

# 무회전축 회전식 수상태양광 시스템 및 실증 데이터 분석

지흥섭<sup>1)</sup> · 김민우<sup>2)</sup> · 배재성<sup>1)</sup> · 정정호<sup>1)</sup> · 이재형<sup>1)</sup>\*

<sup>1)</sup>전자전기컴퓨터공학과, 성균관대학교, 수원, 16419

<sup>2)</sup>아이앤아이월드, 수원, 16417

## The Pivotless Tracking Type Floating Photovoltaic System and the Collected Data Analysis

Hongsuub Jee<sup>1)</sup> · Minwoo Kim<sup>2)</sup> · Jaesung Bae<sup>1)</sup> · Jeongho Jeong<sup>1)</sup> · Jaehyeong Lee<sup>1)</sup>\*

<sup>1)</sup>Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

<sup>2)</sup>INIworld Co., Ltd. Suwon, 16417, Korea

Received November 23, 2021; Revised December 16, 2021; Accepted December 16, 2021

**ABSTRACT:** In this study, the pivotless tracking type floating photovoltaic system was demonstrated successfully. The photovoltaic modules were installed on buoyant objects and the dynamic stability reinforcement mooring gear, tension control equipment and buoyant stabilizer were used to provide enough buoyance and stability and response to the external environment. After installation of the pivotless tracking type floating photovoltaic system, generated solar energy was collected and analyzed.

**Key words:** pivotless, tracking, floating, photovoltaic, module

### 1. 서론

지구 온난화 가속화와 원자력발전의 대형재난 위험성과 밀접도로 인해 최근 태양광, 풍력, 수력, 지열, 바이오매스 등의 신재생에너지에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. 세계 각국은 1997년 교토의정서 채택 및 2015년 파리협정을 통해 기후변화 문제의 심각성을 공유하고 이를 해결하기 위해 노력하고 있다. 특히 대한민국 정부가 2050년까지 탄소 순배출량 0을 달성하겠다는 목표를 사실상 확정함에 따라 국내 신재생 에너지에 대한 관심은 그 어느때보다 높다고 할 수 있다. 국내의 경우 신재생에너지원별 발전량을 살펴보면 태양광 발전이 차지하는 비중은 전체의 54%로 다른 에너지원에 비해 큰 비중을 차지하고 있는데 이는 태양광발전은 다른 신재생에너지원과 비교하여 높은 발전 효율성, 자유로운 설치장소 선택, 무소음, 좋은 경제성 등, 대규모 발전을 하기에 유리한 장점을 갖고 있기 때문이다<sup>1-5)</sup>. 일반적으로 태양광 발전 시스템은 토지 임야와 같은 육상에 주로 설치했으나 농지나 산림의 파괴와 같은 생태계 훼손에 대한 한계를 갖고 있어 호수나 하천 등 수면위에 설치하는 수상태양

광 발전에 대한 관심이 커지고 있다. 최초의 상업용 수상태양광 발전시스템은 2007년에 SPG에 의해 설치되었으며<sup>6)</sup> 이후 전세 계적으로 적용되고 있다. 수상태양광은 주로 저수지나 담수호, 활용도가 낮은 댐과 같은 유휴수면을 활용해 전력을 생산하는데 발전시스템 설치를 위한 대규모 부지 확보가 용이하고 먼지 등에 의한 오염을 저감시킬 수 있으며, 수면에 태양광 발전 시스템을 설치함으로써 냉각 효과로 인한 발전 효율을 증가시킬 수 있다. 또한 일사량 차단으로 인한 녹조 현상을 완화시키고 물 증발 감소를 통해 수자원 보호 및 어류 서식에 유리한 환경을 조성할 수 있을 뿐만 아니라 육상태양광과 비교하여 발전량을 증가시킬 수 있다<sup>7-8)</sup>. 수상태양광 발전시스템의 구성은 발전을 하기 위한 태양광 모듈, 모듈 지지용 구조물과 같은 일반적인 시설물 외에 추가로 물 위에 시스템을 부유하기 위한 부력장치와 시스템을 고정하기 위한 계류장치가 추가적으로 필요하다<sup>9)</sup>. 수상태양광은 여러 형태가 있는데 구조체와 부력체가 일체화된 부력 일체형, 둘이 분리되어 있는 프레임형 그리고 부력체가 태양을 추적하여 회전하는 회전형이 있다. 이들 중 회전형은 태양광 모듈이 설치된 부력체가 태양을 따라 회전하여 발전효율을 증가시키는 장점이 있기 때문에 육상태양광 발전 시스템에도 많이 사용이 되는데<sup>10)</sup>, 이러한 회전형 시스템을 수상 태양광 시스템에 적용하기 위해서는 부력체를 바닥에 고정시키기 위해 중심

\*Corresponding author: jaehyeong@skku.edu

축을 수면바다에 설치 후 부력체를 중심축에 연결하는 방법을 사용해야한다. 하지만 수심변화에 따른 상하 움직임을 고려해야 하는 등 설치 난이도가 높으며 고정식에 비해 건설비용이 2-3 배 높기 때문에 소규모 발전시설에 한해 적용되는 단점이 있다. 본 연구에서는 무회전축 회전식 수상태양광 발전 시스템을 개발하여 기존의 일반적인 회전식 수상태양광 발전 시스템을 개선하고자 하였다. 본 시스템을 통해 회전식 시스템 구동에 필요한 전력소모량은 줄이면서 구동시스템의 경량화를 이룰 수 있었으며 태양을 추적함으로써 고정식에 비해 증가한 발전량을 얻을 수 있었다.

### 2. 실험방법

무회전축 회전식 수상태양광 발전시스템은 물위에 부유시키기 위한 부유체, 수위의 변화에 대응하며 부유체를 고정시키기 위한 계류장치로 구성되었으며 이외에 복원력 강화 계류장치, 텐션 조절 장치, 부유 안정화 장치가 사용되었다. 또한 생산된 전력을 전송하고 전력계통에 연계하기 위해 인버터(DSP-123K5, Dasstech, Korea)가 설치되었으며 일사량 측정을 위해 경사 일사량계(Vantage Pro 2, Davis Instruments)가 설치되었다. 본 연구에서 제안한 무회전축 회전식 수상태양광 발전 시스템의 출력을 비교하기 위해 고정식 수상태양광 발전 시스템을 동일한 장소에 설치하였으며 각각의 시스템은 310 W의 출력을 갖는 결정질 실리콘 태양광 모듈(Q.PEAK-G5, Hanwha Q cell, Korea) 5매를 직렬로 연결하여 시스템을 구성하였다.

### 3. 결과 및 고찰

수상태양광 발전시스템은 바람이나 파도의 변화 및 수위변화를 극복해야 하며 이러한 외부 환경의 변화에서도 정남향을 유지해야 하며 지정된 위치를 벗어나지 않아야 한다. 위와 같은 조건을 만족시키기 위해서는 계류기술의 확보가 중요하다. 본 연구에서는 복원력을 갖는 켈프 방식의 길이 가변형 계류장치가 사용되었다. Fig. 1에 보이는 바와 같이 부유체가 설정된 위치로부터 이탈하는 것을 방지하기 위해 부유체와 경사를 형성하

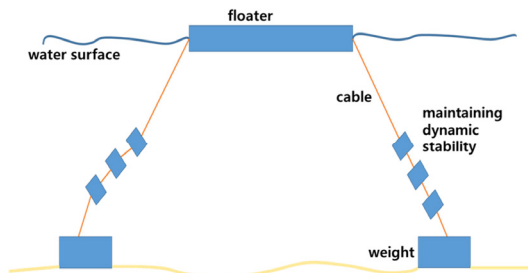


Fig. 1. Schematic of the pivotless tracking type floating photovoltaic system

며 계류장치가 연결되었는데 기존 방식의 경우, 바람이나 파도 혹은 조수간만등에 의해 수위가 변동했을 때 부유체와 무게추의 연결부재가 장력을 상실해서 부유체가 고정되지 못하는 문제가 발생했으며 이로 인해 부유체가 회전하여 태양광 모듈에 입사되는 태양광의 각도를 변동시키게 되었고 결과적으로 발전 효율을 떨어뜨리는 문제점이 있었다.<sup>9)</sup>

Fig. 2와 3은 무회전축 회전식 수상태양광 시스템의 설치과정 및 완성된 시스템을 보여주고 있다. 수상태양광 시스템은 구조체의 요동을 제어해줄 수 있는 텐션조절 장치가 각 모서리에 설치되었으며 각 모듈은 경사각을 15°~30°까지 조절 가능하며 본 시스템은 27°의 경사각으로 설치가 되었으며 회전각은 270°로 설정되었다.

본 연구에 사용된 가변형 계류장치는 연결부재로부터 연결되는 가상선에 수직 향으로 발생하는 회전력과 가상선과 동일한 방향으로 발생하는 원심력 둘 중 하나를 연결부재에 인가해서 연결부재의 장력을 유지시키는 복원력 발생부가 적용되었으며 이를 통해 외력에 의한 수면의 수위 변동에 따라 연결부재의 길이가 조절되어 부유체의 위치와 방향을 안정적으로 유지할 수 있었다<sup>11)</sup>. 고정체는 수중 저면에 설치되어 고정되었고 부유

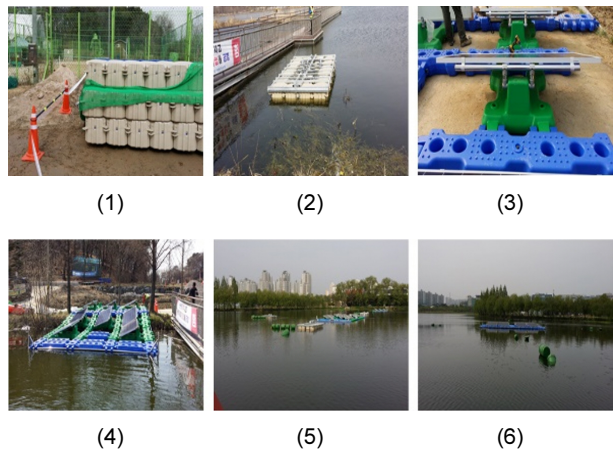


Fig. 2. (1) pontoon, (2) tension adjustment equipment, (3) floater and module, (4) floating of buoyancy (5), (6) installed floating photovoltaic system



Fig. 3. Top view of the pivotless tracking type floating photovoltaic system

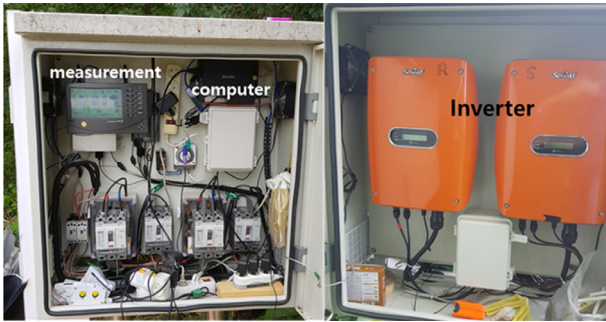


Fig. 4. Measurement equipments of the photovoltaic system

체의 하단과 연결되어 이를 지지하며 복원력 발생부 중에서 가장 위에 배치된 곳을 기준으로 연결부가 절곡되어 장력을 유지시키는 구조이다. 복원력 발생부에 의한 복원력은 회전력을 이용한 것인데 이는 물체를, 중심축을 기준으로 회전시키는데 필요한 힘을 의미한다. 회전축에 대한 회전력은 회전축에 수직인 면에 대한 힘의 성분과 축으로부터 이 힘의 성분방향에 이르는 가장 가까운 거리의 곱으로 나타낼 수 있으며, 축 중심에서 힘이 작용하는 점까지의 거리와 그에 수직인 방향으로 작용하는 힘이 복원력 발생부에 작용한다. 부력체 각각은 독립적으로 연결되어 있어 조류나 바람에 의한 부력체의 요동이 시스템 전체에 하중을 주지 않아 외력에 의한 시스템 안정성이 뛰어난 것이 장점이다. 발전량 측정을 위해 모니터링 시스템을 구축하였는데 지상에 수상태양광 시스템과 연결된 데이터 기록장치와 인버터를 설치하였다.

상기의 가변형 계류장치를 적용한 무회전축 추적식 수상태양광 시스템은 경기도 수원 시에 위치한 일월 저수지에 설치되었으며 회전식 발전 시스템과 고정식 발전 시스템을 각각 설치하여 2020년 4월 1일부터 2020년 6월 30일 총 3개월간 발전량을 수집하였다.

Fig. 5에서 7은 일사량에 따른 회전식 발전 시스템의 발전량과 고정식 태양광 발전 시스템의 발전량을 나타내고 있다. 그림

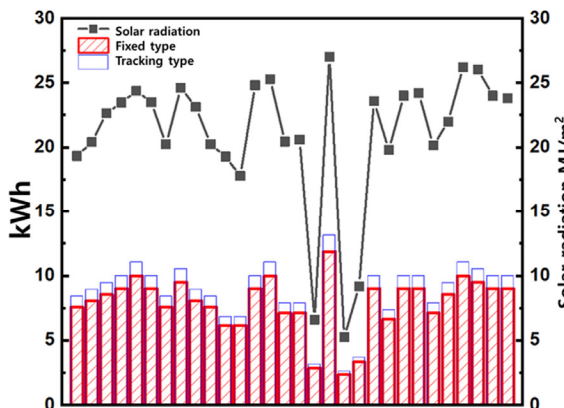


Fig. 5. Comparison between fixed type and tracking type (2020. 4.1.~4.30)

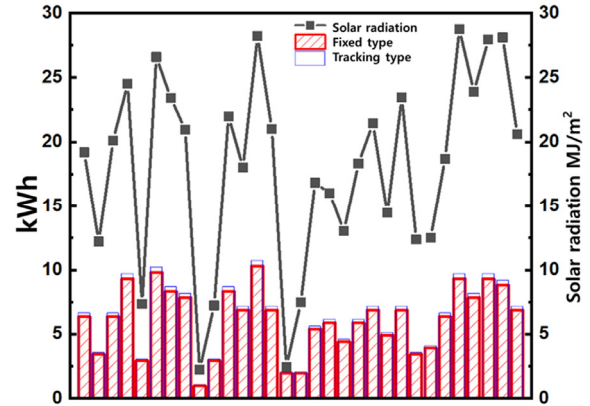


Fig. 6. Comparison between fixed type and tracking type (2020. 5.1.~5.31)

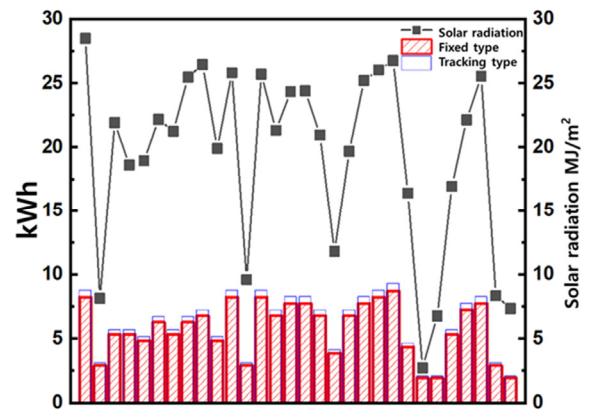


Fig. 7. Comparison between fixed type and tracking type (2020. 6.1.~6.30)

에서 보이는 바와 같이 실증운전을 통해 측정된 일사량은 발전량과 밀접한 관계를 보이고 있는데 일사량이 증가함에 따라 발전량은 증가하는 추세를 보이며 일사량이 감소할 경우 발전량도 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 회전식 발전 시스템은 동일한 환경에서 고정식 발전 시스템에 비해 향상된 발전량을 보여주었는데 고정식 대비 회전식의 발전량은 4월 평균 10.73%, 5월 4.27% 그리고 6월의 경우 6.52% 발전량이 증가하였다. 또한 계절에 따른 모듈의 경사각과 회전각을 조절함으로써 좀 더 나은 발전량을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 회전식 수상태양광 발전시스템의 단점을 개선하기 위한, 무회전축 회전식 수상태양광 발전시스템을 성공적으로 선보였으며 이를 통해 대규모 회전식 수상태양광 발전시스템의 설치비용을 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. 태양광 모듈이 설치된 부유체가 수위의 변화에 따라 움직이는 것에 대응하기 위해 복원력강화계류장치, 텐션조절장치, 부유안정화장치를 사용하여 시스템을 구성하였고 3개월간 수집된

태양광 발전 시스템의 발전량 분석을 통해, 무회전축 회전식 수상 태양광 시스템이 정상적으로 작동하는 것을 알 수 있었다. 데이터 분석을 통해 회전식은 고정식에 비해 발전량이 평균적으로 약 7.17% 증가한 것을 확인할 수 있었으며, 본 시스템을 통한 장기적인 모니터링을 통해 무회전축 회전식 수상태양광 발전 시스템의 추가 분석을 할 예정이다.

## 후 기

This work was supported by the Korea Electric Power Corporation (Grant number : R17XA05-1).

## References

1. Parida, B., Iniyana S., Goic R., "A review of solar photovoltaic technologies," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 15, 1625-1636 (2011).
2. Singh, D., Chaudhary, R., Karthick, A. "Review on the progress of building-applied/integrated photovoltaic system," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 28, 47689-47724 (2021).
3. Mohammed, H., Gomes, C., Hizam, H., Ahmadipour, M., Heidar, A., Chen, H., "Multi-objective optimization and multi-criteria decision-making methods for optimal design of standalone photovoltaic system: A comprehensive review," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 135, 110212 (2021).
4. Venkateswari, R., Sreejith, S. "Factors influencing the efficiency of photovoltaic system," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 101, 376-394 (2019).
5. Hernandez-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, G., Alonso-Gomez, V., "A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance," *Sol Energy*, 188, 426-440 (2019).
6. Kim, S., Baek, S., Choi, K., Park, S., "Design and installation of 500-kW Floating Photovoltaic Structures Using High-Durability Steel," *Energies*, 13, 4996 (2020).
7. Kim, H., Kwak, S., Yoon, M., Kim, I., Effect of a Floating Photovoltaic System (FPV) at Chungju Dam (Cheongpung Lake) on Water Quality, *KJEE* 52(4), 293-305, (2019).
8. 권오국, 이수민, 권진성, 조현식, 차한주, "발전운영 데이터 분석을 통한 육상대비 수상태양광발전시스템의 발전효율계수 도출," *Trans. Korean Inst. Electr.*, 68, 717-724 (2019).
9. 김용열, 최형철, 김희곤, "가변형 지지로프가 구비된 수상 태양광 발전시스템," 한국등록특허 제10-1162473호 (2012).
10. Eke, R., Senturk, A., "Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system," *Sol Energy*, 86, 2665-2672 (2012).
11. 김민우, 김현준, "복원력을 갖는 켈프 방식의 길이 가변형 계류장치," 한국등록특허 제10-1379675호 (2014).