

[부록 2]

전자산업 이온주입공정 설비 정비작업 안전보건 가이드

요 약

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

1. 이온주입 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 잠그고(Lock out), 표시(Tag out)한 꼬리표를 달아 놓는다.
- 공정 설비 정비 작업공간을 주변과 격리하고, 정비 구역을 표시하며, 출입을 제한한다. 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 적절한 개인보호장비를 착용한다. 정비 작업에서 발생하는 가스상 물질과 입자상 물질을 잘 제거할 수 있는 방독마스크, 방진마스크, 송기 마스크 등의 호흡보호구를 착용한다.
- 이온주입 챔버를 충분히 세정하고 퍼지(Purge)하여 온도, 기압, 펌프 작동 상태, 유해가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인하고 기다린다.

2. 이온주입 공정 설비 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

- 이온주입 챔버를 열 때 압력 차이에 따라 열, 유해가스, 먼지 등이 포함된 공기가 순간 분출될 수 있으므로, 보안경과 적절한 호흡보호구를 착용하고 일정 거리를 둔 상태로 작업한다.
- 이온 박스를 열고 정비 작업을 할 때 도펀트 가스, 입자 등에 노출을 막기 위해 반면용 방독마스크나 방진마스크를 쓴다. 도펀트 이온 박스 정비 등 순간 높은 농도의 화학물질이 발생할 가능성이 있는 경우에는 송기 마스크를 착용한다.
- 설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크러버(Scrubber)로 연결된 이동식 배기 장치를 사용하고, 에어건 사용은 최소한으로 한다. 에어건을 사용해야 한다면 배기 장치를 함께 사용하여 공기 중 먼지 분산을 최소한으로 한다.

3. 이온주입 공정 설비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 이온주입 공정 설비 정비 작업을 마친 후, 보호구를 착용한 채로 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 이온주입 공정을 다시 작동하고, 공정이 원활하게 유지되는지 관련 변수를 점검한다. 최적의 상태인지 확인하고, 정비 작업을 마친다.

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

4. 이온주입 공정 설비 정비 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 안전한 작업 절차서 등을 검토했는가?			
관계 부서와 공정 운전 중단, 유해·위험 물질 유입 차단과 제거, 전기 차단 등의 안전조치를 했는가?			
정비 대상 이온주입 챔버, 장비 등을 확인했는가?			
이온주입 챔버 안의 온도, 압력의 대기 상태 유지, 고전압 전기 시스템 작동 멈춤, 유해·위험 물질 제거 등의 안전조치를 했는가?			
정비 작업 구역을 설정하고 접근 제한 조치를 취했는가?			
이온주입 챔버 안 이온 박스, 이온빔 라인, 엔드 스테이션 등이 정비 가능 상태임을 확인했는가?			
핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했고 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·위험 물질 위험성평가와 관리 실시)?			
정비 도구 등을 챙기고 성능을 확인했는가?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
비상사태 발생 시 조치 사항 등 핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
정비 작업에 적절한 보안경, 방진마스크, 방독마스크 등 개인보호장비를 착용했는가?			
이온주입 챔버 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?			
이온주입 챔버 안과 밖에서 먼지를 제거할 때 스크러버로 연결된 이동식 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, 정비 후 폐기물을 안전하게 수거하고 처리했는가?			
정비 작업 도구 등을 치우고, 챔버 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인했는가?			
기밀시험 등을 실시했는가?			
공정을 다시 가동하고 공정 테스트를 완료했는가?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 정비 내역을 기록했는가?			

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

1 목 적

- (1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 중 이온주입(Ion Implantation) 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 이온주입 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 이온주입 공정의 주요 설비와 부속 설비를 정비할 때 안전보건 유해·위험 요인에 대한 노출을 최소화하여 안전보건 위험을 관리하는 데 적용한다.
- (2) 이온주입 공정별로 발생하는 구체적인 안전보건 위험을 관리하기 위한 가이드는 필요할 경우 따로 개발할 필요가 있다.
- (3) 본 가이드는 이온주입 공정을 이용하는 전자 등 여러 산업에서 안전보건 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다. 이온주입 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.
- 도펀트(Dopants): 반도체 재료의 전기적·광학적 특성을 변화시키기 위해 의도적으로 첨가하는 불순물을 말한다. 일반적으로 확산 또는 이온주입과 같은 기술을 사용하여 제조 공정 중에 반도체 기판 재료에 주입한다.
- 확산: 도펀트 원자가 농도가 높은 영역에서 농도가 낮은 영역으로 이동하는 현상을 말한다. 고체 확산이라고도 하는 열(Thermal)확산의 경우, 도펀트 소스가 있는 상태에서 웨이퍼를 고온으로 가열하면 도펀트 원자가 열에너지로 인해 실리콘 웨이퍼로 확산하여 주입된다.
- 이온주입(Ion Implantation): 도펀트 이온을 높은 에너지로 가속하여 실리콘 웨이퍼 표면에 주입하는 기술을 말한다. 도펀트 이온을 이온 소스에서 생성하고 고압의 전기장으로 가속하여 웨이퍼 표면으로 보낸 다음, 충격을 가해 결정격자를 관통하여 재료에 삽입한다.
- 이온 챔버(Ion Chamber): 도펀트 이온의 이온 소스와 이온가속기를 포함하는 진공 챔버를 말한다. 붕소나 인과 같은 고체 물질을 가열하여 만들어진 증기를 전기장으로 이온화하여 도펀트 이온을 만든다. 그리고 이온 가속기로 도펀트 이온을 고속으로 가속하여 이온빔을 만든 다음, 반도체 웨이퍼 기판 표면으로 보낸다. 이온 챔버는 도펀트 이온이 원하는 농도와 분포로 반도체 웨이퍼에 전달되도록 하는 데 중요한 역할을 한다. 이온빔은 이온가속기의 전압과 전류, 챔버를 통해 이온을 안내하는 데 사용되는 자기장을 조정하여 제어한다.
- 이온빔 라인(Ion Beam Line): 이온빔이 반도체 웨이퍼로 이동하고 통과하는 길(경로)을 말한다. 일반적으로 이온빔의 특성을 제어하고 원치 않는 입자를 걸러 내는 데 사용되는 일련의 자석, 빔 필터, 콜리메이터로 구성된다.
- 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 ℃에서 가스 상태인 물질을 말한다. OLED 제조에 사용되는 일부 장비와 공정에는 부산물이나 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 폭발성가스 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. 이온주입 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 이온주입 설비 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 배치한다.
- (5) 이온주입 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 이온주입 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) 이온주입 공정 설비의 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) 이온주입 공정에서 정비 대상 설비와 기계 등을 확인하고 준비한다. 이온주입 기술별로 주요 정비 대상 설비는 아래와 같다.

- 이온주입기(Ion Implanter), 이온 챔버³⁾, 엔드 스테이션(End Station)⁴⁾ 또는 웨이퍼 관리 체계(Wafer Handling System), 가속기 튜브(Acceleration Tube)⁵⁾, 도펀트 가스 공급 시스템, 배기 장치 등

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

2) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 630조(불활성기체의 노출)

3) 이온주입기에서 열, 전기장 또는 고주파 에너지의 조합을 사용하여 원자나 분자를 이온화하여 가속 및 후속 주입을 위한 이온을 생성하는 챔버이다.

4) 이온주입 공정에서 '엔드 스테이션'은 반도체 웨이퍼를 적재하고 주입 공정을 거친 후 언로딩하는 기계 부품이다.

5) 이온이 반도체 웨이퍼와 같은 대상 물질에 충돌하기 전에 전기장에 의해 고속으로 가속되는 이온주입 장비의 구성 요소이다.

- (2) 이온주입 공정에서 정비 작업구역을 구분하고 표시하여 사방에서 잘 보이도록 “작업 중 접근 금지” 등 안전표지를 붙이고, 접근 금지구역 펜스를 설치한다.

4.5 위험성평가 실행과 심각성(Severity) 확인

- (1) 정비 책임자는 작업을 시작하기 전에 위험성평가를 수행하여 이온주입 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 이온주입 설비 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) 이온주입 설비 정비 작업에서 발생할 수 있는 공통적인 잠재적 안전사고와 유해·위험 요인은 다음과 같다.
- 전기적 위험: 이온주입 공정에서 사용하는 고전압 전기 시스템에서 감전, 전기아크 발생 가능성이 있다. 전기아크가 인화성 또는 폭발성 물질이 있는 환경에서 발생하면 화재나 폭발이 일어날 수 있다. 이온주입의 고전압 전기 시스템은 일반적으로 10~200 kV의 전압에서 작동하며, 일부 시스템은 더 높은 전압에서 작동할 수 있다.
 - 기계적 위험: 이온주입 시스템의 유지보수 작업에 추가 기계 등 중장비를 사용하는 작업이 포함될 경우 기계적 위험이 있다.
 - 포스핀(PH₃)의 화재, 폭발 위험: 포스핀은 일반적으로 이온주입 공정에서 도펀트 가스로 사용되며, 폭발성·부식성·인화성 등이 강하다. 이로 인한 화재나 폭발이 일어날 수 있다.
 - 엑스레이 노출 위험: 이온주입 공정에서 사용하는 고전압 전기 시스템에서 고에너지 전자가 이온빔 라인이나 표적 물질에 존재하는 다른 원자 또는 입자와 충돌할 때 엑스레이가 발생할 가능성이 있다. 이때 정비 작업자가 엑스레이에 노출될 수 있다.
 - 화학물질 노출 위험: 이온주입 공정에서 사용하는 산이나 유기용제와 같은 유해 화학물질에 노출될 수 있다. 또한 아세톤, 아이소프로필알코올과 같은 유기용매를 사용하여 구성 요소를 세척하거나 탈지하다가 노출될 수 있다. 세정용 화학물질 대신 증류수를 사용하는 경우에는 이러한 위험이 없다.
 - 중금속 등 유해 물질 노출 위험: 이온주입 공정에서 도펀트 가스로 포스핀, 비소, 안티몬 등 화합물이 사용될 경우 이들에 노출될 수 있다. 또한 전기 부품과 같은 이온주입 시스템의 일부 구성 요소에 사용되는 납에 노출될 수도 있다.
 - 인체공학적 위험: 이온주입 시 챔버 뚜껑, 기계, 커버 등 무거운 부품이나 장비를 손으로 들어 올리거나 옮기는 작업, 챔버 안이나 주변에서 불편한 자세로 사포나 걸레 등의 도구를 이용하여 챔버 표면을 세정하고 정비하는 작업 등에서 반복적인 동작을 하고 불편한 자세로 작업하는 경우 근골격계질환이나 부상이 생길 수 있다.
 - 부상 위험: 설비 내 노출된 기계, 부품, 돌출물 등에 베일 수 있다.
 - 중독 위험: 설비 결함이나 소통 오류 등으로 정비 작업 중 유해 화학물질이 유입되어 중독이나 질식 위험이 있다.
 - 떨어짐, 추락 위험: 챔버, 설비 등 구조물에 걸려 넘어질 위험이 있고, 챔버 상부 이동 혹은 진입을 위한 사다리 사용 중 떨어질 위험이 있다. 또한 일정 높이의 발판 위에서 작업할 경우 뒤로 넘어질 가능성도 있다 (그림1 참조).



- (3) 이온주입 공정 설비 정비 작업에서 안전보건 유해·위험 요인 노출 결과로 나타나는 심각성은 일반적으로 다음과 같이 추정할 수 있다.
- (가) 화학물질 누출, 화재, 폭발, 감전 등의 안전사고 발생 확률은 상대적으로 낮으나, 발생할 경우 근로자에게 치명적일 뿐만 아니라 공정 손실 등 손실이 매우 크다.
 - (나) 화학물질이 포함된 먼지와 흙, 세정용 화학물질, 엑스레이 노출로 인해 만성 건강 영향 위험이 있다. 이온주입기를 청소하고 정비하는 데 사용되는 세정용 화학물질(IPA, 아세톤, 알코올 등)에는 부식성, 인화성이 있을 수 있다. 또한 피부 자극, 호흡기 손상, 눈 손상 등이 일어날 수 있다.

4.6 안전보건 시설 등 성능 확인

- (1) 가스, 증기, 흙, 먼지 등을 제거하기 위한 전체환기장치, 국소 또는 이동식 배기 장치 등의 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) 정비 작업공간 부근 가동 중인 이온주입 공정 엑스레이 차폐 확인⁶⁾

4.7 안전보건 교육

- (1) 이온주입 설비 정비 작업을 수행하고 관련되는 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.

6) 이온주입 공정에서 고전압 전기 시스템에서 도펀트(불순물) 이온가속기에서 고에너지 전자가 방출되어 기판 표적 물질과 충돌할 때 엑스레이가 발생할 수 있다. 운전자 노출 가능성이 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 이온주입 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 작업공간 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) 이온주입 설비 정비 작업 중 긴급 사고가 발생했을 때 다음 각호와 같은 재해자 구조와 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 적절한 개인보호장비 착용

- (1) 이온주입 공정 설비 정비 작업 시 피부, 눈, 호흡기 등이 노출될 수 있으므로 보안경, 장갑, 안전화, 호흡보호구 등 적절한 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) 이온주입 설비 정비 작업에서 발생하는 건강위험 요인은 비소 등이 포함된 중금속 먼지, 흙, 가스상 물질 등이 대부분이므로, 이를 제거할 수 있는 방독 또는 방진 마스크 등 적절한 호흡보호구를 착용한다.
- (3) 이온 소스 챔버를 정비할 때 순간 높은 농도의 불순물 등 화학물질이 발생할 가능성이 있는 경우 송기 마스크를 착용한다.
- (4) 이온주입 공정 설비 정비 작업할 때 노출되는 안전보건 유해·위험 요인에 따라 사용해야 할 보호구는 KOSHA Guide “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침(G-12-2013)”을 참조해서 선택한다.

5.2 정비 작업

- (1) 정비 작업을 수행하기 전에 해당 구역, 대상 설비, 기계를 적절하게 청소했으며 모든 전원과 유체 공급이 차단되었는지 확인한다.
- (2) 정비 대상 이온 챔버를 열기 전 아래와 같은 사항을 확인한다.
 - (가) 이온 챔버를 열기 전(정비 작업을 시작하기 전) 챔버가 정비 작업을 할 수 있을 정도로 안전한 압력과 온

도에 도달했는지 확인하고, 유해 물질이 충분히 나갈 때까지 환기하며, 적절한 조치를 한다.

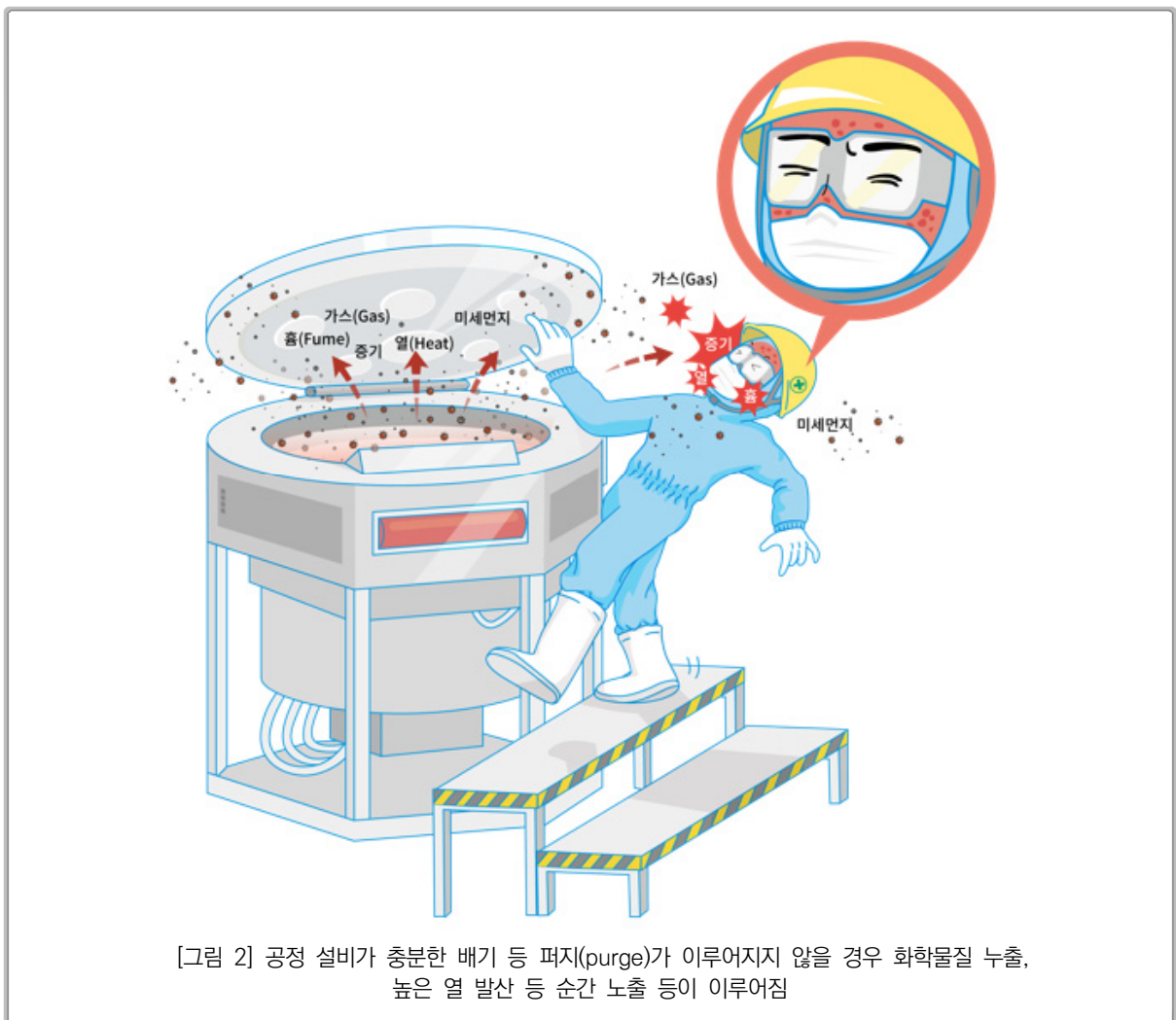
(나) 정비 대상 챔버의 내부를 충분히 퍼지(Purge)한다.

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

(3) 이온주입 정비 대상 챔버 등 개방

(가) 정비 대상 챔버, 설비, 기계 등을 열 때 내부 압력을 대기압과 맞추는 등 필요한 안전조치를 취한다.

(나) 정비 대상 챔버, 설비, 기계 등을 열 때 공정에서 사용된 각종 반응성 가스, 독성가스는 물론 미세입자, 열 등이 외부로 나올 수 있으므로 챔버를 열 때 챔버 내부에 남아 있는 유해·위험 물질을 제거하고, 내부 압력이 대기압인지 확인한다(그림2 참조).



(다) 챔버, 설비 내부의 공기 중 온도, 압력, 산소, 유해가스 농도가 일정 수준으로 유지되는지 확인한다. 폭발성가스 농도는 폭발한계 박인지, 기타 유해 물질의 농도가 작업환경 기준치나 사내 기준치를 초과하는지 평가한다. 정상적인 정비 작업이 불가능하다고 판단되면 해당 유해 요인을 제거하는 적절한 조치를 취한 후 정비 작업을 시작한다(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) 이온주입기 챔버 안과 주변 정비

- (가) 이온주입기 챔버를 열고 정비 대상 챔버의 구성 요소, 장비, 재료 등에 대해 회사가 정한 규칙과 방법에 따라 교체, 정비, 세정 등의 작업을 수행한다.
- (나) 이온주입기에 대한 예방 유지보수(PM) 시 주요 구성품과 기계, 중점적으로 수행할 작업은 아래와 같다.
 - 이온 소스 챔버(Ion Source Chamber): 검사와 청소, 필라멘트 점검, 이온 챔버 구성품과 같은 소모품 교체
 - 도펀트 가스 실린더 통 교체
 - 추출 및 가속 시스템(Extraction and Acceleration System): 추출 및 가속 전극 점검과 청소, 전원 공급장치 점검과 유지보수
 - 이온빔 라인 구성품: 전자석, 정전기 렌즈, 이온빔 형성 구성 요소 검사와 청소, 정렬, 올바른 작동 여부 확인, 진공 시스템 유지보수
 - 질량분석기: 구성품을 청소 및 검사하고 정렬이 올바른지 확인
 - 타깃 챔버: 챔버와 타깃 홀더 청소, 웨이퍼 처리 시스템 검사와 유지보수, 진공 시스템 모니터링
 - 진공 시스템: 진공펌프 · 밸브 · 게이지 검사, 누출 또는 오염 여부 확인
 - 제어시스템: 전원공급장치, 배선, 커넥터, 제어패널을 포함한 전기 · 전자 부품 검사와 유지보수
 - 냉각시스템: 냉각기, 열교환기, 냉각 라인 등 검사와 유지관리, 냉각수 수준과 품질 확인
 - 이온주입 공정 설비를 세척하고 정비하는 데 사용되는 모든 화학물질은 규정에 따라 취급하며, 인체 노출을 방지하기 위해 적절한 예방조치를 취한다.
 - 이온주입기 챔버를 화학물질로 세척하고 챔버에 붙어 있는 물질을 제거할 때 화재, 폭발, 인체 노출을 방지하기 위해 환기 등 적절한 조치를 취한다.
- (다) 이온주입 챔버 등을 열고 챔버 구조물에 걸려 넘어지지 않도록 유의하며 필요한 경우 챔버 내부로 들어간다. 챔버, 설비, 기계 등 안과 주변을 클리닝한다. 이때 진공청소기, 브러시, 형광, 화학물질(IPA, 아세톤 등) 등을 사용하여 챔버 내부와 외부의 이물질, 먼지, 입자 등 잔여물을 철저히 제거한다.
- (라) 일정 높이에서 챔버를 정비할 때 발판 등에서 넘어지거나 높은 곳에서 일하다 떨어지지 않도록 높이에 따른 적절한 예방 조치를 취한다.
- (마) 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).

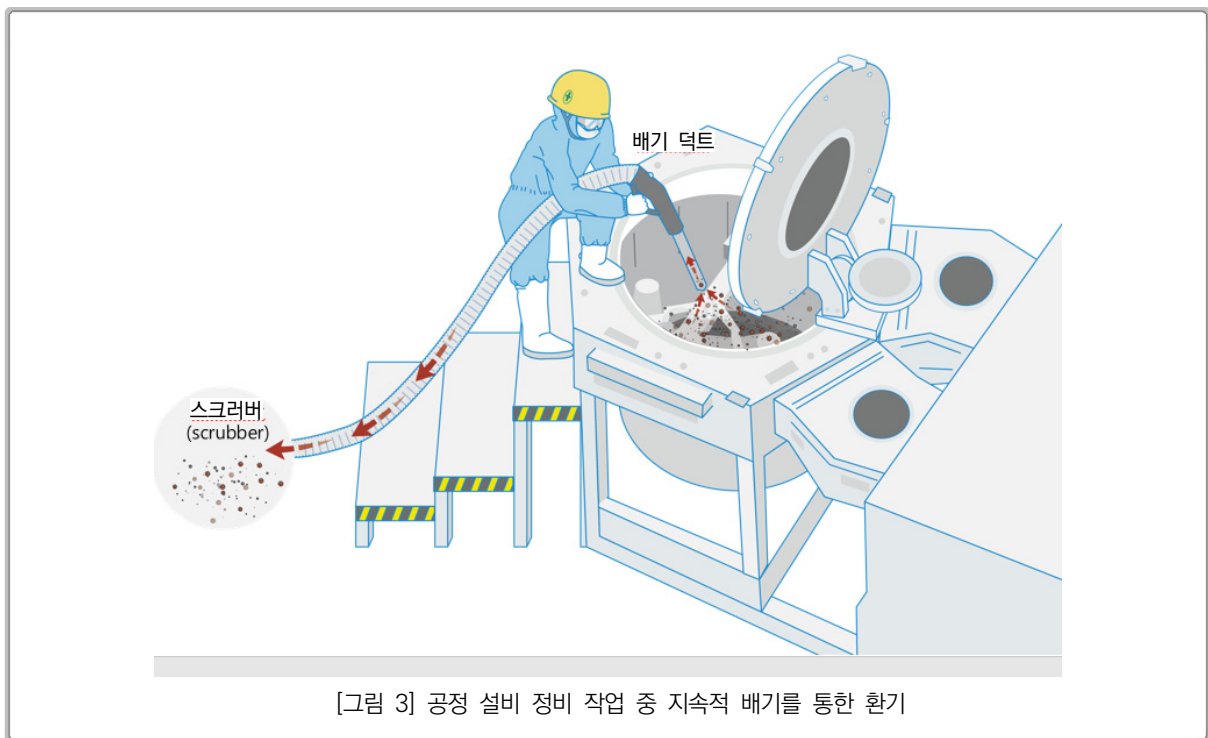
7) 업종, 공정, 제품 규격에 따라 근로자가 챔버 밖 또는 챔버 안으로 들어가서 정비하는 범위가 다양하다. 챔버 내부로 들어가는 경우 밀폐 정도에 따라 적절한 안전조치를 취해야 한다.

정비 작업 중 중량물 취급으로 인한 근골격계질환 발생

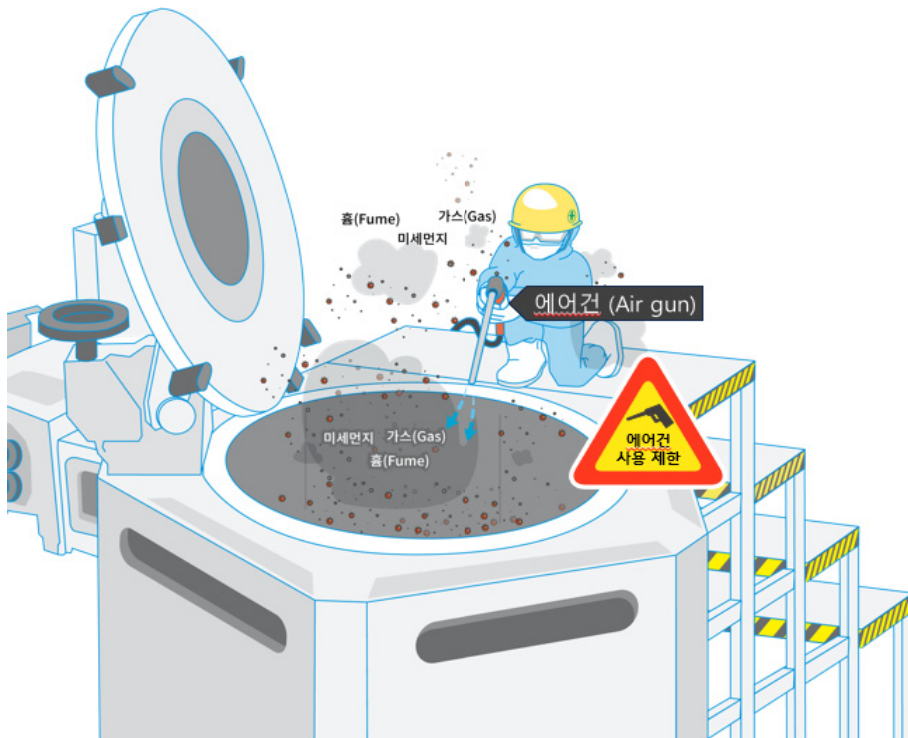
사고 재해자는 전자산업 ** 자동화 기계 셋업 중 약 3톤의 장비 밑에 핸드카를 넣어 살짝 든 다음 앞에서 당기는 과정에서 무리해서 힘을 썼고, 장비 이동 후 지렛대를 사용하여 세부 위치를 잡는 과정에서 과도하게 힘을 주어 허리에 손상을 입었음. 정비 작업 중 중량물 해체, 운반, 이동 등에서 반복적인 작업, 무리한 작업, 불안정한 자세 등으로 근골격계 손상이 일어남. 인체공학적 작업 매뉴얼 등이 필요함.

(5) 정비 작업 중 주기적인 환기

- (가) 정비 작업 동안 챔버 안에 각종 먼지, 가스, 세정제 등이 쌓이지 않도록 지속적으로 적절한 환기를 한다. 정비 작업 시 비소 등 도펀트 금속산화물이 포함된 먼지가 발생할 수 있다(그림3 참조).



- (나) 작업공간에서 근로자의 유해 물질 노출과 화재·폭발 위험을 줄이기 위해 지속적으로 환기한다. 가능하면 유해·위험 요인의 상태를 주기적으로 모니터링한다.
- (다) 작업공간에 남아 있는 가스, 증기, 흙, 먼지 등의 물질은 허용농도 이하, 산소 농도는 18.5 % 이상 23.5 % 이하, 인화성 가스 농도는 폭발하한의 25 % 이하가 되도록 환기한다.
- (라) 정비 작업 중 설비 안에 남아 있거나 생성되는 가스상 물질, 입자상 물질 등을 제거하기 위해 배기 장치를 사용한다. 배기 덕트는 스크러버로 연결하는 것이 바람직하며, 어려울 경우 공기정화장치를 붙인다.
- (마) 정비 작업 중 에어건은 최소한으로 사용한다. 발생하는 소음이 크고 먼지가 많이 날리기 때문이다. 에어건을 사용할 경우 진공 배기 덕트를 함께 사용하여 공기 중 먼지가 날리는 것을 최대한 억제하는 것이 좋다(그림4, 5 참조).
- (바) 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 4] 공정 설비 정비 작업 중 에어건 사용 가능한 최소화



[그림 5] 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 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) 이온주입 공정 설비 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채로 정비 공간을 깨끗하게 청소한다. 정비 작업 중 유출되거나 누출된 물질은 즉시 수거한다.
- (2) 이온주입 공정 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) 이온주입 공정 설비 정비 작업을 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) 이온주입 공정 설비 정비 작업을 마친 후 제조 공정반, 정비 작업반 등 관계 부서 및 관계자와 함께 공정을 다시 가동하기 전에 사전 점검한다.

6.3 공정 재가동 후 공정 테스트

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

7 작업환경측정 및 특수건강진단 실시

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