

차세대 태양전지



데이터분석본부 수도권지원 선임기술원 **조상훈** Tel: 02-3299-6098 e-mail: scho@kisti.re.kr

KEY FINDING

1. 차세대 태양전지는 세계적인 에너지, 기후 위기 대응을 위해 탄소중립을 목표로 추진 중인 친환경 발전 가운데 하나로 상대적으로 에너지 변환효율이 높아 에너지 수요에 대응이 용이하고 타 친환경 발전에 비해 시장의 성장성이 높을 것으로 전망되는 기술이다.
2. 차세대 태양전지의 세계 시장 규모는 2023년 기준 약 30억 2,600만 달러이며, 연평균 19.5%로 성장해 2028년 약 73억 8,900만 달러까지 확대될 것으로 전망된다.
3. 차세대 태양전지는 구성 소재에 따라 CdTe(카드뮴 텔루라이드), CIGS(구리인듐갈륨 셀렌화물), a-Si(비정질 실리콘), GaAs(갈륨비소) 등으로 구분되며, 실험실 수준에서 연구되고 있지만 높은 에너지 효율과 저렴한 공정이 가능해 미래에 적용이 기대되는 페로브스카이트 태양전지도 있다.
4. 차세대 태양전지는 미국, 중국, 유럽과 같은 주요국을 중심으로 공장설립, 제조, 설치 등에 전방위적인 정책적 지원이 이루어지고 있다. 기존의 폴리실리콘은 적극적인 개발과 지원으로 중국 기업이 시장의 대부분을 점유하고 있으나, 차세대 태양전지의 경우는 미국의 First solar, 한국의 한화큐셀 같은 업체들이 적극적으로 시장에 진출해 연구개발과 생산을 하고 있다.
5. 차세대 태양전지는 아시아태평양 지역이 가장 규모가 큰 시장이며, 이는 기존의 폴리실리콘 시장의 설비 업체가 다수 분포한 것이 영향을 미친 것으로 분석된다. 다만, 미국, 유럽에서도 환경에 관한 관심, 정책적인 지원 등으로 연평균 20% 이상의 높은 성장세를 보일 것으로 기대된다.

1) 시장의 개요

기후 위기 대응을 위해 국가, 기업은 탄소중립을 목표로 다양한 에너지 발전 방식을 연구개발하고 있으며, 국내에서도 신재생 에너

지 발전량에 목표를 부여하고 적극적으로 대응하고 있다. 다양한 신재생 에너지 기술 중 태양전지 기술은 미래 에너지 수요에 대응할 수 있으며, 20% 중반의 높은 에너지 변환효율과 가격 때문에 집중적으로 활용되었다. 특히, 폴리실리콘(결정질 실리콘) 태양전지

는 낮은 가격 등의 장점으로 상용화가 이루어져, 현재까지는 태양전지의 효율을 높이는 연구와 제조, 생산 비용의 절감을 위한 연구가 중점적으로 이루어져 왔다. 다만, 기존 태양전지의 한계인 유연성, 투명성 등 물성, 용액공정 등을 통한 가격 경쟁력, 이론적 효율을 극복하기 위해서는 다양한 반도체 소재와 구조를 활용한 차세대 태양전지 제조의 필요성이 높아지고 있다. 차세대 반도체 태양전지는 박막형 전지인 카드뮴텔루라이드(Cadmium-Telluride, CdTe), 비정질 실리콘(Amorphous Silicon, a-Si), 구리인듐갈륨셀렌화물(Copper Indium Gallium Selenide, CIGS), 갈륨비소(Gallium Arsenide, GaAs)와 같은 물질이 대표적인 광활성 층으로 활용되며, 최근에는 산업적인 활용이 어렵지만 높은 효율성 등으로 주목받는 페로브스카이트, 유기물 태양전지 등이 연구되고 있다. 특히, CdTe는 박막 태양전지로 결정질 실리콘(c-Si) 이외에 가장 상업화된 태양전지이며, II족인 카드뮴과 VI족인 텔루라이드가 결합한 반도체로서 높은 광 흡수 계수로 인해 박막 태양전지에 유리하고 제조단가가 낮은 장점이 있어 주요하게 연구되었으나, 중금속인 카드뮴의 독성이 문제가 되고 있다. CIGS 태양전지는 구리, 인듐, 갈륨, 셀레늄을 일정한 비율로 결합해 광 흡수층으로 구성하고 동시진공증발법(Co-evaporation), 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD) 등을 활용하여 제작하는 전지로 제조공정이 짧고 박막화가 가능하다는 장점이 있으나, 변환효율이 다소 낮고 희소 원소인 인듐이 포함되어 시장 확장에 어려움이 있다. 비정질 실리콘(a-Si)은 두께를 얇게 만들 수 있고 넓은 면적의 대량생산이 가능하며 고온에 강한 장점이 있어 성장세가 예상되며, GaAs가 사용되는 태양전지는 매우 높은 효율을 보여주지만, 가격이 높아 우주에 사용되는 태양전지 등 특수 목적에만 활용되고 있다. 또한, 페로브스카이트 태양전지는 유무기 하이브리드 재료를 광활성 층으로 활용하는 3세대 태양전지로 ABX₃(A: 유기 양이온, B: 금속 양이온, X: 할로겐 음이온) 구조이다. 수분, 열 등에 영향을 받아 소자 안정성이 다소 떨어지나 기존 실리콘 태양전지와 비교하여 구조가 단순하고 유연하며 투과성이 있는 태양전지로 구현이 가능할 뿐 아니라 경제성이 좋고 높은 광전 변환 효율로 국내외 연구진의 연구가 가장 활발하다.

차세대 태양전지는 기존의 실리콘 기반 태양전지에 비해 가시광선, 적외선을 포함해 다양한 범위의 태양광 스펙트럼을 흡수하여 전기로 변환할 수 있고, 저조도 조건에서 더 높은 출력과 더 나은 효율을 보여줄 수 있다. 또한, 롤투롤(Roll to Roll) 등 인쇄공정으로 대량생산이 가능해질 것으로 기대되며, 대면적 기판 양산, 상업적 규모 설치에 적합한 것으로 보인다. 결정질 실리콘에 비하여 박막으로 구성되기 때문에 유연성, 투명성이 확보되는 장점을 보여 다양한 산업에 응용 가능성이 높다. 2018년 발표된 국제에너지기구

(International Energy Agency)는 재생 에너지가 빠르게 성장하여 2023년까지 전력 수요의 약 30%를 생산하고, 이 중 70%를 태양전지가 포함된 재생 에너지가 차지할 것으로 예상하였다. 다만, 재생 에너지는 풍력, 수력 등 다양한 공급원의 기술도 동반 성장하고 있어, 저렴하고 변환효율이 높은 태양전지 개발이 해당 시장 확장을 위해 필수적일 것으로 보인다.

2) 정책 및 규제 현황 - 융합연구리뷰

태양전지는 기후변화에 대응하기 위해 지속 가능한 에너지 기술 개발이라는 목적에 부합하는 기술로 주요국들의 기술 개발 정책이 지속되고 있고, 특히, 효율성, 유연성, 안정성, 생산 단가 등을 위하여 차세대 태양전지인 페로브스카이트, 비정질 실리콘, CIGS 등을 중점적으로 지원하고 있는 것으로 파악된다.

국내의 경우 2020년 12월 제5차 신재생 에너지 기본계획을 정부에서 수립하고 신재생 에너지 비중 확대 계획을 발표하였으며, 2034년까지 태양광을 포함한 신재생 에너지 발전량을 25% 이상으로 확대하고 농촌 및 산업단지의 태양광사업을 지원할 계획을 가지고 있다. 부처별로는 산업통상자원부에서 재생 에너지 2030 이행계획을 2017년 2월에 마련하고 재생 에너지 산업 경쟁력 강화를 위해 차세대 태양전지 기술 추진계획을 발표했다. 이 계획에는 차세대 태양전지의 상용화, 유연성, 투과성, 경량화 등 공정 기술이 포함되었다. 과학기술정보통신부에서는 2019년도 정부 연구개발 투자 방향 및 기준을 발표하고 페로브스카이트 태양전지에 대한 투자 강화 계획을 발표한 바 있다.

미국 에너지부(Department of Energy, DOE)는 2014년 10월부터 SunShot Initiative를 통하여 차세대 태양전지에 적극적으로 투자하고 있으며, 2020년까지 태양광 원가 및 시스템 비용감소, 2030년까지 태양광 발전으로 미국 내 발전전력의 15%를 태양광 시스템으로 공급하는 것을 목표로 지원하고 있다. 특히, 새로운 물질인 페로브스카이트에 투자하고 있으며, 다중 적층화하는 텐덤 셀을 집중적으로 개발하여 30% 이상의 효율 달성을 목표로 연구 중인 것으로 파악된다. 또한, 국가 연구소인 NREL(National Renewable Energy Laboratory)와 LANL(Los Alamos National Laboratory) 등에서 페로브스카이트 할로겐화물의 고품질화를 연구하고 있는 것으로 파악된다.

EU(European Union)는 EU 2030 기후 에너지 정책 프레임워크(A Policy Framework for Climate and Energy in the Period from 2020 to 2030) 프로그램을 통해 회원국들의 가이드를 제시

하고 있다. 여기에서 2030년까지 재생 에너지 비율을 최소 27% 이상으로 확대하는 것을 목표로 제시했다. 독일은 2018년 '에너지전환 정책 추진 방향 협정'으로 2030년까지 재생 에너지 발전 비중을 65%로 확대하는 목표를 설정하였다. 프랑스는 2018년 중장기 에너지 정책 계획인 '장기 에너지 프로그램'을 통해 에너지소비 40% 감축을 2030년 목표로 정하고, 재생 에너지 발전 비중을 40%로 확대하기 위해 태양광 발전을 5배 이상 확대할 계획을 수립·발표하였다. 영국의 경우 신재생 에너지 핵심 기술 중 하나로 태양광 발전을 선정하여 전력 로드맵을 수립하였으며, 상업적 규모에 도달하지 못한 차세대 태양전지를 장기적으로 지원하여 효율성, 수명, 시스템 통합 등을 추진하고 성장을 지원하고 있다.

일본은 재생 에너지 중 태양광 발전이 차지하는 비율이 높은 국가 중 하나로 면적이 타 국가에 비하여 넓지 않기 때문에 고효율의 태양전지의 필요성이 높다. 이에 일본 정부는 효율성과 유연성이 높은 페로브스카이트 태양전지의 개발을 지원하고 있다. 특히, 일본 경제산업성 및 NEDO(신에너지·산업기술 종합개발기구), 산업기술총합연구소 등의 지원을 받고 있는 도시바, 세키스이화학공업, 카네카, 파나소닉 등의 기업이 개발 속도를 높여가고 있다. 또한, NEDO는 2030년까지 기존의 실리콘 타입과 유사한 수준으로 비용을 낮추어 상용화하는 것을 목표로 연구를 지원하고 있으며, 공공시설, 역사, 학교 등의 공급을 통해 초기 단계부터 수요 창출과 도입을 지원할 계획인 것으로 파악된다.

중국은 기존의 폴리실리콘 태양전지 생산에 가장 앞서 있는 국가로 가격 측면의 장점을 통해 세계 시장에서 높은 점유율을 유지하고 있다. 2022년에는 국가발전개혁위원회와 국가에너지청 등 9개 부

처가 공동으로 '재생 에너지 발전 14차 5개년 계획'을 발표하였는데, 재생 에너지 연간 발전량을 3,300T Wh로 증대하고 재생 에너지 소비량을 늘리는 내용을 담고 있다. 여기에 발맞추어 태양광, 풍력 등 재생 에너지 비중을 20%로 설정하고, 지속적인 태양광 개발을 정책적으로 지원하고 있다.

3) 시장동향

| 시장 규모 및 전망

차세대 태양전지는 신재생 에너지의 부각과 함께 기존 태양전지의 효율 증대, 유연화 등 다양한 장점으로 활발하게 개발 중이다. 특히, 박막 형태로 제작할 수 있어 가볍고 얇아 투과성이 있는 태양전지의 구현이 가능하고, 제작공정을 비교적 단순화 할 수 있어 저비용으로 활용이 가능할 것으로 기대된다. 이에 시장 규모는 2023년 30억 2,600만 달러에서 연평균 19.5 % 성장하여 73억 8,900만 달러로 확대될 것으로 예상되며, 소재별로는 CdTe, CIGS, a-Si 순으로 큰 규모를 가질 것으로 전망된다. 특히, CdTe는 그리드에 전기를 공급하는 역할로 설계되어 대규모 태양광 발전소, 유틸리티 규모의 태양광 산업에서 사용할 수 있어 높은 시장점유율을 보인다. 다만, 현재는 실험실 수준인 페로브스카이트 태양전지, 염료감응형 태양전지, 유기 태양전지 등이 발전, 상용화되면서 2028년에는 31억 9,400만 달러 수준으로 빠른 시장 확대가 예상된다.

표 1 차세대 태양전지 소재별 세계 시장 현황 및 전망(2023~2028)

(단위: 백만 달러)

종류	2023	2024	2025	2026	2027	2028	CAGR(%) (2023~2028)
Cadmium Telluride (CdTe)	1,838	1,975	2,157	2,373	2,574	2,729	8.20%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	566	586	621	665	705	741	5.50%
Amorphous Silicon (aSi)	311	337	364	391	416	439	7.10%
Gallium Arsenide (GaAs)	140	161	188	218	250	287	15.40%
Other Materials	172	573	1,102	1,855	2,606	3,194	79.40%
Perovskite	-	271	659	1,264	1,855	2,268	70.1%
계	3,026	3,633	4,432	5,502	6,552	7,389	19.50%

출처 : Marketsandmarkets, Next generation solar cell market, 2023

Marketsandmarkets, Perovskite solar cell market 2022

차세대 태양전지 시장을 최종 소비자로 분류하여 분석하면, 주거용, 유틸리티용, 상업/산업용, 기타로 구분할 수 있으며, 태양광 발전소가 포함된 유틸리티 부문이 가장 큰 시장규모를 형성할 예상된다. 앞서 언급한 바와 같이 신재생 에너지 정책에 따라 미국, 중국, 독일, 일본, 인도 등에서 많은 태양광 발전소가 가동되고 있는 것이 높은 점유율의 원인으로 분석되며, 시장규모는 2023년 12억 5,300만 달러

에서 2028년 30억 9,500만 달러로 연평균 19.8% 성장할 것으로 보인다. 또한, 주거 부문은 연평균 성장률 21.6%로 가장 높은 성장세를 보여 2028년 17억 8,600만 달러 규모가 예상되는데, 많은 국가에서의 인센티브 제공을 통해 설치비용을 절감할 수 있다는 점이 시장 성장을 촉진하는 변수가 될 것으로 분석된다.

표 2 차세대 태양전지 최종 소비자별 세계 시장 현황 및 전망(2023~2028)

(단위: 백만 달러)

종류	2023	2024	2025	2026	2027	2028	CAGR(%) (2023~2028)
주거용	672	822	1,020	1,293	1,565	1,786	21.6%
상업, 산업용	813	959	1,149	1,397	1,637	1,829	17.6%
유틸리티	1,253	1,508	1,844	2,297	2,743	3,095	19.8%
기타	287	345	419	515	607	679	18.8%
계	3,026	3,633	4,432	5,502	6,552	7,389	19.5%

출처 : Marketsandmarkets, Next generation solar cell market, 2023

차세대 태양전지를 지역별로 구분해보면, 2023년 기준으로 아시아 태평양 시장이 17억 9,700만 달러로 가장 규모가 크다. 이러한 규모는 중국, 일본, 인도 등 아시아 주요 국가가 모듈 및 관련 제품의 최대 생산자이자 소비자인 점, 정부가 태양전지 사용 촉진 정책을 적극적으로 펼치는 점이 영향을 미친 것으로 분석되며, 2028년까지 42

억 700만 달러 수준으로 지속 성장할 것으로 보인다. 또한, 유럽은 신재생 에너지를 장려로 전체 에너지 발전량 중 재생 에너지 비중의 목표가 높은 점이 시장 확대를 유발해 시장이 연평균 21.7%로 빠르게 성장할 것으로 보인다. 이에 시장규모는 2023년 5억 700만 달러 규모에서 2028년 13억 5,500만 달러 규모가 될 것으로 기대된다.

표 3 차세대 태양전지의 지역별 세계 시장 규모 및 전망(2023~2028)

(단위: 백만 달러)

활용처	2023	2024	2025	2026	2027	2028	CAGR(%) (2023~2028)
북아메리카	483	597	747	950	1,150	1,309	22.1%
유럽	507	626	782	994	1,199	1,355	21.7%
아시아 태평양	1,797	2,121	2,554	3,136	3,720	4,207	18.5%
기타	239	289	349	422	483	517	16.6%
계	3,026	3,633	4,432	5,502	6,552	7,389	19.5%

* 기타 시장은 남아메리카, 중동 등이 포함됨.

출처 : Marketsandmarkets, Next generation solar cell market, 2023

국내 차세대 태양전지 시장은 CdTe, CIGS 등의 상업화로 시장이 형성되어 있으나, 페로브스카이트 기반 태양전지의 연구도 활발해 연평균 17%의 성장이 기대된다. 또한, 국토교통부의 제로 에너지건물 정책(2019)으로 인해 2030년부터 연면적 500㎡ 이상의 신축건물에

서는 신재생 에너지를 활용하여 필요한 전력을 생산하는 정책이 수립되어 지속적인 시장 성장이 기대되므로, 2023년 8,850만 달러에서 2028년 1억 9,390만 달러로 시장규모가 커질 것으로 분석된다.

표 4 차세대 태양전지의 국내 시장 현황 및 전망(2023~2028)

(단위: 백만 달러)

지역	2023	2024	2025	2026	2027	2028	CAGR(%) (2023~2028)
국내시장	88.5	103.2	122.6	148.5	173.8	193.9	17.00%

출처 : Marketsandmarkets, Next generation solar cell market, 2023

I 경쟁 현황

차세대 태양전지는 세계적인 탄소중립 정책과 발전효율을 높게 만들거나 낮은 생산 단가로 양산할 수 있을 것으로 예상되어 중요도가 높은 기술이며, CIGS, CdTe 등 박막 태양전지, 페로브스카이트 등의 태양전지가 연구개발 및 양산되고 있다. 대표적으로는 PV 모듈 및 관련 시스템을 생산하는 First solar(미국)과 한화솔루션(한국), Kaneka Solar Energy(일본)가 있으며, CIGS를 주로 사업화하는 Ascent solar Technologies(미국)가 있다. 중국의 기업이 대다수를 점유한 폴리실리콘 태양전지에 비해 다양한 국가의 기업들이 경쟁적으로 사업화, 연구하고 있으며, 이중 First solar가 25~30% 수준의 시장점유율을 점유한 것으로 파악된다. 또한, 사업화 이전인 페로브스카이트 태양전지의 경우 특허를 보유한 기업들이 연구·개발에 투자하고 있으며, 옥스퍼드 PV(영국)가 선두에 있는 것으로 파악된다.

가장 점유율이 높은 First solar는 태양광 발전시스템, 모듈 설계, 제조, 판매까지 태양전지 전반을 아우르는 사업구조로 되어 있으며, CdTe 소재 기반의 태양전지를 주로 사업화하고 있다. 대표적인 제품은 450W 수준의 Series 6, 550W 수준의 Series 7 등의 제품을 생산하고 있으며, 미국, 말레이시아, 베트남 등에 생산 시설을 가지고 있다. 또한, 미국의 IRA 법안 등을 고려하여 11억 달러를 투자, 연간 3.5GW 규모의 공장 신설을 발표하고 2026년까지 미국 내 14GW, 세계적으로 25GW의 생산 인프라를 구축할 계획을 세운 것으로 파악된다.

국내 기업인 한화솔루션은 주거, 상업용, 산업 및 유틸리티 시장을 목표시장으로 PV 모듈을 설계·제조하고 있다. 제품의 포트폴리오는 PV 변형 모듈이 대부분이며, 최초로 상용화한 Q.Antum (PERC(Passivated Emitter and Rear Cell) 기술)을 바탕으로 적극적인 사업을 전개하는 것으로 파악된다. 모듈 생산능력은 연간 12.4GW에 달하고 있으며, 2023년 1월 미국 조지아에 3조 원 이상을 투자해 모듈 생산 시설을 확충할 것을 발표했다. 또한, 최근에는 페로브스카이트 태양전지의 2026년 양산을 목표로 연구·개발에 적극적인 투자를 하고 있다.

Ascent solar Technologies는 CIGS를 상용화한 대표적인 기업으로 보유 특허인 모놀로식 통합 공정을 통해 유연성, 효율성, 내구성 및 중량 절감 기능이 있는 태양전지를 생산하고 있다. 주요 고객사인 미국 공군연구소(Air Force Research Laboratory, AFRL), 미국항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA), 국립재생에너지연구소(National Renewable Energy Laboratory, NREL)등과 주요한 공동 연구 사업을 진행하고 있다.

4) 애널리스트 인사이트

차세대 태양전지는 기후 위기 대응을 위한 신재생 에너지의 연구 개발 확대에 의해 시장의 수요가 빠르게 높아지는 시장이다. 기존의 태양전지는 폴리실리콘 기반으로 중국 기업이 시장을 점유하고 있었으나, 고효율, 생산 단가, 유연성, 투명성 등의 확보를 위하여 새로운 소재의 차세대 태양전지를 필요로 하는 추세이다. 차세대 태양전지는 광활성 층의 소재로 구분할 수 있는데 대표적으로 CdTe, a-Si, CIGS, GaAs 등이 있으며, 상용화는 되지 않았으나 최근 고효율성으로 활발하게 연구되는 페로브스카이트 태양전지 (ABX₃ 구조)가 있다. 이러한 차세대 태양전지는 습식 공정, 박막 공정이 가능하고 투명, 유연 전지의 구성이 가능하다는 장점으로 기술의 진보와 시장의 필요성이 증가하고 있으나, 기존 태양전지의 가격이 낮아짐과 동시에 효율이 높아졌고, 풍력과 같은 신재생 에너지의 발전으로 인하여 기술개발의 집중도가 떨어진 것이 사실이다. 다만, 사회적으로 기후변화, ESG 경영, RE100 등 신재생에너지 발전의 필요성은 계속 높아지고 있고 고에너지효율, 다기능성이 동시에 요구되기 때문에, 가까운 미래에는 차세대 태양전지의 상용화가 이루어져야 할 것으로 보인다. 태양전지 기술과 관련된 첨단 전자산업 기술이 앞서 있는 국내 상황을 고려하여 정부에서는 가치사슬을 분석하고 범부처의 로드맵을 구성하여 정책적으로 지원할 필요가 있으며, 기존의 실리콘 태양전지 이외에도 차세대 태양전지가 적용된 패널 등에 대한 지원금을 신설하면 활용도 증가와 기술의 성숙도를 빠르게 높일 수 있을

것으로 기대된다. 또한, 민간에서는 시장의 수요에 맞는 태양전지 개발을 위해 안정성, 대면적화 등 기술적 진보를 연구함과 동시에 공장


신설, 인력 확충 등 적극적인 투자를 진행해 글로벌 시장을 선도하는 입지를 구축할 필요가 있다. 

그림 1 차세대 태양전지 시장의 신사업 기회 분석



참고문헌

- [1] Marketsandmarkets, Next generation solar cells markets, 2020
- [2] Marketsandmarkets, Perovskite markets , 2021
- [3] 서울시 녹색산업지원센터, 2022 녹색산업 인사이트 태양전지, 2022
- [4] 한국과학기술연구원 융합연구정책센터, 융합연구리뷰 (유무기 하이브리드 페로브스카이트), 2017
- [5] 인더스트리 뉴스, 퍼스트 솔라, 태양광 모듈에 11억 달러 투자 발표 美 제조 시설 5개로 확대, 2023.07
- [6] 녹색기술센터, 태양전지 혁신기술개발 전략과 방향, 2022
- [7] KISTEP, 기술동향브리프 페로브스카이트 태양전지, 2018

