



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2023年 02月

碩士學位 論文

누전 사례연구를 통한
전기안전관리 개선에 관한 연구

朝鮮大學校 産業技術創業大學院

電氣技術融合工學科

金 聖 彬

누전 사례연구를 통한 전기안전관리 개선에 관한 연구

Research on Improving Electrical Safety Management
according to a Case Study of Leakage Current

2023年 2月 24日

朝鮮大學校 産業技術創業大學院

電氣技術融合工學科

金 聖 彬

누전 사례연구를 통한 전기안전관리 개선에 관한 연구

指導教授 崔 然 玉

이 論文을 工學 碩士學位 申請論文으로 提出함.

2022年 10月

朝鮮大學校 産業技術創業大學院

電氣技術融合工學科

金 聖 彬

金聖彬의 工學碩士學位論文을 認准함

審査委員長 朝鮮大學校 教授 曹錦培 印

審査委員 朝鮮大學校 教授 金南勳 印

審査委員 朝鮮大學校 教授 崔然玉 印

2022年 11月

朝鮮大學校 産業技術創業大學院

목 차

ABSTRACT

I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	2
A. 누전의 원인과 피해	2
B. 누전의 예방	5
C. 누전차단기	9
III. 전기화재 및 감전재해 사고 분석	11
A. 전기화재 분석	11
B. 감전재해 사고	17
C. 감전재해 사고 사례	19
IV. 실험 및 결과 고찰	22
A. 누전 실험	22
B. 실험 결과 고찰	28
C. 누전 사고 시 점검 절차 가이드라인	29
V. 결 론	30

참고문헌

그림 목 차

그림 1. 전기 기구의 노후화	3
그림 2. 절연이 파괴된 전선	3
그림 3. 열로 인해 피복이 벗겨진 전선	4
그림 4. 메거를 이용한 절연저항 측정	6
그림 5. 절연파괴 시 메거 측정값	7
그림 6. 절연상태 시 메거 측정값	7
그림 7. 파이프 속의 누전으로 인한 전선 끊김 현상	8
그림 8. 2021년 화재 원인별 분포도	11
그림 9. 2021년도 월별 총 화재 및 전기화재 분포	12
그림 10. 2021년도 설비별 전기화재 분포	14
그림 11. 최근 10년간 감전재해 사고 발생 추이	17
그림 12. 실험 회로 구성도	22
그림 13. 누전 발생이 없는 경우	23
그림 14. 4번 콘센트에 누전이 발생한 경우	23
그림 15. 콘센트 3개와 누전차단기 콘센트 1개(부하 4)	25
그림 16. 콘센트 2개와 누전차단기 콘센트 2개(부하 3, 4)	25
그림 17. 누전차단기 콘센트 2개와 콘센트(부하 1, 2)	26
그림 18. 누전차단기 콘센트 4개 중에서 1개 콘센트(부하 4)	26
그림 19. 누전차단기 콘센트 4개 중에서 3개 콘센트(부하 2, 3, 4)	27
그림 20. 누전 사고 시 누전점검 절차의 가이드라인	29

표 목 차

표 1. 저압 전선로의 절연저항	6
표 2. 누전차단기의 약칭	9
표 3. 최근 10년간 연도별 전기화재 현황	11
표 4. 2021년도 월별 총 화재 및 전기화재	12
표 5. 전기화재 발화 원인별 현황	13
표 6. 장소별 전기화재 현황	13
표 7. 최초 착화물별 전기화재 현황	14
표 8. 발화지점별 전기화재 현황	15
표 9. 2021년도 일반용 전기설비에서 전기화재 발생기간 분석	15
표 10. 전기설비 중 수전 용량별 전기화재 현황	16
표 11. 감전 형태별 감전재해 사고 발생 현황	17
표 12. 전기기술자의 감전재해 사고 현황	18
표 13. 감전재해 사고 현황	18

ABSTRACT

Research on Improving Electrical Safety Management according to a Case Study of Leakage Current

Kim, Seong - Bin

Advisor: Prof. Choi, Youn - Ok, Ph. D.

Department of Electrical Technology Convergence Engineering,
Graduate School of Industrial Technology and Entrepreneurship,
Chosun University

The development of science and economy, the convenience of daily life, and the use of electricity that enriches life and quality are on the rise. However, sometimes electric shock accidents or electrical fires occur due to the wrong use of high-risk electricity.

Therefore, in this paper, we tried to suggest improvement measures from the perspective of electrical safety managers by examining short circuits, analyzing cases of electrical fires and electric shock disasters, constructing countermeasures against short circuits in field practice and outlet circuits with high frequency of short circuits.

In order to reduce damage caused by electrical leakage accidents and ensure systematic safety, a method for appointing an electrical safety manager and a guideline for checking procedures in case of leakage that can be used in the actual field are presented.

In addition, in the event of an electrical leakage accident, the possibility of stable construction for an electrical leakage accident was suggested by installing an earth leakage breaker embedded outlet at the load-side outlet during construction.

I. 서론

현대사회의 주요 동력원 중 하나인 전기는 인류에게 꼭 필요한 필수에너지이다. 또한 전기는 현대 사회의 발전함에 따라 그 발전속도가 기하급수적으로 빨라졌으며 사용은 점점 더 다양하고 복잡해지고 있다. 우리 생활에서 이제는 전기에너지 없이는 생활이 어려울 정도로 전기에너지와 밀접한 관계를 맺게 되었다. 하지만 우리는 전기에너지가 주는 편의성만을 생각하고 전기에너지의 위험성을 망각하여 전기화재를 자주 발생시킨다. 이러한 전기사고의 통계에 따르면 전기화재에서는 누전 및 단락, 과부하/과전류가 미치는 영향이 크다고 한다. 하지만 전기화재의 가장 큰 원인인 누전을 잡는 것은 쉽지 않다. 전기는 일단 눈으로 보이지 않아 누전이 발생하는 것을 육안으로 확인하는 것이 어렵고, 전기종사자가 아니고 일반인들에 있어 전문지식이나 누전을 확인할 수 있는 장비가 없기 때문이다. 또 대부분 전선은 벽 안과 천장, 배관에 은폐되어 있어 사고지점을 확인하는 것이 더 어렵다. 보이지 않는 상황에서 누전이 되고 있어 사고가 나거나 화재로 발생하기 때문에 알아차리기가 쉽지 않다. 주된 전기사고로는 전기를 사용하는 장소 근처에 물기가 많거나 먼지 등 부산물과 접촉불량 및 오래된 전선의 절연파괴, 전선 피복 손상 등이 주된 원인이다. 사고피해로는 신체가 닿아 감전사고를 입을 수 있고, 누전된 전류의 열로 인해 인화물질에 접촉하여 화재가 발생하는 경우가 있다.

본 논문은 현장에서의 경험을 바탕으로 전기안전 관리자가 누전사고 발생 시에 사고상황에 빠른 대체와 행동할 수 있는 누전 점검 절차의 가이드라인의 필요성에 따라 이에 대한 방안을 제시하여 전기안전관리의 개선에 도움을 주고자 한다. 또한 누구나 사용하지만, 누전이 제일 많이 일어나고 있는 우리 일상생활에서 가장 필요한 콘센트 부분의 누전 사고를 줄이는 방법과 안전한 전기의 생활에 기여할 수 있는 누전의 예방 대책을 실험을 통하여 그 타당성을 검증하고자 한다.

Ⅱ. 이론적 고찰

A. 누전의 원인과 피해

1. 누전의 원인

누전이란 전기가 새는 것으로 전기 회로에서 전선의 피복 손상으로 절연이 불완전하거나 파괴되어 전류 일부가 전기 회로에 흐르지 않고 전기 회로 밖으로 새어 나아가 대지 또는 주변 도체에 흐르는 누설전류의 현상을 말한다. 이러한 누전의 원인에는 다양한 원인에 의해 발생하나 일반적으로 전기제품의 결함이나 노후화된 전선 피복의 손상으로 인한 절연 불량으로 그림 1에서와 같이 전기 기구의 누후화나 그림 2과 같이 시간이 지나면서 스스로 절연이 파괴되어 가는 전선, 그림 3과 같이 열로 인한 피복의 벗겨진 전선, 전선이 물이나 습기의 침입 등이 주요 원인이 된다. 즉, 전기제품을 장기간 사용 시에 내부 결함으로 인한 누전이 발생하더라도 제품을 분해하지 않고 외관상으로 고장 여부의 판별이 어렵다. 여름 장마철에는 습도가 높고 습기는 갈라진 틈새를 타고 빗물로 인한 누전의 위험률은 높게 된다. 또한, 멀티탭의 허용 전력량을 초과하는 경우 허용전류의 이상의 과전류로 인하여 전선의 피복이 벗겨져 합선을 일으키기도 한다. 이처럼 한번 누전 현상이 지속적으로 발생하면 그 부분에서 누설전류로 인한 절연상태는 더욱 심화될 수 있다.[1]~[2]

2. 누전의 피해

누전으로 인한 피해는 1차적으로는 누전 시 차단기의 동작으로 인한 정전상태를 발생하게 되고 콘센트와 플러그에서 누전이 발생하면 전기제품에 규정치 이상의 전류가 흘러 제품에 부담이 증가하여 고장의 발생률이 높게 된다. 차단기의 결함에 의해 누전을 감지하지 못할 때는 누전을 방지함으로써 전기요금의 증가로 인한 경제적 부담이 증가하게 된다. 2차적인 피해는 심각한 사고로 대표적인 것은 감전과 화재이다. 누설전류에 의해 신체 일부가 접촉하면 감전 사

고로 이어지며 인화성 물질에 접촉하여 저항이 큰 곳에서 누설전류로 인한 발열에 의한 대형 화재를 발생할 수 있다.[1]~[2]



그림 1 전기 기구의 노후화



그림 2. 절연이 파괴된 전선



그림 3. 열로 인해 피복이 벗겨진 전선

B. 누전의 예방

1. 전기안전관리자 선임

누전을 예방하는 방법의 하나로 전기안전 관리자를 선임하는 방법이 있다. 전기안전 관리자는 전기안전 관리법 제 22조 1항에 의거 선임을 하며 전기재해의 예방과 전기설비 안전관리를 하는 전문 직종으로써 국가자격증 소지자로 일정 기간 이상 실무경력이 있는 전기기술자를 전기안전 관리자로 선임하여 자가용 전기설비의 안전을 도모할 수 있다. 현시점의 전기안전관리 선임대상으로는 전기수용설비의 용량이 저압 75kW 이상, 발전설비는 20kW 초과, 위험시설에 설치하는 전기설비 및 다중이용시설에 설치하는 전기설비는 저압 20kW 이상 되어야 법적 근거로써 무조건 선임을 하여야 한다. 하지만 이보다 용량이 낮다고 하여 선임을 못 하는 것이 아니고 원한다면 누구든지 전기안전 관리자를 선임할 수 있다. 용량이 적은 전기설비라 할지라도 전기사고를 미리 방지할 수 있는 전문 직종을 선임하는 것이 예방의 시작이라고 생각한다. 전기안전 관리자는 점검 항목으로는 외관 점검 및 부하 측정은 매 회차 진행하고 분기마다 적외선 열화상 측정을 하며 1년의 한 번씩 접지저항 측정, 절연저항 측정, 전원 품질분석을 하여야 한다. 특히 절연저항과 적외선 열화상 측정으로 인하여 현시점에서 절연이 파괴된 곳 열이 많이 발생한 곳을 찾아 사고를 미리 방지할 수 있다는 점이 전기안전관리가 누전의 예방으로써 가장 큰 방법이라고 생각한다.

2. 인위적 예방

누전을 점검하는 방법의 하나로 절연저항 측정이 있다. 이것은 정상적인 회로와 접지 간에 저항을 측정하여 누전을 확인한다. 누전이 아닐 경우, 전류가 흐르는 길이 아니므로 저항값이 매우 크게 나오고, 누전일 경우 저항값이 적게 나온다. 전류가 흐르는 길이 아니라는 것이다. 측정기기로는 절연 tester, 메거(절연저항계)로 측정한다. 저압 전선로의 절연저항 기준은 표 1과 같다. [3]

표 6. 저압 전선로의 절연저항

사용 전압 V	DC 시험전압 V	절연저항 MΩ
500V	500	1.0
500V 초과	1000	1.0

메거(절연저항계)를 DC 시험전압 500V로 절연저항 측정을 하였을 경우 전선의 상태가 매우 좋으면 그림 4와 같이 2,000MΩ 나오는 걸 확인 할 수 있다. 하지만 전선이 누전이거나 절연이 파괴되었을 경우는 그림 5와 같이 0MΩ이 나타난다. 보편적으로 우리가 사용하는 일반 전열을 측정하면 그림 6과 같이 나오며 양호한 상태일수록 MΩ이 값이 크다는 걸 확인 할 수 있다.



그림 4. 메거를 이용한 절연저항 측정



그림 5. 절연과괴 시 메거 측정값



그림 6. 절연상태 시 메거 측정값

3. 기계적 예방

누전 예방에 있어, 사람의 눈에 보이는 곳은 예방할 수 있으나, 상대적으로 사람의 눈에 보이지 않는 사각지대에서 발생하는 누전을 파악하기란 쉽지 않다. 그림 7과 같이 파이프 내부와 천장, 벽 속 또는 전기 접속장치나 전기기기의 내부에서 누전이 발생한다면, 귀중한 인명 및 재산의 피해를 예방할 수가 없을 것이다. 이러한 사각지대에서 발생하는 누전은 기계적 예방이 필요하므로 누전차단기를 사용한다.



그림 7. 파이프 속의 누전으로 인한 전선 끊김 현상

C. 누전차단기

1. 누전차단기

누전차단기는 ELB(Earth Leakage Breaker)로 누전을 차단하는 장치로 접지 및 절연과 더불어 감전 사고로부터 인한 인명피해를 줄이기 위한 안전장치이다. 주요 사용 목적은 감전, 누전 화재 및 전기설비 및 기기의 보호와 다른 계통으로의 사고 파급을 방지하는 용도로 사용된다.

누전차단기의 구성요소는 누전 검출 부, 영상변류기, 차단장치 및 시험용 버튼으로 구성된다. 누전차단기의 동작 원리는 정상시에는 유입전류와 유출전류의 차이가 없어 누전차단기가 동작하지 않으며 이상시에는 유입전류와 유출전류가 누전전류의 차이로 영상변류기가 검출하여 누전차단기가 동작하게 된다.[4]~[5]

2. 주택용(RCBO)과 산업용(CBR) 누전차단기[6]

주택용 누전차단기인 RCBO(Residual circuit operated Circuit-Breaker with integral Over current protection for household uses)는 과부하 보호 기능이 있는 잔류전류 차단기로 주택용 잔류전류 회로차단기(RCCB)에 MCB를 조합한 누전차단기를 말한다. 또한 산업용 누전차단기인 CBR(Circuit Breaker incorporating Residual current protection for industrial uses)가 있다. 표 2는 개정된 누전차단기의 약칭을 나타내고 있다.

표 7. 누전차단기의 약칭

개정 전		개정 후	
영문	한글	영문	한글
ELB	누전차단기	RCBO	주택용 누전차단기(BCD형)
		CBR	산업용 누전차단기

3. 누전차단기의 시설

누전차단기의 시설은 전원의 자동 차단에 의한 저압 전로의 보호 대책으로 누전차단기를 시설해야 할 대상은 다음과 같다.[6]

- 1) 금속 제외함을 가지는 사용 전압이 50[V]을 초과하는 저압의 기계 기구로서 사람이 쉽게 접촉할 우려가 있는 곳에 시설하는 것에 전기를 공급하는 전로
- 2) 주택의 인입구
- 3) 특고압 전로, 고압 전로 또는 저압 전로와 변압기에 의하여 결합되는 사용 전압 400[V]이상의 저압 전로 또는 발전기에서 공급하는 사용 전압 400[V]이상의 저압 전로

누전차단기를 시설할 필요가 없는 경우는 다음과 같다.

- 1) 기계기구를 발전소, 변전소, 개폐소 또는 이에 준하는 곳에 시설하는 경우
- 2) 기계기구를 건조한 곳에 시설하는 경우
- 3) 대지 전압이 150[V] 이하인 기계기구를 물기가 있는 곳 이외의 곳에 시설하는 경우
- 4) 이중 절연구조의 기계기구를 시설하는 경우
- 5) 전로의 전원 측에 절연변압기(2차 전압이 300[V] 이하인 경우)를 시설
- 6) 절연변압기의 부하측의 전로에 접지하지 아니하는 경우
- 7) 기계기구가 고무 합성수지 기타 절연물로 피복된 경우
- 8) 기계기구가 유도전동기의 2차 측 전로에 접속되는 것일 경우
- 9) 기계기구 내에 누전차단기를 설치하고 또한 기계기구의 전원선이 손상을 받을 우려가 없도록 신설하는 경우

Ⅲ. 전기화재 및 감전재해 사고 분석

A. 전기화재 분석

1. 국내 최근 10년간 연도별 전기화재 현황 분석

국내 최근 10년간 연도별 총 화재 건수 중 전기화재 발생 현황은 표 3과 같다.[7]~[8] 표 3에서 총 화재는 41만 5,707건이고 전기화재는 8만 3,541건이다. 전기화재의 사망자 수는 443명, 부수는 3,000명이며, 재산피해액은 약 1조 5천억 원이다. 그림 1은 2021년 화재 원인별 분포도를 나타낸 것으로 부주의에 의한 화재가 16,874건, 전기적 요인의 화재가 8,241건, 기계적 요인의 화재가 4,033건으로 나타나고 있다. 그림 8은 2021년 화재 원인별 분포도를 나타내고 있다.

표 8. 최근 10년간 연도별 전기화재 현황

연도	구분	총 화재 건수	전기화재 건수	점유율(%)	전기화재 인명피해(명)		전기 화재 재산피해액 (백만 원)
					사망	부상	
2012		43,249	9,225	21.3	49	349	69,812
2013		40,932	8,889	21.7	43	285	73,718
2014		42,135	8,287	19.7	31	295	70,597
2015		44,435	7,760	17.5	36	264	72,253
2016		43,413	7,563	17.4	46	282	62,731
2017		44,178	8,011	18.1	32	185	104,762
2018		42,337	9,240	21.8	85	440	112,995
2019		40,102	8,155	20.3	41	295	220,724
2020		38,659	8,170	21.1	38	341	119,714
2021		36,267	8,241	22.7	42	264	602,627
계/평균		415,707	83,541	20.1(평균)	443	3,000	1,509,933

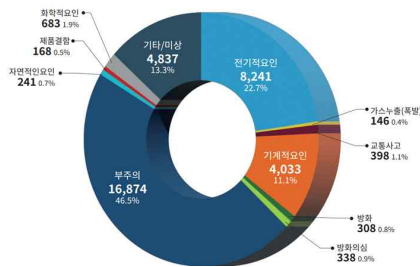


그림 8. 2021년 화재 원인별 분포도

2. 2021년 월별 화재 발생 분석

표 4와 그림 9는 2021년도에 발생한 월별 총 화재 및 전기화재 건수를 나타낸 것으로 1월에 발생 건수는 3,847건으로 가장 많고, 9월에 발생한 화재가 2,252건으로 가장 적게 발생하였다. 계절적으로 여름철인 7월의 발생 건수가 996건으로 연중 가장 많고, 다음으로 1월의 발생 건수가 938건으로 나타나 겨울철과 여름철에 전기화재가 자주 발생하였으며, 봄철과 가을철에 상대적으로 적게 발생한 것으로 나타나고 있다. 전기화재가 겨울철 및 여름철에 많이 발생하는 이유는 소비전력이 높은 에어컨, 전기난로, 전기히터 등 냉·난방기구 사용의 증가로 파악된다.

표 4. 2021년도 월별 총 화재 및 전기화재

월 구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
총 화재 (건)	3,847	3,500	3,180	3,603	2,715	2,456	3,036	2,607	2,252	2,710	2,908	3,453	36,267
전기 화재 (건)	938	625	608	587	587	571	996	814	558	573	616	768	8,241
점유율 (%)	24.4	17.9	19.1	16.3	16.3	23.2	32.8	31.2	24.8	21.1	21.2	21.2	22.7



그림 9. 2021년도 월별 총 화재 및 전기화재 분포

3. 전기화재의 발화 원인별 화재분석

표 5는 전기화재의 발화 원인별 화재분석 자료로 2,415건(29.3%)이 미확인 단락으로 발생하였고, 다음으로 1,754건(21.3%)이 절연열화에 의한 단락 화재이다

표 10. 전기화재 발화 원인별 현황

발화 원인 구분	계	절연 열화에 의한 단락	트래킹에 의한 단락	압착 손상에 의한 단락	충간 단락	미확인 단락	과 부하	누전 지락	접촉 불량	반 단선	기타
전기화재 (건)	8,241	1,754	1,119	372	94	2,415	655	241	847	158	586
점유율 (%)	100.0	21.3	13.6	4.5	1.1	29.3	8.0	2.9	10.3	1.9	7.1

4. 장소별 전기화재 분석

표 6은 장소별 전기화재 현황자료로 2,804건이 주택 및 아파트 등 주거시설에서 발화한 화재로 전체의 34.0%를 점유하여 가장 많이 발생하였으며, 축사, 발전시설이나 공장, 창고시설 등 산업시설에서 1,607건이 발생하여 19.5%를 점유하였다.

표 11. 장소별 전기화재 현황

장소	구분 전기화재(건)	인명피해(명)		재산피해(천원)
		사망	부상	
주거	2,804	34	159	17,234,612
교육시설	154	1	4	2,005,876
산업시설	1,607	3	34	555,077,955
생활 서비스	1,155	3	26	7,178,151
운수 자동차 시설	92	-	2	1,737,169
위험물/가스 제조소	5	-	-	361,533
의료/복지시설	151	-	7	841,151
임야	10	-	-	9,109
집합시설	113	-	2	670,843
판매/업무시설	866	1	20	13,942,805
기타서비스	568	-	7	3,048,057
기타	716	-	3	520,587
계	8,241	42	264	602,627,868

5. 설비별 전기화재 분석

그림 10은 2021년도 설비별 전기화재 분포도를 나타낸 것으로 미상 외에 22.9%인 1,887건이 배선 및 배선 기구에서 발화한 화재로 특히 콘센트에서 392건(20.7%)으로 가장 많이 발생하였고, 다음으로 12.0%를 점유율을 갖는 전기설비에서 발화한 화재가 991건으로 나타났다

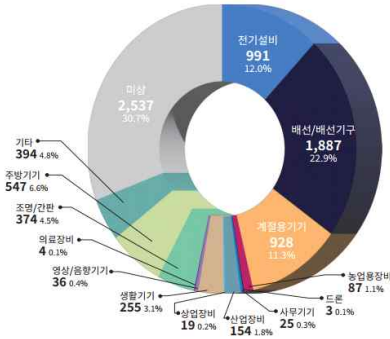


그림 10. 2021년도 설비별 전기화재 분포

6. 최초 착화물별 전기화재 분석

표 7은 최초 착화물별 전기화재의 현황자료로 77.6%에 이르는 점유율로 절대 다수인 6,395건이 전기, 전자제품에서 발생하였음을 알 수 있다. 특히, 이 중에서 1,561건이 배선/배선기구에서 착화한 것으로 분석되었다.

표 12. 최초 착화물별 전기화재 현황

구분	전기화재(건)	점유율(%)
최초 착화물		
가구	29	0.4
가연성가스	3	0.1
간판/차양막 등	48	0.5
식품	7	0.1
쓰레기류	41	0.5
위험물 등	11	0.1
전기/전자	6,395	77.6
종이/목재/건축 등	152	1.8
침구/직물류	83	1.0
합성수지	1,038	12.6
기타	283	3.4
미상	151	1.8
계	8,241	100.0

7. 발화지점별 전기화재 분석

발화지점별 전기화재를 분석하면 전체 전기화재의 27.5%인 2,268건이 생활공간에서 발생하며, 다음으로 설비/저장공간인 변전실과 창고, 보일러실 등에서 1,696건으로 20.6%의 점유율을 나타내고 있다. 건물 외벽, 지붕, 담장 등 구조물에서 10.7%로 882건이 발화하였고, 기능 공간인 사무실, 점포 내부, 작업실 등에서는 9.8%로 804건이 발생한 것으로 나타났다. 또한, 인명피해는 대부분 생활공간에서 발생하였으며, 재산피해는 설비/저장공간에서 가장 많은 피해액이 발생하였음을 알 수 있다. 표 8은 발화지점별 전기화재 현황을 나타내고 있다.

표 13. 발화지점별 전기화재 현황

발화지점	구분	전기화재(건)	인명피해(명)		재산피해(천원)
			사망	부상	
공정시설		82	-	2	7,988,443
구조		882	3	12	8,454,409
기능		804	-	15	20,277,250
생활공간		2,268	32	128	15,864,508
설비/저장		1,696	-	42	37,756,546
출구		315	3	16	1,956,875
기타		1,271	1	33	25,442,077
미상		923	3	16	484,887,760
계		8,241	42	264	602,627,868

8. 일반용 전기설비에서 전기화재 발생 기간 분석

2021년도 우리나라 일반용 전기설비에서 발생한 전기화재는 8,241건 중 63.2%인 5,212건이 발생하였으며 최초 전기 공급일로부터 전기화재 발생 시점까지는 20년 이상~30년 미만에서 29.9%인 1,556건으로 가장 많은 전기화재가 발생하였다. 표 9는 일반용 전기설비에서 전기화재 발생 기간의 분석을 나타내고 있다.

표 14. 2021년도 일반용 전기설비에서 전기화재 발생기간 분석

구분	화재발생발생기간							계
	5년 미만	5년이상 10년미만	10년이상 15년미만	15년이상 20년미만	20년이상 30년미만	30년이상		
일반용전기설비 (건)	523	688	524	626	1,556	1,295	5,212	
점유율(%)	10.0	13.2	10.1	12.0	29.9	24.8	100.0	

9. 전기설비 중 수전 용량별 전기화재 분석

전기화재 8,241건에 대해 수전 용량별로 보면 61.0%인 5,030건이 75kW 미만의 설비에서 발생하였으며, 17.4%인 1,433건이 1,000kW 이상의 설비 순으로 화재가 발생하였다. 특히 75kW 미만의 설비에서 화재가 5,030건인 61.0%로 가장 많이 발생하였다. 표 10은 전기설비 중 수전 용량별 전기화재 현황을 나타내고 있다.

표 15. 전기설비 중 수전 용량별 전기화재 현황

수전용량 (KW) 건수	75미만	75이상 100미만	100이상 300미만	300이상 500미만	500이상 750미만	750이상 1,000미만	1,000 이상	미상	계
전기설비 (건)	5,030	116	524	278	269	302	1,433	289	8,241
점유율(%)	61.0	1.4	6.4	3.4	3.3	3.7	17.4	3.5	100.0

B. 감전재해 사고

1. 최근 10년간 감전재해 사고 추이

2012년부터 2021년까지의 감전재해 사고 발생 추이는 그림 11에서와 같이 발생 건수는 2012년의 571건에서 약 27.8%가 감소하여 2021년에는 412건이 발생한 것으로 나타났으며, 특히 사망자 수의 비율이 약 28%로 감소하였다.[7]~[8]

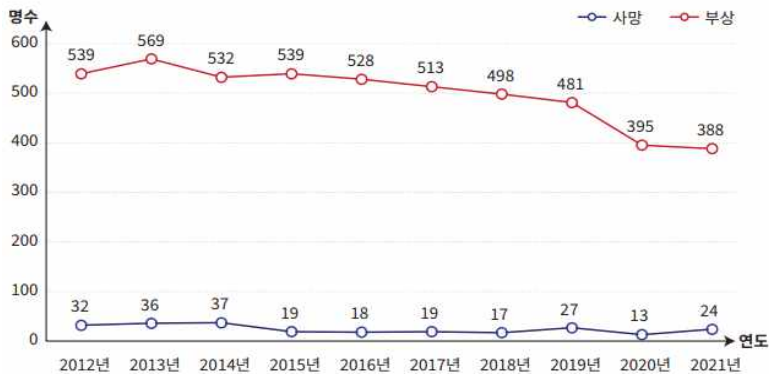


그림 11. 최근 10년간 감전재해 사고 발생 추이

2. 감전 형태별 감전재해 사고 분석

표 11은 2021년 감전 형태별 감전재해 사고 발생 현황으로 충전부 직접 접촉에 의한 감전재해 사고가 전체 감전재해 사고의 42.7%인 176명이며, 아크에 의한 감전재해 사고는 38.3%로 158명이다. 또한, 누전에 의한 감전재해 사고는 총 41명 중 사망자 5명, 부상자 36명이 발생하여 전체 감전재해 사고의 9.9%를 차지하였다.

표 16. 감전 형태별 감전재해 사고 발생 현황

구분 \ 감전형태	계	충전부 직접접촉	누전	정전유도	플래쉬오버	아크	낙뢰
사망(명)	24	13	5	1	2	1	2
부상(명)	388	163	36	10	22	157	-
계(명)	412	176	41	11	24	158	2

3. 전기기술자의 감전재해 사고 분석

2021년 감전재해 사고 412건 중 전기기술자의 감전 사상자는 39.1%인 161명이다. 전기설비의 시공과 관리, 보수업무에 종사하는 전기기술자의 감전 사상자 수는 161명이며, 표 12는 2021년 전기기술자의 행위별 감전재해 사고 현황이다

표 17. 전기기술자의 감전재해 사고 현황

행위 구분	전기 공사/ 보수	전기 운전 점검	가전 기기 운전/ 보수	간판 설치/ 통신 시설	기계 설비 공사/ 보수	건설/ 굴착 공사	청소/ 도색 작업	농/어 업 활동	보행	기타	계
사망(명)	4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5
부상(명)	121	20	1	1	5	1	2	1	1	3	156
계(명)	125	20	1	1	5	1	2	1	1	4	161

4. 전압별 감전재해 사고 분석

표 13은 2021년도 전압별 감전재해 사고 현황으로 저압에서 감전 사상자는 283명, 고압 및 특고압에서 발생한 사상자는 112명이 발생하였다. 일반적으로 감전재해 사고는 저압의 경우보다는 고압 및 특고압에서 감전재해 사고의 위험이 큰 것으로 인식됐으나, 사고 분석 결과에 의하면 고압보다는 저압에서 사고 빈도가 높았으며, 사망사고도 많은 것으로 나타났다. 특히 사망사고는 저압에서 많이 발생하였다. 저압에서 감전재해 사고가 많이 발생한 이유는 가정이나 직장에서 쉽게 접할 수 있으며, 대부분 국민이 220V 저압을 사용하기 때문이다.

표 18. 감전재해 사고 현황


전압 구분	110V	220V	380V	440V	33 kV	66 kV	132k V	22 kV	229 kV	25 kV	154 kV	DC 전 압	미 상	계
사망(명)	-	9	3	-	-	-	1	-	8	-	1	-	2	24
부상(명)	1	162	89	19	2	2	2	3	88	4	1	2	13	388
계(명)	1	171	92	19	2	2	3	3	96	4	1	2	15	412

C. 감전재해 사고 사례


1. 전동기 누전으로 인한 감전재해 사고[9]~[10]

<p>개 요</p>	<p>플라스틱 압출 제품을 생산하는 공장에서 압출기에서 압출된 몰드를 수조를 거쳐 냉각된 플라스틱 제품을 인출기로 밀어 넣는 작업을 하던 중 인출기 전동기 권선의 절연파괴로 누전되어 충전상태인 인출기 제품투입구인 롤러에 접촉하는 순간 감전되어 사망한 재해임</p>	
<p>발생 원인</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 누전차단기를 설치하지 않음 2. 접지를 시행하지 않음 	
<p>안전 대책</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전기 기계·기구는 당해 전로의 정격에 적합하고 감도가 양호한 감전 방지용 누전차단기에 접속하여 사용하여야 함 2. 누전에 의한 감전의 위험을 방지하기 위하여 접지를 시행하여야 함 	

2. 배기덕트 설치작업 중 감전재해 사고

<p>개 요</p>	<p>압축기 출하 공정에 배기덕트를 설치하기 위해 이동식비계 위에서 후드 지지용 와이어로프 설치작업을 하던 중 버스덕트가 와이어로프에 간섭되자 버스덕트에 구멍을 뚫어 와이어로프를 관통시키는 작업을 수공구로 하던 중 버스바에 수공구가 접촉되면서 감전 사망한 재해임</p>	
<p>발생 원인</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 절연용 보호구(안전 장갑 등) 미착용 2. 충전 전로에 대한 충전 여부 미확인 3. 작업 안전조치 미준수 	
<p>안전 대책</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 충전 전로에 접근 작업 시 절연용 보호구 등을 착용 2. 충전 전로에 접근 작업을 시행하는 경우 전로를 정전시켜야 함 3. 작업장소의 특성 고려한 작업 안전 수칙을 사전에 점검 및 준수 	

3. 이동형 전등 외함 접촉에 의한 감전재해 사고

<p>개 요</p>	<p>선박 수리업체 소속 재해자가 정박 중인 선박 기관실 내 하부 바닥 철판을 교체하기 위해 벨브 해체작업을 하던 중 동료 작업자가 작업장소의 조도를 높이기 위해 기관실 상부 1.5m에 있는 이동용 전등을 옮겨 달라고 요청하여 재해자가 이동용 전등의 전선을 잡고 아래쪽으로 위치를 옮기던 중 외함에 재해자 손이 접촉하는 순간 감전되어 사망한 재해임.</p>	
<p>발생 원인</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전선의 관리상태 소홀 2. 접지 미실시 3. 전원 측에 누전차단기 미설치 	
<p>안전 대책</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전선이 금속체 외함과 접촉되는 부위는 절연 피복의 손상을 방지하기 위해 전선의 절연상태를 수시로 점검을 시행하여야 함 2. 감전재해를 예방하기 위해 코드를 접속하여 사용하는 전기기계 기구의 비충전금속체 외함 등에는 접지공사를 실시하여야 함 3. 전기기계 기구 누전 시 신속하게 전원을 차단하여 작업자를 보호할 수 있도록 전원 측에는 누전차단기를 설치하여야 함 	

4. 광고 간판 설치작업 중 콘센트에 의한 감전재해 사고

<p>개 요</p>	<p>주유소 옥상에 광고 간판을 설치하기 위해 옥상에 올라가 건물 벽면에 홈을 파기 위해 핸드 드릴을 콘센트에 접속하였으나 작동이 되지 않자 콘센트를 해체한 후 지상에서 수리하기 위해 옥상에 설치된 철재 수직 사다리를 이용하여 절연 덮개가 개방된 콘센트를 들고 내려오던 중 콘센트 충전부에 손이 닿아 감전되어 추락 사망한 재해임.</p>	
<p>발생 원인</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 콘센트 수리 작업 시 전원 미차단 2. 전원 측에 설치한 누전차단기의 미작동 	
<p>안전 대책</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 콘센트 수리 작업 시 해당 전로의 개폐기를 차단하고 통전 금지 표지판을 부착하는 등의 정전작업을 실시하여야 함 2. 전기기계 기구에서의 감전을 방지하기 위해서는 과전류보호 겸용 누전차단기를 설치하고 사용 전·후 작동시험을 하여야 함 	

5. 크레인 펜던트 스위치 수리 중 감전재해 사고

개 요	<p>무더운 날씨에 철강 작업장에서 천장크레인 펜던트 스위치 고장이 발생하여 분해 수리한 후 펜던트 스위치 뒤 커버를 개방한 상태에서 시험조작을 하던 중 노출된 스위치 충전부에 손가락이 접촉하여 감전 사망한 재해임.</p>	
발생 원인	<ol style="list-style-type: none"> 1. 땀에 젖어있는 상태에서 펜던트 스위치커버 개방상태에서 점검 2. 절연용 보호구 미착용 	
안전 대책	<ol style="list-style-type: none"> 1. 하절기 감전재해 예방을 위하여 고장 수리 시 안전한 취급요령에 관한 근로자 안전교육을 실시하여야 함 2. 펜던트 스위치 시험조작을 할 필요가 있을 경우는 절연용 보호구를 착용하고 작업을 시행하여야 함 	

6. 이동식 크레인 작업 중 고압 전로에 의한 감전재해 사고

개 요	<p>옥외야적장에 적재된 컨테이너를 정리하기 위해 이동식 크레인으로 운반작업을 하던 중 재해자가 컨테이너 위에 올라가 와이어로프에 연결된 훅을 컨테이너 연결고리에 걸어준 후 내려오지 않고 상부에 탑승하여 이동식 크레인으로 들어 올리던 중 근접된 장소에 설치된 특별 고압 전로(22.9kV)에 접촉되어 감전 사망한 재해임.</p>	
발생 원인	<ol style="list-style-type: none"> 1. 충전 전로 인접 작업 시 절연방호조치(절연 덮개) 미흡 2. 중량물 운반작업 시 근로자 탑승 3. 안전관리 감독 소홀 	
안전 대책	<ol style="list-style-type: none"> 1. 사전 작업구역 내 충전 전로의 접촉위험 여부를 확인하고 당해 전로에 대한 절연방호조치(절연 덮개)를 하여야 함. 2. 이동식 크레인으로 중량물 운반작업 시 근로자를 운반하거나 근로자를 달아올린 상태에서 작업을 금지하여야 함. 3. 작업구역 내 장애물 유무를 확인하고 충전 전로의 위험이 존재할 경우 절연방호조치 등 관리 감독을 철저히 하여야 함. 	

IV. 실험 및 결과 고찰

A. 누전 실험

누전사고 발생지점은 콘센트, 전등, 피복 등이 있다. 절연이 파괴되어있는 부하 또는 누전이 일어나고 있는 부하를 사용함으로써 누전사고 중 가장 많이 발생하는 곳은 콘센트 지점 이다. 따라서 본 논문에서는 누전사고 발생지점 중에서 콘센트로 제한하여 2차 사고를 예방하는 방법을 제시하기 위하여 다음과 같은 실험을 하였다. 누전 실험을 위한 구성은 그림 12와 같이 실험 회로를 구성하고 누전차단기 2차 측에 콘센트 4개를 연결하고 부하는 파이롯트 램프로 가정하였다. 콘센트는 일반형 콘센트와 누전차단기 기능이 부가된 매립형 콘센트를 사용하여 실험을 수행하였다

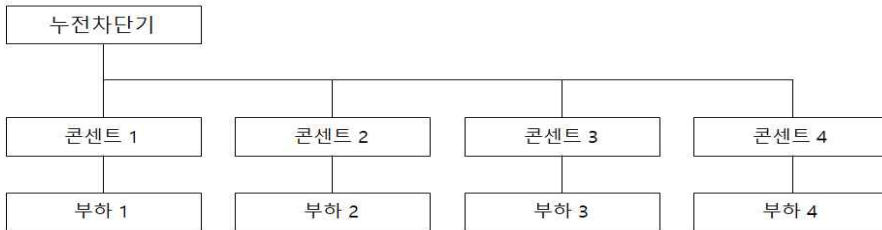


그림 12. 실험 회로 구성도

1. 일반 콘센트를 이용한 누전 실험

그림 13은 일반콘센트 4개로 구성하고 누전이 발생하지 않았을 경우의 누전 실험을 나타내고 있다. 실험 결과 누전차단기는 ON동작으로 부하에 전류가 흘러 파이롯트 램프도 정상적으로 점등됨을 확인하였으며 메거 테스트 측정값은 2,000M Ω 으로 양호한 절연 상태를 나타내었다. 그림 14는 그림 13과 같은 일반콘센트 4개로 구성된 상태이나 4번 콘센트 부하에서 누전이 발생한 경우의 누전 실험을 나타내고 있다. 실험 결과 누전차단기는 누전으로 인하여 OFF가 되고

모든 부하에 전류가 흐르지 않으므로 부하인 파이롯트 램프도 소등되고 메거 테스트 측정값은 $0M\Omega$ 으로 누전 상태임을 확인할 수 있었다.

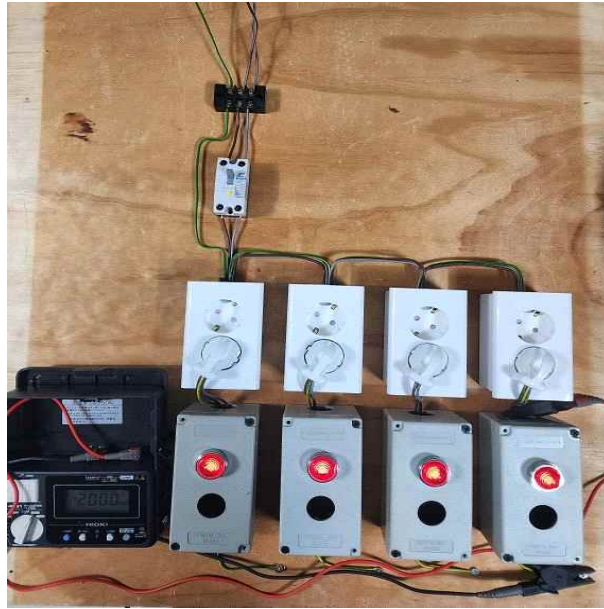


그림 13. 누전 발생이 없는 경우



그림 14. 4번 콘센트에 누전이 발생한 경우

2. 누전차단기 매립형 콘센트를 이용한 누전 실험

그림 15는 일반콘센트 3개와 누전차단기 기능을 갖는 매립형 콘센트 1개로 구성하였으며 누전차단기 매립형 콘센트로 교체하여 부하 4 앞단에 연결하고 누전이 발생한 실험을 나타내고 있다. 실험 결과는 콘센트 4에서 누전이 발생하였으나 메인 누전차단기는 ON되고 부하 1, 2 및 3 모두 전류가 정상적으로 흘러 파이롯트 램프는 점등되며 메거 테스트 측정값은 2,000MΩ을 나타내었다. 하지만 부하 4에서 누전이 발생되어 파이롯트 램프는 소등되고 메거 테스트 측정값은 0MΩ으로 측정되었다.

그림 16은 일반콘센트 2개와 부하 3과 부하 4에 누전차단기 매립형 콘센트 2개를 교체하여 콘센트 3과 4에서 누전된 경우의 누전 실험을 수행하였다. 실험 결과 콘센트 3과 4에서 누전이 발생하였으나 메인 누전차단기는 ON되고 부하 1과 2에는 정상적으로 전류가 흘러 파이롯트 램프가 점등되었음을 확인하였고 누전이 발생된 부하 3과 부하 4의 파이롯트 램프는 소등됨을 확인하였다.

그림 17은 그림 16과 같이 일반콘센트 2개와 누전차단기 매립형 콘센트 2개로 구성하였다. 하지만 누전이 일반 콘센트에서 발생하였을 경우의 누전 실험을 수행하였다. 실험 결과 메인 누전차단기는 OFF되어 부하에는 모두 전류가 흐르지 않음으로 부하 1에서 부하 4의 모든 파이롯트 램프가 소등되었고 메거 테스트 측정값이 0MΩ으로 측정되었다. 즉, 콘센트 4개 중 일반콘센트에 누전이 발생할 경우에는 누전차단기 매립형 콘센트로 교체해도 의미가 없어지는 것을 알 수 있다.

그림 18은 콘센트 4개를 모두 누전차단기 매립형 콘센트로 교체하고 콘센트 4에서 누전된 경우의 누전 실험을 수행하였다. 실험 결과 메인 누전차단기는 ON되어 있고 부하 1에서 부하 3까지는 전류가 흘러 파이롯트 램프는 점등됨을 확인하였고 부하 4의 파이롯트 램프만 소등된 것을 확인할 수 있었다.

그림 19는 콘센트 4개 모두 누전차단기 매립형 콘센트로 교체한 후 3곳이 누전된 경우의 누전 실험을 수행하였다. 실험 결과 메인 누전차단기는 ON되어 누전 되지 않는 부하 1에는 전류가 흘러 파이롯트 램프가 점등되고 부하 2에서 부하 4의 파이롯트 램프는 소등됨을 확인할 수 있었다.

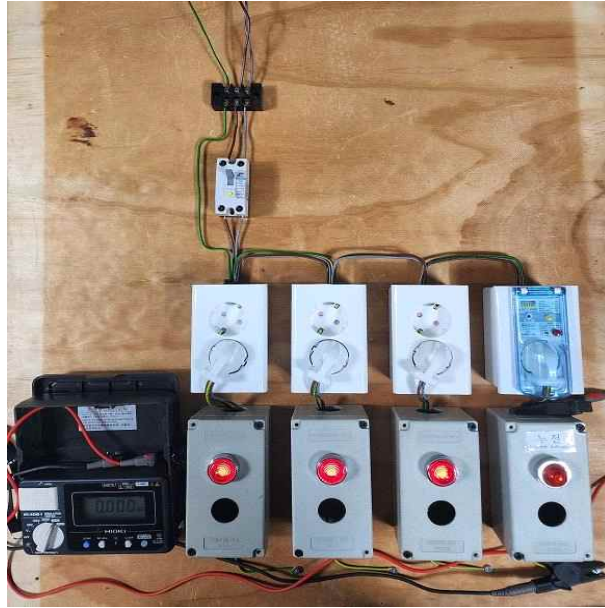


그림 15. 콘센트 3개와 누전차단기 콘센트 1개(부하 4)

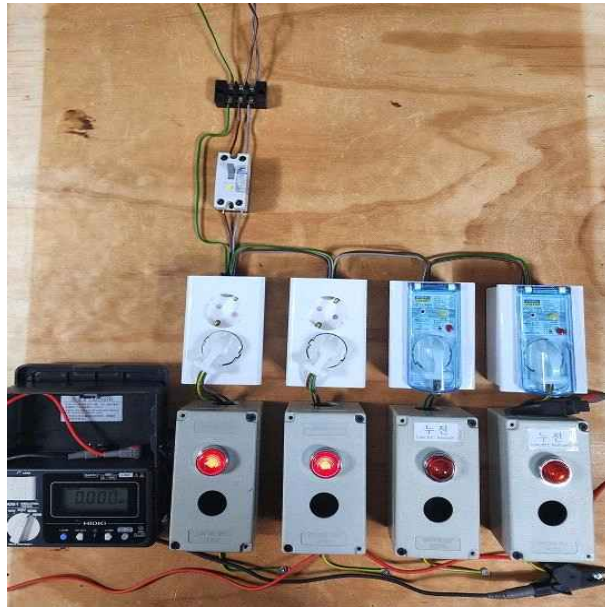


그림 16. 콘센트 2개와 누전차단기 콘센트 2개(부하 3, 4)

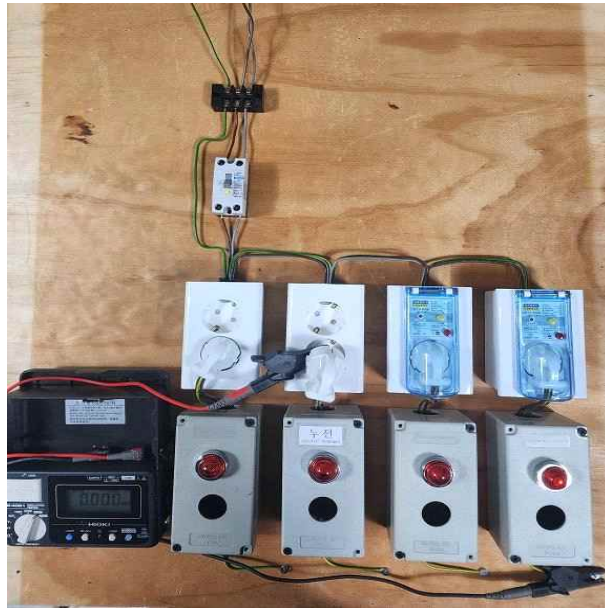


그림 17. 누전차단기 콘센트 2개와 콘센트(부하 1, 2)



그림 18. 누전차단기 콘센트 4개 중에서 1개 콘센트(부하 4)



그림 19. 누전차단기 콘센트 4개 중에서 3개 콘센트(부하 2, 3, 4)

B. 실험 결과 고찰

누전 실험을 위한 간략한 모의 회로를 구성하고 누전 사고가 발생하지 않았을 경우와 발생하였을 경우의 절연상태를 메가 테스터를 이용하여 절연저항 값을 측정하고, 누전차단기 동작으로 인한 전류의 흐름 유무는 부하의 파이롯트 램프 점등과 소등을 통하여 입증하였다. 또한 일반콘센트와 누전차단기 매립형 콘센트를 이용하여 누전 발생 시 발생한 곳만 차단되는 것을 확인하였고 누전이 발생하지 않는 부분은 전류가 흐르는 것을 확인하였다. 현재 산업현장에서 누전 사고가 발생하면 누전차단기 2차 측의 모든 부하가 동시에 OFF 되어 전기가 흐르지 않아 전기를 사용하는 부분에서 겪는 불편함을 해소할 수 있을 것으로 사료 된다. 또한 현재 사용하는 누전차단기의 정격감도 전류는 30mA 이하에서 0.03초 이내로 동작 되나, 욕실 또는 화장실 등 인체가 물에 젖어있는 상태에서 전기를 사용하는 장소에 설치하는 고감도 정격감도 전류 15mA 이하의 누전차단기 매립형 콘센트를 사용하면 누전에 대한 정격감도 전류가 낮아져 누전 사고 예방의 효율성을 기대할 수 있을 것이다.

C. 누전 사고 시 점검 절차 가이드라인

누전사고 발생 때 전기종사자라서 피해가 적은 것도 아니고 일반인이라고 해서 이 피해가 피해 가지 않는다. 각종 전기 누전 사고나 전기 누전 재해가 빈발하고 있는 상황에서 우리는 주변의 사고가 아니라는 생각과 안전을 최우선으로 고려한다는 인식이 정착되지 않아 더 큰 사고를 불러일으키고 있다. 특히 전기분야를 눈에 보이지 않아 위험하다는 인식만 있을 뿐 전기사고 대처하는 부분이 매우 취약한 상태이다. 그러므로 그림 20과 같이 현장실무에서는 전기 누전 사고 발생 시 안전을 확보할 수 있는 누전사고 시 누전점검을 위한 가이드라인을 제시하였다. 전기안전 관리자가 전기안전을 위한 빠른 점검 조치와 대응을 위해 누전사고 발생 시 최소한의 장비만으로 누전사고를 해결할 수 있는 가이드라인을 전기 패널 내부에 배치하여 활용함으로써 2차 피해를 저감 시킬수 있을 것이다.

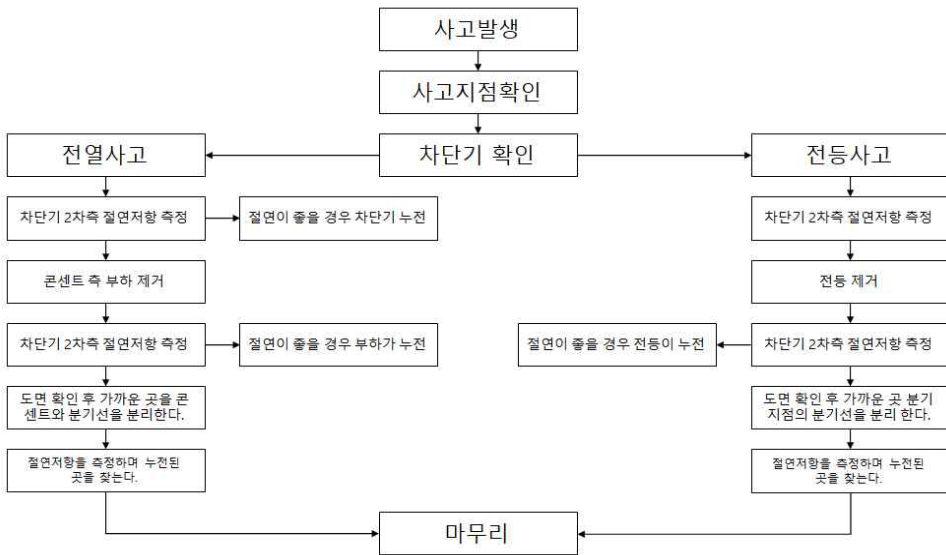


그림 20. 누전 사고 시 누전점검 절차의 가이드라인

V. 결 론

본 논문에서는 누전에 관하여 고찰하고 전기화재 및 감전재해의 사례를 분석하고 현장실무에서 누전시 대응전략과 누전의 빈도수가 높은 콘센트 회로를 구성하여 전기안전관리자 측면에서 개선책을 제시하고자 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 누전의 주요 원인과 1, 2 차적인 피해를 통한 누전의 예방 대책을 고찰하고 누전차단기에 대한 약칭의 변화와 누전차단기의 시설에 관한 개정으로 현장에서는 다소 혼란스럽지만 정착될 것으로 사료된다.
2. 전기화재 및 감전재해에 대한 최근 10년간 현황 분석과 지난해의 화재 원인별 분포, 발화 원인별 화재분석, 장소별, 설비별, 최초 착화물별 전기화재, 발화지점별, 전기화재 화재발생 시점, 수전용량별에서 발생하는 점유율의 변화는 그동안 통계와 큰 변화는 없음을 알 수 있었다.
3. 전기 누전 사고로 인한 피해를 줄이고 체계적인 안전을 확보할 수 있도록 전기안전 관리자를 선임하는 방법과 실제 현장에서 활용할 수 있고 누전시 점검절차의 가이드라인을 제시하여 빠른 대응이 가능할 것으로 사료된다.
4. 누전차단기 설치가 의무화 되어 있으나 정격감도 전류를 30mA가 아닌 부하마다 정격감도 전류 15mA인 누전차단기 매립형 콘센트 설치를 제시하여 누전 발생 시에도 모든 부하가 꺼지지 않고 누전이 발생한 부분만 차단하여 2차 사고를 예방하고 전기 사용의 불편함을 줄일 수가 있다고 예상된다.
5. 또한, 누전 사고가 발생한 경우 시공 시 부하 측 콘센트에 누전차단기 매립형 콘센트를 설치하여 전기 누전 사고에 대한 안정적인 시공이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 서범중, “고객 클레임 요인분석에 의한 T사의 누전차단기 품질개선 방안”, 한밭대학교 산업대학원 스마트생산경영공학과 석사학위논문, 2021
- [2] 김주철, “전자식 누전차단기(ELCB)의 안전성 향상을 위한 트립 동작시간 단축”, 서울과학기술대학교 일반대학원 의공학-바이오소재 융합협동과정 박사학위논문, 2020
- [3] 김창은, “전기화재 원인분석과 예방 대책에 관한 연구”, 명지대학교 대학원 산업경영공학과 박사학위논문, 2020
- [4] 김형민, “누전차단기와 서지방호장치의 서지협조”, 인하대학교 공학대학원 정보전기공학과, 공학석사학위 논문, 2017
- [5] 한국산업안전보건공단, “감전방지용 누전차단기 설치에 관한 기술지침”, 2011
- [6] 산업통상자원부 고시, “한국전기설비규정”, 2022.
- [7] 한국전기안전공사, “2021년도 전기재해통계 분석”, 2022
- [8] 소방청, “2021년도 화재통계연감”, 2022
- [9] 한국산업안전보건공단, “전기설비 중대 재해사례 모음집”, 2009,
- [10] 전기안전교육자료, 감전재해 사례 및 안전사고예방대책, 한국산업안전공단,