



기후위기의 도전과 과학기술 혁신

한국에너지기술연구원 윤재호 단장
yunjh92@kier.re.kr

에너지전환 청년 프론티어 2기 ,2021.1.14(목)16:00~17:30,

기후변화로 인한 기후위기

온실가스 증가로 인한 이상 기후 심화

“... 기후변화 문제가 나날이 심각해지는 현 상황을 기후위기로 인식하고...”

국회 '기후위기비상대응 촉구 결의안', 2020.9.24

Remaining Carbon Budget (from start of 2020)*

Source: CONSTRAIN. (2019). ZERO IN ON the remaining carbon budget and decadal warming rates. Leeds, UK: The CONSTRAIN Project.

* Accounting for the latest data from 'Global Carbon Budget 2019' (Friedlingstein et al., 2019)

Probability of staying below	1.5 °C	2.0 °C
50%	395 Gt CO ₂	1315 Gt CO ₂
66%	235 Gt CO ₂	985 Gt CO ₂
Previous carbon budget (from start of 2018) (100 Gt CO ₂ of Earth System Feedbacks [‡] is subtracted from IPCC [2018, p. 108])	320 Gt CO ₂	1070 Gt CO ₂
Projected total anthropogenic CO ₂ emissions in 2019 (Friedlingstein et al., 2019)	43.1 (±3.2) Gt CO ₂	

[‡] Earth system feedbacks include CO₂ released by permafrost thawing or methane released by wetlands.

Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., ... Zaehle, S. (2019). Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11(4), 1783–1838. IPCC (Ed.). (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.* (In Press). Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.



탄소중립을 위한 계획들

European Commission

What is the European Green Deal?

December 2019
#EUGreenDeal

The European Green Deal is about **improving the well-being of people**. Making Europe climate-neutral and protecting our natural habitat will be good for people, planet and economy. No one will be left behind.

The EU will:



Become climate-neutral by 2050



Protect human life, animals and plants, by cutting pollution



Help companies become world leaders in clean products and technologies



Help ensure a just and inclusive transition

"The European Green Deal is our new growth strategy. It will help us cut emissions while creating jobs."

Ursula von der Leyen, President of the European Commission



"We propose a green and inclusive transition to help improve people's well-being and secure a healthy planet for generations to come."

Frans Timmermans, Executive Vice-President of the European Commission

그린 뉴딜은 탄소의존 경제에서 저탄소 친환경경 경제로 도약하는 구상입니다

[탄소중립(Net-Zero) 시화, 그린뉴딜의 목표입니다]

탄소중립 사회, 그린뉴딜, 그린에너지

2023.03.25

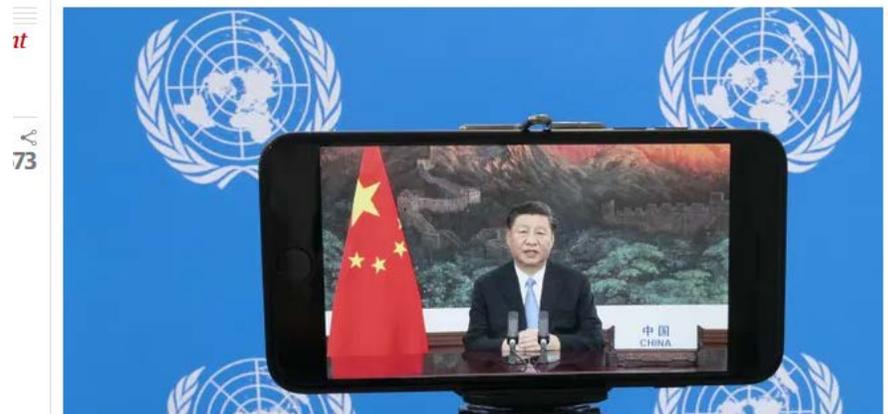
그린 뉴딜 5대 대표과제

- 01 그린 스마트 스쿨**
초·중·고(2025~2030)에 대한 100%의 친환경 시설을 설치하여 친환경 학교를 조성한다. (2025년까지 100% 달성)
- 02 스마트 그린 산업**
스마트 공장(100개)과 친환경공장(1,750개) 구축
- 03 그린 리모델링**
국립을 제외한 77개 대학과 소재 등 활용, 국·공립 아파트(440개), 국민체육센터(45개) 리노
- 04 그린 에너지**
대규모 재생에너지 단지, 100% 친환경 건물, 100% 친환경 공공기관, 100% 친환경 공공기관, 100% 친환경 공공기관
- 05 그린 모빌리티**
전기자동차 100만대 이상 보급, 수소차 20만대 이상 보급, 친환경차량(LPOV) 100% 전환, 친환경 모빌리티 100% 전환

2023.03.25

China pledges to become carbon neutral before 2060

Unexpectedly forthright pledge will boost UN efforts to galvanise action on climate crisis



it

73

탄소중립을 위한 계획들



South Korea vows to go carbon neutral by 2050 to fight climate emergency

South Korea relies on coal for about 40% of its electricity generation, with renewables making up less than 6%



▲ South Korea's Green New Deal will invest in green infrastructure, clean energy and electric vehicles. Photograph: Kim Chul-Soo/EPA

“2050년 탄소중립을 목표로 나아가기 위해서는 국가적으로 차분하고 냉철하게 준비해 나갈 필요가 있습니다. **화석연료 중심의 에너지를 친환경 재생에너지로 전환**하는 에너지 전환 로드맵을 정교하게 가다듬으면서 온실가스 감축 계획도 재점검해 주시기 바랍니다. 특히 탈탄소와 수소경제 활성화, 재생에너지 비중 확대 등 에너지 전환 가속화를 위한 방안을 다각도로 강구해 주시기 바랍니다. **녹색 산업 생태계 구축**을 위한 산업 혁신 전략도 보다 속도감 있게 추진해야 할 것입니다.”

국무회의대통령 모두발언, 2020.11.3

탄소중립을 위한 계획들



- IPCC 특별 보고서: 1.5도 상승 시나리오
- 2030년까지 2010년 배출량의 45%,
2050년까지 100%를 감축
- 2050년까지 재생에너지가 1차
에너지공급의 50~65%, 전력생산의
70~85%

재생에너지 보급 현황

해외 현황

태양광, 풍력 등 지속적인 재생에너지 글로벌 보급 확대

FIGURE 28. Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2009~2019

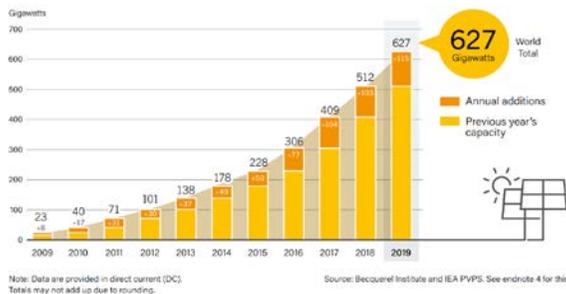
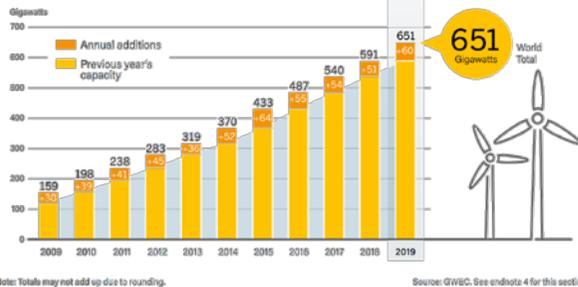
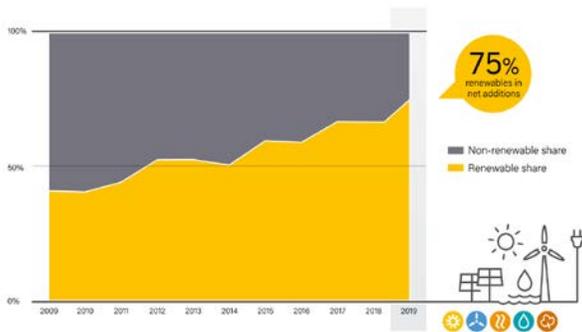


FIGURE 37. Wind Power Global Capacity and Annual Additions, 2009~2019



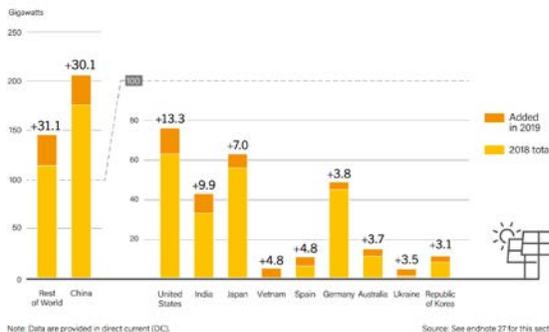
2019년 신규 발전설비의 75% 이상

FIGURE 9. Renewable and Non-renewable Shares of Net Annual Additions in Power Generating Capacity, 2009~2019



2019년 국내태양광 보급 3.1GW (Global TOP 10)

FIGURE 30. Solar PV Capacity and Additions, Top 10 Countries for Capacity Added, 2019



국내 현황

2019 재생에너지 전력 비중

~5% (에너지공단)

2019 태양광 풍력 전력 비중

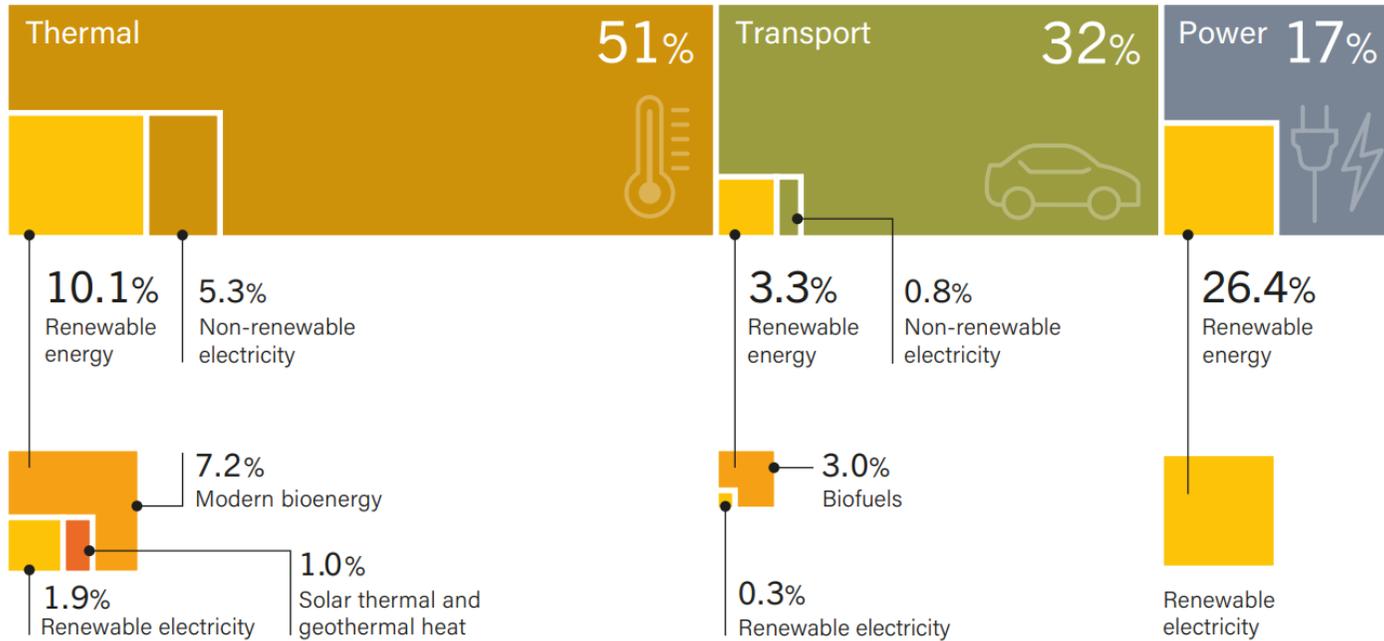
~2.7% (에너지공단)

3020, 4035 및
2050년 탄소중립을 위한

확대 전략 필요

글로벌 재생에너지 보급 현황과 방향

FIGURE 3. Renewable Share of Total Final Energy Consumption, by Final Energy Use, 2017



전력 분야의 지속적인 재생에너지 확대 (Grid parity, Grid Flexibility)

수송 및 열(건물 냉난방 및 산업열 등) 분야의 재생에너지 확대

재생에너지 기반 융복합 시스템 확대



재생에너지 보급 확대를 위한 해결과제

설치 부지의 확보

대규모 태양광 및 풍력 발전 단지

재생에너지의 경제성

Grid parity (Socket Parity)

그리드의 유연성 증대

분산에너지 시스템

국내 기업의 산업경쟁력 강화

양질의 일자리 창출

응용범위 확대

건물, 수송, 산업 등

수용성 개선

심미성 확보, 정확한 정보교류,
사용자 참여확대

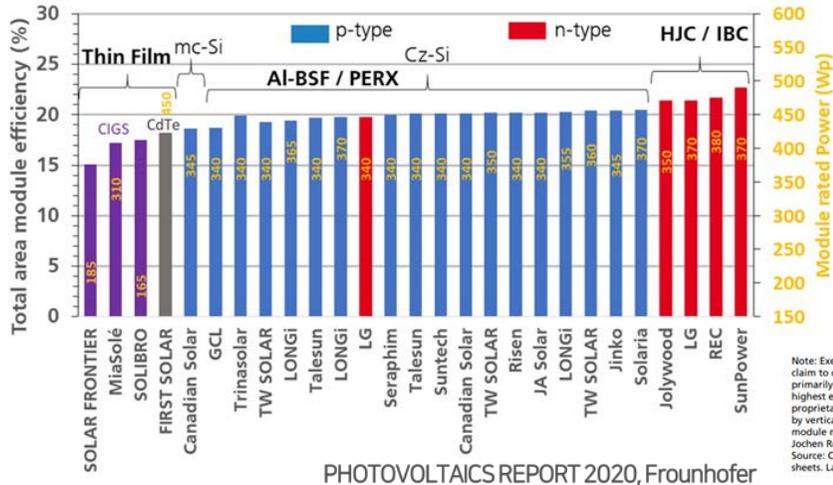


글로벌 에너지 전환



혁신기술 개발 고효율 태양광 모듈 기술

Current Efficiencies and Power of Selected Commercial PV Modules Sorted by Bulk Material, Cell Concept and Efficiency

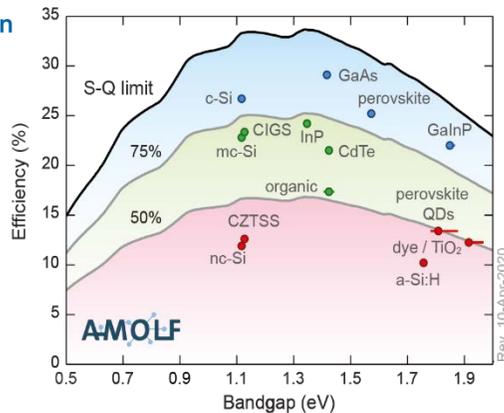
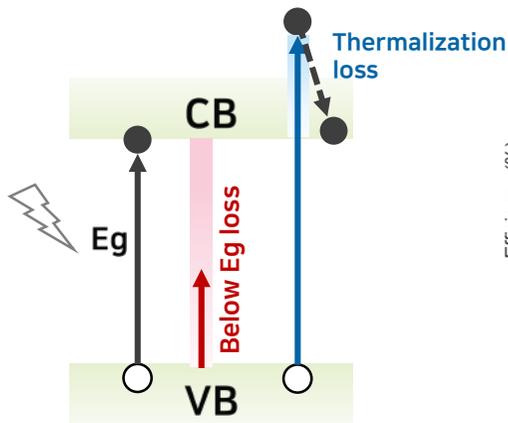


Note: Exemplary overview without claim to completeness; Selection is primarily based on modules with highest efficiency of their class and proprietary cell concepts produced by vertically integrated PV cell and module manufacturers; Graph: Jochen Rentsch, Fraunhofer ISE. Source: Company product data sheets. Last update: Nov. 2019.

1 태양광 모듈 효율은 지속적으로 증가하고 있으며 이로 인해 가격도 하락하고 있음

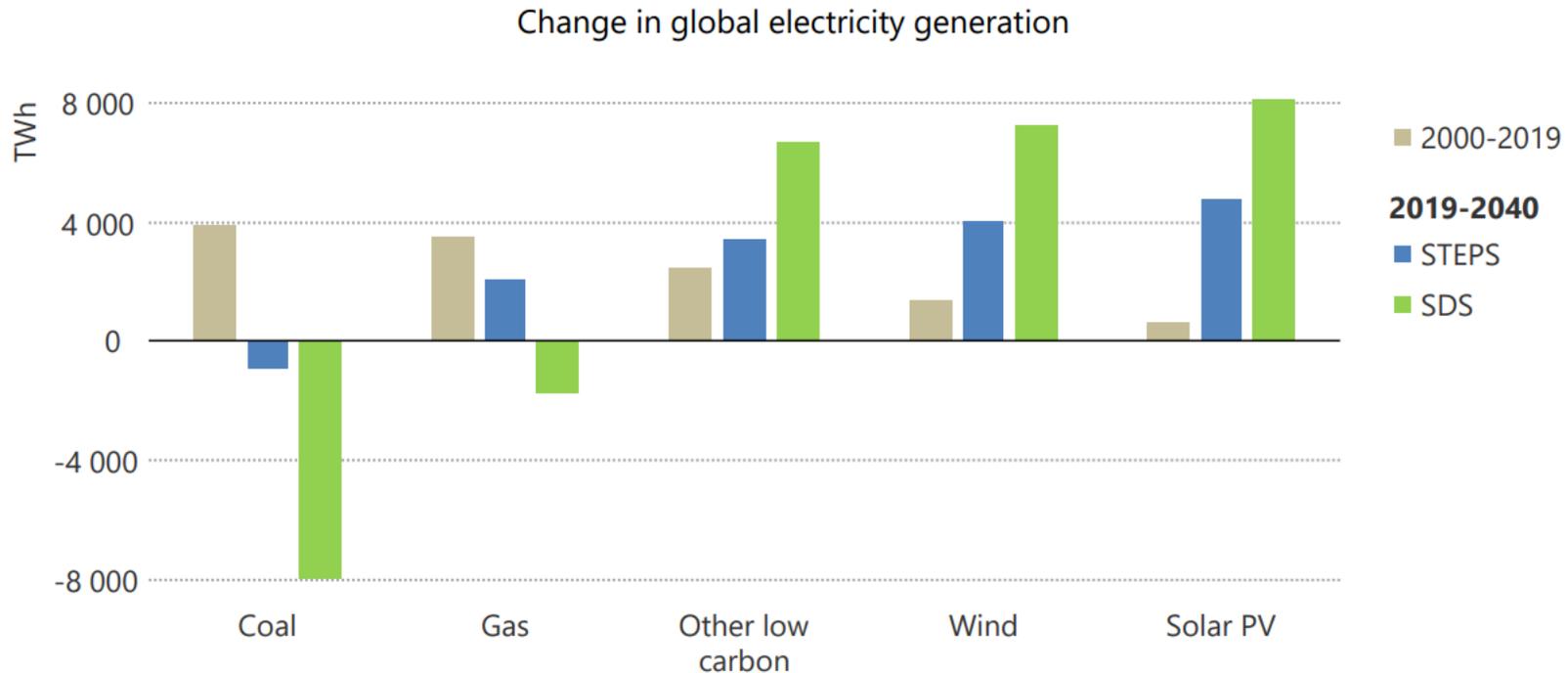
2 최근 20% 이상의 효율을 가지면서 500W 이상의 모듈 출시

3 이론 효율(29%)과 근접한 효율 확보로 혁신적인 기술 필요



태양광 시장 현황과 전망

Solar PV is becoming the 'new king' of electricity



Solar PV is now the cheapest source of electricity in most countries in part due to low cost financing and is set to triple before 2030 under current and proposed policies, with the potential to grow much faster

태양광 시장 현황과 전망

Net-zero by 2050 demands unprecedented efforts over the next decade



Hydrogen

2020 0.45 Mt
2030

40 Mt

Electric cars

2020 2.5 million
2030

50 million cars sold

Clean electricity investment

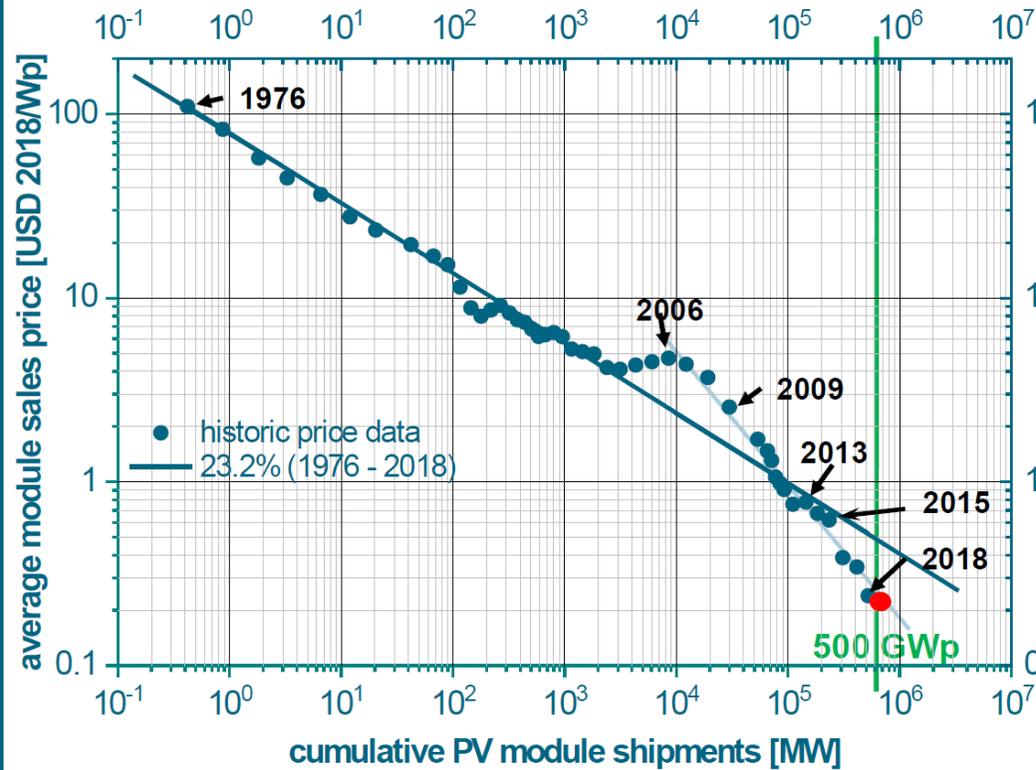
2020 380 billion \$
2030

1.6 trillion \$

Net zero energy emissions in 2050 would require a set of dramatic additional actions over the next 10 years. Energy companies, citizens and investors all need to be on board – with unprecedented contributions to make

태양광 학습곡선 : ITRPV 2019

PV learning curve – Module



Shipments / avg. price at years end:

- 2017: 105 GWp / 0.35US\$/Wp
- 2018: 109 GWp / 0.24 US\$/Wp
- 2019: ≥120 GWp est.

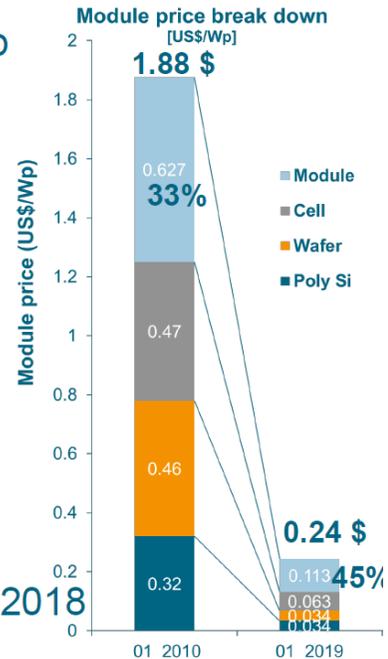
2018 o/a shipment: ≈ 523 GWp
o/a installation: ≈ 504 GWp

0.5 TWp milestone passed!

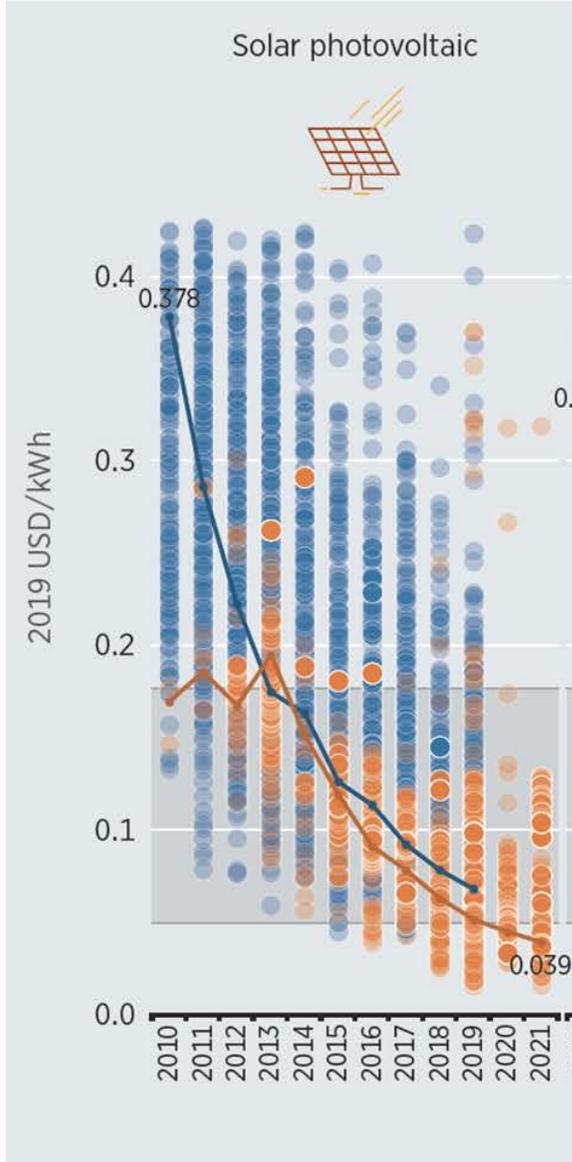
- LR ≈ 23 % (1976 2018)
- LR ≈ 40 % (2006 2018)

→ ≈ 90% price reduction 2009 → 2018

→ High volume shipped with **huge** price reductions



태양광 가격 동향



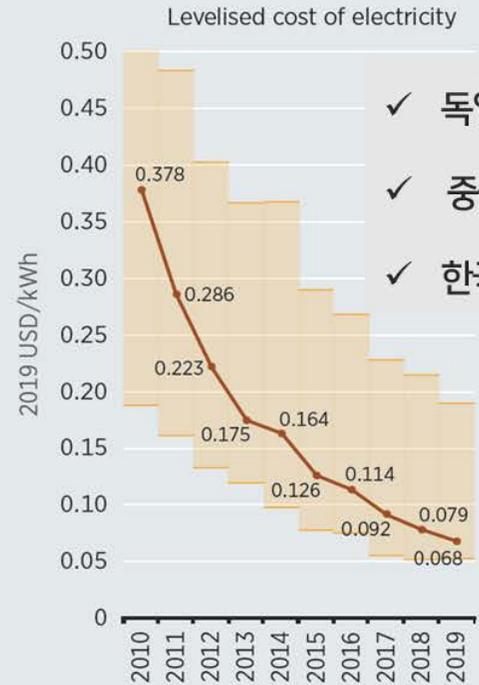
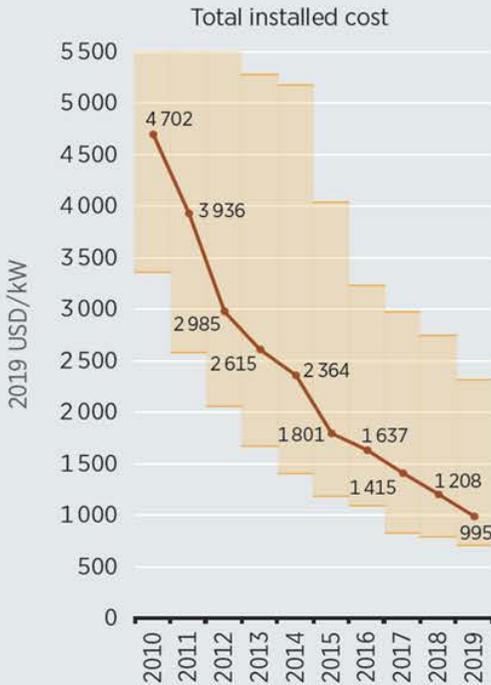
Portugal's second PV auction draws world record low bid of \$0.0132/kWh

pv magazine

According to financial newspaper *Expresso*, the lowest bid in the exercise was €0.0112/kWh, slightly lower than the \$0.0135/kWh submitted by French energy group EDF and China's JinkoPower in a 2 GW tender held in Abu Dhabi, a price which was confirmed last month.

AUGUST 24, 2020 EMILIANO BELLINI

HIGHLIGHTS UTILITY SCALE PV PORTUGAL

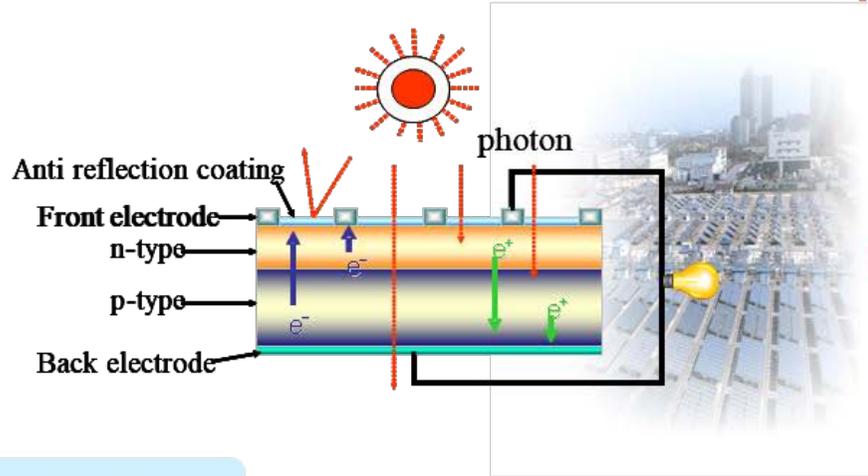


- ✓ 독일 0.105 USD/ kWh
- ✓ 중국 0.064 USD/ kWh
- ✓ 한국 0.115 USD /kWh

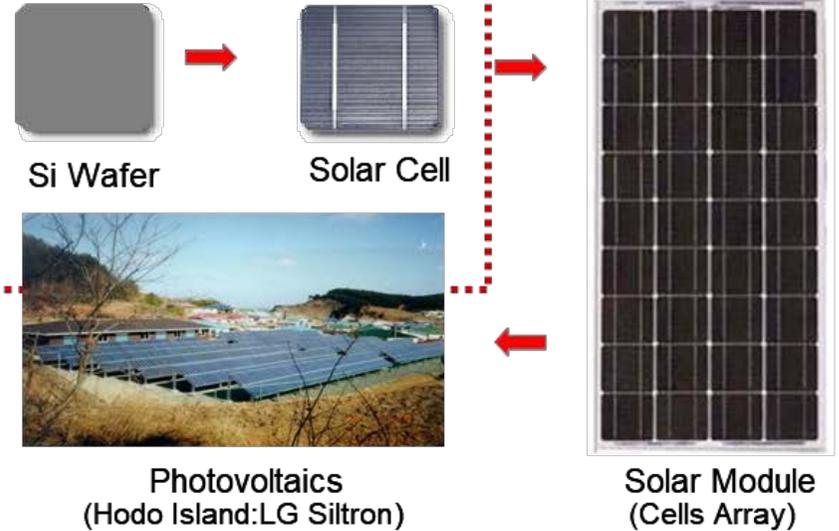
태양광 발전의 구성요소

Solar Cells

- Basic Principle of Si Solar Cells



Process



Application

- Generation of Electric power using Sun Light



Residential roof - integrated



PV Power Plant



Atrium Hall, STMICROELECTRONICS, Plan-les-Quatre/GE, Switzerland
BIPV (Building Integrated PV)



Solar Car



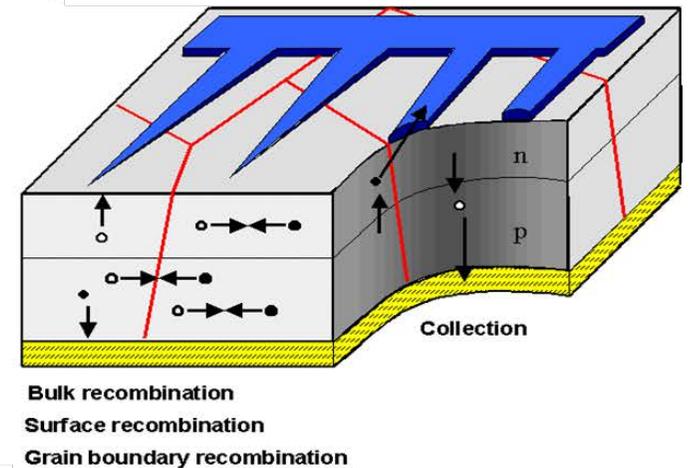
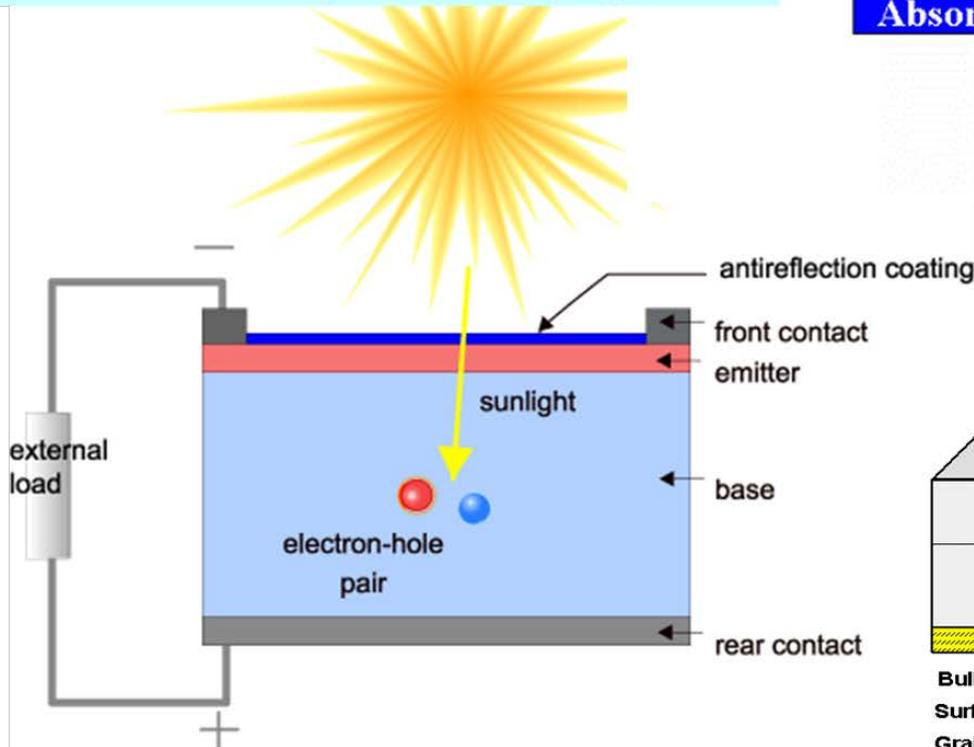
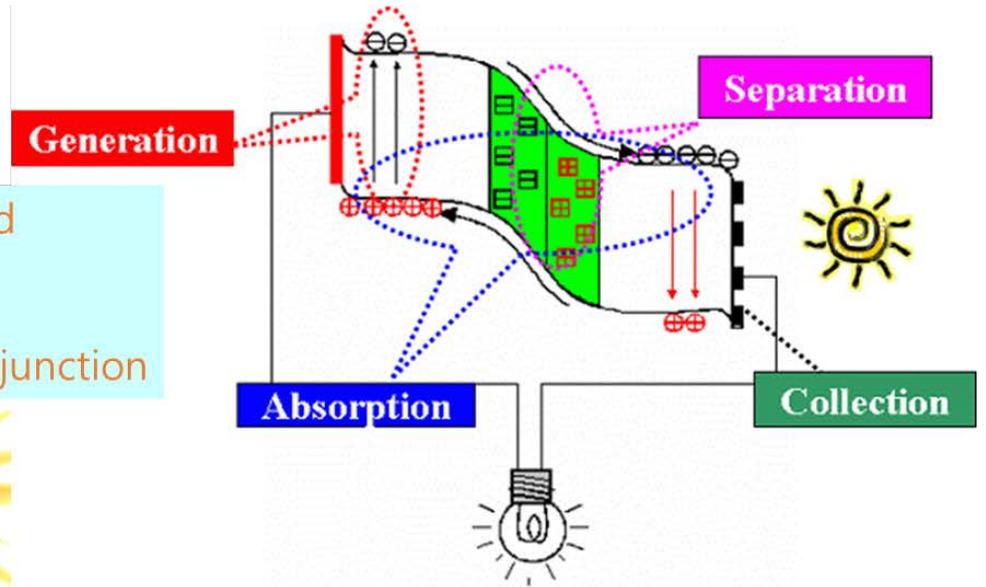
Helios (NASA)

태양광 산업의 밸류체인

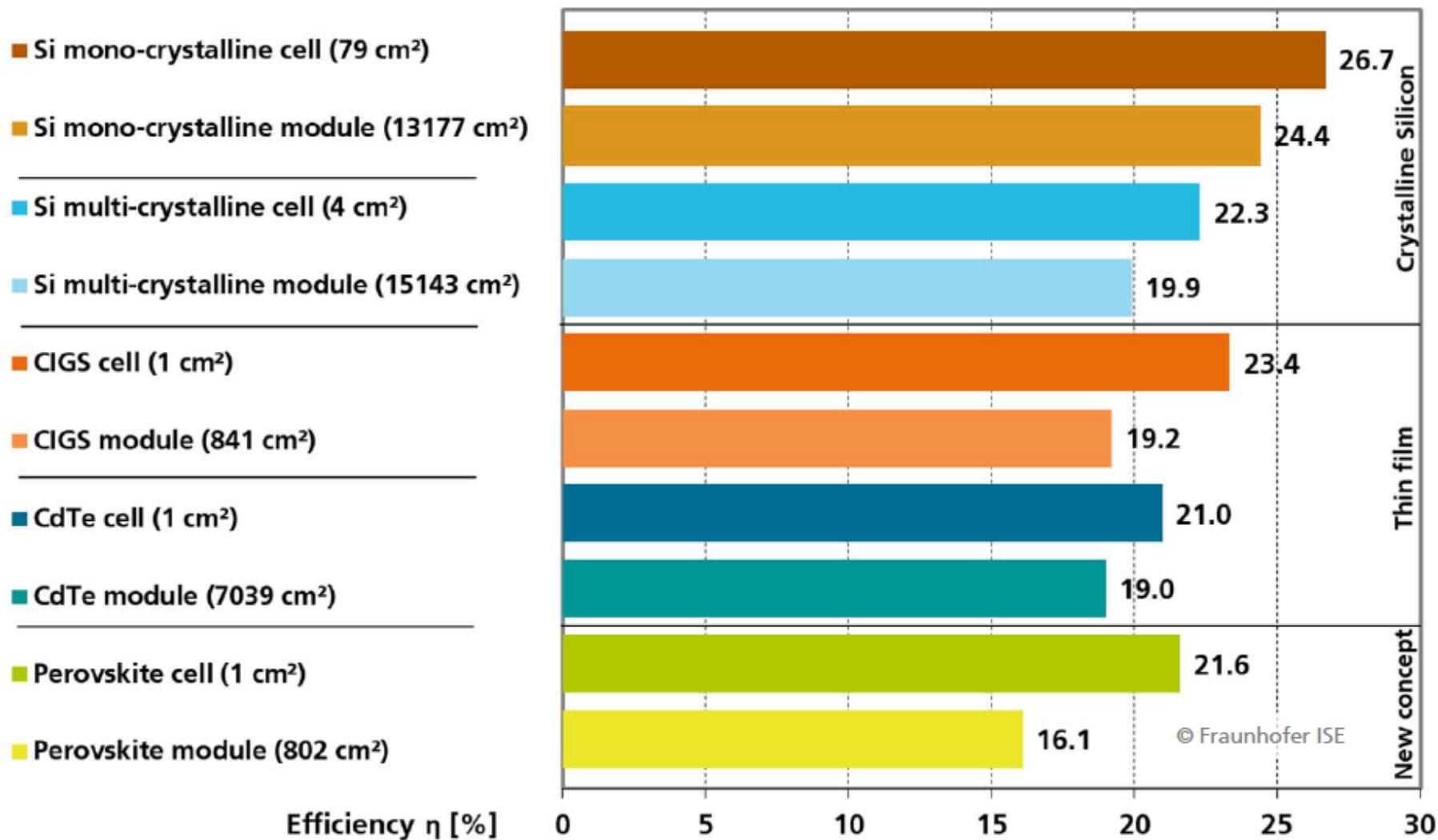


태양전지 작동원리

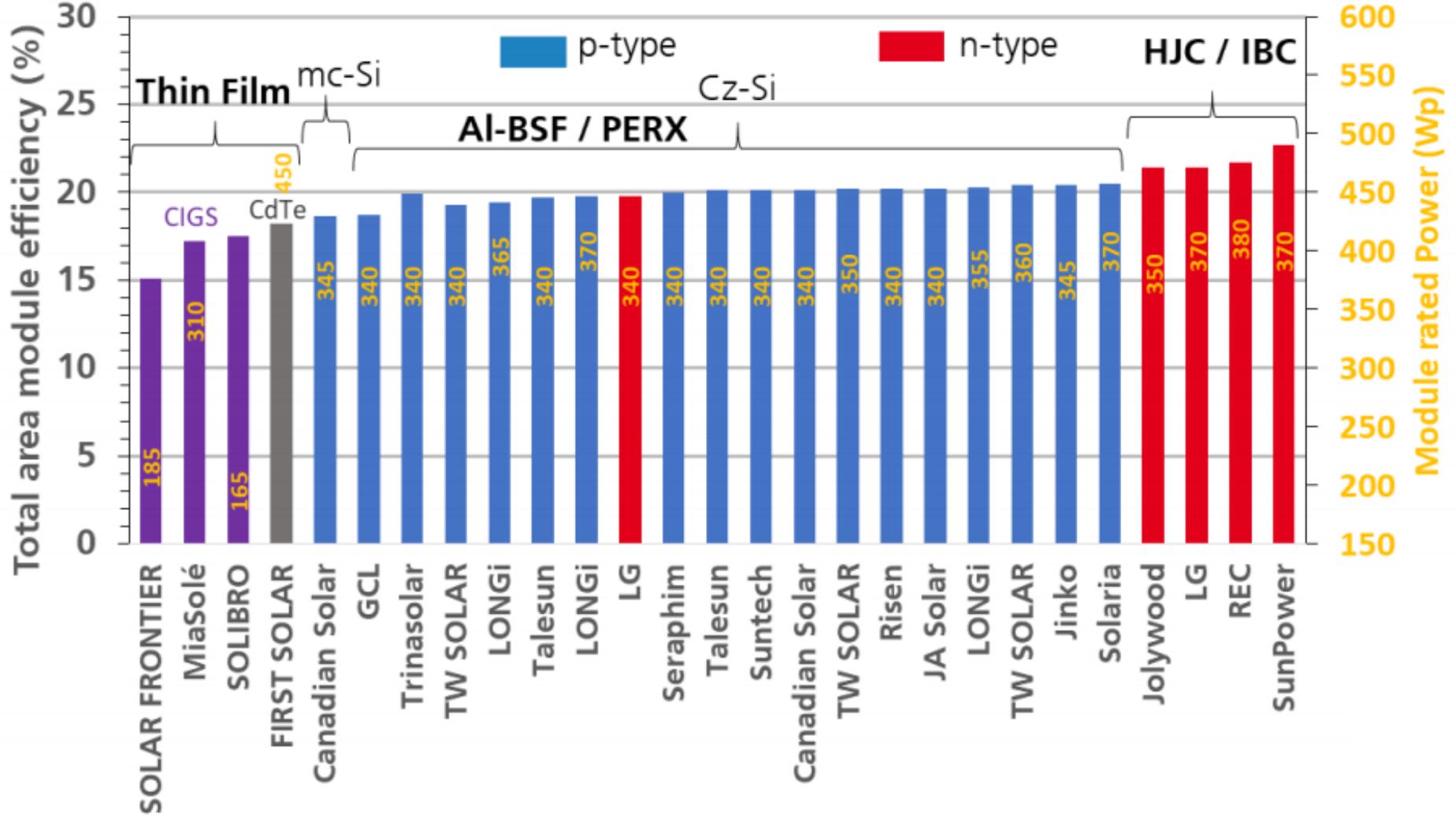
- photons with an energy $> E_G$ are absorbed
- electron/hole pairs are generated
- carriers diffuse to the pn-junction
- separation of electron/hole pairs at the pn-junction



태양전지 기술동향

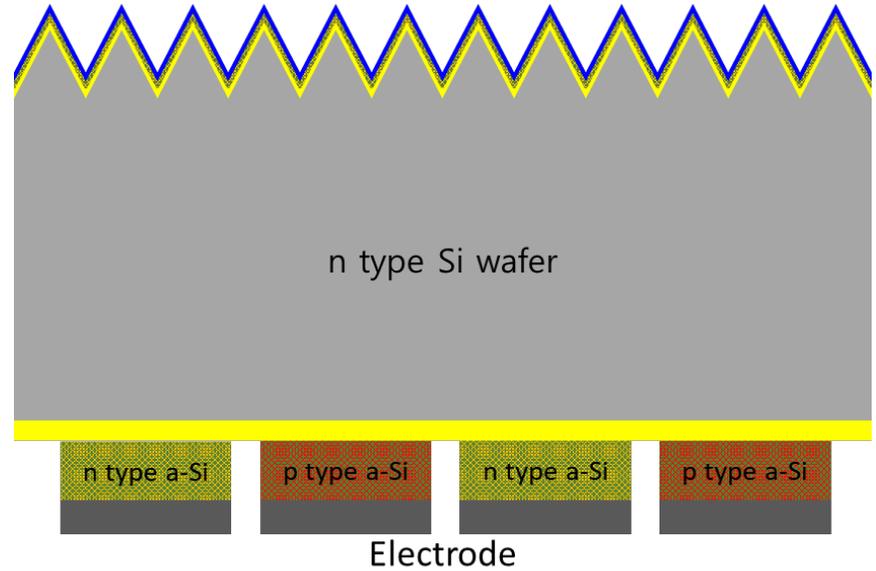
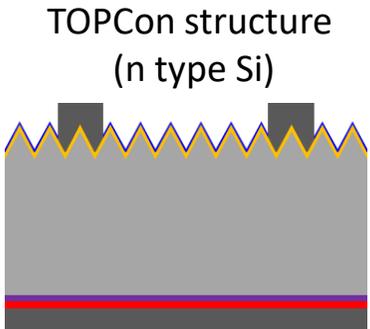
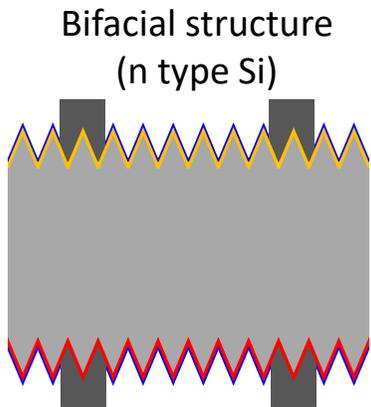
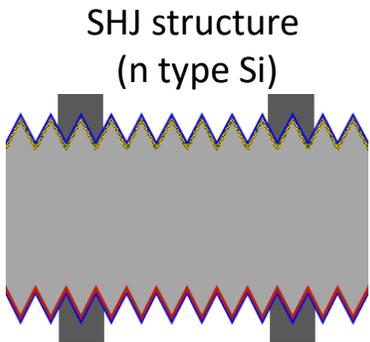
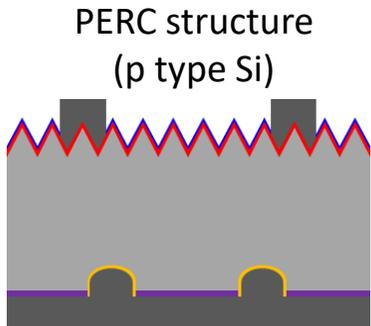
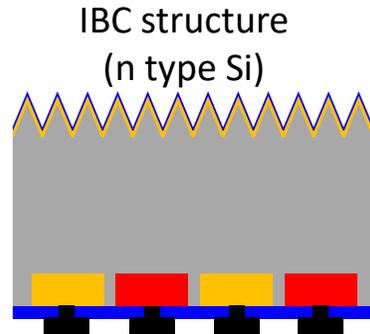
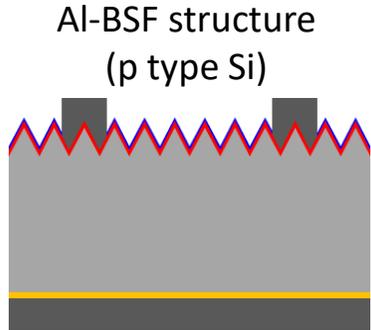


태양광 모듈 보급률

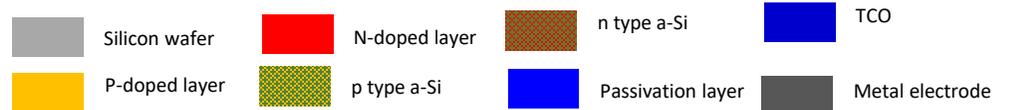


고효율 결정질 실리콘 태양전지

Al-BSF : Al Back Surface Field
 PERC : Passivated Emitter Rear Cell
 TOPCon : Tunnel Oxide Passivated Contact
 IBC : Interdigitated Back Contact
 SHJ : Silicon Heterojunction

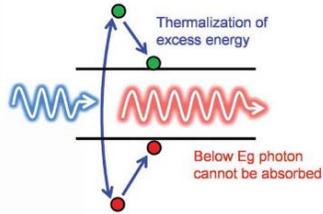
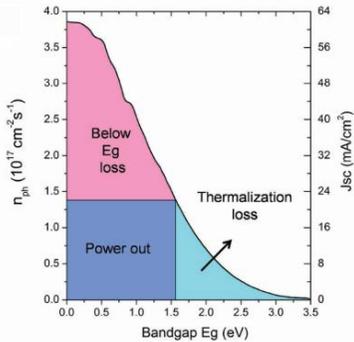


HJ-IBC structure, 26.7 %
(Kaneka, Japan)

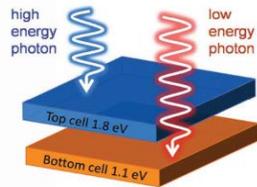
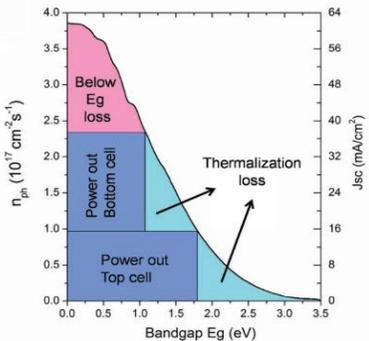


고효율 이중접합 태양전지 기술

Single-junction



Dual-junction



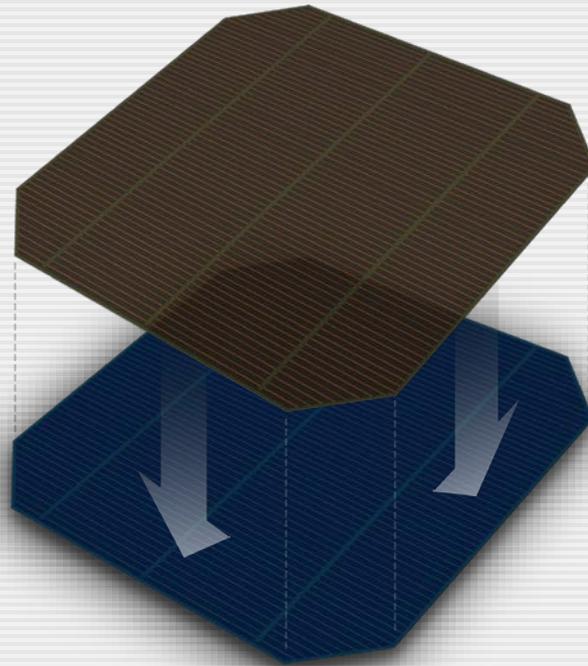
Adv. Energy Mater. 2017, 1602400

▶▶▶ 이론 효율

이중접합
44%

무한(infinite)접합
65.4%

▶▶▶ 높은 잠재성 & 높은 기술장벽



35%
효율 달성

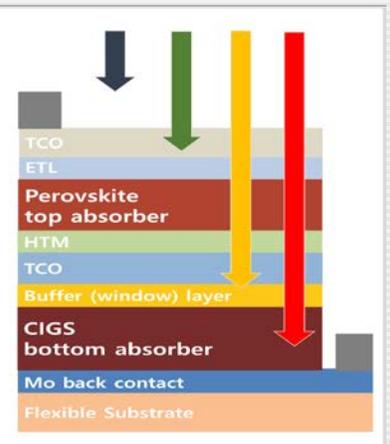
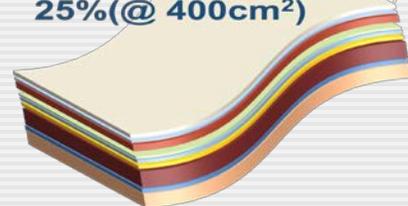
내구성
확보

제조단가
경쟁력 확보

공정 안정성
확보

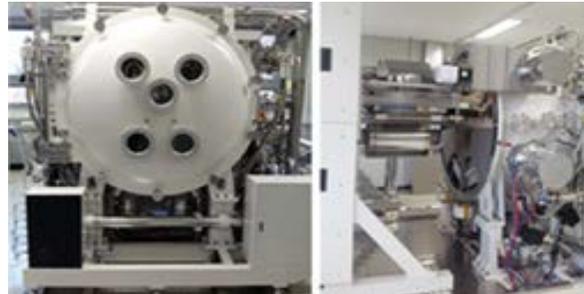
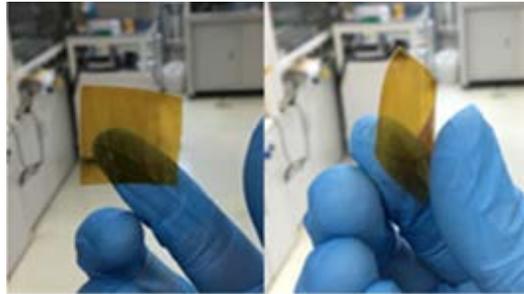
Flexible Perovskite/CIGS Tandem Device

효율
30% (@ 1cm²)
25% (@ 400cm²)



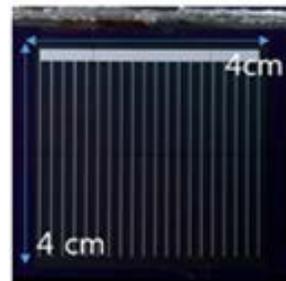
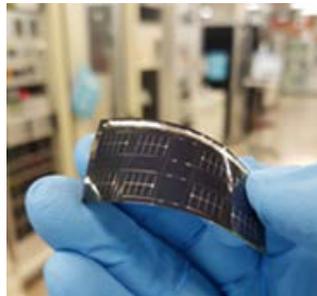
혁신기술 개발 플렉서블 태양전지 기술

유리기판에 코팅 후 ▶
lift-off한 폴리머 기판



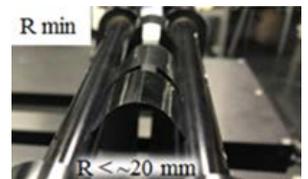
◀ 플렉서블 박막 태양전지
대면적화를 위한
R2R 증착 시스템

폴리머 기판 기반 ▶
플렉서블 박막 태양전지



◀ 대면적 박막 태양전지

▶ 플렉서블 태양전지의
물리적 내구성 확보를
위한 굽힘 특성 평가



| 경량 유연 박막 태양전지

| 경량 유연 박막 태양전지의 대면적화 및 신뢰성 평가

BIPV, BAPV, VIPV와 같은
생활밀착형 능동에너지원으로써
플렉서블 태양전지의 필요성 대두

폴리머 기판을 적용한
R2R 제조 공정 기반 대면적화 연구
및 모듈화를 위한 봉지재 연구

내구성 및 신뢰성을 갖춘
양산화 기술 확보를 통해
세계태양광 시장에서의 연구 위상제고

다기능 태양전지 기술

차세대 BIPV 제품은 기본적인 발전 성능 이외에 기능성, 심미성, 디자인요소를 고려해야 함.

Conventional BIPV



Rigid = Heavy
Standard & fixed



Ordinary
& Dry



Next Gen. BIPV

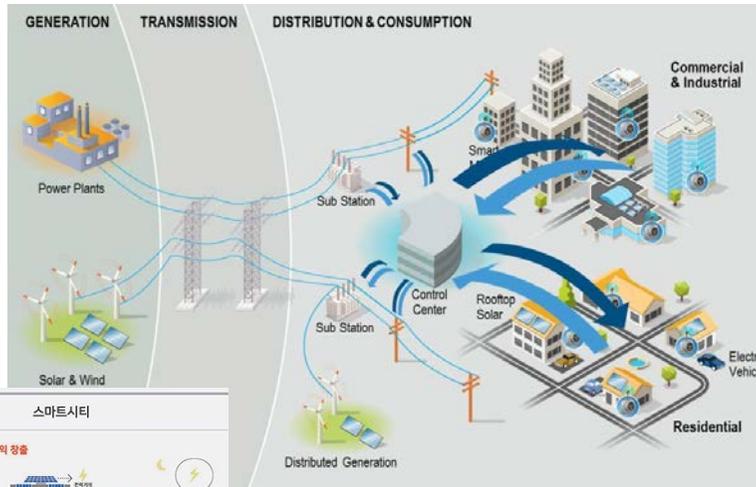


통합기술개발 스마트 에너지 시티(도시發電)

재생에너지 기반의 스마트에너지시티를 구축

에너지에 대한 새로운 통합관리체계 운영

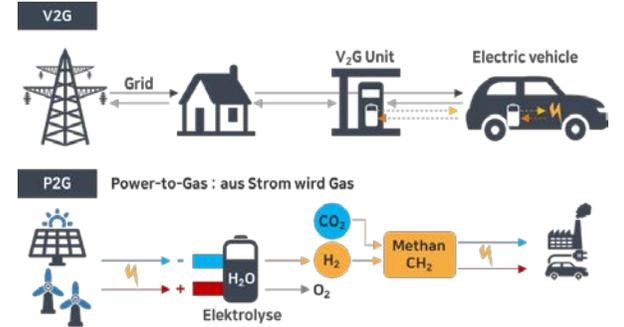
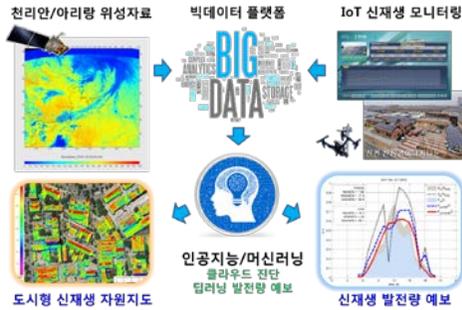
- 스마트 시티의 에너지 소비량 및 수요량 예측 & 실시간 예측 데이터를 이용한 에너지 공급량 예측
→ 수요량 맞춤형 에너지 공급 제어 기술 구현
- 기존의 열 및 전력 네트워크와 연동된 재생에너지의 통합제어로 에너지 저감효과 극대화
- 재생에너지 모니터링을 통해 수요 및 공급 최적화



▲ 스마트그리드의 예

▲ 재생에너지 기반의 스마트에너지시티의 예

통합기술개발 스마트 에너지 시티



도시형 태양광 모듈
(BIPV, VIPV, RIPV...)

재생에너지 발전량 예보 기술
IoT연계 통합 모니터링 기술

V2G, P2G 등 에너지 통합기술
(에너지 저장, 에너지 하베스팅)

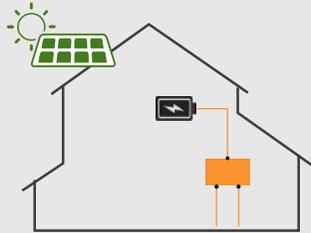


에너지 공유의 개념

▶ 에너지 공유 커뮤니티란?

공간에 대한 공유

- 건물 지붕, 유휴공간 등



건물 간 공유

- 서로 다른 에너지 생산/소비 패턴을 가진 건물 (주거, 상업, 공공건물)



설비에 대한 공유

- 생산** • 신재생에너지(PV, PVT 등), 지열 & 수열 히트펌프, 연료전지 등
- 저장** • 수축열조, ESS 등



공유 자원

전력 및 열 에너지 생산

넷제로
에너지커뮤니티

에너지 공유/거래

리모델링
패키지

시민 편익 증대

- 비용편익 증대

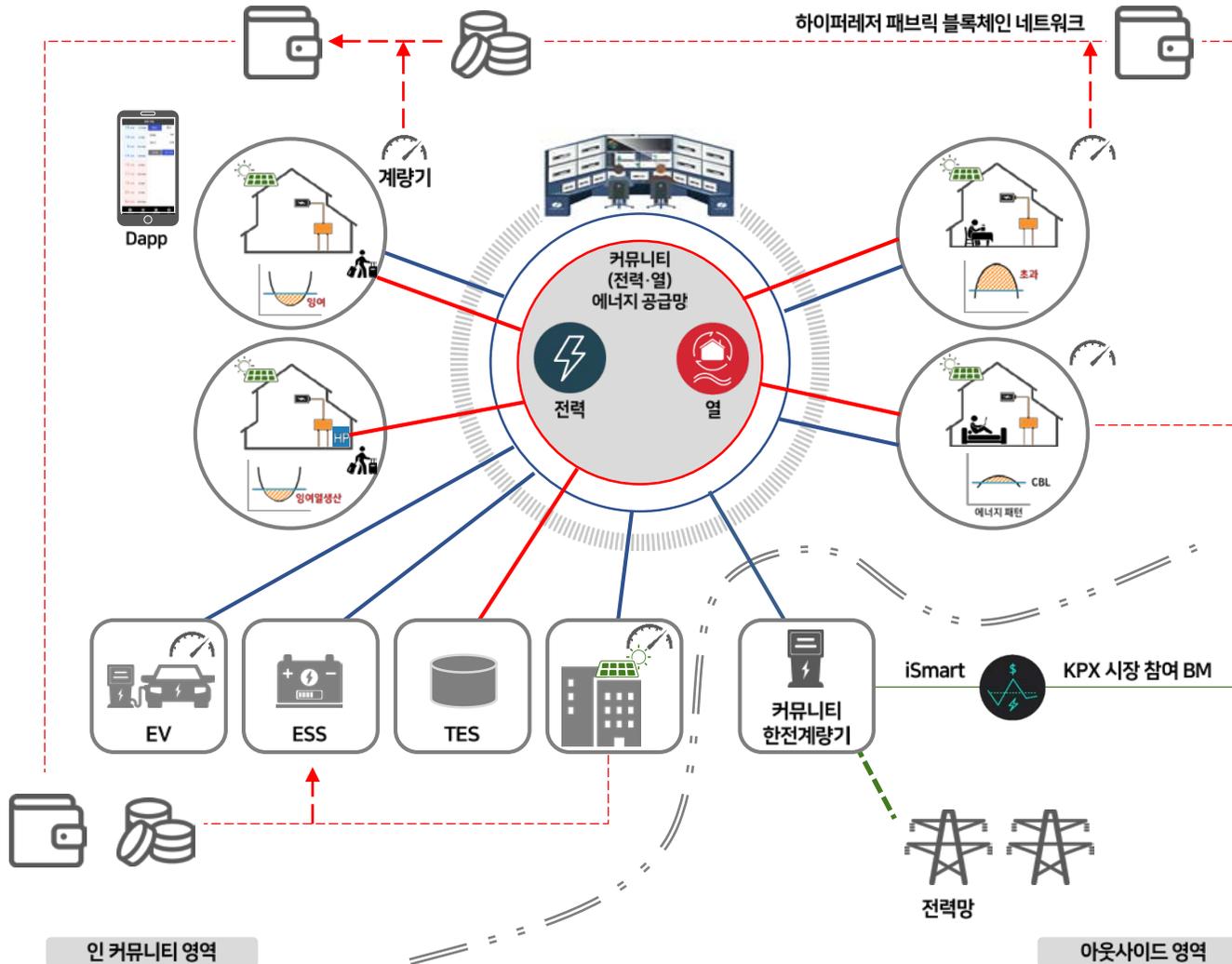
- 제로에너지 촉진

- 신재생에너지 수용성 향상

- 탄소중립

에너지 공유의 개념

▶ 블록체인 기반 에너지 공유 플랫폼 구현 및 생산-수요 에너지 공유 플랫폼 실증

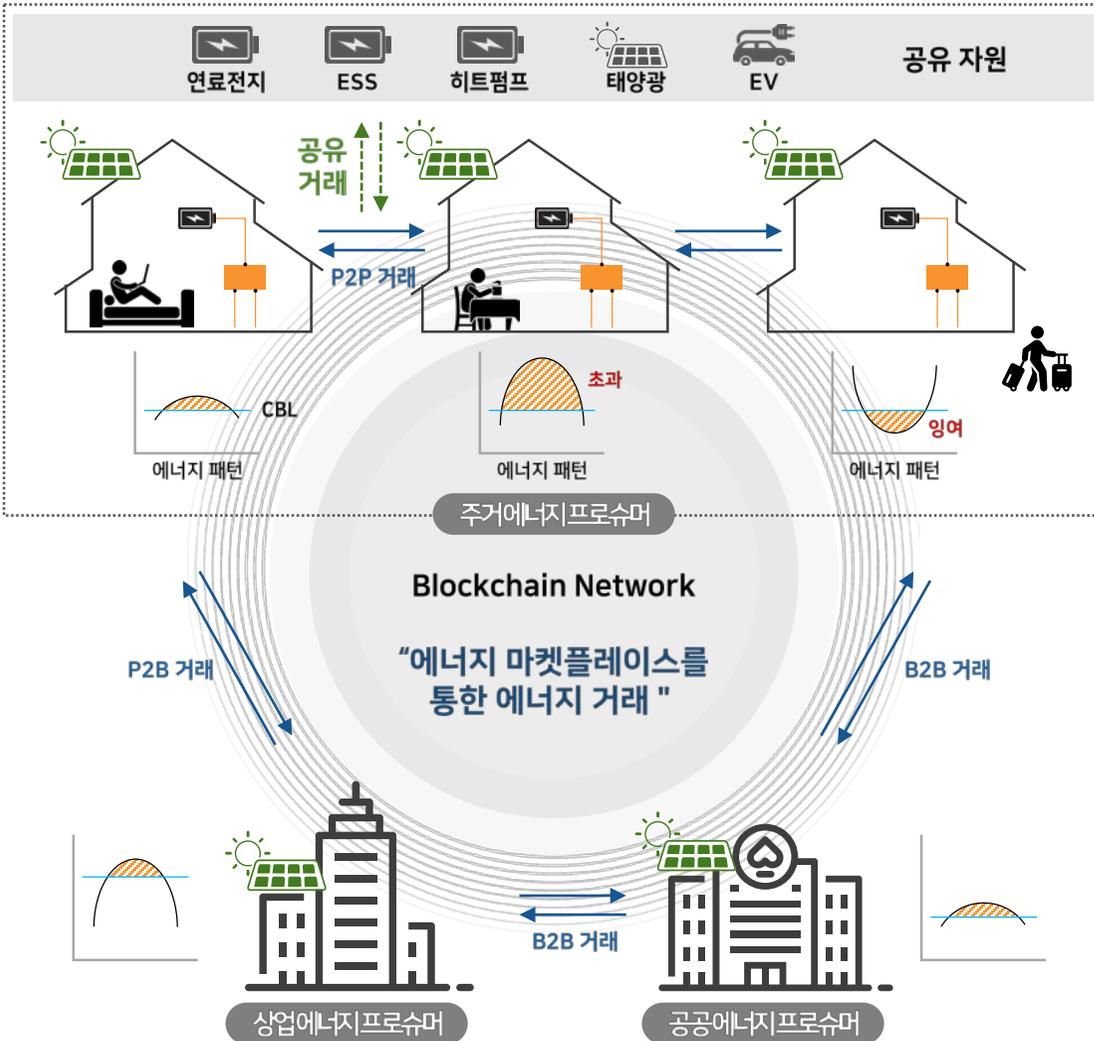


- 커뮤니티 블록체인 토큰 활용 잉여전력 판매
→ 규제 샌드박스 활용 현금거래
- 전기차 충전, 공유EV, 공유ESS 활용
- 클라우드 펀딩 생산 에너지 판매 공유
- 제로에너지 인증기준 Asset화 및 판매/공유
- P2H 냉난방 열에너지 프로슈머 BM
- ESS 요금제 관련(PV & ESS Pair tariff)
- 에너지 복지 바우처 관련 BM
- 신재생에너지(PV, CHP etc) 잉여전력 P2P, P2B 거래
- 개별, 건물 또는 EC 단위의 DR 시장 참여에 의한 이윤 창출
- EV, 드론 등 에너지 거래

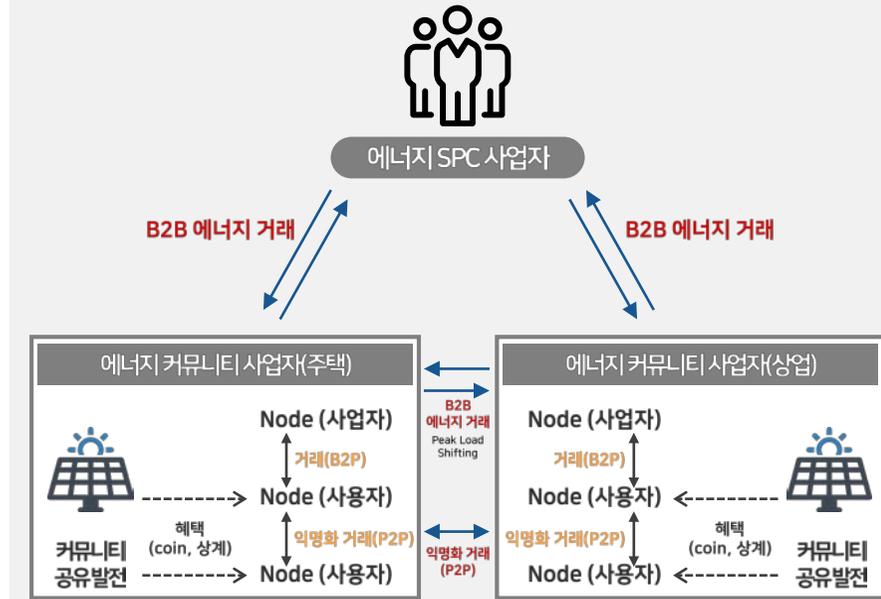


에너지 공유의 개념

블록체인 기반 에너지 공유 마켓플레이스 구현 및 비즈니스 모델 개발



에너지 거래 비즈니스 모델



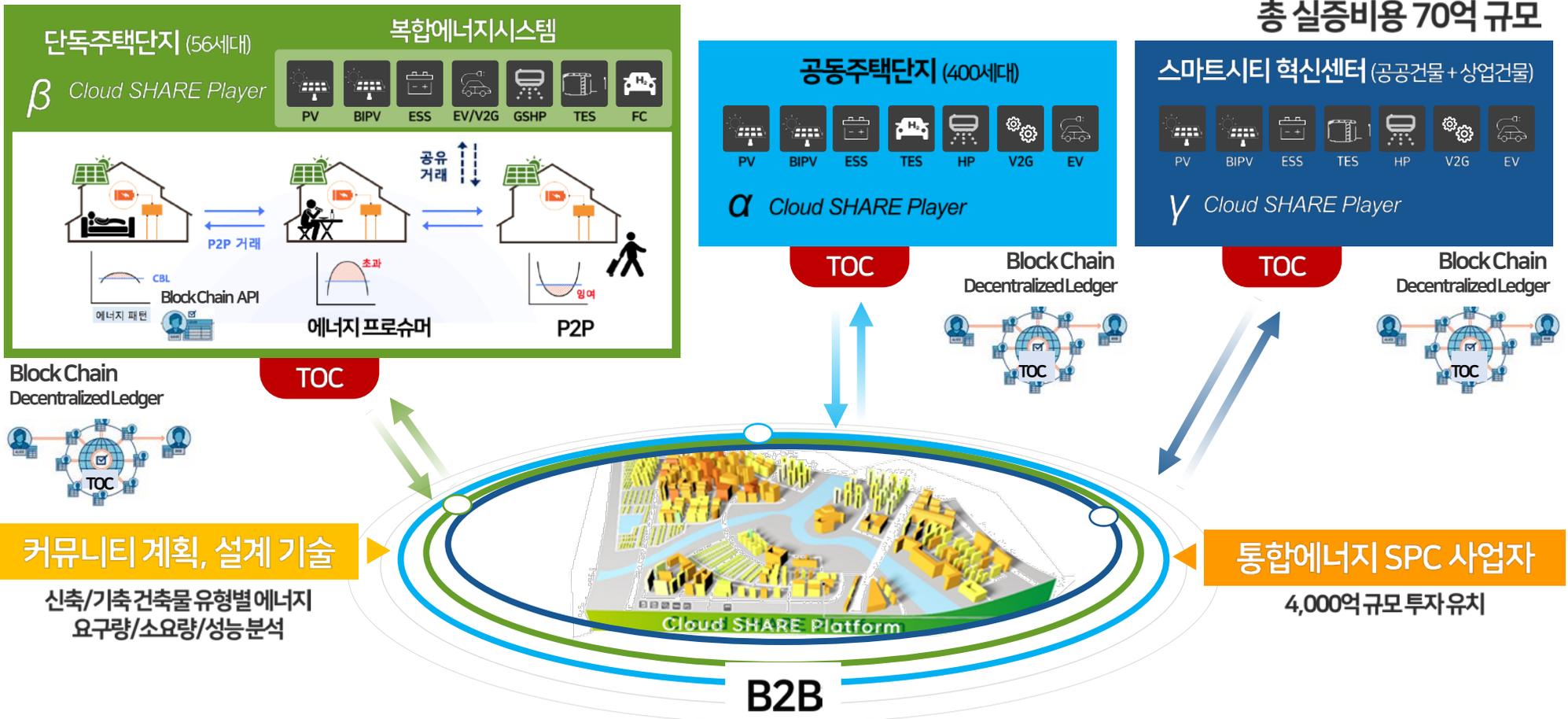
- 커뮤니티 참여자의 공용부에 설치한 자원 거래 방식
- 넷미터링에 의한 15분 이하 사용량 기반 (공유, 개별)
- 참여지분율(평수 or 크라우드 펀딩)에 의한 사전 코인
- 제공 또는 사용량에 의한 정산 등 다양한 방식 검토

에너지 공유의 개념

신축/기축(리모델링) 에너지 공유
커뮤니티 계획, 설계 기반 기술 개발

Cloud SHARE 커뮤니티
플랫폼 기술 실증

복합에너지 시스템 활용 Block Chain
기술 기반 에너지 공유(거래) 실증



공동주택 400세대
(원안, 위치 미정)

스마트 주차장
(대안 2, '21.12준공)

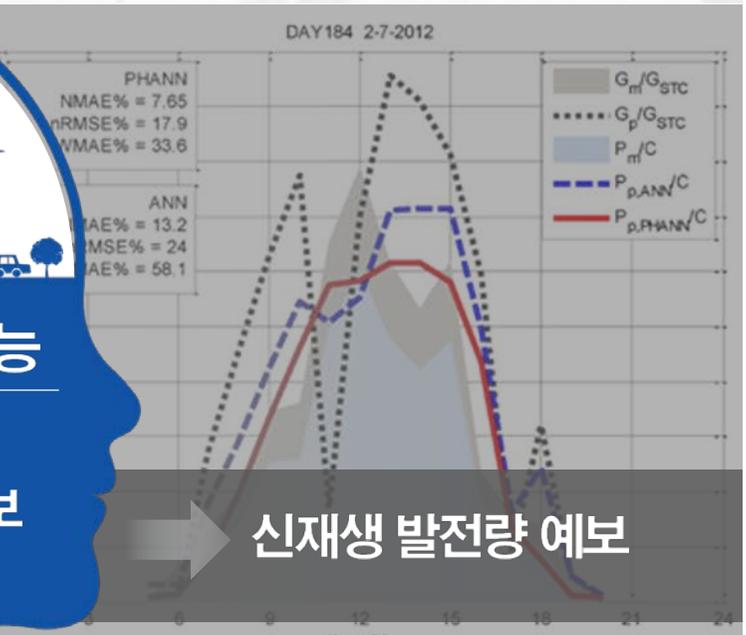
스마트빌리지 56세대
(원안, 확정)

스마트 정수장
(대안 1, '21.12 준공)

스마트혁신센터
(원안, 위치 미정)

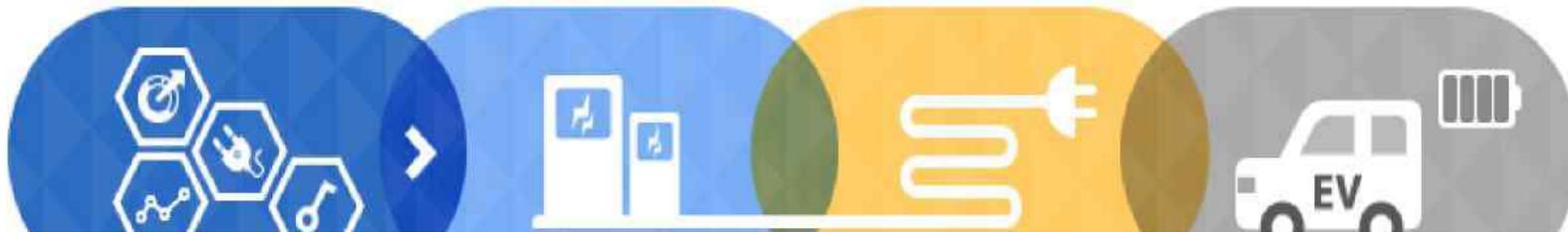
기술플랫폼

e-대동여지도



위성영상 기반 일사량 정확도 개선: **rRMSE < 10 %**

융합플랫폼 PV+ESS+EV 플랫폼 구축 & 개발



① 전력공급설비

② 충전기

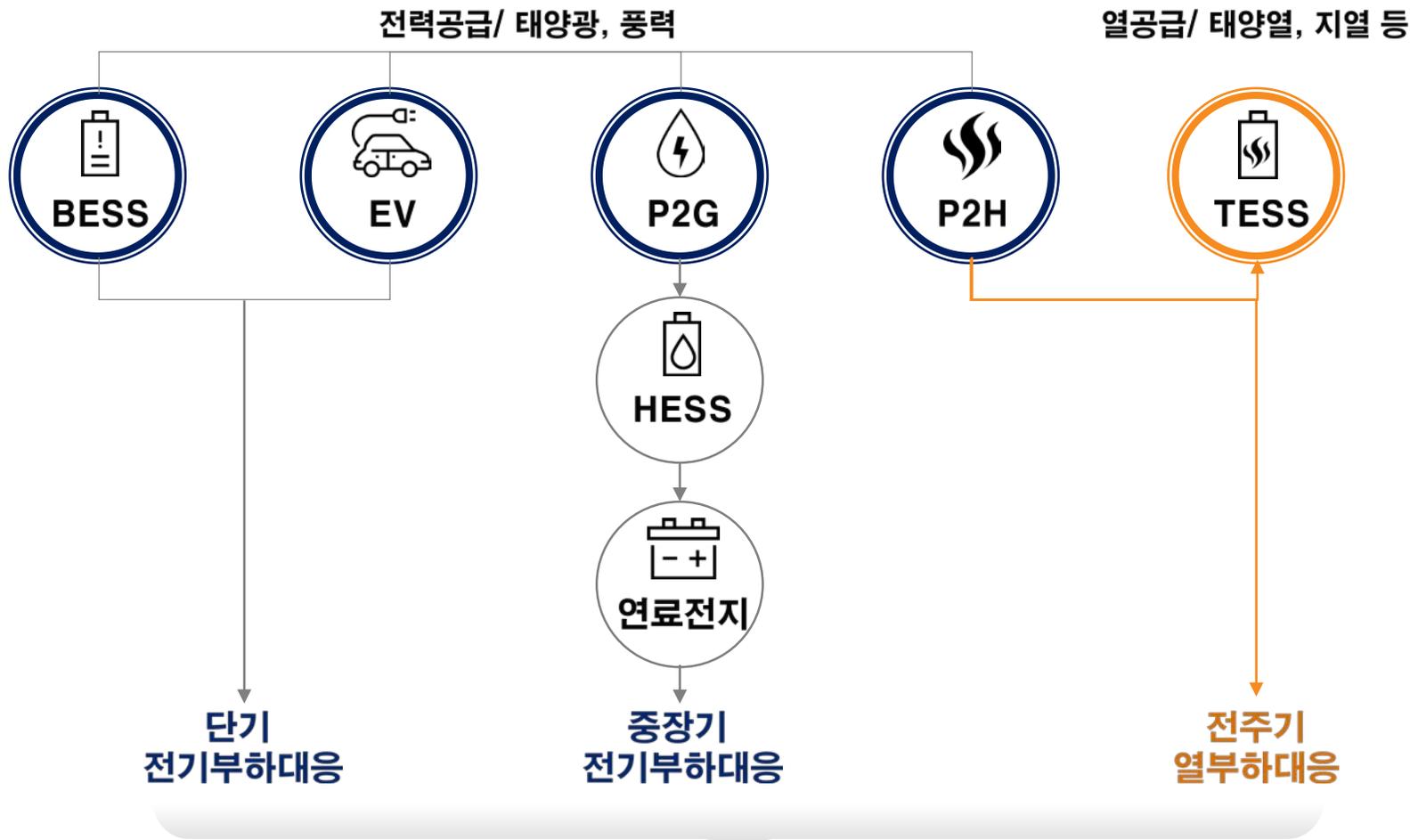
③ 인터페이스

④ 충전인프라

- 도심에 적합 EV(DC), PHEV(AC) 전원 공급 융합시스템
- PV+ESS+EV 시스템 표준화 및 인증

- PV+EV 전력 수요 정보시스템구축 전력망 운용 효율화

기술플랫폼 부하대응 에너지 저장 플랫폼 구축 및 운영



부하대응 저장시스템 운영기술 확보

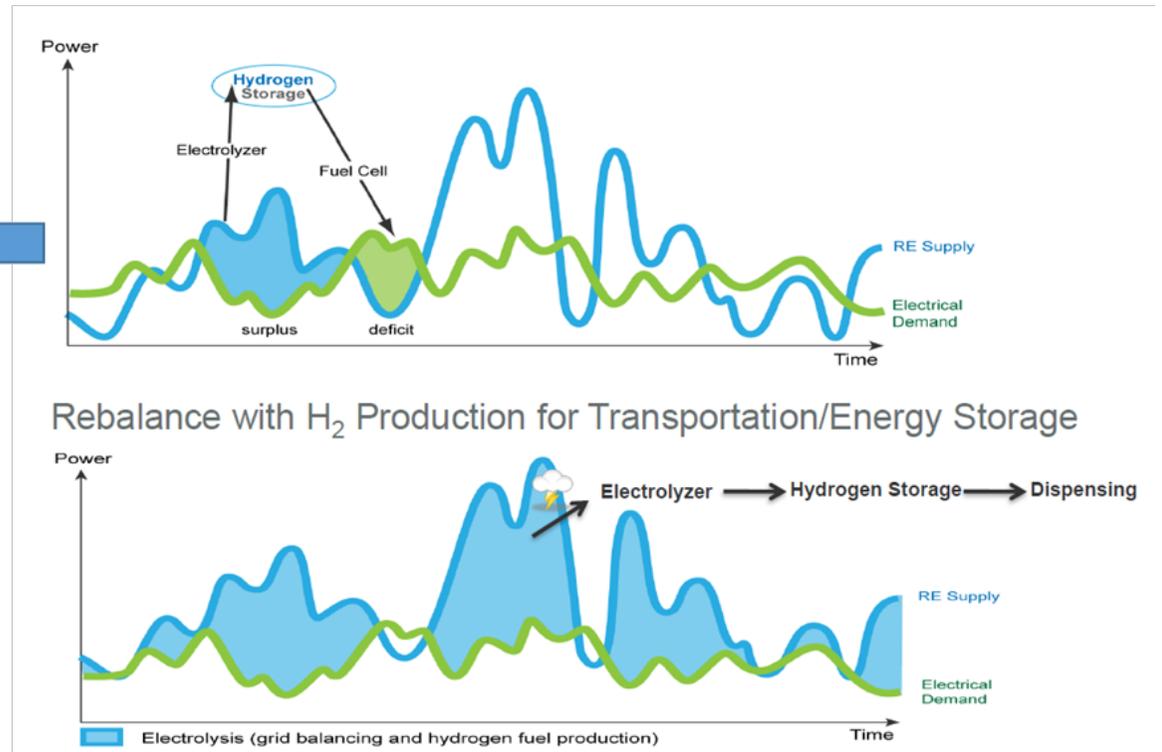
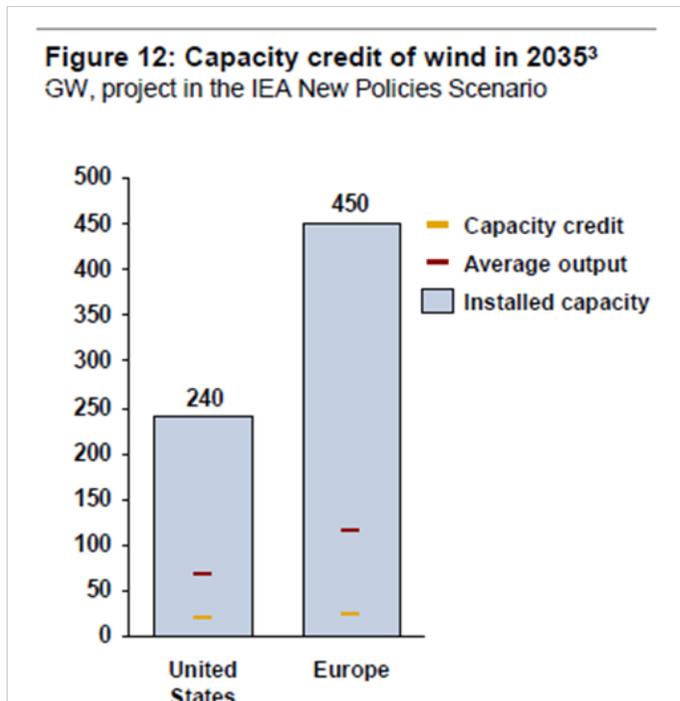
그린수소

□ 공급측면에서

- 재생전력의 Capacity credit 향상
- 대용량 저장

□ 수요측면에서

- 재생전력의 변동성을 흡수(저장/변환) 필요 시 전력소모를 하지 않는 시스템 필요



- 설비 용량 : 설비의 최대 발생 전력 용량
- 이용율: 설비 용량 대비 연평균 전력 발생 용량 (재생에너지 15-30%)
- Capacity credit: 특정 시간에 발전원으로부터 기대되는 발전 용량

출처: hydrogenics

융합플랫폼

신재생 열에너지 네트워크 실증



양방향 열네트워크 개념도

ST: solar thermal, GB: gas boiler, STES: seasonal thermal energy storage, TES: thermal energy storage, GSHP: ground source heat pump, HP: heat pump, AHP: absorption heat pump, FC: fuel cell

산업경쟁력확보 재생에너지 소부장 플랫폼 구축

고효율 태양전지 R&D 플랫폼

다양한 구조의 고효율 태양전지 제조 연구

양산 적용 가능한 공정 개발 테스트베드

태양전지 특성 분석을 위한 분석 기법 개발

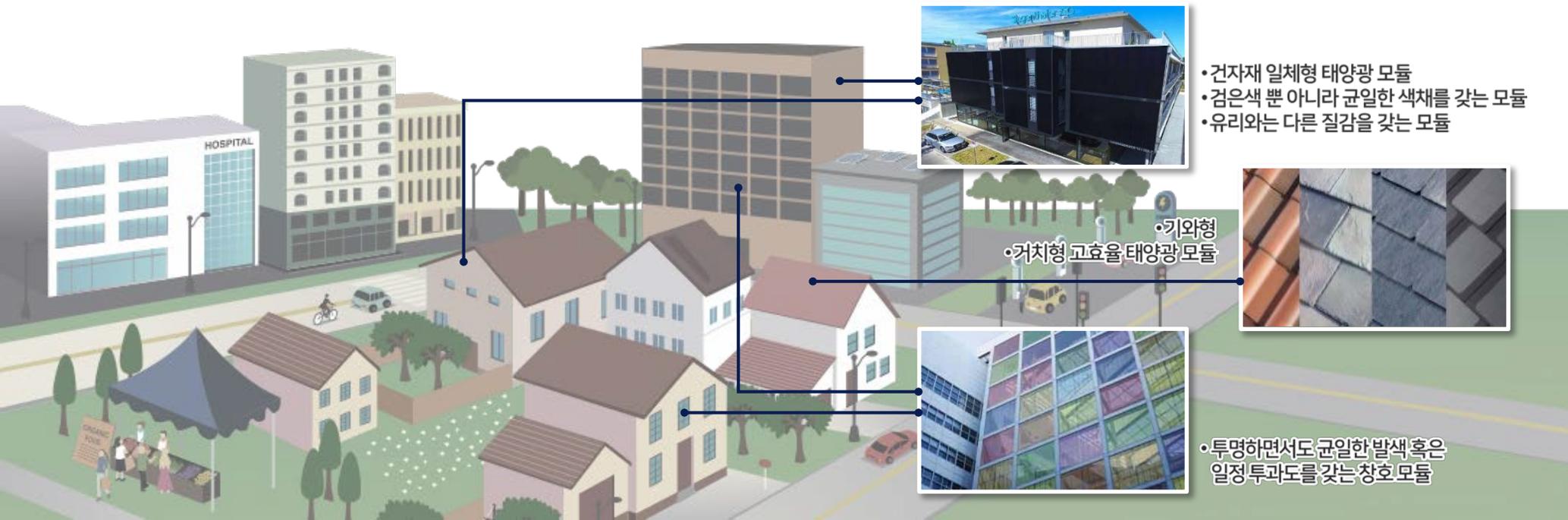


태양광 모듈 제조 및 성능 평가

양산 적용 가능한 모듈 제조 공정 개발

모듈의 내구성 및 신뢰성 테스트베드

국제 표준화 대응 가능한 성능 평가 기법 확립



산업경쟁력 확보 재생에너지 소부장 플랫폼 구축

태양광 기업공동활용 연구센터는 국내 태양광 소재·부품·장비·제품의 글로벌 경쟁력 확보를 위해 각 기업들이 개발한 제품의 제조 공정 및 성능을 **양산 전 단계에서 검증할 수 있는 플랫폼**을 의미

센터 구축의 범위 및 품목

- 태양전지 및 모듈 제조 기업, 소부장 기업의 요구를 동시에 만족시키는 장비 및 인프라 구축
- 100MW 급 라인 구축 (TOPCon, HJT, Tandem)
- 태양전지 및 모듈 업체, 소부장 업체의 양산성 검증
- 차세대 태양전지의 양산성 검증
- Smart Factory (제조공정, 분석) 개념 적극 도입
- 국제 공인 셀/모듈 성능평가 시스템 도입

PERC, TOPCon, HJT 제조를 위한 필요 설비 목록(예)

Texturing Wet station (표면처리장비)	Wet isolation (습식식각장비)	PSG/BSG etching Wet station (식각장비)	Barrier etching Wet station (식각장비)
POCl ₂ Doping furnace (확산공정장비)	BBr ₃ Doping furnace (확산공정장비)	p TOPCon(Boron) LPCVD (증착장비)	n TOPCon(Phosphorus) LPCVD (증착장비)
SiNx PECVD (증착장비)	Al ₂ O ₃ , SiNx PECVD (증착장비)	Barrier PECVD (증착장비)	
Intrinsic a-Si:H PECVD (증착장비)	p a-Si:H(Boron) PECVD (증착장비)	n a-Si:H(phosphorus) PECVD (증착장비)	
Laser equipment (레이저 장비)	Metalization (전극공정장비)		

차세대 태양전지 개발을 통한 국내 태양광 산업의 경쟁력 제고



기업공동활용 연구센터를 통해 국내 셀·모듈 및 관련 소재·부품·장비 제조 기업들이 상호 협력함으로써 **시너지 효과 창출**



국내 최고 전문가들의 역량을 결집하여 **원천기술 조기 확보**



세계적 수준의 성능·효율 측정 및 분석 기술을 육성하여 **국내 기업의 R&D 효율성 제고**



감사합니다.