

전자산업 포토 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드

요 약

포토, 노광, 현상 공정 설비를 정비하는 근로자들은 화학물질로 인한 누출, 폭발, 화재, 건강 영향 등 잠재적 사고 위험이 있다. 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업을 안전하게 마치려면 아래와 같은 주요 작업 절차를 따른다. 본 안전보건 가이드를 바탕으로 포토, 노광, 현상 공정 기술, 설비, 기계 등에 대한 정비 작업 특성에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 안전보건 가이드를 개발해서 사용할 것을 권장한다.

1. 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 허가를 받는다.
- 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 관련 부서와 협의하여 공정 설비, 기계, 배관 등을 전기적으로 차단하여 잠그고(Lock out, LO), 표시(Tag out, TO)한 꼬리표를 달아 놓는다. 작업자가 LOTO 등 인터록(interlock)을 해제하지 못하도록 조치한다.
- 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업공간을 주변과 격리하고, 정비 구역을 표시하며, 출입을 제한한다. 크레인 등 위험한 기계나 기구를 사용할 경우, 운전자와 신호수를 지정하고 적절한 위치에 배치한다.
- 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 시 발생할 수 있는 위험인자를 확인하고 관리, 통제할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 정비 작업 중 비상시 필요한 안전보건 시설(세척·세안 설비, 배기 장치)과 개인보호장비의 성능을 점검한다.
- 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 방독마스크, 고글, 피부 보호구 등을 착용한다. 호흡보호구는 방독 또는 고성능필터(HEPA filter) 마스크를 착용한다.
- 정비 대상 시설을 열기 전 포토, 노광, 현상 공정 설비 공간을 충분히 세정하고 퍼지(Purge)하여 유해·위험 가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인하고 기다린다.

2. 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

- 정비 대상 포토, 노광, 현상 공정 설비를 열고 뚜껑(Shield), 커버 등을 해체하고 부착할 때 안전조치를 취한다. 또한 크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 이용할 경우 적절한 기계 상태와 성능 점검, 운전자와 신호수 지정, 안전 구역 표시 등 철저한 안전조치를 취한다.
- 정비 대상 설비에서 기계, 장비, 소재 등에 대해 교체, 부착, 세정, 센서 보정 등 정비와 세정 작업을 안전하게 수행한다.
- 일정 높이의 발판, 사다리 등 높은 곳에서 정비 작업을 할 때 넘어짐, 추락 등에 주의한다.
- 정비 대상 설비, 기계 등에서 먼지, 가스, 증기를 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 병행하고 최소한으로 사용한다.

3. 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 포토, 노광, 현상 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 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후 포토, 노광, 현상 공정 설비를 다시 가동하여 공정이 원활하게 작동하는지 관련 변수를 점검한다. 최적의 상태인지 확인하고, 정비 작업을 마친다.
- 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 이력 카드에 수행한 정비 작업 종류, 정비 날짜, 정비 근로자, 교체한 부분, 발생한 문제 등의 주요 정비 내역을 기록하고 보존한다.

4. 포토, 노광, 현상 공정 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 정비 작업을 위한 안전 작업 허가서(permit requirements)를 받았는가?			
○ 고열 작업			
○ 굴착 공사			
○ 밀폐공간 출입			
○ 경계구역(line entry) 출입			
○ 크레인 등 중량물 운반 작업			
○ 비계 점검			
○ 전원 잠금과 표식(LO/TO) 검증			
○ 정비 배관 라인 배수/퍼징 등			
○ 산소/인화성 위험 확인			
○ 정비 대상 배관, 라인 식별 확인			
○ 초기 진입 절차 검토			
○ 비상조치 구조 계획 검토			
○ 적절한 도구/장비 확인			
○ 기타			
정비 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 그 내용을 알고 있는가? 또한, 정비팀원들 간의 안전한 작업 요령을 확인했는가?			
정비 작업에 필요한 도면, 운전 절차서 등을 작업 전에 검토했는가?			
관계 부서와 공정 운전 중단, 유해·위험 물질 유입 밸브 차단(맹판 설치 포함)과 제거, 전기 차단, 압축공기 차단, 연동장치 해제, 조작 금지 꼬리표(Tag out) 부착 등의 안전조치를 했는가?			
정비 대상 설비, 장비, 기계 등을 확인하고, 정비 도구 등을 챙기고 성능을 확인했는가?			
정비 작업구역을 설정하고 접근 제한 조치를 취했는가?			
정비 대상 설비의 내부 압력 제거, 냉각, 유해·위험 물질 제거 등의 안전조치를 취했는가?			
핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했으며, 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·위험 물질 위험성평가 실시)?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
화재, 누출 등 비상사태 발생 시 대피 경로, 조치 사항 등 핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
방독마스크 등 정비 작업에 적절한 개인보호장비를 착용했는가?			

점검 항목	예	아니오	해당 없음
가스농도계측기는 교정 유효기간 이내인가?			
정비 대상 설비 공간을 지속적으로 환기해서 유해·위험 가스를 제거하고, 주기적으로 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?			
발판 등 일정 높이에서 정비 작업할 때 넘어짐, 추락 등의 방지 조치를 취했는가?			
정비 중 유해화학물질을 취급해야 하는 경우 물질안전보건자료(MSDS)를 비치하고 취급 방법과 비상시 조치 사항을 숙지하고 있는가?			

추가적인 유해위험 요인이 있다면 여기에 기록해 주세요.

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?			
안전장치(비상정지 장치, 인터록, 경고등) 작동시험을 실시했는가?			
기밀시험 등을 실시했는가?			
공정을 다시 가동하고 공정 테스트를 완료했는가?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 정비 이력(내력)을 기록했는가?			

포도, 노광, 현상 공정 설비 정비 중 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 아래에 써 주세요.

1 목 적

- (1) 전자산업 공정 중 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업에 대한 안전작업절차를 제공하여 작업 중 발생할 수 있는 유해·위험 요인에 대한 예방 대책을 제시하여 작업자의 안전보건을 확보하는 것을 목적으로 한다.

2 적용 범위

- (1) 이 가이드는 전자산업 및 유사 산업의 생산공정 중 포토, 노광, 현상 공정의 주요 설비와 부속 설비를 정비할 때 안전보건 유해·위험 요인에 대한 노출을 최소화하여 안전보건 위험을 관리하는 데 적용한다.
- (2) 포토, 노광, 현상 공정 방법과 기술별로 발생하는 구체적인 안전보건 위험을 관리하기 위한 가이드는 필요할 경우 따로 개발한다.
- (3) 이 가이드는 포토, 노광, 현상 공정을 이용하는 여러 산업에서 안전보건 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다. 포토, 노광, 현상 기술은 아래와 같이 많은 제조업에서 박막과 코팅 공정에 널리 사용될 수 있다¹⁾.
 - (가) 디스플레이와 조명 산업: LCD, OLED 등 디스플레이 제조에 광범위하게 사용된다. LED와 OLED를 이용한 조명 장치 생산에도 사용된다.
 - (나) 반도체산업: 집적회로, 마이크로 칩, 박막트랜지스터(TFT) 제조에 광범위하게 사용된다.
 - (다) 전자산업: 인쇄회로기판(PCB), 저항기, 커패시터, 인터커넥트 등의 전자부품 생산에 활용된다. 일부 하드 드라이브와 기타 고밀도 스토리지 솔루션 생산에도 사용될 수 있다.
 - (라) 광학과 포토닉스 산업: 카메라·렌즈·디스플레이·레이저·광섬유에 사용되는 광학 코팅, 박막필터, 반사방지코팅, 기타 광학 부품을 만드는 데 중요한 역할을 한다.
 - (마) 생명공학과 생명과학: 바이오칩, DNA 어레이, 특정 나노구조 애플리케이션 생산에 사용될 수 있다.
 - (바) 마이크로전자기계시스템(MEMS)과 나노전자기계시스템(NEMS): 각각 마이크로와 나노 규모의 기능을 갖춘 초소형 장치에 사용될 수 있다.
 - (사) 태양에너지 산업: 박막태양전지, 태양전지 패널, 기타 광전지 장치 생산에 사용된다.
 - (아) 자동차산업: 엔진 부품, 센서, 헤드라이트와 같은 부품에 부식방지용 코팅, 장식 마감, 기능성 코팅 등에 사용된다.
 - (자) 의료기기산업: 임플란트, 스텐트, 카테터, 진단 기기에 생체적합성 코팅, 약물 용출 코팅, 기타 기능성 코팅을 하는 데 사용된다. 전자 또는 센서 기능을 직물에 내장할 때 특정 고급 섬유 애플리케이션에 사용할 수 있다.
 - (차) 항공우주와 방위 산업: 항공기 부품, 로켓 노즐, 레이더 시스템, 센서의 보호 코팅, 열 차단 코팅, 기타 기능성 코팅을 생산하는 데 매우 중요한 역할을 한다.

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, 점검 결과 발견된 결함과 고장을 보수하며, 부품 교체나 수정 작업과 같은 주기적인 예방조치를 하는 등 설비 유지관리에 관한 모든 작업을 말한다.
 - 웨이퍼(Wafer): 집적회로와 기타 마이크로 디바이스를 제작하는 기판으로 사용되는 얇고 평평한 반도체 재료 (일반적으로 실리콘)를 말한다. 전자부품을 만들기 위해 다양한 층의 재료를 증착, 패터닝, 처리하는 기본 플랫폼

1) Vinay Kadekar, Weiya Fang, Frank Liou, Deposition Technologies For Micromanufacturing: A Review, J. Manuf. Sci. Eng. Nov 2004, 126(4): 787-795 (9 pages)

품 역할을 한다.

- 포토레지스트(Photoresist, PR): 웨이퍼에 바르는 감광물질(Photosensitive material)로, 특정 파장의 빛에 노출되면 화학적변화를 일으킨다. 포토레지스트에는 빛 노출에 반응하는 광활성 화합물(Photoactive Compound, PAC), 구조적 지지용 중합체 수지, 균일하게 코팅하기 위한 용매가 포함되어 있다. 이 중 PAC에는 일반적으로 디아조나프토퀴논(Diazonaphthaquinone, DNQ), 노블락 수지(Novolac resin), 에틸락테이트(Ethyl Lactate), 프로필렌글리콜메틸에테르아세테이트(Propylene Glycol Monomethyl Ether Acetate, PGMEA) 등이 있다.
- 포토리소그래피(Photolithography): 자외선과 포토레지스트를 사용하여 반도체 웨이퍼에 패턴을 전사하는 공정 기술이다. 반도체 제조 및 기타 다양한 산업에서 재료 표면에 미세한 구조를 생성하는 데 필수적이다.
- 노광(Photo Exposure): 반도체 웨이퍼 위에 원하는 마스크 패턴을 올려놓고 감광물질(일반적으로 포토레지스트)을 바른 후, 특정 파장의 빛을 쬐어 노출된 영역에 화학적변화를 일으키는 단계를 말한다. 일반적으로 자외선(UV)이 사용된다. 고급 공정에서는 고해상도로 패턴을 만들기 위해 심자외선(Deep Ultraviolet rays, DUV) 또는 극자외선(Extreme Ultraviolet rays, EUV) 광원을 사용할 수 있다.
- 현상(Developing) : 포토레지스트를 바른 웨이퍼를 화학 현상액에 담가 노출된 부분과 노출되지 않은 부분을 선택적으로 용해하는 단계를 말한다. 이 단계를 통해 웨이퍼에 원하는 패턴이 나타나면 식각(Etching) 또는 기타 기술을 통해 추가 가공할 수 있다.
- 유기발광다이오드(Organic Light Emitting Diode, OLED): TV, 스마트폰, 웨어러블 기기 등 전자기기에 사용되는 디스플레이 소자의 일종으로, 탄소 기반 고분자나 저분자 같은 유기물질에 전류를 가하면 빛을 방출하는 원리를 이용한다. 기존 LED보다 더 얇고 유연할 뿐만 아니라 명암비와 색재현이 더 뛰어나다. 각 픽셀은 활성 화할 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 저렴하다. 그러나 액정 픽셀을 비추기 위해 별도의 백라이트가 필요하므로 OLED보다 두껍고 무겁다. 따라서 얇고 가벼운 디바이스에는 적용이 제한될 수 있다.
- 불활성화(Inerting): 산소 농도를 안전한 수준으로 낮추기 위하여 불활성가스를 용기에 주입하는 것을 말한다.
- 퍼징(Purging): 불활성가스를 주입하여 산소의 농도를 최소 산소 농도(MOC) 이하로 낮게 하는 작업을 통하여 제한된 공간에서 화염이 전파되지 않도록 유지하는 일을 말한다. 이때 쓰이는 불활성가스로는 질소, 이산화탄소, 수증기 등이 있다.
- 제전기: 반도체 등 민감한 전자부품을 손상하거나 간섭할 수 있는 정전기를 중화, 제거하는 데 사용되는 장치로, 대표적인 것이 이온나이저(Ionizer)이다. 일반적으로 3~9.5keV 범위의 부드러운(연, Soft) X선을 방출한다. 이 X선은 제품 표면 주변의 공기 분자를 이온화하여 양이온과 음이온을 생성함으로써 제품 표면의 정전기와 상호작용을 하여 중화, 제거한다.
- 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. 화학물질, 기계, 프로세스 등이 있다. 이들 요인이 혼재된 잠재적 유해·위험 요인이 실제 사고(손실)로 전환되기 위해서는 자극(또는 노출)이 필요하며, 이러한 자극으로는 기계적 고장, 시스템의 상태, 작업자의 실수 등 물리·화학적, 생물학적, 심리적, 행동적 원인이 있다.
- 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°C) 하에서 공기와 혼합하여 인화되는 범위에 있는 가스로서, 인화 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 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. 가스의 농도가 폭발상한보다 높으면 혼합물이 너무 농후해져 폭발을 일으키기에 산소가 부족하게 된다.
- 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 안전보건규칙에서 정하는 바에 의한다.

4 관련 근거(법규와 표준)

- KOSHA Guide D-56-2016 “맹판 설치 및 제거에 관한 기술지침”
- 고용노동부 고시 제2024-20호 “안전보건교육 규정”
- 김준범 등, LCD 제조공정의 이온화 장치에 대한 전리방사선 지역노출특성 분석, 한국산업보건학회지, 제31권 제4호(2021)
- KOSHA Guide G-104-2020 “화재 및 화학물질 누출사고 대응을 위한 비상조치 계획에 관한 지침”
- KOSHA Guide G-12-2013 “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide M-186-2015 “크레인 달기기구 및 줄걸이 작업용 와이어로프의 작업에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide P-50-2012 “유해폐기물 취급 및 비상대응에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide P-97-2012 “가동전 안전점검에 관한 기술지침”
- KOSHA Guide A-180-2020 “작업환경 측정분석에 대한 일반 기술지침”
- KOSHA Guide H-205-2018 “작업환경상 건강유해요인에 대한 위험성평가 지침”
- KOSHA Guide H-4-2021 “일반건강진단결과에 따른 사후관리 지침”
- KOSHA Guide H-45-2022 “특수건강진단 사전 조사 지침”

5 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

5.1 정비 안전 작업 허가

- (1) 공정 설비 정비 근로자(반)는 직무 안전보건 작업에 대한 사전 승인(허가), 승인(허가) 범위, 허가 방법, 기록 등을 수행할 때 회사가 정한 규칙을 따른다.
- (2) 회사 규칙에 따라 챔버 정비 작업의 책임자를 지정하고, 정비 작업 허가 등 안전보건의 책임을 맡도록 한다.
- (3) 정비 작업 책임자는 작업을 허가할 때 안전보건 조치 사항들을 확인·기록·관리하는 한편, 작업 허가의 효력 발생 시간부터 종료 시점까지 작업을 안전하게 수행하고 해당 작업 지역을 안전하게 관리할 책임이 있다. 정비 작업의 안전보건 위험 수준에 따라 허가의 범위, 방법, 절차를 다르게 규정하는 것도 좋다. <표 1>에서 포토, 노광, 현상 공정 설비를 정비할 때 작업 허가 대상 정비 작업 사례를 제시했다.

표 1. 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 시 작업 허가(permit requirements) 내용 점검

허가 작업 종류	있음	없음/해당없음
고열 작업		
밀폐공간 출입		
경계구역(line entry) 출입		
크레인 등 중량물 운전		
전원 잠금 및 표식(LOTO) 검증		
정비 배관 라인 배수, 퍼징 등		
산소, 인화성 위험 확인		
정비 대상 배관, 라인 식별 확인		
초기 진입 절차 검토		
비상조치 구조 계획 검토		
PR* 분배기(PR dispenser)/척(chuck)/스핀 모터(spin motor)/진공펌프(vacuum pump) 조작		
Hot plate 조작		
노광 장비(UV 방출원**/stepper/scanner/aligner 등) 조작		
현상 장비(coater/developer) 조작		
기타		

* PR: Photoregister

** 수은 램프/레이저 방출 플라즈마

5.2 정비 작업 전 관계 부서와 협조, 확인

- (1) 정비 작업과 연관되는 공정 등에 대해 관계 부서 담당자와 범위·내용·협조 사항을 협의, 통보한다. 관계 부서는 정비 대상 공정 운전과 관련되는 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 원료 공급 차단, 공정 차단, 에너지 차단 등 정해진 관련 절차에 따라 조치를 요청하고 확인한다.
- (4) 필요한 경우 정비 작업을 통제·관리하고 비상시 신속하게 대응할 수 있는 근로자(신호수, 감독자 등)를 추가 배치한다.

5.3 공정 장비 운전, 전기적 차단, 격리

- (1) 정비 작업을 시작하기 전에 정비 대상 챔버, 가스 공급 라인, 장비 등을 확인하고, 전원을 차단하며, 설비 제조사에서 정한 정비 모드로 바꾼다. 장비별로 차이는 있을 수 있다.
- (2) 전원은 완전 차단·분리하여 실수, 소통 결함 등으로 인해 우발적으로 장비가 가동되지 않도록 잠그고, 표시한 꼬리표를 달아 놓는다(아래 산업재해 사례 참조). 정비 작업에서 필요한 정비 대상 전원을 사용하는 경우도 있다.

〈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 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 차단과 관련된 부서와 연락 방법 등은 정비 작업서에 상세하게 기재한다. 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide D- 56-2016, “탱크 설치 및 제거에 관한 기술지침” 등을 참조한다.
- (4) 유해·위험 물질이 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 게시한다(아래 산업재해 사례 참조).

〈산업재해 사례〉

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 대상 시설, 장비, 기계 등 확인 및 정비 작업 구역 설정과 표시

- (1) 포토, 노광, 현상 공정에서 정비 대상 설비, 장비, 기계, 작업 인원 등을 확인하고, 외부에 감시인을 배치하며, 내부와 연락할 수 있는 장비를 준비한다.
- (2) 포토, 노광, 현상 공정에서 정비 작업 구역을 구분하고 표시하여 사방에서 잘 보이도록 “작업 중 접근 금지” 등 안전표지를 붙이고, 접근 금지구역 펜스를 설치한다.
- (3) 근로자에게 방독마스크, 피부 보호복 등 필요한 개인보호장비를 지급한다.
- (4) 필요한 경우 산소 및 유해·위험 가스 농도를 측정하고, 안전한 상태인지 확인한다.

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

5.5 유해·위험 요인 식별과 확인(identification)

(1) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업에서 발생할 수 있는 공통적인 잠재적 안전사고와 유해·위험 요인은 다음과 같다. 정비 대상 설비별로 유해·위험 요인의 발생 정도와 특성은 다를 수 있다.

(가) 화학물질 노출

- ① 세정 유기용제 : 정비 대상 설비 안과 밖, 별도의 공간에서 부품을 세정할 때 사용하는 화학물질(이소프로필알코올, 아세톤, 에탄올 등 유기용제류 세정제)에 노출될 수 있다. 이러한 화학물질을 흡입하거나 직접 접촉하면 호흡기질환, 피부 화상, 눈 손상을 일으킬 수 있다.
- ② 아세톤, 이소프로필알코올 등 포토리소그래피에 사용되는 많은 용제는 가연성이며, 흡입하거나 피부를 통해 흡수되면 건강에 영향을 미칠 수 있다.
- ③ 포토레지스트와 여기에 들어 있는 유기용제(PGMEA)에 노출되면 눈, 피부, 호흡기에 자극을 줄 수 있다.
- ④ 포지티브 포토레지스트의 현상 공정에서는 노출된 부분을 녹여 패턴을 드러내기 위해 수산화테트라메틸암모늄(Tetramethylammonium hydroxide, TMAH)과 같은 수용성 알칼리 용액을 사용한다.
- ⑤ 네거티브 포토레지스트에서는 크실렌과 같은 유기용제를 사용하여 노출되지 않은 부분을 녹여 경화되고 노출된 포토레지스트 패턴을 그대로 유지한다.
- ⑥ TMAH는 강염기성 물질로 피부 접촉 시 화학화상을 일으키며, 신경과 근육에 손상을 줄 수 있고, 노출 시 단기간에 호흡곤란을 일으키거나 사망에 이를 수도 있다(아래 산업재해 사례 참조).

〈산업재해 사례〉

포토 공정 화학물질 배관 정비 작업 중 현상액 누출

사고 재해자는 신규 현상액 탱크를 설치하기 위해 기존 현상액 탱크의 배관을 제거, 분리, 절단하여 신규 현상액 탱크로 배관 수정 작업을 진행하던 중, 차단하지 않은 밸브를 분리하면서 현상액이 누출되었고, 다시 밸브를 체결하는 과정에서 현상액에 과다 노출됨. 현상액 탱크를 이동 배치하고 배관 수정 작업을 할 때 밸브 차단, 분리, 절단 등 정확한 변경 작업 대상 위치, 장소, 개수 등을 파악하지 못했고, 배관 차단 후에도 배관에 남아 있는 현상액까지 완전히 제거(flushing)하는 Turn-off 절차도 준수하지 않았음. 현상액 등 화학물질 누출 시 작업자들을 즉시 대피시키고, 접촉자들에게 대해서는 세척 등 응급조치를 실시한 후 신속하게 병원에 이송하는 비상 대응 체계를 가동해야 함.

(나) 자외선 노출

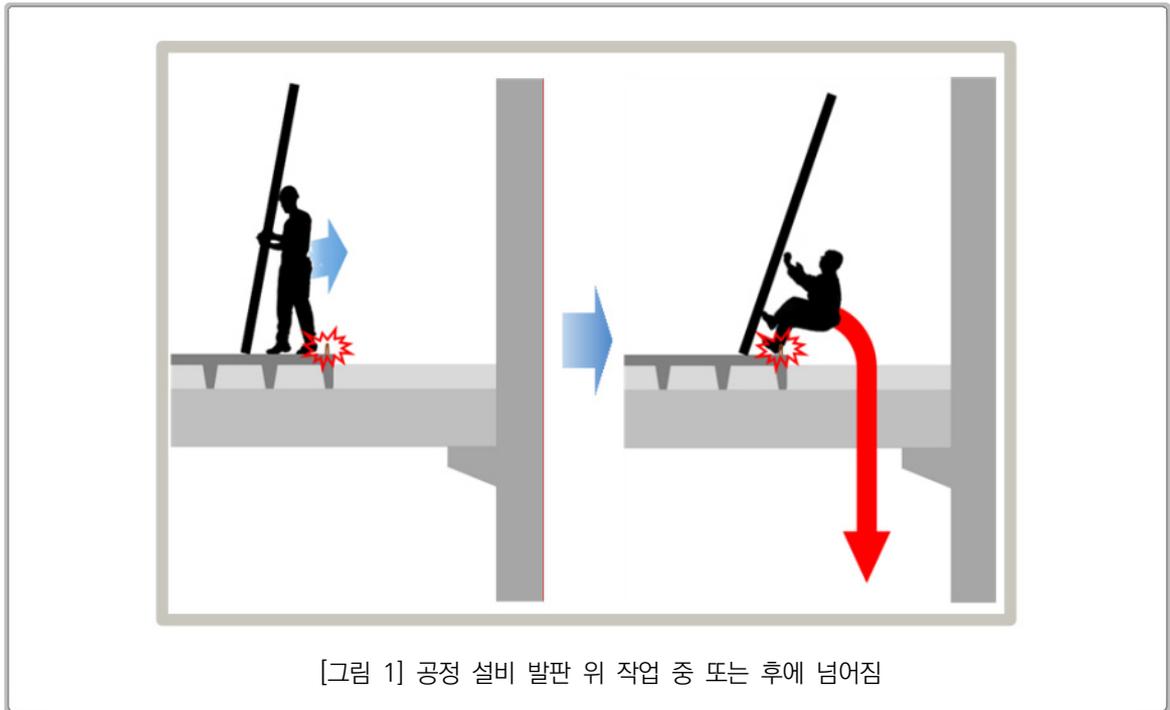
- ① 포토, 노광 공정은 포토레지스트 노출을 위해 자외선을 사용한다.
- ② 자외선에 직접 노출되면 눈과 피부에 해를 끼쳐 광각막염이나 '용접공의 플래시'와 같은 질환을 유발할 수 있다.
- ③ 전원을 차단하지 않고 정비 작업 시 자외선 노출 가능성이 있다.

(다) 전리방사선 노출³⁾: 일반적으로 저에너지(3~9.5keV) X선의 건강위험은 고에너지 X선보다는 낮다. 포토 등 팹 공정 운전자와 설비 정비 작업자의 저에너지 X선 노출수준은 상대적으로 낮지만, 불필요한 노출을 방지하기 위한 차폐 시설 설치, 경고등 설치, 안전한 일정 거리 유지, 제조업체의 지침과 안전 가이드라인 준수 등을 통해 잠재적인 위험을 최소화한다.

(라) 화재 및 폭발 위험: 정비 작업 시 세정에 사용되는 유기용제는 가연성이므로 화재나 폭발 가능성이 있다.

3) 김준범 등, LCD 제조공정의 이온화 장치에 대한 전리방사선 지역노출특성 분석, 한국산업보건학회지, 제31권 제4호 (2021)

- (마) 인체공학적 위험: 정비 대상 설비 뚜껑, 커버 등 무거운 부품이나 장비를 손으로 들어 올리거나 옮기는 작업, 챔버 안이나 주변에서 챔버 표면을 사포나 걸레 등의 도구로 닦아 내고 정비하는 작업 등에서 반복적인 동작을 하고 불편한 자세로 작업하는 경우 근골격계질환이나 부상이 생길 수 있다.
- (바) 중독 위험: 설비 결합이나 소통 오류 등으로 정비 작업 중 유해화학물질이 유입되어 중독이나 질식 위험이 있다.
- (사) 감전 위험: 설비의 전원 차단을 위한 케이블 분리 시 감전 위험이 있다.
- (아) 넘어짐, 추락 위험: 정비 대상 설비, 시설, 기계 등 구조물에 걸려 넘어질 위험이 있고, 정비 대상 포토, 노광, 현상 설비 위나 진입을 위한 사다리 사용 중 추락(떨어짐) 위험이 있다. 또한, 일정 높이의 발판 위에서 작업할 경우 뒤로 넘어질 가능성도 있다(그림 1 참조).



- (자) 밀폐공간 관련 위험⁴⁾
 - ① 포토 공정 정비 대상 설비가 제품의 크기에 따라 밀폐공간 또는 반밀폐공간인 경우 산소부족이나 유해 물질 중독이 일어날 수 있는 환경이다.
 - ② 포토 공정 대상 제품 등에 따라 챔버의 크기와 밀폐 정도는 다르지만, 기본적으로 제한된 환경에서 중독, 산소결핍, 화재·폭발 등의 잠재적 위험이 있다.
 - ③ 포토 공정에 사용되는 크기의 챔버 등 설비에서는 작업 규모와 생산되는 제품, 장치의 특정 요구 사항에 따라 밀폐공간이 생길 수 있다.
 - ④ 크기가 큰 OLED, LCD 등을 생산하는 챔버는 근로자가 안으로 들어가서 정비를 해야 하는 밀폐공간이 될 수 있다.

5.6 위험성평가 실행과 심각성(Severity) 확인

- (1) 정비 작업을 시작하기 전에 위험성평가를 수행하여 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 중 발생하는 잠재적 유해·위험 요인을 파악하고(5.5항 참조), 이들을 제거·대체·완화 등을 하기 위한 조치를 취하여 안전하게 작

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

업할 수 있도록 한다. TBM(Tool Box Meeting)에서 주요 안전보건 위험 요인을 식별, 평가, 기록한다.

(가) 정비 작업자와 정비 책임자는 포토, 노광, 현상 공정 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) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업에서 안전보건 유해·위험 요인 노출 결과로 나타나는 심각성은 다음과 같이 일반적으로 추정할 수 있다.

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

(나) 유기용제 등 화학물질이 포함된 가스, 먼지, 증기 등의 노출로 인해 급성 또는 만성 질환이 발생할 수 있다. 포토, 노광, 현상 공정 설비를 청소하고 정비하는 데 사용되는 세정제(IPA 등), 공정에 사용된 PR, TMAH 등에는 급성과 만성 독성, 인화성의 안전보건 위험이 있다. 이러한 화학물질은 올바르게 취급하지 않으면 폭발·화재 등은 물론 건강상 치명적인 급성중독, 피부 자극, 호흡기질환, 눈 손상 등이 일어날 수 있다.

(3) 포토, 노광, 현상 공정 지원 설비에 대한 안전보건 유해 요인 식별, 평가, 관리 방법은 “건강 유해 요인 평가 및 관리 가이드”를 참조한다. 포토, 노광, 현상 공정 설비 특성에 맞는 안전보건 위험인자별로 위험성평가를 실행한다.

5.7 안전보건 시설 등 성능 확인

(1) 가스, 증기, 먼지 등을 제거하기 위한 전체환기장치, 국소 배기 장치 등의 정상 작동과 성능

(2) 세척·세안 설비 위치와 작동 여부

(3) 개인보호장비 규격과 성능

(4) 정비 작업 시 생기는 화학 폐기물을 담는 폐기물 용기, 청소 재료 준비 여부 등

5.8 안전보건 교육

(1) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업을 수행하고 관련되는 부서 근로자들은 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업의 위험과 안전작업절차에 대한 포괄적인 특별안전보건교육을 받는다. 교육은 채용 시 교육, 정기 교육, 공정이나 설비 변경·작업 내용 변경 시 교육 등으로 구분하며, 교육 시기나 내용, 시간 등을 구체화하여 명시할 것을 권장한다.

(2) 필요하면 법정 교육과 연계하여 통합 교육 프로그램을 만들어 실시할 수도 있다⁵⁾.

(3) 정비 작업 중의 유해·위험 요인과 그 요인들을 줄이기 위해 회사가 정한 조치 사항을 교육 내용에 포함한다. 이는 작업 전, 작업 중, 작업 후 안전보건 조치 사항과 비상조치 사항 등을 포함한다.

(4) 정비 작업팀은 서로 안전한 정비 작업 방법, 절차, 협력 등을 충분히 소통하여 잠재적 사고 위험을 관리한다 (아래 산업재해 사례 참조).

5) 고용노동부고시 제2024-20호, 안전보건교육규정[시행 2024. 4. 17.] 내용 추가

〈산업재해 사례〉

정비팀 근로자 간 의사소통 미흡으로 인한 사고

사고 재해자는 전자산업 # 공정 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.

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

5.9 비상사태 발생 시 조치

(1) 정비 작업자는 포토, 노광, 현상 공정 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) 유해 물질이 눈, 피부 등에 닿았을 때는 즉시 흐르는 물이나 세척 설비로 세척하고, 의사의 처치를 받는다.

(2) 정비 작업 감독자는 사고가 발생할 경우 작업공간 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 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 개인보호장비를 착용하지 않은 채로 챔버 안으로 들어가 쓰러진 근로자를 구조하다가 질소에 중독됨. 챔버, 탱크 등 밀폐공간 안에서 구조 등 응급조치를 할 때는 호흡보호구 등 적절한 개인보호장비를 착용하고 대응해야 함.

(3) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 중 긴급 사고가 발생했을 때 다음 각호와 같은 재해자 구조와 응급조치를 취한다.

- (가) 유기용제 등 화학물질 세척제 급성중독 발생 우려가 있을 경우 즉시 작업을 중지하고, 노출된 근로자에게 즉각적인 세척·샤워 등 적절한 조치를 취한 후 신속하게 응급 이송한다. 세척제 노출 후 일정 시간이 지나 세척하거나 즉각적인 병원 후송이 이루어지지 않으면 중대 사고가 발생한다.
- (나) 눈, 피부 등에 화학물질이 튀거나 닿았을 때는 즉시 근처 흐르는 물이나 세척·세안 설비로 15분 이상 세척하고, 의사의 처치를 받는다.
- (다) 폭발·화재, 안전사고 등의 긴급 사고가 발생한 경우 정해진 보고 체계를 통해 상부에 알리고, 동료와 인근 근로자에게 알려 추가 사고가 발생하지 않도록 우선 조치를 취한다.
- (라) 산소, 유해·위험 가스 농도를 측정하여 안전이 확인되기 전에는 공기호흡기나 송기 마스크를 착용하고 구조 작업을 한다.
- (마) 호흡기 관련 사고가 발생한 경우 빠르게 오염된 공간에서 사고자를 대피시키거나 공기호흡기 또는 송기 마스크를 사용하도록 하는 등의 응급조치를 한 후, 정비 책임자, 안전보건 관리자 등에 연락하여 적절한 의료 조치를 받는다.
- (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.

(3) 포토, 노광, 현상 공정 설비를 정비 작업하기 전에 점검해야 할 사항을 사례로 제시했다(표 2).

표 2. 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업 전 안전보건 유해 인자 점검 리스트

위험 구분		있음	없음/해당없음
장소 (접근)	혼잡 지역		
	고르지 못한 지면 또는 발판 등		
	밀폐공간		
	작업(자) 위 장애물 또는 낙하 물체 등		
	작업 지면 위 물체 또는 장애물 등		
	안전이 확보되지 않은 작업면 또는 발판 등		
	정비 작업 구역 번잡, 어수선함, 복잡 등		
부딪힘, 간힘, 발려 들어감 등	날카로운 기계 등 물체		
	조임(pinch) 지점		
	고온 표면		
	개방된 홀(구멍 등)		
	작업장 머리 위 작업 또는 공정		
	타격 물체		
	물체 부딪힘		
화재/스파크			
작업환경	소음		
	먼지		
	화학물질 누출		
	화학물질 노출(유기용제/금속/유해가스 등)		
	세정제 화학물질 사용(유기용제/산/알칼리 등)		

위험 구분		있음	없음/해당없음
작업환경	에어컨/에어제트(air-jet) 사용		
	지나치게 밝거나 어두운 조명		
	미끄러운 작업 면 또는 바닥		
	폐화학물질 발생		
	작업면의 높은 온도(고열/고온 등)		
	엑스선(방사선)		
	기타		
인체 공학적	작업 자세/위치 부적절 또는 불량		
	정적 작업 자세		
	과도한 힘		
	과도한 반복		
	과도한 지속 시간		
	과도한 신체 뻐침		
넘어짐/ 추락	아래로 이동		
	같은 높이 이동		
	미끄러운 표면		
	개방된 바닥이나 벽 등		
	보호되지 않는 돌레/경계		
	(기어)오름 또는 위로 이동 작업		
	부식 지점 또는 불안정한 지점		
	기타		
유해 화학물질	화상		
	신체 노출		
	흡입		
	액체 분산/미스트 등		
	흙		
	유출/누출 등		
	공기 중 입자		
	간힌 물질		
	중금속		
	석면		
저장된 에너지	압력		
	장력		
	전기(용접 등)		
	가연(인화)성/폭발성		
	정전기		
	기타		

6.1 적절한 개인보호장비 착용

- (1) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업에서 발생하는 주요 건강위험 요인은 먼지, 가스와 증기 등 가스상 물질, 잔류 화학물질 등이 대부분이므로, 이를 제거할 수 있는 성능의 방독 또는 방진 마스크 등의 호흡보호구를 착용한다(아래 산업재해 사례 참조).

〈산업재해 사례〉

정비 작업 중 방독마스크 등 호흡보호구 착용하지 않아 화학물질 중독

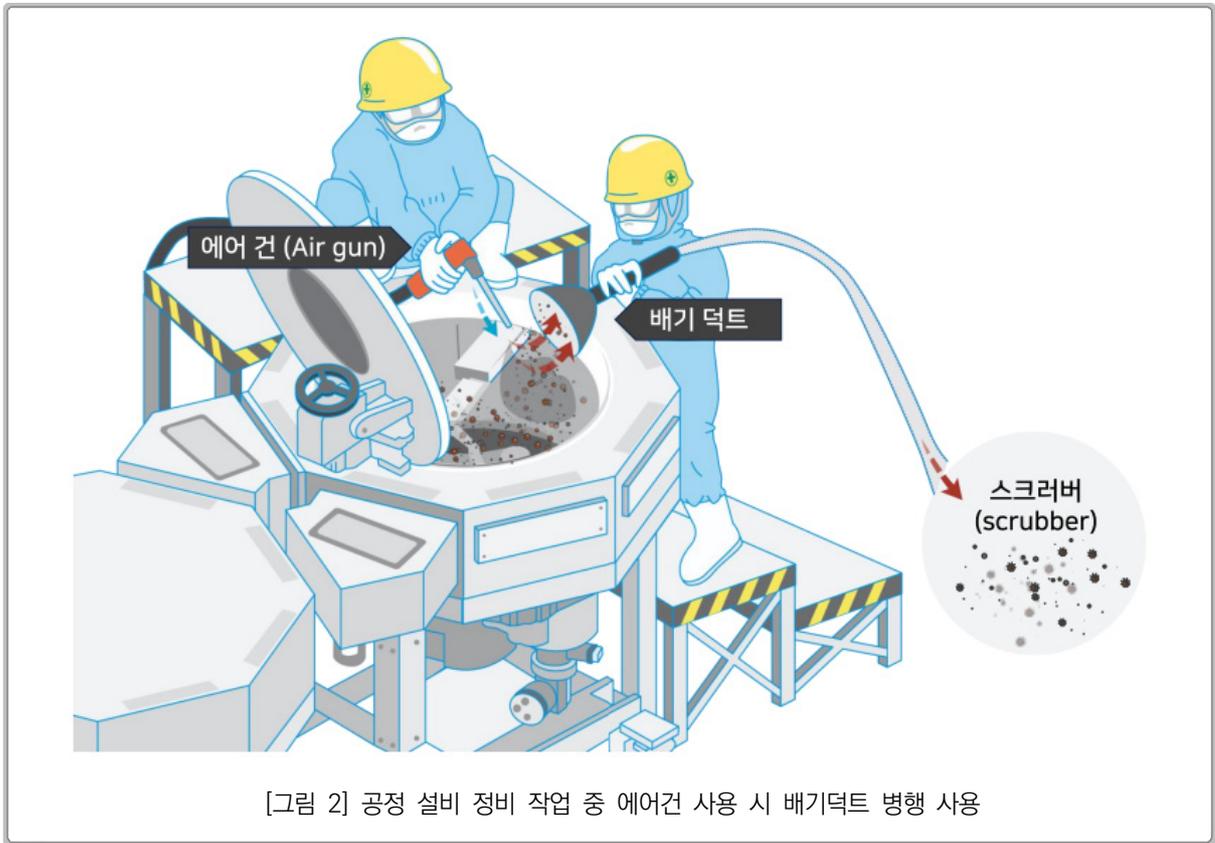
- 1) 사고 재해자는 전자산업 OO 사업장에 납품 설치한 CCSS 장비 내부 화학물질 누출 정비 SOP 작업을 하기 위해 호흡보호구를 착용하지 않은 채로 설비 장비 내부로 들어가 사진 촬영 중 세정 노즐에서 황산액이 분출되어 재해를 입음. 설비 안으로 들어가는 모든 근로자는 호흡보호구 등 적절한 개인보호장비를 착용해야 함.
- 2) 사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 펌프 모델 변경 작업 진행 중 배관 내부에서 액체 화학물질이 눈으로 떨어져 눈이 손상됨. 배관 등 모든 정비 작업 시 호흡기, 눈 등 신체를 보호하기 위한 개인 보호장비를 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 작업 시 설비에 남아 있을 수 있는 화학물질 누출로 재해를 입지 않도록 호흡기, 눈 등 신체를 보호하기 위한 개인보호장비를 착용해야 함.

- (2) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업자는 호흡보호구, 보안경, 불침투성 보호복, 보호 장갑, 보호 장화 등의 개인보호장비를 착용한다. 추락하거나 넘어질 위험이 있는 높이에서 작업할 경우 작업 발판, 안전 난간대, 추락 방호망, 전용 사다리 등 필요한 시설을 이용하거나 설치한다. 위 시설 설치가 곤란한 경우에는 근로자가 안전대를 착용한다⁶⁾.
- (3) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업을 할 때 노출되는 안전보건 유해·위험 요인에 따라 사용해야 할 보호구는 KOSHA Guide G-12-2013, “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침”을 참조해서 선택한다.

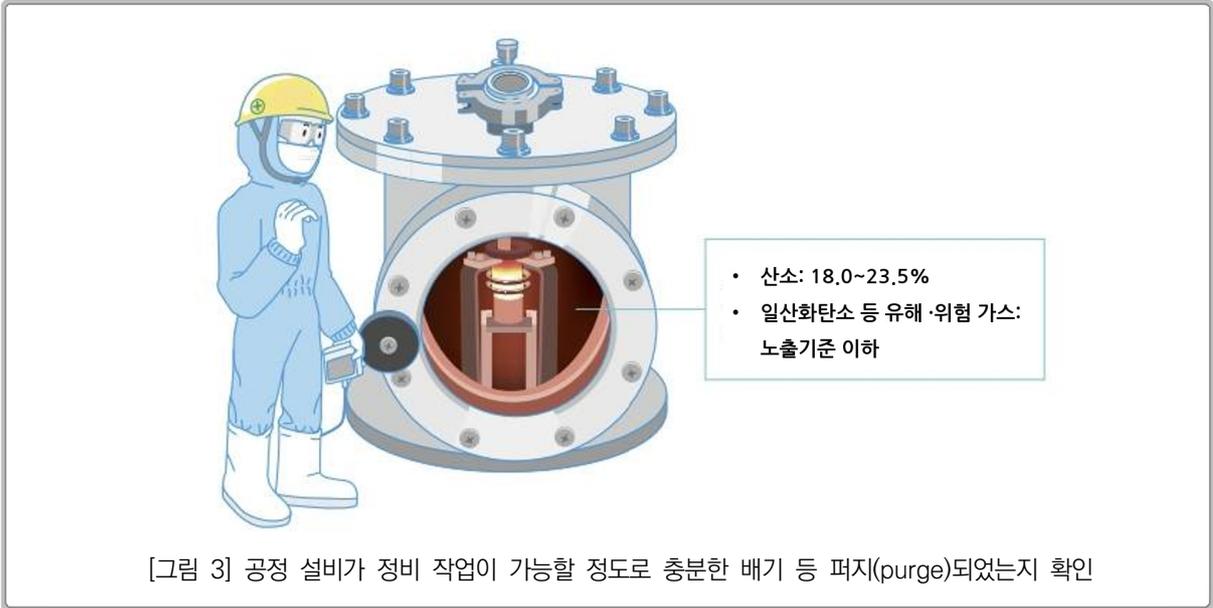
6.2 정비 대상 설비 식히기, 퍼지, 환기 등

- (1) 정비 대상 베이킹, 오븐 등 설비 안과 밖이 정비 작업을 할 수 있을 정도로 안전한 온도인지 확인하고, 유해·위험 가스 등이 충분히 나갈 때까지 환기하며, 적절한 조치를 한다(그림 2 참조).

6) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제42조 추락의 방지



- (2) 정비 대상 설비의 내부를 충분히 퍼지하거나 환기하여 대기 상태가 되도록 한다(아래 산업재해 사례 참조).
- (가) 정비 대상 설비를 열기 전 설비 안에 남아 있는 가스상 물질, 입자상 물질 등이 최소 수준이 될 때까지 배출되도록 한다.
 - (나) 정비 작업 전 질소나 아르곤과 같은 불활성가스로 설비 내부를 퍼지하거나 환기하여 대기 상태가 되도록 조치한다(그림 3 참조).
- (3) 정비 대상 설비의 내부를 불활성화, 퍼징하고 대기와 같은 조건으로 만든 후 설비를 연다.
- (가) 불활성화(Inerting): 정비 대상 설비에 불활성가스(질소, 아르곤 등)를 도입해 탱크에서 산소와 여러 공정 독성가스 등 부산물 농도를 낮춘다.
 - (나) 퍼징(Purging): 정비 대상 설비 내의 공기를 불활성가스로 대체한다.
 - (다) 가스 제거: 탱크에서 불활성가스, 공정 부산물 가스를 모두 배기하고 산소 농도 18.0~23.5%의 대기 상태로 만든다. 정비 대상 설비 개방, 출입, 정비 작업이 가능하도록 한다.



〈산업재해 사례〉

현상액 TMAH 피부 접촉에 의한 급성중독 사망 사고

- 1) 2021년 1월, 국내 전자산업 사업장에서 현상액 저장탱크 변경 작업을 위해 배관 해체 작업 중 배관 내에 남은 현상액(TMAH 2.38% 함유)이 누출되어 작업자들이 접촉해 급성중독으로 2명이 사망하고 4명이 중상을 입음. 정비 작업을 시작하기 전 배관, 챔버 등 정비 공간 내에 남아 있는 화학물질 등을 완전히 제거해야 함.
- 2) 2012년 4월 19일, 충북 음성의 현상액 제조회사 직원 B(30세, 남) 씨가 탱크로리의 탱크 세척 작업 후 호스에 남은 현상액(TMAH 24.8% 함유)을 제거하기 위해 스패너로 호스 끝에 있는 커플러의 볼트와 너트를 해체하던 중 잔류 압력에 의해 현상액이 얼굴과 목 부위 등에 분사됨. 사고 재해자는 즉시 눈 부위를 세척하고 샤워실로 이동하여 얼굴, 목 등을 다시 세척하는 과정에서 호흡 곤란을 호소하여 병원으로 후송하였으나 사망함.
- 3) 태국 LCD 제조 공장에서 배관시스템 점검 작업 중 배관 내에 남은 TMAH 용액(TMAH 25% 함유)이 사고 재해자의 머리 부위에 분사됨. 사고 재해자는 고글은 착용하였으나 호흡보호구는 착용하지 않은 상태였고, 노출 후 밸브를 잠그고 응급 샤워 설비에서 머리를 세척하였으나, 사고 30분 후 의식을 잃고 병원 도착 후 사망함.
- 4) 대만 웨이퍼 공장에서 4명의 직원이 누출 밸브 점검 작업 중 TMAH 용액(TMAH 2.38% 함유)에 노출됨. 개인보호장비를 착용하지 않은 상태였으며, 노출 부위 통증으로 인하여 노출 10분 후 세척하였으나, 다리 마비, 심한 근육 경련, 구토 증상이 일어나 병원으로 이송됨. 전체 신체 표면적의 28%에 1~2도 화상이 발견되었고, 가장 심하게 영향을 받은 부위는 음낭으로 얇은 궤양과 점막 출혈이 유발됨.

(4) TMAH에 대한 안전한 작업은 공단이 개발한 KOSHA Guide H-171-2023, “TMAH 취급 전자산업 근로자의 보건관리 지침”을 준수하여 안전한 작업을 실시한다.

6.3 정비 대상 설비 개방

- (1) 정비 대상 설비를 열 때 내부 압력을 대기압과 맞추는 등의 필요한 안전조치를 취한다. 크레인, 호이스트, 리프트 등의 설비에서 다양한 방법으로 설비를 열고 기계, 부품 등을 분리·해체할 때는 필요한 안전조치를 취한다. 만약 크레인을 이용하여 정비 대상 설비 뚜껑을 열거나 분리할 때는 다음과 같은 철저한 안전조치를 취한다.
 - (가) 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.
 - (나) 크레인 하부에서 잠재적 사고가 발생할 수 있는 공간까지 작업과 출입을 금하며, 안전 구역을 잘 보이게 표시한다.
 - (다) 크레인의 정격 용량, 크레인의 와이어로프나 체인의 외관과 기능, 크레인이 해당 작업에 맞게 적절히 유지관리되고 인증되었는지 확인한다.
 - (라) 크레인의 위치, 정비 대상 설비 뚜껑의 부착 지점과 이동하는 경로를 포함하여 제거 프로세스를 계획한다.
 - (마) 훅, 와이어로프, 체인, 벨트 슬링 등의 줄걸이 용구 같은 리프팅 장비에 이상이 없는지 점검하고, 하중에 적합한지 확인한다.
 - (바) 크레인이 다른 장비나 구조물에 방해받지 않고 정비 대상 설비 뚜껑에 최적으로 접근할 수 있도록 배치한다.
 - (사) 제조업체에서 권장하는 리프팅 러그를 사용하고, 줄걸이 지점 등 정비 대상 설비 뚜껑을 들어 올릴 적절한 지점을 파악한다.
 - (아) 중량물 운반에 사용하는 용구는 안전율이 “3” 이상인 것을 구매하여 사용하며, 자체 제작 리프팅 러그를 사용할 경우 비파괴시험을 한다⁷⁾.
 - (자) 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.
 - (차) 크레인 운전자와 정비 대상 설비 뚜껑을 열고 방착판을 제거하는 과정에 관여하는 직원 사이에 명확하고 효과적인 의사소통 체계를 구축한다.
 - (카) 신호수는 크레인과 정비 대상 설비 뚜껑 주변에 접근 금지구역을 설정하여 허가받지 않은 사람이 들어가지 못하도록 한다.
- (2) 정비 대상 설비를 열 때 포토, 노광, 현상 공정에서 사용된 감광액(PR) 등 유기용제, 반응성 가스, 미세입자 등이 밖으로 나올 수 있으므로 설비를 열 때 설비 내부에 남아 있는 유해·위험 물질을 이동식 국소 배기 장치를 사용하여 제거한다.
- (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(12페이지 산업재해 사례 참조). 포토, 노광, 현상 공정의 포토레지스트 건조(Baking) 단계에서 유지되는 온도 범위는 일반적으로 노광 전은 90~120°C, 노광 후는 100~150°C이다. 이러한 건조는 유기용제 증발, 접착 촉진, 포토레지스트의 특성 향상에 매우 중요하다.
- (4) 정비 대상 설비 안의 산소 농도는 18.0~23.5%인지, 폭발성가스 농도는 폭발하한의 25% 이하인지, 기타 유해 물질의 농도는 작업환경 기준치나 사내 기준치를 초과하는지 평가한다.
- (5) 정상적인 정비 작업이 불가능하다고 판단되면 해당 유해 요인을 제거하는 적절한 조치를 취한 후 정비 작업을 시작한다. 필요한 경우 VOC, 먼지 농도 등을 모니터링한다.

7) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제168조(변형되어 있는 훅·샤클 등의 사용금지)

6.4 설비 정비

- (1) 정비 대상 설비 뚜껑을 열고 정비 대상 기계, 부품 등을 교체한다. 정비 대상 설비 뚜껑(cover, 커버) 등 교체할 기계, 부품이 무겁고 커서 크레인을 이용하여 작업할 때는 6.3(1)에서 정한 크레인 안전작업절차를 지킨다.
- (2) 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

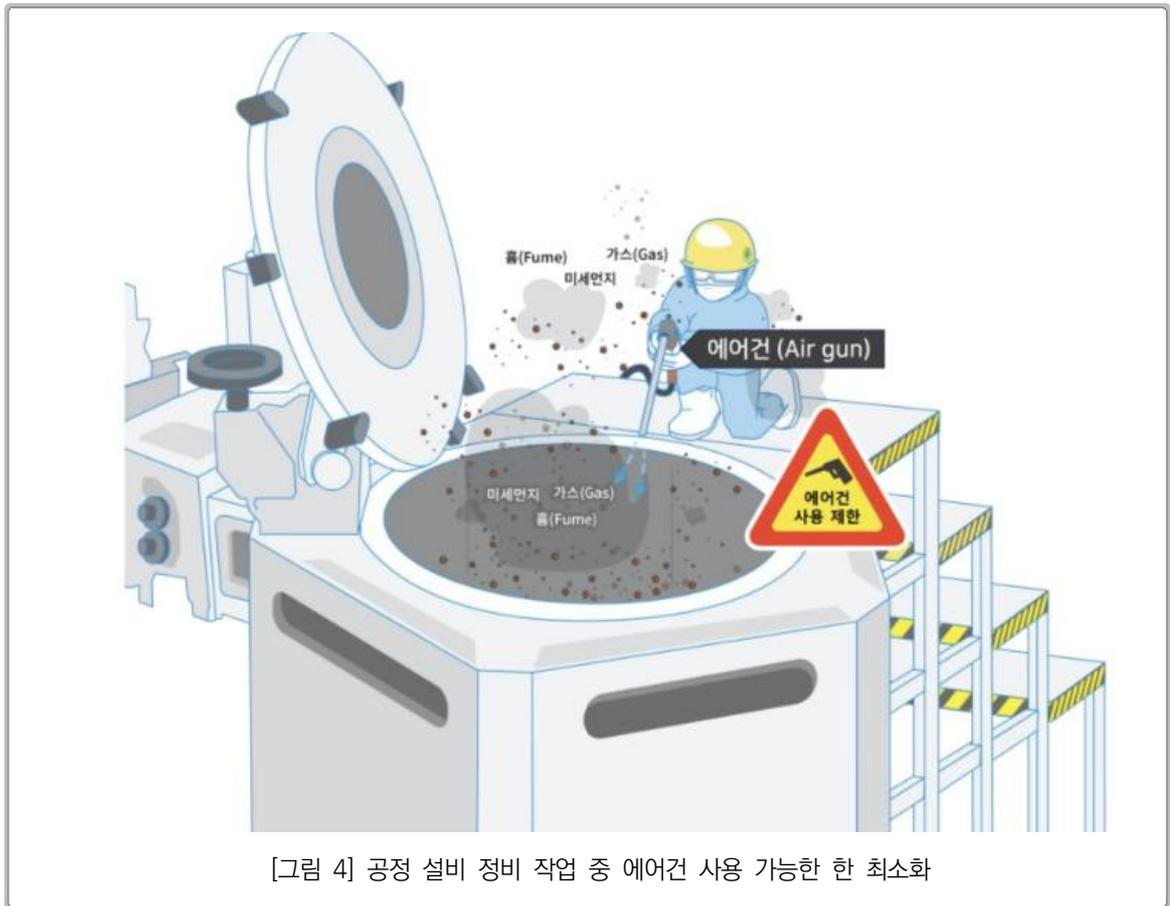
사고 재해자는 전자산업 ** 자동화 기계 셋업 중 약 3톤의 장비 밑에 핸드카를 넣어 살짝 든 다음 앞에서 당기는 과정에서 무리해서 힘을 썼고, 장비 이동 후 지렛대를 사용하여 세부 위치를 잡는 과정에서 과도하게 힘을 주어 허리에 손상을 입었음. 정비 작업 중 중량물 해체, 운반, 이동 등에서 반복적인 작업, 무리한 힘, 불안정한 자세 등으로 근골격계 손상이 일어남. 인체공학적 작업 매뉴얼 등이 필요함.

- (3) 포토, 노광, 현상 설비 챔버 개방 또는 제거
 - (가) 신호 담당자의 신호와 지시에 따라 정비 대상 설비의 챔버, 기계, 부품 등을 서서히 안정적으로 들어 올 리도록 지시한다. 크레인, 호이스트 등을 이용해서 제거할 경우 적절한 조치를 취한다.
 - (나) 정비 대상 설비를 해체하고 제거할 때 설비 내부에 장애물이나 잠재적 위험이 없는지 확인한다.
 - (다) 리프트를 주의 깊게 모니터링하여 불안정하거나 장비가 오작동하는지 징후를 파악하고, 필요한 경우 작 동을 중단할 준비를 한다.
- (4) 교체 대상 기계, 부품 등 이동, 보관, 세정 등 추가 조치
 - (가) 교체 대상 기계, 부품 등을 설비에서 떼 후에는 조심스럽게 천천히 움직이면서 지정된 보관 장소나 적절 한 지지 구조물로 옮긴다.
 - (나) 소형 부품, 기계 등을 인력으로 이동·운반할 경우, 인력 운반 작업계획서를 작성하여 계획에 따라 작업을 지휘한다.
 - (다) 교체 대상 기계, 부품 등이 우발적으로 움직이거나 쓰러지지 않도록 적절히 고정하고, 안정된 상태에서 방착판을 보관 장소에 안전하게 내려놓는다.
 - (라) 교체 대상 기계, 부품 등을 공장 내부 또는 외부 등 세정 장소로 이동할 때는 안전사고를 예방하기 위해 아래와 같은 조치를 취한다.
 - 마모된 부품 교체
 - 필터 청소 또는 교체
 - 노광 장비에 사용된 램프의 무결성 확인 또는 교체
 - 코딩 중 PR이 흩어지지 않도록 컵(cup) 검사, 교체, 세정 등
 - 스피너 척 검사, 교체, 세정 등
 - 핫플레이트(오븐) 검사, 교체, 세정 등
 - 센서와 장비 인터페이스의 기능과 보정 검증
 - 화학물질 라인의 막힘이나 누출 여부 검증
 - 밸브, 진공펌프, 스캐너, 노광기 검사, 교체, 세정 등

8) 업종, 공정 등에 따라 다양한 용어들이 쓰임.

(5) 정비 대상 설비 내부 또는 주변 정비 작업

- (가) 정비 대상 설비 내부 정비 작업 시 설비 구성 요소, 장비, 재료 등을 회사가 정한 규칙과 방법에 따른다.
- (나) 정비 대상 챔버, 설비 등을 뗀 후 설비 구조물에 걸려 넘어지지 않도록 유의하며 필요한 경우 설비 내부로 들어간다⁹⁾.
- (다) 정비 대상 설비 내부를 클리닝한다. 진공청소기, 브러시, 형궤, 화학물질(IPA) 등을 사용하여 설비 안과 밖 이물질, 먼지, 입자 등 잔여물을 철저히 제거한다.
- (라) 설비 안과 밖을 세척하고 정비하는 데 사용되는 모든 화학물질은 규정에 따라 취급하며, 안전사고와 인체 노출을 방지하기 위해 적절한 예방조치를 한다.
- (마) 공정 설비 정비 작업 중 설비 안에 남아 있거나 생성되는 가스상 물질, 입자상 물질 등을 제거하기 위해 배기 장치를 사용한다. 이동식 배기덕트를 사용할 경우 스크리버로 연결하며, 만약 어려울 경우 공기정화 장치를 붙인다. 정비 대상 공간 또는 별도의 세정실에서 에어건을 사용하는 경우 사용 빈도와 사용 시간을 최소한으로 한다. 발생하는 소음이 크고 먼지가 많이 날리기 때문이다. 에어건을 사용할 경우 진공 배기덕트를 함께 사용하여 공기 중 먼지가 날리는 것을 최대한 억제하는 것이 좋다(그림 4 참조).
- (바) 일정 높이에서 설비를 정비 작업할 때 발판 등에서 넘어지거나 높은 곳에서 일하다 떨어지지 않도록 높이에 따른 작업공간 확보, 시설 확보 등 적절한 예방조치를 취한다(아래 산업재해 사례 참조).
- (사) 전기 연결 점검, 온도 제어 모니터링, 진공 시스템, 발열체, 열전대, 팬 등 모든 부품을 검사하여 양호한 상태인지 확인한다.



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

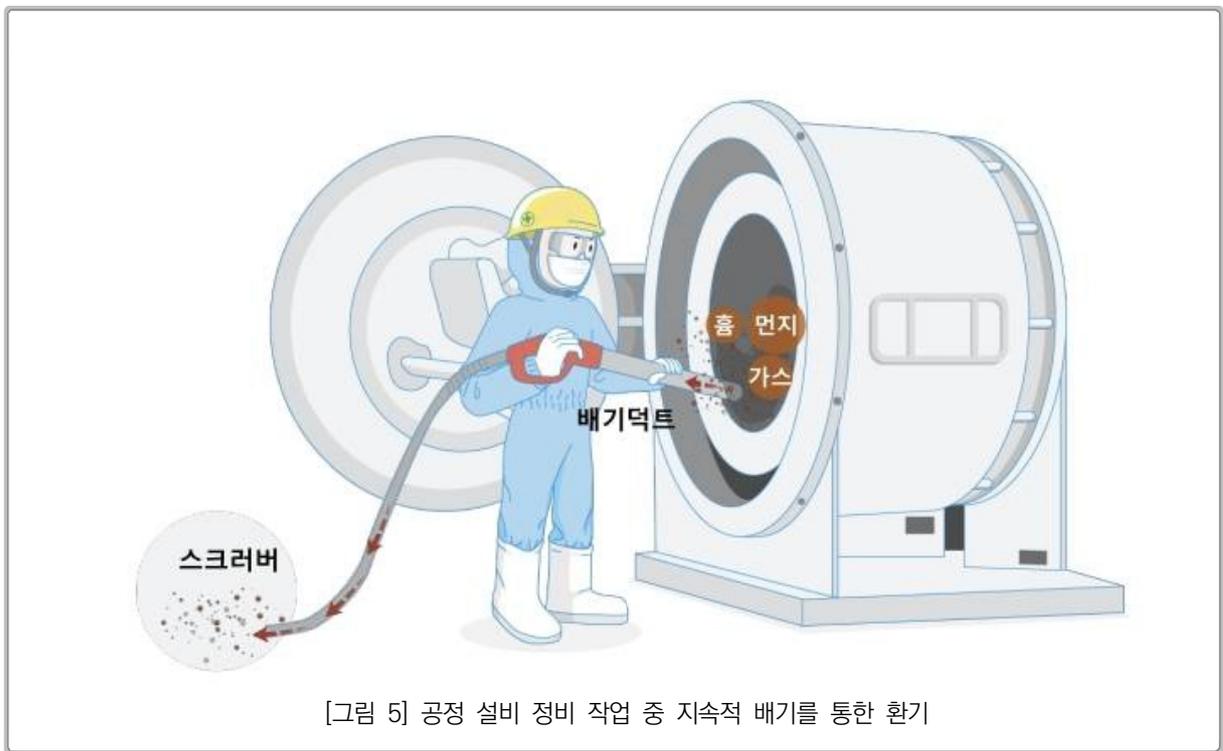
〈산업재해 사례〉

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 보호장비를 착용하지 않은 상태에서 정비 작업 후 넘어지면서 주변 시설 파손, 화학물질 누출 등의 사고가 발생함.

6.5 정비 작업 중 충분한 환기

- (1) 정비 작업 동안 정비 대상 설비 안에 먼지, 가스, 세정제 등이 쌓이지 않도록 지속적으로 적절한 환기를 한다 (그림 5 참조).



- (2) 정비 작업공간에서 근로자의 유해 물질 노출을 줄이고 화재·폭발 위험을 줄이기 위해 지속적으로 환기한다. 필요한 경우 유해·위험 요인의 농도를 주기적으로 모니터링한다.
- (3) 정비 작업공간에 남아 있는 가스, 증기, 먼지 등의 물질은 가능한 발생을 낮추고 인화성 가스 농도는 폭발하한의 25% 이하가 되도록 환기한다.

7.1 청소 등 폐기물 처리

- (1) 포토, 노광, 현상 공정 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 폐기물은 특성에 따라 적절히 분류하고 처리한다. 화학물질 폐기물을 처리할 때는 규정 요건에 따라 보관, 폐기한다.
- (3) 폐기물의 화학적 특성에 따라 내산성, 내알칼리성 등을 갖춘 재질의 용기에 보관한다.
- (4) 폐기물을 일정 기간 보관해야 할 경우 환기가 잘 되는 지정된 장소에 보관한다. 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide P-50-2012, “유해폐기물 취급 및 비상대응에 관한 기술지침”을 따른다.

7.2 공정 재가동 전 안전보건 조치

- (1) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비를 마친 후 공정을 다시 시작하기 전에 안전보건 조치를 취한다.
- (2) 모든 정비 작업 도구와 장비가 제거되었는지, 설비가 적절하게 정비되었는지, 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인한다.
- (3) 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) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후 이들 공정을 다시 작동하고 공정이 원활하게 유지되는지 관련 운전 변수를 점검한다. 최적의 상태인지 확인하고 정비 작업을 마친다.
- (2) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업을 마치고 운전할 때 안전사고가 발생할 가능성이 높다. 따라서 재가동하거나 시험 운전할 때 발생할 수 있는 사고에 대해서도 위험성평가에 반영하며, 가동 전 KOSHA Guide P-97-2012, “가동전 안전점검에 관한 기술지침”에 따른다.

7.4 개인보호장비 청소, 보관, 폐기 및 개인위생

- (1) 모든 작업이 완료된 후 착용했던 보호구를 청소하고 성능을 확인한 후 적절한 장소에 보관한다.
- (2) 오염된 개인보호장비는 정해진 작업 절차 또는 폐기 절차에 따라 적절히 제거하고 폐기한다.
- (3) 화학물질을 이용한 세정 작업을 마친 후에는 목욕하고 옷을 갈아입은 후 퇴근하는 등 개인위생을 철저히 실천한다.

- (1) 사업주는 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 근로자가 노출될 수 있는 유해 인자를 정기적으로 측정하고 모니터링한다. 자세한 유해 인자 측정 방법 지침은 KOSHA Guide “시료채취 및 분석지침(A)”을 참조하여 정비 작업 근로자가 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 적절한 노출 저감 대책을 수립한다.
- (2) 사업주는 포토, 노광, 현상 공정 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 근로자의 질병 예방을 위한 지침으로 활용한다.

- (3) 정비 작업자는 작업 중이나 후에 특이적 증상, 불편 등 질병 위험이 있다고 의심이 되는 경우 보건관리자나 의사에게 상담한다.

9 기록 유지 서류 작성 및 보전

- (1) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업과 재가동이 끝나면 회사가 정한 규정에 따라 챔버 정비 이력 카드에 수행한 정비 작업 종류, 정비 날짜, 정비 근로자, 교체한 부분, 발생한 문제, 발생한 문제의 안전보건 위험 요인 등의 주요 정비 내력을 기록하고 보존한다.
- (2) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 기록 내용은 향후 유지보수 활동과 반복되는 잠재적 문제를 파악하는 데 도움이 되도록 한다.
- (3) 포토, 노광, 현상 공정 설비 정비 작업에서 발생하는 안전보건 유해 요인 위험평가 및 조치 등을 아래와 같은 내용을 포함하도록 양식을 만들어 기록한다.

- 회사 이름
- 포토, 노광, 현상 정비 대상 시설 이름
- 위험성평가 수행자
- 다음 검토 날짜
- 위험성평가가 수행된 날짜
- 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