효율의 높이기 위해 태양광 추적 시스템을 적용하고 있으며, 이는 태양광 패널의 발전 효율에 영향을 준다. 본 연구에서 적용하고자 하는 단축 태양광 추적형 발전 시스템과 고정형 태양광 발전 시스템의 발전 효율에 관한 연구를 참고하였으며, 단축 태양광 추적형 발전 시스템이 고정형 태양광 발전 시스템에 비해 발전 효율이 증대된 것을 확인하였다[6]. 또한 정확한 태양광 추적을 위하여, 태양광 추적을 위하여, 별도의 센서를 추가하는 방법 이외에 한국천문연구원 데이터 활용하는 추적방식[7]을 비교 분석하여 설계에 참고하였다.

태양광 패널의 각도 변경 방식의 경우 양축 태양광 추적 방식의 발전 효율이 단축에 비하여 효율이 높았으나, 양축 태양광 추적 방식의 경우 2개의 구동축이 필요한 만큼 구조적으로 복잡하고, 지붕 위 설치 시 하중을 고려하여, 상대적으로 구조 및 구동부 구조가 간단하고 지붕 위 설치 특성상 사후 관리가 간편한 단축 태양광 추적 방식을 선정하고 기

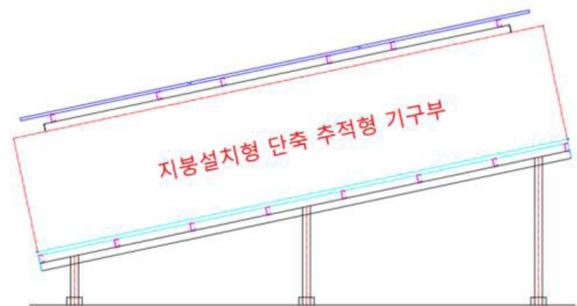


그림 1. 지붕 설치형 단축 태양광 추적 방식 태양광 발전 구조물 설계도

Fig. 1. Rooftop-mounted single axis trace type solar power generation structure design.

존의 건축물 지붕에 설치를 고려한 설계를 진행하였다. 실증 테스트를 위하여 3KW급 태양광 발전 시스템을 기존의 고정식과 단축 태양광 추적 방식의 테스트 환경 구성을 위한 설계를 진행하였으며, 단축 태양광 추적 방식의 경우 기존 건축물의 지붕에 설치되는 만큼, 테스트 환경에서도 지붕구조 위에 단축 태양광 추적 구조물을 설치하였다.

그림 1은 지붕 설치형 단축 태양광 추적 방식의 발전 구조물의 설계도로 실증 테스트를 위하여 고정형 태양광 패널 구조물에 건축물의 지붕을 그림 1에서 하늘색 부분과 같이 구현하고, 그 위에 태양 단축 태양광 추적 방식의 발전 구조물을 설치하는 방식으로 설계를 진행하였으며, 그림 1에서 파랑색으로 표기된 부분이 태양광 패널 모듈에 해당한다.

### III. 지붕형 태양광 추적형 발전 시스템 구동 모듈

토지에 설치되는 태양광 발전 시스템의 경우 지역에 따른 일조량에 따라 차이는 있으나, 일반적으로 정남향 방향으로 25~30도 경사각을 두고 설치하게 된다. 하지만 본 연구에서 진행하고 하는 태양광 발전 시스템의 경우 기존의 건축물 지붕 위에 추가적으로 설치하여야 하는 만큼, 건축물 지붕의 각도와 상관없이 최적의 발전효율을 위한 각도를 유지하면서도, 건축물 지붕의 하중, 유지보수성을 고려하여, 그림 2와 같은 스크류 조인트 구조를 채택하여, 설계를 진행하였다.

스크류 조인트 구조의 경우 다양한 장점이 존재하지만, 본 연구에서는 적은 힘으로 패널의 각도 조절이 가능하고, 스크류 조인트의 특성상 패널 위의 적설로 인한 무게가 추가되더라도 각도를 유지하기에 유리한 점이 있다. 또한 각도 조절을 위한 구동 모듈의 위치를 자유롭게 배치할 수 있으며, 같은 스크류 축상의 태양광 패널들의 각도를 동시에 제어할 수 있는 장점이 있다.

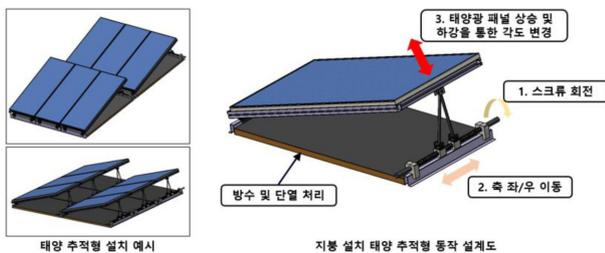


그림 2. 지붕 설치형 단축 태양광 추적 방식 태양광 발전 구조물  
**Fig. 2.** Rooftop-mounted single axis trace type solar power generation structure.

기존의 지붕과 태양광 패널 사이 즉, 기존 건축물 지붕에는 방수 및 단열 처리를 하여 추후 유지보수에 쉽도록 설계하였다.

### IV. 지붕형 태양광 추적형 발전 시스템 안전 대책

본 연구에서 진행하는 지붕형 태양광 추적형 발전 시스템의 경우 기존의 건축물의 최상단 지붕 위에 추가로 설치되므로 자연 재해에 취약할 수 있고, 이러한 자연 재해로 인해 태양광 패널 등이 파손될 경우 2차 피해가 크게 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지붕형 태양광 추적형 발전 시스템에 ICT 기술을 접목하여, 태양광 발전 시스템의 파손을 사전에 예방하고자 한다.

이를 위하여 태양광 패널의 파손 사례가 많은 그림 3과 같은 강풍, 눈으로 인한 자연재해로부터 태양광 패널의 파손을 예방하고자, 기상 정보를 통해 강풍, 폭설에 대한 정보를 수집하고 이에 맞는 회피 구동 방법을 구현하였다. 더불어 기상청의 일몰, 일출 등의 지역적, 계절적 정보를 통해 태양광 발전 시스템의 효율을 극대화하고자 하였다.

회피 구동은 기상청의 지역 예보를 기반으로 날씨에 의한 피해가 예상되는 폭설, 강풍의 경우에 대해 시나리오를 구성하였으며, 적설 예보가 발생할 경우 태양광 패널의 각도를 최대 각도로 상승시켜, 적설을 예방하고, 강풍예보시 태양 패널의 각도를 바람의 각도에 맞추어 조절하여, 강풍으로 인한 피해를 줄일 수 있도록 회피 구동 시나리오를 구현하였다.

그림 4와 같이 초기 구조 설계를 기반 시뮬레이션을 진행하였으며, 태양광 패널의 각도에 따라 바람이 끼치는 영향과 태양광 패널의 각도에 따른 바람의 흐름을 분석하였으며, 시뮬레이션 데이터를 기반으로 실험실 환경에서 해당 시나리오에 대한 테스트를 진행하였다.



그림 3. 태양광 패널의 파손 및 효율 증대를 위한 회피 구동  
**Fig. 3.** Avoidance drive for damage of solar panel and increase efficiency.

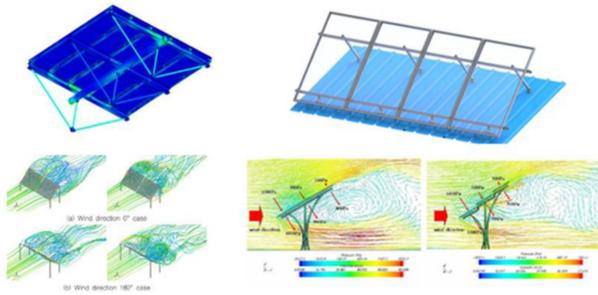


그림 4. 강풍으로 인한 태양광 패널의 회피 구동 시뮬레이션 및 테스트  
**Fig. 4.** Simulation and testing of avoidance driving of solar panels due to strong winds.

### V. 지붕형 태양광 추적형 발전 시스템 기반 교육 연계

본 연구과정 및 결과물은 기존의 태양광 발전 시스템과는 구분되는 지붕 설치 특화 ICT융합 발전 시스템으로서,

본 연구결과의 활용을 위해서 그림 5와 같이 국가직무능력 표준(NCS)의 태양광구조물 설계 능력단위와 데이터 분석 기초 기술 활용 능력단위를 NCS교과로 교육과정을 편성하였다.

교육과정은 NCS 5수준을 기반으로 구성하였으며, 교육생의 기반 이론, 지식을 통해 본 연구의 결과물을 이해하고, 비일상적인 과업을 수행할 수 있는 수준을 대상으로 하고 있으며, 해당하는 관련분야 경력자 및 전문가 대상의 프로젝트 기반의 교육연계를 목표로 한다.

표 1과 같이 연계 교육과정은 총 264시간으로 구성되어 있으며, 본 연구의 연구과정에서 나오는 시뮬레이션 데이터와 결과물에 분석하고, 외부 빅데이터를 활용할 수 있는 교과목을 핵심으로 하고 있다. 이를 통해 기존의 태양광 발전시스템 뿐만 아니라 ICT 융합기술에 관한 지식과 실무 능력을 배양할 수 있도록 하였으며, 이를 바탕으로 신재생에너지 분야 취업 희망자 및 경력/재취업자를 대상으로 단기과정 교육을 운영할 예정이다.

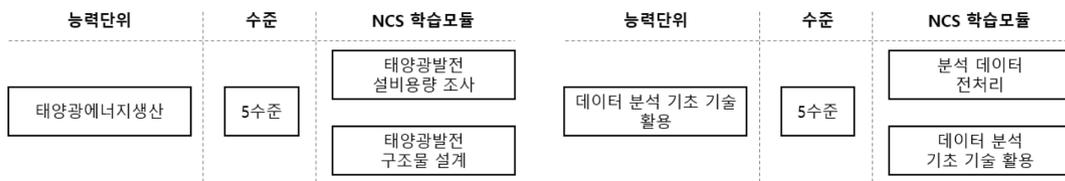


그림 5. 국가직무능력표준 기반 학습 구성  
**Fig. 5.** NCS based learning module configuration.

표 1. 지붕 설치형 태양광발전 시스템 기반 교과목

**Table 1.** Roof-mounted solar power system-based curriculum

구분	능력단위 (분류번호)	시간	능력단위요소명
NSC 교과	태양광발전 설비용량 조사 (2305050113_16v2)	50	음영분석하기
			태양광발전 설비용량 산정하기
	태양광발전 구조물 설계 (2305050118_16v2)	50	태양광발전 구조물 설계하기
			태양광발전 구조물 설계 검토하기
데이터 분석 기초 기술 활용 (2001010510_21v4)	40	데이터 정제하기	
		데이터 통합하기	
		데이터 변환하기	
비 NCS 교과	데이터 분석 기초 기술 활용 (2001010516_21v1)	80	데이터 분석 언어 기본문법 활용하기
			데이터 분석 언어 특성 활용하기
			데이터 분석 자동화 도구 활용하기
총 계	태양광 발전 시스템 설계 및 축소 모형 구현	26	246

## VI. 결론

최근 세계적인 탄소 절감 이슈와 함께 다양한 신재생에너지에 관한 연구가 진행되고 있는 시점에서 생활 밀착형으로 가장 대중화되고 있는 태양광 발전 시스템 중에서도, 최근 설치가 증대되고 있는 지붕형 태양광 발전 시스템의 효율 증대 및 안전 관리를 위한 연구를 수행하였다.

지붕형 태양광 발전의 경우 별도의 토지가 없어도 설치가 가능한 점, 제로에너지 건축의 단계적 의무화와 같은 요소로 인하여 지속적인 설치 증대가 기대되는 분야이며, 특히 한국의 국가적 특성상 산지가 많고 넓은 토기 확보가 쉽지 않은 상황에서 주거 밀집 지역의 지붕, 산업단지 건축물의 지붕은 발전 잠재력이 높은 부분이다.

하지만 기존의 고정형 방식으로는 설치비용 대비 효율이 높지 않은 것이 문제였으나, 본 연구에서는 이를 지붕에 적용하기 유리한 단축 태양광 추적식으로 해소하였으며, 추가적으로 기상청의 정보 등을 활용하여, 계절적 일출, 일몰 정보를 활용함과 함께, 태양광 패널의 파손 및 이로 인한 2차 피해를 예방할 수 있는 ICT 결합형 태양광 발전 시스템을 제안하였다.

본 연구의 통해 개발된 지붕형 태양광 추적형 발전 시스템의 구조물 설계, 시뮬레이션, 실험실 환경 테스트까지 일련의 연구개발 절차 및 단계별 결과물을 기반으로 기존의 태양광 발전 전력변환 및 ESS시스템에 계통과 교과정과는 별도로 ICT기술 융합형 태양광 발전 시스템 및 사고 예측 프로젝트 기반 수업으로 구성하여, 기계설계 분야 및 자동제어, 또는 관련 분야 전문가 양성을 위한 직무능력 향상 과정에 사례로서 적용하게 된다면, 신재생에너지 특성화 인재 육성에 도움이 될 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00400, 루프탑 설치형 스마트 태양광 발전 시스템 개발).

## 참고문헌

- [1] "World Energy Outlook," International Energy Agency, 2020.
- [2] Y. D. Park, "Global Industry Analysis," Mirae Asset, October 2021.
- [3] G. I. Song, "Solar industry developing status and prospects in RPS," *Journal of the KSME*, vol. 52, no. 3, pp. 42-46, March 2012.
- [4] J. W. Kim and S. K. Park, "A study on the establishment of statistics for the package of building energy efficiency improvement policy," *Korea Energy Economics Institute*, June 2021.
- [5] W. Moon, "Trends for separation distance regulations of photovoltaic facilities," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 23-27, June 2022.
- [6] H. K. Song, K. S. Lee, and Y. S. Choi, "Comparison of generation amount and operating time for fixed-concentrated type and single axis trace type of photovoltaic," *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, vol. 28, no. 11, pp. 743-747, November 2015.
- [7] J. H. Hong and E. S. Kim, "Tracking method of inclination-dependent 2-axis solar tracker," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 50, no. 11., pp. 180-187, November 2013.



**우 덕 건 (Deok Gun Woo)\_정회원**

2010년 2월 : 서울과학기술대학교 정보통신융합 공학석사  
2019년 2월 : 서울과학기술대학교 방송통신융합 공학박사  
2021년 2월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 충주캠퍼스 지능형기계과 교수  
<관심분야> IoT시스템, 실내위치인식, 가시광통신



**서 춘 원 (Chun-Won Seo)\_정회원**

2007년 2월 : 한국산업기술대학교 기계설계과 졸업  
2009년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스 석사(수료)  
2010년 9월 ~ 2019년 9월 : (주)네오텍 연구소 책임연구원  
2019년 9월 ~ 현재 : (주)네오솔라텍 연구소장  
<관심분야> 신재생에너지 기술, 기계공학, 자동화기술



**이 호 재 (Hyo-Jai Lee)\_정회원**

2007년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스 공학석사  
2013년 8월 : 충북대학교 바이오시스템공학 공학박사  
2010년 4월 ~ 2018년 12월 : 한국식품연구원 위축연구원  
2020년 4월 ~ 2021년 4월 : 공주대학교 생물산업공학부 연구교수  
2022년 1월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 성남캠퍼스 AI자동화과 교수  
<관심분야> AI, 스마트 팩토리, 스마트팜, 메타버스