

신재생발전기의 데이터 취득방안에 대한 고찰

이봉길* · 김완홍** · 최준호****

*전남대학교 전기공학과, 박사과정

**한국전력거래소 정보기술처, 부장

***전남대학교 전기공학과, 교수

Review on Data Acquisition of Renewable Power Generators

Lee Bong-Kil* · Kim Wan-Hong** · Choi Joon-Ho****

*Ph.D. Candidate, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University

**General Manager, IT Department, Korea Power Exchange

***Professor, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University

†Corresponding author: joono@jnu.ac.kr

Abstract

In accordance with the Government's policy, renewable power generation is expanding very largely. This leads to increasing uncertainty in the power market and power system owing to the intermittent and fluctuating output characteristics of renewable power generators. Data on the acquisition of renewable power generators can be largely classified according to the operation of the power market and power system. Data on the settlement for the payment for the power amount are acquired in the power market, and real-time data for monitoring the status and output of the generators are acquired in the power system. However, renewable power generators operating in the power market have different acquisition cycles depending on the method of communication of the power meter. They acquire data only for settlement purposes and have no real-time data, which requires improvement. In this paper, the acquisition status is reviewed by classifying the data of renewable power generators into settlement and real-time data. In addition, measures and acquisition criteria for real-time data of renewable power generators for improving the acquisition method are proposed.

Keywords: 원방취득 감시제어 시스템(Supervisory Control And Data Acquisition), 전력계통 운영시스템(Energy Management System), 정산(Settlement), 계량(Metering), 전력량계 부하 프로파일(Load Profile), 원격소 취득장치(Remote Terminal Unit), 전처리 단말장치(Front End Processor), 사물인터넷(Internet of Thing)

1. 서론

전 세계적인 에너지 고갈과 환경에 관한 관심 고조로 신재생발전기의 보급 확대 정책이 강화되고 있으며, 우리나라 정부 역시 현재 7.6% 수준인 재생에너지 비중을 2040년까지 35%까지 확대하고 원자력발전과 석탄발전을 감축하는 내용의 제3차 에너지기본계획을 최근 확정하였다. 그러나 신재생발전기의 불규칙한 출력특성은 전력계통의 안정적 운영

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.40, No.3, pp.1-20, June 2020
<https://doi.org/10.7836/kjes.2020.40.3.001>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 20 May 2020

Revised: 15 June 2020

Accepted: 17 June 2020

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.

을 저해하는 요소로써, 신재생발전기의 증가를 고려한 전력계통의 안정적 운영을 위해서는 신재생발전기에 대한 폭넓은 데이터 취득이 필수이다.

신재생발전기의 데이터는 크게 정산용 데이터와 실시간 데이터로 구분할 수 있다. 정산용 데이터는 전력시장에서 전력거래 대금의 정산을 목적으로 취득하는 전력량 데이터이나, 통신방식에 따라 그 취득주기와 취득률이 다르다.

실시간 데이터는 전력계통의 실시간 운영을 목적으로 취득하여야 하나 거의 취득하고 있지 못하는 실정이다. 계통운영을 목적으로 취득하고 있는 실시간 데이터는 전력계통운영시스템(Energy Management System, EMS)에서 발·변전소간 단말장치(Remote Terminal Unit, RTU)와 전용선을 통해 수초 주기로 취득하고 있으며, 전용선을 거쳐 RTU로부터 EMS의 전처리장치(Front End Processor, FEP)에 현장 데이터를 2초 단위로 전송한다. RTU 통신을 위한 모뎀은 구식 통신기술을 사용하고 있어 통신장비의 생산 단종 가능성이 크고, 다양한 현장 데이터의 취득이 어렵다는 문제가 있다. 따라서 국내의 실시간 데이터 취득방안을 개선하고, 선진 사례의 벤치마킹을 위하여 해외 전력계통운영자의 실시간 데이터 취득현황을 조사할 필요가 있다.

현재 전력시장에는 매주 40여 개의 신재생발전기가 신규 진입하고 있으나, 제도적 또는 기술적인 제약으로 이들 발전기의 정산용 데이터만 취득하고 있으며, 실시간 데이터는 거의 취득하지 못하는 실정이다. 신재생발전기 데이터의 폭넓은 취득을 위하여 해외 및 국내 신재생발전기의 데이터 취득현황을 파악하고, 국내에서 추진 중인 신재생발전기 데이터 취득방안들을 살펴보고, 데이터 취득 기준을 제시할 필요가 있다.

본 논문에서는 신재생발전기 데이터 취득의 필요성을 논하고, 신재생발전기의 취득 데이터를 실시간 데이터와 정산용 데이터로 구분하여 해외 주요 전력계통운영자가 신재생발전기로부터 실시간 취득하는 데이터의 종류와 취득 주기 등을 조사하였다. 또한, 국내 신재생발전기의 실시간 데이터와 정산용 데이터의 취득현황 및 이들 데이터의 취득방안을 개선하기 위해 시도 중인 방안들과 실시간 데이터의 취득 기준에 대하여 논하고자 한다.

2. 본론

신재생발전기 데이터의 취득 필요성과 해외 및 국내의 데이터 취득현황을 조사하였으며, 폭넓은 데이터 취득을 위해 추진 중인 개선방안은 다음과 같다.

2.1 신재생발전기 데이터의 취득 필요성

최근 태양광 발전을 비롯한 신재생발전기의 증가로 인해 전력수요의 패턴에 ‘덕 커브(Duck curve)’ 현상이 발생하고 있다. ‘덕 커브’는 재생에너지 중 태양광 발전기의 증가로 인하여 일출 때부터 일몰 때까지 전력수요가 기존 전력수요와 비교하여 급감하는 현상이다. Fig. 1은 미국 캘리포니아 전력계통운영자인 CAISO의 전력수요 자료로, 2019년에는 일몰 시간대에 13,434 MW의 발전기가 출력을 증가하거나 기동되어야 하였다. 이처럼 해가 떠 있는 시간대의 부하가 급격하게 감소하고 최대 수요 발생시간이 이동하는 현상으로, 전력부하 그래프

의 모양이 오리미의 모습을 닮아서 ‘Duck curve’로 지칭하며¹⁾, 우리나라의 전력부하의 패턴도 주간에는 Fig. 2와 같이 감소하고 있다. 신재생발전기는 날씨 및 일조량과 같은 변수로 인하여 출력변동성이 심화된다. 즉, 날씨와 같은 변수로 태양광 출력량이 급감하는 경우, 기동이 빠른 전원으로 대체하여야 하며, 적절하게 대체하지 못할 경우 블랙아웃(대규모 정전)을 초래할 수 있다. 신재생발전기의 증가로 인한 전력부하 패턴의 변화는 전통적인 발전기인 수력, 화력발전기의 기동과 정지 및 적정 예비력의 확보계획에도 영향을 미치게 되므로, 안정적인 전력계통 운영을 위해서는 태양광을 비롯한 신재생발전기 데이터의 폭넓고 정확한 취득이 중요하다.

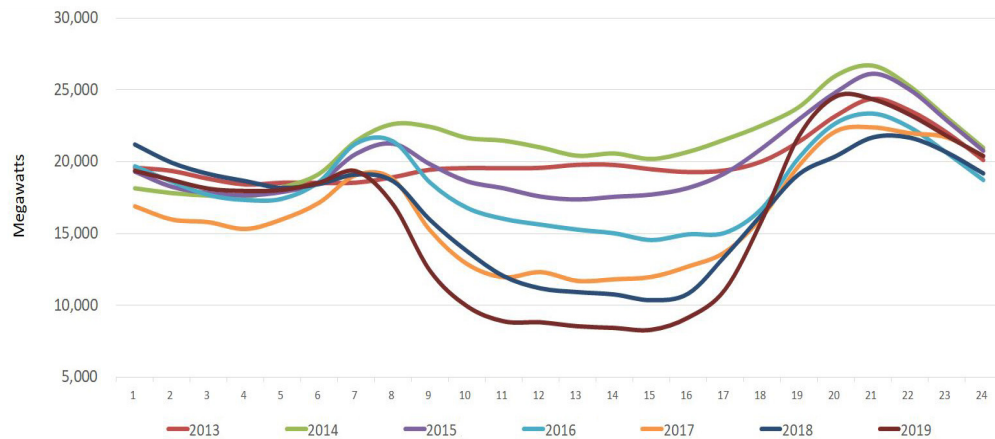


Fig. 1 Trend of Electrical power load in California by year²⁾

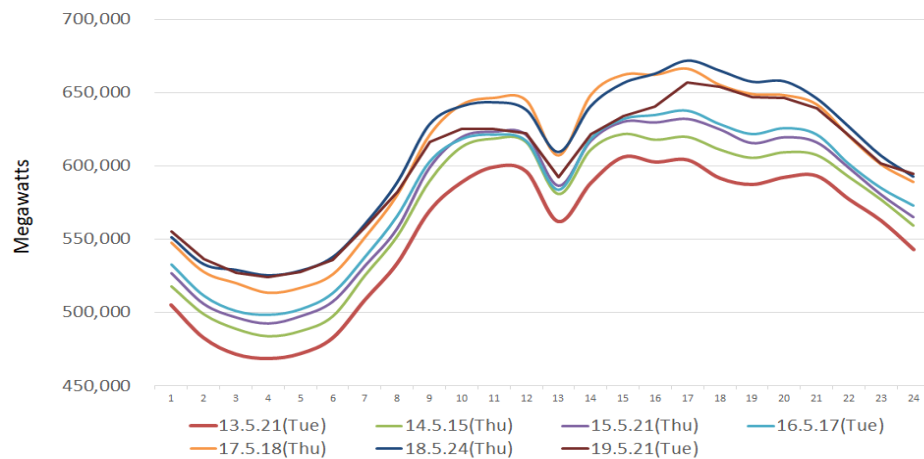


Fig. 2 Trend of Electrical power load in Korea by year

2.2 해외 전력계통운영자의 신재생발전기 데이터 취득

국내 신재생발전기의 실시간 데이터를 전력계통운영시스템(EMS)에서 원격 취득하는 기준을 제안하기 위하여 먼저 해외 전력계통운영자(ISO)의 신재생발전기 데이터 취득 기준을 조사 비교하였으며, 조사 대상 해외 전력계통운영자로는 미국의 PJM, CAISO, NYISO, 캐나다의 IESO, 호주의 AEMO를 조사하였다. 해외 ISO별

취득 대상 신재생발전기의 설비용량 기준과 실시간 데이터 취득 경로 및 취득 주기는 Table 1과 같다. EMS 데이터 취득 경로는 RTU와 ICCP 외에도 Web방식과 VPN 방식 등 다양한 경로로 신재생발전기의 실시간 데이터를 취득하고 있다.

Table 1 Real time data acquisition of renewable power generators from foreign ISO

Category	US PJM ^{3,4)}	US CAISO ⁵⁻⁷⁾	US NYISO ⁸⁾	Canada IESO ⁹⁾	Australia AEMO ¹⁰⁾
Target	above 3 MW	excess 1 MW	excess 12 MW	above 5 MW	above 30 MW
Path	DNP3.0 (RTU), ICCP Data Processing Gateway (DPG)		Web (http)	RTU, ICCP, VPN, LDC	
Cycle	2 ~ 10 sec	4 sec	30 sec	4 sec	4 ~ 10 sec

해외 전력계통운영자가 취득하는 태양광 발전기의 실시간 데이터는 Table 2와 같다. 이들 데이터는 필수 취득과 선택 취득으로 구분할 수 있으며, 필수 취득 데이터로는 유효출력, 무효출력 및 일사량 등이 있다. 각 ISO마다 필수 및 선택 데이터의 구분이 조금씩 다르지만, 대부분 유효전력과 무효전력 출력, 온도, 일사량 (Irradiance) 데이터를 필수적으로 취득하고 있다. 또한, CAISO는 태양광발전소의 유형을 Flat-Plate PV 등 11개 유형으로 구분하였으며, IESO는 태양광발전소의 유형을 Crystalline, Thin-Film, CPV로 구분, AEMO는 태양광발전소의 유형을 PV, CPV, CST로 각각 구분하여 태양광 발전기의 유형별로 선택 취득해야 하는 데이터를 구분하고 있다.

Table 2 Real time data acquisition of solar power generators from foreign ISO

Category	US PJM ^{3,4)}	US CAISO ⁵⁻⁷⁾	US NYISO ⁸⁾	Canada IESO ⁹⁾	Australia AEMO ¹⁰⁾
Necessary	real/reactive power, irradiance, back panel temp	active power (MW), wind speed, wind direction, barometric pressure, air temp	max available MW, ambient air temp, global plane of array irradiance	MW output, available MW, Plane-of-Array Irradiance, Global Horizontal Irradiance, ambient temp, back of module temp, barometric pressure, wind speed and direction	active power, control system Set-point (MW), Local limit (MW), wind speed, wind direction, ambient temp, relative humidity, global Horizontal Irradiance, global inclined irradiance, number of inverters available
Option	ambient air temp, wind speed, wind direction	back panel temp, Direct Irradiance, Global Horizontal Irradiance, Plane of Array	ambient air dewpoint, ambient air relative humidity, barometric pressure	global Diffused (GDIFF), direct Irradiance	direct Normal Irradiance, module surface temp, module receiver surface temp, reduction through soiling, actual tracking slope angle, actual tracking azimuth angle, tracking share of modules, trackers online

해외 전력계통운영자의 풍력발전기 실시간 취득 데이터는 Table 3과 같다. 풍력발전기의 유효전력 출력 외에 출력에 영향을 주는 풍속, 풍향 등의 데이터를 필수 데이터로 취득하고 있으며, 선택적으로 취득하는 데이터로는 습도와 기압 등의 기상데이터가 있다.

Table 3 Real time data acquisition of wind power generators from foreign ISO

Category	US PJM ^{3,4)}	US CAISO ⁵⁻⁷⁾	US NYISO ⁸⁾	Canada IESO ⁹⁾	Australia AEMO ¹⁰⁾
Necessary	real power, wind speed, wind direction, temp, pressure	active power, wind speed, wind direction, air temp,	max available MW wind speed, wind direction	MW output, available MW, wind speed, wind direction, air temp,	active power, control system set-point (MW), local limit (MW), number of turbines available, number of turbines operating, wind speed, wind direction, ambient temp
Option	humidity	barometric pressure	ambient air temp, ambient air dewpoint, ambient air relative humidity, barometric pressure	barometric pressure, relative humidity	possible power, wind turbines extreme wind cutout, barometric pressure

2.3 국내 신재생발전기의 데이터 취득 현황

국내 신재생발전기로부터 취득하는 데이터는, Table 4와 같이 실시간 운전상태를 나타내는 실시간 데이터와 생산된 전력량의 대금 정산을 목적으로 하는 정산용 데이터로 크게 구분할 수 있다. 신재생발전기가 생산한 전력은 국내 전력시장운영자인 한국전력거래소(KPX)를 통해 전력시장에서 거래되거나, 송배전사업자인 한국전력(KEPCO)과 PPA 계약을 체결하여 전력을 판매할 수 있다. 전력시장에서 거래되는 신재생발전기는 전력량계와 모뎀을 설치하여 전력량계 데이터를 전력시장운영자인 한국전력거래소(KPX)의 계량시스템에 전송하며, 이 데이터는 거래대금의 정산을 목적으로 사용된다. 한편, 전력계통운영자인 한국전력거래소(KPX)의 전력계통운영시스템(EMS)는 발전기의 감시 및 실시간 제어를 수행하는데, 대형 화력발전기와 같은 중양급발전기와 200 MW 이상 비중양급발전기(석탄가스화 발전 및 부생가스 발전)는 RTU와 모뎀을 설치하여 2초단위로 실시간 데이터를 EMS에 전송하며, EMS는 매 4초단위로 중양급발전기에 제어신호(Auto Generation Control, 자동발전제어)를 전송한다. 또한, 20 MW이상 200 MW미만인 비중양급발전기는 EMS로부터 제어신호를 수신하지 아니하고, 자료연계용 단말장치를 통하여 EMS에 실시간 데이터를 전송한다. 그 외 20 MW 미만 비중양급발전기(대부분의 신재생발전기)는 실시간 데이터를 전송해야 하는 의무가 현재는 없으며, 전력량의 거래대금을 정산하기 위한 시간대별 전력량 데이터만 전송하고 있다.

Table 4 How to acquire data for the power market & power system operation system

Category	Real time data	Settlement data	Real time data	Settlement data	Settlement data
system	EMS	Metering system	EMS	Metering system	Metering system
Path	hotline	hotline, telephone line, wireless	internet line	hotline, telephone line, wireless	hotline, telephone line, wireless
Equipment	Serial modem, RTU	wire/wireless modem, meter	Serial modem, terminal device for data link	wire/wireless modem, meter	wire/wireless modem, meter
Sending data	real time status data	kWh	real time status data	kWh	kWh
Receiving data	control signal	-	-	-	-
Target	Centrally Dispatched Generator, Non-centrally Dispatched Generator (above 200 MW)		Non-centrally Dispatched Generator (20 MW ~ 200 MW)		Non-centrally Dispatched Generator (less than 20 MW) *Most Renewable Power Gen

2.3.1 실시간 데이터 취득 현황

전력계통운영시스템(EMS)에서 취득하는 실시간 데이터는 아래 Fig. 3과 같이 발전기 단위 설비용량에 따라 데이터 취득방식이 다르다. 발전기 단위 설비용량이 200 MW 이상인 경우 RTU와 FEP를 통해 2초 단위로 실시간 데이터를 EMS로 전송하며, 단위 설비용량이 20 MW ~ 200 MW인 경우 자료연계용 단말장치를 통해 4초 주기로 데이터를 전송한다. 하지만, 신재생발전기는 대부분 20 MW 이하인 경우가 대부분으로, 실시간 데이터를 전송할 의무가 없으므로 신재생발전기의 정산용 데이터(kWh)로부터 실시간 데이터(kW)를 환산하여 대체하고 있다.

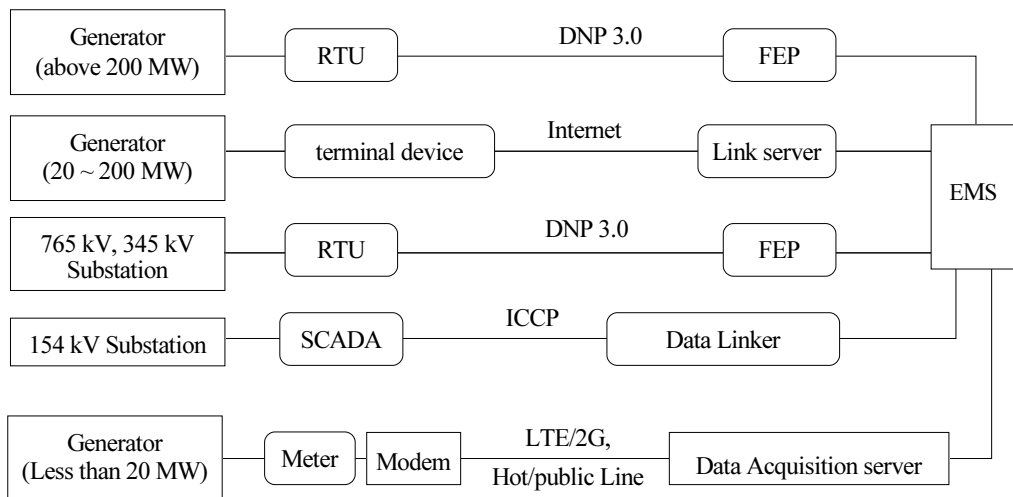


Fig. 3 Real time data acquisition of the power system

EMS가 RTU와 FEP를 거쳐 2초 단위로 취득하는 실시간 데이터의 종류를 간략화하면 Table 5와 같으며, 이는 전력시장운영규칙에 세부적으로 명시되어 있다¹⁾. EMS는 유선방식에 기반을 두어 데이터를 취득하도록 전력시장운영규칙에 명시되어 있으며, 소용량 신재생발전사업자가 부담하는 고가의 전용회선 비용을 고려하면 전력시장의 계량시스템에서 주로 도입되고 있는 무선방식을 활용한 실시간 데이터 취득방안의 도입을 검토하여야 한다. 또한, 신재생발전기 출력정보 외에 기온, 풍속, 풍향 및 일사량과 같은 기상정보의 전송을 전력시장운영규칙에 명시함으로써 신재생발전기의 실시간 데이터 전송을 제도적으로 의무화하고, 무선방식으로 신재생발전기 출력정보와 기상정보를 동시에 취득하도록 개선할 필요가 있다.

Table 5 Types of real time acquired data¹⁾

Category	Status data (every 2 sec)	Analog data (every 2 sec)	
Generation facility	<ul style="list-style-type: none"> · Recloser CB above 154 kV · Gen CB, Gen DS · CB, DS above 154 kV · Gen AGC Control · Special Protection System Relay status · UFR Relay status · Operation Mode (S/T, S/T + G/T) · G/F On/Off · Power system stabilizer On/Off 	<ul style="list-style-type: none"> · Gross/Net MW · Target MW · Real time available MW · T/L, M.Tr above 154 kV · Start-UP Tr, Aux. TR · Local Load 	
		MW	<ul style="list-style-type: none"> · Gross/Net MVar · T/L, M.Tr above 154 kV
		MVAr	<ul style="list-style-type: none"> · Gen · BUS above 154 kV
Transmission facility	<ul style="list-style-type: none"> · CB above 765 kV · CB, DS above 154 kV · M.Tr tertiary CB · SVC CB/DS · SC/Sh.R CB · ULTC Remote/Local · ESS CB, DS · ESS AGC control · ESS frequency response On/Off 	<ul style="list-style-type: none"> · T/L, M.Tr above 154 kV · SVC (MVar) · HVDC Line (MW, AMPS) · HVDC C.Tr · ESS Net MW · Target MW (Set Point) · Real time available MW 	
		MW	<ul style="list-style-type: none"> · BUS above 154 kV · HVDC Pole
		MVAr	<ul style="list-style-type: none"> · M.Tr above 345 kV · HVDC C.Tr
		kV	
		Tap	

2.3.2 정산용 데이터 취득 현황

전력시장에서 신재생발전기 전력량계의 취득체계는 Fig. 4와 같다. 발전소의 전력량계가 생성한 데이터인 Load Profile을 무선(LTE 또는 2G)²⁾, 전용선, 전화선을 이용하여 전력거래소의 계량시스템에 전송하며, 계량

1) CB (Circuit Breaker, 차단기), DS (Disconnecting Switch, 단로기), SVC (Static Var Compensator, 정지형 무효전력 보상기), M.Tr (Main Transformer, 주 변압기), Aux. TR (Auxiliary Transformer, 보조 변압기), UFR (Under Frequency Relay, 저주파수 계전기), G/F (Governor Free, 조속기 응동), S.C (Static Condenser, 전력용 콘덴서), Sh.R (Shunt Reactor, 분로 리액터), ULTC (Under Load Tap Changer, 부하시 탭 절체기), ESS (Energy Storage System, 에너지 저장장치), HVDC (High Voltage DC, 초고압 직류 송전), AMPS (Amperes, 전류)

2) 무선을 활용한 전력량계 데이터 전송은 국내 통신회사의 데이터 전송 방식을 따르므로 2G와 LTE만 사용하고 있음

시스템은 이 데이터로부터 순방향 유효전력(kWh) 및 역방향 유효전력(kWh)을 산정하고 있다¹²⁾.

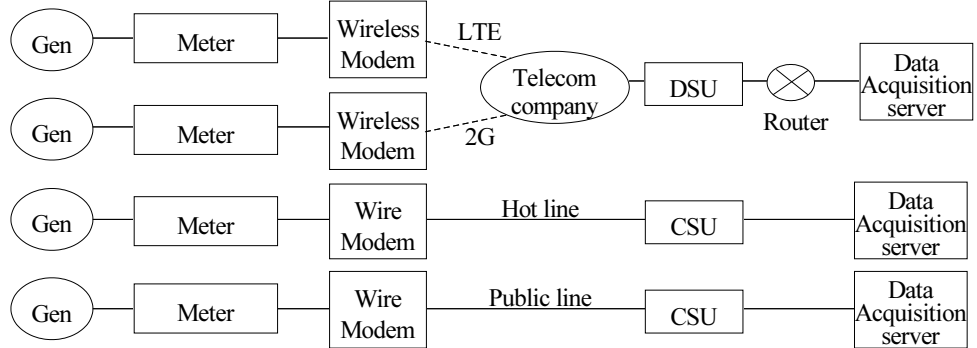


Fig. 4 Overview of power market metering system

한편, 정산용 데이터의 취득은 통신방식에 따라 전송주기가 다르며, 통신방식별 주요 특징은 Table 6과 같다.

Table 6 Features by communication method

Category	Wireless	Hotline	Public	
Method	CDMA	LTE	Hotline	telephone line
Cycle	every 20 min	every 15 min	every 20 min	1 time in a day
Cost (monthly)	10~20 thousand won		over 300 thousand won (prop. to distance)	10~20 thousand won

상기 3가지 통신방식 중 데이터 취득주기와 전력시장 회원사가 부담하는 통신비 등의 측면에서 무선취득 방식이 가장 널리 채용되고 있다. 또한, Table 7에서처럼 900 MHz 주파수 대역을 활용하는 2G 방식보다는 1.8 GHz 주파수 대역의 LTE 방식이 최근 일반적으로 채택되고 있다.

Table 7 The metering situation by wireless communication method

Wireless	Main meter	Backup meter	Sum
2 G	1721	204	1925
LTE	2819	73	2892
Hotline	25	20	45
Public	35	82	117
Sum (number)	4588	379	4969

무선통신 방식의 구체적인 데이터 취득 및 전송방식은 Fig. 5와 같다. 전력량계는 5분마다 부하 프로파일 (load profile, LP)을 생성하여 전력량계의 비휘발성 메모리에 저장한다. 무선모뎀은 전력량계와 RS-232/

422/485 Serial 통신을 하며 20분마다 전력량계의 부하프로파일을 검침하여 이를 무선망을 통해 최종목적지인 전력거래소 계량시스템으로 송신한다. 무선모뎀은 전원을 인가하여 동작을 개시하는 시점부터 20분(또는 15분) 간격으로 LP를 수집하여 전송하며, 기기 고장이나 일시적인 통신 불량으로 누락 데이터가 발생하는 경우, 계량시스템에서 무선모뎀에 강제 재전송 명령을 전송할 수 있다.

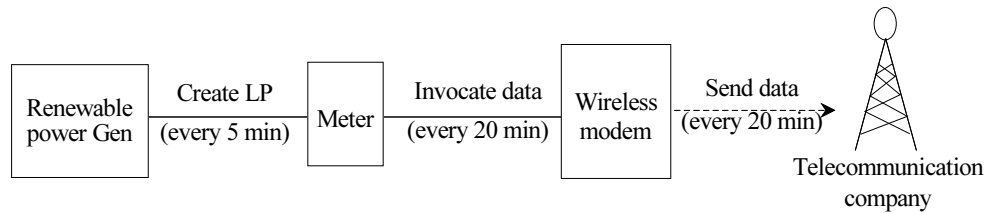


Fig. 5 The wireless metering data acquisition

이처럼 무선방식인 경우, 매 20분마다 데이터를 취득하고 있으나, 전화선 방식은 일일 1회 취득하므로 취득 주기가 서로 다르고, 정산을 목적으로 하는 데이터만을 취득하고 있으므로 계량데이터를 활용한 신재생발전기들의 실시간 감시는 어렵다. 한편, 발전원별 전력시장 전력량계와 설비용량 현황은 Table 8과 같다. 이 중 태양광 및 풍력발전기는 정산을 위한 전력량계 데이터만 취득하고 있고 실시간 데이터는 거의 취득되지 않으므로 이로 인한 전력계통 운영의 어려움이 증가하고 있다.

Table 8 The metering situation by power source

By power source	Solar	Wind	Thermal	Nuclear	Water, Pump	Combined	etc
Main meter (num)	2,995	106	85	24	50	193	1,336
Capability (MW)	2,852	1,491	3,787	23,250	6,301	3,903	95,136

또한 Table 9와 같이 18년 12월 기준, 발전사업용 태양광은 7.1 GW, 풍력은 1.4 GW가 국내에 설치되어 있으며, 이 중 풍력발전기는 대부분 전력시장에 참여하고 있어 전력량계를 통하여 정산용 데이터를 취득하고 있다. 발전사업용 태양광 발전기의 2.3 GW는 전력시장에서, 4.8 GW는 한전과 PPA 계약을 체결하여 거래되고 있다. 전력시장에서 거래되는 태양광은 전력량계와 모뎀을 통해서 정산용 데이터를 취득하고 있으며, 한전PPA로 판매되는 태양광은 정산용 월단위 수동계량 대체를 위해 실시간 계량목적의 지능형 전력량계(AMI)를 전국 3만호 중 약 5천호에 설치 중이나, 현재까지는 전력거래소와 정산용 데이터를 연계하고 있지 않아 이들 신재생발전기의 출력이 실시간으로 감시되고 있지 않다.

Table 9 Situation of data acquisition for settlement data of renewable power generators

Category	Capability	Power Trading	Remote Acquisition data	Acquisition device
Solar	7.1 GW	Power Market (2.3 GW)	settlement data	Meter, Modem
		KEPCO PPA (4.8 GW)	settlement data	AMI
		-	-	Meter
Wind	1.4 GW	Power Market (1.4 GW)	settlement data	Meter, Modem

2.4 국내 신재생발전기 데이터 취득방식의 개선

본 절에서는 신재생발전기의 실시간 데이터와 정산용 데이터 취득방식을 개선하기 위하여 현재 운영 중인 SCADA 시스템과 IoT 기술을 활용한 취득방안 및 전력량계, 무선모뎀, 무선통신망 측면에서 개선방안을 검토하였다.

2.4.1 한전 SCADA를 이용한 실시간 데이터 취득방안

22.9 kV 전용선로에 연결된 신재생발전기의 실시간 출력데이터를 송변전사업자의 SCADA 시스템에서 취득하여 이를 전력계통운영시스템(EMS)까지 데이터를 전송하는 방안으로, Fig. 6의 화면과 같이 현재 전남지역 약 80호기 신재생발전기의 유효전력과 무효전력 데이터를 SCADA에서 취득하여 EMS까지 현재 시범으로 전송하고 있다.

변전소명	발전소명	중력량		변전소명	발전소명	중력량	
		MW	MVAR			MW	MVAR
고 용	에너지	-0	-0	영 광	태양광	0	0
	에너지	0	-0		풍력(M0.2)	0	0
안 좌	에너지	0	0		풍력	0	-0
	태양광발전소	1	0	영 양	풍력	0	0
영 다	태양광발전소	1	0	운 남	풍력발전	1	0
	태양광발전소	0	-0	화 순	풍력	-0	0
	태양광발전소	0	-0	화 원	송라	1	-0
	태양광발전소	0	-0		송라에너지	1	0
					송라에너지	0	0

Fig. 6 Real time monitoring display of renewable power generators using SCADA

이는 기 운영 중인 SCADA와 EMS간 ICCP 통신기술을 활용하여 데이터를 전송하는 방식이다. Fig. 7과 같이 22.9 kV 전용선로에 연결된 신재생발전기에 데이터 취득 단말장치를 설치하고, SCADA 시스템은 ICCP 프로토콜을 사용하여 신재생발전기 출력데이터(유효 및 무효전력)를 매 4초단위로 EMS로 전송한다.



Fig. 7 Real time data acquisition configuration of renewable power generators using SCADA

SCADA를 활용한 데이터 취득 운영결과를 바탕으로 Table 10과 Fig. 8과 같이 향후 22.9 kV 전용선로에 연결된 신재생발전기의 취득감시를 전국단위로 확대할 수 있으며, 22.9 kV 일반선로에 연계된 신재생발전기는 송배전사업자의 배전계통운영시스템(DAS)에서 데이터를 취득하는 방안이 추진 중이다.

Table 10 Real time data acquisition plan for renewable power generators

Category	Renewable power gen	Data Acquisition	Data path
Distribution	Connected to 22.9 kV General power line	DAS	Field Device → DAS → SCADA → EMS
Transmission	Connected to 70 kV power line, Connected to 22.9 kV dedicated power line	SCADA	Field Device → SCADA → EMS
	Connected to above 154 kV power line	EMS	Field Device → EMS

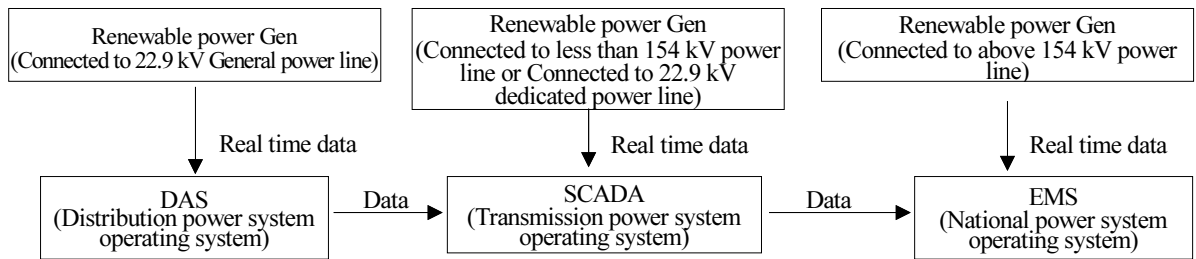


Fig. 8 Real time data acquisition configuration plan for renewable power generators

2.4.2 IoT를 활용한 실시간 데이터 취득방안

신재생발전기의 현장에는 발전기의 출력과 상태를 감시하는 별도의 감시설비를 대부분 운영하고 있으며, Fig. 9와 같이 이러한 현장 감시설비에 IoT 단말장치를 연결하고, 보안이 강화된 인터넷 회선을 통해 직접 EMS 까지 발전기 출력 등 실시간 데이터를 일정한 주기로 전송하는 방식이다. 또한, 계통운영의 여건상 신재생발전기의 출력을 제어해야 하는 경우, 인터넷망과 IoT 단말장치를 통해 출력 목표값을 현장 감시설비에 전송할 수도 있다. 이를 위해서는 다양한 종류의 현장 감시설비와 기술규격이 호환되며 보안이 강화된 IoT 단말장치의 개발이 필요하다. 기존의 전용선 기반 취득방식의 회선 요금(평균 50만원/월)과 RTU 장비의 구매비용(대당 1억원 정도)을 고려하면, IoT 단말장치는 소규모 신재생 사업자들의 투자비용 부담을 해소하고 EMS의 신재생발전 감시 및 제어 능력을 크게 높일 수 있다. 이 방식의 적용 대상 신재생발전기는 설비용량이 1 MW 초과 20 MW 이하이거나, 154 kV 이상 선로에 연계된 신재생발전기를 대상으로 검토 중이다¹³⁾.

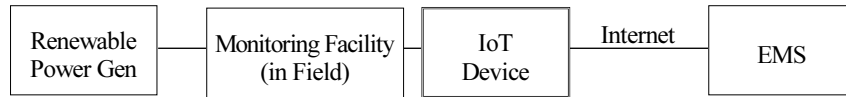


Fig. 9 Real time data acquisition configuration using IoT

2.4.3 일반 전력량계의 적용으로 정산용 데이터의 취득

전력시장운영규칙에서는 전력시장에서 운영되는 전력량계의 허용오차, 전원, 기억용량 등의 전력량계 규격을 명시하고 있다. 이러한 규격에 적합하여 전력시장에 도입되는 전력량계는 4개 종류의 전력량계가 있으며 도입현황은 Table 11과 같다.

Table 11 The type and quantity of meters in power market

Manufacturer	Landis+Gyr	Actaris	ION	ABB
Operating quantity (number)	3,108	1,153	545	169

한편, 현재 국내에서 상용되고 있는 일반 전력량계의 계량 항목은 Table 12와 같으며, 신재생발전기의 전력량을 전력시장에서 거래하기 위해서는 전력시장운영규칙에 명시된 바와 같이 양방향 계량 및 3상 계량이 가능하여야 하고, 국제 표준프로토콜(Device Language Message Specification)을 수용하여야 한다.

Table 12 Metering Item of Domestic Commercial Meter

Category (of Meter)	Metering data	Phase	Metering direction
Low voltage electronic meter (G-type)	active power (Wh), reactive power (VAr), apparent power (VA), peak power, TOU (Time of Use)	3P	bidirectional
Low voltage electronic meter (E-type)	active power (Wh)	1P	unidirectional
Advanced E-Type	active power (Wh), reactive power (VAr)	1P	bidirectional
Low voltage electronic meter (CT integral type)	active power (Wh), reactive power (VAr)	3P	bidirectional
High voltage electronic meter (S-Type)	voltage, Current, phase angle, active power (Wh), reactive power (VAr), apparent power (VA), peak power	3P	bidirectional

따라서 상용 전력량계 중 저압 전자식 전력량계(G-type) 전력량계와 고압 전자식 전력량계(S-type)가 전력시장에 도입할 수 있어 이들 전력량계를 대상으로 전력시장 도입 여부를 검토하였으며, G-type 전력량계의 주요 규격은 아래 Table 13과 같다¹⁴⁾.

Table 13 Key Specifications of G-type Meter

Category	Specification of G-type Meter
Allowable error	This meter has precision of active power (class 1.0), reactive power (class 2.0), apparent power (class 1.0)
Memory	The interval between LP records shall be one minute, five minutes, ten minutes, fifteen minutes, thirty minutes, and sixty minutes. (Five-Minute Interval 8 Channel / 4 channel : more than 11 days / more than 21 days)
Power	A three-phase instrument shall be a three-phase supply method that operates normally when any one or two defects occur in the external supply source.

우선, G-type 전력량계는 유효전력량의 허용오차가 1.0급의 정밀도를 가지므로, Table 14의 전력시장 운영 규칙에 따라 10 MW 이하 발전기의 주 전력량계에 적용할 수 있다.

Table 14 Tolerance of meter

Generation Capacity	Main metering Facility		Backup metering Facility	
	Meter	PT/CT	Meter	PT/CT
over 20 MW	within class 0.2	within class 0.3	within class 0.5	within class 0.5
20 MW ~ 10 MW	within class 0.5	within class 0.3	N/A	N/A
Less than 10 MW	within class 1.0	within class 0.5	N/A	N/A

G-type 전력량계의 저장용량은, LP 기록간격을 5분 간격 8채널로 적용하였을 경우 11일 이상분의 데이터를 저장 가능하여 Table 15의 전력시장운영규칙이 요구하는 규격 즉, 50일분 이상을 보존하여야 하는 규격에는 미흡하다. 따라서, G-type 전력량계를 전력시장에 수용하기 위해서는, G-type 전력량계의 기억용량 확장 또는 10 MW 이하 신재생발전기용 전력량계의 기억용량은 11일 이상 보존하도록 전력시장운영규칙의 수정이 필요하다.

Table 15 Main specification for meter in a power market rule

Category	Specification in power market rule
Allowable error	The power of a meter shall be supplied by PT and a separate power source(AC 1P, DC etc).
Phase	In principle, 3P4W is required, but if inevitable, 3P3W can be selected.
Memory	Non-volatile memory of the required capacity shall be built in to maintain and preserve recording data of eight channels and five minutes for at least 50 days.
Power	The power source of the meter shall be supplied by the variable (PT) and a separate power source (AC single-phase, DC, etc.).

G-type 전력량계의 전원은, 단일 전원만을 사용하므로, Table 15와 같이 전력시장운영규칙에서 요구하는 이중 전원, 즉 PT³⁾와 별도전원에 의한 공급 요구규격에는 미흡하다. 따라서, G-type 전력량계를 전력시장에 수

3) PT (Potential Transformer, 계기용 변압기) : 전압을 낮추어 전력량계 등의 계기에 전원을 공급하는 변압기

용하기 위해서는 PT 전원만으로 전력량계를 구동하도록 전력시장운영규칙의 수정이 필요하다.

한편, S-type 전력량계의 주요 규격은 Table 16과 같으며¹⁵⁾, 고압 전자식 전력량계(S-type) 전력량계는 허용 오차, 기억용량 및 전원 등 전력시장운영규칙의 요구사항을 대부분 충족하며, G-type과 S-type 전력량계의 주요 규격을 검토한 결과를 종합하면 Table 17과 같다.

Table 16 Key Specifications of S-type Meter

Category	Specification of S-type Meter
Allowable error	This instrument has the precision of the effective instrument (class 0.2 and 0.5), the invalid instrument (class 0.5 and 1.0), and the superficial instrument (class 0.5 and 1.0).
Memory	It shall be possible to store at least 18 channels (up to 64 Bytes, 180 days or more) at intervals of five minutes.
Power	The instrument shall be capable of operating data communication and LCD displays using external DC power sources, such as DC switchboards and UPS, even when no voltage is applied through the MOF.

Table 17 Review results of major specification

Specification	Power market rule	G-type	S-type
Allowable error	Class 0.2, Class 0.5, Class 1.0	Class 1.0	Class 0.2, Class 0.5
Phase	3P4W	enough (3P)	enough (3P)
Memory	Five-Minute Interval 8 Channel, at least 50 days data record	insufficient (at least 11 days)	enough (at least 180 days)
Power	Dual Power (PT & the other)	insufficient (only PT)	enough (PT & DC)

G-type 전력량계를 전력시장에서 수용하기 위해서는, 전력량계 기억용량의 축소(또는 G-type 전력량계의 기억용량 증가) 및 단일 전원을 허용하도록 전력시장운영규칙의 수정이 필요하다.

2.4.4 상용 무선모뎀을 통한 정산용 데이터 취득

신재생발전기는 대부분 산지 등 도심과 떨어진 장소에 위치하므로, 전화선 또는 전용선과 같은 유선방식보다는 무선방식에 기반한 데이터 취득 방식이 유리하다. 2019년 5월 기준, 전력시장용 전력량계 4,696개 중 97%가 무선취득방식을 적용하고 있다. 전력거래용 무선모뎀은 전력량계와 RS-232C 직렬통신하여 전력량계로부터 데이터를 읽어 국내 통신사의 무선망(2G 또는 LTE)에 데이터를 전송한다.

국내 전력계통에서 상용 중인 무선모뎀으로는 한전에서 운영하는 일반고압 원격검침용 무선모뎀, 변압기 공동 이용고객 원격검침용 Zig-Bee 무선모뎀, G-type 전력량계용 PLC 모뎀, 저압 AMI용 LTE 통신모뎀 등이 있다.

상용 무선모뎀의 운영현황 검토결과, 일반고압 원격검침용 무선모뎀의 데이터 취득 구조는 Fig. 10과 같으며, 이는 전력시장에서 운영 중인 계량시스템에서 무선망을 통해 데이터를 취득하는 방식과 흡사하여 기존 계량체계로의 도입이 용이하다¹⁶⁾.

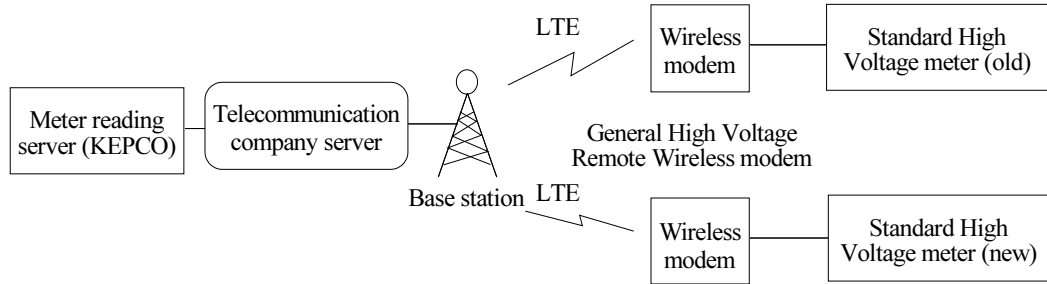


Fig. 10 Wireless acquisition for high voltage remote metering

일반고압 원격검침용 무선모뎀을 전력시장용 전력량계와 연계하기 위해서는, 전력시장에서 운영 중인 또는 도입 가능 전력량계의 프로토콜을 일반 고압 원격검침용 무선모뎀에 탑재하여야 한다. 탑재 대상 프로토콜로는 전력시장에서 운영 중인 전력량계인 Landis+Gyr, Actaris, ION, ABB와 앞선 검토에서 도입이 가능한 전력량 계인 G-type, S-type 전력량계의 프로토콜이다.

2.4.5 LTE 통신망을 통한 신재생발전기 데이터 취득

신재생발전기의 정산용 데이터와 실시간 데이터를 LTE 무선통신망을 활용하여 동시 전송함에 있어 Table 18과 같은 조건을 가정하여 전송데이터 규모와 최소 전송속도를 연산할 수 있다.

Table 18 Data Transfer Conditions

Category	Settlement Data	Real time Data
Data type	Active power (net), Lagging/Leading reactive power, Apparent power (opt)	Active power, Reactive power, Irradiance, temperature (solar), wind speed, wind direction (wind)
Transfer period	every 15 min	every 1 min
Reading period	every 5 min	every 1 min
Transfer Data	past 24 hours	past 1 hour

정산용 데이터의 패킷은 Fig. 11과 같이 13 bytes로 구성할 수 있으며, 216 bytes의 헤더 정보가 전력량 데이터에 추가된다. 헤더 정보로는 전력량계 제작사, 시스템 상태정보, 전력량계 정보, 계기 정수 등의 정보가 포함된다.

1회 전송시 정산용 데이터의 규모는 $216 \text{ bytes} + (13 \text{ bytes} \times 12\text{개/시간} \times 24\text{시간}) = 3,960 \text{ bytes}$ 이며, 이를 기반으로 1개월동안 전송되는 데이터의 규모를 산정하면 $3,960 \text{ bytes} \times 4\text{회/시간} \times 24\text{시간/일} \times 31\text{일} = 11.78 \text{ MB}$ 이다. 또한, 이 데이터를 전송하는 위해 요구되는 최소 요구속도는 $3,960 \text{ bytes} \times 8 \text{ bit} \div 15\text{분} \div 60\text{초} = 35.2 \text{ bps}$ 이다.

실시간 데이터의 패킷은 Fig. 12과 같이 18 bytes로 구성할 수 있으며, 1회 전송시 실시간 데이터의 규모는 $210 \text{ bytes} + (18 \text{ bytes} \times 60\text{개/시간} \times 1\text{시간}) = 1,290 \text{ bytes}$ 이며, 이를 기반으로 1개월 데이터의 규모를 산정하면

13 th Byte		12 th Byte		11 th Byte		10 th Byte	
min		hour		day		month	
9 th Byte		8 th Byte		7 th Byte		6 th Byte	
reading status		channel 4 (apparent power)			channel 3 (leading)		
5 th Byte		4 th Byte		3 rd Byte		2 nd Byte	
channel 3 reactive power)		channel 2 (lagging reactive)			channel 1 (active)		
1 st Byte							
channel 1 power)							

Fig. 11 Structure of Settlement data packet

18 th Byte		17 th Byte		16 th Byte		15 th Byte	
min		hour		day		month	
14 th Bytes		13 th Byte		12 th Byte		11 th Byte	
CB status		channel 8 (kW)			channel 7 (kVar)		
10 th Byte		9 th Byte		8 th Byte		7 th Byte	
channel 7		channel 6 (Target kW)			channel 5 (ESS kW)		
6 th Byte		5 th Byte		4 th Byte		3 rd Byte	
channel 5		channel 4 (ESS net Total kVar)			channel 3 (irradiance, wind speed)		
2nd Byte		1st Byte					
channel 2 (temp, wind direction)		channel 1 (number of turbines running)					

Fig. 12 Structure of Real time data packet

1,290 bytes × 60회/시간 × 24시간/일 × 31일= 57.59 MB이며, 이 데이터의 전송에 요구되는 최저속도는 1,290 bytes × 8 bit ÷ 60초= 172 bps이다. 정산용 데이터와 실시간 데이터를 총 데이터 규모는 11.78 + 57.59= 69.37 MB/월이며, 최소 요구속도는 35.2 + 172= 207.2 bps이다. 정산용 데이터와 실시간 데이터의 규모와 최소 요구속도를 정리하며 Table 19와 같다. 신재생발전기의 정산용 데이터와 실시간 데이터의 동시 취득을 위하여 LTE 방식의 상용 요금제는 Table 20과 같으며, 정산용 및 실시간 데이터의 전송주기와 데이터 규모 등을 고려할 경우 LTE 방식의 적용이 충분히 가능하다고 볼 수 있다¹⁷⁾.

Table 19 Review results of data transfer

Data	Data size (monthly)	Communication speed (minimum)
Settlement	11.78 MB	35.2 bps
Real time	57.85 MB	172.8 bps
Sum	69.63 MB	208.0 bps

Table 20 Commercial rate system of domestic communications companies

Category	LTE
Data size (monthly)	2 GB
Communication speed	100 Mbps
Communication fee (monthly)	16,500 won

2.5 국내 신재생발전기의 실시간 데이터 취득 기준

지금까지 해외 전력계통운영자의 신재생발전기 취득 기준과 국내 신재생발전기 데이터 취득방안에 대하여 논하였으며, 이를 바탕으로 Table 21과 같이 우리나라의 신재생발전기 실시간 데이터 취득 기준에 대하여 제언

하고자 한다. 우리나라 신재생발전기의 실시간 데이터 취득 기준은, 기존의 전통적인 발전기의 데이터 취득 기준과 취득 체계를 고려하고, 신재생발전기의 단위용량이 소규모인 점을 고려하여, 단위용량이 20 MW를 초과하면 RTU를 설치하여 데이터를 취득하도록 하고, 20 MW 이하 신재생발전기는 자료연계용 단말장치 이상의 장치로 데이터를 취득하여야 하는 방안이 바람직할 것이다. 또한, 취득 대상 데이터로는, 해외 전력계통운영자의 사례를 참조하여 필수 취득하는 데이터를 명시하여야 한다. 즉, 태양광 발전기의 유효/무효전력 출력을 실시간 취득하여 전력계통 감시 운영에 활용하고, 일사량 및 주변 기온과 같은 기상 데이터는 태양광발전기의 미래 출력을 예측하는 데 활용하기 위하여 필수 취득하여야 한다. 풍력발전기 또한 전력계통 운영을 위한 유효/무효 전력 출력을 취득하고 미래 출력값의 예측을 위하여 풍속, 풍향과 같은 기상 데이터를 필수 취득하여야 한다.

Table 21 Real time data acquisition plans of renewable power generators from Korea

Generation Capacity	Reading period	Device	Comm.	Reading data in real time	
				wind power	solar power
excess 20 MW	every 4 sec	RTU	hotline	· active/reactive power · wind power/direction	· active/reactive power · irradiance, temperature
excess 1 MW, less than 20 MW	within 1 min	more than terminal device for data link	internet, hotline	· Number of turbines in operation	

신재생발전기의 실시간 데이터 취득 체계는 Fig. 13과 같다. 1 MW 이하의 소규모 신재생발전기는 대부분 22.9 kV 선로에 연계되어 있으므로, 현재 운영중인 배전계통운영시스템(DAS)을 통해 발전기 유효/무효 출력 데이터를 취득, SCADA를 통해 ICCP 프로토콜로 EMS까지 전송할 수 있다. 만약 1 MW 이하의 신재생발전기가 배전선로가 아닌 154 kV 송전선로에 연계된 경우에는 1 MW 초과 20 MW 이하에 속하는 규정을 준수하도록 하여야 한다.

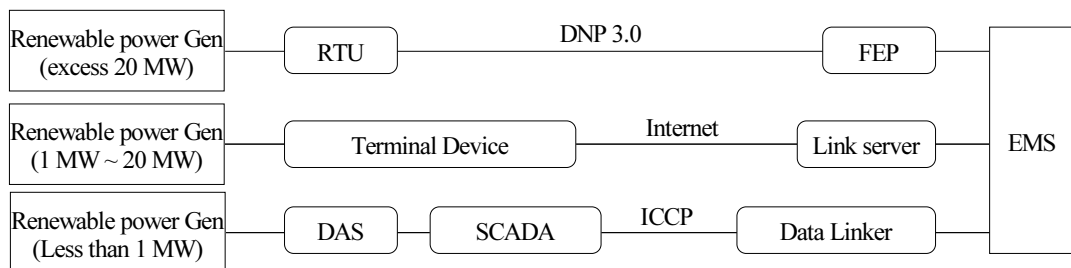


Fig. 13 Real time data acquisition configuration plan for renewable power generators

또한, 전력계통에 연계되는 신재생발전기의 용량이 증가됨에 따라, 신재생발전기의 변동하는 출력이 전력계통 운영에 미치는 영향을 고려하여 Table 22와 같이 신재생발전기의 제어 기준을 수립하여야 한다. 즉, 설비용

량이 1 MW를 초과하는 신재생발전기는 EMS로부터의 목표출력값이나 출력상한값과 같은 제어신호에 따라 원격으로 출력을 제어할 수 있는 성능을 갖추고, 1 MW 이하 신재생발전기는 긴급한 상황에서 관제센터로부터의 제어 지시에 따르도록 규정을 명시하여야 한다.

Table 22 Control plan of renewable Regenerator from Korea

Generation Capacity	Control time	Control mode	Control way
excess 20 MW		transfer generation output	remote control
1 MW ~ 20 MW	if necessary	generation output upper limit value	
Less than 1 MW		stop generation output	local control

2.6 신재생발전기 데이터의 EMS 활용 방안

신재생발전기로부터 취득된 일사량, 기온, 풍속, 발전기 출력값 등의 데이터와 미세먼지 농도와 같은 기상데이터를 누적하여 관리하고, 이들 데이터를 활용하여 신재생발전기 출력 예측모델을 생성할 수 있다. Fig. 14와 같이 미래 기상데이터를 예측모델의 입력값으로 활용, 미래 시점의 신재생발전기 출력값을 예측하고, 예측된 출력값으로 EMS의 실시간 발전기 기동정지계획(Unit Commitment, UC)에 입력요소로 활용, 수화력발전기의 기동정지계획을 수립할 수 있다. 또한, 신재생발전기는 출력지시에 대한 응답특성이 우수하므로, EMS의 자동발전제어(Auto Generation Control, AGC) 적용 대상으로 포함한다면 대형 발전기의 고장 정지 등과 같은 계통외란 발생시 전력계통의 주파수를 정격 주파수로 신속하게 회복하는 데 도움이 된다. 또한, 신재생발전기의 출력을 제어함으로써, 특정 송배전선로에 흐르는 전력조류를 조정, 선로 과부하와 같은 선로제약의 해소에도 활용된다.

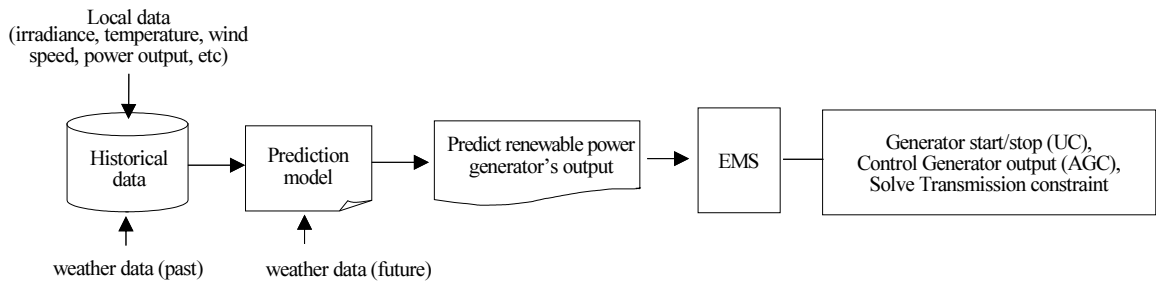


Fig. 14 Application of renewable power generator's data to EMS

5. 결론

본 논문에서는 신재생발전기의 데이터 취득방안에 관하여 논하였다. 먼저 신재생발전기의 확대에 의한 전력계통 운영의 어려움과 폭넓은 데이터의 취득 필요성을 논하였으며, 해외의 실시간 데이터 취득 사례를 조사하

였다. 국내 신재생발전기 데이터 취득현황을 기술하였고, 데이터 취득 개선을 위하여 추진 중인 방안과 데이터 활용방안을 논하였으며, 본 논문의 결론을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 신재생발전기의 확대에 인하여 기존의 전력부하의 패턴은 바뀌게 되며, 기상변화에 따른 신재생발전기 출력 변동에 대비한 안정적인 전력계통 운영을 위해 신재생발전기 데이터의 정확하고 폭넓은 취득이 필요하다.
- (2) 해외 전력계통운영자가 전력계통의 운영을 위하여 신재생발전기로부터 취득하는 실시간 데이터의 유형을 조사하였으며, 조사 결과 신재생발전기의 출력값(유효전력, 무효전력)을 필수적으로 취득하고 있으며, 기온 및 풍속과 같은 기상데이터를 필수 또는 선택적으로 취득하고 있다.
- (3) 국내 신재생발전기 데이터 취득현황을 발전기 출력감시를 위한 실시간 데이터와 전력대금 정산을 위한 정산용 데이터로 구분하여 각각의 취득현황을 기술하였다.
- (4) 기 운영중인 SCADA 시스템과 IoT를 활용한 데이터 취득 개선방안을 조사하였으며, 상용 전력량계와 무선모뎀의 활용방안 및 LTE 통신망 활용방안 등 국내에서 추진 중인 방안들을 기술하였다.
- (5) 신재생발전기의 실시간 데이터 취득을 위한 기준을 제언하였으며, 취득된 데이터를 EMS에서 활용하는 방안을 논하였다.

본 연구 내용이 신재생발전기의 데이터 취득을 위한 IT 구축과 EMS 기능 개선 및 관련 규칙 개정 등에 활용되길 기대하며, 태양광을 비롯한 신재생발전기 출력을 최적으로 제어하는 방안 및 적정 출력값의 배분에 관한 연구를 추후 수행할 계획이다.

REFERENCES

1. Scottmadden, Revisiting the California Duck Curve, 2016.
2. IEA, The California Duck Curve(<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/the-california-duck-curve>), 2019.
3. PJM, New Manual 14D and OATT Requirements for Solar Parks, 2017.
4. PJM, PJM Manual 14D, 2018.
5. CAISO, CAISO PIRP Solar Telemetry Requirements, 2009.
6. CAISO, California Independent System Operator Corporation Fifth Replacement, 2018.
7. CAISO, Integration of Solar Energy into the Participating Intermittent resource program, 2007.
8. NYISO, Wind and Solar Plant Operator Data User's Guide, 2018.
9. IESO, Renewable Integration(SE-91), 2014.
10. AEMO, Guide to Data Requirements for AWEFS and ASEFS, 2018.
11. KPX, Electricity Market Operation Rule, Nov. 2018.
12. Lee Bong-Kil, Park Bong-Yong and Lee Gun-Ung, Introduction of Wireless metering method in CBP Market system, 2008.
13. KPX, General Technical Specifications: IoT-based renewable data acquisition system establishment, 2019.
14. KEPCO, General Technical Specifications: G-Type Static Meters for Low Voltage, 2018.
15. KEPCO, General Technical Specifications: S-Type Static Meters for High Voltage, 2018.

16. Lee, B. K. and Lee, K. J., Development of FEP Firmware to get the metering data by wire communication method, 2008.
17. KPX, A Study on the Data Acquisition Method for Renewable Energy Sources' Operating Information based on IoT Technology, 2019.