

# ETA를 통한 연구실험실 콘센트회로의 전기재해 분석

김두현 · 김성철<sup>†</sup> · 박종영<sup>\*</sup> · 김상철<sup>\*\*</sup>

충북대학교 안전공학과 · <sup>\*</sup>광주과학기술원 · <sup>\*\*</sup>세명대학교 보건안전공학과  
(2017. 1. 4. 접수 / 2017. 2. 7. 수정 / 2017. 4. 17. 채택)

## Analysis of Electrical Accident for Outlet Circuit of Laboratory on ETA

Doo-Hyun Kim · Sung-Chul Kim<sup>†</sup> · Jong-Young Park<sup>\*</sup> · Sang-Chul Kim<sup>\*\*</sup>

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

<sup>\*</sup>Gwangju Institute of Science and Technology

<sup>\*\*</sup>Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

(Received January 4, 2017 / Revised February 7, 2017 / Accepted April 17, 2017)

**Abstract :** This study is intended to identify issues on the basis of investigating the actual state of laboratory environment and outlet circuit, and derive end states by expressing sequences from the initiating event of disaster to accident in leakage current, poor contact and overload through ETA(event tree analysis). To this end, this study investigated the actual state of electric equipment of laboratory at universities in all parts of country. And it is shown that most of them are failure in electric work and user negligence in the investigation of actual state. It is found that there is earth fault and defect in wire diameter in the failure of electric work and the problem of partial disconnection due to wire bundling and poor contact in user negligence. Outlet-related component, failure rate and initiating events are composed of a total of 41 initiating events, i.e., 30 internal initiating events and 11 external initiating events. And end states are composed of a total of 15 parts, i.e., 3 electric power parts and 12 safety parts. Earthing class 3 is the most important safety device against leakage current (initiating event). And in case of poor contact, it is necessary for manager to check thoroughly because there is no safety device. In case of overload/overcurrent, when high-capacity equipment is connected, a molded case circuit breaker, safety device, worked. However, in most cases, it is verified that this doesn't work. This study can be utilized as electric equipment safety guide for laboratory safety manager and managers.

**Key Words :** outlet, laboratory investigation, leakage current, poor contact, overload, ETA(event tree analysis)

### 1. 서론

국내 연구실 점검·진단 결과를 바탕으로 작성한 ‘대학 화재 사고 분석 및 실험·실습실 안전사고 사례집(2010)’에 의하면, 전국 87개 대학을 대상으로 분야별 안전 지적 사항을 조사한 결과 전기 안전 분야가 전체 지적 건수의 28.7%(5,426건)로 가장 높게 나타났다<sup>1)</sup>. 전기분야의 지적건수가 높은 이유는 연구실험실의 연구원의 대부분이 전기비전문가들로 구성되어 있고, 연구와 관련된 다양한 전기설비의 유입·유출로 인하여 어떤 설비를 사용하고 있는지를 정확하게 관리되지 않아서 발생된다고 한다. 그러나 연구실험실이든 가정이든 공장이든 전기설비의 설치는 공통적인 부분이 많다. 건물이 건축되고 전기설비를 설치할 때 옥내배선까지

시설은 전문가에 의해서 안전하게 설치된다. 문제는 콘센트와 관련된 배선/배선기구에서 주로 전기재해가 발생한다. 한국전기안전공사에 의하면 감전의 80%가 상용전압(220 V)에 발생하고 있으며, 전기화재는 콘센트를 포함한 배선/배선기구에서 가장 높게 나타났다<sup>2)</sup>. 주요 발생원인으로는 전기공사 실패와 부주의이며, 전기공사의 실패는 접지불량, 전선굵기 불량이며, 부주의는 접촉불량, 고용량 전열기사용(3 kW이상), 전선의 묶음처리, 부적절한 이동형전기설비 관리 등이 해당된다. 접지불량으로 발생하는 문제는 감전과 누전화재가 발생되며 전선굵기 불량은 차단기 정격전류이하에서도 과부하로 인하여 해당전선의 용량을 초래하는 결과로 화재가 발생한다<sup>3,4)</sup>. 콘센트와 플러그의 접속불량의 경우 5 A의 낮은 전류임에도 불구하고 해당 개소에 400°C 이상

<sup>†</sup> Corresponding Author : Sung-Chul Kim, Tel : +82-43-267-2463, E-mail : ksc3650@naver.com  
Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

의 열이 발생되며, 주위에 가연물이 있으면 바로 화재로 이어진다<sup>5)</sup>. 고용량 전열기기 사용은 콘센트의 허용전류를 초과하여 콘센트의 구조체인 플라스틱을 탄화시키는 열에너지로 작용한다<sup>5-6)</sup>. 상기와 같이 대부분의 재해는 220 V의 상용전원에서 콘센트와 관련한 배선/배선기구에서 나타나고 있지만 재해건수를 줄이지는 못하고 해마다 증가하는 추세이다. 현재의 콘센트 연구는 전기화재로 열 발생 과정을 증명하는 연구가 대부분이며, 누전, 접촉불량, 과부하의 초기사상 혹은 촉발사상(initiating event)으로부터 재해사고까지의 연쇄적 전개를 표현하고 초기사상을 바탕으로 결과상황들을 유도하고 유도된 결과상황들에 대한 체계적인 관리방안 연구는 없는 실정이다<sup>6)</sup>. 따라서 본 연구에서는 콘센트와 연계된 전기회로를 중심으로 전기설비 사고 통계 분석, 연구실 관련법 분석, 실태조사를 바탕으로 문제점들을 분석하고 사전의 위험요소를 찾고 위험요소들을 평가하고자 한다. 분석기법으로는 사건수목분석(ETA, Event Tree Analysis)을 이용하였고, 누설전류, 접촉불량, 과부하에 재해발생의 초기사상으로부터 재해사고까지의 연쇄적 전개를 표현하여 결과상황들을 유도하였다<sup>7)</sup>. 본 연구는 연구실 안전관리자 및 관리자들의 전기설비안전 지침서를 활용가능하다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 전기설비의 사고 통계

전기설비의 사고는 감전과 전기화재로 크게 나눌 수 있다. 감전은 2011년 한국전기안전공사의 저압설비에서 총 242건중 가장 높은 곳은 전로(전기배선)에서 75

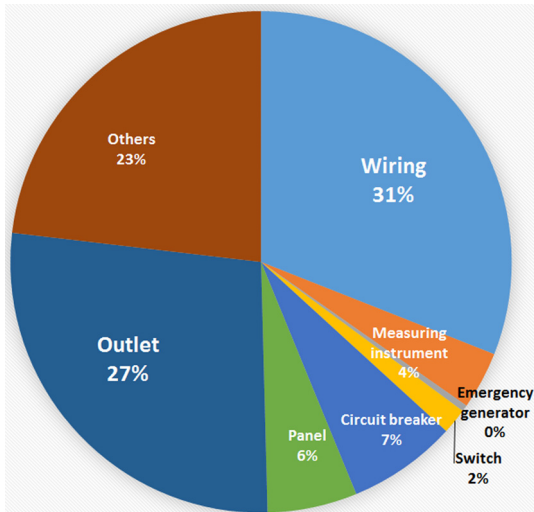


Fig. 1. Number of electric shock for electrical equipments of low voltage(2011).

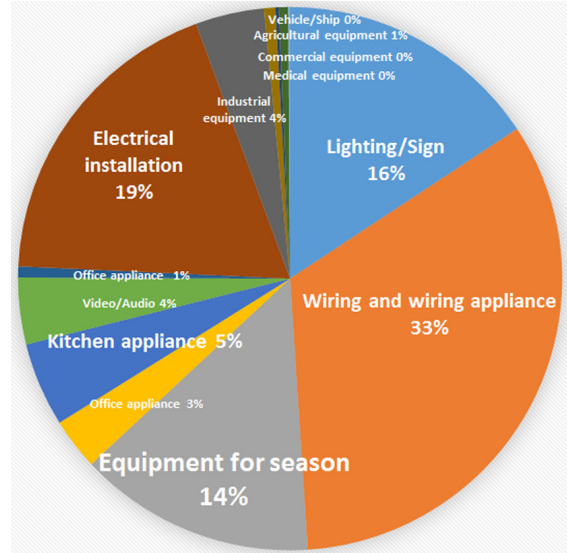


Fig. 2. Number of electrical fire for electrical equipment and appliance(2011).

Table 1. Number of electrical fire for wiring and wiring of appliance(2011)

Equipments	Classify	Number of accidents	Percentage(%)
Wiring(HIV)		570	34.4
Cord and wiring of appliance		364	22.0
Outlet		298	18.0
Wiring(DV)		168	10.1
Power supply wiring		144	8.7
Multi-outlets		88	5.3
Plug		18	1.1
Socket		7	0.4
<b>Total</b>		<b>1,657</b>	<b>100</b>

건, 콘센트에서 66건, 차단기 17건순으로 나타났다. 콘센트는 전기배선과 연결되어 있기 때문에 두 건수를 합하면 58%로 감전에 대해서는 이들 설비를 철저하게 관리해야 한다<sup>1)</sup>.

전기화재는 기타 및 미상을 제외한 총 5800건 중에서 배선 및 배선기구(1,929건)에서의 화재가 가장 높게 나타났고 다음으로 전기설비 순으로 나타났다. 배선 및 배선기구에서는 옥내 배선(570건)이 가장 높았고, 다음으로 코드선(364건), 콘센트(298건)로 나타났다<sup>1)</sup>. 배선 및 배선기구에서 콘센트 회로와 관련하여 코드, 콘센트, 멀티탭 및 플러그를 포함하면 46.8%가 나타난다<sup>1)</sup>. Fig. 1은 저전압 전기설비에서의 감전 수를 제시하였고 Fig. 2는 발화관련기기별 화재건수를 Table 1은 배선 및 배선기구에서의 전기화재 건수를 나타내었다.

## 2.2 연구실 관련 법

미래창조과학부는 연구실 안전점검 및 정밀안전진단에 관한 지침을 고시했다(미래창조과학부 고시 제 2013-109호)<sup>8)</sup>. 전기분야는 15개 항목의 점검항목을 분류하였으며 그 중점내용은 분전반, 고용량기기, 콘센트, 전기배선, 개인전열기, 방폭전기설비, 차단기 및 접지와 관련된 내용이다. 이 중에서 고용량기기 단독회로 구성, 콘센트 문어발식 접속, 전선피복노후 및 손상, 콘센트 사용 및 관리상태 등인데, 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙, 실험실 안전보건에 관한 지침, 전기설비기술기준의 판단기준을 근거하고 있다.

- 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)

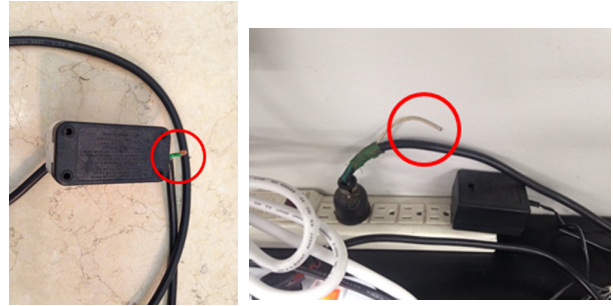
- 전선피복 노후 및 손상 : 산업안전보건기준에 관한 규칙 제313조(배선 등의 절연피복 등)와 산업안전보건기준에 관한 규칙 제315조(통로바닥에서의 전선 등 사용 금지)

- 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. 상기와 같이 고용량, 콘센트 및 전기배선의 관리는 철저하게 그리고 현행법에 준해서 관리되어야 하지만 실질적으로 부적합하게 관리하고 있다.

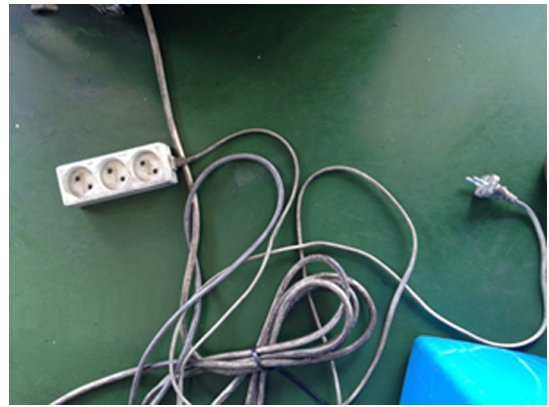
## 2.3 실태조사

Fig. 3은 연구실험실 실태조사에 따른 문제점을 나타낸 것들이다. Fig. 3 a)는 접지선을 시설하지 않은 것을 나타내고 있고, Fig. 3 b)는 접지선 미설치와 전선굵기 불량을 지적한 내용이다. Fig. 3 c)는 고용량과 관련하여 7,500 W를 단독 차단기 또는 단독콘센트를 사용하지 않았으며, 이로 인하여 해당 콘센트에 홀이 탄화된 것을 볼 수 있다. 이런 이유로 국내 연구실 점검·진단 결과를 바탕으로 작성한 ‘대학 화재 사고 분석 및 실험·실습실 안전사고 사례집(2010)’에 의하면, 전국 87개 대학을 대상으로 분야별 안전 지적 사항을 조사한 결과 전기 안전 분야가 전체 지적 건수의 28.7%

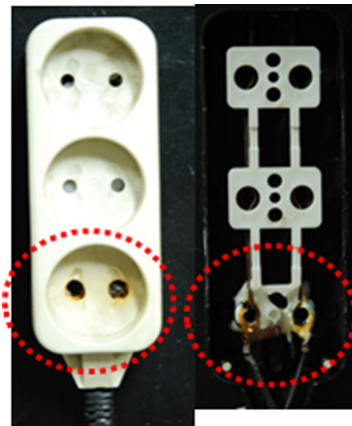
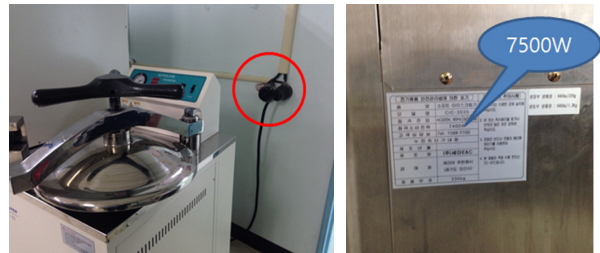
(5,426건)를 차지했다<sup>9)</sup>.



a) Ground not installed



b) Ground not installed and thickness defect of wiring



c) High capacity usage(Over 3 kW)

Fig. 3. Intellectual case of electrical installation for outlets at laboratory.

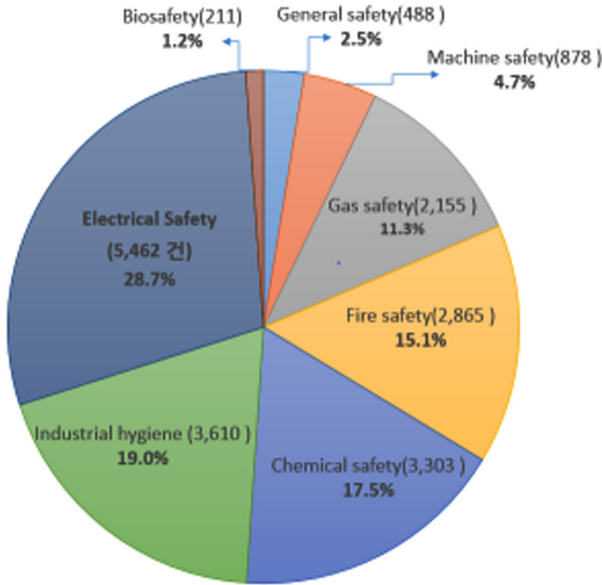


Fig. 4. Number of intellectual case at laboratory<sup>9)</sup>.

### 2.4 ETA 분석목적 및 방법<sup>7)</sup>

ETA(사상수목분석, Event Tree Analysis) 기법은 재해사고의 발생과정을 재해요인들의 연쇄로 파악하여, 재해발생의 초기사상 혹은 촉발사상(initiating event)으로부터 재해사고까지의 연쇄적 전개를 나뉘어 나타내는 귀납적인 시스템 분석기법이다. 이렇게 하면 어떤 과정을 거쳐 사고가 발생하는지 눈으로 확인할 수 있다. 여기에서 각 재해발생요인들의 발생확률까지 알 수 있다면, 정성적인 분석기법인 동시에 정량적인 분석기법의 장점도 활용할 수 있는 것이다. 원래 이 기법의 원리는 의사결정수목(Decision Tree)에서 차용한 것으로, 상호 배반적인 상황의 전개와 그 발생확률을 가시적으로 확인할 수 있다는 장점이 있어, 종래에는 재해의 확대 요인에 대한 분석 등에 이용되어

많은 성과를 올리고 있다.

어떤 사고에든 여러 가지 재해발생요인들이 연관되어 있다. 이 요인들을 도표 상단에 왼쪽에서부터 오른쪽으로 차례대로 나열한다. 이 때 가장 왼쪽의 요인은 시스템에 고장이나 사고가 발생하게 되는 부정적인 사상, 다시 말해 사고의 초기사상을 기입하는 것이 보통이고, 오른쪽 끝은 시스템 구성요소의 상태조합에 의한 결과상황들(End States)이 나열되는 것이니까, 그 중간의 재해요인들은 가급적 시간경과에 따라 재해사고가 전파되거나 혹은 확산되는 데 관계되는 요인들을 나열하도록 한다. 재해 초기사상이 결정되었으면 그 점에서 다음 요소의 발생사상에 따라 가지를 나눈다. 이 때 성공사상, 다시 말해 시스템 구성요소가 정상적으로 작동하는 경우를 맨 윗가지에, 정상적으로 작동하지 못하는 고장상태를 맨 아래 가지에 할당한다. 필요하다면 다양한 고장 모드에 따라 그 중간에 여러 개의 가지를 더 만들 수 있다. 그 다음 단계에서는 뺀어진 가지의 끝 점에서, 또 다시 다음 재해발생 요소의 성공, 실패에 따라 가지를 나누어 간다. 이렇게 하여 결과상황까지 뺀어 나가면, 시스템에 발생할 수 있는 모든 상황들이 오른쪽 가지 끝에 나열되게 된다.

### 3. 콘센트와 연계된 전기회로 및 구성부품분류

연구실험실의 대부분의 콘센트는 상용전원인 220V를 사용하고 있으며, 계측기는 물론이고 전기설비들이 접속되어 다양한 연구 실험에 사용된다. Fig. 5에서 실험기자재의 프레임은 전원플러그의 접지선과 연결되어 있으며 콘센트의 구리바(E3, 3종접지)와 접속된다. 실험기자재의 누전시에 접지선을 통하여 귀로된 전류에 의하여 누전차단기가 감지하여 전원을 개방하게 된

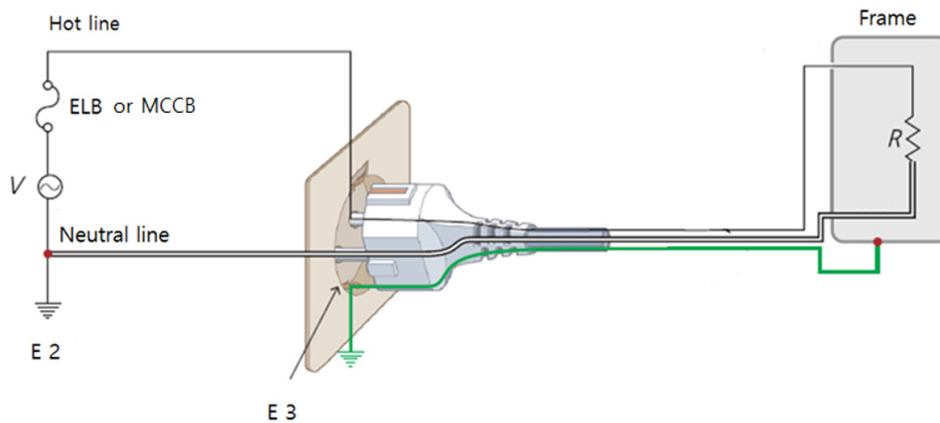


Fig. 5. The simplified electric power installation diagram showing the components considered in the analysis.

다. 배선용차단기는 과부하/과전류 발생시, 또는 단락시에 전원을 개방하여 전기설비를 보호한다. 콘센트회로는 분전반, 전원플러그, 코드, 콘센트, 전기배선으로 구성되어 있다. 분전반에는 배선용차단기와 누전차단기 접지바 등이 주요 구성부품이다. 전기배선은 옥내배선(HIV, Heat resistance in-door PVC wire), 인입선으로 사용되는 전선(DV, PVC insulated drop wire), 전력용 전선 및 접지선으로 구성되어 있다. 전력공급을 안정적으로 제공하는 것이 목적이기 때문에 전기내선규정에 의거하여 전기공사를 실시한다. Fig. 5는 콘센트와 연계된 회로를 나타내었다.

#### 4. 콘센트 회로의 초기사상 및 결과상황들

콘센트 회로에 대한 고장률은 프론티스의 PCT Windchill Quality Solutions의 데이터베이스를 바탕으로 하였고<sup>11)</sup>, 초기사상과 결과상황들은 한국전기안전공사<sup>12)</sup>와 IEEE gold book<sup>13)</sup> 및 전문가활용에서 제시한 기준을 바탕으로 하였다. 초기사상은 콘센트의 구성부품 및 회로에서 나타날 수 있는 내·외부에서 발생가능한 사상을 제시하였고 초기사상으로 인하여 콘센트 전체에 나타날 수 있는 결과상황들(전원관련 ES와 안전관련 ES)을 도출하였다. 초기사상은 내부 초기사상 30개, 외부 11개로 총 41개 구성되어 있으며, 환경적 요소 및 휴먼에러도 첨부하였다. 결과상황들은 전력부분 3개, 안전부분 12개로 총 15개로 구성하였다. Table 2는 콘센트회로에 대한 주요 구성품, 고장률을 제시하였다. 본 고장률과 비율은 콘센트뿐만(Fig. 5) 아니라 일반 전기설비의 신뢰성을 분석하는데 중요한 자료로 활용할 수 있다. Table 3은 초기사상, Table 4는 결과상황들을 나타내었다.

Table 2. Components, failure rates of the outlet circuit

Components	Failure rates
Rack structure	2.44E-05
MCCB/ELB	6.80E-07
Connectors	4.51E-07
Switch	1.15E-05
Outlet	5.95E-05
Plug	3.20E-05
Cord and wiring of appliance	1.25E-06
Indoor wiring(HIV)	1.05E-06
Power supply wiring	2.03E-06
Wiring(DV)	1.27E-07
Earthing wiring	1.62E-05

Table 3. List of initiating events(IE) for components and overall circuit of the outlet circuit

IE	
Internal IE	
Broken	IE_INT_BRO
Binding/Sticking	IE_INT_BS
Intermittent operation	IE_INT_IO
Short	IE_INT_SHORT
Fused fusible disconnecting	IE_INT_FFD
Flashover	IE_INT_FO
Malfunction	IE_INT_MAL
Cut/Scarred/Punctured	IE_INT_CSP
Worn	IE_INT_WORM
Fails To Open	IE_INT_FTO
Electrical Overstress	IE_INT_EO
Premature Open	IE_INT_PO
Degraded output	IE_INT_DO
Does not open	IE_INT_DNO
Fails To Close	IE_INT_FTC
Opens Without Command	IE_INT_OWC
Stuck Open	IE_INT_SO
Mechanical damage	IE_INT_MEDAM
Overvoltage	IE_INT_OVERVLT
Overcurrent	IE_INT_OC
Leakage	IE_INT_LEAK
Internal fire	IE_INT_FIRE
Excessive wear	IE_INT_EW
Improper output	IE_INT_IO
Poor contact	IE_INT_PC
Normal operation	P_INT_NOROPR
Function Failure	IE_INT_FF
Microcrack	IE_INT_MICRO
Parameter change Breaker	IE_INT_PCB
Open without stimuli	IE_INT_OWS
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 4.** List of End States(ES) for components and overall circuit of the outlet circuit

ES		
<b>Power-oriented ES</b>		
Normal operation	P_NO	Complete success
No power	P_NP_F	Failure
Improper power (for voltage, current, frequency level)	P_IP	Failure
<b>Safety-oriented ES</b>		
No power	S_NP_S	System safely shut-down, success
Overheating	S_OH	Failure
Open	S_OPEN	Failure
Fire	S_FIR	Failure
Electric shock	S_ES	Failure
Part Fire	S_P_FIR	Failure
Arcs(Overvoltage)	S_ARC	Failure
Explosion	S_EXP	Failure
Structural damages	S_SD	Failure
Corrosion	S_COR	Failure
Electric safety issues	S_ESI	Failure
Loss by combustion or destroyed	S_LCD	Failure

### 5. ETA 기법 적용

콘센트에서 발생하는 전기적 문제는 누설전류에 의한 감전, 접촉불량, 과부하/과전류가 해당된다.

감전의 경우는 2가닥 배선사용(접지선 생략), 상시전원이 인가되어야 할 장소에 잦은 누전으로 인한 누전차단기 동작으로 상시전원 투입이 불가하여 사용자가 접지선 절단, 연구기자재의 접지설비공사를 하지 않은 경우 등의 3중 접지 불량에서 발생하는 문제와 누전차단기를 설치해야 될 장소에 배선용차단기를 설치하여 발생된다. 접촉불량과 과부하/과전류는 줄열에 의존한다.

$$H = 0.24 I^2 R t \tag{1}$$

$I$ 는 전류(A),  $R$ 은 저항( $\Omega$ ),  $t$ 는 시간(sec)을 나타낸다.

접촉불량은 주로 콘센트와 플러그의 접촉점에서 또는 콘센트 연결단자부, 플러그 연결단자부의 불량으로 발생하는데 국내 차단기는 이를 발견하지 못한다. 문제는 이런 접촉불량 발생시 정격전류 이하의 저전류(5A)에서 도 순간 400℃이상의 높은 열이 발생되며 주위의 가연물이 있으면 바로 화재로 진전된다<sup>5)</sup>. 따라서 접촉불량에 대한 안전장치는 없다고 보면 된다.

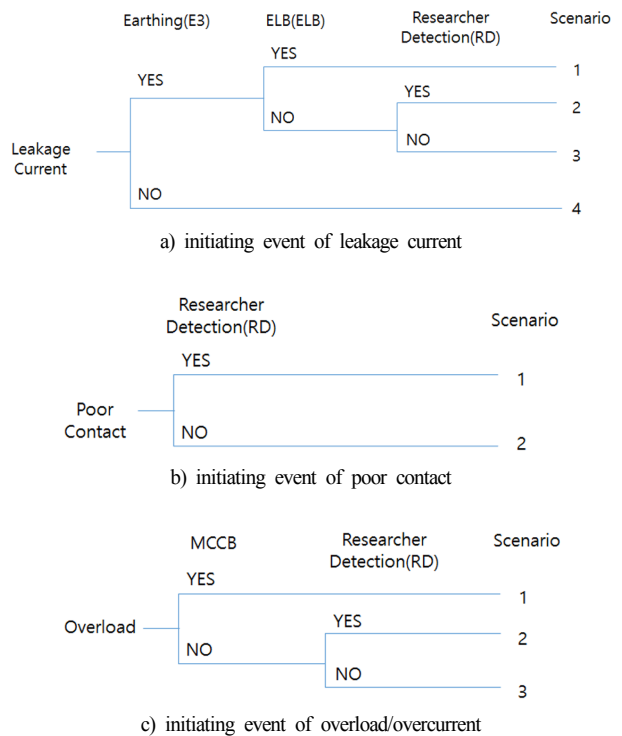
과부하/과전류는 한 개소에 3 kW이상의 소비전력에 대하여 식 (1)에서 전류는 13.6 A를 입력하고 저항과

사용시간을 입력하면 높은 열이 발생됨을 알 수 있다. 고용량 부하를 지속적으로 사용하면 콘센트 구조체에 영향을 미치고 탄화되어 저전류에도 화재를 일으킨다. 상기와 같은 문제에 대하여 ETA를 통한 정성적인 분석을 실시하였다.

Fig. 6 a)의 누설전류(초기사상)가 발생했을 때 전기설비의 플래임과 연결된 Fig. 5의 3중접지(E3)를 통하여 2중접지(E2)로 귀로하게 되고 최종 누전차단기가 동작하게 된다. 시나리오(결과상황들) 1과 2의 경우는 안전하나 3과 4의 경우는 감전이 초래된다. 시나리오 2의 경우는 접지공사의 불량이나 누전된 기기를 발견시에 이를 개선을 통하여 안전을 확보한다는 경우이다.

Fig. 6 b)의 접촉불량(초기사상) 발생했을 때는 안전장치가 없기 때문에 전적으로 관리자의 몫이다. 시나리오 1의 경우는 안전하나 2는 화재가 발생된다.

Fig. 6 c)의 과부하/과전류(초기사상)에 대한 것으로 배선용차단기가 유일한 안전장치인데 배선용차단기는 단락 및 정격용량을 초과해야 동작되는 것으로 고용량을 중첩으로 사용시에는 동작하겠지만 대부분은 동작되지 않고 콘센트에 큰 에너지가 전가된다. Fig. 6 c)의 경우도 관리자가 전기설비의 소비전력 확인을 통하여 체계적인 안전관리가 가능하다. 시나리오 1과 2는 안전하나 3의 경우는 화재가 발생된다.



**Fig. 6.** Analysis of Leakage(E\_INT\_LEAK), poor contact (IE\_INT\_PC) and overcurrent(IE\_INT\_OC) by ETA.

## 6. 결론

본 연구에서는 콘센트와 연계된 전기회로의 공사방법 불량과 사용부주위에 대하여 현행법, 연구실의 실태조사, 감전, 접촉불량, 과부하/과전류에 대하여 ETA의 정성적 분석을 통하여 그 위험성을 검증하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 콘센트 관련 구성 부품 11개에 대한 고장률, 초기사상은 내부 초기사상 30개, 외부 11개로 총 41개 구성되어 있으며, 결과상황들은 전력 부분 3개, 안전부분 12개로 총 15개로 구성하였다.

2) 누설전류(초기사상)에 대하여 3종접지가 가장 중요한 안전장치였으며, 접촉불량의 경우는 안전장치가 없는 관계로 관리자의 철저한 점검이 필요하다. 과부하/과전류의 경우는 고용량의 기기들이 연계되었을 때는 안전장치인 배선용차단기가 동작되나 대부분의 경우는 이를 동작하지 않음을 확인되었다.

3) 연구실 콘센트 회로의 관리는 미래창조과학부는 연구실 안전점검 및 정밀안전진단에 관한 지침을 바탕으로 하고 관리자 즉 연구자들은 소비전력과 접지에 대하여 철저한 관리가 필요하다.

4) 차후에는 본 연구에서 제시한 고장률(Table 2), 초기사상(Table 3)과 결과상황들(Table 4)을 바탕으로 사전의 위험을 발굴하고 제거할 수 있는 기법인 FTA(Fault tree analysis)를 이용하여 보다 객관적인 데이터를 제시할 계획이다.

## References

- 1) Korea Institute of Human Resources Development in Science and Technology, Standard Textbook for Safety in Laboratory(Safety for Electricity & Electronics), pp.1, 2015.
- 2) Korea Electrical Safety Corporation, <http://www.kesco.or.kr>, Electrical Safety Portal System, Electrical Fire Statics, 2016.
- 3) S. C. Kim and D. H. Kim, "Analysis for the Thermal Properties of the Electrical Wire according to Overload and Disconnection", Journal of The Korean Society of Safety, Vol. 22, No 4, pp. 26-31, 2007.
- 4) S. H. Lee and H. S. Oh, "A Study on the Electrical fire Analysis in Overcurrent of Low Voltage Wiring", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical installation Engineers Vol. 18, No. 3, pp. 142-148, 2004.
- 5) S. U. Kang, "Analysis of Characteristics and Application of Detecting Sensors for Signals by Poor Contact at Electrical Outlet", Graduate School, Chungbuk National University, pp. 51-59, 2014.
- 6) S. C. Kim, Analysis of Voltage Drop and Thermal Characteristics for Poor Connections at Electrical Connector of Circuit Breaker of Small Size Pulverizer below 5.5kW, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 30, No. 3, pp. 26-31, 2015.
- 7) H. -K. Lim, System Safety Engineering, Hansol Academy, pp.133-137, 2012.
- 8) National Research Safety Headquarters, Development of Standard Precision Safety Diagnosis Model, pp.14-22, 2016
- 9) Korea Institute of Human Resources Development in Science and Technology, Standard Textbook for Safety in Laboratory(Safety for Electricity & Electronics), pp.1, 2015.
- 10) Korea Institute of Human Resources Development in Science and Technology, Standard Textbook for Safety in Laboratory(Safety for Electricity & Electronics), pp.9, 2015.
- 11) FRONTIS, Introduction of PTC Windchill Quality Solutions, 2016.
- 12) Korea Electrical Safety Corporation, A Technical Guidebook for Preventing Possible Failures/Accidents based on the Case Studies in a 22.9kV Electrical [6] IEEE gold book, Design of reliable industrial and commercial power systems, pp.259-300, 2007.
- 13) IEEE Gold Book, Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems, pp.259-300, 2007.