

전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드

요 약

전자산업 공정 설비 정비 작업 중에는 공정에서 쓰인 각종 화학물질이 포함된 입자상 물질, 가스상 물질, 열, 전기에너지 등에 노출될 수 있다. 화학물질 누출, 폭발, 질식, 부상 등 잠재적 사고 위험도 있다. 전자산업 공정 설비 정비 작업을 안전하게 마치려면 아래와 같은 작업 절차를 따른다. 본 안전보건 가이드를 바탕으로 공정, 설비, 정비 작업 특성에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 사용할 것을 권장한다.

1. 전자산업 공정 설비 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 공정 설비 정비 작업 허가를 받는다.
- 공정 설비 정비 작업 관련 부서와 협의해서 공정 설비, 화학물질 배관 등을 전기적으로 차단하여 잠고(Lock out), 표시(Tag)한 꼬리표를 달아 놓는다.
- 공정 설비 정비 작업공간을 주변과 격리하고, 정비 구역을 표시하며, 출입을 제한한다. 크레인 등 위험한 기계나 기구를 사용할 경우, 운전자와 신호수를 지정하고 적절한 위치에 배치한다.
- 공정 설비 정비 작업 시 발생할 수 있는 위험인자를 확인하고 통제할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 정비 작업과 비상시 필요한 안전보건 시설(세척·세안 설비, 배기 장치)과 개인보호장비의 성능을 점검한다.
- 공정 설비 정비를 위한 기계, 도구 등을 챙기고 성능이 최적인지 확인한다.
- 정비를 안전하게 수행하기 위한 내용을 훈련받고, 사고 발생 시 취해야 할 비상조치 사항을 확인하고 이해한다. 정비팀원 간 안전한 작업 요령 등도 확인한다.
- 정비 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 호흡보호구는 방독 또는 고성능필터(HEPA) 마스크를 착용한다. 설비와 기계에서 먼지 등을 제거할 때는 고성능필터 마스크를 착용한다. 유기용제를 사용한 공정 설비를 정비할 때는 방독마스크 또는 성능이 그 이상인 호흡보호구를 사용한다. 밀폐공간에서의 작업 등 높은 농도의 유해 인자가 발생할 위험이 있는 정비 작업에서는 송기 마스크(Airline Mask) 착용을 검토한다.
- 챔버, 탱크, 배관 등 밀폐된 설비를 정비할 경우, 충분히 세정하고 퍼지하여 산소 농도, 온도, 기압, 유해가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인하고 기다린다. 챔버 등의 커버를 열 때는 내부의 열로부터 눈을 보호하기 위해 보안경을 착용한다.

2. 전자산업 공정 설비 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

- 챔버, 탱크, 배관 등을 열고 뚜껑(Shield), 커버, 타깃판 등을 해체하고 부착할 때 안전조치를 취한다. 또한 크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 이용할 경우 적절한 상태와 성능 점검, 운전자와 신호수 지정, 안전 구역 표시 등 철저한 안전조치를 취한다.
- 일정 높이의 발판, 사다리 등 높은 곳에서 정비 작업을 할 때 넘어짐, 추락 등에 주의한다.
- 챔버, 탱크, 배관, 설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크러버(Scrubber)로 연결된 이동식 진공 배기 장치(덕트, 튜브 등)를 사용하여 먼지 확산과 노출을 최소화한다. 에어건 사용은 제한하되, 사용해야 한다면 배기 장치와 병행하여 최소한으로 사용한다.

3. 전자산업 공정 설비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 공정 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.
- 관계 부서 및 관계자와 함께 공정 설비 정비 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후 전자산업 공정을 다시 작동하고, 공정이 원활하게 유지되는지 관련 변수를 점검한다. 최적의 상태인지 확인하고, 정비 작업을 마친다.
- 공정 설비 정비 작업 이력 카드에 수행한 정비 작업 종류, 정비 날짜, 정비 근로자, 교체한 부분, 발생한 문제 등의 주요 정비 내역을 기록하고 보존한다.

4. 전자산업 공정 설비 정비 작업 주요 안전보건 점검 리스트

1) 정비 작업 전 안전보건 점검 사항

점검 항목	예	아니오	해당 없음
정비 대상 챔버, 장비, 탱크, 배관, 기계 등의 정비 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 그 내용을 알고 있는가?			
챔버, 탱크, 배관 등 밀폐공간을 출입하기 전에 별도로 밀폐공간 안전작업허가서를 받았는가?			
정비 작업에 필요한 도면, 운전 절차서 등을 검토했는가?			
회사 규정에 따라 정비 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			
관계 부서와 공정 운전 중단, 유해·위험 물질 유입 차단, 전기 차단, 압축공기 차단 등의 안전조치를 했는가?			
정비 작업구역을 설정하고 접근 제한 조치를 취했는가?			
핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했으며, 사고 영향 범위를 알고 있는가?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
비상사태 발생 시 조치 사항 등 핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
방진 또는 방독 마스크 등 정비 작업에 적절한 개인보호장비를 착용했는가?			
밀폐공간을 지속적으로 퍼지해서 열, 먼지, 흙, 유해가스를 제거하고, 주기적으로 농도를 측정하고 있는가?			
크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 사용할 때 운전자와 신호수 지정, 작업구역 통제 등 필요한 안전조치를 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
보호구를 착용하고, 정비 후 폐기물을 안전하게 수거하고 처리했는가?			
정비 작업 도구 등을 치우고, 공정 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인했는가?			
공정을 다시 가동하고 공정 테스트를 완료했는가?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 정비 내역을 기록했는가?			

공정 설비 정비 후 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요.

1 목 적

- (1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 설비에서 이루어지는 다양한 기계·기구·설비의 정비, 청소, 검사, 수리, 교체 또는 조정 작업(이하 정비)에 대한 일반적인 안전작업절차를 제공하여 유해·위험 요인에 의한 부상 또는 질병, 환경, 재산상 손실을 예방한다.

2 적용 범위

- (1) 본 가이드는 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 설비를 대상으로 정비 작업을 할 때 일반적인 유해·위험 요인 때문에 일어날 수 있는 위험을 관리하는 데 적용한다.
- (2) 구체적인 반도체, LCD, OLED 제조 공정, 공정 지원 설비와 시설, 건물 등을 대상으로 수행해야 할 정비 작업 절차나 안전보건 가이드는 이들 정비 작업 특성을 감안하여 추가로 개발할 필요가 있다.

3 용어의 정의

- (1) 본 가이드에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.
 - 클린룸(Clean room): 먼지 등 공기 중 입자가 제품 보호를 위한 청결 기준을 충족하도록 유지·관리되는 공간으로, 전자산업 제조 공정 중 오염을 최소화하고 높은 수준의 청결을 유지하도록 설계된 공정 환경이다. 일반적으로 첨단 여과 시스템, 제어된 공기 흐름, 엄격한 직원 출입 및 보호 복장 규정을 통해 오염물질이 제조 공정에 유입되는 것을 방지한다. 이러한 방지 장치들을 통해 우수한 성능과 품질을 갖춘 반도체, LCD, OLED 등 각종 전자부품과 장치를 생산할 수 있도록 보장한다.
 - 정비(Maintenance): 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정에서 사용하는 기계, 설비 등을 점검하고, 점검 결과 발견된 결함과 고장을 보수하며, 부품 교체나 수정 작업과 같은 주기적인 예방조치를 하는 등 설비 유지관리에 관한 모든 작업을 말한다. 일반적인 의미에서 예방 유지보수(Preventive Maintenance, PM)와 대응 정비(Breakdown or Corrective Maintenance, BM)로 분류할 수 있다. PM은 장비 고장을 방지하고 지속적인 작동을 보장하기 위한 계획된 정비이다. BM은 장비 고장이 발생한 후 이를 해결하기 위한 정비이다. 여기에는 결함이 있는 구성 요소를 수리하거나 교체하여 장비를 작동 상태로 복원하는 작업이 포함된다.
 - 반도체 제조 공정(Fabrication): 실리콘 웨이퍼에 재료를 층층이 쌓고 전기적 특성을 부여함으로써 집적회로(Integrated Circuits, ICs)와 같은 반도체 저장장치를 만들어 다양한 전자기기에 사용하는 공정을 통틀어서 말한다. 집적회로를 만드는 적층성장(Epitaxial Growth), 산화, 포토리소그래피(Photolithography), 식각(Etching), 불순물확산, 이온주입, 화학기상증착(CVD; Chemical Vapor Deposition), 증착·스퍼터(Sputter) 등의 공정을 포함한다.
 - 유기발광다이오드(Organic Light Emitting Diode, OLED): TV, 스마트폰, 웨어러블 기기 등 전자기기에 사용되는 디스플레이 소자의 일종으로, 탄소 기반 고분자나 저분자와 같은 유기물질에 전류를 가하면 빛을 방출하는 원리를 이용한다. 기존 LCD보다 더 얇고 유연할 뿐만 아니라 명암비와 색재현이 더 뛰어나다. 각 픽셀은 활성화할 때 빛을 발하는 유기물질로 구성되며, 디스플레이가 켜지면 픽셀에 전류가 가해져 특정 색상의 빛을 방출한다.
 - 액정디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD): 텔레비전, 컴퓨터 모니터, 스마트폰 등 다양한 전자기기에 널리 사용되는 디스플레이로, 투과 전압에 따라 액정 투과도가 변화하는 원리를 이용한다. LCD 제조 공정에는 유리 기판 준비, 박막트랜지스터(Thin Film Transistor, TFT) 제작, 컬러필터 증착, 액정 정렬, 백라이트, 조립 및 테스트 등의 공정이 포함된다. 일반적으로 OLED에 비해 생산 비용이 더 효율적이다. 그러나 액정 픽셀을 비추기 위해 별도의 백라이트가 필요하므로 OLED보다 두껍고 무겁다. 따라서 얇고 가벼운 디바이스에는 적용이 제한될 수 있다.

- 포토리소그래피(Photolithography, 포토): 포토레지스트(Photoresists, PR)라는 감광성 물질을 사용하여 실리콘 웨이퍼 표면에 정밀한 반도체 회로 패턴을 생성하는 단계를 말한다. 실리콘 웨이퍼에 PR을 코팅하고 마스크를 통해 빛에 노출한 후 PR을 현상하여 원하는 패턴을 생성한다. 반도체 저장장치를 만드는 핵심 공정이다.
- 식각(Etching): 화학적 또는 물리적 수단을 써 기판 표면에서 물질을 제거하는 작업을 말한다. 반도체, OLED 제조 등 전자산업에서 원하는 회로 패턴, 구조 또는 표면 특성을 얻기 위해 수행한다.
- 증착(Deposition): 반도체, LCD, OLED 제조 공정에서 금속, 무기, 유기 물질의 얇은 층을 기판에 쌓는 공정을 말한다. 주요 증착 공정으로는 물리기상증착(Physical Vapor Deposition, PVD)과 화학기상증착(Cheical Vapor Deposition, CVD)이 있다.
- 챔버(Chamber): 무기, 유기 물질이 증착되는 환경을 제어하도록 설계된 진공 공간을 말한다. 일반적으로 스테인리스스틸이나 알루미늄과 같은 금속으로 만들어진다. 챔버 내부에는 기판이 놓이는 기판 홀더나 스테이지가 있고, 이 홀더는 증착 공정을 쉽게 하기 위해 특정 온도로 가열한다. 또한 증착 공정 중에 고진공 유지를 위한 일련의 펌프와 진공 환경의 온도, 압력, 구성을 모니터링하기 위한 센서·게이지가 설치되어 있다. 재료 증착을 정밀하게 제어하고 최종 장치의 품질과 균일성을 보장하기 때문에 매우 중요한 구성 요소이다.
- 유해·위험 요인(Hazard): 사람의 부상, 질병을 일으키거나 재산이나 환경에 손상(Damage)을 입힐 만한 잠재적인 유해 요소 또는 손상의 원인이 되는 모든 것을 말한다. 건설물, 기계·기구·설비, 원재료, 가스, 증기, 분진, 근로자의 작업 행동 등이 있다.
- 위험성(Risk): 유해·위험 요인에 노출되어 피해(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): 인화 한계농도의 최저한도가 13 % 이하 또는 최고한도와 최저한도의 차가 12 % 이상인 물질 중 표준압력(101.3 kPa)과 20 °C에서 가스 상태인 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 폭발성 가스나 증기의 최소 농도를 나타내며, 그 이하에서는 폭발이 일어나지 않는다. 폭발상한은 공기 중 폭발성 가스나 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. 반도체, LCD, OLED 제조와 같은 전자산업 공정의 챔버 등 밀폐된 공간에서 정비 작업을 할 때 질소, 아르곤, 헬륨 등 불활성가스의 누출로 산소결핍이 일어나고, 질식이 발생할 우려가 있다.

(2) 이 가이드에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법령과 KOSHA GUIDE에서 정하는 바에 따른다.

4 관련 근거(법규와 표준)

- 산업안전보건법령, 위험 요인, 안전 조건 및 방호 장치 특성
- 전기 안전 관련 EMC, EMI, EMS, 화재, 방폭 관리 방법
- 가스 안전 관련 연소, 화재, 폭발, 폭굉, 가스 기구, 안전 장구 특성
- 화학물질 관련 누출, 유해성, GHS, MSDS, 노출 기준 특성

5 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

5.1 정비 안전 작업 허가

(1) 안전한 정비 작업을 위한 안전 작업 허가 여부, 허가 범위, 허가 방법, 기록 등은 정비 대상 작업별로 추정되는

위험의 수준에 맞추어 회사가 정한 규칙(표준)을 따른다.

- (2) 정비 작업 책임자는 정비 대상 작업에 대한 위험성평가를 하고 안전작업허가서를 작성한 후, 해당 공정 조직 또는 회사에서 정한 규칙과 절차에 따라 대면 확인, 서면 확인 등으로 정비 작업을 승인받는다.
- (3) 정비 작업 책임자는 안전작업허가서에 기록된 안전조치 사항을 확인·점검하고, 보충 작업에 대해서는 회사가 정한 절차에 따라 조치하고 관련 내용을 기록·관리한다.
- (4) 반도체, OLED 제조 등 전자산업에서 수행하는 정비 작업에 대한 작업 허가 종류, 허가 발급, 허가 승인, 허가서 작성 등의 구체적인 내용은 KOSHA GUIDE P-94-2021 “안전작업허가지침”¹⁾을 활용한다.

5.2 정비 작업 전 관계 부서와 협조, 확인

- (1) 정비 작업과 연관되는 관계 부서 담당자에게 정비 작업 범위·내용·협조 사항을 요청하거나 협력하고, 정해진 절차에 따라 작업을 수행한다.
- (2) 안전한 정비 작업에 필요한 원료 공급 차단, 공정 차단, 에너지 차단 등 정해진 관련 절차에 따라 조치를 요청하고 확인한다.
- (3) 공정 설비 정비를 위탁 사업자에게 맡기는 경우에는 미리 해당 사업자와 협의하여 작업 시간, 작업 방법, 작업 순서, 이상 시의 대응 등에 관한 대책을 강구한다.
- (4) 필요한 경우 정비 작업을 통제·관리하고 비상시 신속하게 대응할 수 있는 근로자(신호수, 감독자 등)를 배치한다.

5.3 공정 장비 운전, 전기적 차단, 격리

- (1) 정비 작업을 시작하기 전에 정비 대상 설비, 기계, 부품 등의 상태를 확인하고 전원이 차단되었는지 점검한다.
- (2) 전원은 완전 차단·분리하여 절대 실수 등으로 인해 우발적으로 장비가 가동되지 않도록 잠그고, 표시한 꼬리표를 달아 놓는다(Lock-Out/Tag-Out, LOTO)(아래 산재사고 사례 참조).

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 중 임의 알지 못한 셀(Cell) 검사 근로자가 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) 공정 원료 공급 중단 등은 공정 배관 도면(Piping and Instrumentation Diagram, P & ID)²⁾, 전기 단선도 등을 통해 차단 대상을 정확하게 확인하고, 정해진 순서와 절차에 따라 밸브, 스위치 등으로 실행한다. 밸브 차단에 관련된 부서와 연락 방법 등은 정비작업서에 상세하게 기재한다.

1) 한국산업안전보건공단, 안전작업허가지침, KOSHA GUIDE P-94-2021, 2021, 12

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

- (4) 유해가스, 불활성가스 등이 유입될 가능성이 있는 배관이나 덕트는 밸브, 콕, 댐퍼 등을 잠그고, 차단판을 설치한다. 이때 밸브, 콕, 차단판에는 잠금장치를 하고, 이를 임의로 열지 말라는 내용을 보기 쉬운 장소에 게시한다³⁾(아래 산재사고 사례 참조).

정비 작업 중 가스 등 화학물질 유입

사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 챔버 안에서 정비 작업 중 원인이 밝혀지지 않은 질소 유입으로 질식하여 사망함. 정비 작업 중 가스 유입으로 인한 중대재해임. 모든 정비 작업 중 화학물질 유입, 전원 등을 반드시 차단해야 함. 관계 부서 협의, 잠금장치 설치 등 근원적 조치를 취해야 함.

5.4 정비 작업 대상 확인 및 정비 작업구역 설정과 표시

- (1) 정비 작업을 해야 할 공정 설비, 장비, 기계 등을 확인한다.
- (2) 공정에서 정비 작업구역을 구분하고 표시하여 사방에서 잘 보이도록 “작업 중 접근 금지” 등 안전표지를 붙이고, 접근 금지구역 펜스를 설치한다.

5.5 위험성평가 실행과 심각성(Severity) 확인

- (1) 정비 작업을 시작하기 전에 위험성평가를 수행하여 정비 작업 중 발생하는 각종 유해·위험 요인을 파악하고, 제거 또는 감소를 위한 적절한 조치를 취하여 안전하게 작업할 수 있도록 한다.
 - (가) 정비 근로자와 정비 책임자는 정비 작업에서 일어날 수 있는 잠재적 유해·위험 요인을 파악하고 위험 수준을 평가(위험성평가)한다.
 - (나) 정비 근로자는 위험성평가를 통해서 발견된 유해·위험 요인을 제거하거나 감소하는 적절한 공학적, 행정적 조치를 취한다.
- (2) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 설비 정비 작업에서 일반적으로 발생할 수 있는 잠재적 유해·위험 요인은 다음과 같다.
 - (가) 기계·설비로 인한 위험: 위험한 곳이 노출된 기계나 설비 가동 부분, 위험한 표면을 지닌 부품이나 기계·기구, 넘어짐·떨어짐 등
 - (나) 전기적인 위험: 전기설비 충전부(Lived Part) 접촉·누전 등에 의한 감전, 단락 등에 의한 아크 화상, 정전기에 의한 화재·폭발 등
 - (다) 밀폐공간 관련 위험: 밀폐공간⁴⁾ 내 산소결핍과 유해가스 중독 위험, 질소와 아르곤 등 불활성가스에 의한 산소결핍, 이산화탄소 등 소화약제 방출에 의한 질식 위험 등이 있다. 밀폐공간 대상과 밀폐 정도는 정비 설비에 따라 다르다.
 - (라) 인화성 관련 위험: 인화성 가스·증기에 의한 화재와 폭발 위험, 인화점 이상으로 운전되는 공정, 복사열, 고농도 산소, 산화제가 있는 작업환경
 - (마) 화학물질 노출 위험: 정비 작업 중 노출 시 피부와 눈 자극, 호흡기질환 등 질병 발생 위험이 있는 가스, 증기, 흙, 미스트, 미세먼지 등이 있다. 정비 대상 설비 안과 밖에서 부품을 세정할 때 사용하는 화학물질(IPA, 아세톤 등)에 노출될 수도 있다. 정비 대상 설비를 열고 부품을 분해하고 청소, 정비 등을 수행할 때 증착 공정에 사용된 각종 화학물질 등이 포함된 미세먼지에 노출될 수 있다. 미세먼지 성분은 공정 기술에 따라 달라진다.

3) 산업안전보건기준에 관한 규칙

4) 업종, 공정, 제품 규격에 따라 근로자가 챔버, 탱크, 배관 등 정비 대상 설비 밖 또는 챔버 안으로 들어가서 정비하는 범위가 다양하다. 챔버 밀폐 정도에 따라 적절한 안전조치를 취해야 한다.

- (바) 열적 위험: 접촉 시 화상 위험이 있는 고온의 물체 표면이나 동상 위험이 있는 저온의 물체 표면, 화염, 고온의 액체 또는 증기 등에 의한 위험 등
- (사) 인체공학적 위험: 증착 챔버 뚜껑, 커버, 방착판 등 무거운 부품이나 장비를 손으로 들어 올리거나 옮기는 작업, 챔버 안이나 주변에서 불편한 자세로 챔버 표면을 사포나 걸레 등의 도구로 세정하고 정비하는 작업 등에서 반복적인 동작을 하고 불편한 자세로 작업하는 경우 근골격계질환이나 부상이 생길 수 있다.
- (아) 넘어짐, 추락 위험: 정비 대상 구조물에 걸려 넘어질 위험이 있고, 챔버 상부 이동이나 진입을 위한 사다리 사용 중 추락(떨어짐) 위험이 있다. 또한 일정 높이의 발판 위에서 작업할 경우 뒤로 넘어질 가능성도 있다(그림 참조).



(3) 반도체 제조 공정에서는 매우 다양한 위험이 있는 화학물질을 사용한다. 또한 정비 근로자는 공정에서 사용하는 화학물질 부산물에 노출될 수도 있다.

(가) 세정제: 장비 표면에 있는 불순물과 오염물질을 제거하기 위해 사용하는 물질이다.

- 아이소프로필알코올(IPA): 표면을 세척하고 유기 잔여물을 제거할 때 효과가 높으며, 상대적으로 독성이 낮아 일반적으로 많이 사용한다. 그러나 인화성이 있고, 피부 자극을 유발할 수 있다.
- 아세톤: 장비에서 유기화합물과 잔여물을 제거하는 데 효과가 높아 많이 사용한다. 그러나 상기도와 눈에 염증을 일으킬 수 있고, 중추신경계에 악영향을 미친다.
- 탈이온수(DI Water): 무기염류를 제거한 순수한 물. 화학물질을 희석하거나, 표면에 잔여물이 남지 않도록 행구고 최종 세척하는 데 사용된다.

(나) 식각제(Etchants): 정비 작업 중, 특히 증착 장비 세척 시 표면에서 얇은 층의 물질을 제거하는 데 사용하는 산성 물질이다. 급성중독, 피부 부식성, 심한 눈 손상, 화상 등의 위험이 있어 적절한 개인보호장비(물질별로 호흡기, 안면, 손 등 보호하기 위한 장비)를 착용하고, 통풍이 잘되는 공간이나 흠 후드 아래에서 작업한다.

- 불산(HF): 유리화 이산화규소 식각(제거)
- 염산(HCl): 다른 화학물질과 함께 다양한 재료 식각
- 황산(H₂SO₄): 다양한 물질 세척과 식각
- 인산(H₃PO₄): 금속과 실리콘 식각(제거)

(다) 윤활제: 움직이는 부품이 원활하게 작동하도록 하는 데 사용된다. 일반적으로 위험성은 낮지만, 피부와 눈에 자극을 줄 수 있어 장갑과 보안경과 같은 개인보호장비를 착용하는 것이 좋다.

- 진공 그리스: 진공 시스템 구성품 윤활, 밀봉
- 실리콘 윤활제: 다양한 유형의 장비 윤활

(라) 패시베이션 에이전트(Passivation Agents): 예방 유지보수 중에 장비 표면에 코팅 등의 보호 처리를 하는 화학물질이다. 장비의 부식, 산화 또는 기타 형태의 성능 저하를 방지하고 수명을 유지하기 위해 사용된다. 대표적인 것으로 질산(HNO_3)이 있다.

(4) 전자산업 공정 설비 정비 작업에서 안전보건 유해·위험 요인 노출 결과로 나타나는 심각성은 일반적으로 다음과 같이 추정할 수 있다.

(가) 화재, 폭발, 추락, 질식 등의 안전사고 발생 확률은 상대적으로 낮으나, 발생할 경우 심각성은 근로자에게 치명적일 뿐만 아니라 공정 손실 등 손실이 매우 크다.

(나) 정비 작업 시에는 급성독성, 피부 부식성, 인화성이 있는 산, 염기 또는 용제와 같은 유해화학물질을 사용하기도 하고, 공정에서 사용하는 화학물질의 반응 부산물에 노출될 수도 있다. 이러한 화학물질에 노출되면 피부와 눈 손상, 급성중독, 만성 호흡기질환 등의 치명적인 건강위험이 있다.

5.6 안전보건 시설 등 성능 확인

- (1) 가스, 증기, 흙, 먼지 등을 제거하기 위한 환기장치 정상 작동과 성능
- (2) 세척·세안 설비 위치와 작동 여부
- (3) 개인보호장비 규격과 성능
- (4) 정비 작업 시 생기는 폐화학물질을 담는 폐기물 용기, 청소 재료 준비 여부 등

5.7 안전보건 교육

- (1) 정비 작업에 관련된 근로자는 위에서 기술한 안전보건 유해·위험 요인에 노출될 위험을 최소화할 수 있도록 도구·장비·화학물질 등의 올바른 취급, 작업 절차, 비상 대응 절차에 대한 안전보건 교육을 받는다.
- (2) 정비 근로자는 공정 설비 정비 작업을 할 때 일어날 수 있는 비상 상황에 대비하도록 사전에 비상사태 발생 시 조치 등에 대해 회사가 정한 교육을 받는다.
- (3) 정비 작업팀은 서로 안전한 정비 작업 방법, 절차, 협력 등을 충분히 소통하여 잠재적 사고 위험을 관리한다 (아래 산재사고 사례 참조).

정비팀 근로자 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. 전원을 끄지 않은 상태에서 작업을 해야 한다면 철저한 의사소통, 안전 시야 확보 등 조치를 취해야 함.

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

5.8 비상사태 발생 시 조치

- (1) 공정 설비 정비 작업 도중이나 이후에 일어날 수 있는 비상 상황에 대비하도록 다음과 같은 내용이 포함된 비

상조치 계획을 마련한다.

(가) 비상 연락망

(나) 비상 대피 절차, 비상 대피로, 대피 장소

(다) 비상 대피 전 안전조치를 취해야 할 주요 공정 설비와 절차

(라) 비상 대피 후 수행해야 하는 행동과 절차

(마) 구조 또는 의료 업무를 맡은 직원의 지시에 따라야 하는 절차

(바) 유해 물질이 눈, 피부 등에 닿았을 때는 즉시 세척 설비로 세척하고, 의사의 처치를 받는다.

- (2) 정비 작업 감독자는 비상 사고가 발생할 경우 비상 연락망을 가동하는 등 신속한 조치를 취한다. 정비 작업 중 근로자가 재해를 입은 경우 공기호흡기 등 적절한 개인보호장비를 착용하고 신속하게 구조하는 한편, 119 구조대 이송과 의사의 처치를 받도록 조치한다(아래 산재사고 사례 참조).

정비 챔버 안 재해자 구조 시 호흡보호구 착용하지 않아 구조자 질식

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

6 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

6.1 적절한 개인보호장비 착용

- (1) 근로자는 정비 작업을 시작하기 전에 각종 안전사고와 질병 위험 요인으로부터 자신을 보호하기 위해 유해·위험 요인이 무엇인지에 따라 장갑, 보안경, 호흡보호구, 보호복, 안전화 등 적합한 개인보호장비를 착용한다(아래 산재사고 사례 참조).

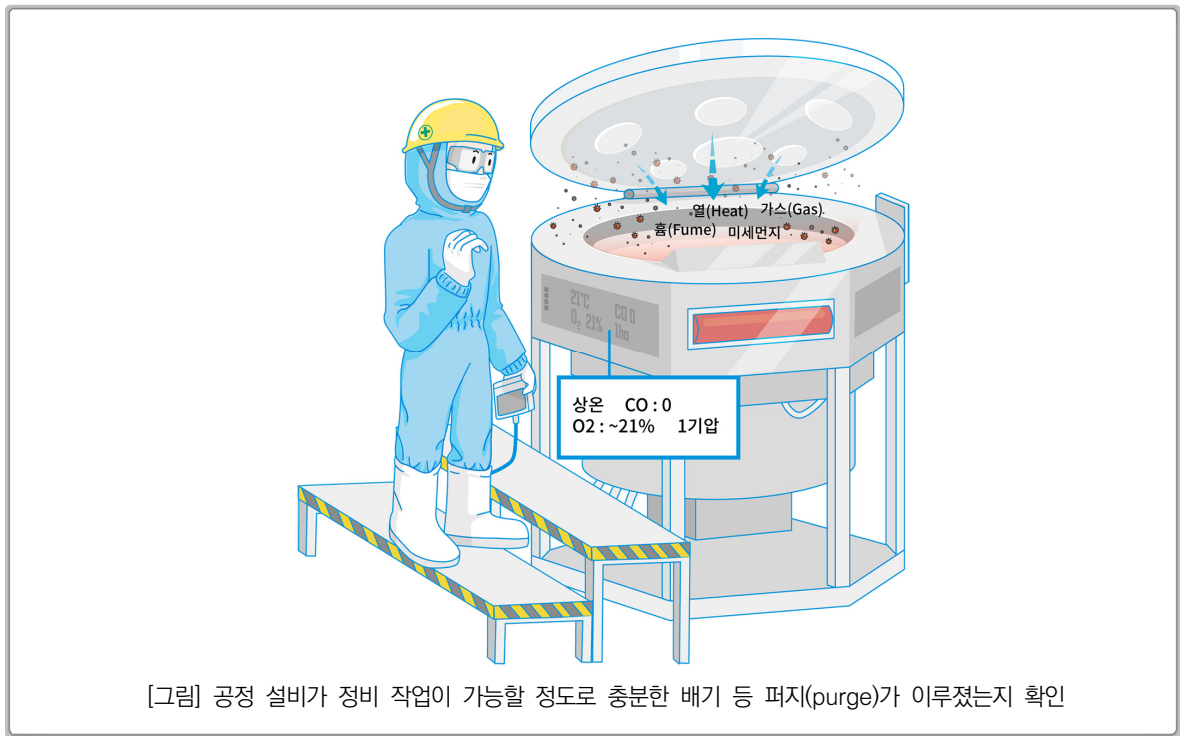
정비 작업 중 방독마스크 등 호흡보호구 착용하지 않아 화학물질 중독

- 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 근로자는 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 화학물질에 노출되어 신체 접촉함. 접촉 부위가 따끔거리는 재해 발생. 배관, 칼럼 등 모든 정비 작업에서는 설비에 남아 있을 수 있는 화학물질 누출로 재해를 입지 않도록 호흡기, 눈 등 신체를 보호하기 위한 개인보호장비를 착용해야 함.

- (2) 공정 설비 정비 작업에서 발생하는 건강위험 요인은 대부분 미세먼지, 흙, 가스상 물질 등이므로, 이들을 제거하는 데 적절한 방독 또는 방진 마스크 등의 호흡보호구를 착용한다. 배기 장치, 에어진, 크레인 가동 등으로 인한 소음 노출을 줄이기 위해 귀마개 등을 착용한다.
- (3) 산소결핍 여부, 유해 물질의 농도를 알 수 없거나 순간 유해 물질의 농도가 매우 높다고 의심되는 경우에는 외부에서 공기를 공급하는 송기 마스크를 착용한다.
- (4) 추락, 전도, 낙하 등의 위험 요인으로부터 신체를 보호할 수 있는 개인보호장비를 착용한다.
- (5) 정비 작업 시 노출되는 안전보건 유해·위험 요인에 따라 사용해야 할 보호구는 KOSHA 안전보건기술지침 “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침(G-12-2013)”을 참조해서 선택한다.

6.2 정비 대상 공정 설비 식히기, 충분한 환기 등 조치

- (1) 정비 작업을 시작하기 전에 대상 공정, 기계, 설비 등에서 안전 작업을 할 수 있도록 작업공간이 안전한 압력과 온도로 내려갔는지 확인하고, 유해가스 등이 충분히 나갈 때까지 환기하며, 적절한 조치를 한다(그림 참조).
- (2) 정비 대상 챔버, 탱크, 배관 등 설비의 내부를 충분히 퍼지한다.
 - 정비 대상 설비를 열기 전 설비 안에 남아 있는 가스상 물질, 입자상 물질, 열 등이 최소 수준이 될 때까지 배출되도록 한다.
 - 정비 작업 전 질소나 아르곤과 같은 불활성가스로 설비 내부를 퍼지하여 남아 있는 화학물질, 연기, 열 등을 제거한다(그림 참조)(아래 산재사고 사례 참조).

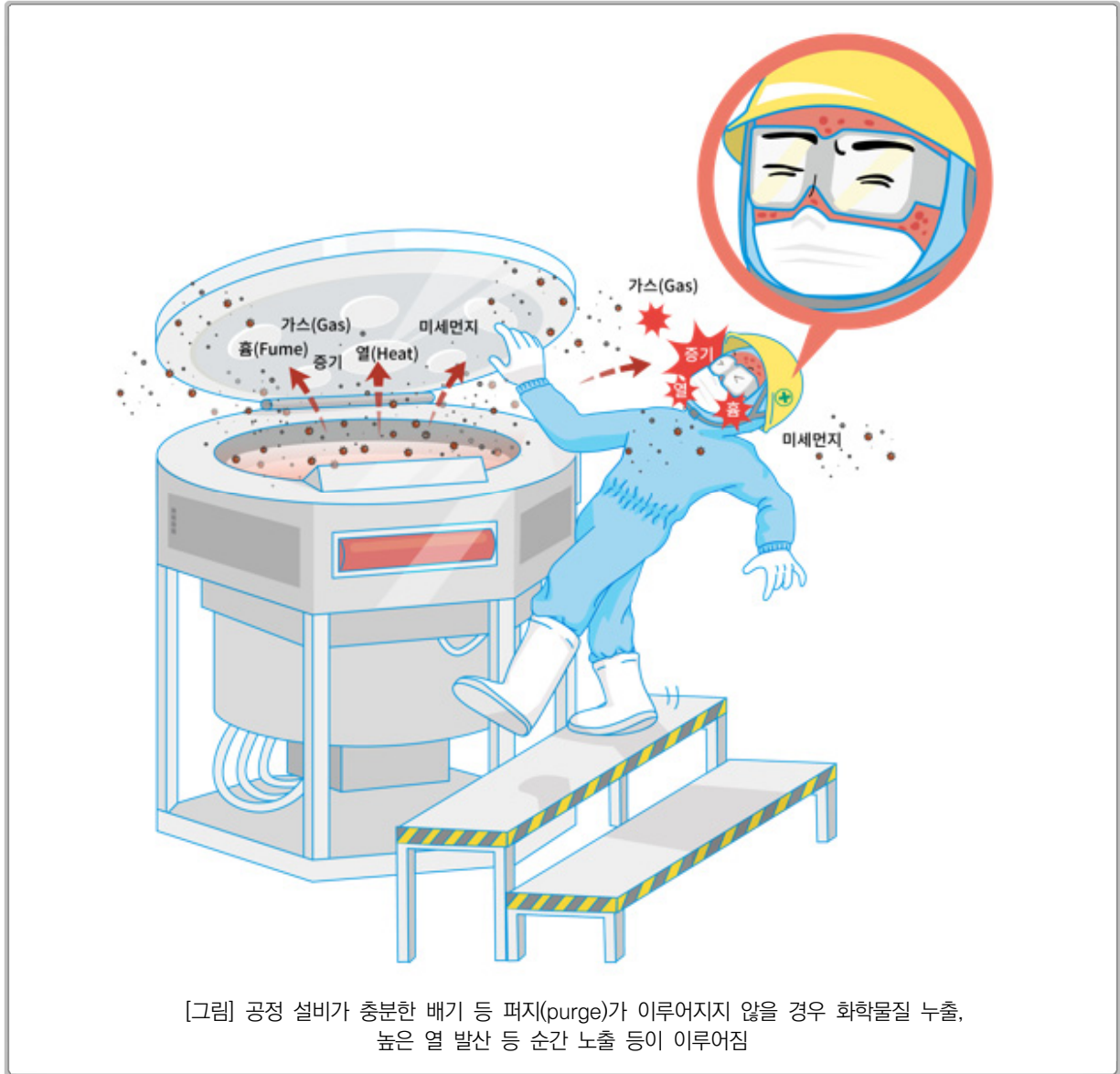


챔버 등 충분히 퍼지하지 않은 상태에서 정비 작업 중 질식

사고 재해자는 전자산업 ** 공정 설비 기계 유지보수 정비를 수행함. 공정 설비 챔버 안 자동화 로봇의 사전점검을 위해 진입 중 남아 있던 질소에 질식하여 사망함. 정비 작업을 시작하기 전 챔버 등 정비 공간 내에 남아 있는 화학물질, 열 등을 완전히 제거해야 함.

6.3 정비 대상 설비 개방

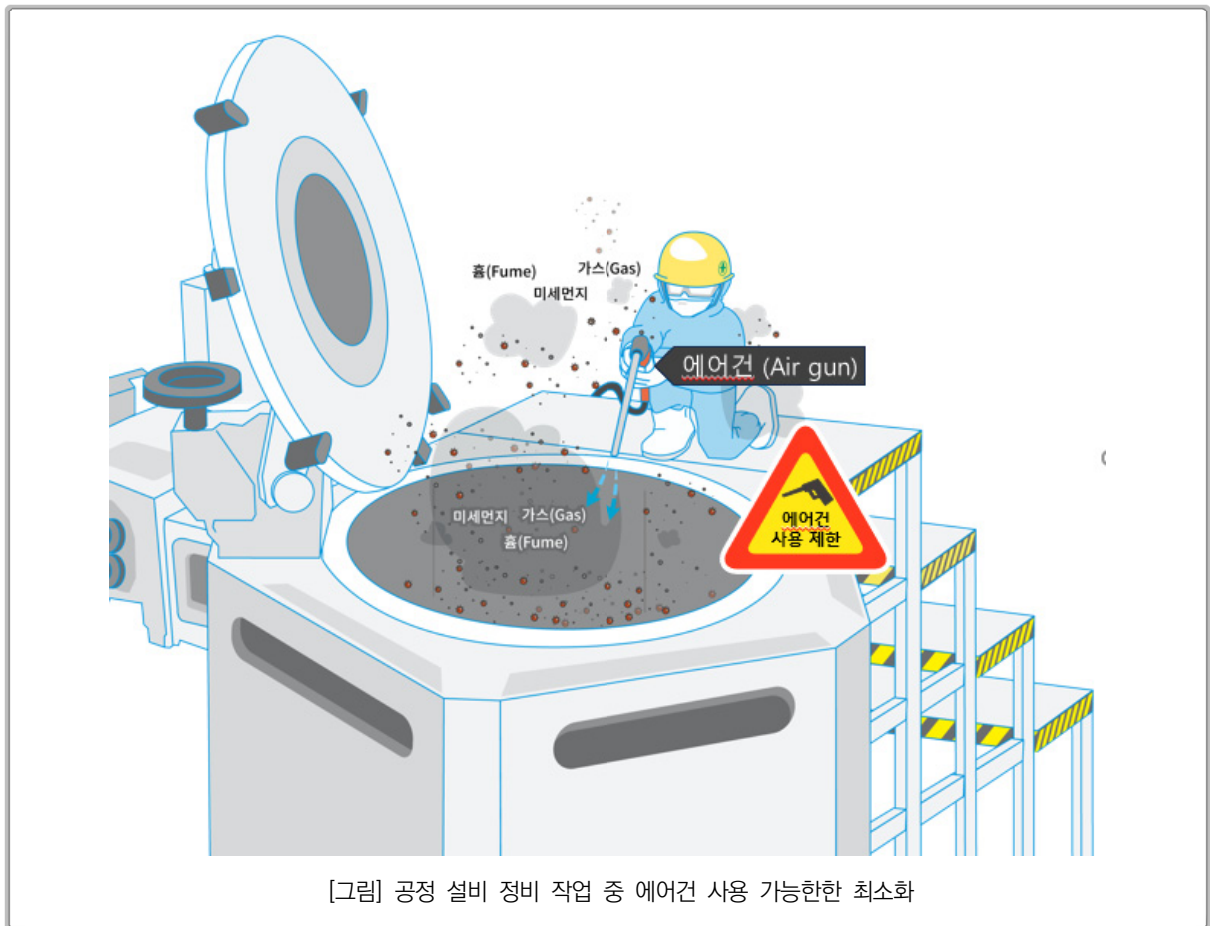
- (1) 챔버, 탱크, 배관 등 정비 대상 공정 설비를 열 때 필요한 안전조치를 취한다. 크레인, 호이스트, 리프트 등의 설비에서 다양한 방법으로 챔버를 열고 기계, 부품 등을 분리·해체할 때 근로자가 안전한 범위에 있도록 하는 등 적절한 조치를 취한다.
- (2) 챔버, 탱크, 배관 등 공정 설비를 열 때 설비 안에서 사용된 각종 반응성 가스, 독성가스, 미세입자 등이 밖으로 나올 수 있으므로 정비 대상 공간에 남아 있는 유해·위험 물질을 충분히 제거한다(그림 참조).



- (3) 챔버, 탱크, 배관 등 설비 내부의 온도, 압력, 산소, 유해가스의 농도가 일정 수준으로 유지되는지 확인한다. 챔버 등에서 정비 작업 중 공정 가스 등이 유입되지 않는지 수시로 확인한다(10페이지 산재사고 사례 참조).
- (4) 챔버, 탱크, 배관 안의 산소 농도는 20 % 이상인지, 폭발성가스 농도는 폭발한계 밖인지, 기타 유해 물질의 농도는 기준 농도 이하인지를 측정하여 정비 작업이 가능한지 판단한다. 필요한 경우 VOC, 먼지 농도 등을 모니터링한다.

6.4 공정 설비 안 또는 주변 정비 작업

- (1) 챔버, 탱크, 배관 등 정비 대상 설비 뚜껑, 커버 등을 떼 후 설비 내부와 주변을 안전하게 정비한다. 정비 대상 기계, 부품, 뚜껑(cover, 커버) 등⁵⁾이 무겁고 커서 크레인, 리프트 등을 이용하여 작업할 때는 기계별 안전작업절차를 지킨다.
- (2) 필요한 경우 설비 내부로 들어가서 정비 작업을 수행한다⁶⁾. 정비 대상 설비 내부와 주변을 클리닝한다. 진공 청소기, 브러시, 형궤, 화학물질(IPA, 아세톤, 증류수) 등을 사용하여 설비 내부의 이물질, 먼지, 입자 등 잔여 물을 철저히 제거한다. 설비를 세척하고 정비하는 데 사용되는 모든 화학물질은 규정에 따라 취급하며, 안전사고와 인체 노출을 방지하기 위해 적절한 예방조치를 한다.
- (3) 공정 설비 정비 작업 중 설비 안에 남아 있거나 생성되는 가스상 물질, 입자상 물질 등을 제거하기 위해 배기 장치를 사용한다. 이동식 배기 덕트를 사용할 경우 스크러버로 연결하며, 만약 어려울 경우 공기정화장치를 붙인다. 에어건을 사용하는 경우 사용 빈도와 사용 시간을 최소한으로 한다. 발생하는 소음이 크고 먼지가 많이 날리기 때문이다. 에어건을 사용할 경우 진공 배기 덕트를 함께 사용하여 공기 중 먼지가 날리는 것을 최대한 억제하는 것이 좋다(그림 참조).
- (4) 일정 높이에서 공정 설비 정비 작업을 할 때 발판 등에서 넘어지거나 높은 곳에서 일하다 떨어지지 않도록 높이에 따른 적절한 예방조치를 취한다(아래 산재사고 사례 참조).



5) 업종, 공정 등에 따라 다양한 용어들이 쓰임.

6) 업종, 공정, 제품 규격에 따라 근로자가 정비 대상 설비 밖 또는 안으로 들어가서 정비하는 범위가 다양하다. 설비 내부로 들어가는 경우 밀폐 정도에 따라 적절한 안전조치를 취해야 한다.



[그림] 공정 설비 정비 작업 중 에어건 사용 시 배기 덕트 병행해서 사용

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.

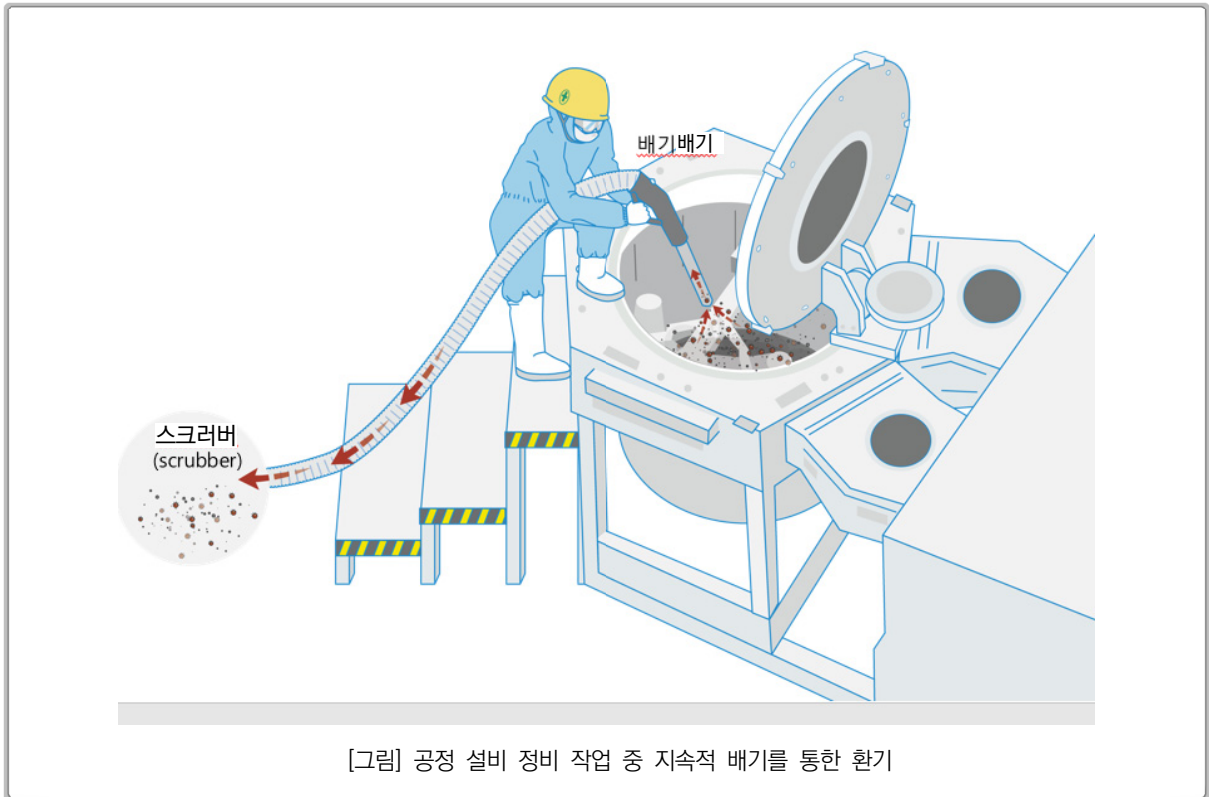
- (5) 정비 작업을 할 때 수동으로 중량물을 제거, 교체하면서 불안정한 자세로 반복적인 정비 작업을 할 경우가 많으므로, 근골격에 부담이 적은 작업 절차를 따른다(아래 산재사고 사례 참조).

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 썼고, 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.

6.5 정비 작업 중 충분한 환기

- (1) 정비 작업공간에 인화성 가스, 질소와 아르곤과 같은 불활성가스가 쌓이지 않도록 지속적으로 환기한다(그림 참조).
- (2) 정비 작업공간에서 근로자의 유해 물질 노출을 줄이고 화재·폭발 위험을 줄이기 위해 지속적으로 환기하며, 유해·위험 요인의 농도를 주기적으로 모니터링한다.
- (3) 정비 작업공간에 남아 있는 가스, 증기, 흙, 먼지 등의 물질은 가능한 허용농도 이하, 산소 농도는 18.5 % 이상 23.5 % 이하, 인화성 가스 농도는 폭발하한의 25 % 이하가 되도록 환기한다.



[그림] 공정 설비 정비 작업 중 지속적 배기를 통한 환기

7 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

7.1 청소 등 폐기물 처리

- (1) 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채로 정비 작업구역을 깨끗하게 청소한다.
- (2) 정비 작업 중 유출되거나 누출된 물질은 즉시 제거·회수한다.
- (3) 폐기물을 특성(산류, 염기류, 용제류 등)에 따라 적절하게 분류하고, 부식되지 않는 용기에 담아 분리·보관한다.
- (4) 폐기물은 환기가 잘 되는 지정된 장소에 보관한다.
- (5) 정비 작업 중에 생긴 폐기물은 가능한 한 빨리 관련 법에 따라 적절하게 보관·처리한다.

7.2 공정 재가동 전 안전보건 조치

- (1) 정비 작업이 끝난 공정, 시설, 장비는 가동 전에 안전보건 조치를 취한다.
- (2) 모든 정비 작업 도구와 장비 등이 회수되었는지, 설비가 적절하게 정비되었는지, 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인한다.

- (3) 정비 작업이 끝난 후, 공정을 다시 가동하기 전에 공정 운전자 등 관계자와 함께 사전 안전보건 점검을 한다.

7.3 공정 재가동 후 공정 테스트

- (1) 안전보건 점검을 마친 후 공정을 다시 가동하고 공정이 원활하게 유지되는지, 관련 운전 변수들이 최적의 상태인지 확인하고 정비 작업을 마친다.
- (2) 공정을 다시 운전할 때 안전사고가 발생할 가능성이 높다. 따라서 재가동하거나 시험 운전할 때 발생할 수 있는 사고에 대해서도 위험성평가에 반영하며, 가동 전 점검 지침에 따른다⁷⁾.

8 작업환경측정 및 특수건강진단 실시

- 1) 보건관리자(사업주)는 정비 작업 근로자가 노출될 수 있는 유해 인자를 정기적으로 측정하고 모니터링한다. 자세한 유해 인자 측정 지침은 KOSHA 안전보건기술지침 “시료채취 및 분석지침”을 참조하여 정비 작업 근로자가 노출되는 유해 인자 노출수준을 평가한다. 노출 결과는 공정, 정비 작업 종류 등에 따라 평가하고, 그 결과에 따라 적절한 노출 저감 대책을 수립한다.
- (2) 보건관리자(사업주)는 정비 작업 근로자가 산업안전보건법령에서 정한 규정에 따라 특수건강진단을 받을 수 있도록 조치하고, 그 결과에 따라 질병 예방을 위한 건강 보호 조치를 취한다. 자세한 건강진단과 관리 지침은 KOSHA 안전보건기술지침 “건강진단 및 관리지침”을 참조하여 정비 작업 근로자의 질병 예방을 위한 지침으로 활용한다. 정비 작업자는 작업 중이나 후에 특이적 증상, 불편 등 질병 위험이 있다고 의심되는 경우 보건관리자나 의사에게 상담한다.

9 기록 유지 서류 작성 및 보전

- (1) 정비 작업과 재가동이 끝나면 회사가 정한 규정에 따라 정비 이력 카드에 수행한 정비 작업 종류, 정비 날짜, 정비 근로자, 교체한 부분, 발생한 문제 등의 정비내역을 기록하고, 보존한다.
- (2) 정비 기록 내용은 향후 정비 작업 활동과 반복되는 잠재적 문제를 파악하는 데 도움이 되도록 한다.

7) KOSHA Guide “가동 전 안전점검에 관한 기술지침(P-97-2012)]]”