한국산업보건학회지, 제35권 제2호(2025) ISSN 2384-132X(Print) ISSN 2289-0564(Online)
Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 2025: 35(2): 119-126
https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2025.35.2.119

Technical Reports

전자산업 폐수처리 설비 정비 작업 안전보건 가이드

요 약

전자산업에서 발생한 폐수처리 설비와 부속 설비를 정비하는 작업자들은 화학물질 원액, 증기, 미스트, 입자 등에 노출될 수 있다. 화학물질로 인한 누출, 폭발, 화재, 질식, 건강 영향 등 잠재적 사고 위험도 있다. 폐수 중 화학물질 처리 공정 설비 정비 작업을 안전하게 마치려면 아래와 같은 주요 작업 절차를 따른다. 본 안전보건 가이드를 바탕으로 폐수 화학물질 처리 공정 기술, 방법, 규모 등 정비 작업 특성에 따른 구체적인 안전보건 조치 사항을 반영하여 사내 안전보건 기준/표준을 개발해서 사용할 것을 권장한다.

1. 폐수처리 설비 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 폐수 및 약품 배관, 수조, 설비, 기계, 부품(이하 폐수처리 설비)의 정비 작업 허가를 받는다.
- 폐수처리 설비 정비 작업 관련 부서와 협의하여 대상 설비의 스위치나 배관 밸브 등을 차단한 후 잠그고(Lock out, LO), 표시(Tag out, TO)한 꼬리표(LOTO)를 달아 놓는다. 작업자가 LOTO 등 인터록(interlock)을 해제하지 못하도록 조치한다.
- 폐수처리 설비 정비 작업공간을 주변과 격리하고, 정비구역을 표시하며, 출입을 제한한다. 크레인 등 위험한 기계나 기구를 사용할 경우, 운전자와 신호수를 지정하고 적절한 위치에 배치한다.
- 폐수처리 설비 정비 작업 시 발생할 수 있는 위험인자를 확인하고 통제할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 비상시 필요한 안전보건 시설(세척・세안 설비, 스프링클러, 배기 장치)과 개인보호장비의 성능을 점검한다.
- 폐수처리 설비 정비 작업자는 정비를 안전하게 수행하기 위한 내용을 훈련받고, 사고 발생 시 취해야 할 비상조치 사항을 확인하고 이해한다. 정비팀원 간 안전한 작업 요령 등도 확인한다.
- 폐수처리 설비 정비 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 호흡보호구는 유해 인자의 종류에 따라 방독 또는 고성능필터(HEPA filter) 마스크를 착용한다. 정비 대상 탱크를 열거나 배관을 수리하는 등 화학물질이 튈 가능성이 있는 작업을 할 때 고글형 보안경과 내화학복을 착용한다.
- 밀폐 탱크나 대형 수조와 같은 밀폐공간에 들어가기 전 공간 안을 충분히 세정하고 환기하여 산소 농도(18~23.5%), 온도, 기타 유해・위험 가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인한 후, 호흡보호구, 보안경, 내화학복 등 필요한 개인보호장비를 착용하고 들어간다.
- 용접 등 화기 작업이 필요한 경우 인화성 가스 등 주변 위험 요소를 통제하고, 환기 시설을 설치하거나 개인보호장비를 착용하는 등 안전조치를 취한 후, 관련 허가 절차를 밟는다.
- 일정 높이 이상에서 정비 작업을 하는 경우 작업 발판, 비계, 이동식 사다리 등의 작업대를 준비하고, 안전모, 추락 방지 장비 등을 착용한다.

2. 폐수처리 설비 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

- 정비 대상 설비의 커버, 볼트, 부품 등을 해체하고 붙일 때 안전조치를 취한다. 또한 크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 이용할 경우 적정한 기계 상태와 성능 점검, 운전자와 신호수 지정, 안전 구역 표시 등 철저한 안전조치를 취한다.

- 정비 대상 설비에서 기계, 장비, 부품 등에 대해 교체, 부착, 보정, 세정 등 정비 작업을 안전하게 수행한다.
- 밀폐공간에서 정비 작업을 하는 경우 감시인, 감독자 등을 추가 배치하고 지속적으로 공간을 환기하면서 산소 농도, 기타 유해·위험 가스 농도를 주기적으로 모니터링한다.

3. 폐수처리 설비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 폐수처리 설비 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채 정비 작업공간을 깨끗하게 청소한다. 정비 작업 후 생긴 폐기물은 특성에 따라 적절히 분류하고 보관한 후 신속하게 처리한다.
- 작업이 완료되면 착용했던 보호구를 청소하고 성능 이상 여부를 확인한 후 적절하게 보관한다.
- 관계 부서 및 관계자와 함께 폐수처리 설비 정비 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후 설비를 다시 가동하여 공정이 원활하게 작동하는지 관련 변수를 점검한다. 최적의 상태인지 확인하고, 정비 작업을 마친다.
- 폐수처리 설비 정비 이력 카드에 수행한 정비 작업 종류, 정비 날짜, 정비 작업자, 교체한 부분, 발생한 문제 등의 주요 정비 내력을 기록하고 보존한다.

4. 폐수처리 설비 정비 작업 주요 안전보건 점검 리스트

1) 정비 작업 전과 정비 작업 중 안전보건 점검 사항

점검 항목	예	아니오	해당 없음
회사 규정에 따라 화학물질 폐수처리 설비 정비 작업을 위한 안전 작업 허가서를 받았는가?			
○ 수조, 탱크 등 밀폐공간 출입			
○ 경계구역(line entry) 출입			
○ 크레인, 호이스트 등 중량물 운전 작업			
○ 전원 잠금과 표식(LO/TO) 검증 필요 작업			
○ 배관 교체/배수/플러싱 등			
○ 용접 등 화기 작업, 산소/인화성 가스 위험 확인			
○ 송풍기, 펌프, 컨베이어 등 정비			
○ 고농도 원액 화학물질 탱크로리 이송			
○ 굴착공사			
○ 고소작업			
○ 기타			
폐수처리 설비 정비 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 그 내용을 알고 있는가?			
정비팀원들 간의 안전한 작업 요령을 확인했는가?			
폐수처리 설비 정비 작업에 필요한 도면, 운전 절차서 등을 작업 전에 검토했는가?			
정비 대상 폐수 설비, 장비, 기계 등을 확인했는가?			
폐수처리와 정비 작업에 사용하는 화학물질의 물질안전보건자료에 대해 교육했는가?			
핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했으며, 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·위험 물질 위험성평가 실시)?			
관계 부서와 화학물질 폐수처리 공정의 운전을 중단하고, 유해·위험 물질을 제거했는가?			
관계 부서와 폐수처리 공정의 운전을 중단하고, 스위치나 배관 밸브 차단, 연동장치 해제 후 잠그기, 조작금지 꼬리표 부착 등의 안전조치를 취했는가?			

점검 항목		예	아니오	해당없음
배관에 설치된 밸브나 댐퍼를 통해 유해・위험 물질이 샐 가능성에 대비해 이중 밸브 또는 맹판을 설치했는가?				
배관 등 정비 대상 설비의 내부 압력 제거, 냉각, 유해・위험 물질 제거 등의 안전조치를 취했는가?				
압력을 받는 탱크는 대기압으로 낮춘 후, 탱크 또는 용기의 내용물을 안전하게 처리했는가?				
정비 작업구역을 설정하고 접근 제한 조치를 취했는가?				
정비 도구 등을 챙기고 성능을 확인했는가?				
배기 장치, 세척・세안 설비, 누출 방지 등의 작동 성능을 확인했는가?				
비상사태 발생 시 조치 사항 등 핵심 안전보건 교육을 받았는가?				
호흡보호구, 보안경, 내화학복 등 정비 작업에 필요한 개인보호장비를 착용했는가?				
밀폐공간 작업	가스농도계측기는 교정 유효기간 이내인가?			
	밀폐공간 등에서 화학물질을 이용한 세정 작업 동안 비상사태 발생 시 연락을 취할 동료 감시인(작업자) 또는 감독자를 근처에 배치했는가?			
	감시인은 밀폐공간 출입 때마다 인원 점검을 실시하고 있는가?			
	비상시 송기 마스크, 사다리, 섬유 로프 등의 대피용 기구를 비치했는가?			
	화학물질 폐수처리 시설 정비 작업공간을 지속적으로 환기해서 유해・위험 가스를 제거하고, 주기적으로 산소와 유해・위험 가스의 농도를 측정하고 있는가?			
크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 사용할 때 운전자와 신호수 지정, 연락 방법 파악, 작업구역 통제 등 필요한 안전조치를 취했는가?				
설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크러버로 연결된 이동식 진공 배기 장치(튜브)를 사용하고, 에어건 사용은 제한하거나 최소한으로 했는가?				
일정 높이에서 정비 작업을 할 때 안전 작업대와 안전난간 설치, 추락 방지 장비 착용 등 적절한 조치를 취했는가?				
추가적인 유해・위험 요인이 있다면 여기에 기록해 주세요.				
추가적인 유해・위험 요인은 제거되었는가?				

2) 정비 작업 후 안전보건 조치 사항 점검

점검 항목	예	아니오	해당없음
작업이 끝나고 작업자 인원수를 확인했고, 이상이 없는가?			
보호구를 착용하고, 액체, 고체 잔류물 등의 폐기물을 안전하게 수거하고 처리했는가?			
정비 작업 도구 등을 치우고, 폐수처리 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인했는가?			
안전장치 작동시험과 연동장치 기능을 복구했는가?			
대상 정비의 작동시험을 실시했는가?			
폐수처리 공정을 다시 가동하고 공정 테스트를 완료했는가?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 정비 이력(내력)을 기록했는가?			
폐수처리 설비 정비 중 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 아래에 써 주세요.			

1 목 적

(1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정에서 사용하고 폐기된 폐수의 화학물질 처리 공정 설비(이하 폐수처리 설비) 정비 작업에 대한 안전작업절차를 제공하여 작업 중 발생할 수 있는 유해·위험 요인에 대한 예방대책을 제시함으로써 작업자의 안전보건을 확보하는 것을 목적으로 한다.

2 적용 범위

(1) 이 가이드는 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 및 유사 산업의 생산공정에서 발생하는 폐수처리 설비와 부속 설비 정비 작업에 적용하여 작업자의 안전보건 유해·위험 요인 노출을 최소화한다.
(2) 폐수처리 공정 시설, 기계, 부품 등 정비 대상별로 발생하는 구체적인 안전보건 위험을 관리하기 위한 지침이나 가이드는 필요할 경우 따로 개발한다.
(3) 이 가이드는 폐수처리 공정을 이용하는 여러 산업에서 안전보건 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다.
(4) 제조공정에서 배출되는 산, 알칼리, 유기용제 등의 폐액을 폐기물 처리업체에 직접 의뢰, 수탁하는 경우의 처리 절차는 이 가이드의 내용에 포함되지 않는다.

3 용어의 정의

(1) 이 가이드에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

- 정비(Maintenance): 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정에서 사용하는 기계, 설비 등을 점검하고, 그 결과 발견된 결함과 고장을 보수하며, 부품 교체나 수정 작업과 같은 주기적인 예방조치를 하는 등 설비 유지관리에 관한 모든 작업을 말한다.
- 폐수처리 공정: 전자산업 제조공정에서 배출된 산, 알칼리, 유기물 등을 함유한 폐수를 처리하는 공정으로, 여과, 화학적 처리, 생물학적 처리 등을 통해 오염물질을 제거하는 과정을 말한다. 폐수처리를 통해 물에 함유된 유해 물질이 중화되거나 제거되어 환경으로 배출되거나 시설 내에서 재사용할 수 있게 된다.
- 밀폐공간(confined space): 산소결핍, 유해·위험 가스로 인한 질식·화재·폭발 등의 위험이 있는 장소로서, 안전보건규칙〈별표 18〉에서 정한 장소를 말한다. 작업 도중 해당 유해·위험이 발생할 우려가 있는 장소 또한 포함한다. 밀폐공간의 주요 안전보건 위험에는 급성 독성가스 노출, 산소결핍 또는 산소과잉, 휘발성 가스나 증기로 인한 화재 또는 폭발 위험 등이 있다. 또한 갇힘, 매몰, 접근 제한과 같은 물리적 위험도 발생할 우려가 있다.
- 유해·위험 요인(Hazard): 사람에게 부상, 질병을 일으키거나 재산이나 환경에 손상(Damage)을 입힐 만한 잠재적인 유해 요소 또는 손상의 원인이 되는 모든 것을 말한다. 화학물질, 기계, 프로세스 등이 있다. 이들 요인(요소)이 실제 사고(손실)로 전환되기 위해서는 자극이 필요하며, 이러한 자극으로는 기계적 고장, 시스템의 상태, 작업자의 실수 등 물리·화학적, 생물학적, 심리적, 행동적 원인이 있다.
- 수조, 저장탱크: 폐수와 처리수를 보관하는 공간이다. 폐수와 처리수의 화학적 특성과 보관 요건에 따라 유리섬유, 스테인리스스틸, 폴리에틸렌 등으로 만든다. 탱크 내부는 유지보수 작업 수행 시 출입과 탈출이 일반적으로 제한되어 있어 밀폐공간으로 간주하며, 따라서 엄격한 안전조치가 필요하다.
- 플러싱(Flushing): 장비의 배관이나 유체 라인 내부에 남아 있는 고농도 화학물질, 오염물질, 잔여물을 제거하기 위해 고압의 깨끗한 기체나 액체를 흘려 보내는 것을 말한다. 특히 황산이나 수산화나트륨 등 고농도 산과 알칼리 용액을 보내는 배관을 교체·수리할 때 작업자의 노출을 예방하는 데 반드시 필요한 과정이다.
- Lock-Out/Tag-Out(LOTO): 기계나 밸브 등이 임의로 가동될 수 없도록 에너지 차단장치에 잠금장치를 설치하고 표지(꼬리표 같은 경고 표지)를 달아 놓는 조치나 행위를 말한다.

• 위험성(Risk): 유해・위험 요인에 노출되어 해(Harm)를 입거나 손상을 입을 가능성(Likelihood) 또는 확률(Probability)을 말한다. 피해 또는 손상의 심각성과 유해・위험 요인에 노출될 가능성 또는 빈도로 설명한다.
• 인화성 가스(Flammable Gas): 정상 대기조건(1기압, 20℃) 하에서 공기와 혼합하여 인화되는 범위에 있는 가스로서, 인하 한계농도의 최저한도가 13% 이하 또는 최고한도와 최저한도의 차가 12% 이상인 물질을 말한다. 반도체 공정에서 직접 사용하기도 하고, 부산물로 발생할 수도 있다.
• 폭발성 한계: 특정 조건에서 스파크, 불꽃, 뜨거운 표면과 같은 점화원이 있을 때 빠르게 연소하거나 폭발하는 가스를 만들 수 있는 공기 중 가스나 증기의 농도 범위를 말한다. 폭발하한(Lower Explosive Limit, LEL)과 폭발상한(Upper Explosive Limit, UEL)의 두 가지 한계로 구성된다. 폭발하한은 공기 중 폭발성가스나 증기의 최소 농도를 나타내며, 그 이하에서는 폭발이 일어나지 않는다. 폭발상한은 공기 중 폭발성가스나 증기의 최대 농도를 나타내며, 그 이상에서는 연소가 일어나지 않는다.
• 질식(Asphyxiation): 산소가 인체 조직에 제대로 전달되지 않아 의식을 잃거나 사망에 이를 수 있는 상태를 말한다. 챔버 등 밀폐된 공간이 될 가능성이 있는 곳에서 산소가 부족하거나 유해・위험 가스가 쌓일 경우 질식이 발생할 우려가 있다.

(2) 기타 이 가이드에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 동법시행령, 동법시행규칙 및 안전규칙에서 정하는 바에 의한다.

4 관련 근거(법규와 표준)

- 산업안전보건법령
- KOSHA Guide G-104-2020, “화재 및 화학물질 누출사고 대응을 위한 비상조치계획에 관한 지침”
- KOSHA Guide G-12-2013, “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide G-132-2023, “벨트 슬링 사용・점검 등에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide G-133-2020, “와이어로프 슬링 사용・점검 등에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide G-134-2023, “체인 슬링 사용・점검 등에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide D-56-2016, “맹판 설치 및 제거에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide H-80-2021, “밀폐공간 작업 프로그램 수립 및 시행에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide M-186-2015, “크레인 달기기구 및 줄걸이 작업용 와이어로프의 작업에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide P-94-2021, “안전작업허가지침”
- KOSHA Guide P-97-2012, “가동전 안전점검에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide “시료채취 및 분석지침(A)”
- KOSHA Guide “건강진단 및 관리지침(H)”

5 폐수처리 설비 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

5.1 정비 안전 작업 허가

(1) 폐수처리 설비 정비 작업자(혹은 정비반)는 직무 안전 작업에 대한 사전 허가를 요청할 때 회사가 정한 규칙(예: 허가 승인 전 반드시 작업 심의 완료 확인)을 따른다. 폐수처리 시설 정비 대상(기계, 부품, 시설 등)에 따라 위험의 수준이 다르므로 허가 수준과 범위는 다를 수 있다. 고농도 화학물질 원액 접촉, 용접 등 화기 작업, 밀폐공간 작업, 고소작업 등은 위험성이 높은 작업이므로 허가 수준을 높이는 것이 바람직하다(표 1 참조).

표 1. 폐수처리 설비 정비 시 작업 허가 내용

허가 작업 종류	있음	없음/해당없음
수조, 탱크 등 밀폐공간 출입		
경계구역 출입(line entry)		
크레인, 호이스트 등 중량물 운전		
전원 잠금 및 표식(LO/TO) 검증		
배관 교체, 배수, 플러싱 등		
용접 등 화기 작업, 산소, 인화성 가스 위험 확인		
송풍기, 펌프, 컨베이어 등 정비		
고농도 원액 화학물질 탱크로리 이송		
굴착공사		
고소작업		
기타		

(2) 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide P-94-2021, “안전작업허가지침”을 따른다.

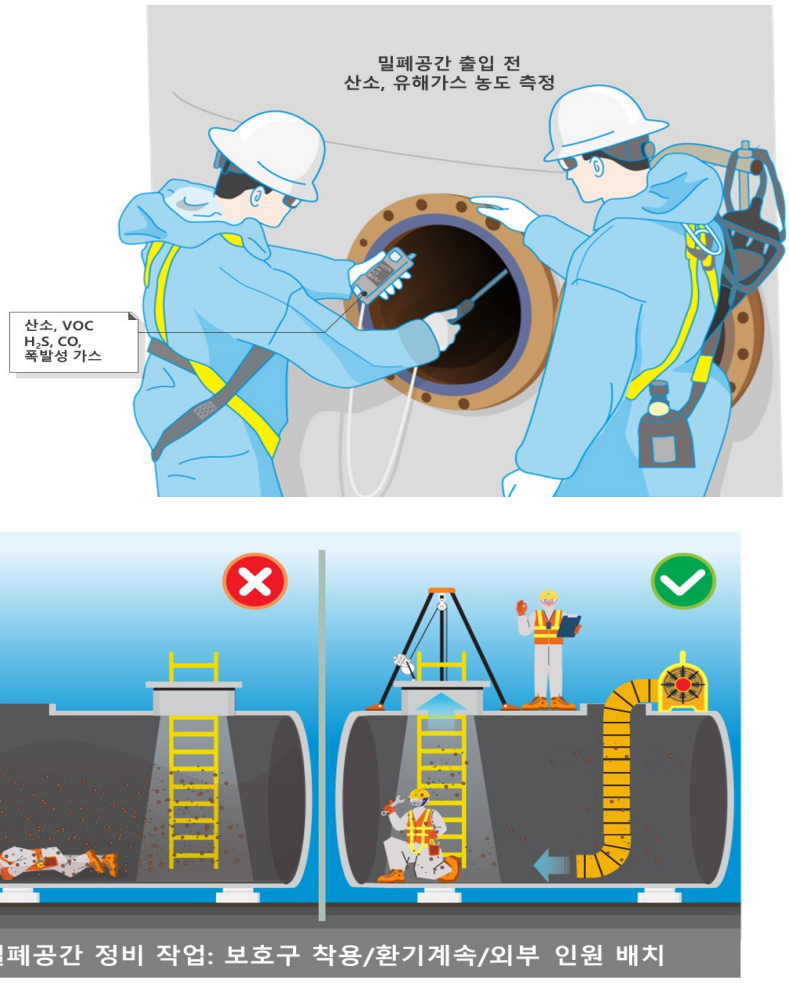
5.2 정비 작업 전 관계 부서와 협조, 확인

(1) 정비 작업과 연관되는 설비의 관계 부서 담당자와 범위・내용・협조 사항을 협의, 통보한다. 관계 부서는 정비 대상 설비의 운전 부서, 해당 폐수 라인이 연결된 제조 부서, 전원 관리 등의 유틸리티 부서 등이 될 수 있다.

(2) 회사 규칙에 따라 관계 부서와 협의하여 정비 작업 전, 정비 작업 중, 정비 작업 후에 담당해야 할 역할과 책임을 확인하고 소통한다.

(3) 안전한 정비 작업에 필요한 폐수 라인 차단·바이패스, 화학물질 공급 차단, 에너지 차단 등 정해진 관련 절차에 따라 안전보건 조치를 요청하고 확인한다.

(4) 수조, 탱크 등 밀폐공간에서 작업하는 동안 작업 상황을 감시할 수 있는 감시인을 지정하여 밀폐공간 밖 가까운 곳에 배치한다. 필요한 경우 정비 작업을 통제・관리하고 비상시 신속하게 대응할 수 있는 작업자(신호수, 감독자 등)를 추가 배치한다(그림 1 참조). 자세한 사항은 KOSHA Guide H-80-2021, “밀폐공간 작업 프로그램 수립 및 시행에 관한 기술지침”을 따른다.



[그림 1] 탱크 등 밀폐공간 정비 작업 전(위)과 작업 중(아래) 안전조치

5.3 정비 대상 장비의 운전 정지, 전기적 차단, 격리

(1) 정비 작업을 시작하기 전에 정비 대상 기계, 배관, 펌프, 송풍기, 탱크, 수조(집수조, 침전조, 반응조, 저장조 등) 등을 확인한다. 필요한 경우 배관의 플러싱, 내부 압력이나 진공 제거, 밸브 잠금, 전원 차단, 정비 모드 변경 등을 수행하며 회사에서 정한 작업 절차를 따른다. 정비 대상별로 밸브 잠금 방식이나 전원 차단 등의 격리 방법은 차이가 날 수 있다.

(2) 다음 설비의 전원은 완전 차단・분리하여 실수나 소통 결함 등으로 인해 우발적으로 장비가 가동되지 않도록 잠그고, 꼬리표를 달아 놓는다(아래 산업재해 사례 참조).

(가) 화학물질 이송 배관 밸브
(나) 믹서/교반기
(다) 컨베이어
(라) 송풍기
(마) 원심분리기
(바) 펌프
(사) 탱크
(아) 전기 장비 등

〈산업재해 사례〉

전원 차단 작동 방지 조치 취하지 않아 신체 끼임 발생

1〉 사고 재해자는 전자산업 # 공정 라인에서 동료 1명과 같이 장비 오류 대응 정비 작업 중 센서 감지 불량 확인을 위해 프로브 카드 홀더(Probe Card Holder) 안으로 손을 넣어 점검하던 중 척(Chuck)이 움직이며 손바닥이 끼임. 전원 설비 작동을 차단하지 않고 정비 작업 중 전원 작동으로 끼임 사고 발생. 모든 정비는 전원 작동을 차단하고 수행해야 함.

2〉 사고 재해자는 OO 공장에서 22:52경 전자산업 모듈동 검사 공정에서 중간 전자제품 배출 리프트 설비 정비를 위해 공정을 수동모드로 정지한 후, 포장 작업자에게는 정비 작업임을 알리고 설비를 정비함. 그러나 리프트 설비 임의 조작 금지 조치(LOTO)를 취하지 않은 상태였음. 정비 작업 중임을 알지 못한 셀(Cell) 검사 작업자가 리프트 공정 설비를 자동모드로 임의 전환함에 따라 리프트가 작동하여 재해자의 어깨와 등이 끼이는 중대재해가 발생함. 근원적 전원 설비 작동을 차단하기 위한 전원 차단 조치를 취하지 않아 발생한 사고임.

(3) 폐수처리 약품이나 폐수 라인의 중단은 공정 배관 도면(Piping and Instrumentation Diagram, P & ID)[1], 전기 단선도 등을 통해 차단 대상을 정확하게 확인하고, 정해진 순서와 절차에 따라 밸브, 스위치 등으로 실행한다. 밸브 차단과 관련된 부서와 연락 방법 등은 정비 작업서에 상세하게 기재한다. 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide D-56-2016, “맹판 설치 및 제거에 관한 기술지침” 등을 참조한다.
(4) 약품 이송 배관은 밸브, 콕, 댐퍼 등을 잠그고, 차단판을 설치한다. 이때 밸브, 콕, 차단판에는 잠금장치를 하고, 이를 임의로 열지 말라는 내용을 보기 쉬운 장소에 게시한다.

5.4 정비 대상 시설, 장비, 기계 등 확인 및 정비 작업구역 설정과 표시

(1) 탱크나 수조 등 밀폐공간으로 지정된 장소나 설비에서 작업할 경우에는 정비 대상 설비, 장비, 기계, 이동식 팬, 가스 측정기, 작업 인원 등을 확인한다. 외부에 감시인을 배치하고, 내부와 연락할 수 있는 통신 장비를 준비한다.
(2) 정비 작업구역을 구분하고 표시하여 사방에서 잘 보이도록 “작업 중 접근 금지” 등 안전표지를 붙이고, 접근 금지구역 펜스를 설치한다.

5.5 유해・위험 요인 식별과 확인(identification)

(1) 폐수처리 설비 정비 작업에서 공통으로 발생할 수 있는 잠재적 유해・위험 요인은 다음과 같다. 정비 대상 설비, 기계, 규모 등에 따라 유해・위험 요인의 발생 정도와 특성은 다를 수 있다.

(가) 화학물질 노출 위험: 폐수처리 설비 정비 작업자는 다양한 화학물질에 노출될 수 있으며, 이로 인해 항상 급성중독, 피부 화상이나 자극, 만성 호흡기질환, 눈 손상의 위험이 있다.
① 폐수에는 공정에서 폐기되는 다양한 화학물질이 포함되어 있으며, 대부분 유해하거나 유독할 수 있다. 하지만 정비 작업자는 화학물질의 종류나 위험을 잘 알지 못하는 경우가 있다.
② 폐수처리 설비 정비 작업자는 폐수에 포함된 화학물질 외에도 폐수처리를 위해 투입되는 화학물질(황산, 수산화나트륨, 황산알루미늄, 과산화수소 등)에도 노출될 수 있다.
③ 정비 대상 설비 안과 밖에서 부품을 세정할 때 사용하는 다양한 세정제(산, 알칼리, 유기용제류 등)에 노출될 수 있다.

1) 공정 시스템 또는 시설 내의 다양한 프로세스 장비, 기기, 파이프, 밸브의 상호 연결과 배치를 나타내는 상세한 도면

(나) 밀폐공간 관련 위험[2)]

① 폐수처리 탱크나 수조는 밀폐공간 또는 반밀폐공간으로, 산소부족이나 화학물질 중독, 갇힘, 매몰, 추락 등이 일어날 수 있는 환경이다. 폐수처리 기술, 설비 규모, 정비 작업 등에 따라 정비 공간의 크기와 밀폐 정도는 달라질 수 있다.

② 탱크 등의 유지보수를 위해 작업자가 해당 공간에 들어가 작업을 하는 경우 이로 인한 화학물질 중독 또는 화재·폭발 위험이 발생할 수 있다.

(다) 인체공학적 위험: 정비 대상 설비 뚜껑, 커버, 샤프트 등 무거운 부품이나 장비를 손으로 들어 올리거나 옮기는 작업, 설비 안, 위, 주변에서 불편한 자세로 설비 표면을 세정하고 정비하는 작업 등에서 근골격계질환이나 부상이 생길 수 있다.

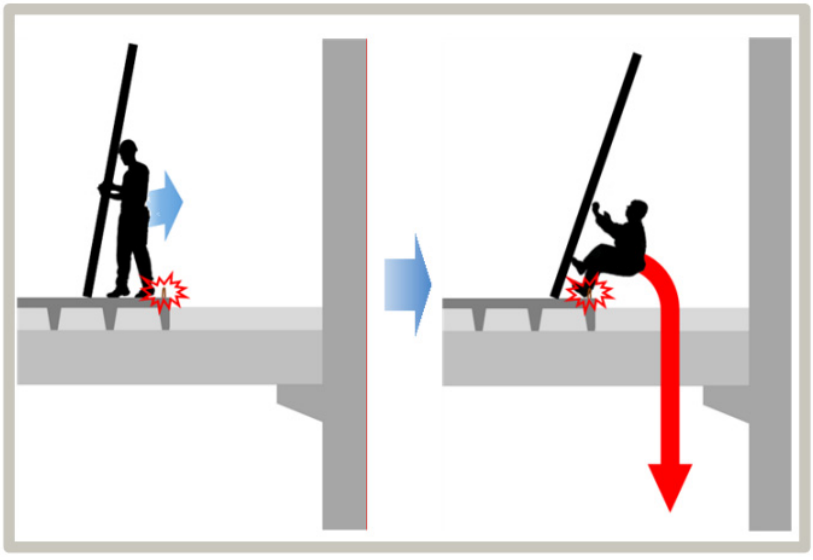
(라) 미끄러짐, 낙상 위험: 폐수처리장 공간은 습하고 미끄러울 수 있어 미끄러짐, 넘어짐, 낙상의 위험이 높다. 특히 장비나 도구가 통로에 방치되어 있거나 작업자가 높은 곳에서 작업하는 경우 이러한 위험은 증가할 수 있다.

(마) 추락 위험: 정비 대상 설비, 시설, 기계 등 구조물에 걸려 넘어질 위험이 있고, 일정 높이의 발판, 비계, 사다리 위에서 작업할 경우 추락 위험이 있다. 특히 개방형 수조를 점검하거나 탱크나 수조의 진입을 위해 사다리를 사용할 때 추락 가능성이 높다(그림 2 참조).

(바) 끼임, 말림 위험: 펌프, 송풍기, 교반기 등의 움직이는 기계 부품에 끼이거나 말리는 등의 물리적 위험이 있다.

(사) 감전 위험: 설비의 전원 차단을 위한 케이블 분리 시 감전 위험이 있다.

(아) 용접 등 화기 작업: 폐수처리 기계, 설비 등을 보수하기 위한 용접 작업 시 용접 흄이나 가스에 노출될 수 있으며, 화재 위험도 있다. 특히 밀폐공간 내에서 화기 작업을 해야 하는 경우 화학물질 중독, 질식, 화재, 폭발 위험이 더욱 커질 수 있다.



[그림 2] 폐수처리 설비 정비 작업 중 또는 후에 넘어짐

2) 업종, 공정, 제품 규격에 따라 작업자가 탱크나 수조 밖 또는 안으로 들어가서 정비하는 범위가 다양하다. 탱크의 크기 및 밀폐 정도에 따라 적정한 안전조치를 취해야 한다.

(2) 폐수처리 설비 중 주요 정비 대상 설비, 기계 등의 주요 기능과 유해·위험 요인은 다음과 같다.

(가) 펌프: 폐수와 폐수처리 약품을 시스템으로 이동하는 데 사용하는 장비이다. 사용 시 회전체로 인해 말리거나 끼일 위험이 있다. 특히 황산이나 수산화나트륨 등의 원액을 이송하는 데 사용되는 펌프의 주요 부품(예: 다이어프램)의 교체 시 화학물질 원액이 눈에 튀거나 피부에 직접 닿을 수 있다.
(나) 믹서/교반기: 화학물질을 혼합하거나 폐수를 폭기하는 데 사용하는 장비이다. 움직이는 부품이 있어 유지보수 중에 실수로 전원이 켜지면 말리거나 끼일 위험이 있다.
(다) 컨베이어: 슬러지나 기타 자재를 이동하기 위해 사용하는 장비이다. 사용 시 회전체에 끼일 위험이 있다.
(라) 송풍기: 폭기 또는 기타 목적으로 사용하는 장비이다. 고속으로 회전하는 부품으로 인해 말릴 위험이 있다.
(마) 원심분리기: 탈수 또는 기타 분리 공정에 사용하는 장비이다. 고속으로 회전하므로 말리거나 끼일 위험이 있다.
(바) 전기 장비: 감전 위험이 있다.
(사) 배관과 밸브: 배관에는 폐수처리 약품 배관이나 제조공정 폐수를 이송하는 폐수 배관 등 다양한 종류가 있다. PVC나 스테인리스스틸 재질의 파이프가 사용된다. 배관 정비 시 강산, 강알칼리 등의 화학물질에 직접 접촉할 수 있으며, 대량 누출의 위험도 있다. 스테인리스스틸 배관 교체 시 용접으로 인한 용접 흄과 스파크에 작업자가 노출되거나 화재가 일어날 위험이 있다.
(아) 탱크와 수조: 뚜껑이 설치된 탱크나 개방형 대형 수조 등은 허가를 요하는 밀폐공간이다. 저장된 물질(유기, 무기)의 성상에 따라 독성가스 중독이나 질식, 갇힘, 매몰의 위험이 있다.
(자) 폐액 이송 처리: 고농도 폐액을 탱크로리 등으로 이송할 때 고농도 폐액 접촉으로 인한 피부 화상과 증기 흡입 위험이 있다.

5.6 위험성 평가 실행과 심각도(Severity) 확인

(1) 정비 작업을 시작하기 전에 위험성평가를 수행하여 폐수처리 설비 정비 작업 중 발생하는 잠재적 유해・위험 요인을 파악하고(5.5항 참조), 이들을 제거・대체・완화하기 위한 조치를 취하여 안전하게 작업할 수 있도록 한다.

(가) 정비 작업자와 정비 책임자는 폐수처리 설비 정비 작업에서 일어날 수 있는 잠재적 유해・위험 요인을 파악하고, 위험 수준을 평가(위험성평가)한다.
(나) 정비 작업자는 위험성평가를 통해서 발견된 유해・위험 요인을 제거하거나 감소하는 적절한 공학적, 행정적 조치를 취하고 작업한다.

(2) 폐수처리 설비 정비 작업에서 안전보건 유해・위험 요인 노출 결과로 나타나는 심각성은 다음과 같이 일반적으로 추정할 수 있다.

(가) 화재, 폭발, 추락, 질식 등의 안전사고 발생 확률은 상대적으로 낮으나, 발생할 경우 작업자에게 치명적일 뿐만 아니라 공정 손실 등 경제적 손실이 매우 크다.
(나) 폐수 중화처리를 위해 사용하는 강산, 강알칼리(예: 황산, 수산화나트륨), 응집제(예: 황산알루미늄, 수산화칼슘, 폴리머) 등은 부식성, 자극성 물질로 피부 화상, 눈 손상, 호흡기 자극 등을 일으킬 수 있다.
(다) 폐수 중 다양한 화학물질이나 반응물질이 포함된 미스트, 먼지, 흄에 노출되어 급성 또는 만성 호흡기질환이나 피부 자극이 발생할 수 있다.
(라) 정비 대상 설비를 청소하고 정비하는 데 사용하는 세정제에는 급성과 만성 독성, 부식성, 인화성이 있는 산, 알칼리, 유기용제와 같은 유해화학물질이 포함되어 있다. 이러한 화학물질은 올바르게 취급하지 않으면 폭발・화재 등은 물론 급성중독, 피부 자극, 호흡기질환, 눈 손상 등을 일으킬 수 있다.

(3) 폐수 화학물질 처리 공정 지원 설비에 대한 안전보건 유해 요인 식별, 평가, 관리 방법은 “건강 유해 요인 평가 및 관리 가이드”를 참조한다.

〈산업재해 사례〉

폐수처리 집수조 내 인화성 가스 폭발 사고

2015년 7월 3일(금) 09:16경 울산 남구 소재 ○○(주) 울산2공장 폐수처리장의 폐수처리와 악취제거 환경설비 개선을 위하여 고농도 폐수 집수조 상부에서 폐수 이송 배관 연결 작업을 하던 중 폐수 집수조 내부에서 폭발이 발생하여 외주 협력 업체 작업자 6명이 사망하고, 인근 출하장 경비실 경비원 1명이 부상당한 사고임. 점화원은 사고 현장에서 발견한 TIG 용접기로 의심됨.

밀폐공간 출입 전 또는 작업 전 안전보건 조치(가스농도 측정, 근처 점화원 차단 등)를 취해야 함.

※ 폐수 집수조 크기: 가로 14.8m x 세로 12.8m x 높이 5.8m, 내용적 800㎥

5.7 안전보건 시설 등 성능 확인

(1) 가스, 증기, 흄, 먼지 등을 제거하기 위한 전체환기장치, 국소 배기 장치 등의 정상 작동과 성능
(2) 세척・세안 설비의 위치 확인과 작동 여부
(3) 스프링클러
(4) 개인보호장비 규격과 성능
(5) 정비 작업 시 생기는 화학 폐기물을 담는 폐기물 용기, 청소용품 준비 여부 등

5.8 안전보건 교육

(1) 폐수처리 설비 정비 작업자들은 정비 작업의 위험과 안전작업절차에 대한 포괄적인 특별 안전보건 교육을 받는다. 교육은 최초 교육, 정기 교육, 공정이나 설비 변경 시 교육 등으로 구분하며, 교육 시기나 내용, 시간 등을 구체화하여 명시할 것을 권장한다. 필요하면 법정 교육과 연계하여 통합 교육 프로그램을 만들어 실시할 수도 있다[3].
(2) 정비 작업 중의 유해・위험 요인과 그 요인을 줄이기 위해 회사가 정한 조치 사항을 교육 내용에 포함한다. 이는 작업 전, 작업 중, 작업 후 안전보건 조치 사항과 비상조치 사항 등을 포함한다.
(3) 정비 작업팀은 서로 안전한 정비 작업 방법, 절차, 협력 등을 충분히 소통하여 잠재적 사고 위험을 관리한다 (아래 산업재해 사례 참조).

〈산업재해 사례〉

정비팀 작업자 간 의사소통 미흡으로 인한 사고

사고 재해자는 전자산업 # 세정 설비에서 리프터 반송 기어와 커버 간섭 조치를 위해 2인 1조(1명 조작, 1명 설비) 작업 중 설비 조작자가 자신의 시야를 충분히 확보하지 않은 상태에서 사고 재해자가 설비 안에 있었는데도 전원을 작동하여 사고 재해자의 흉부가 끼임. 즉, 2인 1조 중 다른 1인의 안전이 확인되지 않은 상태에서 재작동이 이루어진 사례임. 반드시 전원을 차단하고 작업을 실시해야 하며, 전원에 잠금장치와 표지판(작업 중)을 설치해야 함. 전원을 끄지 않은 상태에서 작업을 해야 한다면 철저한 의사소통, 안전 시야 확보 등 조치를 취해야 함.

3) 고용노동부고시 제2024-20호, 안전보건교육규정[시행 2024. 4. 17.]

(4) 회사 규칙에 따라 정비 작업에 필요한 안전보건 교육을 실시하며, 그 결과를 기록하고 보관한다.

5.9 비상사태 발생 시 조치

(1) 정비 작업자는 폐수처리 설비 정비 작업을 할 때 일어날 수 있는 비상 상황에 대비하도록 사전에 다음과 같은 교육・훈련을 받는다.

(가) 비상사태 발생 시 보고 절차
(나) 비상 연락망 유지
(다) 비상 대피 절차, 비상 대피로, 대피 장소
(라) 재해자 구조 및 응급처치 방법
(마) 보호구 착용 방법
(바) 비상 대피 전 안전조치를 취해야 할 주요 공정 설비와 절차
(사) 비상 대피 후 수행해야 하는 행동과 절차
(아) 구조 또는 의료 업무를 맡은 직원의 지시에 따라야 하는 절차
(자) 세척・세안 설비의 위치와 작동 방법
(차) 유해 물질이 눈, 피부 등에 닿았을 때는 즉시 흐르는 물이나 세척 설비로 15분 이상 세척하고, 의사의 처치를 받는다.

(2) 정비 작업 감독자는 사고가 발생할 경우 작업공간의 위험 특성에 맞는 개인보호장비를 착용하고 구조 작업을 하며, 비상 연락망을 가동하여 신속하게 119 구조대에 신고한다(아래 산업재해 사례 참조). 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide G-104-2020, “화재 및 화학물질 누출사고 대응을 위한 비상조치계획에 관한 지침” 등을 참조한다.

〈산업재해 사례〉

정비 대상 설비 안 재해자 구조 시 호흡보호구 착용하지 않아 구조자 질식

사고 재해자는 전자산업 작업장에서 현장 점검 중 정비 대상 설비 안에 쓰러진 협력 업체 작업자를 확인하고, 주변 작업자에게 상황을 전파한 후 개인보호장비를 착용하지 않은 채로 챔버 안으로 들어가 쓰러진 작업자를 구조하다가 질소에 중독됨. 챔버, 탱크 등 밀폐공간 안에서 구조 등 응급조치를 할 때는 공기호흡기나 송기 마스크 등 적절한 개인보호장비를 착용하고 대응해야 함.

(3) 폐수처리 설비 정비 작업 중 긴급 사고가 발생했을 때 다음 각호와 같은 재해자 구조와 응급조치를 취한다.

(가) 질식, 추락, 폭발・화재, 안전사고, 화학물질 누출 등의 긴급 사고가 발생한 경우 정해진 보고 체계를 통해 상부에 알리고, 동료와 인근 작업자에게 알려 추가 사고가 발생하지 않도록 우선 조치를 취한다.
(나) 밀폐공간에서 사고가 난 경우 산소와 유해・위험 가스 농도를 측정하여 안전하다는 것이 확인되기 전에는 공기호흡기나 송기 마스크를 착용하고 구조 작업을 한다.
(다) 산소와 유해・위험 가스 농도는 관리감독자, 보건관리자, 안전관리자 또는 한국산업안전보건공단이 정하는 산소 및 유해가스 농도의 측정・평가에 관한 교육을 이수한 사람이 측정한다[4].

4) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제619조의 2(산소 및 유해가스 농도의 측정)

(라) 호흡기 관련 사고가 발생한 경우 빠르게 오염된 공간에서 사고자를 대피시키거나 공기호흡기나 송기 마스크를 사용하도록 하는 등의 응급조치를 한 후, 정비 책임자, 안전보건 관리자 등에 연락하여 적절한 의료 조치를 받도록 한다.

(마) 눈, 피부 등에 화학물질이 튀거나 닿았을 때는 즉시 근처 흐르는 물이나 세척·세안 설비로 15분 이상 세척하고, 정비 책임자, 상급자, 안전보건 관리자 등에 연락하여 적절한 조치를 받도록 한다.

(바) 추가 피해가 발생하지 않도록 필요한 조치를 단시간 내에 취하고, 빨리 정상화되도록 모두 협력한다.

(사) 필요하면 기타 잠재적인 안전사고, 중독 발생 물질에 대비한 적절한 비상조치 계획을 마련한다.

(4) 폐수처리 시설 정비 작업 전 점검해야 할 안전보건 유해 인자 리스트를 표 2와 같이 제시했다.

표 2. 폐수처리 시설 정비 작업 전 안전보건 유해 인자 점검 리스트

위험 구분		있음	없음/해당없음
장소 (접근)	혼잡 지역		
	고르지 못한 지면 또는 발판 등		
	밀폐공간		
	머리 위 장애물, 낙하물 등		
	보도 위 물체, 장애물		
	안전이 확보되지 않은 발판 등		
	번잡, 어수선함		
부딪힘, 갇힘, 빨려 들어감 등	날카로운 기계 등 물체		
	조임(pinch) 지점		
	고온, 냉동 표면		
	개방된 홀(구멍 등)		
	머리 위 작업		
	타격 물체		
	물체 부딪힘		
	화재, 스파크		
작업환경	소음		
	먼지		
	날씨		
	조명		
	열		
	미끄러운 바닥		
	강한 바람		
	플랜트 공정		
	납		
	석면		
	고온, 냉동 표면		
	고열		

위험 구분		있음	없음/해당없음
인체공학적	작업 자세/위치 불량		
	부적절 또는 정적 작업 자세		
	과도한 힘		
	과도한 반복		
	과도한 지속 시간		
	과도한 신체 뻗침		
넘어짐/추락	아래로 이동		
	같은 높이 이동		
	미끄러운 표면		
	개방된 바닥이나 벽 등		
	보호되지 않는 둘레/경계		
	(기어)오르는 작업		
	이전/이동		
	부식 지점		
유해화학물질	화상		
	노출		
	흡입		
	액체 분산		
	흄		
	유출/누출 등		
	공기 중 입자		
	갇힌 물질		
	납		
	석면		
	방사선		
저장된 에너지	압력		
	장력		
	전기(용접 등)		
	물질(고체/액체/기체)		
	가연(인화)성/폭발성		
	정전기		
공구/장비	공기 중 입자		
	흄		
	아크 섬광		
	날카로운 가장자리		
	작업에 적정하지 않은 도구		
	부러진 도구		
	회전 파트/부품		
	진동		
	충격		

6 폐수처리 설비 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

6.1 적절한 개인보호장비 착용

(1) 폐수처리 설비 정비 작업자는 호흡보호구, 보안경, 안전모, 고글, 귀마개, 보호의 등의 개인보호장비를 착용한다. 특히 산・알칼리 미스트, 미세먼지, 흄, 가스상 물질, 잔류 화학물질 등이 발생하는 경우에는 이를 제거할 수 있는 성능의 방독 또는 방진 마스크 등의 호흡보호구를 착용한다. 에어건, 송풍기, 펌프 등 가동으로 85데시벨 이상의 소음이 발생하는 경우에는 작업자 소음 노출을 줄이기 위해 청력 보호구를 착용할 것을 권장한다(아래 산업재해 사례 참조).

(2) 폐수처리 설비 정비 작업을 할 때 노출되는 안전보건 유해・위험 요인에 따라 사용해야 할 구체적인 보호구는 KOSHA Guide G-12-2013, “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침”을 참조해서 선택한다. 또한, 작업의 종류와 특성에 따라 표 3을 참조하여 착용해야 할 개인보호장비를 선정한다.

표 3. 유해화학물질 취급 설비 정비 시 개인보호장비 착용 가이드

구분	일반 기계 정비	화학물질 접촉 가능 작업	고농도 화학물질 접촉 가능 작업	화학물질 누출 시	
해당 작업	- 화학물질을 사용하지 않는 일반 기계나 설비	- 희석된 화학물질(산, 알칼리, 용제, 산화제 등)의 수송, 공급, 사용, 저장 관련 설비 - 제조 설비, 저장소, 저장 탱크, 배관, 밸브, 개스킷, 센서, 다이어프램 펌프 등 수리	- 고농도 원액(황산, 불산, 수산화나트륨, 암모니아, 용제 등)의 수송, 공급, 사용, 저장 관련 설비 - 제조 설비, 저장소, 저장 탱크, 배관, 밸브, 개스킷, 센서, 다이어프램 펌프 등 수리	- 희석된 화학물질이나 화학 폐수 다량 누출 시 - 화학물질이 알려져 있고, 주요 위험 요인이 증기가 아닌 액상일 경우	- 고농도 강산, 강알칼리 원액이나 폐액, 고휘발성 용제 대량 누출 시 - 최고 등급의 피부, 눈, 호흡기 보호가 필요한 경우[1] - 위험이 알려지지 않은 환경이나 밀폐공간 작업[1]
보호복	해당없음	내화학 앞치마 또는 내화학복(4형식)	내화학복(3형식)	내화학복(3/4형식)	내화학복(3/4형식) 내화학복 LEVEL A (캡슐형)[1]
호흡보호구	해당없음	해당없음	전면형 방독마스크	전면형 방독마스크	송기 마스크 또는 공기호흡기(SCBA)
내화학장갑	해당없음	○	○	○	○
눈보호구	해당없음	안전 고글+보안면	해당없음	해당없음	해당없음
안전화	안전화	안전화 또는 내화학 장화	내화학 장화	내화학 장화	내화학 장화
안전모	○	○	○	○	해당없음
선택사항	보안경, 청력 보호구, 방진 마스크, 장갑	반면형/전면형 방독마스크[2], 청력 보호구	송기 마스크[3], 청력 보호구	송기 마스크[2], 청력 보호구	보호복, 쿨링 장치, 안전모
기타				양방향 통신 장비	양방향 통신 장비

1) 화학물질의 위험이 알려지지 않고 최고 등급의 보호가 필요한 경우
2) 작업자 노출농도가 작업환경기준에 근접하거나 초과하는 경우
3) 작업자 노출농도가 작업환경 기준을 크게(25배 이상) 초과하는 경우

〈산업재해 사례〉

정비 작업 중 방독마스크 등 호흡보호구 착용하지 않아 화학물질 중독

1〉 사고 재해자는 전자산업 OO 사업장에 납품 설치한 CCSS 장비 내부 화학물질 누출 정비 SOP 작업을 마련하기 위해 호흡보호구를 착용하지 않은 채로 설비 장비 내부로 들어가 사진 촬영 중 세정 노즐에서 황산액이 분출되어 재해를 입음. 설비 안으로 들어가는 모든 작업자는 호흡보호구 등 적절한 개인보호장비를 착용해야 함.

2〉 사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 펌프 모델 변경 작업 진행 중 배관 내부에서 액체 화학물질이 눈으로 떨어져 눈이 손상됨. 배관 등 모든 정비 작업에서는 호흡기, 눈 등 신체를 보호하기 위한 개인보호장비를 착용해야 함.

3〉 사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 설비 정비 작업 중 설비 내 칼럼 기계 등을 스패너로 분해할 때 누출된 소량의 응축된 액체 화학물질이 신체와 접촉하여 접촉 부위가 따끔거리는 재해 발생. 배관, 칼럼 등 모든 설비 정비 작업에서는 설비에 남아 있을 수 있는 화학물질 누출로 재해를 입지 않도록 호흡기, 눈 등 신체를 보호하기 위한 개인보호장비를 착용해야 함.

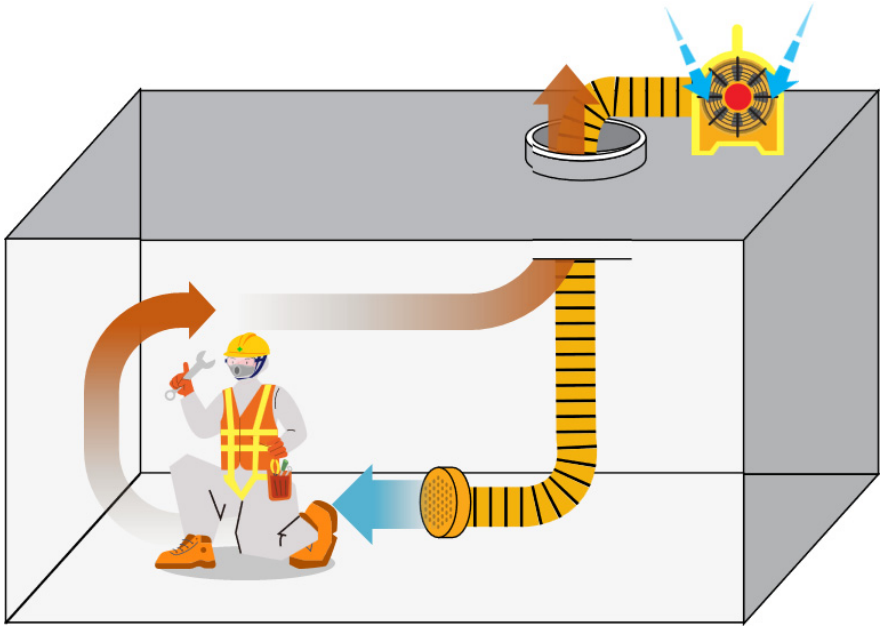
(3) 추락하거나 넘어질 위험이 있는 높이에서 작업할 경우 작업 발판이나 비계를 설치한다. 작업 발판 설치가 어려울 때는 추락 방호망을 설치하고, 이러한 조치가 곤란한 경우에는 작업자가 안전대를 착용한다[5].

6.2 정비 대상 설비 환기 등

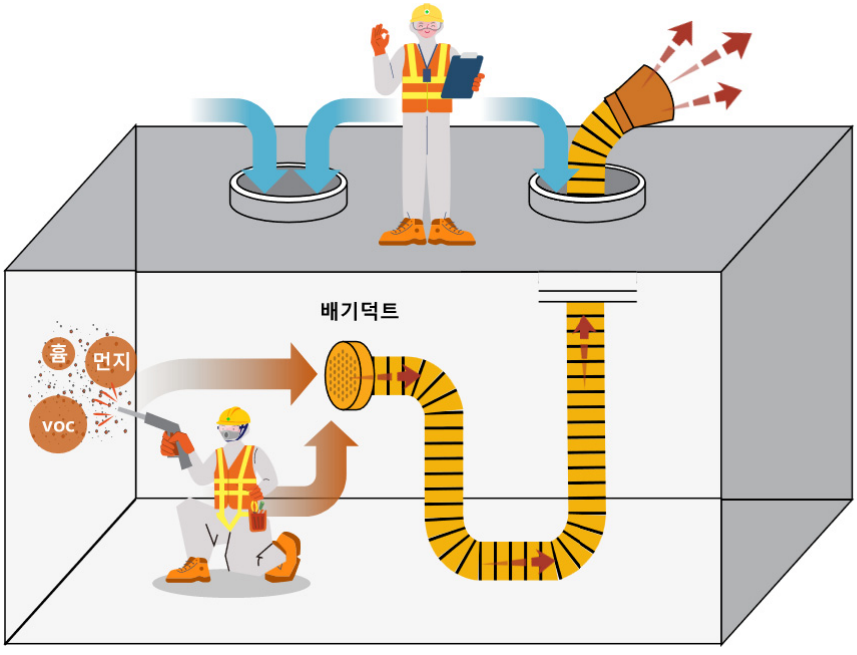
(1) 정비를 위한 폐수처리 탱크나 수조(집수조, 침전조, 반응조, 저장조 등)는 일반적으로 각종 화학물질의 잔류 농도가 높은 밀폐공간이다. 정비 작업자가 밀폐공간에 들어가 작업해야 하는 경우, 정비 작업 전과 작업 중에 지속적으로 외부 공기를 공급해서 산소 농도를 대기와 비슷하게 만들고, 탱크 내 화학물질의 농도를 최대한 낮춘다. 탱크 정비 작업 전은 물론이고 작업 동안 지속적으로 산소 농도(18.0~23.5%), 화학물질 농도, VOC, 폭발 범위 등을 모니터링하여 안전한 정비 작업 조건인지 확인한다.

(2) 정비 작업을 위해 탱크나 수조를 환기할 때는 밀폐공간 체적의 10배 이상 외부의 신선한 공기로 환기하고, 공기 상태가 적정한지 확인한 후 출입한다[6]. 작업환경에 따른 올바른 환기 방법은 그림 3~그림 5를 참조한다.

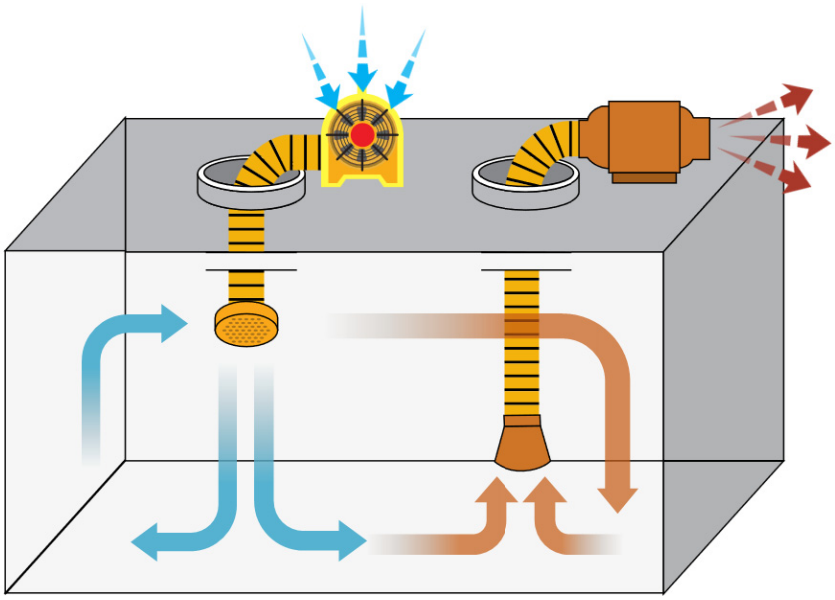
5) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제42조 추락의 방지
6) KOSHA Guide H-80-2021, “밀폐공간 작업 프로그램 수립 및 시행에 관한 기술지침”



[그림 3] 밀폐공간 내에 추가적인 오염 발생원(예: 용접 작업)이 없이 신선한 공기를 공급하는 경우



[그림 4] 밀폐공간 내에 오염 발생원(예: 용접 작업)이 있는 경우.
배기덕트를 최대한 오염 발생원 근처에 두고 작업함.



[그림 5] 급배기가 가능한 구조로 빠르게 밀폐공간을 환기해야 하는 경우.
밀폐공간의 오염 가스가 공기보다 무거운 경우(예: 염소 가스) 더욱 효율적임.

(3) 뚜껑이나 커버로 밀폐된 탱크나 챔버 등의 설비를 열기 전에 설비 안과 밖이 정비 작업을 할 수 있을 정도로 안전한 압력, 공기 상태인지를 확인하고, 유해・위험 가스 등이 충분히 제거될 때까지 환기하며, 적절한 조치를 한다(그림 5 참조).

6.3 정비 대상 설비 개방과 분해

(1) 정비 대상 설비를 열거나 분해·해체할 때 폐수처리 공정에서 사용된 각종 액상 화학물질이나 반응성 가스는 물론 미세입자 등이 튀거나 공기 중으로 흩어질 수 있다. 따라서 설비 내부에 남아 있는 유해・위험 물질을 작업절차서에 지시된 대로 드레인을 이용하여 안전하게 제거한다.

(2) 크레인, 호이스트, 리프트 등을 이용해 정비 대상 설비를 열고 기계, 부품 등을 분리・해체할 때는 필요한 안전조치를 취한다. 만약 크레인을 이용하여 무거운 부품을 분리하거나 이동할 때는 다음과 같은 안전조치를 취한다.

- 크레인을 이용한 중량물 운반작업 계획서를 작성하여 절차에 따라 작업을 지휘한다. 구체적인 절차는 장비, 설계, 현장 작업 여건에 따라 달라질 수 있다. 따라서 회사와 제조업체가 마련한 안전작업절차를 따른다.
- 크레인 하부에서 잠재적 사고가 발생할 수 있는 공간까지 작업과 출입을 금하며, 안전 구역을 잘 보이게 표시한다.
- 크레인의 정격 용량, 크레인의 와이어로프나 체인의 외관과 기능, 크레인이 해당 작업에 맞게 적절히 유지관리되고 인증되었는지 확인한다.
- 크레인의 위치, 정비 대상 설비 뚜껑의 부착 지점과 이동하는 경로를 포함하여 제거 프로세스를 계획한다.
- 훅, 와이어로프, 체인, 벨트 슬링 등의 줄걸이 용구 같은 리프팅 장비에 이상이 없는지 점검하고, 하중에 적합한지 확인한다.
- 크레인이 다른 장비나 구조물에 방해받지 않고 정비 대상 설비 뚜껑에 최적으로 접근할 수 있도록 배치한다.
- 제조업체에서 권장하는 리프팅 러그를 사용하고, 줄걸이 지점 등 정비 대상 설비 뚜껑을 들어 올릴 적절한 지점을 파악한다.
- 중량물 운반에 사용하는 용구는 안전율이 “3” 이상인 것을 구매하여 사용하며, 자체 제작 리프팅 러그를 사

용할 경우 비파괴시험을 한다[7]. 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide G-132-2023, “벨트 슬링 사용・점검 등에 관한 기술지침”, G-133-2020, “와이어로프 슬링 사용・점검 등에 관한 기술지침”, G-134-2023, “체인 슬링 사용・점검 등에 관한 기술지침” 등을 참조한다.

- 리프팅 중에 슬링이나 체인이 미끄러지거나 빠지지 않도록 단단히 붙었는지 다시 한번 확인한다. 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide M-186-2015, “크레인 달기기구 및 줄걸이 작업용 와이어로프의 작업에 관한 기술지침”을 참조한다.
- 크레인 운전자와 정비 대상 야드에 있는 교반기, 감속기 등 해체, 정비 등을 수행하는 과정에 관여하는 직원 사이에 명확하고 효과적인 의사소통 체계를 구축한다.
- 신호수는 크레인과 정비 대상 설비 뚜껑 주변에 접근 금지구역을 설정하여 허가받지 않은 사람이 들어가지 못하도록 하고, 운전자와 연락할 방법을 확보한다.

(3) 정비 대상 설비 내부의 공기 중 온도, 압력, 산소, 유해・위험 가스 농도가 일정 수준으로 유지되는지 확인한다. 정비 작업 중 공정 가스 등이 유입되지 않는지 수시로 확인한다(제4장 산업재해 사례 참조).

(4) 탱크나 수조의 밀폐공간 내의 산소 농도는 18.0~23.5% 이내인지, 폭발성가스 농도는 폭발하한의 10% 이하인지, 폭발성가스 농도는 폭발한계 밖인지, 기타 유해 물질의 농도는 작업환경 기준치나 사내 기준치를 초과하는지 평가한다(예: 황화수소(H_2S) 10ppm 이하, 일산화탄소(CO) 30ppm 미만). 정상적인 정비 작업이 불가능하다고 판단되면 해당 유해 요인을 제거하는 적절한 조치를 취한 후 정비 작업을 시작한다. 페인팅이나 용접 작업을 하는 경우 VOC, 흄 농도 등을 모니터링한다.

6.4 설비 정비

(1) 폐수처리 설비, 기계, 부품 등의 정비 시 설비의 구성 요소, 도구, 재료, 작업 방법 등은 회사가 정한 작업 절차서에 따른다.

(가) 밀폐공간에서 정비 작업을 할 때는 지속적으로 강제환기(그림 5 참조)를 하며, 작업 동안 지속적으로 산소 농도, 화학물질 농도, VOC, 폭발 범위 등을 모니터링하면서 안전하게 작업하도록 한다[8].

(나) 정비 대상 설비 등 교체할 기계, 부품이 무겁고 커서 크레인을 이용하여 작업할 때는 6.3(2)에서 정한 크레인 안전작업절차를 지킨다. 수동으로 제거, 교체할 경우 안전하고 근골격계에 부담이 적은 작업 절차를 따른다(아래 산업재해 사례 참조).

〈산업재해 사례〉

정비 작업 중 중량물 취급으로 인한 근골격계질환 발생

사고 재해자는 전자산업 ** 자동화 기계 셋업 중 약 3톤의 장비 밑에 핸드카를 넣어 살짝 든 다음 앞에서 당기는 과정에서 무리해서 힘을 줬고, 장비 이동 후 지렛대를 사용하여 세부 위치를 잡는 과정에서 과도하게 힘을 주어 허리에 손상을 입었음. 정비 작업 중 중량물 해체, 운반, 이동 등에서 반복적인 작업, 무리한 작업, 불안정한 자세 등으로 근골격계 손상이 일어남. 인체공학적 작업 매뉴얼 등이 필요함.

7) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제168조(변형되어 있는 훅・샤클 등의 사용금지)
8) KOSHA Guide H-80-2021, “밀폐공간 작업 프로그램 수립 및 시행에 관한 기술지침”

(2) 교체 대상 기계, 부품 등 이동, 보관, 세정 등 추가 조치

(가) 기계, 부품 등을 설비에서 뗀 후에는 조심스럽게 천천히 움직이면서 지정된 보관 장소나 적절한 지지 구조물로 옮긴다. 소형 부품, 기계 등을 인력으로 이동・운반할 경우, 인력 운반 작업계획서를 작성하여 계획에 따라 작업을 지휘한다.

(나) 기계, 부품 등이 우발적으로 움직이거나 쓰러지지 않도록 적절히 고정하고, 안정된 상태에서 기계 등을 보관 장소에 안전하게 내려놓는다.

(다) 교체 대상 기계, 부품 등을 공장 외부 등 세정 장소로 이동할 때는 안전사고를 예방하기 위한 조치를 취한다.

(3) 정비 대상 설비 안 또는 주변 정비 작업

(가) 정비 대상 설비 안 정비 작업 시 설비 구성 요소, 장비, 재료 등을 회사가 정한 규칙과 방법에 따른다.

(나) 정비 대상 설비 커버, 뚜껑 등을 뗀 후 설비 구조물에 걸려 넘어지지 않도록 유의하며, 필요한 경우 설비 내부로 들어간다[9].

(다) 설비 안 정비 작업 시 설비 구성 요소, 장비, 재료 등을 회사가 정한 규칙과 방법에 따른다.

(라) 정비 대상 설비 안, 밖, 표면 등을 클리닝한다. 진공청소기, 브러시, 헝겊, 오일, 유기용제 등을 사용하여 이물질, 먼지, 입자 등 잔여물을 철저히 제거한다. 설비를 세척하고 정비하는 데 사용되는 모든 화학물질은 규정에 따라 취급하며, 안전사고와 인체 노출을 방지하기 위해 적절한 예방조치를 한다. 정비 작업을 할 때 노출될 수 있는 위험 요소는 화학물질(세정제, 윤활제 등), 고압 살수(스케일 제거용) 등이 있다. 위험 요소별로 필요한 안전보건 조치를 취한다.

(마) 폐수처리 설비 정비 작업 중 설비에 남아 있거나 생성되는 가스상 물질, 입자상 물질 등을 제거하기 위해 배기 장치를 사용한다. 이동식 배기덕트를 사용할 경우 스크러버로 연결하며, 만약 어려울 경우 공기정화 장치를 붙인다. 에어건은 소음이 크고 먼지가 많이 날리기 때문에 사용 빈도와 사용 시간을 최소한으로 한다. 에어건을 사용할 경우 진공 배기덕트를 함께 사용하여 공기 중 먼지가 날리는 것을 최대한 억제하는 것이 좋다.

(바) 일정 높이에서 설비를 정비 작업할 때 발판 등에서 넘어지거나 높은 곳에서 추락하지 않도록 높이에 따른 작업공간 확보, 안전 난간 설치 등 적정한 예방조치를 취한다(아래 산업재해 사례 참조).

〈산업재해 사례〉

화학물질 탱크 위 대응 정비 작업 후 넘어지면서 주변 시설 파손으로 화학물질 중독

사고 재해자는 OO 공장에서 21시경 디스플레이 유리를 가공하는 설비의 불산 탱크 주변 센서 알람이 울리는 것을 확인함. 동료와 함께 설비 점검을 위해 탱크로 올라가 센서 점검 완료 후 탱크 측면으로 내려오다가 떨어지면서 불산 공급 배관의 용접부가 파손되어 눈 주위가 불산에 노출됨. 안면 보호 장비를 착용하지 않은 상태에서 정비 작업 후 넘어지면서 주변 시설 파손, 화학물질 누출 등의 사고가 발생함.

9) 폐수처리 방법이나 설비에 따라 작업자가 탱크 밖 또는 탱크 안으로 들어가서 정비하는 범위가 다양하다. 탱크 내부로 들어가는 경우 밀폐 정도에 따라 적절한 안전조치를 취해야 한다.

6.5 정비 작업 중 충분한 환기

(1) 정비 작업 동안 작업공간에 각종 화학물질이 포함된 먼지, 가스, 세정제 등이 쌓이지 않도록 전체환기장치나 국소 배기 장치를 이용해 지속적으로 적절한 환기를 한다.
(2) 탱크나 수조 등 밀폐공간에 남아 있는 화학물질은 6.2항에서 정한 대로 지속적으로 환기하고, 주기적으로 모니터링한다.

7 폐수처리 설비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

7.1 정비 후 청소 등 폐기물 처리

(1) 폐수처리 설비 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채로 정비 공간을 깨끗하게 청소한다. 정비 작업 중 유출되거나 누출된 물질은 즉시 수거한다.
(2) 정비 작업 후 생긴 화학 폐기물은 특성에 따라 적절히 분류하며, 지정된 장소에 보관하고 처리한다. 화학물질 폐기물을 처리할 때는 규정 요건에 따라 보관, 폐기한다.
(3) 폐기물의 화학적 특성에 따라 유기, 무기, 내산성, 내알칼리성 등을 갖춘 재질의 용기에 보관한다.
(4) 폐기물을 일정 기간 보관해야 할 경우 환기가 잘 되는 지정된 장소에 보관한다.

7.2 공정 재가동 전 안전보건 조치

(1) 폐수처리 설비 정비를 마친 후 운전을 다시 시작하기 전에 안전보건 조치를 취한다.
(2) 모든 정비 작업 도구와 장비가 제거되었는지, 설비가 적절하게 정비되었는지, 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인한다.
(3) 배관 등은 수압시험을 실시하여 누설 여부를 확인한다.
(4) 안전밸브 등은 작동시험을 실시하고, 기록을 보존한다.
(5) 전원 복원 등 연동장치는 기능을 복원하고, 정상 작동을 확인한 후 기록을 보존한다.
(6) 정비 작업을 마친 후 공정을 다시 가동하기 전에 제조 공정반, 정비 작업반 등 관계 부서 및 관계자와 함께 사전 안전보건 점검을 한다.

7.3 공정 재가동 후 공정 테스트

(1) 폐수처리 설비 정비 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후 폐수처리 공정을 다시 작동하고 공정이 원활하게 유지되는지 관련 운전 변수들을 점검한다. 설비 운전이 최적의 상태인지 확인하고 정비 작업을 마친다.
(2) 폐수처리 설비 정비 작업을 마치고 운전할 때 안전사고가 발생할 가능성이 높다. 따라서 재가동하거나 시험운전할 때 발생할 수 있는 사고에 대해서도 위험성평가에 반영하며, 가동 전 KOSHA Guide P-97-2012, “가동전 안전점검에 관한 기술지침”을 따른다.

7.4 개인보호장비 청소, 보관, 폐기 및 개인위생

(1) 모든 작업이 완료된 후 착용했던 보호구를 청소하고 성능을 확인한 후 적정한 장소에 보관한다.
(2) 오염된 개인보호장비는 정해진 절차에 따라 적절히 제거하고 폐기한다.
(3) 화학물질을 이용하거나 화학물질에 노출되는 설비 정비 작업을 마친 경우에는 목욕하고 옷을 갈아입은 후 퇴근하는 등 개인위생을 철저히 실천한다.

8 작업환경측정 및 특수건강진단 실시

(1) 사업주(보건관리자)는 폐수처리 설비 정비 작업자가 노출될 수 있는 유해 인자를 정기적으로 측정하고 모니터링한다. 자세한 유해 인자 측정 방법 지침은 KOSHA Guide “시료채취 및 분석지침(A)”들을 참조하여 정비 작업자가 노출되는 유해 인자 노출수준을 평가한다. 국내외에서 인정하는 공인된 시료 채취와 분석 방법을 활용하여 노출수준을 측정하고 평가한다. 노출 결과는 공정, 정비 작업 종류 등에 따라 평가하고, 그 결과에 따라 적정한 노출 저감 대책을 수립한다.

(2) 사업주는 폐수처리 설비 정비 작업자가 산업안전보건법령에서 정한 규정에 따라 특수건강진단을 받을 수 있도록 조치하고, 그 결과에 따라 질병 예방을 위한 건강 보호 조치를 취한다. 자세한 건강진단과 관리 지침은 KOSHA Guide “건강진단 및 관리지침(H)”을 참조하여 작업자의 질병 예방을 위한 지침으로 활용한다. 정비 작업자는 작업 중이나 후에 특이적 증상, 불편 등 질병 위험이 있다고 의심이 되는 경우 보건관리자나 의사에게 상담한다.

9 기록 유지 서류 작성 및 보존

(1) 폐수처리 설비 정비 작업과 재가동이 끝나면 회사가 정한 규정에 따라 정비 이력 카드에 수행한 정비 작업 종류, 정비 날짜, 정비 작업자, 교체한 부분, 발생한 문제, “주요 안전보건 유해·위험 요인” 등의 주요 정비 내력을 기록하고 보존한다.

(2) 폐수처리 설비 정비 기록 내용은 향후 유지보수 활동과 반복되는 잠재적 문제를 파악하는 데 도움이 된다.

(3) 폐수처리 설비 정비 작업에서 발생하는 안전보건 유해 요인 위험성평가 및 조치 등에 대해 아래와 같은 내용을 포함하도록 양식을 만들어 기록한다.

- 회사명
- 정비 대상 설비
- 위험성평가 수행자
- 다음 검토 날짜
- 위험성평가가 수행된 날짜
- 위험 피해를 볼 수 있는 대상
- 어떻게 피해를 주는지 요약
- 위험을 통제하기 위해 이미 수행 중인 작업
- 위험을 통제하기 위해 추가로 취해야 할 조치
- 조치를 수행해야 하는 사람
- 조치가 필요한 시기
- 완료 여부