

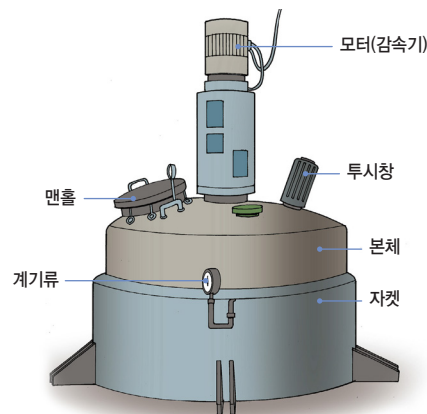


반응기 작업안전

반응기의 특성

반응기(Reactor)란 2종 이상의 물질을 촉매 등의 매개물질과 일정한 온도·압력 하에 반응시켜, 물질계의 조성·구조 등이 다른 물질로 생성하는 설비를 말한다. 화학적 반응을 수반하고 있으며 발열반응의 경우 반응열의 발생으로 인한 온도 및 압력 상승이 일반적으로 일어난다. 흡열반응의 경우에는 외부에서 반응조건에 상응하는 열원을 공급한다.

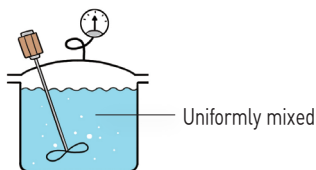
산업현장에서의 반응기는 대부분 회분식 반응기로, 유해위험물질로 인한 화재 및 폭발사고의 위험이 높다.



반응기의 종류

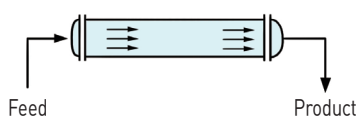
회분식 반응기

반응기에 원료 및 촉매 등을 순서대로 투입하여 일정시간 반응 후 생성물을 배출하는 조작방식의 반응기



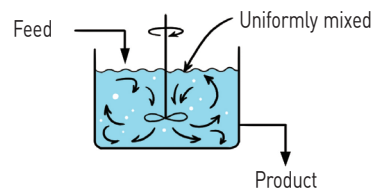
플러그흐름 반응기

원료 투입 및 생성물 배출이 연속적으로 이루어지는 반응기로, 모든 유체 요소에 대하여 반응기 내 체류시간(Residence Time)이 동일한 반응기



혼합흐름 반응기

원료 투입 및 생성물 배출이 연속적으로 이루어지는 반응기로, 반응물이 잘 혼합되어 균일한 조성을 갖는 반응기



반응기 구성품 및 안전장치

교반기(Agitator)

- 반응기의 내용물을 교반함으로써 반응성을 향상

원료공급설비

- 반응기에 원료(Feed)를 공급하는 설비
- 액체, 기체원료 : 배관 또는 호스 / 고체원료 : 호퍼 또는 맨홀

유량적산지시계

- 반응기 내부에 일정량의 원료를 공급하기 위한 장치

냉각수공급장치

- 반응기 내부의 코일(Coil) 등을 통하여 냉각수(CW)를 공급함으로써 반응열 제거를 통한 반응온도를 유지

스팀공급장치

- 반응기 외부의 자켓(Jacket) 등을 통하여 스팀(Steam)을 공급함으로써 반응온도 상승을 위한 열원을 제공

계측제어설비

- 반응기 운전상태(온도:T, 압력:P, 유량: Q, 액위:L 등)를 지시, 조절, 경보, 기록함으로써 안전성을 확인

불활성가스 투입설비

- 반응 시 산화방지 예방 또는 폭발위험분위기 억제를 위하여 불활성가스를 투입하는 설비 * 통상적으로 질소(N₂)를 사용

압력지시 및 경보장치(PIA)

- 파열판의 기능상실(파열) 여부를 확인하는 장치

파열판

- 반응기 내부의 과압 발생 시 압력방출로 설비를 보호
* 점성(Viscosity)이 큰 물질을 취급 시 사용

안전밸브

- 반응기 내부의 과압 발생 시 압력방출로 설비를 보호
* 일반적인 압력상승의 우려가 있는 경우 사용

흡수탑/플레어 스택(Scrubber/Flare Stack)

- 압력방출장치를 통하여 방출되는 인화성액체, 독성·가연성가스에 의한 2차 누출·화재·폭발 등의 방지 및 허용농도 이하로 대기로 배출하기 위한 배기처리설비

가스누출감지경보기

- 독성/가연성가스 누출 시 조기감지를 위한 설비



반응기 사고사례

반응기 재해발생 유형

주요 위험요인

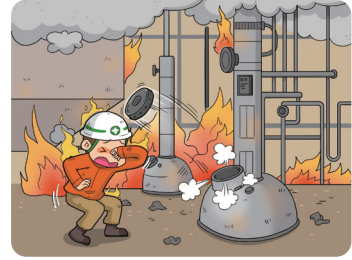
- 반응기 계기류 고장으로 반응기 내부 압력이나 온도 상승에 의한 화재·폭발
- 방폭형 전기기계·기구 미사용으로 인한 화재·폭발
- 분체원료 투입 시 정전기 발생으로 인한 화재·폭발
- 맨홀 체결 불량으로 인한 화학물질 누출 위험
- 배관이나 플랜지 연결 불량으로 인한 화학물질 누출 위험
- 반응물 취급 시 화학물질 누출 위험
- 고온의 반응기 배관이나 본체에 신체 접촉으로 인한 화상
- 모터/감속기 등 구동부 접촉으로 인한 끼임
- 전기기계·기구 누전 등으로 인한 감전 위험



화재·폭발



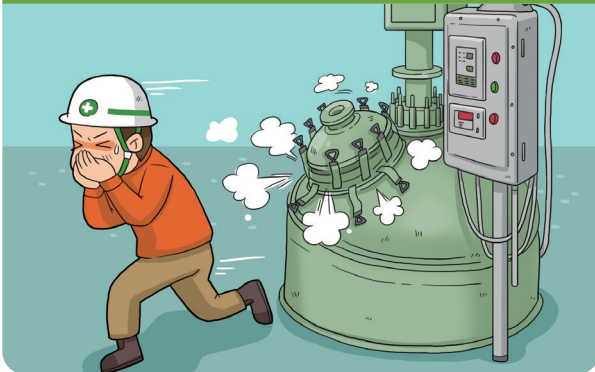
누출



화재·폭발

재해사례

회분식 반응기 이상반응으로 초산증기 누출



개요 반응기에서 무수초산과 질산을 투입하여 반응하던 중 질산을 한번에 투입하여 발열반응으로 질산아세틸이 분해반응되면서 압력이 상승하여 반응기 맨홀로 초산증기 누출

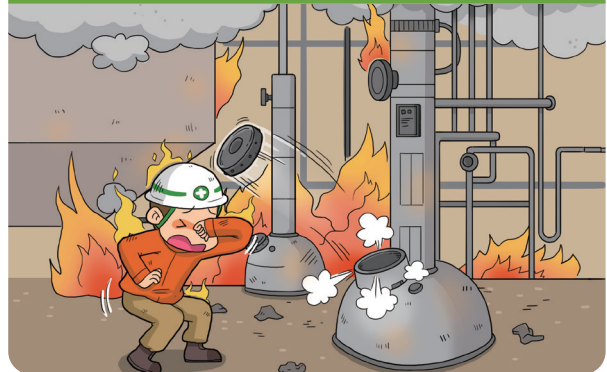
원인

- 질산을 한번에 투입(작업표준: 1시간 주기 2회), -2℃의 높은 온도(정상온도 -7~-10℃)에서 투입하여 반응열로 인한 질산 아세틸의 분해반응으로 과압발생 → 파열판 작동, 맨홀 틈새로 누출
- 벤트라인 밸브를 잠금 상태에서 맨홀 클램프를 체결하지 않아 초산증기 누출

대책

- 반응기 원료 투입량, 투입시기, 온도조건 등을 준수하여 발열반응을 제어하면서 작업 수행
- 맨홀부위 누출방지를 위해 항상 클램프를 체결하고 상압운전 시에 벤트라인을 개방하여 과압방지조치 실시

폴리우레탄 접착제 제조공정 반응기 폭발·화재



개요 반응기에서 반응온도 제어 실패로 인화성 반응물이 작업장 내로 분출, 공기와 혼합되어 폭발분위기가 형성된 상태에서 점화원에 의해 폭발

원인

- 발열반응에 따라 냉각수로 온도를 조절해야 하나, 스팀 밸브로 승온하여 온도가 MEK의 비점을 초과하였으며, 이에 따라 반응물이 비등, 반응폭주가 발생한 것으로 추정
- 반응물의 성질, 상태, 취급방법, 안전수칙에 관한 사항 및 응급처치·대피요령 등을 숙지하지 못하여 반응폭주시 냉각수 밸브를 여는 등의 조치를 하지 않음

대책

- 이상상태 발생에 따른 원재료 긴급차단, 제품 방출, 불활성가스 주입, 냉각수 공급 등에 필요한 장치를 설치하고 그 장치를 안전하고 정확하게 유지보수
- 반응기 사용 및 세척작업 등 유해·위험작업에 대하여 특별안전보건교육 실시

※ 본 OPS는 동종재해 예방을 목적으로 안전보건공단에서 제작하여 제공하는 것으로 일부 내용이 재해 발생 상황과 다를 수도 있음을 알려드립니다



반응기 점검항목

작업 시 안전수칙

- 위험물질이나 단량체 등을 저장·취급 또는 반응시키는 경우에는 질소 등 불활성가스 분위기에서 실시하거나 강제배기 등에 의해 폭발성 분위기를 형성하지 않도록 함
- 인화성액체 등 위험물질을 탱크로리로 주입하는 경우에는 15분 이상의 정지시간을 두고 액체의 유속을 1m/sec 이하로 하는 등 정전기 발생을 방지하기 위한 조치를 취함
- 인화성액체 등 위험물질을 드럼으로부터 반응기나 탱크 등에 옮기는 경우는 드럼을 접지하고 전도성 파이프를 사용하며 공구 방폭형 사용
- 화재·폭발위험이 있는 장소에서 용접·용단 등의 작업, 착화원 가능성이 있는 기계기구를 사용하여서는 안 되며, 착화원이 될 우려가 있는 물질 휴대 금지
- 인화성물질 또는 가연성가스를 설비나 드럼 등에 주입할 때는 호스의 결합부를 확실하게 연결 후 작업
- 서로 다른 물질의 접촉으로 인하여 발화하거나 폭발할 위험이 있을 때는 이들 물질을 접근시켜 저장하거나 동일 운반기에 적재 금지



작업표준

각각 공정마다 작업 포인트를 구체적이고 명확하게 작업표준으로 만들어 오조작 등으로 인한 사고를 방지한다.

- 작업자는 작업표준을 충분히 이해한 후에 작업에 임하고 이를 철저히 준수
- 작업표준은 공정의 특성, 화학약품 취급 시 위험성, 이상 반응 등으로 인한 재해사례 등을 참고하여 충분히 검토한 후에 작성
- 작업방법 변경, 작업자 제안 등 관계자 전원의 의견교환 등을 통하여 필요 시 변경
- 단위공정마다 포인트를 정하여 그렇게 하지 않으면 위험하거나 공정상 문제가 될 수 있는 것, 그렇게 하면 작업이 순조롭고 능률이 향상되는 것을 명시
- 작업 전에 점검할 사항의 인수인계에 관한 사항을 정함
- 비정상 운전 또는 사고수습대책 등에 관한 사항은 별도로 작업표준을 정함
- 다음 사항은 반드시 명시되어야 함

- | | |
|---------------------------------------|---|
| ① 밸브 코크의 조작 | ⑥ 시료채취 |
| ② 냉각 기열 및 교반장치의 조작 | ⑦ 일시적 또는 부분적인 운전중단 시의 작업방법 및 운전재개 시 방법 |
| ③ 계측 및 제어장치의 감시 및 조정 | ⑧ 제품 및 제조공정 변경에 따른 설비의 개조, 배관의 변경 등 작업 방법 |
| ④ 안전밸브, 긴급차단장치 및 기타 안전장치 및 자동경보장치의 조정 | ⑨ 가연물질의 이송, 안압설비 등의 정전기 제거를 위한 조치 |
| ⑤ 맨홀 플랜지 밸브 및 코크 등의 접합부에서 누출여부 점검 | ⑩ 이상상태 발생 시 응급조치 |



반응기 안전점검표

관리자용

점검부서

점검자

점검일자

연번	점검내용	점검결과	조치사항
1	온도·압력계 등 계측장치가 설치되어 있고, 내부 이상상태 조기 파악을 위한 자동경보장치 설치 여부		
2	비상 시 원재료의 긴급차단, 제품 등의 방출, 냉각용수 등의 공급장치 정상 작동 여부		
3	원재료, 개시제 등의 투입량, 순서 등 운전절차를 숙지하고 원료 투입일지 작성		
4	제품(Grade) 변경에 따른 원재료 준비가 잘 되었는지 확인		
5	제어실과 무선연락이 잘 이루어지고, 작업자 간 연락체계가 잘 유지되고 있는지 확인		
6	원재료가 인화성물질 또는 독성물질인지 확인		
7	취급물질에 따른 적절한 보호구 착용		
8	반응기 온도 및 압력이 매뉴얼대로 유지되고 있는지 확인		
9	반응기 비상정지절차 등 비정상 상태일 때의 조치사항 숙지 여부		
10	화재발생 시 비상연락 등 대응조치 요령 숙지 여부		
11	반응기의 설계, 온도, 압력은 적정한지 확인 - 일반 압력용기 기준 설계압력 확인 및 반응기의 운전온도를 고려한 설계온도 확인		
12	반응기의 과압방지설비는 적정한지 확인 - PSV 또는 Rupture Disk가 설치되어 있는지 확인		
13	반응기 열원공급 및 냉각설비의 운전방법은 적정한지 확인 - 열원공급 및 냉각수 공급이 같은 공간에 투입되는지 여부를 확인하여 운전절차서에 반영여부를 확인		
14	반응기의 반응온도가 높아 제어설비(SIS)를 적용한 경우 SIS는 적정한지 확인		

* 본 점검항목은 참고용으로 사업장 특성(아차사고, 위험성평가 등)에 맞도록 자체적인 점검항목을 추가하여 사용하세요.