



태양광 폐모듈 관리체계 구축방안

김민경 조항문 남현정



태양광 폐모듈 관리체계 구축방안



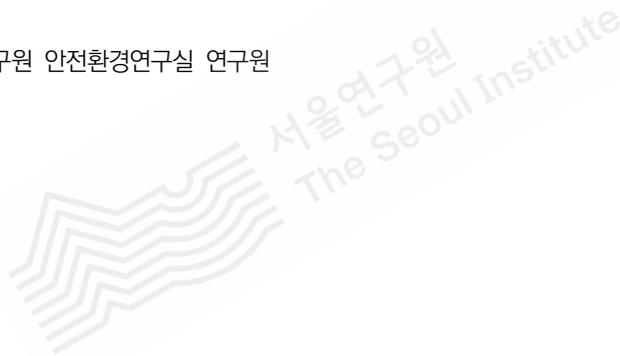
연구책임

김민경 서울연구원 안전환경연구실 연구위원

조항문 서울연구원 안전환경연구실 선임연구위원

연구진

남현정 서울연구원 안전환경연구실 연구위원



이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시와 정책과는 다를 수도 있습니다.

태양광 폐모듈에 EPR제도 적용으로 생산자에게 수거·처리의무 부여해야

서울시, 태양광 보급확대 정책에 따른 폐모듈 관리지침 마련할 시점

정부는 에너지 전환 정책의 핵심 계획으로 '재생에너지 3020 로드맵'을 마련하였고, 2030년까지 재생에너지 발전비중을 20%까지 높이기 위해 태양광발전량 36.5GW를 달성하겠다는 목표를 설정하였다. 서울시는 재생에너지 3020을 달성하기 위한 정책 중 하나로 '태양의 도시, 서울'을 추진하고 있으며 2022년까지 태양광발전을 원전 1기 설비용량에 해당하는 1GW만큼 확대 보급하고 1백만 가구에 태양광발전설비를 설치하겠다는 목표를 세워 다양한 태양광발전보급 사업을 추진하고 있다.

서울시는 태양광발전 보급사업을 시작한 2007년부터 태양광 모듈 보급량이 증가하여 현재까지 계속 누적되고 있으며, 최근 5년 사이 급격하게 증가하는 추세이다. 모듈의 평균 수명을 고려하면 2023~2025년부터 폐모듈에 대한 행정수요가 나타나기 시작할 것으로 예상된다.

그러나 태양광발전의 확대에도 불구하고 폐모듈에 대한 관리체계 및 정부의 방침이 미흡하여 서울시 내에서도 조직 및 부서 간 업무범위에 혼란이 발생하고 있다. 이에 대응하기 위한 구체적인 지침이 마련되어야 한다.

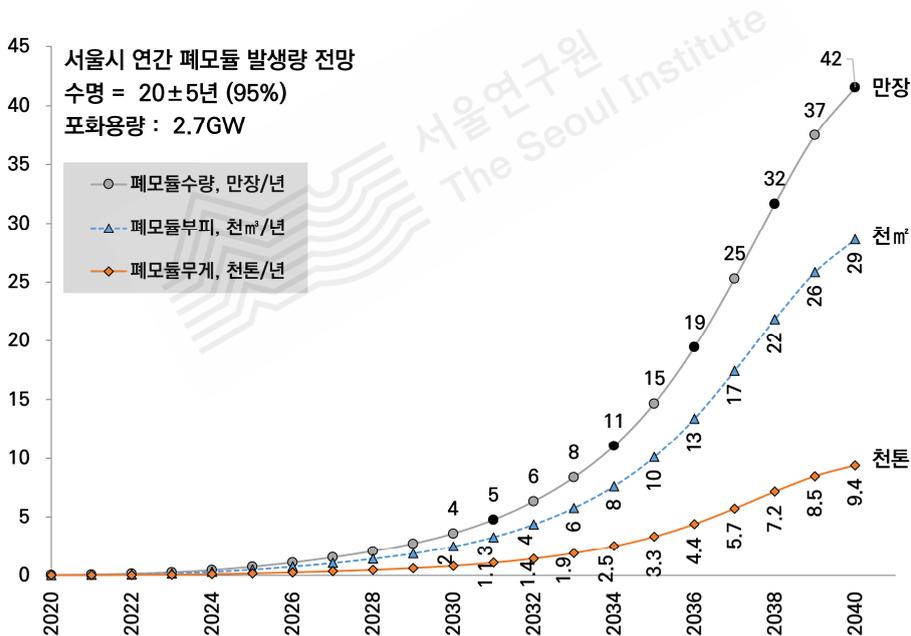
태양광 폐모듈 2018년 전국서 20t 배출 ... 처리규정 미흡해 매립·방치

알려진 바에 따르면 2018년에 전국에서 배출된 폐모듈은 약 20톤이었고, 이것들은 혼합건설폐기물로 처리되어 단순매립되거나 그대로 방치되고 있는 실정이다. 현재까지 태양광 폐모듈에 대한 분류가 명확하지 않고, 철거-수거-처리 의무화 제도가 없어 각 기관 및 부서 간에 혼란이 일어나고 있다. 또한, 태양광발전 설치에 관련된 규정은

있지만 사용 후 처리 규정은 미흡하여 발생량 및 처리 등에 대한 데이터 구축이 이루어지지 않고 있어 실태 파악이 어려운 상황이다.

서울시 태양광 폐모듈, 2030년 3만4천장, 2040년 42만장 배출 예상

서울시는 '태양의 도시, 서울' 정책을 추진하여 2022년까지 1GW의 태양광을 추가로 설치할 계획이며, 특히 미니태양광 보급량이 압도적으로 높은 편이다. 지금까지 설치된 시설과 향후 사업 추진으로 증설되는 용량을 종합하여 2040년까지 서울시 태양광 폐모듈 발생량을 예측하였다. 폐모듈 발생량 전망치는 2022년까지는 연간 1,000장 정도이며, 2030년부터 연간 34,000장 이상으로 본격적으로 증가하기 시작한다. 2040년에는 42만 장으로 자치구당 평균 15,000장에 이를 것으로 전망된다(자연재난, 파손 등 사고로 인해 대형 사업장에서 한꺼번에 발생될 경우는 고려되지 않음).



[그림 1] 서울시 폐모듈 발생량 전망

EU, 폐모듈 관리체계 이미 구축 ... 일본, 폐모듈 재활용 의무화 추진

유럽연합(EU)에서는 폐전기·전자기기처리지침(WEEE) 대상에 폐모듈을 포함시켜 사후관리체계를 구축하고 시행하고 있으며, 생산자가 제품 생산에서 재활용까지 책임진다. 유럽의 비영리단체 PV CYCLE은 유럽의 회원국을 대상으로 폐기된 태양모듈의 회수 및 재활용을 하고 있다. 태양광 제조업자 및 수입업자 등에게 연회비를 받고, 태양광 시스템·폐전자제품·폐배터리 등을 대신 수거·회수하며, 발생량에 따라 회수 방법을 다르게 운영한다.

일본은 ‘태양광패널 리사이클 촉진 가이드라인’을 수립하여 철거·운반·재활용 및 처리 단계에서의 일반적인 업무 흐름을 제시하고 있으며, 태양광 모듈의 불법투기를 방지하고 효율적인 자원회수를 위해 폐모듈 재활용 의무화 법안을 2020년 국회에 제출할 계획이다.

환경부, 업체들과 EPR 대상에 태양광 폐모듈 포함하는 논의 진행 중

2018년 10월, 환경부는 ‘전기전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 시행령 개정안’을 입법예고하고, 생산자책임재활용제도(EPR) 대상 항목에 태양광 폐모듈을 추가하여 제조사에게 처리에 관한 책임을 부과하려고 한다. 그러나 국내 태양광 폐모듈 재활용 기반이 없는 상황에서 제도부터 성급하게 도입하려 한다는 업계와의 의견 차이로 법률보완, 시행시기 유예 연장, 부과기준 및 비용 원점 재검토 등을 다시 논의하고 있는 상황이다. 유예기간은 최소 2023년 이후 시행하기로 결정되었다. 국내 태양광 사업에 진출한 기업이 대부분 영세한 중소기업이어서 반발이 큰 것으로 보이며, 현재 관련 업체들과 의견을 조율 중이다.

EPR제도 시행 이전: 폐모듈 배출 시 자치구별 집하장소에 임시 보관

가정에서 태양광 폐모듈을 철거하고자 할 때는, 태양광 설치업체에 신청하여 철거작업을 한 후 대형폐기물로 배출하여 구청별 대형폐기물 집하장소로 운반하여 임시저장한다. 철거 및 수집, 해체 등에 소요되는 비용은 배출자가 전액 부담하는 방법과 배출

자와 생산자가 분담하는 방법 등이 있다.

폐모듈이 배출되기 전 철거작업이 선행되어야 하는데 이 단계에서 감전 등의 위험이 있으므로 발전용량이 20kW 이상인 설비는 전기공사업 등록 업체가 철거하도록 한다. 또한, 2021년 재활용센터가 운영되기 전까지 서울에서 장소를 지정하여 폐모듈을 보관하는 방법이 적정할 것으로 보이며 생활폐기물 관련 기초시설 내 부지확보가 전제되어야 한다.

EPR제도 시행 이후: 생산자에게 태양광 폐모듈 수거·처리 책임 부여

2021년 진천에 ‘태양광 모듈 재활용센터’가 완공될 예정이다. 태양광 모듈이 EPR 대상 품목으로 관리될 경우 생산자에게 수거 및 처리 책임이 있다.

대형폐기물로 배출된 태양광 모듈을 지자체에서 수집 후 집하장소에서 보관하면 생산자가 재활용센터까지 운반한다. 통상적인 대형폐기물 관리체계는 배출자가 지정된 장소로 대형폐기물을 배출하면 지자체가 직접 혹은 위탁업체를 통해 수집 후 처리한다. 자원마련을 위해 생산업체는 환경부에 자금을 예치하고, 환경부는 위탁업체(회수업체)에게 예치금을 지급하는 방안이 모색되어야 한다.

목차

01 연구개요	2
1_연구배경 및 목적	2
2_연구내용 및 방법	5
02 서울시 태양광 보급현황과 폐모듈 전망	10
1_서울시 태양광 보급정책	10
2_서울시 태양광 보급현황	21
3_폐모듈 발생량 전망	27
03 폐모듈 관리체계의 문제점	48
1_폐기물 관련 법제도	48
2_태양광 모듈의 특성과 유해성	70
3_폐모듈 관리의 문제점	76
4_해외사례	79
04 태양광 폐모듈 관리방안	94
1_기본방향	94
2_EPR 제도 시행 전까지의 조치	99
3_EPR 제도 시행 이후의 조치	101
05 결론	104
참고문헌	109
Abstract	110

표 목차

[표 1-1] 2019년 서울특별시 베란다형 태양광 미니발전소 보급업체의 제품정보	7
[표 2-1] 아파트, 주택, 건물 태양광 100만 가구 보급사업 주요 내용	11
[표 2-2] 태양광 모듈 규격제한(1장 기준)	11
[표 2-3] 태양광 지원제도 및 사업	13
[표 2-4] 생활폐기물 관련 시설 현황	18
[표 2-5] 서울시 태양광 보급현황	22
[표 2-6] 서울시 자치구별 태양광 설비 용량(kW)	23
[표 2-7] 2017년 서울시 태양광 설치 장소별 개소 수	24
[표 2-8] 설치위치별 보급 용량 추이(kW)	25
[표 2-9] 연결방법별 태양광 미니발전소 보급현황	26
[표 2-10] 모듈 1장당 발전용량 추정	28
[표 2-11] 태양광 모듈의 1MW당 무게 추정	29
[표 2-12] 베란다 태양광 부품별 보증기간	31
[표 2-13] 태양광 모듈 평균 수명	32
[표 2-14] 서울시 태양광발전 설비용량 전망	35
[표 2-15] 설치근거별 태양광 잔존 용량 전망	40
[표 2-16] 설치근거별 태양광 설치용량 전망	40
[표 2-17] 폐모듈 부피와 무게 산정을 위해 적용된 상용모듈의 제원	42
[표 2-18] 서울시 태양광 폐모듈 발생 용량 전망(kW)	43
[표 2-19] 서울시 태양광 폐모듈의 무게와 부피 전망	44
[표 3-1] 설비용량과 태양광 시스템 전체 하중	51
[표 3-2] 무게 5톤에 상응하는 태양광설비의 발전용량	51
[표 3-3] 태양광 폐모듈과 건설폐기물 관련 법조항	52

[표 3-4] 태양광 폐모듈의 세부 분류	53
[표 3-5] 전기·전자제품의 중금속 함유기준	56
[표 3-6] 전기·전자제품 재질·구조개선에 관한 지침 주요 내용	57
[표 3-7] 「자원순환 기본계획」 관리단계 주요내용	61
[표 3-8] 「자원순환 기본계획」 재생단계 주요내용	61
[표 3-9] EPR 대상 세부품목 및 배출요령	65
[표 3-10] 폐기물 유형에 따른 부과요율	69
[표 3-11] 태양광 모듈 종류	70
[표 3-12] 실리콘계 결정질 태양광 패널의 구성 소재 및 비율	71
[표 3-13] 태양전지별 소재 및 부품, 장비	72
[표 3-14] 항목별 위생안전기준 및 용출시험 결과	75
[표 3-15] 태양광 셀 용출 시험결과	75
[표 3-16] 기간별 수거 목표 설정	79
[표 3-17] 생산자 및 제조자 의무	80
[표 3-18] WEEE의 폐전자전기제품 분류	80
[표 3-19] 국가별 대표적인 태양광 재활용 기업	83
[표 3-20] 지침의 관계자 분류와 예시	91
[표 4-1] 폐모듈 크기를 적용한 대형생활폐기물 처리 평균 수수료	100

그림 목차

[그림 1-1] 서울시 태양광 보급 정책의 흐름	2
[그림 1-2] 연구흐름도	6
[그림 2-1] 발전사업 추진절차	16
[그림 2-2] 생활폐기물 관련 기반시설 분포 현황	18
[그림 2-3] SR센터의 재활용 시스템 - ECOAS & Allbaro 시스템 운영	19
[그림 2-4] 태양광지원센터 현황	19
[그림 2-5] 태양광지원센터 원스톱 서비스	20
[그림 2-6] 폐기전 무상방문수거체계	20
[그림 2-7] 서울시 태양광발전 용량 추이	21
[그림 2-8] 지역별 태양광발전 보급현황	22
[그림 2-9] 자치구별 태양광 설비 용량	22
[그림 2-10] 설치위치별 구성비	25
[그림 2-11] 모듈 1장당 발전용량	27
[그림 2-12] 기 보고된 태양광 발전용량당 모듈의 무게(톤/MW)6)	28
[그림 2-13] 태양광 모듈의 1MW당 무게 추정결과 비교	29
[그림 2-14] 성장한계점/설비용량 비율과 시간과 상호관계	34
[그림 2-15] 서울시 태양광 발전 설비용량 전망	34
[그림 2-16] 태양광 폐모듈 발생량 전망 흐름도	36
[그림 2-17] 정규분포 z-score와 누적 폐기율의 관계	38
[그림 2-18] 설치근거별 태양광 잔존량 전망	41
[그림 2-19] 서울시 태양광 누적 설비용량 전망	41
[그림 2-20] 설치근거별 폐모듈 발생량 전망	42
[그림 2-21] 서울시 폐모듈 발생량 전망	45

[그림 3-1] 폐기물 분류 체계	48
[그림 3-2] 생활폐기물 중 대형폐기물 처리과정	50
[그림 3-3] 태양광 발전용량과 무게	51
[그림 3-4] 전기·전자제품의 재활용 정보 제공 흐름	57
[그림 3-5] 전기·전자제품의 생산자 책임재활용제도 체계	59
[그림 3-6] 대형 폐전기·전자제품 회수·재활용체계	60
[그림 3-7] 중소형 폐전기·전자제품 회수·재활용체계	60
[그림 3-8] EPR 제도 도입배경	63
[그림 3-9] 생산자 폐기물관리 책임제도의 유형	64
[그림 3-10] 생산자의 의미	66
[그림 3-11] 폐기물관리비용이 조달되는 방식	67
[그림 3-12] 생산자 책임의 강도에 따른 EPR체계 유형	68
[그림 3-13] 태양광 모듈의 구성	71
[그림 3-14] 결정질실리콘 태양전지 구성비	71
[그림 3-15] 수상태양광 용출실험	74
[그림 3-16] PV CYCLE의 폐모듈 발생량에 따른 회수방법	81
[그림 3-17] 재활용 태양광 모듈의 종류별 비중	82
[그림 3-18] 일본 태양광발전설비의 재활용 및 적정처리 추진을 위한 로드맵	89
[그림 3-19] 일본의 태양광 폐모듈 물질 흐름	89
[그림 4-1] PV CYCLE에서 폐모듈 수집·보관에 사용하는 상자	97
[그림 4-2] 소량 발생 폐모듈의 수거·처리 방안	98
[그림 4-3] 서울시 폐모듈 크기의 대형생활폐기물 수수료(자치구 평균)	100
[그림 5-1] 선별시설 설치 예상 시점	106
[그림 5-2] 태양광지원센터를 활용한 시설운영 방안	107

01

연구개요



1_연구배경 및 목적

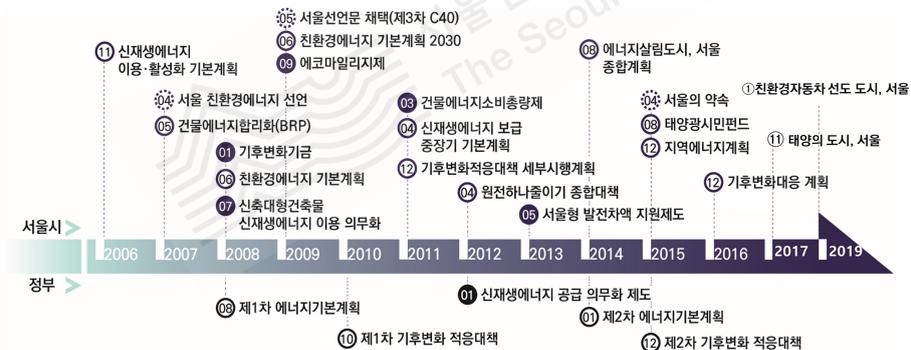
2_연구내용 및 방법

01. 연구개요

1_연구배경 및 목적

1) 태양광 보급확대 정책 추진에 따른 폐모듈 관리문제 도래 임박

- 서울시는 2006년 신재생에너지 이용·활성화 기본계획을 수립한 이래 신재생에너지 보급정책을 지속적으로 추진해오고 있음
- 2008년부터 ‘신축 대형건물 신재생에너지 이용 의무화’ 제도가 시행됨에 따라 서울시 태양광 보급 의지가 현실화됨



[그림 1-1] 서울시 태양광 보급 정책의 흐름

- 2012년부터 원전하나줄이기 사업을 추진하면서 태양광 보급정책을 한층 강화하였으며, 서울형 발전차액지원제도 시행(2013년), 태양광시민펀드 조성(2015년) 등 서울시의 태양광 보급사업 추진에 따라 2017년에는 누적보급량이 178MW를 초과
- 이를 태양광 모듈로 환산하면 60~70만 장에 이를 것으로 추정¹⁾
- 2017년 서울시는 ‘태양의 도시, 서울’ 종합계획을 발표하며 2022년까지

태양광 1GW 확대 보급 및 1백만 가구에 태양광 설치 목표를 달성하기 위해 1조 7천억 원을 투입하여 태양광 산업의 육성 의지를 밝힘

- 이처럼 다양한 태양광 발전 사업을 추진함에 따라 태양광 모듈 보급량은 급격히 증가할 것으로 예상

2) 향후, 태양광 폐모듈 증가에 따른 관리대책 마련 필요

- 2007년부터 보급량이 증가한 태양광 모듈은 현재 계속 누적되고 있으며, 이에 ‘태양의 도시, 서울’ 계획에 따라 보급될 모듈까지 고려하면 약 2023년~2025년부터 폐모듈 관리를 위한 행정수요가 나타나기 시작할 것으로 전망
- 모듈의 폐기시점은 정확히 정해진 바는 없으나 파손 등 관리부실의 문제로 인해 평균적으로 15~25년 정도 사용한다고 보며, 용도에 따라 이보다 더 빨리 폐기시점에 이르기도 함
- ‘2019년 서울특별시 베란다형 태양광 미니발전소 보급업체별 제품정보’를 분석한 결과, 보증기간은 업체마다 다르나 특수한 경우를 제외하고 10~12년 정도
 - 인버터의 경우 일부 제품을 제외하고 보증기간이 5년에 불과
- 베란다 태양광 발전설비 제품에 적용된 모듈의 평균 보증기간을 산정한 결과 13.6년
- 다만, 보증기간이 수명을 의미하지는 않기 때문에 인버터의 수명을 고려하지 않는다면 모듈의 평균 수명은 20년 내외로 예상되며, 이것이 폐기물로 배출되는 시점은 이보다 지연될 것으로 전망
- 자연재해, 관리소홀, 부품 고장(인버터 등), 효율저하, 사고 등으로 인한 폐모듈 발생을 고려하면 모듈의 평균수명은 이상적인 조건의 모듈 수명보다 훨씬 짧을 것으로 판단
- 기대수명을 약 20년으로 보고 20±5년 기간 동안 95%가 폐기된다고 가정하면 2040년의 연간 폐모듈 발생량은 149MW(42만 장)에 이를 것으로 예상

1) 태양광 모듈의 발전용량은 지속적으로 증가해왔음. 모듈 1장당 발전용량은 20018년 이전에 200W 이하, 2012년 이전에는 250W 이하, 2016년부터 300W 이상으로 증가

3) 불명확한 정부 지침으로 인한 혼란 야기

- 현재 기하급수적으로 늘어나는 태양광발전시스템의 확대에도 불구하고 폐모듈에 대한 기존의 연구 및 관리체계가 미비하고, 정부의 처리방침이 미흡. 또한, 서울시 내에서도 부서 간 업무범위에 대해 혼란을 야기하고 있음
- 「폐기물관리법」에 의하면 폐전기·전자제품으로 분류되어있으나, 폐모듈의 물질 구성과 특성이 이들과 다르며 폐모듈 재활용산업이 활성화되지 않아 재활용이 어려운 실정
- 정부는 2018년 11월 태양광 모듈을 생산자책임재활용 품목에 포함시키려 하였으나, 시행시기를 2023년으로 연기
- 현재로서는 폐모듈이 생산자책임재활용 품목에 포함되지 않은 관계로 지방자치단체가 이를 처리해야 하는 숙제를 안고 있음
- 폐모듈은 설치 용도에 따라 자가용 태양광 발전시설에서 발생하면 생활폐기물, 사업용 발전시설에서 발생하면 사업장폐기물로 분류
 - 사업용 발전시설에서 발생할 경우 이를 사업장생활계폐기물에 포함시킬 것인가, 건설폐기물에 포함시킬 것인가에 대한 논란 가능성이 있음
- 서울시에서는 아직 폐모듈 발생으로 인한 문제가 나타나지는 않았으나, 발생 잠재성이 상존
- 이에 대응하기 위한 구체적인 지침이 마련되지 않아 폐모듈 발생 시 이를 수거 및 처리하는 과정에서 혼선의 우려가 있음

4) 사용된 태양광 모듈의 사후관리시스템 방안을 제시

- 이 연구의 목적은 태양광 폐모듈의 수거와 보관 등 자치구 중심의 폐모듈 관리방안을 마련하는 것이며, 아울러 태양광 폐모듈 관리체계를 구성하는 관련 주요기관의 역할을 제고하고 제도를 정비함으로써 사후관리시스템 방안을 제시하고자 함
- 이를 위하여 태양광 보급량을 분석하고 향후 태양광 발전설비 용량을 전망하여 폐모듈 발생량을 예측
- 폐모듈 관리방안 마련에 반영하고자 정부의 폐모듈 관리정책의 문제점과 기회요소를 분석

- 또한 서울시 자치구의 폐기물 관련 시설을 파악하여, 폐모듈의 수거와 보관을 위한 공간 확보 가능성을 판단
- 서울시와 자치구의 폐모듈 관리체계는 생산자책임재활용 품목에 포함되기 전과 후로 구분
 - 생산자책임재활용 품목에 포함되기 전에는 수거 - 운반 - 보관 - 처리에 이르는 전 과정을 서울시와 자치구가 폐모듈을 관리하여야 함
 - 정부가 건립 중인 태양광 폐모듈 재활용시설이 가동되기 전까지는 폐모듈을 수거하여 보관하여야 함
 - 폐모듈 수거 수수료는 대형생활폐기물의 수수료를 준용
- 본 연구에서는 폐모듈과 유사한 대형생활폐기물의 수거단가를 조사하여 폐모듈에 적용할 것을 제안함

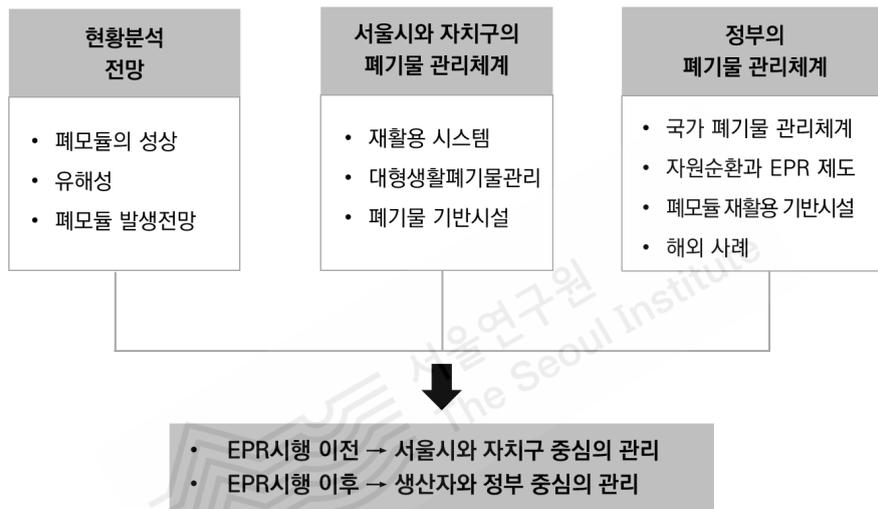
2_연구내용 및 방법

1) 연구내용의 구성

- 태양광 폐모듈의 특성과 재활용에 대한 문헌 조사를 시작으로, 태양광 모듈의 성분이나 특성 등도 조사
 - 태양광 폐모듈의 구성물질과 용출특성은 어떤 폐기물로 분류되는가를 결정하기 때문에 중요한 사항이며, 유해물질을 기준치 이상 함유할 경우 일반폐기물이 아닌 지정폐기물로 분류될 수 있음
- 폐모듈 발생량 예측을 위하여, 보급량을 분석하고 향후 태양광 설비의 용량을 전망
- 또한 기술 발전과 함께 모듈 1장당 발전용량이 증가해 온 점을 고려하여 과거에 건설된 태양광발전소의 모듈 1장당 발전용량을 분석하고 예측
- 생산자책임재활용제도의 시행 여부, 정부가 건립중인 폐모듈 재활용시설 가동 여부는 서울시와 자치구의 폐모듈 관리체계에 결정적인 영향을 미침
 - 생산자책임재활용제도 등 정부의 정책을 분석하고, 정부가 추진하고 있는 폐기물재활용시설 건립 사업을 분석하여 서울시의 폐모듈 관리

방안 마련에 반영

- 또한 자치구의 폐기물 관련시설을 조사하고 임시 보관 방안을 제시
- 생산자책임재활용 대당 품목에 포함되기 전까지는 서울시 자치구에서 수거-운반-처리를 해야 하는 바, 수거 수수료를 결정하는 데 참고할 수 있도록 각 자치구의 대형생활폐기물 수거 수수료를 분석²⁾
- 또한 유사 품목과 조합을 통해 자치구의 여건에 맞추어 수거수수료를 설정할 수 있도록 함



[그림 1-2] 연구흐름도

²⁾ 생산자책임재활용제도(EPR, Extended Producer Responsibility) : 제품생산자에게 해당 제품의 재활용 의무를 부여하는 제도

2) 연구방법

(1) 폐모듈 정책 분석

- 태양광 폐모듈 관련 관리제도의 문제점 및 검토사항 도출
- 서울시 여건에 적합한 개선방안을 제시하기 위하여, 공무원과 실무자 등을 대상으로 인터뷰를 통해 문제점을 파악하고 문제 해결을 위한 당사자 의견수렴 검토

(2) 태양광 모듈 특성 분석

- 태양광 폐모듈의 특성을 파악하기 위하여 태양광 모듈에 대한 성상과 물질 구성 등을 문헌조사를 통해 분석
- 국내외 문헌과 전문가 인터뷰를 통한 유해물질 함유 여부 판단
- 모듈의 발전용량과 크기는 폐모듈 발생량을 전망하는 데 중요한 요소임. 모듈의 크기와 무게 등에 관한 자료는 태양광 기업의 제품 사양, 베란다 미니태양광 보급사업에 참여한 업체의 정보를 활용하여 분석
 - 분석자료를 이용하여 모듈에 대한 보증기간, 평균 무게, 평균 면적, 평균 길이, 평균 폭 등을 조사

[표 1-1] 2019년 서울특별시 베란다형 태양광 미니발전소 보급업체의 제품정보

공급업체 수	50	모듈의 평균 면적	1.666 m ²
모듈 종류	22	모듈의 평균 길이	1,666 mm
모듈이 적용된 제품 수	381	모듈의 평균 폭	1,000 mm
모듈의 발전용량	300~335 W	모듈의 평균 두께	33.7 mm
평균 보증기간	13.6 년	모듈의 평균 무게	18.1 kg

- 태양광발전소 준공 시점별 모듈 1장의 발전용량은 언론 보도 내용을 중심으로 사례 조사
 - 언론 보도 내용에 명시된 모듈의 발전용량을 우선 적용하며, 총발전용량과 모듈의 수를 이용하여 모듈 1장당 발전용량을 산출하되, 1단위에서 반올림

- 태양광 발전시스템 제조업체는 각기 고유한 모델의 태양광 발전시스템을 제조하지만, 핵심 부품인 태양광 모듈은 그 종류가 제한적
 - 2019년에는 50개 업체가 22개의 모듈을 이용하여 381개 모델의 미니 태양광을 공급할 계획
 - 381개 모델에 사용된 모듈 전체의 평균치를 산출
 - 이 과정에서 제품정보가 누락되거나 분명하지 않은 모델은 제외

(3) 태양광 보급량 전망

- 현재까지의 태양광 보급량, 단기보급계획, 최대 보급 잠재량 분석
- 보급실적, 계획, 보급 잠재량 등을 분석하여 Gompertz 식으로 회귀분석

(4) 태양광 폐모듈 발생량 전망

- 관측연도의 보급량과 전년도 보급량의 차이로 신규 보급량 산정
- 태양광 모듈의 수명은 정규분포하는 것으로 가정. 준공 연도별 모듈의 폐기량을 산정, 목표연도까지 각 준공 연도별 폐기량을 합산

(5) 대형생활폐기물 수수료 산정

- 폐모듈의 크기나 재료가 유사한 것 중심으로 조사
 - 폐모듈의 수거수수료를 산정하기 위하여 문짝, 창문, 대형액자, 거울, 전기장판, 옥매트, 파티션 등 폐모듈의 구성 성분과 유사하거나, 크기가 유사한 것들에 대해 25개 자치구의 수수료 조사
- 수수료 산정 시 부과 단위 고려
 - 동일한 폐기물이라 하더라도 자치구마다 부과 단위가 서로 다른 경우가 많음. 예를 들면 거울의 경우 면적 단위로 부과하는 경우 1㎡당 또는 0.5㎡당으로 부과하기도 하며, 일정 규모 이상으로 부과하기도 함
 - 단위 면적당으로 부과하는 경우 부과 수수료율과 모듈의 면적을 곱하여 산정. 부과 단위의 정수배로 곱하여 산정
 - 예를 들면 모듈의 면적이 1.67㎡임을 고려하여 부과 단위가 1㎡당인 경우 부과 수수료의 2배로 산정한 후 25개 구청 평균값을 산출
 - 자치구 수수료 평균값 적용

02

서울시 태양광 보급현황과 폐모듈 전망



- 1_서울시 태양광 보급정책
- 2_서울시 태양광 보급현황
- 3_폐모듈 발생량 전망

02. 서울시 태양광 보급현황과 폐모듈 전망

1_서울시 태양광 보급정책

1) 서울시 태양광 보급사업

(1) 서울시, 미니태양광 보급사업(가정용)

- 서울시는 2012년 4월 ‘원전 하나 줄이기 사업’을 통해 도시 전체를 태양광 발전소인 햇빛도시를 건설하기 위해 다양한 정책 추진
- 2017년 11월 ‘태양의 도시, 서울’ 종합계획을 발표하며 2022년까지 태양광 설비용량을 1GW로 확충하고, 태양광 주택을 1백만 가구로 확대한다는 구체적 목표를 수립
- ‘태양의 도시, 서울’에는 7대 실행과제
 - 1) 아파트, 주택, 건물 태양광 100만 가구 보급
 - 2) 가용 공공부지 태양광 100% 보급
 - 3) 시민이 설치하고, 이익을 공유하는 시민참여형 태양광
 - 4) 태양광 랜드마크 조성
 - 5) 마곡지구, 도시재생지역 태양광 특화지구 조성
 - 6) 서울에너지공사 주도 태양광 확산 기반 조성
 - 7) R&D 벤처투자로 태양광 산업 육성
- 7대 실행과제 중 첫 번째 과제인 아파트, 주택, 건물 태양광 100만 가구 보급의 대략적 내용은 다음과 같음

[표 2-1] 아파트, 주택, 건물 태양광 100만 가구 보급사업 주요 내용

구분	내용
베란다형 미니발전소	<ul style="list-style-type: none"> 63만 가구 신축: 설계단계부터 미니발전소 의무화 추진(18년도부터 SH공사 신축 아파트부터 시작, 향후 LH·민간 신축 아파트로 확대) 기존: 세대별 → 세대+단지별 보급으로 확대(아파트경비실 등 에너지소외계층 미니발전소 설치 지원)
주택형 미니발전소	<ul style="list-style-type: none"> 15만 가구 주택옥상 태양광 설치 지원 다양화 도시재생사업 집수리 연계 태양광 주택 특화마을 조성
건물형 미니발전소	<ul style="list-style-type: none"> 22만 가구 기존 건물 태양광 설치비 보조금 지원 신축 시 일정비율 이상 태양광 설치 의무화 에너지다소비건물 에너지소비량 증가 시 태양광 설치 의무화 태양광 하부 조경공간을 법정 조경면적으로 인정

① 미니태양광 모듈의 규모

- 가정용 미니태양광 보급사업에 의해 설치되는 모듈은 설치방법에 따라 거치형과 앵커형으로 구분되며 규격에 제한이 있음
- 거치형과 앵커형 모두 규격은 길이 1.7m 이하, 무게 20kg 이하로 제한되어 있으며 가구당 설치 모듈 수는 별도 제한 없음

[표 2-2] 태양광 모듈 규격제한(1장 기준)

제품(모듈) 규격	가로 길이(mm) 제한	무게(kg) 제한	효율(%) 제한
허용 범위	1,700mm 이하	20kg 이하	18% 이상

② 사후관리

- 설치자의 역할
 - 서울시 태양광 미니발전소 보급사업으로 태양광 설비를 설치한 자는 설치일로부터 5년 이내에 설비를 폐기 처분할 경우 해당 구청장의 승인을 받아야 함
 - 5년 이내에 이전할 경우 해당 구청장에게 신고하여야 하며, 자치구는 서울시로 이전·폐기 현황을 보고하며, 이전·폐기 비용은 소유자 부담

- 보급업체의 역할
 - 설치완료 확인일로부터 5년간 무상으로 하자보수를 실시하고, 보증기간 이후에 발생하는 수리비용은 소유자가 부담
 - 베란다형은 매년 생산물배상책임보험 가입
 - 건물형(일반)은 하자이행보증보험증권 가입 후 소유자에게 제공
 - 주택형 및 건물형(대여사업)은 한국에너지공단 기준 적용
 - 설치한 태양광 설비에 대하여 향후 5년 동안 연 1회 이상 서울시가 정한 방법으로 사후관리 실시
- 주요 점검내용³⁾은 아래와 같음

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 모듈, 인버터 등 태양광설비 작동 여부 • 모듈의 흔들림, 틀어짐 등 고정 상태 • 태양광 발전량, 발전시간에 대한 점검(베란다형) • 기타 구조물 안전점검 사항 등(베란다형) • 잉여계량기 동작 여부 및 선로 절연상태(주택형-건물형) • 방수상태, 볼트 연결 상태 등 기타 구조물 안전점검 사항 등(주택형-건물형) |
|---|

- 보급업체는 A/S, 5년 하자이행보증증권을 발행하여 에너지공사에 제출⁴⁾
- 보급업체는 서울시에서 시행예정인 모니터링 시스템 도입사업(전체 베란다 설치가구의 2% 도입)의 모니터링 단말기 구입비를 부담하여야 하고, 향후 서울시 또는 서울에너지공사의 도입 계획에 따라 설치를 수행
- 보급업체는 접수·설치완료 및 취소·이전·폐기 현황을 주 단위로 서울시에 보고

2) 기타사업(정부·서울시 및 지자체에서 추진하는 태양광 지원 사업)

- 서울시의 태양광 관련 정책은 크게 태양광 설치사업과 제도적 지원으로 구분

3) 2017년 서울시 태양광 미니발전소 사후관리 계획, 녹색에너지과 문서번호24731

4) 사후관리 나. 3), 4), 5) 내용은 2019년 서울특별시 베란다형 태양광 미니발전소 보급사업 변경공고 제2019-517호에서 추가된 내용

- 4가지 태양광 설치사업과 6가지 제도적 지원사업으로 구분

[표 2-3] 태양광 지원제도 및 사업

태양광 설치 지원	태양광 지원제도
<ul style="list-style-type: none"> • 태양광 미니발전소 보급 지원 사업 • 공공시설 신재생에너지 보급사업 • 민자유치 태양광 발전시설 설치 • 학교 태양광 설치 사업 	<ul style="list-style-type: none"> • 서울형 햇빛발전 지원제도 • 시유지 임대료 경감 조례 • 태양광 설치비 용자지원 • 햇빛발전 협동조합 지원

(1) 태양광 설치 지원 사업

① 공공시설 신재생에너지 보급사업

- 2006년부터 서울시 및 시 산하기관, 25개 자치구 공공시설에 태양광발전 등 신·재생에너지를 보급하는 사업
 - 정부 보조금을 지원하는 지역지원사업과 서울시 예산을 투입하는 시 자체사업이 있음
 - 지역지원사업: 국비 45%, 지방비 55%(시비, 구비로 구성)
 - 시 자체사업: 시 및 사업소, 공사공단시설은 시비 100%, 자치구시설은 자치구 재정력에 따라 50~70% 차등지원

② 민자유치 태양광 발전시설 설치

- 서울시가 태양광 발전소 설치에 필요한 부지를 제공하고, 민간은 시설 투자 및 유지관리를 하는 사업
 - 2017년 말 기준 암사, 광암, 강북아리수정수센터, 서남물재생센터 등 공공시설 40개소의 유휴공간에 민간자본 699.8억 원을 유치하여 태양광 발전시설(26.5MW)을 설치

③ 학교 태양광 설치

- 서울시 주관의 '학교태양광 발전사업 시범학교' 추진
 - 2014년 3개교(200kW), 2015년 2개교(128kW)에서 발전사업을 운영 중
 - 햇빛발전 협동조합, 공익사업 희망기관 등 다양한 주체가 학교 태양광 설치에 참여할 수 있도록 서울시교육청과 다양한 정책적 지원을 실시
 - 2017년 말 기준 태양광 설치완료 또는 설치 중인 학교는 총 445개교 (22.8MW)

④ 태양광 미니발전소 보급 지원 사업

- 태양광 미니발전소 보급 지원 사업은 베란다형 태양광 미니발전소 보급 사업과 주택형 및 건물형 태양광 미니발전소 보급사업으로 구성됨
 - 서울시가 보급하는 미니태양광은 태양광을 이용하여 전기를 생산하는 장치 중 발전용량 3kW 이하의 태양광 발전 시스템을 의미함. 다만 건물용 태양광은 3kW 이상
 - 설치용량 따라 단위용량당 설치비를 차등 지원
 - 서울시 보조금 외에도 각 자치구별 별도의 보조금 추가 지원
 - 추진근거: 서울특별시 에너지조례 제25조(행정 및 세제·재정상의 조치 등), 서울특별시 기후변화기금의 설치 및 운용에 관한 조례 제5조(용자 또는 보조대상 및 절차 등)
 - 주요재원: 서울특별시 기후변화기금
- 베란다형 태양광 미니발전소 보급사업
 - 설비 규모: 50W~1kW 미만 소형 태양광 발전 시스템
 - 설치 장소: 공동주택 (아파트, 연립빌라 등) 베란다, 단독주택 옥상 등
 - 콘센트 연결형으로 상계처리가 불가하며 전력 생산과 동시에 소비되는 형태
 - 공동주택은 '공동주택관리법 시행령'에 따라 관리주체의 동의 필수
 - 거치형은 베란다 난간에 설치, 앵커형은 단독주택 옥상 등에 고정 설치
 - 지원 단가: 1,390원/W (50W~1kW 미만까지 용량별 차등 지원, 2019년 기준)
- 주택형, 건물형 태양광 미니발전소 보급사업
 - 서울시 지원금: 600,000원/kW(2019년 기준). 자치구별 추가 지원
 - 주택형(1kW~3kW): 단독주택 외 민간 어린이집(유치원) 등 보육시설, 경로당(민간), 공동주택 관리동 1kW~3kW 설치 시에도 주택형 일반 보조금 지원
 - 건물형(3kW 이상): 자가용에 한하여 지원, 건물이 공동소유일 경우 모든 소유주의 동의가 필요함. 종교단체 등 서울시와 업무협약 시 지원금 상향(700천원/kW)

(2) 태양광 지원 제도

① 서울형 햇빛발전 지원제도

- 2012년 ‘서울형 발전차액 지원제도(FIT)’를 도입한 이후 2013년 4월부터 ‘서울형 햇빛발전 지원제도’ 시행
 - 2012년, 2013년 100kW 이하 태양광 발전사업자 대상으로 시행했고, 지원 금액은 kWh당 100원씩 최초 지급 월부터 5년간 지원
 - 햇빛발전 지원제도는 2012년 이후 정부에서 지원을 중단하였고, 때문에 서울시는 이 정책을 확대·지속하기 위해 2013년부터 태양광설치에 필요한 부지를 임대하는 조건을 변경
 - 단위면적당 임대료를 부과하는 방식에서 설치되는 시설단위로 부과 기준을 변경하도록 관련 규정을 개정하고 시행
 - 또한 2015년부터는 햇빛발전 지원제도 지원대상을 100kW 이하 모든 시설로 확대하고 지원금액을 kW당 100원으로 늘림

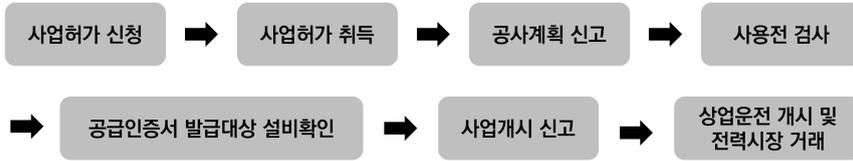
② 사유지 임대료 관련 조례 개정

- 서울시는 공공시설의 미활용 부지 내에 태양광 발전시설을 설치하는 경우 사용면적 기준이 아닌 설치용량을 기준으로 사용 및 대부요율을 산정할 수 있도록 서울특별시 에너지 조례를 개정함(2013.5.16.)
 - 그러나 지방자치단체 공유재산 운영기준이 개정(2016.8.3.)되면서 서울특별시 에너지 조례도 개정(2017.5.18.)되어 공유재산 옥상에 태양광 발전시설을 설치하는 경우 사용 및 대부요율은 「지방자치단체 공유재산 운영기준」에 따른 해당 재산 평정가격의 1000분의 10 이상으로 함
 - 또한, 옥상 이외에 태양광 발전시설을 설치하는 경우 사용 및 대부요율은 발전시설의 용량을 기준으로 매년 산정하여 공고하도록 함
 - 2018년 태양광 발전사업을 위해 서울특별시 행정재산 및 일반재산의 옥상 외 부지를 사용·수익허가 또는 대부하는 경우 설치용량 100kW 이하 시설은 20,000원/kW·년, 100kW 초과 시설은 25,000원/kW·년으로 대부요율을 시행하고 있음

③ 태양광발전 사업허가

- 발전사업이란 전기를 생산하여 이를 전력시장을 통하여 전기판매사업자에게 공급하는 것을 주된 목적으로 하는 사업으로, 전기사업법에 의한 전

기사업 허가(발전사업 허가)를 득하여 전기를 판매



[그림 2-1] 발전사업 추진절차

④ 태양광 설치비 용자지원

- 민간부문 태양광 발전시설 설치 활성화를 위하여 2012년부터 태양광 발전시설을 설치하는 자에게 장기·저리 용자지원을 실시함
 - 2017년 말 기준 용자지원 건수는 총 94건이며, 용자금액은 총 5,003백만 원
 - 대상: 서울시에 태양광 발전시설을 설치하는 자(설치용량 100kW 이하)
 - 용자한도: 발전시설 설치비의 80%, 최대 150백만 원
 - 용자금리: 연리 1.45%
 - 용자조건: 8년 균등분할 상환(3년 거치 시 5년 균등분할 상환)

⑤ 서울시 햇빛지도 제작

- '서울시 햇빛지도' 웹사이트 서비스 제공
 - 2013년 5월부터 주변건물 간 영향을 고려하여 건물지붕 및 옥상에 입사되는 태양에너지 잠재량을 산출하여 태양광입사 에너지를 지도상에 표출하는 '서울시 햇빛지도' 웹사이트 서비스 제공

⑥ 햇빛발전 협동조합 지원

- 서울시는 햇빛발전 협동조합에게 시유지 임대를 통한 태양광 설치 부지제공, 서울형 발전차액 보조금 지원, 태양광 설치비 용자지원을 제공
 - 2017년 현재 우리동네햇빛발전협동조합 등 서울시 내 22개의 햇빛발전 협동조합이 설립되어 운영 중

(3) 서울시 태양광 시민펀드

- 서울시는 태양광 설치비를 시민공모로 조성하여 수익을 창출하고 시민투자자와 공유하는 태양광 시민펀드 사업을 추진

- 기존의 1개 기업이 출자하고 수익을 가져가던 방식에서 벗어나 다수의 시민이 투자할 수 있고, 수익의 일부를 에너지 취약계층에게 지원하며 에너지 복지사업과도 연계하여 시행
- 2015년 개시된 제1호 서울시민 햇빛발전소 시민펀드는 지축·개회·도봉·고덕 등 4개 지하철 차량기지에 설치한 태양광 4.25kW였으며, 총 82.5억 원의 금액을 모집한 바 있음

(4) 서울시 태양광 대여사업(단독주택, 공동주택)⁵⁾

- 단독주택 및 공동주택을 대상으로 가정에 태양광 설비를 설치·대여해주고 줄어드는 전기요금의 일부를 대여료로 납부
 - 한국에너지공단은 대여사업자를 선정하고, REP를 발급하며, 소비자는 대여료와 전기요금을 기존 전기요금의 80% 이하로 납부
 - 선정된 대여사업자는 대여료와 REP 판매로 수익을 내며, 설비, 유지·보수의무가 있음
 - 기본 7년의 계약을 맺으며, 계약 종료 후 무상으로 양도받거나, 무상으로 철거 가능

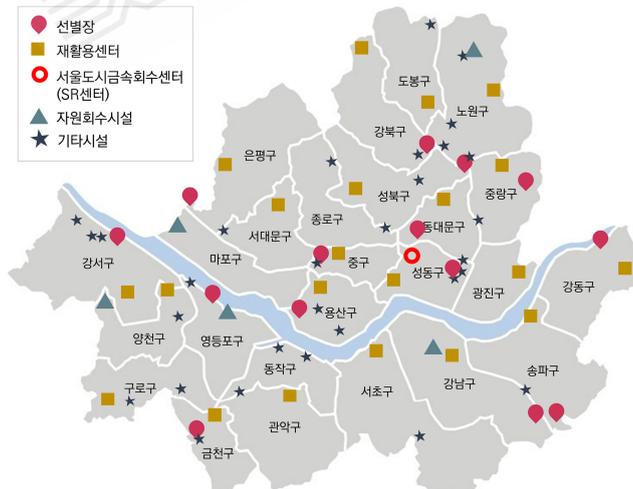
3) 서울시 생활폐기물 관련 기반시설

- 수거된 폐모듈의 보관 및 처리를 위한 임시공간 마련을 위해 생활폐기물 관련 기반시설을 파악
 - 재활용품 선별장은 15개소, 재활용센터는 31개소, 소형폐기물해체시설 1개소, 자원회수시설 4개소, 적환장 등 생활폐기물을 취급하는 기타시설은 46개소로 파악됨
 - 시설별 담당자와 인터뷰한 결과, 대부분 시설들의 장소가 협소하여 폐모듈을 추가적으로 적치하는 문제에 부정적인 반응을 보였으며, 수거된 폐모듈의 보관을 위해서는 폐모듈 발생량과 무게, 부피 등에 대한 정확한 예측을 통해 공간 마련에 대한 대책을 강구할 필요 있음

5) 서울특별시 공고 제2018-954호. 2018년도 서울특별시 주택형, 건물형 태양광 미니발전소 보급사업 공고

[표 2-4] 생활폐기물 관련 시설 현황

구분	역할	시설 및 운영	기타
재활용품 선별장	생활폐기물 선별작업	<ul style="list-style-type: none"> 시설 수: 15개소 시설용량: 약 762톤/일 위치: 서울시 내 운영: 공공(8개소), 민간(7개소) 	-
재활용센터	재활용품 수거 및 처리	<ul style="list-style-type: none"> 시설 수: 31개소 위치: 서울시 내 운영: 공공 	-
소형폐기물 해체시설	소형 폐기전에서 재활용 자원(합성수지, 고철, 비철 등)을 분해, 선별하여 판매	<ul style="list-style-type: none"> 시설 수: 1개소 (SR센터) 위치: 서울시 성동구 운영: 서울시 처리능력 <ul style="list-style-type: none"> - 폐기전제품 3,600톤/년 - 폐휴대폰 70만대/년 	-
자원회수 시설	폐기물 소각으로 발생되는 에너지의 대체에너지화: 저렴한 가격으로 인근 지역의 전력과 난방열로 사용	<ul style="list-style-type: none"> 시설 수: 4개소 위치: 서울시(양천,노원,강남,마포) 운영: 공공 소각량(가동률) <ul style="list-style-type: none"> - 양천: 309톤/일(77.3%) - 노원: 592톤/일(74.0%) - 강남: 820톤/일(91.1%) - 마포: 610톤/일(81.3%) 	서울시 25개 자치구 중 23개 구 이용
생활폐기물 매립시설	수도권에서 수거된 생활폐기물의 매립처리	<ul style="list-style-type: none"> 시설 수: 1개소 매립총량: 228백만 톤 위치: 수도권 운영: 공공(서울, 인천, 경기도) 	먼 거리로 인한 신속한 처리의 어려움 및 높은 운반비
기타시설	폐기물의 적환, 보관 및 분류	<ul style="list-style-type: none"> 시설 수: 46개소 위치: 서울시 내 운영: 공공, 대행업체(민간) 	-

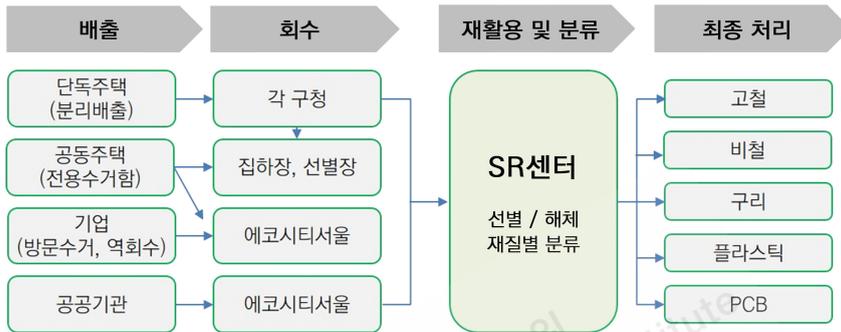


[그림 2-2] 생활폐기물 관련 기반시설 분포 현황

4) 폐기물관리 관련 조직 및 기관

(1) 서울시 SR센터(Seoul Resource Center)

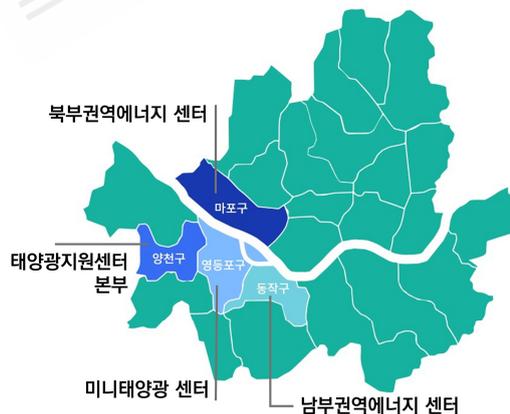
- 폐금속자원 재활용 사업 추진을 목적으로 2009년 서울시가 설립하였으며, 사회적기업인 '에코시티서울'이 위탁운영하고 있음
- 가정에서 버려지는 소형 폐가전제품과 폐휴대폰, 폐금속자원, 공공기관의 전자제품 불용물품을 해체, 선별, 파쇄 과정을 거쳐 재활용 가능한 원료로 만들어냄



[그림 2-3] SR센터의 재활용 시스템 - ECOAS & Allbaro 시스템 운영

(2) 서울시 태양광 지원센터(서울에너지공사)

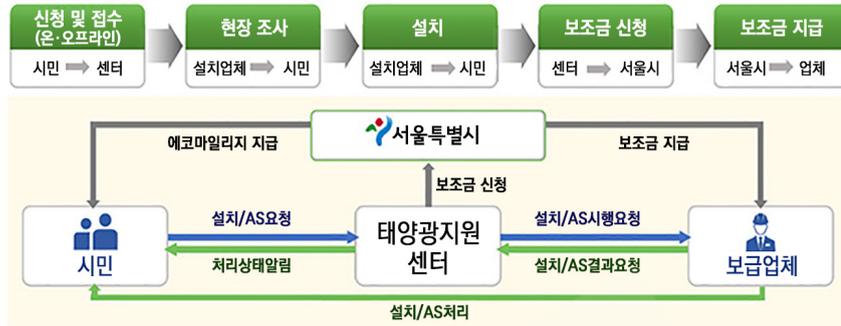
- 서울에너지공사에서 태양광 발전기 설치, 컨설팅, AS 등 사후관리 지원업무를 수행하기 위해 태양광지원센터 설립



[그림 2-4] 태양광지원센터 현황

자료: <http://opengov.seoul.go.kr>(서울시 정보소통광장)

- 센터의 주요 사업은 미니 태양광 원스톱 서비스 사업, 공공부지 활용 대규모 태양광 사업, 태양광 사업지원, 솔라스테이션 사업 등을 수행
- 시민을 대상으로 '무료 컨설팅', '에너지창업스쿨' 등 교육과 투자자들의 소규모 전기판매사업을 지원
- 태양광통합플랫폼을 통해 신청·접수, 설치, 운영과정 모니터링 등 수행

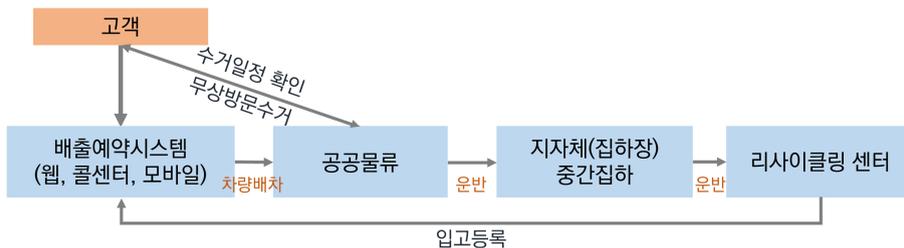


[그림 2-5] 태양광지원센터 원스톱 서비스

자료: <http://opengov.seoul.go.kr>(서울시 정보소통광장)

(3) 한국전자제품자원순환공제조합

- o 한국전자제품자원순환공제조합은 시민들이 보다 쉽게 폐가전제품을 배출할 수 있도록 폐가전 제품 수거 서비스 구축
- 지자체(서울시)와 공제조합은 폐가전 위수탁처리계약을 통해 고객으로부터 배출정보가 수집되면, 무상방문수거가 가능하도록 수거운반체계 구축

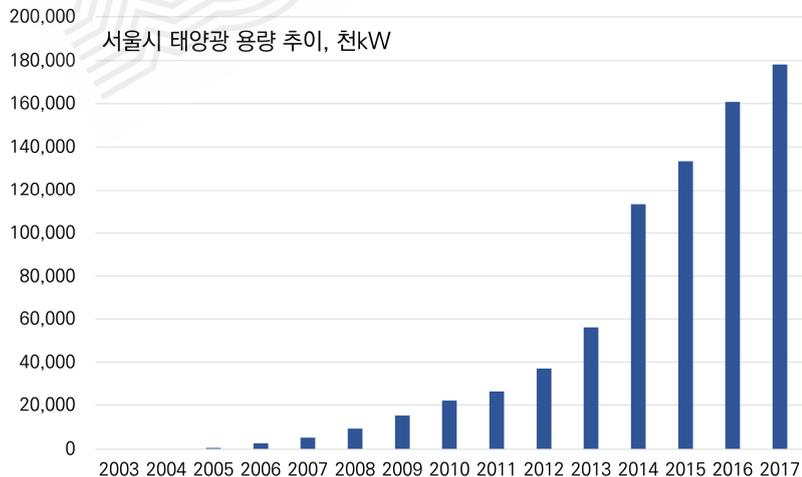


[그림 2-6] 폐가전 무상방문수거체계

2_서울시 태양광 보급현황

1) 태양광 보급 추이

- 국내 태양광 보급은 2000년대부터 급속도로 증가
 - 1980년대부터 시작한 국내 태양광발전사업은 매년 1kW 이하로 미미한 수준이었으나, 2004년 이후 태양광 주택 보급사업이 시작되면서 점차 증가
 - 산업통상자원부에 따르면, 신재생에너지에서 태양광발전 에너지가 차지하는 비중과 발전량은 계속 증가하여 2020년에 17,273MW(40.4%), 2030년에는 18,904MW(50.9%)까지 증가할 것으로 전망
- 서울수도 2000년대부터 태양광 보급 확대
 - 태양광발전 보급을 위한 다양한 사업 추진과 함께 태양광발전 시장 또한 급격한 성장을 보이고 있음
 - 서울시 태양광발전 설치 누적 건수는 2008년 755건에 불과하였으나, 2017년까지 누적 건수는 약 44,000여 건으로 10년 사이에 58배 증가
 - 발전설비 용량도 2008년에 9.2MW였으나, 2017년에는 178MW로 10년간 19배로 증가



[그림 2-7] 서울시 태양광발전 용량 추이

[표 2-5] 서울시 태양광 보급현황

연도	발전용량 kW	개소 수	연도	발전용량 kW	개소 수
2004	25	6	2011	26,402	1,631
2005	590	59	2012	37,173	2,509
2006	2,646	234	2013	56,095	3,504
2007	5,266	497	2014	113,224	6,399
2008	9,254	755	2015	133,472	12,202
2009	15,311	988	2016	160,719	23,782
2010	22,085	1,357	2017	178,223	44,422

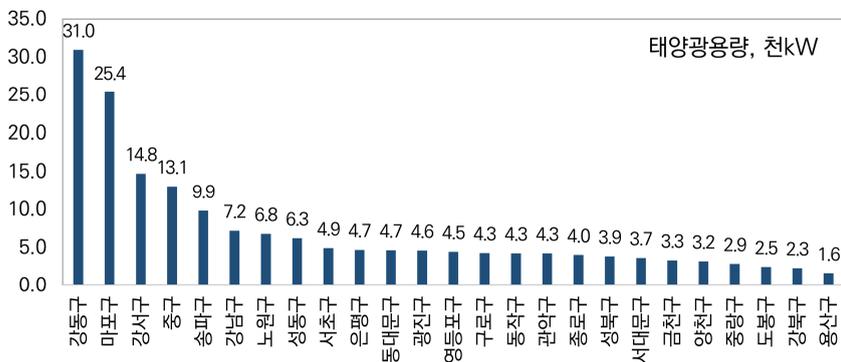
2) 지역별 보급현황

○ 자치구별 태양광발전 보급현황

- 25개 지자체 중에서는 노원구, 송파구, 양천구, 은평구 순으로 가장 많이 보급되어 있음. 그러나 총발전용량으로 분석하면 강동구, 마포구, 강서구의 태양광 발전용량이 가장 큰 것으로 나타남
- 강동구, 마포구, 강서구 등은 보급된 개소 수는 적으나 용량이 대형 태양광발전설비가 많이 보급됨
- 반면에 노원구, 송파구 등은 대부분 미니발전소 형태로 보급되어 있음



[그림 2-8] 지역별 태양광발전 보급현황



[그림 2-9] 자치구별 태양광 설비 용량

[표 2-6] 서울시 자치구별 태양광 설비 용량(kW)

자치구	공공시설	미니발전소	민간시설	학교시설	총합계
서울시	93,376	37,093	31,489	16,265	178,223
강남구	1,673	2,094	2,250	1,218	7,235
강동구	25,709	2,189	2,147	936	30,980
강북구	686	1,137	293	208	2,324
강서구	8,004	1,234	4,650	883	14,771
관악구	636	2,026	538	1,059	4,259
광진구	1,193	2,039	349	1,055	4,635
구로구	1,259	1,849	732	468	4,308
금천구	520	956	965	905	3,346
노원구	3,643	1,947	539	707	6,836
도봉구	612	1,309	287	264	2,471
동대문구	1,844	1,143	1,028	664	4,679
동작구	1,440	1,235	805	792	4,272
마포구	21,877	1,349	1,677	502	25,405
서대문구	402	1,436	594	1,237	3,669
서초구	917	1,255	2,195	574	4,941
성동구	3,102	610	1,488	1,055	6,254
성북구	472	2,218	586	589	3,866
송파구	2,803	2,734	3,179	1,163	9,879
양천구	1,038	1,341	460	372	3,211
영등포구	1,584	705	2,136	50	4,475
용산구	415	554	648	32	1,648
은평구	799	2,606	857	465	4,727
종로구	458	1,588	1,644	354	4,043
중구	11,849	297	935	27	13,108
중랑구	444	1,240	508	686	2,877

자료: 서울시 내부자료(2017년 기준)

[표 2-7] 2017년 서울시 태양광 설치 장소별 개소 수

자치구	공공시설	미니발전소	민간시설	학교시설	합계
서울시	831	42,190	1,039	362	44,422
강남구	26	1,619	67	16	1,728
강동구	36	2,043	26	18	2,123
강북구	25	828	16	8	877
강서구	41	1,089	104	18	1,252
관악구	28	1,443	29	18	1,518
광진구	44	1,112	24	15	1,195
구로구	30	2,341	23	14	2,408
금천구	30	1,121	42	19	1,212
노원구	50	4,892	14	17	4,973
도봉구	36	2,332	12	7	2,387
동대문구	35	1,739	38	18	1,830
동작구	18	1,534	25	16	1,593
마포구	50	2,196	37	13	2,296
서대문구	20	1,669	45	29	1,763
서초구	34	976	65	11	1,086
성동구	39	926	79	15	1,059
성북구	22	2,231	31	16	2,300
송파구	73	2,708	90	18	2,889
양천구	45	2,714	26	12	2,797
영등포구	45	1,268	75	5	1,393
용산구	11	264	19	4	298
은평구	22	2,692	43	17	2,774
종로구	24	764	54	13	855
중구	36	366	32	4	438
중랑구	11	1,323	23	21	1,378

자료: 서울시 내부자료(2017년 기준)

3) 태양광 미니발전소 보급현황

- 설치 건수로는 태양광 미니발전소가 가장 많음
 - 미니발전소는 주로 건물의 옥상이나 베란다에 설치하는 것을 원칙으로 공동주택이나 주거지 등에 많이 설치되어 있음
 - 태양광 미니발전소의 발전용량은 서울시 태양광 발전용량의 21%
 - 설치 개소 수는 서울시 태양광 발전설비 개소 수의 95%
- 설치 위치에 따라 용량 차이가 큼
 - 계량기연결형은 주로 옥상에 설치하면 평균 용량은 약 3kW
 - 베란다 태양광은 콘센트연결형으로 보급되면 발전용량은 약 300W



[그림 2-10] 설치위치별 구성비

[표 2-8] 설치위치별 보급 용량 추이(kW)

연도	위치별 연간 보급량, kW					누적용량 kW
	공공시설	미니발전소	민간시설	학교시설	총합계	
2003	0	0	6	0	6	6
2004	0	9	0	10	19	25
2005	0	104	121	340	565	590
2006	1,425	469	42	120	2,056	2,646
2007	672	725	1,045	177	2,619	5,266
2008	3,100	571	229	88	3,989	9,254
2009	4,224	458	461	913	6,056	15,311
2010	2,055	736	3,615	369	6,774	22,085
2011	777	1,094	1,875	572	4,317	26,402
2012	7,041	2,334	386	1,009	10,771	37,173
2013	11,659	2,682	1,686	2,895	18,922	56,095
2014	47,860	3,286	2,747	3,237	57,130	113,224
2015	8,061	5,457	5,054	1,676	20,248	133,472
2016	4,762	7,802	11,453	3,231	27,248	160,719
2017	1,740	11,367	2,771	1,626	17,504	178,223
총합계	93,376	37,093	31,489	16,265	178,223	

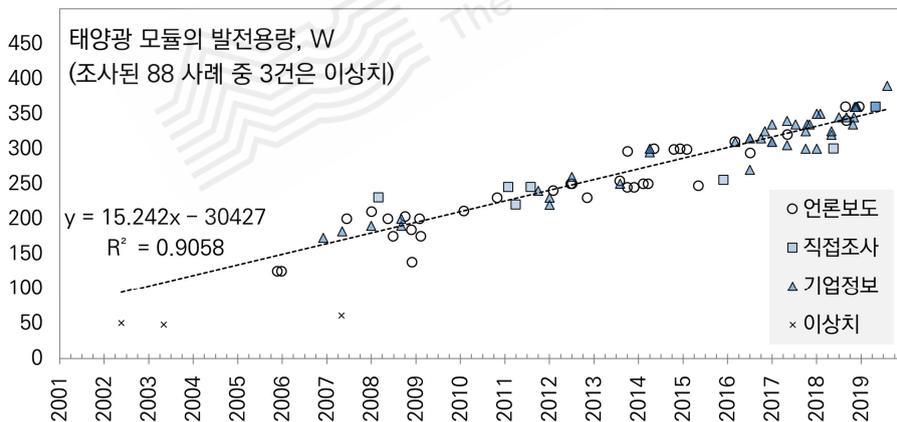
[표 2-9] 연결방법별 태양광 미니발전소 보급현황

자치구	콘센트연결형			계량기연결형			전체		
	개소	용량 kW	kW/ 개소	개소	kW	kW/ 개소	개소	kW	kW/ 개소
서울시	31,872	9,642	0.30	8,407	26,527	3.16	40,279	36,169	0.90
강남구	1,042	315	0.30	496	1,532	3.09	1,538	1,846	1.20
강동구	1,408	421	0.30	567	1,763	3.11	1,975	2,184	1.11
강북구	520	159	0.31	307	975	3.18	827	1,134	1.37
강서구	706	216	0.31	327	1,016	3.11	1,033	1,232	1.19
관악구	787	239	0.30	580	1,777	3.06	1,367	2,016	1.47
광진구	446	136	0.31	626	1,895	3.03	1,072	2,032	1.90
구로구	2,049	616	0.30	280	1,220	4.36	2,329	1,836	0.79
금천구	901	273	0.30	216	673	3.11	1,117	945	0.85
노원구	4,642	1,385	0.30	183	555	3.03	4,825	1,940	0.40
도봉구	2,067	622	0.30	222	682	3.07	2,289	1,304	0.57
동대문구	1,260	382	0.30	230	753	3.27	1,490	1,135	0.76
동작구	1,224	377	0.31	241	749	3.11	1,465	1,126	0.77
마포구	1,912	575	0.30	252	764	3.03	2,164	1,338	0.62
서대문구	1,108	336	0.30	333	1,018	3.06	1,441	1,353	0.94
서초구	463	141	0.30	315	936	2.97	778	1,077	1.38
성동구	796	241	0.30	106	364	3.43	902	605	0.67
성북구	1,629	490	0.30	499	1,723	3.45	2,128	2,212	1.04
송파구	1,944	586	0.30	660	1,994	3.02	2,604	2,580	0.99
양천구	2,512	768	0.31	194	569	2.93	2,706	1,336	0.49
영등포구	901	274	0.30	139	409	2.94	1,040	683	0.66
용산구	75	24	0.32	163	524	3.21	238	548	2.30
은평구	1,973	604	0.31	628	1,988	3.17	2,601	2,593	1.00
종로구	235	75	0.32	479	1,508	3.15	714	1,582	2.22
중구	288	89	0.31	58	204	3.51	346	292	0.85
중랑구	984	301	0.31	306	939	3.07	1,290	1,240	0.96

3_폐모듈 발생량 전망

1) 태양광 모듈의 발전용량당 크기와 무게 추정

- 태양광 모듈 1장당 발전용량은 지속적으로 증가
 - 향후 태양광 모듈 보급량을 예측하기 위해 모듈 1장당 발전용량을 추정하기 위하여 설치된 태양광 발전소에 적용된 모듈의 평균 발전용량을 조사한 결과 연평균 15.2W씩 증가하는 경향을 보임
 - 언론보도 내용, 기업의 발표내용, 현장조사 등을 통해 88 사례를 조사
 - 총 발전용량과 모듈의 수량을 조사하여 1장당 발전용량 산출(소수점이 하는 반올림)
 - 1장당 발전용량이 발표된 사례는 그대로 인용
 - 준공 시기를 날짜(日)까지 고려하여 회귀분석
 - 모듈 1장당 발전용량은 2010년 230W에서 2019년 390W로 약 70% 증가. 즉, 1MW당 모듈의 수량은 40% 감소



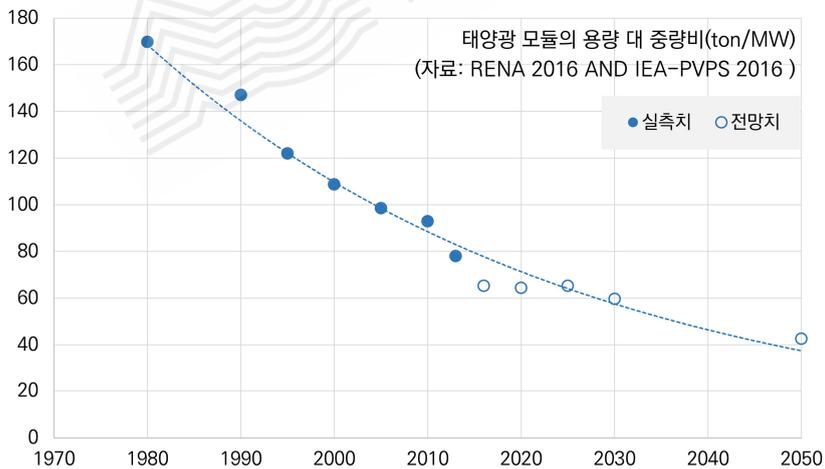
[그림 2-11] 모듈 1장당 발전용량

- 태양광 모듈의 단위용량당 무게는 감소 추세
 - 해외의 연구기관이 실측치와 다양한 연구지들의 전망치를 종합하여 태양광 모듈의 단위용량당 무게(톤/MW, 또는 kg/kW)를 추정⁶⁾

- 위 연구결과에 따르면 1MW당 모듈의 무게는 2010년 88.5톤에서 2040년에는 46.5톤으로 약 1/2수준으로 경량화될 것으로 전망하였음. 이는 앞에서 살펴본 바와 같이 모듈 1장당 발전용량이 향상된 결과로 보임
- 본 연구에서 조사한 모듈 1장당 발전용량의 증가 속도와 비교하여 단위용량당 무게감소 속도는 다소 느리게 평가됨

[표 2-10] 모듈 1장당 발전용량 추정

연도	용량, W						
2001	72	2011	225	2021	377	2031	530
2002	87	2012	240	2022	392	2032	545
2003	103	2013	255	2023	408	2033	560
2004	118	2014	270	2024	423	2034	575
2005	133	2015	286	2025	438	2035	590
2006	148	2016	301	2026	453	2036	606
2007	164	2017	316	2027	469	2037	621
2008	179	2018	331	2028	484	2038	636
2009	194	2019	347	2029	499	2039	651
2010	209	2020	362	2030	514	2040	667



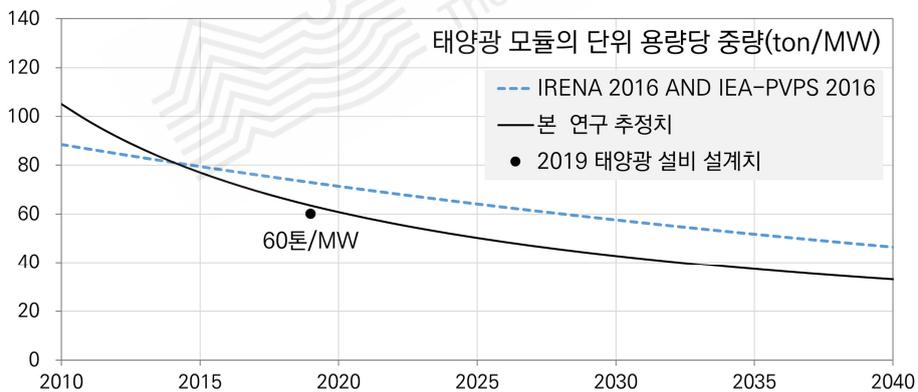
[그림 2-12] 기 보고된 태양광 발전용량당 모듈의 무게(톤/MW)⁶⁾

⁶⁾ IRENA 2016 AND IEA-PVPS 2016, End of Life Management of Photovoltaic Panels Trends in PV Module Recycling Technologies

[표 2-11] 태양광 모듈의 1MW당 무게 추정

연도	단위무게 톤/MW	연도	단위무게 톤/MW	연도	단위무게 톤/MW	연도	단위무게 톤/MW
2011	97.9	2021	58.3	2031	41.6	2041	32.3
2012	91.7	2022	56.1	2032	40.4	2042	31.5
2013	86.2	2023	54.0	2033	39.3	2043	30.9
2014	81.4	2024	52.0	2034	38.2	2044	30.2
2015	77.0	2025	50.2	2035	37.3	2045	29.6
2016	73.1	2026	48.5	2036	36.3	2046	29.0
2017	69.6	2027	46.9	2037	35.4	2047	28.4
2018	66.4	2028	45.5	2038	34.6	2048	27.9
2019	63.5	2029	44.1	2039	33.8	2049	27.4
2020	60.8	2030	42.8	2040	33.0	2050	26.9

주) 1장당 발전용량 추정치와 1장당 무게(22kg)를 적용하여 전망(준공 연도 기준)



[그림 2-13] 태양광 모듈의 1MW당 무게 추정결과 비교

- 향후 1MW당 무게는 본 연구결과보다 더 감소할 것으로 예상됨
- 기존 연구(RENA 2016 AND IEA-PVPS 2016)에 따르면 태양광 모듈 1MW당 무게를 2050년 38.3 톤까지 낮아질 것으로 전망함. 본 연구

에서는 모듈 1장당 발전용량의 증가속도를 고려하여 전망한 결과 26.9톤/MW로 전망함

- 2019년의 태양광 모듈의 1MW당 무게는 해외문헌을 분석한 결과 72.9톤이나, 우리나라의 태양광 운영 업체가 제시한 설계하중은 60톤으로 본 연구결과(63.5톤)가 실제에 더 근접함

2) 태양광 모듈의 수명 설정

- 보증기간은 공급업체마다 차이가 큼
 - '2019년 서울특별시 베란다형 태양광 미니발전소 보급업체별 제품정보'를 분석한 결과 모듈에 대한 평균 보증기간은 13.6년으로 파악됨
 - 22가지 모델 중 1개를 제외한 21개 모델의 보증기간은 10~12년에 불과한 것으로 나타남
- 평균수명은 20년 이하로 예상
 - 문헌에 따르면 설치연도에 따라 모듈 수명이 다르지만 평균 수명은 20~25년 정도로 나타났으나, 베란다 태양광의 경우 대부분의 인버터 보증기간이 5년으로 짧은 점 등을 고려하면 평균수명은 20년 이하로 예상
 - 또한 서울시의 부지임대료를 고려하면 성능이 낮거나 저하된 설비를 조기 철거하고 그 자리에 고성능 설비를 설치할 가능성도 있어 모듈의 수명이 기존의 기대치보다는 낮을 가능성이 높음
 - 베란다 태양광 인버터의 경우 각 업체가 채택한 빈도를 고려하여 산출한 평균보증기간은 6.9년에 불과하며, 8가지 모델 중 2가지는 12년, 나머지 6가지는 5년으로 짧아 인버터 수명이 태양광 발전시스템의 수명을 좌우할 가능성이 높을 것으로 예상됨
 - 특히, 베란다 태양광에 대한 서울시의 보조금 비율이 75%에 달하며, 자치구 보조금까지 합하면 보조금 비중은 더 높아짐
 - 보조금으로 인하여 인버터 구입가격이 베란다 태양광 발전시스템의 자부담 규모와 유사한 수준에 이르면 인버터 교체에 대한 관심이 저하될 수도 있는 상황임
 - 따라서 본 연구에서는 보수적인 평가와 안정적인 폐모듈 관리 대책 수

립을 위하여 태양광 모듈의 수명을 20년으로 가정하여 발생량을 예측하고자 함

[표 2-12] 베란다 태양광 부품별 보증기간

부품	평균	최대	최소
모듈	13.6년	25년	10년
인버터	6.9년	12년	5년

- 시간 경과에 따라 태양광 모듈의 출력 감소
 - 태양광 모듈의 출력이 감소하는 과정으로는 유리, 포장재 등이 자외선에 의해 투과율이 감소하게 되고 셀과 셀을 연결하는 곳이 산화되어 직렬저항이 증가
 - 저항이 증가하면 모듈의 출력이 감소하고 효율이 낮아지게 됨
- 발전 효율은 25년에 6~8% 정도 감소
 - 대부분의 제조업체들은 초기 10~12년 사이에 효율성이 10% 감소하고, 25년에 도달하면 20%가 감소할 것으로 여기고 있으나, 실제로 6~8% 정도 감소하는 것으로 나타나고 있음
 - 효율성 저하는 먼지나 습기 등의 영향으로 환경에 따라 차이가 있을 수 있기 때문에 태양광 모듈의 수명은 일반적으로 언급되고 있는 것보다 훨씬 길 수 있으며, 효율이 감소하더라도 그 이후에도 계속 기능할 수 있음
- 현재까지 모듈의 폐기시점에 대한 정확한 기준 부재
 - 최대수명은 30년이나 최대수명이 다하기 전에 화재나, 자연재해, 운영 관리의 문제 등으로 인해 폐기되는 경우가 많기 때문에 대략 15~20년으로 보고 있음. 그러나 초기출력의 80% 이하로 떨어지는 시점을 폐기 시점으로 지칭하기도 함
- 태양광 모듈의 기대수명을 평균 30년으로 추정한 연구결과도 있음
 - Frischknecht et al.,(2016)의 연구에서 태양광 모듈의 기대수명을 평균 30년으로 추정하였고, 이 기대수명은 국제에너지기구(IEA)와 IRENA가 작성한 「End of Life Solar PV Panels」 보고서에서도 사용됨(IRENA 2016, p.11)

- 태양광 모듈의 수명을 초기 성능의 80% 이하가 되는 시점으로 정의하기도 함. 따라서 연간 성능 저하율을 0.8~1%로 보면 PV 모듈의 수명은 20~25년임. 최근 기술발달로 PV 모듈의 수명을 30년으로 보기도 함⁷⁾
- 한국에너지기술연구원(2016)은 태양광 모듈의 기대수명을 제조연도별로 추정
- 모듈 수명이 다하기 전 부대설비 등의 고장으로 폐기되는 경우도 발생

[표 2-13] 태양광 모듈 평균 수명

설치연도	기대수명 분포				평균수명
	15년	20년	25년	30년	
~2000	40%	30%	25%	5%	19.8년
2001~2010	35%	30%	25%	10%	20.5년
2011~2020	15%	30%	25%	30%	23.5년
2021~	5%	30%	25%	40%	25.0년

주: 한국에너지기술연구원(2016)의 자료를 재해석

서울시 태양광발전설비 철거 관련 언론보도 사례

사례1. ** 박물관

옥상 태양광발전소를 발전 효율이 낮아 철거할 예정. 빛이 반사된다는 민원으로 정남향이 아닌 서향에 세워 발전량을 기대하기 어렵고 예산이 낭비되고 있기 때문에 태양광 모듈 철거 후, 어린이 천문대 건축할 계획

사례2. ** 운동장

태양광 발전 시설이 벽면에 수직으로 세워져 빛을 받기 어렵기 때문에 실제 발전량이 절반에 그쳐 철거할 예정. 예산 부족으로 인하여 고장을 방치하였고 현재 무용지물인 상황

사례3. ** 환경기초시설

인버터 고장으로 발전량이 목표량의 14%에 그쳐... 대만 부품으로 부품 조달에 어려움을 겪어 오랫동안 방치

사례4. ** 노인복지센터

인버터 고장으로 AS를 요청하였으나 업체에서 화신이 없어 현재까지 발전을 못하고 있는 상황. 건물 증축 시 철거할 예정

자료: 2019년 6월 24일자 조선일보

7) Peeters, Karolien et al., 2018, Preparatory study for solar photovoltaic modules, inverters and systems, JRC Technical Reports, European Commission

3) 서울시 태양광 설비용량 전망

- 보급현황, 정책목표, 물리적 환경을 고려하여 태양광 포화용량 전망
 - 지금까지 설치된 시설과 ‘태양의 도시, 서울’ 사업 추진으로 증설되는 용량을 종합하여 2040년까지 서울시 태양광 설비용량을 전망
 - 태양광 설비 보급량 전망을 위하여 기존의 연도별 설치된 발전용량을 조사하고, ‘태양의 도시, 서울’ 사업계획을 반영
 - 태양광 설비용량(Q_y)은 아래와 같이 Gompertz 식을 적용하여 회귀분석

$$Q_y = Q_s e^{-a \exp^{-bt}}$$

여기서, Q_y = y 년도의 설비용량, kW

Q_s = 접근선(포화용량 또는 성장한계 값 = 2,700,000kW)

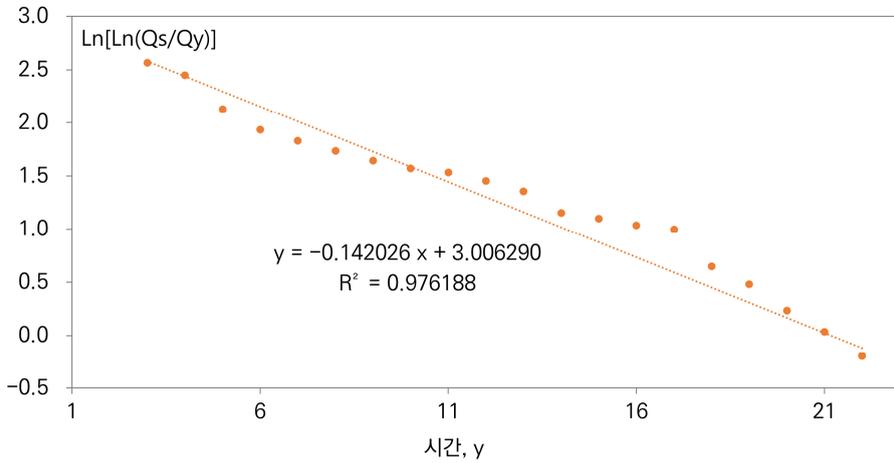
a = x축 방향의 변위(= 20.2123)

b = 성장률(= 0.1420)

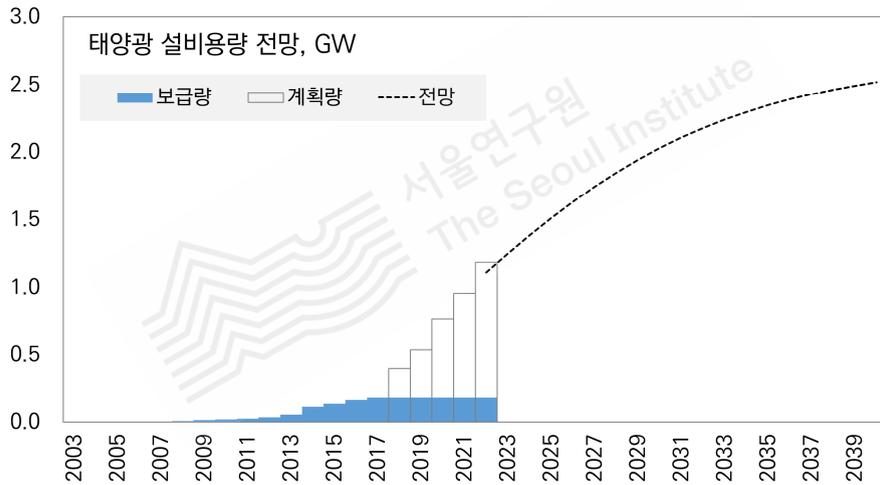
t = 관측연도(y)에서 2000을 제한 값($t = y - 2000$)

- 기존 연구결과에 따르면 태양광 설치에 적합한 지붕의 면적에 설치하면 270만MWh의 전력생산이 가능한 것으로 알려졌으며,⁸⁾ 이를 태양광설비 용량으로 환산하면 2.08GW로 추정
- 향후 모듈 1개당 발전용량 증가와 건물일체형 태양광 기술 발전 등을 고려하여 30%를 더해 2.7GW로 성장한계점(포화용량)을 설정
- Gompertz 식을 변형하여 시간과 $\ln(\ln Q_s / Q_y)$ 의 상호관계식을 도출한 후 선형회귀분석한 결과 그림과 같이 나타남
- Y축 절편과 기울기로부터 x축변위계수(a)와 성장률(b)을 산출

8) 김민경 외, 태양광 발전량 예측모델 구축 및 햇빛지도 제작, 서울특별시(2013)



[그림 2-14] 성장한계점/설비용량 비율과 시간과 상호관계



[그림 2-15] 서울시 태양광 발전 설비용량 전망

- 한편, 각 설치 근거별 설비용량과 신규 설치용량은 표와 그림에 나타냄
- ‘태양의 도시, 서울’ 계획에 따라 2018년부터 태양광 보급이 급격히 증가할 것으로 전망

[표 2-14] 서울시 태양광발전 설비용량 전망

연도	용량(MW)	연도	용량(MW)	연도	용량(MW)	연도	용량(MW)
2021	958	2026	1,632	2031	2,108	2036	2,391
2022	1,186	2027	1,745	2032	2,178	2037	2,430
2023	1,249	2028	1,848	2033	2,241	2038	2,464
2024	1,383	2029	1,944	2034	2,297	2039	2,494
2025	1,511	2030	2,030	2035	2,347	2040	2,520

4) 태양광 폐모듈 발생량 전망

(1) 연도별 태양광 신규 보급량 전망

- 태양광 설비 보급량 전망을 위하여 기존의 연도별 설치된 발전용량을 조사하고, ‘태양의 도시, 서울’ 사업계획을 반영
- 태양광 설비 용량(Q_y)은 앞에서 살펴본 바와 같이 Gompertz 식을 적용하여 회귀분석
- 연도별 태양광 모듈 신규 설치용량(q_y)은 해당연도 설비용량과 전년도 설비용량과의 차이로 산정
 - 시간의 흐름에 따라 폐모듈이 발생하는 현상을 고려하여 폐모듈이 발생할 경우 발생량만큼 신규 모듈로 대체된다고 가정

$$q_y = Q_y - Q_{y-1} + w_y$$

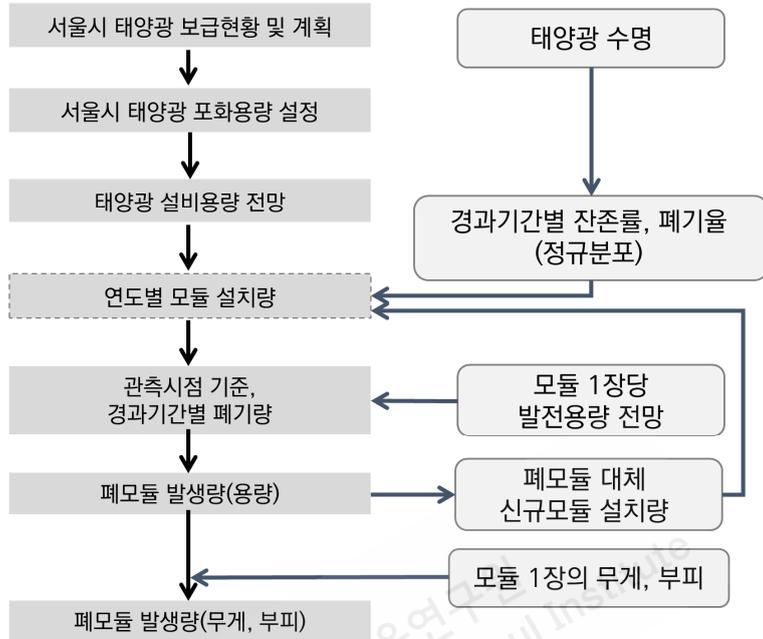
여기서, Q_y = y 년도의 설비용량 합계, kW

q_y = y 년도 신규 설치용량, kW

w_y = y 년도 폐모듈 발생량, kW

(2) 태양광 폐모듈 발생량 예측

- 태양광 폐모듈 발생량 예측을 위해 다음과 같은 흐름으로 분석 수행



[그림 2-16] 태양광 폐모듈 발생량 전망 흐름도

- 태양광 모듈의 기대수명에 대해서는 명확하게 설정할 수 없는 상황
 - 모듈이 고장 나더라도 즉시 배출되지 않고 지연되는 현상이 나타날 것으로 예상
 - 앞서 언급한 바와 같이 기대수명은 모듈 보증기간(13.6년)보다는 훨씬 길 것으로 예상
 - 통상적으로 모듈의 수명을 20년 이상으로 보는 점, 인버터 고장 시 신규 인버터 구입의사가 없을 경우 폐모듈 배출 시기가 다소 앞당겨지는 점, 또한 서울시가 중점적으로 관리해야 할 폐모듈은 베란다용 미니태양광이고 미니태양광의 인버터 교체의사가 매우 낮을 것으로 예상되는 점 등을 고려하여 폐모듈로 배출되는 평균기간을 20년으로 가정하였음
 - 본 연구에서는 평균 배출기간을 평균수명으로 정의함
- IRENA 보고서에서는 Weibull model을 적용하여 폐기량을 예측함

- 모듈의 평균 수명 30년
- 40년 이후 99.99% 폐기되는 것으로 가정
- 모듈의 폐기 속도에 따라 형상계수를 달리 적용

$$F(t) = 1 - e^{-(t/T)^\alpha}$$

여기서, F_t = 경과 시간 t 년의 누적폐기율

T = 평균수명, 년

t = 경과시간, 년

α = 형상계수(조기폐기 시나리오인 경우 2.4928, 정상폐기 시나리오인 경우 5.3759)

- 본 연구에서는 태양광의 모듈의 수명과 폐모듈 배출 특성이 정규분포하는 것으로 가정
 - 태양광 모듈은 20 ± 5 년 기간 동안 95%가 배출된다고 가정
- 태양광의 모듈의 수명과 폐모듈 배출 특성이 정규분포하는 것으로 가정
 - 태양광 모듈은 20 ± 5 년 기간 동안 95%가 배출된다고 가정
 - 상용 업무용 소프트웨어인 엑셀의 NORMSINV 함수를 이용하면 표준값(Z score) 1.96을 얻음. 수명의 표준편차는 $2.55(5 \div 1.96)$
 - 경과년수(t)에서 z score는 다음과 같이 구할 수 있음

$$z_t = \frac{t - L_{avg}}{L_{std}}$$

여기서, z_t = 경과 시간 t 년의 z score

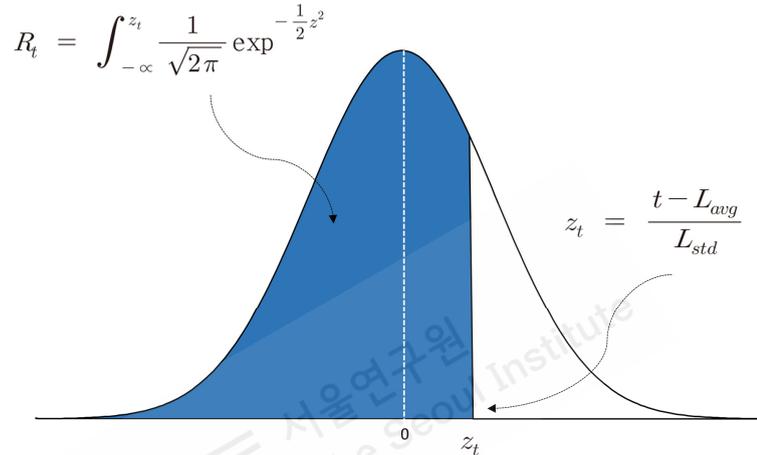
L_{avg} = 태양광 모듈의 평균수명

L_{std} = 태양광 모듈 수명의 표준편차

9) IRENA 2016 AND IEA-PVPS 2016, End of Life Management of Photovoltaic Panels Trends in PV Module Recycling Technologies

○ 누적폐기율과 폐기율

- 누적폐기율(R_t): 어느 해에 설치된 모듈에 대해 준공 후 t년까지 폐기된 모듈 총량의 비율(누적폐기율)로 아래 그림에서 음영부분에 해당
- 이를 수식으로 나타내면 아래와 같으며, 엑셀의 함수 NORMSDIST를 이용하여 쉽게 구할 수 있음
- 폐기율(r_t): t년 경과 되는 해 폐기될 비율(r_t)로 t년 경과 후 누적폐기비율과 전년도 누적폐기율의 차이로 구함.



[그림 2-17] 정규분포 z-score와 누적 폐기율의 관계

$$R_t = \int_{-\infty}^{z_t} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp^{-\frac{1}{2}z^2} = \text{NORMSDIST}(z_t)$$

$$r_t = R_t - R_{t-1}$$

$$= \text{NORMSDIST}(z_t) - \text{NORMSDIST}(z_{t-1})$$

여기서, R_t = 누적폐기율(경과 시간 t까지 폐기된 모듈의 총량의 비율)

r_t = t년 경과하는 해 1월 1일부터 12월 31일 사이의 폐기율

○ 폐모듈 발생량

- 경과 시간별 폐기비율과 해당연도별 신설용량을 곱하여 더해지면 폐모듈 발생량이 kW 단위로 산출됨
- 각 연도별 모듈의 발전용량을 나누어 합산하여 폐모듈 수량 산출

- 폐모듈 설치 연도별 수량에 모듈 1장의 무게와 부피 등을 곱하여, 부피와 무게 산출

$$W_y = \sum_{t=0}^{2L_{avg}} q_{y-t} \cdot r_t$$

$$N_y = \sum_{t=0}^{2L_{avg}} \frac{q_{y-t} \cdot r_t}{c_{y-t}}$$

$$M_y = \sum_{t=0}^{2L_{avg}} q_{y-t} \cdot m_{y-t} \cdot r_t$$

$$V_y = \sum_{t=0}^{2L_{avg}} q_{y-t} \cdot v_{y-t} \cdot r_t$$

여기서, W_y = y 년도 폐모듈 발생량(용량), kW /년
 N_y = y 년도 폐모듈 발생량(수량), 장/년
 M_y = y 년도 폐모듈 발생량(무게), 톤/년
 V_y = y 년도 폐모듈 발생량(부피), m^3 /년
 c_y = y 년도 모듈의 1장의 발전용량, kW /장
 v_y = y 년도 모듈1장의 부피, m^3 /장
 m_y = y 년도 모듈1장의 무게, 톤/장

- 무게 및 부피 산정 시, 최대한 설치 당시의 모듈의 제원을 적용
 - 과거 제품에 대한 정보 부족으로 문헌을 통해 추정하거나 현재 모듈 제원 적용
 - 모듈의 제원을 적용하여 폐모듈 무게나 부피 등의 단위로 산출
 - 중소형 모듈과 일반모듈 비율은 서울시 태양광 보급량 비율 적용

[표 2-15] 설치근거별 태양광 잔존 용량 전망

(단위: kW)

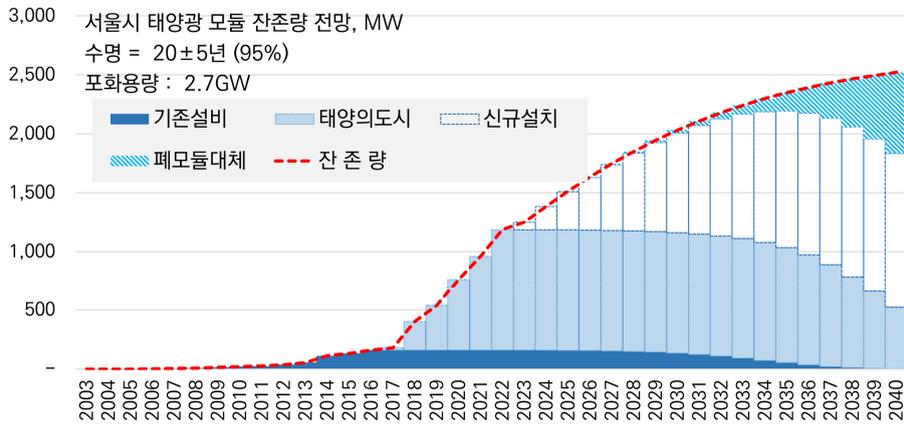
연도	기존설비	태양의도시	신규설치	폐모듈대체	잔존량
2005	590	0	0	0	590
2010	22,085	0	0	0	22,085
2015	133,472	0	0	0	133,472
2020	160,671	601,504	0	48	762,223
2025	158,035	1,025,504	325,180	2,685	1,511,404
2030	135,239	1,025,221	843,766	25,763	2,029,989
2035	53,637	979,025	1,160,464	153,650	2,346,776
2040	2,700	516,924	1,313,788	686,761	2,520,173

[표 2-16] 설치근거별 태양광 설치용량 전망

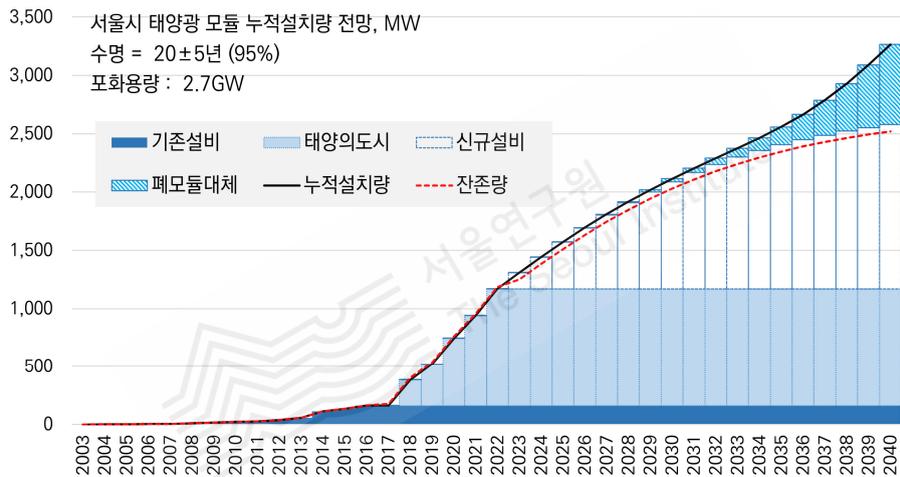
(단위: kW)

연도	기존설비	태양의도시	신규설비	폐모듈대체	누적설치량	잔존량
2005	590	0	0		590	590
2010	22,085	0	0		22,085	22,085
2015	133,472	0	0	0	133,472	133,472
2020	160,719	584,000	0	48	762,223	762,223
2025	160,719	1,008,000	400,908	2,685	1,572,312	1,511,404
2030	160,719	1,008,000	919,494	25,763	2,113,976	2,029,989
2035	160,719	1,008,000	1,236,281	153,650	2,558,650	2,346,776
2040	160,719	1,008,000	1,409,678	686,761	3,265,158	2,520,173

- ‘태양의 도시, 서울’ 계획 사업 종료 후에도 신규 누적 설치용량은 ‘태양의 도시, 서울’ 사업보다 40%가 많은 1.4 GW가 추가 설치될 것으로 전망
- 또한 기존 태양광과 ‘태양의 도시, 서울’ 사업에 의거하여 설치된 태양광 설비 중 일부는 폐기되고 688MW가 추가될 것으로 전망



[그림 2-18] 설치근거별 태양광 잔존량 전망



[그림 2-19] 서울시 태양광 누적 설치용량 전망

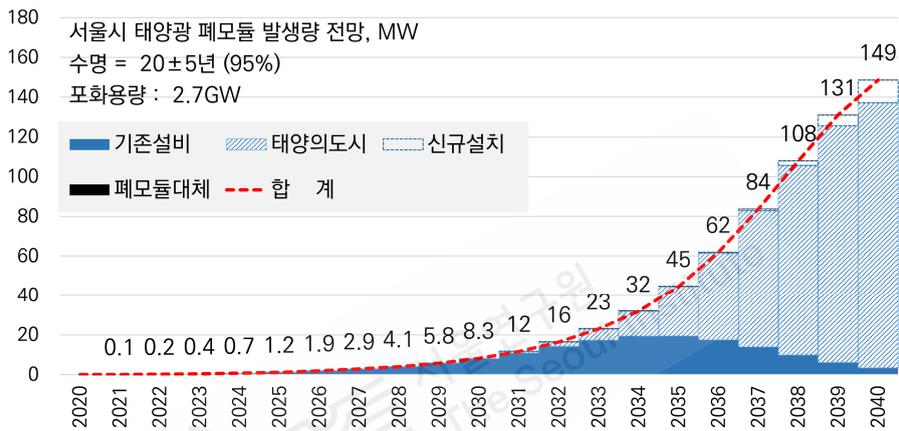
(3) 태양광 폐모듈 발생량 추정

- 지금까지 설치된 시설과 '태양의 도시, 서울' 사업 추진으로 증설되는 용량을 종합하여 2040년까지 서울시 태양광 폐모듈 발생량을 전망
 - 한편 2025년 이후에는 본격적으로 폐모듈이 발생할 것으로 예상되는 바, 폐모듈 발생량만큼 새로운 모듈로 대체되며, 대체된 모듈 중에서도 2035년 정도면 서서히 폐모듈로 배출되기 시작할 것으로 예상
 - 폐모듈 발생량 전망치는 다음 표와 그림에서 보는 바와 같이 2022년까

지는 연간 1,100장 정도로 미미한 양이 배출될 것으로 예상

- 대형 사업장에서 한꺼번에 발생될 경우에 대해서는 고려되지 않은 점에 유의하여야 함

- 폐모듈 발생량은 2030년에 연간 35,000장 이상으로 증가할 것으로 예상. 2040년에는 약 42만 장에 이를 것으로 전망(자치구당 평균 16,400장)
- 과거에 공급된 폐모듈의 평균크기를 추정할 수 없어 현재 주요 기업에서 공급하고 있는 모듈의 평균값을 조사하여 적용한 바, 2040년에 약 9,400톤이 발생하며 부피로는 약 29,000m³에 이를 것으로 전망



[그림 2-20] 설치근거별 폐모듈 발생량 전망

[표 2-17] 폐모듈 부피와 무게 산정을 위해 적용된 상용모듈의 제원

모듈 유형	평균길이 m	평균두께 cm	평균면적 ㎡	평균부피 ㎡	평균무게 kg	구성비 %
중소형 모듈	1.67	3.37	1.67	0.056	18.1	5%
일반용 모듈	1.98	3.67	1.98	0.073	22.9	95%
평균	1.97	3.65	1.96	0.069	22.6	100%

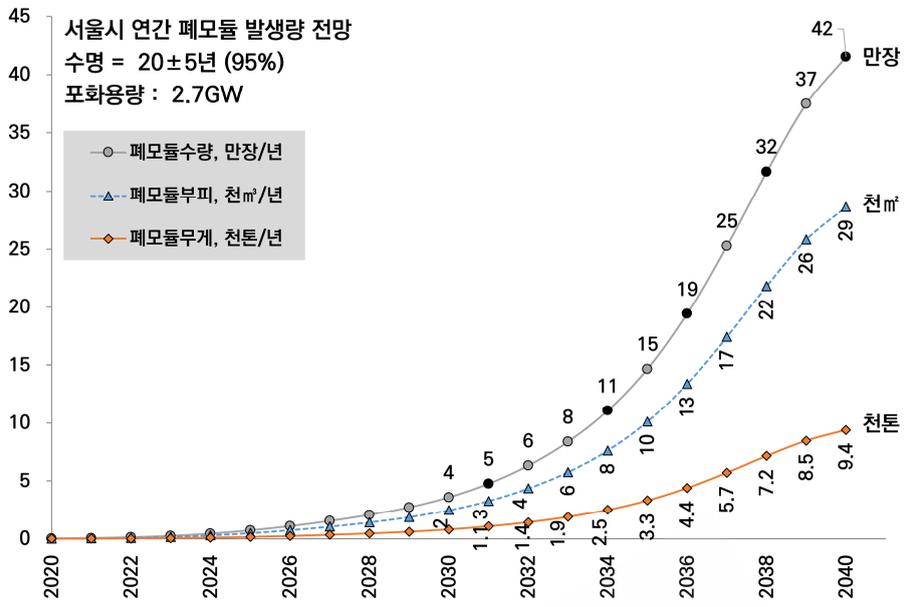
주: 중소형 모듈 발전용량은 베란다태양광을 비롯하여, 가판대, 교통안내표지판, 도로조명, 교량조명, 주차안내부스, 홍수 예경보기 등 소규모 태양광 시설 용량을 합산하여 산정. 베란다 태양광이 전체 중소형 모듈 용량의 95%를 차지함에 따라 중소형모듈의 제원은 베란다태양광 모듈 제원 적용

[표 2-18] 서울시 태양광 폐모듈 발생 용량 전망(kW)

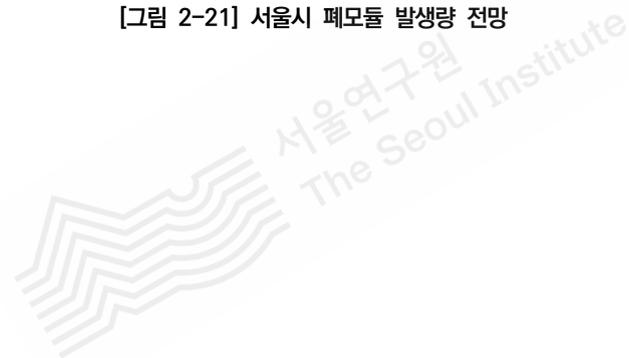
연도	기존설비	태양의 도시	신규설치	폐모듈대체	합계
2020	32	0	0	0	32
2021	83	0	0	0	83
2022	191	0	0	0	191
2023	393	0	0	0	393
2024	730	0	0	0	730
2025	1,239	0	0	0	1,239
2026	1,948	0	0	0	1,948
2027	2,888	2	0	0	2,890
2028	4,125	12	0	0	4,137
2029	5,789	55	0	0	5,844
2030	8,045	214	0	0	8,259
2031	10,959	727	0	0	11,686
2032	14,300	2,154	1	0	16,455
2033	17,423	5,571	3	0	22,998
2034	19,414	12,619	16	1	32,050
2035	19,506	25,124	68	3	44,702
2036	17,516	44,168	250	6	61,941
2037	13,981	68,901	796	15	83,693
2038	9,882	95,857	2,211	32	107,982
2039	6,168	119,453	5,370	66	131,056
2040	3,391	133,722	11,446	127	148,686

[표 2-19] 서울시 태양광 폐모듈의 무게와 부피 전망

연도	사업별 폐모듈 발생량, 장					무게 톤	부피 m ³
	기존설비	태양의 도시	신규설치	폐모듈대체	합계		
2020	215	0	0	0	215	5	15
2021	542	0	0	0	542	12	37
2022	1,213	0	0	0	1,213	27	84
2023	2,430	0	0	0	2,430	55	168
2024	4,381	0	0	0	4,381	99	302
2025	7,176	0	0	0	7,176	162	495
2026	10,816	1	0	0	10,817	244	746
2027	15,250	7	0	0	15,257	345	1,052
2028	20,540	37	0	0	20,577	465	1,419
2029	27,020	166	0	0	27,186	614	1,875
2030	35,219	649	0	0	35,868	811	2,473
2031	45,385	2,201	0	0	47,586	1,075	3,281
2032	56,727	6,494	1	0	63,223	1,429	4,360
2033	66,982	16,716	8	1	83,707	1,892	5,772
2034	72,959	37,644	40	3	110,645	2,501	7,630
2035	72,057	74,433	167	7	146,663	3,315	10,113
2036	63,818	129,783	608	17	194,227	4,390	13,393
2037	50,343	200,536	1,930	39	252,847	5,714	17,436
2038	35,217	275,987	5,336	82	316,622	7,156	21,833
2039	21,779	339,874	12,901	164	374,718	8,469	25,839
2040	11,874	375,794	27,355	310	415,333	9,387	28,640



[그림 2-21] 서울시 폐모돌 발생량 전망



03

폐모듈 관리체계의 문제점



- 1_ 폐기물 관련 법제도
- 2_ 태양광 모듈의 특성과 유해성
- 3_ 폐모듈 관리의 문제점
- 4_ 해외사례

03. 폐모듈 관리체계의 문제점

1_폐기물 관련 법제도

1) 폐기물관리법

(1) 폐기물의 분류

- 우리나라에서는 폐기물의 발생원, 구성성분 및 유해성 등을 고려하여 「폐기물관리법」의 시행규칙에 따라 생활폐기물, 사업장폐기물로 분류하고 있으며, 사업장폐기물은 일반폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분



[그림 3-1] 폐기물 분류 체계

① 생활폐기물

- 사업장폐기물 외의 폐기물을 말함
 - 사업장폐기물이 아닌 경우는 모두 생활폐기물로 관리된다고 볼 수 있으며, 좀 더 구체적으로 표현하면 신고대상 사업장폐기물이 아닌 경우도 광의의 생활폐기물로 규정할 수 있음
- 주택 등에서 1일 300kg 이하로 발생하는 폐기물

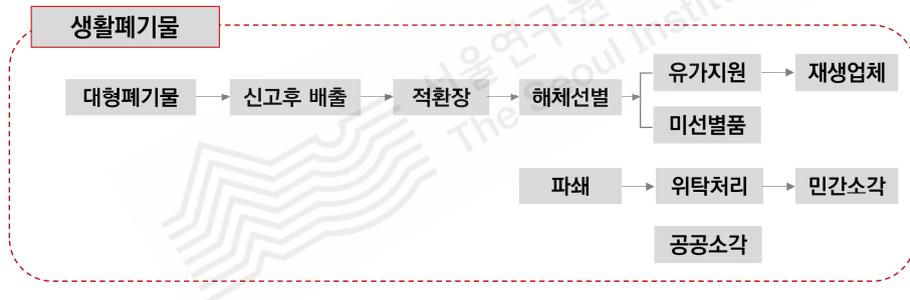
- 가정쓰레기: 일반주택 또는 공동주택에서 배출하는 생활폐기물 중에서 연탄재, 재활용가능 폐기물, 대형폐기물을 제외한 생활폐기물
- 대형폐기물: 생활폐기물 중에서 쓰레기봉투에 담기 어려운 폐기물로서, 대형폐기물 스티커를 부착하여 배출하기 전에 수거처에 폐기물 종류, 배출자 이름, 연락처, 배출일자를 전화로 신고한 후 배출
- 재활용가능폐기물: 생활폐기물 중에서 쓰레기봉투에 담지 아니하고 시장이 정하는 방법에 따라 분리 배출하여야 하는 폐기물
- 공사장생활폐기물: 생활폐기물 중에서 일련의 공사·작업 등으로 인하여 발생하는 5톤 미만의 폐기물이며, 기초 및 광역 지방자치단체에게 수거, 처리 등 관리의무가 주어짐
- 서울특별시 공식홈페이지에 의하면 종량제 규격봉투에 담아 배출한 일반 생활폐기물은 자원회수시설이 설치되어 있는 지역에서는 자원회수시설로 운반
- 자원회수시설이 설치되어 있지 않은 자치구는 중간집하장으로 운반하여 압축한 후 대형운반용 차량을 통해 수도권 매립지로 운반하거나 중간집하장을 경유하지 않고 압축차량으로 직접 매립지로 운송하여 매립 처리
- 재활용품은 재분류 후 재활용 업체 등에 매각하고, 페스티로폼은 분리수거하여 건축자재의 원료인 덩어리로 재생산 및 판매
- 대형폐기물의 경우 목재류는 파쇄 처리하고, 철재 등 금속류는 재활용. 그 중 TV, 세탁기, 냉장고, 컴퓨터, 에어컨, 기타 1m 이상 대형폐가전제품은 인터넷(www.eded.co.kr) 또는 콜센터(1591-0903)로 방문수거 신청하면 원하는 시간에 무상 방문하여 수거

② 사업장폐기물

- 사업장폐기물은 일반폐기물(생활계폐기물, 배출시설계폐기물), 건설폐기물, 지정폐기물로 구분
- 배출원에 따라 「대기환경보전법」, 「물환경보전법」 또는 「소음·진동관리법」에 따라 배출시설을 설치·운영하는 사업장이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물로 규정
- 사업장생활계폐기물¹⁰⁾은 사업장에서 발생하는 배출시설계 폐기물 이외의

것으로 1일 평균 300kg 이상 배출하는 사업장

- 사업장배출시설계폐기물은 「대기환경보전법」, 「물환경보전법」 또는 「소음·진동관리법」에 따라 배출시설을 설치·운영하는 사업장이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물
 - 사업장일반폐기물(건설폐기물 포함)은 오염원인자처리책임원칙(3P's, Polluter Pay Principles)에 의하여 발생원인자인 사업주가 수거 및 처리 등 관리해야 함
 - 건설폐기물은 「건설산업기본법」 제2조제4호에 따른 건설공사에서 공사를 착공할 때부터 마칠 때까지 발생하는 폐기물의 양이 5톤 이상인 폐기물을 지칭
 - 지정폐기물은 유해성분을 가지고 있어서 '지정'해서 특별하게 관리할 필요가 있는 폐기물을 지칭
- 주거 또는 사업장에서 배출되는 생활폐기물 중 대형폐기물 처리과정은 다음 그림과 같음



[그림 3-2] 생활폐기물 중 대형폐기물 처리과정

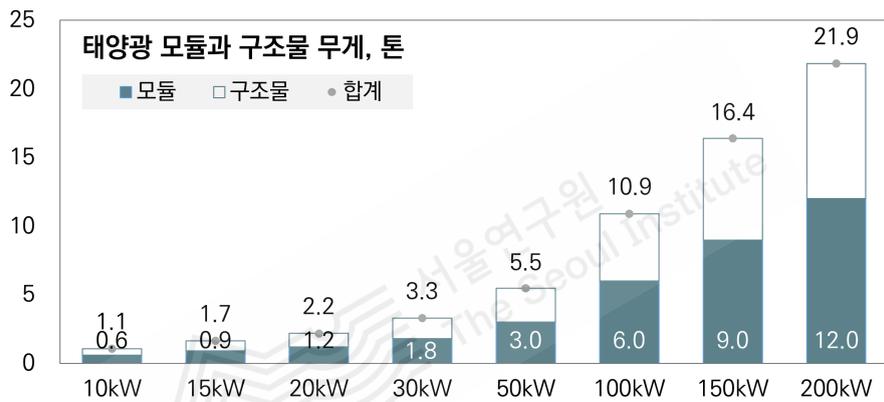
자료: 3대민생현안집중토론(2019) 중 배재근, 폐기물 관리 및 처리 현상과 전망, p.12 재작성

- 사례) 태양광 발전설비 무게 산출
 - 태양광 발전설비 무게 산출을 위해 (사)에너지나눔과평화의 서울교통공사 인재개발원 내 태양광 발전소 설계 자료를 인용하여 발전용량에 따라 무게를 산출
 - 최근의 사례를 분석한 것이기 때문에 PV 폐기물의 무게는 증가할 수 있음

10) 폐기물통계에서 사업장생활계폐기물은 성상이 생활폐기물과 유사하기 때문에 생활폐기물(사업장생활폐기물과 구분하기 위하여 가정생활폐기물이라고 함)과 묶어서 생활계폐기물로 분류함

[표 3-1] 설비용량과 태양광 시스템 전체 하중

설비용량(kW)	구조물(ton)	모듈(ton)	합계(ton)
10	0.49	0.60	1.09
15	0.74	0.91	1.64
20	0.98	1.21	2.19
30	1.48	1.81	3.29
50	2.46	3.00	5.46
100	4.92	6.00	10.9
150	7.38	9.01	16.3
200	9.85	12.01	21.8



[그림 3-3] 태양광 발전용량과 무게

[표 3-2] 무게 5톤에 상응하는 태양광설비의 발전용량

발전용량	모듈+구조물	모듈	구조물	계산상의 발전용량
46 kW	5.0 톤	2.8 톤	2.2 톤	45.7 kW
80 kW	9.1 톤	5.0 톤	4.1 톤	83.2 kW
100 kW	11.1 톤	6.1 톤	5.0 톤	101.7 kW

③ 건설폐기물

- 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」에 의해 건설폐기물은 건설현장에서 발생하는 5톤 이상의 폐기물로 정의
- 태양광 폐모듈은 다음 표와 같이 신에너지 및 재생에너지 설비를 갖춘 전기공사에 해당하기 때문에 건설폐기물에 해당되지 않음

[표 3-3] 태양광 폐모듈과 건설폐기물 관련 법조항

법령	조문
건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률(약칭: 건설폐기물법) [시행 2019. 4. 19.]	제2조(정의) -중략- 1. "건설폐기물"이란 「건설산업기본법」 제2조제4호에 해당하는 건설공사(이하 "건설공사"라 한다)로 인하여 건설현장에서 발생하는 5톤 이상의 폐기물(공사를 시작할 때부터 완료할 때까지 발생하는 것만 해당한다)로서 대통령령으로 정하는 것을 말한다. 건설폐기물법 시행령 [별표 1] 건설폐기물의 종류(제2조 관련)* 페콘크리트, 페아스팔트콘크리트, 폐벽돌, 폐블록, 폐기와, 폐목재, 폐합성수지, 폐섬유, 폐벽지, 건설오니, 폐금속류, 폐유리, 폐타일 및 폐도자기, 폐보드류, 폐판넬, 건설폐토석, 혼합건설폐기물(제1호부터 제15호까지의 건설폐기물 중 둘 이상의 건설폐기물이 혼합된 것), 건설공사로 인하여 발생하는 그 밖의 폐기물
건설산업기본법 [시행 2021. 1. 1.]	제2조(정의) -중략- 4. "건설공사"란 토목공사, 건축공사, 산업설비공사, 조경공사, -중략- 등을 말한다. 다만, 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 공사는 포함하지 아니한다. 가. 「전기공사업법」에 따른 전기공사
전기공사업법 [시행 2018. 10. 18.]	제2조(정의) 1. "전기공사"란 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 설비 등을 설치·유지·보수하는 공사 및 이에 따른 부대공사로서 대통령령으로 정하는 것을 말한다. - 중략 - 라. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제2조제3호에 따른 신·재생에너지 설비 중 전기를 생산하는 설비
신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 (약칭: 신재생에너지법) [시행 2017. 9. 22.]	제2조(정의) 3. "신에너지 및 재생에너지 설비"(이하 "신·재생에너지 설비"라 한다)란 -중략- 산업통상자원부령으로 정하는 것을 말한다. 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행규칙 제2조(신·재생에너지 설비) -중략- 4. 태양에너지 설비 -중략- 나. 태양광 설비: 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 채광(採光)에 이용하는 설비

주: 주요폐기물의 일련번호 및 ()내의 세부조건 생략. 폐판넬은 건설자재를 의미함

(2) 태양광 폐모듈의 관리제도

- 「폐기물관리법」 제2조의2, 시행규칙 제4조의2, 시행규칙 [별표4]에서는 폐기물 종류에 대해 세부적으로 분류
 - 사업장 일반폐기물 중 폐전지류 중 하나로 폐태양전지·전자기기폐이스트(51-41-04) 항목이 있으나, 2018년 10월 8일 입법예고된 「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법」 시행령 개정안에 따르면 시행령 별표3에 환경성보장제 대상 전기·전자제품에 태양광 모듈을 추가하며, 태양광 모듈은 “생산된 전기를 인버터로 연결해주는 정션박스(junction box)를 포함하고 충전재 및 유리 등의 보호재로 압축된 태양전지를 중 및 횡으로 연결하여 결합한 형태로 전압과 전류를 생성하기 위한 기능을 지니고 있는 것”으로 정의
 - 따라서, 태양광 모듈을 전기·전자제품으로 분류할 경우 사업장일반폐기물 중 폐전기전자제품류(51-18) 또는 생활폐기물-대형폐기물에서 폐전기전자제품(91-09-00) 항목에 해당되나 실제로 어디에 포함되어 처리되고 있는지는 불확실

[표 3-4] 태양광 폐모듈의 세부 분류

분류번호	품목
51-41	폐전지류
51-41-01	1차폐전지 ¹¹⁾
51-41-02	2차폐전지
51-41-03	2차폐전지(지정폐기물 중 폐황산이 포함된 2차폐축전지는 제외)
51-41-04	폐태양전자전자기기폐이스트
51-18	폐전기전자제품류
51-18-01	가정용폐전기전자제품
51-18-02	산업용폐전기전자제품
51-18-03	프린트토너 및 카트리지폐부속품
51-18-99	그 밖의 폐전기전자제품류
91-09-00	폐전기전자제품

자료: 「폐기물관리법」 제2조의2, 시행규칙 제4조의2, 시행규칙 [별표4]

(3) 태양광 폐모듈의 수집, 운반, 처리에 관한 사항

- 현재 폐모듈 관리에 관한 법률이 부재한 상황이며, 기존 문헌이나 전문가 자문을 통해 파악한 결과, 대부분 매립으로 처리하고 있는 상황
 - 법 제14조 규정에 따라 생활폐기물은 지자체장(특별자치시장, 특별자치도지사, 시장·군수·구청장)에게 처리책임이 있으며, 제18조 규정에 따라 사업장폐기물은 배출자에게 처리책임이 있음
- 법 14조 [별표 5] 폐기물의 처리에 관한 구체적 기준 방법 내용을 토대로 정리하면 다음과 같음

① 생활폐기물로 주택용 폐모듈이 배출된 경우

- 생활폐기물은 특별자치시장, 특별자치도지사, 시장·군수·구청장 또는 생활폐기물 처리 대행업체, 폐기물처리 신고자(수집·운반·재활용)가 이를 처리하여야 함
 - 지자체장은 생활폐기물을 처리할 때 배출되는 생활폐기물의 종류, 양 등에 따라 수수료를 징수할 수 있으며, 생활폐기물이 배출되는 토지나 건물의 소유자·점유자(생활폐기물 배출자)는 지자체 조례로 정하는 바에 따라 생활환경에 지장이 없는 방법으로 그 폐기물을 스스로 처리하거나 양을 줄여서 배출
 - 스스로 처리할 수 없는 생활폐기물은 종류별, 성질·상태별로 분리하여 보관하여야 함
 - 생활폐기물 중 공사·작업 등으로 인하여 5톤 미만으로 발생하는 폐기물이 배출되면 조례에서 정하는 바에 따르거나 폐기물 처리업체, 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 설치·운영자에게 운반할 수 있음
 - 수집 및 운반 작업은 압축·압착차량이나 암롤차량 등으로서 적재함이 밀폐된 차량을 이용해야 하며, 금속, 플라스틱 또는 폐기물의 유출, 악취 누출 등을 방지할 수 있는 재질이어야 함
- 재활용이 가능한 폐기물은 법 제13조의2에 따라 재활용하며, 폐타이어, 폐가구 및 폐가전제품은 매립공간이 최소화되도록 해체·압축·파쇄·절단 등을 한 후 매립하되, 그 잔재물 중 가연성폐기물은 소각함

11) 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행령 제18조제4호에 해당되는 것을 말함

② 사업장일반폐기물로 폐모듈이 배출된 경우

- 사업장폐기물 배출자는 그의 사업장에서 발생하는 폐기물을 스스로 처리하거나 다음에 해당하는 자에게 위탁하여 처리해야 함
 - 제25조제3항에 따른 폐기물처리업의 허가를 받은 자
 - 제4조나 제5조에 따른 폐기물처리시설을 설치·운영하는 자
 - 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」 제21조에 따라 건설폐기물 처리업의 허가를 받은 자
 - 「해양환경관리법」 제70조제1항제1호에 따라 폐기물 해양 배출업의 등록을 한 자
- 사업장생활계 폐기물 수집·운반업자가 폐모듈의 수집·운반 작업 수행
 - 사업장생활계 폐기물로서 생활폐기물과 성상이 비슷한 폐기물은 특별자치시 및 시·군·구의 조례로 정하는 바에 따라 생활폐기물 수집·운반업자가 수집·운반할 수 있음

2) 전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률

(1) 환경성보장제도

- 전기·전자제품 및 자동차의 재활용을 촉진하기 위하여 유해물질의 사용을 억제하고 재활용이 쉽도록 제조하여 그 폐기물을 적정하게 재활용하도록 하여 자원을 효율적으로 이용하는 자원순환체계를 구축함으로써 환경의 보전과 국민경제의 건전한 발전에 이바지함을 목적으로 함
- 발생단계에서 생산자 및 판매업자의 폐기물 회수 및 재활용 의무 부과 등의 사후관리를 주요 내용으로 하고 있음
- 또한, 전기·전자제품은 TV, 냉장고 등 27개 제품을 대상으로 하고 있으며, 환경부에서는 태양광 모듈을 포함하여 품목을 확대할 계획 중
 - 대형기기: TV, 냉장고, 세탁기, 에어컨, 자동판매기
 - 통신·사무기기: 컴퓨터, 프린터, 복사기, 팩스, 휴대폰
 - 중형기기: 전기정수기, 전기오븐, 전자레인지, 음식물처리기, 식기건조기
 - 소형기기: 전기비데, 공기청정기, 전기히터, 오디오, 전기밥솥, 연수기, 가습기, 전기다리미, 선풍기, 믹서, 청소기, 비디오 및 디브이디 플레이어

(2) 사전예방 제도

- 전기·전자제품의 재활용을 쉽도록 하고 환경에 미치는 유해성을 최소화하기 위하여 전기·전자제품 제조·수입업자는 제조단계에서 환경에 미치는 유해성이 높은 중금속·난연제 등 유해물질 함유기준을 준수해야 함
- 다만, 제품의 특성상 유해물질의 제거가 불가능하거나 대체물질이 없다고 인정되어 대통령령으로 정하는 경우와 연구·개발이나 수출을 목적으로 하는 경우에는 예외를 인정
- 전기·전자제품 제조·수입업자는 유해물질 함유기준을 스스로 확인하여 출고·수입일로부터 3개월 이내 공표해야 함

[표 3-5] 전기·전자제품의 중금속 함유기준

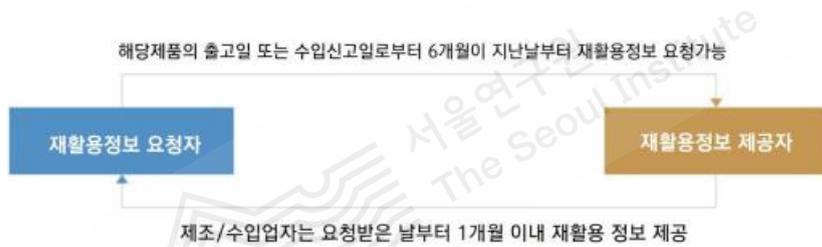
구분	종류	함유기준
전기·전자제품	납(pb), 수은(Hg), 육가크롬(Cr6+), 폴리브롬화페닐(PBBs), 폴리브롬화디페닐에테르(PBDEs)	동일물질 내 중량기준(Wt)으로 0.1% 미만
	카드뮴(Cd)	동일물질 내 중량기준(Wt)으로 0.01% 미만
자동차	납(Pb), 수은(Hg), 육가크롬(Cr6+)	동일물질 내 중량기준(Wt)으로 0.1% 미만
	카드뮴(Cd)	동일물질 내 중량기준(Wt)으로 0.01% 미만

주: 공표기한은 제조업자-출고일로부터 3개월 이내, 수입업자-수입신고일로부터 3개월 이내

- 전기·전자제품 제조·수입업자는 제품의 재활용을 쉽게 하기 위하여 재질·구조에 관한 사항 등 환경부장관과 산업통상자원부장관이 공동으로 정해 고시하는 재질·구조개선에 관한 지침을 지켜야 함
- 환경부장관과 산업통상자원부장관은 전기·전자제품 제조·수입업자가 지침을 위반한 경우에는 그 지침을 지킬 것을 권고
- 전기·전자제품 제조·수입업자는 재활용사업자가 폐전기·전자제품의 재활용을 촉진하기 위하여 제품의 구성재질이나 재활용방법 등에 관한 정보를 요구하는 경우 핵심기술정보의 유출 등 영업보호를 해치지 않는 범위 안에서 1개월 내 재활용정보를 제공해야 함
- 다만, 환경부장관이 산업통상자원부장관과 협의하여 지정·고시하는 재활용정보제공통신망에 가입하여 재활용정보를 제공하는 경우에는 재활용사업자에게 그 재활용정보를 제공한 것으로 볼 수 있음

[표 3-6] 전기·전자제품 재질·구조개선에 관한 지침 주요 내용

구분		개선사항
재질	제조업자	<ul style="list-style-type: none"> 플라스틱 재질 부품에 대한 재질 종류 단순화 재활용이 가능한 플라스틱 사용 확대 플라스틱 재질의 부품에 대한 재질기호 표시 기타 재활용촉진을 위하여 필요한 재질 개선사항
	수입업자	<ul style="list-style-type: none"> 수입하는 전기·전자제품의 제조업자별로 재질개선사항을 준수하고 있는지를 확인한 후 수입
구조	제조업자	<ul style="list-style-type: none"> 재활용이 가능한 부품에 대하여 재질별로 분리가 용이한 구조로 개선 처리하는 경우에 해체가 용이한 구조로 개선 2가지 이상의 재질로 접합된 구조에 대하여 단일재질 사용구조로 개선 제품중량의 감량화 등을 위한 구조로 개선 기타 재활용촉진을 위하여 필요한 구조 개선사항
	수입업자	<ul style="list-style-type: none"> 수입하는 전기·전자제품의 제조업자별로 구조개선사항을 준수하고 있는지를 확인한 후 수입



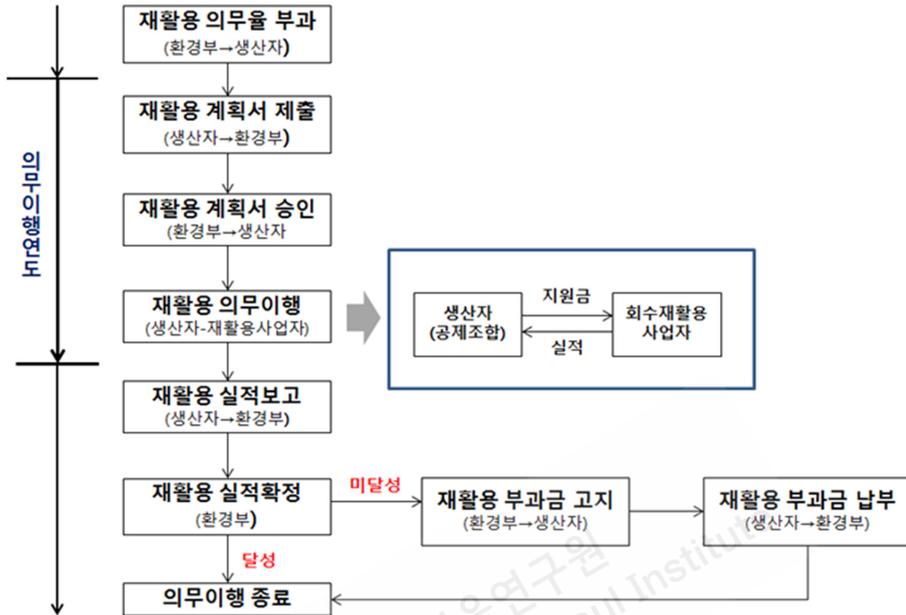
[그림 3-4] 전기·전자제품의 재활용 정보 제공 흐름

(3) 사후관리 제도

- 전기·전자제품 제조·수입업자 중 대통령령으로 정하는 규모의 사업장을 운영하는 자는 자신이 출고한 제품의 폐기물을 회수하여 재활용사업자에게 인계하여 재활용하거나 전기·전자제품 재활용사업공제조합에 가입하여 공동으로 회수 및 인계 및 재활용을 하여야 함
- 폐전기·전자제품의 회수 및 인계·재활용에 소요되는 제반비용은 전기·전자제품 재활용의무생산자가 부담
 - 단, 전기·전자제품 매출액이 10억 원 이상이거나 수입액이 3억 원 이상인 제조·수입자에게 회수·재활용 의무가 부여

- 전기·전자제품 판매업자 중 대통령령으로 정하는 규모의 사업장을 운영하는 자는 자신이 판매한 제품이 속한 제품군 내의 폐전기·전자제품을 스스로 회수하거나 공제조합에 가입하여 회수의무를 대행하게 할 수 있음
 - 전기·전자제품 매출액이 50억 원 이상인 판매업자에게 회수재활용 의무 부여
 - 전기·전자제품 판매업자는 회수한 폐전기·전자제품을 전기·전자제품 재활용의무생산자가 공제조합이 지역별로 설치한 수집소까지 운반하여 인계
- 전기·전자제품 제조·수입업자 및 판매업자는 구매자가 신제품을 구입하면서 폐기물로 배출한 같은 종류의 제품과 신제품의 포장재를 무상으로 회수하여야 하며, 전기·전자제품의 생산자 책임재활용제도의 체계는 다음과 같음
 - 환경부는 전기·전자제품 출고량, 폐기물 예상발생량, 폐기물 분리수거량, 폐전기·전자제품 재활용실적과 재활용시설 규모, 그 밖의 분리수거 여건과 재활용기술 개발 상황 등 재활용 여건을 고려하여 5년 단위로 전기·전자제품의 인구 1인당 장기 재활용목표량을 고시
 - 이를 달성하기 위하여 인구 1인당 연도별 재활용의무량을 매년 고시
 - 생산자는 재활용의무이행 계획서를 제출하고, 당해연도에 재활용 의무를 이행한 후 환경부에 재활용실적을 보고
 - 환경부에서는 생산자가 제출한 재활용실적을 확인한 후 재활용량이 재활용의무량에 미달할 경우 미달성한 양만큼 재활용부과금을 부과함
- 생산자책임재활용제도 대상인 폐전기·전자제품의 관리체계
 - 전기·전자제품의 생산자의 재활용의무 이행을 대행하기 위하여 (사)한국전자제품자원순환공제조합이 설립되어 운영 중에 있음
 - 전기·전자제품 생산자는 공제조합에 가입하여 분담금을 납부하면, 공제조합은 회수·재활용사업자에게 비용을 지원하고 있음
 - 생산자가 신제품을 판매하면서 소비자가 배출한 폐기물을 회수(역회수)하여 재활용사업자(RC)에게 인계할 경우 해당 수집·운반에 소요된 비용은 생산자의 분담금에서 공제하고 있음
 - 신제품 구매 외에 배출되는 대형폐기물을 소비자가 대형폐기물 스티커

를 구매한 후 배출하면 지자체가 수집·운반 후 공제조합에 인계하고, 공제조합에서 재활용사업자에게 인계하여 재활용하였으나, 현재는 무상방문수거 방식이 도입되면서 대형폐기물로 관리되는 양이 크게 감소



[그림 3-5] 전기·전자제품의 생산자 책임재활용제도 체계

- 무상방문수거는 공제조합에서 운영하는 서비스로 소비자가 폐전기·전자제품 배출 시에 수거를 요청하면 방문 후 무상으로 수거
- 무상방문수거는 공제조합과 위탁계약을 체결한 수집·운반업체(알씨엘, 위크로직스)에서 업무를 대행
- 대형 폐전기·전자제품의 경우 공제조합에서 폐기물을 수집한 후 재활용사업자에게 무상으로 인계
- 중소형 폐전기·전자제품은 재활용품 분리배출 시에 함께 배출되어 선별장에 반입된 후 별도 선별과정을 거쳐 중소형 전문 재활용사업자에게 판매
- 공제조합은 재활용사업자와 계약을 체결한 후 지원금을 지원하고 있음. 서울시의 경우 각 구청에서 수집한 중소형 폐전기·전자제품을 재활용하는 SR센터를 운영

- 재활용폐기물 분리배출은 정착되었으나, 지역에 따라 분리배출 인프라가 부족하여 거점수거 시설이 필요하고, 폐기물 수거에 대한 공공관리의 강화와 안정적 수거체계 구축을 위해 다음과 같이 세부과제를 추진
- 또한, 4차 산업혁명으로 인해 태양광 폐모듈, 폐배터리 등의 신규 폐기물 발생이 예상되고 있으나, 이에 대한 수거·재활용 체계의 대응기반은 미비
- 민간 재활용 시장을 활성화시키고 순차적으로 공공인프라를 구축하기 위한 내용 포함
- 향후 폐기물처리시설을 확충하는 계획에서는 생활폐기물 집하·선별장 등 공공 재활용 기반시설 현대화를 위한 생활자원회수센터를 지속적으로 확충하고, 공공·민간부분 간(생활폐기물, 사업장폐기물) 상호 연계처리 유도

[표 3-7] 「자원순환 기본계획」 관리단계 주요내용

추진과제	내용
재활용을 고려한 분리배출 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 발생 품목 등 분리배출 현황에 따라 분리배출 기준 갱신 • 공동주택 분리배출 시범단지 및 안내도우미 사업 • 단독주택·농어촌 지역별 최적 배출·수거체계 구축 • 건설폐기물의 분별해체 의무화 및 단계별 확대
재사용과 연계된 안정적 수거체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 공동주택 민간수거의 경우 발생·처리량, 계약 내용 등의 보고의무 신설 • 공동집하장 확충·시설개선 및 전문수거인 운영 • 고물상 시설기준 마련, 입지기준 합리화 방안 마련 • 재사용 가능 제품은 별도 수거체계 구축 및 재사용매장 등과 연계 시스템 구축
선별 효율 개선으로 잔재물 최소화	<ul style="list-style-type: none"> • 생활자원회수센터 등 공공 선별장 지속적 확충 • 폐기물 자동선별 설비 고도화 • 재활용폐기물 선별 효율 개선을 위한 설치·운영기준 마련

[표 3-8] 「자원순환 기본계획」 재생단계 주요내용

추진과제	내용
미래 폐자원 재활용 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 발생 폐기물을 권역별로 수거·보관하는 '미래폐자원 거점수거 센터' 구축 • 향후 '태양광재활용센터'와 연계 • 민간 재활용 시장 활성화 후 생산자책임재활용제도로 편입 • 폐모듈 민간 시장 이양 후, 신규 미래폐기물 수거·재활용 체계 구축
가치상향형 재활용 기술·방법 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 수요자 중심, 상용화 기반의 재활용 기술 개발 촉진 • 업사이클 산업 활성화

4) EPR(Extended Producer Responsibility) 제도

- 생산자책임재활용제도(이하, EPR 제도)란, 생산업체가 제품이나 포장재의 생산부터 재활용이 가능한 제품으로 생산하며, 그 제품이나 포장재의 폐기물에 대하여 일정량의 재활용의무를 부여하고 이를 시행하지 않을 경우 재활용부과금을 부과하는 제도¹²⁾

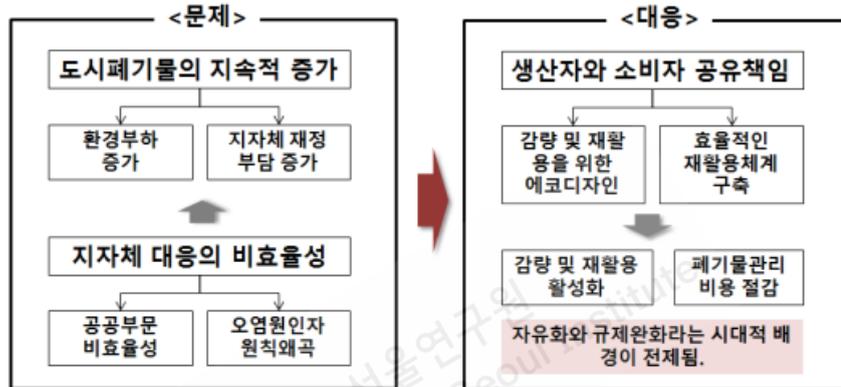
(1) 도입 배경

- 1970년대 이후 정부의 직접적인 개입과 간섭을 최소화하면서 효율적인 환경관리시스템과 새로운 환경규제 방식에 대한 요구가 높아짐
- 폐기물 발생량 증가에 따른 관리비용 증가에 대응하기 위해서 정부주도의 비효율적인 폐기물 관리를 민간 부문으로 이전하고 생산단계에서부터 적극적 관리를 통해 폐기물 발생 억제의 필요성 제기
- EPR 제도를 설계한 이론가들에 의하면 정부주도의 폐기물 관리는 두 가지 측면에서 비효율적이라고 지적함
 - 첫 번째는 오염원인자부담원칙 적용이 왜곡됨. 폐기물발생의 원인자는 생산자와 소비자임에도 불구하고 제3자격인 지방자치단체가 법적인 책임을 지고 있기 때문에 오염원인자인 생산자와 소비자의 폐기물 발생을 줄이기 위한 노력을 이끌어 내지 못함
 - 두 번째는 소비자의 대리인인 지방자치단체의 폐기물 관리가 비효율적으로 운영될 수 있음. 도시폐기물이 지속적으로 증가하고 지자체의 재정부담이 증가하면서 지자체는 비효율적으로 대응
- 이에 따라 폐기물관리와 관련하여 오염원인자부담원칙을 적용한 배출자부담원칙이 생산자부담원칙으로 확대
 - 폐기물관리와 관련한 오염원인자부담원칙은 전통적으로 배출자에게 폐기물처리에 소요되는 비용을 부담시키는 배출자부담원칙을 적용하였으나, 배출자부담원칙의 적용만으로 폐기물관리문제에 대처하는 데 한계가 있다는 인식하에 생산자책임원칙이 논의되기 시작
 - 다수의 배출자를 대상으로 지자체가 폐기물처리비용을 징수하여 폐기

12) 근거법: 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 제16조(제조업자 등의 재활용의무)

물을 관리하는 시스템은 배출자로부터 폐기물관리에 소요되는 실비용을 징수하는 것에 한계가 있음

- 또한, 생산단계의 제품의 유해물질 저감, 원료사용량 저감, 재활용을 배려한 디자인 유도 등 사전예방 조치의 미흡
- 이에 생산자가 생산한 제품에 대한 폐기물관리의 책임을 생산자에게 부여할 경우 제품판매 시의 소비자가격 전가를 통하여 폐기물관리에 소요되는 비용을 용이하게 조달할 수 있으며, 생산단계에서 생산자 주도의 디자인 개선 등 폐기물관리의 효율성이 제고될 수 있다고 판단



[그림 3-8] EPR 제도 도입배경

- 생산자책임원칙이 폐기물관리에 적용된다고 하더라도 폐기물관리의 오염원인자를 생산자에 국한한다는 의미는 아니며, 소비자 역시 폐기물배출자로서 오염원인자의 지위를 여전히 가지고 있음
 - 다만, 효율적인 폐기물관리를 위해서 생산자에게 그동안 감추어져 있었던 오염원인자로서의 지위 및 주요 책임을 부여함으로써 생산자주도로 소비자와 함께 폐기물관리를 하라는 것이 생산자책임원칙의 도입 배경이라 할 수 있음

(2) 개요

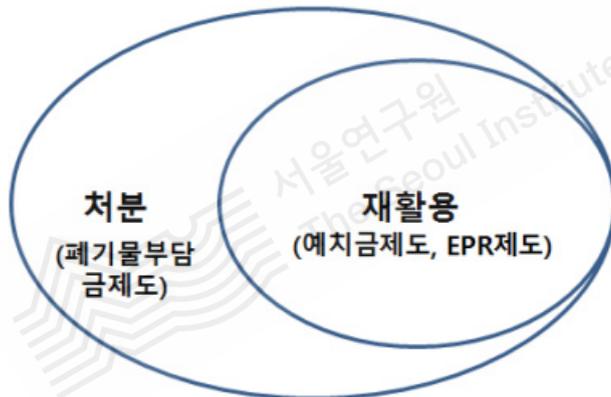
- 스웨덴 정부에서 유래한 EPR은 당시 환경부 장관인 토마스 린퀴비스트 (Thomas Lindhqvist)에 의해 그 개념이 도입되고 발전

“생산자책임확대(Extended Producer Responsibility)란 환경보호 전략의 하나로써, 제품의 전 과정 특히 제품의 회수, 재활용, 최종처분에 대해 제조자가 그 책임을 다하여 제품이 환경에 미치는 충격을 감소시킴으로서 환경적인 목적을 달성하기 위함이다.

생산자책임확대는 행정적, 경제적, 정보적 수단을 통해서 수행된다.

이들 수단을 어떻게 구성할 것인가에 따라서 EPR의 미세한 유형을 결정하게 된다.”

- 광의의 의미의 EPR 제도는 폐기물에 대한 처리의 책임을 생산자에게 부여한 것으로 재활용뿐만 아니라 처분에 대한 책임을 부여한 제도도 포함¹³⁾되지만 통상적으로는 생산자에게 재활용의 책임을 부여한 것으로 협소한 의미로 사용하고 있음
- 국내에서는 예치금제도와 EPR 제도를 구분하고 있으나 예치금제도 역시 재활용에 대하여 생산자의 책임을 부여한 제도로 EPR 제도 중의 한 유형으로 볼 수 있음



[그림 3-9] 생산자 폐기물관리 책임제도의 유형

(3) 주요내용

- 생산자가 직접 수집·운반과 재활용 단계에 관여하거나, 이 과정에서 참여하는 주체에게 적정금액을 보조함으로써 간접적으로 재활용 촉진
- 재활용 의무대상품목은 포장재 4품목(종이팩, 유리병, 금속캔, 합성수지류)이고, 제품(5종류 21품목)으로는 전자제품(7), 전지류(6), 형광등(5), 윤활유, 타이어(3)가 대상품목으로 지정

13) 이 경우 국내에서 운영하고 있는 폐기물부담금제도 역시 광의의 EPR제도에 포함된다.

[표 3-9] EPR 대상 세부품목 및 배출요령

종류	세 부 품 목	배 출 요 령
EPR대상 전자제품	<ul style="list-style-type: none"> TV, 냉장고, 세탁기, 에어컨, 자동판매기, 컴퓨터, 프린터, 복사기, 팩시밀리, 전기정수기, 전기오븐, 전자레인지, 음식물처리기, 식기건조기, 전기비데, 공기청정기, 전기히터, 오디오, 전기밥솥, 연수기, 가습기, 전기다리미, 선풍기, 믹서, 청소기, 비디오플레이어, 이동전화단말기 	<ul style="list-style-type: none"> 판매업자가 신제품 판매시 무상으로 역회수 또는폐전자제품 무상 방문수거를 통한 회수 대형폐기물관리에 관한 수거체계에 따라 배출 <p>※ 휴대폰은 전지를 분리하지 말고 본체충전기와 함께 신제품 교환 시에 해당대리점을 통하여 배출하거나, 소형가전제품 분리배출요령에 따라 배출</p>
소형가전제품 및 이차전지류	<ul style="list-style-type: none"> 휴대폰, 카메라, MP3, PMP, 게임기, 전자사전, 믹서기, 네비게이션, 스탠드, 헤어드라이 등 「쓰레기수수로 종량제 시행지침」에 따른 대형폐기물에 해당하지 않는 제품 전자제품내 리튬이차전지, 보조배터리 	<ul style="list-style-type: none"> 지자체별 소형가전제품 분리수거함에 배출 ※ 스탠드는 몸체에서 형광등을 분리하여 배출 소형가전제품 분리수거함이나 주요거점에 비치된 배터리 수거함에 테이핑 작업 혹은 비닐팩 밀봉 후 배출 ※ 역회수 루트를 통한 회수방안 등 지자체 실정에 맞게 배출

① 생산자의 범위와 역할

- 생산자(Producer)는 생산사슬(Production chain) 내의 생산자 그룹을 모두 지칭
 - 다만, EPR 제도에서는 생산사슬 내에서 포장재의 재질 및 디자인, 비용을 가격에 내부화시킬 수 있는 지배적인 위치에 있는 생산자를 회수 및 재활용의 책임이 있는 생산자로 지정함
 - 시장상황에 따라서 포장재의 제조자(Manufacture)가 회수 및 재활용 의무를 부여받는 책임생산자가 될 수도 있고, 포장재에 내용물을 담아서 판매하는 생산자(Filler), 즉 포장재를 이용하는 생산자가 책임생산자가 될 수도 있음
 - 대개의 경우 포장재를 구입하여 내용물을 담아서 판매하는 생산자의 지배력이 가장 강하다고 보기 때문에 이들 생산자가 책임생산자가 되지만, 소규모 업체로 분산되어 있어 파악하기 어려울 경우에는 포장재 제조자가 책임생산자가 될 수 있음
- 유통의 역할이 증대되면서 생산사슬 내에서 유통업자의 역할도 중요해지고 있음

- 제품의 가격 및 제품디자인에 대한 유통업자의 지배력이 높아지면서 생산자에 대한 책임부여만으로 EPR체계가 원활하게 작동되지 못하는 경우도 발생함
- 2차포장(묶음 포장) 요구 등 유통업자의 요구에 의해 포장재질 및 디자인이 결정되는 경우도 발생하고 있음
- 제품판매가격을 유통업체에서 결정(제품판매가격 인상을 억제)함으로써 생산자에게 EPR 제도를 적용하더라도 폐기물관리에 소요되는 비용을 소비자가격으로 전가하기 힘든 경우가 발생하기도 함

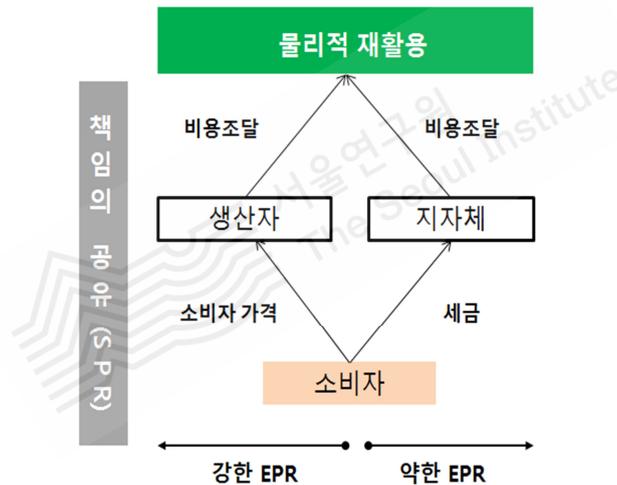


[그림 3-10] 생산자의 의미

② ‘책임(Responsibility)’의 의미

- 책임(Responsibility)의 의미에 대해서는 여러 방법으로 접근할 수 있으나 가장 기본적인 분류는 ‘물리적 책임(Physical responsibility)’과 ‘비용부담의 책임(Financial responsibility)’으로 구분함
 - 물리적 책임은 포장재폐기물의 수집, 선별, 재활용을 수행하는 책임을 말하는 것이고, 비용부담의 책임은 물리적 책임수행에 소요되는 비용을 부담하는 책임을 말함
- 비용부담 책임과 관련하여 생산자가 가격전가(내부화)를 통하여 소비자에게 비용을 부담시키기 때문에 결과적으로 생산자와 소비자와의 관계에서는 비용부담의 책임은 소비자, 물리적 책임은 생산자가 각각 책임지는 책임의 공유(Shared responsibility)가 이루어지게 됨
 - 비용부담 책임과 관련하여 지자체가 일부를 부담한다고 하더라도 재원은 소비자의 세금으로 충당되는 것이기 때문에 소비자가 최종적으로 비용부담의 책임을 지고 있다는 사실은 변함이 없음

- 생산자에게 비용을 부담시킬 경우 생산자는 판매가격에 전가하여 소비자에게 비용부담을 넘길 것이지만 품목별 시장여건 및 개별 생산자 여건에 따라 소비자가격으로 모두 전가시키지 못하고 생산자의 이익이 줄어드는 방식으로 생산자와 소비자가 분담할 수 있음
- 또한, 재활용 비용 이상으로 소비자가격에 과잉 전가되는 문제가 발생할 수도 있음
- 생산자가 부담하는 재활용 비용(분담금)을 가격에 별도로 표시(Visible Fee)하는 방식으로 EPR 제도에 따라 추가되는 비용을 기존의 소비자가격과 분리하여 관리하는 방법도 있으나, 분담금이 매년 변동하는 상황을 탄력적으로 반영하기 어렵다는 문제가 발생하며, 생산자의 원가를 객관적으로 외부에서 감시하기 어렵기 때문에 별도로 표시되는 가격 외에 소비자가격으로 추가 전가되는 것을 파악하기는 원천적으로 어려움

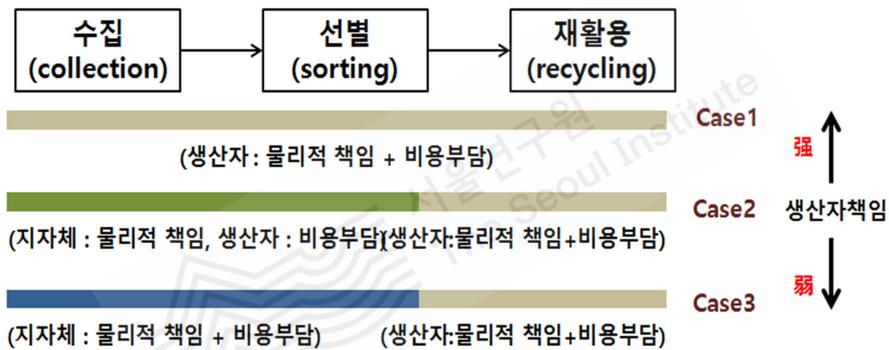


[그림 3-11] 폐기물관리비용이 조달되는 방식

- 생산자와 지자체의 책임분담과 관련하여 생산자가 수집 및 선별, 재활용의 전 과정을 물리적·비용적으로 모두 책임지는 완전 생산자책임유형(case1)과 지자체가 수집 및 선별을 책임지고 재활용은 생산자가 책임지는 부분 생산자책임유형(case2, case3)이 있음
 - case1: 이중관리모델¹⁴ 혹은 생산자 완전책임모델(Full responsibility)은 EPR제도 대상 포장재 폐기물의 수거, 선별 재활용의 업무와

비용부담을 생산자가 모두 책임지는 방법으로 지자체 수거체제와 별도로 운영되며, 오스트리아, 독일, 스웨덴이 채택

- case2: 생산자와 지자체가 책임을 공유하는 책임공유모델(Shared responsibility) 중 생산자가 보다 강한 책임을 지는 유형으로, 포장재 폐기물의 수거 및 선별은 지자체에서 담당하고, 수거 및 선별에 소요되는 비용은 생산자가 부담함. 프랑스, 스페인, 벨기에, 네덜란드, 체코에서 채택하고 있으며, 국가별로 비용부담의 정도는 상이함
- case3: 생산자와 지자체가 책임을 공유하는 책임공유모델(Shared responsibility) 중 생산자가 상대적으로 약한 책임을 지는 유형으로, 포장재폐기물의 수거 및 선별에 대한 물리적, 비용부담의 책임은 지자체에서 담당하고, 생산자는 재활용 단계만 책임을 가지고 있음. 일본과 영국이 이 유형에 해당¹⁵⁾



[그림 3-12] 생산자 책임의 강도에 따른 EPR체계 유형

14) EPR 제도 대상 외의 폐기물은 지자체가 수거 및 처리를 하고, EPR 제도 대상 품목의 폐기물은 생산자가 수거 및 재활용하기 때문에 가정에서 배출되는 폐기물 관리와 관련하여 지자체 관리와 생산자 관리가 병행되기 때문에 이중관리모델이라고 한다. 독일의 EPR제도 시스템을 이야기할 때 사용하는 DSD라는 용어의 D는 Dual을 의미하는 것으로 EPR 제도 시행으로 인해 이중관리체제가 만들어졌다는 것을 의미한다.

15) 영국의 독특한 EPR 제도 유형은 실적거래(Certificate trading 혹은 Tradable Credits)모델이라고도 한다. 재활용업체가 발행한 재활용실적을 중개업체를 통해 재활용의무생산자가 매입하는 방법으로 재활용의무생산자와 재활용업체, 지자체의 연계가 없으며, 생산자는 재활용실적 매입을 통해 재활용 단계에만 지원금을 지원하고 있다. 유럽 대륙국가들은 영국의 EPR 제도는 EPR 유형에 해당되지 않는다고 불만을 토로하는 반면, 영국은 유럽 대륙국가들의 EPR이 생산자들에게 너무 과도한 비용부담을 지우는 비효율적인 제도라도 비판한다.

“태양광 폐패널 EPR 적용 시기, 2년 연기돼 ‘2023년’부터 적용”

2012년 폐전자제품처리지침(WEEE)을 개정해 태양광 패널을 EPR 적용 품목으로 추가한 유럽연합의 사례를 벤치마킹한 환경부는 지난 10월 5일, 태양광 패널을 생산자책임재활용제(EPR) 및 유해물질 사용제한(RoHS) 품목에 추가했다.

이에 업계에서는 환경부가 발표한 태양광 패널의 EPR 부과 관련 행정입법안에 대해 업계의 현실을 파악하지 못한 개정안이라며 태양광산업협회를 주축으로 지난 11월 7일, 환경부와 간담회를 열기도 했다. 간담회에서는 법률적 미비점을 보완 실시하기로 하고, 11월 14일까지 입법예고 기간으로 설정했던 시행령의 개정안 작업은 2019년 3월까지 연기했다. 또한, 개정안 시행 시기는 현재 계획된 2021년에서 최소 2023년으로 연기할 것을 논의했다.

(솔라투데이, 2018. 11. 14)

5) 폐기물처분부담금 제도

- 폐기물처분부담금은 폐기물을 순환이용할 수 있음에도 불구하고 소각 또는 매립의 방법으로 폐기물을 처분하는 지자체 및 사업장폐기물배출자에게 부담금을 부과·징수하는 제도
 - 「자원순환기본법」 제21조에 의해 2018년 1월 1일부터 시행되고 있으며, 폐기물의 처리방법을 재활용으로 결정하도록 경제적으로 유도함
 - 폐기물처분부담금의 부과대상은 폐기물의 소각처분 또는 매립처분에 대하여 부과됨
 - 소각 또는 매립이 아닌 방법(재활용, 파쇄 등)으로만 처리할 경우 부과 대상에서 제외
- 폐기물처분부담금(원) = 폐기물처분량(kg) × 부과요율(원/kg) × 산정지수*
- 「자원순환기본법」 시행령에 따른 부과요율은 다음과 같음

[표 3-10] 폐기물 유형에 따른 부과요율

폐기물 유형	요율	
	매립하는 경우	소각하는 경우
생활폐기물	15원/kg	10원/kg
사업장폐기물	불연성	-
	가연성	10원/kg
건설폐기물	30원/kg	10원/kg

2_태양광 모듈의 특성과 유해성

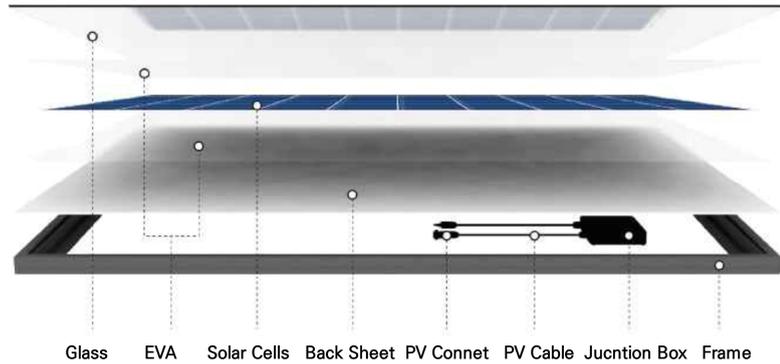
1) 태양광 모듈 구성

- 태양광 모듈은 태양전지 셀을 여러 장 직렬로 연결하여 모듈 형태로 제작한 것
- 태양전지는 빛을 흡수하는 소재의 종류에 따라 Si(실리콘)계, 화합물반도체계, 유기계 등으로 분류
 - 상용화 순서에 따라 1세대(결정질 실리콘), 2세대(실리콘박막, CIGS 및 CdTe 박막), 3세대(염료감응, 유기) 및 차세대(양자점, 플라즈몬 등)로 분류 가능(정훈, 2016)
- 통상적으로 크게 결정질 실리콘계 패널(c-Si PV, Crystalline silicon Photovoltaic Panel)과 박막계 패널(CIGS계, CdTe계)로 구분

[표 3-11] 태양광 모듈 종류

종류		내용	
실리콘계	결정계	단결정	200 μ m 정도의 얇은 단결정 Si기판 이용
		다결정	작은 결정이 집합된 다결정 기판 이용
	박막계	a-Si이나 미세결정 박막을 기판 위에 형성	
화합물계	CIGS계	Cu, In, Ga, Se 등을 원료로 하는 박막형	
	CdTe계	Cd, Te을 원료로 하는 박막형	
	집광계	III 족과 V족 원소로 된 화합물 다접합	
유기계	염료감응	TiO ₂ 에 흡착된 염료가 광을 흡수하여 발전하는 새로운 타입	
	유기박막	유기반도체를 이용하는 박막형	

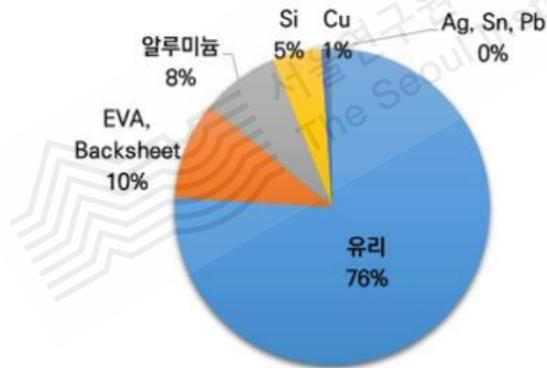
- 현재, 국내에서는 결정질 실리콘계 패널의 시장점유율이 90% 이상으로 가장 높으나, 박막계 태양광 모듈이나 페로브스카이트 등의 차세대 태양광 모듈의 개발도 꾸준히 진행 중
 - 2세대 태양전지인 박막 태양전지는 비교적 단순한 제조공정과 함께 실리콘 기판 대신 유리와 같은 저렴한 기판을 사용할 수 있어 제조단가 저감 가능(신재생에너지백서 2016:367)
 - 박막 태양전지는 비정질 실리콘계, 화합물 반도체계(CIGS 및 CdTe), 염료감응형계(DSSC), 유기 태양전지계(OPV), 페로브스카이트(Perovskite) 태양전지 등으로 구분



[그림 3-13] 태양광 모듈의 구성

자료: 한국환경정책평가연구원, 태양광 폐패널의 관리 실태조사 및 개선방안 연구(2018), p.30

- 결정질 실리콘 태양전지 패널은 일반적으로 약 76%의 유리(패널 표면), 10%의 고분자(밀봉재와 백시트 호일 내), 8%의 알루미늄(프레임), 5%의 Si(PV cell 내), 1%의 구리 (interconnectors), 0.1% 이내 은과 기타 주석, 납으로 구성되어 있으며, 구성비는 모듈별로 상이함



[그림 3-14] 결정질실리콘 태양전지 구성비

[표 3-12] 실리콘계 결정질 태양광 패널의 구성 소재 및 비율

구성 순서 및 소재(윗면부터)	구성 비율
알루미늄 프레임	8~20%
강화유리	65~85%
EVA/백시트	7~10%
셀	3~4%
기타(전기배선함, 커넥터 등)	2~2.5%

자료: SolarWorld Innovations GmbH(2016.9.6), "Recycling von PV-Modulen SolarWorld AG", 조지혜 외 2018 재인용(p.9)

- 화합물계 태양전지는 화합물반도체 층이 유리와 수지 film에 둘러싸여 있는 구조
- 유리층이 95% 정도, 수지 film 3% 정도, 화합물반도체가 1% 이하로 구성
- 화합물 태양전지 재활용의 주요 산물은 유리와 화합물반도체 및 구리 foil 등 금속성분(국가환경정보센터 2016)

[표 3-13] 태양전지별 소재 및 부품, 장비

대분류	중분류		세부 제품 또는 기술	
			소재/부품	장비
결정형	원료/기판		가스, 부품, 폴리실라콘, 양극, 웨이퍼	폴리실리콘 제조장비, 라인, 반응로, 분석장비 등
	태양전지	단결정	초고효율, 금속 페이스트, 집광형, 실리콘 박형 태양전지 등	Furnace, PECVD, 인쇄기, 텍스처,
		다결정	저가형 다결정 실리콘 태양전지 (SE, PERI, BCSC, SP cell)	Passnation, ALD, RIE, 레이저, 건조로, 자동화 이송설비, 다결 분석설비 등
	모듈/BOS		태양전지 모듈, 금속 배선 재료, EVA, Back Sheet, 2차 전지, 유리, 프레임 재료	Array 장비, 배선 장비, Laminator, 이송장비 등
	PV System		Roof-top, BIPV, 인버터, PCS, Junction Box, 접속함 등 다양한 시스템 제품	태양광 모듈 세정, 모니터링, 융복합 시스템 등
박막형	실리콘	원료/기판	실리콘 박막 태양전지용 유리, 플라스틱, 철강 기판, 고순도 실란, 수소 가스, TCO 소재 등	원료 제조 반응로, 박막 제조 장비 등
		소자/공정/모듈	대면적 박막 실리콘 태양전지 및 모듈	다층 고효율 실리콘 박막 태양전지 모듈 관련 제조 설비 등
		BOS/PCS/System	태양전지 모듈, Cable, 접속반, ESS(이차전지), 모니터링, 시스템, BIPV	제조 및 건설 관련 설비 등
	III-V, II-VI	원료/기판	Substrate(유리, SUS, 플라스틱 등), 유리, Mo, TCO, 전극금속 그 CIGS 원료 등	CIGS 박막 태양전지 및 모듈화공정 장비 등
		소자/공정 모듈/장비	대면적 박막 CIGS 태양전지 및 모듈	CIGS 박막 태양전지 및 모듈화공정 장비 등
	DSSC	원료/소자/공정/모듈/장비	원천 소재/기술 연구 개발 중, 상품화 개발 착수 중	
	OPV	원료/소자/공정/모듈/장비	원천 소재/기술 연구 개발 중, 상품화 개발 착수 중	

자료: 중소기업청, 중소기업전략기술로드맵(2016-2018)

2) 모듈의 유해성 분석

(1) 태양광 폐모듈의 용출특성¹⁶⁾

- 한국환경정책평가연구원의 조지혜 외(2018) ‘태양광 폐패널의 관리 실태 조사 및 개선방안 연구’에서는 국립환경과학원의 협조를 빌려 태양광 모듈의 유해물질(Cu, Pb, Cd, Hg, Cr, Cr, Cr⁶⁺)에 대한 용출 분석을 수행
- 해당 샘플을 4cm×4cm로 절단한 후 1차 실험실용 밀을 사용하여 2mm 체로 거른 다음 2차 볼밀로 미분쇄한 것을 시료로 사용
- 용출시험에서 파쇄된 시료 100g을 폐기물 공정시험기준에 준하여 진행
- 분석 결과, 용출분석 대상 중금속은 7가지 금속(Cu, Pb, Cd, As, Hg, Cr, Cr⁶⁺)이며, 분석 결과 3가지 금속(Cu, Hg, Cr⁶⁺)이 모든 시료에서 정량한계 이하로 검출
- 반면 납(Pb)은 모든 시료에서 0.064~0.541mg/L의 범위로 분석되었으며, 3가지 샘플에서 비소(As)가 0.008~0.138mg/L 범위로 검출
- 「폐기물관리법 시행규칙」의 「별표1」 지정폐기물에 함유된 유해물질¹⁷⁾에 명시된 지정폐기물기준에 따르면 7가지 중금속 모두 지정폐기물 기준 미만으로 검출됨

(2) 수상태양광 적용을 위한 용출실험¹⁷⁾

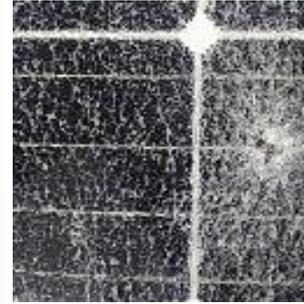
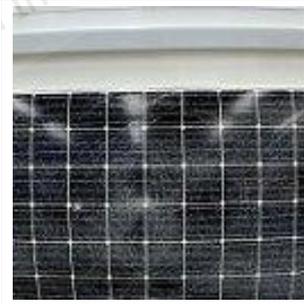
- 최근 정부가 수상태양광 발전량을 30%까지 늘리겠다는 방침을 발표하고 ‘농업생산기반시설 사용에 관한 지침’을 개정하여 저수지 전체에 태양광 발전소를 설치할 수 있도록 변경
- 수상태양광은 물에 부표를 띄우는 플로팅 기술과 태양광 기술이 융합된 태양광발전 모델로서, 저수지나 댐 등에 수상태양광 모듈 설치 필요성이 확대됨에 따라 수상태양광 모듈의 용출실험을 통해 유해한 성분이 검출되는지 확인
- 음용수나 농업용을 포함하는 환경에 설치하는 모듈은 Pb Free 태양광 모듈을 설치하도록 유도해야 할 필요성이 제기되고 있으며, 유무해성이 확보된 안전한 국태 태양광 모듈의 설치를 통해 지속가능한 친환경 중심의

16) 조지혜, 태양광 폐패널의 관리 실태조사 및 개선방안 연구(2018), p.83

17) 건국대학교 ‘전기전자재료 및 센서연구실’의 용출 실험

태양광발전소를 설치하고자 함

- 실험 과정은 다음과 같음
 - 인증강도이상의 충분한 충격 Test를 통한 모듈 파괴
 - 모듈 파손으로 인한 납성분 및 유해성분(LOHAS) 용출 Test
 - 전기적 및 공정상 특성으로 인해 납이 포함된 상용품 대비 유·무해성 검증
- 시험용액을 환경부고시 제2015-103호 수도용 자재 및 안전기준 공정시험방법에 따라 제품의 위생안전기준 전 항목을 측정된 결과는 표와 같음

		
<p>수상태양광모듈 용출실험</p>	<p>충격 후 부풀어진 모듈면</p>	<p>충격 후 강화유리 전면</p>
		
<p>용출조(1.5m x 2.5m x 0.7m)</p>	<p>수상태양광 모듈 스펙 (Specification of FPVs)</p>	<p>시험에 사용된 수상태양광 전용 태양광 모듈과 실험 수조</p>

[그림 3-15] 수상태양광 용출실험

- 태양광 모듈은 생산업체별 다양한 기술로 제조되며, 동일한 기술 내의 모듈조차도 구성 성분에 차이가 있을 수 있음
- 다만, 국내외 문헌에 의하면 유해성 논쟁을 일으키는 태양전지는 카드뮴이 포함된 CdTe계로서, 국내에서는 이 종류의 전지는 생산과 보급이 되지 않고 있음
- 국내 태양광 모듈은 대부분 실리콘을 이용하므로 재활용에 문제없음

[표 3-14] 항목별 위생안전기준 및 용출시험 결과

시험항목	단위	위생안전기준	시험기준수돗물
과망간산칼륨소비량	mg/L	1.0 이하	1.0
냄새	-	이상 없을 것	이상없음
맛	-	이상 없을 것	이상없음
색도	도	0.5도 이하	0.24
탁도	NTU	0.2 이하	0.02이하
중발잔류물	mg/L	50 이하	112
잔류염소	mg/L	0.7 이하	0.05
시안	mg/L	0.001 이하	불검출
음이온 계면활성제	mg/L	0.02 이하	불검출
불소	mg/L	0.15 이하	0.03
질산성질소	mg/L	1 이하	8.5
아질산성질소	mg/L	1 이하	불검출
염소이온	mg/L	25 이하	23.4
페놀류	mg/L	0.0005 이하	불검출
구리	mg/L	0.1 이하	0.002
납	mg/L	0.001 이하	0.0003
망간	mg/L	0.03 이하	불검출
비스	mg/L	0.001 이하	0.0005
셀레늄	mg/L	0.001 이하	0.0002
수은	mg/L	0.0001 이하	0.0001
아연	mg/L	0.3 이하	0.003
철	mg/L	0.03 이하	0.001
카드뮴	mg/L	0.0005 이하	불검출
6가크롬	mg/L	0.005 이하	불검출
나트륨	mg/L	20 이하	11.8
1,3-부타디엔	mg/L	0.001 이하	불검출
1,2-부타디엔	mg/L	0.001 이하	불검출
1,1-디클로로에틸렌	mg/L	0.003 이하	불검출
디클로로메탄	mg/L	0.002 이하	불검출
아세트산 비닐	mg/L	0.01 이하	불검출
시스-1,2-디클로로에틸렌	mg/L	0.004 이하	불검출
1,2-디클로로에탄	mg/L	0.0004 이하	불검출
1,1,1-트리클로로에탄	mg/L	0.01 이하	불검출

[표 3-15] 태양광 셀 용출 시험결과

시험항목	단위	시험결과
사염화탄소	mg/L	불검출
벤젠	mg/L	불검출
트리클로로에틸렌	mg/L	불검출
에피클로로히드린	mg/L	불검출
1,1,2-트리클로로에탄	mg/L	불검출
테트라클로로에틸렌	mg/L	불검출
스티렌	mg/L	불검출
N,N-디메틸아닐린	mg/L	불검출
2,4-톨루엔디아민	mg/L	불검출
2,6-톨루엔디아민	mg/L	불검출
포름알데히드	mg/L	불검출

자료: 건국대학교 전기전자재료 및 센서연구소(http://pof.konkuk.ac.kr/)

3_폐모듈 관리의 문제점

1) 폐모듈 관리 제도의 부재

- 가정용 태양광 관련 제도 전무
 - 2018년 1월부터 폐모듈 배출 시, 한국환경공단의 ‘올바로시스템’에 신고하는 것이 원칙이지만 의무사항은 아니며, 산업용(발전용)의 경우에만 해당되고 주택용은 해당되지 않음

올바로시스템(Allbaro)이란,

불법 폐기물처리 및 방치폐기물 발생을 예방하기 위해 구축된 폐기물적법처리시스템으로, 산업폐기물의 배출, 운반, 처리까지의 전 과정을 인터넷 또는 최신 무선주파수인식기술(RFID)을 이용하여 실시간 관리하는 전자정보시스템이다.

시스템의 운영은 환경부, 지방환경관서 및 지자체, 한국환경공단, 사용자 이루어지며 역할 및 책임에 대한 사항은 다음과 같다.

- 환경부: 폐기물 관련 법령 정비, Allbaro 시스템 운영계획 수립
- 지방행정기관: 폐기물 인·허가 접수·처리 및 위반사항 등의 지도·점검업무
- 한국환경공단: 시스템 사용승인, 기초정보 입력 및 시스템 기능개선, 교육 등
- 사용자: 폐기물 배출·처리 시 인계서 입력 및 각종 법령의 준수

사용대상은 폐기물의 종류에 따라 기준이 다르나, 관할관청에 폐기물처리신고를 하거나 확인을 받은 업체를 대상으로 한다.¹⁸⁾

- 폐모듈은 제3국 수출 또는 매립
 - 현재 발생되는 폐모듈은 대부분 동남아시아나 중동 등 제3국에 수출되거나 혼합건설폐기물로 분리되어 매립 처분되고 있는 실정
 - 거의 매립되고 있는 기존 폐모듈의 회수 필요
- 생산자책임재활용(EPR) 품목 지정 지연
 - 생활폐기물의 처리책임은 지자체에게 있지만, 생산자책임재활용제도 대상 품목의 경우에는 생산자에게 재활용 의무가 부여됨
 - 생활폐기물이면서 생산자책임재활용제도 대상 품목의 경우 재활용과 관련하여 지자체 역할과 생산자의 역할의 혼란이 발생할 수 있음

¹⁸⁾ 폐기물관리법 시행규칙 제18조 사업장폐기물 배출자의 신고, 폐기물관리법 시행규칙 제18조의2 지정폐기물 처리계획의 확인, 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 제17조 건설폐기물 배출자 신고

- 생산자의 규모가 크고 소비자에게 가격전가를 통해 비용조달이 용이할 경우에는 지자체의 역할을 축소하고 생산자의 역할을 강화할 수 있지만 생산자의 규모가 크지 않고 영세한 경우에는 수집 및 운반 관련 지자체의 역할이 강조됨
- 냉장고, 세탁기 등 대형 전자제품의 경우 삼성과 LG가 국내 시장을 거의 양분하고 있기 때문에 무상방문수거 도입 등 지자체의 역할을 축소하고 생산자의 역할이 강화됨
- 태양광 모듈의 경우 제조 및 판매(설치)업체가 규모가 크지 않고 자본력이 튼튼하지 못할 경우 EPR이 도입되더라도 폐기물 수집 및 재활용 전 과정에 대해 생산자 책임을 부여하기 어려울 수 있음
- 태양광 모듈을 EPR 품목으로 지정하려 하였으나 2023년으로 연기
- 생산자책임재활용(EPR) 품목 지정과 예치금 산정
 - 예치금 산정 시 철거-수집-운반-처리 등에 이르는 각 단계별 비용을 포함시켜야 하나, 아직까지 이에 대한 논의는 없음
 - 배출된 폐모듈을 보관 장소까지 운반하는 데 소요되는 수집비용이 소비자와 지자체에게 전가될 가능성이 높음
- 현재는 제도 부재로 지자체가 폐모듈을 관리해야 함
 - EPR 품목으로 지정되지 않을 경우 생활폐기물 처리의 책임은 지자체에게 있기 때문에 지자체가 폐모듈을 관리하여야 함
 - EPR 품목으로 지정된 후에도 예치금 산정 근거에 따라 지자체의 역할이 확대될 수도 있음

2) 자가용 태양광 설비 관리 부재

- 작동 여부 파악 어려움
 - 태양광발전 설비는 핵심 부품은 모듈(패널)과 인버터임. 모듈의 수명은 20년 이상으로 길지만 인버터 수명은 5~10년으로 짧음
 - 과거에 보급된 설비는 정상적으로 작동되는지 알 수 없는 것도 있음. 정상적으로 작동되지 않더라도 인버터와 모듈 중 어느 것이 고장인지 일반인은 알 수 없음
 - 가정용인 경우 정상적으로 작동하는 모듈인지 사용자가 알기 어려움

- 고층 건물 외부에 설치
 - 베란다 태양광은 아파트 등 고층 건물의 난간에 설치되어 있음. 10년 이상 경과하면 난간의 지지력 저하, 거치대의 부식, 고정 장치 이상 등으로 강풍에 의한 안전사고 발생 우려
- 잦은 이사와 방치 가능성
 - 서울시 전출 인구는 연간 150만 명 이상으로 많으며, 태양광 설치비용 중 자부담 비율이 낮은 관계로 고장 나면 방치 가능성 높아짐

3) 태양광 폐모듈 산업 및 전문 인력 부재

- 폐모듈 관리 수요 부재로 경험부족
 - 아직까지는 시기적으로 폐모듈의 철거-수집-운반-재활용 등 관리의 필요성이 없었음
 - 태양광 폐모듈은 철거과정부터 고도의 숙련공 필요
 - 폐모듈 중에는 재사용 가능한 것도 혼재될 가능성 높음
 - 폐모듈 중 사용 가능한 것을 분류하려면 관련 장비와 숙련공 필요
- 폐모듈 관련 재활용 산업 부재
 - 폐모듈 발생량이 적고 관리 미래를 위한 정책 부재로 관련 산업도 활성화 되지 않음

4) 시민과 자치구 모두 폐모듈 관리 역량부족

- 폐모듈 관리 지침서 부재
 - 가정용 노후 태양광 폐기처분에 관한 시민 지침서 부재
 - 폐모듈 발생 시 수거 및 보관에 관한 지침서 부재
- 폐모듈 보관을 위한 공간 부족
 - 폐모듈을 최종 처분 또는 처리하기 전까지 임시보관이 필요
 - 단 기간 내 대량발생 가능성은 적으나, 향후 대량발생 가능성은 점점 높아짐
 - 대량발생 시를 대비한 자치구의 폐모듈 수집 및 관리 능력을 배양할 필요성 증가

4_ 해외사례

1) EU(유럽연합)

(1) 폐전기·전자기기지침(WEEE, Waste Electrical & Electronic Equipment)

- 유럽에서는 빠른 속도로 증가하고 있는 컴퓨터, TV, 냉장고, 휴대폰 등 전자폐기물에 대한 환경관리를 개선하고 순환 경제에 기여하기 위해 전기 및 전자 장비 폐기물의 수집, 처리 및 재활용 개선에 관한 지침인 WEEE(Waste Electrical & Electronic Equipment)를 마련
 - 2007년부터 'PV CYCLE'이라는 단체가 폐모듈의 회수 및 재활용의 업무를 담당했고 이후 2012년 WEEE 규정에 의해서 태양광 모듈이 재활용 의무 대상 품목에 추가
 - WEEE를 통해 태양광 모듈 재활용을 의무화하고 있음
 - 2018년부터 시장 보급량의 65% 또는 발생한 폐기물의 85%(중량 기준)를 수거
 - 수거된 폐모듈에 대한 회수율 85%와 재사용·재활용률 80% 달성을 목표로 하고 있음

[표 3-16] 기간별 수거 목표 설정

기간	수거 목표	
~2015년	가정배출 가전제품에 대하여 1인당 4kg	높은 수치 적용
	이전 3년간 WEEE 평균 수거 중량	
2016년~2019년	최종 수거율 45% (이전 3년간 공급된 EEE의 평균중량 기준)	-
2019년~	이전 3년간 공급된 EEE의 65%	택일하여 적용
	이전 3년간 발생 된 WEEE의 85%	

- WEEE 처리지침은 분리회수 시스템 운영(EU 회원국), 회수 처리 비용 책임(생산자), 재활용마크 부착(생산자), 재활용 정보 제공(생산자) 등이며, 생산자 및 제조사의 의무는 다음 표와 같음

[표 3-17] 생산자 및 제조자 의무

의무	생산자	제조자
폐전기전자 제품 회수 처리 -비용부담 -재활용 기준 만족 -실적보고	●	
재활용 고려 설계	●	◎
재활용 정보 제공	●	◎
생산자 등록	●	
판매실적 보고	●	
WEEE 마크 부착	●	◎
유해물질 대체	●	◎

자료: 국제환경규제 사전대응 지원시스템(<https://www.compass.or.kr>)

- 2018년, 태양광 모듈은 소비가전(category 4)으로 추가

[표 3-18] WEEE의 폐전자전기제품 분류

category	주요제품
4. 대형기기(외관치수≥50cm)	세탁기, 의류건조기, 식기세척기, 대형음향기기, 대형프린터, 복사기, 대형의료장비, 자판기, 태양광패널 등

- WEEE는 태양광 모듈, 배터리, 인버터, 케이블 등 시스템 일체를 대상으로 정하고 있음
- 전자전기제품의 정의를 '전류나 전기장의 생성과 전송 측정을 위한 장비와 작동을 위한 전류나 전자기장에 의존하는 교류 100V, 직류 1500V 이하의 전압정격으로 사용되도록 만들어진 장비'라고 명시
- 제조업체가 제품 판매 시 재활용 보험(recycle insurance)을 제공함으로써 파산 시 금전적 보상을 하고 있다.¹⁹⁾

(2) PV Cycle

① PV Cycle 설립 배경

- 유럽연합(EU)은 2012년 1월부터 태양광 모듈은 '전기·전자 폐기물 처리 지침(WEEE)' 규제대상에 포함시키고 회수 폐기물 코드 부여

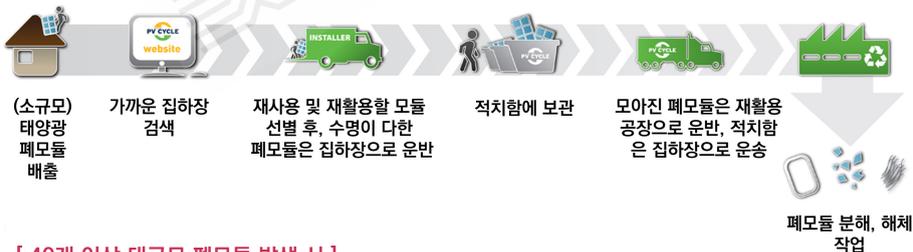
19) 조지혜, 태양광 폐패널의 관리 실태조사 및 개선방안 연구, 2018, p.104

- 이에 따라 유럽의 태양광 모듈 제조사들로 구성된 비영리단체 PV Cycle이 벨기에 브뤼셀에 설립돼, 이를 중심으로 유럽 내(EU 가맹국 및 EFTA 가맹국)에서 폐기된 태양전지 모듈의 회수 및 재활용 이루어지고 있음
- 유럽의 태양광 모듈 제조사들은 매년 PV Cycle에 회비 지불

② PV Cycle 주요 사업

- 태양광 제조업자 및 수입업자 등에게 연회비를 받고 태양광시스템 및 스크랩, 폐전자제품 및 폐배터리 등을 대신 수거·회수
 - 실리콘계, CdTe, CIS 등 모든 종류의 태양광 모듈 재활용의 경제성 제고를 위해 파트너사와 연계하여 기술개발 및 처리 등 실시
 - 국가별 수거 및 회수 의무자, 사업자 형태가 다르므로, 국가별 수거 및 회수 관련 비용부담의 전략을 달리하여 서비스 제공
- 태양광 폐모듈 발생량에 따른 회수방법
 - 소규모: 40장 미만, 철거 및 태양전지 모듈 설치장소에서 가장 가까운 회수지점까지 소비자가 부담하고 이후 발생비용에 대해 PV Cycle이 부담
 - 대규모: 태양전지 모듈 철거비용을 소비자가 부담하되 PV Cycle이 재활용 사업자에 직접 수송

[40개 이하 소규모 폐모듈 발생 시]



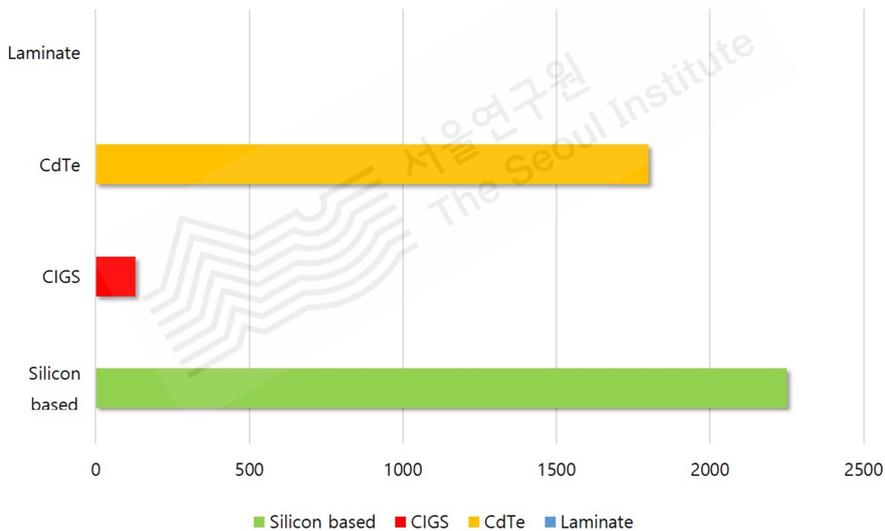
[40개 이상 대규모 폐모듈 발생 시]



[그림 3-16] PV CYCLE의 폐모듈 발생량에 따른 회수방법

자료: PV CYCLE, "Annual Report 2017"

- PV CYCLE에서 다루는 PV 모듈
 - 수송이나 설치 중에 손상된 PV 모듈
 - 보증 요청된 모듈(설치 후 초기 불량품, 외적요인에 의한 손상품 등)
 - 수명이 다한 모듈 등
- PV CYCLE의 재원
 - PV CYCLE은 회원기업으로부터 연회비를 받아 사후처리를 실시하는데, 회수·처리비용과 제조업자의 전년도 판매점유율(%), 각국 태양광발 전설비의 폐기량 예측치 등을 고려하여 산정
 - 폐기물량이 많지 않은 경우, 제조업자의 판매 점유율이 연회비 산정에 가장 큰 영향
 - 태양전지 모듈 처리시설이 부재한 국가는 수송비가 연회비에 가장 큰 영향을 미침



[그림 3-17] 재활용 태양광 모듈의 종류별 비중

자료: PV CYCLE, "Annual Report 2017"

③ 목표 및 향후 계획

- PV Cycle은 WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment)지침에 대한 의무를 완수하여 유럽 전체의 폐 태양광을 커버하는 것을 목표로 하고 있음

- 유럽 각국에서 법규제 및 규칙이 정해지기 때문에 각국 규제기관과의 협의에 착수하고 있으며 주요 시장인 독일과 이탈리아에 사무소를 개설할 계획
 - 시장에서 발생하는 폐기 모듈의 85% 이상 회수를 목표로 하고 있으며, 회수한 모듈의 재활용률로 2020년까지 85% 이상 도달하는 것을 목표로 하고 있음
 - WEEE 지침에 의한 회수율 및 재활용률 동시에 충족 가능

④ PV CYCLE 외 태양광 재활용 관련 기업 현황

[표 3-19] 국가별 대표적인 태양광 재활용 기업

국가	기업	주요내용
독일	ENVARIS	• 태양광발전의 유지관리 및 재활용, 처분 등 담당
	SolarWorld AG	• 독일 최대의 태양광 제조업체이면서 관련 재활용도 실시
	SiC Processing GmbH	• 폐실리콘 웨이퍼 처리
	Loser Chemie	• 박막태양광 재활용 전문기업, 최근 실리콘 태양광 재활용 등의 기술도 개발
벨기에	PV Cycle	• 태양광 패널 수집 및 수거
이탈리아	Globalitaly srl	• PV Cycle 회원의 태양광 모듈 수집
	ECO RECYCLING SRL	• 습식제련(침출, 침전, 전기분해)을 통한 복구를 태양광 패널을 재활용
네덜란드	Wecycle	• 전기 폐기물 수집업체
미국	First Solar	• CdTe계열 태양광 전문회사. 폐태양광을 자발적으로 회수하여 처리
일본	리사이클테크	• 알루미늄 프레임 제거 및 유리 제거 판넬을 파쇄 및 판매
	하리다금속주식회사	• 태양광 모듈을 파쇄, 습식비중선별기(RETAC지그)를 통해 유리와 실리콘, 전극 등 회수
	도시바환경 솔루션 주식회사	• 수작업 공정으로 알루미늄 프레임 및 유리 등 회수, 태양광 모듈을 기계적으로 파쇄하여 회수 또는 작업공정으로 전처리하고 태양광 모듈을 유리기관과 그 외의 가루로 회수

2) 독일

- 2015년 10월부터 [Directive 2012/19/EU] 지침이 독일 전기, 전자제품 법[ElektroG]으로 전환. 폐모듈의 수집 및 재활용 의무화 효력 발생
 - 태양광 폐모듈은 기본적으로 생산자(제조사)의 책임이며, 유럽은 폐모

들을 수거하는 시점부터 폐기할 때까지 필요한 모든 비용은 생산자에게 부과

- 독일연방환경부는 EAR재단(Stiftung EAR)의 폐모듈을 포함한 전자폐기물을 발생시키는 생산자를 등록 및 관리하며, 「ElektroG」법에 따라 태양광 생산자(제조업체)에게 폐기물 재활용 및 처분에 대한 비용 등의 책임을 부과
- 또한, 각 처리업체가 적절히 유해물질을 제거하고 처리했는지 감찰하며 공공기관이 생산-유통-사후처리까지 모니터링하고 생산업체와 유통업체에 책임을 부여하고 있음
- 독일은 국가기관 주도로 태양광 모듈을 재활용²⁰⁾
 - 실리콘 재 태양광 패널 CSP Fraunhofer 연구센터
 - 목표: 주된 목표는 모듈에 포함된 알루미늄, 은, 구리, 유리를 최대한 높은 순도로 추출해 재활용하는 것→ 고순도 재활용 기술을 연구한 후 이를 정부와 기업이 활용할 수 있게 산업차원으로 적용하는 것
 - 금속들을 재사용할 경우 태양광 모듈을 비롯한 전자제품을 생산할 때 소비되는 원자재 수입비율을 크게 줄일 수 있음
- 태양광 폐모듈의 회수방법
 - 각 도시에 위치한 거점에 폐모듈을 배출
 - 태양광 모듈 유통업자가 회수를 책임(1:1 take-back 시스템)
 - 산업용 태양광 발전소에서 사용되는 모듈은 생산자가 직접 회수해야 하며, 가정용 모듈은 본인이 생산한 제품이 아니어도 수거 및 처리를 해야 하지만 산업용 모듈은 본인이 생산한 모듈에 대한 책임을 짐

3) 미국

① 미국 태양광 PV 시장 현황

- 미국의 재생에너지 발전설비 규모는 지난 10년 동안 지속적으로 증설
- 지난 10년 동안 미국 연방 및 지방 정부는 태양광 발전설비 보급 확대를 위한 다양한 조세감면 및 인센티브 제도를 도입하는 한편, 태양광발전 사

20) 권호진 외3명, '3R:폐태양광 패널의 새로운 가치를 찾아서', LG첼렌저

업자와 전력 소비자가 태양광 발전전력의 보급·이용을 용이하게 할 수 있도록 규제제도를 개선

- 정부는 인센티브 제도를 통해 태양광 발전설비 소재 및 제조산업의 생산 비용 감축을 유도하는 한편, 태양광 PV R&D를 통해 기술개선 주도
- 분산형 에너지시스템 구축을 위해 상호연계기준(interconnection standards)을 설정하고, 제도적 장애요인 해소를 통해 태양광 PV 시장 확대를 도모

② 미국 태양광산업 성장요인

- 태양광 발전원가의 하락(경제적 요인)
 - 미국 모듈 제조설비 증설에 따른 공급 과잉, 아시아로부터의 저가 모듈 공급 증가로 모듈 가격 하락→ 건설비용 감소
 - 연방정부와 주정부 차원의 다양한 지원 제도(정부의 제도적 요인)
- 「에너지 정책법」에 의해 청정에너지에 대한 세금공제, 보조금, 대출 프로그램 등 시행 및 주거용 및 상업용 태양광에 대한 세제혜택을 제공
- 태양광 관련 선도적 제도
 - SAI(Solar America Initiative): 태양광 제조기업, 대학, 국립 연구소 등이 주도하는 프로젝트를 지원하는 제도(연방정부 제도)
 - Sunshot Initiative: 2020년까지 태양광 발전비용을 \$0.06/kWh 수준까지 낮추기 위한 마려한 제도(주정부 제도)
 - RPS(신재생에너지 의무할당제): 소비자에게 공급하는 전력의 일정 비율을 재생 에너지원으로 공급하도록 의무화하는 정책(주정부 제도)
- 태양광발전설비 설치비용에 대한 자금조달 용이하게 해 주는 미국 금융 시장의 발달

③ 미국의 재활용 체계

- 미국은 재활용에 대해 끊임없이 관심을 가지고 이에 대한 기술과 사회적 시스템 구축을 위해서 노력 중
 - DOE(Department of Energy; 에너지부) 프로젝트의 일환으로 Brookhaven 국립연구소에서 CdTe계 태양전지, CIS계 태양전지 및 SirP 태양

전지 모듈에 대한 재활용 기술 연구 및 시스템 구축 추진

- 폐모듈 재활용에 대한 연방 규정이 존재하지 않기 때문에 다음과 같은 방법으로 사후관리 실시
 - 금속, 전자기기 재활용업체로 운반하여 처리
 - 유해물질을 포함한 폐모듈의 매립
 - 일반적인 매립
 - 상태가 양호한 모듈에 한해서 재사용 처리
 - 제고창고에 저장, 보관
 - 재활용업체 'First Solar(Ohio)': CdTe계열 태양광 전문회사로서, 태양광 폐모듈을 자발적으로 회수하여 처리하며, 모듈에 사용 된 반도체 및 유리의 90%는 새로운 모듈로 재사용 또는 재활용 처리
- 현재까지는 소량으로 폐모듈이 배출되고 있고, 선제적 접근방식의 부족 및 재정적 제약으로 인해 재활용 프로그램이 부족한 실정
- 미국은 현재 태양광 산업을 성장시키려는 제도적 요건은 충분하지만, 재활용에 대한 제도는 갖춰지지 않음
 - 따라서 소수의 회사들이 자체적 시스템으로 PV 회수 및 재활용을 하고 있으며, 대부분은 일반 폐기물처럼 PV가 처리되고 있는 상황

④ 워싱턴

- 2017년 워싱턴주는 지속가능한 지역 재생 에너지 산업을 촉진하기 위해 PV모듈 책임관리 프로그램을 조세를 개편하는 방향으로 「Senate Bill-5939」 법안 통과
 - 이 법안으로 2021년부터 모든 태양광 모듈 생산자가 권역별로 수거센터를 의무적으로 설치하고 운영하여야 함
 - 미국 뉴욕주에서도 비슷한 법안이 계류 중²¹⁾ 그 중 PV 제조업체에게 의무를 부여하는 태양광 모듈관리 및 반환 프로그램인 '70.355RCW (Photovoltaic Module Stewardship and Takeback Program)' 수립
 - 70.355RCW는 태양광 제조업체를 대상으로 2017년 7월 1일 이후로

21) The New York State Senate(2018) "Senate Bill S2837B Enacts the "solar panel collection act"

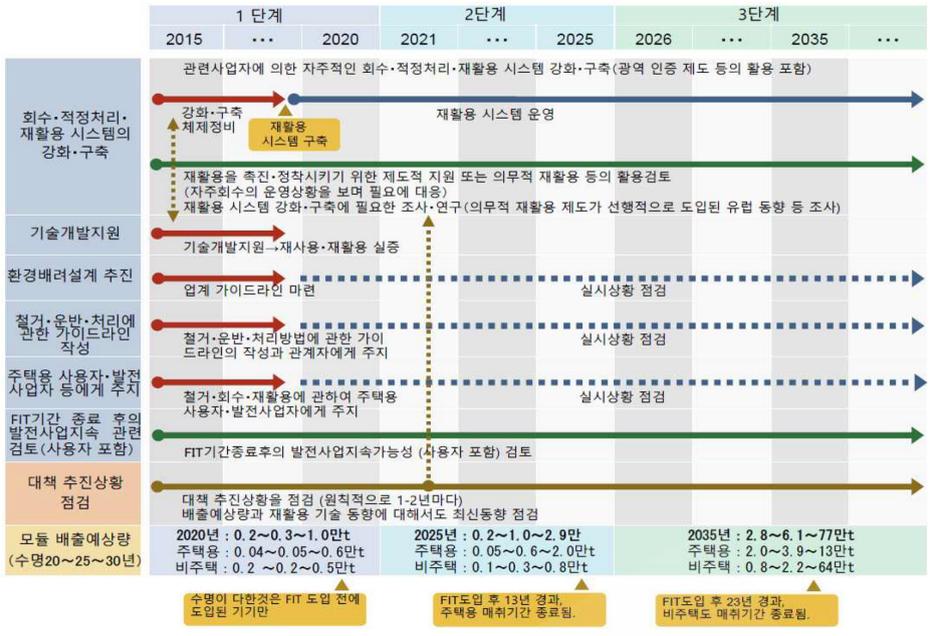
- 판매한 태양광 모듈을 대중에 편하고 친환경적인 방법으로 재활용할 수 있는 방법을 Stewardship Plan으로 제시하여야 한다는 내용
- Stewardship Plan의 계획, 수립, 이행, 평가의 과정을 이해관계자별로 나열하는 것으로 구성되어있다.
 - 워싱턴주 생태 부서(Washington State Department of Ecology)가 담당함
- 배경(Findings)
- 태양광 모듈을 재활용하고 유해폐기물을 최소화하며 폐자원의 가치 있는 회수를 위해 편리하고, 안전하고 환경친화적인 시스템의 필요성이 제기
 - 이에 따라 워싱턴 주의회는 태양광 제조업체를 포함한 모든 이해관계자를 해당 시스템의 대상으로 간주하고 이 법안 마련
- 프로그램 지도, 검토 및 승인(Program guidance, review and approval)
- 워싱턴주 생태부서는 제조업체가 태양광 모듈과 부품 및 재료의 편리하고 안전하며 환경친화적인 회수 및 재활용을 보장하기 위한 프로그램을 자체적으로 준비하고 실행할 수 있도록 지침(안내서)을 개발
 - 해당 지침은 워싱턴주 생태부서가 제조업체, Stewardship 기관 및 관련된 이해관계자와 협력하여 2018년 1월까지 지침 완성 사업단계 수립 및 2019년 7월까지 지침 완성
 - 또한, 제조업체는 Stewardship 프로그램을 이행하는 대리인으로 Stewardship 기관을 선정할 수 있음
- Stewardship 계획(Stewardship plans)
- 각 제조업체는 2020년 1월 1일, 또는 워싱턴주에 태양광 모듈을 처음 판매한 날로부터 30일 이내에 생태부서에 Stewardship 계획을 준비하여 제출하여야 함
 - Stewardship 계획에는 다음 내용을 포함하여야 함

- i. 워싱턴주에서 판매된 태양광 모듈과 잔여물의 수집, 관리, 재활용 등을 포함한 회수 및 재활용 시스템의 자금 조달 방법. 이때, 태양광 모듈의 최종 소유주나 holder에게 비용을 부담하지 않고 모듈을 회수 위치로 가져올 수 있는 비용을 조달하는 방법 또한 명시하여야 함
- i. 2017년 7월 1일 이후에 주에서 판매된 모든 태양광 모듈을 대상으로 함
- i. 환경에 유해한 물질의 방출을 최소화하고, rare earth elements 및 상업적으로 가치 있는 물질들을 포함한 부품들의 회수율을 극대화 할 수 있는 방법을 설명해야 함
- i. 태양광 모듈을 회수하기에 편리한 권역 내 회수 장소를 제공하고, 만약 적절한 장소가 부재하다고 판단될 경우 그 이유를 첨부해야 함
- i. 소비자, 설치자, 건물 철거 업체 및 재활용·처리 업체 등 이해관계자에게 해당 섹션(iii)의 목적에 부합하는 태양광 모듈의 적절한 분해, 운송, 처리 정보를 전달하는 방법을 제시해야 함
- i. 수집된 모듈의 총 중량 대비 재사용·재활용 합산 비율을 포함한 성과목표를 수립하여야 함. 이 성과목표는 85% 이상이 되어야 함

4) 일본

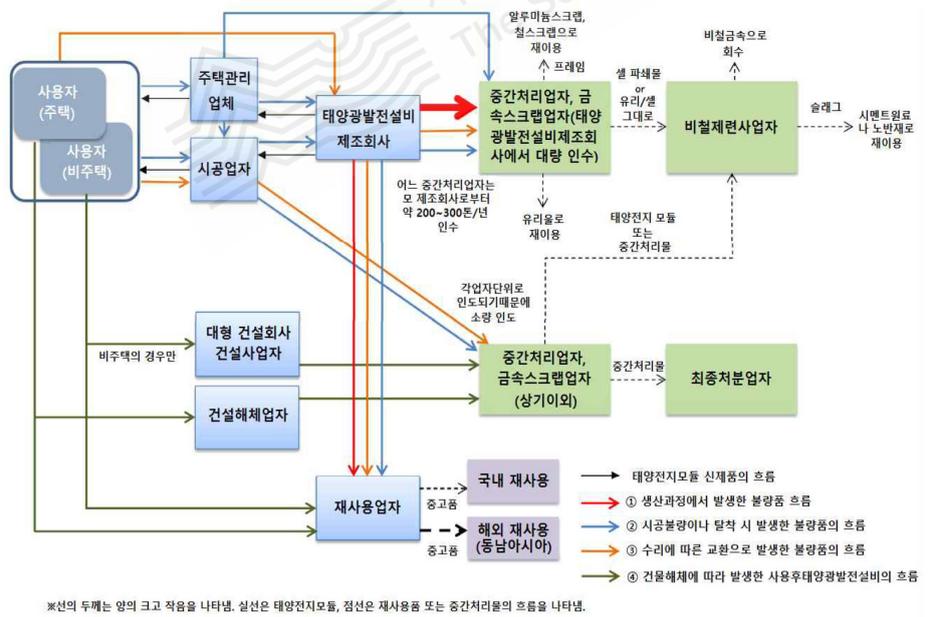
- 2015년 일본은 태양광 패널의 수거·재활용·적정처리를 위한 전략 로드맵을 제시
 - 로드맵에서 기술 R&D, 친환경적 설계, 사용자 대상 해체·운송·처리·홍보에 대한 내용을 명시²²⁾
- 2016년 3월 일본 환경성은 2015년도 보고서에서 검토회를 통해 도출된 내용 정리 후, 폐기물처리법(廃棄物処理法)에 의거하여 2016에 ‘태양광 폐모듈 재활용 촉진 가이드라인(太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン)’ 수립
 - 이 지침으로 폐태양광발전설비를 원칙적으로 산업폐기물로 분류, 해체·철거, 수집·운반, 처분에 관한 관계자의 역할과 유의 사항을 정리

22) 한국환경정책평가연구원(2018), 태양광 폐패널의 관리 실태조사 및 개선방안 연구



[그림 3-18] 일본 태양광발전설비의 재활용 및 적정처리 추진을 위한 로드맵

자료: 일본 폐재생가능에너지설비의 재사용, 재활용, 적정처분에 관한 검토회(2015), p.54. 조지혜 외 2018, p.38 재인용



[그림 3-19] 일본의 태양광 폐모듈 물질 흐름

자료: 일본 환경성, 태양광패널 재활용 등의 촉진을 위한 가이드라인(2016)

- 이후 2017년 2월 중앙환경심의회 폐기물 처리제도 전문위원회에서 태양 전지 모듈이 납 등의 유해 물질을 함유할 가능성이 있기 때문에, 안정형 5개 품목에서 제외해 관리형 최종처분장에 매립 처분해야 한다고 지적
- 2017년 9월에 폐패널에 대한 유해 물질 정보를 쉽게 확인하고 이용할 수 있도록 배출 사업자로부터 산업 폐기물 처리업자에 대한 유해 물질 정보 제공 의무를 명확화하고 적절한 매립 방법을 명시하라는 권고를 받음.
- 태양광 발전 설비 해체 및 철거
 - 일본 태양광발전설비의 해체·철거에 따라 발생하는 태양광 폐모듈은 일반적으로 산업 폐기물의 품목
 - ‘고철’, ‘유리 조각, 콘크리트 쓰레기 및 도자기 쓰레기’, ‘폐플라스틱류’의 혼합물로 취급되기 때문에 그 허가 품목을 가진 수집·운반 업체 및 매립업자에게 위탁
 - 일본은 태양광 발전협회(JPEA)를 중심으로 태양전지 폐모듈 재활용에 대한 조사 및 기술개발과 함께 로드맵 작성·실행을 추진²³⁾
 - 특히 태양전지 모듈의 리사이클링화를 1. Recycling 기술, 2. Recycling 시스템(사회시스템, Recycling 공장) 도입스케줄, 3. 태양광발전시스템의 Recycling을 위한 사회시스템 구축에 체계적인 노력을 기울이는 중

태양광패널 리사이클 촉진 가이드라인 (太陽光電池リサイクルを向けたガイドライン)

- 일본은 급속히 증가하고 있는 태양광패널이 폐기물로 배출되었을 때 효율적으로 처리하기 위해서 ‘태양광패널 리사이클 촉진 가이드라인’을 수립
- 가이드라인에 따르면 폐모듈의 배출경로를 크게 태양광발전설비 제조업자, 건설업자, 시공업자, 재사용업자 4가지로 분류
 - 태양광발전설비 제조업자에 의한 배출이 대부분
 - 태양광발전설비 제조업자는 폐모듈을 어느 정도 회수한 후 이를 중간처리업자에게 인도
 - 태양광 폐모듈은 사업장폐기물에 포함되어 일괄적으로 처리되고 있으나, 향후 수명이 다한 태양광 모듈의 배출이 증가할 것이므로 건설업자 및 시공업자를 통한 배출량도 점차 증가할 것으로 예상됨

23) 태양광 모듈 리사이클링 산업시장 동향(국가환경정보센터 2016-096호)

- 철거-운반-재활용 및 처리 단계로 나누어 작업의 일반적인 흐름과 주의사항을 명시하고 있음
- 철거작업의 흐름은 작업주변환경 확인→전력계통의 차단→태양광패널의 분리 순서로 이루어짐
 - 소유자 및 배출사업자는 폐모듈을 원칙적으로 사업장폐기물로 취급해야 함
 - 신뢰할 수 있는(등록된) 사업장폐기물회수업자, 사업장폐기물처리업자에 위탁, 적정대가 지불, 처리방법에 대한 정보제공, 사업장폐기물 이력관리 등이 수행되어야 함
 - 철거사업자는 관련 자격 보유자여야 하며, 건설업법 및 건설리사이클법에 따라 규정을 준수해야 하고 감전, 파손, 부상 방지 등 대책을 세우고 철거 작업 실시함
- 폐모듈의 운반은 재사용, 재활용 등 목적에 따라 방법이 달라질 수 있으며 재활용 및 처리 관련 사업자의 연계에 의한 효율적 체제 구축 필요
 - 사업장에서 배출된 폐모듈의 회수, 운반은 배출사업자 또는 사업장폐기물 회수업자가 담당하며, 운반 시 감전, 파손, 부상방지, 누수방지 등에 대한 대책 강구 필요
- 매립량 감축을 위해 금속, 유리 등의 재활용 추진 및 소재 특성에 따라 재활용 방법도 다르기 때문에 사전에 소재의 성상 및 리사이클방법 파악
 - 리사이클링 과정에서는 감전, 배수처리대책, 호흡방지 등의 대책마련
 - 배출사업자는 위탁하는 사업장폐기물 처리업자에게 성상 및 주의사항 제공

[표 3-20] 지침의 관계자 분류와 예시

분류	각 분류 구체적 예
소유자	태양광 발전 설비를 소유한 소비자
	태양광 발전 설비를 소유하고 전력 생산하는 사업자
	태양 전지 모듈 제조업체
	태양 전지 모듈의 임대를 실시하는 사업자
해체·철거업자	태양광 발전 설비의 해체·철거 공사 등을 실시하는 건설업(시공 업체, 건설사, 해체업자)
	태양광 발전 설비 설치 주택을 제공하는 주택업자
	태양광 발전 설비를 유지 보수하는 업체
수집 운반업자	사용된 태양 전지의 모듈을 수집·운반하는 업체
재사용업자	사용된 태양 전지 모듈을 입수하고 정비·검사 후, 재활용 가능한 물건을 판매하는 사업자
재활용 업체	사용된 태양 전지 모듈의 재활용을 할 업체
중간 처리업자, 매립업자	사용된 태양 전지 모듈을 선별·매립하는 업체(중간 처리와 매립을 각각 따로 하는 경우도 있음)
태양 전지 모듈 정보 제공 주체	태양 전지 모듈 제조업체
	태양 전지 모듈 판매자
	태양 전지 모듈의 수입자

04

태양광 폐모듈 관리방안



- 1_기본방향
- 2_EPR 제도 시행 전까지의 조치
- 3_EPR 제도 시행 이후의 조치

04. 태양광 폐모듈 관리방안

1_기본방향

1) 폐모듈 관리 방향

- 정부의 폐모듈 관리 체계가 정립되기 전까지는 최대한 존치
 - 고층건물 외벽에 설치된 폐모듈은 탈거가 어려우므로, 안전상 문제점이 없으면 최대한 존치
- EPR(생산자책임재활용) 품목 지정 전까지는 일반 가정에서 배출되는 폐모듈은 생활폐기물의 대형폐기물로 분류하여 관리
 - 대형폐기물로 관리되기 위해서는 지자체 조례로 폐모듈을 대형폐기물로 지정하여야 함
 - 대형폐기물 처리수수료를 별도로 산정하여야 함
 - 사업장에서 배출되는 평균 300kg/일 이상 폐모듈은 사업장생활폐기물로서 대형폐기물로 처리
- 자원순환 차원에서 폐모듈 재사용·재활용 촉진
 - 태양광발전 설비는 클린에너지의 대명사이므로 폐모듈 또한 환경친화적으로 순환 이용하여야 함
 - 재사용 가능한 폐모듈을 선별하는 시스템 구축
- 환경부는 조속한 시일 내 EPR 품목으로 지정하여 관리하여야 함
 - 정부(환경부)는 조속한 시일 내 폐모듈을 EPR 품목으로 지정해야 함
 - 베란다 태양광의 경우 생산자에게 수거 및 처리뿐만 아니라 탈거까지 책임을 부여하여야 함

2) 폐모듈 수거 및 처리 방향

(1) 비용부담

- EPR 품목 지정 전까지는 배출자 부담원칙 적용
 - 가정용 설비의 경우 관리 단계별 책임소재가 분산됨. 운반 및 처리단계의 관리책임은 EPR 품목 지정 전에는 자치구이고 EPR 품목 지정 이후에는 생산자로 명확하지만, 수집(철거) 단계의 책임소재는 모호함
 - 철거 및 수집, 해체 등에 소요되는 비용은 배출자가 전액 부담하는 방법, 배출자와 지자체가 부담하는 방법, 배출자와 생산자가 부담하는 방법 등 다양한 방안이 가능함²⁴⁾.
 - 자치구, 설치업체, 설치연도 등에 따라 차이가 있으나, 서울시에 보급된 가정용 태양광 발전설비 설치 비용의 80% 정도는 서울시 및 자치구 지원금으로, 이미 가정용 태양광 사용자는 충분한 수준의 혜택을 받음
 - 현시점에서는 대형생활폐기물과 같은 방법으로 비용을 부담하는 것이 바람직함
- 철거비용
 - 환경부는 폐모듈을 EPR 품목에 포함시킬 예정이나 가정용 태양광 폐모듈의 철거비용에 대한 논의는 없음
 - 전국 태양광 모듈의 수요는 사업용(발전용)이 대부분이고 자가용(가정용) 수요는 매우 적으므로, 예치금 산정 시 철거비용은 포함되지 않을 가능성이 매우 높음
 - EPR 품목 지정 이후에는 수집(철거) 단계에 대한 책임소재가 불분명하나, 수집(철거)에 대한 책임은 소유주 또는 자치구(서울시 포함)의 공동 책임으로 전가될 가능성이 높음
 - 환경부의 정책이 확정되기 전까지는 배출자가 가정용 폐모듈의 철거비용을 지불하여야 함. 다만, 안전사고 방지를 위하여 철거 필요성이 높은 폐모듈 철거에 적극 임하도록 서울시와 자치구의 지원이 필요함
 - 한편, 폐모듈 철거과정에서 감전 등의 위험이 있으므로 발전용량이

²⁴⁾ 서울시가 SR센터나 태양광지원센터 등 기존 또는 신설 폐모듈 관리 조직을 통해 일괄처리 할 경우 서울시에서 위탁비용에 해당 비용을 지원함으로써 서울시가 일정 부분 부담하는 방법도 있음

20kW 이상인 설비는 전기공사업 등록 업체가 철거하도록 해야 함

- 운반비용
 - 폐모듈이 EPR 품목에 포함되기 전까지는 대형생활폐기물로 관리하여야 하기 때문에 배출자가 수집 및 운반비용을 지불하여야 함. 이에 따라 각 자치구는 폐모듈 수거 수수료를 책정하여야 함
 - EPR 품목 지정 이후에는 EPR 관련 사업자가 비용 부담

(2) 보관방법

- 서울시와 자치구는 가정용 폐모듈은 대형생활폐기물로 관리하여야 함
 - 발전사업자용 태양광 설비에서 배출되는 폐모듈은 사업장폐기물이기 때문에 폐모듈 관리주체가 해당 사업자이나, 자가용 태양광의 경우 대형생활폐기물로 자치구가 관리하여야 함
 - 철거된 폐모듈은 EPR 품목 지정 이전까지는 대형생활폐기물로서 자치구가 관리하여야 함
- EPR품목 지정 이후에도 폐모듈 임시보관 공간 필요
 - EPR품목 지정 이후에도 폐모듈 처리·처분 장소로 운반하기 전까지 임시보관 필요
 - 수집 책임을 생산자에게 부여하지 않고 운반 및 처리 책임만 부여할 경우를 대비하여 재활용품 선별장, 적환장 등에 임시보관 공간을 확보해야 함
 - 정부가 건립 중인 재활용처리시설 가동 전에는 장기보관 불가피
 - 서울시는 SR센터나 태양광지원센터(서울에너지공사) 등 기존조직이 보유한 공간을 확보하여 보관하는 방안을 강구하여야 함.
 - 우선 SR센터와 태양광지원센터에 폐모듈 보관을 위한 충분한 공간을 확보하여야 함. 또한 폐모듈 관리 전담조직을 신설하고 폐모듈 관리를 위한 공간과 장비를 확보할 수 있도록 지원하는 방안도 고려하여야 함
 - 대형폐기물 집하장소에 대해서도 향후 폐모듈 발생량 증가에 따라 공간 확보를 고려해야 함

○ 폐모듈 보관방법

- 기본적으로 「폐기물관리법」 제14조 [별표 5]에서 제시하고 있는 보관 방법을 따름
- 적층은 5단 이하로 하여 하중에 의한 파손을 방지. 많은 양을 적층하고자 할 경우 구조물을 가설하고 그 위에 적층하여 폐모듈이 파손되지 않도록 함
- 파손된 폐모듈은 위험성을 고려하여 판재 등으로 제작된 상자 안 또는 창고에 보관하며, 폐기물의 유출 등을 방지할 수 있는 바닥 재질이어야 함
- 파손된 것과 외형상 양호한 것을 분리 보관
- 파손된 폐모듈 주변에 위험 경고판 설치
- 폐모듈은 재사용을 고려하여 빗물에 젖지 않아야 함
- 유리면이 위로 향하도록 함



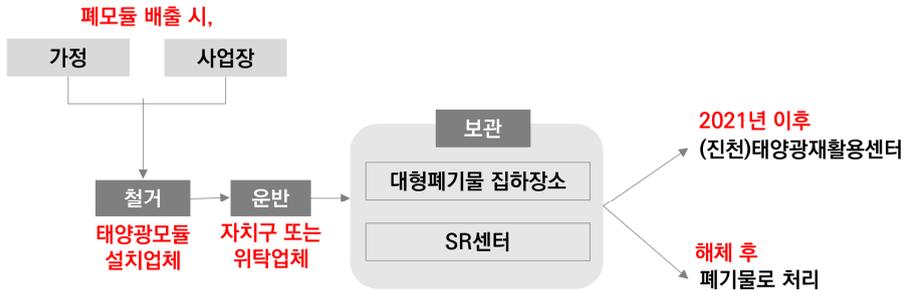
[그림 4-1] PV CYCLE에서 폐모듈 수집·보관에 사용하는 상자

(3) 선별 및 재사용

- EPR품목 지정 이후에도 폐모듈 재사용을 최우선
 - 폐모듈은 유통과정을 거치면서 파손 등에 의해 품질저하가 심해질 것으로 예상되는 바, 서울시가 우선적으로 사용가능한 폐모듈을 분리하여 품질 저하를 예방
- 성능검사 장비를 도입
 - 태양광지원센터 또는 SR센터 등에 성능검사 장비를 도입하여 사용가능

모듈을 선별하여 보관

- 성능검사 장비를 도입 이전까지는 폐모듈의 수요가 있을 경우 협상을 통해 유상 또는 무상으로 수요처에 공급



[그림 4-2] 소량 발생 폐모듈의 수거·처리 방안

3) 폐모듈 관리 전문조직화

- 안전사고 예방과 시민 편의 도모
 - 안전사고 예방을 위하여 전문인력을 통해 폐모듈을 철거하여야 함
 - 가정에서 태양광 모듈 철거를 하고자 할 경우 철거신청을 접수할 창구 개설 필요
- 전문조직화
 - 태양광 모듈의 철거작업에는 전문성이 필요하기 때문에 시행자로는 태양광 모듈 설치 사업자가 적합함. 태양광 모듈 폐기물의 배출이 많아질 경우 태양광 모듈 철거 전문 조직이나 기업을 육성할 필요가 있음
 - SR센터, 태양광지원센터 등에 폐모듈 철거 지원체계 마련하여 폐모듈 철거신청을 접수하고 태양광 모듈 설치업체에 철거작업을 의뢰
 - 장기적으로는 SR센터 또는 태양광지원센터에서 태양광 모듈 철거관련 전문인력과 장비를 배치하고, 시민이 태양광 모듈 철거신청을 할 경우 철거 및 운반, 해체 작업까지 일괄 진행하도록 하는 것이 바람직함
 - 폐모듈을 진천 소재 태양광재활용센터까지 운반할 경우 불필요한 에너지 소비 및 온실가스 배출
 - 서울 또는 수도권에서 재활용 가능한 금속과 유리를 분리하여 재활용 함으로서, 진천까지 운반할 폐기물의 양을 최소화

2_EPR 제도 시행 전까지의 조치

1) 안전조치

- 탈거되지 않은 자가용 폐모듈은 최대한 존치
 - 폐모듈 철거작업은 안전사고의 위험성이 잠재되어 있으므로 안전점검을 우선적으로 시행하여 안전한 것으로 판단되면 최대한 존치
 - 탈거대상 폐모듈은 전문업체에 의뢰하여 탈거
- 발전사업자용 폐모듈은 사업자가 안전점검 및 철거
 - 발전사업자용 폐모듈은 감전사고 예방을 위한 조치 필요
 - 강풍 등에 대한 구조물의 안전성 점검을 이행하도록 행정지도
 - 구조물이 안전상의 문제가 발생할 경우 즉시 철거

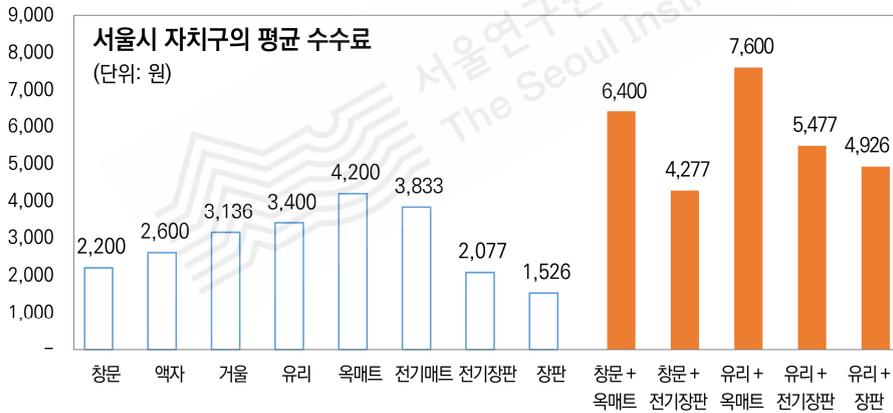
2) 수거 및 보관

- 배출된 폐모듈은 대형생활폐기물로 분류
 - 생산자책임재활용제도가 시행되기 전까지는 폐모듈을 대형생활폐기물로 분류하고, 해당 수수료를 산정하여야 함
 - 동일한 대형생활폐기물이라 하더라도 자치구마다 수수료 부과 방식이나 금액의 차이가 있음
 - 유리, 거울, 장판, 파티션 등의 수거수수료는 경우 대체로 단위면적당으로 산정하며, 거울의 경우 큰 것과 작은 것으로 구분하여 1개당으로 수수료를 부과하는 자치구도 있음
 - 문짝, 창문, 매트(전기매트, 옥매트), 액자 등은 대체로 개당 수수료를 부과하며, 액자의 경우 단위면적당으로 수수료를 산정하는 자치구도 있음
 - 폐모듈의 무게와 특성을 고려하면 창문, 액자, 거울, 유리 등과 유사. 폐모듈은 유리 외에도 셀과 백시트 등으로 구성됨
 - 25개 자치구의 품목별 수수료산정 방법에 따라 태양광 폐모듈의 규격(1.6~2㎡)을 적용하여 해당 품목의 수수료를 산정하면 다음 표와 같음

- 아래 표에 나타난 바와 같이 자치구의 여건에 따라 다양한 품목을 조합하여 수수료를 산정할 수도 있음
- 환경부의 EPR 제도 설계에 따라 각 임시보관 장소까지의 수집·운반비용이 달라질 수 있음

[표 4-1] 폐모듈 크기를 적용한 대형생활폐기물 처리 평균 수수료

품목	폐모듈 크기를 적용한 수수료	품목	폐모듈 크기를 적용한 수수료
창문	2,200원	전기장판	2,077원
액자	2,600원	2가지 이상 품목의 조합	
거울	3,136원	창문+옥매트	6,400원
유리	3,400원	창문+전기장판	4,277원
장판	1,526원	유리+옥매트	7,600원
옥매트	4,200원	유리+전기장판	5,477원
전기매트	3,833원	유리+장판	4,926원



[그림 4-3] 서울시 폐모듈 크기의 대형생활폐기물 수수료(자치구 평균)

○ 보관 및 재활용

- 각 구별 태양광 보급량에 따라 큰 차이가 있으나, 향후 5년 이내에는 폐모듈 발생이 거의 없거나 적을 것으로 예상되는 바, 배출된 폐모듈은 앞에서 언급한 바와 같이 적환장 등의 공간을 활용하여 임시보관함
- 서울시는 SR 센터 또는 서울에너지공사 태양광지원센터 등 관련 조직을

활용하여 각 구별 폐모듈 수거량을 정기적으로 파악하고, 폐모듈 관리 시스템 도입 시점을 설정

- 폐모듈 관리 조직이 선정되면 재사용과 재활용 대상으로 분류할 수 있도록 인력, 장비, 공간을 마련을 위한 준비. 다만 이 과정에서 환경부의 정책이 확정되면 이에 따를 것

3_EPR 제도 시행 이후의 조치

1) 자치구별 관리 체계구축 필요

- 태양광 모듈이 생산자책임재활용제도(EPR 제도)의 대상 제품에 포함될 경우 태양광 모듈 생산자 및 판매업자(설치업자)에게 회수 및 재활용의 책임이 부여되지만 구체적인 책임의 내용은 향후 법률개정 후 확인할 수 있음
 - 태양광 모듈을 설치한 곳에서 기존의 태양광 모듈을 신제품으로 교체하고자 할 경우 태양광 모듈 생산자 혹은 판매자가 기존의 태양광 모듈을 무상으로 회수하여야 하는 의무는 부여될 것으로 보임
 - 신제품으로 교체하는 것이 아니라 태양광 모듈 철거만 진행될 경우 전기·전자제품에서 시행되는 무상방문수거 서비스와 같이 태양광 모듈을 설치한 가정 등에서 모듈 철거 및 폐기물 배출을 요청할 경우 생산자가 방문 후 철거, 운반 작업까지 하는 의무가 부여될지 여부에 대해서는 법률개정 작업을 지켜볼 필요가 있음
 - 태양광 모듈의 철거, 수집, 해체, 재활용에 소요되는 비용 중 생산자가 어느 수준까지 부담할 것인지에 따라 배출자와 지자체의 역할의 범위가 달라짐
- 태양광 모듈에 대한 EPR체계 구축과는 별도로 지자체에서도 폐기물관리법에서 규정한 책무에 따라 관리체계 구축이 필요함
- 태양광 모듈이 EPR대상 품목으로 관리될 경우 대형폐기물로 배출된 태양광 모듈을 지자체에서 수집 후 집하장소에서 보관하면 생산자가 재활용업체까지 운반하여 재활용

- 통상적인 대형폐기물 관리체계는 배출자가 지정된 장소로 대형폐기물을 배출하면 지자체가 직접 혹은 위탁업체를 통해서 수집 후 처리

2) 안전관리 강화

- 고장난 태양광 수리 및 안전관리 서비스 강화
 - 서울시 태양광 지원센터에 폐모듈의 수리와 안전관리 지원
 - 자원의 효율적 이용과 일자리 창출을 위해 재사용가능 폐모듈 감별을 위한 전문인력 양성
- 시민안전을 위해 방치된 폐모듈 처리
 - 방치된 폐모듈은 강풍으로 구조물 붕괴와 파편 비산 등에 따른 위험성 잠재
 - 방치된 모듈에 대한 신고 체계 마련과 홍보 강화
 - EPR 관련 업체나 단체 등과 긴밀한 협력을 통해 철거 및 수거

05

결론



05. 결론

- 서울시 태양광발전 보급사업이 시작된 이후 설치량과 발전량이 급격히 증가하였고, ‘태양의 도시, 서울’ 종합계획 수립에 따라 태양광발전의 보급은 지속적으로 증가할 것으로 예상됨
 - 태양광 모듈은 수명이 존재하고, 수명이 다하면 폐기물 형태로 배출되는 실정임
 - 현재까지는 발생량이 많지 않아 그대로 적치하여 보관하거나, 단순 매립 및 제3국으로 수출되고 있는 상황이지만 관리제도의 부재로 통계자료가 부족하고 어떠한 흐름으로 처리되는지 실태조사가 제대로 이루어지지 않고 있음
- 유럽의 경우 폐기물 처리 지침개정을 통해 태양광 폐모듈의 회수, 재활용이 의무화되어 체계적으로 관리
 - 반면, 우리나라는 제도 및 정책적 지원이 미흡하며 EPR 제도 도입 등 다양한 제도적 시도와 재활용 기술 개발의 노력을 하고 있으나 관계 집단 간의 협의가 필요한 부분이 있어 관리체계 기반 마련이 시급한 상황
- 생산-소비-폐기 흐름의 선형경제에서 소비-생산-재생으로 이어지는 순환경제에 대한 국내외적으로 높은 관심
 - 태양광발전은 신재생에너지의 핵심사업으로 순환경제 달성에 중요한 의미를 가지기 때문에 폐기물로서 문제가 발생하면 국가 에너지 정책 추진에 부정적인 영향을 줄 수 있음
- 이에 본 연구에서는 태양광 폐모듈의 수거와 보관 등 자치구 중심의 폐모듈 관리방안을 마련하고자 하였으며, 폐모듈 관리체계를 구성하는 관련 주요기관의 역할을 제고하여 제도를 정비함으로써 사후관리시스템 방안을 제시

- 또한 2021년 태양광재활용센터가 완공되어 운영될 예정으로 태양광 모듈의 생애주기단계별 처리방안이 명확히 제시될 필요가 있음

(1) 폐모듈 관리체계 종합진단

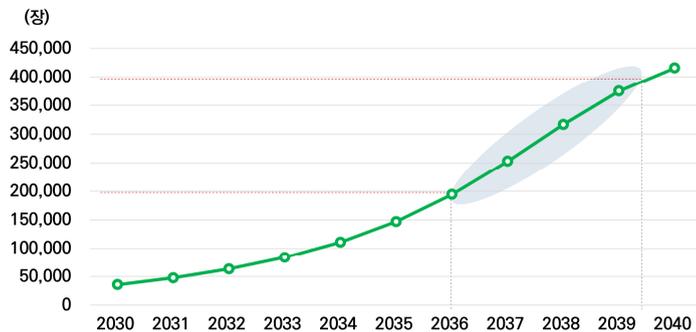
- 폐모듈 관리원칙 부재
 - 일반 가정에서 배출되는 태양광 모듈은 생활폐기물로서 대형폐기물로 분류
 - 대형폐기물로 관리되기 위해서는 지자체 조례로 태양광 폐모듈을 대형 폐기물로 지정하여야 하며, 대형폐기물 처리수수료가 별도로 산정되어야 할 필요가 있음
 - 태양광 발전사업자가 태양광 모듈 교체 작업을 하면서 5톤 이상의 폐기물을 배출할 경우에는 사업장폐기물로 분류되며, 사업자가 처리책임이 있음
- 폐모듈 통계관리 미흡
 - 폐모듈 발생 시 신고의 의무가 없고, 사용 후 처리에 대한 제도 및 지침이 미흡하여 폐모듈 발생 및 처리 실태 파악에 한계가 있음
 - 또한, 발생한 폐모듈은 방치 및 단순 매립되고 있어, 재사용·재활용을 위한 회수체계 필요
 - 권역별 거점을 마련하여 폐모듈 회수 및 보관 필요
- 폐모듈에 대한 안전지침 부재
 - 태양광발전설비는 감전 위험 등이 있어 철거 작업에서부터 주의필요
 - 철거, 운반 등의 단계에서 작업 환경 확인 및 주의사항 지침 마련

(2) 서울시와 자치구의 역할

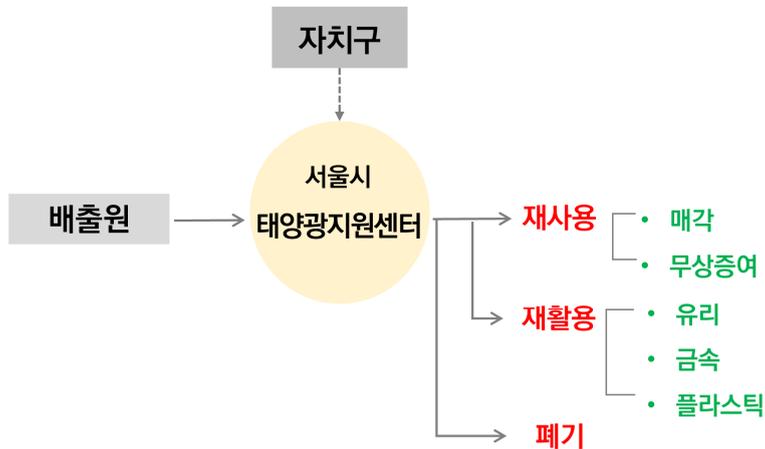
- 태양광 폐모듈에 대해서는 EPR 제도의 확대와는 별도로 지자체에서도 「폐기물관리법」에서 규정한 책무에 따라 관리체계 구축이 필요함
 - 폐모듈이 생활폐기물로 배출되는 경우 대형폐기물로 분류하고, 해당 수수료를 산정하여야 함
 - 태양광 모듈이 EPR대상 품목으로 관리될 경우 대형폐기물로 배출된 태양광 모듈을 지자체에서 수집 후 집하장소에서 보관하면 생산자가

재활용업체까지 운반하여 재활용하도록 하여야 함

- 통상적인 대형폐기물 관리체계는 배출자가 지정된 장소로 대형폐기물을 배출하면 지자체가 직접 혹은 위탁업체를 통해서 수집 후 처리함
- 태양광 모듈의 철거, 수거, 해체, 재활용에 소요되는 비용 중 생산자가 어느 수준까지 부담할 것인지에 따라 배출자와 지자체의 역할의 범위가 달라지므로 환경부의 EPR 제도의 구체적인 내용을 숙지하여야 함
- 또한, 폐모듈을 전문재활용센터로 운반하기 전까지 임시 보관할 수 있는 공간 확보
 - 환경부에서 임시수거장소로 안내하고 있으나 서울 외 지역에 위치해 있으며, 늘어나는 폐모듈에 대응하기 위해서는 권역별 또는 자치구별로 임시보관 장소 필요
 - 2021년 진천 태양광재활용센터가 완공될 예정임. 보관된 폐모듈은 진천으로 운반될 것이나 향후, 재사용할 것인지 재활용센터로 보낼 것인지 또는 처분시킬 것인지에 대한 선별단계에 대한 관리도 필요할 것으로 예상됨
- 향후, 급격히 증가할 폐모듈 처리에 대비하여 재사용·재활용·폐기물로 처리 여부를 선별하는 태양광지원센터 중심의 시설 구축 필요
 - 태양광 폐모듈이 연간 20만 장 배출되는 시기마다 선별시설을 구축
 - 폐모듈 발생량 전망치를 고려하면 2036년과 2039년경에 폐모듈 선별 시설 등 폐모듈 관리를 위한 공간과 시설을 확보하여야 함
 - 각 자치구에게 위탁수수료를 받아서 태양광지원센터에 업무를 위임하는 방안 모색



[그림 5-1] 선별시설 설치 예상 시점



[그림 5-2] 태양광지원센터를 활용한 시설운영 방안

(3) 정부의 역할

- 정부는 생산자책임재활용(EPR) 품목에 태양광 폐모듈이 포함되기 전까지 처리 지침을 명확해야 함
 - 2018년 입법예고 후 2023년 이후로 연기한 바 있음
 - EPR 품목 지정 전까지 지자체장에게 구체적인 폐모듈처리 지침을 제시해야 함
 - 현행 법령으로도 자가용 태양광 폐모듈을 처리할 수 있음에도 불구하고 자자체 공무원들은 폐모듈의 특수성으로 인하여 혼란을 겪고 있음
 - 법령에 따라 지역의 여건에 맞춰 수거하고, 보관 및 처리
 - 발전용 폐모듈은 관리 사각지대에 놓임. 사업자로 하여금 폐모듈을 방치하지 않도록 관리감독
- 적정 수준의 예치금 산정
 - 기존의 전자제품과 달리 철거-수거-운반-처리(재활용)에 이르는 과정에서 철거비용이 많이 소요되므로 이를 반영하여야 함
 - 파손된 모듈에서 발생한 파편 등에 의한 안전사고 잠재성 등을 고려하여야 하며, 고층건물 외벽에서 모듈을 철거하는 경우, 사고위험성이 높고, 작업속도도 느린 점을 고려하여야 함
 - 따라서, 상기의 사항을 고려하여 적정수준의 예치금이 책정되어야 함

- 철거전문 업체 육성
 - 전기사업법 73조와 동법 시행규칙 제43조에 발전설비의 용량이 20kW를 초과하면 전기안전관리자를 선임하도록 명시되어 있으나, 태양광발전설비의 철거와 관련하여 자격요건 등에 관한 언급은 없음
 - 정부는 태양광 발전설비 철거 관련 전문업체의 자격요건을 정하여 공표하고 관련 기업 육성을 위한 정책을 추진하여야 함
- 방치 폐모듈 관리 강화 및 홍보
 - 방치된 폐모듈은 안전사고를 유발할 잠재성 높기 때문에 방치폐모듈 신고처를 홍보하고 이를 신속히 수거하도록 감독하여야 함
- 규제와 지원의 균형
 - 폐모듈의 EPR 품목 지정에 따른 태양광 설치비용 증가를 고려한 지원책이 마련되어야 함
 - 신재생에너지 인증서 가중치 조정 등 태양광에 대한 인센티브를 강화할 수 있음



- KDB 산업기술리서치센터, 2018, 「미국 태양광 산업 동향 및 시사점」.
- 한국환경산업기술원, 2016, 「태양광 모듈 리사이클링 산업시장 동향」.
- KITECH 한국생산기술연구원, 국가청정생산지원센터, 「지속가능산업동향」
- 산업연구원, 2017, 사후관리체계 구축을 통한 신재생에너지 활성화 방안
- 한국포장재재활용사업공제조합, 2015, “포장재 분리배출 및 수거 효율화 방안연구
- 한국환경정책평가연구원, 2018, 태양광 폐패널의 관리 실태조사 및 개선방안 연구
- KIEP, 2018, EU의 순환경제 전략과 플라스틱 사용 규제
- 권호진 외 3인(LG챌린저), 2017, 3R: 폐 태양광 패널의 새로운 가치를 찾아서
- 서울연구원, 2017, 서울시 소각·매립대상 생활폐기물 감량방안
- 배재근, 2019, 폐기물 관리 및 처리 현상과 전망
- IRENA 2016 AND IEA-PVPS 2016, End of Life Management of Photovoltaic Panels Trends in PV Module Recycling Technologies
- Peeters, Karolien et.al., 2018, Preparatory study for solar photovoltaic modules, inverters and systems, JRC Technical Reports, European Commission
- <http://www.me.go.kr> (환경부)
- <http://kosis.kr/> (통계청 국가통계포털)
- <http://www.moleg.go.kr> (법제처)
- <https://www.photovoltaic-conference.com> (유럽 태양광 에너지 컨퍼런스)
- <http://pof.konkuk.ac.kr/> (건국대학교 전기전자 재료 및 센서 연구실)
- <https://www.allbaro.or.kr> (올바로시스템)
- Kelly P.,2018, It's time to plan for solar panel recycling in the United States, Solar Power World
- 環境省,2018,太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン (第二版)

A Study on End of Life Management of PV Panels for Seoul

Min Kyeong Kim, Hang-Moon Cho, Hyeon Jung Nam

The Korean government has established the 'Renewable Energy 3020 Roadmap' as the core plan of the energy transition policy, and set a goal to achieve 36.5GW of photovoltaic power generation by 2030 to increase the share of renewable energy generation by 20%. As part of our policy to cooperate the 'Renewable Energy 3020' project, Seoul Metropolitan Government(SMG) is pursuing the 'Solar City, Seoul' projects. SMG is promoting various photovoltaic projects with the goal of expanding and supplying 1GW, equivalent to the capacity of 1 nuclear power plant by 2022, and installing mini PV for 1 million households.

Since 2007, when the SMG began to expand PV supply, installed PV panel has increased drastically. Considering the life of PV system, it is expected that administrative demand for waste PV panels will begin to emerge from 2023 to 2025. However, despite the expansion of photovoltaic power generation, the management system and the government's policy on waste panels are insufficient, causing confusion about the scope of work between organizations of SMG. Specific guidance should be in place to address this.

Poor photovoltaic waste module management system

In 2018, about 20 tons of waste PV panels were discharged from all over the country. The classification of PV panel as a waste is not clear, The lack of demolition-collection-disposal system has caused confusion among

departments of SMG. In addition, although regulations related to photovoltaic system installation are relatively clear, it is difficult to grasp the actual situation because the regulations on waste PV panels management are insufficient and data on PV panel inventory and waste PV recycle systems are not established. The amount of waste PV panels to be generated in Seoul by 2040 was estimated by considering the installed PV panels and future PV panels. The forecasted waste PV is about 1,000 panels per year by 2022, and starts to increase to more than 34,000 panels per year from 2030. It is projected to be 420,000 in 2040. If you want to remove PV from your home, apply it to a photovoltaic installer and collect it as a large waste. Household PV must be removed by solar installation company. Discharged PV panels must be collected as large waste, which is then transported to waste storage site of each Gu District Office. The national PV recycling center will be completed in 2021. If the PV panel is included in as an EPR item, the producer is responsible for collection and disposal. The solar modules discharged as large wastes are collected at local governments and stored in storage areas, where PV producers transport them to recycling center. The PV panels as a large waste must be collected by the local government and stored in a temporary storage site, which is then transported by the producer to the recycling center. A typical large waste management system, when the emitter discharges large waste to the designated place, the municipality collects and disposes it directly or through a consignment company. The PV panel producer deposits funds in the Ministry of Environment, which must pay a deposit when the contractor processes the waste PV panels.

Contents

01 Introduction

- 1_Background and Purpose
- 2_Main Contents and Research Methods

02 Forecast of Waste PV Panel Generation in Seoul

- 1_Solar PV Policy of Seoul Metropolitan Government
- 2_Amount of Solar PV Panels in Seoul
- 2_Forecast of Waste PV Panel Generation

03 The Lack of PV Management Policy

- 1_Waste-related legal system
- 2_Characteristics and Hazards of PV Panels
- 3_Problems and Challenges of Waste PV Management
- 4_International Case

04 Waste PV Panel Management Scheme

- 1_Basic Principles
- 2_Actions before EPR Implementation
- 3_Actions after EPR Implementation

05 Conclusion

Reference

태양광 폐모듈 관리체계 구축방안

서울연 2018-PR-54

발행인 서왕진

발행일 2019년 6월 30일

발행처 서울연구원

ISBN 979-11-5700-533-8 93530 8,000원

06756 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

이 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.