



수상태양광을 활용한 새로운 에너지 패러다임 전환



조현식 책임연구원
K-water 연구원

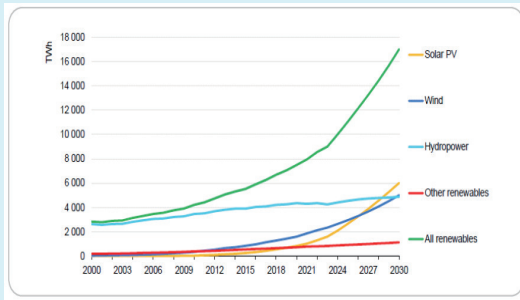
1. 서론

기후위기 대응을 위한 탄소중립 달성을 위해 전 세계적으로 모든 분야에서 노력을 기울이고 있다. 탄소중립 달성을 위해서는 재생에너지 확대가 매우 중요한 부분을 차지한다. 해외의 경우, IEA 보고서에 따르면 글로벌 재생에너지는 2030년까지 5.5TW 이상의 재생에너지가 설치될 것으로 예상하고 있으며, 이 중 태양광과 풍력이 95%를 차지할 것이라고 <그림 1>과 같이 전망하고 있다.

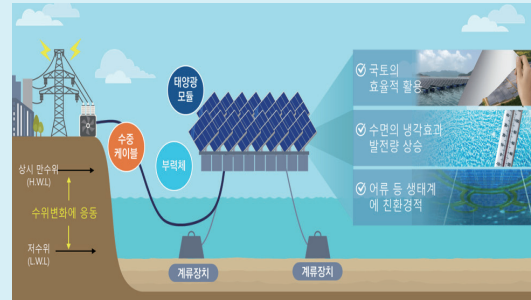
특히 2024년 전 세계 태양광 설치량은 중국과 미국 등의 큰 폭의 수요 증가로 전년 대비 34.9% 증가한 452GW가 신규로 설치되었다. 국내의 경우, 제11차 전력수급기본계획에서 정부는 2030년까지 태양광과 풍력의 설치 용량을 2022년 23GW의 실적 대비 3배 이상인 74GW로 확대할 계획이라고 발표하였으며, 2038년까지 재생에너지 보급 목표를 121.9GW로 설정하였다. 태양광은 전체 재생에너지 보급 목표의 60% 이상을 차지하며 매우 중요한 역할을 담당하고 있으나, 우리나라의 지형 특성상 지속적인 용량 증설에 대한 한계가 존재한다. 국토의 효율적인 사용과 산림벌목 등의 문제가 야기되고 있는 육상태양광의 한계를 극복하기 위해 수상형 태양광, 영농형 태양광, 건물형 태양광, 수상형 태양광 등 사용자 다변화 태양광 시스템들이 개발 및 확대되고 있으며, 이는 2025년 3월에 발표된 제5차 에너지기술개발계획 기술로드맵에도 포함되어 있다.

본 고에서 주요주제로 논의되는 수상태양광은 자연환경을 파괴하지 않고 국토의 효율적인 이용을 위한 재생에너지이며 특히 농업 저수지, 댐 호소수를 비롯하여 더 나아가 해상환경에서도 적용될 수 있는 발전방식이다. 수상태양광은 재생에너지인 태양에너지와 조선 및 계류 등의 해양기술이 결합된 융복합 시설로 태양광 모듈을 저수지, 담수호, 바다 등 수면 위에 설치하여 전력을 생산하는 태양광발전 방식을 의미한다<그림 1>. 수상태양광 발전시스템은 태양광을 전기에너지로 발생시키는 태양광 모듈, 태양광 모듈을 비롯한 설비들을 수면 위에 부유하게 지지하는 구조체 및 부력체, 태양광 모듈 및 부력체를 최대 발전이 가능한 방위각으로 위치시키고 파고 및 바람 등에 의한 외력에도 고정하는 계류장치, 태양광 모듈에서 발생하는 직류전력을 육상으로 송전하는 저압 직류 수중케이블, 송전된 직류전력을 교류전력으로 전력변환하는 태양광 인버터, 인버터에서 변환된 전력을 계통으로 연계하기 위해 전압 레벨을 조정하는 변압기로 구성된다<그림 2>.

본 고에서는 대댐의 수면을 효과적으로 활용할 수 있는 수상태양광의 국내외 현황, 과거 및 현재까지 진행된 수상태양광 기술개발 현황, 수상태양광 발전소의 대표적인 사업사례 및 결론 순으로 서술한다.



[그림 1. 재생에너지 별 글로벌 발전량 동향 및 전망]



[그림 2. 수상태양광의 개념]

2. 국내외 수상태양광 현황

2.1 국내 수상태양광 현황

국내 수상태양광은 K-water에서 2012년 합천댐 500kW급 수상태양광 발전소를 최초 상용화한 이후에 활발히 보급 중에 있고, 2025년 상반기 기준 다목적댐, 농업용 저수지 등에 총 83개소 555MW 용량이 운영 중에 있으며, 2025년 하반기에 임하댐 수상태양광 47MW 등 신규 준공 발전소들이 있어 더욱 늘어났을 것이라 예상된다.

[표 1. 국내 수상태양광 현황('25년 상반기 기준)]

구분	합계	다목적댐 (K-water)	농업용 저수지 (농어촌공사)	발전사 (양수댐, 화력)	기타 (민간 등)
개소	83	8	47	9	19
용량(MW)	555.694	58.564	96.34	198.44	202.35



[그림 3. 국내 수상태양광 발전소]

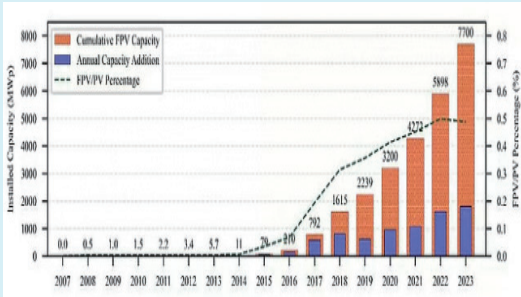
국내 수상태양광은 10년 이상 안전성을 검증하고 있고 기업과 지역 상생형 사업모델 등을 개발하여 체계적으로 추진 중에 있고, <그림 4>는 국내 수상태양광 추진현황을 3단계로 구분하여 나타낸다.



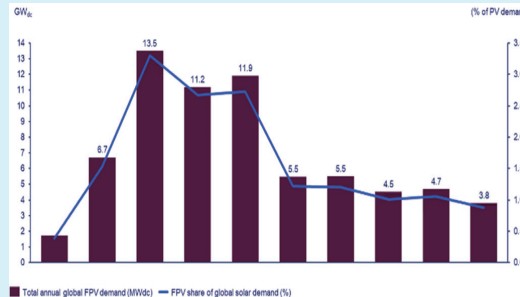
[그림 4. 국내 수상태양광 추진 현황]

2.2 국외 수상태양광 현황

글로벌 수상태양광 누적 설치량은 <그림 5>와 같이 약 7.7GW로 추정되고 있으며, <그림 6>과 같이 2033년까지 약 77GW까지 늘어날 것으로 예상되고 있다. 지역별로 구분하면 아시아태평양(중국, 인도, 일본, 한국, 대만 등)이 수상태양광의 확산을 주도하고 있으며 <그림 7-10>, 중국이 최대 설치국가이다. 중국은 320MW급 Huaneng Dezhou Dingzhuang을 비롯한 수상태양광 대형 상업 프로젝트가 다수를 차지하며 폐광, 저수지, 어업 연계 형태가 활발하며 수상태양광 뿐만 아니라 태양광 관련 산업의 점유율 또한 세계 1위이다. 인도는 수자원 활용 정책과 연계하여 대규모 잠재량을 조사하여 수상태양광을 확대 중이며, 유럽의 경우 규모는 작지만 수자원, 농업, 수생태 융합 모델을 기반으로 수상태양광을 추진하고 있다.



[그림 5. 글로벌 수상태양광 누적 설치량 (IEA PVPS: Global Floating PV Capacity)]



[그림 6. 글로벌 수상태양광 전망 (Wood Mackenzie, Floating Solar Landscape 2024)]



[그림 7. Huaneng Dezhou Dingzhuang(중국, 320MW)]



[그림 8. Taixi Township(대만, 272MW)]



[그림 9. Prachinburi NPS Green lake(태국, 60MW)]



[그림 10. Lazer(프랑스, 20MW)]

3. 수상태양광 관련 기술개발 현황

본 절에서는 수상태양광 세계최초 상용화를 위한 첫 연구부터 추적식 태양광 등 다양한 수상태양광 모델개발에 대한 내용과 대규모 수상태양광 활성화 등을 위해 연구 중인 내용에 대해 간략하게 서술한다.

3.1 다양한 수상태양광 모델 개발

지금의 수상태양광 발전소가 되기 위한 최초의 연구는 2009년에 주암댐에서 2.4kW급 연구용 실증플랜트로 시작하였다<그림 11>. 정격 200W 태양광 모듈 12개를 직렬로 연결하여 스트링을 구성하였으며, 태양광 발전소를 수면 위에 설치할 수 있는 최초의 가능성을 확인 하였다.



[그림 11. 2.4kW급 주암댐 수상태양광 실증플랜트]

주암댐의 수상태양광 실증플랜트의 2년여에 걸친 실증 운영 결과를 토대로 육상태양광 대비 수상태양광의 발전효율이 높다는 것이 검증이 되었고 이에 따라 상용화를 위한 기반연구에 착수하였으며, 2011년 합천댐에 100kW급 수상태양광 실증플랜트가 설치되었다<그림 12>. 내구성, 부식성, 시공성, 경제성 등을 분석하기 위해 FPR, Steel, Aluminum의 다양한 재료로 구조체를 제작하였고, 연중 40m에 달하는 수위변화에 대응하기 위해 다중침자 계류방식을 적용하였다. 본 연구개발과제의 결과를 기반으로 2012년에 세계 최초로 합천댐에 500kW급 수상태양광이 상용화 되었다<그림 13>.



[그림 12. 100kW급 합천댐 수상태양광 실증플랜트]

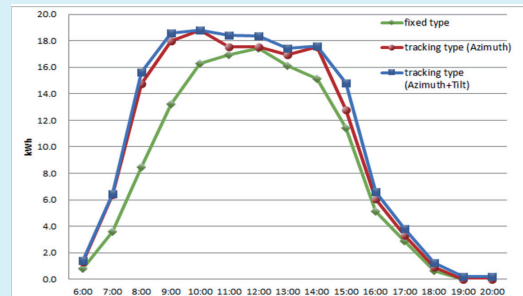


[그림 13. 세계최초 상용화 합천댐 500kW급 수상태양광 발전소]

태양광 발전 시스템은 방위각을 정남형으로 고정하는 것도 다른 방위보다 발전량이 높지만, 태양은 떠 있는 동안 동쪽에서 서쪽으로 방위가 변하기 때문에 이를 추적할 수 있다면 가장 높은 발전이 가능하다. 육상에서의 추적식 태양광에 대한 연구는 진행되었지만 수상태양광을 추적식 모델로 개발하는 것은 최초의 연구개발이었으며, 고정식 수상태양광과 추적식 수상태양광의 특징을 <표 2>에 나타내었다. 연구 결과, 2013년에 합천댐에 <그림 14>와 같이 100kW급 추적식 수상태양광 실증플랜트를 설치 및 운영하여 고정식 대비 약 23%의 발전량 증가 효과가 분석되어 우수성을 검증하였다.

[표 2. 추적식 및 고정형 수상태양광의 특징]

고흥호 수상태양광	대호호 수상태양광	군산 유수지 수상태양광
고정식 수상태양광		<ul style="list-style-type: none"> - 편리한 구조물 설계 및 건설 - 추적식 수상태양광보다 적은 발전량 - 방위각 고정을 위한 정밀한 계류 시스템
추적식 수상태양광		<ul style="list-style-type: none"> - 부유체 특성을 고려한 회전 구조물 설계 - 고정식 수상태양광보다 많은 발전량 - 고정식 수상태양광보다 상대적으로 복잡한 건설

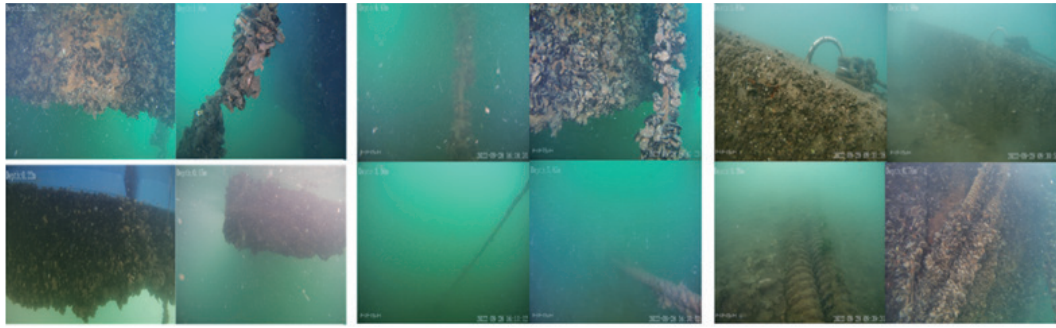


[그림 14. 100kW급 합천댐 추적식 수상태양광 실증플랜트]

위의 수상태양광 기술개발 모델들은 내수면 즉 담수의 환경에서 태양광 에너지를 이용하여 전기를 생산하는 방식이었다. 우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있고, 수상태양광도 해상풍력과 같이 기술개발을 통해 해상환경에서도 설치될 수 있다. 이러한 가능성을 검증하기 위해 국가연구과제로 해상환경에서 적용 가능한 수상태양광 시스템 개발과제가 진행 되었으며, 염수환경에도 견딜 수 있는 고내구성 수상태양광 요소기술들이 개발되어 2021년에 <그림 15>와 같이 200kW급 해상태양광 실증플랜트가 시화호 내수면에 설치되었다. 특히 수면 위 설비들의 진단 뿐만 아니라 <그림 16>과 같이 ROV(Remotely Operated Vehicle)인 수중드론을 활용하여 부력체 하부, 계류선, 계류 앵커 등 수중 구조물을 진단하는 기술 또한 개발되었다.



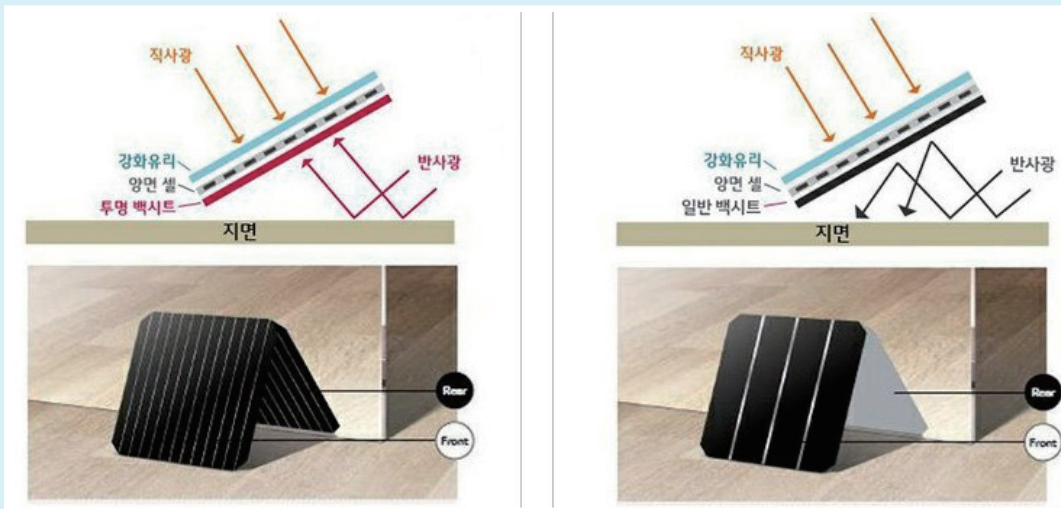
[그림 15. 200kW급 시화호 내수면 해상태양광 실증플랜트]



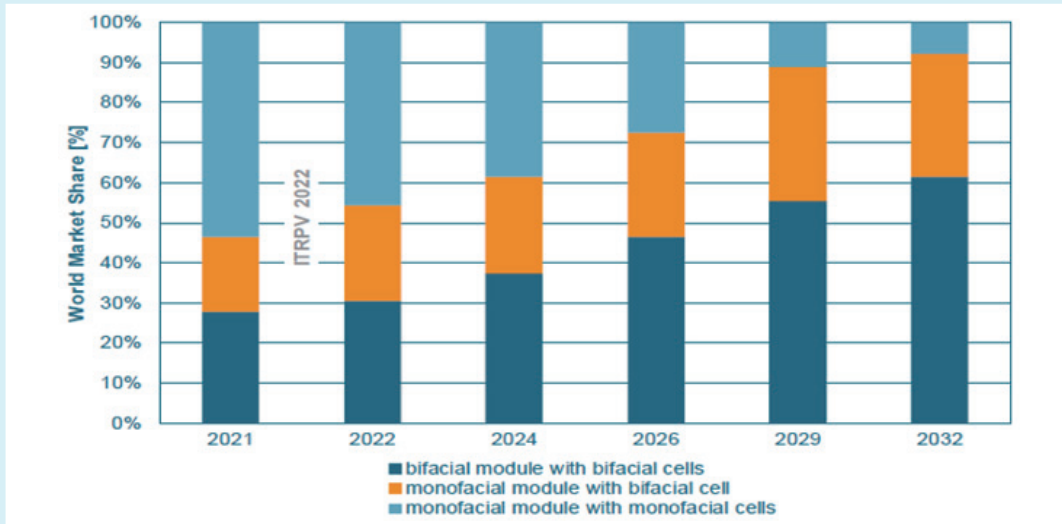
[그림 16. ROV를 활용한 수중 구조물 진단 결과]

3.2 수상태양광 활성화를 위한 기술개발

본 절에서는 다양한 수상태양광 모델 개발과 더불어 탄소중립 등 에너지 전환에 기여할 수 있는 수상태양광을 보다 활성화하기 위한 현재 개발 중인 기술에 대해 간략히 소개한다. 첫 번째로 같은 면적에서도 더욱 많은 전력을 생산하여 에너지 밀도를 높이는 기술이다. 최근 태양광 모듈 시장은 한쪽 면만을 사용하는 단면형 모듈에서 <그림 17>과 같이 양쪽면을 동시에 활용하여 발전량을 높이는 이른바 양면형 모듈의 시장점유율이 점차 늘어가고 있으며 <그림 18>과 같이 2030년 이후에는 전체 모듈 시장의 70% 이상이 될 것이라 예측되고 있다. 양면형 모듈은 수직형 태양광, 영농형 태양광 등에서 활용도가 높을 것으로 예상되고 연구가 활발히 진행 중이다. 수상태양광 또한 수면과 부력체 등의 후면반사를 활용한다면 기존 발전방식보다 에너지 밀도를 향상시킬 수 있다. 양면형 모듈을 수상태양광에 적용하기 위해서는 최대한 발전량을 향상시키기 위한 양면형 모듈 전용의 구조체와 부력체의 최적 설계가 필요하며, 바람 및 파고 등 실제 환경에서도 내구성이 검증될 수 있는 안정성 분석 또한 수반된다. K-water에서는 <그림 19>와 같이 수상태양광에 양면형 모듈을 적용한 최적화 유닛개발을 개발 중에 있으며, 김천부항댐에 실증플랜트를 설치하여 발전량 증가 및 안정성을 검증할 예정이며, 연구결과를 신속하게 상용화 될 수 있도록 할 예정이다.



[그림 17. 태양광 단면형 모듈 및 양면형 모듈]

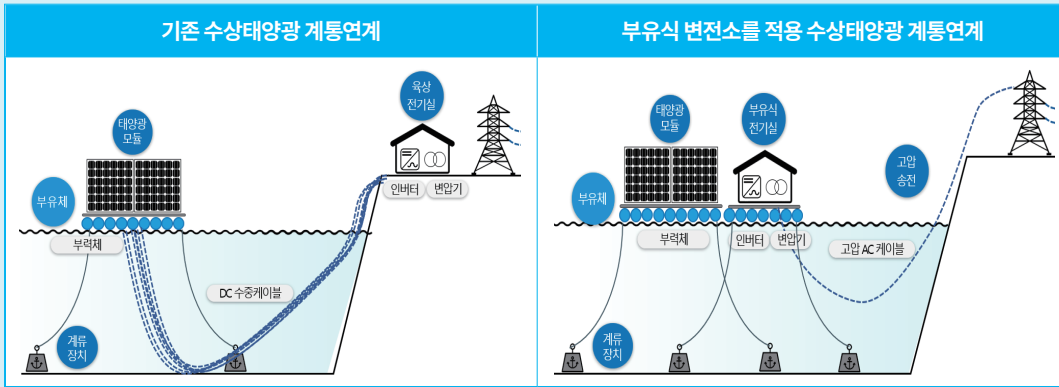


[그림 18. 양면형 모듈의 시장점유율 증가]



[그림 19. 양면형 모듈 최적화 수상태양광 유닛]

두 번째는 국가연구과제로 진행하고 있는 수상태양광 부유식 변전소 연구과제이다. <그림 2>에서 소개한 바와 같이 수상에서 발전된 직류 전력을 다수의 수중케이블로 육상에 있는 전기실로 송전하여 인버터를 통해 교류로 변환하고 변압기를 통해 배전급의 전압으로 승압하여 계통으로 발전을 하는 것이 일반적인 수상태양광의 구성이다. 하지만 최근의 사업들은 대규모로 진행되어 이러한 구성 방법은 유지보수의 어려움과 비용증가를 수반하기 때문에 사업성이 약화되고 있는 실정이다. 이러한 단점을 극복하기 위해 필수로 적용되어야 할 기술이 바로 부유식 변전소 기술이며, 주요 개념은 <그림 20>과 같다. 육상에 있는 인버터, 수배전반을 포함하는 전기실을 수상태양광 블록 인근으로 옮기는 개념으로 수상태양광의 용량이 커질수록, 수상태양광 블록과 계통연계점까지의 거리가 멀어질수록 수중 저압 직류 수중케이블은 회선수와 길이가 늘어나게 된다. 이러한 수중케이블은 수상태양광 설치비의 약 20%를 차지하는데, 부유식 변전소 개념을 적용하면 저압 수중케이블의 거리는 감소하고, 승압된 교류 전력이 (380Vac→22.9kVac) 육상으로 송전되므로, 수십 회선이 4회선으로 감소되는 효과가 있다. 현재 K-water에서 운영하고 있는 2MW급 보령댐 수상태양광 발전소에 실증이 예정되어 있으며, 설치비가 약 15% 감소가 예상된다. 하지만, 부유식 변전소는 아직까지 관련된 안전기준, 기술기준, 시험기준 등이 수립되어 있지 않으며, 「전기사업법」 제63조에 의거한 사용전점검 규정과 「공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙」에 부유식 전기실에 대한 내용이 수립되어 있지 않아 실제 사업에 적용이 어려운 실정이다. 따라서 연구과제에서는 「실증을 위한 규제특례, 제도를 활용하여 실증 후 관련 기준들을 제도화할 예정으로 부유식 변전소 기술이 적용되면 수상태양광의 설치비, 운영비가 크게 감소하여 사업성이 확보되고 이를 기반으로 글로벌 시장에서도 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 기대된다.

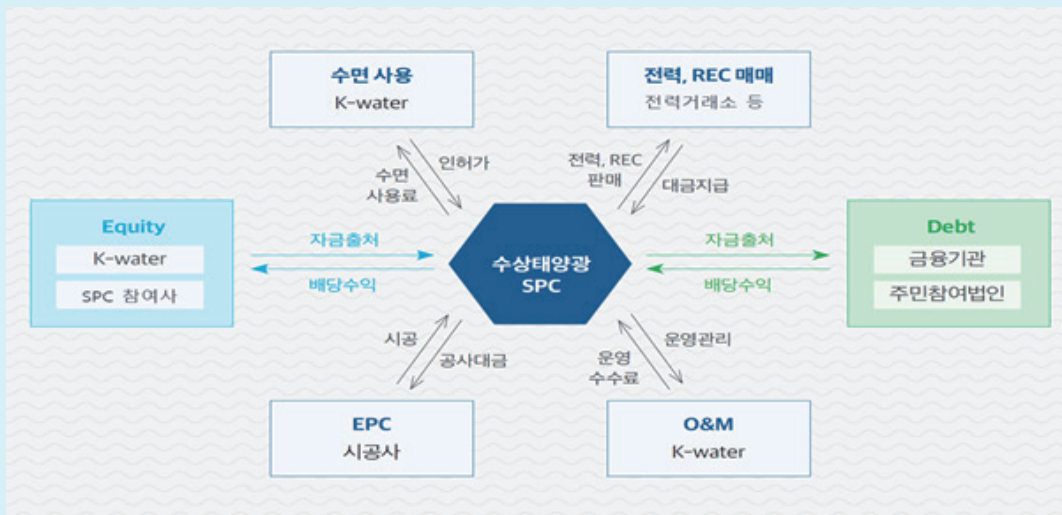


[그림 20. 부유식 변전소를 적용한 수상태양광 계통연계 개념도]

4. 수상태양광 사업 추진 현황

본 절에서는 수상태양광 발전소의 대표적인 사례인 41.6MW급 합천댐 수상태양광 발전소와 47.2MW급 임하댐 수상태양광에 대하여 소개한다. 두 사례 모두 특수목적법인(SPC, Special Purpose Company) 설립 및 주민참여형 사업모델을 기반으로 지역 수용성을 극대화하는 방향으로 추진되었으며, 특히 임하댐 수상태양광의 경우 재생에너지 집적화단지 1호로서 국내 최초이다. 주민참여형 사업이란 SPC에 지역 주민이 사업에 참여하고, 참여 비율에 따라 일정 기간 동안 투자금에 대한 고정수익을 배분받는 것을 말하며, <그림 21>에 사업모델을 나타내었다.

두 발전소 모두 수상태양광 블록을 매화, 무궁화 등 지역을 상징하는 꽃 형상으로 설치하여 경관조명과 더불어 지역 랜드마크화를 추진하였으며, 지속적인 주민설명회, 협의체를 개최하여 주민수용성 제고를 위해 노력한 결과이다. 특히 임하댐 수상태양광은 주변 발전선로 용량 부족으로 선로 확보 이후 발전사업을 추진이 지연될 위기가 있었으나, 주간에는 수상태양광이 발전하고 야간에는 임하댐 수력발전소가 발전하는 형태의 '교차송전' 방식을 제안하여 여기에 추진될 수 있었으며, 송전량 부족이라는 문제 해결을 위한 해법으로 제시되었다.



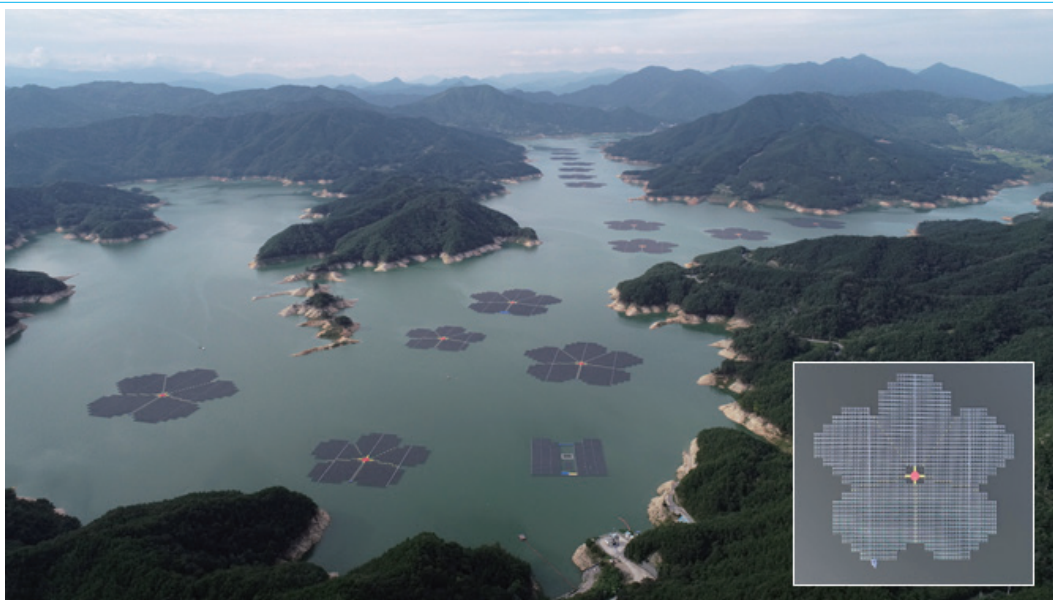
[그림 21. 주민참여형 사업모델]

합천댐 수상태양광

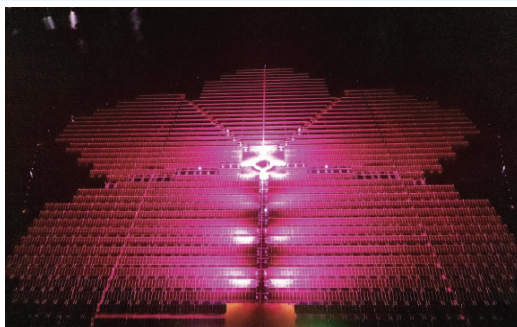
- 설비용량 : 41.6MW(20천가구 1년 전기사용량)
- 사업대상지 : 경상남도 합천군 봉산면 일원
- 사업모델 : SPC 사업모델(지역주민 참여형)
- 점유면적 : 467,000m2(저수면적 25km2의 약 2%)
- 총사업비 : 767억원

(단위 : 억원)

구분	합계	자기자본			타인자본		
		K-water	발전사등	소계	지역주민	금융기관	소계
투자금	766.5	78.2	75.1	153.3	30.7	582.5	613.2
비율	100%	10.2%	9.8%	20%	4%	76%	80%



[합천댐 수상태양광 전경]



[합천댐 수상태양광 경관조명]



[주민설명회]

임하댐 수상태양광

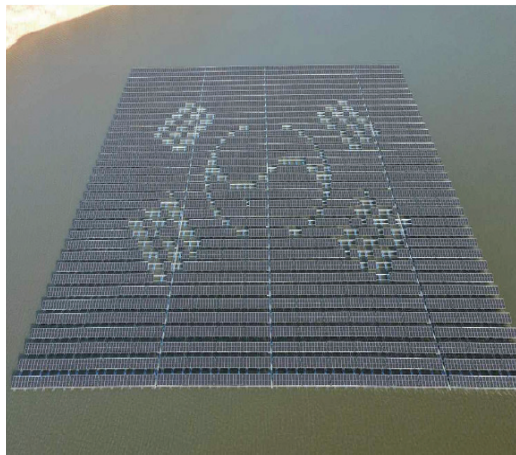
- 설비용량 : 47.2MW(20천가구 1년 전기사용량)
- 사업대상지 : 경상북도 안동시 임동면, 임하면 일원
- 사업모델 : SPC 사업모델(지역주민 참여형 및 집적화단지)
- 점유면적 : 521,000m2(저수면적 56.4km2의 약 1.9%)
- 총사업비 : 732억원

(단위 : 억원)

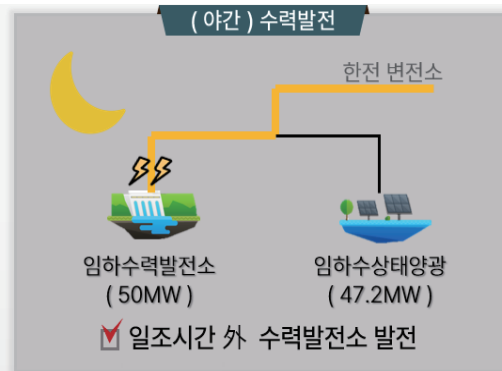
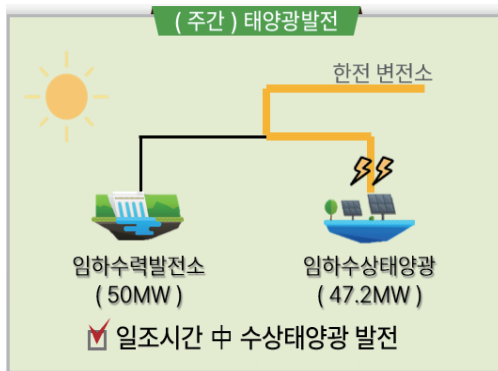
구분	합계	자기자본			타인자본		
		K-water	발전사등	소계	지역주민	금융기관	소계
투자금	766.5	75	72	147	50	535	585
비율	100%	10.2%	9.8%	20%	7%	73%	80%



[임하댐 수상태양광 전경]



[임하댐 수상태양광 태극기 블럭]



[임하댐 교차발전 개념도]

5. 결론

본 고에서는 대담의 수면을 효과적으로 활용할 수 있는 수상태양광의 국내·외 현황, 과거 및 현재까지 진행된 수상태양광 기술개발 현황, 수상태양광 발전소의 대표적인 사업사례에 대해서 간단하게 소개하였다. 수상태양광은 국토의 효율적인 사용과 산림벌목 등의 문제가 야기되고 있는 육상태양광의 한계를 극복하고 수면의 냉각 효과를 활용하여 발전량이 증대되는 장점이 있어 전세계적으로 기술개발 및 사업추진이 활발히 진행중이다. 또한 친환경 소재들을 사용하고 수면의 증발량 저감, 녹조 저감, 수상태양광 하부의 치어의 증가 등 환경적으로도 긍정적인 결과들이 보고되고 있다.

최근 전 세계적으로 기후위기는 인류 사회의 지속가능성을 위협하는 가장 중대한 도전 과제로 인식되고 있으며, 온실가스는 지구의 평균기온 상승을 가속화하며, 폭염·폭우·가뭄 등 기상이변의 빈도와 강도를 높이고 있다. 이에 국제사회는 이를 완화하기 위한 대응의 필요성에 공감대를 형성하였으며 특히 파리협정 이후 지구 평균기온 상승을 산업화 이전 대비 1.5°C로 제한하기 위한 글로벌 목표가 명확히 제시되면서 각국 정부는 NDC(Nationally Determined Contribution)를 설정 및 이를 달성하기 위한 정책을 활발히 시행중이다. 이러한 배경 속에서 탄소중립은 기후위기에 대응하기 위한 핵심 전략으로 부상하였으며 여러 국가가 2050년 또는 그 이전을 목표로 탄소중립을 선언하였다. 이와 더불어 글로벌 기업 중심으로 확산되고 있는 RE100 캠페인 또한 탄소중립을 실천하기 위한 구체적인 실행 전략으로 주목받고 있다.

기후위기, 탄소중립, RE100 등은 기존의 화석연료 기반의 에너지에서 재생에너지 중심의 에너지 전환이 핵심축이 된다. 특히 댐은 홍수 조절, 용수 공급, 수력 발전 등의 전통적인 역할에 그치지 않고 물을 활용하여 에너지 전환에 기여하는 보다 다양한 역할을 수행해야 할 것이며, 이를 토대로 더욱 다양한 분야의 기술 융합이 이루어지고 확대될 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 제11차 전력수급기본계획, 산업통상자원부(2025)
- [2] 제5차 에너지기술개발계획 기술로드맵, 한국에너지기술평가원(2025)
- [3] Floating Solar Landscape 2024, Wood Mackenzie(2024)
- [4] IEA PVPS: Global Floating PV Capacity(IEA, 2023)
- [5] 수상태양광 상용화를 위한 기반연구(K-water)
- [6] 수상태양광 발전시스템 실용화를 위한 ICT 융합 기술개발(국토교통부 연구과제)
- [7] 해상환경에서 적용 가능한 태양광 모듈 및 시스템 개발(산업통상자원부 연구과제)
- [8] 발전량 향상을 위한 수상태양광 최적화 유닛 개발 및 실증(K-water 연구과제)
- [9] 부유식 발전소 실증 및 트랙레코드 확보(기후에너지환경부 연구과제)