

# 화학공정 Pilot Plant 시설의 설계시 안전고려 사항



이 근 원

한국산업안전공단  
산업안전보건연구원





# 발표 순서



- ❖ 들어가는말
- ❖ 연구·실험실의 작업 특성
- ❖ Pilot plant 시설의 특징과 작업활동
- ❖ Pilot plant 시설의 설계시 고려인자
  - ❖ Pilot Plant 배치
  - ❖ 환기와 공조시설
  - ❖ 비상전원
  - ❖ 기타 고려사항
  - ❖ 사고사례 및 교훈
- ❖ 맺음말(제언)





# 들어가는 말



- ❖ 연구개발을 위해 연구소나 대학에서 Lab 시험, Bench scale test, Pilot plant 시험시설의 운전까지 다양한 연구 활동에 따라 연구원들은 실험실에서 많은 **잠재위험 요소에 노출되어 있으며,**
- ❖ 최근 몇 년간 대학 및 연구소 등에서 실험실 사고를 살펴보면
  - ❖ 1999. 9.18, S대 원자핵공학과 대학원생 3명 사망, 1명 부상
  - ❖ 2003. 5.13, K원 항공우주실험실 대학원생 1명 사망, 1명 중상
  - ❖ 2003. 8.27, E연구소 실험용기 청소작업 중 용역직원 1명 사망
  - ❖ 2005. 1. 4, S기술원의 반응기 폭발사고로 6명이 경미한 부상





# 배경 및 목적



- ❖ 2006년 4월 1일 부터 “연구실안전환경조성에 관한 법률” 이 시행됨에 따라 사각지대에 놓여 있던 연구실험실의 안전과 보상에 관한 관심이 증가되고 있으며,
- ❖ 최근에 pilot plant 시험시설에서 사고가 발생한 바 있으며, 연구활동종사자의 안전확보 차원에서 연구개발 단계나 실험시설 설계에서 부터 안전 설계를 고려하여 사고를 예방하고자 하는 관심과 노력이 있음
- ❖ 본 발표에서는 Pilot plant 시험시설의 설계시 주요한 안전 고려사항과 사고사례를 소개하고 실험시설 사고예방을 위한 제언을 하고자 함

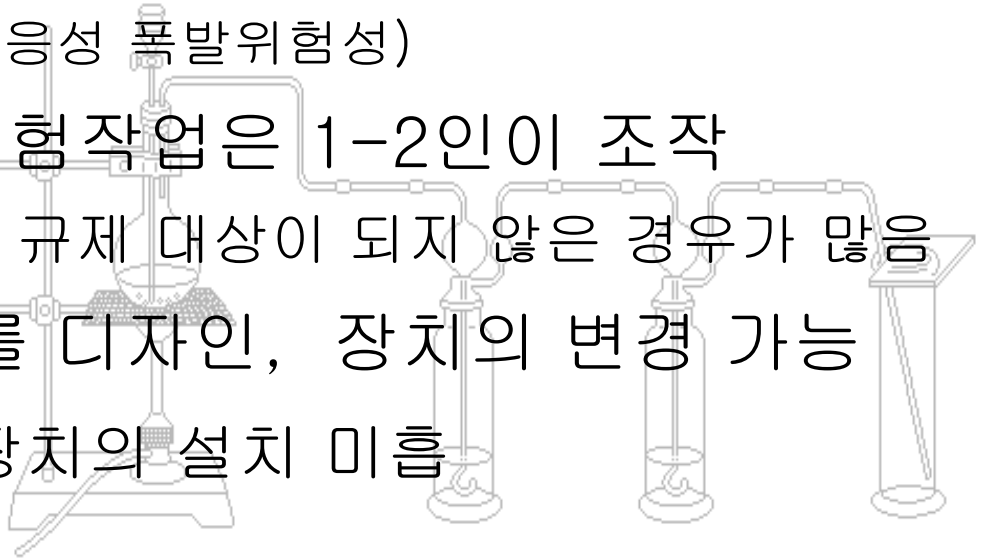




# 연구. 실험실의 작업 특성



- ❖ 생산목적이 아닌 연구. 개발을 위한 작업
- ❖ 실험자가 대부분 고학력자나 미숙련자가 많음
- ❖ 다양한 종류의 물질 보관, 위험설비 취급
- ❖ 물질자체의 위험성과 다른 물리적 위험성이 공존
  - ❖ (예, 고온, 고압, 고 반응성 폭발위험성)
- ❖ 실험과정이 다양, 실험작업은 1-2인이 조작
  - ❖ 일시적인 설비, 법적 규제 대상이 되지 않은 경우가 많음
- ❖ 실험자가 실험장치를 디자인, 장치의 변경 가능
  - ❖ 안전장치나 방호장치의 설치 미흡





# Pilot plant 시설의 특징



- ❖ 독성화학물질, 압축가스, 다양한 유해물질의 취급
- ❖ 큰 면적과 다층 높이의 구조
- ❖ 방화방폭 구조를 갖추고 일반 실험실과 격리된 장소
  - ❖ 인화성 혹은 폭발성 화학물질의 사용
- ❖ 특별한 물질이나 장치의 사용으로 잠재위험으로 특별히 격리된 지역





# Pilot plant의 작업 활동



- ❖ 혼합, 반죽(blending), 가열, 냉각, 증류, 흡수, 필터링, 발효, 반응 등 단위공정 작업
  - ❖ 특별히 밀폐나 환경조건이 필요(환기)
- ❖ Pilot plant 근무자는
  - ❖ 보호의나 호흡용 마스크 등 착용
  - ❖ 응급조치, 비상훈련 절차, 유해폐기물 처리, 비상 장치의 사용 등 잘 훈련된 요원





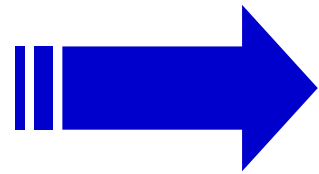
# 사용하는 물질과 장치



- ❖ 분석계기, 광범위한 센서, 자동공정 제어기, 다양한 종류의 공정 장치
- ❖ 극도로 위험한 물질, 방사선 물질
  - ❖ 고독성, 생물학적 약제, 반응성 및 폭발성 물질취발성 액체, 가연성 분진
- ❖ 운전
  - ❖ 고전압, 고주파 발전기, 화재나 폭발위험이 높은 장치, 고압스팀이나 특별한 가스
  - ❖ 특별한 환기가 필요한 개방 불꽃이나 로 사용







Pilot plant 시설의  
설계시 안전 고려사항





# Pilot Plant Layout



- ❖ 다양한 장치의 사용과 자주 변화하는 운전으로 포괄적인 배치를 설명하기 어려움
- ❖ 취급하는 물질
  - ❖ 포크리프트, 오버헤드크레인 등 자동화된 장치
  - ❖ 큰 장치의 운반을 위한 cargo door나 특별한 경사도나 틈 (clearances)
- ❖ 유틸리티
  - ❖ 높은 암페어를 갖는 단상과 삼상전류(120,240,440 V)
  - ❖ 압축공기 100 psig, 진공 0.5 atm 이하
  - ❖ 스팀, 냉온수, 순수, 폐기물 처리를 위한 복층 배수





# 환기와 공조시설



- ❖ 공기환기속도는 사용하는 물질이나 공정에 의존
  - ❖ 무균챔버나 청정작업 환경은 High Efficiency Particulate Air (HEPA) 필터 여과후 공기 공급
- ❖ 고정된 환기 시스템
  - ❖ 천정에서 공기공급 - 바닥층으로 배기
  - ❖ 혼합, 반응기, 증류컬럼, 발효장치, 분석장치 등 대부분 국소환기가 필요
  - ❖ 배기량과 후드의 모양은 오염 발생원이나 장치, 공정에 의존
    - ❖ 배기후드는 밀폐식, 포위식 혹은 외부식 후드
  - ※ ACGIH: Industrial Ventilation Manual 참조





# 비상전원



- ❖ Pilot Plant의 중요한 시스템은 안전 확보와 운전의 연속성을 위해 연결되어야 함
- ❖ 비상전원을 연결해야 하는 시스템
  - ❖ 화재경보시스템
  - ❖ 비상연락시스템
  - ❖ 높이21m 이상 건물에1기의 에리베이터
  - ❖ 비상통로 전등과 실내의 비상 전등, 비상사인
  - ❖ 화재펌프  
(전기적으로 구동되지만 복구가 되지 않을 경우)

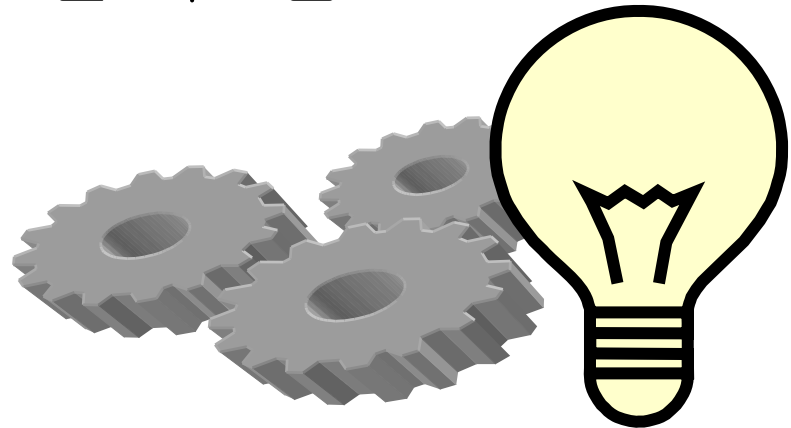




## 비상전원 (계속)



- ❖ 치명적인 안전과 보건에 관련된 환기시스템에 연결된 배기팬과 관련된 Makeup Air System
- ❖ 비상 제연시스템
- ❖ 비상시 건물이나 시설의 안전한 유지를 위한 필요한 기능에 관계된 모든 시스템
  - ❖ 예) 가열 시스템





# 기타 고려사항



## ❖ Spill Containment

- ❖ 일반실험실과 비교하여 다량의 화학물질의 사용
  - ❖ 저장용기와 위험위치를 위험지역에서 분리하고 고립시켜야 함
  - ❖ 필요시 옥외저장과 유출 다이크가 필요

## ❖ 조명

- ❖ 탱크 등 큰 장치에 의한 진한 그림자가 생기지 않도록 가까운 고정물에 전등부착
  - ❖ 균일한 불빛과 강도 유지

## ❖ Security, Renovations 등





# 실험실 사고 보도(예)



# Pilot Plant 시설의 폭발사고 사례

- ❖ 일시 : 2005. 1. 4(화)
- ❖ 원인 : 반응폭주로 과압이 발생하여 반응기가 폭발하고, 화재발생
  - ❖ 점화원 : 반응열
  - ❖ 가연물질 : 부텐디올/에틸알코올/과산화수소
- ❖ 피해 : 부상6명(철과상)







# 사고발생 과정 요약



- ❖ 시험실 연구단계(Lab test)가 끝난 상태,
- ❖ Bench test를 성공적으로 끝내고 상업운전을 하기 전 단계인
- ❖ Pilot test를 1차 시험하는 과정에서 폭발이 발생한 후 화재가 발생함.

- ✓ 반응기 운전하여 반응 준비
- ✓ 원료인 부텐디올, 에틸알코올 투입
- ✓ 약 25°C에서 40°C 정도까지 승온
- ✓ 과산화 수소 투입
- ✓ 반응기 내부 온도가 급상승 폭주반응으로 발생 추정





# 사고예방 대책 및 교훈



- ❖ **공정안전보고서 제출 및 위험성 평가 실시**
  - ❖ 물질, 반응조건 등에 대하여 위험성평가를 실시
  - ❖ 폭발반응시 비상조치계획을 수립하여 조치하여야 함.
- ❖ **폭주반응에 대한 대책수립**
  - ❖ 폭발반응시 운전자가 Shut Down 할 수 있는 기준을 설정
- ❖ **운전자에 대한 위험성평가 및 비상조치 관련 교육 실시**
  - ❖ 해당 반응의 위험성, Shut Down시 비상조치 교육 실시
- ❖ **적정한 배출용량의 파열판 설치**
  - ❖ 소요분출량을 계산하여 적정한 크기 파열판을 설치





# 요약 및 맺음말



- ❖ Pilot Plant 시험시설의 설계 시 안전가이드라인 제정/마련
- ❖ 연구개발 단계에서 사전 안전성 평가 실시
  - ❖ 일정규모 이상의 Pilot plant 시험시설 설치 시
  - ❖ 주요 실험장치나 장비 등을 신규로 설치, 변경 시 “안전관리위원회” 등에서 검토
- ❖ Pilot plant 사고 등 실험실 관련 사고사례 공유
  - ❖ 사고 원인의 과학적인 규명과 조사





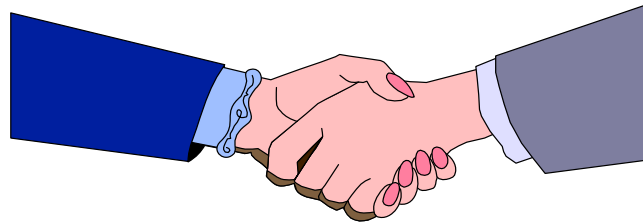
# 맺음말



- Pilot plant 시설을 포함한 실험실 사고 예방은 연구활동 종사자의 안전 확보와 연구개발의 활성화로 국가 경쟁력에 기여



감사합니다



Presented By:  
Keun-Won, Lee

Korea Occupational Safety & Health Agency

Mobile : 019-324-9593

E-mail: [leekw@kosha.net](mailto:leekw@kosha.net)