바람직한 태양광 재활용 시스템 구축과 운영 현황

2022년 11월 23일

이진석 책임연구원

KIER 한국에너지기술연구원
KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH

CONTENTS

1 태양광 시장 동향

2 국내·외 정책

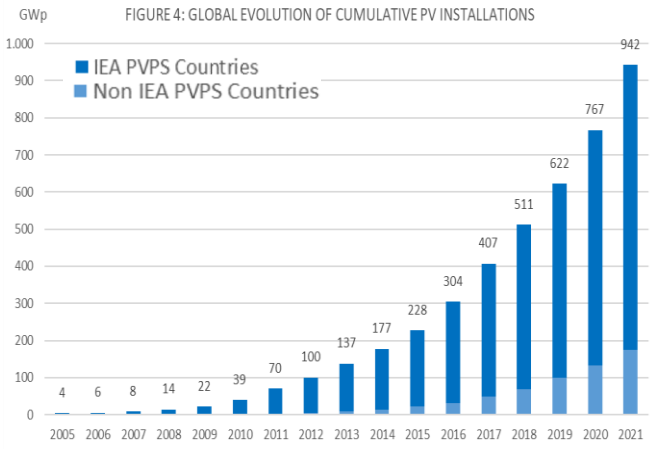
3 유럽 사례

4 재활용 및 재사용 동향

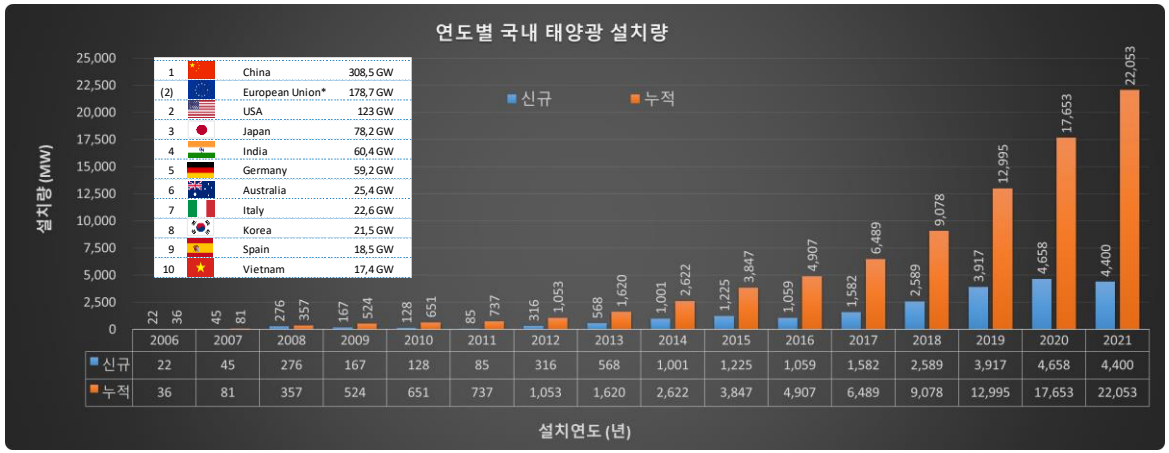
5 폐패널 철거 절차

태양광 발전 시장

전 세계 및 국내 태양광 설치량은 꾸준히 증가 추세



Source : IEA-PVPS



Source : 한국에너지공단

태양광 발전소

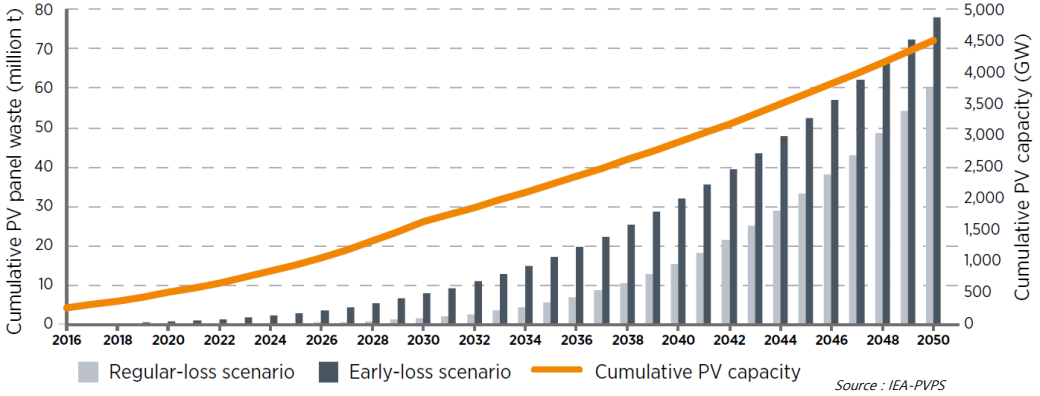
기대수명 존재 (20~30년)

향후 전량 폐기물화

태양광 폐기물 발생

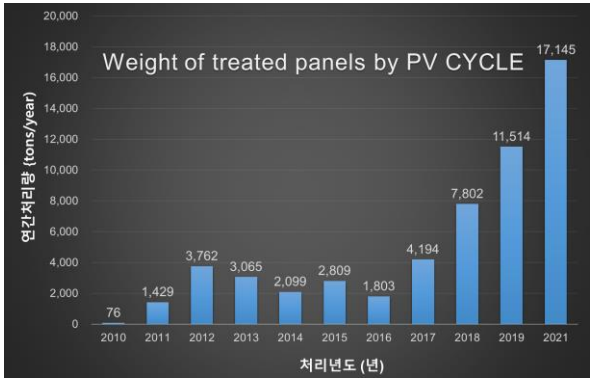
태양광 폐패널 국내·외 시장 현황

세계 시장



Source : IEA-PVPS

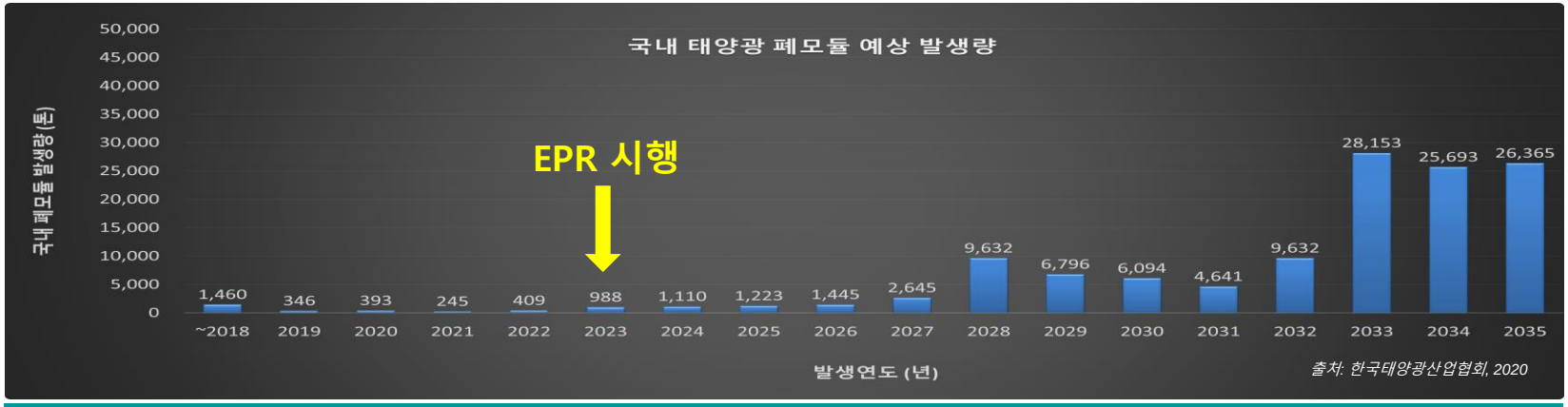
- **62,317 tons by PV CYCLE since 2010**



Source : PV CYCLE

- 전 세계 태양광 폐모듈 `30년 최대 8백만톤, `50년 78백만톤 발생 등 급격한 증가 예측
- 유럽의 대표적 폐패널 처리 기관인 PV CYCLE의 처리 실적 지속적 증가 추세 (`21년 17,144.9톤 처리)

국내 시장



- 국내 `22년 연간 409톤, `23년에는 988톤, `24년부터 연간 1,000톤 이상 꾸준히 발생 추정
- `2023년부터 태양광 폐패널 재활용 의무화 (EPR) 제도 시행

태양광 폐패널 재활용 국내·외 제도

유럽현황

Aug. 2012, WEEE Directive(2012/16/EC)

	연간 수거 목표	연간 회수/재활용 목표
기존 WEEE 지침	인당 4kg	75% 회수, 65% 재활용
개정된 WEEE 지침 '16년까지	인당 4kg	75% 회수, 65% 재활용, 3년 후 5%씩 증가
개정된 WEEE 지침 '16년에서 '18년까지	시장 진입량의 45%	80% 회수, 70% 재사용/재활용
개정된 WEEE 지침 '19년부터	시장 진입량의 65% 또는 발생한 폐기물의 85%	85% 회수, 80% 재사용/재활용

(유럽) 이미 법제화 시행 중

유럽 개별국	법제화 시점
Luxembourg	1 August 2013
Austria	1 July in 2014
Belgium	22 September in 2014
Bulgaria	1 January in 2014
France	22 August in 2014
Greece	9 May in 2014
Italy	12 April in 2014
Netherlands	14 February in 2014
UK	1 January in 2014
Croatia	2 April in 2014
Czech Republic	1 October in 2014
Denmark	12 February in 2014
Ireland	29 March in 2014
Portugal	7 May in 2014
Germany	24 October in 2015

Source: IEA-PVPS

미국현황

EPA(Environmental Protection Agency)는 폐기물에 대한 자원화 정책으로 매립 가스 자원화 정책, 장기 폐기물 관리 정책, 폐기물 감량화 정책을 추진 및 지원하지만, 국가 차원의 태양광 폐패널 규정은 없음

- 태양광 폐패널 회수 및 재활용 관련 연방 정부의 법 또는 규정은 아직 없지만, 주 정부와 산업체 중심으로 재활용 관련 정책 수립
  - (워싱턴 주) 모든 태양광 패널 제조업체에 생산자책임재활용제도(Extended Producer Responsibility: EPR)을 시행하며, 2023년 7월부터 제조업체가 주 내에서 2017년 이후에 판매된 태양광 패널의 회수 및 재활용을 할 수 있도록 자금 지원하며 최종 소비자에게 부담을 주지 않는 정책을 시행
  - (캘리포니아 주) 태양광 폐패널의 수집, 재사용, 재활용 시스템 구축을 장려하기 위한 목적으로 2015년에 규정을 발의하고 범용 유해 폐기물로 관리할 수 있도록 2021년에 통과함

Source: KISTEP, 2021

태양광 폐패널 재활용 국내·외 제도

아시아현황

(일본) 2002년 「순환형사회형성추진기본법」을 제정하여 가전, 자동차, 산업폐기물 등 개별물품의 특성에 따라 개별법을 만들고, 이를 준수하기 위한 기본계획을 수립함

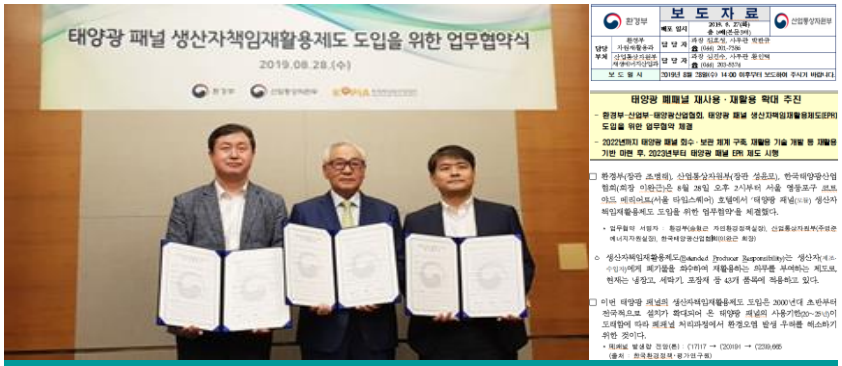
- 기본계획은 총 물질투입량, 자원채취량, 폐기물 발생량 등의 억제, 재사용, 재생이용을 통한 천연자원 소비 억제와 환경부하 저감을 목표로 추진
- 2015년 경제산업성과 환경성은 재생에너지 설비 사용 후에 대한 수거, 재활용, 적정처리를 위한 전략 로드맵을 수립하고, 기술 R&D, 친환경적 설계, 사용자 대상 해체·운송·처리·홍보 등의 내용을 포함하고 있음

(중국) 2009년 「순환경제촉진법」을 제정하여 폐기물 감량, 재활용, 자원화 활동을 규정하여 추진하였지만, 태양광 폐패널 규정은 없음

- 2011년에 전자폐기물(e-waste) 회수 및 재활용 관련 규정은 수립되었지만, 태양광 폐패널은 포함되어 있지 않아 현재 관련 규정은 없음

Source: KISTEP, 2021

국내현황



(`19년8월) EPR 제도 도입을 위한 정부와 업계간 업무협약 체결

「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 일부개정 (`19년12월)」

구분	재활용의 방법	재활용의 기준	
		공통 기준	제품군별 기준
태양광 모듈	해체, 선별, 파쇄 등의 중간처리과정을 거쳐 재사용가능부품을 재사용하거나 소재별로 분리하여 재활용하여야 한다.	-	가. 모듈에서 회수한 유리, 알루미늄, 셀(Cell) 등에서 유출된 중금속(크롬, 6가크롬, 구리, 카드뮴, 납, 비소, 수은)이「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」제6조제1항제7호의 폐기물 공정시험기준에서 정한 지정폐기물에 함유된 유해물질 기준치 미만으로 관리되어야 한다. 나. **재사용·재활용하는 비율이 80% 이상이어야 한다.**

2023년부터 태양광 폐모듈 80% 재활용 의무화

유럽의 태양광 폐패널 처리현황

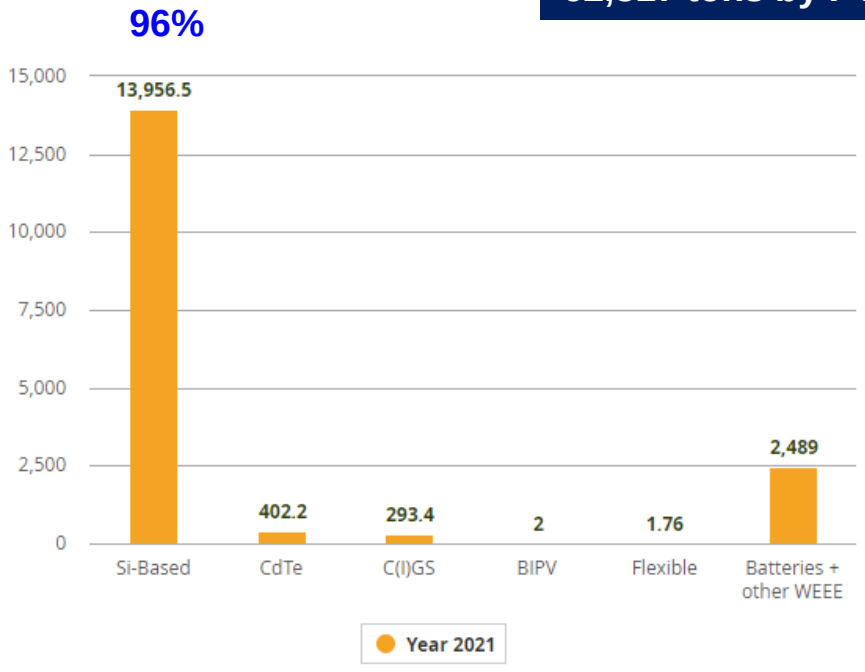
PV CYCLE (2007년 설립 비영리단체)

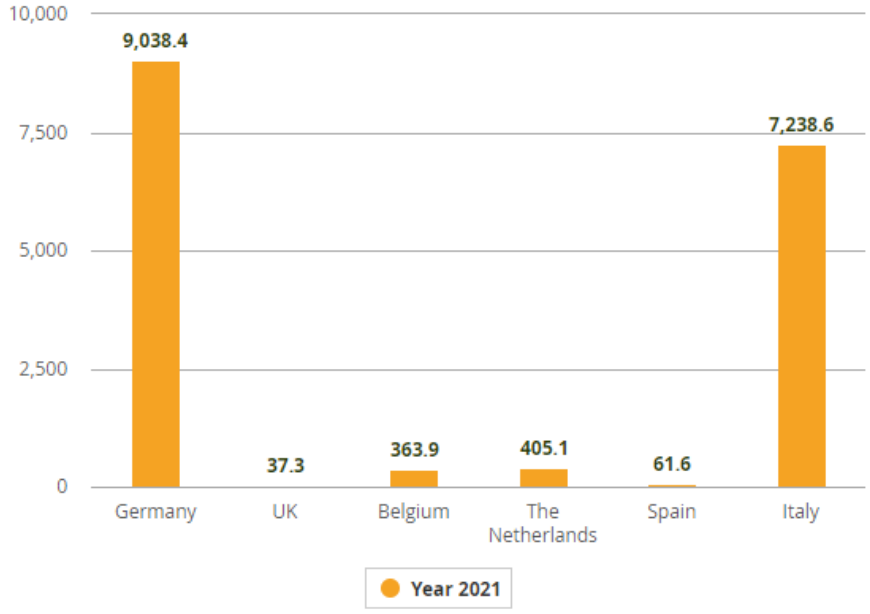
PV CYCLE
www.pvcycle.org

take e way
for an easy way

Wecycle

62,317 tons by PV CYCLE since 2010



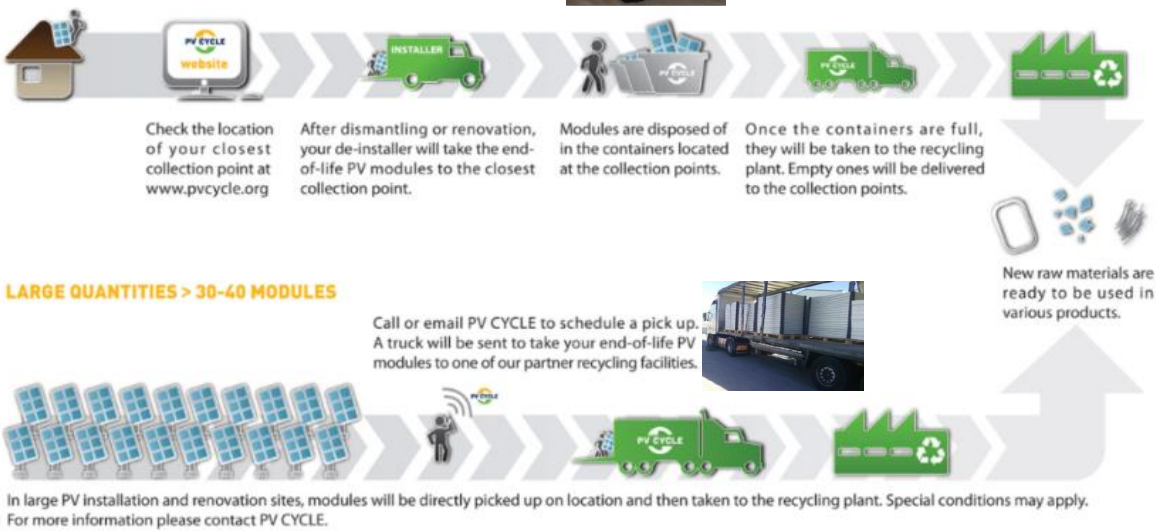


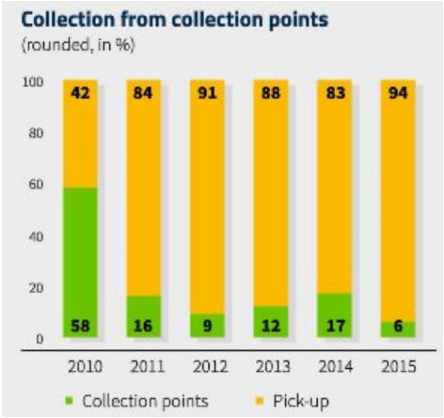
- `21년 처리실적 기준, 결정질 실리콘 태양광 패널이 96% 차지 (CdTe는 우리나라 해당 사항 없음)
- 유럽 내 처리 국가를 보더라도 폐패널 발생은 패널 설치량에 비례 (필수 대응 산업)

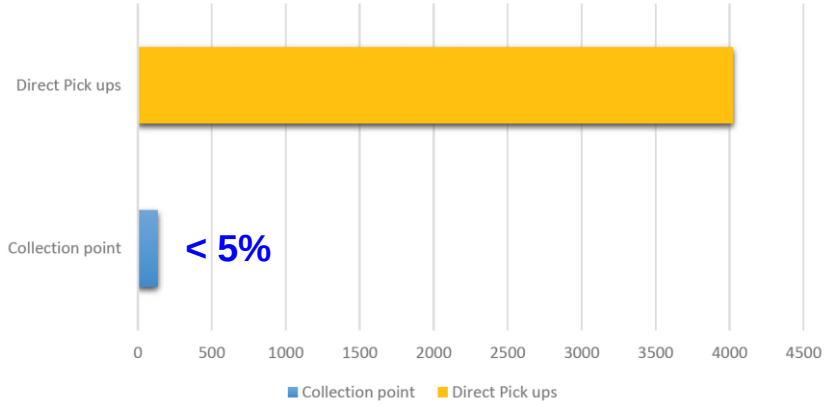
유럽의 폐패널 회수 시스템

PV CYCLE의 회수 체계

via own or municipal collection points





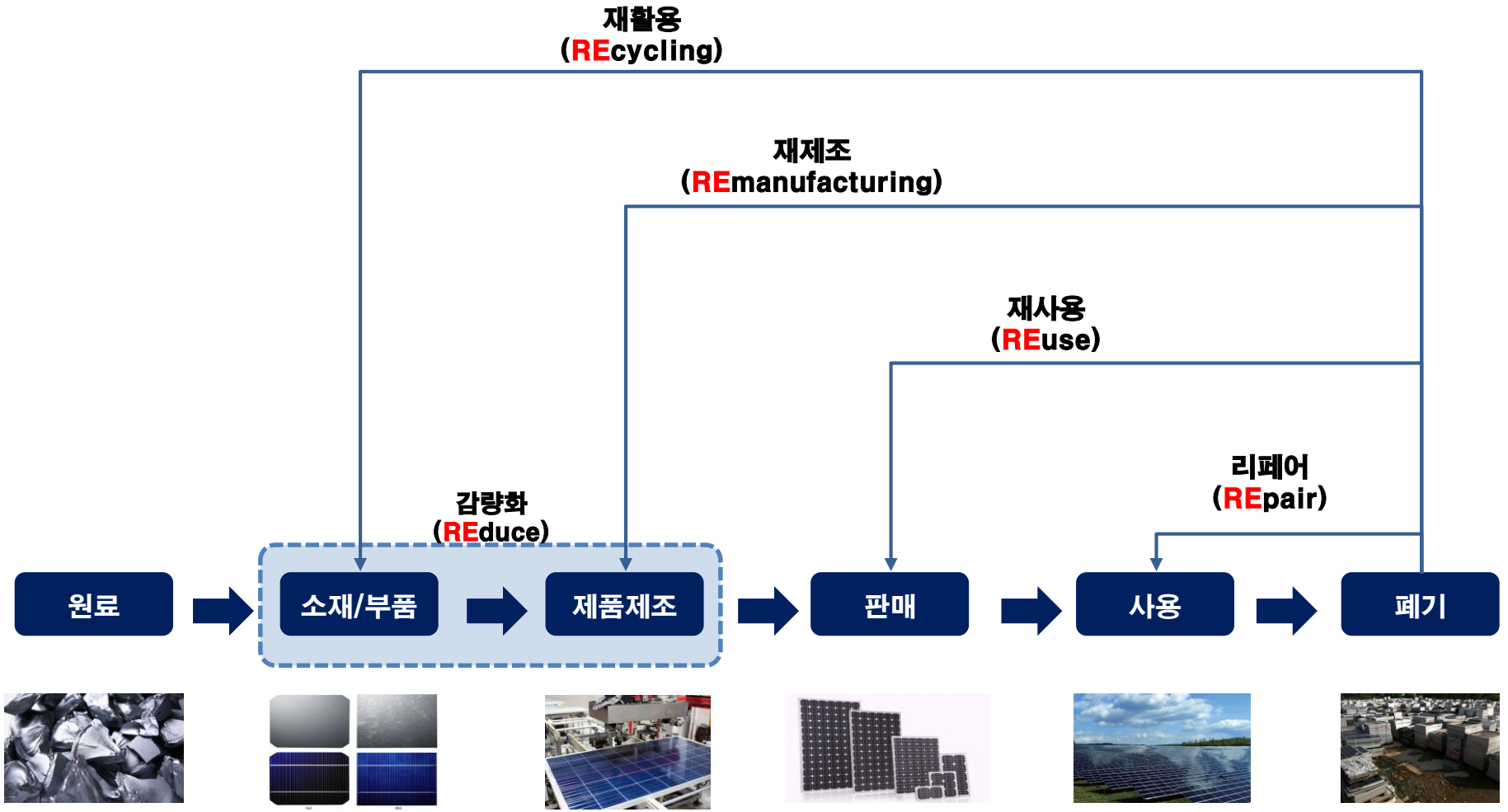


- 소량 배출·회수 실적은 전체 회수량의 5% 이하. 발전소로부터 대량 배출 물량이 회수 실적 결정
- 우리나라 `20년 용도별 누적용량 470,450kW 기준 가정용 태양광은 전체의 7.9% (37,296kW) 차지 (`21년 보급통계)

태양광 폐패널 사후관리 방식

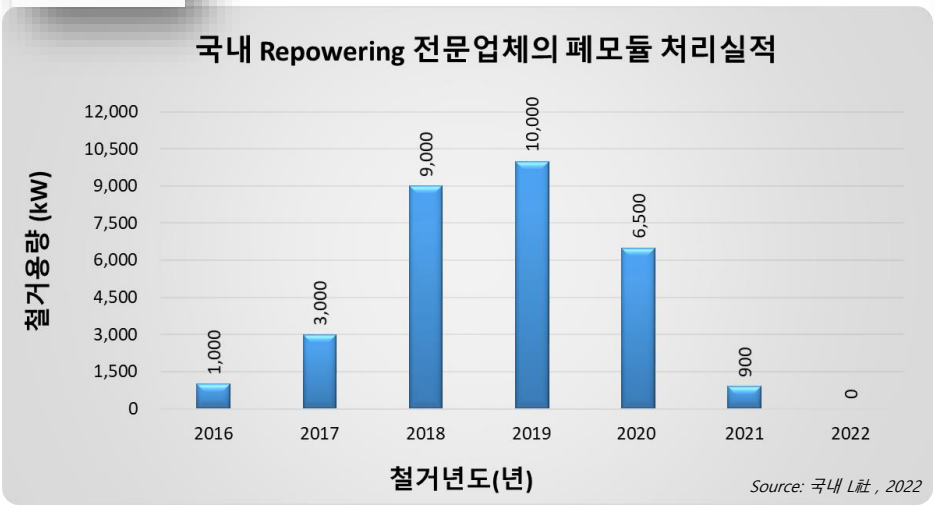
순환경제 5REs

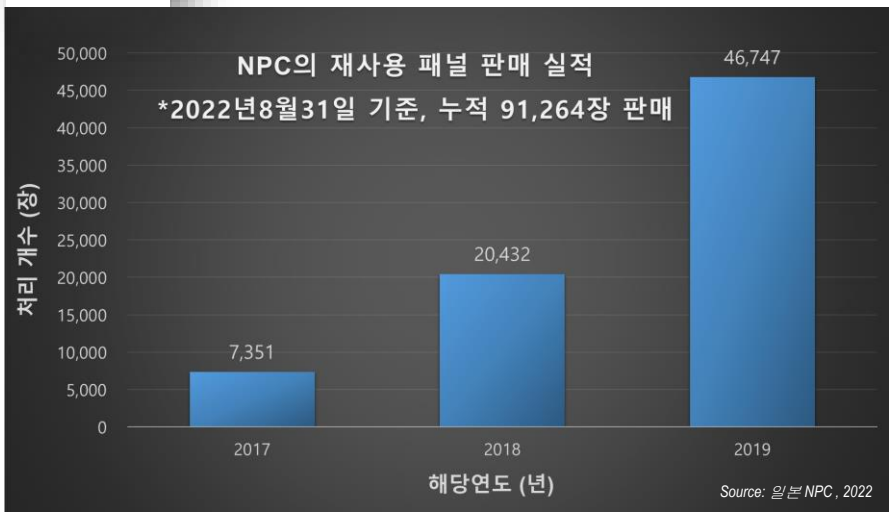
환경적/경제적 우선순위 : 감량화 > 리페어 > 재사용 > 재제조 > 재활용



우리나라와 일본의 재사용 모듈 시장

재사용 모듈 시장변화





- (우리나라) `19년도까지 Repowering 시장 성장으로 재사용 모듈 시장도 급격히 성장하였으나 `20년부터 축소되고 있음
- (일본) `19년도까지의 재사용 실적이 `22년 8월 31일까지 누적실적이 81.7%에 해당. 우리나라와 마찬가지로 `20년부터 축소되는 경향을 보임

재사용 모듈 해외 이용 사례

재사용 모듈 해외 사례

구분	에코모듈 설치사례1	에코모듈 설치사례2
발전소 사진 (파키스탄, Nawab Shah 지역)		
용량	4.2kW	10.9kW

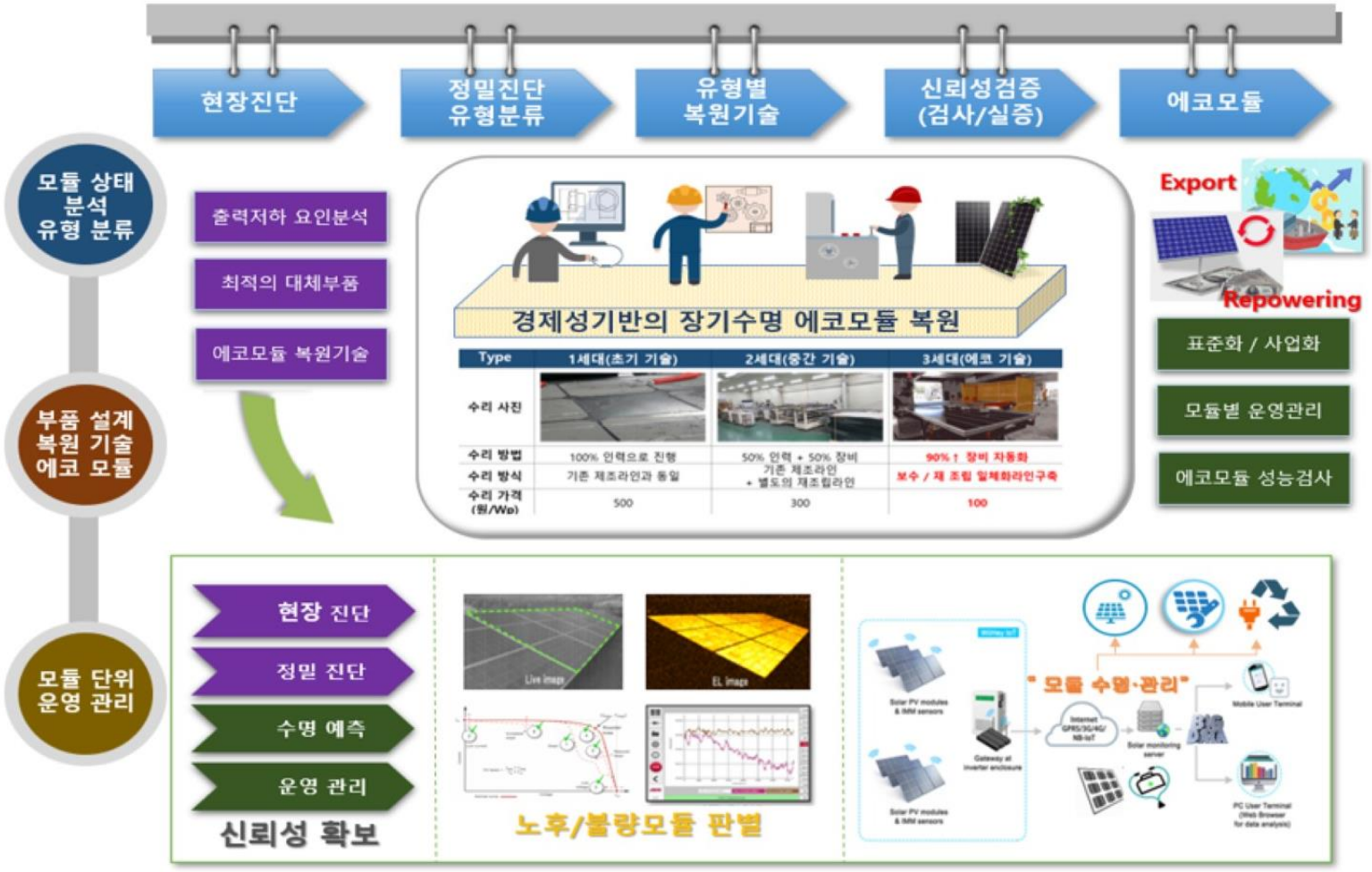
Circusol

(PV CYCLE & imec in CIRCUSOL 프로젝트) RE-USE 모듈 실증과 기술적 타당성 평가 중

- 해체 현장에서 재사용 가능한 모듈을 수집하여 분리 시, 시각적 및 전기적 시험을 완료하고 모듈의 외부 전기 구성 요소(케이블, 커넥터, 다이오드)의 소규모 수리가 가장 효율적이라 주장
- 초기 출력의 70% 이상을 갖는 PV 모듈만 재사용 대상으로 고려하고, 안전에 대한 결함이 있는 PV 모듈은 제외하는 것을 제시

우리나라 재사용 모듈 현황

에코모듈 기술 R&D (`20년 -`23년)



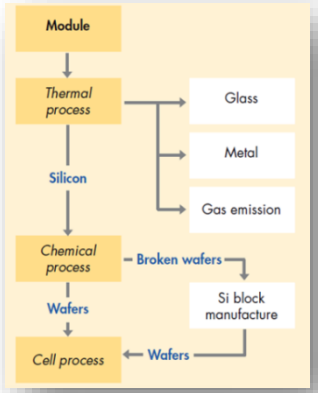
- 우리나라는 진단-출력복원-신뢰성 검증 등을 통한 노후·불량모듈의 수명연장 R&D 수행 중

유럽의 폐패널 재활용 기술

기술의 콘셉트 변화

(Germany) Sunicon

- a commercial scale
- **mainly recycling Si material**

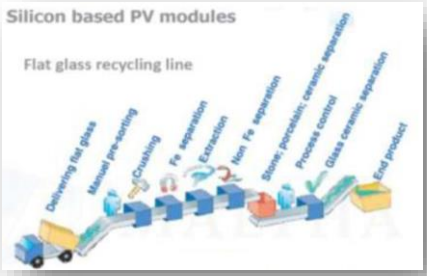


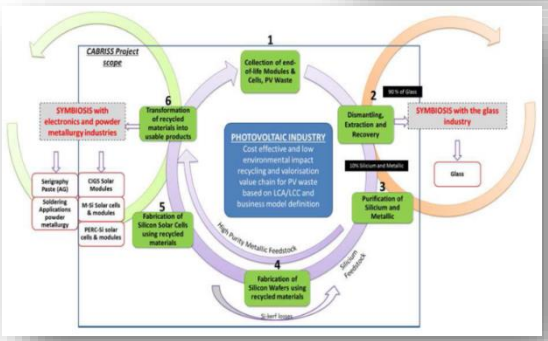
(Germany) Reiling Marienfeld

- a commercial scale
- **mainly recycling glass**
- recovering raw material from old modules

(Netherlands) MALTHA

- a commercial scale
- **mainly recycling glass**



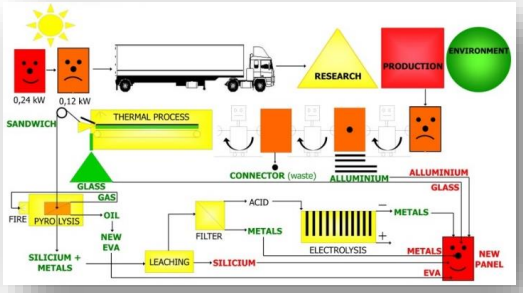


(France) CABRISS Project

- **expanded to recycle a small amount of valuable metals**
- targeted for module manufacturing cost reduction of 25% with recycled materials

(Italy) FRELP Project

- electric energy consumption down 1/100 with recycled materials in manufacturing 250W module
- **targeted for recycling 100% (≥98% in practice) materials**



Activities;

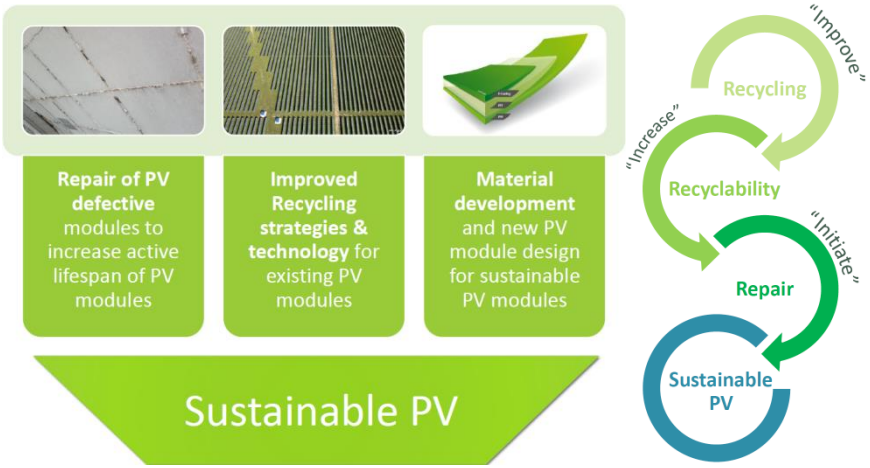
1. RAC: recovery of Aluminum and Connectors
2. REV: recovery of EVA and Glass (IR)
3. PES: recovery of energy and ash from the EVA sandwich (in N2)
4. RSM: recovery of silicon and metals from the ash

- 고가의 실리콘 소재 중심의 재활용 기술에서 의무화 제도 부합성을 위한 유리 소재 중심의 재활용 기술로 변화
- 주요 소재 (유리, 실리콘)의 선택적 회수에서 98% 이상 대부분의 소재를 회수하는 기술로 변화 (태양광 모듈 재제조에 원료 응용)

유럽의 폐패널 재활용 기술

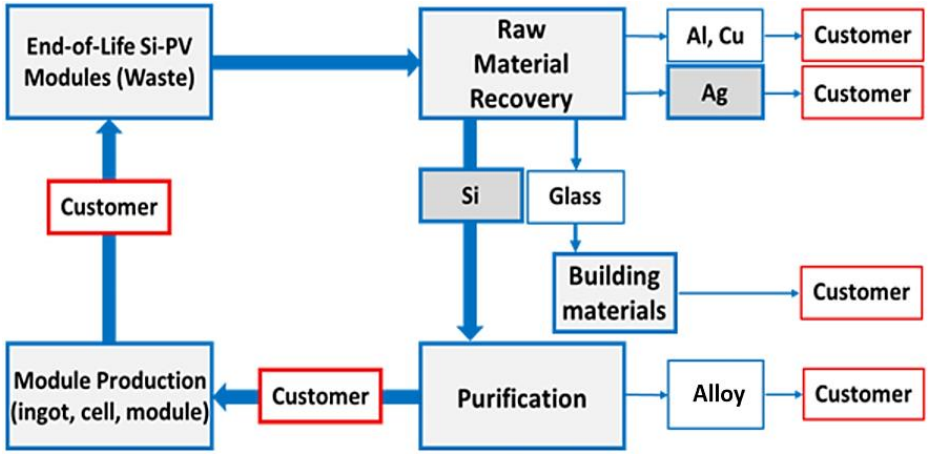
최근 기술개발 동향

▪ PVRe2 -sustainable PV project



- ✓ 오스트리아 주관, 총 9개 기관 참여
- ✓ Improve **c-Si PV module recycling** processes
- ✓ Increasing the **recyclability and reducing the environmental impact** of PV materials
- ✓ Initiating **on-site PV module repair** solution and strategies for infant and midlife-failures

▪ ReSiELP project



- ✓ 프랑스 주관, 총 9개 기관 참여
- ✓ Recovered materials are **reinjected in different value chains**. Al, Cu and Ag is directly placed on the market
- ✓ Recovered **glass** is tested in **building materials** (mortars, concretes) to produce eco-sustainable solutions with suitable technical performance (>25MPa)
- ✓ On the other hand, Si is treated in order to prepare **solar grade Si** and should be reintroduced in the **closed-loop PV value chain**.

- 재활용 뿐 아니라 재사용 및 리페어까지 확대된 사후관리 기술
- 회수 소재의 closed-loop 태양광 밸류체인 뿐 아니라 타산업(건설재료, 이차전지 음극재료 등) 분야로의 응용성 확대 추세

미국의 폐패널 재활용 기술

First Solar Recycling Process

Version (Year)	Country	Capacity (ton/day)	Technology level	Investment (USD)
Version 1 (2006)	Germany	20	**Batch** (Both glass and liquid move)	5million
Version 2 (2011)	Malaysia	30	**Batch** (Liquid moves)	7million
Version 3 (2015)	USA	50	**Continuous**	-
Version 4 (2027)	Global	350	**Mobile**	-

World's largest (48,000ton by 2012)

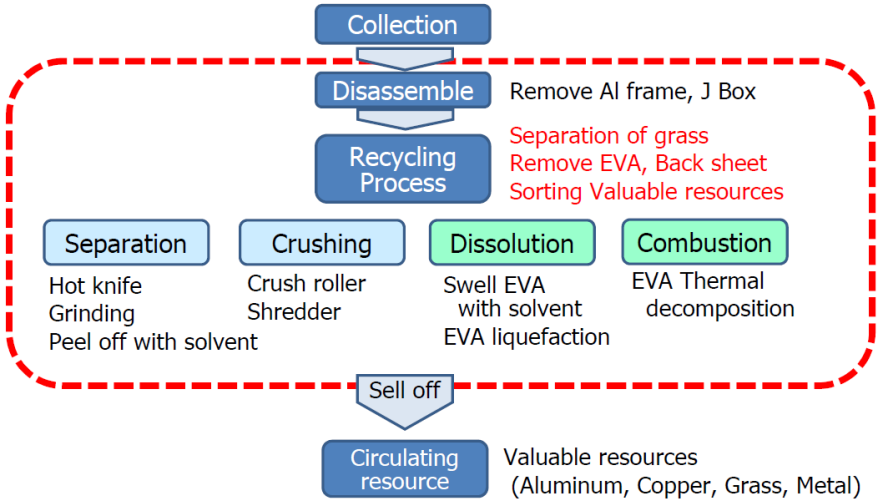
First Solar (CdTe)

- First Solar社는 패널 제조공장에 반드시 재활용 공장이 함께 가동됨 (제조와 사후관리 일원화)
- 전 세계 가장 많은 폐패널 처리실적을 보여주며, 기술의 업그레이드가 꾸준하게 진행됨

일본의 폐패널 재활용 기술

NEDO R&D project

- (Goal) Recycling cost 5 yen/W or less



과제명	기관명
c-Si PV 모듈 재활용 기술 개발	Mitsubishi Materials Corporation
습식 공정에 의한 c-Si PV의 고차원 재활용 기술 개발	Toho Kasei Co., Ltd.
가열 커터를 이용한 c-Si PV의 유리, 금속의 완벽한 재활용 기술	Hamada Corporation, NPC Incorporated
G2G 모듈의 저비용 커버유리 분리기술 개발	Solar Frontier K.K.
범용(c-Si, thin-film Si, CIS) PV 모듈을 위한 저비용 재활용 공정 개발	Shinryo Corporation

NPC 개발 장비 (300도 작동)

Shinryo 개발 장비 (500도 작동)

Mitsubishi Materials 개발 장비 (상온 작동)

우리나라 폐패널 재활용 기술

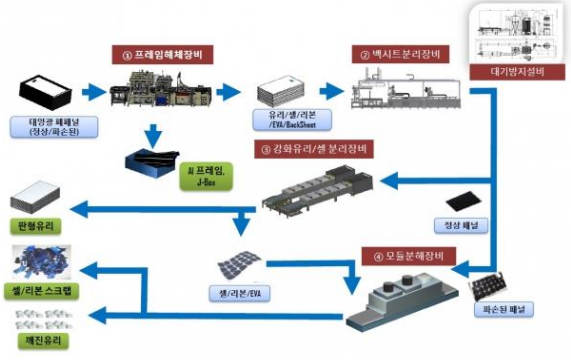
태양광재활용센터 구축기반조성 사업

사업개요

- 시행기관(지자체) : 충청북도
- 참여기관(지자체): 진천군

- 참여기관 : 6개 전문기관
  - (재)충북테크노파크, 한국에너지기술연구원, 한국산업기술시험원, 녹색에너지연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 한국법제연구원

태양광재활용센터 항공사진



프레임해체장비

백시트제거장비

강화유리셀분리장비

모듈분해장비

- 태양광재활용센터 이외 민간업체 2곳((주)윤진테크, (주)원광에스앤티)도 재활용 처리가 가능하여 2023년 EPR 제도 시행에 큰 문제는 없는 상황

GLOBAL KIER
TECHNOLOGIES

경청해주셔서 감사합니다.

KIER Great 1st

더 맑은 지구와 더 강한 경제