

산재 사고사망 절반으로 줄입시다!

안전은 권리입니다



연구시설의 화재·폭발 예방



목차



1

연구실험실 개요

2

산업안전보건법

3

화재·폭발의 이해

4

화학물질의 유해·위험성 파악

5

연구실 화학물질 취급방법

6

연구실험실 폐기물 처리방법

7

연구실험실 안전장치

8

연구실험용 파일럿 플랜트의 안전

9

실험실 화학사고 대응절차

10

연구시설 화재·폭발사고 사례

안전은 권리입니다



1

연구실험실 개요

- ▶▶ 생산목적이 아닌 연구·개발을 위한 작업
- ▶▶ 연구 실험자가 대부분 고학력자이나 실험 작업에 대해 미숙련자가 많음
- ▶▶ 실험실 내에 다양한 종류의 화학물질을 소량씩 사용·보관
- ▶▶ 물질자체의 위험성과 다른 물리적 위험성이 공존하는 작업공간
 - ▶ 실험조건이 고온·고압을 사용, 반응성 물질 사용으로 폭발의 위험성이 큼
- ▶▶ 시험과정이 다양하며, 실험조건 등이 자주 변경
- ▶▶ 실험작업이 단독으로 수행하는 경우가 많음
- ▶▶ 실험장치를 직접 디자인, 필요 시 장치를 변경하여 사용



일반사항

- ▶▶ 실험실 종사자들의 안전교육 중요성을 인식하지 못함
- ▶▶ 실험실 내 음식물을 방치하거나 흡연하는 경우가 있음
- ▶▶ 비상샤워(세안설비) 시설이 미비 또는 물품방치로 비상시 사용이 어려움
- ▶▶ 안전보건표지판(경고, 금지 표시 등)이 적절하게 게시 되어 있지 않음
- ▶▶ 고압가스용기를 실험실내 혼재 사용보관 함으로서 화재폭발 위험 잠재
- ▶▶ 실험실 출입문의 안전통로가 미확보
- ▶▶ 개인보호구 사용 및 보관상태 미흡
- ▶▶ 실험실 사고기록 관리가 되지 않음



화학물질 취급 폐액 처리

- ▶▶ 화학약품의 라벨 미 부착으로 폐기 시 적정 처리가 어려움
- ▶▶ 실험대위의 시약보관 선반의 가드 미 설치로, 약품 취급 시 시약병이 떨어질 위험 존재
- ▶▶ 약품장내에 약품이 혼재되어 있거나, 독성물질 등을 후드 내에 보관하는 등 약품관리 미흡
- ▶▶ 화학물질 보관 수칙 미 부착으로 약품의 혼재 우려가 있음
- ▶▶ 폐액 일지 관리가 미흡
- ▶▶ 화학약품 이동 시 운반차량 사용이 잘 이루어지지 않음



가스 및 소화설비

- ▶▶ 가스용기 보관 시 체인이 설치되어 있지 않거나, 가스 레귤레이터가 없는 경우가 있음
- ▶▶ 가연성 가스 혹은 산소 등을 같은 장소에 보관하거나, 배전반 등 전기 스파크 발생 우려가 있는 장소에 보관
- ▶▶ 독성가스와 일반 고압가스를 혼재하여 보관하거나, 비상시 독성가스 관리가 미흡
- ▶▶ 후드 내 인화성물질이 상존하는 곳에 전기콘센트 등을 사용하여 화재 우려
- ▶▶ 실험실 후드의 배기상태 등에 관한 정기적 검사가 잘 이루어지지 않음



유해·위험 요인

요인분류	주요 요인들
화학적 요인	유기용제, 중금속, 특정화학물 등
물리적 요인	소음, 진동, 전자파 등
생물학적 요인	바이러스 등
인체공학적 요인	자세, 하중, 근무시간 등
사회 심리적 요인	과로, 스트레스 등

2

산업안전보건법





목적

- ▶▶ 산업안전·보건에 관한 기준을 확립하고 그 책임의 소재를 명확하게 하여 산업재해를 예방하고 쾌적한 작업환경을 조성함으로써 근로자의 안전과 보건을 유지·증진



특징

기술성	- 유해·위험요소를 제거하기 위한 전문기술성 - 90% 이상이 안전보건에 대한 기술적인 사항
복잡 다양성	- 산업현장의 모든 분야에 대한 안전과 보건 규범
강행성/규제성	- 사업주 의무로 강제화, 불이행 시 사법적 처벌 - 근로자와 정부에 대해서도 의무와 책임 부여

	주요내용
제1장 (총칙)	- 목적, 정의, 적용범위 - 정부의 책무, 사업주 등의 의무, 근로자의 의무 - 사업장의 산업재해 발생건수 등 공표 - 산업재해 발생 은폐 금지 및 보고 - 안전·보건표지의 부착
제2장 (안전보건관리체계)	- 안전보건관리책임자, 안전관리자, 보건관리자, 산업보건의 등 - 산업안전보건위원회
제3장 (안전보건관리규정)	- 안전보건관리규정 작성 및 준수 등

	주요내용
제4장 (유해위험예방조치)	- 안전조치, 보건조치, 근로자의 준수사항 - 작업중지 - 유해작업 도급금지, 도급작업 시의 안전·보건조치 등 - 안전·보건교육 - 유해하거나 위험한 기계·기구 등의 방호조치 - 안전인증, 자율안전확인의 신고, 안전검사 - 제조 등의 금지 및 허가, 석면조사 - 유해인자의 관리, 유해인자의 허용기준 준수 - 화학물질의 유해성·위험성 조사 - 물질안전보건자료의 작성·비치 - 위험성평가

	주요내용
제5장 (근로자의 보건관리)	- 작업환경측정, 건강진단, 역학조사, 건강관리수첩 - 질병자의 근로 금지·제한 - 근로시간 연장의 제한 - 자격 등에 의한 취업 제한
제6장 (감독과 명령)	- 유해·위험방지계획서의 제출 - 안전·보건진단 - 공정안전보고서의 제출 - 안전보건개선계획 - 감독상의 조치, 영업정지의 요청 - 감독기관에 대한 신고

	주요내용
제6장의2 (산업안전지도사 및 산업보건지도사)	- 지도사의 직무 등
제8장 및 제9장 (보칙, 벌칙)	- 산재재해 예방시설 - 명예산업안전감독관 - 재해예방의 자원 - 산업재해 예방활동의 촉진 - 벌칙 등



산업안전보건기준에 관한 규칙

	주요내용
제1편 (총칙)	- 작업장, 통로, 보호구 - 관리감독자의 직무, 사용의 제한 등 - 추락 또는 붕괴에 의한 위험방지 - 비계, 환기장치, 휴게시설, 잔재물 등의 조치기준
제2편 (안전기준)	- 기계기구 및 그 밖의 설비에 의한 위험예방 - 화재·폭발 및 위험물 누출에 의한 위험방지 - 전기로 인한 위험방지 - 건설작업 등에 의한 위험예방 등
제3편 (보건기준)	- 관리대상 유해물질에 의한 건강장해의 예방 - 허가대상 유해물질 및 석면에 의한 건강장해의 예방 - 금지유해물질에 의한 건강장해의 예방 - 소음 및 진동에 의한 건강장해의 예방 - 이상기압, 온도·습도에 의한 건강장해의 예방 등

3

화재·폭발의 이해

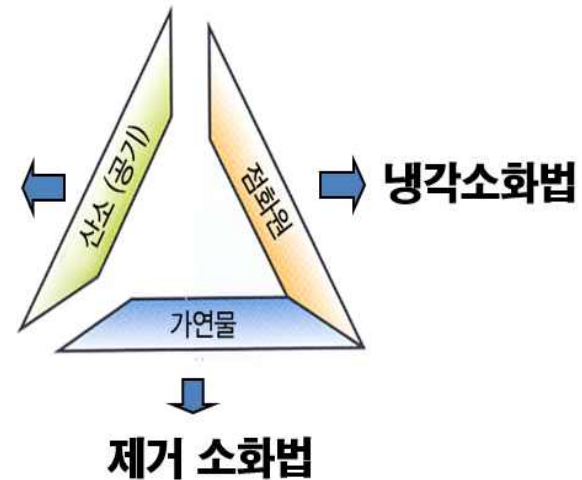


연소(화재)의 삼각형

- ▶▶ 연소 : 물질이 공기 중에서 산소와의 산화반응으로 열과 빛이 발생
- ▶▶ 화재 : 인간에게 해로운 불



질식 소화법
(차단 소화법)



- ▶▶ 가연물, 산소, 점화원의 3요소가 결합하면 화재 발생(모든 변이 접촉)
- ▶▶ 가연물, 산소, 점화원의 3요소 중 하나 이상 제거하면 불이 꺼짐



화재와 폭발의 구분

- ▶▶ 에너지 방출속도의 차이 : 화재 << 폭발(Micro sec)
 - ▶ 폭발사고는 대피의 여유가 없음
- ▶▶ 화재는 개방계, 폭발의 경우 밀폐계 뿐만 아니라 개방계에서 증기운이 폭발하는 경우도 있음





폭발의 성립조건

- ▶▶ 공기 또는 산소와 혼합된 가연성 가스, 증기 및 분진이 일정농도(폭발범위)에 있을 때
- ▶▶ 혼합된 물질의 일부에 점화원이 존재하여 최소점화에너지 이상의 에너지를 가할 수 있을 때



폭발방지

- ▶▶ 가연성 가스, 증기 및 분진이 폭발범위 내로 축적되지 않도록 환기 실시
- ▶▶ 공기 또는 산소의 혼입 차단(불활성 가스 봉입 등)
- ▶▶ 용접 또는 용단 작업의 불꽃, 기계 및 전기적인 점화원의 제거 또는 억제



발생 메커니즘

가연물이 혼합된 공기가 점화원과 접촉하는 순간 화재·폭발 발생

위험물



- 인화성 가스
- 인화성 액체의 증기
- 인화성고체

점화원



- 용접 불꽃
- 용단 불티

산소

O₂



관리대책

1

가연물 관리

- **작업시작 전 가연물의 제거·퍼지·차단 확인**
 - 제거작업 전 가연물의 물질특성 파악후 시작
 - 작업장주변 가연물 제거, 용기나 배관 내용물 배출 표식 등 안전조치사항 확인
 - 용접불꽃 비산방지를 위한 각종 개구부 차단 여부 확인
- **가스 분진 누출 여부 측정**
 - 독성, 가연성 가스 퍼지 후 가스잔류 여부 확인
 - 용단 전 냉각 후 테스트 홀을 통하여 가스감지
 - 비중, 환기상태, 누출원 등을 고려하여 실시
- **내용물 제거 시 안전대책**
 - 가연성 가스·분진제거 후 공기로 치환
 - 잔존물 이송시 철재호스 사용 및 접지
 - Non-spark 재질의 방폭 공구 사용

2

점화원 관리

- **가연성 물질, 인화성 물질 근처에 화기작업 금지**
 - 스티로폼 등 가연물 주변, 인화성 물질 취급설비 (용기, 배관 등) 근처 및 인화성 물질 취급 밀폐공간에서 화기작업(용접·용단 등) 금지
- **안전점검 및 화기작업 허가 철저**
 - 작업 전 안전점검 및 화기작업허가 철저
 - 작업허가서에 명시된 안전보건조치사항 확인
 - 작업내용 변동에 따른 추가위험 대응 조치

화기작업 중 확인사항

 - 주변 작업조건의 변동 및 위험물질 유입 여부
 - 작업 중 지속적인 인화성 가스 측정
 - 작업 관계자 외 인원의 출입통제
 - 불꽃으로 인한 주변의 화재 가능성 방지 조치
- **중점관리 철저**
 - 산소와 점화원은 제거가 불가능하므로 가연물에 대한 집중관리(격리, 제거, 방호)가 중요

4

화학물질의 유해·위험성 파악



- 첫 번째, 사업장에서 취급하고 있는 화학물질의 목록을 정리합니다.



- 두 번째, 목록에 있는 화학물질별로 MSDS를 비치 혹은 게시하고 있는지 확인합니다.



- 세 번째, 목록에 있는 화학물질별 용기 및 포장에 경고표지가 부착되어 있는지 확인합니다.



- 네 번째, 화학물질을 취급하는 작업공정별로 관리 요령을 게시합니다.



- 다섯 번째, 화학물질을 취급하는 근로자들을 대상으로 교육을 실시합니다.



물질안전보건자료(MSDS)란?

- 물질안전보건자료(MSDS, Material Safety Data Sheet)란 물질에 관한 여러 가지 정보를 담은 자료를 말한다.
- 물질에 관한 정보는 그 물질의 이름, 성분, 유해성, 위험성, 보관방법, 다룰 때 주의할 점, 필요한 보호구, 몸에 묻거나 먹었을 때 등의 응급조치 등 여러 가지 정보가 포함된다.



물질안전보건자료의 정보 및 게시

✓ 물질안전보건자료의 정보

[물질안전보건자료에 포함되는 정보]

구분	정보
화학제품과 회사에 관한 정보	제품명, 제품의 권고용도와 사용상의 제한 등
유해·위험성 정보	유해·위험성 분류, 예방조치문구를 포함한 경고표지 항목 등
구성 성분의 명칭 및 함유량	화학물질명, 관용명 및 이명, CAS 번호 또는 식별번호, 함유량
응급조치 요령	눈에 들어갔을 때, 피부에 접촉했을 때, 흡입했을 때 등
폭발·화재 시 대처방법	적절한 소화제, 화재 진압 시 착용할 보호구 및 예방조치 등
누출 사고 시 대처방법	인체 보호를 위한 조치사항 및 보호구, 정화 또는 제거방법 등
취급 및 저장방법	안전취급요령, 안전한 저장방법
노출방지 및 개인보호구	노출기준, 적절한 공학적 관리, 개인보호구 등
물리화학적 특성	외관, 냄새, 인화점, 인화 또는 폭발한계 상·하한, 자연발화온도 등
안정성 및 반응성	화학적 안정성, 유해반응의 가능성, 피해야 할 조건 등
독성에 관한 정보	가능성이 높은 노출경로에 대한 정보, 단기 및 장기노출에 의한 영향 등
환경에 미치는 영향	수생·육생 생태독성, 잔류성과 분해성, 생물 농축성 등
폐기시 주의사항	폐기방법, 폐기 시 주의사항
운송에 필요한 정보	유엔번호(UN No.), 유엔 적정 운송명, 운송 시의 위험등급 등
법적 규제 현황	산업안전보건법에 의한 규제, 유해화학물질관리법에 의한 규제 등
기타 참고사항	자료의 출처, 최초 작성일자, 개정횟수 및 최종 개정일자 등

✓ 물질안전보건자료 게시·비치

- 게시·비치 방법(산업안전보건법 시행규칙 제92조의 4)
 - 취급 근로자가 쉽게 보거나 접근할 수 있는 장소에 각 화학물질별로 물질안전보건자료를 항상 게시하거나 갖추어 둠
 - 취급 작업자가 물질안전보건자료를 쉽게 확인할 수 있는 전산장비를 갖추어야도록 함
- 게시 내용(산업안전보건법 시행규칙 제92조의 4)
 - 물리·화학적 특성 – 독성에 관한 정보 – 폭발·화재 시의 대처 방법 – 응급조치 요령 등
- 게시 장소
 - 대상화학물질 취급작업 공정 내 – 안전사고 또는 직업병 발생우려가 있는 장소
 - 사업장 내 근로자가 가장 보기 쉬운 장소 등

✓ 화학물질 관리요령 게시

- 물질안전보건자료에 적힌 내용을 참고하여 취급 공정별로 화학물질 관리요령을 게시
 - 대상화학물질의 명칭 및 유해성·위험성
 - 취급상의 주의사항 및 적절한 보호구
 - 응급조치 요령 및 사고 시 대처방법 등
- 유해성·위험성이 유사한 화학물질의 그룹별로 작업공정별 관리요령을 작성하여 게시 가능



 대상화학물질 경고표시

- 경고표시 방법
 - 대상화학물질 단위로 유해·위험정보를 명확히 알 수 있도록 경고표지를 작성
 - 대상화학물질을 담은 용기 및 포장에 붙이거나 인쇄
- 경고표시 의무자
 - 대상화학물질을 양도하거나 제공하는 자
 - 취급 사업장 사업주
- 경고표시 대상
 - 대상화학물질을 담은 용기와 포장
 - 작업장에서 사용하는 대상화학물질을 담은 용기
 - 대상화학물질을 담은 용기와 포장에 담는 방법 외의 방법으로 양도하거나 제공할 때는 경고표시 기재 항목을 적은 자료를 제공

● 경고표지에 들어갈 내용

- 명칭: 해당 대상화학물질의 명칭
- 그림문자: 화학물질의 분류에 따라 유해·위험의 내용을 나타내는 그림



- 신호어: 유해·위험의 심각성 정도에 따라 표시하는 “위험” 또는 “경고” 문구
- 유해·위험 문구: 화학물질의 분류에 따라 유해·위험을 알리는 문구
- 예방조치 문구: 화학물질에 노출되거나 부적절한 저장·취급 등으로 발생하는 유해·위험을 방지하기 위하여 알리는 주요 유의사항
- 공급자 정보: 대상화학물질의 제조자 또는 공급자의 이름 및 전화번호 등



물질안전보건자료 교육



물질안전보건자료 교육

- 유해성·위험성이 유사한 대상화학물질을 그룹별로 분류하여 교육 가능
- 교육을 했을 때에는 교육시간 및 내용 등을 기록·보존
- 교육시기
 - 대상화학물질을 제조·사용·운반 또는 저장하는 작업에 근로자를 배치하게 된 경우
 - 새로운 대상화학물질이 도입된 경우
 - 유해성·위험성 정보가 변경된 경우
- 교육내용
 - 대상 화학물질의 명칭(또는 제품명)
 - 물리적 위험성 및 건강 유해성
 - 취급 주의사항
 - 적절한 보호구
 - 응급조치 요령 및 사고시 대처방법
 - 물질안전보건자료 및 경고표지를 이해하는 방법

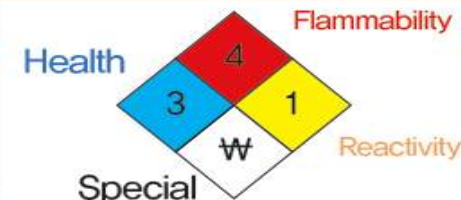


화학물질의 인화성이란?

- 화학물질이 얼마나 쉽게 연소가 이루어지는가에 대한 위험정도를 의미
- 인화성이 높으면 쉽게 불이 붙고, 화재위험이 높다고 할 수 있음
- 인화성이 높은 화학물질은 화재와 폭발을 유발함

안전 TIP : 화학물질 위험성 분류

- 미국 NFPA(National Fire Protection Association) 704의 물질 위험 등급 분류 기준에 유해성(건강), 인화성(화재), 반응성(폭발), 기타 특성 위험으로 구분 됨
 - NFPA지수의 의미는 4(매우 높은 위험), 2(보통), 0(위험 없음)이고, 대부분 사고사례는 직업병/중독사망은 유해성 3 이상, 화재는 인화성 3 이상, 폭발은 반응성 1이상의 물질이 관계되어 있음
 - 해당 지수는 MSDS 2번 항목의 유해성·위험성에 언급되고, 용기·저장탱크 등에 부착되는 경우가 있음



[NFPA 표시 (예 : 아세톤 등)]

- 고용노동부 고시 「화학물질의 분류·표시 및 물질안전보건자료에 관한 기준」에 물리적 위험성(16종), 건강 유해성(11종), 환경 유해성(1종)으로 물질을 분류하고, 각 분류별로 다른 위험지수를 적용(1~6, A~F 등)

화학물질 인화성의 파악방법

● 인화점

- 화학물질의 인화성은 인화점이 가장 중요하며, 인화점이 낮을수록 위험하다.
- 화학물질에서 증발된 증기가 공기와 섞여서 최저폭발범위 이상의 가연성 혼합기체를 형성하는 최저온도를 말한다.
- 액체상태의 물질은 인화점 이하의 온도에서 화재나 폭발이 일어나지 않는다.
- 기체상태의 물질은 연소범위만 조성되면 화재나 폭발이 가능하다.
- 각 법과 기준의 인화성 위험분류도 인화점을 기준으로 한다.

1) 산업안전보건법

- 인화성액체 : 인화점 60℃ 미만의 물질

2) 위험물안전관리법

제4류(인화성액체) 물질분류	정의
제1석유류	인화점 21℃ 미만(아세톤, 휘발유 등)
제2석유류	인화점 21℃ 이상 70℃ 미만(등유, 경유 등)
제3석유류	인화점 70℃ 이상 200℃ 미만(중유 등)
제4석유류	인화점 200℃ 이상 250℃ 미만(기어유 등)

3) NFPA 지수의 인화성 분류

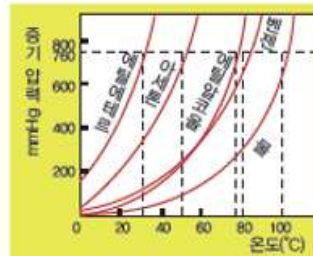
인화성 지수	정의 및 대상물질
4	인화점 23℃ 미만 및 비등점 38℃ 미만(LNG, 실란)
3	인화점 23℃ 미만이고 비등점 38℃ 이상 인화점 23℃ 이상 38℃ 이하(휘발유, 아세톤, 등유)
2	인화점 38℃ 이상 93℃ 이하(경유, 중유)
1	인화점 93℃ 이상(식용유, 열매체유)
0	타지 않음(물)

• MSDS의 내용

- 2. 유해성·위험성항목에 포함된 유해성·위험성 분류 내용, 경고표지항목에 포함되는 그림문자, 신호어, 유해·위험문구, 예방조치문구 등
- 그림문자  가 있는 경우 인화성물질이므로 화재폭발 예방 조치와 관련된 내용을 검토
- 물질위험분류 수치는 낮을수록(1, A 등) 위험이 높으므로 NFPA 지수와 혼동하지 않도록 한다.

• 증기압

- 액체의 증기압이 높을수록 증기화되는 양이 많아지고 인화점은 낮아짐
- 온도가 높을수록 증기압은 증가하고, 증기압이 1기압(760mmHg) 이상이면 기체로 존재함
- 증기압이 1기압이 되는 지점을 비등점이라 함



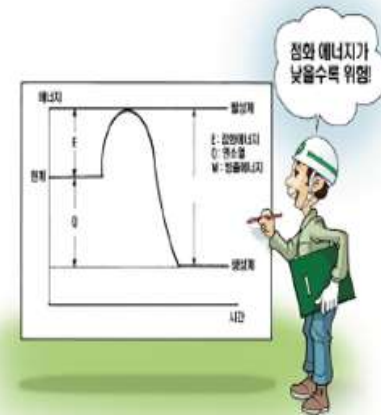
(증기 압력 곡선과 끓는 점)

• 발화점

- 점화원이 없는 상태에서 물질자체의 에너지로 인해 연소가 발생하는 온도
- 대부분 발화점은 400~500°C 내외이나 특이하게 낮은 경우 위험하다(예 : 이황화탄소 102°C) 방폭기기의 온도등급(TA, TB, TC)을 결정함

• 점화에너지

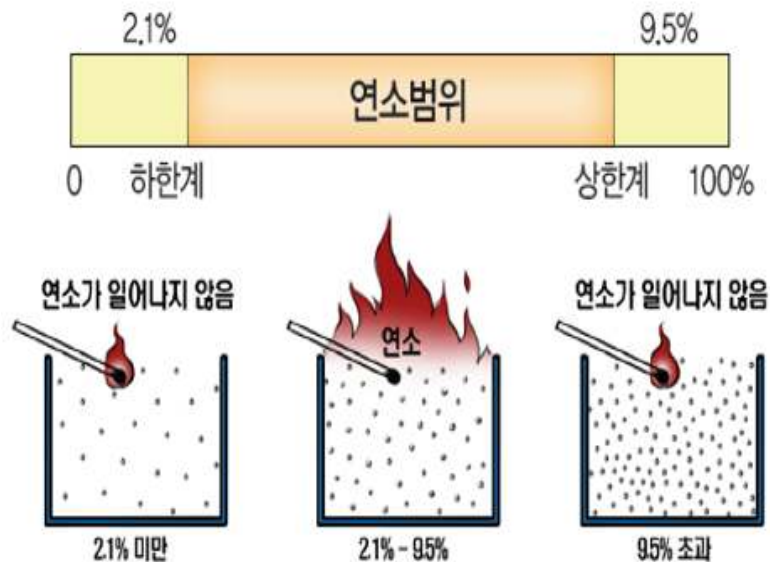
- 점화에너지가 낮으면 쉽게 불이 붙고 점화에너지가 높으면 연소에 필요한 활성화에너지가 높아 쉽게 불이 붙지 않는다.



- 대부분 물질의 점화에너지는 0.2~2.5mJ 내외이나 수소는 0.02mJ로서 정전기로도 쉽게 점화되며, 암모니아는 수백mJ로서 점화위험성이 낮다.

- 폭발범위(Explosion Limit) 또는 연소범위(Flammability Limit)

- 증기나 가스는 폭발범위 내에서만 연소가 가능하다. 폭발하한계가 낮거나 폭발범위의 폭이 클수록 인화성위험이 높다.



- 취급온도

- 인화점이 높더라도 취급온도가 그 이상 높을 경우 화재·폭발위험이 있게 된다.

- 취급압력

- 취급압력이 높을수록 만일의 누출시 방출량이 많아지므로 위험하게 된다.

- 취급량

- 취급량이 많을수록 누출량과 화재 및 폭발피해가 크게 된다.

- 환기량 및 환기형태 등 환기조건

- 환기조건은 폭발분위기 형성 가능성이나 폭발위험 지역 설정범위가 결정된다.

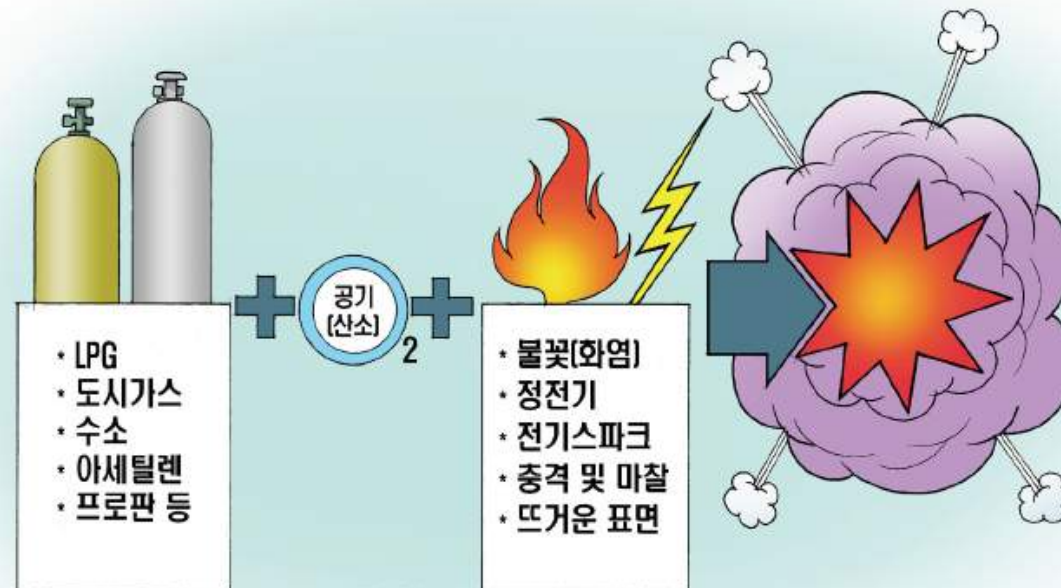


인화성 가스란?

- 폭발한계 농도의 하한(폭발하한)이 13퍼센트 이하 또는 상하한의 차가(폭발상한-폭발하한)가 12퍼센트 이상인 것으로서 1기압 20℃에서 가스 상태인 물질
- 수소, 아세틸렌, 에틸렌, 메탄, 에탄, 프로판, 부탄, 도시가스(NG), LPG, 암모니아 등

※ 폭발하한(LEL : Lower Explosive Limit) : 공기 중에서 인화성가스 등의 농도가 이 값 미만에서는 폭발되지 않는 한계

※ 폭발상한(UEL : Upper Explosive Limit) : 공기 중에서 인화성가스 등의 농도가 이 값을 넘는 경우에는 폭발되지 않는 한계





인화성 가스의 종류

물질명	Cas. No	주요 용도	유해위험성				
			인화성	고압가스	발암성	산화성	자극성/특정독성
수소	1333-74-0	암모니아, 염산, 메탄올 합성 원료, 수소첨가제					
아세틸렌	74-86-2	용접·절단용 가스 합성섬유 및 고무 원료					
에틸렌	74-85-1	석유화학제품 원료					
메탄	74-82-8	메탄올 원료, 천연가스 주성분					
에탄	74-84-0	염소화 유도체, 냉동제					
프로판	74-98-6	LPG 성분, 냉매					
부탄	106-97-8	냉동제, 첨가제, LPG 성분					
천연가스	8006-14-2	연료					
LPG	68476-85-7	가정용 연료, 용접					



인화성 가스의 취급관리

● 안전하게 취급

- 누출되면 쉽게 화재를 유발하므로 누출되지 않는 밀폐구조로 취급
- 인화성가스 사용, 저장장소는 누설 여부를 알 수 있도록 가스경보장치 설치
- 인화성가스 취급장소에서는 흡연, 용접, 그라인딩 작업, 비방폭형 전기기기 사용을 금지하고, 접지 조치로 인체 및 설비 정전기를 없애는 등 점화원 제거

● 안전하게 저장

- 직사광선을 피하고 환기가 잘 되는 곳에 저장하여 용기온도를 40℃ 이하로 유지
- 용기가 넘어질 위험이 없도록 하고 용기에 충격 행위 금지
- 운반하는 경우에는 캡을 씌울 것. 캡은 전용 도구로 개방할 것
- 커플링 연결시 규정된 힘으로 체결/분리하고 와서는 1회 사용 후 폐기
- 용기의 부식·마모 또는 변형상태를 점검 후 사용

● 누출 및 화재폭발시 대응방법

- 인화성가스 누출시 지연된 폭발을 수반하는 경우가 많으므로 원격이나 안전한 방법으로 차단할 수 없으면 접근을 지양하고 경보 후 대피 조치
- 폭발 후 누출로 인한 Jet Fire 발생시 가스차단 외에는 소화할 수 없으므로 다 타도록 내버려 두고 인접시설의 피해방지에 주력



인화성 액체란?

인화성액체란 상온상압(섭씨 20도 1기압)에서 액체상태로서 불에 탈 수 있는 물질을 말하며 국내에서는 통상적으로 산업안전보건법과 위험물안전관리법에 따라 인화성액체를 관리하고 있음

산업안전보건법

- 인화성액체란 표준압력(101.3 kPa)하에서 인화점이 60°C 이하이거나 고온·고압의 공정운전조건으로 인하여 화재·폭발위험이 있는 상태에서 취급되는 가연성 물질을 말한다.

위험물안전관리법

- “인화성액체”라 함은 액체(제3석유류, 제4석유류 및 동식물유류에 있어서는 1기압과 섭씨 20도에서 액상인 것에 한한다)로서 인화의 위험성이 있는 것을 말한다.
 1. 특수인화물
 2. 제1석유류 : 인화점 21°C 미만(아세톤, 휘발유 등)
 3. 알코올류
 4. 제2석유류 : 인화점 21°C 이상 70°C 미만(등유, 경유 등)
 5. 제3석유류 : 인화점 70°C 이상 200°C 미만(중유 등)
 6. 제4석유류 : 인화점 200°C 이상 250°C 미만(기어유 등)
 7. 동식물유류





인화성 액체의 취급관리

● 안전하게 취급

- 압력을 가하거나, 자르거나, 용접, 납땜, 접합, 뚫기, 연마 또는 열에 폭로, 화염, 불꽃, 정전기 등 점화원 금지
- 취급 중인 용기는 덮개를 사용하여 증발억제
- 반응기의 맨홀 밀폐 및 배기벤트로 실내로 증발하지 않도록 함
- 취급시 모든 용기, 배관을 반드시 접지, 제전복 및 제전화 착용
- 폭발위험지역 내 전기기구 는 방폭형을 사용
- 반응기나 밀폐용기 내부 정전기 위험시 퍼지하여 MOC 이하로 관리

● 안전하게 저장

- 용기는 환기가 잘 되는 곳에 단단히 밀폐하여 저장
- 저장용기 및 배관은 접지 및 본딩 실시
- 저장탱크에 방유제 설치

● 누출 및 화재폭발시 대응방법

- 누출 및 화재시 자동 또는 원격으로 원료공급 정지 가능하도록 설치
- 수용성, 불용성, 물반응성 등을 고려 물질특성에 맞는 적절한 소화기 및 소화설비 설치
- 대형화재시 복사열을 고려, 실제 화재진압 가능하도록 소화전 배치
- 실내화재시 유독가스가 생성되므로 지체하지 말고 신속히 대피
- 이상반응 위험이 있을 경우 원료공급중지-냉각-억제제 투입-대피 시점을 미리 정할 것





인화성 물질 취급에 따른 준수사항



개인보호구 착용



배기설비 가동 / 용기 밀폐



금연 화기엄금

밀폐공간에서는 공기공급식 송기마스크 착용
면 마스크, 일반방진 방독 마스크 착용 금지



인화성 물질 취급에 따른 준수사항

- 취급 현장에 관련 안전보건표지의 부착

(예:       등)

- 취급 지역을 폭발위험장소로 설정 및 방폭형 전기설비 사용



- 취급용기나 탱크에 해당물질 경고표시

암모니아





신호어 : 위험
유해·위험 문구 :
극인화성 가스
고압가스 : 가열 시 폭발할 수 있음
수생생물에 매우 유독함

예방조치 문구
예방 : 열·스파크·화염과 같은 점화원으로부터 격리하십시오 - 금연, 환풍으로 배출하지 마십시오
대응 : 누출성 가스 발생 시 누출을 안전하게 막을 수 있다면 불을 끄십시오. 필요하다면 모든
장착원을 제거하십시오. 누출물을 모으십시오
저장 : 피사물성을 피하고 환기가 잘 되는 장소에서 보관하십시오
폐기 : 관련법규에 명시된 경우 규정에 따라 내용물·용기를 제거하십시오
공급자 정보 : 00화학(주), 경기도 파주시 송정동 340번지 TEL. 02-2234-3435

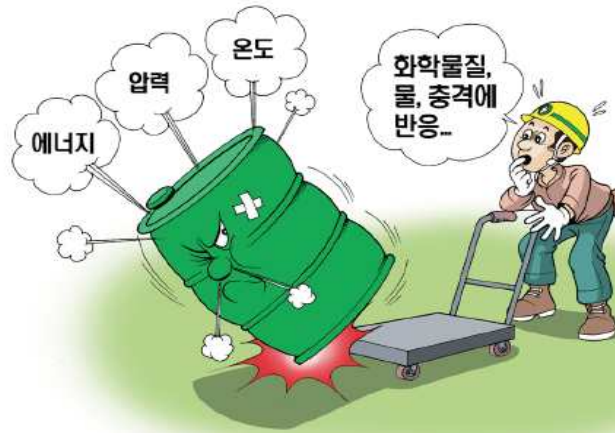
- 취급물질의 유해위험성, 올바른 취급방법, MSDS를 이해하는 방법 등을 교육



- 기타 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 위험물 안전관리법 시행규칙에서 정한 내용

화학물질의 반응성이란?

- 화학물질이 다른 화학물질, 물 또는 충격에 반응하여 상당한 에너지, 압력파, 압력, 온도의 상승을 유발하는 특성을 말함



- 반응성의 정도는 반응조건의 용이성 및 반응 후 발생하는 에너지의 강도가 조합되어 분류됨
- 반응성이 높은 화학물질은 강력한 폭발을 수반하며 이로 인한 2차 화재, 건물의 붕괴나 물체의 비래로 작업자 및 인근주민의 치명적인 상해사고를 유발함
- 반응성 물질은 많지 않지만 사고시 큰 피해를 주게 되므로 반응성이 있는 물질의 파악과 반응조건의 파악이 매우 중요함
- 반응조건에 따른 제어방법, 만일의 반응사고시 피해 예측과 이에 따른 이격거리 확보, 방폭벽설치, 사고 예방방안, 사고시 대응방안보완 등의 조치가 필요함
- NFPA 지수 3개 분야(유해성, 인화성, 반응성) 중 반응성 지수는 등급1 물질도 대폭발을 야기하므로 일단 반응성 지수가 1 이상이면 상당히 정밀한 검토가 필요함

물질 반응성 파악방법

- NFPA 704의 분류에 따른 반응성지수를 확인하는 것이 가장 쉽고 합리적이다.
- 특별한 조건에서의 반응성은 NFPA 지수 표시 사각형 하단에 별도의 문자로 표시된다.
예) W(물반응성), OX(산화성 물질)
- MSDS 2. 유해성·위험성항목에 포함된 유해성·위험성 분류 내용, 경고표지항목에 포함되는 그림문자, 신호어, 유해·위험문구, 예방조치문구 등
 - 산화성 물질(, 폭발성물질()은 반응성이 높으며 부식성 물질()도 대부분 NFPA 반응성 지수가 1 이상이다.

취급 중 반응성에 영향을 미치는 요소

- 취급온도 및 압력
 - 중합반응시 폭발할 수 있는 물질(NFPA 반응성 지수 1)의 경우 취급온도와 압력이 상승하면 어느 순간 반응성이 급격하게 높아지고 반응 폭주가 발생한다.





반응성 물질 취급에 따른 준수사항

- 화학물질취급시 작업현장에 관련 안전보건표지 부착 (예:        등)
- 화학물질의 유해위험성, 올바른 취급방법, MSDS의 이해방법 등을 교육
- NFPA 반응성지수가 1 이상인 경우 MSDS의 '10항 안정성 및 반응성' 에서 반응을 일으키는 조건과 '7항 취급 및 저장방법' 의 내용대로 저장, 취급하는지 확인
- NFPA 반응성지수가 1 이상인 경우 물과의 반응성이 있는 경우가 있고, 화재시 물을 사용한 주수 진화시 오히려 더 큰 폭발을 유발할 수 있음
 - MSDS의 '5항 폭발화재시 대처방법' 에 물 사용 가능 또는 불가능 여부 확인



화학물질의 유해성이란?

- 화학물질로 인하여 생물체, 특히 인체의 건강과 생명에 어느 정도의 유해한 정도를 미치는가에 대한 정도와 특성
- 유해성이 높은 화학물질은 직업병, 작업중 고농도 폭로로 인한 중대재해, 환경피해 및 이로 인한 민원 등 사업장 내부 및 외부의 문제를 야기시킴



[독성물질 누출사고 영향]



[독성물질 누출로 인한 농작물 고사]

- 가스상태 독성물질의 다량누출시 상상하기 어려운 피해를 초래할 수 있으므로, 만일의 누출시 누출농도와 피해범위를 미리 예측 평가하고 그 결과를 바탕으로 사고확율 감소조치, 만일의 사고시 대응조치, 대피반경 설정 등 사고대응조치를 준비

독성 Level	관심농도	농도값의 의미(1시간내 미대피시)
1	ERPG 1	사망가능
2	ERPG 2	중상가능
3	ERPG 3	상해가능

※ ERPG (Emergency Response Planning Guideline) : 미국 AIHA에서 비상대피와 관련하여 1시간내 대피하지 않을 경우 발생할 수 있는 상황별 농도

물질 유해성의 파악방법

● 급성독성 물질 대상여부 및 독성치

- 급성독성 물질은 그림 표지() 의미 그대로 치명적 재해(사망) 및 직업병과 관련이 높음
(급성독성 물질기준(안전보건규칙 별표1의 7항))

- 1) LD₅₀(경구, 쥐) 300mg/kg-(체중) 이하인 화학물질
- 2) LD₅₀(경피, 토끼 또는 쥐) 1000mg/kg-(체중) 이하인 화학물질
- 3) 가스 LC₅₀(쥐, 4시간 흡입)이 2500ppm 이하인 화학물질, 증기 LC₅₀(쥐, 4시간 흡입)이 10mg/l 이하인 화학물질, 분진 또는 미스트 1mg/l 이하인 화학물질

※ LD(Lethal Dose), LC(Lethal Concentration)

※ LD₅₀과 LC₅₀은 해당 생물체에 입으로 마시거나, 피부를 통해 흡수시키거나, 흡입하게 했을 때 50%가 죽는 확률의 농도를 말한다.

- 화학물질의 유해성은 독성치인 LD₅₀ 경구, LD₅₀ 경피, LC₅₀의 값을 주로 참고한다.
- NFPA의 유해성 등급분류도 LC₅₀ 값을 기준으로 함

〈표〉 NFPA 유해성 등급분류의 LC₅₀ 기준

유해성지수	건강위험
4	LC ₅₀ 1000ppm 이하 (예 : 염소, 불화수소)
3	LC ₅₀ 3000ppm 이하 (예 : 포스겐, 염화수소)
2	LC ₅₀ 5000ppm 이하 (예 : 에틸알콜, 메틸알콜)
1	LC ₅₀ 10000ppm 이하 (예 : 질산암모늄)
0	무해함(물)

※ 산안법상 급성독성물질(LC₅₀ 2500ppm 이하)은 NFPA 지수 3 또는 4에 해당

물질 유해성의 파악방법

• 작업환경측정 허용농도

– 측정시간을 고려하여 정해진 수치(TLV : Time Limited Value)로서 조건에 따라 3가지 기준치 적용

TLV-TWA(Time Weighted Average)	TLV-STEL(Short Time Exposure Limit)	TLV-C(Ceiling)
• 8시간 근무하는 경우를 가정하여 측정하고, 평가하는 값 • 일상적인 작업에 적용	• 15분간 일일 4회 근무하는 것을 가정하여 측정하고 평가하는 값 • 원료충진, 투입이나 출하 등 단시간 고농도 작업에 적용	• 작업 중 어느 순간도 넘지 말아야 할 농도로서 일부 독성물질에 대해 적용
		

– 고용노동부고시(화학물질 및 물리적인자의 노출기준)을 통하여 공표되며, MSDS의 '8항. 노출방지 및 개인보호구/가.화학물질의 노출기준' 에도 표기됨

물질 유해성의 파악방법

증기압

- 증기압은 액체가 액면에서 기체화되는 압력이므로 액체의 증기압이 높을수록 증기화된 가스의 양이 많아지고 인체의 노출위험은 높아짐
- 증기압 1기압(760mmHg) 이상의 화학물질은 기체로 존재하므로 누출시 확산 및 중독 위험이 상당히 높음(예 : 불화수소, 염소 등)

MSDS의 내용

- 2. 유해성·위험성 항목에 포함된 유해성·위험성 분류 내용, 경고표지 항목에 포함되는 그림문자, 신호어, 유해·위험문구, 예방조치문구 등
- 그림문자 가 있는 경우 급성독성물질이므로 유해성 및 건강상의 예방조치와 관련한 내용을 검토
- 물질위험분류 수치가 낮을수록(1, A 등) 위험이 높으므로 NFPA 지수와 혼동하지 않아야 함



취급 중 유해성에 영향을 미치는 요소

취급온도 및 압력

- 취급온도와 압력이 높을수록 만일의 누출시 누출량이 많게됨
- 취급온도가 높을수록 증기압이 증가하여 증발량 및 대기 중 농도가 높아짐
- 액체라 하더라도 압력이 인가되어 누출되면 흡 상태로 누출되어 대기농도와 흡입독성 및 경피독성 위험이 모두 증가하여 가스보다 더 위험할 수 있다.

취급량 및 취급조건

- 취급량이 높을수록 잠재누출위험이 크다.
- 화학물질이 밀폐된 상태로 취급되지 않고 개방상태로 사용되거나 용기의 개구부 면적이 넓을수록, 또 발산원에서 근접하여 작업할수록 노출위험이 크다.

환기량 및 환기형태 등 환기조건

- 환기량과 환기방법은 작업장내 위험물질 체류농도와 직접적인 관계가 있다.

[용제 취급 작업장 환기 사례]

양호 환기



불량 환기





유해성 물질 취급에 따른 준수사항

- 작업환경측정 대상 화학물질을 취급할 경우 작업환경측정 및 특수건강진단 실시
- 작업현장에 관련 안전보건표지 부착 (예,        등)
- 독성물질 취급시 누출방지 조치
 1. 사업장 내 저장 및 취급량을 최소화
 2. 설비의 연결 부분은 누출되지 않도록 밀착시키고 매월 1회 이상 연결부분 점검
 3. 폐기·처리하여야 하는 경우에는 냉각·분리·흡수·흡착·소각 등의 처리
 4. 급성 독성물질이 사고로 외부에 방출될 경우 저장·포집 또는 처리설비를 설치하여 안전하게 회수
 5. 폐기·처리 또는 방출하는 설비는 자동 또는 원격조정할 수 있는 수동조작 구조로 설치
 6. 취급 설비의 작동이 중지된 경우에는 근로자가 쉽게 알 수 있도록 필요한 경보설비를 근로자와 가까운 장소에 설치
 7. 외부로 누출된 경우에는 감지·경보할 수 있는 설비를 구비
- 취급설비의 국소배기설비 설치, 안전한 작업방법 수립, 관리감독, 적정 보호구 착용
- 화학물질의 유해위험성, 올바른 취급방법, MSDS의 이해방법 등을 교육

5

연구실 화학물질 취급방법

▶▶ 연구에 필요한 양만 소분하여 사용

- ▶ 화학약품은 사용량만 소분하고 즉시 뚜껑을 닫아 지정된 장소에 보관
- ▶ 큰 저장용기에서 인화성 액체를 소분하는 경우 충분한 환기가 확보된 옥외장소 또는 후드 등의 시설이 갖추어진 실내에서 수행
- ▶ 인화성액체를 소분하는 경우 정전기 등에 의한 화재폭발 발생 우려가 있으므로 제전접지 등 주의를 기울여야 함

▶▶ 화학물질은 적절한 방법으로 저장

- ▶ 화학물질은 화학물질 분류체계에 따라 별도의 시약장에 저장
- ▶ 양립할 수 없는 화학약품을 같이 보관하지 않아야 함
- ▶ 일반약품은 일반 시약장에 보관이 가능
- ▶ 인화성 등 주의가 요구되는 약품은 내화 캐비닛, 냉장저장장치 등에 저장하고 독성 등 통제가 필요한 경우 시건조치 실시
- ▶ 유리용기는 가능한 캐비닛 제일 아래에 보관
- ▶ 화학약품 캐비닛 통풍구 뚜껑은 캐비닛이 통풍시스템에 부착되기 전까지 제거하지 않음
- ▶ 물질의 특성에 적합한 저장용기 사용
- ▶ 흡후드에 화학물질 저장 및 방치 금지

▶▶ 취급물질 용기에 반드시 라벨링 실시

- ▶ 모든 용기에 화학물질 명칭 기재(증류수처럼 무해한 것까지)
- ▶ 표시는 명칭, 위험성, 예방조치, 구입날짜, 합성물질, 사용자 이름
- ▶ 명칭이 없는 용기의 화학물질은 사용금지
 - ▼ 명칭 표시는 사용자가 즉각적으로 화학물질을 사용할 수 있다는 것보다는 화재·폭발 또는 용기가 넘어졌을 때 성분인지 목적이 큼
- ▶ 명칭 등 불분명한 화학물질은 절대로 냄새를 맡는 등의 행위 금지

- ▶▶ 주기적으로 화학물질의 수명 검사 등 약품 관리
 - ▶ 유통기한이 지난 물질, 변색 및 용기가 찌그러지거나 본래의 성질을 잃어버렸는지 주기적으로 확인
 - ▶ 실험 후 폐기약품은 안전하게 처분하고 유용한 화학물질은 쓸 일이 있는 다른 사람에게 확실하게 인도

- ▶▶ 발열 등 반응공정에 주의
 - ▶ 반응과정에 비등점을 넘는 등 발열이 심하게 발생하는지 확인 필요
 - ▶ 반응과정에 생기는 생성물의 유독성, 가연성가스인지 등을 확인 필요

- ▶▶ 유해위험물질은 적절한 방법으로 사용
 - ▶ 위험성을 가진 시약을 다룰 때는 반드시 개인용 보호장비 착용
 - ▶ 유독성 및 인화성물질, 분진이 발생하는 실험은 후드장치 및 환기시설이 갖추어진 장소에서 수행
 - ▶ 시약 사용 후 뚜껑을 닫아야 하며, 열어놓은 상태에서 실험 수행 금지
 - ▶ 사용 후 남은 시약은 다시 병에 넣지 않아야 함(오염방지)
 - ▶ 시약 사용 전 물질안전보건자료(MSDS) 및 유의사항 반드시 숙지

▶▶ 화학물질의 안전한 운반

- ▶ 실험실과 저장지역 사이에 화학물질을 운반할 때는 운반장비 이용
- ▶ 유리제품은 깨질 우려를 고려하여 반드시 손으로 운반
- ▶ 화학물질의 분류가 다른 화학물질을 동시에 섞어 운반 금지

- ▶▶ 위험물질 등의 제조 등 작업시의 조치(산업안전보건기준에 관한 규칙)

위험물질을 취급하거나 취급하는 경우에 화재·폭발 및 누출을 방지하기 위한 적절한 방호조치를 하지 아니하고 다음의 행위 금지

- ▶ **폭발성 물질, 유기과산화물**을 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 가열하거나 마찰시키거나 충격을 가하는 행위
- ▶ **물반응성 물질, 인화성 고체**를 각각 그 특성에 따라 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 발화를 촉진하는 물질 또는 물에 접촉시키거나 가열하거나 마찰시키거나 충격을 가하는 행위

▶▶ 화학물질의 안전한 운반

- ▶ 산화성 액체·산화성 고체를 분해가 촉진될 우려가 있는 물질에 접촉시키거나 가열하거나 마찰시키거나 충격을 가하는 행위
- ▶ 인화성 액체를 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 주입 또는 가열하거나 증발시키는 행위
- ▶ 인화성 가스를 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 압축·가열 또는 주입하는 행위
- ▶ 부식성 물질 또는 급성 독성물질을 누출시키는 등으로 인체에 접촉시키는 행위
- ▶ 위험물을 제조하거나 취급하는 설비가 있는 장소에 인화성 가스 또는 산화성 액체 및 산화성 고체를 방치하는 행위

6

연구실험실 폐기물 처리방법

▶▶ 화학물질 폐기물은 성질 및 특성을 확인하여 구분 및 수집

- ▶ 폐산(유기, 무기)
- ▶ 폐알칼리 (유기, 무기)
- ▶ 폐유기용제(할로겐족, 비할로겐족)
- ▶ 폐유 등

불가피하게 혼합해야 하는 경우에는 혼합가능여부를 확인 후 보관 및 배출하여야 하며, 절대로 하수구나 싱크대에 버려서는 안 됨

▶▶ 화학물질 폐기물 혼합 금지 유형

- ▶ 과산화물과 유기물
- ▶ 시안화물, 황화물, 차아염소산염과 산
- ▶ 암모늄염, 휘발성 아민과 알칼리
- ▶ 진한황산, 술폰산, 옥살산, 폴리인산 등의 산과 기타 산

- ▶▶ 화학물질 폐기물 수집용기는 반드시 운반 및 용량 측정이 용이한 플라스틱 (고밀도폴리에틸렌 : HDPE) 용기를 사용
- ▶▶ 수집용기 외부에는 부서명과 장소, 전화번호, 품명, 특성 및 주의사항 등을 기록한 특정폐기물 스티커 부착
- ▶▶ 수집한 화학물질 폐기물 용기는 직사광선을 피하고 통풍이 잘 되는 곳을 폐기물 보관장소로 지정(복도, 계단 등에 방치 금지)
- ▶▶ 보관장소에는 “금연”, “화기엄금” 표지와 “폐기물 보관수칙” 부착
- ▶▶ 시약 공병은 깨지지 않도록 기존 상자에 넣어 폐기물 보관장소에 보관
- ▶▶ 수집 및 보관된 화학물질 폐기물 용기는 폐액의 유출·악취가 발생하지 않도록 2중 마개를 닫는 등 필요한 조치 수행

- ▶▶ 수집된 화학물질 폐기물 운반은 손수레와 같은 안전한 운반구 이용
- ▶▶ 고체 폐기물은 플라스틱 봉지, 섬유성 상자(내구성 강화) 또는 플라스틱 용기에 수집 가능하며, 바늘 등 날카로운 물건은 별도의 보관용기로 폐기
- ▶▶ 모든 극독성, 반응성, 수은 및 특정 폐기물 (디옥신화합물 등)은 다른 폐액과 화학적으로 혼화성이라 하더라도 개별적 수집
 - ▶ 예를 들어 수은과 유기용매 혼합 폐기물은 전체 폐액을 수은 폐기물로 처리하여야 하므로 차후에 많은 폐기비용 초래
- ▶▶ 방사성물질을 함유한 폐기물, 의료폐기물은 별도 수집하며, 정해진 규정에 따라 엄중히 처리

- ▶▶ 폐액에 의하여 처리 중 유독가스의 발생, 발열, 폭발 등의 위험을 충분히 조사하고, 첨가하는 약재를 소량씩 넣는 등 주의하면서 처리
- ▶▶ 약취가 나는 폐액, 유독가스가 발생하는 폐액 및 인화성이 강한 폐액은 누설되지 않도록 적당한 처리를 강구하고 조기 처리하여야 함
- ▶▶ 폭발성 물질을 함유하는 폐액은 보다 신중하게 취급하고 조기 처리
- ▶▶ 간단한 제거제로 처리가 어려운 폐액은 적절한 처리를 강구하고, 처리되지 않은 상태로 방출되는 일이 없도록 주의
- ▶▶ 처리 후에도 폐수가 유해한 경우에는 추가로 후처리 필요
- ▶▶ 유해위험물질이 부착된 거름종이, 약봉지, 폐 활성탄 등은 적절한 처리를 한 후 보관

7

연구실험실 안전장치



실험실 부스 구조

- ▶▶ 제어풍속은 부스가 개방한 상태로 개구면에서 0.4 m/s 정도로 유지
 - ▶ 부스가 없는 실험대에서 실험을 할 경우 상방향 후드의 제어풍속은 실험대 상부에서 1.0 m/s 정도로 유지
- ▶▶ 부스 입구의 공기의 흐름방향은 입구 면에 수직이고 안쪽이어야 함
- ▶▶ 부스 위치는 문, 창문, 주요 보행통로로부터 떨어져 있어야 함
- ▶▶ 실험장치를 부스 내에 설치할 경우에는 전면에서 15 cm 이상 안쪽에 설치하여야 하며, 부스 내 전기기계기구류는 방폭형으로 설치



실험실 부스 유지관리

- ▶▶ 실험실 부스는 규정에 맞추어 설치
- ▶▶ 부스는 항상 양호한 상태로 유지되어야 하며, 후드나 배기장치에 이상이 생겼을 경우에는 즉시 수리를 의뢰하고 “수리 중”이라는 표지 부착
- ▶▶ 후드로 배출되는 물질의 냄새가 감지되면 배기장치가 작동되는지 점검하고, 후드의 작동상태가 양호하지 않으면 정비하도록 함
- ▶▶ 후드 및 국소배기장치는 1 년에 1 회 이상 자체검사를 실시하여야 하며, 제어풍속을 3 개월에 1 회 측정하여 이상 유무를 확인
- ▶▶ 기자재 등이 후드 위에 연결된 배기 덕트 안으로 들어가지 않도록 조치
- ▶▶ 부스 앞에 서 있는 작업자는 주위의 공기흐름을 변화시킬 수 있으므로 실험자를 2인 이하로 최소화
- ▶▶ 부득이하게 시약을 부스 내에 보관할 경우는 항상 후드의 배기장치를 켜두어야 함

- ▶▶ 실험실 내에 시약 등 유해물질을 저장할 경우에는 강제배기장치가 설치되어 통풍이 되는 캐비닛에 저장
- ▶▶ 유해물질의 사용 및 유지
 - ▶ 유해물질은 물성이나 특성별로 저장하여야 하며 알파벳순이나 가나다순 등 이름 분류로 저장하지 않아야 함
 - ▶ 서로 반응할 수 있는 유해물질을 함께 두지 않아야 함
 - ▶ 유리상자에 저장된 것은 가능한 캐비닛 선반의 제일 아래에 보관

- ▶▶ 유해물질의 저장 캐비닛 형식 선택
 - ▶ 가연성 물질용 캐비닛은 가연성 물질 및 인화성 액체 저장용으로 사용
 - ▶ 산, 부식 물질용 캐비닛은 내부식성 재질의 것을 사용
 - ▶ 실험실 외부의 가연성 및 부식성 액체를 저장할 때에는 저장 캐비닛을 별도로 설치하여 사용

- ▶▶ 유해물질을 저장하는 용기를 선택할 때에는 약품과 반응하지 않는지 확인
- ▶▶ 용기는 크기를 20 리터 이하로 제한
- ▶▶ 용기는 꼭 막을 수 있는 뚜껑, 배출구 덮개를 가지고 있어야 하며 용기 내부 압력이 상승되지 않도록 시원한 장소에 보관
- ▶▶ 유리용기를 구매할 때에는 폭발 위험을 최소화 할 수 있도록 배기구 뚜껑 등이 부착된 것으로 선택

- ▶▶ 일반 냉장고를 가연성 물질과 같은 특별한 위험이 있는 물질 보관용으로 사용하지 말아야 함
- ▶▶ 실험실 용도의 냉장고는 유해물질의 저장이 가능한 것을 사용
- ▶▶ 위험물질의 보관기간은 가능한 한 짧게 함
- ▶▶ 냉장고는 정기적으로 점검

▶▶ 실험실용 냉장고의 사용 및 유지 요령

- ▶ 냉장고에 저장할 수 있는 유해물질은 표지를 붙여야 함
- ▶ 방사능 물질을 저장할 경우에는 냉장고에 방사능 물질을 저장하고 있다는 표지 부착
- ▶ 냉장고 속에 보관되는 용기들은 완전히 밀폐되거나 뚜껑이 덮여 있어야 하며, 안전하게 놓고, 물질표지가 붙어 있어야 함
- ▶ 뚜껑이 알루미늄 호일, 코르크마개, 유리마개 등으로 제작된 것은 저장을 피함
- ▶ 냉장고는 물이 떨어지는 것을 방지할 수 있도록 서리가 끼지 않는 것을 사용

- ▶▶ 세안장치는 유해물질을 취급하는 실험실에 설치하여야 하며, 실험실 내의 모든 인원이 쉽게 접근하고 사용할 수 있도록 준비되어 있어야 함
- ▶▶ 세안장치는 실험실의 모든 장소에서 10초 이내에 도달할 수 있는 위치에 확실히 알아볼 수 있는 표시와 함께 설치
- ▶▶ 실험실 작업자들은 눈을 감은 상태에서도 가장 가까운 세안장치에 접근할 수 있도록 하여야 함
- ▶▶ 눈 부상은 보통 피부 부상을 동반하게 되므로 세안장치는 샤워장치와 같이 설치하여, 눈과 몸을 동시에 씻을 수 있도록 함

▶▶ 세안장치의 사용 및 유지 요령

- ▶ 물 또는 눈 세척제는 직접적으로 눈을 향하게 하는 것 보다는 코의 낮은 부분을 향하도록 하는 것이 좋음
- ▶ 눈꺼풀은 강제적으로 열리도록 하여 눈꺼풀 뒤도 효과적으로 세척
- ▶ 코의 바깥쪽에서 귀쪽으로 세척하여 씻겨진 화학물질이 거꾸로 눈 안이나 오염되지 않은 눈으로 들어가지 않도록 하여야 함
- ▶ 물 또는 눈 세척제로 최소 15 분 이상 눈과 눈꺼풀을 씻어 냄
- ▶ 유해한 화학물질로 오염된 눈을 씻을 때에는 가능한 빨리 콘택트 렌즈는 벗음
- ▶ 피해를 입은 눈은 깨끗하고 살균된 거즈로 덮음
- ▶ 세안장치는 분기별 1 회 정기적으로 점검 실시
- ▶ 수직형의 세안장치는 공기 중의 오염물질로부터 노즐을 보호하기 위한 보호커버를 설치

- ▶▶ 유해물질을 취급하는 실험실에는 샤워장치를 설치하여야 하며, 항상 사용 가능하게 준비가 되어 있어야 함
- ▶▶ **샤워장치의 사용 및 유지 요령**
 - ▶ 샤워장치는 신속하게 접근이 가능한 위치에 설치하고 알기 쉽도록 확실한 표시를 하여야 함
 - ▶ 실험실 작업자들이 눈을 감은 상태에서 샤워장치에 접근할 수 있어야 함
 - ▶ 샤워장치는 쥐고 당길 수 있는 사슬이나 삼각형 손잡이로 작동되게 설치
 - ▶ 잡아당기는 사슬이나 삼각형 손잡이는 모든 사람의 키에 맞도록 높이를 조절하고, 항상 사용이 가능하도록 분기별 1회 이상 작동시험을 하여야 함
 - ▶ 샤워장치에서 쏟아지는 물줄기는 몸 전체로 떨어지게 할 수 있어야 함
 - ▶ 샤워장치가 작동되는 동안 혼자서 옷을 벗고 신발이나 장신구를 벗을 수 있어야 함
 - ▶ 샤워장치는 전기 분전반이나 전선 인입구 등에서 떨어진 곳에 위치하여야 함
 - ▶ 샤워장치는 배수구 근처에 설치하여야 함

▶▶ 경보설비

- ▶ 경보설비는 실험실 종사자들에게 위험사항을 신속히 알릴 수 있어야 함
- ▶ 모든 종사자 들은 실험실에 가장 가까운 화재발신기의 정확한 위치를 잘 알고 있어야 함
- ▶ 자동화재탐지 설비는 정전이 되었을 때에는 비상전원 등으로 정상 작동을 하도록 조치해야 함

▶▶ 소화기

- ▶ 소화기는 화재의 종류에 따라서 분류되므로, 화재에 따라서 해당되는 문자나 표시를 갖춘 종류를 사용하여야 함
- ▶ 소화기는 적합한 표시에 의하여 확실히 구분되어야 하며 출입구 가까운 벽에 안전하게 설치되어 있어야 함
- ▶ 모든 소화기들에 대해 정기적으로 충전상태, 손상여부, 압력저하, 설치불량 등을 점검하여야 함
- ▶ 사용되었거나 손상을 입고 내부 충전상태가 불량하면 새 것으로 교체하거나 재충전을 하여야 함

▶▶ 소방담요

- ▶ 불을 끄기 위한 용도뿐만 아니라, 화상자 또는 쇼크 상태에 있는 환자를 따뜻하게 하기 위하여 사용

▶▶ 소화기

- ▶ 옥내소화전함 앞에는 물건을 두지 말아야 하며, 옥내소화전은 항상 사용 가능하도록 준비되어 있어야 함
- ▶ 호스는 꼬이지 않도록 관리하고, 사용 시 쉽게 펼칠 수 있어야 함
- ▶ 옥내소화전함 내부는 습기가 차거나 호스 내에 물이 들어있지 않도록 하여야 함
- ▶ 호스를 사용한 후에는 건조시킨 후 원래 위치에 보관하여야 함

▶▶ 스프링클러

- ▶ 스프링클러설비는 자동적으로 작동되므로 실험실 종사자들이 임의로 설비를 정지시키지 않도록 하여야 함
- ▶ 실험실 내 용품들은 스프링클러 헤드에서 적어도 50 cm 이상 떨어진 곳에 위치하도록 함
- ▶ 스프링클러 헤드에 물건을 매다는 일이 없도록 함

8

연구실험용 파일럿 플랜트의 안전



▶▶ 파일럿 플랜트(Pilot Plant)의 정의

- ▶ 상업용 공장 건설이나 제품 생산을 목적으로 공정안전성 확보, 잠재적 위험성 발견 등 상업화에 필요한 데이터의 획득으로 소규모의 연구·실험용 설비로 이루어진 시제품 생산 공장

▶▶ 파일럿 플랜트(Pilot Plant)의 위험성

- ▶ 상업용 생산설비보다 단위시간당 사용하는 위험물질의 양은 상대적으로 적으나, 고온 고압 하에서는 적은 양의 화학물질이라도 위험성이 높음
- ▶ 사용되는 압력용기의 경우 관련법규 등에서 정하는 기준에 적합하지 않게 제작될 경우가 있어서 고장과 화재 폭발에 취약 함
- ▶ 연구 실험시설의 특성상 좁은 공간에 많은 설비를 설치하기 때문에 높은 설비 집약도에 의한 위험성이 높음
- ▶ 검증되지 않은 공정과 기술을 적용하고 그 위험의 확인이나 크기를 정확히 알 수 없기 때문에 사고발생 위험이 높음

▶▶ 파일럿 플랜트(Pilot Plant)의 위험성

- ▶ 원부재료, 중간제품(생성물), 제품과 관련된 위험성이 파악되지 않을 수 있으므로, 비상상황에 대한 조치가 어려움
- ▶ 새로운 설비 및 공정 도입에 따른 공정의 변경이 발생할 수 있어 검정된 상업공정보다 위험성이 높음
- ▶ 취급물질의 변경으로 인한 배관 및 반응기 등 공정설비의 부식 유발, 이상반응, 공정압력의 변화 및 안전밸브 등 안전설비의 기능 제한이나 저하를 유발시킬 수 있음
- ▶ 사용되는 설비가 연구개발 대상이 될 수 있으므로, 비 규격화된 설비의 사용에 의한 잠재위험성이 높음



일반사항

- ▶▶ 플랜트의 주요 설비에 대한 운전과 유지보수를 위한 데이터시트를 작성
 - ▶ 데이터시트는 실험실 단위의 실험노트처럼 기초적인 내용부터 시작해서 플랜트의 설치를 위한 모든 데이터, 배치, 세정과정, 시험과 결과 및 유지보수작업이 포함
- ▶▶ 생산된 모든 제품과 중간 생산물을 보관하고 유지하기 위한 방법을 수립
- ▶▶ 스케일 업 (Scale up)을 실시하기 전에 해당 공정을 정확하고 안정적으로 결정하는 것이 중요, 가능하면 공정개발이나 탐색과정의 초기단계부터 엔지니어를 투입하여 이후 발생할 수 있는 시간과 비용의 불필요한 소모를 감소시킬 수 있도록 해야 함
- ▶▶ 반응과 관련된 신규공정 도입 시 가능한 공정위험성평가(HAZOP 등)를 실시하는 것이 바람직하며, 이를 위해서 성분의 안정성, 반응열, 분해반응 및 폭주반응성에 대한 열량계적 분석 결과를 미리 확보하여야 함



일반사항

- ▶▶ 파일럿플랜트에서 수행한 각 Batch에 대해서 향후 이상여부 및 문제해결을 위하여 로그북을 작성하고, 주요한 기록은 책임자에 의해 검토 또는 승인 필요
- ▶▶ 파일럿 테스트를 위해서 준비된 중간 생성물이나 원료물질을 사용한 Bench test를 수행하고, 그 결과를 목적하는 사양과 비교함으로써 향후 원료물질에 의한 문제여부를 제거 할 수 있게 할 수 있게 하여야 함
- ▶▶ 각 Batch에서 가능한 많은 양의 샘플을 제조/보관하고 최종적으로 물질수지, 열수지 및 분석방법 등을 확인 하여야 함
- ▶▶ 고도로 특화된 장비가 요구되거나, 위험성이 알려지거나, 특별한 안전설비를 요구하는 반응은 가능한 피해야 함
- ▶▶ 국부적으로 Hot-spot이 발생하는 경우 교반에 의한 급격한 끓음이 발생하기 때문에 교반 없이 반응기를 가열하지 말아야 함



일반사항

- ▶▶ 모든 물질은 한 번에 투입하고 가열하는 방식을 피하여야 함
 - ▶ 특히, 폭발반응, 격렬한 가스발생 및 분해반응의 발생 가능성이 예측되는 경우에는 한계반응 물질의 제한적인 투입방식을 고려해야 함
- ▶▶ 반응기의 운전온도와 분해 또는 폭발반응의 개시온도의 차를 50 °C 이상이 되도록 운전해야 함
- ▶▶ 반응혼합물의 내부온도가 고온이거나 환류 (Reflux) 상태인 경우에는 분진폭발의 위험성이 증가하기 때문에 고체(분체)를 투입하는 것을 가급적 피해야 함
- ▶▶ 최소운전 용량을 고려하여 건조나 체적 감소를 위해서 증발에만 의존하는 공정을 개발하는 것을 피해야 함
- ▶▶ 공정이 커지게 되면 분리과정에 소요되는 시간이 24 시간 이상으로 소요될 가능성이 높기 때문에 이성질체처럼 즉각적인 분리가 요구되는 반응을 피해야 함



일반사항

- ▶▶ 환경적 위험성을 고려해서 할로겐이 포함된 용제를 사용하는 것을 지양
- ▶▶ 포화용액의 고온 여과는 배관의 막힘을 유발하여 공정 중 의도하지 않은 고압발생에 의한 누출사고 발생 가능성이 높아 질 수 있기 때문에 가능한 피해야 함
- ▶▶ 역상 (Reverse phase)의 상분리 공정은 추가적인 용기의 설치에 따른 고정 및 운전비용의 상승을 유발하기 때문에 피해야 함
- ▶▶ 불순물의 영향 등을 고려하여 파일럿플랜트를 운전할 때에는 상업공정에서 사용하는 순도의 원료를 사용함으로써 추가 공정개발에 도움이 되도록 해야 함
- ▶▶ 스케일 업 대상 공정이 신규 공정일수록 실패의 확률이 높기 때문에 하나의 Batch로 모든 원료 및 중간산물에 대한 위험을 감수하는 설계나 운전을 회피하여야 함



설계조건

- ▶▶ 반응기 등 용기의 설계온도는 일반적으로 최고운전온도에 30 °C를 더한 수치로 함
- ▶▶ 배관 또는 튜브의 설계온도는 직접 연결된 설비의 최대 설계온도로 함
- ▶▶ 최대 운전압력이 게이지 압력으로 7 MPa를 초과하는 용기의 설계압력은 최대 운전압력의 105 % 또는 최대 운전압력에 0.7 MPa를 더한 수치 중 큰 수치를 설계압력으로 함
- ▶▶ 최대 운전압력이 게이지 압력으로 7 MPa 이하인 용기의 설계압력은 최대 운전압력의 110 % 또는 최대 운전압력에 0.18 MPa를 더한 수치 중 큰 수치를 설계압력으로 하되, 최소 0.35 MPa 이상으로 함



설계조건

- ▶▶ 진공으로 운전되거나 진공 하에서 운전되지 않더라도 제어의 잘못 또는 열공급원의 차단 등으로 진공상태의 가능성이 있는 경우에는 완전 진공에 견딜 수 있도록 설계
- ▶▶ 자켓이 있는 반응기의 두께 계산 시에는 외압을 받는 경우를 반드시 고려
 - ▶ 내부에 코일이 있는 경우에는 코일 내부 유체의 압력을 고려하여 설계압력을 결정
- ▶▶ 배관 또는 튜브의 설계압력은 직접 연결된 설비의 최대 설계압력으로 함



안전조치 사항

- ▶▶ 전기공급 중단, 냉각수공급 중단, 외부화재 또는 밸브차단 등과 같은 압력 상승요인으로 압력상승의 우려가 있는 파일럿플랜트의 반응기, 증류탑, 드럼과 같은 용기 등에는 안전밸브 또는 파열판을 설치
- ▶▶ 반응폭주의 위험이 있는 반응기에는 반응기의 용량에 관계없이 파열판 등과 같은 압력방출장치를 설치하여 급격한 압력 상승에 대비
- ▶▶ 반응기 등 압력용기의 온도 또는 압력제어 장치는 자동 및 수동조절이 가능하도록 함
- ▶▶ 반응기, 증류탑, 드럼과 같은 용기 등에는 현장 또는 제어실에서 각각 식별이 가능한 온도, 압력, 유량, 액위 등에 대한 계기를 설치
- ▶ 중요계기는 온도 또는 압력 등의 공정변수 상승 시 1차 경보가 울리고, 계속하여 온도 또는 압력 등이 상승하는 때에는 2차로 경보가 울리도록 하여야 함



안전조치 사항

- ▶▶ 2차 경보가 울리는 경우에는 원료의 공급을 차단하고 운전이 정지되도록 연동
- ▶▶ 급격한 부반응이나 반응폭주가 발생할 위험성이 있는 반응기에는 반응억제제 주입 설비를 설치하고, 정전 시에도 주입설비는 가동할 수 있게 하여야 함
- ▶▶ 반응억제제 주입배관에 자동밸브를 설치하는 때에는 자동밸브 구동원 공급 중단 시 열리는 구조로 함
 - ▶ 수동밸브를 설치하는 경우에는 운전원의 접근이 용이한 위치에 쉽게 조작이 가능한 형태의 밸브를 선정하여 설치하여야 함
- ▶▶ 방호벽은 반응기 등이 폭발하는 경우에도 충분히 견딜 수 있는 강도를 유지해야 함
- ▶▶ 화재 시에는 효과적인 소화를 위해 물질과 설비의 규모에 적절한 소화설비 구비



안전조치 사항

- ▶▶ 파일럿플랜트 설비가 건물 내에 설치되는 경우에는 설비에서 누출되거나 배출되는 유해물질이 축적되어 근로자들에게 피해를 주지 않도록 충분한 성능을 가진 환기설비를 설치, 이때 환기설비의 배출부위는 근로자 및 타 설비 등에 영향을 미치지 않도록 안전한 장소로 연결되어야 함
- ▶▶ 폭주반응 등의 긴박한 상황에서 안전한 장소로 대피할 수 있도록 대피통로와 적절한 대피장소를 갖추어야 함
- ▶▶ 파일럿플랜트 설비가 지하 또는 2층 이상의 구조로 설치되는 경우에는 기본 접근 통로 외에 기본 접근통로와 반대되는 위치에 비상대피통로 설치
- ▶ 연구·실험용 공장이 단층으로 설치되는 경우라도 건물 내에 설치되면 주 출입구와 비상대피용 출입구를 각각 별도로 설치하여야 함



시운전에 필요한 요소

- ▶▶ 최소한으로 요구되는 인적 요소로 운전원, 계장전문가, 배관전문가, 기술적 관리자이며, 시운전을 관리하는 부서의 인적 구성은 합리적인 비율에서 주요 기술 분야가 포함되어 있어야 함
- ▶▶ 파일럿플랜트에서는 크고 작은 문제들에 대한 많은 결정사항 존재
 - ▶ 관련 결정을 위한 시간적 제한이 존재하기 때문에 효과적인 시운전을 위해서는 전반적인 사항을 조절하고 충분한 권한을 가진 한 사람을 의사결정권자로 지정
- ▶▶ 시운전 시에는 수정, 변화 및 교정을 위해 시작단계부터 전기, 배관 및 계장 등 각 분야의 건설 기술자들을 충분하게 준비할 필요가 있으며, 지정된 의사결정권자의 통제 하에 있도록 해야 함



시운전에 필요한 요소

- ▶▶ 시운전에 필요한 주요장비는 주요 업무에 따라 구분
 - ▶ 교정작업을 수행하기 위하여 표준물질, 유량계, 온도/압력계 등의 표준기
 - ▶ 세정작업을 위해서는 가연성 가스검지기, 용제, 플러싱카트, 펌프 등
 - ▶ 기밀테스트를 위해서는 가연성 가스 검지기, 헬륨 누출 검지기, 비누물, 수압테스트용 펌프, 불활성가스 실린더, 고정밀도 압력계, 고압용 차압계, 가스켓, 파이프 실란트, 경고표시 등이 있으며, 이외에 배관 및 전기분야의 수정에 필요한 부품들도 충분히 준비하여야 함



시운전 시 고려사항

- ▶▶ 시운전을 실시하면서 발생 가능한 잠재적 문제를 설계변경을 통해 해결할 수 있는지를 건설이 시작되기 전에 충분히 검토
- ▶▶ 시운전 계획은 가능하면 프로젝트가 완성되기 6~8주 전에 시작함으로써 잠재적 문제점을 해결할 수 있도록 함
- ▶▶ 개략적 순서 등 실시할 업무목록을 포함하는 상세한 시운전 절차를 준비
- ▶▶ 소요되는 모든 요소와 비상사태에 대응하기 위한 사항까지 포함한 시운전 절차는 시행되기 이전에 적절한 절차를 통해 승인을 얻어야 함
- ▶▶ 잠정적인 시운전 절차는 모든 가용자원과 관련되어 개발하여야 하며, 적절하게 수정하고 개정하여야 함

- ▶▶ 일반점검으로 플랜트 내부의 통로 확보, 운전관련 부자재의 부적절한 보관 및 장비의 부적절한 유지보수 등 장치나 작업구역의 잠재되어 있는 위험성 점검
- ▶▶ 절차점검 (Procedure inspection)으로 플랜트 관련 설비와 운전의 가동절차가 지속적으로 사용할 수 있는지와 안전한지 여부 확인
- ▶▶ 현장 및 장치검사 (Area or unit audit)는 설비를 설계하여 건설된 후에 이루어진 모든 법적기준, 기술기준 및 훈련 등을 포함한 모든 관심사항 검토

- ▶▶ 운전원은 공정개요, 운전절차, 안전보건의 특별한 잠재적 위험성, 공장정지를 포함한 비상운전 및 안전한 작업관행에 관한 필요한 직무훈련을 받아야 함
- ▶▶ 기초훈련은 운전원 훈련을 위한 교육강사의 훈련, 기초과학, 기초안전, 공정, 유틸리티, 장비·측정 및 계장의 기본원리와 관련된 내용이 포함되어야 함
- ▶▶ 설비의 운전은 특별한 훈련과 정보가 필요하기 때문에 작업을 안전하게 수행할 수 있도록 충분한 정보를 알고 있는 운전원이 실시해야 함
- ▶▶ 물질안전보건자료를 포함한 인화성, 폭발성, 독성, 노출기준 등 공정 화학물질을 취급하기 위한 안전규정과 주의사항을 검토하여야 함
- ▶▶ 화재 시 공정구역의 격리와 진압절차에 대한 내용과 화재예방 방법 및 비상사태 발생 시 개인별 직무에 대한 내용을 포함하여야 함
- ▶▶ 교육·훈련 후 운전원에 대해서는 운전에 필요한 충분한 지식을 갖추었는지 평가

9

실험실 화학사고 대응절차

- ▶▶ 독성, 부식성 등 유해위험물질 누출 접촉
- ▶▶ 인화성물질 누출로 인한 화재 및 폭발 사고 발생
- ▶▶ 사고 빈도는 작지만 강도가 매우 크고, 연구종사자 및 인근지역 등 연쇄적인 피해 확산
- ▶▶ 다종, 다량의 화학물질 사용, 신규 화학물질 사용으로 인한 사고 위험성 증대

▶▶ 화학설비 결함

- ▶ 플랜지, 개스킷 패킹류의 재질 또는 체결 불량
- ▶ 배관 체결부의 볼트 이완, 강도저하

▶▶ 화학물질 취급자 부주의

- ▶ 밸브 개폐 오조작
- ▶ 화학물질 투입량 과다 등 오류
- ▶ 과반응, 과충진에 의한 압력 상승

▶▶ 기타 운송 및 운반 중 사고

▶▶ 사고상황 전파

- ▶ 주변 연구원 및 연구실 책임자와 안전관리 담당부서(또는 119)
- ▶ 발생위치, 화학물질 종류 및 양, 부상자 유·무 등 전파

▶▶ 현장 파악, 출입통제 및 자료확보

- ▶ 사고내용 및 피해상황 등 현장파악
- ▶ 대피안내 및 사고구역 출입통제
- ▶ 사고조사를 위한 현장보존, 사진 등 관련자료 확보

▶▶ 초기대응

- ▶ 화학물질과 접촉된 부상자는 즉각적인 세정 실시(비상샤워장치, 세안장치 등)
- ▶ 개인보호구 착용 후 적절한 조치 실시, 불가피할 경우 신속히 대피
 - ▼ 흡착포, 흡착제, 흡착펜스, 중화제 등을 사용하여 피해확대 방지
 - ▼ 누출 화학물질과 급격히 반응하는 화학물질 격리 조치
 - ▼ 사고확대 방지를 위하여 가스누출지점 이전 밸브 차단
 - ▼ 인화성가스 누출 시 해당 지역에 대한 환기 등 조치
 - ▼ 독성가스 누출로 대피 시에는 출입문 및 방화문을 닫아 피해 확산 방지
- ▶ 화재구역 비치 소화기로 초기 화재진화 수행
- ▶ 전기 및 설비에 원료 등 공급 차단
- ▶ 응급조치반 : 부상자 발생 시 응급조치 및 인근병원으로 후송

▶▶ 사고처리 및 진압

- ▶ 초기대응이 미흡한 경우 전문처리반 사고처리
- ▶ 누출 화학물질에 대한 MSDS 및 대응 장비 확보
- ▶ 가스누출, 화재 시 대응 이전 가스농도측정 등 시행
- ▶ 연구책임자, 안전담당부서와 협력하여 적절한 사고 진압
- ▶ 119신고 및 현장 진입로 확보, 중대사고 상황 지휘계통 유관기관에 통보

▶▶ 복구 등 사고 진압 후 조치

- ▶ 부상자 가족에게 사고 전달 및 대응
- ▶ 사고복구 방안 논의 및 이행
- ▶ 사고원인 정밀조사 및 재발방지 대책 수립
- ▶ 사고현장 안전점검 실시 및 이상 유·무 확인
- ▶ 전기 및 설비 시설 재가동
- ▶ 보험사에 피해비용 보험 청구

10

연구시설 화재·폭발사고 사례

- ▶ 2006.09.08. ▶ H대 광전자연구실 화학물질 폭발, 1명 화상, 8명 대피
- ▶ 2007.02.02. ▶ S대 생명과학부 폐액폭발로 2명이 화상
- ▶ 2009.01.08. ▶ K연구소 합성실험실 폭발사고, 사망1명, 부상1명
- ▶ 2009.02.19. ▶ K연구원 화학물질 혼합과정에서 폭발, 부상 1명
- ▶ 2011.08.00. ▶ 00케미컬 연구소의 건조설비 폭발, 사망 5명, 부상 2명
- ▶ 2012.08.08. ▶ K대 광물자원연구실 부상(화상) 1명
- ▶ 2013.07.19. ▶ S대 식품나노기술연구실 황산용액 폭발, 화상 7명
- ▶ 2014.04.15. ▶ D케미칼 폴리우레탄수지 반응기 폭발, 사망 1명, 부상 2명
- ▶ 2016.06.01. ▶ P대 레이저실험실 화학물질(적린+연소산 칼륨) 폭발, 화상 2명
- ▶ 2017.06.26. ▶ S대 자연과학관 실험실 화학약품 폐기중 폭발, 경상5명
- ▶ 2018.02.07. ▶ K원 합성반응 후 미반응 아자이드화물 폭발, 부상1명
- ▶ 2019.05.13. ▶ (주)000 합성반응 Scale up 과정 중 반응기 폭발사고, 3명 사망, 1명 부상
- ▶ 2019.05.23. ▶ (재)000파크에서 발전기술 실증시험 중 수소탱크 폭발, 2명 사망, 6명 부상





합성반응 Scale Up 과정 중 반응기 폭발사고

▶ 사고발생 개요

2019. 05. 13.(월) 14시 27분경 충북 제천시 (주)○○○에서 소듐멘솔레이트 합성반응 중(Scale Up), 반응기 내부에서 폭발이 발생하여 반응기 주변에 있던 (주)○○화학 소속 근로자 2명과 (주)○○○ 소속 근로자 1명이 사망하고 (주)○○○ 소속 근로자 1명이 화상을 입은 재해가 발생

▶ 사고발생 사진





합성반응 Scale Up 과정 중 반응기 폭발사고

▶ 사고발생 원인

- ▷ 과량의 촉매를 일시에 투입하여 인화성 고체인 나트륨과 멘솔의 반응이 급격히 진행되어, 반응열에 의해 반응기 내부 온도가 급격히 상승하여 용매로 사용한 에틸벤젠 증기를 발화시켜 발생한 사고로 추정
- ▷ (주)○○○은 (주)○○화학으로부터 촉매의 사용에 대한 사전 정보 및 이상 반응에 대한 정보를 파악하고 작업자 교육을 실시했어야 하나 미흡하였음

▶ 재발방지대책

- ▷ 인화성 고체인 나트륨과 멘솔(알코올)의 반응을 급격하게 진행시켜 반응열에 의해 화재·폭발의 원인이 될 수 있는 염화제2철은 일시에 투입하지 말고, 소량씩 나누어 투입하여야 함
- ▷ 실험단계에서 양산단계로 넘어가는 과정에서 과도한 스케일업을 일시에 진행하지 말고 스케일업 단계를 세분화하여 각 단계별 실험과정에서 발생할 수 있는 문제점을 최대한 파악하고 대책을 수립하는 것이 필요

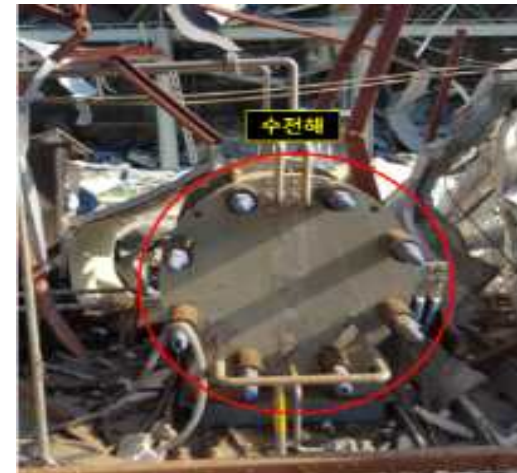


발전기술 개발 실증시험 과정 중 수소탱크 폭발사고

▶ 사고발생 개요

2019. 05. 23.(목) 18시 22분경 강원도 강릉시 소재 (재) ○○○파크에서 「IoT 기반 전원 독립형 연료전지-태양광-풍력 하이브리드 발전기술 개발」 관련 실증시험 중 수소탱크 4기가 폭발하여 2명이 사망(건학자)하고 6명이 부상(건학자 3명, 입주업체 대표 1명, 근로자 1명, 실증시험 담당자 1명)을 당한 재해가 발생

▶ 사고발생 사진





발전기술 개발 실증시험 과정 중 수소탱크 폭발사고

▶ 사고발생 원인

- ▷ 수전해 시스템을 이용한 수소발생 장치에서 수소에 산소가 혼입되어 수소 폭발위험 분위기를 형성
- ▷ 수소 내 산소의 혼입으로 폭발위험분위기를 형성위험이 있었으나, 산소의 유입을 조기에 감지하여 경보할 수 있는 자동경보장치 등이 설치되지 않아 미상의 점화원에 의해 폭발

▶ 재발방지대책

- ▷ 특수화학설비에 해당하는 수전해 시스템을 설치하는 경우 시스템 내 산소 유입에 따른 폭발분위기 형성 여부를 조기에 파악하기 위해 산소를 감지할 수 있는 산소감지 및 자동경보장치를 설치하여 관리하여야 함
- ▷ 특수화학설비인 수전해 시스템을 설치하려는 경우 유해위험방지계획서를 제출하여 설비의 안전성 심사를 받은 후 설치하여야 함



마찰 및 충격에 의한 화학물질 폭발사고

▶ 사고발생 개요

2018. 02. 07.(수) 22시 30분경 대전시 소재 ○○○ 연구실에서 대학원생이 신물질 개발을 위해 중간생성물인 아자이드화물(Carbonyl diazide)을 합성한 후, 흡후드에서 금속재 시약스푼을 이용하여 플라스크내의 화학물질을 긁어내던 중 마찰 충격에 의해 잔류된 Carbonyl diazide가 폭발하면서 유리파편에 의해 부상을 입은 사고임

▶ 사고발생 사진





마찰 및 충격에 의한 화학물질 폭발사고

▶ 사고발생 원인

- ▷ Carbonyl diazide 합성물질과 이 물질을 합성하기 위한 sodium azide가 고체상태에서 충격민감성과 폭발성이 큰 물질로서 취급 시 적절한 안전 조치(보안면, 등)을 취하지 않음
- ▷ 화학물질 합성 실험 시 고글이나 보안면과 같은 보호장구의 미 착용과 실험과정에서 생성되는 중간생성물의 유해 위험성을 충분히 숙지하지 못한 상태에서 실험작업을 수행

▶ 재발방지대책

- ▷ 합성반응의 중간생성물에 대한 유해·위험성을 파악하고 실험작업에 관련된 안전수칙과 위험성을 충분히 숙지한 후 실험을 수행하여야 함
- ▷ 예상되는 위험에 대비한 적절한 보호구(보안경, 보안면) 착용과 방호장치 (blast shield)을 구비하여 실험 작업을 수행하여야 함



실험장비 연결부위 수소가스 누출로 인한 화재사고

▶ 사고발생 개요

2018. 07. 17.(수) ○○○대 기능재료실험실에서 대학원생 1명이 실험로에 수소와 알르곤 가스를 주입하여 재료 열처리하는 실험과정에서, 실험장치 연결부위의 고무호스의 탈락으로 수소가스가 누출되어 화재가 발생하여 대학원생 1명의 경상과 실험실 내부 집기 등 물적 손실을 입은 재해임

▶ 사고발생 사진





실험장비 연결부위 수소가스 누출로 인한 화재사고

▶ 사고발생 원인

- ▷ 레귤레이터 없이 수소실린더에 직접 고무호스로 연결하여 유량계 사이의 압력상승으로 연결된 고무호스의 탈락하여 수소가스가 누출되어 실험로(furnace)가 착화원(hot surface)으로 작용하여 화재가 발생한 것으로 추정
- ▷ 수소실린더의 레귤레이터 없이 직접 고무호스로 유량계를 연결하여 배관(호스)의 압력상승에 의해 유량계 입구측 호스가 탈락한 것으로 추정

▶ 재발방지대책

- ▷ 가연성가스 배관은 주기적으로 누설체크를 실시하여야 함
- ▷ 가스실린더의 레귤레이터 없이 직접 배관(호스)를 연결하지 말아야 함
- ▷ 착화원으로 작용할 수 있는 실험로(furnace) 부근에서 가연성가스 실험 작업이나 장치 설치를 피해야 함

산재 사고사망 절반으로 줄입시다!

안전은 권리입니다

감사합니다

산업재해예방
안전보건공단

