

특집 : 그린뉴딜 신재생에너지 기술

수상/해상 태양광발전 시스템의 패키징 기술개발 동향

최수빈 · 김명훈 · 김광석[†]

한국생산기술연구원 탄소소재응용연구그룹

Trend of Packaging Technology for Floating Photovoltaics

Su Bin Choi, Myounghun Kim, and Kwang-Seok Kim[†]

Carbon Materials Application R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology,
222 Palbok-ro, Deokjin-gu, Jeonju 54853, Korea

(Received September 9, 2020: Corrected September 23, 2020: Accepted September 28, 2020)

Abstract: The importance of floating photovoltaic systems has recently been emerging to address some issues arising from the installation of conventional ground-mounted photovoltaics. Floating photovoltaics have a few advantages such as cutting down land usage, reducing water evaporation or creating algae. Though there is still necessity to supplement with technical issues: mechanical stability, reliability and long-term durability of floaters and modules. In this paper, we focus the current level of packaging development and introduce research trends that could be applied to next-generation floating photovoltaics.

Keywords: Floating photovoltaic, Packaging, Pontoon, Reliability, Renewable energy

1. 서 론

현재 에너지 자원의 유한성이나 환경문제로 인해 신재생에너지의 필요성이 지속적으로 증대되고 있다.¹⁾ 신재생에너지의 종류로는 3종의 신에너지와 8종의 재생에너지가 있으며, 전체 전기에너지에서 신재생에너지에 의해 발전된 에너지가 차지하는 비중이 점차 증가하는 추세이다. 태양광발전은 유지보수가 용이하고 에너지원이 사실상 무한하기 때문에 전 세계적으로 많이 이용되고 있으며, 국내·외에서 산업용 대규모 사업은 물론 소규모 일반가정용 태양광발전 설비까지 널리 이용되고 있다.^{2,4)} 일반적으로 태양광발전은 건물 옥상 혹은 산지에 설치되므로 대규모의 설비를 위해서는 넓은 부지 확보가 필수적이다. 그러나 토지 면적은 한정되어 있으므로 이를 만족시키기 위해 산지를 개간하는 등의 문제가 발생하였고, 환경오염을 개선하기 위해 등장한 태양광발전의 목적에 맞지 않게 오히려 숲을 훼손하여 환경파괴를 야기하고 있다.

제한된 국토 내에서 에너지 수요를 만족시키기 위한 새로운 방식이 요구되었는데, 대안으로 부유 구조물과 태양광 시스템을 결합하여 저수지나 댐 혹은 바다의 수면

위에 설치하는 방식인 수상/해상 태양광발전 (Floating photovoltaic, FPV) 시스템이다.⁵⁻⁷⁾ 수상/해상 태양광발전은 육상 태양광 대비 시설 유지에 관한 기술들이 추가적으로 요구되어 설치 비용이 1.5배 이상 발생한다. 본 논문에서는 수상/해상 태양광발전 산업의 특성과 국내·외 시장 동향을 파악하고, 패키징 기술 개발을 통해 수상/해상 태양광발전 시스템이 직면하고 있는 문제 개선을 위한 최근 연구 결과를 소개하고자 한다.

2. 수상/해상 태양광 산업의 특성과 국내외 시장 동향

수상/해상 태양광발전은 기존에 사용하지 않는 수역에 설치가 가능하기 때문에 다른 용도로 사용될 수 있는 토지 사용을 줄일 수 있고, 수면에 설치되면 냉각 효과가 유도되어 전력 생산 효율의 증대로 이어진다는 것을 가장 큰 장점으로 보고 있다. 또한 저수지나 댐에 설치 시 식수 혹은 관개용으로 이용 가능한 물의 증발을 막을 수 있고, 조류의 성장을 억제할 수 있다.^{8,9)} 이러한 장점으로 현재 국내·외에서 본격적으로 사업이 확장되고 있다. World Bank의 시장 조사(Fig. 1)에 따르면 전 세계 부유식 태양광발전 설치 용량이 점차 증가하여 2018년 9월에는 누적

[†]Corresponding author
E-mail: ore21@kitech.re.kr

© 2020, The Korean Microelectronics and Packaging Society

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.

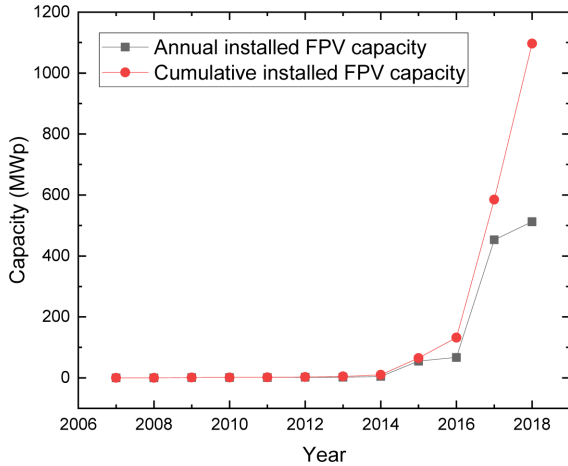


Fig. 1. Global installed floating photovoltaic capacity.¹⁰⁾

용량이 1 GW를 넘어섰으며, 이는 2000년 육상태양광 누적 설치 용량과 동일한 수준이다.¹⁰⁾ 이와 같은 결과를 보고하며 부유식 태양광에 대한 수요가 점차 증가할 것이라고 전망하였다. 특히, 수상 태양광발전은 수력 발전 댐이 많은 아시아에 적합할 것으로 보이고 실제로도 일본, 중국, 인도 등 아시아 지역에서 높은 성장세를 보이고 있다.¹⁰⁾

국내 현황을 살펴보면 수상 태양광발전이 2012년 합천댐에서 세계 최초로 상업 가동되었으며, 연이어 보령댐, 충주댐에도 수 MW급 발전 시설이 설치되었다. 2019년에는 새만금에 세계 최대 규모인 2.1 GW 수준의 수상 태양광 사업을 추진하기로 발표했다.¹¹⁾ Table 1과 같이 대륙별 인공저수지에 설치 가능한 수상 태양광의 잠재력 및 전력생산량을 고려해보면, 현재 진행 중인 프로젝트들을 시작으로 향후 수상/해상 태양광발전 사업 확장에 더욱 박차를 가할 것으로 전망된다.¹²⁾

3. 수상/해상 태양광발전 기술개발 동향

수상/해상 태양광이 많은 장점과 기대효과를 가지고 있지만 아직까지 해결해야 할 이슈들이 남아있다. 우선, 태풍이나 해일과 같은 자연재해에 의해 급격하게 변화하는

수위나 바람 등의 환경에도 설비가 파손되면 안 되고, 해상에 설치하는 경우에는 염분에 의한 부식도 고려해야 한다. 지상식 태양전지에도 수분으로부터의 보호막을 형성하기는 하지만 수상 환경에서 작동하기 위해서는 더욱 까다로운 안전 기준이 확립되어야 한다.¹³⁾ 또한 기존 시스템에 케이블 및 지지대를 추가로 설치해야 하므로 초기 설치 단가가 상대적으로 비싸다. 수상/해상 태양광발전 사업 확장을 위해서는 설치 단가 감소가 가능한 제조 및 설치 기술을 요구한다.

현재 태양광 모듈 시험 및 인증은 독일 TUV 라인란드사를 통해 가장 많이 진행하는데, 모듈과 부품의 성능, 신뢰성, 내구성을 평가하기 위해 다양한 스트레스 시험을 수행한다. 적정 수준의 내염성을 지녔는지 확인하기 위한 염수분무 시험은 해상 태양광발전의 신뢰성 평가에 필수적이며, 56일 동안 8차례의 과정으로 진행하고 클래스 수준에 따라 시험 기간이 증가한다.¹⁴⁾ 해당 시험에서 인증 받은 모듈들은 해상에 적용하기 위한 모듈로서 보다 높은 내구성을 갖고 있다고 판단할 수 있다. 국내에서도 산업통상자원부, 한국에너지기술평가원, LS산전이 함께 ‘습지·수상 등 다습환경에서 적용가능한 태양광 시스템 표준화 및 단가 절감 기술’ 사업을 진행한 바 있다.¹⁵⁾ 해당 사업으로 LS산전은 수상 태양광에 적합한 구조물을 개발하여 30.6%의 비용 절감을 이뤘다고 한다. 또한 최근 전라북도는 신재생에너지사업을 추진하면서 수상 태양광발전 관련 연구역량 확보에 주력하고 있다. 수상 태양광 종합평가센터 구축사업으로 수상, 염해 간척지 등에 적용 가능한 모듈 및 부유체 등을 평가할 수 있는 센터를 조성할 예정이다.¹⁶⁾ 해당 사업에서 태양광모듈 제조사들의 수출을 보조하는 역할을 맡은 한국산업기술시험원은 모듈, 접속함, 인버터 외함, 부유체 및 구조체에 대해 국내·외 규격에 따른 성능/시험평가 방법을 개발하여 최적화 기준을 마련할 계획이다.¹⁷⁾ 이를 통해 안정성과 신뢰성을 보증할 수 있는 수상/해상 태양광발전용 신뢰성 평가 기준도 확립할 것으로 기대된다.

수상 태양광발전에서 부유체와 계류시설은 전체 설비에서 43%로 매우 높은 비율을 차지하며, 시설물의 안정성 유지에 중요한 역할을 하고 있다.¹⁸⁾ 부유체는 부유일

Table 1. Potential and power production of floating photovoltaic available in artificial reservoirs¹²⁾

Continent	Total installable reservoir area (km ²)	Potential of floating photovoltaic (GWp)			Forecast of annual power production (GWh/y)		
		Utilization ratio of reservoir			Utilization ratio of reservoir		
		1%	5%	10%	1%	5%	10%
Africa	101,130	101	506	1,011	167,165	835,824	1,671,648
Middle East, Asia	115,621	116	578	1,156	128,691	643,456	1,286,911
Europe	20,424	20	102	204	19,574	97,868	195,736
North America	126,017	126	630	1,260	140,815	704,076	1,408,153
Australia, Austria	4,991	5	25	50	6,713	33,565	67,131
South America	36,271	36	181	363	58,151	290,753	581,507
Total	404,454	404	2,022	4,044	521,109	2,605,542	5,211,086

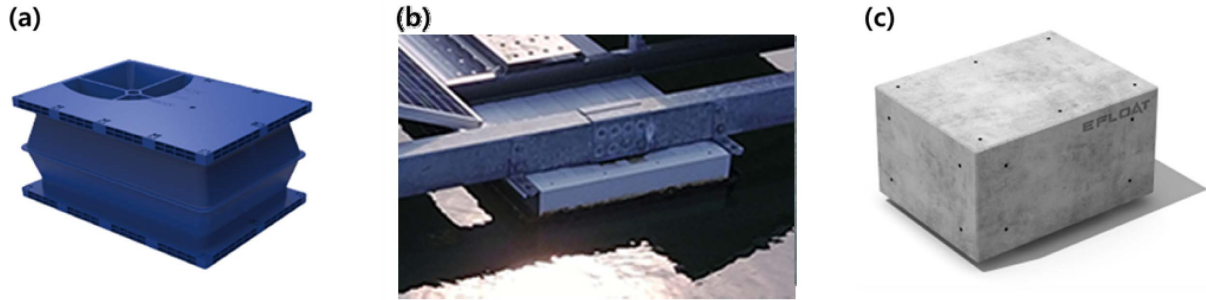


Fig. 2. Pontoons for floating photovoltaic developed by (a) Scotra,²¹⁾ (b) NemoENG²²⁾ and (c) Efloat.²³⁾

체형 타입과 기구형부유체 타입으로 크게 분류되며, 특징이 명확히 구분되므로 설치 장소에 따라 용도에 맞는 타입을 적용해야 한다.¹⁹⁾ 부유일체형 타입은 시공이 간단하고 단가가 저렴하다는 장점을 가지고 있지만 빠른 수위변화나 유속에 취약한 구조이므로 해상 태양광발전에는 적합하지 않다. 이 때 적용하는 방식이 기구형부유체 타입으로 하중 안정성이 우수하고 기계적 강도가 뛰어난 프레임을 기반으로 하여 주로 풍속이 강하고 유속이 빠른 곳에 적용할 수 있다. 지속적인 부유체 개발이 이루어지고 있지만 아직 보완해야 할 부분이 남아있다. 2018년 3월에 일본 최대 규모의 수상 태양광 시설인 ‘수상 메가솔라’의 패널이 태풍으로 인해 부서지고 화재가 발생했는데, 원인이 플라스틱 부유체가 태양광 패널을 지지하는 힘이 약했기 때문이라고 보고되었다.²⁰⁾ 이와 같이, 부유체는 안전 문제와 밀접하기 때문에 무엇보다 내구성 및 장기 신뢰성을 갖는 제조 기술이 필요하다.

국내 대표 업체는 스코트라 사가 있는데 국내뿐 아니라 대만의 5개소 댐에도 부유체와 계류시스템을 독점 공급하고 있다.²¹⁾ 이는 내·부식성이 강한 무공해 폴리에틸렌 소재로 부유체를 제작하였고, 다중격벽 멀티룸 플로트를 사용해 안정성을 강화하였다고 밝혔다(Fig. 2(a)). 네모이엔지 사는 메탈 프레임을 소재로한 부유체를 독자적으로 2017년 이를 활용한 수상 태양광발전소를 건립하여 업계 주목을 받고 있다. 기존에 주로 사용되는 플라스틱 부유체는 외부 충격이나 온도에 대한 내구성이 떨어져 친환경 메탈 프레임 부유체를 제조하였으며, 충격이나 자외선에 의한 손상을 방지하여 장시간 품질 유지가 가능하다고 한다(Fig. 2(b)).²²⁾ 한편, 해상 태양광 부력체는 보다 까다로운 해상환경에서도 내구성을 갖는 특성이 필요한데, 국내 업체 이플로트사에서 세계 최초로 개발한 콘크리트 부력체는 이러한 요구 조건을 만족시킨다고 한다. 해당 기업의 콘크리트 부력체는 내부에 경량 채움재가 충전되어 있기 때문에 외부 파손에도 부력이 유지되며, 내염성을 갖고 있어 해상환경에서도 우수한 안정성을 나타낸다고 한다(Fig. 2(c)). 충남 서산 모뮬 저수지와 청양군 저수지에서 설비를 실증하였으며, 현재 베트남에 대규모 수상 태양광 설치를 위해 실증테스트를 진행 중이다.²³⁾

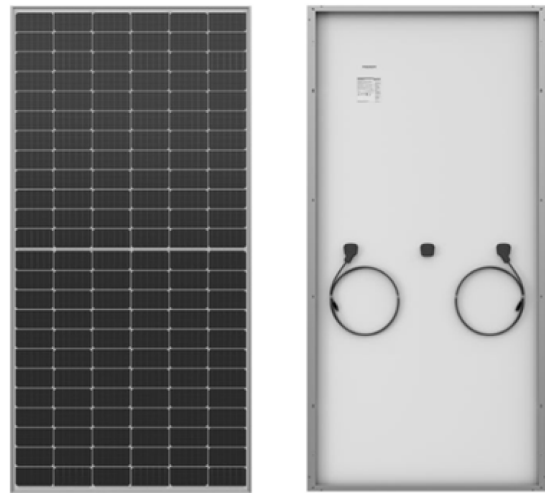


Fig. 3. Module of floating photovoltaic developed by Hanhwa Q cell.²⁴⁾

또한, 높은 효율로 전력을 생산하기 위해서는 모듈의 성능이 매우 중요한 역할을 하기 때문에 태양광발전의 등장 이후로 효율 증대를 위한 모듈 개발이 꾸준히 이루어져왔다. 수상/해상 태양광발전에 적용하기 위한 태양광 모듈은 습기가 많은 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있는 기술을 요구하는데, 국내 한화 큐셀사 모듈이 우수한 신뢰성으로 주목 받고 있다. 해당사의 수상 태양광용 모듈 ‘포세이돈’은 수분과 증기의 투과율이 낮은 폴리올레핀 엘라스토머(Polyolefin elastomer, POE) 후면을 적용하여 수상 환경에서 장기 신뢰성을 나타내며, 조류나 해풍에도 견딜 수 있도록 최적화되었다고 한다. 또한 전극 연결 물질에 납 성분을 배제하여 수질오염을 최소화하고, 염수분무 시험도 통과하여 해상 태양광발전에도 적용할 수 있다.²⁴⁾

4. 수상/해상 태양광발전 시스템의 패키징 기술개발 동향

수상/해상 태양광발전은 수면에 위치하는 특수성으로 인해 점검 혹은 유지보수가 육상 태양광발전 대비 까다로우며 기상환경에 의해 변화하는 풍속, 풍향 및 수위에서도 안정적으로 동작하고 효율을 유지할 수 있도록 내

구성과 신뢰성 확보가 중요하다. 특히, 해수면에 위치하고 있을 때는 염분에 의해 부유체나 모듈이 부식되지 않도록 내염성을 지녀야 한다.⁵⁾ 이러한 특성을 모두 만족하기 위해서는 패키징 기술이 무엇보다 중요하므로 최근 연구되고 있는 수상/해상 태양광 패키징 기술에 대해 살펴보고자 한다.

미국 UCLA 양양 교수 연구그룹은 알루미늄(Alucone)을 도입하여 공정과정 및 동작 중에 발생하는 열화 방지를 통해 광전환 효율을 증대시켰고, 그 위에 유/무기 방수 코팅을 통해 $1.3 \times 10^{-5} \text{ gm}^{-2}/\text{day}$ 이하의 수증기 투과율이 가장 낮은 페로브스카이트 태양전지를 보고하였다.²⁵⁾ 페로브스카이트 태양전지는 유기발광다이오드(OLED)나 유기태양전지 대비 손상을 쉽게 받기 때문에, 주로 80°C 이상의 온도나 고전압 플라즈마 하에서 진행되는 OLED 봉지 공정이 적합하지 않다.^{26,27)} 이러한 이유로 유/무기 구조인 알루미늄/AIO₃ 봉지층을 형성하였고, 알루미늄의 메틸기가 봉지 공정 중에 태양전지를 보호한다. Fig. 4는 봉지층이 형성된 페로브스카이트 태양전지의 구조와 단면을 보여준다. 알루미늄이 지닌 메틸기는 물 분자를 분해하는 반응을 일으켜 습도가 높은 환경에서 수증기의 침투를 억제하는데 우수한 특성을 나타낸다. 봉지된 소자의 내수성을 평가하기 위해 태양전지를 물속에 300분 담그거나 상대습도 80%인 환경에 2,000시간 노출한 후 효율을 측정했을 때 초기 값의 96%를 나타내 추후 부유식 태양광 발전에 적용 가능할 것으로 전망된다. 파도에 의한 충격을 완화하기 위해 유연한 형태의 해상 태양광발전이 주목받고 있는데, 이탈리아 Turin 대학교의 F. Bella 교수팀은 소수성을 지닌 투명 고분자로 패키징한 부유식 염료감응형 태양전지에 대한 연구결과를 보고한 바 있다.⁶⁾ 타이타늄 메쉬에 수직으로 이산화타이타늄 나노튜브를 성장시켰고, 이를 염료 함침 후 광전극(Photoanode)으로 사용하였다.

PDMS (Polydimethylsiloxane) 멤브레인은 두 개의 메쉬 기반 전극을 감싸는 형태로 위아래에 위치하고, 위 층의

가운데 영역은 뚫린 상태로 미세유체 구역을 형성하여 이후에 고분자 전해질이 주입된다. PDMS 멤브레인에는 내염성과 내화학성이 아주 우수한 소수성 소재인 Fluorolink MD 700으로 불화코팅 하였으며,²⁸⁾ 실리콘 매트릭스로 소자의 측면을 밀봉한 구조로 이에 관한 모식도는 Fig. 5에 나타나있다. 메쉬 형태의 전극을 기반으로 제조되었고 기판 및 밀봉재가 고분자이기 때문에 유연성을 나타내어 평면뿐 아니라 구부러진 형태로도 변형이 가능하다. 불화코팅으로 인해 장기적으로 햇빛에 노출되어도 고분자의 투과율에 미치는 영향이 미미한데, 이를 확인하기 위해

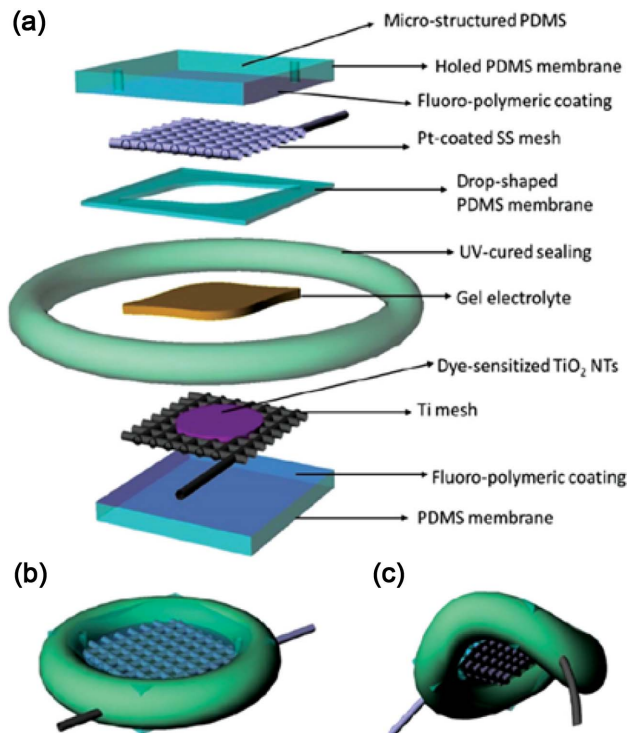


Fig. 5. (a) 3D scheme of the flexible floating DSC (Dye-sensitized solar cell) architecture, and the assembled cell in (b) flat and (c) bent configuration.⁶⁾

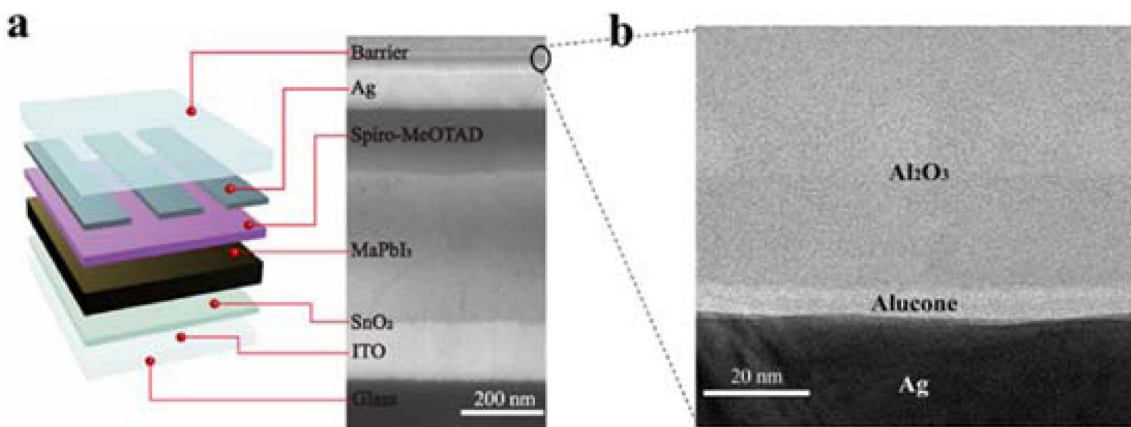


Fig. 4. Characterization of the properties of encapsulation films. (a) Structure schematic diagram of the perovskite solar cell and cross-section SEM image of perovskite solar cell with encapsulation layer. (b) TEM image of barrier layer on the perovskite solar cells.²⁵⁾

2,000시간 시효시험을 수행하였으며 감소한 효율이 1%에 불과하다고 보고하였다. Fig. 6에서 보이는 것과 같이 PDMS 표면은 “Fakir” 형태의 패턴을 디자인해 극도의 소수성을 유도하였으며, 이러한 소재와 구조를 통해 소자 자체가 수면에 부유할 수 있으며 대면적으로 제조할 경우 차세대 부유형 태양광발전이 가능할 것으로 보인다.

국가표준인증에 따르면 결정질 실리콘 태양광발전 모듈의 성능 평가는 옥외 노출시험, UV 전처리시험, 기계적 하중 시험을 비롯해 총 19개의 항목을 기준으로 진행하며, 고내구성·친환경 태양광발전 모듈은 그 외 환경영향도 평가한다.²⁹⁾ 태양광발전 모듈의 부속 요소인 태양전지, 봉합재료, 프레임 등은 각기 요구 특성을 고려한 맞춤형 시험이 진행된다. 대표적 품질기준을 보면 단위 면적당 정격출력을 방사 조도로 나눠서 계산한 태양광발전 모듈 효율이 17.5% 이상이어야 하고, 시험 시료의 출력 균일도는 평균출력의 $\pm 3\%$ 이내여야 한다. 환경영향 평가 기준은 납 함량이 0.005 wt.% 이하여야 한다. 태양광발전 모듈의 성능 평가 기준은 명확하게 확립되어 있는 반면 수상/해상 태양광발전의 기준은 아직까지 구체화되지 않아 관련 연구문헌의 평가방법이나 기준이 상이하다.

싱가포르대 H. Liu 교수 연구그룹은 부유식 태양광발전 시스템의 성능과 신뢰성 평가 결과를 보고하였다.³⁰⁾ 싱가포르의 Tengeh 저수지에 설치된 테스트베드를 기준으로 성능 평가를 하였으며, 해당 태양광발전은 1 MW 용량으로 설계했다. 테스트베드가 설치된 환경의 온·습도, 바람 및 반사계수를 고려하여 모듈 온도, 시스템 수율(Specific yield) 및 성능 척도(PR; Performance ratio) 분

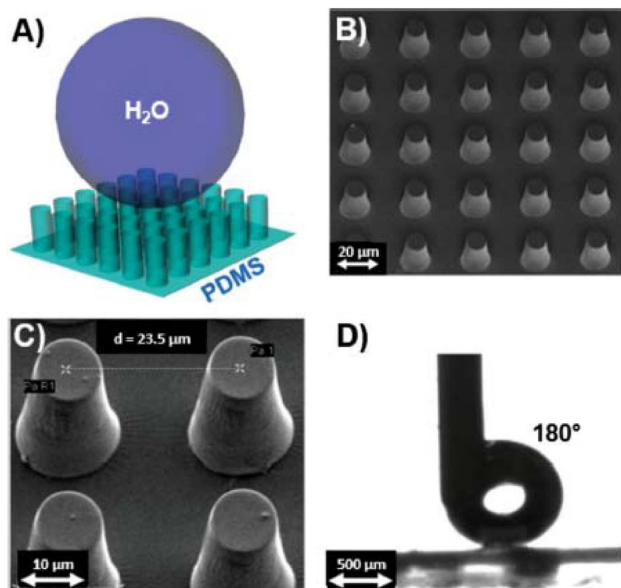


Fig. 6. (a) “Fakir”-shaped external side of the PDMS membrane; (b, c) FESEM images of the pillared array uniformly distributed on the PDMS surface; (d) super-hydrophobic nature of the fabricated substrate as verified by water-contact-angle measurement.⁶⁾

석을 하였다. 부유식 태양광발전은 모두 다중 실리콘 모듈을 이용하였고 이중유리형과 프레임형 두 종류로 구분된다. 각각의 냉각 성능을 확인하기 위해 모듈 뒷면에 세 개(T1~T3) 혹은 네 개(T1~T4)의 온도센서를 부착한 후 동작 시 모듈의 온도를 모니터링하였고 Fig. 7(a)는 이중유리형(Dual glass), Fig. 7(b)는 프레임형(Frame) 모듈이다. 그래프의 reference 샘플은 육상 태양광발전 시스템으로 온도 비교를 위해 함께 표기하였다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 두 종류의 부유식 태양광발전 시스템은 육상 시스템에 비해 모듈의 동작온도가 낮았다. 두 구조 모두 센서의 위치에 따라 온도가 균일하게 나타나지 않았는데, 이는 한 플랫폼 내에서도 위치에 따라 냉각 효과에 차이가 있음을 의미하므로 정밀한 냉각 성능 평가를 위해서는 온도 측정 위치와 충분한 측정 개수를 고려해야 한다.

태양광발전 시스템의 성능을 확인하기 위해 8개의 부유식 태양광발전과 지상식 샘플의 에너지 수율과 PR을 비교 평가하였고 각 부유식 태양광발전의 특성과 디자인은 Table 2에 나타나있다. Fig. 8 그래프의 점선은 싱가포르

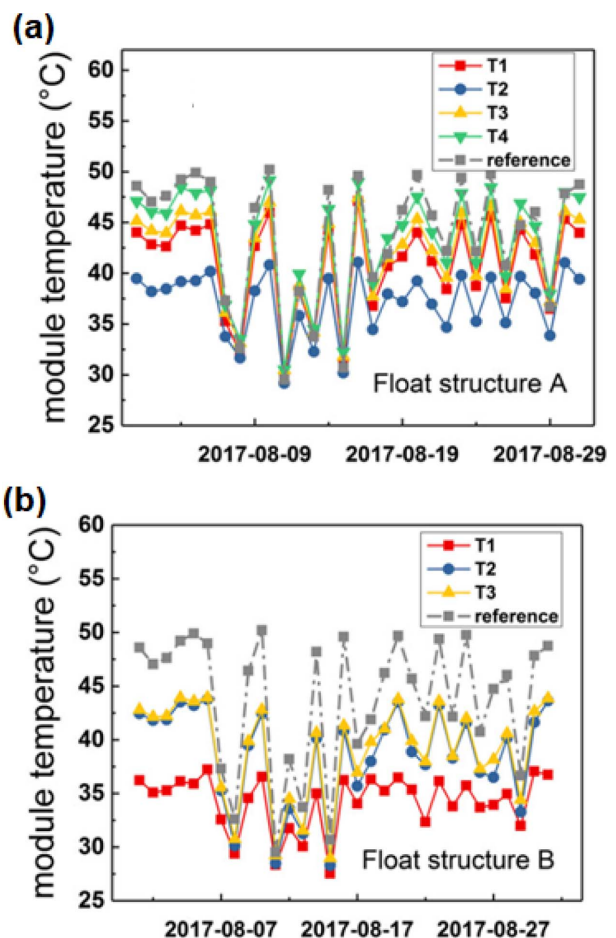


Fig. 7. Daily average operating temperature (weighted against irradiance) for 2 floating structures. T1 to T4 (or T3) refers to different temperature sensors present on that floating platform. The module temperature for the rooftop reference system is shown in gray dashed line.³⁰⁾

Table 2. Summary of features and designs for various FPV systems (sub-systems) in the testbed³⁰⁾

System	Floating Platforms	Modules	Tilt	Other Features
A	Floats and stainless steel, Pipes and aluminum	Dual glass, framed	7° east	Small water footprint
B	Floats matrix	Framed	7° east	Dual-pitch design
C	Floats matrix	Framed	12° east and west	-
D	Floats matrix	Framed	12° east	Active cooling
E	Individual float modules	Framed, dual glass	12° east	Good ventilation, wind load adaptive
F	Pipes and metal structures	Framed	15° east	-
G	Floats and aluminum	Framed multi-Si, half-cut multi Si, bifacial mono-Si	5° east	Rigid structure
H	Floats matrix	Framed multi-Si, bifacial mono-Si	10° east	-

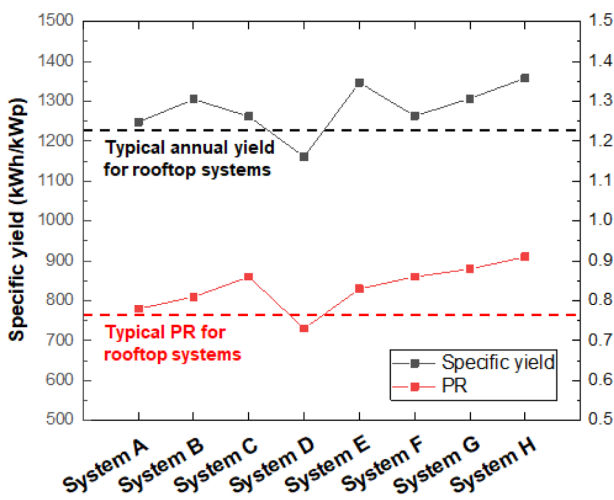


Fig. 8. Total specific yield and (Right) performance ratio for the floating photovoltaic systems as well as the rooftop reference system for the period of half a year from April to September 2017.³⁰⁾

르 육상 태양광발전 시스템의 통상적 연간 에너지 수율과 PR이다. 부유식 태양광발전 시스템은 육상식에 비해 보다 우수한 에너지 수율과 PR을 갖는 점을 확인할 수 있다. PR 평가 결과에서는 모듈 냉각 특성이 가장 우수했던 system H가 가장 높은 성능 값을 나타냈다. 부유식 태양광발전이 평균적으로 80% 이상의 PR을 나타내는 것에 반해 부진한 결과를 나타낸 시스템들도 있었는데, 자세한 조사 결과 조류 배설물이나 오염에 의해 전력 및 생산 손실이 있는 것으로 밝혀졌다. 전반적으로 부유식 태양광발전 시스템은 냉각 성능에 의해 높은 효율을 나타낼 수 있다는 상관관계를 확인하였으나 모듈 특성이나 시스템 배치와 같은 기타 요소 역시 시스템 성능을 평가하는데 적지 않은 영향을 미친다고 볼 수 있다. 이러한 분석 결과들은 부유식 태양광발전 시스템의 성능을 평가할 때 단일 요소보다는 다양한 요소들을 복합적으로 고려해야 하며, 모듈 외 시스템 주요 구성 요소인 부유체나 계류장치 등의 성능 평가 기준 확립도 이루어져야 한다는 점을 시사한다.

5. 결 론

본 고에서는 수상/해상 태양광발전에 대한 기술 및 연구 동향을 파악하고자 최근에 주목받는 관련 연구기관과 업체의 프로젝트를 살펴보고, 차세대 부유식 태양광에 적용 가능한 패키징 기술 연구결과를 소개하였다. 수상/해상 태양광발전 상용화의 시작 단계에서 주목해야 할 이슈와 보완해야 할 내용을 통해 설치 환경에서 요구되는 안정성과 내구성에 대한 명확한 기준 확립이 필요함을 알 수 있다. 안정성을 갖추기 위해서는 무엇보다도 패키징 기술이 중요한데, 이에 관한 연구결과를 살펴보면 주로 내수성을 보완하여 효율을 증가시키는 방식으로 연구가 이루어지고 있으며, 추가로 부유체를 설치하지 않아도 자체적으로 부유할 수 있는 소재를 선택하고 구조를 디자인하는 연구도 찾아볼 수 있다. 토지를 개간하지 않아도 유희 수면에 설치를 한다는 점에서 가장 환경친화적인 신재생 에너지원이라는 평가를 받는 수상/해상 태양광발전의 수요는 꾸준히 증가할 것으로 예측되므로, 안정성과 내구성을 평가하기 위한 보다 엄격한 정책이 확립되고, 이를 갖추는 방향으로 연구가 진행된다면 수상/해상 태양광발전 시장이 더욱 활성화될 것으로 전망된다.

감사의 글

본 과제는 전라북도 R&D 지원사업의 지원(RA202004-5-C4)에 의해 수행되었습니다.

References

1. F. Shariatzadeh, P. Mandal, and A. K. Srivastava, "Demand response for sustainable energy systems: A review, application and implementation strategy", *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 45, 343 (2015).
2. E. W. McFarland, "Solar energy: setting the economic bar from the top-down", *Energy Environ. Sci.*, 7, 846 (2014).
3. M. A. Green, "Commercial progress and challenges for photovoltaics", *Nat. Energy*, 1, 15015 (2016).

4. H. Tanaka and K. S. Kim, "Reliability evaluation for photovoltaic modules", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 19(2), 1 (2012).
5. K. Trapani and M. R. Santafé, "A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013", *Prog. Photovoltaics*, 23, 524 (2015).
6. F. Bella, A. Lambetti, S. Bianco, E. Tresso, C. Gerbaldi, and C. F. Pirri, "Floating, Flexible Polymeric Dye-Sensitized Solar-Cell Architecture: The Way of Near-Future Photovoltaics", *Adv. Mater. Technol.*, 1, 160002 (2016).
7. C. Ferrer-Gisbert, J. J. Ferrán-Gozálvez, M. R. Santafé, P. F. Gisbert, F. J. Sánchez-Romero, and J. B. Torregrosa-Soler, "A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs", *Renewable Energy*, 60, 63 (2013).
8. N. Zhang, G. Chen, Y. Xu, X. Xu, and L. Yu, "Power Generation, Evaporation Mitigation, and Thermal Insulation of Semitransparent Polymer Solar Cells: A Potential for Floating Photovoltaic Applications", *ACS Appl. Energy Mater.*, 2, 6060 (2019).
9. M. R. Santafé, J. B. T. Soler, F. J. S. Romero, P. S. F. Gisbert, J. J. F. Gozávez, and C. M. F. Gisbert, "Theoretical and experimental analysis of a floating photovoltaic cover for water irrigation reservoirs", *Energy*, 67, 246 (2014).
10. World Bank Group, "Floating Solar Market Report-Executive Summary", 1, ESMAP (2018).
11. <https://zdnet.co.kr/view/?no=20200803175851>
12. Korea energy agency, "Analysis report of floating photovoltaic market" (2018).
13. S. H. Lee, B. M. Park, K. H. Kim, Y. C. Chang, J. Pyee, and H. J. Chang, "Effects of passivation thin films by spray coatings on properties of flexible CIGS solar cells", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 23(3), 57 (2016).
14. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20150330043800009>
15. http://m.cnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201801031136520120985
16. <http://www.electimes.com/article.asp?aid=1592444853200365002>
17. <http://m.solartodaymag.com/news/articleView.html?idxno=9019>
18. Korea institute of civil engineering and building technology, "Preliminary study on development of buoyant body and mooring system for marine solar power plant" (2018).
19. Y. K. Choi, N. H. Lee, A. K. Lee, and K. J. Kim, "A study on major design elements of tracking-type floating photovoltaic systems", *Int. J. Smart Grid Clean Energy*, 3, 70 (2014).
20. <http://www.fntoday.co.kr/ews/articleView.html?idxno=203502>
21. <http://www.scotra.co.kr/>
22. <http://nemoeng.com/new/>
23. <http://efloat.co.kr/>
24. <https://www.q-cells.com/>
25. H. Wang, Y. Zhao, Z. Wang, Y. Liu, Z. Zhao, G. Xu, T. Han, J. Lee, C. Chen, D. Bao, Y. Huang, Y. Duan, and Y. Yang, "Hermetic seal for perovskite solar cells: An improved plasma enhanced atomic layer deposition encapsulation", *Nano Energy*, 69, 104375 (2020).
26. B. Conings, J. Drijkoningen, N. Gauquelin, A. Babayigit, J. D'Haen, L. D'Olielaeger, A. Ethirajan, J. Verbeeck, J. Manca, E. Mosconi, F. De Angelis, and H. G. Boyen, "Intrinsic thermal instability of methylammonium lead trihalide perovskite", *Adv. Energy Mater.*, 5, 8 (2015).
27. K. W. Bong, J. L. Lee, and P. S. Doyle, "Stop flow lithography in perfluoropolyether (PFPE) microfluidic channels", *Lab Chip*, 14, 4680 (2014).
28. J. Zhang, A. Wang, and S. Seeger, "Nepenthes Pitcher Inspired Anti-Wetting Silicone Nanofilaments Coatings: Preparation, Unique Anti-Wetting and Self-Cleaning Behaviors", *Adv. Funct. Mater.*, 24, 1074 (2014).
29. <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do?menuId=919&topMenuId=502&upperMenuId=503&ksNo=KSC8561&tmprKsNo=KSC8561&reformNo=04>
30. H. Liu, V. Krishna, J. L. Leung, T. Reindl, and L. Zhao, "Field experience and performance analysis of floating PV technologies in the tropics", *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, 26, 957 (2018).



- 최수빈(崔守嬪)
- 한국생산기술연구원 탄소소재응용연구그룹
- 신축성 자기치유 전극 및 기계센서 개발
- e-mail: wawasb@kitech.re.kr



- 김명훈(金明勳)
- 한국생산기술연구원 탄소소재응용연구그룹
- 방열소재 및 탄소복합재 응용 연구
- e-mail: mhkim0202@kitech.re.kr



- 김광석(金光石)
- 한국생산기술연구원 탄소소재응용연구그룹
- 탄소나노복합재, 기능성 필름, 전자패키징
- e-mail: ore21@kitech.re.kr