

2022년 화학사고 사례연구

배관 보온재 교체 작업 중
염산 누출사고 사례연구



전북권(익산) 화학사고예방센터

5호 :

2022년

화학사고 사례연구

CONTENTS

● 배관 보온재 교체
작업 중 염산 누출사고
사례연구

I.	사고개요	6
II.	사업장 현황	7
III.	사고분석	8
IV.	사고발생 원인	20
V.	동종사고 예방대책	22
VI.	사고로부터 얻은 교훈	24
VII.	유사 사고사례	25
VIII.	참고자료	26





용어설명

01 재생제(再生劑)

- 이온교환 수지의 재생에 사용하는 약품으로, 이온교환체(수지) 중 양이온 교환 수지의 수소형에 대해서는 염산이 사용되고, 음이온 교환수지의 수산형에 대해서는 수산화나트륨이 사용된다.

02 가성소다(Sodium Hydroxide)

- 염화나트륨(NaCl, 소금) 용액을 전기분해하여 수산화나트륨(NaOH, CAS NO. 1310-73-2)을 제조하며 가장 싸고 널리 사용되는 강한 알칼리성 제품으로 산성의 중화제, 세제, pH 조정, 섬유 표백, 수처리제로 사용된다.

03 염산(Hydrochloric Acid Solutions)

- 염화수소(HCl, Hydrogen Chloride, CAS NO. 7647-01-0) 기체의 수용액으로 무색 및 특유의 자극적인 냄새를 갖는 부식성이 있는 무기산으로, 산업용으로는 30~35%를 주로 사용하며 청소액 (10~12%), 식품첨가물, 스케일 용해제로 사용된다.

04 이젝터(ejector)

- 벤트리 효과를 이용하는 펌프의 일종으로서 고압의 유체가 지닌 압력에너지를 이용하여 흡입 유체를 빨아들여 이송하는 기계장치

05 정제

- 어떤 물질로부터 혼재해 있는 불순물을 제거하여, 순도를 높이는 조작으로 용해도의 차이를 이용한 재결정이나 분별결정 등의 방법이 사용된다.

06 파이프랙(Pipe Rack)

- 가이드슈나 U볼트 등으로 여러 가닥의 배관을 지지하기 위한 철골구조를 말한다.

07 C-PVC(Chlorinated Polyvinyl Chloride)

- 기존 PVC(경질 염화비닐)에 염소를 추가 반응시켜 PVC의 뛰어난 내약품성, 내식성, 시공성을 그대로 유지하면서, 단점인 내열성을 획기적으로 향상시켜 소방 스프링클러 배관, 공업화학용 배관, 냉온수용 배관 등에 주로 사용한다.

08 스팀 트레이싱(Steam Tracing)

- 설비 또는 배관 내의 방열 손실을 방지하고 동결을 방지하기 위한 목적으로 설비 또는 배관 옆에 설치되어 있는 조그만한 배관을 말하며, 열원으로써 증기를 공급하면 스팀 트레이싱이라 부른다.

09 이온교환수지(Ion Exchange Resin)

- 이온교환 할 수 있는 이온을 지닌 불용성 합성수지로 양이온 교환수지와 음이온 교환수지로 구성되고, 불순물 이온의 제거, 이온의 분리 추출, 이온의 치환, 알코올·유지·가스 등의 정제, 포르말린 속의 포름산 제거, 미량물질의 정량 및 촉매 등에 사용한다.

10 JSA(Job Safety Analysis)

- 작업안전분석(JSA)이란 특정한 작업을 주요 단계(Key step)로 구분하여 각 단계별 유해위험요인(Hazards)과 잠재적인 사고(Accidents)를 파악하고, 유해위험요인과 사고를 제거, 최소화 및 예방하기 위한 대책을 개발하기 위해 작업을 연구하는 기법을 말한다.





I. 사고개요

- 2021년 1월 11일(월) ○○사업장 이온교환수지 재생공정 앞 파이프랙 3단에서(지상에서 8m높이) 정수 재생제(가성소다 33%) 배관 보온재 교체 작업 중 동결된 보온재를 해체하는 과정에서 인접한 염산 배관(35%)의 파손으로 누출된 염산(35%)이 파이프랙 2단(지상에서 6.5m 높이)에서 작업하던 작업자 2명의 목과 등에 접촉되어 작업자가 부상된 사고이다.

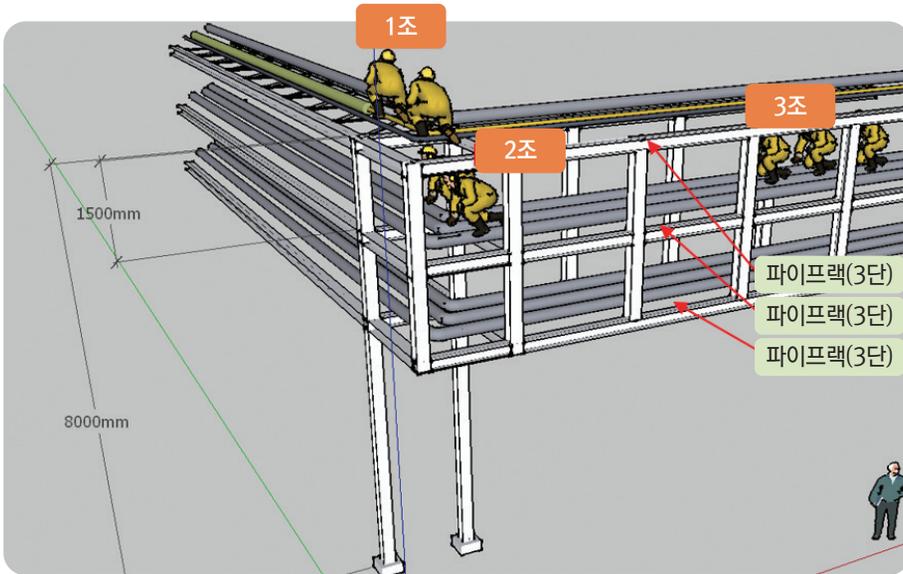


그림 1 사고 직전 상황

01 인명피해

- 부상 2명

02 물적피해

- 파이프 파손 및 보온재 손상



II. 사업장 현황

- ☑ ○○사업장은 동물용 사료 제조공장으로, 식품 첨가물 제품 생산 및 기타 공정용에 사용되는 고순도 물(순수워터)을 생산하기 위해 이온교환수지 재생공정을 사용한다.

01

이온교환수지 재생 공정

- 이온교환수지 재생공정은 염산(35%)과 희석수를 혼합하여 저농도 염산(3%)으로 이온교환수지(양이온)를 재생하고, 가성소다(33%)와 희석수를 혼합하여 저농도 가성소다(3%)로 이온교환수지(음이온)를 재생하는 공정이다.
- 주요 제조공정 순서는 「저장 → 이송 → 저장 → 희석 → 이온교환수지 재생 → 폐수처리」순이다.

표 1 이온교환수지 재생 공정

구 분	공정 설명
저장 (회수동)	저장탱크에 염산(35%), 가성소다(33%) 저장
이송 (사고 발생 공정)	배관을 통해 염산(35%), 가성소다(33%) 이송 (배관 동결 방지를 위해 STEAM TRACING 설치)
저장 (정수실)	저장탱크에 염산(35%), 가성소다(33%) 저장
희석	이젝터를 이용하여 희석수를 혼합하여 저농도 가성소다(3%)와 저농도 염산(3%)을 이송
이온교환수지 재생	염산(양이온)과 가성소다(음이온)로 이온교환수지를 재생
폐수처리	재생공정에 사용된 염산과 가성소다를 폐수처리



Ⅲ. 사고분석

01

사고 발생 과정

1) 작업 상황

일시	작업 현황
2021. 1. 8.(금)	<ul style="list-style-type: none"> 정수 재생(33% 가성소다) 배관의 보온용 스팀 배관(C.S) 노후화로 스팀이 누출되어 보온재가 동결됨
2021. 1. 11.(월) 07:30	<ul style="list-style-type: none"> 정수 재생 배관의 보온용 스팀 배관(C.S)의 교체 작업을 결정
08:00	<ul style="list-style-type: none"> 생산팀에서 보온용 스팀 배관 교체를 협력업체에 요청함
08:10	<ul style="list-style-type: none"> 생산팀에서 작업계획서 작성 및 안전팀에 안전작업허가서 발행을 요청하였고, 안전팀에서 안전작업허가서를 승인함
08:20	<ul style="list-style-type: none"> 협력업체에서 스팀 배관 교체 작업을 위하여 보온재 외피(함석) 제거 작업을 진행함
14:30	<ul style="list-style-type: none"> 협력업체 직원이 용접망치를 왼손에 들고 보온재를 흔들며 해체하던 중 부주의하게 용접망치로 인접한 염산배관(35%, C-PVC 50A)을 타격하여 파손되었고, 배관 내 잔류 염산(35%)이 파이프랙 2단에서 작업하던 협력업체 직원 2명의 머리와 등에 접촉 됨



02

사고 발생 물질

1) 염산 35%

물질명	Cas NO.	독성정보			증기압 (20.0 °C)
		경구	경피	흡입	
염산 35 % (Hydrochloric Acid 35 %)	7647-01-0	(LD50) 238 [mg/kg Rat]	(LD50) > 5,010 [mg/kg Rabbit]	(LC50) 1,562 [ppm(4hr) Rat]	76mmHg

경고표지 그림문자



부식성 물질



특정표적장기독성



만성 수생환경유해성

• 염산(유해 · 위험성)

- 피부 부식성 / 자극성 : 구분 1
- 급성 독성(경피) : 구분 4

- 심한 눈 손상 / 자극성 : 구분 1
- 특정표적장기 독성 물질(1회 누출) : 구분 1

03

사고 발생 설비

설비명	배관 재질	배관크기	설계압력	설계온도	비고
염산(35%) 배관	C-PVC	50A	-	65°C	
가성소다(33%) 배관	STS 304	50A	1MPa	200°C	
스팀배관 (Steam Tracing)	C.S (carbon steel)	15A	1MPa	200°C	가성소다 배관 보온 스팀 공급용

※ 가성소다(33%) 어는점은 5.2°C로 동절기 동결 방지를 위해 공급탱크 및 배관을 보온하고 스팀배관(Steam Tracing)을 설치함



그림 2 용접망치

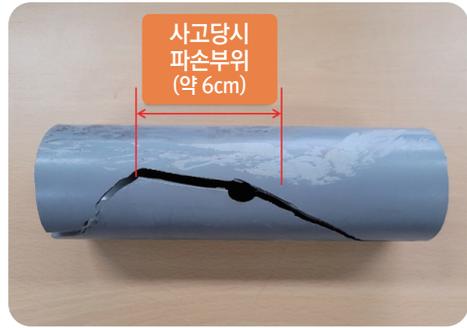


그림 3 파손된 염산(35%) 배관(C-PVC 50A)



그림 4 사고발생 장소(파이프랙 3단)



04

사고 원인 분석

1-1) 직접 원인

1-1-1) 위험물질 내용물 제거 및 배관 보호조치 미실시

- 위험물 취급설비 관련 작업을 할 때에는 내용물의 차단 및 제거 작업*을 한 뒤 실시
 - 동결된 가성소다(33%) 배관의 보온재 해체 시 인접 염산(35%, C-PVC 50A) 배관의 파손 가능성이 있음에도 배관에 잔류한 염산(35%)의 제거 및 배관에 대한 보호조치를 미실시한 상태에서 작업을 진행하였다.
 - 용접망치를 왼손에 휴대하고 보온재를 좌우로 흔들며 해체하던 중 용접망치가 염산(35%) C-PVC 배관을 충격하여 배관이 파손되었다.

* 인근 배관 내용물의 차단 및 제거 : 배관의 재질이 합성수지 등 작업 시 파손 우려가 있는 경우



그림 5 사고발생 장소 염산(35%) 및 가성소다(33%) 배관

1-1-2) 보호구(안면보호구 및 보호복) 미착용

- 작업자는 보온재 교체 작업 시 가성소다(33%) 배관 및 인접한 염산(35%) 배관 파손에 의한 위험물질 누출 위험이 있음에도 개인보호구(안면보호구 및 보호복)를 착용하지 않아 누출된 염산에 작업자의 얼굴 및 등 부위에 화상을 입었다.

※ 사고당시 작업자 보호구 착용상태 : 안전모, 안전대, 안전화

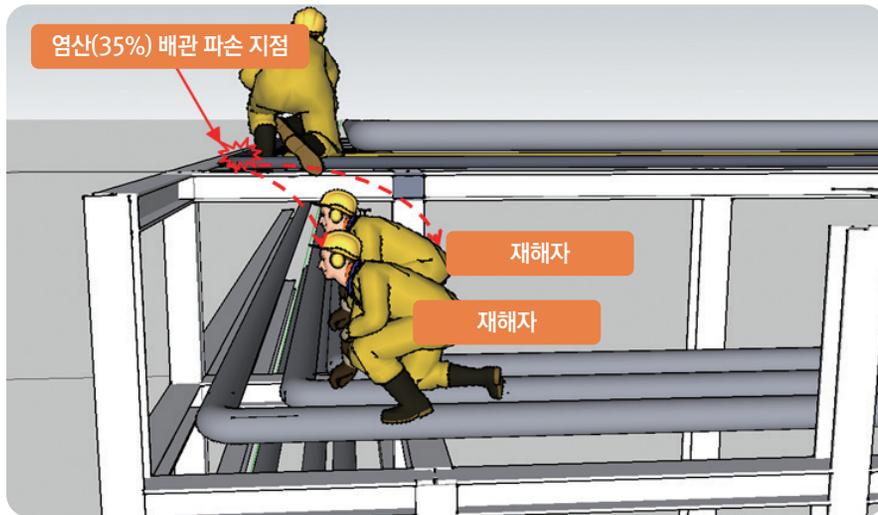


그림 6 재해자 작업위치 및 염산(35%) 누출위치

1-1-3) 작업위치 부적절

- 위험물 취급 배관의 파손에 의한 비산의 위험이 있었으나, 상부(3단)작업자와 하부(2단) 작업자가 근접하여 작업 하는 등 작업 위치가 부적절 하였다.

1-2) 간접원인

1-2-1) 부적합한 작업계획서 작성

- 작업계획서에 염산, 가성소다 등 위험물에 대해 구체적으로 언급이 되지 않았으며, 작업 시 위험물에 대한 위험성이 고려되지 않았다.
- 작업계획서는 작업 당일 아침[21.11.(월)] 사업장 담당자에 의해 작성된 후, 사업장 내 협력업체 직원에게 통보 되어 해당 작업에 대한 적절한 작업공구 및 작업계획 등이 수립되지 않았다.



1-2-2) 정비·보수 작업에 대한 「작업위험성평가」 미흡

- 정비·보수 작업에 대해서는 해당 작업을 시작하기 전에 「작업 위험성평가」를 실시하여 작업 중 예상되는 위험성을 최소화하여야 하나 이의 내용이 미흡하였다.
 - ① 작업 위험성평가의 개인보호구에 “보안경”만 착용토록 검토되어 안면보호구 및 보호복에 대한 검토가 반영되지 않았고, 안전관리자의 현장 확인이 미흡하였다.
 - ② 회수동의 저장탱크에서부터 정수실 저장탱크까지 가성소다(33%) 배관과 염산(35%) 배관이 나란히 배치되어 가성소다 배관의 보온재 교체 작업 시 염산배관(C-PVC 배관)의 파손 위험성이 있으나, 해당 위험성에 대한 작업 위험성평가가 이뤄지지 않았다.
 - ③ 사고 장소는 파이프랙 2단(지상에서 6.5m)으로 [그림 7] 비상시 대피방법과 위험물 노출에 따른 세안시설 사용 방법 등 비상대응체계가 작업위험성평가에 반영되지 않았다.
 - ④ JSA 평가서에서 규정한 보온재 해체, 배관 철거 작업은 그라인더, 커터 등의 공구를 사용하여 작업토록 하고 있었으나, 사고 당일 JSA에 명시하지 않은 작업도구*인 용접망치로 작업을 수행하던 중 부주의로 위험물질 배관이 손상되었다.
 - * 작업도구 : 실제 작업시 사용 → 용접망치
(위험성평가시 검토 → 그라인더, 커터)
 - ⑤ 또한, 보온재를 해체하는 작업은 유해한 분진이 비산될 수 있어, “그라인더나 커터로 자르면서 분진발생을 최소화 하는 방법”으로 수행하여야 하나, “동결된 보온재를 흔들면서 해체”하는 등 부적절한 방법으로 작업이 수행되어 불안정한 행동이 유발되었다.
 - ⑥ JSA평가서(작업절차서)에는 해체 시 보호구 착용만 명시되어 있는 등 구체적 작업절차가 마련되어 있지 않았다.

1-2-3) 안전작업허가 지침서 미준수

- 안전작업 허가 지침서에는 작업 전에 당해 작업에 요구되는 모든 안전 사항에 대한 조치 여부를 확인하고 작업 허가서를 발행하게 되어 있으나, 염산의 위험성이 고려되지 않았다.
- 안전작업허가 지침서의 안전작업허가서에는 작업현장의 안전조치 요구사항에 대한 확인을 하게 되어 있으나, 임의 양식을 사용하여 작업현장의 확인이 적절하게 이루어지지 않았다.(보안경 착용여부 등)

1-2-4) 작업 전 안전보건교육 미흡

- 협력업체 작업자들은 당해 작업*을 최초로 실시하였으나, 본 작업의 위험성에 대한 안전보건교육이 실시되지 않았다.
 - * 가성소다 보온재를 제거하고 스템 배관의 재질을 Carbon Steel 에서 동으로 교체하는 작업
- 당해 작업의 위험물질에 대한 교육을 실시하지 않았다.(2020년 이후)
- 재해자의 작업장소는 파이프랙 2단(지상에서 6.5m 높이)으로 별도의 작업통로가 없어 비상시 대피로에 대한 교육을 실시해야함에도 불구하고, 비상시 대응방안(비상시 대피 방법 및 세안·세척시설 위치 및 사용방법)에 대한 교육을 실시하지 않았다.

■ 시스템이론 기반 사고 모델 및 공정(STAMP; System Theoretic Accident Model and Processes) 분석

- STAMP 모델은 Leneson이 2004년 발표한 모델로 과거의 순차적 사고 분석 기법의 한계를 보완하여 복잡하고 새로운 형태의 위험을 고려하여 사고를 시스템적으로 접근한 분석 방식이다.
- 기본적으로 STAMP 모델은 사고(Accidents)의 원인을 시스템 작동 실패(Failure)의 문제라기보다는 시스템 제어(Control)의 문제에서 비롯한다고 보고 있다. [그림 9]에서는 STAMP 모델을 이용하여 화학공장의 일반적인 정비·보수작업 시스템의 제어구조(Control Structure)*를 나타내었다.

* 참고자료 : PSM 대상 사업장에서 비일상 작업 시의 재해 조사 연구, 한국산업안전보건공단, 2019

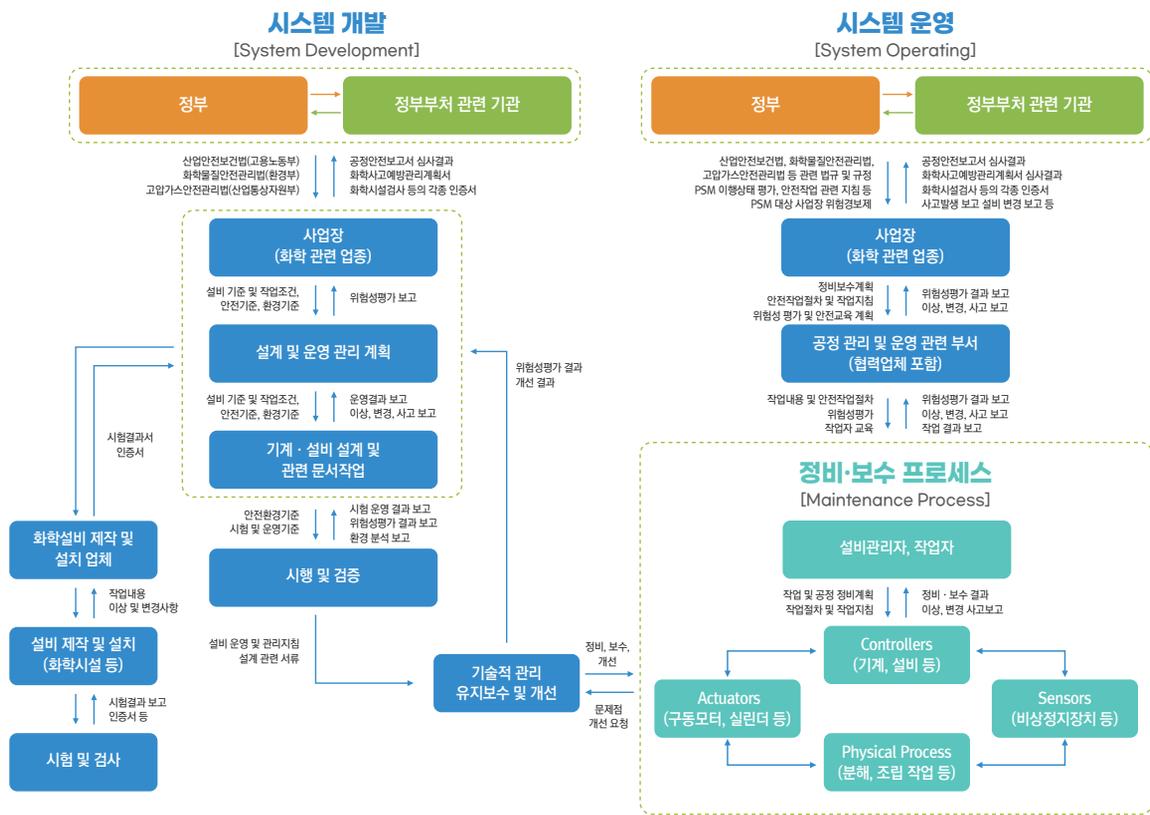


그림 7 STAMP 모델을 이용한 화학공장 정비·보수작업 시스템

- 금번 사고의 분석기법으로 STAMP CAST를 활용하였는데, 사고조사 보고서의 기초자료를 바탕으로 아래와 같이 안전 컨트롤 스트럭처를 모형화해 보았다.
- 분석과정은 “CAST HANDBOOK(2019, Nancy Leveson-MIT)”에서 제시한 분석 절차를 거쳤으며, 일부는 작성자의 추정(또는 가정)을 일부 포함하여 작성하였다.



가) 안전 컨트롤 스트럭처(Safety Control Structure) 모형화 (사고작업)

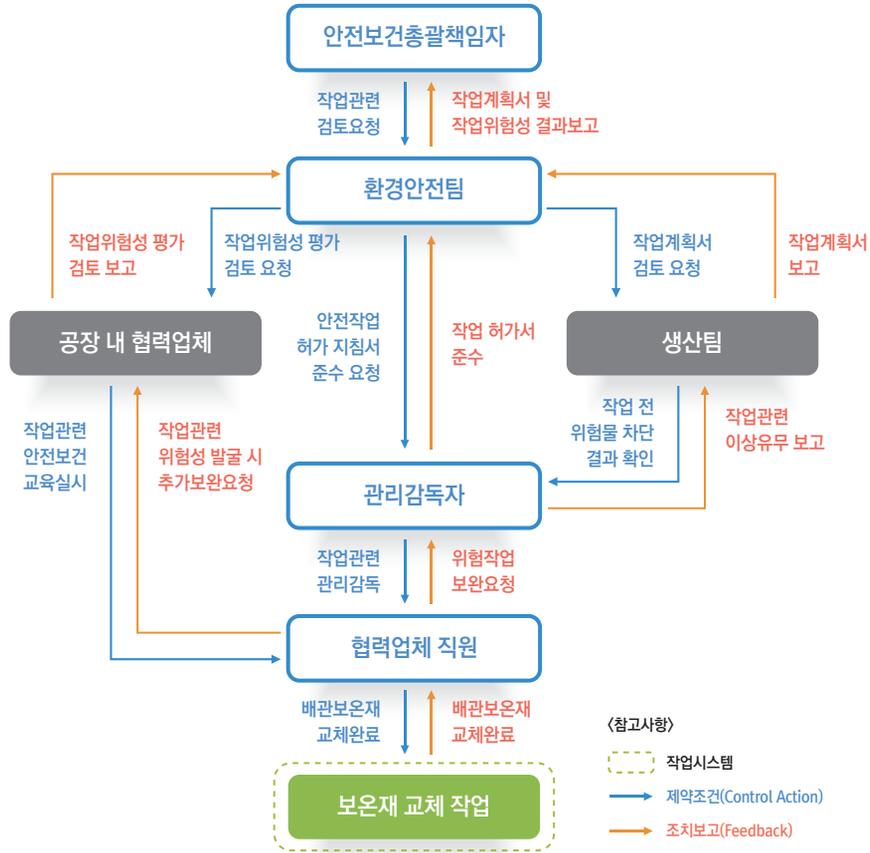


그림 8 정비 및 보수 작업 관련 안전제어구조 모형

나) 제어구조 하단부터 구성요소별 문제점 파악, 결함 식별, 권고사항 작성

a) 보온재 교체 작업

▶ 제약조건 및 안전요구사항

- 배관 보온재 교체 작업 시 배관 내부 물질의 완전 Drain 확인
- 작업현장 인근 설비의 파손 등 위험성이 있을 경우, 보호커버 설치 등 인근 설비에 대한 안전대책 수립
- 고소작업 등 추락의 위험성이 있는 장소는 안전대 등 개인보호구 외에 작업발판(비계, 고소작업대) 등 안전 대책 수립

▶ 부적절한 결정 및 컨트롤 액션

- 배관 보온재 교체 관련 내부 물질의 완전 Drain 여부 미확인
- 인근 배관(35% 염산)에 대한 보호커버 등의 안전대책 미수립
- 염산 누출 시 긴급으로 대피할 수 있는 작업발판(비계, 고소작업대)등의 대비방법 미수립

▶ 상황(맥락)

- 가성소다(33%) 배관의 보온재 교체 작업을 실시함

▶ 설비 모델 결함

- 가성소다(33%) 배관의 동파 방지를 위한 Steam Line의 재질이 온도 및 부식에 취약한 Carbon Steel 재질로 동절기에 빈번하게 교체함

▶ 권고 사항

- 작업자에게 비산 등의 위험이 있을 경우에는 작업 전에 배관 내 위험물을 배출, 세척, 치환하는 등의 사전 안전조치 후 작업 실시
- 정비·보수 작업 구역 내 장치 및 배관의 취급물질의 위험성을 파악하고, 파손우려가 있는 경우 안전대책 수립
- 작업 중 위험물 누출위험성이 있을 경우 적절한 개인보호구(안면보호구, 보호복, 보호장갑)를 지급 및 착용

b) 협력업체 직원

▶ 제약조건 및 안전요구사항

- 작업대상 설비 및 취급물질의 위험성에 대해 파악
- 안전작업절차 및 위험성평가 조치결과에 따라 작업 수행
- 관리감독자의 지시 준수

▶ 부적절한 결정 및 컨트롤 액션

- 작업 관련 안전보호구 미착용
- 비상 대비 방법 미확인

▶ 상황(맥락)

- 사고 당일 작업 실시를 지시 받음

▶ 멘탈 모델 결함

- 관리감독자 및 안전팀에 작업관련 안전교육을 요청하지 않음

▶ 권고 사항

- 작업자는 안전작업절차를 준수

c) 공장 내 협력업체

▶ 제약조건 및 안전요구사항

- 작업 관련 위험요인을 파악 후 작업위험성평가 실시
- 작업자에게 관련 교육을 실시
- 작업위험성평가 결과 보완 사항 확인

▶ 부적절한 결정 및 컨트롤 액션

- 작업 위험성평가를 미 실시
- 작업자에게 교육을 미 실시



- ▶ 상황(맥락)
 - 사고 당일 배관 보온재 교체 작업 요청 받음
- ▶ 멘탈 모델 결함
 - 안전교육 미실시 후 작업 진행
- ▶ 권고 사항
 - 작업위험성평가를 실시 후 작업 진행

d) 생산팀

- ▶ 제약조건 및 안전요구사항
 - 작업시작 전 작업계획서를 작성하고 관련 부서와 논의
 - 작업시작 전 해당 작업 안전조치 및 확인
- ▶ 부적절한 결정 및 컨트롤 액션
 - 작업계획서에 위험요인을 고려하지 않고 약식으로 작성
 - 협력업체 작업자에게 배관 교체 시 위험요인 미교육
- ▶ 상황(맥락)
 - 가성소다(33%) Steam Tracing Line(Carbon Steel) 파손으로 인한 이온교환수지탑 정상운전 불가로 긴급하게 협력업체에 작업을 요청함
- ▶ 멘탈 모델 결함
 - 보온재 교체 관련 작업계획서를 미수립 하였으나 작업을 협력업체에 요청함
 - 가성소다(33%)근처에 염산(35%) 배관이 있었음에도 안전팀 및 협력업체에 관련 정보를 공유하지 않음
 - 인근 배관(35% 염산)에 대한 보호커버 등의 안전대책 미수립
- ▶ 권고 사항
 - 안전 확보에 필요한 사전 조치사항 검토 및 반영
 - 작업 반경 내에 있는 유해위험물질에 대한 안전교육 실시
 - 작업 현장 인근 설비의 파손 등 위험성이 있을 경우, 보호커버 설치 등 인근설비에 대한 안전 대책이 수립

e) 관리감독자

- ▶ 제약조건 및 안전요구사항
 - 작업내용에 대한 안전 관련 사항 숙지
 - 작업 위험성평가 실시에 따른 평가지침, 위험요인, 개선사항 등을 확인
 - 안전작업허가서 발행 관련 내용 확인
 - 협력업체 작업자가 안전작업절차서 및 안전규정을 준수하는지 감독

▶ 부적절한 결정 및 컨트롤 액션

- 협력업체의 작업 위험성평가 지침 미확인 및 평가결과 검토 미흡
- 협력업체 작업자에게 배관 교체 시 위험요인 미교육

▶ 상황(맥락)

- 생산팀에서 관리감독자에게 근처 관련 배관의 위험성 미공유
- 당일 작업을 작업 시작 직전 통보

▶ 멘탈 모델 결함

- 위험물질 배관의 보온재를 교체함에도 안전보호구 착용여부 미확인

▶ 권고 사항

- 작업대상을 포함하여 작업 반경 내에 있는 유해위험물질에 대한 안전교육 실시
- 작업 현장 인근 설비의 파손 등 위험성이 있을 경우, 보호커버 설치 등 인근설비에 대한 안전 대책 수립 확인

f) 환경안전팀

▶ 제약조건 및 안전요구사항

- 위험성평가 규정 및 절차서 등을 포함한 안전보건규정 작성 및 제공
- 사고사례, 위험성평가 등의 내용을 포함한 안전교육 실시
- 부서별 위험성평가 수행 시 지원 및 참여
- 위험성평가를 포함한 안전관리시스템의 정상 작동 여부 확인 및 점검
- 공장의 안전 감독
- 협력업체 안전관리
- 안전작업허가서 승인

▶ 부적절한 결정 및 컨트롤 액션

- 협력업체와 해당 작업에 대한 위험성평가 결과 논의 미실시
- 작업 당일 보온재 교체 관련 작업계획서 및 작업위험성평가 미확인
- 협력업체 작업자에 작업 관련 안전 교육 미실시

▶ 조직 결함

- 생산팀에서 요청한 작업허가서와 관련 위험요인을 미확인
- 협력업체 안전관리자와 작업위험성 평가를 미실시

▶ 권고 사항

- 작업 전 작업위험성 평가를 실시하고 관련 내용을 작업자에 교육 실시
- 작업과 관련하여 안전 확보에 필요한 사전 조치 사항등이 안전작업계획서에 반영



g) 안전보건총괄책임자

▶ 제약조건 및 안전요구사항

- 업무와 관련된 모든 노동자의 건강 및 안전을 보장
- 안전정책 수립(본사, 공장, 연구소 등) 및 안전관리시스템 구축
- 안전관리시스템 및 안전정책의 준수 여부 및 효과성 확인
- 사고 발생 시 사람과 주변 환경에 미치는 영향 완화
- 공장이 위치한 국가의 정부 규정 준수
- 안전팀의 역할 및 활동 감독
- 협력업체에 적절한 안전교육 제공

▶ 부적절한 결정 및 컨트롤 액션

- 시간적으로 촉박한 정비 보수 일정 수립
- 협력업체와 금번 작업에 대한 안전 정보 공유 부족

▶ 조직 결함

- 협력업체에 대한 안전 배려 부족
- 작업자의 안전보다 작업 일정을 중요시하는 조직 문화

▶ 권고 사항

- 정비보수작업에 대한 명확한 안전관리체계 구축
- 공정안전관리 시스템이 정상적으로 운영될 수 있도록 관리
- 직원의 안전을 고려하여 작업일정을 탄력적으로 조정할 수 있는 문화 구축
- 타 회사 및 과거 사고로부터 교훈을 얻을 수 있는 시스템 구축 및 운영



IV. 사고발생 원인

원인 1

누출사고 예방 시스템 미비

- STAMP 분석을 통해 얻은 손실에 대한 시스템적 결함(설비 결함, 멘탈 모델 결함, 조직 결함 등)과 상황(맥락)들을 종합해 볼 때, 배관 보온재 교체 작업 관련 누출 등의 예방조치가 미흡하였던 것을 시스템적 원인 분석으로 알 수 있다.
 - ▶ **정비 및 보수 작업에서의 설비 결함 요인**
 - 정수 재생라인의 가성소다(33%) 배관은 동절기에 배관의 동파 방지를 위하여 Steam Tracing을 설치하였으나, 해당 Tracing 재질이 Carbon Steel로 온도 및 부식에 취약하여 동절기에 빈번하게 손상되고 있어, 배관 재질 변경 등의 검토가 필요한 상황이었으나 해당 Steam Tracing 손상으로 사고 당일에 배관재질을 기존 Carbon Steel에서 동관으로 교체하기로 결정하였다.
 - ▶ **생산팀 및 협력업체, 관리감독자의 멘탈 모델 결함 요인**
 - 생산팀은 사전에 관련 작업을 공유하고 해당 작업의 위험요인을 제거한 작업계획서를 수립하고, 해당 배관에 있는 물질을 제거한 후 근처에 파손 가능한 배관이 있는 경우 안전보호조치를 수립해야 하나, 이러한 조치를 취하고 않고 사고 당일 오전에 협력업체에게 작업을 지시하였다.
 - 협력업체는 사고 당일 작업을 지시받았음에도 작업위험성평가를 실시하지 않고, 해당 작업을 사고재해자가 처음 실시하는 작업임에도 작업 관련 안전교육을 실시하지 않았다.
 - 관리감독자는 해당 배관의 위험성을 가장 잘 알고 있었음에도 작업자에게 추가적인 안전보호구 착용을 지시하지 않았고, 해당 작업과 관련한 안전대책 수립여부를 확인하지 않았다.
 - ▶ **생산팀 및 안전팀의 업무범위에서의 조직 결함 요인**
 - 일반적으로 위험물질 공급 차단, 배관 내 위험물 제거 및 근처 위험배관의 안전조치는 생산팀에서 실시하여 안전 상태를 확보한 후 안전팀에서 작업절차서 및 작업위험성평가가 적절하게 이루어졌는지 확인하고, 협력업체에게 설비 점검·보수작업을 지시하여야 하나, 안전팀은 생산팀에서 요청한 작업과 관련한 위험요인을 확인하지 않았고, 생산팀의 작업 요청에 의해 협력업체가 작업 위험성평가를 실시하지 않아도 작업을 바로 진행할 수 있는 절차 상의 문제를 내포하고 있었다.



원인
2

안전작업허가 지침서 미준수

- 사내 규정에 따라 안전작업허가 지침서에는 작업 전에 작업에 요구되는 모든 안전 요구사항에 대한 조치여부를 확인하고 작업허가서를 발행하게 되어 있으나, 염산의 위험성을 고려하지 않고 안전작업 허가서를 발행하였다.

원인
3

작업 전 안전보건교육 미흡

- 사고재해자는 해당 작업을(보온재 철거작업)을 최초로 실시하였으나, 해당 작업에 대한 안전보건 교육을 실시하지 않았고, 작업자는 해당 배관의 물질에 대한 위험성을 알지 못한 상태에서 작업을 진행하였다.

원인
4

배관 내 위험물질 제거 및 배관 보호조치 미흡

- 위험물질 취급 설비 관련 작업을 할 때에는 내용물의 차단 및 제거 작업을 실시하고, 인접한 배관 파손을 고려하여 보호조치를 실시해야 하나 위험물질 제거 및 배관 보호조치를 실시하지 않았다.



V. 동종사고 예방대책

대책 1

누출사고 예방 시스템 보완

- STAMP 분석을 통해 얻은 손실에 대한 결함(설비 결함, 멘탈 모델 결함, 조직 결함 등)을 해결하기 위한 전체적인 시스템 관점에서의 권장 사항은 다음과 같다.
 - ▶ **정비 및 보수 작업에서의 설비 결함에 대한 권고 사항**
 - Steam Tracing 배관의 Carbon Steel 재질은 온도 및 부식에 취약하여 빈번한 교체가 요구되므로 Steam의 온도에 적합하고 내식성이 강한 Stainless Steel 재질로 변경하는 등 위험빈도와 요인을 최소화하여 안전을 확보한다.
 - ▶ **멘탈 모델 결함에 대한 권고 사항**
 - 생산팀은 사전에 관련 팀에 작업을 공지하고 정비·보수 작업절차서 수립, 배관 내부의 액체 등이 누출되어 작업자에게 비산 등의 위험이 있을 경우에는 작업 전에 위험물을 배출, 세척, 치환 및 인접한 파손 위험 배관 방호조치 등의 사전 안전조치를 수행한다.
 - 협력업체는 작업 투입 전 작업위험성평가(JSA)를 실시 후, 작업위험성평가 결과 보완이 필요할 경우 안전팀에 요청하고, 해당 작업의 작업자에게 작업 관련 안전 교육을 실시한다.
 - 관리감독자는 해당 작업의 위험성을 가장 잘 알기에, 위험성평가 실시, 위험요인, 개선사항, 안전 대책 수립 여부를 확인하고, 미흡할 시 추가적인 안전 조치를 취한다.
 - ▶ **조직 결함에 대한 권고 사항**
 - 안전팀은 생산팀에서 작성한 작업계획서의 위험 요인을 파악하고, 작업위험성평가(JSA) 관련 안전 조치가 완료되었는지 확인하고, 작업 중 위험물 누출위험성이 있을 경우 적절한 개인보호구(안면보호구, 보호복, 보호장갑)를 지급하고, 착용 유무를 관리한다.

대책 2

안전작업허가 지침서 준수

- 사내규정인 안전작업허가 지침서에 명시되어 있는 바와 같이, 배관 내부 물질의 Drain 유무와 같은 사항을 배관 보존재 교체 작업 전에 확인하고 작업허가서를 발행한다.



대책
3

작업 전 안전보건교육 실시

- 해당 작업(보온재 철거 작업)을 처음 수행하다 재해가 발생하였으므로, 배관 내 물질에 대한 위험성을 충분히 알 수 있도록 작업 전 안전보건교육을 실시한다.
 - ① 작업준비 및 작업절차 수립
 - ② 작업 대상 및 작업 반경 내에 있는 유해위험물질에 대한 MSDS
 - ③ 염산에 대한 보호 조치(보호커버 등)
 - ④ 신체에 염산 노출 시 대응 조치
 - ⑤ 염산 누출 시 긴급 대피할 수 있는 작업발판(비계, 고소작업대)등의 설비 및 비상대응 체계
 - ⑥ 추락의 위험성이 있는 고소작업 시, 작업발판(비계, 고소작업대) 설치 및 개인보호구 (안전대 등) 착용

대책
4

배관 내 위험물질 제거 및 배관 보호조치

- 내부 작동 유체의 누출 위험이 있는 설비 및 배관의 정비·보수 작업 시, 작업 전 위험물을 배출, 세척, 치환하는 등의 안전 조치를 취한 후 작업을 실시해야 한다.
작업구역 내 위험물질을 사용하는 설비의 파손 우려가 있는 경우, 장치 및 배관의 파손에 대한 적절한 보호조치를 취한 후 작업자를 투입한다.



Ⅵ. 사고로부터 얻은 교훈

☑ 「배관 보온재 교체 작업 중 염산 누출 사고」로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

교훈 1

현장이 철저히 반영된 위험성평가에서 안전은 설계된다.

- 이번 사고는 유지·보수작업 시작 전 작업 현장의 상황이 충분히 검토되지 않은 상태에서 실시한 작업 위험성평가로 부터 비롯되었다.
- 위험성평가 시에는 작업 대상물과 같은 장소에 위치한 염산배관 파손 등 작업 시 발생할 수 있는 위험성을 최대한 파악하여야 한다.

교훈 2

작업계획서 작성 및 실행을 통해 안전은 확보된다.

- 작업계획서는 현장의 상황을 충분히 반영한 위험성평가를 실시하고 도출된 위험요인에 대한 대책을 포함하여 작성하여야 한다.
- 또한 적절한 개인보호구 선정, 비상시 대피방법 및 비상대응 체계 등을 반영하여 작성하여야 한다.
- 현장의 관리감독자는 주기적인 현장 점검을 실시하여 상황통제 및 작업감독의 실행을 통해 안전을 확보해야 한다.

교훈 3

내실 있는 작업전 안전교육은 사고를 예방한다.

- 작업현장의 위험성을 충분히 검토한 작업계획서와 작업위험성평가를 통해 도출된 안전보건대책 및 비상시 대처요령 등에 대해 안전보건교육을 작업자에게 실시해야 한다.
- 작업자는 교육 받은 작업 안전수칙 준수하여 사고를 예방해야 한다.



VII. 유사 사고사례

01

저장탱크 정비작업중 수산화나트륨 누출사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2020년 10월
사고장소	충남 소재 전자부품산업
피해내용	피해 없음
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> 수산화나트륨 저장탱크 막힘 해소 작업중 수위계 하부 배관 파손으로 수산화나트륨이 집수조로 누출되는 사고 발생하였다.

02

냉동창고 작업 중 인근 배관 파손에 의한 암모니아 누출사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2014년 7월
사고장소	경남 창원 소재 식료품 공장
피해내용	물적 피해 (인적 피해 없음)
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> 냉동창고 배관 절단 작업중 인근의 배관을 파손 시켜 암모니아 누출사고가 발생하였다.



VIII. 참고자료

- 1 산업안전보건법, 고용노동부; 2021
- 2 산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단; 2006
- 3 중대산업사고 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2010~2021
- 4 위험성평가 지침해설서-한국산업안전보건공단, 2020
- 5 KOSHA Guide P-151-2016 사고의 근본원인 분석기법에 관한 기술지침
- 6 CAST HANDBOOK: How to Learn More from Incidents and Accidents, Nancy G. Leveson, 2019

배관 보온재 교체 작업 중 염산 누출 사고



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

사고개요

- 2021년 1월 11일(월) ○○사업장 이온교환수지 재생공정 앞 파이프랙 3단에서(지상에서 8m 높이) 정수 재생제(가성소다 33%) 배관 보온재 교체 작업 중 동결된 보온재를 해체하는 과정에서 인접한 염산 배관(35%) 파손으로 누출된 염산(35%)이 파이프랙 2단에서(지상에서 6.5m 높이) 작업하던 작업자 2명의 목과 등에 접촉되어 작업자가 부상된 사고이다.

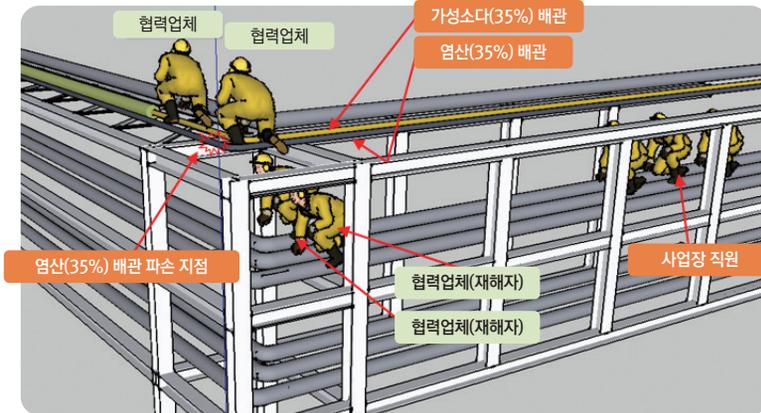


그림 1 사고발생장소(파이프랙 2단, 3단)



사고발생공정 및 물질

- 이온교환수지 재생공정은 염산(35%)과 희석수를 혼합하여 저농도 염산(3%)으로 이온교환수지(양이온)를 재생하고, 가성소다(33%)와 희석수를 혼합하여 저농도 가성소다(3%)로 이온교환수지(음이온)를 재생하는 공정으로 사고발생구간은 염산(35%) 공급 구간임

사고발생물질

물질명	CAS No.	독성정보			증기압 (20.0℃)
		경구	경피	흡입	
염산 35 % (Hydrochloric Acid 35 %)	7647-01-0	(LD50) 238 [mg/kg Rat]	(LD50) > 5,010 [mg/kg Rabbit]	(LC50) 1,562 [ppm(4hr) Rat]	76mmHg

배관 보온재 교체 작업 중 염산 누출 사고



사고발생원인

- 부적합한 작업계획서 작성
 - 사고 당일 오전에 작업을 지시하여 작업계획서에 염산, 가성소다, 등 위험물에 대해 구체적으로 언급이 되지 않았으며, 작업 시 위험물에 대한 위험성을 고려하지 않음
- 안전작업허가 지침서 미준수
 - 사내 규정에 따라 안전작업허가 지침서에는 작업 전에 작업에 요구되는 모든 안전 요구사항에 대한 조치여부를 확인하고 작업허가서를 발행하게 되어 있으나, 염산의 위험성을 고려하지 않음
- 작업 전 안전보건교육 미흡
 - 사고재해자는 해당 작업을(보온재 철거작업)을 최초로 실시하였으나, 해당 작업에 대한 안전보건교육을 실시하지 않음
- 배관 내 위험물질 내용물 제거 및 배관 보호조치 미실시
 - 위험물질 취급 설비 관련 작업을 할 때에는 내용물의 차단 및 제거 작업을 실시하고, 인접한 배관 파손을 고려하여 보호조치를 실시해야 하나 위험물질 제거 및 배관 보호조치를 실시하지 않음



동종사고 예방대책

- 작업현장에 맞는 작업 작업계획서 작성
 - 작업계획서는 작업시작 전 작업상황에 대하여 밸브의 조작순서, 배관 내용물의 치환 및 제거방법, 해당물질의 유해·위험성에 대한 정보, 보호구 착용 방법, 위험물에 접촉 및 흡입 시 행동절차 등에 대해 충분히 검토한 후 작업계획서를 작성해야 함
- 안전작업허가 지침서 준수
 - 안전작업허가서는 지침서의 내용을 준수하고, 발급 전 작업현장의 위험성을 충분히 검토한 후 발급해야 하고, 주요 위험작업(화기·고소·밀폐 및 위험물질 취급 작업 등)은 안전관리자가 현장 점검을 적절히 실시해야 함
- 작업현장에 맞는 안전보건교육 실시
 - 작업현장의 위험성을 충분히 검토한 작업계획서와 작업위험성평가를 통해 도출된 안전보건대책 및 비상시 대처요령 등에 대해 안전보건교육을 작업자에게 실시해야 함
- 작업 전 위험물 차단 및 배관 내 위험물 제거조치
 - 정비·보수 작업 시 설비 및 배관 내부의 액체 등이 누출되어 근로자에게 비산 등의 위험이 있을 경우에는 작업 전에 위험물을 배출, 세척, 치환하는 등의 사전 안전조치를 한 후 작업을 실시하고, 파손 우려가 있는 경우 보호커버 설치 등 적절한 방호조치를 실시해야 함

작성

김 상 중(안전보건공단 전북지역본부 화학사고예방센터(익산))

조 환 진(안전보건공단 전북지역본부 화학사고예방센터(익산))

심 재 훈(안전보건공단 전북지역본부 화학사고예방센터(익산))

김 명 곤(안전보건공단 전북지역본부 화학사고예방센터(익산))

검토

안전보건공단 중대산업사고예방실 공정안전부

2022-중대산업사고예방실-270

「배관 보온재 교체 작업 중 염산 누출 사고」 사례 연구

발 행 일 2022년 6월

발 행 인 한국산업안전보건공단 이사장 안종주

발 행 처 한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실

주 소 울산광역시 중구 중가로 400

전 화 (052) 703-0605

팩 스 (052) 703-0312

홈페이지 <http://www.kosha.or.kr>

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함



2022년
**화학사고
사례연구**

5호 : 배관 보온재 교체 작업 중
염산 누출사고 사례연구

