

발간일자: 2026/ 04/ 02

[신재생에너지/ESG]
조혜빈 선임연구원
02-3771-9130
hevin.cho@iprovest.com

그래서 페로브스카이트가 뭔데?

- 페로브스카이트는 특정 결정 구조를 가진 반도체 소재로, LED나 센서 등에도 쓰이지만 태양전지 분야에서 특히 주목받는 기존 실리콘 공장 라인 위에 올려 저렴하게 효율을 높일 수 있기 때문. 저렴하게 탠덤(2층 구조)을 만들 수 있는 최초의 소재. 실리콘 단독 이론 한계(29.4%)를 이미 돌파했으며, 미국 국립신재생에너지연구소(NREL) 인증 최고 효율 34.8% 기록
- 양산은 중국이 앞서는 중. 중국 GCL이 '25.6 Kunshan에서 GW급 공장을 가동하며 선두. '26.3 첫 상업 수주를 확보함. 비중국 플레이어는 First Solar(미국, Oxford PV 라이선스), 한화큐셀(파일럿 검증 중), 세키스이화학(일본, 2027년 100MW → 2030년 1GW 목표) 등이 후보. 중국이 앞서 있지만, 미국 내 대중국 규제로 인해, 비중국 진영에서 먼저 양산하는 기업이 미국 시장을 선점할 것으로 판단
- 안정성은 개선 중. 중국 GCL이 국제 안전 및 성능 시험을 통과하고, 설치 후 25년 뒤에도 초기 출력의 80%를 보증하기 시작함. 다만 고온, 고습 환경에서 약 42일간 진행한 단축 테스트라 실제 현장에서 25년간 작동한 실적은 아직 없음. Oxford PV가 2028년까지 25년 보증 데이터를 축적할 예정
- **[지상]** Tesla가 미국 내 100GW 규모의 태양광 발전 설비 제조역량 구축 선언('26.1). 이를 위해 29억달러 규모의 중국산 제조 장비 구매를 협상 중. 중국 장비로 미국에서 만든다는 전략. 현재 미국 셀 CAPA는 3.2GW에 불과해 20~30GW만 달성해도 미국 내 실리콘 셀 인프라가 대폭 확대되며, 이는 향후 탠덤 전환의 물리적 기반이 될 전망
- **[우주]** SpaceX가 궤도 AI 데이터센터(우주에 띄우는 서버팜) 100만 기를 미국 연방통신위원회 FCC에 신청('26.1). 현재 우주 태양전지 시장점유율 1위는 갈륨비소(GaAs)이나, 연간 생산량이 수 MW 수준에 불과해 대량 위성에 대응 불가함. 페로브스카이트의 경우, 실리콘의 대량 생산성 + GaAs의 경량을 동시에 충족할 수 있으나, 우주 실증은 아직 없어 초기 단계 수준
- 페로브스카이트는 실리콘 대비 제조 단계의 탄소 발자국이 크게 낮음. 올-페로브스카이트 탠덤 기준, 발전 과정의 탄소배출이 10.9g/kWh로 실리콘(24.6g/kWh)의 절반 수준이며, 또한, 태양전지를 만드는 데 쓴 에너지를 발전으로 되갚는 기간도 약 4개월(vs. 실리콘 1.5년)에 불과. 저온(150°C 이하) 용액 공정이라 제조 에너지 자체가 적기 때문. 다만, 납(Pb) 사용에 따른 유해물질 관리가 남은 과제. EU RoHS 납 면제 만료('27.12) 갱신 여부 주목 필요

[Tech] 효율은 넘었고, 남은 과제는 안정성과 양산

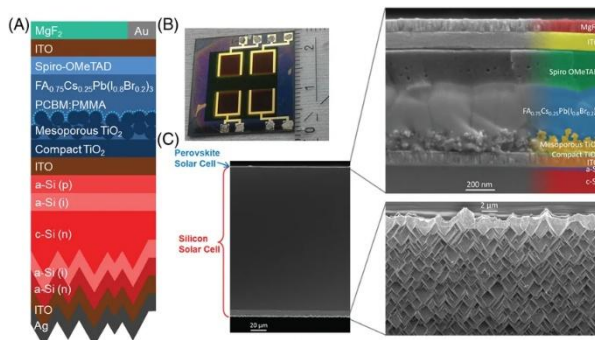
왜 페로브스카이트인가? 2층으로 쌓는 탠덤 태양전지는 이미 갈륨비소(GaAs) 등 고가 화합물로 존재하나, W(와트)당 단가가 실리콘 대비 수십~수백 배 높음. 반면 페로브스카이트는 저온(150°C 이하)에서 용액을 기판 위에 도포하는 방식으로 만들 수 있어, 기존 실리콘 셀 위에 올리는 탠덤을 저렴하게 구현할 수 있는 최초의 소재임. 실리콘 단독 이론 효율 한계 29.4%를 탠덤은 이미 돌파함. 1Q26 예만 인증 기록 3건 경신됨. 제조 비용 측면에서도 유리. 실리콘은 1,000°C 이상에서 잉곳을 성장시키고, 다이아몬드와 이어로 웨이퍼를 자르는 에너지 및 장비 집약적 공정을 거치는 반면, 페로브스카이트는 150°C 이하 용액 도포 방식이라 에너지 비용과 장비 비용이 낮음

[안정성] 중국 GCL과 UtmoLight가 태양전지 모듈의 국제 안전 및 성능 시험을 통과함. GCL은 설치 후 25년 뒤에도 초기 출력의 80%를 보증하기 시작했고, Oxford PV는 유리 두 장 사이에 모듈을 밀봉하고 수분차단막을 적용하여 25년 보증을 목표(2028년까지)로 하고 있음. 고온, 고습(85°C, 습도 85%) 환경에서 1,000시간 이상 가동해도 95% 이상 효율이 유지되는 것이 확인됨. 다만, 이 시험은 약 42일간의 단축 테스트이며 실제 현장에서 25년간 작동한 실적이 있다는 뜻은 아님. 25년 보증을 뒷받침할 학술 논문 수준의 장기 데이터는 현재 부재이며, 수분 침투가 가장 치명적인 열화 요인임

[양산] 양산 경쟁의 경우, 중국 GCL이 '25.6 Kunshan에서 GW급 공장을 가동하며 선두('26.3 첫 상업 수주 확보). 비중국 진영은 First Solar(Oxford PV 라이선스), 한화큐셀(파일럿 양산성 검증 중), 세키수이 화학(3,100억엔 투자, 2027년 100MW → 2030년 1GW 목표)이 주요 후보. 양산은 중국이 앞서 있지만, 미국 내 규제에 의해 비중국 진영에서 먼저 양산하는 기업이 미국 시장을 선점할 것으로 판단

양산 허들은 대면적화가 핵심. 다만 효율 기록은 대부분 손톱 크기(1cm²) 셀 기준이며, 양산용 대면적에서는 용액을 균일하게 도포하기 어려워 효율이 떨어짐. GCL 양산 모듈 27.3%(대면적)는 LONGi 소면적 34.8% 대비 약 7.5%p 낮음. 봉지재의 경우에도 기존 실리콘 모듈에 쓰는 봉지재는 수분 투과율이 높아 페로브스카이트에 부적합함. 따라서 대면적 균일성과 봉지재 이슈가 양산 확대 전에 해결해야 할 과제임

[도표 1] 페로브스카이트/실리콘 탠덤 태양전지 단면 구조



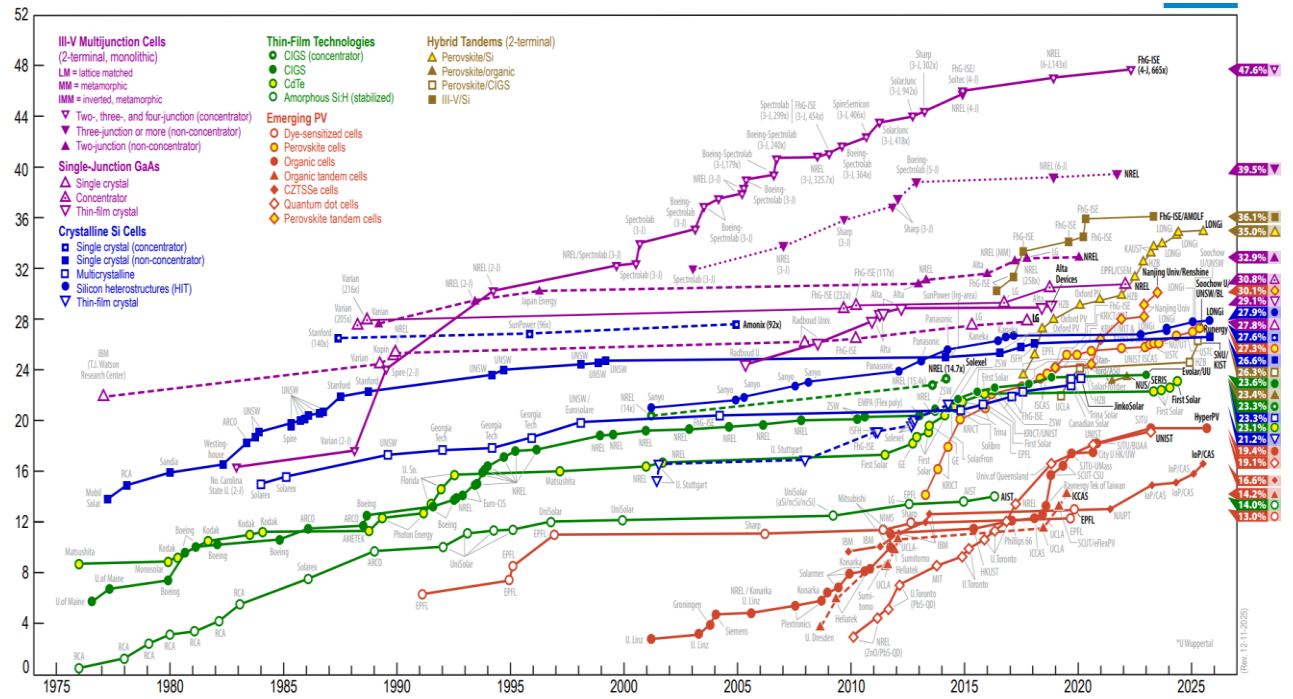
자료: Fraunhofer ISE, 교보증권 리서치센터

[도표 2] 페로브스카이트 탠덤 효율 기록

기업(기관)	효율(%)	비고
LONGi	34.8	PSC+Si 탠덤. 소면적 최고 효율. NREL('25.4)
JinkoSolar+NUS	32.7	PSC+TOPCon Si. 산업용 기판. NPVM('26.3)
TrinaSolar	32.6	PSC+Si(산업용 규격). Fraunhofer ISE('26.1)
CSEM/EPFL	30.0	3 층 적층(PSC-PSC-Si). SIMIT('26.3)
한화큐셀	28.6	PSC+Si 탠덤. 양산 규격(M10). Fraunhofer ISE('24.12)
GCL	27.3	PSC+Si 탠덤. 양산 모듈(2,050cm ²). TÜV Rheinland('24.10)

자료: 언론 종합, 각 사, 교보증권 리서치센터

[도표 3] 1976년부터 현재까지 모든 태양전지 기술 효율 기록 추이



자료: NREL(미국 국립신재생에너지연구소), 교보증권 리서치센터

[시장] 지상에서 우주까지? 새로운 수요

[시장] Tesla 100GW, 장비는 중국산이지만 미국에서 만든다

연초 Elon Musk는 다보스포럼에서 미국 내 태양광 패널 연간 100GW 제조역량 구축을 선언. 이후 29억 달러 규모의 중국 태양광 장비를 Suzhou Maxwell(스크린프린팅 장비), Shenzhen SC New Energy(결정질 실리콘 생산장비), Laplace Renewable Energy(태양전지 공정장비) 등과 협상 중('26.41 주주 사실 부인 공시)이며, 3Q26까지 중국 장비사들로부터 납품 받는 것이 목표. 다만 중국 수출 승인 지연 가능성도 배제할 수 없음

현재 미국 셀 CAPA가 3.2GW 수준이므로, 3년 내 100GW 달성은 비현실적임. 다만 20~30GW만 달성해도 미국 내 셀 인프라가 대폭 확대되며, 이는 향후 페로브스카이트 탠덤 전환의 물리적 기반이 될 전망. 현재 양산에 근접한 탠덤은 모두 실리콘 위에 페로브스카이트를 올리는 방식이며, 실리콘을 쓰지 않는 올-페로브스카이트 탠덤은 아직 R&D 단계임

[우주] 궤도 데이터센터가 열어주는 새로운 수요

우주에서 태양전지는 유일한 전력원임. 오늘(4/2) 발사하는 NASA 아르테미스 2호(53년 만의 유인 달 궤도 비행)도 발사 20분 후 태양광 패널을 전개해 전력을 확보하는 것에서 시작됨. SpaceX(100만 기, FCC 신청 '26.1.30), Blue Origin(Project Sunrise 51,600기), Starcloud(88,000기) 등이 궤도 AI 데이터센터 위성들 잇따라 FCC에 신청하고 있으며, 이 위성들은 모두 태양광으로 전력을 공급받음

페로브스카이트는 우주 진공에서 수분과 산소가 없어 주요 열화 요인이 사라지고, 방사선 자가 치유 특성이 있어 우주 적합성이 높음. 현재 우주 태양전지 시장점유율 1위는 갈륨비소(GaAs)이나, 연간 생산량이 MW 수준에 불과해 궤도 데이터센터에 대응 불가능함. SpaceX가 스타링크에 실리콘을 택한 것도 같은 이유이나, 실리콘은 무게 문제로 데이터센터 규모에서는 한계가 있음. 페로브스카이트는 실리콘의 대량 생산성 + GaAs의 경량성을 동시에 충족할 수 있어 차세대 우주 태양전지의 가장 유력한 후보로 판단됨

[도표 4] Elon Musk 100GW 선언과 실행: 다보스 WEF, Tesla 채용공고



자료: WEF, Tesla, 교보증권 리서치센터

[도표 5] 아르테미스 2 호 오린 우주선에 태양광 날개 설치하는 모습



자료: NASA, 교보증권 리서치센터

[ESG Point] 탄소 배출과 공급망

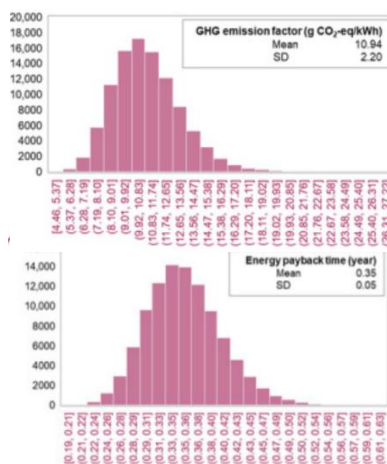
[E] 탄소배출과 제조 에너지: 올-페로브스카이트 탠덤 기준 발전 과정의 탄소배출은 10.9g/kWh로 실리콘(24.6g/kWh)의 절반 이하임. 태양전지를 만드는 데 쓴 에너지를 발전으로 되갚는 기간도 약 4개월에 불과함(실리콘은 약 1년 반). 저온(150°C 이하) 용액 공정이라 제조 에너지 자체가 적기 때문

다만, 납 사용 리스크 존재. 모듈 1m²당 0.4~0.8g(흡수체 두께에 따라 상이), GW급 양산 기준 약 2~4톤이 사용됨. 페로브스카이트에 포함된 납은 물에 잘 녹는 형태여서, 모듈이 파손되면 토양으로 빠르게 침투함. 토양→식물 흡수 속도가 기존 납 오염 대비 10배에 달함. 전용 리사이클링 인프라 부재, 현장 파손 데이터 부재한 점이 우려. EU RoHS(유해물질 사용 제한 지침)는 전자제품에 납 사용을 금지하나, 페로브스카이트 태양전지는 납이 필수 원료이므로 현재 면제를 받고 있음. 해당 면제가 '27.12에 만료 예정이라 갱신 여부 모니터링 필요

[S&G] 공급망 및 특허: 글로벌 폴리실리콘의 40% 이상이 중국 신장(위구르) 지역에서 생산됨(UFLPA로 미국 수입은 차단). 올-페로브스카이트 탠덤은 실리콘이 불필요하여 구조적 우회 가능(현재는 R&D 단계). 특허의 경우, Oxford PV(영국)가 글로벌 최대 포트폴리오 보유 중. First Solar('26.2), TrinaSolar와 비독점 라이선스 체결. 양산은 중국이 선행하나 지식재산권은 영국이 보유하는 구조

결론적으로 미국 시장에서는 규제에 의해 중국산 폴리실리콘이 차단되어 있어, 강제노동 리스크는 규제로 관리되고 있음. 다만 글로벌 시장(EU, 인도 등)에서는 여전히 신장산 폴리가 유통됨. 올-페로브스카이트(실리콘 불필요)가 양산에 성공하면 구조적으로 우회할 수 있으나 현재는 R&D 단계. 한편 납 사용에 따른 유해물질 리스크는 기술과 무관하게 새로 추가됨. EU가 페로브스카이트의 납 사용을 허용하는 면제 조항(RoHS)이 '27.12에 만료 예정이며, 갱신되면 탠덤 양산이 가속되고, 갱신 실패 시 양산 지연과 함께 환경 리스크가 부상할 것으로 예상

[도표 6] 페로브스카이트 탄소 배출 및 에너지 회수기간



주: 올-페로브스카이트 기준, 자료: Science Advances, 2020, 교보증권 리서치센터

[도표 7] 페로브스카이트 납 사용량

구분	수치	기준
모듈 납 함량	0.4 g/m ² ~0.8 g/m ²	흡수체 두께 300nm~600nm 기준
납 소요량(하한)	2 톤/GW	0.4g/m ² × 약 500 만 m ² /GW
납 소요량(상한)	4 톤/GW	0.8g/m ² × 약 500 만 m ² /GW
토양→식물 흡수 속도	기존 납 오염 대비 10 배	수용성 납 형태(PbI ₂)

자료: iScience 2023, Nature Communications 2020, 교보증권 리서치센터

■ Compliance Notice ■

이 자료에 게재된 내용들은 작성자의 의견을 정확하게 반영하고 있으며, 외부의 부당한 압력이나 간섭 없이 작성되었음을 확인합니다.

이 조사자료는 당사 리서치센터가 신뢰할 수 있는 자료 및 정보로부터 얻어진 것이나, 당사가 그 정확성이나 완전성을 보증하는 것이 아닙니다. 따라서 이 조사자료는 투자참고자료로만 활용하시기 바라며, 어떠한 경우에도 고객의 증권투자 결과에 대한 법적 책임소재의 증빙자료로 사용될 수 없습니다. 또한 이 조사자료의 지적재산권은 당사에 있으므로 당사의 허락 없이 무단 복제 및 배포할 수 없습니다.

당사 리서치센터 연구원은 고객에게 카키오투 등으로 개별 접촉하지 않습니다. 당사 연구원 사칭 사기 등에 주의하시기 바랍니다.

- 동 자료는 제공시점 현재 기관투자가 또는 제3자에게 사전 제공한 사실이 없습니다.
- 전일기준 당사에서 1% 이상 보유하고 있지 않습니다.
- 추천종목은 전일기준 조사분석 담당자 및 그 배우자 등 관련자가 보유하고 있지 않습니다.

■ 투자의견 비율공시 및 투자등급관련사항 ■ 기준일자_2026.03.31

구분	Buy(매수)	Trading Buy(매수)	Hold(보유)	Sell(매도)
비율	95.9%	2.7%	1.4%	0.0%

[업종 투자의견]

Overweight(비중확대): 업종 펀더멘탈의 개선과 함께 업종주가의 상승 기대
Underweight(비중축소): 업종 펀더멘탈의 악화와 함께 업종주가의 하락 기대

Neutral(중립): 업종 펀더멘탈상의 유의미한 변화가 예상되지 않음

[기업 투자기간 및 투자등급] 향후 6개월 기준, 2015.6.1(Strong Buy 등급 삭제)

Buy(매수): KOSPI 대비 기대수익률 10%이상
Hold(보유): KOSPI 대비 기대수익률 -10~10%

Trading Buy: KOSPI 대비 10%이상 초과수익 예상되나 불확실성 높은 경우
Sell(매도): KOSPI 대비 기대수익률 -10% 이하