

## Failure Modes and Effects Analysis of Electrical System at Indoor Wires and Wiring Appliances

Sang Chul Kim<sup>†</sup>

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University, 65 Semyung-ro, Jecheon Chungbuk, Korea

### Abstract

This study analyzed the risks of indoor wires and wiring appliances by looking into statistical data, relevant laws, and actual conditions. In addition, it classified the components to find a failure mode with the use of the reliability evaluation software that can apply the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique, and drew a risk priority index and the degree of importance. Regarding the components of indoor wires and wiring appliances, their importance factors were panel, MCCB/ELB, connector, switch, outlet, plug, socket and electric wire, of which outlet, plug, electric wire and connector had the highest failure mode. In addition, it is found that the overheat induced by outlet overload caused an electric fire and increased electric disasters of indoor wires and wiring appliances. The study results are applicable to the fires with the risk of human disaster and the risk of life safety on household items.

**Key words:** wire and wire equipment, FMEA, RPN, severity, outlet, electrical fire, electrical shock

### 1. 서론

한국전기안전공사에 의하면 감전은 상용전원 220V에서 45%를 차지하였고, 전기화재는 배선 및 배선 기구(콘센트 포함)에서 가장 높은 비율로 나타났다(KESCO, 2015). 해당 전원 및 설비와 관련하여 전기안전공사뿐만 아니라 산학연 연구기관에서는 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그 중에 대표적인 연구는 콘센트 접촉불량과 관련된 연구로써, 그 내용은 진동기구를 이용하여 콘센트와 플러그에 접촉불량을 유도하고 전류값을 1~10A의 전류에 대한 열적 특성을 분석하였다. 이 실

험에서 4A의 전류에서 600°C가 나타났으며 이는 콘센트의 구조체의 탄화를 일으켜 나중에는 낮은 전류에도 화재가 발생할 수 있음을 증명하였다(Kang, 2014). 또한 스위치가 부착된 멀티콘센트의 경우, 1개의 홀에 15A 이상(3kW 이상)을 한 달간 사용하게 되면 콘센트의 홀은 탄화흔이 발견되기 시작하고, 스위치 부분이 완전 탄화되어 정상작동을 하지 못한다. 이러한 현상은 차단기전격전류이하에서 주로 발생된다고 하였다(KIRD, 2015). 상기 사고사례들을 미연에 방지하기 위하여 콘센트의 감전 및 화재와 관련된 법적 근거와 안전수칙을 제시하고 있지만(KESCO, 2015) 아직까지 옥내 배선

<sup>†</sup> Corresponding author: Sang Chul Kim, Tel. +82-43-649-1322, e-mail. [sckim@semyung.ac.kr](mailto:sckim@semyung.ac.kr)

및 배선기구에서의 전기재해의 수치는 줄어들지 않고 있다. 많은 이유가 있지만 그중에서도 체계적인 부품 교체, 내구연한, 또는 어떤 고장원인을 발견하고 개선해야 되는지에 대한 구체적인 결과가 없는 실정이다. 이를 극복하기 위해서는 옥내 배선 및 배선기구의 부품에 대하여 그 고장 모드가 시스템에 미치는 영향을 분석하여, 위험우선순위지수를 찾아내고, 이에 대하여 부품 설계의 어느 부분이 개선되어야 하며 점검 및 수리를 요하는 지를 파악하면 된다(IEC-60812, 2001).

따라서 본 연구에서는 옥내 배선 및 배선기구를 타깃으로 선정하였고, 통계자료, 관련법, 실태조사를 통하여 그 위험성을 분석하였다. 또한 구성부품을 분류하였고 FMEA 기법 적용이 가능한 신뢰성평가 소프트웨어(PTC Inc, 2016)를 이용하여 고장모드를 발견하고 이를 바탕으로 위험우선순위지수와 중요도를 도출하였다. 부품별로 고장모드를 통하여 옥내 배선 및 배선기구에 대한 유지 및 보수에 활용하고자 하였다. 본 연구는 인적재난 위기에서 주택화재와 생활안전 위기의 생활용품안전(콘센트, 전기배선, 차단기, 분전반 등)에 주요 정책자료로 활용가능하다.

## II. 본론

### 1. 통계자료에 의한 분석

전기재해의 대부분은 분전반과 분전반과 연결된 회로(조명 및 콘센트)에서 대부분 차지한다. 통계에 의하면 감전의 경우는 전기배선 및 콘센트가 전기화재도 같은 양상을 보였다.

#### 1) 감전 분석

전기재해의 대부분(45% 이상)은 상용전압(220V)에서 발생하고 있으며, 소비전력과 관계없이 전기시설 및 사용 중에 발생하는 아크, 스파크, 정전기가 가연성물질과 연합한 폭발 및 전기화재를 일으킨다. 또한 전기 기계·기구에서 전선 및 접지 불량으로 감전사고가 발

생하고 있다. <Figure 1>은 한국전기안전공사에서 제시하고 있는 전압별 감전발생건수로 220V에서 대부분 사고가 발생되고 있음을 확인할 수 있다(KESCO, 2015). <Figure 2>에서 소비전력과 연계되는 부분은 가전기기(17건) 및 이동용전기기기(1건)이며, 대부분의 사고는 콘센트와 전기배선에서의 사고로 확인된다(KESCO, 2015).

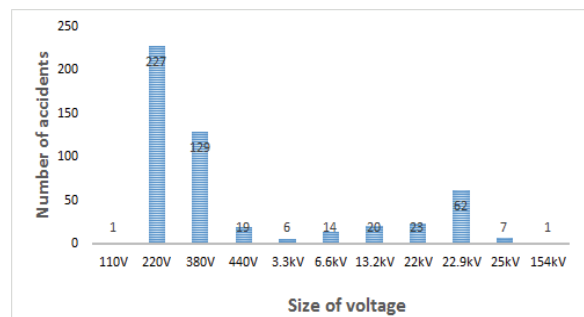


Figure 1. Electric shock by number of cases of KESCO (2015)

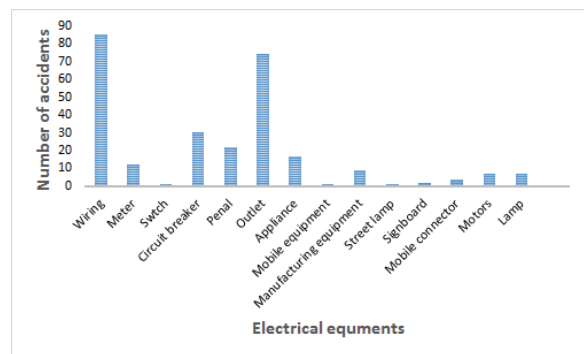


Figure 2. Number of electric shock by electrical installation(2015)

#### 2) 전기화재 분석

전기화재는 미상(3,011건)을 제외하고 배선/배선기구(1,654건)에서 가장 높게 나타났다. 이는 배선/배선기구에서는 콘센트, 콘센트와 연결된 배선, 콘센트와 배선과 차단기가 연결된 회로에서 발생하는 화재가 대부분임을 확인할 수 있다. <Figure 3>은 발화관련기구에 대한 화재발생건수를 나타내었다(KESCO, 2015). <Table 1>은 배선 및 배선기구에서의 전기화재 건수를 나타내었다(KESCO, 2015).

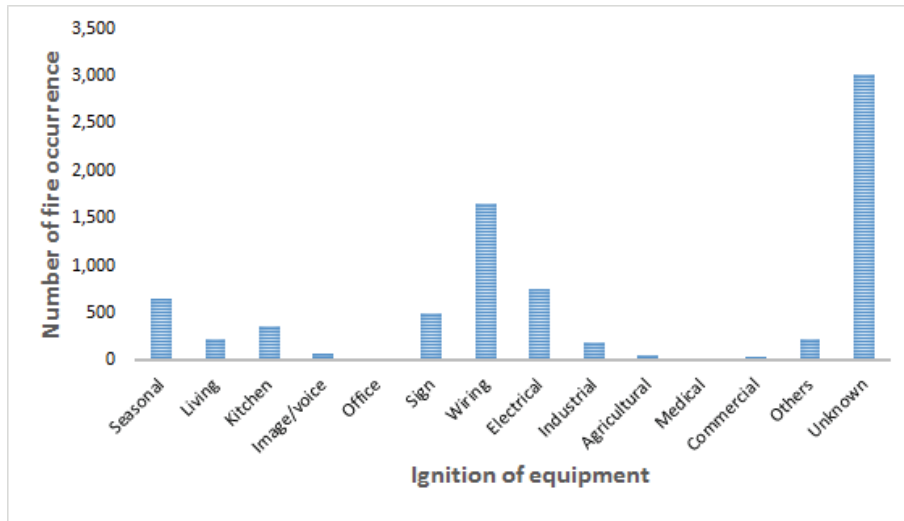


Figure 3. The number of fire of fire related equipment (2015)

Table 1 Number of electrical fire for electrical system of house(2015)

Equipments	Classify	Number of accidents	Percentage(%)
Wiring(HIV)		355	29.5
Cord and wiring of appliance		272	22.6
Outlet		208	17.3
Wiring(DV)		150	12.5
Power supply wiring		107	8.9
Multi-tap(outlet)		95	7.9
Plug		14	1.1
Socket		3	0.2
Total		1,204	100

2. 관련 법

배선 및 배선기구와 관련하여 분전반, 전기배선, 고용량기기 사용, 콘센트, 분전반내 차단기 설치 및 관리 상태, 접지 등이 있다. 관련 법적 근거는 전기설비기술 기준, 산업안전보건기준에 관한 규칙을 근거로 하고 있다(Ministry of Government Legislation, 2017).

-고용량기기 단독회로 구성 : 전기설비기술기준의 판단기준 제166조(옥내전로의 대지 전압의 제한)를 근거하여 정격 소비 전력 3 kW 이상의 전기기계기구에 전기를 공급하기 위한 전로에는 전용의 개폐기 및 과전류 차단기를 시설하고 그 전로의 옥내배선과 직접 접속하거나 적정 용량의 전용콘센트를 시설할 것. (이하 생략)

-전선피복 노후 및 손상 : 산업안전보건기준에 관한

규칙 제313조(배선 등의 절연피복 등)와 산업안전보건 기준에 관한 규칙 제315조(통로바닥에서의 전선 등 사용 금지)

- 콘센트 사용 및 관리상태 : 전기설비기술기준의 판단기준 제170조 (옥내에 시설하는 저압용의 배선기구의 시설) ⑤ 저압 콘센트는 제33조제2항의 경우를 제외하고 접지극이 있는 것을 사용하여 접지하여야 한다. 다만, 주택의 옥내전로에는 제33조제2항의 경우에도 불구하고 접지 극이 있는 콘센트를 사용하여 접지하여야 한다.

- 분전반내 차단기 설치 및 관리상태 : 전기설비 기술기준 제13조(과전류에 대한 보호) 전로의 필요한 곳에는 과전류에 의한 과열소손으로부터 전선 및 전기기계기구를 보호하고 화재의 발생을 방지할 수 있도록 과전류로부터 보호하는 차단 장치를 시설하여야 한다. 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 304조(누전차단기에 의한 감전방지) ⑤ 사업주는 제1항에 따라 설치한 누전 차단기를 접속하는 경우에 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다. 1. 전기기계·기구에 설치되어 있는 누전차단기는 정격감도전류가 30밀리암페어 이하이고 작동시간은 0.03초 이내일 것. 다만, 정격전부하전류가 50암페어 이상인 전기기계·기구에 접속되는 누전차단기는 오작동을 방지하기 위하여 정격감도전류는 200밀리암페어 이하로, 작동시간은 0.1초 이내로 할 수 있다.

- 접지관련 : 전기설비기술기준의 판단기준 제 18조 (접지공사의 종류), 산업안전보건에 관한 규칙 제 302 조(전기 기계·기구의 접지) ① 사업주는 누전에 의한 감전의 위험을 방지하기 위하여 다음 각 호의 부분에 대하여 접지를 하여야 한다.

### 3. 실태조사

〈Figure 4〉는 국내 대학교의 옥내 배선 및 배선기구에 대한 실태조사를 나타내었다. 〈Figure 4〉 (a)는 전기배선과 분전반의 관리 상태를 나타내었고 〈Figure 4〉 (b)는 접지선 미설치를 지적한 내용이다. 〈Figure 4〉 (c)는 고용량설비(3kW)로 인하여 콘센트가 파괴된 것으로 콘센트 내부 부품이 콘센트 바닥면에 구멍을 발생시켰다.

### 4. 정성적 위험성 평가 기법(FMEA)

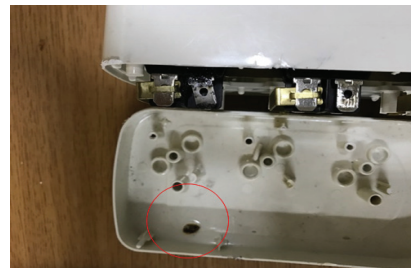
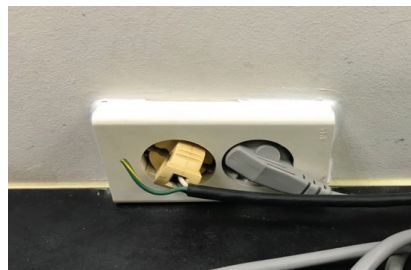
정성적 위험성 평가 기법으로는 대표적으로 한국안전보건공단(KOSHA)의 KRAS(웹기반)와 위험성평가 프로그램인 소프트웨어(FRONTIS, 2016)가 있다. KOSHA의 경우는 정성적 평가 기법을 기반으로 하고 고장모드에 대해서는 기존의 사고 케이스를 바탕으로 하고 있어 고장모드가 약점을 가지고 있다. FRONTIS의 경우는 정성적 및 정량적인 기법을 두루 갖추고 있으며 고장모드의 경우는 FMD(Failure Mode library) 2016을 기반으로 하는데 대부분의 고장모드가 30년 동안의 고장모드를 집약하고 있다. KOSHA의 경우는 작업자 자체의 고장모드를 중요시 하는 반면 FRONTIS는 부품 개개에 대한 고장률과 고장모드를 체계화하고 있다. 본 연구에서는 개개의 부품에 대한 고장률과 고장모드를 기반으로 있기 때문에 고장 모드에 대해서는



(a) Wiring and panel states



(b) Ground not installed



(c) Outlet break of high capacity usage(Over 3kW)



Figure 4. Intellectual case of electrical installation for electrical system at university

FRONTIS의 FMD를 기반으로 작성하였다. 한국안전보건공단(KOSHA)의 KRAS(웹기반)와 FRONTIS의 자세한 내용은 아래와 같다.

KOSHA에서는 위험성평가란 사업장의 유해·위험요인을 파악하고 해당 유해·위험요인에 의한 부상 또는 질병의 발생 가능성(빈도)과 중대성(강도)을 추정·결정하고 감소 대책을 수립하여 실행하는 일련의 과정을 말한다(KOSHA, 2017). 위험성평가는 사업주가 주체가 되어 안전보건관리책임자가 주관아래 관리감독자, 안전관리자·보건관리자, 대상 공정의 작업자가 참여하여 각자의 역할을 분담하여 실시하도록 하고 있다. 위험성평가 절차는 사전준비를 통하여 유해위험요인을 파악하여 위험성을 추정하고 위험성을 결정하는 5단계를 거친다. 위험성 결정 후 허용 가능위험여부를 판단하고 2단계인 유해위험요인 파악을 다시 시행하게 된다(KOSHA, 2017). FRONTIS에서 제공하는 다양한 평가틀은 FMEA뿐만 아니라 고장률, ETA, FTA 등 신뢰성평가 기법을 제공하고 있다. <Figure 5>는 예시로 FMEA를 실시한 화면을 나타내었다. 본 연구에서도

<Figure 5>와 같은 방법으로 옥내배선 및 배선기구에 대한 FMEA를 실시하였다.

### 5. FRONTIS의 고장모드영향분석(FMEA)

FMEA는 IEC-60812(2001)를 기반하고 있다. <Figure 6>에서 제시된 항목들 중에서도 잠재고장모드 및 고장의 영향은 FMEA 시트에 반드시 포함되어야 하며, 심각도, 발생도, 검출도의 기준을 바탕으로 중요도와 위험우선순위지수(RPN, Risk Priority Number)를 구할 수 있다. 여기서 중요도라 함은 심각도와 발생도의 곱으로 이루어지며, RPN은 심각도, 발생도, 검출도의 곱으로 최종 위험우선순위지수가 결정된다. 여기서 중요한 것은 심각도, 발생도, 검출도의 레벨이 중요한데, FRONTIS에서는 각각에 대하여 10단계로 구성하고 있다. 각각의 10단계는 전문가의 판단에 의해서 단계 조정이 가능하나, 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 5단계로 조정하였으며, 중요도는 최고 25, RPN은 최고 125점으로 하였다. 위험우선지수는 1과 125의 크기로 정했으며 숫자가 커지면 우선적으로 관리

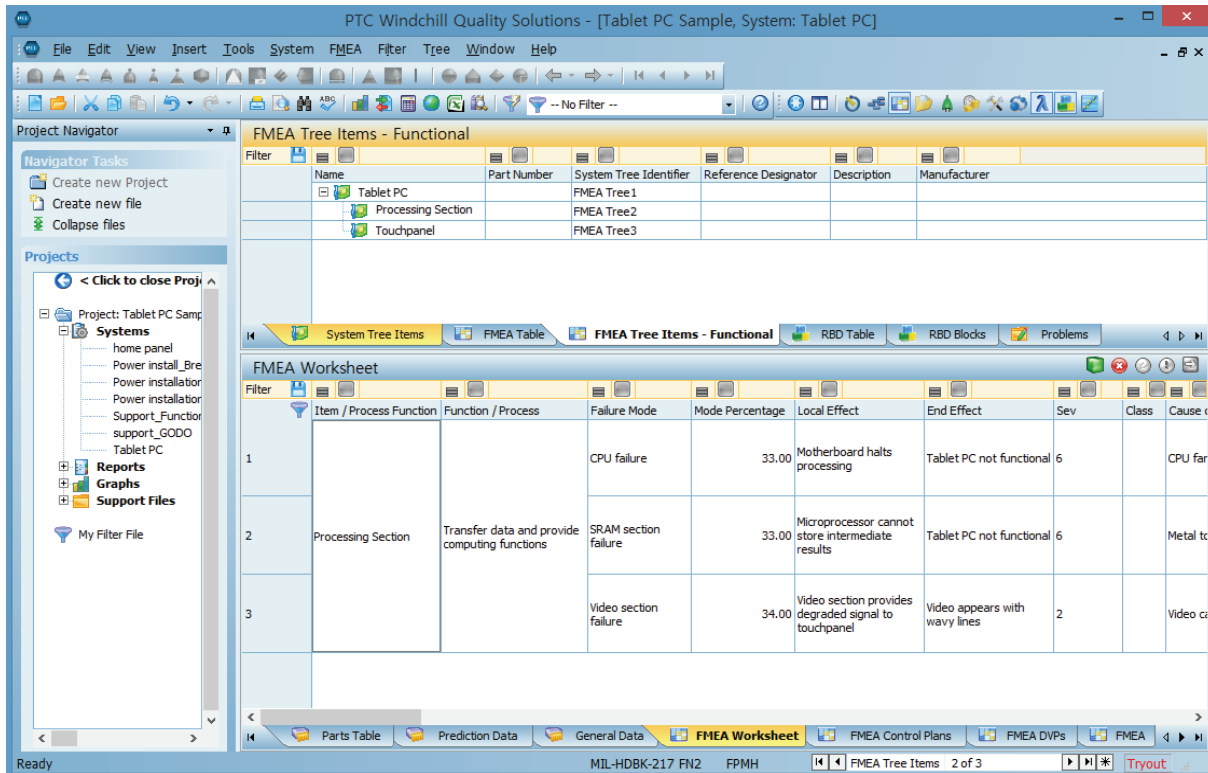


Figure 5. FMEA and evaluation items of FRONTIS(example)

Windchill  
Quality Solutions

POTENTIAL  
FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS  
(DESIGN FMEA)

Name: RESISTOR  
Design Responsibility:  
Key Date:  
Core Team:

FMEA Identifier: FMEA1  
Page 1 of 1  
Prepared By:  
FMEA Date (Orig.) (Rev.)

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Class	Potential Cause(s)/ Mechanisms of Failure	Occur	Current Controls	Detect	R.P.N.	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Action Results						
												Actions Taken	Sev	Occ	Detect	R.P.N.	RPN Improve. %	
레지스터	Opened		Catastrophic		과열	Frequent	고온저장/온도시험	7	7000	검출도를 높이기 위해 열충격 시험 방법을 개선	이재영 2012-11-30	열충격 시험 추가	Catastrophic	Frequent	4	4000	42.86	
			Catastrophic							7000		이재영 2012-11-30						42.86
	Drift							0		이재영 2012-11-30							0.00	
	Contamination							0		이재영 2012-11-30							0.00	
	Cracked/Fractured							0		이재영 2012-11-30								0.00
	Shorted							0		이재영 2012-11-30								0.00

Figure 6. FMEA example sheet(example)

를 시행 한다는 의미이다. <Figure 6>은 FRONTIS에서 제공한 FMEA 시트를 나타내었다.

1) 심각도 순위 입력값(Severity Ranking Input Values)

<Table 2>는 미국방성에서 제시한 5단계의 심각성에 대하여 데이터베이스로 구성하고 있고, 이를 기준으로 리스트를 10까지 구성할 수 있다. 본 연구에서는 <Table 2>를 바탕으로 5단계로 구성하였다.

Table 2. Severity military list in the master list library file

Display Text	Code	Value
Catastrophic	I	10
Critical	II	7
Marginal	III	4
Minor	IV	1
Safety	V	0

※ Source : FRONTIS(2016)

2) 발생도 순위 입력값(Occurrence Ranking Input Values)

잠재된 위험의 발생가능성이 얼마나 큰 값을 가지는

것에 대한 평가척도를 발생도라고 한다. <Table 3>은 미국방성에서 제시한 5단계의 발생도를 데이터베이스로 구성하고 있고, 본 연구에서도 5단계로 구성하였다.

Table 3. Occurrence military list in the master list library file

Display Text	Code	Value
Frequent	A	100
Reasonably Probable	B	75
Occasional	C	50
Remote	D	25
Extremely Unlikely	E	0

※ Source : FRONTIS(2016)

3) 검출도 순위 입력값(Detection Ranking Input Values)

검출도는 사용자가 사고발생 전에 이를 미리 감지하는 것에 대한 평가척도이다. 또한 잠재적 사고원인, 매커니즘, 시스템을 운용하기 전에 잠재적 사고원인을 발견하기 위하여 현재의 안전관리 능력을 평가하고자 하는 것이다. 본 논문에서는 <Table 4>에서와 같이 5단계로 구성하여 입력하였다.

Table 4. Detection list in the master list library file

Display Text	Code	Value
Very high probability that the defect will be detected. Verification and/or controls will almost certainly detect the existence of a deficiency or defect.	A	100
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.	B	75
Moderate probability that the defect will be detected. Verification and/or controls are likely to detect the existence of a deficiency or defect.	C	50
Low probability that the defect will be detected. Verification and/or controls not likely to detect the existence of a deficiency or defect.	D	25
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.	E	0

※ Source : FRONTIS(2016)

4) 중요도 및 위험우선순위지수

리스크 행렬(Risk Matrix)이라고 불리는 중요도는 고장이 발생하는 경우 부품이나 시스템 또는 운영자가 받는 영향의 정도를 평가하는 것이며, 심각도를 기본으로 하여 분석하는 것이다. 특히, 발생빈도가 높으며, 높은 심각도 등급 고장모드에 사용되는 수단이다(Lim, 2012). 중요도는 다음 식 (1)로 구할 수 있다. <Table 5>에서와 같이 10 이상은 그 영향 및 발생빈도를 고려하여 높은 “H(High)” 등급으로, 5~9는 중간정도의 평가 등급인 “M(Medium)” 등급으로, 그리고 5 미만은 낮은 등급인 “L(Low)” 등급으로 하여 지수를 설정하였다.

$$\text{중요도 (Criticality)} = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \quad (1)$$

Table 5. Criticality estimation matrix

Severity \ Occurrence	I	II	III	IV	V
A	1	2	3	4	5
B	2	4	6	8	10
C	3	6	9	12	15
D	4	8	12	16	20
E	5	10	15	20	25

위험우선순위지수(RPN)은 식 (2)와 같은 발생도, 심각도, 검출도를 모두 동일하게 평가한다.

$$\text{위험우선순위지수(RPN)} = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \times \text{Detection} \quad (2)$$

III. 결과 및 고찰

1. 옥내 배선 및 배선기기 모델

한전에서 전기서비스를 받고 가장 먼저 옥내의 분전반에 전기를 분기한다. 분전반에는 각종차단기와 접지단자 및 구조체(플라스틱 또는 강판)로 구성되어 있다. 가정용 분전반은 메인차단기 1개와 4개의 분기차단기로 구성되어 있다. <Figure 7>에서 보면 메인차단기 1개와 조명차단기, 부하차단기, 부엌과 연결하는 차단기, 에어컨으로 총 4개의 특징적인 부하로 분기한다. 또한 3중접지인 접지바가 모든 회로의 접지점과 접속한다. 분기차단기의 2차측에는 전기배선과 연결되어 있는데 내선규정에 의하여 HIV 2.5mm<sup>2</sup> 이상의 전선을 사용하고 있다. 조명과 연결된 차단기는 스위치와 조명을 하나의 셋으로 하여 구성되어 있고 대부분이 1개의 차단기가 담당한다. 부하차단기 및 부엌 차단기는 콘센트와 연결되어 설치하게 된다. 마지막으로 에어컨의 경우는 콘센트와 연결하여 사용하고 있었으나 부하용량이 크다는 이유로 현재는 차단기 1회로에 구성되고 있다. 또한 예비부하차단기가 1개가 더 추가 설치되어 있는 분전반도 시판되고 있다.

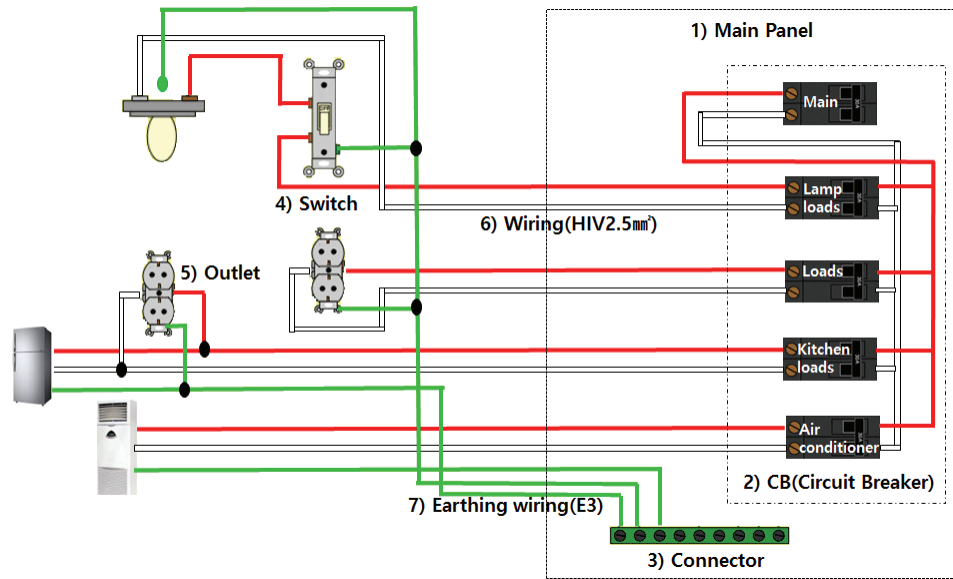


Figure 7. Electrical circuit at panel of indoor

〈Table 6〉은 가정용 분전반과 연계된 회로에 대한 구성품에 대한 고장률 및 구성품과 하부구성품을 제시하였다. 본 고장모드는 배선기구 및 옥내 배선의 신뢰성을 해석하는데 중요한 데이터로 활용되고 있음을 보여주고 있다.

2. 위험우선순위지수 및 중요도 분석

옥내 배선 및 배선기구의 부품별 FMD 2016과 전문가의 자문을 통하여 위험도 및 시스템에 미치는 영향을 바탕으로 분석하였으며, 최종 고장모드는 〈Table 7〉에

나타내었다. 위험우선순위지수(Group A)와 중요도(20 이상) 분석결과를 〈Table 8〉에 나타내었다. 위험우선순위지수를 가지고 총 3개의 그룹으로 나누어 평가를 하였다. RPN값이 60~100 사이의 '고' 위험으로 평가된 고장모드를 "Group A", RPN값이 24~50 사이의 '중' 위험으로 평가된 고장모드의 경우를 "Group B", 그리고 6~20 사이의 '경' 위험으로 평가된 고장모드를 "Group C"로 분류하였다. 중요도는 3개의 등급으로 분류를 하였다. 10 이상이 "H"등급이나 본 연구에서는 이 중에 20~25 사이의 철저한 관리가 필요한 부분을 H로

Table 6. Component, sub-components and failure mode code of electrical system of house

Components	Sub-component	Failure mode code
Panel		
	Panel structure	FMD 2016
	Panel assembly	
MCCB/ELB		FMD 2016
Connectors		FMD 2016
Switch		FMD 2016
Outlet		FMD 2016
Plug		FMD 2016
Socket		FMD 2016
Wiring		
	Indoor wiring	FMD 2016
	Earthing wiring	FMD 2016

※ Source : FRONTIS(2016)

선정하였다. <Table 7>은 구성부품에 대한 번호 및 잠재적 고장모드를 나타내었다. <Table 8>은 위험우선순위수의 Group A값과 중요도의 20 이상인 값을 나타내었다.

<Figure 8>에서 위험우선순위에서 Group A에 해당되는 고장모드는 총 15개로, 구성 부품은 MCCB/ELB에서 2 모드, 커넥터 2 모드, 스위치 1 모드, 콘센트 3 모드, 플러그 2 모드, 소켓에서 1 모드, 전기배선에서

총 4 모드(각각 2모드)로 나타났다. 커넥트, 콘센트, 소켓과 전기배선의 고장원인의 공통사항은 터미널 접속부의 고장이 공통사항으로 나타났다. 특히 콘센트와 전기배선은 사용자가 잦은 사용으로 인하여 내구성이 감소되어서 나타나는 것으로 판명된다.

<Figure 9> 중요도의 H등급(20 이상) 부분에서도 콘센트(5 모드), 전기배선 커넥터(3 모드), 전기배선(4 모드)으로 콘센트와 연관된 회로에서 중요도가 높게 나

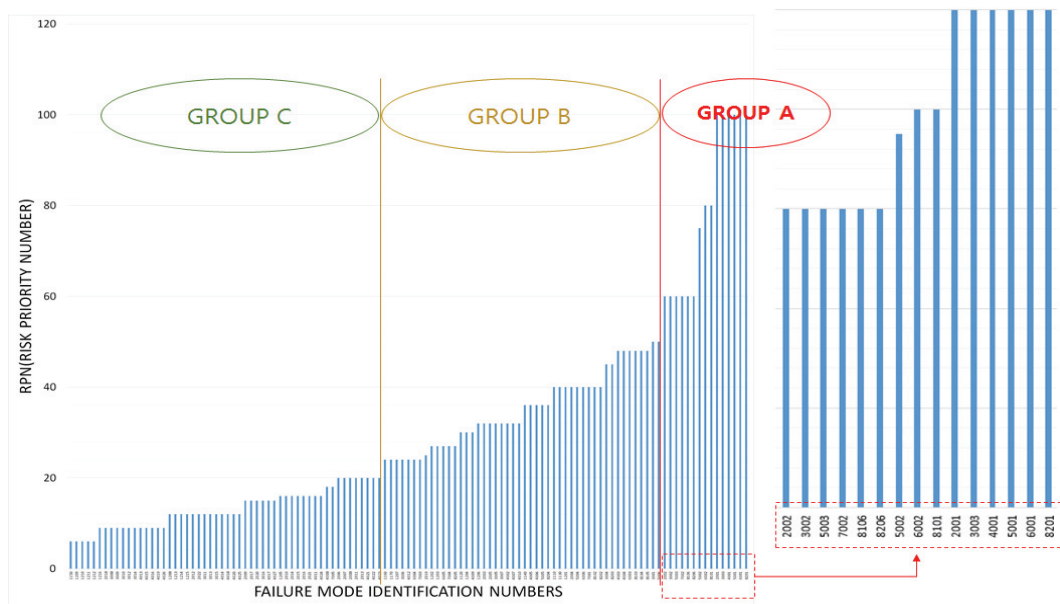


Figure 8. Risk classification rating through RPN

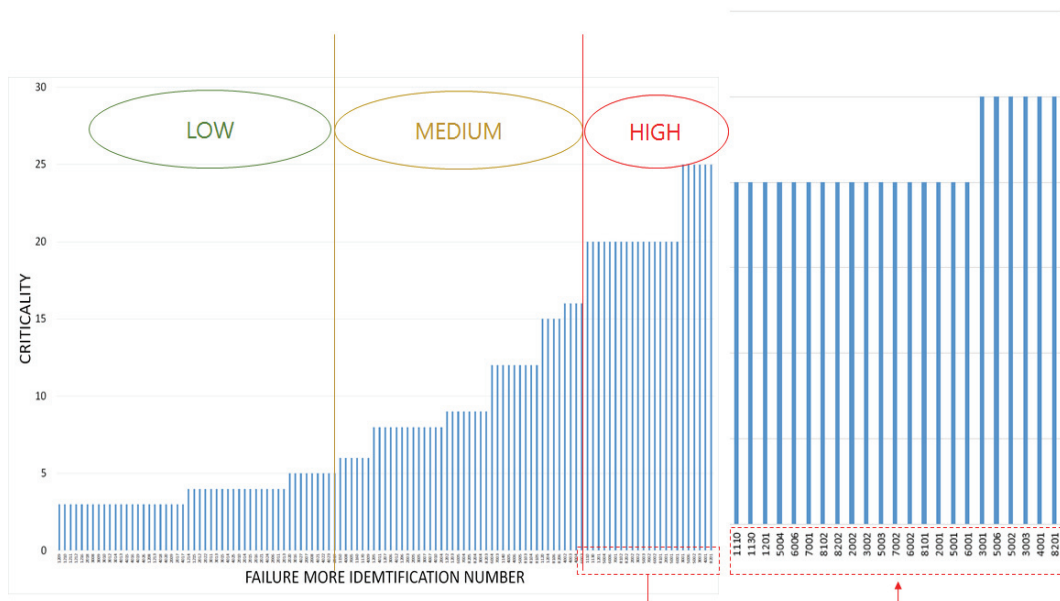


Figure 9. Risk classification rating through criticality

Table 7. Item number and potential failure modes

Item No.	Potential failure mode	Item No.	Potential failure mode	Item No.	Potential failure mode
1000	Panel	2018	Corrosion	4022	Fails to Open
1100	Panel structure	2019	Failed To Operate	4023	Faulty Conductor
1110	Worn	2020	Fails to Open	4024	High Insertion Loss
1120	Cracked	2021	Intermittent	4025	Improper Output
1130	Broken	2022	Opened	4026	Loose
1140	Loose	3000	CONNECTOR	4027	Overheated
1150	Bent	3001	Open	5000	OUTLET
1160	Out of Specification	3002	Mechanical Failure	5001	Leakage
1170	Unknown	3003	Intermittent Operation	5002	Loose
1200	Panel assembly	3004	Unknown	5003	Mechanical Failure
1201	Cracked	3005	Shorted	5004	Opened
1202	Loose	3006	Workmanship	5005	Out of Specification
1203	Worn	3007	Loose Connector	5006	Short
1204	Broken	3008	Out of Specification	6000	PLUG
1205	Open	3009	Induced Failure	6001	Leakage
1206	Improper Output	3010	Worn	6002	Loose
1207	Overheated	3011	Broken	6003	Mechanical Failure
1208	Alignment Improper	3012	Induced	6004	Opened
1209	Bent	3013	Loose	6005	Out of Specification
1210	Binding/Sticking	3014	Loss of Control	6006	Short
1211	Corrosion	3015	Mechanical Damage	7000	SOCKET
1212	Inoperative	3016	Overheated	7001	Broken
1213	Out of Specification	4000	SWITCH	7002	Cracked
1214	Short	4001	Failure Not Verified	7003	Bent
1215	Burned Out	4002	Opened	7004	Opened
1216	Burst	4003	Mechanical Failure	7005	Worn
2000	MCCB/ELB	4004	Out of Specification	8000	Wire
2001	Degraded Operation	4005	Binding/Sticking	8100	Indoor wiring
2002	No Operation	4006	Vendor Defect	8101	Worn
2003	Opens Without Command	4007	Intermittent Operation	8102	Broken
2004	Unknown	4008	Unknown	8103	Corrosion
2005	Mechanical Failure	4009	Degraded Operation	8104	Improper Output
2006	Intermittent Operation	4010	Shorted	8105	Loose
2007	Does Not Open	4011	No Operation	8106	Termination Failure
2008	Vendor Defect	4012	Induced Failure	8200	Earthing wiring
2009	Workmanship	4013	Worn	8201	Worn
2010	Worn	4014	Induced	8202	Broken
2011	Induced Failure	4015	Workmanship	8203	Corrosion
2012	Broken	4016	Delamination	8204	Improper Output
2013	System Problem	4017	Electrical Overstress	8205	Loose
2014	Loose	4018	Alignment Improper	8206	Termination Failure
2015	Improper Output	4019	Broken		
2016	Capacitance Incorrect	4020	Contamination		
2017	Contamination	4021	Failed To Operate		

Table 8. RPN of group A and criticality of high(over 20)

Item No.	Potential failure mode	Potential causes	Potential effects	S E V	O C C	D E T	R P N	C R I
2000	MCCB/ELB							
2001	Degraded Operation	Loose connection	Damage, arc	4	5	5	100	20
2002	No Operation	Improper system design	Reduced energy output, thermal damages	5	4	3	60	20
3000	CONNECTOR							
3002	Mechanical Failure	Faulty connector, aging, environmental degradation,	No operation	4	5	3	60	20
3003	Intermittent Operation	Loose connection	Damage	5	5	4	100	25
4000	SWITCH							
4001	Failure Not Verified	Human error	Damage, fire, disconnecter	5	5	4	100	25
5000	OUTLET							
5001	Leakage	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	No energy output no operation, fire, electric shock	4	5	5	100	20
5002	Loose	Improper installation, damages, extreme weather conditions, excessive thermal expansion/contraction, earthquake	frame distortion, reduced energy output, no energy output, safety	5	5	3	75	25
5003	Mechanical Failure	Faulty connector, aging, environmental degradation,	No operation	4	5	3	60	20
5004	Opened	Damage, disconnection	Reduced energy output, safety	5	4	2	40	20
5006	Short	Improper installation, damages, extreme weather conditions, excessive thermal expansion	frame distortion, reduced energy output, no energy output, safety	5	5	2	50	25
6000	PLUG							
6001	Leakage	Bad system configuration, construction defect, mechanical defects, improper maintenance	No energy output no operation, fire, electric shock	4	5	5	100	20
6002	Loose	Improper installation, damages, extreme weather conditions, excessive thermal expansion/contraction, earthquake	frame distortion, reduced energy output, no energy output, safety	4	5	4	80	20
6006	Short	Improper installation, damages, extreme weather conditions, excessive thermal expansion	frame distortion, reduced energy output, no energy output, safety	5	4	2	40	20
7000	SOCKET							
7002	Cracked	Improper installation, damages, extreme weather conditions, excessive thermal expansion	frame distortion	4	5	3	60	20
8000	Wire							
8100	Indoor wiring							
8101	Worn	Improper system design	Reduced energy output, thermal damages	4	5	4	80	20
8102	Broken	Improper installation, damages, extreme weather conditions	frame distortion, Reduced energy output	4	5	2	40	20
8200	Earthing wiring							
8201	Worn	Improper system design	Reduced energy output, thermal damages	5	5	4	100	25
8202	Broken	Improper installation, damages, extreme weather conditions	frame distortion, Reduced energy output	4	5	2	40	20

타났다. 특히 콘센트 부분은 위험우선순위 뿐만 아니라, 중요도에서 주요 관리 부품으로 확인되었다. 주요 관리 부품에 대하여 제품 결함, 설계 결함도 위험하지만 사용자의 빈번한 사용 및 오사용으로 인한 접촉불량은 국부적으로 높은 저항을 발생한다. 국부적으로 높은 저항은 해당 개소에 높은 열을 동반하는데, 이 열은 플라스틱의 절연성을 저하하고 지속되다가 나중에는 화재를 일으킨다. 특히 콘센트 홀 주위, 전기접속지점에 탄화흔이 발견될 경우는 수리, 교체 및 관리를 필요로 한다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 옥내 배선 및 배선기구의 시스템에 미치는 위험성에 대하여 FRONTIS를 통하여 위험우선순위지수와 중요도를 분석하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 옥내 배선 및 배선기구의 구성부품별 위험우선순위지수와 중요도 모두 전기적 접속점 부분과 관련되어 있었고, 접촉불량과 기계적 손상이 주요 잠재적 고장모드로 나타났다. 접촉불량 발생시 해당 개소에 국부적으로 높은 저항을 발생시키고 이로 인하여 절연물의 파괴를 가져온다. 또한 이런 개소는 콘센트의 접속홀 부분, 접속단자의 단자에 탄화흔과 그을림이 발견되며, 발견시에는 교체 및 수리를 요한다.

2) 설치 및 사용상 주의 사항으로 차단기와 단독 결선된 콘센트를 제외하고는 3kW 이상(전기설비기술기준의 판단기준 제166조)의 부하를 콘센트에 연결할 수 없으며, 감전 방지를 위해서 반드시 접지공사(산업안전보건에 관한 규칙 제302조(전기 기계·기구의 접지))를 실시하여야 한다.

3) 옥내 배선 및 배선기구에서의 전기재해(전기화재 및 감전) 조사 및 정책 결정시에 본 연구에서 제시한 FMEA의 고장우선순위지수와 중요도를 참조하면 보다 객관적인 자료를 확보할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2016학년도 세명대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임.

#### References

- FRONTIS. 2016. *Introduction of PTC Windchill Quality Solutions*.
- IEC-60812. 2001. *Analysis Techniques for System Reliability-Procedure for Failure Mode and Effects Analysis(FMEA)*, IEC.
- International Sematech. 1992. *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry*.
- Kang, Shin Uk. 2014. *Analysis of Characteristics and Application of Detecting Sensors for Signals by Poor Contact at Electrical Outlet*. Master's Thesis. Chungbuk National University.
- Korea Electrical Safety Corporation. 2013. *Hand Book for Electrical Safety Management*.
- Korea Electrical Safety Corporation. 2015. *Electrical Safety Portal System, Electrical Fire Statics*. <http://www.kesco.or.kr>.
- Korea Institute of Human Resources Development in Science and Technology. 2015. *Standard Textbook for Safety in Laboratory (Safety for Electricity & Electronics)*. 37-38.
- KOSHA(Korea Occupational Safety Health Agency). 2017. *Korea Risk Assessment System*. <http://www.kesco.or.kr>.
- Lim, Hyeon Kyo. 2012. *System Safety Engineering*. Hansol Academy.
- Ministry of Government Legillaslation. 2017. 01. <http://www.law.go.kr/>.

#### Korean References Translated from the English

- 강신욱. 2014. 콘센트의 접촉불량 신호 특성 분석 및 감지용 센서의 적용. 충북대학교 석사학위논문.
- 법제처. 2017. 01. <http://www.law.go.kr/>.
- 임현교. 2012. 시스템안전공학. 한솔출판사.

Received: Apr. 3, 2017 / Revised: May 29, 2017 / Accepted: May 31, 2017

## 옥내 배선 및 배선기구의 고장모드영향분석

국문초록 본 연구에서는 옥내 배선 및 배선기구에 대하여, 통계자료, 관련법, 실태조사 등의 분석을 통하여 그 위험성을 확인하였다. 또한 구성부품을 분류하였고 FMEA 기법 적용이 가능한 신뢰성평가 소프트웨어를 이용하여 고장모드를 발견하고 이를 바탕으로 위험우선순위지수와 중요도를 도출하였다. 옥내 배선 및 배선기구의 구성부품별 중요도는 패널, MCCB/ELB, 커넥터, 스위치, 콘센트, 플러그, 소켓 및 전기배선에서 나타났으며 이중에서 콘센트와 플러그, 전기배선 및 커넥터에서 고장모드가 가장 높게 나타났다. 위험우선순위가 동시에 높은 부품은 콘센트와 플러그, 전기배선 및 커넥터로 중요도와 비슷하게 도출되었다. 특히 콘센트와 플러그 부분에서는 누전 및 접촉불량으로 인한 감전 및 누전화재가 잠재요인으로 나타났으며, 콘센트의 과부하에 의한 과열의 경우도 전기화재를 일으키는 원인으로 작용하고 있고 이 모든 것이 옥내 배선 및 배선기구의 전기재해를 높이는 원인으로 분석되었다.

주제어 : 배선 및 배선기구, 고장모드영향분석, 위험우선순위, 중요도, 콘센트, 전기화재, 감전

---

Profiles **Sang Chul Kim** : He obtained a doctorate in safety engineering from Chungbuk National University and is currently a professor of Health & Safety Engineering, Semyung University(sckim@semyung.ac.kr).