

자가용 태양광설비 발전 이용률 모니터링 결과를 활용한 사후관리 조사대상 결정에 대한 연구

이건우^{1*} · 박창대² · 이영섭¹ · 박성우¹

¹한국에너지공단, 팀장

²한국기계연구원, 책임연구원

A Study on the Determination of Subjects for Post-Management Investigation Using the Monitoring Results of Self-Consumption Solar Power

Lee Keon-Woo^{1*} · Park Chang-Dae² · Lee Young-Seop¹ · Park Sung-Woo¹

¹Team Manager, Korea Energy Agency

²Principal Researcher, Korea Institute of Machinery & Materials

*Corresponding author: parkcdae@kimm.re.kr

Abstract

The global trend of renewable energy generation and the advent of the Internet of Things technology has popularized inexpensive integrated monitoring technology. Accordingly, the Renewable Energy Monitoring System (REMS) project, which monitors solar plants subsidized by National funds, has been expanding its target since 2018. Concurrently, the mandatory post-management system became effective in 2020 to strengthen the post-management system. The 3-sigma rule is used to determine the control chart for the normal operation of solar systems from the monitoring data. In this study, solar plants with normal operation within the control chart were suggested to be excluded from field investigation with a focus on the management of solar plants with abnormal operation outside the control chart to improve the overall investigation into inefficiencies in the mandatory post-management system. Improvements to the monitoring system operation plan were also suggested.

Keywords: 태양광 모니터링(Solar power monitoring), 신재생에너지모니터링시스템(Renewable energy monitoring system), 사후관리제도(Post-management system), 자가용 태양광(Self-Consumption solar power)

1. 연구배경

지구온난화에 대응하기 위한 국제적 흐름과 함께 신재생에너지의 중요성이 커지면서 태양광 설비를 통합 모니터링하여 안정적으로 발전소와 전력망을 관리하는 기술에 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 정부에서는 신재생에너지 설비의 관리강화를 위해 국비를



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.43, No.5, pp.33-41, October 2023
<https://doi.org/10.7836/kses.2023.43.5.033>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 22 September 2023

Revised: 26 September 2023

Accepted: 28 September 2023

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지원받는 신재생에너지 설비의 경우 발전량에 대한 모니터링이 가능하도록 신재생에너지 통합 모니터링시스템(REMS : Renewable Energy Monitoring System) (이하 ‘REMS’) 사업을 2018년부터 시행하여 그 대상을 점차 확대해 나가고 있다.

Fig. 1과 같이 태양광의 인버터에서 생성되는 발전정보는 외부의 모니터링 수집 장치인 RTU (Remote Terminal Unit)를 통해 서버로 수집된다. 통신망을 통해 수집된 정보는 가공하여 현재 발전량, 누적 발전량, 발전 이용률, 고장 유무 등의 정보를 소유주에게 인터넷 기반으로 제공한다. 태양광 설비를 REMS에 연결하기 위해서는 RTU를 REMS 프로토콜에 맞게 세팅하고 RTU를 태양광 설비와 연결한 후에 CID (Client Identification) 를 발급받아 서버에 설비를 등록시킨다.

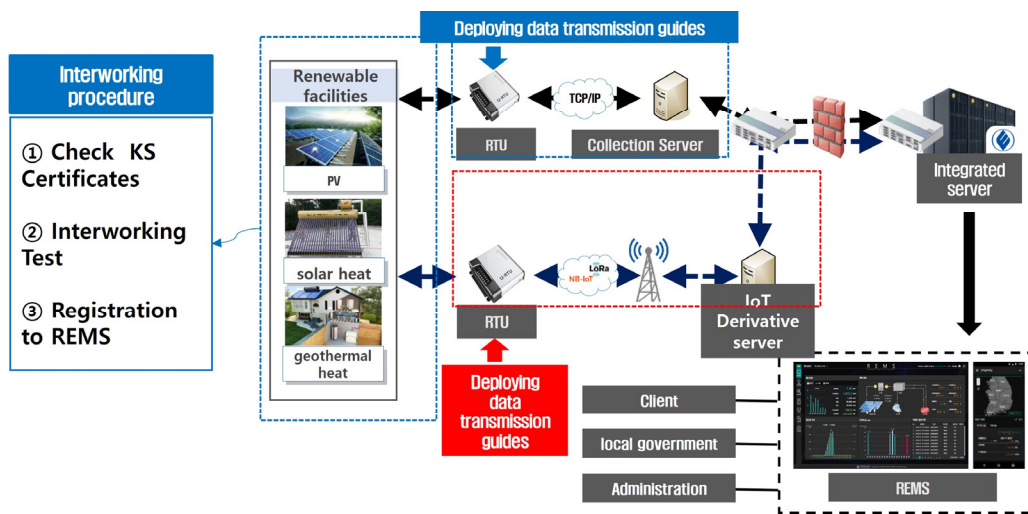


Fig. 1 Conceptual map of REMS (Ref, <https://rems.energy.or.kr> Bulletin Board - Introduction Materials)

현재의 REMS는 저전력 광대역(LPWA : Low Power Wide Area) 전송 기술인 NB-IoT (NarrowBand Internet of Things) 또는 LoRa (Long Range Radio)기술의 저렴한 통신망을 이용하고 있어서 통합 관제가 가능하여 효율적이라는 장점 요소를 가지고 있으나 통신 품질이 고르지 못하고 장마, 화재 등의 환경적 요인이 있으면 통신장애가 발생하는 단점 또한 가지고 있다¹⁾.

한편, 정부에서는 신재생에너지설비의 관리강화를 위해 신재생에너지법을 개정하여 2020년부터 국비를 지원받은 설비는 3년간 매년 정상 가동여부를 전수 조사하도록 의무사후관리제도를 시행하고 있다²⁾. 국비를 지원받아 사업을 주관하는 기관은 설비를 설치한 시공자를 통해 조사를 진행하며, 설치 후 1·2년 차는 유선 조사를 3년 차는 현장조사를 실시해야 한다³⁾. 해당 제도는 시행된 기간이 짧아 아직 효율적인 조사 방법론이 제시되지 않은 상태로 설비 가동상태를 전수조사하는 과정에서 소비되는 경제적비용이 크다는 문제를 가지고 있다.

이와 함께, 2018년 모니터링 시범사업으로 설비의 가동상태 확인을 목적으로 개발된 REMS가 2023년 하반기에 발전 이용률을 계산할 수 있는 기능이 추가되어 이를 활용하여 설비의 사후관리를 진행할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 기존 사후관리제도에서 모든 태양광설비의 가동상태를 의무적으로 조사하는 비효율성을 줄이고자 REMS를 이용하여 전력량을 모니터링하고 있는 태양광 설비의 연간 발전 이용률 자료를 바탕으로 발전 데이터를 비교·분석하여 관리기준을 정하고 사후관리 조사 대상을 결정하는 연구를 진행하였다. 이를 통해 정상적으로 모니터링 되는 태양광설비의 사후조사 비용을 줄이고 발전 이용률이 저조하거나 관리기준을 초과한 설비에 대한 원인 분석을 통해 사후관리 강화를 위한 제안을 하고자 한다.

2. 사후관리 조사대상 결정 방법론

2.1 사후관리 조사대상 결정 모델

본 연구에서는 기존 사후관리제도에서 모든 태양광설비의 가동상태를 의무적으로 조사하는 비효율성을 줄이기 위해 사후관리 조사 대상 결정을 정확하게 선별하는 모델을 고안하고자 하였다. 태양광 설비의 경우 계절적 요인에 따른 발전 이용률의 계절 편차가 발생할 수 있게 되는데, 본 연구에서는 발전 이용률의 계절적 편차를 없애기 위해 가장 최근 1년간(2022년)의 발전 이용률 데이터를 표본으로 하여, Fig. 2와 같이 관리기준 설정과 이상 설비 결정을 2단계로 구분하였다.

1단계는 [Set up control chart]로서, 사후관리 대상(2018 ~ 2021년 설치된 설비)의 1년간(2022년) 모니터링 시스템의 결함 여부를 조사하여 결함 없이 지속적으로 모니터링된 설비의 발전 이용률을 분석하여 관리기준을 설정하는 과정이다.

2단계는 [Classification of abnormality]로서, 개별 설비가 결정된 관리기준에 부합하는지를 비교하여 관리 기준 밖의 설비를 현장 조사 대상 설비로 결정하였다. 또한, 관리기준 안의 예비 정상 설비로 분류된 설비 중에서도 마지막 3개월간 고장 또는 통신장애 등의 이력이 있는 설비는 조사 대상에 포함했다.

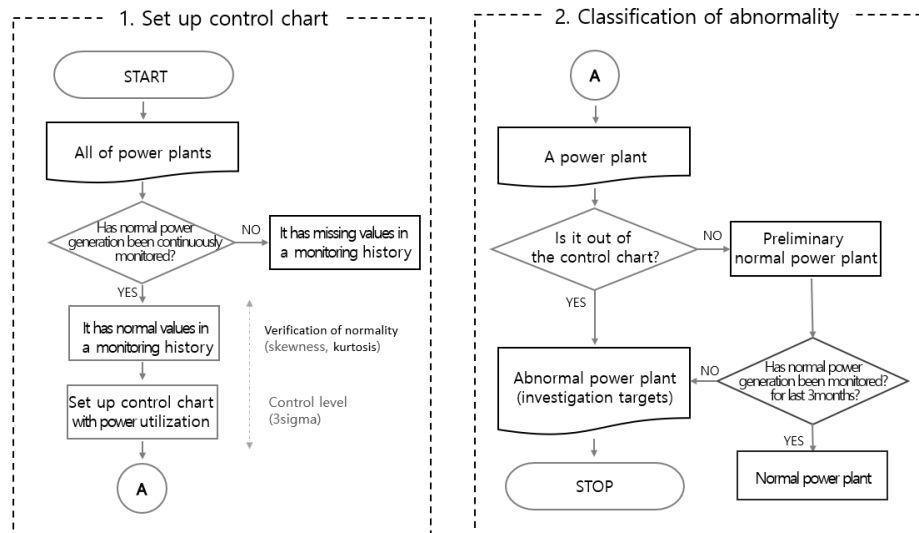


Fig. 2 Model of post-management investigation determination

2.2 태양광설비의 관리기준 설정

1) 모니터링 데이터 결함 여부 판단

REMS는 개별 발전소의 발전량 정보를 제공하고 있는데 이를 활용하여 대부분의 태양광 월간 발전 이용률을 계산할 수 있다. 하지만 일부의 경우, 앞에서 언급한 바와 같이 REMS의 통신장애, RTU 설비·인버터 고장 등의 이유로 발전설비 모니터링에 결함이 발생하는 경우가 있다. 이때는 월 단위 발전 이용률을 보면 데이터가 없어 발전 이용률이 '0'으로 표시된다. 이에 따라, 전체 41,404개의 모니터링 값 중에 결측치(Missing Value)가 있는 설비 2,296개를 제외하고 관리기준을 설정하였다.

2) 조사대상 설비 관리기준 산정

2022년 1월부터 12월까지 연간 발전 이용률을 활용한 태양광 설비의 관리기준을 정하기 위해 모니터링 결함이 없는 39,108개 설비의 실제 데이터 분포를 확인하였을 때, Fig. 3과 같이 정규분포의 형태를 보였다. 또한, 통계분석 Tool인 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)를 사용하여 자료를 분석한 결과 왜도(W)가 1.169로 2보다 작으며, 첨도(K)가 6.075로 7보다 작으므로 정규성을 가진다고 확인하였다⁴⁾.

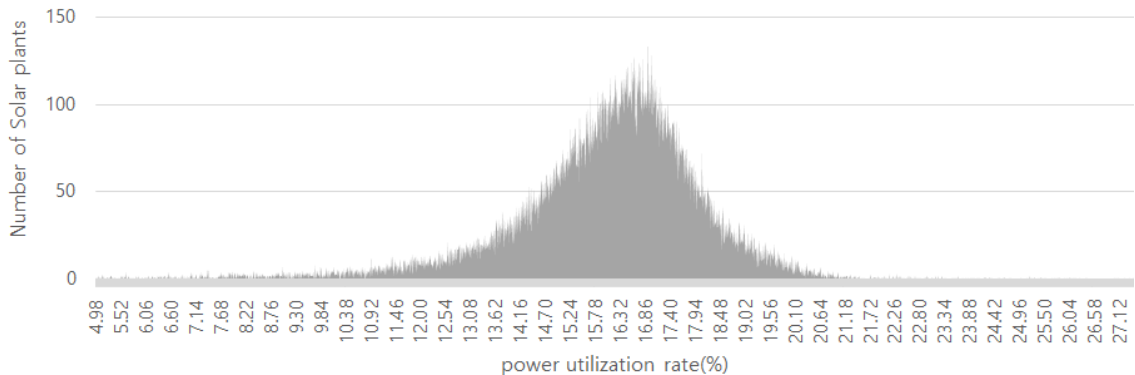


Fig. 3 Actual data distribution of normally monitored power generations

우선적으로 전체 설비의 연간 이용률을 활용하여 관리 수준을 설정하기 위해 평균(m)과 표준편차(σ)를 구하였다. 관리기준이 되는 설비의 연간 평균 발전 이용률은 16.1102이며, 평균(m)을 기준으로 3σ 를 정리하여 Table 1에 나타내었다. 관리기준이 되는 설비의 연간 발전 이용률은 정규분포를 보이므로 $m \pm 3\sigma$ 영역에서 99.7%의 설비가 각각 포함된다.

Table 1 3σ level of normally monitored power generations

Mean	Standard deviation	$m - 3\sigma$	$m + 3\sigma$
16.1102	2.0319	10.0144	22.2060

데이터 대부분이 포함되는 수준인 $m \pm 3\sigma$ 영역을 정상 설비의 관리범위로 정하고, The 3 sigma rule에 따라 $m \pm 3\sigma$ 영역을 벗어나 평소에는 나타나지 않던 아웃라이어(outlier)가 보일 때를 이상 데이터로 판단하였다^{5,6)}.

이에 따라, 본 연구에서는 Table 1에서 제시한 바와 같이 관리 상한(UCL)을 = 22.2060, 관리 하한(LCL)을 = 10.0144로 관리기준을 설정하였다.

2.3 이상설비 구분을 통한 사후관리 조사대상 결정

개별 설비의 연간 발전 이용률이 전 단계에서 설정한 관리기준과 비교하여 기준 밖에 존재하는 경우 이상설비(비정상 이용률)로 구분되어 사후관리 조사대상으로 결정된다.

예를 들어 Fig. 4와 같이 연간 발전 이용률이 20.02%인 설비(A)는 관리기준 안에 존재하기 때문에 사후관리 대상이 아니며, 발전 이용률이 6.02%인 설비(B)는 관리기준 밖에 존재해 사후관리 조사대상으로 결정된다.

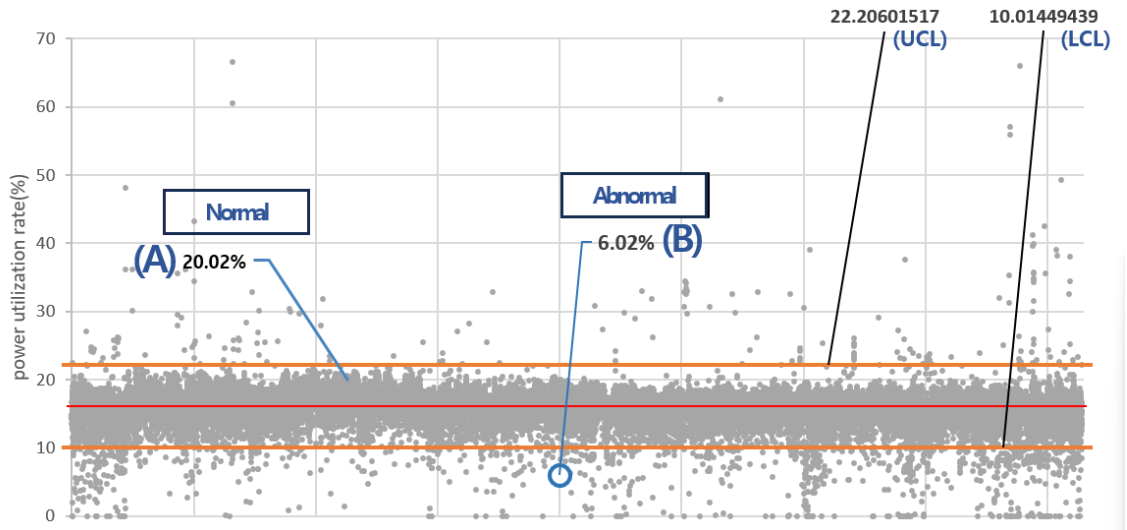


Fig. 4 Determination of investigation targets using 3σ control chart

다음으로 사후관리 조사 대상 결정 시점을 기준으로 마지막 3개월(10 ~ 12월)간 모니터링 또는 발전설비에 결함이 있는 경우에는 전체 설비의 연간 이용률에 미치는 영향이 3개월/12개월 = 25% 수준이기 때문에 고장이 있더라도 정상 설비로 분류될 수 있어 이상 설비로 분류하였다.

2.4 사후관리 조사대상 도출 및 원인 분석

1) 사후관리 조사대상 도출

제시한 모형에 따라 연간 발전 이용률을 활용한 태양광설비의 사후관리 조사대상을 정리하면 Table 2와 같이 조사대상은 1,611개로 전체의 3.89%에 해당한다. 조사대상은 LCL (Lower Control Limit) 994건, 마지막 3개

월 모니터링 이력이 없는 설비 432건, UCL (Upper Control Limit) 185건 순으로 나타났다.

Table 2 Results of post-management target

Items	Normal power plants	Subject of investigation			Sum
		Out of the control chart		In the control chart	
		UCL	LCL	Normally monitored for last 3month	
Number	39,793	185 (0.45%)	994 (2.40%)	432 (1.04%)	41,404
(Ratio)	(96.11%)	1,611 (3.89%)			(100%)

2) 샘플 조사를 통한 이상데이터값에 대한 원인 분석

이상설비를 대상으로 대상이 되는 1,611개 중 263개를 무작위로 샘플링하여 현장 조사 진행하였고, 그 결과를 Table 3과 같이 빈도수로 정리하면 발전설비 고장, 통신설비 고장, 설치상태 등의 순으로 나타났다.

Table 3 Results of sample investigations

Items	Details	Number
Solar power equipment (80)	Failure in inverters	57
	Replace inverters	19
	Failure in solar panels	2
	Failure in connection boxes	2
Communication equipment (70)	Failure in RTUs	41
	Failure in communication network	24
	RTU not connected after fixing inverters	5
Conditions of installation (65)	New buildings, trees and so on.	65
Input data error (18)	ID numbers	9
	Installation capacity	9
Others (30)	BIPV	4
	Operation has been suspended due to remodeling, construction, vacancies, etc	3
	Backward power transmission blocker	2
	Etc.	21

샘플링 조사한 설비의 개별 발전 이용률 데이터를 확인하여 관리기준을 초과하는 경우와 하회하는 경우로 분류하였다.

(1) 관리기준을 초과하는 경우(UCL)

- Case 1. RTU 고장(Failure in RTUs) : RTU는 태양광 인버터의 발전량 등의 정보를 REMS 서버로 전송하

는 장치다. 해당 장치가 오류 또는 고장으로 인해 일정 기간 작동이 안 되는 경우 해당 기간 발전량 데이터가 '0'으로 표시되다가 정상 작동하게 되면 누적된 데이터값을 표시하게 되어 발전 이용률이 임계치를 초과한 값을 표시하게 된다.

- Case 2. 중고 인버터 설치(Replace inverters) : 인버터의 시스템 재부팅으로 해결되지 않는 중대한 피해로 인해 교체가 필요한 경우가 발생하는데, 일부 경우에 중고 인버터를 설치하기도 한다. RTU는 중고 인버터의 누적 발전량을 그대로 전송하기 때문에 해당 시점에서 발전량이 급격히 증가한 것으로 표시된다.
- Case 3. 시스템 기입 오류(Input data error of installation capacity): 일부 설비의 경우 설비용량이 시스템에 실제 용량보다 작게 기입 되어 있어 이용률이 높게 나오는 경우가 발생하였다. 예를 들면 3 kW 설비의 발전 이용률이 34%로 모니터링되어 있는데, 실제로 확인한 결과 설비가 6 kW인 경우이다. 이 경우 실제 발전 이용률은 절반 수준인 17% 정도로 확인되었다.

(2) 관리기준을 하회하는 경우(LCL)

- Case 1. 발전설비 고장(Failure in Solar power equipment) : 태양광 발전설비가 고장 난 기간에 발전량이 '0' 또는 아주 작은 출력값이 전송된다. 인버터 고장의 경우 수리 후, 인버터가 초기화되거나 신규 인버터로 교체하여 누적 발전량이 '0'이 되므로 이용률이 낮게 표시되는 경우가 있다.
- Case 2. 50 kW초과 발전설비(Backward power transmission blocker) : 50 kW 초과 발전설비의 경우 계통의 안정화를 위하여 역전송 차단장치를 설치하게 된다. 일부 학교, 관공서, 공장 등은 공휴일 또는 휴가철 등에 전력수요가 낮아지는 기간에는 발전설비를 중단시키게 된다. 이로 인해 일부 대용량 발전설비는 이용률이 낮은 것으로 나타났다.
- Case 3. BIPV 설비(BIPV) : 제품의 특성상 건축물 부자재로서 역할을 해야 하므로 건물 벽면 또는 난간의 경사각과 방위각에 종속되어 설치될 수밖에 없어 전반적으로 낮은 이용률을 보인다.
- Case 4. 음영에 따른 발전 이용률 저하(Conditions of installation) : 태양광 설비가 설치된 후, 주변에 나무가 자라거나 신축건물, 국기 게양대 등으로 인한 음영이 발생하는 경우와 겨울철 태양고도가 낮아짐에 따른 발전량 저하 등으로 이용률이 낮게 나타난다.
- Case 5. RTU 고장(Failure in RTUs) : RTU가 고장 난 경우에도 발전량을 전송할 수 없어 발전량을 '0'으로 출력한다. 이 경우는 RTU가 정상 작동하게 되면 발전설비가 고장 난 상태가 아니기 때문에 발전량이 한 번에 수집되어 이용률이 과다하게 표시되게 된다.
- Case 6. 발전설비와 RTU 연결 문제(Failure in connection boxes) : 인버터와 RTU의 물리적(통신선) 연결이 끊어진 경우, RTU 전원이 꺼진 경우, 인버터 교체 또는 수리 후 RTU와 연결하는 세팅을 하지 않은 경우에도 발전량이 수신되지 않는다. 이 경우에도 발전설비가 고장 난 상태가 아니기 때문에 RTU가 정상 작동되면 누적된 발전량이 한 번에 수집되기 때문에 이용률이 과다하게 표시된다.

3. 결론

기존 사후관리제도에서 모든 태양광설비의 가동상태를 의무적으로 조사하는 비효율성을 줄이기 위해 사후 관리 조사 대상 결정 모형으로 분석한 결과, Table 2에서와 같이 조사 대상의 3.89%가 현장 사후관리가 필요한 것으로 결정되었다. 의무 사후관리 조사는 과거 이력을 바탕으로 고장 또는 이상이 발생할 가능성이 있는 설비를 사전 조사하기 위한 목적이기 때문에 조사 대상(이상 설비)에는 현재 발전설비가 고장상태가 아니어도 과거 고장 이력이 있는 설비, RTU의 고장·통신장애 등으로 인한 상태도 포함되어 있다.

샘플링 분석 결과를 보면, 이상 설비로 분류된 이유가 발전설비 고장, 통신설비 고장, 설치상태 등으로 나타났다. 관리기준을 초과(UCL)하는 경우는 RTU 고장 또는 통신망 장애로 인버터의 발전량을 수신하지 못하다가 문제해결 후, 과거 발전량이 누적되어 수신된 경우와 중고 인버터 교체로 과거 데이터 수신되는 경우, 설비용량 입력 오류 등이 있었다. 관리기준을 하회(LCL)하는 경우는 인버터 고장 또는 수리·교체 후에 RTU 연결하지 않음, RTU 고장, 나무·신축 등으로 인한 음영 발생 등의 이유가 있었다.

관리기준을 벗어난 원인 중에서 발전설비의 본질적인 고장이 아닌 RTU·통신 등 모니터링 과정에서의 발생되는 문제를 해결하기 위해서는 인버터 수리 후 RTU와 연결되었는지 확인하고 설비용량과 CID (설비등록번호) 등을 정확히 입력할 수 있도록 REMS를 업데이트하는 것이 중요하다.

REMS의 신뢰성을 높이기 위해 인버터 고장으로 발전량이 '0'으로 표시되는 것과 RTU에서 신호가 없어 '0'으로 표시되는 것을 구분할 수 있도록 프로토콜이 개발되어야 하며, REMS의 월 단위 발전량을 보면 RTU가 고장 또는 통신장애 기간에 '0'으로 표시되었다가 정상화된 이후 급격히 발전량이 늘어난 것으로 표시되는 부분과 인버터 교체 후 누적 발전량이 '0'으로 표시되는 경우나, 중고 인버터 설치로 발전량이 급증하는 현상을 해결하기 위해 REMS O/S에서 보정 로직을 개발하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

장기적으로 인버터와 RTU의 연결 문제·상호 고장에 대한 경우의 수를 줄이기 위해 인버터 내부에 통신 기능을 탑재하고 인버터 내부의 상태코드를 발전데이터와 함께 수신받아 상태코드와 발전데이터의 통합분석을 통해 윈스톱 O&M (Operation & Maintenance)이 가능하도록 개선해야 할 것이다.

현재 운영되는 의무 사후관리 제도는 최근 3년 이내에 설치된 설비를 선별 과정 없이 전수 조사를 실시하기 때문에 전국의 모든 태양광설비를 조사하는데 소요되는 기회비용이 크며, 시공자를 통해 연 1회 정상 가동 여부를 확인하고 있으나 REMS 통해서 실시간 가동 여부를 확인할 수 있기 때문에 중복된 사후조사는 불필요하다고 판단된다.

따라서 본 연구에서 검토한 사후관리 조사 대상 결정 모형을 활용해 태양광설비의 사후조사 비용을 줄이고 설비 관리기준과 고장 이력을 바탕으로 현장 조사 대상 설비(이상 설비)를 정의하고 관리할 방안을 체계적으로 수립해 나가야 할 것이다.

REFERENCES

1. An, J. K., Shin, D. M., and Lee M. S., A Study on Greenhouse Gas (CO₂) Reduction through Solar Power Monitoring in Samho Migratory Bird Village Using NB-IoT, *Journal of Climate Change Research*, Vol. 12, No. 1, pp. 91-108, 2021.
2. Ministry of Trade, Industry and Energy, Act on Promotion of the Use of New and Renewable Energy Development, Article 30.4, 2020.
3. New and Renewable Energy Center, Guidelines for Promotion of New and Renewable Energy Installtions, Acticle 53, 2020.
4. Curran, P. J., Stephen, G. W., and John, F. F., The Robustness of Test Statistics to Nonnormality and Specification Error in Confirmatory Factor Analysis, *Psychological Methods* 1.1, pp. 16-29, 1996.
5. Song, J. E., Gong, J. W., and Lee, J. H., Anomaly Detection and Treatment of Generator Power Output Data Using EWMA and 3-Sigma, *Proc. of the 53th KIEE, E Conference on Decision and Control*, pp. 1887-1888, 2022.
6. Pukelsheim, F., The Three Sigma Rule, *The American Statistician*, Vol. 48, No. 2, pp. 88-91, 1994.