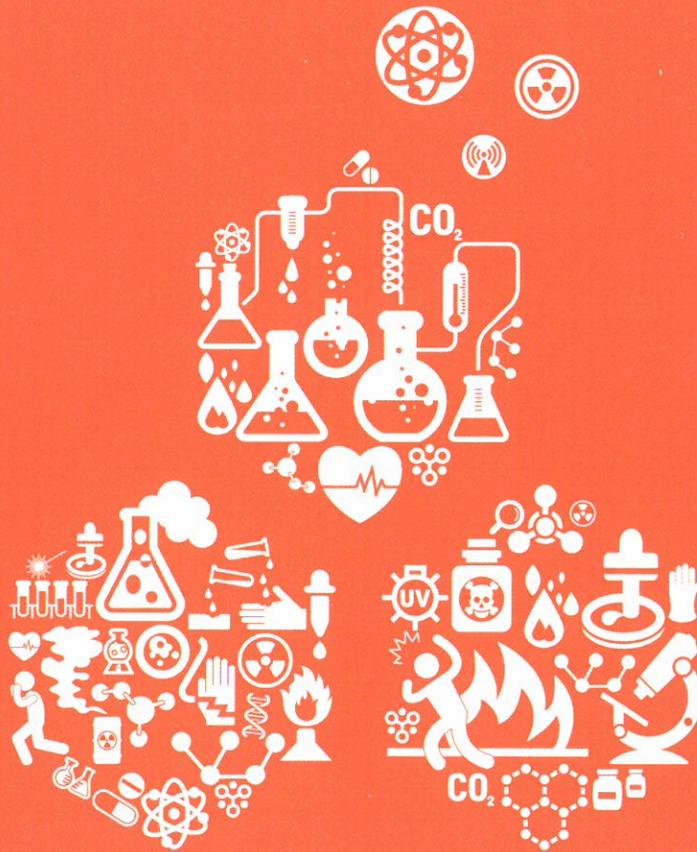


연구실 안전 표준 교재

화학·가스 안전

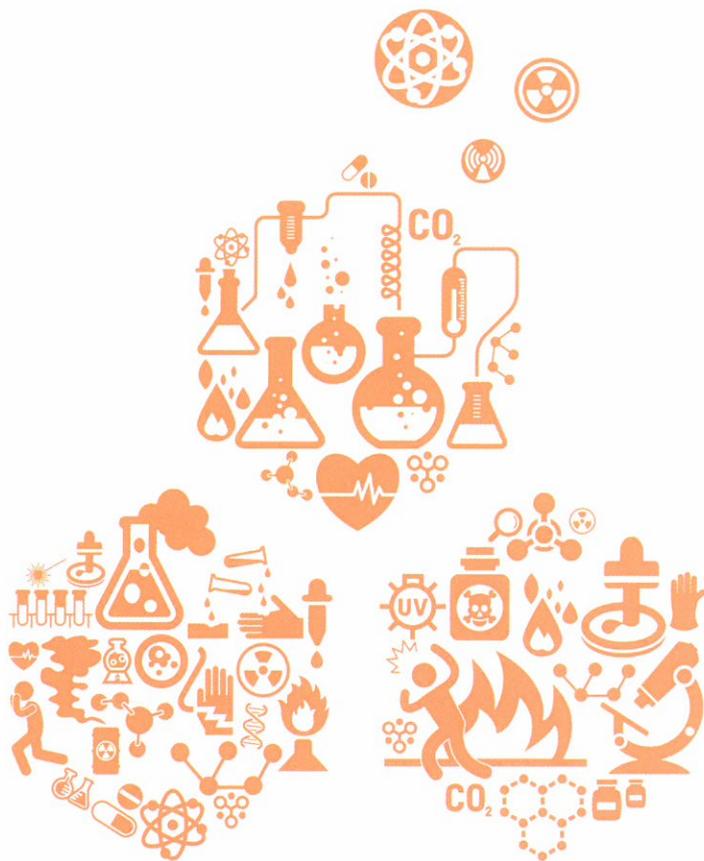




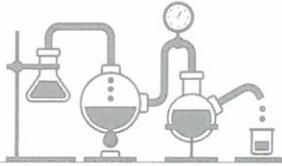
안전한 실험 수행은
모든 연구개발의 출발점입니다.

All research and development start
from performing safe experiment.

연구실 안전 표준 교재
화학·가스 안전



CONTENTS



들어가며

연구실 기본 안전 수칙

CHAPTER

1

화학 안전

- | | |
|----------------------|----|
| 1. 화학물질 정보의 이해 | 2 |
| 2. 유해 화학물질로부터의 보호 | 15 |
| 3. 안전 장비 및 시설 | 25 |
| 4. 화학물질 사고의 발생 및 예방책 | 35 |

CHAPTER

2

가스 안전

- | | |
|------------------|----|
| 1. 가스의 특성 및 분류 | 56 |
| 2. 가스 사고의 원인과 피해 | 61 |
| 3. 가스의 취급과 저장 | 65 |
| 4. 가스 사고 대응 요령 | 74 |

CHAPTER

3

화학·가스 안전 사고 사례

- 1. 화학 안전 사고 사례 80
- 2. 가스 안전 사고 사례 97

부록

- 부록 1. GHS/MSDS의 작성 항목 및 기재 사항 116
- 부록 2. GHS/MSDS의 실례 121

- 참고문헌 129





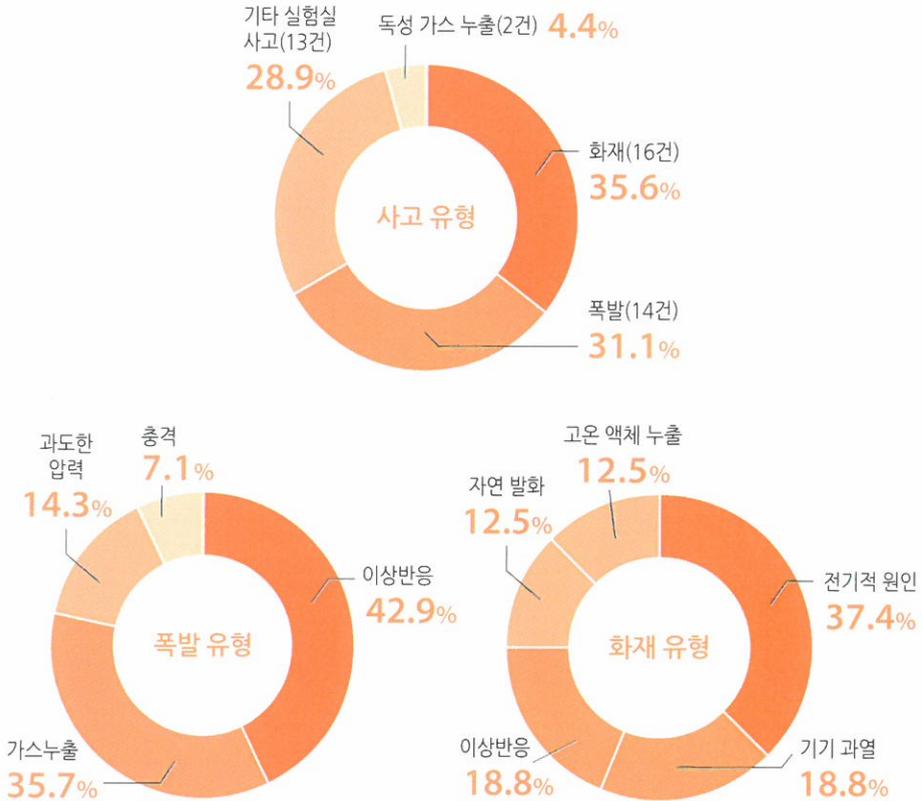
들어가며

‘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.

최근 과학기술 연구 개발 활동이 활발해짐에 따라 우리나라 연구 개발 인력은 약 115만 명에 이르며, 대학과 연구기관이 보유하고 있는 연구실 숫자만도 약 6만 3천여 개에 이르는 것으로 알려져 있다. 연구실에서는 연구 활동을 위하여 다양한 화학 약품 및 가스 물질을 실험에 사용하고 있으나, 사용 시 안전 수칙을 제대로 지키지 않아 이로 인한 피해 사고는 날로 증가하고 있는 실정이다. 2000~2010년 교육과학기술부와 한국엔지니어링협회가 국내 대학 및 연구기관을 대상으로 조사한 자료에 따르면, 연구실에서 발생하는 대부분의 안전사고는 화학물질 및 가스와 밀접한 연관이 있으며 가장 많은 실험실 사고 유형 역시 화재 및 폭발 사고(67%)로 나타났다. 해당 사고의 원인을 좀 더 자세히 살펴보면, 폭발의 경우 이상반응(43%)과 가스누출(36%) 등 화학물질 및 가스와 관련된 사고가 대부분을 차지하였고, 화재의 경우 전기적 원인(37%)에 뒤를 이어 기기 과열(18.8%) 이상반응(18.8%)이 주된 원인인 것으로 분석되었다.

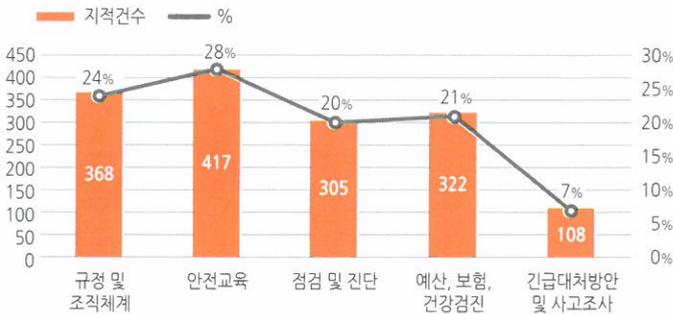
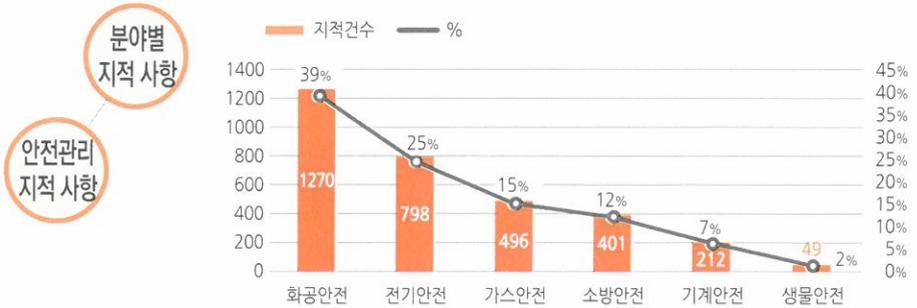
최근 미래창조과학부 발표에 따르면, 대학(원)생 및 연구원들을 대상으로 하는 안전 교육 실시 미흡이 매년 100여건씩 발생하고 있는 연구실 안전사고의 가장 큰 문제점(전체 지적사항의 28%)으로 손꼽히고 있다. 또한 211개 기관의 1,042개 연구실을 대상

연구실에서 발생하는 안전 사고의 유형



으로 화학, 전기, 소방, 생물, 가스 및 기계 안전 등 6개 분야 46개 항목에 대한 세부 안전 관리 현황을 점검한 결과, 화공안전 분야가 1,270건으로 전체 지적사항의 39%를 차지하였고, 전기안전 798건(25%), 가스안전 496건(15%), 소방안전 401건(12%), 기계안전 212건(7%), 그리고 생물안전은 49건(2%) 순으로 나타났다. 특히, 화학 안전 분야에서는 시약별 명칭 표시 미부착(22%, 231개 실험실), 물질별 안전보건정보(MSDS) 미비치(17%, 177개 실험실), 비상세척설비 미설치(17%, 179개 실험실), 흡 후드의 제어풍속

211개 기관, 1042개 연구실 대상 국내 연구실 안전 관리 현황



미흡(15%, 155개 실험실) 등으로 나타남으로써, 소량 다품종의 화학 물질을 취급하는 연구 실험실 특성상 취급 화학물질에 대한 체계적 관리가 필요한 것으로 평가되었다. 이와 더불어, 대학(원)생 및 연구원들을 대상으로 하는 안전교육 실시 미흡이 전체 지적 사항의 28%(417건)을 차지할 만큼, 매년 100여건씩 발생하고 있는 연구실 안전사고의 가장 큰 문제점으로 손꼽히고 있다.

화학 안전에서는 화학물질의 성질에 관한 다양한 정보를 얻을 수 있는 MSDS (Material Safety Data Sheet)를 비롯하여 화학물질 용기에 부착된 라벨(Label) 정보의 의미를 전달하고자 하였다. 또한 다양한 화학실험과 실험조작 과정에서 발생하는 사고의

연구실별 안전관리 현황

관리
상태



원인 분석과 예방법과 사고로부터 연구활동종사자를 보호할 수 있는 다양한 안전 장비 및 시설의 종류와 사용법 등을 구성하였다. 가스 안전에서는 가스 상태 물질을 활용 할 때 물질의 특성을 파악하고 저장, 사용, 이동시 고려할 사항에 대한 정보와 가스로 인한 실험 사고와 그 원인 및 예방책을 분석하였다. 안전관리부서 담당자는 물론 대학원생 및 연구원 등 연구활동종사자들이 활용할 수 있는 “화학·가스 안전” 교재를 통해 해당 분야의 기본 개념과 사고 사례를 전달함으로써, 화학·가스 사고로 인한 인명 및 재산 피해를 예방하고 연구 활동에 전념할 수 있는 안전한 연구 환경을 조성하고자 한다. 또한 화학·가스 분야의 전문 지식이 부족한 연구자들도 쉽게 접근하여 현장에서 곧바로 시행할 수 있도록, 연구실 화학·가스 분야의 실질적 지식과 실제 연구 현장의 다양한 사고사례를 중심으로 내용을 구성하였다.



연구실 기본 안전 수칙

○ 실험 · 실습 시 기본 안전 수칙

- 연구실에서 연구활동종사자가 부상당했을 시, 이를 즉시 연구실 안전관리자에게 보고한다.
- 항시 연구실 및 화학물질 저장 장소에서 적절한 규격의 보안경을 착용한다.
- 위험한 화학물질에 대한 노출을 최소화하기 위한 몸, 팔과 다리를 가릴 수 있는 적절한 실험복을 활용해야 하며, 발을 완전히 가릴 수 있는 신발을 착용한다.(하이힐, 발가락이 노출 되는 신발, 샌들, 끈으로 엮은 신발은 허용되지 않으며, 실험복을 세탁할 때는 개인 세탁물과 구별해야 한다.)
- 사용하는 화학물질의 물리화학적 성질과 위험성(예: 부식성, 인화성, 반응성, 독성 등)을 인식하고, 처음 다루거나 익숙하지 않은 위험한 화학물질을 다루기 전에는 반드시 라벨이나 GHS/MSDS를 먼저 숙지한다.
- 화학물질을 다루거나 저장하는 연구실에서는 장난을 치거나 음식을 먹거나 음료를 마시지 않으며, 흡연은 절대 금한다.
- 위험 물질을 다룰 시 안전관리자의 승인 없이 실험을 시행하지 않는다.
- 적합한 승인 없이 연구실로부터 화학물질 또는 장비를 치우지 않는다.
- 연구실에서 2인 이상일 경우에만 실험을 시행하고, 불가피하게 혼자 실험하게 될 경우 미리 동료나 연구실 안전관리자에게 알리도록 한다.
- 연구실을 떠나기 직전 혹은 실험실용 장갑을 사용한 후 얼굴과 손, 팔은 비누로 세척한다.

연구실 기본 안전 수칙

○ 화학물질의 취급 시 안전 수칙

- 분리 보관

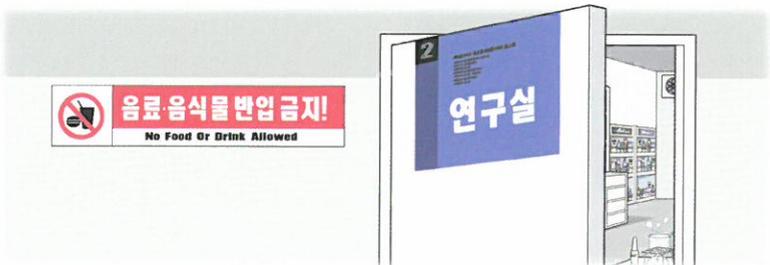
화학물질은 적절한 장소에 보관해야 하며, 유해화학물질 관리법에서 독극물로 분류된 물질은 다른 시약과 별도로 잠금장치가 되어있는 보관함에 보관한다. 또한 종류가 다른 유독물이나 화학물질을 같은 보관시설 안에 보관하는 경우에는 칸막이나 바닥의 구획선 등으로 구분하되, 서로 적절한 간격을 두어 보관한다.

- 밀봉 저장

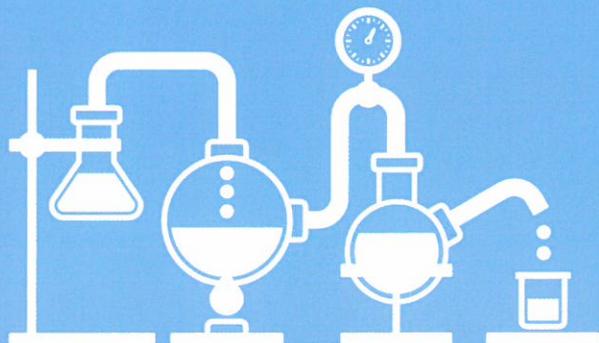
보관 및 저장시설 내에서 화학물질이 누출, 혼합되어 위해성이 증가할 우려가 있는 경우에는 함께 보관하거나 저장하지 않는다. 사용한 시약의 모든 뚜껑은 확실히 밀봉해 누출되지 않도록 한다. 특히 강산성 용액은 공기 중의 수분과 반응해 치명적인 증기를 생성하므로 사용하지 않을 때에는 용기를 닫아 보관한다.

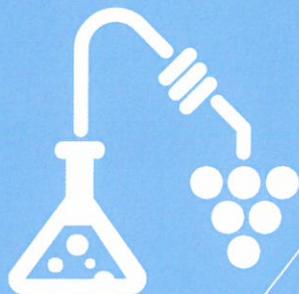
- 관리와 책임

화학물질의 관리는 관리 책임자 및 담당자를 지정해 안전 사고에 대비한다. 시약 보관함은 시약마다 식별 표시를 해서 관리하며, 입고하거나 사용할 때 시약관리대장에 기록·관리한다. 관리담당자는 저장 보관시설 내 유해화학물질의 사용량을 정확히 파악해 재고량과 대장에 기록된 잔여 량이 일치하도록 한다.



연구실 안전 표준 교재
화학 · 가스 안전





CHAPTER

1

화학 안전

1. 화학물질 정보의 이해
2. 유해 화학물질로부터의 보호
3. 안전 장비 및 시설
4. 화학물질 사고의 발생 및 예방책



CHAPTER

Safety for Chemistry & Gas

1

화학 안전



화학 물질을 취급하는 연구 실험실에서는 다양한 특성을 가진 화학물질에 대한 정확한 이해와 체계적인 관리가 필수적이다. 화학 실험에 사용하는 다양한 기구 및 장비별로 예상되는 사고 원인 및 예방법과 안전 사고에의 대응 방법을 알아본다.

1. 화학물질 정보의 이해

(1) GHS/MSDS

① 물질안전보건자료(MSDS)

‘물질안전보건자료(MSDS, Material Safety Data Sheet)’란 화학물질에 대하여 유해 위험성, 응급조치요령, 취급방법 등 16가지 항목에 대해 상세히 설명해주는 자료를 말한다. 때때로 CSDS(Chemical Safety Data Sheet)라고도 한다. 「산업안전보건법」 제41조의 규정에 의하여 화학물질을 제조, 수입, 사용, 저장, 운반하고자 하는 자는 MSDS를 작성, 비치 또는 게시하고, 화학물질을 양도 또는 제공하는 자는 MSDS를 함께 제공토록 하고 있다. MSDS 자료는 특히 화학, 생물 계통의 연구실을 가진 학교, 연구소 등에서 화학물질을 취급할 때, 기본적인 정보로서 유용하게 활용되어 왔다. 하지만 국가 혹은 기업체별로 화학물질의 분류나 유해성 등에 관한 내용, 특히

유해·위험물의 분류와 경고표지 등이 서로 상이하여 연구활동종사자에게 필요한 정보를 정확하게 제공하는데 어려움이 있었다. 따라서 기존의 MSDS의 이러한 문제 점을 해결할 수 있는 통합적인 데이터 구축의 필요성이 제기되어왔다.

② GHS 시스템

1989년 국제노동기구(ILO, International Labour Organization)에서는 모든 국가가 공동으로 이해하고 사용할 수 있는 화학물질의 분류·표지 및 유해·위험성 정보의 내용을 통일하는데 필요한 분류 및 표지 체계 도입을 결의하였다. 2002년에는 국제환경정상회의에서 이러한 시스템의 조속한 도입을 결의하였으며 이후 UN은 모든 국가가 공동으로 이해하고 사용할 수 있는 ‘화학물질 분류 및 표지 등에 관한 세계 조화시스템(GHS, Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)’을 마련하고 세계 모든 국가에 2008년까지 이 제도의 도입 및 시행을 권고하였다.

기존 MSDS는 미국 노동성 산하 노동안전위생국(OSHA, Occupational Safety & Health Administration)에서 처음 만든 것으로, CAS(Cheical Abstract Service) 등록 번호와 함께 눈, 피부, 흡입 시, 혹은 섭취 시 급성 영향이나 장기간 노출에 의한 만성 징후와 증상에 대한 유해·위험성을 나타낸다. 반면에 GHS 시스템에서는 통일된 방법에 의해 화학물질의 유해·위험성을 물리적 위험성 16개 분야, 인체 유해성 10개 분야 및 환경 유해성 2개 분야 등 모두 28가지로 상세히 분류하고 그림문자와 신호어를 사용하여 신속히 유해·위험성을 판단할 수 있도록 해준다. 또한 예방, 대응, 저장, 폐기 시의 필요한 조치 등에 대해서는 지정된 문구를 활용하도록 제시하고 있다. 따라서 GHS시스템을 도입하여 작성된 MSDS는 어느 국가의 언어로 번역하더라도 전 세계적으로 통일된 분류기준과 유해·위험 정보를 갖고 있다. 따라서 GHS/MSDS는 연구활동종사자가 보다 더 쉽고 명확하게 화학물질의 특성을 이해하고 관리하는데 큰 도움이 되는 지침이라고 할 수 있다.

③ GHS/MSDS의 내용 구성

GHS/MSDS의 내용 구성은 다음과 같으며 이전에 사용해 오던 MSDS와 항목 수나 내용 면에서 유사하다.

- 화학제품과 회사에 관한 정보(Identification)
- 유해 · 위험성(Hazard identification)
- 구성 성분의 명칭 및 함유량(Composition/Information on ingredients)
- 응급 조치요령(First aid measures)
- 폭발 · 화재 시 조치요령(Fire-fighting measures)
- 누출 사고 시 대처 방법(Accident release measures)
- 취급 및 저장방법(Handling and storage)
- 노출 방지 및 개인 보호구(Exposure control/Personal protection)
- 물리 화학적 특성(Physical and chemical information)
- 안정성 및 반응성(Stability and reactivity)
- 독성에 관한 정보>Toxicological information)
- 환경에 미치는 영향(Ecological information)
- 폐기 시 주의사항(Disposal consideration)
- 운송에 필요한 정보(Transport information)
- 법적 규제현황(Regulatory information)
- 기타 참고 사항(Other information)

영업비밀로서 보호가 필요하다고 인정되는 경우 성분과 함유량을 기재하지 않을 수 있으나 안전 및 보건 상의 취급 주의가 필요한 경우 유해 · 위험성의 분류 정보와 함께 인체 및 환경에 미치는 영향, 물리화학적 특성, 폭발 · 화재 시의 대처요령이나 응급 조치 요령 등은 GHS/MSDS에 표기하여야 한다.

④ GHS/MSDS의 유해 위험성 분류와 정보

다만 달라진 것은 MSDS 구성 정보의 내용에서 UN이 제시한 '화학물질의 분류 및 표지에 대한 국제조화시스템'의 기준에 따라 기존 2항으로 분류되었던 구성 성분 정보를 3항으로 분류하여 유해·위험성 정보를 상세히 기재하도록 요구하고 있다. 이에 대하여 환경부는 기존 유해화학물질관리법에서 분류했던 16가지 유해성 분류를 UN의 GHS 시스템에 준하여 28가지로 세분화하였다. 고용노동부 또한 산업안전보건법 및 고시에서 건강 유해성을 10가지에서 11가지로 분류하고, 환경 유해성을 2가지에서 1가지로 내용을 개정하여 총 28가지의 유해·위험성으로 분류하고 있다. 경고표지의 기재항목 및 기재방법은 대체로 UN의 GHS 시스템에서 제시하는 내용과 같다.

유해·위험성 정보에는 제품명, 그림문자, 신호어, 유해문구, 예방조치 및 공급자, 긴급연락처 등의 정보를 표기하도록 하고 있다. 혼합물질인 경우 함유량의 범위를 기술해야 하며 가장 함유량이 많은 화학물질을 기준으로 분류하는 것이 원칙이다. 다만 유해·위험성이 가장 높은 화학물질이 존재하는 경우 이에 대한 주의 표시를 부기하는 것이 필요하다.

⑤ GHS/MSDS 시행 시기

단일물질에 대하여 GHS/MSDS 작성이 2010년 7월 1일부터 시행되고 있으며 혼합물질에 대하여 2013년 7월 1일부터 시행되고 있다. 다만 유독물에 관해서는 환경부 유해화학물질관리법에 따른 경고표지를 경과규정으로 인정하고 있으나 그 이외의 MSDS는 GHS에 따른 MSDS로 모두 변경하여 시행하고 있다. 또한 위험물에 대하여 산업안전보건법에 따른 경고표지를 한 경우에는 위험물 안전 관리법에 따른 경고표지를 한 것으로 인정하고 있다.

⑥ GHS/MSDS 자료 제공

고용노동부 산하 한국산업안전보건공단(KOSHA)에서는 1996년부터 5만여 종의 화학물질에 대한 물질안전보건자료(MSDS)와 함께 2008년부터 구축한 1만여 종의 GHS 시스템에 따른 GHS/MSDS를 제공하고 있다. 다만 GHS/MSDS의 작성책임과 명칭은 제품의 공급자(제품을 해외로부터 수입하는 경우 수입업자)이므로 한국산업 안전보건공단의 자료를 인용하는 경우에는 내용의 적정성을 반드시 확인하여야 한다.

⑦ GHS/MSDS의 작성 언어

GHS/MSDS 작성 시, 모든 사항을 한글로 기재하는 것을 원칙으로 하나, 화학물질 명이나 외국기관명 등의 고유명사는 영문 표기를 인정하고 있으며, 시험·연구목적 으로 사용하는 시약으로서 실험실에 공급되는 화학물질 또한 영문으로 작성된 GHS/MSDS를 인정하고 있다.

⑧ GHS/MSDS의 작성 항목 및 기재 사항

다음은 고용노동부에서 고시한 제2013-37호 제10조 제1항에 따라 GHS/MSDS를 작성 시, 기재되는 사항을 기술하였다. 이를 기준으로 작성된 벤젠의 실제 MSDS를 실례는 부록을 참고할 수 있다.



⑨ GHS/MSDS 정보 검색의 실례

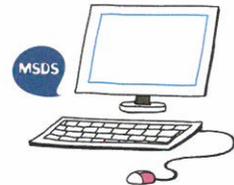


산업안전보건공단(KOSHA)에서는 GHS/MSDS 작성을 위한 프로그램을 운영하고 있다. 제조·공급자가 아닌 일반 사용자인 경우에도 필요한 화학물질의 일반적인 MSDS 정보를 다음의 웹사이트에서 쉽게 검색할 수 있다.



MSDS 정보 웹사이트

- ▣ 산업안전보건공단 정보마당: msds.kosha.or.kr/
- ▣ MSDS 포털 사이트: ilpi.com/msds/index.html
- ▣ MSDS 솔루션 센터: www.msds.com/



실례로, 산업안전보건공단에서 '아세트산'을 검색했을 때 얻을 수 있는 MSDS의 요약 정보는 다음과 같다.

MSDS 요약정보

물질명	아세트산
------------	-------------

1. 일반정보

CAS No.: 64-19-7	KE No.: KE-00013
물질분류: 액체	분자량: 60.05
끓는점: 118 ℃	녹는점: 17 ℃
인화점: 39 ℃	
주요용도: 자료없음	

2. 물질정보

물질명	CAS_No.	용유량(%)
아세트산	64-19-7	100%

3. 그림문자

4. 유해위험 문구

인화성 액체 및 증기
급속물 부식시킬 수 있음
피부에 접촉하면 유해함
피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
눈에 심한 손상을 일으킴
흡입시 알레르기성 반응, 천식 또는 호흡 곤란을 일으킬 수 있음
산체 중 (...)에 손상을 일으킴
신체 중 (...)에 손상을 일으킬 수 있음

5. 응급조치요령

눈에 들어갔을 때	긴급 의료조치를 받으시오 눈에 묻으면 몇 분간 물로 조심해서 씻으시오. 가능하면 콘택트렌즈를 제거하시오. 계속 씻으시오.
피부에 접촉했을 때	피부(또는 머리카락)에 묻으면 오염된 모든 의복은 벗거나 제거하시오. 피부를 물로 씻으시오/사워하시오. 다시 사용전 오염된 의복은 세탁하시오. 오염된 옷과 신발을 제거하고 오염지역을 격리하시오 화상의 경우 즉시 찬물로 가능한 오래 해당 부위를 식히고, 피부에 들러붙은 것은 제거하지 마시오
흡입했을 때	흡입하여 호흡이 어려워지면 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고 호흡하기 쉬운 자세로 안정을 취하시오. 즉시 의료기관(의사)의 진찰을 받으시오.
먹었을 때	삼켰다면 입을 씻어내시오. 토하게 하려 하지 마시오. 물질을 먹거나 흡입하였을 경우 구강내구강법으로 인공호흡을 하지 말고 적절한 호흡 의료장비를 이용하시오

6. 저장방법

급속부식성 물질이므로 (제조자 또는 행정관청에서 정한) 내부식성 용기에 보관하시오.
빈 드럼통은 완전히 배수하고 적절히 막아 즉시 도청 조절기에 되돌려 놓거나 적절히 배치하시오.
열·스파크·화염·고열로부터 멀리하시오 - 금연
병기를 단단히 밀폐하시오.
연결의 용기에만 보관하시오.
음식과 혼수로로부터 멀리하시오.
잠금장치가 있는 저장장소에 저장하시오.
피해이할 물질 및 조건에 유의하시오
원기가 잘 되는 곳에 보관하고, 차온으로 유지하시오.

7. 피해야 할 조건 및 물질

피해야 할 조건 열·스파크·화염·고열로부터 멀리하시오 - 금연
피해야 할 물질 자료없음

8. 누출 및 폭발·화재 사고시 대처방법

(분진·흙·가스·미스트·증기·스프레이)의 흡입을 피하시오.
노출을 방지하거나 걸어나가지 마시오
들어갈 필요가 없거나 보호장비를 갖추지 않은 사람은 출입하지 마시오.
예우 미세한 입자는 화재나 폭발을 일으킬 수 있으므로 모든 정화원을 제거하시오.
모든 정화원을 제거하시오
물질 취급시 모든 장비를 반드시 점검하시오
얼려진 것을 즉시 녹여내고, 보호구 등의 예방조치를 따르시오.
오염 지역을 격리하시오.
위험하지 않다면 누출을 멈추시오
중기발생을 줄이기 위해 중기억제포말을 사용 할 수 있음
피해이할 물질 및 조건에 유의하시오
화재가 없는 누출시 전연보조용 중기 보호의를 착용하시오

9. 법적 규제현황

노출기준	자료없음
폭수간격진단주기	자료없음
직업환경측정주기	6개월
산업안전 보건법	작업환경측정대상물질 관리대상유해물질
유해화학물질관리법에 의한 규제	자료없음
위험물안전관리법에 의한 규제	4류 제2석유류(수용성액체)

10. 취급시 주의사항

개인보호구 착용 배기설비 가동 / 용기 밀폐 금연 화기엄기

밀폐공간에서는 공기급급식 승가 마스크 착용
면 마스크, 일반방진 방독 마스크 착용 금지

기타, 중독사례

• UN 2789(ACETIC ACID, GLACIAL or ACETIC ACID SOLUTION, more than 80% acid, by mass), 2790(ACETIC ACID SOLUTION, not less than 50% but not more than 80% acid, by mass), 2790(ACETIC ACID SOLUTION, more than 10% and less than 50% acid, by mass)

그림 1-1 아세트산에 관한 MSDS 실제 요약 정보

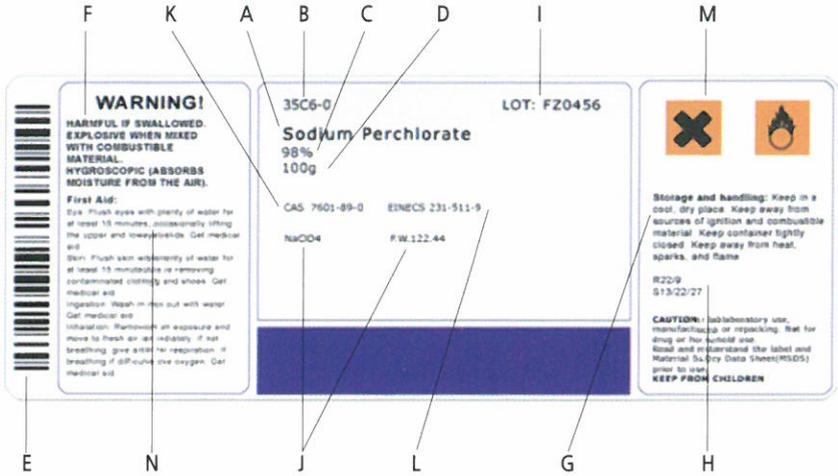
(2) 라벨(Label)

라벨 부착은 화학물질의 안전관리에 있어서 필수적인 작업이다. 라벨 부착을 통해 화학물질의 잘못된 사용을 방지하고, 혼합 또는 함께 보관해서는 안 되는 화학물질을 올바르게 보관할 수 있다. 또한 올바른 라벨의 부착은 쏟음, 폭발 등의 사고 발생 시 빠르게 대처 할 수 있도록 도움을 주고, 화학물질의 폐기와 관련된 비용도 절약할 수 있게 한다. 따라서 라벨에는 다음의 사항이 반드시 기재되어 있어야 한다.

- 용기 내용물의 화학물질명
- 화학물질의 상대적인 위험 정도에 따른 위험, 경고, 주의 표지
- 사용 시 예측 되는 주요 유해 · 위험성
- 해당 위험으로부터 사용자를 보호하기 위한 장비
- 의학적 도움을 받기 전, 더 심각한 부상을 방지하고 완화하기 위한 응급조치 요령
- 화재 및 비상 시 지침 사항
- 쏟음 또는 누출 시 해결법
- 해당 물질에 대한 특별한 주의나 보관에 관련된 지침 사항
- 제조사나 공급자의 이름과 연락처, 소재지

일회용 용기를 제외하고, 모든 화학물질의 용기는 내용물의 정보를 충분히 제공하는 라벨이 부착되어 있어야 한다. 용기에 부착된 라벨은 어떠한 식으로든 손상이 되지 않도록 하며, 새로이 수령한 물질의 용기는 라벨이 적절하게 배치되어 있는지 확인해야 한다. 또한 라벨의 정보에 추가적으로 수령 날짜, 개봉 일, 책임자를 표기하여, 사용 기한 및 폐기 여부를 결정하는데 도움이 될 수 있도록 한다. 특수한 목적을 위해 합성된 화학 물질에 대해서는 용기에 반드시 식별 명, 일자, 위험성 정보가 기재되어 있어야 한다.

다음의 예시는 '과염소산나트륨'의 라벨이다. MSDS를 찾기 어려운 경우에는 화학 물질의 용기에 부착된 라벨로부터 중요한 물성과 독성, 응급처치 등 시급한 정보를 얻을 수 있다.



- A. 물품명
- B. 카탈로그 번호
- C. 순도
- D. 용량(무게/부피)
- E. 제품 바코드
- F. 위험성
- G. 저장 및 취급 사항
- H. 위해 및 안전성 코드
- I. 로트 번호
- J. 화학식과 화학식량
- K. CAS 번호
- L. EINECS 번호
- M. 위험성 그림표시
- N. 응급 처치 방법

그림 1-2 과염소산나트륨에 관한 실제 라벨 정보

(3) 위험등급표시

위험등급표시는 화학물질의 위험 정도를 한 눈에 식별할 수 있게 하여 응급 상황 시 연 구활동종사자가 위험 물질에 대해 신속히 대응 할 수 있도록 한다. 따라서 안전 사고 예방 을 위해 필요한 장비와 응급 상황 발생 시 처리 절차 및 대책을 결정하는 데 도움을 준다.

① 미국화재방재청 기호체계 시스템(NFPA 704 System, NFPA Diamond)

화학물질의 유해 · 위험성을 나타내는 지표의 하나로 그간 미국화재방재청 (NFPA, National Fire Protection Association)에서 각 화학물질별로 건강 유해성,

화재 위험성 및 안정성 혹은 다른 물질과의 반응성을 0~4의 다섯 단계로 분류한 지표를 널리 사용하여 왔다. 현재 NFPA 704 시스템은 2012년 개정된 시스템을 사용 중이며, 2017년 다음 시스템이 새롭게 적용될 예정이다.

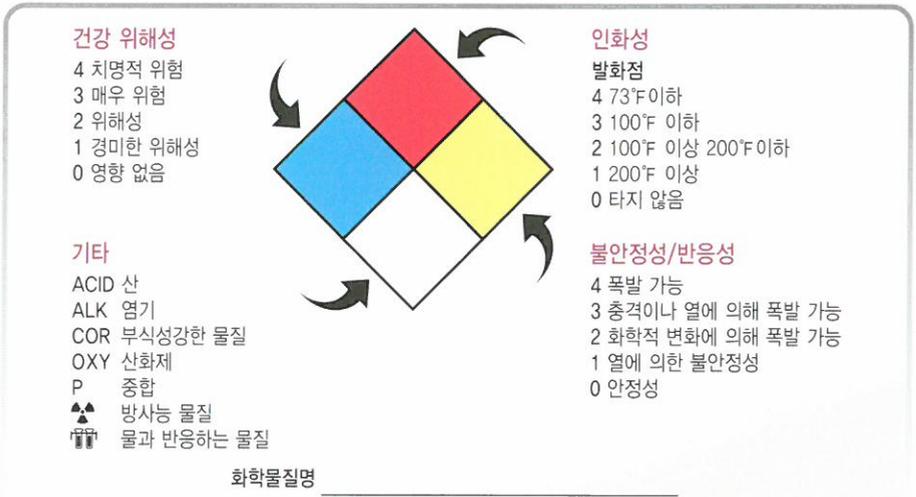
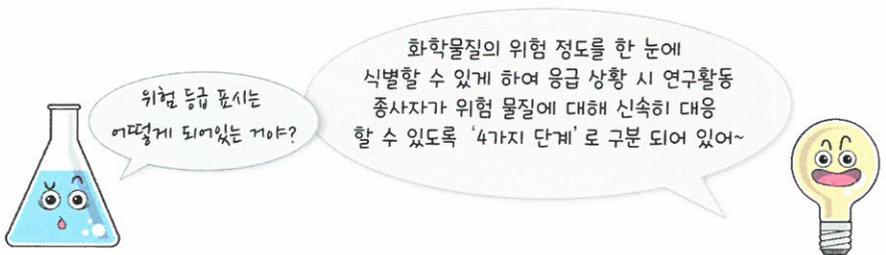


그림 1-3 미국화재방재청 기호체계 시스템

이 4개의 기호체계는 일반적으로 청색은 '건강에 유해한 정도', 적색은 '인화성', 황색은 '(화학적) 반응성', 백색은 '기타 위험'에 대한 정보를 알리는 코드를 의미한다. 각 분야는 0(위험하지 않음)에서 4(매우 위험)의 4가지 단계로 구분된다.



청색 - 건강 관련 정보

- 4 매우 짧은 신체적 노출로도 사망 혹은 심각한 부상을 야기할 수 있는 물질(예: 시안화수소)
- 3 매우 짧은 신체적 노출로도 일시적 혹은 만성적 부상을 야기할 수 있는 물질(예: 기체상 태의 염소)
- 2 만성적 접촉이 아닌 지속적/일반적 접촉으로 일시적 장애 혹은 부상을 유발할 수 있는 물질(예: 클로로포름)
- 1 노출 시 경미한 부상을 유발할 수 있는 물질(예: 송진/테레빈유)
- 0 건강상 위협이 되지 않으며, 특별한 주의가 필요하지 않은 물질(예: 라놀린)

적색 - 인화성

- 4 정상적인 대기 환경에서도 즉시 혹은 완전히 증발하거나, 공기 중에 확산되어 불타는 발화점 섭씨 23도 아래의 물질(예: 프로판 가스)
- 3 일반적인 대기환경에서 연소할 수 있는 액체/고체류 중 발화점 23도 이상 38도 이하인 물질(예: 가솔린)
- 2 발화가 일어나려면 상대적으로 더운 환경에 위치하거나 지속적으로 가열되어야 하는 물질로, 발화점 섭씨 38도 이상 93도 이하의 물질(예: 경유)
- 1 충분히 가열되었을 경우 발화하며 발화점이 섭씨 93도 이상인 물질(예: 공기름)
- 0 타지 않는 물질(예: 물)

황색 - 불안정성/반응성

- 4 일반적인 대기 환경(기온/기압)에서도 폭발할 수 있는 물질(예: 니트로글리세린, RDX)
- 3 반응에 직접적인 원인이 필요한 물질이나 충분한 가열과 큰 충격이 주어질 시 폭발하는 물질 혹은 물과의 반응성이 높은 물질(예: 불소)
- 2 기온/기압 상승 시 화학적 변화를 수반할 수 있고, 물과 쉽게 반응하거나, 물과 혼합 시 폭발할 가능성이 있는 물질(예: 나트륨)
- 1 일반적인 대기 환경(기온/기압)에서는 안정적이나, 기온/기압 상승 시 불안정해질 수 있는 물질(예: 아세틸렌)
- 0 화기에 노출되어도 일반적으로 안정적이며, 물과 반응하지 않는 물질(예: 헬륨)

○ 백색 - 기타

W 물과 반응할 수 있으며, 반응 시 심각한 위험을 수반할 수 있는 물질
(예: 세슘, 나트륨)

OX or OXY 산화제(예: 질산 암모늄)

COR 부식성 강한 산성/염기성의 물질 구체적으로 ACID(산성) 혹은
ALK(염기성)로 표기할 수 있음(예: 수산화나트륨)

BIO 생물학적 위험(예: 천연두 바이러스)

POI 독성(예: 뱀독)

방사능 표시(☢) 방사능 물질(예: 우라늄, 플루토늄)

CRY or CRYO 극저온 물질

※ 아세톤과 벤젠에 대한 NFPA 표지의 예를 들면 다음과 같다.

Acetone

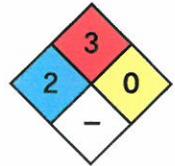
Colorless, highly volatile liquid; sweet odor, Irritating. Also causes: muscle weakness, mental confusion, coma (high concentrations). Ingestion: GI irritation, kidney and liver damage, metabolic changes, coma. Chronic: dermatitis. Highly flammable.



CAS No. 67-64-1

Benzene

Colorless liquid; sweet odor. Irritating to eyes/skin/ respiratory tract. Toxic. Also causes: headache, dizziness, drowsiness. Absorbed through the skin. Chronic: dermatitis, leukemia, bone marrow damage. Carcinogen, Reproductive effects. Flammable.



CAS No. 71-43-2

② 위험물 식별 체계(HMIS, Hazardous Materials Identification System)

위험물 식별 체계(이하 HMIS)는 눈으로 쉽게 제품에 대한 정보를 전달하는 방법으로 미국산업안전보건청(OSHA)규정을 준수하기 위해 미국코팅협회(ACA)에 의해 개발되었다. HMIS의 색상 표기는 NFPA 704 System과 유사하다.

HMIS Label Example



PERSONAL PROTECTION INDEX

A	G
B	H
C	I
D	J
E	K
F	X Consult your supervisor or S.O.P. for "SPECIAL" handling directions

A 보안경	n 광학고글	o 보안면 & 보안경	p 장갑	q 장화	r 보호복	s 일체형 보호복
t 방진마스크	u 방독마스크	w 방진 & 방독마스크	y 전면 방독마스크	z 에어라인 후드/마스크		

그림 1-4 HIMS 표기 시스템 예

각 분야는 0(위험하지 않음)에서 4(매우 위험)의 5가지 단계로 구분되며, 청색은 '건강에 유해한 정도', 적색은 '인화성'을 나타낸다. 그러나 '(화학적) 반응성' 나타내는 황색은 2002년 4월 이후 NFPA 704 System 표기와 다르게 주황색으로 교체하고 그 표지를 '신체적 위험성'으로 변경하였다. 또한 백색은 취급 시 필요한 '개인보호구'에 대한 정보를 알리는 코드 기입할 수 있도록 하여 작업자 개인의 신체적 보호에 더 초점을 맞추고 있다.

- 청색 - 건강 관련 정보(NFPA 704 System과 동일)
- 적색 - 인화성(NFPA 704 System과 동일)
- 주황색 - 신체적 위험성(NFPA 704 System의 황색 표지 '불안정성/반응성'과 동일)
- 백색 - 개인 보호

2. 유해 화학물질로부터의 보호

(1) 일반적인 유해 화학물질로부터의 보호 방법

화학물질은 종류에 따라 위험성이 다양하고 위험의 크기에도 상당한 차이가 있다. 따라서 인체에 유해한 화학물질을 파악하고 이로 인한 피해를 최소화 하는 방향으로 연구를 진행해야한다. 연구실에서는 인체로 유입되는 유해 화학물질의 양을 최소화할 수 있도록 하여 유해 화학물질로부터 연구활동종사자를 보호해야하며 일반적으로 다음과 같은 수칙을 따른다.

① 실험 공정의 변화

건강에 유해한 유해 화학물질의 배출이 많은 공정에 배출이 적은 공정 또는 무해한 화학물질을 사용하여 유해 화학물질이 배출되지 않는 공정으로 교체한다.

② 연구활동종사자의 격리

유해 화학물질 배출이 없도록 하는 것이 불가능하면 철저한 안전장치 및 개인 보호구를 갖추어 진행하되 다른 연구활동종사자를 보호하기 위하여 격리된 장소에서 실시한다.

③ 유해 물질의 배기

유해화학물질의 영향을 최소로 하기 위하여 배출된 유해화학물질을 최대한 연구실 범위에서 제거한다.

④ 개인 보호구 착용

유해화학물질이 연구활동종사자의 인체에 침투하지 않도록 다양한 개인 보호구를 착용한다.

⑤ 덜 유해한 화학물질로의 대체

연구에 사용하는 유해화학물질의 양을 최소화하거나 또는 대체가 가능하면 덜 유해한 화학물질로 대체한다.

⑥ 행정적 관리

연구활동종사자에게 유해화학물질의 노출을 최소화하기 위하여 건강에 해가 되지 않을 정도의 적정 시간만 교대로 작업하거나 작업 후 충분한 휴식을 취하도록 하며, 연구실에 주기적인 유해화학물질 농도 측정 및 저장 수량의 제한 등을 시행한다.

⑦ 의학적 모니터링 제공

주기적인 건강검진 등을 통하여 연구활동종사자의 건강 유해성을 지속적으로 모니터링하여 관리한다.

⑧ 교육과 안전 작업 지침서 제공

유해화학물질을 다루는 주의사항 및 개인 보호구 사용 방법, 누출 시 대응 방법 등을 지속적으로 교육하고 안전하게 작업할 수 있는 지침 내에서만 작업이 가능하게 훈련한다.

⑨ 연구실 정리 및 청소

유해 화학물질의 노출이 최소화되도록 연구실을 청소하고 정리한다.

(2) 개인 보호구

유해 화학물질의 인체 내 유입량을 최소화하기 위해 유해 화학물질의 유입 경로를 분석하고, 이를 차단할 수 있는 적절한 개인 보호구를 활용하는 것이 효율적이다. 인체로 유입되는 주된 경로로는 호흡기를 통한 흡입, 눈 또는 피부의 접촉, 구강을 통한 섭취 등이 있으며 드물게 주사 등을 통해 유입될 수 있다. 따라서 개인 보호구는 유해한 화학물질의 유입 경로를 효과적으로 차단할 수 있는 재질과 기능을 가져야 한다.

① 호흡을 통한 유입 보호

a. 호흡 보호구의 종류

호흡 보호구는 크게 '공기 정화식'과 '공기 공급식' 호흡 보호구로 구분할 수 있다. '공기 정화식'은 오염공기가 여과재 또는 정화통을 통과한 뒤 호흡기로 흡입되기 전에 오염물질을 제거하는 방식이고, '공기 공급식'은 공기 공급관, 공기 호스 또는 자급식 공기원을 가진 호흡용 보호구로부터 유해 공기를 분리하여 신선한 호흡용 공기만을 공급하는 방식이다.

표 1-1 호흡용 보호구의 종류 및 형태에 따른 분류

분류 종류	공기정화식*		공기공급식	
	비전동식	전동식	송기식	자급식
안면부 등의 형태	전면형 반면형 1/4형	전면형 반면형	전면형 반면형 페이스실드 후드	전면형
보호구명	방진마스크 방독마스크 겸용마스크 (방진방독)	전동팬부착 방진마스크 방독마스크 겸용마스크 (방진방독)	송기마스크 호스마스크	공기호흡기 (개방식) 산소호흡기 (폐쇄식)

* : 공기정화식에는 안면부 여과식 방진마스크 포함

• 공기 정화식

공기 정화식 호흡 보호구의 경우, 호흡을 위한 방식에 따라 비전동식과 전동식으로 구분된다. 수동식의 경우, 가격이 저렴하여 방진마스크 및 방독마스크의 대다수를 차지하고 있지만, 착용성이 불편하며 폐력을 이용하기 때문에 호흡이 힘든 단점을 가지고 있다. 이에 반해 전동식은 가격이 비싸지만, 착용감이 좋고 수동식보다 높은 농도의 오염공기 상태에서도 사용 가능하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 산소 농도가 18% 미만이거나 '유해비'가 높은 경우에는 공기 정화식 대신 공기 공급식 호흡 보호구를 사용해야 한다.



- 호흡 보호구를 결정하기 위해서는 오염물질의 정성적·정량적 파악이 필요하다. 유해 화학물질의 물리·화학적 성질과 오염물질의 농도에 따라 적절한 보호구를 결정하도록 한다. 오염물질의 농도를 알기 위해서는 '작업환경측정'을 실시하고, 공기 중 유해비를 계산한다.

$$\text{유해비} = \frac{\text{현재 농도}}{\text{호용 농도}}$$

- 유해비가 높을수록 공학적인 관리와 적절한 호흡 보호구의 선택으로 연구활동중사의 안전을 보장할 수 있도록 해야 한다.



작업환경측정법

- ▣ 개인시료 포집(근로자가 호흡기 위치에 측정기기를 착용하고 측정)이 원칙이다.
 - 개인시료 포집이 불가능할 경우에는 지역시료 포집방법(측정기기를 일정한 지역에 고정시켜 측정)으로 실시한다.
- ▣ 1일 작업시간 동안 6시간 이상 연속 측정하거나 작업시간을 동 간격으로 나누어 6시간 이상 연속 분리하여 측정한다.
 - 6시간 미만 측정이 가능한 경우: 유해물질 발생 시간이 6시간 이내 또는 간헐적 작업인 경우, 단 시간 노출기준이 설정된 물질로서 단시간 고농도에 노출될 경우



그림 1-5 수동식 및 전동 공기 정화식 호흡 보호구의 장점 및 단점

• 공기 공급식

공기 공급식 호흡 보호구는 산소 농도가 18% 미만인 곳이나 유해물질 농도와 독성이 매우 높은 곳에서 사용한다. 또한 연구활동종사자가 한랭 또는 고온 작업 시 개인적으로 공기를 조절할 필요가 있는 경우에 사용 가능하며 산소 농도가 충분하지 못하거나 유해물질의 종류와 농도를 모르는 작업장에서는 특별한 전면형 자급식 호흡 보호구를 착용해야 한다.



그림 1-6 다양한 호흡보호구의 예

b. 호흡 보호구의 선택

적절한 보호구의 선택에 호흡 보호구의 효율을 숙지하는 것은 도움이 된다. 효율은 종류별로 상이하며 다음의 괄호 안 숫자는 호흡 보호구의 대체적인 상대적 효율을 나타낸다.

- 음압식: 반면형(10), 전면형(100)
- 양압식: 느슨한 면체(25), 반면형(50), 전면형(1000), 헬멧/후드(1000)

이러한 유형은 간단하고 단순하지만 용도에 맞게 검증된 호흡 보호구는 상당히 실용적이고 효과적이므로 착용 전 해당 보호구가 갖는 효율을 고려하여 선택하도록 한다. 호흡 보호기 종류별 선정 기준을 살펴보았다.

- 방진마스크
 - 분진 포집 효율이 높고 흡·배기 저항은 낮은 것
 - 안면 밀착성이 좋아 기밀이 잘 유지되는 것
 - 호흡에 의해 마스크 내부에 습기가 발생하지 않는 것을 선정
- 방독마스크
 - 대상 유해물질을 제독할 수 있는 정화통을 선택
 - 정화통에 표기된 파과시간이 긴 것을 선정
- 송기마스크
 - 인근에 오염된 공기가 있는 경우 폐력 흡인형이나 수동형은 부적합
 - 화재폭발의 우려가 있는 지역에서는 전기기기 방폭형을 선정

c. 호흡 보호구의 착용

여과식 호흡 보호구의 경우 착용법이 올바르지 않은 경우 누설율이 10배 이상이므로 정상 착용법을 잘 숙지하고 따라야 한다.

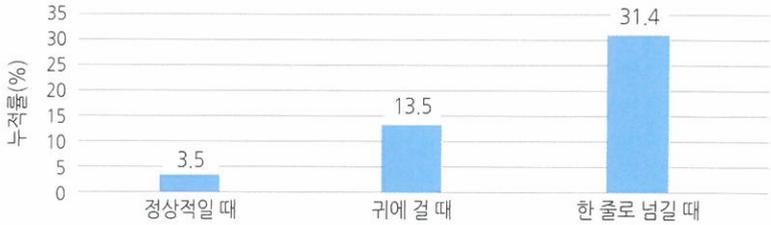


그림 1-7 여과식 호흡 보호구의 경우 착용법에 따른 누설율의 차이

연구실에서 가장 흔히 쓰이는 호흡 보호구는 크게 접이형과 컵형 마스크로 나뉘며, 다음 착용법을 숙지하여 사용한다.

· 접이형 마스크



1 양손으로 날개를 펼친 후 양쪽 날개 끝을 잡고 오므려 주세요.



2 고정심이 내장된 부분을 위로 하여 잡고 턱 쪽에서 시작하여 코 쪽으로 코와 입을 완전히 가리도록 착용하세요.



3 머리끈을 귀에 걸어 위치를 고정 시키거나, 끈을 머리 뒤쪽으로 하여 연결고리에 양쪽 끝을 걸어 주세요.



4 양 손의 손가락으로 코편 부분이 코에 밀착되도록 클립을 눌러 주세요.



5 양 손으로 마스크 전체를 감싸고 공기 누설을 체크하면서 안면에 밀착되도록 조정하세요.

· 컵형 마스크



1 마스크 머리끈을 아래쪽으로 늘어 뜨리고 가볍게 잡아주세요



4 아래쪽 끈을 뒷목에 고정시켜 줍니다. 머리끈을 고리에 걸쳐 위치를 고정 시켜 주세요.



2 코 밀착 부분을 위쪽으로 하여 마스크를 코와 턱을 감싸도록 얼굴에 맞춰주세요.



5 양 손의 손가락으로 코편 부분이 코에 밀착되도록 클립을 눌러 주세요.



3 한 손으로 마스크를 잡고 위의 끈을 뒷머리 위쪽에 고정시킵니다.



6 양 손으로 마스크 전체를 감싸고 공기 누설을 체크하면서 안면에 밀착 되도록 조정하세요.

그림 1-8 마스크(접이형/컵형)의 올바른 착용법

② 피부를 통한 유입 보호

피부를 보호하는 1차적 목적은 다양한 유해물질로부터 몸 또는 몸의 일부를 보호하고자 하는 것으로 유해물질에는 화학적 물질(독성, 화상(부식성), 자극성 등), 물리적 물질(비산 잔해물, 레이저, 고열 물질 등), 생물학적 물질(세균, 바이러스 등) 등이 있다. 보호 의복의 종류에는 그림과 같이 장갑, 토시, 앞치마, 신발 덮개, 실험복 등이 있다.

a. 보호복의 재질

보호 의복은 목적에 따라 다양한 재질로 제작된다. 그러나 어떠한 재질도 모든 화학 물질을 보호할 수 없으며, 일정 시간이 경과하면 화학물질이 보호 의복 안으로 침투할 수 있다. 특히 장갑의 경우에는 Butyl rubber, Natural rubber, Neoprene, Nitrile rubber, Polyethylene, Polyvinyl alcohol, Polyvinyl chloride, Teflon, Viton, 4H, Barricade, Tychem 등 다양한 재료가 사용되며 재료에 따라 사용 용도가 달라진다.

그 중 네오프렌 재질이 산과 염기 등에는 내화학성이 매우 강하여 주로 강한 화학 물질을 다룰 때 사용한다.

b. 보호복과 화학물질의 작용

다음의 작용으로 보호복은 화학물질의 완벽한 차단체가 되지 못함을 주시할 필요가 있다.

- **침투(Permeation)**: 보호복에 파손된 부분이 없어도 화학물질이 새어 들어감
- **분해(Degradation)**: 화학물질이 보호복을 녹여 조직이 느슨해지거나 부풀어 오르고 금이 가거나 딱딱해짐
- **관통(Penetration)**: 보호복에 생긴 구멍(지퍼, 바느질 구멍, 천의 구멍 등)을 통해 화학물질이 이동하는 것

화학 저항성 등급은 침투 속도(Permeation rate), 돌파 시간(Breakthrough time), 분해 저항성(Degradation resistance) 등을 고려하여 판정되며 추천 등급은 8시간 이상의 돌파 시간이 가능한 경우에 부여되며 1~4 시간의 경우는 주의, 그 이하의 경우는 추천 등급이 되지 않는다.

c. 보호복의 종류와 선택

적절한 화학보호를 선정하려면 먼저 인체에 위해를 줄 수 있는 대상 위험에 대한 다음의 사항을 고려해야 한다.

- 화학물질의 위험성
- 예상되는 위험에 대한 노출수준
- 연구활동종사자가 작업해야 할 작업 기간 및 작업환경

유명한 회사의 잘 알려진 재질이라고 하여 요구하는 화학물질에 대한 보호수준을 가질 것이라고 여겨서는 안 되며, 섬유 무게나 두께가 보호 능력과 관계가 있을 것이라고 여겨서도 안 된다. 또한 제조자는 관리자 또는 사용자에게 보호의 재질에 관한 적절한 자료를 제공하여 올바른 화학 보호복을 선택할 수 있도록 해야 한다. 화학 약품 등으로부터 피부를 보호하는 보호복에는 크게 4가지 등급의 실험복이 있다.

표 1-2 보호 실험복의 종류

보호 등급	보호 수준	적용 범위
Level A	최고 레벨의 호흡기, 피부, 눈에 대한 보호	IDLH 수준의 고농도 화학가스 및 증기에 노출 시
Level B	Level A 수준의 호흡기 보호도이나 피부에 대한 수준이 약간 낮은 보호도	피부에는 큰 위험이 없지만 호흡기에 대해서는 IDLH 수준의 고농도 화학가스 및 증기에 노출 시
Level C	호흡기 및 피부에 대해 낮은 수준의 보호도	IDLH 수준 이하의 화학가스 및 증기에 노출 시
Level D	최소한의 피부보호만을 필요로 하는 수준의 보호도	대기 중에 알려진 유해인자가 없을 때

③ 안구 및 안면을 통한 유입 보호

a. 보안경(Safety glass)

방문객을 포함하여 연구실에 출입하는 모든 사람들은 화학물질을 다루지 않더라도 항상 눈을 보호할 수 있는 개인 보호구를 착용하는 것이 원칙이다. 고글이나 보안경은 화학약품이나 유리 파편 등으로부터 눈을 보호하는 보호구로써, 현재 국내외에 적절한 기준을 만족하며 측면에 보호면이 있는 보안경 또는 고글은 쉽게 구입이 가능하므로 이를 최대한 활용을 해야 한다. 보안경의 선택 및 안전한 사용 방법은 다음과 같다.

- 일반 보안경은 자외선과 레이저 빛을 차단하지 못하므로 자외선이나 레이저를 사용하는 실험 시 반드시 특수 보안경을 착용해야 한다.
- 기존 안경 착용 시에는 안경위에 덮어서 쓸 수 있는 보안경을 선택한다.
- 안면 전체 보호 필요시 안면 보호구(Face-shield)를 착용해야 한다.
- 실험실에서는 절대 콘택트렌즈를 사용해서는 안 된다.(렌즈와 망막사이에 화학물 질이 스며듦)

b. 안면 보호구(Safety shield)

연구활동종사자가 화학물질이 튀거나 유해한 화학물질의 증기에 노출될 가능성이 있는 환경에서 활동하는 경우에는 목과 귀를 포함하여 안면을 보호할 수 있는 안면 보호구(Safety shield)를 사용해야 한다. 그러나 안면 보호구만으로 눈을 보호할 수는 없기 때문에 가능하면 보안경을 추가로 착용해야 한다.



그림 1-9 안면 보호구의 예

3. 안전 장비 및 시설

(1) 안전 설비

① 흡 후드

위험 화학물질에서 생성되는 증기 및 가스를 잡고, 저장하며 없애주는 것이 후드이다. 일반적으로 실험실 내에서 모든 화학물질에 대한 실험은 후드 내에서 수행하는 것이 좋다. 위험물질의 방출이나 유출은 대체로 예견할 수 있으나 뜻밖의 사고가 발생할 수 있다. 연구활동종사자를 기체 상태의 유해 물질로부터 보호하기 위한 대표적 안전 설비에는 흡 후드(Hume hood)와 스프레이 후드(Spray hood), 암 후드(Arm hood)가 있다.

흡 후드는 유해 가스와 증기를 포집할 목적으로 설치하며 보통 최소 면속도(새시를 최대로 개방하였을 때) 0.4m/sec를 권장한다. 스프레이 후드는 후드 안에서 발생하는

유해 입자상 물질을 포집할 목적으로 설치되는 설비이며, 보통 최소 면속도 0.8~1m/sec를 권장하고 필터가 장착된다. 흡 후드는 유독하거나 불쾌한 가연성 증기, 가스, 분진 등을 제어하며 투명성 재질의 새시는 화학물질의 비산, 스프레이, 화재, 소규모 폭발로부터 인체를 보호하게 된다. 실험은 가능한 한 후드 안에서 이루어져야 하며, 실험 작업 시 창은 46cm 이상 열려서는 안 된다. 흡 후드의 구조는 그림과 같다.

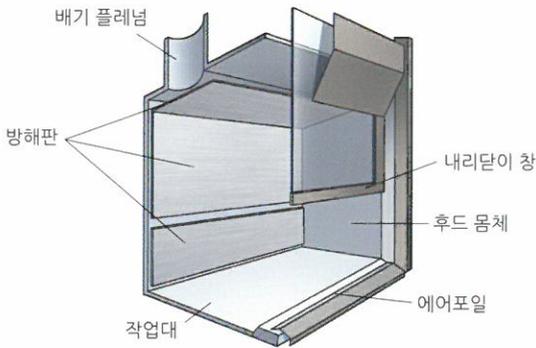


그림 1-10 일반적인 흡 후드의 구조와 실례

흡 후드의 각 부품의 기능은 다음과 같다.

- 배기 플레넘(Exhaust plenum)

후드 전면에 걸쳐 공기의 흐름이 균일하게 분포되도록 도움을 주며 이 부품에 포집된 물질이 많아지면 난류가 생성되고 유해물질 포집 효율이 감소한다.

- 방해판(Baffles)

후드의 뒤편을 따라 일자형의 구멍을 생성하는데 사용하는 이동식 가림막 (Partitions)이다. 후드의 전면에 균일한 공기 흐름을 유지하는데 도움을 주고 포집 효율을 증가시킨다.

- 작업대(Work surface)

작업이 행하여지는 후드 아래의 영역

- 내리닫이 창(Sash)

작업을 하는 동안 효율을 증가하기 위하여 최적의 높이로 닫을 수 있는 이동식 전면 문형식의 투명판으로 사용하지 않을 때는 에너지를 절약하기 위하여 완전히 닫는다. 물리적 보호 장벽을 제공함으로써 오염으로부터 방어할 수 있는 추가적 조치를 제공한다.

- 에어포일(Airfoil)

후드의 전면 양 옆과 바닥을 따라 위치하고 있으며 후드 안으로 공기의 흐름이 유선형으로 흐르도록 하며 난류를 방지하는 작용을 한다. 에어포일의 아래에 있는 작은 공간은 새시가 완전히 닫혔을 때 후드의 실험실 내 공기가 배출되도록 하는 역할을 한다.

정상적인 기능을 하는 후드를 유지하기 위해서는 다음과 같은 점에 유의할 필요가 있다.

- 후드에 면속도 확인 게이지가 부착되어 수시로 최소의 기능이 유지되어야 한다.
- 후드의 고유번호와 점검 확인서가 비치되어 있어야 한다.
- 후드 내부는 항상 깨끗하게 관리되어야 한다.
- 새시는 편안할 정도로 최소한으로 열고 사용해야 한다.
- 후드 안의 물건은 최소 입구에서 15cm 정도 떨어져 있어야하며, 새시의 완전 닫힘을 방해하지 않도록 정리한다.
- 후드 사용 시 연구활동종사자는 개인 보호 장비를 착용하도록 한다.

또한 흡 후드 사용 시, 다음과 같은 행동을 금해야 한다.

- 흡 후드 안에서 장시간 화학물질을 저장하지 않도록 한다.
- 흡 후드를 화학물질 폐기 장소로 사용하지 않도록 한다.
- 후드 안으로 머리를 넣는 행동은 가급적 피해야 한다.
- 새시나 판넬을 임의로 제거하지 않도록 한다.

- 콘센트나 다른 스파크가 발생할 수 있는 원천은 후드 내에 위치 시켜서는 안 된다.
- 흡 후드를 사용할 때는 최대한 새시를 닫고(1/3 이하) 실험을 진행한다.
- 흡 후드에서 스프레이 작업은 화재 및 폭발 위험이 있으므로 금지한다.
 - ※ 흡 후드에서 스프레이 작업을 하면 배기관에 스프레이 물질들이 붙어 있어 화재 및 폭발의 원인이 될 수 있으므로 주의해야 한다.

② 암 후드

이러한 후드 이외에도 회전과 상, 하 움직임이 자유로워 국부적으로 발생하는 유해물질을 배출하는데 이용하는 다관절식 장치인 이동식 암 후드(Movable arm hood)가 있다. 암 후드는 특정 위치에 있는 소량의 오염된 공기를 신속하게 배기시켜줄 수 있고, 이동 및 필터교체가 쉬워 유지보수가 편리하다는 장점이 있다. 암 후드의 형태는 다음과 같다.



그림 1-11 암 후드의 예

(2) 화학물질 저장 설비

화학물질은 특성에 맞는 저장 설비를 활용해야 안전하다. 특히 휘발성이 큰 화학물질과 부식성 물질인 산, 염기 물질은 특성에 맞게 제작된 캐비닛에 보관하는 것이 안전

하다. 또한 많은 유기화합물은 어느 정도의 휘발성이 있어 오래 저장하는 경우 증기가 생성되며, 이 증기는 연구실에서 활동하는 연구활동종사자의 건강에 좋지 않을 뿐만 아니라, 화학물질 사이의 반응에 의한 사고 위험성도 높아지게 된다. 이를 방지하기 위하여 환풍기가 설치되거나 환기가 잘되는 곳에 보관할 필요가 있다. 그러나 이러한 조건에 맞는 위치 선정이 쉽지 않기 때문에, 연구실에서는 위험요소를 제거하기 위한 적절한 안전 장비 및 시설을 사용하며 각각의 용도에 따라 다음 주의사항을 준수해야 한다.

① 밀폐형 시약장

a. 용도

밀폐형 시약장은 시약장에 화학물질을 저장하는 동안 시약장 내에 내장된 환기팬에 의하여 강제로 화학물질의 증기가 배출되도록 한 시약장이다. 따라서 화학물질을 저장하는 동안 인화성 증기가 누적되어 발생하는 화재 또는 폭발의 위험성을 저하시키며, 화학물질 증기 간 반응에 의한 위험성도 배제할 수 있다.

b. 주의사항

- 화학물질은 '알파벳순'이나 '가나다순'으로 보관해서는 안 되고, 혼합 저장 시 위험한 물질들을 파악하여 성상별로 구분하여 보관한다.
- 시약장 밖에 놓아두는 화학약품은 최소로 한다.
- 깨지기 쉬운 유리병은 가능한 시약장 선반 아래쪽에 위치시킨다.

② 휘발성 유기물 보관 캐비닛

a. 용도

휘발성 유기물(유기 용제)은 화재 시 연료를 제공하여 확산될 가능성이 있으므로 이를 보관할 때에는 외부의 높은 온도를 차단하여 온도 상승에 따른 가연성 증기의 팽창에 의한 폭발 가능성을 감소시켜야한다. 휘발성 유기물 보관 캐비닛은 보통 강철로 몸체를 제작하며, 절연 효과가 있는 공기층을 가지는 구조이므로 화재 시 일정 시간 동안 폭발과 화재 확산을 막을 수 있다.

b. 주의사항

- 화재 발생시 162°C이하 온도를 10분 이상 유지(미국 화재 테스트 통과 기준)할 수 있는 성능을 갖출 시 사용 가능하다.
- 양쪽 측면에 설치된 구멍에 연결된 배기 덕트를 통해서 기화된 물질이 원활하게 빠져나가는지 정기적으로 검사한다.
- 캐비닛에 화염 방지기를 부착하여 뜻밖의 유출에 의한 발화의 위험을 막는다.

③ 부식성(산, 염기) 보관 캐비닛

a. 용도

산, 염기와 같은 부식성 물질을 보관하는 캐비닛으로 재질 및 구조는 휘발성 유기물 보관 캐비닛과 비슷하지만 산, 염기에 견딜 수 있게 플라스틱 코팅이 되어 있는 선반을 장착하는 등 내부식성 재질로 제작되고 있다.

b. 주의사항

- 산과 염기를 따로 구분하여 저장한다.
- 특히 강산·강염기의 운반이 용이한 자리에 위치시킨다.
- 내부식성 재질의 플라스틱 에폭시 코팅이 벗겨지지 않도록 주의한다.

④ 냉장 또는 냉동 시약장

a. 용도

실험실 용도의 냉장고는 특별한 화학물질의 저장이 가능한 것으로 주의 깊게 선정하여야 한다. 위험수준을 낮추기 위하여 물질의 보관기간은 가능한 짧게 하고 실험실에서는 상온에서 불안정하거나 휘발성이 높은 소량의 화학물질을 저온 보관하기 위해 사용하며 증기를 배출하기 위하여 환기팬을 장착하기도 한다. 냉장고의 사용 및 유지에 있어서 다음을 유의해야 한다.

b. 주의사항

- 냉장고에 저장할 수 있는 유해물질은 표지를 붙여야 한다.

- 방사능 물질을 저장할 경우에는 저장 표시를 붙여야 한다.
- 냉장고 속에 보관되는 용기들은 안정하게 위치시키며, 완전히 밀폐되거나 뚜껑이 덮여 있어야 한다.
- 뚜껑이 알루미늄 호일, 코르크 마개, 유리 마개 등으로 제작된 용기로의 저장을 피한다.
- 냉장고는 물이 떨어지는 것을 방지할 수 있도록 서리가 끼지 않는 제품을 사용한다.

⑤ 인화성 폐액 보관 용기

a. 용도

폐액 보관 용기는 인화성 및 유기용매 폐액의 안전한 보관에 사용하며 보통 5mm 이상 두께의 견고한 HDPE 구조를 가진다. 자동 닫힘 뚜껑의 적용을 통해 휘발가스의 방출을 차단하며 2~5psi 압력에서 자동 배출구로 가스를 배출시켜 폭발을 방지하도록 설계되어 있다. 또한 인화성 폐액 보관 용기는 화염 방지장치를 장착하고 편리한 손잡이 구조와 넓은 입구로 폐액 주입이 용이하게 설계되어 있다.

b. 주의사항

- 특정 물질의 보관 용기를 선택할 때에는 화학 약품과 서로 반응하지 않는지 확인한다.
- 용기는 크기를 20리터 이하로 제한한다.
- 용기는 꼭 막을 수 있는 뚜껑, 배출구 덮개를 가지고 있어야 하며 용기 내부 압력이 상승되지 않도록 서늘한 장소에 보관한다.
- 폭발 위험을 최소화 할 수 있도록 배기구 뚜껑 등이 부착된 것으로 한다.

⑥ 독성물질 캐비닛

a. 용도

특별히 관리가 필요한 독성물질에 대해서는 별도의 캐비닛을 두어 보관한다. 이러한 물질들은 극약이거나 맹독성을 가지고 있어 매우 위험하므로 일반 시약과 별도 보관하고 항상 시건 장치를 이용하여 관계자 이외는 접근하지 못하게 한다.

b. 주의사항

- 시약 입고 및 사용 대장을 비치하여 출입고 시간, 물질 양, 사용자 이름 등을 반드시 기록하게 한다.
- 정기적으로 캐비닛 안 독성시약의 재고량을 확인하도록 한다.



그림 1-12 인화성 용액 전용 안전 캐비닛의 예



그림 1-13 부식성 용액 전용 안전캐비닛의 예



그림 1-14 휘발성 유기물 보관 가압통의 예시



그림 1-15 유해성 시약용 밀폐형 환기시약장

(3) 세척 설비

① 비상 샤워기(Emergency shower)

a. 용도

화학물질이 피부나 옷에 튀거나 묻었을 때 샤워 장치로 이를 씻어낸다. 샤워 장치는 화학물질(산, 알칼리, 기타 부식성물질)이 있는 곳에는 반드시 설치하여야 하며 모든 사람들이 이용할 준비가 되어 있어야 하고, 사용 및 유지관리는 다음과 같이 한다.

b. 주의사항

- 샤워 장치는 신속하게 접근이 가능한 위치에 설치하고 알기 쉽도록 확실한 표시를 한다.
- 연구활동종사자가 눈을 감은 상태에서 샤워 장치에 도달할 수 있어야 한다.
- 샤워 장치는 쥐고 당길 수 있는 사슬이나 삼각형 손잡이로 작동할 수 있게 한다.
- 잡아당기는 장치는 모든 사람의 키에 맞도록 높이를 조절하고 항상 사용이 가능하도록 분기별 최소 1회 이상 작동 시험을 시행한다.
- 샤워 장치의 쏟아지는 물줄기는 몸 전체를 덮을 수 있어야 한다.
- 샤워 장치는 작동되는 동안 혼자서 옷을 벗고 신발이나 장신구를 벗을 수 있어야 한다.
- 샤워 장치는 전기 분전에서 떨어진 곳에 위치해야 한다.
- 샤워 장치는 배수구 근처에 설치해야 한다.

② 비상 안구 세정기(Eye washer)

a. 용도

비상 안구 세정기는 화학물질이 눈에 튀었을 경우 신속하게 씻어내기 위한 설비이다. 따라서 유해물질을 취급하는 모든 연구실에 설치해야 하며, 연구실 내 모든 사람이 쉽게 접근하고 사용할 수 있도록 설치되고 관리되어야 한다. 즉, 연구실의 모든 장소에서 15m 이내 또는 10초 이내에 도달할 수 있는 위치에 확실히 알아볼 수 있는

표시와 함께 설치되어야 한다. 눈 부상은 보통 피부 부상을 동반하게 되므로 세안 장치는 샤워 장치와 붙어 있으면 바람직하다. 사용 요령은 다음과 같다.

b. 주의사항

- 물 또는 눈 세척제는 직접적으로 눈을 향하게 하는 것보다는 코의 낮은 부분을 향하는 것이 좋다.
- 눈꺼풀은 강제적으로 열어 눈꺼풀 뒤도 세척하는 것이 좋다.
- 코의 바깥쪽에서 귀 쪽으로 세척하여 씻겨 진 화학물질이 거꾸로 눈 안으로 들어 가지 않도록 한다.
- 물 또는 눈 세척제로 최소 15분 이상 눈과 눈꺼풀을 씻어내도록 한다.
- 유해한 화학물질로 오염된 눈을 씻을 때는 반드시 콘택트렌즈 등은 빼어야 한다.
- 피해를 입은 눈은 깨끗하고 살균된 거즈로 덮는다.
- 눈 세척 후에는 병원이나 119 구조대에 전화를 한다.
- 세안 장치는 분기별 적어도 1회 정기적으로 점검하며 특히 녹물 등 유해물질이 없는지를 확인한다.
- 수직형의 세안장치는 공기 중의 오염물질로부터 노출을 보호하기 위한 보호 커버를 설치한다.



그림 1-16 비상 안구 세정기의 예



그림 1-17 안구세정기를 겸비한 비상샤워기의 예

4. 화학물질 사고의 발생 및 예방책

이공계 연구실에서 일어나는 사고의 많은 경우가 화학물질에 관련되어 있으며, 화학 물질의 성질을 정확히 이해하지 못함에 따른 결과임을 고려할 때 화학물질의 정보를 확인하는 것은 굉장히 중요한 일이다. 사고와 관련하여 가장 유명한 법칙으로 하인리히(Heinlich)의 법칙이 있다. 이는 1931년 허버트 윌리엄 하인리히(Herbert William Heinrich)가 펴낸 책에서 소개된 법칙으로 큰 사고는 우연히 또는 어느 순간 갑작스럽게 발생하는 것이 아니라 그 이전에 반드시 경미한 사고들이 반복되는 과정 속에서 발생한다는 것을 실증적으로 밝힌 것이다. 큰 사고가 일어나기 전 일정 기간 동안 여러 번의 경고성 징후와 전조들이 있다는 사실이며, 다시 말하면 큰 재해는 항상 사소한 것들을 방치할 때 발생한다는 것이다. 사소한 문제가 발생하였을 때 이를 면밀히 살펴 그 원인을 파악하고 잘못된 점을 시정하면 대형 사고나 실패를 방지할 수 있지만, 징후가 있음에도 이를 무시하고 방치하면 돌이킬 수 없는 대형사고로 번질 수 있다는 것을 경고한다. 그러므로 화학물질에 의한 사고를 포함한 모든 안전 사고는 사고의 후처리도 중요하지만 사고의 원인을 분석하고 이에 대한 예방 조치와 사실 전파를 위한 교육을 병행 실시함으로써 유사 동종 사고가 다시 일어나지 않도록 하는 것이 더욱 중요하다.

다양한 화학물질 관련 사고를 다양한 기준으로 분류하여 예측되는 사고 원인과 이를 방지하기 위하여 어떤 점에 주의를 해야 하는지를 확인해 보자.

(1) 화학실험 조작별 사고 원인 및 예방법

① 증류

증류는 끓는점의 차이를 이용하여 액체 혼합 물질을 정제하거나 수분을 포함하고 있는 유기용매를 소듐, 포타슘, 금속수소화물 등 수분 제거제(Water or Moisture scavenger)의 존재 하에서 기화시키고 생성된 증기를 액화시켜 정제하는 조작이다. 증류 기술은 석유의 정제 및 분리, 술의 정제, 화학약품의 정제 등에 주로 사용 되어 왔다.

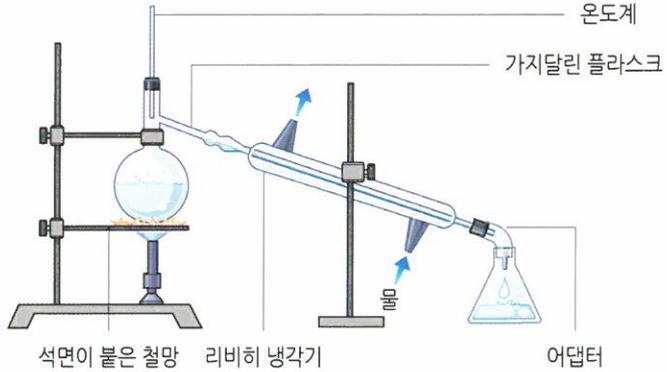


그림 1-18 증류 실험장치의 예

a. 사고 원인

- 발생된 증기의 압력이 높아져 증류기의 폭발 위험성이 존재한다.
- 보통 화기성 물질을 사용하고 화학물질을 증발시키기 위해 열을 필수적으로 사용하므로 화재 위험이 있다.
- 가열된 화학물질의 누출로 인한 작업 환경 오염이 발생할 수 있다.
- 과열로 인한 틱 현상으로 증류 기구가 튀어 나갈 수 있다.
- 액화를 위한 냉각수 공급이 차단에 되어 유기용매가 시스템에서 증발되어 없어지고, 과열된 시스템으로 유리 플라스크가 깨지면서 플라스크 내 금속성 물질이 공기 중 수분 등과 반응하여 가스가 발생하며 폭발하여 재해를 일으킬 수 있다.
- 뜨거운 증기 또는 액체로 인한 연구활동종사자의 화상 위험성이 존재한다.

b. 사고 예방법

- 비활성 기체(예: 질소)와 낮은 압력, 증기를 이용한 다양한 대체 증류 디자인을 활용한다.
- 과열로 인한 틱 현상을 방지하기 위해 교반기 또는 비등석을 사용한다.
- 증류 시 사고를 방지하기 위해 가장 중요한 냉각수 공급에 문제가 없도록 한다.

과도한 열 공급을 지양하고 환류 온도(Reflux temperature)를 넘을 수 있는 정도의 열이 공급되도록 조절한다.

- 사용하는 유리기구가 파손되어 있는 경우에는 사고의 위험성이 높으므로 완전한 실험기구를 사용하여 손상이 있는 기구는 사용하지 않도록 한다.
- 무수 유기 용제를 얻기 위해 물 제거 물질을 사용하는 경우에는 과도한 양을 사용하지 않도록 주의한다.
- 잔류물을 제거하고 새로 충전 하고자 하는 경우에는 환기가 잘되는 후드 안에서 잔류물(남은 소독 또는 포타슘 등)이 조금 잠길 정도의 양만 남기고 유기 용제를 제거한다. 이 때 잔류물이 포함된 플라스크를 얼음 등으로 냉각하면서 t-butanol 등을 서서히 가입하여 금속성인 물 제거 물질을 처리하는 것이 바람직하다.
- 반응을 신속히 진행하기 위해 물 등을 사용하지 않도록 하며 충분한 시간을 가지고 천천히 처리하도록 한다. 또한 가리개(Shield), 보안경, 고무장갑, 실험복 등 적절한 개인 보호구를 사용하여 유사시 개인의 안전을 확보하도록 한다.
- 휘발성이 크고 독성을 가진 액체 물질을 다룰 때에는 환기가 잘되는 장소, 즉 후드 안에서 진행하는 것이 좋다.
- 냉각기와 수돗물을 연결하는 튜브의 연결 상태가 문제가 없는지 확실히 점검하도록 한다.
 - ※ 보통 금속 와이어를 이용하여 튜브가 빠지지 않도록 단단히 묶는 것이 중요하며 단수 등에 의해 냉각수 공급이 차단될 가능성에 대비하여 단수 조치가 예정되어 있는 지를 실험 전에 확인할 필요가 있다.
- 증류가 완료될 때까지 옆에서 지켜 볼 수 있도록 실험 일정을 조절 한다.
 - ※ 중간에 자리를 뜰 경우에는 반드시 옆의 연구자에게 통보하여 유사시 조치가 가능하도록 증류 장치 안에 있는 화학물질의 명칭, 실험 시작 시간, 실험 종료 예정 시간 등을 기재한 표말을 게재한다.

화학물질에 의한 사고는
사고의 후처리가 중요하다?



사고의 원인을 분석하고~
예방 조치와 사실 전파를 위한 교육을 병행 실시하여
유사 동종 사고가 다시 일어나지 않도록하는 것이
더욱 중요해!!



② 승화

승화는 고체에서 기체로 직접 변화하는 물질의 증기를 응축하여 순수한 물질로 정제하는 조작이다. 승화는 증류와는 달리 고체 혼합물에서 승화점이 낮은 물질을 분리하기 때문에 금속성 물질을 따로 가입하지는 않는다. 다만 승화온도를 낮추기 위하여 보통 기계식 진공펌프를 사용하여 저압을 활용한다.

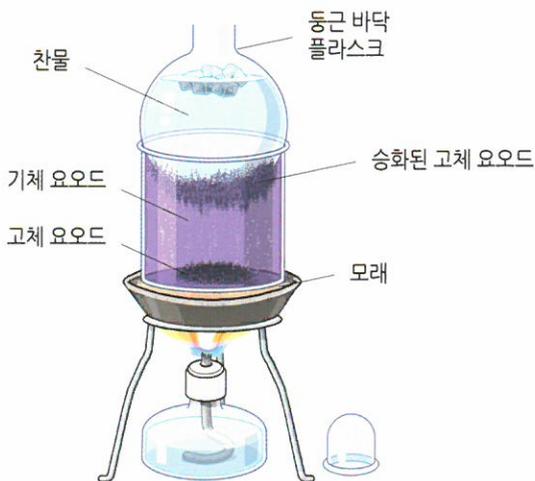


그림 1-19 승화 실험장치의 예

a. 사고 원인

- 용기(보통 유리기구)에 균열이 있을 시 사용하게 되면 감압과정에서 파손 및 폭발 사고가 발생할 수 있다.

b. 사고 예방법

- 용기에 균열 등이 존재하는지 확인한다.
- 너무 빨리 많은 양이 응축되지 않도록 승화되는 양을 조절한다.
- 증류와 마찬가지로 증기에 의한 다양한 위험을 미연에 예방하기 위해서는 환기가 잘되는 장소, 즉 휴 후드 안에서 진행하는 것이 좋다.

③ 재결정

재결정은 특정 용매에 대한 혼합물의 용해도 차이를 이용하여 순수한 물질로 정제하는 조작이다. 이 조작에는 다양한 유기 용매의 가입과 제거, 가열과 냉각이 되풀이되는 경우가 많다.



그림 1-20 감압여과장치를 이용한 재결정 실험장치의 예

a. 사고 원인

- 재결정에 사용되는 많은 유기 용매는 휘발성이 크고 어느 정도의 독성을 가지는 경우가 많기 때문에 화재와 유해물질 흡입의 위험성이 있다.

b. 사고 예방법

- GHS/MSDS를 이용하여 유기 용매의 독성 및 휘발성을 미리 확인한다.
- 적절한 개인 보호구(보안경과 고무장갑, 마스크, 실험복, 앞치마 등)를 사용한다.
- 균열이 있는 유리 기구를 사용하지 않도록 한다.
- 반복적인 조작이 진행되는 동안 장난을 하지 않도록 한다.
- 휘발성이 큰 유기 용매를 다룰 때에는 주위에 화기가 존재하는 지를 항상 미리 점검하여 화재 발생 가능성을 차단한다.
- 환기가 잘되는 장소, 즉 흡 후드 안에서 진행한다.

④ 유기용매 제거

비교적 많은 양의 유기용매를 반응기에서 제거하고자 하는 경우에는 보통 회전 증발기(Rota-evaporator)를 사용하며, 양이 비교적 적을 때는 진공 펌프를 이용하여 제거한다. 진공 펌프를 이용하는 경우에는 보통 펌프를 보호하기 위하여 저온 트랩(액체 질소 또는 저온 슬러시 수조)을 중간에 설치한다. 이 때 너무 많은 용매가 제거 될 때는 트랩이 막히는 경우가 있어 효율이 저하된다. 이 경우에는 트랩 용기를 저온 트랩에서 제거하고 온도를 올려 고체화된 용매를 녹여주어야 한다.



그림 1-21 유기용매제거 실험장치의 예

a. 사고 원인

- 비교적 많은 용매가 사용되어 화재 및 호흡을 통한 유해물질 흡입의 위험성이 있다.
- 진공 펌프를 사용하는 경우, 저온 트랩에서 냉매를 냉매 보존 용기(Dewar bottle)에 넣게 되는데, 이동 시 냉매가 튀어 동상을 입을 가능성이 있다.
- 액체 질소를 냉매로 사용하는 경우, 산소가 액화 되었다가 다시 기화될 때 폐쇄된 반응계인 경우 폭발의 위험성이 있다.
- 액체 질소를 냉매로 사용하는 경우, 온도가 굉장히 낮아 동상의 위험이 있으므로 방한장갑을 착용하도록 한다.

b. 사고 예방법

- 환기가 잘되는 장소 또는 흠 후드 안에서 시행하는 것이 바람직하다. 비록 냉매 또는 저온 트랩을 사용하지만 일부는 증기 상태로 외부로 유출될 수 있기 때문에 가능하면 흠 후드에서 시행하도록 한다.

- 동상을 입을 가능성이 있기 때문에 보호 장갑을 착용하는 등 주의해야 한다.
- 트랩 용기의 온도를 상온으로 상승시킬 때는 항상 반응계를 개방된 상태로 만들어야 한다.

⑤ 추출

두 가지 이상의 물질이 섞여 있는 혼합물 속에서 특정한 물질을 용해할 수 있는 용매를 사용하여 성분을 분리해 내는 방법이 추출이다. 실험실에서 추출 작업은 분리·정제·분석 등에 이용되는데, 고체에서 추출하는 데는 속슬렛(S Soxhlet) 추출기, 액체에서 추출하는 데는 분액 깔때기 등을 사용한다. 용매로는 물·알코올·에테르·석유에테르·벤젠·아세트산에틸·클로로폼 등의 액체가 주로 사용된다.

a. 사고 원인

- 휘발성 및 비 혼합성 액체의 기체 발생으로 잠재적인 압력 팽창의 위험이 있다.
- 유리 분별 깔때기의 경우 조작 시 조절기(Stopcock)가 튀어나가 깔때기의 내용물이 흘러나올 수 있기 때문에 더욱 위험성이 높다.

b. 사고 예방법

- 온도가 추출물의 끓는점 이하로 떨어지기 전에는 추출을 하지 않는다.
- 휘발성 물질을 사용할 경우 콕(Stopcock)을 열고 분별 깔때기를 회전시켜 기체를 휘발시킨 후 공기 중으로 방출한다. 또한 깔때기의 마개를 닫고 뒤집은 다음 바로 콕을 열어 여분의 기체를 방출 시킨다.
- 유리 조절기는 윤활유를 발라 조절이 용이하게 한다. 휘발성 용매를 사용하는 경우에는 파손을 유의하여 유리 조절기를 사용하지 않는 것이 좋다.
- 화기 장치 또는 발화원 가까이에서 분별 깔때기를 배출 시키지 않는다.
- 휘발성 용매를 이용하여 1L 이상의 분별 깔때기를 사용할 필요가 있을 때는 콕에 가해지는 힘이 너무 커서 튀어나갈 위험성이 있다. 따라서 작은 깔때기에 나누어 여러 번 조작하도록 한다.



그림 1-22 유리코크(좌)와 테프론코크(우) 분별깔대기의 예

⑥ 그 밖에 주의해야 할 반응

- 기체는 같은 양의 고체 또는 액체에 비하여 약 1000배의 부피를 가지게 된다. 따라서 기체가 발생하거나 기체를 다루는 반응의 경우 반드시 안전밸브가 장착되어 있어야 한다.
- 실험 설계 시 폭발 위험성을 고려하여 개방된 반응계를 설계해야 한다.
- 기체가 반대로 액체 또는 고체화하는 경우에는 압력이 줄어 반응계에 무리가 갈 수 있기 때문에 이러한 현상에 대비할 필요가 있다.
- 발열반응의 경우, 반응열로 인한 실험 기구의 온도 상승이 있을 수 있으므로 조심하는 것이 필요하다. 폭발적인 발열 반응이 진행될 경우, 제어가 어려워져 화상을 입을 수도 있다.
- 적절한 가동시간 범위를 벗어난 실험 장치 또는 기구는 과열에 의한 사고를 발생할 가능성이 높으므로 옆에서 즉각적인 조치가 가능한 상태로 유지하며, 너무 긴 실험은 미리 일정을 잘 배분한다.

(2) 화학실험 기구별 사고 원인 및 예방법

① 유리 기구

유리는 실험실에서 가장 많이 볼 수 있는 기구의 재료이며 내화특성과 투명성이 뛰어나 화학 실험실에서 많이 사용된다. 그러나 충격에 약하여 쉽게 깨지며 이러한 성질 때문에 많은 사고가 발생하게 된다.

a. 사고 원인

- 실험실에서 피펫/유리관을 갈아 끼우기 위해 무리한 힘을 가할시 피펫/유리관을 깨뜨릴 수 있다.
- 고무마개 등에 구멍을 뚫고 유리관을 삽입하는 과정에서 유리관을 깨뜨릴 수 있다.
- 실험용 유리 기구(비커, 실린더, 플라스크 등)를 세척할 시 날카로운 부위에 베일 수 있다.
- 시약이 든 유리병을 운반하는 과정에서 바닥의 이물질 등으로 넘어뜨려 기구 파편에 의한 부상 및 내용물의 누출 또는 쏟음으로 화재 및 폭발 등의 큰 사고를 불러일으킬 수 있다.

b. 사고 예방법

- 유리 기구를 사용하기 전 깨지거나 금이 간 곳이 없는지 확인하고 사용한다.
- 실험에 사용할 화학물이 유리와 반응하는지 확인하고 실험한다.
※ 예) 불화수소(HF)는 유리와 반응한다.
- 오븐 등에서 말린 유리 기구는 뜨겁기 때문에 보호 장갑 등을 사용해야 한다.
- 유리 기구를 세척할 때는 씻기 전에 금이 가거나 깨졌는지를 확인하고, 세척 시 적절한 솔을 사용하며 너무 무리한 힘을 가하지 않는다.
- 진공을 가하는 유리 기구는 보통 유리와 달리 두꺼운 안전유리를 사용한다.
- 밀봉한 관이나 마개를 개봉할 때는 내압이 걸려 있어 내용물이 분출 또는 폭발할 수 있으므로 주의한다.
- 고온으로 가열한 후 차가운 실험대 위에 올려놓으면 유리가 깨질 수 있으므로 주의한다.

- 깨진 유리는 절대 맨손으로 만지지 말고, 장갑을 끼고 만져야 한다.
- 유리관을 호스나 고무마개 등에 끼울 때는 다음과 같이 주의한다.
 - 고무마개, 고무관의 지름과 유리봉의 지름이 서로 잘 맞는지 확인한다.
 - 유리를 물이나 그리스 등으로 윤활 한다.
 - 두꺼운 장갑을 착용하고 천천히 돌려가며 조심스럽게 끼운다.
 - 너무 무리한 힘을 가하지 않도록 한다.

② 고압 기구

최근 기체를 다루는 실험이 많이 진행되고 있다. 이 실험들은 주로 고압에서 진행되는데 이 경우 높은 압력을 견디기 위해 실험기구는 보통 강철 등 강도가 높은 재료를 사용하고 있다. 그러나 일정한 한계를 가지고 있기 때문에 그 이상의 압력이 가해지는 경우에는 폭발 등 큰 사고로 연결될 가능성이 있어 주의를 필요로 한다. 고압 멸균기, 고압 반응기 등이 사용되는 실험에서 관련 사고가 끊이지 않으므로 운영 시 특별한 주의를 필요로 한다.

a. 사고 원인

- 강철, 알루미늄 등 강도가 높은 재료는 각각 일정한 한계 압력을 가지고 있다. 한계 압력 이상의 가압은 폭발을 야기할 수 있다.
- 고압 반응기에 사용되는 가스나 용매의 종류에 따라, 반응기의 부식, 변형 등을 야기할 수 있다. 부식으로 약화된 반응기는 폭발을 야기할 수 있다.

b. 사고 예방법

- 고압이 가해지는 경우에는 일정 압력 이상에서 밸브가 열리는 안전 밸브가 부착되어야 한다.
- 밸브를 오래 사용하면 막히는 경우가 발생하여 기능을 발휘하지 못하므로 항상 사용 전 작동 여부를 확인한다.
- 규정된 압력 이상이 되지 않도록 항상 관찰하고 살펴 볼 사람이 없는 경우가 없도록 주의한다.

- 가열하는 경우에는 압력이 증가하게 되므로 규정 압력 이상이 되는지 관찰한다.
- 실험이 종료된 경우에도 내압이 걸려 있는 상태이므로 충분히 식히고 서서히 압력을 배출시켜 대기압과 동일하게 만든 다음 용기 뚜껑을 제거한다.
- 실험 온도 및 압력을 확인할 수 있는 센서를 항상 장착하여, 주의를 기울인다. 전자식 온도 및 압력 센서는 사용하기 굉장히 편하지만, 정전 시 사용할 수 없다. 정전에 대비해 사용가능한 온도 및 압력 센서도 같이 준비되어있는지 주의를 기울인다.

③ 저압(진공) 기구

최근 첨단 연구 설비는 물질의 영향을 최소로 하도록 하기 위해서 저압 또는 진공을 사용하는 경우가 많이 증가하고 있다. 그 예로 데시케이터, 감압 농축기, 감압 여과장치 등이 있다.

a. 사고 원인

- 대기압이 저압 설비에 큰 압력을 가해 기구의 파손 및 폭발의 위험성이 높다.

b. 사고 예방법

- 기구의 재질은 대기압이 설비에 큰 압력을 견딜 만큼 충분한 강도를 갖는 재료를 사용한다.
- 유리로 제작된 저압(진공) 기구의 경우는 사용 전후에 금이 가거나 깨진 부위가 있는지 항상 점검 및 확인해야 한다.
- 여러 부품을 합하여 기구가 만들어지는 경우에는 강도의 차이가 있으면 파손될 가능성이 높으므로 가능하면 동일 재료 또는 비슷한 강도의 재료를 사용하며 접합 부위가 손상될 가능성이 크므로 점검 시 이 부분의 손상 여부를 확인한다.
- 실험 중 가열 또는 냉각하는 과정이 포함된 경우에는 가열, 냉각하는 부위가 손상되기 쉬우므로 실온으로 복귀할 충분한 시간을 준 후에 다음 조작으로 넘어가는 것이 바람직하다.
- 실험이 종료된 후에는 공기 또는 비활성 기체를 도입하여 반드시 대기압으로 복귀하도록 한 후 실험 장치를 제거하도록 한다.

④ 고온 기구

핫플레이트, 오븐 등이 고온 기구에 속하며 다양한 방법으로 실험 장치를 가열하여 고온으로 유지한 후 실험을 진행하는 경우가 많아 화재와 관련된 연구실 사고의 주범이 되고 있다.



그림 1-23 고온기구(가열교반장치와 히팅 맨틀)의 예

a. 사고 원인

- 고열에 의해 화상을 입을 수 있다.
- 고온에서는 화학물질의 증기가 많이 발생하여 화재, 폭발 및 유해물질의 흡입의 위험성이 있다.

b. 사고 예방법

- 보호 장갑 등 개인 보호구를 착용 후 진행하도록 한다.
- 정해진 온도 이상으로 가열되지 않도록 항상 장치를 관찰해야 한다.
- 압력이 증가할 가능성이 있으므로 이에 대한 대비를 해야 한다.
- 인화성 물질을 다루는 경우에는 적절한 소화기를 비치하는 것이 좋다.

⑤ 저온 기구

저온 살균기, 저온 동결 트랩 등이 저온 기구에 속하며 미생물의 활성을 떨어뜨리거나 특별히 동결 처리가 필요한 실험에서 활용된다.

a. 사고 원인

- 저온의 경우에는 액체 질소, 드라이아이스 등 다양한 냉매가 사용되며 냉매가 피부 등에 닿게 되면 동상에 걸릴 수 있다.
- 액체 질소의 경우에는 냉매 보존 용기(Dewar bottle) 등에 저장하여 사용하는데 이 용기는 충격에 약하므로 충격에 의해 파손이 일어날 수 있다.
- 액체 질소 등은 실온에서 쉽게 기화되어 폐쇄된 공간에서는 질식의 위험성이 있다.

b. 사고 예방법

- 적절한 보호 장갑 등 개인 보호구 장착에 차질이 없도록 주의해야 한다.
- 이 용기는 충격에 약하므로 충격에 의해 파손이 일어나면 액체 질소가 누출될 수 있으므로 주의해야 한다.
- 환기가 잘되고 개방된 상태에서 액체 질소를 사용하는 것이 안전하다.

(3) 화학실험 장비별 사고 원인 및 예방법

화학실험에는 다양한 실험 장치 및 장비가 사용되고 특성이 제품별로 다양하기 때문에 모든 것을 살펴보는 것은 불가능하다. 다만 위에서 언급한 다양한 조건에서 주의할 점을 고려해야 사고 발생을 최소로 할 수 있다. 기기 장비의 경우 제품별로 제조사가 제공하는 매뉴얼이 있으며, 이러한 매뉴얼에는 다양한 상황을 고려한 대처 상황이 기술되어 있으므로 기기를 사용하기 전에 반드시 이를 이해하고 제시된 순서에 맞추어 실험하는 것이 가장 중요하다. 어느 정도 익숙해졌다고 제시된 순서를 무시하고 실험을 진행하는 것도 사고의 원인이 될 수 있음을 명심하도록 하자. 본 교재에서는 대표적인 4가지 화학실험 장비별 발생 가능한 사고 원인과 그 예방법을 소개하고자 한다.

① HPLC

크로마토그래피는 혼합물의 성분물질을 이동상과 고정상을 이용하여 분리하는 방법이며, 그중 HPLC(High Performance Liquid Chromatography, 고성능 액체크로마토그래피)는 이동상으로 액체를 사용하는 것이 특징이다. HPLC는 액상의 이동상, 컬럼인 고정상, 고성능의 펌프 및 검출기, 주입부의 주요 구성성과 컬럼 히터, 신호 및 데이터를 나타내는 부분으로 구성되어 있다.

a. 사고 원인

- HPLC 사용으로 인한 직접적인 사고 원인은 그렇게 많지 않다. 대부분 장비 사용법 미숙으로 인한 안전 사고의 원인이 가장 크다.
- HPLC 컬럼에 사용되는 용매가 담긴 유리병의 파손으로 인한 사고가 발생할 수 있다.
- HPLC 사용을 위해, 고압 펌프를 이용하게 되는데 이 때 안전 사고의 가능성이 존재한다.

b. 사고 예방법

- 적절한 보호 장갑 등 개인 보호구 장착에 차질이 없도록 주의해야 한다.
- 유리 용기의 경우, 쉽게 깨질 수 있으므로 취급에 주의한다. 깨질 경우, 용매가 공기 중에 누출될 수 있으므로 각별히 주의해야 한다.
- HPLC 뿐만 아니라 고압 펌프의 사용법을 숙지하여, 안전 사고를 예방토록 한다.



그림 1-24 HPLC의 예

② GC

GC(Gas Chromatography)는 기체 크로마토그래피로, 기본적인 사용목적은 HPLC와 비슷하지만 GC는 주로 기체를 이동상으로 이용한다는 차이점이 있다. 컬럼관에 분석하고자 하는 시료를 흡착시킨 다음, 수소 및 헬륨 등의 캐리어 기체를 통과시켜서 시료를 분리하여 분석한다. GC의 응용 범위가 넓기 때문에 자연과학, 공학, 농학, 의학, 약학 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다.

a. 사고 원인

- GC 이용 시, 이동상으로 가스가 사용되므로 가스 사용에 따른 주의점을 인지해야 한다.
- 분석 조건에 따라 장비가 굉장히 고온에서 작동하게 된다. 보통 고온으로 작동하는 장비의 부분이 보호되고 있기는 하지만, 화상의 우려가 있으므로 주의하는 것이 좋다.
- 진공 펌프 및 가스의 사용 시, 안전 사고의 우려가 존재한다.

b. 사고 예방법

- 가스 사용의 주의점을 숙지하고 따르도록 한다. 특히 이동상 가스로 수소를 사용할 경우, 가연성 가스이므로 사용에 주의하며 이동상 가스의 배출에 주의하도록 한다.
- 분석 조건에 따라 오븐 및 컬럼이 고온으로 가열된다. 실험 분석 시 오븐 및 컬럼의 보호 장비를 열지 않도록 주의하며, 불가피하게 만져야 할 경우 장갑을 끼도록 한다.
- 진공 펌프의 사용법을 숙지하여 안전 사고를 대비하도록 한다.



그림 1-25 GC의 예



그림 1-26 GC 내부 오븐 및 컬럼의 모습

③ 원심 분리기

원심 분리기는 중력 분리 대신 원심력을 이용하여 분리하기 어려운 고체와 액체 또는 액체와 액체를 밀도 차에 의해 분리시키는 기계이다. 원심 분리기는 원심 효과에 따라 원심 침강기와 원심 거르개로 구분되어지며, 샤프레스형 원심분리기, 드라발형 원심 분리기, 데칸터, 바스켓형 원심 거르개 및 압출형 원심 분리기로 나뉘어진다. 또한 공업적, 상업적, 연구용 목적으로 다양한 분야에 사용되고 있다.



그림 1-27 원심 분리기의 모습

a. 사고 원인

- 원심 분리기는 굉장히 빠른 속도의 돌아가는 원심력을 이용하므로, 균형을 잡아주지 못할 경우 기계의 중심이 잡히지 않아 튀어나가는 경우가 발생한다. 튀어나가는 물질에 타격을 입게 될 경우, 충격이 상당하다.
- 원심 분리기는 원자력 우라늄 농축시설에도 많이 이용되고 있다. 이란에서는 해커에 의해 원자력 핵개발용 원심분리기가 파괴되는 대형사고가 발생하기도 했다.

b. 사고 예방법

- 원심 분리기 사용 전, 내부에 들어가는 시료의 무게를 모두 정확히 맞추어 균형을 맞추어 준다.
- 회전 중, 로터의 이탈 사고를 방지하기 위해 렌치나 너트 등으로 확실히 조이고 관리한다.

- 원심 분리기 챔버 내부가 시료(병원성, 독성, 방사선물질 등)로 오염되었을 경우 깨끗이 청소하여 장비 내부나 로터가 손상되지 않게 주의한다.
- 원심 분리를 사용하지 않을 때에는 로터를 분해하여 챔버를 향산 건조한 상태로 유지한다.

④ Raman

Raman은 분광장비의 일종으로 레이저를 사용하는 장비이다. 진동분광학이란 학문 영역의 독자적인 영역을 구축하고 있으며, 연구용 목적으로 굉장히 다양한 분야에 사용되고 있다.



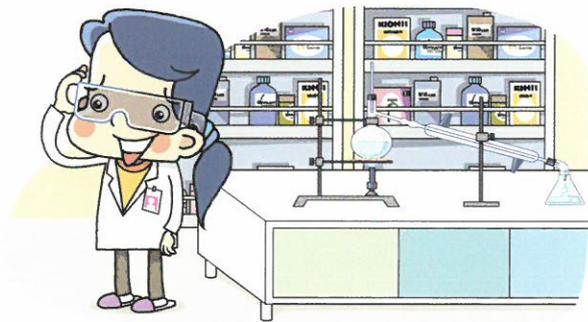
그림 1-28 Raman 장비의 모습

a. 사고 원인

- Raman은 레이저를 이용한 진동분광학의 대표 장비로, 레이저로 인한 안전 사고의 가능성이 존재한다.
- 가장 직접적인 위험은 사람의 눈으로, 레이저 파장에 직접 노출될 경우 시력 손상이 발생할 수 있다.
- 레이저 시스템으로 인해 피부 화상이 발생할 수 있다. 또한 레이저는 옷이나 종이를 태우거나 용제와 다른 가연성 물질을 발화시킬 수 있다. 또한 고출력 레이저는 뜨겁기 때문에 물질을 녹일 수도 있다.

b. 사고 예방법

- 눈을 보호하기 위해, 보안경을 항상 착용하도록 한다.
- 장비를 이용할 경우, 직접 눈에 노출되지 않도록 각별히 주의하며 주위에 실험 중임을 알려 주의를 기울일 수 있도록 한다.
- 장시간의 레이저 이용은 다양한 문제를 야기시킬 수 있으므로, 실험 중 자리이동 및 자리 비움은 금물이다. 또한 장시간 이용 시 레이저로 인한 온도 상승의 가능성이 존재하므로 주의를 기울이도록 한다.

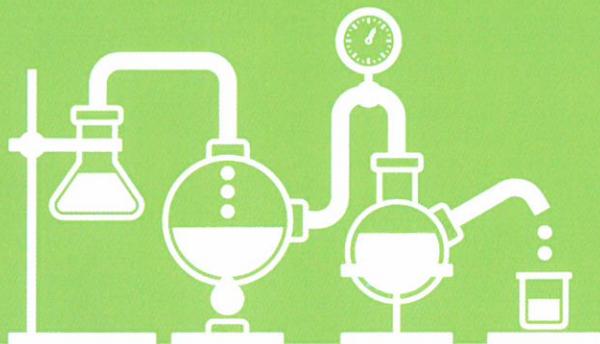


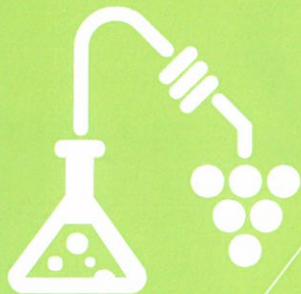


- 신문폐지, 폐박스등을 싸놓지 맙시다.
- 화학물질 및 가스로 인해 화재 위험이 있는 곳에 라이터나 성냥갑을 두지 맙시다.
- 가스불 위에 요리를 올려놓고, 내버려둔 채 주방을 장식나 비우지 맙시다.
- 인화성 액체(알콜, 휘발유)나 인화성 기체(부탄가스)를 함부로 놓지 맙시다.
- 연구실에서는 담배를 피우지 맙시다.
- 보이지 않는 곳에 전선을 늘어 뜨리지 맙시다.



연구실 안전 표준 교재
화학 · 가스 안전





CHAPTER

2

가스 안전

1. 가스의 특성 및 분류
2. 가스 사고의 원인과 피해
3. 가스의 취급과 저장
4. 가스 사고 대응 요령



2

가스 안전



연구용 뿐만 아니라 일상생활에 다양하게 활용되는 가스 물질의 특성을 알아보고
가스로 인해 발생하는 안전 사고의 원인 및 대응방법을 알아본다.

1. 가스의 특성 및 분류

(1) 가스의 특성

가스는 기체와 같은 의미이며, 같은 양의 액체 또는 고체 물질에 비하여 부피가 1000배 정도 크다. 따라서 밀도가 상대적으로 낮아 그대로 사용할 경우, 기체가 차지하는 부피가 매우 커서 사용이 불편하고 경제성이 낮다. 보통 압축하여 부피를 감소시킨 다음 사용하며 이 때 높은 압력에 견딜 수 있도록 특수한 용기를 사용한다. 그러나 아세틸렌과 같은 일부 가스는 압축을 하면 폭발하는 특성을 가지고 있으므로 다른 방법을 이용하게 된다.

또한 기체는 일부를 제외하고는 색도 냄새도 없는 것이 대부분이기 때문에 감각만으로 그 존재를 확인하는 것이 쉽지 않다. 만약 가스 물질들이 누출되게 될 경우, 쉽게 대처하기 쉽지 않고 특히 독성 가스를 다룰 때는 각별한 주의가 요구된다. 이러한 가스 물질의 누출을 확인하기 위해서 가스 검출기의 사용이 필요하며, 다양한 밀도를 가지는 가스의

특성 상, 누출되었을 때 이를 경고하는 검출기의 설치 위치 또한 매우 중요하다. 이러한 가스의 특성 때문에 발생하는 다양한 사고를 방지하기 위하여 우리나라에서는 고압가스 안전 관리법으로 가스의 안전 사용을 유도하고 있다.

(2) 가스의 분류

가스는 다양한 성질(성상/인화성/독성)에 따라 다양하게 분류될 수 있다. 물리적 성상에 따라 압축가스, 액화가스, 용해가스로 분류되기도 하며, 가스의 인화성 분류에 따라 가연성, 불연성, 조연성 가스로 분류된다. 또한 가스의 독성에 따라 독성, 비독성, 부식성 가스로도 분류할 수 있다.

표 2-1 물리화학적 특성에 따른 가스의 분류

가스의 분류	가스의 종류
상태에 의한 분류	압축가스 산소, 수소, 메탄, 질소, 알곤 등
	액화가스 프로판, 부탄, 암모니아, 이산화탄소, 액화산소, 액화질소 등
	용해가스 아세틸렌
연소성에 의한 분류	가연성가스 수소, 암모니아, 프로판, 부탄, 아세틸렌 등
	조연성가스 산소, 공기, 염소 등
	불연성가스 질소, 이산화탄소, 알곤, 헬륨 등
독성에 의한 분류	독성가스 염소, 일산화탄소, 아황산가스, 암모니아, 산화에틸렌 등
	비독성가스 질소, 산소, 부탄, 메탄 등

① 가스의 성상에 따른 분류

a. 압축가스(Compressed gas)

압축가스는 실온 또는 35°C에서 게이지 압력이 1MPa(약 10기압)이 넘는 가스를 말한다. 이 가스들은 임계점(Critical temperature)이 보통 실온 이하이며, 압축되어도 액화되지 않고 가스 상으로 존재한다.

예) 산소, 질소, 수소 등

※ 임계점: 아무리 압력을 가하여도 액화되지 않는 온도

b. 냉동액화가스(Refrigerated liquefied gas)

냉동액화가스란 실온에서 0.2MPa(약 2기압) 또는 35°C에서 0.2MPa(약 2기압)인 가스를 말하며, 보통 임계점이 실온 이상이다. 고압 용기 내에서 액화하여, 그 온도에 상당하는 증기압을 띄고 있게 된다. 고압가스는 고압이기 때문에 용기의 파열, 가스 분출 등 사고를 일으킬 가능성이 존재하며, 때때로 가스 폭발, 인화, 중독, 질식 등의 재해 원인이 되므로 고압가스 단속법의 적용을 받도록 되어 있다.

예) 이산화탄소, 암모니아, 염소, LPG(Liquefied petroleum gas) 등

c. 용해 가스(Dissolved gas)

용해가스란 압축되거나 액화되었을 때 폭발할 수 있는 기체로 잘 용해되는 용매에 녹여 사용하는 가스를 말한다.

예) 아세틸렌(아세틸렌은 15°C에서 약간의 양압을 나타낸다)

② 가스의 인화성에 따른 분류

a. 가연성 가스(Flammable gas)

가연성 가스는 산소 또는 공기와 혼합하여, 점화하면 빛과 열을 방출하는 기체를 일컫는다. 그 종류가 매우 다양하며 대표적인 가연성 가스로는 메탄, 에탄, 프로판, 수소 등이 있다. 가연성 가스는 상온, 상압 상태에서 가스 상태이지만, 때때로 가압하면 액체가 되는 것이 있다(예: 에탄, 프로판 등). 또는 하한 폭발 한계(Lower explosive limit)가 10% 이하이거나 하한과 상한 폭발 한계의 차이가 20% 이상인 가스를 말한다.

예) 메탄, 에탄, 프로판, 수소 등

b. 불연성 가스(Nonflammable gas)

불연성 가스란 자체로 연소하지도 다른 물질을 태우지도 않는 가스를 말한다. 즉, 연소와 무관한 가스를 일컫는다.

예) 아르곤, 헬륨, 질소 등

c. 조연성 가스(Oxidizing gas)

조연성 가스는 인화성 가스를 비롯하여 연료가 연소되는데 필요한 가스를 말한다.

예) 공기, 산소, 염소 등

③ 독성에 따른 분류

a. 독성 가스(Toxic gas)

독성 가스란 공기 중에 특정 농도를 벗어나 존재하게 되면 인체에 해를 끼치게 되는 가스를 말한다.

예) 염소(1ppm), 암모니아(25ppm), 아황산가스(5ppm), 일산화탄소(50ppm) 등

b. 비독성 가스(Nontoxic gas)

비독성 가스란 특정 농도를 초과하여 존재하여도 인체에 유해하지 않는 가스를 말한다.

예) 산소, 수소 등

c. 부식성 가스(Corrosive gas)

부식성 가스는 접촉하는 물질을 부식시키는 성질을 가진다.

예) 염소, 불소, 아황산가스, 황화수소, 암모니아, 염화수소, 산화에틸렌 등

표 2-2 독성 관련 용어

약어	전체 용어	의미
TLV-TWA (허용 농도)	Threshold Limit Value - Time Weighted Average (allowable concentration)	평균 하루 근로 8시간 작업장에서 일할 때 부작용을 느끼지 않는 유해물질 농도
LD50	Lethal Dose fifty	경구 유입 절반 치사 물질량
TDL0	Toxic Dose Low	경구 유입 최저 중독 물질량
LDL0	Lethal Dose Low	경구 유입 최저 치사 물질량
LC50	Lethal Concentration fifty	4시간 흡입 시 절반 치사 물질량
TCL0	Toxic Concentration Low	공기 유입 최저 중독 물질량
LCL0	Lethal Concentration Low	공기 유입 최저 치사 치사량

표 2-3 고압가스 안전 관리법에 의해 규제를 받는 가연성 기체와 독성 기체

가연성 기체			
Acrylonitrile	Carbon Monoxide	Ethylene	Butylene
Acrylaldehyde	Carbon Bisulfide	Ethylene Oxide	Methyl Ether
Acetaldehyde	Methane	Propane	Mono-Methylamine
Acetylene	Chloromethane	Cyclopropane	Dimethylamine
Ammonia	Methyl Bromide	Propylene	Trimethylamine
Hydrogen	Ethane	Propylene Oxide	Ethylamine
Sulfide	Chloroethane	Butane	Benzene
Hydrogen Cyanide	Vinyl Chloride	Butadiene	Ethylbenzene

독성 기체			
Acrylonitrile	Chloromethane	Benzene	Monosilane
Acrylaldehyde	Chloroprene	Phosgene	Diborane
Sulfurous Acid Gas	Ethylene Oxide	Hydrogen Iodide	Hydrogen Selenide
Ammonia	Hydrogen Cyanide	Hydrogen Bromide	Phosphine
Carbon Monoxide	Hydrogen Sulfide	Hydrogen Chloride	Mono Germane
Carbon Bisulfide	Monomethyl Amine	Hydrogen Fluoride	
Fluorine, Chlorine	Dimethylamine	Mustard Gas	
Methyl Bromide	Trimethylamine	Algin	

※ 허용 농도(Allowable concentration)

매일 1시간 동안 노출하여 14일 이내에 성체 흰쥐 반 이상을 죽일 수 있는 가스 농도 또는 매일 8시간 가스에 노출될 때 인체에 해를 끼치지 않는 가스 농도를 말하며 다음의 [표 2-4]에 주요 가스물질의 허용 농도를 명시하였다.

표 2-4 주요 가스 물질의 허용 농도

0.1ppm 이하	1ppm 이하	5ppm 이하	10ppm 이하	100ppm 이하	100ppm 이상
Arsine	GeH ₄	CH ₂ CHCN	H ₂ S	NH ₃	CH ₃ CHO
H ₂ Se	PH ₃	SO ₂	CS ₂	NO	PhEt
Si ₂ H ₆	Cl ₂	NO ₂	C ₆ H ₆	CO	CH ₄
B ₂ H ₆	CH ₂ CH ₂ O	SiH ₄	HCN	CH ₃ Cl	CCl ₂ CCl ₂
F ₂	CH ₂ CHCl	CBr ₄	CH ₃ NH ₂		MeCHCH ₂
O ₃		HF	Me ₂ NH ₂		CO ₂
COCl ₂		HBr	Me ₃ NH ₂		
		HCl	EtNH ₂		
			Et ₂ NH ₂		
			Et ₃ NH ₂		

2. 가스 사고의 원인과 피해

(1) 가스 사고의 원인

가스 사고는 가스 배관 및 밸브의 노후 · 파손과 설치상태 불량, 연소기구의 관리 미비, 불량 가스용품 등으로 인한 사고가 대부분이며 가장 주된 원인은 사용자의 취급 부주의이다. 특히, 연구실 내에서 가스 사고가 일어나는 주요한 원인은 다음과 같다.

- 부실한 안전 교육과 감독
- 가스 실린더 설치 미비
- 관리 및 보관의 문제
- 사용상의 문제
- 환기가 좋지 않은 장소에서의 작업

(2) 가스 사고의 피해

가스에 의한 피해는 다시 물리적 피해와 화학적 피해로 구분할 수 있으며 이들의 피해 형태를 다음과 같이 기술할 수 있다.

가스와 관련된 사고의 피해 종류는 다음과 같다.

- 폭발(Explosion): 폭발성 가스(아세틸렌, 수소, LPG, LNG, 암모니아 등)가 누출되거나 발화되어 발생한다.
- 가스 중독(Gas poisoning): 독성 가스(염소, 염화수소, 일산화탄소, 아황산가스, 암모니아, 포스젠 등)의 누출로 발생한다.
- 질식(Suffocation): 질식성 가스(일산화탄소 등)의 누출로 인하여 혈액 내 산소가 부족하여 호흡이 곤란하게 된다.

① 물리적 피해

- 고압가스의 폭발에 의해 야기된 1차적 충격
- 고압가스 용기가 깨지며 발생된 파편에 의한 신체 손상
- 폭발 후에 따르는 발화원에 의한 2차적 화재

② 화학적 피해

- 독성 가스에 의한 질식, 마비 등의 피해
- 연소/폭발 한계(Combustion/Explosion Limit)

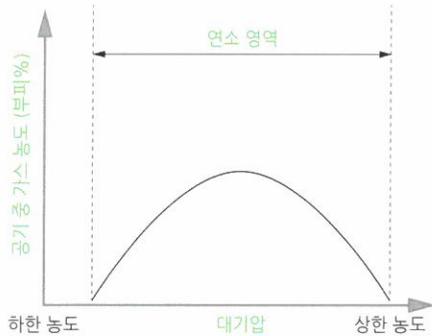


그림 2-1 연소 범위 및 한계 농도

가연성 가스는 조연성 gas와 적당히 섞여 있을 경우에만 연소, 폭발이 일어날 수 있는데 이 범위를 연소 범위 또는 폭발 범위라고 한다. 즉, 가연성 gas가 공기와 섞였을 때 연소를 발생시킬 수 있는 최고(상한) 또는 최저(하한) 농도의 범위를 말하며, 이는 특정 화학물질이 폭발하는데 필요한 농도의 최대량(최대 폭발 한계)과 최소량(최소 폭발 한계)에 근거한다. 폭발 한계는 이러한 최대 및 최소 한계의 영역에서 연소와 폭발이 일어나기 때문에 '폭발 영역(Explosive range)'이라고도 한다. 이 범위(한계)는 공기와 가연성 gas의 혼합물 중의 가연성 gas의 부피를 %로 표시되며, 연소할 수 있는 가장 높은 농도 범위를 상한, 최저 농도를 하한이라고 한다.





폭발의 조건

폭발에는 3가지 조건 즉, 연료(Fuel), 점화원(Ignition source), 조연제(산화제)(Oxidizing agent)가 반드시 필요하다. 다시 말하자면, 언급한 3가지 요소 중 어느 하나가 부족하여도 폭발은 일어나지 않기 때문에 이러한 요소의 통제는 폭발 사고를 예방하는데 매우 중요하다.

대부분 가스 물질을 다루는 환경에서 공기(조연제)는 최소한 존재하고 있기 때문에 폭발을 막기 위해서는 연료 물질이 폭발 범위의 농도를 가지지 않도록 해야 한다. 그렇기 때문에 배기 또는 환기 작업이 가스 물질 관련 조작 중 강조되는 이유이다.

또한 2가지 조건을 만족하고 있는 경우에도 최소 점화(발화) 온도 이상의 에너지가 점화(발화)원에 의해 공급되지 않는다면 폭발은 일어나지 않는다. 그러나 점화원은 전기 스파크, 고온 표면, 마찰열 등 다양한 원인으로 부터 비롯될 수 있기 때문에 연료 물질이 폭발 영역에 있지 않도록 하는 것이 매우 중요하다.

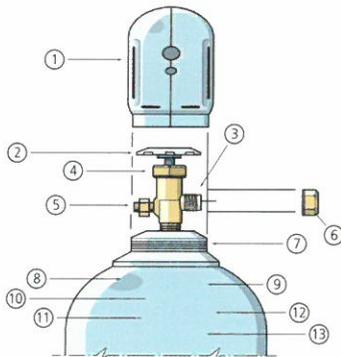
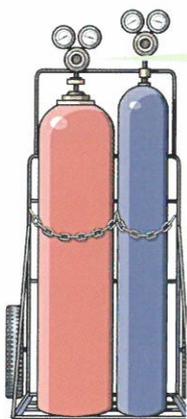
표 2-5 대표적 가스 물질의 연소/폭발 범위

가스	연소범위	가스	연소범위
수소	4~75	아세틸렌	2.5~81
일산화탄소	12.5~74	프로판	2.1~9.5
메탄	5~15	부탄	1.8~8.4
에탄	3~12.5	암모니아	15~28
에틸렌	2.7~36	시아나화수소	6~41



3. 가스의 취급과 저장

(1) 가스 용기의 구조



1. Cylinder Cap
2. Valve Handwheel
3. Valve Outlet Connection
4. Valve Pack Nut
5. Pressure relief valve
6. Valve Outlet Cap
7. Cylinder Collar
8. DOT/Cylinder type & PSI rating
9. Cylinder serial number
10. Initial hydrostatic test date
11. First 5 year hydrostatic retest
12. "*" qualifies for 10year retest
13. Original inspectors insignia

그림 2-2 가스 용기의 구조

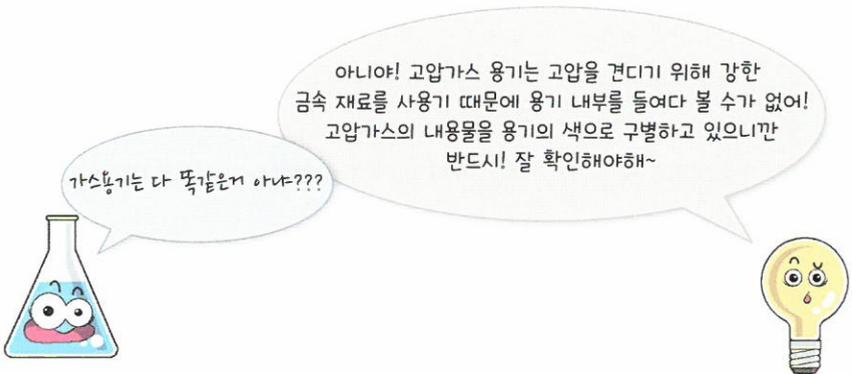
가스 용기 중 가장 취약한 부위는 소위 목(Neck)이라 불리는 밸브와 용기의 접합 부분이다. 용기의 대부분은 높은 가스의 압력을 견디기 위해 강철로 제작되지만 밸브 부분은 가공 등의 이유로 강도가 떨어지는 황동으로 제작되어있기 때문에 충격이 가해질 경우에 부서질 가능성이 있다. 따라서 이동과 저장 시에는 반드시 실린더 캡을 씌어 취약한 부분을 보호해야한다. 또한 가스 용기의 이동시에는 적절한 가스 용기용 운반 설비를 이용해야만 한다.

(2) 가스 용기의 구별

고압가스 용기는 고압을 견디기 위하여 강한 금속 재료를 사용하기 때문에 용기 내부를 들여다 볼 수가 없어 내용물이 무엇인지 확인하기 어렵다. 따라서 고압가스 용기는 약속에 의하여 고압가스의 내용물을 용기의 색으로 구별하고 있다. 대표적인 가연성 및 독성 가스를 비롯한 가스의 표시색은 다음의 표와 같다.

표 2-6 가스의 종류에 따른 용기의 색상

종류	도색의 색상	종류	도색의 색상
산소	녹색	산소	백색
수소	주황색	사이클로프로판	주황색
마세틸렌	황색	아산화질소	청색
액화암모니아	백색	액화탄산가스	회색
액화염소	갈색	에틸렌	자색
액화탄산가스	청색	질소	흑색
소방용 용기	소방법에 의한 도색	헬륨	갈색
기타 가스	회색	기타 가스	회색



	USA		ISO	
이산화탄소		회색		회색
헬륨-산소		갈색/녹색		갈색/흰색
의료용가스		노란색		흑색/흰색
질소		흑색		흑색
이산화질소		파란색		파란색
산소-헬륨		녹색/갈색		흰색/갈색
산소		녹색		흰색
진공		흰색		노란색
마취가스 처리폐기물		보라색		보라색

그림 2-3 미국과 ISO의 가스 용기 색상 기준

같은 가스와 하더라도 표시색이 다를 수 있으므로 가스 용기의 색에 의존하여 가스를 구분하는 것은 피해야한다. 또한 일부 사고가 다른 가스가 담겨져 있던 용기에 또 다른 가스를 충전하여 사용하는 행위에 의해 발생하였다는 사실을 명심하여 라벨의 가스 명칭과 색이 일치하지 않는 경우에는 절대 사용하지 말고, 즉시 안전 관리자에게 연락하여 제조 또는 공급업자로부터 정확한 정보를 받거나 교환을 요구해야 한다. 또한 가스 용기 내 가스의 종류가 불분명한 경우(라벨이 없는 경우)는 미지 용기라고 표시한 후 안전 관리자에게 연락하여 조치하도록 해야 한다. 한편, 가스의 특성은 MSDS를 통하여 사용 전에 반드시 확인해야 함도 잊지 말아야 한다. 추가적으로 용도에 따라 색이 다르게 표시되기도 하며 대표적으로 의료용 산소는 백색으로 표시되기도 한다.

(3) 가스 사용 시 주의 사항

고압가스를 사용할 때는 다음의 사항을 주의해야 한다.

- 고압가스 용기의 라벨을 확인하여 가스의 종류를 확인하고 GHS/MSDS를 읽어 가스의 특성과 누출 시 필요한 사항을 숙지한다.
- 사용하지 않은 용기와 사용 중인 용기, 빈 용기는 구별하여 보관한다.
- 고압가스 용기는 반드시 고정 장치 또는 쇠사슬을 이용하여 벽이나 기둥에 단단히 고정해야 한다.
- 넘어지면서 밸브 목에 손상을 입게 되면 내용물이 누출되어 피해가 증가할 수 있으므로 보관 시에는 반드시 캡을 씌워 밸브 목을 보호할 수 있도록 한다.
- 고압가스 용기는 반드시 40℃ 이하에서 보관해야 하고 환기가 잘되는 곳에서 사용해야 한다.
- 가연성 가스와 조연성 가스가 같은 캐비닛에 보관되지 않도록 각별히 주의한다.
- 가스를 교체할 때는 약간의 압력이 남아 있어 공기가 들어가지 않도록 교체하도록 하며, 누출이 없는지 확인하고 교체 후에는 반드시 캡을 씌우도록 한다.
- 직접 사용처와 연결하는 것이 아니라 가스관으로 연결하여 사용처로 배분하는 시스템을 사용하는 경우에는 가스 용기 교체 시 가스관이 다른 가스로 오염되지 않도록 한다.
- 가스 용기를 연결할 때는 누출을 방지하고 기밀을 위해 너트에 테프론 테이프를 사용한다.
- 가스 사용 전 누출 검사와 압력조절기의 정상적 작동 여부를 확인 한다.
- 인화성 가스의 고압가스는 역화방지장치(Flashback arrestor)를 반드시 설치하여 불꽃이 연료 또는 조연제인 산소로 유입되는 것을 차단하여 폭발 사고를 방지해야 한다.
- 압력 조절기의 밸브를 갑자기 열게 되면 가스 흐름이 빨라져 마찰열 또는 정전기로 인한 사고의 위험이 있으므로 주의한다.



그림 2-4 실험실 내 가스 사용의 좋은 예와 나쁜 예

(4) 가스 저장 시 주의 사항

고압가스 용기를 저장함에 있어서도 다음과 같은 사항을 주의해야 사고 위험을 줄일 수 있다.



그림 2-5 방호벽 설치의 예(3m 이상 분리를 원칙으로 함)

- 가스 용기를 사용하지 않을 때는 가스 용기의 밸브를 잠그고 캡을 씌우도록 한다.
- 가스 용기가 넘어지지 않도록 확실히 고정해야 한다.
- 가스 용기는 항상 40℃ 이하에서 보관해야 한다.
- 사용한 용기와 사용하지 않은 용기는 구분하여 보관해야 한다.
- 저장 장소는 환기가 항상 잘되도록 한다.
- 가스 용기를 야외에서 저장할 때는 열과 기후의 영향을 최소화할 수 있는 장소이어야 한다.
- 가연성, 조연성, 독성 가스는 혼합 시 폭발의 가능성이 있으므로 항상 따로 저장하거나 방호벽을 세워 3m 이상 떨어뜨려 저장해야 한다.
- 반응성이 높은 가스들은 별도로 보관해야 한다.
- 가스 저장 장소에는 다른 물질, 특히 부식성 물질, 기름과 LPG 같은 인화성 물질, 점화원 등은 함께 보관하지 않도록 한다.
- 발화성(Pyrophoric) 독성 물질의 가스 용기는 환기가 잘되는 장소에 구분하여 보관하거나 가스 용기 캐비닛에 보관하고 지정된 사람만 접근하도록 한다.
- 가스 용기의 검사 여부와 더불어, 충전 기한 또한 반드시 체크하여, 충전 기한이 지났거나 임박하였을 경우, 가스의 사용을 중지하고 제조사에 연락하여 수거하도록 한다.



사고 예방 설비 기준

- ▣ 고압가스 설비에는 내부 압력을 상용압력 이하로 되돌릴 수 있는 안전장치가 설치되어 있어야 한다.
- ▣ 독성 가스 및 공기보다 무거운 가연성 가스의 저장시설에는 가스가 누출될 경우 이를 신속히 검지하여 효과적으로 대응할 수 있도록 가스 검출기의 설치가 필요하다.
- ▣ 가연성 가스의 저장 설비 중 전기 설비는 설치장소 및 가스의 종류에 따라 적절한 방폭 성능을 가지도록 한다.
- ▣ 가연성 가스의 가스 설비실 및 저장 설비실에는 누출된 고압가스가 체류하지 않도록 환기구를 갖추어야 한다.
- ▣ 가연성 가스 저장 설비에는 내부에서 발생한 정전기가 점화원이 되는 것을 방지하기 위하여 필요한 조치를 하는 것이 필요하다.

(5) 가스 이송 시 주의 사항

고압가스 용기를 이송하는 동안에 많은 사고 발생 위험이 있기 때문에 다음 안전 수칙을 잘 지켜야 한다.

- 고압가스 용기를 이송할 때는 항상 방호 장갑, 보안경, 안전화를 착용하고 지정된 이동 장비를 이용해야 한다.
- 인화성 물질을 이송하는 경우 소화기, 화재 방지 장비, 개인 안전장비 등을 구비하고 이송한다.
- 이송하기 전에 반드시 압력 조절기를 떼고 밸브를 잠그고 캡을 씌워 다른 물체와의 충격으로부터 보호한다.
- 가스 용기를 올리고 내리는 경우 다른 용기와 부딪히거나 떨어뜨려 충격을 주지 않도록 주의한다.
- 서로 반응할 수 있는 용기는 같이 이송하지 않는다.
- 가스 용기를 이송하는 동안에도 항상 40℃ 이하를 유지하도록 한다.

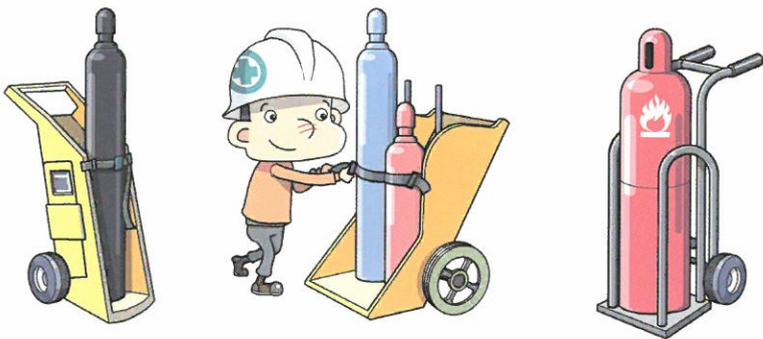


그림 2-6 올바른 가스 용기 이송의 예

(6) 압력 조절기

① 압력 조절기 사용 시 주의사항

압력 조절기(Pressure regulator)는 정확한 양의 가스를 이송하는 매우 중요한 장비이다. 따라서 안전 확보를 위해 압력 조절기가 적절하게 작동하도록 보정과 보관, 정비에 신경을 쓸 필요가 있다.

다음은 압력 조절기 각 부품의 명칭이다. 압력 조절기의 사용 전에는 반드시 각 부품 및 파트의 기능과 올바른 사용법을 숙지하고 있어야 한다. 또한 가스 용기와 압력 조절기를 연결할 시에는 올바른 기구를 사용하도록 한다. 가연성 가스와 일반 가스 용기의 나사선은 반대 방향으로 만들어져 있으므로, 이 또한 숙지하여 연결 시 주의하도록 한다.

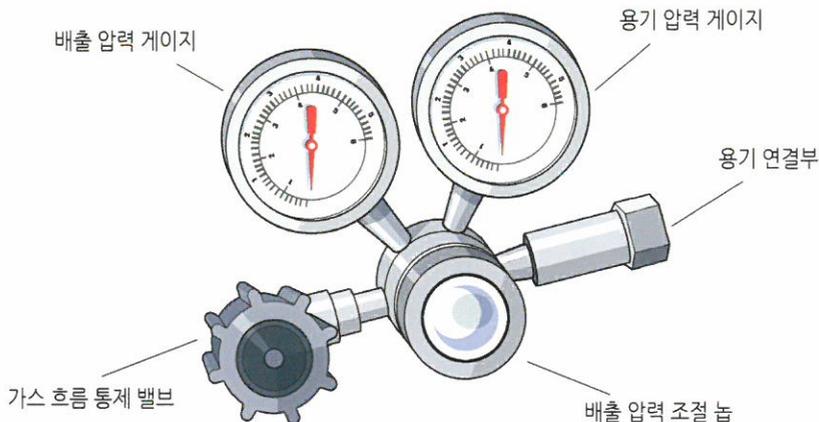


그림 2-7 압력 조절기의 부품 명칭

- 압력 조절기는 가스 용기의 출구와 연결해야 한다.
- 압력 조절기의 배출 압력 조절 knob을 반 시계 방향으로 돌려 완전히 느슨하게 한다.

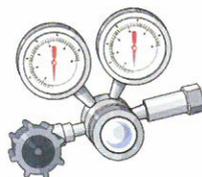
- 가연성 가스의 경우, 일반 가스와는 반대방향으로 만들어져 있기 때문에 느슨하게 하기 위해서는 시계 방향으로 돌려야한다.
- 압력 조절기의 가스 흐름 통제 밸브가 완전히 잠겨 있는지 확인한다.
- 압력 조절기의 압력계가 가스 용기의 압력을 나타낼 때까지 가스 용기의 밸브를 서서히 연다.
- 압력이 원하는 수준에 도달할 때까지 압력 조절기의 배출 압력 조절 노를 시계 방향으로 돌려 연다.

② 압력 조절기의 종류

압력 조절기는 아래와 같이 사용 목적과 가스의 종류에 따라 다양한 종류가 있다.



1단



2단



저압



고압

그림 2-8 압력 조절기의 종류

4. 가스 사고 대응 요령

가스와 관련된 사고가 발생하는 경우에는 다음과 같이 대응하는 것을 숙지하고 가상 훈련 등을 실시하여 몸에 익히도록 한다.

(1) 누출 정지

- 펌프와 밸브를 잠근다.
- 모든 장비의 작동을 멈춘다.
- 누출이 발생한 지역을 표시를 하여, 작동을 멈출 수 있도록 한다.
- 누출된 가스의 종류와 양을 확인하고 상황을 정확히 파악한 후 관계자에게 알린 후 119로 연락한다.

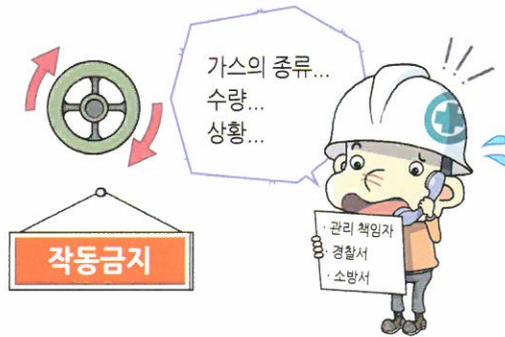


그림 2-9 올바른 누출 사고 시 대책 요령

(2) 누출 지역의 폐쇄 및 봉쇄

- 누출을 확인하는 경우에는 이 방법이 매우 효과적이다.
- 폐쇄된 부분의 누출은 쉽게 확인할 수 있다.
- 개방된 부분누출이 발생한 경우, 누출의 정도에 따라 직접 봉쇄를 적용할 수 있다.



그림 2-10 독성 가스의 밀폐를 통한 확산 방지

(3) 화재 및 대피

누출과 동시에 점화되거나 폭발하는 경우에는 아래 대응이 필요하다.

- 독성 또는 인화성 가스의 누출이 원인이 된 화재의 경우에는 폭발과 중독의 위험을 피하기 위해 신속하게 대피해야 한다.
- 화재가 발생한 장소는 있는 그대로 놓아둔 채 떠나는 것이 좋으며 예방적 조치로 연소물질을 제거하거나 필요한 관계자를 제외한 다른 사람들의 접근을 차단한다.
- 피난처를 마련하고 사고를 예방하도록 한다.
- 독성 가스와 접촉한 신체에 대하여 응급 처치 키트를 사용하여 조치를 취한다.
- 가스 안전 책임자는 일주일에 한번 정도 예방적 조치를 확인하며, 가스마스크, 정화통과 같은 소모품은 사용 후 교체하거나 정기적으로 다시 채워놓아야 한다.



그림 2-11 화재 및 대피 요령

(4) 독성 물질 누출에 대한 대응

독성 물질이 누출되는 경우에는 중독의 가능성이 있기 때문에 다음의 대응 방안을 고려해야 한다.

- 독성 가스가 누출된 지역의 사람들에게 경고를 한다.
- 호흡을 최대한 멈춘다.
- 마스크나 수건 등으로 입과 코를 최대한 막도록 한다.
- 얼굴은 바람이 부는 방향으로 향한다.
- 높은 지역으로 뛰어간다.
- 독성 가스의 누출을 관리자나 책임자에게 보고한다.



그림 2-12 독성 물질 누출 시 대책 요령

(5) 독성 가스 보호 장비의 정비

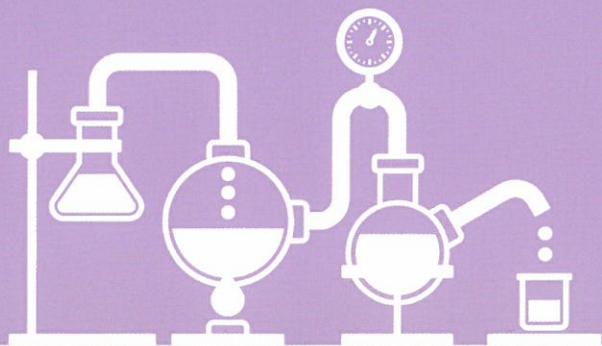
- 밸브를 잠근다든지 아니면 오염 지역을 정화하는 경우에 필요한 보호 장비는 독성 가스를 사용하는 지역 근처에 보관해야 한다.
- 보호 장비는 책임 있는 관계자에 의해 적어도 일주일에 한 번 검사하며 가스마스크, 정화통과 같은 소모품은 사용 후 교체하거나 정기적으로 다시 채워놓아야 한다.
- 호흡 보조 장치에는 항상 미리 설정한 값 이상의 압력이 가용해야 한다.
- 연구실의 연구활동종사자에게는 비상 시 효과적으로 사용할 수 있도록 정기적으로 (3개월에 한번 이상) 보호 장비 사용에 관한 훈련이 제공되어야 한다.

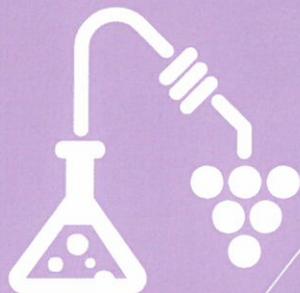
(6) LPG, 도시가스(LNG) 사고 시 응급조치 방법

- LPG의 경우에는 공기보다 무겁기 때문에 방바닥으로 가라앉으므로 침착히 빗자루 등으로 쓸어내야 한다.
- 이 때 급하다고 환풍기나 선풍기 등을 사용하면 스위치 조작 시 발생하는 스파크에 의해 점화될 수 있으므로 전기 기구는 절대 조작해서는 안 된다.
- LPG 판매점이나 도시가스 관리 대행업소에 연락하여 필요한 조치를 받고 안전한지 확인한 후 다시 사용한다.
- 화재 발생 시에는 가스기구의 코크를 잠근 후 시간이 있으면 밸브까지 잠귀 주도록 한다.
- 대형화재일 경우에는 도시가스회사에 전화를 하여 그 지역에 보내지고 있는 가스를 차단하도록 한다.

연구실 안전 표준교재

화학 · 가스 안전





CHAPTER

3

화학 · 가스 안전 사고 사례

1. 화학 안전 사고 사례
2. 가스 안전 사고 사례



3

화학 · 가스 안전 사고 사례



연구활동종사자의 보건에 위해를 끼치는 다양한 화학물질과 가스와 관련된 사고 사례를 살펴보고, 이들 사고의 원인 분석과 적절한 대응 방법 및 예방법을 알아본다. 연구실 안전의식을 강화하고 실험 전후 철저한 안전 점검을 통해 안전한 연구 환경 조성에 앞장서도록 한다.

1. 화학 안전 사고 사례

많은 화학물질은 독특한 성질을 가지고 있으며 이 특성에 따라 적절하게 다루지 않으면 사고의 발생 또는 이를 다루는 연구활동종사자의 보건에 위해를 끼치게 된다. 이러한 화학물질에 대한 무지가 원인인 사고의 사례를 살펴보고 이들 사고의 예방법을 정리하여 보자.

(1) 수은의 유해성

수은은 온도계나 전지 등 실생활에 밀접하게 이용되지만 증기가 매우 유독한 물질이다. 최근에는 이러한 사실이 매우 잘 전파되어 직접적인 위해를 당하는 경우는 매우 드물지만 제대로 처리하는 방법을 모르는 경우가 많아 장기적인 피해의 가능성이 아직도 상당히 있다. 관련사고 사례와 누출된 수은의 처리법을 간단히 요약해본다.



그림 3-1 노출된 수은의 모습과 인체 유해성을 나타낸 도식도



미국 대학 수은 누출 사고

사고개요

- 사고 일시: 2011년 3월 24일 14시 35분경
- 사고 장소: 미국 프로비던스대학 화학실험실
- 사고 유형: 유해물질 누출사고
- 피해 상황: 교수 및 학생 10여명 수은에 노출, 전문기관에서 검사 및 치료

예방조치

- 수은은 쉽게 깨지지 않는 견고한 용기에 보관하고 피부에 접촉되지 않도록 주의한다.
- 수은을 었지를 경우 많은 양은 주사기로, 적은 양은 반창고 등으로 수거해야 한다.
- 진공청소기를 사용할 경우 강력한 흡인력과 열로 수은이 증기화되기 때문에 절대 사용하지 않아야 한다.
- 수은을 폐기할 때는 물을 채운 용기에 넣고 밀봉한 후, 안전 관리자에게 연락한다.



수은 화합물에 의한 중독사

사고개요

- 사고 일시: 1996년 8월
- 사고 장소: Darmouth College 연구실
- 사고 유형: 독성물질의 피부 접촉에 의한 중독
- 피해 상황: 사망 1명(교수)

예방조치

- 고무장갑은 모든 화학물질을 방어하지 못하므로 반드시 알맞은 개인 보호구를 착용한다.
- 사소한 화학물질의 접촉이라도 반드시 병원에서 검사를 해야 한다.
- 습관적 행동에 따른 부주의를 주의한다.

(2) 고체 분말의 폭발 위험성

화학반응 속도는 표면적에 비례하기 때문에 큰 덩어리 물질의 반응은 느리지만 작은 분말의 경우는 반응 속도가 매우 빠르다. 최근 나노기술의 발전에 따라 나노물질을 다루는 연구실이 증가하고 있고 보건상의 위험뿐만 아니라 우연한 점화원에 의한 폭발 가능성도 있기 때문에 주의할 필요가 있다.



S대학 원자핵공학과 폭발 사고



그림 3-2

알루미늄 분말 노출로 인한 사고와 Raman 장비의 모습

사고개요

- 사고 일시: 1999년 9월 18일
- 사고 장소: 원자핵공학과 연구실
- 사고 유형: 알루미늄 분말에 의한 폭발
- 피해 상황: 사망 3인, 부상 1인

예방조치

- 금속 분말은 폭발 가능성이 높으므로, 점화원을 주위에서 제거한다.
 - 사고 발생 후의 피해 보상에 대비하여 보험 가입을 한다.
- ※이 사건의 계기로 '연구실 안전 환경 조성에 관한 법률'이 제정되었다.



마그네슘 분말 화재 사고

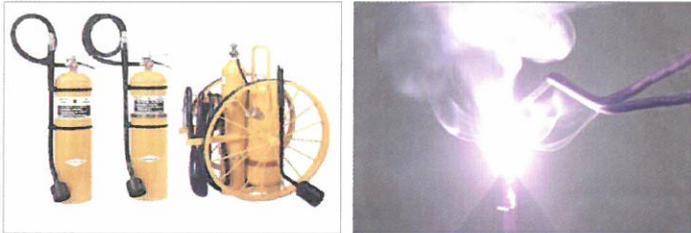


그림 3-3 마그네슘 연소 반응과 금속화재용 소화기의 모습

사고개요

- 사고 일시: 2010년 10월 7일 9시 17분경
- 사고 장소: 미국 테네시주립대학교 재료공학부 실험실
- 사고 유형: 화학약품 화재 사고
- 피해 상황: 피해 없음

사고원인

- 마그네슘을 자르고 늘리는 샘플 제작과정에서 발생한 분말이 원인으로 추정된다.

예방조치

- 반응성이 큰 물질은 실험에 필요한 최소량만 구매하여 사용한다.
- 실험실에 화학약품의 누적 보관을 금지하며, 가능하면 반응성이 약한 화합물로 대체 사용을 권장한다.
- 마그네슘, 알루미늄, 나트륨(소듐) 등 금속성 금속 취급 시 주의 사항에 유의한다.
- 금속성 금속의 경우, 물이나 수분과의 접촉 시 화재의 위험이 있다.
- 마그네슘, 알루미늄의 경우 분말 형태로 존재 시 폭발의 위험이 있다.
- 금속성 화합물질에 의한 화재 발생 시 마른 모래, 금속 화재용 소화기를 사용한다.

(3) 금속성 물질의 위험성

금속성 물질이란 물과 격렬한 반응을 하는 물질로서 물과의 접촉을 최소화하기 위해 보통 기름 속에 저장하게 된다. 그러나 취급하는 과정에서 물과 접촉하는 경우에는 격렬한 반응에 의해 열이 발생하고 보통 동시에 발생하는 수소가 공기와 격렬히 반응하여 폭발하게 된다. 때때로 황린과 같이 자연발화성(공기 중 발화 위험성)을 가지고 있는 물질을 일컫기도 한다. 다량의 양을 한꺼번에 저장하는 것은 피해야하며, 나누어 차가운 곳에 저장해야만 한다. 소화 시에는 분말 소화 약제를 활용할 수 있다.

알칼리 금속 : Li, Na, K

알칼리 토금속 : Ca, Mg

하이드라이드 : KH, NaH, LiAlH₄, NaBH₄, CaC₂ 등



물과 폭발적으로 반응하여 가연성기체(H₂)와 열 발생

그림 3-4 금속성 물질의 종류 및 성질



미국 서던메소디스트 대학 실험실 사고

SMU Student Burned in Chem Lab
Associated Press, in the City, 11/11/10

MISFIRE/SCUM

CALLAS - A student was burned in a chemistry lab accident at Southern Methodist University laboratory on Tuesday afternoon.

The incident happened at about 7:30 during an experiment at the Fancher Science Building in the 1208 block of Daniel Avenue, officials said.

The unidentified student accidentally triggered a fire by pouring water too quickly on the chemical sodium acetate, they said.

She suffered a minor burn and was treated at a university medical facility.

Two other students and an instructor in the lab with her were not injured.

Dallas Fire-Rescue extinguished the blaze in about 15 minutes.

Some lab facilities were shut down temporarily, it added.



Top left: Fire Rescue at the campus of a university in Dallas, Texas. Southern Methodist University, May 11, 2010. Credit: Matt Stone.



금수성 물질

그림 3-5 수소화 나트륨 사고 기사 및 금수성 물질의 성질

사고개요

- 사고 일시: 2010년 5월 11일 15시 20분경
- 사고 장소: 미국 서던메소디스트대학교 실험실
- 사고 유형: 화학물질 화재 사고
- 피해 상황: 부상 1인

사고원인

- 금수성 물질인 NaH(수소화 나트륨(소듐))을 취급하던 중 NaH를 얼음물에 부었다.

예방조치

- 화학물질 취급 시에는 사전에 MSDS를 이용하여 특성 및 안전 정보를 숙지한다.
- 금수성 물질은 내화시설 내에서 건조한 상태로 실온 보관하며, 수용액, 흡습성 물질과는 함께 저장하지 않는다.
- 피부나 눈에 닿으면 화상 또는 실명의 위험성이 있으므로 취급 시 보호 장갑, 보안경 등 개인 보호 장비를 반드시 착용한다.
- 금수성 물질에 의한 화재 발생 시에는 마른 모래, 건조한 석회 또는 금속 화재 진압용 소화기를 사용한다.



부틸 리튬 폭발 사고

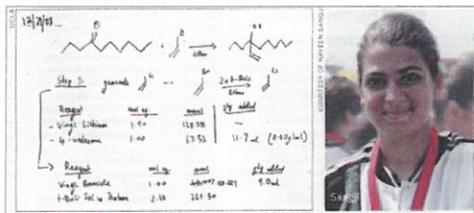


그림 3-6 부틸 리튬 폭발 사고 피해자

사고개요

- 사고 일시: 2010년 5월 11일 15시 20분경
- 사고 장소: 미국 UCLA 화학 실험실
- 사고 유형: 화학물질 폭발 사고
- 피해 상황: 사망 1인

사고원인

- 유기 합성 실험을 위해 1, 2차 예비 실험 후 3배로 규모를 확대한 실험 중 발생하였다.
- 부틸 리튬이 폭발하며 후드 안에 보관하고 있던 헥세인에 의해 확산되었다.
- 불이 실험자 옷에 붙으며 화상으로 인한 사망자가 발생하였다.

예방조치

- 실험용 초차 및 마개의 결합 여부를 사전에 점검한다.
- 후드 안에 헥세인과 같은 인화성 물질을 보관하지 않는다.
- 위험한 반응 실험을 혼자하지 않는다.
- 예비 실험의 결과를 충분히 분석하여 본 실험의 위험성을 평가한 후 실험한다.
 - 보안경, 보호 장갑, 실험복과 같은 개인보호구를 반드시 착용한다.



화학약품 폭발에 의한 화상 사고



세정기(eye washer) 및 비상샤워기 사용법

그림 3-9

미국 메릴랜드 대학교 사고 보도 및 세정기와 비상샤워기 사용법

사고개요

- 사고 일시: 2011년 9월 26일 12시 30분경
- 사고 장소: 미국 메릴랜드대학교 유기화학 실험실
- 사고 유형: 화학약품 폭발 사고
- 피해 상황: 화상 및 자상 2명(얼굴, 팔 1-2도 화상), 흡후드 1대 파손

사고원인

- 질산, 황산과 혼합 시 급격히 반응하는 물질(유기용매, 물 등)이 폐기 화학약품 수집용기에 들어있는 상태에서 질산과 황산의 혼합물을 폐기함으로써 폭발이 발생한 것으로 추정된다.

예방조치

- 화학실험 과정에서 발생하는 실험 폐수는 반드시 관련기관에서 배부하는 지정된 저장용기에 수집한다.
- 산, 염기성 화학약품에 의한 화상사고 발생 시 응급조치를 숙지한다.
- 신속히 샤워기, 세정기를 이용하여 다량의 흐르는 물로 충분히 (15분간) 세척한다.
- 실험복, 신발 등에 묻었을 경우 화학약품이 피부에 닿기 전에 신속히 탈의한다.
- 화학약품을 취급하는 기관에서는 해당 실험실 부근에 비상샤워기와 세정기를 설치하고, 비상 시 정상 작동이 될 수 있도록 정기적으로 관리한다.



산성 실험 폐수 누출 사고



그림 3-10 산성 실험 폐수 누출 사고 현장

사고개요

- 사고 일시: 2011년 9월 2일
- 사고 장소: S 대 OO 기관 실험실
- 사고 유형: 화학약품 누출 사고
- 피해 상황: 피해 없음

사고원인

- 초자기구 세척용으로 사용되는 피라나 용액(황산+과산화수소)의 과산화수소가 실험 폐수가 저장 용기에 수집, 보관되는 과정에서 온도가 상승하였다.
- 활성도가 높아진 용액이 다른 내용물과 반응, 증가된 내부 압력에 의해 용기에 균열이 생겨 질산, 염산 등의 산성 폐액이 용기 외부로 누출되며 발생했다.

예방조치

- 과산화수소수는 충분히 활성도를 낮추고 실험 폐수 저장용기에 수집한다.
- 화학실험 과정에서 발생한 실험 폐수는 반드시 관련 기관에서 배부한 용기에 수집한다.
- 실험 폐수는 산, 알칼리, 유기, 무기로 구분하고 지정된 용기에 각각 분리, 수집한다.
- 반응성 및 폭발성 물질은 안전한 물질로 전환 후 용기에 수집한다.
- 사전에 MSDS를 검토하여 같은 계통의 물질이라도 공존할 수 없는 물질은 동일한 용기에 수집을 금지한다.



실험 폐수 저장용기 폭발 사고

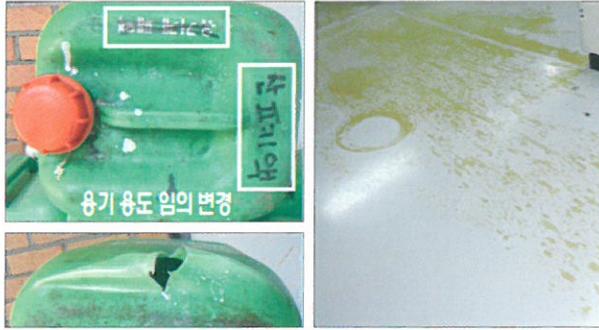


그림 3-11 실험 폐수 누출 사고 현장

사고개요

- 사고 일시: 2010년 4월
- 사고 장소: S 대학교 OO 기관 실험실
- 사고 유형: 실험 폐수통 폭발
- 피해 상황: 실험실 내부 오염

사고원인

- 유기물과 접촉 시 폭발하는 성질을 가진 황산과 유기용매인 톨루엔이 동일한 실험 폐수 저장용기에 수집되면서 용기가 폭발하였다.
- 사고 당시 실험실에서는 유기계 실험 폐수 저장용기를 임의로 산 저장용으로 변경하여 사용했다.

예방조치

- 화학실험 과정에서 발생하는 실험 폐수는 산, 알칼리, 유기, 무기계로 구분하여 기관에서 제공하는 지정된 저장용기에 분리, 수집한다.
- 용기에는 전표를 부착하고 실험 폐수 수집 시 전표 뒷면에 주요 성분을 기록한다.

(5) 휘발성이 큰 물질의 위험성

산성 증기 흡입 사고



그림 3-12 사고 보도 및 시약장으로 변한 흡 후드의 모습

사고개요

- 사고 일시: 2011년 6월 10일 3시 40분경
- 사고 장소: 미국 뉴욕 주립대학(스토니브룩 캠퍼스) 해양대기과학 연구소
- 사고 유형: 유해물질 누출 사고
- 피해 상황: 유해 증기 흡입 2명

사고원인

- 사고 실험실 흡 후드 내부에 있던 시약병에서 산성의 유해 증기가 누출된 것으로 추정된다.

예방조치

- 실험 종료 후 퇴실 시에는 실험 폐수를 포함한 유해물질 방치 여부 및 기기 작동 등 안전 점검을 실시하고 일일점검표를 작성한다.
- 올바른 후드 사용법을 참조한다.
- 후드 사용 전 정상 작동 여부를 확인한다.(휴지 부착 후 흡입 여부 확인)
- 후드를 시약 보관 장소로 사용하지 않는다.
- 실험 장치는 후드 끝에서 최소 15cm 안쪽에 설치한다.



화학약품 폭발 사고

University Student Hurt in Explosion
 Waltham, MA
 Wicked Local Waltham



WALTHAM — A Brandeis University graduate student sustained first- and second-degree burns and lacerations to his face in a chemical explosion at the school's science building Thursday morning, said Fire Chief Richard Cardillo.
 The student, a male who has not yet been identified, was rushed to Mass. General Hospital with non-life-threatening injuries following the explosion at 100.09 a.m., Cardillo said.



그림 3-13 미국 브랜다이스 대학교 사고 보도 및 사용 전 유리 플라스크 점검절차 필요

사고개요

- 사고 일시: 2010년 9월 9일 10시 30분경
- 사고 장소: 미국 브랜다이스 대학교 과학과
- 사고 유형: 유기 용매 폭발 사고
- 피해 상황: 화상 1명

사고원인

- 대학원생이 테트라하이드로퓨란을 감압증류를 통해 저온에서 모으는 실험을 하던 중, 사용된 유리 플라스크의 밀봉 부위 결함으로 공기 중 산소가 응축되면서 폭발이 일어난 것으로 추정

예방조치

- 화학물질 취급 시에는 사전에 MSDS를 이용하여 안전정보 숙지한다.
- 유리 실험기구(초자 기구) 사용 시 유의 사항을 숙지한다.
- 사용 전 깨지거나 금이 간 곳이 없는지 확인한다.(특히 고온 가열 또는 진공을 거는 실험은 반드시 확인)
- 감압 증류 시에는 깨지기 쉬운 삼각플라스크보다 둥근 플라스크를 사용한다.
- 유리 기구의 연결 부위는 반드시 진공 그리스 또는 진공 연결 장치를 이용하여 공기가 새어들지 못하게 한다.



발연황산 누출 사고



그림 3-14 S 대학교 발연황산 누출 사고 현장

사고개요

- 사고 일시: 2011년 8월 8일
- 사고 장소: S대학교 OO기관 실험실
- 사고 유형: 화학약품 누출
- 피해 상황: 피해 없음

사고원인

- 초저온 냉동고에 보관 중이던 부식성이 강한 발연황산이 정전으로 전기가 차단되는 동안 냉동고 외부로 누출되어 사고 발생했다.

예방조치

- 정전 시 사고의 우려가 있는 실험 장비를 보유하고 있는 기관 및 실험실은 비상전원 공급장치(UPS) 설치 등 정전에 대비한 자구책을 마련한다.
- 인화성 액체, 반응성 및 폭발성 물질은 가급적 실험에 필요한 최소량만 구매, 사용한다.
- 실험실에 누적 보관을 금지하며, 화학약품 관리에 각별한 주의를 기울인다.



유기용매 유증기 폭발 사고



그림 3-15 경북 구미시 기술연구소 폭발 사고 현장

사고개요

- 사고 일시: 2011년 8월 27일 13시 34분경
- 사고 장소: 경북 구미시 OO케미컬 기술연구소
- 사고 유형: 화학약품(유증기) 폭발 사고
- 피해 상황: 사망 5명, 중상 2명, 약 100억원 재산 피해

사고원인

- 섬유원사 건조기에서 신소재 섬유를 건조하던 중 건조 라인에서 발생한 가연성 헵테인 유증기가 배출되지 못하고 체류되다가 내부 작업장에 의해 발생한 정전기가 폭발범위 1.1~6.6%를 형성한 헵테인 유증기에 착화되면서 폭발 및 화재 발생했다.

예방조치

- 유증기가 체류할 수 있는 장소에는 폭발 및 가스 중독 사고를 방지하기 위하여 반드시 통풍 및 환기 설비를 설치해야 한다.
- 정전기 방전 스파크로 인한 화재 및 폭발의 위험성이 있는 장소에서는 접지 및 방폭 전기 기구 사용을 금하고 출입자는 제전복, 제전화, 제전장갑 등을 착용해야 한다.
- 폭발, 화재 등의 위험성이 수반되는 실험은 사전에 연구책임자와 충분한 논의를 거친 후 표준 안전절차에 따라 진행해야 한다.



염화티오닐 폭발 사고



그림 3-16 염화 티오닐의 유해성 및 폭발 사고 현장 모습

사고개요

- 사고 일시: 2011년 6월 25일 10시 47분경
- 사고 장소: 미국 보스톤대학교 Merkert Chemistry Center
- 사고 유형: 화학약품 폭발 사고
- 피해 상황: 자상/화상 1명

사고원인

- 정확한 사고 원인은 미상이나 실험 절차상 문제로 일어났을 것으로 추정된다.
- 연구원이 홀로 실험실에서 소량의 염화티오닐을 이용하여 실험을 하던 중 예상하지 못한 화학 반응이 일어나면서 염화티오닐이 들어 있는 비커가 폭발하였다.

예방조치

- 실험실에서 홀로 실험하지 않는다. 불가피하게 홀로 실험할 경우, 미리 연구책임자 및 동료에게 알려 상황을 알리도록 한다.
- 실험은 사전에 실험 단계별 안전성 여부를 확인하고, 그 절차에 따라 실시하며 보안경, 안면보호대, 보호 장갑 등 적절한 개인 보호 장비를 착용한다.
- 화학물질 취급 시에는 MSDS를 활용하여 인체 유해성, 독성, 취급 방법 등 안전 정보를 사전에 숙지한 후 취급해야 한다.

(6) 인체 유해물질 누출 오염 사고



대학 내 실험실 피리딘 누출



Students hospitalized after chemical spill

Firefighters evacuated the Phillips Wangenstein Building after a spill on a seventh floor lab.

By Jason Nix

Minnesota firefighters contained off a roughly two-liter amount of flammable liquid following a chemical spill out before 9 p.m. at the Phillips Wangenstein Building.

Two students fell between two and four feet of the board-out chemical protection, a seventh floor lab in the building. Minnesota Fire Department Battalion Chief Mike Carroll said.

At least eight fire trucks and a HAZMAT team responded.



피리딘

그림 3-17 화학약품 운반용기의 모습, 사고보도 및 피리딘의 유해성

사고개요

- 사고 일시: 2010년 9월 29일 18시경
- 사고 장소: 미국 미네소타대학교 Phillips-Wangenstein building
- 사고 유형: 유해물질 오염사고
- 피해 상황: 피리딘 노출 2명

사고원인

- 연구원이 실험과정에서 피리딘 2-4L를 실험실 밖으로 운반 중 부주의로 입구 부근에서 옆질러 건물 내부로 오염이 확산되었다.

예방조치

- 유리 용기에 든 화학약품 운반 시에는 누출이 없고, 깨지지 않는 전용 운반 용기 또는 2차 용기에 넣어 운반해야 한다.
- 실험실 내 인화성 물질 보관, 취급 시 주의사항을 숙지한다.
 - 실험에 필요한 최소량만 구매, 사용하고 실험실 누적 보관을 금지해야 한다.
 - 취급은 가급적 흡 후드 안에서 또는 환기장치 밑에서 해야 한다.
 - 열, 불꽃, 스파크 등 점화원을 피해야 한다.

2. 가스 안전 사고 사례



인도 보팔의 Union Carbide 농약 공장 메틸아이소시아네이트(MeNCO) 누출 사고

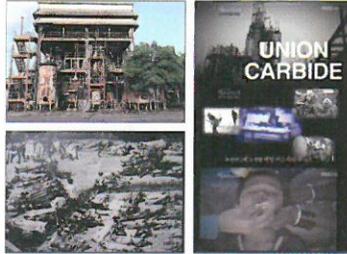


그림 3-18 인도 보팔 화학물질 누출사고

사고개요

- 사고 일시: 1984년 12월 2일
- 사고 장소: 인도 보팔시 Union Carbide 농약 공장
- 사고 유형: 독성 가스 MeNCO 40~45 톤 누출
- 피해 상황: 사망 3,500명 이상(일부 보도에는 6,900명 이상), 50만명 이상 부상

사고원인

- Union Carbide 농약 공장에 저장되었던 MeNCO(메틸아이소시아네이트) 40~45톤이 누출되었다.

예방조치

- 독성 가스의 누출에 대비한 다양한 시설 확보 및 응급 대응 훈련을 실시한다.
- 주민들에게 독성 가스 존재를 공지하고 비상시 대피에 필요한 정보를 제공한다.
- 독성 가스 사용을 피할 수 있는 새로운 공정의 개발이 필요하다.
- 적절한 피해 보상을 위한 대책 마련이 필요하다.



미국 미주리 대학교 수소 가스 폭발 사고



그림 3-19 미국 미주리 대학교 가스 폭발 사고

사고개요

- 사고 일시: 2010년 6월 28일 오후 2시 20분경
- 사고 장소: 미국 미주리 대학교 콜롬비아 캠퍼스 생화학 실험실
- 사고 유형: 가스 폭발
- 피해 상황: 중상 1명, 경상 3명

사고원인

- 황산염 저감 박테리아의 성장을 위해 필요한 2m³ 규모의 혼합 가스 (95% 수소 + 5% 질소)를 혐기 챔버(Anaerobic chamber)로 공급할 때 수소 가스의 과도한 공급으로 폭발 한계에 도달하였고 배양기 안의 점화원의 접촉으로 폭발 발생하였다.

예방조치

- 고압가스 용기를 안전하게 확보하고 이송과 저장 시 캡을 반드시 씌워야 한다.
- 재충전 기한을 넘긴 가스 용기는 밸브 파손의 위험이 있어 가스를 재충전하거나 오랜 기간 사용하는 경우에는 재충전 기한을 확인한다.
- 인화성과 독성 가스를 사용하는 실험실에는 가스 누출 감지 시스템 (Gas leakage warning system)을 설치하여 가스 누출 시 신속한 대응이 가능하도록 해야 한다.



대전 기업부설연구소 가스 누출 폭발 사고



그림 3-20 대전 기업부설연구소 가스 누출 폭발 사고

사고개요

- 사고 일시: 2009년 1월 8일 14시 40분경
- 사고 장소: 고분자 연구실
- 사고 유형: 가스 폭발 및 화재
- 피해 상황: 사망 1명, 부상 1명

사고원인

- 중합 실험을 실시하는 도중 반응 초기에 배치 반응기(10L)에 충전된 용매인 물, 1,3-butadiene, 인화성 액체와 같은 많은 반응성 화학 물질의 누출로 인한 폭발 사고이다.
- 반응기 하부에 있는 배출밸브를 열어 시료를 채취한 후, 밸브를 완전히 닫지 않아 반응성 물질이 누출되었으며, 이때 누출된 중합 물질과 액체가 1차 화재의 원인이 되었다. 기화된 액체가 작업 후드의 아래에 위치한 공기 공급 장치와 위에 위치한 배기 장치를 통해 배출되거나 배출부 내에 머물면서 형성된 증기 덩어리에 의해 2차 폭발이 발생하였다.

예방조치

- 밸브의 개폐 시 반드시 밸브의 개폐여부를 확인한다.
- 누출이 확인되면 신속히 밸브를 폐쇄한다.
- 증기 배출이 원활하도록 배기 장치 작동 여부를 확인한다.
- 개인 보호구 및 폭발에 대비한 안전면(Safety shield) 등을 사용한다.
- 고압 반응기의 경우 안전밸브 작동 여부를 확인한다.
- 비상시 대응조치의 주기적 훈련을 실시한다.



가스 누출로 인한 대학 실험실 폭발 사고



그림 3-21 가스 누출로 인한 대학 실험실 폭발 사고

사고개요

- 사고 일시: 2009년 7월 4일 16시경
- 사고 장소: 대전 소재 대학교 실험실
- 사고 유형: 가스 폭발
- 피해 상황: 유리창 및 천장 텍스, 실험 기자재 파손

사고원인

- 작은 부피(10ml)의 수소 저장 장치에서 적은 양의 수소 가스가 누출되어 폭발의 직접적 원인이 되었다.
- 실험 장치가 연구자가 입회하지 않은 채로 오랜 기간 가동되었으며 실험 장치의 비정상 작동여부에 대한 안전 점검이 이루어지지 않았기 때문에 장치가 오작동하고 멈추는 사고가 발생하였다.

예방조치

- 오래 실험 장치를 가동할 때는 반드시 실험자가 입회하여 정상 가동 여부를 관찰하고 오작동 시 즉시 적절한 조치를 취할 필요가 있다.
- 인화성 물질(수소 등)을 다룰 때는 아무리 작은 양을 사용하더라도 누출 여부와 점화원 존재 여부를 항상 점검 및 확인한다.



반응기 폭발 사고



그림 3-22 대전 연구소 유리반응기 폭발 사고

사고개요

- 사고 일시: 2002년 1월 21일 17:45분경
- 사고 장소: 대전 연구소 실험실
- 사고 유형: 반응기 폭발
- 피해 상황: 다리 찰과상 1명, 유리 반응기(200L) 손상

사고원인

- 잔류 수소 가스가 남아있는 상태에서 합성 반응의 후처리 공정으로 항생제 중간체를 급하게 이송하는 과정에서 발생한 것으로 추정된다.

예방조치

- 위험 요소를 완전히 제거하였는지 여부를 확인하지 않은 상태에서 급하게 실험을 조작하는 것은 피한다.
- 충분히 위험요소가 제거된 실험 환경을 유지하거나 폭발과 같은 위험성 여부를 감지할 수 있는 검출기의 활용 등 새로운 공정 개발이 필요하다.



연구소 내 연소 공학 실험실 폭발 사고



그림 3-23 연소공학 실험실 폭발 사고

사고개요

- 사고 일시: 2003년 5월 14시 54분경
- 사고 장소: 대전 K대 연소 공학 실험실
- 사고 유형: 폭발
- 피해 상황: 사망 1명, 중상 1명

사고원인

- 실험 계획의 수정에 의하여 압축 공기 대신에 질소 가스를 이용하여 압력을 가하는 실험중, Lanthanum-cobalt oxide 촉매가 과산화수소를 용해하는 과정에서 폭발 사고가 발생하였다.
- 10L 정도의 혼합 가스(27% 수소 + 73% 공기) 이송에 질소 가스를 사용하는 과정에서 밸브 목의 파열로 인한 가스 누출과 확인되지 않은 점화원에 의한 가스 용기의 폭발
- 오래 사용하지 않은 이유로 파열된 밸브가 확인되지 못한 채 사용되었다.

예방조치

- 항상 실험실은 깨끗하고 정돈된 상태를 유지한다.
- 고압가스 용기는 사용 전 항상 손상 여부를 확인하고 너무 오래된 용기는 사용을 금지한다.
- 충전 기한을 반드시 확인하고, 충전 기한이 지났거나 임박한 경우 사용하지 않도록 한다.(갑작스러운 밸브 개방은 가능한 회피할 필요가 있다.)
- 실험 계획의 변경이 있을 경우 사전에 위험성 평가를 통해 위험 요소를 확인하고 제거한다.



시화공단 내 반도체 생산용 가스 폭발 사고



그림 3-24 시화공단 내 반도체 생산용 가스 폭발 사고

사고개요

- 사고 일시: 2001년 10월 27일 오전 8시 30분경
- 사고 장소: 경기도 시흥시 시화공단 내 D 업체
- 사고 유형: 가스 폭발
- 피해 상황: 건물 파손

사고원인

- Rolling 과정에서 롤러의 크기에 맞지 않는 작은 용기의 밸브가 열리고 파손되고 다이보레인 가스(100%, 1.3kg)가 누출되고 폭발하였다.
- 가스 누출 및 폭발 사고 이후 제독 설비 기준이 없어 2차 대형사고의 발생위험이 존재했다.(반도체용 맹독성 가스(다이보레인, 실레인, 포스핀 등 약 7종)의 시설 및 취급 기준은 고압가스 안전 관리법에 의한 일반 가스 충전시설 기준이 적용)

예방조치

- 맹독성이며 가연성 기체를 위한 새로운 시설 기준을 설정한다.
- 규격에 맞는 장비와 용기의 사용을 철저히 감독한다.
- 조작 중 용기끼리 충돌에 의한 밸브 파손 가능성을 예의 주시하고 철저히 감독한다.

염소 가스 누출 사고

사고개요

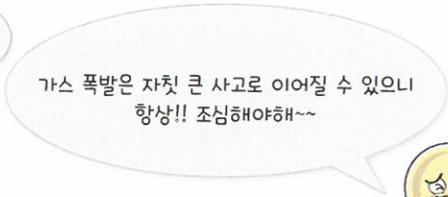
- 사고 일시: 1995년 12월
- 사고 장소: 미국 대학교 실험실
- 사고 유형: 가스 누출
- 피해 상황: 부상 1명

사고원인

- 염소 가스 용기에 가스관을 연결하고 가스 주 밸브를 열었을 때 누출되었다.
- 연구활동종사자가 스패너를 이용하여 밸브를 닫는 중에 밸브가 파손되어 염소 가스가 종사자가 있는 방향으로 배출되며 인명 피해를 입었다.

예방조치

- 과도한 힘으로 밸브를 잠그지 않도록 주의한다.(밸브 파손의 위험)
- 테프론 테이프를 이용하여 연결 부위의 기밀을 유지하여야 한다.
- 실험실 내에서는 반드시 보안경을 착용하여야 하며, 혼자서 실험하지 않는다. 특히 가스 용기의 조작은 숙련된 연구활동종사자와 같이 하도록 한다.
- 독성 가스 흡입 시 즉시 병원으로 이송해야 한다.





울산 정밀화학지원센터 실험실 폭발 사고



그림 3-25 울산 정밀화학지원센터 실험실 폭발 사고

사고개요

- 사고 일시: 2008년 7월 29일 오후 5시경
- 사고 장소: 울산 정밀화학지원센터 2층 화학소재분석실
- 사고 유형: 누출에 의한 폭발
- 피해 상황: 사망 1명, 중상 2명, 시설물과 분석기기 등 7억 8천만원 상당 피해

사고원인

- 실험용 테이블 설치를 위한 전기 작업 중 발생한 전기 스파크에 의해 원소 분석기로 유입되는 수소 가스가 폭발하였다.

예방조치

- 수소, 산소 등 가연성 및 조연성 가스 누출 방지를 위한 관리를 철저히 해야 한다.
- 가스 연결 부위의 누출 검사를 철저히 해야 한다.(비눗물 검사 등)
- 가스 사용 전과 후, 점검 실시 및 전도 방지 장치 설치 등 고정이 필요하다.
- 실험실 내 가스 보유량을 최소화한다.
- 사용이 끝난 가스 용기는 실외에 보관할 수 있도록 한다.



국내 방폭 실험실 폭발 사고



파괴된 폭발실험장치



산소용기

그림 3-26 실험 장치 내 LPG와 산소 가스의 폭발

사고개요

- 사고 일시: 2010년 12월 21일 14시 35분경
- 사고 장소: 충남 아산 H 대학교 방폭 실험실
- 사고 유형: 폭발 사고
- 피해 상황: 사망 1명, 중상 1명, 경상 1명

사고원인

- 자체 개발한 폭발압력 흡수장치 안에 원통형 파이프(50x80cm)를 넣고 그 용기에 LPG를 넣은 후 산소를 혼합 주입(가압)하는 과정에서 원인 미상의 점화원에 의해 용기 내부에서 가스 폭발이 일어난 것으로 추정

예방조치

- 많은 경험과 지식이 사고를 막아주는 것은 아니므로, 항상 실험 전 후에 철저한 안전 점검을 실시할 필요가 있다.
- 정전기가 축적될 수 있는 조건에서 가연성 가스를 취급할 때는 방전 스파크에 의한 인화, 폭발을 예방하기 위하여 방폭 전기 설비, 접지, 작업자 대전 방지 등의 주의가 필요하다.
- 가스 용기는 환기가 잘되는 곳에서 보관, 사용하고 특히, 가연성 독성 가스를 사용할 때는 가스 누출 시 즉각적 대응이 가능하도록 가스 누출 경보장치를 설치해야 한다.



암모니아 누출 사고



그림 3-27 경기도 남양주시 암모니아 누출 사고

사고개요

- 사고 일시: 2014년 2월 13일 오후 1시경
- 사고 장소: 경기도 남양주시 B 회사 제2공장
- 사고 유형: 암모니아 누출 및 폭발
- 피해 상황: 사망 1명, 부상 3명, 시설 피해

사고원인

- 암모니아 저장탱크 주변에서 암모니아 냄새가 나자 직원들이 이를 희석시키기 위해 물을 뿌리는 과정에서 배관이 폭발한 것으로 추정된다.

예방조치

- 배관의 부식 등을 정기적으로 점검하여 가스 누출 여부를 확인 및 보수한다.
- 암모니아 가스의 MSDS 확인하여 비상시 처리 방안을 숙지한다.



학내 고압가스 운반차량 전복 사고



그림 3-28 S 대학교 내 고압가스 운반차량 전복 사고

사고개요

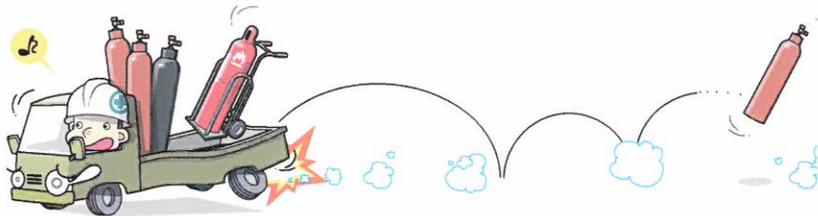
- 사고 일시: 2010년 8월 27일 16시 30분경
- 사고 장소: S대 자연과학대학 출입로
- 사고 유형: 차량 전복으로 인한 적재 가스 용기에서 가스 유출
- 피해 상황: 경상 2명, 고압가스 용기 파손

사고원인

- 차량 뒷부분에 편중되게 가스 용기를 적재한 차량이 미끄러운 빗길 경사면을 후진하다 운전미숙으로 인해 전복되었다.

예방조치

- 고압가스 공급업체는 고압가스 운반차량 준수사항을 이행한다.
- 이송 중인 고압가스의 용기는 반드시 캡을 씌운다.
- 가연성 및 조연성 가스의 혼재를 금지한다.
- 고압가스 운반차량은 경사로보다 안전한 우회로를 활용한다.





프랑스 광화학 실험실 폭발 사고

사고개요

- 사고 일시: 2006년
- 사고 장소: 프랑스 Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse 광화학 실험실
- 사고 유형: 폭발 사고
- 피해 상황: 사망 1명

사고원인

- 고압 반응기에 남아 있던 가연성 기체인 에틸렌이 폭발하였다.

예방조치

- 고압 반응기를 사용하는 실험을 하는 경우, 반응 후 가연성 또는 독성 가스 잔류물은 비활성 가스를 이용하여 제거 후 용기 덮개를 제거한다.(점화원 제거)
- 고압 반응기의 압력 안전밸브의 작동과 기밀 여부를 사용 전, 후에 확인한다.
- 접합 부분에 이물질 존재에 의한 누출 여부를 확인한다.

신속하게 대피하자!!!!





MOCVD(Metalloorganic Chemical Vapor Deposition) 반응기 폭발 사고

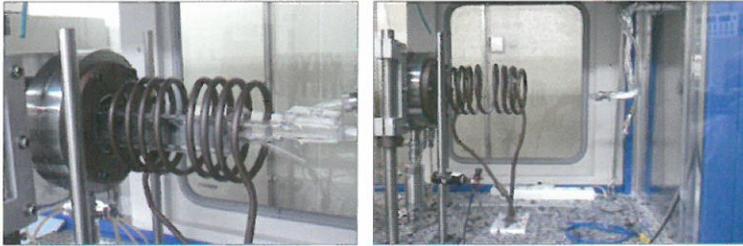


그림 3-29 MOCVD 반응기내 가스 폭발 전/후

사고개요

- 사고 일시: 2011년 11월 16일 17시경
- 사고 장소: S대 OO 연구소
- 사고 유형: 가스 폭발
- 피해 상황: 800만원 이상 시설 파손

사고원인

- 성막 공정 과정에서 공기가 반응기와 수소 튜브의 연결 부위나 노후화된 Quartz 반응기의 균열 등을 통해 반응기 내부로 유입되고 수소와 혼합된 상태에서 350°C로 가열된 SiC에 의해 폭발로 이어졌다.

예방조치

- 가연성 가스를 사용하는 경우에는 실험 전, 후에 있어 실험 장치에 조연성 가스의 유입 가능성과 정상 작동 여부 및 이상 유무를 항상 점검한다.
- 수소와 공기 또는 산소 혼합 가스는 약한 점화원에 의해서도 폭발이 가능하다.
- 가연성, 독성, 질식성 가스를 취급하는 실험실에서는 누출 시 신속한 대응이 가능하도록 가스 누출 감지기를 설치해야 한다.
- 위험 요소가 포함된 실험을 하는 연구활동종사자에게는 전문적 지도 또는 교육 자료를 제작하고 사전 교육을 실시한다.



가스 압력계 고장으로 인한 챔버 파열 사고



그림 3-30 가스 과잉 공급으로 인한 챔버 파열

사고개요

- 사고 일시: 2010년 8월
- 사고 장소: S대 OO기관 실험실
- 사고 유형: 가스 압력계 고장으로 과잉 공급된 가스로 인해 실험 장치 파열
- 피해 상황: 경상 1명

사고원인

- 자외선 조사 실험을 하기 위해 챔버에 질소를 공급하는 과정에서 고장난 가스 압력계로 인하여 정상 압력을 확인하지 못한 연구원이 질소를 과잉 공급하여 챔버 덮개(Quartz, 1cm)가 파열되었다.

예방조치

- 고압가스 사용 시 압력계, 온도계, 조절기 등 가스 설비 정상 작동 여부를 사전에 확인하고, 고장 및 파손 여부를 정기적으로 점검해야 한다.
- 고압가스에 연결되는 조절기, 압력계, 호스 등은 다른 가스와 병용 사용을 금지하며, 해당 가스에 전용으로 사용해야 한다.



2001년 노벨 화학상 수상자의 실명 사고

사고개요

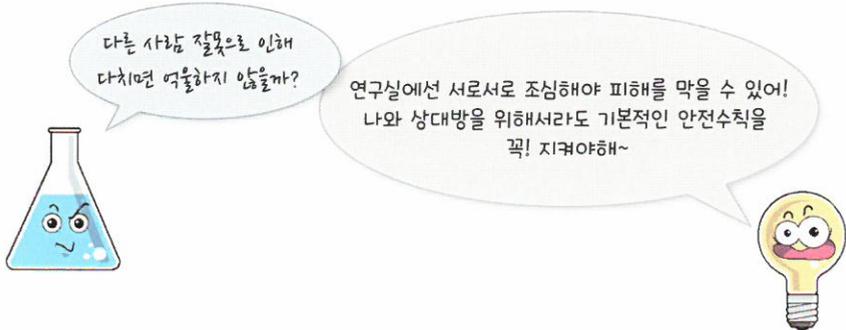
- 사고 일시: 1970년
- 사고 장소: 미국 MIT 화학실험실
- 사고 유형: 액체 산소의 폭발에 의한 유리 파편 생성 및 실명
- 피해 상황: 중상 1명

사고원인

- 대학원생이 진행하던 NMR tube sealing 작업의 진행 상황을 살피기 위해 교수가 보안경을 쓰지 않고 실험실에 들어갔다.
- 당시 충분히 공기를 제거하지 않고 sealing 작업이 진행되었고, 이로 인해 공기 중 산소가 액체 질소에 의해 응축되었다가 실온으로 온도가 상승하여 기화되면서 NMR tube가 파열되었다.
- 파열된 유리 조각이 눈으로 튀어 교수가 실명하는 사고가 발생하였다.

예방조치

- 항상 실험실에서는 보안경을 착용한다.
- 진공을 걸고 유리기구의 밀봉 작업을 할 때는 충분히 공기를 제거한 것을 확인한 후 밀봉한다.
- 타인의 실수에 의해서도 자신이 피해를 볼 수 있음을 확실히 인지한다.

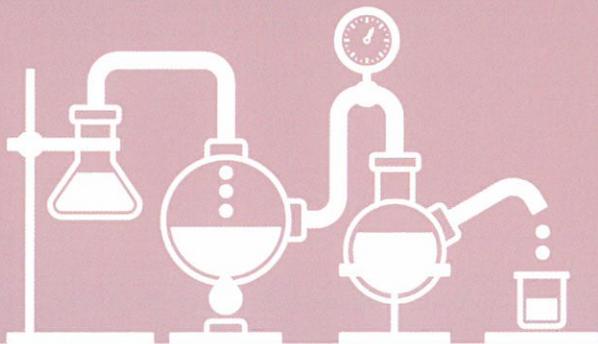


화재 발생 시 대피방법

- 불을 발견하면 '불이야' 하고 큰소리로 외쳐서 다른 사람에게 알립니다.
- 화재 경보 비상벨을 누릅니다.
- 엘리베이터는 절대 이용하지 않도록 하며 계단을 이용합니다.
- 밖으로 나온 뒤에는 절대 안으로 들어가지 않습니다.
- 옷에 불이 붙었을 때에는 두 손으로 눈과 입을 가리고 바닥에서 뒹굴어 주세요.
- 대피한 경우에는 바람이 불어오는 쪽에서 구조를 기다립니다.



연구실 안전 표준 교재
화학 · 가스 안전





부록

부록 1. GHS/MSDS의 작성 항목 및 기재 사항

부록 2. GHS/MSDS의 실례





부록 1

GHS/MSDS의 작성 항목 및 기재 사항

출처: 고용노동부 고시 제2013-37호 제10조 제1항 관련

■ 화학제품과 회사에 관한 정보

가. 제품명(경고표지 상에 사용되는 것과 동일한 명칭 또는 분류코드를 기재한다):

나. 제품의 권고 용도와 사용상의 제한:

다. 공급자 정보(제조사, 수입자, 유통업자 관계없이 해당 제품의 공급 및 물질안전보건자료 작성을 책임지는 회사의 정보를 기재하되, 수입품의 경우 문의사항 발생 또는 긴급 시 연락 가능한 국내 공급자 정보를 기재):

- 회사명
- 주소
- 긴급전화번호

■ 유해 · 위험성

가. 유해 · 위험성 분류

나. 예방조치 문구를 포함한 경고 표지 항목 (별도 자료 참조)

- 그림문자
- 신호어
- 유해 · 위험 문구
- 예방조치 문구

다. 유해 · 위험성 분류기준에 포함되지 않는 기타 유해 · 위험성(예: 분진폭발 위험성):

■ 구성성분의 명칭 및 함유량

화학물질명 관용명 및 이명(異名) CAS번호 또는 식별번호 함유량 (%)

MSDS를 작성함에 있어서 영업비밀로서의 보호가치가 있다고 인정되는 경우에는 해당 정보는 기재하지 않을 수 있다.

■ 응급조치 요령

가. 눈에 들어갔을 때:

나. 피부에 접촉했을 때:

다. 흡입했을 때:

라. 먹었을 때:

마. 기타 의사의 주의사항:

■ 폭발·화재 시 대처방법

가. 적절한 (및 부적절한) 소화제:

나. 화학물질로부터 생기는 특정 유해성(예: 연소 시 발생 유해물질):

다. 화재 진압 시 착용할 보호구 및 예방조치:

■ 누출 사고 시 대처방법

가. 인체를 보호하기 위해 필요한 조치 사항 및 보호구:

나. 환경을 보호하기 위해 필요한 조치사항:

다. 정화 또는 제거 방법:

■ 취급 및 저장방법

가. 안전취급요령:

나. 안전한 저장 방법(피해야 할 조건을 포함함):

■ 노출방지 및 개인보호구

가. 화학물질의 노출기준, 생물학적 노출기준 등:

나. 적절한 공학적 관리:

다. 개인 보호구

○ 호흡기 보호:

- 눈 보호:
- 손 보호:
- 신체 보호:

■ 물리화학적 특성

- 가. 외관(물리적 상태, 색 등):
- 나. 냄새:
- 다. 냄새 역치:
- 라. pH:
- 마. 녹는점/어는점:
- 바. 초기 끓는점과 끓는점 범위:
- 사. 인화점:
- 아. 증발 속도
- 자. 인화성(고체, 기체)
- 차. 인화 또는 폭발 범위의 상한/하한
- 카. 증기압:
- 타. 용해도:
- 파. 증기밀도:
- 하. 비중:
- 거. n-옥탄올/물 분배계수:
- 너. 자연발화 온도:
- 더. 분해 온도:
- 러. 점도:
- 머. 분자량

■ 안정성 및 반응성

- 가. 화학적 안정성 및 유해 반응의 가능성:
- 나. 피해야 할 조건(정전기 방전, 충격, 진동 등):
- 다. 피해야 할 물질:
- 라. 분해 시 생성되는 유해물질:

■ 독성에 관한 정보

가. 가능성이 높은 노출 경로에 관한 정보

나. 건강 유해성 정보

- 급성 독성(노출 가능한 모든 경로에 대해 기재):
- 피부 부식성 또는 자극성:
- 심한 눈 손상 또는 자극성:
- 호흡기 과민성:
- 피부 과민성:
- 발암성:
- 생식세포 변이원성:
- 생식독성:
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출):
- 특정 표적장기 독성 (반복 노출):
- 흡인 유해성:

※ 가. 항 및 나. 항을 합쳐서 노출 경로와 건강 유해성 정보를 함께 기재할 수 있음

■ 환경에 미치는 영향

가. 생태독성:

나. 잔류성 및 분해성:

다. 생물 농축성:

라. 토양 이동성:

마. 기타 유해 영향:

■ 폐기 시 주의사항

가. 폐기방법:

나. 폐기 시 주의사항(오염된 용기 및 포장의 폐기 방법을 포함함):

■ 운송에 필요한 정보

가. 유엔 번호:

나. 유엔 적정 선적 명:

다. 운송에서의 위험성 등급:

라. 용기등급(해당하는 경우):

마. 해양오염물질(해당 또는 비 해당으로 표기):

바. 사용자가 운송 또는 운송 수단에 관련해 알 필요가 있거나 필요한 특별한 안전 대책:

■ **법적 규제현황**

가. 산업안전보건법에 의한 규제:

나. 유해화학물질관리법에 의한 규제:

다. 위험물안전관리법에 의한 규제:

라. 폐기물관리법에 의한 규제:

마. 기타 국내 및 외국법에 의한 규제:

■ **그 밖의 참고사항**

가. 자료의 출처:

나. 최초 작성일자:

다. 개정 횟수 및 최종 개정일자:

라. 기타:

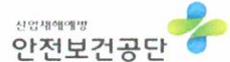


부록 2 GHS/MSDS의 실례

출처: KOSHA



물질안전보건자료 (Material Safety Data Sheet)



물질명	CAS No.	KE No.	UN No.	EU No.
벤젠	71-43-2	KE-02150	1114	200-753-7

1. 화학제품과 회사에 관한 정보

가. 제품명	벤젠
나. 제품의 권고 용도와 사용상의 제한	
제품의 권고 용도	고분자, 세제, 농약, 염료, 플라스틱, 수지 등 공업용 화학물질의 제조 용매, 수지, 오일, 천연 고무 등의 용제
제품의 사용상의 제한	가솔린 첨가제
다. 공급자 정보(수입품의 경우 긴급 연락 가능한 국내 공급자 정보 기재)	
회사명	자료없음
주소	자료없음
긴급전화번호	자료없음

2. 유해성·위험성

가. 유해성·위험성 분류	인화성 액체 : 구분2 급성 독성(경구) : 구분4 피부 부식성/피부 자극성 : 구분2 상한 눈 손상성/눈 자극성 : 구분2 발암성 : 구분1A 생식세포 변이원성 : 구분1B 특정표적장기 독성(1회 노출) : 구분1 특정표적장기 독성(1회 노출) : 구분3(마취작용) 특정표적장기 독성(반복 노출) : 구분1 흡인 유해성 : 구분1 만성 수생환경 유해성 : 구분3
---------------	---

나. 예방조치문구를 포함한 경고표지 항목	
그림문자	
	
신호어	위험
유해-위험문구	<p>H225 고인화성 액체 및 증기</p> <p>H302 삼키면 유해함</p> <p>H304 삼켜서 기도로 유입되면 치명적일 수 있음</p> <p>H315 피부에 자극을 일으킴</p> <p>H319 눈에 심한 자극을 일으킴</p> <p>H336 흡을 또는 현기증을 일으킬 수 있음</p> <p>H340 유전적인 결함을 일으킬 수 있음</p> <p>H350 암을 일으킬 수 있음</p> <p>H370 신체 중 (...)에 손상을 일으킴</p>
유해-위험문구	<p>H372 장기간 또는 반복노출 되면 신체 중 (...)에 손상을 일으킴</p> <p>H412 장기적인 영향에 의해 수생생물에게 유해함</p>
예방조치문구	
예방	<p>P201 사용 전 취급 설명서를 확보하십시오.</p> <p>P202 모든 안전 예방조치 문구를 읽고 이해하기 전에는 취급하지 마시오.</p> <p>P210 열·스파크·화염·고열로부터 멀리하십시오 - 금연</p> <p>P233 용기를 단단히 밀폐하십시오.</p> <p>P240 용기와 수용설비를 접합시키거나 접지하십시오.</p> <p>P241 폭발 방지용 전기·환기·조명(...)장비를 사용하십시오.</p> <p>P242 스파크가 발생하지 않는 도구를 사용하십시오.</p> <p>P243 점전기 방지 조치를 취하십시오.</p> <p>P260 (분진·흄·가스·미스트·증기·스프레이)를(을) 흡입하지 마시오.</p> <p>P261 (분진·흄·가스·미스트·증기·스프레이)의 흡입을 피하십시오.</p> <p>P264 취급 후에는 취급 부위를 철저히 씻으시오.</p> <p>P270 이 제품을 사용할 때에는 먹거나, 마시거나 흡연하지 마시오.</p> <p>P271 옥외 또는 환기가 잘 되는 곳에서만 취급하십시오.</p> <p>P273 환경으로 배출하지 마시오.</p> <p>P280 (보호장갑·보호의·보안경·인면보호구)를(을) 착용하십시오.</p> <p>P281 적절한 개인 보호구를 착용하십시오.</p>
대응	<p>P301+P310 삼켰다면 즉시 의료기관(의사)의 진찰을 받으시오.</p> <p>P301+P312 삼켜서 불편함을 느끼면 의료기관(의사)의 진찰을 받으시오.</p> <p>P302+P352 피부에 묻으면 다량의 비누와 물로 씻으시오.</p> <p>P303+P361+P353 피부(또는 머리카락)에 묻으면 오염된 모든 의복은 벗거나 제거하십시오. 피부를 물로 씻으시오/샤워하십시오.</p> <p>P304+P340 흡입하면 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고 호흡하기 쉬운 자세로 안정을 취하십시오.</p> <p>P305+P351+P338 눈에 묻으면 몇 분간 물로 조심해서 씻으시오. 가능하면 콘택트렌즈를 제거하십시오. 계속 씻으시오.</p> <p>P307+P311 노출되면 의료기관(의사)의 진찰을 받으시오.</p> <p>P308+P313 노출되거나 노출이 우려되면 의학적인 조치·조언을 구하십시오.</p> <p>P312 불편함을 느끼면 의료기관(의사)의 진찰을 받으시오.</p> <p>P314 불편함을 느끼면 의학적인 조치·조언을 구하십시오.</p> <p>P321 (...) 처치를 하시오.</p> <p>P330 입을 씻어내시오.</p> <p>P331 토하게 하지 마시오.</p> <p>P332+P313 피부 자극이 생기면 의학적인 조치·조언을 구하십시오.</p>

	<p>P337+P313 눈에 자극이 지속되면 의학적인 조치-조언을 구하십시오. P362 오염된 의복은 벗고 다시 사용 전 세탁하십시오. P370+P378 화재 시 불을 끄기 위해 (...) (물)를 사용하십시오. P403+P233 용기는 환기가 잘 되는 곳에 단단히 밀폐하여 저장하십시오. P403+P235 환기가 잘 되는 곳에 보관하고 지온으로 유지하십시오. P405 절금장치기 있는 저장장소에 저장하십시오. P501 (관련 법규에 명시된 내용에 따라) 내용물 용기를 폐기하십시오.</p>
저장	
폐기	
다. 유해-위험성 분류기준에 포함되지 않는 기타 유해-위험성(NFPA)	
보건	1
화재	3
반응성	0
3. 구성성분의 명칭 및 함유량	
물질명	벤젠
이명(관용명)	벤졸(BENZOL)
CAS 번호	71-43-2
함유량(%)	100%
4. 응급조치요령	
가. 눈에 들어갔을 때	눈에 물으면 몇 분간 물로 조심해서 씻으시오. 가능하면 콘택트렌즈를 제거하십시오. 계속 씻으시오. 눈에 자극이 지속되면 의학적인 조치-조언을 구하십시오.
나. 피부에 접촉했을 때	비누와 물로 피부를 씻으시오 오염된 옷과 신발을 제거하고 오염지역을 격리하십시오 피부 자극이 생기면 의학적인 조치-조언을 구하십시오. 피부(또는 머리카락)에 물으면 오염된 모든 의복은 벗거나 제거하십시오. 피부를 물로 씻으시오/샤워하십시오. 화상의 경우 즉시 전문료 가능한 오래 해당부위를 식히고, 피부에 물리כות은 옷을 제거하지 마시오 괴양의 만지 또는 흡에 노출된 경우 깨끗한 공기로 제거하고 기침이나 다른 증상이 있을 경우 의료 조치를 취하십시오. 토하게 하지 마시오. 호흡이 힘들 경우 산소를 공급하십시오 호흡하지 않는 경우 인공호흡을 실시하십시오
다. 흡입했을 때	심했다면 즉시 의료기관(의사)의 진찰을 받으시오. 입을 씻어내시오. 토하게 하지 마시오.
라. 먹었을 때	의약품이 해당물질에 대해 인지하고 보호조치를 취하도록 하시오 점적-흡입하여 생긴 증상은 지연될 수 있음 폭포시 의료진에게 연락하고 추적조사 등의 특별한 응급조치를 취하십시오.
마. 기타 의사의 주의사항	
5. 폭발·화재시 대처방법	
가. 적절함(무적절한) 소화제	이 물질과 관련된 소화시 알콜 포말, 이산화탄소 또는 물분무를 사용할 것 질식소화시 건조한 모래 또는 흙을 사용할 것
나. 화학물질로부터 생기는 특정 유해성	기열시 용기가 폭발할 수 있음 격렬하게 중합반응하여 화재와 폭발을 일으킬 수 있음 고인화성 액체 및 증기 고인화성: 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 정화됨 누출물은 화재/폭발 위험이 있음 실내, 실외, 허수구에서 증기 폭발 위험이 있음 인화성이나 그 이상에서 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음 증기는 공기와 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음 증기는 자극 없이 연기증 또는 질식을 유발할 수 있음

다. 화재진압시 적용할 보호구 및 예방조치

증기는 점화원까지 이동하여 역화(flash back)할 수 있음
 증기는 점화원에 옮겨져 발화될 수 있음
 타는 동안 열분해 또는 연소에 의해 자극적이고 매우 유독한 가스가 발생될 수 있음
 흡입 및 접촉 시 피부와 눈을 자극하거나 화상을 입힘
 흡입 및 피부 흡수 시 독성이 있을 수 있음
 구조지는 적절한 보호구를 착용하십시오.
 대부분 물보다 가벼우니 주의하십시오
 대부분의 증기는 공기보다 무겁기 때문에 지면을 따라 확산하고 저지대나 밀폐공간에 축적될 수 있음
 위험하지 않다면 화재지역에서 용기를 옮기시오
 지역을 벗어나 안전거리를 유지하여 소화하십시오
 탱크 화재시 대규모 화재의 경우 무인 소화장비를 이용하고 불가능하다면 물러나 타게 놔두시오
 탱크 화재시 소화가 진화된 후에도 다량의 물로 용기를 식히시오
 탱크 화재시 압력 방출장치에서 고음이 있거나 탱크가 변색할 경우 즉시 물러나시오
 탱크 화재시 최대거리에서 소화하거나 무인 소화장비를 이용하십시오
 탱크 화재시 화열에 휩싸인 탱크에서 물러나시오

6. 누출사고시 대처방법

가. 인체를 보호하기 위해 필요한 조치사항 및 보호구 (문진·흡·가스·미스트·증기·스프레이)의 흡입을 피하십시오.

누출물을 만지거나 걸어도다니지 마시오
 들어갈 필요가 없거나 보호장비를 갖추지 않은 사람은 출입하지 마시오.
 매우 미세한 입자는 화재나 폭발을 일으킬 수 있으므로 모든 점화원을 제거하십시오.
 모든 점화원을 제거하십시오
 물질 취급시 모든 장비를 반드시 점검하십시오
 얼릴려진 것을 즉시 녹여내고, 보호구 등의 예방조치를 따르시오.
 오염 지역을 격리하십시오.
 위험하지 않다면 누출을 멈추시오
 증기발생을 줄이기 위해 증기억제모형을 사용할 수 있음
 피해야할 물질 및 조건에 유의하십시오
 누출물은 오염을 유발할 수 있음
 수로, 하수구, 지하실, 밀폐공간으로의 유입을 방지하십시오
 환경으로 배출하지 마시오.

나. 환경을 보호하기 위해 필요한 조치사항

다. 정화 또는 제거 방법

다량 누출시 액체 누출물과 밀폐하여 도랑을 만드시오
 불활성 물질(예를 들어 건조한 모래 또는 흙)로 얼린 것을 흡수하고, 화학폐기물 용기에 넣으시오.
 소화를 위해 제방을 쌓고 물을 추가하십시오.
 액체를 흡수하고 오염된 지역을 세제와 물로 씻어 내시오.
 정밀한 방폭 도구를 사용하여 흡수된 물질을 수거하십시오

7. 취급 및 저장방법

가. 안전취급요령

(문진·흡·가스·미스트·증기·스프레이)의 흡입을 피하십시오.
 개봉 전에 조심스럽게 마개를 여시오.
 모든 안전 예방조치 문구를 읽고 이해하기 전에는 취급하지 마시오.
 물질 취급시 모든 장비를 반드시 점검하십시오
 스파크가 발생하지 않는 도구를 사용하십시오.
 압력을 가하거나, 자르거나, 움집, 납땀, 집합, 절기, 연마 또는 열에 폭로, 화염, 불꽃, 정전기 또는 다른 점화원에 폭로하지 마시오.
 목의 또는 환기가 잘 되는 곳에서만 취급하십시오.
 용기가 비워진 후에도 제품 찌꺼기가 남아 있을 수 있으므로 모든 MSDS/라벨 예방조치를 따르시오.
 이 제품을 사용할 때에는 먹거나, 마시거나 흡연하지 마시오.
 장기간 또는 지속적인 피부접촉을 막으시오.

나. 안전한 저장방법	<p>저지대 밀폐공간에서 작업시 산소결핍의 우려가 있으므로 작업중, 공기중 산소농도 측정 및 환기를 하시오</p> <p>정전기 방지 조치를 취하십시오.</p> <p>취급 후에는 취급 부위를 철저히 씻으시오.</p> <p>취급/저장에 주의하여 사용하십시오.</p> <p>목발 방지용 전기 환기·조명 (...) 장비를 사용하십시오.</p> <p>피해아할 물질 및 조건에 유의하십시오</p> <p>빈 드럼통은 완전히 배수하고 적절히 막이 졌시 드럼 조절기에 되돌려 놓거나 적절히 배치하십시오.</p> <p>열·스파크·화염·고열로부터 멀리하십시오 - 금연</p> <p>통기는 환기가 잘 되는 곳에 단단히 밀폐하여 저장하십시오.</p> <p>음식과 음료수로부터 멀리하십시오.</p> <p>피해아할 물질 및 조건에 유의하십시오</p> <p>환기가 잘 되는 곳에 보관하고 저온으로 유지하십시오.</p>
8. 노출방지 및 개인보호구	
가. 화학물질의 노출기준, 생물학적 노출기준 등	
국내규정	TWA - 1ppm 3mg/m3 STEL - 5ppm 16mg/m3 (허용기준)
ACGIH 규정	TWA 0.5 ppm STEL 2.5 ppm
생물학적 노출기준	S-phenylmercapturic acid in urine : 2.5ug/g creatinine, 1,1-Muconic acid in urine : 500ug/g creatinine
나. 적절한 공학적 관리	<p>공정격리, 국소배기를 사용하거나, 공기수준을 노출기준 이하로 조절하는 다른 공학적 관리를 하시오.</p> <p>이 물질을 저장하거나 사용하는 설비는 세안설비와 안전 샤워를 설치하십시오.</p>
다. 개인보호구	
호흡기 보호	자료없음
눈 보호	자료없음
손 보호	자료없음
신체 보호	자료없음
9. 물리화학적 특성	
가. 외관	
형상	액체
색상	무색~노란색
나. 냄새	특유의 냄새
다. 냄새역치	4.68 ppm
라. pH	자료없음
마. 녹는점/어는점	5.5 °C
바. 초기 끓는점과 끓는점 범위	80.1 °C
사. 인화점	-11 °C (c.c.)
아. 증발속도	자료없음
자. 인화성(고체, 기체)	자료없음
차. 인화 또는 폭발 범위의 상한/하한	8.0 / 1.2 %
카. 증기압	94.8 mmHg (25°C)
타. 용해도	0.18 g/100mℓ (25°C)
파. 증기밀도	2.8 (공기=1)
하. 비중	0.88 (물=1)
거. n-옥탄올/물분배계수	2.13
너. 자연발화온도	498 °C
더. 분해온도	자료없음

라. 정도	0.604 cP (25℃)
머. 분자량	78.11
10. 인장성 및 반응성	
가. 화학적 안정성 및 유해 반응의 가능성	<p>고인화성 액체 및 증기</p> <p>격렬하게 중합반응하여 화재와 폭발을 일으킬 수 있음</p> <p>흡입 및 피부 흡수 시 독성이 있을 수 있음</p> <p>흡입 및 접촉 시 피부와 눈을 자극하거나 화상을 입힘</p> <p>인화성이나 그 이상에서 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음</p> <p>가열시 용기가 폭발할 수 있음</p> <p>고인화성: 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화됨</p> <p>누출물은 화재/폭발 위험이 있음</p> <p>실내, 실외, 하수구에서 증기 폭발 위험이 있음</p> <p>증기는 공기와 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음</p> <p>증기는 석화현까지 이동하여 역화(flash back)할 수 있음</p> <p>증기는 자극 없이 현기증 또는 질식을 유발할 수 있음</p>
나. 피해에 할 조건	열-스파크-화염-고열로부터 멀리하십시오 - 금연
다. 피해에 할 물질	지름없음
라. 분해시 생성되는 유해물질	타는 동안 알분해 또는 연소에 의해 자극적이고 매우 유독한 가스가 발생할 수 있음
11. 독성에 관한 정보	
가. 가능성이 높은 노출 경로에 관한 정보	자료없음
나. 건강 유해성 정보	
급성독성	
경구	LD50 930 mg/kg Rat
경피	LD50 > 8200 mg/kg Rabbit
흡입	증기 LC50 44.66 mg/l 4 hr Rat
피부부식성 또는 자극성	토끼를 이용한 피부 자극성 시험 결과 자극을 일으킴
심한 눈손상 또는 자극성	토끼를 이용한 안 자극성 시험 결과 중정도의 자극을 일으킴
호흡기과민성	자료없음
피부과민성	자료없음
발암성	
산업안전보건법	발암성 (특별관리물질)
고용노동부고시	1A
IARC	Group 1
OSHA	자료없음
ACGIH	A1
NTP	K
EU CLP	Carc. 1A
생식세포변이원성	<p>* 산업안전보건법 특별관리물질(생식세포 변이원성)</p> <p>* 고용노동부고시 1B</p>
생식독성	NTP (1986), ATSDR (2005)에 머리 동물 독성이 나타나는 용량으로 태아 독성이 보이는 것으로 구분 2로 분류.
독성 표적장기 독성 (1회 노출)	사람에서는 피부, 비, 구, 인두에의 자극, 기관염, 후두염, 기관지염, 폐로의 대량 출혈 (NICNAS (2001)) 등의 기술, 실험동물에서는 마취 상태 시에 호흡 장애가 관찰되었다 (EHC 150 (1993)) 등의 기재가 있는 것으로부터, 호흡기를 표적 장기로 해, 마취 작용을 가진다고 생각할 수 있었다. 이상부터 분류를 구분 1(호흡기), 구분 3(마취 작용)으로 분류.

특정 표적장기 독성 (반복 노출)	사람에서 골수의 형성 부전, 과형성 또는 혈구 감소증, 혈액 독성, 재생 불량성 빈혈에 의한 사망예가 보고됨. 황단성 척수염, 빈발성 두통, 피로감, 수면 장애 및 기억 장애, 백혈구 및 적혈구 수의 감소, 발간 적혈구 용적의 증가가 나타남. 실험동물에서 순환 적혈구의 호중구의 형태 이상, 비장 유핵세포, 순환 적혈구 및 임피구수의 감소, 백혈구수 감소, 골수 세포 중실성의 감소, 골수 다능성간세포수의 감소, 적혈구, 백혈구, 임피구, 적혈구 용적률 감소, 발간 적혈구 용적의 증가가 나타남.
흡인유해성	액체를 삼키면 화학성 폐렴을 일으킬 위험이 있음
12. 환경에 미치는 영향	
가. 생태독성	
어류	LC50 5.3 mg/l 96 hr
갑각류	EC50 10 mg/l 48 hr (물배독특성 : EC50=20 ppm, 48hr(국립환경과학원))
조류	EC50 41 mg/l 8 hr
나. 잔류성 및 분해성	
잔류성	log Kow 2.13
분해성	자료없음
다. 생물농축성	
농축성	자료없음
생분해성	50 (%) 28 day
라. 토양이동성	자료없음
마. 기타 유해 영향	자료없음
13. 폐기시 주의사항	
가. 폐기방법	1) 소각하시오. 2) 중탕·농축방법으로 처리한 후 그 잔재물은 소각하시오. 3) 분리·증류·추출·여과의 방법으로 정제한 후 그 잔재물은 소각하시오. 4) 중탕·산화·환원·중합·축합의 반응을 이용하여 처리한 후 발생하는 잔재물은 소각하거나, 응집·침전·여과·활수의 방법으로 다시 처리한 후 그 잔재물은 소각하시오. (관련 법규에 명시된 내용에 따라) 내용을 용기를 폐기하시오.
나. 폐기시 주의사항	(관련 법규에 명시된 내용에 따라) 내용을 용기를 폐기하시오.
14. 운송에 필요한 정보	
가. 유엔번호(UN No.)	1114
나. 적정선적명	벤젠(BENZENE)
다. 운송에서의 위험성 등급	3
라. 용기등급	2
마. 해양오염물질	자료없음
바. 사용자기 운송 또는 운송수단에 관련해 알 필요가 있거나 필요한 특별한 안전대책	
화재시 비상조치	F-E
유출시 비상조치	S-D
15. 법적규제 현황	
가. 산업안전보건법에 의한 규제	직업환경측정대상물질 (측정주기 : 6개월) 관리대상유해물질 특수건강진단대상물질 (진단주기 : 6개월) 특별관리물질 노출기준설정물질 허용기준설정물질
나. 유해화학물질관리법에 의한 규제	사고대비용질 유독물
다. 위험물안전관리법에 의한 규제	4류 제1석유류(비수용성액체) 200ℓ
라. 폐기물관리법에 의한 규제	지정폐기물



참고문헌

○ 연구 논문 및 자료

- 산업안전대사전, 도서출판 골드, 2004
- 화학물질의 분류 및 표지에 관한 세계조화시스템(GHS), 정부 합동 GHS 추진위원회, 2006
- 화학용어사전, 일진사, 2011
- 위험물의 류(類)별 구분체계 개선 및 위험물질 정보제공 선진화 방안 연구, 소방산업기술원, 2013
- 화학보호의 선정, 사용 및 유지에 관한 기술지침, 산업안전보건공단, 2012
- 2013년 연구실 안전관리 현황 지도점검 분석 결과, 미래창조과학부, 2014

○ 단행본

- 보호구 착용 및 사용방법, 산업안전보건공단, 2004
- 표준 연구실 안전, 과학기술부, 2006
- 연구실 안전보건 지침서, KIST, 2008
- 연구실 안전관리 매뉴얼, 교육과학기술부, 2008
- 국내외 연구·실험실 사고사례 모음, 교육과학기술부, 2011
- 연구실 안전 사고 사례집, 교육과학기술부, 2012
- 산업안전보건매뉴얼, 교육부 및 한국직업능력개발원, 2013

Chemistry Society and Environment: A New History of the British Chemical Industry, Colin Archibald Russell, 2000

Safety in Academic Chemistry Laboratories, American Chemical Society, 2003

Chemical safety manual for small businesses, American Chemical Society, 2007

Laboratory Safety Manual, The University of California, Berkeley, 2012

Laboratory Safety Manual, The University of Texas at Austin, 2013

Laboratory Safety Manual, the University of California, San Francisco, 2013

Laboratory Safety Manual, the University of California, Davis, 2014

○ 온라인 출처

한국과학기술연구원(KIST): www.kist.re.kr

한국과학기술원(KAIST): www.kaist.ac.kr/html/etc/safety/safety_01020401.html(실험실안전)

노동환경건강연구소 일과환경: safedu.org/pds1/10686(발암물질 목록)

코넬 대학(Cornell University): sp.ehs.cornell.edu/lab-research-safety/chemical-safety/(연구실화학안전)

프린스턴 대학(Princeton University): web.princeton.edu/sites/ehs/labsafetymanual/TOC.htm(연구실 안전 매뉴얼)

벨몬트 대학(The University of Vermont): www.uvm.edu/safety/lab/(연구실 안전)

석림랩텍: sercrim.com(안전제품)

3M: solutions.3m.com/wps/portal/3M/ko_KR/Products/ProdServ/Dir/Safety-Security/(보호구)

* 그 외 경향신문, 서울신문, 동아일보, 연합뉴스의 보도 자료 참고(연구실 사고 사례)



연구실 안전 표준 교재

화학 · 가스 안전

발행일 2015년 4월 15일

발행처 국가과학기술인력개발원

웹사이트 www.kird.re.kr

디자인/인쇄 (주)드림디앤디 (TEL. 02-2268-6940)

ISBN 978-89-97350-05-6

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

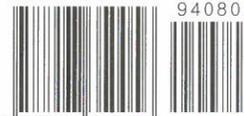


화학·가스 안전



본원 / 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청4길 45
분원 / 대전광역시 유성구 대덕대로 593 대덕테크비즈센터 11층
웹사이트 / www.kird.re.kr

비매품



9 788997 350056

ISBN 978-89-97350-05-6

ISBN 978-89-97350-02-5 (세트)