

[부록 3]

전자산업 식각공정 설비 정비작업 안전보건 가이드

요 약

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

1. 식각 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 out)한 꼬리표를 달아 놓는다.
- 공정 설비 정비 작업공간을 주변과 격리하고, 정비 구역을 표시하며, 출입을 제한한다. 특히 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 비상 시 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. 방독마스크 등의 호흡보호구를 착용한다. 식각 챔버를 열 때 열로부터 눈을 보호하기 위해 보안경을 착용한다.
- 식각 챔버를 충분히 세정하고 퍼지(Purge)하여 산소 농도, 온도, 기압, 유해가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인하고 기다린다.

2. 식각 공정의 설비 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

- 식각 챔버나 탱크를 열고 뚜껑(Shield) 커버 등을 해체하고 부착할 때 안전 조치를 취한다. 크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 이용할 경우 운전자와 신호수 지정, 안전 구역 표시 등 철저한 안전조치를 취한다.
- 식각 챔버나 탱크를 열 때 압력 차이에 따라 열, 유해가스, 먼지 등이 포함된 공기가 순간 분출될 수 있으므로, 보안경과 호흡보호구를 착용하고 일정 거리를 둔 상태로 작업한다.
- 일정 높이의 발판, 사다리 등 높은 곳에서 정비 작업을 할 때 넘어짐, 추락 등에 주의한다.
- 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. 식각 공정 설비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 식각 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 안전 점검을 마친 후 식각 공정을 다시 작동하고, 공정이 원활하게 유지되는지 관련 변수를 점검한다. 최적의 상태인지 확인하고, 정비 작업을 마친다.

- 식각 설비 정비 이력 카드에 수행한 정비 작업 종류, 정비 날짜, 정비 근로자, 교체한 부분, 발생한 문제 등의 주요 정비 내역을 기록하고 보존한다.

4. 식각 작업 주요 안전보건 점검 리스트

1) 정비 작업 전 안전보건 점검 사항

점검 항목	예	아니오	해당 없음
회사 규정에 따라 정비 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			
정비 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 작업 범위와 내용을 알고 있는가? 또한 정비팀원들 간의 안전한 작업 요령을 확인했는가?			
정비 작업에 필요한 도면, 운전 절차서 등을 검토했는가?			
관계 부서와 공정 운전 중단, 유해·위험 물질 유입 차단과 제거, 전기 차단 등의 안전조치를 했는가?			
정비 대상 챔버, 탱크 등을 확인했는가?			
정비 작업 구역을 설정하고 접근 제한 조치를 취했는가?			
식각 챔버, 탱크, 배관 등의 내부 온도와 압력의 상온·상압 유지, 펌프 작동 멈춤, 유해·위험 물질 제거 등 충분한 안전조치를 했는가?			
핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했으며, 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·위험 물질 위험성평가 실시)?			
정비 도구 등을 챙기고 성능을 확인했는가?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
비상상태 발생 시 조치 사항 등 핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
방진마스크, 방독마스크 등 정비 작업에 필요한 개인보호장비를 착용했는가?			
챔버, 탱크 등 정비 대상 공간을 지속적으로 퍼지해서 열, 유해가스, 먼지 등을 제거했는가?			
크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 사용할 때 운전자와 신호수 지정, 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?			

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 폐기물을 안전하게 수거하고 처리했는가?			
정비 작업 도구 등을 치우고, 챔버 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인했는가?			
정비 작업에 사용된 부품은 재질, 강도, 규격 등이 도면상 요구에 합당한 정품을 사용했는가?			
기밀시험을 실시했는가?			
공정을 다시 가동하고 공정 테스트를 완료했는가?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 정비 내역을 기록했는가?			

식각 공정 설비 정비 중 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요.

1 목 적

- (1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 중 식각 공정 설비 정비 작업에 대한 안전작업절차를 제공하여 작업 중 발생할 수 있는 안전보건 유해·위험 요인 노출로 인한 정비 근로자와 인근 근로자의 부상과 건강 영향을 예방한다.
- (2) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 중 식각 공정 설비 정비 작업을 안전하게 수행함으로써 사고에 따른 회사의 손실을 최소화하고 원활한 생산활동이 이루어지도록 한다.

2 적용 범위

- (1) 본 가이드는 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 중 식각 공정의 주요 설비와 부속 설비를 정비할 때 안전보건 유해·위험 요인에 대한 노출을 최소화하여 안전보건 위험을 관리하는 데 적용한다.
- (2) 식각 공정별로 발생하는 구체적인 안전보건 유해·위험 요인을 관리하기 위한 가이드는 필요할 경우 따로 개발할 필요가 있다.
- (3) 본 가이드는 식각 공정을 이용하는 여러 산업에서 안전보건 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다. 식각 기술은 많은 제조 산업에서 박막과 코팅 공정에 널리 사용되기 때문이다.

3 용어의 정의

- (1) 본 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.
- 식각(Etching): 화학적 또는 물리적 수단을 써 제어되고 정밀한 패턴으로 기판 표면의 층(Layer)을 제거하는 기술을 말한다. 반도체 제조, 야금, 인쇄물 제작 등 다양한 산업 분야에서 광범위하게 사용된다. 반도체, OLED 제조 등 전자산업에서 원하는 회로 패턴, 구조 또는 표면 특성을 얻기 위해 수행한다. 강산과 강알칼리 등 화학물질을 이용한 습식 식각과 플라스마 또는 이온빔을 이용한 건식 식각이 있다. 습식과 건식 식각 공정은 작동 방식이 다르기 때문에 운전, 정비 때 발생하는 유해·위험 요인 특성이 다르다.
- 플라스마(Plasma): 이온화된 기체로, 자유전자와 양전하를 띤 이온을 포함한다. 기체를 가열하거나 강한 전자기장에 노출하면 원자가 여기되고 이온화되어 이온, 전자, 중성 입자가 섞여 있는 고온의 물질이 되는데, 이것이 플라스마이다. 고체, 액체, 기체와 함께 물질의 네 가지 기본 상태 중 하나이다.
- 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.
- 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): 인화 한계농도의 최저한도가 13 % 이하 또는 최고한도와 최저한도의 차가 12 % 이상인 물질 중 표준압력(101.3 kPa)과 20 °C에서 가스 상태인 물질을 말한다. OLED 제조에 사용되는 일부 장비와 공정에는 부산물 또는 보조 공정의 일부로 포함될 수 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 폭발성이

스 또는 증기의 최소 농도를 나타내며, 그 이하에서는 폭발이 일어나지 않는다. 폭발상한은 공기 중 폭발성가스나 증기의 최고 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 정비 작업을 할 때 산소가 부족하거나 유해가스가 쌓일 경우 질식이 발생할 수 있다.

- (2) 이 가이드에서 정의하지 않은 안전보건 용어의 뜻은 “산업안전보건법”, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건 기준에 관한 규칙, KOSHA Guide에서 정하는 바에 따른다.

4 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

4.1 정비 안전 작업 허가

- (1) 정비 근로자(반)는 직무 안전 작업에 대한 사전 승인(허가), 승인(허가) 범위, 허가 방법, 기록 등을 수행할 때 회사가 정한 규칙을 따른다.
- (2) 회사 규칙에 따라 정비 작업의 책임자를 지정하고, 정비 작업 허가 등 안전보건의 책임을 맡도록 한다.
- (3) 정비 작업 책임자는 작업을 허가할 때 안전조치 사항들을 확인·기록·관리하는 한편, 정비 근로자들이 안전하게 작업을 마칠 수 있도록 현장관리의 책임을 진다.
- (4) 정비 작업별 안전 작업 허가 범위, 허가 방법, 허가에 필요한 서류, 절차 등은 KOSHA Guide “안전작업 허가 지침(P-94-2021)”을 참조한다.

4.2 정비 작업 전 관계 부서와 협조, 확인

- (1) 관계 부서 담당자와 정비 작업의 범위·내용·협조 사항을 협의, 통보한다. 예를 들면 관계 부서는 정비 대상 식각 설비 공정 운전과 관련되는 부서 등이 될 수 있다.
- (2) 회사 규칙에 따라 관계 부서와 협의해서 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 배치한다.
- (5) 식각 공정 설비 정비 작업을 위탁 또는 하청하는 경우 원청은 관계 부서와 협의하여 정비 작업 전 정비 작업 범위, 공정 원료 공급 차단, 공정 차단 등 안전조치를 취한다.

4.3 공정 장비 운전, 전기적 차단, 격리

- (1) 정비 작업을 시작하기 전에 정비 대상 식각 공정 설비와 부속 설비 등을 확인하고, 전원을 차단하거나 설비 제조사에서 정한 정비 모드로 바꾼다.
- (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 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 차단은 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 차단에 관련된 부서와 연락 방법 등은 정비작업서에 상세하게 기재한다.
- (4) 화학물질, 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 게시한다²⁾(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) 식각 공정 설비 정비 작업을 위탁 또는 하청하는 경우 원청은 정비 작업 전 공정 운전 차단(4.3항), 전기적 차단, 정비 작업 격리 등 필요한 안전조치를 취한다.

4.4 정비 대상 시설, 장비, 기계 등 확인 및 정비 작업 구역 설정과 표시

- (1) 식각 공정에서 정비 대상 탱크, 챔버, 장비, 기계, 작업 인원 등을 확인하고 준비한다. 식각 기술별로 주요 정비 대상 설비는 아래와 같다.
 - 습식 식각 주요 정비 설비 : 탱크, 폐화학물질 처리 시스템, 배기 장치 등
 - 건식 식각 주요 정비 설비 : 진공 시스템(Vacuum System), 가스 공급 시스템, 플라스마를 생성하는 적외선 발생 장치, 배기 장치 등
- (2) 식각 공정에서 정비 작업구역을 구분하고 표시하여 사방에서 잘 보이도록 “작업 중 접근 금지” 등 안전표지를 붙이고, 접근 금지구역 펜스를 설치한다.

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

2) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 630조(불활성기체의 노출)

4.5 위험성평가 실행과 심각성(Severity) 확인

- (1) 정비 책임자는 작업을 시작하기 전에 위험성평가를 수행하여 식각 설비 정비 작업 중 발생하는 잠재적 유해·위험 요인을 파악하고, 이들을 제거·대체·완화 등을 하기 위한 조치를 취하여 안전하게 작업할 수 있도록 한다.
- (가) 정비 근로자와 정비 책임자는 식각 설비 정비 작업에서 일어날 수 있는 잠재적 유해·위험 요인을 파악하고 위험 수준을 평가(위험성평가)한다.
- (나) 정비 근로자는 위험성평가를 통해 발견된 유해·위험 요인을 제거하거나 감소하는 적절한 공학적, 행정적 조치를 취한다.
- (2) 식각 설비 정비 작업에서 발생할 수 있는 공통적인 잠재적 안전사고와 유해·위험 요인은 다음과 같다.
- (가) 습식 식각
- 화학물질 노출 위험: 습식 탱크 정비 중 부식성과 독성이 강한 화학물질을 직접 취급할 때 피부나 눈에 닿거나 흡입할 위험이 있다.
 - 화학물질 유출 또는 누출 위험: 식각에 쓰이는 화학물질을 교체, 이동, 폐기할 때 화학물질이 유출되거나 누출될 위험이 있다.
 - 화재 또는 폭발 위험: 정비, 세정용 화학물질을 잘못 보관하면 우발적인 노출, 화재, 폭발로 이어질 수 있다.
 - 부상 위험: 설비 내 노출된 기계, 부품, 돌출물 등에 베일 수 있다.
 - 인체공학적 위험: 설비 내 교체해야 할 기계·부품 등의 이동, 제한된 공간에서 정비·세정 작업 등에 따른 근골격계질환 위험이 있다.
 - 넘어짐, 추락 위험: 일정 높이에서 습식 탱크 정비 작업을 하는 경우 넘어지거나 추락할 위험이 있다(그림1 참조).



[그림 1] 공정 설비 발판 위 작업 중 또는 후에 넘어짐

(나) 건식 식각

- 가스, 먼지 등 노출 위험: 건식 식각 공정에서는 독성, 부식성 등이 있는 유해가스를 사용하는 경우가 많다. 정비 작업할 때 챔버나 가스 전달 시스템에 남은 유해가스와 먼지에 노출될 위험이 있다.
- 급격한 압력 변화 위험: 건식 식각 챔버는 진공상태에서 작동한다. 챔버를 열기 전에 진공을 제대로 해제하지 않으면 급격한 압력 변화가 발생하여 부상이나 장비 손상을 초래할 위험이 있다.
- 화학 잔류물 노출 위험: 건식 식각 챔버 안에는 웨이퍼에서 식각되고 화학반응을 일으킨 물질 등이 남아 있다. 정비 작업 중에 이들 물질에 노출될 위험이 있다.
- 전기적 위험: 유지보수 중에 전기 시스템을 적절히 차단하지 않으면 감전이나 화상의 위험이 있다.
- 화재 또는 폭발 위험: 정비, 세정용 화학물질을 잘못 보관하면 우발적인 노출, 화재, 폭발로 이어질 수 있다.
- 부상 위험: 설비 내 노출된 기계, 부품, 돌출물 등에 베일 수 있다.
- 인체공학적 위험: 설비 내 교체해야 할 기계·부품 등의 이동, 제한된 공간에서 정비·세정 작업 등에 따른 근골격계질환 위험이 있다.
- 넘어짐, 추락 위험: 일정 높이에서 건식 챔버 정비 작업을 하는 경우 넘어지거나 추락할 위험이 있다.

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

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

(나) 화학물질이 포함된 미스트, 먼지, 흙, 가스 등의 노출로 인해 급성 또는 만성 호흡기질환이 발생할 수 있다. 습식 식각 탱크와 건식 식각 챔버를 청소하고 정비하는 데 사용하는 세정제에는 급성과 만성 독성, 부식성, 인화성이 있는 산, 염기, 솔벤트와 같은 유해화학물질이 포함될 수 있다. 이러한 화학물질은 올바르게 취급하지 않으면 폭발, 화재 등은 물론 건강상 치명적인 급성독성, 피부 자극, 호흡기질환, 눈 손상이 일어날 수 있다.

4.6 안전보건 시설 등 성능 확인

- (1) 가스, 증기, 흙, 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 폐화학물질을 담은 폐기물 용기, 청소 재료 준비 여부 등

4.7 안전보건 교육

- (1) 식각 설비 정비 작업과 관련된 부서 근로자들은 작업의 위험 및 안전작업절차에 대한 포괄적인 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.
- (2) 정비 작업 중의 유해·위험 요인과 그 요인들을 줄이기 위해 회사가 정한 조치 사항을 교육 내용에 포함한다. 이는 작업 전, 작업 중, 그리고 작업 후 안전보건 조치 사항 및 비상조치 사항 등을 포함한다.
- (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.

4.8 비상사태 발생 시 조치

- (1) 정비 작업자는 식각 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 세척 설비로 세척하고, 의사의 처치를 받는다.
- (2) 정비 작업 감독자는 사고가 발생할 경우 작업 공간의 위험 특성에 맞는 개인보호장비를 착용하고 구조 작업을 하며, 비상 연락망을 가동하여 신속하게 119 구조대에 신고한다(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.

- (3) 식각 설비 정비 작업 중 긴급 사고가 발생했을 때 다음 각호와 같은 응급조치를 취한다.
- (가) 화학물질 누출, 화재, 폭발 등 안전사고가 발생한 경우 정해진 보고 체계를 통해 상부에 알리고, 동료와 인근 근로자에게 알려 추가 사고가 발생하지 않도록 우선 조치를 취한다.
 - (나) 호흡기 관련 사고가 발생한 경우 빠르게 오염된 공간에서 사고자를 대피시키거나 공기호흡기를 사용하도록 하는 등의 응급조치를 한 후, 정비 책임자, 안전보건 관리자 등에 연락해 적절한 의료 조치를 받도록 한다.
 - (다) 눈, 피부 등에 화학물질이 튀거나 닿았을 때는 즉시 근처 세척·세안 설비를 이용하여 15분 이상 세척하고 정비 책임자, 상급자, 안전보건 관리자 등에 연락하여 적절한 조치를 받도록 한다.

- (라) 추가 피해가 발생하지 않도록 필요한 조치를 단시간 내에 취하고, 빨리 정상화되도록 모두 협력한다.
- (마) 필요하면 기타 잠재적인 안전사고, 중독 발생 물질에 대비한 적절한 비상조치 계획을 마련한다.

5 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

5.1 습식 식각 공정 설비 정비

(1) 적절한 개인보호장비 착용

- (가) 습식 식각 설비 정비 작업 시 피부, 눈, 호흡기 등 몸 전체에 화학물질이 노출될 수 있으므로 보안경, 장갑, 호흡보호구, 보호복 등 몸 전체를 보호할 수 있도록 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.

- (나) 식각 설비 정비 작업에서 발생하는 건강위험 요인은 화학물질 미스트, 흙, 가스 등이다. 식각 공정에 따라 주로 발생하는 공기 중 물질의 종류가 다르다. 정비 작업을 할 때 먼지 등 입자상 물질이 주로 발생할 경우에는 고성능필터(HEPA)가 장착된 방진마스크를 착용하고, 세정용 유기용제나 산 등 화학물질을 많이 사용할 경우에는 방독마스크(반면용)를 착용한다.

- (다) 식각 설비 정비 작업을 할 때 노출되는 안전보건 유해·위험 요인에 따라 사용해야 할 보호구는 KOSHA Guide “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침(G-12-2013)”을 참조해서 선택한다.

(2) 정비 작업 구역 준비

- (가) 정비 작업을 수행하기 전에 해당 구역, 대상 설비, 기계를 적절하게 청소했으며 모든 전원과 화학물질 공급이 차단되었는지 확인한다.

(3) 폐화학물질 수거, 보관

- (가) 정비 전과 후에 남은 산, 알칼리 등 폐화학물질을 적정하게 수거, 운반, 폐기한다. 화학물질을 옮길 때는 적절한 용기와 도구를 사용하고, 항상 환기가 잘 되는 곳에 보관한다. 보관할 때는 물질안전보건자료(MSDS) 지침에 따른다. 호환되지 않는 화학물질은 반응을 방지하기 위해 별도로 보관한다.

(4) 누출 대응(Spill Response)

- (가) 정비 작업 중 화학물질 누출 등을 감지하기 위한 누출 키트나 다른 직독식 기구를 사용한다.
- (나) 정비 작업공간 주변에 가스검지기 등을 설치해 실시간 농도에 따라 대응하는 절차를 갖춘다.

5.2 건식 식각 공정 설비 정비

(1) 적절한 개인보호장비 착용

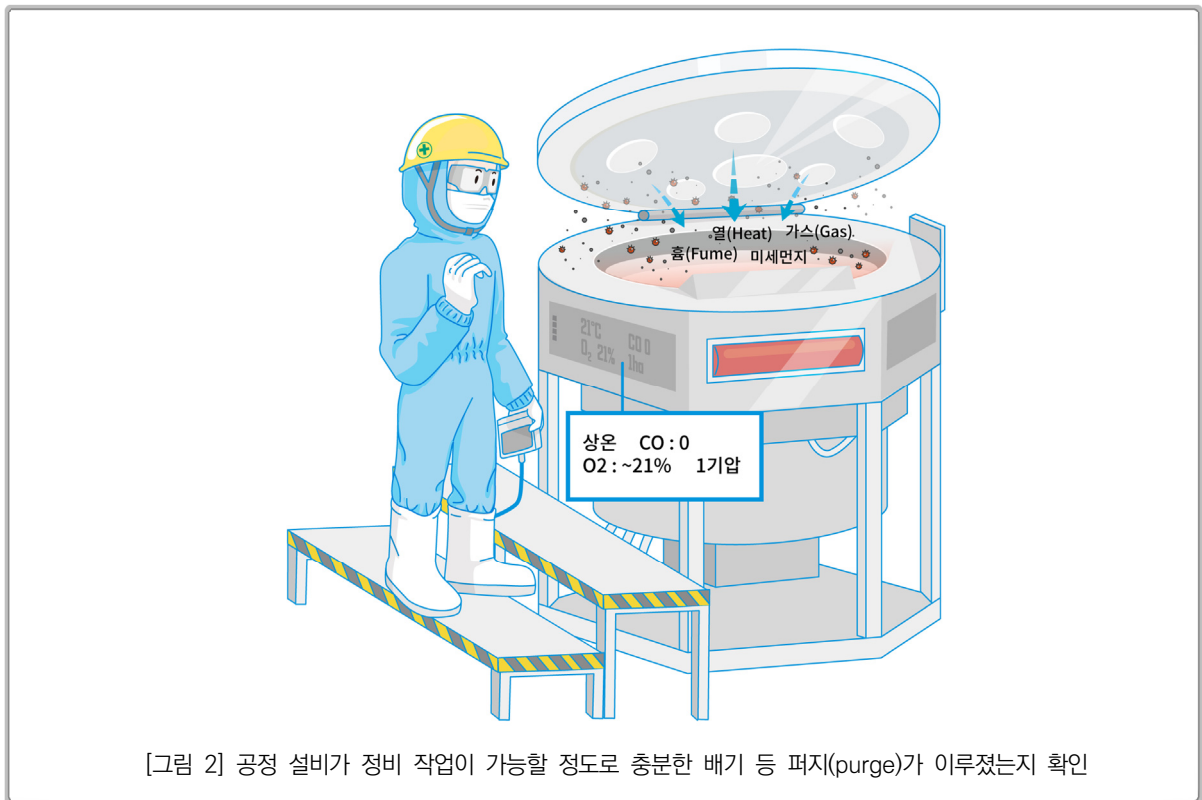
- (가) 건식 식각 설비 정비 작업 시 피부, 눈, 호흡기 등이 가스상 물질과 입자상 물질에 노출될 수 있으므로 보안경, 장갑, 호흡보호구 등을 착용한다.
- (나) 정비 작업을 할 때 입자상 물질이 주로 발생할 경우 고성능필터(HEPA)가 장착된 방진마스크를 착용하고, 세정용 유기용제 등 화학물질을 많이 사용할 경우에는 방독마스크(반면용)를 착용한다.
- (다) 식각 공정 설비 정비 작업을 할 때 노출되는 안전보건 유해·위험 요인에 따라 사용해야 할 보호구는 KOSHA Guide “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침(G-12-2013)”을 참조해서 선택한다.

(2) 정비 작업 구역 준비

- (가) 정비 작업을 수행하기 전에 해당 구역, 대상 설비, 기계를 적절하게 청소했으며 모든 전원과 유체 공급이 차단되었는지 확인한다.

(3) 식각 공정 설비 챔버 식히기, 환기 등

- (가) 식각 챔버를 열기 전(정비 작업을 시작하기 전) 챔버가 정비 작업을 할 수 있을 정도로 안전한 온도와 압력에 도달했는지, 유해 물질이 충분히 제거되었는지 환기하고 확인한다(그림2 참조).



(나) 정비 대상 챔버의 내부를 클리닝하고 퍼지한다.

- 챔버를 열기 전 설비 안에 남아 있는 가스상 물질, 입자상 물질, 열 등이 최소 수준까지 배출되도록 한다.
- 챔버 설비 정비 작업 전 질소나 아르곤과 같은 불활성가스로 챔버를 퍼지하여 남아 있는 화학물질, 연기, 열 등을 제거한다(아래 산재사고 사례 참조).

챔버 등 충분히 퍼지하지 않은 상태에서 정비 작업 중 질식

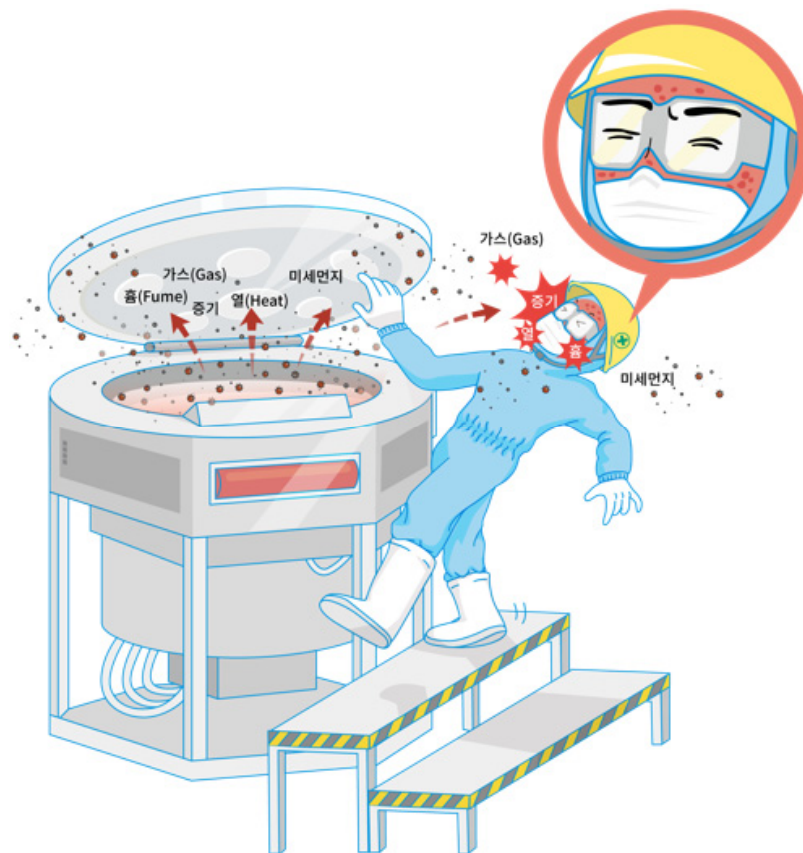
사고 재해자는 전자산업 ** 공정 설비 기계 유지보수 정비를 수행함. 공정 설비 챔버 안 자동화 로봇의 사전점검을 위해 진입 중 남아 있던 질소에 질식하여 사망함. 정비 작업을 시작하기 전 챔버 등 정비 공간 내에 남아 있는 화학물질, 열 등을 완전히 제거해야 함.

(4) 식각 공정 챔버 개방

(가) 챔버 뚜껑을 열 때 챔버 내 온도, 압력, 유해가스 농도 등을 확인한다.

(나) 챔버를 열 때 공정에서 사용된 각종 반응성 가스, 독성가스, 미세입자 등이 챔버 안에 남아 있다가 순간적으로 나올 수 있으므로 보안경과 호흡보호구를 착용하고 일정 거리를 둔다(그림3 참조).

(다) 정상적인 정비 작업이 불가능하다고 판단되면 해당 유해 요인을 제거하는 적절한 조치를 취한 후 정비 작업을 시작한다. 필요한 경우 VOC, 먼지 농도 등을 모니터링한다.



[그림 3] 공정 설비가 충분한 배기 등 퍼지(purge)가 이루어지지 않을 경우 화학물질 누출, 높은 열 발산 등 순간 노출 등이 이루어짐

(5) 챔버 정비

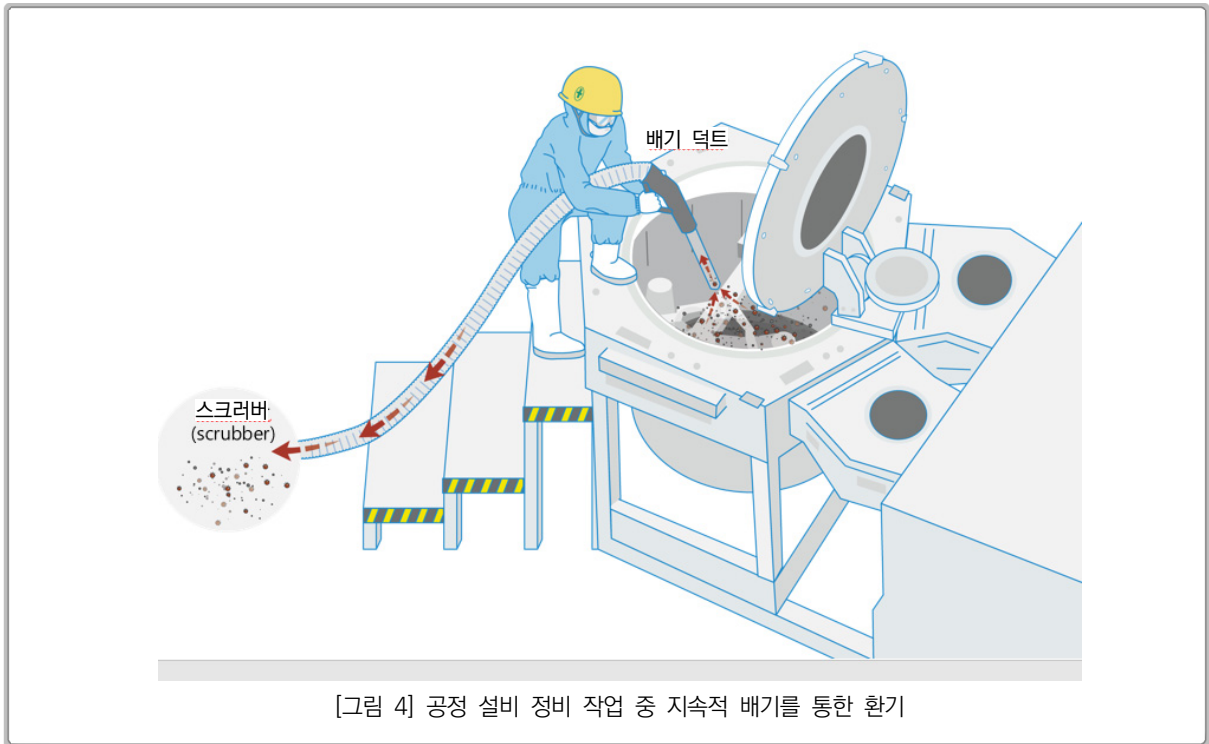
- (가) 챔버 뚜껑을 열고 정비 대상 부품 교체, 가스 라인·온도센서·펌프 등에 대한 정비와 세정 등 예방 정비를 수행한다.
- (나) 챔버 안 정비 작업 방법과 챔버 구성 요소, 장비, 재료 등의 내용은 회사가 정한 규칙과 방법에 따른다.
- 챔버 내부를 클리닝한다. 진공청소기, 브러시, 형광, 화학물질(IPA), 증류수 등을 사용하여 챔버 내부의 이물질, 먼지, 입자 등 잔여물을 철저히 제거한다. 챔버를 세척하고 정비하는 데 사용되는 모든 화학물질은 규정에 따라 취급하며, 안전사고와 인체 노출을 방지하기 위해 적절한 예방조치를 한다.
 - 전기 연결 점검, 온도 제어 모니터링, 진공 시스템, 발열체, 열전대, 팬, 펌프 등 모든 부품을 검사하여 양호한 상태인지 확인한다. 챔버 내부의 발열체나 기타 구성품이 손상되지 않도록 주의한다. 필터 등 마모되거나 손상된 구성품은 필요에 따라 교체한다.
 - 일정 높이에서 챔버를 정비할 때 발판 등에서 넘어지거나 높은 곳에서 일하다 떨어지지 않도록 높이에 따라 적절한 예방조치를 취한다.
 - 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

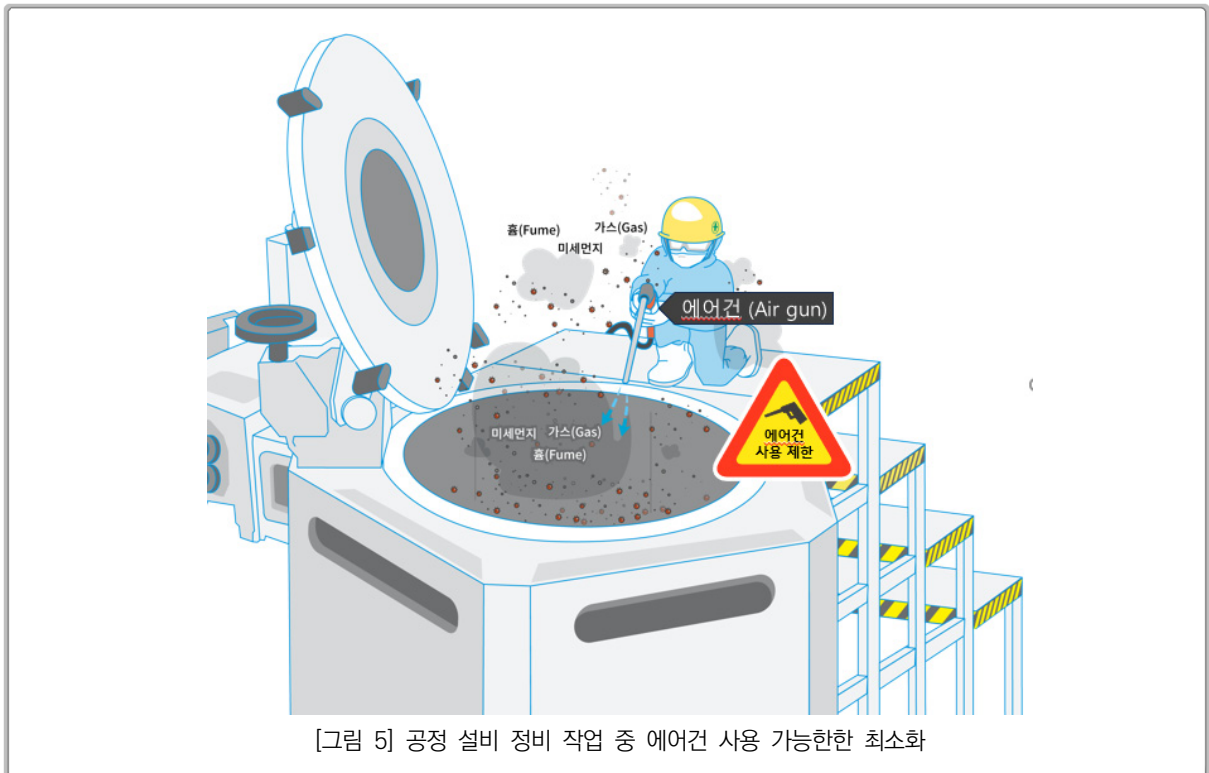
사고 재해자는 전자산업 ** 자동화 기계 셋업 중 약 3톤의 장비 밑에 핸드카를 넣어 살짝 든 다음 앞에서 당기는 과정에서 무리해서 힘을 썼고, 장비 이동 후 지렛대를 사용하여 세부 위치를 잡는 과정에서 과도하게 힘을 주어 허리에 손상을 입었음. 정비 작업 중 중량물 해체, 운반, 이동 등에서 반복적인 작업, 무리한 작업, 불안정한 자세 등으로 근골격계 손상이 일어남. 인체공학적 작업 매뉴얼 등의 필요함.

5.3 습식, 건식 식각 설비 정비 작업 중 충분한 환기

- (1) 정비 작업 동안 챔버, 탱크 등 작업공간 안에 각종 먼지, 가스, 세정제 등이 쌓이지 않도록 지속적으로 적절한 환기를 한다.
- (2) 작업공간에서 근로자의 유해 물질 노출과 화재·폭발 위험을 줄이기 위해 지속적으로 환기하며, 유해·위험 요인의 상태를 주기적으로 모니터링한다.
- (3) 작업공간에 남아 있는 가스, 증기, 흙, 먼지 등의 물질은 허용농도 이하, 인화성 가스 농도는 폭발하한의 25% 이하가 되도록 환기한다.
- (4) 정비 작업 중 설비 안에 남아 있거나 생성되는 가스상 물질, 입자상 물질 등을 제거하기 위해 배기 장치를 사용한다. 배기 덕트는 스크리버로 연결하는 것이 바람직하며, 어려울 경우 공기정화장치를 붙인다(그림4 참조).



- (5) 정비 작업 중 에어건은 최소한으로 사용하고, 사용해야 한다면 배기 장치를 함께 사용해 먼지의 공기 중 분산을 최소한으로 한다(그림5, 6 참조).
- (6) 일정 높이에서 공정 설비 정비 작업을 할 때 발판 등에서 넘어지거나 높은 곳에서 일하다 떨어지지 않도록 높이에 따른 적절한 예방 조치를 취한다(아래 산재사고 사례 참조).





[그림 6] 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. 안전 보호장비를 착용하지 않은 상태에서 정비 작업 후 넘어지면서 주변 시설 파손, 화학물질 누출 등의 사고가 발생함.

6 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

6.1 청소 등 폐기물 처리

- (1) 식각 설비 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채로 정비 공간을 깨끗하게 청소한다. 정비 작업 중 유출되거나 누출된 물질은 즉시 수거한다.
- (2) 식각 설비 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 잘되는 지정된 장소에 보관한다.

6.2 공정 재가동 전 안전보건 조치

- (1) 식각 설비 정비를 마친 후 공정을 다시 시작하기 전에 안전보건 조치를 취한다.
- (2) 모든 정비 작업 도구와 장비가 제거되었는지, 설비가 적절하게 정비되었는지, 챔버가 적절한 작동 상태에 있는지 확인한다.
- (3) 정비 작업을 위탁 또는 하청한 경우 원청은 관계 부서, 관계자와 함께 공정을 다시 가동하기 전에 사전 점검한다.

6.3 공정 재가동 후 공정 테스트

- (1) 식각 설비 정비 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후 식각 공정을 다시 작동하고 공정이 원활하게 유지되는지 관련 운전 변수를 점검한다. 최적의 상태인지 확인하고 정비 작업을 마친다.
- (2) 식각 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 “가동전 안전점검에 관한 기술지침(P-97-2012)”에 따른다.
- (3) 식각 설비 정비 작업을 마치고 공정을 다시 작동하는 절차, 방법 등은 회사마다 다를 수 있다.

7 작업환경측정 및 특수건강진단 실시

- (1) 보건관리자(사업주)는 식각 설비 정비 근로자가 노출될 수 있는 유해 인자를 정기적으로 측정하고 모니터링한다. 자세한 유해 인자 측정 방법 지침은 KOSHA Guide “시료채취 및 분석지침”을 참조하여 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) 보건관리자(사업주)는 식각 설비 정비 근로자가 산업안전보건법령에서 정한 규정에 따라 특수건강진단을 받도록 조치하고, 그 결과에 따라 질병 예방을 위한 건강 보호 조치를 취한다. 자세한 건강진단과 관리 지침은 KOSHA Guide “건강진단 및 관리지침”을 참조하여 근로자의 질병 예방을 위한 지침으로 활용한다. 정비 작업자는 작업 중이나 후에 특이적 증상, 불편 등 질병 위험이 있다고 의심이 되는 경우 보건관리자나 의사에게 상담한다.

8 기록 유지 서류 작성 및 보존

- (1) 식각 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 등의 주요 정비 내역을 기록하고 보존한다.
- (2) 식각 설비 정비 기록 내용은 향후 유지보수 활동과 반복되는 잠재적 문제를 파악하는 데 도움이 되도록 한다.