

수상태양광 발전시스템 설계 및 요소기술 분석

Design and Analysis of State-of-the-Art Technologies for Development of Floating Photovoltaic System

진태석^{1*}

Taeseok Jin

〈Abstract〉

Information presented in this study is intended to inform candidates as they prepare to design and structure the floatovoltaics solar power system. A developed floatovoltaics solar power generation results from the combination of PV plant technology and PV floating technology. This floating-based PV system is a new concept for PV development.

The PV floating technology opens new opportunities to give value to unused areas so far while preserving valuable land for more adapted activities. Therefore the land-use conflicts are avoided and the environmental impact is minimized. Therefore the technology offers an interesting opportunity to regions facing on drought during summer time without any negative impact to the eco-system.

This study describe the basic components of a floatovoltaics solar power system. A typical system consist of floating system and solar modules, a control device, rechargeable batteries, a load or device and the associated electrical connections.

The floating system is specifically designed to keep all metallic components above water leaving only 100% recyclable, closed cell foam filled HDPE plastic floats in contact with the water.

As the first case that can maximize the power generation efficiency of PV internationally, it is expected that this study will be utilized as a primary guide for future development of floating type PV system.

Keywords : Floatovoltaics, PV system, HDPE, Solar panel. Energy

^{1*} 정희원, 교신저자, 동서대학교 메카트로닉스공학과 ^{1*} Corresponding Author, Professor, Dept. of Mechatronics Engineering, DongSeo University
교수, 工博, e-mail : jints@dongseo.ac.kr

1. 서 론

최근 재생에너지 관련한 발전 및 시스템에 관한 다양한 연구 내용이 제안되고 있다. 그중 태양 에너지는 지구상에 있는 거의 모든 에너지의 원천으로 인식되어 태양광을 이용한 발전시스템 개발 및 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만, 인간은 여러 가지 방법으로 태양에너지를 활용한다. 예를 들어, 먼 옛날 지질시대의 식물성 물질인 화석연료는 운송과 발전용으로 사용되는데, 본질적으로는 수백만 년 전부터 저장된 태양에너지이다. 마찬가지로, 바이오매스는 태양에너지를 연료로 변환시켜 주어 열이나 수송 혹은 발전용으로 사용할 수 있게 된다[1].

기계적 에너지 혹은 수송용으로 수백 년 동안 사용된 풍력에너지는 태양에너지에 의해 가열된 공기나 지구의 자전에 의해 만들어진 공기의 흐름을 이용한다. 오늘날 풍력터빈은 전통적인 사용뿐 아니라 바람의 에너지를 전기로 변환한다. 심지어 수력발전도 태양으로부터 유래한 것이다. 수력은 태양에 의한 물의 증발에 의존하고, 비로 되어 지구로 되돌아오면 댐에 물을 제공한다. 또한, 화석연료 매장량의 유한성과 이산화탄소 배출에 의한 지구온난화 및 기상이변 현상 등이 초래되고 있고 장기적인 에너지 수요의 증가 추세가 지속되고 있다. 에너지원의 안정적인 공급과 환경문제 대응 등의 관점에서 무한정, 무공해 에너지원에 대한 연구개발과 확대보급촉진은 사회적인 관심이자 국제적인 공감대 형성과 국제적인 에너지 패러다임의 변화로 재생에너지는 환경을 보호하고 일자리를 창출하여 지속가능한 성장을 가능하게 하는 새로운 성장동력으로 인식되고 있는 실정이다[1][2].

재생에너지는 화석연료와 원자력을 대체할 수 있는 무공해에너지로 환경을 보호하고 일자리를 창출하여 지속가능한 성장을 가능하게 하는 새로운 성장 동력으로 부상하고 있다. 그 중 태양광

발전은 태양 빛을 받아 직접 전기를 만들어 내고 폐기물과 소음도 발생하지 않는 발전으로 구조가 단순하고 안전하며 친환경적이며 또한 발전 규모를 소규모 주택용에서부터 대규모 발전용까지 다양하게 할 수 있고 기계장치가 필요하지 않아서 유지보수가 거의 필요 없고 수명이 길다(20~30년)는 장점이 있다.

본 연구에서는 현재 이슈화 되고 있는 수상태양광 발전시스템 구현을 위한 시스템 구성요소와 발전연계방식, 패널설치 방식 및 발전을 위한 최적화된 경사면에 따른 결과 등을 제시하여 최근 기술동향 위주로 제시하고자 한다.

2. 수상태양광발전시스템

수면 위에 설치하는 수상태양광 발전시스템은 기존의 농지 또는 임야를 사용하지 않고 유향수면에 설치하는 재생에너지원으로 부유구조체, 계류장치, 태양광발전설비, 수중케이블 등으로 구성되며, Fig. 1은 수상태양광 발전시스템의 개념도를 보여주고 있다[1].

·부유구조체:태양광모듈을 설치할 수 있는 수상 부유구조체

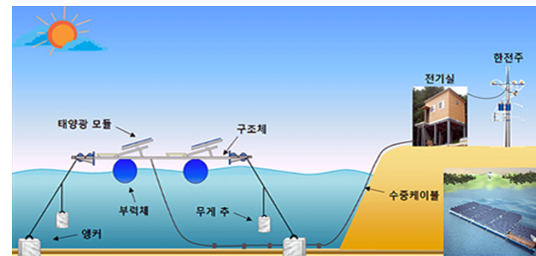


Fig.1. Concept of the floating photovoltaic system.

1) "Groundwork Research for Commercialization of Floated Photovoltaic System", K-water, 2011.

- 계류장치 : 수위변동에 대응하기 위한 장치
- 태양광설비 : 태양광어레이, 접속함 등 전기 설비
- 수중케이블 : 발전된 전력을 육상의 전기실까지 전송

3. 수상태양광발전의 연계방식

태양광발전시스템의 구성은 일정한 전력을 공급하기 위해 태양전지 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이(Array)가 필요하며, 이 밖에도 사용자나 사용목적에 따라서 결정되는데 일반적으로 크게 전기용량을 저장하는 장치인 축전지(Battery), 직류-교류 변환장치(Inverter), 제어장치 그리고 연계장치 등으로 구성된다.

3.1 구성요소

(1) 태양광 모듈 과 어레이

- 태양전지(Cell)는 모듈의 최소 단위. 태양전지는 폴리실리콘으로부터 잉곳과 웨이퍼로 가공한 후 생성되어 이를 모듈화한 것이 태양광 모듈. 이 모듈을 다수 연결하여 용도에 맞게 만든 것이 어레이(Array)이다.

(2) 인버터(Inverter), 모니터링시스템

- 태양광발전용 전력변환장치는 태양전지 어레이로부터 발생된 직류전력을 상용주파수, 전압의 교류로 변환하여 전력계통에 연계함과 동시에 시스템의 직류, 교류 측의 전기적인 감시 보호를 하며, 태양전지 본체를 제외한 주변장치 중에서 신뢰성 향상과 가격저감에 중요한 부분을 차지하고 있다.

(3) 구조물(Structure)

- 모듈을 지지하는 것을 목적으로 설치하는 기둥, 받침
- 어레이를 지지하거나 태양의 위치에 따라 움직여 효율을 극대화 시킬 수 있다.

3.2 독립형 태양광시스템

본 시스템은 PV시스템의 생산전력을 축전지에 저장 후 필요시 사용하는 방법으로 아래 Fig. 2와 같이 소형전원, 도서지역, 통신설비 등에서 활용되고 있다.

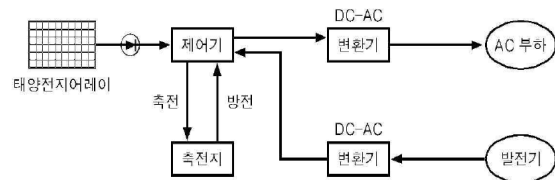


Fig. 2. Structure of stand-alone PV system.

3.3 계통 연계형 태양광시스템

본 시스템은 Fig. 3과 같이 일사 주간시에는 PV시스템에서 생산된 전력을 부하(한전계통)에 공급(역송전)방식을 이뤄지고 야간 및 우천시에는 상용계통으로부터 전력 공급하는 방식을 채택하고 있다.

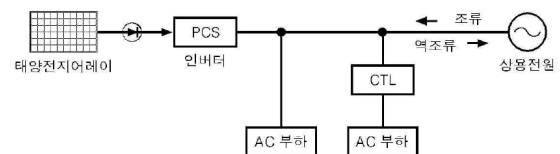


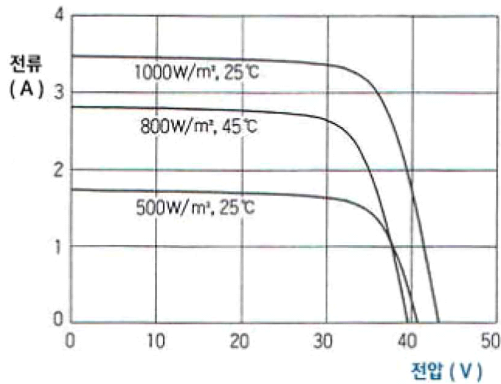
Fig. 3. Structure of grid-connected PV system.

4. 수상태양광발전시스템 설치

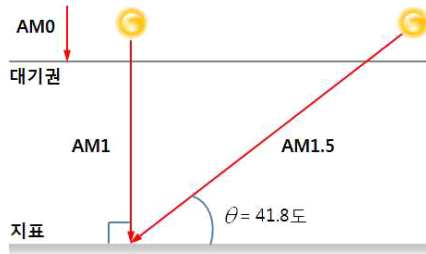
동일한 태양전지면적으로 높은 출력을 얻기 위해서는 태양전지의 표면을 가능한 한 최장의 일조 시간에 노출될 수 있도록 하여야 한다. 일사량은 설치장소의 위도와 계절에 따른 태양계 적변화, 지역날씨에 의한 커다란 편차를 보이므로 그 지역의 특성에 상응한 설치조건을 적용시켜야 한다.

4.1 방향성 및 설치 경사각도

연간 태양궤적에 비추어 볼 때 지구 북반구에서의 태양전지설비방향은 남향으로 하여야 한다. 그리고 태양전지표면에 태양광이 가능한 한 직각에 가깝게 비치도록 하여야 태양광선의 밀도가 커져 최대의 에너지량을 얻을 수 있다[3][4].



(a) Efficiency of solarcell to temperature

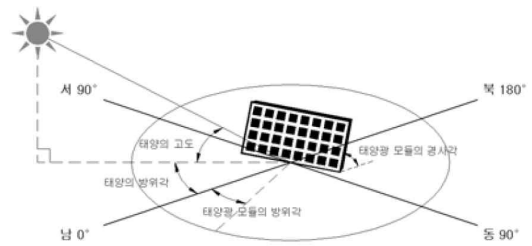


(b) Energy density to tilt of a PV
Fig. 4. Spectrum distribution and Energy density

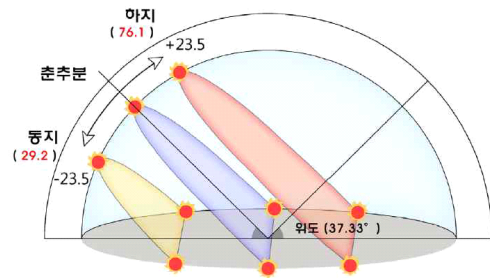
지축이 약 23.5° 기울어져 자전과 공전을 하는 지구의 특성상 태양의 고도가 매일 달라져 태양전지 수평면에 조사되는 입사각도가 변하며, 우리나라의 경우 위도 37° 기준으로 할 때 태양광의 입사각도는 하지정오에 약 76° , 동지 정오에 약 30° 범위에서 연간 태양의 고도가 변하게 된다.

항상 태양광선의 입사각을 전지표면에 직각으로 유지할 수 있는 태양광추적형발전설비는 이러한 태양고도의 변화가 문제가 되지 않지만, 고정식 발전설비는 특정지역에서의 최적설치각도와 방향 파악을 위하여 해당지역에서 측정된 다년간의 일사량자료의 분석이 선행되어야 한다.

태양의 일사량은 지역별 특성에 따라 다소 차이는 있으나, 그 양은 위도, 계절 등에 따라 변화하며 발전량은 시스템의 설치위위와 특히 경사각 및 방위각에 의해 결정이 된다.



(a) Panel direction to solar position



(a) Longitude of solar position

Fig. 5. Panel direction and longitude to solar position

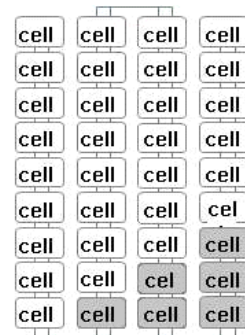
4.2 그림자 방지대책

발전을 위한 태양광전지는 다수의 태양전지를 직병렬 접속하여 사용하며, 이중 전부 또는 어느 일부에 그림자가 드리워져 직사광선이 방해받으면 마치 배관 내 일부분에 병목현상이 발생하는 것과 같이 해당 태양광전지 전체의 에너지획득에 악영향을 미치게 된다.

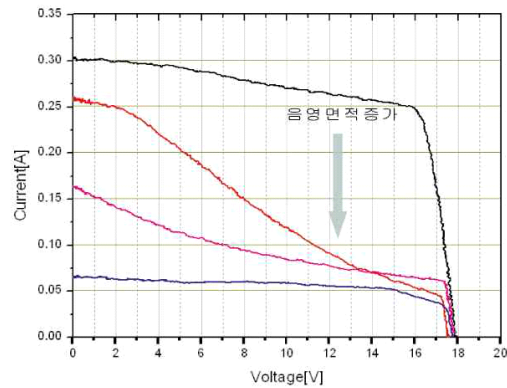
그림자는 인접건물, 인근의 식재 등 장애물에 의한 것과 건물에 설치할 경우 건물 자체에 의한 요소 그리고 태양전지모듈 상호간 배치에 의해 생성되는 것으로 구분된다. 건물, 장애물 및 태양전지모듈 간격에 의한 그림자는 쉽게 인지할 수 있는 것으로, 배치를 조정하거나 간격을 조정하여 쉽게 해결할 수 있다. 지나치게 쉬운 것은 조경 또는 녹화에 의한 식재로서, 태양광발전설비의 수명(20년 이상)을 고려할 때 설치당시에는 영향을 미치지 않더라도 식물의 성장에 의해 추후 발전에 큰 영향을 받을 수 있으므로 식생의 성장속도 역시 신중하게 고려되어야 한다. 따라서 태양전지모듈에 음영이 생기지 않도록 입지를 선정하고 배치하여야 하고, 계절로 보아 그림자 길이가 가장 긴 겨울에 영향이 없으면 일 년 내내 그림자에 대한 영향은 없다고 볼 수 있다[6][7]

4.3 패널위치에 따른 강도출력특성

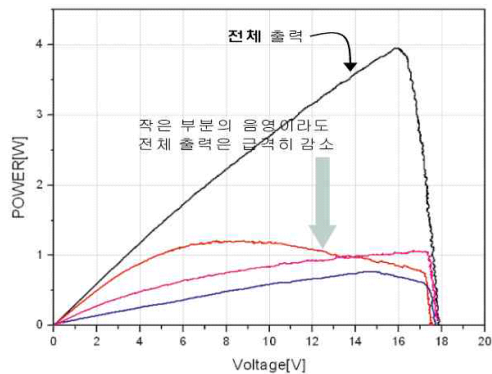
태양의 위치에 따른 최적의 발전효율을 올리기 위하여 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 프로그램의 발달로 각 계절별 또는 하루 중 시간별 음영분석이 가능하므로 실제 설계에서는 이것을 이용한다. 아래 Fig. 6과 Fig. 7은 방사형배치와 종열배치에 따른 음영면적에 따른 발전효율 특성을 보여주고 있다[4][5][6]



(a) Radiator type

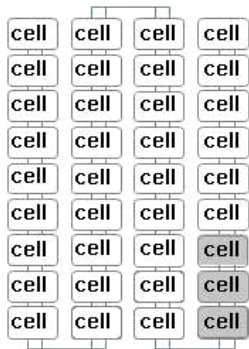


(b) Current curve

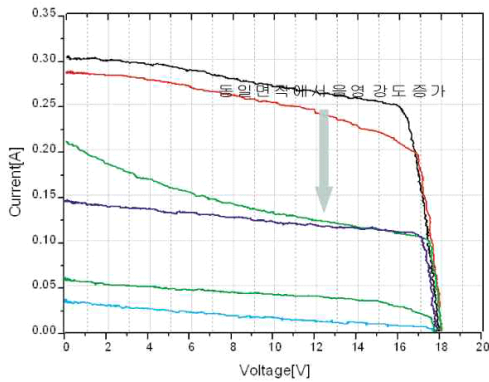


(c) Power curve

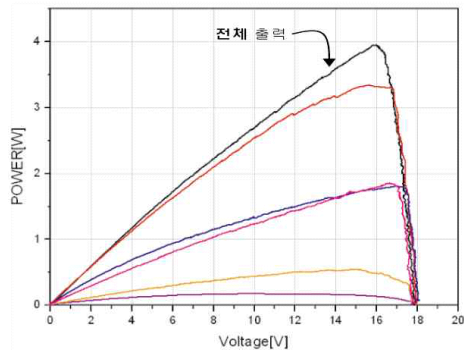
Fig. 6. PV efficiency to shadow area(radiator type)



(a) Column type



(b) Current curve



(c) Power curve

Fig. 7. PV efficiency to shadow area(column type)

5. 수상태양광 발전에 따른 문제점

한국수자원공사에 따르면 현재 수자원공사 등 발전사와 정부기관을 중심으로 실증플랜트에서 측정한 각종자료를 수집 및 분석해 수상태양광발전이 전원으로서 유용성과 호소환경조건에서의 안정성 등을 검증하고 있고 상용화단계까지 진입하기 위해서 많은 시행착오와 검증이 요구된다.

우선 설치공정의 단순화가 필요하며 부력재 및 계류시스템은 기술적으로 어려운 공정으로 상용화를 위한 핵심기술공정 개발이 요구된다.

둘째, 수상태양광발전시스템이 상용화되기 위해서는 육상태양광발전시스템과 비교해 가격경쟁력 확보가 중요하다.

셋째, 수상태양광발전설비의 신뢰성 확보가 중요하다. 수상태양광발전설비의 수면 환경조건은 일년내 빈번하게 수위가 변동하며, 특히 여름 우기 시에는 수위가 급변하고 태풍 등 기상 악화조건 발생 시에도 구조물이 안정하게 견딜 수 있는 신뢰성이 요구되며 수상태양광발전은 수면이라는 특수성 때문에 유지보수의 어려움이 따르고 점검시 안전사고 등이 발생할 수 있는 우려가 있어 이를 위한 대책이 필요한 실정이다.

다섯째, 수상태양광발전시스템은 국토가 좁은 우리나라에서 가장 적합한 방식으로 국토의 효율적 활용, 호소의 수질개선, 여족자원 확보 등 다목적으로 활용이 가능한 발전방식으로 수자원공사에서 보유한 다목적댐 유역면적의 1%만 개발해도 발전용량이 352MW정도 추정되며 잠재 발전용량이 풍부하다고 볼 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 현재 이슈화 되고 있는 수상태양광 발전시스템 구현을 위한 구성요소와 발전연계방식, 패널설치에 대한 최근 기술을 살펴보았다. 호수 및 저수지의 수면 위를 활용한 태양광 발전시스템 구현방법을 제시하였고 수상 태양광 발전시스템 개발에 따른 육상 태양광 발전설비의 문제점을 극복하고 국토의 효율적인 이용을 목적으로 기존의 육상 태양광 발전방식 보다는 설비 및 이용율이 상당히 향상될 것으로 기대가 된다.

호수 및 저수지의 깊은 수심에 설치하는 수상태양광 발전시스템은 초기 연구단계로서 설비 및 구조, 발전 등에 대한 많은 연구개발이 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 그러한 요소기술에 대한 세부기술을 살펴보았다. 향후 구조설계기술, 계류방식기술, 부력재 기술 향상 등에 대한 지속적인 연구 수행을 통한 관련기술의 개발로 설비에 따른 비용을 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 향후 축적된 데이터를 이용한 발전량 분석을 통하여 기존 태양광 발전시스템과 비교 분석연구를 진행 할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 중소기업청의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2243629, 수상태양광 발전시설용 부유구조체 최적화시스템개발]

참고문헌

- 1) 이성훈, 이남형, 최형철, 이장환, “댐 수면을 활용한 100kW급 수상태양광 발전시스템 개발” 2012년 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 835-836. (2012).
- 2) 한국수자원공사, “태양광 발전시스템 개발을 위한 적지조사 및 요소기술연구”, (2008).
- 3) 한국수자원공사, “수상태양광 상용화를 위한 기반연구”, (2011).
- 4) 한국수자원공사, “태양광 발전시스템 개발을 위한 적지조사 및 요소기술연구”, (2006).
- 5) Mukund R. Patel, “Wind and solar power systems”, CRC Press, (2006).
- 6) R&D정보센터, “대체에너지 풍력, 태양광 산업 실태분석 및 ESS기술개발 전망 보고서,” 지식산업정보원, (2014).
- 7) 신성장동력산업 정보기술연구회, “태양광발전 및 태양전지 산업총람,” 산업경제리서치, (2011).

(접수:2014.08.22. 수정:2014.09.05. 게재확정:2014.09.16.)