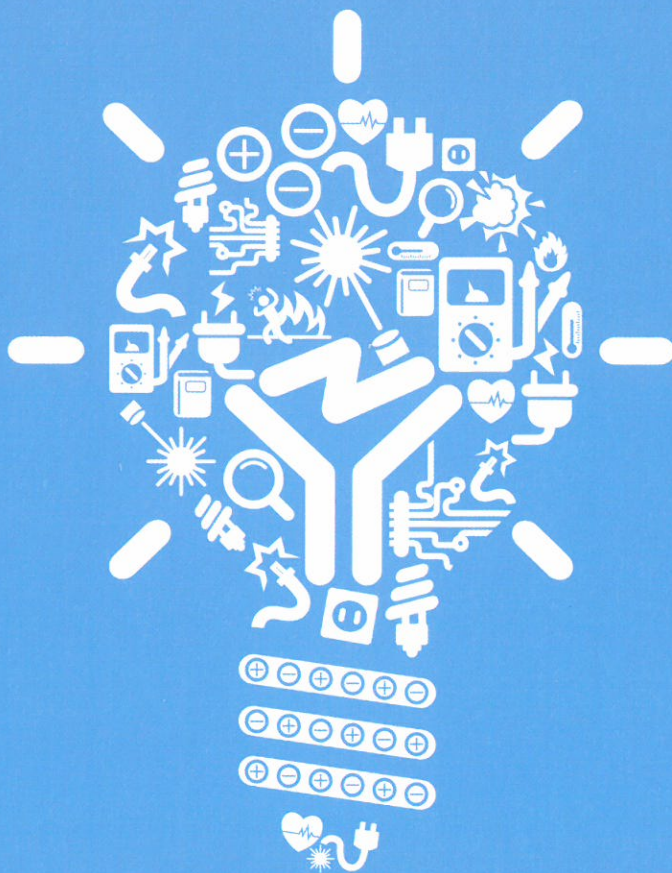
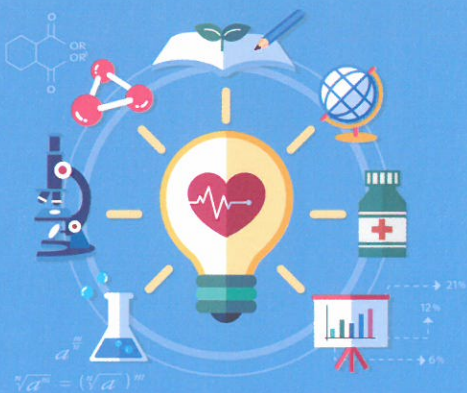


연구실 안전 표준 교재

전기·전자 안전



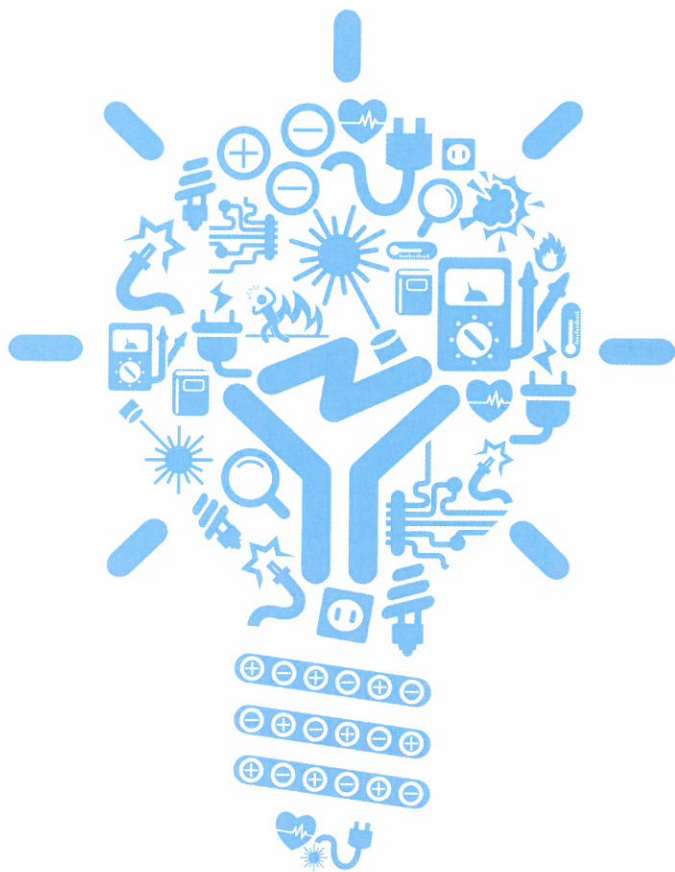


안전한 실험 수행은
모든 연구개발의 출발점입니다.

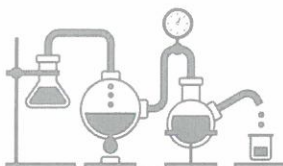
All research and development start
from performing safe experiment.

연구실 안전 표준 교재

전기·전자 안전



CONTENTS



들어가며

CHAPTER

1

전기의 기본 개념

- 1. 일반적인 전기의 개념 2
- 2. 연구실 전기 설비 5
- 3. 연구실 전기 재해 10

CHAPTER

2

감전 사고

- 1. 통전 전류와 인체 저항 14
- 2. 감전 사고와 전격 16
- 3. 감전 사고의 원인 22
- 4. 감전 사고의 방지 24

CHAPTER

3

전기 화재

- 1. 전기 화재의 원인 32
- 2. 전기 화재의 방지 41

CHAPTER

4

정전기 재해

- 1. 정전기 이론 49
- 2. 정전기 종류 52
- 3. 정전기 재해의 원인 56
- 4. 정전기 사고 방지 대책 59

CHAPTER

5

전기 설비 및 작업 안전

- 1. 접지 66
- 2. 누전 차단기와 배선용 차단기 72
- 3. 교류아크 용접기와 안전 장치 74
- 4. 전기 작업과 안전 79

CHAPTER

6

전기 안전 사고 사례

- 1. 감전 사고 사례 86
- 2. 전기 화재 사고 사례 89
- 3. 정전기 사고 사례 99

부록

- 부록. 전기 안전 용어 106

참고문헌

114



들어가며

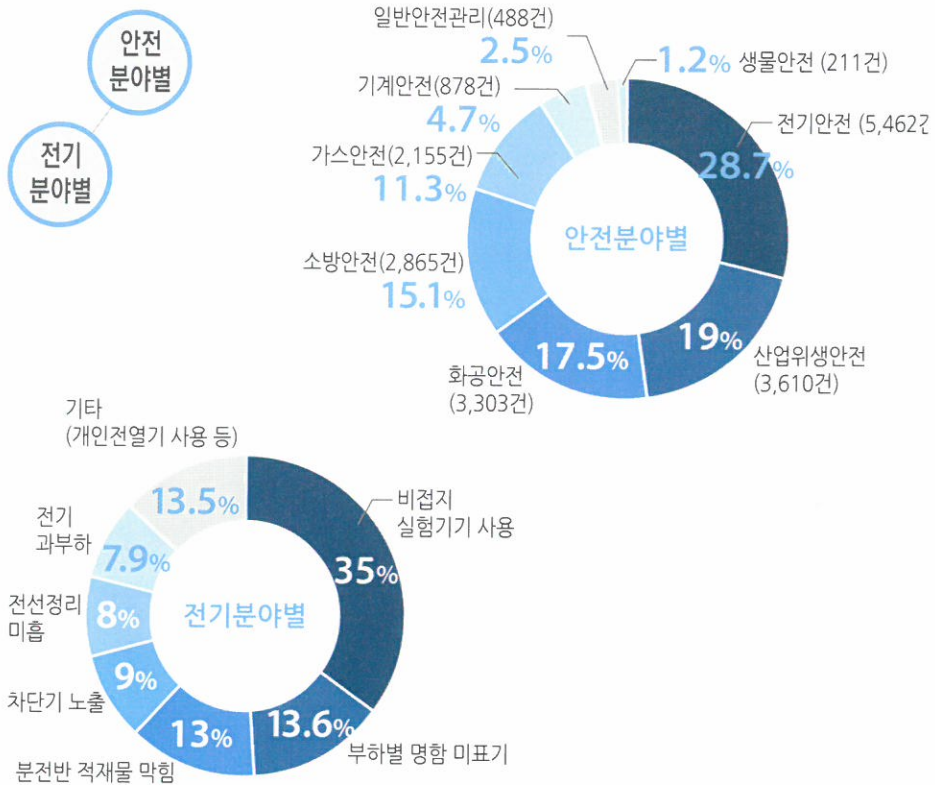
‘연구실 안전환경 조성에 관한 법률(이하 연안법)’은 과학기술 분야 연구실 안전의 확보와 연구실 사고로 인한 피해의 보상을 통해 연구자원의 효율적 관리 및 과학기술 연구개발활동 활성화를 목적으로 제정되었다. 이에 따라 정부는 다양한 연구실 안전환경 사업을 시행해왔으며, 연구실 안전 교육·훈련 정착을 통해 안전한 연구문화 기반 마련을 위한 지원을 지속적으로 추진하고 있다.

대학 및 연구기관의 연구실에는 각종 계측 장비, 기계 장치, 전산 장비, 개별 난방기, 간이조명시설 등 전기를 동력원으로 하는 기기들이 곳곳에 산재되어 있다. 또한 연구실 내부에는 각종 실험·실습을 위하여 설치된 실험 기기들을 24시간 내내 작동시키는 경우가 많다. 그러므로 연구활동종사자는 연구실 내 전기·안전 분야에 대한 기초적인 지식과 주의 사항을 숙지하여 빈번히 발생하는 전기 화재 및 폭발 사고를 미연에 방지할 수 있도록 올바른 전기 안전 지식을 습득 할 필요가 있다.

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.

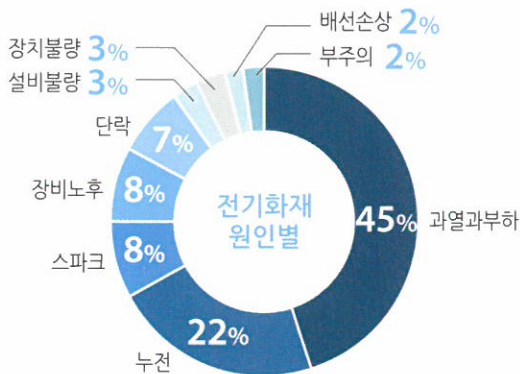
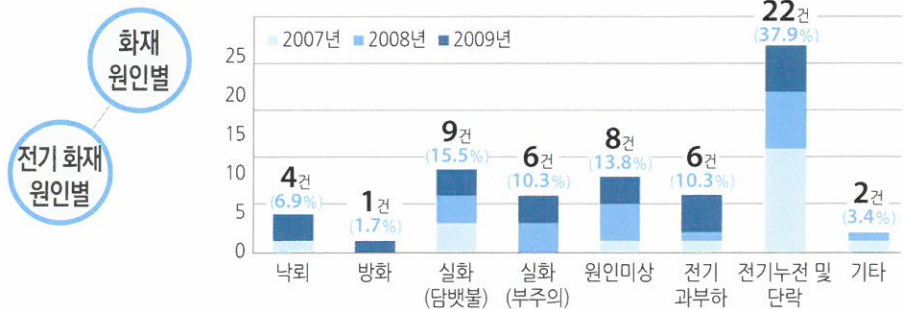
특히 전기분야의 주된 지적된 사항은 비접지된 실험기기의 사용(35%), 부하별 명관 미표기(13.6%), 분전반 적재물 막힘(13%) 등 전기 안전시설 미비 및 사용 부주의로 나타났다. 즉, 전기로 인한 연구실의 인적 재해는 연구활동종사자의 사용부주의, 전문가의 허가를 받지 않은 전원연결, 비정상적 기기 작동, 개인보호구 미착용 등의 낮은 안전 의식 수준 및 비전문적 안전 지식에 의해 주로 발생한 것을 확인해 볼 수 있다.

분야별 안전 지적 건수 분석



또한 연구실 화재 사고의 원인별 분석 결과에 따르면, 전기누전 및 단락에 의한 화재가 22건으로 가장 많았고, 실화 및 전기 과부하 등에 의한 화재 발생이 그 뒤를 이었다. 이렇듯 전기로 인한 화재 발생 건수가 40% 이상을 육박하고 있는 상황이지만, 실제 연구 현장에서는 이에 대한 구체적인 대응 조치나 방지 대책이 없는 실정이다. 2007년부터 2014년 사이에 발생한 연구실 전기 사고 중, 과열 및 과부하로 인한 사고(45%)가 가장 많이 발생하였고, 그 다음으로는 누전으로 인한 사고(22%) 또한 빈번하게 발생하였다.

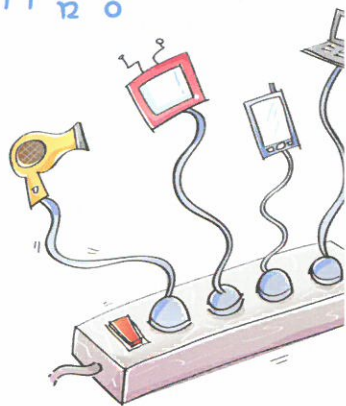
연구실 화재 원인별 분석



따라서 전기 안전사고 원인에 대한 연구실 차원에서의 적극적인 예방과 조치가 선행적으로 이루어져야 전기로 인한 화재 및 사고를 방지할 수 있다. 따라서 안전관리 부서 담당자는 물론 대학원생 및 연구원 등 연구활동종사자들이 활용할 수 있는 “전기·전자 안전” 교재를 통해 해당 분야의 기본 개념과 사고 사례를 전달함으로써, 전기 사고로 인한 인명 및 재산 피해를 예방하고 연구 활동에 전념할 수 있는 안전한 연구 환경을 조성하고자 한다. 또한 전기·전자 분야의 전문 지식이 부족한 연구자들도 쉽게 접근하여 현장에서 곧바로 시행할 수 있도록, 연구실 전기 설비의 실질적 지식과 실제 연구 현장의 다양한 사고사례를 중심으로 내용을 구성하였다.

멀티 콘센트 화재의 위험성

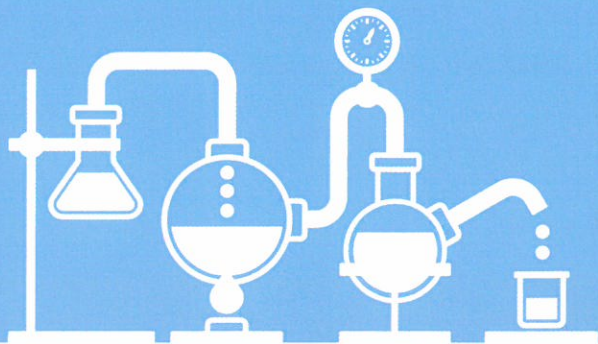
우리집을 쭉 둘러보면 전기 없이 움직이는 것이 없습니다.
전력을 많이 소비하는 제품으로
냉장고, 컴퓨터, 에어컨, 전자레인지 등이 있습니다.
그런데



전류 내에서 사용하고 있던 멀티콘센트는 왜 타버렸을까?

- ★ 콘센트에 플러그를 완벽하게 접속하지 않았을 때가 간과하기 쉬운 위험한 경우예요.
- ★ 콘센트를 헐겁게 꽂으면 전기는 스파크로 변해버리고 불꽃이 일며 화재가 발생할 수 있어요.
- ★ 플러그를 꽂는 두 핀이 휘어지거나 접지핀이 없으면 누전될 경우 누전차단기가 작동하지 않고, 장시간 방치해 두면 나중에 화재로 이어집니다. 그대로 방치해 두었다면 전기 화재로 이어졌겠죠?

연구실 안전 표준 교재
전기 · 전자 안전





CHAPTER

1

전기의 기본 개념

1. 일반적인 전기의 개념
2. 연구실 전기 설비
3. 연구실 전기 재해



1

CHAPTER

Safety for Electricity & Electronics

전기의 기본 개념



전기시설, 장비, 연구실험실, 연구재료 등으로 인해 연구활동종사자가 전기 에너지에 노출되어 사고가 종종 발생하고 있다. 전기의 개념을 정확히 이해하고 연구실에서 전기로 인해 발생할 수 있는 재해를 알아본다.

1. 일반적인 전기의 개념

(1) 전기 에너지

연구실에서 전기 에너지는 다음과 같이 구분할 수 있다.

① 동전기(動電氣)

전선로를 따라 흐르는 전기 에너지로, 일반적으로 '전기'라고 부르고 있다. 이로 인한 재해를 동전기 재해 또는 전기 재해라고 한다.

② 정전기(靜電氣)

절연된 금속체나 절연체에 존재하는 전기 에너지로, 전하가 정지 상태로 있어 전하의 분포가 시간적으로 변화하지 않는 전기를 말한다. 정지해 있는 전자들은 마찰을

통해 다른 물체로 이동하고 조금씩 저장된다. 따라서 적정 한도 이상의 전기가 쌓이면 적절한 유도체에 닿았을 때 순식간에 불꽃을 튀며 이동하게 된다. 이로 인한 재해를 정전기 재해라고 한다.

(2) 전류의 흐름

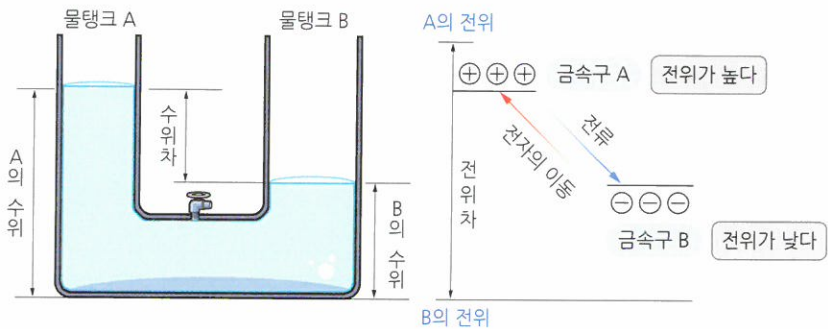


그림 1-1 수위(차) 및 전위(차)의 관계

① 전위차(전압)

전기는 물의 흐름과 유사하다. 물탱크 A와 B를 연결해서 A에 들어있는 물을 파이프를 통해 B로 흘려보내면, 물은 수위가 높은 물탱크 A로부터 수위가 낮은 물탱크 B로 수위가 같아질 때까지 흐른다. 물을 흐르게 하는 힘은 수위차, 소위 수압이다. 수위의 기준은 탱크의 밑바닥이며, 수압이 높을수록 유량이 많아지고 흐름의 세기가 강해진다.

이와 같이 (+)전기를 가진 금속구 A와 (-)전기를 가진 금속구 B를 도선으로 연결하면 B의 전자가 A로 이동한다. 양쪽 전자의 양이 같아지는 시점에 전자의 이동이 중지된다. 이 과정에서 발생한 전기의 양을 전하라 하고, 전기장 내에서 단위전하가 갖는 위치 에너지를 전위라 한다. 전위의 기준은 대지의 전위(통상적으로 Zero volt)

이고, 전위간의 차이를 전위차 또는 전압이라고 한다. 따라서 전위차를 만들기 위해서는 2개의 지점이 필요하다.

② 전류 및 저항

물탱크에서 파이프가 가늘면 물이 흐르기 어렵고 수량이 감소하듯이 파이프와 수량은 밀접한 관계가 있다. 파이프가 길거나, 파이프 안쪽에 심한 굴곡이 있는 경우 물의 흐름은 저항을 받아 쉽게 흐를 수 없게 된다. 이와 마찬가지로, 전기도 도선의 굵기, 길이, 재질에 따라서 흐르는 전기의 양이 달라진다. 이렇게 전기가 흐르기 어렵게 되는 정도를 전기저항, 또는 저항(Ω , 옴)이라 한다. 전류의 크기는 초 당 몇 쿨롱(C)의 전하가 이동했는지를 표시하며 암페어(A) 단위를 이용한다.

③ 임피던스(Impedance)

교류(AC)회로에서 임피던스는 직류(DC)회로에서의 전기저항과 같은 역할을 하며, 단위는 저항과 같은 옴(Ω)이다. 임피던스는 저항과 리액턴스(Reactance)의 합으로, 리액턴스(Reactance)는 유도성(Inductance)과 용량성(Capacitance)에 의해 결정되는 값이다. 즉, 직류의 전기저항 개념을 교류에서 전압과 전류의 상대적인 크기와 위상을 포함하는 전기저항 개념으로 확장한 것이다.

$$Z = R + jX$$

Z : 임피던스, R : 저항, X : 리액턴스, j : 허수부(회로를 흐르는 전류의 주파수에 따라 그 값이 달라짐)

2. 연구실 전기 설비

고압으로 생산된 전기는 변압기를 거쳐 우리가 사용할 수 있는 전압으로 변환된다. 전압의 세기에 따른 배전방식은 고압배전, 저압배전, 교류배전으로 분류할 수 있다. 이 중 교류 저압배전은 단상 2선식, 단상 3선식, 3상 3선식, 3상 4선식으로 구분하며, 연구실에서는 주로 3상 4선식을 이용한다.

(1) 3상 4선식

① 3상 4선식의 구성

3상 4선식은 Y결선이라고도 하며, R상, S상, T상, N(Neutral)상, E(Earthing)로 구성 되어 있다. 220V에서는 R·S·T상 중 한 상으로 전류를 보내는 전압선(Hot line) 1선과 변압기 2차 측에서 접지된 N상에 연결된 중성선 1선, 총 2선으로 구분하여 설명한다. 즉, 일반 220V 콘센트의 두 구멍 중 하나는 전압선, 다른 하나는 중성선에 연결 되어 있다.

3상 4선식을 이해하기 위해서는 변압기 결선에 대해 알 필요가 있다. [그림 1-2]의 (a)는 변압기 결선의 도식으로 (+)단자의 하나 하나가 R·S·T상으로 구성된다. 각 (+)상에는 변압기가 연결되어 있고, N상은 3대의 변압기 접지인 배꼽단자(E)와 (-)단자를 모두 연결하여 하나의 선으로 구성한다. 실제 테스터기로 3상 4선식의 상 연결에 따른 전압을 체크하면 다음과 같다.

- 중성선 기준 상전압

$R \cdot N=220V$, $S \cdot N=220V$, $T \cdot N=220V$ (일반적으로 사용되고 있는 콘센트 전압)

- 선간 전압(전압선끼리 결합)

$R \cdot S=380V$, $R \cdot T=380V$, $S \cdot T=380V$

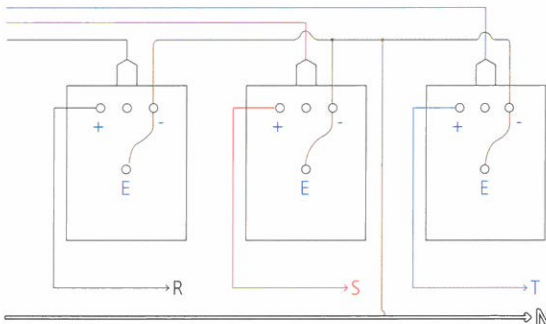
• 접지선과의 전압

R-E: 220V (제 3종접지의 상태에 따라 전압의 차이가 있을 수 있음)

S-E: 220V (제 3종접지의 상태에 따라 전압의 차이가 있을 수 있음)

T-E: 220V (제 3종접지의 상태에 따라 전압의 차이가 있을 수 있음)

N-E: 0 V (제 3종접지의 상태에 따라 전압이 발생할 수 있음)

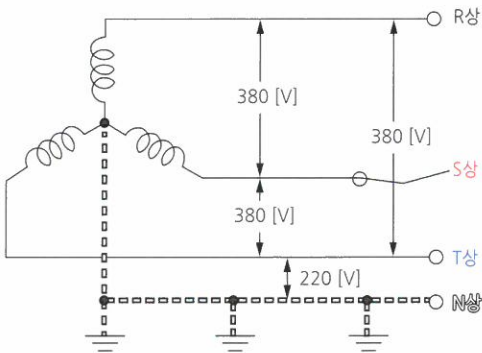


(a) 변압기 결선

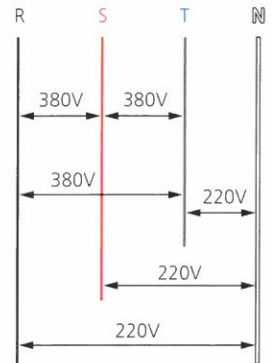


(b) 실제 변압기

그림 1-2 변압기 결선



(a) 3상 4선식 배전방식



(b) 3상 4선식 상 연결에 따른 전압

그림 1-3 3상 4선식

② 접지선(E)과 중성선(N상)의 차이

a. 접지선(E)

정상적인 상태에서 접지선에는 전류가 흐르지 않는다. 그리고 지중의 접지극(대지)과 같은 전위를 만들거나 이상전압의 발생 시 대지로 방전한다.

b. 중성선(N상)

중성선은 전원과 부하측의 중심점을 연결하는 선으로 제 2종 접지에 속한다. 일반적으로 상시 전류가 흐르고 있는 상태이다. 따라서 다른 상과 결합하여 전기회로를 구성하고 있어 전등이나 전열의 부하에 전류를 공급한다. 보통은 중성선이 접지선과 같다고 혼동하나, 내선 규정에는 분명히 전압선으로 분류되어 있다.



중성선 취급 시 주의사항

- ▣ 중성선은 접지선이 아니라는 사실을 항상 잊지 않도록 주의한다.
- ▣ 전원을 물릴 때는 중성선을 먼저 물리고 풀 때에는 반대로 나중에 풀어주어야 한다. 전원이 살아 있는 상태에서 먼저 중성선을 풀어버리면 2차 측(부하측)에 전압선만 들어가 자칫 부하(380V)가 소손되는 사고가 발생할 수 있다.

(2) 실제 콘센트와 플러그 설비 형태

다음은 현재 우리가 사용하는 일반적인 전원인 220V 콘센트의 이상전위를 물의 흐름에 비교하여 설명하였다.

- ① A의 물탱크가 220L, B의 물탱크가 220L의 경우 수위차는 0L가 되어 물은 흐르지 않는다. 이와 마찬가지로 A의 전위가 220V, B의 전위가 220V0이면 전위차는 0V인 등전위 상태가 되어 전류가 흐르지 않는다.

- ② A의 물탱크가 220L, B의 물탱크가 110L의 경우 수위차는 110L가 된다. 전기에서는 A의 전위가 220V, B의 전위가 110V로 전위차는 110V가 된다.
- ③ A의 물탱크가 220L, B의 물탱크가 0L의 경우 수위차는 220L가 된다. 전기에서는 A의 전위가 220V, B의 전위가 0V로 전위차는 220V가 된다.

220V 콘센트는 접지인 구리 막대기(Copper bar)와 전위차를 가질 수 있도록 220V(이상전위)와 0V(이상전위)를 갖는 두 개의 구멍으로 구성되어 있다. 구리 막대기는 접지선과 연결되어 있어 고장 전류가 발생되었을 때 누전 차단기를 작동시킨다.

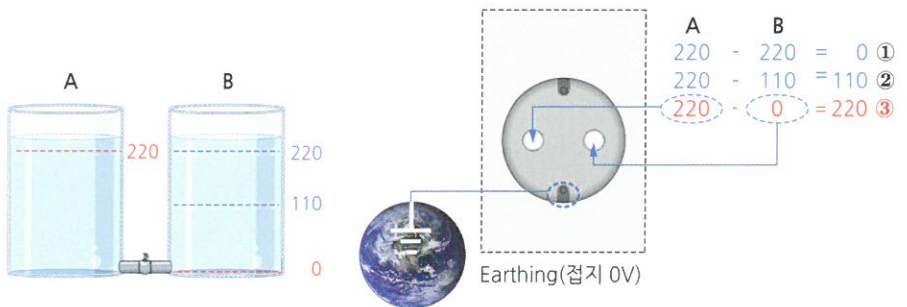


그림 1-4 전위차 및 콘센트의 전압

[그림 1-5]는 실제 220V 콘센트의 전압을 확인한 것으로 N상과 접지 E에서의 이상 전압인 0V와 근사치인 3.325V임을 확인할 수 있다. 마찬가지로 전압선(Hot line)과 접지에서의 전압 측정으로 이상전압 200V와 근사치인 212.4V가 측정된다.

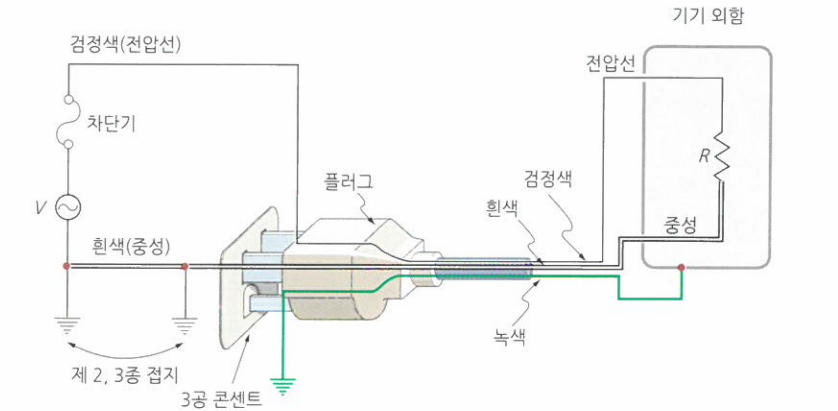


(a) N상과 E(접지)에서의 전압

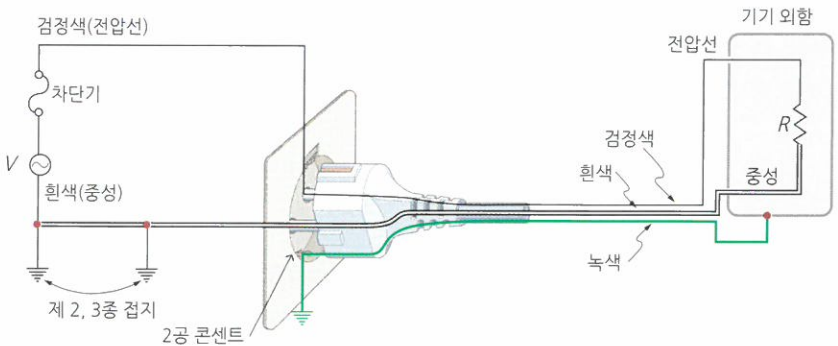
(b) 전압선(Hot line)과 E(접지)에서의 전압

그림 1-5 실제 콘센트에서의 전압 확인

콘센트에 연결되는 전기 설비(플러그)는 각각의 콘센트와 플러그의 전선이 전압선, 중성선, 접지에 연결되어 각각 3가닥의 전선으로 구성되어 접합한다. [그림 1-6]은 110V와 220V의 콘센트와 플러그의 실제 설비를 나타내었다.



(a) 110V 계측기 및 전기 설비



(b) 220V 계측기 및 전기 설비

그림 1-6 콘센트와 전기 설비와의 관계

3. 연구실 전기 재해

연구실 전기 재해는 연구개발 활동을 위하여 설치한 전기시설, 장비, 연구실험실, 연구재료 등으로 인해 연구활동종사자가 전기 에너지에 노출되어 발생하는 인명 상해 및 재산 손해를 말한다. 이러한 전기 에너지의 노출은 감전과 화재, 폭발을 초래한다. 연구실에서 발생하는 주요 전기 재해는 다음과 같다.

(1) 전격 재해

인체가 전기나 정전기에 접촉되어 사망, 실신을 비롯하여 화상, 열상 등의 상해를 입는 감전 사고를 말한다. 여기에는 충격으로 인해 2차적으로 발생하는 추락(떨어짐), 전도(넘어짐) 등으로 인한 인명 상해도 포함된다.

(2) 전기 화재

전기 에너지가 점화원으로 작용하여 가연성 물질이나 건축물, 시설물 등에 화재로 발생하는 사고를 말한다. 전기 화재의 원인으로는 전기 불꽃이나 전기 설비의 단락, 누전, 소손 등으로 인한 화재와 정전기 방전 등이 있다.

(3) 전기 폭발

폭발성 가스나 인화성 물질에 전기 에너지가 점화원으로 작용하여 발생하는 폭발 및 전기 설비 자체의 폭발 사고를 말한다. 보통 전기 화재와 같은 원인으로 인해 발생하며, 화재를 수반하는 경우가 많다. 그러나 화재가 일어나지 않고 폭발에만 그치는 경우도 있다. 전기 설비 자체 폭발의 원인은 차단용량 부족으로 인한 차단기의 폭발, 금속도선에 대전류로 인한 도선의 폭발, 기타 전기 설비의 절연불량 등을 들 수 있다.



그때그때 달라요, 나라별 전기 콘센트 이야기

220V 사용하는 국가

- 우리나라와 가까운 중국, 인도, 베트남, 태국부터 인도네시아, 이란, 사우디아라비아 등의 아시아 국가
- 러시아와 구 소련 나라
- 네덜란드, 벨기에, 독일, 이탈리아, 오스트리아 등의 일부 유럽국가, 아이슬란드, 노르웨이, 스웨덴 등의 북유럽 국가

우리나라와 같은 콘센트 모양의 나라

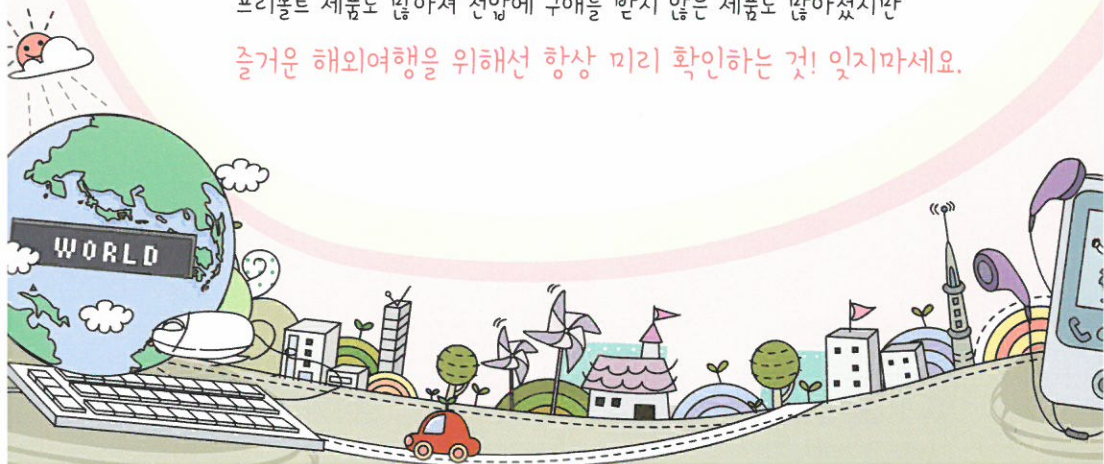
독일, 이탈리아, 네덜란드, 일부 러시아 지역과 구 소련 국가, 스웨덴, 베트남 등

100V 사용하는 국가

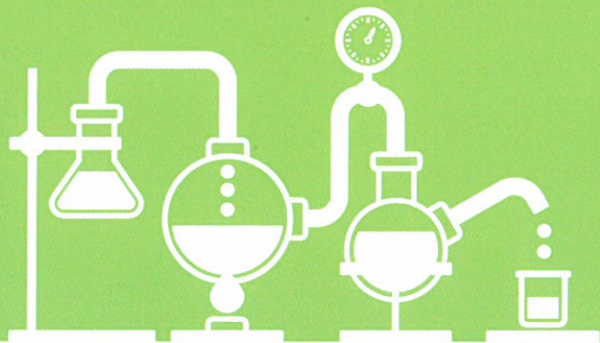
- 아메리카 대륙
- 면적이 워낙 넓은 중국, 러시아, 브라질에서는 110V와 220V를 혼용

프리볼트 제품도 많아져 전압에 구애를 받지 않는 제품도 많아졌지만

즐거운 해외여행을 위해선 항상 미리 확인하는 것! 잊지마세요.



연구실 안전 표준 교재
전기 · 전자 안전





CHAPTER

2

감전 사고

1. 통전 전류와 인체 저항
2. 감전 사고와 전격
3. 감전 사고의 원인
4. 감전 사고의 방지



CHAPTER

Safety for Electricity & Electronics

2

감전 사고



전기 사고로부터 인명과 재산피해를 예방하고, 연구 활동에 전념할 수 있는 연구실 안전 구축하기 위하여 작업 도중의 부주의나 기타 사고에 의하여 발생하는 다양한 감전 사고의 원인과 방지대책을 알아본다.

1. 통전 전류와 인체 저항

(1) 인체 통전 전류

통전 전류는 일반적으로 도체를 통해 흐르는 전류를 뜻한다. 감전이 되면 인체에 통전 전류가 흐르면서 회로를 형성한다. 감전 회로에서의 전류와 저항의 원리는 일반 회로에서의 원리와 같으며, 감전 회로에서의 통전 전류를 인체 통전 전류(Body current)라고 한다. 인체가 전기 회로를 형성하면 인체의 신체조건 및 환경에 따라 저항 값이 달라 통전 전류에 영향을 준다. 이때의 저항을 인체 저항(Body resistance)이라 한다.

인체에 얼마만큼의 전류가 흐르는지는 생명과 직결된다. 보통 감전회로는 220V회로에서 전압선(Hot line, R·S·T상)을 잡았을 때 발생하며 중성선의 경우는 접지선과의 전위차가 낮기 때문에 전격회로가 형성되지 않아 인체에 전기 재해를 유발하지 않는다.

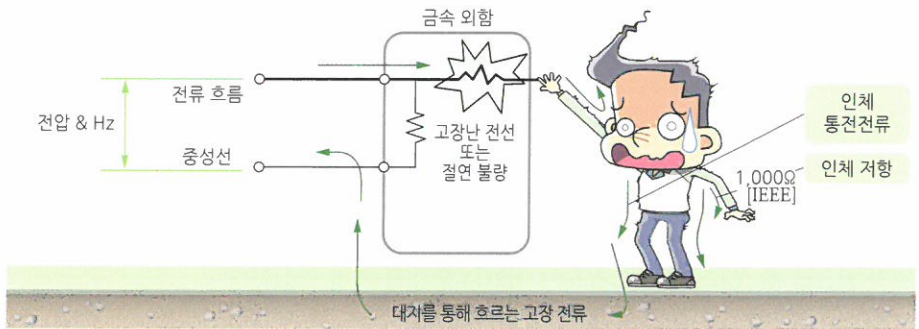


그림 2-1 인체접촉 시 누설전류 경로

(2) 인체 저항

전원에 접촉하여 인체에 전압이 걸렸다고 하더라도 전류가 흐르지 않으면 전격에 의한 이상 현상은 발생하지 않는다. 전압이 인체에 인가되었을 때, 전류가 흐르는지의 여부와 흐를 시 어느 정도의 전류가 흐를 것인가는 통전 회로를 구성하고 있는 전기 저항의 크기에 의해 결정된다. 감전 사고의 경우, 인체가 통전 회로에서 가장 큰 전기 저항을 가지게 된다. 따라서 인체 저항은 전격의 위험을 결정하는 가장 큰 변수가 될 수 있다. 예를 들어 동일 전압의 전원에 사람이 접촉한 경우에도 인체 저항이 큰 조건에 있으면 약간의 쇼크만 받지만, 신체가 땀으로 젖어 있는 등의 이유로 인해 인체 저항이 낮아지면 치명적일 수 있다.

인체에 60Hz의 교류가 인가되는 경우, 인체 통전 전류를 설명하기 위해서는 인체를 저항과 리액턴스의 합인 임피던스 개념을 도입해야 한다. 그러나 리액턴스 값이 크지 않다는 가정 하에 인체를 직류에서의 순수 저항으로 간주하는 것이 일반적이다.

보통 인체의 전기 저항은 피부 저항이 약 2,500Ω, 내부조직 저항이 약 300Ω, 발과 신발 사이의 저항을 1,500Ω, 신발과 대지 사이를 700Ω이기 때문에 전체 저항을 약 5,000Ω으로 보고 있다. 이 저항 값은 은 피부가 젖은 정도, 인가전압 등에 의해 크게 변화한다. 따라서 인가전압이 커짐에 따라 약 500Ω 이하까지 감소하고, 피부에 땀이 있을 때는 약 1/12~1/20, 물에 젖어 있을 때는 건조 시 보다 1/25로 감소한다.

2. 감전 사고와 전격

일반적으로 감전이란 인체의 일부 또는 전체에 전류가 흐르는 현상을 말하며, 이에 의해 인체가 받게 되는 충격을 전격(Electric shock)이라고 한다. 전격에 의해서 약한 화상 및 충격부터 극심한 고통의 충격, 근육의 수축, 호흡의 곤란, 심실세동에 의한 사망까지 발생할 수 있다. 전격의 정도는 아래의 요소에 따라 결정된다.

- 통전 전류의 크기
- 통전 경로
- 통전 시간
- 전원의 종류
- 주파수 및 파형

특히, 인체로 흐르는 통전 전류의 크기가 크거나, 전류가 인체의 중요한 부분을 따라 흐를수록 위험하다. 또한 오랫동안 흐를수록 감전으로 인한 피해 위험도가 높아진다. 한편 통전 전류의 크기가 작거나 통전 시간이 짧을 경우에는 의식을 잃지는 않지만, 의식이 확실한 경우에도 신체의 움직임이 둔해져 높은 곳에 있을 때에는 추락하는 경우가 종종 발생한다. 이 경우, 1차적 사고 원인은 감전이므로 감전으로 인한 재해로 분류한다.

인체에 흐르는 통전 전류는 접촉 전압과 인체 저항에 의해 영향을 받는다. 피부 저항이 전압의 크기에 관계없이 일정하면, 인체 내부 저항 또한 거의 일정하므로 통전 전류는 접촉 전압과 비례하게 된다. 따라서 접촉 전압이 높을수록 전격에 의한 위험도 커진다. 그러나 실제 피부 저항은 전압이 높아지면 상대적으로 더욱 낮아지는 경향이 있다. 예를 들어, 600V 이하인 저압의 교류에서는 인체가 충전부분에 직접 접촉하여 감전 사고가 발생하는 것이 일반적이며, 화상을 동반하는 경우는 드물다.

(1) 통전 경로에 따른 전격 위험인자

감전에 의한 사망의 원인 중 전격에 의한 화상과 쇼크에 의해 높은 곳에서 추락을 제외하면 다음의 세 가지 원인이 주된 사망의 원인으로 보고되고 있다.

- 심장부에 흐른 전류로 발생하는 심실세동(Ventricular fibrillation)인한 혈액순환 기능 상실
- 뇌의 호흡중추신경에 흐른 전류로 발생하는 호흡기능 정지(Respiratory arrest)
- 흉부에 흐른 전류로 발생하는 흉부근육수축에 의한 질식(Asphyxia)

일반적으로 호흡기능 정지에 의한 사망은 이 세 가지 감전에 의한 사망 원인 중에서도 가장 주된 원인으로 인식하는 관계로 감전 사고 피해자에 대한 응급수단으로 주로 인공 호흡을 실시 해왔다. 그러나 250V 이하의 전압에 의한 전격사망자를 전격 전류의 체내 통로별로 집계한 통계자료([표 2-1] 참고)를 보면, 166명의 사망자 중 128명(77%)의 체내 통로가 팔에서 발로 전류가 흘러 사망했다. 이 경우 전류가 주로 흉부로 흐르고 호흡중추에는 직접 흐르지 않기 때문에 전격의 대부분은 호흡중추신경의 마비로 인한 호흡 정지보다 심실세동 또는 호흡근육의 경련의 수축에 의한 질식사에 의해 사망 했을 것으로 추정할 수 있다. 그러나 질식은 피해자가 충전부에 장시간 접촉되어야만 가능하므로 전격사의 대부분은 심실세동에 의한 것이라고 추정된다. 또한 통전경로가 다리인 경우에는 호흡중추에 직접적으로 전류가 흐르지 않을 것으로 예상되나, 호흡중추 신경의 마비로 인한 사망의 가능성을 배제할 수는 없다. 이 밖에도 전격으로 인한 피부나 근육·내장 등의 출혈로 전격사의 가능성이 있다. 따라서 감전 사고 피해자에게 인공호흡을 실시하는 것은 매우 중요하며, 적절한 시기의 심폐소생술과 종류별 응급처치 숙지의 필요성 또한 요구 된다.

표 2-1 전류의 체내 통로별 사망자수

통로별	사망자수(명)
팔에서 발	128
머리에서 몸통 또는 발	5
육조	20
기타	7
불명	6
합계	166

(2) 통전 전류와 인체 반응

① 최소감지 전류(Perception current)

인체에 전압을 인가하여 통전 전류의 값을 서서히 증가시켜 일정한 값에 도달하면, 고통을 느끼지 않고 짜릿하게 전기가 흐르는 것을 감지하게 된다. 이때의 전류 값을 최소감지 전류라 한다. 최소감지 전류값은 직류 · 교류, 성별, 건강, 연령에 따라 다르다. 예를 들어 건강한 성인남자의 경우, 교류에서 상용주파수 60Hz, 약 1mA 정도에서 전기가 흐르는 것을 감지한다.

② 고통한계 전류: 가수 전류(Let-go current)와 불수 전류(Freezing current)

통전 전류가 최소감지 전류보다 더 증가하면 인체는 전격을 받지만, 처음에는 고통을 수반하지 않는다. 그러나 전류가 더욱 증가하면 쇼크와 함께 고통이 따르게 된다. 고통을 참을 수 있는 한계는 약 7~8mA 정도가 되는 것으로 보고되고 있으나, 2~3mA에서도 고통을 느낄 수 있다. 어느 한계 이상의 값이 되면 근육마비로 인하여 자력으로 충전부에서 이탈하는 것이 불가능해 진다. 여기에서 인체가 자력으로 이탈할 수 있는 전류를 가수 전류라 하며, 자력으로 이탈할 수 없는 전류를 불수 전류라 한다. 또한 전원이 교류인 경우에는 가수 전류를 이탈 전류라고 부르며, 직류인 경우는

교류와 구별하기 위해 해방 전류라고 한다. 60Hz의 가수 전류치로는 남자 9mA, 여자 6mA정도 이하로 보는 것이 좋다.

③ 심실세동 전류

인체에 통전되는 전류가 매우 증가하면 전류의 일부가 심장부로 흐르고, 심장은 정상적인 박동을 하지 못하게 되어 불규칙적으로 세동을 하게 된다. 이로 인해 혈액의 순환에 큰 장애가 발생하고, 산소의 공급이 중지되어 뇌에 치명적인 손상을 입힌다. 이와 같이 심근의 미세한 진동으로 혈액을 송출하는 심장의 기능이 장애를 받는 현상을 심실세동(心室細動, Ventricular fibrillation)이라 하고, 이때의 전류를 심실세동 전류라 한다. 일단 심실세동 상태가 되면 전류를 제거해도 자연적으로는 건강을 회복하지 못하며, 그대로 방치할 시 수 분 내에 사망한다.

심실세동 전류 값은 통전시간(T)에 크게 관련이 있으며, 다음의 Dalziel의 식으로 설명할 수 있다.

$$I = \frac{165}{\sqrt{T}} [mA] \left(\frac{1}{120} \sim 5초 \right)$$

I : 1,000명 중 5명 정도가 심실세동을 일으키는 전류 값(A), T : 통전시간(초)

심실세동을 일으키는 전기 에너지 값에 대한 인체의 전기저항 값을 500Ω , 통전 시간을 1sec로 보면 심실세동을 일으키는 전류의 값은 다음과 같다.

전기 에너지를 W 라 하면

$$W = I^2 RT = \left(\frac{165}{\sqrt{T}} \times 10^{-3} \right)^2 \times 500T$$

$$= (165^2 \times 10^{-6}) \times 500 = 13.6 [W \text{ sec}] = 13.6 [J]$$

$$= 13.6 \times 0.24 [cal] = 3.3 [cal]$$

즉, 13.6W의 전력이 1sec간 공급되는 아주 미약한 전기 에너지이지만 인체에 직접 가해지면 생명을 위협할 정도로 위험하다.

④ 인체의 이상 현상에 따른 감전 전류의 기준

국제전기기술위원회(IEC, International Electrotechnical Commission)에서는 전기 설비 사용에 따른 감전의 안전한계에 대해 검토한 결과, 통전 전류 값에 대한 인체의 영향을 다음의 곡선으로 나타내었다.

- AC-1(곡선 A 미만): 감지는 가능함
- AC-2(곡선 A ~ 곡선 B): 감지 및 비자의적인 근육수축이 일어날 수 있으나 일반적으로 유해한 전기 생리학적 영향은 없음
- AC-3(곡선 B~ 곡선 C₁): 강한 비자의적 근육의 수축, 호흡곤란, 회복 가능한 심장기능의 장애, 마비 등이 발생할 수 있음
- AC-4(곡선 C₁ 초과): 심장마비, 호흡정지 및 화상 또는 다른 세포의 손상과 같은 병리생리학적인 영향을 일으킬 수 있음

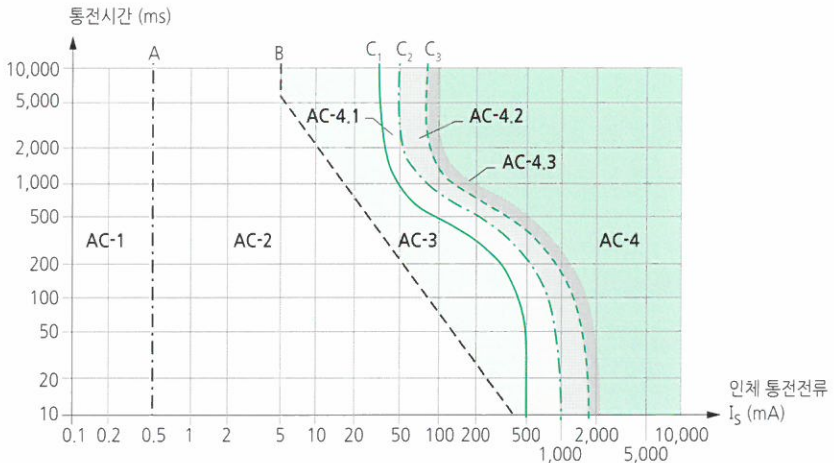


그림 2-2 국제전기기술위원회의 감전 안전한계

(3) 안전전압

전격의 위험도를 나타내는 가장 큰 요소는 인체에 흐르는 전류이고, 전압의 크기는 2차적 요소가 될 수 있다. 영국, 프랑스, 독일 등에서는 24V, 벨기에는 35V, 스위스는 36V를 안전전압으로 채용하고 있으며, ILO(국제노동기구)는 보일러 내에서 사용하는 핸드램프의 대지전압을 24V 이하로 하도록 권장하고 있다. 우리나라에서는 안전전압의 한계에 대한 규정이 명확하지 않았으나, 현재에는 산업안전보건법의 개정에 따라 30V로 규정되어 있다.

절대적으로 안전한 전압의 한계로는 마른 손에서 30V(AC), 젖은 손에서 20V(AC), 욕조에서 10V(AC)이다. 그러나 특히 체질의 경우 이 값 이하에도 전격 위험이 발생할 수 있다. 흔히 직류에서는 42V를, 교류에서는 실효치로 환산한 30V를 안전전압의 한계로 기억하면 될 것이다.

표 2-2 각국의 안전전압

국명	안전전압(V)	국명	안전전압(V)
체코	20	프랑스	14(AC) 50(DC)
독일	24	네덜란드	50
영국	24	한국	30
일본	24~30	오스트리아	60(0.5초) 110~130(0.2초)
벨기에	35		
스위스	36		



전압이 클수록
위험한거 아니야?

전격의 위험도는 전압의 크기보다는
인체에 흐르는 전류가 더 위험한 요소지!



3. 감전 사고의 원인

(1) 충전부 감전

감전 사고 중 가장 위험한 경우는 보호구 없이 평상시 충전되어 있는 충전부에 인체의 일부가 직접 접촉하여 발생할 때이다. 전압이 걸려있는 두 전선 사이에 전도성이 있는 물체를 통하거나 인체가 직접 접촉하여 단락회로의 일부를 형성하는 경우, 감전 전류는 전압선 → 인체 → 전압선 또는 중성선을 따라 흐른다. 교류 아크용접기에 맨손 접촉 의한 감전 사고가 이에 해당하며, 인체 저항 이상의 전류로 심실세동 및 사망에 이르는 심각한 인명 피해를 발생시킨다.

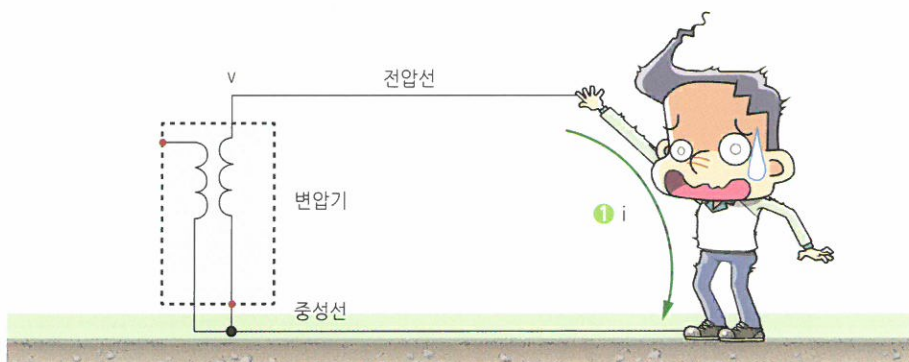


그림 2-3 전기회로에 인체가 단락회로의 일부를 형성하는 경우

인체가 하나의 전압선(Hot line)에 접촉되는 경우, 감전전류는 인체 → 대지 → 접지된 변압기의 저압측으로 흘러 감전회로를 형성한다. 즉, 고전압을 저전압으로 변환하는 변압기의 2차 측에 중성선을 접지함으로써 감전전류의 회로가 구성되기 때문에 감전이 발생한다. 전선 등의 전압선에 인체가 접촉되어 인체를 통해 지락전류가 흘러서 감전되는 경우로서, 전기 작업이나 일반 작업 중에 발생하는 대부분의 감전 사고가 여기에

속한다. 감전 경로는 [그림 2-4]의 ①과 같이 손 vs. 발, ②의 손 vs. 손의 경로가 가장 많으며, 전체 저항은 인체 저항, 지면접촉 저항, 대지 저항 값의 합과 같다.

$$\text{전체 저항} = \text{인체 저항} + \text{지면접촉 저항} + \text{대지 저항}$$

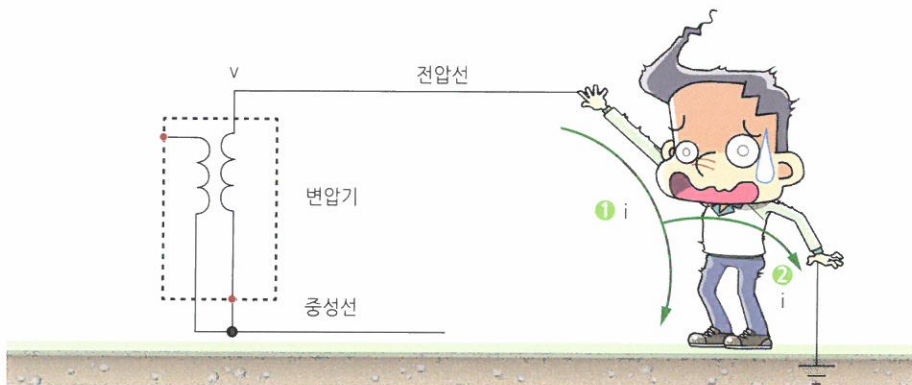


그림 2-4 충전된 전선로에 인체가 접촉하는 경우

(2) 비충전부 감전

전기 설비 중 전원 설비를 제외한 모든 부하 설비의 비충전부는 전기 설비판단기준 제33조(기계기구의 철대 및 외함의 접지)에 의하여 접지해야 한다. 전기 기구의 정상 운전 중 내부의 코일과 접지된 외부의 비충전부 사이에 절연이 파괴된 기계·기구 또는 불량 전기 설비가 시설된 철 구조물 접촉 시 인체를 통하여 감전 전류가 흐르게 된다. [그림 2-4]는 누전된 전기 기구에 인체가 접촉하는 경우로 ①과 같이 손 vs 발, ②의 손 vs 손의 경로가 가장 많으며, 전체 저항은 누전기기 저항, 인체 저항, 지면접촉 저항, 대지저항 값의 합으로 충전부로부터의 감전 시 보다 저항 값이 크지만 인체에 위험한 정도는 동일하다.

전체 저항 = 누전기기 저항 + 인체 저항 + 지면접촉 저항 + 대지 저항

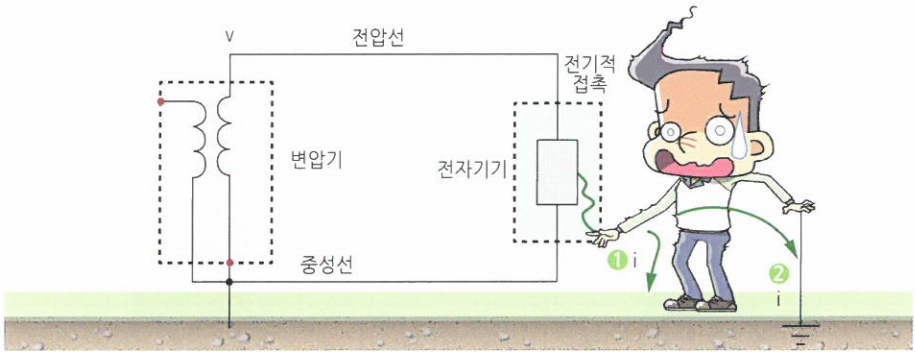


그림 2-5 누전된 전기기에 인체가 접촉하는 경우

4. 감전 사고의 방지

감전 사고를 방지하기 위한 기본 수칙은 다음과 같다.

- 전기 기기 및 배선 등의 모든 충전부는 노출시키지 않는다.
- 전기 기기 사용 시에는 필히 접지를 시킨다.
- 누전 차단기를 설치하여 감전 사고 시의 재해를 방지한다.
- 관리자의 허가 없이 함부로 전기 기기의 스위치를 조작하지 않는다.
- 젖은 손으로 전기 기기를 만지지 않는다.
- 개폐기에는 반드시 정격 퓨즈를 사용하고, 동선/철선 등을 사용하지 않는다.
- 불량하거나 고장난 전기 제품은 사용하지 않는다.
- 배선용 전선은 중간에 연결한 접속 부분이 있는 것을 사용하지 않는다.

(1) 전기 기계·기구로 의한 감전 방지

전기 기계·기구로 인한 감전 사고는 전기 기기의 노출된 충전부에 직접 접촉하여 발생하는 경우와 전기 기기의 금속제외함 등 비충전부분의 절연열화 등의 원인으로 누전되었을 때 접촉하여 발생한다.

① 충전부에 대한 감전 방지

작업 도중의 부주의나 기타 사고에 의하여 충전부에 작업자가 직접 접촉되어 발생하는 감전 사고 방지 대책은 다음과 같다.

- 충전부 전체를 절연 시킨다.
- 기기 구조상의 안전조치로 노출형 배전 설비는 폐쇄형 배전반 교체하고, 적절한 방호구조의 형식의 전동기를 사용한다.
- 별도의 실내 또는 울타리를 설치한 지역에 설치하고, 설치지역을 평소에 자물쇠로 잠근다.
- 전기 작업 시 바닥이나 기타 전도성 물체를 절연물로 도포하고, 연구활동종사자는 절연화, 절연공구 등 보호구를 사용해야 한다.
- 덮개, 방호망 등으로 충전부를 방호한다.
- 안전전압 이하의 기기를 사용한다.

② 비충전부 대한 감전 방지

전기설비판단기준 제33조(기계기구의 철대 및 외함의 접지)의 규정에는 기계·기구의 철대 및 금속제 외함에는 사용전압 구분에 따라 접지 공사를 하여야 한다. 접지 공사의 점검 시에는 제18조(접지공사의 종류) 및 제19조(각종 접지공사의 세목)의 규정에서 전류에 따른 접지선의 굵기를 가지는 연동선을 사용하여야 한다고 규정하고 있으므로 이에 따라 접지 상태를 점검 및 확인하는 것이 필요하다.

(2) 교류아크 용접기에 대한 감전 방지

교류아크 용접기는 용접작업을 하지 않을 때 2차 측의 전압이 60~95V로 인가되어 있어 접촉 시에 감전 사고를 발생시킬 수 있다. 다음은 교류아크 용접기의 감전 방지 대책이다.

① 자동전격방지 장치를 설치한다.

자동전격방지 장치는 용접을 하지 않을 때 2차 측의 무부하 전압을 25V 이하(전압 변동률을 고려하여 30V 이하)로 유지시킨다. 또한 용접기의 주 전원을 차단함으로써 변압기의 무부하손을 감소시키므로 절전 효과도 가지고 있다.

② 누전 차단기를 설치한다.

누전 전류가 감도전류 이상이 되면 전원이 자동으로 차단되어 질 수 있도록 누전 차단기를 설치한다.

③ 이중절연 기기를 사용 한다.

이중절연은 충전부와 사람이 접촉할 위험이 있는 비충전 금속부분(케이스 등)과 사이에 기능절연과 이 기능절연 기능이 효력을 발휘하지 못할 때 감전 위험을 막는 보호절연 처리하는 것을 말한다. 그러나 보호절연 또는 기능절연 중 하나가 파손된 경우에는 종래의 기능절연의 기능만을 가지고 있는 것과 동일하다 할 수 있다.

절연물은 여러 가지 원인으로 전기 저항이 저하되어 이른바 절연불량을 일으켜 위험한 상태가 되는데, 절연불량의 주요 원인으로 다음의 요인을 들 수 있으므로 주의 하도록 해야 한다.

- 높은 이상전압 등에 의한 전기적 요인
- 진동, 충격 등에 의한 기계적 요인

- 산화 등에 의한 화학적 요인
- 온도 상승에 의한 열적 요인

(3) 전등 시설로 인한 감전 방지

전등의 시설방법에 관하여 점검하는 요점은 다음과 같다.

- 백열전등이 옥내에 설치되어 있는 경우, 대지전압이 150V 이하인 회로에서 사용하고 있는지 점검한다.
- 조명 기구는 견고하게 설치되어 있는지 점검한다.

(4) 전동기 설비로 인한 감전 방지

전동기는 설치방식 및 배선방법에 관하여 점검한다.

- 전동기의 설치장소는 점검하기 쉬운 장소인지 확인한다.
- 전동기는 콘크리트에 견고하게 고정되어 있는지 점검한다.
- 전동기의 전원은 조작하기 쉽고, 발견하기 쉬운 장소에 있는지 점검한다.
- 고압 전동기의 경우 주위에 철망 또는 울타리로 보호되어 있는지 점검한다.
- 전동기의 주위에 인간공학을 고려한 작업 공간이 확보되어 있는지 점검한다.
- 전동기 및 제어반에는 사용전압에 따르는 접지공사가 외함 또는 철대에 견고하게 설치되어 있는지 점검한다.
- 전동기에 접속된 전선의 시공 상태가 적절한지, 단자는 견고하게 조여져 있는지 점검한다.

(5) 기타 사항에 의한 감전 방지

① 배선 등의 절연피복 및 접속으로 인한 감전 방지

절연전선으로는 전기용품안전관리법의 규격에 적합한 고압 절연전선인 600V 고무 절연전선, 600V 폴리에틸렌절연전선, 600V 불소수지절연전선, 600V 고무절연전선 또는 옥외용 비닐절연전선을 사용해야 한다. 전선을 서로 접속하는 경우에는 해당 전선의 절연성능 이상으로 절연될 수 있도록 충분히 피복하거나 적합한 접속 기구를 사용하여야 한다. 이 때 접속 상태가 불량한 경우에는 접속부분이 과열되어 화재 또는 감전 사고가 발생한다. 따라서 전선 상호간은 슬리브(Sleeve)와 같은 접속관을 사용하고, 코드 및 케이블 상호간의 접속은 커넥터, 접속함 등의 기구를 사용해야 한다.

② 습윤 장소에서의 배선으로 인한 감전 방지

습윤 장소에서의 배선은 가능한 피하되 부득이한 경우에는 금속관 배선, 합성수지관 배선, 2종 가요관 배선, 캡타이어 케이블배선 등을 선정하고 시공한다.

③ 배선기구류에 의한 감전 방지

옥내에 시설하는 저압용의 배선기구는 그 충전부분이 노출하지 않도록 설치해야 한다. 다만 전기 취급자 이외의 자가 출입할 수 없도록 제한된 곳은 제외한다.

찌릿찌릿 감전 사고! 짜릿한 예방법

콘센트 구멍에 젓가락을 넣는 행동이 사람이 죽을만큼 치명적일까요?

116mA 정도의 전류가 몸에 닿으면 대부분 죽사를 한다고 합니다.

그렇다면 손쉽게 감전 사고를 예방하는 방법이 무엇이 있을까요?

★ 덮개가 달린 콘센트를 설치하고

사용하지 않는 콘센트는 커버로
막아놓습니다.

★ 한 달에 한 번 누전차단기를 점검합니다.

★ 목실이나 다용도실의 세탁기 등 전기제품 사용 시
반드시 신발을 신습니다.

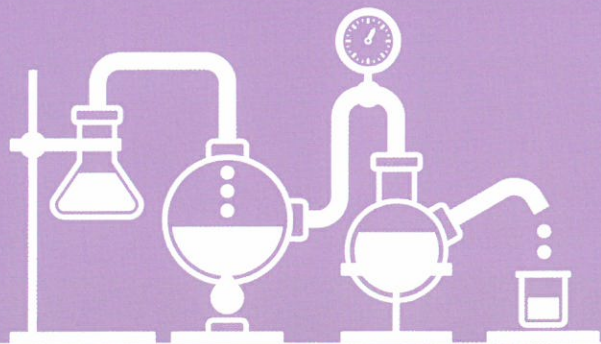
★ 배수시설이 필요한 기기를 설치 시

반드시 접지선을 수도꼭지에 연결시키도록 설치하는 기술자에게 부탁드립니다.

★ 젖은 손으로 전자기기를 만지지 말고, 습윤장소에서 전자기기를 다룰 시
절연화를 착용하도록 합니다.



연구실 안전 표준 교재
전기 · 전자 안전





CHAPTER

3

전기 화재

1. 전기 화재의 원인
2. 전기 화재의 방지



3

CHAPTER

Safety for Electricity & Electronics

전기 화재



전기 사고로부터 인명과 재산피해를 예방하고, 연구 활동에 전념할 수 있는 연구실 안전문화 정착을 위해 전기 화재의 원인을 살펴보고 이의 방지대책을 확인한다.

1. 전기 화재의 원인

일반적으로 전기 에너지가 열원으로 작용하여 발생하는 화재를 전기 화재라 한다. 전기 화재의 원인은 다음의 방법으로 분류할 수 있다.

- 누전 · 단락 · 접촉 불량 · 과부하 · 혼촉 등의 발화 경과별
- 옥내배선 · 전기풍로 · 변압기 등의 발화설비 및 발화 기인물별
- 설계 및 구조불량 · 취급불량 · 공사불량 · 사용방치 등의 상태별

여기서는 연구실에서 주로 발생하는 발화 경과별 전기 재해의 원인에 대하여 설명하고자 한다.

(1) 발화 경과에 의한 전기 화재

① 단락(합선, Short-circuit)

단락은 전선의 절연피복이 손상되어 두 전선심이 직접 접촉하거나, 못, 철심 등의 금속을 매개로 두 전선이 이어진 경우를 주로 말한다. 전기저항이 작아진 상태 또는 전혀 없는 상태이므로 순간적으로 대전류가 흐르고, 이로 인해 발생한 고열은 전선의 용융 및 화염으로 인한 인접한 가연물에 착화로 화재 사고를 초래할 수 있다. 전선 절연피복의 손상원인은 다음의 세 가지 사항을 들 수 있다.

a. 외력으로 인한 절연피복의 파손

중량물에 의한 압박, 스테이플 고정으로 인한 손상 등 고정부와 가동부 경계에 반복적으로 가해지는 비틀림 및 굽힘에 의한 손상, 밟거나 잡아당기는 부주의한 취급, 쥐에 의한 절연피복의 손상 및 열화에 의해 절연이 파괴된다.

b. 국부 발열에 의한 절연열화의 진행

비전문가 수리에 의해 비틀린 접속부분 및 빈번한 굴곡에 의해 생긴 반단선 등의 접촉 불량으로 전선이 국부적으로 발열하여 절연열화 된다.

c. 외부 열에 의한 절연 파괴

외부환경에 의해 절연이 파괴된 경우를 말한다.

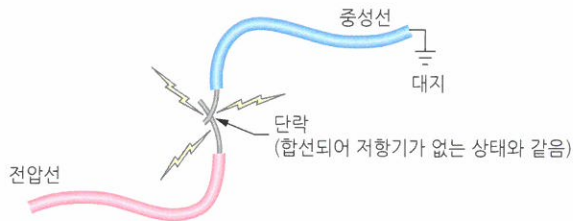


그림 3-1 단락

② 누전

누전 차단기의 접지선이 파손되었을 때나 누전이 차단기의 설치 위치보다 전단에서 발생했을 때는 누전 차단기가 작동하지 않는다. 또한 연구실에 설치된 제 3종 접지에 문제가 발생하면 귀로 전류가 발생되지 않아 누전 차단기가 작동하지 않고, 누전경로 속에 전류가 집중된다. 이 때 저항이 비교적 큰 개소는 과열되어 출화에 이르고, 누전에 의한 화재가 발생된다. 또한 비접지측 전선로의 절연이 파괴되어 접지된 금속 조영재, 전기 기기의 금속케이스, 금속관, 안테나 지선 등의 금속부재 또는 유기재의 흑연화 부분을 경유하여 누전되어 화재가 발생하기도 한다.

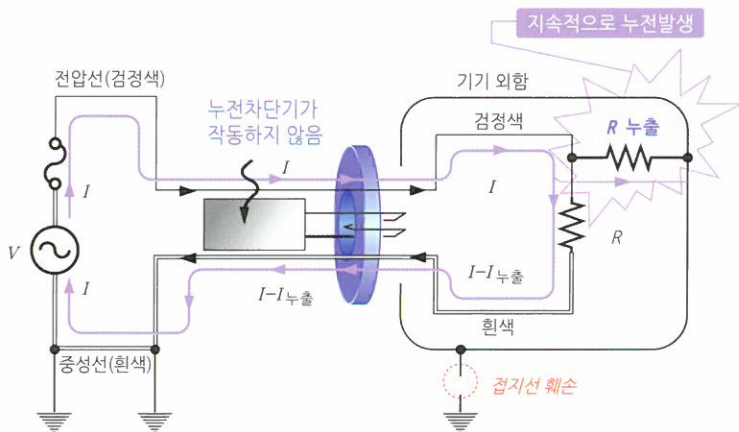
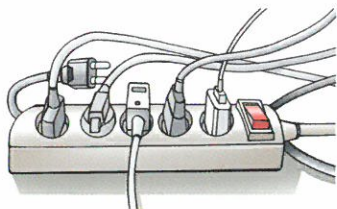


그림 3-2 전기 기기 및 설비에서 누전발생

③ 과부하

과부하는 전기 설비에 허용된 전류 및 정격 전압·전류·시간 등의 값을 초과하여 발생한다. 전선은 온도상승에 따라 기계적 강도 및 절연의



저하 등에 대하여 안전하게 전류를 흘릴 수 있는 최대전류가 정해져 있다. 이를 허용 전류라 한다. 허용전류 값은 전선의 물리적인 성질, 절연피복의 최고허용온도 및 전선의 시설상태에 의해 결정된다. 전기부품 및 기기는 지정된 조건 하에 정격(정격전압, 정격 전류, 정격시간 등)으로 그 부품 및 기기를 사용할 수 있는 전기적 한도를 나타낸다.

전선의 과부하로 인한 전기 화재의 주된 원인은 사용부하의 총합이 전선의 허용 전류를 넘는 경우이다. 그러나 다음의 경우에는 허용전류 이하라도 과부하의 상태임을 숙지하여 과부하로 인한 전기 화재에 대비하도록 한다.

- 이부자리, 장판의 아래 및 단열재 사이를 전선이 통하고 있는 때
- 전류감소계수를 무시한 금속관 배선 및 경질비닐관 배선일 때
- 코드(Cord)릴에 코드를 감은 상태로 코드의 허용전류에 가까운 전류를 흐를 때
- 꼬아 만든 전선의 소선 일부가 단선되어 있을 때

이 외에도 전기부품 및 기기의 과부하로 인해 전기 화재가 발생할 수 있다. 다이오드, 반도체, 코일, 콘덴서 등의 전기부품의 전기적 파괴로 임피던스가 감소하여 전류가 증가한다. 그 영향이 다른 부품의 정격을 넘는 형태로 나타난다.

또한 전동기를 활용하는 기기에서 전동기의 회전이 방해되어 기계적 과부하가 발생 하거나 권선에 정격을 넘는 전류가 흘러 전기적 과부하가 발생하여 전기 화재 초래할 수 있다.

④ 접촉 불량

접촉 불량은 주로 진동에 의한 접촉 단자부 나사의 느슨함, 접촉면의 부식, 개폐기의 접촉부 및 플러그의 변형 등에 의해 발생한다. 접촉 불량 시 다음의 원인으로 접촉 저항이 증가한다.

- 접촉면적의 감소
- 접촉압력의 저하
- 산화피막의 형성

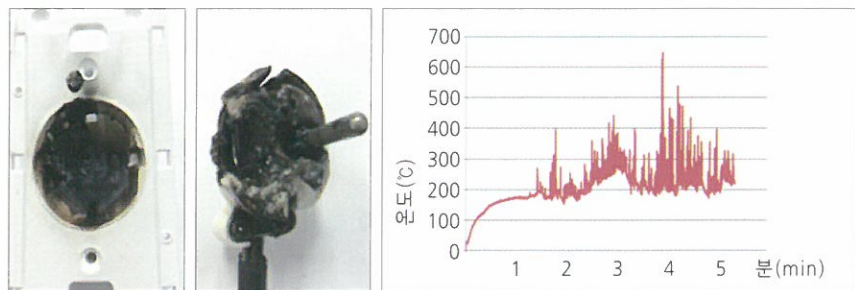


그림 3-3 콘센트의 접촉 불량 발생 시의 온도



그림 3-4 차단기에서의 접촉 불량

접촉저항이 증가하면 줄열도 커져 접촉부에 국부적 발열을 초래한다. 이로 인해 2차적 산화피막이 형성되면 접촉부의 온도는 더욱 높아지고 접촉하고 있는 가연물을 발화 시킨다. 또한 전류의 공급 및 중단 반복에 따른 가열과 냉각의 반복은 콘센트의 탄성

피로에 의해 2차측 접촉 단의 복원력이 감소되어 접촉압력을 저하시킬 수 있다.

[그림 3-3]은 5A의 전류로 5분간의 진동상태를 유지해 콘센트와 플러그의 접촉 불량을 유도한 결과이다. 콘센트와 플러그가 완전히 소손된 것으로 보아, 접촉 불량 시 콘센트 자체의 화재 및 주위의 가연물이 있어도 화재가 발생할 것으로 추측할 수 있다. 차단기 2차측 단자의 온도를 보면 30분 경과 후 온도가 630℃이상으로 매우 높았다. 중요한 점은 이런 높은 열에도 차단기가 작동하지 않았다는 것이다. 이는 정격 전류이상 되었을 때 작동하는 배선용 차단기가 정격전류이하의 접촉 불량으로 인한 이상 전류를 감지하지 못했기 때문이다. 따라서 배선용 차단기는 접촉 불량에 의한 화재 예방 차원에서 좋은 해결책이 되지 못함을 알고 있어야 한다.

⑤ 과열

전선에 전류가 흐르면 줄의 법칙에 의해 열이 발생한다. 이 열은 안전 허용전류 범위 내에서는 발열과 방열이 평형을 이루고 있으나 평형이 깨지면서 과열 된다. 과열은 전기 기기, 배선 등이 설계된 정상동작 상태의 온도 이상으로 온도상승을 일으키거나, 피가열체를 위험온도 이상으로 가열할 때 발생한다.

a. 전기기구의 과열

전열기구로 인해 발생하는 화재 사고는 기구자체의 불량보다 취급불량·통전된 채로의 방치·보수불량으로 인해 주로 초래된다. 실제로 겨울철 화재 중 전열기 취급 시 부주의로 인한 화재가 가장 많은 비율을 차지하고 있다. 이 외에도 발열부에 근접해 있는 가연물에 착화하여 화재가 발생하는 경우도 있다.

연구실에서의 전열기 사용은 최대한 자제하는 것이 좋다. 그러나 피치 못하게 사용할 경우에는 일지를 작성하도록 하고 안전 관리자가 관리하도록 한다. [그림 3-5]는 동일한 3kW의 전열기 3대를 한 달 동안 종류가 다른 연장코드에 연결하였을 때 연장 코드에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 절전 스위치 유무와 상관없이 모든 종류의 연장코드가 과열에 의해 소손되었다. 그 중 절전 스위치가 없는 연장코드는 콘센트 내부가 거의 소손되었음이 확인되었다. 따라서 연구실에서는 전열기와 연장코드의 과열 여부를 매일 점검하고, 절전형 코드를 사용하여 전열기를 사용하지 않을 때는

전원을 차단할 필요하다. 또한 접속부 부위에 탄화흔이 발견되면 탄화된 콘센트 및 연장코드를 계속 사용하지 말고 바꿔야 한다.

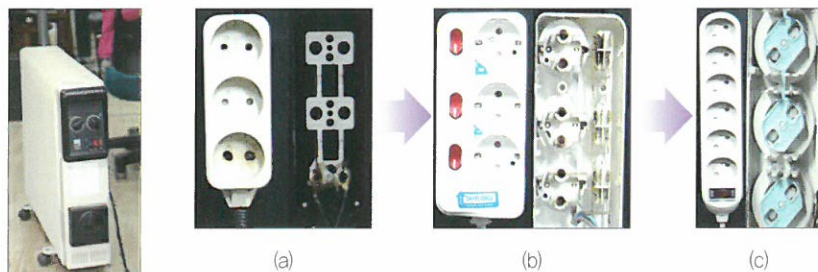


그림 3-5 전열기 연결에 따른 실제 연장코드의 위험성

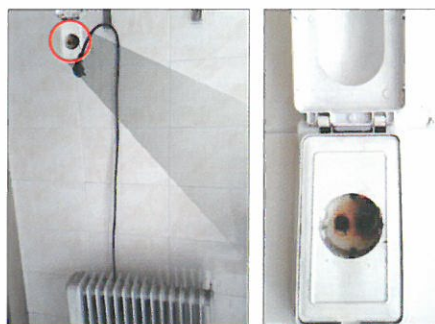


그림 3-6 전열기의 높은 전력으로 인한 전기기구의 탄화

b. 전기배선의 과열

단락 또는 배선에 접속된 전동기나 콘센트의 과부하 상태에서 배선에 흐르는 전류는 증가한다. 배선의 허용전류를 넘으면 발열량이 증가하여 절연피복의 변질 정도에서 그치는 때도 있지만, 피복을 소손시켜 부근에 있는 가연물을 착화시켜 큰 화재로 이어질 때도 있다. 이 밖에 접속불량에서 발생하는 접촉저항의 증가, 불안전접촉에서 발생하는 스파크도 과열의 원인이 된다.

c. 전동기의 과열

전동기는 구조적으로 잘 설계되어 있다면 전부하 운전을 할 때에도 약간의 온도만 오를 뿐 과열될 염려는 없다. 구조적 문제가 발생했을 때는 급격한 온도상승으로 기계자체의 소손 또는 전동기 부근의 가연물에 착화를 일으켜 전기 화재로 이어진다. 실제로 연구실에서는 실험장비의 냉각·냉방을 목적으로 사용하고 있는 선풍기의 과열로 인한 화재가 여름철 전기 설비 화재 건수에서 가장 높은 비율을 차지한다.

전동기 사용 시 발생하는 주요 과열 원인은 다음과 같다.

- 먼지·먼진·분진 등의 부착으로 생기는 통풍냉각의 방해
- 과부하에서의 운전 또는 규정전압 이하에서의 장시간 운전
- 단락·누설에 의한 과전류
- 장기 사용 또는 기계적 손상에 의한 코일의 절연저하
- 베어링의 급유 불충분으로 인한 마찰

d. 전등의 과열

텅스텐을 사용하는 백열전구의 표면온도는 40W 이하에서 70~90℃, 60~100W에서 80~110℃, 1,000W 이상에서 100~130℃까지도 증가한다. 따라서 전등에 종이·천·셀룰로이드·곡분 등의 가연물이 장시간 근접 또는 접촉되면 발화하여 화재의 위험이 있다.

⑥ 절연파괴와 열화

절연체에 가해지는 전압의 크기가 어느 정도 이상에 달했을 때, 그 절연 저항이 곧 열화하여 비교적 큰 전류를 통하게 되는 현상을 절연파괴라 한다. 전기배선(콘센트 및 코드)과 전기 기기의 절연파괴는 단락·누전에 의한 감전 및 가연물의 착화로 인한 화재와 폭발로 이어져 재해를 일으킬 수 있다. 전기 설비가 견딜 수 있는 전압은 공칭 전압(Nominal voltage)의 수배로 정해져 있으나, 다음의 원인으로 절연내력이 점차 저하되어 절연체의 열화와 파괴를 초래한다.

- 기계적 성질의 저하
- 취급불량에서 발생하는 절연피복의 손상
- 이상(異常)전압으로 인한 손상
- 허용전류를 넘는 전류에서 발생하는 과열
- 시간의 경과에 따른 절연물의 열화

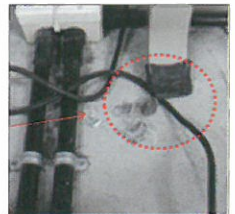
⑦ 반단선

반단선(Partial disconnection)은 전선이 절연피복 내부에서 단선되어 불시로 접속되는 상태, 또는 완전히 단선되지 않을 정도로 심선의 일부가 끊어져 있는 상태를 말한다. 반단선은 주로 기구를 사용할 때 코드의 반복적인 구부림에 의해 심선이 끊어져서 발생한다. 코드의 심선이 전부 단선되어 절연피복 내부에서 단선과 이어짐을 되풀이하는 경우 심선이 이착할 때마다 불꽃이 발생한다. 이때 발생한 불꽃은 절연피복을 녹이고 출화하여 전선 주위의 먼지 또는 가연성 물질에 착화되어 화재를 발생시킨다.

또는 전선 내부에서 녹아내린 절연물이 결정구조를 만들면서 도전성이 증가하고 그로 인해 절연물이 탄화되어 흑연을 생성할 수도 있다. 이 흑연에 미소전류가 흘러 흑연이 증식하고, 점차 선간의 절연도 저하하여 최종적으로는 단락되는 경우가 많다. 따라서 부하전류 없이 발화흔적이 있으면 반단선을 의심해야 한다.



(a) 코드선 훼손



(b) 반단선 발생장소

그림 3-7

실험 연구실에서 발생할 수 있는 반단선 실태

코드 소선의 일부가 끊어져 있거나 단선된 소선의 일부가 접촉하여 용착한 경우 소손된 부분의 저항치가 높아지고 국부적으로 발열량이 증가하여 절연파괴 될 수 있다. [그림 3-7]은 연구실에서 발생할 수 있는 반단선 징후이다. 위와 같은 현상이 발견되었을 때는 즉시 전원을 끄고 조치를 취해야 한다.

2. 전기 화재의 방지

연구실에서의 발화원에 대한 세심한 주의 관찰과 정기적인 점검, 적절한 관리는 전기 화재로 발생할 수 있는 인명피해와 재해를 사전에 방지할 수 있다. 연구실에서 전기 화재를 예방할 수 있는 방법은 다음과 같다.

(1) 전기배선기구에 대한 전기 화재 예방책

① 취급 시 주의 사항

- 코드의 연결금지

코드는 가급적 짧게 사용하되, 연장하고자 할 경우에는 임의로 꼬아서 접속하지 않고 반드시 코드 커넥터를 활용해야 한다.

- 코드의 고정 사용 금지

코드를 못이나 스테이플 등으로 박아 고정시켜 배선하면, 피복이 손상되어 단락되거나 선이 찢어지고 구부러져 심선이 단선될 위험이 있다.

- 사용 전선의 적정 굵기 사용

전기 용량을 고려하여 적정 굵기 전선을 갖는 배선기구를 사용하고, 문어발식으로 많은 기구를 꽂아 사용하는 것을 금한다.

② 단락 및 혼촉 방지

- 이동전선의 관리 철저

고정 기기에는 반드시 고정배선을 하고, 중량물이 이동되는 장소에 시설하는 이동 전선은 가공으로 시설하거나 튼튼한 보호관 속에 넣어 시설한다.

- 전선 인출부의 보강

단락사고 방지를 위하여 전선 인출부에는 부싱(Bushing)을 설치하여 손상을 방지 하고, 전선의 구부림을 줄일 수 있도록 스프링을 끼워 기기 사용 시 전선이 비틀리지 않도록 한다.

- 규격전선의 사용

비닐 코드를 옥내배선으로 사용하는 것을 금하고, 전자 표시나 관련 기준에 적합한 규격 전선을 용도에 알맞게 사용해야 한다.

- 전원 스위치 차단 후 점검 · 보수

전원 스위치를 넣은 채 기기의 점검이나 보수 시에는 단락으로 인한 화재의 우려가 있다.

③ 누전 방지

배선기기로부터의 누전을 방지하기 위해서 지켜야 할 사항은 다음과 같다.

- 배선기기의 충전부 및 절연물과 다른 금속체(건물의 구조재 · 수도관 · 가스관 등) 이격 조치
- 습윤 장소의 전기시설을 위한 방습 조치
- 절연 효력을 위한 전선 접속부에 접속기구 또는 테이프 사용
- 누전 경보기 및 누전 차단기 설치
- 미사용 시 전원 차단
- 배선피복 손상의 유무, 배선과 건조재와의 거리, 접지의 배선의 정기 점검
- 절연저항 정기 측정

④ 과전류 방지

다음은 과전류가 배선기기를 통해 흐르는 것을 방지하기 위해 취할 수 있는 예방 조치이다.

- 적정용량의 퓨즈 또는 배선용 차단기 사용
- 문어발식 배선 사용 금지
- 접촉 불량으로 인한 발열 방지를 위한 정기 점검
- 고장 나거나 누전되는 전기 기기의 사용 금지

⑤ 접촉 불량 방지

- 접속부나 배선기구 조임 부분의 철저한 전기공사 시공
- 전기 설비 발열부의 철저한 점검 실시

(2) 전기 기기에 대한 전기 화재 예방책

① 전동기

- 사용 장소와 전동기의 형식

인화성 가스, 먼지 등의 가연성 물질이 있는 곳에서는 방폭형, 방진형의 것을 선정하여 사용한다. 이때 일반 개방형을 임시로 사용하거나, 보호 장치를 떼고 시운전을 하는 것은 아주 위험하다. 그 밖에 물방울이 떨어질 위험이 있는 장소에서는 방적형을 채용하고 전동기실(상자)을 설치할 필요가 있다.

- 외피 · 철대의 접지

정기적으로 접지선의 접속 상태와 접지저항을 점검한다. 또한 인화 또는 폭발위험이 큰 곳은 2개소 이상 접지해둔다.

- 과열의 방지

청소 실시, 통풍 철저, 적정퓨즈 · 과부하 보호 장치의 사용, 급유 등에 주의한다. 또한 정기적으로 절연저항을 시험하고, 온도계를 사용하여 과열 여부를 수시로 점검해야 한다.

② 전열기

a. 고정된 전열기

전기로 · 건조기 · 적외선건조장치 등의 고정된 전기 설비에 대한 화재 예방에 필요한 사항은 다음과 같다.

- 가열부 주위에 가연성 물질의 방치 금지
- 정기적인 기구 내부 청소
- 전열기의 낙하 방지, 열원과의 거리 확보를 위한 충분한 검토
- 접속부 부근의 배선에 대한 피복의 손상 및 과열 주의
- 온도의 이상 상승 시 자동적으로 전원을 차단하는 장치 설치

b. 이동 가능한 전열기

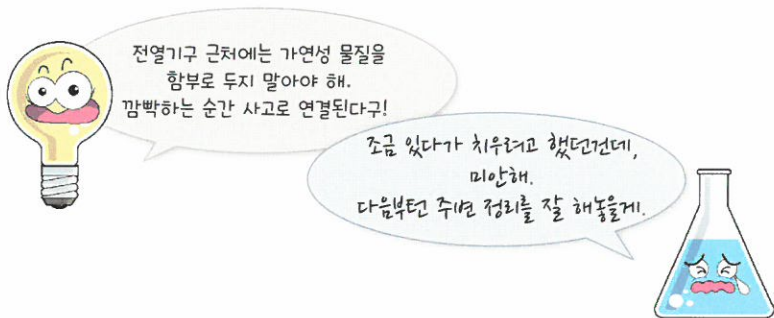
이동 가능한 전열기에서 발생하는 발화는 일반적으로는 불량한 사용 상태에서의 연속사용 · 방치, 불량기구의 사용으로 인해 인접한 가연물에 연소되는 사고가 많다. 전열기 사용상의 주의 사항은 다음과 같다.

- 열판의 밑 부분에 차열판이 있는 것 사용
- 인조석, 석면, 벽돌 등의 단열성 불연 재료로 받침대를 만들 것
- 주위 0.3~0.5m 상방으로 1.0~1.5m 이내에 가연성 물질 접근 방지
- 충분한 용량의 배선, 코드 사용으로 과열 방지
- 본래의 용도 이외의 목적으로의 사용 금지
- 일반화기와 동일한 수준의 세심한 주의 및 조직적 관리 필요

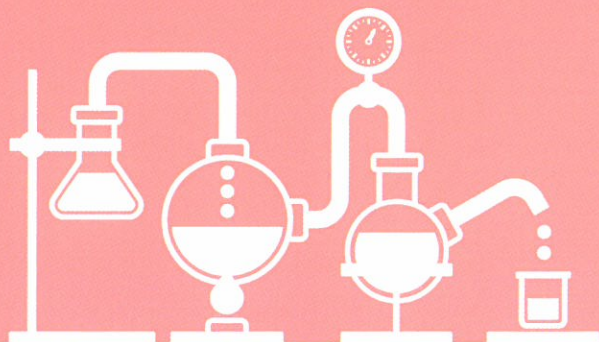
③ 전등

가연성 물질이 있는 곳에서 전등 파손에 의한 화재방지를 위하여 다음과 같이 시설한다.

- 글로브 및 금속제 가드를 이용한 전등의 보호
- 위험물 보관소에서는 조명설비의 수를 줄이거나 설치 금지하고 방폭형 조명 설치 권장
- 절연성능이 우수한 소켓 사용
- 절연성능이 우수한 캡타이어 코드 사용
- 전원 공급을 위해 사용된 코드의 접속부분 노출 방지



연구실 안전 표준 교재
전기 · 전자 안전





CHAPTER

4

정전기 재해

1. 정전기 이론
2. 정전기 종류
3. 정전기 재해의 원인
4. 정전기 사고 방지 대책



4 CHAPTER

정전기 재해



연구실 내 정전기에 의해 발생하는 화재 폭발 등의 재해를 막기 위해 정전기 원리를 살펴보고 정전기에 의한 지해 원인과 방지대책을 확인한다.

정전기로 인한 재해는 일반적으로 연구활동종사자의 무지로 인해 정전기의 영향을 과소평가함으로써 발생한다. 감전사는 심장에 50mA 이상의 전류가 통전될 경우 심실 세동을 일으켜 사망하게 되는 것인데, 정전기 방전은 순간적으로 인체에 흘러 들어가는 전류량 자체가 매우 적기 때문에 감전사의 위험은 거의 없다. 그러나 전격에 의한 추락사고, 정전기가 착화원이 되어 발생하는 화재 및 폭발, 그로 인한 설비의 파괴 및 인명피해 등 2차적 재해가 연구실 안전사고의 큰 원인이 되어 왔다. 따라서 연구실에서의 정전기의 영향을 올바르게 이해하고, 정전기 재해의 원인을 파악해 이를 방지하려는 노력을 기울여야 한다.



만만하게 보였던
정전기가 큰 위험이 될 수 있대니!

그러니까
정전기에 대한 이해를 하고
연구실에서 주의할 사항을 알아보자구!



1. 정전기 이론

(1) 정전기

일반적으로 우리들의 주변에서 흔히 일어나는 정전기 재해는 공기 중 전하의 미소한 이동(전류)를 동반한다. 그럼에도 불구하고 '정전기'라는 단어를 사용하고 있는 이유는 전하의 이동이 있다 하더라도 전류로 인한 자계의 효과가 정전기가 보유하고 있는 전계 효과에 비해 무시할 수 있을 정도로 작아 정전기에 기인한 현상 거의 대부분이 전계 효과의 지배를 받기 때문이다.

정전기는 기본적으로 2개의 다른 극성 물체가 접촉했다가 분리될 때 발생한다. 즉, 2개의 물체가 접촉하면 그 계면에 전하의 이동이 발생하고, 전하가 상대적으로 나란히 늘어선 전기 2중층이 형성된다. 그 후, 물체가 분리되어 전기 2중층의 전하분리가 일어나면, 2개의 물체에 각각 극성이 다른 등량의 전하가 발생한다.

공기는 보통 절연물로 분류하고 있지만 실제로 공기의 절연내력에는 한계가 존재한다. 즉, 기온·기압의 표준상태(20°C , 760mmHg)에 있어서는 직류에서 약 30kV/cm 또는 교류에서 약 21kV/cm 의 전위경도를 가하면 절연이 파괴되는데 이것을 파열극한 전위경도라 한다. 즉, 전하에 의한 전계가 공기의 절연 내력(Dielectric strength, 30kV/cm)을 초과할 때 전하가 공기 중으로 급격하게 방출되어 정전기가 발생한다.

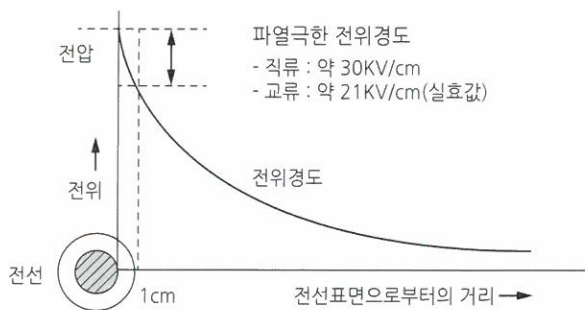


그림 4-1

전위경도에 따른 공기의 절연파괴

(2) 대전

대전이란 물체에 남아 있는 정전기를 말한다. 두 물체의 접촉으로 인한 접촉면에서 전기 이중층의 형성, 전기 이중층의 분리, 분리에 의한 전위 상승과 분리된 전하 소멸의 3단계로 나누어진다. 대전 현상은 이 3단계 과정이 연속적으로 일어날 때 발생한다. 물이 낮은 곳으로 흐르듯, 대전된 정전기는 물체를 통해서 대지로 흐르고 대지로 흐른 정전기는 소실된다. 대전되는 물체의 절연 저항이 클 때, 정전기가 대지로 흘러나가기 어렵지만 영구 대전되는 것은 아니며 어느 정도 시간이 흐르면 정전기의 대전은 Zero가 된다.



그림 4-2 정전기 발생 구조

※ 고체, 액체, 기체에 따라 각각의 대전 특징이 있으며, 가장 문제가 되는 것은 가연성 액체의 대전이다. 액체의 경우는 고유 저항이 $10^{11} \sim 10^{15}$ 사이에서 대전이 쉽게 일어나며, 특히 $10^{13} \Omega \cdot \text{m}$ 인 물질(JP-4, 톨루엔, 등유, 가솔린, 크실렌, 벤젠)의 대전이 가장 쉽게 일어난다.

(3) 정전기 발생에 영향을 주는 요인

① 물체의 특성

물체의 재질에 따라 대전 정도는 달라진다. 대전 서열에서 서로 떨어져 있는 물체 일수록 정전기 발생이 용이하고 대전량이 많다.

표 4-1

물질에 따른 대전 서열

+				
아스베스토스			셀로판	
머리털			제라틴	
유리	유리		유리	
운모	나일론		산화셀룰로즈	
양모	양모	양모	폴리메틸	
견	견	나이론	메타크릴레이트	Cd
아연	레이온		플리카보네이트	Zn
종이	면	면	폴리스틸렌	Al
에보나이트	마	아세테이트	매연가루	Fe
동	동	루이사이트	폴리에틸렌	Cu
유황		폴리스틸렌	염화비닐	Ag
고무	합성고무	폴리에틸렌	테프론	Au
	폴리에틸렌	테프론	사란	Pt
-				

② 물체의 표면 상태

표면의 오염, 부식, 표면의 거친 정도에 따라 정전기 발생의 정도가 다르다. 표면이 깨끗하거나 평활할 때 정전기의 발생이 적다.

③ 물체의 이력

어떤 물질에 있어서 정전기의 발생은 그전에 일어났던 물체의 대전 이력에 영향 받는다. 정전기의 최초 대전 시 그 크기가 가장 크다.

④ 접촉면적 및 압력

물체 간의 접촉 면적과 접촉 압력이 클수록 정전기가 많이 발생한다.

⑤ 분리속도

속도가 크면 발생된 전하의 재결합이 적게 일어나 정전기의 발생량이 많아진다.

2. 정전기 종류

(1) 정전기 대전

① 마찰대전

고체·액체류 또는 분체류의 경우, 두 물질사이의 마찰에 의한 접촉과 분리과정이 계속되면 이에 따른 기계적 에너지에 의해 자유전기가 방출·흡입되어 정전기가 발생한다.

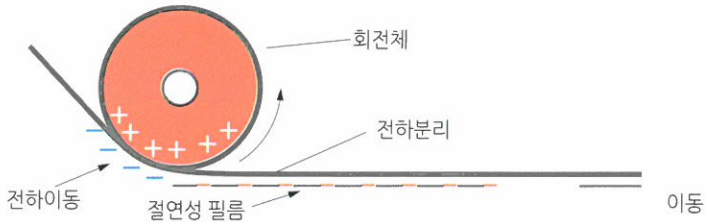


그림 4-3 마찰 대전

② 박리대전

서로 밀착되어 있던 두 물체가 떨어질 때 전하의 분리가 일어나 정전기가 발생하는 현상이다. 접촉면적, 접촉면의 밀착력, 박리속도 등에 따라 변화하며 정전기 발생량이 가장 많다. 옷을 벗거나 박리할 경우 발생하는 정전기가 이에 속한다.

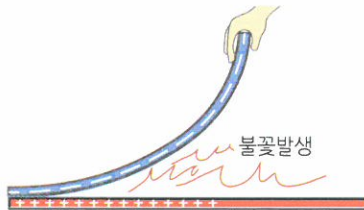


그림 4-4 박리 대전

③ 유동대전

액체류가 배관 등을 흐르면서 고체와 접촉에 따른 액체류의 유동 때문에 정전기가 발생한다. 파이프 속을 절연이 높은 액체가 흐를 때 전하의 이동이 일어나며 액체가 (+)로 대전하면 파이프는 (-)로 대전하게 된다. 이 유동대전은 유속이 빠를수록 커지며, 흐름의 상태와 파이프의 재질과도 관계가 있다.

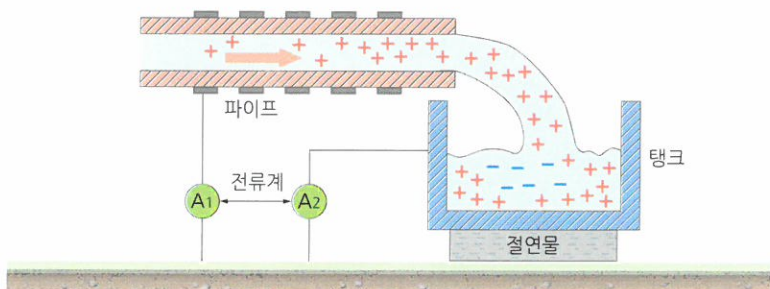


그림 4-5 유동 대전

④ 분출대전

분체류, 액체류, 기체류 등이 단면적이 작은 분출구를 통해 공기 중으로 분출될 때 분출물질 입자들 간의 상호 충돌 및 분출 물질과 분출구의 마찰에 의해 정전기가 발생한다. 액체가 분사할 때 순수한 가스 자체는 대전 현상을 나타내지 않지만 가스 내에 먼지나 미립자 등이 혼입되면 분출시 대전이 일어난다. 수소가

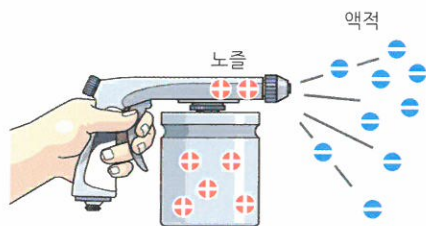


그림 4-6 분출 대전

산화철을 포함했을 때는 플랜지에서 대전하며 분출할 때는 거의 착화된다. 이때 착화원은 정전기일 수도 있고 주위 공기를 압축시키면서 발생하는 쇼크인 경우도 있다. 분출 물질 중에 먼지나 미스트가 혼입되면 대전의 세기가 더욱 커진다.

⑤ 충돌 대전

분체류 등의 입자 상호간이나 입자와 고체와의 충돌에 의해 빠른 접촉 분리가 일어나면서 정전기 발생한다.

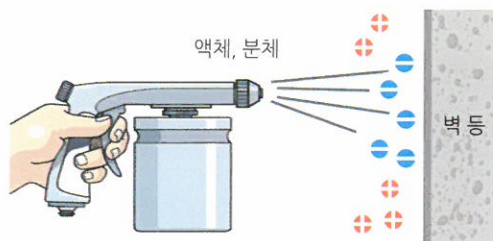


그림 4-7 충돌 대전

⑥ 파괴 대전

고체나 분체류와 같은 물체가 파괴되었을 때 전하분리 또는 부전하의 균형이 깨지면서 정전기가 발생한다.

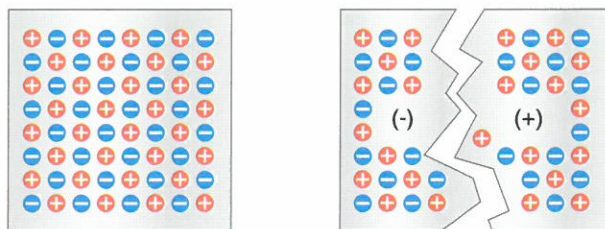


그림 4-8 파괴 대전

(2) 정전기 방전

대전 물체로부터 발생한 정전기 방전은 주로 대기 중에서 발생하는 기중 방전과 부도체의 대전물체 표면에서 발생하는 연면 방전으로 크게 분류할 수 있다. 기중 방전은 다시 코로나 방전, 브러시 방전, 불꽃 방전, 연면 방전의 4가지 형태로 분류할 수 있다.

① 코로나 방전

대전된 부도체와 대전물체나 방전물체의 뾰족한 끝 부분에서 전기장이 강해져 미약한 발광이 일어나는 현상으로, 방전 에너지의 밀도가 낮아 재해의 원인이 되는 확률이 비교적 적다. 이처럼 낮은 방전 에너지로 인해 수소 등 일부 가연성 가스를 제외하고는 발화원이 되지 않는다.

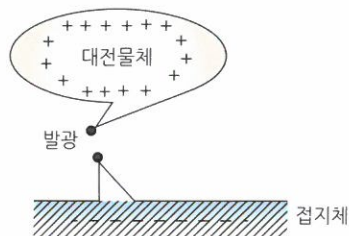


그림 4-9 코로나 방전

② 브러시 방전

코로나 방전보다 진전되어 수직상 발광과 펄스상의 파괴음을 동반하는 방전을 브러시 방전 또는 스트리머 방전이라 한다. 이 방전은 방전에너지를 4mJ까지 가질 수 있으므로 가스, 증기 또는 민감한 분진을 통해 화재 및 폭발을 일으킬 수 있다. 위험도는 불꽃 방전과 코로나 방전의 중간 정도이다. [그림 4-10]에서 보이는 바와 같이 공기 중에서 나뭇가지 형태의 발광이 진전되어 간다. 브러시 방전은 대전량을 많이 가진 부도체와 평평한 형상을 갖는 금속과의 기상(氣相) 공간에서 발생하기 쉽다. 따라서 화재를 일으키는 점화원이 되거나, 전격을 일으킬 확률이 높다.

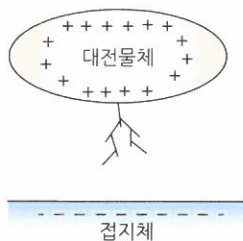


그림 4-10 브러시 방전

③ 불꽃 방전

평면 전극 간에 전압을 인가할 경우, 양극간의 전위 경도가 균일하다. 이때 인가전압이 한도를 초과하면 그 공간 내의 공기의 절연성이 파괴되어 강한 빛과 파괴음의 불꽃방전이 발생한다. 불꽃 방전은 대전 물체에 축적된 정전 에너지의 대부분이 공기 중에서 소비되기 때문에 착화 능력이 높고, 거의 모든 가스 · 증기와 가연성 분진의 착화원이 된다.

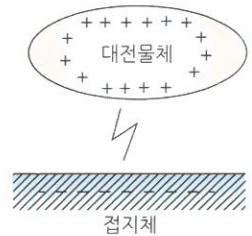


그림 4-11 불꽃 방전

④ 연면 방전

공기 중에 놓인 절연체 표면의 전계 강도가 클 때 접지체가 접근 시 절연체 표면을 따라서 발생하는 방전을 말한다. 연면방전은 [그림 4-12]의 조건과 같은 경우 발생되기 쉽고 불꽃방전과 마찬가지로 방전에너지가 높아 재해나 장애의 원인이 된다.

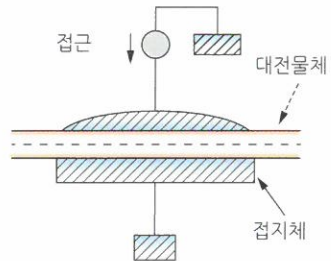


그림 4-12 연면 방전

3. 정전기 재해의 원인

(1) 절연물에서 접지금속으로의 방전

대전된 절연성이 높은 물질과 접지된 금속구 사이의 거리(2cm)를 두고 접지 금속구의 직경에 따라 불꽃 방전이 발생하는 정전기 크기는 아래 표와 같으며 이 불꽃 방전은 가연성 가스의 착화에너지가 될 수 있다.

표 4-2

접지 금속구의 직경에 따른 방전 전위

접지 금속구의 직경(cm)	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0
방전 전위(kV)	10	15	20	28	35

① 정전기에 의한 화재 · 폭발 조건

표 4-3

가연성 가스 및 분진의 폭발 관계 수치

가연성 가스종류	발화점 (℃)	폭발한계(%)		최소착화 에너지(mJ)	증기밀도 (공기=1)	분진의 종류	발화점 (℃)	폭발 하한 (g/m)	최소착화 에너지 (mJ)
		하한	상한						
아세틸렌	305	1.5	82	0.017	0.90	마그네슘	520	20	80
A.Ald	175	4	60	0.376	1.52	알루미늄	645	35	20
아세톤	465	2.5	13	1.15	2.0	철	316	120	<100
암모니아		15	28	0.77	1.2	소맥분	470	60	160
CO		12.5	74		0.968	석탄(역청)	610	35	40
에틸렌	450	2.7	34	0.096	1.0	비누	430	45	60
수소	500	4	75	0.019	0.07	유황	190	35	15
등유	260	1	6			펄프	480	60	80
가솔린		1.4	7.6		3.5	에폭시	540	20	15
프로판	450	2.1	9.5	0.28	1.55	폴리에틸렌	410	20	10
JP-4						폴리프로필렌	420	20	30
헥산	260	1.2	7.4	0.24		폴리스틸렌	490	20	40
펜탄	260	1.5	7.8	0.49	2.5	텔레프탈산	680	50	20
메타놀	385	6	36	0.14	1.11	콜크	470	35	45
메탄	537	5	15	0.28	0.555	목분	430	40	30

다음은 정전기로 인해 화재 및 폭발이 일어날 수 있는 조건이다.

- 가연성물질의 폭발한계 이내일 것
- 정전에너지가 가연성물질의 최소 착화 에너지 이상일 것
- 방전하기에 충분한 전위차가 있을 것

② 폭발 한계

폭발 한계의 온도 범위 이하나 이상에서는 폭발하지 않는다. 연소, 폭발을 일으키는 가연성 가스의 일정 농도를 폭발 한계라고 하며 가스의 종류에 따라 폭발 한계 값이 다르다. 연소 또는 폭발이 일어날 수 있는 가연성 가스의 일정농도를 상한계와 하한계라 하고 상한계와 하한계 사이의 범위를 폭발 범위, 폭발 한계 또는 연소 범위라 한다.

(2) 절연된 도체(인체)로부터의 방전

인체는 도체로 생각해도 되지만 절연성이 높은 신발을 신고 있을 때는 인체에 대전된다. 대전된 정전기가 방전되면서 불꽃 발생으로 사고가 발생하는 경우와 절연된 용기가 대전하여 그것이 방전되어 화재폭발이 되는 경우가 있다.

(3) 혼합가스 및 분진 폭발

수소나 프로판 가스와 같은 가연성 가스가 일정농도에서 공기와 혼합되고, 그 장소에 화원이나 열원이 있을 때 일어나는 연소이다. 이로 인한 폭발은 폭연과 폭굉으로 구분할 수 있다. 주요 가연성 가스의 최소 착화에너지는 대체로 0.2mJ 내외로 매우 작아 정전기가 착화원으로 발생하는 화재 및 폭발 가능성에 주의해야 한다.

- **폭연** : 연소속도가 300m/초 이하일 때로서 “팍”하고 소리를 내고 연소하는 것으로서 약간의 파괴력이 있음

- 폭굉 : 연소속도가 1,000m/초 이상인 경우로써 팽하는 소리를 내고 파괴력이 크고 멀리 파급 되는 경우

(4) 정전기에 의한 인체의 전격

도어에 손을 댈 때 전격을 받는 것은 인체에 대전된 정전기가 방전으로 인한 정전기로 전격 현상이 발생할 수 있다. 신발의 절연 저항이 크고 겨울철 건조할 때 자주 일어나는 현상이다. 정전기에 의한 전격이 직접 원인이 되어 사망에 이르는 경우는 없으나 근육의 급격한 수축에 의한 어깨 탈구 등 신체적 손상을 받을 수 있으며, 전격을 받고 쇼크로 신체의 균형을 잃어 높은 곳에서 추락, 전도 또는 기계로의 접촉 등 2차 재해를 일으킬 수 있다. 전격에 의한 불쾌·공포감 등으로 작업 능률 저하가 발생할 수도 있다.

4. 정전기 사고 방지 대책

정전기 사고를 방지하기 위해서는 정전기의 대전량을 적게 해야 한다. 이를 위해서는 정전기를 대지로 누설하는 양을 크게 하거나 발생을 억제 또는 제거해야 한다. 이를 위해서 크게 다음의 5가지 사항을 고려하여야 한다.

- 접촉면 줄이기
- 분리속도 낮추기
- 유사한 유전(절연) 계수의 이용
- 표면저항률 낮추기
- 공기 중의 습도 높이기

위의 사항이 적용된 대전체별 정전기 대전 방지 대책은 다음과 같다.

(1) 도체의 정전기의 대전(축적)방지

① 접지 및 본딩

접지는 물체에 발생된 $1\text{M}\Omega$ 이하의 정전기를 대지로 누설하여 완화시키는 방법이고, 본딩은 전기적으로 절연된 2개 이상의 도체를 전기적으로 접속하여 발생한 정전기를 완화시키는 방법이다. 대지에서 절연된 상태의 금속은 정전기 유도와 대전이 겹쳐서 불꽃의 에너지가 크며 가연성 가스가 있는 경우에는 착화하기 쉽다. 따라서 이런 경우 대지에 접지봉이나 접지 동판을 매설하고 접지 케이블로 절연 상태인 금속에 연결하는 접지를 설치하여 용기나 탱크 내에 대전된 액체의 전위를 최소화해야 한다.

정전기는 접지 저항이 $10\text{k}\Omega$ 정도에서도 순간적으로 대지로 흘러 소실되는데 배관은 동전기의 누전도 고려하여 접지 저항이 100Ω (제3종 접지), 탭조류나 철구 등은 피뢰침 역할 등을 고려하여 10Ω 이하의 접지 저항으로 정전기 대책을 검토하기도 한다.

(2) 부도체의 정전기의 대전(축적)방지

① 가습

대부분의 물체는 습도가 증가하면 전기 저항치가 저하된다. 따라서 정전기의 발생이 우려되는 전자 · 전기 연구실 내의 습도는 70% 이상 유지 할 것을 권장한다.

② 대전방지제 사용

대전 방지제는 부도체의 도전성을 향상시켜 대전을 방지하는 물질이다. V벨트, 합성섬유 등에 전도성 재료를 첨가 또는 도포하고, 액체에는 품질에 문제가 없는 범위 내에서 첨가제를 첨가하여 대전을 방지할 수 있다. 예를 들어 백등유의 저항률은 $10^{13}\Omega \cdot \text{cm}$ 이지만 대전 방지제를 3ppm 첨가하면 $10^{10}\Omega \cdot \text{cm}$ 으로 낮아 대전되지 않는 정도로 저항률이 낮아진다.

③ 제전기 사용

제전기를 대전체에 가까이 설치하면 제전기에서 생성된 이온(정·부)중 대전물체와 역극성의 이온이 대전물체의 방향으로 이동해서 그 이온과 대전물체의 전하와 재결합해서 중화가 이루어져 정전기를 완화 시킬 수 있다.



제전 가능 기준

- 최소 착화에너지 수 $10\mu\text{J}$ 인 가연성물질: 대전전위 1kV 이하
- 최소 착화에너지 수 $100\mu\text{J}$ 인 가연성물질: 대전전위 5kV 이하
- 전격방지: 대전전위 10kV 이하

(3) 인체의 대전 방지 대책

① 대전 방지화 착용

인체의 대전이 방전되면 본인은 전격을 받고 가연성 가스가 있는 경우에는 화재, 폭발의 원인이 된다. 보통 신발은 바닥의 저항이 $10^{12}\Omega$ 정도이며 인체에 대전하게 되나 정전화는 바닥의 저항이 $10^5\Omega \sim 10^8\Omega$ 정도이다. 따라서 정전화를 신고 있으면 인체 대전을 방지할 수 있다. 도전화는 바닥의 저항이 $10^5\Omega$ 이하로 특별 고압의 전압 선근접 작업이나 특별고압선로 부근의 건설 공사시 정전유도에 의한 전격을 방지하기 위해 사용한다.

② 안전복 착용

작업복의 마찰로 일어나는 정전기는 작업복 자체의 대전과 작업복에 의한 인체 대전 두 가지로 나뉜다. 도전성 안전복은 직경 $50\mu\text{m}$ 실의 도전성 섬유(ECF)로 1~5cm 간격으로 짜서 만들어진다. 그 표면에 도전성 물질을 코팅하여 길이 1cm에 대해 100%

~1,000Ω 정도 저항을 갖도록 하였다. 습도와 안전복의 대전 전위는 아래 표와 같다. 일반 섬유유의 대전 전위와 비교 시 훨씬 작은 대전 전위를 가져 인체로의 정전기 대전 방지에 효과적임을 알 수 있다. 그러나 인체대전은 대전 방지화를 신음으로써 정전기를 대지로 흘려보낼 수 있지만 작업복 자체는 대전된 상태이기 때문에 재해요인이 될 수 있다.

표 4-4 일반 섬유유와 도전성 섬유 대전 전위 비교

온도·습도	대전 전위(kV)		
	도전성 섬유 혼입 (5cm 간격)	면	폴리에스테일 레이언 혼방
24℃ 20%	5~10	52~60	50~70
35%	4~19	42~50	42~50
51%	3~6	18~20	36~42
60%	2~3	1~3	20~30

③ 손목접지기구(Wrist strap) 착용

인체 접지기구로 도전성 밴드에 1MΩ의 저항이 직렬로 삽입되어 인체에 대전 시 대지로 정전기를 흘려보낼 수 있다.

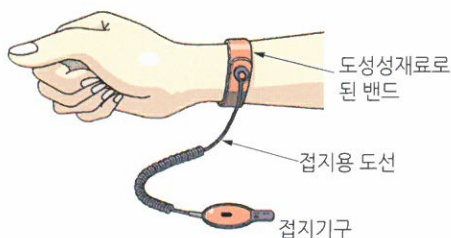
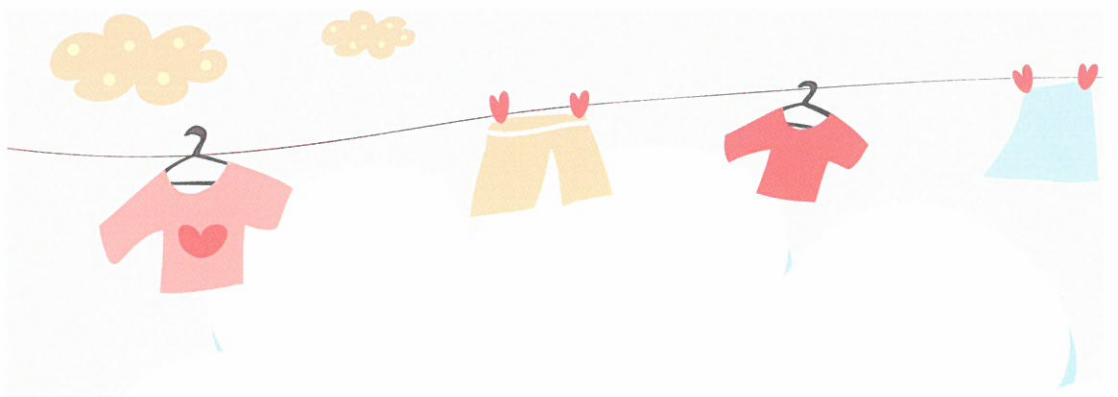


그림 4-13 손목접지기구의 착용

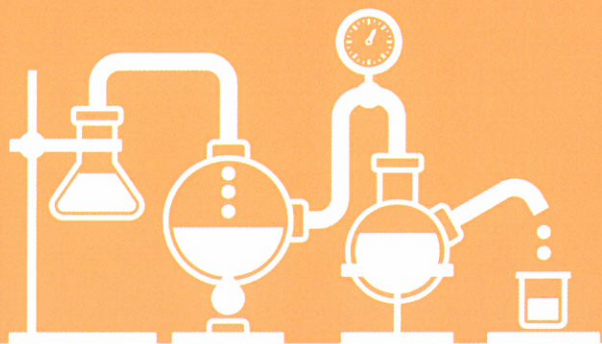


장마철이 오기 전 체크리스트!

- ★월 1회 누전차단기 시험용 버튼을 눌러 정상적으로 작동하는지 확인해주세요.
 - ★건물 안팎의 전선은 피복이 손상된 곳이 없는지 확인해주세요.
 - ★수배전반 시설이 있는 곳은 모두 전기 점검을 해주세요.
 - ★콘센트 플러그 등은 커버가 벗겨지거나 파손되지 않았는지 점검해주세요.
 - ★양초, 랜턴 등이 미리 준비되어 있는지 확인해주세요.
 - ★배수장비(양수모터)가 제대로 작동하는지 확인해주세요.
- 

연구실 안전 표준 교재

전기 · 전자 안전





CHAPTER

5

전기 설비 및 작업 안전

1. 접지
2. 누전차단기와 배선용 차단기
3. 교류아크 용접기와 안전장치
4. 전기 작업과 안전



CHAPTER

Safety for Electricity & Electronics

5

전기 설비 및 작업 안전



감전 및 정전 사고의 위험으로부터 인적·물적 피해를 막기 위한 다양한 연구실 안전설비를 살펴보고 전기 작업에 의한 사고로부터 연구활동종사자 스스로 보호할 수 있도록 안전의식을 더욱 강화해 나가야 한다.

1. 접지

관리 소홀에 의한 감전 사고나 정전 사고는 상당한 인적·물적 피해를 양산하고, 산업 활동에 커다란 영향을 줄 수 있다. 접지(Earthing)는 이러한 감전 및 정전 사고의 위험으로부터 사람 또는 기계를 지키기 위한 예방책 중 하나이다. 넓은 대지는 무수한 전류 통로를 가지고 있어 다수의 저항이 병렬접속 된 상태와 같다. 따라서 대지의 저항이 크게 저하하기 때문에 대지를 도체로 사용한다. 따라서 접지는 전력설비, 통신설비, 전기기구 등의 기기 및 설비를 대지와 전기적으로 결합시켜 대지의 전위와 동일(전위차=0)하게 하는 설비이다. 접지에 사용되는 접지선의 경우 접지저항은 가급적 낮고, 충격이나 부식에 의해 단선될 우려가 없는 굵기의 전선을 사용해야 한다.

(1) 접지의 목적

연구실에 접지와 관련되어 발생하는 전기 사고의 원인은 다음과 같다.

- 접지선을 설치하지 않은 경우
- 접지선은 있지만 접속을 시키지 않은 경우
- 접지선이 끊어져 있는 것을 그대로 방치한 경우

이의 상황을 발견한 경우 즉시 개조·수리하도록 해야 한다. 접지불량 상태로 계속 방치하면, 예기치 않은 재해나 사고의 원인이 된다는 점을 유의해야한다.

(2) 접지공사의 종류

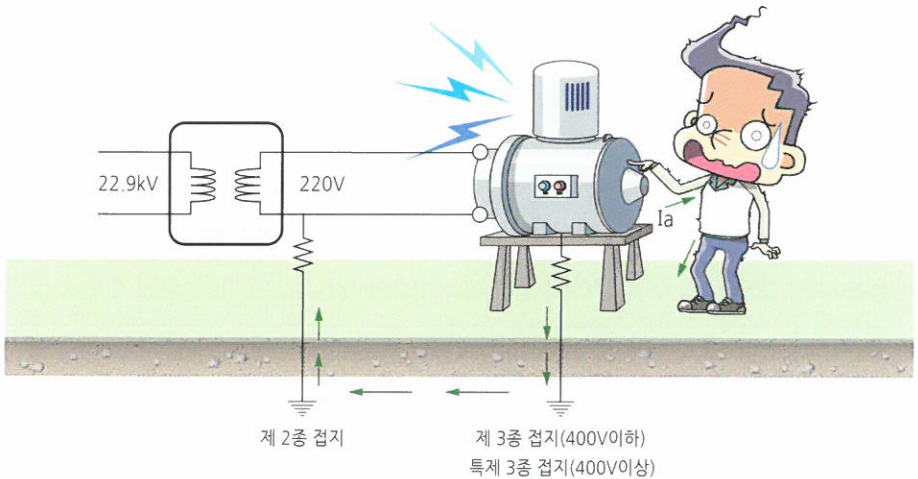


그림 5-1 접지의 종류

- 제 1종 접지공사: 고압의 변압기, 유입차단기 등의 외함이나 피뢰기에 실시하고 그 접지저항치는 10Ω 이하로 규정되어 있다.
- 제 2종 접지공사: 변압기의 고압측과 저압측의 혼촉에 의한 위험을 방지하기 위하여 저압측의 한 단자에 실시하는 것이며, 그 접지저항치는 접촉사고가 발생하였을 경우 저압측에 150V이상의 이상전압이 발생하지 않도록 계산한 값의 저항치로 규정되어 있다.
- 제 3종 접지공사: 400V 미만의 저압용기기의 외함이나 철대에 실시하는 것이며 접지저항치는 100Ω 이하로 규정되어 있다.
- 특별 제 3종 접지공사: 400V 이상의 저압용기기의 외함이나 철대에 실시하는 것으로서 접지저항치는 10Ω 이하로 규정되어 있다.

일반적으로 연구실의 접지방식은 제 3종 접지를 사용한다. 제 3종 접지는 벽면의 콘센트에 접지선이 있으며, 이것은 기타 실험기기들과 연계된다.

(3) 연구실에서의 접지

① 기기 접지

전기기계 · 기구는 대개 충전부분, 철대 및 외함 부분이 각각 절연되어 있다. 노후화 또는 기타 영향으로 인해 절연상태가 열화 되면 누전이 발생한다. 누설된 전류는 외함으로 흘러 기기의 외함에 전압이 걸리게 된다. 이 때 인체의 한 부분이 누전된 기기의 외함에 접촉하면 감전 사고가 발생한다.

이를 예방하기 위해서는 '기기접지'를 시행하여 기기의 외함에 누전되고 있는 전압을 낮추어 주어야한다. 기기 접지란 기기의 외함에 흐르는 누설전류가 외함이나 철대를 통해서 대지로 흐르도록 하는 접지를 말한다. 기기 접지를 통해 대지로 흘러들어온 누락전류는 변압기의 저압선에 연결된 제 2종 접지로 흘러 저압 회로의 누전 차단기를 작동시킨다.

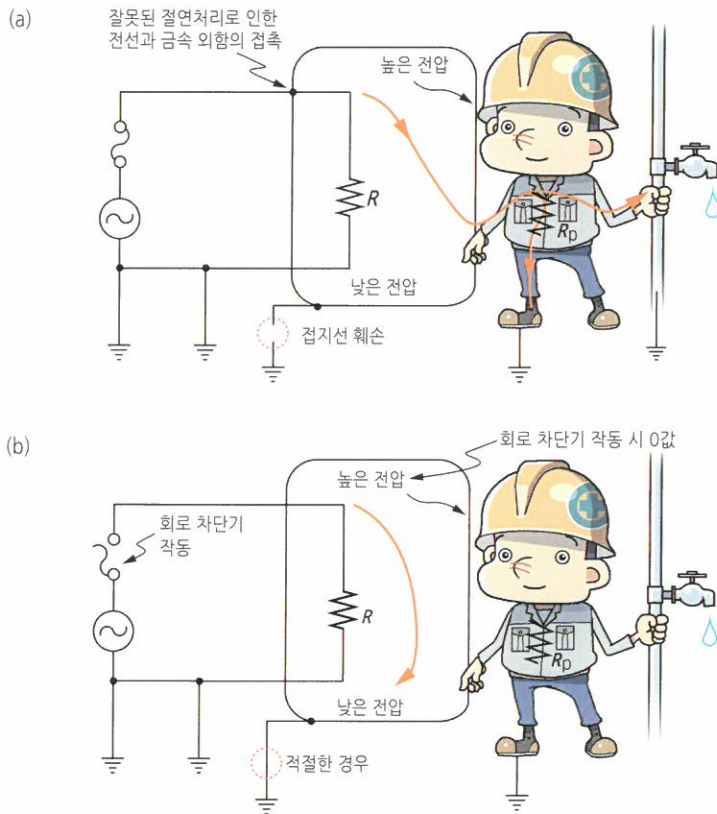


그림 5-2 연구실 저압기기의 접지

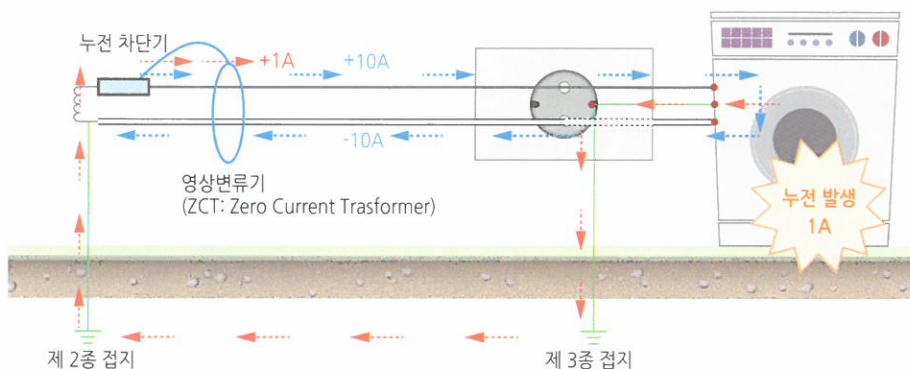
② 지락검출용 접지

저압회로에서 누전 차단기를 설치하면 저압기기의 외함에 제 3종 접지공사를 생략하는 경우가 있다. 이는 감전 사고로부터 연구활동종사자의 안전을 보장할 수 없다. 또한 제 3종 접지를 했다 하더라도 대지의 건습 상태에 따라 접지저항치가 변할 수 있다.

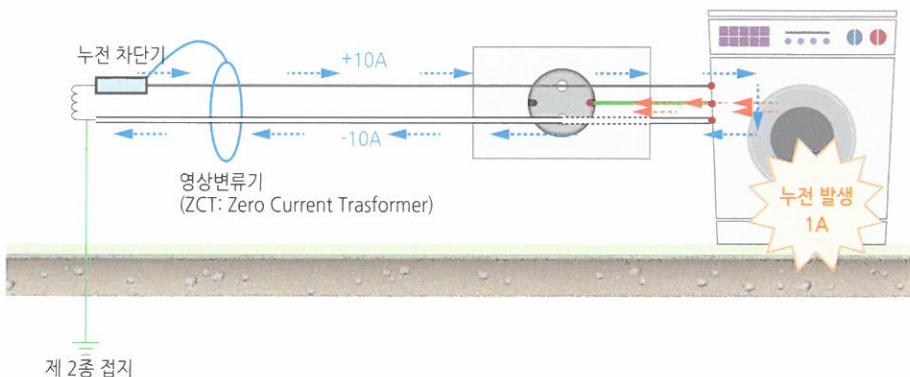
연구활동종사자의 전기 안전을 온전히 보장하기 위해서는 정기적으로 누전 차단기의

동작 점검을 시행하는 것과 동시에 저압기기의 외함을 접지하여 안전조치를 병행해야 한다. 따라서 지락전류를 검출하여 자동적으로 전기회로를 차단하는 누전 차단기가 제대로 작동하기 위해서는 접지되어 있는 저압 회로로 지락전류가 흐르도록 저압기기의 외함에 지락검출용 접지가 되어 있을 필요가 있다. 지락검출용 접지는 누전 차단기의 동작을 확실하게 한다.

③ 콘센트 접지(제 3종 접지)



(a) 콘센트 및 연장코드에 접지된 경우



(b) 콘센트 및 연장코드에 비접지된 경우

그림 5-3 콘센트의 접지 및 비접지 상태

콘센트는 대부분 제 3종 접지로 이루어져 있다. [그림 5-3]의 (a)와 같이 콘센트 및 연장코드에 접지된 경우 제 3종 접지가 누전전류를 제 2종 접지로 흘려보내 누전 차단기가 작동하도록 한다. 그러나 [그림 5-3] (b)와 같이 콘센트 및 연장코드에 비접지된 경우에는 귀로전류가 흐를 경로가 확보되지 않아 누전 차단기를 작동시킬 누전 전류가 흐르지 않고 축적된다. 누설된 전류는 인체에 접촉 시 감전 사고를 초래하며 더 나아가 심각한 전기 재해를 일으킬 수 있다.

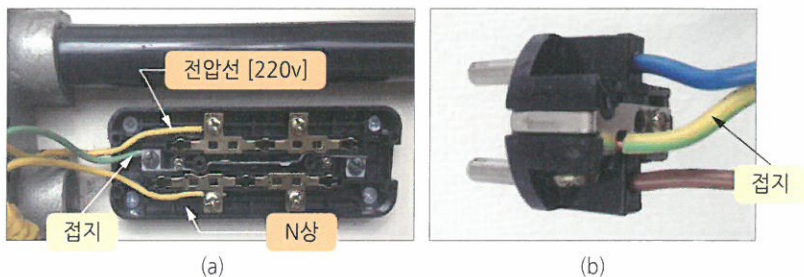


그림 5-4 콘센트와 플러그의 각 접지선 연결 상태

④ 정전기 접지

정전기는 두 물질이 마찰하거나 갑자기 떨어지는 경우에 발생한다. 두 물질이 접지된 상태에 있으면 발생한 정전기는 즉시 대지로 흡수되어 버리지만, 접지된 상태가 아니라면 정전기의 탈출로가 없어 매우 높은 전위로 대전되는 경우가 있다. 대전된 물질이 접지된 물체에 닿으면 스파크가 발생하므로 폭발성가스나 분진에 착화하여 심각한 폭발 사고를 초래할 수 있다. 이와 같은 정전기의 재해를 방지하기 위해서 가연성 액체를 넣은 금속제의 탱크, 용기, 탭조류, 배관류는 물론 금속제의 각종 장치류에도 정전기 접지를 할 필요가 있다.



접지공사를 생략가능한 경우

※ 전기 설비기술기준에 관한 규칙 제36조에 의하면 다음의 각 경우는 접지공사를 생략할 수 있다.

- ▣ 사용전압이 직류 300V 또는 교류대지전압이 150V 이하인 건조한 장소에 설치한 기계·기구
- ▣ 목재마루 등 건조한 장소에서 전기 기기를 취급하는 곳
- ▣ 인체 접촉이 용이하지 않은 높이에 설치한 저압, 고압용 기계·기구 (단, 절연성이 없는 철주상 등에 설치하는 경우에는 접지공사를 해야 함)
- ▣ 철대와 외함의 주위에 절연대를 설치하고 취급하는 기계·기구
- ▣ 전기용품안전관리법의 규격에 상응하는 이중절연 기계·기구
- ▣ 전기용품안전관리법의 규격에 상응하는 누전차단기(정격감도전류 30mA 이하, 동작시간 0.03 sec 이하의 전류 동작형에 한함)로 보호된 저압전로의 기계·기구
- ▣ 기타 플라스틱 등으로 몰드(Molding)된 계기용변성기의 철심 등

2. 누전 차단기와 배선용 차단기

① 누전 차단기(전류 동작형)

누전 차단기는 누전이 발생될 때, 그 이상 현상을 감지하여 전원을 자동적으로 차단시키는 지락차단기의 일종이다. 영상 변류기는 누전 차단기의 일종으로 영상전류를 검출하기 위해 설치하는 변류기를 말한다.

영상 변류기 내부는 주회로 전선(전압선과 중성선)이 모두 관통되는 상태로 되어 있다. 회로가 정상 상태일 때 영상 변류기 안에는 왕로전류와 귀로전류가 통과한다. 이 두 전류에 의한 자속(磁束)의 합은 서로 상쇄(Cancel)되어 0이 되므로 영상 변류기의 2차측(부하측)에는 누설전류의 출력이 발생하지 않는다. 그러나 누전 차단기의 2차측에

누전사고가 발생하면 누설전류(I_g)가 대지를 거쳐 전원으로 되돌아가게 되므로 영상 변류기를 통과하는 왕로전류와 귀로전류의 합에는 누설전류만큼의 차이가 생기게 된다. 따라서 영상 변류기 철심 중에는 누설전류에 상응하는 자속이 발생하고 영상 변류기의 2차 측에는 누설전류의 출력이 발생한다. 이 출력 값의 차이에 의하여 누전 차단기를 작동시킨다.

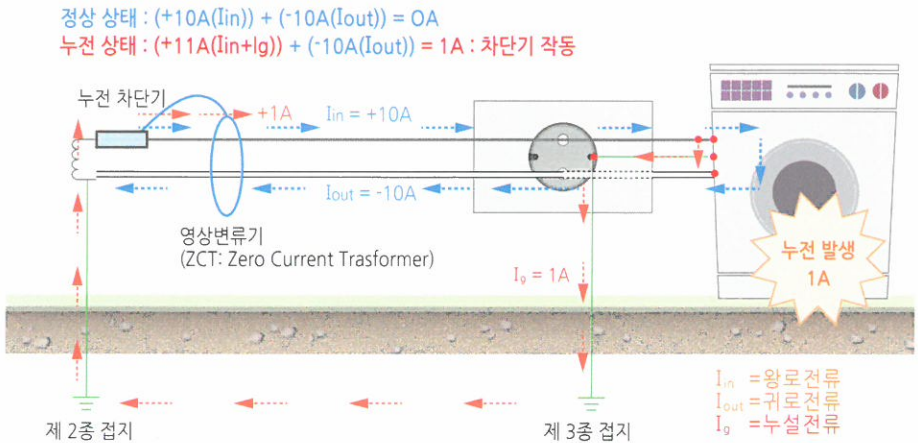


그림 5-5 누전 차단기 동작원리



그림 5-6 누전 차단기

② 배선용 차단기

과부하 및 단락(합선) 등의 이상 현상이 발생된 경우에 회로를 차단하고 보호하는 목적으로 설치된다. 단, 누전을 차단하지 않고 과부하로 인한 과전류만 차단한다.



그림 5-7 배선용차단기

3. 교류아크 용접기와 안전 장치

(1) 교류 아크 용접기

전기, 기계, 반도체 등 용접작업이 필요한 분야의 학과와 연구소에서는 이를 위해 교류아크 용접기를 활용한다. 무부하 전압은 아크를 발생시키지 않는 상태의 출력측 전압을 말하며, 무부하 전압이 높을 경우에는 아크가 안정되고 용접 작업이 용이하여 필요로 한다. 그러나 무부하 전압이 너무 높아지면 전격에 대한 위험성이 증가하므로 안전에 더욱 주의를 기울여야 한다. 이에 한국산업표준(KS)에서는 대체적으로 400A 이하에서는 무부하 전압을 85V 이하, 500A이상에서는 95V 이하로 규정하고 있다. 자세한 사항은 [표 5-1]에 제시하였다.

표 5-1 교류 아크 용접기의 종류, 정격 및 특성(KSC 9602)

종류	정격 출력전류 (A)	정격 사용률 (%)	정격 부하전압 (V)	최고 무부하 전압(V)	출력전류		사용가능한 피복 용접봉의 지름(mm)
					최대값(A)	최소값(A)	
AWL-130	130	30	25.2	80 이하	정격출력의 전류의 100% 이상 110% 이하	40이하	2.0~3.2
AWL-150	150		26.0			45이하	2.0~4.0
AWL-180	180		27.2			55이하	2.6~4.0
AWL-250	250		30.0			75이하	3.2~5.0
AWL-200	200	40	28	85이하	정격출력 전류의 20% 이하		2.0~4.0
AWL-300	300		32				2.6~6.0
AWL-400	400		36				3.2~8.0
AWL-500	500	60	40	95이하			4.0~8.0

(2) 교류 아크 용접기 안전 설비 및 작업 안전

① 자동전격방지장치

주위 환경이 우천으로 인해 습하거나 더운 날씨로 인해 연구활동종사자가 땀을 흘리게 된 경우에는 인체의 피부저항이 저하하여 전격의 정도가 매우 심하게 되며 용접작업 중에 감전으로 인한 재해가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 교류 아크 용접기에는 자동전격방지장치가 부착되어 있다.

전격방지장치는 용접기의 1차측 또는 2차측에 부착시켜 주회로를 제어시킴으로써 작동된다. 원칙적으로 용접을 할 때에만 용접기의 주회로를 폐로(ON)시켜야 한다. 용접을 행하지 않을 때에는 용접기 주회로를 개로(OFF)시켜 용접기 2차(출력)측의 아크 발생이 중단된 후 약 1초 이내에 무부하전압(보통 60~95V)을 안전전압(25~30V 이하)으로 강하시켜 용접봉과 모재사이에 접촉되어 발생될 수 있는 감전의 위험을 방지한다. 아울러 전력손실을 격감시켜주는 기능도 보유한다. 따라서 작업 중 주회로가 자주 개로 된다는 이유로 자동전격방지장치를 제거하여 연구활동종사자가 스스로를 감전 사고의 위험에 빠지게 해서는 안 된다.



그림 5-8 자동전격 방지 장치

② 절연 용접봉 홀더

용접봉 홀더는 용접봉의 끝을 물어 용접 전류를 용접케이블에서 용접봉으로 전달하는 기구로, 무게가 가볍고 전기 절연이 잘 되는 것이 좋다. 절연 부위가 파손되는 것을 방지하기 위해 용접봉이나 케이블과 접촉되는 부분은 접촉저항을 작게 하여 용접 시 홀더기가 과열되지 않도록 해야 한다.

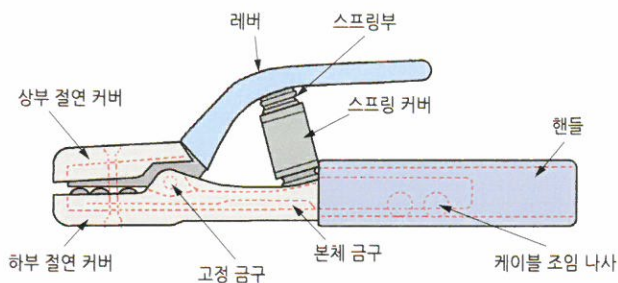


그림 5-9 절연 용접봉 홀더의 구조

③ 적절한 케이블의 사용

용접기 출력측 회로의 배선은 기름에 의해 쉽게 손상되므로 일반적으로 캡타이어 케이블이나 용접용 케이블이 사용된다. 하지만 피복이 파손되어 심선이 노출되면 감전될 우려가 있다. 피복의 손상은 물리적 손상과 과전류로 인한 열 손상이 주요 원인으로 발생한다. 피복이 손상되었을 경우에 완전히 절연 처리를 하거나 교환해야 하며, 이때 아크 전류의 크기에 맞는 굵기의 케이블을 사용하여야 한다.



그림 5-10 캡타이어 케이블(좌)와 용접용 케이블(우)

④ 2차측 공통선의 연결

2차측(부하측) 전로 중 피용접모재와 공통선의 연결할 시, 캡타이어 케이블 또는 용접용 케이블을 사용하여야 한다. 철구조물이나 기타 금속체를 사용하여 공통선과 연결하면 또한 전력손실로 인해 용접부분에 전력이 집중되지 않아 용접작업의 효율이 떨어진다. 무엇보다 용접전류는 저항이 작은 곳으로 흘러 화재, 폭발을 일으키거나 감전 사고를 발생시킬 수 있다.

⑤ 보호구 착용

용접작업 중에 발생하는 아크열, 스퍼터(Spatter) 등에 의한 화상을 방지하기 위해 용접용 장갑을 착용해야 한다. 그러나 용전용 가죽 장갑은 장갑이 젖으면 절연능력이 저하되어 감전의 위험이 따르므로 실리콘으로 처리한 장갑을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 눈을 보호하는 보호안경과 보호면, 피부를 보호하는 장갑, 앞치마, 안전화를 착용하고 작업한다.

⑥ 작업 후 정리

용접기 및 전원 개폐기를 확실하게 차단하고, 케이블, 홀더 등의 용접용구 및 보호구류를 정비하고 일정한 장소에 보관해야 한다. 또한 사용하지 않은 용접봉은 건조소에 건조시키며, 쓰다 남은 봉은 일정 상자에 모아 보관 하도록 한다.

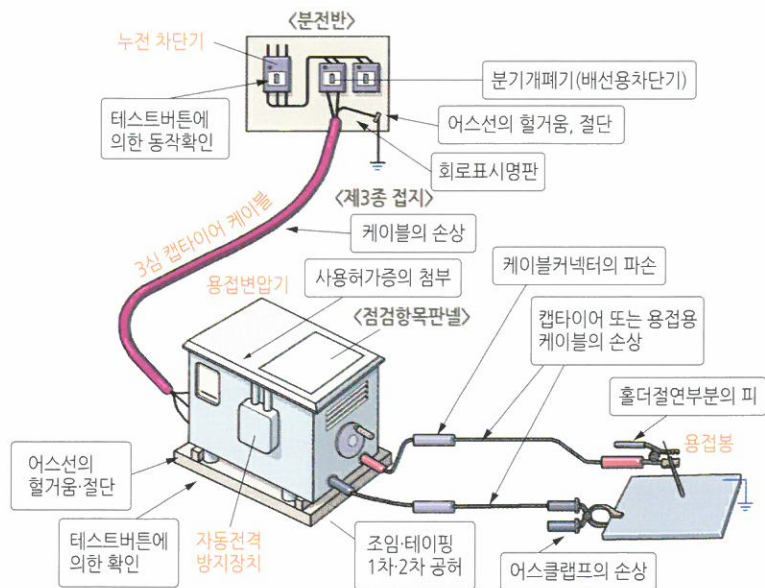


그림 5-11 교류 아크 용접기의 안전점검 계통도

4. 전기 작업과 안전

전기 설비 또는 그 주변의 기타 시설물을 점검하거나 수리하는 전기 작업은 다음 두 상태에서 실시할 수 있다.

- 정전 작업: 정전된 상태에서 작업
- 전압선 작업: 전압선 상태에서 작업

전기 작업을 할 때 전선로가 충전되어 있으면 그만큼 감전 사고의 위험이 커진다. 따라서 산업안전보건규칙 제319조에 따라 부득이한 경우를 제외하고는 정전작업을 하는 것을 원칙으로 하고 있다. 보통 정전작업에서는 감전 사고의 위험이 없는 것으로 생각하기 쉬우나, 잘못된 송전 및 다른 전압선과의 혼촉 등으로 정전회로가 충전되어 감전 사고를 일으키는 경우가 많다. 따라서 어떠한 경우라도 충분한 안전대책을 마련하여 재해예방에 노력을 기울일 필요가 있다.

(1) 전기 작업의 준비

전기 작업은 감전 사고의 위험이 항상 존재하므로 반드시 책임자를 임명하고, 지휘·명령계통을 확립하여야 한다. 또한 정확한 명령 전달을 위해 책임자 이외의 제 3자에 의한 지시는 금지하고, 계획된 작업 순서에 따라 작업을 실시하여야 한다. 작업준비 단계에서 감전 사고의 방지를 위하여 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 전기 작업의 목적과 내용을 이해하고 작업 장소, 작업개시시간과 완료시간 및 사용자재, 안전장구 등을 파악하여 사용상 주의가 필요한 안전사항을 납득시키고, 사고가 발생하지 않도록 사전에 충분한 대비를 한다.
- 연구활동종사자 각자의 기능정도, 심신의 상태 등을 파악하고 작업 시 이를 감안하여 업무를 분담하도록 한다.

- 작업 장소, 취급전로 및 인접계통을 작업자에게 충분히 주지시키고, 사고가 발생한 경우 인체 및 설비에 의해 발생할 수 있는 안전사고에 대한 예방의 중대성을 이해 시켜야 한다.
- 2명 또는 3명의 작업자가 작업하는 소규모의 작업에서도 책임자를 임명하고 지휘 하도록 해야 한다. 정전과 재통전 및 전압선접속과 전압선절단 등의 중요한 작업에 대해서는 책임자가 반드시 입회하여 안전을 확인하면서 작업을 진행시켜야 한다.

(2) 정전 작업의 안전

정전 작업 시에는 감전 사고의 위험을 방지하기 위하여 작업착수 전에 반드시 '정전 작업 요령'을 작성하고 항상 이 요령에 의거하여 작업을 실시해야 한다.

정전 작업 요령의 작성 시 포함시켜야 할 사항은 다음과 같은 것이 있다.

- 책임자의 임명, 정전범위 및 절연보호구, 작업시작 전 점검 등 작업시작 전에 필요한 사항
- 개폐기 관리 및 표지판 부착에 관한 사항
- 점검 또는 시운전을 위한 일시운전에 관한 사항
- 교대근무 시 근무인계에 필요한 사항
- 전로 또는 설비의 정전순서
- 정전확인 순서
- 단락접지 실시
- 전원재투입 순서

(3) 전압선 작업의 안전

전기 작업은 정전 작업이 원칙이다. 그러나 계통 또는 부하의 종류에 따라 전압선 상태에서 작업을 실시하게 되는 경우가 많이 존재한다. 전압선 작업은 저압 및 고압에 관계없이 취급에 주의하지 않으면 단락·지락에 의한 아크화상 및 충전부의 접촉에 의한 전격재해를 초래한다. 따라서 충전전로의 부설, 수리업무 및 배전반, 변전실 등이 구획된 장소에 설치되어 있는 전기 설비에 대한 전압선작업을 실시할 때에는 사전에 작업자에게 이에 따른 교육훈련을 실시해야 한다. 교육을 받지 않은 작업자는 전압선 작업에 임하게 해서는 안 된다. 또한 전압선작업에 참여시키는 작업자는 교육훈련의 정도, 실무의 수련도 등에 따라 구분하여 일반 전기 수리작업, 저압전압선작업 및 고압 전압선작업 등에 분리 배치하여 작업을 수행할 수 있도록 해야 한다.

① 충전전로의 방호

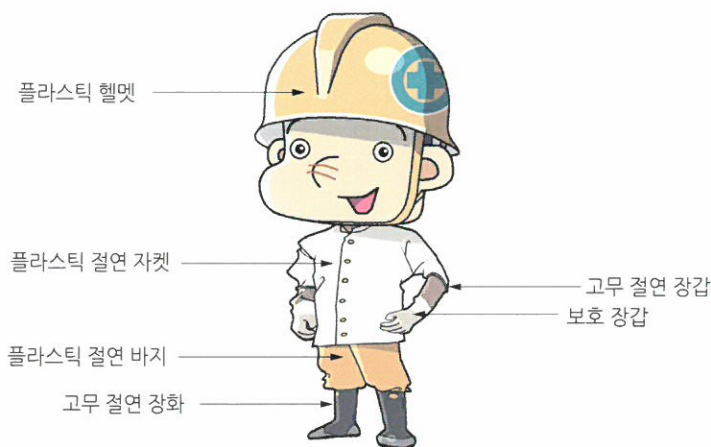


그림 5-12 절연용 보호구의 착용

충전부분에서 작업을 할 경우 연구활동종사자는 절연용 보호구를 착용해야 한다. 신체 접촉의 우려가 있는 부분은 절연용 방호구를 사용하여 충분히 방호한 후 작업에 임하도록 한다. 최근들어 각 연구실에서 전선의 피복화, 전선접속부나 기기단자에 대한 절연커버 등을 채용하여 충전전로를 방호하려는 노력을 기울이고 있다. 그러나 절연피복인 절연커버는 작업 시 피복의 손상, 접속부의 처리 불량, 밴드선의 물림, 뇌해, 염해, 연해, 절연물의 화학변화 등에 의해 열화되어 절연능력이 현저하게 감소할 수 있다. 따라서 현재의 방호 시설을 과신하지 않고, 발생할 수 있는 전기 사고를 충분히 인식하고 대비하여 전기 작업으로 인한 사고로부터 연구활동종사자를 보호하도록 해야 한다.

② 방호의 대상과 범위

방호대상으로는 전선, 변압기, 개폐기, 피뢰기 등의 단자 및 충전부분과 철제, 콘크리트 구조물 등의 접지된 금속부분과 같은 접지물 등이 있다.

전압선작업 시 충전부분의 절연피복 여부와 관계없이 재료, 공구 등의 신체행동범위에 있는 방호 대상물에 대해서도 완전히 방호할 필요가 있다. 또한 부피가 크거나 무거운 물질을 취급하기 위해 큰 동작을 하거나, 길이가 긴 도전성의 물건을 취급하는 경우에는 전선로의 상태를 확인한 뒤에 감전의 위험이 없도록 충전부분으로부터 충분히 격리 후 작업을 진행해야 한다. 또한 격리범위 내의 방호대상물에 대해서도 충분한 방호를 실시해야 한다.

600V 이하인 저압의 전선로라 하더라도 연구활동종사자가 노출된 충전부분에 접촉하면 생명을 위협할 만큼 전격의 위험이 크다. 따라서 저압의 전압선작업에서도 이에 대응하는 안전조치를 취할 필요가 있다.

침수에 의한 감전 예방법

전국적으로 감전재해는 6월부터 증가하여 7~8월에 많이 발생하고 있습니다.

이 시기에 전체 감전 사고의 36%의 감전 사고가 발생하고 있으며,

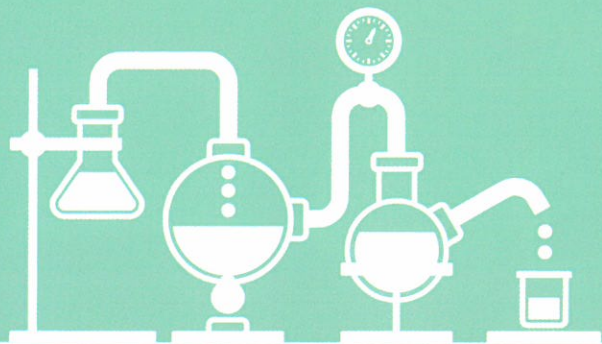
이는 여름철 장마, 홍수, 침수로 인한 사고로 인한 것으로 보이고 있습니다.

각종 공사 현장이나 저지대의 반지하 주택, 가로등, 신호등 주변, 상습침수지역 등이
감전 사고 발생이 우려되고 있습니다.

- ★ 누전차단기를 설치하여 감전 사고에 미리 대비하도록 합니다.
- ★ 전기 기기 점검 · 정비시에는 전원을 차단한 후 실시합니다.
- ★ 절연장갑, 절연장화 등 개인보호장구를 반드시 착용합니다.
- ★ 젖은 기기는 건조 후 이상이 없을 경우 사용하고 손이나 발이 젖었으면 잘 말린 후 전기 기기를 사용합니다.
- ★ 늘어진 전선에 접근하거나 만지지 않도록 합니다.



연구실 안전 표준 교재
전기 · 전자 안전





CHAPTER

6

전기 안전 사고 사례

1. 감전 사고 사례
2. 전기 화재 사고 사례
3. 정전기 사고 사례



CHAPTER

Safety for Electricity & Electronics

6

전기 안전 사고 사례



연구실 내에서 발생한 감전 사고와 전기 화재 등의 사례를 살펴보고 전기 · 전자 안전 분야에 대한 기초적인 지식과 주의 사항을 숙지하여 빈번히 발생하는 전기 화재 및 폭발 사고를 미연에 방지한다.

1. 감전 사고 사례



00연구소 연구원 감전 사고

사고개요

- 사고 유형: 감전 사고
- 사고 일시: 2013년 5월 21일(화), 13시 30분경
- 사고 장소: 국내 ○○연구소
- 피해 현황: 중상 1명

사고 발생과정

연구원이 동료들과 연구기기의 방전 작업을 하던 중 감전이 되었다. 이에 연구원은 허벅지 등에 화상을 입고, 의식을 잃은 상태로 뒤로 넘어지면서 머리 등에 부상을 입었다.

사고 발생원인

절연장갑을 착용하고 작업하던 연구원이 어떠한 다른 원인으로 감전되었는지 아직 조사 중에 있다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 접지선 연결 등 전기 작업 시에는 절연장갑 등 적절한 개인 보호 장비를 착용한다.
- 분전반에는 보호커버를 설치하고, 사용 부하별로 표식을 부착한다.
- 고전압이 필요한 실험기기에는 전원차단기의 외함과 기계·기구 본체에 접지를 설치하여 사용한다.
- 감전 사고 예방을 위해 접지형(멀티)콘센트와 플러그를 사용하고, 문어발식으로 동시에 여러 기기를 연결하여 사용하지 않는다.
- 멀티콘센트는 누전과 감전 사고 등이 발생하지 않도록 벽면에 고정하여 사용하고, 먼지 등이 묻어 있거나 쌓여 있는 경우에는 깨끗이 제거해 준다.



미국 클리브랜드 주립대학 실험실 감전 사고

사고개요

- 사고 유형: 감전 사고
- 사고 일시: 2005년 8월 16일
- 사고 장소: 미국 클리브랜드 주립대학
- 피해 현황: 사망 1명

사고 발생과정

2005년 8월 16일, 미국 클리브랜드 주립대학에서 감전 사고가 발생하였다. 사고 현장에는 Tarun K. Mal 생물학 교수 혼자만 있었으며, 전기플러그를 꽂다가 감전이 되었고 이후 사망한 상태로 발견되었다.

사고 발생원인

이 사고는 직접적인 목격자가 없기 때문에 그 원인을 정확하게 밝히진 못했지만, 전기기구를 조심해서 다루지 않은 교수의 실수이거나 오래된 기구의 불안정성이 원인이 된 것으로 보고 있다.

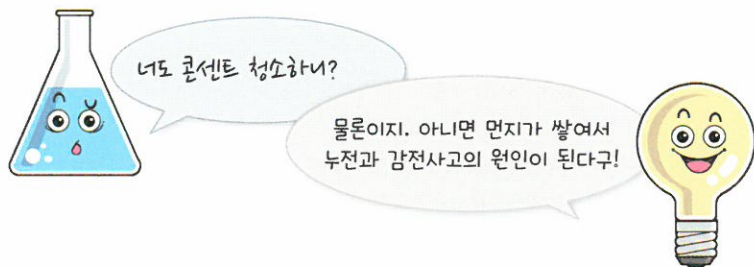
사고 발생원인

인체에 전류가 흐름으로써 발생하는 감전의 일반적인 원인을 살펴 보면 다음과 같다.

- 전기회로 또는 누전되고 있는 물체와 접촉해서 감전되는 경우
- 원래는 절연물이던 것이 절연이 파괴되어 방전됨으로써 감전되는 경우
- 정전유도에 의해 콘덴서 또는 같은 성질을 갖는 물체에 전압이 발생하고, 이에 접촉해서 감전되는 경우
- 전자유도에 의해 안테나 또는 안테나와 같은 특성을 지닌 물체에 접촉해서 감전되는 경우

사고 예방을 위한 주의 사항

- 지속적인 교육으로 자칫 큰 사고로 이어질 수 있는 사고를 예방한다.
- 전기기구 주변을 항상 정리한다.
- 과부하에 걸리지 않도록 주의한다.
- 일본공업규격(JIS, Japanese Industrial Standards) 또는 전기표준 회의(IEC, International Electrotechnical Commission) 규격에 기초를 둔 감전보호사항을 준수한다.



2. 전기 화재 사고 사례



전기 설비의 과열에 의한 실험실 화재



그림 6-1 실험실 에어컨의 전선 또는 멀티콘센트 케이블 과열

사고개요

- 사고 분류: 화재
- 사고 일시: 2008년 10월 29일 08시 20분경
- 사고 장소: 서울소재 모대학교
- 재해 사항: 인명피해 없음, 약 3,000여 만원 재산 피해

사고 발생과정

- 실험실에 설치된 에어컨 뒤쪽 전기 설비(전선 또는 멀티콘센트 케이블)의 과열에 의하여 발화된 것으로 추정된다.
- 한 개의 공간을 실험실 및 연구공간으로 분할하여 사용하면서 전기 콘센트의 부족으로 인해 다소 복잡한 구조의 전원 공급 구조를 갖고 있었다.
- 정격용량을 확인하기 어려우며, 전기사용기구들의 정확한 전원부 위치를 모르는 상황에서 전기 설비의 과열로 화재가 발생하였다.
- 이 사고로 인명피해는 없었으나 벽 전체, 천정, 전선 등 연구실이 화재로 소실되었다.

사고 발생원인

- 작동기기에 의한 전기적 스파크가 원인이 되었다
- 착화물인 에어컨 뒤쪽에 있는 전선 또는 멀티콘센트 케이블 관리가 미흡했다.
- 콘센트의 부족으로 인한 문어발식 콘센트 사용과 안전규격을 갖추지 못한 멀티콘센트를 사용하였다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 자동 화재 탐지기가 설치되어있다 하더라도, 연구실의 경우 물과의 반응에 의하여 위험성이 있는 물질의 사용으로 대부분 스프링클러를 설치하지 않아 초동 진화가 어렵다. 따라서 활발한 물질이 없는 연구실의 경우 스프링클러 설치를 권고한다.
- 사용기기의 정격용량을 확인하고, 전원부 위치를 정확히 확인할 수 있도록 전선 관리에 주의하며, 안전규격을 완벽히 갖춘 멀티콘센트 등 안전한 콘센트를 사용하도록 노력한다.



전기 설비의 과열에 의한 실험실 화재



그림 6-2 전기 설비 과열에 의한 실험실 화재

사고개요

- 사고 분류: 화재
- 사고 일시: 2008년 10월 17일 21시 25분경
- 사고 장소: 부산소재 모대학교
- 재해 사항: 벽, 천정 및 실험기자재 (약 2,100만원 재산피해 추정)

사고 발생과정

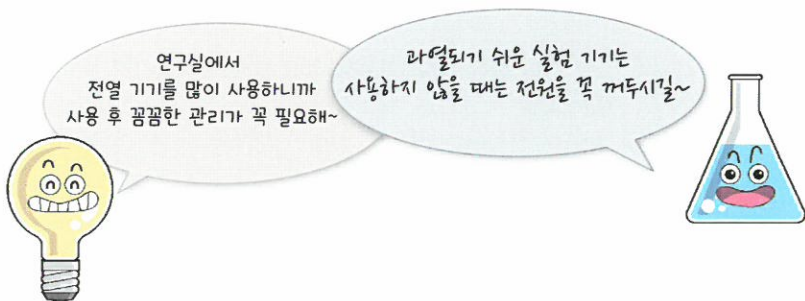
- 대학원생이 연구실에서 연기가 발생하는 것을 확인하고, 소화기로 1차 진화를 시도하였으나 발화 지점을 찾지 못해 소방서에 신고하였다.
- 흡 후드 우측 하단부 안쪽 전기 설비(전선 및 케이블)의 과열에 의한 화재 추정
- 이 사고로 인명피해는 없으나 벽 전체, 벽전선과 흡 후드, 온도조절기 등 실험기자재 소손으로 약 2,100만원의 물적 피해가 발생하였다.

사고 발생원인

- 노후화된 흡 후드의 사용과 눈에 잘 띄지 않는 곳에 위치한 전선 및 케이블 등 절연전선의 상태가 불량하여 화재가 발생하였다.
- 실험결과를 얻기 위하여 실험기기의 전원을 켜 채로 퇴실하였고, 24시간 이상 가동되면서 실험기기가 과열되었다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 화재 발생원인 중 많은 부분을 차지하고 있는 전기 화재의 예방을 위해 노후한 전기 설비의 개선과 전선 및 케이블 상태를 매일 확인하고 사용한다.
- 실험결과를 얻기 위하여 장시간 실험기기를 가동하는 경우가 많은데, 반드시 전원을 끄고 퇴실할 수 있도록 안전의식의 고취와 습관화가 필요하다.
- 타이머와 같은 장치를 전적으로 믿고 실험기기를 다룰 경우 오작동으로 인한 가열로 화재가 발생할 수 있기 때문에 주의하여야 한다.
- 작동하고 있는 전기 기기의 상태를 알아볼 수 있도록 출입문에 기입하고, 경비원, 야간근무자, 순찰자 등에 의하여 관리될 수 있도록 해야한다.





전기적 원인에 의한 실험실 화재



그림 6-3 실험실 건조기 온도조절기의 누전으로 인한 발화

사고개요

- 사고 분류: 화재
- 사소 일시: 2008년 10월 19일 07시 40분경
- 사소 장소: 광주소재 모대학교
- 재해 사항: 1명 부상(유독가스흡입), 약 5,000여 만원 재산 피해

사고 발생과정

- 조선대학교 제 2 공학관 화학공정실험실에서 원인 모를 화재로 인해 실험실 내 화재 경보시스템이 작동하여 건물 경비근무자가 소방서에 사고를 신고하였다.
- 사고 발생 전일 밤 9~10시에 실험을 종료한 후, 실험시료의 건조를 위하여 건조기를 50℃로 작동시킨 채로 전원이 퇴실하였다.
- 건조기의 온도 조절기의 고장 또는 누전 등의 전기적 원인에 의해 화재가 발생한 것으로 추정된다.
- 사고 발생 당시 같은 층에 있는 실험실에서 기숙하고 있던 대학원생 1명이 유독가스 흡입에 의해 중독되고 약 5,000여 만원의 재산피해가 발생하였다.

사고 발생원인

- 건조기의 온도 조절기 고장 또는 누전 등 전기적 원인이 사고로 이어졌다.
- 실험을 지켜보는 관찰자 없이, 건조기의 온도조절장치만을 작동시키고 퇴실하였다.

사고 발생원인

- 여러 가지 유해요인으로 인하여 건강상 문제점이 발생할 우려가 높은 실험 공간에서의 기숙으로 유독가스 흡입에 의한 인명피해가 발생하였다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 타이(Tie) 오작동으로 인한 가열로 화재가 발생할 수 있기 때문에 주의하여야 한다.
- 연구활동종사자는 안전교육을 통해 사고발생의 원인이 될 수 있는 기기의 취급방법을 이해하고 반드시 실험기기의 전원을 차단한 후 퇴실하도록 한다.
- 사용 실험기기의 정기적 안전점검을 통해 안전성을 확보한다.
- 실험실은 여러 가지 유해요인으로 인하여 연구활동종사자의 건강상 문제점이 발생할 우려가 높은 공간으로, 반드시 연구활동종사자의 기숙을 금지해야 한다.



장치과열에 의한 실험실 화재



그림 6-4 실험실내 바이오매스 가스화 장치의 판넬부 과열

사고개요

- 사고 분류: 화재
- 사고 일시: 2008년 9월 25일 15시 40분경
- 사고 장소: 서울소재 모대학교
- 재해 사항: 실험실 전소(인명피해 없음)

사고 발생과정

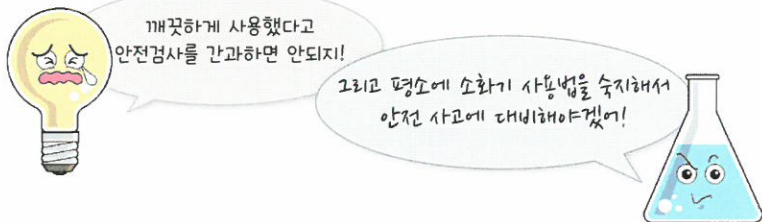
- 연구실에서 사용하는 바이오매스 가스화 장치의 온도조절 패널부의 과열에 의해 화재가 시작되었다.
- 화재는 온도 조절 패널부에서 시작되어 패널 바로 상부에 있는 냉각 장치(연소가스를 알코올 냉매로 사용하여 냉각하는 장치)로 옮겨 붙어 화재가 확대되었다.
- 이 사고로 인명피해는 없으나, 벽 전체, 천정, 전선 등 연구실이 전소되었다.

사고 발생원인

- 시험용 기계 · 기구의 안전점검이 이루어지지 못한 상태에서 오작동 의한 과열이 발생하였다.
- 실험내용과 특성상 안전검사를 통해 안전성이 확보되지 않은 시험용 기계 · 기구를 임의로 제작하고 사용하였다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 하나의 연구실에서 여러 팀들이 다른 실험을 하고 있어, 활동공간이 충분치 못해 제 2의 사고 발생 가능성이 있기 때문에 연구원들의 충분한 활동 공간의 확보가 필요하다.
- 초동조치를 통해 큰 화재로 번지 않게 하기 위하여 소화기 취급 요령을 숙지하여 피해를 최소화 하여야한다.
- 기관 자체 내 안전관리조직(안전관리부서, 위원회 등)에서 사용기구의 안전검사를 받아 사용함으로써 시험용 기계 · 기구의 안전성을 확보하고 문제점을 해결해야한다.





전기 과부하로 인한 연구실험실 화재 사고



그림 6-5 실험실 내 환기설비의 전원부 과열로 인한 화재

사고개요

- 사고 분류: 화재
- 사고 일시: 2008년 7월 8일 13시 40분경
- 사고 장소: 대구광역시 모대학교 연구실험실
- 피해 사항: 연구실험실 내부 시설 소실(소방서 추정 900여 만원)

사고 발생과정

- 연구실험실에서 연구원 1명이 실험실 내 별도 설치된 클린룸 천장에서 연기가 나는 것을 보고 학과에 연락하여 화재 신고를 하였다.
- 클린룸 내의 오염공기를 외부로 배출하기 위해 클린룸 상부에 설치된 환기설비의 과부하로 인한 과열이 원인이 되었고 그중에서도 고무 재질의 환기관(벨로우즈 타입)이 인화되어 화재가 발생된 것으로 추정된다.

사고 발생원인

- 전기시설의 불량(용량, 전선 상태, 연결 상태 등) 및 내부 오염공기 배출을 위한 지속적 작동으로 과부하 되어 화재가 발생했다.
- 학교차원의 사용에 관한 인·허가 절차 없이 클린룸을 별도로 설치하고 임의로 사용하였다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 실험실 내 임의로 설치된 시설과 장비의 사용 시, 반드시 기관(학과, 시설과 등)에 문의하고 실험을 시행한다.
- 특히, 전기 설비의 경우 화재의 직접적인 원인이 되기 때문에 사용하기 전 반드시 기관에 문의한다.



실험장비 과열로 실험장치 전소



그림 6-6 실험실 진공펌프의 장시간 가동으로 인한 과열

사고개요

- 사고 분류: 화재 사고
- 사고 일시: 2000년 7월 ○일 08:59분경
- 사고 장소: 대전시 소재 00기관 열역학 및 에너지실험실
- 재해 사항: 실험장치 전소 및 실험실 내부 집기류 일부 소실

사고 발생과정

실험자가 굴절계, 고압반응계, 진공펌프, 흡수계, 온도측정기 등으로 구성된 실험 장치를 이용하여 실험을 하던 중 장치를 가동 시켜놓은 상태에서 장시간 자리를 비우게 되면서 화재가 발생하였다. 장비 구성 요소의 하나인 진공펌프의 과열이 원인으로 추정되며, 실험장치 전소 및 실험실 내부 집기류 일부가 소실되는 사고가 발생되었다.

사고 발생원인

- 실험 중 장비의 가동상태를 수시로 확인하고 이상 유무를 점검해야 하나, 실험자가 아무런 대책 없이 장시간 자리를 비웠다.
- 실험장치 주변 정리정돈이 미비하였고 이로 인해 가동 장비와 접촉된 모든 장비들 또한 같이 화재의 위험에 상존해 있었다.
- 실험 도중 실험자의 부재에 대한 안전의식이 결여되어 있었다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 실험장비 가동 중에는 자리 이동을 금지하고, 가동 상태를 수시로 확인하고 이상 유/무를 점검한다.
- 장비에 대한 일상 점검 및 정리 정돈의 생활화로 청결하고 쾌적한 환경을 유지한다.



실험장비 과열로 실험장치 전소



그림 6-7 실험실 Hood 이용한 건조 시 화재발생 건조 오븐 내부 소실

사고개요

- 사고 분류: 화학약품 반응으로 인한 화재 사고
- 사고 일시: 2002년 1월 ○일 23:52분경
- 사고 장소: 대전시 소재 ○○기관 실험실
- 재해 사항: 건조 오븐 내부 소실 (인적피해 없음)

사고 발생과정

토양을 인위적으로 오염시켜 정화시키는 과제를 수행하던 중 수집한 시료를 오염시키기 위한 전처리 단계로서 아세톤을 녹이고 1차로 후드에서 건조시켰다. 완전 건조를 위하여 1.2kg의 시료를 건조 오븐에 다시 넣고 건조시키는 과정에서 화재가 발생하여, 건조 오븐 내부가 소실된 사고이다.

사고 발생원인

- 1차 건조 시 모두 증발된 것으로 예상한 아세톤이 시료에 잔류하고 있었다.
- 잔류 아세톤을 생각하지 않고 평상시 온도를 세팅하였거나 온도 조절 장치의 고장으로 내부 온도가 상승되어 증기가 발생되었다.

사고 발생원인

- 실험기기 가동 중 자리를 떠나거나 기기의 온도 확인을 하지 않았다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 실험수행에 있어서 다음 단계의 실험을 확인하고 진행시켜야 한다.
- 실험에 사용하는 물질에 대하여 정확한 정보를 숙지하고 온도 설정 등 제반사항에 만전을 기해야 한다.
- 가열장비를 가동시킬 때에는 자리를 비우지 말고 가열기기는 수시로 온도를 확인한다.



멀티콘센트 과열로 연구실 집기 일부 손실



그림 6-8 6구 멀티콘센트 장기간 사용 및 접촉 불량으로 인한 과열

사고개요

- 사고 분류: 전기 화재
- 사고 일시: 2002년 9월 ○일 08:40분경
- 사고 장소: 대전시 소재 ○○기관 전문용어 언어공학 연구실
- 재해 사항: TV모니터, VTR, 모뎀 및 연구실내 집기류 일부 소실

사고 발생과정

1개의 멀티콘센트(220V, 6구)에 여러 가지의 전기제품(TV Monitor 1대, VTR 2대, 모뎀 3대 등)을 꽂아 장기간 사용함으로써 과부하 또는 접촉 불량이 발생하였다. 멀티콘센트의 과열로 주변의 가연물에 인화되어 화재가 발생하였고 TV모니터, VTR, 모뎀 및 연구실내 집기류 일부가 소실되었다.

사고 발생원인

- 멀티콘센트에 대한 과신으로 여러 가지 전기제품을 꽂아 사용하였으며 장기간 사용해오던 중 플러그 부분의 헐거움 또는 과부하 등으로 열이 축적되었다.
- 멀티콘센트 주변 정리정돈 미비에 따른 가연물질과 멀티콘센트의 접촉에 따라 열방산 방해 및 열 축적으로 화재의 위험이 상존했다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 멀티콘센트의 일상점검 생활화로 장기간 방치하거나 사용하는 일이 없도록 하여야 하며 임의대로 문어발식 배선을 사용하지 않도록 해야 한다.
- 멀티콘센트 주변 정리정돈으로 멀티콘센트 플러그 부분에 열 축적이 되지 않도록 해야 한다.

3. 정전기 사고 사례



미국 매사추세츠공과대학 가스 폭발 사고

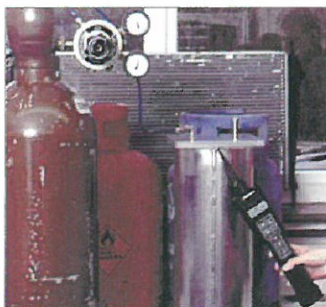


그림 6-9 폭발성 가스의 누출 여부 점검

사고개요

- 사고 유형: 가스 폭발 사고
- 사고 일시: 2006년 5월 9일
- 사고 장소: 미국 매사추세츠공과대학(MIT) 재료공학실험실
- 피해 현황: 없음

사고 발생과정

2006년 5월 9일 미국 매사추세츠공과대학 재료공학실험실에서 밸브를 느슨하게 잠근 용기에서 실란(Silane) 가스가 누출되었고, 대학원생이 공기 중에서 스파크가 생기는 것을 목격하고 소방서에 신고하였다.

사고 발생원인

실란과 같은 폭발성 가스는 철저한 관리와 더불어 적합한 안전장치가 추가적으로 필요함에도 불구하고, 민감하지 못한 경보기를 설치하여 자칫 대형사고로 이어질 수 있었다. [그림 6-9]는 실험실에서 이용 되는 폭발성 가스의 누출 점검을 보여주고 있다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 폭발성, 인화성 가스와 같은 위험성 높은 가스는 반드시 적합한 가스누출 감지기를 설치하고, 가스가 누출되기 쉬운 부위(밸브, 연결부 틈새 등)는 정기적으로 점검을 실시한다.
- 가스 용기는 환기가 잘되는 장소 또는 별도의 환기장치가 설비된 가스 캐비닛에 보관한다.
- 인화성 가스와 조연성 가스는 반드시 격리 · 고정시켜서 보관하도록 한다.
- 밀폐된 공간에서 인화성 가스의 장시간 사용을 삼간다.



가스누출 감지기가 제 역할을 못했네~
안전 관리 시스템도 점검해야겠어!

가스는 특히 환기 장치도 잘 되어있는지
격리 및 고정시켜서 잘 보관해야해~





캐나다 토론토 프로판 공장 폭발 사고



그림 6-10 캐나다 토론토 프로판 공장 폭발 사고

사고개요

- 사고 유형: 가스 폭발 사고
- 사고 일시: 2008년 12월 10일
- 사고 장소: 캐나다 토론토 프로판 공장
- 피해 현황: 사망 1명, 실종 1명

사고 발생과정

캐나다 토론토에 위치한 프로판 공장에서 2008년 12월 10일 새벽에 폭발이 일어나 화재진압을 벌이던 소방대원 각각 1명씩 사망, 실종되었다. 경찰은 유독가스로 인한 피해의 확산을 막기 위해 사고가 난 공장에서 3km 이내에 거주하고 있는 주민 12,000명에게 지역 대피소로 대피하도록 지시했으며, 고속도로와 지하철 노선 일부를 폐쇄하였다.

사고 발생원인

- 약간의 충격이나 스파크가 주어져면서 공장 내 인화성 프로판 가스가 폭발한 것을 추정된다.
- 프로판의 경우 농도가 2.1~9.5%인 상태에서 점화원이 있다면 폭발이 일어날 수 있다.

사고 예방을 위한 주의 사항

- 프로판과 같은 폭발위험이 높은 물질을 다루는 곳에서는 각별한 주의를 갖고 안전교육과 규정을 반드시 따라야 한다.
- 공업용으로 프로판 가스의 경우 그 압력을 맞추기도 어려울 뿐더러 사소한 충격에도 반응할 가능성이 있기 때문에 안전장치를 보다 강화하고 지속적으로 점검할 필요가 있다.



가연물의 전기 스파크에 의한 실험실 화재

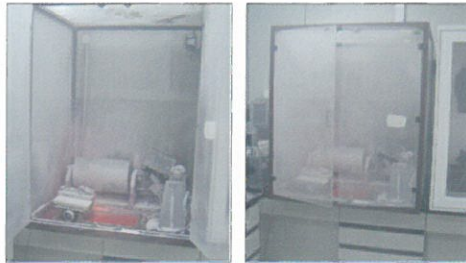


그림 6-11 실험실 나노섬유 생성기의 고전압부 스파크로 인한 화재

사고개요

- 사고 분류: 화재
- 사고 일시: 2008년 7월 23일 19시 42분경
- 사고 장소: 서울소재 모대학교
- 피해 현황: 실험기기 일부 소손 (자체추정 10만원 재산피해)

사고 발생과정

- 대학원생 2명이 나노섬유를 만드는 실험 중 나노섬유를 메탄올에 침지시킨 후 이를 걷어내는 과정에서 메탄올 용기와 주사기 사이에 형성된 고전압(10~20kV) 부위에서 스파크(Spark)가 발생하였다.
- 송량 펌프, 직류 전원 공급 장치, 주사기, 메탄올 용기로 구성된 실험기기로 나노섬유를 만드는 과정에서 고전압주사기와 메탄올 용기 사이의 높은 전위차(고전압)가 가해진다.
- 메탄올에 침지된 나노섬유를 걷어낼 때 고전압이 형성된 부위와 접촉이 되면서 스파크가 발생하였고 화재로 이어지게 되었다.

사고 발생원인

- 실험 부스 내 메탄올의 연소범위가 형성되어 있었기 때문에 스파크에 의한 화재가 발생하였다.
- 가끔 고전압 부위에서 스파크가 발생한다는 것과 메탄올이 가연성 물질임을 인지하고 있었으나, 주의 깊게 실험을 진행하지 못하여 사고가 발생하였다.

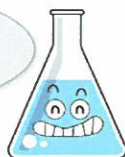
사고 예방을 위한 주의 사항

- 오랜 시간동안 반복적으로 진행되어 온 실험에 대한 안전의식 고취와 부주의 예방을 위하여 실험실 안전교육 실시한다.
- 미 이수자에 대한 교육 관리를 통하여 실험 수행에 있어서 안정성을 확보한다.
- 특정 위험요소를 내포하고 있는 위험물질에 대하여 잠재적 위험성을 알아내고, 안전성 확보를 위한 MSDS의 비치, 안전표시 부착, 안전 교육을 실시한다.



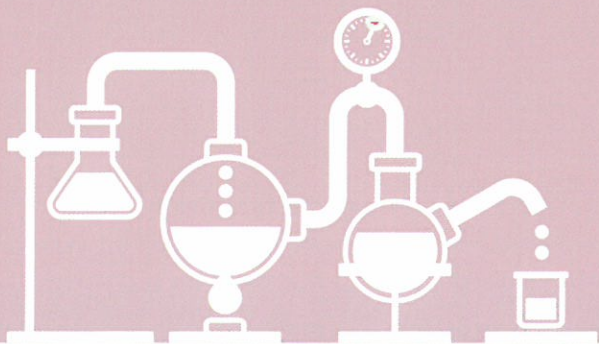
평소에 가연성 물질이 뭔지를 알고
실험에 임했어야지!
역시 안전교육이 중요해~

조았어!
나도 이번에 제대로 공부해야겠어.



연구실 안전 표준 교재

전기 · 전자 안전





부록

전기 안전 용어





부록 전기 안전 용어

용어의 순서는 한글 명칭 기준 가, 나, 다 순으로 한다.

가수전류

통전 전류가 감지전류의 한계를 넘게 되면 고통을 느끼게 되지만, 그 고통을 참을 수 있으며, 생명에 위험이 없는 한계의 전류. 이탈전류, 고통전류라고도 한다.

감전

인체의 일부 또는 전체에 전류가 흐르는 현상.

감전 회로

인체가 감전되어 형성되는 전기회로.

계기용 변성기(Instrument transformer)

고전압 · 대전류의 계측 등에서 계기와 전기회로 사이에 삽입하여 계측하기 쉽게 하기 위한 장치.

공칭전압(Nominal voltage)

실제 전압과는 꼭 일치하지 않는 경우 공칭하고 있는 전압.

과부하

과부하 기기 또는 장치가 감당하는 정상 값을 초과한 부하.

교류

위상차를 갖는 전기.

기능절연

기기의 본래의 기능에 필요한 절연.

기중 방전(Gaseous discharge)

기체 중에서의 방전.

누전 차단기

전동기계기구가 접속되어 있는 전로에서 누전에 의한 감전위험을 방지하기 위해 사용되는 기기.

단락(Short-circuit)

고장 또는 과실에 의해서 전로에 의해서 선 사이의 전기저항이 작아진 상태 또는 전혀 없는 상태에서 접촉한 이상상태.

단락회로

전기 회로에서 어느 두 점 간에 매우 전기 저항이 작은 도체로 접속된 상태.

모재(Base metal)

모재 용접 또는 가스 절단의 소재가 되는 금속.

몰드(Molding)

부품 등을 수지 속에 메워 넣고 굳인 것.

무부하

부하가 걸리지 않은 상태.

무부하손

전동기의 경우에는 무부하 상태에서 정격전압, 정격 주파수하에서 정격속도로 운전한 경우의 전동기의 입력을 말한다. 즉, 이 값은 철손, 기계손, 여자 전류에 의한 손실의 합이다.

반단선(Partial disconnection)

선로의 심선이 단선상태로 되어 있으나 불시로 접속되는 상태의 장해.

배전

배전 변전소에서 고압 배전선, 변압기, 저압 배전 선로를 거쳐 인입선에 이르는 전선로.

배전용 변압기

전력회사의 배전선에서 사용되는 변압기로, 전압을 내려 수요가에게 공급하기 쉬운 전압으로 변환하기 위한 변압기.

변류기(Current transformer)

교류의 큰 전류에서 그것에 비례하는 작은 전류를 얻는 장치.

보호절연

기기의 절연파괴에 의한 감전에 대해 보호를 확실하게 하도록 기능절연에 설치한 독립된 절연.

부상(Bushing)

금속관 부속품의 하나로, 관 끝에 두어 전선의 인입, 인출을 하는 경우 전선의 절연물을 다치지 않게 하기 위하여 사용하는 것.

부하전기적 · 기계적 에너지를 발생하는 장치의 출력에너지 소비하는 것.

불수전류

인체에 통전 전류가 증가하여 그 전류 값에서는 직접 생명에 위험은 없지만 통전경로의 근육이 경련을 일으키며, 신경이 마비되어 신체운동이 자유롭지 않게 되어 스스로 전원에서 이탈할 수 없게 되는 값의 전류, 교착전류라고도 한다.

브러시 방전(Brush discharge)

스트리머(Streamer)라는 선상방전이 반복하는 것으로서 코로나방전의 일종.

수지상

여러 가닥으로 뿔어 나뭇가지와 같이 된 형상.

스트리머(Streamer)

꽤 빠른 속도로 연속하여 동작하는 자기 테이프 장치.

스퍼터(Spatter)

용접 중에 비산하는 슬래그나 금속 알갱이.

슬리브(Sleeve)

회전축 등을 둘러싸도록 축(軸) 외주에 끼워서 사용되는 비교적 긴 통형의 부품을 말하며, 당해 축 등의 회전체에 접촉되거나 말려들거나 해서 위험한 상태를 방지하기 위해 사용된다.

심실세동전류

통전 전류를 다시 증가해서 심장에 흐르는 전류가 어떤 값에 도달하여 심장이 경련을 일으키며, 정상 맥동(脈動)이 뛰지 않게 되어 혈액을 내보내는 심실에 세동을 일으키는 전류.

아크(Arc)

2개의 서로 다른 전극사이에 있는 기체가 통전 매개체로 전환되어 이루어지는 전기적 방전.

안전 전압

감전이 되어도 사람의 몸에 영향을 주지 않는 전압.

열화(Degradation)

열화 재료가 열, 빛, 방사선, 산소, 오존, 물, 미생물 등의 작용을 받아 그 성능과 기능 등의 특성이 경시적으로 떨어지는 현상.

영상 변류기

비교적 낮은 송전전류의 접지보호를 위하여 사용하는 변류기로 각 조에 대하여 공통의 자로를 자기적으로 평형하고 있어 중성점접지 등에서 접지계전기의 오동작을 막는 누전 차단기의 일종.

영상전류

대지의 임피던스에 의해서 나타나는 전압.

옴의 법칙(Ohm's law)

전류의 세기는 두 점 사이의 전위차(電位差)에 비례하고, 전기저항에 반비례한다는 법칙.

용접봉 홀더

용접봉의 끝을 꼭 물고, 용접 전류를 용접 케이블에서 용접봉에 전달하는 기구.

인덕턴스(Inductance)

회로에 흐르는 전류의 변화에 의해 전자기유도로 생기는 역기전력의 비율을 나타내는 양. 단위는 헨리(H)이다.

리액턴스(Reactance)

전기 회로에서 직류 전류를 방해하는 것은 저항뿐이지만 교류 전류는 방향 및 양이 시시각각으로 변화하기 때문에 저항 이외에 전류를 방해하는 저항 성분이 있다. 이 저항 성분을 리액턴스라 한다.

이착(Adherent)

다른 기관끼리 붙어 있되 완전히 융합되지 않아 쉽게 분리되는 것.

인체 저항(Body resistance)

감전회로에서 인체의 신체조건 및 환경에 따라 바뀌는 저항.

인체 통전 전류(Body current)

인체가 감전되어 형성된 감전회로를 통해 흐르는 전류.

임피던스(Impedance)

교류(AC)회로에서 전류가 흐르기 어려운 정도.

자계(Magnetic field)

운동하는 전하에 대하여 전자기력이 미치는 공간 영역.

장해부상 또는 질병이 존재하더라도 치료에 의해서 더 이상의 효과를 거둘 수 없는 상태에서 남아 있는 정신적 · 육체적인 훼손상태.

전격강한 전류를 갑자기 몸에 느꼈을 때의 충격.

전격방지장치

아크 용접에 있어서, 아크가 튀지 않을 때에는 용접기의 2차 무부하 전압을 낮추어 전격을 방지하는 장치.

전계(Electric field)

대전체가 존재하는 공간 각 점의 전기적 상태를 나타내는 양.

전기용량(Capacitance)

물체가 전하를 축적하는 능력을 나타내는 물리량. 전기 용량 또는 정전용량이라고도 한다.

전기저항

물체에 전류가 통과하기 어려운 정도를 나타내는 수치. 단위는 옴(Ω)으로 표시한다.

전기절연

전기 또는 열을 통하지 않게 하는 것.

전동기

전류가 흐르는 도체가 자기장 속에서 받는 힘을 이용하여 전기 에너지를 역학적 에너지로 바꾸는 장치.

전부하 운전(Full-load operating)

기기, 장치 등을 정격 출력으로 운전 하는 것.

전압

전위간의 차이를 전위차. 단위는 볼트(V)로 표시한다.

전압선(Hot line)

전기가 흐르고 있는 상태 또는 전기가 살아있는 전압선.

전위

전기장 내에서 단위전하가 갖는 위치에너지. 단위는 볼트(V)로 표시한다.

전위 경도(Potential gradient)

전계에서 2점 간의 전위차를 그 거리로 나눈 것. 전계의 세기를 나타낸다.

전하

전기의 양. 단위는 쿨롱(C)로 표시한다.

절연

전기기계기구, 전선 등에 전기가 통하는 경우에, 도전부분의 주변을 부도체를 사용해 차폐, 격리하는 것.

절연저항

직류 전압을 인가했을 때 발생하는 전류에 대하여, 그 절연물에 의해서 주어지는 저항 값.

절연파괴

절연체에 가해지는 전압의 크기가 어느 정도 이상에 달했을 때, 그 절연 저항이 곧 열화하여 비교적 큰 전류를 통하게 되는 현상.

접지(Earthing)

전기회로나 전기 기기의 일부를 대지와 도선으로 연결하여 기기의 전위를 대지의 전위와 같은 0으로 유지하는 것. 어스라고도 한다.

접촉 전압

접지선에 고장 전류가 흘러서 접지점을 최고로 하는 동심원상의 전위 경도가 생길 때의 접지점과 그 근처에 서 있는 인간 등과의 사이의 전위차.

제전기

공기이온을 이용하여 정전기를 중화시키는 기계.

조영재

건물의 기둥이나 벽.

중성선(Neutral line)

다상(多相)교류의 전원 중성점에서 꺼낸 전선. 일반적으로 이끌어낸 끝에 접지된다.

지락(Grounding)

전로와 대지와의 사이에 절연이 이상하게 저하해서 아크 또는 도전성 물질에 의해서 교락 되었기 때문에, 전로 또는 기기의 외부에 위험한 전압이 나타나거나, 전류가 흐르는 현상. 일반적으로 「누전」이라고도 한다.

지락전류

절연되어 있는 충전부가 어떤 원인에 의하여 대지와 접촉되어 사고가 발생하는 것.

지락전류

전로와 대지사이에 절연성이 낮아져서 전로 또는 기계기구 케이스에 위험한 전압 또는 전류가 흐르는 상태에서의 전류.

최소감지전류(Perception current)

인체에 통전되었을 경우에 그 통전을 인간이 감지할 수 있는 최소의 전류.

축수(Bearing)

회전 운동이나 직선 운동을 하는 굴대를 받치는 기구.
출화점화원과 그 주변에 있는 가연물(착화물)이 결부되어 일어나는 화재.

충전부

전압이 걸려있는 부분.

코로나 방전(Corona discharge)

한 쪽이나 양 쪽의 전극이 뾰족한 모양일 때 극 부분의 전기장이 강해져 방전이 일어나는 현상.

통전 전류

도체를 통해 흐르는 전류.

펄스상

아주 짧은 시간 동안에 큰 진폭을 내는 전압이나 전류 또는 파동이 나타나는 현상.

폭발한계

가연성 기체와 공기와의 혼합 기체에 아크 등을 발생시킨 경우 폭발을 일으키는 한계 농도.

폭발한계

가연가스가 공기와 혼합된 경우 폭발하는 특정 온도의 범위. 이 온도의 범위 이하나 이상에서는 폭발하지 않는다.

혼촉

전기 회로에 있어서 심선이 다른 심선과 접촉하는 현상.



참고문헌

○ 연구 논문 및 자료

대학 및 연구기관의 연구실 위험요인 분석과 사고 예방대책에 관한 연구, 김태수, 명지대학교, 2012

인체와 가축에 대한 전류의 영향 - 제1부 일반적인 양상(KS C IEC 60479), 2007

정전기 재해 및 안전대책, 한국산업안전보건공단, 2002

정전기 재해 예방, 안영준, 한국산업안전보건공단, 2006

전기 안전: 정전기 방지대책, 한국산업안전보건공단, 2009

대학화재사고 분석 및 실험 · 실습실 안전사고 사례집, 교육시설재난공제회, 2010

연구실안전사고사례집, 교육과학기술부, 2011

○ 단행본

산업안전대사전, 최상복, 도서출판 골드, 2004

화학용어사전, 화학용어사전편찬회, 일진사, 2011

전기용어사전, 김동희 외 6인, 일진사, 2011

생생 전기현장 실무, 김대성, 성안당, 2010
 전기안전기술사 이형준외 4명, 성안당, 2013
 전기안전공학, 김두현외 9명, 동화기술, 2014

○ 온라인 출처

연구실 안전 정보망: www.labs.or.kr
 미국 실험실 안전 연구소: www.labsafetyinstitute.org
 서울대학교 환경안전원: ieps.snu.ac.kr
 교육시설재난공제회: www.edufa.or.kr
 안전보건공단: www.kosha.or.kr
 한국전기안전공사 블로그: blog.naver.com/kescomiri
 안전보건공단 블로그: blog.naver.com/koshablog
 동남아건설(주): www.dongnamaesco.com/common.html(전기기술용어)
 한원전기공업 주식회사: www.han1e.com/(주상 변압기)
 재신 정보: www.jsdata.co.kr/(누전차단기)
 스피드몰: speedmall.co.kr/(배선용 차단기)
 내쇼날 시스템: kblog.gobizkorea.com/1999-04225(자동전격 방지 장치)



연구실 안전 표준 교재

전기 · 전자 안전

발행일 2015년 4월 15일

발행처 국가과학기술인력개발원

웹사이트 www.kird.re.kr

디자인/인쇄 (주)드림디앤디 (TEL. 02-2268-6940)

ISBN 978-89-97350-06-3

ISBN 978-89-97350-02-5 (세트)

이 책은 국가과학기술인력개발원에 소유권이 있습니다.

국가과학기술인력개발원의 승인 없이 상업적인 목적으로 사용하거나 판매할 수 없으며 무단복제와 전제를 금합니다.

연구실 안전 표준 교재



실험 전 · 후 안전 I

Safety Before and After
the Experiment I



실험 전 · 후 안전 II

Safety Before and After
the Experiment I



전기 · 전자 안전

Safety for
Electricity & Electronics



화학 · 가스 안전

Safety for
Chemistry & Gas



전기·전자 안전



본원 / 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청4길 45

분원 / 대전광역시 유성구 대덕대로 593 대덕테크비즈센터 11층

웹사이트 / www.kird.re.kr

비매품



9 788997 350063

ISBN 978-89-97350-06-3

ISBN 978-89-97350-02-5 (세트)