

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.2.181>

IIBC 2019-2-25

## 다습환경 태양광발전시스템 안전성 평가

### Safety Evaluation of Solar Power System in High Humidity Environment

윤용호\*

Yongho Yoon\*

**요약** 수상태양광발전 시스템은 건물옥상이나 산지 등에 개발되는 옥상 태양광 발전과는 달리 주로 댐이나 저수지 등 수면위에 부력체를 이용하여 태양광 모듈을 설치하는 새로운 개념의 발전기술로서 국내 저수지 수면의 약 5% 정도만 활용하더라도 약 4,170 MW 규모의 발전시설 건설이 가능할 만큼 개발 잠재량이 풍부하여 환경에 대한 훼손이 없이 국토의 효율적 이용이 가능한 장점이 있다. 그러나 옥상과 달리 수면위에서 태양광 발전을 하기 위해서는 부력체를 이용하여 모듈 등 발전 시설을 수면 위에 설치하여야 하며, 이와 더불어 수위 및 유속의 변동 등에도 안정적으로 시설을 유지할 수 있는 기술이 요구된다. 이러한 수상태양광발전 시스템에 추가적으로 안전성을 평가할 수 있는 기술기준이 현재 정립이 되어 있지 않으며 본 논문을 통해 수상태양광발전 시스템의 표준화를 위해 고려할 사항들을 정리하였다.

**Abstract** The floating photovoltaic system is a new concept in the renewable energy technology. That is similar to land based photovoltaic technology except floating system. So the system needs buoyant objects, mooring, ect, besides modules and supports, and that is able to withstand in water level changes and wind strength. Therefore the floating photovoltaic system is much different from land photovoltaic system. Unlike land-based photovoltaics developed on the rooftop and in the mountains of buildings, The floating photovoltaic power generation is a new concept in power generation technology in which photovoltaic modules are installed using buoyancy on the surfaces of dams and reservoirs. It is abundant enough to construct a power plant with a power generation potential of about 5% and a power generation capacity of 4,170MW, so that the land can be efficiently used without destroying the environment. In this paper, the technical standard for evaluating safety in addition to the water-state photovoltaic power generation system is not established yet, and the items to be considered for standardization of the water-state photovoltaic power generation system are summarized in this paper.

**Key Words** : Floating Photovoltaic System, Safety, Technical Standard, Photovoltaic Power Generation

## 1. 서론

다습 지역이라 함은 하천 저수지 등의 물위 즉 수면과 논, 유수지 등과 같이 상부면 이 일정 기간에는 토양 또

는 진흙 상태로 있고, 일정 기간에는 물로 채워지는 지역이라 할 수 있다. 이러한 지역은 대부분 상부면 이 평탄도를 유지 하고 있으며, 태양광이 원활이 도달할 수 있는 넓고 평탄한 면적을 확보하고 있다. 넓고 평탄한 다습 지

\*정회원, 광주대학교 전기전자공학부  
접수일자 2019년 3월 3일, 수정완료 2019년 4월 3일  
게재확정일자 2019년 4월 5일

Received: 3 March, 2019 / Revised: 3 April, 2019 /  
Accepted: 5 April, 2019

\*Corresponding Author: yhyoon@gwangju.ac.kr  
School of Electrical and Electronic Engineering,  
Gwangju University, Gwangju, Korea

역을 활용하여 태양광발전 시스템을 설치한다면, 태양광을 이용한 효율적인 전력 생산이 가능하며, 국토 또한 효율적으로 활용 할 수 있다.

그림 1은 다습환경 태양광발전 시스템 조감도로 다습 지역은 일반적으로 일사가 방해받지 않는 평탄한 구조로 되어 있어 기존의 육상 태양광을 설치할 때 필요하였던 평탄화 작업을 위한 토목 공사비 등 태양광 설치 부대비용을 줄일 수 있다. 그러나 다습 지역에 설치되는 태양광발전 시스템은 물위에 태양광 모듈을 설치하여야, 반사 및 흡수에 의한 태양광 에너지의 손실을 줄일 수 있다. 또한 물위에 태양광 모듈을 설치하기 위한 방법은, 물위에 뜨는 부력을 가지는 구조물을 설치하거나, 수면 위에 모듈을 고정시키는 방법을 사용하여야 한다. 그러므로 다습 환경에 설치되는 태양광발전 시스템은 육상태양광발전 시스템과 달리 수상위에 시스템을 구성하기 위한 추가적인 사항이 필요하게 된다.



그림 1. 다습환경 태양광발전 시스템 조감도  
Fig. 1. Humidity environment PV system bird's eye view

다습환경 태양광발전 시스템의 위험적 요소로 1)질 나쁜 자재로 인한 수질 환경오염, 2)육상 대비 1.5배 이상의 설치비용, 3)습기에 의해 내구성이 줄어드는 태양광 모듈, 4)유휴지를 가진 기관, 지자체의 상업화 의지 등을 가지고 있다. 그러나 1)육상 대비 동일 모듈 설치 시 10% 이상의 출력 향상, 2) Bifacial 모듈의 경우 육상에 설치 대비 수면에 의한 반사로 20% 이상의 출력 향상, 3)도심 내 유휴수면 이용으로 전력을 얻을 수 있음, 4)햇빛 노출 면적을 줄여 녹조 발생 방지 등 다습환경 태양광발전 시스템에 대한 경제적, 환경적 가치에 대한 내용을 그림 2에서 보여주고 있다<sup>[1]</sup>.

따라서 본 논문에서는 다습환경 태양광발전시스템 안전성 평가를 위해 필요한 표준화 및 기술기준과 요소별 평가기술을 확립하기 위해 필요 고려사항들에 대해 살펴 보는데 목적을 두고 있다.



그림 2. 다습환경 태양광발전 시스템 경제적, 환경적 가치  
Fig. 2. Humidity environment PV system economic and environmental value

## II. 다습지역 태양광발전 시스템<sup>[2-6]</sup>

### 1. 다습지역 태양광발전 시스템 개발 필요성

태양광모듈과 관련된 전력계통 설비를 수상에서 부유 지지하기 위한 부유 구조체와 계류시스템은 경제성과 안정성을 동시에 추구하기에는 기술적으로 어려운 공정으로 상용화를 위한 원가절감 기술 개발이 필요하며 다습 지역 태양광발전 시스템 개발의 필요성은 다음과 같다.

- 기술개발을 통하여 가격을 낮출 수 있다.
- 환경에 보호에 필요하다.
- 국토가 좁은 지역에 필수적이다.
- 개발을 통하여 국내 태양광 시장 활성화
- 해외시장 개척에 필요하다.

따라서 일반 수상 등 다습 환경에 적합하고 경제성을 확보한 비즈니스 모델이 적용된 환경 맞춤형 시스템을 개발하여 환경적 요소에 따른 설치계약이 없고, 태양광발전 성능을 향상시키는 것이 중요하다. 이와 관련하여 수상태양광발전 시설 구조용 부유 구조체 및 계류시스템에 대한 다음과 같은 기술개발이 필요하다.

- 1) 수상태양광발전 시스템의 본격적인 상용화를 위해서는 육상 태양광발전 시스템과 비교하여 설치비가 동등 내지 약간 이상의 가격대 형성 요구되며 이를 위하여 최적화된 부유 구조체와 계류시스템의 개발.
- 2) 수상태양광발전 설비는 저수지, 댐 등의 수면에 위치하는 태양광발전 설비로 설치 지역의 환경조건

은 빈번한 수 위 변동, 바람, 파도, 조류 등의 일반적인 자연환경과 태풍 등 기상 악화조건 발생 시에도 부유 구조체가 안정하게 견딜 수 있는 안정성이 있는 기술.

- 3) 수상태양광발전은 수면이라는 특수성 때문에 구조체의 부식현상에 유의해야 하며 유지보수의 어려움이 따르고, 점검시 안전사고 등이 발생 될 수 있는 우려가 있으므로 이를 위한 안전한 내식성을 가진 부유 구조체의 개발과 점검 및 안전시설을 설치한 부유구조체의 기술.
- 4) 수상에서 25년 이상 발전설비를 유지할 수 있는 부유 구조체 및 계류시스템 부품소재 내구성 확보기술.
- 5) 수상태양광발전 시스템에 대한 검증은 부족한 실정으로 수상태양광발전이 발전원으로서 유용성과 수상환경조건에서의 안정성 등을 검증하고 수상실증 플랜트 설비가 상용화단계까지 진입하기 위한 기술.

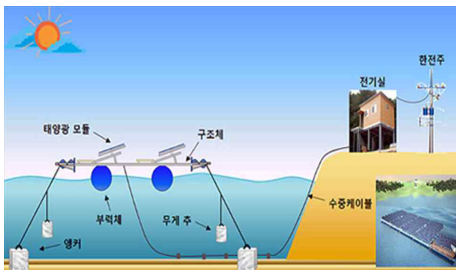


그림 3. 수면 위를 활용한 태양광발전시스템 개념도  
 Fig. 3. Concept of solar power system using water surface

수면 위에 설치하는 수상태양광발전 시스템은 기존의 농지 또는 임야를 사용하지 않고 유히수면에 설치하는 재생에너지원으로 그림 3은 수상의 수면 위를 활용한수상태양광발전 시스템의 개념도로, 각 적용품의 설명은 다음과 같다.

- 1) 부유체와 구조체 : 태양광모듈을 설치할 수 있는 수상부유구조체
- 2) 계류시스템 : 수상부유구조체의 수위변동 대응과 모듈어레이 방위각을 유지하기 위한 장치

## 2. 육상 대비 수상태양광시스템 원가 분석

그림 4는 육상 대비 수상태양광발전 시스템에 대한 원가분석(1MW 기준) 결과로 다습환경이 육상에 비해 19%

(단, 토지비용 제외) 이상의 비용이 증가 하고 있다. 가장 많은 비용의 증가는 구조물 즉 부력체와 제작 설치 경비로 육상 대비 44% 증가하고 있으며 두 번째로 높은 비용은 직류전선으로 (DC cable) 육상 대비 50% 증가하는 결과로 수상태양광발전 시스템 비용 상승에 가장 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

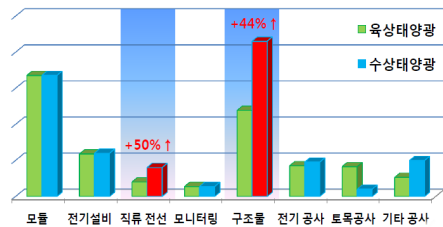


그림 4. 육상 대비 수상태양광시스템 원가 분석 (1MW 기준)  
 Fig. 4. Cost-based water conditioning system cost analysis

## III. 다습지역 태양광발전 시스템 표준화

### 1. 다습지역 태양광발전 시스템 표준화 고려사항

다습환경인 습지 및 수상환경에서의 태양광시스템의 내구성 증대와 향상된 발전성능 개발을 통한 가격 경쟁력을 확보와 동시에 설치환경에 따른 표준화 개발이 필요하다. 습지, 수상 등 다습환경에 특화된 환경에서의 태양광발전 시스템 표준화와 다습환경 태양광발전 시스템의 안전성을 평가할 수 있는 기술을 확보하는 것이 중요하며 다음의 사항들에 대해 정립 및 표준화 규격이 필요하다.

- 일반사항 및 용어 정의
- 시스템 선정 및 설계
- 수중 태양광발전 시스템 평가사항
- (각 부품에 대한평가사항, 기계적 구조적사항, 전기적 위험에 대한 보호 포함)

다습환경 태양광발전 시스템 분야에 적용되는 표준화 및 각 요소별에 해당되는 시험평가 분야를 그림 5에서 보여주고 있으며 각 요소별 평가기술에 대한 고려사항 및 표준화를 위한 기본사항을 다음과 같이 보여주고 있다.

- 1) 다습환경 및 기후적요소 확인 및 수중 태양광발전 시스템 평가 절차 수립

- 다습환경에 다른 안전성 위험요소 조사 (습지, 수상에 대한 특수한 사항)
  - 태양광 발전시스템 구조적 및 기계적 요소 파악 (부유물 및 지지대에 대한 요소해석)
  - 태양광 발전 시스템 설계 data에 대한 시험요소 분석
- 2) 다습환경 태양광발전시스템에 대한 안전성평가 표준화
- 다습환경 태양광발전시스템에 대한 기계적, 전기적 안전성에 대한 시험표준절차 확립
- 3) 다습 환경 태양광 발전 시스템에 대한 안전성 평가 표준화
- 전기보호장치 시험평가
  - 접지시스템 시험평가
  - 전기부하, 전력계통 평가



그림 5. 다습환경 태양광발전 시스템 표준화  
Fig. 5. Humidity environment PV system standardization

## 2. 다습지역 태양광발전 시스템 표준화 내용 및 범위

다습환경 태양광발전 시스템 분야에 적용되는 표준화 및 기술기준으로 정립되기 위해 그림 6과 같이 표준화 내용 및 범위를 보여주고 있으며 표준화 기술기준을 위한 준비 및 고려사항들을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 국내외 실태조사 및 자료 분석
- 다습 환경에 대한 자연 및 기술적 환경 분석
    - 다습환경에 적합한 태양광발전 시스템을 구축하기 위해서는 자연적인 환경 (즉 기상조건 및 재해 현장 접근수단 및 수질의 특성), 사용자의 지리적

분포, 다습환경에 대한 생태계 고찰, 현재의 기술적인 수준 및 통신 및 현지 경제적인 상황을 고려하여 환경을 파악한다.

- 주요 해외 인증기관 실태조사 및 자료 분석
  - TUV-SUD, IEC, IECRE 등 국제적인 평가방법에 대한 조사 및 분석
  - 2015년부터 시행되고 있는 풍력발전 시스템에 대한 기술기준을 참조 및 적용하여 다습환경 태양광 발전 시스템에 적합한 표준화 개발

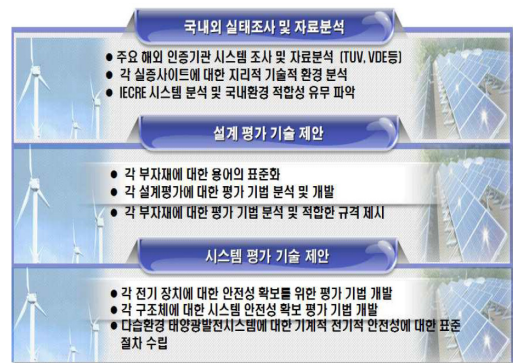


그림 6. 표준화 내용 및 범위  
Fig. 6. Standardization contents and scope

### 2) 설계평가기술 제안

- 다습환경에 대한 태양광발전 시스템에 대한 각종 용어 표준화
  - 다습환경에 사용되는 각 부자재에 대한 용어정의
- 설계평가에 대한 요소기술 분석
  - 태양광발전 시스템 제조설계에 대한 각 사항들을 검토하고 설계사양 및 관련 규격에 대한 평가 사항들을 분석하여 제어, 보호, 설계, 구조, 전기등에 대한 평가기술 분석
- 다습환경 태양광발전 시스템의 각 부자재에 대한 평가 기술분석 및 적합한 규격 표준화
  - 각 구조체 대한 시험항목별 국내외의 규격 분석 및 평가방법 연구
  - 각 전기 부품에 대한 국내외의 규격 분석 및 평가 방법 연구
  - 다습환경에 대한 각 부자재 특성 연구

### 3) 시스템 평가 기술 제안

- 시스템 전기 분야에 대한 요소기술 분석

- 다습환경에 대한 전기안전, 배전상태, 현장 정보, 발전/배전시방, 현지 관련 규정 조사
- 시스템 안전기능 검사에 대한 시험평가 기술 확보
- 전기장치에 대한 구조, 조건, 보호등급, 차단장치, 과부하, 전원품질에 대한 시험평가 기술 분석
- 지지 구조에 대한 안전기능에 대한 시험평가 기술 확보
- 보호장치, 접지시스템, 낙뢰보호, 비상시, 이상시 안전기능에 대한 시험평가 기술 분석

가. 접지시스템 표준화 및 평가기술

그림 7은 다습환경 태양광발전시스템 안전성 평가를 위한 접지시스템 표준화 및 평가기술을 수립하기 위한 내용으로 다습 환경에서의 태양광발전 시스템의 안전 기능에 대한 시험 평가기술을 확보하기 다음과 같은 내용을 기반으로 표준화 정립하는 것이 필요하다.

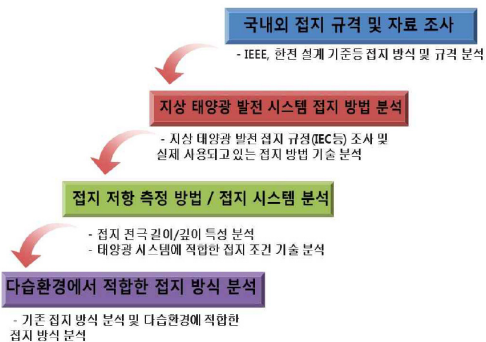


그림 7. 접지시스템 표준화 및 평가기술  
 Fig. 7. Grounding system standardization and evaluation technology

- 주요 접지 국제규격 및 자료 분석
  - IEEE, 한전 설계 기준 등 국내외 접지방식 및 규격 분석
  - 접지 저항 측정법에 관한 자료 조사
  - 다습환경 태양광 발전 시스템에 적용 가능성 검토
- 지상 태양광 발전 시스템의 접지 방법 분석
  - 지상 태양광 발전시스템에서 사용되고 있는 접지 규격 및 방식 조사
  - 태양광발전시설 외 전력시설의 접지방법 조사
  - 접지가 어려운 곳의 접지 방법 확인 및 다습환경 적용 가능성 검토
- 접지 저항 측정 방법 및 접지 시스템 분석

- 접지방식의 접지 전극 특성에 따른 측정방법 분석
- 측정 방법에 따른 접지 저항 측정 및 비교 분석
- 지상 및 다습 환경에 따른 접지 저항 측정 및 결과 분석

나. 서지 보호 시스템에 대한 평가 기술

그림 8은 다습환경 태양광발전시스템 안전성 평가를 위한 서지보호시스템 표준화 및 평가기술을 수립하기 위한 내용으로 다음과 같은 내용을 기반으로 표준화 정립하는 것이 필요하다.



그림 8. 서지보호시스템 표준화 및 평가기술  
 Fig. 8. Surge protection system standardization and evaluation technology

- 지상 태양광 발전 시스템 피뢰 설비에 관한 조사
  - 낙뢰 피해 사례 분석
  - 지상 태양광 발전 시스템의 피뢰 설비와 설치 규격 문헌 조사
  - 지상 태양광 발전 시스템에 설치되어 있는 피뢰설비의 방식 현황 조사
- 다습 환경에서의 태양광 발전소 피뢰 설비 설치 제약 요소 분석
  - 접지선의 저항
  - 접지봉의 저항 요소
  - 대지 저항률에 영향을 미치는 요소
- 다습 환경 태양광 발전소에 적절한 피뢰 방식 제시
  - 지상 태양광 발전 시스템의 피뢰 설비 적용 및 비교 분석
  - 다습 환경 태양광 발전소에 대한 피뢰 레벨 선정
  - 적절한 피뢰 방식 적용

다. 수상 태양광 발전 시스템의 전기 소재, 부품에 대한 시험 평가 기술 분석

그림 9는 다습환경 태양광발전시스템 안전성 평가를 위해 부품시험 평가기술을 수립하기 위한 내용으로 다음과 같은 내용을 기반으로 표준화 정립하는 것이 필요하다.

- 수상 태양광 발전 시스템에 사용되는 각 현장 사용 부품에 대한 평가
  - 수상 태양광 발전 시스템에 사용되는 전기 소재, 부품 조사
  - 각 부자재에 대한 규정 및 규격 조사
  - 수상 태양광 발전 시스템에 적합성 판정
  - 수상 태양광 발전 시스템에 적용 규격 확립



그림 9. 수상태양광발전 시스템 부품시험 평가기술  
Fig. 9. Water condition power generation system parts test evaluation technology

#### IV. 결론

일반 수상 등 다습 환경에 적합하고 경제성을 확보한 비즈니스 모델이 적용된 환경 맞춤형 시스템을 개발하여 환경적 요소에 따른 설치제약이 없고, 태양광발전 성능을 향상시키기는 것이 중요하다. 또한 육상 대비 동일 모듈 설치 시 10% 이상의 출력 향상, Bifacial 모듈의 경우 육상에 설치 대비 수면에 의한 반사로 20% 이상의 출력 향상, 도심 내 유희수면 이용으로 전력을 얻을 수 있고, 햇빛 노출 면적을 줄여 녹조 발생 방지 등 다습환경 태양광발전 시스템에 대한 경제적, 환경적 가치를 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 경제적, 환경적 가치를 가지고 있는 다습환경 태양광발전시스템 안전성 평가를 위해 필요한 표준화 및 기술기준과 요소별 평가기술을 확립하기 위해 필요사항들에 대해 살펴보았다.

#### References

- [1] Y. K. Choi, J. S. Yi, "The Technique of Installing Floating Photovoltaic Systems", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.14, No.9, pp. 4447~4454, 2013.
- [2] K. Trapani, M. R. Santafé, "A Review of Floating Photovoltaic Installations : 2007-2013," Progress in Photovoltaics : Research and Applications Vol. 23, pp. 524~532, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/pip.2466>
- [3] H. H Kim, K. H. Kim, "A Study on Operating Characteristics and Design Factors of Floating Photovoltaic Generating Facilities," Trans. KIEE. Vol. 66, No. 10, pp. 1532~1539, 2017.  
DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.10.1532>
- [4] Korea Institute of Energy Research "The Establishment of New and Renewable Energy Resource Map & Utilization System KIER-B12415", pp. 299.
- [5] K-water Institute "SIHWA Lake Sea Floating Photovoltaic R&D Result Report", pp. 3~7.
- [6] Alok Sahu, NehaYadav, K.Sudhakar, "Floating photovoltaic power plant: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews pp. 815~824, 2016.

#### 저자 소개

##### 윤 용 호 (정회원)



- 성균관대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 전동기 제어 및 신재생 에너지

※ 이 연구는 2019년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.