

ETA를 이용한 에너지저장시스템의 위험성 평가

김두현 · 김성철[†] · 김의식^{*} · 박영호^{**}

충북대학교 안전공학과 · ^{*}대한산업안전협회 · ^{**}동양대학교
(2016. 3. 8. 접수 / 2016. 5. 17. 수정 / 2016. 6. 10. 채택)

Risk Assessment of Energy Storage System using Event Tree Analysis

Doo-Hyun Kim · Sung-Chul Kim[†] · Eui-Sik Kim^{*} · Young-Ho Park^{**}

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

^{*}Korea Industrial Safety Association

^{**}Dongyang University

(Received March 8, 2016 / Revised May 17, 2016 / Accepted June 10, 2016)

Abstract : The purpose of this paper is to conduct ETA on six items of ESS: the whole system, battery, BMS, PCS, ESS and cable. To achieve that, ESS work flow and its components are categorized. Based on performance, human, environmental, management, and safety, this paper drew initiation events (IE) and end states (ES). ETA is applied to the main functions of each item, and the end states that may occur in one initiation event are suggested. In addition, detailed classification was performed to induce various end states on the basis of the suggested initiation events ; loss of grid electricity of ESS, loss of battery electricity(DC) of battery, impairment of electric function of BMS, loss of grid electricity(AC) of PCS, loss of data of EMS, Mechanical damage of cable, event sequence analysis conducted on the basis of event trees . If the suggested IEs and ESs are applied on the basis of ESS event cases, it is expected to prevent the same kinds of accident and operate ESS safely.

Key Words : event tree analysis, energy storage system, initiating events, end states

1. 서론

한국전력공사는 정부가 추진 중인 ‘창조경제 시대의 ICT기반 전력시장’ 정책에 호응하여 세계 최고수준의 에너지저장시스템을 구축하겠다고 발표했다¹⁾. 이에 따라 한국전력공사 전력연구원은 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 배터리 및 전력변환장치 제작사와 함께 대용량 전력저장시스템 실증을 통한 운용기술 개발을 목표로 “신재생에너지 연계형 MW급 리튬이차전지시스템 운용기술 개발” 연구과제를 지난 2011년부터 수행하고 있으며, 현재 제주 154 kV조천변전소에 4 MW, 8 MW급의 ESS와 전력저장장치 운영 시스템(PMS, Power Management System)이 설치되어 시운전 중에 있다²⁾. 현재 ESS는 보급 및 실증단계로 설치와 효율에 모든 기술과 연구가 집중되어 있다³⁻⁵⁾. ESS의 설치 목적은 바로 안정적 전력운영이다. 안정적 전력운영을 위하여

가장 우선시 되어야 할 것은 체계적인 안전관리이다. 이런 체계적인 안전관리를 위해서는 에너지저장시스템의 위험요소를 찾아 사고 전에 이를 방지, 유지 및 보수함으로써 가능하다. 사전의 위험요소를 찾고 위험요소들을 평가하는 다양한 기법들이 있는데, 이중 가장 쉽게 접근 가능한 기법이 바로 고장수목분석(ETA, Event Tree Analysis)이다. 고장수목분석은 재해사고의 발생과정을 재해요인들의 연쇄로 파악하여, 재해발생의 초기사상 혹은 초기사상(initiating event)으로부터 재해사고까지의 연쇄적 전개를 표현할 수 있는 위험성 평가 기법이다. 초기사상을 바탕으로 결과상황들을 유도할 수 있어 체계적인 안전관리가 가능하다.

따라서 본 연구에서는 ESS에 대하여 전체시스템, Battery, BMS, PCS, EMS 및 Cable의 6개 항목으로 분류하였고 성능적, 인적, 환경적, 관리적 및 안전을 바탕으로 한 초기사상(IE, Initiation events)과 결과상황들

[†] Corresponding Author : Sung-Chul Kim, Tel : +82-43-267-2463, E-mail : ksc3650@naver.com
Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 1, Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju-si, Chungbuk 28644, Korea

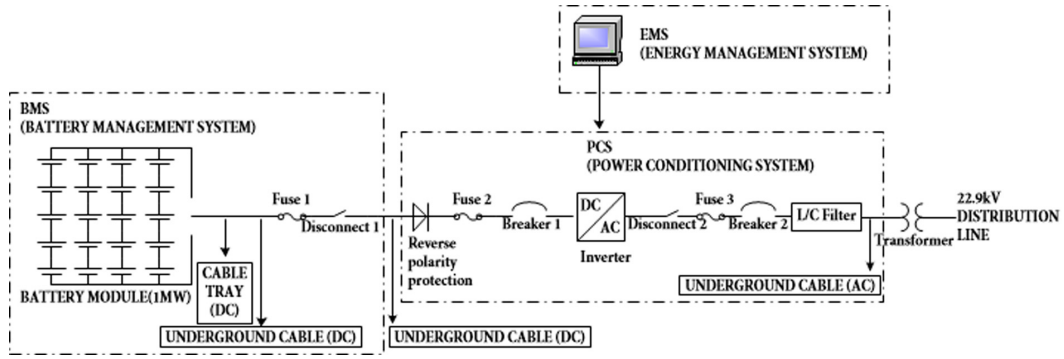


Fig. 1. The simplified ESS diagram showing the components and sub-components considered in the analysis.

(ES, End states)을 도출하였다. 이를 바탕으로 ESS에서 발생할 수 있는 결과상황들을 제시하였다. 최종적으로 ETA에 초기사상과 결과상황들을 적용하고 이를 통하여 ESS의 위험성 평가를 실시하였다.

2. ESS의 작동흐름도 및 구성부품분류

ETA를 위해서는 ESS의 작동 흐름도를 필요로 한다. 본 연구에서는 국내에서 유일하게 ESS에 대한 실증이 완료된 조천 변전소를 타겟으로 선정하였다. 조천 변전소의 경우, ESS의 ISET은 1 MWh 배터리 2개(병렬, 2 시간), 1 MW ES PCS Panel 2개, EMS 1개(PMS는 이하 EMS로 통일함)로 구성된다. 그러나 이렇게 되면 병렬 조합과 직렬 조합으로 구성되어 있기 때문에 부품의 중복성을 초래한다. 중복성을 방지하기 위해서는 안전을 목적으로 추가 설치된 부품(병렬)을 제거해야 한다. 따라서 ESS의 ISET은 1 MWh 배터리 1개, 1 MW ES PCS Panel 1개, EMS 1개(PMS는 이하 EMS로 통일함)로 구성하였다. Fig. 1은 ETA를 수행하기 위해 구성품과 서브 구성품으로 구별하여 ESS를 설계하였고 ESS를 3블록으로 구성하였다. 구성된 3 블록은 BMS(Battery 포함), PCS, EMS로 나타내었다. 실제 ESS의 설계는 훨씬 더 복잡하고 많은 구성품으로 이루어져 있다. 그러나 ESS와 관련하여 특정 구성품 요소의 고장에 대한 정량적 정보나 통계 및 기술지는 메이커의 노하우로 인하여 공개를 꺼려한다. 이를 극복하기 위하여 신재생 관련 BNL (Brookhaven National Laboratory, USA)⁷⁻⁸⁾에서 제시한 데이터, SCI 논문, UL의 신재생관련 다양한 기술지, 국내 관련 자료 등을 바탕으로 하여 최종 ESS의 구성품을 분류하였다.

3. ESS의 초기사상 및 결과상황들

ESS에 대한 초기사상과 결과상황들은 BNL, UL-1973,

전문가활용에서 제시한 기준을 바탕으로 하였다. 초기사상과 결과상황들은 전체시스템, Li-ion battery, BMS, PCS, EMS 및 Cable로 총 6개의 항목에 대하여 도출하였다.

3.1 전체 시스템

초기사상은 내부 초기사상 8개, 외부 11개로 총 19개 구성되어 있으며, 환경적 요소 및 휴먼에러도 첨부하였다. 결과상황들은 전력 생산부분 5개, 안전부분 12개로 총 17개로 구성하였다. Table 1은 초기사상, Table 2는 결과상황들을 나타내었다.

Table 1. List of initiating events(IE) for ESS

IE	
Internal IE	
Loss of grid electricity (AC)	IE_INT_LOSSGRD
Grid electricity transient fluctuations (voltage and frequency)	IE_INT_GRDFLCT
Overvoltage	IE_INT_OVERVLT
Loss of electrical connection (DC)	IE_INT_LOSSDC
Structural damage to rack	IE_INT_DMGRACK
Mechanical damage	IE_INT_MEDAM
Leakage	IE_INT_LEAK
Internal fire	IE_INT_FIRE
External IE	
Flood	IE_EXT_FLOOD
Earthquake	IE_EXT_ERTQUAKE
Animals(mainly cables, module junction box, ventilation holes)	IE_EXT_ANIMAL
Lightning	IE_EXT_LIGHTN
Sabotage(terrorism)	IE_EXT_SABOTG
Adversary action(vandalism)	IE_EXT_ADVACT
Explosion (considered for battery, inverter)	IE_EXT_EXPLSN
External fire	IE_EXT_FIRE
Mechanical shock(including module cleaning actions, ground-works affecting cables, structural damages to all electric components)	IE_EXT_MECHSHCK
High humidity	IE_EXT_HUMID
Human error	IE_EXT_HUMAN

Table 2. List of end states(ES) for ESS

ES		
Production-oriented ES		
Normal operation	P_NO	Complete success
No power	P_NP_F	Failure
Reduced power to grid	P_RP	Partial failure
Loss of performance/efficiency	P_LPE	Failure
Improper power to grid (for voltage, current, frequency level)	P_IP	Failure
Safety-oriented ES		
No power	S_NP_S	System safely shut-down, success
Overheating	S_OH	Failure
Overcurrent	S_OC	Failure
Open	S_OPEN	Failure
Fire	S_FIR	Failure
Part fire	S_P_FIR	Failure
Arcs(Overvoltage)	S_ARC	Failure
Explosion	S_EXP	Failure
Structural damages	S_SD	Failure
Reverse current flow	S_RCF	Failure
Corrosion	S_COR	Failure
Electric safety issues	S_ESI	Failure

3.2 Li-ion Battery

Battery는 UL-1973⁹⁾에서 제시한 기준을 참조하였다. 초기사상은 내부 초기사상 12개, 외부 11개로 총 23개 구성되어 있으며, 결과상황들은 전력 생산부분 3개, 안전부분 12개로 총 15개로 구성하였다. Table 3은 초기 사상, Table 4는 결과상황들을 나타내었다.

Table 3. List of initiating events(IE) for battery

IE	
Internal IE	
Short	IE_INT_SHORT_BAT
Degraded output	IE_INT_DO_BAT
Out of specification	IE_INT_OS_BAT
No output	IE_INT_NO_BAT
Cracked/Fractured	IE_INT_CR_BAT
Intermittent operation	IE_INT_IO_BAT
Loss of battery electricity (DC)	IE_INT_LOSSDC_BAT
Overvoltage	IE_INT_OVERVLT_BAT
Loss of electrical connection (DC)	IE_INT_LOSSDC_BAT
Leakage	IE_INT_LEAK_BAT
Internal fire	IE_INT_FIRE_BAT
Heating	IE_INT_HEAT_BAT
External IE	
Flood	IE_EXT_FLOOD_BAT
Earthquake	IE_EXT_ERTQUAKE_BAT
Animals(mainly cables, module junction box, ventilation holes)	IE_EXT_ANIMAL_BAT
Lightning	IE_EXT_LIGHTN_BAT
Sabotage(terrorism)	IE_EXT_SABOTG_BAT
Adversary action(vandalism)	IE_EXT_ADVACT_BAT

IE	
Explosion	IE_EXT_EXPLSN_BAT
External fire	IE_EXT_FIRE_BAT
Mechanical shock(including module cleaning actions, ground-works affecting cables, structural damages to all electric components)	IE_EXT_MECHSHCK_BAT
High humidity	IE_EXT_HUMID_BAT
Human error	IE_EXT_HUMAN_BAT

Table 4. List of end states (ES) for battery

ES		
Production-oriented ES		
Normal operation	P_NO_BAT	Complete success
No power	P_NP_F_BAT	Failure
Loss of performance/efficiency	P_LPE_BAT	Failure
Safety-oriented ES		
No power	S_NP_S_BAT	System safely shut-down, success
Unsafe operation	S_UNSAFE_BAT	Failure
Overheating	S_OH_BAT	Failure
Overcurrent	S_OC_BAT	Failure
Open	S_OPEN_BAT	Failure
Fire	S_FIR_BAT	Failure
Arcs(Overvoltage)	S_ARC_BAT	Failure
Explosion	S_EXP_BAT	Failure
Structural damages	S_SD_BAT	Failure
Reverse current flow	S_RCF_BAT	Failure
Corrosion	S_COR_BAT	Failure
Electric safety issues	S_ESI_BAT	Failure

3.3 BMS 분석

BMS에 대하여 기술지 및 전문가 자문을 통하여 구분 하였다. 초기사상은 내부 초기사상 19개, 외부 11개로 총 30개 구성되어 있으며, 결과상황들은 전력 생산부분 3개, 안전부분 12개로 총 15개로 구성하였다. Table 5는 초기사상, Table 6은 결과상황들을 나타내었다.

Table 5. List of initiating events(IE) for BMS

IE	
Internal IE	
Short	IE_INT_SHORT_BMS
Loss of electric function	IE_INT_LOSSEF_BMS
Impairment of electric function	IE_INT_IMEF_BMS
Loss of configuration	IE_INT_LOC_BMS
Brackets detachment	IE_INT_BD_BMS
Open	IE_INT_OPEN_BMS
Poor contact/intermittent	IE_INT_PC_BMS
Function Failure	IE_INT_FF_BMS
Bond failure	IE_INT_BF_BMS
Microcrack	IE_INT_MICRO_BMS
Open without stimuli	IE_INT_OWS_BMS
Does not open	IE_INT_DNO_BMS
Loss of battery electricity (DC)	IE_INT_LOSSDC_BMS
Overvoltage	IE_INT_OVERVLT_BMS
Loss of electrical connection (DC)	IE_INT_LOSSDC_BMS

IE	
Mechanical damage	IE_INT_MEDAM_BMS
Leakage	IE_INT_LEAK_BMS
Internal fire	IE_INT_FIRE_BMS
Heating	IE_INT_HEAT_BMS
External IE	
Flood	IE_EXT_FLOOD_BMS
Earthquake	IE_EXT_ERTQUAKE_BMS
Animals(mainly cables, module junction box, ventilation holes)	IE_EXT_ANIMAL_BMS
Lightning	IE_EXT_LIGHTN_BMS
Sabotage(terrorism)	IE_EXT_SABOTG_BMS
Adversary action(vandalism)	IE_EXT_ADVACT_BMS
Explosion	IE_EXT_EXPLSN_BMS
External fire	IE_EXT_FIRE_BMS
Mechanical shock(including module cleaning actions, ground-works affecting cables, structural damages to all electric components)	IE_EXT_MECHSHCK_BMS
High humidity	IE_EXT_HUMID_BMS
Human error	IE_EXT_HUMAN_BMS

Table 6. List of end states (ES) for BMS

ES		
Production-oriented ES		
Normal operation	P_NO_BMS	Complete success
No power	P_NP_F_BMS	Failure
Loss of performance/efficiency	P_LPE_BMS	Failure
Safety-oriented ES		
No power	S_NP_S_BMS	System safely shut-down, success
Unsafe operation	S_UNSAFE_BMS	Failure
Overheating	S_OH_BMS	Failure
Overcurrent	S_OC_BMS	Failure
Open	S_OPEN_BMS	Failure
Fire	S_FIR_BMS	Failure
Arcs	S_ARC_BMS	Failure
Explosion	S_EXP_BMS	Failure
Structural damages	S_SD_BMS	Failure
Reverse current flow	S_RCF_BMS	Failure
Corrosion	S_COR_BMS	Failure
Electric safety issues	S_ESI_BMS	Failure

3.4 PCS 분석

PCS는 BNL에서 제시한 기준을 바탕으로 하였다. 초기사상은 내부 초기사상 18개, 외부 12개로 총 30개 구성되어 있으며, 결과상황들은 전력 생산부분 4개, 안전부분 13개로 총 17개로 구성하였다. Table 7은 초기사상, Table 8은 결과상황들을 나타내었다.

Table 7. List of initiating events(IE) for PCS

IE	
Internal IE	
Short	IE_INT_SHORT_PCS
Open	IE_INT_OPEN_PCS
Parameter change Breaker	IE_INT_PCB_PCS

IE	
Open without stimuli	IE_INT_OWS_PCS
Does not open	IE_INT_DNO_PCS
Fails to transfer	IE_INT_FTT_PCS
Degraded output	IE_INT_DO_PCS
Function Failure	IE_INT_FF_PCS
Out of specification	IE_INT_OS_PCS
Intermittent	IE_INT_INTER_PCS
Drift	IE_INT_DRIFT_PCS
Loss of grid electricity (AC)	IE_INT_LOSSGRD_PCS
Grid electricity transient fluctuations (voltage and frequency)	IE_INT_GRDFLCT_PCS
Overvoltage	IE_INT_OVERVLT_PCS
Loss of electrical connection (AC)	IE_INT_LOSSAC_PCS
Mechanical damage	IE_INT_MEDAM_PCS
Internal fire	IE_INT_FIRE_PCS
Heating	IE_INT_HEAT_PCS
External IE	
Flood	IE_EXT_FLOOD_PCS
Earthquake	IE_EXT_ERTQUAKE_PCS
Animals(mainly cables, module junction box, ventilation holes)	IE_EXT_ANIMAL_PCS
Lightning	IE_EXT_LIGHTN_PCS
Sabotage(terrorism)	IE_EXT_SABOTG_PCS
Adversary action(vandalism)	IE_EXT_ADVACT_PCS
Explosion	IE_EXT_EXPLSN_PCS
External fire	IE_EXT_FIRE_PCS
Mechanical shock(including module cleaning actions, ground-works affecting cables, structural damages to all electric components)	IE_EXT_MECHSHCK_PCS
High humidity	IE_EXT_HUMID_PCS
Human error	IE_EXT_HUMAN_PCS
Operator failure	IE_EXT_OF_PCS

Table 8. List of end states (ES) for PCS

ES		
Production-oriented ES		
Normal operation	P_NO_PCS	Complete success
No power	P_NP_F_PCS	Failure
Reduced power to grid	P_RP_PCS	Partial failure
Loss of performance/efficiency	P_LPE_PCS	Failure
Safety-oriented ES		
No power	S_NP_S_PCS	System safely shut-down, success
Unsafe operation	S_UNSAFE_PCS	Failure
Overheating	S_OH_PCS	Failure
Overcurrent	S_OC_PCS	Failure
Leakage fire	S_LF_PCS	Failure
Open	S_OPEN_PCS	Failure
Fire	S_FIR_PCS	Failure
Arcs	S_ARC_PCS	Failure
Explosion	S_EXP_PCS	Failure
Structural damages	S_SD_PCS	Failure
Reverse current flow	S_RCF_PCS	Failure
Corrosion	S_COR_PCS	Failure
Electric safety issues	S_ESI_PCS	Failure

3.5 EMS 분석

EMS는 전문가활용 및 미국의 NPRD¹⁰⁾에서 제시한 기준을 바탕으로 하였다. 초기사상은 내부 초기사상 17개, 외부 11개로 총 28개 구성하였다 결과상황들은 15개로 구성하였다. Table 9는 초기사상, Table 10은 결과상황들을 나타내었다.

Table 9. List of initiating events(IE) for EMS

IE	
Internal IE	
Degradation of Processor	IE_INT_DP_EMS
Loss of Processor	IE_INT_LP_EMS
Loss of data	IE_INT_LD_EMS
Loss of SRAM	IE_INT_LS_EMS
No signals	IE_INT_NS_EMS
Degradation of graphcard	IE_INT_DG_EMS
Loss of graphcard	IE_INT_LG_EMS
Input high and low signals	IE_INT_IHLS_EMS
Degradation of DRAM controller	IE_INT_DDC_EMS
Loss of DRAM controller	IE_INT_LDC_EMS
Loss of DRAM	IE_INT_LOD_EMS
Loss of RAID controller	IE_INT_RC_EMS
Fails to transfer data	IE_INT_FTD_EMS
Loss of Hardest	IE_INT_LH_EMS
Leakage	IE_INT_LEAK_EMS
Internal fire	IE_INT_FIRE_EMS
Heating	IE_INT_HEAT_EMS
External IE	
Flood	IE_EXT_FLOOD_EMS
Earthquake	IE_EXT_ERTQUAKE_EMS
Animals(mainly cables, module junction box, ventilation holes)	IE_EXT_ANIMAL_EMS
Lightning	IE_EXT_LIGHTN_EMS
Sabotage(terrorism)	IE_EXT_SABOTG_EMS
Adversary action(vandalism)	IE_EXT_ADVACT_EMS
Explosion	IE_EXT_EXPLSN_EMS
External fire	IE_EXT_FIRE_EMS
Mechanical shock(including module cleaning actions, ground-works affecting cables, structural damages to all electric components)	IE_EXT_MECHSHCK_EMS
High humidity	IE_EXT_HUMID_EMS
Human error	IE_EXT_HUMAN_EMS

Table 10. List of end states (ES) for EMS

ES		
No power	S_NP_S_EMS	System safely shut-down, success
No power	S_NP_F_EMS	Failure
Function failure	S_FF_F_EMS	Failure
Not saved(data)	S_NS_F_EMS	Failure
Leakage fire	S_LF_EMS	Failure
Unsafe operation	S_UNSAFE_EMS	Failure
Overheating	S_OH_EMS	Failure
Overcurrent	S_OC_EMS	Failure
Open	S_OPEN_EMS	Failure
Fire	S_FIR_EMS	Failure

ES		
Arcs	S_ARC_EMS	Failure
Explosion	S_EXP_EMS	Failure
Structural damages	S_SD_EMS	Failure
Corrosion	S_COR_EMS	Failure
Electric safety issues	S_ESI_EMS	Failure

3.6 Cable 분석

Cable은 BNL에서 제시한 기준을 바탕으로 하였다. 초기사상은 내부 초기사상 10개, 외부 9개로 총 19개 구성하였다 결과상황들은 11개로 구성하였다. Table 11은 초기사상, Table 12는 결과상황들을 나타내었다.

Table 11. List of initiating events(IE) for Cable

IE	
Internal IE	
Short	IE_INT_SHORT_CAB
Open	IE_INT_OPEN_CAB
Excessive wear	IE_INT_EW_CAB
Improper output	IE_INT_IO_CAB
Broken	IE_INT_BRO_CAB
Intermittent	IE_INT_INTER_CAB
Loose	IE_INT_LOO_CAB
Mechanical damage	IE_INT_MEDAM_CAB
Leakage	IE_INT_LEAK_CAB
Heating	IE_INT_HEAT_CAB
External IE	
Flood	IE_EXT_FLOOD_CAB
Earthquake	IE_EXT_ERTQUAKE_CAB
Animals(mainly cables, module junction box, ventilation holes)	IE_EXT_ANIMAL_CAB
Lightning	IE_EXT_LIGHTN_CAB
Explosion	IE_EXT_EXPLSN_CAB
External fire	IE_EXT_FIRE_CAB
Mechanical shock(including module cleaning actions, ground-works affecting cables, structural damages to all electric components)	IE_EXT_MECHSHCK_CAB
High humidity	IE_EXT_HUMID_CAB
Human error	IE_EXT_HUMAN_CAB

Table 12. List of end states (ES) for Cable

ES		
No power	S_NP_S_CAB	System safely shut-down, success
No power	S_NP_F_CAB	Failure
Unsafe operation	S_UNSAFE_CAB	Failure
Overheating	S_OH_CAB	Failure
Open	S_OPEN_CAB	Failure
Fire	S_FIR_CAB	Failure
Arcs	S_ARC_CAB	Failure
Explosion	S_EXP_CAB	Failure
Structural damages	S_SD_CAB	Failure
Corrosion	S_COR_CAB	Failure
Electric safety issues	S_ESI_CAB	Failure

4. ETA 분석

전체시스템, Li-ion battery, BMS, PCS, EMS 및 Cable로 총 6개의 ETA를 실시하였다.

Fig 2는 전체시스템에 대한 평가로 ESS의 목적이 안정

적인 전기공급이기 때문에 IE는 Loss of grid electricity로 하였다. 고장영향에 대해서는 Inverter control, disconnect, breaker, operator intervention으로 하였고 각각의 사건에 대하여 성공과 실패 여부에 따른 ES를 결정하였다.

Fig. 3은 Battery는 축방전이 완전해야 하며 내·외부

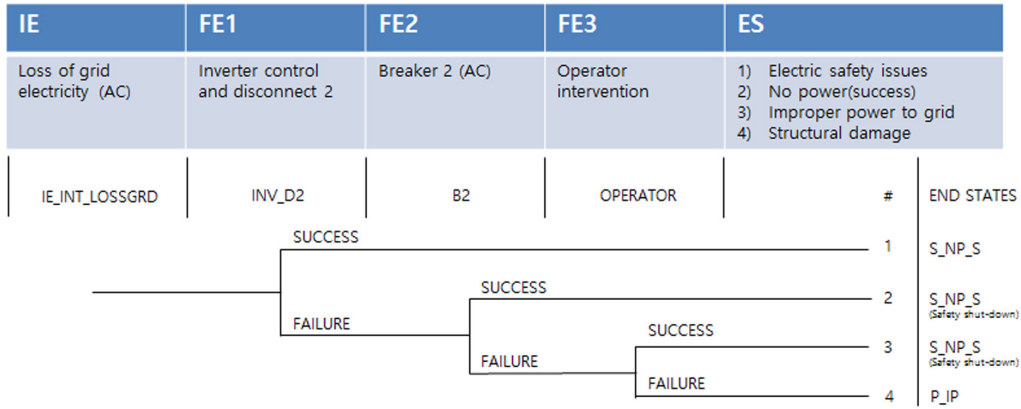


Fig. 2. Loss of grid electricity of ESS.

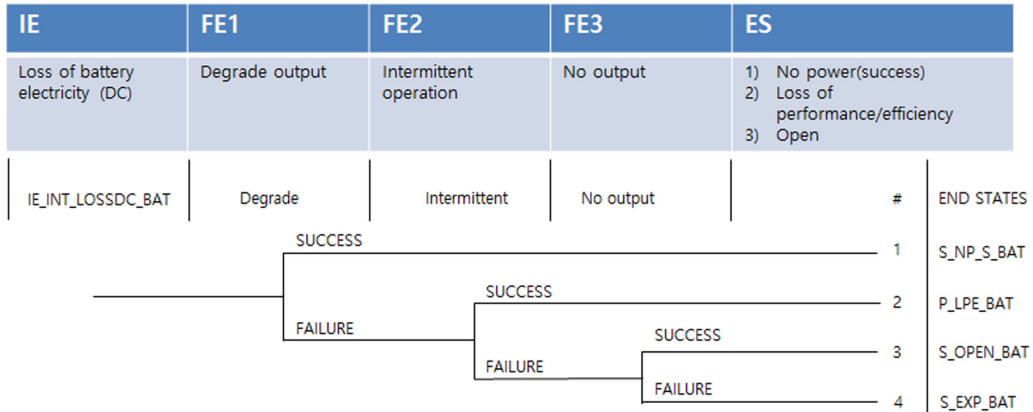


Fig. 3. Loss of battery electricity(DC) of battery.

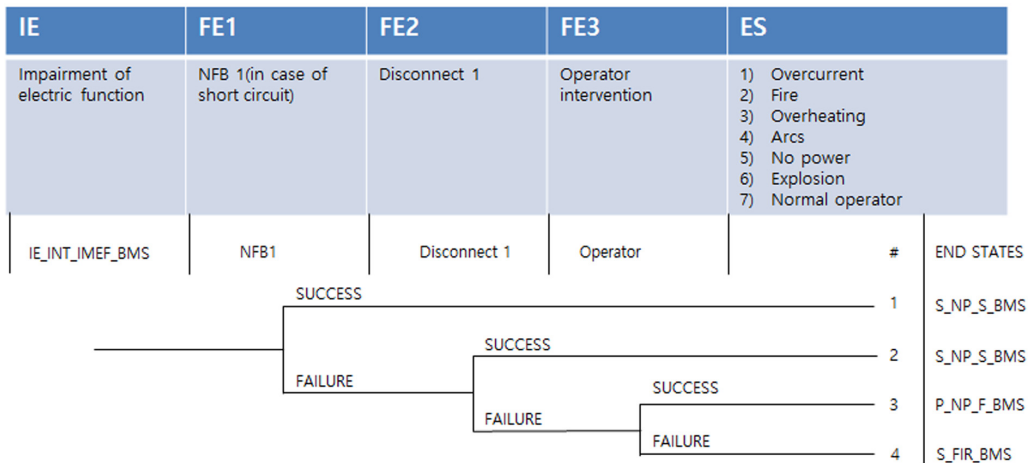


Fig. 4. Impairment of electric function of BMS.

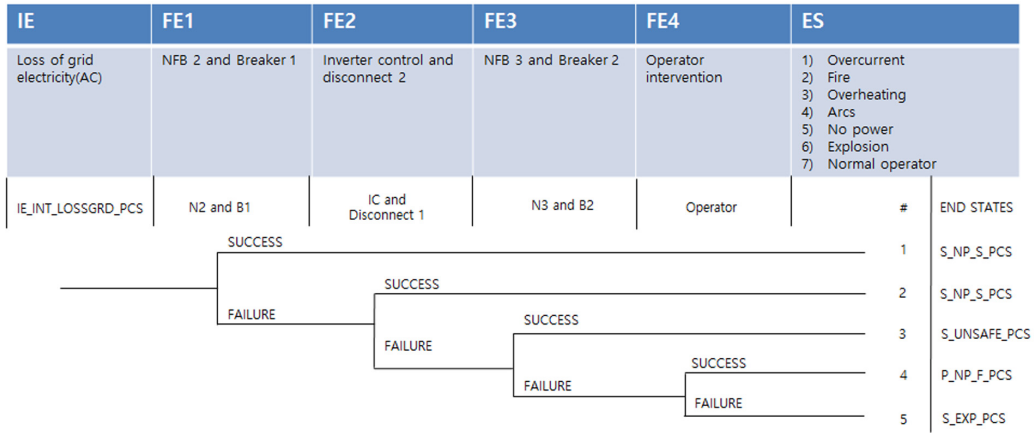


Fig. 5. Loss of grid electricity(AC) of PCS.

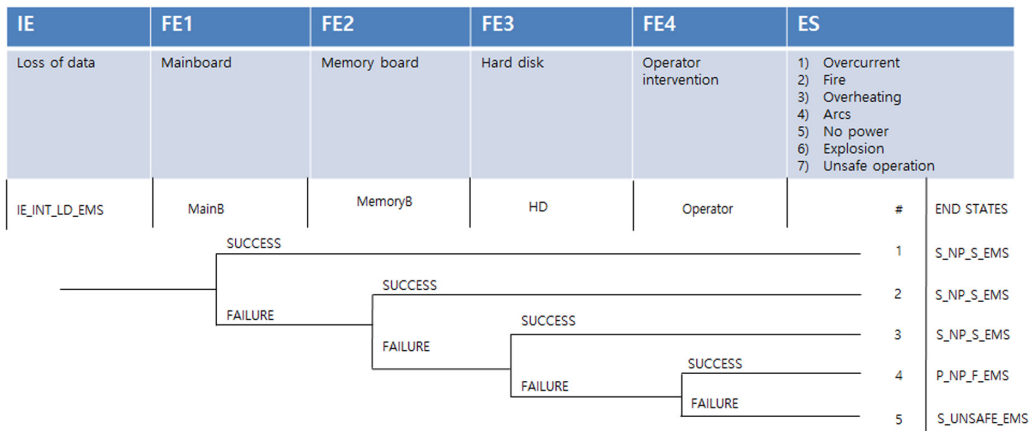


Fig. 6. Loss of data of EMS.

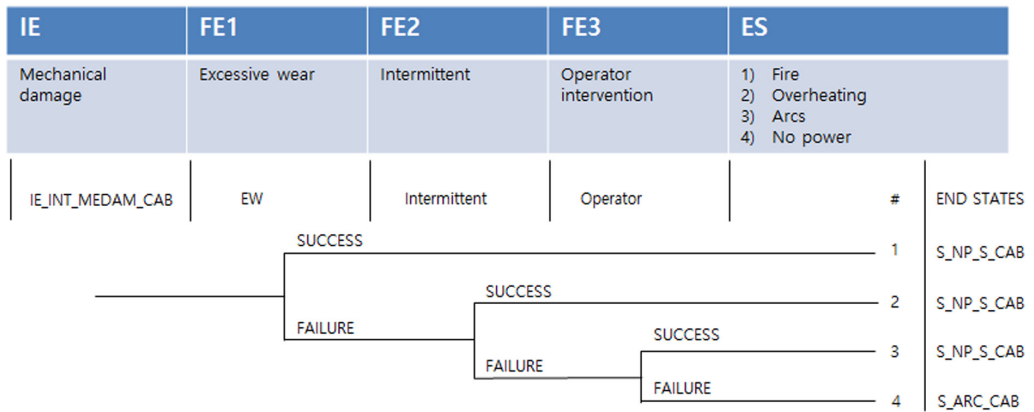


Fig. 7. Mechanical damage of cable.

적인 영향으로 인하여 축전이 잘 되지 않을 경우가 발생한다. 이로 인하여 안정적 전기 공급에 문제를 일으킨다. 따라서 IE는 Loss of battery electricity(DC)로 하였다. 고장영향에 대해서는 Degrade output, Intermittent operation, No output으로 하였고 각각의 사건에 대하여 성공과 실패 여부에 따른 ES를 결정하였다. Fig. 4는

BMS의 주요기능인 통신부분의 고장을 바탕으로 IE에 대하여 전기적 기능장애(Impairment of electric function)를 기반으로 하였다. 전기적기능장애가 발생하였을 때 NFB/Disconnect, Operator intervention 등의 Failure Events에 대하여 발생 가능한 화재, 아크 및 폭발 등의 ES를 결정하였다.

Fig. 5는 PCS는 ESS에서 가장 중요한 역할을 하고 있다. DC 전원에 대하여 AC로 변환하며 필터를 통하여 Grid에 안전한 전원을 공급하고 이러한 PCS는 DC 부분과 AC 부분으로 구분할 수 있다. IE는 Loss of grid electricity로 하였다. 고장영향에 대해서는 DC 부분은 FE1의 성공과 실패여부, AC 부분은 FE2와 FE3에서의 성공과 실패 여부를 결정하였다. 최종 ES의 경우는 No power, Unsafe operation, Fire, Explosion 상태 등으로 하였다.

Fig. 6은 EMS는 ESS의 상태를 모니터링 하는 것이 주목적이며, 또한 시간별 데이터를 저장 보존하는 것 또한 중요한 임무이다. IE는 Loss of data로 하였다. 고장영향에 대해서는 FE1, FE2, FE3과 FE4로 하여 성공과 실패여부를 결정하였다. 최종 ES의 경우는 No power, Unsafe operation, Fire 등으로 하였다.

Fig. 7은 Cable은 장치의 연결뿐만 아니라 전원공급, 설비안전(접지선)을 맡고 있다. Cable에 대하여 다양한 고장모드가 있지만 본 연구에서의 IE는 Mechanical damage로 하였다. 고장영향에 대해서는 FE1, FE2와 FE3로 하여 성공과 실패여부를 결정하였다. 최종 ES의 경우는 No power, Arcs 등으로 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 ESS에 대하여 전체시스템, Battery, BMS, PCS, EMS 및 Cable로 6개 항목으로 분류하였고, 성능적, 인적, 환경적, 관리적, 안전을 바탕으로 한 초기사상과 결과상황들을 도출하였고, 6개 항목에 대한 주요고장에 대한 ETA기법을 적용하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 전체시스템(IE 19개, ES 17개), Battery(IE 23개, ES 15개), BMS(IE 30개, ES 15개), PCS(IE 30개, ES 17개), EMS(IE 28개, ES 15개), Cable(IE 19개, ES 11개)에 대하여 각각에 대하여 초기사상과 결과상황들을 제시하였다.

2) 6개 항목의 주요고장에 대하여 각각의 ETA를 실시하였고, 하나의 초기사상에서 발생가능한 결과상황들을 제시하였다. 또한 본 연구에서 제시한 발생가능한 초기사상을 바탕으로 다양한 결과상황들을 유도할 수 있다.

3) 추후에 ESS에서 발생한 사례를 바탕으로 본 연구에서 제시한 초기사상과 결과상황들을 분석하여 동종 재해 방지 및 ESS의 안정적 운영이 가능할 것으로 본다.

감사의 글 : 이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2014년 선정 기초연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. (과제번호 : R14XA02-25)

References

- 1) Korea, Electric Power Corporation, "KEPCO, Challenge of Power Industry Paradigm using Energy Storage System", 2013.
- 2) Electric World, KEPRI of KEPCO, "Development and Demonstration Status of Energy Storage System", Vol.63, No.10, pp.26-29, 2014.
- 3) Electric Energy Storage System Technology Trends 2012, Korean Smart Grid Association, p.29-39, 2012.09.
- 4) Current state of ESS, Korea Development Bank, pp.84-89, 2014.
- 5) A Guide Book for Reliability Prediction, MOASOFT pp.12-34, 2002.
- 6) H. -K. Lim, System Safety Engineering, Hansol Academy, pp.133-137, 2012.
- 7) A. Colli, An FMEA Analysis for Photovoltaic Systems : Assessing Different System Configurations to Support Reliability Studies - Introduction to PRA Analysis for PV Systems.In : Proceedings of Society for Risk Analysis Annual Meeting, San Francisco, CA, 2012.
- 8) Brookhaven National Laboratory, Information-based Reliability Weighting for Failure Mode Prioritization in Photovoltaic (PV) Module Design, 2014.
- 9) NEW SCIENCE SUSTAINABLE ENERGY, UL-1973, Lithium-ion batteries, 2013.
- 10) Reliability Analysis Center, Non-electronic Parts Reliability Data, 2011.