

글로벌 태양광 장비 (비중확대)

The New Solar Order

이진호

jinho.lee.z@miraeeasset.com



CONTENTS

Executive Summary	3
Key Charts	4
태양광 장비, Why Now?	6
태양광 산업의 변곡점: 일론 머스크의 시장 진입	6
태양광 장비 발주 사이클은 이미 시작	7
그렇다면 우리가 주목해야 하는 태양광 장비는?	7
이제는 우주 태양광에도 주목해야 할 때	11
우주 태양광	12
우주 태양광의 상용화 조건	12
우주 태양광의 과거, 현재, 그리고 미래	13
페로브스카이트 실리콘 탠덤 채택이 유력한 이유	16
미-중 정책에 따른 태양광 장비 영향	20
Tesla: 지금은 중국 장비 수입 가능, 하지만 점차 강해질 규제에 대비할 필요	20
SpaceX: 이미 불가능한 중국산 장비	22
태양광 장비 시장 전망 - 2 Phase	24
Phase 1 (2026-2027): HJT 셀 단일 장비 사이클	24
Phase 2 (2027-2031): 페로브-HJT 탠덤 장비 사이클	26
태양광 장비 투자전략 및 기업 분석	27
단기 투자전략: 중국 + 비중국 진영 HJT 장비 동시 투자	27
중장기 투자전략: 비중국 페로브 탠덤 라인 컨소시엄에 투자	27
기업분석 ① 주성엔지니어링 (036930.KQ)	29
기업분석 ② 선익시스템 (171090.KQ)	31
기업분석 ③ 마이웨이테크(Suzhou Maxwell Technologies) (300751.CH)	33
Appendix. 태양광 장비 분석	35
HJT의 4단계 공정	35
페로브스카이트 탠덤셀의 추가 4단계 공정	37

Executive Summary

일론 머스크가 재편하는 태양광 산업의 새로운 질서(New Order)

2026년 1월, 다보스 포럼에서 일론 머스크는 Tesla와 SpaceX를 통해 각각 100GW 규모의 태양광 제조공장 건설 계획을 공식화했다. 이 합산 200GW의 생산능력은 글로벌 연간 신규 태양광 설치량의 약 30%, 미국 연간 설치량의 약 4.7배에 해당하는 규모다. 우리는 이를 단순한 생산설비 증설이 아니라, AI/데이터센터, 전력 인프라 확대, 우주 산업 확장에 대응하기 위한 미국 중심 태양광 공급망 재편의 신호로 해석한다.

200GW 규모의 제조라인 구축이 현실화될 경우, 관련 장비 발주 규모는 약 292억 달러(약 39조원)에 이를 것으로 추정한다. 이는 향후 미국 내 태양광 신규 공장 투자와 관련 장비 신규 발주의 기준점이 될 것으로 판단한다.

태양광 셀 장비인 HJT와 페로브스카이트 탠덤 셀 신규 수주(New Order)에 주목

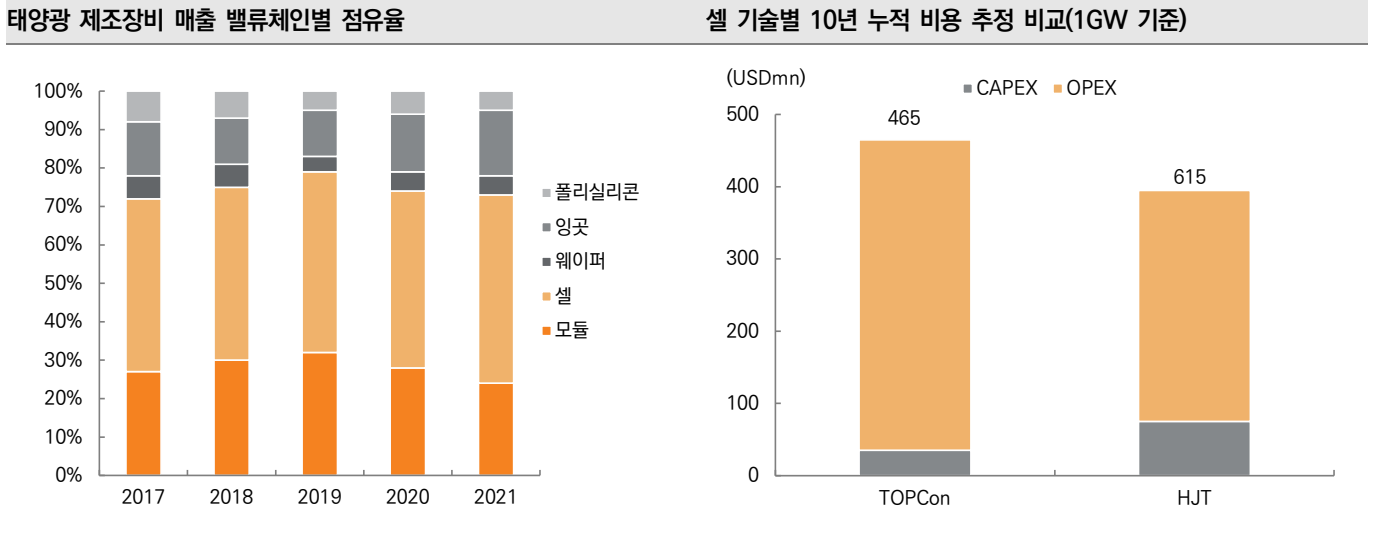
태양광 밸류체인 중 셀 장비에 주목한다. 셀 구간은 기술 집약도가 가장 높고, 차세대 전환의 직접 수혜 영역이며, 공급자 수가 제한적이기 때문이다.

우리는 초기 셀 장비 사이클은 HJT가 주도할 가능성이 높다고 판단한다. 근거는 1) 높은 광전효율 및 향후 비용 절감 가능성, 2) TOPCon 대비 특허/라이선스 구조 측면의 상대적 유연성, 3) 페로브스카이트와의 높은 기술적 적합성 때문이다. 또한 두번째 사이클을 이끌 **페로브스카이트 탠덤 셀**은 실리콘 모듈의 효율 한계를 넘어설 수 있는 차세대 셀 기술로 평가된다. 2027~28년 양산 진입을 목표로 하는 기업들이 있기에, 파일럿 및 양산 라인 발주까지 고려한다면 발주 시점이 1~2년 내로 다가오고 있을 것으로 판단한다.

단기 선호: 주성엔지니어링/Maxwell, 중장기 선호: 주성엔지니어링/선익시스템

단기적으로는 중국 태양광 장비에 대한 규제가 없어, Tesla 입장에서는 가격경쟁력이 높은 중국 기업인 **Maxwell** 중심의 HJT 턴키 발주를 우선 검토할 가능성이 높다. 반면 SpaceX는 국가안보 및 비중국 공급망 확보를 고려할 경우, 비중국 HJT 턴키 공급사인 **주성엔지니어링**의 전략적 가치가 부각될 수 있다. 중장기적으로는 페로브스카이트 탠덤셀 확장 및 중국 규제 강화를 고려하면, **주성엔지니어링**의 수혜는 지속되면서 ETL 및 페로브 흡수층의 강자인 **선익시스템**까지도 수주가 확대될 것으로 예상된다. 결국 신규 수주의 중심은 단기 HJT 턴키에서, 중장기 페로브스카이트 탠덤 장비로 확산되는 구조라고 판단한다.

Key Charts



자료: IEA, 미래에셋증권 리서치센터

주: 은 사용량 구리 도금을 통해 약 10% 수준으로 낮춘다는 가정 포함
 자료: CPIA, TaiyangNews, 미래에셋증권 리서치센터 추정

태양전지 비교

	실리콘(c-Si)	III-V족 화합물(GaAs)	박막형(CIGS, CdTe)	페로브스카이트 단일	페로브-Si 탠덤
변환 효율	16~27%	30~34%	~24%	~26.7%	~34.85%
제조 단가	낮음	높음	중간	양산 전	양산 전
우주 환경 수명(EOL)	낮음	매우 높음	중간	불확실	불확실
방사선 내성	중간(저궤도)	매우 높음	불확실	불확실	불확실
비출력(W/g)	낮음	~0.8 W/g	높음	높음	~2.1 W/g
우주 적용 성숙도(TRL)	높음	높음	중간	낮음	낮음
적합 궤도	지상, LEO(저궤도)	중/고궤도(MEO, GEO)	불확실	불확실	불확실

자료: 미래에셋증권 리서치센터

페로브스카이트-HJT 탠덤셀 증착 방식 및 장비 업체 추정



자료: 미래에셋증권 리서치센터

미국 내 중국 장비 진입 가능성 - Tesla와 SpaceX 케이스

시점	중국 장비 진입 가능성	
	Tesla	SpaceX
2026년	매우 높음	0% (사실상 차단)
2027-28년	보통	
2029-30년	낮음	

자료: 미래에셋증권 리서치센터

Phase 1 장비 발주 수혜 구조(Base) (2026-2027)

진영	핵심 수혜 종목	수혜 GW 추정	매출 추정	
			USD	KRW
중국	Suzhou Maxwell	38.5GW	\$3B	4.4조원
비중국 한국	주성엔지니어링	21.5GW	\$1.8B	2.6조원
비중국 유럽	VON ARDENNE, Singulus	3.5GW	\$0.4B	0.6조원

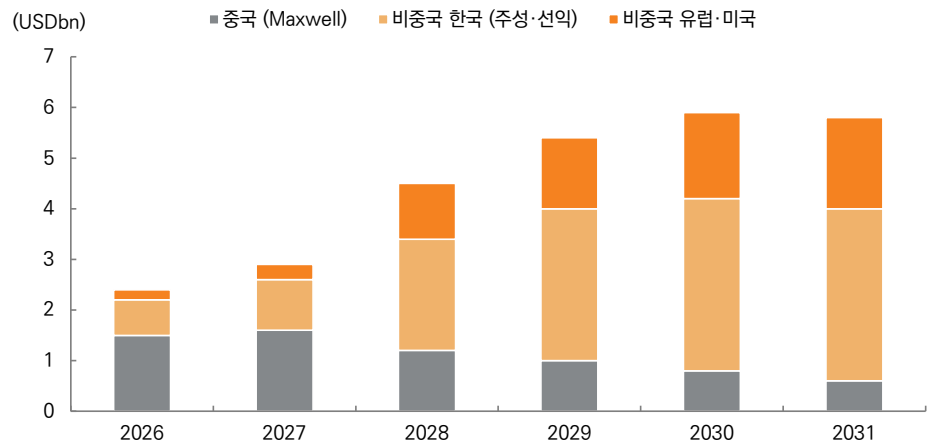
자료: 미래에셋증권 리서치센터

Phase 2 장비 발주 수혜 구조(Base) (2027~2031)

진영	핵심 수혜 종목	수혜 GW 추정	매출 추정	
			USD	KRW
비중국 한국	주성엔지니어링, 선익시스템 등	160GW	\$14.5B	21.3조원
비중국 유럽	VON ARDENNE, Singulus, Beneq, GIGANOVA	40GW	\$3B	4.4조원
중국	Suzhou Maxwell (진존 시나리오)	37.5GW	\$4.5B	6.6조원
미국	Swift Solar, First Solar 등	15GW	\$1.5B	2.2조원

자료: 미래에셋증권 리서치센터

연도별 태양광 장비 발주 규모 추정



자료: 미래에셋증권 리서치센터

태양광 장비, Why Now?

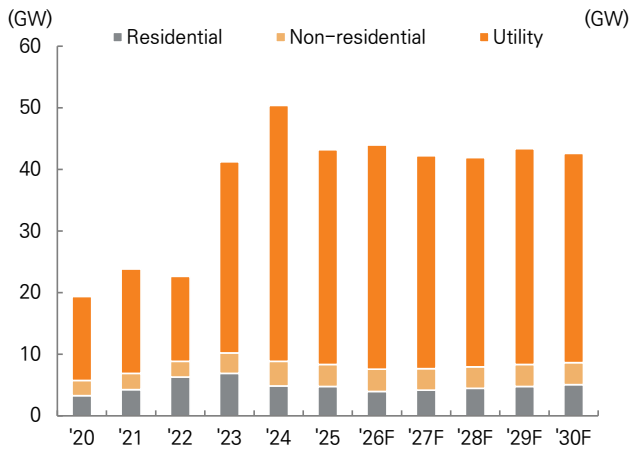
태양광 산업의 변곡점: 일론 머스크의 시장 진입

2026년 1월 22일, 다보스 포럼에서 일론 머스크가 2028년 말까지 총 200GW(Tesla 100GW, SpaceX 100GW) 규모의 미국 태양광 제조공장 건설 계획을 공식화했다. 이에 따라 글로벌 태양광 산업은 중대한 구조적 재편 국면에 진입했다.

3년 이내에 미국 내 태양광 생산능력 200GW를 갖춘다는 것은 비현실적인 목표다. 2025년 글로벌 신규 설치량의 약 30%에 해당하며, 2025년 미국 태양광 설치량(수요)의 4.7배에 해당하는 수준이다. 아무리 긍정적으로 시장을 전망한다고 해도, 2029년에 태양광 모듈 200GW가 미국 시장에 공급될 경우, 공급 과잉은 불가피하다.

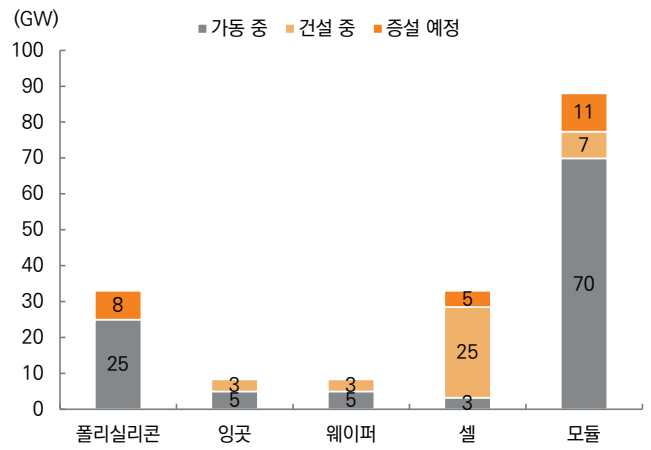
따라서 해당 태양광 제조 능력은 외부 판매가 아닌, xAI 데이터센터/Tesla 기가팩토리/우주 데이터센터 등에 공급할 자체 전력 수급을 위한 생산 시설 확충으로 해석하는 것이 합리적이다. 현재 미국 내 태양광 밸류체인은 모듈을 제외하면, 생산 중인 제품이 거의 없다시피 한 상황이다. **3년 이내에 목표치의 절반인 100GW만 달성되더라도, 미국 내 태양광 시장은 현재보다 3배 이상 커진다.**

그림 1. 미국 섹터별 태양광 설치량 전망



자료: WoodMac, 미래에셋증권 리서치센터

그림 2. 미국 태양광 밸류체인 공급망 현황



자료: SEIA, 미래에셋증권 리서치센터

태양광 장비 발주 사이클은 이미 시작

신규 태양광 제조 시설을 위해서는 태양광 장비 발주가 수반될 수밖에 없다. 향후 3년간 일론 머스크가 제시한 200GW 규모의 공장을 짓기 위해서는, 태양광 제조 장비 발주 규모 역시 역대급 규모가 될 것이다. 당사가 추정한 향후 6년간 일론 머스크향 장비 발주 규모는 약 292억 달러(약 39조원)가 될 것으로 전망한다. 이 외에도 빅테크, Blue Origin, 퍼스트 솔라 등이 장비 발주가 이어지며 시장은 더욱 확대될 전망이다.

이미 행동에 나선 일론 머스크

머스크는 이미 계획을 행동으로 옮기고 있다. 이는 1) Tesla의 태양광 모듈 공장 증설 소식, 2) 아시아 태양광 장비 업체들과의 접촉에서 드러난다. Tesla는 2026년 초 Buffalo 공장을 태양광 패널 생산 라인으로 재전환하며 연간 300MW 규모의 모듈 조립을 개시했으며, 추가 부지로 Arizona 및 Idaho 주 등을 물색하는 등 최대 10GW까지 확장하는 방안을 검토 중이다. SpaceX 또한 미국 텍사스 Bastrop 인근에 10GW 규모의 셀 공장 건설을 추진 중이다.

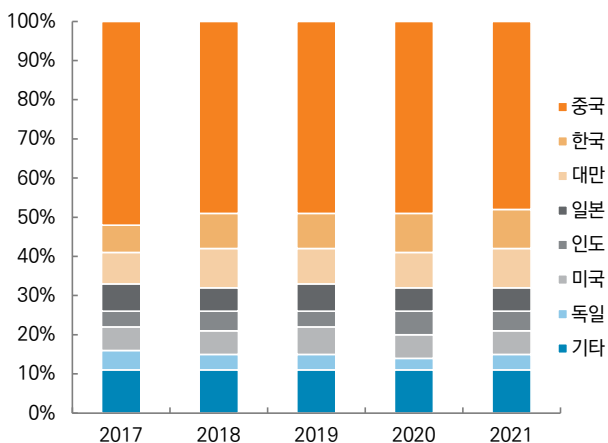
로이터에 따르면, 지난 3월 Tesla는 중국 Suzhou Maxwell을 비롯한 중국 장비사들과 총 29억 달러(약 4.4조원) 규모의 태양광 장비(HJT) 구매 협상을 진행 중이라는 사실이 보도되었다. 이 외에도 Tesla/SpaceX 대표단이 JinkoSolar, GCL Group, Jingsheng Electromechanical 등 중국 주요 태양광 업체들을 잇달아 방문한 사실이 보도되었다.

그렇다면 우리가 주목해야 하는 태양광 장비는?

가장 중요한 밸류체인은 셀

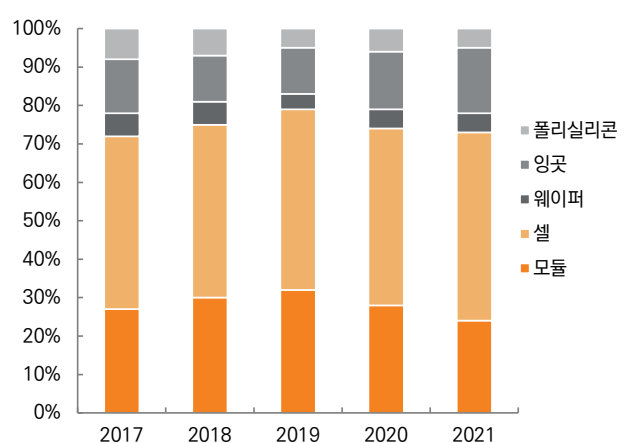
태양광 밸류체인 장비 중에서 가장 비싼 밸류체인인 셀이다. 밸류체인별 장비 매출액 비중을 보면, 셀 장비는 45~50%로 최대 비중을 차지한다. 더군다나 PERC에서 TOPCon, HJT, 페로브스카이트 탠덤으로 이어지는 기술 전환 사이클로 인해, 장비 단가와 마진율이 동시에 개선될 것으로 보고 있다. 결론적으로 셀 장비는 시장 규모, 기술 프리미엄, 종목 가시성이 모두 충족되는 시장이다.

그림 3. 태양광 제조장비 매출 국가별 점유율



자료: IEA, 미래에셋증권 리서치센터

그림 4. 태양광 제조장비 매출 밸류체인별 점유율



자료: IEA, 미래에셋증권 리서치센터

다른 태양광 밸류체인 장비들도 향후 시장이 커질 것으로 예상하지만, 투자 대상을 선정하는 데 있어 어려움이 있다. 먼저 폴리실리콘 및 웨이퍼 장비는 중국 업체가 시장을 사실상 독점하고 있어 비중국 장비사의 진입이 구조적으로 어렵다. 더군다나 폴리실리콘의 경우, 비중국 폴리실리콘 생산 업체들과 이미 공급을 논의 중인 것으로 알려져 있어, 폴리실리콘 장비에 대한 직접적인 발주 가능성은 낮다고 판단한다. 웨이퍼는 단기적으로는 미국 및 인도 업체들과의 공급 계약 가능성이 높을 것으로 예상하며, 중장기적으로는 직접 생산도 검토할 것으로 예상된다. 모듈 장비는 10개사 이상이 난립한 분산 구조로 특정 종목 선정이 어려운 데다, 기술력 차별화 필요성도 높지 않아 주요 장비 밸류체인에서는 제외한다.

표 1. 태양광 밸류체인별 핵심 공정

밸류체인	핵심 공정
폴리실리콘	실리콘 정제
잉곳	결정 잉곳 성장; 물성 분석; 잉곳 절단
웨이퍼	배선; 전세정; 웨이퍼 분리; 본세정; 웨이퍼 검사 및 분류
셀	습식 공정; 확산; 화학기상증착(CVD)/스퍼터링; 스크린 프린팅; 베이킹; 셀 이송; 검사
모듈	셀 배선(스트링); 레이업(모듈 조립); 라미네이팅 및 봉지; 경화; 프레임 및 단자 조립; 모듈 이송; 검사

자료: IEA, 미래에셋증권 리서치센터

표 2. 태양광 밸류체인별 핵심장비와 주요 공급사 정리

단계	핵심 장비	주요 공급사	진입 장벽
폴리실리콘	Siemens CVD Reactor, FBR Reactor	중국 SETIC, JYT, NAURA, China Silicon Engineering, 독일 Linde 등	화학플랜트, 운영 노하우 이전 어려움
잉곳/웨이퍼	CZ Furnace, 다이아몬드 와이어 슬라이서, 그라인더, 세정/검사	중국 Jingsheng/Linton/NAURA, 일본 Komatsu NTC 등	중국 독점, 양산 검증 시간 2-3년
셀 (HJT)	PECVD, PVD, Screen Print, Wet	중국 Maxwell, Ideal Energy, Lead, 한국 주성엔지니어링, 유럽 VON ARDENNE, Meyer Burger, 일본 YAC 등	HJT 양산 검증 (고효율, 고수율, 저원가)
모듈	Stringer, Laminator, Tester, Framer	중국 Autowell, Jinchen, SC-Solar 등	

자료: IEA, 미래에셋증권 리서치센터

셀 중에서도 HJT 장비에 주목

셀 장비 시장 안에서도 HJT(Heterojunction, 이종접합) 장비 수주의 급증을 전망한다. 현재 글로벌 셀 시장에서 주류 기술인 TOPCon이 70~80%를 차지하고 있지만, 신규 진입자로서는 최적의 선택이 아닐 것으로 판단한다. TOPCon은 이미 PERC로 많은 생산능력을 보유하고 있던 중국 제조사들이 라인 업그레이드 과정에서 선택한 기술이다. 반면 HJT는 기존 자산(PERC)에 대한 매몰비용이 없는 신규 진입자에게 1) 광전효율 및 비용 절감 가능성이 높고, 2) 특히 우려가 제한적이며, 3) 기술 연계 측면에서 유리하다.

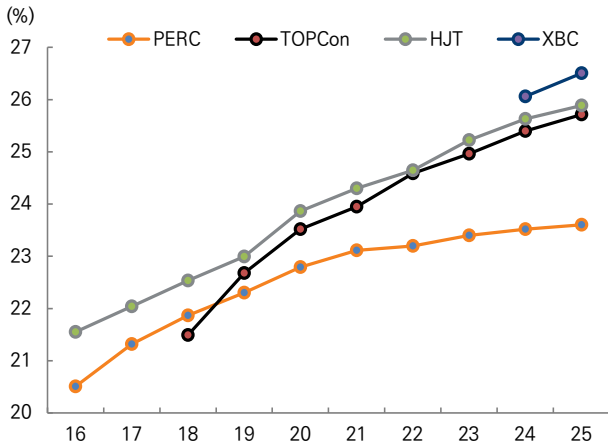
HJT를 선택해야 하는 이유 ① 광전효율 및 비용 역전 가능성

HJT의 첫 번째 우위는 광전효율이다. 먼저 광전효율 측면에서 HJT는 TOPCon 대비 양산 셀 효율이 약 0.5~1.0%p, 실험실 최고 셀 효율이 0.8%p 더 높다. 이종접합 구조 특성상 온도계수도 -0.24%/℃로 TOPCon의 -0.30%/℃ 대비 우수하며, 양면 발전(bifacial) 효율도 높다. HJT가 효율 측면에서 더 우위에 있는 이유는 패시베이션(passivation) 때문인데, 이는 태양전지 표면의 전기적 결함을 코팅으로 차단해 전자 손실을 막는 기술이다..

현재 비용 측면에서는 TOPCon이 우위에 있으나, 향후 HJT의 비용 절감 속도가 더욱 빨라질 것으로 예상된다. 현재 시점에서는 CAPEX와 OPEX 모두 HJT가 TOPCon보다 불리하다. CAPEX는 HJT가 GW당 약 8,000만 달러로 TOPCon의 3,500만 달러 대비 2배 이상이며, 전용 저온 은 페이스트와 ITO 비용이 추가된다. 따라서 현재의 비용 구조만 보면 HJT가 불리하다.

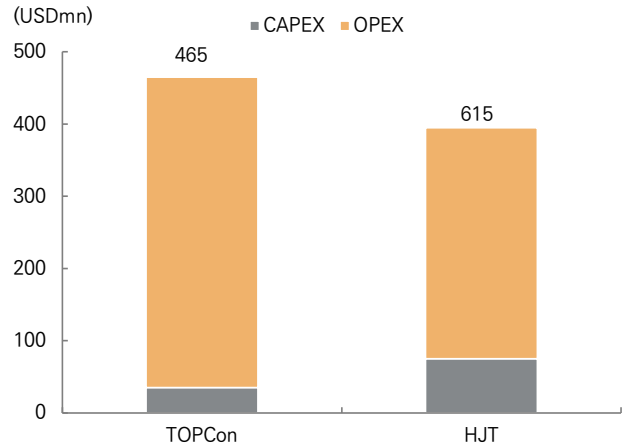
그러나 비용 절감의 핵심 드라이버인 은 소비량은, 이미 HJT가 TOPCon을 하회하고 있으며 추가 절감 가능성도 높다. HJT 비용에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 은 페이스트다. 그런데 CPIA 2025년 데이터 기준으로 HJT 셀의 은 소비량은 셀당 75mg으로 TOPCon의 86mg을 이미 하회했다. 게다가 장기적으로 고온 공정의 TOPCon은 구리 산화 문제로 구리 도금 전환이 구조적으로 어렵지만, HJT는 200℃ 이하 저온 공정이라 구리 도금 전환이 쉬운 편이다. 따라서 추가적인 비용 절감 여력에서도 HJT가 유리하다.

그림 5. 셀 기술별 광전효율 추이 비교



자료: CPIA, 미래에셋증권 리서치센터

그림 6. 셀 기술별 10년 누적 비용 추정 비교(1GW 기준)



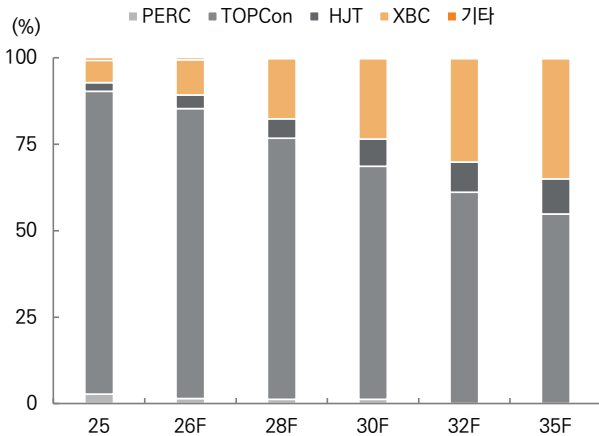
주: 은 사용량 구리 도금을 통해 약 10% 수준으로 낮춘다는 가정 포함
 자료: CPIA, TaiyangNews, 미래에셋증권 리서치센터 추정

표 3. TOPCon vs. HJT 장비 비교

항목	TOPCon	HJT
핵심 증착/공정 장비	LPCVD/PECVD, Diffusion, Laser SE	PECVD + PVD(TCO sputter)
PVD(스퍼터) 필요 여부	없음	필수
공정 복잡도	높음	낮음
전극(메탈라이제이션)	고온 은 페이스트	저온 은 페이스트
PECVD 장비 요구 사양	표준	저손상/고균일 PECVD

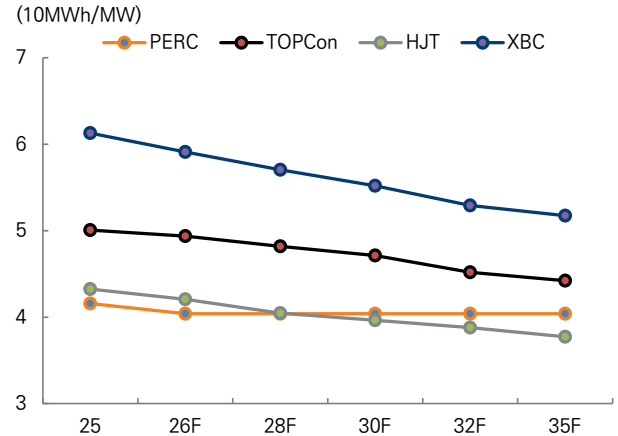
자료: CleanTechnica, PV magazine, 미래에셋증권 리서치센터

그림 7. 셀 기술별 점유율 전망



자료: CPIA, 미래에셋증권 리서치센터

그림 8. 셀 기술별 필요 전력량



자료: CPIA, 미래에셋증권 리서치센터

HJT를 선택해야 하는 이유 ② 특허 분쟁 리스크 제한적

두 번째 우위는 **HJT의 특허 및 IP 리스크가 제한적이라는 점**이다. First Solar는 미국 내 TOPCon 기술 특허를 보유 중이다. 이를 제지하기 위해 JinkoSolar, Canadian Solar, Mundra Solar는 특허무효심판(IPR) 신청을 제기했는데, 미국 특허청(USPTO)이 이를 기각 하면서 First Solar 특허의 방어력이 확인됐다.

게다가 First Solar는 2026년 3월 미국 국제무역위원회(ITC)에 Section 337 조사를 신청 하며 Canadian Solar, JA Solar, Jinko Solar, Trina Solar 등 10개사를 피소 대상으로 지목 했다. 만약 IP 침해가 인정될 경우, TOPCon 제품의 미국 내 수입 제한 또는 금지 명령으 로 이어질 수 있다. 따라서 TOPCon 공급망은 미국 시장에서 중장기적인 IP 및 소송 리스 크를 지속적으로 감수해야 한다.

반면 HJT 기술은 일본 Sanyo가 1987년 핵심 특허를 출원했으며, 해당 특허는 2015년 특허 보호 기간이 만료됐다. 현재 HJT 생태계에도 개별 공정, 장비, 재료에 대한 특허는 존재하지만, TOPCon과 유사한 수준의 핵심 구조 특허 분쟁 또는 미국 시장 전반의 광범위 한 IP 제약은 상대적으로 제한적인 것으로 평가된다. 투자 의사결정에 있어 수십억 달러 규 모의 공장 및 장비 투자 이후 특허 소송이나 공급 제한 이슈가 발생할 리스크는 최대한 피 해야 한다. First Solar가 1분기 실적발표에서 IP 라이선스에 대한 상업적 대화를 환영한다 고 밝혔지만, 해당 비용을 지불하면서까지 신규 공장을 TOPCon으로 강행해야 할 이유는 없다.

HJT를 선택해야 하는 이유 ③ 페로브스카이트와의 궁합

세 번째이자 장기적으로 가장 중요한 우위는 **차세대 기술인 페로브스카이트 탠덤으로의 전환 용이성**이다. HJT가 페로브스카이트 탠덤의 하부 셀로 채택되는 이유는 구조적 특성에서 비롯된다. HJT 셀은 비정질 실리콘(a-Si) 층이 투명하고, 공정 온도가 200℃ 이하로 낮아 상부에 페로브스카이트층을 적층할 때 열 손상이 발생하지 않는다. TOPCon 역시 탠덤 하부 셀로 적용할 수 있으나, 현재까지는 HJT가 저온 공정과 구조적 특성 측면에서 탠덤 통합에 보다 유리한 기술로 평가된다.

결국 HJT는 **현재 단일 셀로서도 경쟁력이 높고, 향후 페로브스카이트 탠덤에서도 유력한 하부 셀 후보**다. 따라서 신규 생산라인 투자는 물론, 향후 우주 태양광으로의 확장까지 고려하더라도 TOPCon보다는 HJT가 유리하다. 아직 최종 기술이 공식적으로 확정되지는 않았으나, 최근 Tesla와 Maxwell 수주 관련 보도나 Tesla의 증착 관련 엔지니어 채용 공고 역시 같은 흐름으로 이어지고 있다.

이제는 우주 태양광에도 주목해야 할 때

머스크의 200GW 선언을 기폭제로 지상 태양광뿐만 아니라 우주 태양광에 대한 관심도 급격히 높아지고 있다. 단순히 지상 수요만을 고려했다면 시장 확대 속도가 이렇게 가파르지 않았을 것이다. 그러나 저궤도 위성용 HJT 셀과 향후 페로브스카이트 탠덤셀까지 고려하면, 수요 성장 곡선의 기울기는 한층 더 가팔라진다.

우주 태양광 시장을 선점하기 위한 주요 플레이어들의 노력

글로벌 주요 플레이어들의 행보가 이를 방증한다. **First Solar**는 2023년 스웨덴 페로브스카이트 전문업체 Evolar AB를 인수하고, 2026년 2월에는 Oxford PV의 특허 포트폴리오에 대한 미국 시장 라이선스 계약을 체결하며 탠덤 기술 확보에 속도를 내고 있다. 제프 베조스의 **Blue Origin**은 달 표면 토양으로 실리콘 태양전지를 현지 제조하는 Blue Alchemist 기술을 개발 중이며, 2026년 3월에는 5만 개 이상 위성으로 구성된 우주 데이터센터 네트워크 'Project Sunrise'를 신청하며 우주 기반 컴퓨팅 인프라 구축 의지를 공식화했다. **SpaceX** 역시 100만 개 위성 기반 우주 분산 데이터센터를 신청한 상태이며, **Google**은 'Project Suncatcher'라는 우주 데이터센터 개념을 개발 중이다.

이처럼 태양광 장비 슈퍼 사이클이 시작되는 데 있어 머스크의 200GW 발주는 트리거가 될 전망이다. 다양한 기업들이 그 뒤를 따라 우주 데이터센터용 고효율 셀, 비중국 HJT 생태계 구축, 페로브스카이트 탠덤 양산 등으로 진입하며 수요가 크게 확대될 여지가 있다.

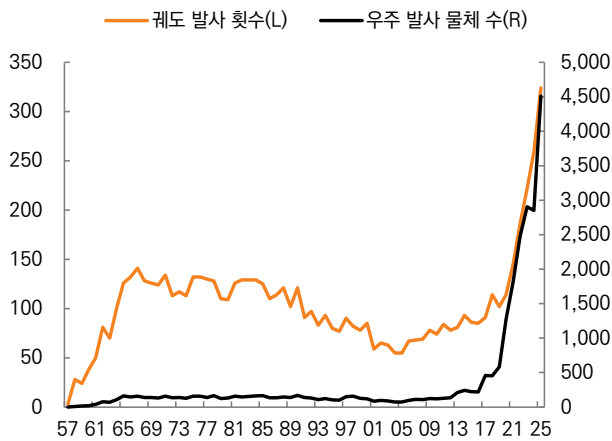
우주 태양광

우주 태양광의 상용화 조건

점차 낮아지는 우주 발사 비용

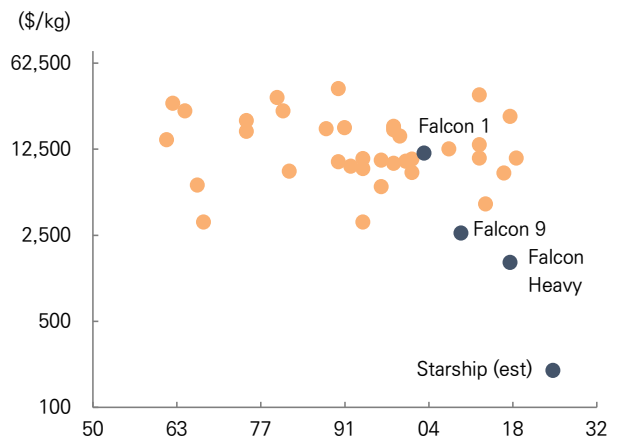
최근 우주 산업에서 가장 주요한 화두는 발사 비용에 대한 학습 곡선이다. 2000년대까지 \$20,000/kg 수준이었던 발사 비용은 1) 정부에서 민간으로 고객군 확대, 2) 발사체 재활용 기술의 혁신으로 \$1,500/kg 수준까지 낮아졌다. 그러나 우주 궤도에 데이터센터를 올리기 위해서는 발사체뿐만 아니라 하위 부품까지 비용 학습 곡선의 궤를 맞춰야 한다. 어떤 비즈니스 모델이든 우주에서 실행하기 위해서는 비용 효율성이라는 의문을 해소해야 하기 때문이다.

그림 9. 우주 발사체 횡수



자료: UNOOSA, 미래에셋증권 리서치센터

그림 10. 우주 발사 비용 추이



자료: CSIS, 미래에셋증권 리서치센터

태양전지에도 예외는 아닌 비용 효율성

우주 데이터센터의 주력 전력원이 될 태양광도 비용 효율성을 어떻게 높이느냐가 주요 관건이 될 전망이다. 태양전지 역시 수십 년간 우주 환경에서 더 효율적인 전력을 생산하기 위해 기술 개발이 이뤄졌다. 특히 최근 머스크 팀이 태양광 밸류체인 구축을 위해 주요 태양광 기업들을 접촉하면서, 최근 연구들이 더 주목받고 있다. 현재 우주용 태양전지의 후보군으로는 III-V족 화합물(GaAs 등), 폴리실리콘, 박막형, 페로브스카이트(단일), 페로브스카이트 탠덤 등 다양하게 연구가 되고 있다.

미래를 주도할 태양전지를 내다보기 위해 크게 2가지 기준을 제시한다. 1) 태양전지 양산을 통한 비용 효율성 개선 속도와, 2) 우주 환경에서의 적합성 - 열관리, 내방사선성, 전력 효율성, 무게 등 - 이다. 만약 우주 환경 적합성과 관련한 기술적 허들이 허용 가능한 수준으로 해소된다면, 결국 얼마나 가파른 비용 학습 곡선을 그릴 수 있느냐가 특정 기술을 채택할 핵심 논리로 작용할 전망이다.

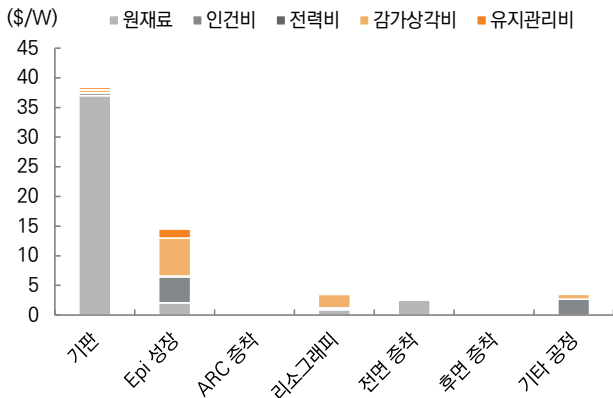
우주 태양광의 과거, 현재, 그리고 미래

As Was: 양산 불가능한 GaAs 태양전지

과거 우주용으로 가장 적합한 태양전지는 GaAs였으며, 높은 효율성과 긴 수명이 장점이었다. GaAs는 6접합 기준 양산 효율 30% 초반을 기록했으며, 통신/항법위성이 위치한 고궤도 환경에서의 방사선 환경에 강해 수명이 길다. 또한 결정 구조가 견고해 넓은 온도 범위의 안정성을 보이고, 긴 시간 동안 우주 환경에서의 트랙 레코드를 보유했다.

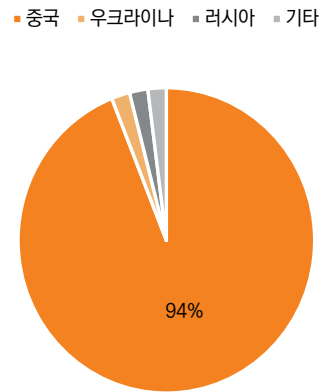
하지만 원재료를 쉽게 공급하기 어렵다는 점과 비싼 가격은 GaAs의 치명적인 단점이다. 과거에는 통신위성과 GPS 등의 항법위성 중심 시장이었기에 태양전지 역시 고품질로 소량만 필요했다. 하지만 우주 데이터센터에 전력을 공급하는 데 필요한 수백 GW급의 전력원 대비 현재 한 자릿수 MW 수준의 글로벌 생산 능력은 턱없이 부족하다. 이는 결국 원료인 갈륨 공급망을 중국이 장악(94%)하고 있다는 점과 맞닿아있다. 실제로 중국은 2024년 12월 갈륨의 대미 수출을 전면 금지했으며, 2025년 11월 협상 카드로 한시 해제했으나 언제든 재발동 가능한 구조다. 또한 가격도 \$200/W 수준에 형성되어 있어, 지상용 폴리실리콘 모듈 가격 대비 약 2,000배 비싸다.

그림 11. GaAs 제조원가 구성



자료: NREL, 미래에셋증권 리서치센터

그림 12. 국가별 갈륨 생산량 비중



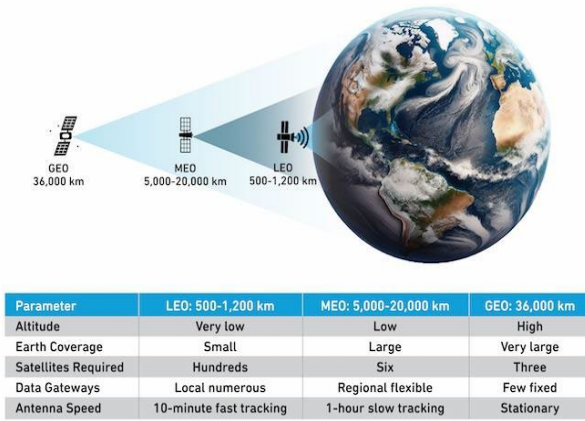
자료: EC, 미래에셋증권 리서치센터

As Is: Starlink가 검증한 저궤도 환경에서의 실리콘 태양전지 활용

저궤도(Low Earth Orbit) 위성 시장에서 실리콘 태양전지는 이미 일정 수준의 검증을 마친 기술로 판단된다. SpaceX의 Starlink는 초대형 위성 군집(constellation)을 운영하며 기존 우주용 GaAs 태양전지의 공급·생산 한계를 넘어서는 과정에서 실리콘 기반 태양전지를 적극 활용한 것으로 추정된다. 이는 실리콘 셀이 지상용 기술을 넘어 저궤도 우주 환경에서도 상업적으로 적용할 수 있는 대안임을 시사한다.

이러한 변화는 상업용 위성 시장의 급성장과 맞물려 나타났다. 2010년대 중반 이후 군집 위성 중심의 시장이 본격적으로 개화하면서 위성 발사 속도는 급격히 빨라졌다. 실제로 2020년부터 2년간 발사된 위성 수는 2010년대 전체 발사량을 초과했으며, 이는 우주 산업이 본격적인 비용 학습 곡선 하락 구간에 진입했음을 의미한다. 또한 2025년 기준 전체 위성의 약 87%가 민간 기업이 소유하고 있다는 점은 수요의 중심이 정부에서 민간으로 이동했음을 보여준다.

그림 13. 궤도별 거리 비교

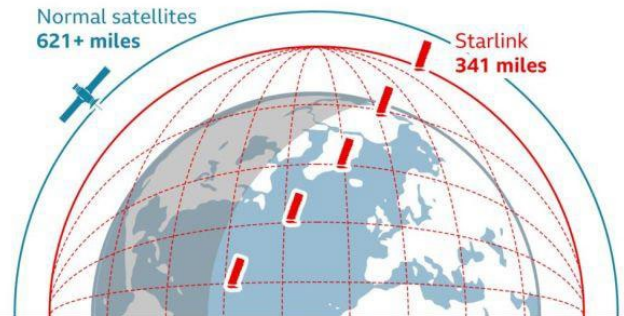


자료: Qorvo, 미래에셋증권 리서치센터

그림 14. 저궤도에서 작동하는 Starlink

Starlink operates in low orbit

Low-Earth orbit satellites can link to Earth faster, but more are needed to provide coverage

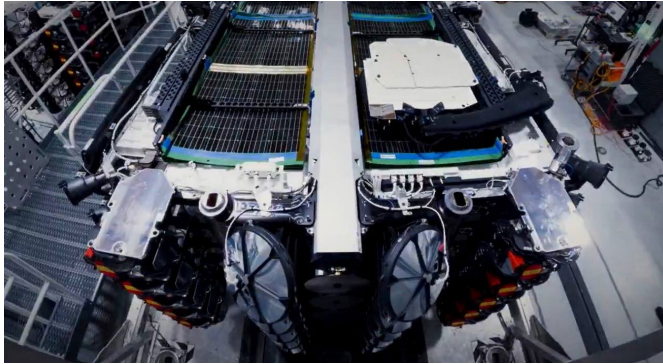


자료: BBC, 미래에셋증권 리서치센터

이 같은 시장 전환을 주도한 핵심 플레이어는 단연 SpaceX의 Starlink다. SpaceX는 2018년 프로토타입 위성 2기 발사를 시작으로 불과 7년 만에 누적 10,000기 돌파를 공식 발표했다. 이러한 성과는 전례 없는 위성 생산 속도에 기반한다. SpaceX는 Redmond 위성 생산 시설에서 주당 70기, 연간 3,640기의 위성을 생산한다고 밝혔다.

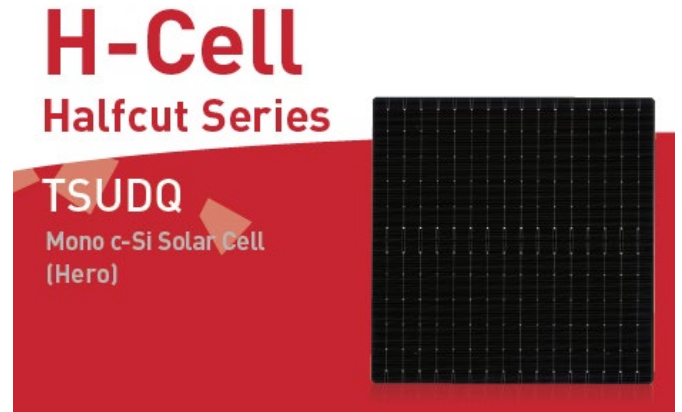
Starlink 초기 단계에서 SpaceX는 기존 GaAs 태양전지로는 이 같은 생산 속도를 충족시키기 어렵다는 한계를 인식한 것으로 보인다. 이에 따라 지상 태양광 시장에서 대량 생산 체계가 확립된 실리콘 셀을 대안으로 채택했을 가능성이 제기된다. SpaceX는 지금까지 Starlink 위성에 적용된 태양전지의 종류나 기술 사양을 공식적으로 공개하지 않았다. 그러나 2025년 8월 X에 공개된 Starlink 제조 영상에서는 실리콘 기반 셀을 활용해 경량화된 모듈 구조를 제작 및 탑재하는 것으로 추정되는 장면이 포착됐다. 또한 Starlink가 대만의 주요 실리콘 태양전지·모듈 업체인 TSEC로부터 저궤도 위성용 태양전지 및 모듈을 공급받아 왔다는 점도 확인된다.

그림 15. Starlink에 사용 추천되는 실리콘 태양전지



자료: Starlink, 미래에셋증권 리서치센터

그림 16. TSEC 주력 태양전지



자료: TSEC, 미래에셋증권 리서치센터

To Be: 페로브-실리콘 탠덤이 유력

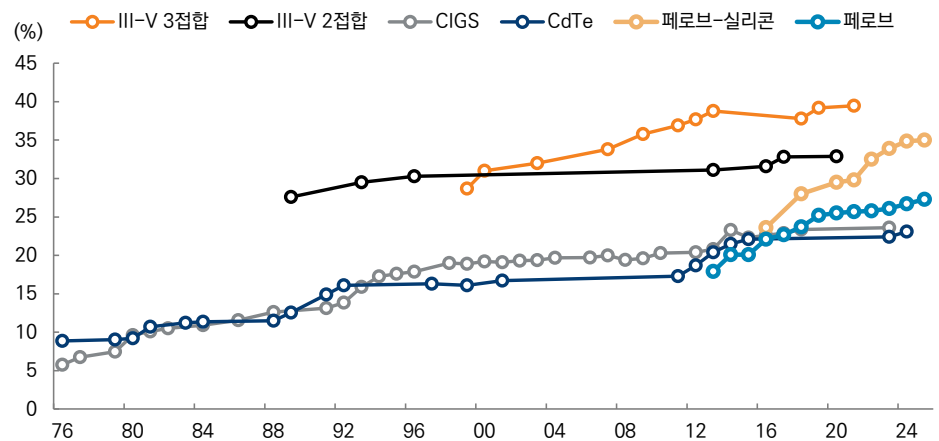
결국 우주 데이터센터에서 실리콘 셀이 가지는 구조적 한계를 극복해 전력 효율을 극대화할 수 있도록 설계된 페로브-실리콘 탠덤 셀이 태양전지의 미래가 될 가능성이 가장 높다. 근거는 8년이 넘는 시간 동안 Starlink를 통해 검증해 온 실리콘 기반 태양전지를 포기할 정도로, 양산 가능하며 더 비용 효율적인 태양전지가 아직 시장에 부재하기 때문이다.

표 4. 태양전지 비교

	실리콘(c-Si)	III-V족 화합물(GaAs)	박막형(CIGS, CdTe)	페로브스카이트 단일	페로브-Si 탠덤
변환 효율	16~27%	30~34%	~24%	~26.7%	~34.85%
제조 단가	낮음	높음	중간	양산 전	양산 전
우주 환경 수명(EOL)	낮음	매우 높음	중간	불확실	불확실
방사선 내성	중간(저궤도)	매우 높음	불확실	불확실	불확실
비출력(W/g)	낮음	~0.8 W/g	높음	높음	~2.1 W/g
우주 적용 성숙도(TRL)	높음	높음	중간	낮음	낮음
적합 궤도	지상, LEO(저궤도)	중/고궤도(MEO, GEO)	불확실	불확실	불확실

자료: 미래에셋증권 리서치센터

그림 17. 태양전지 별 효율



자료: NREL, 미래에셋증권 리서치센터

페로브스카이트 실리콘 탠덤 채택이 유력한 이유

실리콘 태양전지의 짧은 수명, 우주 데이터센터의 군집 체계로 상쇄

저궤도 우주 데이터센터에서는 실리콘 태양전지의 짧은 수명이 결정적인 제약이 아닐 가능성이 크다. Starlink 사례를 보면 실리콘 셀은 저궤도 환경에서 5년 안팎의 운용 수명을 확보할 수 있고, 이는 AI 가속기 칩의 교체 주기와의 대체로 맞물리기 때문이다. 실리콘 셀은 방사선으로 인한 내부 결함과 궤도 주기마다 반복되는 급격한 온도 변화 때문에 지상보다 수명이 짧아진다. 그러나 하버드-스미스소니언 천체물리센터 연구에 따르면, Starlink 위성 운용 수명의 중앙값은 약 5.3년이다. 위성이 어떤 이유로든 궤도에서 이탈하기 전까지 운용됐다는 점을 고려하면, 태양전지도 적어도 이 기간 동안은 일부 기능을 유지했을 가능성이 높다.

작게 여러 번 발사하는 것이 유리

이 5년이라는 시간이 우주 데이터센터에도 유효한지는 SpaceX가 구상하는 데이터센터의 구조를 함께 봐야 한다. SpaceX의 우주 데이터센터는 지상의 대형 단일 구조물보다는 다수의 소형 위성이 연결된 ‘군집’ 체계로 구축될 가능성이 크다.

첫째, SpaceX의 핵심 비즈니스 모델은 발사 서비스다. 발사 횟수가 많아질수록 매출 기회가 커지는 구조이기 때문에, 대형 구조물 하나를 오래 운영하는 방식보다 잦은 발사가 필요한 소형 군집형 데이터센터가 SpaceX에 더 매력적일 수 있다. 비용 효율성만 확보된다면 고객의 위성 교체 주기를 오히려 단축해 발사 수요를 늘릴 유인도 있다.

둘째, 데이터센터에 탑재되는 AI 가속기 칩의 교체 주기도 약 5년 수준이다. 시장에서는 AI 가속기의 유효 수명을 물리적 열화와 경제적 진부화를 감안해 4~6년으로 추정한다. 아마존과 구글 등 하이퍼스케일러의 공식 감가상각 기준에서도 관련 장비의 상각 연수는 대체로 5~6년이다. SpaceX가 자체 데이터센터를 운영하든, 빅테크의 GPU를 궤도에 올리든, 고도화되는 AI 가속기를 반영한 주기적 위성 교체는 불가피하다.

따라서 저궤도 우주 데이터센터에서는 실리콘 태양전지의 수명 한계가 예상보다 큰 문제가 아닐 수 있다. 현재 추정되는 실리콘 태양전지의 저궤도 수명과 AI 가속기의 경제적 교체 주기가 모두 약 5년 내외로 수렴하기 때문이다.

표 5. 대형/군집형 데이터센터 비교

구분	대형 단일 우주 데이터센터	소형 군집형 데이터센터
발사 방식	대형 구조물 중심	다수 위성 반복 발사
교체 용이성	낮음	높음
확장 방식	일괄 증설	점진적 증설
SpaceX 발사 비즈니스와의 적합성	상대적으로 낮음	높음
AI 칩 세대교체 반영	어려움	쉬움

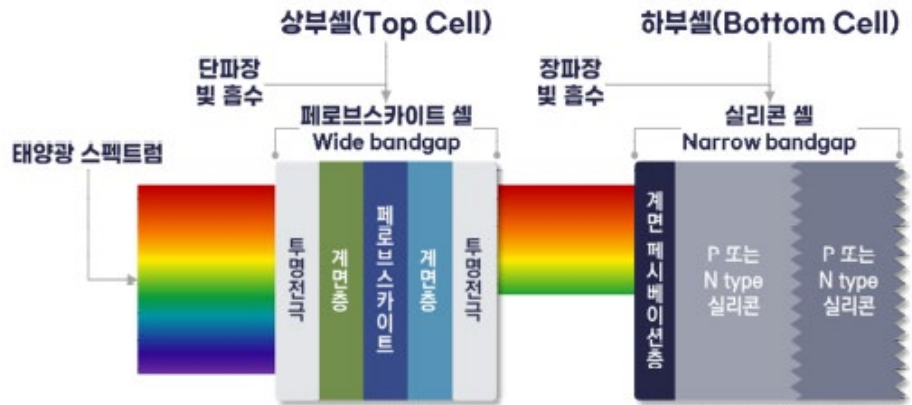
자료: 미래에셋증권 리서치센터

중장기적으로는 페로브-실리콘 탠덤이 각광받을 이유

중장기적으로 우주용 태양전지 시장에서 페로브스카이트-실리콘 탠덤 셀이 각광받을 가능성이 크며, 하부 실리콘 셀로는 HJT가 가장 유력하다. 페로브스카이트-실리콘 탠덤은 기존 실리콘 단독 셀의 효율 한계를 넘어설 수 있고, HJT는 페로브스카이트와 공정, 전기적 특성, 구조 측면에서 가장 잘 맞는 실리콘 셀이기 때문이다.

페로브스카이트-실리콘 탠덤은 상부에 페로브스카이트 셀, 하부에 실리콘 셀을 결합한 구조다. 두 소재가 흡수하는 빛의 파장 영역이 다르므로, 실리콘 위에 더 넓은 파장대의 빛을 흡수할 수 있는 페로브스카이트를 올리면 실리콘 단독 셀보다 발전 효율을 높일 수 있다. 이는 수년간의 기술 개발로 이론적 한계 효율인 29.4%에 근접한 실리콘 셀의 효율을 다시 한번 끌어올리는 계기가 된다. 페로브스카이트-실리콘 탠덤의 이론적 한계 효율은 약 42.4%로, 기존 실리콘 셀 대비 의미 있는 점프업이 가능하다.

그림 18. 페로브-실리콘 탠덤 태양전지 모식도



[그림 3] 탠덤 태양전지(페로브-Si) 모식도

자료: KISTEP, 미래에셋증권 리서치센터

하부 셀로는 HJT가 유력

특히 우주용 태양전지로 페로브스카이트-실리콘 탠덤이 채택된다면, 하부 실리콘 셀로는 HJT가 탑재될 가능성이 크다. 그 이유는 크게 세 가지다.

첫째, HJT는 페로브스카이트와 저온 공정 호환성이 가장 높다. 페로브스카이트는 고온에 취약해 200°C 이상에서 소재가 손상될 수 있다. HJT는 최고 공정 온도가 200°C 이하이기 때문에 페로브스카이트를 상부 셀로 올려도 손상 위험이 낮다. 반면 TOPCon은 약 900°C 이상의 고온 공정이 필요해 탠덤 구조로 통합하기 어렵다.

둘째, HJT는 높은 개방전압과 우수한 패시베이션 특성을 갖는다. 탠덤 셀에서는 하부 셀의 전압이 높을수록 전체 효율이 상승한다. HJT의 개방전압은 750mV 이상으로, TOPCon의 약 740mV 대비 유리하다. 또한 패시베이션된 계면과 낮은 표면 재결합 속도 덕분에 높은 전압과 우수한 온도 안정성을 제공한다. 이는 더 얇은 흡수층 설계를 가능하게 해 대면적 모듈 설계에도 유리하다.

셋째, HJT 구조에 이미 포함된 TCO를 탠덤 셀의 재결합 접합층으로 활용할 수 있다. TCO는 빛이 활성층에 도달하도록 하면서 동시에 생성된 전하가 이동할 수 있는 전도 경로를 제공한다. TOPCon이나 PERC는 탠덤 통합을 위해 별도의 재결합 접합층을 추가해야 하지만, HJT는 기존 ITO 전극이 해당 역할을 수행할 수 있다. 그만큼 공정 단계가 줄어들고 탠덤 통합이 쉬워진다.

따라서 페로브스카이트-실리콘 탠덤은 실리콘 단독 셀의 효율 한계를 넘어서는 중장기 대안이며, 그 하부 셀로는 HJT가 가장 적합한 구조로 평가된다. 우주 데이터센터처럼 제한된 면적에서 높은 전력 밀도가 필요한 응용처에서는 이러한 효율 개선 효과가 더욱 중요해질 수 있다.

우주 태양광이 보편화되려면 1) 무게보다는 생산단가가 중요

페로브-실리콘 탠덤 셀의 우주 적용 시점은 무게 절감으로 인한 발사 비용 절감이 셀의 생산 단가를 상쇄하는 수준이 되어야 하지만, 결론적으로는 생산단가 자체의 절감이 더 중요하다. 무게 측면에서 페로브스카이트-실리콘 탠덤의 출력은 약 500~800W/kg으로, 현재 우주 표준인 3중접합 GaAs(약 300W/kg)보다 높고 일반 실리콘(약 150W/kg)과 비교하면 3~5배 수준이다. 위성 1기당 100kW 전력을 가정할 경우, 탠덤 셀 적용 시 패널 무게를 GaAs 대비 절반 이하로 줄일 수 있다. Starship의 현실적 발사 비용을 kg당 500달러로 가정하면, 위성 1기당 수만 달러 수준의 발사 비용 절감이 가능하다.

하지만 Starship의 발사 비용이 적어질수록 무게 절감의 경제적 가치는 오히려 줄어들다는 역설이 존재한다. SpaceX가 목표로 하는 kg당 100달러 수준에서는 무게 절감에 따른 발사 비용 차이가 미미해지고, 결국 손익분기점의 핵심 변수는 페로브스카이트-실리콘 탠덤 셀을 얼마나 저렴하게 생산할 수 있느냐가 될 전망이다. 현재 페로브스카이트-실리콘 탠덤의 실험실 수준 단가는 W당 80~120달러지만, W당 30달러 이하로 낮아져야 활용 가능할 것으로 보인다. 지상 양산이 본격화되는 2026~2027년을 기점으로 단가 하락이 가속된다고 가정하면, 우주 적용 가능한 비용 수준 도달은 2030년대 초반으로 추정된다.

표 6. 태양광 패널 무게당 출력 비교

기술	광전효율	비출력	비고
일반 실리콘 (지상용)	22~24%	~150 W/kg	기준
3중접합 GaAs (현 우주표준)	29~32%	~300 W/kg	실리콘 대비 효율 2배
페로브-실리콘 탠덤 (현재)	30~33%	~400~600 W/kg	실리콘 대비 효율 3~4배 우위이나, 양산성 검증 X
페로브-실리콘 탠덤 (양산 시점)	33~35%	~500~800 W/kg	향후 양산성 검증되면, 실리콘 대비 효율 3~5배 수준으로 예상

자료: 미래에셋증권 리서치센터

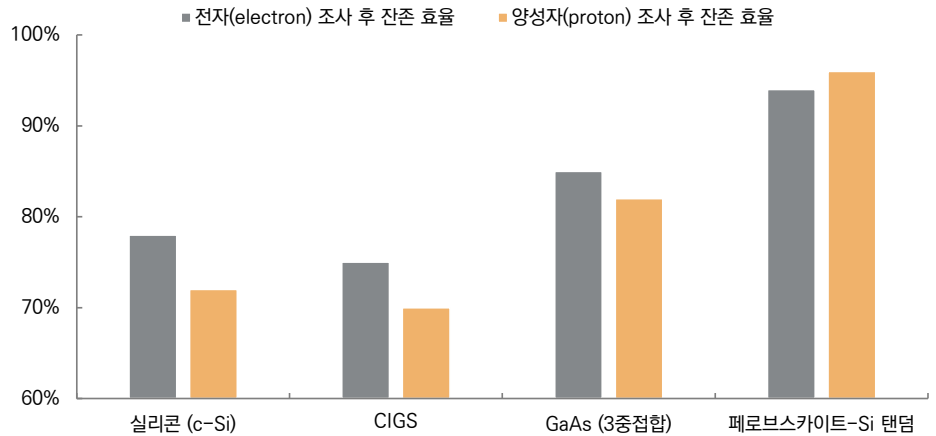
우주 태양광이 보편화되려면 2) 방사선 내성 문제의 해결

페로브스카이트의 방사선 내성은 높은 수준이다. 최근 연구에서 우주 방사선 환경에 노출된 후에도 페로브스카이트는 초기 효율의 96%를 유지하는 결과가 보고됐는데, 이는 기존 소재인 실리콘이나 CIGS가 같은 조건에서 80% 이하로 떨어지는 것과 비교하면 상당히 우수한 수치다. 이 배경에는 페로브스카이트 특유의 자기치유(self-healing) 특성이 있다. 방사선으로 생긴 결함이 일정 조건에서 자발적으로 회복되는 메커니즘인데, 저궤도 환경에서는 GaAs에 근접하거나 일부 능가하는 내성을 보이는 사례도 나오고 있다.

다만 자기치유 효과가 산소 존재 하에서는 빠르게 작동하지만, 실제 우주 환경인 고진공 조건에서는 속도가 현저히 저하된다는 점이 확인됐다. 또한 태양 폭발처럼 극단적인 방사선 환경이나 중이온 조사 조건에서는 소재 내 유기 성분이 영구적으로 분해될 수 있다는 우려도 남아 있다. 현재는 자기치유 환경을 설계하거나, 보호용 버퍼층을 추가하는 등 다양한 해결책이 연구되고 있으며, 국제우주정거장(ISS)을 활용한 실제 우주 환경 실증 실험도 함께 진행되고 있다. 결론적으로 페로브스카이트는 방사선 내성 측면에서 검증이 진행 중인 유력 후보다.

손익분기점은 양산 단가의 충분한 하락과 방사선 내성의 검증이 맞물리는 시점이 될 전망이다. 현실적으로는 SpaceX의 궤도 AI 위성 초기 배치(2028년 예정)에는 이미 검증된 GaAs나 실리콘 태양전지가 채택되고, 2세대 위성부터 탠덤 셀로의 전환이 검토될 가능성이 높다. 이 전환 시점은 2031~2033년 전후가 될 것으로 예상된다.

그림 19. 소재 종류별 방사선 내성 비교



자료: Huan et al. (J. Mater. Chem. A, 2024), Du et al. (ScienceDirect, 2025), 미래에셋증권 리서치센터

미-중 정책에 따른 태양광 장비 영향

머스크의 200GW 태양광 장비 발주는 미-중 간의 정책 및 규제가 어떻게 작동하느냐에 따라서 판도가 크게 바뀔 수 있다. 아직까지는 직접적으로 미국 빅테크 기업들의 중국 태양광 장비 수입을 막는 규제는 없으나, 에너지 안보 이슈로 인해 중국을 피해야 하는 기업들은 존재한다. Tesla 100GW와 SpaceX 100GW는 적용받는 규제 자체가 다른 별개 트랙이다. Tesla는 산업/통상 규제 체계 영향을 받으며, SpaceX는 국방/안보 규제 체계 영향을 받는다. 따라서 Tesla와 SpaceX 케이스로 분류해 현재 규제 상황과 향후 전망을 나누어 정리하고, 각 시나리오에서 수혜받을 업체를 선정한다.

Tesla: 지금은 중국 장비 수입 가능, 하지만 점차 강해질 규제에 대비할 필요

Tesla의 태양광 제조설비 100GW는 지상용 태양광 공장일 것으로 예상된다. 고려해야 하는 정책은 IRA 세액공제(45X, 48E, 45Y), FEOC, Section 301 관세, UFLPA, AD/CVD, CFIUS 등이다. **SpaceX 케이스와 다른 점은 현재 중국 태양광 제조장비는 여전히 구입 가능한 대상이라는 점이며, 회색지대에 위치한다.** 하지만 점차 이러한 회색지대는 사라질 것이며, **미국의 중국에 대한 규제가 강화될 것으로 예상된다.**

중국 규제가 강화될 수 있는 잠재 정책

FEOC (Foreign Entity of Concern, 우려대상 외국기업 규정)

태양광 제품의 FEOC 기업 관련 생산 비중이 기준치(MACR)를 초과할 경우, 세액공제 지급 대상에서 제외하는 정책이다. **현재 태양광 장비는 고려 대상에서 제외이며, 모듈/셀/웨이퍼/폴리실리콘 등 제조된 제품에만 적용 중이다.** 따라서 중국 태양광 장비로 미국에서 태양광 모듈을 생산하더라도 아무 문제가 없다. 하지만 **최근 미 국회에서 장비까지 FEOC 규제 확대를 요구 중이다.** 2026년 중간선거 이후, 정치 환경에 따라 2027년 또는 2028년 입법 가능성도 있다. 만약 입법이 된다면, 중국 태양광 장비를 사용하면 미국 공장의 세액공제가 박탈될 수 있어, 사실상 중국 장비를 배제할 수밖에 없는 구조가 된다.

표 7. 세액공제 지급 기준(MACR) Non-FEOC 연도별 임계치

연도	45Y/48E 발전설비	48E 에너지저장	45X 태양광 부품	45X 인버터	45X 배터리 부품
2026	40%	55%	50%	50%	60%
2027	45%	60%	60%	55%	65%
2028	50%	65%	70%	60%	70%
2029	55%	70%	80%	65%	80%
2030~	60%	75%	85%	70%	85%

자료: IRS, 미래에셋증권 리서치센터

Section 301 관세 (대중국 무역법 301 조)

일반 중국산 제품에는 25%지만, 중국 태양광 제품(폴리실리콘 ~ 모듈)에는 50% 관세를 매기는 규제다. 하지만 14종 태양광 제조장비는 2025년 미중 정상회담 합의에 따라 2026년 11월 10일까지 면제가 연장되었다. 따라서 단기 이벤트로서, 11월 10일 이후 태양광 장비에 대한 Section 301 관세 부과 여부가 어떻게 결정되느냐에 따라 흐름이 달라질 수 있다. **중국 태양광 장비에 50% 관세가 부과된다면, 가격 경쟁력이 소멸해 비중국 진영으로 급격한 전환이 예상된다.** 한편, 모듈 제조장비 면제는 거부되어 이미 50% 관세 적용 중이기에, 이번 협상이 미치는 영향이 없다.

CFIUS / Outbound Investment Review

CFIUS(Committee on Foreign Investment in the United States, 미국 외국인투자심의위원회)는 외국인의 미국 자산 인수에 적용되는데, 일반적으로 단순 장비 구매 거래는 CFIUS 관할이 아니다. 현행 Outbound Investment Security Program은 반도체/양자/AI 분야 중국 투자에 집중되며 태양광 장비 구매를 직접 겨냥하지 않는다. 하지만 향후 대상 기술이 청정에너지 제조장비로 확대되거나, 장비 구매가 자본투자나 기술이전, 금융지원과 결합될 경우 별도 규제 리스크 발생 가능하다.

BIS Entity List (상무부 산업안보국 거래 제한 리스트)

현재 Maxwell, LEAD, S.C New Energy 등 주요 중국 태양광 장비사는 등재되지 않았으나, 향후 정치 환경 변화에 따라 등재 가능하다. 등재 시 미국 기업의 직접 구매가 차단된다.

간접적인 영향을 미치는 정책

Section 45X (AMPC, 첨단제조세액공제): 미국 내에서 태양광 제품을 직접 생산하면 받게 되는 세액공제. 장비 자체는 직접적인 세액 공제 대상이 아니지만, 미국 공장 증설 수요를 자극해 간접적으로 장비 수요를 확대하는 정책

Section 48E/45Y (ITC/PTC, 청정전력 투자 및 생산세액공제): 미국 내에서 청정에너지로 전력을 생산하면 받게되는 세액 공제. 결국 발전소 건설을 장려하면서, 간접적으로 장비 수요를 확대

영향을 미치지 않는 정책

UFLPA (위구르 강제노동 방지법): 신장 지역의 강제노동 의심 상품의 미국 수입 차단 정책. 태양광 장비와는 무관

AD/CVD (반덤핑·상계관세): 중국 태양광 제품이 타 국가들(말레이시아, 베트남 등)을 통해 우회하는 통로를 막는 정책. 태양광 셀 및 모듈 직접 대상, 장비 영향 없음

중국 측의 대미국 수출 규제 가능성

현재까지 중국의 미국향 태양광 제조장비 수출 규제는 명시적 통제로 발효된 사례가 없으나, 향후 중국 정부가 협상 카드로 활용할 여지는 있을 것으로 예상된다. 지난 4월 Reuters 보도에 따르면, 중국 정부가 미국향 태양광 제조장비 수출 제한을 검토 중이나, 아직 중국 제조기업들과 협의가 되지 않은 상황이다. 다만, Tesla가 태양광 자급화에 성공한다면 중국 입장에서는 불편할 수 있다. 선례를 보더라도 2022년 중국이 대형 웨이퍼 등 태양광 제조기술을 기술수출 제한 후보로 검토했었으나 무산되었다. 결과적으로 현재 HJT 플라인 장비는 명시적 통제 대상이 아니며, Maxwell 등 중국 장비사의 미국 수출은 법적으로 가능한 상태다. 다만 이는 협상 카드 성격이 강해 미-중 관계 악화 시, 보복 수단으로 작동할 수 있는 리스크 요인으로 평가한다.

SpaceX: 이미 불가능한 중국산 장비

SpaceX의 태양광 제조설비 100GW는 우주용 태양광 공장일 것으로 예상된다. Tesla와 달리 SpaceX는 ITAR(국제무기거래규정)과 EAR(수출관리규정) 적용 대상이며, 이 규제 체계 하에서는 중국 장비 진입이 현재 시점에서 사실상 불가능하다. 만약 중국 장비가 일부 적용된다고 해도, 중요도가 낮은 장비에서 일부 쓰일 가능성은 있을 것으로 파악한다.

현재 적용 중인 핵심 규제

ITAR (International Traffic in Arms Regulations)

미 국무부 DDTC(국방무역통제국) 관할 규제로서, 위성, 발사체 등 USML(미 군수품 목록) 등재 항목을 통제한다. SpaceX는 군용 위성, Starlink 등 민감 기술을 보유하고 있어 ITAR 적용 대상이다. 미국 원산지 부품 및 기술이 중국으로 가는 것은 금지되며, 반대 방향으로 중국 장비가 ITAR 시설에 들어오는 것도 사실상 차단된다. **중국 기업이나 중국 국적 인력이 설치, 시운전, 유지보수 등을 위해 SpaceX의 민감 기술, 설계 정보, 공정 데이터, 시험 데이터에 접근하는 구조는 매우 큰 리스크이기 때문이다.**

EAR (Export Administration Regulations)

미 상무부 BIS 관할의 정책으로서, 이중 용도 기술을 통제한다. Starlink는 군사 통신 지원 기능 보유로 EAR 통제 대상이다. SpaceX의 우주용 셀 제조 시설은 EAR 통제 시설로 분류될 가능성이 높다. EAR은 품목 자체가 민감하지 않더라도 최종 용도나 최종 사용자가 군사, 정보, 우주안보와 연결되면 라이선스 리스크가 커진다. **SpaceX가 NASA, DoD, NRO, Space Force와 밀접한 계약 관계를 갖는다는 점을 고려하면, 내부 컴플라이언스 기준은 보수적으로 설계될 가능성이 크다.**

FIRRMA / CFIUS 강화 적용

2018년 FIRRMA 발효로 외국 투자 심사가 강화되었다. SpaceX는 로켓 추진, 위성, 우주선 기술을 보유하고 있어 핵심 기술로 분류된다. 외국 투자자(특히 중국)의 SpaceX 접근 자체가 제약되며, 장비 공급도 동일한 안보 심사가 적용될 가능성이 높다.

SpaceX의 실제 움직임이 이를 증명

Starlink는 GaAs에서 c-Si로 전환 완료했으며, 핵심 공급사는 대만의 TSEC(대만 최대 PV 제조사)다. 우주용 셀 시장에서 중국 공급망 의존이 안보 리스크로 인식되어 비중국 진영(대만, 일본, 한국, 유럽) 중심 공급망 구축 중이다. Blue Origin 등 다른 우주 기업들도 동일한 상황에 있는 것으로 판단되며, ITAR/EAR 제약상 중국 장비 진입이 불가하다.

만약 ITAR 제약을 어긴다면, 실질적인 처벌이 존재

ITAR은 위반 시, 형사 처벌(최대 20년 징역), 회사당 천만 달러 단위 벌금, 수출 라이선스 영구 박탈, USML 등재된 모든 거래 차단 등 처벌 수위가 매우 높다. 따라서 SpaceX 입장에서 중국 장비를 도입하는 것은 회사 자체의 존립까지 위태롭게 할 수 있는 리스크다. Tesla의 중국 장비 + 관세 vs. 비중국 장비의 수익성을 비교하는 것과는 차원이 다르다.

우주 산업 안보화 추세는 점차 확대될 가능성이 높다. 우주 데이터센터(Project Sunrise, Starshield) 등 신규 사업으로 ITAR/EAR 적용 범위는 오히려 확대될 전망이다.

표 8. 미국 내 중국 장비 진입 가능성 - Tesla와 SpaceX 케이스

시점	중국 장비 진입 가능성	
	Tesla	SpaceX
2026년	매우 높음	0% (사실상 차단)
2027-28년	보통	
2029-30년	낮음	

자료: 미래에셋증권 리서치센터

태양광 장비 시장 전망 - 2 Phase

머스크의 200GW 장비 발주는 1) 기술 성숙도, 2) 양산 검증 일정, 3) 미-중 규제 강화로 인해 두 단계로 나뉘어 발생할 것으로 전망한다. **Phase 1은 HJT 단일 셀 라인 장비 중심이 될 것이고, Phase 2는 HJT 라인에 추가되는 페로브-HJT 탠덤 양산 장비까지 발주가 확대될 것으로 예상된다.** Phase 1에서 Phase 2로의 전환은 2027~28년 사이에 일어날 것으로 전망한다. 해당 시나리오는 모두 추정 기반이며, 머스크 팀의 일정 변경, 페로브 양산 검증 지연, 미-중간 정책 변화 등 변수에 따라 변동될 수 있다.

Phase 1 (2026-2027): HJT 셀 단일 장비 사이클

다보스 포럼에서 시작된 사이클

다보스 발표(2026.1) 이후, 미국 내 HJT 장비에 대한 발주 사이클이 시작되었다고 판단한다. 2025년 말 기준, Revkor/H2 Gemini, Canadian Solar 등을 포함한 다수 업체가 미국 내 HJT 또는 HJT 기반 탠덤 생산 계획을 공식화했으며, 발표 기준 총 규모는 30GW 이상이다. 페로브 탠덤은 아직 파일럿 단계로 GW급 양산 검증이 완료되지 않아, 이 시기 발주는 HJT 단일 셀 라인이 중심이 될 것으로 예상된다.

표 9. Phase 1 태양광 장비 발주량 추정 (2026-2027)

발주처	누적 발주량	중국 비중	비중국 비중
미국 기 발표 HJT 사업자	20-25GW	50-60%	40-50%
Tesla (1차 라인)	25-35GW	70-80%	20-30%
SpaceX (파일럿 및 초기 라인)	5-10GW	0%	100%
기타 신규 진입자	5-10GW	40-50%	50-60%
Phase 1 합계	55-80GW	55-65%	35-45%

자료: 미래에셋증권 리서치센터 추정

Tesla의 선택: Maxwell 단독 턴키가 합리적

Tesla의 Phase 1 의사결정에는 비용 효율성이 가장 중요한 요인이기에, 중국 태양광 장비 발주로 이어질 가능성이 높을 것으로 판단한다. 정책 환경상 중국 장비 진입이 합법이며 가격 우위가 명확하기 때문이다. FEOC에서는 태양광 장비가 명시적으로 제외되어 있으며, Section 301은 조금 더 지켜봐야 하지만 11월까지 태양광 장비 관세가 면제 중이다. Maxwell HJT 라인 단독 턴키(GW당 약 \$75M)는 컨소시엄 구성이 필요한 비중국 옵션(GW당 \$80~90M)보다 가격 측면에서 우월하다. Tesla는 굳이 비중국 장비로 가야 할 동기가 부족하며, Maxwell과의 \$2.9B 협상 루머가 이를 뒷받침한다.

SpaceX의 선택: 처음부터 비중국으로 강제

반면 SpaceX는 ITAR 및 EAR 적용 대상으로 이 단계에서 이미 중국 장비 진입이 사실상 차단된 상태다. 정책 변화 가능성이 아니라 현재 시점에서 적용되는 제약이다. SpaceX의 초기 파일럿 및 검증 라인 발주는 처음부터 비중국 진영(주성엔지니어링 등)으로 향할 전망이다.

표 10. Phase 1 장비 시장 규모 전망 (2026-2027)

구분	Bear	Base	Bull
발주량	55GW	65GW	80GW
GW당 단가	\$75M	\$80M	\$85M
시장 규모(달러)	\$4.1B	\$5.2B	\$6.8B
시장 규모(원)	6.0조원	7.6조원	10.0조원

자료: 미래에셋증권 리서치센터

표 11. Phase 1 장비 발주 수혜 구조(Base) (2026-2027)

진영	핵심 수혜 종목	수혜 GW 추정	매출 추정	
			USD	KRW
중국	Suzhou Maxwell	38.5GW	\$3B	4.4조원
비중국 한국	주성엔지니어링	21.5GW	\$1.8B	2.6조원
비중국 유럽	VON ARDENNE, Singulus	3.5GW	\$0.4B	0.6조원

자료: 미래에셋증권 리서치센터

결론: Phase 1 시장 규모는 약 7.6조원 전망(누적)

베이스 케이스를 가정하면, 약 2년간 HJT 라인 장비 시장 규모는 약 7.6조원이 될 것으로 예상된다. Phase 1에서는 Maxwell 등 중국 진영의 수주 규모가 가장 클 것으로 예상하며, 매출 규모는 약 4.4조원으로 전망한다. 다만, 주성엔지니어링도 SpaceX, Tesla 등 중국을 피하려는 미국 사업자들로부터 수주가 발생할 것으로 예상하며, 규모는 약 2.6조원 수준으로 전망한다. Von Ardenne, Singulus 등 유럽 업체들은 Maxwell이나 주성엔지니어링과 달리 풀라인 턴키 장비를 공급하지는 못하지만, 부분적인 장비 수주는 가능할 것으로 예상된다.

그림 20. Phase 1 수주 발주처별 분배

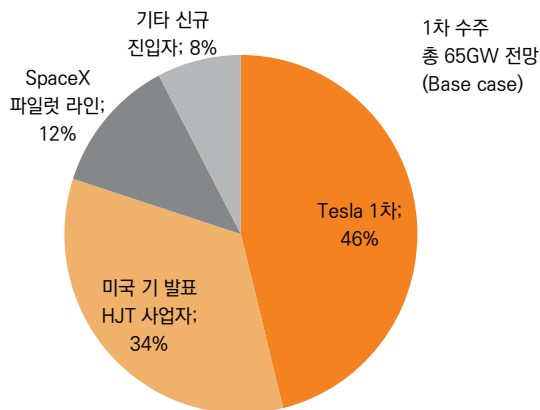
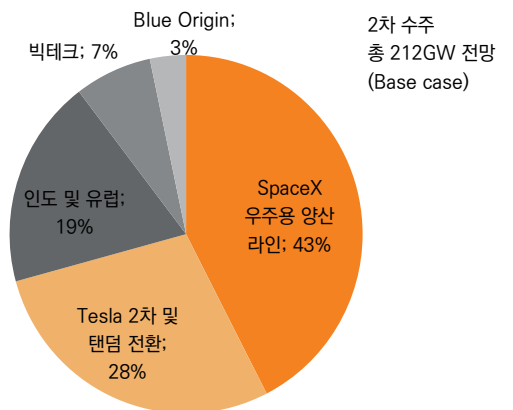


그림 21. Phase 2 수주 발주처별 분배



자료: 미래에셋증권 리서치센터

자료: 미래에셋증권 리서치센터

Phase 2 (2027-2031): 페로브-HJT 탠덤 장비 사이클

기술과 규제의 동시 진화

Phase 2 전환은 두 가지 변수에 의해 나타날 전망이다. 기술 측면에서는 페로브-HJT 탠덤이 2028년경 본격 양산에 진입하면서 수주가 이에 앞서 발생할 것으로 예상된다. 현재 진행 중인 페로브 탠덤 파일럿 라인들이 양산 검증을 통과하고, 본격 수주가 발생하는 구간이 될 전망이다. 또한 HJT 단일 셀 대신 대부분의 발주가 효율이 높은 탠덤으로 이루어질 것으로 예상된다.

규제 측면에서는 중국 장비에 대한 미국 규제가 단계적으로 강화될 전망이다. 단기적으로는 태양광 장비에 대한 Section 301 관세 면제의 만료 여부를 확인해야 한다. 또한 FEOC 규제가 장비단까지 확대 가능성도 존재한다. 만약 FEOC 규제에 장비가 포함된다면, 급격히 높아지는 Non-FEOC 비중 요건을 충족하기 위해 비중국 장비로의 신속한 전환이 불가피해진다. 이 변수들이 하나만 시행되어도 중국 장비의 미국 진입은 사실상 제한된다. Phase 2는 비중국 진영의 수혜 규모가 절대적으로 커진다.

표 12. Phase 2 태양광 장비 발주량 추정 (2027~2031)

발주처	누적 발주량	중국 비중	비중국 비중
Tesla (2차 라인, 탠덤 전환)	50-70GW	30-40%	60-70%
SpaceX (우주용 본격 양산)	80-100GW	0%	100%
Blue Origin (Blue Alchemist + Project Sunrise)	5-10GW	0%	100%
빅테크 (Google, Amazon, Microsoft 자체 진입)	10-20GW	10-20%	80-90%
기타 비중국 진영 (인도, 유럽 등)	30-50GW	30-40%	60-70%
Phase 2 합계	175-250GW	15-25%	75-85%

자료: 미래에셋증권 리서치센터

표 13. Phase 2 장비 시장 규모 전망 (2027~2031)

구분	Bear	Base	Bull
신규 HJT 플라인	100GW × \$130M	130GW × \$140M	150GW × \$150M
증설형	75GW × \$55M	90GW × \$65M	100GW × \$75M
시장 규모(달러)	\$17.1B	\$24.0B	\$30.0B
시장 규모(원)	25.1조원	35.3조원	44.1조원

자료: 미래에셋증권 리서치센터

표 14. Phase 2 장비 발주 수혜 구조(Base) (2027~2031)

진영	핵심 수혜 종목	수혜 GW 추정	매출 추정	
			USD	KRW
비중국 한국	주성엔지니어링, 선익시스템 등	160GW	\$14.5B	21.3조원
비중국 유럽	VON ARDENNE, Singulus, Beneq, GIGANOVA	40GW	\$3B	4.4조원
중국	Suzhou Maxwell (잔존 시나리오)	37.5GW	\$4.5B	6.6조원
미국	Swift Solar, First Solar 등	15GW	\$1.5B	2.2조원

자료: 미래에셋증권 리서치센터

태양광 장비 투자전략 및 기업 분석

단기 투자전략: 중국 + 비중국 진영 HJT 장비 동시 투자

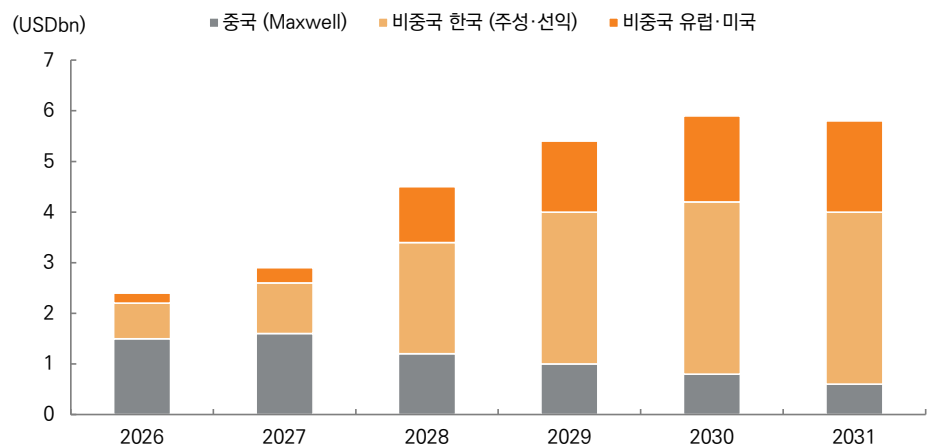
단기(Phase 1)로는 HJT 셀 장비 기업 중 중국 및 비중국 진영에 균형 있게 투자해야 한다고 판단한다. 다가오는 2~3년 내 미국 내 태양광 생산자들이 주로 구입하게 될 장비는 기술적으로 TOPCon 대비 우위에 있는 HJT 셀 라인 장비가 될 전망이다. 따라서 **주성엔지니어링과 Maxwell**을 선호한다.

가격경쟁력 측면에서는 Maxwell 등 중국 진영의 수주 가능성이 높지만, 국가안보 정책 및 규제(ITAR 및 EAR)로 인해 중국 장비 사용이 불가한 기업들은 주성엔지니어링 등 비중국 진영으로 갈 가능성이 높다. 지금 당장은 중국 장비에 대한 규제나 관세가 강하지 않기에, 중국의 수주 비중이 60% 수준이 될 것으로 예상된다. 다만, 해당 숫자는 향후 Section 301 관세 면제 종료 여부와 FEOC 규제의 장비단 확대에 인해서 축소될 수 있다.

중장기 투자전략: 비중국 페로브 탠덤 라인 컨소시엄에 투자

중장기(Phase 2)로는 페로브스카이트 탠덤 셀 장비 기업 중에서도 비중국 업체들을 위주로 선별해야 한다고 판단한다. 향후 우주 태양광 기술로서 페로브스카이트 탠덤 셀의 채택 가능성이 높은 상황에서, 페로브스카이트와 궁합이 좋은 HJT 셀 장비 기업들의 수주는 지속될 전망이다. 추가적으로 수주 대상이 페로브스카이트 상부셀 공정 기업들까지 확대될 것으로 예상된다. 이에 따라 선호되는 기업들은 **주성엔지니어링과 선익시스템**이다.

그림 22. 연도별 태양광 장비 발주 규모 추정



자료: 미래에셋증권 리서치센터

표 15. 태양광 장비 피어 테이블

종목	티커	국적	시가총액 (USDmn)	매출 (USDmn)		영업이익 (USDmn)		OPM(%)	PER(배)		EV/EBITDA(배)		노출도		비고
				25	26F	25	26F		26	27	26	27	Phase 1	Phase 2	
주성 엔지니어링	036930.KQ	한국	7,106	219	264	22	61	10.1	118.5	83.4	98.7	63.2	◎	◎◎	비중국 HJT 단독 턴키, ALD·CVD·PECVD (HJT 플라인, 페로브 ETL)
선익시스템	171090.KQ	한국	609	363	341	79	73	21.6	9.4	8.0	6.9	6.0	○	◎	VTE 진공 증발 (OLED·페로브 흡수층·HTL)
First Solar	FSLR	미국	29,007	5,219	5,086	1,597	1,880	30.6	15.0	11.2	10.3	8.2	×	○	CdTe 박막 셀·모듈 (제조사) + 페로브 진입, Oxford PV 라이선스 + Evolar AB 인수, 탠덤 진입
Applied Materials	AMAT	미국	361,164	28,368	33,255	8,562	10,737	30.2	37.1	28.1	31.7	23.7	△	△	본업 반도체, 태양광은 부수, 직접 수혜 제한적
Swift Solar	비상장	미국	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	△	○	비상장, Meyer Burger 자산·인력·IP 흡수
Suzhou Maxwell	300751.SZ	중국	11,275	1,135	1,200	103	147	9.1	81.6	57.2	50.3	38.8	◎◎	○	HJT 70%+ 점유, Tesla \$2.9B 협상 당사자
SC New Energy	300724.SZ	중국	4,500	2,154	1,208	414	230	19.2	17.7	19.4	13.7	12.3	◎	○	Tesla \$2.9B 발주 후보, TOPCon/HJT/BC/페로브스 카이트 플라인 턴키
Laplace	688726.SH	중국	3,757	760	808	91	126	12.0	28.0	22.4	26.6	19.8	○	△	Tesla \$2.9B 발주 후보, 열처리 장비, PECVD 장비, 고효율 셀 공정 특화
Autowell	688516.SH	중국	3,334	890	917	63	114	7.1	35.7	31.4	23.4	19.3	△	○	모듈 stringer (글로벌 70%) + 셀 장비
LEAD Intelligence	300450.SZ	중국	12,082	1,998	2,760	187	404	9.4	32.5	24.1	23.9	18.4	△	△	본업 리튬, 태양광은 부수 노출, 직접 수혜 제한적
Singulus Technologies	SNGGk	독일	49	55	103	-13	4	-24.2	79.5	11.1	12.2	6.8	△	○	소형 (시총 \$50M), 2024 적자 -€5.4M, 페로브 TCO 진입, TCO PVD 스퍼터링 (HJT·페로브 재결합층)
VON ARDENNE	비상장	독일	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	◎	유럽 최대 진공 증착, 페로브 PVD 솔루션(GIGANOVA)
RENA Technologies	비상장	독일	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	HJT 양산 라인 레퍼런스, 비중국 컨소시엄 후보, Wet 세정·텍스처링 (HJT 1단계)

자료: Bloomberg, 미래에셋증권 리서치센터

기업분석 ① 주성엔지니어링 (036930.KQ)

기업개요: 반도체 호황과 태양광 기대감 모두 수혜

1993년 설립된 ALD(원자층 증착) 장비 전문 기업으로, DRAM 커패시터의 High-K 유전층 증착 장비 등을 국내 주요 반도체 제조업체에 공급한다. 1Q26 기준 반도체 장비가 전체 매출의 약 97.6%를 차지하며, 반도체 사이클 본격화에 따른 주요 고객사의 1b 나노 이하 전환투자가 핵심 수혜 모멘텀이다.

사업구성은 반도체, 디스플레이, 태양광 장비의 세 축이다. 특히 태양광 사업이 신성장 축으로 본격 부상 중이다. 당사는 ALD와 CVD를 접목한 셀공정 라인 솔루션을 제시하며 HJT 풀라인을 공급한다. 또한 우주용 페로브-텐덤에서 요구되는 ALD 기술 개발도 가속화되고 있다.

투자포인트: 태양광 Phase 1~2 단계 모두 수혜 및 DRAM 사이클 수혜

당사의 핵심 투자포인트는 1) 비중국 진영에서 유일한 HJT 풀라인 공급사이며, 2) DRAM 수요 급증 시기의 대표 수혜 업체라는 점이다.

특히 태양광의 경우, 페로브스카이트-실리콘(HJT) 탠덤 구조에서 비중국 수요가 가시화될 경우, 기술적 검증과 턴키 공급 역량을 모두 보유한 당사가 유일한 대안으로 부상할 전망이다. 당사는 중국 경쟁사 대비 높은 ASP를 유지하고 있으며, 구조적 환경이 협상력을 뒷받침해 HJT 장비의 GPM은 약 45%에 달한다. 더 나아가 당사는 발전전환효율 35% 이상의 우주 환경에서 구현 가능한 페로브-텐덤 태양전지 장비 개발을 목표로 하고 있다.

시장 내 경쟁우위에 힘입어 당사의 수주잔고는 2025년말 1,000억 원 수준에서, 2026년 4,000억 원(태양광 1,000억 원 포함), 2027년에는 5,000억 원 수준으로 증가할 전망이다. 단, 리드타임으로 인해 태양광 사업 분야의 직접적인 매출 인식은 2027년부터 본격적으로 가시화될 전망이다.

그림 23. 주성엔지니어링 사업부문별 매출 추이

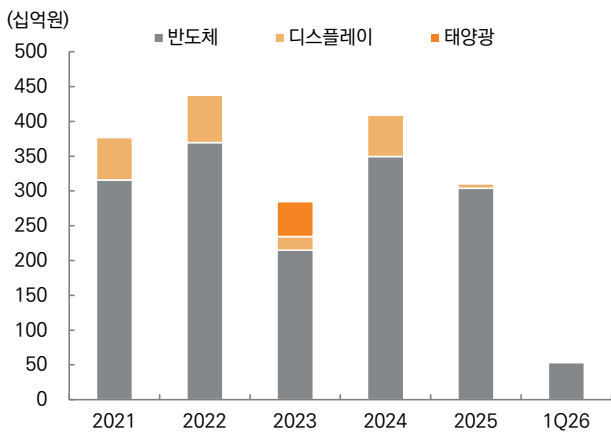
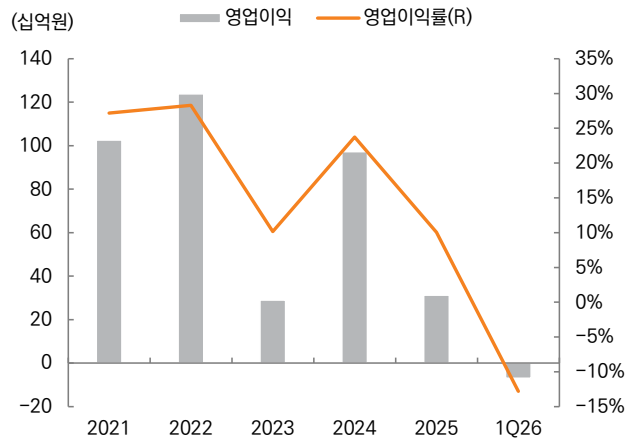


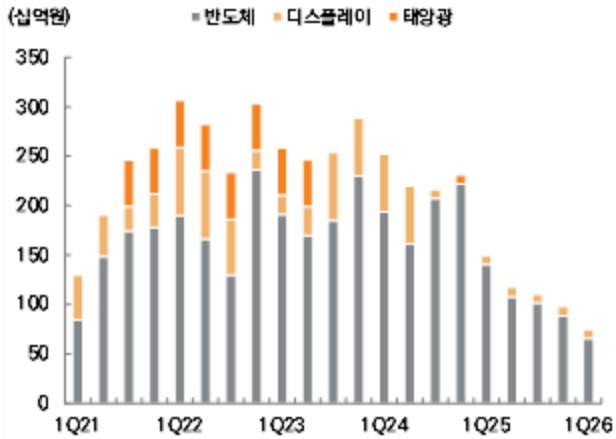
그림 24. 주성엔지니어링 영업이익/영업이익률



자료: 주성엔지니어링, 미래에셋증권 리서치센터

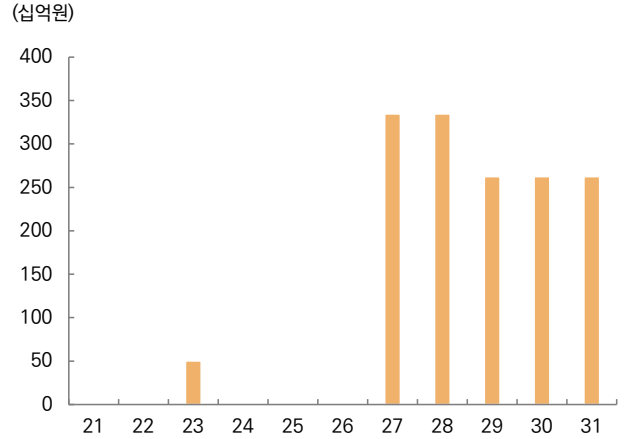
자료: 주성엔지니어링, 미래에셋증권 리서치센터

그림 25. 주성엔지니어링 수주잔고



자료: 주성엔지니어링, 미래에셋증권 리서치센터

그림 26. 태양광 사업 분야 매출 전망



자료: 주성엔지니어링, 미래에셋증권 리서치센터

그림 27. HJT PECVD 장비



자료: 주성엔지니어링, 미래에셋증권 리서치센터

그림 28. GA 페로브스카이트 (ALD & CVD) 장비



자료: 주성엔지니어링, 미래에셋증권 리서치센터

그림 29. APT형 반도체 제조기술

	Conventional Tech. 단독주택형 반도체 제조기술	Future Tech. (JUSUNG ALG Tech.) APT형 반도체 제조기술
Innovation	<p>[One village with 100 households]</p>	<p>[One Bid. Apartment with 100 households]</p>
		<p>1. ⬆ Speed !</p> <p>2. ⬇ Power Consumption !</p> <p>3. ⬇ Heat Generation !</p> <p>4. ⬆ Heat Dissipation !</p> <p>5. ★ Freedom of the substrate !</p> <p>6. ⬇ Cost Innovation ≈ Only One !</p>
	Innovation of Electronic circuits !	

자료: 주성엔지니어링, 미래에셋증권 리서치센터

기업분석 ② 선익시스템 (171090.KQ)

기업개요: OLED 증착장비에서 페로브스카이트

1990년 설립된 증착장비 전문 기업으로 기판 위에 소재를 원자 단위로 적층하는 증착 공정 장비를 주력으로 한다. 1Q26 기준 증착장비가 전체 매출의 90% 이상을 차지한다. 최대 주주는 디스플레이 검사장비 기업인 (주)동아엘텍으로 지분율 44.6%를 보유하고 있다.

사업구성은 디스플레이(OLED 대형 증착기), 메타버스(OLED_oS 증착기), 태양광(페로브스카이트 증착기)의 세 축이다. 일본 캐논토키가 독점하던 증착기 시장에서, 8.6세대 양산용 Tandem OLED 증착장비를 통해 BOE Phase 1, 2를 수주하며 기술력을 입증했다. 또한 OLED_oS 증착기 시장에서는 점유율 80% 이상을 보유하고 있으며, 페로브스카이트 태양 전지용 증착장비를 신성장 축으로 육성 중이다.

투자포인트: 디스플레이 캐시카우와 페로브스카이트 셀로의 확장성

당사의 투자포인트는 1) FMM 라인에 대한 추가 수주 기대, 2) 페로브스카이트 셀 제조 장비에서의 기술력 우위다.

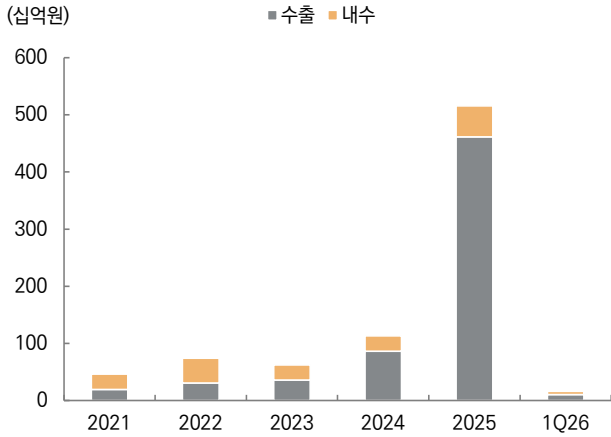
당사는 전 세계 8.6세대 FMM라인 6개 중 4개를 수주하며 리더 지위를 선제 확보했다. 대면적에서 안정적 수율 확보가 가능한 제조방식이 향후 추가 수주 요인으로 작용할 전망이다. OLED_oS 증착기 역시 양산 차세대 기술을 준비 중이다.

태양광의 경우, OLED 증착 공정과 구조적으로 유사한 페로브스카이트 ETL 증착에서 레퍼런스를 보유하고 있다. 당사에 의하면 보유 중인 VTE 증착 기술이 페로브스카이트 셀 양산성에 있어 핵심 경쟁력으로 작용한다. VTE는 경쟁 기술인 ALD 대비 Tact time에서 크게 앞선다는 평가이다(ALD 대비 1/9~1/6배).

또한 당사는 ETL층을 넘어 광흡수층까지 증착 범위를 확대하고, 대면적 활용 10세대 장비의 양산을 목표로 하고 있다. 이러한 로드맵과 함께 당사는 올해 3월 북미 현지 법인을 신설했고, 152억 원 수준의 평택 공장 증축을 양산 준비의 일환으로 진행 중이다. 추가로 현재 글로벌 태양광 기업과 페로브스카이트 증착장비 PoC가 진행 중이며, 2027년 양산기 공급 가능성이 있다.

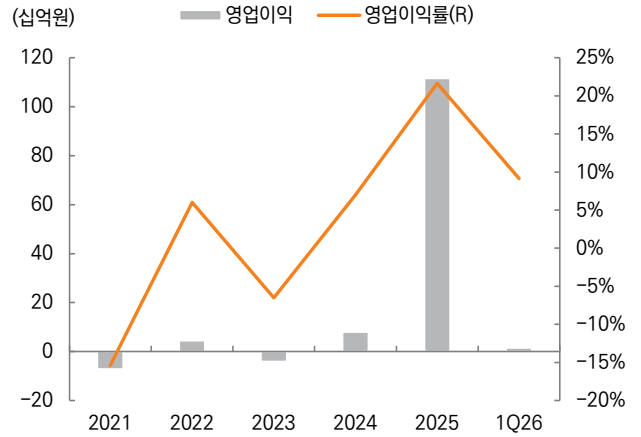
재무구조의 경우, 2024년 552.5%에 달했던 부채비율은 선금금 중심의 계약부채 증가와 원재료 매입 증가가 실제 실적 개선으로 이어지며 1Q26 152.3%까지 급감했다. 보유 현금성자산은 1Q26기준 약 1,518억 원으로 향후 당사의 양산 대응을 위한 CAPEX 투자 여력이 커지고 있다고 판단한다.

그림 30. 선익시스템 내수/수출 매출 추이



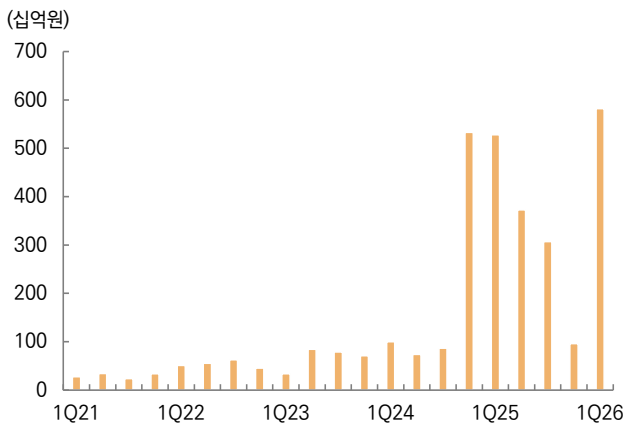
자료: 선익시스템, 미래에셋증권 리서치센터

그림 31. 선익시스템 영업이익 및 영업이익률



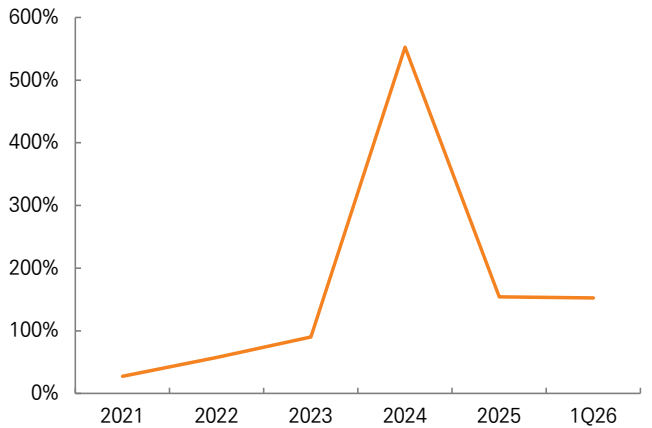
자료: 선익시스템, 미래에셋증권 리서치센터

그림 32. 선익시스템 수주잔고



자료: 선익시스템, 미래에셋증권 리서치센터

그림 33. 선익시스템 부채비율



자료: 선익시스템, 미래에셋증권 리서치센터

그림 34. 페로브스카이트 셀 내 선익시스템 강점 영역 - ETL 수송층

Perovskite Solar Cell

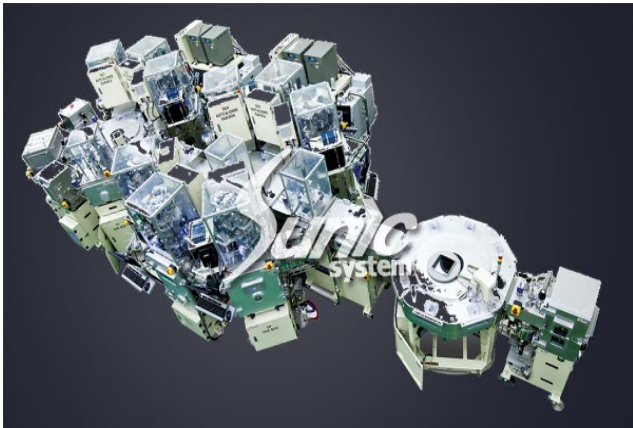
페로브스카이트 태양전지의 고비용 Layer인 ETL(전자수송층)에 대한 **대면적/고효율/고속 증착 기술**

선익시스템 경쟁력

- 8세대급 고정밀 대면적 증착 구현**
선익시스템 Gen.8 vs. 경쟁사 Gen.5
- 고가 ETL 원료(C60, 풀러렌) 사용 효율 극대화**
증착 효율 최적화로 20~30% 절감
- 짧은 Tact Time 기반의 생산성 향상**
Tray 설계 및 In-Line 시스템 설계를 통한 50% 단축
- 중장기 계획**
- 페로브스카이트층 건식 증착 기술 개발 (26.4월, 한국화학연구원과 태양전지 대면적 양산 기술 개발 업무 협약 체결)
- 미국, 유럽, 중동 등 해외 시장 본격 진출하여 페로브스카이트 태양전지 양산 시장의 글로벌 스탠다드 선도 (26.3월 미국법인 설립 완료)

자료: 선익시스템, 미래에셋증권 리서치센터

그림 35. Cluster 타입 증착 장비



자료: 선익시스템, 미래에셋증권 리서치센터

그림 36. Inline 타입 증착 장비



자료: 선익시스템, 미래에셋증권 리서치센터

기업분석 ③ 마이웨이테크(Suzhou Maxwell Technologies) (300751.CH)

기업개요: HJT 풀라인 턴키의 글로벌 선두업체

2010년 설립된 쑤저우 기반 장비 제조업체로, 태양광/반도체/디스플레이 산업을 대상으로 장비를 판매한다. 특히 HJT 풀라인 턴키 장비 분야의 글로벌 선두 업체로 경량성, 내방사 선성, 고효율을 요구하는 우주용 태양광에 적합한 기술을 보유하고 있다.

사업 분야는 태양광 장비(2025년 매출 기준 91%), 반도체 장비(8%), 디스플레이 장비 세 축이다. 2019년 싱가포르 REC에 HJT용 스크린 프린팅 장비를 최초 납품한 이후, HJT 장비 시장에서 과점 지위를 형성했다. 최근에는 페로브스카이트/HJT 텐덤 풀라인 수주를 업계 최초로 확보했다. 한편 국내 업체와는 반대로 당사의 신성장 축은 반도체 장비이다. 전 공정에서는 중국 선도 메모리 팹에 양산 납품을 개시하고, 후공정에서는 가공/본딩 장비를 주요 패키징 업체에 공급하고 있다.

투자포인트: Phase 1 단계의 직접 수혜

당사의 투자포인트는 1) HJT 장비 시장 내 입지를 통한 우주용 태양광 시장 개화 시 직접 수혜 기대, 2) 수주 선행지표의 개선이다.

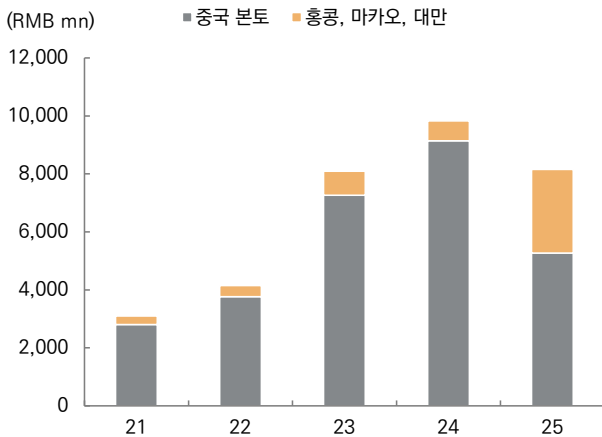
Maxwell은 스크린 인쇄 장비에서 쌓은 기술 기반 위에 2019년 HJT PECVD 개발에 착수했다. 특히 관계사 치웨이싱을 통해 일본 YAC로부터 세정/텍스처링 기술 도입에 성공하며 HJT 4대 공정 풀라인 공급 능력을 완성했다. 이후 2020년 600MW 풀라인 최초 수주, 2021년 싱가포르 첫 해외 수출에 이어 Reliance Industries의 4.8GW 대형 수주를 확보하며 글로벌(중국 위주) 선두 지위를 확립했다.

이렇게 쌓인 기술력과 납품 레퍼런스는 테슬라의 공급망 검토로 이어졌다. 2026년 3월 로이터 보도에 따르면, 테슬라는 미국 내 100GW 태양광 생산능력 구축을 목표로 Maxwell을 포함한 중국 공급사로부터 총 29억 달러 규모의 태양광 장비 구매 협상을 진행 중임이 알려졌다. Maxwell은 유력 공급 후보로 이미 중국 상무부에 수출 승인을 신청한 것으로 전해졌다. 다만 중국 정부가 태양광 기술 수출 통제를 2026년 주요 우선순위로 설정하고 있어, 수출 승인 시점이 불확실하다는 점이 리스크로 작용한다.

당사는 올해 우주용 태양광 시장에 적합한 페로브스카이트/HJT 탠덤 전환효율 32.5%를 달성했다고 발표했다. 이는 탠덤 구조 기반의 유의미한 양산 전환효율 수치이다. 다만, 회사는 해당 수치가 아직 자체 개발 양산 장비와 공정에 기반한 것이며, 검증 기간이 9~12개월 정도 소요됨을 밝혔다. 수치가 유의미하다는 가정 아래, 탠덤형 매출 인식은 빠르면 내년부터 반영될 전망이다.

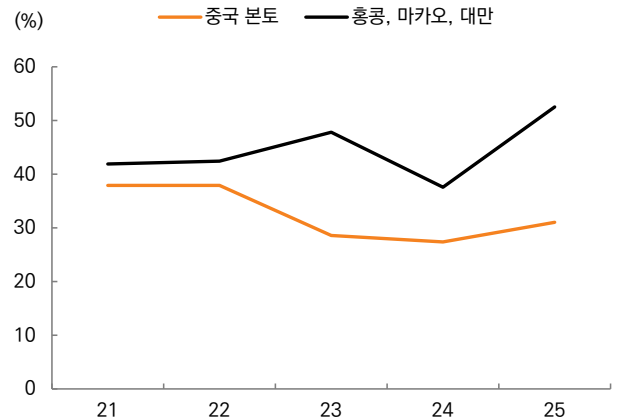
추가로 Maxwell의 수주 선행지표가 개선 중이다. 당사의 2025년 실적은 매출 81.5억 위안(YoY -17.1%), 순이익 7.22억 위안(YoY -22.1%)으로 역성장했다. 1Q26 매출 역시 13.4억 위안(YoY -40.0%, QoQ -31.4%)으로 부진이 지속됐다. 이는 태양광 장비 고성장 사이클 이후 고객사의 재고 소화 국면이 주된 원인으로 분석되며, 업황 사이클에 따른 일시적 조정으로 해석된다. 1Q26말 계약부채는 59.4억 위안(QoQ +37.6%)으로 반등했으며, 영업활동 현금흐름은 19.5억 위안으로 분기 역대 최고치를 기록했다. 회사는 이러한 현금흐름 개선이 신규 주문 증가에 따른 고객 선금금 수취 증가에 기인한다고 밝혔으며, 1Q26 신규 주문 증가는 주로 광전지 제품에서 발생했다고 명시했다.

그림 37. Maxwell 매출 추이



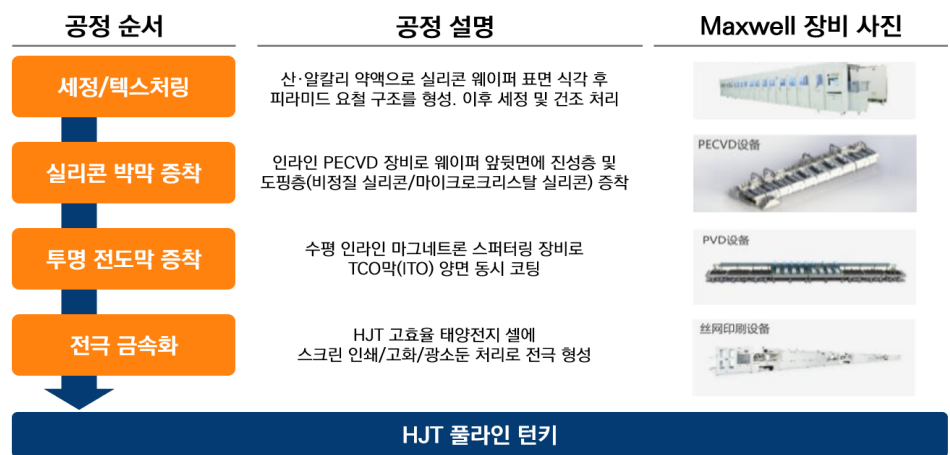
자료: Maxwell, 미래에셋증권 리서치센터

그림 38. Maxwell 지역별 GPM



자료: Maxwell, 미래에셋증권 리서치센터

그림 39. Maxwell HJT 플라인 턴키 구조



자료: Maxwell, 미래에셋증권 리서치센터

Appendix. 태양광 장비 분석

태양광 셀 장비 분석

앞서 기술한 대로 태양광 밸류체인 중에서 셀 장비가 시장 규모, 기술 프리미엄, 종목 가시성의 조건들을 모두 충족하는 시장이기에, 셀 장비를 집중 분석한다. 그 중에서도 단기 수주 가능성이 가장 높은 HJT 장비 시장, 나아가 중장기적으로 우주 태양광의 유력 후보인 페로브스카이트 탠덤셀 장비 시장을 전망한다.

표 16. 태양광 셀 기술별 비교

기술	공정 단계 수	핵심 장비	양산 효율	시장 점유율	비고
PERC	10단계	ALD 또는 PECVD (Al ₂ O ₃ 패시베이션)	22-23%	10% 미만, 감소 추세	옛 주류
TOPCon	12단계	LPCVD 또는 PECVD	24-25%	70-80%	현 주류
HJT	4단계	PECVD (a-Si) + PVD (TCO)	25-26.5%	5-10%, 증가 추세	차세대
페로브-HJT 탠덤	4단계 + α	HJT + ALD/증착	30%+	2027년 이후 양산 예정	미래 기술

자료: ITRPV, PV Tech, 미래에셋증권 리서치센터

HJT의 4단계 공정

HJT(Heterojunction) 태양전지의 차별점은 공정 단순성이다. TOPCon이 12~13단계의 복잡한 공정을 거치는 반면, HJT는 ① Wet(세정/텍스처링) → ② PECVD(a-Si 박막 증착) → ③ PVD/TCO(투명 전도막 증착) → ④ Screen Printing(전극 인쇄)의 4단계로 생산이 완료된다. 4단계 공정의 실질적 이점은 두 가지다. 첫째, 라인 길이가 짧아 공장 부지 면적이 줄어든다. 둘째, 공정 단계가 적을수록 불량 발생 가능성이 낮아져 수율 안정성이 높아진다.

① Wet Station: 세정 및 표면 가공

N-type 웨이퍼를 알칼리 용액에 담가 표면에 미세한 피라미드 구조(텍스처)를 형성하는 단계다. 빛이 피라미드 사이에서 여러 번 반사되며 흡수율이 높아지고, 동시에 표면 불순물이 제거된다. 습식 화학(wet chemistry) 기반의 상대적으로 단순한 공정으로, 장비 단가도 4단계 중 가장 낮다. 주요 공급사는 일본 YAC(Maxwell과의 JV인 Jiangsu Qiweixing 포함), 독일 RENA Technologies, SCHMID, Exateq, Singulus 등이다.

② PECVD: a-Si 박막 증착

HJT의 핵심 공정이자 가장 높은 CAPEX 비중을 차지하는 단계다. 진공 상태에서 SiH₄, H₂, B₂H₆, PH₃ 가스를 플라즈마로 분해해 웨이퍼 양면에 비정질 실리콘(a-Si) 박막을 5~10나노미터 두께로 증착한다. 웨이퍼 양면에 i층(intrinsic, 패시베이션)을 형성한 뒤, 전면과 후면에 각각 p형 및 n형 도핑 a-si:H층을 증착한다. 균일도(Uniformity)와 두께 제어가 셀 효율에 직결되기 때문에 장비 정밀도 요구 수준이 가장 높다. 주요 공급사는 중국 Suzhou Maxwell, GS-Solar, 한국 주성엔지니어링, 스위스 Indeotec(R&D급) 등이다.

③ PVD/TCO: 투명 전도성 산화막 증착

진공 또는 저압 환경에서 TCO(Transparent Conductive Oxide) 입자를 웨이퍼 양면에 70~80나노미터 두께로 증착한다. TCO는 전도체이자 광학적 창문 역할을 동시에 수행한다. 소재는 ITO(인듐 주석 산화물)가 일반적이거나, 인듐 가격 부담으로 AZO(알루미늄 도핑 아연 산화물)나 IZO(인듐 아연 산화물)로의 전환이 진행 중이다. 장비 방식은 magnetron sputtering이 주류이며, RPD(Reactive Plasma Deposition)가 대안으로 부상하고 있다. 주요 공급사는 중국 Maxwell, GS-Solar, 독일 Singulus, VON ARDENNE이며, 비중국 진영에서는 VON ARDENNE이 기술적으로 강세다.

④ Screen Printing: 전극 인쇄

셀 앞뒷면에 은(Ag) 페이스트를 인쇄해 전류를 모으는 핑거와 버스바 패턴을 형성하고 저온 경화(큐어링)한다. HJT는 a-Si층이 200°C 이상을 견디지 못하기 때문에 저온 은 페이스트 사용이 필수적이다. 과거에는 은 사용량이 TOPCon 대비 약 30% 많아 원가 부담이 존재했으나, 최근에는 구리 도금 또는 무버스바(busbarless) 기술로 은 사용량을 크게 절감하고 있다. 주요 공급사는 중국 Maxwell, 일본 마이크로테크(MicroTec), 독일 Baccini(현 Applied Materials)다.

GW당 CAPEX 비교: HJT vs. TOPCon

HJT의 현실적 진입 장벽은 CAPEX다. HJT 생산 라인의 GW당 CAPEX는 약 7,500만 달러 수준으로, TOPCon의 약 3,500만 달러 대비 약 2배 높다. 공정 단계별로는 PECVD가 전체 CAPEX의 35~40%로 가장 큰 비중을 차지하고, PVD/TCO가 약 25~30%, Wet Station과 Screen Printing이 각각 10~15% 수준으로 추정된다.

표 17. HJT 공정 단계별 GW당 CAPEX 추정

공정 단계	장비	GW당 CAPEX 추정	비중
① Wet	Wet Station	\$4~8M	8~12%
② PECVD	PECVD 장비	\$22~30M	35~40%
③ PVD/TCO	Magnetron Sputter	\$15~22M	25~30%
④ Screen Printing	Screen Printer + Curing	\$8~12M	15~20%
합계		\$55~70M	100%

자료: Mercom India(2024), Stringer Machine(2024), 미래에셋증권 리서치센터 추정

페로브스카이트 탠덤셀의 추가 4단계 공정

페로브스카이트 단일 셀이 단기 양산에서 안정성/내구성에서 한계를 보이는 반면, HJT 셀을 하부 셀로 두고 그 위에 페로브스카이트를 얹는 탠덤 구조가 차세대 표준으로 굳어지고 있다. 페로브스카이트-HJT 탠덤셀 총 8단계 공정으로 앞서 기술한 HJT의 4단계 공정 중간에 4단계가 추가된다. ① Wet → ② PECVD → ③ PVD/TCO → ④ 재결합층 → ⑤ 정공수송층(HTL) → ⑥ 페로브스카이트 흡수층 → ⑦ 전자수송층(ETL) → ⑧ 상부전극 및 Screen Printing. 1, 2, 3, 8번 공정은 HJT 공정과 동일하고, 4, 5, 6, 7번 공정이 신규로 추가되었다고 보면 된다.

4개의 공정과 각자 다른 장비

HJT 하부 셀 위에 추가되는 핵심 공정은 4가지로 재결합층/TCO, HTL, 페로브스카이트 흡수층, ETL이며, 각각 다른 증착 방식, 다른 장비, 다른 공급자 진영을 갖는다(실제 양산 스택에서는 여기에 top TCO, 패시베이션/버퍼, 금속화 공정이 추가된다). NREL의 페로브스카이트-실리콘 탠덤 모듈 원가 분석(Cordell et al., Joule 2024)에 따르면, 페로브스카이트 서브셀 내에서는 ETL이 소재와 장비 측면에서 가장 큰 비용 부담으로 지목된다. C60, TDMASn, SnOx 전구체, TCO 타깃 등 소재 비용과 진공 및 ALD 계열 장비의 낮은 처리량이 비용 상승 요인이다.

본 리포트는 NREL 모델과 산업 추정을 결합해, HJT 하부 셀에 추가되는 페로브 상부셀 공정의 총 장비 CAPEX를 GW당 약 \$50-80M으로 추정한다. 다만 NREL은 공정별 GW당 장비 CAPEX를 직접 제시하지 않는다. 이하의 \$/GW 수치는 NREL의 공정 별 비용 민감도, 장비 업계 단가, HJT 라인 CAPEX 벤치마크를 결합한 당사 추정치이며, 양산 표준 공정이 ALD·VTE·Slot-die·sputtering 중 어디로 수렴하느냐에 따라 변동 가능하다.

표 18. 페로브스카이트 탠덤셀 추가 4단계 공정의 장비와 비용 추정

층	GW당 장비 비용	핵심 기술	한국 기업	중국 기업	유럽·기타 기업
ETL	\$20-30M	ALD / VTE / 스퍼터링 경합	주성엔지니어링, 선익시스템	Maxwell, SINEVA	Beneq (핀란드)
페로브 흡수층	\$15-25M	VTE / Slot-die / 잉크젯	주성엔지니어링, 선익시스템	Maxwell, GS-Solar	VON ARDENNE, FOM, Coatema
재결합층 TCO	\$8-15M	PVD 스퍼터링 (HJT 재활용)	주성엔지니어링	Maxwell	VON ARDENNE, Singulus, GIGANOVA
HTL	\$5-10M	VTE	주성엔지니어링, 선익시스템	Maxwell	VON ARDENNE, Canon-Tokki
총합	\$48-80M				

자료: NREL, 미래에셋증권 리서치센터

중국 시나리오에서는 Maxwell이 플라인 단독 턴키로 가장 경제적인 옵션이 되는 반면, 비중국 시나리오에서는 한국 컨소시엄이 유력한 대안이 될 전망이다. 비용이 큰 공정 순서로 보면, ETL은 주성엔지니어링이, 페로브 흡수층은 선익시스템이 한국(비중국) 진영의 강자로 자리한다.

ETL 장비 유력 공급사

- 1. 주성엔지니어링 (한국)
: ALD/CVD 기반 HJT 및 탠덤 장비 공식 라인업
- 2. 선익시스템 (한국)
: VTE 진영, Gen 8급 대면적 역량
- 3. Beneq (핀란드)
: ALD 전문사
- 4. VON ARDENNE (독일)
: PVD 스퍼터링 진영
- 5. Suzhou Maxwell (중국)
: 페로브 탠덤 터키 풀라인 솔루션에 ETL 포함
- 6. SINEVA (중국)
: 중국 페로브 ETL 대표 주자

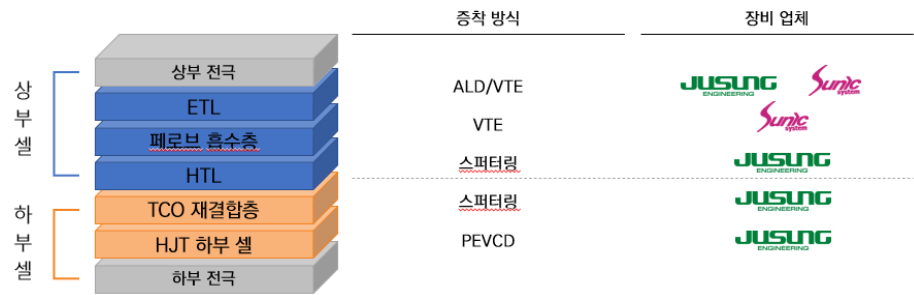
1순위: ETL(전자수송층) -가장 비싼 공정

ETL(Electron Transport Layer)은 흡수한 전자를 한쪽 전극으로 빠르게 전달하고, 정공의 역류를 차단하는 일방향 통로 역할을 한다. 두께 10-20nm의 초박막으로 핀홀이 하나만 있어도 정공이 새어 효율이 급락하므로, 4개 공정 중 가장 정밀한 증착이 요구된다.

추정 CAPEX: GW 당 \$20-30M (페로브 추가 공정의 약 35-40%)

NREL 모델에서 ETL 전구체와 장비가 페로브 서브셀 내 최대 비용 항목으로 명시되어 있다. 핀홀 억제를 위해 정밀급 ALD 또는 고진공 VTE(Vacuum Thermal Evaporation)가 요구되어 가장 비싼 공정이다. 증착 방식은 ALD, VTE, Sputtering이 모두 검토되고 있다. ALD(Atomic Layer Deposition)는 균일한 코팅과 핀홀 억제에서, VTE(Vacuum Thermal Evaporation)는 OLED 장비 기술 노하우 이전과 Tact time(제조시간)에서, PVD 스퍼터링은 기존 HJT 장비 재활용에서 각각 강점을 지닌다. 양산 표준은 2027-28년 검증 단계에서 판가름 날 전망이다.

그림 40. 페로브스카이트-HJT 탠덤셀 층별 증착 방식 및 장비 업체 추정



자료: 미래에셋증권 리서치센터

흡수층 장비 유력 공급사

- 1. 선익시스템 (한국)
: VTE, 대면적 + 건식 전환 기술
- 2. VON ARDENNE (독일)
: 유럽 최대 진공 증착 장비사
- 3. Suzhou Maxwell (중국)
: 잉크젯 라인업 + 자체 탠덤 풀라인 통합
- 4. FOM Technologies (덴마크), Coatema (독일)
: Slot-die 전문, R2R 대면적
- 5. GS-Solar (중국)
: 박막계 출신, 페로브 진입 중

2순위: 페로브스카이트 흡수층 - 양산 방식 미확정 격전지

페로브 흡수층은 빛을 직접 흡수해 전자와 정공의 쌍을 생성하는 셀의 발전용 터빈이다. 두께 500-700nm로 다른 층 대비 30-70배 두껍다. 두께가 너무 얇으면 빛이 그냥 통과해 버리고, 너무 두꺼우면 전자가 빠져나오기 전에 다시 사라져 정확한 두께가 중요하다.

추정 CAPEX: GW 당 \$15-25M (페로브 추가 공정의 약 25-30%)

두께가 두꺼워 증착 시간과 재료 비용이 크나, ETL과 달리 원자 수준 정밀도까지는 요구되지 않아 ALD는 사실상 배제된다. VTE, Slot-die, 잉크젯 모두 양산 가능한 옵션으로, 장비 단가는 ETL보다 낮으나 흡수층 자체의 다성분 제어 난이도와 라인 길이 때문에 흡수층은 두 번째로 비싼 공정이다.

VTE는 균일도와 양산성, Slot-die는 속도와 저비용, 잉크젯은 정밀 패턴링에서 각각 우위를 갖는다. 선익시스템은 Slot-die를 VTE(건식)으로 전환하는 기술을 개발 중이라 밝혔다. ETL보다 페로브 흡수층이 훨씬 두껍기 때문에, 셀 단위로 보면 가장 비싼 층이다.

재결합층 장비 유력 공급사

- 1. Suzhou Maxwell (중국)
: HJT 플라인 70% 이상 시장 점유율. 중국 시나리오에서 가장 경제적 옵션
- 2. VON ARDENNE (독일)
: HJT용 TCO 스퍼터링 글로벌 강자
- 3. Singulus Technologies (독일)
: TCO 단공정 전문
- 4. GIGANOVA (독일/네덜란드)
: 탠덤용 PVD 솔루션 공식 공개
- 5. GS-Solar (중국)
: Tongwei 등에 PECVD+PVD 공급 이력

HTL 장비 유력 공급사:

- 1. 선익시스템 (한국)
: OLED HTL evaporation 노하우, 유기 HTL 영역에서 강점
- 2. VON ARDENNE (독일)
: NiOx 스퍼터링 라인업
- 3. FOM Technologies (덴마크)
: SAM-slot-die 진영 옵션
- 4. Suzhou Maxwell (중국)
: 자체 탠덤 플라인에 HTL 통합

3순위: 재결합층 TCO - 가장 진입 장벽이 낮은 공정

재결합층(Recombination Layer)은 상부 페로브 셀과 하부 HJT 셀 사이에서 전자와 정공을 효율적으로 재결합시켜 두 셀의 전류를 직렬로 연결하는 가교 역할을 한다. ITO/IZO 등 70-80nm 두께 TCO를 사용해 광 투과와 전기 전도를 동시에 확보해야 한다.

추정 CAPEX: GW 당 \$8-15M (페로브 추가 공정의 약 15-20%)

HJT 하부 셀의 전면 TCO 장비(PVD 스퍼터링)와 공정 노하우를 활용할 수 있어 추가 투자 부담이 상대적으로 낮다. GIGANOVA가 PV-Tech 인터뷰에서 "기존 PVD 장비를 그대로 활용할 수 있다"고 발언하기도 했다. 다만 양산에서는 처리량(Throughput) 증설, 챔버(Chamber) 구성, Target 소재, 오염 관리 요건에 따라 별도 증설이 필요할 수 있다.

4순위: HTL(정공수송층) - 공정 선택지가 넓은 영역

HTL(Hole Transport Layer)은 페로브 흡수층에서 발생한 정공을 받아 HJT 하부 셀 방향으로 전달하고 전자의 역류를 막는 통로 역할을 한다. ETL과 정반대 역할이다. 두께 20-30nm로 ETL과 비슷하다.

추정 CAPEX: GW 당 \$5-10M (페로브 추가 공정의 약 10-15%)

HTL은 ETL 대비 공정 선택지가 더 넓다. NREL은 Slot-die coating을 베이스로 가정하며, 실제 양산 후보로는 SAM 계열 소재의 습식 코팅, NiOx의 PVD/solution 공정, 유기 HTL의 evaporation 등이 있다. 따라서 HTL을 특정 방식 표준으로 단정하기보다는 OLED 증착 장비 업체, 슬롯 다이 코팅 업체, PVD 스퍼터링 업체가 모두 진입 가능한 영역으로 보는 편이 적절하다.

EPFL의 30.9% 효율 탠덤 기록은 SiO₂ 나노입자 + Me-4PACz SAM HTL을 사용했으며, NREL baseline 모델도 HTL을 slot-die 공정으로 가정한다. 즉 양산 표준이 어디로 수렴할지 ETL보다 더 불확실하다.

경쟁보다는 협력으로, 주성엔지니어링과 선익시스템

주성엔지니어링은 HJT 하부 셀의 PECVD 플라임 4단계와 페로브 상부 셀의 ETL을 커버하고, 선익시스템은 페로브 흡수층(VTE 또는 건식 전환 기술)을 핵심 영역으로 하며, ETL과 HTL에서도 OLED 증착 노하우를 기반으로 진입 중이다.

표 19. 페로브스카이트-HJT 탠덤셀 공정별 기업 매칭

공정	주성엔지니어링	선익시스템	실질 공급자
HJT 하부 셀 (PECVD 4단계)	◎ 핵심	×	주성 단독
ETL	◎ ALD 강점	○ VTE/evaporation 진입	경합 구간 (ALD/VTE/Sputtering 미확정)
페로브 흡수층	×	◎ 핵심 (VTE/건식 전환)	선익 단독
재결합층 TCO (PVD)	○ HJT 라인 연계로 가능	△ 진입 단계	HJT 라인 공급자 처리 가능 (주성 또는 Maxwell)
HTL	×	△ evaporation 영역 진입	선익, VON ARDENNE, Maxwell 등 경합

자료: NREL, 미래에셋증권 리서치센터

어느 시나리오든 비중국 진영에서 페로브-HJT 탠덤 플라임을 구성하려면 주성과 선익 양사가 동시에 필요하다. 주성이 없으면 HJT 하부 셀 PECVD를 채울 수 없고, 선익이 없으면 페로브 흡수층 VTE를 채울 수 없다. 다만, 아직 공식적인 협업은 언급되지 않았기에, 실제 협력 가능성은 고객사 측 요구나 시장 환경에 따라 결정될 것으로 예상된다.

이 한국 진영의 대안이 의미를 갖는 이유는 Maxwell의 비중국 시나리오 진입 제약 때문이다. 중국 시나리오에서는 Maxwell이 플라임 단독 턴키로 경제성 우위를 보이지만, ITAR/안보 제약이 있는 SpaceX, 정치 리스크를 피하려는 Tesla 일부 라인, 미국 정부 보조금 수혜를 노리는 신규 진입자에게는 비중국 옵션이 필수다. 이 비중국 옵션에서 한국 양사의 조합이 현시점 사실상 유일한 플라임 대안이며, 유럽(VON ARDENNE/Singulus) + 한국(주성 및 선익) 결합 컨소시엄 가능성도 열려 있다.

Compliance Notice

- 당사는 자료 작성일 현재 조사분석 대상법인과 관련하여 특별한 이해관계가 없음을 확인합니다.
- 당사는 본 자료를 제3자에게 사전 제공한 사실이 없습니다.
- 본 자료를 작성한 애널리스트는 자료작성일 현재 조사분석 대상법인의 금융투자상품 및 권리를 보유하고 있지 않습니다.
- 본 자료는 외부의 부당한 압력이나 간섭없이 애널리스트의 의견이 정확하게 반영되었음을 확인합니다.

본 조사분석자료는 당사의 리서치센터가 신뢰할 수 있는 자료 및 정보로부터 얻은 것이나, 당사가 그 정확성이나 완전성을 보장할 수 없으므로 투자자 자신의 판단과 책임하에 종목 선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 조사분석자료는 어떠한 경우에도 고객의 증권투자 결과에 대한 법적 책임소재의 증빙자료로 사용될 수 없습니다. 본 조사분석자료의 지적재산권은 당사에 있으므로 당사의 허락 없이 무단 복제 및 배포할 수 없습니다.