

계통연계형 에너지저장시스템의 위험우선순위 분석

김두현·김성철*·박전수*·김은진**·김의식***

충북대학교 안전공학과 · *근로복지공단 · **국가연구안전관리본부 · ***대한산업안전협회
(2016. 1. 12. 접수 / 2016. 3. 18. 수정 / 2016. 4. 18. 채택)

Analysis of Risk Priority Number for Grid-connected Energy Storage System

Doo-Hyun Kim · Sung-Chul Kim[†] · Jeon-Su Park^{*} · Eun-Jin Kim^{**} · Eui-Sik Kim^{***}

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

^{*}Korea Workers' Compensation & Welfare Service

^{**}National Research Safety Headquarters

^{***}Korea Industrial Safety Association

(Received January 12, 2016 / Revised March 18, 2016 / Accepted April 18, 2016)

Abstract : The purpose of this paper is to deduct components that are in the group of highest risk(top 10%). the group is conducted for classification into groups by values according to risk priority through risk priority number(RPN) of FMEA(Failure modes and effects analysis) sheet. Top 10% of failure mode among total potential failure modes(72 failure modes) of ESS included 5 BMS(battery included) failure modes, 1 invert failure mode, and 1 cable connectors failure mode in which BMS was highest. This is because ESS is connected to module, try, and lack in the battery part as an assembly of electronic information communication and is managed. BMS is mainly composed of the battery module and communication module. There is a junction box and numerous connectors that connect these two in which failure occurs most in the connector part and module itself. Finally, this paper proposes RPN by each step from the starting step of ESS design to installation and operation. Blackouts and electrical disasters can be prevented beforehand by managing and removing the deducted risk factors in prior.

Key Words : risk priority number, energy storage system, FMEA, potential failure modes, BMS

1. 서론

에너지저장시스템(Energy Storage System; ESS)은 생산된 전력을 저장하였다가 전력이 가장 필요한 시기에 공급함으로써 에너지 효율을 높이는 시스템이다. 에너지저장시스템은 전기를 모아두는 배터리와 배터리를 효율적으로 관리해 주는 관련 장치로 구성되며, 사용되는 저장장치(리튬이온전지, 납축전지, NaS전지, 플라이휠 등)로 구분할 수 있다. 국내 ESS 산업은 현재 실증단계로서, 보급화 직전의 단계에 직면하고 있다. 대부분의 연구는 에너지저장시스템의 설치와 효율에 대한 연구가 집중적으로 이뤄지고 있다¹⁻³⁾. 이와 동반하여 ESS의 신뢰성, 안전성을 확보하는 기술도 중요하나 에너지저장시스템의 위험요소에 대해서 공학적인 위

험성 평가기법을 보유하고 있는 국내의 기관, 기업 또는 연구소는 아직 없는 실정이다. 이에 따라 정부에서 ESS의 안전성 및 신뢰성 확보를 위한 시험·평가인증기반을 구축하고자 한다. 이런 국가적 요구에 맞추어, ESS에 존재하는 잠재적인 위험요소를 파악하여 이를 제어할 수 있는 공학적 기법이 요구된다. ESS는 고장이나 사고가 발생할 때까지 방치 운영하고 있으며, 사고가 발생한 경우에도 원인, 피해정도 및 보수 시 재해 가능성에 대한 분석절차도 거치지 않고 사고처리가 종료되며 정상운용에 들어간다. 따라서 ESS의 부품에 대한 기능적 고장과 고장으로 인하여 발생하는 부분 및 전체 시스템에 대한 영향을 분석할 필요가 있고 이에 따라 고장 발생빈도가 높은 부품을 발견하고 이를 구체적으로 관리하면 ESS를 안정적으로 운영할 수 있다.

[†] 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

따라서 본 연구에서는 ESS의 하부시스템(sub-system)을 Battery, BMS, PCS, EMS, Cable로 하고 각각에 대하여 구성부품을 구성하여 고장모드영향분석(Failure Modes and Effects Analysis; FMEA)을 실시한 후에 위험우선순위지수(Risk Priority Number; RPN) 분석을 통하여 위험순위에 따른 수치별 그룹(Group)으로 분류하고, 가장 위험성이 높은 그룹에 속하는 부품을 도출하여 해당부품에 대한 유지 관리를 통해 ESS를 안정적으로 운영하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 FMEA 기법

FMEA는 단일 고장 모드를 규명하고, 그 고장 모드가 다음 상위수준의 시스템에 미치는 영향을 평가하는 분석과정을 반복하여, 결과적으로 전체 시스템에 미치는 단일고장의 영향을 파악하는 기법이다. 즉, 좀 더 구체적으로 말하면 “만약 ...게 된다면 어떻게 될까 (What if)?”라는 질문을 염두에 두어 하나의 재료, 부품, 장비 등이 고장 났을 경우, 그것이 전체 시스템이나 시스템 운용자, 혹은 시스템 사명완수에 어떠한 영향을 미치는가, 생각의 범위를 넓혀가면서 분석하는 것이다. FMEA의 분석결과는 제품의 운용수명을 증가시키기 위하여 부품과 설계의 어느 부분이 개선되어야 하는가, 그리고 얼마나 자주 점검과 수리 등 지원활동이 이루어져야 하는가를 결정하는 데 아주 긴요하게 활용된다^{4,5)}. Fig. 1은 FMEA 실행 순서도를 나타내었다.

2.2 위험우선순위지수

고장모드는 기기나 부품의 고유특성의 변화나 기기에 가해지는 스트레스 등의 원인에 의해 발생한다. 그

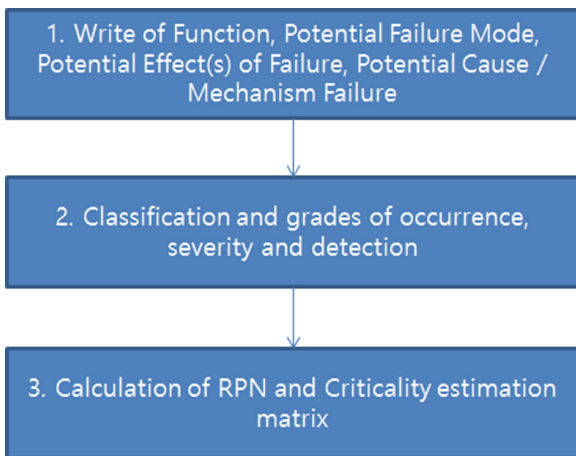


Fig. 1. FMEA procedure.

리고 고장발생원인은 각각의 메커니즘이 있으며 이 메커니즘을 검토함으로써 고장의 발생을 방지할 수 있다. 고장모드와 고장발생원인 데이터들은 각각의 구성부품을 제조한 메이커들이 자산으로 관리하고 있다. 이런 데이터들은 메이커들의 기술노하우로 인하여 주요 고장을 및 수리에 관한 자료수집은 불가능하다. 따라서 신재생과 관련하여 미국의 “SEMATECH”에서 제시한 위험우선순위를 토대로 심각도, 발생도, 검출도의 등급을 제시하였다⁶⁾. RPN은 식 (1)과 같은 심각도, 발생도, 검출도를 모두 동일한 중요성을 두고 평가한다.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (1)$$

Table 2~4는 심각도, 발생도 및 검출도에 대한 각각의 기준을 나타냈다. 각각의 기준은 1-5 단계로 제시하였다⁶⁾. 따라서 RPN 값은 1과 125 사이로 정했으며 숫자가 크면 관리를 우선적으로 실행해야 한다는 의미를 포함하고 있다.

1) 심각도 순위 기준(Severity Ranking Criteria)

심각도는 고장 및 실패의 심각성 및 영향을 나타내는 평가척도로 현재 ESS에서의 심각도 등급은 Table 1과 같이 ESS가 가동 중 고장이 발생할 경우, ESS는 자체 및 그리드(Grid)의 안전과 운영을 요구하고 있기 때문에 본 연구에서는 유지보수자가 쉽게 판단할 수 있도록 분류기준을 5등급으로 나누어 분류하였다.

2) 발생도 순위 기준(Occurrence Ranking Criteria)

발생도는 잠재된 위험의 발생가능성이 얼마나 높은지를 평가하는 척도이다. 시스템에서 기대수명동안에 발생 가능한 고장으로 단위시간당 잠재발생률로 표현하였다. FMEA에 대한 권장발생 순위기준은 Table 2에 제시하였다.

Table 1. Severity Ranking Criteria of ESS⁶⁾

Rank	Description
1	Failure is of such minor nature that the customer (internal or external) will probably not detect the failure.
2	Failure will result in slight customer annoyance and/or slight deterioration of part or system performance.
3	Failure will result in customer dissatisfaction and annoyance and/or deterioration of part or system performance.
4	Failure will result in high degree of customer dissatisfaction and cause non-functionality of system.
5	Failure will result in major customer dissatisfaction and cause nonsystem operation or non-compliance with government regulations.

Table 2. Occurrence ranking criteria⁶⁾

Rank	Description
1	An unlikely probability of occurrence during the item operating time interval. Unlikely is defined as a single failure mode (FM) probability < 0.001 of the overall probability of failure during the item operating time interval.
2	A remote probability of occurrence during the item operating time interval (i.e. once every two months). Remote is defined as a single FM probability > 0.001 but < 0.01 of the overall probability of failure during the item operating time interval.
3	An occasional probability of occurrence during the item operating time interval (i.e. once a month). Occasional is defined as a single FM probability > 0.01 but < 0.10 of the overall probability of failure during the item operating time interval.
4	A moderate probability of occurrence during the item operating time interval (i.e. once every two weeks). Probable is defined as a single FM probability > 0.10 but < 0.20 of the overall probability of failure during the item operating time interval.
5	A high probability of occurrence during the item operating time interval (i.e. once a week). High probability is defined as a single FM probability > 0.20 of the overall probability of failure during the item operating interval.

NOTE: Quantitative data should be used if it is available.
 For Example:
 0.001 = 1 failure in 1,000 hours
 0.01 = 1 failure in 100 hours
 0.10 = 1 failure in 10 hours

3) 검출도 순위 기준(Detection Ranking Criteria)

검출도는 사용자가 사고발생하기 전에 이를 미리 감지할 수 있는지에 대한 평가척도이다. 검출도는 사고의 잠재적 원인, 매커니즘, 시스템을 운용하기 전에 발견하기 위한 현 안전관리 능력이나 운용 후 사고형태를 발견하기 위해서 제안되는 현 안전관리의 능력을 평가하는 것이다. 감지순위 기준은 시스템의 설치장소에서 감지확률을 평가기준으로 제시하였다. 예를 들어, “1”은 감지될 확률이 매우 높음을 나타내고 “5”는 감지될 확률이 매우 낮거나 확률이 제로인 경우를 나타내었으며 Table 3에 감지순위 기준을 나타냈다.

Table 3. Detection ranking criteria⁶⁾

Rank	Description
1	Very high probability that the defect will be detected. Verification and/or controls will almost certainly detect the existence of a deficiency or defect.
2	High probability that the defect will be detected. Verification and/or controls have a good chance of detecting the existence of a deficiency or defect.
3	Moderate probability that the defect will be detected. Verification and/or controls are likely to detect the existence of a deficiency or defect.
4	Low probability that the defect will be detected. Verification and/or controls not likely to detect the existence of a deficiency or defect.
5	Very low (or zero) probability that the defect will be detected. Verification and/or controls will not or cannot detect the existence of a deficiency or defect.

3. ESS의 작동흐름도 및 구성부품분류

위험성 평가를 위하여 평가용 ESS의 작동 흐름도를 필요로 한다. 본 연구에서는 국내에서 유일하게 ESS에 대한 실증이 완료된 조천 변전소를 타겟으로 선정하였다. 조천 변전소의 경우, ESS의 1SET은 1MWh 배터리 2개(병렬, 2시간), 1MW 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. 이에 본 연구의 ESS의 1SET은 1MWh 배터리 1개, 1MW ES PCS Panel 1개, EMS 1개(PMS는 이하 EMS로 통일함)로 구성하였다. Fig. 2는 위험성 평가를 수행하기 위해 구성품과 서브 구성품으로 구별하여 ESS를 설계하였고 ESS를 3블록으로 구성하였다. 구성된 3블록은 BMS(Battery 포함), PCS, EMS로 나타내었다. 실

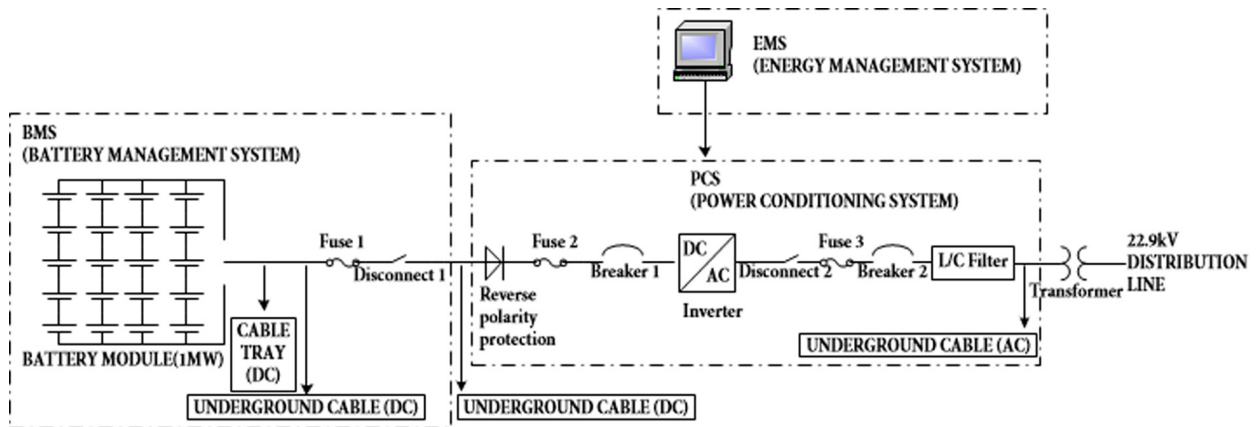


Fig. 2. The simplified ESS diagram showing the components and sub-components considered in the analysis.

Table 4. Component and sub-components of the ESS

Component	Sub-component	Failure rate
		10 ⁶ hr
BATTERY	Li-ion Battery	2.24
BMS	Battery module	1.35
	Rack structure	24.40
	Junction box	0.67
	Connectors	0.45
	Communication(RS-485/RS-232)	4.24
	Fuse	0.22
	Disconnect	0.69
PCS	Reverse polarity diode	0.23
	Fuse	0.22
	Breaker	0.40
	Invert	175.00
	Disconnect	0.69
	Filter(L)	4.28
	Filter(C)	2.14
	Communication(RS-485/RS-232)	4.28
	EMS	Mainboard
Memoryboard		1.35
Hard disk		7.73
Cable	Aerial cables	1.05
	Underground cables	0.70
	Cable connectors	6.21

제 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.

Fig. 2와 같이 전체적인 흐름도를 살펴보면 BMS는 배터리의 충방전, 과전압, 과전류, 온도를 관리하여 배터리의 상태와 안전을 확보하는 시스템이다. BMS에서 과전류 등의 문제가 발생되면 Fuse 1에서 이를 차단하여 PCS의 전파를 차단한다. 또한 Disconnect 1을 통하여 수리 및 보수를 위한 장치로 활용한다. PCS는 ESS에서 가장 중요한 시스템으로 사람으로 따지면 심장과 같은 역할을 한다. 특히 인버터의 경우 양방향으로 DC/AC 변환, AC/DC 변환을 통하여 충전 및 그리드에 전원을 공급하는 역할을 한다. 따라서 BMS에서 발생된 문제에 대해서는 Fuse 2가 선 방어를 하며, 또한 추가안전장치로 Breaker 1이 PCS의 안전을 지킨다. Disconnect 2의 경우는

PCS의 유지 및 보수를 위하여 설치되어 있고, Fuse 2와 Breaker 2는 그리드(Grid)의 안전을 지키기 위한 장치로 설치된다. 또한 L/C 필터를 통하여 최종적으로 그리드에 전달된다. EMS는 ESS의 모든 상태를 모니터링하며 정보하는 시스템으로 작동된다.

Table 4는 ESS의 5개 주요 부품을 바탕으로 부품별 고장률을 분석하였다. 본 데이터는 참고문헌 [8]과 미국의 NPRD(Non-electronic Parts Reliability Data) 2011⁹⁾을 근거로 고장률 및 고장모드를 작성하였다.

4. 위험우선순위지수 분석

ESS의 부품별 잠재적 고장모드 분석을 기초로 잠재적 원인 및 효과를 분석하였으며, 하위 구성요소에 대한 RPN의 분석결과를 Table 5에 나타냈다. 고장의 잠재적 원인은 전문가들의 의견과 미국의 BNL에서 제시된 데이터 및 신재생에너지에서 분석한 자료를 바탕으로 하였다. 잠재적 효과는 첫째 불안정한 전력 공급(출력 에너지), 둘째 기계적 손상, 셋째는 안전사고를 바탕으로 하였다. 본 연구에서는 각 부품에 대한 RPN값으로 위험의 우선순위를 결정하였다. 고장모드별 위험 수준이 허용불가 수준의 경우 RPN값이 최대 125까지 책정될 수 있으나 본 연구에서 ESS의 고장모드별 위험 수준을 분석한 결과 RPN값이 최고 48로 도출되어 48이 포함된 등급까지만 본 논문에서 언급하였으며, 그 이상의 등급인 중대한 위험과 허용불가 위험에 대해서는 무시하였다. RPN값을 Fig. 3과 같이 총 3개의 그룹으로 나누어 평가를 하였다. RPN값이 40 이상인 고장모드를 상당한 위험으로 평가되는 “Group A”, RPN값이 15~39인 고장모드를 경미한 위험으로 평가되는 “Group B”, 그리고 RPN값이 1~14 사이의 무시할 수 있는 위험으로 평가된 고장모드를 “Group C”로 분류하였다. Table 5에서 ESS의 가장 주의를 요하는 고장모드는 RPN 48로 커넥터와 인버터로 확인됐다. 우선 커넥터 부분은 배터리의 모듈을 연결하고 모듈마다의 다양한 통신 포트들이 연결되어 있다. 커넥터에서의 부적합한 출력(Improper output)이 발생하면 설치불안정, 단자대의 느슨해짐에 의하여 화재 및 기능적 저하를 초래하게 된다. 따라서 케이블 커넥터 부분은 일상점검 및 정밀점검을 통하여 항상 주위 깊게 관찰할 필요가 있다. 다른 한 가지는 인버터의 성능저하(Degrade out)에 대한 고장모드로 ESS에 큰 영향을 줄 것으로 해석되었다. RPN 40이상에 속하는 고장모드로 배터리 내부에서의 쇼트(Short), 성능저하(Degraded out) 및 간헐적 작동(Intermittent operation)의 고장모드가 해당되

Table 5. RPN at FMEA sheet

ItemNo.	Potential failure mode	Potential causes	Potential effects	SEV	OCC	DET	RPN
100	Li-ion Battery						
101	Shorted	Cell balancing error	Loose connection	5	3	3	45
102	Degraded output	Battery capacity loss, overheated battery, explosion, blackout	Sensing error of BMS, connecting error of power rack	5	4	2	40
103	Out of specification	Cell balancing error	Reduced energy output	4	2	1	8
104	No output	Performance degradation of ESS	Connecting error of power rack	5	3	1	15
105	Cracked/Fractured	Battery capacity loss	External shock, damages	5	2	1	10
106	Intermittent operation	Battery capacity loss	Reduced energy output	4	2	5	40
200	BMS						
210	Battery Module						
211	Loss of electric function	Shorts, arcs, open contacts	No energy out put, safety, fire	5	2	3	30
212	Impairment of electric function	High series resistance, low shunt resistance, aging, shading, soiling	Reduced energy output, hot spot damage	4	2	4	32
220	Rack structure						
221	Loss of configuration	Improper installation, damages, extreme weather conditions, excessive thermal expansion/ contraction, earthquake	Front glass breakage, cell damages, frame distortion, reduced energy output, no energy output, safety	4	3	1	12
222	Brackets detachment	Strong wind, improper installation, earthquake, accidental impacts	Unstable configuration, loss of modules	3	3	2	18
230	Junction box						
231	Open contacts	Disconnections, improper installation, corrosion	No energy output	5	1	3	15
232	Short, arc in contacts	Damaged insulation, aging, animals, lightning	No energy output, safety, thermal camages, fire	5	1	2	10
233	Poor contact/intermittent	Material defects, oxidation, aging	Reduced energy output, no energy output, thermal damage	4	1	4	16
240	Connectors						
241	Open	Damage, disconnection, animals, vandalism, strong wind, pulled cables	No energy output	5	1	2	10
242	Poor contact/intermittent	Corrosion, improper installation, lightning damage	Reduced energy output, no energy output, thermal damage	5	1	4	20
243	Short	Damages, improper installation, disconnections, animals, vandalism	No energy output, safety, thermal damages, fire	4	1	5	20
250	Communication (RS-485/RS-232)						
251	Shorted	Connecting error	Sensing error of battery sensing, performance degradation of ESS	5	4	2	40
252	Function Failure	Over voltage or over current, defective installation	Sensing error of battery sensing, performance degradation of ESS	4	5	2	40
253	Opened	Loose connection, improper installation	No operation	5	3	1	15
254	Bond failure	External shock, improper installation	Sensing error of battery sensing, performance degradation of ESS	4	2	1	8
255	Microcrack	External shock, improper installation	Sensing error of battery sensing, performance degradation of ESS	5	1	3	15
256	Electrical Failure	Over voltage or over current, improper installation	Sensing error of battery sensing, performance degradation of ESS	4	2	4	32
260	Fuse						
261	Fails to open	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	Excessive increase of current in the system, overheating, safety, arcs, fire	4	1	4	16
262	Slow to open	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	Excessive increase of current in the system, overheating, safety, arcs, fire	4	1	4	16
263	Premature open	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	No energy output	5	1	2	10
270	Breaker/Disconnect						
271	Open without stimuli	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	No energy output	5	1	1	5
272	Does not open	Faulty switch, damages to structural parts, flashover/arc, improper maintenance, aging	No disconnection, safety, fire, arcs	4	1	4	16

계통연계형 에너지저장시스템의 위험우선순위 분석

ItemNo.	Potential failure mode	Potential causes	Potential effects	SEV	OCC	DET	RPN
300	PCS						
310	Reverse polarity diode						
311	short(end-to-end)	Material defects, aging, thermal stress, mechanical stress, electrical stress, contamination, processing anomaly	No protection against reverse currents	2	1	4	8
312	Open	Very high resistance, material defects	No energy output	5	1	1	5
313	Parameter change Breaker	Material defects, aging, continuous thermal stress	Activation with different variable range	3	1	5	15
314	Open without stimuli	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	No energy output	5	1	1	5
315	Does not open	Faulty switch, damages to structural parts, flashover/arc, improper maintenance, aging	No disconnection, safety, fire, arcs	4	1	4	16
320	Invert						
321	Fails to transfer	Contact damage, card/board problem, software failure (within working conditions), ventilation obstruction, extreme weather conditions, vandalism.	No energy output	5	4	1	20
322	Degraded output	MPPT unbalance, extreme weather conditions	Reduced energy output Transformer	4	4	3	48
323	Open	Extreme weather conditions (including lightning), flooding, earthquake, explosion, exposure to non-electric fire/burning, shorting, aging	No energy output	5	1	1	5
324	Short	Insulation breakdown, damages to structural parts, water/particles in oil, transient overvoltage disturbance, continuous overvoltage, shirting, lack of protective device, improper maintenance, aging	Reduced energy output, no energy output, safety, fire	5	1	1	5
325	Parameter	Failure of tap changer, damages to structural parts, improper maintenance, aging	Loss of efficiency, improper energy output	3	1	2	6
330	Filter(L)						
331	Out of specification	Defective product	Malfunction, overheat, damage	5	1	3	30
332	Intermittent	Loose connection	Damage	5	3	1	15
340	Filter(C)						
341	Shorted	Aged degradation, damage	Explosion, blackout	5	4	1	20
342	Opened	Aged degradation, damage	No operation	5	3	1	15
343	High leakage current	Aged degradation, bushing flashover	Shorted, grounding	5	2	2	20
344	Drift	Flood	Shorted, grounding	5	1	1	5
400	EMS						
410	Mainboard						
411	Degradation of Processor	Malfunction of motherboard	Performance degradation of PC	3	2	2	12
412	Loss of Processor	Malfunction of motherboard	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	1	4
413	Loss of Data	Malfunction of motherboard	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	1	4
414	Loss of SRAM	Malfunction of motherboard	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	1	4
415	No signals	Malfunction of clock generator	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	1	4
416	Degradation of graphcard	Malfunction of display	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	3	3	1	9
417	Loss of graphcard	Malfunction of display	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	1	4
418	Input high and low signals	Malfunction of clock generator	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	3	1	1	3
420	Memoryboard						
421	Degradation of DRAM controller	Malfunction of memory board	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	2	8
422	Loss of DRAM controller	Malfunction of memory board	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	1	4
423	Loss of data	Malfunction of memory board	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	1	4
424	Loss of DRAM	Malfunction of memory board	Performance degradation of PC, impossibility to control, reduced power efficiency	4	1	1	4

ItemNo.	Potential failure mode	Potential causes	Potential effects	SEV	OCC	DET	RPN
430	Hard disk						
431	Loss of RAID controller	Malfunction of memory board	Performance degradation of PC, data loss	4	2	1	8
432	Fails to transfer data	Hard disk failure	Performance degradation of PC, data loss	4	2	1	8
433	Loss of Hardiest	Hard disk failure	Performance degradation of PC, data loss	4	2	1	8
500	Cable						
510	Aerial cables						
511	Open	Faulty cabling, material aging, animals, vandalism, extreme weather conditions, earthquake	No energy output, safety	5	2	2	20
512	Short, arc	Cracks/ruptures on cables, insulation failure, aging, animals	No energy output, safety, fire	5	2	1	10
513	Excessive wear	Improper system design	Reduced energy output, thermal damages	3	2	4	24
520	Underground cables						
521	Open	Faulty cabling, material aging, animals, vandalism, extreme weather conditions, earthquake	No energy output, safety	5	1	2	10
522	Short, arc	Cracks/ruptures on cables, insulation failure, aging, animals	No energy output, safety, fire	5	1	2	10
523	Excessive wear	Improper system design	Reduced energy output, thermal damages	3	1	4	12
530	Cable connectors						
531	Improper output	Improper installation, loose connection	Limited operation	4	4	3	48
532	Shorted	Loose connection, external shock	Electric shock	5	3	2	30
533	Broken	Fatigue crack, external shock	Electrick leakage or electric shock	3	3	2	18
534	Opened	Loose connection	No operation	3	3	1	9
535	Intermittent	Loose connection	Limited operation	3	2	4	24
536	Loose	Improper installation, loose connection	No operation	3	3	4	36

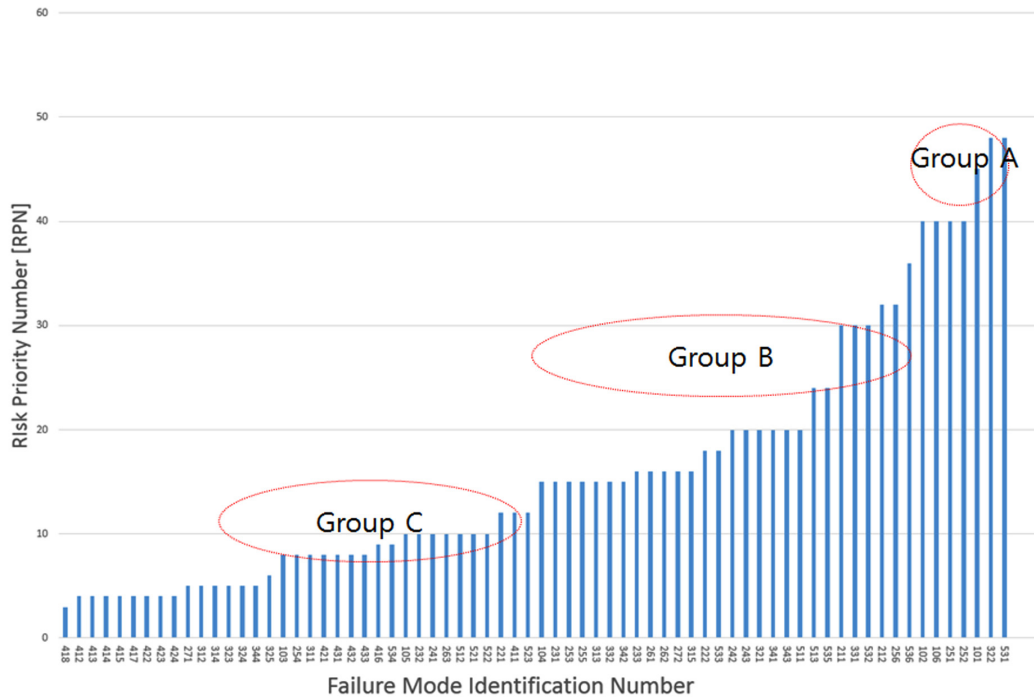


Fig. 3. Risk classification rating through RPN.

며 통신(Communication RS-485 /RS-232)부분에서는 쇼트(Short)와 기능적 이상 (Function Failure)의 고장모드가 차지하였다. Fig. 3은 파레토 커브(Pareto's curve)의 특성으로서 분류항목의 합계에 대한 비율(상대도수,

누적상대도수)을 구하거나, 분류항목을 몇 개합하여 그 전체에서 점하고 있는 비중을 발견하게 되는 등 개선을 위해 노력을 투입하여야 할 방향을 정하는 데 도움을 줄 수 있다. 일반적으로 상위 10%(Group A)의 대

책에 의해 대상 시스템의 신뢰성을 80% 이상 개선 가능한 것으로 많이 알려져 있기 때문에 상위10%에 대한 고장모드를 집중 관리해야 한다¹⁰⁾.

5. 결론

본 연구에서는 ESS의 구성부품별 구성하여 고장모드 영향분석을 실시한 후에 위험우선순위지수를 분석을 통하여 허용범위를 판정하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) ESS의 상위 10%인 “Group A”(40이상)에 속하는 위험요소는 7건(10%)이 분류되었으며, 이 중 Battery에서 3건, BMS는 2건, PCS는 1건, 케이블은 1건으로 BMS 부분에서 대부분 차지하였다.

2) 조천 ESS에서 중요한 구성부품인 Battery는 모듈로 연결되어 있는데 모듈에서의 단락, 성능저하, 간헐적 작동은 ESS의 전체의 효율 및 안전에 영향을 미침을 확인하였다. Battery에 대해서는 월 단위의 전압 및 전류에 대한 상시점검이 필요하다.

3) BMS의 경우 통신부분에서만 2건이 발생했다. 여러 개의 배터리를 통신으로 연결하고 있고, 24시간 운전으로 인하여 통신 연결 커넥터와 반도체 부품에서 위험우선순위지수가 높게 나타났다. 이중에서도 쇼트(Short), 기능적 이상(Function failure) 및 부적합한 출력이 주요 고장 모드였다. 통신 커넥터는 현재 사용하고 있는 커넥터보다 접속력이 좋은 커넥터를 사용하고 RS-485를 통하여 통신선의 수를 줄이는 것이 바람직하다.

4) Invert는 성능저하에서 높은 위험우선순위지수가 나타났다. 이런 성능저하의 예방은 효율이 떨어지거나 Invert의 부품에서 부분적으로 열의 축적 여부 및 L-C 필터의 이상 유무를 상시 확인하고 관리하면 가능하다.

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

References

- 1) Electric Energy Storage System Technology Trends 2012, Korean Smart Grid Association , pp.29-39, 2012.
- 2) Current state of ESS, Korea Development Bank, pp.84-89, 2014.07.
- 3) A Guide Book for Reliability Prediction, MOASOFT pp.12-349, 2002.08.16.
- 4) IEC-60812 : Analysis techniques for system reliability- Procedure for failure mode and effects analysis(FMEA), IEC, 2001.
- 5) H. -K. Lim, System Safety Engineering, Hansol academy, pp.93, 2012.
- 6) INTERNATIONAL SEMATECH, Failure Mode and Effects Analysis(FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry, 1992.
- 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) Reliability Analysis Center, Non-electronic Parts Reliability Data, 2011.
- 10) KOSHA, “A Study on Development of Evaluation Model for Reliability and Safety of Temporary Electric Power Installations” pp.31-32, 2003.