작업 전 안전점검
당신의 생명을 지킵니다

조심조심 코리아

2017년도

중 · 소규모 화학공장

화재 · 폭발예방 핸드북

2017. 4.

고용노동부

산업재해예방
안전보건공단

중 · 소규모 화학공장

화재 · 폭발예방 핸드북

- 발 행 일 : 2017년 4월
- 발 행 인 : 안전보건공단 이사장 이 영 순
- 발 행 처 : 안전보건공단 전문기술실
- 주 소 : (우) 44429
  울산광역시 중구 종가로 400 (북정동)
- 전 화 : (052) 7030-599
- 디 자 인 : 두드림애드
- Homepage : http://www.kosha.or.kr

2017-전문-225

해당 자료는 공단의 동의 없이 무단으로 수정, 편집하거나 이를 활용하여 다른 저작물을 제작하는 것은 저작권법에 위반되는 것이므로 이를 금합니다.

해당 자료의 내용은 안전관리 업무의 절대적인 기준이 아닌 참고 자료로 작성하였습니다. 업무상 이의제기 등 소명자료로서 효력이 없음을 알려드립니다.

Contents

01_ 화학공장의 이해 05

02_ 화학공장 기술지도 시 주요점검사례 39

03_ 중대산업사고 사례 (2014년~2016년) 49

chapter 01

화학공장의 이해

01
화학공장의 이해

화학공장의 전경

1. 화학공장의 위험성

화학산업은 타 업종과 달리 건설하는데 막대한 시간과 비용이 소요되며, 규모 생산 시스템을 이용하여 제품을 생산하는 기술 집약적 장치 산업이다.

대부분 구조가 복잡한 자동제어 시스템으로 구성되어 있어 설계·운전·보수·유지에 고도의 전문성이 요구 될 뿐만 아니라 화학물질을 대량 저장·취급하고 있다.

특히 원료·중간제품·완제품 등이 가연성·인화성·독성 화학물질인 경우가 대부분이어서 발생빈도는 적으나 사업장은 물론 인근 주민과 주변환경에 까지 치명적인 영향을 줄 수 있는 화재·폭발·독성물질 누출 등 중대산업사고의 발생 가능성이 상대적으로 높은 특징이 있다.

2. 화학공장에서의 화학설비 특징

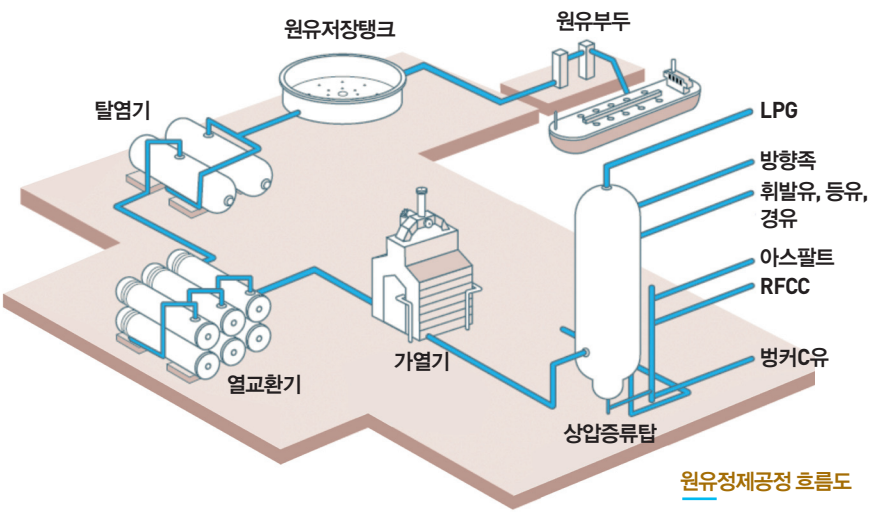
화학공장에서는 원료를 화학적 물리적으로 처리하는 공정을 거쳐 제품을 얻게 된다. 따라서 화학공업에서는 물질의 이송, 분리, 가열, 혼합, 분쇄, 침강, 추출, 흡수 등 여러 가지 단위조작과 반응공정이 필요하며 이러한 조작이나 반응을 위하여 물질의 이송설비, 분리설비, 열교환설비, 반응설비, 혼합 및 교반설비, 추출, 흡수 및 흡착, 건조설비, 분쇄설비 등이 있어야 한다.

이와 같이 화합물을 물리적 또는 화학적으로 처리하는 반응 또는 혼합, 분리, 저장, 계량, 열교환, 성형 또는 가공, 분체취급, 이송 또는 압축 등에 필요한 장치, 기계·기구 및 이에 부속하는 (배관, 계장, 제어, 안전장치 등) 설비를 화학설비라 한다.

화학설비는 대부분 구조가 복잡하고 정밀하며, 고도의 자동제어시스템으로 구성되어 있어서 설계 및 운영에 고도의 기술을 요하며, 이 설비는 각종 유해위험물 및 대량의 에너지를 사용·보유하고 있어서 일단 이상이 발생하여 사고가 일어나면 그 영향이 커서 피해가 엄청나고 환경을 오염시킬 수도 있다. 따라서 화학설비는 그 위험을 정확히 평가하여 신뢰성이 확보된 후에 운전되어야 한다.

3. 화학공장의 흐름도

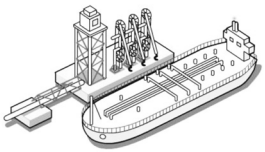
3.1 원유정제처리업 공정흐름도



원유정제공정 흐름도

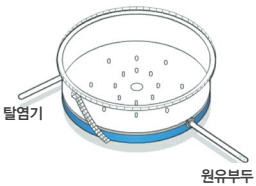
원유정제공정의 설명

원유부두



전 세계의 산유국에서 채굴되어 대형유조선에 실린 원유는 약 20여일간의 긴 항해를 마치고 원유부두에 도착한다. 원유는 바다위에 떠있는 부이라는 하역시설과 해저파이프라인을 통해 원유저장탱크로 옮겨지게 된다. 보통원유는 검은색이지만 가까이서보면 짙은 흑갈색이며 초대형유조선(VLCC)은 길이가 330미터가 넘는데 이 길이는 63빌딩을 뉘어놓은 길이의 1.5배에 가깝고 갑판 한바퀴가 800미터나 된다. 한번에 약200만배럴의 원유를 실어나르는 유조선의 선체는 이중벽으로 되어있어 오염사고를 대비하고 있다.

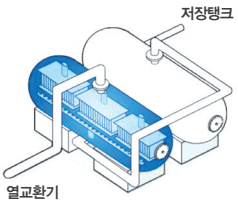
원유저장탱크



파이프라인을 통해 이송된 원유를 탱크에 저장한다. 저장된 원유는 공장으로 이송되기 전까지, 원유가 산지에서 채굴될 때까지 완전히 제거되지 못한 물과 안전항해를 위해 배에 실었던 바닷물을 가라앉혀 물을 제거한다.

GS칼텍스 여수공장에서 가장 큰 탱크는 높이가 22m, 직경이 86m로 80만배럴을 저장하며, 저장량은 10톤 차량으로 치면 12,700대분에 이를 정도로 규모가 크다. 또 저장탱크의 지붕은 증기의 휘발을 최소화하기 위해 뜬 지붕식으로 짓는데 원유가 저장되는 데 따라 위아래로 움직인다.

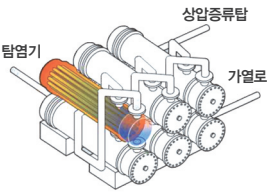
탈염기



모든 원유에는 원유의 개발과 수송과정에서 생긴 염, 철산화물, 모래 등의 각종 고체가 녹아 있으며, 비록 소량의 염분이라도 장치의 부식을 일으키기 때문에 미리 제거해주어야 한다. 탈염은 염류가 물에 잘 녹는 성질을 이용하여 물로 씻어낸다. 탈염기는 예열을 위해 열교환기를 순차적으로 거치면서 온도가 약 140도에서 150도 정도까지 올라간 부분에 설치된다.

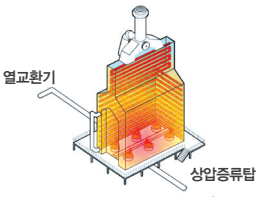
열교환기

원유의 온도는 대기온도와 비슷하거나 약간 높다. 이 원유를 상압증류탑을 거쳐 나오는 아직 뜨거운 제품으로부터 열을 이용해 열교환기를 통해 예열시키며 이 열교환기를 거치면서 대략 170도에서 260도까지 가열된다. 열교환기는 한번 사용되었던 열을 회수하는 장치로서 에너지효율을 높이는 장치이다.



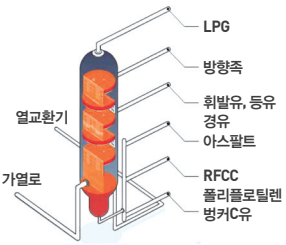
가열로

여러 종류의 혼합물인 원유를 석유류 제품별로 상압증류하기 위하여 필요한 온도까지 열을 가하는 장치이다. 원유의 증류 또는 제품의 종류에 따라 달라지나 약 340도까지 가열한다.

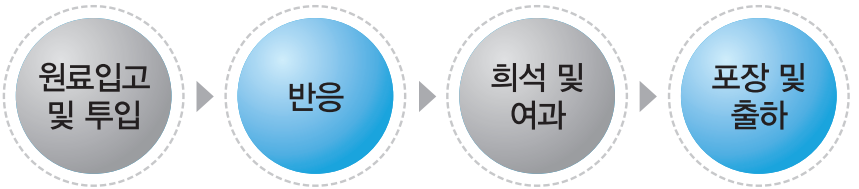


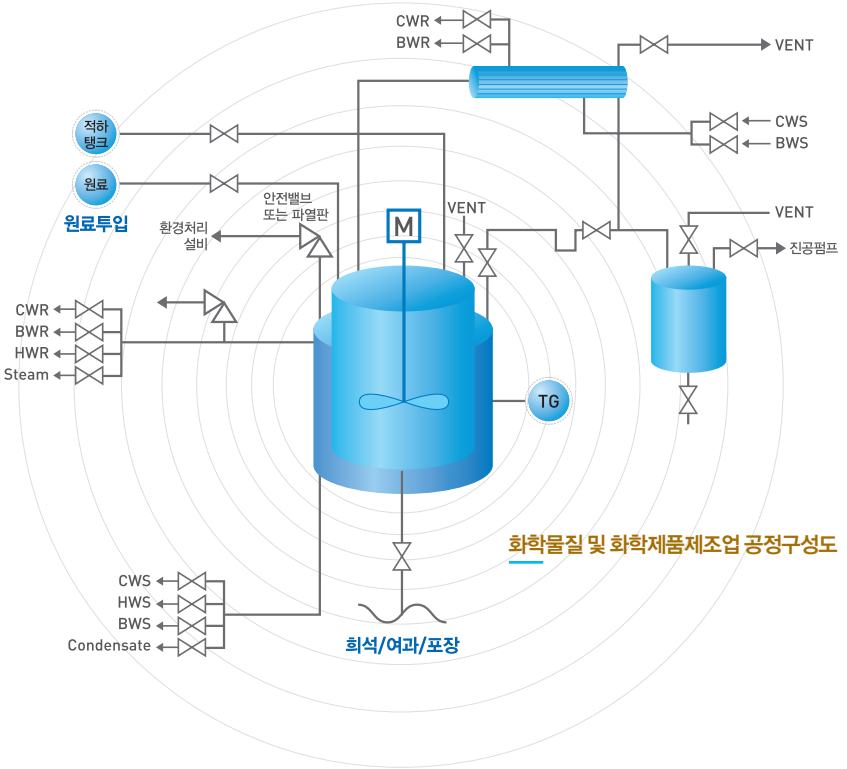
상압증류탑

원유를 비등점(Boiling point)의 차이에 따라 LPG, 납사, 등유, 경유, 벙커C유 유분으로 분리하는 시설이다. 이 시설은 원유를 구성하고 있는 성분들이 일정한 압력과 온도하에서 기체로 증발되려는 성질이 각각 다른점을 이용하여, 탑 내부의 온도와 압력을 높이에 따라 다르게 함으로써(상부로 갈수록 온도와의 압력이 낮아짐) 혼합되어 있는 유분을 각각의 유분으로 분리한다. 상압증류탑은 대기압과 비슷한 상압에서 운전되기 때문에 상압증류탑이라 불리우며, 내부에 약 40~50여개의 단(Stage)으로 구성되어 있고 윗단에서 응축되어 내려오는 액상성분과 아랫단에서 올라오는 기상성분의 접촉을 원활히 하여 기·액 평형이 쉽게 이루어지도록 고안되어 있다.



3.2 화학물질 및 화학제품 제조업의 공정흐름도





※ 회분식 중합반응공정인 합성수지 제조공정을 참조하여 설명함.

화학물질 및 화학제품제조업의 설명

- **작업준비(원료입고 및 투입)**

화학물질 및 화학제품제조업의 작업준비단계는 원료수령 및 운반, 반응장치 점검, 원료계량 단계로 구성되어 있다. 작업지시서에 명기된 원료를 수령하고, 반응기에 부속된 설비, 교반기, 계기류, 배관과 냉각시스템, 가열시스템 등 모든 설비의 이상 유무를 확인한다. 그리고 작업지시서에 기재된 원료를 정확히 계량하고, 수지종류에 따라 반응기 내부를 질소로 치환한다.

액상원료는 저장탱크에서 펌프로 이송하여 정확히 계량 후 반응기에 투입하고, 고상원료는 Bag으로 투입하거나 계량저울로 계량한 후 투입한다. 반응폭주가 발생 할 위험성이 있을 수지제조공정은 원료물질의 일부를 적하탱크에서 저장한 후 소량씩 투입하여 반응을 시킨다.

- **반응**

작업지시서의 모든 지시사항을 재확인한 후 반응기 자켓측의 열원 공급배관의 밸브를 열어 가열시키고 지시온도를 유지한다. 반응이 시작되면 발열반응인 수지제조공정은 냉각시스템을 가동하여 지시온도를 유지하도록 한다. 반응온도의 범위 및 반응시간은 작업지시서에 기재된 대로 정확히 따르며 탈수량의 제거, 불활성 가스의 일정량 유입, 기타 부수작업은 수지종류에 따라 작업지시서에 기재된 방법에 따라 운전한다.

반응 중 작업지시서에 기재된 시간마다 또는 반응에 이상이 생겼을 경우를 대비하기 위하여 시료를 채취하여 검사하고, 반응이 완료되었을 경우 작업지시서에 따라 규정온도로 냉각한다.

- **희석 및 여과**

희석공정은 수지의 종류에 따라 작업지시서에 기재된 규정온도까지 냉각시킨 후 규정량의 용제를 반응기에서 투입하여 희석하는 반응기 희석과 반응물을 희석탱크로 이송한 후 용제로 희석하는 희석탱크 희석으로 분류할 수 있다. 희석공정이 끝난 후 수지의 온도가 규정온도에 도달하면 희석탱크의 배출밸브를 열고 여과포를 사용하여 여과를 실시한다.

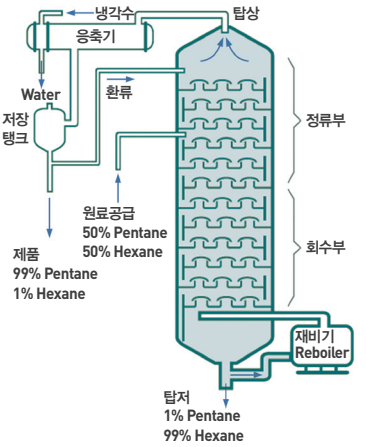
- **포장 및 출하**

여과공정이 끝난 후 수지는 종류에 따라 드럼, 캔에 포장하여 출하하거나 도료 제조공정으로 운반·이송하여 도료제조공정의 원료로 사용한다.

4. 화학공장의 주요 화학설비

4.1 증류탑

증류탑



증류탑 개략도

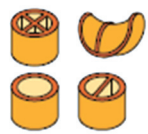
4.1.1 증류장치

증류는 비등점의 차이가 있는 균일상 액체혼합물을 가열·기화시켜서 각 성분 또는 몇 가지의 유분(溜分)으로 분리하는 조작이다. 원유를 가솔린, 등유, 연료유, 윤활유 등으로 분리하는 것은 증류의 대표적인 예이다. 원유를 상압 증류탑에서 가열하면 보다 휘발성이 큰 물질은 저온에서 기화하여 증기가 되며 이 증기를 모아서 응축하면 휘발성이 작은 물질과 분리된다.

- **증류장치의 종류 및 구조**

증류탑은 기액의 접촉과 혼합을 크게 하고 분리효율을 높이기 위하여 탑내부에 여러개의 다공판(perforated plate 또는 tray)을 장치하거나 충전물질을 채워 넣기도 한다. 전자의 형태를 단탑[platetower(column)]이라 하고 후자의 경우를 충전탑(packed tower)이라 한다.

충전탑의 충전 형태

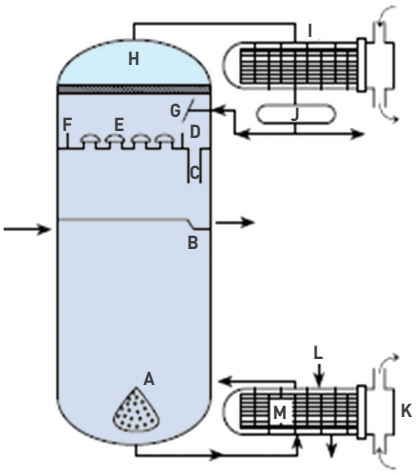


다양한 충전물의 형태

• **증류탑의 주변장치**

증류탑에 사용되는 주변장치로는 리보일러(reboiler), 냉각기 스트레이너(strainer), 환류분배기(reflux distributor), 데미스터 (demister) 등이 있다.

이들 주변장치는 증류가 효율적으로 이루어지게 하는데 기여하는 각각의 고유한 기능을 가진 장치로, 개략적인 구성은 다음과 같다.



A. Stainr
B. Trapout pan
C. Downcomer
D. Overflow weir
E. Bubble cap
F. Distributor weir
G. Reflux distributor
H. Demister
I. Condenser
J. Aocumulator
K. Rebiler
L. Baffle
M. Tube bundle

4.1.2 증발장치

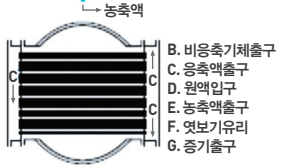
묽은 수용액을 가열하여 물을 증발·농축시키는 조작을 증발이라고 한다. 즉 용질의 증기압이 대단히 적고 액이 끓는점에 달하여도 물만이 증발한다고 생각하는 것이므로 액에 증발잠열만 주고 발생한 수증기를 제거하면 목적은 달성된다. 따라서 원리적으로는 전열의 한 응용예에 불과하다. 그러나 단순한 전열과는 달리 다량의 증발 잠열을 주지 않으면 안되므로 가열방식과 더불어 그에 따른 안전대책을 수립하는 것도 중요하다 하겠다.

• **증발장치의 종류 및 구조**

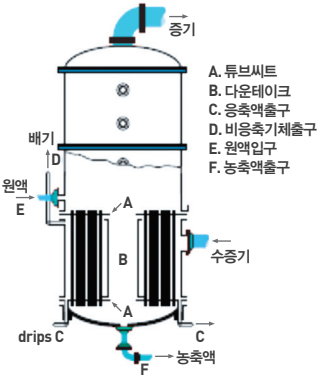
- **자케트식증발관** : 가장 간단한 장치로서 회분식이며 따라서 소규모로 액을 증발시킬 때만 사용한다. 용기 주위에 붙은 자케트 속에 수증기를 넣고 가열한다.
- **수평관증발기** : 가열관이 수평으로 되어있어 수증기가 관내를 통하게 되어 있다. 이 형식은 액의 순환이 좋지 않으므로 점도가 높은액에는 부적당하다.

- **수직관증발기** : 종래부터 가장 많이 사용되는 장치가 수직관식 증발기이다. 관내를 액이 상승하면서 증발이 일어나고 액은 중앙의 관상의 공소(down take)를 통하여 하강한다. 즉 관내에서 발생하는 증기의 펌프작용에 의하여 액의 순환이 일어나는 것이다.

수증기 자케트 달린 증발기의 형태



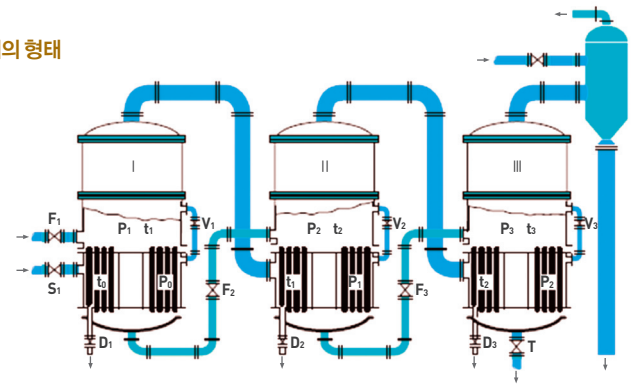
수평관형 증발기

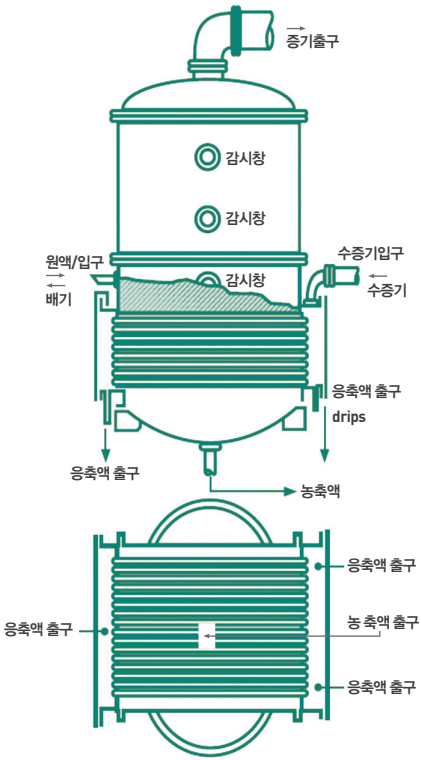


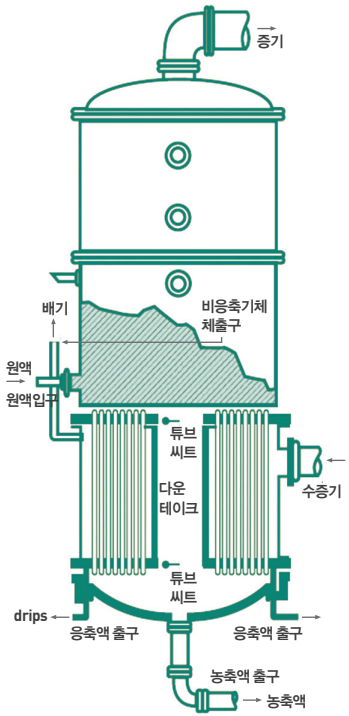
수직관형 증발기

- **다중효용 증발기** : 증발관을 1개만 사용할 때를 단일효용관이라고 한다. 단일효용관에 있어서는 증발한 수증기를 그대로 응축기로 보내므로 대부분의 잠열을 버리는 셈이 된다. 다중효용관에서는 증발관에서 발생한 증기를 다시 이용하겠다는 것이 목적이며 증기관을 몇 개 직렬로 놓고 증발한 수증기를 다음관의 가열용으로 사용하는 방법과 증발관을 1개만 놓고 증발한 수증기를 가압하여 온도를 다시 상승시킨 다음에 반복해서 자기의 가열용으로 사용하는 방법이 있다. 전자를 다중효용관에 의한 증발이라 부르고 후자를 자기증기 압축법 또는 열압축법에 의한 증발이라고 한다.

다중효용증발기의 형태







4.2 열교환기

Heat Exchanger

Heat Exchanger tube

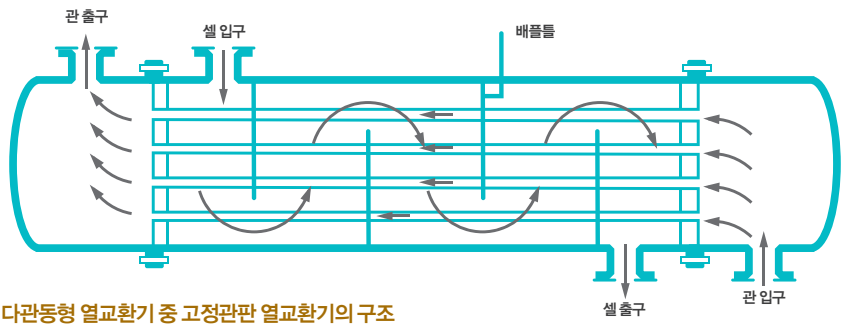
4.2.1 열교환기 정의

고온 유체의 열이 저온 유체로 전달되게 하는 장치로, 서로 구분된 구역(동체, 관 등)으로 각각의 유체를 흐르게 하여 고온 유체의 열이 저온 유체로 전달되게 하는 열교환 현상을 이용하여 만든 장치이다. 고온 유체와 저온 유체가 반대 방향으로 흐르는 경우를 향류흐름, 같은 방향으로 흐르는 경우를 병류흐름이라 한다.

4.2.2 구조에 의한 증류장치의 분류

- **다관통형**(shell & tube) **열교환기**

가장 널리 사용되는 형태로 바깥원통을 동체(shell)라 하며, 동체 안쪽의 작은 파이프들을 관(tube)이라고 한다. 보통 관 쪽으로는 압력이 높거나 온도가 높은 유체 또는 냉각수 등이 흐르게 하며, 동체 쪽으로는 응축되기 쉬운 증기 또는 온도변화가 큰 유체가 흐르게 한다.

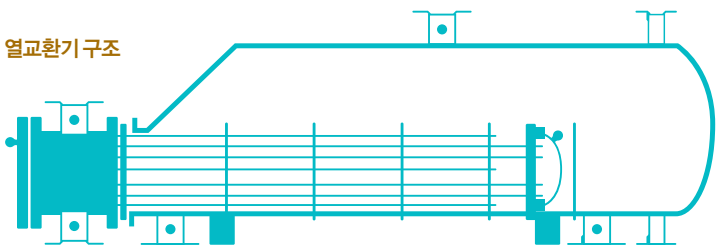


다관동형 열교환기 중 고정관판 열교환기의 구조

- **케틀**(kettle)**형 열교환기**

구조가 가장 간단하고 손쉽게 증기를 얻을수 있어 가열기(reboiler)로서 널리 사용되며, 동체 쪽에 증발이 잘 일어나고 또한 액체와 기체의 분리가 잘 일어나도록 큰 용량의 증기실이 있다.

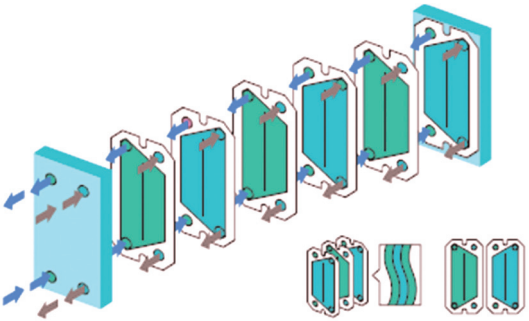
케틀형 열교환기 구조



• **판형 열교환기**

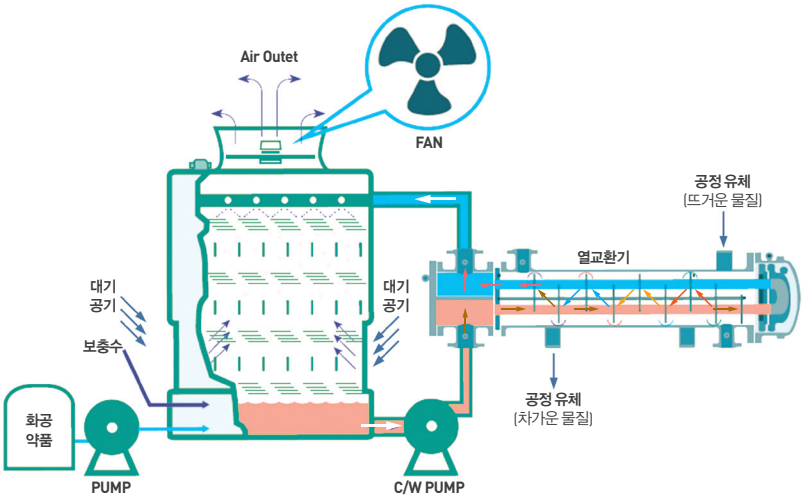
2개의 사각 헤드 플레이트(head plate) 중 하나는 고정돼 있고, 다른 하나는 이동이 가능하도록 되어 있으며 중간에 얇고 주름진 여러 장의 전열판이 겹쳐져 있어 전열판과 전열판 사이로 뜨거운 유체와 찬 유체가 교대로 흘러 열교환이 이루어지도록 한다.

판형 열교환기 구조



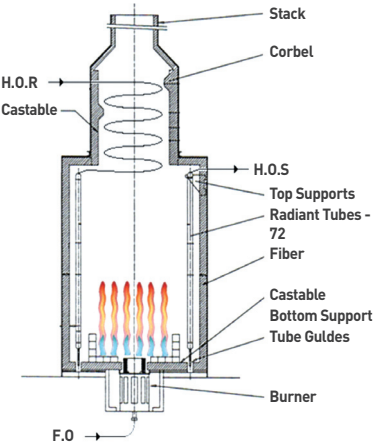
• **공기냉각식**(air cooled) **열교환기**

냉각수 대신에 공기를 냉각매체로 이용하여 강제 통풍시켜 내부 유체를 냉각시키는 형태의 열교환기이다. 관(tube)의 외부에 핀(fin)을 달아 전열면적을 확장시키고, 공기를 강제로 판과 관 사이로 통과시키는 열교환기이다. 화학공장에 설치된 냉각탑이 대표적인 공기냉각식 열교환기 이다.



공기냉각식(air cooled) 열교환기의 구조

4.3 가열로



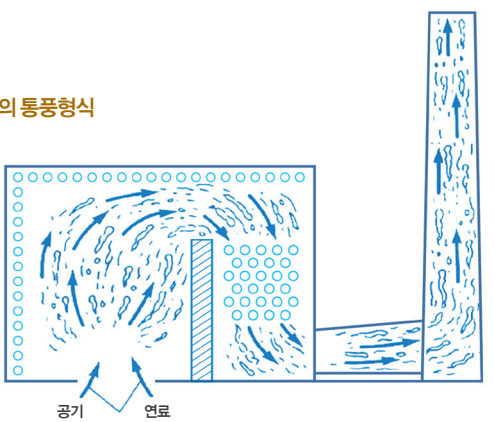
가열로의 구조

4.3.1 가열로 정의

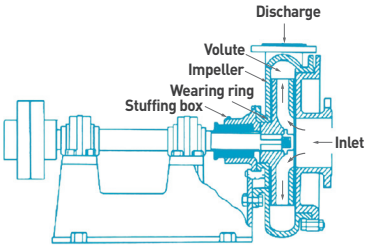
내부에서 연료를 연소시켜 연소에 의한 직화 또는 연소가스의 열로 노(爐) 안쪽의 여러 관(tube)에 있는 유체를 가열하기 위한 장치이다. 가열로 내부에는 연소를 위한 버너와 유체가 흐르는 여러 개의 관이 있으며, 연소에 의한 복사와 대류에 의해 관내의 유체가 가열된다.

드래프트(draft) 방식에 따라 자연 드래프트식, 강제 드래프트식 가열로로 구분한다.

가열로의 통풍형식



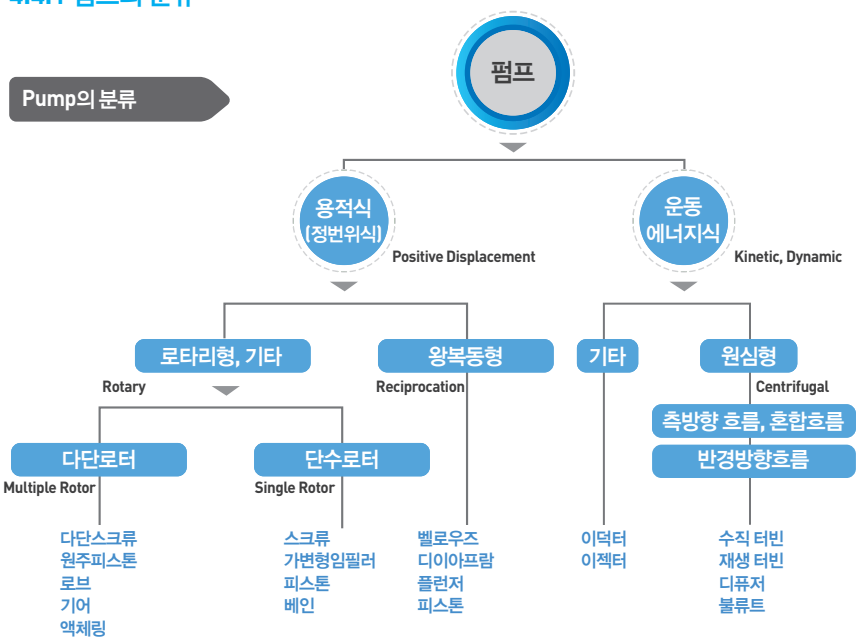
4.4 Pump



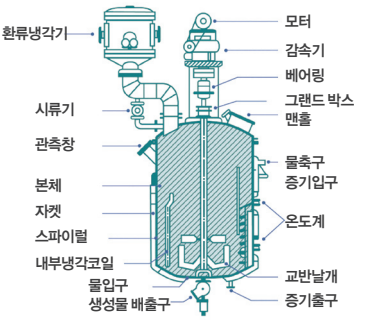
Pump의 구조

펌프는 동력을 사용하여 물 또는 액체(비압축성 유체)의 압력을 변화시키는 동력기계로서 임펠러(impeller)의 회전에 의하여 액체를 이송하는 방식(역학적 방식/운동에너지식)과 기어나 피스톤의 수직 또는 수평 왕복운동에 의하여 액체를 이송하는 방식(용적형 방식)으로 크게 구분할 수 있다.

4.4.1 펌프의 분류



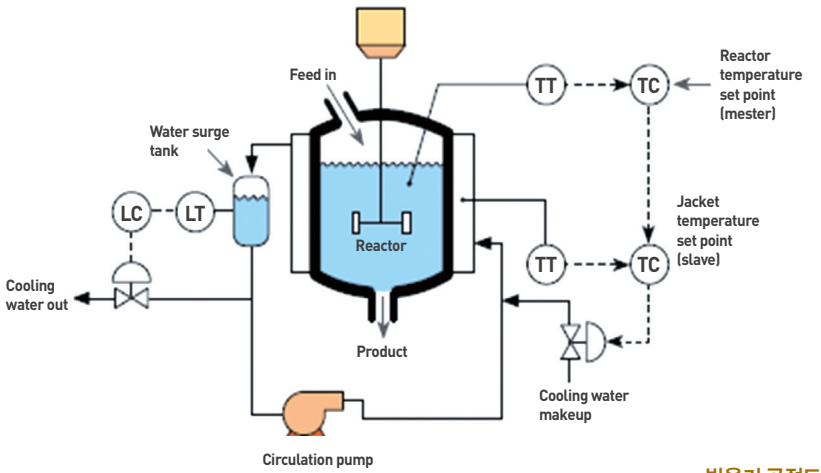
4.5 반응기



반응기의 구조

4.5.1 반응장치 정의

반응장치는 반응하는 물질원료들이 그 안에서 목적하는 화합물로 전환하도록 제작된 용기로서 반응을 촉진·통제하여 반응조건을 유지할 수 있는 장치와 여러가지 계측장치가 부착된 장치이다. 반응장치는 반응에 관여하는 물질들을 목적하는 물질로 변환하도록 하는 장치이므로 화학공업에서는 중심적인 장치라고 할 수 있다.



반응기 공정도

반응장치는 반응하는 물질의 상(phase), 반응속도, 반응조건, 온도, 압력, 조성, 유량, 조작방법, 물질 및 열의 이동방법, 단위시간에 대한 생산량 등에 의하여 그 모양이나 크기가 결정되며, 소기의 성능은 물론이고안정된 조업을 할 수 있도록 고려되어야 한다.

4.5.2 반응장치의 종류

1. 조작방법에 의한 분류

- **회분식 반응장치**

  원료를 반응장치에 넣고 반응을 개시한 후 반응을 진행시키고 반응이 완결되면 조작을 멈추고 반응생성물을 모두 수거하는 방법의 반응기이다.

  반응 진행중에 물질의 출입은 없고 장치내의 조성이 시간적으로 변화하는 비정상(unsteady)조작이다.

- **반회분식 반응장치**

  하나의 반응물질을 맨처음 투입하고 반응의 진행과 함께 다른물질을 첨가하는 조작 또는 원료를 넣은 후 반응의 진행과 함께 반응생성물을 연속적으로 배출하는 조작을 행하는 반응장치를 말한다.

- **연속식 반응장치**

  원료의 공급과 생성물의 배출을 연속적으로 행하는 것으로써 장치 내의 어떤 부분에서의 시간에 대한 조성의 변화는 없는것으로 간주한다. 대부분의 정유 및 석유화학공업 프로

화분식 반응장치　　반화분식 반응장치　　연속식 반응장치

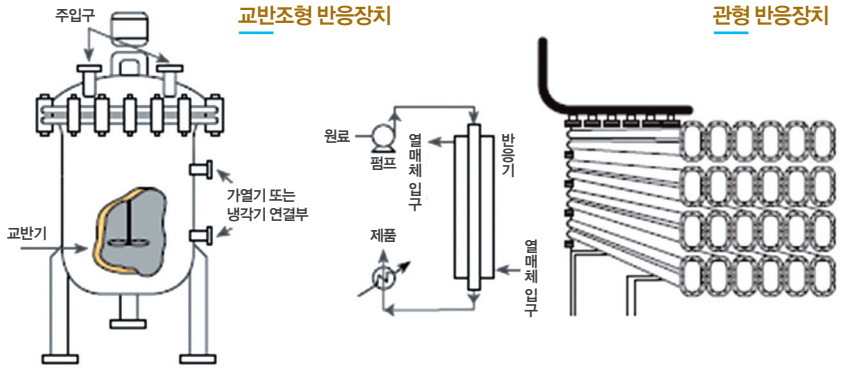
2. 구조에 의한 분류

- **교반조형 반응기**

교반조형 반응장치는 액상-기액상, 액-액상 또는 액-고상 반응에 널리 사용되는 장치로 교반기가 부착된 반응기에서는 교반조 내의 완전혼합이 행해지게 된다.

- **관형 반응기**

반응기의 한 끝에 원료를 연속적으로 보내 관내에서 반응을 진행시키고 다른 끝에서 연속적으로 유출하는 형식의 반응기이다.

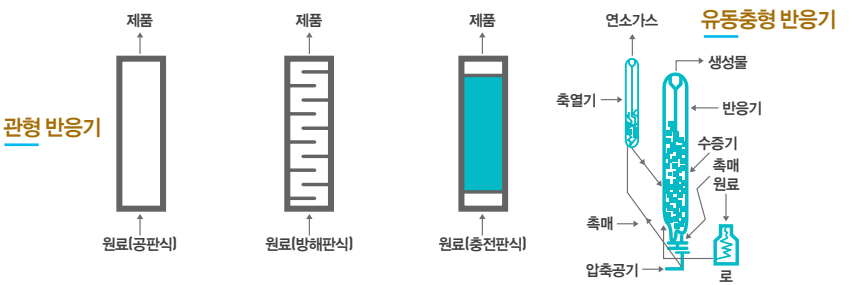


- **탑형 반응기**

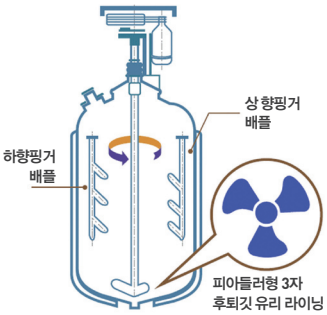
원통형의 반응기로서 기포탑식, 충전탑 및 단탑식, 습식, 벽탑식, 고정층식, 유동층 반응장치 등이 있다.

- **유동층형 반응기**

고체입자를 충전한 탑의 하부에서 액 또는 가스를 통과시켜, 이들 유체의 속도를 일정 범위 내로 유지하면 고체입자는 유동화되어 고체와 유체가 혼재하는 상태에서 반응을 수행하는 반응기이다. 사용하는 유체의 종류에 따라 고체-액체계 유동층과 기체-고체계 유동층으로 나뉜다.



4.6 혼합장치



혼합장치 구조

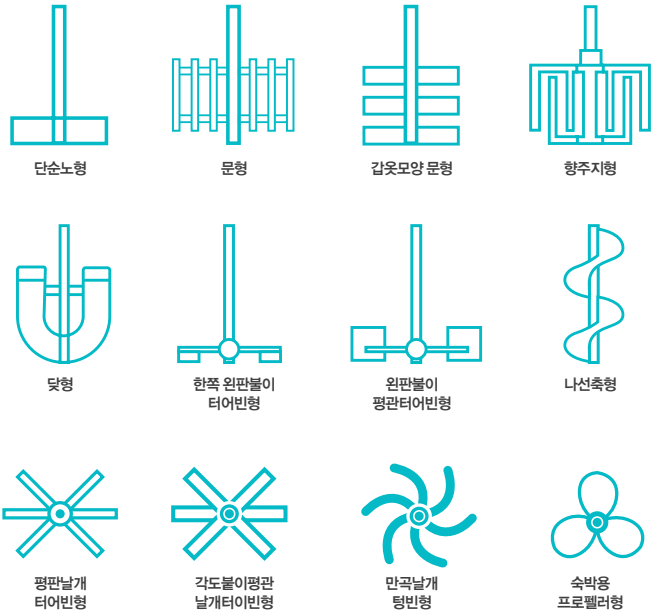
4.6.1 혼합장치의 정의 등

혼합조작은 2개 내지 수종의 물질을 섞어서 균일한 제품을 만들거나 물질사이의 화학적 혹은 물리적 변화, 열전달 혹은 결정의 용해 등을 촉진시키는 조작이다.

혼합장치는 주로 교반장치가 대부분이라 할 수 있다. 교반장치는 감속모터와 교반축, 교반날개로 나누어 생각할 수 있으며 교반에 직접 영향을주는 것은 교반날개와 방해판이다.

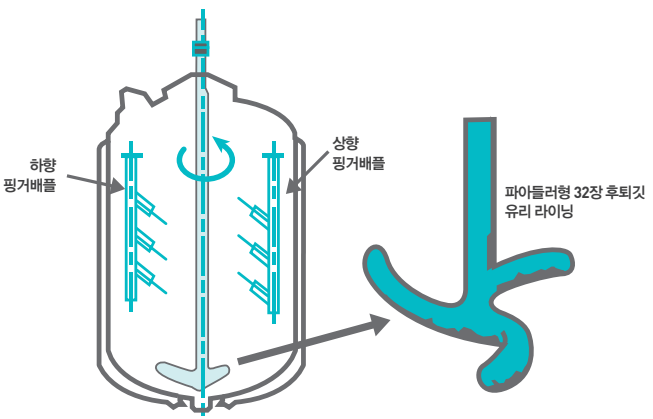
4.6.2 교반날개의 형식

- **날개형(Paddle type) :** 가장 간단한 형으로서 평날개로 되어 있다.
- **프로펠러형(Propeller type) :** 배의 추진기형을 하고 있는 교반날개로서 교반축 방향의 유동을 일으킨다.
- **터어빈형(Turbine type) :** 터어빈형의 날개로서 그 회전에 의하여 액은 회전축 방향으로부터 날개에 유입하고 날개의 반경방향으로 배출된다.



4.6.3 방해판(Baffle)

교반효과를 높이기 위해서는 교반기의 교반날개도 중요하지만 유동의 흐름을 방해하여 와류가 형성되게 하는 baffle이 설치되면 보다 효과적인교반이 이루어진다.



4.7 저장설비

<상압탱크>

<부유식 저장탱크>

<압력탱크>

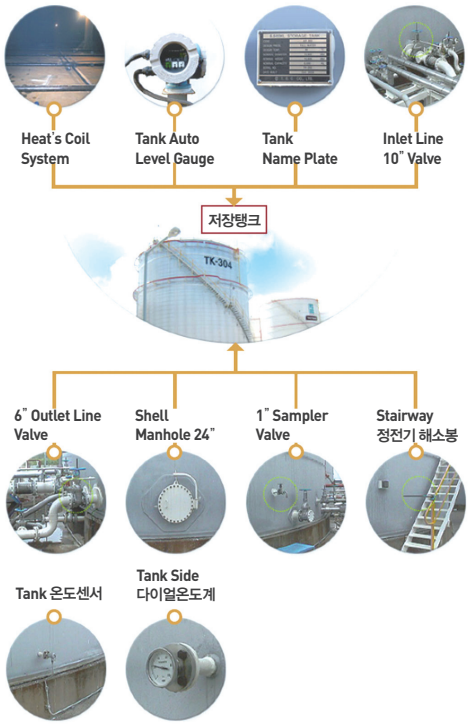
<구형탱크>

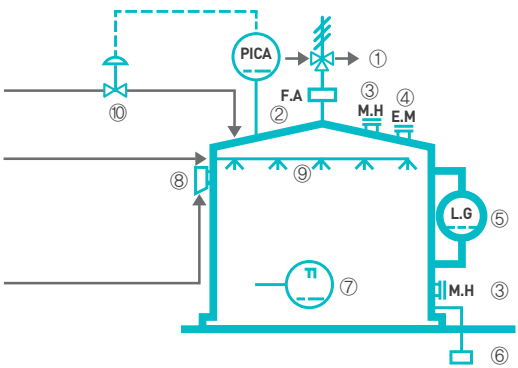
저장설비 종류

4.7.1 저장탱크 정의 등

- 화학공장에서 사용되는 저장탱크는 물질의 고유 특성, 증기압, 상 (state, 액체 또는 기체) 및 저장조건에 따라 상압탱크, 압력용기, 구형탱크(ball tank) 등으로 구분된다.
- 증기압이 낮은 물질들은 상압탱크에 저장하고, 휘발유 등 증기압이 높은 물질은 지붕이 액면을 따라 자유로이 움직일 수 있는 부유식 저장탱크에 저장한다. 상온 및 상압에서 가스 성분인 경우는 고압으로 압축하여 압력탱크 또는 구형탱크에 저장한다.

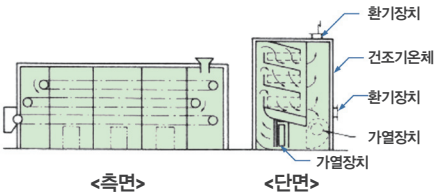
4.7.2 저장탱크 구성 (부속설비 포함)





① Breather Valve
② Flame Arrestor
③ Manhole
④ Emergency Vent
⑤ 액 면계
⑥ 접지시설
⑦ 온도계
⑧ Foam 주입구
⑨ 살수장치
⑩ 질소공급밸브

4.8 건조설비



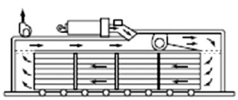
건조기 도면

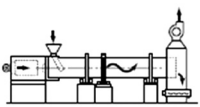
4.8.1 건조설비 정의

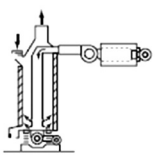
건조설비는 원재료에 있는 물, 유기용제 등의 습기를 제거하기 위한 설비이다. 건조설비는 대상물의 성상, 함수율, 처리능력, 열원 등에 따라 그 형태와 크기가 매우 다양하다.

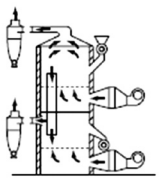
4.8.2 건조설비 형태에 따른 분류

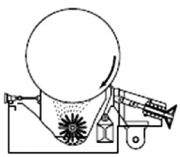
<상자형 건조기>


<터널형 건조기>


<회전 건조기(직접형)>


<진동 건조기(입형)>


<유동층 건조기(입형)>


<드럼 건조기>

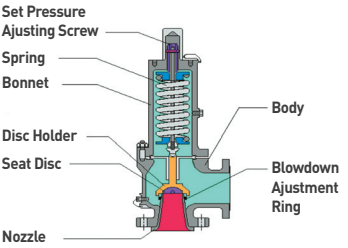
4.8.3 건조설비의 구성

항 목	구 성
구조부분	바닥콘크리트, 철골, 보온판 등 기초부분, 몸체, 내부구조물 등
가열장치	열원공급장치, 열 순환용 송풍기 등
부속설비	전기설비, 환기장치, 온도조절장치, 소화장치, 안전장치 등

5. 화학공장 주요 화학설비의 안전장치 및 부속품

5.1 안전밸브

안전밸브 단면도



5.1.1 안전밸브 정의 등

설비나 배관의 압력이 설정압력을 초과하는 경우 작동하여 내부압력을 분출하는 장치

- **안전밸브의 종류**

  스프링식(화학설비에서 가장 많이 사용), 중추식, 지렛대식 등이 있다.

- **안전밸브 설치 기준**

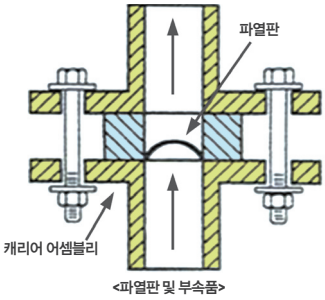
  - 압력상승의 우려가 있는 경우
  - 반응생성물에 따라 안전밸브 설치가 적절한 경우
  - 열팽창 우려가 있을 때 압력상승을 방지할 경우

- **안전밸브 등의 설치**

  다음에 해당하는 화학설비 및 그 부속설비에는 과압에 따른 폭발을 방지하기 위하여 안전밸브 또는 파열판을 설치하여야 한다.

  - 압력용기(안지름이 150mm 이하인 압력용기는 제외하며, 열교환기는 관의 파열로 인한 압력상승이 동체의 최고사용압력을 초과할 우려가 있는 경우에 한정한다)
  - 정변위 압축기
  - 정변위 펌프(토출축에 차단밸브가 설치된 것에 한정한다)
  - 배관(2개 이상의 밸브에 의하여 차단되어 대기온도에서 액체의 열팽창에 의한 파열이 우려되는 것에 한정한다)
  - 그 밖에 화학설비 및 그 부속설비(이상 화학 반응, 밸브의 막힘 등 이상상태로 인한 압력상승으로 해당 설비의 최고사용압력을 초과할 우려가 있는 것에 한정한다)

5.2 파열판



<파열판 및 부속품>

파열판 단면도

5.2.1 파열판 정의 등

밀폐된 압력용기나 화학설비 등이 설정압력 이상으로 급격하게 압력이 상승하면 파단되면서 압력을 토출하는 장치이다. 짧은 시간 내에 급격하게 압력이 변하는 경우 적합하다.

- **파열판의 설치 기준**
  - 반응폭주 등 급격한 협력상승의 우려가 있는 경우
  - 급성 독성물질의 누출로 인하여 주위의 작업환경을 오염시킬 우려가 있는 경우
  - 운전 중 안전밸브에 이상물질이 누적되어 안전밸브가 작동이 안될 우려가 있는 경우
- **파열판 설계기준식**

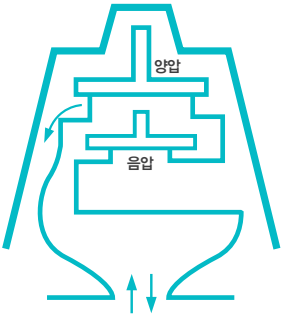
$$P = 3.5Q_u \times \left(\frac{t}{d} \right) \times 100$$

여기서, P : 파열압력(kg/㎠), d : 직경, Qu : 재료의 인장강도(kg/㎟), t : 두께(㎜)

- **파열판의 특징**
  - 압력 방출속도가 빠르며, 분출량이 많다.
  - 높은 점성의 슬러리나 부식성 유체에 적용할 수 있다.
  - 설정 파열압력 이하에서 파열될 수 있다.
  - 한번 작동하면 파열되므로 교체해야 한다.

5.3 통기설비

<통기설비(Breather valve)>



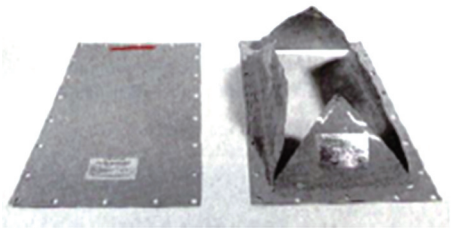
<통기밸브 원리>

5.3.1 통기설비 정의 등

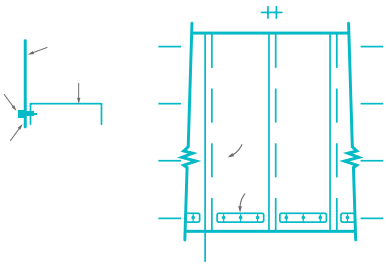
인화성 액체를 저장·취급하는 대기압 탱크에는 통기관(Vent) 또는 통기밸브(Breather Valve)를 설치하여 정상운전시에 탱크 내부가 진공 또는 가압되지 않도록 외기를 흡입 또는 증기를 방출 수 이는 충분한 용량의 통기설비를 사용하여야 한다.

- 인화성 액체를 저장하는 용기의 통기관 및 통기밸브에는 외부의 화염이 탱크로 유입하지 못하도록 끝단에 화염방지기를 설치하여야 한다.
- 휘발성이 높아 증발손실이 많고 위험성이 높은 인화성 액체 저장탱크에는 통기밸브(Breather Valve)를 설치한다.

5.4 폭발 방산구



<폭발 방산구>



<폭발 방산구 원리>

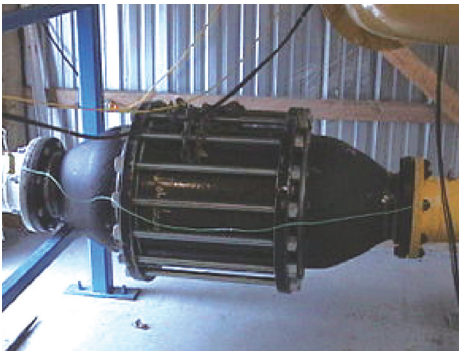
5.4.1 폭발 방산구 정의 등

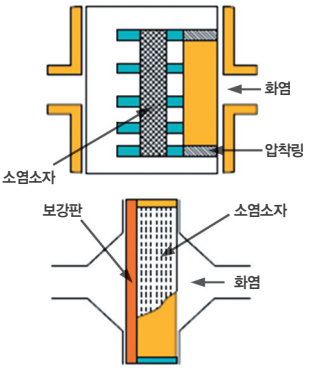
폭발 방산구는 건물, 건조로 또는 분체의 저장설비 등에 설치하는 압력방출장치로서 폭발로부터 건물, 설비 등을 보호하는 기능을 갖는다.

다른 압력방출장치에 비해 구조가 간단하고 방출 면적이 넓어 방출량이 많고, 방출에 따른 2차적인 피해를 예방하기 위해 방출방향을 안전한 장소로 향하게 하는 것이 중요하다.

- **폭발 방산구 설치 기준**
  - 패널, 출입문, 개구부 등을 이용 1: 15법칙 준수
  - 방출구 주위에 가이드 레일 설치와 경고표지
  - 가능한 연소장치 가까이 설치
  - 판넬이 비산되지 않도록 끈으로 묶어
  - 판넬은 0.5psig의 서지 내압력
  - 지붕 판넬을 단위면적당 최대 24.4kg/㎡ 설치
  - 길이가 긴 건조설비는 최소 내경의 5배 초과 금지
  - 초기 증기폭발압력을 조기에 배출시켜 배출시간을 길게
- **폭발 방산구 덕트 설치**
  - 배출구 덕트는 폭발 방산구 면적 이상
  - 벤트 면적은 가능한 균형 있고, 대칭적으로 분포
  - 덕트는 가능한 짧게(3m 이하) 일직선으로 가능한 상부에 높이 설치하고 장애물 없도록 외벽에 가깝게 옥외 안전한 곳으로 배출
  - 폭발 방산구 주위에 경고표지판 설치

5.5 화염방지기





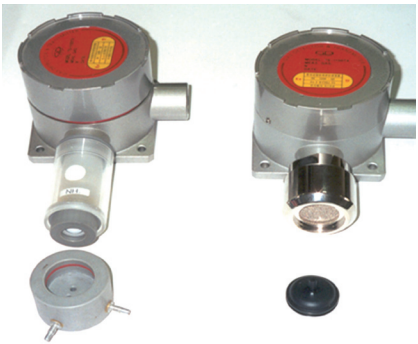
화염방지기 구조

5.5.1 화염방지기 정의 등

- 비교적 저압 또는 상압에서 가연성 증기를 발생하는 인화성 물질 등을 저장하는 탱크에서 외부로 그 증기를 방출하거나 탱크 내로 외기를 흡입하는 부분에 설치하는 안전장치
- 일반적으로 40mesh 이상의 가는 눈금의 철망을 여러 겹 겹친 소염소자식 화염방지기와 밀봉 액체를 사용하는 액봉식화염방지기가 있다.
- 소염소자식 화염방지기는 인화성가스가 통과하는 통기관에 금속망 혹은 좁은 간격을 가지는 금속판을 사용하여 고온의 화염이 좁은 간격의 벽면에 접촉, 열전도에 의해서 급속히 열을 빼앗겨 착화온도 이하로 낮아지게 하여 소염하는 원리이고, 액봉식 화염방지기는 통기관을 물속을 통과하게 함으로써 냉각효과를 증대시켜 소염시키는 원리이다.

5.6 가스누출감지 경보기

<가스누출감지기 설치모양>



<가스누출감지기>

5.6.1 가스누출감지 경보기 정의 등

- **정의**

  - 가연성 또는 독성 물질의 가스를 감지하여 그 농도를 지시하고, 미리 설정해 놓은 가스 농도에서 자동적으로 경보가 울리도록 하는 장치를 말하며, 감지부와 수신경보부로 구성된 것을 말한다.

- **선정기준**

  - 감지대상 가스의 특성을 충분히 고려하여 가장 적절한 것을 선정
  - 감지대상 가스가 가연성이면서 독성인 경우에는 독성을 기준하여 가스누출감지 경보기를 선정

- **설치대상 물질**

  - 가연성 물질 : 인화성 물질 중 인화점이 35℃ 이하인 인화성 액체
  - 독성 물질 : 독성 물질로서 35℃, 0.1MPa(1bar) 기체상태인 것

- **설치장소**

  - 건축물 내·외에 설치되어 있는 가연성 물질 또는 독성 물질을 취급하는 압축기, 밸브, 반응기 및 배관 연결부위 등 가스 누출이 우려되는 화학설비 및 그 부속설비 주변
  - 가열로 등 점화원이 있는 제조설비 주위에 가스가 체류하기 쉬운 장소
  - 가연성 물질 또는 독성 물질의 충전용 설비의 접속부위 주위

- 폭발위험장소 내에 위치한 변전실, 배전반실 및 제어실 내부 등
- 기타 특별히 가스가 체류하기 쉬운 장소

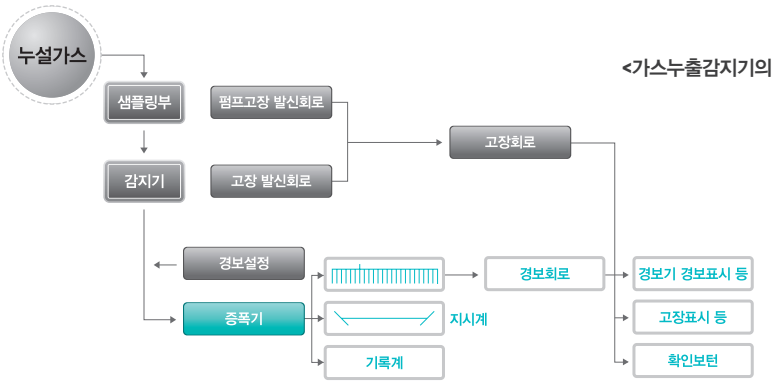
• **설치위치**

- 감지부는 가능한 한 가스의 누출이 우려되는 누출 부위 가까이에 설치
- 직접적인 가스누출은 예상되지 않으나 주변에서 누출된 가스가 체류하기 쉬운 곳에 설치하되, 공기보다 가벼운 가스는 급속히 상부방향으로 확산되고, 공기보다 무거운 가스는 지표면을 따라 서서히 확산되는 경향을 고려하여야 한다.

• **경보 설정 및 성능**

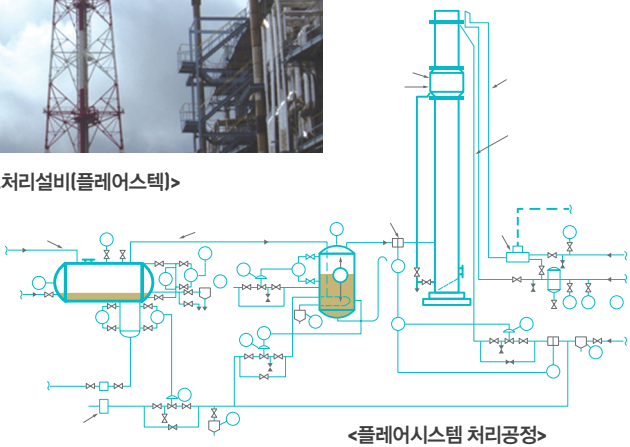
- 가연성 가스누출감지경보기 감지대상 가스의 폭발하한계 25% 이하(다경보 설정형인 경우 1차 경보는 폭발하한계의 20% 이하에서 2차경보는 폭발하한계의 25% 이하에서 경보를 설정), 독성 가스누출감지경보기는 당해 독성 물질의 허용농도 이하에서 경보가 발하여지도록 설정. 다만, 독성 가스누출감지 경보기로서 당해 독성 물질의 허용농도 이하에서 감지부가 감지할 수 없는 경우에는 그러하지 아니하다.
- 가스누출감지경보기의 감지부 정밀도는 경보 설정점에 대하여 가연성 가스누출감지경보기는 ±25% 이하, 독성 가스누출감지경보기는 ±30% 이하이어야 한다.
- 가연성 가스누출감지경보기는 경보 설정점에서 램프의 점등 또는 점멸과 동시에 경보를 발하여야 하고 정상 및 오동작 상태가 식별될 수 있는 구조여야 한다.
- 가연성 가스누출감지경보기는 담배연기 등, 독성 가스누출감지경보기는 담배연기, 세척유 증기, 석유류 증기 및 배기가스 등에는 경보를 발하여서는 아니 된다.
- 수신 경보부의 지시계 눈금범위는 가연성 가스누출감지경보기의 경우에는 0에서 폭발하한계 값, 독성 가스누출감지 경보기의 경우에는 0에서 허용농도의 3배 값(암모니아를 실내에서 사용하는 경우에는 150ppm)이어야 한다.

<가스누출감지기의 구성>



5.7 폐가스처리설비

<폐가스처리설비(플레어스텍)>



<플레어시스템 처리공정>

5.7.1 폐가스처리설비인 플레어시스템 정의 등

※ Flare system 정의 및 현재 각 구성설비 검토설계기준

- 정의 : 안전밸브 등에서 배출되는 물질을 모아 플래어스택에서 소각시켜 안전하게 대기중으로 방출

※「Flare Header, K/O Drum, Seal Drum, Flare Stack 등」으로 구성

- **Flare header : 배출물질 이송**

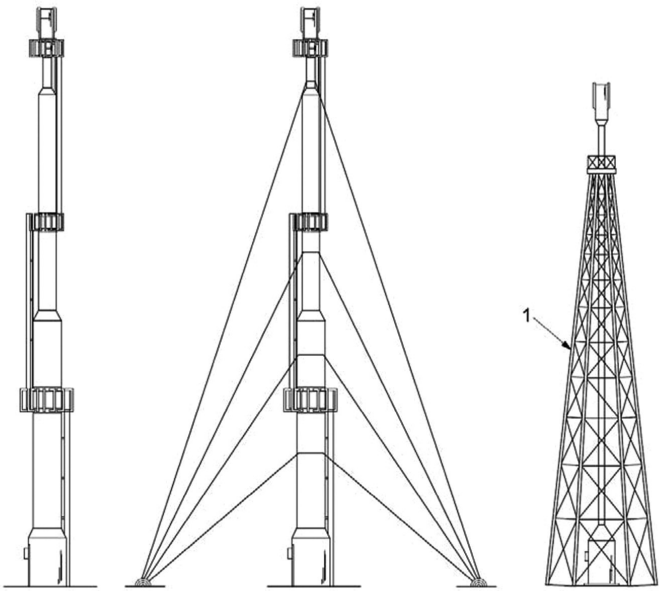
- Dry Flare계 : 수분이 없고 온도가 낮은 가연성가스 처리(SS재질)
- Wet Flare계 : 수분이 있고 온도가 높은 가연성가스 처리(탄소강)
- 산성가스 Flare계 : H2S를 포함한 산성가스 처리
- 단위공장 Flare Header에 설치된 차단밸브 Open/Close 알림 장치
- 말단에 공기 유입 및 역화 방지를 위해 질소 등 불활성가스 공급
- 안전밸브 토출측과 K/O Drum사이의 배관에 액체 정체 금지
- 안전밸브 토출측으로부터 K/O Drum쪽으로 경사도는 1/200 이상

- **K/O Drum : 배출물질 중 액체 분리**
  - 충분한 용량 검토
  - 공정과 Stack의 이격거리가 큰 경우 중간에 추가 K/O Drum 설치
  - 액위에 의해 이송펌프의 자동 기동 및 정지
  - 펌프는 상시 기동상태 유지
  - 펌프에 비상전원 연결
- **Seal Drum : 외부의 공기 유입 및 역화 방지**
  - K/O Drum 후단 Stack 가까이 설치
  - 일정한 수두를 유지하여 Flare Header에 공기 유입 및 역화 방지
  - 방출가스 배관 Dipping : 150~300mm
  - Overflow 조치 : Seal Leg를 통해 Overflow, Siphon Breaker
  - 액위는 UW에 의해 유지되고 스팀에 의해 동결 방지
- **Flare Stack : 배출 가스를 연소 처리**
  - 높이 : Stack 하부의 지표면에서 4,000kcal/m2·h 이하
  - 방출이 일어날 때 불꽃 감지를 위해 모니터 설치
  - H2S를 포함한 산성가스는 별도의 버너에서 연소
  - Molecular Seal
    - · Flare 가스의 양이 적을 경우 공기 유입 및 역화 방지
    - · Seal 내에 Flare 가스가 정체
    - · 산성가스 Flare에는 가스 Seal만 설치
- **Flare Load(플래어량)**
  - 각 안전밸브의 용량
  - 각 단위공장의 압력상승 요인 별 용량 합계
  - 공장 전체의 압력 상승 요인 별 용량 합계
  - 압력 상승 요인 별 용량 중 가장 큰 값

폐가스는 일반적으로 연소/소각, 대기배출 및 흡수/흡착 방법 등을 통해 안전하고 무해한 가스로 처리되어 대기로 배출된다. 보통 안전밸브 등을 통해 분출된 인화성 가스(증기) 등은 플레어시스템(Flare system)을 통해 스택에서 최종적으로 연소 처리된 후, 대기로 배출된다. 또한, 포스겐 또는 염화수소 등과 같이 연소 처리시 발암성 물질(다이옥신 등)이 생성되는 가스는 스크러버(Scrubber)를 통해 처리되는데, 이때는 폐가스 중의 유해성분을 중화 또는 흡수하는 액체가 탑상부에서 살수되면서 액체(물 또는 NaOH 용액)에 흡수되고,

미 흡수된 가스는 대기로 배출되게 된다. 또한, 수소와 같이 분자량이 낮거나 확산속도가 빠른 물질들은 벤트 스택(Vent Stack)을 통해 대기 중으로 직접 배출시켜 처리한다.

그 외, 상압 저장탱크(증기압이 높은 탄화수소류를 저장하는 상압탱크)에서 발생하는 VOC등의 폐가스나 반응기(Reactor) 및 응축기(Condenser)등의 진공운전으로 발생하는 폐가스, 또는 각 설비의 개구부에 설치된 포집 설비에서 발생한 폐가스들은 소각 또는 흡착 시설을 이용하여 처리한다. 소각처리시설은 연소산화 및 촉매산화를 통해 폐가스를 연소시키는 방법으로서 RTO 및 RCO등이 대표적인 설비이며, 흡착은 폐가스를 흡착제(활성탄 등)에 흡착시켜 처리하는 방법으로서 활성탄 흡착탑이 대표적인 설비이다. 이런 소각 또는 흡착 공정에서, 폐가스를 처리설비로 이송하는 구동원(Driving Force)은 처리설비 전·후단에 설치된 송풍기의 흡입력으로서, 폐가스를 연속적으로 흡입하여 배관 또는 덕트를 거쳐 처리시설로 이송한다.



A. Sefe - supporting　　B. Guy - supported　　C. Derrick - supported

플레어스텍 종류

chapter 02

화학공장 기술지도 시 주요점검사례

02
화학공장 기술지도 시 주요점검사례

주요설비별 점검사례

탱크의 통기구

■ **점검사항**

- 통기구에 차단밸브 설치 여부
- 3 - way 밸브의 설치 상태
- 화염방지기 설치 여부

■ **점검내용**

- 3 - way 밸브의 설치 시 한 방향으로 열린 상태로 설치
- 38℃ 미만 화염방지기 설치
- 통기구에 설치되어 있는 차단밸브 제거

볼트, 너트 및 플랜지

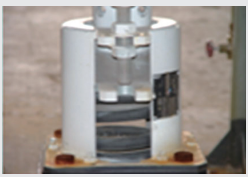
■ **점검사항**

- 볼트·너트의 체결 상태
- 볼트 종류
- 이종제 재질 사용 여부
- 플랜지 규격

■ **점검내용**

- 나사산이 3산 이상 유지할 수 있도록 체결
- 고압의 경우 Stud볼트 사용
- 볼트·너트, 플랜지, 배관은 동일 재질 사용
- 플랜지 동일 규격 사용

배관 지지대



■ 점검사항

- 배관 서포포트의 설치 상태
- 스프링 서포트 및 행거의 설치 상태
- 지지대의 슬라이딩 포인트

■ 점검내용

- 배관 서포트 밀착
- 스프링 스포트는 H/C 사이에 위치
- 정기적(연차보수시)인 점검표 작성
- 팽창방향으로 슬라이딩 포인트 설치

계장설비

■ 점검사항

- 기계의 측정 범위
- 긴급차단밸브 점검 여부
- Control valve의 Failure posltion
- By pass valve Type

■ 점검내용

- 측정범위 2~3배로 선정
- 긴급차단밸브는 정기적으로 점검, 기록 관리
- 일반적으로 F.C
- Reflux Ilne 및 CW Ilie의 경우 F.O
- By pass valve Type : Glove v/v

안전밸브

■ 점검사항

- 안전밸브 적합성 (공정/Utility용 구분)
- 안전밸브 설치 및 설정압력의 적합성

■ 점검내용

- 분출상태, 용도(취급물질)에 적합한 안전밸브 설치
- 외부화재, 냉각수 Failure, 감압기 Failure, Control valve Failure, 열팽창시에 대한 압력 방출장치 설치
- 설정압력은 설계압력 이하로 설정

안전밸브

■ 점검사항

- 안전밸브 전단 차단밸브 설치 여부
- Maln header에 차단밸브 설치 상태
- 파열판의 설치 여부

■ 점검내용

- 안전밸브 전단 차단밸브 시건 및 목록을 작성하여 관리
- Header line의 차단밸브는 열린 상태 확인 가능한 구조
- 고분자, 부식성, 독성물질 취급공정의 안전밸브 전단에 파열판 설치
- 폭주반응 가능성이 있을 경우 파열판 단독으로 설치

내화설비

■ 점검사항

- 각종 배관의 지지대 내화 여부
- 구조물의 보에 대한 내화 여부
- 각종 장치의 Skirt 내부 내화 여부
- 내화페인트 시공 상태

■ 점검내용

- 각종 배관, 장치 등의 지지대 내화 처리
- Skirt 내부에 누출원이 있을 경우 내부 내화 처리
- 내화페인트 사양 확보 및 사양에 준하여 시공

위험물 저장설비 방유제

■ 점검사항

- Drain vavlve의 설치 및 담힘 상태
- 방유제 내에 응축수 배관 설치 여부
- 방유제 관통 배관의 설치 상태

■ 점검내용

- D/V를 설치하고 닫힘으로 관리
- 응축수 배관을 방유제 외부로 이설
- 방유제 관통 배관은 스리브 배관 사용

세안세척 설비

■ 점검사항

- 세안·세척설비의 설치 및 작동 상태
- 세안·세척수의 상태
- 동파방지조치 상태

■ 점검내용

- 부식성물질 취급장소에 세안·세척설비 설치
- 세척수 공급 배관의 Black valve 열린 상태 관리
- SUS 배관 사용
- E/T 사용 (S/T 사용 불가)

가스감지기

■ 점검사항

- 가스감지기 및 경보기 설치위치
- 가스감지기 Call bration 여부
- 절차서 및 표준가스 확인

■ 점검내용

- 공기보다 무거운 증기/가스 : 하부 설치
- 공기보다 무거운 증기/가스 : 상부 설치
- 표준가스로 검·교정 실시
- 비상조치계획 수립 및 교육·훈련 실시

방폭전기기계기구

■ 점검사항

- 방폭형 전기기계기구 구조 변경 여부
- 실링 피팅류의 체결 상태
- 비방폭형 전기기계기구 설치 여부
- 보수 시 비방폭형 전기기구 사용 여부

■ 점검내용

- 구조 변경시는 전기기계기구 교체
- 실링 피팅류는 견고하게 체결
- 방폭형 전기기계기구 설치 및 사용
- 화기작업에 준하여 작업허가제도 운용

방폭전기기계기구

■ 점검사항

- 압력방폭구조의 설치 상태
- 양압을 유지하는 압력 확인

■ 점검내용

- 양압 상태로 조작스위치 조작
- 50파스칼 이상의 압력 유지
- 압력 파괴 시 경보 작동

접지설비

■ 점검사항

- 탱크의 접지 여부
- 위험물 저장탱크의 접지저항
- 피뢰도선의 설치 상태
- 이송 배관 재질

■ 점검내용

- 탱크 접지설비 설치
- 피뢰설비 생략시 접지저항 5옴 이하
- 피뢰도선은 수직 또는 90°, 곡률반경 20cm 이상 유지
- 이송배관은 도전성 재질 사용

위험물 입·출 절차

■ 점검사항

- 접지 클램프 설치
- 입·출하 속도 관리
- 입·출하 절차 개시
- 탱ㅋ로리 환전 여부 확인 시스템

■ 점검내용

- 접지 클램프를 설치하고 초기 속도는 1m/s 이하로 관리
- 접지 클램프 미체결시 출하펌프 미작동
- 입·출하절차 게시 및 탱크로리 정차 지점 표기
- 탱크로리 환적을 방지하기 위한 시스템 구축

펌프

■ 점검사항

- 정변위 펌프의 경우 안전밸브 설치 여부
- 압력계 설치 상태

■ 점검내용

- 안전밸브 설치 또는 내장형 설치
- 토출측에 PS 설치
- 차단밸브 전단에 압력계 설치

장치 지지대

■ 점검사항

- 슬라이딩 포인트 설치 여부
- 슬라이딩 포인트 방향

■ 점검내용

- 기계 조작 도면 확인
- 열팽창 방향으로 슬라이딩 포인트 설치

chapter 03

중대산업사고 사례 (2014년~2016년)

03
중대산업사고사례(2014년~2016년)

1. 중대산업사고 사례 (2014. 02. 13) KOSHA-MIA-201401

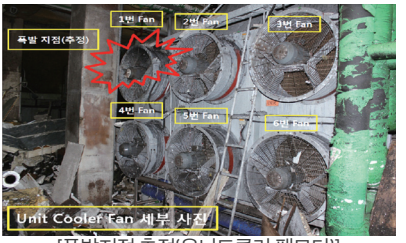
본 속보는 국내에서 발생한 중대산업사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

암모니아 가스 누출로 인한 폭발 사고

재해개요

2014년 2월 13일(목) 13시 4분경 경기도 남양주시 소재 OOO(주) 급속동결실 내부 유니트쿨러의 코일에서 핀홀이 생겨 냉매인 암모니아 가스가 누출되어 체류하던 중, 원인 미상의 점화원에 의해 폭발이 발생한 재해임

[붕괴된 벽체 및 넘어진 액화질소탱크]



[폭발지점 추정(유니트쿨러 팬모터)]

재해발생과정

• 재해발생공정

원유입고/첨가제 배합 ▶ 살균/저장 ▶ 아이스크림 충전 ▶ 급속동결 ▶ 포장/저장

※ **공정설명** : ① 원유가 입고되면 첨가제 배합 후 살균·저장 ⇨ ② 아이스크림 형틀에 반제품 충진하여 컨베이어를 통해 급속동결실(-30℃)로 이송 ⇨ ③ 급속동결 후 포장실에서 포장 후 냉동창고에 보관

※ **폭발발생공정** : 냉동기계실에서 냉매인 암모니아를 압축·응축한 후 배관을 통해 급속동결실에 설치된 증발기(유니트쿨러, 설계온도 -47℃)에서 초저온 공기를 송풍하여 급속동결실 온도를 낮추는 공정

• 재해발생과정

- '13. 12월부터 환경개선공사 후 '14.2.1 시운전 가동, 2.3부터 생산을 재개하였음.
- 2. 13(목) 09:20분경 암모니아 냄새가 나자 직원을 대피시키고 09:40분경 생산팀장에게 보고
- 10:30분경 냉매 밸브를 잠그고, 암모니아 리시버 탱크로 공정 내 암모니아 회수 및 급속동결실 내 누출부위 찾는 작업 수행
  ※ 폭발사고 발생 전까지 약 2시간 동안 환경안전팀 직원 등 3~5명이 희석작업을 계속 실시함
- 13:04분경 급속동결실에서 폭발이 발생하여 내부벽체, 기둥이 붕괴되었고, 냉동창고, 출하장 및 생산실 내장재 일부가 파손됨

재해발생원인

• 유니트쿨러 코일 부분에서 발생한 핀홀에서 암모니아가 누출되어 폭발분위기 형성

- 유니트쿨러와 인접한 냉매 배관 보온을 위해 설치한 녹색비닐 테이프에 화염 흔적이 많은 것으로 볼 때 09:00분경부터 유니트쿨러 코일 부분에서 핀홀이 발생하여 4시간 동안 누출되어 밀폐구조인 급속동결실 내부가 폭발하한인 15%를 초과하여 폭발분위기 형성
  ※ 급속동결실 300m3에 암모니아가 누출되어 폭발하한(15%)이 되기 위한 누출량은 34.1kg

• 비방폭 전기 기계·기구 또는 기계적 마찰 스파크가 점화원으로 작용(추정)

- 가동 중인 유니트쿨러의 비방폭 전기 기계·기구인 전기구동 팬 모터, 온도센서, 인터록 등 센서류 또는 기계적 마찰 스파크가 점화원으로 작용

동종재해 예방대책

• 가스폭발위험장소 설정 및 관리 철저

- 암모니아를 개방된 공간이 아닌 장소에서 취급하는 경우에는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준으로 정하는 기준(KSC C IEC 60079-10-1 : 2012)에 따라 가스폭발 위험장소 구분도를 작성하고, 이에 따라 적정하게 관리하여야 함.

• 가스폭발위험장소에서 방폭성능의 전기 기계·기구 사용

- 암모니아 취급 장소 등 가스폭발위험장소에서 전기 기계·기구를 사용하는 경우에는 가스에 적합한 방폭성능을 가진 방폭구조 전기 기계·기구를 선정하여 시공하고, 정상적으로 그 성능이 유지되도록 적절하게 관리하여야 함.

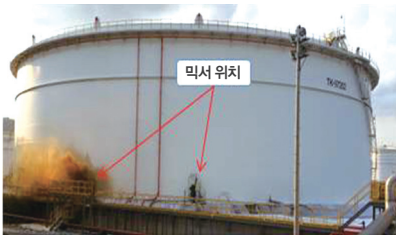
2. 중대산업사고 사례 (2014. 04. 04) KOSHA-MIA-201402

본 속보는 국내에서 발생한 중대산업사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

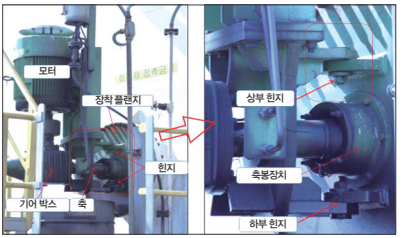
원유저장탱크 믹서 파손으로 인한 원유 대량누출

재해개요

2014년 4월 4일(금) 14시 50분경 울산시 소재 OOO(주) 부상지붕형 원유저장탱크(FRP : Floating Roof Tank)에서 탱크 동체 하부에 설치된 믹서 임펠러 날개깃이 파손됨에 따라 과진동이 발생하여 믹서의 지지부분(볼트)이 열결된 축봉부로 탱크 내부 원유가 대량 유출된 사고임



[사고발생 원유저장탱크]



[믹서 설치 및 고정상태]

재해발생과정

• **재해발생설비**

- 사고발생 탱크는 원유 운송선으로부터 원유를 받아 저장하면서 정제 공정인 CFU (Condensate Fractionation Unit : 초경질원유 분류공정)로 원유를 공급하기 위한 설비이며,
- 믹서는 탱크 동체 하부에 3기가 설치되어 있으며, 저장 또는 입고시 원유가 비중 차이에 의해 층분리가 일어나지 않도록 혼합해 주는 용도이며, 사고발생 믹서는 3기 중 중간에 설치된 믹서임

• **재해발생과정**

- 12:00분경 믹서 3기 가동 후 14:30분경 원유선으로부터 탱크로 입고 시작
  ※ 믹서 가동은 운전원이 믹서 옆에 설치된 스위치로 가동하며 이상음 및 진동은 없었음
- 14:50분경 탱크지역 가스감지기 경보가 발생하여 15:00 현장에 도착하여 대응조치 실시
  ※ 인근지역 신설탱크 작업 중 화기작업 중지 및 대피 지시, 방유제 우수 배출용 밸브 차단 확인, 믹서 가동 중단
- 15:12분경 원유 입고 중단 후 사고탱크 내부 원유를 다른 탱크로 이송 시작

원유 유출 진행과정

① 임펠러 날개깃 표면 결함 존재 ⇨ ② 피로현상으로 표면 크랙의 생성 및 성장 ⇨ ③ 크랙이 성장하여 날개깃 파단(사고) ⇨ ④ 진동에 의한 과도한 응력으로 힌지 파손 ⇨ ⑤ 힌지 파손으로 모터부분 넘어짐 ⇨ ⑥ 모터 넘어짐 및 힌지 파손으로 축봉부 볼트가 파손되어 빠짐 ⇨ ⑦ 축봉부를 통해 탱크의 원유 유출

재해발생원인

• **설비제작 결함으로 인한 임펠러 날개깃 파손**

- 피로현상이 진행되기 위해서는 표면에 응력집중을 일으킬 수 있는 결함이 있을 가능성

• **임펠러 날개깃 파손에 대한 검토 미흡**

- 믹서의 효용성을 높이기 위해 회전형으로 설치하였으나, 임펠러 날개깃이 파손되는 경우 같은 문제가 발생할 때 작용하는 과도한 응력에 믹서의 주요구조부가 견딜 수 있는 지에 대한 기술검토가 미흡

동종재해 예방대책

• **설비 도입시 검사 강화**

- 피로파단을 초래하는 균열의 시작은 노치(Notch)나 개재물과 같은 응력집중점에서 발생하는데, 대부분 금속표면에서 시작되므로 설비 도입시 이에 대한 결함 여부 확인이 필요

• **진동스위치 설치 및 힌지부 보강**

- 점검시 이상음 확인, 손 또는 청음봉으로 진동을 확인하는 등의 점검 보다는 진동스위치를 설치하여 이상 진동시 믹서구동 전원을 차단하도록 하고
- 힌지부의 베어링 머리부가 파단될 경우 믹서가 이탈될 수 있으므로 힌지와 결속방식을 강도가 높은 고장력 볼트 등으로 견고히 체결하는 것이 필요

3. 중대산업사고 사례 (2014. 04. 09) KOSHA-MIA-201403

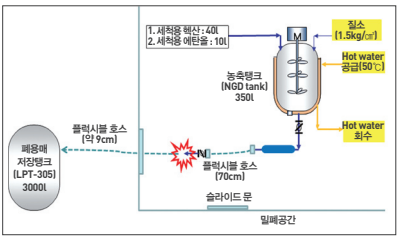
본 속보는 국내에서 발생한 중대산업사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

농축탱크 헥산혼합액 누출에 의한 폭발사고

재해개요

2014년 4월 9일(수) 10시 50분경 전북 익산시 소재 (주)OOOOO 익산공장 내 건강기능성 식품 생산공정에서 제품 농축탱크의 하부배관으로 헥산과 에탄올 혼합물이 누출된 상태에서 원인 미상의 점화원에 의해 폭발이 발생한 재해임

[사고발생 공정동 전경]



[폐액 이송시 누출지점]

재해발생과정

• **재해발생공정**

원유투입 및 용해 공정 ▶ 혼합공정 ▶ 농축공정 ▶ 필터링 ▶ 포장 ▶ 세척공정

※ **공정설명** : ① 분말 원료를 용매(헥산+에탄올)로 용해 ⇨ ② 식물성 기름을 투입하여 혼합 ⇨ ③ 농축탱크에 투입하여 50℃, 48시간 동안 농축(헥산 5ppm 이하까지) ⇨ ④ 150mesh로 필터링 ⇨ ⑤ 포장 ⇨ ⑥ 세척

※ **사고발생공정** : 제품이 완료된 후 헥산과 에탄올의 혼합액으로 농축탱크를 50℃에서 1시간 동안 교반하여 세척한 다음 헥산과 에탄올 혼합액을 질소 가압으로 플렉시블 호스를 이용하여 폐액탱크로 이송

• 재해발생과정

- 세척공정은 3인 1조로 농축탱크로 음압을 걸어 헥산과 에탄올 혼합액을 투입하여 교반하면서 50℃로 승온하여 약 1시간 정도 실시하고 있었음.
- 폭발 직전에 작업자는 휴게실, 화장실, 포장실에 있었으며, 포장실에 있었던 작업자는 투시창으로 바닥에 액체가 고여 있고 증기가 피어오르는 것을 보고 대피하는 도중 폭발이 발생하였음.

재해발생원인

• 농축탱크 드레인 배관 차단밸브가 열려 혼합액이 작업장으로 누출되어 폭발분위기 형성

- 농축탱크 세척 후 폐액은 폐액탱크로 이송하는데 농축탱크 하부 드레인 밸브가 열려 있고, 플레시블 호스와 폐액탱크가 연결되어 있지 않아 농축탱크 내부 혼합액이 모두 작업장으로 누출되어 폭발분위기 형성

• 농축탱크 폐액 이송 시 플렉시블 호스를 폐액탱크와 연결하는 안전작업절차 미준수

- 세척작업이 끝나고 폐액탱크 이송시 플렉시블 호스연결 후 질소가압을 실시하도록 되어 있으나 플렉시블 호스를 연결하지 않는 등 작업절차를 준수하지 않음

• 비방폭 전기 기계·기구 또는 기계적 마찰 스파크가 점화원으로 작용

- 실내에 설치된 농축탱크 자켓 온도유지를 위한 제어반은 비방폭 제품으로 내부 전기 스파크가 점화원으로 작용

동종재해 예방대책

• 인화성 액체 취급시 누출방지조치 실시

- 화학설비 또는 배관에서 위험물질이 누출되어 화재·폭발 또는 누출을 방지하기 위해 호스연결을 견고히 한 후 확인하는 등 누출되지 않도록 적절한 조치를 하여야 함.

• 세척작업 안전운전절차 작성 및 준수

- 세척작업시 밸브 개폐 순서에 대한 정확한 시점을 구체적으로 작성하고 준수하여야 함

• 가스폭발위험장소에서 방폭성능의 전기 기계·기구 사용

- 인화성 액체 취급 장소 등 폭발위험장소에서 전기 기계·기구를 사용하는 경우에는 가스에 적합한 방폭성능을 가진 방폭구조 전기 기계·기구를 선정하여 시공하고, 정상적으로 그 성능이 유지되도록 적절하게 관리하여야 함.

4. 중대산업사고 사례 (2014. 04. 15) KOSHA-MIA-201404

본 속보는 국내에서 발생한 중대산업사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

폴리우레탄 접착제 제조공정 반응폭주로 인한 화재·폭발

재해개요

2014년 4월 15일(화) 10시 27분경 경기도 안산시 소재 OOOOO(주) 공장 2층 내 폴리우레탄 접착제 반응기(3톤)에서 반응온도 제어 실패로 인한 반응폭주가 발생하여 인화성 물질이 작업장 내로 분출되어 폭발분위기를 형성하였고, 전기적 점화원에 의해 폭발이 발생한 재해임

[소실된 공장 2층 작업장]

[반응기 제어반(10톤 반응기 제어반이 점화원 작용)]

재해발생과정

• **재해발생공정**

원유투입 ▶ 혼합 ▶ 반응 ▶ 소분 ▶ 포장 ▶ 출하

※ 폴리우레탄 접착제 수지 생산과정 : ① 폴리올(액상), 글리콜1(고상), 글리콜2(상온 고상), MEK를 투입 ⇨ ② 약 30분 동안 50℃까지 스팀으로 승온 ⇨ ③ MDI(원료이면서 반응개시제) 투입 ⇨ ④ 15분 동안 72℃까지 승온 ⇨ ⑤ 촉매 투입 후 2시간 반응

※ 스팀과 냉각수로 온도조절하며, MEK, MDI, Toluene 등을 투입하여 물성을 맞추고, 반응종결제 투입 후 냉각하여 반응 종결

• **재해발생과정**

- 09:00분경부터 재해자는 반응기에 원료 투입 30분 후 50℃까지 스팀으로 승온한 다음 MDI(원료겸 반응개시제)를 기준량 이상을 투입하고 자리를 비움
- 10:23분경 스팀헤드 밸브를 잠근 다음 반응기 맨홀에 촉매 투입 후 1분이 지나 반응 폭주로 반응물(인화성 물질)이 반응기 맨홀을 통해 분출하여 작업장 내 폭발분위기 형성
- 10:27분경 전기적 점화원에 의해 폭발·화재가 발생하고 화염이 3층으로 전파되어 Pilot 반응기 하부 유기용제 등에 불이 옮겨 붙었으며, 폭발압력에 의해 공장동 건물이 파괴되고 반경 100m까지 건물 유리창이 파손됨

재해발생원인

• **반응기 수동운전으로 인한 반응폭주 발생**

- 원료 및 반응개시제(MDI) 과다 투입 또는 정상운전온도 이상으로 운전 중인 상태에서 촉매 투입으로 반응폭주가 일어나 MEK 등 반응물이 비등하여 맨홀을 통하여 분출하여 작업장 내에 폭발분위기 형성

• **10톤 반응기용 제어반 방폭성능 저하로 인한 점화원 제공**

- 반응기로부터 5m 떨어진 10톤 반응기 제어반이 내압방폭구조이나 성능이 정상적으로 작동하지 않아 작업장 내 형성된 폭발분위기에서 점화원으로 작용

동종재해 예방대책

• **반응기 등 특수화학설비에 자동경보장치 및 긴급차단장치 설치**

- 특수화학설비 내부의 이상 상태를 조기에 파악하기 위한 자동경보장치를 설치하고,
- 이상 상태 발생에 따른 폭발·화재·누출을 방지하기 위한 원재료 공급 긴급차단, 제품 등의 방출, 불활성가스의 주입, 냉각용수 공급 등 필요한 장치를 하여야 함.

• **가스폭발 위험장소에서 사용하는 전기 기계·기구의 방폭성능 유지·관리 철저**

- 가스폭발 위험장소에서 전기 기계·기구를 사용할 경우 방폭성능을 가진 전기 기계·기구를 사용하고, 그 성능이 항상 정상적으로 작동할 수 있는 상태가 되도록 유지·관리하여야 함.

5. 중대산업사고 사례 (2014. 05. 08) KOSHA-MIA-201405

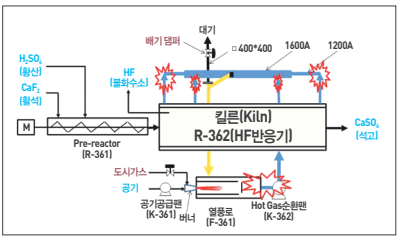
본 속보는 국내에서 발생한 중대산업사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

열풍로 가스폭발 사고

재해개요

2014년 5월 8일(목) 18:24분경 울산시 남구 소재 (주)OO 무수불산(HF) 생산 공정의 반응로(킬른)의 자켓에 열풍을 공급하는 열풍로의 도시가스 버너 초기 가동 중 열풍로 본체 및 관련 계통설비에 체류한 미연소 도시가스에 의한 폭발 사고가 발생한 재해임.

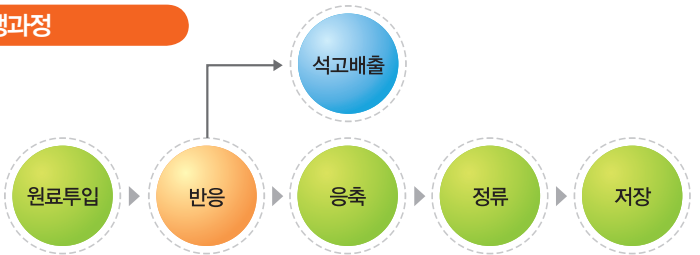
[사고발생 반응로(킬른)]



[사고발생 공정도]

재해발생과정

• 공정개요



- 열풍을 간접 가열방식의 가열로(킬른) 내부에서 건조형석(CaF_2)과 황산(H_2SO_4)을 반응시켜 불화수소(Crude HF)와 부산물인 석고($CaSO_4$)가 생산되며, 불화수소는 정제과정을 거쳐 무수불산(AHF)으로 생산되는 공정임.

• **재해발생과정**

- 14:44분경 배기댐퍼 수리 후 점화작업을 수행하였으나 공기와 가스비율이 맞지 않아 계속 점화가 안되어 버너 설치업체에 연락하여 도움을 요청하고 버너 점화작업 일시 중단
- 18:05분경 버너 설치업체와 버너 점화작업 진행하여 버너를 점화하였으나, 점화된 버너의 불꽃이 오랜지색이 되어 불완전연소 상태로 추정
- 18:23분경 점검창을 통해 버너 불꽃을 확인하고 부하조절 버튼으로 공기와 가스비를 조절
  ※ 버너의 공기와 가스비를 조절하면서 버너의 부하량을 증가시킨 것으로 추정되며 이 경우 미연소가스가 좀 더 많이 발생하게 됨
- 18:24분경 버너 운전을 조절하던 설비업체 담당자가 버너 정지버튼을 조작하는 동시에 폭발하여 공기조절 댐퍼가 비산되었으며 동시에 화염이 분출됨
  ※ 버너 정지버튼 조작과 폭발과는 관련성이 없음

재해발생원인

• **열풍로 버너 점화 전 내부 환기 미흡**

- 버너를 점화할 때 내부의 미연소가스를 사전에 환기시켜야 하나 설치된 열풍로 시스템은 환기가 진행되는 동안 내부의 가스가 외부로 배출되지 않고 내부 순환되는 구조로 실질적으로 환기가 이루어지지 않음

• **열풍로 구조 부적절**

- 위험물 건조설비인 열풍로에는 주변 상황을 고려하여 폭발시 생성되는 폭발압력을 안전하게 배출하기 위한 폭발구를 설치하여야 하나 설치되어 있지 않음

동종재해 예방대책

• **열풍로 버너 점화 전 내부 환기 철저**

- 열풍로의 버너를 점화할 때는 내부에 잔류한 가스에 의한 폭발을 방지하기 위해 내부 용적의 4배 이상으로 환기를 시켜야 함.

• **열풍로 구조 개선**

- 도시가스를 사용하는 위험물 건조설비인 열풍로에는 주변의 상황을 고려하여 폭발 발생시 생성되는 폭발압력을 안전하게 배출하기 위한 폭발구를 설치하고, 연소실 등을 환기시킬 수 있는 구조로 설치하여야 함.

6. 중대산업사고 사례 (2014. 05. 09) KOSHA-MIA-201406

본 속보는 국내에서 발생한 중대산업사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

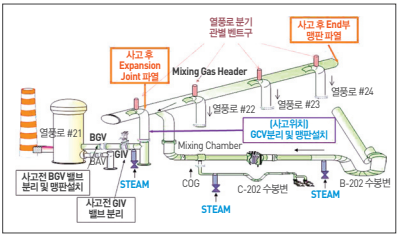
제선공장 열풍로 잔류가스에 의한 폭발

재해개요

2014년 5월 9일(금) 4시 45분경 경북 포항시 소재 (주)OOO 제선공장 2고로 개보수공사현장에서 열풍로 #21호기 정기보수(내화벽돌 교체 등) 사전작업으로 열풍로 연료인 Mixing Gas(BFG+COG)를 차단하기 위해 가스 인입측에 설치된 GCV(Gas Control Valve)를 분리하고 맹판설치를 위해 체결볼트 해체 작업 중 배관 내 잔류가스가 폭발한 재해임

※ BFG : Blast Furnace Gas, COG : Coke Oven Gas

[#21 열풍로 사고현장]



[사고배관 계통도 및 개략도]

재해발생과정

• 재해발생공정

- 열풍로는 열을 생산하여 고로에 공급하기 위한 설비로 고로에서 생성되는 BFG와 코크스 처리 과정에서 발생하는 COG가 혼합된 Mixing Gas를 연료로 사용하며, 열풍로 4기는 정상운전시 순차적으로 사용되며 약 1,300℃ 열풍을 생산하여 고로에 공급함
- 사고당시 4기의 열풍로 중 먼저 #21 열풍로를 정비보수(내화벽돌 교체 등)하기 위하여 ① Mixing Gas 공급을 일시 정지하고 ② #21 열풍로의 가스공급측 배관 내부를 스팀으로 퍼지한 뒤 ③ 열풍로 전단의 가스공급 배관에 대한 맹판을 설치하는 작업 중이었음

• **재해발생과정**

- 5.8(목) 가스공급배관에 대한 스팀퍼지, #21 열풍로 분기배관 벤트구 CO측정(2회), 각 라인 맹판 설치작업 실시
- 5.9(금) 02:30분경 협력업체에서 맹판설치 목적으로 GCV 플랜지 분리작업
- 02:30~04:55 에어드릴과 용접기 등을 이용하여 GCV 플렌지에 설치된 대분의 볼트 분리
- 04:55분경 마지막 볼트를 분리하기 위해 망치로 볼트를 가격하는 순간 배관 내부에서 폭발이 발생하고 설비파손(#21 열풍로 인입측 플렉시블 조인트 1개소 파열, 헤더배관 맹판 2개소 중 1개 과압으로 파열 및 비산, 헤더배관 일부 파열)

※ 헤더배관(Header 또는 Head Pipe) : 지관이 모여 구성된 대구경 배관이나 덕트

재해발생원인

• **Mixing Gas 공급배관 내부의 퍼지 불완전으로 배관 내 인화성 가스 체류**

- Mixing Gas 배관 내부를 퍼지함에 있어 사각지역이 있거나 충분한 시간 동안 퍼지가 이루어지지 않아 배관 내 Mixing Gas의 주성분인 인화성 가스가 체류됨

• **퍼지 후 배관 내부 잔존가스 확인 방법 부적정**

- 퍼지 후 배관 내부 잔류가스를 측정해야 함에도 배관 외부에서 측정하여 심각한 오류가 있었음
- 헤더배관에 4개의 벤트구가 설치되어 있음에도 #21 열풍구측 벤트구만 가스를 측정하여 헤더배관 전구간에서의 잔존가스 여부에 대한 검증을 제대로 하지 못했음

동종재해 예방대책

• **위험물 배관작업시 공정조건에 따른 적정한 배관 퍼지**

- 가연성 가스 배관 퍼지에 있어 배관의 형태에 따라 사각지역이 발생하지 않도록 적정한 위치에서 퍼지가스를 공급 및 배출이 이루어지도록 하여야 함

• **퍼지 후 배관 내부 잔존가스 확인 방법 개선**

- 퍼지 후 배관 내부의 가스에 대한 측정과 분석을 실시하고 모든 벤트구에서 측정하여 사각지대를 해소하여야 함
- 작업 중 배관계통 내부의 조건변화나 가스유입이 발생할 수 있으므로 주기적 또는 계속적으로 배관 내부의 가스농도를 측정하여야 함

7. 중대산업사고 사례 (2014. 05. 13) KOSHA-MIA-201407

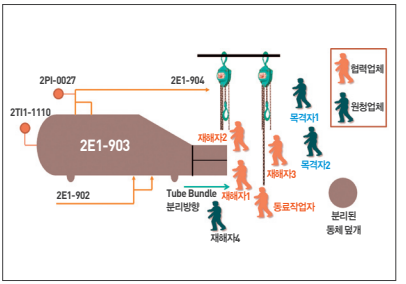
본 속보는 국내에서 발생한 중대산업사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

열교환기 세척작업 중 디클로로실란 누출로 인한 화재

재해개요

2014년 5월 13일(금) 15시 52분경 전남 여수시 소재 OOOOO(주)에서 열교환기(STC 증발기) 세척작업을 하기 위해 열교환기 튜브 다발을 동체에서 분리하는 과정에서 열교환기 동체 내부에 잔존하고 있는 가연물에 순간적으로 화재가 발생된 재해임.

[사고발생 열교환기]



[사고발생 상황]

재해발생과정

• 재해발생공정

Metal Silicon → TCS합성 → 고도정제 → 증착 → 폐가스 회수

- MG-Si(Metal Silicon, 99%)를 원료로 태양광발전의 소재인 고순도 Poly-silicon (99.99999999%)을 생산하며 TCS 합성, 고도정제, 화학증기증착(CVD), 폐가스 회수 등의 공정으로 구성되어 있음.

※ TCS : Trichloro Silane, CVD : Chemical Vapor Deposition

• **재해발생과정**

- 04:03분경 STC(Silicon TetraChloride) 증발기를 질소를 이용하여 연속퍼지
- 09:00~12:00 STC 증발기(열교환기) 분해작업 준비 및 증발기 인입·배출라인 맹판 설치
- 13:00분경 연속 퍼지하는 질소의 유량을 최소화 한 후 15:00까지 STC 증발기의 동체 덮개 분리
- 15:00~15:30 휴식 및 STC 증발기 튜브 다발(bundle) 분리작업 준비
- 15:30~15:52 튜브 다발을 동체로부터 60cm 정도 분리
- 15:52분경 튜브 다발 하부에서 불꽃이 튀면서 화재 발생 후 옥내소화전으로 자체 진화

※ 온도지시계에 의하면 동체 내부의 온도가 65℃에서 상승하기 시작하여 15:57경에 165℃까지 상승한 후 서서히 내려감

재해발생원인

• **열교환기 내부에 잔존 DCS가 대기 중 공기와 접촉하여 자연발화된 후 금속화재 발생**

- STC 증발기 동체를 수소와 질소를 이용하여 퍼지를 실시하였으나 발화점 이상의 온도로 튜브 외면에 부착된 금속 분말 내부에 잔존하고 있는 DCS(Dichlorosilane)가 충분히 제거되지 않은 상태에서 외부에서 공급된 공기(산소)에 의해 자연발화된 후 금속분말로 확대되어 금속화재가 발생함

※ 가연물 : STC 증발기의 튜브 외면에 부착된 금속분말(Si 등),
점화원 : DCS의 자연발화, 산소 : 공기 중의 산소

동종재해 예방대책

• **동체 덮개 분리작업 시기 재검토**

- 맹판설치 및 단관제거 후 동체 덮개를 제거하기 전 드레인 밸브를 개방하여 흄 존재를 확인하고 동체측 온도가 DCS의 발화점 이하가 될 때 까지 냉각한 후 덮개를 분리해야 함

• **열교환기 퍼지 방법 개선**

- 열교환기 개폐작업 전에 소수와 질소로 충분히 퍼지를 실시한 후 일정온도 이하에서 추가로 물로 퍼지하여 위험물이나 화재위험요소를 완전히 제거하는 것이 바람직함.

8. 화학사고 사례 (2014. 11. 23) KOSHA-MIA-201408

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

반도체 코팅액 제조공정에서 필터 수세척작업 중 화재

재해개요

2014년 11월 22일(토) 14시 13분경 대전광역시 대덕구 소재 (주)○○○○ 반도체 코팅액 제조공정의 1차 반응물 여과를 마친 필터를 수세척하는 과정에서 원인 미상의 점화원에 의해 화재가 발생된 재해임.

[필터 세척장 외부]

[세척장 내부 필터(3기) 및 여과카트리지]

재해발생과정

• **재해발생공정**

디이소프로필아미노실란 (DIPAS)

- 반도체 코팅액 생산 1차반응은 반응기(2㎥)에 펜탄 용매를 투입한 상태에서 트리클로로실란(TCS)과 디이소프로필아민(DIPA)을 소량씩 투입하면서 반응시킴(발열반응)
- 1차 반응 후 여과공정에서 사용한 필터를 이동하여 수세척하는 공정(제조공정과 별도의 건물)에서 사고 발생

• **재해발생과정**

- **(제조소)** ① 1차 반응 후 필터를 통과한 물질은 용제 회수공정으로 이송 ⇨ ② 필터에 초순수를 공급하여 폐수로 배출 ⇨ ③ 질소배관을 연결하여 버블링 후 인근 세척장으로 필터를 이동(지게차 이용)
- **(세척장)** ① 필터에서 여과카트리지를 꺼낸 후 여과카트리지 내 백필터(거름망)를 제거하여 비닐봉지에 담아 폐기물 처리 ⇨ ③ 필터 본체와 여과 카트리지는 솔을 이용하여 물세척 ⇨ ④ 아세톤으로 최종 세척 후 질소를 노즐로 분사하여 건조

[필터 내 여과 카트리지]

[여과 카트리지에서 제거된 백필터(세척장 외부)]

- **(사고발생)** 필터 세척작업 중 화재가 급격히 발생하였고, 20여분만에 진화됨

세척장은 천장에서 배기하여 스크러버로 배출하는 전체환기 설비가 설치됨

재해발생원인(추정)

• **인화성 액체에 의한 폭발분위기 형성**

- 필터 여과카트리지 백필터 내 슬러지(디이소프로필하이드로클로라이드)에 함유되어 있는 펜탄이나 1차 반응물 또는 미반응 원재료 등과 세척시 사용하는 아세톤이 세척실 내 국부적으로 폭발분위기를 형성한 상태에서, 백필터 제거 시 마찰이나 충격 또는 전기적 요인이 점화원으로 작용하여 화재가 일어나면서 세척실 내 전체로 급격히 확산되었을 가능성이 있음

• **세척작업장 환기 미흡**

- 펜탄, 아세톤 등 위험물질을 취급하는 세척장에 천장으로 배기되는 전체환기설비가 설치되어 있으나, 사고 당시 가동하지 않아 세척장 환기가 미흡하였음

동종재해 예방대책

• **물질의 특성을 감안한 작업절차 확립**

- 원료인 TCS와 1차 반응물 DIPACS는 금수성 물질로 물을 취급하지 않는 세척방법 등 세척작업 절차서 확립
- 1차 반응 완료여부 및 여과작업 후 필터에 위험물질 잔류여부에 대한 확인절차 강화
- TCS는 플라스틱과 반응하므로 TCS 취급 시 플라스틱을 사용하여서는 안됨

• **물질의 특성을 감안한 작업장 구조(방폭구조, 환기설비)**

- 세척실을 비롯한 TCS 등 위험물질을 취급하는 모든 건물은 방폭형의 전기기계기구를 설치하여야 하고, 접지 및 본딩을 만족하는 건물 구조로 설치하여야 함
- 용제류와 세척제, 미반응 물질 등은 공기보다 무거우므로, 세척작업 시 발생되는 유해물질이 잘 배출될 수 있도록 상부에서 급기되고 하부에서 배기되는 구조의 환기설비를 설치하여야 함

9 · 폭발사고 사례 (2015. 03. 17) KOSHA-MIA-201502

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

바닥방수재 배합공정 폭발사고

재해개요

2015년 3월 18일(수) 10시 08분경 충북 진천군 소재 ○○화학(주) 바닥방수제 생산 배합공정에서 점도조절을 목적으로 배합기(8m3)에 용제를 추가 투입하기 위해 용제저장조 상부에서 플라스틱 용기*를 사용하여 용제를 담는 작업을 하던 중 용제저장조 맨홀 부위에 폭발성분위기기가 형성된 상태에서 임의의 점화원에 의하여 폭발이 발생한 재해임.

* 중량추가 부착된 플라스틱 용기에 줄을 묶어 놓은 형태

[사고발생 현장]

[용제저장조 및 플라스틱 용기]

재해발생과정

• **재해발생공정**

원재료 입고 ▸ 배합 ▸ 점도조정 ▸ 출하

- 배합기에 RC(아스팔트+솔벤트), P-31(재생오일), 왕겨, 탄산칼슘 등의 원료를 투입 후 교반하여 점도(30℃: 21,000CPS)를 맞춘 후 제품을 출하

• **재해발생과정**

- 사고는 제품 배합완료 후 점도를 맞추기 위해 수작업으로 용제저장조 상부에서 플라스틱 용기를 사용하여 용제를 담는 작업 중 폭발이 발생

재해발생원인(추정)

• **인화성 액체에 의한 저장조의 기상부에 폭발분위기 형성**

- 용제저장조 상부의 맨홀을 개방한 상태에서 플라스틱 용기를 사용하여 용제를 담는 작업중 저장조 상부의 기상공간에 폭발분위기를 형성

• **비방폭 전기 기계·기구 또는 기계적 마찰 스파크, 정전기가 점화원으로 작용(추정)**

- 용제를 담기 위해 사용된 플라스틱 용기에 부착된 중량추로 인해 기계적 마찰 스파크, 플라스틱 용기에 인한 유동대전으로 발생한 정전기 등이 점화원으로 작용할 가능성이 있음

동종재해 예방대책

• **점도조절 시 솔벤트 투입작업방법 변경**

- 점도조절을 위한 용제투입방법을 플라스틱 용기를 사용하여 인력으로 작업하고 있어 인화성 액체의 증기에 의한 폭발 또는 화재를 예방하기 위해 솔벤트 투입방법을 침액배관(Dip pipe) 투입방식으로 개선

• **가스검지 및 경보장치 설치**

- 인화성액체의 증기나 가스에 의한 폭발분위기를 미리 감지하기 위하여 감스 검지 및 경보장치를 설치하여야 함

• **가스폭발위험장소 설정· 관리 및 환기조치 철저**

- 인화성액체를 취급하는 경우에는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준으로 정하는 기준(KS C 60079-10-1)에 따라 가스폭발 위험장소 구분도를 작성하고, 이에 따라 적정하게 관리하여야 하며, 저장조 내부에 폭발성분위기 제어를 위한 환기조치를 하여야 함

• **가스폭발위험장소에서 방폭성능의 전기 기계·기구 사용**

- 인화성액체의 취급장소 등 가스폭발위험장소에서 전기 기계·기구를 사용하는 경우에는 가스에 적합한 방폭성능을 가진 방폭구조 전기 기계·기구를 선정하여 시공하고, 정상적으로 그 성능이 유지되도록 적절하게 관리하여야 함

10 · 폭발사고 사례 (2015. 03. 17) KOSHA-MIA-201503

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

계면활성제 제조 반응기 폭발사고

재해개요

2015년 3월 17일 21시 55분경 여수시 소재 OO케미칼의 계면활성제 생산공정 내 반응기에서 반응열 제어 실패로 추정되는 폭주반응으로 반응기 폭발과 생산설비 파손이 발생하였음.

※ 폭주반응 : 반응속도가 지수 함수적으로 증대되어 반응용기 내부의 온도 및 압력이 비정상적으로 상승하여 반응이 과격하게 진행되는 현상

[사고공장 외부전경]

[사고발생 현장]

재해발생과정

• **재해발생공정**

- 산화에틸렌과 아민을 주원료로 사용하여 회분식 반응기에서 생산되며, 금속세정제 제조시 원료로 사용됨. 반응은 발열반응임

• **재해발생과정**

- 폭발은 아민 및 EO 투입 후 60 ℃까지 승온시키는 과정에서 폭주반응이 발생하여 반응기가 폭발함

재해발생원인(추정)

• **반응열 제어실패에 의한 폭주반응(추정)**

- 발열반응이 발생되는 반응기는 반응열 제어가 실패하는 경우 온도상승에 의한 폭주반응 발생 위험이 있으나 반응열 제어에 실패하여 폭주반응이 발생됨

• **변경관리 절차 미준수**

- 반응기에서 기존과 다른 원료사용 및 반응이 이루어지는 경우에는 변경관리 절차를 준수해야하나 변경관리 절차를 준수하지 않음

• **폭주반응 발생 가능 반응기에 파열판 미설치**

- 폭주반응 발생시에는 일시에 폭발적으로 증가하는 대용량의 물질을 외부로 방출기 위한 파열판을 설치하여 반응기 내부의 압력을 해소하여야 하나 미설치

동종재해 예방대책

• **반응열 제어방법 확보**

- 발열반응이 발생되는 반응기는 반응열을 효과적으로 제어하기 위한 냉각시스템(Jacket, Coil)을 설치하여 반응열을 제거하여야 함

• **변경관리 절차 준수**

- 반응기에서 기존과 다른 원료사용 및 반응이 이루어지는 경우에는 변경관리 절차를 준수하여함. 또한 변경시에는 변경에 따른 위험성을 체계적으로 검토하여 변경으로 인해 발생 가능한 위험을 제거하여야 함

• **폭주반응 발생 가능 반응기에 파열판 설치**

- 폭주반응 위험이 있는 반응기는 일시에 폭발적으로 증가하는 대용량의 물질을 외부로 방출하기 위한 파열판을 설치하여야 함

11 · 중대산업사고 사례 (2015. 04. 21) KOSHA-MIA-201504

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

경유 출하작업 중 화재사고

재해개요

2015년 4월 21일 15시 48분경 전남 여수시 여수산단 소재 OOO(주) 출하장에서 로딩암을 이용하여 경유를 탱크로리 상부로 주입하던 중 탱크로리 내부에서 화재가 발생한 재해임.

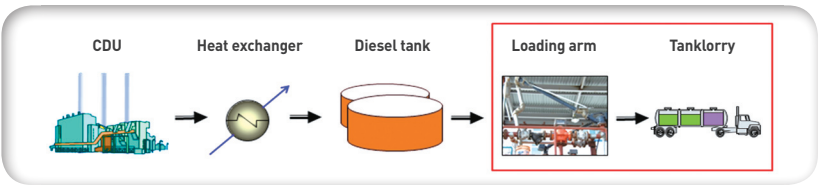
※ 탱크로리 운전자는 운송업무를 담당하는 협력업체 소속 직원임

[사고발생 상황도]

[사고발생 탱크로리 상부]

재해발생과정

• **재해발생공정**



- 원유를 CDU(Crude Distillation Unit)공정에서 비점 차이로 가솔린, 등유, 경유 등으로 분별증류 후 냉각하여 저장탱크에 보관하였다가 출하하는 공정임

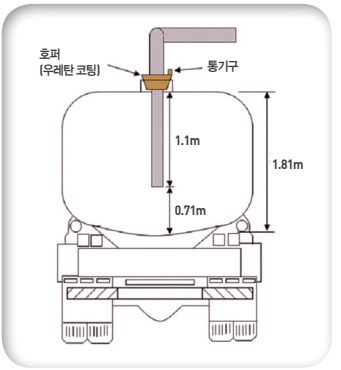
• 재해발생과정

- 접지 후 로딩암(Loading Arm)을 통하여 8개의 격실 중 4개 격실에 경유주입을 완료한 후 5번째 격실에 주입 시작 후 약 19초 경과 시점에서 화재가 발생함

재해발생원인(추정)

• 정전기 발생 억제 대책 미흡

- 경유를 탱크로리에 상부에서 주입 시 로딩암 끝부분이 탱크로리 바닥에서 0.71 m 이상 떨어지고 주입속도는 4 m/s임



• 경유의 출하 온도 부적정

- 경유의 인화점은 40 ℃ 이상으로 상온에서는 비교적 증기가 발생되기 어렵지만 출하 온도(37.6℃)가 인화점 부근일 경우 상온에서도 증기 발생이 쉬워 폭발범위를 형성할 수 있음

• 탱크로리와 로딩암 등전위 본딩 미흡

- 탱크로리 차체는 접지하였지만 로딩암과 탱크로리 사이의 방전을 예방하기 위한 등전위 본딩을 실시하지 않음

동종재해 예방대책

• 탱크로리 경유주입 방법 개선

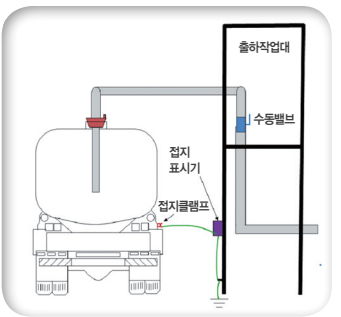
- 탱크로리 하부로 주입하거나, 상부 주입 시에는 로딩암 끝부분을 탱크로리 바닥 가까이 연장하고, 유속은 로딩암 끝부분이 액표면에 잠길 때까지 1 m/s 이하 유지

• 경유의 출하 온도 기준설정 및 준수

- 경유 출하온도 상한 기준을 제정하여 준수
  ※ 기존 경유 출하온도는 대부분 30 ℃ 이하에서 출하

• 탱크로리와 로딩암 등전위 본딩 방법 개선

- 로딩암으로 탱크로리에 경유를 주입 시 로딩암과 탱크로리를 직접 등전위 본딩하고, 접지를 실시하여야 함



12 · 중대산업사고 사례 (2015. 07. 03) KOSHA-MIA-201505

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

폐수 저장조 상부 배관 용접작업 중 폭발

재해개요

2015년 7월 3일 9시 16분경 울산시 남구 소재 OO케미칼(주) 폐수처리장의 폐수 및 악취제거 환경설비 개선공사를 위하여 고농도 폐수집수조 상부에서 폐수 이송배관 연결 작업을 하던 중 폐수집수조 내부에서 폭발이 발생한 재해임.
※ 폐수집수조 크기 : 가로 14.8 m x 세로 12.8 m x 높이 5.8 m, 내용적 800 ㎥

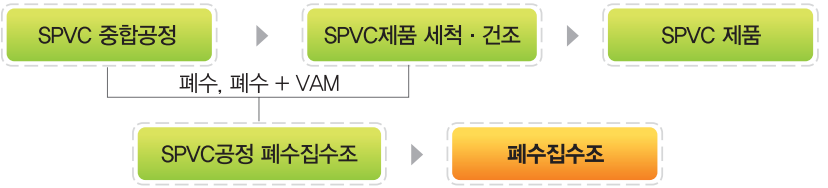
[사고발생 현장]

[사고발생 폐수 저장조 내부]

재해발생과정

• **재해발생공정**

- 폭발사고가 발생한 설비는 SPVC 공정으로부터 배출되는 VAM(Vinyl Acetate Monomer) 등의 고농도 복합폐수를 상온·상압 하에 저장한 후 생물학적 폐수처리 설비로 이송하는 폐수처리 집수조임



- **재해발생과정**
  - 폐수 집수조 상부에서 폐수를 응집제 반응조로 이송시키는 펌프의 토출측 배관에 대한 용접 및 그라인딩 작업 중 폐수 집수조 내부에서 폭발이 발생함

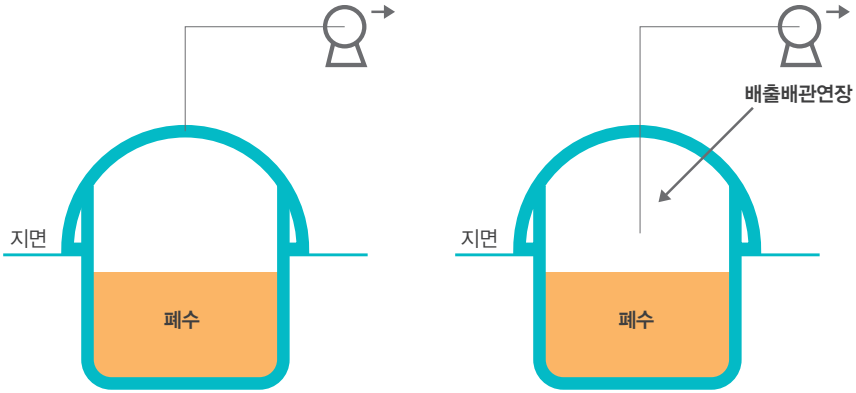
재해발생원인(추정)

- **폐수집수조 배풍기 미가동으로 인한 폭발분위기 형성**
  - 후단의 폭기조 공사로 인해 집수조 배풍기를 가동 중지함에 따라 집수조 내에 유입된 폐수에서 발생한 증기가 체류하여 내부 공간에 폭발 위험분위기 형성
- **고속절단기 및 핸드 그라인더에서 발생한 불티가 점화원으로 작용(추정)**
  - 고속절단기 또는 그라인딩 작업 중 발생한 불티가 집수조 교반기의 샤프트 부분 개구부 또는 철거된 배관 상부의 막음조치 불량으로 생긴 개구부로 인입되어 점원원으로 작용
- **변경요소관리 시 위험성평가 미흡**
  - 위험성평가 시 관련분야 전문가가 참여하지 않았으며, 사고당일 "작업 전 위험성평가"도 협력업체에서 작성함에 따라 충분한 위험성평가가 이루어지지 않음

동종재해 예방대책

- **폐수집수조 환기 실시를 통한 폭발분위기 방지**
  - 폐수집수조 내부에 인화성 액체의 증기, 인화성 가스 또는 독성가스의 축적·체류위험이 있는 경우 시간당 환기횟수가 12회 이상 가능한 배풍기를 설치하여 폭발분위기 생성을 방지하여야 함

    ※ 미국화재보험협회(NFPA) 820 : Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities



• 폐수집수조 폭발위험장소 관리

- 폭발위험이 있는 집수조는 내부에 인화성가스 감지기를 설치하여 경보 발생시 자동으로 저압스팀 등이 투입되도록 연동조치하고, 폭기조로 향하는 배풍기의 풍량을 증대시켜 집수조 내부에 폭발위험분위기가 형성되지 않도록 관리하여야 함

• 변경관리절차 및 안전작업허가 절차 강화

- 대형공사의 경우 작업구간별 또는 설비별로 구분하여 변경관리절차를 적용하고, 배풍기 가동중단 등 공정운전 변경사항 등에 대한 기술적인 검토를 상세히 수행하고, 화기작업 등에 대한 "안전작업허가 절차" 강화

13 · 중대산업사고 사례 (2015. 09. 02) KOSHA-MIA-201506

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례를 요약하여 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

플랜지 이탈에 의한 폐산 다량 누출

재해개요

2015년 9월 2일 10시경 경북 영천시 소재 OOO(주) 영천 작업장에서 폐산저장 탱크(10m3)의 액위계 밸브에서 1차 누출 발생 후, 누출된 폐산에 의해 액위계를 탱크와 고정한 플랜지 나사가 용해되면서 플랜지가 이탈되어, 폐산이 방유제 내부로 다량 누출되었으며, 방유제 하부 파손부위를 통해 외부로 누출이 확산됨

[사고발생 현장]

[대량 누출 후 발생한 흄 확산모습]

재해발생과정

- **재해발생공정**
  - 태양광용 판넬 소재인 폴리실리콘 증착용 막대의 세정작업을 수행하는 사업장으로, 세정공정에서 세정액(불산 및 질산 혼합물)을 사용하고, 사용한 폐액은 폐산저장 탱크에 저장하여 폐기물 업체에서 수거하는 공정임

• **재해발생과정**

- 폐산저장탱크의 수위계 하부 밸브에서 폐액이 미량 누출되는 것을 확인하여 방유제 내부 물분무 및 방유제 외부 모랫둑 쌓기 등 확산 방지 작업을 실시하였으나, 수위계 하부 밸브연결 플랜지 볼트가 완전부식·파손되면서 플랜지를 통해 폐산이 다량 누출됨

재해발생원인(추정)

• **일반탄소강 소재의 체결볼트 파손**

- 폐산저장탱크 수위계의 하부밸브 체결볼트가 SS400(일반탄소강)으로 질산 및 불산에 쉽게 부식되어 플랜지가 파손되면서 다량 누출

• **최초 부식 인지 후 조기 교체 및 비상조치 미흡**

- 불산(질산)의 특성상 부식성이 강하여 최초 누출 후 누출부위의 부식이 빠르게 진행되어 누출량이 급속히 증가하나 최초 부식을 인지한 후 조기 교체 및 비상조치가 이루어지지 않음

• **방유제 시공 불량**

- 위험물 저장탱크 방유제의 시공상태가 불량하여 개구부를 통해 외부로 누출됨

동종재해 예방대책

• **취급물질에 적합한 재질의 부품 선정**

- 부식성이 큰 질산(산류)을 취급하는 저장탱크의 밸브, 볼트부품 등은 PE 재질이나 STS316 등 내산성이 강한 재질로 선정·사용하여야 함

• **최초 누출 인지시 즉각 대응**

- 불산(질산)의 부식성물질의 취급시 최초 누출이 인지된 시점에서 즉시 누출원을 수리, 교체하여 대량의 누출사고가 없도록 하여야 함

• **방유제의 시공 및 점검 철저**

- 방유제의 시공 및 점검을 철저히 하여 위험물이 외부로 누출되지 않도록 하여야 함

14 · 중대산업사고 사례 (2015. 11. 16) KOSHA-MIA-201507

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례는 재해조사가 진행 중인 사안으로 동종재해 예방을 위하여 적시에 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

드레인(Drain) 밸브 용접이음부에서 무수불산 누출

재해개요

2015년 11월 16일(월) 00:47분경 울산시 남구 사평로 소재 ○○○○(주)에서 정기 정비작업 후 무수불산(40w%)과 노말파라핀(60w%) 혼합물로 공정 보충(Make-up)작업 중 반응기(LA-V3)와 열교환기(LA-E5) 사이 드레인(Drain) 배관(3/4")의 밸브 용접이음부에서 무수불산이 누출됨

[누출사고 발생 초기현장]

[사고발생 후 교체 드레인 배관(3/4")]

재해발생과정

- **재해발생설비**
  - 누출사고가 발생한 설비는 노말파라핀(n-Paraffin)과 벤젠을 원료로 하고 무수불산(HF)을 촉매로 사용하여 합성세제의 원료로 사용되는 연성알킬벤젠(LAB, Linear Alkyl-Benzene)을 제조하는 공정의 드레인 배관임
- **재해발생과정**
  - 연성알킬벤젠(Linear Alkyl-Benzene) 제조공정 정기보수(Turn Around) 후 재가동을

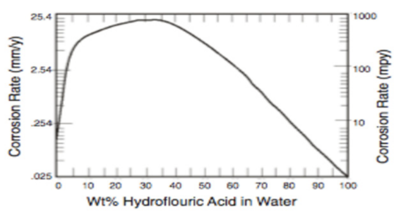
위해 저장탱크(V-2216)로부터 반응기(LA-V3)로 원료물질(n-Paraffin, n-Olefin, 무수불산 혼합물)을 투입작업 중 드레인 밸브 용접이음부에서 무수물산이 누출됨

재해발생원인(추정)

- **드레인 밸브 용접이음부 부식으로 인해 무수불산(HF) 누출**
  - 드레인 밸브(Socket Welding Type)와 배관 플랜지 연결 시 웰딩넥 플랜지(Welding Neck Flange)를 소켓(Socket)에 삽입 후 외부를 필렛타입(Fillet Type)으로 용접함으로써 내부의 유체가 웰딩넥 플랜지와 밸브 소켓부가 닿은 틈을 통해서 용접이음부와 쉽게 접촉하고 있어, 용접이음부에 핀홀(Pin Hole), 크랙(Crack) 등이 있는 경우 내부 유체가 쉽게 누출될 수 있음
- **드레인 배관 부식 및 이력 관리 미실시**
  - 주배관 연결 부위는 방사선 비파괴검사(RT, Radioactive Test)를 수행하여 건전성을 확인하고 있으나 드레인, 벤트 배관 등의 부식 및 이력 관리를 실시하고 있지 않음

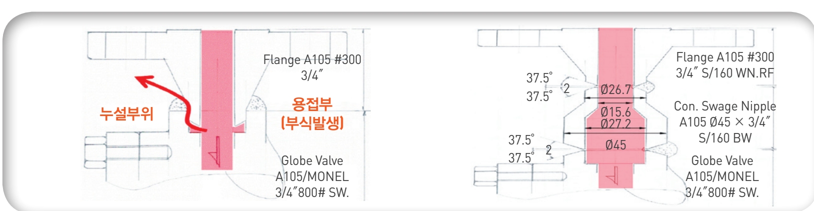
동종재해 예방대책

- **무수불산 취급배관 재질 교체 검토**
  - 카본스틸(Carbon Steel) 재질은 100% 무수불산에 적합하나, 물에 30~40%로 희석된 불산의 부식속도는 약 25mm/year 이므로 수분이 축적될 수 있는 곳에 사용되는 배관은 부식에 잘 견딜 수 있는 재질로 교체



[Jonathan D. Dobis, The Effects of operating Conditions on Corrosion in HF Alkylation Units]

- **드레인 배관 용접방법 개선 및 관리 철저**
  - 배관 플랜지와 밸브 사이에 배관 부속품인 니플(Nipple)을 사용하여 맞대기용접(Butt Welding)을 실시하고, 수분이 축적될 수 있는 독성물질 취급 드레인 배관 등은 비파괴검사 및 이력관리를 할 수 있도록 지침 보완



15 · 중대산업사고 사례 (2016. 01. 07) KOSHA-MIA-201601

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례는 재해조사가 진행 중인 사안으로 동종재해 예방을 위하여 적시에 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

폐수처리조(오존 접촉조) 내부 인화성증기 폭발 사고

재해개요

2016년 1월 7일(목) 10:00 시경 전북 완주군 봉동읍 소재 OOO(주)내 폐수처리조(오존 접촉조 : 90 m3)에 오존을 투입한 후 폐수에 잔류한 인화성액체의 증기(MIBK)가 전기적 점화원에 의해 폭발한 것으로 추정됨.

[오존 접촉조 건물]

[오존 접촉조 상부]

사고발생설비 및 물질

• **사고발생설비 : 오존 접촉조**

용량(m^3)	크기(m)	설계압력 (kg/㎠)	설계온도 (℃)	재질
90	7.2(L) × 2.5(W) × 5.0(H)	-	-	철근 콘크리트

• **사고원인물질 : MIBK(Methyl Isobutyl Ketone)**

CAS No.	인화점(℃)	폭발범위(%)	비점(℃)	액체 비중	증기 비중
108-10-1	14 ℃	1.4 ~ 7.5 %	116.5	0.8(물=1)	3.5(공기=1)

사고발생원인(추정)

• MIBK 체류 및 전기적 점화원에 의한 폭발

- 증발조에서 분리되지 않은 MIBK 및 기타 미처리된 인화성액체의 증기가 액중 오존의 에어 블로잉으로 공기와 폭발분위기를 형성한 상태에서 비방폭구조의 전기설비(마그네틱 플로트형 액위계)에 의해 점화되어 폭발한 것으로 추정됨.

• 증발조의 MIBK 제거능력 부족

- 증발조의 운전조건(80~83 ℃)은 MIBK의 116.5 ℃보다 낮아 MIBK를 중발시켜 제거할 수 없는 조건임.

• 오존 접촉조에 강제 벤트설비 미설치

- 오존 접촉조에는 증발조에서 제거되지 않은 MIBK 등이 유입되어 증기상태로 체류하고 있으나 오존 접촉조 외부로 배출시킬 수 있는 강제 벤트설비가 설치되어 있지 않음.

• 비방폭구조의 전기설비 사용

- 오존 접촉조 내부는 MIBK 등 인화성 액체의 증기가 존재할 수 있어 방폭구조의 전기설비로 설치해야 하나 비방폭구조의 전기설비를 사용함.

동종재해 예방대책

• 인화성액체 제거설비 개선

- 증발조의 잔류 폐수에 포함된 MIBK를 2차 증발 등에 의해 충분히 제거한 후 오존 접촉조로 유입되도록 인화성액체 제거설비를 개선하여야 함.

• 오존 접촉조에 강제 벤트설비 설치

- 오존 접촉조에 증발조에서 제거되지 않은 MIBK 등 인화성액체의 증기가 체류하지 않도록 강제 벤트설비를 설치하여야 함(강제 벤트 설치시 폐수의 수면 상부 10~15 cm까지 배출 배관을 연결하거나 구멍 뚫린 deep pipe를 설치하여 폐수의 수면 상부에 체류하고 있는 무거운 증기가 배출 될 수 있도록 설치)

• 방폭구조의 전기설비 사용

- 오존 접촉조 내부는 MIBK 등 인화성액체의 증기가 존재할 수 있으므로 오존 접촉조에 설치되는 전기설비는 방폭구조로 설치하여야 함.

• 운전조건, 폐수농도 등의 관리

- 증발조 등의 운전조건 및 각종 폐수에 포함된 인화성액체의 농도를 계기나 분석 등을 통한 철저한 관리가 필요함.

16 · 중대산업사고 사례 (2016. 01. 20) KOSHA-MIA-201602

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.
금번 발생한 사고사례는 재해조사가 진행 중인 사안으로 동종재해 예방을 위하여 적시에 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

○○○(주) 등유 누출에 의한 화재 사고

재해개요

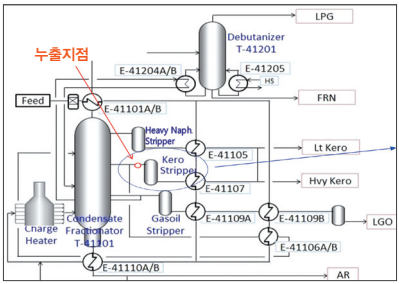
2016년 1월 20일(수) 12:14분경 울산광역시 소재 OOO(주) Condensate 원유 분리탑(Condensate Fractionator)에서 등유 스트리퍼(Kerosene Stripper)로 연결되는 배관(12인치)의 드레인(Drain) 배관 투시경(Sight Glass)에서 고온(218℃)의 등유(Kerosene)가 누출되어 화재가 발생한 재해임.

[CCTV 영상 자료(최초 점화)]

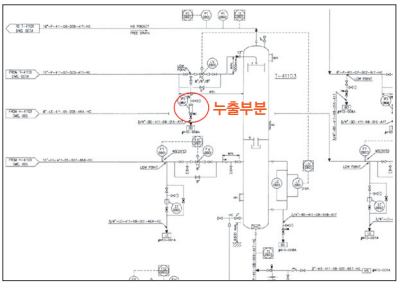
[CCTV 영상 자료(화재 확산)]

사고발생설공정

- **Condensate 원유를 증류하여 Naphtha, 등유, 경유 등을 생산하는 공정으로 원유분리탑(T-41101)에서 Fuel Gas, Naphtha, 등유, Gas Oil 등으로 분리되며, 등유 스트리퍼(T-41103)는 등유의 인화점 조정을 위한 스팀 스트리핑(Steam Stripping)을 실시하는 설비임.**



[사고발생공정]

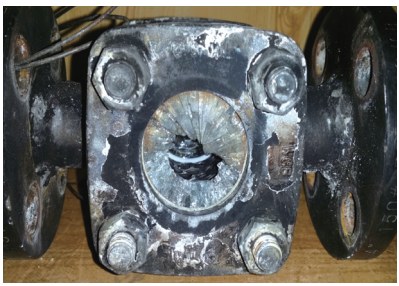


[등유 누출지점]

사고발생원인(추정)

- **가연물 :** 원유 분리탑에서 등유 스트리퍼로 연결되는 배관에 설치된 동파된 투시경을 통해 누출된 등유(발화점 : 229℃)
- **산소 :** 대기 중의 공기
- **점화원 :** 등유 누출지점(투시경) 하부에 설치된 Super heated steam(0.39 MPa, 305℃) 배관 등의 고온부위

동파된 투시경을 통해 누출된 등유가 대기 중의 공기와 폭발분위기를 형성한 상태에서 스팀 배관의 고온 부위에 의해 화재 발생



[동파로 파손된 투시경]

[운전중인 스팀 배관 온도]

동종재해 예방대책

• 드레인(Drain) 배관 차단밸브 상시 닫힘 상태 유지 및 Blind 이전설치

- 드레인 배관에 부착된 차단밸브는 상시 완전히 닫힌 상태를 유지하여야 하며, 투시창 후단에 설치된 Blind는 투시창 전단으로 이전설치하여 수분동결 등으로 인한 투시창 파손우려가 없도록 하여야 함.

권장사항 : 드레인 작업시 내용물 확인을 위해 설치된 투시창에 대한 필요성을 재검토하여 제거하는 것 검토

• 동절기 드레인 배관 동결 예방관리

- 동절기에 수분 등이 축적되어 동결 우려가 있는 드레인 배관은 주기적으로 점검을 실시하여 수분축적에 의한 동결 우려가 없도록 관리하여야 함.

17 · 회분기 반응기 사고사례 (2016. 01. 14) KOSHA-MIA-201603

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

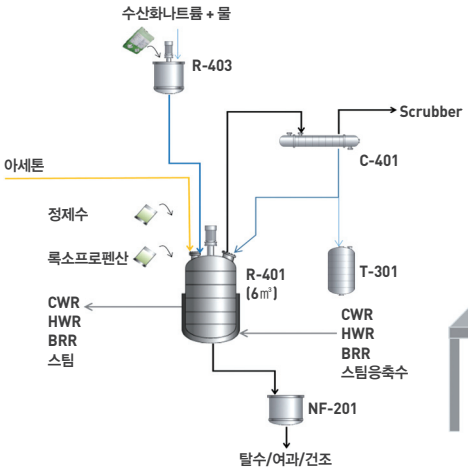
회분식 반응기에 원료 투입과정에서 화재·폭발

재해개요

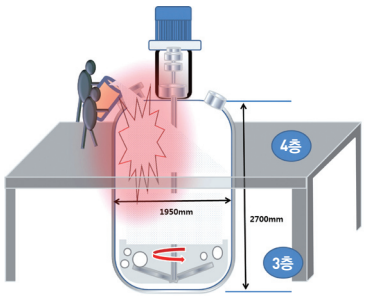
2016.01.14.(목) 22:40분경 충남 아산시 소재 ㈜OOOO 원료의약품 공장에서 분말상태의 록소프로펜산(Loxoprofen acid)을 아세톤과 정제수의 혼합물이 들어있는 반응기에 투입하는 과정에서 화재·폭발이 발생한 재해임.

사고발생공정 및 사고발생상황

- 반응기에 아세톤과 정제수를 투입하고 록소프로펜산(분말)을 맨홀을 통해 투입한 후, 수산화나트륨 수용액을 첨가하여 록소프로펜 나트륨을 생산하는 공정으로 사고는 록소프로펜산을 투입하는 과정에서 발생함



[사고발생공정]



[사고발생상황]

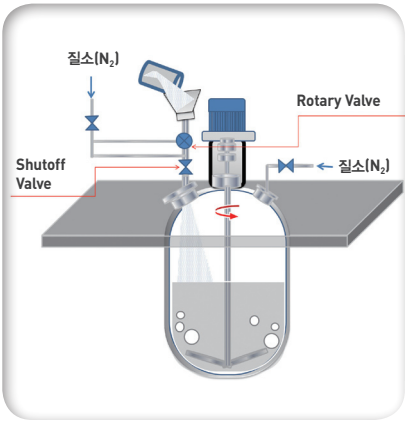
사고발생원인(추정)

- **가연물 :** 반응기 내부 혼합물을 교반하는 과정에서 발생한 아세톤 증기와 맨홀을 통해 반응기에 투입시 부유한 록소프로펜산 분진
- **산소 :** 대기 중의 공기
- **점화원 :** 인체 및 작업복 또는 비닐포장백에 대전된 정전기

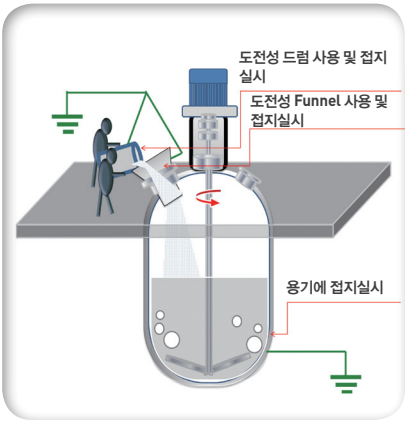
아세톤 증기와 부유상태의 록소프로펜산 분진이 대기중의 공기와 폭발분위기를 형성한 상태에서 인체 등의 정전기에 의해 화재 발생

동종재해 예방대책

- **폭발분위기 생성 방지**
  - 인화성 액체에 가연성 분체를 주입시 열린 상태의 주입을 삼가하고 질소 퍼지 등의 방법으로 완전한 불활성 분위기를 유지한 상태에서 주입작업 실시
- **정전지 대전 및 방전 방지**
  - 인화성 액체에 가연성 분체를 주입시 도전성을 가진 드럼(금속 용기, 실험으로 입증된 도전성 플라스틱 용기, 금속으로 라이닝된 용기 등) 및 주입용 도구[금속 Funnel(깔때기) 등]를 사용하고 모든 도전성 부분은 등전위 본딩(접지) 실시



[개선사례-1]



[개선사례-2]

18 · 회분기 반응기 사고사례 (2015. 03. 17) KOSHA-MIA-201604

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

온도제어 실패로 인한 반응폭주로 회분식 반응기 폭발

재해개요

2015년 3월 17일 21시 55분경 여수시 소재 OOOO(주)의 계면활성제 생산 공정 내 반응기에서 반응열 제어 실패로 추정되는 폭주반응으로 반응기 폭발과 생산설비 파손이 발생한 재해임.

사고발생공정 및 사고발생상황

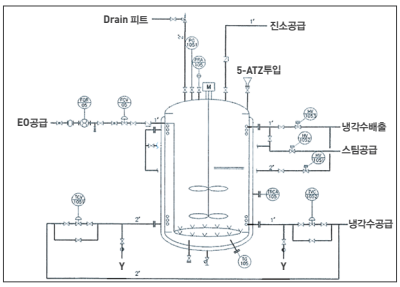
• **사고발생공정**

아민 투입 ▶ EO투입 (1차) ▶ 교반&승온 (사고발생) ▶ EO투입 (2,3차) ▶ 냉각 및 포장

- 산화에틸렌과 아민을 주원료로 사용하여 회분식 반응기에서 생산되며, 금속세정제 제조시 원료로 사용됨. 반응은 발열반응임.

• **사고발생상황**

- 폭발은 아민과 EO 투입 후 60 ℃까지 승온시키는 과정에서 폭주반응이 발생하여 반응기가 폭발함



[사고발생공정]

[폭발이 발생한 반응기]

사고발생원인(추정)

• 반응열 제어실패에 의한 폭주반응(추정)

- 발열반응이 발생되는 반응기는 반응열 제어가 실패하는 경우 온도상승에 의한 폭주반응 발생 위험이 있으나 반응열 제어에 실패하여 폭주반응이 발생됨

• 변경관리 절차 미준수

- 반응기에서 기존과 다른 원료사용 및 반응이 이루어지는 경우에는 변경관리 절차를 준수해야하나 변경관리 절차를 준수하지 않음

• 폭주반응 발생 가능 반응기에 파열판 미설치

- 폭주반응 발생시에는 일시에 폭발적으로 증가하는 대용량의 물질을 외부로 방출기 위한 파열판을 설치하여 반응기 내부의 압력을 해소하여야 하나 미설치

동종재해 예방대책

• 반응열 제어방법 확보

- 발열반응이 발생되는 반응기는 반응열을 효과적으로 제어하기 위한 냉각시스템(Jacket, Coil)을 설치하여 반응열을 제거하여야 함

• 변경관리 절차 준수

- 반응기에서 기존과 다른 원료사용 및 반응이 이루어지는 경우에는 변경관리 절차를 준수하여함. 또한 변경시에는 변경에 따른 위험성을 체계적으로 검토하여 변경으로 인해 발생 가능한 위험을 제거하여야 함

• 폭주반응 발생 가능 반응기에 파열판 설치

- 폭주반응 위험이 있는 반응기는 일시에 폭발적으로 증가하는 대용량의 물질을 외부로 방출하기 위한 파열판을 설치하여야 함

19 · 회분기 반응기 사고사례 (2015. 09. 04) KOSHA-MIA-201605

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

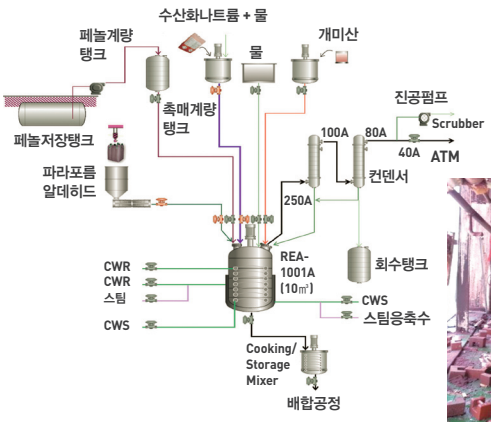
원료 투입 작업 오류로 인한 반응폭주로 회분식반응기 폭발

재해개요

2015. 9. 4.(금) 10:09분경 충북 청주시 소재 ㈜OOOO PF(페놀폼)단열재 제조공장에서 페놀수지와 파라포름알데히드를 중합반응(REA-1001, 10㎥) 중 촉매(수산화칼륨수용액)투입 작업 오류로 인하여 반응기내에서 폭주반응이 일어나면서 반응기가 폭발한 재해임.

사고발생공정 및 사고발생상황

- 페놀과 파라포름알데히드를 중합 반응시켜 얻은 페놀수지를 발포·양생·가공 과정을 거쳐 제품(PF)을 생산하는 공정으로,
- 촉매(KOH) 투입밸브의 고장으로 중합반응기에 촉매가 일시에 투입되어 급격한 반응 폭주가 발생함



[사고발생공정]

[폭발이 발생한 반응기]

사고발생원인(추정)

• 일시에 촉매 과다 투입

- 촉매(KOH) 투입밸브 고장으로 적정량의 촉매가 투입되지 않은 것을 확인 후 미투입된 촉매 수산화칼륨 수용액(80kg)을 반응 중 일시에 투입함으로써 폭주반응이 발생함.

• 폭주반응이 가능한 반응기에 파열판 미설치

- 반응폭주 등 급격한 압력 상승 우려가 있는 반응기의 과압방지대책으로 파열판을 설치하여야 하나 배출용량이 94kg/h에 불과한 안전밸브를 설치함. 사고당시 안전밸브가 작동하였음에도 과압을 해소하는데 부족하여 반응기 내압이 급속히 증가하면서 맨홀 볼트 Hinge부가 파손됨.

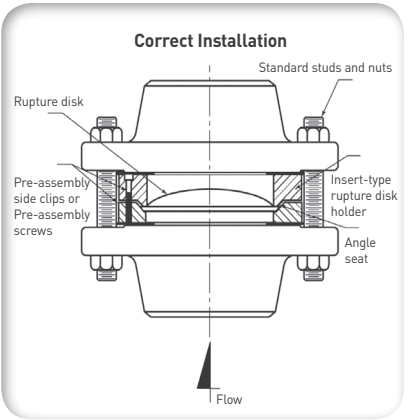
동종재해 예방대책

• 투입밸브 오조작 또는 온도상승시 반응기 정지 등 인터록 설치

- 원료 계량 및 투입 시 목표값과 상이 할 경우 반응절차가 이행되지 않도록 PLC의 Sequence program을 보완.
- 반응기 온도제어장치에 일정 이상의 온도상승이 발생하면 운전자의 개입 없이 즉시 열원차단 및 냉각수 공급, 반응중지제 투입, 긴급 배출밸브 등 자동화 시스템 구축.

• 반응기 과압 해소를 위한 적정 크기의 파열판 설치

- 반응폭주 등 급격한 압력 상승 우려가 있는 반응기에는 안전밸브가 아닌 적정 크기의 파열판을 설치하여야 함



[파열판]

20 · 회분기 반응기 사고사례 (2014. 08. 31) KOSHA-MIA-201606

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

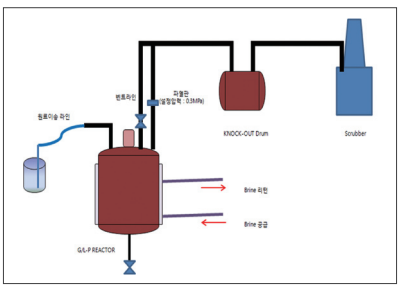
회분식반응기의 이상반응으로 초산증기 누출

재해개요

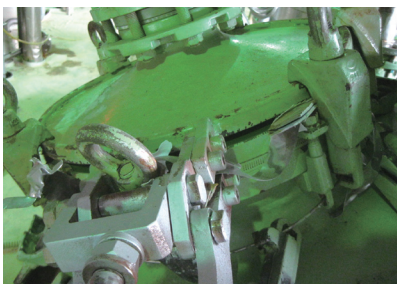
2014. 8. 31(일) 06:30분경 충남 홍성군 소재 ㈜OOOO의 NBBA(Nitro benzene boronic acid, OLED 전자재료) 생산공정 반응기에서 무수초산과 질산(68%)을 투입하여 반응하던 중 이상반응(발열반응)에 의한 과압이 발생하여 반응기 맨홀로 초산증기가 누출된 사고임

사고발생공정 및 사고발생상황

- 반응기에 무수초산을 투입 후 질산(68%)을 1시간 간격으로 반응기에 소분 투입하여 Acetyl Nitrate를 생산하고, Acetyl Nitrate에 PBA를 1시간 간격으로 반응기에 소분 투입하여 완제품인 NBBA(Nitro benzene boronic acid)를 생산하는 공정이며,
- 반응기에 마지막 질산투입시 반응기 내부온도(약 -2℃)도 적정하지 않은 상태에서 25kg 2통을 한번에 투입하면서 평소보다 높이 발열하였고, 이로인해 Acetyl Nitrate가 분해반응을 하면서 발생한 CO_2가스에 의해 파열판이 파열됨과 동시에 클램프가 체결되지 않은 맨홀부 가스캣 틈새로 CO_2가스 및 초산증기가 누출된 것으로 추정



[사고발생공정]


[파손된 맨홀 가스켓]

사고발생원인(추정)

• 안전운전절차서(SOP) 미준수

- 안전운전절차서상 반응기에 무수초산 및 질산(68%)의 투입량과 투입온도조건 등을 준수하며 작업을 수행하여야 하나 질산투입량 과다 및 반응기 내부온도 조건 미준수로 반응기의 반응폭주에 의해 CO2가스 및 초산증기가 누출됨

• 반응기의 반응폭주에 따른 누출방지조치 미흡

- 반응기의 누출방지를 위하여 맨홀부의 덮개는 클램프를 이용하여 견고히 고정하여야 하나 클램프를 체결하지 않고 4개의 클램프를 맨홀에 걸쳐만 놓아 반응폭주시 맨홀 가스캣 부위로 누출이 발생함
- NBBA 제조공정은 운전압력이 상압에서 운전하므로 벤트라인을 개방하여 반응시 생성되는 가스를 배출설비로 방출하여 처리하여야 하나 사고당시 벤트라인 밸브를 잠그고 작업을 실시하여 과압이 형성됨

동종재해 예방대책

• 안전운전절차서(SOP) 준수

- 안전운전절차서상 반응기의 투입량 및 투입온도 조건 등을 준수하여 발열반응을 제어하면서 작업을 수행하여야 함

  ※ 안전운전절차서 준수를 위하여 근로자 교육을 실시하고 작업일지상 투입회수별로 투입량 및 내부온도를 확인하여 작성할 수 있도록 조치

• 반응기 안전운전을 위한 안전조치 실시

- 반응기를 이용한 작업시 맨홀부는 누출방지를 위하여 항상 클램프를 이용하여 견고히 체결하여 누출부가 없도록 조치하여야 함
- 반응기의 상압운전시에는 벤트라인을 개방하여 과압이 발생하지 않도록 조치하여야 함

  ※ 반응기 설정온도를 초과시 근로자가 쉽게 인식할 수 있도록 경보장치 설치

21 · 중대산업사고 사례 (2016. 03. 15) KOSHA-MIA-201607

본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례는 재해조사가 진행 중인 사안으로 동종재해 예방을 위하여 적시에 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

반응기에 TPA 투입 중 폭발 사고

재해개요

2016.03.15(화) 16:50분경 경기도 연천군 소재 OOOO(주)에서 가소제[DOTP(Dioctyl TerePhthalate)]를 생산하기 위해 반응기에 옥탄올 투입 후 테레프탈산(TPA)를 투입하던 중 정전기에 의해 옥탄올 증기와 TPA 분진이 폭발한 재해임.

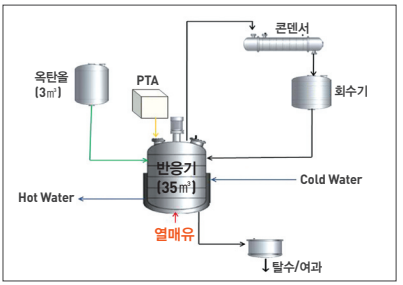
사고발생공정 및 사고발생상황

- 옥탄올과 TPA를 반응시켜 DOTP를 생산하는 공정(흡열반응)으로 옥탄올을 반응기에 투입한 후 TPA(가연성분진)를 톤백 하부를 열어서 맨홀을 통해 투입하는 과정에서 폭발이 발생함

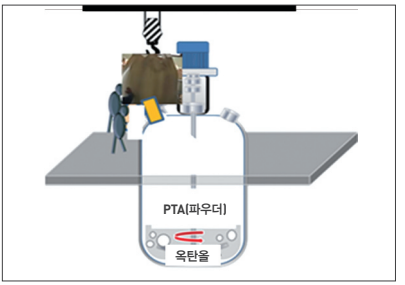
옥탄올(C8H18O) + 테레프탈산(TPA) → DOTP(Dioctyl TerePhthalate)

- 사고원인물질

물질명	폭발범위(%)	인화점(℃)	발화점(℃)	증기압 (mmHg)	점화에너지 (mJ)
옥탄올	2 ~ 30	73	253	20(@8.7℃)	1 미만
TPA	0.005(하한)	260	496	0.000092 (25℃)	210



[사고발생공정]



[사고발생상황]

[증기 발생(16:42:32)]

[점화 순간(16:48:12)]

[확산 순간(16:48:13)]

[화재 확산(16:48:13)]

사고발생원인(추정)

- **가연물 : 옥탄올 증기 + TPA 분진**

옥탄올의 증기압이 낮아 상온에서는 증기의 발생이 적으나 1 배치(Batch) 후 냉각과정 없이 고온의 반응기에 옥탄올을 투입하여 옥탄올 증기가 다량 발생 (맨홀을 통해 옥탄올 증기가 반응기 외부로 배출되는 것을 CCTV로 확인됨)

• **산소 :** 대기 중의 공기

• **점화원 :** TPA 분진의 마찰 등에 의해 발생한 정전기

☞ 반응기 내부의 옥탄올 증기와 부유상태의 TPA 분진이 대기중의 공기와 폭발분위기를 형성한 상태에서 TPA를 투입하는 과정에서 마찰 등에 의한 정전기에 의해 폭발이 발생이 발생한 후 반응기 외부로 확산됨

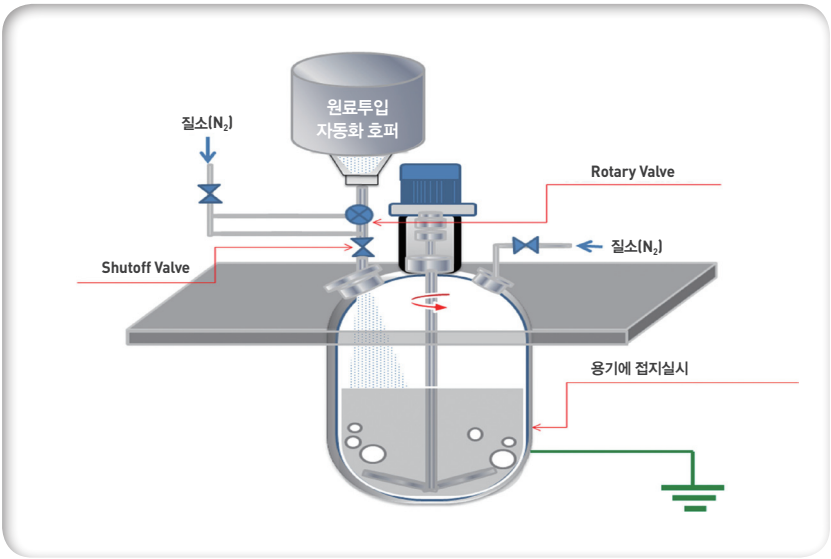
동종재해 예방대책

• **작업방법 개선**

- TPA 투입 자동화 설비 설치
- 반응완료 후 충분히 냉각된 상태에서 옥탄올 투입
- 질소에 의한 불활성분위기에서 반응기에 원료 투입

• **정전기 제거**

- 비도전성인 톤백을 이용한 TPA 투입은 금지하고, 도전성 섬유 또는 도전성 필라멘트로 만든 컨테이너를 접지 후 사용
- 도전상 바닥, 대전 방지용 안전화 착용, 개인용 접지장치 사용, 대전방지용 작업복 및 장갑 착용 등 인체의 정전기 축적 방지



[TPA 투입 방법]

22 · 불산 사고사례 (2012. 09. 27) KOSHA-MIA-201608

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

이송준비 작업 중 불화수소(무수불산) 누출

재해개요

2012년 9월 27일 경북 구미시 소재 (주)0000 언로딩 작업장에서 무수불산을 이동 탱크컨테이너에서 희석 유수불산(50%)을 생산하기 위해 희석설비로 이송 작업 준비 중에 이송밸브의 무수불산이 누출된 재해임.

[불화수소 확산 모습]

[탱크 컨테이너에 설치된 밸브]

사고발생공정 및 사고발생상황

- 사고발생 공정은 중국으로부터 생산된 무수불산을 이동 Tank Container로 수입하여 50, 55% 유수불산을 생산하는 공정임

- **사고원인물질 : 불화수소(무수불산)**

허용농도(TWA)	끓는점	인화성	증기압(@25℃)	분자량	독성물질
0.5ppm	19.51℃	해당없음	917 mmHg	20.01	LC50 0.79mg/l (1hr Rat)

* 불화수소(HF, Hydrogen Fluoride)는 상온, 상압에서 기체상태의 급성독성물질로 무색이지만 강하고 자극적인 냄새가 나며 기체상태의 불화수소를 가압·냉각시키면 액화되어 다량으로 운반·보관이 가능하며, 물에 녹인 수용액을 불산이라 함.

사고발생원인(추정)

• 손잡이를 쉽게 조작할 수 있는 밸브 설치

- 불화수소 이송용 50A 밸브와 불화수소를 같이 압송하기 위한 공기용 25A 밸브는 볼 밸브이며 조작 핸들은 레버(Lever)로서 작업자가 한손으로 레버를 젖히면 쉽게 열리는 구조의 밸브를 사용함

• 작업절차 미준수

- 무수불산 및 공기 배관의 맹판(Blind) 플랜지를 동시에 개방한 상태로 무수불산 밸브의 핸들을 발로 지지한 상태에서 공기 배관을 연결하던 중 무수불산 밸브가 작업자의 몸무게를 지탱하지 못하고 불시에 개방됨

• 개인보호구 미착용

- 독성물질인 불화수소를 취급하는 작업 시 보호복 및 호흡용 보호구, 내산성 안전 장갑 등 취급 물질에 맞게 적절한 보호구를 착용하지 않음

동종재해 예방대책

• 조작밸브의 형식 개선

- 볼 밸브(Ball valve)를 글로브밸브 또는 게이트 밸브로 교체
- 이중잠금밸브 구조로 개선 : 필요하다면 이송중의 오작동을 방지하기 위해 밸브 손잡이에 자물쇠 설치를 통한 임의 조작 방지.

• 작업절차 준수 철저

- 무수불산을 이송하기 위한 작업절차 준수 철저(무수불산 및 공기 배관의 맹판 플랜지를 동시에 개방한 상태로 공기 배관 연결작업 금지)

• 개인보호구 착용 철저

- 독성물질인 불화수소를 취급하는 작업 시 보호복 및 호흡용 보호구, 내산성 안전 장갑 등 적절한 보호구 착용 철저

23 · 불산 사고사례 (2014. 08. 24) KOSHA-MIA-201609

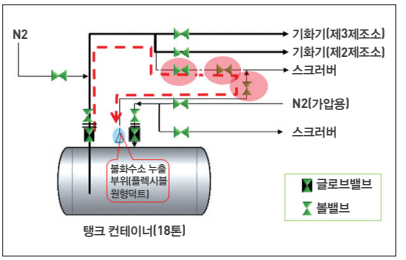
본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

이송작업 중 불화수소(무수불산) 누출

재해개요

2014. 8. 24(일) 충남 금산군 소재 0000(주) 반도체 식각액 생산공장의 불화수소(무수불산) 탱크 컨테이너 하역장에서 생산공장으로 불화수소를 이송하기 위하여 배관을 연결하고 탱크 컨테이너 상부밸브를 여는 순간 불화수소가 누출된 사고임

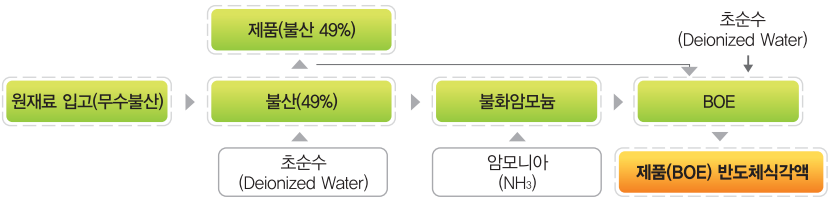
[탱크 컨테이너 하역장]



[불화수소 탱크 컨테이너]

사고발생공정 및 사고발생상황

- 불화수소(무수불산) 탱크 컨테이너에서 생산공정으로 이송하여 불산(49%)을 생산하고, 일부는 암모니아와 반응하여 불화암모늄을 생산한 후, 불산49%와 초순수를 추가하여 반도체 식각액을 생산하는 공정임



• **사고원인물질 : 불화수소(무수불산)**

허용농도(TWA)	끓는점	인화성	증기압(@25℃)	분자량	독성물질
0.5ppm	19.51℃	해당없음	917 mmHg	20.01	LC50 0.79mg/l (1hr Rat)

사고발생원인(추정)

• **작업절차 미준수**

- 불화수소를 이송시 스크러버로 배출되는 차단밸브는 닫힌 상태이어야 하나, 밸브 개폐 오조작상태에서 탱크 컨테이너 밸브를 개방하여 국소배기장치와 연결된 플렉시블 후드로 불화수소가 누출됨.

• **급성독성물질의 누출방지조치 미흡**

- 급성 독성물질(불화수소)이 외부로 방출된 경우에는 저장·포집 또는 처리설비를 설치하여 안전하게 회수할 수 있도록 하여야 하나, 누출물질이 대기로 확산되었으며, 저장·포집 또는 처리설비로써 스크러버 배풍기가 가동중이었으나, 처리용량이 부족하고 국소배기장치 배기성능이 미흡함.

• **긴급차단밸브 미설치**

- 불화수소(무수불산) 탱크 컨테이너 하역작업 시 위험물 누출 등 이상상태 발생 시 긴급히 원재료 공급을 차단할 수 있는 긴급차단밸브를 설치하여야 하나, 미설치되어 있음
- 누출사고 발생 시 탱크 컨테이너 하역장 외부에서 긴급히 차단할 수 있는 밸브가 없어 하역장 내부로 진입하여 밸브를 차단하게 되어 신속히 누출을 최소화하는데 어려움이 있었으며, 2차 인명피해 우려가 있었음

동종재해 예방대책

• **작업절차 준수 철저**

- 탱크 컨테이너 하역 작업에 대한 작업절차 준수 철저

• **급성독성물질의 누출방지조치 철저**

- 급성독성물질(불화수소) 취급설비 이상운전으로 급성 독성물질이 외부로 방출될 경우에는 안전하게 회수할 수 있도록 저장·포집 또는 처리설비를 충분한 용량으로 설치하고 하역장을 밀폐하여 누출된 불화수소가 작업장 외부로 확산되지 않도록 하여야 함.

• **긴급차단밸브 설치**

- 불화수소(무수불산) 취급공정에서 이상상태 발생 시 긴급히 불화수소 공급을 차단할 수 있도록 공급 주배관에 긴급차단밸브를 설치하되, 하역장 외부에서 원격조작이 가능하도록 하고, 가스감지기 동작 시 자동으로 연동되어 밸브차단 및 배출처리설비가 가동될 수 있는 구조로 설치하여야 함.

24 · 불산 사고사례 (2015. 11. 16) KOSHA-MIA-201610

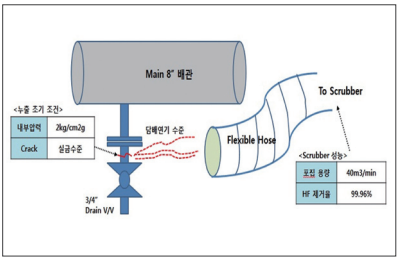
본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

용접이음부에서 무수불산(불화수소) 누출

재해개요

2015년 11월 16일(월) 울산시 남구 소재 0000(주)에서 정기보수 작업 후 무수불산(40w%) 및 노말파라핀등(60w%)의 혼합물로 공정 보충(Make-up) 작업 중 반응기와 열교환기 사이의 드레인(Drain) 배관(3/4")과 밸브의 용접 이음부에서 무수불산(불화수소)이 누출된 사고임.

[불화수소 누출 현장]



[불화수소 누출 상황]

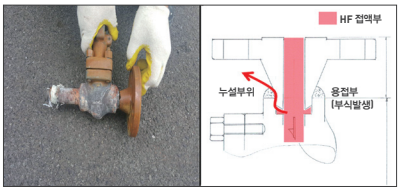
사고발생공정 및 사고발생상황

- 노르말 파라핀과 벤젠을 원료로 하고 무수불산(HF)을 촉매로 사용하여 합성세제의 원료인 연성알킬벤젠(Linear alkylbenzene)을 생산하는 공정으로, 사고는 정기보수 후 재가동을 위하여 저장탱크로부터 반응기로 원료물질(n-Praffin, n-Oleffin, 무수불산 혼합물)을 투입하는 과정에서 발생함

- **사고원인물질 : 불화수소(무수불산)**

허용농도(TWA)	끓는점	인화성	증기압(@25℃)	독성물질
0.5ppm	19.51℃	해당없음	917 mmHg	LC50 0.79mg/l (1hr Rat)

[사고가 발생한 드레인 배관(3/4")]



[불화수소 누출 부위]

사고발생원인(추정)

- **드레인 배관의 용접부의 부식으로 인한 누출**
  - 원료공급용 주 배관(8")과 드레인용 배관(3/4") 및 밸브, 플랜지 등 관 부속품의 재질은 탄소강(Carbon steel)으로 정상적인 조건에서는 무수불산 사용 분위기에 적합하나 수분 축적 등으로 무수불산이 희석되는 조건에서는 부식이 발생할 위험이 있으며, 용접부 불량이 있을 경우 부식은 더욱 촉진될 수 있음.
- **드레인 배관의 부식관리 미실시**
  - 급성독성물질을 취급 저장하는 설비의 연결부위는 누출이 될 수 없도록 밀착시키고 매월 1회 이상 연결부분에 이상이 있는지를 점검하여야 하나, 드레인 배관은 주 배관과는 다르게 관리대상에서 제외됨
- **배관부품에 대한 이력관리 미실시**
  - 드레인(Drain) 배관의 경우 크기가 작고, 검사가 어려운 점이 있어 육안검사 후 수시로 교체하고 있으나 이력관리가 되지 않아 예방 정비(PM : Preventive Maintenance)를 체계적으로 수행하기가 어려운 상태임.

동종재해 예방대책

- **드레인 배관의 재질 및 용접부의 개선**
  - 수분 축적 등으로 무수불산이 희석되는 조건에서는 부식이 발생할 위험이 있으므로 배관, 밸브, 플랜지 등에 사용되는 재질은 부식에 잘 견딜 수 있는 하스텔로이(Hasteloy) 또는 모넬(Monel)을 사용하고, 피팅류의 경우 내부 라이닝(Lining) 된 것 혹은 테프론 가스켓(Teflon Gasket) 사용을 권장함.
- **설비유지관리 지침에 드레인 배관 및 벤트 배관을 추가하여 관리**
  - 부식성 물질을 사용하는 드레인 배관 및 벤트 배관은 설비유지관리 지침에 추가하여 점검, 유지, 보수 항목을 추가하고 설비 등급에 따라 지속적인 관리가 필요함.
- **배관 부품에 대한 이력관리실시**
  - 배관 부품에 대한 이력을 철저히 관리하여 정해진 수명을 다한 부속품은 정해진 기간에 교체하는 예방정비(PM)와 정기보수 작업시에 점검 등으로 건전성을 수시로 확인하여야 함.

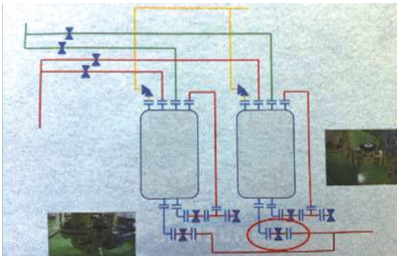
25 · 불산 사고사례 (2013. 01. 28) KOSHA-MIA-201611

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

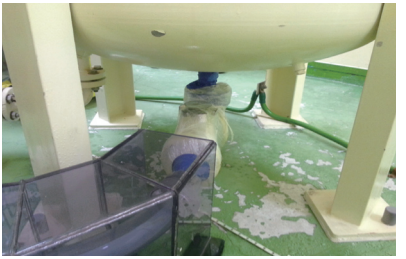
이송작업 중 불화수소(무수불산) 누출

재해개요

2013. 01. 28(월) OOOO(주) 케미컬 공급장소에서 50% 불산 탱크 하부 밸브 누출 방지조치 작업을 하던 협력업체 작업자 0명 및 보조 작업자 0명이 불산에서 발생한 증기에 노출된 재해임.



[불산공급설비 개략도]



[누출이 발생한 불산탱크 하부(밸브)]

사고발생공정 및 사고발생상황

- 누출이 발생한 불산은 반도체용 웨이퍼의 에칭공정 등에 주로 사용되는 물질로서 다음 과정을 거쳐 반입 및 사용된다.

탱크로리 ▸ 옥외탱크 ▸ 케미컬공급실 서비스탱크 ▸ 반도체 제조설비 ▸ 폐액탱크 ▸ 폐액폐기

사고공정

- 사고원인물질

물질명	노출기준TWA-C	LC 50	증기압(20℃)	증기밀도(공기=1)
불산 (49% 수용액)	3 ppm	0.79 mg/ℓ 1hr Rat	14 mmHg	0.7

※ 불화수소를 물에 녹여 만든 수용액으로 급성독성물질이자 부식성물질이다. 물의 함량이높을수록 증기압과 대기중의 증기농도도 낮아지므로 인체에 대한 흡입 위험성은 상대적으로 낮아지나, 흄이나 미스트상태로 누출될 경우 피부를 통한 흡수 위험성이 높아진다.

사고발생원인(추정)

• 불량한 가스켓 사용

- 불산 등을 취급하는 설비에 사용되는 차단밸브의 가스켓 및 밸브와 배관사이에 설치된 플랜지 가스켓이 불량한 상태에서 사용되어 밸브 몸체 등으로부터 누출이 발생함

• 정비보수시 안전작업절차 미준수

- 불산 누출감지기의 경보기능이 무시되었으며, 탱크내에 있는 불산을 사전에 완전히 비우지 않은 상태에서 보수작업을 실시하고, 밸브교체 후 누설시험을 실시하지 않는 등 안전작업절차가 불완전하거나 지켜지지 않음

• 급박한 위험에도 작업중지 미실시

- 급성 독성물질인 불산의 누출로 공급실내에 산업재해가 발생할 급박한 위험이 있었으나 불산 서비스탱크의 압력해소와 공정중단을 실시하지 않음

동종재해 예방대책

• 적정 가스켓 사용

- 불산 등 위험물을 취급하는 설비에 사용되는 차단밸브의 가스켓 및 밸브와 배관사이에 설치된 플랜지 가스켓은 불산 등의 누출을 예방할 수 있는 적정한 가스켓을 사용하여야 함

• 정비보수시 안전작업절차 준수 철저

- 불산 이송밸브 등의 교체작업시에는 탱크내에 있는 불산을 사전에 완전히 제거한 상태에서 보수작업을 실시하고, 밸브교체 후 누설시험을 실시하는 등 정비보수시 안전작업절차를 준수하여야 함

• 급박한 위험시 작업 중지

- 급성 독성물질인 불산의 누출로 불산 공급실내에 산업재해가 발생할 급박한 위험을 때에는 불산 서비스탱크의 압력해소와 공정중단을 실시하여야 함

• 화학설비의 예방정비 실시

- 불산 등 급성 독성물질을 취급하는 화학설비 및 그 부속설비(밸브 등)에 대해서는 예방정비를 통한 설비의 신뢰성을 확보하여 불산 등의 누출을 예방하여야 함

26 · 중대산업사고 사례 (2016. 06. 04) KOSHA-MIA-201612

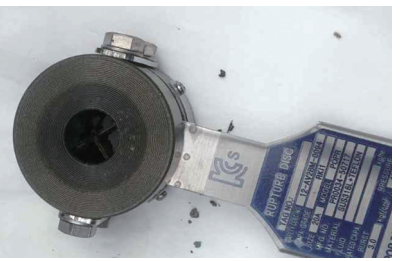
본 속보는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다. 금번 발생한 사고사례는 재해조사가 진행 중인 사안으로 동종재해 예방을 위하여 적시에 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

파열판 파열에 의한 불산 누출

재해개요

2016년 6월 4일(토) 충남 금산군 소재 0000(주)에서 식각액(불산 55%)을 탱크로리로 이송 중 필터하우징에 부착된 파열판이 파열되면서 식각액이 토출되어 불산 하역장내 비상 피트(Pit) 내로 유입되었으나, 이송펌프 고장으로 흘러 넘쳐 하역장 밖으로 흘러나와 옥외 트렌치(trench)로 누출된 사고임.

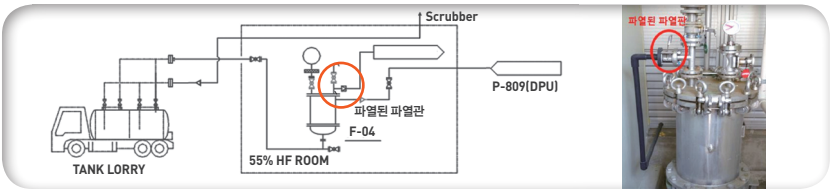
[파열판 배출 비상 피트(Pit)]



[파열된 파열판]

사고발생공정 및 사고발생상황

- 불산(55%)을 ISO 탱크를 통해 수입한 후 탱크로리로 로딩하여 사용업체에 공급하는 사업장으로 사고는 공기다이어프램 펌프를 이용하여 탱크로리로 이송하는 과정에서 발생함



• 사고원인물질

CAS. No	물질명	노출기준	증기압	비 고
7664-39-3	불산(55%)	TWA 0.5ppm(불화수소)	68mmHg(26℃)	-

사고발생원인(추정)

• **펌프의 과압에 의한 파열판 파열**
- 공기다이어프램 펌프 토출측의 필터하우징에 설치된 파열판이 펌프의 과압에 의해 파열된 것으로 추정
※ 현재 진행 중인 국과수의 파열판에 대한 정밀분석이 완료되어야 정확한 원인을 파악할 수 있음

• **파열판에서 방출된 불산이 안전하게 처리되지 않음**
- 과압에 의해 파열판에서 방출된 불산은 흡수, 중화 또는 회수 등으로 안전하게 처리하여야 하나, 비상 피트(Pit)를 넘쳐 하역장으로 흘러나옴

• **폐수처리장 이송 펌프 미작동**
- 피트 내부에 폐수처리장으로 보내는 수중펌프(Submerged pump)가 작동하지 않아 옥내 하역장에서 옥외 작업장 바닥으로 누출됨.
※ 주기적으로 비상 피트내 펌프 작동 여부를 확인하지 않아, 이송펌프가 유사시 작동되지 않았음.

동종재해 예방대책

• **펌프의 과압 방지**
- 공기다이어프램 펌프 토출측에 과압이 발생하지 않도록 차단밸브는 개방된 상태에서 운전하고 고압의 공기가 공급되지 않도록 철저한 관리가 필요
※ 현재 진행 중인 국과수의 파열판에 대한 정밀분석 후 추가적인 대책 강구

• **파열판에서 방출된 불산을 안전하게 처리**
- 과압에 의해 파열판에서 방출된 불산을 흡수, 중화 또는 회수 등으로 안전하게 처리할 수 있는 설비를 설치하여야 함

• **폐수처리장 이송 펌프 관리 철저**
- 피트 내부에 폐수처리장으로 보내는 수중펌프(Submerged pump)가 비상시 정상적으로 작동할 수 있도록 철저한 관리가 필요함

• **파열판 관리 철저**
- 파열판은 정상운전 중에도 쉽게 파열될 수 있고, 테프론 코팅의 손상에 의한 부식에 의해서도 파열될 수 있으므로 평상시에 철저한 관리가 필요함
※ 안전밸브의 재질 등을 고려하여 파열판과 안전밸브를 직렬로 설치하고 사이에 압력계를 설치하는 것 검토

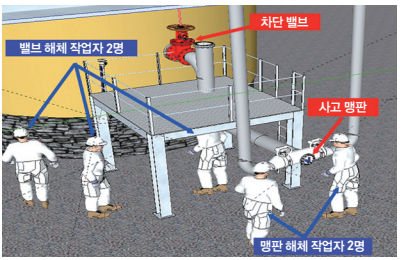
27 · 황산누출 사고사례 (2016. 06. 28) KOSHA-MIA-201613

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

정비보수작업 중 황산누출

재해개요

2016년 6월 28일(화) 09시 05분경 울산시 울주군 소재 OOOO㈜ 황산 제조 공정에서 정비보수 작업을 위해 최종 흡수탑의 순환배관(600A)에 설치된 맹판(300A)을 개방하는 순간, 흡수탑과 배관내부에 체류되어 있던 황산(약 98 wt%)이 쏟아지면서(약 39,000리터) 맹판 개방 근로자 0명이 사망하고 주변에서 작업하던 근로자 0명이 화상을 입은 재해임

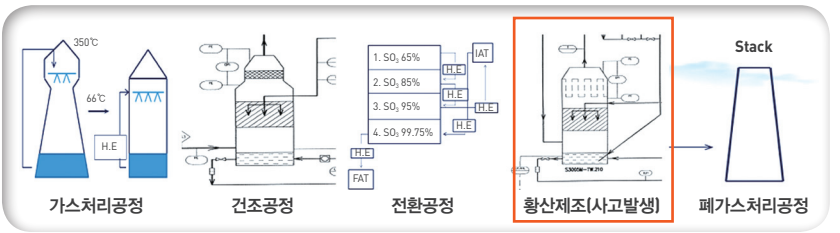


[사고발생상황]

[황산이 누출된 맹판]

사고발생설공정 및 물질

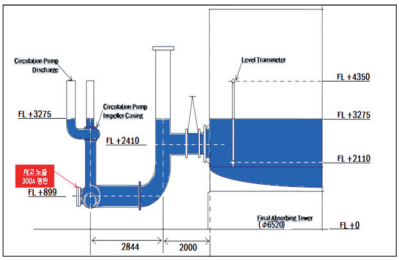
- 아연 제련 과정에서 발생한 이산화황으로부터 황산을 제조하는 공정



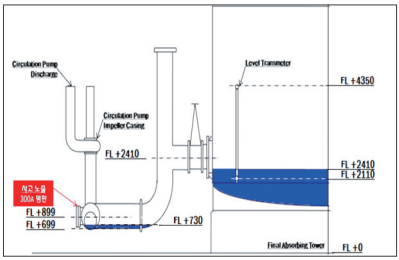
• 사고원인물질

물질명	CAS No.	함유량	제조사	증기압(kPa)	비중 (증기밀도)
황 산	7664-93-9	약 98 wt%	OOOO㈜	0.13 @ 146 ℃	1.8(3.4)

TWA (고용노동부/ ACGIH)	STEL (고용노동부/ ACGIH)	인화성	발암성	독 성	pH
0.2 / 1.0 mg/ m3	1.0 / 3.0 mg/ m3	해당없음	A2 (ACGIH)	LD50 2,140 mg/kg LC50 0.094 mg/ ℓ 4hr	< 1



[황산누출 직전 상태(최종흡수탑)]



[황산누출 후 상태(최종흡수탑)]

사고발생원인

• **작업 전 황산 미제거**

- 최종흡수탑, 순환배관 등 설비 내부에 체류되어 있던 황산을 제거하고, 누출 우려가 없는 것을 확인한 후에 맹판 개방을 하여야 하나, 설비 내부에 황산이 존재하고 있는 상태에서 맹판 개방 작업을 시작함

• **부적합한 안전작업허가 실시**

- 공정안전보고서 안전작업허가 지침에 의하면 「현장의 안전조치사항 확인 후 승인」, 「현장을 안전하게 할 책임」, 「보호구 착용상태를 확인 후 승인」의 부서별 의무가 명시되어 있으나 최종 흡수탑에 황산이 있고, 작업자가 내산 보호구를 착용하지 않은 상태에서 작업허가가 이루어짐

• **부적절한 작업계획서 작성**

- 작업계획서 자체가 공정, 물질, 혼재 작업 등에 대한 정보가 없는 하청업체에서 작성되고 원청업체에서 첨언하는 형태로 진행되면서 작업시의 위험성은 전혀 고려되지 않은 작업 계획이 수립되었고, 그 외 5회 이상의 실무자 회의가 진행되었으나 1순위, 2순위 등 모호한 용어를 사용하며 작업순서를 결정하게 되면서 상호간의 의사소통이 이루어지지 않았음

• **정비·보수 작업에 대한「작업 위험성평가」미실시**
- 정비·보수 등 작업 시에는 해당작업을 시작하기 전에「작업 위험성평가」를 실시하여 작업상의 위험요인을 최소화하고 작업자에게 유해·위험요인에 대한 내용을 알려주어야 하나,「작업 위험성평가」를 실시하지 않음

• **적절한 안전보호구 미지급**
- 맹판 개방 작업시, 고농도의 잔류 황산, 그리고 공기 중의 수분과 반응하여 발생하는 황산화물(급성독성물질)로 인한 위험이 있는 상태였음에도 불구하고 내산관련 보호구, 독성가스에 대비한 보호구는 전혀 지급되지 않았음

동종재해 예방대책

• **작업 전 설비 내부 위험물 제거 후 작업 실시**
- 정비·보수 작업 시 설비내부에 액체 등이 방출되어 근로자에게 위험을 미칠 우려가 있는 경우에는 작업 전에 미리 위험물을 방출, 세척, 치환 시키는 등 필요한 사전 안전조치를 실시한 후에 작업을 실시하여야함

• **안전작업허가 절차 철저 준수**
- 공정안전보고서 안전작업허가 지침에서 명시된 절차와 같이「작업 전 안전조치 상태 확인」,「작업자 보호구 착용상태 확인」등 부서별 임무를 충실히 수행 한 후에 안전작업 허가서가 발행 될 수 있도록 하여야 함

• **도급 시 안전보건 정보제공**
- 유해·위험 화학물질을 제조 또는 취급하는 설비 등에 대한 수리, 개조, 청소 등의 작업을 도급할 경우에 해당 작업에 대한 안전보건정보(물질의 유해?위험성, 작업상 주의사항, 도급인이 마련한 안전보건조치, 유출 등 사고발생시 긴급조치사항) 등을 작업시작 전까지 제공하는 등의 조치를 해야 하며, 제공한자는 제공된 정보에 따라 필요한 조치를 받고 있는지를 확인하여야 함

• **정비·보수 작업에 대한「작업 위험성평가」실시**
- 정비·보수 등 작업 시에는 해당 작업을 수행하기 전에「작업 위험성평가」를 실시하여 사전에 유해·위험요인을 최소화해야하고 작업자 교육을 통해서 유해·위험요인을 작업자가 사전에 인지 할 수 있도록 하여야함

• **작업에 적합한 안전보호구 지급 및 착용**
- 작업 시에는「작업의 위험성」,「취급하는 물질의 유해·위험성」등을 고려하여 물질에 적합한 안전보호구를 지급하여야 하며, 작업허가 시에는 작업자의 보호구 착용상태를 확인하고 승인 될 수 있도록 조치되어야함

28 · 폐액누출 사고사례 (2016. 06. 28) KOSHA-MIA-201614

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

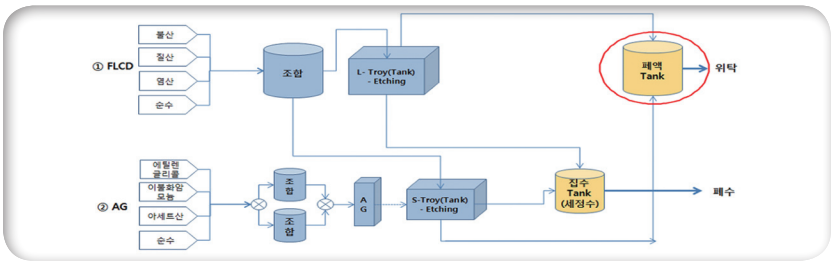
순환수(세정액) 혼입에 의한 폐액누출

재해개요

2016년 6월 28일(화) 02:34분경 경상북도 구미시 소재 (주)OOO 약품저장소 입구 폐산을 저장하는 폐액탱크(20㎥, PE 재질)에서 순환수(세정액) 혼입에 의한 희석열(또는 이상반응으로 인한 반응열)이 발생하여 탱크 내 폐산이 방유제로 유출된 사고임

사고발생설공정, 물질 및 설비

- FLCD : LCD 합착글라스에 부식성의 에칭액을 분사하여 얇은 형태로 식각하는 공정
- AG : Display Panel을 10~20 ㎛정도 깎아 내어 표면에서 반사되는 빛을 적게 해주는 공정



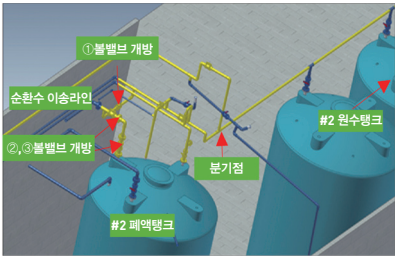
- 사고발생물질 : 폐액

물질명	CAS No.	함유량(%)	비고
불산	7664-39-3	3.0	TWA : 0.5ppm
질산	7697-37-2	8.0	TWA : 2ppm
염산	7647-01-0	0.2	TWA : 1ppm
이불화암모늄	1341-49-7	10.0	자료없음
에틸렌글리콜	107-21-1	18.0	STEL : C40ppm
아세트산	64-19-7	3.2	TWA : 10ppm
슬러지 및 물	-	57.6	-

• **사고발생설비 : 폐액탱크**

용량(m3)	ID(mm)	H(mm)	재질
20.0	2,900	3,500	HDPE

[폐액누출 CCTV 영상]



[순환수(세정액) 유입경로]

사고발생원인

• **서로 다른 물질의 접촉에 의한 이상반응 방지 조치 미흡**

- 서로 다른 물질이 접촉함으로 인해 반응할 위험이 있는 경우에는 접촉할 수 없도록 조치를 취하여야 하나 세정액 또는 순환수 등이 폐액탱크로 혼입될 수 있도록 배관 구성을 하는 등 접촉방지 조치를 실시하지 않음

• **폐액 저장탱크에 설치된 Level 센서 고장**

- 액위가 고액위일 때 경보음을 울려 운전자가 이상 상태를 조기 감지하고, 대응할 수 있도록 Level 센서가 설치되어 있으나 고장으로 인해 고액위를 감지하지 못함

동종재해 예방대책

• **반응성이 있는 서로 다른 물질의 접촉 방지조치 실시**

- 서로 다른 물질이 접촉할 수 없도록 서로 다른 약액은 분리하여 별도로 배관라인을 형성할 수 있도록 하고, 서로 반응할 수 있는 물질이 혼합되지 않도록 별도의 대책을 마련하여 야 함

• **저장탱크 Level 센서 수리 및 Overflow 라인 설치**

- 폐액 저장탱크 액위가 고액위일 때 조기에 대응할 수 있도록 경보음이 울리는 Level 센서는 고장 유무를 수시 확인하여 고장 발생 시 즉시 수리 등의 조치를 취하고,
- Level 센서가 작동되지 않은 경우에도 저장탱크에 Overflow 라인을 설치하여 내부 압력 해소는 물론 탱크로부터 넘치는 폐액을 Overflow 라인을 통하여 집수저장탱크 등으로 집액되도록 하여야 함

29. 수지용해 작업 중 사고사례 (2016. 05. 19) KOSHA-MIA-201615

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

수지용해 작업 중 화재

재해개요

2016년 5월 19일(목) 14시 30분경 경남 밀양시 소재 OOOO(주) 철도차량 내장재 원료(N-X 배합수지) 생산공정의 배합탱크(2층)에서 수지용해 작업 중 온도조절 실패로 메탄올 등 내용물이 끓어 넘쳤으며, 1층의 건조기 전원판넬 전기 점화원에 의해 점화되어 급격히 화재가 확산된 재해임.

사고발생설공정, 물질 및 설비

- **사고발생공정** : 액상의 메탄올과 페놀을 넣고 고체알갱이 형태의 나일론 수지를 배합탱크(4㎥)에 투입하고 탱크 자켓에 스팀을 공급하여 60℃로 승온한 상태에서 교반하면서 나일론수지를 용해시켜 철도차량 내장제로 쓰이는 중간 원료(N-X 배합수지)를 생산하는 공정임.

- **사고발생물질 : N-X 배합수지**

물질명 (CAS No.)		물질 상태	인화점	끓는점	함유량	1 BATCH 투입량
메탄올 (67-56-1)		액체	11℃	65℃	100%	1,800 kg
YG-210	RESIN (명시되지 않음)	고체 (알갱이)	해당없음	자료없음	95% 이상	360 kg
	CAPROLACTAM (105-60-2)				5% 이하	
페놀(108-95-2)		고체 (녹는점:43℃)	79℃	182℃	100%	500 kg

• **사고발생설비**

장치명	내용물	용량	운전압력 (MPa)	운전온도 (℃)	사용재질			계산두께 (mm)	사용두께 (mm)
					본체	부속품	개스킷		
ACO-MIX-TK-7104	T:RESIN	4㎥	ATM	60	STS304	STS304	PTFE	8	10
	J:STM		0.35	110	STS304	STS304	Aramid Fiber	3.7	5

[화재발생상황]

[배합탱크 및 벤트배관]

사고발생원인

• **배합탱크 온도조절용 스팀 제어밸브의 기계적 이상**

- 온도조절용 스팀 제어밸브의 동작은 배합용기에 취부된 온도계(RTD)에 의해 온도 신호를 받아 제어판넬 콘트롤러에 설정된 온도(60℃)가 될 경우 스팀 제어밸브가 자동으로 차단되는 자동온도조절 시스템으로 동작하고 있음.
- 화재발생 지역 주위에 설치된 제어판넬에서 온도조절용 콘트롤러 동작상태 확인결과 설정온도에서 정상적으로 신호가 발생하고 있는 점으로 미루어 보아 스팀 제어밸브의 기계적 동작이상으로 인한 스팀의 계속적인 공급이 온도제어 실패의 원인으로 추정함.

• **가스누출 감지 및 경보장치 미설치**

- 메탄올이 비점(65℃)이상 온도로 상승되어 메탄올 용액과 증기가 다량 누출되었으나, 누출을 조기에 감지하여 경보할 수 있는 가스누출감지 및 경보장치가 설치되지 않았음.

동종재해 예방대책

• **온도제어 시스템 개선**

- 배합탱크 운전판넬 온도제어기에 경보(ALARM) 기능을 추가하여 배합탱크 내부온도가 일정온도를 초과하는 온도조절 실패 시 경보를 발생함으로써 작업자에게 이상상태를 알릴 수 있도록 온도제어시스템(TICA)으로 개선하여 사용
- 배합탱크에는 현장에서 배합기 내부온도를 쉽게 확인할 수 있도록 온도게이지를 설치하여 사용하여야 함.

• **가스누출 감지 및 경보장치 설치**

- 메탄올이 바닥으로 누출되거나 설비에서 인화성증기가 누출되는 경우 조기에 감지하여 근로자에게 신속하게 알릴 수 있도록 가스누출 감지 및 경보설비를 설치하여야 함

30. 포스겐 누출 사고사례 (2016. 05. 27) KOSHA-MIA-201616

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

정비보수 작업 중 포스겐 누출

재해개요

'16.05.27.(금) 19:40경 전남 여수시 소재 0000(주) 포스겐 제조공정 Chamber 내에서 정비보수 작업을 위해 피재자가 송기마스크(전면형)를 착용하고 포스겐 벤트 배관에 설치된 맹판(Spectacle Blind) 교체작업(close→open 위치 변경)을 실시하던 중 작업대상 배관내부의 가압된 포스겐 가스가 플랜지 사이로 누출된 사고임.

사고발생설공정, 물질 및 설비

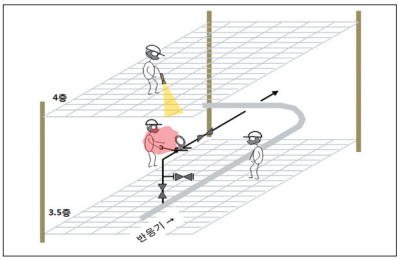
• **사고발생공정** : MDA와 포스겐을 MCB(Mono Chloro Benzene) 용제에서 반응시켜 MDI를 제조하는 공정

• **사고발생물질 : 포스겐(COCl2)**

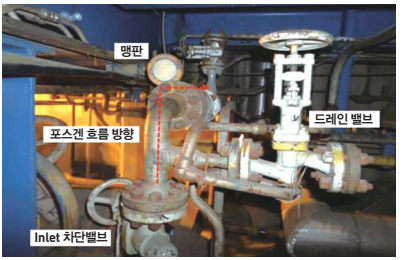
CAS No.	노출기준 (ppm)	증기압 (20℃, MPa)	흡입독성치 (LC50 ppm)	비중 (증기)	비고
75-44-5	TWA : 0.1 IDLH : 0.8 ERPG 2 : 0.2 ERPG 3 : 1	0.157	7.34/4시간(쥐) 20/30분(쥐) 1087/1분 (원숭이)	3.4	상온에서 기체 무색, 마른풀냄새, 취기한계 0.4~1.5 ppm

• **사고발생설비**

설비명	직경 (사이즈)	설계압력 (kg/㎠)	운전압력 (kg/㎠)	설계온도 (℃)	운전온도 (℃)	재질비고
맹판	2 인치	20	3.5	120	55	탄소강
맹판	2 인치	20	3.5	120	73	A352 LCC



[사고발생상황]



[누출이 발생한 맹판 및 차단밸브]

사고발생원인

- **작업절차 미준수**
  - 배관의 맹판을 해체할 경우 연결 배관에 vent 또는 drain을 개방하여 압력과 유체 존재 유무를 확인하여야 하나 배관에 잔류한 포스겐 가스를 vent하지 않음
- **맹판배관 및 벤트설비의 설비적인 결함**
  - 맹판 전·후 배관에 포스겐 벤트 배출 후 완료 및 압력해소 여부를 파악하기 위한 압력계가 설치되어 있지 않아 배관내 포스겐 잔압여부를 파악할 수단이 없었음.
  - 퍼지배관 내부 잔압해소를 위해 맹판과 차단밸브 사이에 설치된 벤트배관 밸브를 열어(챔버내부로) 배출하도록 하고, 벤트되는 포스겐을 스크러버와 연결된 이동식 국소배기 후드로 포집하여 처리하도록 규정에 언급하고 있으나, 실제 이를 안전하게 실현하기 어려웠음.

동종재해 예방대책

- **작업절차 준수**
  - 배관의 맹판을 해체하거나 절환할 경우 연결 배관의 물질을 안전하게 vent 또는 drain 하여 압력과 유체 존재유무를 확인한 후 작업이 실시되어야 함.
- **가스누출 감지 및 경보장치 설치**
  - 단순히 반응기와의 사이에 차단밸브가 부착되었다고 해서 압력이 완전하게 차단되었을 것이라고 확신할 수 없으므로, 반응기와 연결된 차단밸브와 맹판 전단에는 압력계, 후단에는 연성계가 설치되어 압력의 여부, 진공배출의 여부를 쉽게 확인할 수 있어야 함.
  - 또한 퍼지배관 내부 잔압해소를 위해 맹판과 차단밸브 사이에 스크러버와 직접 연결된 벤트배관을 설치하여 밸브를 열어 배출하여 작업장내에는 근본적으로 포스겐이 누출될 수 없는 구조로 하여야 함.

31. 중질등유·수소 화재 사고사례 (2016. 06. 11) KOSHA-MIA-201617

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

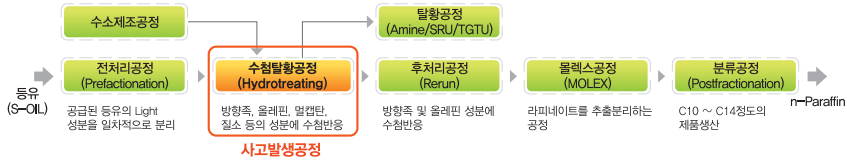
중질등유·수소 누출에 의한 화재사고

재해개요

'16년 2월 11일(목) 2:50분경 울산시 울주군 소재 OO화학(주) 노멀파라핀(n-paraffin) 제조공정의 수첨반응기(R-3201B) 상부로 공급되는 배관 연결부위(30″ Flange)에서 중질등유(Heavy Kerosene)와 수소 혼합물이 누출되어 화재가 발생한 사고임.

사고발생설공정, 물질 및 설비

- **사고발생공정** : 인근 정유사로부터 중질등유를 공급받아 수첨탈황공정을 거쳐 노멀파라핀(n-paraffin)계열 제품 및 솔벤트(Solvent)를 제조하는 공정



- **사고발생물질**

물질명	폭발범위(부피%)	비중(공기,물=1)	인화점(℃)	발화점(℃)
중질등유	0.7~5.0	0.79~0.82	50~80	229
수소	4.0~76.0	0.51@51 ℃	-73	405~450
황화수소	4.3~46	1.19	-82.4	270

- **사고발생설비 : 플랜지 가스켓**

크기	형식	재질				제조사
		Outter	Hoop	Filler	Inner	
30″	Spiral Wound Type	304S.S.	321S.S.	Graphite	321S.S.	Flexitallic

[사고발생현장(반응기 상부)]

[사고발생 가스켓]

사고발생원인

• 유효보관 기간이 지난 가스켓 사용

- 유효보관기간이 지난 가스켓을 사용함에 따라, 필러(Filler)인 Graphite가 산화되어 비정상적인 크리프릴랙세이션(Creep Relaxation)*이 발생한 것이 주요 누출원인으로 판단되며, 추가적으로 볼트체결관련 작업절차 및 지침이 미흡하였던 점 또한 누출을 가속한 원인으로 판단됨.

볼트·너트에 의해 발생하는 스트레스(Stress)로 인하여 가스켓의 두께가 시간이 지나면서 점점 줄어들면서 볼트·너트의 스트레스를 완화하는 현상 (볼트 풀림현상)

동종재해 예방대책

• 재고 관리 지침 수립 및 관리

- 가스켓은 시간이 지날수록 또, 보관방법에 따라서 물성 및 그 형태가 변할 수 있는 자재로서 정상적인 물성을 보존하기 위해서는 제조사에서 권고하는 지침에 의거하여 재고관리지침을 수립·관리할 수 있도록 하여야함.

• 가스켓의 주기적인 교체

- 설치된 가스켓의 경우에도 유효기간(Service Life)를 가지고 있으므로 주요 플랜지에 대해 등급을 부여하고 위험등급에 따라서 가스켓이 주기적으로 교체될 수 있도록 자체지침을 마련하는 등의 방안이 수립되어야 함.

32. 불산 사고사례 (2015. 11. 16) KOSHA-MIA-201618

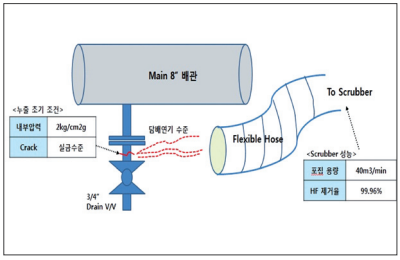
본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

용접이음부에서 무수불산(불화수소) 누출

재해개요

2015년 11월 16일(월) 울산시 남구 소재 OOOO(주)에서 정기보수 작업 후 무수불산(40w%) 및 노말파라핀등(60w%)의 혼합물로 공정 보충(Make-up) 작업 중 반응기와 열교환기 사이의 드레인(Drain) 배관(3/4")과 밸브의 용접 이음부에서 무수불산(불화수소)이 누출된 사고임.

[불화수소 누출 현장]



[불화수소 누출 상황]

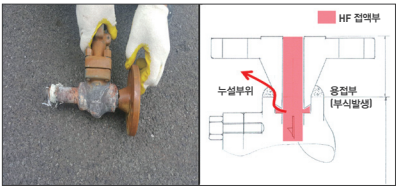
사고발생설공정 및 사고발생물질

- 노르말 파라핀과 벤젠을 원료로 하고 무수불산(HF)을 촉매로 사용하여 합성세제의 원료인 연성알킬벤젠(Linear alkylbenzene)을 생산하는 공정으로, 사고는 정기보수 후 재가동을 위하여 저장탱크로부터 반응기로 원료물질(n-Praffin, n-Oleffin, 무수불산 혼합물)을 투입하는 과정에서 발생함

- **사고발생물질 : 불화수소(무수불산)**

허용농도(TWA)	끓는점	인화성	증기압(@25℃)	독성물질
0.5ppm	19.51℃	해당없음	917 mmHg	LC50 0.79mg/l (1hr Rat)

[사고가 발생한 드레인 배관(3/4")]



[불화수소 누출 부위]

사고발생원인(추정)

- **드레인 배관의 용접부의 부식으로 인한 누출**
  - 원료공급용 주 배관(8")과 드레인용 배관(3/4") 및 밸브, 플랜지 등 관 부속품의 재질은 탄소강(Carbon steel)으로 정상적인 조건에서는 무수불산 사용 분위기에 적합하나 수분 축적 등으로 무수불산이 희석되는 조건에서는 부식이 발생할 위험이 있으며, 용접부 불량이 있을 경우 부식은 더욱 촉진될 수 있음.
- **드레인 배관의 부식관리 미실시**
  - 급성독성물질을 취급 저장하는 설비의 연결부위는 누출이 될 수 없도록 밀착시키고 매월 1회 이상 연결부분에 이상이 있는지를 점검하여야 하나, 드레인 배관은 주 배관과는 다르게 관리대상에서 제외됨.
- **배관부품에 대한 이력관리 미실시**
  - 드레인(Drain) 배관의 경우 크기가 작고, 검사가 어려운 점이 있어 육안검사 후 수시로 교체하고 있으나 이력관리가 되지 않아 예방 정비(PM : Preventive Maintenance)를 체계적으로 수행하기가 어려운 상태임.

동종재해 예방대책

- **드레인 배관의 재질 및 용접부의 개선**
  - 수분 축적 등으로 무수불산이 희석되는 조건에서는 부식이 발생할 위험이 있으므로 배관, 밸브, 플랜지 등에 사용되는 재질은 부식에 잘 견딜 수 있는 하스텔로이(Hasteloy) 또는 모넬(Monel)을 사용하고, 피팅류의 경우 내부 라이닝(Lining) 된 것 혹은 테프론 가스켓(Teflon Gasket) 사용을 권장함.
- **설비유지관리 지침에 드레인 배관 및 벤트 배관을 추가하여 관리**
  - 부식성 물질을 사용하는 드레인 배관 및 벤트 배관은 설비유지관리 지침에 추가하여 점검, 유지, 보수 항목을 추가하고 설비 등급에 따라 지속적인 관리가 필요함.
- **배관 부품에 대한 이력관리실시**
  - 배관 부품에 대한 이력을 철저히 관리하여 정해진 수명을 다한 부속품은 정해진 기간에 교체하는 예방정비(PM)와 정기보수 작업시에 점검 등으로 건전성을 수시로 확인하여야 함.

33. 사염화규소(STC) 누출 사고사례 (2015. 06. 22) KOSHA-MIA-201619

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

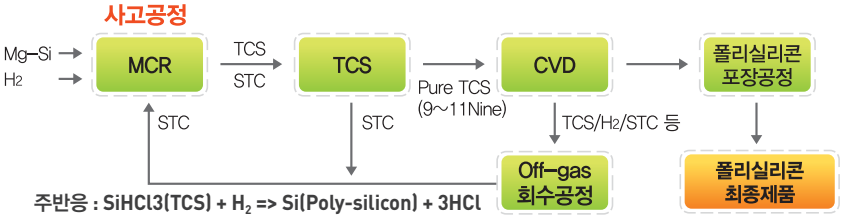
용접이음부에서 무수불산(불화수소) 누출

재해개요

2015.6.22.(월) 16:03분경 전북 군산시 소재 OOO(주) 폴리실리콘공장(P2 PLANT) 1차 재증발기 상부배관에 설치된 10" 벨로우즈 밸브 보닛(Bonnet) 균열로 사염화규소(STC) 등이 누출된 사고임.

사고발생설공정 및 사고발생물질

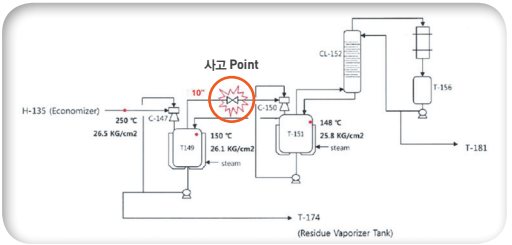
- 폴리실리콘 생산공정은 MG-Si(Metal silicon)를 원료로 태양광발전의 소재인 고순도 Poly-silicon을 생산하며 TCS 합성, 고순도정제, 화학증기증착(CVD), 폐가스 회수 등의 공정으로 구성되어 있음



- 사고발생물질

물질명	인화점	독성치	끓는점	증기압	증기밀도
사염화규소($SiCl_4$)	자료없음	LC50 : 8,000ppm 4 hr Rat	56~58℃	236mmHg (25℃)	5.9 (공기=1)
트리클로로실란($SiHCl_3$)	-14℃ (6.9-70)	LD50 : 1030mg/kg 경구(Rat)	32℃	400mmHg (15℃)	4.7 (공기=1)
수소(H_2)	인화성가스 (4-76)	자료없음	-253℃	760mmHg (-253℃)	0.07 (공기=1)

사염화규소, 트리클로로실란은 공기 중 수분과 접촉하여 염화수소를 형성 ($SiCl_4 + 2H_2O \Rightarrow SiO_2 + 4HCl$, $SiHCl_3 + 2H_2O \Rightarrow SiO_2 + 3HCl + H_2$)



[사고발생 상세공정]

[STC 누출 부위]

사고발생원인(추정)

• 설비 제작결함(추정)

- 밸브 보닛(Bonnet) 제작시 제작결함 또는 보닛(Bonnet) 목 부분에 제작, 거공불량 등으로 노치(notch) 가 형성된 상태에서 설비의 주기적인 진동 또는 지지대 설치작업 등의 외력이 작용하여 균열이 성장·전파된 것으로 추정함.

• 공장 가동정지(Shut-down) 시스템 미흡

- 공정 운전 중에 위험물질이 누출될 위험이 있을 경우 위험성을 판단하여 신속하게 의사결정을 하여 공장가동을 정지하여야 하나, 적합한 절차가 마련되어 있지 않아 공장 가동 정지를 하지 않고 임시조치(지그작업 등) 중 누출이 발생함.

• 설비관리 미흡

- 공정안전관리(PSM) 대상공정에 사용하는 설비(밸브 등)를 설치할 경우에는 설비에 사용되는 물질, 압력, 온도 등 사용 환경에 따라 제작, 검수, 설치 관리를 철저히 하여야 하나 그 관리가 미흡하여 밸브 보닛에 균열이 발생함.

동종재해 예방대책

• 설비 제작 및 유지관리 철저

- 설비를 설치할 경우에는 사용되는 물질, 압력, 온도 등 사용환경에 따라 제작, 검수, 설치 및 유지관리를 철저히 하여야 하고, 특히 문제(균열, 누출 등)가 발생할 우려가 있는 설비 등은 반드시 제작 및 보수 후에 비파괴검사 등으로 결함유무를 판단할 수 있도록 내부 관리규정(표준)을 갖추어야 함.

• 운전 중 비상상태에 신속한 가동정지

- 중요 설비(밸브 등)에 균열 등이 있는 경우 등 누출된 물질이 화재·폭발, 독성물질 누출 등의 중대한 영향을 미칠 우려가 있는 경우에는 신속한 의사결정에 의한 공정 가동정지(Shut-down)를 할 수 있도록 운전표준, 교육훈련 등 관련시스템을 보완하고 운영을 철저히 하여야 함

34. 인화성액체 누출에 의한 사고 (2016. 07. 17) KOSHA-MIA-201620

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

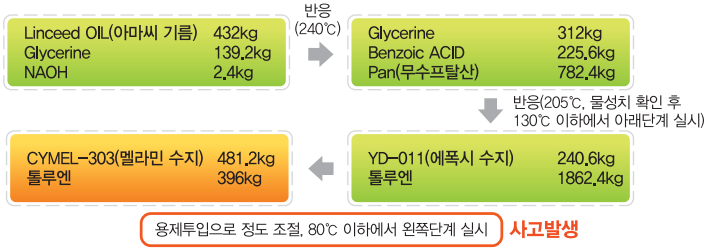
인화성액체 누출에 의한 화재 사고

재해개요

2016년 7월 27일(수) 18시 05분경 경남 양산시 유산공단 소재 ㈜OOOO의 B 공장동 2층 알키드수지(NR-6104) 제조용 반응기(R-900, 5m3)에서 인화성 액체(알키드수지와 톨루엔 혼합물로 추정)가 끓어넘쳐 누출되면서 원인미상의 점화원에 의해 폭발, 화재가 발생한 재해임.

사고발생공정, 물질 및 설비

- 연마제를 생산하는 공정으로 수산화나트륨 촉매하에 지방산과 글리세린을 반응시켜 부산물인 물을 제거하고 에폭시수지, 멜라민수지 분말을 투입시킨 후 톨루엔으로 희석하여 제품을 생산하는 공정으로 총 4단계의 원료 투입 공정으로 구성되어 있으며 1Batch에 걸리는 시간은 약 10시간정도 소요됨.



- 사고발생물질

물질명 (CAS No.)	물질 상태	인화점	끓는점	증기압	비중	최소 점화에너지	비고
Toluene (108-88-3)	액체	4℃	111℃	28.4mmHg (25℃)	0.8636	0.24mJ	용제
알키드수지 (NR-6104)	액체	용도 : 연마지(Sand Paper) 접착용					투명 담황색

• **사고발생설비 : 연마제 생산 반응기(R-900)**

용량(m^3)	크기(mm)	설계압력(kg/cm^2)	설계온도(℃)	재질
5	1800 ID * 2000 H	Shell : F.V./3.0 Jacket : 2.5	Shell : 250 Jacket : 250	Shell : STS304 Jacket : SS400

[사고당시 현장]

[사고현장 내부]

사고발생원인

• **반응기 맨홀덮개 체결 상태 미흡**

- 반응기 운전에 따른 맨홀덮개가 견고히 체결되지 않아 맨홀 입구에서 알키드수지와 톨루엔이 끓어 넘쳐 반응기 외부로 누출되었음.

• **가스폭발위험장소 내 비방폭형 전기설비 사용(대형선풍기 및 콘센트)**

- 반응기 주변은 2종 폭발위험장소로 구분되어 있으나 비방폭형 대형선풍기 및 콘센트 등이 설치되어 있어 점화원으로 작용함.

• **안전운전절차서 미작성**

- 작업지시서가 작성되어 있으나 톨루엔의 끓는점 등을 포함한 화학물질의 유해/위험성, 위험물질 누출 예방조치 등 공정안전 관련고시에서 제시하고 있는 안전운전지침서를 작성, 작업자에게 교육을 실시하지 않음.

동종재해 예방대책

• **반응기 맨홀덮개의 견고한 체결**

- 제품생산시 반응기 맨홀덮개는 볼트로 견고히 체결하여 반응기 내부에서 이상현상 발생시 맨홀로 내부물질이 누출되지 않도록 하여야함.

• **가스폭발위험장소내 방폭형 전기설비 사용**

- 가스폭발위험장소내에는 그 위험지역에 적절한 방폭전기기기를 사용하여 인화성액체 누출시에 점화원으로 작용하지 않도록 하여야 함.

• **상세한 안전운전절차서 작성 및 교육**

- 운전절차서는 운전경험이 없는 운전자라도 안전하게 운전이 가능하도록 각 물질별 투입 조건 등을 단계적으로 구체적이고 명확하게 작성하여여야 하며, 운전원에게 사전에 교육을 실시하여 안전운전절차서를 숙지한 상태에서 공정운전을 실시하여야함.

35. 삼불화질소 이송펌프 폭발사고 사례 (2016. 08. 03) KOSHA-MIA-201621

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

인화성액체 누출에 의한 화재 사고

재해개요

2016년 8월 3일(수) 오전 10:29경 울산시 남구 소재 ㈜000 삼불화질소(NF3) 제조 공정의 최종 정제탑(DA-3550) 하부 펌프(GA-3551B) 교체 운전 위해 예비펌프(GA-3551A)를 가동하는 순간 펌프가 폭발한 사고임.

사고발생설공정 및 사고발생물질

- 전해액 조합공정에서 NH_3와 HF를 반응시켜 전해액(NH_4F)을 생산하여 전해조(Cell)로 공급하여 NF_3 와 불순물인 HF, N_2F_2, OF_2, N_2O, N_2, O_2 등이 생산된다. 정제공정에서는 분해, 흡수(세정), 탈수, 흡착, 응축과정을 거쳐 불순물이 제거되고 99.998% 이상의 고순도의 NF_3를 생산하여 액상으로 저장한 후 용기에 충전하여 판매한다.

전해액 조합공정 ▶ 전해공정 ▶ **정제공정** ▶ 저장공정 ▶ 충진공정 ▶ 출고

재해발생공정

- **사고발생물질**

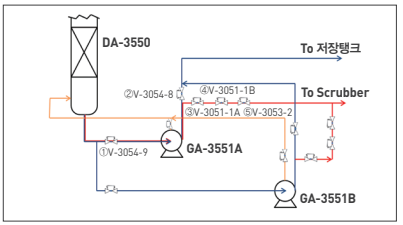
물질명 (CAS No.)	물질 상태 (@상온)	증기밀도	혼합금지물질	증기압
삼불화질소 (7783-54-2)	가스	2.5(공기:1)	금속 가연성물질	1 atm 이상 at 20℃

※ **NF3의 일반적 특성**

- 펌프 및 배관내의 파티클(Particle)은 NF_3와 접촉해 발화할 우려가 있다.
- NF_3의 급격한 유량조절은 국소적 열을 생성해 열에 민감한 재료를 발화시킬 수도 있다.

- **사고발생물질**

용량	양정	분당회전수	Seal 형태	제작업체
1.4 m3/hr	50 m	3,400 ppm	Non-seal	NIKKISO/2015년



[사고발생 상세공정]

[파손된 펌프]

폭발원인 추정

- 펌프 B에서 토출된 NF_3가 급속히 펌프 A로 유입되면서 임페러(Impeller)가 역회전하여 맥동현상(surging)과 공동현상(cavitation)이 발생하였으며, 이로 인한 펌프의 과부하 및 NF_3의 기화가 발생하였고,
- 총 4회의 기동 실패로 약20분간 펌프가 공운전 된 상태로 냉각이 되지 않아 과열된 상태에서 펌프기동을 위하여 토출측 자동유량조절밸브를 수동으로 열어 NF_3 저장탱크에서 펌프쪽으로 NF_3 기체가 유입되어 열분해에 의한 폭발이 발생하였음.

사고발생원인

- **펌프의 사용전 점검 미실시**
  - 펌프를 처음 설치(2015년 10월)후 계속하여 1개월 이상 사용하지 않은 상태에서 펌프의 사용전 점검을 실시하지 않고 정상운전을 실시함.
- **안전운전 매뉴얼 미작성 운영**
  - 초저온용 펌프의 시운전(Start-Up) 및 정상 작업을 위한 안전운전매뉴얼 미작성

동종재해 예방대책

- **펌프에 온도를 감지할 수 있는 시스템 보완**
  - 펌프의 입구 및 출구 측에 표면온도계를 부착하여 NF3의 냉각여부를 수시로 확인
- **정상가동을 위한 시스템 보완**
  - 출구측에서 입구측으로 가동을 위한 Warming-up 배관을 추가로 설치하여 정상흐름 방향으로 Warming-up 상태를 유지하면서 대기할 수 있도록 하고, 정비작업 후 습기 제거용(Drying-out)용 노즐 설치(4개)
- **펌프에 역류방지 설비 및 안전밸브 설치**
  - 이송용 펌프는 기동 전에 역류되지 않도록 역지밸브, 자동밸브 등 설치
  - 이송용 펌프와 배관 등에는 설계압력 이상으로 상승하면 내부 압력을 안전한 곳으로 방출 또는 배출될 수 있도록 파열판을 설치하여야 함.

36. 헥산 누출에 의한 화재사고 사례 (2016. 08. 26) KOSHA-MIA-201622

본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

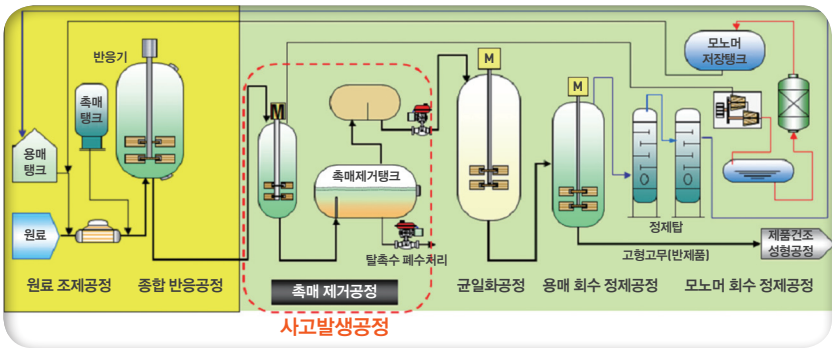
인화성액체 누출에 의한 화재 사고

재해개요

2016년 8월 26일(금) 19:50분경 여수시 소재 OOOOO(주) 1공장 EPDM 생산공정의 교반기(DA-202) 맨홀부위에서 노말헥산(이하 헥산) 등 내용물 누출에 의한 화재가 발생한 사고임.

사고발생설공정 및 사고발생물질

- 사고발생공정 : 헥산을 용매로 하여 촉매와 에틸렌, 프로필렌, ENB(Ethylidene NorBornene) 등을 반응기에 투입하여 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)을 생산하는 공정

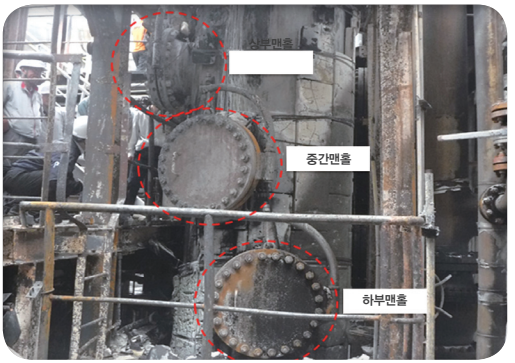


- 사고발생설비 : 교반기

내용물	용량(㎥)	운전/설계압력 (kg/cm2)	운전/설계 온도(℃)	재질
헥산, 에틸렌, 프로필렌, 물, 고분자 등	4.2(1,250I.D x 3,000TL)	8.5~9/17.8	50/180	A240-316L

• 사고발생물질

물질명	인화점 (℃)	발화점 (℃)	냄새역치 (ppm)	증기압 (mmHg)	폭발범위 (%)
노말헥산	-22	225	60	150 @25℃ 400 @50℃	1.1~7.5
에틸렌	-136	490	270~600	7600 @-53℃	2.7~36
프로필렌	-107	460	NI	8690 @23℃	2.7~10.3



[사고발생설비]

[누출 가스켓]

사고발생원인

• 맨홀 누출방지 조치 미흡

- 맨홀에 삽입하는 Retaining plate가 개스킷보다 직경이 작아 Retaining plate의 끝 부분에 의해 개스킷 외륜과 Sealing element 경계면이 손상을 입었으며, 개스킷과 Retaining plate의 중심이 맞지 않아 개스킷의 Sealing element 부분과 Retaining plate가 균일하게 접합되지 않음.

• 공정지역에 비방폭형 디젤엔진 지게차 출입

- 점화원이 될 수 있는 디젤엔진을 사용하는 지게차의 공정지역 출입을 제한했어야 하나 필터 여과재 운반을 위해 지게차를 DA-202 인근까지 운행하도록 함.

• 누출시 비상대응 방법 부적합

- 헥산이 맨홀부위에서 누출되는 경우 언제라도 화재가 발생할 수 있는 급박하고 위험한 상황이므로 공장을 긴급가동정지하고 작업자를 대피켜야 하나 By-pass와 같은 현장 조치를 지시함.

동종재해 예방대책

• 맨홀 누출방지 조치 보완

- 맨홀에 설치하는 Retaining plate의 크기는 개스킷의 크기와 동일하게 변경하여 Retaining plate로 인하여 개스킷이 손상되지 않도록 하여야 하며, 볼트 체결시에는 개스킷과 Retaining plate의 중심을 맞추어 균일하게 접합되도록 하여야 함.

• 공정위험지역에 비방폭형 지게차 출입금지

- 운전중인 공정내에 디젤엔진 지게차의 출입을 금지하고 중량물 운반 등 반드시 필요한 경우 공정과 가까운 도로까지로 출입지역을 제한하는 것이 바람직함.

• 위험물 누출시 비상대응 방법 개선

- 위험물 누출로 화재발생과 같은 급박한 위험이 있는 경우 현장 조치를 지양하고 작업자를 안전한 장소로 대피시켜야 하여야 하며, 비상대응에 작업자가 필요하더라도 최소한 인원만 남아 대응할 수 있도록 하여야 함

2017-전문-000

조심조심 코리아

작업 전 안전점검 당신의 생명을 지킵니다

산업재해예방
안전보건공단

안전보건공단 울산광역시 중구 종가로 400(북정동)