

태양광 기술 현황과 개발 방향

2011년 9월 16일

윤 경 훈

한국에너지기술연구원

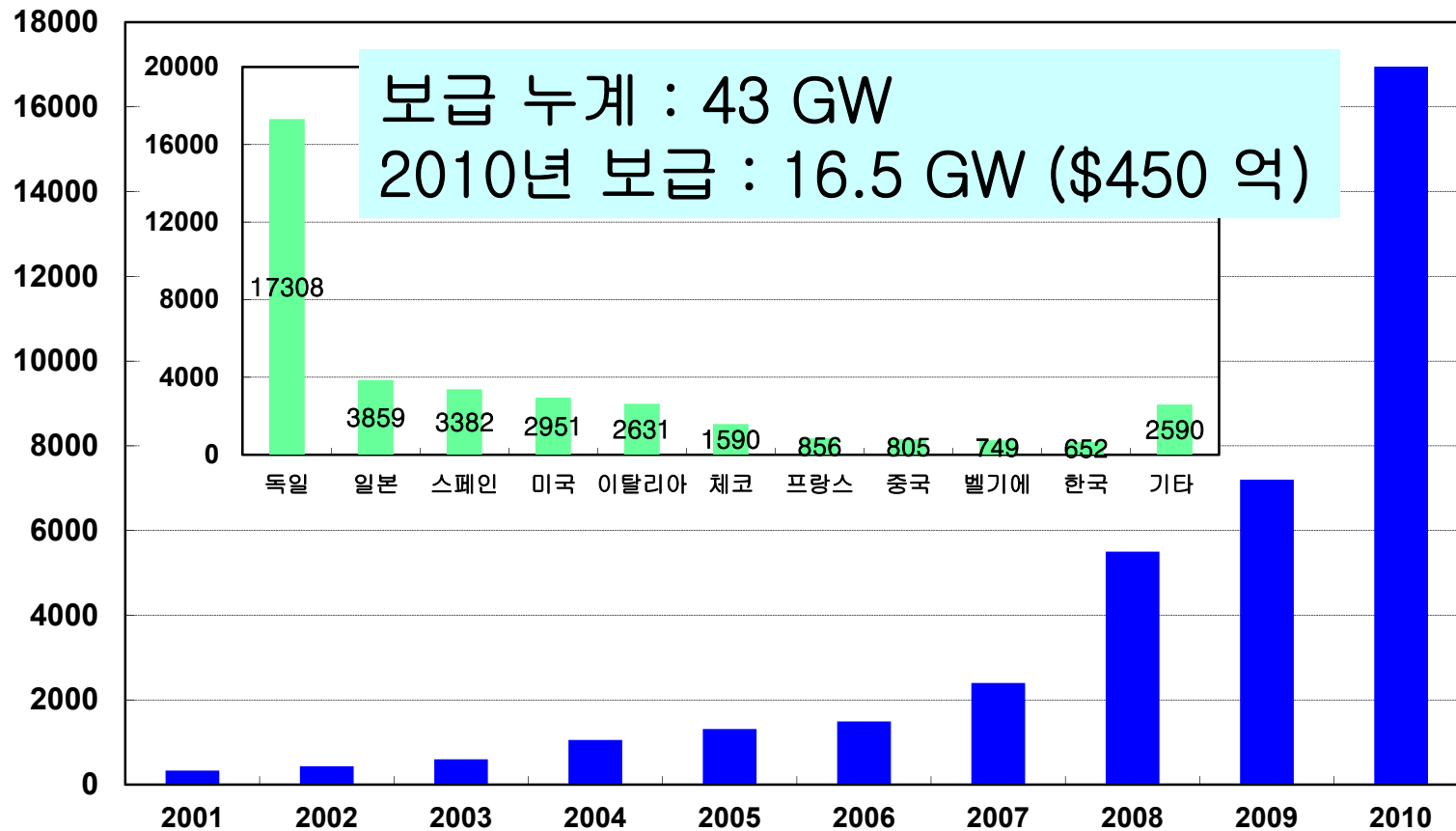
목 차

- 태양광 시장, 산업, 기술의 현 주소
- 태양전지 기술 추이
 - 결정질 **Si**
 - 박막 태양전지 (**Si**, 화합물, 유무기)
 - 3세대
- 기술개발 과제 및 중장기 개발 방향

태양광 발전의 현 주소

전 세계 태양전지 보급

MW



(MW)

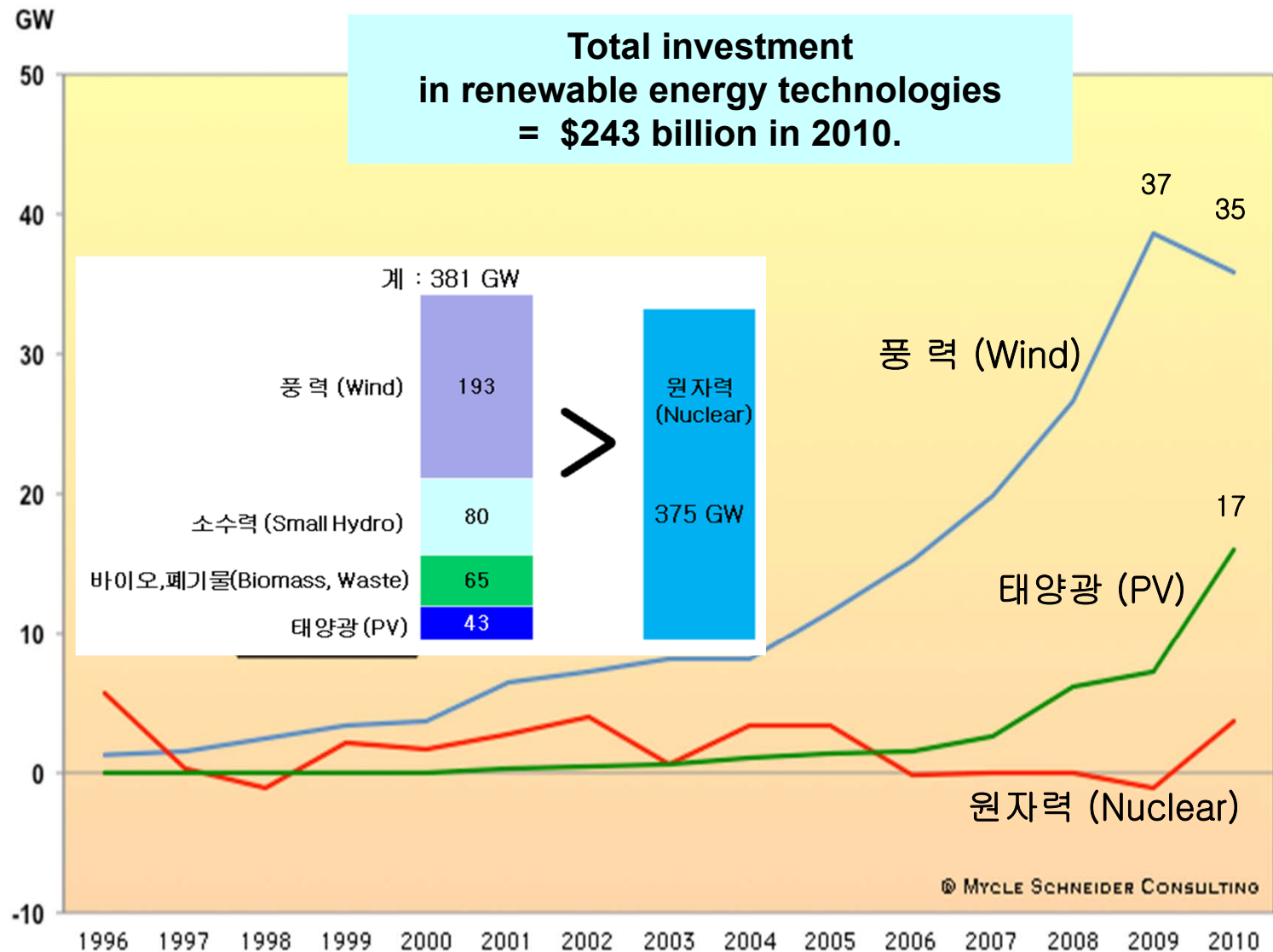
국가	2010 설치량
독일	8,500
이태리	1,700
미국	1,250
일본	1,200
체코	1,100
프랑스	550
벨기에	450
중국	400
캐나다	250
인도	150
기타	913
계	16,500

구분	연 도						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
세계 시장 (GW)	1.5	2.4	6.3	7.2	16.5	21	23
국내 시장 (MW)	22	47.5	278	170	131	142	229

Global Market Outlook for PV until 2015, EPIA (www.epia.or.kr), 2011, KOPIA

Photon Int'l, March 2011

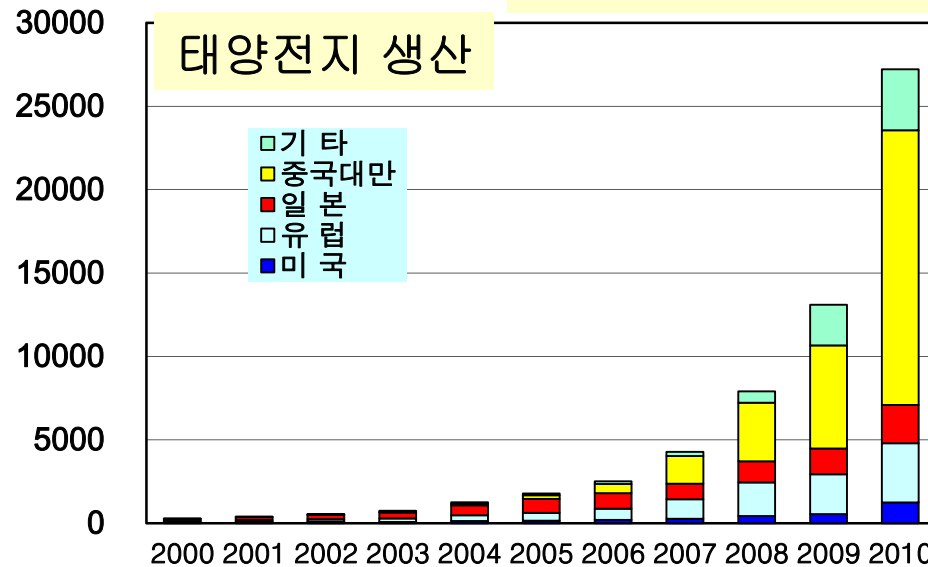
전세계 재생에너지와 원자력 발전 용량 추이 1996-2010 (in GW)



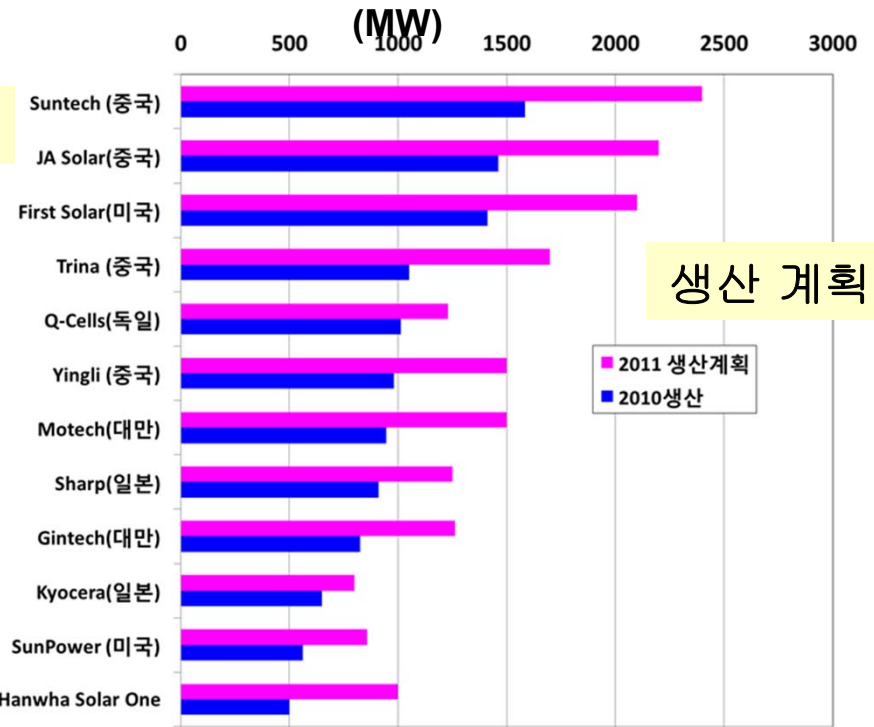
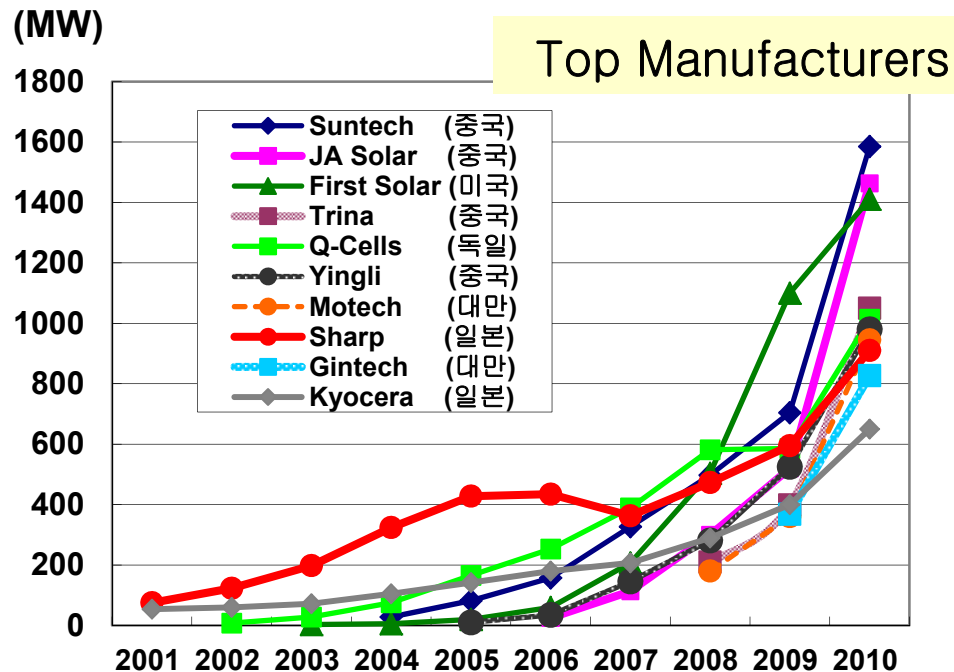
World Watch Institute, The World Nuclear Industry Status Report 2010-2011.

경향 2011. 4. 18

전 세계 태양전지 생산



2010년 생산 : 27.5 GW
중국, 대만의 우위

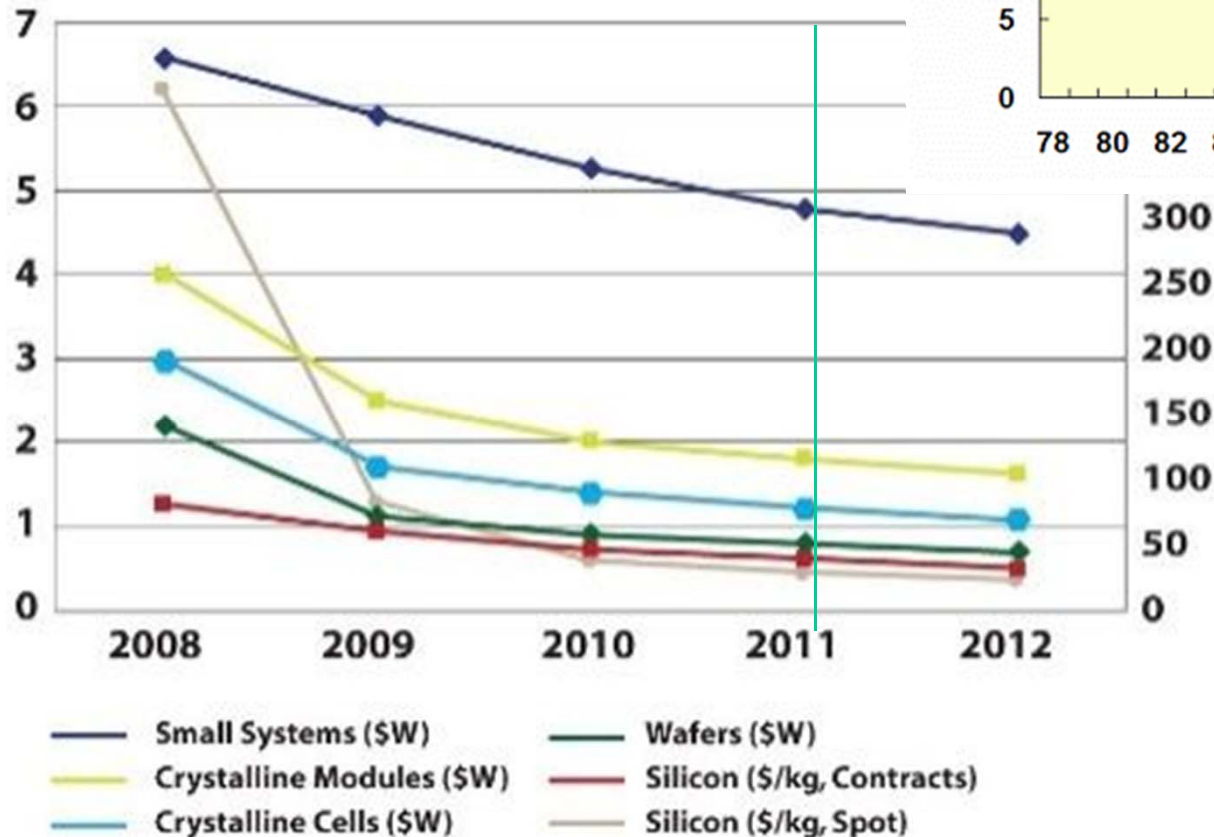
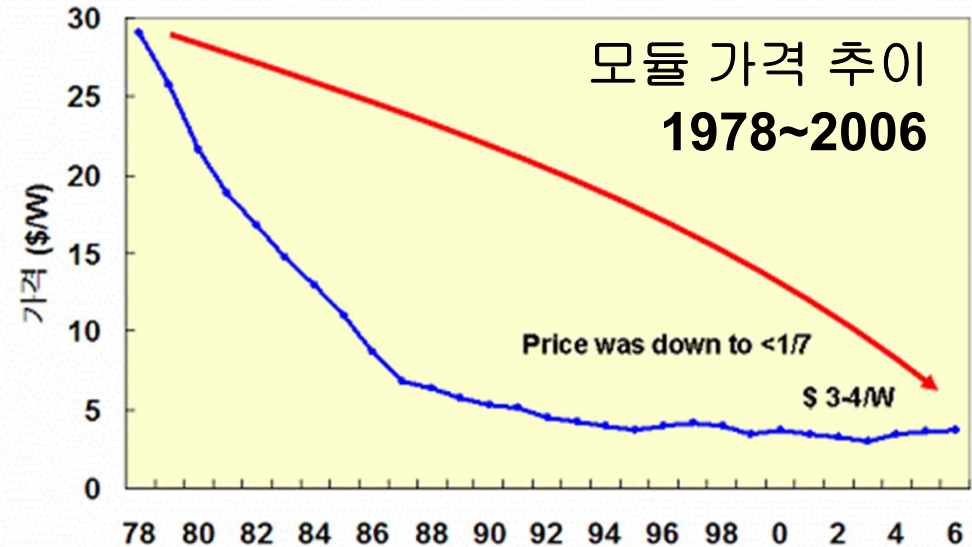


태양전지 모듈 가격 추이

현재 모듈 가격

< \$ 2/W (80년 초 대비 < 1/10)

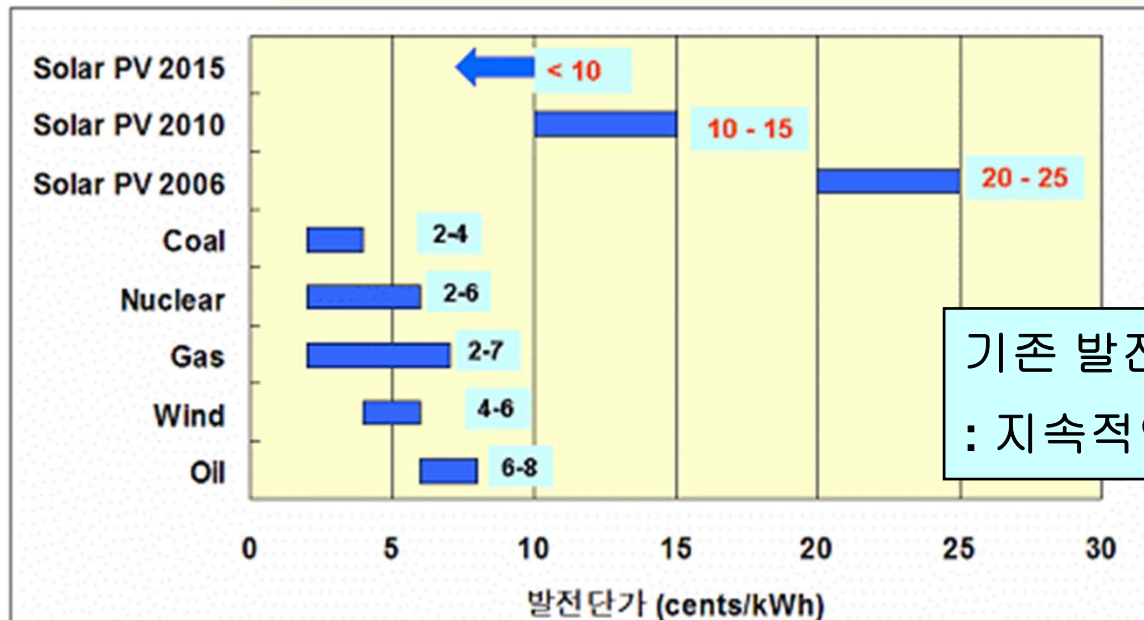
: 기술개발, 생산 증대 결과



2010년 12월 spot
셀 : \$1.40/W
모듈 : \$1.74/W

PV Magazine, April 2010. RenewableEnergyWorld.com

태양광발전 경제성 비교



M. Rogol, Photon Consulting, April 2007

기존 발전방식 대비 **2~3 배 이상** 고가
: 지속적인 경제성 향상 필요

Large hydro	Plant size:	10 MW-18,000 MW	3-5
Small hydro	Plant size:	1-10 MW	5-12
On-shore wind	Turbine size:	1.5-3.5 MW; Rotor diameter: 60-100 meters	5-9
Off-shore wind	Turbine size:	1.5-5 MW; Rotor diameter: 70-125 meters	10-20
Biomass power	Plant size:	1-20 MW	5-12
Geothermal power	Plant size: Types:	1-100 MW; binary, single- and double-flash, natural steam	4-7
Solar PV (module)	Efficiency:	crystalline 12-19%; thin film 4-13%	-
Solar PV (concentrating)	Efficiency:	25%	-
Rooftop solar PV	Peak capacity:	2-5 kW _{peak}	17-34
Utility-scale solar PV	Peak capacity:	200 kW to 100 MW	15-30
Concentrating solar thermal power (CSP)	Plant size: Types:	50-500 MW (trough), 10-20 MW (tower) trough, tower, dish	14-18 (trough)

REN21: Renewables 2011
Global Status Report.

태양광 시장

특수용 독립형



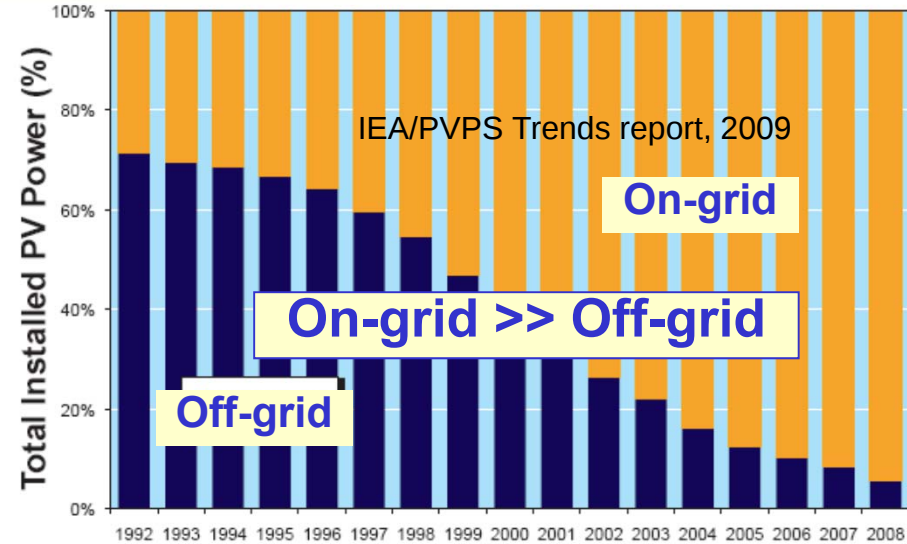
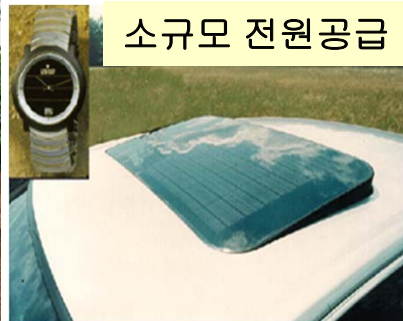
주거용 독립형



No access to electricity : 16 억명

경제성
확보

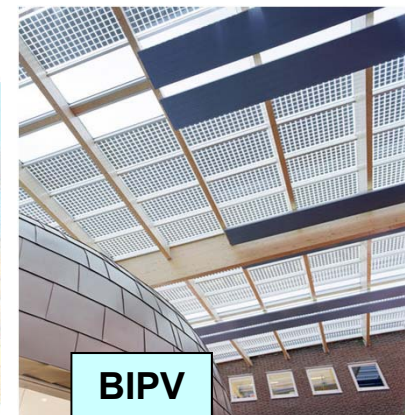
소규모 전원공급



지원
의존

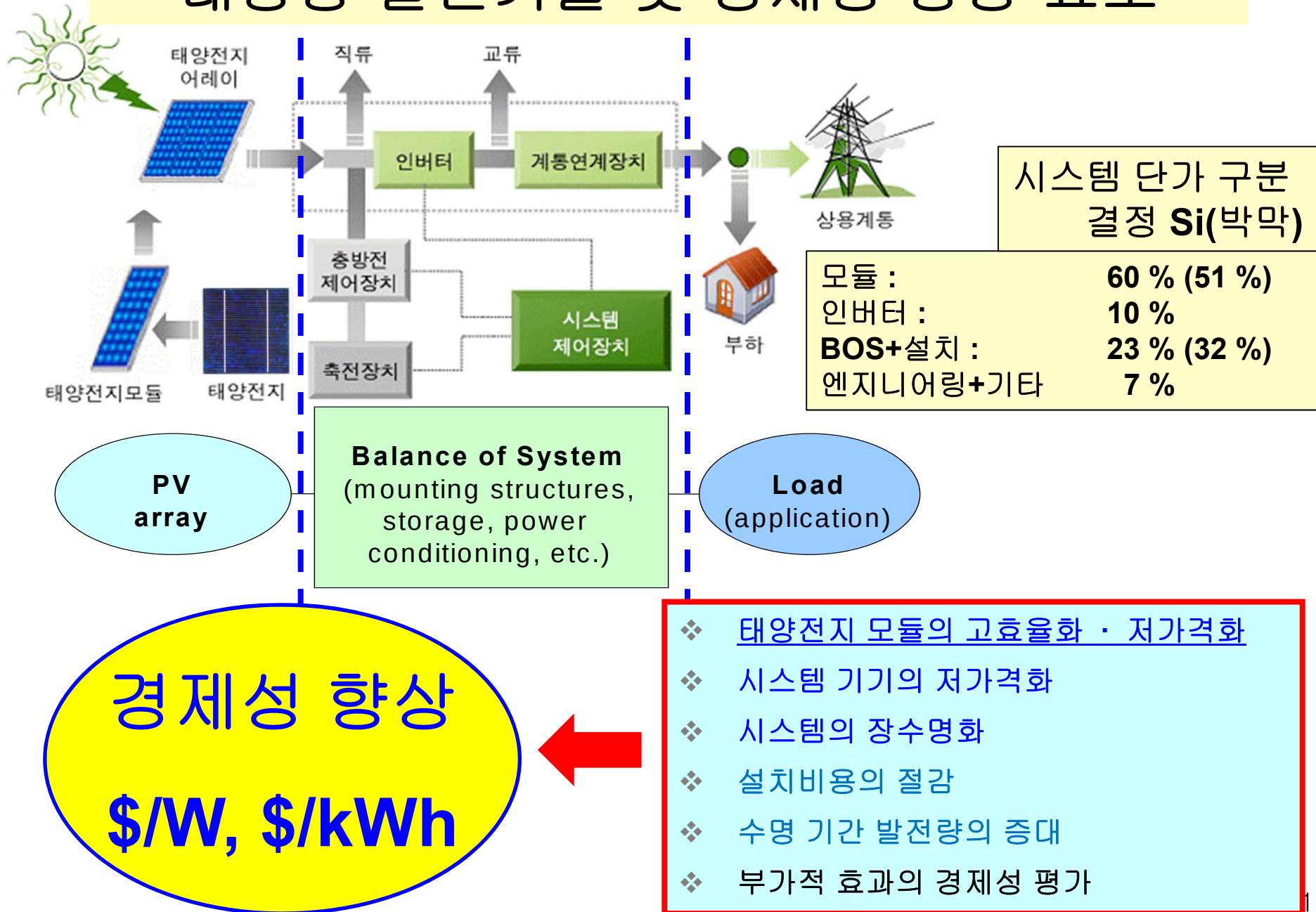


계통연계



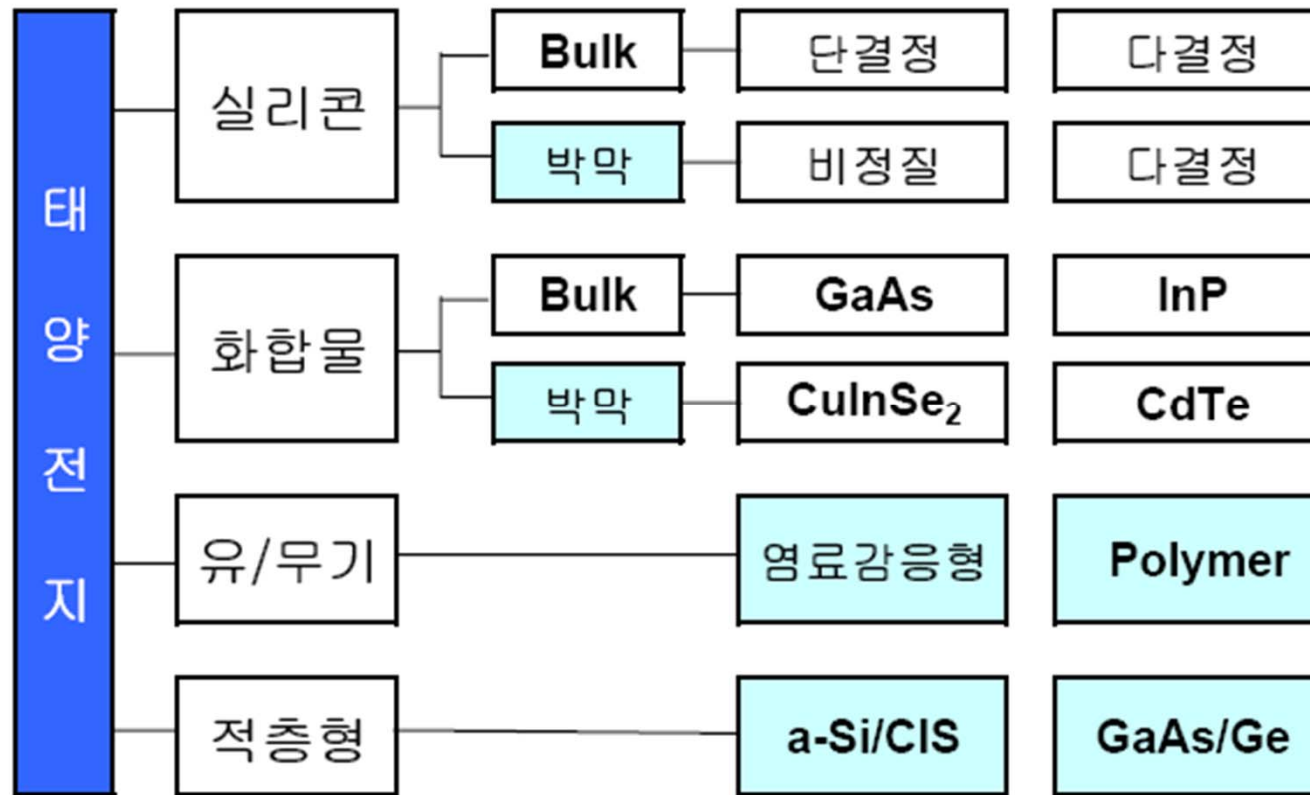
Source: Strategies Unlimited - EPIA

태양광 발전기술 및 경제성 향상 요소



태양전지 기술의 추이

태양전지의 분류



1세대 : 단, 다결정 실리콘

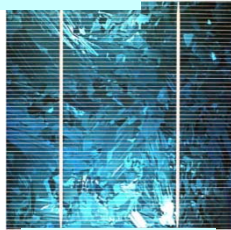
2세대 : 박막 태양전지 (실리콘, 화합물 반도체, 염료감응, 유기)

3세대 : 나노, **QD**, 유무기 복합형 ?

(고효율, 박막, 소재 풍부, 무해, 신뢰성)

태양전지 : 저가, 고효율화

1st Gen.



웨이퍼 Si



박형기판

2nd Gen.

박막 태양전지



박막 (실리콘)



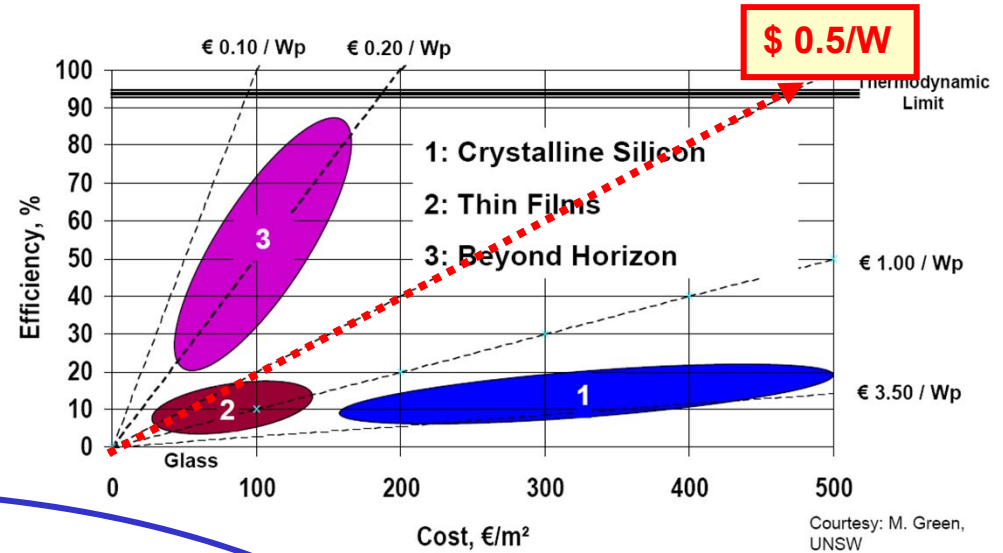
박막 (CIGS)



염료



플라스틱



3rd Gen. PV

결정질 실리콘 태양전지 : 저가, 고효율화

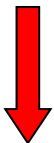
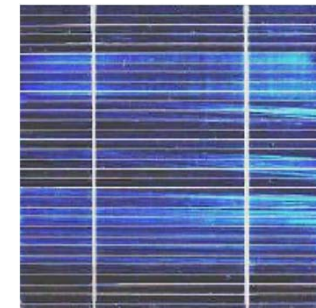
단결정 Si



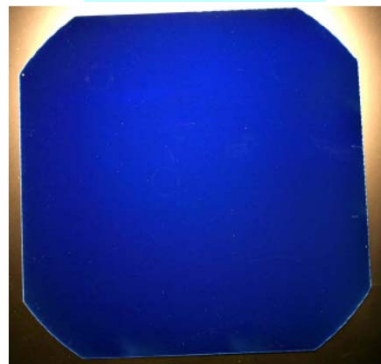
다결정 Si



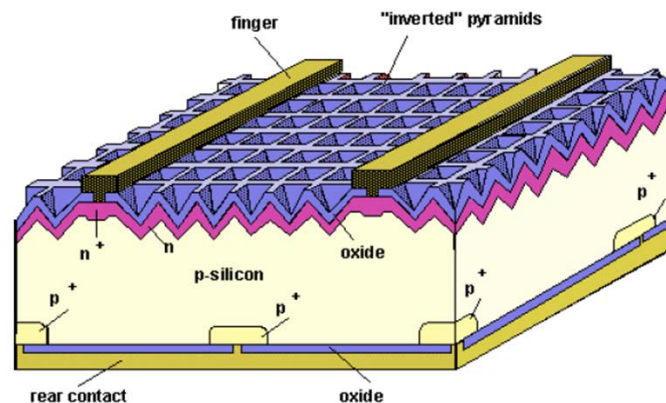
리본 Si



후면전극



고효율구조



Sphere

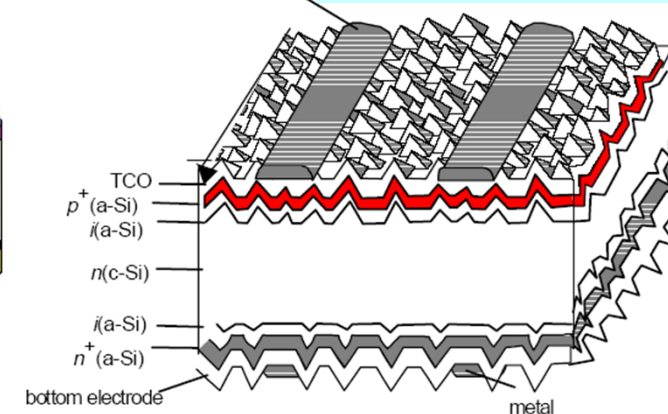


Sliver



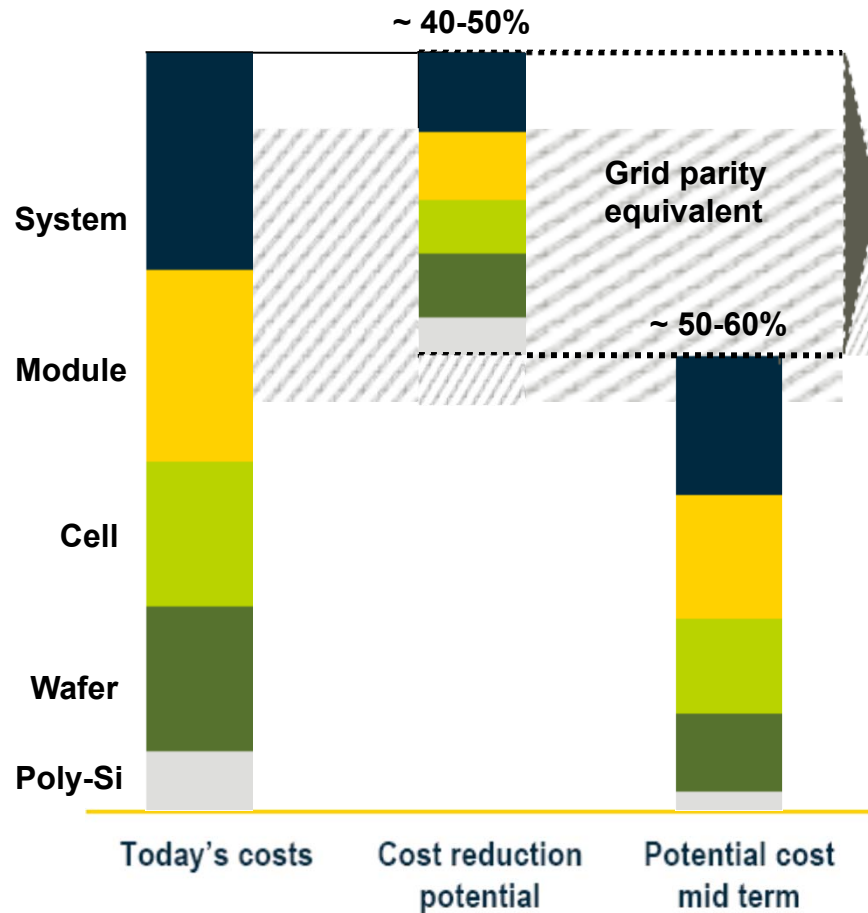
박형기판

metal a-Si/c-Si 이종접합



태양광 Cost reduction potential

Example: multicrystalline silicon

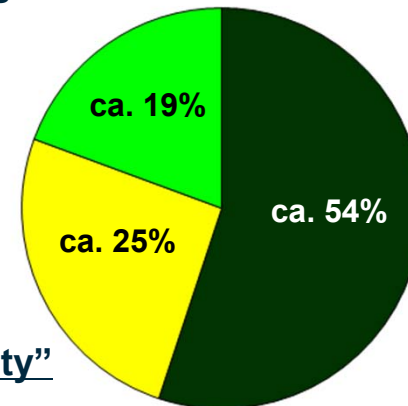


"Scaling"

- Getting bigger
- Reducing unit costs
- Invest

"Technology Driven"

- Efficiency
- Thickness
- Kerf loss
- Longevity
- etc.



"Productivity"

- Cost input
- Yield
- Manufacturing excellence
- Standardisation etc.

Q-Cells, Oct. 2009

태 발전 기술 대비 태양광 경쟁력 확보 방안

기존 결정질 **Si** 태양전지

- 장점 : 고효율, 신뢰성
- 단점 : 저가화 한계
 - 두께 한계 : **2-300 μm**
 - 공정이 단속적

단-중기



기존 기술의 보완

- 고효율, 저가화
- 박판 직접 제조, 구형화, 원료 재생
- 웨이퍼 박형화 < **50 μm**
- **economy of scale**

중-장기

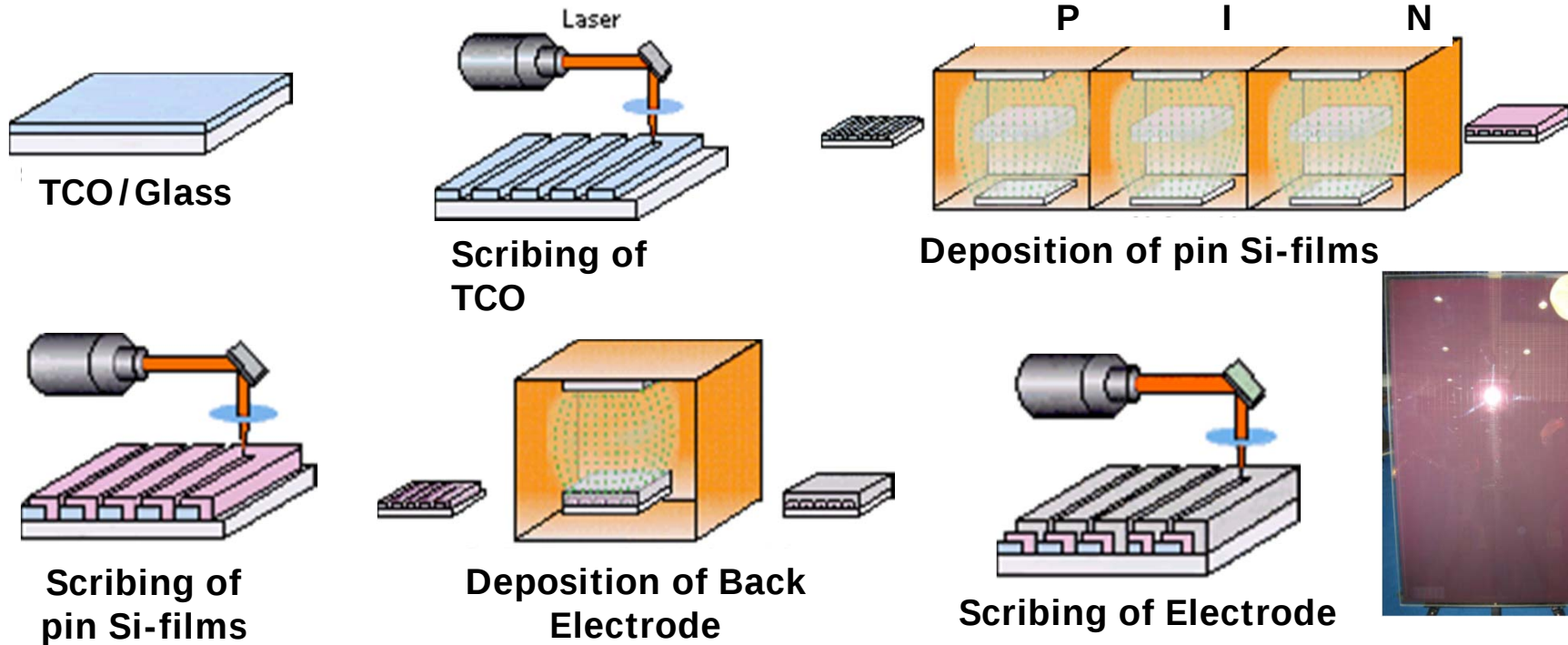


태양전지 모듈 가격 목표 < \$ 0.5/W (**\$ 0.33/W**)

박막 (**Si, I-III-VI, II-VI, Organic..**) 및 신형 태양전지

- 고효율, 신뢰성, 외관 미려, 발전량 > **c-Si**
- 저가
 - 두께 < **2-3 μm**
 - 연속 대량생산
 - 저에너지 소비형 공정 (**EPB < 1.5 년, 장기 0.5년**)
 - 저가의 기판재료 이용 (유리, 금속, 플라스틱)

실리콘 박막 태양전지 모듈 제조 공정



경량, 유연성



대면적

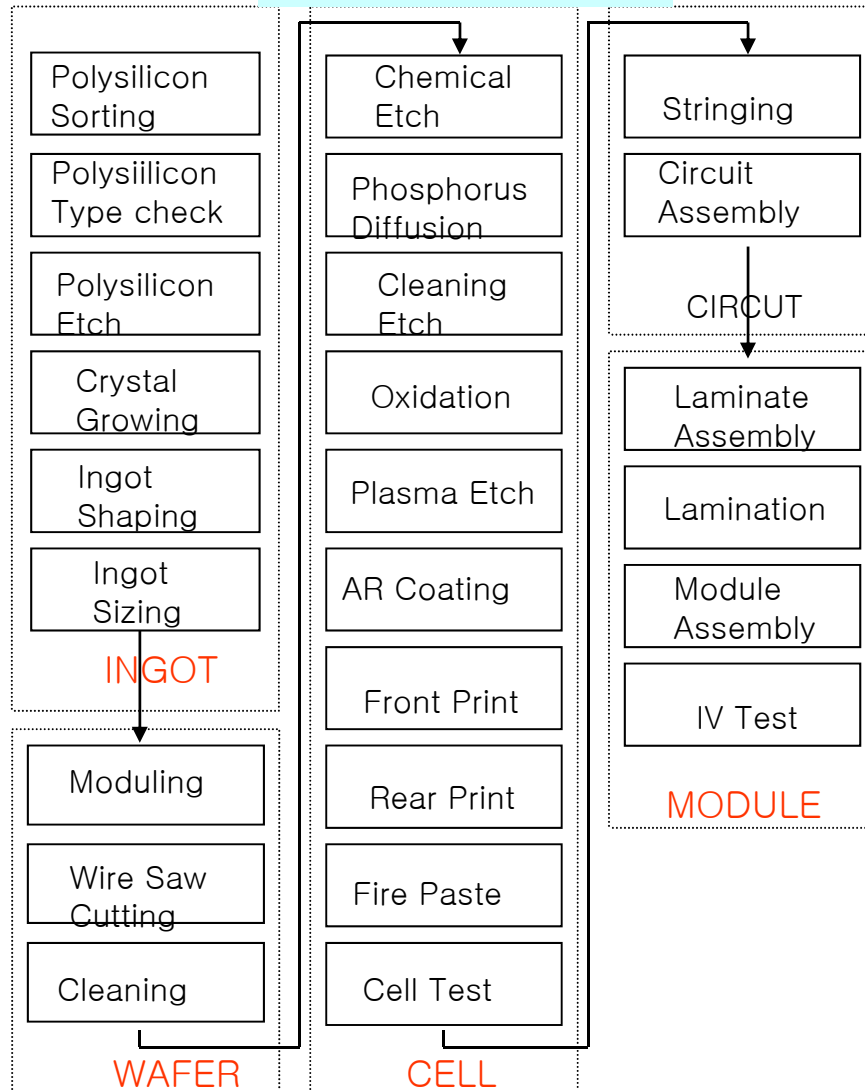


BIPV 적합성

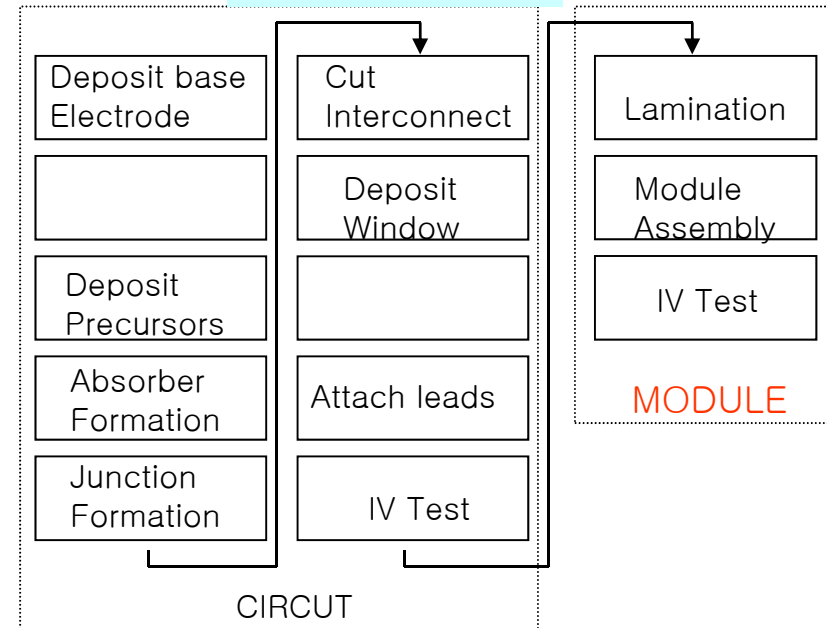


결정질 Si vs. CIGS 박막 태양전지 모듈 공정 비교

결정질실리콘



CIGS 박막

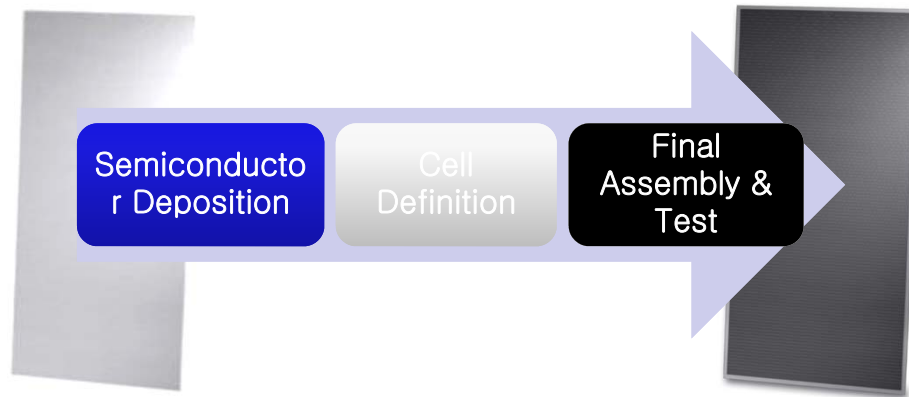


Ref. Shell Solar

First Solar

Fully Integrated, Automated and Continuous Thin Film Process

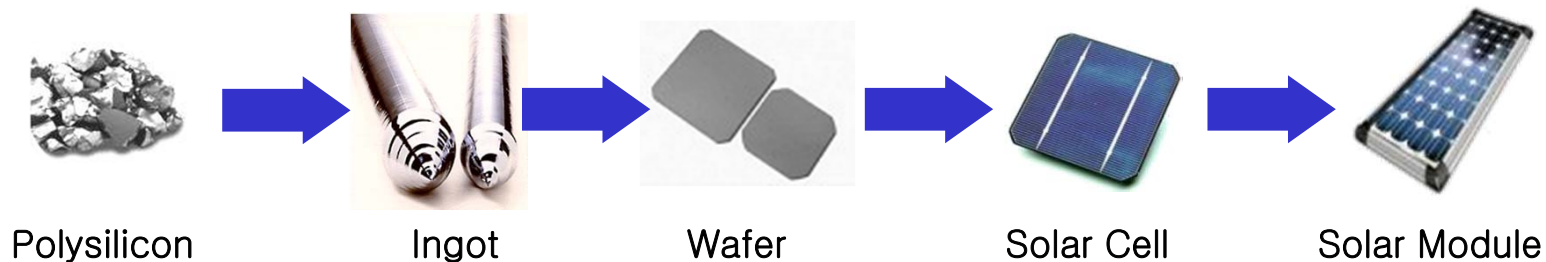
Glass In → < 2.5 Hours → Module Out



In 2010, Module Manufacturing cost
: \$ 0.73/W to \$ 0.52~0.60/W in 2014

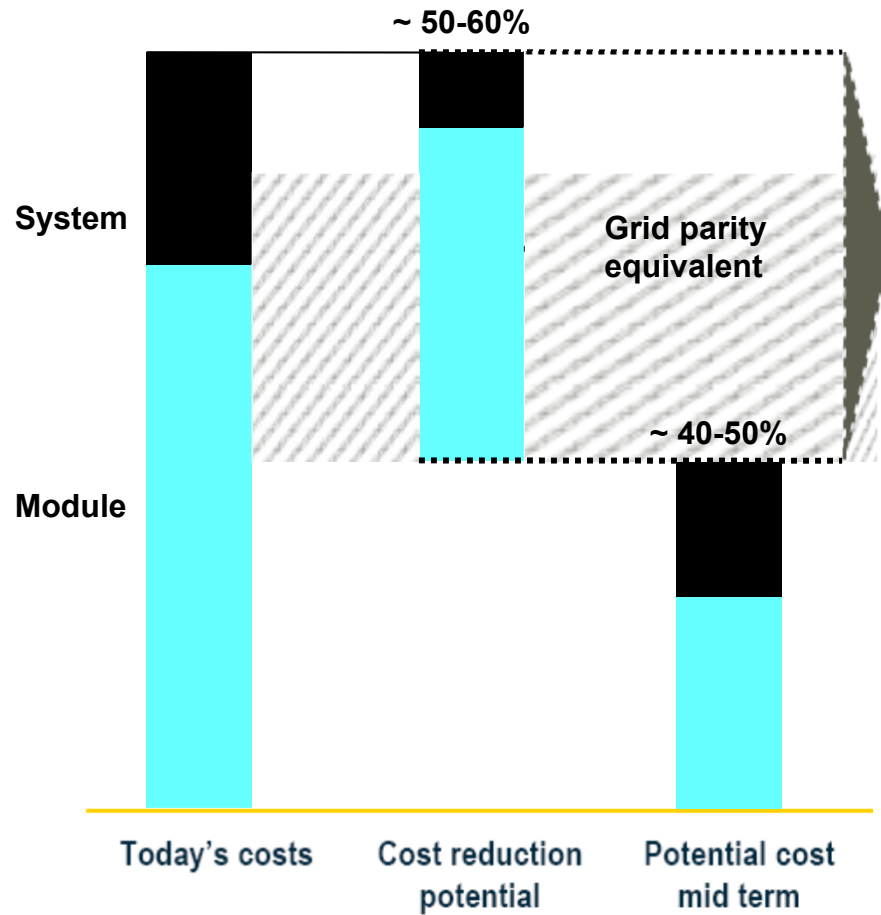
- 99% reduction in high-cost semiconductor material
- Fully integrated, continuous process vs. batch processing
- Large 60 x 120cm (2' x 4') substrate vs. 6" wafers

Conventional Crystalline Silicon Batch Technology



Cost reduction potential

Example: Thin Film

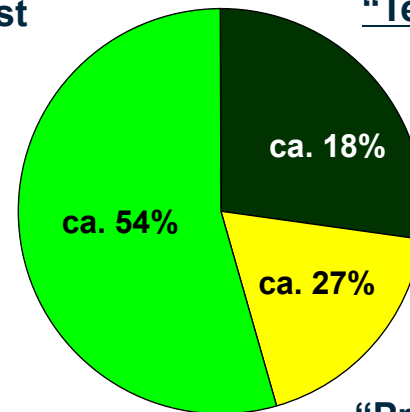


"Scaling"

- Getting bigger
- Reducing unit costs
- Invest

"Technology Driven"

- Efficiency
- etc.



"Productivity"

- Cost input
- Yield
- Manufacturing excellence
- etc.

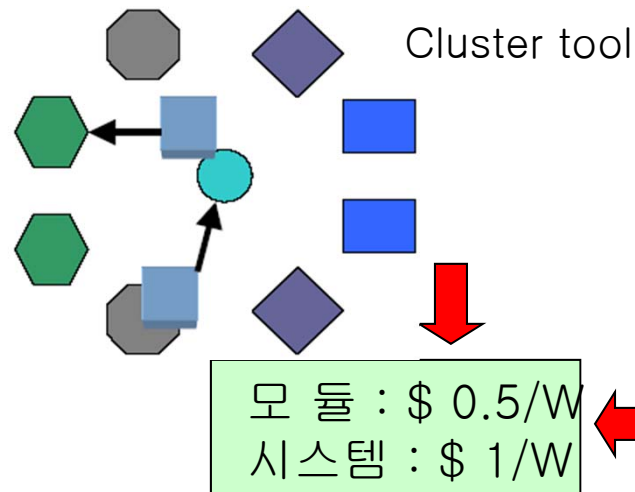
Q-Cells, Oct. 2009

대량생산 : 박막 태양전지, 시스템 저가화 가능성

Solar City Factory

- 공장 규모 : 2.1 - 3.6 GW
- 동일 설비 : 100 라인
- Cost : \$ 30 M(NRE)
+ 100 x \$ 2.5 M/line = \$ 280M
- 5개 서브 팩토리

유리기판, 박막제조/패터닝, 고순도
소재 재생, 모듈 패키징, 알루미늄

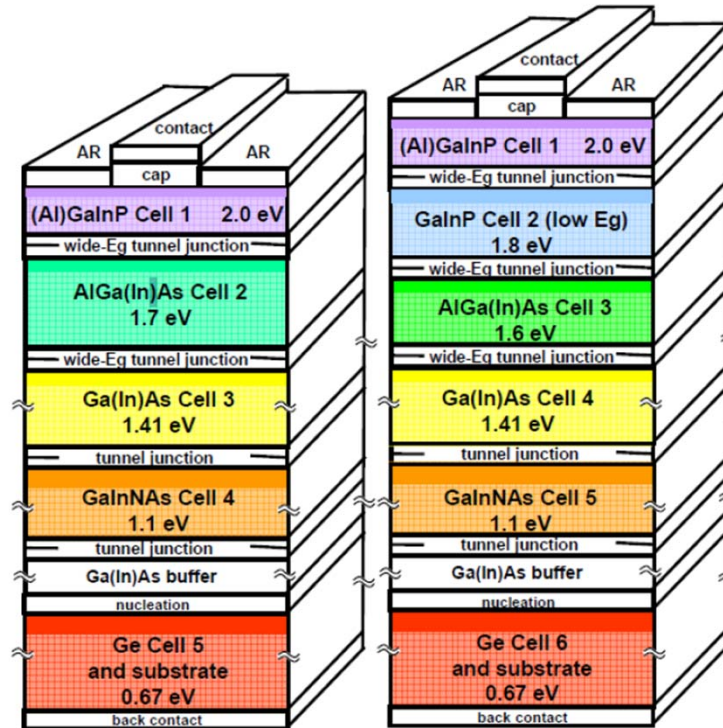
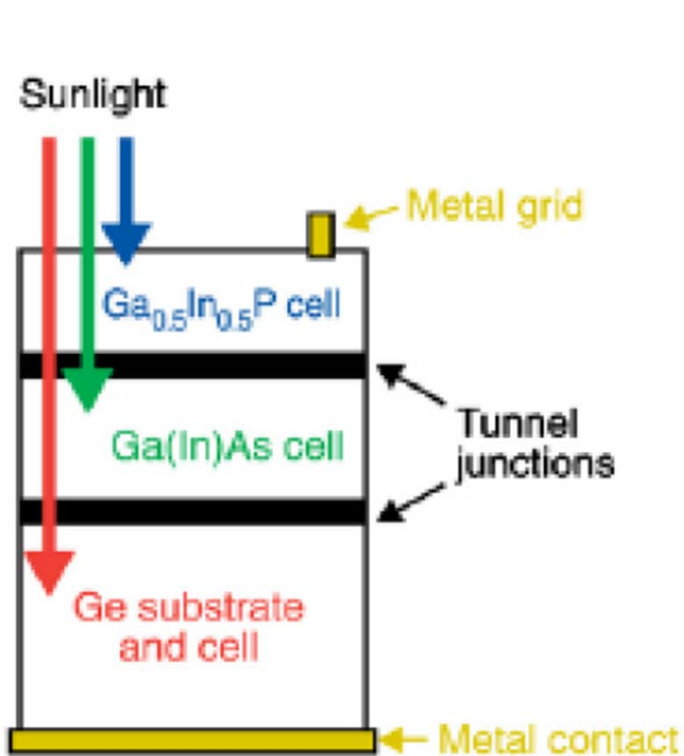


M.S. Keshner and R. Arya, *Hewlett Packard, Palo Alto, California*, NREL/SR-520-36846, "Study of Potential Cost Reductions Resulting from Super-Large-Scale Manufacturing of PV Modules", Oct. 2004

Basic pricing model for a 6 kW roof installation

	Price per watt		
	7% a-Si	11% CdTe	12% CuInGaSe ₂
Panel Price¹¹			
Panel Cost			
Substrate	\$.071	\$.045	\$.041
Active layer			
depreciation and operations	\$.065	\$.034	\$.038
thin-film materials (75% utilization)			
amorphous silicon single junction	\$.005		
CdTe single junction		\$.023	
CuInGaSe ₂ single junction			\$.083
Packaging of panels ready for installation	\$.161	\$.103	\$.094
Manufacturer's gross margin (50%)	\$.300	\$.210	\$.260
Total Panel Price per watt	\$.60	\$.42	\$.52
Installation Price¹²			
Power converter (wholesale cost, 225 v dc in, 220 v ac out)	\$.120	\$.120	\$.120
AC wiring (220 volt, 30 amp, breaker, disconnect, conduit, 2 hrs labor)	\$.027	\$.027	\$.027
Installation (approx. 4 hours labor at \$75 per hour)	\$.050	\$.033	\$.030
Retailer's total gross margin (20%)	\$.200	\$.150	\$.180
Total Installation Price per watt	\$.40	\$.33	\$.36
Total price per watt at retail			
or from a contractor (for an installed system on a sloped roof)	\$ 1.00	\$.75	\$.88
Mounting pedestals (only required for flat roofs)	\$.050	\$.033	\$.030
Total price per watt at retail			
or from a contractor (for an installed system on a flat roof)	\$ 1.05	\$.78	\$.91

고효율 III-V 태양전지



5- and 6-Junction Cells (Spectrolab)

GaAs single : 29.1 % (0.05 cm², 117 suns) : Fraunhofer ISE
 Si single : 27.6 % (1.0 cm², 92 suns) : Amonix Back Contact
 GaInP/GaAs/InGaAs : 42.3 % (0.976 cm², 406 suns) : Spire
 GaInP/GaAs/Ge : 27.0 % (34 cm², 10 suns) : Entech
 GaInP/GaAs : 38.5 % ((0.202 cm², 20 suns) : Du Pont
 GaInAsP/GaInAs : 38.5 %

Progress in Photovoltaics, Vol. 18(5), Aug. 2010 (변환효율)

집광형 고효율 III-V 태양전지



Amonix, USA



Emcore, USA



SolFocus, USA



Opel, Canada



Soliant Energy, USA



Energy Innovation, USA



Semprius, NC, USA



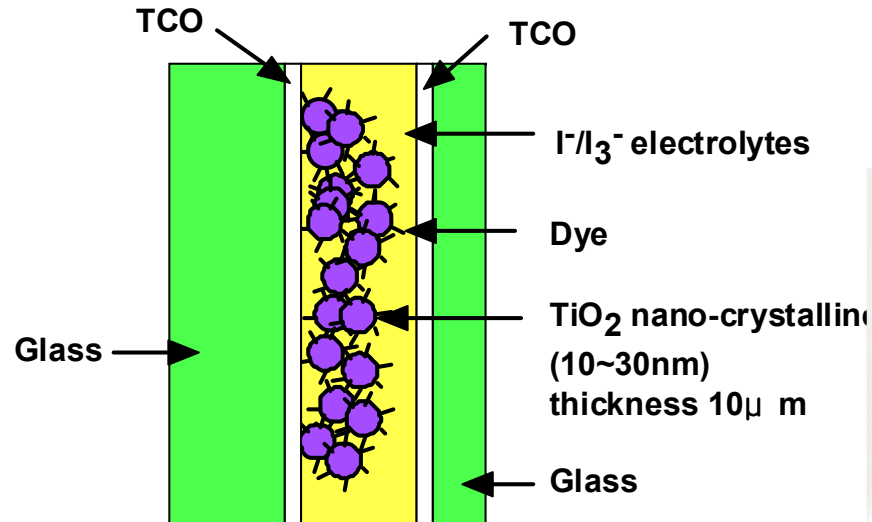
Morqan Solar, Canada



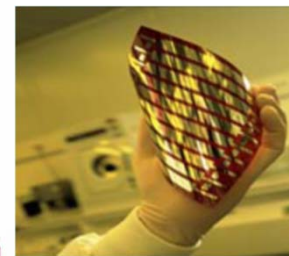
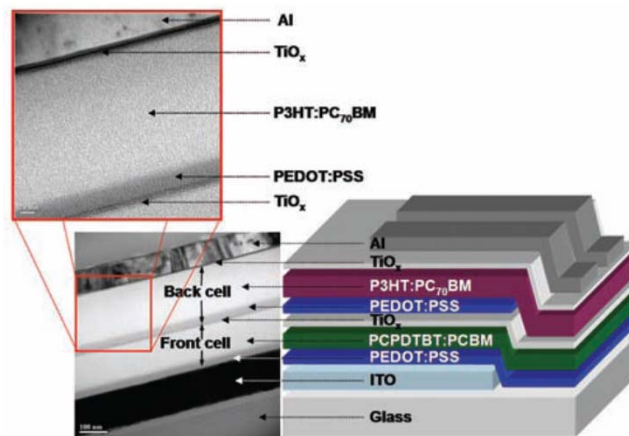
SolFocus, USA

염료감응, 유기 태양전지

염료감응

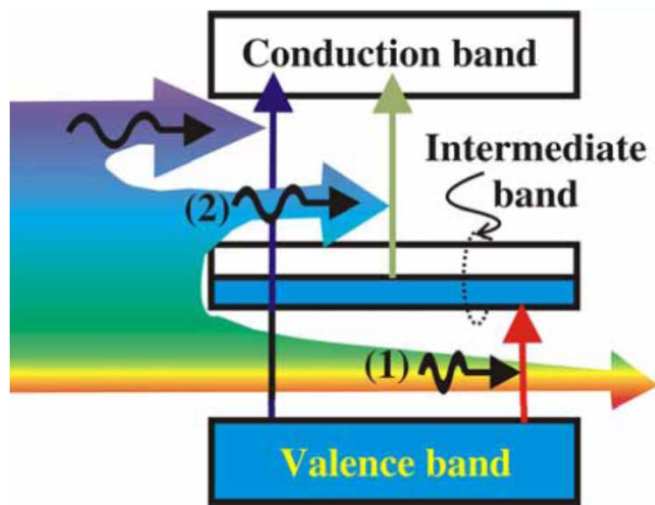


유기

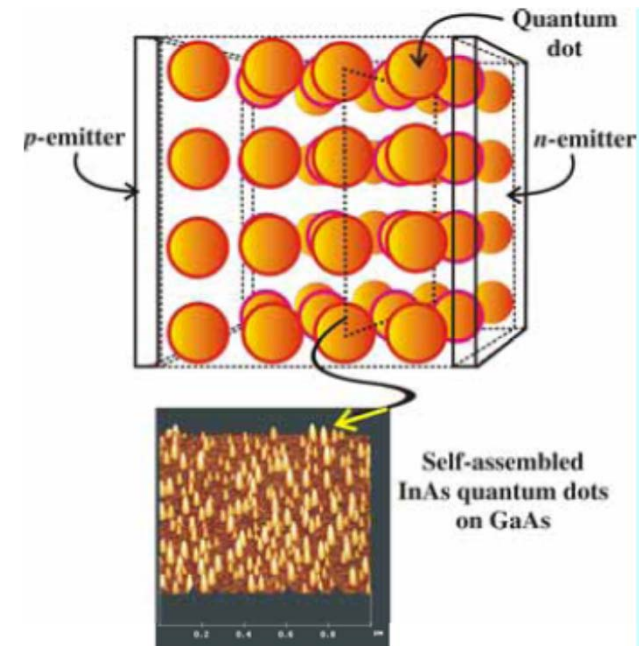


초고효율화를 위한 3 세대 태양전지 개념

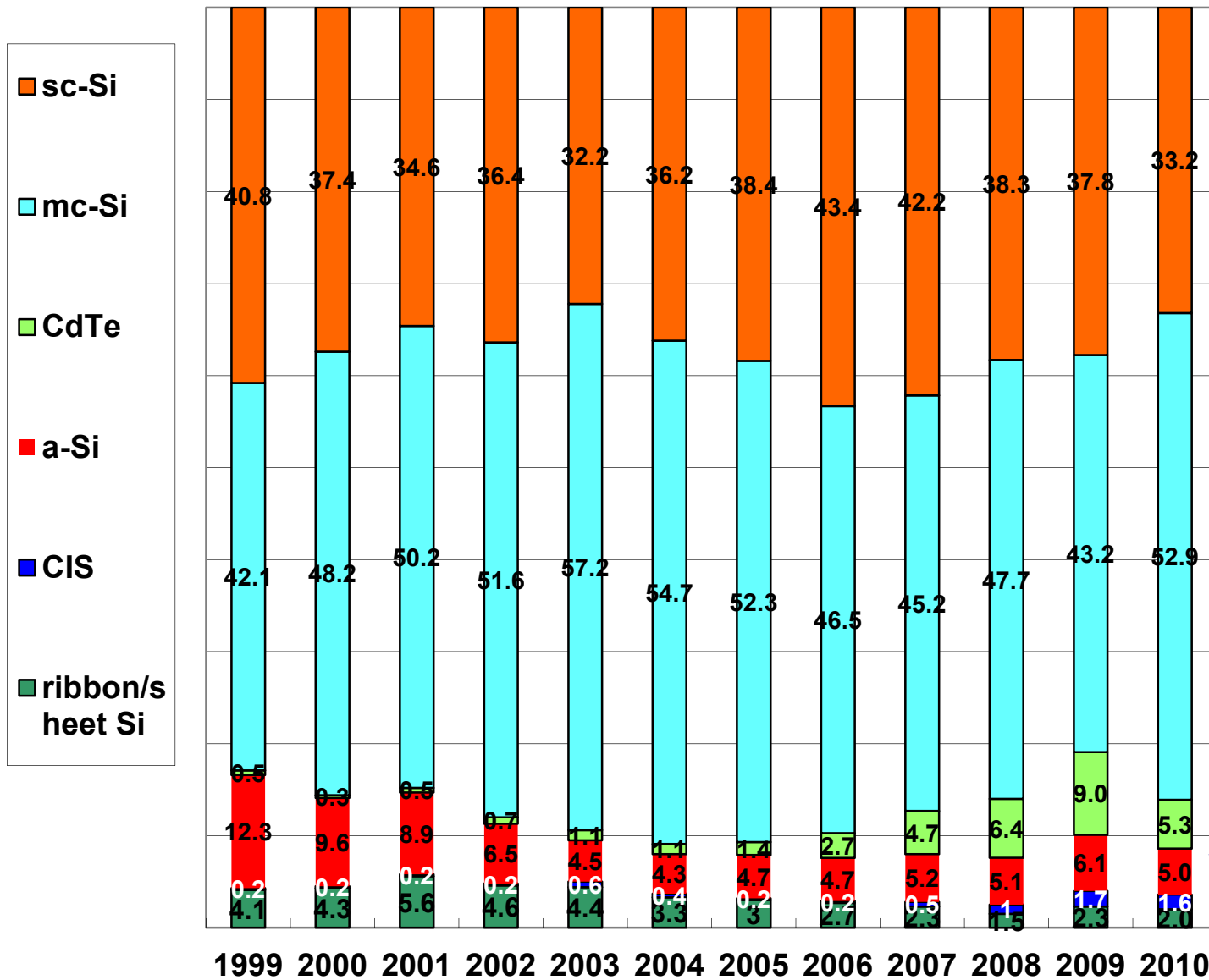
- Multi-bands cells, Intermediate bands
- Quantum well structure
- Up and down conversion of photon energy
- Electromagnetic antenna
- Auger excitation
- Extraction of hot carriers
- Thermophotonics



A feasible implementation for the IBC consist of using quantum dots. Since a QD is able to produce an electron level within the host semiconductor, a QD superlattice is expected to reduce an IB.



전 세계 태양전지 종류별 생산량 점유율 추이

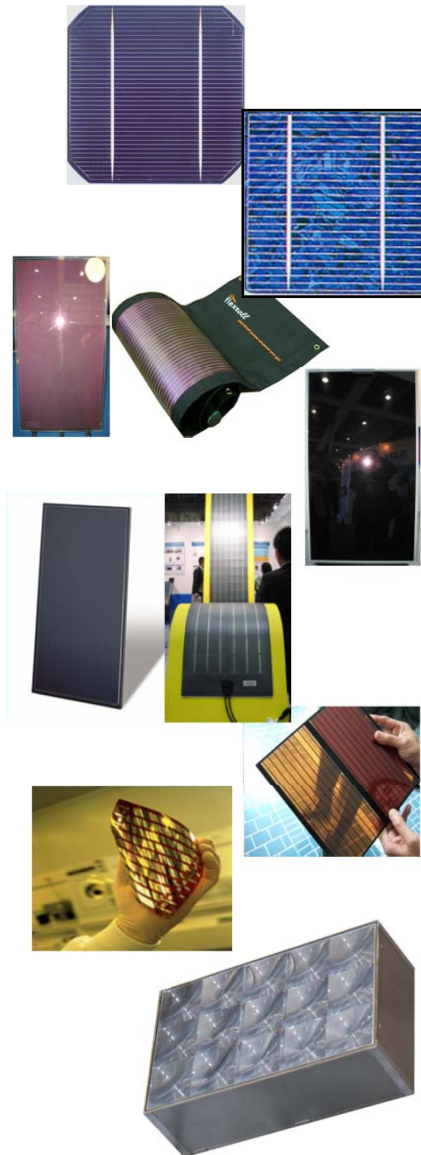


박막태양전지

- 2009년 16.8 %
- 2010년 11.9 %
- CdTe 5.3%
- Si 5.0%
- CIGS 1.6%

향후 점진적
증가 예상

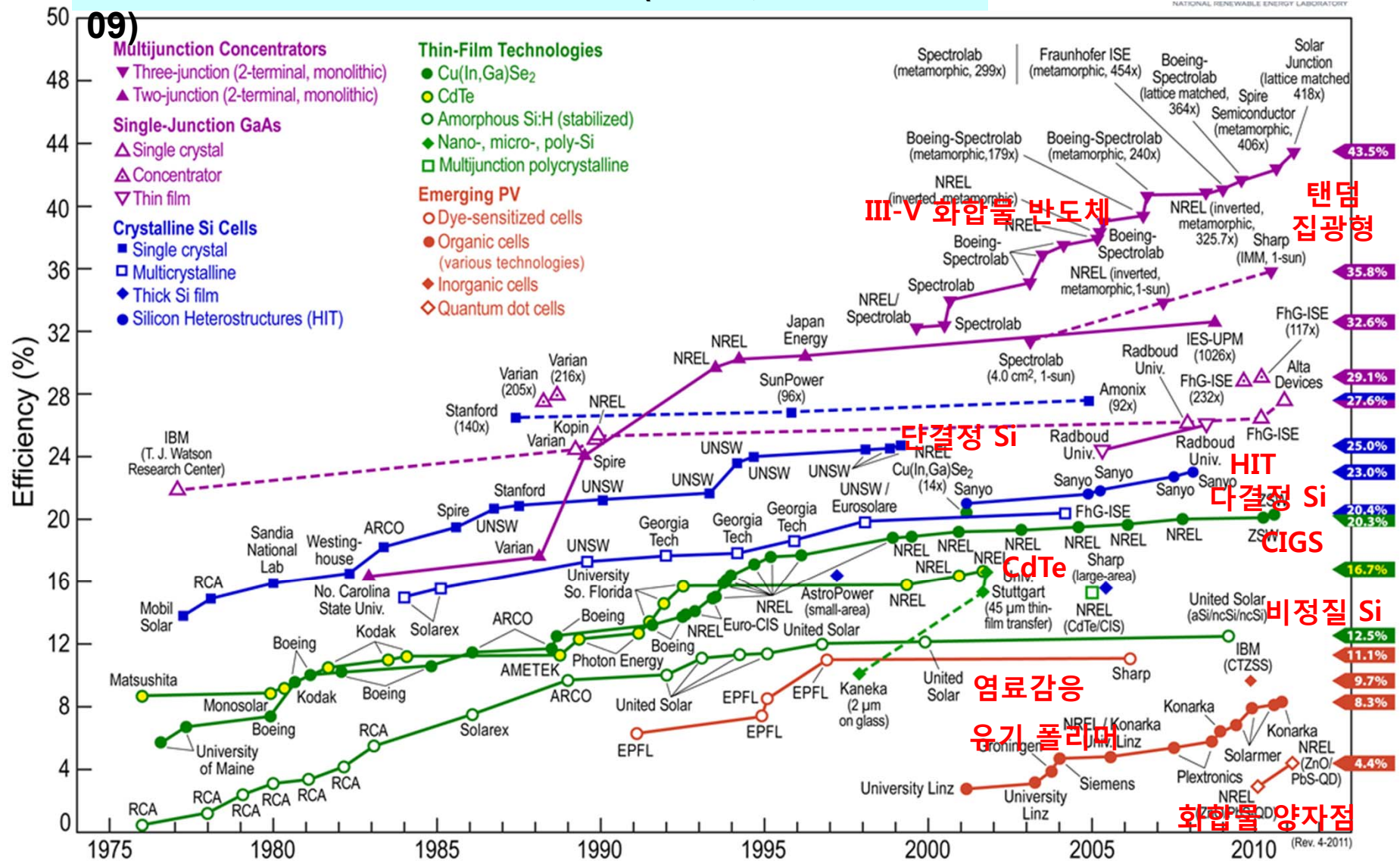
태양전지 종류별 최고 변환효율 (%), 장단점



	실험실 전지 효율 (%)	셀/서브 모듈 효율 (%)	모듈 효율 (%)	2010년 생산 점유율	특징 및 장단점
단결정 Si	25.0	24.2	21.4	33.2%	기술 성숙, 대규모 생산 소재 안정성 제조가 비쌈, 유연성 없음
다결정 Si	20.4	19.3	17.6	54.9%	
Si 박막	12.5	11.7	10.4	5.0%	비교적 저가, 유연성, 경량 효율 낮고, 옥외 열화
CdTe 박막	16.7	12.5	10.9	5.3%	비교적 고효율, 경량 Cd 거부감, Te 자원 부족량
CIGS 박막	20.3	16.7	15.7	1.6%	고 효율, 안정성, 경량, 유연성 고가 공정, Si 대비 경험 부족 In, Ga 부족 자원량 한계
염료 감응	11.2	9.9		0	저가 잠재력 최고 유연성, 다양한 용도 상업화 기술 미성숙 소재 불안정성
유기	8.3	3.5		0	
III-V 집광	GaAs 27.6% GaAs 29.1% (117 suns) GaInP/GaAs 32.6% (1026 suns) GaInP/GaAs/Ge 32.0% InGaP/GaAs/InGaAs 42.3% (406 suns)				

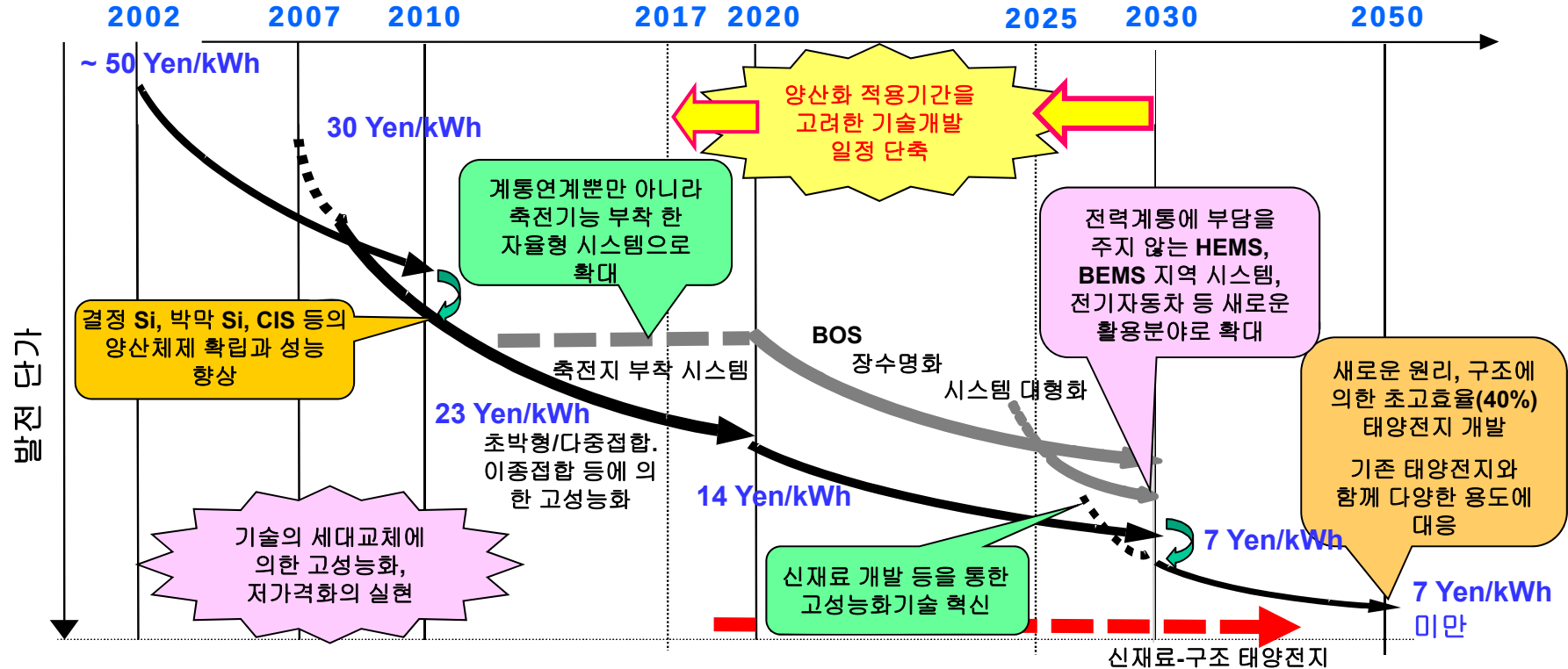
태양전지 종류별 최고 변환 효율 추이

Best Research-Cell Efficiencies (NREL, 2011. 04.)



중장기 개발 방향

일본 PV R&D Roadmap (PV2030+)



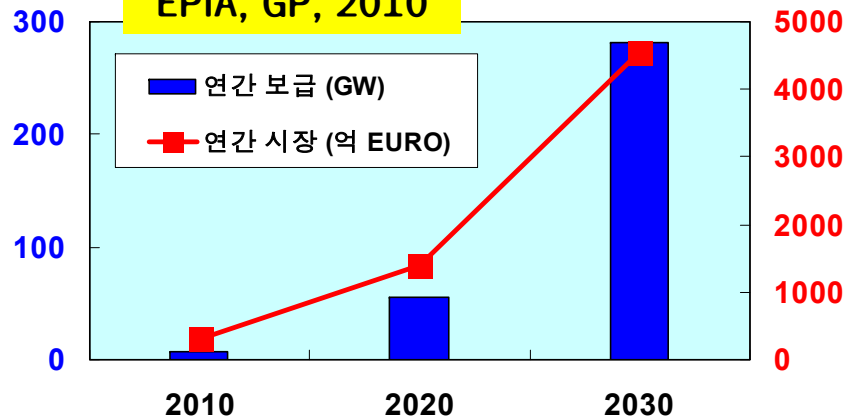
실현시기(개방 완료)	2010 ~ 2020 년	2020 (2017)	2030 (2025)	2050
발전 단가	가정용 전력 대응 (23엔/kWh)	상업용 전력 대응 (14엔/kWh)	범용 전원 대응 (7엔/kWh)	범용 전원 미만 (7엔/kWh 미만)
모듈 변환효율 (연구 수준)	실용 모듈 16% (연구용 셀 20%)	실용 모듈 20% (연구용 셀 25%)	실용 모듈 25 (연구용 셀 30%)	초고효율 모듈 40%
국내시장 생산량 (GW/연)	0.5 ~ 1	2 ~ 3	6 ~ 12	25 ~ 35
해외 시장 수출 (GW/연)	~ 1	~ 3	30 ~ 35	~ 300
주요 용도	단독주택, 공공시설	주택(단독, 집합) 공공시설, 사무실	주택(단독, 집합) 공공시설, 민생업무용 전기자동차 충전	민생 용도 전반 산업용, 운수용 농업, 독립전원

일본 PV2030+ : 기술개발 내용과 목표

항 목		주요 개발 내용과 개발 목표
모듈 제조	모듈 제조 가격	모듈의 고효율화, 저가격화·고생산성 공정, 장수명화 목표(기술개발의 완료) : 75엔/W(2017년), 50엔/W(2025년), 50엔 이하/W(2017년)
	모듈 고성능화	기존 태양전지의 기술 혁신 (초박형 결정질 Si, Wide 밴드갭의 신재료, 다중 접합, 이종접합 태양전지 등의 개발)
	모듈 수명 연장	모듈 구조, 모듈 재료의 검토 목표(기술개발의 완료) : 수명 25년(2017년), 30년(2025년) , 40년(2030년)
	원료 문제 대응 기술	고순도 실리콘 공급기술, 실리콘 원단위 절감 (3g/W) 실리콘 사용량 절감(웨이퍼의 커프 손실 100μm), 희소금속 대책
시스템 구성요소	파워컨디셔너	내구성 향상, 다양화·고효율화·저가격화·IT 기능 통합화 목표(기술개발의 완료) : 2017년 제조단가 15엔/W, 수명 20년 이상 (부품교환 없이)
	태양광용 축전기술	장수명 축전지, 경량·장수명화, 신형 전력저장 목표(기술개발의 완료) : 2017년 제조단가 10,000엔/kWh, 수명 20년 이상 (부품교환 없이)
	설치공사 판매 경비	현재(~ 200엔/W)의 1/3 ~ 1/2

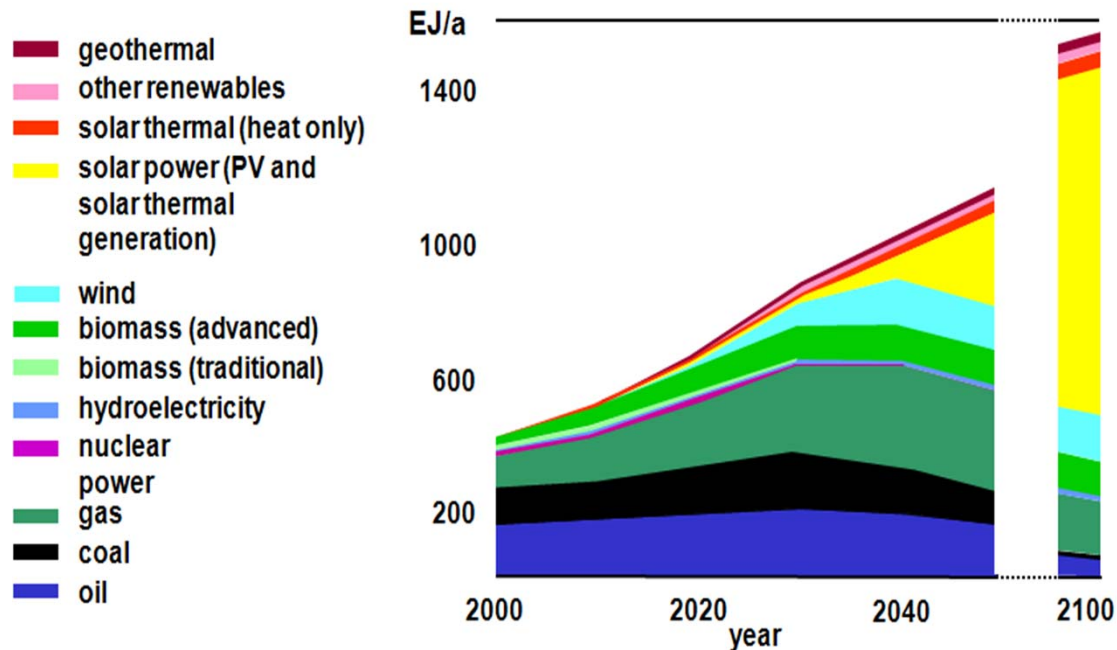
태양광 보급 전망

EPIA, GP, 2010

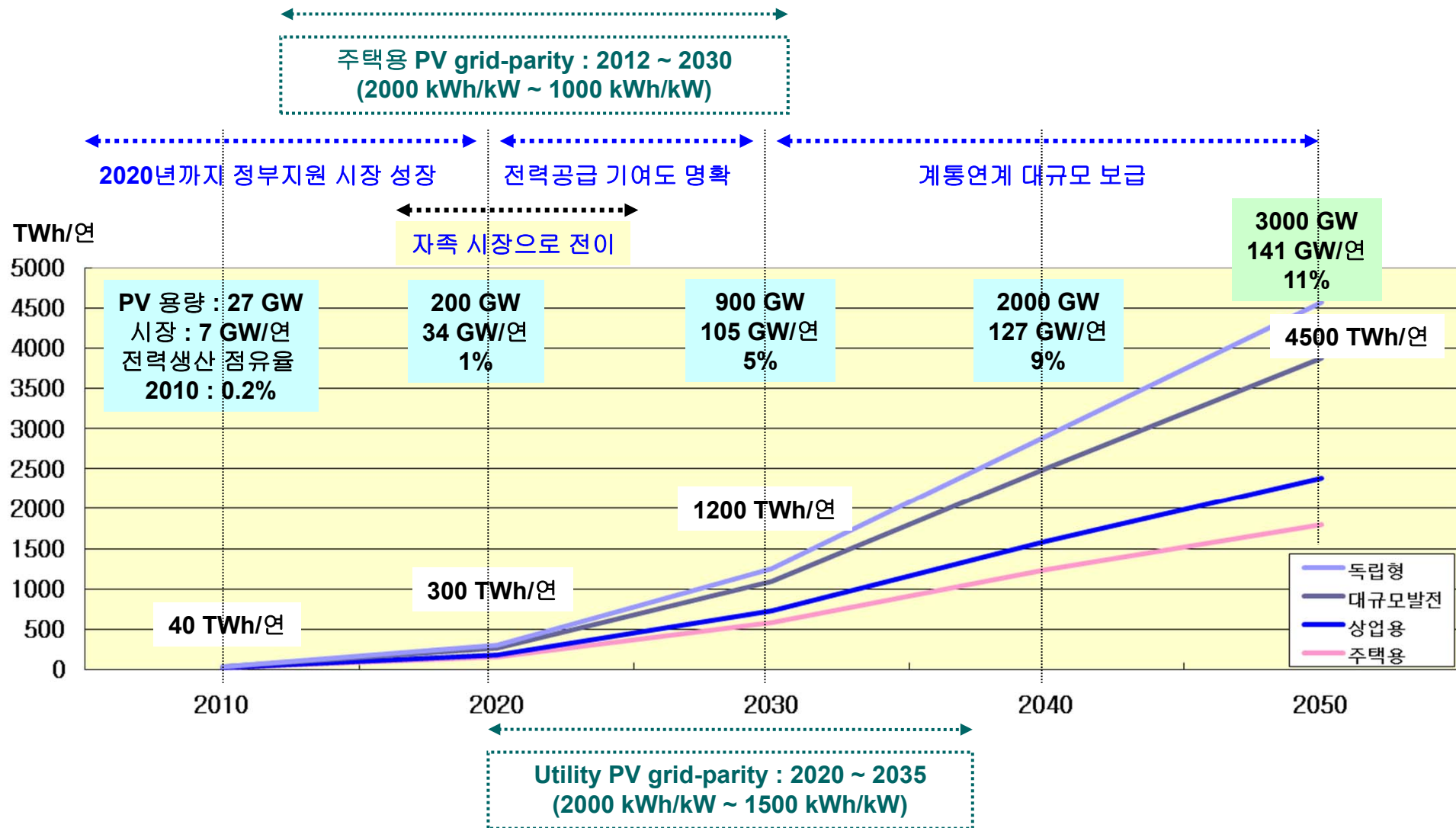


- 환경친화적 태양광 기술의 성장 잠재력
 - 2010년 \$ 450억 시장 (성장률 > 50%)
 - 2015년 메모리반도체 시장 추월
 - 21세기 에너지시장 주도
 - (2030년 시장 4,540억 유로)

German Advisory Council on Global Change, 2003



IEA PV Roadmap Targets



http://www.iea.org/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=2150

요약

■ 태양광 기술

- 시장 규모 급 팽창 : 메모리 반도체 시장 규모 근접
- 친환경 에너지 기술의 선두주자로 자리 매김
- 경쟁 치열
- 경제성 미확보 : 보조금 의존 : 고효율, 저가 기술 확보

■ 태양전지 기술 경쟁

- 시장 점유율 : 결정질 실리콘 >> 박막 태양전지
- 박막 태양전지 점유율 점진 상승

■ 국가간, 기업간 경쟁

- 선진국 : 원천기술 확보, 고부가 가치 산업에 중점
- 중국, 대만 : 규모의 경제에 의한 우위 확보
- 참여 기업 : 급증
 - 가치 사슬 : 수직계열화

■ 우리의 전략 : 중장기 개발 및 산업화 전략

- 태양전지 저가, 고효율화 원천기술 개발 : 중장기적 시각
- 소재, 소자, 모듈, 장비 국산화
 - 표준화
- 정부 지원, 산학연 협력
 - 기술 허브 구축, 인력 양성
- 시장 : 지상 발전용, 우주용