

태양광발전설비 안전관리 현황 분석

김완수¹⁾ · 박상준²⁾ · 안성렬^{3)*}

¹⁾검사기술부, 한국전기안전공사 전북지역본부, 전주, 55365

²⁾경영대학원, 전북대학교, 전주, 54896,

³⁾점검부, 한국전기안전공사 파주고양지사, 파주, 10894

Analysis of the Status of Safety Management of Photovoltaic Power Generation Facilities

Wan-su Kim¹⁾ · Sang-June Park²⁾ · Seong-ryeol An^{3)*}

¹⁾Testing & Technical Diagnosis Dept, Chonbuk Local Headquarters Korea Electrical Safety Corperaion, Jeonju, 54909, Korea

²⁾Graduate School of Business Administration, Chonbuk National Univrsity, Jeonju, 54896, Korea

³⁾Inspection Dept, Paju Goyang Branch, Korea Electrical Safety Corperaion, Paju, 10894, Korea

Received May 8, 2019; Revised June 14, 2019; Accepted June 17, 2019

ABSTRACT: In this paper, we analyzed the present status of the safety manager and safety assurance aspects through a complex analysis on the operational aspects, marketability and electrical safety aspects of photovoltaic power generation facilities. In the analysis of the equipment status, we analyzed the status and operated status of the installed PV system in Korea and the correlation between the safety manager and the accident. In addition, we analyzed the direction of the ESS through the analysis of the installation status of the ESS, and applied it to the interpretation part of the ESS associated with the solar power generation. The status of the electric safety manager can be used to analyze the data for selecting the electric safety manager by capacity by analyzing the accident status, the electric safety manager operation status, the safety management time by capacity, and the electric safety manager market.

Key words: Electrical Safety Aspects, Derive Improvement Plan, ESS, Photovoltaic power generation

1. 서론

태양광 및 ESS 보급이 증가함에 따라 다양한 구성의 설비가 구축되고 있는 시점에서 설비에 대한 관리 범위와 규정이 시급한 상황이다.

전력계통과 연계된 전기저장장치(ESS)의 개념 정의 및 설비 구분 필요하며 신재생발전설비와 연계 설치된 전기저장장치(ESS)는 신재생발전설비의 계통 연계 효율을 개선하기 위해 생산된 전기를 저장하고 필요한 시간대에 전력을 공급하는 시스템이므로 발전설비인지 계통설비(연계설비, 부속설비)인지 개념정의가 불명확한 상태이다.

국내 태양광 발전설비는 주택보급사업, 발전차액보전제도 등의 다양한 지원 제도에 따라 '06년 22,322 kWp, '07년 45,347 kWp, '08년 275,665 kWp에서 '14년 925 MW, '15년 1,011 MW, '16년 850 MW로 최근 10년 사이에 태양광 발전설비의 가

파른 성장을 보이며 보급되고 있는 추세이다.

또한 정부에서는 비상용 예비전원에 대한 지침을 기존의 원동기 형태의 발전기로부터 배터리 형태의 에너지저장장치(ESS)까지 허용하는 정책을 추진함에 따라 인버터 및 배터리 등 관련 산업이 활성화되고 있는 추세이다.

IoT기반 안전관리시스템 기술발전 등 환경 변화에 따라 안전관리분야에 ICT산업 육성 기반 마련 필요하며 일본은 기 도입되어 운용되고 있는 원격감시시스템 운용 사례를 조사·분석하여 효율적인 안전관리체계를 구축하여 운영 중에 있다.

정부가 태양광 개발·이용·보급 정책을 적극적으로 추진함에 따라 태양광발전설비의 설치가 급속도로 증가하고 있으며 국내 태양광설비는 주택보급사업, 발전차액보전제도 등 다양한 지원으로 '06년 22 MW에서 '16년 850 MW로 약 38배 고성장을 하고 있다¹⁾.

*Corresponding author: ryeolan@kesco.or.kr

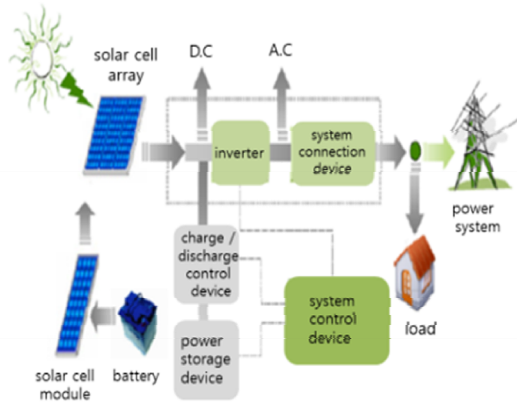


Fig. 1. Photovoltaic power generation facilities diagram

2. 태양광발전 설비 현황

2.1 태양광발전설비

태양광발전설비는 태양으로부터의 빛에너지를 전기에너지로 변환하는 셀, 모듈 부분과 설비용량에 따라 해당전압을 구성하는 어레이, 태양광어레이 출력인 직류(DC)전압을 부하에서 사용 또는 계통에 연계할 수 있도록 교류(AC)로 변환시켜주는 전력변환장치 및 계통연계 장치로 구성된다.

운전방식에 따라 계통 연계형과 독립형으로 구분할 수 있으며, 계통 연계형은 용량에 따라 10kW를 기준으로 일반용, 자가용과 사업용으로 세분한다. 일반용과 자가용은 발전 전력을 부하에서 사용하고 잉여전력은 계통으로 역전송하는 형태로 운영하고, 사업용의 경우, 거의 대부분의 발전전력을 계통으로 송전하는 형태로 운영한다. 그리고 독립형은 발전전력을 부하에서 소비하고 남은 전력을 축전지에 저장하는 형태로 되어있다. Fig. 1에 태양광 발전설비의 구성도를 나타내었다.

2.2 태양광발전설비 설치 현황

태양광발전설비는 설치위치, 용도 등에 따라 일반용, 자가용, 사업용으로 구분되며 세부적인 활용용도는 소비용과 판매용으로 구분된다. Table 1에 용량 및 활용용도에 등에 따라 태양광 발전설비에 대한 구분내용을 정리하였다.

태양광 발전설비는 2016년을 기준으로 전국에 총 228,971 개소가 설치되어 운영 중에 있다. 이중 일반용(10kW 이하) 태양광 발전설비 설치개소는 191,648개소이며 일반주택의 지붕, 옥상 등에 설치된다. 해당설비의 경우 전기안전관리 선임 대상에서 제외되는 설비이다. 연도별 설치현황은 Table 2에 나타내었다¹⁾.

Table 3은 자가용 및 사업용 태양광 발전설비 설치현황이며 2016년 기준 자가용은 22,564개소, 사업용은 37,323개소가 설치되었으며 이중 1,000kW미만 설비는 자가용은 22,222개소, 사업용은 36,964개소가 설치되어 전체설비의 99%를 차지하는

Table 1. Photovoltaic power generation facilities division

Div.	General	Household	Business
Capacity base	Less than 10 kW	More than 10 kw or household area	No capacity classification
Application	Consumption purpose (Fee reduction)	Consumption purpose (Fee reduction)	Sale purpose (Power sell)

Table 2. Installation status of general Photovoltaic power generation facilities (As of 2016)⁷⁾

Div.	Before 2012	2012	2013	2014	2015	2016	Sum
General	6,119	17,272	19,255	35,056	48,453	65,493	191,648

Table 3. Installation status of household and business Photovoltaic power generation facilities (As of 2016)⁷⁾

Div.	General	Household	Business
Less than 1,000 kW	14,742	22,222	36,964
More than 1,000 kW ~ Less than 2,000 kW	7	203	210
More than 2,000 kW ~ Less than 3,000 kW	10	101	111
More than 3,000 kW	0	38	38
Sum	14,759	22,564	37,323

Table 4. Cumulative installation status of business Photovoltaic power generation facilities (As of 2016)⁷⁾

Div.	Installation Status (Number)					
	Before 2013	2013	2014	2015	2016	Sum
Less than 1,000 kW	6,119	17,272	19,255	35,056	48,453	65,493
More than 1,000 kW ~ Less than 2,000 kW	0	0	1	1	5	7
More than 2,000 kW ~ Less than 3,000 kW	0	1	2	1	6	10
More than 3,000 kW	0	0	0	0	0	0
Sum	6,119	17,273	19,258	35,058	48,464	65,510

Table 5. Installation status of household and business Photovoltaic power generation facilities (As of 2016)⁷⁾

Div.	Installation Status (Number)					
	Before 2013	2013	2014	2015	2016	Sum
Less than 1,000 kW	2,753	2,823	5,926	6,260	4,460	22,222
More than 1,000 kW ~ Less than 2,000 kW	0	66	41	42	54	203
More than 2,000 kW ~ Less than 3,000 kW	0	18	29	26	28	101
More than 3,000 kW	1	8	15	7	7	38
Sum	2,754	2,915	6,011	6,335	4,549	22,564

것으로 나타났다. 연도별 설치현황은 Table 4, 5에 나타내었다.

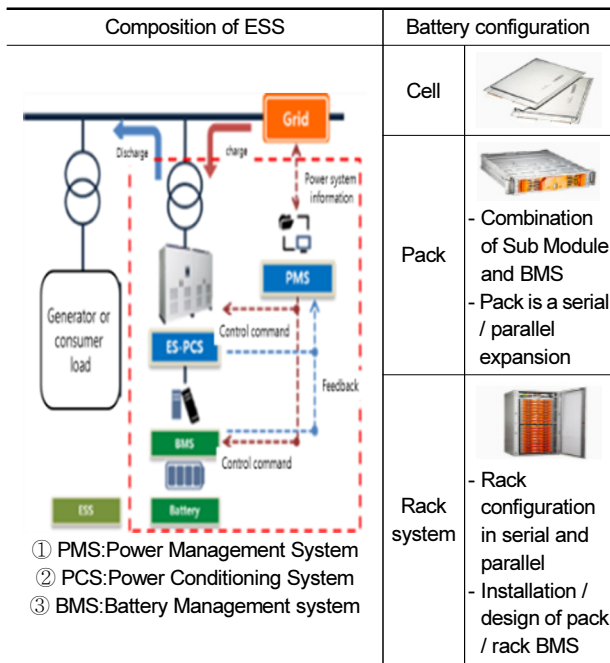


Fig. 2. Energy storage system diagram

2.3 전기저장장치(Energy storage system)

전기저장장치는 다양한 신형 전기저장기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 대표적인 저장기술로는 흐름전지(flow battery), Li-ion 전지(lithium-ion battery), NaS 전지(sodium sulfur battery), 초고용량 커패시터(super capacitor), 플라이휠(flywheel), 양수발전(pumped hydro storage; PHS) 및 압축공기 에너지저장장치(compressed air energy storage; CAES) 등이 있다. 현 수준에서는 양수발전이 전기저장장치 시장을 지배하고 있지만, 기존의 양수발전 기술의 성장은 입지 및 환경문제로 인해 점차 제한될 것으로 예상되기 때문에, 미래 계통연계형 전기저장 기술의 성장은 CAES, 배터리, 플라이휠 및 열저장 시스템 등의 신형 전기저장기술이 주도할 것으로 판단된다.

이중 배터리를 이용한 전기저장장치는 크게 배터리, 전력변환장치 및 통합적인 관리와 통제, 제어가 가능한 전력관리시스템으로 구성되어 있다. Fig. 2에 ESS의 일반적인 구성도를 나타내었다²⁾.

2.3.1 ESS 설치 현황

현재 ESS는 태양광 및 풍력 발전과 연계하여 생산된 전기를 저장 후 판매를 통해 수익창출 극대화를 목적으로 설치하는 것이 주류를 이루고 있으며 2016년 기준 태양광연계용은 Table 6에 풍력발전연계용은 Table 7에 나타내었다. 또한 Table 8은 수요전력관리용 ESS 설치 누적현황이며 살펴보면 현재 전국 157개소에 ESS가 설치·운영되고 있으며 1,000 kW 이하가 전체의 약 85%를 차지하고 있는 것으로 파악되었다³⁾.

최근 신재생에너지 설비에 연계 운전되는 인버터 등과 같은 고조파 발생원이 증가함에 따라 중앙전력계통의 전력품질 저

Table 6. Installation status of ESS for the connection of Photovoltaic power generation facilities (As of May 2017)

Num.	Plant name	Solar capacity (KW)	ESS capacity (kWh)
1	ES solar	1,423	3,328
2	Konkuk University solar power generation	100	365
3	Gridsol solar power generation	2,034	1,065
4	Green6 solar energy	499	1,498
5	Sama Energy Co. Ltd. solar energy	397	1,331
6	DC Energy Co., Ltd.	1,490	3,661

Table 7. Installation status of ESS for the connection of wind power generation facilities (As of May 2017)

Num.	Plant name	Solar capacity (KW)	ESS capacity (kWh)
1	Seongsan Wind Power Plant	8,000	8,387
2	Gunsan Industrial Wind Power	4,950	3,661
3	Yeongam Wind Power Co., Ltd.	40,000	14,000
4	GS yeong-yang Wind Power Generation	59,400	51,649
5	Hwasun Wind Power Plant	16,000	4,289
6	Haeng-won-yeon-angugsanhwa wind power plant	3,000	508
7	Dongbok wind power plant	30,000	18,000
8	Kashiri wind power plant	15,000	9,000
9	Sihwa bang-ameoli wind power	3,000	214
10	Taebaek Wind Power Co., Ltd.	18,000	9,982
11	Yeong-gwang-yagsu Wind Power Plant	19,800	13,308
12	Cheonbuk Wind Power Plant	7,050	3,327
13	Pyeongchang Wind Power Plant	30,000	21,325
14	Geochang wind force	14,000	9,647
15	Sangmyung Wind Farm	21,000	7,319
16	Youngheung Wind Power Generation (1 complex)	22,000	14,428
17	Youngheung Wind Power Generation (2 complexes)	24,000	14,428

Table 8. Cumulative installation status of ESS by capacity (As of 2016)

Div.	Num.	Remarks
Less than 1,000 kW	133	
More than 1,000 kW ~ Less than 2,000 kW	15	
More than 2,000 kW ~ Less than 3,000 kW	8	
More than 3,000 kW ~ Less than 4,000 kW	-	
More than 4,000 kW ~ Less than 5,000 kW	1	
Sum	157	

하 문제가 발생하여 한국전력에서는 주파수 조절용 ESS를 설치하고 있는 추세로 2016년 기준 16 MW (1), 24 MW (7), 28

Table 9. The standard for electrical safety administrator appointment in Photovoltaic power generation facilities and ESS

Div.	Solar light (stand alone)		Solar + ESS linkage (> 20 kW)
	Less than 1 MW	More than 1 MV	
Election criteria	Resident or agency (non-resident)	Resident	Resident

Table 10. Appointment status of electrical safety administrator in Photovoltaic power generation facilities and ESS (As of 2016)

Div.	Solar power generation				ESS (solar connection)			
	Resident	Agency	Non-resident	Sum	Resident	Agency	Non-resident	Sum
Business	1,130	19,349	2,085	22,564	6	-	-	6
Household	6,379	7,566	814	14,759	149	7	-	156
Sum	7,509	26,915	2,899	37,323	155	7	0	162

Note) The non-resident of solar power generation facilities is less than 20kW and is not subject to election of electric safety manager

MW (1), 32 MW (2), 48 MW (2) 등 13개 변전소에 설치되어 운영되고 있다.

3. 전기안전관리자 현황 분석

전기안전관리자 선임제도란 전기설비의 안전 확보를 위해 기술자격을 갖춘 전기안전관리자를 선임토록 법으로 규정하여 운영되고 있는 제도로서 소규모 설비에 대해서는 안전관리에 대한 대행이 허용되어 있다. 전기안전관리자 선임기준은 Table 9에 나타내었다.

3.1 전기안전관리자 선임현황 분석

일반용 전기설비는 전기안전관리자에 대한 선임을 제외하고 있으며 1,000 kW미만의 자가용, 사업용 태양광발전설비는 전기안전관리자에 대한 대행이 가능하여 대부분 전기안전관리자 대행으로 전기안전관리자를 선임하고 있다.

그러나, 태양광 발전소에 20 kW를 초과하는 ESS를 설치하는 경우 전기안전관리자의 상주가 필요하다.

Table 10은 태양광발전설비 및 ESS 전기안전관리자 선임현황이며 분석결과 태양광발전소의 전기안전관리자 상주 7,509 개소(20.1%), 대행 26,915개소(72.1%), ESS는 상주 155개소(95.7%), 대행 7개소(4.3%)로 나타났다¹⁾.

3.2 태양광 발전설비 안전관리 소요시간 분석

태양광발전설비의 전기안전 점검의 주요 대상설비와 소요시간을 파악하기 위해 1,000 kW급, 3,000 kW급, 10,000 kW급 각각 1개소에 대해 실태조사를 실시하였다. 실태조사는 2017년 4월에 실시하였으며 실제 태양광발전이 진행되고 있는 오전 10시부터 오후 6시까지 진행되었다.

실태조사의 대상설비는 모두 전북 군산시에 소재하고 있으며 세부내용은 Table 11에 나타내었다.

Table 12는 용량별 전기안전관리 소요시간 분석 결과 이며

Table 11. Detailed survey of Photovoltaic power generation facilities

Name	Address	Capacity (kW)	Remarks
A solar power plant	Gunsan, Jeonbuk	1,590.3	Number of solar cells, unconfirmed / 3 inverters
B solar power plant	"	2,798.4	9,328 solar cells / 3 inverters
C solar power plant	"	10,872.0	35,200 solar cells / 18 inverters

수·변전설비, 인버터, 태양광으로 크게 구분하였다. 수·변전설비의 경우 1,000 kW에서 3,000 kW까지는 안전관리를 위한 시간의 편차가 크게 구분되지는 않는 것으로 확인되었으며 약 40분이 소요되었다. 인버터의 경우 일반적으로 1기에 대해 전기안전점검을 하는데 10분정도 소요되며 안전관리 시 절연저항, 누설전류, 전압 등에 대해 측정이 실시되었다. 태양광 모듈의 경우 부지의 크기에 비례하는 것으로 나타났으며 이동하는데 소요되는 시간의 편차가 발생하는 것으로 파악되었으며 세부내용은 아래 표에 나타내었다. 태양광 모듈에 대한 전기안전 점검의 경우 1분에 약 30장정도 전기안전관리가 이루어지는 것으로 파악되었다. 기타로 태양광 모듈의 효율향상 등을 위해 새똥 등에 대한 제거 작업이 이루어 졌으며 총 소요 시간은 1,000 kW급은 약 6시간 내외, 3,000 kW급의 경우 약 8시간이 소요되었으며 10,000 kW급의 경우 1일 8시간 근무 시 4일이 소요되는 것으로 파악되었다.

실제 안전관리소요시간 분석결과를 토대로 태양광발전을 위한 모듈의 최소 필요 부지를 선정하고 수변전실, 인버터, 태양광 모듈구역에 대한 소요시간을 각각 검토하여 전체 소요시간을 산정하였다.

태양광 발전소의 전기안전관리를 위한 소요시간의 경우 부지면적에 따른 이동시간은 1 km를 이동하는데 15분이 소요되며 수·변전설비의 경우 3,000 kW 이하에 대해서는 기본적으로 30분이 소요되며 이후 추가 1,000 kW 증가할 때마다 10분씩 추가로 소요되는 것으로 나타났다. 또한, 인버터 1기당 전기안전

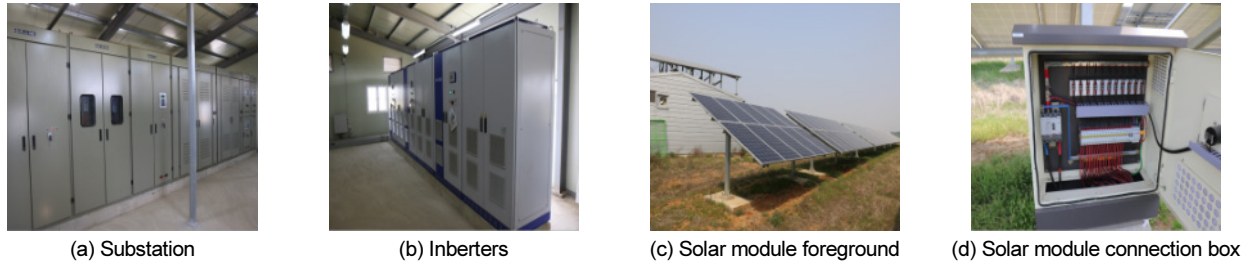


Fig. 3. Survey of 1,000kw class solar power plant

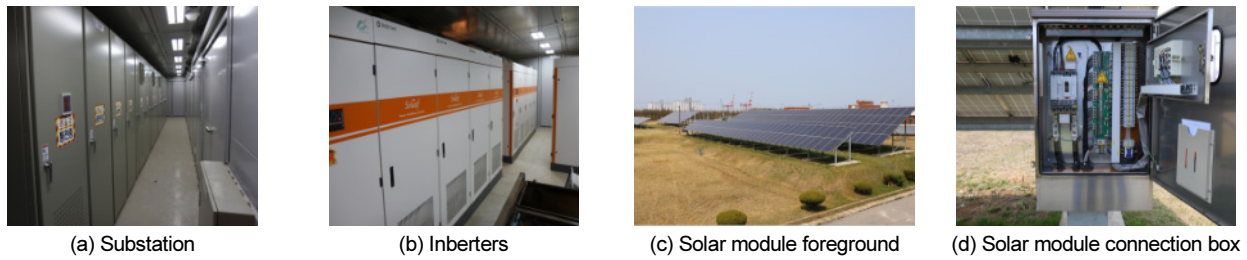


Fig. 4. Survey of 3,000kw class solar power plant

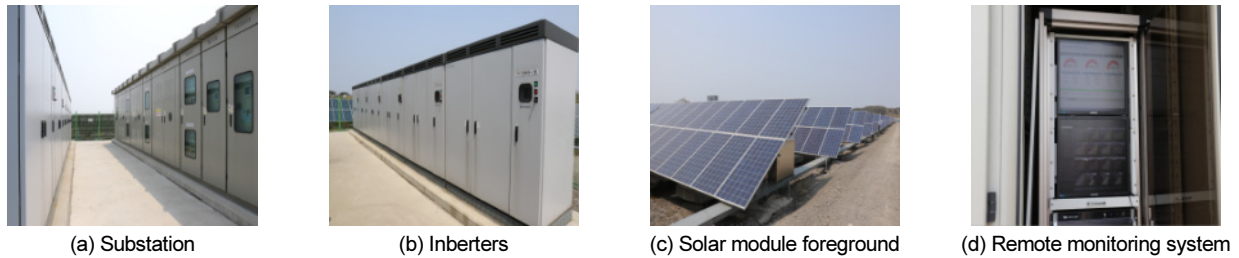


Fig. 5. Survey of 10,000kw class solar power plant

Table 12. Analysis of time required for electrical safety management by capacity

Div. \ Name	A solar power plant	B solar power plant	C solar power plant
Inspection time of transformer room	40 minutes	40 minutes	120 minutes
Moving time	30 minutes (2 km round trip)	60 minutes (4 km round trip)	60 minutes (4 km round trip)
Inspection time of inverter	30 minutes (3 units)	30 minutes (3 units)	180 minutes (18 units)
Inspection time of solar module	200 minutes (unconfirmed)	360 minutes (9,328 sheets)	1,080 minutes (36,200 sheets)
Other times	60 minutes (check other things such as bird drop)	60 minutes (check other things such as bird drop)	60 minutes (check other things such as bird drop, Open-circuit voltage measurement as required)
Sum	360 minutes (6 H)	550 minutes (6 H 10 min)	1,550 minutes (25 H)

Table 13. Photovoltaic power site time required function

Div.	Basic Time Required	Additional Time
Electricity change room	30 minutes (up to 3,000 kW)	10 minutes (every 1,000 kW)
Moving	15 minutes (per 1 km each)	
Inverter	10 minutes (per each)	
Module	1 minute (per module 30 sheets)	
Other	1 hour (Birdsong, Thermal imaging, etc.)	

관리를 하는데 소요되는 시간은 10분이며 모듈 3장당 1분의 시간이 소요되는 것으로 파악되었다. 기타로 새똥제거, 모듈 각각

에 대한 육안 및 열화상 등에 대한 전기안전관리를 하는데 소요되는 시간이 1시간으로 추정하였다. 이를 토대로 소요시간을 작

Table 14. Analysis of time required for electrical safety management by capacity

Div.	A solar power plant (about 1,500 kW)		B solar power plant (about 3,000 kW)		C solar power plant (about 10,000 kW)	
	Actual time	Estimated time	Actual time	Estimated time	Actual time	Estimated time
Electricity change room	40 minutes	30 minutes	40 minutes	30 minutes	120 minutes	110 minutes
Moving	30 minutes	30 minutes	60 minutes	60 minutes	60 minutes	60 minutes
	2 km round trip		4 km round trip		4 km round trip	
Inverter	30 minutes	30 minutes	30 minutes	30 minutes	180 minutes	180 minutes
	3 units		3 units		3 units	
Module	200 minutes	185minutes	360 minutes	310 minutes	1,080 minutes	1,206 minutes
	Unconfirmed(5550 sheets estimates)		9,328 sheets		36,200 sheets	
Other	60 minutes	60 minutes	60 minutes	60 minutes	60 minutes	60 minutes
	Check other things such as bird drop		Check other things such as bird drop		Check other things such as bird drop, Open-circuit voltage measurement as required	
Sum	360 minutes	365 minutes	550 minutes	460 minutes	1,500 minutes	1,616 minutes
Time per 1000 kW	240 minutes	243 minutes	183 minutes	153 minutes	150 minutes	161 minutes

성한 결과를 Table 13에 나타내었다.

Table 14에는 상기 내용을 토대로 실태조사 결과와 실제 소요된 시간과의 비교를 통해 분석결과의 신뢰성을 검토하였다.

점검시간 산출결과 현장에 따라 소요시간의 편차는 발생한지만 대략 1,000 kW 당 실태조사에서는 최소 150분에서 최대 243분까지 소요되고 추정산출 시간에서는 최소 153분에서 최대 243분까지 소요되는 것으로 나타났다.

이중 특이점으로는 용량이 적을수록 1,000 kW당 소요되는 시간이 더 높은 것으로 나타났고 용량이 증가할수록 소요시간이 줄어드는 것으로 나타났다.

이를 기반으로 용량별 전기안전관리 가능 개소를 산출한 결과 1,000 kW에서는 는 대략 4시간에서 6시간의 시간이 소요되어 하루 1개소, 1달에 4회 이상 방문 시 최대 6개소까지 전기안전관리가 가능할 것으로 판단되지만 3,000 kW에서는 전기안전 점검을 하는데 8시간에서 9시간 이상이 소요되어 소요시간 2일과 1달에 6회 이상 방문 시 최대 2개소가 한계일 것으로 판단된다. 10,000 kW에서는 전기안전관리자가 점검을 수행하는데 최대 4일이 소요되어 1달에 최대 1개소만 안전관리가 가능한 것으로 나타났다.

4. 사고현황 분석

4.1 태양광발전설비 사고현황 분석

태양광발전설비는 발전원에 회전기가 존재하지 않는 구성이 단순한 정지기로서 타 설비에 비해 사고 위험성이 낮은 특징을 가지고 있다. 또한 고장이 발생할 경우 보수 점검이 용이한 편이다. 사고 파급의 경우 보호 장치가 용량에 맞게 설계되어 있을 경우 계통으로의 사고 파급을 미연에 예방할 수 있다.

Table 15는 2012년부터 2016년까지 5년간 태양광발전 화재

Table 15. Status of fire accident in Photovoltaic power generation for the last 5 years

Div.	2012	2013	2014	2015	2016	Sum
Fire (number)	6	4	8	6	78	102
Human injury (persons)	0	0	0	0	0	0
Property damage (one million won)	15	8	49	71	230	373

Note) Including solar power in national fire statistics since '16

Table 16. Accident status of Photovoltaic power generation facilities by capacity

Div.	Accident status (case)				
	2016	2015	2014	2013	2012
Less than 1,000 kW	77	6	8	4	6
More than 1,000 kW ~ Less than 2,000 kW	1				

사고 현황이며 총 107건 발생하였고 인명피해는 없으며 재산피해는 373백만원이 발생하였다. 이중 1,000 kW미만은 101건 (99%), 1,000 kW 이상은 1건(0.1%)의 사고가 발생한 것으로 파악되었다⁵⁾.

태양광 발전설비의 사고는 2012년부터 2015년까지 매년 10건 미만이 발생하였으나 해당 정보는 국민안전처의 태양광 발전관련 사고분류 체계가 정립되지 않아 통계정보가 누락된 것으로 판단된다. 2016년부터는 국민안전처 국가화재 통계에 태양광발전이 따로 분류되어 집계되어 사고건수가 급격하게 늘어난 것으로 판단되며 사고 현황은 2016년 자료를 활용하여 분석하는 것이 데이터의 신뢰성을 확보하는데 유용할 것으로 판단된다. Table 16은 용량별 태양광 태양광 발전설비 사고 현황이며 2016년 자료를 기반으로 태양광 발전설비는 대부분 1,000

Table 17. Accident types of Photovoltaic power generation facilities

Div.	Accident status (case)				
	2016	2015	2014	2013	2012
Less than 1,000 kW	77	6	8	4	6
Overload, overcurrent	17	1			
Mechanical factor	3				
Electric leakage, grounding	3				
Tracking	16	2			
Short-circuit due to compression, damage	2				
Short circuit due to insulation deterioration	4			1	2
Short circuit due to poor contact	3				
Unidentified short circuit	13	2	3		1
Automatic control failure	4				
Carelessness	1		1	2	
Old age	1				1
Poor maintenance	2				
Unknown	2		2		2
Other	6	1	2	1	
More than 1,000 kW to less than 2,000 kW	1				
Unknown	1				

Table 18. Accidents status by facilities

Div.	2016	2015	2014	2013	2012
House	27	1		1	1
Multi-family house	6				
Street lamp	2				
Town hall	1				
Day care Center		1			
General store	3		1		
National and local government offices	1	1			
factory	3				
University	1				
Power generation facility	4		3		2
Other	30	3	4	3	3
Sum	78	6	8	4	6

kW미만 설비에서 사고가 발생한 것으로 나타났다.

사고 현황 데이터의 경우 전체사고의 98.7%가 1,000 kW미만에서 발생하여 해당 사고 데이터만 단순히 분석할 경우 1,000 kW미만의 설비에 대한 전기안전 문제가 심각한 것으로 보이지만 모 집단인 전체설비에 대한 사고율로 분석할 경우 1,000 kW미만은 0.21%, 1,000 kW이상의 경우 0.48%로 두 경우 모두 전체설비 대비 사고율이 0.5%를 넘지 않아 전기안전 측면에서 매우 안전하게 운영되고 있는 설비로 판단된다⁶⁾.

Table 19. Accident status by generation fuel (as of 2015)

Div.	Gas	Coal	Oil	Water power	Nuclear power	ESS
Number (case)	124	16	12	11	3	1
Share (%)	74.2	9.5	7.1	6.5	1.7	0.5

Table 17은 태양광 발전설비 사고유형을 분석한 결과로 전체 사고의 17.4% 가량이 과부하, 과전류에 대한 사고가 발생하였으며 트래킹에 대한 사고가 17.4%, 절연열화에 의한 단락 등 단락사고가 30.1%를 차지하였다. 이외에 누전 및 지락이 2.9%를 차지하고 있어 전체사고의 68% 가량이 원격 모니터링에 따른 원격 제어가 가능하였다면 대부분 예방이 가능한 사고로 추정된다.

Table 18은 설비별 사고 현황을 분석한 결과로 전체사고의 37%가 단독주택, 다세대 주택, 마을 회관 등 5kW미만의 태양광 발전설비가 운영되고 있는 소용량 발전 설비에서 발생하였으며 실제 모니터링이 운영되고 있는 것으로 추정되는 국가 및 지방 자치단체청사, 대학교, 발전시설의 사고 점유율은 전체의 11.8%를 차지하고 있어 소용량 발전설비가 사고에 대한 시각지대로 추정된다⁷⁾.

4.2 ESS 사고현황 분석

전기저장장치는 화재 및 폭발의 위험성이 있으나 사용전압 (AC 440 V, DC 1,100 V 이하)이 낮고 일체형구조로 외부충격이나 급격한 온도변화에 대한 저항력이 높아 계통파급사고 및 화재 확산의 위험성이 매우 낮다. 또한, Table 19 (발전연료별 사고현황)와 같이 다른 발전설비에 비해 사고율이 현저히 낮은 것으로 파악되었다.

현재까지 전기사업용 전기설비에서 발생한 사고 사례는 없으며 자가용전기설비에서 2건의 화재가 발생한 것으로 파악되었다. 2건의 사고 사례는 2014년 11월 20일에 발생한 대전지하철 시청역에 설치된 ESS에서 부품 등의 하자로 인한 화재 발생 (중도일보)과 2015년 7월 19일 경북 울주군에서 발생한 ESS 화재(울산제일일보)이다⁸⁾.

하지만 지난 2017년 8월부터 현재까지 20여 차례 발생한 ESS 화재가 발생하였고 미흡한 배터리 보호시스템과 부실한 설치·운영 관리 등 복합적인 요인이 작용했다는 조사결과가 나왔다⁹⁾. 민관합동 ESS 화재사고 원인조사 위원회의 조사 결과에 따르면 배터리 보호시스템 미흡, 운영환경 관리 미흡, 설치 부주의, 통합 보호·관리체계 미흡, 일부 배터리셀에서 결함으로 발표하였다.

5. 결론

태양광발전 및 ESS는 초기 설치비용이 100 kWh 기준으로 각각 1억4천만원이 소요되어 투자비 회수기간은 현행 REC 5.0을

적용하여 ESS를 100 kWh 설치 시 8.1년 300 kW 설치 시 6.3년 이 걸리는 것으로 파악되었다. 이는 현재의 REC 가중치를 통해 10년 이내에 원가회수가 가능하여 경제성을 확보하고 있는 것으로 파악되지만 현행 전기안전관리자 선임 등의 규제 요소는 태양광발전사업 활성화에 걸림돌로 작용하는 것으로 판단된다.

사고파급과 관련하여 태양광 발전설비는 대부분 도심지에서 떨어진 오지, 산간 등에 설치되어 대형화재로 확대될 가능성이 낮아 사고 발생 시에도 소유자 설비에 국한한 피해가 발생할 것으로 판단된다. 전기저장장치는 운전을 개시하면 관리자의 조작이 거의 필요 없고 상시감시시스템이 구축되어 실시간 안전관리가 가능한 설비로 사용전압(AC 440 V, DC 1,100 V 이하)이 낮고 일체형 구조로 제작되어 계통파급사고 확률이 매우 낮다.

또한, 전력계통으로의 파급사고 예방과 관련하여 발전설비에 대한 계측데이터 모니터링뿐만 아니라 사고 발생 시(저전압, 과전압, 지락 등) 계통에서 분리시키기 위한 사고 차단기능 설치를 의무화할 경우 전력계통으로의 파급사고를 미연에 예방할 수 있을 것으로 판단된다(「분산형 전원 배전계통 연계기술 기준」 제11조에 따라 한전계통에 연계되는 경우 전압·전류 감시 기능, 고장 표시 및 자동차단 기능 등을 구비한 분리장치 설치토록 규정).

안전관리자 선임과 관련하여 태양광 발전소는 도심에서 떨어진 산간벽지, 오지 등에 설치되며 별도의 사무실이 없어 전기 안전관리자가 상시 근무는 현실적으로 어려운 실정이며 상주 안전관리자를 고용할 경우 과도한 경제적 부담에 따라 보급 활성화에 장애요인으로 작용할 것으로 예상된다.

또한 최근 2017년 이후 발생한 ESS관련 화재와 관련하여 민

관합동 ESS 화재사고 원인조사 위원회의 조사결과에 따라 배터리 보호시스템 등 기술적인 안정화 기간이 필요할 것으로 사료되며 최근 발표된 정부의 ESS 안전강화 대책을 토대로 기술적·시스템적인 추가연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

1. Cho, S. Y., Korea Electrical Safety Corporation DB, 2012-2016.
2. Kim, E. S., Energy Storage System, Infothebooks 85-115, 2014.
3. Cho, S. Y., Status of ESS Installed by Korea Electric Safety Corporation 2012-2016.
4. Cho, S. Y., Status of Photovoltaic Power Installed by Korea Electric Safety Corporation 2012-2016.
5. Status of solar power plant accidents issued by the National Security Authority for the past 5 years, <http://www.nfds.go.kr>, 2012-2016.
6. Cho, S. Y., Status of Photovoltaic power plant accidents issued by Korea Electric Safety Corporation 2012-2016.
7. Cho, S. Y., Status of accidents by facility issued by Korea Electric Safety Corporation 2012-2016.
8. Joongdo Daily News, "City hall station fire in Daejeon Subway", <http://www.joongdo.co.kr/main/php?key=201411200347>, 2014.
9. Electric Power Journal, "Ministry of Industry, announced results of ESS accident investigation · safety enhancement measures", <http://www.epj.co.kr/news/articleView.html?idxno=22298>, 2019.