

전기에너지 저장 시스템 국제 표준화 동향

A Survey on the Standards of EES (Electrical Energy Storage) Systems

정상진 (S. Jeong, sjjeong@etri.re.kr)
안윤영 (Y.Y. An, yyahn@etri.re.kr)

융합표준연구실 책임연구원
융합표준연구실 책임연구원

I. 서론
II. EES 시스템 국제 표준화 동향
III. 결론

Electrical energy storage (EES) systems store generated electricity in energy storage devices such as batteries and discharge the stored energy when necessary. Individual subsystems of the EES system are being standardized independently; however, a holistic understanding of the whole system is necessary because the EES system is large and complex. IEC TC 120 has developed international standards of EES systems. In this paper, EES systems standards in IEC TC 120, including the planning and installation of EES systems, are presented. Further, ongoing standardization for the application of EES systems to backup power and emergency support is described.

* DOI: 10.22648/ETRI.2019.J.340211

* 본 연구는 2019년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 70300038)



본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

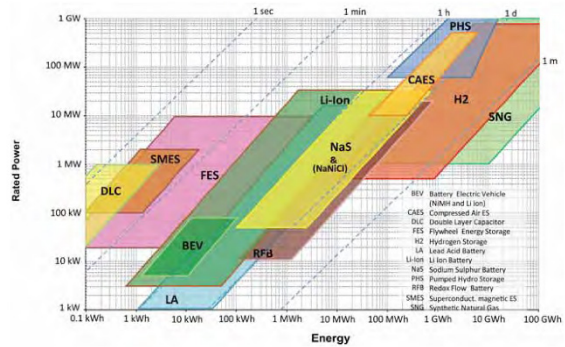
I. 서론

전기에너지 저장 시스템¹⁾(EES System: Electrical Energy Storage System 또는 ESS: Energy Storage System)은 발전원에서 생산된 전기를 배터리 등의 저장장치에 저장한 후, 전력이 필요할 때 공급할 수 있는 시스템이다. 즉, 전기를 저장해 두었다가 전기가 필요한 시기에 공급하여 에너지 공급 불균형을 해소하고, 안정성을 제공하는 기능을 가진다. 일반적으로 경부하(야간)에 유희전력을 저장, 피크부하(주간)에 방전하도록 동작하여 부하 평준화를 제공할 뿐만 아니라 발전출력 변동이 심한 태양광, 풍력 등과 같은 신재생 에너지원과 연계하여 출력 품질을 향상시키는 역할도 수행하는 시스템이다. (그림 1)은 EES 시스템의 개념을 도시한 것이다. EES 시스템은 전력망의 송배전 시스템을 비롯하

1) 국내에서는 에너지 저장장치(ESS) 용어가 널리 사용되고 있으나, 본 고에서는 국제표준과의 일관성 유지를 위해 전기에너지 저장 시스템(EES 시스템)으로 용어를 사용함.



(그림 1) EES 시스템 개념

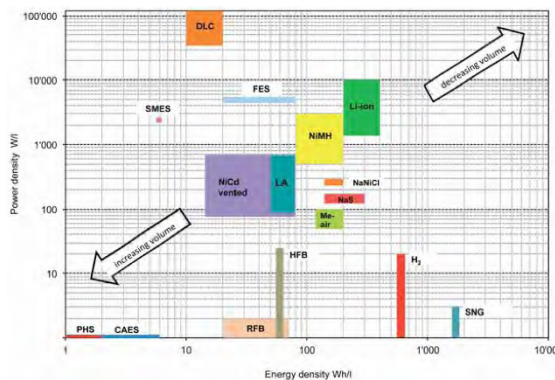


(그림 2) 에너지 저장 기술별 특성[1]

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland. All rights reserved.

여 수용가 등 다양한 환경에서 상황별 상이한 목적에 따라 사용될 수 있다. 전기를 생산하기 위한 에너지를 저장하는 방법에 따라 배터리, 압축공기, 플라이휠, 수력 등 다양한 형태의 EES 시스템이 존재한다.

EES 시스템의 핵심 요소 중 하나인 에너지 저장 기술은 각 저장 기술별 에너지 용량 및 충방전 특성이 상이하므로 EES 시스템의 사용 목적에 부합하는 에너지 저장 기술을 적용해야 한다. (그림 2)는 에너지 저장 기술별 특성을 개략적으로 나타낸 것이다[1].



(그림 3) 배터리 구성 물질에 따른 특성[1]

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland. All rights reserved.

여러 가지의 에너지 저장 기술 중 넓은 범위의 에너지 용량 및 충·방전 특성을 가질 수 있는 전기화학작용에 의해 에너지를 저장하는 배터리 시스템이 현재는 가장 널리 사용되고 있다. (그림 3)은 배터리 구성 물질에 따른 에너지 밀도 특성을 나타낸 것이다. 현재는 에너지 밀도, 무게, 충·방전 특성 등의 요소들을 종합적으로 고려하여 리튬이온 기반의 배터리를 보편적으로 사용하고 있으며, 리튬이온 배터리의 양극/음극의 활물질, 전해액 등의 종류에 따라 세부적으로 구분된다[1].

배터리를 사용하는 EES(Electrical Energy Storage) 시스템의 핵심 구성요소는 배터리, 전력 변환장치 등이 있으며, IEC TC 21(배터리), IEC

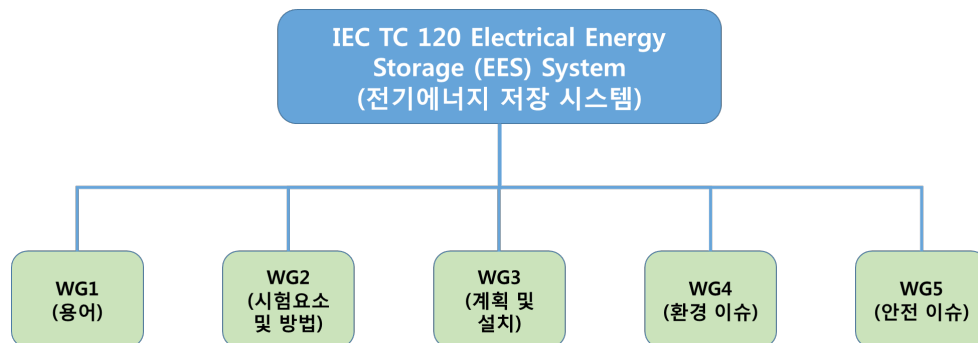
TC 22(전력변환장치), IEC TC 57(계통연계) 등에서 요소별로 국제표준화가 진행되고 있다. EES 시스템을 전체 시스템 차원의 관점에서 표준을 개발하기 위한 IEC TC 120이 설치되어 표준 개발이 진행되고 있다. 본 고에서는 IEC TC 120을 중심으로 진행 중인 EES 시스템의 시스템 및 활용 측면의 표준화 동향을 기술한다.

II. EES 시스템 국제 표준화 동향

1. IEC TC 120 개요

IEC TC 120은 EES 시스템의 설계, 설치, 시험 관련 분야의 국제표준을 개발하고 있다. IEC TC 120은 IEC 내 기존 TC들에서 다루고 있는 배터리, 전력변환장치, 계통연계 프로토콜 및 정보 모델링 등을 제외한 EES 시스템을 통합 시스템 관점에서 다루고 있다.

(그림 4)는 IEC TC 120의 조직 구성도 및 각 WG별 표준화 영역을 개략적으로 표시한 것이다. 현재 TC 120 산하에는 5개의 WG가 운영되고 있으며, WG1은 EES 시스템에 적용 가능한 용어 정의를 다루고 있으며, 계통연계, 충·방전 사이클, 시스템 응답시간, 서비스 수명 등에 관한 용어를 정의하고 있다. WG2는 EES 시스템의 기능과 성능을 평가



(그림 4) IEC TC 120 조직 구성도

하기 위한 시험 방법 및 시험 요소를 정의한다. 세 부적으로 에너지 저장장치의 사용 목적, 용량, 설치환경 등에 따른 성능평가 요구사항, 성능지표 및 평가방법을 정의한다. WG3는 EES 시스템의 전력 시스템 설계사, 시스템 통합사 등이 EES의 계획 및 성능평가를 위해 필요한 다양한 지침을 개발하고 있다. 세부적으로는 EES 시스템의 모니터링, 성능 측정, 운영 및 관리, 계통연계 요구사항, 에너지 저장장치 내의 배터리관리시스템, 전력변환장치 등과 통신하기 위한 통신 방법, 유지관리 등의 표준화를 담당한다. WG4는 EES 시스템의 환경 요구사항을 정의한다. 주로 환경적 측면에서 온실가스 배출량, 유해물질 재활용 요구사항 등을 정의하며, 환경적 요구사항으로 전기적, 기계 및 화학적 관점, 자연재해 및 사고 조건 등을 다룬다. WG5는 EES 시스템의 안전한 사용을 위한 안전 고려사항과 관련된 표준 개발을 진행하고 있다.

2. EES 시스템 계획 및 설치

본 절에서는 IEC TC 120 WG3(EES 시스템 계획 및 설치)에서 제정한 IEC 62933-3-1(EES 시스템 계획 및 성능평가 - 제1부: 일반 규격) 내용을 기술한다.

IEC 62933-3-1 표준은 2018년 8월 TS(Technical Specification)으로 제정 완료되었다. 계통과 연계된 EES 시스템을 설치 및 운용하기 위해 필요한 기능, 성능 평가를 위한 시험 항목, 운용 상태 모니터링을 위한 요구사항, 계통과 상호 교환하기 위한 정보 및 제어 기능을 정의하고 있다[2]. 후속 표준화로 EES 시스템의 활용 용도 구분에 따른 요구사항을 정의하는 작업이 개시되었다. <표 1>은 WG3에서 개발 완료되었거나 진행 중인 표준화 항목을 표시한 것이고, <표 2>는 에너지 저장장

<표 1> IEC TC 120 WG3 표준화 현황

표준번호	표준명	프로젝트 리더	상태
IEC 62933-3-1	EES 시스템 제3-1부: 계획 및 성능평가 - 일반 규격	Hubert Rubenbauer (독일, 지멘스)	2018년 8월 제정완료
IEC 62933-3-2 (잠정)	EES 시스템 제3-2부: 에너지 저장장치 활용 - 파워 집중형 응용	Yu Zhang (중국, 상하이전력공사)	신규 표준화 작업 개시
IEC 62933-3-3 (잠정)	EES 시스템 제3-3부: 에너지 저장장치 활용 - 에너지 집중형 및 백업 파워 응용	정상진 (한국, ETRI)	신규 표준화 작업 개시

치의 활용 용도별 분류를 나타낸 것이다.

신규 표준화가 추진 중인 IEC 62933-3-2 (Applications of EES systems - Power intensive applications)은 EES 시스템을 파워 집중형 응용 용도(전력망 계통 제어 등의 용도)로 사용하기 위한 요구사항, 유즈케이스 개발을 목표로 하고 있으며, 다음의 사항들을 포함하여 TS 표준을 개발할 예정이다.

- 계통 주파수 제어(1차, 2차, 3차)
- 신재생 발전 출력 안정화(태양광, 풍력 등)

<표 2> EES 시스템 활용 용도별 분류(IEC TC 120)[3]

구분	정의
단주기 응용	짧은 응답속도를 요구하며 충·방전 사이클의 빈번한 전환을 수행하거나 계통과의 무효전력의 교환을 수행하는 응용
장주기 응용	짧은 응답속도를 요구하지는 않지만, 가변적인 파워로 긴 충·방전 사이클을 수행할 수 있는 응용
백업 파워 응용	계통으로부터 전력 공급이 중단되었을 경우 내부의 주요 시설에 대한 비상전원 공급을 수행할 수 있는 응용

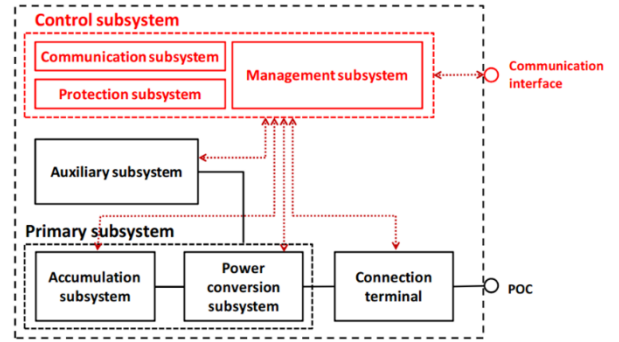
© 2018 IEC, Geneva, Switzerland. All rights reserved.

- 계통 전압 제어
- 전력 품질 제어
- EES 시스템 연계 신재생 전원 기반 전기차 충전

IEC 62933-3-3(Applications of EES systems - Energy intensive and backup power applications)은 EES 시스템을 에너지 집중형(전력 피크 평준화, 전력 피크 분산) 및 백업 전원 용도로 사용하기 위한 요구사항 및 유즈케이스를 개발할 예정이며, 다음의 사항들을 포함하여 TS 표준을 개발할 예정이다.

- 전력 피크 분산 및 평준화: EES 시스템을 활용하여 전력의 생산 및 소비 간의 균형을 맞추기 위해 전력량 소비 시간대를 이동시키는 응용. 이를 통해 최대 전력 사용량 및 전력 부하 특성을 최적화할 수 있음
- 백업 전원 및 비상전원 용도: 전력망을 통한 전력 공급이 중단되었을 경우, EES 시스템을 활용하여 내부 배전망 부하 전체 또는 비상 시설물에 대한 전원을 공급하는 응용
- 그리드 독립형 운전: 전력망과 연결되지 않은 섬, 오지 지역 등에서 EES 시스템을 활용하여 전력을 공급하고, 다른 신재생 전원과의 연계를 통해 전압 및 주파수 제어를 수행하는 응용

IEC 62933-3-1에서는 (그림 5)와 같은 EES 시스템 참조 구조를 정의하고 있다. EES 시스템의 주 서브시스템으로는 에너지 저장 서브시스템(에너지 저장), 전력변환 서브시스템(저장된 에너지를 전기로 상호 변환)으로 구성되고, 주 서브시스템과 계통은 접속점을 통해 연결된다. 보조 서브시스템

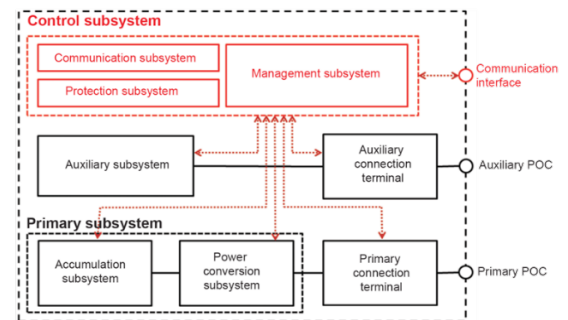


(그림 5) EES 시스템 참조 구조(계통 접속점이 1개인 경우)

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland, All rights reserved.

은 주 서브시스템의 안정적인 운용에 필요한 공조, 냉방 등의 기능을 담당한다. 연결 구성에 따라 보조 서브시스템은 (그림 6)과 같이 별도의 접속점을 이용하여 계통에 연결되어 독립적으로 전원을 공급받는 구조도 가능하다. 제어 서브시스템은 주 서브시스템 및 보조 서브시스템과 통신으로 연결되어 에너지 저장장치의 상태를 모니터링, 보호 및 제어를 수행하고, 필요 시 계통과의 통신을 담당한다. 제어 서브시스템은 통신용 인터페이스를 활용하여 계통과 통신한다.

EES 시스템의 계획 단계에서는 다음과 같은 일반적인 요구사항을 고려해야 한다.



(그림 6) EES 시스템 참조 구조(보조 서브시스템을 위한 보조 계통 접속점 구성)

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland, All rights reserved.

- 사용 목적(피크 저감, 주파수 조정, 비상전원, 신재생 연계 등)
- 에너지 저장 기술(에너지 저장 용량, 방전 파워 등)
- 전력변환장치(응답속도, 전압 드롭 제어(droop control) 등)

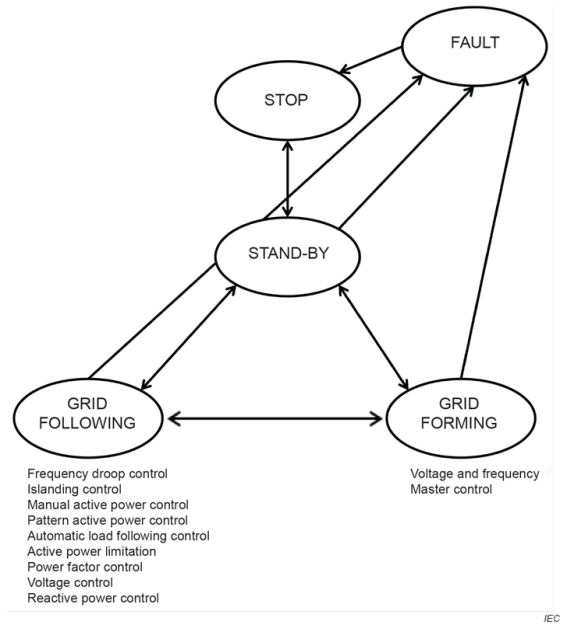
앞의 일반적 요구사항을 고려함에 있어 관련되는 지표들은 다음과 같다.

- 정격 입 · 출력 파워
- 단주기 입 · 출력 파워
- 정격 에너지 용량
- 응답시간
- 왕복효율
- 충 · 방전 사이클의 왕복효율
- 회복시간
- 서비스 종료 시점의 값 등

EES 시스템의 운전 상태는 (그림 7)과 같은 상태 다이어그램을 가진다. 전력 계통과 연계되어 동작하는 그리드 추종(Grid Following) 모드에서는 전력 품질제어, 주파수 제어, 부하 제어 등의 기능을 수행한다. 계통과 독립적으로 동작하는 그리드 구성(Grid Forming) 모드에서는 전압 및 주파수 제어, 신재생 발전원들을 고려한 독립형 그리드 제어를 수행한다.

EES 시스템의 핵심 기능인 부하 제어 방법은 수동식 제어, 설정된 시간 패턴에 따른 패턴 제어, 부하의 변화를 동적으로 고려하는 부하 추종 제어로 구분된다.

〈표 3〉은 일별 부하 패턴 기반의 제어 예를 나타낸 것이다. 제어 패턴은 EES 시스템 설치 현장의 부하 등을 사전에 고려하여 구성한다. (그림 8)은



(그림 7) EES 시스템 운전 상태 다이어그램[3]

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland, All rights reserved.

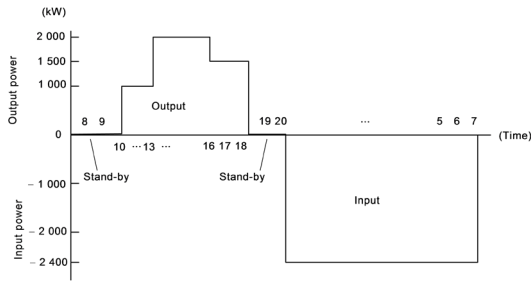
제어 패턴에 따른 EES 시스템과 계통 간의 접속점의 운용 상태를 나타낸 것이다.

(그림 9)는 부하의 변화에 따라 방전 파워를 동적으로 조절하는 제어 방법을 나타낸 것이다. (그림 9)에서 EES 시스템의 최대 출력 파워는 2,000kW라고 가정하면, 부하가 사전에 설정된 값을 초과하게 되면 EES 시스템이 최대 부하 이내에서 초과된 부하에 상응하는 방전 운전을 수행한다.

〈표 3〉 일별 부하 패턴에 따른 제어 패턴 예

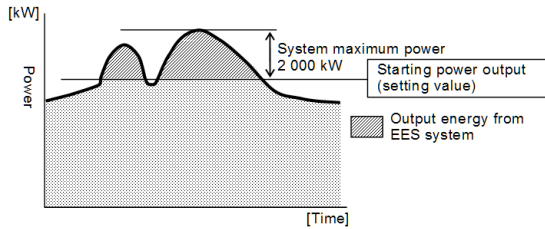
번호	시작시간	파워	
1	09:00	대기	0kW
2	10:00	방전	1,000kW
3	13:00	방전	2,000kW
4	16:00	방전	1,500kW
5	18:00	대기	0kW
6	20:00	충전	2,400kW
7	07:00	대기	0kW

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland, All rights reserved.



(그림 8) 계통 접속점에서의 운전 상태[3]

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland, All rights reserved.



(그림 9) 부하 추종형 제어 방법[3]

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland, All rights reserved.

EES 시스템과 계통과의 통신 필요성을 기반으로 EES 시스템 측정 및 모니터링 분류와 교환해야 할 메시지들은 <표 4>에 표시되어 있다.

- 측정 및 모니터링 분류 I : 계통과 통신 필요성이 없는 독립형 시스템
- 측정 및 모니터링 분류 II : 계통에 영향을 줄 가능성이 낮으며, 통상 계통 제어 시 고려되지 않는 시스템

<표 4> EES 시스템 특성에 따른 모니터링 메시지 분류

측정 및 모니터링 분류 교환 메시지 분류	I	II	III
EES 시스템 특성		X	X
EES 시스템 상태	(X)	X	X
EES 시스템 측정값			X
EES 시스템 운용 제한값		X	X
EES 시스템 예측값			X
EES 시스템 계통 분리 여부	(X)	X	X
EES 시스템 진단정보			X

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland, All rights reserved.

- 측정 및 모니터링 분류 III : 계통에 상당한 영향을 줄 수 있으므로 계통과 모니터링 정보를 교환해야 하는 시스템

EES 시스템의 설치 이후에는 시운전을 수행해야 하며, 시운전 시에는 <표 5>에 기술된 사항들에 대한 확인을 수행해야 한다.

끝으로, 시운전 후 성능 모니터링을 위해서는 <표 6>에 정의된 사항들을 고려해야 한다.

3. EES 시스템의 비상전원 용도 활용 국제 표준 개발 현황

최근 전력계통의 운영상 문제, 특정 시점의 전력 사용량 증가에 따른 전력 예비율과 전력품질에 관한 우려를 해소하는 솔루션으로 EES 시스템이 주

<표 5> 시운전 수행 시 확인 사항

에너지 용량값	충·방전 파워값	왕복 효율	서비스 종료 시점의 값	응답시간 지표
충·방전 에너지 용량(초기, 정격)	-정격 충·방전 파워 시험 -계통연계/독립운전 시 정격 방전 파워 시험	자가방전 및 자가소비(self-consumption)	초기 시점의 값 측정 및 보관	-부하 추종형 제어, 패턴 제어, 원격 제어 시의 응답시간 측정 -대기상태에서 기동상태로 전환 시의 응답시간 -충전 상태에서 방전 상태로 전환시의 응답시간

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland, All rights reserved.

〈표 6〉 성능 모니터링 수행 시 확인 사항

에너지 용량값	충·방전 파워값	왕복 효율	서비스 종료 시점의 값	응답시간 지표
-실제 에너지 용량 측정 -실제 충·방전 가능한 에너지 용량 측정 -실제 백업용 에너지 용량 측정	-충·방전 파워의 성능 검증(정격/단주기 성능) -계통 연계/독립운전 상태에서 서 부하 추종형 출력 시험	-일간/주간 효율 누적 데이터 -보조/제어 서브시스템의 자가소비 누적 데이터 -에너지 저장장치의 자가소비 및 에너지 저장 서브시스템의 자가방전 누적 데이터	-수명 종료 시점에서의 성능 측정 지표의 검증	-응답시간의 성능 검증 -기동 및 정지 시의 응답시간 시험

© 2018 IEC, Geneva, Switzerland. All rights reserved.

목받고 있다. 또한 EES 시스템을 정전 발생 시 고가의 기기와 네트워크 장비 같은 중요부하에 안정적인 전원을 공급하기 위해 필수적인 장비인 비상발전기로 활용할 수 있으며, 이미 많은 산업 현장이나 의료시설에 사용되고 있다. 특히, 2017년부터 계약전력 1,000kW 이상의 신축 공공기관 건축물의 비상용 예비전원으로 비상발전기 대신 EES 시스템의 우선 적용 방침에 따른 EES 시스템 도입 요구사항 및 유즈케이스의 개발 및 보급 필요성이 증대되고 있다.

현재 디젤 발전기가 비상전원 공급장치로 널리 사용되고 있으나 다음과 같은 다양한 문제점을 가지고 있다.

- 평상시 유지관리를 소홀히 함에 따른 실제 정전 발생으로 인해 비상 전력을 공급하기 위한 발전기 기동 시 동작실패 가능성 존재
- 주기적인 디젤 발전기 동작 시험을 수행해야 하며, 이로 인해 매연, 소음, 화재 등이 발생할 수 있음
- 경유 연소로 인한 온실가스 및 환경오염 물질 배출
- 디젤 발전기는 전력을 방출하는 기능만을 수행하여 전력을 저장하는 기능을 수행하지 못하므로, 피크전력 저감, 피크전력 사용량 이 동 등의 용도로 사용되기 어려움

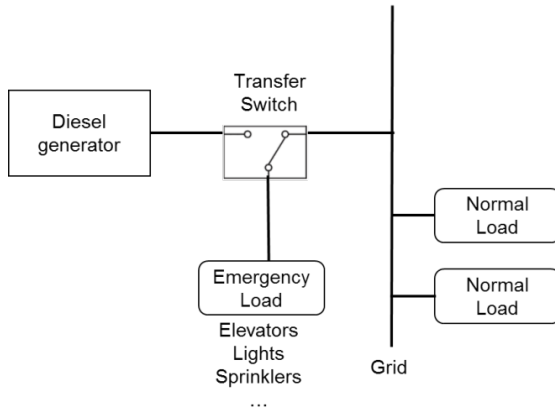
전력공급 중단을 대비하기 위한 설비가 비상 발전기이며 EES 시스템 역시 충전된 전력을 이용하여 비상 발전기와 같이 전력공급이 중단된 상황에서 백업전원의 역할을 수행할 수 있다.

IEC TC 120 산하의 WG3에서 EES 시스템을 백업 및 비상전원 용도로 활용하기 위한 방법의 국제 표준화가 우리나라 주도로 진행되고 있다. 본 절에서는 EES 시스템을 건물, 공장 등에서 비상전원 용도로 활용하기 위한 방법의 국제 표준 추진 현황에 대해 기술한다.

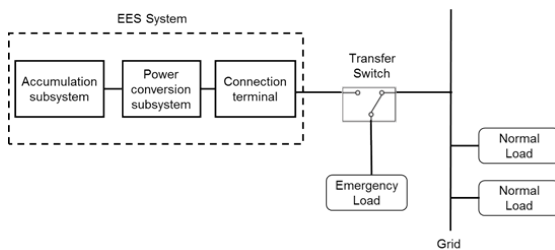
(그림 10)은 일반적인 디젤 발전기를 활용하여 비상전원을 공급하는 경우의 구성도를 도시한 것이다. 이 경우에는 비상전원 및 일반 전원을 구분하여 설치하여 전력의 공급이 끊기는 경우에는 비상발전기를 기동하여 비상용도 설비에 전력을 공급할 수 있다.

(그림 11)은 일반 디젤 발전기를 EES 시스템으로 단순 교체하는 경우의 구성도를 나타낸 것이다. 기존의 디젤 발전기를 EES 시스템으로 교체함으로써 전력공급이 끊긴 경우 비상전원 공급을 EES 시스템을 통해서 할 수 있다. 다만, 이 경우에는 평상시 수요반응 용도의 EES 시스템 활용이 어려운 문제점을 가지고 있으며, 이로 인해 EES 시스템 설치 비용 대비 효율성이 떨어진다.

이러한 단점을 해결하기 위해 (그림 12)와 같이 구성하는 경우, EES 시스템을 활용하여 비상전원

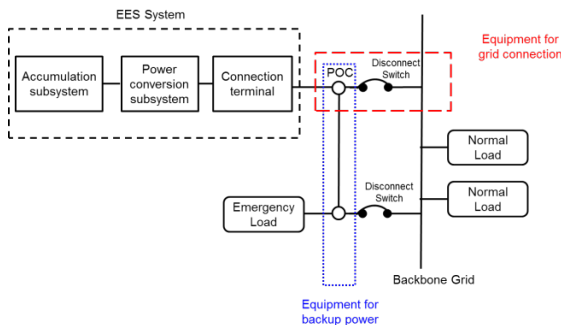


(그림 10) 일반적인 비상발전기 기반의 비상전원 공급 구성도



(그림 11) 디젤 발전기의 EES 시스템 단순 대체 구성도

용도 및 수요반응 용도를 모두 지원할 수 있다. 이를 통해 EES 시스템의 평상시 활용률을 높이고 비상전원 용도도 동시에 활용할 수 있다.



(그림 12) 비상전원 및 수요반응 용도를 모두 지원하기 위한 EES 시스템 구성도

III. 결론

본 고에서는 IEC TC 120을 중심으로 개발되고 EES 시스템의 국제표준화 동향에 대해 살펴보았다. 특히, EES 시스템을 전체 시스템 관점에서 계획 및 설치, 성능 평가를 진행하기 위한 일반 규격인 IEC 62933-3-1 표준의 세부 내용에 대해 분석하였다. 또한, IEC 62933-3-1의 후속 표준으로 개발 중인 EES 시스템 활용 표준 중 비상전원 시스템으로의 EES 시스템 적용을 위한 요구사항 및 유즈케이스 표준 개요를 살펴보았다.

EES 시스템은 우리나라가 기술개발을 선도하고 있는 분야로 국내 기술에 기반한 국제표준화의 추진 및 표준의 도입 활성화를 선도함으로써 에너지 이용 효율도 높이고 에너지 신산업의 활성화 방안으로 활용 가능할 수 있도록 할 것으로 기대된다. 또한, 국내 EES 시스템 제품 개발 기관들과의 기술 교류 및 협력을 통해 우리나라 실정에 부합하는 유즈케이스 및 요구사항을 도출하고, 이를 기반으로 국제 표준에 반영할 수 있도록 추진이 필요하다.

약어 정리

CAES	Compressed Air Energy Storage
EES	Electrical Energy Storage
ESS	Energy Storage System
PHES	Pumped Heat Electrical Storage
REN	Renewable Energy Network
SMES	Superconducting Magnetic Energy Storage

참고문헌

- [1] IEC White Paper, "Electrical Energy Storage," 2011.
- [2] IEC 62933-3-1, "Electrical Energy Storage (EES) Systems - Part 3-1: Planning and Performance Assessment of Electrical Energy Storage Systems - General Specification," 2018.
- [3] IEC 62933-1, "Electrical Energy Storage (EES) Systems - Part 1: Vocabulary," 2018.