

An Analysis of the Failure Modes Impacts in Grid-connected Photovoltaic Power Generation System below 20KW

Yoon Bok Kim^{1#}, Doo Hyun Kim²⁺

¹ Department of Electrical Energy Cheongju Korea Polytechnic College Campus, Sandan-ro 54, Heungdeok-Gu, Cheongju, Chungbuk 28590, Korea

² Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

Abstract

This study is intended to obtain the data for determining the risk priority by using criticality, analysis of failure mode effects, and the like regarding the risk involving component parts of photovoltaic power system with capacity of 20kw or below. According to the results of criticality analysis, a total of 4 failure modes are reported such as fails to transfer of an inverter (521), shorted (541) filter (C), shorted (551) communication, and function failure (552). Based on criticality, component parts having a high risk priority are related to communication. In the case of photovoltaic power system, as all of its devices are connected to communication, it is found that failures are caused by the failure of multiple connectors attached to communication. This data can be utilized as baseline data for the maintenance of photovoltaic power system.

Key words: photovoltaic power system, failure modes and effects analysis, criticality, invert, communication

1. 서론

서울시는 '원전 하나 줄이기' 정책의 일환으로 추진하는 태양광 미니 발전소 보급사업을 통해 약 3MW규모의 태양광 설비 보급을 달성했다고 보고하고 있다. 그 내용은 현재 태양광 미니 발전소를 설치하는 시민들에게 보조금을 용량별로 차등 지급하는 방식으로 태양광 미니 발전소 보급을 확대한다는 취지이다(Seoul News, 2015). 지원 대상은 서울소재 공동 주택에 한하여 이루어지고 있다. 이렇듯 태양광발전사업은 중소대로 구분

하여 다양하게 설치되어 운용되고 있다. 이렇듯 좋은 취지로 설치되고 있으나 다른 한편으로는 많은 문제점이 제기되기도 한다. 이런 문제점은 제도적 문제, 금전적 문제, 운영상의 문제점으로 구분한다. 이중에서도 가장 시급한 문제는 바로 운영상의 문제이다. 태양광발전설비는 한번 설치하면 10년 또는 20년간 안정적으로 운영한다고 판단하고 있는데 현실은 그렇지 않다. 발전설비의 운전을 개시한 다음에 안정적으로 가동을 하기 위하여 대책이 필요하다. 특히 중요한 것은 발전설비의 점검과 보수이다. 메가 솔라, 또는 저 용량 규모라도 야

[#] The 1st author: Yoon Bok Kim, Tel. +82-43-279-7417, e-mail, kyf@kopo.ac.kr

⁺ Corresponding author: Doo Hyun Kim, Tel. +82-43-261-2463, Fax. +82-43-265-2457, e-mail, dhk@chungbuk.ac.kr

외에 설치되어서, 불량으로 발전이 되지 않은 모듈이 생긴다. 불량품, 고장품을 방치하면 당연히 발전량이 적어진다. 또한 불량이 생기지 않는다 해도 시간이 경과되면 발전성능이 떨어진다. 제품에 따라서 나빠지는 정도가 상이하지만, 검사기관에 따르면, 1년도 지나지 않았는데 성능이 대폭적으로 나빠지는 태양광 모듈이 있다고 한다(Sola yard, 2013). 주택 또는 건물용 태양 전지시스템의 경우, 실외에 설치하여 20여 년간 사용하게 되므로, 태양전지 모듈은 높은 신뢰성과 긴 수명이 요구되고 있으며, 이를 뒷받침하기 위한 다양한 신뢰성 평가방법이 개발되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 20kW이하의 계통연계형 태양광발전설비 중에서 고장이 가장 많이 발생하는 솔라셀과 PCS를 중심으로 부품별로 고장모드영향분석을 통하여 부품별 우선순위 항목과 중요도를 도출하고자 한다. 이를 통하여 계통연계형 태양광발전설비의 점검과 보수를 체계적으로 관리할 수 있도록하여 시스템의 고장률을 낮추고 안정적 운영이 가능하도록 하는 것을 목표로 한다.

II. 본론

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 구

체적으로 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(IEC, 2001). <Table 1>은 IEC 812에서 제시한 절차를 나타내었다.

2. 위험우선순위지수

고장모드는 기기나 부품의 고유특성의 변화나 기기에 가해지는 스트레스 등의 원인에 의해 발생한다. 그리고 고장발생원인은 각각의 메커니즘이 있으며 이 메커니즘을 검토함으로써 고장의 발생을 방지할 수 있다. 고장모드와 고장발생원인의 데이터들은 각각의 구성부품을 제조한 메이커들이 자산으로 관리하고 있다. 이런 데이터들은 메이커들의 기술노하우로 인하여 주요 고장률 및 수리에 관한 자료수집은 불가능하다. 따라서 신재생과 관련하여 미국의 “SEMATECH”에서 제시한 위험우선순위를 토대로 심각도, 발생도, 검출도의 등급을 제시하였다(Semathch, 1992). RPN은 식 (1)과 같은 심각도, 발생도, 검출도를 모두 동일한 중요성을 두고 평가한다.

Table 1. FMEA procedure of IEC 812 for FMECA

Numbers	Contents
01	The definition of the system and its minimum functional operation demand
02	Development of functional reliability block diagram, other diagram, or mathematical model and description
03	Basic principles of performing analysis and setting the corresponding document format
04	Failure mode, its cause and effect, relative importance, and investigating its links
05	Failure detection, isolation investigation, and method investigation
06	Investigation on planning and operation regulation of especially undesirable incidents
07	Determining event criticality
08	Assessment of failure possibility
09	If necessary, investigating the multi-failure of certain combination that needs to be considered
10	Recommendation

Source : IEC-60812(2001).

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

〈Table 2~4〉는 심각도, 발생도 및 검출도에 대한 각각의 기준을 나타냈다. 각각의 기준은 1-5 단계로 제시하였다(Semathch, 1992). 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 계통연계형 태양광발전시스템에서의 심각도 등급은 〈Table 2〉와 같이 분류기준을 5등급으로 나누어 분류하였다.

2) 발생도 순위 기준(Occurrence Ranking Criteria)

발생도는 잠재된 위험의 발생가능성이 얼마나 높은

지를 평가하는 척도이다. 시스템에서 기대수명동안에 발생 가능한 고장으로 단위시간당 잠재발생률로 표현하였다. FMEA에 대한 권장발생 순위기준은 〈Table 3〉에 제시하였다.

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 제로인 경우를 나타내었으며 〈Table 4〉에 감지순위 기준을 나타냈다.

Table 2. Severity ranking criteria

Numbers	Contents
01	Failure is of such minor nature that the customer (internal or external) will probably not detect the failure.
02	Failure will result in slight customer annoyance and/or slight deterioration of part or system performance.
03	Failure will result in customer dissatisfaction and annoyance and/or deterioration of part or system performance.
04	Failure will result in high degree of customer dissatisfaction and cause non-functionality of system.
05	Failure will result in major customer dissatisfaction and cause nonsystem operation or non-compliance with government regulations.

Source : International Semathch, 1992.

Table 3. Occurrence ranking criteria

Numbers	Contents
01	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.
02	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.
03	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.
04	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.
05	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.

Source : IEC-60812(2001).

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

Table 4. Detection ranking criteria

Numbers	Contents
01	Very high probability that the defect will be detected. Verification and/or controls will almost certainly detect the existence of a deficiency or defect.
02	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.
03	Moderate probability that the defect will be detected. Verification and/or controls are likely to detect the existence of a deficiency or defect.
04	Low probability that the defect will be detected. Verification and/or controls not likely to detect the existence of a deficiency or defect.
05	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.

Source : International Semathch, 1992.

3. 중요도 등급기준

중요도는 일명 리스크 행렬(Risk Matrix)이라고 불리는 것으로, 고장이 발생하는 경우 그로 인하여 부품이나 시스템 또는 운영자가 받는 영향의 정도를 평가하며, 심각도를 주안점으로 하여 분석하는 것이다. 특히, 발생빈도가 높으며, 높은 심각도 등급을 갖는 고장모드에 주의를 기울이기 위하여 사용되는 수단이다. 중요도는 고장모드의 심각도와 발생빈도에 의해 평가하는 것으로 다음 식 (2)로 구할 수 있다. 이것은 리스크의 개념과 같다. 즉, 바람직하지 않은 사건의 발생확률(발생빈도, Occurrence)과 그로 인해 야기될 수 있는 피해결과(심각도, severity)로부터 추정된다.

$$\text{중요도 (Criticality)} = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \quad (2)$$

여기에서 발생확률이 낮고, 피해강도도 낮은 사건에 대해서는 그다지 주의를 기울일 필요가 없다. 왜냐하면 제한된 시간과 제한된 자금으로 완벽한 재해예방을 한다는 것은 사실상 불가능하기 때문이다. 발생확률은 높지만 발생시 재해강도가 낮은 형태의 사건에는, 흔히 우리주변에서 볼 수 있는 시스템의 사소한 고장에 해당된다. 반면 발생확률은 낮더라도 일단 발생하면 피해규모가 큰 사건, 더욱이 발생확률까지 크다면 문제는 심각하지 않을 수 없다. 시스템의 안전성은 바로 이러한 유형의 재해를 구별해 내고 이런 재해에 안전의 노력을 극대화하는 것이다(Lim, 2012). 10이상은 그 영향 및 발생빈도를 고려하여 철저한 관리가 필요한 높은

“H(High)” 등급으로, 5~9는 중간정도의 중요도 평가 등급인 “M(Medium)” 등급으로, 그리고 5미만은 낮은 등급인 “L(Low)” 등급으로 하여 관리지침을 설정하는데 이용하였다.

Table 5. Criticality grade matrix

Severity Occurrence	1	2	3	4	5
1	1 LOW	2	3	4	5
2	2	4	6 MEDIUM	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16 HIGH	20
5	5	10	15	20	25

III. 결과 및 고찰

1. 실태조사에 의한 분석

청주 C대학에 설치되어 있는 20kW이하 태양광발전 시스템에 대한 계절별 및 연간 발전량을 3년간 조사하였다. 계절별 발전량은 2011~2013년 모두 특별한 변화는 없었고, 연간 누적 발전량은 2011년에 1,080 kW에서 2012와 2013년도의 경우는 1,050 kW, 1,052 kW로 30 kW의 차를 보였다. 본 3년간 데이터로는 기기 노후에 따른 출력 및 효율저하에 대한 원인을 예측하기에는 다소 어려움이 있으나, 설치년도 대비 감소하는 경향은 보였다. <Figure 1>은 계절별, <Figure 2>는 연간 발전량을 나타내었다.

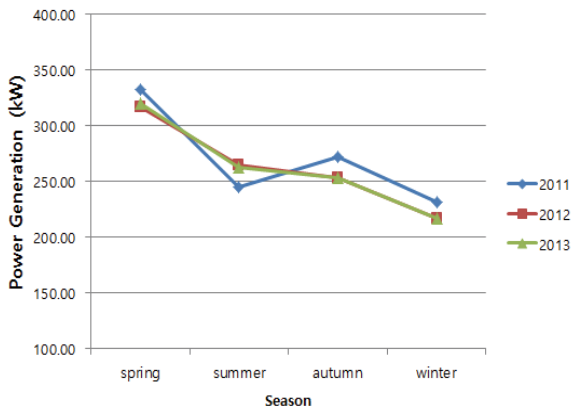


Figure 1. Power generation for season

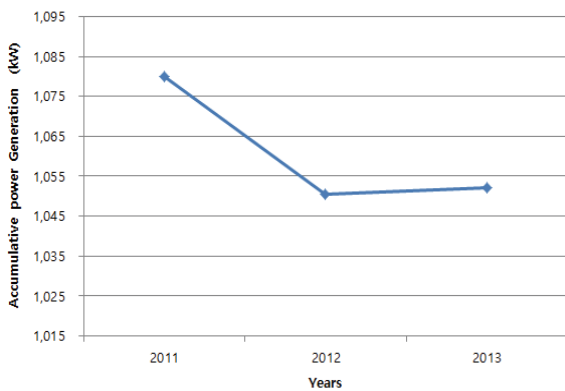


Figure 2. Accumulative power generation for years

2. 작동흐름도 및 구성부품분류 중요도 등급기준
태양광발전시스템은 태양전지의 직류 전력을 교류 전력으로 변환하고, 인버터 출력과 한전 전원과 연계하여 태양전지 출력전력과 한전전력과 함께 부하에 공급한다. 태양광발전시스템의 주요구성요소는 발전원, 접속반, 인버터, EMS, 분전반 및 부하 및 계통으로 구분된다. <Figure 3>과 같이 전체적인 흐름도를 살펴보면 태양전지모듈(PV string)은 빛에너지를 전기에너지로 변화시켜주는 장치로 태양전지모듈을 직렬병렬로 구성하여 배열한 것을 말한다. 접속반은 태양전지로부터 직류전력을 공급받아 인버트에 전력을 공급하는 장치로, 지락사고 등 태양전지 보호를 위하여 Fuse(F1~F7)와 역극성보호장치(BD1~BD7)가 직렬로 연결되어 있다. Fuse(F8)을 통하여 보호하지 못한 사고를 위하여 2중으로 안전장치를 설치하였다. MCCB 1은 태양전지모듈

에서 발생할 수 있는 과전류를 방지하고 인버터를 보호하는 목적으로 설치되어 있다. 또한 태양전지모듈에서의 수리 및 보수가 있을 때 사용된다. 태양광발전시스템에서 가장 중요한 PCS(Power Conditioning System)로 RP에 의한 보호가 처음으로 이루어지고 다음으로 배선용차단기(NFB)를 통하여 2중 안전장치로 구성되어 있다. 인버터는 단방향으로 직류를 교류로 변환시켜 주며, F9의 퓨즈는 인버터에서 발생하는 과전류를 보호하기 위한 장치이다. MCCB 2는 LC 필터와 트랜스포머를 보호하기 위한 차단기로 작동되며 유지보수를 위한 장치로도 이용된다. EMS(Energy Management System)은 PCS에서 들어오는 신호를 감지하고 경보하는 장치이다. 본 연구에서는 태양전지모듈, 접속반, PCS만을 집중 분석하였다.

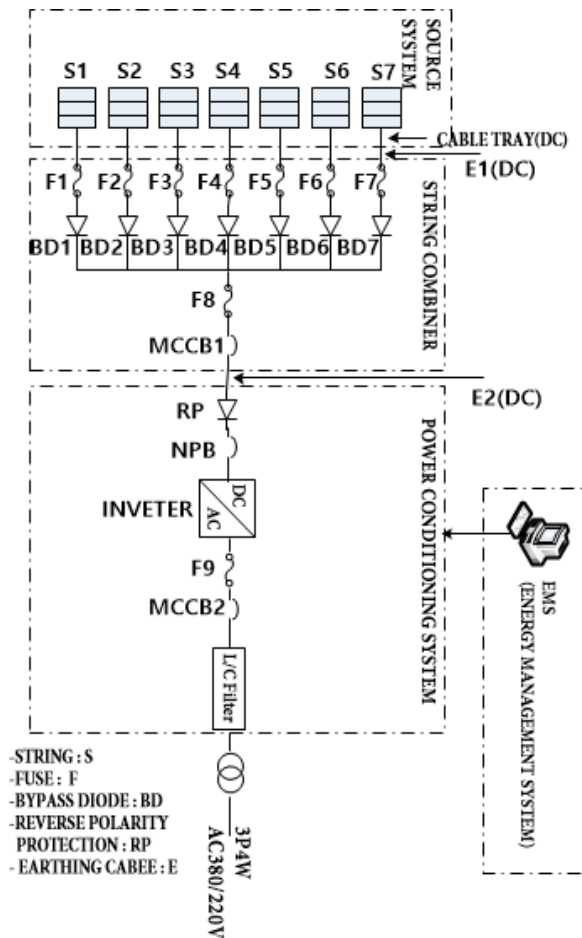


Fig 3. The simplified PV system diagram blow 20kW

Table 6. Component, sub-components and failure rates of the PV system

Components	Sub-component	Failure rate
PV Module		1.35E-06 ^a
Rack structure		2.44E-05 ^a
Cable		
	Aerial cables	1.05E-06 ^b
	Earthing cables	1.62E-05 ^c
String combiner		
	Fuse	2.17E-07 ^b
	Junction box/Bypass diode	6.77E-07 ^a
	Connectors	4.51E-07 ^a
	MCCB	6.80E-07 ^c
Power conditioning		
	Reverse polarity diode	2.23E-07 ^a
	Invert	1.75E-04 ^a
	Fuse	2.17E-07 ^b
	MCCB/NFB	6.80E-07 ^c
	LC-Filter	6.42E-06 ^c
	Communication	4.24E-06 ^c

^a Golnas A, 2013.

^b IEEE, 2007.

^c Reliability Analysis Center, 2011.

〈Table 6〉은 태양광발전시스템에 대한 구성품과 하부구성품 및 구성품에 대한 고장률을 제시하였다. 본 고장률은 태양광발전시스템의 신뢰성을 분석하는데 중요한 자료로 활용되고 있다.

3. 위험우선순위지수 및 중요도 분석

태양광발전시스템의 부품별 잠재적 고장모드 분석을 기초로 잠재적 원인 및 효과를 분석하였으며, 하위구성요소에 대한 RPN과 중요도 분석결과를 〈Table 7〉에 나타냈다. 고장의 잠재적 원인은 철저히 레퍼런스와 미국의 NPRD 보고서에서 제시된 데이터 및 신재생에너지에서 분석한 자료를 바탕으로 하였다. 잠재적 효과는 첫째 전력 공급(출력 에너지), 둘째 기계적 손상, 셋째는 안전을 바탕으로 하였다. 본 연구에서는 각 부품에 대한 RPN값으로 위험의 우선순위를 결정하였다. 고장모드별 위험수준이 허용불가 수준의 경우 RPN값이 최대 125까지 책정될 수 있으나 본 연구에서 RPN값이 최고 48로 도출되어 48이 포함된 등급까지만 본 논문에서 언급하였으며, 그 이상의 등급인 중대한 위험과 허용불가 위험에 대해서는 무시하였다. RPN값을 가지고

총 3개의 그룹으로 나누어 평가를 하였다. RPN값이 31~63 사이의 상당한 위험으로 평가된 고장모드를 “Group A”, RPN값이 9~30 사이의 경미한 위험으로 평가된 고장모드의 경우를 “Group B”, 그리고 1~8 사이의 무시할 수 있는 위험으로 평가된 고장모드를 “Group C”로 분류하였다. 중요도는 3개의 등급으로 분류를 하였다. 먼저 10~25 사이의 철저한 관리가 필요한 등급은 “H”로 분류하였으며, 5~9 사이의 중간정도의 경우를 “M” 등급으로, 5미만의 낮은 등급은 “L” 등급으로 분류하였다.

〈Figure 4〉에서 위험우선순위가 가장 높게 나타난 부품은 인버터의 Degraded output(522), 중요도는 총 4개의 고장모드로 인버터의 Fails to transfer(521), 필터(C)의 Shorted(541), 통신의 Shorted(551)와 Function Failure(552)로 나타났다. 중요도의 경우 대부분이 전원을 관리하는 PCS에서 모두 나타났으며, 통신에서 2개의 고장모드에서 높은 위험도를 보였다. 태양광발전시스템의 경우 모든 설비들이 통신과 연계되어 있어서 통신과 연결되는 다량의 커넥터와 해당 커넥터의 기능적 고장에서 초래됨을 확인하였다.

Table 7. RPN and criticality at FMEA sheet

ItemNo.	Potential failure mode	Potential causes	Potential effects	S E V	O C C	D E T	R P N	C R I
100	PV modulea							
101	Loss of electric function	Short, arcs, open contacts	No energy output, safety, fire	5	2	3	30	H
102	Impalment of electric fuction	High series resistance, low shunt resistance,	Reduced energy output, hot spot damage	4	2	4	32	M
200	Rack structurea							
201	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	H
202	Brackets detachment	Strong wind, improper installation, earthquake, accidental impacts	Unstable configuration, loss of modules	3	3	2	18	M
300	Cable							
310	Aerial cablesa							
311	Open	Faulty cabling, material aging, animals, vandalism, extreme weather conditions, earthquake	No energy output, safety	5	2	2	20	H
312	Short, arc	Cracks/ruptures on cables, insulation failure, aging, animals	No energy output, safety, fire	5	2	1	10	H
313	Excessive wear	Improper system design	Reduced energy output, thermal damages	3	2	4	24	M
320	Earthing cablesb							
321	Open	Faulty cabling, material aging, animals, vandalism, extreme weather conditions, earthquake	No energy output, safety	5	1	2	10	M
322	Short, arc	Cracks/ruptures on cables, insulation failure, aging, animals	No energy output, safety, fire	5	1	2	10	M
323	Excessive wear	Improper system design	Reduced energy output, thermal damages	3	1	4	12	L
400	String combiner							
410	Fusea							
411	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	L
412	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	L
413	Premature open	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	No energy output	5	1	2	10	M
420	Junction boxa							
421	Open contacts	Disconnections, improper installation, corrosion	No energy output	5	1	3	15	M
422	Short, arc in contacts	Damaged insulation, aging, animals, lightning	No energy output, safety, thermal camages, fire	5	1	2	10	M
423	Poor contact/intermittent	Material defects, oxidation, aging	Reduced energy output, no energy output, thermal damage	4	1	4	16	L
430	Connectorsa							
431	Open	Damage, disconnection, animals, vandalism, strong wind, pulled cables	No energy output	5	1	2	10	M
432	Poor contact/intermittent	Corrosion, improper installation, lightning damage	Reduced energy output, no energy output, thermal damage	5	1	4	20	M
433	Short	Damages, improper installation, disconnections, animals, vandalism	No energy output, safety, thermal damages, fire	4	1	5	20	L

ItemNo.	Potential failure mode	Potential causes	Potential effects	S E V	O C C	D E T	R P N	C R I
440	MCCB/NPBb							
441	Open without stimuli	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	No energy output	5	1	1	5	M
442	Does not open	Faulty switch, damages to structural parts, flashover/arc, improper maintenance, aging	No disconnection, safety, fire, arcs	4	1	4	16	L
500	Power conditioning							
510	Reverse polarity diode							
511	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	L
512	Open	Very high resistance, material defects	No energy output	5	1	1	5	M
513	Parameter change Breaker	Material defects, aging, continuous thermal stress	Activation with different variable range	3	1	5	15	L
514	Open without stimuli	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	No energy output	5	1	1	5	M
515	Does not open	Faulty switch, damages to structural parts, flashover/arc, improper maintenance, aging	No disconnection, safety, fire, arcs	4	1	4	16	L
520	Inverta							
521	Fails to transfer	Contact damage, card/board problem, software failure (within working conditions), ventilation obstruction, extreme weather conditions, vandalism, MPPT unbalance, extreme weather conditions	No energy output	5	4	1	20	H
522	Degraded output	MPPT unbalance, extreme weather conditions	Reduced energy output Transformer	4	4	3	48	H
523	Open	Extreme weather conditions (including lightning), flooding, earthquake, explosion, exposure to non-electric fire/burning, shorting, aging	No energy output	5	1	1	5	M
524	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	M
525	Parameter	Failure of tap changer, damages to structural parts, improper maintenance, aging	Loss of efficiency, improper energy output	3	1	2	6	L
530	Filter(L)b							
531	Out of specification	Defective product	Malfunction, overheat, damage	5	1	3	30	M
532	Intermittent	Loose connection	Damage	5	3	1	15	H
540	Filter(C)b							
541	Shorted	Aged degradation, damage	Explosion, blackout	5	4	1	20	H
542	Opened	Aged degradation, damage	No operation	5	3	1	15	H
543	High leakage current	Aged degradation, bushing flashover	Shorted, grounding	5	2	2	20	H
544	Drift	Flood	Shorted, grounding	5	1	1	5	M
550	Communication(RS-232/ RS-422)b							
551	Shorted	Connecting error	Sensing error	5	4	2	40	H
552	Function Failure	Over voltage or over current, defective installation	Sensing error	4	5	2	40	H
553	Opened	Loose connection, improper installation	No operation	5	3	1	15	H
554	Bond failure	External shock, improper installation	Sensing error	4	2	1	8	M
555	Microcrack	External shock, improper installation	Sensing error	5	1	3	15	M
556	Electrical Failure	Over voltage or over current, improper installation	Sensing error	4	2	4	32	M

^a Alessandra Colli, 2015.

^b Reliability Analysis Center, 2011

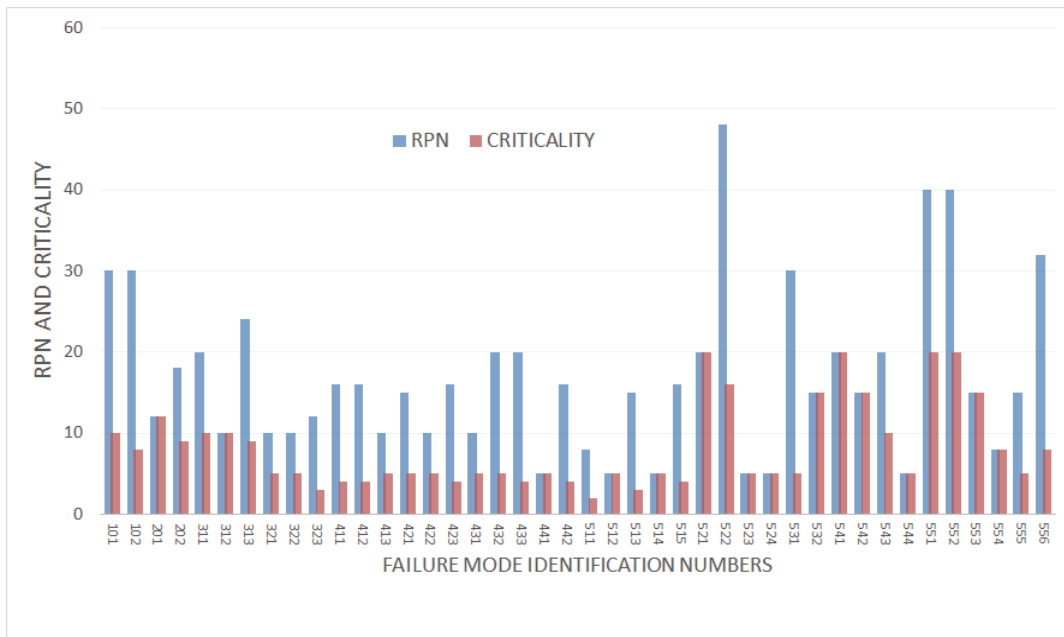


Figure 4. Risk classification rating through RPN and criticality

IV. 결론

본 연구에서는 태양광발전시스템의 구성부품별 위험성에 대하여 고장모드영향분석(FMEA)과 중요도 등을 활용하여 위험우선순위를 결정하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 태양광발전시스템의 구성부품별 중요도는 인버터(2모드), 필터(1모드), 통신(2모드) 3개의 부품에서 나타났다. 중요도의 고장모드는 인버터의 Fails to transfer(521), Degraded output(522), 필터(C)의 Shorted(541), 통신의 Shorted(551)와 Function Failure(552)이었다. 중요도와 위험우선순위가 동시에 높은 부품은 인버터의 Degraded output(522), 통신의 Shorted(551)와 Function Failure(552)로 도출되었다. 인버터의 성능은 IGBT와 DSP 메인 컨트롤러가 주요 부품으로 속한다. Degraded output를 일으키는 주요 부품은 IGBT이다. IGBT는 24시간 풀가동하며 성능이 저하되었을 때 이를 감지하기도 어렵다. 따라서 내구성 및 수명이 높은 IGBT의 선택이 필요하며, 통신의 경우 RS-422의 4선이 사용되고 있고 외부잡음에 영향을 많이 받는다. 따라서 2선 방식과 외부잡음에 강한 RS-485를 사용하여 기능적 고장에 대한 신뢰성을 확

보해야 할 것으로 판단이 된다.

2) 태양광발전시스템의 경우 유지 및 보수는 인버터는 IGBT와 DSP 컨트롤러를, 통신은 전선과 전선이 연결되는 커넥터부분을 열화상카메라를 통하여 측정하고 이상고열 발생 및 효율이 떨어질 경우에는 해당부품들을 즉시 교체하면 정전 방지 및 안정적 전력운용이 가능할 것으로 판단이 된다.

References

Colli, Alessandra. 2015. Failure Mode and Effect Analysis for Photovoltaic Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 50: 804-809.

Golnas, A. 2013. PV System Reliability: An Operator's Perspective. *IEEE J Photovolt*. 3(1): 416-21.

IEC. 2001. Analysis Techniques for System Reliability-procedure for Failure Mode and Effects Analysis(FMEA). IEC-60812.

International Semathch. 1992. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry.

Lim, Hyeon-Kyo. 2012. *System Safety Engineering*. Seoul: Hansol Academy.

Ministry of Government Legislation. <http://www.law.go.kr/>

Power Systems Reliability Subcommittee of the Power Systems Engineering Committee. 2007. *Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems*. IEEE-SA Standards Board. NY: IEEE 493-2007.

Reliability Analysis Center. 2011. Non-electronic Parts Reliability Data.

Seoulnews. 2015.11.24. Small Solar Power Plants Free Spread, "Reducing Nuclear Power Plant".

Solaryard. 2013. Problems of Three Kinds for Japan's Solar Photovoltaic Problems. blog.daum.net/phil5005/2029.

Korean References Translated from the English

서울나들이의 서울뉴스. 2015.11.24. 서울시 태양광 미니발전소 무상보급 "원전하나 줄이기".

솔라마당. 2013. 일본 태양광발전의 세 가지 문제점. <http://blog.daum.net/phil5005/2029>.

임현교. 2012. 시스템안전공학. 서울: 한솔아카데미.

Received: Feb. 15, 2016 / Revised: Mar. 18, 2016 / Accepted: Mar. 25, 2016

20KW이하 계통연계형 태양광발전시스템의 고장모드영향분석

국문초록 이 연구는 20KW이하 태양광발전시스템에 대한 구성부품별 위험성에 대하여 고장모드영향분석과 중요도 등을 활용하여 위험우선순위를 결정하는 자료를 도출하는데 그 목적이 있다. 중요도 분석 결과 중요도는 총 4개의 고장모드로 인버터의 Fails to transfer(521), 필터(C)의 Shorted(541), 통신의 Shorted(551)와 Function Failure(552)로 나타났다. 중요도를 통한 위험우선순위가 높은 부품은 통신과 관련되어 있었다. 인버터의 Degraded output를 일으키는 주요 부품은 IGBT이다. IGBT는 24시간 풀가동하며 성능이 저하되었을 때 이를 감지하기도 어렵다. 따라서 내구성 및 수명이 높은 IGBT의 선택이 필요하다. 태양광발전시스템의 경우 모든 설비들이 통신과 연계되어 있어서 통신과 연결되는 다량의 커넥터와 해당 커넥터의 기능적 고장에서 초래됨을 확인하였다. 또한 통신의 경우 RS-422의 4선이 사용되고 있고 외부잡음에 영향을 많이 받는다. 따라서 2선 방식과 외부잡음에 강한 RS-485를 사용하여 기능적 고장에 대한 신뢰성을 확보해야 할 것으로 판단이 된다. 본 데이터는 태양광발전시스템의 유지 및 보수를 위한 기초자료로 활용가능하다.

주제어 : 태양광발전시스템, 고장모드영향분석, 중요도, 인버터, 통신

Profiles **Yoon Bok Kim** : He graduated from the Electrical Materials Electrical Engineering, Chung ju National University Graduate School of Industry was completed Chungbuk National University Graduate School of Safety Engineering PhD. Recent research thesis was about the voltage, current and temperature signal analysis for normal and secure operation of the three-speed fan motor text book writing was the writing magnetism and electricity melsec-Q PLC control(kyf@kopo.ac.kr).

Doo Hyun Kim : Obtaining a doctorate in electrical engineering from Seoul National University and is currently a Professor of Safety Engineering, Chungbuk National University(dhk@chungbuk.ac.kr).