태양광 폐모듈 발생량 예측에 관한 연구

남현정*, 조항문**
*서울연구원 안전환경연구실 연구원
**서울연구원 안전환경연구실 선임연구위원
e-mail:90480410@si.re.kr

Forecast of End of Life Management of PV Panels Generation

Hyeon-Jung, Nam*, Hang-Moon, Cho**
*Dept. of Safety and Environment Research, The Seoul Institute
**Dept. of Safety and Environment Research, The Seoul Institute

요 약

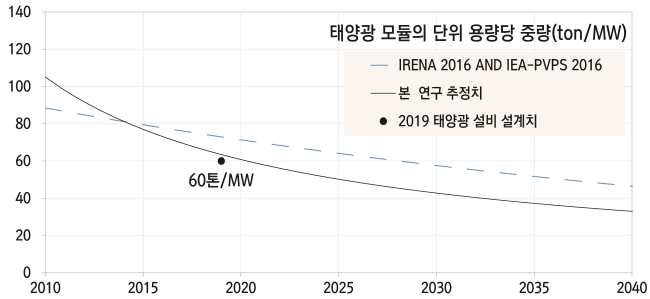
본 논문에서는 최근 확대되고 있는 태양광 모듈 보급에 따라 향후 발생할 폐모듈의 규모를 연도별로 예측하여 이에 대응할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다. 연구의 공간적 범위는 서울시로 한정하였으며, 서울시에서 현재까지 보급된 태양광 모듈량을 파악하여 폐모듈로 배출될 시기를 계산한 결과, 2025년부터 점차 수요가 나타날 것으로 예상되며, 2035년부터 급격히 증가할 것으로 보인다.

1. 서론

최근 5년 사이 태양광발전 보급사업이 확대되면서 태양광 모듈 보급량이 증가하고 있으며 현재까지 계속 누적되고 있다. 모듈의 평균 수명을 고려한다면 향후 5년 이내에 행정수요가 나타날 것으로 예상되지만 이를 처리하기 위한 시설 및 관리 지침은 미흡한 실정이다. 이를 대응하기 위해 연도별 폐모듈 발생량을 예측하고 관리체계 및 지침을 설정할 필요가 있다. 본 연구는 서울시를 공간적 범위로 설정하고 현재까지(2018년 기준) 서울시 내 보급된 태양광 모듈 현황을 분석하여 향후 폐모듈이 발생되는 시기와 발생량을 예측함으로써 정책적 방안을 제시를 위한 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

2. 태양광 모듈 특성 분석

폐모듈 발생량 전망에 중요한 요소인 모듈의 발전용량, 크기, 무게, 평균수명 등을 분석하여 계산에 적용하였다. 모듈 1장당 발전용량은 연평균 15.2씩 증가하여 2019년 기준 390W이며, 1MW당 모듈의 수량은 40% 감소한다. 또한 [그림 1]과 같이 1MW당 무게는 향후 지속적으로 감소할 것으로 예상된다. 태양광 모듈의 수명은 명확하게 설정하는데 한계가 있다. 문헌에 따르면 평균 20~25년으로 보고 있으나 설치연도 및 설치환경에 따라 차이가 있을 수 있다. 또한 시간 경과에 따라 모듈의 출력이 감소하는 경우와 인버터 수명(교체시기) 등을 고려하여 이 연구에서는 모듈의 배출기간을 평균수명인 20년으로 가정하였다.



[그림 721] 태양광 모듈의 1MW당 무게 추정결과 비교

3. 서울시 폐모듈 발생량 전망

3.1 서울시 태양광 보급 현황

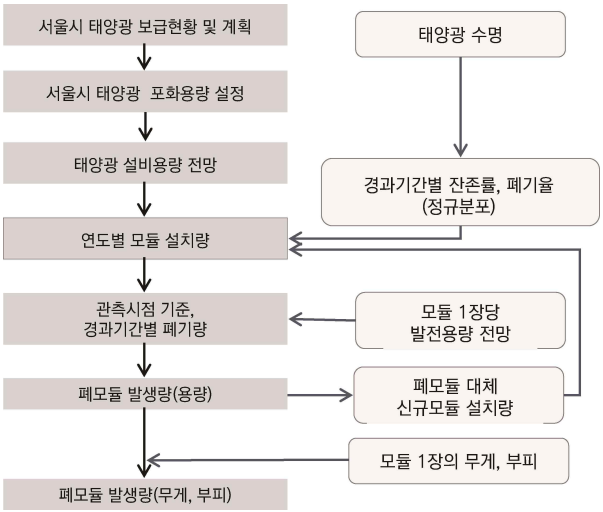
서울시에 누적된 태양광 보급량을 산정하기 위해서 2018년을 기준으로 사업당 태양광 보급량, 단기보급계획, 최대 보급 잠재량을 분석하였다. 또한, 보급실적, 계획, 보급 잠재량 등을 분석하여 Gompertz 식으로 회귀분석을 실시한 결과는 아래와 같다.

[표 119] 서울시 태양광발전 설비용량 전망

연도	용량(MW)	연도	용량(MW)
2022	1,186	2032	2,178
2024	1,383	2034	2,297
2026	1,632	2036	2,391
2028	1,848	2038	2,464
2030	2,030	2040	2,520

3.2 폐모듈 발생량 전망

관측연도의 보급량과 전년도 보급량의 차이로 신규 보급량을 산정하였고, 태양광 모듈의 수명은 정규분포하는 것으로 가정하고 준공 연도별 모듈의 폐기량을 산정, 목표연도까지 각 준공 연도별 폐기량을 합산하였다.



[그림 722] 태양광 폐모듈 발생량 전망 흐름도

3.2.1 연도별 태양광 신규 보급량 전망

기존의 연도별 설치된 발전용량에 향후 사업계획을 반영하였고, 연도별 태양광 모듈 신규 설치용량(qy)은 해당연도 설비용량과 전년도 설비용량과의 차이로 산정하였다.

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

Q_y = y 년도의 설비용량 합계, kW

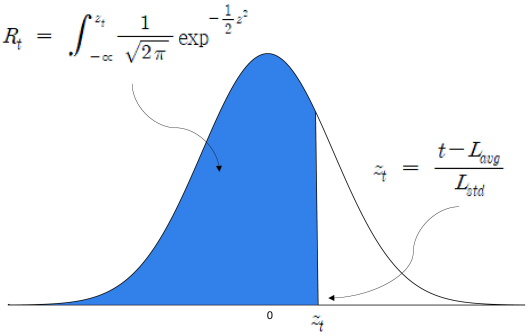
q_y = y 년도 신규 설치용량, kW

w_y = y 년도 폐모듈 발생량, kW

태양광 모듈의 수명과 폐모듈 배출 특성이 정규분포하는 것으로 가정하며, 누적폐기율(R_t)[17]과 폐기율(r_t)[18]을 다음과 같이 NORMSDIST함수를 이용하여 구할 수 있다.

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

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



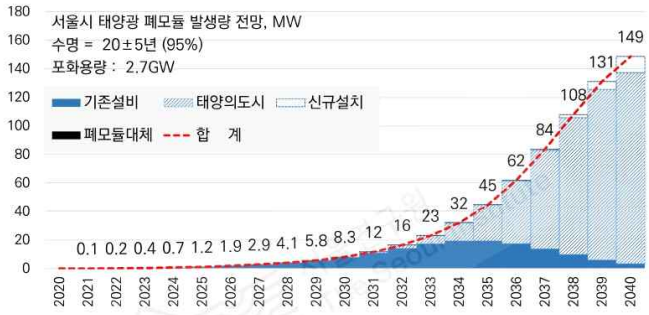
[그림 723] 정규분포 z-score와 누적 폐기율의 관계

폐모듈 발생량은 경과 시간별 폐기비율과 해당연도별 신설용량을 곱하여 취합하면 폐모듈 발생량이 kW 단위로 산출된다. 각 연도별 모듈의 발전용량을 나누어 합산하면 폐모듈 수량을 산출할 수 있다. 여기에 모듈 1장의 무게, 부피 등을 곱하여 부피와 무게를 산출하였다. 무게 및 부피 산정 시, 최대한 설치 당시의 모듈의 제원을 적용하였다.

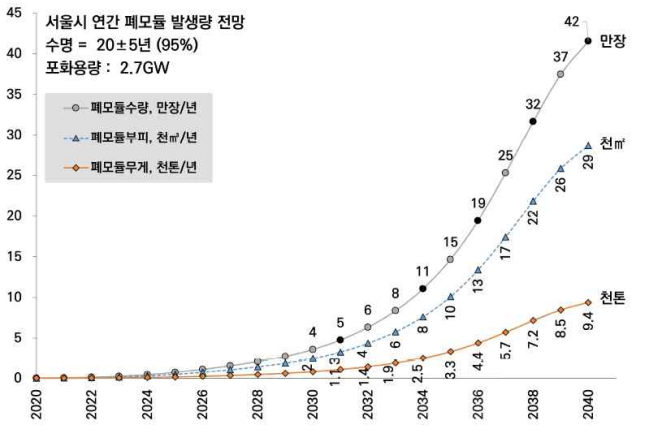
3.2.2 태양광 폐모듈 발생량 추정

2025년 이후 본격적으로 폐모듈이 발생할 것으로 보인다. 2030년에 연간 35,000장 이상이, 2040년에는 약 42만 장의 폐모듈이 발생할 것으로 전망된다.[19]

현재 주요 기업에서 보편적으로 공급하고 있는 모듈의 규모, 무게 등을 조사하여 적용하면 2040년에는 약 9,400ton, 29,000 m^3에 이를 것으로 예상된다.



[그림 724] 설치근거별 폐모듈 발생량 전망



[그림 725] 서울시 폐모듈 발생량 전망

3. 제언

태양광 모듈은 수명이 존재하고 수명이 다하면 대부분 폐기물 형태로 배출되고 있다. 정부는 2023년까지 폐모듈에 대한 EPR 제도를 적용할 예정이지만 전문인력, 재활용 방안 모색 등 대응 방안을 확대할 필요가 있다. 연구결과에 따르면 2022년까지는 연간 1,100장 정도의 미미한 폐모듈이 배출될 것으

17) 경과시간 t까지 폐기된 모듈의 총량 비율
18) t년 경과하는 해 1월1일부터 12월31일 사이의 폐기율
19) 대형사업장에서 한꺼번에 발생될 경우는 고려하지 않음

로 보이지만 향후 자연재해 및 시간이 경과함에 따라 대량으로 배출될 시기를 고려하면 그 필요성은 더 강조된다.
또한, 태양광 보급 및 폐모듈 발생에 대한 통계자료가 부족하여 실태 파악에 한계가 있다. 폐모듈 발생 시 신고 의무를 부여하는 등 제도 개선을 통해 통계자료를 구축하고 이를 기반으로 정책적 방안을 마련해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] IRENA, “End of Life Management of Photovoltaic Panels Trends in PV Module Recycling Technologies”, 2016
[2] IRENA, “End of Life Management: solar Photovoltaic Panels”, 2016
[3] 서울연구원, 태양광 폐모듈 관리체계 구축방안, 2018
[4] 한국환경정책평가연구원, “태양광 폐패널의 관리 실태조사 및 개선방안 연구”, 2018년.
[5] 서울특별시 햇빛지도, http://solarmap.seoul.go.kr
[6] 서울에너지공사, https://www.i-se.co.kr/