

실험종사자를 위한

실험실에서의 핵심 안전보건관리



CONTENTS

- ① 실험실 작업안전 개요
- ② 실험실의 유해 · 위험요인과 안전대책
- ③ 실험실 사고사례 및 예방대책

1

실험실 작업안전 개요

- 실험실의 작업특성
- 연구실안전환경조성 법령

실험실의 작업특성

- 생산목적이 아닌 연구·개발을 위한 작업
- 연구 실험자가 대부분 고학력자이나 실험 작업에 대해 미숙련자가 많음
- 실험실내에 다양한 종류의 화학물질을 소량씩 보관하고 사용
- 물질자체의 위험성과 다른 물리적 위험성이 공존하는 작업 공간
- 실험과정이 다양하며, 실험조건 등이 자주 바뀜
- 실험작업이 단독(1인)으로 조작 가능하도록 되어 있는 경우가 많음
- 실험자가 실험장치를 직접 디자인 하거나, 필요시 장치를 변경하여 사용하는 경우가 많음



연구실안전환경조성법 법령

❖ 적용 범위

- 연구실 안전환경 조성법은 대학·연구기관 등이 연구개발 활동을 수행하기 위하여 설치한 연구실에 대하여 적용
- 「산업안전보건법」의 적용대상 근로자에 대해서는 「산업안전보건법」을 적용.
대학·연구기관 등이 설치한 각 연구실의 연구 활동 종사자를 합한 인원이 10명 미만인 경우 각 연구실에 대하여 법의 전부를 적용하지 않음
- 「산업안전보건법」을 적용받는 연구실의 경우에는 다음 표에서 정하는 바에 따름

대상 연구실	적용하지 아니하는 법 규정
가. 「산업안전보건법」 제15조(안전관리자 등)를 적용받는 연구실	법 제6조의2 (연구실 안전환경관리자의 지정)
나. 「산업안전보건법」 제20조(안전보건관리규정의 작성 등), 제21조(안전보건관리규정의 작성·변경 절차) 및 제22조(안전보건관리규정의 준수 등)를 적용받는 연구실	법 제6조 (안전관리규정의 작성 및 준수 등)
다. 「산업안전보건법」 제31조(안전·보건교육)를 적용받는 연구실	법 제18조제1항, 제2항 및 제3항 (교육·훈련 등)
라. 「산업안전보건법」 제43조(건강진단)를 적용받는 연구실	법 제18조제4항 및 제5항 (건강검진)
마. 「산업안전보건법」 제49조(안전·보건진단 등)를 적용받는 연구실	법 제8조 및 법 제9조 (안전점검 및 정밀안전진단의 실시)

❖ 안전관리규정의 작성 및 준수

연구주체의 장은 연구실의 안전을 유지관리하기 위하여 다음의 사항을 포함한 안전관리규정을 작성하여 각 연구실에 게시, 비치하고 이를 연구 활동 종사자에게 알려야 한다.

- ① 안전관리조직체계 및 그 직무에 관한 사항
- ② 연구실별 안전관리담당자의 지정 및 그 책임과 권한의 부여
- ③ 주기적 안전교육의 실시에 관한 사항
- ④ 연구실 안전표식의 설치 또는 부착
- ⑤ 연구실사고 또는 중대 연구실사고(이하 "사고") 발생 시 긴급대처방안과 행동요령에 관한 사항
- ⑥ 사고조사 및 후속대책수립에 관한 사항
- ⑦ 그 밖의 안전관리에 관한 사항

❖ 안전점검 및 정밀안전진단

안전점검

- 연구주체의 장은 연구실의 기능 및 안전을 유지관리하기 위하여 제7조(안전점검 및 정밀안전진단 지침) 규정에 따른 안전점검지침에 따라 소관 연구실에 관한 안전점검을 실시하여야 한다.

안전점검지침 및 정밀안전진단지침에 포함 사항

- 안전점검 및 정밀안전진단 실시계획의 수립 및 시행에 관한 사항
- 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하는 자의 유의사항
- 안전점검 및 정밀안전진단의 실시에 필요한 장비에 관한 사항
- 안전점검 및 정밀안전진단의 점검대상 및 항목별 점검방법에 관한 사항
- 안전점검 및 정밀안전진단 결과의 자체평가 및 사후조치에 관한 사항
- 기타 연구실의 기능 및 안전 유지관리를 위해 미래창조과학부장관이 필요하다고 인정하는 사항

❖ 안전점검 및 정밀안전진단

안전점검

- 일상점검 연구개발 활동에 사용되는 기계·기구·전기·약품·병원체 등의 보관상태, 보호장비 관리실태 등을 육안으로 실시하는 점검으로 연구개발 활동을 시작하기 전에 매일 1회 실시
- 정기점검 연구개발 활동에 사용되는 기계·기구·전기·약품·병원체 등의 보관상태 및 보호장비의 관리실태 등을 안전점검기기를 이용하여 실시하는 세부적인 점검(매년 1회 이상)
- 특별안전점검 폭발·화재 등 연구활동 종사자의 안전에 치명적 위험을 야기할 것으로 예상되는 경우에 실시하는 점검으로 연구주체의 장이 필요하다고 인정하는 경우에 실시

❖ 안전점검 및 정밀안전진단

정밀안전진단

- 연구주체의 장은 안전점검을 실시한 결과 연구실의 재해예방과 안전성 확보 등을 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 정밀안전진단지침에 따라 정밀안전진단을 실시한다. 단, 대통령령이 정하는 연구실로 유해·위험물질 및 시설·장비를 취급하는 등 유해, 위험 작업을 필요로 하는 연구실은 정기적으로 정밀안전진단을 실시하여야 한다.

정밀안전진단을 실시하여야 하는 연구실 (2년마다 1회 이상)

- 연구개발활동에 「유해화학물질 관리법」 제2조제8호에 따른 유해화학물질을 취급하는 연구실
- 연구개발활동에 「산업안전보건법」 제39조에 따른 유해인자를 취급하는 연구실
- 연구개발활동에 미래창조과학부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실

2

실험실의 유해 · 위험요인과 안전대책

- 실험실의 유해 · 위험요인의 종류
- 기계적 위험요인과 안전대책
- 전기적 위험요인과 안전대책
- 화학적 위험요인과 안전대책
- 생물학적 위험요인과 안전대책
- 실험실 안전장비

기계적 위험요인과 안전대책

분류	내용	종류
화학적 요인	물질 형태(고체, 액체, 기체)로 인체에 침입하여 건강장해를 일으키는 요인	기체(가스, 증기), 액체(미스트, 포그), 고체(먼지, 흙)
물리적 요인	에너지 형태로 인체에 전달되어 건강장해를 일으키는 요인	소음, 진동, 광선, 기압, 온열
생물학적 요인	생물체 형태로 인체에 건강장해를 일으키는 요인	바이러스, 세균, 곰팡이, 독소 등
인간공학적 요인 (작업요인)	작업자세, 작업량, 공구나 기구, 중량물취급 등의 요인에 의한 건강장해요인	과다한 작업, 단순반복, 부자연스러운 자세, 중량물
사회 심리적 요인	작업과 관련된 정신적 부담에 의하여 발생하는 요인	작업관련 스트레스

기계적 위험요인과 안전대책

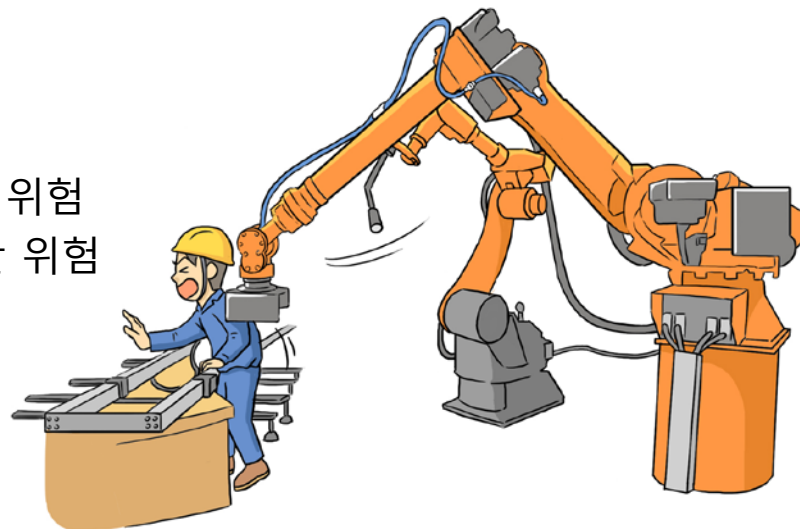
❖ 기계적 위험요인

로봇의 위험요소

- 로봇의 작동범위 내에 연구 활동 종사자가 접근할 경우 매니퓰레이터(로봇의 손)와 충돌
- 로봇의 수리, 점검 시 다른 종사자가 기동스위치를 조작하여 불시에 작동함으로써 발생하는 재해 위험

크레인의 위험요소

- 줄걸이 불량 등으로 매달린 물건의 떨어짐 위험
- 손상/마모된 로프 등의 사용으로 인한 파단 위험
- 화물 아래 작업자 출입에 따른 재해 위험

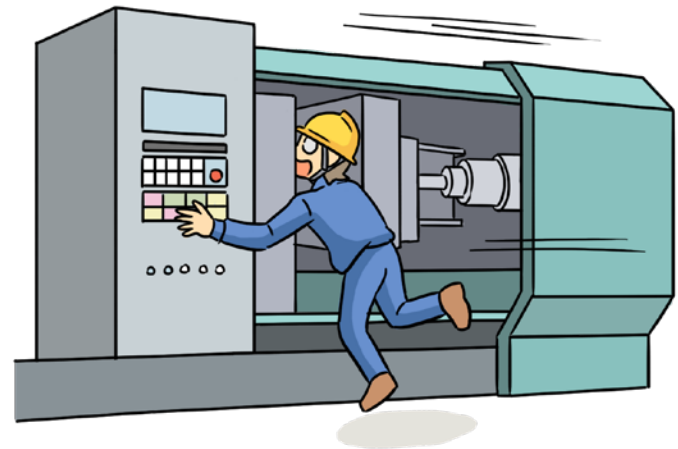


기계적 위험요인과 안전대책

❖ 기계적 위험요인

사출성형기의 위험요소

- 슬라이더 작동 시 금형에 신체 끼임
- 성형기의 수리, 점검 시 다른 연구활동 종사자의 스위치 오조작으로 인한 신체 끼임
- 히터 전원선에 의한 누전으로 감전 위험
- 히터와 같은 고열부에 신체가 접촉하여 화상 위험



분쇄기 등의 위험요소

- 분쇄기/혼합기/교반기 등 개구부 노출로 원료 비산 등 건강장해, 종사자 넘어짐/떨어짐
- 기계의 작동부분에 신체 접촉위험
- 분쇄기의 내부에서 청소, 수리작업 할 때 다른 종사자에 의한 스위치 오조작으로 인한 재해 위험



기계적 위험요인과 안전대책

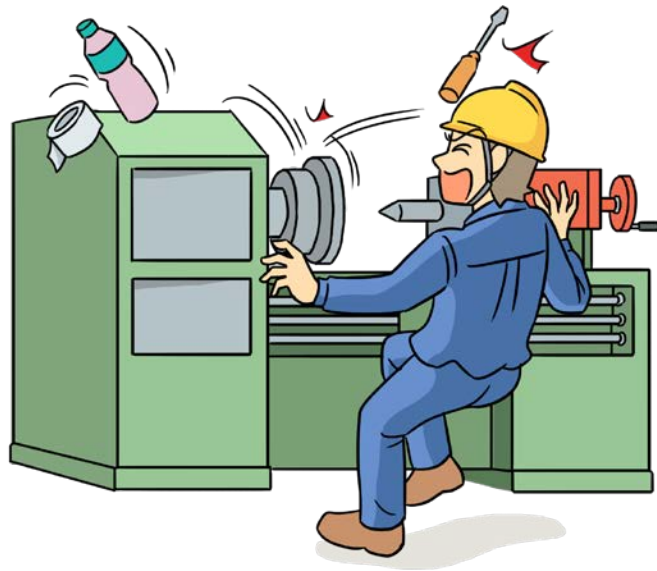
❖ 기계적 위험요인

선반작업의 위험요소

- 가공 소재의 칩 및 냉각유 등의 비산 위험
- 척 또는 척에 물린 가공물에 연구활동 종사자가 접촉할 경우 면장갑, 실험복의 말림 위험
- 수공구 등이 회전하는 척에 떨어질 경우 맞음 위험

밀링작업의 위험요소

- 칩이 연구활동 종사자의 눈에 튕
- 연구활동 종사자의 소매가 날에 말림 위험



기계적 위험요인과 안전대책

❖ 기계·기구 및 설비 점검사항

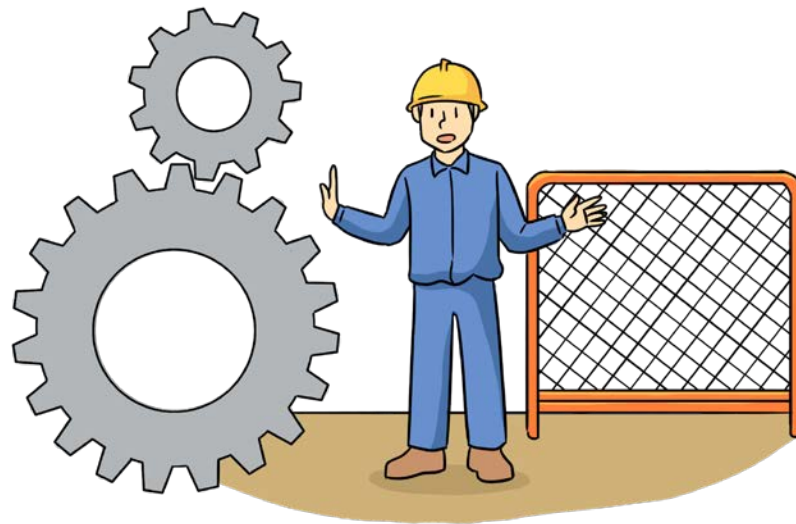
구분	점검사항
정지 중 점검사항	• 급유의 이상유무 • 전동기 스위치 이상유무 • 볼트, 너트의 조임 상태, 풀림 상태 유무 • 안전장치, 동력전달장치 이상 유무 • 접지상태 이상유무 • 스위치 부근에 인화성액체, 가연성가스 보관 유무
운전 중 점검사항	• 클러치의 기능상태 유무 • 주유상태 및 누유발생 유무 • 커플링, 키의 고정나사 돌기부분, 벨트, 풀리, 기어, 플라이휠일 등 접촉 부분의 위험한 곳에 설치한 방호덮개, 울의 강도와 기능유지 유무 • 전동기에서 이상음, 진동, 과열현상이 나타나거나 스파크 발생 유무

기계적 위험요인과 안전대책

❖ 기계 사고 예방대책

- 기계구조, 운전에 대한 학습
- 안전장치의 설계, 설치, 정비
- 관계자 외 출입금지
- 단독 기계 운전 금지
- 비산 방호벽
- 방해물의 정리
- 단정한 복장 착용
- 공구, 시험편의 확실한 고정
- 기타 주의 사항

- 사용 공구, 시험편 등은 나중에 사용하는 사람이 위험하지 않도록 잘 정리하고, 높은 장소에 놓인 중량물은 떨어지거나 쓰러지지 않도록 조치
- 기계 사용 중 눈, 귀, 코를 활용하여 이상이 보이거나, 들리거나 냄새가 나는 등이 나는 경우 즉시 전원을 차단하여 기계 작동 정지



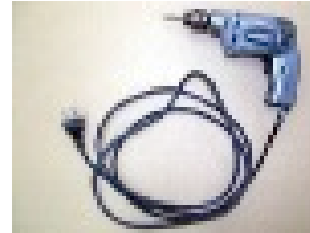
전기적 위험요인과 안전대책

❖ 전기적 위험요인

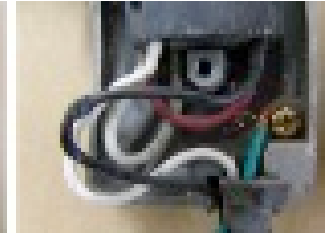
- 과부하 전류
- 단락(합선)
- 누전
- 반단선
- 전기아크
- 절연열화
- 접속부 과열



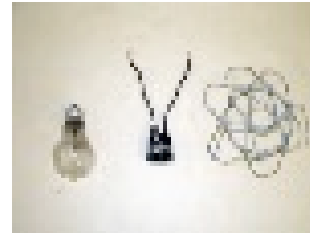
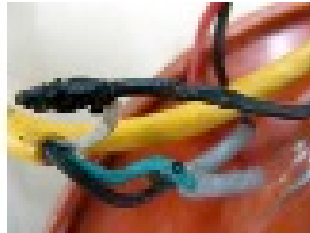
전기해머드릴 코드선 피복손상



휴대형 전기 드릴 압축 손상된 코드선



확장 릴 코드 전선접속부 절연불량



백열전구 소켓 및 누전된 보호철망의 통전흔



전기적 위험요인과 안전대책

❖ 전기실험실의 사고 예방대책

누전에 의한 감전예방

- 감전 사고를 야기한 대부분의 전기기계기구들은 그 상태가 불량
- 절연저항을 측정하여 전기기계기구의 누전 유무 측정 (불시에 누전이 되더라도 인명을 보호하는 수단이 접지)

접지에 의한 감전 예방

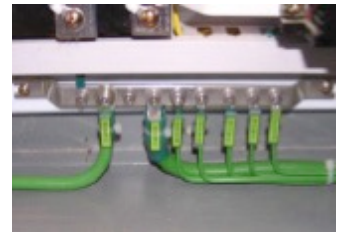
- 접지란 전기, 전자, 통신시스템 등의 기기와 대지 사이를 전기적으로 접속하는 것
- 전기안전의 핵심이며 동시에 모든 전기설비의 원활한 운영을 위한 방법



접지 버스바



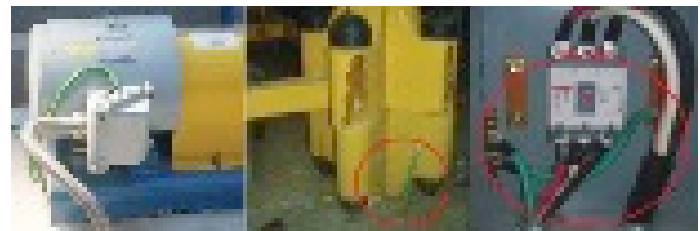
도어 본딩



접지용도별 표찰 부착예



울타리 접지



기기외함 접지

전기적 위험요인과 안전대책

❖ 전기 사고 예방대책

접지에 의한 감전 예방

- ① 이동형 전기기계기구의 접지
 - 이동형 전기기계기구는 보편적으로 접지형 Plug와 접지형 콘센트로 접지 실시
- ② 누전차단기
 - 누전차단기란 누전사고 시 공급전원을 신속히 차단하는 장치로써 전원 측의 과전류보호장치가 감지하지 못하는 아주 작은 전류에서 동작하여 인체를 감전으로부터 보호. 감전보호 목적의 누전차단기의 정격은 30mA, 0.03초
 - 누전차단기는 작은 전류에서 복잡하게 동작되기 때문에 오동작 등에 주의.
 - 접지로 감전을 예방하는 것이 기본하며, 접지 후 물기가 있는 곳 등에 누전차단기를 추가



전기적 위험요인과 안전대책

❖ 전기 사고 예방대책

록아웃/태그아웃 (Lock out / Tag out)

- 타 작업자가 기계의 자물쇠나 꼬리표를 보고 작동하지 않도록 하는 안전조치이다.

잠금장치(Lock Out)의 예



Gate Valve Locking Kit



Ball Valve Lockout



MCCB Lockout



화학적 위험요인과 안전대책

❖ 화학약품의 위험과 안전

화학약품 취급시 안전 고려사항

- 실험자가 작업하는 물질이 올바른지 라벨을 주의 깊게 읽고 작업이 끝나면 뚜껑을 닫음
- 피로는 판단에 영향을 줄 수 있으므로 적절한 휴식 실시
- 정확한 절차, 관련된 잠재위험, 사용되는 기술이나 분석법 등을 알고 있는지 확인하고 책임자의 지시를 따름
- 열이 발생하는 물질을 감시
- 혼합금지(호환성이 없는) 물질은 분리
- 적당한 개인보호구(PPE)를 착용
- 화학약품으로부터 자신을 청결히 유지
 - 실험자의 손이 오염될 수 있다면 글러브를 착용.
 - 엮질러진 화학 물질은 즉시 깨끗하게 청소
 - 긴 머리는 묶고, 흔들리는 보석류의 착용 금지
- 화학약품을 운반할 때에는 박스 등에 넣어 안전한 운반장비를 이용

화학적 위험요인과 안전대책

❖ 화학약품의 위험과 안전

화학약품의 저장 시 안전 고려사항

- 약품장에 저장 시 알파벳이나 가나다 순서로 저장하되 유기·무기물질 별로 구분하고 종류를 달리하며, 증기를 흡기할 수 있도록 덕트 시설에 연결
- 산성, 염기성, 산화제, 환원제, 과산화물, 금속성 물질, 인화성, 발암성, 독성물질 등 종류가 다른 화학약품은 분리하여 저장
- 유통기한 지난 물질, 변색 화학약품 등은 위험하므로 주기적으로 화학약품의 유효기간을 확인하여 안전하게 폐기
- 필요한 양의 화학약품만 실험실내에 저장
- 화학약품이 떨어지거나 넘어지지 않게 가드를 설치하고, 캐비닛이나 선반에 적절하게 저장
- 저장소의 높이는 1.8m 이하로 힘들이지 않고 손이 닿을 수 있는 곳으로 하며, 이보다 위쪽이나 눈높이 위에 저장하지 않을 것



화학적 위험요인과 안전대책

❖ 화학약품의 위험과 안전

- 선반 위는 작은 용기를 두고, 무거운 용기나 용적이 큰 것은 밑에 보관
- 빛에 민감한 화학약품은 갈색 병, 불투명 용기에 보관
- 공기, 습기에 민감한 화학약품은 2중병에 보관
- 독성 화학약품은 캐비닛에 저장하고 잠근다.
- 후드 안에 화학약품을 저장하지 말 것
- 화학약품을 혼합하여 저장하면 위험하므로 혼합하여 보관하지 않을 것

화학약품 혼합에
따른 반응 위험성

약품(A)	약품(B)	반응 위험성
칼륨, 나트륨	물, 이산화탄소, 사염화탄소	격렬한 반응
동	아세틸렌, 과산화수소	분해 반응
과망간산칼륨	에틸알코올, 메틸알코올, 빙초산, 벤조알데히드,	급격한 산화반응
염소	암모니아, 아세틸렌, 부탄, 프로판, 수소, 나트륨, 벤젠	격렬한 발열반응, 생성물분해
과산화수소	동, 철, 금속, 아세톤, 아닐린, 유기물	급격한 분해반응
질산	삭산 아닐린, 크롬산, 인화성액체	발열, 산화반응
아세틸렌	염소, 취소, 불소, 동, 은, 수은	격렬한 발열반응, 생성물 분해,
인화성액체	질산암모늄, 삼산화크롬, 과산화수소, 과산화나트륨	산화반응, 과산화물 생성, 급격한 반응

화학적 위험요인과 안전대책

❖ 압축가스의 안전관리

압축가스

- 상온 또는 35°C계이지 압력 10kg/cm²인 가스
- 실제로 사용하고 있을 때의 가스 온도가 임계온도(기체가 액체가 되기 위한 최고 온도)보다 높을 때 압축가스로 됨
- 상온에서 압축하여도 액화하기 어려운 가스
- 일반적으로 압축가스는 액화가스에 비해 용기 내의 압력이 높기 때문에 누설이나 단열압축에 의한 온도 상승 위험성이 높고 용기 취급을 잘못하면 사고 위험성이 높음

압축가스 용기의 안전

- 용기를 이동, 보관하는 경우 경부를 보호하기 위해서 안전 캡 사용
- 보관시 용기를 수직으로 세워 밴드, 체인 또는 고정대에 지지
- 압축가스 취급 작업 시 실험자가 그 고유의 사용법 및 취급상 주의 사항 숙지
- 압력 조정기의 고장 유무, 사용 목적, 배관 접속 상태, 사용 압력 적정성 등을 확인
- 실험복, 안전화, 긴 소매의 옷을 착용
- 모든 압축가스는 올바른 표시와 라벨을 명확하게 표시
- 열원의 근처나, 직사광선, 증기 배관이 있는 장소에서의 보관하지 말 것

❖ 압축가스의 안전관리

고압가스 용기의 안전취급

※ 고압가스 : 상용온도 또는 35℃에서 압력 1MPa (메가 파스칼) 이상이 되는 압축가스로 수소, 산소, 질소, 베리움, 메탄, 아르곤 등이 있다. 가스상태에 따라 액화가스, 용해가스 등으로 구분.

- 고압가스 용기에는 각인이 있으며 사용 전에 각인을 보고 그 내용물을 확인
- 고압가스 취급은 충분한 지식과 경험을 가진 사람이 실시
- 여름의 직사광선, 가열로, 스토브, 그 외 가열된 바닥 등 뜨거운 장소의 근처에서 용기를 사용하지 말 것
- 보관은 서늘하고 공기유통이 잘되는 장소에 보관
- 용기를 교환한 후는, 압력 조정기의 설치 부에 누설이 없는지를 비눗물 등으로 검사
- 급격하게 밸브 조작 금지
- 밸브를 여는 경우에는, 가스가 나오는 방향을 옆으로 향하게 하여 출구 측에 사람이 없는 것을 확인하고 전용 핸들, 스패너를 사용. 가스의 사용 후는 완전하게 밸브를 닫아 안전 캡을 씌움
- 압력 조정기는 해당 가스 종류에 맞은 것을 사용 (산소는 기름과 반응하여 발화하는 일이 있으므로 전용 조정기를 사용)



생물실험실의 위험요소와 안전대책

❖ 생물학적 위험요소

생물학적인 위험요인의 감염은 감염 물질의 접촉으로부터 발생.
오염된 피의 수혈에서도 가능하며 이러한 병원균, 유해물질의 인체에
유입경로는 다음과 같다.

- 오염된 날카로운 것으로부터의 베임이나 바늘 같은 것으로부터 주입
- 피부의 상처, 상해된 부분에 접촉
- 점막접촉(입, 코, 목구멍의 내면 피부)
- 눈으로 침입(눈 접촉)



생물실험실의 위험요소와 안전대책

❖ 생물학적 안전

생물학적 위험으로부터 연구실을 안전하게 유지하기 위해서는 적절한 위생계획을 세우고 위험 요소를 효과적으로 차단하면 된다. 생물학적 위험요소에 대한 차단 계획은 3단계로 이루어질 수 있다.

- 1단계 : 감염물질에 대한 노출로부터 생물학적 기술과 적절한 안전한 장비를 사용하여 연구 활동 종사자와 연구실을 보호하는 것
- 2단계 : 시설 설계와 운영체계 상에서 외부환경을 보호하는 것. 연구 활동 종사자와 관계자들의 위험물질에 대한 노출을 줄이고, 내부적으로 위험 물질의 외부 환경으로 누출을 막는 것
- 3단계 연구실에서의 실천 활동과 기술, 안전 장비와 시설 통제를 통한 차단

생물실험실의 위험요소와 안전대책

❖ 생물 관련 실험실의 보호조치

일반적 조치

- 실험실의 설계는 곤충, 새, 동물(특히 쥐, 참새, 개미, 바퀴벌레 등)의 방제가 쉽도록 설계
- 실험동물은 완전한 시설에서 사육하고 보호

감염의 제어

감염의 적절한 예방은 감염성 질병의 전염과정에 근거를 둘 수 있는데 다음과 같은 단계별 예방대책을 강구

- 감염원인 물질과 근원
- 감염원에서 배출되는 형태
- 감염원의 전파형태
- 숙주에 침입하는 형태

특별한 억제

병원성이 있다고 알려진 특수한 미생물은(바이러스, 세균, 곰팡이) 훈련된 연구 활동 종사자에 의해 특별히 고안된 실험실에서 취급

생물실험실의 위험요소와 안전대책

❖ 생물 관련 실험실의 보호조치

개인보호와 위생

- 개인보호는 위험에 직면할 가능성이 있는 모든 사람 즉 실험자, 보조원, 관리인, 청소원 등에게 적용.
- 옷을 갈아입을 수 있는 시설과 손을 씻을 수 있는 설비가 실험실 자체에 구비되어야 하고 일회용 종이 수건을 사용
- 실험에 따라 마스크, 수술용 장갑, 보안경, 등과 같은 보호 장비 사용
- 실험실에서 떠날 때는 실험복과 모든 장비를 제거하고 반드시 손을 세척

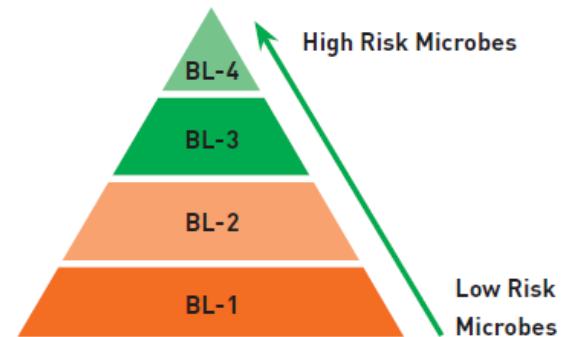
소독

- 모든 장비와 실험복은 고압살균이나 적당한 화학약품으로 소독
- 고압살균기의 정상적인 유지와 검사를 위해 숙련된 기술자가 있어야 하며 화학적 살균제는 그 자체가 위험하므로 사용 시 주의

생물실험실의 위험요소와 안전대책

❖ 생물안전 등급(Biosafety Level, BL)

생물안전 수준은 실습과정과 테크닉, 안전장비, 실험실 설비의 상호 조합으로 4가지로 분류



생물안전 1등급 (BL-1)

- 생물안전 1등급은 건강한 성인을 기준으로 질병을 확실하게 일으키지 않거나, 실험실의 실험자나 외부 환경에 잠재위험이 매우 적으며, 그 특성이 잘 알려진 병원 미생물에 관련된 작업을 수행할 때 적절한 수준이다.
- 종류는 *Bacillus subtilis*, *Naegleria gruberi*, infectious canine hepatitis virus 등이 있다. 인간의 질병과정과 관련성이 없는 많은 종류들은 잠재적 병원균이 될 수 있고, 어린이, 노약자, 면역 결핍자에게 감염을 일으킬 수 있다.
- 이 수준은 손 씻기 행위 이외의 1차/2차적인 특별한 보호장벽이 없이도 표준 미생물을 다루는 과정에 따라 이루어지는 기본적인 격리의 단계이다.
- 작업하는 실험실은 다른 장소와 반드시 격리할 필요는 없고 작업은 실험대에서 표준 미생물취급요령에 따라 실행한다. 실험실 개인은 절차상 특별한 훈련이 필요하며 미생물학이나 생물학 또는 관련된 전문가에게 감독 받는다.



생물실험실의 위험요소와 안전대책

❖ 생물안전 등급(Biosafety Level, BL)

생물안전 2등급 (BL-2)

- 수행 과정, 안전장비, 시설 설계 및 건축이 임상, 진단, 교육과 보통 상존하는 다양한 위험인자를 다루는 실험실에 적용할 수준이다. 미생물을 다루는 기술이 좋아야 하며 튀거나 분무 형태의 기회가 아주 낮다면 실험 벤치에서 수행할 수 있다.
- Hepatitis B virus, HIV, salmonellae, Toxoplasma spp. 등의 미생물을 사용할 때 혹은 인간에서 파생된 혈액, 체액, 조직, 감염인자가 알려지지 않은 1차 인간 세포 시스템을 다룰 때 적절한 수준이다.
- 이런 물질 작업 실험자의 1차적 위험은 감염성 물질의 흡입, 피부나 점액 세포질의 노출과 관련되어 있다.
- 감염된 바늘이나 날카로운 기구는 각별한 주의가 요구된다.
- 이 등급에서 일상적으로 다루는 유기체가 분무를 통한 전염이 알려지지 않았더라도 에어로졸이 튀어서 개인에 노출될 확률이 높기 때문에 1차 격리 보호장비나 개인보호장비를 착용하고 작업해야 한다.
- 생물안전 2등급은 생물안전 1등급과 유사하고 중간 정도의 잠재적 위험을 가지는 미생물의 작업에 적당한 수준이다.

생물실험실의 위험요소와 안전대책

❖ 생물안전 등급(Biosafety Level, BL)

생물안전 3등급 (BL-3)

- 호흡기 전염이 가능한 물질로 잠재적으로 심각하고 치명적인 전염을 일으킬 수 있는 수준이다.
- Mycobacterium tuberculosis, St. Louis encephalitis virus, Coxiella burnetii, Rift Valley fever, Chikungunya, Yellow fever, Japanese encephalitis, Louping ill, West Nile 등
- 경로는 자가 접종, 섭취 및 에어로졸로 노출될 수 있다.
- 1차 및 2차 보호장비가 반드시 필요한 수준이다. 모든 수행은 생물안전 캐비닛(BSC)이 요구되며, 후드 시스템이 필요하다.



BL-3등급에서 안전확인



생물실험실의 위험요소와 안전대책

❖ 생물안전 등급(Biosafety Level, BL)

생물안전 4등급 (BL-4)

- 생명에 위험을 주는 병원균을 가지는 물질을 다루는 때 적용한다. 어떤 백신이나 치료제가 없는 상태이다.
- Marburg, Congo-Crimean hemorrhagic fever, Ebola, Sabia, Junin, Russian Spring-Summer, Omsk hemorrhagic fever, Lassa, 등
- 작업 최고의 위험은 감염성 에어졸, 점막, 자가 접종 등에 의한 호흡기 노출이다.
- 잠재 감염성 진단물질을 다루거나 자연적이거나 실험상 감염된 동물을 다룰 때 실험자나 외부 환경에도 노출과 전염의 정도가 매우 높은 단계이다.
- 실험실 개인은 에어졸화된 감염성 물질과의 완벽한 격리가 필요하기 때문에 Class III BSC 에서 작업을 수행한다. 시설 설비도 외부 환경과 격리되거나 특별한 후드 설비, 폐기물처리시스템이 요구된다.



BL-4등급에서 안전확인



실험실 안전장비

❖ 화학약품 안전장비

흡 후드

- 유해화학물질 실험 시 발생할 수 있는 생성되는 유해증기 및 가스를 옥외로 배출시키기 위한 설비
- 모든 화학물질 실험은 후드 내에서 수행하도록 조치
- 표준제어속도(0.4m/s) 이상의 풍속 유지
- 휴지 등 이물질이 연결된 배기덕트 안으로 들어가지 않도록 주의



국소배기장치

- 유해화학물질이 발생하는 장비 또는 실험대에서 유해증기 및 가스를 옥외로 배출시키기 위한 설비



안전용기(safety cabinet)

- 실험실 화학물질 또는 폐액을 안전하게 저장하는 용도
- 용기를 막을 수 있는 뚜껑, 배출구 덮개를 가지고 있는 구조
- 용기 내부 생성 압력을 안전하게 배출시킬 수 있는 구조
- 상호 반응할 수 있는 물질은 분리하여 보관



실험실 안전장비

❖ 가스 안전장비

가스누출경보장치

- 가연성 및 독성가스 누출 시 이를 검지하여 경보하는 장치로 실험실에서 가연성 및 독성가스를 사용하고자할 경우에는 반드시 가스누출경보장치를 설치
- 설치 개수
 - 실험실 내에 설치하는 경우, 실험실 내부 둘레 10m마다 1개 이상의 비율로 설치
 - 실험실 밖에 설치하는 경우, 저장소 내부 둘레 20m마다 1개 이상의 비율로 설치
- 설치 장소
 - 경보장치의 감지부는 사용하는 가스의 특성에 따라 설치위치를 고려
 - 가스비중, 주위상황, 가스설비 높이 등 조건에 따라 적절한 높이에 설치
 - 공기보다 가벼운 가스는 천정에서 30cm이내에 감지부를 설치
 - 공기보다 무거운 가스는 바닥에서 30cm이내에 감지부를 설치



실험실 안전장비

❖ 가스 안전장비

실린더형 전용 캐비닛

- 가스 용기를 캐비닛에 장착하여 특정고압가스를 안전하게 사용하기 위한 설비
- 비상시 자동차단, 배기가 되도록 구성
- 캐비닛 내부의 누출된 가스를 항상 제독설비로 이송할 수 있고 내부 압력을 외부압력보다 항상 낮게 유지
- 유사시 가스의 공급을 차단할 수 있는 긴급차단장치 설치
- 정전기 제거 조치가 될 것

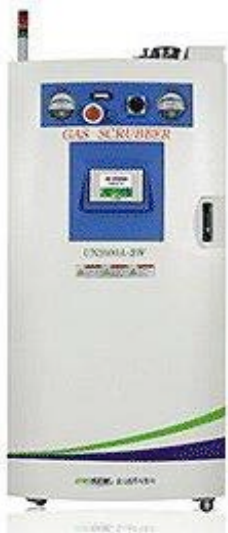


실험실 안전장비

❖ 가스 안전장비

중화제독장치

- 독성가스를 허용농도 이하로 중화 제독시켜주는 장치로 독성가스를 사용하고자 하는 실험실은 반드시 설치
- 제독설비의 기준
 - 실험장비(가스설비)와 가능한 가깝게 설치하여 배출 가스를 즉시 처리하고 허용농도 이하로 대기 중으로 방출
 - 제독효율이 높으며, 내부식성이 우수한 재료로 구성
 - 여러 종류의 가스 및 먼지, 미스트를 함유한 가스 처리가 가능하여야 함
 - 제독방법은 산화, 환원, 중화, 가수분해, 흡수, 흡착 또는 이들의 조합 또는 기타 동등 이상의 방법에 의해 처리



실험실 안전장비

❖ 생물 안전장비

고압증기멸균기

- 고압증기멸균기는 유전자변형생물체 뿐만 아니라 감염성물질을 사용하면서 생기는 폐기물의 생물학적 활성을 제거
- 보통 고압멸균기를 1.5기압, 121℃에서 15분간 작동시키며, 멸균하고자 하는 세균 및 바이러스의 특성에 따라 온도 및 시간을 조절



고압증기멸균기



대용량 고압증기멸균기(양문형)



실험실 안전장비

❖ 생물 안전장비

원심분리기

- 유전자변형생물체를 포함한 병원체 또는 감염성물질을 원심 분리할 경우에는 버킷에 뚜껑이 있는 원심분리기를 사용
- 사용 후에는 로터, 버킷 및 원심분리기 내부를 알콜솜 등 화학소독제를 이용하여 오염을 제거하고 청소
- 공기 감염 가능성이 매우 높은 병원체를 취급하거나 에어로졸 발생이 우려되는 경우에는 생물안전작업대 안에 원심분리기를 설치하여 원심분리를 하고, 원심분리 이후에는 생물안전작업대 및 원심분리기를 소독
- 연구종사자는 원심분리기를 사용하기 전에 사용설명서를 완전히 숙지한 후에 사용하도록 하며, 사용 시 주의사항을 반드시 준수



원심분리기

실험실 안전장비

❖ 생물 안전장비

오염물 유출 처리 키트(Spill Kit)

- 실험 종료 후에는 소독이 용이하도록 실험대 주변을 정리하고, 취급하는 유전자변형 생물체에 효과적인 화학(살균)소독제를 선택하여 실험대를 소독하도록 한다.
- 실험 중 유출 사고가 일어날 경우 동료 및 책임자에게 알려 적합한 조치를 취하고, 유출물의 종류와 위해에 따른 여러 종류의 유출물 처리 키트(Biological Spill kit) 등을 사용하여 오염을 제거·소독한다.



Emergency Spill Kit



Chemical Spill Kit



Chemical Spill Kit



Universal Spill Kit



실험실 안전장비

❖ 소방 안전장비

소화기

- 화재발생 시 초기진화용 소화장비
- 사용방법
 - 손잡이 부분의 안전핀을 뽑는다.
 - 바람을 등지고 서서 호스를 불쪽으로 향하게 한다.
 - 손잡이를 힘껏 움켜쥐고 빗자루로 쓸듯이 분사한다.
 - 완전히 진화가 될 때까지 뿌려 준다.



분말소화기



이산화탄소 소화기



하론소화기



휴대용소화기



실험실 안전장비

❖ 소방 안전장비

옥내소화전

- 화재발생 시 소화기로 진화가 어려울 경우 사용하는 진화용 소화장비
- 사용방법
 - 화재가 발생하면 화재를 알리고자 발신기 스위치를 누르고, 소화기 문을 열고 관창(물을 뿌리는 부분, 노즐)과 호스를 꺼낸다.
 - 다른 사람은 호스의 접힌 부분을 펴주고 관창(노즐)을 가지고 간 사람이 물 뿌릴 준비가 되었으면 소화전함 개폐밸브를 돌려 개방한다.
 - 관창(노즐)을 잡고 불이 나는 곳으로 물을 뿌린다.
 - 완전히 진화가 될 때까지 뿌려 준다.



실험실 안전장비

❖ 소방 안전장비

화재대피용 마스크

- 유독가스가 발생하는 화재 현장에서 신속하게 대피할 때 사용
- 사용요령
 - 안전용품 캐비닛에서 용기를 꺼내 목에 건다.
 - 투명한 부분이 앞으로 오도록 두건을 머리에 쓴다.
 - 용기의 조작핸들을 돌려 산소를 공급 받는다. (이때 쉬~ 소리가 난다)
 - 낮은 자세로 신속하게 화재현장을 대피한다. (화기와의 직접 접촉을 피한다.)



3

실험실 사고사례 및 예방대책

- 사고 발생 시 행동요령
- 재해사례와 예방대책

사고 발생 시 행동요령

❖ 화재 발생 시

1. 소화기, 소화전, 소화 기구를 활용하여 초기에 진화하도록 노력
2. 큰 소리로 주위에 화재가 발생되었음을 알리고 동시에 화재경보기를 누르며 방재센터로 연락
3. 화재발생 우려가 있는 가연성물질이나 위험물은 안전한 곳으로 옮김
4. 가스용기의 밸브를 잠그고 모든 전원을 차단하며, 출입문과 방화문을 닫고 안전한 장소로 대피하여 방재센터의 지시에 따름

❖ 옷에 불이 붙었을 때

1. 옷에 불이 붙으면 바닥에 구르거나 소방 담요로 화염을 덮음
2. 화상을 입은 경우 상처부위를 씻고 화상 부위를 수돗물에 담금
3. 의무실에 도움을 청한다. 화상 정도에 따라 전문의의 치료를 받을 것

사고 발생 시 행동요령

❖ 가스 누출 시

1. 가스용기의 주밸브와 중간밸브를 잠금
2. 개인 보호구를 착용하고 사고를 수습
3. 모든 기구와 장비의 전원을 끄고, 일반 불씨도 제거
4. 배기 후드의 가동을 확인하고 창문을 열어 환기
5. 방재센터로 신고

❖ 화학약품에 오염 시

1. 눈에 들어갔을 때는 세안장치에서 물로 15분 이상 세척
2. 옷에 묻었을 경우 옷을 벗고, 비상샤워기에서 충분히 세척
3. 피부에 묻었을 경우 비상샤워기에서 충분히 세척
4. 응급조치를 마치면 피해 화학약품의 이름을 적고 방재센터나 의무실의 도움을 받아 전문의의 치료를 받을 것

사고 발생 시 행동요령

❖ 유독물질을 삼켰을 때

1. 소량의 화학약품을 삼켰을 때는 토하게 하고(부식성 약품일 때는 금기), 우유, 차, 전분 등의 현탁액 섭취
2. 강산을 삼켰을 때 산화마그네슘, 수산화알루미늄, 우유 등의 현탁액 섭취
3. 강 알칼리를 삼켰을 때는 1~2%의 식초산이나 레몬주스 섭취
4. 방재센터나 의무실의 도움을 받아 전문의의 치료를 받을 것

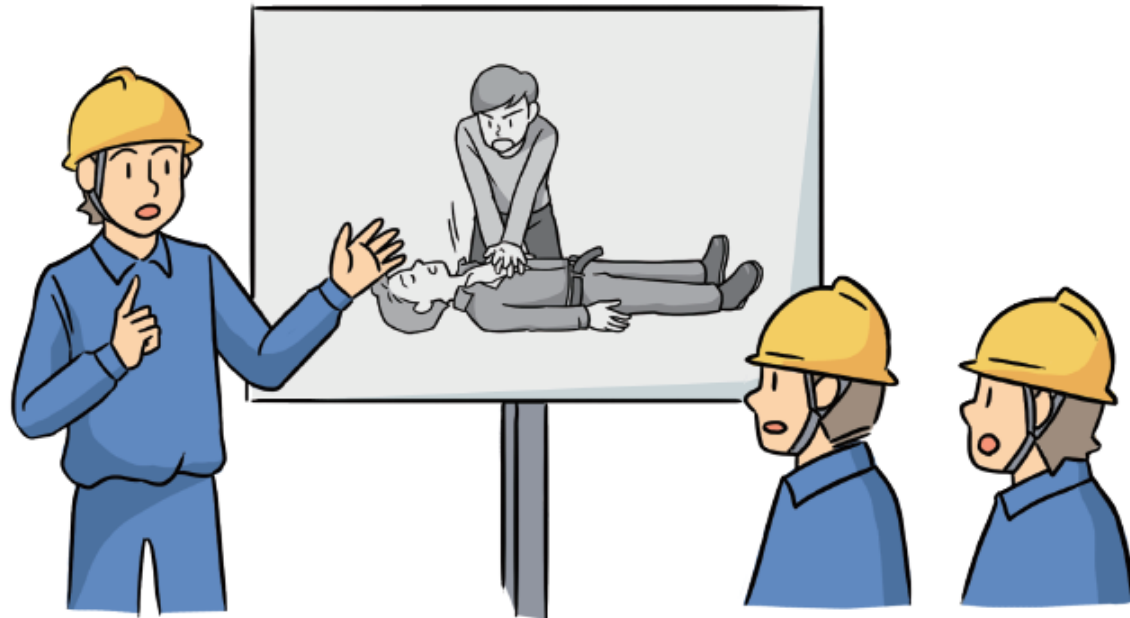
❖ 외상의 경우

1. 가벼운 외상의 경우라도 의무실과 전문의의 치료를 받을 것
2. 심한 외상이면 안정과 보온을 취하게 하고 방재센터에 연락 후 도움을 받을 것
3. 심한 출혈이 있는 경우 상처 부위를 패드나 천으로 압박하여 지혈시키고 병원으로 이송
4. 피가 흐르는 부위를 신체의 다른 부분보다 높게 하고, 편안하게 눕힘

사고 발생 시 행동요령

❖ 의식을 잃었을 때

1. 환자를 신선하고 평평한 장소에 편하게 눕힌 뒤, 환자의 턱을 끌어올려 기도가 열리게 하고, 의식이 있는지와 호흡을 하는지를 확인
2. 호흡이 정지되었다면, 즉시 심폐소생술(CPR)을 실시하면서 의무실과 전문의의 치료를 받게 함



사고 발생 시 행동요령

❖ 감전사고 시

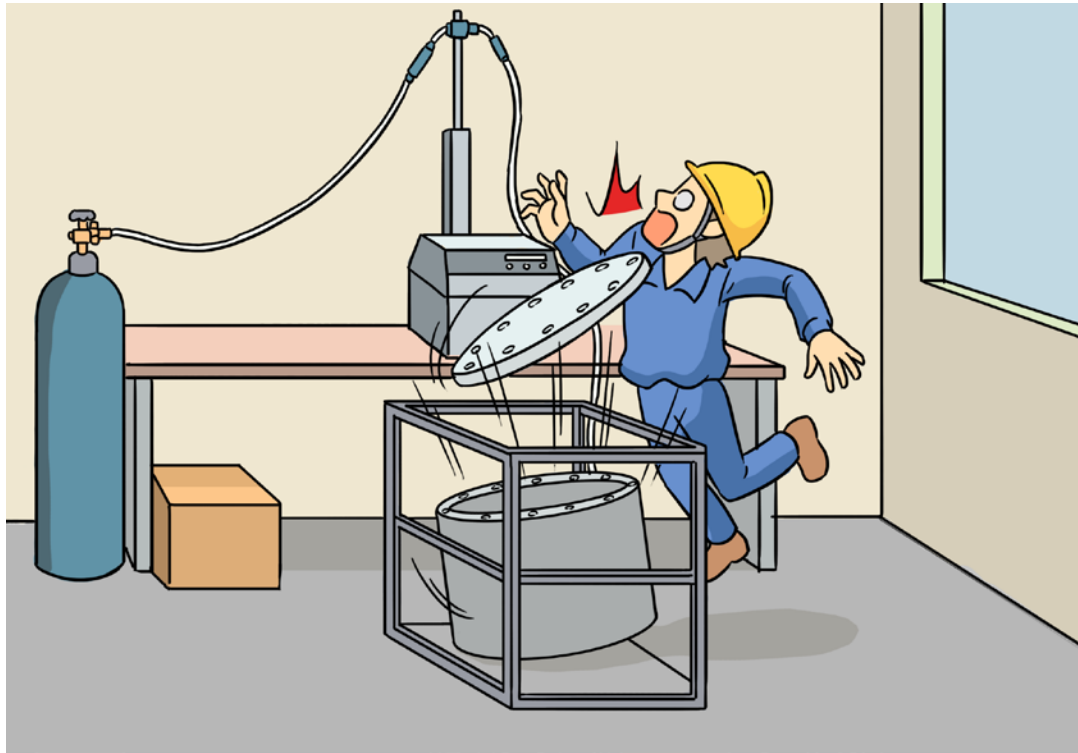
1. 연결된 전원을 차단하고, 보호 장갑을 끼고, 절연재인 나무나 고무를 이용하여 사고자를 전기기구에서 떼어 놓음
2. 환자가 의식이 없으면 호흡과 맥박을 확인하면서 필요시 심폐소생술을 실시. 화상 부위에는 찬물을 다량 주부
3. 적절한 응급조치를 마치면 의무실의 도움을 받아 전문의의 치료를 받게 함

❖ 방사능에 오염된 경우

1. 손, 피부에 오염된다면, 오염부위를 중성세제를 이용하여 물로 충분히 세척
2. 옷에 오염되었다면 오염부위를 잘라 내거나 중성세제 용액에서 20분 이상 세탁하고 충분히 헹굼
3. 실험기구가 오염된 경우에는 중성세제 용액으로 충분히 세척
4. 방사능에 오염되었거나 제염작업에 사용한 물건은 방사능폐기물로 분류하여 폐기

사례
01

고압력 실험장비 테스트 중 용기 폭발



▶ 주요 재해 내용

암석 반응 실험을 위한
고압력 장비를 설치하고
실험 장비를 테스트하기
위하여 이산화탄소(CO_2)를
주입하던 중 고압 용기가
폭발하며 날아간 용기
뒷개에 맞음



사례
01

고압력 실험장비 테스트 중 용기 폭발



발생원인

고압용기 덮개 체결 볼트 선정 부적절

- 고압반응용기 설치 후 시운전을 하기 위하여 CO₂를 주입하는 과정에서 70bar의 내부압력에 체결된 볼트가 인장응력을 견디지 못해 파단되며 폭발 발생(사고 발생 고압 용기는 CO₂를 100bar로 운전)

압력시험 방법 부적절

- 고압용기를 공기 또는 가스를 시험 매체로 사용하여 기압시험을 할 경우에는 특별한 예방조치를 하여 실시하는 것이 바람직하나 별도 예방조치 없이 기압(CO₂)으로 압력시험 실시



사례
01

고압력 실험장비 테스트 중 용기 폭발



예방대책
준수사항

적절한 방법으로 용기의 압력시험 시행

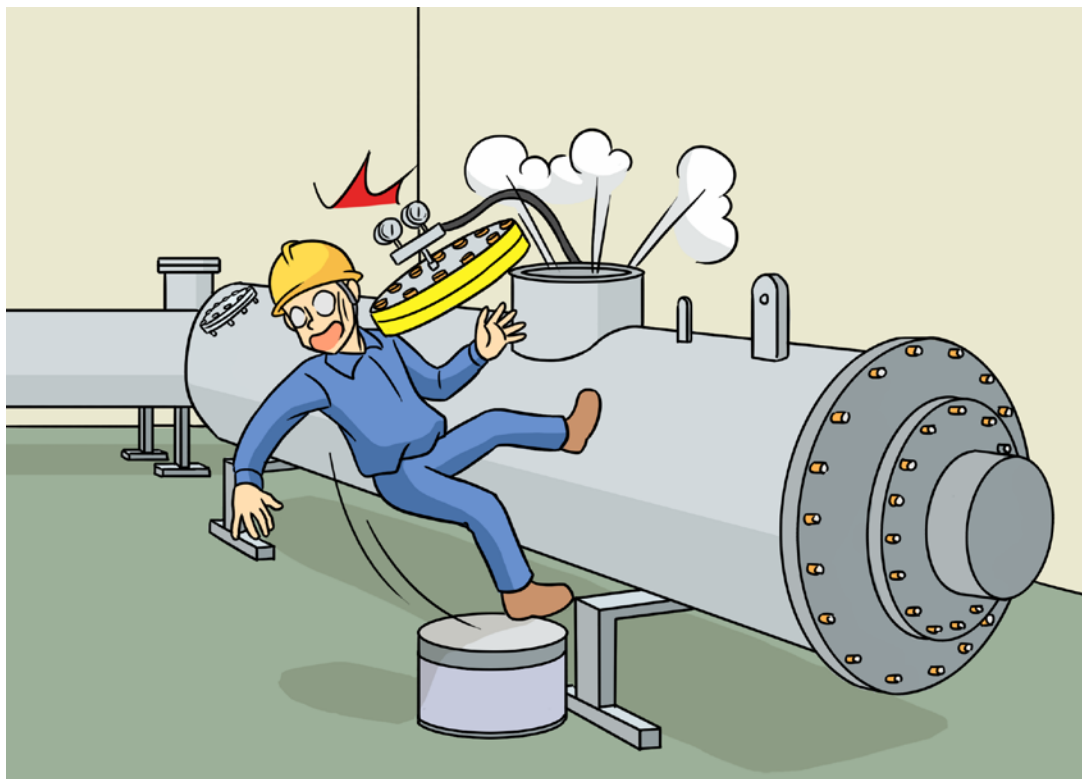
- 고압용기를 압력시험 할 경우 수압시험장비가 갖추어진 장소에서 수압으로 실시
- 부득이하게 공기·가스를 시험 매체로 사용할 경우 고압용기의 파괴로 인한 위험방지를 위해 전용의 견고한 시설물의 내부 또는 견고한 장벽 등으로 격리된 장소에서 하는 등 특별한 예방조치를 하고 기압시험을 실시

용기 내부의 압력에 충분히 견딜 수 있는 볼트 선정

- 볼트는 기계적 성질(인장강도, 경도, 신장, 항복점 등)을 충분히 고려하여 고압용기의 설계압력에 충분히 견딜 수 있는 적절한 볼트를 선정

사례
02

열교환기 기압시험 중 플랜지에 맞음



▶ 주요 재해 내용

열교환기 기압시험을 하던
중 지그 플랜지의 용접부가
파단되어 날아간 지그
플랜지와 블라인드
플랜지에 얼굴이 부딪힘

※ 지그 플랜지: 내압시험 등
압력용기를 밀폐하기 위해 임시로
설치하는 플랜지로 압력용기와 지그
플랜지를 용접한 후 지그 플랜지에
블라인드 플랜지를 고정



사례
02

고압력 실험장비 테스트 중 용기 폭발



발생원인

- 열교환기의 기압시험용 가스 투입 조절밸브가 블라인드 플랜지에 직결되어 있는 압력계와 일체형인 것을 사용하고 있어 질소 투입을 위한 밸브 조정을 위해 열교환기에 설치된 플랜지 앞에서 작업
- 기압시험 시 질소 등의 가스를 사용할 경우 견고한 시설물 또는 장벽의 설치 등 특별한 조치를 하여야 하나 미 실시
- 기압시험을 하는 용접 구조 압력용기에 대한 비파괴 시험 미 실시



예방대책 준수사항

- 기압시험용 가스 투입 조절밸브의 위치는 플랜지 등 열교환기와 안전거리를 유지한 채로 압력계 확인 밸브 조작이 가능하도록 압력계에 직접 연결하지 않고 고압가스 호스로 연결하는 등의 조치
- 내압시험을 실시할 경우 수압 시험장비가 갖추어진 장소에서 수압으로 실시 단, 부득이할 때 압축공기, 가스를 시험 매체로 사용할 경우 고압으로 인한 폭발방지를 위하여 전용의 견고한 시설물 또는 장벽의 설치 등 특별한 예방조치를 하고 기압시험을 실시
- 기압시험을 하는 용접 구조 압력용기는 압력을 받는 용접부 전 길이에 대해 용접 균열 등의 확인을 위한 비파괴 시험을 실시



사례
03

원심분리기 내부 톨루엔 증기 폭발



▶ 주요 재해 내용

원심분리기를 이용하여
감광제 원료와 물, 톨루엔을
분리하는 과정에서
원심분리기 내부에서
발생한 폭발로 작업자가
원심분리기 덮개에 머리를
부딪힘



사례
03

고압력 실험장비 테스트 중 용기 폭발



발생원인

원심분리기 내부 불활성가스(질소) 미공급

- 톨루엔 증기의 폭발위험분위기 상황에서 질소공급이 중단된 상태였기 때문에 연소에 필요한 공기 중의 산소가 산화제로 작용하고, 정전기 등의 점화원에 의해 폭발

※ 톨루엔 : 폭발범위(1.2~7.1%), 인화점(4℃), 발화점(480℃)



예방대책
준수사항

원심분리기 내부 불활성가스(질소) 공급

- 원심분리기에 톨루엔 등 위험물을 공급할 경우 폭발분위기가 형성될 수 있어 충분한 질소 퍼지 후 대상물질이 투입되도록 조치

점화원 관리 철저

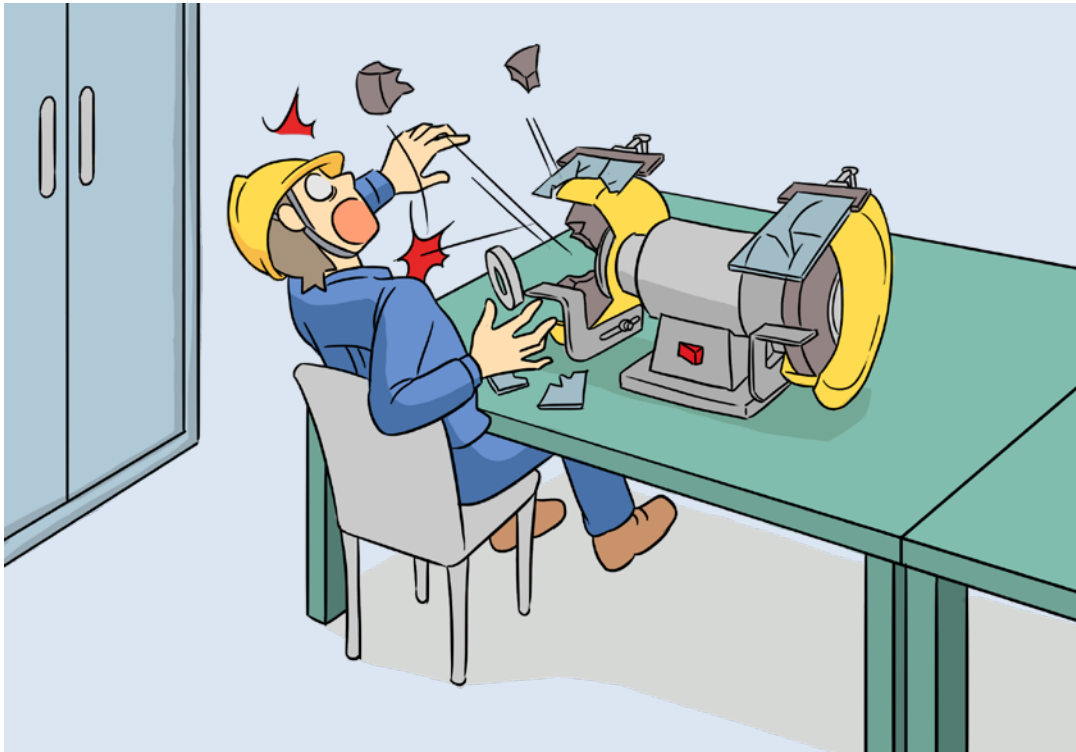
- 원심분리기 주요 부분의 축적된 정전기가 지면으로 방출되도록 설비 개선

안전운전 작업 절차 관리 및 해당 작업에 대한 교육 철저



사례
04

탁상용 연삭기로 작업 중 깨진 연삭숫돌에 맞음



▶ 주요 재해 내용

탁상용 연삭기를 사용하여
자동차 엔진부품을
연삭하던 중 연삭숫돌이
깨지면서 파편에 가슴을
맞아 사망



사례
04

고압력 실험장비 테스트 중 용기 폭발



발생원인

- 연삭숫돌의 최고 사용회전속도를 초과하여 사용 : 측정된 회전속도 2,554RPM
※ 연삭숫돌 : 지름 510mm, 두께 50mm, 최고 사용원주속도 4,000m/min(2,498RPM)
- 연삭숫돌 파편이 방호덮개의 강도 미달로 방호덮개가 분리되며 튀어나옴



예방대책 준수사항

- 연삭숫돌의 최고원주속도 이하 사용
- 연삭숫돌의 제원표를 확인하여 제원표에 표시된 최고원주속도 이내에서 사용
- 연삭숫돌의 사양에 적합한 방호덮개 사용
- 숫돌의 최고 원주속도, 숫돌의 두께, 숫돌의 직경, 덮개의 재질 등을 고려하여 적합한 방호덮개 사용
- 연삭기는 주요 구조부 등의 안전성을 인증받은 자율안전확인신고를 받은 제품을 사용



감사합니다.